

## バイオマス利用拡大による地力低下防止のための燃焼灰林地還元研究の必要性

三浦覚・佐野哲也・古澤仁美・金子真司 (森林総研)

要旨:木質バイオマス利用拡大の動きの中で林地残材に注目が集まっている。林地残材の利用拡大による養分の持ち出しが地力低下に及ぼす影響を検討するために、既存のデータを元に、スギ林の地上部バイオマスに含まれる養分量と土壌中の養分量を比較した。スギ林の枝葉には、カリウムでは地上部バイオマス全体の 1/3、リン、カルシウム、マグネシウムでは 1/2 の量が集積されていた。鉍質土壌中の養分量に対する、地上部バイオマスに含まれる養分量の比は、カルシウムとマグネシウムでは1.0を下回っていたが、リンではすべての林分で1.0を上回り、カリウムは0.4~1.4の範囲にあった。林分から損失する養分を補う対策の一つに林地肥培があり、木質バイオマスの利用が進んでいる欧米では木質バイオマスの燃焼灰を林地に散布して栄養塩類を還元する方法が研究され、事業レベルで実用化されている。欧米とは立地条件が異なるわが国で同様の試みを実用化するためには、燃焼灰の安全性確保、林地に施用する技術の確立、燃焼灰施用が生態系に及ぼす影響評価などに関する研究に早急に取り組む必要がある。

キーワード:木質バイオマス, 林地残材, 栄養塩, 燃焼灰, 物質循環

## I はじめに

化石燃料への依存を低減し地球温暖化を防止して、持続的に発展可能な循環型社会を実現することが国の施策とされ、2006年3月にバイオマス・ニッポン総合戦略が定められ、2009年9月にはバイオマス活用推進基本法が施行された。地球温暖化防止のための適応策は産業分野によって異なる。森林・林業・木材分野にあつては、再生産可能な木質バイオマスのエネルギー利用拡大は合理的な貢献策といえる(10)。平成19年木材需給表によれば、木質バイオマスの発生量のうち、製材工場等の残材1,070万 $m^3$ の大部分と建設発生木材1,180万 $m^3$ の7割程度はエネルギーやマテリアル利用されているが、素材生産の際に発生する枝葉や梢端などの林地残材約2,000万 $m^3$ は、ほとんどが未利用のままとなっており、その利用が促進されようとしている(8)。しかし、生産された幹から枝葉まで地上部バイオマスのすべてを森林から持ち出して、製材品、加工品からエネルギー利用に至るまで徹底した利用を図ることは、同時に林地から多量の栄養塩を持ち出すことをも意味する。元来、森林生態系は、一次生産に必要とされる栄養塩を生態系内部で循環利用することで成り立っている。そのような自己施肥系を形成することで生産力を維持し発達させている森林生態系から、間伐や主伐の際に多量の栄養塩が持ち出されると生産力の低下を招く危険性がある。生産力の低下は、すなわち森林による炭素固定能力の低下を意味し、また、生産力が低下した森林では生態系サービスの水準が低下することも危惧される。仮に

そのような状況が起こるとすれば、それはバイオマス・ニッポン総合戦略が描く健全で活力のある森林の育成とは相反する状況と言わざるを得ない。

本報告では森林における栄養塩の現存量に関する既存データから、林地残材の利用拡大がもたらす生産力低下の危険性を指摘する。ついで、欧米で進んでいる燃焼灰の林地還元の事例を紹介し、欧米とは立地条件が異なるわが国で同様の試みを実施する上での問題点について検討する。

## II 森林におけるミネラルの現存量とバイオマス利用

わが国の主要造林木であるスギを対象に、林分の養分集積量が計算されたデータ(4, 13, 14)から、林地残材の持ち出しによる養分元素(リン、カリウム、カルシウム、マグネシウム)の損失を検討した。スギ林の枝葉には、カリウムでは地上部バイオマス全体の1/3、リン、カルシウム、マグネシウムでは1/2の量が集積されていた(表-1)。収穫時に枝葉を含む地上部バイオマス全体を利用することは全木集材を行うに等しく、幹だけを収穫する方法に比べて1.5~2倍の養分が林外へ持ち出されることになる。鉍質土壌中の可給態養分量に対する地上部バイオマスに含まれる養分量の比は、カルシウムとマグネシウムでは1.0を下回っていた(図-1)。カルシウムとマグネシウムについては、養分量の比からみれば、枝葉を含む地上部バイオマスの持ち出しによっても養分が不足する恐れは低い。一方、リンでは、鉍質土壌中の可給態養分量に対する地上部バイオマス中の養分量の比が、平均10.7であった。可給態量評価の困難さという問題も

