

ISSN1881-9273

関 東 森 林 研 究

第 74 卷

Kanto Journal of Forest Research Vol. 74

関 東 森 林 学 会

2023 年 3 月

関東森林研究 第 74 巻

目 次

論 文

「盛岡木材流通センター」の広葉樹丸太の市売価格の分析 道中哲也・大塚生美・小谷英司	1
長野県長野市におけるジビエ利用の現状と地域活性への影響 茂木もも子・稲垣里菜子・立花 敏	5
静岡県民有林（人工林）の形成過程と森林・林業施策の変遷 辻井 寛・土屋智樹・関岡東生	9
タンザニアのブリケット生産による森林管理と木質バイオマス有効利用の概要（英文） クリスチャンパウロコロネリ・吉野 聡・佐藤孝吉	13
森林環境譲与税の活用実態と地域別の特徴分析—私有林人工林面積が 1000 ha 以下の市区を対象に— 石 佳凡・納富 信	17
関東地方の博物館における森林関連展示の実態 三浦万由子・杉浦克明	21
長崎県対馬市湊地区における木庭作地の利用実態の変遷 園原和夏・鈴木颯太・關 正貴・杉浦克明	25
林業普及指導員の資格試験から見る森林科学分野に求められている知識 水井英栄・杉浦克明	29
植栽後 20 年以上経過したマレーシアのフタバガキ科樹木の成長特性 田中憲蔵・大谷達也・星野大介・Zamah Shari NUR HAJAR	33
高齢スギ複層林における植栽木の形状比、樹冠長率および直径成長の変化 宮本和樹・米田令仁・福本桂子・櫃間 岳	37
茨城県におけるスギ新植地の競合植生の下刈り停止後の成長 五十嵐哲也・倉本恵生・奥田史郎	41
スギ植栽試験地における毎木調査データを基にした林齢 4 年の成長期終了時点の樹高の予測 清水達哉・塚原雅美・佐藤 渉	45

都市近郊森林公園における外生菌根性子実体の発生傾向 田中 恵・白川 誠	49
スギコンテナ苗の成長に及ぼす植栽時のグルタチオン施用の影響 飛田博順・奥田史郎・原山尚徳・上村 章・小川健一	53
スギコンテナ苗に対する接触刺激および風刺激の徒長抑制効果 阿部森也	57
スギ実生コンテナ苗の成長と有効積算温度の関係 大平峰子・山野邊太郎・木村 恵・高橋 誠	61
薬用のつる性木本植物カギカズラの組織培養によるクローン化とクローン苗の植栽 谷口 亨・小長谷賢一・山口秀太郎	65
モンゴル・ウランバートル周辺における 1960 年代と 2020 年代の森林分布範囲の比較 鈴木康平・小長谷有紀・渡邊三津子・上條隆志・山中典和	69
マツ枯れ後のアカマツ二次林を構成する樹木へのニホンジカ剥皮の影響 長池卓男	73
亜熱帯樹木群集における葉形質の乾燥応答：種の置き換わりと種内変異に着目して 河合清定・田中憲蔵・漢那賢作・石田 厚	77
森林植生の衰退による水流出量の増加特性 玉井幸治	81
不透過型堰堤の堆砂敷における流木の停止過程 鈴木拓郎・経隆 悠・浅野志穂	85
群馬県下の市町村における土砂災害ハザードマップの比較考察 本田尚正・富井直樹	89
多雪森林域における隣接する 2 流域の溶存物質の流出特性の比較 稲山賢信・瀧澤英紀・菅谷 馨・水野一平・吉澤大地・小坂 泉	93
釜淵森林理水試験地における降水・河川水の酸素・水素安定同位体比の特徴 久保田多余子・阿部俊夫・小川泰浩・伊藤優子・釣田竜也・野口享太郎・延廣竜彦	97
太平洋側の温暖な低地に植栽されたブナの光合成速度と気孔コンダクタンスの関係 片桐花音・小坂 泉・梁瀬裕生・杉本奏音・瀧澤英紀・阿部和時	101
労働投入量を制約条件とした持続的林業経営下における未利用森林バイオマス資源量 吉岡拓如・金子竣亮・金 鉉倍・仁多見俊夫	105

群馬県西部における確率年を用いた降雨評価による過去 19 年間の林道災害分析 渡部逸晴・小林 諒・有賀一広	109
北海道におけるセミトレーラと欧州型 CTL 導入を考慮した利用可能量推計 藤井絢弓・武田愛子・長沢翔太・松岡佑典・有賀一広・斎藤仁志・酒井明香・白澤紘明・鈴木保志	113
作業道端での粉碎作業の生産性を最大化させる枝条の積み上げ幅 黒田浩太郎・金 鉉倍・吉岡拓如	117
基盤地図情報と UAV-SfM による 3D モデルを用いた林内路網計画の可能性 亀山翔平・矢部和弘	121
立木に生じる振動の同時多点計測システムの開発 松本 武	125
東京都多摩地域の再造林地で被害をもたらす野生動物の実態 新井一司・久保田将之	129
街路のつる性植物における酵素糖化 瀬山智子・矢野薫穂	133
速 報	
関東・中部地域のスギ・ヒノキ・カラマツ人工林における材積枯損量・材積枯損率 西園朋広・細田和男・福本桂子・山田祐亮・鄭 峻介・北原文章・高橋正義・志水克人・小谷英司・齋藤英樹	137
林業経営における AHP 分析の検討 ―学生へのアンケート調査を事例として― 齋藤州生・鈴木崇元・佐藤孝吉	139
東京農業大学奥多摩演習林における間伐材のログベンチ利用 佐藤孝吉	141
ブナ苗木の被陰処理と根揚げによる成長抑制効果 伊藤幸介・塚原雅美	143
千葉県におけるヒノキの個体別雄花着生状況と雄花生産量の関係 福島成樹	145
カメムシ防除袋の仕様がスギ採種木の夏季の枝温度に与える影響 室 紀行	147
深層学習を用いた培地上でのスギ花粉発芽の自動分類手法の検討 武津英太郎・長谷部辰高・花岡 創	149

斜面安定解析における側根効果の検討事例 岡田康彦・蔡 飛・黒川 潮	151
作業道の簡易排水を用途とする粗朶の CT スキャンによる空隙計測 山口 智・小川泰浩・田中良明・鈴木秀典	153
マテバシイにおける NCS くん蒸薬剤のカシノナガキクイムシ殺虫効果 福原一成	155
房総半島のシカ・キョン生息地域における植生保護柵の効果 岩澤勝巳・福島成樹・幸由利香・小森谷あかね	157
カラマツラミナと CLT の曲げ強度 小澤雅之・伊原隆伸・櫻田尚人	159
茨城県の山林に植栽したウルシ林における林床植生の生育状況とウルシ植栽木への影響 小林久泰・倉持眞寿美・高田守男	161
シイタケ害虫ナガマドキノコバエ類幼虫の生存個体を利用した在来天敵の抽出 向井裕美・北島 博・末吉昌宏・渡辺恭平	163
ラオス農山村における未利用樹木を活用した <i>Lentinus squarrosulus</i> の原木栽培 木村健一郎・ザヤラス シンコン・原口雅人	165
福島第一原子力発電所事故 5～7 年後に千葉県内で伏せ込んだほだ木におけるセシウム 137 濃度の推移 小森谷あかね・宇川裕一・岩澤勝巳	167
クヌギ・サクラ類を用いたシイタケ原木栽培における放射性セシウム濃度 関根直樹・小林久泰・金田一美有・山口晶子	169

Kanto Journal of Forest Research Vol.74

CONTENTS

Article

Analysis of market sale prices of hardwood logs at the Morioka Logs Distribution Center

Tetsuya MICHINAKA, Ikumi OTSUKA, Eiji KODANI.....1

Current states of the use of gibier and its impact on community vitality in Nagano City, Nagano Prefecture

Momoko MOGI, Rinako INAGAKI, Satoshi TACHIBANA.....5

Formation process of private forests (artificial forests) in Shizuoka Prefecture and changes in forest/forestry policy

Hiroshi TSUJII, Tomoki TSUCHIYA, Haruo SEKIOKA.....9

An overview of briquettes production to enhance forest biomass recovery and efficient utilization from roundwood-producing forests in Tanzania

Christian Paul KOLONEL, Satoshi YOSHINO, Takayoshi SATO.....13

Utilization of Forest Environment Transfer Tax and analysis of characteristics by region – Targeting municipalities with the privately owned artificial forest area of 1,000 ha or less –

Jiafan SHI, Makoto NOHTOMI.....17

Forest-related exhibits in the Kanto region (Japan) museums

Mayuko MIURA, Katsuaki SUGIURA.....21

The transition of land use for the traditional agricultural practice, Koba-saku, in Minato, Tsushima City, Nagasaki Prefecture

Waka SONOHARA, Sota SUZUKI, Masataka SEKI, Katsuaki SUGIURA.....25

Knowledge required in the field of forest science from the qualifying examinations for forestry extension supervisors

Ema MIZUI, Katsuaki SUGIURA.....29

Growth characteristics of Malaysian dipterocarp trees more than 20 years after planting

Tanaka KENZO, Tatsuya OHTANI, Daisuke HOSHINO, Zamah Shari NUR HAJAR.....33

Changes in tree growth, slenderness and crown length ratio in old-aged multi-storied plantations of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*)

Kazuki MIYAMOTO, Reiji YONEDA, Keiko FUKUMOTO, Gaku HITSUMA.....37

Growth of competing vegetation in newly planted Japanese cedar plantations after the cessation of weeding in Ibaraki prefecture, Japan

Tetsuya IGARASHI, Shigeo KURAMOTO, Shirou OKUDA.....41

Prediction of tree height at the end of the growing season in a 4-year-old forest based on the data obtained from surveying each tree at a *Cryptomeria japonica* planting test site

Tatsuya SHIMIZU, Masami TSUKAHARA, Wataru SATO.....45

Trends in the occurrence of ectomycorrhizal sporocarps in urban forest park

Megumi TANAKA, Makoto SHIRAKAWA.....49

Effect of glutathione disulfide application at planting time on growth of cedar container seedlings

Hiroyuki TOBITA, Shiro OKUDA, Hisanori HARAYAMA, Akira UEMURA, Ken'ichi OGAWA53

Effect of mechanical and wind stimulation on suppression of excessive elongation in *Cryptomeria japonica* containerized seedlings

Shinya ABE.....57

Relationship between the growth of *Cryptomeria japonica* container seedlings and the effective cumulative temperature

Mineko OHIRA, Taro YAMANOBE, Megumi KIMURA, Makoto TAKAHASHI.....61

Clonal propagation by tissue culture, and field test planting of the clonal plant in a pharmaceutical woody climbing plant, *Uncaria rhynchophylla*

Toru TANIGUCHI, Ken-ichi KONAGAYA, Shutaro YAMAGUCHI.....65

Comparison of the extent of forest distribution in the 1960s and 2020s around Ulaanbaatar, Mongolia

Kohei SUZUKI, Yuki KONAGAYA, Mitsuko WATANABE, Takashi KAMIJO, Norikazu YAMANAKA.....69

Effects of bark stripping by *Cervus nippon* on trees recruited in a *Pinus densiflora* secondary forest after pine wilt disease

Takuo NAGAIKE.....73

Variation in leaf morphological traits along an aridity gradient on subtropical islands: focusing on species turnover and intraspecific variations

Kiyosada KAWAI, Tanaka KENZO, Kensaku KANNA, Atsushi ISHIDA.....77

Characteristics of increase of daily discharge due to degradation of forest vegetation	
Koji TAMAI·····	81
Deposition process of large wood in the upstream area of a closed-type check dam	
Takuro SUZUKI, Haruka TSUNETAKA, Shiho ASANO·····	85
Comparison and examination of sediment disaster hazard maps produced by municipalities in Gunma prefecture	
Naomasa HONDA, Naoki TOMII·····	89
Comparison of elemental runoff in two adjacent catchments at snowy forest region	
Kenshin INAYAMA, Hideki TAKIZAWA, Kei SUGAYA, Ippei MIZUNO, Daichi YOSHIKAWA, Izumi KOSAKA·····	93
Characteristics of oxygen and hydrogen stable isotope ratios of precipitation and stream water at the Kamabuchi Experimental Watershed	
Tayoko KUBOTA, Toshio ABE, Yasuhiro OGAWA, Yuko ITOH, Tatsuya TSURITA, Kyotaro NOGUCHI, Tatushiko NOBUHIRO·····	97
Relationship between the photosynthetic net assimilation rate and stomatal conductance of water vapor in <i>Fagus crenata</i> planted at a low elevation in the temperate region on the Pacific Ocean side, Japan	
Kanon KATAGIRI, Izumi KOSAKA, Yuuki YANASE, Kanane SUGIMOTO, Hideki TAKIZAWA, Kazutoki ABE·····	101
Amount of unutilized forest biomass resources under sustainable forest management limited by labor input constraint	
Takuyuki YOSHIOKA, Shunsuke KANEKO, Hyun-Bae KIM, Toshio NITAMI·····	105
Analyses on forest road damages over the past 19 years using rainfall evaluation with return periods in the western part of Gunma prefecture	
Issei WATANABE, Ryo KOBAYASHI, Kazuhiro ARUGA·····	109
Estimating the availability of timber and unused woody materials through the introduction of semi-trailers and European-type CTLs in Hokkaido	
Ayami FUJII, Aiko TAKEDA, Shota NAGASAWA, Yusuke MATSUOKA, Kazuhiro ARUGA, Masashi SAITO, Sayaka SAKAI, Hiroaki SHIRASAWA, Yasushi SUZUKI·····	113
Logging residue pile width to maximize the productivity of chipping at roadside	
Kotaro KURODA, Hyun Bae KIM, Takuyuki YOSHIOKA·····	117

The availability of forest road system planning using Fundamental Geospatial Data and 3Dmodels by UAV-SfM

Shohei KAMEYAMA, Kazuhiro YABE..... 121

Development of simultaneous multi-point measurement system for vibration generated in stand

Takeshi MATSUMOTO..... 125

Trends in wild animals damage on reforested land in Tama area, Tokyo

Kazushi ARAI , Masayuki KUBOTA..... 129

Enzymatic saccharification of vine plants on the roadside

Tomoko SEYAMA, Yukiho YANO..... 133

Letter

Volume mortality in planted forests of cedar, cypress and larch in Kanto and Chubu regions, Japan

Tomohiro NISHIZONO, Kazuo HOSODA, Keiko FUKUMOTO, Yusuke YAMADA, Shunsuke TEI, Fumiaki KITAHARA, Masayoshi TAKAHASHI, Katsuto SHIMIZU, Eiji KODANI, Hideki SAITO..... 137

Examination of AHP analysis in forestry management: A case of a questionnaire survey of students

Kunio SAITO, Takamoto SUZUKI, Takayoshi SATO..... 139

Log-bench utilization by thinning log at Okutama Practice Forest of Nodai

Takayoshi SATO..... 141

Growth retardation effect of shading and root pruning of beech seedlings

Kosuke ITO, Masami TSUKAHARA..... 143

Relationship between individual male flower setting and male flower production of Hinoki cypress trees in Chiba Prefecture

Shigeki FUKUSHIMA..... 145

The effect of protection bag types on temperature of *Cryptomeria japonica* twigs in seed orchard in summer

Noriyuki MURO..... 147

Automatic classification method for Japanese cedar pollen germination on culture medium using deep learning

Eitaro FUKATSU, Tatsutaka HASEBE, So HANAOKA..... 149

Examination of lateral tree-roots in the slope stability analysis

OKADA Yasuhiko, CAI Fei, KUROKAWA Ushio..... 151

Pore space measurement by CT scan of coarse twigs for simple drainage of skidding roads

Satoshi YAMAGUCHI, Yasuhiro OGAWA, Yoshiaki TANAKA, Hidenori SUZUKI..... 153

Insecticidal effect of NCS fumigation chemical for *Platypus quercivorus* on *Lithocarpus edulis*

Kazunari FUKUHARA..... 155

Effects of fences to protect vegetation in the habitat of sika deer and reeves's muntjac on the Boso Peninsula

Masami IWASAWA, Shigeki FUKUSHIMA, Yurika MIYUKI, Akane KOMORIYA..... 157

Bending strength of Japanese larch (*Larix kaempferi*) lamina and CLT

Masayuki OZAWA, Takanobu IHARA, Naohito SAKURADA..... 159

Understory vegetation and its effects on *Toxicodendron vernicifluum* trees planted after clear-cutting sites in mountainous area in Ibaraki Prefecture

Hisayasu KOBAYASHI, Masumi KURAMOCHI, Morio TAKADA..... 161

A selection method for native natural enemies of *Neoempheria* spp., infesting shiitake mushrooms, using living host larvae

Hiromi MUKAI, Hiroshi KITAJIMA, Masahiro SUEYOSHI, Kyohei WATANABE..... 163

Potential for log cultivation of *Lentinus squarrosulus* using unutilized trees of fallow forests in Laos

Kenichiro KIMURA, Singkone XAYALATH, Masato HARAGUCHI..... 165

Changes of cesium-137 concentration in bed logs incubated in Chiba Prefecture 5 to 7 years after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident

Akane KOMORIYA, Yuichi UGAWA, Masami IWASAWA..... 167

Radiocesium concentration in *Lentinula edodes* (Shiitake mushrooms) by using the *Quercus acutissima* and cherry woods

Naoki SEKINE, Hisayasu KOBAYASHI , Miyu KINDAICHI, Akiko YAMAGUCHI..... 169

「盛岡木材流通センター」の広葉樹丸太の市売価格の分析

道中哲也¹・大塚生美²・小谷英司¹

¹森林総研・²森林総研東北

要旨：本研究では、「盛岡木材流通センター」の2014年9月から2022年5月までの93ヶ月、全17.3万件の広葉樹丸太の取引データを用いた。分析では、まず、極積みに注目し、変数間の相関関係を明らかにした。次に、単価に対する回帰分析を行った。最後に、傾向変動と季節変動を分析した。分析の結果、全樹種を対象とするモデルは、径級、長級、材積が価格にプラスの影響、混合度はマイナスの影響を与えたこととなった。取引量の上位5樹種の単価変動の回帰分析の結果には樹種毎に差がみられた。その要因の一例として、ナラ類は内装用向けの割合が大きい一方で、クリは社寺・仏閣や住宅の構造用材として高値で取り引きされていることが明らかになった。すなわち、極積みでは、径級と長級といった外形に加え、材質、用途などが価格に影響を与えていることが明らかになった。

キーワード：径級、長級、混合度、傾向変動、季節変動

Analysis of market sale prices of hardwood logs at the Morioka Logs Distribution Center

Tetsuya MICHINAKA¹, Ikumi OTSUKA², Eiji KODANI¹

¹Forestry and Forest Products Research Institute; ²Tohoku Res. Center, Forestry and Forest Products Research Institute

Abstract: In this study, we used sales lots data of 173,000 transactions on hardwood logs from September 2014 to May 2022 at the Morioka Logs Distribution Center. We first clarified the partial correlations on lots transactions. Next, we conducted regression analysis. Finally, we analyzed the trends and seasonal movements of transactions quantity and price. The results of the analysis including all species showed that diameter grade, length grade, and volume had a positive impact on prices, while the mixture of diameter and length had a negative impact on prices. The results of the regression analysis showed differences among species. As an example of one reason for this, we found that while the proportion of oak logs for interior use is large, chestnut logs are traded sometimes at high prices not only for interior use but also as structural timber for temples, shrines, and houses. Besides external characteristics such as diameter and length, the quality and use of the wood affect the prices.

Keywords: diameter grade, length grade, mixture, trend movement, seasonal movement

I はじめに

日本には豊富な広葉樹資源がある。林野庁が公表した平成29年版の「森林資源の現況」によると、全国の天然林広葉樹森林の面積が11.23百万ヘクタールに、蓄積が14.42億立米に上る。その中に、岩手県は面積(54.7万ヘクタール、全国の4.87%)も蓄積(84.7百万立米、同5.87%)も北海道に次ぐ二番目大きい(1)。しかしながら、全国の広葉樹材の生産量は1985年の1,239万立米から2020年の185万立米まで下がって続いてきた(2)。広葉樹資源の有効利用が課題となり、広葉樹丸太の価格変動の解明が重要である。

「岩手県森林組合連合会盛岡木材流通センター」は、日本最大とされる広葉樹丸太市売市場である。当センターにおいては、取り引きされる広葉樹丸太の樹種数は80

を超えており、広葉樹丸太の取引量は年平均約3万立米、総取引量の約6割を占める。本研究では、盛岡木材流通センターの取引データを用いて、広葉樹丸太の価格変動の要因と動向を分析した。

II データと方法

1. 調査地 盛岡木材流通センターは県内外から持ち込まれている丸太に対して、径級や材質、長級、買い方のニーズなどに基づいて、丸太の極積みを行う。丸太の写真ホームページで公開し、WEB入札システムを通して、販売を行う。月に1回から3回までの市日に開札し、落札者が決まる。買い方は、製材工場や流通業者などである。広葉樹材は、建築の土台等に使う構造材や、フローリング等の内装材、家具、ワイン樽やバドミントンラ

ケットなどの特殊な需要に、幅広い分野で活用されている。

本センターは立米価格が 100 万円や 80 万円に上ったことのある黒ガキやカキなどの高価な丸太をも販売するが、銘木市場ではない。スギやカラマツ、アカマツなどの針葉樹材も販売され、全体の取引量の約 4 割を占める。広葉樹丸太は、約 6 割を占める。

2. 調査項目 分析のため、盛岡木材流通センターから 2014 年 9 月から 2022 年 5 月まで 93 ヶ月の桝毎の取引データをいただいた。広葉樹材のデータ数は、17.3 万件を超える。項目は取引の市日、樹種、桝の中の丸太の最小・最大径級、最小・最大材長、材積、立米価格からなる。全分析期間において広葉樹丸太の取引量が高い上位 10 樹種は、ナラ (39%)、クリ (19%)、ホオ (5%)、サワグルミ (4%)、サクラ (4%)、ケヤキ、シナ、ブナ、オニグルミ、ウダイカンパ (3%) からなる。取引量も売り上げも、ナラは広葉樹丸太の 4 割、クリは 2 割を占めている。

月に複数回の市日があっても、便宜的に同じ月にまとめる。桝の丸太の径級または長級に最小と最大サイズが存在すれば、最小値と最大値の平均値を桝の径級そして長級として扱われる。良質材は 1 本で出品することもある。普段、一つの桝に小さい差のサイズの丸太で積まれる。例えば、径級が 18~22 cm, 24~34 cm, 30~34 cm, 36cm 以上等のパターンがある。桝の最小サイズと最大サイズとの差が大きければ、材質が低い可能性がある。そのため、径級混合度と長級混合度を下記のように定義する：

$$\text{径級・長級混合度} = \frac{\text{最大値} - \text{最小値}}{(\text{最大値} + \text{最小値}) / 2}.$$

3. 分析手法 分析には、変数間の偏相関係数を計算したうえで、年次と月次ダミー変数を加えて、価格に対して回帰分析を行う。また、月次取引量と価格に対して、時系列データの STL 分解法を用いて、傾向変動と季節変動を分析する (3, 4, 5)。STL 分解法を応用する際に、年度間の季節変動の幅が変わらないこととし、加法式で分解を行う (5)。

III 結果と考察

1. 変数間の相関関係 単価、径級、材長、材積、径級混合度、長級混合度との間の相関関係は表-1 に示された。まずは、単価、径級、材長、材積の間に、それぞれ正の相関係数が示されたが、径級と単価との間のみに弱い正の相関があり、他はほとんど相関がない。また、径級混合度と径級の間に、弱い負の相関であった。これは、径級が高ければ混合度が低いことを示した。材積と径級混

合度との間に、正の相関であった。これは、径級混合度が高い場合、材積も高くなる傾向が見られることを示した。最後に、径級混合度と長級混合度の間に弱い正の相関であった。これは、径級も長級も混合度が高ければ低質材の桝で、両方低ければ材質の良い桝であることを推測できるだろう。

表-1. 変数間の偏相関係数 (全樹種を対象とする)

Table 1 Partial correlation coefficients among variables

全樹種	単価	径級	材長	材積	径級混合度
径級	0.334				
材長	0.113	0.019			
材積	0.028	0.132	0.066		
径級混合度	-0.081	-0.376	-0.173	0.539	
材長混合度	-0.020	0.016	0.003	-0.011	0.197

図-1 の散布図は径級と単価との関係を示した。一般的に、径級が上がると、単価が上がる傾向が見られる。しかし、径級が 40 cm 以下の丸太で、高値で取引されたケースも多い。

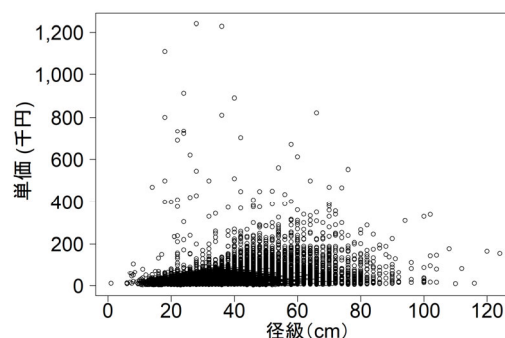


図-1. 広葉樹全樹種の丸太の径級と価格の関係

Fig. 1 Relationships between diameter and price of logs for all the broadleaves species

図-2 の散布図には長級と単価との関係が示された。散布図から見てみると、長級は 4 m まで上がると、単価も上がる傾向が見られる。5 m 以上になると、曲がりや、節、変色等欠点があること多く、チップ向けになることも多い。同じ材質の場合、4 m 材の単価は 2 m 材よりやや高い傾向である。しかし、全データから「長級 > 4 m」と「長級 ≤ 4 m」との二つのデータセットを抽出し、それぞれの偏相関係数を計算した結果、前者のデータの相関係数 (0.095) が後者 (0.056) より高いが、ほとんど相

関なしとなった。これは、やはり、長級が上がっても単価が上がらない取引が多く存在するためである。単価が100万円を超えたのは黒ガキで、材長が1.4m、2.2m、3.8mであった。異常値の存在がモデルの結果に影響されたとと思われる。

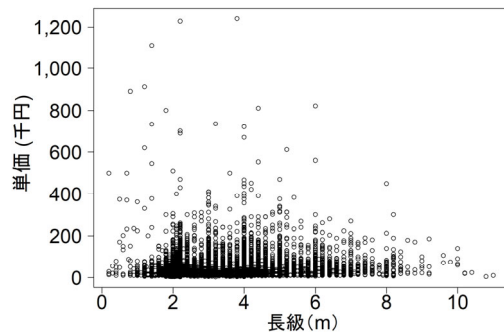


図-2. 広葉樹全樹種の丸太の長級と価格の関係

Fig. 2 Relationships between length and price of logs for all the broadleaves species

2. 単価変動の重回帰分析 径級、長級などの諸要因に年次と月次ダミー変数を加えた重回帰分析の結果は表-2に示された。

表-2. 単価の重回帰分析の結果（単価、径級、長級、材積に対数を取った）

Table 2 Results of multiple regression analysis of price (dependent variable: lnprice)

変数	全樹種	ナラ	クリ	ホオ	サワグルミ	サクラ
ln径級 (cm)	0.862	1.010	1.336	1.287	0.332	1.352
ln長級 (m)	0.105	-0.259	0.616	0.009	-0.143	0.098
ln材積 (m ³)	0.094	0.051	0.076	0.055	0.072	0.067
径級混合度	-0.831	-0.827	-0.728	-0.491	-0.315	-0.357
長級混合度	-0.296	-0.492	-0.777	-0.535	0.019	-0.531
R ²	0.340	0.550	0.390	0.609	0.318	0.526

赤池情報量基準 (AIC) ですべての変数を含むモデルを選んだ。全樹種を対象としたモデルは、径級、長級、材積が単価にプラスの影響を、混合度がマイナスの影響を与えた結果となった。径級の係数 (0.862) が長級 (0.105) より高いから、同じ1%を増やすと、径級の方は単価への影響が大きいことがわかった。材積の係数がプラスになったのは、桧の材積が入札者にとって大きい方が好まれるからである。混合度が単価にマイナスの影響を与えたことは期待の通りだった。混合度が対数を取っていない。

径級混合度が0.1を増やせると、単価は $(\exp(-0.831 \times 0.1) - 1) \times 100 = -8\%$ で、8%下がる結果になった。

モデルの結果は、樹種毎に差がある。取引量の上位5樹種において、すべての径級が単価にプラスの影響を与えた結果になった。長級については、ナラとサワグルミがマイナスの影響を与えたことになった。ナラは、2.2m材が人気があり、特別な需要でないかぎり、長級が上がっても単価が上がらないことが多い。サワグルミの単価は低い、安定な需要ができて、上昇しており、長級に影響されないようである。また、5樹種の中に、サワグルミは、単価の標準偏差が3,294円で、バラツキが小さかった。特に注目されたいのは、クリ丸太は長級が単価にプラスの影響を与えたことを示した。クリは単価の標準偏差が29,530円で、高値で取引引きされることが多く、バラツキが大きい。これは、ナラ類の広葉樹材の用途が内装材や家具に向けられることが多い一方で、クリの良質材は内装材や家具に加え、社寺・仏閣や、住宅の構造材としても使われているためである。

データサイズが大きいため、サワグルミの長級混合度 (5%水準で有意でなかった) 以外に、ほとんどの推定量が1%の水準で有意になった。

3. 月次取引量と単価の傾向変動と季節変動 図-3に示されたように、取引量の水準は、分析期間内において、2014年9月から2017年2月まで、そして、2017年3月から2020年4月まで、最後に2020年5月から2022年5月までとの三つの時期に分けることができる。第2時期では、第1時期より、取引量が上がった。しかし、第3時期に、取引量は下がり、第1時期の水準より低い水準になった。岩手県では、広葉樹材生産量の8割以上がチップ向けになる。木材チップからの広葉樹材への需要が減ったため、広葉樹材の供給量も減った。コロナ禍の影響で針葉樹材生産に転換した素材業者もあった。針葉樹材の生産がコロナ禍の影響から回復しつつあるが、広葉樹材の生産量はまだ低水準にとどまる。広葉樹材の供給が縮小した結果、広葉樹用材の単価が上昇基調になっている。

図-3と4にある点線は、STL分解法で得た、季節変動と異常値を取り除いた傾向変動である。第3時期で取引量の減少が止まったが、低い水準である。

図-4は、月次の全樹種の平均単価の推移を示した。2018年の冬から単価の変動の幅が小さくなったが、2020年8月に急減し、その後、高騰した。2021年10月からは3万円超の高値で推移していた。STL分解法を用い、季節性を調整して得た傾向変動を見てみると、2016年冬季と2018年冬季では高値であり、2017年冬季では低値

であった。コロナ禍の時期では、単価が上昇した。

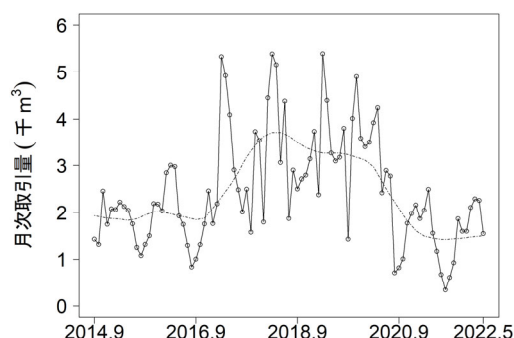


図-3. 月次取引量の推移と傾向変動

Fig. 3 Monthly transaction quantity and trend (unit: m³)

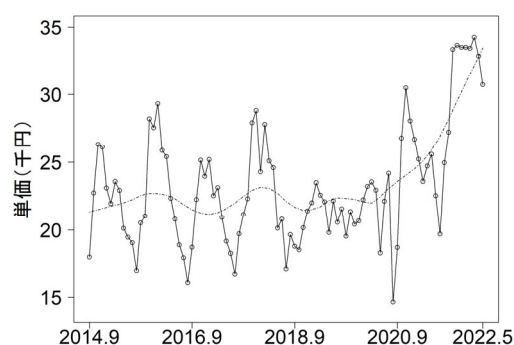


図-4. 月次平均価格の推移と傾向変動

Fig. 4 Monthly average price and trend (unit: yen)

気温と丸太含水率が高い夏には、丸太は虫害と変色などのダメージを受けやすいため、生産者の伐採と製材工場の納入が最小限にされている。これによって、取引量も単価も夏に下がる。

STL 分解法で得た季節変動は、表-3 に示した。取引量は、4 月に高値となり、8 月に低値となった。変動幅が約 2,000 立米であった。単価は低い時期が 7 月の-4,276 円と 8 月の-2,907 円で、高い時期が 11 月の 4,991 円と 12 月の 4,122 円で、変動幅が約 9,200 円に上った。

総じて、本研究では、丸太の径級が単価に与えた影響が大きく、長級の影響が小さかったことを明らかにした。材質の影響はデータがないため、代理変数として、混合度を加えた。全樹種に対して、径級混合度と長級混合度は単価にマイナスの影響を与えた結果を得たが、樹種毎に差がある。モデルの決定係数は全樹種モデルが 0.34、サワグルミが 0.32、クリが 0.39 で、ナラ、ホオ、サクラが 0.50 を超え、それぞれであった。

表-3. 季節変動

Table 3 Seasonal movements

月	1	2	3	4	5	6
取引量 (m³)	205	472	833	1,076	-40	51
単価 (円)	1,697	1,687	1,687	293	-2,221	-2,291
月	7	8	9	10	11	12
取引量 (m³)	-413	-1,001	-842	-640	148	151
単価 (円)	-4,276	-2,907	-2,540	-243	4,991	4,122

当センターでは、桧積みは、購入者のニーズに合わせて、樹種→径級→材質→長級の順で決めることが一般的である。また、丸太市場に持ち込まれた丸太の中に、桧積みの規格にあわないものがあつた場合、1, 2 本程度を桧に加えることがある。単価に影響が少ないようだが、桧の最小サイズ、あるいは最大サイズを左右するため、分析結果に若干の影響がある。最後に、桧積みでは、径級と長級といった外形に加え、材質、用途などが価格に影響を与えていることが聞き取り調査で明らかになった。

単価は需給関係に影響される。回帰分析のモデルの中に、年次ダミー変数と月次ダミー変数を加えた（ほとんどのダミー変数の推定量は 1%の水準で有意であった）ことで、ある程度でその時の需給状況の変化を捉えたと考えよう。

謝辞：盛岡木材流通センター木材部長田口清治氏と伊藤陽介氏には、データを提供いただくのみならず、広葉樹市場について、貴重な助言をいただいた。ここに御礼申し上げます。

引用文献

- (1) 林野庁 (2017) 森林資源の現況 (平成 29 年 3 月 31 日現在). <https://www.rinya.maff.go.jp/>
- (2) 林野庁 (2022) 令和 3 年度森林・林業白書. <https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/>
- (3) Cleveland RB, Cleveland WS, McRae JE, Terpenning I (1990) STL: A seasonal-trend decomposition procedure based on loess. *Journal of Official Statistics* 6: 3-73
- (4) Hyndman RJ, Khandakar Y (2008) Automatic time series forecasting: the forecast package for R. *Journal of Statistical Software* 27 (3): 1-22
- (5) 道中哲也・岡 裕泰・久保山裕史・山本伸幸 (2018) 指数平滑法と ARIMA 法予測の精度評価—スギとヒノキ丸太月次価格の予測を例に—. 森林総合研究所研究報告 17 (1): 43-61

長野県長野市におけるジビエ利用の現状と地域活性への影響

茂木もも子¹・稲垣里菜子²・立花 敏³

¹東京農業大学・²元筑波大学・³筑波大学

要旨：本研究はジビエ利用の現状把握と地域活性への影響を明らかにすることを目的に、「ジビエ利用モデル地区」の1つである長野県長野市を事例として調査を行った。研究手法としては、2019年2月、8月、11月に長野県庁、長野市役所、長野県猟友会、長野市内の食肉加工施設、移動式解体処理車を開発・販売する自動車製造会社での聞き取り調査、長野駅周辺で営業するジビエ取扱飲食店へのアンケート調査等を用いた。長野市では、2019年より移動式解体処理車を導入し、ジビエ加工センターも同時に開設してジビエ利用を進め、開設により捕獲獣のジビエ利用への展開がみられた。また、飲食店でのジビエ利用は限られ且つ地元消費が多く、ジビエ利用の拡大には地元住民への更なるジビエのPRや、観光客のニーズ把握、多様な販促に向けた工夫が必要と考えられた。

キーワード：ジビエカー、狩猟、食肉加工施設、ジビエ取扱飲食店、ジビエ流通

Current states of the use of gibier and its impact on community vitality in Nagano City, Nagano Prefecture

Momoko MOGI¹, Rinako INAGAKI², Satoshi TACHIBANA³

¹ Tokyo University of Agriculture; ²Former University of Tsukuba; ³University of Tsukuba

Abstract: The purpose of this study was to clarify the current states of gibier use and its impact on community vitality. Nagano City, Nagano Prefecture, one of the "gibier utilization model areas," was used as a case study. We conducted interview surveys with persons responsible in February, August, and November 2019 at the Nagano prefectural office, Nagano city office, Nagano Hunting Association, two meat processing facilities in Nagano city, a car manufacturing company that develops and sells mobile demolition vehicles. We also conducted a questionnaire survey of gibier cuisine restaurants near Nagano station in August 2019. In Nagano city, a mobile dismantling and processing vehicle was introduced in 2019 and a gibier processing center was opened at the same time to promote consumption of gibier, and the opening of the center encourages wild animals to gibier food. The number of gibier cuisine restaurants is limited and share of local consumption is higher. To expand the gibier consumption, it is necessary to further promote gibier to local residents, gathering needs of tourists and devise a variety of sales.

Keywords: gibier cars, hunting, meat processing facility, gibier cuisine restaurants, gibier food distribution

I はじめに

2020年度の野生鳥獣被害は、農作物で約161億円、森林面積で約4万3千haであった(1)。野生鳥獣の個体数増加、狩猟免許所持者の減少や高齢化が懸念されており、野生鳥獣対策が重要な課題となっている。他方、捕獲した野生鳥獣をジビエ（狩猟で捕獲した野生鳥獣の肉や料理のこと）(2)として利用する地域も増えており、行政を中心に、野生鳥獣を地域資源として活用する動きが展開されている(表-1)。『平成30(2018)年度食料・農業・農村白書』(3)ではジビエの消費をトピックスで取り上げられている。鳥獣被害防止総合対策交付金では、被害対策の取組だけでなく、ジビエ利用拡大に向けた取組にも支

援がされている。食肉処理業で野生鳥獣を屠殺または解体する処理場は全国で706施設ある(2020年時点)(4)。

2014年度には、厚生労働省により「野生鳥獣肉の衛生管理に関する指針(ガイドライン)」が作成され、食用に供される野生鳥獣肉の安全性を確保するための指針を提示している。2017年度には、農林水産省により「ジビエ利用モデル地区」が選定され、捕獲から搬送・処理加工、販売がつながり、安全で良質なジビエを安定供給する取組について、鳥獣対策交付金を活用して整備を進めている。2018年度には、食肉処理施設の自主的な衛生管理等を推進するとともに、より安全なジビエの提供と消費者のジビエに対する安心の確保を図ることを目的に、衛生管理

基準及び流通規格の遵守、適切なラベル表示によるトレーサビリティの確保等に適切に取り組む食肉処理施設を認証する国産ジビエ認証制度が開始されている。また、2022 年度にジビエ利活用の取り組みを更に発展・充実させることを目的に、農林水産省ではジビエ連携フォーラムを設立している(5)。

表-1. 『食料・農業・農村白書』『森林・林業白書』のジビエに関する記載の概要

年度	内容
2009	(森) 捕獲鳥獣の肉等を地域資源として利活用する事例が全国的にみられる (pp. 234-236)
2012	(森) 日本ジビエ振興協議会の設立 (p. 110)
2012	(食) ①加工処理施設の整備, ②商品開発, 販売・流通の経路の確立等の取組を支援, 衛生管理・品質確保等に係るマニュアルの作成・配布や技術研修等を実施 (pp. 283-288)
2014	(森) 狩猟から消費に至るまで野生鳥獣肉の安全性確保を推進するための衛生措置を示した「野生鳥獣肉の衛生管理に関する指針 (ガイドライン)」を作成 (pp. 76-77)
2016	(森) 11 月「鳥獣による農林水産業等に係る被害の防止のための特別措置に関する法律」が一部改正, 捕獲した鳥獣の食品等としての利活用推進等に係る規定が追加 (p. 69)
2017	(食) 2019 年度にジビエの利用量を倍増させる目標を掲げ, ジビエ利用モデル地区を 17 地区選定 (p. 32)
2018	(食) トピックス 3: 消費が広がるジビエ (pp. 76-80)
2019	(食) 消費者の安心確保に向けた国産ジビエ認証制度の運用 (p. 287)

資料: 農林水産省『食料・農業・農村白書』(2012~2018), 林野庁『森林・林業白書』(2009~2016)より著作作成

注: (食)は『食料・農業・農村白書』, (森)は『森林・林業白書』を指す。

ジビエに関する先行研究では、流通業者と食肉処理業者の取引の分析(6)やジビエ利用客のアンケート調査によるマーケティング分析(7)、食肉処理業者の運営手法の比較(8)がなされているが、野生鳥獣を捕獲しジビエとして利用する過程で、それを取り巻く環境においてどのような変化や課題が生じているのかに関する研究は限られている。そこで、本研究では、「ジビエ利用モデル地区」の1つである長野県長野市を事例に、ジビエ利用による農林業被害、ジビエを取り扱う飲食店を通じた地域活性への影響を明らかにすることを目的とし、調査結果より

今後どのような施策や市民の取り組みが必要となるかについて検討を行った。

II 研究対象地と方法

本研究の対象地は農林水産省から「ジビエ利用モデル地区」の1つとして選定されている長野県長野市とした。2019 年 2 月, 8 月, 11 月に長野県林務部鳥獣対策・ジビエ振興室, 長野地域振興局林務課, 長野市林務部のいのしか対策課(現: 森林いのしか対策課), 長野県猟友会, 移動式解体処理車を開発・販売する自動車製造会社の法人営業部, 長野市内の食肉加工施設 2 か所での聞き取り調査, 長野駅周辺で営業するジビエ取扱飲食店へのアンケート調査(13 社中 8 社から回収)を行った。

長野市は、2019 年 4 月より移動式解体処理車 1 台と軽保冷車 7 台を導入し、また長野市ジビエ加工センターも同時に開設している。移動式解体処理車は車内で一次処理までを行うことが可能であり、捕獲鳥獣の食肉利用率を上げられることが期待される。移動式解体処理車を導入した地域は調査時点で、高知県梼原町、岡山県真庭市、長野市のみであり、長野市は先進的なジビエ利用に取り組んでいる地域に位置づけられる。

III 分析結果

1. 長野県と長野市への聞き取り調査

長野市では、2011 年頃に被害のピークがあり、2015 年に農政課による農業被害関連業務と、林務課によるクマやニホンカモシカに関する業務を合わせた、いのしか対策課を設置していた。2016 年に「長野市ジビエ振興計画」が策定され、その計画をもとに 2019 年にジビエ加工センターの運営が開始されていた。市内のイノシシとニホンジカの捕獲頭数は増加、農業被害額は 2011 年から減少傾向となっていた(図-1)。

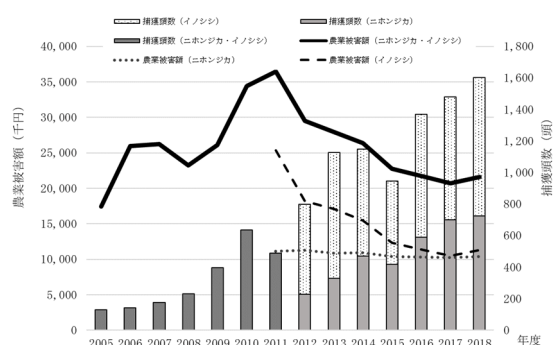


図-1. 長野市におけるイノシシとニホンジカによる農業被害額と捕獲頭数の推移

資料: 長野市農林部「長野市の農林業」

注: 統計上、区分けが困難な数値はイノシシとニホンジカの合算値

2. 移動式解体処理車を開発・販売する自動車製造会社への聞き取り調査

日本ジビエ振興協会と長野トヨタ自動車(株)が共同開発を行い、2016年7月末に移動式解体処理車(以下ジビエカー)が完成した。2018年1月には小型保冷付ジビエ搬送専用車(以下ジビエジュニア)が開発された。ジビエカーは農林水産省からの要請があり、2015年に計画が始まった。車内で洗浄、皮剥、内臓摘出を衛生的に行うことができ、食肉利用率の向上と品質の向上が期待された。ジビエカーはトヨタダイナを改造し、洗体エリア、解体室(15℃)、前室、保冷室(5℃)、機械室、車輛運転室に分けられている。2tトラックのジビエカーが作業路に入るには難しさがあり、トヨタピクシスを改造したジビエジュニアが開発された。ジビエジュニアはウィンチが取り付けられており、ストレッチャーを併用することで捕獲個体の引き上げが容易になる。また個体を直接保冷しながら搬送でき、品質の向上に寄与する。長野市では、ジビエカーが1台、ジビエジュニアは7台が導入されていた(2019年12月2日時点)。ジビエジュニア等の利用により、捕獲後に保冷された状態の個体が加工施設に納品されている。運転者は狩猟者である。

13 支部ある猟友会の狩猟範囲を考慮した上で支所や会員の自宅に配置され、猟友会会員に鍵が渡されていた。ジビエジュニア等の利用により、捕獲後に保冷された状態の個体が加工施設に納品されている。

3. 食肉処理施設への聞き取り調査

1 つ目の食肉処理施設は、長野市ジビエ加工センターである。こちらの施設は、2016年「長野市ジビエ振興計画」で設置が決定され、2019年に運営が開始された。運営開始に先立ち、2019年8月には、国産ジビエ認証と信州産シカ肉処理施設認証を取得していた。当市の職員1名と嘱託職員3名により運営されていた。施設運営については、イノシシ(想定重量60kg)とニホンジカ(同50kg)を製品化率30%で年間1,000頭処理するとランニングコストは採算に合う見込みとなっていた。稼働開始の4月から10月までにイノシシが288頭、ニホンジカが235頭の処理実績となり、頭数としては見込みに見合うが、効率化のために9月より受け入れ個体の身長制限を設け、頭数は減少していた。長野県では狩猟者が食べる目的で捕獲するよりも、駆除が目的になっているため、食肉用に運搬する技術などが不十分であることが指摘された。施設では、販売に使用できる肉の割合を多くするために、狩猟者に対して運搬や血抜きの方法について指導を行っていた。長野県では南部から北部へニホンジカが北上している状況であったことから、ジビエ加工セン

ターへは長野市の南部を中心に納入されていた。

2019年9月から、市内のホテル1~2軒、飲食店5~6店舗、都内の数店舗に販売している。販売先の確保は、民間の流通ノウハウをもつジビエコーディネーターを通して構築されていた。販売先からは、品質の良さ、地元食材であることが評価され、価格については問題がないという回答を得ていた。今後は、大規模流通を狙い、加工業者への販売を拡大させる予定だが、スライスや端材など低価格でなければ契約できないという課題があった。捕獲したニホンジカやイノシシの個体情報(識別番号)を付して、QRコードよりトレーサビリティの確保を行っていた。部位はロース、モモ、イノシシのみバラが販売されており、人気の高い部位であるロースでは、1kgあたりイノシシで4,500円、ニホンジカでは4,000円で販売されていた。導入されたジビエカーについては、車内で解体する技術を持つ狩猟者が少ないことから、調査時点では利用されていなかった。しかし、ジビエジュニアを追加で導入し、捕獲後から施設までの搬入における冷蔵での運搬に役立っていた。

2 つ目の食肉処理施設は、若穂地区の処理施設である。こちらの施設は、2019年11月現在では1人で運営を行い、若穂地区の周辺から納品されていた。ホテルや飲食店、卸売業者など20社以上、個人については年間60人ほどに販売を行っており、宣伝活動は行っていないが、個人向けのネット販売には需要があるとの回答だった。小規模施設であることを活かし、大規模な販売との棲み分けが可能となっているとのことだった。販売先の特徴としては、品質やブランドなどのストーリー性を求めるところが多く、最大顧客となっている焼肉店やホテルでは、品質が高いことが評価されているため価格に対する不満はないという回答を得ていた。

食肉処理施設への聞き取り調査より、多くの狩猟者が野生鳥獣総合管理対策事業にに応じて捕獲しており、食肉利用のための捕獲知識が不足していることを指摘してい

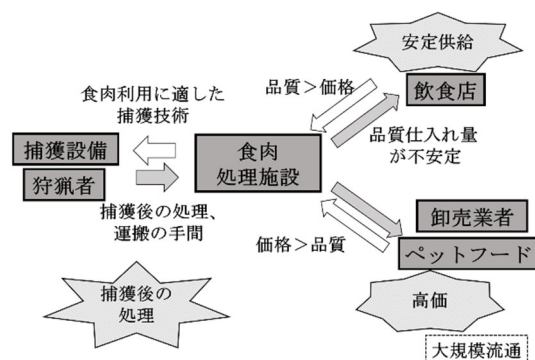


図-2. ジビエの流通における課題

注：聞き取り調査より筆者らが作成

表-2. 長野駅周辺でのジビエ取扱飲食店へのアンケート調査での回答

ジャンル	創業時期 (年)	導入時期 (年)	メニュー数			価格(円)	売上 割合	購入先	価格への 認識	顧客層			今後の展望	
			イノシシ	シカ	クマ					性別	年齢	地域	メニュー数	仕入れ量
1 その他	2007	2013	0	1	0	800～900	1割	山崎商店	高い	同等	30～40代	地元住民, 日本人観光客	変化なし	変化なし
2 イタリアン	2012	2009	0	3	0	900～1000	1割	山崎商店	高い	同等	40代	地元住民	変化なし	変化なし
3 和食	2010	2011	2	1	0	600～700	1割	若穂	適切	同等	30～40代	日本人観光客	変化なし	変化なし
4 その他	2010	2014	2	2	1	500～1400	2割	その他	高い	同等	40代	地元住民	変化なし	増加
5 和食	1994	2013	1	1	0	500～700	1割	高山村	少し高い	同等	50代	地元住民	増加	変化なし
6 和食	2014	2014	1	1	0	900～1000	1割	高山村	高い	男性	40代	日本人観光客	変化なし	変化なし
7 和食	1979	2006	0	0	2	1600～1800	1割	高山村	高い	女性	30代	日本人観光客	変化なし	変化なし
8 その他	2013	2016	1	1	0	1200～1300	1割	北信州 ジビエ	少し高い	男性	40代	日本人観光客	変化なし	変化なし

た。食肉処理施設は狩猟者に食肉利用に適した捕獲技術を求めているのに対し、狩猟者は狩猟に割く時間が限られているため捕獲後の処理に時間がかけられないというずれ違いが生じていた。大規模流通が見込める卸売業者やペットフードへの利用は、低価格でなければ契約できないという課題があった(図-2)。

4. ジビエ取扱飲食店へのアンケート調査

調査票を2019年8月に飲食店13店舗(信州ジビエ研究会パンフレット掲載)に配布し、直接もしくは郵送で回収した。回収数した8店舗のうち売上に占めるジビエ料理の割合は1割以下が7店舗、2割が1店舗であった(表-2)。仕入れ値に対する価格評価としては、若穂地区の処理施設からの購入者は「適切」(1件)、市外からの購入者は「高い」(5件)または「少し高い」(2件)と回答していた。売り上げ割合が低い原因としては、仕入れ値が高いことや知識・技術面の不足等の飲食店側の課題と、消費者においてジビエに対する獣臭いイメージがあることや販売価格が高いという点が指摘された。今後、ジビエ肉の仕入れ数を増加させると答えた店舗は1店舗、メニュー数を増加させると答えた店舗は1店舗で、2つの店舗の共通点として観光客より地元住民がジビエ料理を多く注文していると回答していた。また、販売価格が500円からと、比較的安価であった。

IV 考察

本研究の調査先では、食肉処理施設が搬入から加工、販売まで担っており、施設では狩猟者への捕獲から搬入までの技術指導を行い、獣害捕獲から食肉への展開を行っていたことが明らかになった。しかしながら、今後、安定的な流通を確保するためにも、狩猟者や食肉処理施設の負担を減らし、安定的な供給や製品化率の向上が求められた。そのためには、狩猟者が積極的にジビエカー等を利用するような環境を作る必要があると考えられる。長野市で導入されたジビエカーは、車内で解体する技術を持つ狩猟者が少ないことや、解体作業が困難となる構

造であることから、当初の見込みどおりには活用されていなかった。狩猟者が参加しやすい講習会や、狩猟者の意見を取り込んでジビエカー自体を改良することが必要である。また、飲食店でのジビエ利用は限られ且つ地元消費が多く、ジビエ利用の拡大には地元住民への更なるジビエのPRや、観光客のニーズ把握、多様な販促に向けた工夫が必要と考えられた。

謝辞：長野市の事業者や行政担当者をはじめ本調査に御協力戴いた皆様に深く御礼申し上げる次第である。

引用文献

- (1) 農村振興局農村政策部鳥獣対策・農村環境課(2021.11.26) 全国の野生鳥獣による農作物被害状況について(令和2年度)
- (2) 農林水産省・消費者の部屋.ジビエを推進している背景を教えてください。
<https://www.maff.go.jp/j/heya/sodan/1306/02.html> (2022年11月13日閲覧)
- (3) 農林水産省(2019) 平成30年度食料・農業・農村白書. pp.76-80
- (4) 厚生労働省(2021) 野生鳥獣肉の衛生管理等に関する実態調査の結果について(薬食監発0309第4号)
- (5) 農林水産省.ジビエ連携フォーラム.
<https://www.maff.go.jp/j/nousin/gibier/partnershipforum.html> (2022年11月13日閲覧)
- (6) 長尾真弓・廣政幸生(2016) ジビエのフードシステムにおける流通業者の役割と関連性に関する分析.フードシステム研究23: 235-240
- (7) 西村直子(2017) ジビエ料理普及のためのマーケティング戦略-地域活性化についての実証的な考察-. 高知工科大学大学院工学研究科修士論文
- (8) 四方康之・今井辰也・雛金欄(2008) イノシシの資源化による地域活性化.農林業問題研究170: 29-35

静岡県民有林（人工林）の形成過程と森林・林業施策の変遷

辻井 寛¹・土屋智樹²・関岡東生³¹静岡県志太榛原農林事務所²東京農業大学大学院地域環境科学研究科³東京農業大学地域環境科学部

要旨: 静岡県の民有林（人工林）が形成された過程を、森林・林業施策との関係に着目し調査した。その結果、(1)1952年以降、箱根山林開発事業など大規模な造林事業の実施 (2)林木育種や林業普及の取組が、人工林の形成に関わっていたことが明らかになった。

キーワード: 民有林, 造林, 森林/林業関係施策

Formation process of private forests (artificial forests) in Shizuoka Prefecture and changes in forest/forestry policy

Hiroshi TSUJII¹, Tomoki TSUCHIYA², Haruo SEKIOKA³¹Shizuoka Prefecture Shida-Haibara Agriculture and Forestry Office²Faculty of Regional Environment Science, Tokyo University of Agriculture Graduate School³Faculty of Regional Environment Science, Tokyo University of Agriculture

Abstract: In this research, we investigated the relationship between the process of creating privately owned forests in Shizuoka Prefecture and forestry policy. As a result, it was revealed that the formation of the artificial forests was relevant to (1) Implementation of large-scale afforestation projects such as the Hakone forest development project since 1952 (2) Breeding of seedlings for forestry and dissemination of forestry.

Keywords: Privately-owned forests, afforestation, forest/forestry policy

I はじめに

各都道府県では、行政計画として最上位に位置する「総合計画」により、計画的な行政運営にあたっている。筆者らは、この総合計画に着目し研究を続け、ほぼ全ての都道府県で重要施策の評価指標として「素材生産」に関する指標を掲げていることを明らかにした（注1）。静岡県総合計画でも年間50万m³の素材生産目標を掲げている。そこで、総合計画の施策の移り変わりや文献をたどることで、成熟期を迎えた本県の森林資源が、どのように形成されていったのか明らかにできると考えた。

静岡県の森林面積は、約50万haで森林率64%を誇る。民有林面積は約41万haで、そのうち59%の約24万haが人工林で、全国平均の人工林率46%を大きく上回っている。また、蓄積は10,157万m³で、うちスギ43%、ヒノキ35%で、他の樹種に比べて高くなっている。

民有林のスギ・ヒノキ人工林の林齢別面積では、木材として利用可能な41年生以上が91%に達しており（図-1）、全国に比べて60年生を超える高齢の森林が多く、5

～10年程度早く高齢級化している(6)。

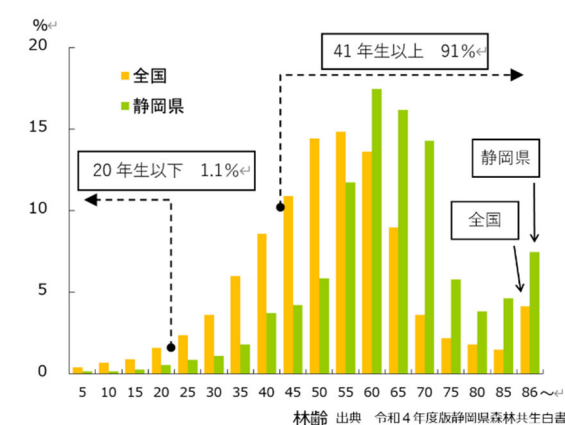


図-1. スギ・ヒノキの人工林林齢別面積

Fig. 1 Forest area by age in Japanese cedar/Japanese cypress forest

II 調査方法

静岡県が刊行した森林・林業に関する文献や総合計画

(4)を調査し、戦後の拡大造林と社会状況、行政施策との関連性に着目し、静岡県的人工林がどのように形成されていったのかを分析し若干の考察を行った。

Ⅲ 結果

1. 戦後の造林から育林施策の変遷

第二次大戦前は、森林資源育成の観点に基づき、私有林への造林補助政策が開始されるなど、造林の機運が高まり、造林・伐採は概ね順調に進んだが、戦時体制下における木材需要の増大による乱伐があり、1945年には26,000 haの伐採跡地が発生したとの記録がある(3)。

第二次大戦後5年間は、戦後復興等の木材需要の増加で造林は低調であったが、度重なる台風被害により森林の重要性が高まる中、1952年第3回国土緑化大会（現全国植樹祭）を契機に造林の機運も高まっていく。1952～1954年には、毎年1万 haを超える造林実績を記録するなど、一気に拡大造林が進むこととなり、1960年以降10年間も静岡県全体で68,580 haの造林が行われた(図-2)。

この時期、県主導で箱根山林開発事業・富士山麓林業開発事業が進められ、県東部を中心に大規模な造林が行われたほか、1949年から400 haの第2次大戦復旧造林が開始されるなど、1905年から続く県営林事業による新県行造林や水源林造林も、森林資源造成に大きな役割を果たしていくことになる(1, 2)。

時を同じくして、1950年に林業技術研究普及助長事業要綱が制定されると、静岡県林業専門技術員が本庁7名、地方林業事務所に26名配置され①拡大造林の推進②薪炭林の施策改善③炭窯の改善等、個別技術の伝達を重点に、造林を中心に林業普及が開始された。1953年からは、従来技術の伝達中心から科学的な視点を取り入れ、教育的手法を加味した普及活動を重要視するようになる。

この頃、木材の好況とあわせ林木育種に対する関心が急速に高まり、1954年から県は精英樹選抜による林木育種事業を開始した。1957年からは、県林業試験場と3つの育種場が建設され、これを機に育種・森林保護・育林等試験研究事業を強化し、早期育成林業の名のもと林地の生産性向上の普及にも努めていくようになる。苗木の産地・系統を確認する「系統確認苗木制度」も導入するなど、林業用苗木についても全国トップクラスの質と量を誇り、森林資源造成を支えていた。

こうした森林資源造成の拡大にあわせ、1956年には林業普及指導員と林業経営指導員が職務統合され、林業改良指導員64名、専門技術員13名が誕生し、林業改良普及指導と森林施業計画の指導の両面を行うため体制が強化されていった(5)。

一方で、1959年頃には、高度経済成長による若者流出・過疎化現象が起き始め、林業後継者対策が重要課題となってくる。林業への若者の定着化を図るため、部落又は旧町村単位に林業研究会の結成や70団体1,725人による県林業研究会連合会も発足している。林業を支える人材育成も林業普及の側面から取り組まれていた。

ただ、高度経済成長の流れに沿うように、拡大造林面積も大きく減少し1970年代中頃から、施策の中心は間伐など保育・育林に移行するようになり、1990年代後半には、利用間伐など木材生産へと移行していく。

こうした施策の変遷は、静岡県の総合計画にもみてとれる。主に造林や木材生産に関する政策やワードに注目すると、1959～1975年は、木材需要の拡大・森林資源の造成期、1976～1995年は、間伐など保育・育林期、1996年以降は、利用間伐など木材生産、主伐・再造林期というように、変化していることがわかる(図-3)。

つまり、静岡県の森林資源は、主に戦後の約30年間(図-3の枠線部分)に造成されたといえる。この時期の重要施策や代表的な出来事を詳細に見ていく(図-4)。

2. 戦後約30年間の森林資源造成施策の展開

1950年代の代表的な施策が、箱根山林開発事業・富士山麓林業開発事業である。この2事業は、1952～1959年にかけて、伊豆北部・県東部・富士地域において、県主導のもと地域一体となって実施された造林事業である。具体的な造林面積の実績を見ていくと、箱根山林開発事業で4,234 ha、富士山麓林業開発事業で5,373 ha 8年間で合計9,607 haとなっている。

市町別では、富士宮市2,173 ha 裾野市1,660 ha、御殿場市1,235 haの順で造林実績が高く、伊豆北部・東部・富士地域の森林資源は、この時期に集中的に造林され、ブランド化を進める富士ヒノキの礎を築いたものと考えられる。

造林樹種選定にも配慮がなされている。県東部や伊豆半島は、火山性堆積土のスコリアが広がり、浸食されやすく植生の回復は容易ではない。そのため、立地条件の悪い場所でも生育するヒノキを主林木に、谷間はスギを植栽している。道路又は民家近隣は、薪炭材の供給と落葉採取による営農用窒素供給源としてクヌギ、海岸地帯採草地にはクロマツ、営農飼料木肥料木又は換金作物としてコウゾ・ミツマタを混植している(注2)。また、ヤマモモ・ヤシヤブシ等の防火線も設置するなど、治山・林道事業も併せた、総合的な森林資源造成事業であった。

箱根山林開発事業の造林者は、市町村、箱根山組合、企業、関係集落、個人など3年間で実に14万7千人にのぼり、まさに地域をあげて森林を造成したといえる。

この箱根山林開発事業・富士山麓林業開発事業の終了後も、第1期～3期公有林野開発事業や明治100年記念林事業、県営林事業等により拡大造林を継続している。

第1期公有林野開発事業が始まった1959年以降の10年間の静岡県全体の造林面積の実績を地域別に分析した。その結果、伊豆南7,737 ha、伊豆北7,458 ha、東部（富士山南東）4,790 ha、富士（富士山南西）5,451 ha、中部（安部川流域）12,843 ha、志太榛原（大井川流域）10,697 ha、中遠（天竜川左岸）4,460 ha、西部（浜松市中南部）1,905 ha、北遠（天竜川右岸）13,239 ha、静岡県全体で68,580 haの造林が行われたことがわかった。

造林面積割合をみると、中部（安倍川流域）、志太榛原（大井川流域）、天竜林業地域で再造林が進んだ北遠（天竜川右岸）が19%と高く、県中部以西で63%を占める。1970年以降、造林面積が急減することから、県中部以西の森林は、この時期に造成されたことが窺える（図-2）。

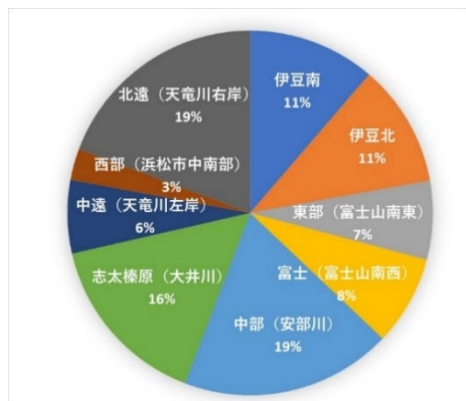


図-2. 1960年以降10年間の地域別造林実績
Fig. 2 Afforestation results by region for 10 years since 1960

また、戦後1946年から1968年の23年間の樹種別造林実績を分析すると、ヒノキ75,084 ha、スギ58,813 ha、マツ12,549 haの順で割合が高くなっている。本県の令和元年度末の人工林面積は、ヒノキ122,751 ha、スギ102,137 ha、マツ7,780 haとなっており、この時期の造林が、一定程度影響していると考えられる。

こうした拡大造林を進めた結果、1967年度末の齢級別構成比率は、人工林率59%、20年生以下が70%、41年生以上が8%となった。静岡県に多くの幼齢林が広がり、現在とは全く違う光景が広がっていたことになる。

1970年頃から造林地の奥地化や高度経済成長期の山村からの人口流出など労働力不足を起因に、造林面積・木材生産量とも減少幅が大きくなり、間伐など森林の育成に注力するようになる。1976年新総合計画では、間伐材の研究など、造林に加え間伐・間伐材の利用施策の推

進も掲げ、1978年には、県は間伐技術指針や枝打指針を作成し育林方法の普及に努めるようになる。以後、森林資源の育成に施策の重点が置かれ、2010年以降の利用間伐の促進や林業成長産業化といった施策につながっていく。先人達が種を蒔き育てた苗木が、1946年から76年の時を経て森林となり、現在の収穫期としてつながっているのである。

III まとめと考察

1952年から本格的に始まった静岡県の森林資源造成を概観すると、箱根山林開発事業や富士山麓林業開発事業により県東部の造林、その後の補助造林では県中部の造林が進んだ。また、公有林野事業では、市町村有林や財産区有林、学校林の造林の推進に寄与していた。さらに、県営林事業等の水源地造林等の各種取組が、静岡県の森林の形成に貢献してきたことがわかった。

また、こうした造林事業を支える形で、林木育種の研究や苗木生産、林業改良指導員の体制強化による林業普及活動が一定の役割を果たしてきたと言える。

一方で、拡大造林後に野ウサギ等の獣害や多発する森林火災、凍霜害等の気象災害、台風・地震など成林を脅かす困難な状況も多く記録されている。そうした中でも、根気強く植栽し続けた森林組合や地域の努力とパワーに驚かされる。本県でも主伐・再造林が進められているが、ノウサギ、シカ、カモシカによる獣害対策に頭を悩ませ、本年の台風15号では、県中西部地域で甚大な被害を受けた。本研究は、くしくも拡大造林当時の状況に思いを馳せる機会となり、先人達の努力に深い感銘を受けた。

ただ、例えば県営林事業は、造林にあたり木材を生産し、その収益を市町に分収交付金として還元し、市町はその交付金で療養所を建設するなど、市民生活にも大きく貢献していた。こうした造林と表裏一体の関係にある木材生産の研究は今後の課題としたい。

脚注

注1) 都道府県総合計画における素材生産の推進方向

注2) 静岡県林務部 (1952) 箱根山の国土緑化 32

引用文献

- (1) 静岡県林務部 (1952) 箱根山の国土緑化、25-65
- (2) 静岡県 (1952) 富士山麓の国土緑化、34-92
- (3) 静岡県農林水産部 (1970) 造林のあゆみ、1-117
- (4) 静岡県 (1976～2022) 静岡県総合計画
- (5) 静岡県農地森林部 静岡県林業知識普及会 (1980) 林業普及指導の歩み、5-14
- (6) 静岡県 (2022) 令和4年度版静岡県森林共生白書

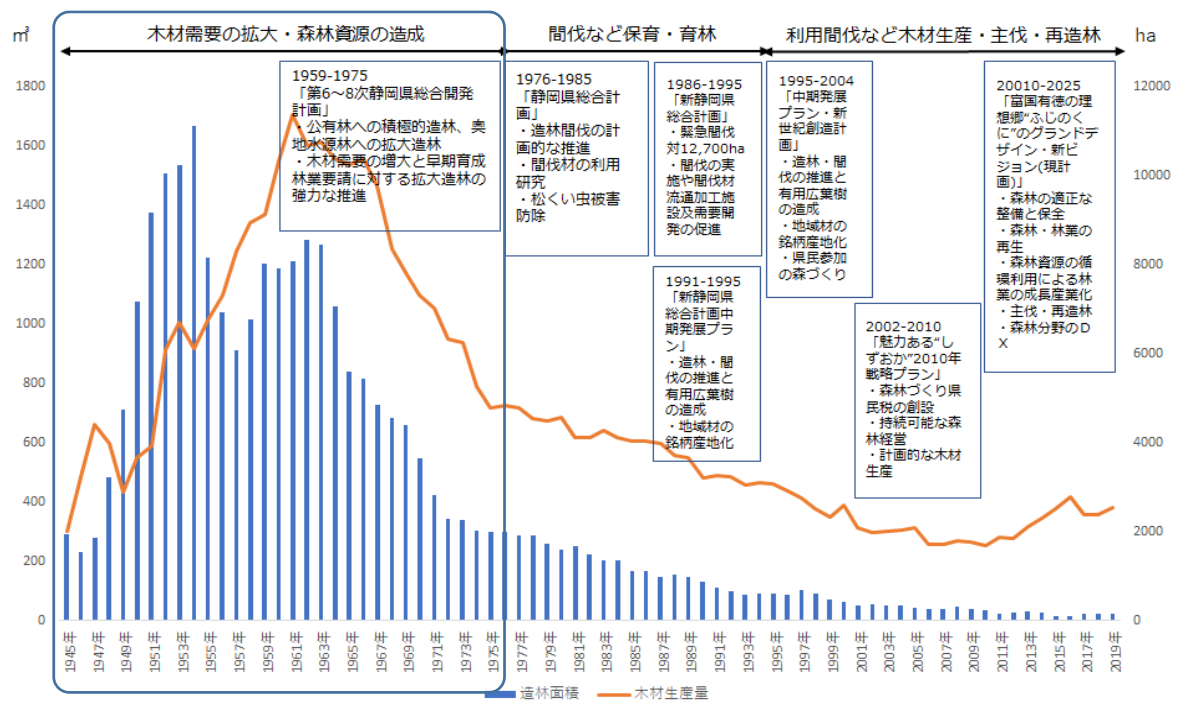


図-3. 戦後の造林面積と木材生産の推移と総合計画にみる森林・林業関係施策の変遷

Fig. 3 Changes in postwar afforestation area and timber production and changes in forestry-related measures in the comprehensive plan

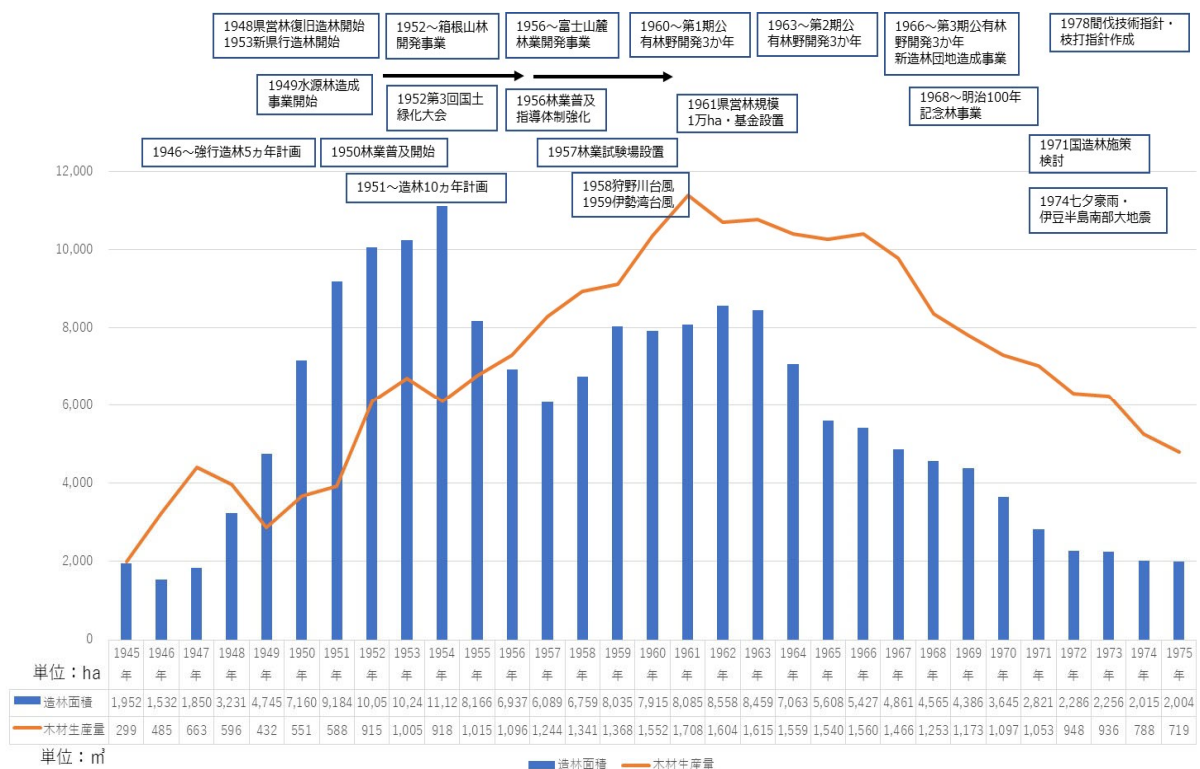


図-4. 1945年以降20年間の森林・林業施策の変遷

Fig. 4 Changes in forestry policy over the 20 years since 1945

An overview of briquettes production to enhance forest biomass recovery and efficient utilization from roundwood-producing forests in Tanzania

Christian Paul KOLONEL^{1,2}, Satoshi YOSHINO², Takayoshi SATO²

¹Sokoine University of Agriculture; ²Tokyo University of Agriculture

Abstract: Bioenergy from woody residues contributes to ecological and socio-economic benefits; resource efficiency, income, and energy availability, among others. Under doctoral research support programme for the project titled “Biomass resource recovery, energy potentials and the economic impact of briquette fuel’s value chain in Tanzania” funded by NODAI Research Institute, a preliminary study was conducted in May to July 2022 using an open-ended questionnaire and field observation. This paper presents the status and extent of briquettes production, drawing information from three major briquetting companies in Mufindi District, Iringa Region. Results indicated that current production is estimated at 1200tonnes/month, with a biomass recovery of 100% (non-carbonized briquettes) and between 30% and 50% for carbonized briquettes, having energy density ranging from 16 to 22.85 MJ/kg. Briquettes are exported to Germany at a price of 0.69 USD/kg while domestic markets fetch a price of 52-75 USD/tonne. In order to determine current and future biomass availability for briquetting industry, future work is needed to assess biomass recovery and utilization efficiency based on annual wood residues productivity as a function of roundwood harvesting cycles. Likewise, determining the contribution and impact of briquettes production to forest resources conservation and local economy is important in future studies.

Keywords: Woody residues, forest biomass, sustainable forest management, briquettes, woodfuel.

タンザニアのブリケット生産による森林管理と木質バイオマス有効利用の概要

クリスチャンパウロコロネリ^{1,2}・吉野 聡²・佐藤孝吉²

¹ソコイネ農業大学・²東京農業大学地域環境科学部

要旨：ブリケットによる木材生産時の残渣利用の現状について、タンザニア国イリング地区で調査した。ブリケット工場の生産体制とマーケティングについて分析と考察を行った。

キーワード：森林残渣、森林バイオマス、森林管理、ブリケット、木質燃料

I Introduction

Forests are known to provide goods and services that support the life and livelihoods of communities from the ancient times to date. According to World Bioenergy Association (10), the forestry sector is the largest contributor to the global bioenergy mix whereby forestry products such woodfuel (charcoal and fuelwood), pellets and wood chips account for more than 85% of all the biomass used for energy purposes. However, high demand for biomass energy has been observed to contribute to the increasing forest losses, particularly in tropical forests of which majority of the communities rely on for daily livelihood options. It is generally perceived that briquettes are a better substitute for woodfuel in Tanzania, aimed at replacing charcoal which has always been linked to the on-going forest losses, with 1,895,248 tonnes of charcoal being produced annually (3). According to Wiskerke et al. (9), utilizing woody biomass through briquetting technologies offers the potential for a secure, reliable and renewable energy source. It is further

documented by Ullah et al. (8) that briquettes production contributes to provision of employment opportunities, income generation, and the potential for natural resource conservation. Being superior to conventional charcoal (charcoal from deliberately cut down trees), briquettes are thus perceived as the best alternative and substitute energy carrier for woodfuel. However, there is limited information on the entire briquettes’ value chain and hence the on-field performance of briquetting technologies in Tanzania is unknown (6). In attempt to cover such a knowledge gap, the current study presents the status and extent of briquettes production in Tanzania. The paper draws information from an initial survey of a PhD study done in May–July 2022 to examine how and to what extent man-made forests managed for timber production can contribute to energy poverty reduction and resource conservation.

II Materials and methods

1. Study area In this section, the study area is presented (Fig. 1). Tanzania has a total area of 945,087 square kilometers, lying on the East Coast of Africa between 1° and 12°S latitude and between 29° and 41°E longitude at an altitude between 358m and 5,950m above sea level. It has 888600 square kilometers (94%) of total land area; of which agricultural land, arable land, and forest area accounts for 44.62, 15.24, and 51.64 (% of land area) respectively. The total forested land covers 48.1 million hectares, of which protection and production forests covers 28.09 and 20 million hectares, (58.04% and 41.6% of all forests) respectively (5). Commercial forest plantations cover around 325,000 hectares with key species being pine and eucalyptus. Wood production from Central government and Natural forests is estimated at 1,022,123m³ and 500,000m³ respectively (3). On the other hand, Mufindi District lies between latitudes 8°0' and 9°0' South of the Equator and between longitudes 30°0' and 36°0' East of the Greenwich, elevated at 1932 meters above sea level. It is bordered by Iringa District to the North, Morogoro Region to the East, Njombe Region to the south, and Mbeya Region to the West.

2. Data collection Data were collected using an open-ended questionnaire, administered to three major briquetting companies in Mufindi District (Tanzania); namely Agro-Express Ltd, Tractors Co. Ltd (Mkaa Endelevu), and Office of the Participatory Forestry Programme II (PFP2). Data were managed and analysed using Microsoft Excel spreadsheet.

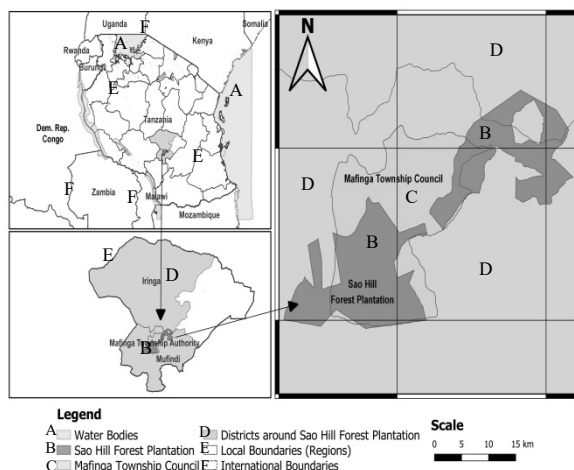


Fig. 1 Map showing the study site (Mufindi District, Iringa).

III Results and discussion

In this section, results are presented and discussions made regarding the status of briquettes production in the study area.

1. Status of production Similar to other areas in Tanzania, the briquetting industry is run and dominated by the private sector, producing both carbonized and non-carbonized briquettes. A review by Yustas et al (11) shows that at least 27 entities (individual firms, CBOs, NGOs and Companies) are involved in briquettes production in Tanzania; with unreported/unknown production capacities and inactive operations by most of the entities. However, the projected production capacity for small, medium and large scales is estimated at 60 kg/hr, 360 kg/hr, and 1320 kg/hr respectively (11). The current production of briquettes in the study area was found to be 1200 tonnes/month (on average), equivalent to average annual production of 14400 tonnes/year (Table 1) using pine wood waste as the main feedstock. For technologies producing only non-carbonized briquettes, the biomass conversion efficiency (recovery) was 100% (at Agro-Express Ltd) while technologies producing multiple products (briquettes, gases, wood tar, black liquor at Tractors Co. Ltd) had 30% and 50% biomass recovery. Briquettes energy density was reported to range from 16.64 to 22.85 MJ/kg, being in the same range as those reported by (1) and (2) for the same species of which biomass feedstock is sourced from, ranging from 19.4 to 24.9 MJ/kg and from 18.3 to 20.1 MJ/kg (gross calorific value) respectively.

Table 1 Summary of data for briquettes production.

	PFP2	Agro-Express Ltd	Tractors Co. Ltd.
Feedstock	Sawdust, woodchips, rice husks, straws	Sawdust, wood chips	Sawdust, offcuts
Feedstock cost	60 TZS/kg	-	420 TZS/kg
Briquetting press	Hydraulic press, Screw extruder	Mechanical piston press	Low pressure screw extruder
Binder type	None	None	Rice, maize, wheat
Calorific value (MJ/kg)	16.64–22.85	18.83	17.57
Production capacity (kg/hr)	210–300	2000	3000
Percentage yield	100, 50, 30	94–97	25–30**
Biomass recovery	1, 0.5, 0.3	0.94–0.97	0.25–0.3

Selling price	300* and 500 TZS/kg	121.264–1 4.9 TZS/kg	1601.16 TZS/kg
Market place	Within Tanzania	Within Tanzania	Germany
End-use	Industrial, Training	Industrial	Barbecue

* price for non-carbonized briquettes

** low briquette yield as multiple products are produced.

2. Utilization of briquettes It was found that briquettes are mainly used in industrial applications such as in textile industries for providing heat in boilers and generating steams in various factories. Areas of utilization included, but not limited to industrial boilers to generate steam (Textile and Plywood Factories in Arusha, Dar es Salaam and Dodoma regions); for barbecuing in Germany, and for training purposes by Participatory Forestry Programme (PFP 2). In industrial boilers (textile factories), 1 kg of non-carbonized briquettes can replace up to 5 kg of conventional charcoal (Personal communication with Mr. Rahul Kartha). All carbonized briquettes from Tractors Co. Ltd (3000 kg/hr) are usually exported to Germany for barbecuing, a price of 0.69 USD/kg while domestic markets fetch a price of 52–75 USD/tonne (exchange rate: 1 USD=2332 TZS and 1 EUR=2287.16 TZS as of 7th October 2022). Production of briquettes from Participatory Forestry Program (PFP) serves for training purposes to community based organizations (CBOs), farmer groups and individual farmers using woody and non-woody biomass feedstock. In all companies visited, quantities and trends of production depends on customer orders. Notwithstanding, we found that briquettes are less common in domestic household cooking, thus briquettes' application remain prominent in the industrial sector. Despite that, the Tanzania government continues to give an emphasis for promotion and use of briquettes and other alternative energy sources by the industrial sector, government institutions, schools, military and refugee camps. The perception behind this motive is that with the above mentioned sectors, large quantities of woodfuel (charcoal and firewood) are consumed. Therefore, with the use of briquettes, a greater impact may be achieved in such high woodfuel consuming sectors and sub-sectors in Tanzania. According to Mr. Rahul Kartha (Manager of the briquetting factory at Agro-Express Co. Ltd), briquettes production is more economical when exported to foreign countries compared to domestic markets. The reason for low pay in the domestic markets is the abundantly

available woodfuel, mostly illegally and/or informally produced from natural forests with lack of coordination and monitoring.

3. The technology Based on pressure involved in briquettes production, technologies are categorized into low, medium, and high pressure compaction. On the basis of briquetting instruments/machines, there is piston press densification (hydraulic or mechanical press densification), screw press densification and roller press densification. A relationship was developed by Kolonel (4) to indicate the suitability relationship between biomass (the feedstock) characteristics, briquetting presses (the machines) and the pressure (the operating medium) involved in briquettes (the products) production. It was found in the study area that briquetting technologies ranges from low to high pressure briquetting technologies (refer to Fig. 2).

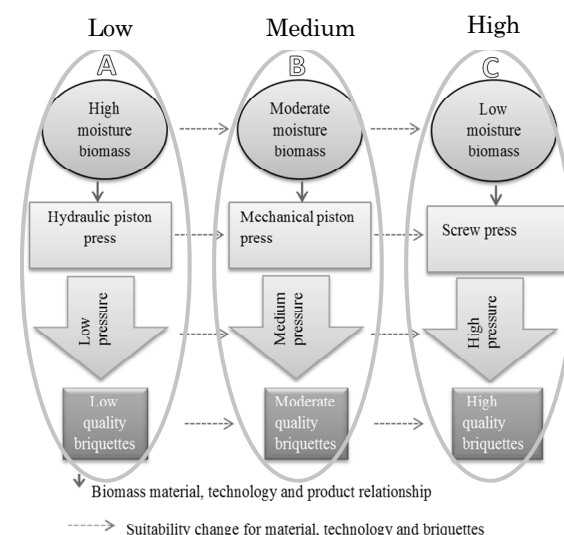


Fig. 2 Categories of briquetting technologies.

From Fig. 2; low, medium, and high briquetting technologies are characterized by low, medium and high investment and operational costs respectively.

With low to high pressure technologies in the study area, production consisted of two shifts, covering eight to ten hours. It was also found that Screw extruders were used for production of carbonized briquettes while Hydraulic presses were useful for production of non-carbonized briquettes. On the other hand, starch was used as binder in low-pressure technologies for production of pillow-shaped briquettes (Fig. 3). Employing more than 150 workers, Tractors Company Ltd (Mkaa Endelevu) exports their products to Germany for barbecue, with a growing market potential. Similarly,

Agro-Express Co. Ltd plans to expand the production machinery to 2 tonnes per day so as to meet the growing market potential with the abundantly available biomass feedstock from timber production chains. In this study, we found also that production is not on a regular basis and hence the quantity of briquettes exported could not be established.



Fig. 3 Pillow-shaped briquettes produced under low-pressure briquetting technology.

IV Conclusion

Despite slow adoption of briquettes in the household sector, there is noticeable adoption of briquettes utilization in the industrial sector following the emphasis and directives of the Tanzania government to ban the use of woodfuel. However, biomass planning and feedstock supply is necessary for sustainability of briquetting interventions. Siemens (7) pointed out that the principal challenge when considering planning for raw materials is to obtain enough biomass for sufficient productions. Participatory Forestry Programme and Tractors Co. Ltd. had to pay 60 Tshs/kg of woody residues and 5000 Tshs/m³ offcuts feedstock respectively. In order to determine the biomass availability for briquetting industry, future work is targeted to assess biomass recovery and utilization efficiency based on annual wood residues productivity as a function of roundwood harvesting cycles. Likewise, determining the contribution and impact of briquettes production to forest resources conservation and local economy is the future plan of current work.

Acknowledgment : The study was funded by the Research Institute of Tokyo University of Agriculture under the PhD Research Support Programme for the Academic Year 2022 on a study titled *Biomass resource recovery, energy potentials and the economic impact of briquette fuel's value chain in Tanzania*. We extend our sincere gratitude to the institute for the research funds and to Mr. Salimu Isare (Forest Officer at Sao Hill Forest Plantation) for the support and cooperation when undertaking the study in Tanzania.

References

- (1) Ajimotokan HA, Ehindero OA, Ajao KS, Adeleke AA, Ikubanni PP, Shuaib-Babata YL (2019) Combustion characteristics of fuel briquettes made from charcoal particles and sawdust agglomerates. *Scientific African* 6: e00202
- (2) Brožek M, Nováková A, Kolářová M (2012) Quality evaluation of briquettes made from wood waste. *Research in Agricultural Engineering* 58: 30–35
- (3) Forestry and Beekeeping Division (2021) The contribution of forestry sector to the national economy. Ministry of Natural Resources and Tourism, Dar es Salaam, Tanzania
- (4) Kolonel CP (2021) Prospects of fuel briquettes production from forest biomass. MSc Thesis; Tokyo University of Agriculture
- (5) MNRT (2015) National forest resources monitoring and assessment of Tanzania mainland: main results. Ministry of Natural Resources and Tourism (MNRT), Dar es Salaam, Tanzania
- (6) Mwampamba TH, Owen M, Pigaht M (2013) Opportunities, challenges and way forward for the charcoal briquette industry in Sub-Saharan Africa. *Energy for Sustainable Development* 17: 158–170
- (7) Siemens J (2017) Exploring the feasibility of a biomass briquette enterprise with a youth cooperative in Nairobi. School of Public Administration, University of Victoria, 46pp
- (8) Ullah S, Noor RS, Sanaullah, Gang T (2023) Analysis of biofuel (briquette) production from forest biomass: a socioeconomic incentive towards deforestation. *Biomass Conversion and Biorefinery* 13: 1–15
- (9) Wiskerke WT, Dornburg V, Rubanza CDK, Malimbwi RE, Faaij APC (2010) Cost/benefit analysis of biomass energy supply options for rural smallholders in the semi-arid eastern part of Shinyanga Region in Tanzania. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14: 148–165
- (10) World Bioenergy Association (2019) Global Bioenergy Statistics 2019
http://www.worldbioenergy.org/uploads/191129%20WBA%20GBS%202019_HQ.pdf (Accessed on October, 2022)
- (11) Yustas, YM, Tarimo WM, Mbacho SA, Kiobia DO, Makange NR, Kashaia AT, Mukama EB, Mzigo CK, Silungwe FR (2022) Toward adaptation of briquettes making technology for green energy and youth employment in Tanzania: A review. *Journal of Power and Energy Engineering* 10: 74–93

森林環境譲与税の活用実態と地域別の特徴分析

ー私有林人工林面積が 1000 ha 以下の市区を対象にー

石 佳凡¹・納富 信¹¹ 早稲田大学大学院環境・エネルギー研究科

要旨：本稿では 121 の地方自治体に対して行った森林環境譲与税の使用実績・計画実態を把握するための調査について述べる。結果、2021 年度までの使途は、基金積立の他、地域内の森林整備に向けた意向調査とその準備作業、産地を限定しない木材（地域外）の利用に多く充当されていた。そして、この結果を基に自治体を分類し、類型間に森林環境譲与税が充当された使途に対する重要視の程度を比較した。地域内の森林整備や木材利用等の活動に充当した自治体が、より地域内の森林整備、普及啓発活動及び地域内産材利用を重視しており、2021 年度までの使途実績と一致していた。一方、地域外の森林整備や木材利用等の活動に充当した地域の 7 割は森林面積が少ない地域なので、「重視していないが、使途が木材利用に限定するので充当した」との考えがあることがわかった。

キーワード：森林環境譲与税、森林管理活動、地方自治体、重要度評価

Utilization of Forest Environment Transfer Tax and analysis of characteristics by region
—Targeting municipalities with the privately owned artificial forest area of 1,000 ha or less—

Jiafan SHI¹, Makoto NOHTOMI¹¹Graduate School of Environment and Energy Engineering, Waseda University

Abstract: In this paper, we surveyed to understand the use and planning of the Forest Environment Transfer Tax conducted for 121 local municipalities. As a result, until 2021, most of the local municipalities accumulated the Forest Environment Transfer Taxes as a fund; in addition, most of the cities used tax for the preparations and implementations of an intention survey of forest owners and timber and wood products produced outside the region. Based on this result, we classified the local municipalities and compared the degree of importance placed on using the Forest Environment Transfer Tax between the types. Cities that allocated tax to activities such as forest maintenance and timber used within the region are placing more emphasis on forest maintenance, dissemination and enlightenment, and wood produced within the area, which aligns with the actual utilizations by 2021. On the other hand, 70% of the municipalities, which allocated tax to activities such as the maintenance of forests outside the region and the utilization of timber, are areas with a small forest area, which suggests there is an idea that "the utilization is limited, so selected it."

Keywords: the Forest Environment Transfer Tax, the forest management activity, local municipality, evaluation of importance

I はじめに

日本の人工林のうち約半数が 10 齢級以上となり、主伐期を迎えるに至ったが、森林資源が十分に活用されていない現状もある(1)。一方、「国民の森林に期待する働き」では、2011 年度以降、災害防止、地球温暖化防止、水資源涵養の公益的機能以外では木材生産機能も再び注目されるようになってきた。林業の成長産業化と森林資源の適切な管理の両立を図るために、2019 年 4 月に、新たな森林経営管理制度がスタートした(3)。新たな森林管理システムを実施する中、意欲のある林業経営者には、木材

生産のみを追求するのではなく、公益的機能発揮と還元のような新たな価値観で森林管理を行うといった理念づくりが求められている。さらに、同年度に森林環境譲与税（以下、譲与税）が創設された。譲与税には、森林の機能の受益者が税金を払う行為を通じて、森林からの恩恵を認識し、森林管理の大変さを理解することが期待されている。そこで、木材販売に頼らずに新たな還元仕組みを構築するにあたって、税金徴収の主体となる国民の森林機能への認識を深め、森林の価値への認識の転換が必要である。

その一方、譲与税の配分基準によると、森林・林業が盛んではない都市部にも多く配分されることになり(2)、制度の目的と譲与税の使途を考えた場合、都市部が地方部に森林整備費用を支援することも一つの活用方策と考える。本稿では、地方部と都市部との連携の可能性と実現条件を解明するために、私有林人工林面積が 1000 ha 以下の市区を対象に、自治体を譲与税の使途に基づいて類型化した上、譲与税の活用実績・計画の実態を把握し、地域別の計画・活用上の特徴とその影響要因を明確することを目的とする。

II 調査対象・方法

1. 調査対象 本調査では、私有林人工林面積 1000 ha 以下の市区の中で、林業費は配分された森林環境譲与税の金額より遥かに少ない自治体、2019 年度から 2020 年度にかけて森林環境譲与税の大部分を基金に蓄積する自治体、及び一部の政令指定都市を対象とした。回収期間内に 183 ヶ所の自治体が回答し、有効回答数は 166 であった。

2. 調査・分析方法 調査方法としては、質問票及び WEB アンケートを併用した調査を実施した。調査項目及び回答方式について、2021 年度までの譲与税の活用実績（選択肢・複数回答）、2022 年度からの譲与税の活用予定（選択肢・複数回答）、譲与税を基にした取組みへの重要視評価（五段階評価）、譲与税の計画・実施上の困難さを設定した。そして、分析方法としては、2021 年度までの譲与税の活用実績により自治体を類型化した上、比較対象とした地域の類型を選定し、類型間に上述の調査項目の結果を比較し、特徴を明らかにする。

III 結果

1. 2021 年度までの森林環境譲与税活用実績

図-1 に示した 2021 年度までの譲与税の活用実績により、基金の積立、地域内森林整備、地域外で産出された木材は実施率上位 3 位の使途となった。そして、具体的な使途は、地域内森林整備のうち、「地域内の森林所有者の意向調査の準備作業」「地域内の森林所有者の意向調査」「地域内の公有林整備、私有林整備」に比較的に多くの自治体は税金を充当していた。木材利用のうち、特に、連携協定を締結していない地域で産出された木材の利用は、より多くの自治体は譲与税を活用しており、利用方式として、学校や公園などの木造公共建築物の整備・内装木質化が相対的に多かった。基金の積み立ての目的は、国産材利用促進、森林整備、普及啓発活動、人材管理と体制構築との順になっていた。

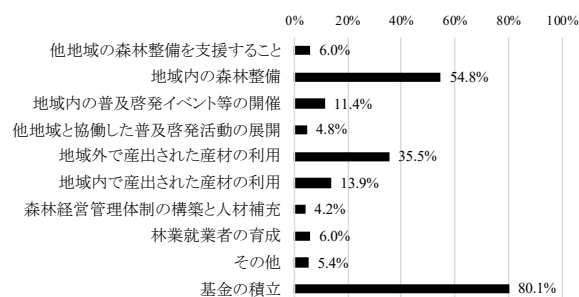


図-1. 2021 年度までの森林環境譲与税活用実績

Fig. 1 Utilization of forest environment transfer tax by 2021

2. 自治体類型化の結果

2021 年度までの譲与税使途の実績より、譲与税を財源とした取り組みを、市区を地域範囲として、地域内・地域外で 4 つに類型化し、表-1 に示す。

表-1. 類型化の結果

Table 1 Result of the classification

類型	使途説明	市区数
類型Ⅰ	地域内使途と基金積立	81
類型Ⅱ	地域外使途と基金積立	40
類型Ⅲ	地域内・地域外使途両方と基金積立	23
類型Ⅳ	使途を定めず、全額を基金に積立てた	22

- ※1 地域内使途：地域内森林整備、地域内普及啓発活動、地域内産材の利用、人材育成、人材補充と体制構築
- ※2 地域外使途：連携ありの地域の森林整備への支援、連携ありの地域と協働した普及啓発活動開催、地域外産材の利用
- 上記の連携とは地域間において以前から交流があり、継続してきた友好都市・姉妹都市等の関係、譲与税制度導入をきっかけとして締結した協働関係を指す。

そこで、各類型の自治体における地域環境条件上の特徴を表すために、私有林人工林面積の分布状況を整理し、図-2 に示す。類型Ⅰの自治体は、私有林人工林面積分布が 100 ha 以上に集中し、500～1000 ha の私有林人工林面積を有す自治体が最も多かった。類型Ⅱの自治体は 50 ha 以下に集中し、私有林人工林面積が全く無い自治体が最も多く、100 ha 以上の森林面積の自治体が非常に少ない。両類型の面積分布の比較より、類型Ⅰの自治体は類型Ⅱの自治体と比べて私有林人工林面積が大きい傾向が見られた。類型Ⅲの自治体は、私有林人工林面積の分布が 50 ha に集中するとともに、100～500 ha にも分布していることから、類型Ⅰと類型Ⅱの特徴が混在することが予想される。基金に積み立てて様子をみる類型Ⅳの自治体は、特に分布上の特徴が見られないことから、私有林人工林面積以外の要素が意思決定に強く影響していると考えられる。

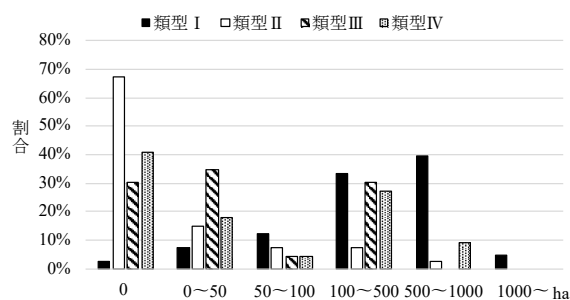


図-2. 類型間の私有林人工林面積の分布比較

Fig. 2 Comparison of privately owned artificial forest area

3. 比較分析の結果

本稿での比較分析対象として、譲与税の使途地域範囲が異なる類型Iと類型IIを選定した。以下では、次の2点の調査項目を中心に、得られた回答を提示する：1) 譲与税を基に実施した取組み・重視した取組み、2) 譲与税の計画・実施上の困難さ。

1) 重要度評価と使途実績：譲与税を財源として 2021 年度までに実施した取組み及びこれら取組みの重要視程度の五段階評価の結果を表-2 に示す。類型Iにおいて“やや重視する”“重視する”と回答した自治体が比較的に多かった使途は、地域内における森林整備、地域内で産出された木材の利用、地域内での普及啓発活動の開催であった。2021 年度までの使途実施率は、森林整備のために基金を積み立てた他、地域内の森林整備、地域内の普及啓発活動、地域内で産出された木材の利用に比較的に多くの自治体が譲与税を使った。具体的な使途実績は意向調査の準備作業と実施、公有林整備、私有林整備といった順である。また、使途の重視率と実施率の比較により、地域内森林整備を重視しながら実施した地域が多い一方、地域内産材の利用及び地域内普及啓発活動は、重要視し

表-2. 重視した取組みと実施した取組みの類型間比較

Table 2 Comparison of utilizations emphasized on and implemented utilizations

	類型 I (N=81)		類型 II (N=40)	
	重視率 %	実施率 %	重視率 %	実施率 %
他地域と長期的な連携を構築し地方部の森林整備を支援すること	8.8	0.0	22.5	17.5
地域内の森林整備	86.3	95.1	15.0	0.0
地域内の森林・林業や木材利用促進に関する普及啓発イベント等の開催	35.0	11.1	20.0	0.0
連携協定を締結した、地域と協働して普及啓発活動の展開	11.3	0.0	27.5	7.5
連携協定を締結した地域で産出された木材を利用すること	8.8	0.0	32.5	10.0
連携協定を締結していない地域で産出された木材を利用すること	6.3	0.0	37.5	87.5
地域内で産出された木材を利用すること	51.3	27.2	20.0	0.0
新たな森林経営管理システムを実践するための体制構築と人材補充	30.0	8.6	0.0	0.0
林業就業者の育成（研修、労働安全対策、林業機械の導入等含む）	27.5	9.9	0.0	0.0

ているが実施していない地域がやや多いことがわかった。類型Iの自治体は、重要度に従って譲与税を使う地域がやや多いと読み取ることができる。

それに対して、類型IIにおいては、全体的に重視率が低いことが示されたが、その中で、連携の有無に関わらず、地域外産材の利用を“重要する”“やや重要する”と回答した地域が比較的に多かった。また、2021 年度までの使途実施率と比べ、連携協定を締結していない地域で産出された木材に譲与税を使った自治体数は、重視している自治体数より多いことから、類型IIの自治体には、その使途を重視していないが実施したところが存在することが読み取れた。その一方、連携協定を締結した地域で産出された木材を利用したり、協働して普及啓発活動を実施したりすることは重視されているが、実施していない自治体はやや多かった。

2) 譲与税の使途計画・実施上の困難さの比較：自由回答していた困難さは、「利用計画上の困難さ」、「使途の実施上の困難さ」に加えて、「計画・実施に関わった行政の体制上の不足」に分類された。類型IIの分類が「利用計画上の困難さ」に集中するのと違い、類型Iの自治体は使途実施上にも多くの困難さを抱えていることが示された（図-3）。具体的な困難さを見ると、「利用計画上の困難さ」において、「森林環境譲与税の適応範囲の不明確」、「地域住民の理解を得られる使途の検討」、「重点すべき使途の選択」、「単年度の環境譲与額が足りない」が類型Iと類型IIの共通の困難さとして取り上げられた。

その一方、相違点として、類型Iの自治体は「経営・管理ができる森林資源が少なく、持続的に展開できないこと」に比較的に困難さを感じたことに対して、類型IIの自治体は「地域内に森林がなく地域内での使途が限られている」に計画の困難さを感じていることがわかった

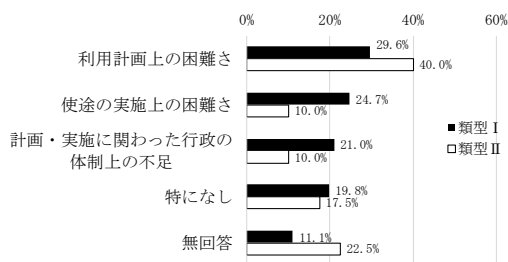


図-3. 森林環境譲与税計画・実施上の困難さの比較

Fig. 3 Comparison of difficulties

また、利用方針の違いとともに、譲与税を財源とした使途の実施上の困難さも異なる。地域内森林整備を主要使途とした類型Iの自治体にとって、地元の林業事業体の不在・不足により、森林整備計画の立案や森林整備の実施に困難さを感じている一方、木材利用を主要使途とした類型IIの自治体にとっては、木材利用における長期計画の立案（木質化の順次づけ、年度ごとの木材利用のばらつき等）に困難さを感じている。類型Iの自治体は類型IIの自治体と比較して「計画・実施上に関わった行政体制上の不足」という困難さを選択した割合が比較的高かったが、その中では、特に「森林・林業に精通した専門人材の不足」「事業推進のマンパワーの不足」「他課との調整・連携」といった困難さを多く取り上げた。また、類型IIも共通的な困難さを抱えていることが示された。

IV 考察

調査結果において、自治体の実情により、譲与税の使用には多様性があるが、譲与税の活用実績によって分けた二つ類型の比較分析により、類型別の特徴も見られた。重要視する取り組みにおいて、地域内活動に譲与税を使った類型Iの自治体は、地域外活動に譲与税を使った類型IIの自治体に比べて重要視した取り組みがよりはっきりしている他、重要度に従って行動をとる傾向も見られた。この理由の一つとして、地域内の私有林人工林の有無と森林面積の多少が影響していると推察する。譲与税の出発点は、進んでいない私有林整備を公的に管理する財源であるが、私有林人工林が無い地域、あるいは私有林人工林面積が小さく、整備規模になっていない自治体にとっては、地域内での譲与税の使途が限られていることから、地域外にお金を流さざるを得ない。そこで、譲与税の創設趣旨に従い、利用計画を立てることに不安を抱えると考えられる。特に 2024 年度から森林環境税の課税が始まることを踏まえ、地域住民の理解を得られ、地域住民に還元できる森林環境税・森林環境譲与税の利用の計画は、類型IIの自治体にとって肝要な課題と示唆された。その一方、譲与税の創設趣旨に従い、使途を計画し

た類型Iの自治体に地域内の私有林人工林があっても、整備しない可能性及び意向調査を始めても私有林整備の実施までに至らない懸念が示された。その原因として、私有林整備の実施・継続には困難さが存在すると推察される。そこで、私有林整備には実施段階に応じた困難さが存在すると仮定をして、類型Iの 81 自治体の中で私有林整備関連の取り組みを行った 62 自治体を、意向調査段階、意向調査・私有林整備段階、私有林整備段階に分けて、各段階での困難さを比較した（表-3）。その結果、段階によって抱える困難さが異なることが明らかとなった。

表-3. 私有林整備段階ごとの困難さの比較

Table 3 Comparison of difficulties by stages

	意向調査 段階 % (N=38)	意向調査・私有 林整備段階 % (N=12)	私有林整備 段階 % (N=12)
利用計画上の困難さ	18.4	33.3	33.3
実施上の困難さ	36.8	16.7	0
計画・実施に関わった 行政の体制上の不足	23.7	16.7	8.3
特になし	13.2	33.3	50.0
無回答	10.5	0	16.7

意向調査の段階の自治体は、行政のマンパワー、譲与税の利用方針の計画のほか、具体的な森林整備計画の作成や施業の実施において多くの困難さを抱えている傾向が見られた。それに対して、意向調査・私有林整備段階や私有林整備段階の自治体は実施上の困難さはあまり見られない傾向があった。この困難さは、特に存在する私有林人工林の森林経営の適合性、森林整備の担い手の有無によるものも示された。以上の考察を踏まえて、自治体の森林整備実施条件などの環境要素から譲与税を基にした取組みの実施と継続性への影響をさらに検証する必要があるとともに、既に環境要素からの影響を克服し、私有林整備を実施してきた自治体が如何にこれら困難さを乗り越えたのかを解明するのも将来的な課題である。

謝辞：本調査において、多くの地方自治体に丁寧にご協力いただきました。ご回答頂いた皆様に心より感謝申し上げます。

引用文献

- (1) 林野庁 (2016) 森林・林業白書 2016. 林野庁, 東京: 36pp
- (2) 吉弘憲介 (2019) 森林環境譲与税の譲与基準の試算及びその検討について. 自治総研 484: 3-20pp
- (3) 全国林業改良普及協会 (2020) 市町村と森林経営管理制度. 全国林業改良普及協会, 東京, 2pp

関東地方の博物館における森林関連展示の実態

三浦万由子¹・杉浦克明²¹ 日本大学大学院生物資源科学研究科・² 日本大学生物資源科学部

要旨：森林環境教育は多様な内容を包含しているため、活動の場は森林に限らない。本研究の目的は、博物館における森林についての学びの手法・形態を分析し、森林関連展示の実態を明らかにすることである。調査対象施設は関東地方に存在する 835 の博物館とし、そのうち歴史、美術、理工に関連する施設を除いた 255 施設を分析対象とした。対象施設の Web サイトから森林に関するキーワードを含む展示コーナーを抽出し、分類と整理を行った。その結果、森林関連のコーナー数は 145 で、そのうちハンズオンタイプは 7 つ、空間自体を展示とする体感タイプは 4 つあった。展示形態を把握することができた 107 コーナーを二次元型、三次元型、空間再現型で整理すると、過半数のコーナーで三次元型が含まれていた。本研究の結果から、博物館における森林関連展示の実態が見えてきた。

キーワード：森林環境教育、森林学習、博物館教育、展示

Forest-related exhibits in the Kanto region (Japan) museums

Mayuko MIURA¹, Katsuaki SUGIURA²¹Graduate school of Bioresource Sciences, Nihon University; ²College of Bioresource Sciences, Nihon University

Abstract: Since forest environment education encompasses a variety of content, the activity sites are not limited to forests. Therefore, the purpose of this study is to clarify the actual conditions of forest-related exhibitions by focusing on the methods and forms of learning about forests in museums. The survey covered 835 museums in the Kanto region in Japan, of which 255 museums were included in the analysis, excluding those related to history, art, science, and engineering. This study extracted, classified, and organized the exhibition corners, containing forest-related keywords, through the websites of the target museums. As a result, there were 145 forest-related sections, of which seven were touch and appreciate type and four were sensible type where the space itself was used as an exhibit. The 107 corners, for which the authors were able to ascertain the exhibition type, were organized into two-dimensional, three-dimensional, and spatial reproduction types, whereby, the majority of the corners contained three-dimensional exhibits. Hence, the results of this study revealed the reality of forest-related exhibitions at the museums.

Keywords: forest environment education, forests and forestry learning, museum, exhibit

I はじめに

近年、森林環境教育を推進する動きが高まっている。林野庁(1)によると、森林環境教育は「森林内での様々な体験活動を通じて、森林と人々の生活や環境との関係について理解を深める」と定義されている。大石・井上(2)によると、森林環境教育の活動は、森林を教材としてとらえ、その多くが森林内で行われているとされている。また、森林環境教育は森林内での体験を通じたプログラムの教育効果が大きいと考えられており(3)、森林内で実施される教育活動が重要視されているといえる。一方、井上・大石(4)によると、森林環境教育は①森林資源、②

自然環境、③ふれあい、④地域文化という多様な内容を包括するものであるとされており、森林環境教育は必ずしも森林内で行われるとは限らないと考えられる。しかし、森林環境教育の「場」に関する研究は少なく、森林内であることや指導者の有無等に限定されない森林学習の実態は明らかになっていない(5)。

比屋根(6)は森林や木材を対象とした森林・林業にかかわる包括的な活動を「森林環境教育」とを呼称し、先に述べた林野庁による定義を見ても、その対象とする人の年齢や性別等は特に定められておらず、森林環境教育はすべての人が学ぶことができるといえる。しかし、杉浦

(7)によって、森林環境教育の対象者、実施目的、実施内容には偏りがあることが明らかになっており、主に児童を対象とした森林・林業に関する知識・理解を深めるための体験学習と捉えられている可能性が示唆されている。また、今後の森林環境教育のあり方として、「参加」に結びつけていくためには、様々な年代を対象に、様々な目的で実施する必要があるとしている。そこで、本研究では生涯学習の場を提供する社会教育施設に着目した。

全国における森林学習施設の設置状況については、木山ら(5)によって幅広く存在することが明らかにされており、こうした施設の総合的活用による森林環境教育の推進が期待されている。しかし、森林と人間との関わりを地域の文化として扱う博物館における森林学習の実態については把握されておらず、データの拡充が課題となっている(5)。そのため、本研究では社会教育施設の一つである博物館に着目した。文化庁によると、博物館は「資料の収集・保管、調査・研究、展示による教育を一体として行う機関である」と定義され、社会教育法第9条では、「博物館は社会教育のための機関とする」と定められている。文部科学省(10)においては、博物館の学習支援機関としての役割の充実が求められており、博物館における展示を含む教育普及活動が重要視されている。実際、公益財団法人日本博物館協会が実施する日本の博物館総合調査(11)によって、最も力を入れている活動の6割を展示が占めていることが報告されている。

博物館展示による教育普及活動は、すべての人が対象者であり、参加することができる。つまり、博物館展示における森林学習のあり方を検討することは、さらなる森林環境教育の充実に向けて意義がある。

そこで、本研究の目的は、一般の人々が博物館展示を通じて森林について学ぶことのできる展示手法と展示形態を分析し、その実態を明らかにすることである。

II 方法

博物館法第2条によると、博物館とは設置主体や設置要件を満たし、教育委員会による登録を受けた施設である。登録博物館に相当する施設として教育委員会の指定を受けた施設は博物館相当施設と規定され、博物館法の適用を受けない施設は、文部科学省の統計において博物館類似施設と呼称されている。文化庁によると、2018年10月現在で登録博物館が914館、博物館相当施設が372館、博物館類似施設が4,452館であり、法制度の枠外にある博物館類似施設が圧倒的に多くなっている。そのため本研究の調査対象は、一般的に捉えられている博物館を対象にすべく、博物館相当施設と博物館類似施設も含

めることとした。

1. 関東地方に存在する博物館施設の把握 まず、関東地方に存在する博物館施設を把握した。公益財団法人日本博物館協会会員館をデータの基盤とし、博物館施設を10のジャンル（総合、郷土、自然史、動物園、水族館、植物園、動水植、歴史、美術、理工）に分類した。なお、動水植は動物園、水族館、植物園の役割を総合的に担う施設とした。

さらに、公益財団法人日本博物館協会の関係組織である公益社団法人日本動物園水族館協会、公益社団法人日本植物園協会、全国科学博物館協議会の加盟館と、各都道府県教育委員会が把握している施設および博物館協会等の加盟館をデータに加え、博物館施設のジャンル別一覧を作成した。

なお、公益社団法人日本植物園協会加盟館については、会社や財団等の組織も含まれていたため、展示場所がある施設に限定した。

2. 森林関連コーナーの抽出と整理 次に、各博物館施設のWebサイトから森林に関するキーワードを含む展示コーナー（以下、森林関連コーナー）を抽出した。本研究は森林との関連が高い総合、郷土、自然史、動物園、水族館、植物園、動水植の7ジャンルの施設を分析対象とし、関連の低い歴史、美術、理工に該当する施設は除外した。常設展示のみを対象とし、Web調査は2022年6月1日より7月22日で行なった。

抽出範囲は展示テーマ、エリア名、展示物名およびその紹介文と解説文中とし、森林キーワードは森、林、木、樹、材、里山、木本植物の種名とした。森林と関連のない固有名称や生息地等の個体別の基本情報、演出として空間をデザインしているにすぎない場合は除外した。

以上のルールに基づき抽出された展示について、展示「エリア」と展示「コーナー」を分けて整理した。エリアやコーナーの表現方法は各施設により異なったため、面的に広く複合的に要素を組み合わせた空間をエリア、一つの対象に特化している空間をコーナーと捉えた。なお、本研究では、コーナーを基準に分析を試みた。

3. 展示手法と展示形態の分類と整理 展示手法は、Webサイト上に触ることができると明記されていない場合を鑑賞タイプ、明記されている場合をハンズオンタイプとして整理した。

展示形態は、Webサイト上の文章および写真等から把握することができるコーナーのみを分析対象とした。写真や展示パネルなどの「二次元型」、標本や模型などの「三次元型」、「ジオラマ」・「復元」・「再現」というワードが紹介文や解説文に含まれている場合を「空間再現型」と

し、これらの組み合わせも含め7パターンに分類して整理した。

III 結果

1. 関東地方に存在する博物館施設の把握 関東地方の博物館施設数は835で、ジャンル別に把握すると、総合61、郷土85、自然史30、動物園30、水族館17、植物園31、動水植1、歴史331、美術203、理工46であった(図-1)。割合としては、歴史が約4割、美術が約2割、郷土が約1割で、総合、自然史、理工、動物園、水族館、植物園に至ってはそれぞれ数パーセントしかなかった。歴史と美術が極端に多く、施設数に偏りがあることがわかった。日本の博物館総合調査(II)でも、日本の博物館の半数近くが歴史館であり、美術が全体の2割程度、郷土が1割程度、それ以外のジャンルは数パーセントであることが明らかになっており、同様の結果であった。

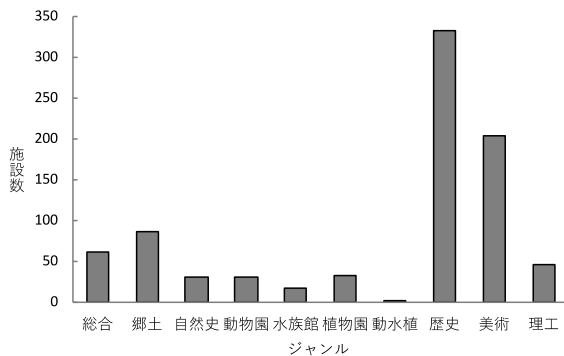


図-1. 博物館施設数

Fig. 1 Number of museum facilities

2. 森林関連コーナーの抽出と整理 分析対象施設のうち、森林関連コーナーを有する施設数は55であった。ジャンル別に見ると、総合20、郷土15、自然史12、動物園2、水族館2、植物園2、動水植0であった(図-2)。

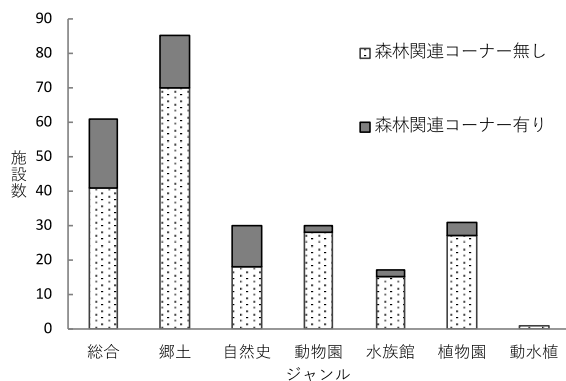


図-2. 博物館施設における森林関連コーナーの有無

Fig. 2 Number of forest-related sections in museum facilities

割合としては、総合が約3割、郷土が約2割、自然史が4割、動物園、水族館、植物園が約1割となり、自然史が最も大きかった。

森林関連コーナー数は145で、ジャンル別に見ると、総合39、郷土35、自然史60、動物園2、水族館2、植物園7、動水植0であった(図-3)。

展示手法について整理すると、ハンズオンタイプは7つで全体の約5%だった。ジャンル別に見ると、総合2、郷土2、自然史2、植物園1であった。特殊なケースとして、総合で拡大模型の世界に入り込めるコーナー、郷土で映像と音での空間演出、自然史でミュージカルや森林空間を体感できるコーナーといった、空間自体を展示とするコーナー(以下、体感タイプ)が4つあった(図-3)。

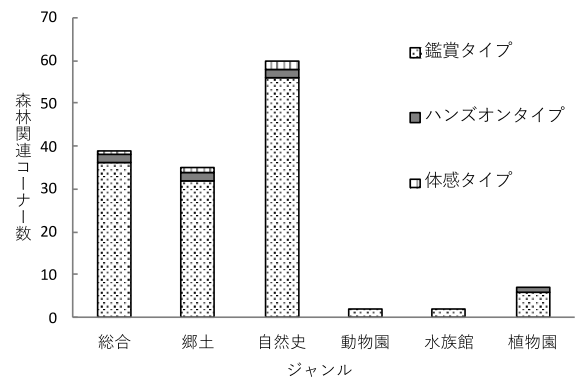


図-3. 森林関連コーナー数および展示手法タイプの内訳

Fig. 3 Number of forest-related sections and exhibition method type

体感タイプを除く141コーナーのうち、Webサイトから展示形態を把握することができたコーナーは107だった。三次元型のみのコーナーが63で最も多く、過半数のコーナーで三次元型が含まれていることがわかった。空間再現型を含む展示コーナーは21で、約2割だった(表-1)。

表-1. 森林関連コーナーの展示形態

Table 1 Form of display in the forest-related section

展示形態	総合	郷土	自然史	動物園	水族館	植物園	合計
二次元型 (写真・展示パネル等)	3	0	4	0	0	2	9
三次元型 (標本・模型等)	14	13	33	0	0	3	63
空間再現型 (ジオラマ等)	1	1	7	1	2	1	13
二次元型×三次元型	4	5	4	0	0	1	14
二次元型×空間再現型	1	0	1	0	0	0	2
三次元型×空間再現型	4	0	0	0	0	0	4
二次元型×三次元型×空間再現型	1	0	0	1	0	0	2
合計	28	19	49	2	2	7	107

注: 「×」は型の組み合わせを指す

IV 考察

森林関連コーナーを有する施設割合は自然史が最も大きかったが、郷土や動物園、水族館のような森林学習を目的としないジャンルにおいても、1割近く存在することが明らかとなった。多面的機能を有する森林はジャンルを問わず多くの博物館資料と結びついているため、自然史に限らず、動水植以外のジャンルにおいて、満遍なく確認されたと考えられる。

展示手法は、鑑賞タイプがすべてのジャンルにおいて9割以上を占め、ハンズオンタイプは全体の約5%、展示形態は三次元型が中心になっていた。博物館の伝統的展示形態は、展示品がガラスケースに入っている動かないものと、模型や機械のような動くものがあるとし、触ることは禁止されている場合が多いとされている(8)。よって、展示に加え、資料を保管する役割をも担う博物館においては、平均的な結果であると考えられた。

一般の人々が森林とつながるきっかけとしては、三次元型の博物館資料を鑑賞し、森林との関わりを学ぶケースが多くなっているといえる。ただし、空間再現型に該当する資料を活用した展示形態も約2割あった。本研究で抽出した森林関連コーナーは、三次元型の博物館資料を森林と関連付けて展示するコーナーと、空間再現型のように森林をメインに展示するコーナーの2つに分けることができると考えられた。また、森林という場所についての解説を加えて空間自体に意味を見出す展示手法を用いて、森林空間を身近に感じさせる工夫も見られた。このような体感タイプの展示手法が確認されたことについては、学びの対象となる森林のスケールの大きさが影響していると考えられた。

V おわりに

本研究の結果から、一般の人々が森林について学ぼうとする意欲がなくても、気がつかないうちに森林について学び、身近なものを通じて森林とつながる機会があることが明らかとなった。森林は、暮らしの中にある多くのものと結びついており、森林について学ぶきっかけとなり得る博物館資料は幅広く存在すると考えられる。小川(9)は、博物館資料は学芸員によって人々に理解してもらいたいメッセージが込められ、ストーリーに基づいて配列されることで展示資料となるとしており、博物館における森林学習の実態を把握するためには、人々と森林とをつなぐ博物館資料のストーリーについて、詳細に調査する必要があるだろう。なお、先に述べたように、最も力を入れている活動の6割が展示である現状を踏まえると、博物館展示のあり方に変化が生じている可能性が

ある。体感タイプのような博物館の伝統的展示形態とは大きく異なる新たな手法については、具体的な内容に加え教育効果等、掘り下げた調査が求められるだろう。今後、実地調査も含めた実態把握が必要だといえる。

博物館は、身近なものについて森林との関わり合いを学び、暮らしと森林とのつながりを再認識することができる場となっていると考えられた。また、博物館展示では、面的な森林を俯瞰的に見ることができる他、森林内の動物や植物をじっくりと観察することができるため、森林内では困難な視点での森林学習が可能になっている。そのため、博物館は森林について詳しい人々にとっても、より学びを深める場として機能していると考えられる。

すべての人を対象に学びの場を提供する博物館では、様々な目的での学びが実現できるようになっていると考えられた。さらなる森林環境教育の充実に向けた森林学習のあり方を検討するには、博物館展示に焦点を当てた調査と研究が求められるだろう。

引用文献

- (1) 林野庁 (2003) 平成 14 年度図説森林・林業白書. 日本林業協会, 東京: 330pp
- (2) 大石康彦・井上真理子 (2016) 森林教育活動における場所特性. 日林講 127: T7-3
- (3) 原島幹典 (2007) 林業と森林教育. 森林科学 49: 24-27
- (4) 井上真理子・大石康彦 (2010) 森林教育が包括する内容の分類. 日林誌 92: 79-87
- (5) 木山加奈子・井上真理子・大石康彦・土屋俊幸 (2014) 全国における森林学習施設の設置状況—4 種のデータソースをもとにしたデータベース構築結果から—, 日林誌 96: 60-64
- (6) 比屋根哲 (2003) 森林環境教育. (森林計画学. 木平勇吉編. 朝倉書店). 204-222
- (7) 杉浦克明 (2015) 発達段階に応じた森林環境教育の実施の必要性. 日林誌 97: 107-114
- (8) 奥村美奈代・木村健一 (2017) ハンズ・オン展示と資料陳列型展示の組合せが与える影響について. 日本デザイン学会 デザイン学研究 64: 406-407
- (9) 小川義和 (2017) コミュニケーションとしての博物館教育. 日本科学教育学会 41: 221-222
- (10) 文部科学省 (2021) 新しい時代の博物館制度のあり方について (中央教育審議会答申).
- (11) 公益財団法人日本博物館協会 (2022) 日本の博物館総合調査報告書 <https://www.j-muse.or.jp/02program/pdf/R2sougoutyousa.pdf>

長崎県対馬市湊地区における木庭作地の利用実態の変遷

園原和夏¹・鈴木颯太¹・關 正貴¹・杉浦克明¹¹ 日本大学生物資源科学部

要旨：長崎県対馬ではかつて木庭作と呼ばれる伝統的な焼畑農業や炭焼きが行われ、田畑と二次林を多く含む里山が形成された。絶滅危惧種 IA 類に指定されているツシマヤマネコはげっ歯類を食資源としているが、げっ歯類の生息には広葉樹の実や畑の作物が必要であることから、ツシマヤマネコの保全と里山環境の維持管理には深い関わりがある。そこで本研究では木庭作が戦後どのようなプロセスを経て耕作放棄され現在の状態に至ったのかを調査した。資料として 1955 年～2016 年までの計 8 年代の空中写真を用い、GIS で土地被覆図を作成した。木庭作地を含む畑地や水田は谷戸付近の傾斜地に分布しており、1955 年以降減少し続け 1980 年代には消滅した。耕作放棄された木庭作地は、針葉樹造林地へ転換された場合と草本や灌木が被覆する状態を経て広葉樹林へと遷移した場合とに分類された。

キーワード：木庭作、ツシマヤマネコ、対馬、土地被覆変化

**The transition of land use for the traditional agricultural practice, Koba-saku,
in Minato, Tsushima City, Nagasaki Prefecture**

Waka SONOHARA¹, Sota SUZUKI¹, Masataka SEKI¹, Katsuaki SUGIURA¹¹College of Bioresource Sciences, Nihon University

Abstract: In Tsushima City, Nagasaki Prefecture, traditional shifting field agriculture, known as “Koba-saku”, and charcoal production were once practiced, and satoyama landscape with many fields and secondary forests was formed. Rodents are important food resources for the Tsushima leopard cat, which is designated as an endangered species IA. Hardwood nuts and field crops are necessary for rodents, and thus, Tsushima leopard cat conservation and maintenance for satoyama environment are closely related. Therefore, in this study, we investigated the process by which the Koba-saku fields were abandoned after World War II and how they reached their present state. We generated land cover maps using a geographic information system, with aerial photographs from 1955 to 2016 for a total of 8 years. The fields, including Koba-saku, were distributed on slopes near the yato area. They have been decreasing in number since 1955 and disappeared in the 1980s. Abandoned Koba-saku fields were converted to coniferous plantations or transitioned to broadleaf forests after being covered with grasses and shrubs.

Keywords: Koba-saku, Tsushima leopard cat, Tsushima City, land cover transitions

I はじめに

長崎県対馬は九州最北端に位置し、福岡県の沖 60 km にある離島であり、全島の 89%を森林が占める (4)。対馬では、木庭作 (こばさく) と呼ばれる伝統的な焼畑農業や炭焼きが行われ、田畑や二次林を多く含む里山景観を形成してきた (2, 9)。しかし、対馬市の人口は、1960 年代の約 7 万人をピークに減少傾向にあり (2, 6)、現在では 28,348 人 (2022 年 9 月現在) と 3 万人を下回った (5)。同時に高齢化が長崎県や全国に比べて早いペースで進んでおり (6)、高齢化による意欲低下や担い手不足によって農林業が衰退し、手入れの行き届かない里地里山が増加している (11)。こうした背景から、里山利用の

変化による自然環境への影響が懸念されている (9)。対馬には、絶滅危惧 IA 類に指定されているシマヤマネコ (*Prionailurus bengalensis euptilurus*) が生息している。生息地としては、照葉樹林や落葉樹林、田畑、沢など多様な環境が混在する場所が適しているといわれている (3)。これは、ツシマヤマネコの餌資源が主にネズミ等のげっ歯類であることから、広葉樹の実や畑の作物を餌とするためである (1, 12)。したがって、田畑の減少や手入れ不足の山林の増加といった里地里山の荒廃はツシマヤマネコにとっての良好な餌場の減少を招き、その結果ヤマネコの生息数が減少するという連鎖に繋がると考えら

れる (1, 8)。

ツシマヤマネコの保全のため、近年では生息地減少への対策として、植林地の適切な管理や広葉樹林の植林、木庭作の再生、草原環境の創出等が行われている (8)。ここで木庭作に注目してみると、木庭作は山地が多く平地の少ない対馬で、自家用の蕎麦、麦、イモ等が栽培するために山地斜面を利用した伝統的な焼畑農法である (1, 11)。森林を伐採後に小枝やソダ等を焼き、その跡地を耕地として利用し (1), 3~4 年の耕作期間を終えると山に戻すという循環型の農法であるため、森林との結びつきが強いほか (10)、森林に戻す過程で草地環境を生み出すことにも貢献する (2)。つまり、木庭作は森林から農地までを含む里山の中で、時間的な変化を伴いながら多様な環境を創出することに貢献しており、ツシマヤマネコの良好な生息環境や対馬独特の里山景観の形成と繋がりが深いと考えられる。そこで本研究では、対馬の里山環境の重要な構成因子の 1 つである木庭作地に注目し、木庭作が行われていた時期の土地利用から、木庭作が行われなくなり耕作放棄地となった後の土地利用までのプロセスを、土地被覆状態から明らかにすることを目的とした。

II 対象地と方法

1. 調査地 長崎県対馬は標高 200~300 m の山々が海岸まで続く地形で、海に囲まれ、対馬暖流の影響を受けた温暖で雨が多い海洋性の気候となっている (7)。上県町は対馬市の北西部にあり、湊地区は佐護川の河口付近に位置する。湊地区の面積は約 700 ha で、人口は 72 世帯 139 人である (6)。

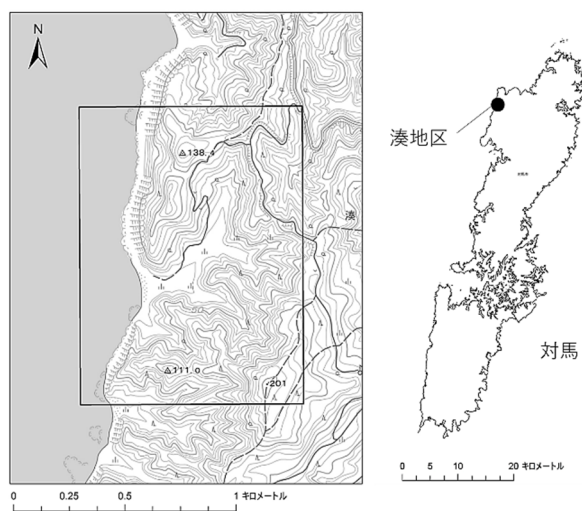


図-1. 調査地の位置

Fig. 1 Location of study area.

同地区は、木庭作や広葉樹二次林を利用した炭焼きや

シイタケ原木栽培がおこなわれるなど、人の手が広範囲に入った土地である。本研究は、湊地区内に設定した方形区画内のエリア (105 ha) の土地被覆の変遷を調査した (図-1)。エリアの中心には、海岸のある西部から北東方向にかけて山地斜面に深く切り込んだ谷戸地形がみられる。なお、調査エリア内は地域住民による土地利用はあるが、集落は含まれない。

2. 調査方法 資料として、国土地理院発行の空中写真を用いた。使用した年代は、1955 年 (米軍撮影)、1966 年、1977 年、1983 年、1988 年、1993 年、2011 年、2016 年の計 8 年代である。これを基に ArcGIS10.8.1 (ESRI 社製) を用いて、土地被覆図を作成した。土地被覆図の作成の際には、重原ら (2019) の手法を参照し、ジオリファレンス機能を用いて 2016 年の電子国土基本図のオルソ画像を基準として他の年代の地図の幾何補正を行い、補正画像を背景にポリゴン作成した。区分は、空中写真から目視で判読できる土地の被覆状態として、畑、田、裸地・草地、低木、広葉樹林、針葉樹林、海岸の計 7 種類に分類した。また、当時の土地利用について、当時の様子を知る地域住民に聞き取り調査も行った。

III 結果と考察

1. 土地被覆面積の推移 図-2 は、分類した土地被覆項目のうち海岸を除く 6 項目の面積の推移である。広葉樹林が全体の 7 割弱を占めており、全年代を通じて 65~70 ha 程度で推移し、大きな変化は見られなかった。針葉

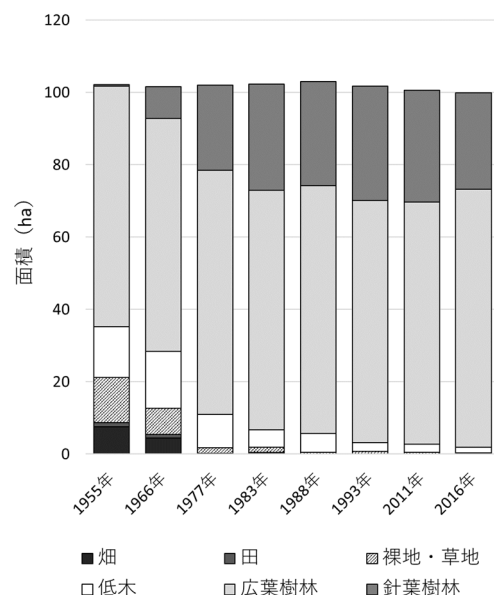


図-2. 土地被覆面積の推移

Fig. 2 The transition of land cover area

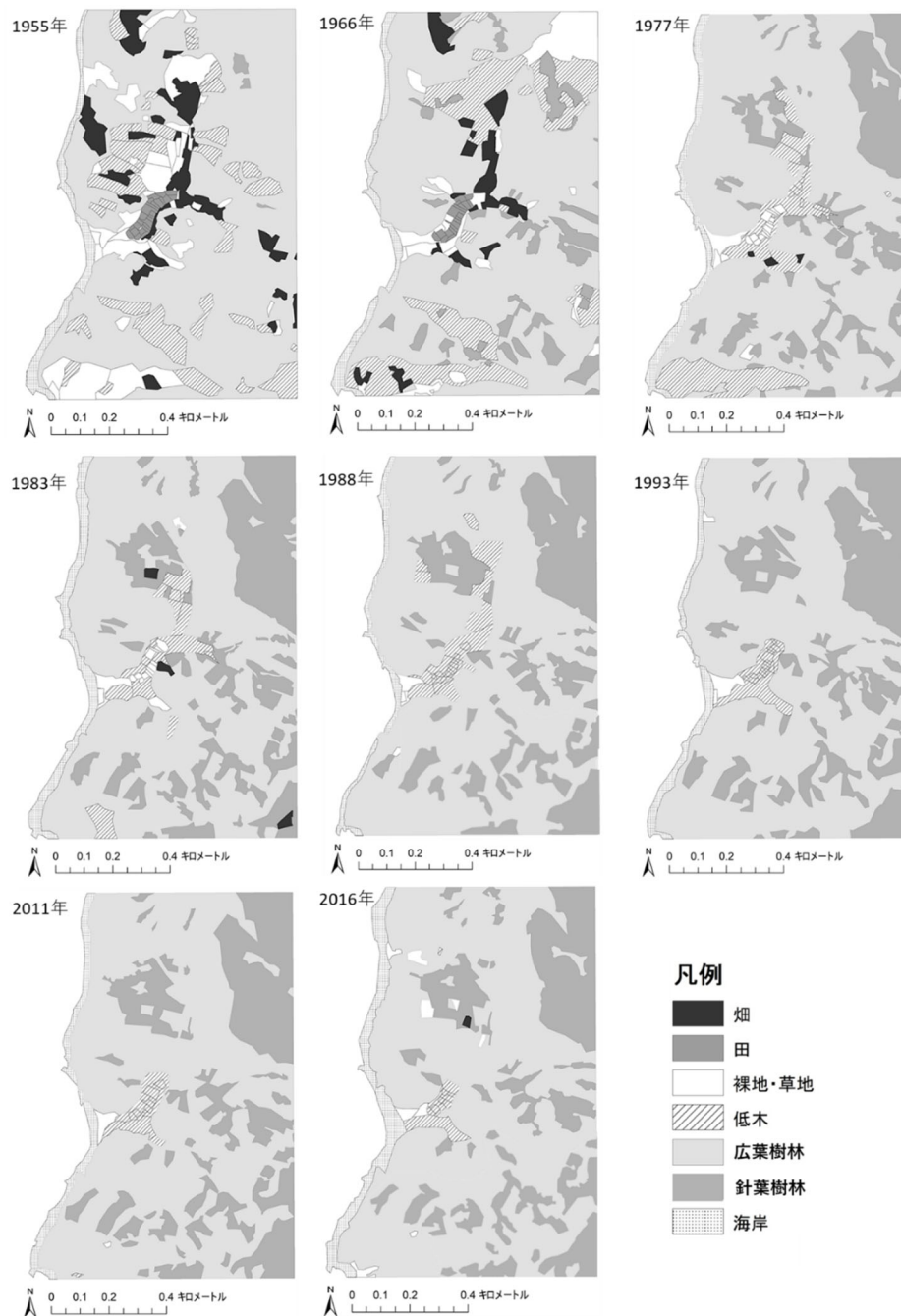


図-3. 土地被覆の変遷

Fig. 3 The transition of utilization of land cover.

樹林は拡大造林期にあたる 1955 年から 1977 年にかけて増加し、1983 年には 29.4 ha となり、その後はほぼ横ばいで推移した。耕地についてみると、田は 1955 年～1966 年の 2 時期にしか見られず、面積も 1 ha 程度であった。一方、畑は 1955 年には最大で 7.6 ha あったがその後は減少し、1986 年に 4.5 ha、1977 年に 0.2 ha、1983 年に 0.5 ha となったのち消滅したが、2016 年には 0.1 ha を示した。裸地・草地と低木は、1955 年時点で併せて 26.4 ha 見

られた。これで全体の約 4 分の 1 を占め、畑よりも多かった。1966 年でも 23.0 ha 見られたが、1977 年に急激に減少し、その後も減少傾向を示した。面積推移だけで見ると、7 割弱を占める広葉樹林の面積には大きな変動はなく、田畑は 1955 年～1966 年にしか見られなかった。裸地・草地や低木は 1955 年をピークにその後は減少していき、それと入れ替わるように 1955 年にはほとんど見られなかった針葉樹林が増加していった。

2. 土地被覆の変遷 図-3 に約 60 年間の土地被覆の変遷を示す。1955 年～1960 年にかけて見られた田は、調査エリア中心部に位置する比較的傾斜の緩やかな谷戸底部に分布していた。その一方で、畑の多くは谷戸を取りまく山地斜面に分布していた。田畑の周辺には広葉樹林とその伐採跡地と考えられる裸地・草地と低木が多く分布していた。聞き取り調査結果から、①1960 年代には田畑をほぼ同時にやめたこと、②畑には、段々畑として火入れをせずに恒常的に山地斜面を耕地として利用していたものと、森林を伐採して火入れをし、1 年ほど蕎麦を栽培した後に植林したものとがあることがわかった。図-1, 2 より、1955 年～1966 年まで見られた田畑は 1977 年にはほぼ消滅しており、1977 年以降の田畑の跡地に分布する裸地・草地と低木は、耕作放棄地と考えられた。これらの耕作放棄地は、1980 年代までは低木が被覆している状態であったが、その後広葉樹林に推移した。また、1955 年は畑であったが 1966 年には広葉樹林または針葉樹林となったものは、木庭作地として利用した後に、植栽した結果によるものと考えられた。一方で、調査地エリアの中心部に見られる 1955 年から 1966 年にかけて残存している畑は、火入れをしない段々畑として利用していた耕地と考えられた。それ以外で、1955 年～1966 年に裸地・草地や低木であった場所は、広葉樹林や針葉樹林になっていた。広葉樹林となった場所は、シイタケ原木栽培等の広葉樹二次林として管理していた場所と考えられた。人工林について見ると、1955 年～1966 年にかけて木庭作跡地に造林したもの以外は、拡大造林政策の影響で積極的に広葉樹林から針葉樹林に転換したり、伐採して裸地・草地や低木の状態であった場所に造林したのと考えられた。

IV おわりに

木庭作に着目し、土地被覆の変遷を調べた結果、1955～1966 年頃は、谷戸底部では田、谷戸周辺の山地斜面は火入れをしない段々畑と焼畑農業である木庭作とが行われていたことが明らかとなった。田畑の周辺は広葉樹林とその伐採跡地と考えられる裸地・草地と低木が多く分布しており、谷戸を中心としたエリアは、草原環境、農耕地、広葉樹林が複雑に入り組んだ空間構造であった。空間分布の変化では、1960 年頃までは木庭作＝森林あるいは伐採跡地＝広葉樹林といった変化が多く見られ、循環的な里山利用が行われていたと推察された。しかし、その後は針葉樹林への積極的な転換や耕作放棄化が見られた。耕作放棄地化した後は、草本や低木から広葉樹林に自然に推移したことが明らかとなった。

謝辞: 本研究の一部は科学研究費 21K12412「地域固有の生物に着目した教育から森林環境教育の展開へ」の助成を受けた。また、聞き取り調査では、NPO 法人ツシマヤマネコを守る会会長の山村辰美氏に多大なるご協力をいただいた。ここに深くお礼申し上げます。

引用文献

- (1) 阿久沢正夫 (2003) 日本産ヤマネコの保護と自然環境. 鹿兒島大學農學部學術報告 53: 43-49
- (2) 川口幹子・荒木静也 (2016) 対馬ユネスコパークの誕生を目指して: 信仰と暮らしによって育まれた「里島」の保全と活用. 日本生態学会誌 66: 147-154
- (3) 環境省 Web サイト
(URL:<https://www.env.go.jp/nature/kisho/hogozoushoku/tsushimayamaneko.html>) (2022 年 10 月 15 日参照)
- (4) 長崎県対馬市 (2022) 対馬市森林整備計画書
- (5) 長崎県対馬市市民課 Web サイト「令和 5 年 1 月末現在人口世帯数」
(URL:<chrome-extension://efaidnbmnmnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.city.tsushima.nagasaki.jp/material/files/group/70/20230131zinkousetaisu.pdf>) (2022 年 10 月 15 日参照)
- (6) 長崎県対馬市地域づくり課 Web サイト
(URL: <https://www.city.tsushima.nagasaki.jp/jiyu/shoukai/2425.html>) (2022 年 10 月 15 日参照)
- (7) 長崎県対馬市総務課 Web サイト
(URL:<https://www.city.tsushima.nagasaki.jp/gyousei/soshiki/soumu/somuka/gaiyo/853.html>) (2022 年 10 月 15 日参照)
- (8) 大神郁朗 (2011) ツシマヤマネコの保全. 日本野生動物医学会誌 16: 33-37
- (9) 重原奈津子・深町加津枝・柴田昌三 (2019) 長崎県対馬市志多留地区における 1950 年代以降の土地被覆変化. ランドスケープ研究 82: 623-626
- (10) 杉浦克明・關 正貴 (2022) 対馬の伝統的焼畑農法の体験学習参加者の森林・林業への意識に見る森林環境教育の可能性. 関東森林学会 73: 21-24
- (11) ツシマヤマネコ木庭作利用実行委員会 Web サイト
(URL:<https://kobasaku.com/aboutkobasaku/>) (2022 年 10 月 15 日参照)
- (12) 打越綾子 (2008) 対馬が対馬であるために: ツシマヤマネコと構成する地域社会づくり. ワイルドライフ・フォーラム 13(2): 34-38

林業普及指導員の資格試験から見る森林科学分野に求められている知識

水井英茉¹・杉浦克明²

¹ 日本大学大学院生物資源科学研究科・² 日本大学生物資源科学部

要旨：森林・林業関係の都道府県職員が取得可能な資格に林業普及指導員の資格がある。本研究の目的は、林業普及指導員の過去の試験問題の内容を分析し、森林科学分野に求められている知識を考察することである。研究対象の試験は林業普及指導員資格試験の林業一般区分と地域総合監理区分の筆記試験とし、試験内容の分類には森林・林業実務必携（第2版）を使用した。その結果、林業一般区分では、実務必携の目次に掲載されている26章のほぼ全ての項目から問題が出題されていたが、林業一般区分を合格している必要がある地域森林総合監理区分では、フォレスタ制度、提案型集約化施業といった特定の分野に関する問題が多く出題されていた。このことから、林業普及指導員の資格試験には、林産分野を含む森林科学の知識が広範囲に求められると考えられた。

キーワード：資格、大学教育、専門教育、森林科学、林業普及指導員

Knowledge required in the field of forest science from the qualifying examinations for forestry extension supervisors

Ema MIZUI¹, Katsuaki SUGIURA²

¹Graduate School of Bioresource Sciences, Nihon University; ²College of Bioresource Sciences, Nihon University

Abstract: One of the qualifications available to prefectural officials in forestry and forestry is that of forestry extension supervisors. The purpose of this study is to analyze the content of past examinations for forestry extension supervisors and to examine the knowledge required in the field of forest science. The examinations studied were the written examinations for the general forestry category and the regional forestry supervision category of the forestry extension advisor qualifying examination, and “Essentials of forest and forestry practice (second edition)” was used to classify the contents of the examinations. As a result, in the general forestry category, questions were asked from almost all of the 26 chapters listed in the table of contents of the practical guide, but in the regional forestry supervision category, which requires passing the general forestry category, many questions were related to specific fields such as the forester system and proposed intensive forestry operations. This suggests that the qualifying examination for forestry extension supervisors requires extensive knowledge of forest science, including the forestry field.

Keywords: qualification, university education, professional education, forest science, forestry extension supervisor

I はじめに

森林・林業に関する資格には、技術士（森林部門）や樹木医、森林インストラクターなど様々な資格がある。その中でも、林業普及指導員の資格は、森林・林業に関連した業務に携わっている都道府県職員が取得可能な資格である。

森林法第187条によると、林業普及指導員とは、林業普及指導事業の推進に当たり、森林所有者等に対して、森林・林業に関する技術及び知識の普及や森林施業に関する指導、調査研究を行う都道府県職員のことである。1958年に林業専門技術員と林業改良指導員の資格が法制化され(6)、2004年の森林法改正により、林業専門技術

員と林業改良指導員の2つの資格が一元化されて林業普及指導員となった(4)。

林業普及指導員の資格試験は2013年度以降、林業一般区分と地域森林総合監理区分の2つの試験区分に分けられている。林業一般区分では、学歴に応じて最低2年以上の実務経験があることが受験資格となっている。なお、林業一般区分の試験は、都道府県職員が林業普及指導員の資格を得るための試験であるため、都道府県職員以外も試験を受けることができるが、合格しても林業普及指導員にはなれない(5)。地域森林総合監理区分については、林業一般区分の試験に合格した上で受験する試験である。受験資格については、国、地方公共団体、森林

組合等で林業に関する技術についての普及や指導，ないしは森林の整備及び保全の監理等の実務経験が学歴に応じて最低5年以上あることが必要である。また，地域森林総合監理区分の試験は，都道府県職員でなくても試験に合格すればフォレスターの資格を得ることができる(5)。

林業普及指導員資格試験は，一定の資質以上を有する者であることを担保するために実施することを目的としている(4)。そのため，林業普及指導員には，高度な専門技術に関する知識や現場における課題解決能力等のより幅広い知識・技術が求められているが(4)，具体的な内容は整理されていない。これを明らかにすることで，専門的に職務を行う人材に求められている森林科学の知識の一端が見える可能性がある。

また，森林・林業の技術者が必要とされる局面は広がっているが，日本では資格，職業，教育の関係があまりないことが指摘されている(7)。そのため，資格に合わせた教育内容の検討の必要性も示されている(9)。

そこで，本研究の目的は，森林科学の教育内容を考える前段階として，林業普及指導員の過去の試験問題の内容の分析を行うことで，森林科学に求められている知識を明らかにすることである。

II 方法

対象とした林業普及指導員資格試験の過去の試験問題は，林業一般区分と地域森林総合監理区分の筆記試験である。林業一般区分は2012年度から2021年度までの10年間分とした。また，地域森林総合監理区分は2013年度からの実施であるため，2013年度から2021年度までの9年間分を研究の対象とした。過去の試験問題については林野庁のホームページ上から入手した。

林業一般区分の試験は一般基礎と，専門試験（森林経営，施業技術，林産の3分野から1分野を選択回答）がある。本来の専門試験は3分野から1分野を選択して解答するが，本研究では試験全体の出題傾向を知るため，3分野の全ての問題を研究の対象とした。

地域森林総合監理区分では，適性と課題解決能力を見る総合専門試験で構成されており，どちらも研究の対象とした。

試験の分析には，「森林・林業実務必携第2版」(8)（以下，実務必携）を使用した。実務必携はもともと林業技術者及び林学学習者を対象に長きにわたり出版しており，森林・林業を取り巻く技術や知識に対応していること(8)，林業を取り巻く学問・技術の要点を網羅していること(1)から，本研究では実務必携を分析の基準とした。なお，

実務必携は26章で構成されている（表-1）。

分類は問題文中のキーワードと実務必携の索引を照合して分類した。問題によっては，一つの問題の中で実務必携の複数の項目に関する内容が出題されている問題もあり，その場合は，実務必携に該当する項目全てに振り分けた。そのため，実際の問題数と分類した問題数との合計が異なっている場合がある。この手法は水井・杉浦(2)および水井ら(3)と同様である。

なお，本研究の結果では，出題数の多い実務必携の上位3項目を取り上げた。

表-1. 実務必携（第2版）の目次

Table 1 Contents of “Essentials of forest and forestry practice (second edition)”

章 項目	章 項目
1 森林生態	14 林業機械
2 森林土壌	15 林産業と木材流通
3 材木育種	16 森林経営
4 育林	17 森林法律
5 特用林産	18 森林政策
6 森林保護	19 森林風致，環境影響評価と自然再生，環境緑化
7 野生生物の保全と管理	20 造園
8 森林水文	21 木材の性質
9 山地防災と流域保全	22 木材加工
10 測量	23 木材の改質と塗装・接着
11 森林計測	24 木材資源材料
12 生産システム	25 木材の保存
13 基盤整備	26 木材の科学的利用

III 結果

林業普及指導員資格試験の過去の試験問題を整理した結果を図-1に示す。図-1では，区分ごとの総出題数に対する各項目の割合で傾向を示している。

林業一般区分では，全体を通して実務必携の26項目中22項目という，ほぼ全ての項目から問題が出題されていた。出題されていなかった実務必携の項目は，「11章 森林計測」，「19章 森林風致，環境影響評価と自然再生，環境緑化」，「20章 造園」，「23章 木材の改質と塗装・接着」の4項目である。問題が多く出題されていた項目は，多い順に「6章 森林保護」，「17章 森林法律」，「5章 特用林産」であった。

地域森林総合監理区分では，問題が出題されている項目に偏りがあった。出題内容もフォレスターや提案型集約化施業，市町村森林整備計画などに関する内容が多かった。そのため，フォレスターや提案型集約化施業に関わる「18章 森林政策」や市町村森林整備計画に関する「17章 森林法律」の項目からの問題が特に多く出題されていた。続いて多かったのは「12章 生産システム」で，労働安全に関する問題が出題されていた。

次に，各試験について詳しく見ていくと，林業一般区

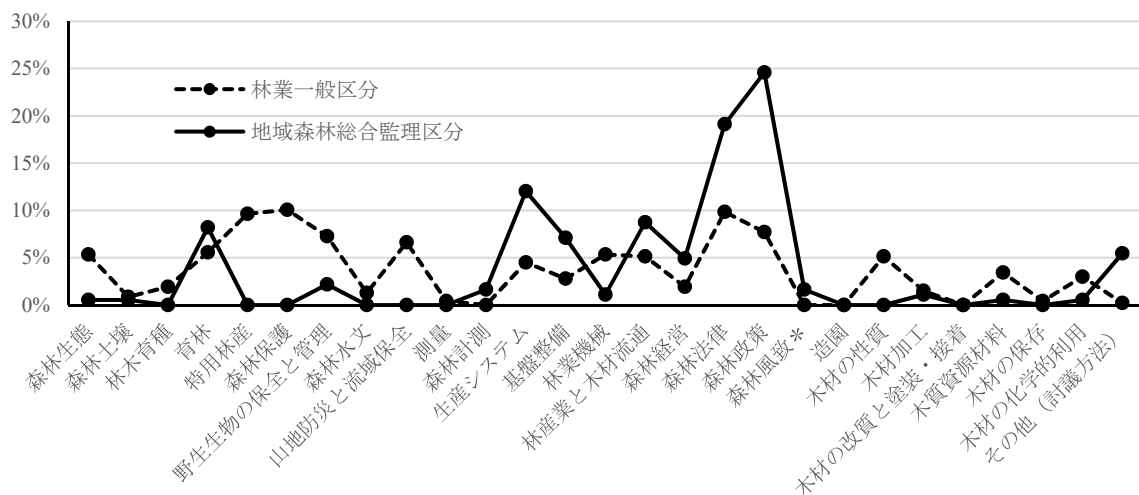


図-1. 林業普及指導員資格試験（林業一般区分，地域森林総合監理区分）の出題傾向

Fig. 1 Trend of forestry extension supervisors qualifying examination (Forestry general category, regional forestry supervision category)

注）＊正式名称：森林風致，環境影響評価と自然再生，環境緑化

分の一般基礎では，実務必携の 10 項目以上から毎年問題が出題されていた（表-2）。その中でも特に多く出題されていたのは「17 章 森林法律」で，林業普及運営方針や林業普及指導推進要綱などの問題が主に問題が出題されていた。次いで「18 章 森林政策」や「1 章 森林生態」の項目に関する問題が多く出題されていたが，他の項目も毎年出題されているものが多かった。

林業一般区分の専門試験について見ると，3 つの分野

のうち森林経営分野の問題では「9 章 山地防災と流域保全」や「18 章 森林政策」，「17 章 森林法律」などの項目が多く出題されていた。出題内容としては，治山事業，森林環境税，森林経営計画などであった。施業施術分野の問題では，樹木の病害に関する「6 章 森林保護」，野生鳥獣被害に関する「7 章 野生鳥獣管理」，「14 章 林業機械」の順に多く出題されていた。林産分野の問題では，特に「5 章 特用林産」の項目から問題が多く出題されて

表-2. 林業一般区分（一般基礎）の出題傾向

Table 2 Trend of forestry general category (General basic)

実務必携	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	全体
1 森林生態	1	1	3	2		3		1	1	1	13
2 森林土壌									1		1
3 林木育種		1									1
4 育林		1			1	1				2	5
5 特用林産	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10
6 森林保護	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10
7 野生鳥獣管理	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	11
8 森林水文						1	1				2
9 山地防災と流域保全	1	1	1		1				1		5
10 測量					1						1
12 生産システム				1	1		1				3
13 基盤整備	1		1					1	1	1	5
14 林業機械	1	1		1		1	1				5
15 林産業と木材流通	1	1								2	4
16 森林経理・森林評価	1							1			2
17 森林法律	3	3	2		3	4	4	3	3	3	28
18 森林政策		1	2	1	1	1	3	3	2	2	16
21 木材の性質	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10
22 木材加工		1	1	1	1						4
24 木質資源材料	1	1	1	1	1		1	1	1		8
25 木材の保存				1							1
その他（討議方法）						1					1
合計	14	16	15	13	14	16	15	14	14	15	146

注）問題が出題されていない項目は表から削除した

いた。また、林産分野では、木材の水分量や密度などに関する「21 章 木材の性質」、木材のバイオマス利用などに関する「26 章 木材の科学的利用」などの木材全般に関する問題も多く出題されていた。以上のように、林業一般区分の専門試験では、3 分野とも各分野に関係のある内容の問題が多く出題されていた。

地域森林総合監理区分の適正では、毎年「18 章 森林政策」、「12 章 生産システム」、「その他（討議方法）」のみの出題であり、これらの3 項目は全てフォレスターに関係する制度や労働安全、討議方法が問われていた。課題解決では、「17 章 森林法律」、「18 章 森林政策」、「15 章 林産業と木材流通」の順に多く出題されていた。主な出題内容は、「17 章 森林法律」では市町村森林整備計画について、「18 章 森林政策」では森林経営制度や提案型集約化施業についてであった。

IV 考察

林業一般区分の試験問題は実務必携のほぼ全ての項目から問題が出題されていたことから、森林・林業全般にわたる知識が求められていると考えられる。林業普及指導員は、森林所有者や林業従事者、市町村を対象に普及指導を行うためにも「幅広い知識」が必要(4)ということが試験問題の内容に反映されているものといえる。その一方で、実務必携の「11 章 森林計測」、「19 章 森林風致、環境影響評価と自然再生、環境緑化」、「20 章 造園」、「23 章 木材の改質と塗装・接着」の4 項目は出題されていなかった。その理由としては、林業普及指導員という資格の性質上、前述した4 項目については普及業務に比較的關係性が薄いことが影響していると考えられた。しかし、「11 章 森林計測」については、林業一般区分での出題はなかったが、地域森林総合監理区分では問題が出題されていたように、これらの4 項目も知識としては必要であると考えられる。

各試験の詳細な結果を見ると、林業一般区分の一般基礎では、実務必携の広範囲から問題が出題されていたことから、森林・林業に関する全般的な知識が求められていると考えられた。林業一般区分の専門試験では、実務必携の項目による分類に偏りがあることから、各分野に特化した内容の知識が求められると考えられた。

地域森林総合監理区分では、フォレスターを認定する試験である。そのため、適正においても課題解決においても、フォレスターや提案型集約化施業等に関する「18 章 森林政策」から問題が多く出題されていたことから、特にフォレスターとして活動するために必要な知識が求められていると考えられた。しかし、フォレスターにな

るためには、林業一般区分を合格している必要がある。そのため、地域森林総合監理区分においても、林業一般区分と同様に森林・林業全般にわたる知識が必要だといえるだろう。

以上のことから、林業普及指導員の資格試験には、林産分野を含む森林科学の知識が広範囲にわたって求められていることが明らかとなった。したがって、林業普及指導員を始めとした森林・林業に関する技術者を養成するためには、森林科学全般を学べる教育が必要と考えられた。

今後の課題としては、林業普及指導員資格試験の試験と実際の実務で求められる知識の差異などを明らかにし、専門教育を行う上で必要な知識を検討する必要がある。

謝辞 本研究の一部は科学研究費 20H03035 の助成を受けた。ここにお礼申し上げる。

引用文献

- (1) 東原貴志・宮尾鮎丸・荒木祐二 (2020) 高等学校学習指導要領における森林・林業に係る教育内容の分析. 日林誌 102: 58-68
- (2) 水井英菜・杉浦克明 (2022) 森林環境教育指導者としての森林インストラクターに求められる知識. 関東森林研究 73: 2-28
- (3) 水井英菜・杉浦克明・井上真理子 (2022) 技術士（森林部門）からみる高度専門資格に求められている森林科学の内容. 日林誌 104: 262-273
- (4) 林野庁 (2004) 林業普及指導事業の資格試験制度等に関する検討報告書.
<https://www.rinya.maff.go.jp/puresu/h16-4gatu/0428b2.pdf>
(2022 年 9 月 21 日参照)
- (5) 林野庁 (2022) 受験案内.
https://www.rinya.maff.go.jp/j/ken_sidou/fukyu/annai.html
(2022 年 10 月 25 日参照)
- (6) 林野庁研究普及課 (2002) 林業普及指導事業について. <https://www.rinya.maff.go.jp/seisaku/shiryu2.pdf> (2022 年 9 月 27 日参照)
- (7) 田村典江・奥山洋一郎 (2020) 日本森林学会大会シンポジウム 現代の林業専門教育はどうあるべきか—森林科学・技術と社会を再考する—. 林業経済 72 (10): 16-27
- (8) 東京農工大学農学部 森林・林業実務必携編集委員会 (2021) 森林・林業実務必携第2 版. 朝倉書店
- (9) 山本信次 (2019) 林業経済学会 2018 年春季大会シンポジウム 転換期の日本林業における人材育成の現状と課題 討論要旨. 林業経済 71 (10): 2-23

植栽後 20 年以上経過したマレーシアのフタバガキ科樹木の成長特性

田中憲蔵¹・大谷達也²・星野大介²・Zamah Shari NUR HAJAR³¹国際農林水産業研究センター・²森林総合研究所・³マレーシア森林研究所

要旨：東南アジア熱帯雨林は過度な伐採による森林劣化が進み生産力が低下しているため、有用樹種の植栽による資源回復が急務である。フタバガキ科樹木は木材資源として重要で植栽試験が各地で行われてきたが、植栽後数年間のモニタリング例が多く、20 年以上経過した植栽木の成長や生存については不明な点が多い。本研究では、樹種特性を明らかにするためフタバガキ科樹木 2 種 (*Neobalanocarpus heimii* と *Shorea leprosula*) の成長や生存を 22 年間モニタリングした。調査はマレーシアペラ州チクスの森林保護区で行った。この森林保護区内の成熟したアカシア人工林を列状伐採し、対象樹種のポット苗を植栽した。植栽 22 年後の両種の成長は種間で異なり、*S. leprosula* の成長速度が速かった。一方、生存率は *S. leprosula* に比べ *N. heimii* で高かった。これらから、種間で成長と生存のトレードオフの存在が示唆された。

キーワード：アカシア、サラノキ、チェンガル、熱帯林、フタバガキ

Growth characteristics of Malaysian dipterocarp trees more than 20 years after planting

Tanaka KENZO¹, Tatsuya OHTANI², Daisuke HOSHINO², Zamah Shari NUR HAJAR³

¹ Japan International Research Centre for Agricultural Sciences; ² Forestry and Forest Products Research Institute; ³ Forest Research Institute Malaysia

Abstract: Tropical rainforests of South-East Asia are suffering from degradation and declining productivity due to excessive logging, and there is an urgent need to restore timber resources through the planting of useful tree species. Dipterocarp trees are important as a timber resource and planting trials have been conducted in many areas, but there are many cases of monitoring during the first few years after planting, and the growth and survival of trees planted more than 20 years after planting is still unknown. To understand interspecific differences on growth and survival, we monitored growth and survival of two dipterocarp tree species (*Neobalanocarpus heimii* and *Shorea leprosula*) for 22-years. The study was conducted in a forest reserve in Chikus, Perak, Malaysia. Mature acacia plantations in this forest reserve were line-cutting and planted with potted dipterocarp seedlings. Diameter and height growth in *S. leprosula* was faster than those of *N. heimii*. On the other hand, survival was higher in *N. heimii* than in *S. leprosula*. These suggest the existence of growth and survival trade-off between dipterocarp species.

Keywords: Acacia, chengal, Dipterocarpaceae, *Shorea*, tropical forest

I はじめに

東南アジアの熱帯雨林は過度な伐採など人間活動による森林劣化が進み、炭素蓄積機能や木材の生産力が低下している(2)。熱帯雨林の機能や木材資源を回復させるために有用樹種の植栽が行われている(1, 5, 7)。特に、東南アジアの熱帯林では林冠層にフタバガキ科の樹木が優占する(2, 4)。フタバガキ科樹木は生態的にも木材資源としても重要で、植栽樹種として注目されてきた(4)。フタバガキ科樹木を劣化した森林へ植栽する試みは各地で行われてきたが、植栽後数年間のモニタリング例が大部分を占め、20 年以上経過した植栽木の成長や生存については

不明な点が多い(1, 4, 8, 10)。フタバガキ科樹木は種の多様性が高く、東南アジアだけでも 470 樹種ほどが確認されており(2)、樹種による植栽適地、成長速度、材密度、光合成速度など生態的な特性のバリエーションが大きい(4, 5, 15)。植栽を成功させるには樹種ごとの特性を把握する必要がある。また、森林機能や木材資源の回復を予測するためには植栽後 10 年以上の長期的な成長や生存についての知見が不可欠である。

フタバガキ科に属する *Neobalanocarpus heimii* と *Shorea leprosula* は、半島マレーシアにおいて木材資源として利用されている。*N. heimii* は現地名ではチェンガル

と呼ばれ、高級材として家具や住宅内装材などに利用され、直径 1 m、樹高 40 m に達する(1, 15)。材価が高いため、過度な伐採が原因で資源量が非常に低下している。この樹種はフタバガキ科樹木では珍しく種子の羽根が退化している(図-1)。一方 *S. leprosula* はメランティ・テンバガと呼ばれ、半島マレーシアでは個体密度が高く、もっとも普通にみられるフタバガキ科樹木である。直径 2 m、樹高 60 m に達し、主に合板材として利用されている。種子にはこの科の特徴である種子翼が発達し、風に乗って散布される(図-1)。これら 2 種は生態的な特性や分布が異なり、*N. heimii* は材密度が高く半島マレーシアのみに分布するが、*S. leprosula* は材密度が低くマレー半島からスマトラ島、ボルネオ島などの低地から丘陵フタバガキ林に広域分布する(1, 15)。このように 2 種は異なる特徴を持つことから、成長や生存特性にも差がある可能性がある。本研究では、フタバガキ科樹木の樹種特性を明らかにするために、これら 2 種の成長や生存特性を植栽後 22 年間のモニタリングから明らかにすることを目的とした。



図-1. *N. heimii* の葉と種子(上)と *S. leprosula* の葉と種子(下)

Fig. 1 Leaf and seed of *N. heimii* (above) and *S. leprosula* (below)

II 材料と方法

1. 調査地と樹種 調査は半島マレーシアのペラ州にあるチクス森林保護区で行った。チクス森林保護区では外来の早生樹種である *Acacia mangium* を植栽していたが、アカシアのナースツリー効果を期待して在来種のフタバガキ科樹木などを樹下植栽する試験が行われた(3, 12)。この試験では、アカシア林を列状に伐採しその下にフタバガキなどのポット苗の植栽を行った。また、伐採幅についてはアカシアを 1 列伐採した区と 2 列伐採した区を用いた。1 列伐採区ではアカシア間隔は 7.4 m、2 列の場合は 11.1 m で、両区とも植栽当初は樹冠閉鎖していなかった(図-2, 3)。本研究では、この試験地の中から *N. heimii* と *S. leprosula* の植栽区を選び成長特性を比較した。

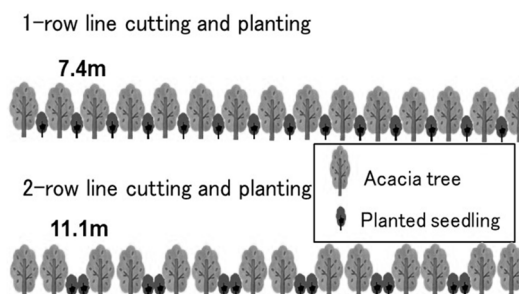


図-2. アカシア列状間伐下へのフタバガキ苗植栽

Fig. 2 Planting of dipterocarp seedling under line-cutting of Acacia

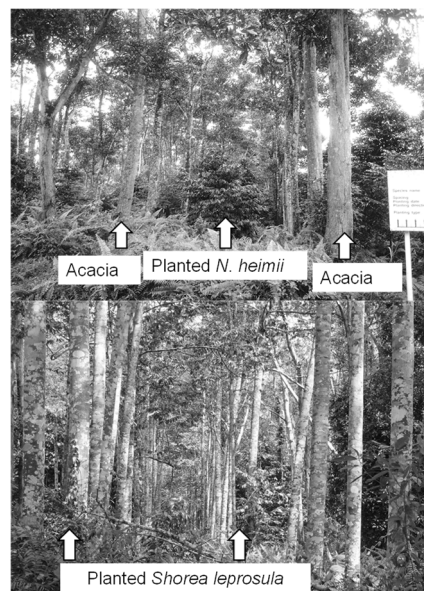


図-3. 1 列区の *N. heimii* の植栽 10 年後(上)と 2 列区の *S. leprosula* の植栽約 20 年後(下)の様子

Fig. 3 Planted *N. heimii* under 1-row line-cutting after 10 years (above) and *S. leprosula* under 2-row line-cutting after 20 years (below)

2. 調査内容 植栽は1992年から行われ、植栽後8ヵ月～3年後までは、ほぼ半年ごとに植栽した木の樹高と直径、生存率を測定した。同様の測定を、植栽4年～10年後までは1から2年ごとに行なった。また、植栽17年と22年後にも再測定を行った。ただし、植栽17年後は1/3の個体のみ樹高を測定し、22年後には樹高の測定は行わなかった。

III 結果と考察

S. leprosula の直径と樹高は植栽幅に関係なく *N. heimii* より大きく、成長速度が速い特徴があった(図-4)。2種類の成長の差は、植栽初期から存在していた。*S. leprosula* は植栽22年後(約260ヵ月後)には直径が25 cmに達していたが、*N. heimii* では2列幅で14 cm、1列幅でも16 cmにとどまっていた。*N. heimii* については1列幅の方が若干直径成長が大きかったが、*S. leprosula* ではほとんど違いがなかった。

樹高も *S. leprosula* は植栽17年後(約200ヵ月後)には24 mに達していたが *N. heimii* では8～9.5 mにとどまっていた。*N. heimii* については1列幅の方が若干樹高成長が大きかったが、*S. leprosula* ではほとんど違いがなかった。*S. leprosula* の高い成長速度は、この樹種が *N. heimii* に比べて葉の光合成速度が高く、木部の材密度も半分程度と軽いことが原因になっていると考えられた(11, 14)。また、植栽した光環境も両種の成長に影響した可能性が考えられた。例えば、*N. heimii* は様々なギャップサイズに植栽した研究では小ギャップの方が成長がよく、耐陰性が高い樹種であると考えられている。しかし、強光環境下では葉が光阻害を受けやすく光合成能力が低下し、成長や生存率が低くなることが報告されている(6, 7, 12)。そのため、より暗い伐採幅が1列の植栽環境の方が葉の光合成に適していたため、直径や樹高成長が2列幅に比べ若干良くなった可能性がある。

一方、*S. leprosula* は明るい環境での光合成能力が高く、強光阻害にも耐性があることから(11, 16)、伐採幅が広くなっても成長に影響がなかった可能性が考えられた。

植栽後17年の形状比(H/D)は *S. leprosula* の方が *N. heimii* よりも高かった(図-5)。植栽直後はH/D比が上下し明確な傾向はなかったが、6年後以降は *S. leprosula* の方が *N. heimii* のより高い値であり、*S. leprosula* の方が直径より樹高成長に投資していると考えられた。一般的に、耐陰性が低い樹種では光を求めて樹高成長に炭素資源を投資する傾向があり(9, 16)、*S. leprosula* の特性と矛盾しない結果であると考えられた。

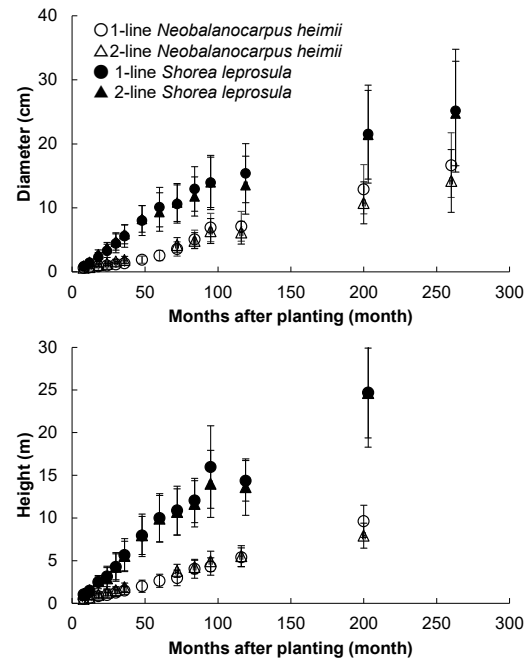


図-4. 2種の植栽後の直径(上)と樹高成長(下)
Fig. 4 Diameter (above) and height (below) growth of two species after planting

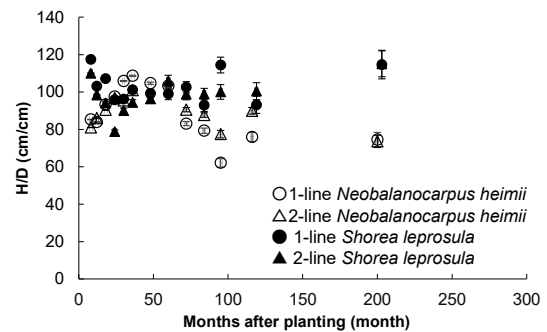


図-5. 2種の植栽後の形状比(H/D)
Fig. 5 Diameter to height ratio (H/D) of two species after planting

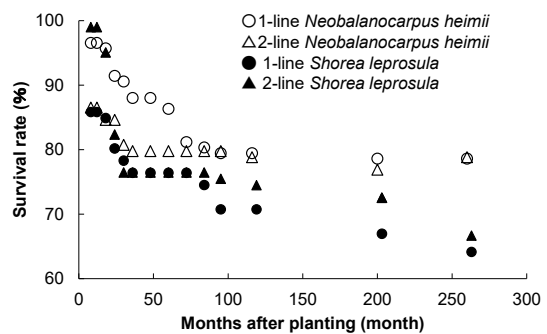


図-6. 2種の植栽後の生存率
Fig. 6 Survival rate of two species after planting

植栽 22 年後の生存率をカイ二乗検定で検討したところ有意差がみられ *S. leprosula* の方が *N. heimii* よりも低かった ($\chi^2 = 10.5$, $d.f. = 3$, $P < 0.05$, 図-6)。生存率は 2 種ともに植栽 3 年~4 年後までは比較的大きく低下した。しかし、その後の変化は 2 種間で差がみられ、*N. heimii* は 22 年後までは変化がかなり小さかったが、*S. leprosula* は緩やかに低下した。このことから、今回の植栽環境では *N. heimii* は一度活着するとほとんど枯死しない特徴があると考えられた。一方、裸地や草原など劣化が進んだ環境にフタバガキ科樹木を植栽した試験では、植栽後数年以内の生存率が 50% 以下の場合が多く、樹種によっては全個体が枯死する例も報告されている(1, 4, 5)。今回の試験では生存率が 2 樹種とも 60 % を超えており、アカシアの被陰によるナースツリー効果があった可能性が考えられた(1, 4, 5)。

また、樹木では成長と生存の間にトレードオフの関係があることが知られており(5, 13)、*S. leprosula* と *N. heimii* の成長と生存の関係もこのトレードオフの関係にある可能性がある。実際、ボルネオ島の択伐林に植栽された 15 種のフタバガキ科樹木の間でも、成長の高い *Shorea argentifolia* の生存率は成長速度の遅い *Hopea sangal* などと比べ低く、成長と生存のトレードオフの関係があることが示されており(13)、今回の結果と矛盾しなかった。

以上をまとめると、植栽後 20 年以上のモニタリングの結果、*S. leprosula* は植栽 20 年程度で直径が 25 cm を超え、樹高も 20 m に達するなど高い成長速度を持つことが明らかになった。一方、*N. heimii* は *S. leprosula* の半分程度の成長しか見込めないと考えられた。しかし、両樹種とも植栽 22 年後でもマレーシアの天然林での伐採可能な最小サイズ(胸高直径 50 cm) に達しておらず、生存率も *S. leprosula* では植栽後 22 年後まで緩やかに低下したことから、これら 2 種のモニタリングを続けることで収穫量などの予測精度を上げることができると考えられた。

引用文献

- (1) Appanah S, Weinland G (1993) Planting quality timber trees in Peninsular Malaysia, FRIM, 221pp
- (2) Ashton P (2014). On the forests of tropical Asia. Lest the memory fade, Royal Botanic Gardens, Kew, 670pp
- (3) Emori K, Fujihira Y, Honma T, Nagai H (2002) Record of multi-storied forest management project in Malaysia (photographs and growth data). Forestry Department Peninsular Malaysia, Perak State Forestry Department, Japan International Cooperation Agency, Kuala Lumpur, 215pp
- (4) Ghazoul J (2016) Dipterocarp biology, ecology, and conservation. Oxford University Press, 307pp
- (5) Hattori D, Kenzo T, Kendawang JJ, Ninomiya I, Sakurai K (2013) Rehabilitation of degraded tropical rainforest using dipterocarp trees in Sarawak, Malaysia. International Journal of Forestry Research 2013. Article ID 683017
- (6) Kenzo T, Yoneda R, Matsumoto Y, Azani MA, Majid NM (2008) Leaf photosynthetic and growth responses on four tropical tree species to different light conditions in degraded tropical secondary forest, Peninsular Malaysia. Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ 42: 299–306.
- (7) Kenzo T, Yoneda R, Matsumoto Y, Azani AM, Majid MN (2011) Growth and photosynthetic response of four Malaysian indigenous tree species under different light conditions. Journal of Tropical Forest Science 23: 271–281
- (8) Kettle CJ (2010) Ecological considerations for using dipterocarps for restoration of lowland rainforest in Southeast Asia. Biodiversity and Conservation 19: 1137–1151
- (9) Kohyama T, Hotta M (1990) Significance of allometry in tropical saplings. Functional Ecology 4: 515–521.
- (10) Lamb D (2011) Regreening the bare hills: tropical forest restoration in the Asia-Pacific region, Springer. 547pp
- (11) 松本陽介 (2002) 熱帯樹種の葉の生理特性 (1) 光合成. 熱帯林業 53: 73–80
- (12) 大谷達也 (2011) 半島マレーシア低地における複層林造成技術の評価. 海外の森林と林業 82: 33–37
- (13) Philipson CD, Dent DH, O'Brien MJ, Chamagne J, Dzulkifli D, Nilus R, Philips S, Reynolds G, Saner P, Hector A (2014) A trait-based trade-off between growth and mortality: Evidence from 15 tropical tree species using size-specific relative growth rates. Ecology and Evolution 4: 3675–3688
- (14) Soerianegara I, Lemmens RHMA (1994) Plant Resources of South-East Asia 5. PROSEA, Bogor, 610pp
- (15) Symington CF, Ashton PS, Appanah S (2004) Foresters' manual of Dipterocarps. Forest Research Institute Malaysia, 519pp
- (16) Zipperlen SW, Press MC (1996) Photosynthesis in relation to growth and seedling ecology of two dipterocarp rain forest tree species. Journal of Ecology 84: 863–876

高齡スギ複層林における植栽木の形状比、樹冠長率および直径成長の変化

宮本和樹¹・米田令仁²・福本桂子²・櫃間 岳¹¹ 森林総合研究所・² 森林総合研究所四国支所

要旨：複層林における植栽木の成長経過を明らかにするため、上層木が 100 年生を超えるスギ高齡複層林を対象に 2009 年以降 12 年間の植栽木の形状比、樹冠長率と直径成長の変化を評価した。形状比は年数の経過とともに低下傾向にあり、上・中層木では中央値が 80 を下回る場合が多かったが、下層木では 100 を超え気象害が懸念された。樹冠長率はおおむね 40%以上を維持していたが、一部の中・下層木では 40%を下回るものもみられた。直径成長速度は年数の経過とともに上昇傾向がみられたが、下層木の成長速度は 0.25 cm/年程度と低い水準にとどまっていた。個体間競争が直径成長速度に及ぼす影響を調べたところ、一部で一方競争や双方競争の影響が示された。以上から、高齡複層林では下層木の密度管理も重要となることが推察された。

キーワード：複層林、間伐、形状比、樹冠長率、個体間競争

Changes in tree growth, slenderness and crown length ratio in old-aged multi-storied plantations of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*)Kazuki MIYAMOTO¹, Reiji YONEDA², Keiko FUKUMOTO², Gaku HITSUMA¹¹Forestry and Forest Products Research Institute; ²Shikoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute

Abstract: To clarify the growth process of planted trees in multi-story plantations, we evaluated changes in slenderness (height/diameter), crown length ratio, and diameter growth of planted trees in old-aged multi-story plantations of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) with upper trees exceeding 100 years old for 12 years since 2009. The slenderness tended to decrease with age, and although the median was below 80 in the upper- and middle-story trees in many cases, it exceeded 100 in the lower-story trees, raising concerns about weather damage. Crown length ratio generally remained above 40%, although some middle- and lower-story trees were below 40%. The diameter growth rate showed an increasing trend with age, but the rate of the lower-story trees remained low at about 0.25 cm/year. The effects of neighborhood competition on diameter growth rate were examined, showing one-sided or two-sided competition in some cases. These results suggest that tree density management of lower-story trees is an important practice in old-aged multi-storied plantations.

Keywords: Multi-storied plantations, Thinning, Slenderness (height/diameter), Crown length ratio, Neighborhood competition

I はじめに

複層林施業は林地を裸地化させることなく、下刈りの省力化にも資する非皆伐施業として注目され、造成が進められた時期がある (1, 5)。しかし、上層木からの被陰による下層木の成長抑制を緩和するため、光環境の管理が難しく集約的な施業が必要となることや上層木伐採時に下層木への損傷が避けられないこと、形状比の高い下層木は冠雪害などの気象害を受けやすいなどのデメリットが指摘されるようになった (7)。また、スギ・ヒノキの天然更新の場合、同種他個体の樹冠下ではほとんど更新がみられないことから、複層林施業の生態学的不合理性も指摘されている (3)。

過去に造成された複層林のなかには、現在、上層木が 100 年生を超えるものがみられる。このような高齡複層林では、下層木も 30 年生以上となり、単相林の従来伐期に近づいているものもみられるが、管理が追いつかず高密度のまま上層木の被陰下に置かれている場合も少なくない。このように長期にわたり上層木の被陰下に置かれている複層林の下層木について、その成長経過や形態的な特徴の変化をモニタリングしている研究は、一部の事例 (6)を除き十分に行われていない。

宮本ら (4)は愛媛県久万高原町の高齡スギ複層林を対象に、2000 年以降 16 年間の植栽木の成長経過を報告した。このなかで、上・中層木と比べ下層木は、直径成長

は低水準で形状比が著しく高いなど、被陰下で下層木の成長が抑制されている状況が示された。

本研究では、宮本ら (4) と同じ高齢スギ複層林を対象として、2009 年以降 12 年間の植栽木の成長経過を報告する。本研究は、2015～2016 年に上層木の一部について択伐が実施された前後の高齢スギ複層林において、植栽木の形状比、樹冠長率および直径成長の変化を明らかにすることを目的とした。

II 材料と方法

1. 調査地 本研究の調査地は、愛媛県上浮穴郡久万高原町の民有林内にあるスギ複層林試験地である。当初 7 つ設置された調査区のうち、現在まで継続調査が行われている KO1 (600 m²)、KO2 (900 m²)、KO4 (500 m²) の 3 つを調査対象とした (表-1)。KO1 と KO2 は大きく分けて上・中・下層木からなる三段林、KO4 は上・下層木からなる二段林である。各階層の樹齢は調査区によって違いがあるが、2021 年の樹齢は上層木で 117～142 年生、中層木で 54～57 年生、下層木で 35～54 年生である。本複層林の成立や管理についての詳細は既報 (4, 5) を参照されたい。

KO1 と KO2 は 2016 年に KO4 は 2015 年にそれぞれ調査区内の上層木が 1 個体ずつ択伐された (表-1)。その際、中・下層木についても上層木の伐採時の支障木や損傷を受けた個体が間伐された。

表-1. 調査区の林分概況

Table 1 Summary of study plots

		立木密度 (本/ha) Tree density 2009/2016(2015)/2021			林分材積 (m ³ /ha) Stand volume 2009/2016(2015)/2021		
KO1	上	67/	67/	50	676.5/	767.0/	651.7
	中	150/	150/	133	174.5/	258.3/	316.5
	下	1167/	667/	550	20.8/	21.9/	27.4
KO2	上	56/	56/	44	236.1/	290.9/	275.9
	中	417/	367/	317	159.4/	256.7/	292.5
	下	2567/	1033/	1017	98.7/	72.5/	97.8
KO4	上	60/	60/	40	187.7/	216.1/	182.2
	下	1417/	1317/	1250	234.9/	273.9/	336.8

KO4 の立木密度と林分材積の中央値は 2015 年測定値
Data in the middle of tree density and stand volume in KO4 were obtained in 2015

2. 調査項目 2010 年 2 月、2017 年 2 月 (KO4 は 2015 年 12 月) および 2021 年 12 月～2022 年 5 月の 3 つの時期にそれぞれ調査区内の植栽木についてスチールメジャーと測高器 (Vertex IV、Haglöf 社製) を用いて胸高直径 (D)、樹高 (H)、生枝下高 (Hb) を測定した。また、2022 年 5 月の調査では TruPulse 360°B (Laser Technology 社製) を用いて植栽木の立木位置を記録した。

3. 解析方法 本研究では、上記の測定時期に対応して

データを 2009 年、2016 年 (KO4 は 2015 年)、2021 年の生育期間終了時として扱い、植栽木の形状比 ($H/D \times 100$) と樹冠長率 ($[H-Hb]/H \times 100$) を比較した。また、胸高直径の成長速度 (年成長量) について、2009 年～2016 年 (KO4 は 2015 年) と 2016 年 (KO4 は 2015 年) ～2021 年の 2 つの期間で比較した。

形状比、樹冠長率および直径成長速度の経時変化は、個体をランダム効果、測定時期の違いを固定効果とする線形混合効果モデル (LMM) を用いて各調査区の階層別に評価した。LMM の結果に基づき Tukey の方法により、異なる測定時期間の多重比較を行った。

本研究ではまた、調査区内の上層木の択伐が行われた 2015～2016 年以降のデータを用いて、期首の個体サイズ (胸高直径) と個体間競争が直径成長速度に及ぼす影響を線形モデルで評価した。個体間競争の指標として、過去の事例 (2) を参考に、対象木周辺の他個体について胸高断面積合計を算出し、これを競争指数とした。予備解析の結果から対象木を中心とする半径 9 m 以内の範囲とした。競争指数は、一方向競争を想定し、対象木より直径が大きい個体のみを対象とした BA_L、双方向競争を想定し、すべての周辺他個体を対象とした BA_T の 2 つを用いた。

解析にはフリーソフト R version 4.2.1 の lm 関数、パッケージ lme4 の lmer 関数とパッケージ multcomp の glht 関数を用いた。

III 結果と考察

1. 形状比 上・中層木の形状比は調査年が進むにつれて低下傾向を示した。このうち KO1 の中層木と KO4 の上層木については、調査年間で有意差がみられた (図-1)。KO2 の中層木では中央値が 80 以上の高い値を示したが、そのほかでは中央値はいずれも 80 未満であった。下層木の形状比も低下傾向を示したが、いずれの年も中央値は 100 以上の高い値を維持しており、気象害が懸念される状態であった (図-2)。

2. 樹冠長率 上・中層木の樹冠長率は 2015～2016 年までは上昇傾向がみられたが、以降は頭打ちの傾向となった (図-3)。有意差は KO2 の中層木と KO4 の上層木でみられた。上・中層木ともおおむね 40% 以上の樹冠長率を維持していた。下層木では KO1 と KO4 において、2015～2016 年と 2021 年との間で有意に上昇していた (図-4)。特に KO4 では一旦低下した樹冠長率がやや回復した。また、KO1 と KO2 の下層木はおおむね 40% 以上の樹冠長率を維持していたが、KO4 では 40% を下回る個体も比較的多くみられた。

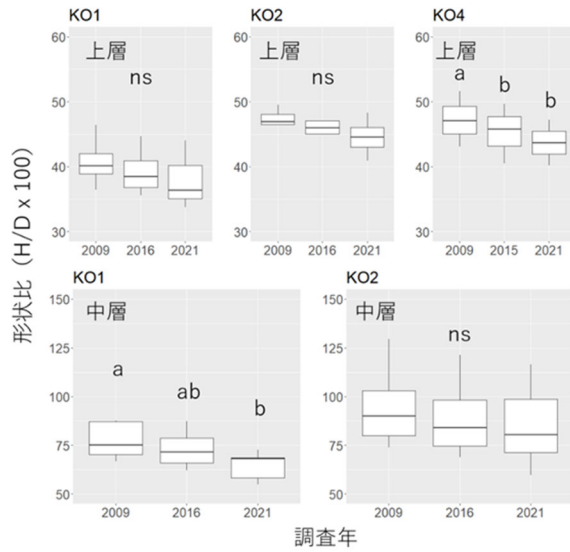


図-1. 上・中層木の形状比の経時変化

異なるアルファベットは、測定値に調査年の間で有意差があることを示す ($p < 0.05$). ns は有意差なし。以降の図もこれに従う。

Fig. 1 Changes in slenderness of upper- and middle-story trees
Different letters denote a significant difference in the measured values between years ($p < 0.05$). ns; not significant. Subsequent figures also follow this.

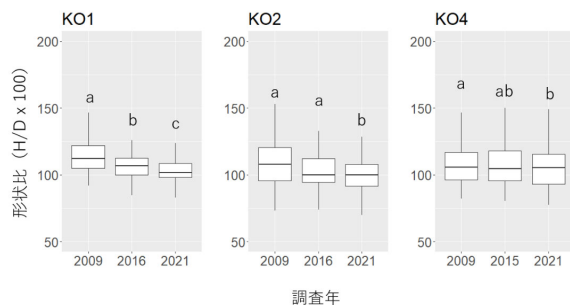


図-2. 下層木の形状比の経時変化

Fig. 2 Changes in slenderness of lower-story trees

3. 直径成長 上・中層木の直径成長速度は KO2 の中層木を除き、いずれも 0.5 cm/年 以上を示した (図-5)。しかし、2015~2016 年以降の期間で有意な上昇傾向を示したのは KO1 の上・中層木のみであった。下層木では、いずれの調査区も有意な直径成長速度の上昇がみられたものの、その中央値は 0.25 cm/年 程度と低かった (図-6)。

4. 個体間競争の影響 調査区内で間伐が実施された 2015~2016 年以降の中・下層木の直径成長速度に影響を及ぼす要因として、期首の胸高直径と個体間競争の影響を線形モデルで評価した結果を表-2 に示す。今回の結果では、空間的自己相関を考慮した無作為化検定などの解

析は未実施のため、個体間競争の効果は過大評価となっている可能性がある点に注意が必要である。BA_L は期首の胸高直径と相関が高く、統計モデル内では多重共線性の影響が生じることが考えられることから、BA_L 単独の効果を別途示した。

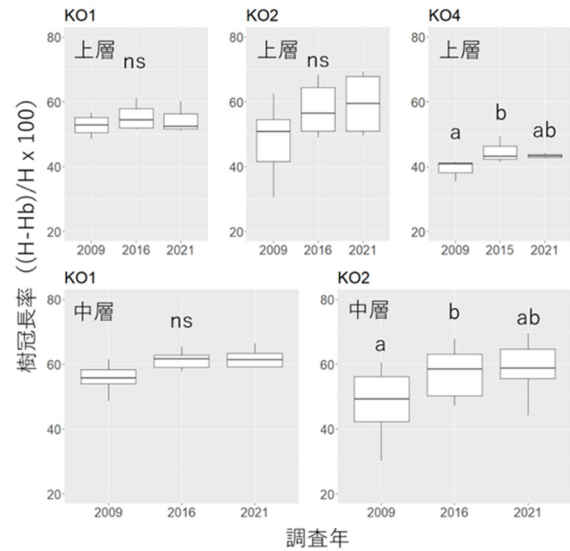


図-3. 上・中層木の樹冠長率の経時変化

Fig. 3 Changes in crown length ratio of upper- and middle-story trees



図-4. 下層木の樹冠長率の経時変化

Fig. 4 Changes in crown length ratio of lower-story trees

説明変数の効果としては、いずれの調査区も期首の胸高直径が有意な正の効果を示し、期首のサイズが大きい個体ほどその後の成長もよいことが示された。これに加え、KO1 では BA_L 単独の場合のみ有意な負の効果を示し、KO4 では BA_L と BA_T が有意な負の効果を示した。KO2 では有意な個体間競争の効果はみられなかった。KO1 と KO2 は三段林であるのに対し、KO4 は二段林であり、KO4 の下層木に対する被陰の影響は比較的抑えられていると考えられる。一方、KO4 の下層木の立木密度や林分材積は他の調査区よりも高いことから (表-1) (5)、KO4 で有意な個体間競争の効果、特に BA_T の効果は、下層木どうしの個体間競争によるものと推察される。

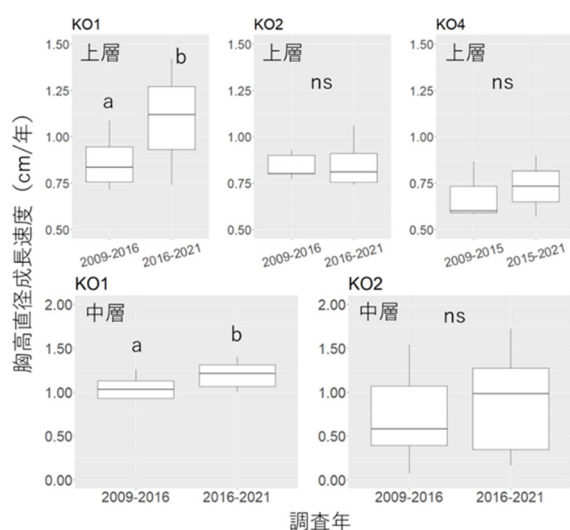


図-5. 上・中層木の直径成長速度の経時変化

Fig. 5 Changes in diameter growth rate of upper- and middle-story trees

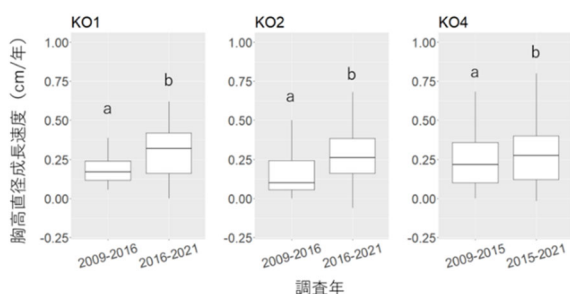


図-6. 下層木の直径成長速度の経時変化

Fig. 6 Changes in diameter growth rate of lower-story trees

表-2. 中・下層木の直径成長速度に対する期首直径サイズと個体間競争の影響

Table 2 Effects of initial diameter and neighborhood competition on diameter growth rate of middle- and lower-story trees

	線形モデル推定値		
モデルと変数	KO1	KO2	KO4
モデルと変数 ($Gd \sim D + BA_L$)			
期首胸高直径 (D)	0.0229 ***	0.0302 ***	0.0293 ***
一方向競争 (BA_L)	-0.0221 ns	-0.0479 ns	-0.129 *
モデルと変数 ($Gd \sim D + BA_T$)			
期首胸高直径 (D)	0.0231 ***	0.0305 ***	0.0336 ***
双方向競争 (BA_T)	-0.0170 ns	0.0188 ns	-0.134 *

Gd, 直径成長速度; *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$; ns, not significant

IV まとめ

本研究の高齢スギ複層林では、下層木の形状比の低下傾向がみられたものの、その値は100を超え、複層林下層木において冠雪害がみられた事例 (7) と同程度と高

い水準となっていた。樹冠長率についても中層木の一部や下層木では一般的に望ましいとされる40%を下回る個体もみられた。また、直径成長速度は上層木の択伐以降、改善傾向がみられたものの、依然として低い水準にとどまっていた。以上のことから、上層木の間伐以降も下層木の生育状況は大きく改善されたとはいえず、複層林における下層木の管理の難しさを示す結果となった。

個体間の競争の効果は主に KO4 で示されたが、KO4 では上層木による被陰に加え、下層木どうしの競争の影響が大きいことが推察された。このような状況は、管理が不十分なまま下層木が壮齢期を迎える他の高齢複層林でも同様に起こり得ると考えられる。こうした高齢複層林を維持管理するためには、上層木だけでなく下層木の密度管理も課題となる。下層木の間伐対象は損傷木や劣勢木が中心と考えられるが、形状比や樹冠長率の見解は下層木の状況を知る手がかりとして有用であろう。

謝辞：複層林の森林所有者である岡信一氏と、これまで

で現地調査に関わった森林総合研究所研究員諸氏に感謝申し上げる。本研究の一部は、農林水産研究推進事業委託プロジェクト研究「管理優先度の高い森林の抽出と管理技術の開発」の一環として実施された。

引用文献

- (1) 近藤道治・今井信 (2009) 複層林に関する研究の現状について. 森林学誌 24: 41-52
- (2) Masaki T, Mori S, Kajimoto T, Hitsuma G, Sawata S, Mori M, Osumi K, Sakurai S, Seki T (2006) Long-term growth analyses of Japanese cedar trees in a plantation: neighborhood competition and persistence of initial growth deviations. J For Res 11: 217-225
- (3) 正木隆 (2012) 森林生態学からみた複層林施業. 山林 1532: 6-13
- (4) 宮本和樹・大谷達也・酒井敦・酒井武・奥田史郎 (2020) 集約的に管理されたスギ高齢複層林における植栽木の成長の健全性評価. 森林総研研報 19: 45-53
- (5) 酒井敦 (2017) 久万複層林試験地に関する文献一覧. 森林総研四国支所年報 58: 26-29
- (6) 酒井武・倉本恵生・酒井敦・奥田史郎 (2003) 下木成長から見た上木の密度管理. 四国情報 30: 5-6
- (7) 杉田久志・高橋利彦・齋藤誠・濱道寿幸・藤田泰崇 (2014) スギ-スギ複層林で発生した下木の冠雪害被害に対する形状比および上木樹冠との位置関係の影響. 日林誌 96: 6-11

茨城県におけるスギ新植地の競合植生の下刈り停止後の成長

五十嵐哲也¹・倉本恵生¹・奥田史郎¹¹ 森林総合研究所

要旨：日本の人工林の約5割は主伐可能な時期を迎えているが、高い育林経費や労働力不足のために主伐-再造林が進まない状況にある。主伐と植栽による人工林の更新を確実に行うためには、造林-保育作業全般を省力化・低コスト化するための技術開発が重要であり、その一つに、下刈りの省力化がある。下刈り省略の可否を判断するための客観的な基準を精度良く提示するためには、下刈りを停止した場合の競合植生高の成長量を推定する必要がある。毎年下刈りを実施している2～5年生のスギ新植地25林分に2 m×2 mのコドラートを64個設置し、コドラート内を無下刈りで保存し、植生高の成長量を測定した。また、立地や植生タイプによる植生高成長量への影響についても合わせて推定した。草本優占林分の競合植生の平均高の成長量は、下刈り停止翌年の約23 cmから翌々年には約82 cmへと増加した。これは下刈りによって低レベルに抑えられていた地下貯蔵養分が下刈り停止によって回復したためと推察した。

キーワード：スギ植林、下刈り省略、競合植生、植生高、成長量

Growth of competing vegetation in newly planted Japanese cedar plantations after the cessation of weeding in Ibaraki prefecture, Japan

Tetsuya IGARASHI¹, Shigeo KURAMOTO¹, Shirou OKUDA¹¹Forestry and Forest Products Research Institute

Abstract: Approximately 50% of Japan's planted forests are ready for final cutting. However, reforestation is not progressing due to high costs and labor shortages. In order to ensure the renewal of planted forests, it is important to reduce the cost of nursery work, and one of the ways to do this is to omit weeding. In order to provide objective criteria for determining whether or not to omit weeding, it is necessary to estimate the amount of growth of competing vegetation heights when weeding is stopped. Sixty-four 2 m x 2 m quadrats were installed in 25 forests of new cedar plantations of 2 to 5 years old that were weeded every year, and the inside of the quadrat were kept without weeding to measure the amount of growth of vegetation height. The effects of location and vegetation type on vegetation height growth were also estimated. Compared to the year following the cessation of weeding, the average height growth of the weed-dominated forest area increased from about 23 cm to about 82 cm in the following two years. This was presumably due to the restoration of underground storage nutrients that had been suppressed to low levels by the weeding.