Satoru MIURA, Tetsuya SANO, Hitomi FURUSAWA, Shinji KANEKO (For. and Forest Prod. Res. Inst. Ibaraki 305-8687) Needs for studies on wood ash application to forests to prevent reducing nutrient availability

あるが、持ち出しによる損失の影響が大きい元素であるといえよう。また、カリウムでは平均0.8と地上部バイオマスに含まれる養分量が土壤中の可給態養分量を上回る林分が数ヶ所みられた。カリウムは他の元素と比べて幹に存在する比率が高いことから(表-1)、材のみを持ち出す従来の方法でもその影響がたびたび懸念されてきた元素の一つである(2, 13)。

収穫による地力低下が林分の発達に及ぼす影響を検討しようとした試みはあるものの(6)、具体的な評価例は少ない。しかし、林地における塩基の不足が森林の衰退につながる可能性を示唆する例はいくつか報告されている。例えば、近年九州の宮崎県を中心に報告されている壮齢スギ林の集団葉枯れ(14)は、症状でみられる葉の変色が養分欠乏とりわけカリウムやマグネシウムの欠乏によって引き起こされる一般的な症状と似ており、土壤中の交換性塩基類の欠乏が原因となっている可能性が指摘されている(5, 7)。

以上でみたような森林の栄養塩の集積状況や栄養塩類不足が林木に及ぼしていると考えられている影響を考慮すると、林地残材の利活用拡大には、地力低下防止の対策も合わせて考えておくことが重要である。

### III 北欧における燃焼灰林地還元の研究

林分から損失する養分を補う対策の一つに林地肥培がある。林地肥培の試みは国の内外を問わず行われており、我が国では1950～80年代を中心に肥培試験や研究が盛んに行われてきた(3)。ただし、海外のバイオマス利用先進国とわが国の林地肥培研究の動向には大きな違いがある。それはわが国では、栄養塩の不足を専ら化学肥料の投入で補おうとしてきたのに対し、欧米のバイオマス利用先進国では木質バイオマスの燃焼で大量に発生する燃焼灰を肥料として利用することを検討してきた点である。欧米では、第一次オイルショック以降、木質バイオマスのエネルギー利活用を進めるとともに、燃焼で大量に発生する燃焼灰を肥料として利用することに積極的に取り組み、今日に至るまで実証的な研究が積み重ねられている(9)。

例えば、フィンランド、スウェーデン、デンマーク、米国では1970～80年代から木質バイオマスのエネルギー利用が本格的に開始され、今日では大規模な温水ネットワーク供給プラントが木質バイオマスを燃料として稼働している(10)。燃焼灰の林地還元は、すでに述べた栄養塩の持ち出しによる地力低下と土壌および水系の酸性化への懸念から導入され(9, 12)、現在では事業レベルで林地への燃焼灰散布が行われている(図-2)。フィンランドでは、2004年に15万トンの木質燃焼灰が排出され、そのうち2.7万トンが林地に還元されている。またスウェーデンでは、30万トンの木質燃焼灰が排出され1.5万トンが林地に還元されている(12)。

スウェーデン林野庁が発行する木質燃料の伐出と燃焼灰のリサイクルハンドブック(12)は、主に①散布可能な灰の生産と②散布の計画と実施、の2つのパートから構成されている。①散布可能な灰の生産では、灰の種類、散布灰製造前の検査、散布に適した加工、散布前の検査について言及され、②散布の計画と実施では、葉分析等に基づいた施用量の決定、鉍質土壌への施用、泥炭地への施用、散布方法(地上散布、空中散布、窒素添加、石灰添加)などについて言及されている。スウェーデンでは、立地条件や葉分析による診断技術が確立され、地力低下を防ぐレベルから、肥培効果による成長促進をめざすレベルまで灰の施用量を計画するシステムが作られている。以上のように、欧米とりわけ北欧では、木質バイオマスのエネルギー利用と燃焼灰の林地還元が、すでに社会に定着する段階に至っている。