Keywords: Japanese cedar plantation, omission of weeding, competing vegetation, vegetation height, growth rate

I はじめに

近年、伐採後の再造林率が低く、促進策として人工林施業の低コスト化が急務である。下刈り省略は重要なコスト削減策であるが、そのためには下刈り省略の可否を判断するための客観基準が必要となる。過去の研究から、スギでは植栽木の梢端部が周辺の雑草木から露出している状態を維持できれば、著しい成長の低下はない(1)ことや、競合植生のタイプごとに植栽木との競合の程度が異なることが報告されている。ウラジロやコシダが優占する植生は競合する本木を阻害し、最大高が低いので植

栽木との競合が起こりにくいいため下刈りを省略しやすい(2)こと、対照的にススキ型競合植生はスギ植栽木の成長を特に強く阻害し(3)、ススキが優占する植生では下刈り省略可能となる植栽木の高さが220 cmと他の植生タイプの140 cmより高い(4)ことなどが明らかになっている。

また、斜面上の位置によっても競合植生や植栽木の成長は変化し、植栽木、競合する広葉樹ともに斜面下部で成長が大きいが、斜面下部では無下刈りでは広葉樹の樹高が植栽木を追い越して成長を阻害すること(5)が報告

されている。

競合植生の植生タイプによって成長が異なるのと同様に、植栽木と競合植生では成長量を規定する要因に差がある。そのため、下刈り省略の可否をより精度高く判断するには、植栽木の成長量と下刈り停止後の競合植生の成長量を個別に把握する必要がある。しかし、競合植生高の下刈り停止後の成長量について直接測定した例は少ない。本研究では、下刈りを停止した場合のスギ植栽地の競合植生の成長量を測定し、林齢、立地や植生タイプが競合植生の成長量に与える影響を検討した。

II 材料と方法

調査地

調査地は茨城県北部（高萩市、十王町、城里町他）の国有林に設置した。2～5年生のスギ新植地 25 林分を調査地とした。調査地は下刈りを実施しているが、毎年行っているとは限らず、実施時期も 6 月から 10 月までばらつきがある。2020 年から 2021 年にかけて 2 m×2 m のコドラートを 64 個設置し、コドラート内の下刈りを停止した。コドラートは各林分の斜面上部と下部（標高差は最大でも 30 m 未満）に 1～2 個ずつ設置した。このうち 2020 年に設置した 26 個は 2021 年にかけて 2 年連続で下刈りを停止している。

調査項目

下刈りを停止したコドラート内の競合植生について全体の被度、最大高、及び平均高を記録した。さらに主な競合種（上位 5 種）の被度と平均高も記録した。

このうち主に植生全体の平均高の成長量について解析を行った。調査は夏（6 月から 8 月）と秋（9 月下旬から 10 月初旬）の 2 回行い、2 時期の差分から植生高の期間内の成長量を推定した。調査地によって調査期間にばらつき（48～121 日）があるため、4 ヶ月（120 日）あたりの成長量を平均高成長量と仮定して比較を行った。各林分の林齢（2～4 年生）、下刈り停止後の年数（最終下刈りからの経過年数）（翌年、翌々年）、斜面位置（上、下）、植生タイプ（木本（キイチゴ類を除く）、草本（ササ、シダを除く）、イチゴ（キイチゴ類）、ササ、シダ）を記録して解析データとした。解析にあたって、2 群の平均値の比較検定には Wilcoxon test を、3 群の平均値の比較検定には Tukey-Kramer 法を用いた。解析はすべて R3.6.3 で行った。

III 結果と考察

競合植生の平均高の一期間の成長量

全てのコドラートの平均高成長量の平均値はおおよそ 40.5 cm だが、ばらつきが大きく（標準偏差 45）、最大値は 182.6 cm に達した。

最終下刈りからの経過年数と成長量

最終下刈りの翌年と翌々年の競合植生の最大高の成長量の平均値（図-1：翌年：38.9 cm、翌々年：42.9 cm）には有意差は見られなかった（Wilcoxon test: $p=0.56$ ）。成長量がマイナスのコドラートには、調査期間中の台風などによって草本が吹き倒されたコドラートなどが含まれる。

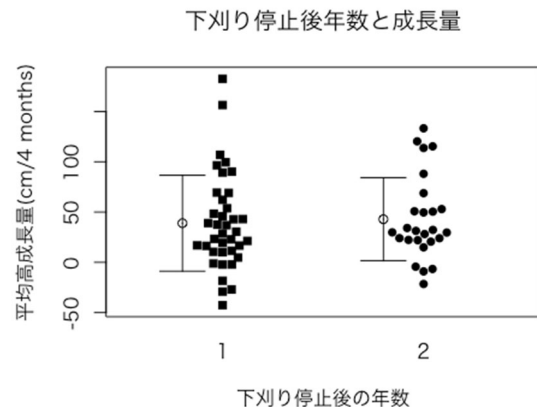


図-1. 下刈り停止後の年数による成長量の差

Fig. 1 Difference in growth depending on the number of years after stopping weeding

下刈り停止時の林齢と翌年の成長量

下刈り停止翌年の競合植生の平均高成長量には下刈り停止時の林齢によって有意差は見られなかった（図-2：下刈り停止時に 2 年生: 32.4 cm, 3 年生: 28.2 cm, 4 年生: 47.9 cm）（Tukey-Kramer 法）。下刈りを停止した林齢は、下刈り停止翌年の競合植生の成長量には影響しなかったが、下刈り停止翌々年の平均高成長量は下刈り停止時の林齢によって異なり（2 年生: 13.5 cm, 3 年生: 50.8 cm, 4 年生: 78.4 cm）、3 年生で下刈り停止した場合は 2 年生の場合よりも成長量が有意に高かった（Wilcoxon test: $p=0.03$ ）。ただし、4 年生で下刈り停止した翌々年のデータはサンプル数が少ないため比較に用いなかった。

茨城県内のスギ新植地では、伐採直後は競合植生が極めて乏しい場合がしばしばある。そのため、下刈りを繰り返していたとしても、植栽から 2 年後の林分より 3 年後の林分で競合植生の地下部がより発達していて、下刈り停止後の回復ポテンシャルが大きかったのではないかと推察する。

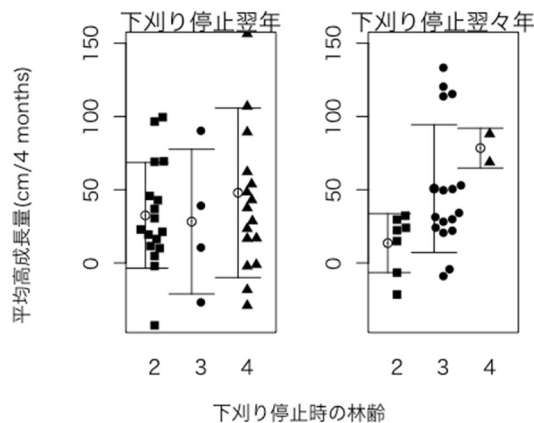


図-2. 下刈り停止時の林齢による翌年の平均高成長量の違い

Fig. 2 Difference in average height growth in the following year depending on the age of the forest when weeding is stopped.

植生タイプと成長量

下刈り停止翌年はどの植生タイプでも平均成長量（イチゴ：30 cm, 草本：23 cm, 木本：31 cm）は同程度だった（図-3）。翌々年には、草本タイプでは木本タイプに比べて成長量の平均値（イチゴ：30 cm, 草本：82 cm, 木本：24 cm）が有意に高かった（Tukey-Kramer 法: $p = 0.04$ ）。下刈りによって低いレベルに抑えられていた（5）ススキやタケニグサなどの多年草本の地下貯蔵養分が下刈り停止によって回復したためではないかと推察した。

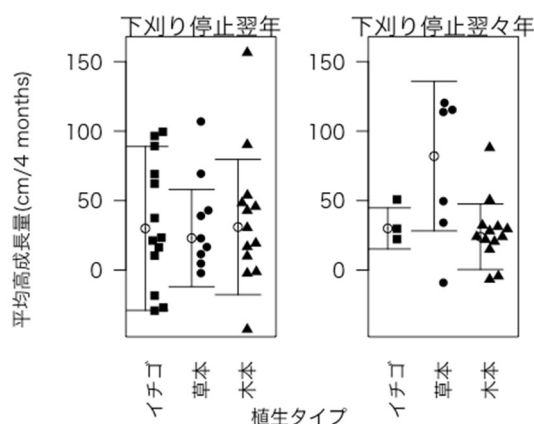


図-3. 下刈り停止後の年数ごとの各植生タイプの平均高成長量の比較

Fig. 3 Comparison of average height growth of each vegetation type by years after stopping weeding.

斜面位置と成長量

斜面の上部と下部で成長量の平均値には、下刈り停止翌年(斜面上部：40.9 cm, 斜面下部：36.9 cm)、翌々年(斜面上部：27.3 cm, 斜面下部：39 cm)ともに、に有意差はなかった（図-4）。これは福本ら（6）の、斜面の上下で広葉樹の成長に差があった、という報告とは矛盾する結果であった。その理由については以下の2つの可能性がある。

1 つ目は、福本らが広葉樹のみに限定して報告しているのに対し、本研究では草本を含めた平均高の成長量について述べている点である。草本の成長パターンが広葉樹とは異なることが結果に違いを生じた可能性がある。2 つ目は、福本らがある時点での広葉樹の樹高を比較しているのに対し、本研究では、生育期間の一部となる一定期間内での成長量を比較している点である。もし、斜面の上部と下部での水分量や日射量の違いが、一定期間の成長速度ではなく、成長可能な期間の長さに影響しているとすると、成長量が斜面の上下で変わらないという本研究の結果と、斜面の上下である時点での広葉樹の樹高が異なるという福本らの報告との矛盾を説明できるが、これについてはさらに検討が必要である。

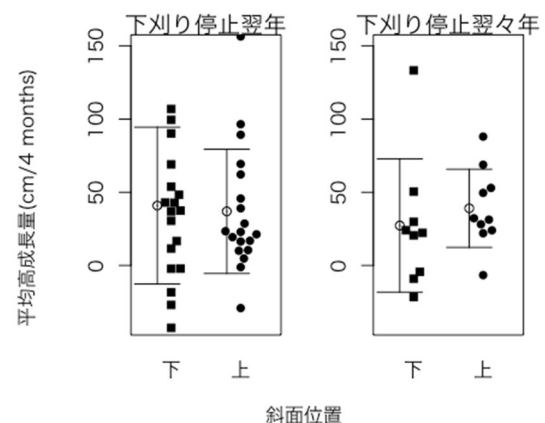


図-4. 下刈り停止後の年数ごとの斜面上の位置と平均高成長量の比較

Fig. 4 Comparison of position on slope and average height growth by years after stopping weeding.

期首植生高と成長量の関係

期首植生高と成長量には弱い負の相関があった(図-5: $r = -0.24$, $p = 0.05$)。期首植生高が高い林分は木本が優占する林分が多く、成長量は比較的小さいが、期首植生高が70 cm程度の林分では草本（主にタケニグサ、ススキが優占）やイチゴ類、ササ類が優占する林分が多く、1シーズンで100 cm以上の大きな成長量を示した林分もあった。このため、木本以外の植生タイプでは、6月頃の期首の平均高が70~80 cm程度の林分でも10月頃には

1.5 m から 2 m に達する可能性があることになる。以上より、島田ら (2)、中山ら (3)、鶴崎ら (4) の報告と同様、下刈り省略の可否判断にあたっては、植生タイプを考慮する必要があることが改めて示された。

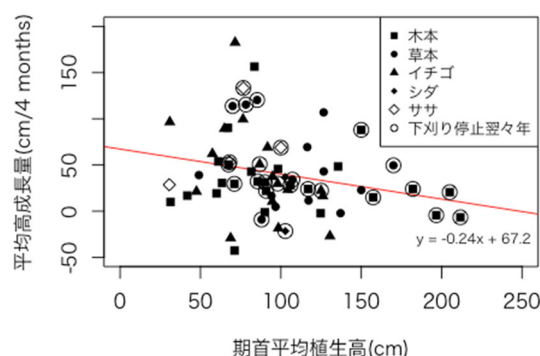


図-5. 期首植生高と成長量の関係（下刈り停止の翌々年のプロットには円を重ねて示した）

Fig. 5 Relationship between vegetation height at the beginning of the season and average height growth. (Circles are shown overlaid on the plots for the two years after stopping weeding.)

まとめ

下刈り停止後の競合植生の成長量にはばらつきが大きく、調査した要因の中では植生タイプと下刈り停止時の林齢の影響が比較的大きかった。茨城県内のスギ新植地では、伐採直後は競合植生が極めて乏しい場合がしばしばあり、植栽後の数年のうちに競合植生が発達していく傾向がある。このような発達の過程のどこで下刈りを停止するかでその後の成長に違いが生じている可能性がある。

また、下刈り停止の翌年よりも、翌々年になって植生タイプや林齢の影響が強く現れた。これは地下部の成長や貯蔵養分の回復にある程度の時間が必要であるためだと推察するが、確認が必要である。

草本では成長量が木本より大きくなる場合があり、しかも地下貯蔵養分の増加によって下刈り停止以降次第に成長量が増加する可能性がある。下刈り省略の可否を判断する際は、期首の植生高だけではなく、植生タイプも考慮する必要がある。

謝辞： 本研究は農林水産省による戦略的プロジェクト研究推進事業「成長に優れた苗木を活用した施業モデルの開発」(18064868)による支援を受けた。

引用文献

- (1) 山川博美・重永英年・荒木眞岳・野宮治人 (2016) スギ植栽木の樹高成長に及ぼす期首サイズと周辺雑草木の影響. 日本森林学会誌 98: 241-246
- (2) 島田博匡・奥田清貴 (2018) 三重県内のヒノキ幼齢林における雑草木群落タイプと植栽木の成長の関係. 三重県林業研究所研究報告 8: 1-12
- (3) 中山葉月・伊藤哲・平田令子・山岸極・山川博美 (2021) ススキ型および非ススキ型競合植生下におけるスギ特定母樹裸中苗の成長. 日本森林学会大会発表データベース 132: 320
- (4) 鶴崎幸・山川博美・伊藤哲・重永英年・佐々木重行 (2020) 競合植生によって異なるスギ造林地の下刈り要否の判断基準. 日本森林学会誌 102: 225-231
- (5) 鶴崎幸・佐々木重行・重永英年・山川博美 (2016) 下刈りがスギ幼齢木と雑草木の成長に及ぼす影響. 九州森林研究 69: 99-102
- (6) 福本桂子・寺岡行雄・金城智之・山下盛章・加治佐剛・鶴川信・芦原誠一・岡勝 (2015) 南九州における斜面位置の違いによる無下刈りスギ幼齢木と侵入広葉樹との競合. 森林計画学会誌 49: 43-49

スギ植栽試験地における毎木調査データを基にした

林齢4年の成長期終了時点の樹高の予測

清水達哉¹・塚原雅美¹・佐藤 渉¹¹新潟県森林研究所

要旨：スギ植栽試験地の毎木調査データを基に下刈り要否の判断基準となり得る林齢4年の成長期終了時点のスギ個体の樹高を推定するモデルを構築した。林齢4年の成長期終了時点までに無被害だった個体の樹高を応答変数、植栽時および林齢3年の成長期終了時点の個体の形状、苗種、調査地、植栽時期を説明変数としてベイズ統計を用いて回帰分析した。その結果、林齢3年の成長期終了時点の樹高を説明変数としたモデルのあてはまりがよく、また応答変数に対して有意な効果があった。このモデルにおける95%予測区間の上限と下限の差は約70 cmであった。

キーワード：スギ、成長予測、回帰分析、初期成長

Prediction of tree height at the end of the growing season in a 4-year-old forest based on the data obtained from surveying each tree at a *Cryptomeria japonica* planting test site.

Tatsuya SHIMIZU¹, Masami TSUKAHARA¹, Wataru SATO¹¹Niigata Prefectural Forest Research Institute

Abstract: We constructed a model for estimating tree height at the end of the growth period in the 4th year based on the survey data of each tree, which can be used as a criterion for weeding. Regression analysis was performed using Bayesian statistics. The response variable in the model was the height of undamaged individual trees at the end of 4th year growing season, and the explanatory variables were the tree shape of individuals at the planting and at the end of the 3rd year growing season, seedling type, and survey site. The results showed that the model was well fitted with tree height at the end of 3rd growing season as an explanatory variable, which had a significant effect on the response variable. The difference between the upper and lower bounds of the 95% prediction interval in this model was approximately 70 cm.

Key-word: *Cryptomeria japonica*, growth forecast, regression analysis, initial growth

I はじめに

スギ造林地の下刈り終了の判断は、植栽木と競合する雑草木（以下、競合植生）との相対的な位置関係について研究が進められており、植栽木の樹冠上方が覆われるような被圧により、樹高成長が顕著に低下することが明らかになっている（例えば、2, 13）。また、鶴崎ら（11）は、スギ植栽木と競合植生との競合状態から、下刈り直前のスギ植栽木の90%以上が競合植生より高くなるには、前年の成長休止期のスギの樹高が、ススキが優占する植生類型で2.2 m、その他の場合の植生類型で1.4 m以上必要と評価する等、異なる競合植生ごとの下刈り要否の判断基準についても明らかになりつつある。このため、スギの樹高成長が予測できれば、競合植生の種類から下刈り要否の判断を事前にできることが示唆される。しかし、

スギの樹高成長の予測は、対数樹高値の平均値および分散を基に樹高分布を推定する（4）等検討されているが事例は十分にない。そこで本研究では、新潟県内の植栽試験地の毎木調査データを基に、植栽時および林齢3年の成長期終了時点の樹高や地際径などの形状から林齢4年の成長期終了時点のスギ植栽木の樹高を推定することを検討した。

II 調査方法

1. 調査地と調査対象 調査地の概要は表-1のとおりである。各調査地は、スギコンテナ苗の植栽工程、植栽後の活着等を評価するために、スギ人工林の皆伐跡地に裸苗とコンテナ苗の試験区が隣接するように再造林された。供試苗は、苗木生産者から購入、または新潟県森林研究所で育成した、苗齢が2または3年生の実生苗であ

る。またコンテナ苗は育成孔の容量が 150 cc の BCC 社製 FlexiFrame 77, および林野庁開発の JFA-150 の容器で育成された。裸苗は唐鍬を用いてていねい植えて、コンテナ苗はディブルを用いて、2,000 もしくは 2,500 本/ha の植栽密度で植栽された。各調査地に出現した主な雑草木はアカメガシワ、ヌルデ、ヤマウルシ、タラノキ、クサギ、キイチゴ類などの木本類であった。また、部分的にススキ、タケニグサ、イタドリ、ササ類、フジ、クズ、シダ類などが存在し、造林地の全面がススキやササ類に覆われた調査地はなかった。調査地の下刈りは、植栽の翌年以降、原則毎年 1 または 2 回全刈りでおこなわれたが、一部の調査地については、植栽から数年間下刈りがおこなわれなかった。なお、林齢 4 年の年は、すべての造林地において 1 または 2 回、植栽地全体で下刈りがおこなわれた。また、調査時点で植栽木の樹冠同士の接触はなかった。

2. 調査方法 植栽直後もしくは秋植えの場合は翌春の融雪後に、全個体に識別番号を付けたうえで植栽時の樹高および地際径を測定した。毎年もしくは隔年で毎木調査をおこなった。このため、林齢 2 年時点で調査していない調査地があることから、林齢 2 年時点のデータは解析しなかった。毎木調査は各個体について、融雪後に下刈りによる損傷、獣害、幹折れや枝折れ、枯死の有無を記録した。また、成長休止期（秋季以降）に樹高および地際径を測定し、融雪後の調査以降に損傷等があった場合は追加で記録した。樹高は折尺か測桿により原則 1 cm 括約で、地際径はデジタルノギスにより 0.01 mm 括約で測定した。なお、樹高は根元から樹頂点までの最短距離として測定した。また、本稿では、樹高を地際径で除した値を形状比とした。

3. 解析方法 下刈りがおこなわれた林齢 4 年の成長期終了時点（以下、林齢 4 年）のスギ植栽木の樹高を推定するため、一般化線形モデル（以下、GLM）により解析した。応答変数は林齢 4 年まで無被害だった 1,132 個体の樹高とした。説明変数は、植栽時の植栽木の形状のグループ（以下、植栽時グループ）と林齢 3 年の成長期終了時点（以下、林齢 3 年）の形状のグループ（以下、林齢 3 年グループ）に区分した。植栽時グループは植栽時の樹高、地際径、形状比、苗種（裸苗かコンテナ苗か）、調査地、植栽時期（春植えか秋植えか）、林齢 3 年グループは林齢 3 年の成長期終了時点の樹高、地際径、形状比、苗種（裸苗かコンテナ苗か）、調査地、植栽時期（春植えか秋植えか）を説明変数とした。また、説明変数間の多重共線性を考慮し、VIF が 3 以上の場合、片方の変数を除外した。そのため、植栽時グループは、樹高、苗種、

調査地、植栽時期の 4 つ、林齢 3 年グループは樹高、形状比、苗種、調査地、植栽時期の 5 つの説明変数を使用した。GLM は R 4.2.1 (9) の brms パッケージの brms 関数 (1) でおこない、パラメータは Stan 2.23 (10) を用いてベイズ推定した。MCMC による事後分布のパラメータのサンプリングの設定は、バーンイン回数は 1,000 回、乱数生成の繰り返し数は 2,000 回、チェーン数は 4 本とした。モデルの誤差分布パラメータの事前分布は無情報分布、説明変数パラメータの事前分布は馬蹄分布（horseshoe (2) と設定）を適用した。また、パラメータの事後分布はスチューデントの t 分布（family = student と設定）、リンク関数は identity とした。事後分布の収束判断は Rhat が 1.1 未満であるかを確認した。なお、説明変数の効果は、事後期待値が 95%信用区間においてゼロを含まない場合に統計学的に有意であると判断した。回帰モデルの構築は、植栽時および林齢 3 年グループそれぞれについて、説明変数を増減させる総当たり法によりおこなった。得られたモデルの精度を R^2 および WAIC により評価した。本稿では、 R^2 が 0.8 以上のモデルをあてはまりの良いモデルとして報告する。

表-1. 調査地の概要

Table 1 Overview of study site

調査地	苗種別 植栽本数(本)		植栽年月	標高 (m)*1	平均最大 積雪深 (cm)*2	年平均 気温 (°C)*3	年平均 降水量 (mm)*3	斜面 傾斜 (°)*1
	裸	コンテナ						
村上市	91	91	2016年 5月	40~150				20~25
	85	139	2016年 11月		150~200	11~12	3,020~ 3,070	10~15
	90	134	2016年 11月	20~130				
	90	90	2017年 6月	50~160		10~11		20~25
関川村	94	93	2014年 12月	60~75	100~150	12~13	2,750~ 2,800	0~20
	90	90	2015年 6月	700	300~350	8~9	1,950~ 2,000	10~15
湯沢町	90	90	2015年 11月					
	80	80	2018年 6月	80~90	100	12~13	2,100~ 2,150	>=30
三条市	90	90	2017年 11月					
小計	800	897						
合計		1,697						

*1: DEM から判読した。

*2: (6), (7), (8) から判読した。

*3: (5) から判読した。

※:植栽月が 5, 6 月を「春植え」、11, 12 月を「秋植え」とした。

III 結果と考察

1. GLM による解析 40 個のモデルのうち Rhat が収束し、かつ R^2 が 0.8 以上のモデルは 15 個であった（表-2, 3, 4）。これらのモデルの R^2 は 0.889（表-2）、0.888（表-3）、0.870（表-4）とあてはまりが良く、林齢 3 年の樹高はすべてのモデルにおいて選択され、有意な正の効果があった。 R^2 が最大であった 0.889 のモデルは 4 個

であり、これらすべてで林齢 3 年の樹高のほか、林齢 3 年の形状比と調査地が選択された (表-2)。また、 R^2 が 0.889 に次いで大きかった、 R^2 が 0.888 モデルは 4 個であり、これらすべてで林齢 3 年の樹高と調査地が選択された (表-3)。一方で、形状比および調査地のみのモデルが上位に選択されていないことから、形状比および植栽地の違い、すなわち造林地の地位、下刈り等の施業などのみでは樹高成長を十分に説明できないが、樹高成長に影響を与える要因であることが示唆された。 R^2 が 0.888 に次いで大きかった、 R^2 が 0.870 のモデルは 7 個であった (表-4)。また、説明変数が林齢 3 年の樹高のみのモデルが含まれた (順位 14 のモデル)。そして、林齢 3 年の樹高のみのモデルは、林齢 3 年の樹高以外に形状比、苗種、植栽時期を含めたモデルとのあてはまりの違いが小さいことから、林齢 3 年の樹高のみで、林齢 4 年時の樹高を概ね説明できることが示唆された。さらに、林齢 3 年の形状比は、有意な負の効果があつたモデルと有意な効果が認められなかったモデルが存在し、また事後期待値は小さかったため、林齢 4 年の樹高に対する効果が弱い変数であることが示唆された。八木橋ら (12) は、スギ植栽木の成長初期は苗種によらず、形状比が高い個体は樹高成長を抑え、直径成長を優先させることを明らかにした。しかしながら、八木橋ら (12) は、1~4 成長期の相対成長率と前年の形状比との関係をピアソンの積率相関係数により解析しており、算出された相関係数はそれぞれ、-0.44、-0.50、-0.26、-0.28 であり、それらを R^2 に変換すると、0.193、0.250、0.067、0.078 となり、大きくはない数値である。したがって、成長期の期首の形状比と期末までの樹高成長には、負の相関関係はあるが、与える効果は大きくはないことが考えられた。本研究の結果はこれを支持した。苗種の違いは、事後期待値の正負が逆転したモデルや、有意な効果がなかったモデルがあつたことから、樹高成長に対する影響が小さいことが示唆された。壁谷ら (3) は、スギ等の植栽試験地データを基に、コンテナ苗の植栽時の形状比は高い傾向があるが、植栽 1 年後以降は裸苗との差が小さくなること、また、コンテナ苗の成長は裸苗と同程度であるとしており、本研究の結果はこれを支持した。また、春植えと秋植えでは成長期間の長さが半年程度異なるものの、林齢 4 年の樹高を説明するうえで、植栽時期の違いに有意な効果があるとはいえなかった。

2. 林齢 4 年の成長期終了時点のスギ植栽木の樹高推定式 GLM の結果から、林齢 4 年の無被害個体の樹高は、林齢 3 年の無被害個体の樹高で概ね説明できることがわかった。また、上位 8 個のモデルにおいて調査地が

選択されたが、個別の事例に対してあてはまりがよくても、過剰適合によりほかの事例に適合させることが困難になるため、林齢 3 年の無被害個体の樹高のみで、林齢 4 年の無被害個体の樹高推定式を作成した。この結果、以下の回帰式が得られた。

$$y = 1.23x + 29.70$$

林齢 4 年と 3 年の無被害個体の樹高の関係を表す、GLM により得られた回帰式および 95% 予測区間を図-1 に示す。95% 予測区間の上限と下限の幅は約 70 cm であり、この予測区間の範囲内であれば、造林地の無被害個体の林齢 3 年の樹高を基に、造林地の無被害個体の林齢 4 年の樹高を概ね予測可能であることが示唆された。例えば、植栽 5 年以降の下刈りを省略するため、鶴崎ら (11) に基づいて 4 年生期末の樹高の下限値を 140 cm とすると、林齢 3 年の樹高が少なくとも約 118 cm あれば、ほぼすべての個体が 140 cm を超えることを予測できる。しかし、植栽木の成長は、雑草木との競争に加えて、植栽時の樹高や形状比などや微地形・光・水・栄養塩といった資源量などの立地条件 (14) が影響する。また、各個体の遺伝的要因、植栽時のストレスや下刈りなどの人為的要因などの複雑な要因が影響すると考えられ、これらの要因が樹高成長にどの程度影響を与えるかはわかっていない。このため、スギの樹高成長や下刈りの省略について検討するためには、これらの要因の解明が重要であると考え

引用文献

- (1) Bürkner PC (2017) brms: An R package for Bayesian multilevel models using Stan. Journal of Statistical Software 80: 1-28
- (2) 飯田佳子・山川博美・野宮治人・安部哲人・金谷整一・正木隆 (2017) 4 年生スギ人工林におけるスギの樹高と雑草木からの被圧に与える地形の影響. 日本森林学会誌 99: 105-110
- (3) 壁谷大介・宇都木玄・来田和人・小倉晃・渡辺直史・藤本浩平・山崎真・屋代忠幸・梶本卓也・田中浩 (2016) 複数試験地データからみたコンテナ苗の植栽後の活着および成長特性. 日本森林学会誌 98: 214-222
- (4) 壁谷大介 (2022) 対数正規分布を仮定した植栽木の基準判断のための樹高尺度. 関東森林研究 73: 41-44
- (5) 気象庁 (2012) メッシュ平年値 2010
- (6) 新潟県農林部治山課 (1976) 昭和 50 年度民有林適地適木調査報告書 魚沼森林計画区. 新潟県 4
- (7) 新潟県農林水産部治山課 (1978) 昭和 52 年度民有林適地適木調査報告書 岩船森林計画区. 新潟県 4

(8) 新潟県農林水産部治山課 (1979) 昭和 53 年度民有林適地適木調査報告書 中越森林計画区. 新潟県 7

(9) R Core Team (2022) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.

(10) Stan Development Team (2020) Stan reference manual version 2.23. <https://mc-stan.org/docs/reference-manual/index.html>

(11) 鶴崎幸・山川博美・伊藤哲・重永英年・佐々木重行 (2020) 競合植生によって異なるスギ造林地の下刈り要否の判断基準. 日本森林学会誌 102: 225–231

(12) 八木橋勉・中谷友樹・仲原健一・那須野俊・櫃間岳・野口麻穂子・八木貴信・齋藤智之・松本和馬・山田健・落合幸仁 (2016) スギコンテナ苗と裸苗の成長と形状比の関係. 日本森林学会誌 98: 139–145

(13) 山川博美・重永英年・荒木眞岳・野宮治人 (2016) スギ植栽木の樹高成長に及ぼす期首サイズと周辺雑草木の影響. 日本森林学会誌 98: 241–246

(14) 山本哲裕・浅野友子・堀田紀文・鈴木雅一 (2010) 斜面に植栽したスギ幼齢木の成長と水分、養分の違いの関係. 東京大学農学部演習林報告 122: 1–15

表-2. GLM の結果 ($R^2 = 0.889$)

Table 2 Results of GLM ($R^2 = 0.889$)

順位	説明変数	事後期待値	事後標準偏差	95%信用区間 下限 上限	R^2	WAIC
1	切片*	33.04	4.43	24.28 41.65	0.889	10006.81
	林齢3年の樹高*	1.26	0.02	1.23 1.29		
	林齢3年の形状比*	-0.18	0.05	-0.28 -0.07		
	調査地 (三条)*	19.07	3.03	13.18 24.99		
	調査地 (村上)*	6.82	2.01	2.86 10.69		
	調査地 (湯沢)*	-7.80	2.17	-12.17 -3.50		
2	切片*	31.93	4.56	22.84 40.93	0.889	10007.38
	林齢3年の樹高*	1.26	0.02	1.22 1.29		
	林齢3年の形状比*	-0.16	0.05	-0.27 -0.06		
	苗種 (裸苗)	1.00	1.20	-1.26 3.56		
	調査地 (三条)*	19.41	3.09	13.22 25.03		
	調査地 (村上)*	6.97	1.94	3.03 10.83		
3	切片*	32.77	4.49	24.11 41.72	0.889	10008.18
	林齢3年の樹高*	1.26	0.02	1.22 1.31		
	林齢3年の形状比*	-0.18	0.05	-0.29 -0.08		
	調査地 (三条)*	19.09	3.07	13.15 25.03		
	調査地 (村上)*	7.10	2.14	2.83 11.27		
	調査地 (湯沢)*	-7.70	2.24	-12.11 -3.26		
4	切片*	31.98	4.73	22.64 41.14	0.889	10009.76
	林齢3年の樹高*	1.26	0.02	1.21 1.30		
	林齢3年の形状比*	-0.17	0.06	-0.28 -0.05		
	苗種 (裸苗)	0.98	1.26	-1.45 3.50		
	調査地 (三条)*	19.10	3.10	13.06 25.28		
	調査地 (村上)*	6.96	2.20	2.70 11.28		
	調査地 (湯沢)*	-7.59	2.32	-12.11 -3.08		
	植栽時期 (春植え)	-0.23	1.58	-3.44 2.99		

* が付いた説明変数は 95%信用区間にゼロを含まない。

表-3. GLM の結果 ($R^2 = 0.888$)

Table 3 Results of GLM ($R^2 = 0.888$)

順位	説明変数	事後期待値	事後標準偏差	95%信用区間 下限 上限	R^2	WAIC
5	切片*	20.72	2.69	15.41 25.97	0.888	10014.55
	林齢3年の樹高*	1.26	0.02	1.22 1.29		
	苗種 (裸苗)*	2.41	1.23	0.02 4.78		
	調査地 (三条)*	20.16	3.09	14.07 26.26		
	調査地 (村上)*	8.35	1.97	4.59 12.31		
	調査地 (湯沢)*	-5.63	2.17	-9.88 -1.37		
6	切片*	21.59	3.16	15.41 27.79	0.888	10016.18
	林齢3年の樹高*	1.25	0.02	1.21 1.29		
	苗種 (裸苗)*	2.52	1.22	0.07 4.95		
	調査地 (三条)*	20.04	3.19	13.97 26.37		
	調査地 (村上)*	7.79	2.28	3.40 12.25		
	調査地 (湯沢)*	-5.93	2.31	-10.31 -1.14		
7	切片*	21.01	2.76	15.61 26.44	0.888	10017.01
	林齢3年の樹高*	1.26	0.02	1.23 1.30		
	調査地 (三条)*	19.52	3.01	13.73 25.62		
	調査地 (村上)*	8.33	2.04	4.38 12.23		
	調査地 (湯沢)*	-5.81	2.21	-10.13 -1.39		
	植栽時期 (春植え)	0.93	1.58	-2.15 4.08		
8	切片*	21.01	2.76	15.61 26.44	0.888	10019.22
	林齢3年の樹高*	1.26	0.02	1.22 1.30		
	調査地 (三条)*	19.27	3.02	13.29 25.31		
	調査地 (村上)*	8.00	2.15	3.82 12.28		
	調査地 (湯沢)*	-5.99	2.15	-10.03 -1.62		
	植栽時期 (春植え)	0.38	1.60	-2.75 3.62		

* が付いた説明変数は 95%信用区間にゼロを含まない。

表-4. GLM の結果 ($R^2 = 0.870$)

Table 4 Results of GLM ($R^2 = 0.870$)

順位	説明変数	事後期待値	事後標準偏差	95%信用区間 下限 上限	R^2	WAIC
9	切片*	35.61	3.61	28.69 42.71	0.870	10156.38
	林齢3年の樹高*	1.22	0.02	1.19 1.25		
	林齢3年の形状比	-0.09	0.05	-0.20 0.01		
	植栽時期 (春植え)	1.53	1.30	-0.88 4.21		
10	切片*	30.26	1.86	26.62 33.92	0.870	10157.57
	林齢3年の樹高*	1.22	0.02	1.19 1.26		
	植栽時期 (春植え)	1.98	1.39	-0.50 4.98		
	苗種 (裸苗)	30.04	1.81	26.56 33.55		
11	林齢3年の樹高*	1.22	0.02	1.18 1.25	0.870	10157.59
	苗種 (裸苗)	0.99	1.08	-1.03 3.16		
	植栽時期 (春植え)	2.10	1.41	-0.40 5.09		
	切片*	35.76	3.67	28.50 42.96		
12	林齢3年の樹高*	1.23	0.01	1.20 1.26	0.870	10157.81
	林齢3年の形状比	-0.10	0.05	-0.20 0.00		
	切片*	35.51	3.69	28.39 42.83		
	林齢3年の樹高*	1.23	0.01	1.20 1.26		
13	林齢3年の形状比	-0.10	0.05	-0.20 0.00	0.870	10158.36
	苗種 (裸苗)	0.26	0.98	-1.60 2.39		
	切片*	29.70	1.83	25.97 33.33		
	林齢3年の樹高*	1.23	0.02	1.20 1.26		
14	切片*	29.52	1.91	25.90 33.71	0.870	10159.96
	林齢3年の樹高*	1.23	0.02	1.20 1.26		
	苗種 (裸苗)	0.80	1.01	-1.07 2.97		
	切片*	29.52	1.91	25.90 33.71		
15	林齢3年の樹高*	1.23	0.02	1.20 1.26	0.870	10160.76
	苗種 (裸苗)	0.80	1.01	-1.07 2.97		

* が付いた説明変数は 95%信用区間にゼロを含まない。

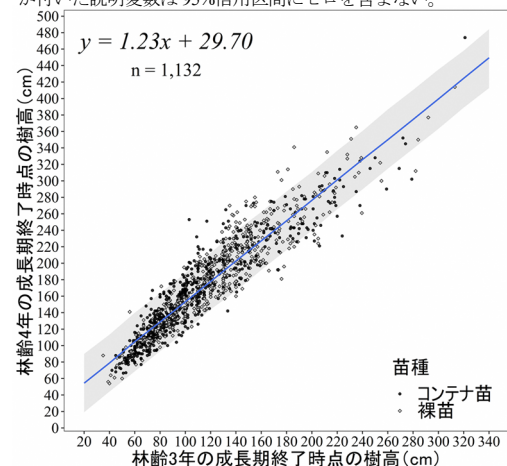


図-1. 林齢 3 年および 4 年の成長期終了時点の植栽木の樹高の関係

実線は GLM の回帰線、灰色のハッチングは 95%予測区間を示す。
Fig. 1 Relationship between the height of planted trees at the end of the growing season of 3rd and 4th year

都市近郊森林公園における外生菌根性子実体の発生傾向

田中 恵¹・白川 誠²¹ 東京農業大学地域環境科学部・² 東京大学大学院農学生命科学研究科

要旨：都市近郊に残存する二次林の多くは、自然公園や緑地など地域の身近な自然環境として利用されている。林内はかつての薪炭材であるコナラやクヌギなど、外生菌根性の樹種が多く残されており、人為の入った小面積かつ環境の異なる林分から構成されていることが多い。このような公園緑地は都市近郊の生物多様性保全を考える上で重要な役割を担っているが、共生する菌根菌類の種多様性に関する情報は、植物や動物などと比べて十分ではない。そこで外生菌根性子実体を対象とし、発生状況及び rDNA-ITS 領域に基づく種組成の傾向を調べた。その結果、採取された子実体 466 個から腐生性及び基準を満たさない配列を除き 14 科 28 属 177 種が得られ、それらの出現種の傾向は地形的特徴や林冠構成樹種などにより変化することが示唆された。

キーワード：外生菌根菌，子実体，森林公園，都市近郊，二次林

Trends in the occurrence of ectomycorrhizal sporocarps in urban forest park

Megumi TANAKA¹, Makoto SHIRAKAWA²¹ Faculty of Regional Environment Science, Tokyo University of Agriculture;² Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo

Abstract: Secondary forests remaining in urban areas are often used as natural parks, green spaces, and other natural environments close to the community. The forests are often composed of small, human-infested areas with different environments, with many ectomycorrhizal (ECM) tree species remaining, such as chestnut-leaved oak (*Quercus serrata*) and sawtooth oak (*Q. acutissima*), which were once used for firewood and charcoal. Such parks and green spaces play an important role in biodiversity conservation in urban areas, but information on the species diversity of symbiotic mycorrhizal fungi is not fully understood, when compared to species of plants and animals. In this study, ECM fungal sporocarps production was surveyed to reveal trends in occurrence and species composition based on internal transcribed spacer (ITS) rDNA sequences. We collected 466 sporocarps and identified them based on DNA barcoding. After excluding those classified as saprophytic or did not meet the criteria, we finally obtained 177 species belonging to 14 families and 28 genera. These trends in the bias of species occurrence suggested that topographical features and the difference of canopy tree species affected ECM fungal communities.

Keywords: ectomycorrhizal fungi, sporocarp, forest park, urban area, secondary forest

I はじめに

都市近郊に残存する二次林は、地域の身近な自然環境として自然公園や緑地などに活用されていることが多い(4)。これらの二次林では、公園としての利用を目的とした散策路の整備が行われるほか、園地にベンチや東屋といった構造物が設置されるなどの定期的な人為攪乱が加えられている。そのため、林内は小面積かつ環境の異なる植生で構成されていることが多い。

二次林を活用した森林公園は、様々な生物種が存在する豊かな環境を有しており(1)、その地域の生物多様性保全においても重要な役割を担っている(4)。高木層はコナ

ラ (*Quercus serrata*) やクヌギ (*Q. acutissima*) など、かつての薪炭材の名残である外生菌根性の樹種で構成されていることが多く、林床にはそれらと共生する外生菌根性の子実体がよくみられる(5)。そのためこれらの樹木と共生関係にある菌根菌の多様性も比較的高いことが想定される。しかしながら、都市近郊二次林における菌根菌類の種多様性に関する情報は植物や動物（特に希少種）などと比較すると未だ十分ではない。そこで本研究では、外生菌根性子実体を対象とした発生調査を行い、林内の発生状況と種組成の傾向を明らかにすることを試みた。

II 材料と方法

1. 調査地 調査は東京都八王子市の都立長沼公園(図-1)で行った。長沼公園は多摩丘陵の北部に位置し、公園面積は約 32 ha、高低差は約 100 m である。公園北部が低く、南にかけ高くなり、かつ尾根沢が複雑に切れ込んだ地形である。高木層はコナラ、クヌギ、アカシデ(*Carpinus laxiflora*)、ヤマザクラ(*Cerasus jamasakura*)、クリ(*Castanea crenata*)などで構成される典型的な雑木林の景観を有している(3)。

2. 子実体の採取と種推定 公園西から南側にかけて計 11、全長約 2 km のルートを設定した(図-1; 表-1)。ルートは地形と高木層の樹種を考慮し、尾根、沢、平地、園地のそれぞれに設定した。

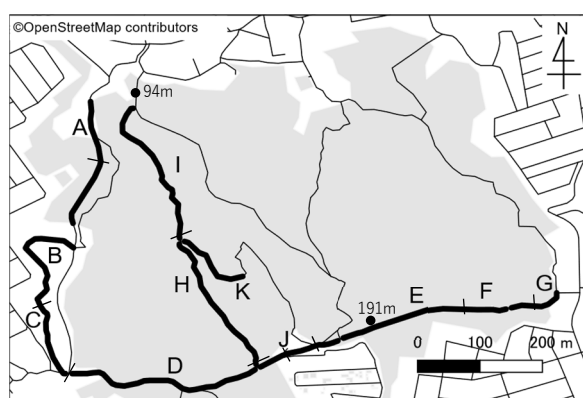


図-1. 調査地と採取ルート(図中の太線)

灰色は緑地、数値は地点における標高を示す

Fig. 1 Study site and sampling routes (Black bold lines)

表-1. ルート別の解析に用いた子実体採取数合計

Table 1 Total number of analyzed sporocarps collected by route sampling

記号	距離(m)	林冠構成種	地形	採取数
I	212	コナラ	尾根	93
A	130	ヒノキ・サワラ	沢	66
E	317	コナラ	尾根	60
H	233	コナラ	尾根	56
B	205	クヌギ	園地	42
C	143	クヌギ	平地	36
F	123	コナラ	平地	32
D	323	コナラ	尾根	29
K	137	コナラ	沢	24
J	50	アカマツ	園地	4
G	64	アカマツ	平地	2
採取数合計				444

2020 年 9 月～2022 年 8 月の 2 年間にかけ、月に 1 回から 2 回、踏査による探索を行った。子実体は同所的に

複数発生している場合は代表の 1 個のみを採取し、発生環境および形態情報を記録した後、60℃の通風乾燥機で一昼夜乾燥処理を行い、乾燥標本としてシリカゲルと共に密封し、常温で保存した。

採取した子実体の種推定は以下の方法で行った。乾燥標本から細片を取り出し、改変 CTAB 法(2)もしくは DNeasy Plant Mini Kit (QIAGEN)を用いて DNA を抽出し、ITS1F と ITS4 のプライマーペアを用いて rDNA-ITS 領域(ITS1+5.8S+ITS2)の PCR 増幅及びシーケンシングを行った。NCBI の BLAST 検索を用いて種から科レベルの推定を行った。得られた配列から配列長 300 bp に満たないものは除外し、最小ホモロジースコア 97 でクラスタリングした。BLAST 結果から腐生性の子実体と推定されたサンプルは解析から取り除いた。

採取期間中の平均気温及び月降水量は、調査地から約 5.3 km 離れた気象庁八王子観測所のデータを使用し、月ごとの採取数との相関関係を調べた。また、子実体群集組成の系列化分析はルート間の Jaccard 指数と Non-metric multidimensional scaling (NMDS)を用いた。採取数が一桁のルートのデータを除き、かつ調査期間中の全調査地における総出現回数が 3 以上の 26 種(MOTUs)について在/不在データとして多変量解析ソフト PC-ORD 6.08 (MjM Software)を用いて解析した。

III 結果と考察

2 年間の子実体探索を行った結果、合計 466 個が採取された。採取数の推移を図-2 に示す。いずれの年においても 6 月から 10 月の採取数が多く、発生のピークは夏と秋の 2 回起こることが伺えた。子実体の発生消長には地域の平均気温と降水量が影響する(6)とされており、本研究においても平均気温が 20℃を超えたあたりから採取数が増える傾向がみられた。また、採取数と月降水量の間には有意な相関($R^2=0.6305$, $P<0.05$)がみられたが、採取日前数日の降水量データとの関係性は明らかにならなかった。

ルート別の解析に用いた子実体採取数を表-1 に示す。子実体発生は散発的であり、ルート距離と採取数に相関はなかった($R^2=0.2719$)。採取数が多かったのは主に尾根地形に設定したルートであり、特に I, E, H で多く採取された。また、沢地形の A でも数多くの子実体が採取された。さらに、同じルート上であっても、コケやガレ場など、わずかな林床の変化による子実体発生の変化もみられた。本調査地では園内散策路が主に尾根に設定されているため発生が確認されやすいことに加え、I や A ルートは公園北部の標高が低く比較的水分が多い箇所に

位置していることが要因のひとつとして考えられた。

採取された子実体 444 サンプルを DNA 解析した結果、基準を満たす 306 配列から 14 科 28 属 177 種 (MOTUs) が得られた。同調査地における先行研究(3)では、形態による分類のみであるが、2 年間の調査で 64 種が観察されている。また、都内二次林における先行研究(5)では本研究と同様の DNA 解析を用いて 2 年半、5 km のラインと 9 プロットのサンプリングから 229 配列 102 種 (MOTUs) が観察されている。いずれの研究も解析手法及び調査地が異なり単純な比較は困難であるものの、本調査地における外生菌根性の子実体種数は比較的多い可能性が示唆された。

表-2 に推定された外生菌根菌を示す。科レベルにおける発生傾向としては、テングタケ科 (Amanitaceae)、イグチ科 (Boletaceae)、ベニタケ科 (Russulaceae) に属する子実体がみられた。加えて、アセタケ科 (Inocybaceae)、ニセシロウロ科 (Sclerodermataceae)、イッポンシメジ属 (*Entoloma*)、ワカフサタケ属 (*Hebeloma*) などの多様な子実体が確認された。先行研究(3,5)では科レベルにおいてテングタケ科、イグチ科、ベニタケ科が特に高い頻度で確認されており、本研究においても同様の結果が示されたことから、これらの科は都内の二次林において一般的なものであることが伺えた。

表-3 に調査期間中の全調査地における推定された種ごとの子実体検出数上位 20 種を示す。種レベルまで推定できたものはカレバキツネタケ (*Laccaria vinaceoavellanea*) のみであった。また、ベニタケ科のカラハツタケ属 (*Lactarius*)、ベニタケ属 (*Russula*) が多くみられた。次に、表-3 の種を含む上位 26 種を用いた NMDS によるルートごとの菌根菌群集組成の序列化を図-3 に示す。樹種ごとの違いではコナラとそれ以外の樹

種で分かれる傾向がみられた。一方、同じ樹種であってもクヌギでは平地と園地の地形の違いによって群集は分かれる傾向を示した。いずれの結果も有意ではないものの、これらの傾向からベニタケ科は調査地のルート全体に発生するが、種レベルにおいてはルートごとに異なる分布をしている可能性が考えられ、この理由として都市近郊二次林の特徴である小面積単位の立地環境の差異が影響を及ぼしている可能性が示唆された。

謝辞：シークエンサー操作は東京大学大学院新領域創成科学研究科の石川陽さんにご協力いただいた。本研究は JSPS 科研費 JP20K06150 の助成を受け行った。

引用文献

- (1) 国土交通省 (2010) 都市と生物多様性 都市における緑地空間の保全、再生、創出及びネットワーク化。国土交通省、東京: 1-13
- (2) Nara K, Nakaya H, Wu B, Zhou Z, Hogetsu T (2003) Underground primary succession of ectomycorrhizal fungi in a volcanic desert on Mount Fuji. *New Phytologist* 159: 743-756
- (3) 大館一夫 (2000) 公園で観察できるキノコについて-里山のキノコ- (4)都立長沼公園. *都市公園* 148: 91-95
- (4) 森林総合研究所多摩森林科学園 (2015) 都市近郊林管理の考え方-市民参加のための手引き-.多摩森林科学園、東京: 1-14
- (5) 白川誠・石川陽・洲上拓朗・田中恵 (2022) 東京都多摩地域北西部の広葉樹二次林における外生菌根菌の種多様性評価. *日本森林学会誌* 104: 351-362
- (6) Straatsma G, Ayer F, Egli S (2001) Species richness, abundance, and phenology of fungal fruit bodies over 21 years in a Swiss forest plot. *Mycol Res* 105: 515-523

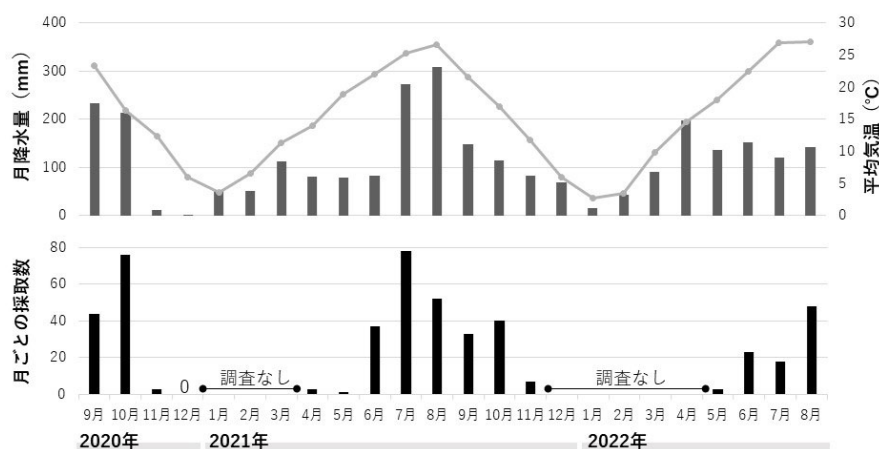


図-2. 調査期間中の月降水量（上：棒）、平均気温（上：折線）および月ごとの子実体採取数（下）

Fig. 2 Monthly precipitation and average temperature (above) and the number of sporocarps collected per month (below)

表-2. 推定された外生菌根菌

Table 2 List of estimated genus or family of ectomycorrhizal fungi

科 名	属 名	和 名
Amanitaceae		テングタケ科
	<i>Amanita</i>	テングタケ属
	Amanitaceae sp.	テングタケ科 sp.
Boletaceae		イグチ科
	<i>Aureoboletus</i>	ヌメリコウジタケ属
	<i>Boletellus</i>	キクバナイグチ属
	<i>Butyriboletus</i>	-
	<i>Chalciporus</i>	コショウイグチ属
	<i>Gyroporus</i>	クリイロイグチ属
	<i>Lanmaoa</i>	-
	<i>Pseudoaustroboletus</i>	ホオベニシロアシイグチ属
	<i>Pulchroboletus</i>	-
	<i>Tylopilus</i>	ニガイグチ属
	<i>Xanthoconium</i>	ウツロイイグチ属
	<i>Xerocomellus</i>	キッコウアワタケ属
	<i>Xerocomus</i>	アワタケ属
	Boletaceae sp.	イグチ科 sp.
Cantharellaceae		アンズタケ科
	<i>Cantharellus</i>	アンズタケ属
	<i>Craterellus</i>	クロラップタケ属
Cortinariaceae		フウセンタケ科
	<i>Cortinarius</i>	フウセンタケ属
Elaphomycetaceae		ツチダンゴ科
	<i>Elaphomyces</i>	ツチダンゴ属
Entolomataceae		イッポンシメジ科
	<i>Entoloma</i>	イッポンシメジ属
Helvellaceae		ノボリリュウタケ科
	<i>Helvella</i>	ノボリリュウタケ属
Hydnangiaceae		ヒドナンギウム科
	<i>Laccaria</i>	キツネタケ属
Hymenogastraceae		ヒメノガステル科
	<i>Hebeloma</i>	ワカフサタケ属
Inocybaceae		アセタケ科
	<i>Inocybe</i>	アセタケ属
	<i>Inosperma</i>	-
	Inocybaceae sp.	アセタケ科 sp.
Russulaceae		ベニタケ科
	<i>Lactarius</i>	カラハツタケ属
	<i>Lactifluus</i>	チチタケ属
	<i>Russula</i>	ベニタケ属
	Russulaceae sp.	ベニタケ科 sp.
Sclerodermataceae		ニセショウロ科
	Sclerodermataceae sp.	ニセショウロ科 sp.
Suillaceae		ヌメリイグチ科
	<i>Suillus</i>	ヌメリイグチ属
Tricholomataceae		キシメジ科
	<i>Tricholoma</i>	キシメジ属

表-3. 外生菌根菌の種 (MOTUs) ごとの検出数上位 20 種

Table 3 Top 20 detected ectomycorrhizal fungal species (MOTUs)

順位	学 名	検出数
1	<i>Lactarius</i> sp.1	11
2	<i>Russula</i> sp.1	10
3	<i>Lactarius</i> sp.2	7
4	Sclerodermataceae sp.	6
4	<i>Xerocomus</i> sp.	6
4	<i>Amanita</i> sp.1	6
7	<i>Russula</i> sp.2	5
7	<i>Russula</i> sp.3	5
7	<i>Russula</i> sp.4	5
7	<i>Inocybe</i> sp.	5
11	<i>Russula</i> sp.5	4
11	<i>Entoloma</i> sp.	4
11	<i>Lactarius</i> sp.3	4
11	<i>Laccaria vinaceoavellanea</i>	4
11	<i>Russula</i> sp.6	4
16	Amanitaceae sp.	3
16	<i>Russula</i> sp.7	3
16	<i>Russula</i> sp.8	3
16	<i>Russula</i> sp.9	3
16	<i>Amanita</i> sp.2	3

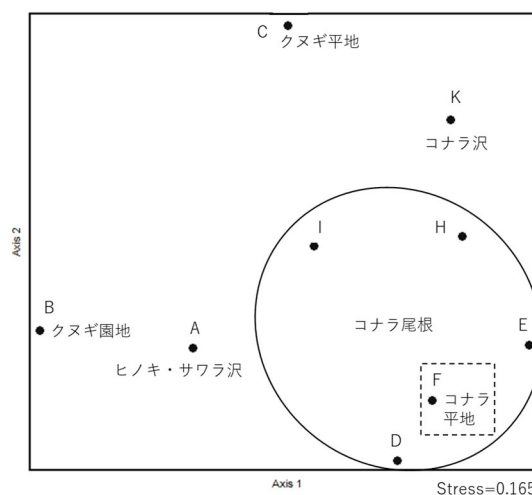


図-3. NMDSによるルートごとの外生菌根菌の序列化

Fig. 3 NMDS ordination of ECM fungal communities among the sampling routes

スギコンテナ苗の成長に及ぼす植栽時のグルタチオン施用の影響

飛田博順¹・奥田史郎¹・原山尚徳¹・上村 章¹・小川健一²¹ 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所・² 岡山県農林水産総合センター生物科学研究所

要旨：酸化型グルタチオンの再造林の効率化への利用の可能性を検討するために、種子生産から、コンテナ苗の生産と植栽における施用試験を実施している。本研究では、植栽時のみの酸化型グルタチオンの施用がスギ植栽木の成長に及ぼす効果を明らかにすることを目的とした。植栽時の施肥処理は、無施用、緩効性肥料のみ、グルタチオンのみ、グルタチオンと緩効性肥料の4処理設定した。植栽1, 4年目期末の樹高に対して施肥処理の効果はみられなかった。植栽2, 3年目期末の樹高に対してグルタチオンと肥料の交互作用に有意な正の効果がみられたが、施肥処理について多重比較を行った結果、対照区と施肥した区の間で有意な差がみられなかった。本研究の条件では、植栽時のみの酸化型グルタチオン施用ではスギ植栽木の成長促進の効果はみられなかった。

キーワード：緩効性肥料, 再造林, 酸化型グルタチオン, 樹高, 根元直径

Effect of glutathione disulfide application at planting time on growth of cedar container seedlings

Hiroyuki TOBITA¹, Shiro OKUDA¹, Hisanori HARAYAMA¹, Akira UEMURA¹, Ken'ichi OGAWA²¹ Forestry and Forest Products Research Institute; ² Research Institute for Biological Sciences

Abstract: In order to investigate the possibility of improving reforestation efficiency with glutathione disulfide (GSSG), we are conducting efficacy trials on GSSG application at the time of seed production, nursery of the seedlings, and planting of them. The objective of this study is to determine the effect of GSSG application at the time of planting on the growth of *Cryptomeria japonica* (cedar) in a reforested area. We established four treatments at planting: No application, slow-release fertilizer alone, GSSG alone, and a combination of GSSG and the slow-release fertilizer. While there was no effect of fertilizer treatment on tree height at the end of the first or the fourth growth period after planting, at the end of the second or third growth period, there was a significant positive interaction between GSSG and the fertilizer. Nevertheless, multiple comparisons among the treatments showed no significant difference ($p < 0.05$) between the control and the other three treatments and the application of GSSG alone at planting time did not promote the growth of cedars under the conditions of this study.

Keywords: Slow-release fertilizer, Reforestation, Glutathione disulfide, Tree height, Root diameter

I はじめに

グルタチオンは3種類のアミノ酸が結合した生体内に存在する物質で、異物の解毒や抗酸化に役立ち、植物中では光合成や成長を調整する物質として作用している。農業分野では酸化型グルタチオン（グルタチオンジスルフィド, GSSG）の施用による植物の生産性や品質の改善の目的で、対象の作物ごとに施用量や時期等の研究が行われている(4)。

近年、林業分野でも酸化型グルタチオン資材の施用研究が進められている。再造林の効率化に対して酸化型グルタチオン資材の利活用の可能性を検討する際には、種子・穂木生産から、コンテナ苗生産、苗の植栽後の成長までの各段階における、施用方法とそれらの組み合わせによ

る施用効果を明らかにする必要がある。現在、各段階における研究事例が報告されつつあるところである。例えば、カラマツさし木苗の増殖効率向上を目的とした研究では、実生採穂台木への酸化型グルタチオン施用により、台木あたりの採穂量の増加やさし木の得苗率の向上が報告されている(5)。また、ヒノキコンテナ苗生産では、育苗中の酸化型グルタチオンの施用により、成長の促進や得苗率の向上はみられず、葉の重量比と細根重量比が増加し、T/R比が低下する効果が報告されている(2)。

本研究では、植栽時のみの酸化型グルタチオンの施用が植栽木の成長に及ぼす効果を検証することを目的として、スギコンテナ苗の植栽試験を行った。

II 材料と方法

1. 調査地 茨城県北茨城市の伐採後の高帽国有林の低密度植栽試験に使用している試験地の一面である(36°52'N, 140°40'E, 420~470 m a.s.l.)。

2. 材料 スギ精英樹(茨城県加波山小見採種園, 中之条2)の種子で, 分光カメラシステムにより選別した(I)充実種子を2017年5月28日に150 cc コンテナ(リブ型, JFA-150)に格子状に一粒直接播種し(20本/トレイ), ビニールハウス内で育苗した。培土はヤシ殻破砕物(トップココピートオールド, トップ(株), 東京)を用い, 元肥はハイコントロール650-180(N-P-K 16-5-10, 肥効期間180日, ジェイカムアグリ(株), 東京)を播種時に1.5 g/穴施用し, パーライトで覆土した。散水は点滴により与えた。本葉が出るまで50%遮光した。ビニールハウス内で越冬させ, 翌春に元肥と同じ種類の緩効性肥料を1.5 g/穴施肥した。2年とも追肥を行わなかった。播種時期が5月下旬と遅く1生育期間では苗サイズが小さかったため, 2生育期間育成した苗(苗高約30 cm以上)を材料に用いた。

3. 植栽と調査項目 標高420 mから470 mにかけて幅6.6 m長さ188 mのライン状の試験地を設定し, 2.2 m間隔, 2列で植栽した(2019年5月8日)。コンテナごと山まで運び, 鋤で植栽した。下記の施肥4処理を1組とし, 20組, 80本を植栽した(斜面最上部の組を1番, 斜面最下部の組を20番とした)。施肥の処理区は, 無施用(対照), 緩効性肥料(肥料), 酸化型グルタチオン(グル), 酸化型グルタチオンと緩効性肥料(グル+肥料)である。酸化型グルタチオン(粒剤W2, N-K 0.15-0.1)は, 16 g/個体を植え穴に施用した。緩効性肥料(ハイコントロール650-100; 肥効期間100日)は, 10 g/個体を植え穴から10 cmの位置に置き肥した。下刈りは毎年実施した。植栽1年目には, 植栽時と期末の樹高と根元直径, 植栽から約1ヶ月後の生残調査を行った。植栽2年目から4年目には, 期末の樹高と根元直径, 樹冠幅の測定と夏期の競合植生調査を行った。競合植生調査は当年の下刈り前に行い, 山川ら(8)の競合指数(C1: 植栽木の樹冠が周辺の雑草木から半分以上露出している~C4: 植栽木が雑草木に完全に覆われている)と植栽木から半径約1 m範囲内の被度と最大植生高を記載した。植栽1年目は競合植生と樹冠幅の測定を行っていない。

4. 解析 植栽当年から植栽4年目の期末の樹高と根元直径, 樹冠幅を目的変数, グルタチオンと肥料と, グルタチオンと肥料の交互作用項, 植栽位置(斜面上部1番からの位置), 競合指数(C1を基準)を固定効果, 植栽時の樹高と根元直径をランダム効果とした一般化線形

混合モデル(GLMM)を作成し, 固定効果について尤度比検定を行った(Rver. 4.0.3)。GLMMのグルタチオンと肥料の交互作用項の固定効果が有意な場合は, 施肥処理を固定効果に変更し, 施肥処理, 植栽位置, 競合指数を固定効果として, 再度GLMM解析と尤度比検定を行った。施肥処理の効果が有意な場合は, 多重比較を行った。なお, 調査期間中に枯死した5個体と明らかに誤伐(植栽2年目に降に発生)を受けた4個体の合計9個体は解析から除外した。

III 結果と考察

1. 植栽後の活着 植栽後, 植栽日を含めて7日間無降雨で, 8日目に1.5 mm降った後4日間無降雨だった(気象庁HP: <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>, アメダス花園観測所)。植栽後1ヶ月以内に3個体が枯死し, 多くの個体の葉が黄変・褐変した。植栽後すぐに発生した枯死以外では, 植栽後2年目に2個体枯死した。枯死発生に, 施肥処理の偏りはなかった。

2. 植栽後の苗の成長 植栽後の期末樹高に対するGLMMの結果, 植栽1年目から植栽4年目まで, 植栽位置に有意な負の効果がみられた(表-1)。植栽1年目と植栽4年目の樹高に対して施肥処理の効果はみられなかった。植栽2年目と植栽3年目の樹高に対して, グルタチオンと肥料の交互作用に有意な正の効果がみられたため, 施肥処理について多重比較を行った。その結果, 植栽2年目と植栽3年目の期末樹高には, 対照区と施肥した3処理区の間で有意な差がみられなかった(図-1)。なお, 植栽2年目から植栽4年目までの樹高に対する夏の競合指数の効果はみられなかった(表-1)。

植栽後の根元直径に対するGLMMの結果, 植栽1年目から植栽4年目まで, 植栽位置の有意な負の効果に加えて, グルタチオンと肥料の交互作用が有意な正の効果を示した(表-2)。施肥処理について多重比較を行った結果, 植栽1年目と植栽4年目の根元直径に対して施肥処理の効果はみられず(それぞれ $p = 0.09, 0.08$), 植栽2年目と植栽3年目の根元直径に対しても対照区と施肥した3処理区間で有意な差を示さなかった(図-2)。植栽3年目の根元直径に対して2年目夏の競合指数に有意な効果がみられ, 競合指数C4が競合指数C1に対して有意な負の効果を示した(表-2)。

植栽後の樹冠幅に対するGLMMの結果, 植栽2年目から植栽4年目まで, 植栽位置に有意な負の効果がみられた(表-3)。植栽3年目と植栽4年目の樹冠幅に対して施肥処理の効果はみられなかった。植栽2年目の樹冠幅に対して, グルタチオンと肥料の交互作用に有意な正

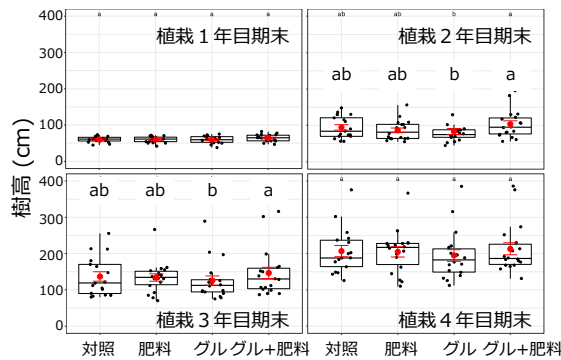


図-1. 施肥処理区ごとの植栽後のスギコンテナ苗の各年期末樹高。異なるアルファベットは施肥処理区間で有意差があることを示す (Tukey, $p < 0.05$)。

Fig. 1 Height of cedar container seedlings at the end of each growing season after planting in each treatment. Different alphabets indicate significant differences among treatments (Tukey, $p < 0.05$).

表-1. スギコンテナ苗の植栽後の樹高に対する GLMM の尤度比検定の p 値の結果 (*; $p < 0.05$, **; $p < 0.01$, ***; $p < 0.001$, ns; not significant)

Table 1. Results of likelihood ratio test of GLMM for post-planting height of cedar container seedlings

説明変数	植栽 1 年目	植栽 2 年目	植栽 3 年目	植栽 4 年目
グルタチオン	0.35 ns	0.70 ns	0.70 ns	0.94 ns
肥料	0.43 ns	0.26 ns	0.13 ns	0.45 ns
グルタチオンと肥料の交互作用	0.23 ns	0.002 **	0.02 *	0.47 ns
植栽位置	<0.001 ***	<0.001 ***	<0.001 ***	<0.001 ***
2 年目夏の競合指数	-	0.13 ns	0.49 ns	0.51 ns
3 年目夏の競合指数	-	-	0.08 ns	0.12 ns
4 年目夏の競合指数	-	-	-	0.34 ns

の効果がみられたが、施肥処理について多重比較を行った結果、植栽 2 年目の樹冠幅に対して施肥処理の効果はみられなかった ($p = 0.14$)。植栽 2 年目から植栽 4 年目までの樹冠幅に対する夏の競合指数の効果はみられなかった (表 3)。

3. 植栽後の成長に対する施肥処理の影響 以上の結果より、本研究の条件では、スギコンテナ苗の植栽時のみに酸化型グルタチオンを施用した場合、植栽木の成長 (樹高, 根元直径, 樹冠幅) に及ぼす酸化型グルタチオンの効果は認められなかった (図-1, 2)。本研究と並行して、植栽位置や競合植生の影響の少ないと考えられる森林総合研究所実験林苗畑において、本試験と同様の施肥処理区の設定 (酸化型グルタチオン粒剤とハイコントロールを用いた 4 処理) で、材料に茨城県種苗組合から購入した 150 cc スギコンテナ苗を用いて植栽試験を実施した。植栽後 2 年間の樹高と根元直径では、本研究と同様、植栽時のみの酸化型グルタチオン施用の効果はみら

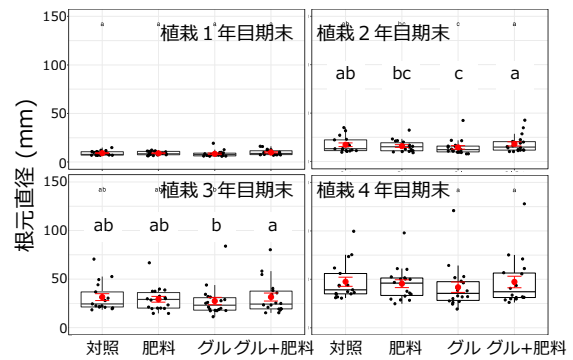


図-2. 施肥処理区ごとの植栽後のスギコンテナ苗の各年期末根元直径。異なるアルファベットは施肥処理区間で有意差があることを示す (Tukey, $p < 0.05$)。

Fig. 2 Diameter of cedar container seedlings at the end of each growing season after planting in each treatment. Different alphabets indicate significant differences among treatments (Tukey, $p < 0.05$).

表-2. スギコンテナ苗の植栽後の根元直径に対する GLMM の尤度比検定の p 値の結果 (*; $p < 0.05$, **; $p < 0.01$, ***; $p < 0.001$, ns; not significant)

Table 2. Results of likelihood ratio test of GLMM for post-planting diameter of cedar container seedlings

説明変数	植栽 1 年目	植栽 2 年目	植栽 3 年目	植栽 4 年目
グルタチオン	0.78 ns	0.92 ns	0.92 ns	0.96 ns
肥料	0.14 ns	0.13 ns	0.28 ns	0.46 ns
グルタチオンと肥料の交互作用	0.04 *	<0.001 ***	<0.001 ***	0.01 *
植栽位置	<0.001 ***	<0.001 ***	<0.001 ***	<0.001 ***
2 年目夏の競合指数	-	0.05 ns	0.04 *	0.15 ns
3 年目夏の競合指数	-	-	0.48 ns	0.69 ns
4 年目夏の競合指数	-	-	-	0.20 ns

表-3. スギコンテナ苗の植栽後の樹冠幅に対する GLMM の尤度比検定の p 値の結果 (*; $p < 0.05$, **; $p < 0.01$, ***; $p < 0.001$, ns; not significant)

Table 3. Results of likelihood ratio test of GLMM for post-planting crown width of cedar container seedlings

説明変数	植栽 1 年目	植栽 2 年目	植栽 3 年目	植栽 4 年目
グルタチオン	-	0.58 ns	0.69 ns	0.73 ns
肥料	-	0.58 ns	0.93 ns	0.61 ns
グルタチオンと肥料の交互作用	-	0.03 *	0.17 ns	0.20 ns
植栽位置	-	<0.001 ***	<0.001 ***	<0.001 ***
2 年目夏の競合指数	-	0.53 ns	0.21 ns	0.13 ns
3 年目夏の競合指数	-	-	0.92 ns	0.60 ns
4 年目夏の競合指数	-	-	-	0.37 ns

れなかった (上村, 未発表データ)。今後、再生林の効率化への酸化型グルタチオンの利用可能性を検討するために、コンテナ苗育成時のみの施用による育苗試験(2)や、コンテナ苗育成時と植栽時の両方に施用する植栽試験が必要と考える。

酸化型グルタチオンの施用に関して、通常の施肥との

併用による相加もしくは相乗効果が期待されている(3)。GLMM でグルタチオンと肥料の交互作用が有意な正の効果を示す場合があり(表-1, 2, 3), 酸化型グルタチオンの単独施用(グル区)に比べて, 肥料との併用(グル+肥料区)により植栽2年目や3年目の樹高や根元直径が改善された(図-1, 2)。これらの結果から, 酸化型グルタチオン施用時には, グルタチオン単独でなく, 緩効性肥料と併用することにより効果が改善されることが示唆された。

緩効性肥料のみの施用(肥料区)でもスギ植栽木の成長は促進されなかった(図-1, 2)。渡邊ら(7)は, 7年間の林地肥培により土壌型や施肥量によりスギ植栽木の成長促進効果が異なることを示した。施肥量が最も少ない21 g/年(N-P-K 24-16-11)の場合, 乾性褐色森林土B_Bや適潤性褐色森林土B_B(d)では7年間施用しても効果がみられなかった。本研究では, 植栽時の1回10 g(N-P-K 16-5-10)のみの施肥であるため, 肥料区で成長促進効果がみられなかったことも妥当と考える。

本研究では, スギコンテナ苗の植栽後の成長に対して, 植栽位置の影響がみられた(表-1, 2, 3)。調査地内には斜面位置1, 9, 15番の上側に作業路がある。作業路で区切られた部分を一つの斜面と考えると作業路のすぐ下の植栽木の樹高が高い傾向がみられた(図-3)。スギは深根性で, 根の伸長の深さ制限により成長量が制限されるため, 特に斜面上部のような水分条件が成長の制限要因となる立地において, 土壌厚が樹高を予測する上で重要な要因となることが示されている(6)。作業路のすぐ下では, 盛土により土壌厚が深くなっていることが植栽木の成長量の違いに影響している可能性が考えられる。今後, 土壌厚や水分条件を含めた立地条件の影響の検討が必要である。

5. まとめ 本研究の条件では, 植栽時のみの酸化型グルタチオン施用ではスギ植栽木の成長促進の効果はみられなかった。一方で, 酸化型グルタチオンの施用方法に関して, 単独施用より緩効性肥料との併用で効果が改善されることが示唆された。現在, 種子生産から育苗, 植栽の各段階における酸化型グルタチオンの施用に関する試験研究が進められている。今後報告される研究成果を総合して, 再造林へのグルタチオン資材の適用の可能性とその適切な方法について検討することが望まれる。

謝辞: 本研究は, 農林水産省委託プロジェクト「成長に優れた苗木を活用した施業モデルの開発」(18064868)の支援を受けて行われた。

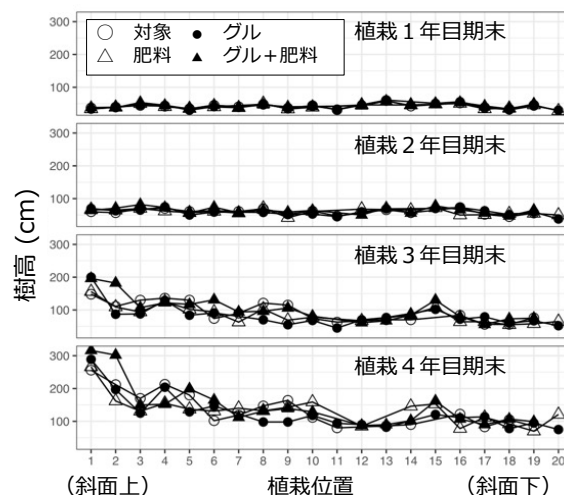


図-3. 植栽位置と植栽後のスギコンテナ苗の各年期末樹高の関係 (n=1)。横軸の植栽位置1番が斜面上部, 20番が斜面下部に相当する。植栽位置1, 9, 15番は作業路のすぐ下に位置する。

Fig. 3 Height of cedar container seedlings at the end of each season after planting (n = 1), shown for each planting location. Planting location 1 corresponds to the top of the slope and location 20 corresponds to the bottom of the slope. Planting positions 1, 9, and 15 are located just below the work road.

引用文献

- (1) Matsuda O, et al. (2015) Determination of seed soundness in conifers *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* using narrow-multiband spectral imaging in the short-wavelength infrared range. PLoS ONE 10: e0128358
- (2) 茂木靖和・渡邊仁志・小川健一 (2020) グルタチオン施用が秋出荷に向けたヒノキコンテナ苗生産へ及ぼす影響. 中部森林技術交流発表会 2019: 56-58
- (3) 小川健一 (2012) グルタチオン農業. 植物の生長調整 47: 17-23
- (4) 小川健一 (2013) グルタチオンによる澱粉バイオマスの増産. 化学と生物 51: 554-558
- (5) 田村明ら (2021) カラマツ種苗の安定供給のための技術開発. 森林遺伝育種 10: 54-58
- (6) Tange T, Feng G (2020) Topographic factors and tree heights of aged *Cryptomeria japonica* plantations in the Boso Peninsula, Japan. Forests 11: 771
- (7) 渡邊仁志・茂木靖和 (2012) スギの初期成長に及ぼす立地と施肥の影響, および省力造林の可能性. 岐阜県森林研報 41: 1-6
- (8) 山川博美・重永英年・久保幸治・中村松三 (2013) 植栽時期の違いがスギコンテナ苗の植栽後1年目の活着と成長に及ぼす影響. 日林誌 95: 214-219

スギコンテナ苗に対する接触刺激および風刺激の徒長抑制効果

阿部森也¹

¹ 茨城県林業技術センター

要旨：高密度に育苗するコンテナ苗は、隣り合う苗の相互間の競合のため、形状比が大きくなる傾向がある。形状比の大きい苗は、風による倒錯を受けやすいことに加えて、植栽後に肥大成長を優先させるため、樹高成長が遅れるという報告もある。この問題を解決するため、野菜等の高密度苗生産において、徒長抑制に利用されている接触刺激と、樹木の伸長を抑制し、肥大成長を促進させることが知られている風の刺激が、スギコンテナ苗の成長に及ぼす影響について調査した。風刺激を与えた試験区では、地際直径の成長が促進された。接触刺激を与えた試験区では、風刺激を与えた試験区以上に地際直径が大きくなり、苗高の成長が抑制された。また、風や接触の刺激は、根系や枝張り、主枝数など、苗の形状にも影響を及ぼすことが示唆された。

キーワード：風刺激、形状比、コンテナ苗、接触刺激、徒長抑制

Effect of mechanical and wind stimulation on suppression of excessive elongation in *Cryptomeria japonica* containerized seedlings

Shinya ABE¹

¹Ibaraki Prefectural Forestry Research Institute

Abstract: Containerized seedlings tend to have large H/D ratio because they are cultivated in high density. The seedlings are susceptible to wind perversion, and it is reported that the seedlings give priority to stem diameter growth after planting, resulting in delayed tree height growth. In order to solve this problem, this study investigated the effects of mechanical stimulation and wind stimulation on growth of containerized seedlings; the former stimulation is used to prevent excessive height growth in vegetables high-density seedling production; the latter is known to suppress the elongation of trees and promote diameter growth. This study found that wind stimulation promoted stem diameter growth. It also found that mechanical stimulation promoted stem diameter growth more than wind stimulation and suppressed the growth of height. In addition, it was suggested that mechanical stimulation and wind stimulation affected shape of seedlings, such as root system and branching.

Keywords: Containerized seedlings, H/D ratio, Mechanical stimulation, Suppression of excessive elongation, Wind stimulation

I はじめに

植え付け可能な適期も比較的長く、高能率に植栽できるコンテナ苗は、伐採から造林までを一貫して行う作業システムと相性が良い(3)。そのため、2021年6月に閣議決定した森林・林業基本計画では、造林の低コスト化を図ることを目的に、コンテナ苗の生産体制を整備することが明記された(10)。このように今後の増産が期待されるコンテナ苗は、畑で床替えを経て生産される裸苗と異なり、出荷までの間、通常高密度で栽培される場合が多い。そのため、コンテナ苗では、苗の相互間で競合が生じ、樹高の割に地際直径が細くなりやすい(15)。このような形状比の大きい徒長した苗木は、倒伏被害を受けやすいことに加えて(11)、植栽後、伸長成長より肥大成長を

優先させるため、樹高成長が遅れるという報告もある(14)。そのため、倒伏せず、樹高成長の良い苗木を生産するためには、育苗中に形状比を低く抑えることが重要となる。

環境に対する適応現象として、物理的な刺激を受けた植物は、体内でエチレンの生成を促進し、伸長成長を抑制することが知られている(4)。トマトやデンサイ、イネ等の高密度苗生産では、この反応を利用して徒長を抑制する技術が研究されている(5,12,13)。また、強風環境下の樹木は、伸長成長の抑制と肥大成長の促進が同時に起こり、太く短い形状になる(7)。海岸近くの風衝地において、風下ほど樹高が高くなる現象は、強風に対して植物が伸長を抑え、幹を太らせる応答に関係しており、アマ

ランサスにおける研究では、風刺激によって人為的に伸長を抑制できることが報告されている (1)。

本研究では、マルチキャビティコンテナのような高密度条件下において、接触刺激と風刺激がスギ実生苗の根系や形状に及ぼす影響について調査した。

II 材料と方法

1. 材料 供試コンテナ苗は、茨城県林業技術センターの少花粉スギ採種園で採種した種子を用いて、以下の方法で作出した。2022年2月に農業用セルトレイ（288穴/枚、約11cc/穴）に種子を播き、2か月間ガラス温室で栽培したプラグ苗を、4月にマルチキャビティコンテナ（JFA-150）に移植した。培土にはヤシ殻ピートを使用し、基肥として肥効期間5～6か月の緩効性肥料（N:P:K=15:9:12）を培土1Lあたり10g混合した。プラグ苗をコンテナに移植した後は、苗が活着するまでの2週間を温室で管理した後、野外の栽培施設へ移動した。野外移動後の水管理は1日に1回（夕方）とし、4月から6月と10月は20分、7月から9月は40分、スプリンクラーによって散水した。

2. 方法 接触刺激および風刺激の処理は、5月から9月の野外管理中に行った。接触刺激は、葉茎菜類での既往研究(8)を参考にし、1日に1回、座敷帯を苗に接触させ、主幹全体を揺らすように10往復撫でつける処理（約40～50秒）を週に5日行った。風刺激の試験区では、週に5日間、サーキュレーターを使用して、10分間苗に風速6m/Sの風（気象庁の風力階級表において、小枝が動き始め、灌木が揺れる手前の状態に相当）(6)を照射した。また、無処理の対照区を設けた。各処理区で2コンテナ、80本の苗を供試したが、接触刺激区の1コンテナについては、6月下旬の猛暑によって多くの枯損が発生したため、解析から除外した。

3. 測定項目 コンテナへ移植した直後の5月と、成長が緩やかになり始める9月末に苗の苗高と地際直径を測定し、形状比（苗高/地際直径）を算出した。これらに加えて、主枝（主幹から直接分枝した枝）の数と最も長い主枝の長さを測定した。以上の測定後、それぞれの苗をコンテナから引き抜き、根鉢の両面をデジタルカメラで撮影した。撮影した写真は画像解析ソフトImageJに取り込み、培土と根を2値化した後、根の面積を根鉢の面積で割り、両面の平均値を取ることで根鉢表面の根の被覆割合を算出した。また、根鉢の培土を水で洗い流し、地上部と地下部に切り分けた後、乾燥機で80℃・24時間の乾燥を行い、それぞれの重量を計測するとともに、地下部重量が外れ値となったサンプルを除いてT/R比を求めた。

4. データ解析 9月に計測した苗高、地際直径、形状比、主枝数、最長枝長、地上部重量、地下部重量、T/R比、根鉢表面の根被覆率を応答変数に、処理（接触刺激、風刺激、対照）を説明変数として、統計ソフトウェアR ver. 4.1.3（R Core Team, 2022）を用いて、一般化線形モデルによる解析を行った。また、応答変数を切片のみとするモデル（以下、nullモデル）を合わせて構築し、それぞれの計測項目毎に、処理モデルとnullモデルのAICを比較した。

III 結果と考察

図-1に、5月および9月の苗の苗高、地際直径、形状比を示した。5月の時点では、苗高・地際直径・形状比とも、処理区による差は見られずほぼ横ばいとなった。9月の苗高の平均値は、対照区が37.8cmで最も高く、風刺激区では36.4cm、接触刺激区では33.1cmだった。9月の地際直径の平均値は、風刺激区が4.99mm、接触刺激区が5.30mmとなり、対照区の4.31mmを上回っていた。

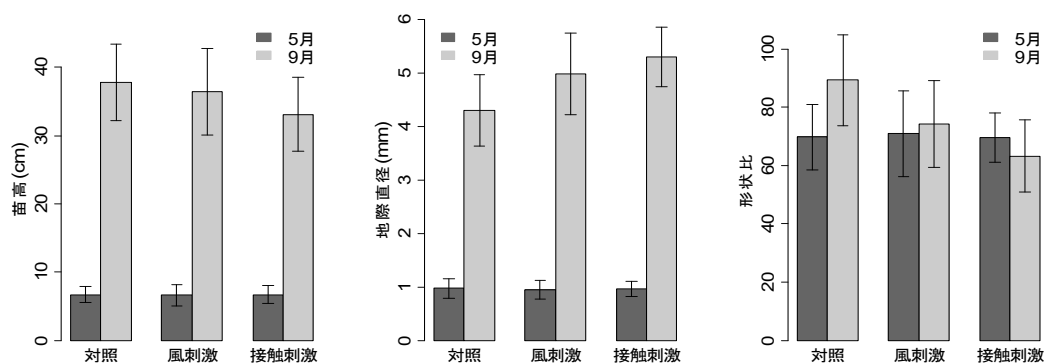


図-1. 供試苗の5月および9月の苗高、地際直径、形状比（エラーバーは標準偏差）

Fig. 1 Height of seedlings, basal diameter of stem and H/D ratio in May and September (Error bars indicate standard deviation)

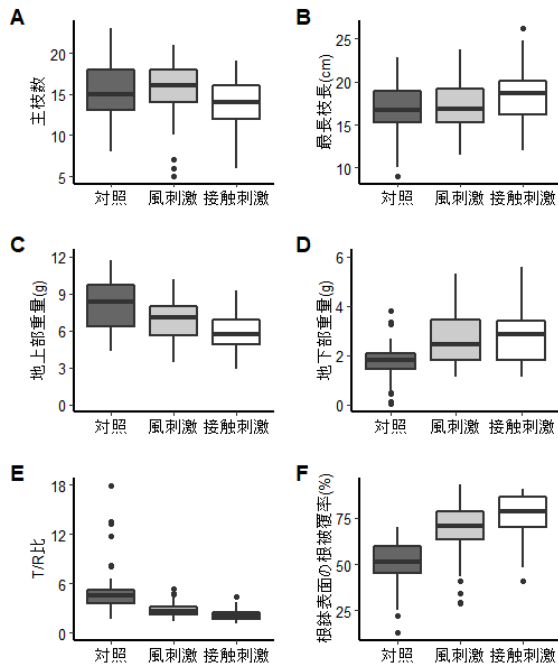


図-2. 9月における供試苗の主枝数 (A), 最長枝長 (B), 地上部重量 (C), 地下部重量 (D), T/R 比 (E), 根鉢表面の根被覆率 (F)

箱内の太線は中央値, 箱の両端は第1・第3四分位点, ひげの先端は最小値・最大値, 丸印は外れ値を表す

Fig. 2 Number of branches (A), longest branch length (B), aboveground weight (C), root weight (D), T/R ratio (E), and root area per root ball area (F) of test seedlings in September

Ends of box are 1st and 3rd quartiles, tips of whiskers are minimum and maximum values, and the circles are outliers

9月の形状比の平均値は, 接触刺激区 (63.22), 風刺激区 (74.21), 対照区 (89.27) の順となった。一般化線形モデルによる解析の結果, 苗高, 地際直径, 形状比とも, 説明変数に処理を含むモデルのほうが, null モデルよりも AIC が低かった (表-1)。処理を説明変数に含んだモデルの係数の推定結果を見ると, 苗高では接触刺激に有意な負の効果が認められた。地際直径では, 風刺激と接触刺激に有意な正の効果が認められ, その影響は, 風刺激よりも接触刺激で大きかった。形状比は, 風刺激と接触刺激に有意な負の効果が認められ, その影響は, 地際直径と同様に, 接触刺激で大きかった。接触刺激区における地際直径の成長促進と, それに伴う形状比の低下は, 外部からの刺激に対して, スギ苗が生理的に応答した結果だと考えられる。そのため, コンテナ苗の徒長を抑制

するために, 接触刺激の利用は有効であると考えられた。一方で, 風刺激については, わずかに地際直径の成長促進がみられたものの, その効果は接触刺激よりも小さかった。また, 風刺激を与えた処理区では, 伸長成長の抑制効果が不明瞭だったことから, 苗の形態的な変化を誘発するには, 本試験における風速 6 m/S よりも強い刺激が必要であることが考えられた。

9月における主枝数, 最長枝長, 地上部重量, 地下部重量, T/R 比, 根鉢表面の根被覆率の計測結果を図-2 に示した。主枝数の平均値は, 対照区が 15.14 本, 風刺激が 15.41 本だったのに対して, 接触刺激では 13.62 本とやや少なかった。最長枝長の平均値は, 対照区が 16.95 cm, 風刺激区が 17.23 cm だったのに対して, 接触刺激では 18.32 cm とやや長かった。地上部重量の平均値は, 対照区 (8.08 g) > 風刺激区 (6.97 g) > 接触刺激区 (5.92 g) の順となった。地下部重量は, 対照区が 1.75 g だったのに対して, 風刺激区が 2.72 g, 接触刺激が 2.80 g と処理によってやや大きくなった。T/R 比の平均値は, 対照区 (5.06) > 風刺激区 (2.82) > 接触刺激区 (2.31) の順となった。根鉢表面の根被覆率は, 接触刺激 (76.03 %), 風刺激区 (69.43 %), 対照区 (51.23 %) の順に多かった。一般化線形モデルによる解析の結果 (表-1), 主枝数, 最長枝長, 地上部重量, 地下部重量, T/R 比, 根鉢表面の根被覆率の 5 形質とも, 説明変数に処理を含むモデルのほうが, null モデルよりも AIC が低かった。形質ごとに処理の効果を見ると, 主枝数では接触刺激にのみ有意な負の効果が, 最長枝長では, 接触刺激にのみ有意な正の効果が認められた。地上部重量および T/R 比は, 風刺激と接触刺激に有意な負の効果が認められ, その影響は接触刺激で大きかった。地下部重量および根鉢表面の根被覆率は, 風刺激, 接触刺激とも有意な正の効果が認められ, その影響は, 接触刺激で大きかった。高木ら (12) は, 接触刺激がてん菜の苗に及ぼす影響について調査を行い, 接触刺激によって葉長が短くなったことに加えて, 葉がロゼット状に開長したことを報告している。本研究においては, 伸長成長の抑制と肥大成長の促進がみられた接触刺激区では, 地上部重量と主枝数が減少し, 最長枝長が増加していた。そのため, スギ苗への接触刺激の処理は, 地際直径だけではなく, 枝張りや葉量といった苗の形状にも変化を及ぼす可能性が考えられた。また, 接触刺激による植物の伸長抑制は, 植物体内でエチレンが生成されることで生じる (2)。エチレンは, 分枝根や毛根の発生を促し, 根量を増大させることが知られており (9), 本研究において, 風や接触の刺激を与えたスギ苗で地下部重量と根鉢表面の根被覆率が増加していたことは, こ

表-1. 9月の計測データに対する一般化線形モデルの係数推定値とAIC

Table 1 Coefficient estimates and AIC obtained using generalized linear models and measurement data in September

応答変数	モデル	説明変数の係数の推定値			AIC
		切片	風刺激	接触刺激	
苗高	処理	37.80***	-1.35	-4.66***	1190
	null	36.28***	-	-	1202
地際直径	処理	4.30***	0.68***	1.00***	86
	null	4.78***	-	-	117
形状比	処理	89.27***	-15.07***	-26.06***	1533
	null	77.92***	-	-	1602
主枝数	処理	15.14***	0.27	-1.51*	991
	null	14.91***	-	-	994
最長枝長	処理	16.95***	0.27	1.37*	916
	null	17.35***	-	-	918
地上部重量	処理	8.08***	-1.11***	-2.16***	751
	null	7.19***	-	-	783
地下部重量	処理	1.75***	0.97***	1.06***	504
	null	2.35***	-	-	546
T/R比	処理	5.06***	-2.24***	-2.75***	711
	null	3.54***	-	-	773
根鉢表面の 根被覆率	処理	51.23***	18.20***	24.80***	1456
	null	63.51***	-	-	1550

*, **, *** はそれぞれ危険率5%, 1%, 0.1%で有意であることを表す

これらの報告と一致した。その一方で、風刺激については、地下形質への影響が接触刺激よりも小さく、主枝数や最長枝長については明確な変化がみられなかった。これは、苗高や地際直径での考察と同様に、本実験で用いた風速が刺激として弱かったためだと考えられる。

以上の結果から、スギコンテナ苗への接触刺激、風刺激は、徒長抑制の技術として有効である可能性が示唆された。特に、今回の試験条件では、接触刺激は風刺激よりも明確に徒長抑制の影響がみられた。そのため、接触刺激については、より徒長抑制効果の高い回数や頻度を研究する必要がある。また、本実験での処理方法を生産現場にそのまま導入することは、労力がかかり過ぎてしまうため、より効率的、省力的な接触刺激の処理方法についても検討が必要だと考えられる。

引用文献

- (1) チャカタカーンソムチャイ・チャカタカーンウィライボン・元田義春・太田保夫 (1994) 物理的刺激がアマランサス (*Amaranthus spp.*) の生育に及ぼす影響. 日本作物学会 63: 546-548
- (2) Hiraki Y, Ota Y (1975) The relationship between growth inhibition and ethylene production by mechanical stimulation in *Lilium longiflorum*. *Plant and Cell Physiology* 16: 185-189
- (3) 今富裕樹 (2011) スギ再造林の低コスト化を目指した技術開発 伐採・地拵え・植栽の一貫作業による低コスト化. 現代林業 542, 東京, 52-55pp
- (4) Jaffe MJ (1973) Thigmomorphogenesis: The response of plant growth and development to mechanical stimulation. *Planta* 114: 143-157

- (5) 鄭永浩・太田保夫 (1980) 物理的刺激によるイネの生長抑制とアブシジン酸生成量との関係について. 日本作物学会 49: 615-616

- (6) 気象庁 (1998) 気象観測の手引き. 気象庁, 東京, 21pp.

- (7) 小池孝良・北尾光俊・市栄智明・渡辺誠 (2020) 木本植物の生理生態. 共立出版株式会社, 東京, 24pp

- (8) 正木敬・坂上修 (1987) 葉茎菜類の苗の発育に及ぼす接触刺激効果. 東北農業研究 40: 289-290

- (9) 中山正義・太田保夫 (1985) 作物とくに根の生長におよぼす土壌中のエチレンの役割. 農業技術研究所報告 D 36: 333-376

- (10) 林野庁 (2021) 森林・林業基本計画. 林野庁, 東京, 16pp

- (11) 重永英年・山川博美・野宮治人 (2014) 植栽直後に倒伏したスギコンテナ苗のその後の回復と成長. 日本森林学会大会発表データベース 125: P2-052

- (12) 高木荒司・増田昭芳・築島昇・加川勝久・黒沢厚基 (1978) てん菜の育苗における接触刺激の効果について. てん菜研究会報 19: 203-212

- (13) 田中和夫・島地英夫 (1992) 接触刺激を利用したトマトの高密度苗生産. 生物環境調節 30: 59-64

- (14) 宇都木玄・壁谷大介・田中良明・鹿又秀聡・八木橋勉・駒木貴彰・大石康彦・北原文章 (2015) 一貫作業システムの切り札 コンテナ苗の植栽試験結果. 森林総合研究所平成 27 年度版研究成果選集: 6-7

- (15) 山田健・三樹陽一郎 (2015) コンテナ苗 その特徴と造林方法. 林業改良普及双書 178, 東京, 48pp

スギ実生コンテナ苗の成長と有効積算温度の関係

大平峰子¹・山野邊太郎¹・木村 恵¹・高橋 誠¹¹森林研究・整備機構 森林総合研究所林木育種センター

要旨：スギ実生コンテナ苗の成長を予測して生産・出荷計画に役立てるため、播種からの有効積算温度と苗高の関係を調査した。スギ4家系を3月上旬に播種し、4月上旬に芽生えをコンテナへ移植、以後毎月苗高を測定した。有効積算温度と苗高の関係は、移植後の緩やかに成長する期間と急速に成長する期間に区分され、それぞれ直線回帰式でよく説明できた。両回帰式の交点は、苗高4.6 cm、有効積算温度1,104°C・日と推定され、得られた回帰式から、中央値35 cmのコンテナ苗を得るための移植期限を逆算した結果、5月6日と推定された。これらの結果から、有効積算温度と苗高の関係は2つの直線回帰式で表現可能なことが示され、異なる地域でも気温データから成長予測や移植期限の推定が可能と考えられた。

キーワード：成長予測、出荷調整、移植期限、苗高

Relationship between the growth of *Cryptomeria japonica* container seedlings and the effective cumulative temperatureMineko OHIRA¹, Taro YAMANOBE¹, Megumi KIMURA¹, Makoto TAKAHASHI¹¹Forest Tree Breeding Center, Forestry and Forest Products Research Institute

Abstract: To predict the growth of *Cryptomeria japonica* container seedlings for efficient production and shipping of the seedlings, we investigated the relationship between effective cumulative temperature after sowing and the height of container seedlings. Seeds of four families were sown in early March, transplanted to containers in early April, and the seedling height was measured monthly thereafter. The relationship between the effective cumulative temperature after sowing and seedling height was explained using two linear regression equations, which corresponded the period of gradual growth after transplanting and the period of vigorous growth thereafter. The intersection of both regression lines was estimated to be 4.6 cm in seedling height and 1,104°C·day in effective cumulative temperature. From the regression equations obtained, the transplanting deadline to obtain container seedlings of 35 cm median height was calculated backwards and estimated to be May 6. These results indicate that the relationship between effective cumulative temperature and seedling height can be expressed using two linear regression equations, that is, growth can be predicted and transplanting deadline can be estimated from temperature data in different regions.

Keywords: growth prediction, adjustment of shipping seedlings, transplant deadline, seedling height

1 はじめに

再造林費用の低減を目的として、伐採と同時期に地拵えや植栽を行う「伐採と造林の一貫作業システム」が推進されている(10)。この一貫作業システムでは、伐採と再造林のタイミングを合わせるため、植栽適期の長いコンテナ苗が活用され、そのコンテナ苗の生産量は年々増加している(10)。スギ実生コンテナ苗を生産するにあたっては、苗畑で播種し約1年間育成した幼苗をコンテナに移植し、さらに1年育成する方法が最も多いと報告されている(6)が、近年苗畑での労力軽減等を期待してコンテナ容器や育苗箱等に播種し、1年でコンテナ苗を生

産する試みがなされている(2, 4, 7)。この方法はこれまでに比べて育苗期間が短いため、管理コストおよび病虫害被害リスクを低減し、苗木生産量も調整しやすくなることが期待できる。

コンテナ苗を1年で育成する場合、播種時期によってコンテナ苗のサイズや得苗率をある程度調整できることが報告されている(2, 4, 8)。この際、播種あるいはプラグ苗等の移植後の苗木の成長が予測できれば、生産計画や出荷の見通しが立てやすくなると考えられる。例えば、農作物では予測方法の一つに有効積算温度法があり、イネの成長(I)やサトウキビの収穫(II)等の予測に使

用されている。農作物と同様に測定が容易な環境要因を用いて、コンテナ苗の成長や出荷を予測できれば、生産計画が立てやすくなるだけでなく、コンテナ苗に特有の移植や出荷といった人手が必要な作業時期の雇用計画の見通しも立てやすくなると期待される。

そこで本研究では、スギ実生コンテナ苗の伸長成長の予測における有効積算温度の有効性を検証するとともに、苗高と有効積算温度の直線回帰が可能か検討した。また、得られた回帰式を用いて、目標サイズにまで育成するための移植期限の推定を試みた。

II 材料と方法

1. 材料と育苗条件 茨城県日立市にある森林研究・整備機構森林総合研究所林木育種センター構内に植栽された関東育種基本区選抜のスギ第二世代精英樹候補木間の人工交配により得た4家系の種子を材料として用いた。

採取した種子は、赤外分光種子選別機(5)を用いて精選し、発芽時期を揃えるため(3)、2021年2月8日から3週間、2℃で低温湿層処理を行った。同年3月2日に種子を育苗箱に播種し、ガラス温室で1日6回ミストによる散水を行った。同年4月8日に発芽した芽生え(家系あたり20本、合計80本)をコンテナ(JFA150、容量150ml)へ移植した。なお、コンテナの培土には、ココピート(トップ社、ココピートオールド)を用い、1Lあたり元肥として緩効性肥料(ジェイカムアグリ社、マイクロングトータル280の100日タイプ、N:P:K=12:8:10)5gと粒状炭酸苦土石灰1gを混合して施用した。芽生えを移植したコンテナは、播種した育苗箱と同じガラス温室に設置し、同様に灌水して管理した。同年6月2日にガラス温室から屋外へ出し、1日1回の散水で管理した。同年7月19日に追肥として緩効性肥料(ジェイカムアグリ社、ハイコントロール085の100日タイプ、N:P:K=10:18:15)と粒状炭酸苦土石灰を重量比4:1で混合したものを苗木あたり1g施用した。

2. 測定と解析方法 2021年4月20日に、移植した芽生えの初期高を測定し、以後2022年4月まで毎月苗高を測定した。移植した80本の個体のうち、枯損した2個体、成長休止期に苗高10cmに達しなかった1個体、事後のデータチェック時に測定値が異常であった4個体を除く73個体を解析対象とした。

育成場所の気温を、気象観測装置(Onset社、温度センサーS-THC-M002)で1時間おきに測定した。測定で得られた気温データの日平均気温から、有効下限温度を5℃として差し引いた値を有効温度(ET)とし、播種日から積算してn日目における有効積算温度(ECT)を下記の

式により求めた。

$$ECT_n = \sum_{i=1}^n ET_i \quad (1)$$

まず、解析対象の全個体の平均値を用いて、有効積算温度と苗高平均値の関係を検討するために、苗木の成長期間を芽生え移植後の緩やかな成長を示す期間(以下芽生え活着期、p1)と急速な成長を示す期間(以下成長旺盛期、p2)の2つに区分し、それぞれの期間について、n日目の平均苗高(H_n)と有効積算温度(ECT_n)の一次式で回帰し、それぞれの傾きと切片を求めた。

$$H_n = a_{p1}ECT_n + b_{p1} \quad (2)$$

$$H_n = a_{p2}ECT_n + b_{p2} \quad (3)$$

式(2)と式(3)の交点を、温度依存性の転換点CPとして、この時の苗高(H_{CP})と積算温度(ECT_{CP})を求めた。次に、目標苗高に到達させるための芽生えの移植期限を算出するために、上記解析で得られたパラメータを用いて、苗高の推定式を下記の通り構築した。目標日(TD)に目標苗高(H_{TD})に到達し、苗高が H_{CP} の時に傾きが転換すると仮定した場合、傾きが転換するときから目標日までの積算温度($revECT_{ESTCP}$)および目標日のn日目の苗高(H_{EST})は下記の式となる。

$$revECT_{ESTCP} = (H_{TD} - H_{CP})/a_{p2} \quad (4)$$

ただし、

($H_{EST} > H_{CP}$ の時)

$$H_{EST} = H_{TD} - a_{p2} \cdot \sum_{i=TD-n}^{TD} ET_i \quad (5)$$

($H_{EST} < H_{CP}$ の時)

$$H_{EST} = H_{CP} - a_{p1} \cdot (revECT_{ESTCP} - \sum_{i=TD-n}^{TD} ET_i) \quad (6)$$

なお今回は、温度データに林木育種センターにおける2021年の測定値を使用し、経験的に8割程度の苗高が30cmを超えてくる中央値として H_{TD} を35cmに、TDを2021年10月31日に設定した。また H_{EST} が初回測定の平均値を超える日を移植期限として推定した。

式(2)、(3)で算出した各成長期の傾き(a_{p1} および a_{p2})家系間差を把握するため、解析に用いた73個体について、1本ごとに式(7)および式(8)による解析を行い、n日目の樹高(H_n)と有効積算温度(ECT_n)による下記一次回帰の傾きと切片を求めた。

$$H_n = a_{lp1}ECT_n + b_{lp1} \quad (7)$$

$$H_n = a_{lp2}ECT_n + b_{lp2} \quad (8)$$

得られた a_{lp1} および a_{lp2} について家系を要因とするウィルコクソンの順位と検定(Benjamini-Hochberg法により調整)を行った。なお、 b_{lp1} および b_{lp2} は推定のみとし本報告では考察しなかった。解析にはR3.6.3(9)を使用し、一次回帰にはBaseパッケージのlm関数、多重比較にはrastatixパッケージのpairwise_wilcox_test関数を使

用した。

III 結果

移植直後の芽生えの高さは平均 1.3 cm であった。6 月下旬以降から成長速度が増し、9 月下旬以降は成長が鈍化して、10 月下旬以降はほぼ伸長が停止した (図-1)。苗高と有効積算温度の関係は、5 月下旬付近に転換点があると推察されたため、式 (2) は 4 月下旬と 5 月下旬の値により、式 (3) は 5 月下旬から 10 月下旬の値により解析を行った (図-2)。 a_{p1} , b_{p1} , a_{p2} , b_{p2} , H_{CP} および ECT_{cp} はそれぞれ、0.0050, -0.8655, 0.0139, -10.74, 4.6 cm, 1,104°C・日と推定された。なお、計測点数が 3 点以上である p2 期で決定係数 R^2 を算出したところ 0.98 であった。また、CP は 6 月 9 日に該当した。

2021 年 10 月 31 日に苗高が 35 cm に到達する場合の苗高は図-3 の通りに推移し、苗高 1.3 cm の芽生えを移植する期限は、5 月 6 日になると推定された。

2 つの成長期間において各個体の苗高と有効積算温度の回帰式の傾き a_{p1} および a_{p2} はそれぞれ 0.0036~0.0061 および 0.0090~0.0164 で、いずれも家系間に有意な差が認められた (図-4 左および図-4 中央、ウィルコクソンの順位検定, $p < 0.05$)。なお、式 (8) による決定係数 R^2 は全個体で 0.94 以上を示し、家系間差は検出されなかった (図-4 右、ウィルコクソンの順位検定, $p > 0.05$)。

IV 考察

イネをはじめとする作物では、成長や収穫の予測を目的として、気温の値等による環境指標を用いた予測が行われている (I, II)。林木では有効積算温度は花粉の飛散の予測に用いられることが多い (I2, I3) が、コンテナ苗の成長予測に用いられたことはほとんどなく、近藤ら (4) が、スギ実生コンテナ苗で秋季の発芽および初期成長と積算温度の関係を報告しているのみである。本研究では、5°C を有効下限温度とした有効積算温度とコンテナ苗の高さの関係を明らかにし、移植直後で成長が緩やかな期間とその後の成長が早い期間において、それぞれ有効積算温度と苗高が単純な直線回帰式で表現できることを示した。全個体の平均値における成長旺盛期の回帰式の傾きの決定係数は 0.98 であったことから、有効積算温度と成長旺盛期に区分した回帰式の説明力は高いと判断でき、有効積算温度が実用的な指標となりうることを示した。ただし、芽生え活着期・成長旺盛期とも傾きは家系間で有意に異なったことから (図-4)、これらの傾きは採種園や母樹によって変動すると考えられる。また、近藤ら (4) および藤井 (2) のように秋季等春季以外に

播種した場合については今後検討する必要がある。

今回、茨城県日立市で育成中に測定した気温データを用いて、5 月 6 日までに移植すれば 35 cm の苗木が育成できると推定されるケースを示した。同様に異なる地域においても、苗高の成長が止まる時期・到達させたい苗高を設定し、近傍の測候所の気温データから予測した回帰式を利用して、1 年生コンテナ苗を育成するための成長の予測や芽生え移植を行う期限の推定が可能と考えられる。ただし、有効積算温度と苗高の回帰式は、家系の他に温度以外の育成環境、肥料濃度および灌水等の影響を受ける可能性があるため、苗木生産事業で使用するためには、地域や育苗条件ごとに関係式を明らかにする必要がある。

謝辞：この研究は、農林水産省による戦略的プロジェクト研究推進事業「成長に優れた苗木を活用した施業モデルの開発」による支援を受けて行った。また、森林総合研究所の飛田博順博士には、赤外分光種子選別機による種子選別にご協力頂いた。ここに御礼申し上げる。

引用文献

- (1) 江幡守衛 (1990) 有効積算温度とイネの生長:第 1 報 有効下限温度の実験的算出法とイネの栄養生長への応用. 日作紀 59: 225-232
- (2) 藤井栄 (2016) 実生スギコンテナ苗生産期間短縮の試み. 徳島農技セ研報 3: 15-20
- (3) 木村恵・大平峰子・山野邊太郎 (2020) 気温と低温湿層処理がスギの発芽に及ぼす影響 日本森林学会大会発表データベース 131: P2-110
- (4) 近藤晃・袴田哲司・山本茂弘 (2019) 1 年生で山行き可能なスギコンテナ苗の育苗—秋季にコンテナ容器へ直播きする方法—. 静岡農研研報 12: 41-46
- (5) 松田修・原真司・飛田博順・宇都木玄 (2016) 高発芽率を実現する樹木種子の選別技術. 森林遺伝育種 5: 21-25
- (6) 小笠真由美・藤井栄・飛田博順・山下直子・宇都木玄 (2021) 山林用針葉樹コンテナ苗における育苗方法の現状と課題—全国のコンテナ苗生産者に対するアンケート調査より—. 日林誌 103: 105-116
- (7) 大平峰子・松下通也 (2019) 施肥量がスギ実生コンテナ苗の成長に及ぼす影響. 日林誌 101: 109-114
- (8) 大平峰子 (2020) 播種時期の異なるスギ実生コンテナ苗の成長推移の比較. 関東森林研究 70: 165-168
- (9) R Core Team (2020) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing,

Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

(10) 林野庁 (2022) 令和 3 年度森林・林業白書. 林野庁, 東京: 207pp

(11) 境垣内岳雄・樽本祐助・服部育男・丸山篤志・寺内方克・松岡誠・服部太一郎・田中穰・石川葉子・寺島義文 (2015) 収穫時期の異なる年2回収穫栽培における飼

料用サトウキビ KRF093-1 の生育および収量. 日作紀 84: 41-48

(12) 平英彰・寺西秀豊・劔田幸子 (1992) スギの花粉飛散開始日からの予測について. アレルギー 41: 86-92

(13) 平英彰(1993) スギ品種による雄花の有効積算温度と発育限界温度の違い. 富山林技研報 7: 18-21

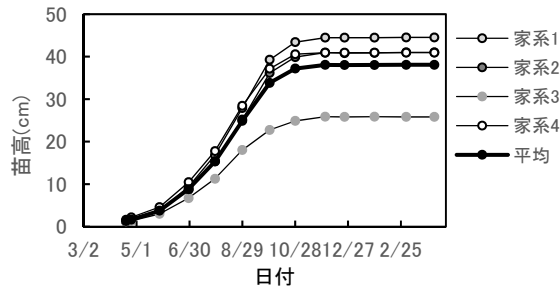


図-1. スギ実生コンテナ苗の高さの季節推移

Fig. 1 Seasonal changes in the height of *Cryptomeria japonica* container seedlings

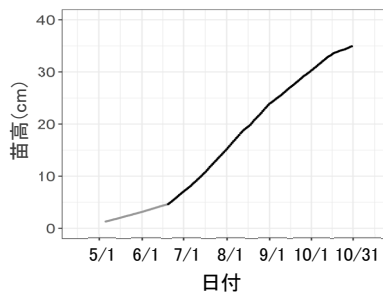


図-3. 2021 年 5 月 6 日に移植した場合に推定される樹高の推移

灰色および黒がそれぞれ芽生え活着期および成長旺盛期の樹高。2021 年 5 月 6 日は、式 (6), 式 (7) および式 (8) により目標日 2021 年 10 月 31 日に目標樹高 35 cm に到達すると推定された 1.3 cm の芽生えの移植日。

Fig. 3 Estimated height of *Cryptomeria japonica* container seedlings transplanted on the 6th of May 2021

The 6th of May in 2021 was the estimated transplantation day in which the plant sprouted and had a height of 1.3 cm, and it reached a height of 35 cm on the 31st of October 2021, according to equation (6), equation (7), and equation (8).

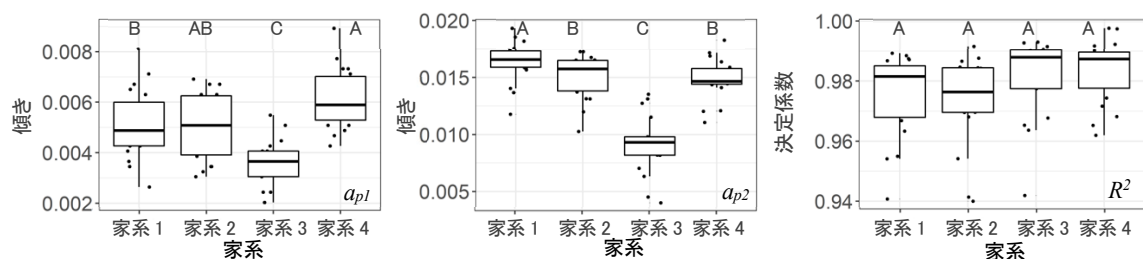


図-4. 式 (7) および式 (8) において推定された一次回帰パラメータの家系間比較

パラメータは芽生え活着期の傾き (a_{p1}) および成長旺盛期の傾き (a_{p2}) および決定係数 (R^2)。同じアルファベットが付された家系間には有意差がない (Benjamini-Hockberg 法で調整した Wilcoxon の順位検定, $p < 0.05$)。

Fig. 4 Familial difference in the parameters in equation (7) and equation (8)

Regression equation for the slope of the primary growth period (a_{p1}), slope of the vigorous growth period (a_{p2}), and coefficient of determination of the vigorous growth period (R^2). Parameters with the same letter are not different significantly (Wilcoxon rank sum test with Benjamini-Hockberg adjustment of p-value, $p < 0.05$).

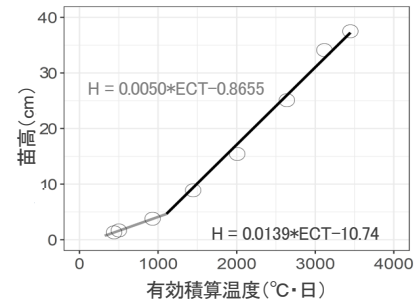


図-2. 有効積算温度 (ECT) と苗高 (H) の関係

芽生え活着期 (灰色実線) および成長旺盛期 (黒実線) の回帰式を図中に示した。

Fig. 2 Relationship between the height of container seedlings (H) and the effective cumulative temperature (ECT)

Regression equation of primary growth period (grey line) and vigorous growth period (black line) are shown in Fig.2

薬用のつる性木本植物カギカズラの組織培養によるクローン化とクローン苗の植栽

谷口 亨¹・小長谷賢一¹・山口秀太郎²¹森林総合研究所森林バイオ研究センター・²森林総研林木育種センター関西育種場四国増殖保存園

要旨：カギカズラのカギを付けた枝はストレス低減、不眠症、高血圧症随伴症状、認知症周辺症状に効果がある漢方薬の原料となる。本種の大量増殖には組織培養が有効な手段と考えられる。そこで、カギ付き枝から採取した外植体5種類を培養し、外植体別のシュート形成率と形成したシュート長を調査した。その結果、葉腋からカギが発生しておらず、主軸に最も近い節から作製した節外植体がシュート形成率が高く、シュート長も大きく、外植体として最も適すると考えられた。得られたシュートは継代培養による増殖後、発根培養して植物体とした。順化済みの培養苗25系統を圃場に植栽しところ、健全に成長し、植栽当年の平均樹高は121 cm、地際直径は14 mmとなった。これら培養苗を植栽した圃場は、成長、収量、薬用成分含量の評価のための試験地として活用している。

キーワード：カギカズラ、組織培養、外植体、クローン増殖、植栽試験

Clonal propagation by tissue culture, and field test planting of the clonal plant in a pharmaceutical woody climbing plant, *Uncaria rhynchophylla*

Toru TANIGUCHI¹, Ken-ichi KONAGAYA¹, Shutaro YAMAGUCHI²

¹ Forest Bio-Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute; ² Kansai Regional Breeding Office, Forest Tree Breeding Center, Forestry and Forest Products Research Institute

Abstract: Stem segments with hook of *Uncaria rhynchophylla* is a material plant for Kanpo medicines that is effective for stress reduction, insomnia, and symptoms associated with hypertension and dementia. Tissue culture is an effective method for mass propagation of this species. Therefore, five type of explants were tested for shoot formation and growth of the shoot. It was concluded that nodal explants adjacent to main axis that did not develop hooks were the most suitable explants. The explants formed shoots at a highest rate and the shoot growth was good. Clonal plants were produced after subculture of shoot, rooting of shoot, and acclimatization. These plants propagated from 25 individuals were planted in the field, and they grew healthy with an average height of 121 cm and an average diameter at ground level of 14 mm in the planting year. Fields in which these tissue cultured clones were planted are used as test sites to evaluate growth, yield, and medicinal properties.

Keywords: *Uncaria rhynchophylla*, tissue culture, explant, clonal propagation, field test

I はじめに

カギカズラ (*Uncaria rhynchophylla* Miq.) はアカネ科カギカズラ属のつる性の木本植物で、房総半島～鹿児島県の山地の常緑樹林内や中国南部に自生する (2)。本種の枝の葉腋には釣り針状の特徴的なカギがある。このカギを付けた枝がアルカロイドを主成分とする生薬 (チョウトウコウ、釣藤鈎) として利用され、漢方薬の原料となり、その効能はストレス、不眠症、高血圧症随伴症状、認知症周辺症状の緩和とされている。チョウトウコウの国内での使用量は10年間で3倍程度増加している (8)。現在の国内使用品の全ては中国産であるが (8)、江戸時代は国産が利用されていたとされる (3)。超高齢化・ス

トレス社会の現代において、高血圧や認知症は今後も増加が懸念される疾病であるため、これら疾病に対して効果のある漢方薬は重要な医薬品であり、その原料の安定供給のためにカギカズラを国産化することが望ましい。このような背景のもと、カギカズラの国内栽培化を目標に研究を進めており、苗木増産に資する組織培養や収量の多い優良系統選抜が重要と考えている。

優良系統の増殖のためには交配による形質の分離が起らないクローン増殖が形質の安定性の観点では望ましい。カギカズラのクローン増殖については、さし木によるクローン化について報告されており、発根率が70%以上の個体もあるが平均発根率は33%であり (4)、さし木

により効率的な増殖を行うには発根率は低い。根からクローン個体を得る根差しも報告されているが (5), 増殖効率は低い。また, 単一の個体からさし木に用いるさし穂や根ざしに用いる根を得ることは困難である。そのため, 優良系統などの特定の数少ない個体を短期間に大量増殖するためには, 組織培養によるクローン増殖が有効である。カギカズラの組織培養によるクローン化についてはこれまでに報告している (1, 6)。本種の主軸から発生する枝の葉腋部にはカギがあり (この枝をカギ付き枝と呼ぶ), カギ付き枝から切り取ったカギを付けた節部を外植体として培養することにより, クローン化が可能であることをこれらの報告で示した。本報告ではカギ付き枝から 5 種類の外植体を調製して培養し, シュート発生について評価した。また, 作製した培養苗は試験地に植栽し, 植栽当年の成長を調査した。

II 材料と方法

1. 組織培養 2014~2015 年に自生地 (高知県, 千葉県, 宮崎県, 鹿児島県) で掘り取った山引き苗や採取した枝から作製したさし木苗を鉢植えにして, 温室 (茨城県日立市) で育成した。2016 年春に主軸より発生したカギ付き枝を採取し, 葉を除去してから 5%過酸化水素水で 10 分間滅菌した。滅菌後, 図-1a に示す 5 種類の部位に由来する外植体を初代培養培地 (1/2MS 無機塩+1/2B5 ビタミン+BAP4 μ M+ショ糖 15 g/L+寒天 8 g/L) で培養した。培養 1 ヶ月後にシュート形成率とシュート長を測定した。形成したシュートは初代培養培地と同組成の培地に 1 ヶ月間隔で継代培養し, 増殖したシュートの先端 3~4 cm 程度を発根培地 (1/2MS 無機塩+1/2B5 ビタミン+IBA 0.1 μ M+ショ糖 15 g/L+寒天 8 g/L) で培養した。発根苗はピートモスとバーミキュライトの当量混合土を加えたポットに移植して組織培養苗を順化した (6)。

2. 組織培養苗の定植 順化済みの培養苗は約 1 年間温室 (茨城県日立市) で育成し, 2018 年 5 月に森林総合研究所林木育種センター関西育種場四国増殖保存園 (高知県香美市) に定植した。培養苗の系統数は 25, 系統あたりの本数は 4 としたが, 一部の系統は苗が不足したために植栽本数が合計 94 である。植栽後, 樹高 (根元から主軸の頂端部までの長さ) と根元直径を測定した。

III 結果と考察

カギカズラの主軸から発生するカギ付き枝の節には釣り針に似た形状のカギがある。カギの本数は 1 本の場合 (単生カギ) と 2 本の場合 (双生カギ) があり, 一般に, 単生カギの節部に隣接する節部ではカギは 2 本となり,

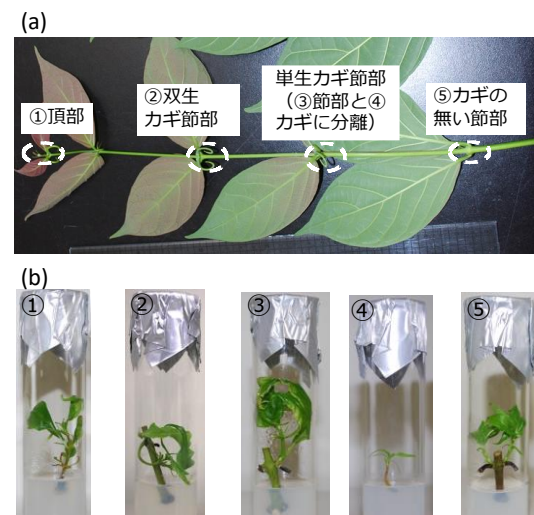


図-1. 初代培養に使用した外植体5種類 (a) と各外植体から発生したシュート (b)

Fig. 1 Five type of explants used for initial culture (a), and shoots developed from each explant (b)

単生と双生カギは交互に見られる。また, 主軸に最も近い節部にはカギはない。図-1a に示すように, カギを付けた枝から調製した, ①頂部, ②双生カギ節部, ③単生カギ節部からカギを除去した節部, ④単生カギ節部から分離したカギ, ⑤カギのない節部の 5 種類の外植体を培養した。その結果, 5 種類すべての外植体からシュート伸長が見られた (図-1b)。①頂部外植体では, 頂芽が伸長し, ②双生カギ節部外植体では, カギの先端からシュートが発生し, 伸長した。③単生カギ節部からカギを除去した節部外植体の場合, カギが着生していなかった葉腋から新たなシュートが発生して伸長した。④単生カギ節部から分離したカギ外植体の場合, ②と同じく, カギの先端からシュートが発生し, 伸長した。⑤カギのない節部外植体では, ③と同じく, 葉腋から新たなシュートが発生して伸長した。カギは形態学的には葉腋から発生するシュートに相当するため (7), カギを培養した際にシュートと同じように頂部が伸長したと考えられる。5 種類の外植体のうち, 最もシュート発生率が高かった外植体は⑤カギのない節部外植体であり, シュート発生率は約 85%であった。他の 5 種類の外植体ではシュート発生率は 32~42%程度であった (図-2)。シュートの伸長量は, ⑤カギのない節部外植体が最も長く, ①頂部外植体と④単生カギ節部から分離したカギ外植体ではシュート伸長量は低かった (図-3)。これらシュート生成率とシュート長の結果からカギカズラの培養において, ⑤カギのない節部外植体はシュート発生率, シュート長, 共に優れていて外植体として最も適していた。一方, ①頂部外植体と④単生カギ節部から分離したカギ外植体はシュ

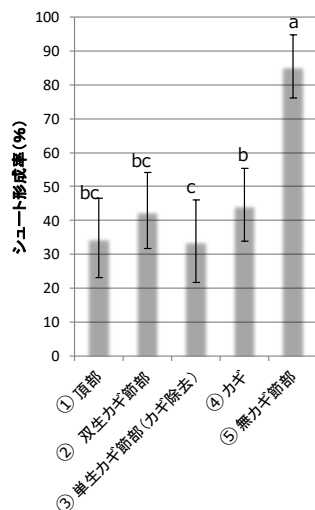


図-2. 5種類の外植体からのシュート形成率
Fig. 2 Shoot formation (%) form 5 type of explants (Friedman test, $p < 0.05$, $n = 11$, Error bar = SE)

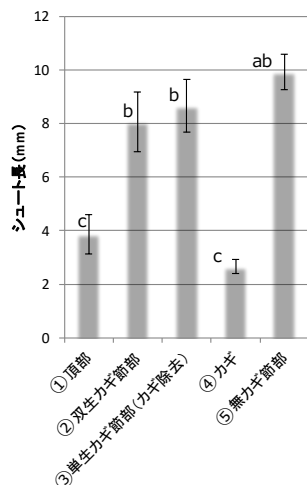


図-3. 5種類の外植体から発生したシュート長
Fig. 3 Length of shoots developed from 5 type of explants (Fisher LSD test, $p < 0.05$, $n = 21$, Error bar = SE)

ートが形成してもシュートがあまり伸長せず、外植体としては適さなかった。初代培養で形成したシュートは、継代培養した後に谷口・石井 (6) に従い、シュート先端部 3~4 cm を切り取って発根培養し、発根個体は順化して、組織培養苗とした。なお、発根培養は外植体の種類を区分せずに実施した。

組織培養苗 94 個体を 2018 年 5 月に定植した。植栽時の樹高の系統平均は 42 cm (図-4)、地際直径の系統平均は 6.4 mm であった (図-5)。11 月には 2 個体が枯損していた (枯損率は 2.1%) が、その他の個体は順調に生育し (図-6)、11 月時点での樹高の系統平均は 121 cm (図-5)、地際直径の系統平均は 13.9 mm であった (図-5)。植

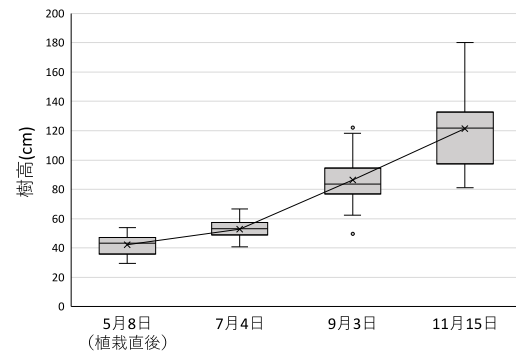


図-4. 圃場に植栽した培養苗の樹高
Fig. 4 Height of plants at field which were propagated by tissue culture

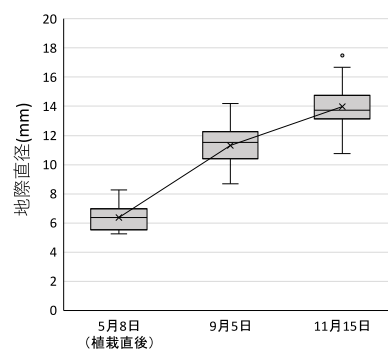


図-5. 圃場に植栽した培養苗の地際直径
Fig. 5 Diameter at ground level of plants at field which were propagated by tissue culture



図-6. 圃場に植栽したカギカズラ (植栽年の11月)
Fig. 6 *Uncaria rhynchophyll* planted in the field, November in the planting year

栽翌年も順調な生育が見られた。なお、本報告の植栽の前年の 10 月にも植栽したところ、翌春には植栽個体の半数以上は地際から萌芽が発生したものの、すべての個体の地上部が枯損していた。その原因は植栽後の寒さによるものであり、個体サイズが小さいと寒さの被害を受け易いと考えられるので、カギカズラは秋植栽よりも春植栽が適すると考えられる。

IV おわりに

培養苗の植栽地は、生薬原料栽培に適した優良なカギカズラの系統を選抜するために、成長、薬用部位の収量（葉を除去し、乾燥させたカギ付き枝の乾燥重量）、薬用成分アルカロイド含有率の系統評価に用いている。

謝辞：本研究の一部は、農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業および生研支援センター「イノベーション創出強化研究推進事業（JPJ007097）」の支援を受けて行った。

引用文献

- (1) Ishii K, Takata N, Taniguchi, T (2014) Micropropagation of *Uncaria rhynchophylla* – a medicinal woody plant. *Acta Hortic.* 1055: 353–356
- (2) 厚生省薬務局 (1994) 薬用植物 栽培と品質評価 Part 3. 薬事日報社, 東京: 58pp
- (3) 御影雅幸, 遠藤寛子 (2008). 漢薬「釣藤鈎」の薬用部位に関する史的考察. *日本東洋医学雑誌* 59: 25–34
- (4) 新原修一 (2018) 薬用植物カギカズラのさし木繁殖. *鹿児島県森林技術総合セ研報* 19: 14–20
- (5) 新原修一(2018) 薬用植物カギカズラの根ざしの一例. *鹿児島県森林技術総合セ研報* 19:21–23
- (6) 谷口亨・石井克昭 (2015) 薬用系木本植物カギカズラの組織培養. *関東森林研究* 66: 99–100
- (7) 寺島進 (2009) 釣藤鈎について. *和光純薬時報* 77: 97–102
- (8) 山本豊・笠原良二・平雅代・武田修己・樋口剛央・山口能宏・白鳥誠・佐々木博 (2021) 日本における原料生薬の使用量に関する調査報告(2). *生薬学雑誌* 75: 89–105

モンゴル・ウランバートル周辺における 1960 年代と 2020 年代の森林分布範囲の比較

鈴木康平¹・小長谷有紀²・渡邊三津子³・上條隆志¹・山中典和⁴¹筑波大学・²国立民族学博物館・³文教大学・⁴鳥取大学

要旨：ウランバートル周辺に分布する森林を対象として、2 種類の衛星画像データ (Sentinel-2 と CORONA) を活用して 1960 年代と現在における森林の分布範囲を比較した。ウランバートルに特に近接する森林としてバヤンズルヘ地区周辺の森林を、ウランバートルから離れた森林としてバヤンツォグト郡とムングンモリト郡周辺の森林を調査対象として選定した。バヤンズルヘ地区周辺では森林の分布範囲の縮小が、ムングンモリト郡周辺では森林の分布範囲の拡大が見られた。バヤンツォグト郡周辺では森林の分布範囲に変化が見られなかった。なおどの地域においても斜面全体から森林が消失するような大規模な変化は見られなかった。これらの森林の分布範囲の変化の差異は、各地域における森林資源の利用程度と気候条件によると考えられた。

キーワード：北方林、シベリアカラマツ、ヨーロッパアカマツ、CORONA 衛星、森林面積

Comparison of the extent of forest distribution in the 1960s and 2020s around Ulaanbaatar, Mongolia

Kohei SUZUKI¹, Yuki KONAGAYA², Mitsuko WATANABE³, Takashi KAMIJO¹, Norikazu YAMANAKA³¹University of Tsukuba; ²National Museum of Ethnology; ³Bunkyo University; ⁴Tottori University

Abstract: Using satellite imagery, we compared the extent of forest distribution around Ulaanbaatar in the 1960s and today. Three areas were selected for the study: Bayanzurkh district, located approximately 17 km east of Ulaanbaatar; Bayantsogt county, located approximately 86 km west of Ulaanbaatar; and Mungunmorit county, located approximately 121 km northeast of Ulaanbaatar. Sentinel-2 satellite data was used as the current satellite data, and CORONA satellite data was used as the satellite data from the 1960s. Comparison of the satellite images showed a reduction in the forest distribution area around Bayanzurkh district and an expansion of the forest distribution area around Mungunmorit county. No change was observed in the forest distribution area around Bayantsogt county. No large-scale changes were observed around the three areas, such as the disappearance of forests from the entire slope. These changes appear to be explained by the intensity of logging and the climatic condition in each area.

Keywords: boreal forest, *Larix sibirica*, *Pinus sylvestris*, CORONA satellites, forest area

I はじめに

一般的に草原の国というイメージの強いモンゴルであるが、北部地域には豊かな森林が広がっている。2019 年に報告された森林インベントリ調査によると、国土面積の 7.2%が北方林であると報告されている(5)。この北部地域に広がる森林では火災や病虫害被害、雪氷被害が生じており問題となっている(5)。また長期的には気候変動による負の影響も危惧されている(2)。このような中で 2015 年の森林国家施策において、森林資源の適切で持続的な利用と保護や森林利用者の保護義務等が策定されるなど(4)、森林を持続的に利用・管理しようとする意識は高い。

持続的に森林を利用・管理していく上で、過去の森林分布に関する情報を把握することは有益である。モンゴルでは第 2 次世界大戦後の工業化および都市建設のため

の木材需要の高まりによって 1950 年代以降の社会主義期に強度の森林伐採を経験しており(8)、社会主義期以前と現在の森林の分布範囲は大きく異なる可能性がある。実際に社会主義期以前に撮影された写真を分析してみると、地域によっては森林の分布範囲が大きく縮小している様子が確認されている(7)。

本研究では 1959 年から 1972 年に偵察に用いられた米国のコロナ衛星(1)の画像と近年撮影された衛星画像を比較することで、古写真の分析によって点情報として把握された森林の変化を面的に把握することを目指した。対象地域としてウランバートル周辺の森林を対象とした。ウランバートル周辺の森林を対象にした理由は、第一に人口が多く長期的に強い影響を受けており、森林の変化が大きい可能性があるため、第二に北方林の南限周辺で

あるため森林の脆弱性が高い可能性があり、管理の重要性が高い地域であると考えたためである。

II 材料と方法

1. 森林の現況と利用状況 上述の通り、国土面積の7.2%が北方林であると報告されている(5)。森林タイプとしては、シベリアカラマツ (*Larix sibirica*) 林が47.7%を、ヨーロッパアカマツ (*Pinus sylvestris*) 林が3.9%を、シベリアマツ (*Pinus sibirica*) 林が2.9%を、シラカンバ (*Betula platyphylla*) 林が6.6%を占めると報告されている。FAOSTATによると、丸太生産量は1960年代後半から80年代前半にかけてピークを迎え、1980年代前半には350万 m³に達していた。

2. 調査地

ウランバートルに特に近接する森林として、同都市から東へ約17 kmに位置するバヤンズルヘ地区周辺の森林を調査対象とした(図-1)。また、ウランバートルから離れた森林として、同都市からそれぞれ西へ約86 kmと北東へ約121 kmに位置するバヤンツォグト郡とムングリモリト郡の周辺の森林を調査対象とした(図-1)。既存研究(6)によると、バヤンズルヘ地区とムングンモリト郡周辺の森林ではシベリアカラマツが優占し、バヤンツォグト郡周辺ではヨーロッパアカマツが優占する。

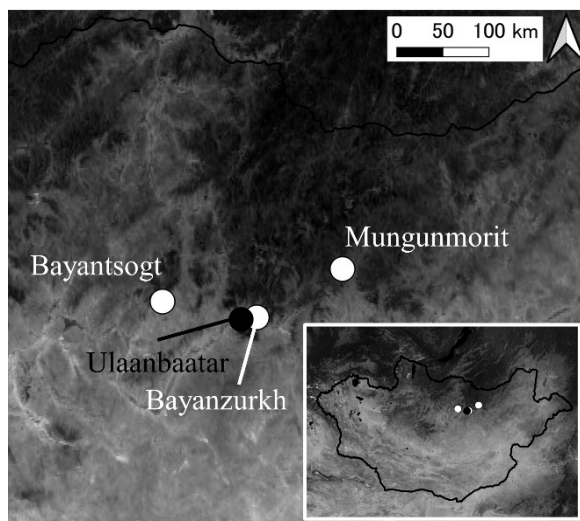


図-1. 調査地域

Fig. 1 Study area

The background satellite image was obtained from NASA Visible Earth. GIS data for the border was obtained from the Global Map of Mongolia 2.0 ©ISCGM/ State Administration of Geodesy and Cartography Mongolia, which can be downloaded from the Global Map data archives.

WorldClim(3)によると、バヤンズルヘ地区のガチョールト村の年平均気温は-1.6°C、年降水量は279 mm、バヤンツォグト郡中心の年平均気温は-1.1°C、年降水量は273 mm、ムングンモリト郡中心の年平均気温は-2.1°C、年降水量は334 mmであり、ムングンモリト郡がより湿潤な条件であると言える。

3. 衛星画像の分析 EarthExplorerにおいて雲が少なくクリアに撮影されているコロナ衛星の画像の探索を行った。取得した画像についてジオリファレンスを行い、位置情報を付加した。コロナ衛星の画像は1965年10月に撮影されたものを使用した。近年撮影された衛星画像は、Sentinel Hub EO Browser から Modified Copernicus Sentinel dataを探索・ダウンロードし、Sentinel-2 衛星データ(L2A)を使用した。10 m 解像度のバンド2、バンド3、バンド4 画像を使用し、カラーコンボジット画像を作成した。

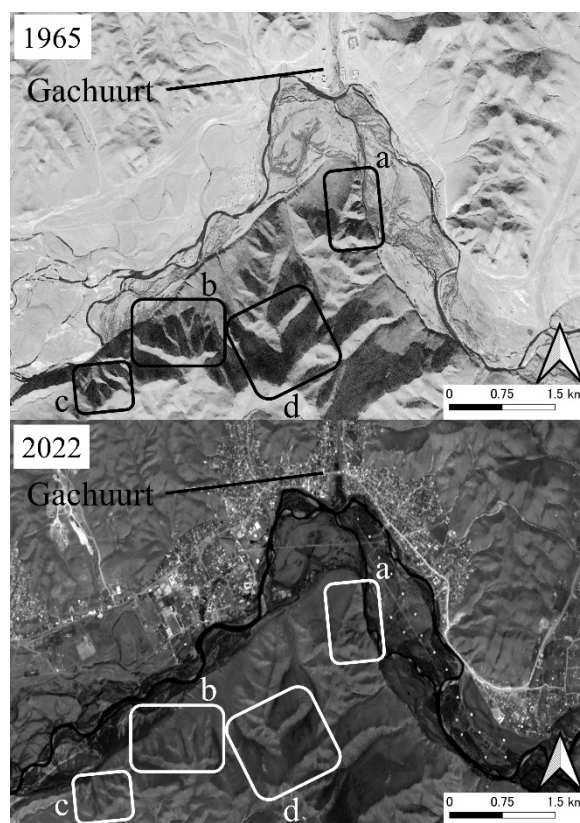


図-2. バヤンズルヘ地区周辺における森林分布範囲の比較

Fig. 2 Comparison of forest distribution area around Bayanzurkh district

DS1026-1037DF062 (October 31, 1965). CORONA image courtesy of the U.S. Geological Survey.

Contains modified Copernicus Sentinel data 2022 / Sentinel Hub (Observation date: September 1, 2022).

Sentinel-2 衛星データは 2022 年の夏季に観測されたデータを使用した。ジオリファレンスしたコロナ画像と Sentinel-2 衛星データ (L2A) のカラーコンポジット画像を比較し、1960 年代と 2020 年代の森林分布範囲の違いを検証した。GIS 解析は QGIS 3.10.6 を使用して行った。

III 結果と考察

各地域における森林分布範囲の比較結果を図-2~4 に示した。バヤンゾグト郡周辺の森林に着目すると、河川から離れた領域ではほとんど変化が見られなかった (図-2d)。一方で河川に近い領域では森林が縮小する様子が読み取れた (図-2a~c)。川の北側にあるガチョールト村では 60 年代から現在にかけての町の拡大が著しく、各世帯の固定家屋や塀の作成のためにアクセスのしやすい森林、すなわち河川に近い領域の森林が積極的に利用

された可能性がある。

ムングンモリト郡周辺の森林に着目すると、特に辺縁部において森林が拡大する様子が読み取れた (例えば図-3a~d)。既存研究(2)によると、ヘンティ地域におけるシベリアカラマツの成長や更新様式は隣接する地域の中でも異なることが報告されており、夏季気温の上昇と降水量の低下が新規個体の加入低下の原因となることが指摘されている。ムングンモリト郡中心ではガチョールト村のように著しい町の拡大もなく、また周辺の森林は湿潤な条件に成立しているため、伐採による減少を更新による増加が上回っていたと考えられる。なお既存研究(2)で報告されているシベリアカラマツの更新が良好な地域はムングンモリト郡に近い領域であり本研究の結果と一致する。

バヤンツォグト郡周辺の森林では 60 年代と現在の間

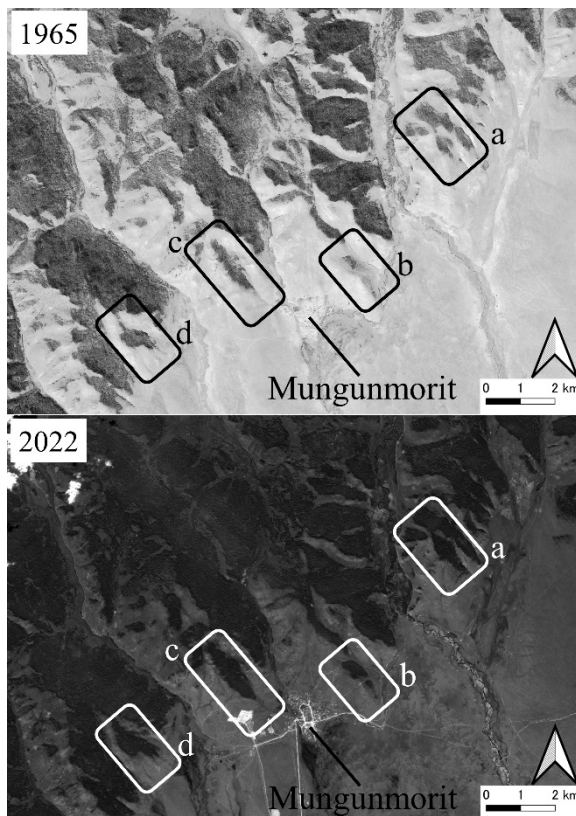


図-3. ムングンモリト郡周辺における森林分布範囲の比較

Fig. 3 Comparison of forest distribution area around Mungunmorit county

DS1026-1037DF062 (October 31, 1965). CORONA image courtesy of the U.S. Geological Survey.

Contains modified Copernicus Sentinel data 2022 / Sentinel Hub (Observation date: August 27, 2022).

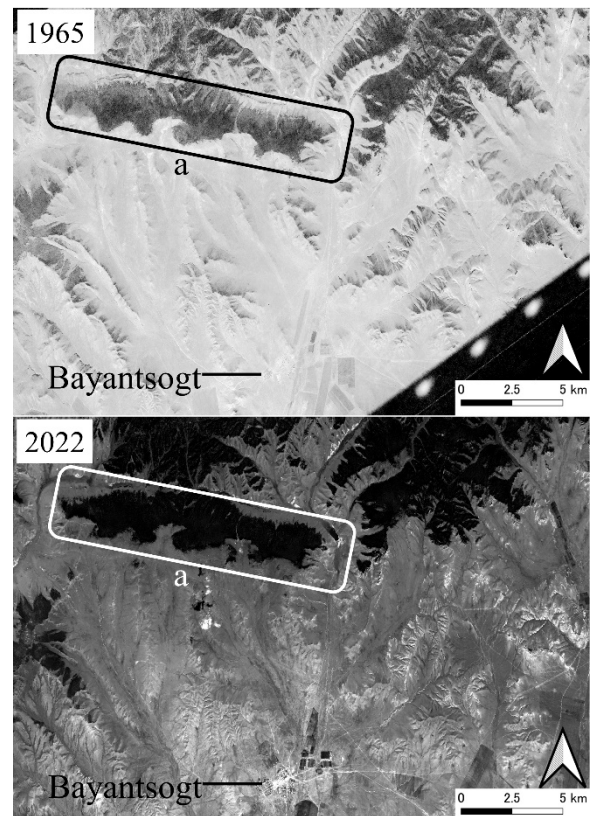


図-4. バヤンツォグト郡周辺における森林分布範囲の比較

Fig. 4 Comparison of forest distribution area around Bayantsogt county

DS1026-1037DF058 (October 31, 1965). CORONA image courtesy of the U.S. Geological Survey.

Contains modified Copernicus Sentinel data 2022 / Sentinel Hub (Observation date: August 30, 2022).

で森林の分布範囲に違いが見られなかった（例えば図-4a）。ムンゲンモリト郡中心と同様にバヤンツォグト郡中心では町があまり拡大していなかったものの、ムンゲンモリト郡ほどに気候条件が良好ではなく新規個体の加入がそこまで進まなかったと考えられる。

以上をまとめると、第一にウランバートル周辺で共通して森林が縮小するようなことはなく、地域によって変化の方向性が異なることが明らかになった。このことは各地域の森林資源の利用程度と気候条件により説明できると考えられた。第二に斜面全体から森林が消失するような著しい変化は見られないことが明らかになった。モンゴルでは60年代には伐採から搬出・輸送、製材まで統合的に管理する体制へ移行していたことが報告されている(8)。具体的には、ウランバートルよりも北部に位置する豊かな森林地帯で伐採された木材が鉄道により輸送され、途中の町に作られた製材コンビナートにおいて加工された後、ウランバートルに達したと報告されている。したがって森林の大規模な伐採は効率の良いウランバートルよりも北部の地域で行われ、ウランバートル周辺では行われていなかったと考えられる。したがって今回対象とした地域以外もウランバートル周辺では全体的に大規模な森林面積の縮小が見られない可能性が高い。しかし、社会主義革命前から過剰な伐採による森林資源の枯渇問題は前景化していたと報告されており(8)、社会主義期以降からの変化は小さくともそれ以前からの変化は大きかった可能性が依然として残っていることに注意する必要がある。今後、伐採が大規模に行われていたと報告されるウランバートルより北部の地域を中心として、他地域においてもコロナ画像と現在の衛星画像の比較を行い、長期的な森林変化の全体像を把握していく必要がある。

謝辞：本研究は科学研究費補助金 JP17H000897「モンゴルにおける画像記録を用いた地域像の再構築」（代表：小長谷有紀）、鳥取大学乾燥地研究センター共同研究 02B2001「古写真を用いた環境問題研究」（代表：小長谷有紀）、ならびに鳥取大学乾燥地研究センター共同研究 04B2022「古写真を用いた景観 GIS の構築」（代表：小長谷有紀）による研究成果の一部である。記して感謝する。

引用文献

- (1) Dashora A, Lohani B, Malik JN (2007) A repository of earth resource information—CORONA satellite programme. *Current Science* 92: 926–932
- (2) Dulamsuren C, Hauck M, Khishigjargal M, Leuschner HH,

Leuschner C (2010) Diverging climate trends in Mongolian taiga forests influence growth and regeneration of *Larix sibirica*. *Oecologia* 163: 1091–1102

(3) Fick SE, Hijmans RJ (2017) WorldClim 2: new 1 - km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 37: 4302–4315

(4) 穂積玲子 (2019) モンゴルの森林と林業. 海外の森林と林業 105: 3–8

(5) Mongolian Ministry of Environment and Tourism (2019) Mongolian Multipurpose National Forest Inventory 2014-2017. 2nd edn, Ministry of Environment and Tourism, 145pp

(6) Narangerel Z, Nandin-Erdene G, de Lamo X, Simonson W, Guth M, Hicks C (2017) Using spatial analysis to explore potential for multiple benefits from REDD+ in Mongolia. Joint report of the Information and Research Institute of Meteorology, Hydrology and Environment (IRIMHE), UNEP-WCMC and Mongolia National UN-REDD Programme, pp57

(7) 鈴木康平 (2022) 森林の変遷. (モンゴルにおける木材利用と森林後退—19世紀末から20世紀前半の写真より. 堀田あゆみ, 渡邊三津子, 鈴木康平編, 268pp, 遊文舎) 191–228

(8) 滝口良 (2022) 社会主義時代のモンゴルにおける木材の生産と消費. (モンゴルにおける木材利用と森林後退—19世紀末から20世紀前半の写真より. 堀田あゆみ, 渡邊三津子, 鈴木康平編, 268pp, 遊文舎) 139–173

マツ枯れ後のアカマツ二次林を構成する樹木へのニホンジカ剥皮の影響

長池卓男¹¹ 山梨県森林総合研究所

要旨：アカマツ二次林における伐倒燻蒸処理 18 年後の調査結果から、天然更新した樹木を中心とした林分動態とニホンジカの剥皮の影響について明らかにした。立木本数は伐倒燻蒸処理やマツ枯れの進行に伴い減少したものの、2021 年は 2003 年を上回っていた。種ごとにみるとアカマツの減少とコナラやクリの増加が顕著であった。ニホンジカによる剥皮本数は、18 年間で約 30 倍に増加していた。リョウブへの剥皮が多かったが、クリやコナラへの剥皮も増加していた。剥皮率の高い種でも新規加入率が枯死率を上回っている種が多く、剥皮により衰退している種はほとんど見られなかった。以上の結果から、現状程度のニホンジカ密度（5～10 頭/km² 程度）であれば、マツ枯れ後も落葉広葉樹の高木種を中心とする森林として維持される可能性が推測された。

キーワード：高木種、天然更新、ニホンジカ

Effects of bark stripping by *Cervus nippon* on trees recruited in a *Pinus densiflora* secondary forest after pine wilt diseaseTakuo NAGAIKE¹¹Yamanashi Forest Research Institute

Abstract: Based on the results of a survey 18 years after felling and fumigation in a secondary Japanese red pine (*Pinus densiflora*) forest, I clarified the effects of bark stripping by sika deer (*Cervus nippon*) on the stand dynamics on naturally regenerated trees. The number of trees in 2021 exceeded the number in 2003, although it decreased due to fumigation and the progress of pine withering. As for species composition, the decrease in Japanese red pine and the increase in *Quercus serrata* and *Castanea crenata* were remarkable. The number of bark stripped stems by sika deer has increased about 30 times over the past 18 years. The bark stripped stems of *Clethra barbinervis* was dominated, but those of *Q. serrata* and *C. crenata* also increased. The recruitment ratio exceeded the mortality ratio in many species even with a high rate of bark stripped, and almost no species declined due to bark stripping. From the above results, it was speculated that the current level of sika deer density (approximately 5–10/km²) could be maintained as a forest mainly composed of tall deciduous broad-leaved trees even after the pine dies.

Keywords: sika deer, tall tree species, natural regeneration

I はじめに

山梨県のアカマツ林の一部では、マツノザイセンチュウによるマツ枯れが進行している。その被害地で今後高木林として維持されるかや、どのような森林に推移するかを把握することは今後の森林管理上重要である(1, 3, 6, 12)。

長池ほか(11)や長池(7, 8)は、山梨県森林総合研究所実験アカマツ枯損調査区において、伐倒燻蒸処理前から林分構造の変化などについて調査を行い、コナラ、カスミザクラ、アオダモなどの高木性樹種が豊富に生育しており、これらを主体とした落葉広葉樹林への推移するものと予想した。

一方、山梨県ではニホンジカの個体数の増加と分布域の拡大が見られ(4)、樹幹への剥皮が森林の更新や動態への影響も見られている(5, 9, 10)。伐倒燻蒸処理後のアカマツ林においてもニホンジカの剥皮の状況によっては、更新に影響することが懸念される。

本研究では、アカマツ二次林における伐倒燻蒸処理 18 年後の調査結果から、天然更新した樹木を中心とした林分動態とニホンジカの剥皮の影響について明らかにする。

II 材料と方法

1. 調査地 調査地は、山梨県富士川町内の研究所実験林内におけるアカマツの枯損が著しい林分である（北緯

35 度 55 分 47 秒/東経 138 度 44 分 55 秒)。標高は約 390 m で暖温帯と冷温帯のほぼ境界に位置する。

2. 調査項目 2003 年 8 月、調査地の傾斜が一樣に平坦な場所に 70 x 70 m の調査区を設定した。胸高直径 3 cm 以上の生立木を対象とした毎木調査を行い、樹種名、胸高周囲長、ニホンジカによる剥皮の有無を記録した。アカマツの枯損は、2001 年頃から急速に進行し、2003 年 10 月に枯損木を中心に伐倒燻蒸処理が行われた。2009 年 2 月、2015 年 2 月、2021 年 4 月に、2003 年と同様の毎木調査を再度実施した。ニホンジカの推定生息密度は 2017 年で 5~10 頭/km² 程度である (飯島ほか未発表)。

種ごとの剥皮率は、木数に対する剥皮本数の比で求めた。また、種ごとの各調査期間中の新規加入率と枯死率は Condit et al. (2)により求めた。

III 結果と考察

表-1 に調査区の立木密度の変化を示す。2021 年は、株あたりの幹数も示す。出現種は 2003 年の 40 種から 2021 年の 33 種に減少していた。立木本数は 2008 年にかけて伐倒燻蒸処理やマツ枯れの進行に伴い減少したものの、2021 年は 2003 年を上回っていた。種ごとに見るとアカマツの減少とコナラやクリの増加が顕著であった。増加が顕著であった種は萌芽の発生が旺盛な傾向が見られた。胸高断面積合計の結果もアカマツの減少とコナラの増加が顕著であった (図-1)。また、生活型別の胸高断面積合計比率は、高木種が約 9 割を占める傾向が調査期間中は変わらなかった。また、アカマツの減少とコナラやクリの増加により、常緑性の樹木の優占度は約 8 割から約 4 割に低下していた。本調査地は、暖温帯と冷温帯のほぼ境界に位置するが、常緑広葉樹であるシラカシの更新は、現状では大きく進んでいなかった。

アカマツの平均胸高直径は、2003 年の 17.9 cm から 2021 年の 5.6 cm に低下した。また、構成種の小径木が多く更新しているため、調査区全体では、2003 年は 4.7 cm、2021 年は 5.1 cm であった。

主要樹種における幹数による新規加入率と枯死率の関係をみると、アカマツは枯死率が常に上回っていたが、その他の樹種は新規加入率が上回るようになっていた (図-2)。また、2014~2021 年の期間に関しては、2008~2014 年の期間よりも新規加入率が低下している種が多かった。

ニホンジカによる剥皮本数は、18 年間で約 30 倍に増加していた (図-3)。リョウブへの剥皮が多かったが、クリやコナラへの剥皮も増加していた。

図-4 に、2008、2014、2021 年での種ごとの剥皮率と、

各調査期間での新規加入率と枯死率の差分の関係を示した。2003~2008 年は枯死率が、2008~2014、2014~2021 年は新規加入率が、それぞれ上回る種が多かった。2008 年は、剥皮本数も少なかったが、2014、2021 年は、剥皮率の高い種も見られるものの、新規加入率が上回っている種が多く、剥皮により衰退している種はほとんど見られなかった。これは剥皮されても生存している幹が多いことがその要因と考えられる。

表-1. 立木密度の変化 (/ha) と 2021 年の株あたりの幹数

Table 1 Changes of stem density (/ha) and the ratio of number of stem to that of stumps in 2021

Species	2003	2008	2014	2021	株あたり幹数
	立木密度	立木密度	立木密度	立木密度	
コナラ	385.7	273.5	628.6	814.3	1.3
クリ	34.7	57.1	291.8	293.9	1.3
リョウブ	91.8	55.1	112.2	175.5	3.1
ナツハゼ	136.7	69.4	91.8	163.3	1.6
アオダモ	140.8	83.7	98.0	159.2	1.6
ネジキ	100.0	69.4	83.7	149.0	2.4
アカマツ	549.0	185.7	126.5	122.4	1.0
イヌツゲ	32.7	18.4	53.1	110.2	1.4
カスミザクラ	106.1	75.5	85.7	98.0	1.2
ヤマザクラ	44.9	49.0	65.3	79.6	1.3
ヤマコウバシ	20.4	26.5	42.9	63.3	2.2
ウワミズザクラ	22.4	18.4	44.9	53.1	1.4
チョウジザクラ	128.6	63.3	57.1	44.9	1.5
ウリカエデ	57.1	14.3	26.5	38.8	1.2
イタヤカエデ	20.4	14.3	14.3	16.3	1.3
アカシデ	4.1	2.0	10.2	12.2	1.2
エゴノキ	0.0	0.0	8.2	12.2	1.0
ネズミサシ	2.0	6.1	10.2	10.2	1.0
ウリハダカエデ	10.2	8.2	8.2	8.2	1.0
カキ	6.1	4.1	4.1	8.2	1.0
ダンコウバイ	2.0	0.0	6.1	8.2	2.0
ヤマウルシ	106.1	20.4	10.2	6.1	1.0
カマツカ	10.2	6.1	6.1	6.1	1.0
アズキナシ	8.2	4.1	4.1	4.1	2.0
ヒノキ	4.1	4.1	4.1	4.1	1.0
イロハモミジ	4.1	2.0	4.1	4.1	2.0
クロウメモドキ	2.0	4.1	2.0	4.1	1.0
アセビ	12.2	2.0	2.0	2.0	1.0
サンショウ	8.2	2.0	0.0	2.0	1.0
クマノキズキ	4.1	0.0	2.0	2.0	1.0
コシアブラ	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0
シラカシ	0.0	0.0	2.0	2.0	1.0
ヌルデ	0.0	0.0	2.0	2.0	1.0
フジ	16.3	0.0	0.0	0.0	
イヌザンショウ	2.0	0.0	2.0	0.0	
クサギ	4.1	0.0	0.0	0.0	
コミネカエデ	2.0	2.0	0.0	0.0	
ネムノキ	2.0	2.0	0.0	0.0	
Sp 不明	0.0	2.0	0.0	0.0	
オオモミジ	2.0	0.0	0.0	0.0	
ガマズミ	2.0	0.0	0.0	0.0	
コハウチワカエデ	2.0	0.0	0.0	0.0	
サワシバ	2.0	0.0	0.0	0.0	
サワフタギ	2.0	0.0	0.0	0.0	
タラノキ	0.0	0.0	2.0	0.0	
合計	4096.9	3154.9	3928.3	4502.6	1.4

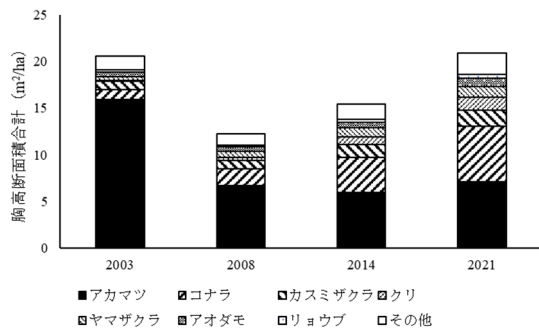


図-1. 胸高断面積合計の変化

Fig. 1 Changes of the basal area

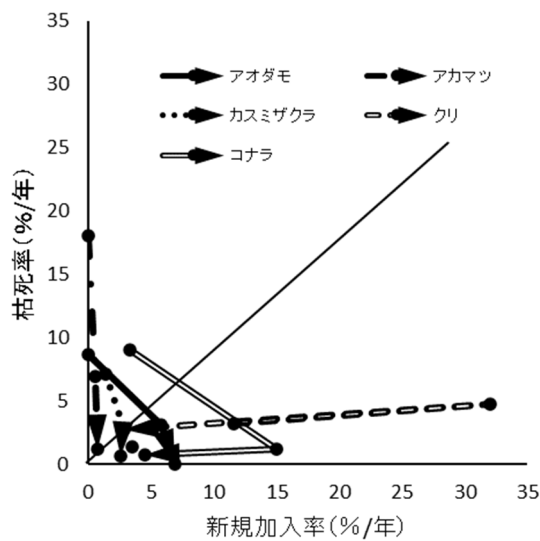


図-2. 主要樹種における幹数による新規加入率と枯死率の関係の推移

Fig. 2 Temporal changes of relationships between recruitment and mortality ratio based on stem density for dominant species

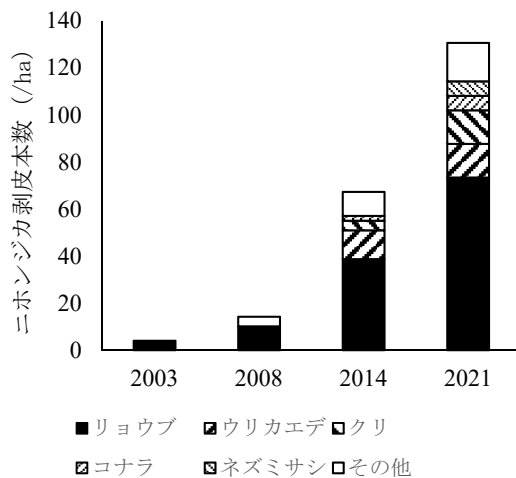


図-3. ニホンジカによる剥皮本数の変化

Fig. 3 Changes of the number of bark-stripped stems

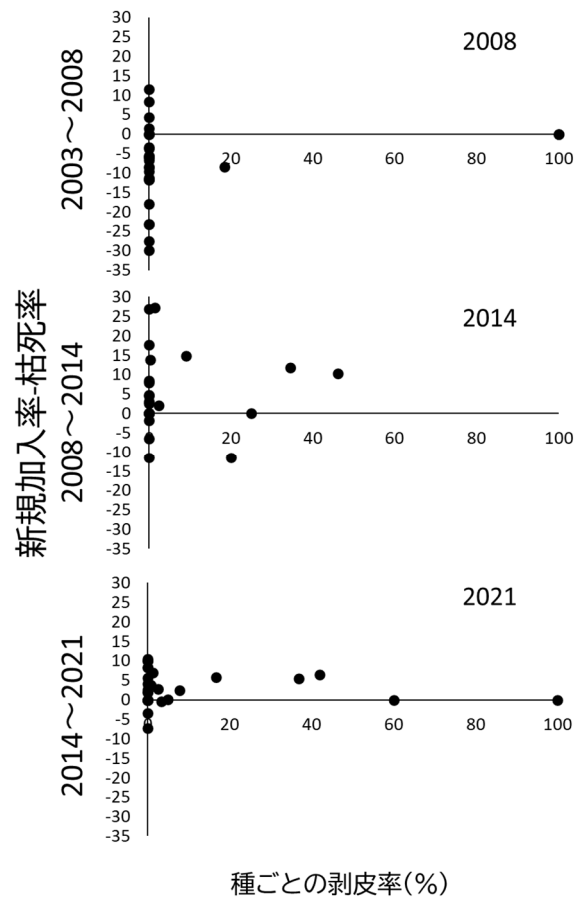


図-4. 種ごとの剥皮率と動態パラメータの関係

Fig. 4 Relationships between bark-stripping ratio and parameter of population dynamics

以上の結果から、現状程度のニホンジカ密度であれば、マツ枯れ後も落葉広葉樹の高木種を中心とする森林として維持される可能性が推測された。これは、マツ枯れ以前からコナラ等の落葉広葉樹高木種が一定数生育しており(II)、それらの成長や伐倒燻蒸処理時の損傷・伐倒後の萌芽更新により、これらが更新できたことによると考えられる(表-1)。しかしながら、ニホンジカによる剥皮本数は増加が顕著であり、剥皮されることによって現在の更新が今後維持されるかは追跡調査が必要である。

謝辞: 2003 年の調査においては、新井伸昌、大森里加江、久保満佐子、高橋一秋、山崎美佳の各氏にご協力いただいた。記してお礼申し上げます。

引用文献

(1) Choung Y, Lee J, Cho S, Noh J (2020) Review on the succession process of *Pinus densiflora* forests in South Korea:

- progressive and disturbance-driven succession. J Ecol Env 44: 16
- (2) Condit R, Ashton PS, Manokaran N, LaFrankie JV, Hubbell SP, Foster RB (1999) Dynamics of the forest communities at Pasoh and Barro Colorado: comparing two 50-ha plots. Phil Trans Royal Soc London 354: 1739–1748
- (3) Fujihara M, Hada Y, Toyohara G (2002) Changes in the stand structure of a pine forest after rapid growth of *Quercus serrata* Thunb. For Ecol Manage 170: 55–65
- (4) Iijima H, Nagaike T, Honda T (2013) Estimation of deer population dynamics using a bayesian state-space model with multiple abundance indices. J Wildlife Manage 77: 1038–1047
- (5) Iijima H, Nagaike T (2015) Susceptible conditions for debarking by deer in subalpine coniferous forests in central Japan. Forest Ecosystems 2: 33
- (6) 吳初平・安藤信 (2010) 京都市のマツ枯れ被害林における 10 年間の林分動態. 日緑化工誌 35: 440–447
- (7) 長池卓男 (2010) 山梨県森林総合研究所実験林アカマツ枯損調査区における伐倒燻蒸処理後の林分構造と成長. 山梨県森林研報 29: 5–9
- (8) 長池卓男 (2017) 山梨県森林総合研究所実験林アカマツ枯損調査区における林分動態とニホンジカの剥皮. 山梨県森林研報 36: 6–9
- (9) Nagaike T (2020a) Effects of heavy, repeated bark stripping by *Cervus nippon* on survivorship of *Abies veitchii* in a subalpine coniferous forest in central Japan. J Forestry Res 31: 1139–1145
- (10) Nagaike T (2020b) Bark stripping by deer was more intensive on new recruits than on advanced regenerants in a subalpine forest. Forests 11: 490
- (11) 長池卓男・久保満佐子・高橋一秋・新井伸昌 (2005) 山梨県森林総合研究所実験林アカマツ枯損調査区における林分構造と更新. 山梨県森林研報 24: 15–20
- (12) 杉田久志・高橋利彦・柴田銃江・星野大介・櫃間岳・八木橋勉・中村克典 (2010) 岩手県雫石町のアカマツ-落葉広葉樹二段林におけるアカマツ抜き伐り後の林分構造の変化. 東北森林科学会誌 15: 11–19

亜熱帯樹木群集における葉形質の乾燥応答：種の置き換わりと種内変異に着目して

河合清定¹・田中憲蔵¹・漢那賢作²・石田 厚³¹国際農林水産業研究センター林業領域・²沖縄県森林資源研究センター・³京都大学生態学研究センター

要旨：乾燥に対する亜熱帯樹木群集の機能的な応答を明らかにするために、光合成やストレス耐性と関わる葉の形質が、乾燥傾度に沿って群集間と種内でどう変化するかを、気温が同程度だが降水量が異なる3つの樹木群集(石垣島、南大東島、父島)を対象に調べた。最も乾燥する父島の樹木群集は、LMA(面積当たりの乾重)が高く、小さく厚い葉をつけていた。群集の形質応答は、種の置き換わりによって主に引き起こされており、種内と群集で形質応答は同じ方向であった。群集の機能的多様性は父島が最も高かった。これらの結果から、亜熱帯樹木群集では乾燥化により、小さく厚い葉を持ち、LMAが高くストレス耐性が高い種が優勢になる一方、資源利用戦略の多様性は増加することが示唆された。

キーワード：亜熱帯島嶼、気候変動、機能形質、形質—環境傾度解析、種内形質変異

**Variation in leaf morphological traits along an aridity gradient on subtropical islands:
focusing on species turnover and intraspecific variations**

Kiyosada KAWAI¹, Tanaka KENZO¹, Kensaku KANNA², Atsushi ISHIDA³¹Japan International Research Center for Agricultural Sciences; ²Okinawa Prefecture Forestry Experiment Station;³Center for Ecological Research, Kyoto University

Abstract: To reveal the functional responses of subtropical tree communities against drought, we investigated the community- and within-species level responses of leaf traits that have proximal effects on photosynthesis, stress tolerance, and growth, using three tree communities under similar temperatures but contrasting precipitations (Ishigaki-jima, Minami-Daito-jima, and Chichi-jima). Tree community on Chichi-jima, the most arid island, had smallest leaves with highest LMA (leaf dry mass per area), thickness, and density. Community-level trait differences were brought mostly by species differences among islands, rather than intraspecific trait variations, and the directions of intraspecific variations and species turnover were the same. The functional diversity calculated by leaf traits was highest on Chichi-jima. Our results suggest that increasing aridity in subtropical tree communities would result in 1) increased stress-tolerant species with small leaves and high LMA, and 2) increased diversity in resource-use strategies.

Keywords: Climate change, Functional traits, Intraspecific trait variations, Subtropical islands, Trait-gradient analysis

I はじめに

乾燥は植物の生産性を最も大きく下げる環境ストレスであり、今後の乾燥化により、世界中のさまざまな地域において、森林の炭素貯留能が損なわれ、群集組成が不可逆的に変化する可能性が指摘されている(1)。一方、乾燥化によりどのような形態や機能を持つ種が増えるのか、同種内でどのように形態や機能が変化するか、その結果として樹木群集の機能性がどう変化するかはわかっていない。近年、形質(組織や器官、個体レベルでの形態的・生理的な特徴)を指標として、樹種の個体群動態や炭素貯留といった森林の生態系機能をボトムアップ的に説明するアプローチが盛んに行われている。中でも葉は、光合

成、蒸散といった個体全体の生理プロセスを律速する要因であることから、葉の形質を調べることで、樹木および樹木群集の機能性を評価できると期待されている。

形質を軸に樹木群集の乾燥応答を調べる研究には、長期動態プロットを用い、環境変動に対する群集の時間的な応答を調べるものと、乾燥傾度を用い群集の空間的な応答を調べる2種類のアプローチがある。長期動態観測の結果からは、乾燥耐性が高い葉や枝を持ち、乾燥地に分布する種の頻度が数十年スケールで増加していることが示されている(2)。一方で、多くの研究では乾燥に対する種内の形質応答は無視されている。乾燥傾度を用いた研究でも、種間と種内レベルで形質応答を調べた例は稀

であり、生物多様性が高く、炭素循環に大きく影響する熱帯・亜熱帯地域での研究は特に限られている(3)。

本研究では、乾燥に対する亜熱帯樹木群集の機能応答の解明を目指し、光合成速度や乾燥耐性、成長速度と関わる4つの葉の形態形質(個葉面積、葉面積当たりの乾重、葉厚、葉密度)に焦点を当て(表-1)、降水量が異なる亜熱帯島嶼(石垣島、南大東島、父島)において、樹木群集間の形質応答を種間と種内レベルに分けて解析した。具体的には、形質の分布(平均値と変動係数)が群集間でどう異なるかをまず調べ、群集平均値の変異に占める種の置き換わりと種内変異の相対的な影響を評価した。環境傾度に沿った形質応答は葉の生活型によって違うことが指摘されているため(4)、常緑樹と落葉樹に分けた解析も行った。

II 材料と方法

1. 調査地と対象種 沖縄県石垣島(24°23'N, 124°11'E), 南大東島(25°52'N, 131°15'E), 東京都父島(27°04'N, 142°13'E)に成立した天然林において、2021年と2022年の夏季に調査を行った。これらの島の年平均気温は同程度だが、夏季(6~8月)および年間の降水量は大きく異なる(表-2, 気象庁)。具体的には、石垣島、南大東島、父島の順に降水量が減少するのに対し、蒸発散量はほぼ変わらないため、石垣島、南大東島、父島の順に乾燥が増す環境となる。石垣島、南大東島、父島それぞれで優占する計90種を対象とし、各島および各種につき、見た目で損傷がなく、明るい環境に生育している成木1~8個体を調査木にした。海岸砂丘など海岸沿いに特異的に出現する種は解析の対象外とした。三つの島に共通して見られた種は4種であり、20種が二つの島に出現した。

2. 形質測定 食害や病斑が認められない成熟した陽葉(複葉樹種の場合、小葉)を各個体の樹冠上部から5枚程度採取し、すぐにポリ袋に入れて密封した。葉の端と基部および主脈と葉縁の中間地点の葉の厚さをマイクロメーターで測定した。その後、スキャナーを用いて、全ての葉のスキャン画像を取得し、個葉の平均面積を測定した。その後、同じサンプルを絶乾させ(65°C, 72時間以上)、得られた乾重を全体の葉面積で割ることにより面積当たりの乾重(LMA)を算出した。また、LMAを葉厚で割ることにより葉の密度を求めた。父島の46種のうち29種についてはIshida et al. (5)を引用した。

3. 統計解析 解析はR(version 4.2, R Core Team (6))で行った。LMA, 厚さ, 密度については正規性の向上のため

表-1. 測定した葉の形態形質と機能的意義

Table 1 Measured leaf morphological traits and functional significances

Trait	Unit	Min–mean–max (CV)	n	Significance
Leaf area	cm ²	0.25–37.6–480.8 (149.0)	88	Light interception, heat dispersion, resistance to cavitation
Dry mass per area (LMA)	g m ⁻²	26.0–101.2–258.3 (49.2)	90	Strength, longevity, drought tolerance, photosynthesis, growth and mortality
Thickness	mm	0.16–0.30–0.66 (32.6)	89	Strength, drought avoidance
Density	g cm ⁻³	0.15–0.33–0.54 (28.2)	89	Strength, drought tolerance, photosynthesis, growth and mortality

CV: coefficient of variation (%)

表-2. 調査地の気候条件および測定種数

Table 2 Climates in the study sites during 2001–2020 and number of species

	Unit	Ishigaki-jima	Minami-Daito-jima	Chichi-jima
Mean annual temperature	°C	24.6	23.6	23.4
Mean annual precipitation	mm	2131	1561	1283
Mean precipitation during summer	mm	627	426	294
Mean annual aridity index ¹	-	0.64	0.71	0.79
Mean aridity index during summer ¹	-	0.76	0.81	0.88
Number of species ²	-	48 (8/40)	24 (6/18)	46 (9/37)

¹ Calculated by actual evapotranspiration divided by precipitation

² (deciduous/evergreen)

に log 変換した。その後、群集および種ごとにデータを平均化し、データ単位とした。各形質を応答変数、群集を説明変数、種をランダム切片とした線形混合モデルにより、群集間の平均値の違いを検定した。説明変数の説明能力の指標として、marginal R^2 (7)を計算した。次に、Krishnamoorthy and Lee (8)の手法にしたがい、群集間の変動係数の違いを検討した。さらに、群集の機能的多様性の指標として functional richness(FRic)と functional dispersion(FDis)(9)を計算した。この計算では標準化した形質値を用い、全90種が示す形質空間に占める割合を各群集のFRicとした。その後、Lepš et al. (10)に従い、群集間の形質変異に果たす種の置きかわり、種内変異、それらの共変動の効果を定量化した。以上の解析は落葉樹と常緑樹のそれぞれでも行った。

III 結果と考察

1. 群集間の形質変異 葉の形質は群集内と群集間で大きな変異を示した(表-1, 3)。群集の形質平均値は、乾燥傾

表-3. 群集間の形質変異と機能的多様性の比較

Table 3 Variations in four leaf morphological traits and functional diversity metrics among three subtropical islands

Trait	Ishigaki-jima		Minami-Daito-jima		Chichi-jima		R_m^2	<i>P</i> -values	
	Mean	CV	Mean	CV	Mean	CV		Mean	CV
Leaf area ¹	56.1 a (48)	161.9	48.4 ab (24)	139.9	22.1 b (44)	103.5	5.1	0.001	0.354
LMA ¹	79.4 b (48)	41.9	89.9 b (24)	57.6	129.8 a (46)	42.0	18.2	<0.001	0.279
Thickness ¹	0.27 b (47)	23.2 b	0.27 b (24)	36.4 a	0.35 a (46)	32.4 a	13.1	<0.001	0.045
Density	0.29 b (47)	28.9	0.32 b (24)	33.5	0.36 a (46)	23.6	10.3	<0.001	0.186
FRic	0.393		0.230		0.836		-	-	-
FDis	1.521		1.785		1.801		-	-	-

¹ Log₁₀-transformed before analysis. CV: coefficient of variation (%)

R_m^2 : marginal *R* squared, FRic: functional richness, FDis: functional dispersion. Different letters indicate significant differences among islands ($P < 0.05$).

Numbers in parenthesis after mean values indicate the number of species examined.

度に沿って変化し、石垣島、南大東島、父島の順、もしくはその逆の順に変化した。葉面積は、石垣島で最も大きく、父島の平均的な葉面積は石垣島の約4割であった。葉が小さいほど境界層抵抗の減少により、蒸散に頼らずに葉温を低く維持でき、水切れ耐性も向上するため(11)、乾燥が強くなる父島で生存に有利であったと考えられる。一方、LMA、厚さ、密度は、石垣島、南大東島、父島の順に高くなり、父島は石垣島よりも平均して61%高いLMAを示した。高いLMAは葉の寿命の増加に貢献し、乾燥下で制限される光合成生産を補償している可能性がある。厚さの増加は、体積当たりの表面積を減らすことで、葉の脱水を防いでいる可能性がある。一方、密度の増加は、細胞壁のヤング率の増加を通じ、乾燥下での膨圧と気孔開度の維持に寄与することがわかっている(12)。したがって、父島の樹木は乾燥に対し、脱水を防ぐ乾燥回避の戦略に加え、乾燥下での代謝と光合成の維持といった乾燥抵抗性の戦略をとっている可能性が示唆された。対して、湿潤な石垣島では、光と栄養塩を巡る競争が強く働くため、高いLMAや密度に代表されるようなストレス耐性を犠牲に、受光効率ならびに光合成速度が高い葉をつけることが適応的だったと考えられる。落葉樹、常緑樹に分けても、葉面積を除き、表-3と同じ傾向を示した。

父島では乾燥ストレスが強くなるため、全ての形質において群集内のばらつきが小さいと予想したが(3)、変動係数は葉厚を除き、群集間で差がなかった(表-3)。葉厚の変動係数は石垣島で有意に低く、湿潤な環境での競争が関係している可能性がある。常緑樹と落葉樹に分けて解析すると、常緑樹においては葉面積のばらつきは父島で小さく、厚さのばらつきは石垣島で小さかった(結果示さず)。一方、落葉樹では全ての形質で差が見られなかった。この理由として、落葉樹は落葉により乾燥ストレスを回避できることが挙げられる。以上から、乾燥が樹木群集の形質のばらつきに与える影響は、形質や葉の生活型によって異なることがわかった。

群集の機能的多様性は父島で最も高く、固有種を多く含む父島は、同じ温度帯に位置する島嶼と比較して、種組成だけでなく機能的な面でも多様であることが示唆された。一方、南大東島と石垣島では指標によって大小関係が異なった。この理由として、南大東島においては、形質間の相関が他の島よりも高く、これがFRicを低下させた可能性がある。

2. 種の置き換わりと種内変異の効果 群集間の形質変異の54~87%は種の置き換わりによって引き起こされており、種内変異および、種の置き換わりと種内変異の共変動の効果を上回っていた(図-1)。全ての形質において共変動の項の符号が正であることから、同種においても群集間と同じ方向に形質が変異したことがわかった。一方で、種の置き換わりの貢献度には形質間で差があり、葉面積、厚さ、密度、LMAの順となった。葉面積において種の貢献が顕著に大きいのは、種間変異が種内変異よりも著しく大きいためだと考えられる。

常緑樹と落葉樹に分けて解析すると、常緑樹では種の置き換わりが68~90%の群集間変異を説明したが、落葉樹では共変動の項が最も説明した(図-1)。ここから、落葉樹においては乾燥傾度に沿った種内変異が顕著なことがわかった。例えば、三島に共通して現れるシマグワは、石垣島、南大東島、父島の順にLMAが上昇するが、石垣島では47.3 g m⁻²なのに対し、父島では91.7 g m⁻²と2倍近い変異を示し、石垣島と父島の落葉樹全体の変異(石垣島44.6 g m⁻²、父島82.2 g m⁻²)に匹敵した。落葉樹で形態可塑性が大きい理由としては、複数の要因が考えられるが、表皮細胞が大きく、葉肉細胞の細胞壁が薄いことが関係しているかもしれない。

IV まとめ

降水量が異なる3つの亜熱帯樹木群集において葉の形態形質の変異を調べたところ、群集の形質分布(平均値と変動係数)は乾燥に対して応答しており、形質平均値の変

異は種の置き換わりで主に説明されることがわかった。島間での種の移動は長期的なスケールで進行するため、今後の乾燥化により、湿潤な地域では大きく薄い葉を持ち、光合成速度や成長が早い資源獲得的な種は衰退していく可能性がある。一方、残された種については、葉面積の減少、LMA、厚さ、密度の増加といった、資源保守的な戦略への変化が起こると考えられる。以上を踏まえると、亜熱帯樹木群集は乾燥化に対し、資源保守的な特性を示すようになり、バイオマス成長の低下が起こる可能性がある。一方、長期的な乾燥は、幾つかの形質について、群集内の変異を増加させる可能性が示唆された。したがって、樹木群集の乾燥応答は複数の形質と分布パラメタ(平均値、変動係数など)から多面的に評価する必要があると考えられる。

謝辞：本研究の一部は国際農林水産業研究センター理事長インセンティブ経費「降水量が異なる地域に成立した亜熱帯樹木群集における乾燥レジリエンスの評価」、沖縄県緑化推進委員会「沖縄県における森林分布現況把握と森林タイプ毎の環境・機能観測評価」、JSPS 科研費 18H04149, 21K19864 で行われた。沖縄県と東京都にはサンプルの採取許可を頂いた。

引用文献

- (1) Allen CD, Macalady AK, Chenchouni H, et al. (2010) A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *For Ecol Manage* 259: 660–684
- (2) Feeley KJ, Davies SJ, Perez R, Hubbell SP, Foster RB (2011) Directional changes in the species composition of a tropical forest. *Ecology* 92: 871–882
- (3) Cornwell WK, Ackerly DD (2009) Community assembly and shifts in plant trait distributions across an environmental gradient in coastal California. *Ecol Monogr* 79: 109–126
- (4) Kikuzawa K, Onoda Y, Wright IJ, Reich PB (2013) Mechanisms underlying global temperature-related patterns in leaf longevity. *Global Ecol Biogeogr* 22: 982–993
- (5) Ishida A, Nakano T, Yazaki K, et al. (2008) Coordination between leaf and stem traits related to leaf carbon gain and hydraulics across 32 drought-tolerant angiosperms. *Oecologia* 156: 193–202
- (6) R Core Team (2021) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- (7) Nakagawa S, Schielzeth H (2013) A general and simple

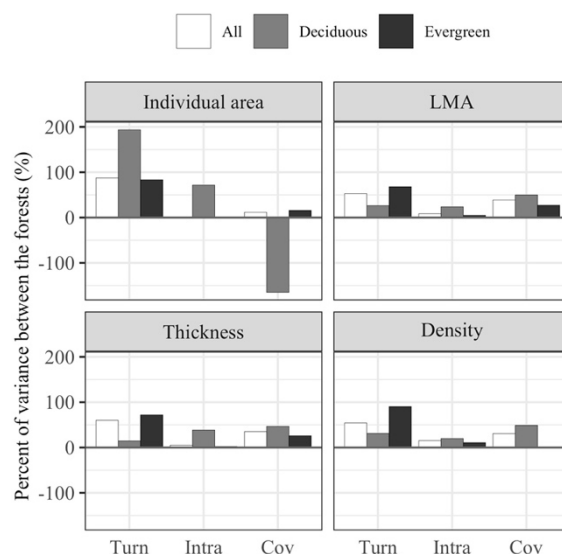


図-1. 群集間形質変異に占める種の置き換わり(Turn), 種内変異(Intra), それらの共変動(Cov)の相対的貢献
Fig.1 Relative contributions of species turnover (Turn), intraspecific variations (Intra), and their covariations (Cov) on community-level trait shifts among three subtropical forests. White, gray, and black bar indicate results of all species, deciduous species only, and evergreen species only, respectively.

method for obtaining R^2 from generalized linear mixed-effects models. *Methods in Ecology and Evolution* 4: 133–142

- (8) Krishnamoorthy K, Lee M (2014) Improved tests for the equality of normal coefficients of variation. *Computational statistics* 29: 215–232

- (9) Laliberté E, Legendre P (2010) A distance - based framework for measuring functional diversity from multiple traits. *Ecology* 91: 299–305

- (10) Lepš J, de Bello F, Šmilauer P, Doležal J (2011) Community trait response to environment: disentangling species turnover vs intraspecific trait variability effects. *Ecography* 34: 856–863

- (11) Scoffoni C, Rawls M, McKown A, Cochard H, Sack L (2011) Decline of leaf hydraulic conductance with dehydration: relationship to leaf size and venation architecture. *Plant Physiol* 156: 832–843

- (12) Niinemets Ü (2001) Global - scale climatic controls of leaf dry mass per area, density, and thickness in trees and shrubs. *Ecology* 82: 453–469

森林植生の衰退による水流出量の増加特性

玉井幸治¹

¹ 森林総合研究所

要旨：岡山市と山形県真室川町にある森林理水試験地を対象に、対照流域法により伐採、林野火災、マツ枯れによる材積量の減少といった森林植生の衰退による日流出増加量を推定し、その量が多い時の特徴と個々の大規模出水時での影響の解明を試みた。森林植生の衰退による流出量の増加率は、処理期間全体で約13~23%と算出された。また増加量の半分以上は、基準流域からの日流出量が約5~10 mm day⁻¹以下と特に多くない日に流出していた。大規模出水時における流出増加量は多くの日で約20 mm day⁻¹以下であったが、約73 mm day⁻¹や約37 mm day⁻¹と非常に大きな日もあった。また約-20 mm day⁻¹や約-9 mm day⁻¹と負値と算出された日もあり、ばらつきが非常に大きかった。特に基準流域からの日流出量が120 mm day⁻¹を超えるような特に大規模な出水時ではより一層ばらつきが顕著であり、森林植生の衰退による影響の傾向を明確に見出すことができず、モデル解析などとの併用が必要と判断された。

キーワード：対照流域法、日流出量の増加、大規模出水

Characteristics of increase of daily discharge due to degradation of forest vegetation

Koji TAMAI¹

¹Forestry and Forest Products Research Institute

Abstract: The increase of daily discharge due to the degradation of forest vegetation was tried to be estimated with paired catchment experiment for forested watersheds in Okayama and Yamagata Prefectures. The increase rate in discharge due to the degradation of forest vegetation was calculated to be approximately 13–23 % over the treatment periods. In addition, more than half of the increase was on days when the daily discharge from the control catchments was less than 5–10 mm day⁻¹, which was not particularly large. The increase in discharge during large-scale floods was less than 20 mm day⁻¹ on many days, but it was very large to be around 73 mm day⁻¹ and 37 mm day⁻¹ on some days. In addition, there were days when negative values were calculated to be around -20 mm day⁻¹ and -9 mm day⁻¹, and the variation was very large. In particular, the variation was even more remarkable during large-scale floods when the daily discharge from the control catchments exceeded 120 mm day⁻¹, and the tendency of the effects of the degradation of forest vegetation could not be clearly found. It will be necessary to use not only observation data analysis but also other methods such as model analysis.

Keywords: Paired catchment experiments, Increased maximum daily discharge, Large-scale flood discharge

I はじめに

森林流域からの流出水は水資源として利用される一方で洪水災害をもたらすこともあり、その量の多寡は人間活動に重要な影響を与える。森林流域からの水流出特性に影響を及ぼす要因には、森林植生・森林土壌の他、気象、地形地質など多岐にわたる。その中で比較的容易に人為によって管理できると考えられるのは森林植生である。そのため人間社会にとって好ましい水流出特性をもたらすような森林管理が迫られてきた。それを確立するためにはまず、森林植生が水流出特性に及ぼす影響を解明する必要がある。

そのための手法には対照流域法があげられる。この手法によって、森林植生の衰退により年流出量が増加することなどが明らかにされてきた（例えば(1)）。また(3)は年毎に得られる流況曲線と組み合わせることにより、森林植生の衰退などによる日流出増加量を推定する方法を開発し、(2)において渇水時の流出増加は明瞭である一方、大規模な出水時の増加は明確ではないことを明らかにした。その際、(2)は年最小流出量と年最大流出量をそれぞれ渇水時と大規模な出水時の流出特性の指標として使用した。しかし年最小流出量と年最大流出量は年によって大きく変動する。その変動幅の上限付近と下限付近では

表-1. 対照流域法における流域と期間の定義

Table 1 Definitions of catchments and periods in paired watershed experiments

事例	試験地	基準流域 (流域面積)	処理流域 (流域面積)	基準期間	処理期間
1	竜ノ口山	北谷 (17.274ha)	南谷 (22.611ha)	1937-1958 1966-1977 1998-2002	1960-1965 1981-1996
2	釜淵	1号沢 (3.060ha)	2号沢 (2.482ha)	1939-1947 1983-2005	1948-1982
3			3号沢 (1.540ha)	1961-1963 1985-2005	1964-1984

森林植生の衰退による影響度は異なるであろう。

そこで本研究では処理期間中の年毎に観測される、森林植生が衰退した状態である処理流域からの年最小・最大流出量の日だけではなく、処理期間を構成する全ての日での流出増加量に着目し、その量が多い時の特徴と個々の大規模出水時での影響の解明を試みた。なお本研究では降雨による出水のみを対象とする。

II 森林の衰退による流出増加量の推定

森林総合研究所森林理水試験地データベースにて公開されている、竜ノ口山森林理水試験地（岡山市）と釜淵森林理水試験地（山形県真室川町）での観測データを用いた。試験地の詳細については(2)を参照されたい。対照流域法による基準期間、処理期間と基準流域、処理流域の設定を(2)と同様とした(表-1)。森林植生の衰退による流出増加量は、(3)と同様の方法にて算出した。すなわち以下の手順による。

- ・1 水年の日流出量を大きな順番に並べ替えた流況曲線を基準流域と処理流域ごとに、年毎に求める。
- ・基準期間を対象に、流況曲線において同じ順番数の日の基準流域と処理流域からの日流出量観測値の直線回帰式の傾き(a_i)と切片(b_i)を求める。
- ・(1) 式により、処理流域で森林植生が衰退しなかった場合に期待される処理流域からの流出量を推定する。

$$Q_{test}(year; i) = a_i Q_{cobs}(year; i) + b_i \quad (1)$$

ここで Q_{test} と Q_{cobs} はそれぞれ処理流域からの日流出量計算値と基準流域からの日流出量観測値、 a_i と b_i はそれぞれ流況曲線の i 番目の値での直線回帰式の傾きと切片、 $year$ は年、 i は流況曲線におけるの順番数を示す。

・処理期間における処理流域からの日流出量観測値 ($Q_{obs}(year; i)$) と直線回帰式による $Q_{test}(year; i)$ の差である (2) 式によって、森林植生の衰退による日流出増加量

($\Delta Q_t(year; i)$) を求める。

$$\Delta Q_t(year; i) = Q_{obs}(year; i) - Q_{test}(year; i) \quad (2)$$

なお水年の期間を、竜ノ口山試験地では4月から翌年の3月まで、釜淵試験地では6～11月とした。竜ノ口山試験地では12～3月である渇水期間を同じ水年とするため、釜淵試験地では積雪・融雪の影響を除くためである。

III 結果

1. 直線回帰式の有意性 図-1 に、3 つの事例における基準流域と処理流域からの流出量の相関係数の変動を示す。なお、事例1と事例2、3 では流況曲線における1水年を構成する日数が異なる。事例間でそろえるため図-1の横軸を流況曲線における順番数ではなく、順番数を1水年の日数で除した値をパーセントで示した。

事例1～3において最低となった相関係数はそれぞれ、0.7810, 0.6717, 0.7348であった。データ数はそれぞれ33, 30, 24であるので、P値はいずれも0.001以下であった。すなわち本研究で求めた全ての a_i と b_i の値は有意であると判定できるので、(2)式による全ての $\Delta Q_t(year; i)$ を解析対象とする。

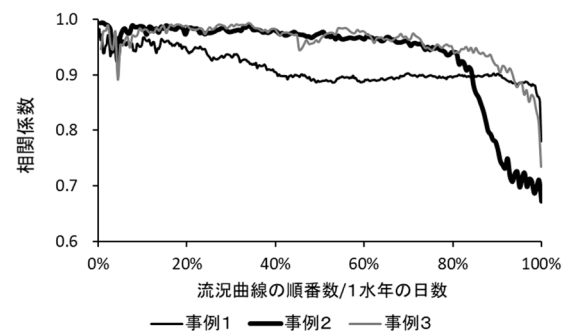


図-1. 基準期間における基準流域と処理流域からの日流出量の相関係数の変動

Fig.1 Fluctuations of correlation coefficients between daily discharges from control and treatment catchments in control periods

2. 森林の衰退による流出増加量 表-2 に、それぞれの基準期間と処理期間における、基準流域と処理流域からの流出観測量の総量、(1)式による $Q_{test}(year; i)$ の総量 (Q_{test})、(2)式による $\Delta Q_t(year; i)$ の総量 (ΔQ_t) を示す。増加率 ($\Delta Q_t / Q_{test}$) は13～23%の範囲であった。

IV 考察

1. 日流出量と流出増加量の比較 表-2 に示した ΔQ_t

表-2. 森林の衰退による流出増加量

Table 2 Increased discharges caused by forest degradation

事例	試験地	年数		流出量(mm)					流出増加量 (ΔQ_t ; mm)	流出増加率 ($\Delta Q_t / Q_{test}$)
		基準期間	処理期間	基準期間		処理期間				
				基準流域 観測量	処理流域 観測量	基準流域 観測量	処理流域 観測量	処理流域 (Q_{test})		
1	竜ノ口山	33年間 (12,053日)	18年間 (6,574日)	15,772.874	14,111.373	7,166.408	7,843.314	6,387.663	1,455.651	23%
2	釜淵	30年間 (5,847日)	33年間 (6,039日)	28,335.99	26,826.73	26,056.72	29,848.16	26,479.50	3,368.66	13%
3		24年間 (4,392日)	20年間 (3,660日)	22,268.58	22,289.30	17,011.04	19,652.93	17,033.65	2,619.28	15%

がどのような時に多く流出しているのかを検討する。処理期間を構成する 1 日ごとに、(1)式と(2)式により $Q_{cobs}(year, i)$ と $\Delta Q_t(year, i)$ の組み合わせが求められている。この組み合わせを $Q_{cobs}(year, i)$ の 0.1mm day^{-1} 刻みで集計した結果の一部を表-3 に示す。 $Q_{cobs}(year, i)$ の増加につれて、(A)に示した $\Delta Q_t(year, i)$ の平均量も増加する。しかし $Q_{cobs}(year, i)$ が小さいほど(B)に示す日数は多い傾向にある。そのため(A)と(B)の積である(E)の値から、 $Q_{cobs}(year, i)$ が大きな時よりもある程度小さな時の合計の方が、 ΔQ_t に占める量の大きい傾向にあることが読み取れる。

(E)の値が最大であるのは、事例 1 では $Q_{cobs}(year, i)$ が $0.1\sim 0.2\text{mm day}^{-1}$ であった時の 3,146 日間での約 160 mm、事例 2 では $0.5\sim 0.6\text{mm day}^{-1}$ であった時の 273 日間での約 49 mm であった。これは該当する日数が多いためである。

$Q_{cobs}(year, i)$ が $10.0\sim 10.1\text{mm day}^{-1}$ であった時の(G)の値は、事例 2 で約 54 %、事例 3 で約 63 %であった。事例 1 では、 $Q_{cobs}(year, i)$ が $5.0\sim 5.1\text{mm day}^{-1}$ であった時に約 59 %であった。すなわち ΔQ_t の半分以上が、 $Q_{cobs}(year, i)$ が約 $5\sim 10\text{mm day}^{-1}$ 以下と特に多くない日に流出していた。

2. 大規模出水時の流出増加量

事例ごとに、特に大規模出水時であったと判断されるそれぞれ 4 日分について検討する(表-3)。それによると $\Delta Q_t(year, i)$ が約 20mm day^{-1} 以下の日が多かったが、 73mm day^{-1} や約 37mm day^{-1} と 1 日の流出増加量としては非常に大きな日もあった。その一方で、約 -20mm day^{-1} や約 -9mm day^{-1} と負値である日もあり、ばらつきが非常に大きかった。特に $Q_{cobs}(year, i)$ が 120mm day^{-1} を超える範囲ではより一層ばらつきが顕著であり、明確な傾向を見

表-3. 基準流域からの日流出量の多寡に応じた処理流域における流出増加量の変化 (a) 事例 1 の場合

Table 3 Changes of increased discharge from treatment catchments according to daily discharge from control catchment

(a) Case 1

		(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)
				(B)/6574	(C)の積算	(A) × (B)	(E)/1455.651	(F)の積算
基準流域からの流出量 (mm day ⁻¹)	平均流出増加量 (mm day ⁻¹)	日数	全日数に 占める割合	日数割合の 積算	流出増加量 (mm)	全流出増加量 に占める割合	流出増加量 割合の積算	
0.0以上 0.1未満	0.045	323	4.91%	4.91%	14.438	0.99%	0.99%	
0.1以上 0.2未満	0.051	3146	47.86%	52.77%	160.446	11.02%	12.01%	
0.2以上 0.3未満	0.112	952	14.48%	67.25%	106.624	7.32%	19.34%	
0.3以上 0.4未満	0.152	435	6.62%	73.87%	66.120	4.54%	23.88%	
0.4以上 0.5未満	0.205	237	3.61%	77.47%	48.585	3.34%	27.22%	
0.5以上 0.6未満	0.218	161	2.45%	79.92%	35.066	2.41%	29.63%	
0.6以上 0.7未満	0.241	113	1.72%	81.64%	27.233	1.87%	31.50%	
0.7以上 0.8未満	0.257	105	1.60%	83.24%	26.985	1.85%	33.35%	
0.8以上 0.9未満	0.284	74	1.13%	84.36%	21.016	1.44%	34.80%	
0.9以上 1.0未満	0.308	74	1.13%	85.49%	22.792	1.57%	36.36%	
1.0以上 1.1未満	0.329	58	0.88%	86.37%	19.082	1.31%	37.67%	
5.0以上 5.1未満	0.671	6	0.09%	95.59%	4.026	0.28%	58.53%	
10.0以上 10.1未満	1.392	5	0.08%	97.66%	6.960	0.48%	68.21%	
20.0以上 20.1未満	2.678	3	0.05%	97.70%	8.034	0.55%	81.25%	
67.9以上 68.0未満	6.892	1	0.02%	99.95%	6.892	0.47%	99.39%	
68.7以上 68.8未満	13.295	1	0.02%	99.97%	13.295	0.91%	100.30%	
79.2以上 79.3未満	-8.865	1	0.02%	99.98%	-8.865	-0.61%	99.69%	
117.4以上 117.5未満	4.510	1	0.02%	100.00%	4.510	0.31%	100.00%	

表-3. 基準流域からの日流出量の多寡に応じた処理流域における流出増加量の変化（続き）(b) 事例2 の場合
Table 3 Changes of increased discharge from treatment catchments according to daily discharge from control catchment
(Continued) (b) Case 2

		(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)
				(B)/6039	(C)の積算	(A)×(B)	(E)/3368.66	(F)の積算
基準流域からの流出量 (mm day ⁻¹)	平均流出増加量 (mm day ⁻¹)	日数	全日数に 占める割合	日数割合の 積算	流出増加量 (mm)	全流出増加量 に占める割合	流出増加量 割合の積算	
0.0以上 0.1未満	0.013	81	1.34%	1.34%	1.053	0.03%	0.03%	
0.1以上 0.2未満	0.042	597	9.89%	11.23%	25.074	0.74%	0.78%	
0.2以上 0.3未満	0.089	517	8.56%	19.79%	46.013	1.37%	2.14%	
0.3以上 0.4未満	0.128	367	6.08%	25.87%	46.976	1.39%	3.54%	
0.4以上 0.5未満	0.147	302	5.00%	30.87%	44.394	1.32%	4.85%	
0.5以上 0.6未満	0.180	273	4.52%	35.39%	49.140	1.46%	6.31%	
0.6以上 0.7未満	0.208	214	3.54%	38.93%	44.512	1.32%	7.63%	
0.7以上 0.8未満	0.226	190	3.15%	42.08%	42.940	1.27%	8.91%	
0.8以上 0.9未満	0.263	158	2.62%	44.69%	41.554	1.23%	10.14%	
0.9以上 1.0未満	0.288	150	2.48%	47.18%	43.200	1.28%	11.42%	
1.0以上 1.1未満	0.323	126	2.09%	49.26%	40.698	1.21%	12.63%	
5.0以上 5.1未満	0.632	34	(略)	0.56%	21.488	0.64%	38.02%	
10.0以上 10.1未満	0.948	9	(略)	0.15%	8.532	0.25%	54.36%	
20.0以上 20.1未満	1.815	4	(略)	0.07%	7.260	0.22%	74.19%	
144.4以上 144.5未満	36.857	1	0.02%	99.95%	36.857	1.09%	99.36%	
146.9以上 147.0未満	16.376	1	0.02%	99.97%	16.376	0.49%	99.85%	
154.3以上 154.4未満	7.125	1	0.02%	99.98%	7.125	0.21%	100.06%	
156.0以上 156.1未満	-1.942	1	0.02%	100.00%	-1.942	-0.06%	100.00%	

(c) 事例3 の場合

(c) Case 3

		(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)
				(B)/3660	(C)の積算	(A)×(B)	(E)/2619.28	(F)の積算
基準流域からの流出量 (mm day ⁻¹)	平均流出増加量 (mm day ⁻¹)	日数	全日数に 占める割合	日数割合の 積算	流出増加量 (mm)	全流出増加量 に占める割合	流出増加量 割合の積算	
0.0以上 0.1未満	0.041	25	0.68%	0.68%	1.025	0.04%	0.04%	
0.1以上 0.2未満	0.099	350	9.56%	10.25%	34.650	1.32%	1.36%	
0.2以上 0.3未満	0.172	338	9.23%	19.48%	58.136	2.22%	3.58%	
0.3以上 0.4未満	0.210	243	6.64%	26.12%	51.030	1.95%	5.53%	
0.4以上 0.5未満	0.246	195	5.33%	31.45%	47.970	1.83%	7.36%	
0.5以上 0.6未満	0.270	169	4.62%	36.07%	45.630	1.74%	9.10%	
0.6以上 0.7未満	0.335	141	3.85%	39.92%	47.235	1.80%	10.91%	
0.7以上 0.8未満	0.340	110	3.01%	42.92%	37.400	1.43%	12.33%	
0.8以上 0.9未満	0.379	89	2.43%	45.36%	33.731	1.29%	13.62%	
0.9以上 1.0未満	0.408	85	2.32%	47.68%	34.680	1.32%	14.95%	
1.0以上 1.1未満	0.461	84	2.30%	49.97%	38.724	1.48%	16.42%	
5.0以上 5.1未満	0.870	19	(略)	0.52%	16.530	0.63%	45.35%	
10.0以上 10.1未満	0.814	4	(略)	0.11%	3.256	0.12%	63.51%	
20.0以上 20.1未満	1.959	2	(略)	0.05%	3.918	0.15%	80.24%	
112.7以上 112.8未満	12.956	1	0.03%	99.92%	12.956	0.49%	97.61%	
116.6以上 116.7未満	10.396	1	0.03%	99.95%	10.396	0.40%	98.00%	
122.7以上 122.8未満	72.845	1	0.03%	99.97%	72.845	2.78%	100.78%	
169.2以上 169.3未満	-20.534	1	0.03%	100.00%	-20.534	-0.78%	100.00%	

出すことができなかった。その原因には、大規模出水であるほど流出量の測定が困難である他に、測定例が少ないことが考えられる。そのため森林植生の衰退による大規模出水への影響の傾向を見出すためには、観測を継続するだけでなく、モデル解析などとの併用が必要であろう。

引用文献

(1) Bosch JM, Hewlett JD (1982) A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on

water yield and evapotranspiration. J Hydrol 55: 3–23

(2) 玉井幸治 (2021) 森林の伐採などが最大・最小日流出量（無雪期）に及ぼす影響—釜淵と竜ノ口山の両森林理水試験地の事例から—。水文・水資源学会誌 34: 243–253

(3) 玉井幸治・後藤義明・深山貴文・小南裕志 (2004) 林野火災とマツ枯れによる森林の衰退が流出量と流況曲線に及ぼす影響—岡山市竜の口山量水試験地の場合—。日林誌 86: 375–379

不透過型堰堤の堆砂敷における流木の停止過程

鈴木拓郎¹・経隆 悠¹・浅野志穂¹¹ 森林総合研究所

要旨：土砂流出に伴う流木の捕捉には透過型堰堤が有効であるが、既に設置された不透過型の堰堤においても流木が捕捉された事例が報告されている。施設対策を効率的に進めるためには、既存の不透過型堰堤の捕捉効果を適切に評価することが重要である。そこで本研究では、不透過型堰堤の堆砂敷における流木の停止過程を現地調査および数値計算により検討した。現地調査では、不透過型堰堤が流木を捕捉した広島県の事例について、流木の停止角度（流下方向に対する角度）などを分析した。粒子法による数値計算においては、流木長を変化させて流木の停止角度などを分析した。現地調査、数値計算ともに流木は平均的に約 35 度で停止しており、流木長の影響は小さかった。したがって、流木の停止条件は流木の直径をもとに設定することが合理的であると示唆された。

キーワード：流木、不透過型堰堤、停止角度

Deposition process of large wood in the upstream area of a closed-type check dam

Takuro SUZUKI¹, Haruka TSUNETAKA¹, Shiho ASANO¹¹Forestry and Forest Products Research Institute

Abstract: An open-type check dam is effective in capturing large wood associated with debris flows. On the other hand, there have been some cases where existing closed-type check dams have trapped large wood. It is important to properly evaluate the effectiveness of existing closed-type check dams to efficiently implement countermeasures. In this study, the deposition process of large wood in the upstream area of a closed-type check dam was investigated through field surveys and numerical calculations. In the field survey, the deposition angles of large wood were analyzed in a case study in Hiroshima Prefecture, where closed-type check dams actually trapped large wood. In the numerical simulation using the particles method, the deposition angles of large wood were analyzed by changing the length of the large wood. In both the field survey and the numerical simulation, large wood was deposited at about 35 degrees on average, and the effect of large wood length was small. Therefore, it is suggested that it is reasonable to set the deposition conditions based on the diameter of the large wood.