わが国の林地肥培研究は大量の化学肥料の投入に対する批判などによって衰退してしまった経緯がある。とはいえ、木質バイオマス燃焼灰の林地還元は、林地残材等の木質バイオマスの利活用拡大を図り循環型社会の実現をめざすうえで検討に値するのではなかろうか。

### IV 日本における燃焼灰林地還元研究の必要性

わが国で燃焼灰の林地還元を実施するにあたっては、平坦地で林業が展開されポドゾルの分布が広い北欧の状況をそのままわが国にあてはめることはできない。日本は急傾斜地が多く、火山灰の影響を受けた土壌が広く分布するなど立地条件を大きく異にしており、わが国固有の問題を段階的に解決していく必要がある。

第一に燃焼灰の安全性の確保が必要である。林地から持ち出した幹や枝葉には、特殊な地質母材の立地や人為的な汚染地域で成育した森林でなければ、バイオマスの材料自体に有害金属等が多くに含まれることはほとんどないと考えられる。しかし、燃焼機器の性状と燃焼条件によっては元の材料以上に有害金属等が付加されることがある(9)。また、燃焼灰を林地に還元する際には、散布地において有害金属等が局所的に高くなると考えられる。これにより有害元素の濃度が土壌や水質の環境基準を上回るようなことがあってはならない。日本の森林の7割は水源涵養保安林に指定されており、水源水質の安全性を確保しなければならない。第二として、燃焼灰を大規模に林地に撒くためには、施用に関する技術を確立する必要がある。乾いた粉状の灰をそのまま林地に撒くことは困難であり効率が悪く、北欧では湿った固まりの状態で撒いたり、粒状に加工して撒いたりしている(9)。また、平坦な林業地が多い北欧であってもトラクターによる地上散布のほか、ヘリコプターによる空中散布も導入されている。急傾斜地の多いわが国では林内を自由に走行可能なトラクターの導入は実現されておらず、燃焼灰を撒く

ための灰の加工技術や林地への施用技術も大きな課題である。第三に重要な点として、燃焼灰を撒くことが生態系に及ぼす影響についての十分な事前評価を行うことが挙げられる(7)。燃焼灰の林地還元は収穫とともに持ち出されたミネラルを補給するために行うのであるが、過剰な施用は灰の塩基成分のために土壌のアルカリ化を引き起こし養分欠乏とは別の問題を引き起こす可能性がある(8)。わが国では1950年代後半から90年代前半にかけて林地肥培の研究や実証試験が盛んに行われ窒素、リン、カリウム等の主要成分に関する施肥試験の蓄積がある(9)。そのような研究蓄積も活かして、燃焼灰散布による森林や土壌さらには渓流水質への影響について事前評価を行うことが不可欠である。

以上のように、わが国で燃焼灰の林地還元を導入するためには、いくつものハードルを超えなければならない。しかし、持続可能な循環型社会構築のために化石燃料の利用削減を避けて通ることはできず、代替エネルギーとして木質バイオマスの利用拡大は社会の大きな流れとなっている。新たな技術の導入にはプラスの側面と同時に、しばしばマイナスの側面ももたらされる。林地残材のバイオマス利用拡大も例外ではなく、それがバイオマスの供給源である森林の健全性や活力を損なうことがないかどうか確認をしながら進める必要がある。森林の一施業期間は長い。プラス面だけに注目して森林の取り扱いを大きく変化させると、ひとたび問題が生じたときの回復は容易ではない。新たな技術に対する安全網を張る視点に立ち、林地残材のバイオマス利用拡大のマイナス面を最小限に留める技術として、わが国でも燃焼灰の林地還元に関する研究に早急に取り組む必要がある。

#### 謝辞

本研究の一部は、新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業研究「次世代高カロリー木質ペレット燃料『ハイパー木質ペレット』の製造・利用技術の開発」の補助を受けて実施した。