Keywords: large wood, closed-type check dam, stopping angle

I はじめに

近年、気候変動による極端豪雨が増加しており、流木災害の激甚化が懸念されている。このような流木災害の被害の防止・軽減のためには、治山堰堤等の施設による捕捉が有効であり、一般的には透過型の流木捕捉式治山堰堤の設置が推進されている。しかしながら、新たな施設の設置や既存施設の透過型への改良は費用・時間の観点で限界がある。一方で、すでに多くの流域に設置されている不透過型堰堤によっても流木が捕捉され、被害の軽減に効果を発揮した事例が報告されている(4)。そのため、効率的な施設配置計画を検討するためには、既存の不透過型堰堤の捕捉効果を適切に評価することが重要となる。透過型堰堤は流木を直接的に捕捉するが、不透過

型堰堤は基本的に満砂状態であるため、堆砂敷において流木が停止する過程となる(2)。

鈴木(6)は効率的な施設配置計画に資することを目的として流木の先端部集積過程を再現するシミュレーション手法を開発した。鈴木ら(8)は流木の移動限界水深の設定により流木の停止過程の再現が可能であることを示した。したがってこの方法は不透過型堰堤の堆砂敷における流木の停止過程にも適用可能であると考えられる。重要なのは流木の停止条件をどのように設定するかである。土井(1)は流向と並行な流木に対する流体力と抗力の関係から流木の移動限界を検討している。Shields and Gippel(5)は、流木の移動には流向に対する流木の角度が強く影響することを指摘している。このように流木の角

度によって流木の流下方向断面長さが変化するため、流木がどのような角度で停止するかを把握したうえで、流体力と抗力の関係性を評価することが、数値シミュレーションを実施する際の流木停止条件の設定のために必要である。

そこで本研究では、不透過型堰堤の堆砂数において流木を捕捉した事例（平成 30 年 7 月豪雨、広島県東広島市八本松地区）を対象として、UAV による空撮結果を基に捕捉された流木の実態を把握した。さらに、流木の停止過程の基礎的理解のために、粒子法による数値計算手法を用いて数値実験を実施した。現地調査結果、数値実験結果を比較検証したうえで、流木の停止条件の適切な設定方法を考察した。

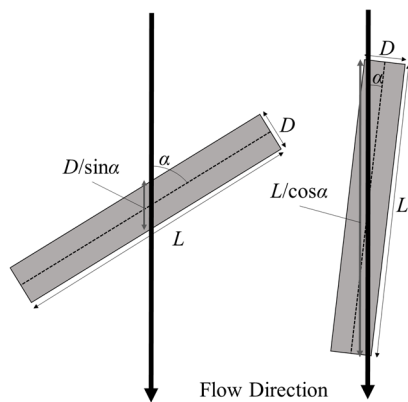


図-1. 流木角度の模式図

Fig. 1 Schematic of large wood angle

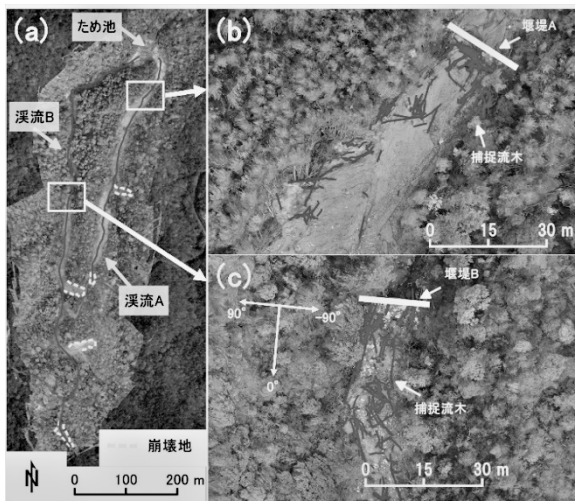


図-2. 研究対象地 (a) 対象地全景, (b) 堰堤 A, (c) 堰堤 B

Fig. 2 Maps of study site (a) Panoramic view, (b) Dam A, (c) Dam B

II 方法

1. 考え方 堆砂数における流木の停止とは流木の摩

擦抵抗力が土石流からの流体力を上回り自然停止する過程であり、その条件を評価するためには、流下方向の力の釣り合い（主に流体力と摩擦抵抗力）を考えることになる。図-1 は流木の回転角度の模式図であり、 L は流木長、 D は流木直径、 α は流木の長さ方向と流下方向の成す角度である。流下方向の力の釣り合いを考える際には、流木の流下断面長さを評価する必要がある、流木直径が支配的な場合（図-1 の左）と流木長が支配的な場合（図-1 の右）を考慮すると、 $D/\sin \alpha$ と $L/\cos \alpha$ の小さい方の値をとることになり、流木の角度が重要となる。したがって、実際に流木が停止する角度を現地調査と数値実験により把握した。

2. 現地調査 広島県東広島市八本松地区の隣接した 2 つの渓流を対象地とした（以下、図-2 a のように渓流 A および渓流 B と呼ぶ）。不透過型の堰堤は、渓流 A では 1 基、渓流 B では計 3 基設置されている。平成 30 年 7 月に発生した豪雨により、両渓流の源頭部および側岸部で表層崩壊が発生し、流木を含む土砂流れが流下し、土砂および流木の大部分はこれらの堰堤および末端のため池に堆積した。渓流の最高地点標高は、渓流 A が約 325 m、渓流 B は約 380 m とほぼ同程度であるが、流路長は渓流 A が約 465 m、渓流 B は約 880 m である。地質は風化した花崗岩であり、森林の樹高はおおよそ 10~20 m、アカマツ、ヒノキの混交林で、70%以上が広葉樹である。

本研究では、堰堤 A（渓流 A 上流から約 400 m 地点、図-2 b）と渓流 B の最上流の堰堤である堰堤 B（上流から約 525 m 地点、図-2 c）を対象として、流木の捕捉状況を比較した。

2018 年 11 月 16 日に UAV（Mavic pro, DJI Co.）によって空撮を実施した。マニュアル操作により、対地高度約 50~150 m で約 300 枚の画像を撮影した。SfM 解析ソフト（Metashape, Agisoft LLC.）を用いて画像を処理することにより、解像度 3 cm のオルソ画像を作成した（図-2）。オルソ画像の絶対座標は、撮影時の機体位置の GNSS 測定結果として各画像に付加された Exif 情報を用いた簡易的なジオリファレンスで与えた。作成したオルソ画像を分析し、堰堤の中心から流木の重心位置までの距離、流木の捕捉角度（座標系は図-2 c のとおり）および流木の長さを算出した。

3. 数値実験 鈴木(6)が用いた実験水路（図-3）を粒子法(8)によって再現して用いた。水路は幅 0.1 m、長さ 6 m、勾配 15°の直線水路と、勾配が上流から 1 m 毎に 12°、9°、6°、3°と変化する扇状地水路から構成される。扇状地水路部分における勾配変化、流れの広がりがない不透過堰堤の堆砂数と地形状況と類似していると考えられる。

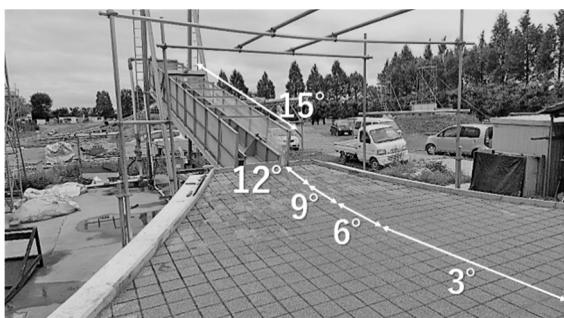


図-3. 数値計算で再現した水路 (6)

Fig. 3 Experimental flume reproduced in numerical simulation (6)

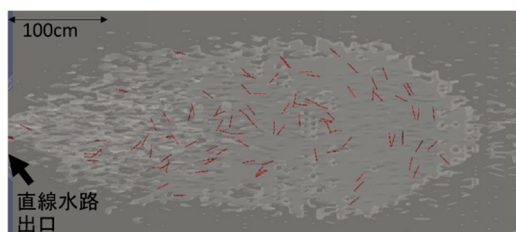


図-4. 粒子法における流下途中の様子。図中の棒状の要素は流木であり、薄いグレーは清水の氾濫範囲を示している。

Fig. 4 An example of particles simulation. The bar elements are large wood and the light gray indicates the inundation area of the water.

粒子法による計算方法は (7) の方法を参照されたい。なお、本研究では土砂の影響を排除するために、土砂濃度を 0.01 の一定値として計算した。また、流木は (3) に従って粒子を直線に連結して再現した。直線水路の下流端より 1 m 地点から流量 3 l/s の水を 10 秒間供給した。流木は 25 本/s で先頭から 4 秒間の計 100 本、流木の水平方向の回転角度を一樣乱数を用いてランダムに与えた。

粒子法による計算においては、流木同士あるいは流木と底面が接触した際の摩擦力を評価する必要がある。そこで、着目粒子 i と近傍粒子 j の間に作用する摩擦力 $\tau_{c,ij}$ を次式によって評価した。

$$\tau_{c,ij} = \mu \left[\frac{P_i + P_j}{2} - \rho g(h_i - z_i) \right] \frac{\mathbf{u}_j - \mathbf{u}_i}{|\mathbf{u}_j - \mathbf{u}_i|} \quad (1)$$

ここに、 μ は摩擦係数、 P は圧力、 ρ は水の密度、 g は重力加速度、 h_i は i に対応する表面粒子の鉛直方向高さ (鈴木・堀田 (7))、 z_i は i の鉛直方向高さである。本研究では間隙水圧を簡易的に静水圧 $\rho g(h_i - z_i)$ で評価した。また、 $\mathbf{u}$ は流速ベクトルであり、 $(\mathbf{u}_j - \mathbf{u}_i)/|\mathbf{u}_j - \mathbf{u}_i|$ は i に対する j の相対速度の単位ベクトルを意味する。粒子間距離による重みづけ関数 (3) を用いて影響範囲内の周辺粒子との摩擦力を評価し、着目粒子に作用する摩擦力を算出した。

計算条件は次のとおりである。流木長を 8 cm とすることを基本とし、一樣乱数は 3 セット (R1, R2, R3) とした。さらに流木長を 4 cm の条件を設定し、乱数は R1 のみ実施した。流木が完全に停止後、流木の水路出口からの縦断距離と流木角度 (直線水路流下方向と流木長方向の成す角) を算出した。

III 結果と考察

図-2 のオルソ画像から、堰堤 A と堰堤 B ともにほぼ満砂し、流木がそれぞれ約 200 本および約 300 本捕捉されたことが確認された。また、粒子法による計算の様子は図-4 のとおりであり、どの計算条件においても流木は計算領域内にほぼ全ての流木が停止した。堰堤 A と堰堤 B の分析結果では、流木の流木長、停止距離、停止角度の間に明確な関係性はみられなかった。一方、数値計算において 8cm-R1 の流木の到達距離と停止角度の関係を図-5 に示す。到達距離が短い流木は停止角度が 0 度に近い状態となっていることがわかる。これは図-1 右の状態で、流木の流下断面長さが大きく、それに比例する摩擦抵抗力が大きく停止しやすいからである。上流側は勾

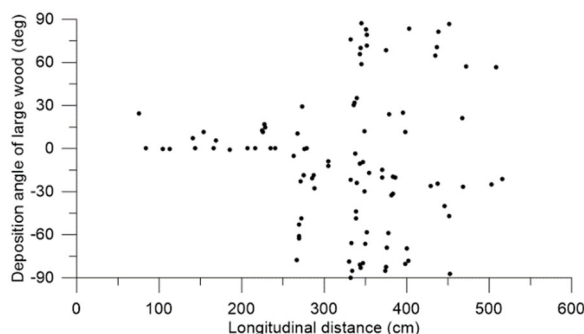


図-5. 流木の到達距離と停止角度 (8cm-R1)

Fig. 5 Deposition distance and angle of large wood (8cm-R1)

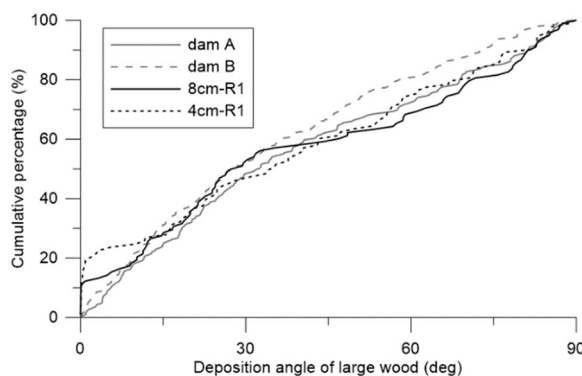


図-6. 流木停止角度の累加百分率

Fig. 6 Accumulated percentage of large wood deposition angle

配が急で流下幅が小さく、単位幅当たりの流体力が大きいため、流下方向と平行に近い流木のみが停止条件を満たしたと考えられる。数値実験では単純な地形条件で計算を行ったため、一部このような流木が生じたと考えられるが、流木の大部分は流体力を受けて回転しながら流下し、概ね 300 cm 前後の範囲に停止した。その範囲では流木角度は現地調査と同様に幅広く分布していた。

図-6 には現地調査および数値計算の流木堆積角度の分析結果を示している。横軸に角度をとり、縦軸は累加百分率としている。数値計算においては、乱数セット R1～R3 による大きな差異は生じていなかったため、R1 のみを示した。図より、流木停止角度の分布は現地調査および数値計算で概ね同様の傾向を示していることがわかる。全体的に上に凸のグラフになっており、角度が小さいほど変化率が大きい、すなわち存在割合が大きくなっていることを示している。これは前述のように流木の角度が小さいほど流下断面長さが大きくなるからである。表-1 には、流木の平均停止角度と平均停止距離を示している。現地調査と数値計算ともに、平均停止角度は約 35 度となっていることがわかる。35 度を図-1 の関係に適用すると、 $D/\sin \alpha < L/\cos \alpha$ となる条件は $L/D > 1.45$ である。 $L/D=1.45$ はもはや木片であり、基本的には考え難いため、一般的な状態は $L/D > 1.45$ の条件を満たす。したがって、流木の流下断面長さに対して流木直径が支配的（図-1 左の状態）であると言える。また、表-1 に示す通り、数値計算において流木長による停止角度や停止距離の違いは生じなかったのは、流木の流下断面長さに対して流木長は支配要因ではないことを裏付けていると考えられる。現地調査においても流木長と停止距離、停止角度の間に明瞭な関係性は得られなかった。ただし、写真の解像度の問題で今回は分析できなかったが、流木直径と停止距離の間の関係性については今後検討の必要がある。

表-1. 流木の平均停止距離と平均停止角度
Table 1 Average deposition distance and angle of large wood

	平均停止 角度(deg)	標準偏差 (deg)	平均停止 距離(cm)
dam A	38.6	27.2	
dam B	33.6	24.9	
8cm-R1	38.7	29.7	326.2
8cm-R2	37.2	29.3	312.7
8cm-R3	34.7	31.2	293.1
4cm-R1	37.2	29.1	302.3

IV まとめ

不透過型堰堤の堆砂敷における流木捕捉能力の評価に資することを目的として、流木の停止条件を UAV による現地調査および粒子法による数値計算によって検討した。流木の停止角度（流下方向に対する角度）は現地調査、数値計算ともに角度が小さいほど存在割合が多くなっており、概ね平均 35 度であった。これは、流木の停止条件を流体力と摩擦抵抗力の釣り合いから考える際に必要な流下断面長さに対して、流木直径が支配的な状態である。したがって、流木長の影響は小さいと考えられ、実際に現地調査と数値計算において流木長の影響はみられなかった。以上より、数値シミュレーションなどにおいて流木の停止条件を設定するには、本研究の範囲内では停止角度を 35 度として、流木直径を考慮して設定することが合理的と考えられる。今後、幅広い事例・条件において流木直径の影響を含めて検討を進めていきたい。

謝辞：本研究は農林水産研究推進事業委託プロジェクト研究(個別課題番号 19191196)の助成を受けたものである。ここに記して感謝申し上げます。

引用文献

(1) 土井康弘 (2000) 流木の堆積と再移動に関する研究—自然河道と不透明型砂防ダムにおける挙動を中心として—。筑波大学博士論文, 106pp.

(2) 土井康弘・南哲行・山田孝・天田高白 (2000) 満砂状態の不透過型砂防ダムによる流木捕捉機構に関する実験的研究。砂防学会誌 52(6): 49-55

(3) Koshizuka S, Oka Y (1996) Moving Particle Semi-implicit Method for Fragmentation of Incompressible Fluid. Nuclear Science and Engineering 123: 421-434

(4) (一財) 砂防・地すべり技術センター (2018) 土砂災害の実態 2017

(5) Shields FD, Gippel CJ (1995) Prediction of effects of woody debris removal on flow resistance. Journal of Hydraulic Engineering 121: 341-354

(6) 鈴木拓郎 (2021) 流木の土石流先端部集積過程を再現するための数値シミュレーション手法。関東森林研究 73: 109-112

(7) 鈴木拓郎・堀田紀文 (2015) 土石流の構成則に基づいた粒子法モデルの構築と堆積過程への適用。砂防学会誌 68(1): 13-23

(8) 鈴木拓郎・剣持嵩之・経隆悠・浅野志徳 (2022) 流木混じり土石流の氾濫・堆積過程に関する水路実験と数値計算。土砂災害に関するシンポジウム論文集 11: 95-

群馬県下の市町村における土砂災害ハザードマップの比較考察

本田尚正¹・富井直樹¹¹ 東京農業大学地域環境科学部

要旨：本研究では群馬県下の市町村における土砂災害ハザードマップに関して、それぞれのわかりやすさや特徴、共通点などを比較考察した。検討対象は県下 35 市町村のうちの 20 市町村である。その結果、自然災害発生の局所性を重視して災害種別ごとにハザードマップを作成する自治体があった一方、複数の自然災害情報を集約した防災マップを作成する自治体もあった。どの自治体にも共通する重要な説明事項は土砂災害の前兆現象、警戒区域等の記載、土砂災害の定義、避難所の明示、情報伝達的手段などであった。とくに、避難所の明示では、イラストや色分けなど、自治体独自の工夫がなされていた。

キーワード：群馬県、土砂災害ハザードマップ、防災マップ、土砂災害警戒区域、避難所

Comparison and examination of sediment disaster hazard maps produced by municipalities in Gunma prefectureNaomasa HONDA¹, Naoki TOMII¹¹ Faculty of Regional Environment Science, Tokyo University of Agriculture

Abstract: A purpose of the present study is to compare and examine sediment hazard maps produced by municipalities in Gunma prefecture, paying attention to easiness to understand, characteristics and common points. The subjects of survey are twenty cities in thirty-five municipalities of Gunma prefecture. According to the results, there are cities that produce the hazard maps according to individual natural disasters, focusing on locality of the natural disaster occurrence. On the other hand, there are cities that produce the disaster prevention maps which gathered much natural disaster information. Common important items of every city are the clear statement of the sediment disaster warning zone (yellow zone), sediment disaster special warning zone (red zone) and refuges. Especially, the indication of the refuge is devised variously by a color or an illustration in each municipality.

Key-word: Gunma prefecture, sediment disaster hazard map, disaster prevention map, sediment disaster warning zone, refuges

I はじめに

近年、異常気象の頻発化とそれに伴う自然災害の多発化、大規模化が顕在している。大都市部には人口と資産が集中し、災害発生一回あたりの被害規模を激甚化させている。一方、地方部では人口減少と過疎化によって耕作放棄地が増加し、地域防災力の担い手が不足し、災害危険度が高まっている。それらの現状に対し、国内の厳しい財政事情の面からは、想定を超える大規模災害を防災施設の整備すなわちハード対策主体で行うことにはもはや限界がある (1)。

社会資本整備は今後も必要不可欠である一方、減災のための早めの避難体制の確立に向けたソフト対策、具体的には予知・予測技術ならびに情報伝達技術の向上、防災知識の一般普及を目的とした防災教育の充実などの必要性が近年急速に高まっている。各種災害ハザードマッ

プの整備はそれらのソフト対策の根幹をなすものである。

なかでも土砂災害ハザードマップは被害想定区域内に在住する地域住民に対して、土砂災害の局所性や激甚性を日頃から意識させ、平時からの備えの重要性を喚起する有効なツールといえる。ハザードマップは市町村単位での作成が一般的であり、土砂災害ハザードマップもその例外ではない。そこで本研究では、内陸県として土砂災害発生の危険性を高く内在する群馬県下の市町村を対象として、土砂災害ハザードマップのわかりやすさや特徴、共通点などについて比較考察した。

II 土砂災害に関する群馬県の概要

群馬県は日本列島のほぼ中央に位置し、南東部に関東平野が開ける一方、県西・県北の県境には山々が連なる人口約 200 万人の内陸県である。県面積の約 6 割を山地

が占め、自然豊かな反面、土砂災害を始めとして自然災害の危険性を高く内在する地域が数多く存在する。

同県における土砂災害の発生は豪雨、台風等の降雨起因だけでなく、浅間山など火山噴火に起因する複合災害にも注意が必要である。近年では、関東平野北西縁断層帯主部による震度6および7クラスの地震によって県下で多くの被害が発生することが想定されている(2)。

III 検討対象および検討手法

1. 検討対象 群馬県下35市町村の中から人口規模の大きい自治体、ハザードマップに特徴のある自治体、過去の災害履歴から判断して土砂災害の危険性が高まっている自治体など、計20市町村を選定した(表-1)。

表-1. 検討対象市町村
Table 1 Examination municipalities

四区分	十区分	検討対象20市町村	(検討対象外15市町村)
中毛	前橋	前橋市	
	伊勢崎	伊勢崎市 佐波郡玉村町	
	渋川	渋川市 北群馬郡吉岡町	(榛東村)
西毛	高崎・安中	高崎市, 安中市	
	藤岡	藤岡市	(多野郡上野村, 神流町)
	富岡	富岡市	(甘楽郡下仁田町, 南牧村, 甘楽町)
北毛	沼田	沼田市 利根郡川場村, みなかみ町	(片品村, 昭和村)
	中之条	吾妻郡中之条町, 長野原町, 草津町, 高山村	(嬬恋村, 東吾妻町)
	桐生	桐生市, みどり市	
東毛	太田・館林	太田市	(館林市)
		邑楽郡大泉町	(明和町, 千代田町, 板倉町, 邑楽町)

表-2. ハザードマップの種別
Table 2 Classification of hazard maps

公表ハザードマップ	検討対象20市町村
土砂災害, 洪水	渋川市, 安中市, 桐生市, みなかみ町, 草津町, 高山村
土砂災害のみ	中之条町, 長野原町
防災, 洪水, ため池	前橋市, 藤岡市, 富岡市, 太田市
防災, 火山, ため池	沼田市
防災, ため池	吉岡町
防災のみ	高崎市, 伊勢崎市, みどり市, 大泉町, 玉村町, 川場村

表-3. 比較ケース
Table 3 Comparison cases

比較ケース	検討対象20市町村
Case.1 土砂災害ハザードマップ	渋川市, 安中市, 桐生市, みなかみ町, 中之条町, 長野原町, 草津町, 高山村
Case.2 防災マップ(人口規模:大)	前橋市, 伊勢崎市, 高崎市, 藤岡市, 富岡市, 沼田市, みどり市, 太田市
Case.3 防災マップ(人口規模:小)	吉岡町, 大泉町, 玉村町, 川場村

2. 検討手法 20市町村の公表ハザードマップは、自然災害発生の局所性を重視して災害種別ごとに作成されたものと、複数の自然災害情報を集約し、防災マップとして作成されたものに大別される。

そこで、ここでは20市町村を公表ハザードマップの種別により、表-2のとおり、分類した。これをさらに表-3のように整理して、「土砂災害ハザードマップ」、「防災マップ(人口規模:大)」、「防災マップ(人口規模:小)」の3つの比較ケースを設定した。以下ではケースごとにハザードマップのわかりやすさや特徴について考察する。

IV 結果および考察

1. ハザードマップとしてのわかりやすさの比較

表-3の分類に基づき、土砂災害ハザードマップと防災マップのそれぞれについて、ハザードマップとしてのわかりやすさを比較すると、表-4のとおりである。

同表の(a)は、土砂災害ハザードマップを単独作成している8市町村について、洪水ハザードマップの記載情報も併記したものである。図中の記号は、8市町村の中で「土砂災害情報」と「避難所情報」が比較的良くまとまっていると評価された渋川市を「○」印とし、それよりも優れていると評価された市町村の項目を「◎」印で、劣っていると評価された市町村の項目を「△」印でそれぞれ表示した。

この基準にしたがえば、桐生市や高山村などの土砂災害ハザードマップが必要情報をよりわかりやすく表示しているといえる。なお、渋川市と高山村では、ハザードマップのベースとなる図面に地形図ではなく航空写真を使用しており、一般住民にも災害情報が視覚的にわかりやすく捉えられるよう、工夫されている。

同表の(b)は、複数の自然災害情報を集約して防災マップを作成している12市町村について、その他のハザードマップの記載情報も併記したものである。図中の記号は、12市町村の中で土砂災害ハザードマップとしての必要情報が比較的良くまとまっていると評価された前橋市を「○」印とし、前出の表-4(a)と同様に他市町村を比較評価した。その結果、富岡市や沼田市、吉岡町などの防災マップが必要情報をよりわかりやすく表示しているといえる。

ここで、土砂災害ハザードマップを単独に作成している市町村には、概して土砂災害発生の危険性の高い地域が局所的に点在している自治体が多い。それらの自治体では、特定地域の住民に土砂災害の危険性を周知する必要上、土砂災害ハザードマップは単独に存在することが有効であると考えられる。

表-4. ハザードマップとしてのわかりやすさの比較
Table 4 Comparison of easiness to understand as a hazard map

(a) Case 1 土砂災害マップの場合
(a) Case 1 Sediment disaster hazard maps

市町村名		澁川市	安中市		桐生市		みなかみ町		草津町		高山村		中之条町	長野原町	(参考) 館林市
マップの種類		土砂 洪水	土砂 洪水	土砂 洪水	土砂 洪水	土砂 洪水	土砂 洪水	土砂 洪水	土砂 洪水	土砂 洪水	土砂のみ	土砂のみ	洪水のみ		
土砂災害 情報	土砂災害危険区域	○	△ △	◎		○		○	◎ ◎	○	○				
	土砂災害危険箇所	○	△ △	◎		○		○	○	○					
	土砂災害の特徴	○		◎							◎	◎			
	前兆現象	○		○							◎	◎			
	土砂災害履歴					◎			◎ ◎						
避難所 情報	指定避難所	○ ○	○ △	◎		△ △	△	○	◎	○	○	△			○
	救護施設	○ ○		◎				○	○			△			○
	避難路														
	要配慮者利用施設														○
洪水情報	浸水想定水深	○	△	○		△		○		○					
	家屋倒壊等 氾濫想定区域	○	○			△ △	△								△

(b) Case 2 & Case 3 防災マップの場合

(b) Case 2 & Case 3 Disaster prevention maps

市町村名			前橋市			藤岡市			富岡市			沼田市			太田市			吉岡町		高崎市		伊勢崎市		みどり市		大泉町		玉村町		川場村	
マップの種類			防災	洪水	ため池	防災	内水	ため池	防災	洪水	ため池	防災	火山	ため池	防災	洪水	ため池	防災	ため池	防災	ため池	防災	ため池	防災	ため池	防災	ため池	防災	ため池		
土砂災害 情報	土砂災害危険区域		○			△			○	○		◎			○			○											○		
	土砂災害危険箇所		○			△			◎			○			○							△		○	○						
	土砂災害の特徴		○			○			◎			◎			◎				◎		△										
	前兆現象		○			○			◎			◎			◎				◎		◎										
	土砂災害履歴																								○	○					
避難所 情報	指定避難所		○	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	◎	◎	△	△	◎	◎	◎	○	○	○	○	○	○	○	◎	◎	◎		
	救護施設		○	○			△	△	○	△	△	○	△	△	△	△		◎	◎	○	△	△	△	△	△	△	△	○	○		
	避難路			○										○					◎						◎						
	要配慮者利用施設								○					○						○							◎	◎	○		
洪水情報	浸水想定水深			○	○		△	△		△	△	○		○	△	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	△		
	家屋倒壊等 危険想定区域			○			△			○				○	○	○			△		△		○	○	○	○			△		

表-5. ハザードマップとしての特徴の比較
Table 5 Comparison of characteristics as a hazard map

(a) Case 1 土砂災害マップの場合
(a) Case 1 Sediment disaster hazard maps

市町村名	渋川市	桐生市	安中市	みなかみ町	中之条町	長野原町	草津町	高山村
重要項目								
土砂災害の定義	イラスト表記がけ崩れ・土石流・地すべり	イラスト表記がけ崩れ・土石流・地すべり	(記載なし)	(記載なし)	イラスト表記がけ崩れ・土石流・地すべり	イラスト表記がけ崩れ・土石流・地すべり	(記載なし)	イラスト表記がけ崩れ・土石流・地すべり
土砂災害の崩落現象	イラスト表記3つの崩落パターン	イラスト表記3つの崩落パターン	(記載なし)	(記載なし)	イラスト表記、火山泥流3つの崩落パターン	イラスト表記3つの崩落パターン	(記載なし)	(記載なし)
警戒区域等の記載	色分けが分かりやすい	急傾斜地崩壊、土石流危険渓流	がけ崩れ、土石流、地すべり を色分け	がけ崩れ、土石流、地すべり を色分け	色分けが分かりやすい	災害種類ごとに記載	色分けが薄い	色分けが薄い
避難所のイラスト	避難所のイラスト	避難所のイラスト	番号分け指定福祉避難所	避難所のイラスト イラスト表記が大きい 位置が分かりやすい	避難所一覧 地図座標	イラスト表記 公民館・集会所記載	(記載なし)	避難所一覧、イラスト表示 災害種類ごとに避難所記載 wq-f、AEDの設置場所
避難所の明示	避難所の一覧 災害ごとに避難所を指定	避難所の一覧 表示が大きく分かりやすい						
情報伝達の手段	テレビ インターネット ラジオ	緊急速報メール 防災行政無線 広報車、防災ラジオ	インターネット	防災行政無線 広報車 戸別訪問	インターネット 防災行政無線 広報車	インターネット 消防団	(記載なし)	インターネット

(b) Case 2 防災マップ（人口規模：大）の場合
(b) Case 2 Disaster prevention hazard maps (populous cities)

市町村名	前橋市	伊勢崎市	高崎市	藤岡市	富岡市	沼田市	みどり市	太田市
重要項目								
土砂災害の定義	(記載なし)	(記載なし)	(記載なし)	イラスト表記 がけ崩れ・土石流・地すべり	イラスト表記 がけ崩れ・土石流・地すべり	イラスト表記 がけ崩れ・土石流・地すべり	(記載なし)	(記載なし)
土砂災害の 前兆現象	(記載なし)	(記載なし)	イラスト表記	イラスト表記 3つの前兆パターン	イラスト表記 4つの前兆パターン	イラスト表記 3つの前兆パターン記載	イラスト表記 3つの前兆パターン	(記載なし)
警戒区域等 の記載	色分けが分かりやすい	(記載なし)	色分けが薄い	浸水想定区域の色と酷似 区別しづらい	浸水浸の色と酷似 区別しづらい	色分けが薄く見やすい	色分けが分かりやすい 警戒区域の箇所多い	色分けが薄い
避難所の 明示	災害ごとに分けられている	避難所の一覧 避難所のイラスト	ページごとに細分化 災害ごとに分かれている 位置が小さく見づらい	避難所の一覧 避難所のイラスト 災害ごとに分けられている	避難所のイラスト 収容可能人員記載	災害ごとに分けられている 避難所の一覧 避難所のイラスト	避難所のイラスト	指定避難所赤線 避難所の一覧 避難所のイラスト
情報伝達の 手段	防災行政無線 防災ラジオ 緊急速報メール	インターネット 市のメール	安心はつとメール 緊急連絡メール テレビ、ラジオ、インターネット	インターネット テレビ、ラジオ 災害用伝言ダイヤル	一斉メール配信サービス Twitter、ラジオ 気象庁	インターネット ラジオ テレビ	インターネット ラジオ	市の警戒レベル(3段階)、 気象庁、 テレビ、インターネット、電話

(c) Case 3 防災マップ（人口規模：小）の場合
(c) Case 3 Disaster prevention hazard maps (towns with a little population)

市町村名	吉岡町	大泉町	玉村町	川場村
重要項目				
土砂災害の定義	イラスト表記がけ崩れ・土石流・地すべり	(記載なし)	(記載なし)	(記載なし)
土砂災害の前兆現象	(記載なし)	(記載なし)	(記載なし)	(記載なし)
警戒区域等の記載	色分けが分かりやすい	(記載なし)	(記載なし)	色分けハッキリ分かりやすい
避難所の明示	災害ごとに分かれている避難所の一覧	避難所の一覧イラスト表記なし	避難所の一覧イラスト表記なし避難所目立つ	避難所のイラスト字が小さい福祉避難所と色を区別
情報伝達的手段	よしおはつとメールインターネット防災行政無線、広報車	インターネット	インターネットテレビ、ラジオ広報車	川場村携帯連絡網システムインターネットラジオ

一方、防災マップを作成している自治体では、市クラスの人口規模が比較的大きい自治体と、町村クラスの人口規模が小さい自治体とに二分化された。これは、とくに前者の場合、一般的には都市の規模に比例して対象災害の種類も多くなるため、ハザードマップが災害種別ごとに複数枚にわたると、住民にとっては使い分けがしづらいものとなることから、防災マップによる一元的な防災情報の提供が有効であると推察される。一方、災害種別の多さと連動して必要情報も多岐にわたることから、それらを防災マップ1枚にわかりやすくまとめるためには、記号やサインなど、見せ方に工夫が必要となる。

2. ハザードマップとしての特徴の比較 ハザードマップ中に記載されている「土砂災害の定義」、「土砂災害の前兆現象」、「警戒区域等の記載」、「避難所の明示」、「情報伝達的手段」に着目してハザードマップとしての特徴を比較すると、表-5 のとおりである。

同表の(a)は、土砂災害ハザードマップを単独作成している8市町村の事例であるが、全体的に「イラストによる表記」や「色分けの工夫」などがみられ、さらに、あくまでも著者らの主観ではあるが、市町村間で見やすさやわかりやすさに差異があることがわかる。情報伝達的手段としては、テレビ・ラジオ・インターネット・防災行政無線等の情報媒体のほか、「広報車（桐生市、みなかみ町、中之条町）」、「戸別訪問（みなかみ町）」、「消防団（長野原町）」など「face to face」の工夫もみられた。

同表の(b)は、防災マップを作成している自治体のうち、人口規模の大きい8市の事例であるが、前出の「イラストによる表記」や「色分けの工夫」に加え、幾つかの自治体で「避難所が災害ごとに分けられている」点が特徴的といえる。これは、土地の高低や、過去の災害履歴等により、洪水氾濫、内水浸水、土砂流出といったそれぞれ災害に対して安全度の異なる箇所があるためである。このように、防災マップによる一元的な防災情報の提供にあたっては、多種多様な災害種別に適応するためのきめ細かな配慮が必要不可欠である。

同表の(c)は、防災マップを作成している自治体のうち、人口規模の小さい4町村の事例である。表中に「記載なし」の項目が多いのは、それだけ土砂災害に対する危険性や緊急性が低いから、とも推察できる。その中にあって吉岡町の「イラスト表記」、「色分けのわかりやすさ」、「避難所を災害ごとに分けている」といったさまざまな工夫や配慮は出色といえる。また、川場村の「携帯連絡網システム」も、現代的な情報伝達手段といえよう。

V おわりに

土砂災害ハザードマップの第一義的な目的は、被害の発生が想定される区域内に在住する住民に対して「平常時から災害発生の危険性を意識し、周知すること」と「災害発生時には迅速に避難行動へと移行すること」の2点の徹底化に集約される。このうち前者には、単に土砂災害警戒区域等の明示のみに留まらず、「がけ崩れ」、「地すべり」、「土石流」といった土砂移動現象の定義と区別ならびにそれらに適応した対処、対策への理解、土砂災害発生の前兆現象の把握による避難行動の促進化など、防災教育的な要素も多分に包含されている。

その意味において、本研究で検討対象とした自治体の多くが「土砂災害の定義」や「土砂災害の前兆現象」に関する防災知識をハザードマップの記載事項としている点は注目に値する。このようにハザードマップには防災教育教材としての有為性が高く存在することから、今後さまざまな啓発活動の場面での活用が希求される。

引用文献

- (1) 本田尚正(2019)備えあれば患いなしー自然災害から身を守るためにー。学校法人東京農業大学 新・実学ジャーナル 6月号:1-2
- (2) 政府地震調査研究推進本部「群馬県の地震活動の特徴」
https://jishin.go.jp/regional_seismicity/rs_kanto/p10_gunma/
(閲覧日 2022 年 12 月 28 日)

多雪森林域における隣接する2流域の溶存物質の流出特性の比較

稲山賢信¹・瀧澤英紀¹・菅谷 馨²・水野一平²・吉澤大地²・小坂 泉¹¹ 日本大学大学院生物資源科学研究科・² 日本大学生物資源科学部

要旨：地形・地質条件の異なる隣接する2流域について、多雪森林地域である水上演習林で2019～2021年の3年間の物質収支および流出負荷量と濃度の季節変化を調べた。3年間で平均すると、 Cl^- 、 Na^+ 、 Si の流出負荷量は2流域で同程度となり、 K^+ 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 HCO_3^- 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} の流出負荷量は三つ又沢流域が多かった。濃度変動では2流域で一定な Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Si 、夏場に激しく変動する K^+ 、 NO_3^- 、融雪期に低下し夏場に上下しながら上昇する Na^+ 、 HCO_3^- 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} の3つに分類された。 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 、 Si は降水やごく表層の反応、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} は少し深部の影響が大きく、 K^+ 、 NO_3^- 、 HCO_3^- は温度等による生物的反応による影響が強く表れたと考えられた。

キーワード：森林流域、物質収支、多雪地

Comparison of elemental runoff in two adjacent catchments at snowy forest region

Kenshin INAYAMA¹, Hideki TAKIZAWA¹, Kei SUGAYA², Ippei MIZUNO², Daichi YOSHIKAWA², Izumi KOSAKA¹¹Graduate School of Bioresource Sciences, Nihon University; ²College of Bioresource Sciences, Nihon University

Abstract: We observed dissolved element concentration, runoff load, and mass balance of streams water in two adjacent catchments with different topographical and geological conditions in the Minakami university forest in the heavy snowfall area for three years from 2019 to 2021. Comparing the two catchments using the three-year average values, the runoff loads of Cl^- , Na^+ , and Si were similar and K^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- , HCO_3^- , Ca^{2+} and Mg^{2+} were higher in the Mitumata-sawa catchment. As a result of comparison of concentrations, Cl^- , SO_4^{2-} and Si was almost constant in both catchments, K^+ and NO_3^- fluctuated widely in summer, and Na^+ , HCO_3^- , Ca^{2+} and Mg^{2+} decreased due to snowmelt and increased while fluctuating in summer. The effect of the surface such as a rain and soil were strong for Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ and Si , where there was no difference in the runoff load. Ca^{2+} and Mg^{2+} has the difference between the two catchments had a slightly stronger effect on the deep part such as the pathway. For K^+ , NO_3^- and HCO_3^- , there were many biological effects such as absorption by trees and decomposition of organic matter due to temperature.

Key-word: forest catchment, elemental budget, snowy region

I はじめに

降水から渓流水に至る流出過程で流出経路とその水質形成に関して、日本大学水上演習林では継続的な水流量と水質調査が継続的に行われてきた(2,3,4)。山地森林斜面の降雨流出過程において、渓流水は斜面土壌からの中間流と山体内の地下水流の混合と考えられ、滞留時間により中間流と地下水流の水質形成は大きく異なると考えられる(2,3)。また融雪期や雨季の流出量が著しく増大する流出イベントによって特定の溶存物質の流出負荷量が増大する現象がみられ、表層から深層に至る流出過程での溶存物質の供給形態が異なることが示唆された(1)。このことから本研究では奥利根源流域の三つ又沢流域及び隣接流域において、2019～2021年の物質収支を比較して、溶存物質の流出特性から地形・地質条件が異なる流域間

の水質形成の特徴を考察することを目的とする。

II 調査地と方法

1. 調査地 調査対象地は群馬県利根郡みなかみ町の

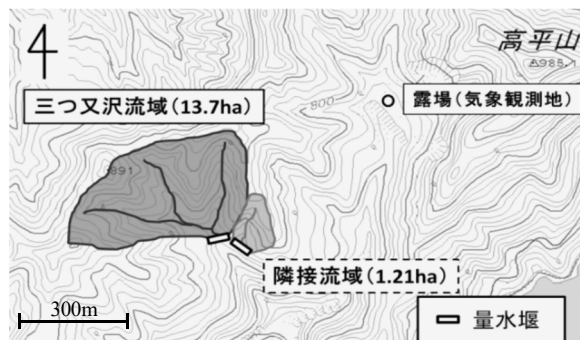


図-1. 調査対象流域

Fig. 1 Experimental catchments

日本大学演習林（面積 158 ha，標高 650～985 m）内に調査流域を設けた（図-1）。地質について，三つ又沢流域は新第三紀デイサイト流紋岩を主体とし，緩傾斜でローム堆積も確認される。隣接流域は新第三紀非海成堆積岩を主体とし，急傾斜でローム堆積は少ない。調査地周辺の年平均降水量は 1755 mm，最大積雪深の平均は 2.1 m である(4)。植生は落葉広葉樹林が主体で，ブナ・ミズナラ・コナラ林が約 7 割，カラマツ・スギ人工林が約 3 割分布する。

2. 調査項目 2018 年 12 月から 2021 年 11 月までの 3 年間に渡り調査を行った。降水量の観測は，上空の開けた露場（気象観測地）において，転倒マス式雨量計（大田計器製作所）を地上約 1 m に設置し，冬期は地上から約 6 m の高さにヒータ付き雨量計（52202 R.M.Young），および不凍液プールを使用した転倒マス式雨量計（antifreeze CS705 with TE525 Campbell Sci.INC.）を約 4 m に設置して計測し，欠測時には藤原の AMeDAS データを用いた。降水サンプルは地上 1 m にロート（φ21.2 cm）を設置し，ボトルに貯留し 1 ヶ月毎に採水した。なお，冬期はコンテナ（61×41 cm）上全部に堆積した降雪水を切り出し，融かした後に採水した。積雪期の測定間隔は概ね 2 週間毎に行った。三つ又沢では自動採水装置（3700, ISCO）により 48 時間（冬季は 24 時間）間隔で渓流水を採水した。測定項目は Na^+ ， NH_4^+ ， K^+ ， Ca^{2+} ， Mg^{2+} ， Cl^- ， NO_3^- ， SO_4^{2-} ， HCO_3^- イオン濃度および Si 濃度である。

3. 分析方法 Na^+ ， NH_4^+ ， K^+ ， Ca^{2+} ， Mg^{2+} ， Cl^- ， NO_3^- ， SO_4^{2-} の濃度について，イオンクロマトグラフィー（883 basic IC，メトローム）を用いて測定した。Si 濃度はマルチタイプ発光分光分析装置（ICPE-9000，島津製作所）により測定した。 HCO_3^- 濃度は硫酸滴定により測定した。

III 結果

1. 三つ又沢流域と隣接流域の降水と流出 降水量は 2019～2021 年それぞれにおいて 2014 mm/yr，1666 mm/yr，1807 mm/yr となり平均では 1829 mm/yr となった。流出量は三つ又沢流域では 1285 mm/yr，893 mm/yr，1171 mm/yr で平均では 1116 mm/yr となり，隣接流域では 1244 mm/yr，1001 mm/yr，1161 mm/yr で平均では 1135 mm/yr となった。図-2 に三つ又沢流域と隣接流域の 2019～2021 年の 3 年平均と各年の流出量の季節変動を示した。流出量は 2021 年の調査日を基準に積雪期は半月，そのほかは 1 ヶ月程度で平均化した。また三つ又沢流域は y 軸上向きを正とし，隣接流域は y 軸下向きを正とする。2019～2021 年の各年において，2 流域ともに大小に差はあるが融雪期にあたる 2～4 月と夏場の雨季にあたる 7～9 月に流出負荷量の大きなピークがあらわれ，平均した場合も同じ傾向がみられた。

2. 各溶存イオンの流出負荷量及び濃度の季節変動 図-3 に三つ又沢流域と隣接流域の 3 年平均した溶存イオンの流出負荷量と濃度の季節変動を示した。流出負荷量は調査期間毎に，濃度は 5 日毎に平均化しグラフ化した。流出負荷量の季節変動は図-2 の水の流出の季節変動と同じ傾向を示した。流出負荷量は流量に濃度をかけて算出されるため，流出量が同程度である 2 流域では平均濃度の差によって流出負荷量に差が生じた。濃度が流出負荷量の支配要因となっているので濃度変化を主に示す。

Cl^- では 2 流域ともに融雪期に濃度が上昇するのがみられるが，平均濃度は 1.5 mg/L 程度で 1 年を通しておおむね一定となり，流域差はみられなかった。 NO_3^- では平均濃度は三つ又沢流域が隣接流域の約 2 倍を示したが，濃度の変動は 2 流域ともに 4 月中旬以降大きく上下を繰

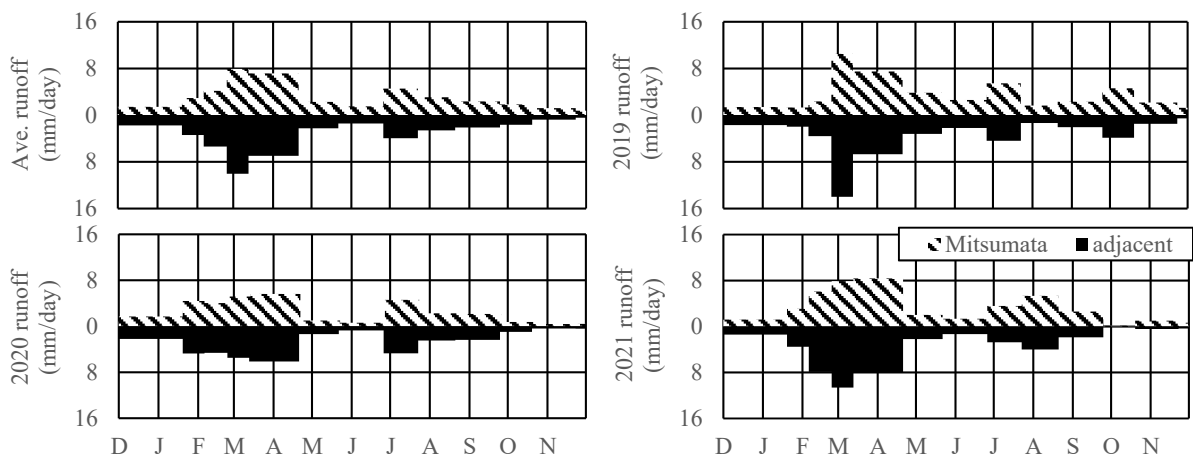


図-2. 三つ又沢流域と隣接流域の 2019～2021 年の 3 年平均と各年の流出量の経時的変化

Fig. 2 Temporal change of runoff which averaged over 2019 to 2021 and in 2019, 2020 and 2021 at Mitsumata-sawa and adjacent catchment

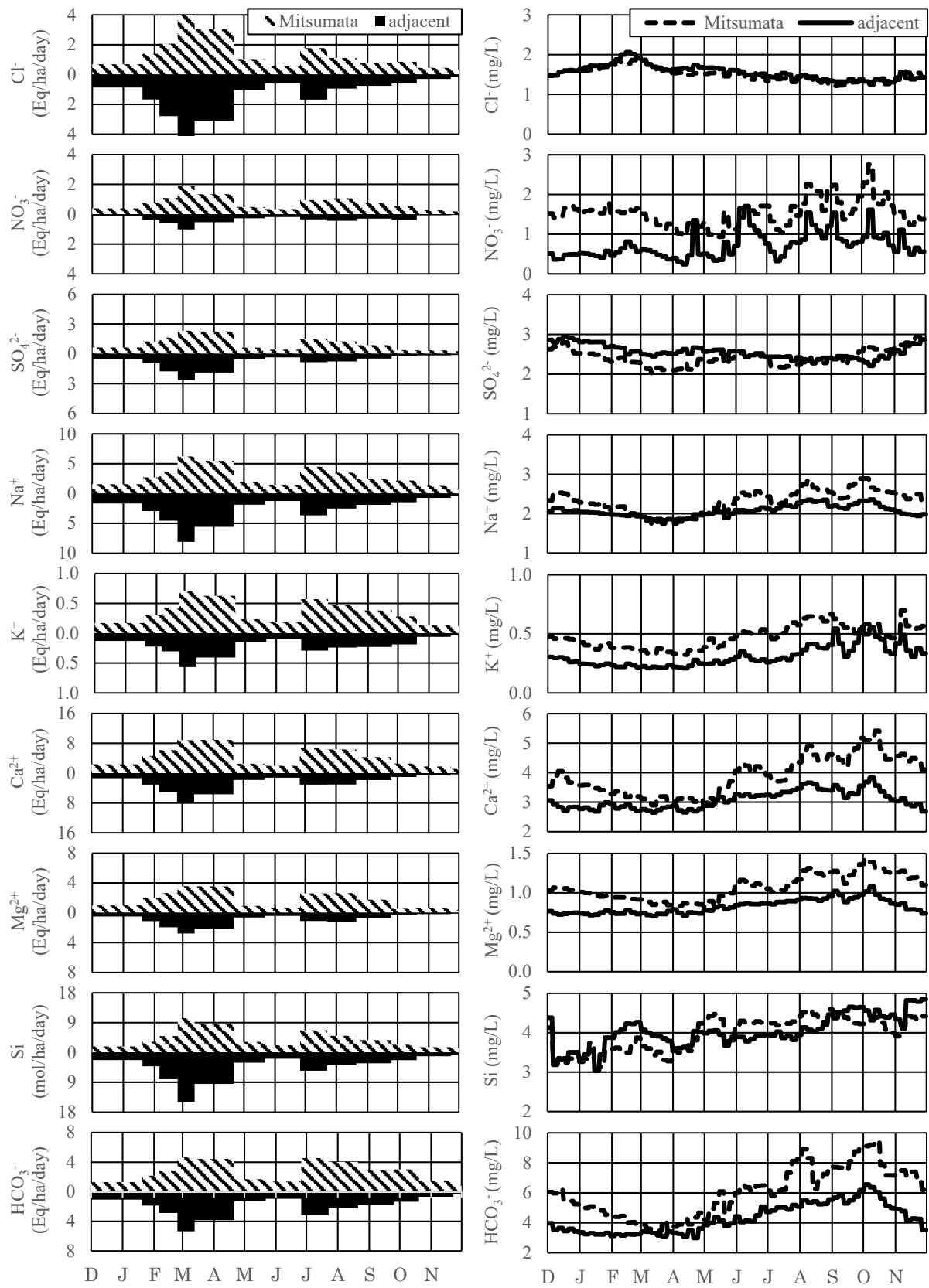


図-3. 三ツ又沢流域と隣接流域の2019～2021年の3年平均した流出負荷量と濃度の経時的変化

Fig. 3 Temporal change in load of runoff and concentrations averaged over three years from 2019 to 2021 at Mitsumata-sawa and adjacent catchment.

表-1. 2019～2021 年で平均化した年間の沈着量・流出負荷量と物質収支

Table 1 Annual deposition, annual load of runoff and annual elemental budgets averaged over 2019 to 2021

Elements (Eq/ha/yr.)	水収支 (mm/yr.)	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Si (mol/ha/yr.)	HCO ₃ ⁻	
沈着量 <i>input</i>	1829.0	371.9	140.8	100.8	275.3	77.9	209.5	67.3	9.2	108.7	
流出負荷量	三つ又	1116.2	480.2	270.5	373.1	1038.1	126.2	1594.4	627.0	1500.1	986.7
<i>output</i>	隣接	1135.5	512.2	123.5	295.2	977.9	79.1	959.3	346.6	1596.2	723.8
output/input*1	三つ又	0.6	1.3	1.9	3.7	3.8	1.6	7.6	9.3	162.8	9.1
	隣接	0.6	1.4	0.9	2.9	3.6	1.0	4.6	5.1	173.2	6.7

*1: 沈着量に対する流出負荷量の割合

*1: Ratio of load of runoff to deposition from rainfall.

り返すのがみられた。SO₄²⁻ では 2 流域ともに平均濃度は 2.5 mg/L 程度でおおむね一定となり、流域差はわずかであった。Na⁺ では三つ又沢流域では平均濃度が 2.3 mg/L で融雪期に低下しその後上下を繰り返しながら上昇、隣接流域では平均濃度が 2.1 mg/L で 1 年を通しておおむね一定となった。K⁺ では平均濃度は三つ又沢流域が隣接流域の 1.5 倍を示したが、濃度の変動は 2 流域ともに夏場以降に緩やかに上昇するのがみられた。Ca²⁺ では三つ又沢流域では平均濃度が 3.9 mg/L で融雪期に低下しその後上下を繰り返しながら上昇、隣接流域では平均濃度が 3.1 mg/L で 1 年を通しておおむね一定となった。Mg²⁺ では三つ又沢流域では平均濃度が 1.1 mg/L で融雪期に低下しその後上下を繰り返しながら上昇、隣接流域では平均濃度が 0.8 mg/L で 1 年を通しておおむね一定となった。Si では 1 年を通して緩やかに上昇するのがみられるが、2 流域ともに平均濃度は 4.0 mg/L 程度で流域差はみられなかった。HCO₃⁻ では三つ又沢流域では平均濃度が 6.1 mg/L で融雪期に低下しその後上下を繰り返しながら上昇、隣接流域では平均濃度が 4.3 mg/L で融雪期に低下しその後緩やかに上昇するのがみられた。

IV 考察

1. 2 流域での溶存イオンの流出の特性 表-1 に 2019～2021 年で平均化した年間の沈着量・流出負荷量とその比率を示した。濃度変動の特徴から溶存イオンを①2 流域で差がなく 1 年を通して一定となった Cl⁻, SO₄²⁻, Si, ②夏場の濃度変動が激しい K⁺, NO₃⁻, ③三つ又沢流域で融雪期に濃度低下し夏場に上下しながら濃度上昇する Na⁺, HCO₃⁻, Ca²⁺, Mg²⁺ の 3 つに分類した。①の Cl⁻, SO₄²⁻, Si は流域差がなく地形・地質条件の影響が小さいと考えられる。ただし SO₄²⁻ は流出負荷量が三つ又沢流域で多くなることから、Cl⁻, Si とは負荷のされ方が異なると考えられる。②の K⁺, NO₃⁻ は濃度変動が夏場以降に激しく変動することから樹木や土壌生物等の生物活性

による影響が考えられる。またそれらの量的違いから流出負荷量や濃度に流域差が出たと考えられる。③の Na⁺, HCO₃⁻, Ca²⁺, Mg²⁺ は濃度変動が比較的小さく一定な隣接流域に対して三つ又沢流域では融雪期や夏場の一時的な水流入による濃度低下がみられ、地形・地質条件による山体内部での流出形態の違いが影響していると考えられる。ただし Na⁺ は他 3 つに比べ流出負荷量や平均濃度の流域差が小さいため、受ける影響も小さいと考えられる。

2. 流出過程における物質の負荷 Cl⁻, SO₄²⁻, Na⁺, Si は、2 流域で流出負荷量にあまり差がみられないことから地形・地質条件による影響が少ない降水やごく表層の土壌からの供給が主体であると考えられる。Ca²⁺, Mg²⁺ は、2 流域で大きく差がみられることから表層から深層に至るまでの流出過程における山体内部での供給が主体であると考えられる。K⁺, NO₃⁻, HCO₃⁻ は 2 流域で差がみられたが、K⁺ は樹木等による溶脱や吸収、NO₃⁻ は地下水帯での脱窒、HCO₃⁻ は温度の影響を強く受ける生物活性による供給といった要因が関わっていると考えられ、土壌山体における物質移動は明解に分けられなかった。

引用文献

- (1) 稲山賢信・瀧澤英紀・水野一平・風間聖史・小坂泉 (2022) 利根源流の多雪森林地域における 2 年間の沈着量と流出負荷量. 関東森林研究 73 (1): 105–108
- (2) 瀧澤英紀・風間聖史・小坂泉 (2021) 多雪域のみなみ演習林森林流域の沈着量と流出負荷量の季節変化. 関東森林研究 72 (1): 89–92
- (3) 瀧澤英紀・鈴木峻平・小坂泉 (2020) 山地森林流域源頭部における湧水の水質特性. 関東森林研究 71 (1): 113–116
- (4) 豊泉恭平・前島健人・大類和希・小坂泉・長坂貞郎・瀧澤英紀 (2016) 奥利根源流部の多雪地森林小流域における融雪期の水質形成について. 関東森林研究 67 (1): 93–96

釜淵森林理水試験地における降水・河川水の酸素・水素安定同位体比の特徴

久保田多余子¹・阿部俊夫²・小川泰浩¹・伊藤優子¹・釣田竜也³・野口享太郎²・延廣竜彦²¹ 森林総研・² 森林総研東北・³ 農林水産技術会議

要旨：山形県にある釜淵森林理水試験地内 1 号沢 (3.06 ha) において、2019 年 4 月から 2021 年 12 月まで降水と河川水を採水し、酸素と水素安定同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$ と $\delta^2\text{H}$) を測定した。月 1 回定期的に採水した降水と河川水の $\delta^{18}\text{O}$ と $\delta^2\text{H}$ から d-excess ($=\delta^2\text{H}-8\delta^{18}\text{O}$) を計算した。そして、降水と河川水の d-excess 値の季節変動をそれぞれ正弦関数で近似し、両者の振幅の比により降水が地中に滞留している平均的な滞留時間を計算した。その結果、平均滞留時間は 192 日であった。また、降雨と出水中の河川水の $\delta^{18}\text{O}$ 値により、出水中の河川水を降雨成分と地中水成分に分離した。2021 年 10 月 8 日の降雨 (総降雨量 19 mm) による出水では、総流出量に占める地中水成分の割合は約 28% であった。

キーワード： $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, d-excess, 平均滞留時間, ハイドログラフの成分分離

Characteristics of oxygen and hydrogen stable isotope ratios of precipitation and stream water at the Kamabuchi Experimental Watershed

Tayoko KUBOTA¹, Toshio ABE², Yasuhiro OGAWA¹, Yuko ITOH¹, Tatsuya TSURITA³, Kyotaro NOGUCHI²,
Tatsuhiko NOBUHIRO²

¹Forestry and Forest Products Research Institute; ²Tohoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute;

³Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council

Abstract: Oxygen and hydrogen stable isotope ratios ($\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$) were measured by collecting precipitation and stream water from April 2019 to December 2021 at the No. 1 watershed (3.06 ha) in the Kamabuchi Experimental Watershed in Yamagata Prefecture, Japan. The d-excess ($=\delta^2\text{H}-8\delta^{18}\text{O}$) was calculated from the $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ of the precipitation and stream water collected regularly once a month. The seasonal variation of d-excess values of precipitation and stream water were approximated by a sinusoidal function, and the mean residence time of precipitation in the watershed was calculated by the ratio of the amplitudes of the two. The results showed that the mean residence time was 192 days. The $\delta^{18}\text{O}$ values of stream water during rainfall and runoff were used to separate the runoff into a rainfall component and a groundwater component; for the runoff caused by the rainfall occurred on October 8, 2021 (total rainfall 19 mm), the groundwater component accounted for about 28% of the total runoff.

Keywords: $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, d-excess, mean residence time, hydrograph separation

I はじめに

水の酸素・水素安定同位体比は水分子 (H_2O) を構成している水そのものであるため、水の動きを調べるための理想的なトレーサであると考えられている(6)。地中へ浸透した降水の酸素・水素安定同位体比は土壌層で蒸発によって変化した後は、地中で異なる同位体比の水と混合することによってのみ変化する。このため、降水と河川水の酸素・水素安定同位体比を調べることで、降水が地中を通して河川へ流出するまでの経路など、降雨流出過程を明らかにするために役立つ。本研究では、日本海側の多雪地域にある源頭部の森林小流域において、降

雨流出過程を明らかにするために、降水と河川水の酸素・水素安定同位体比を測定し、季節変動などの特徴を調べるとともに、降水が地中に滞留している平均的な時間(平均滞留時間)と出水中の河川水に占める地中水の割合について調べた。

II 材料と方法

1. 調査地 山形県最上郡真室川町にある森林総合研究所釜淵森林理水試験地 ($38^\circ 56' 12'' \text{ N}$, $140^\circ 15' 58'' \text{ E}$) 内の 1 号沢 (3.06 ha) において調査を行った。この試験地は 1915 年頃にスギが植栽されて以降、人の手が加

えられておらず、現在はブナやコナラなどの落葉広葉樹にスギが混生する針広混交林となっている。地質は第三紀凝灰岩および頁岩質凝灰岩である(4)。年平均気温は1981年から2010年まで30年間の平均で、 10.8 ± 0.8 °C (平均値±標準偏差) である。年降水量は 2542.5 ± 324.0 mm であり、降水量の約40%が降雪である。流量の観測は、45° V ノッチの三角堰により、磁歪式水位センサー (UIZ-GY100-LR, ウイジン社製) で水位を測定し、水位-流量曲線から流量に換算した。降水量は気象露場において、2020年11月までは、いっ水式雨雪量計 (B-071, YDK テクノロジーズ社製)、2020年11月からは温式雨雪量計 (WB0017, YDK テクノロジーズ社製) により測定した。

2. 採水および分析方法 降水と河川水の採水を2019年4月から2021年12月まで行った。採水は月1回定期的に行うものに加え、自動採水装置 (ISCO6712, Teledyne ISCO 社製) を用いて降雨による出水時に行った。

降水と河川水の酸素および水素安定同位体比を H_2O (水/水蒸気) 同位体比アナライザー (TIWA-DLT-EP912-0032, ABB-Los Gatos Research 社製) により測定した。酸素および水素安定同位体比の測定結果は標準平均海水 (V-SMOW) からの千分率偏差 (‰) でそれぞれ $\delta^{18}\text{O}$ および $\delta^2\text{H}$ と表示した。測定精度は $\delta^{18}\text{O}$ 値で ± 0.08 ‰, $\delta^2\text{H}$ 値で ± 0.6 ‰であった。

3. 解析方法

(1) 平均滞留時間の推定 降水と河川水の $\delta^{18}\text{O}$ または $\delta^2\text{H}$ の季節変動をそれぞれ正弦関数で近似すると、降水の正弦関数の振幅よりも河川水のそれが小さくなる。このことを利用して、振幅の比から平均滞留時間を推定するという最も基本的な方法(3)を用いた。降水の $\delta^{18}\text{O}$ と $\delta^2\text{H}$ から次の (1) 式により計算され、降水をもたらした水蒸気の生成過程の指標となる d-excess 値が、日本では冬に大きく、夏に小さいという季節変動をすることが知られている(8)。降水と河川水の d-excess 値の季節変動は一般に $\delta^{18}\text{O}$ と $\delta^2\text{H}$ の季節変動よりも明瞭であることから、平均滞留時間の推定にあたり、降水と河川水の $\delta^{18}\text{O}$ と $\delta^2\text{H}$ そのままではなく、d-excess 値を用いた。

$$\text{d-excess} = \delta^2\text{H} - 8 \delta^{18}\text{O} \quad (1)$$

(2) ハイドログラフの成分分離 降雨、降雨前の基底流量時の河川水 (地中水成分)、出水中の河川水の同位体比を用いて、出水中の河川水における降雨成分と地中水成分を分離することができる(6)。河川の流出量に占める地中水成分の割合は次の(2)式で計算できる(6)。

$$Q_o = (C_t - C_n) / (C_o - C_n) * Q_t \quad (2)$$

ただし、 Q_t は河川の流出量、 Q_o は地中水成分の流出量、 C は同位体比を表し、添え字 t は河川水、 n は降雨成分、 o は地中水成分を表す。

III 結果と考察

1. $\delta^{18}\text{O}$ と $\delta^2\text{H}$ の関係 降水と河川水のいずれにおいても $\delta^{18}\text{O}$ と $\delta^2\text{H}$ の関係には直線関係があった (図-1)。世界各地の降水や河川水、湖沼水の $\delta^{18}\text{O}$ と $\delta^2\text{H}$ をプロットすると $\delta^2\text{H} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10$ の直線で近似されることが知られている(1)。切片 10 (=d-excess) は、地球規模で降水の $\delta^{18}\text{O}$ と $\delta^2\text{H}$ をプロットした場合は切片が 10 になるが、地域ごとに見ると、降水のもととなる水蒸気が生成されたときの相対湿度によって異なる(8)。降水では、非積雪期 (6~10月) と積雪期 (11~5月) のどちらも、直線の傾きが 8.5 程度で傾きが 8 に近かったが、切片は非積雪期で 14.68 ‰, 積雪期で 26.76 ‰であった。河川水では、非積雪期では傾きが 8 に近い 7.64 であり、

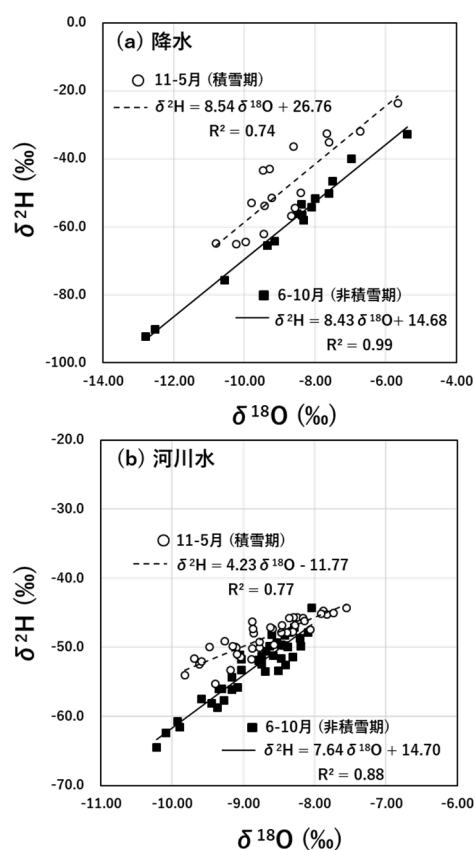


図-1. 釜淵森林理水試験地における (a) 降水と (b) 河川水の $\delta^{18}\text{O}$ と $\delta^2\text{H}$ の関係

Fig. 1 Relationship between $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ of (a) precipitation and (b) streamflow corrected at the Kamabuchi Experimental Watershed

切片も 14.70‰ で、降水の場合と同程度であった。一方、積雪期では直線の傾きが 4.23 と小さく、切片も降水と異なっていた。 $\delta^{18}\text{O}$ と $\delta^2\text{H}$ は雪粒子が融解する時には変化せず、再凍結する時に変化する(2)。この結果、積雪の $\delta^{18}\text{O}$ と $\delta^2\text{H}$ は降水と比べて大きくなり、(1)式の傾きは 8 より小さくなる(2)。積雪期にはこのような積雪が積雪下の地表面から融雪するため、河川水の(1)式の傾きも小さくなったと考えられる。

2. $\delta^{18}\text{O}$ の季節変動 降水と河川水のいずれにおいても $\delta^{18}\text{O}$ と $\delta^2\text{H}$ の関係には直線関係があるため、 $\delta^{18}\text{O}$ の季節変動についてのみ示した(図-2)。降水の $\delta^{18}\text{O}$ は、5 月頃と 11 月頃が大きかった。沖縄を除く日本では、降水の $\delta^{18}\text{O}$ は 3~5 月の春季と 9~11 月の秋季に大きいことが知られており(7)、釜淵森林理水試験地でも同様であった。河川水の同位体比は、定期採水のみでなく、出水についても、採水できかつ分析を終えたものについて示した。河川水の $\delta^{18}\text{O}$ も降水と同様の季節変化をしていた。降水の $\delta^{18}\text{O}$ が小さい場合(例えば、2019 年 7 月、2020 年 6~8 月)は、出水中の河川の $\delta^{18}\text{O}$ も小さくなり、降水の $\delta^{18}\text{O}$ が大きい期間(2021 年 6 月、2021 年 8~12 月)は出水中の河川水の $\delta^{18}\text{O}$ も大きくなることから、降水が比較的速やかに河川へ流出していると考えら

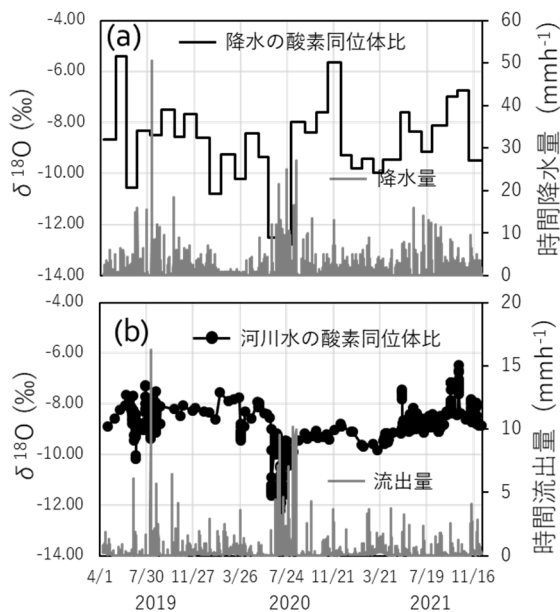


図-2. 釜淵森林理水試験地における(a) 降水と(b) 河川水の酸素同位体比の季節変化

Fig. 2 Seasonal variations of oxygen isotope ratio of (a) precipitation and (b) streamflow at the Kamabuchi Experimental Watershed

れた。

3. 融雪期の河川水の $\delta^2\text{H}$ の変動 2021 年 3 月 30 日から 4 月 12 日までの融雪流出と河川水の $\delta^2\text{H}$ を示した(図-3)。 $\delta^{18}\text{O}$ よりも $\delta^2\text{H}$ の変化の方が明瞭であったため、ここでは $\delta^2\text{H}$ を示した。融雪期の河川水は気温の日変動に応じて、午後 4~5 時ごろもっとも大きく、午前 9~10 時ごろもっとも小さいという日変動を示した。一方、河川水の $\delta^2\text{H}$ は流出量が増えると大きくなり、流出量が減ると小さくなるという日変動を示した。この期間に降水もあったが、降水の $\delta^2\text{H}$ は河川水のそれよりも 10‰ 以上小さかったことから、融雪流出への影響は小さいと考えられた。河川水の $\delta^2\text{H}$ は融雪が進むにつれてだんだんと大きくなった。これは、雪粒子が融解と再凍結する際に、積雪の同位体比がだんだんと大きくなり、この結

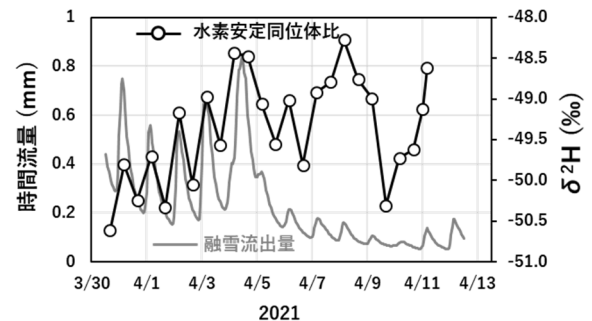


図-3. 釜淵森林理水試験地における(a) 降水と(b) 河川水の酸素同位体比の季節変化

Fig. 3 Seasonal variation of oxygen isotope ratio of (a) precipitation and (b) streamflow at the Kamabuchi Experimental Watershed

果、融雪水の同位体比も大きくなるためと考えられた(2)。

4. 平均滞留時間の推定 降水の d-excess 値は夏季に小さく冬季に大きいという季節変化を示し、 $\delta^{18}\text{O}$ と $\delta^2\text{H}$ の季節変化よりも明瞭であった(図-4)。河川水の d-excess 値は最大値のピークが約 2 カ月遅れ、振幅が小さくなっていたが、明瞭な季節変化を示した。そこで、降水と河川水の d-excess の季節変化をそれぞれ正弦関数で近似し、平均滞留時間を計算した結果、平均滞留時間は 191.7 日(約 6.4 カ月)であった。本試験地は 12 月から 5 月まで積雪の影響があるが、現在のところ、積雪として流域に滞留する降水を考慮した平均滞留時間の推定モデルはないようであった。しかし、積雪の少ない年と一般的な年で平均滞留時間を比較した研究では、積雪が少ない年の平均滞留時間の方が短かったと報告されている(5)。

5. ハイドログラフの成分分離 出水中のハイドログラフを成分分離するために必要なデータを揃えることができたイベントが少なく、2021 年 10 月 8 日の降雨につい

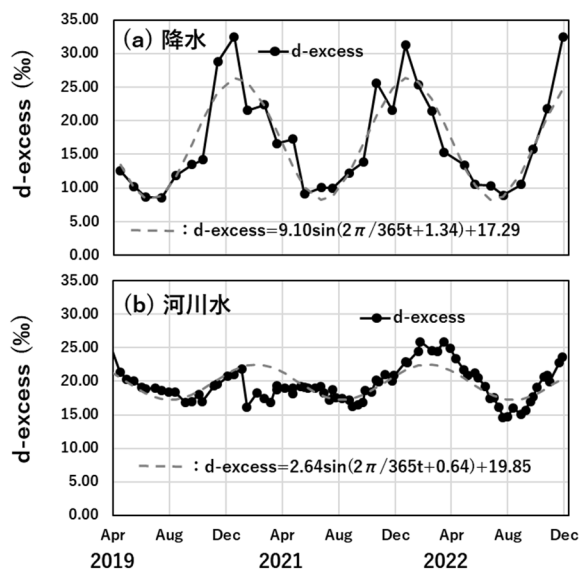


図-4. 釜淵森林理水試験地における(a) 降水と(b) 河川水の d-excess の季節変化

Fig. 4 Seasonal variations of d-excess of (a) precipitation and (b) streamflow at the Kamabuchi Experimental Watershed

てのみ示した (図-5)。このイベントでは、降雨前の河川水の $\delta^{18}\text{O}$ 値が -8.43‰ 、これより値の大きい -6.73‰ の雨が降り、河川水の $\delta^{18}\text{O}$ は流出量が増加するにつれて上昇した。流出量がピークであった 10 月 8 日 7:30 頃は、地中水成分は河川の流出量の 24% を占めていた。また、図-5 に示した、10 月 8 日 0:00 から 10 月 9 日 0:00 までの総流出量に占める地中水成分の総流出量の割合は約 28% であった。このように、降雨成分が比較的速やかに流出していた。なお、10 月 8 日の 6:10 と 6:30 では地中水成分が負の値となったため除外した。これはこの期間

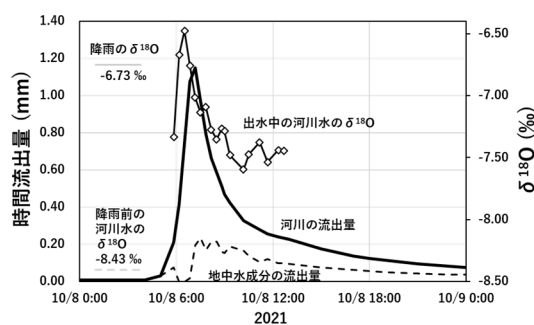


図-5. 降雨、降雨前と出水中の河川水の酸素同位体比および河川水と地中水成分の流出量

Fig. 5 Oxygen isotope ratios of rainfall, stream water before and during rainfall, and runoff of stream water and ground water component.

の河川水の $\delta^{18}\text{O}$ 値が降雨のそれよりも大きかったためである。ハイドログラフの成分分離を精度よく行うためには、出水中の河川水の $\delta^{18}\text{O}$ は、降雨の $\delta^{18}\text{O}$ (ここでは -6.73‰) と降雨前の地中水の $\delta^{18}\text{O}$ (ここでは -8.43‰) の間になければならない。本研究では降雨の採水が月 1 回であり、10 月 5 日から 11 月 4 日の期間に貯留された降雨の $\delta^{18}\text{O}$ 値を入力値として用いたが、10 月 8 日の降雨の $\delta^{18}\text{O}$ 値としては正しくなかったと考えられる。

III まとめ

釜淵森林理水試験地において、降水と河川水の $\delta^{18}\text{O}$ と $\delta^2\text{H}$ を用いて、平均滞留時間の推定とハイドログラフの成分分離を行った。この結果、平均滞留時間は約半年であり、出水中の河川水へは降水が比較的速やかに流出していると考えられた。一方、平均滞留時間の推定においては積雪を考慮すること、ハイドログラフの成分分離においては降水の同位体比を正しく測定することが今後の課題と考えられた。

謝辞: 本研究は JSPS 科研費(20K06134)および環境省地球環境保全試験研究費 (農 1942) の助成を得ました。

引用文献

- (1) Craig H (1961) Isotopic variations in meteoric waters. Science 133: 1702–1703
- (2) 橋本重将・周石研・中尾正義・坂井亜規子・上田豊・石川信敬・成田英器 (2002) 湿潤積雪中における雪粒子と間隙水の同位体交換. 雪氷 64: 163–172
- (3) Małozewski P, Zuber A (1982) Determining the turnover time of groundwater systems with the aid of environmental tracers 1. Model and their Applicability. Journal of Hydrology 57: 207–231.
- (4) 丸山岩三・猪瀬寅三 (1952) 釜淵森林理水試験第 1 回報告. 林業試験場研究報告 53: 1–44
- (5) Segura C (2021) Snow drought reduces water transit time in headwater streams. Hydrological Processes 35e:14437
- (6) Sklash MG (1990) Environmental isotope studies of storm and snowmelt runoff generation. In Process studies in hillslope hydrology, Anderson MG, Burt TP (Eds). John Wiley & Sons Ltd, NJ, 401–435, 550pp
- (7) 田上雅浩・一柳錦平・島田純 (2013) 日本における降水の安定同位体比の季節変動と空間分布. 日本水文科学会誌 43: 73–91
- (8) 芳村圭・一柳錦平 (2009) 降水 d-excess 季節変動に関する再考察. 水文・水資源学会誌 22: 262–276

太平洋側の温暖な低地に植栽されたブナの光合成速度と気孔コンダクタンスの関係

片桐花音¹・小坂 泉¹・梁瀬裕生¹・杉本奏音¹・瀧澤英紀¹・阿部和時¹¹ 日本大学

要旨：太平洋側の温暖な低地に植栽されたブナのガス交換特性を明らかにするため、神奈川県藤沢市に位置する日本大学藤沢演習林において、2021 年および 2022 年 6 月から 10 月にかけて個葉の光合成速度(A)と気孔コンダクタンス(g_s)の測定を実施した。その結果、測定期間における A および g_s は、両年とも 7 月で最大となった。2022 年 9 月および 10 月に測定された A および g_s は、2021 年のものに比べ低かった。測定期間において光合成有効放射量が $1,000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 以上の場合、 g_s の増加により A は上昇する傾向を示し、 g_s に対する A の比で表される水利用効率は約 $86 \mu\text{mol mol}^{-1}$ となった。本調査地に生育するブナの水利用効率は、既往研究で報告されている冷温帯のより高標高のものに比べ高いことが示された。

キーワード：ブナ、光合成速度、気孔コンダクタンス、ガス交換、水利用効率

Relationship between the photosynthetic net assimilation rate and stomatal conductance of water vapor in *Fagus crenata* planted at a low elevation in the temperate region on the Pacific Ocean side, JapanKanon KATAGIRI¹, Izumi KOSAKA¹, Yuuki YANASE¹, Kanane SUGIMOTO¹, Hideki TAKIZAWA¹, Kazutoki ABE¹¹Nihon University

Abstract: In this study, we investigated gas exchange in *Fagus crenata* planted at a low elevation in the temperate region on the Pacific Ocean side, Japan. We conducted field measurements of the photosynthetic net assimilation rate (A) and stomatal conductance of water vapor (g_s) during June–October 2021 and 2022 at Nihon University Forest (Fujisawa, Kanagawa Prefecture, Japan). During the observation period, A and g_s reached maxima in July 2021 and 2022, and their September and October values were lower in 2022 than 2021. A increased with increasing g_s under high photosynthetically active radiation ($\geq 1,000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) throughout the observation period, and the ratio of A to g_s (i.e., the intrinsic water use efficiency, iWUE) was approximately $86 \mu\text{mol mol}^{-1}$. The iWUE of *Fagus crenata* at this site was higher than at the other sites with higher elevations in the cool-temperate zone.

Keywords: *Fagus crenata*, photosynthetic net assimilation rate, stomatal conductance, gas exchange, intrinsic water use efficiency

I はじめに

ブナ(*Fagus crenata*)は日本の冷温帯を代表する樹種の1つである。吉良(2)によれば、日本のブナの分布下限は暖温帯と冷温帯の境界と概ね一致することが示されているが、現在、本州の低標高域に分布しているブナ林は、今後の気候変動による温暖化の影響により大幅に減少する予測が報告されている(3)。このため、温暖化の影響を受けることが想定される地域や、ブナ林の分布適域でない地域に生育するブナの環境応答特性を評価することは、今後のブナ林の動態予測や保全計画を策定するうえで有益な情報になると考えている。

本研究の調査地は、神奈川県南部に位置する日本大学藤沢演習林であり、暖温帯の気候区に属するが、調査地では植栽されたブナが生育している。筆者らは、ブナ林

の分布適域から外れる暖温帯の低標高域に生育するブナの生理的な環境応答特性を実証的に評価することを念頭におき、太平洋側の温暖な低地に植栽されたブナの光合成速度および蒸散速度のモニタリングを開始した(6)。矢ヶ崎ら(6)の先行研究では、本調査地で測定されたブナの年最大光合成速度は、日本の冷温帯のものと概ね同程度であったが、本調査地のブナの水利用効率は冷温帯のものに比べて高いことを報告している。

そこで本研究では、矢ヶ崎ら(6)の先行研究と同様に、日本大学藤沢演習林に植栽された単木のブナを対象として、月に1回程度の頻度で個葉の光合成速度および気孔開度を表す気孔コンダクタンスを測定し、本調査地のブナが高い水利用効率を維持しているか調べ、既往研究で報告されているブナの水利用効率と比較した。

II 材料と方法

1. 調査地 調査地は神奈川県藤沢市に位置する日本大学藤沢演習林(35°22'42"N, 139°28'08"E, 標高 40 m)である。藤沢演習林から約 6.5 km 南方方向に位置する辻堂 AMeDAS(35°19'12"N, 139°27'00"E, 標高 5 m)の気象デー

タを用いて求められた 2001 年～2020 年の年平均降水量と年平均気温は、それぞれ 1,460 mm と 16.7 °C である(6)。

2. 調査項目 測定対象木は、2 階建ての施設である森林科学研究センターの玄関付近に植栽された樹齢 44 年、樹高 9.7 m, 胸高直径 27.1 cm の単木のブナ(産地: 群馬

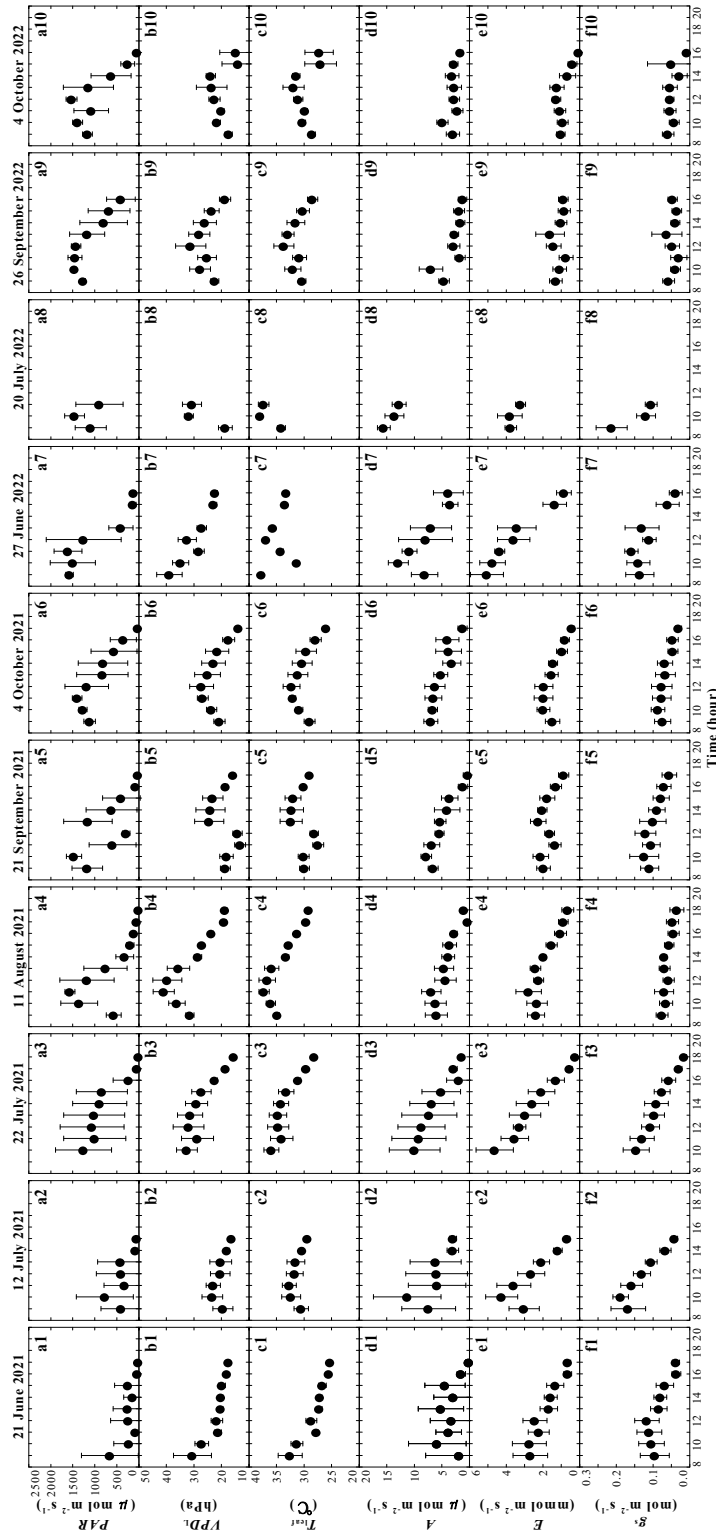


図-1. 2021 年および 2022 年 6 月から 10 月における a) 光合成有効放射量(PAR), b) 葉面飽差(PDI), c) 葉温(T_{leaf}), d) 光合成速度(A), e) 蒸散速度(E)および f) 気孔コンダクタンス(g_s)の日変化 (a1～f6; 矢ヶ崎ら(6)を一部改変)

Fig. 1 Diurnal changes in the (a) photosynthetically active radiation (PAR), (b) leaf-to-air water vapor deficit (PDI), (c) leaf temperature (T_{leaf}), (d) photosynthetic net assimilation rate (A), (e) transpiration rate (E), and (f) stomatal conductance of water vapor (g_s) during June–October 2021 and 2022. Error bars indicate the standard deviation.

県利根郡みなかみ町)である。個葉上の光合成および蒸散速度の測定は、携帯型光合成蒸散測定装置(LI-6400, LI-COR)を用いて、地上から6m付近の東側、南側および西側の樹冠部において、それぞれ3枚ずつ計9枚を対象とし、対象木に隣接する施設の屋上で行われた。この装置で計測される項目は、光合成有効放射量(PAR)、葉温に対する飽和水蒸気圧から水蒸気圧の差である葉面飽差(VPD_L)、葉温(T_{leaf})、光合成速度(A)、蒸散速度(E)および気孔コンダクタンス(g_s)である。本研究では、 g_s に対する A の比 (A/g_s) を水利用効率(iWUE; intrinsic Water Use Efficiency)とする。測定方法の詳細は、矢ヶ崎ら(6)を参照されたい。測定実施日は、2021年6月11日、7月12日、7月22日、8月11日、9月21日、10月4日、2022年6月27日、7月20日、9月26および10月4日であり、9時から日の入りまで1時間に1回の頻度で行った。但し、2022年7月20日の午後から光合成蒸散測定装置に不具合が発生し、2022年8月の測定を実施できなかった。

III 結果と考察

1. 各測定項目の日変化 図-1は、左列側から2021年6月11日、7月12日、7月22日、8月11日、9月21日、

10月4日、2022年6月27日、7月20日、9月26日および10月4日に測定されたデータであり、上段から PAR 、 VPD_L 、 T_{leaf} 、 A 、 E および g_s の日変化を示す。図中の黒点は、9枚の葉をチャンバーで挟んだ際に測定された各測定項目の平均値を示し、エラーバーはそれらの標準偏差を示す。

図-1 a, b および c で示された日中の PAR 、 VPD_L および T_{leaf} について、 PAR は $1,000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 以上、 VPD_L は 20 hPa 以上、 T_{leaf} は 30°C 以上のデータが多くみられ、測定期間の気象環境については、高温で大気が乾燥した状態であったと考えられる。2021年と2022年で同じ月のデータを比べると、6月以外では、両者のデータの違いはあまりみられなかった。

各年における A および g_s の最大値は、2021年7月12日10時で $11.3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ および $0.19 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、2022年7月20日9時で $15.6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ および $0.21 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ となり、両年ともに7月で最大となった(図-1 d2, d8, f2 および f8 参照)。2022年9月および10月に測定された A 、 E および g_s は、2021年のものに比べ低かった。この要因については分からないが、2022年9月24日に調査地を通過した台風15号の影響があるかもしれない。

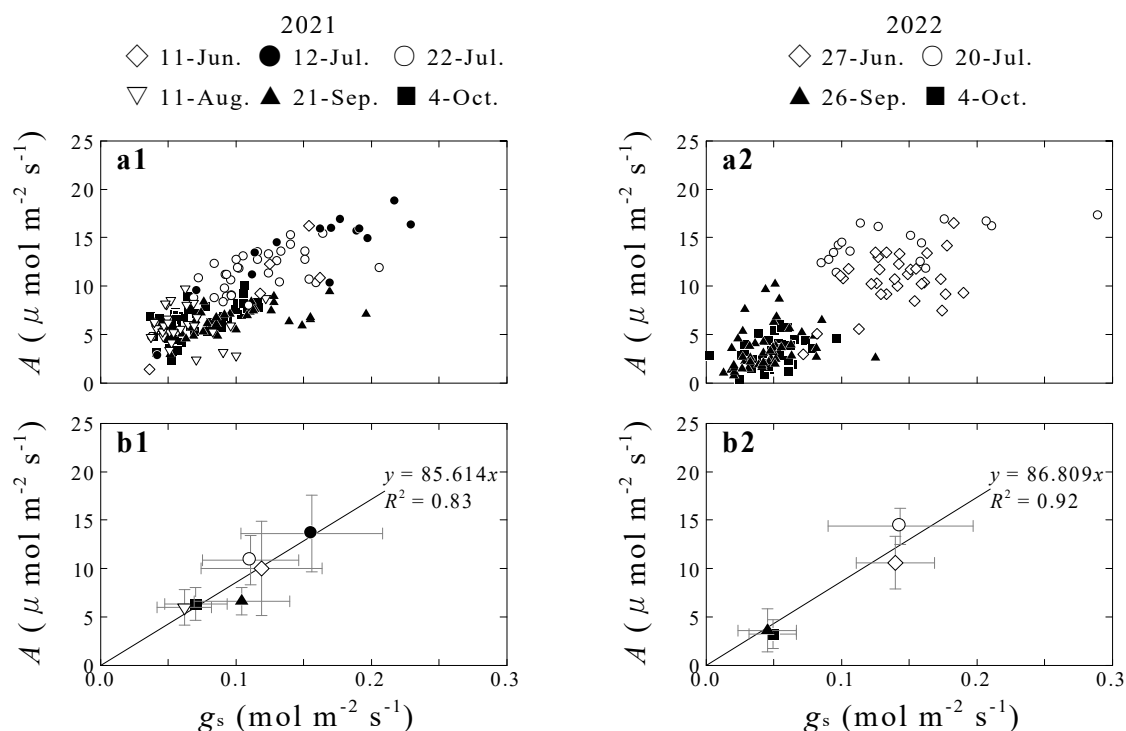


図-2. 気孔コンダクタンス(g_s)と光合成速度(A)の関係 (a1; 矢ヶ崎ら(6)より転載)

Fig. 2 Relationship between g_s and A under light-saturated conditions ($PAR \geq 1,000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) during June–October in (1) 2021 and (2) 2022 according to (a) individual observations and (b) mean values of A and g_s , with corresponding best-fit lines estimated by least-squares linear regression, the equations used to determine the slope (i.e., intrinsic water use efficiency, iWUE), and coefficients of determination (R^2). Error bars represent the standard deviation.

表-1. ブナが生育する調査地概要および水利用効率(iWUE)

Table 1 Site descriptions and intrinsic water use efficiency (iWUE) values for *Fagus crenata*

Site	Altitude (m)	Climate	Age	Height (m)	iWUE ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)	Reference
Mt. Naeba, Niigata prefecture, Japan (36°50'N, 138°44'E)	550	Cool-temperate	150	30	32.1	Iio <i>et al.</i> 2004
Nakoso, Fukushima prefecture, Japan (36°58'N, 140°36'E)	700	Cool-temperate	100	15	39.7	Uemura <i>et al.</i> 2004
Fujisawa, Kanagawa prefecture, Japan (35°23'N, 139°28'E)	40	Warm-temperate	44	9.7	86.2	This study

2. g_s と A の関係 図-2 は, 2021 年および 2022 年 6 月から 10 月において PAR を $1,000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 以上の条件に限定した g_s と A の関係を示す。図において, 各月で測定されたデータを上段に, それらの平均値と標準偏差を下段に示す。

図-2 a1 および a2 における g_s と A の関係について, データにばらつきはみられるが, g_s の増加に伴い A は上昇する傾向がみとれる。よって, 2022 年のデータについては, 矢ヶ崎ら(6)により示された 2021 年のものと概ね同様の傾向をもつことがわかる。図-2 b1 および b2 における g_s と A のデータを線形回帰して求められる傾きは, iWUE を表し, 2021 年では $85.6 \mu\text{mol mol}^{-1}$, 2022 年では $86.8 \mu\text{mol mol}^{-1}$ となり(両者の平均値: $86.2 \mu\text{mol mol}^{-1}$), 両年で同程度となった。これらの結果から, 測定期間を通じて, 本調査地のブナは高い水利用効率を維持していると考えられる。

3. ブナの水利用効率 表-1 は, ブナ林の分布適域である冷温帯に生育するブナの iWUE と調査地概要を示す。新潟県苗場山西斜面(標高 550 m)に生育する樹齢 150 年以上の樹高 30 m のブナについて, 8 月の飽和光下($PAR > 700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)の iWUE は, $32.1 \mu\text{mol mol}^{-1}$ であった(I)。Uemura *et al.* (5)により報告された福島県勿来試験地(標高 700 m)に生育する樹齢 100 年以上の樹高 15 m のブナにおける年最大の光合成速度と気孔コンダクタンスを用いて求めた iWUE は, $39.7 \mu\text{mol mol}^{-1}$ となった。暖温帯である本調査地において, 2021 年および 2022 年の測定結果を平均した iWUE は $86.2 \mu\text{mol mol}^{-1}$ であり, 既往研究で報告されている冷温帯のものに比べ, 2 倍程度も高いことが示された。

既往研究で報告されたブナの A および g_s の最大値は, 苗場山では $14 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ および $0.38 \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (I), 勿来では $11.9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ および $0.3 \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (5)であるのに対して, 本調査地では $15.6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ および $0.21 \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ であった。これらの結果から, 本調査地のブナは他の調査地のものに比べ, 気孔開度を小さくすることで,

水の消費を抑えながら, 最大の光合成速度を得られるようにふるまっている可能性が考えられる。

松本ら(4)によれば, 日本産広葉樹 41 樹種の iWUE は $10 \sim 90 \mu\text{mol mol}^{-1}$ の範囲にあり, その頻度分布のピークは $40 \sim 50 \mu\text{mol mol}^{-1}$ でみられることを報告している。このことから, 日本産広葉樹の中においても, 本調査地のブナの iWUE は非常に高いことがわかる。矢ヶ崎ら(6)は, 冷温帯である調査地に比べ, 暖温帯である本調査地では高温で極端に高い VPD_L になる頻度が多くなることが想定されるが, このような気象環境でも, 本調査地で生育したブナが高い水利用効率を得られるように順化した可能性について考察しているが, 今回の結果は, この考察を支持するものと考えられる。

引用文献

- (1) Iio A, Fukasawa H, Nose Y, Kakubari Y (2004) Stomatal closure induced by high vapor pressure deficit limited midday photosynthesis at the canopy top of *Fagus crenata* Blume on Naeba mountain in Japan. *Trees* 18: 510–517
- (2) 吉良竜夫 (1976) 生態学講座 2 陸上生態系—概論—。共立出版, 東京, 166pp
- (3) 松井哲哉・田中信行・八木橋勉・小南裕志・津山幾太郎・高橋潔 (2009) 温暖化にともなうブナ林の適域の変化予測と影響評価. *地球環境* 14(2): 165–174
- (4) 松本陽介・田中格・小菅進吉・丹原哲夫・上村章・重永英年・石田厚・奥出史郎・丸山温・森川靖 (1999) 日本産広葉樹 41 樹種の当年生陽葉における最大ガス交換速度のスクリーニング. *森林立地* 41(2): 113–121
- (5) Uemura A, Ishida A, Tobias DJ, Koike N, Matsumoto Y (2004) Linkage between seasonal gas exchange and hydraulic acclimation in the top canopy leaves of *Fagus* trees in a mesic forest in Japan. *Trees* 18: 452–459
- (6) 矢ヶ崎真衣・小坂泉・大庭流維・中井涼介・瀧澤英紀・阿部和時 (2022) 太平洋側の温暖な低地に生育するブナの光合成および蒸散速度の測定. *関東森林研究* 73: 93–96

労働投入量を制約条件とした持続的林業経営下における未利用森林バイオマス資源量

吉岡拓如¹・金子竣亮¹・金 鉉倍¹・仁多見俊夫¹

¹ 東京大学大学院農学生命科学研究科

要旨：本研究は、FIT 後の林地残材と小径木の利用を見据え、開発した地域林業循環モデルを用いて長期的に利用可能な未利用森林バイオマス資源量を算出することを目的とした。年間 2,000 人日前後の労働投入量で平均林齢 66 年の人工林 763 ha の皆伐と再造林を進め、全面積の 71%が通常の伐採サイクルに戻る過程の 60 年間における年平均の素材生産量は $7,184 \pm 1,474 \text{ m}^3/\text{年}$ 、森林バイオマス発生量は $875.64 \pm 152.42 \text{ dry-t}/\text{年}$ であった。この施業を進めたことによって高齢で高蓄積の林分の皆伐が落ち着いた、持続的な林業経営下での 60 年間の年平均の素材生産量は $5,239 \pm 1,149 \text{ m}^3/\text{年}$ 、森林バイオマス発生量は $774.75 \pm 124.96 \text{ dry-t}/\text{年}$ と、ともに当初の 60 年間よりも減少した。

キーワード：地域林業循環モデル、労働投入量、林地残材、小径木、未利用間伐材

Amount of unutilized forest biomass resources under sustainable forest management limited by labor input constraint

Takuyuki YOSHIOKA¹, Shunsuke KANEKO¹, Hyun-Bae KIM¹, Toshio NITAMI¹

¹ Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo

Abstract: In anticipation of the utilization of logging residues and small-diameter trees after the completion of the Feed-in Tariff Scheme for Renewable Energy (FIT) in Japan, the purpose of this study was to calculate the available amount of unutilized forest biomass resources in the long term using the developed “regional forestry circular model.” In the first 60 years, clearcut and reforestation of 763 ha of man-made plantation forests of which average age was 66 years old with a labor input of around 2,000 man-day/year were promoted, thus 71% of the whole area was returned to regular harvesting cycle. During that period, the average amounts of log production and biomass generation were $7,184 \pm 1,474 \text{ m}^3/\text{year}$ and $875.64 \pm 152.42 \text{ dry-t}/\text{year}$, respectively. In the next 60 years, when clearcutting older, high-accumulation forests and subsequent reforestation was stabilized, the average amounts of log production and biomass generation under sustainable forest management were $5,239 \pm 1,149 \text{ m}^3/\text{year}$ and $774.75 \pm 124.96 \text{ dry-t}/\text{year}$, respectively, resulting in the both fewer amounts than those of the first 60 years.

Keywords: regional forestry circular model, labor input constraint, logging residues, small-diameter trees, unutilized thinnings

I はじめに

2012 年に運用がはじまった再生可能エネルギーによる電力の固定価格買取制度 (FIT) において、製材工場等残材や輸入材などの一般木材よりも高額な買取価格が設定されたことから、間伐材や林地残材などの未利用材を燃料とする発電所の建設計画・稼働開始が進んでいる。

「木質バイオマスエネルギー利用動向調査」によれば、2021 年には 411 万全乾トンの「間伐材・林地残材等」を原料とした木材チップがエネルギー利用された(3)。

しかし、実際には利用の中心は間伐材であり、林地残材の利用はあまり進んでおらず、このままでは FIT の終了とともに森林バイオマスの利用量が激減してしまうおそれがある。それを回避するためにも、間伐材を未利用

材として利用可能な間に、本来の未利用資源である林地残材を利用できる体制を整えておかなければならない。また、昨今の皆伐再造林の流れを考えると、FIT による買取期間が満了する発電所が出はじめる 2030 年代には、多くの人工林が除伐や保育間伐が必要となる時期を迎えることになる。この除伐や保育間伐の際に発生する小径木も、森林バイオマスとして有望視できる。

本研究は、FIT 後の林地残材と小径木の利用を見据え、共著者の金子らが開発した地域林業循環モデル(2)を用いて、事業体の年間労働投入量を制約条件として、高齢級の林分が比較的多くを占める人工林の皆伐再造林を進める施業を行う過程で発生する未利用森林バイオマス資源量を算出するとともに、除伐や保育間伐の際に発生す

る小径木の発生時期とバイオマス資源量に占める割合を把握することを目的とした。

筆者らの研究グループは、林地残材の収穫・輸送・粉碎について経済性と環境性能の側面から評価した(4)ほか、地域の森林資源分布を考慮したエネルギー利用可能なバイオマス資源量と燃料調達コストの関係を示した(5)。有賀らは、発電所の安定的な稼働のために、ランダムサーチを用いて小班からの森林バイオマスの収穫量を平準化させる手法を開発した(1)。また、小径木について国内では、人工林の齢級構成の偏りのために除伐や保育間伐の時期と林業機械化の時期が合わなかったこともあり、これまで利用が検討されることはなかった。筆者らは、日本に適した効率的な収穫技術の導入・普及のための基礎資料とすることを目的として、海外で実用化されている小径木の伐倒ヘッドによる収穫実験を行った(6)。

II 材料と方法

1. 地域林業循環モデル このモデルは高齢級に偏った人工林の齢級構成を元に戻すべく、主伐として皆伐を進めていく。皆伐した林分には、その1年後に植栽、2～6年後に下刈り、15年後に除伐、20年後に保育間伐、40年後に利用間伐を行うというモデルをシステムダイナミクスモデリングツールの Stella[®]で構築した。10名の作業員で構成される林業事業体で年間200日労働することを想定し、植栽～利用間伐を行ったうえで、計算期間を通じて労働投入量が2,000人日／年前後で平準化するように、小班の林齢と地理的条件を参照しながら主伐の候補地を探索する。

主伐の候補から除外された人工林は高齢化していく。モデルでは11齢級から20齢級までを主伐、21齢級以上を長伐期施業の対象としたが、徐々に通常の伐期で回す林分と、長伐期施業林分に分かれていく。モデルにおいて、すべての主伐対象林分を皆伐しても労働投入量に余剰が発生する場合は、長伐期施業林分の間伐もしくは皆伐を行う。主伐、ならびに長伐期施業林分の間伐もしくは皆伐の候補地の探索にはグリッドサーチという手法を用い、実際の年間労働投入量と2,000人日／年との残差の平方和が最小となるよう、100回前後のアルゴリズム実行回数で労働投入量を最適化する。

このモデルを、埼玉県西川林業地に適用した。高麗川流域に設定した規模小（人工林面積616ha、人工林率91%、平均林齢66年）、中（763ha、94%、66年）、大（932ha、93%、66年）の3つのモデル地域の60年間の蓄積の推移を図-1に示す。図-1において、規模中の場合、当初は高齢級の人工林の皆伐が進むために少しずつ蓄積が減

少していくが、40年目のあたりから安定化しはじめたことから、2,000人日／年前後の労働投入量で持続的に林業を経営していくために、760ha程度の人工林面積が適正な規模であることが示唆される結果が得られた。計算開始前と終了後の規模中の齢級構成を、図-2と図-3に示す。当初は11齢級以上の面積が681haと全体の9割を占めていたものが、60年後には11～20齢級の皆伐はほぼ完了し、全面積の2%（15ha）が主伐対象林分として残り、27%（207ha）が長伐期施業の対象林分へ移行した。

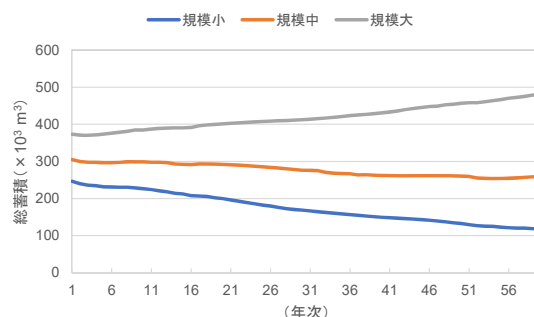


図-1. 3つのモデル地域の60年間の蓄積の推移

Fig. 1 Changes in growing stock of the three model areas over 60 years

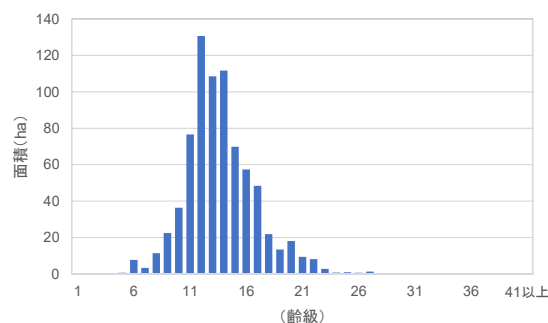


図-2. 計算開始前の規模中の齢級構成

Fig. 2 Age-class distribution of the model area (size M) before starting calculation

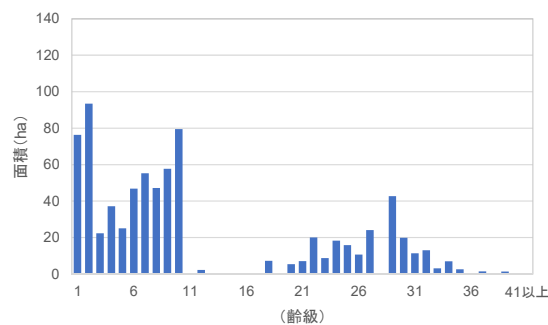


図-3. 60年後の規模中の齢級構成

Fig. 3 Age-class distribution of the model area (size M) after 60 years

2. 未利用森林バイオマス資源の発生量 規模中の計算結果をもとに、除伐、保育間伐、利用間伐、主伐、長伐期施業林分の間伐もしくは皆伐の施業対象となった小班の面積 (S (ha)) または伐採立木材積 (V (m³)) より、素材生産量と未利用森林バイオマスの発生量を算出する計算式を表-1に示す。表-1について、樹種はスギを想定し、伐採率は「埼玉地域森林計画書」を参考に本研究で設定した数値であり、幹材積に占める枝条の割合 (20年生までは57%, 21年生以上は23%) と容積密度 (0.314 dry-t/m³) は「バイオマス拡大係数」のデータを、幹材積に占める末木 (2%) と端材 (5%) の割合は「バイオマス変換計画」における調査結果を、それぞれ参照した。

表-1. 素材生産量および未利用森林バイオマス発生量の計算式

Table 1 Formulae for calculating the amounts of log production and unutilized forest biomass generation

施業	種類	計算式 (V : 伐採立木材積, S : 小班面積)
除伐 ¹	小径木	$V \times 1.57 \times 0.314$ (dry-t)
保育間伐 ²	未利用間伐材	$S \times 10 \times 0.314$ (dry-t)
	小径木	$V \times 1.57 \times 0.314 - S \times 10 \times 0.314$ (dry-t)
利用間伐 ³	林地残材	$V \times 0.25 \times 0.314$ (dry-t)
	未利用間伐材	$V \times 0.98 \times 0.4 \times 0.314$ (dry-t)
	素材	$V \times 0.98 \times 0.6$ (m ³)
主伐と長伐期 ⁴	林地残材	$V \times 0.30 \times 0.314$ (dry-t)
	素材	$V \times 0.93$ (m ³)

¹除伐では、立木本数の20%を伐倒するものとして小径木にカウントした。

²保育間伐は間伐率25%、施業面積1 haあたり10 m³を未利用間伐材として搬出し、伐採立木材積の残りを小径木と考えた。なお、ここで未利用間伐材は、本質的には小径木と異なるものではないが、搬出によりFITにおいて未利用材として認定されることを想定した。

³利用間伐は間伐率30%、造材時に発生する末木と枝条が林地残材となり、それ以外の部分について、発電所向けのチップ生産を行っている事業者への聞き取りをもとに4割が未利用間伐材、6割が素材になるとした。

⁴主伐と長伐期施業林分では、造材時に発生する末木と枝条、端材が林地残材となり、それ以外の部分を素材と考えた。

これにより得られる結果は、60年間で高齢級の人工林の皆伐が進み、多くの林分が通常の伐採サイクルに戻る過程における未利用森林バイオマス資源の発生量と解釈できる。そこで、本研究で新たに地域林業循環モデルの規模中の計算を120年目まで拡張し、持続的な林業経営下での森林バイオマス発生量も併せて算出した。

III 結果と考察

規模中の60年目までの素材生産量と森林バイオマス発生量の推移を図-4に示す。60年間の平均値±標準偏差は、素材 7,184±1,474 m³/年、バイオマス 875.64±152.42 dry-t/年、その内訳は小径木 56.50±40.87 dry-t/年、未利用間伐材 82.69±81.80 dry-t/年、林地残材 736.46±145.35 dry-t/年であった。年間 2,000 人日前後の労働投入量で、平均林齢 66 年の人工林 763 ha の皆伐を進め、

全面積の71%が通常の伐採サイクルに戻る過程における年間の素材生産量と森林バイオマス発生量と解釈できる。

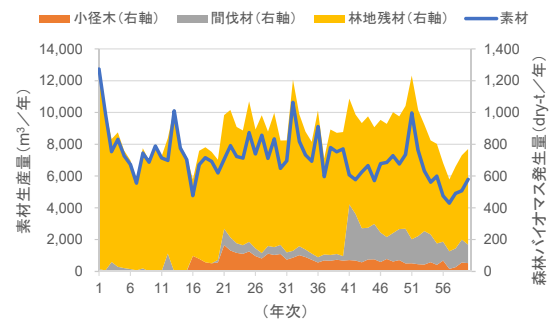


図-4. 60年目までの規模中の素材生産量と森林バイオマス発生量

Fig. 4 Annual log production and forest biomass generation in the model area (size M) during the first 60 years

続いて規模中の計算を120年目まで拡張した結果について、まず120年間の蓄積の推移を図-5、120年後の年齢構成を図-6にそれぞれ示す。60年後からの60年間で蓄積は緩やかに増加し、120年後の主伐対象林分は19 ha、長伐期施業の対象林分は125 haとなり、78 haが新たに通常の伐採サイクルへ移行した。120年目までの60年間の素材生産量と森林バイオマス発生量 (図-7) は、素材 5,239±1,149 m³/年、バイオマス 774.75±124.96 dry-t/年、その内訳は小径木 79.55±27.06 dry-t/年、未利用間伐材 147.38±55.86 dry-t/年、林地残材 547.82±115.34 dry-t/年であった。地域の人工林資源の循環が成立した、持続的な林業経営下での年間の素材生産量と森林バイオマス発生量と解釈できる。素材生産量とバイオマス発生量がともに当初の60年間に比べて減少したが、これは高齢で高蓄積の林分の皆伐が60年目までに落ち着いたために、120年目までの60年間の素材生産量とそれともななって発生する林地残材の発生量が減少したことによるものと考えられる。

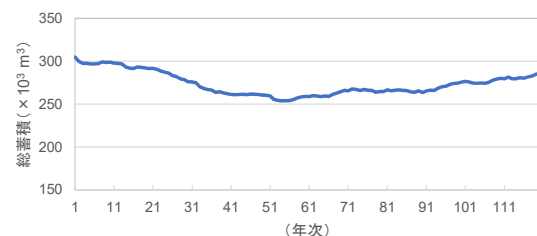


図-5. 規模中の120年間の蓄積の推移

Fig. 5 Changes in growing stock of the model area (size M) over 120 years

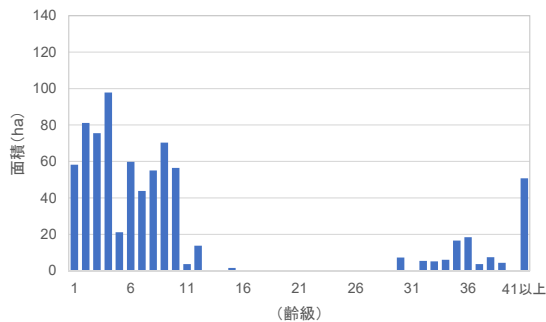


図-6. 120年後の規模中の齢級構成

Fig. 6 Age-class distribution of the model area (size M) after 120 years

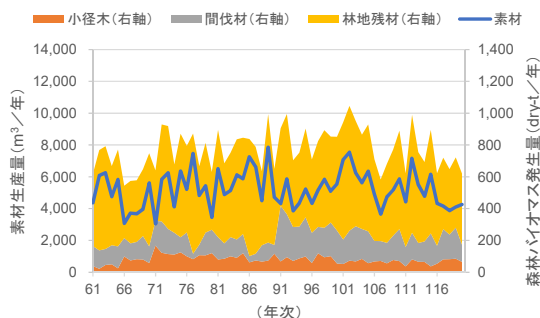


図-7. 120年目までの60年間の規模中の素材生産量と森林バイオマス発生量

Fig. 7 Annual log production and forest biomass generation in the model area (size M) from 61 to 120 years

小径木の発生時期とバイオマス資源量に占める割合に関しては、計算開始当初は除伐や保育間伐の対象となる林分がほとんどなく、植栽が主伐の1年後からはじまったため、小径木が発生しはじめるのが16年目、未利用間伐材が多く発生するのが利用間伐のはじまる41年目以降となることが影響して、はじめの60年間の小径木と未利用間伐材の発生量の平均値は、林地残材に比べて低い割合にとどまる。しかし、小径木であれば16年目以降、未利用間伐材であれば41年目以降は安定して発生し、とくに61年目以降は、小径木がバイオマス発生量の1割程度を占め、林地残材よりも先に利用の進んでいる未利用間伐材に対しても5割強と、資源量の目安を具体的に示すことができた。

IV おわりに

本研究は、FIT後の林地残材と小径木の利用を見据え、地域林業循環モデルを用いて未利用森林バイオマス資源量を算出するとともに、除伐や保育間伐の際に発生する小径木の発生時期とバイオマス資源量に占める割合を把握することを目的として、次の結論を得た。

- 年間2,000人日前後の労働投入量で平均林齢66年の人工林763haの皆伐と再生林を進め、全面積の71%が通常の伐期に戻る過程の60年間で年平均の素材生産量は $7,184 \pm 1,474 \text{ m}^3/\text{年}$ 、森林バイオマス発生量は $875.64 \pm 152.42 \text{ dry-t}/\text{年}$ であった。
- 上記の施業を進めたことによって高齢で高蓄積の林分の皆伐が落ち着いた、持続的な林業経営下での60年間の年平均の素材生産量は $5,239 \pm 1,149 \text{ m}^3/\text{年}$ 、森林バイオマス発生量は $774.75 \pm 124.96 \text{ dry-t}/\text{年}$ と、ともに当初の60年間よりも減少した。
- 除伐と保育間伐にともなう小径木は、皆伐再生林を開始して16年目から安定して発生し、地域の人工林資源の循環が成立した61年目以降は、バイオマス発生量の1割程度を占め、未利用間伐材に対しても5割強という資源量の目安を示すことができた。

謝辞: 本研究の一部は、JSPS 科研費(課題番号: 20K06121)の支援を受けて行われた。

引用文献

- (1) 有賀一広・吉岡拓如・櫻井倫 (2006) 中山間地域における木材および森林バイオマス資源の長期的な利用可能性—ランダムサーチを用いた収穫量の平準化—. 森林利用学会誌 21: 49–59
- (2) Kaneko S, Kim HB, Yoshioka T, Nitami T (submitted) Developing a model for managing sustainable regional forest biomass resources: System dynamics-based optimization.
- (3) 農林水産省 (2022) 令和3年木質バイオマスエネルギー利用動向調査結果. オンライン, (https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/mokusitu_biomass/attach/pdf/index-6.pdf). 2022年8月31日参照
- (4) Yoshioka T, Aruga K, Nitami T, Sakai H, Kobayashi H (2006) A case study on the costs and the fuel consumption of harvesting, transporting, and chipping chains for logging residues in Japan. Biomass and Bioenergy 30: 342–348
- (5) Yoshioka T, Sakurai R, Aruga K, Sakai H, Kobayashi H, Inoue K (2011) A GIS-based analysis on the relationship between the annual available amount and the procurement cost of forest biomass in a mountainous region in Japan. Biomass and Bioenergy 35: 4530–4537
- (6) Yoshioka T, Tomioka T, Nitami T (2021) Feasibility of a harvesting system for small-diameter trees as unutilized forest biomass in Japan. Forests 12: 74 (11 pp)

群馬県西部における確率年を用いた降雨評価による過去 19 年間の林道災害分析

渡部逸晴¹・小林 諒¹・有賀一広¹¹ 宇都宮大学農学部

要旨:本研究では群馬県庁より得ることができた 2001~2019 年度の 19 年間の林道災害における国庫補助復旧費用と、林道災害時の土壌雨量指数、3 段タンクモデル貯留量の確率年に関して分析を行った。2001 年、2007 年、2019 年に比較的大きな国庫補助復旧費用が掛かっていた群馬県西部に位置する神流・藤岡・西野牧・田代観測所の 4 観測所を対象地とした。本対象地全データに関しては、3 段目タンク貯留量の確率年と路線延長あたり復旧費用の相関係数において、5%有意となった。また、神流観測所の土壌雨量指数・各タンクの確率年と路線延長あたり復旧費用の相関係数においても有意性が示され、中でも 3 段目タンクとの相関係数が一番大きかった。路線延長あたり復旧費用は、タンクがより深くなると正の相関が強くなる傾向にあることから、雨水が深く浸透することにより、大規模な災害が発生した可能性がある。

キーワード: 土壌雨量指数、3 段タンクモデル、路線延長、開設費用、復旧費用

Analyses on forest road damages over the past 19 years using rainfall evaluation with return periods in the western part of Gunma prefecture

Issei WATANABE¹, Ryo KOBAYASHI¹, Kazuhiro ARUGA¹¹ School of Agriculture, Utsunomiya University

Abstract: This study acquired governmental subsidized recovery costs from forest road damages over the past 19 years between 2001 and 2019 in Gunma prefecture. Then, this study analyzed correlation coefficients between return periods on soil water index as well as three-layer tank storages and recovery costs. The study sites were four AMeDAS stations such as Kanna, Fujioka, Nishinomaki, and Tashiro which had relatively large governmental subsidized recovery costs in 2001, 2007, and 2019 in the western part of Gunma prefecture. Correlation coefficient between return period of third-layer tank storage and recovery costs per forest road length was positive with the 5% significance for all data in these study sites. Correlation coefficients between return periods on soil water index as well as all three-layer tank storages and recovery costs were also positive with the 1% or 5% significance in Kanna stations, especially that of the third tank storage was the strongest. It was implied that large forest road damages could occur due to deep rainwater penetration because correlation coefficients between tank storages and recovery costs per forest road length tended to increase according to the deeper tanks.

Key-word: Soil water index, three-layer tank model, forest road length, construction cost, recovery cost

I はじめに

山岳地域となる森林における路網整備は、山地崩壊リスクの高い場所に建設されることになり、また、不適切な路網整備は山地崩壊を引き起こす誘因となる。また、近年は気候変動に豪雨災害も増加しており、山地崩壊リスクは増大している。平成 27(2015)年 9 月関東・東北豪雨による林道災害について栃木県庁へ聞取調査したところ、損壊した林道の主な被災原因として、山地から抽出した土石や林地残材が排水施設を塞ぎ、そのまま土石や林地残材が林道へ流入したことによる路体の損壊が挙げ

られた。そこで、松岡ら(6)は林道排水施設設置基準をもとに安全率を計算し、排水施設の大きさや種類が林道被害へ与える影響を検討した。

Aruga ら(1)は平成 27(2015)年 9 月関東・東北豪雨に加えて、栃木県内の林道に多大な被害をもたらした令和元(2018)年 10 月台風第 19 号を対象として、雨量や集水域の施業履歴の違いから、雨量や林内環境を踏まえた林道の排水施設の安全性を検討し、今後の気候変動による雨量の変化や、持続的な木材生産や森林整備等における林内環境の変化を見据えた適切な森林内路網整備について

考究した。

本研究では群馬県庁より 2001～2019 年度の 19 年間の林道災害における国庫補助復旧費用を得ることができたため、林道災害時の雨量と復旧費用に関して分析を行った。なお、林道施設災害復旧事業は、国庫補助が行われた 1 箇所の工事費用 40 万円以上が採択限度額となる。

II 材料と方法

群馬県の河川整備計画(2)によって定められている集水域を参考に、AMeDAS 観測所ごとに市町村を配分した(図-1)。群馬県においては 2001, 2007, 2019 年度に比較的大きな国庫補助復旧費用が掛かっており(図-2), その中で県西部に位置する神流・藤岡・西野牧・田代観測所の雨量が多く(表-1), 国庫補助復旧費用も掛かっていたため、本研究ではこの 4 観測所を対象に分析を行った。なお、神流観測所は神流町・上野村、藤岡観測所は藤岡市、西野牧観測所は下仁田町・南牧村・甘楽町・富岡市、田代観測所は嬬恋村・長野原町が含まれる。

表-1. 累加雨量(mm)

Table 1 Cumulative rainfall (mm)				
観測所	2001	2007	2019	
神流	407.0	504.0	465.0	
藤岡	167.0	211.0	368.5	
西野牧	394.0	428.0	496.5	
田代	299.0	344.0	442.5	

2001 : 台風 19 号(9 月 8 日～9 月 11 日), 2007 : 台風 9 号(9 月 5 日～9 月 7 日), 2019 : 台風 19 号(10 月 10 日～10 月 13 日)

雨量の分析は、3 段タンクモデルを使用する土壤雨量指数(4)の確率年を用いた。最初に、執印ら(7), Aruga ら(1)が用いた手法を基に、神流・藤岡・西野牧・田代観測所の 1979 年 1 月 1 日～2019 年 12 月 31 日の 1 時間雨量データを使用し、1 時間雨量を 6 等分して 10 分間雨量を算出した。算出した 10 分間雨量を用いて、各タンク貯留量、土壤雨量指数を区切らずに通して算出した。確率年の算出は、各年の最大値を Gumbel 分布によって計算を行い、最大確率年を算出した。適合度示す標準最小二乗基準(SLSC)は、カナンの公式を用いた。適合度の目安である 0.04 は、神流・藤岡観測所の日雨量、西野牧・田代観測所の 1, 2, 3 段目タンク、日雨量以外は下回った。

路線延長が異なる対象地、開設費用が異なる路線ごとの比較を行うため、路線延長・開設費用で除した路線延長・開設費用あたり復旧費用を算出した。路線延長は、

群馬県統計情報提供システムの森林林業統計書の値を使用した(3)。開設費用は、群馬県庁の林道台帳の値を使用し、国土交通省の建設工事費デフレーターを使用し、費用の調整を行った(5)。確率年と路線延長・開設費用あたり復旧費用の相関係数を算出し、 t 検定を行い、算出した相関係数が有意であるかを確認した。

III 結果と考察

本対象地全データに関しては、3 段目タンクの確率年と路線延長あたり復旧費用の相関係数において、5%有意となった(表-2, 図-3～6)。なお、有意性は示されなかったものの、路線延長あたり復旧費用は、タンクがより深くなると正の相関が強くなる傾向にあることから、1 段目タンク、2 段目タンク、3 段目タンクと、雨水が深く浸透することにより、大規模な災害が発生した可能性がある。

神流観測所の土壤雨量指数・各タンクの確率年と路線延長あたり復旧費用の相関係数においても、有意性が示された。2 段目タンクは 5%有意、他は 1%有意であり、中でも 3 段目タンクとの相関係数が一番大きかった。また、藤岡観測所では、タンクの深さにかかわらず、相関係数の変化が少ないため、降雨だけでなく、路網の構造・強度や老朽化など別の要因が関わっていると考えられる。

西野牧観測所の 3 段目タンクは高い相関係数を示したが、これは 3 サンプルのうちの 2 サンプルが近い値を取ったためである(図-6)。なお、田代観測所は国庫補助復旧費用が 2001 年度、2019 年度と 1 件ずつの計 2 サンプル

表-2. 年最大確率年と路線延長・開設費用あたり復旧費用の相関係数

Table 2 Correlation coefficient between maximum annual return period and recovery cost per forest road length or per construction cost				
	全体	神流	藤岡	西野牧
サンプル数	17	8	4	3
路線延長				
土壤雨量指数	0.35	0.86**	0.31	0.65
1 段目タンク	0.23	0.93**	0.25	0.40
2 段目タンク	0.27	0.75*	0.32	0.47
3 段目タンク	0.58*	0.97**	0.29	0.99
開設費用				
土壤雨量指数	0.70**	0.84**	0.11	0.63
1 段目タンク	0.85**	0.91**	0.05	0.38
2 段目タンク	0.70**	0.72*	0.12	0.46
3 段目タンク	0.46	0.97**	0.09	0.99

*5%有意, **1%有意

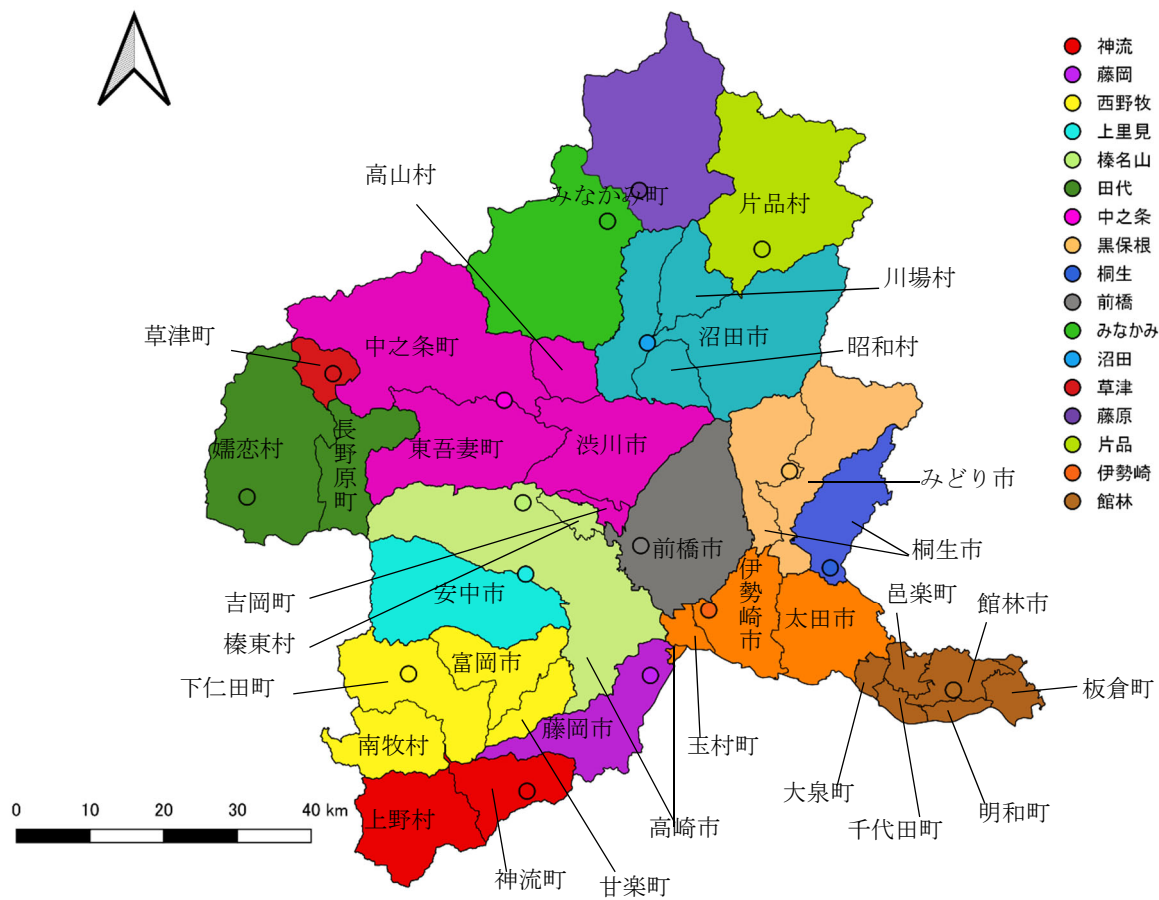


図-1. 群馬県アメダス観測所対象地域
Fig. 1 AMeDAS stations in Gunma prefecture

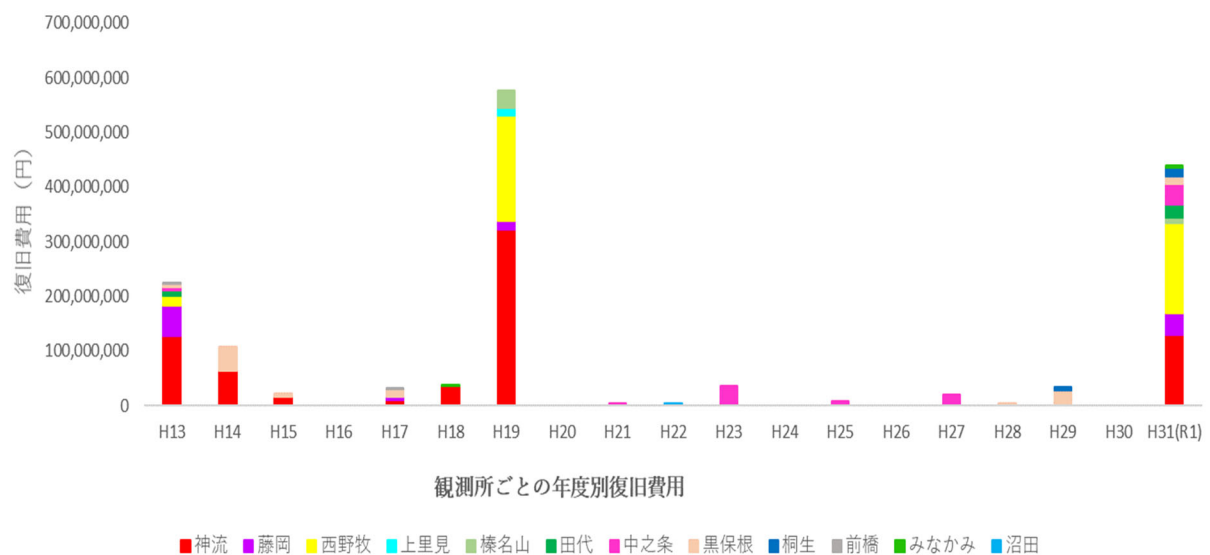


図-2. 国庫補助復旧費用
Fig. 2 Governmental subsidized recovery cost

であったため、相関係数の検定は行っていない。田代観測所は、本期間においては林道災害が他の3観測所と比べると、頻繁に発生した地域ではない。

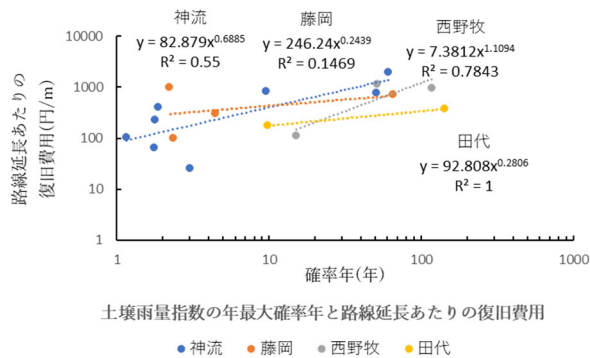


図-3. 土壌雨量指数

Fig. 3 Soil water index

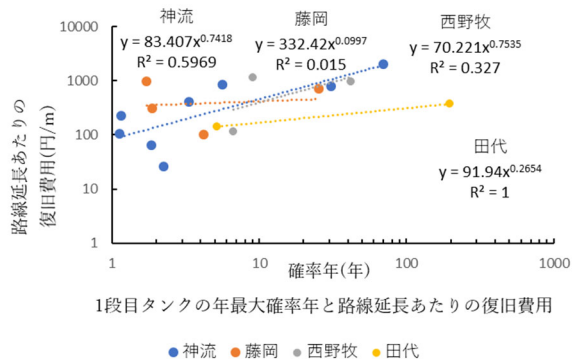


図-4. 1 段目タンク

Fig. 4 First layer

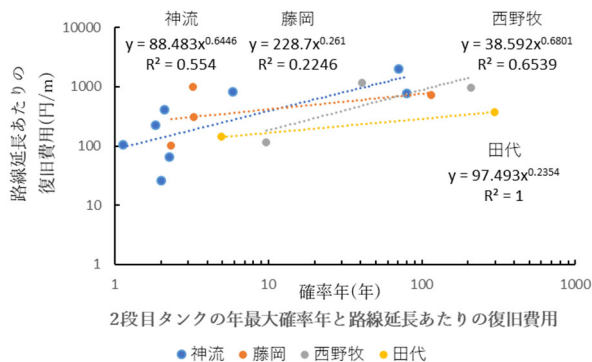


図-5. 2 段目タンク

Fig. 5 Second layer

一方、開設費用あたり復旧費用は、神流・藤岡・西野牧観測所では路線延長あたりと同様の傾向を示したが、全体的には路線延長あたりと比較して、相関係数が高い傾向にあり、また、3 段目タンクよりも1 段目タンクの相関係数が高い傾向にあった(表-2)。今回は開設費用だ

けを計上したが、今後は林道台帳に記載がある舗装・改築費用も含めて分析を行う予定である。また、林道台帳には幅員や林道建設からの経過年なども記載されていることから、路網の構造や老朽化についても分析する予定である。さらに、本研究では群馬県西部の4 観測所を対象に分析したが、今後、群馬県全域を対象を広げて、分析を行う予定である。

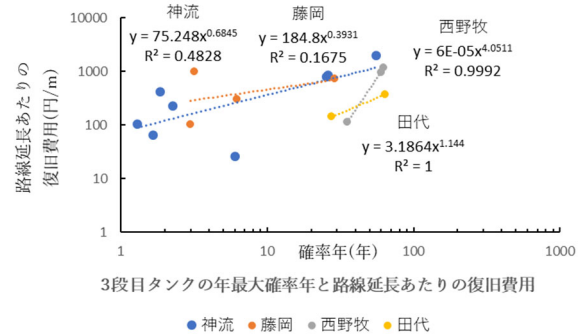


図-6. 3 段目タンク

Fig. 6 Third layer

謝辞：本研究は JSPS 科研費 16KK0168, 21H03672, 22H03800 の助成を受けたものである。調査資料を提供いただいた群馬県林政課に感謝いたします。

引用文献

- (1) Aruga K, Sekiguchi T, Sato T, Shuin Y (2022) Evaluation of forest road damages using return periods caused by heavy rains in Kanuma and Nikkko cities of Tochigi prefecture, Japan. Forestist 72: 29-40
- (2) 群馬県(2022)河川整備計画(圏域毎). オンライン <https://www.pref.gunma.jp/06/h4010093.html> (2022 年 2 月 14 日参照)
- (3) 群馬県(2022)森林林業統計書. オンライン <https://toukei.pref.gunma.jp/ringyo/> (2022 年 2 月 14 日参照)
- (4) 気象庁(2022)土壌雨量指数. オンライン <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/bosai/dojoshisu.html> (2022 年 2 月 14 日参照)
- (5) 国土交通省(2022)建設工事費デフレーター. オンライン https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/jouhouka/sosei_jouhouka_tk4_000112.html (2022 年 2 月 14 日参照)
- (6) 松岡佑典・林崎美穂・有賀一広 (2020)平成 27 年 9 月関東・東北豪雨による栃木県の林道被害分析. 関東森林研究 71: 157-160
- (7) 執印康裕・堀田紀文・鈴木雅一(2019)斜面崩壊発生時刻に影響を与える降雨条件の確率年を用いた評価について. 砂防学会誌 72: 3-11

北海道におけるセミトレーラと欧州型 CTL 導入を考慮した利用可能量推計

藤井絢弓¹・武田愛子¹・長沢翔太¹・松岡佑典¹・有賀一広¹・斎藤仁志²・酒井明香³・白澤紘明⁴・鈴木保志⁵

¹宇都宮大学農学部・²岩手大学農学部・³北海道立総合研究機構森林研究本部林産試験場・⁴森林総合研究所林業工学研究領域・⁵高知大学教育研究部自然科学系農学部門

要旨：北海道におけるセミトレーラと欧州型 CTL 導入を考慮した用材と未利用材利用可能量はそれぞれ 6.7 百万 m³/年、1.3 百万 m³/年と推計された。推計された用材利用可能量は北海道の針葉樹素材生産量 3.7 百万 m³/年と比較して高い値を示した。推計された未利用材利用可能量は北海道内で木質バイオマスに利用された木材チップ 1.4 百万 m³/年とほぼ同程度の値であった。用材と未利用材の利用可能量増加はそれぞれ 14 万 m³/年、2.9 万 m³/年と推計された。推計された用材利用可能量増加は金額で約 15 億円、一軒家で 6.0 千軒分と換算された。この効果は決して小さくはなく、導入することでさらなる森林資源利用につながる事が示唆された。また、推計された未利用材利用可能量増加は金額で約 1.9 億円、年間消費電力で 3.7 千世帯分と換算された。

キーワード：FIT, ハーベスタ, フォワーダ, 木材, 供給ポテンシャル

Estimating the availability of timber and unused woody materials through the introduction of semi-trailers and European-type CTLs in Hokkaido

Ayami FUJII¹, Aiko TAKEDA¹, Shota NAGASAWA¹, Yusuke MATSUOKA¹, Kazuhiro ARUGA¹, Masashi SAITO², Sayaka SAKAI³, Hiroaki SHIRASAWA⁴, Yasushi SUZUKI⁵

¹School of Agriculture, Utsunomiya University; ²Faculty of Agriculture, Iwate University; ³Forest Products Research Institute, Forest Research Department, Hokkaido Research Organization; ⁴Department of Forest Engineering, Forestry and Forest Products Research Institute; ⁵Faculty of Agriculture and Marine Science, Kochi University

Abstract: With the introduction of both semi-trailers and European-type CTLs in Hokkaido, the availability was estimated to be 6.7 million m³/year and 1.3 million m³/year for timber and unused woody materials, respectively. As for timber, the value was significantly higher than 3.7 million m³/year of coniferous log production in Hokkaido. The value of unused woody materials almost met the wood chip of 1.4 million m³/year, which was a woody biomass fuel in Hokkaido. The increased availability was estimated to be 144 thousand m³/year and 29 thousand m³/year for timber and unused woody materials. As for timber, the value was converted to 1.49 billion JPY/year in terms of monetary value and 6.0 thousand houses/year in terms of single-family houses. The effects obtained by introducing both semi-trailers and European-type CTLs would not be small, and this implies that the introduction will lead to further use of forest resources. For unused woody materials, the value for power generation was converted to 190 million JPY/year in terms of monetary value and 3.7 thousand households/year in terms of the number of households.

Keywords: Feed-in Tariff, Harvester, Forwarder, Timber, Supply Potential

I はじめに

2012 年 7 月に FIT が開始され、未利用材を燃料とする多数の発電施設が全国で稼働しているが、未利用材を買取期間 20 年間、安定して調達できるか、さらには FIT 終了後の木質バイオマス発電の採算性が懸念されている。そこで、山本ら(13)は栃木県の民有林を対象に、また、Yamamoto ら(14)は栃木県の国有林も含めて全域を対象に、既存の発電施設への聞き取りと地理情報システム

GIS を用いた解析により、栃木県における森林の更新費用も考慮した未利用材の利用可能量を推計し、既存の発電施設における燃料調達の可能性について検証した。

また、近年、大型製材工場や木質バイオマス発電施設の設置進展に伴い、木材の流通は都道府県域を超えて広域化しており、より現実的な未利用材の利用可能量を推計するためには、木材の流通を考慮して試算する必要がある。そこで Battuvshin ら(1)は福島県、茨城県、栃木県、

群馬県を対象に、Matsuoka ら(8)は青森県、岩手県、宮城県、秋田県、山形県を対象に試算した。さらに、松岡ら(9)は日本全国を対象に試算した。

本研究では、従来の 10 t トラックから 20 t セミトレーラを導入した場合のコスト低減量、従来型 CTL(ハーベスタ・フォワーダ)からホイール型ハーベスタ・フォワーダを用いた欧州型 CTL を導入した場合のコスト低減量を算出し、これらの導入によって高い効果が得られると推測される北海道を対象として、施業条件、収穫量、作業システム、運搬距離を小班単位で設定した。次に、小班 1 伐期あたりの売り上げ、収穫コスト、運搬コスト、造林費、補助金を算出、収支がプラスとなる小班的収穫量を利用可能量として推計し、森林資源利用可能量増加の可能性を検討した。

II 材料と方法

本研究では、北海道庁のオープンデータである民有林の森林簿データと森林計画図データ、国土地理院の国有林野データを基に、北海道内のスギ、マツ(エゾマツ、トドマツ)、カラマツを第一樹種とする 594,425 小班、1,362,930 ha を対象地とした(9)。収穫量は、北海道庁のオープンデータである地域森林計画を基に、施業条件を設定し、樹種ごとに収穫表作成システム LYCS3.3 を用いて間伐、主伐時の材積を推定し、各小班的面積を乗じることで算出した。売り上げは、1 伐期あたりで小班的の用材、未利用材収穫量に木材価格を乗じて、算出した。

収穫コストは、傾斜と起伏量から収穫時の作業システムを決定する手法(3)を用いて(表-1)、小班ごとの作業システムを決定し(図-1)、作業システムごとの収穫コスト(1)に収穫量を乗じて、設定した。なお、欧州型 CTL のコストは、岩手大学の調査結果(卒業論文未公表)を基に設定した。平均 CTL コストは、従来型 CTL が 2,612 円/m³、欧州型 CTL が 2,193 円/m³ と推計され、コストダウンは 419 円/m³ である(図-2)。

用材の運搬距離は Dijkstra 法を用いて、小班から全集荷先(北海道立総合研究機構提供の製材所 124 か所)までの最短経路を求め、その中から収益が最も高くなる集荷先までの距離に設定した(図-3)。同様に、未利用材の運搬距離は、2020 年 6 月時点で FIT の認定を受け、稼働している未利用木質を主に利用する道内発電所 6 か所の中までの最短経路を求め、その中から収益が最も高くなる集荷先までの距離に設定した(図-4)。また全日本トラック協会の北海道運輸局運賃表を基に、10 t トラックと 20 t セミトレーラの運搬コストを設定した。平均運搬コストは、10 t トラックが 1,552 円/m³、20 t セミトレーラ

が 1,070 円/m³ と推計され、コストダウンは 480 円/m³ である(図-5)。

表-1. 作業システム設定(3)

Table 1 Harvesting system classification

		起伏量			
	100m未満	100～200m	200～300m	300～400m	400m以上
15° 未満	CTL	CTL	CTL	-	-
15～20°	9-13t	9-13t	9-13t	9-13t	-
	グラップル	グラップル	ウィンチ	スイングヤーダ	
20～25°	9-13t	9-13t	9-13t	9-13t	9-13t
	グラップル	ウィンチ	ウィンチ	スイングヤーダ	スイングヤーダ
25～30°	-	6-8t	6-8t	6-8t	本架線
		ウィンチ	スイングヤーダ	スイングヤーダ	
30～35°	-	3-4t	タワーヤーダ	本架線	本架線
		ウィンチ			
35° 以上	-	-	本架線	本架線	本架線

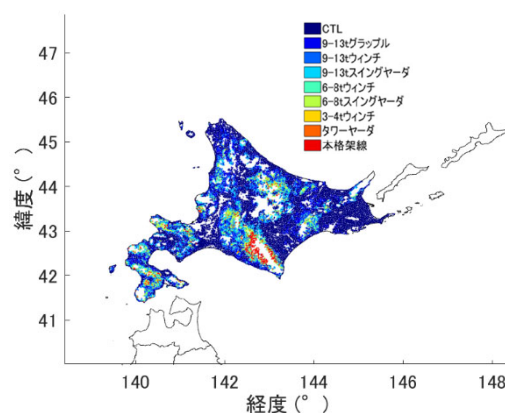


図-1. 作業システム分布図

Fig. 1 Harvesting system map

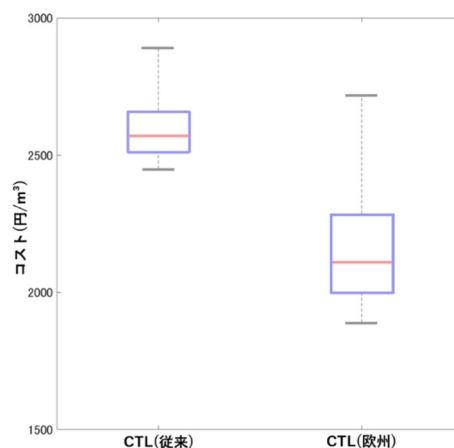


図-2. CTL コスト(円/m³)

Fig. 2 CTL cost (JPY/m³)

造林費は、北海道の造林事業単価表を参考に各作業の単価を樹種、森林計画区ごとに設定し、地域森林計画から読み取った作業の回数を乗じることで一伐期あたりの造林費として計上した。補助金は、造林補助金と間伐補助金、森林作業道作設補助金を計上した。造林補助金は、

全小班を対象とし、間伐補助金と森林作業道作設補助金の対象は、面積 5 ha 以上かつ搬出材積が $10 \text{ m}^3/\text{ha}$ 以上の小班とし、標準単価に査定係数 1.7 と補助率 4/10 を乗じた値を計上した(8)。

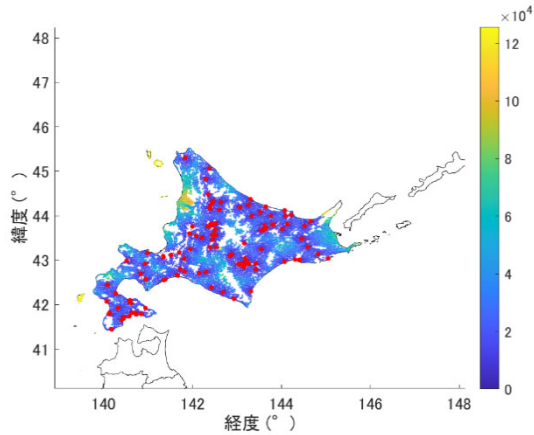


図-3. 用材運搬距離分布図(m)

Fig. 3 Timber transportation distance map (m)

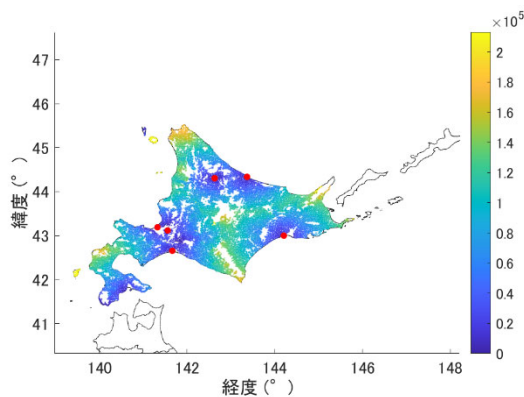


図-4. 未利用材運搬距離分布図(m)

Fig. 4 Unused woody material transportation distance map (m)

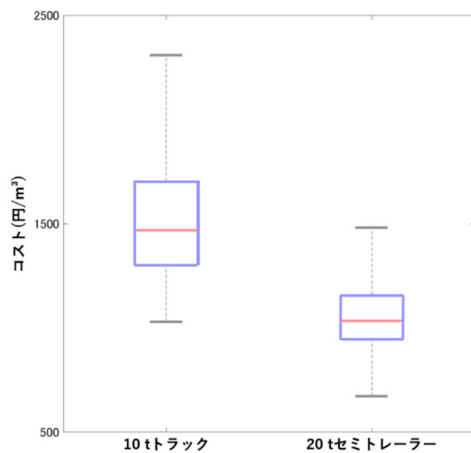


図-5. 運搬コスト(円/m³)

Fig. 5 Transportation cost (JPY/m³)

従来の作業システムの収穫コストと 10 t トラックの運搬コストで試算した利用可能量から、20 t セミトレーラを導入した場合、欧州型 CTL を導入した場合、両方を導入した場合の利用可能量増加を金額や発電量に換算することで、導入によって得られる効果を評価した。用材、未利用材の金額換算は、本研究で設定した樹種ごとの用材平均価格に、利用可能量増加を乗算して算出した。用材の一軒家換算では、在来工法(木造軸組工法)の平均木材使用量 24 m^3 (12)を参照し、利用可能量増加をこの値で除算して算出した。未利用材の発電量換算では、まず、利用可能量増加の絶対重量を針葉樹チップ換算係数 0.5(15)を乗じて求めた。次に、木質バイオマス発電・熱供給小型プラントの発電量として、乾燥切削チップ 1 kg 当たり 1 kWh(2)を参照し、これに利用可能量増加の絶対重量を乗じて、発電量を算出した。また、北海道の一世帯当たり電気消費量 3,906 kWh/年を参照し(7)、何世帯分の消費電力を賄えるのかを算出した。

III 結果と考察

セミトレーラと欧州型 CTL 両方を導入した場合の利用可能量は、用材 6,673,221 m^3 /年、未利用材 1,334,644 m^3 /年と推計され、用材については北海道内の針葉樹素材生産量 3,741,000 m^3 /年(4)を大きく上回る値を示し、未利用材についても北海道内の木質バイオマス燃料である木材チップ 1,431,753 m^3 /年(10)をほぼ満たす値を示した。

条件ごとの利用可能量増加を表-2 に示す。20 t セミトレーラと欧州型 CTL の両方を導入した場合の利用可能量増加は 172,842 m^3 /年となり、約 1.5%の増加という結果になった。本研究の結果では、利用可能量増加について、セミトレーラ導入の方が欧州型 CTL 導入よりも約 2.3 倍の高い効果を示した。このような結果になった理由は、セミトレーラ導入は全小班を対象としているのに対して、欧州型 CTL 導入は全小班数の 56%のみを対象としているためである(図-1)。

用材と未利用材の利用可能量増加を換算した結果を表-3 に示す。セミトレーラと欧州型 CTL を導入した場合の用材の換算額 14.9 億円は、北海道木材生産額 351 億円(11)に対して、約 4%の額に相当する結果となった。一軒家換算で 6,001 軒分は、北海道新設住宅 31,339 戸/年(5)の約 19%に相当する結果となった。また、未利用材については、金額換算で約 1.9 億円、発電量換算で 14.4 GWh/年という結果になり、発電量換算値は、3,688 世帯分の年間消費電力に相当するという結果となった。この値は、北海道の住民基本台帳記載の 2,795,571 世帯(6)の 0.1%に相当する。

IV おわりに

セミトレーラと欧州型 CTL を導入した場合の効果, 特に用材の利用可能量増加は小さくはなく, 導入することでさらなる森林資源利用につながると考える。ただし, 本研究では地形的にはセミトレーラと欧州型 CTL を北海道全域で導入可能として試算したが, セミトレーラや欧州型 CTL を導入可能な林道や林地は実際には限られるため, 今後, 導入可能な林道や林地の条件を調査して, 明らかにするとともに, 林道整備やウィンチアシスト機能の日本での実用化により, セミトレーラや欧州型 CTL の導入を推進していく必要がある。さらに, 林道整備や欧州型 CTL の導入費用なども考慮して分析する必要がある。

表-2. 利用可能量増加(m³/年)

Table 2 Increased availability (m³/year)

	用材	未利用材	合計
1	100,409	20,082	120,491
2	44,201	9,940	53,041
3	144,035	28,807	172,842

1: セミトレーラ, 2: CTL, 3: 両方

表-3. 利用可能量増加換算値

Table 3 Converted value of increased availability

	用材 億円/年	用材 千/年	未利用材 億円/年	発電量 GWh/年	世帯数 世帯/年
1	10.4	4,035	1.3	10.0	2,571
2	4.5	1,842	0.6	4.4	1,132
3	14.9	6,001	1.9	14.4	3,688

1: セミトレーラ, 2: CTL, 3: 両方

謝辞: 本研究は公益財団法人市村清新技術財団第 3 回 (2020 年度) 地球環境研究助成, JSPS 科研費 16KK0168, 17K12849, 21H03672, 22H03800 の助成を受けたものである。

引用文献

- (1) Battuvshin B, Matsuoka Y, Shirasawa H, Toyama K, Hayashi U, Aruga K (2020) Supply potential and annual availability of timber and forest biomass resources for energy considering inter-prefectural trade in Japan. Land Use Policy 97: 104780
- (2) フジテックスエネルギー (2021) 木質バイオマス発電・熱供給 小型プラント Spanner. オンライン <https://energy.fjtex.co.jp/business/woody-biomass-power/prod>

uct-18/ (2021 年 11 月 17 日参照)

- (3) 後藤純一 (2016) 平成 27 年度林業機械化推進シンポジウム 林業の成長産業化と求められる作業システム, 機械化林業 752: 1-8
- (4) 北海道庁 (2021) 令和元年度北海道林業統計. オンライン <https://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/sum/kcs/rin-toukei/rin-toukei-index.html> (2021 年 11 月 17 日参照)
- (5) 北海道庁 (2021) 建築統計ニュース第 317 号. オンライン https://www.pref.hokkaido.lg.jp/fs/5/2/6/0/7/0/3/_/%E7%AC%AC317%E5%8F%B7.pdf (2021 年 11 月 17 日参照)
- (6) 北海道庁 (2021) 住民基本台帳人口・世帯数. オンライン <https://www.pref.hokkaido.lg.jp/ss/tuk/900brr/index2.html#1> (2021 年 11 月 17 日参照)
- (7) 環境省 (2021) 2017 年度の家庭のエネルギー事情を知る. オンライン <http://www.env.go.jp/earth/ondanka/kateico2tokei/2017/result3/detail1/index.html> (2021 年 11 月 17 日参照)
- (8) Matsuoka Y, Shirasawa H, Hayashi U, Aruga K (2021) Annual availability of forest biomass resources for woody biomass power generation plants from subcompartments and aggregated forests in Tohoku region of Japan. Forests 12: 71
- (9) 松岡佑典・林宇一・有賀一広・白澤紘明・當山啓介・守口海 (2021) 森林 GIS を用いた木質バイオマス発電のための未利用材利用可能量推計. 日林誌 103: 416-423
- (10) 農林水産省 (2021) 令和 2 年木質バイオマスエネルギー利用動向調査. オンライン https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/mokusitu_biomass/ (2021 年 11 月 17 日参照)
- (11) 農林水産省 (2021) 北海道における『平成 30 年 林業産出額』の概要について. オンライン <https://www.maff.go.jp/hokkaido/toukei/kikaku/osirase/attach/pdf/index-69.pdf> (2021 年 11 月 17 日参照)
- (12) 林野庁 (2002) 森林・林業白書 (平成 23 年版). 15
- (13) 山本嵩久・有賀一広・古澤毅・當山啓介・鈴木保志・白澤紘明 (2017) 栃木県における木質バイオマス発電のための長期的な未利用材利用可能量推計. 日林誌 99: 266-271
- (14) Yamamoto T, Aruga K, Shirasawa H (2019) Availability for small-scale woody biomass power generation from the view of forest resources in Tochigi prefecture, Japan. International Journal of Forest Engineering 30: 210-217
- (15) 全国木材チップ工業連合会 (2021) 木材チップの換算係数. オンライン <https://www.rinya.maff.go.jp/kanto/apply/publicsale/wood/attach/pdf/sisutemu20200225-5.pdf> (2021 年 11 月 17 日参照)

作業道端での粉砕作業の生産性を最大化させる枝条の積み上げ幅

黒田浩太郎¹・金 鉉倍¹・吉岡拓如¹

¹ 東京大学大学院農学生命科学研究科

要旨：作業道端での全木材の造材により発生する枝条の粉砕作業を効率的に行うことができる積み上げ幅を検討することを目的として、グラップルローダによる枝条寄せ作業の後にグラップルクレーンを使用し粉砕を行う作業システムを想定した簡易なモデルを構築した。このモデルを用いて、枝条寄せと粉砕作業を合わせた生産性が最大となる積み上げ幅を検討した。その結果、積み上げ幅 2 m まで枝条を寄せた後に、粉砕作業を行う場合が最も生産性が高くなった。また、収穫用グラップルクレーンのつかみ量を増やすことが生産性の向上に大きく寄与すること、45 m/ha 程度の路網開設が生産性確保の 1 つの目安となることが示された。

キーワード：枝条，作業道端，生産性，積み上げ幅，グラップル

Logging residue pile width to maximize the productivity of chipping at roadside

Kotaro KURODA¹, Hyun Bae KIM¹, Takuyuki YOSHIOKA¹

¹Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo

Abstract: A simple model was constructed to examine the efficient harvesting of logging residues generated by limbing and bucking operations at roadside, assuming the logging system in which a grapple loader was used for piling logging residue and a grapple crane was used for chipping. In this study, the model was used to determine the width of logging residue pile that would maximize the productivity of piling logging operations in an assumed model forest. As a result, the productivity was maximum when the logging residue pile width was 2 m from the edge of forest operation road. It was found that increasing the grab amount of grapple cranes used for chipping contributed significantly to the increase in productivity, and it was also indicated that the establishment of a road network of about 45 m/ha was one guideline for ensuring the productivity.

Keywords: logging residue, forest operation road side, productivity, pile width, grapple

I はじめに

現在、発電用チップとして利用されている燃料の多くは間伐材由来であり、素材生産の過程で発生する末木枝条の利用はあまり進んでいない。しかし、バイオマス発電所における将来に渡る燃料調達の安定化のためには、枝条の利用を進めることが必要である。

森林作業道を開設してプロセッサで全木材の造材を行い、短幹材を搬出する作業システムでは、枝条は収穫しやすい作業道端に集まることになる。このような枝条は、発電や熱利用のためにバイオマス対応集材車両(7)やグラップル付きトラック(3)による収穫が行われる。ここで、枝条収穫の効率化のためには、枝条を寄せた後にチップによる粉砕作業を行うことが有効であると考えられるが、一方で寄せ時間の増加による効率への悪化も懸念される。そこで本研究では、作業道端でのチップ化を想定したモデルを用いて、グラップルによる枝条寄せと粉砕作業を

合わせた生産性が最大になる枝条の積み上げ幅を検討した。

II 材料と方法

1. 構築したモデル 本研究は、今後の日本に適した枝条収穫の効率化における検討の一助とすることを目的としたことから、文献(6)を参考に単純化したモデルをもとに検討するものとした。対象地には、幅員 3.0 m の作業道が路網密度 30~200 m/ha で開設されており、文献(2)を参考に 957 本/ha (50 年生ヒノキ) の人工林を皆伐、全木集材後に作業道上でのプロセッサ造材によって作業道端 5 m 範囲内に枝条が散在していると仮定した(図-1)。なお、路網密度 30 m/ha は、1 m まで寄せた場合でも現実的に作業可能な高さに収まる数値である。この対象地において、枝条寄せ用のグラップルローダとグラップルクレーンを搭載したチップ付きトラックが作業点間を移動しながら、枝条寄せと粉砕を進めていくシステムにおける、

生産性が最大化される枝条の積み上げ幅を検討した(図-2)。

皆伐の対象となった人工林で発生する枝条量は、文献(1)よりヒノキ1本あたりの枝条量と立木本数より算出した。造材後に作業道端に散在した枝条量は、1haあたりの枝条量を、積み上げ幅と路網密度の積で除することで得られる。すなわち、路網密度の値が小さくなると、作業道端の枝条量が大きくなる。

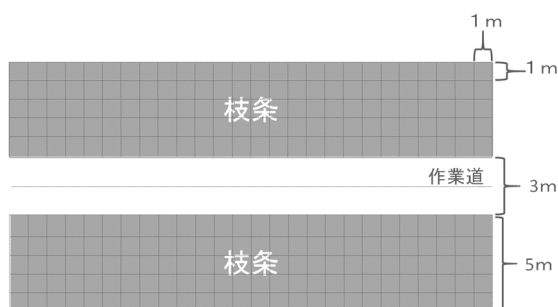


図-1. 想定したモデル森林

Fig. 1 Assumed basic model forest

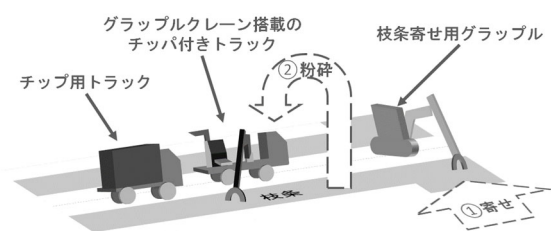


図-2. 想定した作業システム

Fig. 2 Assumed harvesting system

2. モデルにおける枝条寄せ・粉砕作業 ここではプロセッサ造材後に作業道から5mの範囲内に散在している枝条を1mメッシュに区切って、1mメッシュごとに各作業を行うものとした。枝条寄せ作業は、文献(3)のグラップルローダ(住友建機(株)製SH75X-6A)が各作業点において、枝条をつかんで各積み上げ幅(1~5m、5mは枝条寄せ無し)の中央まで寄せる作業とした(図-3)。

枝条の粉砕作業は、文献(8)のグラップルクレーン(スウェーデンHiab社製Loglift61Z)を搭載したチップ付きトラックにより、枝条寄せ作業と同じく1メッシュごとに枝条をつかみ、チップに投入する作業とした(図-4)。

枝条寄せと粉砕作業は、1つの作業点での作業時間と作業完了後の次の作業点までの移動時間を合わせて1サイクルとし、表-1に示した数値(3,6,8)をもとにそれぞれのサイクルタイムを算出するシミュレーションモデルを構築した。また、林地残材の粉砕作業について、グラッ

プルローダが材整理を行い単位面積あたりの残材量を増やすことで1回あたりつかみ量が増加し生産性を高めるとした文献(7)を参考に、粉砕作業における1つかみあたりの枝条量は、1m寄せるごとに5m幅の場合の1.125倍(4m幅)、1.25倍(3m幅)、1.375倍(2m幅)、1.5倍(1m幅)に増加し、チップへの投入時間は枝条量に応じて増えるものとしてサイクルタイムを算出した。

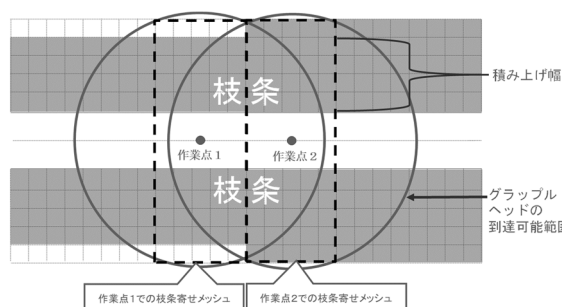


図-3. 想定した枝条寄せ作業モデル

Fig. 3 Assumed logging residue piling model

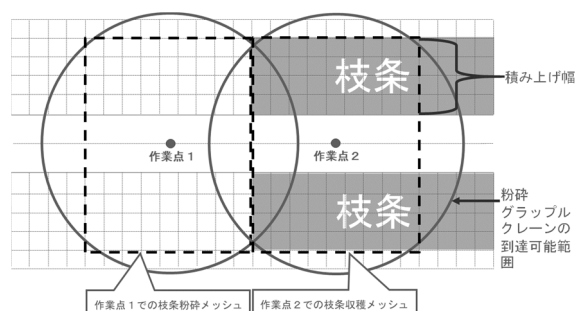


図-4. 想定した枝条粉砕作業モデル

Fig. 4 Assumed logging residue chipping model

表-1. 枝条寄せ・粉砕作業の生産性算出で使用した数値

Table 1 Figures used in productivity calculations for logging residue piling and chipping operations

	寄せ作業の数値	粉砕作業の数値
ヘッドの可動範囲 (m)	5.7	5.7
1つかみの枝条量 (dry-t/回)	0.03	0.015 ~ 0.025
1つかみにかかる時間 (秒/回)	5	5
ヘッドの移動速度 (m/秒)	0.84	0.57
1つかみあたりのチップへの投入時間 (秒/回)	-	10 ~ 15
1つかみあたりの解放時間 (秒/回)	2	-
作業点間の重機移動速度 (秒/回)	1.8	1.8

3. モデルにおける枝条寄せ・粉砕作業の生産性 構築したモデルにおいて、枝条寄せサイクルと粉砕サイクルは、作業の対象となる枝条メッシュの範囲が異なる。そ

のため、生産性を算出する際には、枝条寄せサイクルタイムを粉碎サイクルあたりの枝条寄せ時間に変換し、(1)式によって生産性を算出した。

$$P(n) = \frac{3600 \times HA(n)}{HCT(n) + RT(n)} \quad (1)$$

n : 積み上げ幅 (m)

$P(n)$: 枝条寄せ・粉碎作業の生産性 (dry-t/時)

$HA(n)$: サイクルあたりの枝条収穫量 (dry-t/cycle)

$HCT(n)$: 1 サイクルあたりの枝条粉碎時間 (秒/cycle)

$RT(n)$: 粉碎1 サイクルあたりの枝条寄せ時間 (秒/cycle)

III 結果と考察

1. 積み上げ幅と枝条寄せ・粉碎作業の生産性 1 m メッシュあたりの枝条量と枝条寄せ・粉碎作業の生産性の関係は、1 m メッシュあたりの枝条量が増加するにつれて生産性も増加する傾向にあり、生産性は1.08~1.33 dry-t/時であった (図-5)。1 m メッシュあたりの枝条量を増加させた時の枝条寄せ・粉碎作業の生産性が最大になる積み上げ幅は、枝条量が少ない時にはばらつきがみられたものの、おおむね2 m であった (図-6)。積み上げ幅が狭くなるほど収穫ヘッドの移動時間が少なくなることや1 サイクルあたりの粉碎量が多くなる一方で、枝条寄せ時間の掛り増しが生じ、結果的に生産性が最大となる積み上げ幅が存在すると考えられた。1 メッシュあたりの枝条量が少ない時に生産性が最大化する積み上げ幅にばらつきがみられたのは、1 サイクルあたりの粉碎量が少なく、各積み上げ幅における生産性に差がなかったためである。ここで算出した生産性の妥当性については、粉碎機能こそないが同じく枝条収穫を目的に作られたバイオマス対応集材車両と同程度の生産性(5)であることから、おおむね再現性のあるモデルを構築できたとと言える。

2. 感度分析 枝条収穫において、生産性が低いことは枝条利用の大きな課題である。そのため、今後の改良の方向性を検討するために、枝条寄せ・粉碎作業モデルで使用したパラメータを変化させることで感度分析を行った。その結果、粉碎1 つかみの枝条量が生産性に最も影響を与えるパラメータであることがわかった。図-7 に、粉碎1 つかみの枝条量を1.25 倍 (0.019~0.028 dry-t/回)、1.50 倍 (0.023~0.034 dry-t/回)、1.75 倍 (0.026~0.039 dry-t/回)、2.00 倍 (0.030~0.045 dry-t/回) にした場合の、1 m メッシュあたりの枝条量と生産性の関係を示す (図-7)。

図-7 において、1 m メッシュあたりの枝条量を増加させた時、0.05 dry-t/m² (=路網密度 45 m/ha) 以降、いずれの粉碎1 つかみの枝条量に対しても生産性の上昇が緩やかになっていることから、45 m/ha の路網密度が路網開設

の1つの目安になると考えられた。

また、枝条寄せ作業が掛り増しの要因となっていることから、枝条寄せに使用するグラブの1つかみ量によって、生産性が最大化する積み上げ幅が変わってくる可能性がある。そのため、今回の生産性が最大化する積み上げ幅2 m は、本研究で検討した事例に限定して考える必要がある。一方で、枝条寄せ作業の1つかみ量や粉碎1 つかみの枝条量だけでなく、路網密度などのパラメータを設定することによって、作業全体の生産性を最大化する枝条の積み上げ幅を検討することが可能なモデルを構築できたとはいえよう。

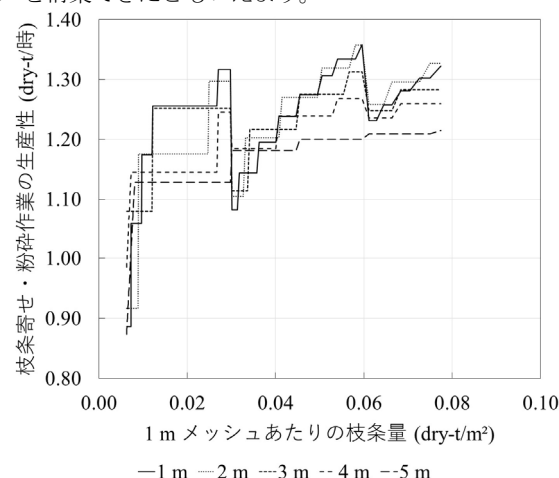


図-5. 1 m メッシュあたりの枝条量と各種積み上げ幅における枝条寄せ・粉碎作業の生産性との関係

Fig. 5 Relationship between the amount of logging residues in each mesh and the productivity of logging residue drawing and chipping operations at each pile width

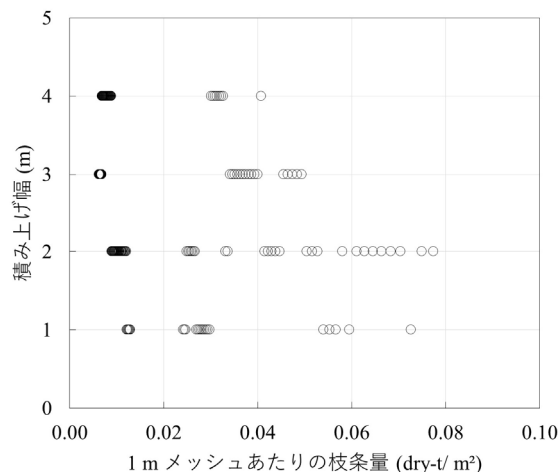


図-6. 1 m メッシュあたりの枝条量と枝条寄せ・粉碎作業の生産性が最大となる積み上げ幅の関係

Fig. 6 Relationship between the amount of logging residues in each mesh and pile width that maximized the productivity of piling and chipping

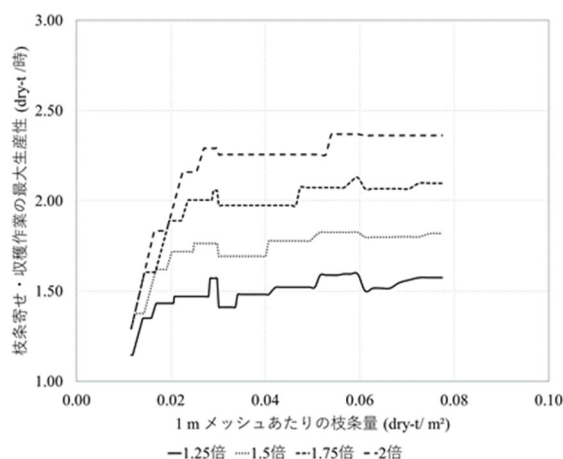


図-7. 粉砕用グラップルクレーンの1つかみ量を1.25～2倍にした場合の、1mメッシュあたりの枝条量と枝条寄せ・粉砕作業の最大生産性の関係

Fig. 7 Relationship between the amount of logging residues in each mesh and the maximum productivity of drawing and chipping operation when the grab amount of a grapple crane for chipping is increased to 1.25 to 2 times

IV おわりに

作業道端での全木材の造材により発生する枝条の粉砕作業を効率的に行うことができる積み上げ幅を検討することを目的として、グラップルロードによる枝条寄せ作業の後にグラップルクレーンを使用して粉砕を行う作業システムを想定した簡易なモデルを構築した。このモデルを用いて、枝条寄せと粉砕作業を合わせた生産性が最大となる積み上げ幅を検討した。その結果、次の結論を得た。

- 枝条寄せと粉砕を組み合わせた作業システムにおいて、積み上げ幅がおおむね2mのときに生産性が最大となる
- 収穫1つかみ量を増加させることが、生産性向上に大きく寄与する
- 本研究で対象としたモデルにおいては、45 m/haの路網密度が路網開設や使用する機械の1つの目安になる。
- 路網密度や集材方法、使用する機械でケースバイケースであるが、パラメータを設定することによって、作業全体の生産性を最大化する枝条の積み上げ幅を検討することが可能なモデルを構築できた。

謝辞: 本研究の一部は、JSPS 科研費(課題番号: 20K06121)の支援を受けて行われた。

引用文献

- (1) 古川邦明 (2012) 間伐での林地残材の発生量調査. 現代林業 548: 36-40
- (2) 岐阜県林政部 (1992) ヒノキ人工林林分収穫表・林分密度管理図. オンライン <https://www.pref.gifu.lg.jp/uploaded/attachment/48142.pdf> (参照日 2022 年 10 月 25 日)
- (3) 黒田浩太郎・吉岡拓如・井上公基 (2022) 神奈川県における未利用材の粉砕作業. 日林学術講 133: 209
- (4) 鈴木保志・福田雄治・山岡雄一郎・稲井康秀 (2017) 発電利用を想定した林地残材のトラック輸送における形態別容積比重と混載による充填効率向上の可能性の検討 日エ誌 96: 436-440
- (5) 吉田智佳史・佐々木達也・中澤昌彦・毛綱昌弘・陣川雅樹・古川邦明・臼田寿生・諸岡正美・諸岡昇 (2013) 圧縮機構を装備したバイオマス対応集材車両の開発と作業性能の評価: 林業バイオマス搬出作業の生産性. 森利誌 28(1): 29-39
- (6) Yoshioka T, Iwaoka M, Sakai H, Kobayashi H (2000) Feasibility of a harvesting system for logging residues as unutilized forest biomass. J For Res 5(2): 59-65
- (7) Yoshioka T, Sakurai R, Kameyama S, Inoue K, Hartsough B (2017) The optimum slash pile size for grinding operations: Grapple excavator and horizontal grinder operations model based on a Sierra Nevada, California survey. Forest 8(11): 422
- (8) Yoshioka T, Tomioka T, Nitami T (2021) Feasibility of a harvesting system for small-diameter trees as unutilized forest biomass in Japan. Forests 12(1): 74

基盤地図情報と UAV-SfM による 3D モデルを用いた林内路網計画の可能性

亀山翔平¹・矢部和弘¹

¹ 東京農業大学地域環境科学部

要旨：本研究は、基盤地図情報と UAV-SfM による 3D モデルを活用した林内路網計画の可能性について検討することを目的とした。作業道計画には、基盤地図情報の 5mDEM と UAV-SfM から解析された DSM を基に ArcGIS PRO の最適リージョン接続ツールを活用した。傾斜角 0~25°を到達可能地点として計画を行った結果、尾根を真っすぐ直線的に上がる平均傾斜のきついルートとなり、この計画案での作設は困難であった。そこで、傾斜角 0~25°の地点を到達可能地点、等高線をバリアラスターとして設定して再度計画したところ、バリアラスター未設定の場合と比較すると、平均傾斜が 10°以上低くなった。そのため、基盤地図情報の 5mDEM でも作業道計画が可能であった。また、UAV-SfM から多くの視覚情報が得られたことで今後の作業員間の情報共有ツールなど多くの場面での利用も期待される。

キーワード：UAV, SfM, 基盤地図情報, 林内路網計画, 地理情報システム

The availability of forest road system planning using Fundamental Geospatial Data and 3D models by UAV-SfM

Shohei KAMEYAMA¹, Kazuhiro YABE¹

¹ Faculty of Regional Environment Science, Tokyo University of Agriculture

Abstract: This study aims to determine the availability of forest road system planning using Fundamental Geospatial Data and 3D models using Unmanned Aerial Vehicle-Structure from Motion (UAV-SfM). The strip road was planned using the Optimal Region Connections tool of ArcGIS PRO with a 5 mDEM of the Fundamental Geospatial Data and the DSM of the UAV-SfM. The plan with an inclination of 0 to 25° as a reachable point was a route with a steep average angle slope that went straight up the ridge, which was difficult to construct. Therefore, we re-planned the site with the points with angle slope between 0 and 25° as reachable points and contour lines as barrier raster. As a result, the average angle slope was planned to be more than 10° lower than that without barrier raster. Hence, it was possible to plan strip roads even with a 5 mDEM of Fundamental Geospatial Data. Furthermore, more visual information is expected to be used in several situations in the future, such as information-sharing tools between workers.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicle (UAV), Structure from Motion (SfM), Fundamental Geospatial Data, Forest road system planning, Geographic Information System

I はじめに

森林作業道の計画には地形図や数値標高データ (0.5 m, 1 mDEM) を用いられることが多い。この DEM と GIS のツールを活用することで経験の有無を問わず作業道計画が可能となるが、詳細な地形データを航空レーザ (LiDAR) により入手した場合、コスト面の課題が挙げられる (2)。また、現在、各自治体においてレーザ測量が行われ、独自に地形データの整備が進んでいるが、オープンデータとして公開されている地域は僅かである。その中、DEM サイズの違いはあるが、現状で全国を網羅している地形データとして国土地理院が整備している基盤地図情報からデータの入手が可能である。基盤地図情

報からであれば、簡易にデータが入手可能ではあるがレーザのような詳細な地形データを入手することはできない。そのため、作業道計画に基盤地図情報の DEM を活用した場合には計画精度が課題として考えられる。

近年では、手軽に活用できる UAV が急速に普及し、さまざまな分野で活用されている。その活用の一事例として UAV レーザを活用することで詳細な地形情報の取得も可能であるが、UAV レーザは高価である (2) ことから活用事例は限定的である。UAV 活用事例の多くは UAV により撮影した画像と SfM の技術 (UAV-SfM) から解析された 3D モデル等から樹高や材積などの森林資源量の把握および周囲測量などに活用されている。しかし、

UAV-SfM から DEM の取得は難しいため作業道計画に活用することは難しいと考えるが、簡易かつ手軽に情報取得ができることから、情報を取得してデータとして保存できるなど利用価値は高い。

これら基盤地図情報および UAV-SfM による 3D モデルは簡易取得可能な情報であるが、組み合わせて活用することで多くの情報を考慮した作業道計画が可能ではないかと考えられる。また、現地における人的作業の減少や簡易に入手可能な情報を活用しているため、作業効率の向上や汎用性が高い手法の一事例としてなりうるのではないかと考える。そこで、本研究では基盤地図情報と UAV-SfM による 3D モデルを用いて林内路網計画を行い、その活用の可能性について検証することを目的とした。

II 材料と方法

1. 調査地 調査は福島県いわき市の遠野興産株式会社が所有する社有林で行った。調査地は南北に延びる谷を中心とした 2.02 ha の流域であり、東西および北向きの斜面が見られる。樹種はスギ 64 年生の人工林、平均傾斜角は 29°、土質は礫質土であり、谷部の一部では湧水が見られる。また、本調査地においては作業道の作設と皆伐作業が行われる予定である。

地形データは、調査地がカバーできるよう基盤地図情報ダウンロードサービスから 5 m メッシュの DEM（以下、5 mDEM とする）を入手した。

2. 作業道の計画 作業道の計画には ArcGIS PRO バージョン 2.7（以下、GIS とする）を使用した。作業道計画の手法として、GIS の解析ツールである、最適リージョン接続ツールを活用することとした。最適リージョン接続とは、2 つ以上の領域間の最適な接続が計算されるツールである（1）。そのため、領域を作業道の到達が可能となる地点として抽出し、その地点を結ぶ接続ネットワークを作業道の計画案とした。

最適リージョン接続ツールを実行するためのパラメータとなる到達可能地点の抽出には、5 mDEM を基に GIS の傾斜角ツールにより作成した傾斜角メッシュを用いた。この傾斜角メッシュから到達可能地点として抽出された箇所において効率的な伐倒作業が行えるような作業道計画とするために、UAV の空撮画像により解析した DSM と 5 mDEM の高さの差の値を基に作成したバッファを指標として用いた。

最適リージョン接続による作業道計画の手順は、まず、傾斜角メッシュを基に到達可能地点の抽出を行い、抽出した到達可能地点に DSM と 5 mDEM の高さの差の値を基にしたバッファを作成した。そして、調査地内のお

およそ全域がバッファの範囲内となった場合において、それまでに抽出した地点を基に最適リージョン接続を実施し、作業道計画案を作成した。

到達可能地点の抽出には、まず緩傾斜地点（0～15°）の抽出およびバッファの作成を行った。そして、調査地内がバッファでカバーできない場合には、0～20°、0～25°と 5°間隔で抽出地点を増やし、調査地がカバーできるまで抽出を行った。バッファの範囲（数値）は、UAV 空撮画像から解析した DSM と 5 mDEM を GIS のラスタ演算によりその差分を算出し、その値と作設される作業道幅員、大型機械による皆伐作業が行われることを加味して決定することとした。

3. UAV の飛行条件と空撮画像の SfM 解析 空撮画像の撮影に使用した UAV は DJI 社製の Mavic3、カメラは、同機種に標準搭載されているものを使用した。

UAV の飛行条件は、飛行高度が 120 m、写真の重複率は、オーバーラップ、サイドラップともに 90%とした。また、飛行条件の設定は DJI 社製の DJI GS PRO を活用したが、Mavic3 が自動飛行に対応していないため飛行経路を確認した後、オペレータによる手動飛行で撮影を行った。撮影日は、2022 年 7 月 5 日に実施し、当日の天候は、晴れ時々曇りであった。

UAV により撮影された空撮画像は Pix4D 社製の Pix4Dmapper（以下：Pix4D）で SfM 処理し、オルソ画像および DSM の出力を行った。Pix4D における処理は①初期処理、②点群およびメッシュ、③DSM とオルソモザイクの順に行った。また、SfM 処理に使用した PC のスペックは windows 10 Home、メモリが 32.0GB、CPU が Intel core i7-7700HQ である。

III 結果と考察

1. バッファの決定 UAV-SfM による DSM と 5 mDEM のラスタ演算の結果を図-1 に示す。その結果、高さの差分の平均値は 24.7 m となった。そのため、抽出地点から 25 m の範囲であれば、作業道方向に伐倒することでおおよそその伐倒木が作業道まで届き高効率での作業

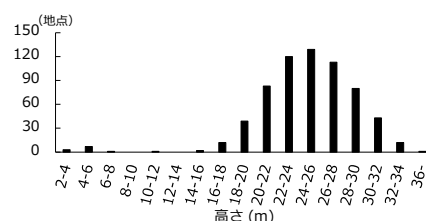


図-1. DSM と 5 mDEM の高さの差

Fig. 1 The height difference between DSM and 5 mDEM

が可能となる。また、本調査地では大型機械による皆伐作業が行われるため作業道幅員が4mで作設予定であることを考慮し、到達可能地点から30mの範囲であれば伐倒木が作業道まで届くことで効率的な作業が可能となると考え、バッファの範囲は30mに設定することとした。

2. 到達可能地点の抽出と最適リージョン接続による作業道計画 はじめに、傾斜角を基に緩傾斜地である0～15°地点の抽出とバッファの作成を行った。その結果0～15°の地点では西側の大部分がバッファの範囲外となり、調査地の全域をカバーできなかった(図-2a)。そのため、0～15°地点での計画は不可となった。次に、先ほどの0～15°に加え20°までの地点の抽出も行い、バッファの作成を行ったが、0～15°と同様に西側の多くがバッファの範囲外となるため、0～20°の地点でも計画不可となった(図-2b)。さらに、到達可能地点の抽出を0～25°とし、その地点にバッファを作成したところ、調査地のおおよそ全域をカバーすることが可能となった

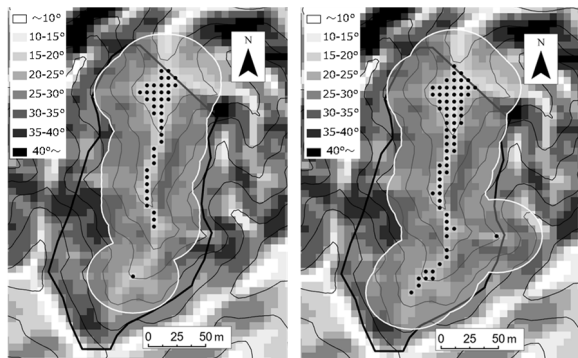


図-2. 到達可能地点の抽出とバッファ
(a) 傾斜角 0～15°, (b) 傾斜角 0～20°

Fig. 2 Reachable point and buffer

(a) Angle slope of 0～15°, (b) Angle slope of 0～20°

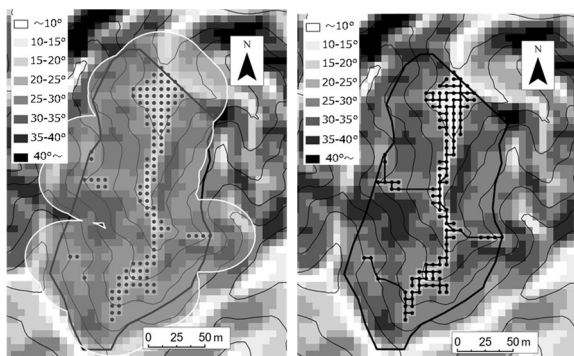


図-3. 傾斜角 0～25°地点での作業道計画

(a) 到達可能地点とバッファ, (b) 計画図

Fig. 3 Strip road planning at angle slope of 0～25°

(a) Reachable point and buffer, (b) Planning map

(図-3a)。そのため、0～25°の地点を到達可能地点として最適リージョン接続を実施した。その結果、作業道計画案となりえるような線形の描写が可能であった(図-3b)。しかし、線形を見ると傾斜25～35°の尾根部を真っすぐ直線的に上がるようなルートが多くみられ、平均傾斜のきついルートとなり、この計画案での作設は困難であると考え。

3. バリアラスターを考慮した最適リージョン接続による作業道計画 これまでの結果より最適リージョン接続による計画では離れた(飛び地のような)箇所の到達地点に接続する場合、尾根や谷を真っすぐ直線的に上がることで、それに伴い複数の等高線をまたぐルートとなっているため縦断勾配のきつい計画となる可能性が高い。そのため、縦断勾配を緩いルートとするために等高線なるべく縦断しないような設定が必要と考える。

そこで、最適リージョン接続ツールの接続方法のパラメータとしてバリアラスターを設定して計画を行うこととした。バリアラスターとは到達可能地点として抽出された箇所を通過する際の条件として、通過することのできない地点を設定することができる(例: 川などの障害があり(バリア)、まっすぐ通行(横切る)することができないように設定する)。今回は、5mDEMを基にGISの

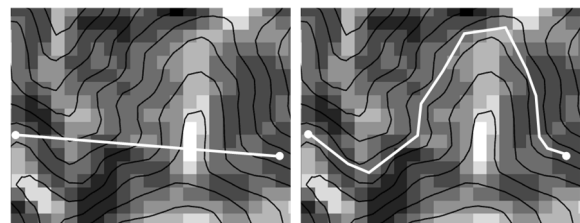


図-4. バリアラスターの設定例

Fig. 4 Example of setting barriers raster

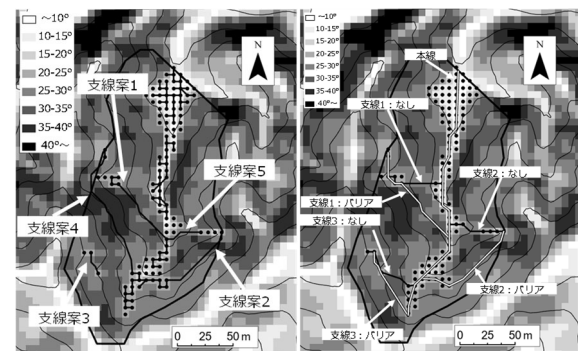


図-5. バリアラスターを考慮した作業道計画

(a) 計画図,

(b) バリアラスター設定の有無による比較

Fig. 5 Strip road plan with added barriers raster

(a) Planning map,

(b) Comparison of planning map by barriers raster

コンターツールを活用して作成した等高線をバリアラスタに設定し、等高線との交わりをなくすことで、短距離で直線的なルートではなく等高線に沿うような曲線的な線形となることが可能ではないかと考えられる(図-4)。

そこで、傾斜角 0~25°の地点を到達可能地点、10 m 間隔の等高線をバリアラスタとして設定して解析したところ図-5a のような線形となった。図-5a を見ると 10 m 間隔の等高線上に到達可能地点が抽出されるなどによってルートを結ぶことができない箇所が見られる。そのため、バリアラスタを考慮した最適リージョン接続の結果を基に、手作業でルートを結んだ(図-5b)。図-5a の支線案 4 は、支線案 1 と支線案 3 のバッファが重複している部分であるため、また、支線案 5 も本線と支線案 2 のバッファに重複している部分があるため作設の必要はないと考え削除することとした。支線案 1 については、除外した支線案 4 のルートの先端まで到達できないとバッファの範囲外となる地点があるため、支線案 1 から延長することとした。支線案 3 については、等高線上に到達可能地点が抽出されており、接続することができなくなっているため、手作業で等高線に沿うようにルートを結んだ。

バリアラスタを設定し、以上のような修正を加えた計画図ならびにバリアラスタ設定の有無によるルートの比較を図-5b に示す。最適リージョン接続において等高線をバリアラスタとして設定することで、尾根を直線的に上がることのないルートを計画することが可能となった。また、バリアラスタの設定の有無によるルートの平均傾斜を比較したところ、バリアラスタ未設定では、支線 1 が 21.0° (38.5%)、支線 2 が 21.3° (39.0%)、支線 3 が 22.3° (41.1%) であり、バリアラスタを設定すると支線 1 が 12.6° (22.5%)、支線 2 が 9.4° (16.6%)、支線 3 が 13.2° (23.5%) となった(図-6)。そのため、バリアラスタを設定することで、ルートの平均傾斜が

10° (18%) 以上低く計画することが可能であった。また、本線については、どちらの計画でも同じルートとなったため、比較は行っていない。

そのため、等高線をバリアラスタと設定して最適リージョン接続を行うことで、緩い傾斜でのルート計画が可能となるとともに、森林作業道作設ガイドラインで示されている縦断勾配は概ね 18% (10°) 以下 (3) となるような計画も可能となった。

IV まとめ

基盤地図情報の 5 mDEM であっても作業道計画が可能であることが示唆された。また、GIS や 3D データを組み合わせることで簡単かつある程度の基礎的な知識のみでも作業道計画が可能であるが、微地形の判読が難しいため計画通りの作設が困難な箇所も生じる可能性があると考えられる。そのため、計画内容の検証と精度向上が必要になる。しかし、基盤地図情報の DEM を用いることで、データの取得が容易であり、かつ、作業道の計画手法も容易であることから作業の汎用性は高いと考える。また、UAV-SfM による 3D モデルから森林資源量や各種画像により視覚情報も増えることで、多くの情報を持って計画を行うことが可能となった。多くのデータを入手できたことで、今後の作業員間の情報共有のツールや計画変更時の対応など多くの場面での利用も期待される。

今後は、作業道作設の完了後に計画と作設路線の検証や 3D モデルなどの情報により作業の効率化につながるのか等について検証を行う予定である。

謝辞：本研究は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の助成を受けて実施した結果得られた成果である(助成事業：JPNP21002)。この場を借りて感謝申し上げる。

引用文献

- (1) Esri 最適リージョン接続. オンライン <https://pro.arcgis.com/ja/pro-app/latest/tool-reference/raster-analysis/optimal-region-connections.htm> (2022 年 11 月 8 日参照)
- (2) 林野庁 (2018) 高精度な森林情報の整備・活用のためのリモートセンシング技術やその利用方法に関する手引き. オンライン https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/smartforest/attach/pdf/smart_forestry-20.pdf (2022 年 11 月 8 日参照)
- (3) 林野庁 (2015) 森林作業道作設ガイドライン. オンライン <https://www.rinya.maff.go.jp/j/seibi/sagyoudo/attach/pdf/itakukouhyou-2.pdf> (2022 年 11 月 8 日参照)

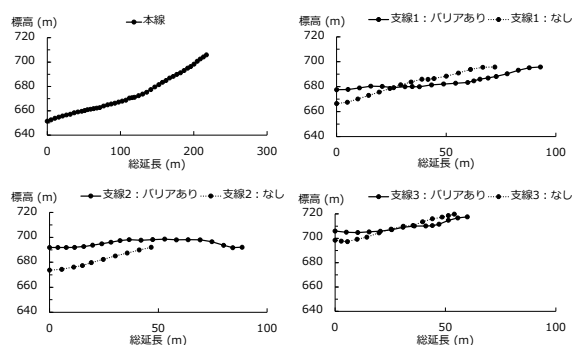


図-6. バリアラスタの有無による
作業道計画案の縦断面図

Fig. 6 Longitudinal section of strip road by barriers raster

立木に生じる振動の同時多点計測システムの開発

松本 武¹

¹ 東京農工大学大学院農学研究院

要旨: 立木に生じる振動を立木の各部位で同時に計測するためのシステムを安価に開発することを目的とした。1) 製作費用を抑え、多数のセンサの設置を可能とすること。2) プラットホームとして開発が容易なマイコンボードを使用すること。3) 樹幹だけでなく直径 5 cm 程度の枝にも設置可能なサイズとすること。4) 複数の箇所の計測を同時に開始・終了できること。5) 数百 Hz 単位のサンプリングレートで計測できること。6) 数時間～数日単位で連続観測でき・SD カードに自動記録できること。以上を開発方針として、マイコンボードとして NucleoF303K8 を、振動計測に 3 軸加速度センサである ADXL335 を用いた。また、データ記録のためにマイクロ SD カードスロットを装備した。
キーワード: マイコンボード, 加速度センサ, サンプリングレート

Development of simultaneous multi-point measurement system for vibration generated in stand

Takeshi MATSUMOTO¹

¹ Institute of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology

Abstract: The purpose was to develop a low-cost system for simultaneously measuring the vibration generated in each part of a tree. 1) Reduce manufacturing costs and enable the installation of multiple sensors. 2) Use a microcomputer board for easy development as a platform. 3) A size that can be installed not only on tree trunks but also on branches with a diameter of about 5 cm. 4) Simultaneous start/end of measurements at multiple locations. 5) It must be possible to measure at a sampling rate of hundreds of Hz. 6) Capable of continuous observation for several hours to several days and automatic recording to SD card. Based on the above development policy, we used the NucleoF303K8 as the microcomputer board and the ADXL335, a 3-axis acceleration sensor, for vibration measurement. It also has a microSD card slot for data recording.