#### 引用文献

- (1) Andreas Aronsson and Nils Ekelund (2004) Biological effects of wood ash application to forest and aquatic ecosystems. *J. Environ. Qual.* 33:1595-1605.
- (2) 原田洸 (1970) スギの成長と養分含有量およびこれに及ぼす施肥の効果に関する研究. *林試研報*, 230:1-104.
- (3) 原田洸 (1979) 林地肥培研究の動向. *森林と肥培* 100:19-23.
- (4) 原田洸・佐藤久男・堀田庸・蜂屋欣二・只木良也 (1972) スギ壮齡林の養分含有量に関する研究. *林試研報*, 249:17-74.
- (5) 今矢明宏・酒井正治・大貫靖浩・赤間亮夫 (2005) スギ集団葉枯症の発生林分と隣接未発生林分の土壌. *九州森林研究*, 58:202-205.
- (6) 井上輝一郎・岩川雄幸・吉田桂子 (1965) 地力維持に関する研究. *昭和39年度林業試験場四国支場年報*, 56-59.
- (7) 長倉淳子・重永英年・今矢明宏 (2008) スギ集団葉枯症発生林分の葉の栄養状態. *九州森林研究*, 61:150-151.
- (8) 林野庁 (2009) 平成21年版森林・林業白書. 182pp., 日本林業協会, 東京.
- (9) Rona Pitman (2006) Wood ash use in forestry - a review of the environmental impacts. *Forestry* 79:563-588.
- (10) 鮫島昌宏 (2008) 森林資源および木質バイオマス利用推進のための課題. *学術の動向* 13(10):81-84.
- (11) 讃井孝義・黒木逸郎 (2004) スギ衰退林分の分布と環境要因. *九州森林研究*, 57:235-238.
- (12) Stig Emilsson (2006) From extraction of forest fuels to ash recycling. *International handbook*, 42pp., Sweden Forest Agency, Jönköping.
- (13) 戸田浩人・生原喜久雄・新井雅夫 (1991) スギおよびヒノキ壮齡林小流域の養分循環. *東京農工大演報*, 28:1-22.
- (14) 四大学・信大合同調査班 (1966) 森林の生産力に関する研究, 第Ⅲ報スギ人工林の物質生産について. 63.pp, 日本林業技術協会育林技術研究会, 東京.

表-1. スギ人工林分の地上部バイオマス(スギ葉、枝、幹)における主要元素の存在比率

養分元素	P (21)	K (21)	Ca (21)	Mg (18)
葉	0.37	0.31	0.33	0.37
枝	0.11	0.04	0.16	0.07
幹	0.51	0.65	0.51	0.56
葉枝/葉枝幹	0.49	0.35	0.49	0.44

注:四大学( 14), 原田ら( 4), 戸田ら( 13)に掲載された林齢30~70年スギ人工林における値の平均値( )の中の値は計算に用いた総林分数(四大学=8、原田ら=12、戸田ら=1林分。ただし原田らの3林分はMgの測定が行なわれていない。)

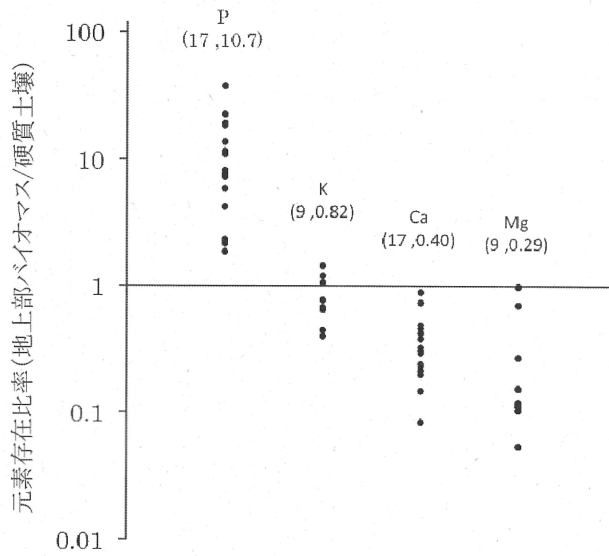


図-1. スギ人工林分における塩基類の存在比率(地上部バイオマス/鉱質土壌)

注:表-1の算出に用いた四大学( 14), 原田ら( 4), 戸田ら( 13)に掲載された林分のうち土壌の主要元素量も計測されている林分を用いて算出:(対象林分数,平均値)。



図-2. スウェーデンにおける燃焼灰の地上散布(写真:Mid Sweden 大学研究グループ)