Keywords: microcomputer board, accelerometer, sampling rate

I はじめに

森林作業道開設に当たっては、切土のり肩の立木は残すように推奨されている(3)。切土のり肩の立木は作業道開設時に道路側の根系が掘削に伴い除去されることが多いが、こうした立木の引き倒し試験の結果、引き倒しに対する根系の抵抗力は通常の立木と変わらないことが指摘されている(2)。しかしながら、根系が除去された方向とは反対側への引き倒しでは、抵抗力がピークに達するまでの変位が小さく、根系の弾性が小さくなっている(2)。このような立木が作業道側から強い風を受け振動することで根系の抵抗力が失われ倒伏することもある。立木の振動の振幅は立木に働くモーメントに比例することが指摘されていることから(4)、作業道切土のり肩上の立木の風による振動特性を明らかにすることは立木の安定性を評価するうえで必要である。さらに、樹幹に振動を与えると根系にまで伝わることを報告されており(1)、

その振動により切土が影響を受けることも考えられる。森林作業道の適切な維持管理のためには、切土のり肩の立木が風を受けた際、立木全体がどのように挙動し、それが根系および切土のり面にどのように作用するかを明らかにする必要がある。作業道脇の立木に限らず、崖際の立木や民家に隣接する立木については風害のリスクの評価が重要となるが、風害リスクを評価するためには、立木全体の振動特性についての理解が必要であり、そのためには立木各部位に生じる振動を同時に計測する必要がある。しかしながら、一般に、多数の部位の振動を同時に計測しようとすると観測システム全体では高額なものとなり、複数の立木で同時にそれを行うとなるとさらに費用を要することになる。

そこで、立木に生じる振動を各部位で同時に計測し、立木の振動特性を明らかにすることを最終目的として、本研究ではその基本となる計測システムを安価に開発す

ることを目的とした。

II 開発方針

システムの開発方針を以下の通り設定した。

- ・製作費用を抑え、多数の計測ユニットの設置を可能とすること。
- ・計測ユニットのプラットフォームとして開発が容易なマイコンボードを使用すること。
- ・計測ユニットは極力小型化に努めること。
- ・計測ユニットの最大サンプリングレートは既往の研究(5)を参考に数百 Hz 単位とすること。
- ・計測ユニットは数時間～数日単位の連続観測が可能で SD カードに自動記録できること。
- ・複数の計測ユニットを同時に開始・終了できるシステムとすること。

III 材料と方法

前述の開発方針に基づいて、試作を行うにあたり、計測ユニットの構成パーツの選定に取り掛かった。計測ユニットはマイコンボード、振動計測センサ、記録媒体、スイッチにより構成される。まずマイコンボードについては、樹幹のみならず枝にも取り付けることを想定しているため、できるだけ小型の物で、入手しやすいものが望ましい。さらに、開発が容易であり、ライブラリも充実していることが開発期間の短縮につながる。以上から、計測システムのプラットフォームとなるマイコンボードの候補として、ArduinoNano および NucleoF303K8 を候補とした。Arduino シリーズは電子工作入門機としても有名でありライブラリも充実しているが、ArduinoNano はリアルタイムクロック、AD コンバータは搭載せず、フラッシュメモリの容量は 32 KB である。一方、NucleoF303K8 はオンライン上で動作する Mbed SDK を統合開発環境とし、リアルタイムクロックと AD コンバータを実装し、64 KB のフラッシュメモリを持つ。後述するデータの記録上の便宜からフラッシュメモリの容量が大きい NucleoF303K8 をプラットフォームとして選定した。

振動計測センサは、3 軸の加速度センサで行うものとし、安価であり、開発が容易なアナログ出力方式のセンサである ADXL335 を選定した。

データの記録はマイクロ SD カードにより行うこととし、マイクロ SD カードスロットを記録デバイスとして選定した。SD カードは Class10 以上の速度を持つものを使用する。しかしながら、SD カードは逐次記録を行うと遅延が発生する可能性があるため、記録する際に計測デ

ータをある程度配列に格納してから SD カードに記録する方式を想定したことが、前述のフラッシュメモリ容量が大きい NucleoF303K8 の選定理由の 1 つである。

それぞれの計測ユニット測定開始・終了を同期させるためのスイッチとしては電子工作ではタクトスイッチが一般的だが、屋外での使用ではタクトスイッチのボタンの動作不良をたびたび経験しているため、それに代わる電子的な方法として、赤外線リモコンによる制御を採用することとし、赤外線リモコンと赤外線受信モジュールをスイッチとして選定した。

IV 試作機的设计と製作

図-1 に計測ユニットの基本構成を示す。マイコンボードの動作電源として USB ポートから 5V が、電源入力端子から 7~12V が給電可能である。なお、モバイルバッテリーなどから USB ポートへの給電に関しては、マイコンボードの消費電力が低く、ほとんどの市販のモバイルバッテリーでは保護回路が働き、給電が止まってしまう。そのため、モバイルバッテリーを使用する場合には、低電力でも給電できる IoT 機器対応のティ・アール・エイ社製の cheero CANVAS (3200 mAh) を使用する必要がある。

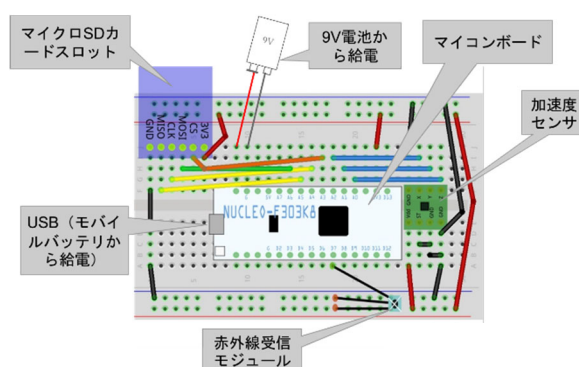


図-1. 計測ユニットの基本設計図

Fig. 1 Basic blueprint of measurement unit

また、計測の開始・終了は赤外線リモコンにより行い、赤外線リモコンの数字をファイル名とする仕様とした。

以上の基本設計に基づいてブレッドボード上で仮組を行い、動作確認を行ったうえで試作機を製作した。給電方式はモバイルバッテリーで行い、ブレッドボードタイプの基板にパーツを配置しジャンパワイヤで配線し、はんだ付けを行った。なお、図-1 の基板を固定する筐体は 3D プリンタで製作した。センサユニット全体のサイズは横 70 mm、縦 100 mm、厚さ 50 mm となった。なお、図中では赤外線受信モジュールはセンサユニットに直結しているが、実機ではモジュールとセンサユニットは 10m のケーブルを介して接続されている。各計測ユニットの赤

外線受信モジュールを1つの基板に集約し、1台のリモコンで集中制御する方式とした(図-2)。

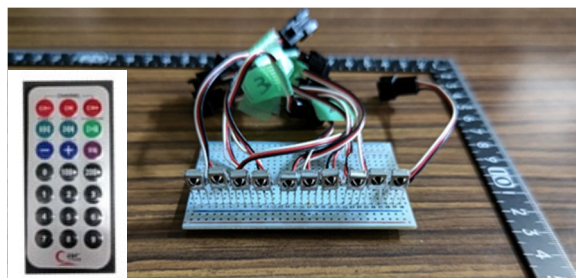


図-2. 集約された赤外線受信モジュールと赤外線リモコン

Fig. 2 Integrated infrared receiver module and infrared remote control

計測データの記録に当たり、SDカードへの逐次書き込みを行うと、遅延が発生したため、データのある程度配列のため込んでから書き込みを行う方式とし、最終的に400 Hzのサンプリングレートを実現した。また、このサンプリングレートでの3週間の連続記録も問題なく行えることを確認した。

バッテリーの固定およびセンサユニットの立木への固定にあたっては、安定性や樹上での取り付け・取り外しの操作性を勘案して結束バンドを用いることとした。

この試作機を5台作成し、東京農工大学フィールドミュージアム唐沢山(以下FM唐沢山)内のコナラ立木で取り付け試験および計測試験を行ったところ、樹上に携帯するにはサイズが大きく操作性が悪く、小型化が必要であること、リモコンボタンを押しても計測されないユニットや、停止ボタンを押してから記録を開始したユニットがあることが明らかとなったため、改良を行った。

小型化については、小型の基板を用い、給電方式を大容量の9V電池(850 mAh)に変更し、小型化に努めた結果、初期型のほぼ1/2のサイズとなった(表-1, 図-3)。

表-1. 試作機の概要

Table 1 Outline of prototypes

	初期型	改良型
サイズ	W70×D100×H50	W40×D90×H45
給電方式	モバイルバッテリーからUSBにて給電	9V電池よりVin端子にて給電
稼働時間	約28時間	約8時間
固定方式	結束バンドで行う。	

次に、計測時の未記録等の不具合については、多数の受信モジュールが存在するため、リモコン信号の到達範囲やリモコンと受信モジュール間の距離などが影響し、信号の未達や受信漏れが発生していることが考えられた。

そこで、システムの回路を変更し、1台の赤外線受信モジュールで受信した信号を各計測ユニットで共有する方式に改めた(図-4)。

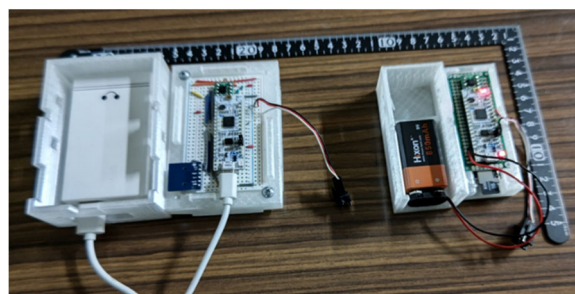


図-3. 試作機(左:初期型, 右:改良型)

Fig. 3 Prototypes (left: initial type, right: improved type)

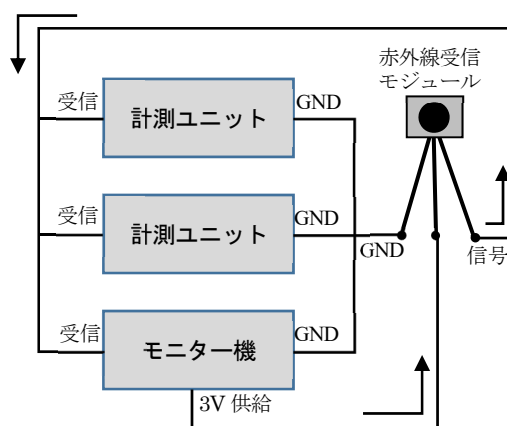


図-4. 改良されたリモコン受信システム

Fig. 4 Improved infrared receiver system

GND: グランド, 基準電位

以上を経て改良型が完成し、その製作費用を表-2に示す。計測ユニット1つあたりの製作費用は4,645円であった。市販のロガー付き振動計測デバイス(一例としてUSB振動・衝撃データロガーDT-178A サトテック:19,800円)と比較すると低コストでの調達が可能となった。

表-2. 計測ユニット1つあたり制作費用

Table 2 Production cost per measuring unit

項目	型番・規格	価格(円)
マイコンボード	NucleoF303K8	1,900
加速度センサ	ADXL335	750
SDカードスロット	-	200
赤外線受信モジュール	OSRB38C9AA	50
3芯並列ケーブル	10 m	800
9V充電式電池	850 mAh	625
スルーホール基板	3 cm×7 cm	40
フィラメント	15 m	280
計		4,645

試作機の改良型を 10 台製作し、FM 唐沢山のコナラに樹幹 5 箇所（地上高 2, 4, 6, 8, 9 m）、枝 5 箇所（地上高 6 m×2, 7 m, 8 m×2）に取り付け（図-5）、立木のおおむね重心に相当する位置（樹高の 40%, 地上高 5.6 m）に水平成分が 490 N となるような荷重を負荷して、それを瞬間的に解放した際に発生する振動を計測した。図-6 はそのうちの一部の計測結果を示したものである。加速度センサの固有の性質に伴うと思われるノイズが認められるが、負荷が急激に開放された際の衝撃と、その後の樹幹および枝の振動が計測されていることが確認できる。



図-5. 計測ユニットの立木への設置状況
Fig. 5 Installation of the measurement unit on stand

V おわりに

安価で高サンプリングレートの計測システムの開発を行い、おおむね当初の開発方針を実現することができた。今後は数日～数週間の長期間の自動計測の実現が目標となる。すでに電源さえ供給されていれば数週間程度の連続記録が可能であることは確認済みであるため、大容量バッテリーとソーラーパネルを併用し、各計測ユニットへの給電システムの構築と各計測ユニットの防水性を確保することが今後の課題である。

引用文献

- (1) 久米昌彦・日置佳之・多田泰之 (2007) 振動波を用いた緑化樹木の根系分布の推定方法に関する研究. 日本緑化工学会誌 33: 15-21
- (2) 松本武・日吉沙絵子・岩岡正博 (2021) 森林作業道のり頭に残された立木の安定性. 森林利用学会誌 36: 57-62
- (3) 林野庁 (2010) 森林作業道作設指針. 7pp. オンライン (<http://www.rinya.maff.go.jp/j/seibi/saisei/pdf/sinrinsagyoudou.pdf>). 2022 年 11 月 5 日参照
- (4) Suzuki S, Sakamoto T, Noguchi H (2016) Wind damage risk estimation for strip cutting under current and future wind conditions based on moment observations in a coastal forest in Japan. Journal of Forest Research 21: 223-234
- (5) Schindler D, Vogt R, Fugmann H, Rodriguez M, Schönborn J, Mayer H (2010) Vibration behavior of plantation-grown Scots pine trees in response to wind excitation. Agriculture and Forest Meteorology 150: 984-993

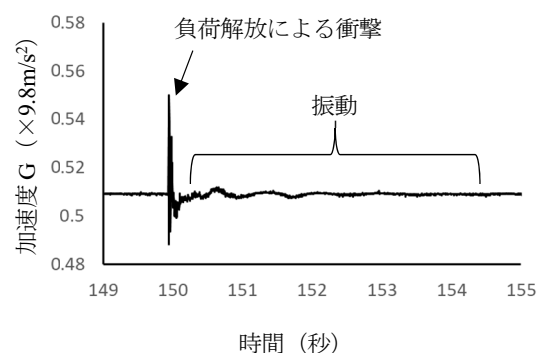


図-6. 樹高 6 m における樹幹の振動計測例 (x 軸)
Fig. 6 Example of vibration measurement of a tree stem with a height of 6 m (x axis)

東京都多摩地域の再造林地で被害をもたらす野生動物の実態

新井一司¹・久保田将之¹¹ 東京都農林総合研究センター

要旨：東京都多摩地域では、毎年 50 ha 規模の皆伐が行われ、スギなどの再造林が行われている。これまでの加害獣は、主にニホンジカだったが、近年、ノウサギやイノシシによる直接的な被害、化学繊維製のシカ柵のネットがタヌキによって噛み切れられ、その穴からニホンジカが侵入するという間接的な被害が確認されているが、これらの野生動物が再造林地に出没する頻度などは、不明であった。そこで、再造林地にセンサーカメラを配置した結果、ニホンジカが最も多く出沒し、次いでイノシシ、タヌキ、ノウサギであった。ニホンカモシカとツキノワグマは、いずれも 2013 年時点で全域に分布していなかったが、2019 年には多摩地域のほぼ全域に拡大していた。今後、多摩地域全域で多種の野生動物による被害が混在する可能性があり、加害獣の判定には注意が必要である。

キーワード：森林被害、ニホンジカ、再造林、タヌキ、センサーカメラ

Trends in wild animals damage on reforested land in Tama area, Tokyo

Kazushi ARAI¹, Masayuki KUBOTA¹¹ Tokyo Metropolitan Agriculture and Forestry Research Center

Abstract: In Tama area, Tokyo, 50 ha of clear-cutting and reforestation into Japanese cedars are continuously carried out every year. Although sika deer has been the main animal which damage on reforested lands, damage by other animals such as direct damage by Japanese hares and wild boars, indirect damage by raccoon dog chewing through deer fences have been observed in recent years. In this study, we clarified the frequency and annual fluctuation of appearance of these harmful wild animals in reforested land based on the images by sensor cameras installed in reforested lands. Sika deer were the most frequent animal, followed by wild boars, raccoon dogs and Japanese hare. Although Japanese serows and Asian black bears were not observed in Tama area in 2013, they expanded their habitat to the southeastern part of the Tama area in 2019. In the near future, it is likely that damage by multiple wild animals will coexist in Tama area. It is necessary to be cautious when identifying which animals cause the damage.

Keywords: Forest damage, Sika deer, Reforestation, Raccoon dog, Sensor camera

I はじめに

東京都西部の多摩地域では、森林循環促進事業などによって、毎年 50 ha 規模の皆伐が行われ、スギ、ヒノキなどの苗木が植栽されている。この植栽木を加害する主な野生動物はニホンジカであり、ニホンジカの分布の推移や分布拡大に関して多くの研究が行われている(2, 3, 5, 6)。近年、ニホンジカ以外にノウサギなどによる摂食やイノシシによる噛み切り(4)などの直接的な被害、化学繊維製のシカ柵のネットがタヌキなどの小動物によって噛み切れられ、その穴からニホンジカが侵入するという間接的な被害(1)が確認されたが、これらの野生動物が再造林地に出没する頻度や年変動については、不明であった。また、多摩地域には、低密度ながらニホンカモシカとツ

キノワグマが生息しており、ニホンカモシカはニホンジカと同様、植栽したスギ、ヒノキ、広葉樹などの苗木の摂食被害、ツキノワグマは成木の幹へ樹皮剥ぎ、いわゆるクマ剥ぎ被害を及ぼす。しかし、これらの野生動物が多摩の森林のどこまで分布を広げているかについては、不明であった。そこで、再造林地に配置したセンサーカメラの画像から、ニホンジカ、ノウサギ、イノシシ、タヌキ、ニホンカモシカ、ツキノワグマの実態を明らかにし、被害対策に活用することを目的とした。

II 方法

再造林地に出没する野生動物の頻度や年変動をみるために、センサーカメラは、HC500 (Reconyx 製) を用い、

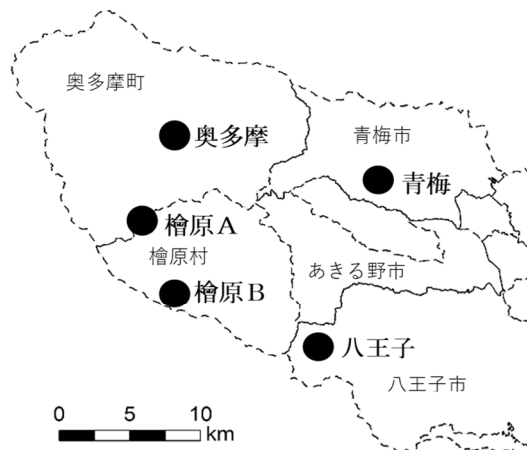


図-1. センサーカメラ配置位置図

Fig. 1 Position map of the sensor cameras

表-1. 多摩地域で8年間(2012～2019)に撮影された1台あたりの1年間の延べ撮影頭数の比較

Table 1 Total number of animals photographed in one year

動物名	延べ撮影頭数の平均値 (頭/年/台)	再造林地における被害
ニホンジカ	93.3	あり
ニホンザル	30.4	—
イノシシ	26.9	稀
タヌキ	18.6	間接被害
ノウサギ	18.4	あり
ニホンカモシカ	7.8	あり
テン	4.7	—
キツネ	3.4	間接被害
アナグマ	2.9	間接被害
ハクビシン	2.3	間接被害
ツキノワグマ	1.6	(成木のクマ剥ぎ)
アライグマ	1.4	間接被害

※ 再造林地における被害は、センサーカメラを配置した林地に加え、これまで多摩地域の再造林地で確認されたものである。タヌキの 間接被害は、シカ柵のネットの噛み切りであり、これ以外の動物の間接被害は、ネットを噛み切る能力を有していることを意味する。

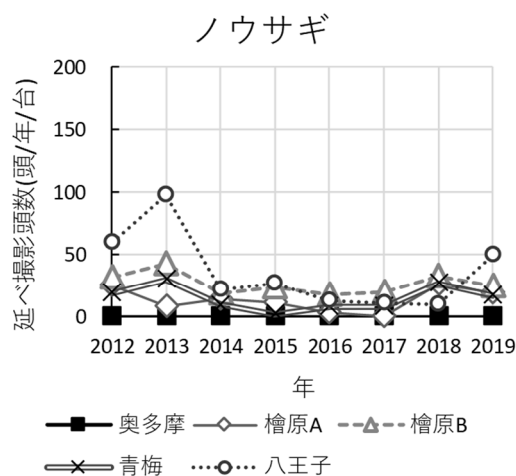
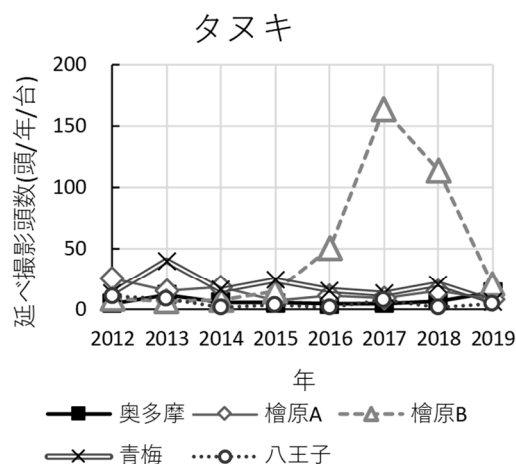
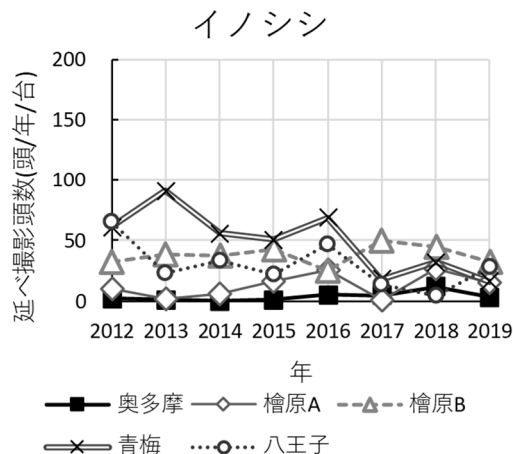
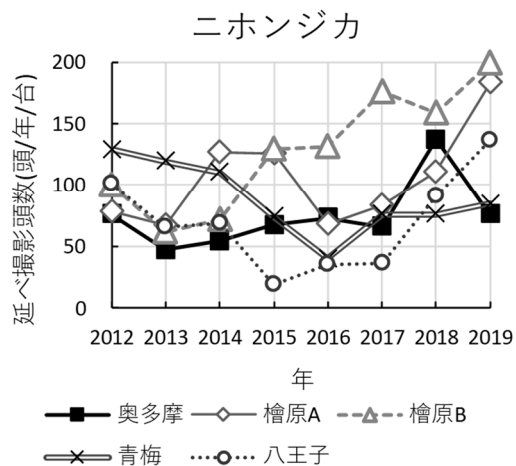


図-2. ニホンジカ、イノシシ、タヌキ、ノウサギの1台あたりの1年間の延べ撮影頭数の推移

Fig. 2 Changes in the total number of sika deer, wild boar, raccoon dog and Japanese hare photographed

檜原村2林地、青梅市1林地、八王子市1林地の再造林地に、奥多摩町では主伐を自粛しているため広葉樹林の1林地、計5林地において、各2〜3台配置した(図-1)。センサーカメラは、1度の検知で1秒ごとに3枚の静止画を撮影するように設定し、撮影検知の間隔は1秒とした。2012年1月1日から2019年12月31日までの8年間に撮影されたすべての野生動物について、センサーカメラ1台あたりの1年間の延べ撮影頭数を求めた。また、ニホンカモシカとツキノワグマの分布については、センサーカメラは、前述と同じモデルを用い、奥多摩町6林地、檜原村2林地、青梅市2林地、八王子市1林地、日の出町1林地の再造林地など計12林地において、各2〜4台配置した。2013年、2016年、2019年について各々1月1日から12月31日までの1年間の画像データについて1台あたりの1年間の延べ撮影頭数を求め、その分布図を作成した。

III 結果と考察

2012年1月1日から2019年12月31日までの8年間に撮影されたすべての野生動物について、1台あたりの1年間の延べ撮影頭数の5林地の平均値を表-1に示した。ニホンジカは93.3頭/年/台と最も多く、次いでニホンザル、イノシシ、タヌキ、ノウサギとなっていた。これに続くニホンカモシカは、7.8頭/年/台とニホンジカの1/10以下と少なかった。ツキノワグマは、1.6頭/年/台とニホンジカの1/50以下と極めて少なかった。イノシシは、撮影頭数が多かったが、被害は都内では稀(4)で、他県でも被害はほとんどない。

図-2に1台あたりの1年間の延べ撮影頭数の経年変化を示した。ニホンジカは、すべての林地で0頭/年/台になることはなく、変動しながら100頭/年/台前後で推移していた。これに対し、イノシシは奥多摩と檜原Aで0頭/年/台になる年もあり、かつ変動が少なかった。ノウサギもイノシシとほぼ同様の推移であった。一方、タヌキは、檜原Bのみ2017年と2018年に100頭/年/台以上と多数撮影されており、その画像や撮影時間から同一個体がテリトリー内を頻繁に往来して撮影された可能性が示唆された。タヌキによるシカ柵ネットの噛み切り被害について、タヌキの生息密度と被害量との関係は、明らかになっていない。今後、データの蓄積が必要である。

ニホンカモシカの分布の推移を図-3に示した。2013年は、檜原村、八王子市といった多摩の森林の南部においてニホンカモシカは1頭も撮影されなかった。その後、1頭も撮影されなかったエリアは狭まり、2019年には、南東部の八王子市までニホンカモシカの分布は拡大した。

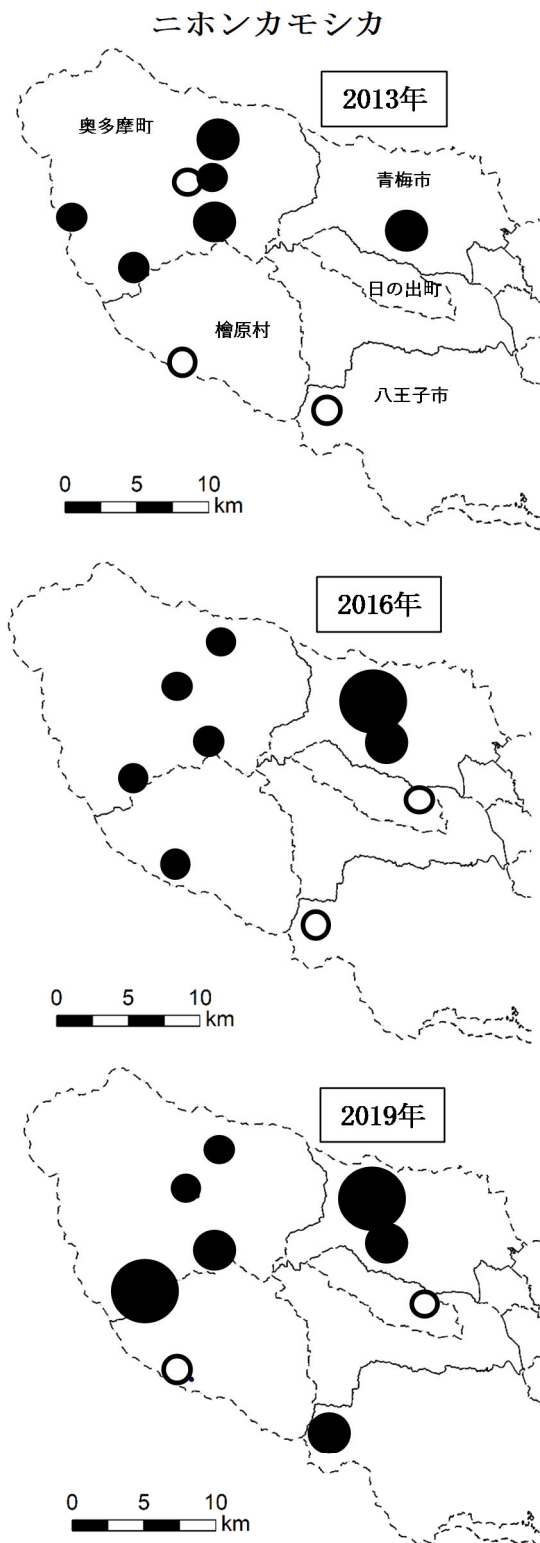
これまで、八王子市などの多摩の森林の南東部の植栽木被害は、ニホンジカによるものと思われていたが、今後はニホンカモシカの被害も混在するため、加害獣の判定には注意を要する。

ツキノワグマの分布は、図-4に示したように2013年は、多摩の森林のほぼ半分の南東部の広域で1頭も撮影されなかった。その後、ニホンカモシカと同様、撮影0頭のエリアは狭まり、2019年には、日の出町の1林地のみとなった。ツキノワグマの1台あたりの1年間の延べ撮影頭数は、ニホンジカの1/50以下と極めて少ないが、ツキノワグマは1頭でも1夜にして多数の成木の樹皮を剥ぐため、林業としての被害は甚大なものとなる。年による変動があると考えられるが、今後、多摩の森林の全域でクマ剥ぎ被害が生じると予測される。

謝辞: 本研究は、長年に渡り、都内の森林所有者の皆様、東京都森林組合をはじめとする事業者や森林・林業に携わる多くの皆様、東京都産業労働局農林水産部森林課、東京都森林事務所、東京都農林水産振興財団 花粉対策室、花粉の少ない森づくり運動、森の事業課、東京都農林総合研究センターなどの職員の皆様に多大なるご協力を頂いた。また、センサーカメラの画像解析は北村幸子氏に、英文は畑尚子氏にご協力頂いた。ここに感謝の意を表す。

引用文献

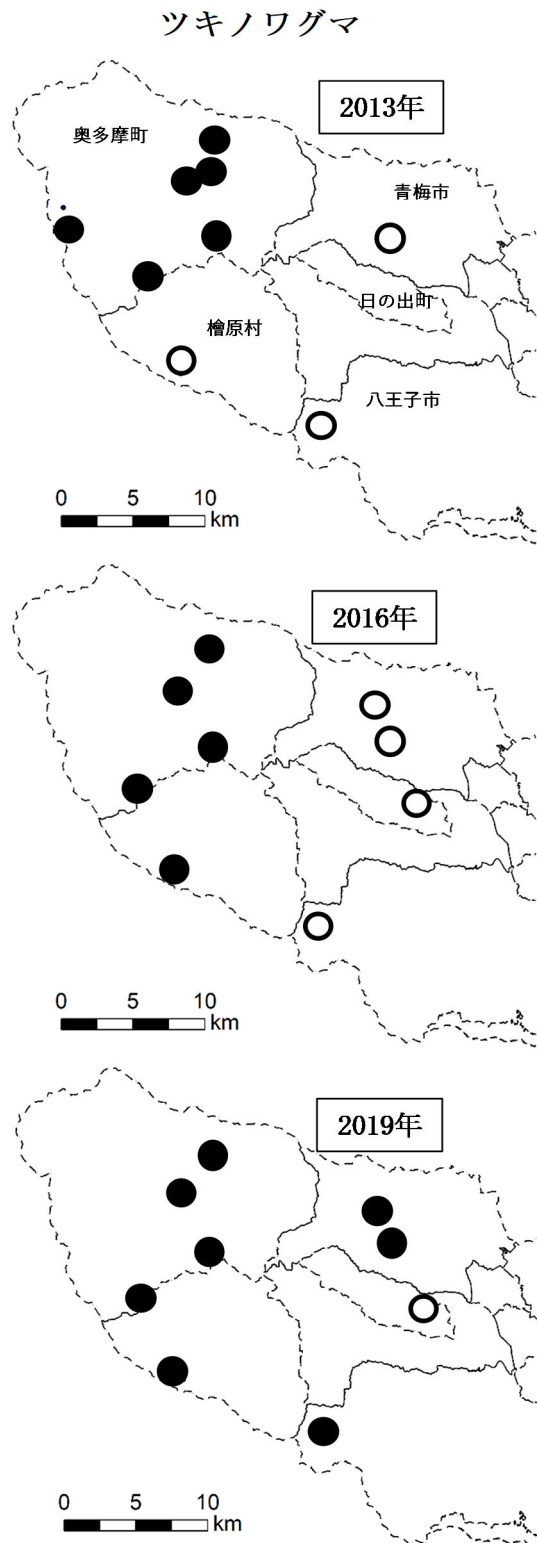
- (1) 新井一司・久保田将之 (2021) 東京都多摩地域の再造林地における野生動物の密度分布. 関東森林研究 72: 121-124
- (2) 新井一司・久保田将之・中村健一 (2022) 東京都多摩地域におけるシカ生息分布の推移. 関東森林研究 73: 125-128
- (3) 新井一司・中村健一 (2018) シカ生息密度が低下した東京都奥多摩町多摩川北岸域におけるシカ被害率の検証. 関東森林研究 69: 171-174
- (4) 新井一司・奈良雅代・中村健一 (2020) イノシシによる広葉樹被害と対策. 関東森林研究 71: 101-104
- (5) Hata S, Konishi S, Yoshioka S, Arai K, Mizoguchi Y (2018) Identification of origin of sika deer (*Cervus nippon*) in recently expanded habitat areas in Tokyo Metropolis based on mitochondrial D-loop sequences. 関東森林研究 69: 167-170
- (6) Hata S, Okazaki C, Konishi S, Yoshioka S, Kubota M, Arai K, Mizoguchi Y (2019) Detection of genetic segregation in sika deer (*Cervus nippon*) by tandem repeat variations in the mitochondrial DNA D-loop region. J For Res 24: 325-329



凡例
 延べ撮影頭数 ○ : 0.0 ● : 0.1~9.9
 ● : 10.0~19.9 ● : 20.0~頭/年/台

図-3. ニホンカモシカの分布の推移

Fig. 3 Changes in the distribution of Japanese serows



凡例
 延べ撮影頭数 ○ : 0.0 ● : 0.1~9.9頭/年/台

図-4. ツキノワグマの分布の推移

Fig. 4 Changes in the distribution of Asiatic black bear

街路のつる性植物における酵素糖化

瀬山智子¹・矢野薫穂¹¹東京農業大学地域環境科学部

要旨：街路に繁茂するつる性の植物に着目し、刈り取り後の有効利用を目的とした知見の一つとして酵素糖化の特性を検討した。近年、天然資源が再注目されるようになり、剪定や除去されたツルも廃棄物としてではなく資源としての利用が期待されている。本研究では、生育旺盛であり比較的入手も容易なつる性の植物であるヤブガラシ (*Cayratia japonica*) とヘクソカズラ (*Paederia scandens*) の2種類を用いた。いずれも東京農業大学の構内で採集し、水酸化ナトリウム水溶液による前処理の後、酵素糖化した。前処理の条件が濃度 3.0 M、処理時間 24 時間の時に最も高い遊離グルコース量が得られた。供試試料の2種類を比較すると、ヤブガラシから高い遊離グルコース量が得られたことから、酵素糖化のための原料として今後の利用が期待される。

キーワード：つる性植物、ヤブガラシ、ヘクソカズラ、酵素糖化、街路

Enzymatic saccharification of vine plants on the roadside

Tomoko SEYAMA¹, Yukiho YANO¹¹Faculty of Regional Environment Science, Tokyo University of Agriculture

Abstract: In this research, we attempted enzymatic saccharification for effective utilization of removed vines on the roadside. Recently, natural resources are attracting attention again and effective utilization are expected as resources not as wastes. In this research *Cayratia japonica* and *Paederia scandens* were used as samples because vine plants grow vigorously and are easy to obtain. These vine plants collected on the campus of Tokyo University of Agriculture were enzymatically saccharified after alkaline pretreatment. The pretreatment condition of 3.0 mol/l, 24 hours gave the best results in all the samples. Between the two samples, the higher level of free glucose content was obtained in the *Cayratia japonica*. In conclusion, removed vines on the roadside will be expected as a useful saccharification raw materials.

Keywords: vine plant, *Cayratia japonica*, *Paederia scandens*, enzymatic saccharification, roadside

I はじめに

つる性の植物は、生活の中に取り入れられ、観賞用やガーデニング等で用いられている一方で、様々な被害をおよぼす恐れもある。被害としては、市街地等の生活圏、林業等の産業およびその他の被害が挙げられる。市街地等では、トゲ等による傷害や道路標識や道路ミラーの隠蔽等による交通障害および街路樹等への被覆による生育阻害などがある。林業等の産業では、森林作業現場におけるツル巻きによる稚樹の生育不良や幹折れ等の被害がある。また、果樹園や茶園等への侵入被害等も報告されている(2, 3, 6, 7)。茶園においては、収穫時期に茶葉に混入すると、品質が低下するため除去する必要があるが、除草剤による防除が困難であるため、手作業で除草をしていることから多大な労力を必要とする。その他では、鉄道敷にも侵入する場合があります、列車の安全運行のため

だけでなく、周辺地域の土地利用と景観保全の観点から適切な雑草管理が望まれている(1)。

近年では、天然資源が再び注目されており、石油由来製品に代わる脱炭素化に貢献する製品の開発が進んでいる。また、マイクロプラスチックを減少させるために生分解性を付与した製品の開発も進んでいる。つる性の植物は、雑草と呼ばれることも多く、特に生育が盛んな夏季には上述したような被害も発生し、刈り取られたのちに破棄されていることから、このような天然資源を廃棄物ではなく、資源としてより有効に活用するための基礎的な方法の一つとして、本研究では、街路に繁茂するつる性の植物に着目して酵素糖化処理を試みた。酵素糖化によって得られるグルコースは、様々な方法によって多岐にわたる物質に変換するための出発物質にもなることから、幅広い用途が期待される。

ヤブガラシは、フェンスや宿主となる植物(物体)に巻きひげでつかまる特性がある(8)。沖縄県では、サトウキビ圃場における難防除雑草とされており、サトウキビの生育や収穫量に甚大な被害をおよぼしている。そのため、薬剤を用いた除草効果が研究されている(4)。ヘクソカズラは、複数の探索枝が絡み合って、1本の太い枝のような構造を形成する特性がある(8)。そこで、本研究では試料として、ヤブガラシ (*Cayratia japonica*) とヘクソカズラ (*Paederia scandens*) の2種類を用いた。

これら2種類のつる性の植物から高い遊離グルコース量を得るためには酵素糖化の効率を向上させる必要がある。基質となるセルロースなどの糖質成分を酵素が分解するためには、リグニンを除去しなければならない。よって、脱リグニンのための前処理として水酸化ナトリウム水溶液を用い、異なる条件を設定して最適な酵素糖化の条件を検討した。

II 材料と方法

1. 試料の採集 供試試料は、生育旺盛なつる性の植物の中で、ヤブガラシとヘクソカズラの2種類を用いた。いずれも、東京農業大学世田谷キャンパスの構内で採集した。2種類を比較すると、以下のような特徴が観察された。ヤブガラシの方が茎は太く、葉も厚みがあった。また、ヘクソカズラは、複数本の茎(つる)を絡めるように繁茂していた。

ヤブガラシは、ブドウ科のつる性の多年草(図-1)であり、ヘクソカズラは、アカネ科のつる性の多年草(図-2)である。

2. 実験方法

2.1 供試試料

採集したヤブガラシとヘクソカズラは、風乾した後に50℃で乾燥させた。乾燥後、葉と茎は分けずにハサミで細かく切断した後にワンダーブレンダーで粉砕し、20～80メッシュのふるいにより粒径を調整した。なお、使用まで室温下で保管した。

2.2 アルカリ前処理

各試料は、固液比が5%になるように水酸化ナトリウム水溶液により前処理した。水酸化ナトリウム水溶液の濃度は、0.1M、1.0Mおよび3.0Mとし、処理期間を24時間(1.0Mと3.0M)と3週間(0.1Mと1.0M)とした。短期間での前処理効果を期待して、24時間の条件を設定し、1.0Mの濃度では処理期間を比較するために24時間と3週間の処理期間を設定した。なお、処理期間中は、室温下、静置とした。

処理後は、遠心分離により上清を除去した後に、純水

または0.1Mの塩酸を用いて中和した。中和後、純水により洗浄し、再び遠心分離によって上清を除去した後に、残渣を凍結乾燥させて酵素糖化处理に供した。



図-1. 大学構内のヤブガラシ

Fig. 1 A photo of *Cayratia japonica* in Setagaya campus of Tokyo University of Agriculture



図-2. 大学構内のヘクソカズラ

Fig. 2 A photo of *Paederia scandens* in Setagaya campus of Tokyo University of Agriculture

2.3 酵素糖化

以下の3種類の酵素を混合して用いた。

Cellulase “ONozuka” RS (2%, ヤクルト薬品工業株式会社), Cellulase from *Trichoderma reesei* (24 μl/ml, SIGMA), β-Glucosidase (0.01%, SIGMA)

上記の濃度になるように、3種類の酵素を0.05Mクエ

ン酸緩衝液 (pH 5.0) に溶解させ、固液比が 5% となるように混合酵素溶液を試料に加えて反応させた。試料として、未処理と前処理のヤブガラシとヘクソカズラを用い、コントロールとして、酵素溶液の代わりに純水を用いて反応させた。

なお、反応条件は、50 °C、24 時間とし、振とう条件は 70 往復/分とした。また、酵素糖化反応の繰り返し回数は 3 回である。

2.4 遊離グルコースの定量

酵素糖化処理後の試料は、ヒートブロックを用いて酵素を失活させた。その後、遠心分離により上清を回収し、ろ過 (ADVANTEC, 孔径 0.22 µm) により夾雑物を除去したのちに遊離グルコースの定量へ供した。

遊離グルコースの定量には、GOD 法 (グルコース CII-テストワコー, 富士フィルム和光純薬株式会社) を用い、呈色反応による 515 nm の吸光度を測定した。グルコース CII-テストワコーに付属のグルコース標準液を用いて検量線を作成し、試料 1 g 当たりの遊離グルコース量 (mg) を算出した。また、Tukey 検定を用いて有意差を求めた。なお、 $p < 0.01$ とした。

2.5 ホロセルロースの定量

アルカリ前処理後の試料におけるホロセルロースを定量した。濃度 3.0 M、処理時間 24 時間の条件で処理した試料を用いた。試料 50 ± 2 mg を精秤し、20 % 亜塩素酸ナトリウム溶液を 20 ml 加え、温浴 (76~78 °C) で 30 分間反応させた。その後、さらに 20 % 亜塩素酸ナトリウム溶液 1 ml を 4 回に分けて加え、各反応時間は 30 分間、45 分間、45 分間、45 分間とした。反応終了後に、1 % 酢酸溶液を 5 ml 加えて反応を停止させ、放冷した後に吸引ろ過によりホロセルロースを回収した。なお、吸引ろ過には、予め恒量を求めたガラスフィルターペーパー (GFP) を用いた。ホロセルロースを回収した GFP も同様に恒量を求め、差し引き法によってホロセルロース量を算出した。また、t 検定により有意差求めた。

III 結果と考察

本研究では、街路におけるつる性植物に着目し、ヤブガラシとヘクソカズラの 2 種類を用いて刈取り後の有効利用の一つとして酵素糖化を試みた。

得られた遊離グルコース量の結果を図-3 に示した。いずれの試料においても、酵素を用いることによって酵素を用いない条件よりも有意に高い遊離グルコース量を得た。また、酵素有の各試料間における統計解析の結果を記号で示した。なお、異なる記号間で有意差が認められた。

1. アルカリ前処理 アルカリ前処理において、短期間と長期間の各処理期間でそれぞれ 2 種類の濃度を用いた。いずれの処理期間においても濃度が高い方がより高い遊離グルコース量が得られた。脱リグニン等の効果が高く、効率良く糖質成分が分解されたためと考えられる。

また、1.0 M に着目すると、長期間の方が高い遊離グルコース量が得られたことから、同じ濃度でも、長期間処理することによって、組織の内部へ浸透し、脱リグニン等の効果が向上したと考えられる。特に、季節による入手の偏りがある試料の場合には、年間を通しての安定した供給が課題であるため、長期間の前処理が有効となれば、保存期間中に同時に前処理が可能になると考えられることから、解決につながると期待される。

さらに、アルカリ処理をしていない未処理の試料からも遊離グルコースが得られたことから、ヘミセルロース等の酵素により分解されやすい成分に由来するのではないかと考えられる。

2. 植物種 ヤブガラシとヘクソカズラを比較すると、どちらも 3.0 M、24 時間の条件下における前処理の試料から高い遊離グルコース量が得られた。この条件下における前処理後のホロセルロース量を比較すると、表-1 よりヤブガラシは 66.4%、ヘクソカズラは 62.0% であった。ヤブガラシの方が有意に高い値であったことから、図-3 に示したようにヤブガラシの方がヘクソカズラよりも高い遊離グルコース量が得られたと考えられる。

表-1. ヤブガラシとヘクソカズラの前処理 (3 M, 24 hrs) 後のホロセルロース量

Table 1 Holocellulose ratio of *C. japonica* and *P. scandens* after pretreatment (3 M, 24 hrs)

	ホロセルロース量 (%)	
	平均値	標準偏差
ヤブガラシ	66.4	2.41
ヘクソカズラ	62.0	2.26

* $p < 0.05$ (T-test)

本研究で検討したアルカリ前処理条件において、2 種類の試料に共通して得られた遊離グルコース量は、3.0 M、24 時間、1.0 M、3 週間の順で高かった。1.0 M、24 時間と 0.1 M、3 週間では、ヤブガラシとヘクソカズラで反対の傾向を示したことから、植物の組織構造等における細胞の大きさ、細胞同士の疎密さおよび細胞壁の厚さ等の違いによる試薬の浸透特性と考えられる。1.0 M、24 時間処理のヤブガラシと 0.1 M、3 週間のヘクソカズラにおいて有意差が認められなかったことから、使用する試薬

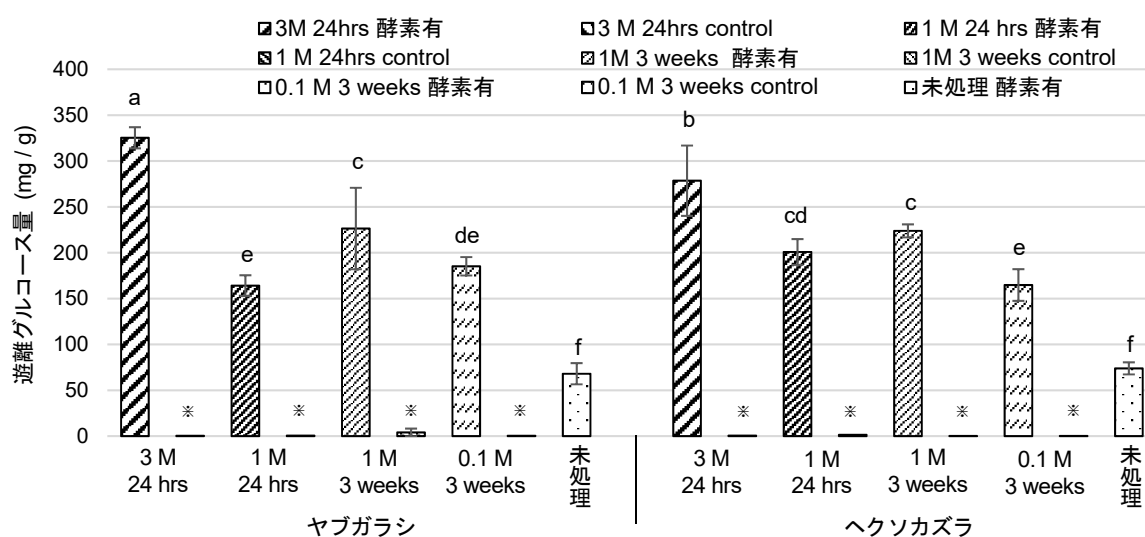


図-3. ヤブガラシとヘクソカズラのアルカリ前処理後の酵素糖化における遊離グルコース量 (平均値±標準偏差)

※ 異なる記号間で有意差あり ($p < 0.01$), * は control を示す

Fig. 3 Amounts of free glucose from *Cayratia japonica* and *Paederia scandens* from enzymatic saccharification after alkaline pretreatment (mean±SD)

※ No significant difference between same letters ($p < 0.01$), *: control

量等を考慮すると、この条件においては、ヘクソカズラが有効であると考えられる。

IV おわりに

本研究では、街路におけるつる性の植物の活用方法を広げることを目的に、基礎的な知見の一つとして酵素糖化特性を検討した。ヤブガラシとヘクソカズラを用いてアルカリ処理後の酵素糖化により、最も高い遊離グルコース量が得られた条件は、ヤブガラシの 3.0 M, 24 時間処理の時であった。筆者らは、フジとクズの酵素糖化において、木化したフジを 1.0 M, 3 週間の条件下で前処理したときに最も高い遊離グルコース量が得られることを明らかにした(5)。本研究で得られた最も高い遊離グルコース量の方が高い値だったことから、木化したフジにおいても同様に短期間処理における遊離グルコース量の値が高くなると期待される。近年では、天然資源が注目されていることから、廃棄物としてではなく資源としての利用が期待されている。本研究で用いたヤブガラシもヘクソカズラも、入手しやすく、繁茂することにより除去に困っている植物である。さらに、河川堤防に群生する野草に着目して畜産的な活用方法についても研究されており、農薬や化学肥料を全く使用しない畦畔の野草をもっと有効利用すべきとの提案もある(9)。今後、様々な利用方法を模索することによって、天然資源の価値が高まることが期待される。

引用文献

- (1) 阿部拓也・栗林健一・露木寿・小笠原勝 (2012) 東日本における鉄道敷の雑草植生. 雑草研究 57: 159–163
- (2) 市原実・外側正之・芳賀一 (2020) 静岡県内における茶園周縁部の植生および茶摘採面上の蔓性雑草の発生実態. 雑草研究 65: 114–117
- (3) 小畑兼男 (1987) 茶園雑草防除の現状と問題点. 雑草研究 32: 1–6
- (4) 大城篤・比屋根真一・高江洲賢文・照屋寛由・仲村伸次・宮里政朗・仲里富雄 (2011) クロロピクリンの深層土壌処理によるヤブガラシ類根茎の防除. 沖縄県農業研究センター研究報告 5: 16–19
- (5) 瀬山智子・鈴木康平 (2022) つる性植物の酵素糖化. 関東森林研究 73: 141–144
- (6) 鈴木邦彦・広瀬和栄・河瀬憲次 (1988) カンキツ園における除草剤に関する研究 III 広葉多年生雑草の防除. 果樹試験場報告 15: 21–34
- (7) 鈴木邦彦 (1992) 栽培技術の変遷に伴う雑草群落の変化-樹園地-. 雑草研究 37: 195–203
- (8) 種子田春彦・鈴木牧・井上みずき・森英樹 (2019) のびる、つかまる、つながる-つる植物の多様な生態と多様な研究-. 日本生態学会誌 69: 63–70
- (9) 米田佐知・岡本一志 (1998) 未利用野草の有効利用に関する研究. 高知県畜産試験場研究報告 17: 67–72

関東・中部地域のスギ・ヒノキ・カラマツ人工林における材積枯損量・材積枯損率

西園朋広¹・細田和男¹・福本桂子²・山田祐亮¹・鄭 峻介¹・北原文章¹・高橋正義¹・志水克人¹・小谷英司¹・齋藤英樹¹

¹森林総合研究所・²森林総合研究所四国支所

要旨：人工林固定試験地データを用いて、材積枯損量・材積枯損率を定量的に把握した。枯損量・枯損率の両者において樹種差が認められ、枯損量はスギに比べてヒノキで小さく、枯損率はスギ・カラマツに比べて、ヒノキで小さかった。また、両者の値は間伐の影響を強く受け、無間伐区で大きかった。枯損量・枯損率に対する林齢の影響をみると、全ての樹種で無間伐区の枯損量は高齢で増加したが、その他の場合では樹種により傾向が異なっていた。

キーワード：材積枯損量、材積枯損率、スギ・ヒノキ・カラマツ人工林、固定試験地

Volume mortality in planted forests of cedar, cypress and larch in Kanto and Chubu regions, Japan

Tomohiro NISHIZONO¹, Kazuo HOSODA¹, Keiko FUKUMOTO², Yusuke YAMADA¹, Shunsuke TEI¹, Fumiaki KITAHARA¹, Masayoshi TAKAHASHI¹, Katsuto SHIMIZU¹, Eiji KODANI¹, Hideki SAITO¹

¹Forestry and Forest Products Research Institute, ²Shikoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute

I はじめに

枯死木の発生は林分の純成長量を低下させ、林分レベルの成長量に対して負の影響を与える(1)。したがって、林分の成長動態や収穫予測に関する研究において、枯損の発生量を把握・予測することは重要なトピックである。また、林分の枯損量・枯損率はプロセスベースの炭素循環モデル・植生モデルにおいて重要な要素の一つである(2,3)。しかし、わが国の主要な林業樹種について、実証的な長期データに基づいて枯損の発生を分析した報告は数少なく、現実林における枯損量・枯損率についての情報が不足している。そこで、本研究では、枯損発生に関する知見を得るための第一段階として、関東・中部地域のスギ・ヒノキ・カラマツ人工林固定試験地を対象に、材積枯損量・材積枯損率を定量的に把握した。

II 材料と方法

1. 試験地 資料として、関東森林管理局および中部森林管理局管内のスギ・ヒノキ・カラマツの収穫試験地等固定試験地のデータを用いた。両管理局管内のすべての試験区から、①植栽樹種以外の混交が著しい、②幹曲りその他の被害が著しい、③調査回数が著しく少ない試験区を除外し、残った102試験区のデータ(4)を解析に用いた。樹種別の内訳はスギで28(うち無間伐区が8)、ヒノキで50(同15)、カラマツで24(同8)試験区である。スギ試験区における林分構成値のデータ範囲は、林齢で

5～102年、平均直径で2.6～53.7 cm、平均樹高で2.59～36.1 m および本数密度で377～4509 本/ha であった。ヒノキ試験区における林分構成値のデータ範囲は、林齢で8～112年、平均直径で2.34～44.9 cm、平均樹高で2.63～29.0 m および本数密度で417～4818 本/ha であった。カラマツ試験区における林分構成値のデータ範囲は、林齢で6～85年、平均直径で2.34～40.6 cm、平均樹高で3.10～31.4 m および本数密度で275～2851 本/ha であった。

2. 解析方法 各試験区の連続する2回の調査のデータを用いて年平均の材積枯損量 M ・材積枯損率 R_M を次式のように求めた。

$$[1] \quad M = V_{M,1,2} / (t_2 - t_1)$$

$$[2] \quad R_M = M / \overline{V_{1,2}}$$

ここで $V_{M,1,2}$ は2回の調査の間(調査期間)に発生した枯損材積 (m^3/ha)、 t_1 と t_2 は調査期間の期首と期末の林齢(年)、 $\overline{V_{1,2}}$ は期首材積と期末材積の平均値 (m^3/ha) である。間伐個体は計算から除外した。[2]式は調査期間中に平均的な林分材積の何割が枯損するかを示している。

各試験区を樹種・間伐の有無に基づいて分類して、分類ごとに枯損量・枯損率の差を調べた。また、林齢の影響を調べるために、林齢40年で試験区を分類して、枯損量・枯損率の差を調べた。

III 結果と考察

材積枯損量・材積枯損率の統計量を表-1～3に示す。

材積枯損量はスギに比べて、ヒノキで小さかった (Steel-Dwass test, $p<0.01$, 表-1)。カラマツでは他樹種と差が無かった ($p>0.05$)。材積枯損率はスギ・カラマツに比べて、ヒノキで小さかった ($p<0.01$)。各樹種について間伐区と無間伐区で材積枯損量・材積枯損率の値を比較すると (表-2・3 の「全ての林齢」), 全ての樹種で無間伐区の値が大きかった (Mann-Whitney U test, $p<0.05$)。各樹種の間伐区・無間伐区について若齢と高齢で材積枯損量を比較すると, 間伐区ではヒノキで高齢の値が大きかったが (Mann-Whitney U test, $p<0.05$, 表-2), スギ・カラマツでは差が無かった。無間伐区では, 全ての樹種で高齢の値が大きかった ($p>0.05$)。各樹種の間伐区・無間伐区について若齢と高齢で材積枯損率を比較すると, 間伐区ではスギでは差が無かったが ($p>0.05$, 表-3), ヒノキ・カラマツで若齢の値が大きかった ($p<0.05$)。無間伐区では, ヒノキで高齢の値が大きかったが ($p<0.05$), スギ・カラマツでは差が無かった ($p>0.05$)。

以上をまとめると, 材積枯損量・枯損率において樹種差が認められ, 枯損量はスギに比べてヒノキで小さく,

表-1. 各調査期間で得られた材積枯損量・材積枯損率の統計量

	材積枯損量 ($\text{m}^3/\text{ha}/\text{年}$)	材積枯損率 (%/年)
スギ (n=211)	1.272 (0.331)	0.271 (0.078)
	2.048, 0, 10.4	0.439, 0, 2.572
ヒノキ (n=358)	0.685 (0.055)	0.141 (0.032)
	1.526, 0, 14.13	0.302, 0, 3.343
カラマツ (n=164)	0.756 (0.222)	0.305 (0.131)
	1.246, 0, 8.259	0.514, 0, 3.922

上段は平均値 (中央値)、下段は標準偏差・最小値・最大値を示す。

表-2. 各調査期間 (n=773) で得られた材積枯損量 ($\text{m}^3/\text{ha}/\text{年}$) の統計量

	間伐区			無間伐区		
	全ての林齢	林齢1~40年	林齢40年以上	全ての林齢	林齢1~40年	林齢40年以上
スギ	0.687 (0.122)	0.492 (0.039)	0.834 (0.279)	2.744 (2.003)	1.728 (1.049)	4.166 (3.893)
	1.308, 0, 8.6	1.167, 0, 7.152	1.393, 0, 8.6	2.739, 0, 10.4	2.063, 0, 8.608	2.965, 0, 10.4
ヒノキ	0.352 (0)	0.314 (0.054)	0.365 (0)	1.476 (0.813)	0.647 (0.105)	2.019 (1.549)
	1.062, 0, 14.13	0.57, 0, 2.511	1.187, 0, 14.13	2.081, 0, 13.11	1.205, 0, 5.48	2.348, 0, 13.11
カラマツ	0.52 (0.05)	0.595 (0.079)	0.415 (0)	1.25 (0.84)	0.954 (0.653)	1.778 (1.807)
	1.196, 0, 8.259	1.411, 0, 8.259	0.802, 0, 4.166	1.214, 0, 5.152	1.039, 0, 3.885	1.347, 0, 5.152

上段は平均値 (中央値)、下段は標準偏差・最小値・最大値を示す。林齢として期首と期末の平均林齢を用いた。

表-3. 各調査期間 (n=773) で得られた材積枯損率 (%/年) の統計量

	間伐区			無間伐区		
	全ての林齢	林齢1~40年	林齢40年以上	全ての林齢	林齢1~40年	林齢40年以上
スギ	0.142 (0.044)	0.172 (0.045)	0.12 (0.042)	0.596 (0.448)	0.57 (0.355)	0.633 (0.466)
	0.302, 0, 1.924	0.396, 0, 1.924	0.205, 0, 1.186	0.551, 0, 2.572	0.576, 0, 2.572	0.523, 0, 2.073
ヒノキ	0.086 (0)	0.116 (0.027)	0.076 (0)	0.273 (0.185)	0.217 (0.091)	0.31 (0.228)
	0.253, 0, 3.343	0.205, 0, 1.077	0.268, 0, 3.343	0.363, 0, 2.171	0.378, 0, 1.837	0.351, 0, 2.171
カラマツ	0.235 (0.029)	0.324 (0.064)	0.109 (0)	0.452 (0.36)	0.485 (0.36)	0.394 (0.36)
	0.549, 0, 3.922	0.688, 0, 3.922	0.192, 0, 0.779	0.397, 0, 1.678	0.447, 0, 1.678	0.289, 0, 1.001

上段は平均値 (中央値)、下段は標準偏差・最小値・最大値を示す。林齢として期首と期末の平均林齢を用いた。

枯損率はスギ・カラマツに比べて、ヒノキで小さかった。また, 両者の値は間伐の影響を強く受け, 無間伐区で大きかった。枯損量・枯損率に対する林齢の影響をみると, 無間伐区の枯損量は高齢で増加したが, その他の場合では樹種により傾向が異なっていた。本研究で報告した材積枯損に関する統計量は炭素循環モデル(3)等におけるパラメータ設定の参考資料としての活用が期待される。また, 本研究では材積枯損量に着目したが, 本数枯損量の把握も重要であり, 両者の関連や差異を明らかにする必要がある(2)。さらに, 枯損の要因について十分に検討できなかった。これらについては今後の課題としたい。

謝辞: 森林総合研究所の橋本昌司博士と鳥山淳平博士には炭素循環モデルにおける枯損量・枯損率の重要性をご教示頂いた。感謝申し上げます。

引用文献

- (1) 西園朋広ら (2008) 秋田地方のスギ人工林における林分材積成長量の経年推移. 日林誌 90: 232-240
- (2) Bertini G et al. (2019) Quantifying tree and volume mortality in Italian forests. For Ecol Manage 444: 42-49
- (3) Toriyama J et al. (2021) Estimating spatial variation in the effects of climate change on the net primary production of Japanese cedar plantations based on modeled carbon dynamics. PLoS One 16: e0247165
- (4) 細田和男 (2013) 森林継続調査法によるスギ, ヒノキおよびカラマツ人工林の炭素固定量の評価に関する研究. 岩手大学博士論文, 136pp

林業経営における AHP 分析の検討 ―学生へのアンケート調査を事例として―

齋藤州生・鈴木崇元・佐藤孝吉¹¹ 東京農業大学地域環境科学部

要旨：森林の伐採は林業経営に大きく影響を与える重要決定事項である。その実施方法や実施時期については、当該の林分の状況において経営者の判断するところが多い。その決定過程に学生が参加することにより、林業経営に対する興味や理解が向上するのではないかと考えた。そこで、東京農業大学の学生 114 名に対し、林業経営の興味と森林の伐採方法を代替案、林分の状態を評価基準として AHP 法によるアンケート調査を実施した。調査の結果、林業経営の興味と代替案との関係に矛盾がみられ、全体像の理解を促すことが先決ではないかと考察した。

キーワード：AHP 法、林業経営、森林の伐採、アンケート調査

Examination of AHP analysis in forestry management:
A case of a questionnaire survey of students

Kunio SAITO, Takamoto SUZUKI, Takayoshi SATO¹¹ Faculty of Regional Environment Science, Tokyo University of Agriculture

I はじめに

林業経営において、森林伐採は重要決定事項であり、収益やその後の管理に大きな影響を与える。しかしながら、実施方法や実施時期については、それぞれの林分の状況において経営者の判断するところが多い。その決定過程に学生が参加することにより、学生の林業経営に対する理解が向上し林業への参加へと展開するのではないかと考えた。

そこで、東京農業大学の学生に対し、林業経営に対する興味と森林の伐採を代替案、林分の状態を評価基準として AHP 法によるアンケート調査を実施し、AHP 法の有効性について検討することにした。

II 調査方法・分析方法

回答者の参加形態を想定し、林業に対する興味を問う選択肢を①造林、②伐採、③加工、④計画、⑤活用、⑥その他とし、林業経営との関わり方を問う選択肢を①施業の実施者（実施）、②木材の消費者（購入）、③情報やボランティア（サポート）、④その他とし、回答者の独立要因とした。

森林の伐採は、明瞭な理解と容易な回答を考慮して、代替案を①主伐、②間伐、③何もしないとし、評価基準を①収益性、②環境保全、③作業の容易性とした。評価基準および代替案をもとに AHP 法による森林伐採の実施値を計算し従属要因とした。実施値は、代替案および評価基準の対比較による 5 段階の対比較で、それぞ

れの指針（3, 2, 1, 1/2, 1/3 の重み付けをしたもの）を乗じて計算した。

代替案の指針×評価基準の指針＝代替案の実施値

調査は、2022 年 6 月～7 月に実施した。森林計画学および森林資源育成学の講義中に、それぞれ 37 名 67 名、合計 113 名に対して実施した。興味ある事業や参加したい事業への無回答者 10 名を除いて計算し、有効回答数は 103 名となった。

III 調査結果

1. 興味ある事業ごとの指標 興味ある事業ごとに集計した結果を表-1 に示す。全体の傾向は、代替案では、「何もしない（1.03）」に対する指標が最も高く、続いて「間伐（0.99）」、「皆伐（0.98）」となった。評価基準は「作業」、「コスト」、「環境」となり、作業の容易性を考慮して「何もしない」を選択する傾向を確認した。

興味のある事業については、最終消費者と関係の強い分野である活用（43）や加工（22）が多く、造林（13）、伐採（12）、計画（10）など生産者への興味は少なかった。興味のある事業ごとの実施値は、計画において「間伐」への回答が多く、「何もしない」への回答は「加工」や「伐採」が多かった。

2. 参加したい事業ごとの指標 参加したい事業ごとに集計した結果を表-2 に示す。参加したい事業は、「実施

(36)」、「購入 (35)」、「サポート (27)」となり、実際の活動への回答が多かった。サポートに興味がある回答者は、「間伐 (1.10)」への傾向があり、「実施 (1.05)」と「購入 (1.09)」は「何もしない」を選択する傾向がみられた。

IV 考察

AHP 法による回答により代替案やそれぞれの評価基準が明確になり、全体の傾向を把握することができた。しかしながら、興味のある事業や参加したい事業で回答者を分類すると矛盾点がみられた。例えば、木材を利用

する「加工」に興味のある場合は、森林伐採について「何もしない」への回答が多く、木材の利用への展開が困難と思われる点、伐採に興味がある場合に「何もしない」への回答が多かった点、参加事業において実施に興味がある回答者が「何もしない」の傾向があるなどである。

このような矛盾を考慮すると AHP 法は全体の把握をする上では有効と思われるが、それぞれの関連付けが不十分であり全体としての理解を高めることが必要であると結論付けた。

表-1. AHP法による興味のある事業ごとの林分の伐採指標									
		係数						%	
興味のある事業 (n)	代替案	実施値	作業	コスト	環境	作業	コスト	環境	
1 造林	皆伐	0.98	0.35	0.25	0.38	35.44	25.25	39.31	
	13: 間伐	0.95	0.34	0.24	0.37	35.93	25.16	38.91	
	何もしない	1.08	0.40	0.26	0.42	36.72	24.56	38.71	
2 伐採	皆伐	0.94	0.36	0.27	0.31	37.97	28.55	33.48	
	12: 間伐	0.96	0.36	0.27	0.32	38.14	28.56	33.29	
	何もしない	1.10	0.42	0.33	0.36	37.71	29.94	32.36	
3 加工	皆伐	0.88	0.35	0.21	0.32	40.14	23.68	36.18	
	22: 間伐	0.92	0.38	0.22	0.33	40.70	23.87	35.43	
	何もしない	1.19	0.49	0.29	0.42	41.27	23.96	34.77	
4 計画	皆伐	0.90	0.38	0.21	0.31	42.50	23.39	34.10	
	10: 間伐	1.10	0.45	0.26	0.38	41.33	23.75	34.92	
	何もしない	1.00	0.42	0.23	0.34	42.57	23.07	34.36	
5 活用	皆伐	0.98	0.39	0.25	0.34	40.07	25.49	34.44	
	43: 間伐	1.01	0.41	0.26	0.34	40.77	25.75	33.48	
	何もしない	1.01	0.40	0.27	0.34	40.11	26.40	33.49	
6 なし	皆伐	1.17	0.52	0.28	0.38	43.90	23.96	32.14	
	3: 間伐	1.04	0.47	0.26	0.31	45.08	24.81	30.11	
	何もしない	0.79	0.34	0.19	0.26	43.17	24.25	32.59	
全体	皆伐	0.98	0.39	0.24	0.34	40.00	25.05	34.94	
	103: 間伐	0.99	0.40	0.25	0.34	40.33	25.32	34.36	
	何もしない	1.03	0.41	0.26	0.35	40.26	25.36	34.38	

表-2. AHP法による参加したい事業ごとの林分の伐採指標									
		係数						%	
参加したい事業(n)	代替案	実施値	作業	コスト	環境	作業	コスト	環境	
1 実施	皆伐	0.98	0.41	0.23	0.34	41.39	23.83	34.78	
	36: 間伐	0.96	0.40	0.23	0.33	41.44	24.03	34.53	
	何もしない	1.05	0.44	0.26	0.35	41.56	24.79	33.65	
2 購入	皆伐	0.98	0.36	0.27	0.35	36.69	27.29	36.03	
	35: 間伐	0.93	0.35	0.25	0.33	37.14	26.90	35.96	
	何もしない	1.09	0.41	0.30	0.39	37.26	27.10	35.64	
3 サポート	皆伐	0.86	0.35	0.22	0.29	40.96	25.16	33.88	
	27: 間伐	1.10	0.46	0.28	0.36	41.66	25.83	32.52	
	何もしない	1.04	0.43	0.27	0.35	41.25	25.58	33.17	
4 なし	皆伐	1.11	0.41	0.25	0.45	37.41	22.16	40.42	
	5: 間伐	0.93	0.35	0.21	0.37	37.71	22.92	39.38	
	何もしない	0.97	0.39	0.21	0.37	40.51	21.52	37.97	
全体	皆伐	0.98	0.38	0.24	0.36	39.11	24.61	36.28	
	103: 間伐	0.98	0.39	0.24	0.35	39.49	24.92	35.60	
	何もしない	1.04	0.42	0.26	0.36	40.15	24.75	35.11	

東京農業大学奥多摩演習林における間伐材のログベンチ利用

佐藤孝吉¹

¹ 東京農業大学地域環境科学部

要旨：木質の内装や什器が、公共施設には多く使用されるようになってきている。本論文では、東京農業大学奥多摩演習林の間伐材を活用し、世田谷キャンパスに導入したログベンチの作成過程とその特徴を確認した。トレーサビリティを調査することは、垂直的な産業の連携を強化して、効率的な木材利用に寄与すると考えられる。大学演習林から産出された木材を活用した場合は、森林と木質空間を結ぶ身近な学生の教材としても機能し、森林再生可能な資源利用がイメージしやすいと考えた。

キーワード：東京農業大学奥多摩演習林，ログベンチ，トレーサビリティ

Log-bench utilization by thinning log at Okutama Practice Forest of Nodai

Takayoshi SATO¹

¹ Faculty of Regional Environment Science, Tokyo University of Agriculture

I はじめに

サントリー天然水の森東京農業大学奥多摩演習林プロジェクトで、2021年11月に奥多摩演習林で間伐された素材は、東京都森林組合奥多摩事業所によって搬出、運搬された。東京農業大学教育後援会の寄付によってログベンチが計画された。素材は、東京都森林組合奥多摩加工所によって製材され、東京都森林組合檜原加工所によって加工・組立されたものが、世田谷キャンパスに30脚搬入された(図-1)。本稿では、このログベンチがどのような過程で作成されたのか。その物流と情報流を確認し、森林経営の視点から考察する。

ログベンチ作成には材料と時期のマッチングが必要で、その過程は、素材の生産と素材の利用の2つに分けることができる。生産側では間伐計画及び実施、間伐による素材の搬出、利用側では利活用可能な素材や施設、設置計画およびその予算の有無である。

II ログベンチ用素材の生産

1. 間伐と素材生産 奥多摩演習林における間伐の実施は、東京都森林組合奥多摩事業所の作成した森林経営計画に基づき2148小班“9番”スギ43～59年生で行われた(表-1)。まず、伐採作業道の計画を立て、先行伐採と作業道作成が実施された。先行伐採された材は作業道の崩壊防止のためののり面に施工された。間伐木は、本数で30%となるように選木された。選木の基準を、不良木の除去と林分内の径が均一になるようにしたため、

不良な小径木とともに大径木が選択された。

2. 素材の搬出と販売 伐採は、残存する立木や伐採木の損傷が少なく、作業道からの素材搬出を考慮して、チェーンソーにより実施された。伐採木は、グラブで搬出され、4mを基本として造材が行われた。径級15cm未満は、林内に残し、15～20cmはチップ材、20cm以上は、1)作業道土留め、2)研究用、3)ベンチ用、4)素材市場へ出荷となった。3)、4)の素材は4tトラックで中間土場まで運搬した。林内の残材は、土壌侵食防止および素材の流出防止のため、伐根などに固定して横設置するなどの措置をした(I)。2,415本(材積438m³)の立木のうち724本(131m³)が伐採され、98.4m³(伐採材積の75%)が搬出された(図-2)。

III ログベンチ用素材の利用

1. 作成の経緯と形状 演習林の間伐材を活用することが前提条件であったため、搬出された素材の形状や伐採量を考慮し、類似した品物を参照してログベンチが提案された。その設計をもとに材料とする素材が確保された。特に屋内で使用することを予定していたので防腐注入や保護塗料などを塗布せず、無垢のまま作成することとなった。ログベンチの形状は、長さ140cm、高さ40cmである。天板は、厚み10cm、幅15cm程度の板2枚を1cmの間隔をあけて設置され、合わせて30cm程の幅になっている。脚部は、幅20～26cm、長さ25cm、高さ15cmの太鼓状の丸太が2つ積み重ねられていて、ベンチ

全体の高さがちょうど 40 cm になるように加工されている。ログベンチの使用木材の材積を推定すると、天板が 1.260 m³ (140 cm×10 cm×15 cm×2 枚×30 脚)、脚部が 1.587 m³ (23 cm×23 cm×25 cm×4 本×30 脚) で合計使用材積は 2.847 m³ となった (図-2)。

2. 素材の製材 東京都森林組合奥多摩加工所では、設計図をもとに、曲がりや腐れがない長さ 4 m の素材が、ベンチ用として選別された。その中でも特に形質の良いものを天板用として 15 本 (1 本から長さ 140 cm で 4 枚の天板を作成)、脚部用として 8 本 (1 本から長さ 25 cm のものを 16 本)、合計 23 本程度の素材が使用された。素材の材積は 10.3 m³ であり、長級が 4 m とすると、末口の径級は約 32 cm と推測した。素材は、まず水圧式の道具により樹皮を除去された。厚みの仕上がりは、天板用が 10 cm、脚部用が 15 cm なので、加工や乾燥による収縮を 1 cm ぐらいと想定し、天板用素材を 11 cm、脚部用素材を 16 cm の厚みで太鼓状に帯鋸で縦引き製材された。天板用は、一方に丸みがありさらに幅が約 15 cm となるように製材された。製材品は、東京都森林組合檜原加工場に、3 t 車 1 台で運搬された。

3. 加工と組み立て 東京都森林組合檜原加工所で、製材品がベンチへと加工された。天板材は長さ 140 cm、脚部材は 25 cm に丸鋸で切断された。次に切断された製材品は 10 日間 (1 日 8 時間を 5 日間、合計 2 週間かけて) かけて人工乾燥された。そして、天板用は 10 cm、脚部用は 15 cm の厚みに上下面がプレーナー仕上げされた。天板の直線状側面はプレーナー仕上げが行われ、天板では 1 面、脚部では 2 面の丸みのある部分は、ディスクグラインダー 120 番で研磨された。脚部にボルト設置用に径 3 cm、深さ 6 cm の穴を 2 か所、さらにボルトの下穴として直径 0.8 cm の穴がつけられた。脚部材は、安定を考慮して太めの径のものを下部にして、細めのものを上部に選別した。上部脚部材と天板材が径 1 cm で長さ 15 cm のコーチスクリューボルトで固定された。同様に下部脚部材と上部脚部材の連結が径 1 cm、長さ 18 cm のコーチスクリューボルトで行われた。スギ板 (横 7.5 cm、縦 15 cm) に寄付者をレーザー加工して印字した。そのスギ板がログベンチの脚部に貼り付けられた。作成したログベンチをトラックおよびバンの 2 台で東京都森林組合檜原加工所から東京農業大学世田谷キャンパスに運搬された。運搬したログベンチがサイエンスポートへ搬入された。

IV ログベンチ利用による効果

ログベンチ利用による効果は、通常の間伐による効果として、林分保育、森林資源の充実、CO₂ の固定、土壌

浸食防止、災害に強い森づくりなど、間伐材利用による効果として、間伐材販売による収益、資源利用 (地域経済活性化、資源利用)、そして、教育的効果として森林、林業、林産業の理解向上と考察した。具体的な効果については今後の課題である。

謝辞： 調査にあたりご協力いただいた東京都森林組合、東京農業大学奥多摩演習林にこの場を借りてお礼申し上げます。

引用文献

(1) 東京農業大学奥多摩演習林 (2022) 奥多摩演習林年報第 2 号: 14-15

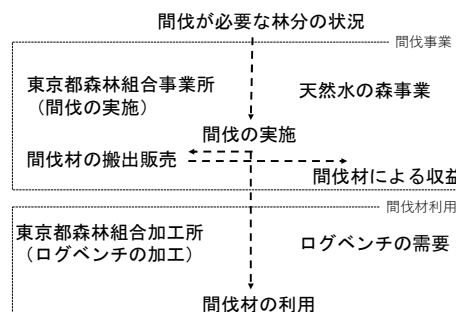


図-1 間伐および間伐材ログベンチ利用

表-1 間伐および間伐材林分の情報 (2021年11月)

項目	林分単位	haあたり	ログベンチ割合
間伐面積	1.15 ha	1.00 ha	0.12 ha
成立本数	2,415 本	2,100 本	253 本
蓄積	438 m ³	381 m ³	46 m ³
伐採本数	724 本	630 本	76 本
間伐後の成立本数	1,691 本	1,470 本	177 本
搬出材積	98.4 m ³	85.6 m ³	10.3 m ³

東京都森林組合の間き取り調査をもとに作成した

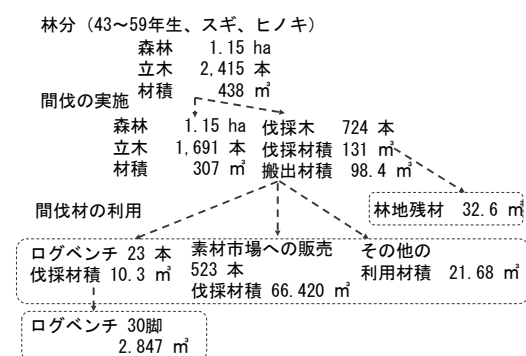


図-2 間伐材ログベンチの物流

ブナ苗木の被陰処理と根揚げによる成長抑制効果

伊藤幸介¹・塚原雅美¹

¹新潟県森林研究所

要旨：ブナ苗畑において、寒冷紗を用いた被陰処理及び根揚げ鉤を用いた根揚げがブナ実生苗の3年間の成長へ及ぼす影響について調査した。その結果、遮光率70%の被陰で成長が抑制され、30%では抑制されなかった。根揚げによる成長抑制効果は確認できなかった。

キーワード：ブナ、苗木、被陰、根揚げ、成長抑制

Growth retardation effect of shading and root pruning of beech seedlings

Kosuke ITO¹, Masami TSUKAHARA¹

¹ Niigata Prefectural Forest Research Institute

I はじめに

ブナ (*Fagus crenata*) は冷温帯における主要優占種であり、種苗の活用場が広い樹種の一つである。しかし、豊作が5～7年間隔で広域に同調して起こり、種子生産量の変動が著しく、その長期保存が難しいことから、豊作後の数年間は新たな種子の供給が期待できない。そのため、その間苗畑において苗木の流通適正サイズを維持することが、ブナ種苗の利用に関する技術的課題となっている(2)。

ブナ稚樹の成長は陽光下で良く、相対照度の低下に伴い苗高、根元直径などが減少する(3)。また、一般に、根の成長期に根が傷つくと、地上部の成長が減少し地下部が充実する傾向がある(1, 2)。そこで本研究では、ブナ種苗の継続的な生産システムを構築することを目的として、被陰処理及び根揚げがブナ苗木の成長に及ぼす影響について調査した。

II 材料と方法

1. 調査地 新潟県十日町市の苗木生産業者が所有するブナ苗畑(東経138°43', 北緯37°03', 標高338m)を調査地とした。最寄りのAMcDAS観測地点(十日町)の平年値(統計期間1991～2020)は、平均気温11.8℃、降水量2,537.0mmである。2011年秋期播種のブナ実生苗を供試個体とし、2012年6月～2015年10月の間、調査を行った。

2. 調査方法 被陰処理として、寒冷紗(ダイオクールホワイト, ダイオ化成)を用いて遮光率を30%、70%と

した被陰区と、全天条件(遮光率0%)の対照区を設定した。被陰処理は2012～2013年の6～9月に実施した。そして、被陰区及び対照区それぞれに、根揚げ鉤を用いて根揚げをした処理区と無処理区を設定した(図-1)。根揚げは、2012～2015年の各年1回、根の成長期である6～7月に行った。

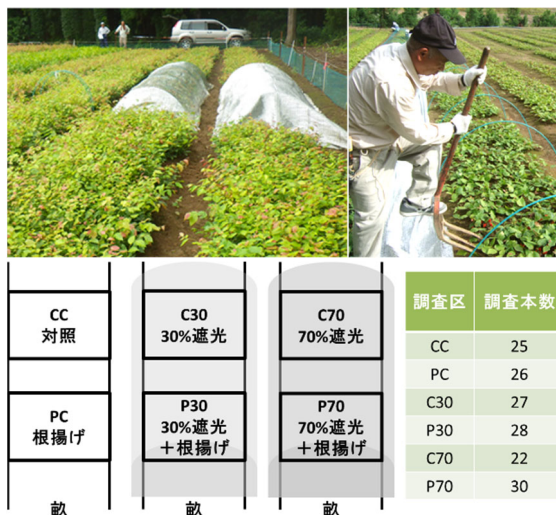


図-1. ブナ苗畑に設定した試験区の概要及び調査本数(写真右は根揚げの様子)

3. 調査対象 各試験区100～110本の苗木にナンバーテープを付し、2012～2014年の各年、秋期に苗木の苗長及び根元直径を計測し、12～15本を参考のため掘り取った。そして、4年生時の2015年10月に残り全ての苗木

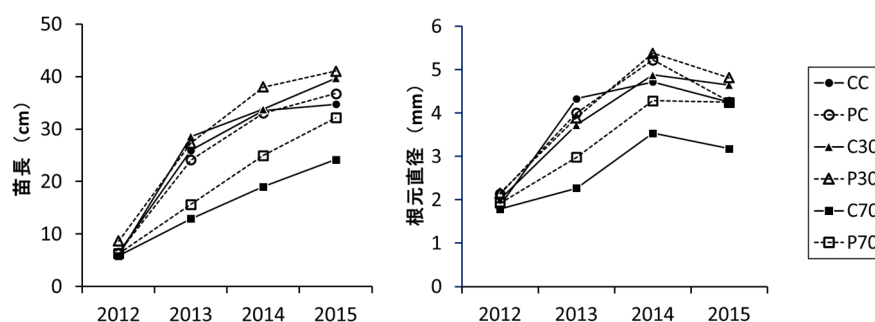


図-2. 調査区ごとの平均苗長（左）及び平均根元直径（右）の推移

表-1. 4年生時の苗木サイズ及び各器官の絶乾重量に及ぼす各処理の影響（GLM）

因子	根揚げ	被陰処理		切片	AIC
		30%	70%		
苗長	1.45	6.03*	-4.80	32.76***	1197.3
根元直径	0.20	0.56*	-0.33	4.01***	506.9
葉重量	0.13	0.42***	0.04	0.26**	205.2
枝幹重量	0.28	1.03**	-0.14	1.44***	584.2
根重量	0.42	1.73***	-0.42	2.63***	676.7

※根揚げは基準水準のなしに対する根揚げありの係数推定値
 ※被陰処理は基準水準 0%に対する 30%及び 70%の係数推定値
 ※有意水準：*** $p < 0.001$ ；** $p < 0.01$ ；* $p < 0.05$

を掘り取り、苗木の苗長、根元直径及び葉、枝幹、根の絶乾重量を計測した。なお、本研究における調査対象は 2012～2015 年まで計測を継続した苗木とした。各調査区の本数は図-1 に示した。

4. 解析 被陰処理及び根揚げが 4 年生時の苗木サイズ及び各器官の絶乾重量に及ぼす影響について、一般化線形モデル（GLM）を構築して評価した。応答変数は 4 年生時の苗長、根元直径及び葉、枝幹、根の絶乾重量とし、応答変数の従う確率分布は正規分布とした。説明変数は根揚げ（なし、あり）及び被陰処理（0%, 30%, 70%）とした。link 関数は identity とした。統計解析には、R version 4.2.1 を使用した。

III 結果と考察

各試験区における 3 年間の成長を比較すると、遮光率 70%の被陰区及び根揚げ区において、苗長及び根元直径の成長が抑制される傾向があった（図-2）。しかし、遮光率 30%の被陰区及び根揚げ区では、苗長及び根元直径の成長抑制効果が低く、2015 年に対照を上回った（図-2）。

4 年生時の苗木サイズ及び各器官の絶乾重量への各処理の影響について、GLM の係数推定値から、被陰処理において基準水準の 0%に対し、30%で正の影響が認められた（表-1）。

表-2. ブナ苗木の枯死数と生残率

調査区（略称）	調査本数	枯死本数	生残率（%）
対照区（CC）	25	0	100
根揚げ区（PC）	26	0	100
30%遮光区（C30）	27	1	96
30%遮光＋根揚げ区（P30）	28	0	100
70%遮光区（C70）	22	3*	86
70%遮光＋根揚げ区（P70）	30	1	97

※3本中2本の苗木が2012年の根揚げ時に埋まりその後枯死を確認

調査期間中の生残率は、30%被陰区、70%被陰区、70%被陰及び根揚げ区で一部枯死が見受けられたものの、全体の生残率は 8 割以上であった（表-2）。

被陰処理及び根揚げがブナ苗木の成長へ及ぼす影響について調査した結果、遮光率 70%で苗長及び根元直径が低く推移したが、4 年生時のサイズへの成長抑制効果は確認できなかった。一方で、遮光率 30%では成長促進効果が確認された。また、根揚げによる成長抑制効果は確認できなかった。すべての処理区で枯死のリスクが低かったことから、ブナ苗木が低い枯死率を維持しつつ、成長抑制効果を得るためには、被陰処理における遮光率、実施時期及び期間、そして、より影響力の高い根揚げの方法を検討する必要がある。

引用文献

- (1) 海老原満・垂水秀樹・片岡寛純 (1992) ブナ苗の成長に及ぼす根系切断の影響. 日林論 103: 451-452
- (2) 塚原雅美・松本麻子・金谷整一・西川浩己・吉丸博志 (2011) ブナ苗の成長期における根系切断の影響. 日本森林学会大会発表データベース 第 122 回日本森林学会大会: 482
- (3) 橋詰隼人 (1982) ブナ稚苗の生育と陽光量との関係. 鳥大農研報 34: 82-88

千葉県におけるヒノキの個体別雄花着生状況と雄花生産量の関係

福島成樹¹

¹千葉県農林総合研究センター森林研究所

要旨：ヒノキの花粉飛散量を予測する手法を開発するため、千葉県内のヒノキ 109 個体の雄花着生状況と、3 か所のヒノキ林における雄花生産量の 10 年間のデータを比較した。雄花着生状況と雄花生産量との相関は、個体によるバラツキが大きかった。雄花生産量との決定係数は、109 個体全体では 0.600 であったのに対し、相関係数が 0.5 以上の 36 個体では 0.857 と高い値を示し、雄花生産量との相関が高い調査個体を選ぶことにより、より少ない調査本数で精度よく雄花生産量を予測できる可能性がある。

キーワード：ヒノキ花粉症、花粉飛散量予測、雄花トラップ、雄花着生指数

Relationship between individual male flower setting and male flower production of Hinoki cypress trees in Chiba Prefecture
Shigeki FUKUSHIMA¹

¹Chiba Prefectural Agriculture and Forestry Research Center, Forestry Research Institute

I はじめに

ヒノキ花粉は、スギ花粉とともに花粉症の原因となる。近年の東京都の花粉飛散量を見ると、ヒノキの花粉飛散量は、年によってはスギ花粉の量を超えて飛散することもあり(1)、スギ花粉と同様に飛散量の予測情報が求められている。現在、ヒノキについてもスギと同様に雄花着生状況の観測による予測手法の開発が進められているが、ヒノキの雄花はスギに比べて発達が遅く見にくいいため、より効率的な予測手法が求められている。今回は、これまでの 10 年間の調査結果を基に、観測木を減らして予測精度を上げる方法について検討したので報告する。なお、本報告の一部は、林野庁補助事業「花粉発生源対策推進事業」により実施した。

II 方法

1. 雄花着生状況調査 千葉県内のヒノキ林に 11 か所の定点観測林を設置し、雄花が見やすい林縁木を対象に予測情報提供時期の 12 月に望遠鏡等を使用して雄花の着生状況を観測し指数化した。指数化には、調査事業で使用している 4 段階の暫定基準(表-1)を用いた。観測林の標高は約 50~280 m、林齢は約 20~105 年生である。観測本数は観測林 1 か所当たり 10 個体以上としたが、解析にはこの内の 2012~2021 年の 10 年間継続して観測できた 109 個体の着花データを使用した。

2. 雄花生産量調査 定点観測林 3 か所(山武市 2 か所、木更津市 1 か所)の林内に、直径約 40 cm の雄花トラップを 10 基設置し、3~7 月に林内に落下する雄花を 5 月と 7 月の 2 回に分けて回収して 1 m² 当たりの乾燥重量を算出し、これを雄花生産量とした。調査林の標高は約 40~60 m、林齢は 50~60 年生である。解析には、雄花着生状況調査に対応する 10 年間のデータを使用した。

表-1. 雄花着生状況の判定区分と指数

着生度	判定	着生状態	指数
A	非常に多い	どこを見てもほとんどの部分に着花小枝がある。	100
B	多い	着花小枝が多い。ないところもある。	50
C	少ない	着花小枝があまりない。探してやっと見つかる。	10
D	ない	着花小枝が見当たらない。極めて少しかある。	0

注) 指数は雄花の着生量を想定して調査事業の中で暫定的に定めたもの

III 結果と考察

1. 雄花着生状況調査 図-1 に 109 個体の 10 年間の雄花着生状況の指数の変化を示した。図から、調査個体には毎年雄花を多く着ける個体と、ほとんど雄花を着けない個体があることが分かる。10 年間の指数の合計値の頻度分布は、図-2 のように 500 以下の個体が全体の 77 % を占め、最大は 950、最小は 0 とバラツキが大きかった。

2. 雄花生産量調査 定点観測林 3 か所の雄花生産量の変化を図-3 に示した。雄花生産量は 2018 年に 3 か所の観測林でいずれも最大値となった。2018 年は東京都でもヒノキの花粉飛散量が多かった年であり、年次変動には気象条件が影響している可能性がある。観測林ごとの年次変動の幅（最大値 / 最小値）は 14 倍から 34 倍と大きかったが、3 か所の雄花生産量の変動は概ね同調していた。そこで、3 か所の雄花生産量の平均値を、千葉県内の花粉飛散量を予測するための指標とした。

3. 雄花着生状況と雄花生産量の関係 雄花着生状況（指数）が 10 年間 0 であった 1 個体を除く 108 個体それぞれにおいて、10 年間の各年の指数と、3 か所の観測林の雄花生産量の平均値との相関係数を計算し、その頻

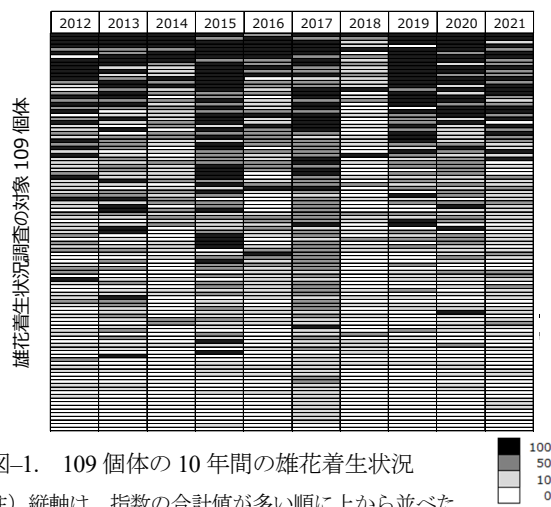


図-1. 109 個体の 10 年間の雄花着生状況
注) 縦軸は、指数の合計値が多い順に上から並べた

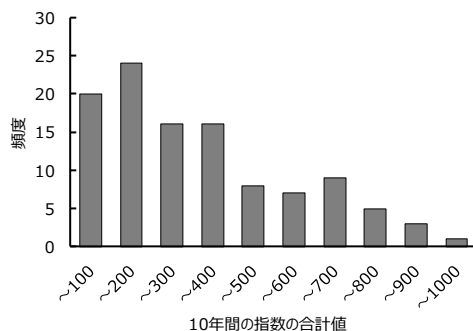


図-2. 109 個体の 10 年間の指数の合計値の頻度分布

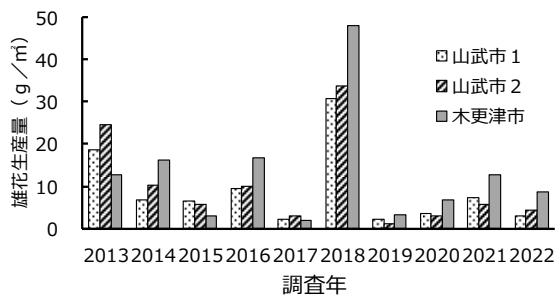


図-3. 3 か所の観測林における雄花生産量の変化

度分布を図-4 に示した。各個体の相関係数は、0 から 1 の範囲に広く分布しており個体によるバラツキが大きかった。そこで、109 個体全体の指数の合計値と、相関係数が 0.5 以上の 36 個体の指数の合計値について雄花生産量との関係を比較してみたところ、前者の決定係数は 0.600 であったのに対し、後者は 0.857 と高い値を示した。このことから、雄花着生状況（指数）と雄花生産量との相関が高い調査個体を選ぶことにより、より少ない調査本数で精度よく雄花生産量を予測できる可能性がある。

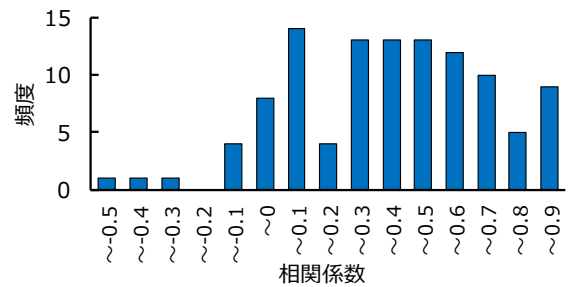


図-4. 10 年間の雄花着生状況（指数）と 3 か所の観測林の雄花生産量の平均値との相関係数の頻度分布
注) 雄花着生状況（指数）が 10 年間 0 であった 1 個体を除く 108 個体を対象とした

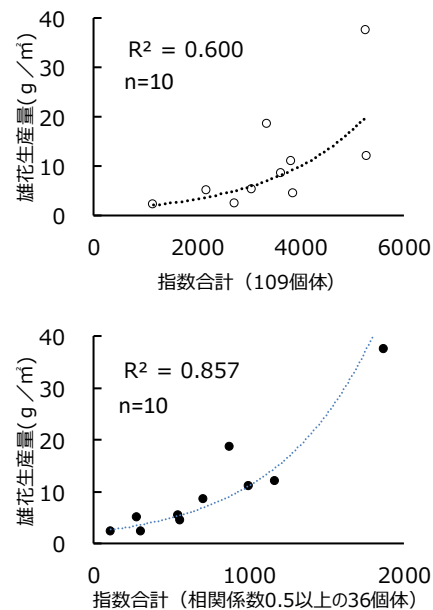


図-5. 109 個体の指数の合計（上）、相関係数が 0.5 以上の 36 個体の指数の合計（下）と 3 か所の観測林の雄花生産量の平均値との関係

引用文献

- (1) 東京都福祉保健局 (2022) 過去の花粉飛散数データ.
<https://www.fukushihoken.metro.tokyo.lg.jp/allergy/pollen/archhive/archive.html> (2022 年 10 月 19 日参照)

カメムシ防除袋の仕様がスギ採種木の夏季の枝温度に与える影響

室 紀行¹

¹ 埼玉県寄居林業事務所森林研究室

要旨：カメムシ吸汁害によるスギ種子の発芽率低下は枝の袋がけにより防除が可能だが、一方で袋がけは高温の助長により発芽率を低下させる。よって防除袋には害虫防除と高温抑制の両立が求められる。そこで異なる防除袋により4試験区を設定し、夏季の袋内最高枝温度を比較した。その結果、温度は袋の目合いサイズが大きいほど低かった。また寒冷紗により直射日光を遮断して袋内最高枝温度を比較した結果、遮光率が高いほど温度が低かった。以上より、枝温度の抑制には目合いが大きい防除袋の施用または寒冷紗による遮光が有効と考えられた。

キーワード：スギ、カメムシ、高温、防除袋、寒冷紗

The effect of protection bag types on temperature of *Cryptomeria japonica* twigs in seed orchard in summer

Noriyuki MURO¹

¹Saitama Prefecture Yorii Forestry Promotion Office Forest laboratory

I はじめに

スギ種子の発芽率を低下させる要因の1つに種子食性カメムシの吸汁害がある(1)。これはスギの枝を防除袋で覆うことにより防除が可能であり、各地の採種園で防除手法として採用されている(5)。一方最近の研究により、防除袋が夏季の高温環境を助長してスギ種子の発芽率を低下させる可能性が指摘されている(3)。したがってカメムシ対策の防除袋には、カメムシ吸汁害と高温環境の防除の両立が求められる。

そこで本研究では、目合いサイズの異なる袋資材と遮光率の異なる寒冷紗を使用し、各防除資材がスギ採種木の夏季の枝温度に与える影響を評価した。

II 材料と方法

1. 試験地 本研究は、埼玉県寄居林業事務所上原の採種園（埼玉県大里郡寄居町鉢形地内、標高120m）のスギミニチュア採種園で実施した。供試した採種木は12年生接ぎ木個体（高さ1.5mで断幹、クローンは多野2、南那須2、群馬4、群馬5および利根6）と5年生接ぎ木個体（高さ1.8mで断幹、クローンは西多摩2）である。

2. 防除袋の資材の比較 採種木4個体を利用して南面の枝を計40本選定した。3種類の異なる防除袋を各10本計30本の枝に施用し、他方10本の枝は防除袋を施用せず無処理区とした。施用した袋資材はポリエステル製

不織布袋（20cm×40cm、モリフジ有限会社製、以下不織布袋）およびポリエチレン製ネット（目合い0.4mmと1.0mm、日本ワイドクロス株式会社製）を20cm×40cmの袋状に縫製したもの（以下0.4mm目、1.0mm目）である。各供試枝にはボタン型温度ロガー（株式会社KNラボラトリーズ製、以下ロガー）を直射日光が当たらないよう枝の下面に密着させて固定した。枝温度の測定期間は2022年8月16日から同年9月4日とし、測定間隔は30分とした。測定終了後、各供試枝について日あたり日照時間が1時間以上の観測日の日最高枝温度の平均値を算出し、Kruskal-Wallis検定およびSteel-Dwass検定による多重比較を行った。解析にはR ver.4.1.2を利用し、観測日の抽出には試験地から水平距離2.2kmの位置にあるアメダス観測点の日照時間データを利用した。

3. 寒冷紗の遮光率の比較 採種木4個体の周囲にFRP支柱各4本を打設して一辺約2mの正四角柱形の枠を設置し、その天井面、東側面、西側面、南側面を寒冷紗で覆った。寒冷紗の遮光率は、うち2本の採種木では70%、他方の2本では50%とした。また、寒冷紗を設置しない採種木を1個体選定した。遮光率70%で遮光した採種木から計10本、遮光率50%で遮光した採種木から計10本、遮光しない採種木から10本の供試枝を選定し、各々に不織布袋を施用した。前項と同様の方法で供試枝にロガーを設置し、温度測定と統計解析を行った。

III 結果

1. 防除袋の資材の比較 日あたり日照時間が1時間以上であった日は、観測期間20日間のうち12日間だった。12日間の測定データから算出した平均日最高枝温度に対するKruskal-Wallis検定の結果、処理区間に有意差が認められた($p=0.0001$)。Steel-Dwass検定による多重比較の結果、不織布袋と1.0mm目、不織布袋と無処理、0.4mm目と無処理との間で有意差が認められた(図-1)。

2. 寒冷紗の遮光率の比較 同様に算出した平均日最高枝温度に対するKruskal-Wallis検定の結果、処理区間に有意差が認められた($p<0.0001$)。Steel-Dwass検定による多重比較の結果、すべての組み合わせで有意差が認められた(図-2)。

IV 考察

防除袋の資材の比較の結果、袋の目合いが大きいほど最高枝温度が低いことが明らかとなった。よって夏季の採種木において枝温度の上昇を抑制するためには、目合いの大きい袋資材の施用が効果的であると考えられる。一方、丹原・井上(4)は0.6mm目合いより0.4mm目合いの袋でカメムシ幼虫の侵入防止効果が高かったことを報告している。すなわち、袋の目合いが大きいほどカメムシ幼虫の侵入頻度が増加し、その吸汁害により発芽率が低下することが予想される。このことから、スギ種子の発芽率を最大化する目合いサイズの選択のためには、温度環境およびカメムシ防除効果の両方について袋の目合いサイズとの関係の評価が必要であると考えられる。

寒冷紗の遮光率の比較の結果、遮光により最高枝温度を抑制することが可能であり、遮光率が高いほど最高枝温度が低いことが明らかとなった。このことから、不織布袋を施用した場合でも、寒冷紗の併用により枝温度上昇の抑制が可能であると考えられる。一方、久保田ら(2)はスギ種子の重量と1年生時の得苗率に正の相関があることを指摘している。また室(3)は、初夏から採種木を遮光率70%で被陰すると種子重量が低下することを報告している。これらのことから、寒冷紗による過度の遮光は苗木の得苗率の低下を引き起こす可能性が考えられる。

高温によるスギ種子の発芽率低下は、夏季に著しく高温になる関東内陸の平野部のみで報告されている。しかし、近年の気候変動を考慮すると今後より広範囲で同様の現象が発生する可能性がある。本研究で評価した両手法は、ともにスギ枝の高温環境を解消する管理手法の開発の一助となるかもしれない。一方で両手法ともに、高温環境とは別の種子および苗木生産の阻害要因を助長する可能性を持っている。両手法を種子生産事業に適用す

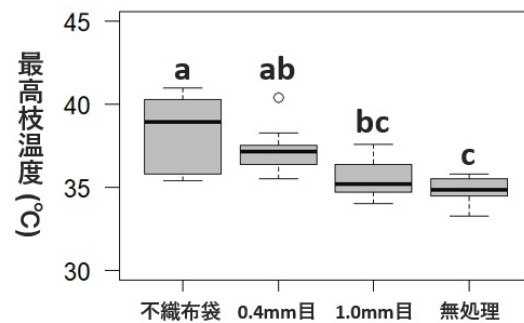


図-1. 異なる袋資材を施用した枝における夏季の最高温度の比較 符号を共有しない処理区間に有意差あり ($p<0.05$)。

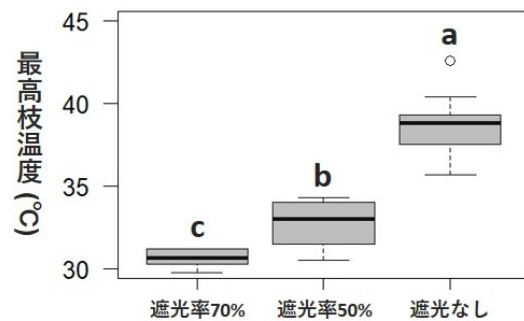


図-2. 異なる遮光率の寒冷紗と不織布袋を併用した枝における夏季の最高枝温度の比較 符号を共有しない処理区間に有意差あり ($p<0.01$)。

るためには、これらの要因をも考慮した最適な運用方法を確認する必要があるだろう。

謝辞：本研究の実施にあたり、埼玉県寄居林業事務所森林研究室の研究員および技術職員諸氏には有益な助言および現地作業の多大なる補助を賜った。ここに深く御礼申し上げる。

引用文献

- (1) 小林一三・横山敏孝 (1984) カメムシ類の加害によるスギ種子の発芽率低下. 林木の育種 133: 16-19
- (2) 久保田正裕・野口常介・吉村研介 (1990) スギの施設内交配における種子と苗木の生産性. 林木育種場研究報告 8: 79-91
- (3) 室紀行 (2022) 高温とカメムシ吸汁害がスギ種子発芽率に与える影響. 関東森林研究 73: 65-68
- (4) 丹原哲夫・井上悦甫 (1996) ヒノキ採種園でのカメムシの発生生態と防除. 岡山県林業試験場研究報告 13: 25-44
- (5) 吉野豊・谷口真吾 (1991) スギ採種園におけるカメムシ類による種子への加害. 日本森林学会誌 73: 460-465

深層学習を用いた培地上でのスギ花粉発芽の自動分類手法の検討

武津英太郎¹・長谷部辰高¹・花岡 創²

¹森林総合研究所林木育種センター・²森林総合研究所林木育種センター北海道育種場

要旨： 林木ジーンバンク事業における花粉を保存する工程の一つである発芽率測定効率化のため、現在は人間の目で行っている花粉発芽の有無の識別について深層学習を用いて自動化することを試みた。深層学習のフレームワークである YOLOv5 を用いて、花粉発芽の有無を識別したところ、モデルサイズによる精度の大きな違いは見られず、また、推論時の画像サイズが大きいほうが精度が高いことが示された。発芽率 (%) の実測値と深層学習による予測値との RMSE は、最良の条件で 2.21 ポイントとなり、ある程度の精度で発芽率を自動的に予測できることが示された。

キーワード： ジーンバンク事業、発芽検定、深層学習

Automatic classification method for Japanese cedar pollen germination on culture medium using deep learning

Eitaro FUKATSU¹, Tatsutaka HASEBE¹, So HANAOKA²

¹ Forest Tree Breeding Center, Forestry and Forest Products Research Institute; ² Hokkaido Regional Breeding Office, Forest Tree Breeding Center, Forestry and Forest Products Research Institute

I はじめに

林木ジーンバンク事業では、有用な育種素材として林木育種に貢献するものなどを中心に、「生物資源」として成体や種子、花粉での保存を行っている。花粉を保存する工程では、発芽検定により発芽率を測定しその結果をデータベースに記録するとともに、花粉の長期保存を行う。花粉の発芽検定では、発芽した花粉の割合を顕微鏡下で直接計測するか、写真に印刷して画像上で計測しており、いずれの計測でも人の目で花粉の発芽・未発芽を判断している。ジーンバンク事業を効率的に進めるためには、必要な個々の作業の効率化が必要であり、特に人間の目で判断している作業については深層学習を用いた効率化が可能ではないかと考えられる。深層学習は、近年発展が著しい手法であり、森林分野でもこれを利用した多くの報告がある（例えば、1）。本研究では、花粉の発芽検定の効率化を目的とし、花粉発芽試験の顕微鏡画像から深層学習を用いて発芽率の計測を自動化することを試みたので、その結果を報告する。

II 材料と方法

1. 発芽培地の作成と画像の取得 東北育種基本区でそれぞれ異なる遺伝子型をもつ 42 個体から収集されたスギ花粉 42 サンプルを対象とした。花粉は採取後、含水率を調整した。発芽培地はショ糖濃度 10%・寒天濃度 1% とし、プラスチックシャーレに作成した。各個体につき 1 培地とし、各培地上に綿棒で適量の花粉をまき、恒温

器で 25°C・48 時間でインキュベートした。光学顕微鏡（BX51, オリンパス, 日本）およびこれに設置されたデジタルカメラ（AxioCam ERc5s, ZEISS, ドイツ）を用いて、各サンプルにつき、複数枚の画像を取得した。これは、発芽数検定において、花粉の総カウント数が 100 個程度以上にするためである（4）。画像の取得枚数は、サンプルにつき花粉密度に応じて 1 から 4 枚（平均 2.95 枚）、合計 124 枚であった。取得した画像サイズは 1920 ピクセル×2560 ピクセルであった。

2. 注釈データの作成 各画像内に含まれる花粉を、発芽している花粉（発芽花粉）、発芽していない花粉（未発芽花粉）の 2 つのクラスに分類し、ソフトウェア LabelImg（3）を用いて花粉の位置およびクラスの注釈データを作成した。過去の報告（4）によれば、花粉管の長さが花粉の直径を越えた時に発芽花粉とカウントするとしているが、本報告ではそれに満たない場合でも、当該画像サイ

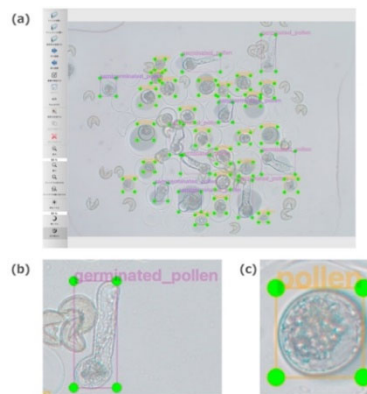


図-1. ソフトウェア LabelImg を用いた注釈データの作成例。(a)画像全体, (b)発芽花粉, (c)未発芽花粉

ズにおいて、花粉の外周の一部が盛り上がり花粉管が出現しているものは発芽花粉とカウントした。

2. 深層学習による画像の分類 深層学習を利用した物体検出の深層学習モデルを利用した統合フレームワークである YOLOv5 (<https://github.com/ultralytics/yolov5>) を用いた。サンプルをランダムに学習データセット、検証データセット、テストデータセットに等分割し、各セット 14 サンプルとした。各サンプルから取得された画像をそれぞれのセットに属する画像とした。推論時の画像サイズは 640 ピクセル、1280 ピクセルとした。モデルサイズは s から x までは比較した。バッチサイズは 16、エポック数は 1000 とした。学習および検証データセットを用いて、モデルを作成した。作成されたモデルを用いて、テストデータセットに対して物体検出を行った。物体検出の精度指標である mAP₅₀ (IoU50 における mean average precision, 2) により画像上での画像の検出精度の評価を行った。また、発芽率の推定精度を、実測値と予測値との間の二乗平均平方根誤差 (RMSE) により評価した。

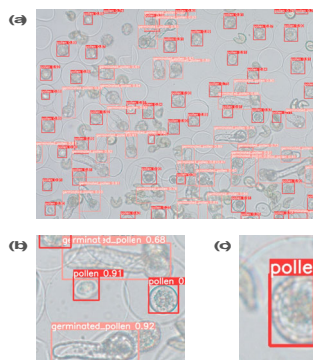


図-2. 花粉発芽の有無の推論の例。(a) 画像全体、(b) 花粉が重なっていて一部検出されていない例、(c) 画像の端でも推論された例。

III 結果と考察

1. 注釈データの作成結果 124 枚の画像から作成されたラベルの数は、発芽花粉は 1369、未発芽花粉は 4361 であった。注釈データの作成例を図-1 に示した。作成にあたっては、その一部が画像の端から切れているものについては注釈データを作成しなかった。

2. 深層学習による分類結果 mAP₅₀ は、どのモデルサイズ・画像サイズでも 0.9 を越え、最も高いものは画像サイズ 1280 ピクセル、モデルサイズ m で、0.943 であった。最も mAP₅₀ が小さかったのは、画像サイズ 640 ピクセル、モデルサイズ s で、0.923 であった。また、どのモデルサイズにおいても、画像サイズ 1280 ピクセルが高い mAP₅₀ を示した。図-2 に推論の例を示した。画像全体で花粉発芽の有無が推論されている (図-2a)。花粉が重

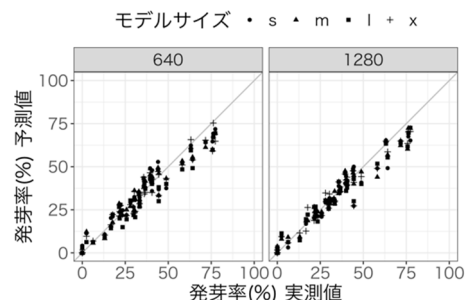


図-3. 画像ごとの発芽率の実測値と予測値との関係。テストデータセットに対する結果。パネルは推論時の画像サイズ (ピクセル) を示す。n=45。

なり、一部検出されない場合 (図-2b) が確認された。

発芽率の実測値と予測値との関係を図-3 に示した。発芽率の推定精度は、画像の端にかかって推論された花粉 (図-2c) を除く処理により精度が向上したため、この処理を行った。モデルサイズ m、画像サイズ 1280 ピクセルが最も優れた結果を示し、画像単位で RMSE が 4.06 ポイント、サンプル単位で RMSE が 2.21 ポイントとなった (表-1)。また、モデルサイズ s、画像サイズが 640 ピクセルの場合でもサンプル単位で RMSE は 3.91 と、5% 以下の誤差で発芽率が推定できることが示された。

IV おわりに

本報告において、深層学習を用いることにより、スギ花粉の発芽の有無についてある程度の精度で推定できることが示された。YOLOv5 は推論が高速であり、小さいモデルであれば動画に対してもリアルタイムに適用できることが知られている (2)。今後、顕微鏡下でリアルタイムに発芽の有無を推論するプログラムの開発や他樹種の花粉でのモデルの作成を進めることにより、事業的な発芽検定の効率化が可能になると考えられる。

引用文献

- (1) 花岡創 (2021) 畳み込みニューラルネットワークを用いた無人航空機 (UAV) 撮影画像からのトドマツ球果の検出. 日林誌 103: 372-377.
- (2) 杉山聡 (2022) 本質を捉えたデータ分析のための分析モデル入門. ソシム株式会社, 東京
- (3) Tzutalin (2015) Labelling Free Software: MIT License.
- (4) 生方正俊 (2003) 樹木花粉の取り扱い(III) -発芽率の調査方法と虫媒花粉の収集法-. 林木遺伝資源情報 21.

表-1. 発芽率の推定精度

実測値と予測値との間の RMSE を示した。

モデルサイズ	RMSE (ポイント)			
	画像単位		サンプル単位	
	640px	1280px	640px	1280px
s	5.26	4.68	3.91	3.03
m	5.01	4.06	3.63	2.21
l	4.57	4.57	3.32	3.04
x	4.54	4.42	3.04	2.34

斜面安定解析における側根効果の検討事例

岡田康彦¹・蔡 飛²・黒川 潮³¹ 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所・² 群馬大学理工学部³ 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所九州支所

要旨：根系は土塊底面のみならず側面でも抵抗力を発揮している。この効果を斜面安定解析モデルに導入するため、斜四角柱の左右に斜三角柱を加えた3ブロックでの分析を行った。ホフランド法にて試算したところ、側部ブロックの幅が小さいときに安全率も小さくなる問題が確認された。そこで、重量による成分は3つのブロック全体が斜四角柱であると仮定して算出し、根による粘着力成分は斜三角柱の側面に作用させて安全率を求めた。その結果は、簡易ヤンプ法の結果と概ね調和的であり、またブロック幅が15 m程度以上ではほぼ一定値に収束した。

キーワード：側根, 斜面安定, 表層崩壊

Examination of lateral tree-roots in the slope stability analysis

OKADA Yasuhiko¹, CAI Fei², KUROKAWA Ushio³¹ Forestry and Forest Products Research Institute; ² Gunma University;³ Forestry and Forest Products Research Institute Kyushu Research Center

I はじめに

斜面災害を防止軽減し国民の安全、安心確保に寄与するためには、山地の危険度を精度良く評価して、適切な対応を施す必要がある。特に表層の崩壊を対象にした場合には、樹木の根系が斜面を補強する効果をどのように見積もるのが極めて重要な課題となる。一方で、樹木根系が斜面を補強する効果は、その生長や施業の実施などもあり経年的に変化するためその評価は一筋縄ではない。また、ある時点での斜面補強効果を導入して分析するにしても、分析の簡便性を相当程度保った上で力学的にも整合する解を求めるためにどのようにして斜面安定解析に組み込むべきなのかという課題も残る。

根系は、根株の中心から拡がりをもって深さ方向に分布しており、大きくは鉛直根、水平根、射出根に分類される。最もシンプルな2次元の無限長斜面安定解析においては、崩壊土塊の底面における根系の効果のみを、土が発揮する粘着力成分 c_s と類似する成分 c_r としてせん断抵抗に加えた検討がなされる。しかしながら実際に斜面が崩壊する際は、側部で発生するせん断に対する根系の効果もその影響は大きいと推定される。既往研究として、崩壊土塊の滑落崖における側根の検討がなされた例もある(1)が、分析は、現実には想定不可能と思われる鉛直面での検討であり、また最上部の一面のみに留まっている。本報は、2次元無限長斜面安定解析が有する簡便性

というメリットは維持しつつ、側部で発揮される根系の効果をより正確に導入することを目的にして斜面安定の分析を実施した結果を報告する。

II 解析方法

斜面安定解析に側根効果を導入するため、解析対象ブロックモデルは斜四角柱の左右に斜三角柱を加えた形状とした(図-1)。D: すべり面の深さ(0.7 m)、 α : すべり面の傾斜(34.5度)、 β : 斜三角柱の側面のx軸に対する傾斜とし、可変の β はブロック全体の安全率が最も小さくなる値を採用することとした。土の内部摩擦角は34.5度、土の粘着力成分 c_s はゼロ、根系による粘着力成分 c_r は入力変数として種々の値を与えることとし、斜四角柱の底面および斜三角柱の側面で一定値とした。解析手法については、任意のすべり面形状に適用が可能となるホフランド法と簡易ヤンプ法(3)を対象に検討する。

III 結果と考察

ホフランド法を用いた場合の c_r とブロック幅の変化に対する β と斜面安全率の変動を調べた(図-2)。その結果、 c_r が0.8 kPaよりも小さい値を導入すると、ブロック幅が小さいときに β と安全率が小さくなる結果となった。これは、ブロック間で作用する力をゼロにしている、土塊の力とモーメントの釣り合いを満たしていないことに

より、砂質斜面では3次元解析の結果が小さく算出されるというホフランド法の課題の結果と考えられる。

この課題を解決するために、土塊の重量成分については、側部ブロックをなす斜三角柱を中央ブロックと同様に斜四角柱と仮定した（ただし、仮定した斜四角柱の体積は、中央ブロックと両側の斜三角柱の全体積と同等とする）。他方、 c_r は斜三角柱に作用させ、側部ブロックの傾斜 β を変化させて最小となる安全率を分析した。

c_r を1から5 kPaまで変化させたときの、ブロック幅に対する安全率の変化を図-3に示す。（なお、参考として、最もシンプルな2次元の無限長斜面での解析結果も合わせて示す。この場合は、ブロック幅の影響は受けないため、便宜的に、ブロック幅が20mの場所にプロットした。）また、3次元簡易ヤンプ法については、 β が90度に限りなく近づくときに安全率が最小になるため、ここでは、重量による成分を斜四角柱であると仮定して算出した β 値を代入したときの安全率を示した。全体として、 β に同じ値が与えられている、重量による成分を斜四角柱として算出した結果ならびに3次元簡易ヤンプ法の結果は概ね同様の値を示し、ホフランド法を用いた場合は、特にブロック幅が小さい場合にやや小さめの安全率となることがわかった。また、ブロック幅が15m程度以上になると、3者の解析結果に明瞭な差は認められず一定値に収束することがわかった。

表層崩壊は一般的に幅が10から15m程度であるとされる(2)。また、本研究で導入した、重量は斜四角柱として計算し根系の粘着力成分は斜三角柱に与えて安全率が最小となる β を採用した場合にブロック幅が15m程度以上で安全率がほぼ一定値を示した。これらに鑑み、森林流域のDEMデータを用いて樹木の経年変化（生長と伐採後の腐朽）を考慮した上で、さらに側根の効果を導入した斜面安全率のメッシュ計算を実施するに当たって、ブロック幅を15m程度と想定した解析を今後の実施課題として位置づける。

引用文献

- (1) 鏡原聖史・藤堂千景・岡崎啓祐・西脇博也・片岡沙都紀・澁谷啓 (2018) 樹木根系を考慮した自然斜面の安全性評価検討事例. 建設工学研究所論文報告集 60: 131–142
- (2) 小杉賢一朗 (2016) 実行雨量を用いた斜面崩壊発生危険度評価. 防災科学技術研究所研究資料 405: 75–82
- (3) 社団法人地盤工学会 (2006) 斜面の安定・変形解析入門—基礎から実例まで—. 社団法人地盤工学会, 東京, 338pp

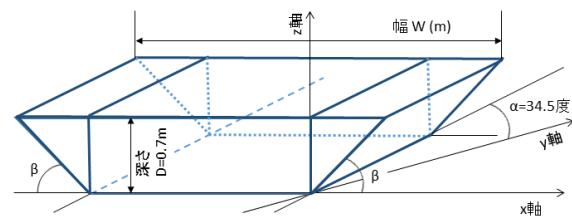


図-1. 側根の効果を検討するための斜面安定解析に使用したモデルブロック

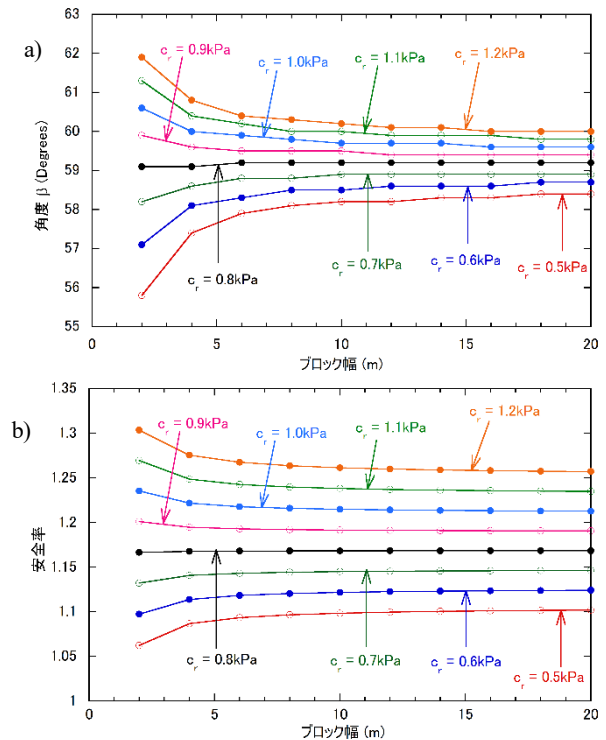


図-2. 根による粘着力成分 c_r およびブロック幅を変化させたときのホフランド法の解析結果. a) 角度 β , b) 安全率

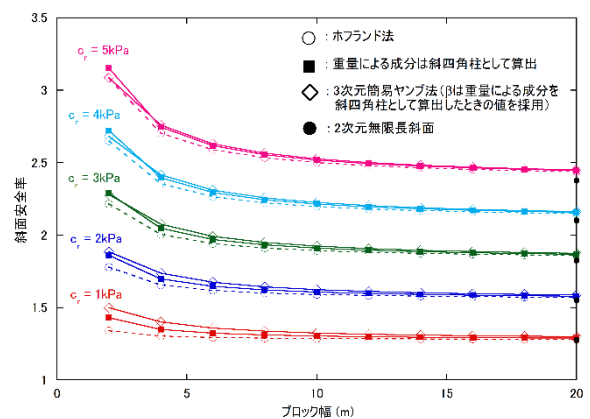


図-3. ブロック幅に対する斜面安全率の変化

作業道の簡易排水を用途とする粗朶の CT スキャンによる空隙計測

山口 智¹・小川泰浩¹・田中良明¹・鈴木秀典¹¹森林研究・整備機構 森林総合研究所

要旨：林道や作業道に設置する横断排水溝で使用する粗朶の材料として伐採木の枝条も考えられる。その際、空隙率が分かれば排水能力の設計に資することができる。そこで、比較対象としての割竹とともにヒノキ枝条を使用する粗朶の内部構造と空隙の状況を明らかにすることを目的として X 線 CT スキャンを実施し、得られた 3 次元画像から専用のソフトで個々の断面を抽出した。そして、画像ソフトのヒストグラムダイアログによって色ごとのピクセル数を判別して空隙率を算出し、既に行った他の簡易な測定方法による結果と比較した。

キーワード：作業道、簡易排水、粗朶、CT スキャン、空隙

Pore space measurement by CT scan of coarse twigs for simple drainage of skidding roads

Satoshi YAMAGUCHI¹, Yasuhiro OGAWA¹, Yoshiaki TANAKA¹, Hidenori SUZUKI¹¹Forestry and Forest Products Research Institute, Forest Research and Management Organization

I はじめに

林道や作業道の排水手段としてモウソウチクの割竹を束ねた竹粗朶を素掘に嵌合した横断排水溝を考案したが(2)、粗朶の材料として割竹ではなく伐採木の枝条も考えられる。そこで、枝条で比較的強度が高いヒノキの伐採木を用いた場合に空隙率が分かれば排水能力の設計に資することができる。そこで、比較対象としての割竹とともにヒノキ枝条を使用する粗朶の内部構造と空隙の状況を明らかにすることを目的として X 線 CT スキャンを実施し、スキャンによる立体映像をもとにした画像の解析を行い、既に行った簡易な測定方法による結果と比較した。

II 材料と方法

1. 調査対象 CT スキャンを行った材料は割竹を束ねて製作した竹粗朶と伐採され枝払いで出たヒノキの枝を束ねたヒノキ枝条粗朶である。これらは既報(1)の試験用にそれぞれ道路で使用する粗朶束から丸鋸で切り出し、切り出し後、改めて紐で結束した。切り出された粗朶の寸法は、ヒノキ枝条粗朶では、長さ 450 mm、周囲長 320 mm、割竹粗朶では、長さ 470 mm、周囲長 440 mm である。

2. 調査項目 X 線 CT スキャンで使用した装置は東芝 IT コントロールシステム株式会社製 TXS-34500FDμHS で、撮影条件は管電圧 140 kV、管電流 100 μA、ビュー数 2800 枚、積算枚数 3 枚、ゲイン 1 pF、露光時間 266 ms であった。X 線 CT スキャンの範囲は中心線から上下計

168.878 mm であった。

X 線 CT スキャンの結果は図-1 ように出る。この 3 次元画像を専用のソフト(myVGL)で個々の断面を抽出した。その例が図-2 である。断面における枝条や割竹は白っぽく表れ、空隙は黒く表れる。今回の試験体である粗朶の断面の形状が複雑であることから、寸法を各断面で測って面積を求めるのは困難である。そこで、画像を構成する個々のピクセルの数で判断することとした。

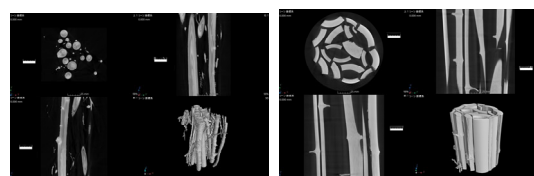


図-1. CT スキャンしたヒノキ枝条粗朶(左)と割竹粗朶(右)の 3 次元画像。スケールバーは 25 mm を示す。

Fig. 1 3D images of CT scanned cypress branch and strips (left) and split bamboo strips (right). Scale bar indicates 25 mm.

画像ソフト(GIMP)のヒストグラムダイアログで空隙のピクセルを判別して空隙率を算出した(図-2)。

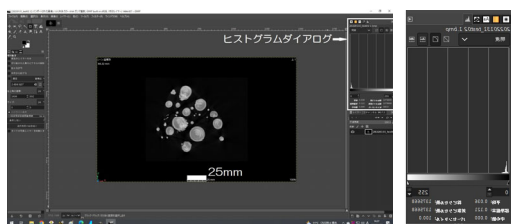


図-2. 3次元画像からとり出した断面の例（左）と拡大したヒストグラムダイアログ（右）

Fig. 2 Example of cross section from a 3D image (left) and enlarged histogram dialog (right)

粗朶の境界は、枝条や割竹をひもで結束された状態であることから、枝条や割竹を最短で外周した曲線と定義した。外周させる対象物にストランド構造で判別できるひもは含めないこととし、境界の内部にあるものはそのままとした。境界の外側を Windows 付属の Microsoft Paint のトリミング機能で除去することで設定した例が図-3である。

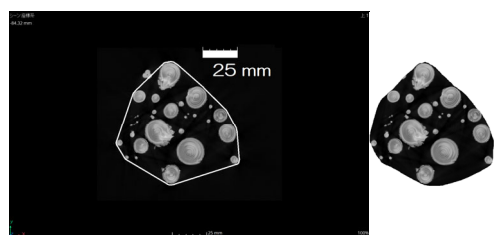


図-3. 図-2に用いた断面画像（左）に粗朶の境界を設定した図（右）

Fig. 3 Cross-sectional image used in Figure-2 (left) with coarse-grained boundaries (right)

粗朶の境界の外側における明度は最大の 255 となるため、これを除外することで粗朶の境界の内部だけを抽出できる。境界の内側ではヒストグラムダイアログに2つのピークが現れる。これらはそれぞれ空隙のピークと枝条もしくは割竹のピークと考えられるため、明度が低い側の群全体を空隙側としてこの部分の割合を算出した。

断面をとる箇所は、間隔が短いほどより実態には近くなる。約 10mm ごとに等間隔の部分と、ヒノキ枝条粗朶において変化の見られる部分、割竹粗朶における節部分を含む部分とした。断面画像ソフトのヒストグラムダイアログで空隙のピクセルを判別して空隙率を算出した。

III 結果と考察

空隙率の結果は表-1の通りとなった。

ヒノキ枝条粗朶と割竹粗朶で比較したところ、ヒノキ枝条粗朶の方が高かった。ヒノキ枝条粗朶においては、広がる枝をひもによる結束で狭めて粗朶にすることで密なところと疎なところで分かれていたことも空隙率に影響したものと考えられた。

計測方法の違いについてはいずれも既報(1)で行った、端部のコピー機によるスキャン法と密封の有無で差分をとる水没法の結果と比べて間に位置する値となり、水没法の結果に近い値になった。

表-1. ヒノキ枝条粗朶と割竹粗朶の空隙率の結果

Table 1 Porosity result of cypress branch and strips (left) and split bamboo strips

	測定法	断面	測定回数	平均(%)
ヒノキ枝条	X線3D	等間隔	17	73.9
	X線3D	変化点	23	73.9
	コピー機 ⁽¹⁾	束の端	2	81.1
	水没法 ⁽¹⁾	-	3	68
割竹	X線3D	等間隔	17	52.7
	X線3D	節あり	10	51.3
	コピー機 ⁽¹⁾	束の端	2	43.1
	水没法 ⁽¹⁾	-	3	56

IV まとめ

割竹とヒノキ枝条を使用する粗朶の内部構造と空隙の状況を明らかにするために CT スキャン撮影を実施した。この方法においては解析する画像を増やして間隔をより狭くすることでより正確に計測できると考えられる。

謝辞：ヒノキ枝条の入手にあたっては、林野庁森林技術総合研修所林業機械化センターの、割竹の材料となるモウソウチクの入手にあたっては森林研究・整備機構森林総合研究所企画部研究管理科実験林室のご協力をいただいた。ここに記し謝意を示す。

引用文献

- (1) 山口智・小川泰浩・田中良明・鈴木秀典 (2022) 作業道の簡易排水を用途とする粗朶の空隙率計測手法の検討. 日林講, 133: P-363
- (2) 山口智・梅田修史・鈴木秀典・池田伸 (2009) 竹製横断排水堆砂溝の試作. 日林講, 120: Pb1-40

マテバシイにおける NCS くん蒸薬剤のカシノナガキクイムシ殺虫効果

福原一成¹¹千葉県農林総合研究センター森林研究所

要旨：2020 年にヤシマ NCS くん蒸剤がカシノナガキクイムシ駆除薬剤としてマテバシイを含む樹木類に農薬登録拡大されたが、マテバシイに特化した殺虫効果に関する報告がほとんどないことから、効果検証を行った。薬剤を立木注入した区の施用 2 か月後のカシノナガキクイムシ幼虫の生存率は、2020 年は供試木 2 本とも 0%、2021 年は 3 本のうち 2 本が 0%、1 本は 4%であった。一方、蒸留水を注入した区では、幼虫の生存率は 2020 年が 65%、2021 年が 92%であり、マテバシイにおいてもヤシマ NCS のカシノナガキクイムシ幼虫に対する殺虫効果を確認できた。

キーワード：マテバシイ、ナラ枯れ、カシノナガキクイムシ、ヤシマ NCS、殺虫効果

Insecticidal effect of NCS fumigation chemical for *Platypus quercivorus* on *Lithocarpus edulis*Kazunari FUKUHARA¹¹Chiba Prefectural Agriculture and Forestry Research Center, Forestry Research Institute

I はじめに

千葉県では県南部のマテバシイ林でナラ枯れ被害が大規模に発生している。全国的に見るとマテバシイの大規模なナラ枯れは例が少なく、カシノナガキクイムシ（以下、カシナガ）防除のため、マテバシイに適用できる薬剤は 2019 年までなかったが、2020 年 3 月にヤシマ NCS くん蒸剤（以下、NCS）がマテバシイを含む樹木類に農薬登録拡大された。しかし、マテバシイに関する薬剤防除の報告がほとんどないことから、今回 NCS を用いた実地試験を行い、カシナガに対する殺虫効果を確認したので報告する。

II 材料と方法

1. 試験地 試験は千葉県南部の館山市にある千葉県立館山野鳥の森で行った。現地は海岸に近い標高約 90 m の尾根頂上部に位置し、マテバシイを主体とした常緑広葉樹林となっており、県内で最初にナラ枯れが発生した地域である。試験は 2020 年及び 2021 年に、同じ林分で実施した。千葉県のマテバシイ林は急峻な地形に多く、伐倒くん蒸作業は困難であるため、今回は立木くん蒸に絞って試験を行った。

2. 供試木 試験当年にナラ枯れで枯死した樹高 12～14 m のマテバシイを無作為に選び、薬剤を立木注入する区（以下、薬剤区）と蒸留水を立木注入する区（以下、対照区）を設定した。薬剤区は 2020 年が 2 本、2021 年が 3 本で、対照区は 2020 年が 1 本、2021 年が 2 本である（表

-1）。

3. 施用方法 齊藤ら（1）の試験を参考に、供試木にドリルで斜め 45°、直径 10 mm、深さ 5 cm の孔を地際から 50 cm の高さまでは 10 cm ピッチで、50～150 cm までは 20 cm ピッチで千鳥状に開けた。その後、ノズル付き洗浄瓶を用いて NCS の原液あるいは蒸留水を 1 孔当たり 5 ml 注入した（表-1）。注入日は 2020 年が 10 月 29 日、2021 年が 11 月 4 日である。

表-1. 供試木と薬剤及び蒸留水施用の状況

2020年の供試木			
	薬剤 1	薬剤 2	対照 1
胸高直径(cm)	17	24	26
穿孔数	42	83	77
NCS注入量(ml)	210	415	—
蒸留水注入量(ml)	—	—	385

2021年の供試木					
	薬剤 1	薬剤 2	薬剤 3	対照 1	対照 2
胸高直径(cm)	21	24	30	27	25
穿孔数	64	69	83	77	73
NCS注入量(ml)	320	345	415	—	—
蒸留水注入量(ml)	—	—	—	385	365

4. カシナガの生死判定 薬剤施用から約 2 か月後（2020 年 12 月 21 日、2021 年 12 月 22 日）に供試木を伐採し、地際から 30、50、70、100、130、150 及び 200 cm の高さで厚さ 5 cm の円盤を採取した。円盤は山武市の森林研究所に持ち帰り、翌日から 2020 年は 14 日間、2021 年は 6 日間で割材して内部のカシナガの生死を確認した。

III 結果と考察

1. カシナガ幼虫の駆除効果 薬剤区では、2021 年の薬剤 3 を除くすべての円盤で生存幼虫は見られなかった。2021 年の薬剤 3 でもすべての円盤で 1~4 頭が生きていたが、7 個の円盤全体の生存率は 4%であった。一方、対照区はすべての円盤で生存幼虫が多数確認され、7 個の円盤全体の生存率は 65~93%であった(図-1)。また、薬剤施用は地際から 150 cm の高さまでだが、それより 50 cm 高い 200 cm の部位でも死亡していた。以上から、NCS の立木くん蒸による幼虫の駆除効果が確認できた。

薬剤区で唯一幼虫が生きていた薬剤 3 は、2 年間を通じ最も太い供試木であった(表-1)。また、幼虫が確認された位置は、すべての円盤で薬剤の注入位置から遠い中心部であった。したがって、ある程度太いマテバシイでは、NCS が中心部まで浸透移行できない場合もあるため、薬剤の注入孔を深くする等の対策が必要と考えられた。

2. カシナガ成虫の駆除効果 今回の試験では円盤内

に蛹は確認されなかった。成虫は確認されたが、幼虫に比べると個体数はわずかであった。

薬剤区では、2020 年の薬剤 2 を除くすべての円盤で生存成虫は見られなかった。2020 年の薬剤 2 でも 7 個の円盤全体の生存率は 25%であった。一方、対照区ではすべての円盤で生存成虫が多数確認され、7 個の円盤全体の生存率は 28~64%であった(図-2)。以上から、NCS の立木くん蒸による成虫の駆除効果が確認できた。

IV まとめ

マテバシイにおいても NCS の立木施用は、カシナガに対する十分な殺虫効果があることを確認できた。

引用文献

(1) 齊藤正一・中村人史・三浦直美 (2001) ナラ類集団枯損立木へのくん蒸薬剤注入によるカシノナガキクイムシとナラ菌の防除法の改良. 山形県森林研究研修センター研究報告 29: 11-19

確認頭数

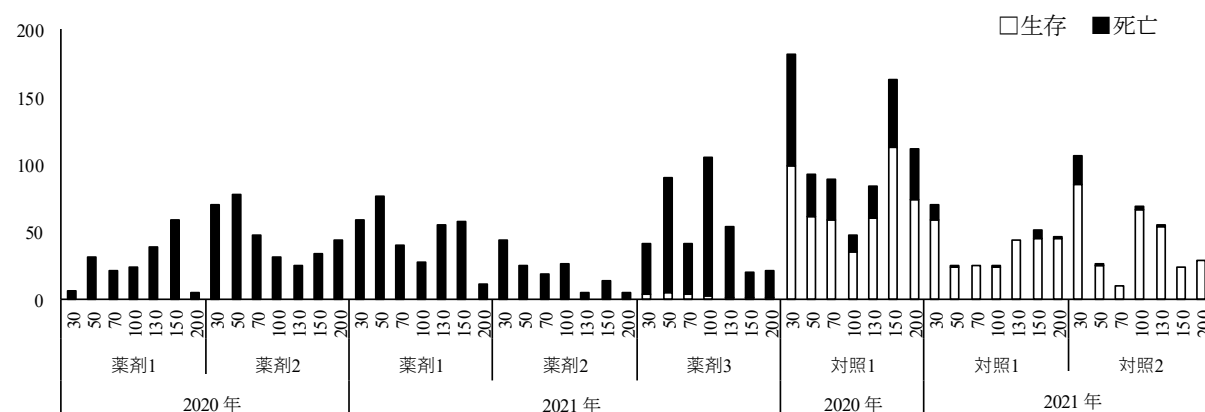


図-1. 各供試木の円盤採取高 (cm) ごとのカシノナガキクイムシ幼虫の頭数

確認頭数

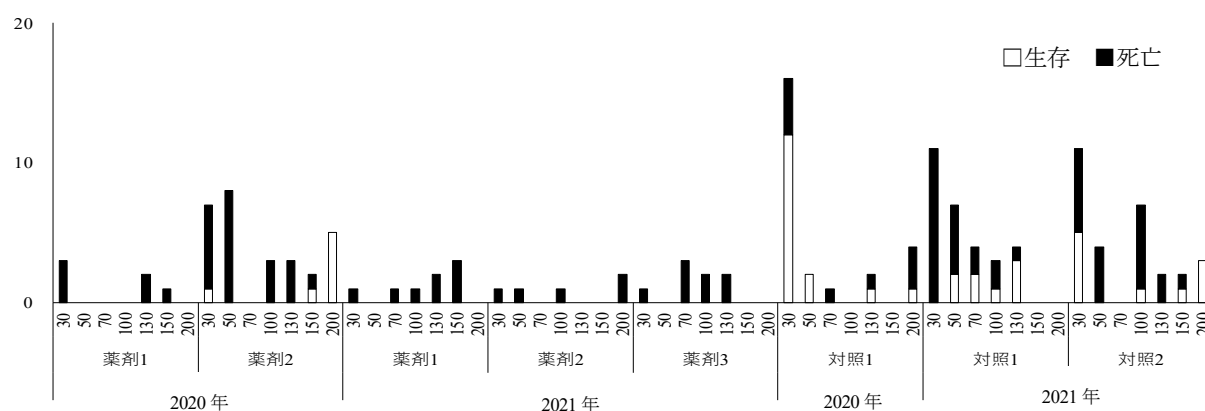


図-2. 各供試木の円盤採取高 (cm) ごとのカシノナガキクイムシ成虫の頭数

房総半島のシカ・キョン生息地域における植生保護柵の効果

岩澤勝巳¹・福島成樹¹・幸由利香²・小森谷あかね¹¹千葉県農林総合研究センター森林研究所・²千葉県北部林業事務所印旛支所

要旨：シカ・キョンの食害が千葉県の自然植生に及ぼす影響を明らかにするため、植生保護柵を設置した調査地を 6 か所設定し、植生の推移を 5 年間調査した。その結果、柵設置 5 年後の草本層全体の種数は、柵設置区が無処理区に比べ平均 1.4 倍多く認められるようになった。特に、シカが好む嗜好性種の数は、シカ・キョンの出没が少なかった調査地を除いて平均 1.9 倍多く認められるようになり、シカ・キョンの食害により種の多様性が失われていると考えられた。また、調査地の半数では柵設置区で植被率が上昇し、林床の裸地化が進んでいると考えられた。

キーワード：シカ、キョン、食害、植生保護柵、自然植生

Effects of fences to protect vegetation in the habitat of sika deer and reeves's muntjac on the Boso Peninsula

Masami IWASAWA¹, Shigeki FUKUSHIMA¹, Yurika MIYUKI², Akane KOMORIYA¹¹Forest Research Institute, Chiba Prefectural Agriculture and Forestry Research Center;²Chiba Prefectural Hokubu Forestry Administrative Inba Office

I はじめに

千葉県では近年、シカ・キョンの生息数が年々増加していると推定されており(2,3)、農作物が大きな被害を受けている(4)。一方、自然植生の被害については調査が行われていないため、実態把握が困難な状況となっている。そこで、シカ・キョンの食害が房総半島の自然植生に及ぼす影響を明らかにするため、シカ・キョンが侵入できないように植生保護柵で囲んだ調査地を設定し、植生の推移を調査することで、シカ・キョンの食害が自然植生に及ぼす影響を評価した。

II 調査地と調査方法

1. 調査地 2016 年に植生保護柵を設置した柵設置区と隣接の無処理区を組み合わせた 6 か所の調査地を設定した。柵設置区及び無処理区は概ね 10 m×10 m で、柵設置区には高さ 1.8 m のネット柵を設置した。ネット柵には幅 2 m、目合い 16 mm のポリエチレンネットを用い、約 3.3 m おきに立てた支柱に高さ 1.8 m になるよう固定し、0.2 m を外側に垂らして 1.5 m おきにアンカーで地面に固定した。

2. 調査方法 植生保護柵の設置前と設置後 5 年間、毎年 5～6 月に柵設置区と無処理区の植生調査を行った。このうち、本報では、柵設置 5 年後の結果を報告する。植生調査の結果から、草本層全体の種数とその被度(植

被率)、シカが好む嗜好性種の数について、柵設置区と無処理区で比較した。嗜好性種は既存の文献(5,6)から 5 例以上報告があった 32 種とした(表-1)。

各調査地にはシカ・キョンの出没状況を把握するため 2016 年 6 月～2021 年 5 月にセンサーカメラ(Bushnell Trophycam 119537)を設置し、以下の式により撮影頻度指数を算出した。

撮影頻度指数＝撮影頭数／(カメラ台数×撮影日数)

また、照度計(Topcon IM-3)を用いて 2021 年 6 月に相対照度を測定した。

表-1. 嗜好性種とした植物

アオキ、アカメガシワ、アラカシ、イヌツゲ、イボタノキ、 ウツギ、ウラジロガシ、ガマズミ、クロモジ、コナラ、 コバノガマズミ、サルトリイバラ、スギ、スダジイ、 ゼンマイ、タブノキ、タラノキ、ノイバラ、ハナイカダ、 ヒサカキ、ヒノキ、マユミ、ムラサキシキブ、モミ、 ヤブコウジ、ヤブツバキ、ヤブムラサキ、ヤマウルシ、 ヤマグルワ、ヤマハギ、ヤマブドウ、リョウメシダ 計32種

注) 嗜好性種は藤木(5)、橋本ら(6)により 5 例以上報告されているものとした

III 結果と考察

各調査地の相対照度および撮影頻度指数平均値を表-2 に示した。調査地 D はシカ・キョンの出没が少なかったが、その他の調査地はシカまたはキョンの撮影頻度指数平均値で 0.44 以上の出没が認められた。

表-2. 調査地の概要

調査地	所在地	相対照度 (%)	撮影頻度指数平均値	
			シカ	キョン
A	君津市奥米県有林①	45.0	0.96	0.01
B	君津市奥米県有林②	4.3	0.15	0.44
C	君津市高宕県有林	6.0	1.16	0.00
D	君津市私有林	4.6	0.05	0.00
E	富津市私有林	7.5	0.71	0.03
F	鴨川市内浦山県有林	11.2	0.02	2.00

注1) 相対照度は2021年6月30日の曇天時に測定

2) 撮影頻度指数平均値は

撮影頻度指数＝撮影頭数／（カメラ台数×撮影日数）
の2016年6月～2021年5月の月別の平均値

植生調査の結果、柵設置5年後の草本層全体の種数は、柵設置区が無処理区に比べ平均1.4倍（0.9～2.0倍）と概ね多く認められるようになった（図-1）。特に、嗜好性種の数、シカ・キョンの出没が少なかったD調査地を除いて平均1.9倍（1.5～2.4倍）と多く認められるようになった。このように、シカ・キョンの食害により、草本層の種の多様性が失われる状況となっており、自然植生への影響が大きいことが明らかになった。千葉県のカキの食性については常緑広葉樹の葉や堅果、草本類などを食べていることが報告されているが⁽¹⁾、シカと同様

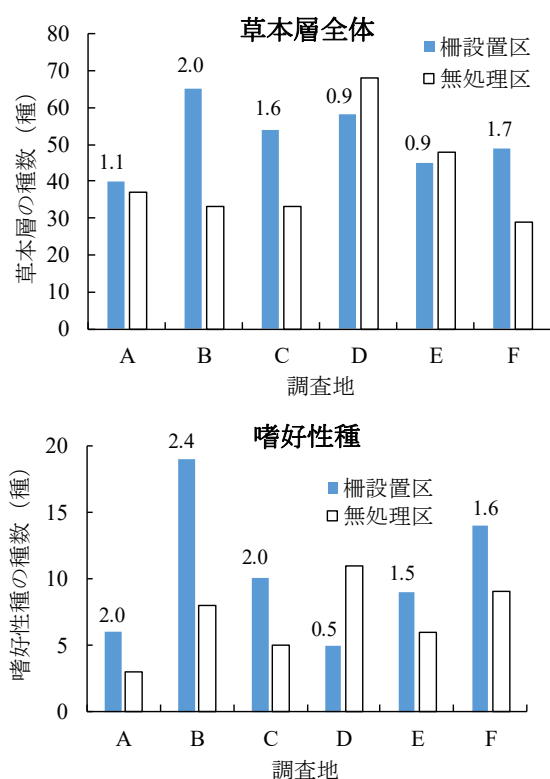


図-1. 植生保護柵設置5年後の2021年における草本層全体の種数及び嗜好性種の数

注) 図中の数字は無処理区に対する柵設置区の種数

に多くの植物を摂食していると推測された。

また、柵設置5年後の植被率は、調査地B、C、Fにおいて柵設置区が無処理区よりも高く（表-3）、これらの調査地の無処理区では林床の裸地化が進んでいることが認められ、水源涵養機能や土砂流出防止機能の低下が懸念された。

なお、草本層全体の種数及び植被率においてA調査地とE調査地はシカ、キョンの出没がある程度あったにも関わらず、植生保護柵の効果が認められなかった。この要因として、A調査地はススキが優占し他の植物の侵入が抑制されたことに加え、相対照度が高く明るかったため（表-2）、食害を受けても植物が再生しやすかったこと、E調査地はセイタカアワダチソウが優占し他の植物の侵入が抑制されたことに加え、周囲がスギ人工林のため周囲からの種子散布が少なく、柵設置による植生の回復が限定的であったこと等が影響した可能性がある。このため、柵設置による植生の回復は、優占する植生や林内の明るさ、周辺の自然植生等の影響を受けると考えられた。

表-3. 植生保護柵設置5年後の2021年における草本層の植被率

調査地	A	B	C	D	E	F
柵設置区	5	3	5	5	5	3
無処理区	5	+	+	5	5	2

注) 地表面に占める草本層全体の面積の割合を目視で

6区分に分類

5: 3/4以上, 4: 1/2～3/4, 3: 1/4～1/2, 2: 1/10～1/4,

1: 1/10以下, +: 非常に少ない

引用文献

- (1) 浅田正彦 (2009) 千葉県におけるキョンの栄養状態モニタリング (2008年度). 千葉県生物多様性センター研究報告 1: 27-29
- (2) 千葉県 (2021) 千葉県キョン防除実施計画. 千葉県, 26pp
- (3) 千葉県 (2022) 第5次千葉県第二種特定鳥獣管理計画 (ニホンジカ). 千葉県, 27pp
- (4) 千葉県農林水産部農地・農村振興課 (2022) 野生鳥獣による農作物被害状況 (H29-R3). <https://www.pref.chiba.lg.jp/noushin/chou.juu.yuugai/documents/suih29-r3.pdf>
- (5) 藤木大介 (2017) 兵庫県におけるニホンジカの嗜好性植物・不嗜好性植物リスト. 兵庫ワイルドライフモノグラフ 9: 118-134
- (6) 橋本佳延・藤木大介 (2014) 日本におけるニホンジカの採食植物・不嗜好性植物リスト. 人と自然 25: 133-160

カラマツラミナと CLT の曲げ強度

小澤雅之¹・伊原隆伸¹・櫻田尚人¹¹山梨県森林総合研究所

要旨：山梨県内で伐採されたカラマツ丸太 93 本からラミナ 822 枚を切出し、ラミナの曲げヤング率を測定し強度区分した後、3 層構造の実大材 CLT を製板し曲げ強度試験を行った。内層と外層との曲げヤング率比が 1.5 倍のタイプ B と 1 倍のタイプ C では、全ての試験片で外層ラミナに破壊が認められたが、その比が 2 倍のタイプ A では、曲げヤング率は他より高いが曲げ強度は他より低くなり、全試験片において接着層での破壊、破断が認められた。従って、最外層と中層との曲げヤング率比が曲げ破壊挙動や強度に影響することが推察された。

キーワード：カラマツ、ラミナ、曲げヤング率、CLT、曲げ強度試験

Bending strength of Japanese larch (*Larix kaempferi*) lamina and CLTMasayuki OZAWA¹, Takanobu IHARA¹, Naohito SAKURADA¹¹Yamanashi Forest Research Institute

I はじめに

気候変動の緩和策として、脱炭素社会の構築と大気中の温室効果ガスの削減が求められているが、それを実現するための手法として、森林や木材のさらなる利活用がある。これまで高層建築物にはセメントを多用する鉄筋コンクリート工法が主流だったが、木質ラミナを多層・多重に直交集成させた面材料である CLT (Cross Laminated Timber) を用いることで、木造による高層建築物の建設が可能になりつつある。木材で高層建築物を建てられれば、従来よりも単位面積当たりの炭素を地表に長期間固定することが可能になる。

一方、建築資材である木材を海外から輸入・輸送すれば、国内の木材消費地に隣接した地域からの木材よりも、輸送機関由来の炭素をより多くに排出することが懸念される。また、地域材による CLT 化を目指すためには、地域材が CLT 材として利用できるかどうかを検討する必要がある。そこで、地域材から切出されたラミナを用いて実際に CLT を製板し、その強度について検討した。

II 材料と方法

1. 試験材 山梨県内で伐採された直径 30 cm 以上のカラマツ丸太 93 本（樹齢未計測）から幅 135 mm、高さ 37 mm、全長 4100 mm のラミナ 822 枚を切出した。切出したラミナは、元の丸太の位置が判別できるようにした。

2. ラミナの測定 気乾状態でのラミナの寸法、質量を測定し、密度を算出した。また、4 点曲げによる静的曲

げヤング率を計測し、それに基づく強度区分を行った。

3. CLT の作製 CLT の製板は実績のある民間企業に委託したが、納品するラミナには「そり」、「ねじれ」、「腐れ」および「ヤニ」などが無いことが求められたため、それらに見合うラミナを選別した。また、密度と曲げヤング率との比を算出したが、全体の約 9%はその値が著しく高くあるいは低く、それらも除外した。納品の際には含水率が 12%以下になるよう蒸気式中温乾燥を行った。

CLT の仕上がり寸法は幅 1200 mm、高さ 90 mm、全長 3960 mm の 3 層構造とし、外層部は幅 120 mm、高さ 30 mm、全長 4000 mm のラミナを 10 枚並べた。中層部は外層部と直交させ、1 枚のラミナから全長 120 mm に 3 本切断し、それらを隣接させ計 33 枚（ラミナ 11 枚分）を並べた。ラミナはいずれも縦継ぎを行わなかった。

CLT は配置したラミナの MOE による強度性能を比較するため、各層のヤング率構成が異なる 3 種類を用意し、タイプ A は内層に E70、外層に E150 を配したもの（MOE 比 1:2）、タイプ B は内層に E90、外層に E130 を配したもの（MOE 比 1:1.5）、さらに中層および外層の MOE が E110 のものを配したタイプ C を 2 枚ずつ製板した。

接着条件は、レゾルシノール・フェノール樹脂系接着剤を塗布量 250 g/m²、高周波プレス機で圧縮した。なお、圧縮～養生時間は約 9 分であった。

4. CLT の強度試験 製板された CLT の質量および寸法を測定した後、幅 200 mm、高さ 90 mm、全長 3960 mm の寸法で各タイプから 4 本ずつ切出し、4 点曲げ強度試

験(I)に供した。

III 結果と考察

1. ラミナの強度分布 カラマツ丸太から切り出されたラミナの 4 点曲げによる静的曲げヤング率（以下、MOE と略）と気乾密度との関係について図-1 に示す。相関係数 r は 0.194 を示した。次に、得られた MOE を基に行った等級区分を表-1 に示す。最低は E50，最大は E150 となり E90 および E110 が全体の約 57%を占めた。

2. CLT の曲げ強度 4 点曲げ強度試験の結果について、各タイプの気乾密度と MOE との関係を図-2 に示す。各タイプの MOE の平均値±標準偏差は、タイプ A で 13.5 ± 0.39 GPa，タイプ B で 12.1 ± 0.38 GPa，タイプ C で 11.6 ± 0.37 GPa を示し、外層に配したラミナの MOE が高い順となった。表-2 に気乾密度および曲げ破壊強度（MOR）の平均値と標準偏差を示す。タイプ A の MOR は 27.7 MPa，タイプ B は 40.1 MPa，タイプ C は 32.5 MPa を示したが、タイプ C の標準偏差は大きかった。また、タイプ A の MOR は他のタイプよりも低い値を示した。

タイプ A の MOR が他のタイプと比較して低くなったことについて、まず、タイプ B および C における曲げ破壊が生じた直後の画像を図-3 に示す。この両タイプでは、一般木材の曲げ強度試験時と同様に、全ての試験片において外層ラミナでの破壊が認められた。一方、タイプ A では、全ての試験片において接着層での破壊、破断が認められ、最外層ラミナにおける破壊は確認できなかった。これらのことから、タイプ A では最外層と中層との MOE 比を 2 倍としたが、最外層では曲げ変形が中層よりも起こりにくく、中層は弱軸配置であることから、両者間において変形挙動に差異が生じ、接着層にひずみが集中し破断したことが推察される。このことは、内層のスギラミナと外層のヒノキラミナの強度差があると、せん断破

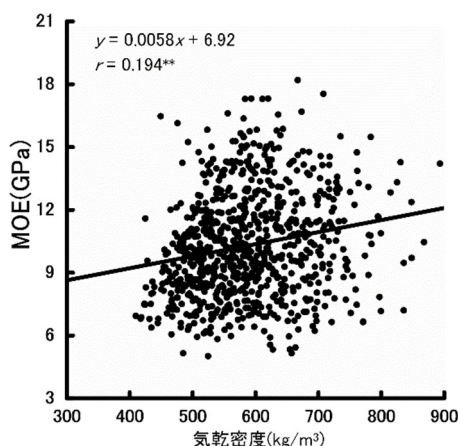


図-1. ラミナの気乾密度と MOE との関係

壊が先行したり、曲げ破壊が先行しても終局時にせん断破壊が生じた報告(2)と一致する。

従って、単純に最外層に高強度のラミナを配し、中層にそれよりも低い強度のラミナを配しても、全体の強度増加にはつながる場合もあるが、ある一定の比を越えると逆に低下することが推察され、今後、各タイプにおける破壊メカニズムについて詳細な検討が必要と思われる。

表-1. ラミナの等級区分 表-2. 各タイプの気乾密度と MOR の平均値

等級	本数(本)	割合(%)	気乾密度(kg/m³) MOR(MPa)	
E50	7	0.9	タイプA	546.7 (8.54) 27.7 (2.11)
E70	117	14.2		
E90	237	28.8		
E110	228	27.7		
E130	126	15.3		
E150	107	13.0	タイプB	571.8 (12.85) 40.1 (1.91)
			タイプC	568.6 (6.21) 32.5 (5.81)

()内は標準偏差

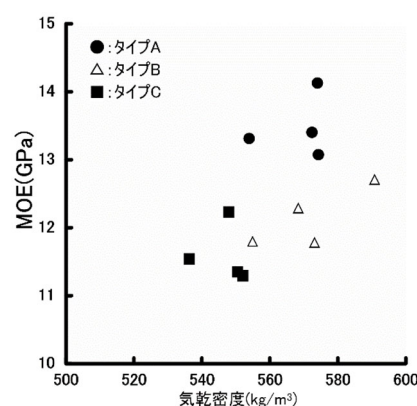


図-2. 各タイプの気乾密度と MOE との関係

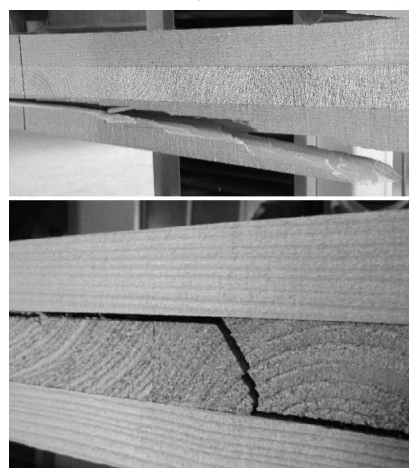


図-3. タイプ B における破壊状態（上）とタイプ A における破壊状態（下）

引用文献

- (1) 日本住宅・木材技術センター (2011) 構造用木材の強度試験マニュアル. 日本住宅・木材技術センター, 東京 : 8pp
- (2) 林知行・佐々木貴信 (2015) スギ CLT (直交集成板) の実大試験. 秋田県立ウェブジャーナル B 2: 138-143

茨城県の山林に植栽したウルシ林における林床植生の生育状況と

ウルシ植栽木への影響

小林久泰¹・倉持眞寿美¹・高田守男¹¹茨城県林業技術センター

要旨：茨城県内4か所（山林3か所、対照として畑地1か所）に試験地を設け、ウルシ苗木を植栽し、3か月後の植生調査（被度、最大樹高、試験地間の植生の類似度）とウルシへの競合具合を調査した結果、畑地では草本類が多いのに対し、山林では木本類が多かった。被度は山林の方が低い傾向があった。最大樹高では山林では160 cmとなったのに対し、畑地では130 cmとなった。試験地間の植生の類似度では、山林同士では0.39～0.45なのに対し、山林と畑地では0.00～0.08と低くなった。ウルシへの競合具合を山川らの指標により評価した結果、山林植栽では半数以上がC1～C3に評価されたのに対し、畑地では7割以上がC4と評価された。

キーワード：ウルシ、植生、競合具合

Understory vegetation and its effects on *Toxicodendron vernicifluum* trees planted after clear-cutting sites in mountainous area in Ibaraki Prefecture

Hisayasu KOBAYASHI¹, Masumi KURAMOCHI¹, Morio TAKADA¹¹Ibaraki Prefectural Forestry Research Institute

I はじめに

ウルシは漆液を産出する特用樹である。国内で流通する漆は圧倒的に輸入品が多いが、文化庁が2014年に国宝・重要文化財建造物の保存修理に原則国産漆を使用することを示して以降、その需要が急激に高まっている（2）。

茨城県は全国第2位の漆生産県で主に県北地域で生産されているが、ウルシの植栽地は小規模な畑地が中心で、漆液採取量を増やすためには、大規模なウルシ植栽地の確保を図っていく必要がある。大規模な植栽地として、山林の利用が容易に想像できるが、茨城県での山林植栽の知見が乏しく、試験研究によりデータを蓄積する必要がある。特に、植栽初期の管理はその後のウルシの成長に大きく影響することが考えられ、知見を得ることが重要である。そこで、今回、植栽初期のウルシ林管理方法を検討することを目的として、植生調査とウルシ植栽木周辺の雑草木との競合具合の調査を行ったので、その結果を報告する。

表-1. 試験地の概況

試験地 タイプ	試験 地名	場所	植栽 総本数	植栽木 最大樹高	面積	方形 区数	概況
山林	A	常陸大宮市	150 本	83.0 cm	0.18 ha	5	北～北西斜面 傾斜 5～24°
	B	常陸大宮市	150 本	83.0 cm	0.18 ha	5	尾根筋～南東斜面 傾斜 20°
	C	大子町	105 本	79.0 cm	0.15 ha	5	平地～凹地
畑地	D	大子町	50 本	91.5 cm	0.07 ha	3	平地

II 材料と方法

1. 調査地 試験地として、山林3か所、畑地1か所に試験地を設定した。試験地の概況、植栽本数等は表-1に示すとおりである。山林はいずれも元々は広葉樹林で、皆伐後ウルシ苗を植栽した。畑地は畑地を下刈してウルシ苗を植栽した。

2. 調査項目 植栽3か月後に2つの調査を行った。植生調査について、2 m×2 mの方形区を試験地A～Cでは各5か所、試験地Dでは3か所設け、その中に生育する植物の種類と被度(%), 高さを調べ、試験地全体の総

種数を計数するとともに、方形区ごとに得られた種数の平均値を算出した。また、以下の式により試験地または方形区間で Sørensen の類似度を求めた。

類似度 = $2c/(a+b)$ a,b: 試験地または方形区の種数, c: 試験地間または方形区間に共通してみられる種数

被度については A～C では 5 か所の、D では 3 か所の平均値を求めた。各方形区で被度が最大の種を優占種とした。大きな雑草木の高さについてはウルシとの競合の目安とするため、方形区毎の最大値を求めた。雑草木との競合具合調査について、ウルシ 1 本ごとに山川ら(1)に示された C1～C4 で評価し、それぞれの判断基準の存在比を算出した。判断基準は次のとおりである。C1: 雑草木に比べ、ウルシの露出は半分以上。C2: 雑草木に比べ、ウルシの露出は半分未満。C3: 雑草木とウルシの樹高は同じ高さ。C4: ウルシは雑草木の中に完全に埋もれる。

III 結果と考察

植生調査の結果について、試験地ごとの被度等を表 2 に示す。平均被度について、山林 (60～80 %) の方が畑地 (85 %) よりも低くなる傾向にあった。種数については、総種数、方形区当たりの平均種数とも山林の方が畑地よりも多くなる傾向になった。最大高 (118～165 cm) では山林と畑地で違いはなかったが、優占種は全く異なり、山林ではアカメガシワ、コナラ、ヌルデ、ヤマハギ等木本植物が多い傾向が認められた。類似度で見ても、畑地と山林の試験地との間での類似度 (0.00～0.06) は、山林間 (0.39～0.45)、あるいは同一試験地内

での類似度 (0.23～0.54) に比べ、低くなった (表-2, 3)。

雑草木との競合具合調査の結果、山林では C1～C3 が 6 割以上を占めるのに対し、畑地では C4 が 7 割以上となり、山林では畑地よりも周囲の植物に覆われにくいことがわかった (表-4)。

以上の結果から、伐採後に回復してくる植生とウルシとの競合具合は山林と畑地で大きく異なることが明らかになった。山林と畑地は植生の類似性が乏しいことから、異なる手法で管理する必要性が考えられた。山林のウルシについて、畑地よりも比較的周囲の植物の被圧は少なかったのは、山林では株状に成長する萌芽枝由来の木本植物が優占し、横方向にウルシを被圧するように成長する植物が優占しなかったためと考えられる。しかし、今後、林地が明るくなったことにより、草本植物が新たに侵入してくる可能性も考えられる。今後も、今回行った 2 つの調査を継続し、茨城県の山林におけるウルシ林管理方法を確立していきたい。

引用文献

- (1) 山川博美・重永英年・荒木眞岳・野宮治人 (2016) スギ植栽木の樹高成長に及ぼす期首サイズと周辺雑草木の影響. 日林誌 98: 241-246
- (2) 林野庁 (2022) 令和 3 年度森林・林業白書. 林野庁ホームページ (令和 4 年 5 月 31 日公表, 11 月 8 日確認)

表-2. 植生調査結果

試験地	平均被度 (%)	総種数	方形区当たり平均種数	最大高 (cm)	最大高種類	優占種	方形区間の類似度
A	60	49	19.8	137	ヤマツツジ	アカメガシワ、アズマネザサ、コナラ、ヌルデ	0.23～0.53
B	80	44	17.6	118	ヤマハギ	アズマネザサ、コナラ、ヤマハギ	0.27～0.54
C	63	53	19.4	160	クマイチゴ	アズマネザサ、クマイチゴ、セイタカアワダチソウ、ヤマハギ	0.23～0.53
D	85	21	11.7	130	ヤマウド	ヤマウド、ヨモギ、ワラビ	0.45～0.54

表-3. 試験地間の類似度

	B	C	D
A	0.45	0.41	0.00
B		0.39	0.03
C			0.08

表-4. 雑草木との競合具合調査結果

基準	C1	C2	C3	C4
A	42.0	28.7	20.0	9.3
B	28.7	28.7	30.0	12.7
C	22.9	19.0	24.8	33.3
D	0.0	6.0	16.0	78.0

シイタケ害虫ナガマドキノコバエ類幼虫の生存個体を利用した在来天敵の抽出

向井裕美¹・北島 博¹・末吉昌宏¹・渡辺恭平²¹ (国研) 森林総合研究所・² 神奈川県立生命の星・地球博物館

要旨：菌床シイタケ栽培の主要害虫であるナガマドキノコバエ類は、栽培施設内でハエヒメバチ亜科に属する数種の寄生バチによる捕食寄生を受ける。本研究では、将来的にこの寄生バチを防除資材として利用することを目指し、各地の栽培施設の野外周辺環境から有用な寄生バチを抽出する手法の開発を試みた。野外環境にナガマドキノコバエ類の終齢幼虫の生存個体を人為的に設置したところ寄生バチによる寄生が確認されたことから、本手法により野外環境から有用な在来天敵の抽出が可能であると示唆された。

キーワード：キノコ害虫、在来天敵、寄生バチ

A selection method for native natural enemies of *Neoempheria* spp., infesting shiitake mushrooms, using living host larvae

Hiromi MUKAI¹, Hiroshi KITAJIMA, Masahiro SUEYOSHI, Kyohei WATANABE²¹ Forestry and Forest Products Research Institute; ² Kanagawa Prefectural Museum of Natural History

Keywords: pest insects of edible mushroom, native natural enemies, parasitoid wasps

I はじめに

ナガマドキノコバエ類 (*Neoempheria* spp.) は、菌床シイタケ栽培における主要害虫であり、全国の栽培施設内で被害が報告されている (1)。ナガマドキノコバエ類の幼虫は、ハチ目ハエヒメバチ亜科に属する数種のハチ (以下、寄生バチ) により、栽培施設内で捕食寄生を受ける (2, 3, 4)。これまでに、国内各地の栽培施設でそれぞれの栽培環境に適したハチ種が分布していることが確認されており、ナガマドキノコバエ類の新たな防除資材としてのニーズが高まっている。例えば、特定防除資材 (地場天敵) としてこれらの寄生バチを利用するには、使用場所と同一都道府県で採取されたものでなくてはならず、栽培環境やその周辺環境で寄生バチの存在を確認する必要がある。しかし現時点では、栽培施設内のナガマドキノコバエ類の幼虫を採取し、寄生バチによる寄生の有無を見ることでしかその地域の寄生バチを調べる術がなく、野外環境に生息する在来天敵である寄生バチの潜在量を調べる技術は確立されていない。

そこで、本研究では、各地域の栽培環境に適した有用な寄生バチを野外環境から抽出する手法の開発を目指し、ナガマドキノコバエ類幼虫の生存個体 (以下、生存幼虫) を利用してその天敵寄生バチの採取が可能かどうかを検証した。

II 材料と方法

1. 調査地 2020 年 7 月から 8 月までの間、国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所第二樹木園 (茨城県つくば市観音台; 以下、第二樹木園)、及び千代田試験地 (茨城県かすみがうら市上志筑; 以下、千代田試験地) で調査を実施した。第二樹木園は広葉樹林 1 か所、千代田試験地では広葉樹林と針葉樹林 1 か所ずつにおいて調査した。いずれの地点も、ナガマドキノコバエ類の野生個体の発生が事前に確認されている (未発表)。

2. 調査方法 リュウコツナガマドキノコバエ (*N. carinata*; 以下、リュウコツ) とフタマタナガマドキノコバエ (*N. bifurcata*; 以下、フタマタ) の終齢の生存幼虫 30 個体を、それぞれ市販のシイタケ菌床 (2.5 kg 完熟、北研) 上に置いて、寄生バチを捕獲するトラップとした。リュウコツは群馬県富岡市、フタマタは群馬県桐生市の生産者の栽培施設でそれぞれ幼虫を採集し、研究室で継代飼育により維持したものである。設置した菌床は下部を 3 cm ほど水に浸して乾燥を防ぎ、全体を白色半透明のポリエチレンを資材とした 2 mm×6 mm メッシュ状の袋で覆って無関係な昆虫の混入を防いだ。各地点にリュウコツとフタマタを置いたトラップを各 2 基ずつ、10 m 以上の間隔を空けて設置した。設置から 3 日後に菌床を回収し、菌床上から幼虫、蛹、成虫を回収した。幼虫と

表-1. 各調査地点で回収したナガマドキノコバエ類と寄生バチの個体数

環境		宿主の 種類	設置数 (終齢幼虫)	回収数 (幼虫, 蛹, 成虫)	ナガマドキノコバエ 類成虫羽化数	寄生バチ 成虫羽化数
2020年7月						
第二樹木園	広葉樹林	リュウコツ	60	30	30	0
		フタマタ	60	56	50	6
千代田試験地	広葉樹林	リュウコツ	60	27	27	0
		フタマタ	60	56	56	0
	針葉樹林	リュウコツ	60	37	37	0
		フタマタ	60	60	60	0
2020年8月						
第二樹木園	広葉樹林	リュウコツ	60	43	43	0
		フタマタ	60	58	58	0
千代田試験地	広葉樹林	リュウコツ	60	48	48	0
		フタマタ	60	53	53	0
	針葉樹林	リュウコツ	60	43	43	0
		フタマタ	60	55	55	0

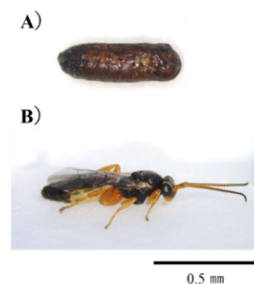


図-1. 寄生バチに寄生されたナガマドキノコバエ類の蛹 A) とシイタケハエヒメバチの雌成虫 B)

蛹を1個体ずつプラカップに分けて、ナガマドキノコバエ類もしくは寄生バチの成虫が羽化するまで飼育した。

III 結果と考察

第二樹木園と千代田試験地で回収した幼虫数を表-1に示した。回収したナガマドキノコバエ類と寄生バチの成虫の個体数は、2基分の合計値を示した。

2020年7月に第二樹木園に設置したフタマタを置いたトラップ1基では、幼虫への寄生が確認された(表-1)。寄生バチに寄生されたナガマドキノコバエ類の蛹は、非寄生の蛹から外見的特徴で区別することが可能である(4)。回収時に寄生されたとみられる蛹が確認され(図-1A)、およそ7日後にそれらから寄生バチの雌成虫6個体を得た(図-1B)。この寄生バチはシイタケハエヒメバチ(*Orthocentrus brachycerus*)と同定された。本種は、これまでに各地の菌床シイタケ栽培施設内で発生が確認されている既知種であり(4)、第二樹木園にも分布していることが示された。

今回の試験では、12試験区で720個体の幼虫を設置した結果、1試験区で6個体の寄生バチが得られた。本研究により、ナガマドキノコバエ類の生存幼虫を人為的に野外環境に一定期間設置することで、幼虫そのものをトラップとして寄生バチを回収できることを示した。ただし、寄生バチの回収率は低いため、今後、ハエヒメバチ亜科に属する寄生バチが好む色や匂いを添加するなど、トラップの改良を検討していく必要があるだろう。

本手法は、栽培施設の周辺野外環境で有用な在来天敵をナガマドキノコバエ類の生存幼虫を用いて抽出できる可能性を示した。今回の調査では、既知種以外の寄生は見られなかったが、ハエヒメバチ亜科の仲間は国内外に多く存在することが知られており(4)、本手法はこれまでに見つかっていないナガマドキノコバエ類の新たな在

来天敵の発見にも貢献し得る。栽培環境周辺の在来天敵の潜在量を把握することで、今後、それぞれの栽培施設に適した、在来天敵を利用した総合的病害虫管理(IPM)の確立・提案に繋がると期待される。

謝辞: 群馬県富岡市、桐生市の菌床シイタケ生産者には、ナガマドキノコバエ類の採集調査にご協力いただいた。本研究は科研費(20K15562, 22H02393)による助成を受けて実施された。

引用文献

- (1) Sueyoshi M (2014) Taxonomy of fungus gnats allied to *Neoempheria ferruginea* (Brunetti, 1912) (Diptera: Mycetophilidae), with descriptions of 11 new species from Japan and adjacent areas. Zootaxa 3790: 139–164
- (2) Mukai H, Kitajima H (2019) Parasitoid wasps regulate population growth of fungus gnats genus *Neoempheria* Osten Sacken (Diptera: Mycetophilidae) in shiitake mushroom cultivation. Biological Control 134: 15–22
- (3) Mukai H, Kitajima H (2021) Laboratory evaluation of *Orthocentrus brachycerus* (Hymenoptera: Ichneumonidae), as a potential biological control agent in mushroom cultivation. Journal of Applied Entomology 145: 348–357
- (4) Watanabe K, Mukai H, Kitajima H, Sueyoshi M (2020) The ichneumonid parasitoids of the fungus gnats genus *Neoempheria* Osten Sacken (Diptera: Mycetophilidae) infesting edible fungi in the sawdust-based cultivation houses. Japanese Journal of Systematic Entomology 26(1): 53–61

ラオス農山村における未利用樹木を活用した *Lentinus squarrosulus* の原木栽培木村健一郎¹・ザヤラス シンコン²・原口雅人³¹国際農林水産業研究センター・²ラオス森林研究センター・³埼玉県中央部森林組合

要旨：ラオスで一般的な食用きのこであるケガワタケ *Lentinus squarrosulus* を対象に、焼畑跡地に多く見られる未利用樹木を原木に用い、原木栽培に活用できるかを調査した。植菌から約3ヵ月後に、ウラジロエノキ(*Trema orientalis*)に子実体の発生が確認でき、農山村での貴重な収入源になると期待される。供試した原木の半分からしか子実体が発生しなかったことから、より多くの原木から子実体が発生するような栽培条件の検討が必要である。

キーワード：ラオス、休閑林、原木栽培、ウラジロエノキ、ケガワタケ

Potential for log cultivation of *Lentinus squarrosulus* using unutilized trees of fallow forests in LaosKenichiro KIMURA¹, Singkone XAYALATH², Masato HARAGUCHI³¹ Japan International Research Center for Agricultural Sciences; ² Forest Research Center of Laos;³ Saitama Prefecture Central Forest Owners' Cooperative

Keywords: Lao PDR, fallow forest, raw wood cultivation, *Trema orientalis*, *Lentinus squarrosulus*

I はじめに

東南アジアの内陸国であるラオスは、人口の70%が現在も農業に従事しており、主に稲作を生業として、森林から山菜やきのこなど非木材林産物を採集して生活している。山地では、現在も焼畑による陸稲生産が行われている。焼畑後はかつて10～15年間の休閑期間であったが、現在では平均8.8年と短縮している(5)。そのため休閑期間にみられる森林植生は遷移先駆種が多く、これらの樹木の多くは商業的な価値は低い。多くの場合これらの樹木は次の焼畑まで放置されるか、農山村住民に薪として伐採される(1)。他方で、ラオス農山村でよく採集されているきのこは、*Lentinus squarrosulus* (和名：ケガワタケ) や *Lentinus polychrous* (和名なし) などが採集され、自家用だけでなく販売利用されていた(2)。

ラオスの農山村住民の食生活は、タンパク質不足が問題となっているため、タンパク質含有量の高い食物の生産が求められている。*L. squarrosulus* は、タンパク質含量が高くビタミンやミネラルが豊富(4)であることから試験対象とした。本試験は焼畑跡地に出現する未利用樹木を用い、*L. squarrosulus* が原木栽培可能か調査した。

II 材料と方法

供試菌として用いた *L. squarrosulus* は、ラオスに自生する子実体から組織片を分離し、PDA 培地で培養した。

その後、米ヌカを添加した綿実培地で培養し、種菌として用いた。

供試樹種は、焼畑後によく見られるニレ科 *Trema orientalis* (木材密度 0.3 g/cm³, 和名：ウラジロエノキ)、マメ科 *Senna garrettiana* (木材密度 0.6～0.8 g/cm³, 和名なし) 及び *Balakata baccata* (木材密度 0.4 g/cm³, 和名なし) とした。各樹種は木口径 10 cm を標準とし原木として用いた。2018年5月25日に伐採し、長さ約40 cm に玉切りした。さらに半分に切断し、切断面に約10 g の綿実培地で培養した菌糸体を手で植菌した。切断した半分の木材で菌糸をはさみ、2つの原木をガムテープで巻くことで固定した。

栽培試験は、ラオス林業研究センター(首都ビエンチャン)の圃場で実施した。各原木は30本ずつ用意し、高さ70 cm の台の上に設置した。試験地の開空度は45%であった。試験は原木を寒冷紗などで覆わず、散水等も行わなかった。圃場の温湿度計(大成ファインケミカル：ThermoLeaf)を用いて記録した。栽培は雨季の終わる10月末までの5ヵ月間とした。発生した子実体は5 cm を収穫サイズとし、生重を測定した。

III 結果と考察

各原木は、*T. orientalis* は平均 3.5 kg/原木、*S. garrettiana* は平均 5.5 kg/原木、及び *B. baccata* は平均 4.3 kg/原木を

であった。子実体は、供試した3樹種のうち *T. orientalis* から発生した。子実体は植菌後85日後から発生し始め、32日間に渡って30本中16本の原木から発生した(表-1)。これは *T. orientalis* の木材密度が 0.3 g/cm^3 と低いいため、早期に菌糸が蔓延しやすかったと考えられる。しかし、木材密度が 0.4 g/cm^3 の *B. baccata* からは子実体発生が見られず、精油成分等の含有量の影響が推察された。*S. garrettiana* は木材密度が高いため、5ヵ月の栽培期間では菌糸の蔓延に不十分と考えられた。

菌糸が蔓延するためには、木材が乾燥しないことが重要である。そこで図-1に栽培試験中に最も気温が高かく、雨の降らなかった9月9日の一日の飽差の変化を示した。ラオスは熱帯モンスーン地域で5月末から10月末までは雨季のため雨が多く、晴天時も夜間は飽差が5 hPa以下であり、開空度が比較的高い環境でも原木が乾きづらく原木中に菌糸が蔓延しやすい環境である。そのため、散水等を行わずとも子実体が発生したと考えられた。

子実体収量は、原木100 kg当り3850 gであった(表-1)。子実体が発生した原木の重量と子実体の収量のピアソンの積率相関係数は $r=0.51$ ($p=0.039$) であり、原木重量が大きいほど収量が多い傾向であった。しかし、半数からしか子実体を得られなかったことから、より多くの原木から子実体発生を促す必要がある。

今回の子実体の収率は3.8%であったが、Kupradiら(3)による *L. squarrosulus* のオガクズ、米ヌカを主とした菌床栽培での収率は2.3%、オガクズの75%をキャッサババガスに置き換えた菌床では7.6%であったことから、オガクズ菌床よりわずかに高い収率であった。また、原木の場合、複数年にわたって収穫できる可能性があることから、初期投資の少ない原木栽培は農山村住民に適していると考えられる。

また、9月末頃に *T. orientalis* 原木の1本から *Hypoxylon truncatum* の害菌の発生が確認された。*H. truncatum* は原木きのこ栽培にみられる一般的な害菌であるが、繁殖力が強く日本では感染した原木を除外するだけであり、農家にも対応可能な処理と考えられる。

IV おわりに

L. squarrosulus は、*T. orientalis* を原木として用いることで、短木栽培により約3ヵ月で子実体が収穫できることが明らかになった。ラオスで原木栽培は稲作の農繁期と重なるが、住居近くで粗放的に栽培できることから、農家の追加的な収入として期待できる。今回の試験では、原木の半数からしか子実体が発生しなかったことから、生産量の向上のために詳細な栽培条件を検討する必要がある。

ある。

また、*L. squarrosulus* と *T. orientalis* は、日本にも自生し、特に *T. orientalis* は沖縄県で早生樹として植林されていることから、日本国内においてもきのこ原木として活用が期待できる。

補注：*AGP分類では、アサ科で属名以下は変更無し。

引用文献

- (1) 木村健一郎・米田令仁 (2015) ラオス中部中山間地域における薪消費量と資源量の推定. 環境情報科学論文集 29: 263–266
- (2) 木村健一郎・米田令仁・Singkone XAYALATH・Bounpasakxay KHAMPHUMI (2015) ラオス中部で採取されるキノコの利用実態. 関東森林研究 66: 211–214
- (3) Kupradi C, Khongla C, Musika S, Ranok A, Tamaruay K, Woraratphoka J, Mangkalan S (2017) Cultivation of *Lentinus squarrosulus* and *Pleurotus ostreatus* on Cassava Bagasse Based Substrates. International Journal of Agricultural Technology 13: 883–892
- (4) Nor AMO, Noorlidah A, Umah RK, Mahmood AA, Vikineswary S (2011) Nutritional composition, antioxidant activities, and antiulcer potential of *Lentinus squarrosulus* (Mont.) mycelia extract. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine 2011: 539356. doi:10.1155/2011/539356
- (5) Watanabe E, Sakurai K, Okabayashi Y, Lasay N, Alounsawat C (2004) Soil fertility and farming systems in a slash and burn cultivation area of Northern Laos. Japanese Journal of Southeast Asian Studies 41: 519–537

表-1. 樹種別のアラゲキクラゲの子実体発生本数と原木100 kg当りの収量

	<i>T. orientalis</i>	<i>S. garrettiana</i>	<i>B. baccata</i>
発生本数 (本)	16	0	0
収量 (g/100 kg)	3850	0	0

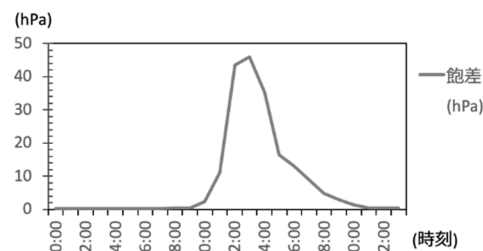


図-1. 晴天時の一日の飽差の変化(2018年9月9日)

福島第一原子力発電所事故 5～7 年後に千葉県内で伏せ込んだ

ほだ木におけるセシウム 137 濃度の推移

小森谷あかね¹・宇川裕一²・岩澤勝巳¹¹千葉県農林総合研究センター森林研究所・²千葉県農林水産部森林課

要旨：千葉県内における原木シイタケ栽培の放射性セシウム追加汚染の状況を把握するため、出荷制限一部解除の 3 市のほだ場にムカデ伏せで伏せ込んだほだ木のセシウム 137 濃度の推移を調査した。その結果、汚染程度が比較的低い市では大きな変動はなく、追加汚染は認められなかった。また、汚染程度が異なる 4 か所のほだ場から採取した土壌の上に伏せ込み方法を変えてほだ木を伏せ込み、ほだ木のセシウム 137 濃度の推移を調査した。その結果、汚染程度が比較的低い土壌へのヨロイ伏せでの伏せ込みは濃度上昇が認められなかった。

キーワード：シイタケ、原木栽培、追加汚染、放射性セシウム

**Changes of cesium-137 concentration in bed logs incubated in Chiba Prefecture
5 to 7 years after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident**

Akane KOMORIYA¹, Yuichi UGAWA², Masami IWASAWA¹¹Chiba Prefectural Agriculture and Forestry Research Center Forestry Research Institute;² Forest Division, Agriculture, Forestry and Fisheries Department, Chiba Prefecture

I はじめに

2011 年 3 月に発生した東京電力福島第一原子力発電所事故の影響により、千葉県内の一部地域では原木シイタケで出荷制限が継続している(I)。出荷制限が一部解除となった地域では、放射性セシウム濃度が指標値 50 Bq/kg 以下の原木、ほだ木を用い、放射性物質低減のための栽培管理をしていることが認められたロットのみ出荷することができる。低減対策の一つとして、ほだ木が土壌に接しないような栽培管理が必要だが、生産者にとっては大きな負担となっている。一方、近年はほだ木をそのまま伏せ込んでも、土壌中の放射性セシウムが移行してほだ木の濃度が上昇する追加汚染が認められず、土壌からの放射性セシウムの移行が次第に低下していると推測される試験事例(2, 3)がある。そこで、県内の放射性セシウム追加汚染の状況を把握するため、千葉県内の出荷制限一部解除の市のうち 3 市のほだ場での伏せ込みの試験、および実験的に汚染程度の異なる土壌にほだ木を伏せ込む試験を行い、ほだ木の追加汚染の状況を調査した。

II 調査地と方法

1. 出荷制限一部解除のほだ場での伏せ込み 千葉県内の出荷制限一部解除の市のうち、汚染程度の異なる A

～C 市に設定した計 12 か所の調査地において、2016 年 4 月または 2017 年 4 月に地表から 0～4 cm の土壌のセシウム 137 (以下、Cs-137) 濃度を測定し、コナラまたはクヌギの汚染されていない新ほだ木 10～20 本を低減対策せずに地面に直接ムカデ伏せで伏せ込んだ(表-1)。

伏せ込み前、伏せ込み 6 か月後、18 か月後にほだ木各 5 本の Cs-137 濃度を測定した。Cs-137 濃度の測定は、千葉県農林総合研究センター検査業務課において、2 L マリネリ容器に詰めてゲルマニウム半導体検出器 (SEIKO EG&G 社製 SEG-EMS/DS-PA11108 (モデル: GEM30-70)) を用いて行った。ほだ木は接地部から 5～25 cm の部位を採取し、おが粉製造機で粉碎して分析用試料とした。

表-1. 各調査地のほだ木伏せ込み本数と土壌の Cs-137 濃度

調査地	伏せ込み 年月	原木 樹種	伏せ込み 本数 (本)	土壌0-4cm (Bq/kg-DW)		
				Cs-137濃度	検出限界	
A市	A1	2016.4	コナラ	15	31	0.6
	A2	2016.4	コナラ	15	54	0.7
	A3	2016.4	クヌギ	15	196	0.9
	A4	2017.4	コナラ	20	486	1.6
	A5	2017.4	コナラ	20	584	1.4
B市	B1	2017.4	コナラ	20	95	0.8
	B2	2017.4	コナラ	20	186	1.3
	B3	2017.4	コナラ	20	229	1.3
	B4	2017.4	コナラ	20	279	1.2
	B5	2017.4	コナラ	20	314	1.3
C市	C1	2017.4	コナラ	10	1633	2.6
	C2	2017.4	コナラ	10	2141	3.0

測定値は各検体の採取時点に補正するとともに、ほだ木は含水率を12%の値に補正した。

2. 汚染程度の異なる土壌への伏せ込み 千葉県農林総合研究センター森林研究所（千葉県山武市）内の人工ほだ場に試験区を設定した。土壌4種類、伏せ込み方法2種類、土壌への設置方法2種類とし、これらを組み合わせて16通りの試験区とした。土壌は、千葉県内の出荷制限一部解除の市にあるほだ場のうち、汚染程度の異なる4か所のほだ場において地表から0～5 cmを各100 L採取し、箱に入れて人工ほだ場に設置してその上にほだ木を伏せ込んだ。伏せ込み方法はヨロイ伏せと縦伏せ（ほだ木を垂直に立てて伏せ込む方法）の2種類、土壌への設置方法は低減対策なしで地面に直接設置と不織布を敷設した上に設置の2種類とした。2018年4月に山梨県産コナラの汚染されていない新ほだ木を各試験区で10本ずつ伏せ込んだ（表-2）。なお、伏せ込み方法の縦伏せは特殊な伏せ方であるが、ほだ木の木口面が全面で土壌に接し、土壌中のCs-137を吸収しやすいと考えられるので、一般的な伏せ込み方法と比較するために行った。

伏せ込み前、伏せ込み6か月後、18か月後にほだ木各5本のCs-137濃度を測定した。Cs-137の測定は出荷制限一部解除のほだ場での伏せ込み試験と同じ方法で行った。

III 結果と考察

1. 出荷制限一部解除のほだ場での伏せ込み ほだ木のCs-137濃度の推移を図-1に示した。土壌の汚染程度が比較的高いC市の2か所の調査地では伏せ込み前、伏せ込み6か月後と比べ、18か月後が有意に高かった。汚染程度が比較的低いA市、B市では調査地A3、B1で18か月後が有意に高くなったが差は1 Bq/kg未満であり、その他の調査地では有意差はみられず、低減対策なしでも追加汚染は認められなかった。このことから、これら2市では現在は出荷制限中（一部解除）であるものの、追加汚染のおそれは小さいため、低減対策せずに栽培管理を行える可能性があると考えられた。

2. 汚染程度の異なる土壌への伏せ込み ほだ木のCs-137濃度の推移を図-2に示した。汚染程度の比較的高い

土壌3、4では伏せ込み6か月後、18か月後のほだ木のCs-137濃度は概ね上昇した。汚染程度の比較的低い土壌1、2では、縦伏せの試験区では18か月後の濃度が概ね上昇したが、ヨロイ伏せの試験区では低減対策なしでも濃度上昇が認められなかった。このことから、汚染程度の低い土壌への伏せ込み、ほだ木の土壌への接触が少ない伏せ込み方法がほだ木の追加汚染を抑制するために有効であると考えられた。

引用文献

- (1) 千葉県農林水産部森林課（2022年10月4日）
<http://www.pref.chiba.lg.jp/shinrin/shinrin/rinsanbutsu/shiitake-kaijo.html>
- (2) 岩澤勝巳（2017）客土、シート敷設による土壌からほだ木への放射性セシウム移行防止効果及びほだ木濃度の上昇幅の経年変化. 日本きのこ学会第21回大会講演要旨集: 73
- (3) 成松眞樹（2018）岩手県における原木しいたけ栽培の放射性物質対策. 森林科学 82: 40–43

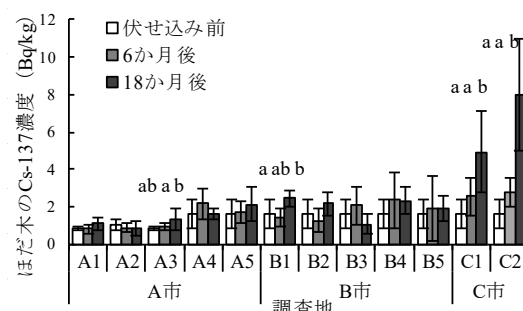


図-1. 各調査地のほだ木のCs-137濃度の推移
注1) 異なる英小文字間は5%水準で有意差あり (Tukey-Kramer法)
2) エラーバーは標準偏差を示す

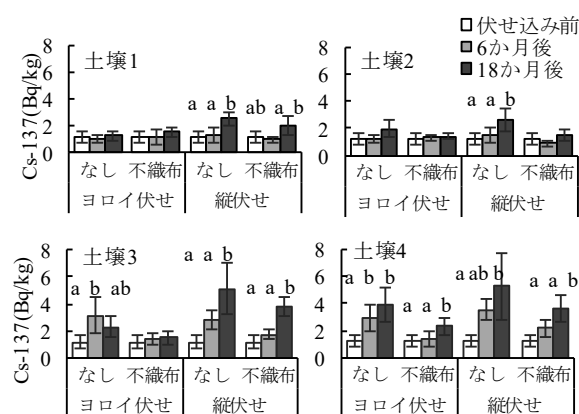


図-2. 各試験区のほだ木のCs-137濃度の推移
注1) 異なる英小文字間は5%水準で有意差あり (Tukey-Kramer法)
2) エラーバーは標準偏差を示す

表-2. 各試験区の土壌のCs-137濃度とほだ木伏せ込み本数

土壌	Cs-137濃度 (Bq/kg-DW)	検出限界	伏せ込み本数 (本)			
			ヨロイ伏せ		縦伏せ	
			なし	不織布	なし	不織布
土壌1	238	1.0	10	10	10	10
土壌2	473	1.7	10	10	10	10
土壌3	1045	2.1	10	10	10	10
土壌4	1684	2.8	10	10	10	10

クヌギ・サクラ類を用いたシイタケ原木栽培における放射性セシウム濃度

関根直樹¹・小林久泰¹・金田一美有²・山口晶子³

¹茨城県林業技術センター・²茨城県県北農林事務所・³茨城県県央農林事務所

要旨：シイタケ原木栽培において、コナラ以外の樹種を原木として用いた場合の放射能汚染に関する知見は乏しい。そのため、クヌギとサクラ類を原木としてシイタケを栽培し、①ホダ木と子実体の放射性セシウム濃度の比から移行係数を求めるとともに、②子実体の発生回数ごとの放射性セシウム濃度の推移を調査した。その結果、クヌギの移行係数は、当センターで 2018 年以降に調査したコナラと同程度であり、サクラ類の移行係数はそれより低かった。また、クヌギ、サクラ類ともに子実体の放射性セシウム濃度は発生回数間で差はなかった。

キーワード：シイタケ原木栽培、クヌギ、サクラ類、移行係数、放射性セシウム濃度

Radiocesium concentration in *Lentinula edodes* (Shiitake mushrooms) by using the *Quercus acutissima* and cherry woods

Naoki SEKINE¹, Hisayasu KOBAYASHI¹, Miyu KINDAICHI², Akiko YAMAGUCHI³

¹ Ibaraki Prefectural Forestry Research Institute; ² Ibaraki Prefectural North Region Agriculture and Forestry Management Office;

³ Ibaraki Prefectural Central Region Agriculture and Forestry Management Office

I はじめに

2011 年に発生した福島第一原子力発電所の事故（以下、事故）によりきこ原木の安定調達に影響が生じており、2019 年 10 月末時点で、供給希望量 55 万本のうちコナラが 9 割を占めている一方、供給可能量 48 万本のうち約 8 割がクヌギ等となっており(4)、原木樹種の需給ミスマッチが生じている。このため、今後、シイタケ原木栽培においてコナラ以外の樹種への一部転換を本格的に検討していく必要があると考えられるが、コナラ以外の樹種を原木として用いた場合の放射能汚染に関する知見は乏しい。そこで、全国で供給可能量の多いクヌギと、きこ用の原木として広く用いられ、茨城県の原木林にコナラと併せて広く生育するため入手が容易であるサクラ類を用いて、①移行係数、②発生回数ごとの子実体の放射性セシウム濃度（以下、濃度）の推移を調べた。

II 材料と方法

1. 試料の採取

事故以前から茨城県林業技術センター構内（以下、構内）で自生していたクヌギ及びサクラ類を伐採し、2017 年にシイタケ（290 号、森産業、群馬県）を植菌し、それぞれ 1 ロットずつ構内のスギ林（空間線量率 0.058～0.064 $\mu\text{Sv/h}$ ）に伏せ込んだ。子実体の発生は、2018 年から 2021 年まで続き、十分な測定下限値が得られる合計約 100 g

以上が、1 シーズンに 1 本のホダ木から収穫された場合を発生 1 回分として濃度測定の試料とした。

ホダ木は子実体が発生しなくなった 2021 年に回収し、末口と元口の中間地点約 150 g をチェンソーで粉碎してオガ粉を採取し、濃度測定の試料とした。

2. 濃度の測定 0.7 L 用のマリネリ容器に試料を充填し、ゲルマニウム半導体検出器で測定し、Cs134 濃度と Cs137 濃度の合計値を濃度とした。含水率は、子実体を 90%に、ホダ木を 12%に補正した。

3. データ解析 移行係数は、ほだ木と子実体の濃度の対応がとれたものについて、子実体の濃度を、発生元のホダ木の濃度で除して算出した。1 本のホダ木につき子実体の濃度を複数回測定していた場合は、その平均値を移行係数の算出に用いた。原木樹種間のホダ木、子実体、移行係数の有意差検定は、Student の t 検定により行った。発生回数間の子実体の濃度の有意差検定は、Tukey-Kramer の多重比較検定により行った。

III 結果と考察

ホダ木及びシイタケ子実体の放射性セシウム濃度、移行係数の算出値について表-1 に示す。シイタケ原木栽培の移行係数の平均は、今井ら(2)及び茨城県林業技術センター(1)が 2018 年以降に伐採したコナラを用いて調査した結果、2 を超えることがあった。今井ら(2)は、経根吸

収によるコナラ原木内部の濃度の高まりにより、森林総合研究所(5)が事故直後に調査した結果（移行係数の平均: 0.62 ± 0.54 ）と比べ、移行係数が大きくなっていると考察している。今回、クヌギ原木の移行係数の平均は 1.89 であり、今井ら(2)が示した値に近かった。また、ほだ木の濃度はロット間で有意差がない一方、サクラ類原木の移行係数はクヌギ原木の移行係数と比較して有意に低く、平均は 0.61 ± 0.30 であり、森林総合研究所(5)が事故直後に示した値に近かった。このことから、サクラ類原木を用いた場合、樹体からシイタケ子実体への放射性セシウムの移行が特異的に少ない可能性が考えられた。

シイタケ子実体の発生回数ごとの放射性セシウム濃度の推移について表-2 に示す。クヌギ原木及びサクラ類原木ともに子実体の発生は最大 3 回まで続き、原木樹種別に子実体の発生回数間の濃度を比較したところ、有意差はなかった ($p > 0.05$)。コナラ原木から発生したシイタケ子実体の発生 1 回目と 2 回目の濃度は概ね同じ傾向であることが報告されており(3)、樹種が異なっているにもかかわらず、子実体の濃度は発生回数で変化しない可能性が考えられた。

IV まとめ

以上の結果をまとめると、シイタケ原木露地栽培にお

いて、①クヌギの移行係数は事故から数年後のコナラと同程度であり、サクラ類の移行係数は低い傾向が見られた。また、②樹種が異なっているにもかかわらず、子実体の濃度は発生回数で変化しない傾向が見られた。今回の結果はサクラ類の有用性を示している可能性があるが、その普遍性を示すには更なる研究が必要である。

引用文献

- (1) 茨城県林業技術センター (2022) 農林水産物モニタリング強化事業 (きのこ・山菜類関係). 業務報告 No.58 (令和 2 年度): 33-34
- (2) 今井芳典・石川洋一・斎藤佳緒里 (2021) ホダ木からシイタケ子実体への放射性セシウムの移行. 関東森林研究 72: 157-160
- (3) 岩澤勝巳 (2014) シイタケ原木栽培における放射性セシウムの移行特性. https://www.pref.chiba.lg.jp/shinrin/shinrin/rinsanbutsu/documents/2014_09kinokogakkai.pdf (2022 年 11 月 7 日閲覧)
- (4) 林野庁 (2020) 第 V 章 東日本大震災からの復興. 令和元年版森林・林業白書: 252
- (5) 森林総合研究所 (2012) 原木シイタケの影響調査. 平成 23 年度安全な「きのこ原木」の安定供給対策事業報告書: 28-30

表-1. ホダ木及びシイタケ子実体の放射性セシウム濃度 (Bq/kg, 平均±標準偏差¹⁾、移行係数の算出値 (平均±標準偏差)

原木樹種	ホダ木		シイタケ子実体		移行係数	
	サンプル数	放射性セシウム濃度	サンプル数	放射性セシウム濃度	サンプル数	算出値
クヌギ	25 (1) ²	21.93±9.62 (7.52) ³	50 (1) ²	39.30±18.77 (10.15) ³	19	1.89±0.82
サクラ類	13	28.72±18.01	25	14.36±5.09 ⁴	13	0.61±0.30 ⁴

1: 平均値と標準偏差は測定下限値以下 (N.D.) となったサンプルを除いて算出した。

2: () 内は, N.D.となったサンプル数を示す。

3: () 内は, N.D.となったサンプルの検出下限値を示す。

4: 原木樹種間で統計的有意差 ($p < 0.01$) があることを示す。

表-2. シイタケ子実体の発生回数ごとの放射性セシウム濃度の推移 (Bq/kg, 平均±標準偏差)

原木樹種	発生回数					
	1 回目		2 回目		3 回目	
	サンプル数	放射性セシウム濃度	サンプル数	放射性セシウム濃度	サンプル数	放射性セシウム濃度
クヌギ	15	40.28±15.97	15	33.29±12.35	5	30.12±21.94
サクラ類	7	14.31±3.92	7	11.12±3.65	2	13.59±1.04

関東森林研究 第 74 卷

2023 年 3 月 31 日発行

編集者：「関東森林研究」編集委員会

逢沢峰昭（委員長）、有賀一広、飯塚和也、大久保達弘、大島潤一、山本美穂

発行者：関東森林学会（会長 佐藤孝吉）

発行所：東京農業大学地域環境科学部内

関東森林学会事務局

〒156-8502 東京都世田谷区桜丘 1-1-1

印刷所：弥生プリント
