

同齢単純林における上層樹高の量的定義

細田和男¹・福本桂子¹・山田祐亮¹・北原文章¹・西園朋広¹・高橋正義¹・齋藤英樹¹

1 森林総合研究所 森林管理研究領域

要旨：スギ、ヒノキまたはカラマツの同齢単純林において、目視による階層区分が行われた 331 回分の毎木調査データを用い、階層区分による上層樹高と、8 種類の量的な定義による上層樹高とを比較した。その結果、目視での階層区分による上層樹高に近い値を示す量的定義は、Lorey の平均樹高、樹高の 2 乗を重みとする加重平均樹高、樹高が高い方から本数で 90% の平均樹高であった。樹高の 2 乗を重みとする加重平均樹高は、Lorey の平均樹高とよく一致し、樹高だけのデータセットにおいて、Lorey の平均樹高の代用になると考えられた。

キーワード：樹型級区分、Lorey の平均樹高、スギ、ヒノキ、カラマツ

Quantitative definition of top height in even-aged pure stands

Kazuo HOSODA¹, Keiko FUKUMOTO¹, Yusuke YAMADA¹, Fumiaki KITAHARA¹, Tomohiro NISHIZONO¹
Masayoshi TAKAHASHI¹, Hideki SAITO¹

1 Department of Forest Management, Forestry and Forest Products Research Institute

Abstract: Top height by visual classification were compared with top height by other eight quantitative definitions, using 331 times inventory dataset in even-aged pure stands of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*), cypress (*Chamaecyparis obtusa*) or larch (*Larix kaempferi*). Lorey's mean height, average height weighted by square of single tree height and average height of the 90% highest tree were close to the top height by visual classification. Average height weighted by square of single tree height also match well to Lorey's mean height, and could be substitute of Lorey's mean height in inventory dataset with only tree height.

Key-word: Crown classification, Lorey's height, Japanese cedar, Japanese cypress, Japanese larch

1 はじめに

上層樹高とは、上層林冠を構成する生立木の樹高の平均値であり、被圧木や枯死木の樹高は含めずに計算される。上層樹高に類する用語には、上層木平均樹高、上層高、林分高、優勢木平均樹高、林冠高、森林群落高などがあるが、本稿では上層樹高で統一する。上層樹高は、林分密度と無関係ではないが、林分密度の影響を受けにくいとされ、間伐に左右されない地位の指標として用いられてきた (1, 8)。地位級は、対象林分の上層樹高を各地位の収穫表と比較することによって判定される。地位指数は基準林齢における上層樹高そのものであり、対象林分の上層樹高を地位指数曲線と比較することで推定される。また、林分密度の代表的な指標である収量比数や相対幹距の計算には、いずれも上層樹高が必要である。林分の現況を評価し、将来の成長を予測し、今後の管理方針を検討するにあたって、上層樹高はきわめて重要な林分統計量の 1 つであるといえる。

定性的間伐の基準として広く知られている寺崎式樹型級区分 (17) では、1 級木および 2 級木が上層木に相当する。樹高測定に加え、目視による樹型級区分が行われた毎木調査データであれば、1 級木および 2 級木の樹高だけを抜き出して平均し、上層樹高を算出することができる。樹型級区分が行われていなくても、上層木と下層木の区別や、被圧の有無が記録されていれば、同様に上層樹高を計算できる。北米においては dominant trees および codominant trees の平均樹高をもって上層樹高とし、地位指数を推定するのが一般的である (5)。

一方、上記のような目視による階層区分を用いない上層樹高の定義もある。すなわち樹高が高い方から順に、もしくは胸高直径が太い方から順に、単位面積あたり一定の本数の平均樹高を上層樹高と定義するものである。具体的な本数は、国や組織によって異なるが 40~100 本/ha が選ばれることが多い (18)。また、面積あたり一定本数でなく、樹高あるいは胸高直径の上位から一定の本

数割合の平均樹高という定義もある(6)。

Sharma *et al.* (14) は、欧州では胸高直径の太い方から 100 本/ha あるいは 20%の平均樹高という定義がしばしば用いられる、と述べている。わが国における近年の研究報告では、樹高の高い方から 100 本/ha (4, 11), 同じく 250 本/ha (15) といった例がみられる。また、わが国の林分密度管理図のほとんどにおいては、上層樹高は「被圧木・枯死木以外の平均樹高」と定義されているが、トドマツ人工林用の林分密度管理図では「樹高上位 250 本/ha の平均樹高」、民有林の広葉樹林用密度管理図では「樹高上位 50%の平均樹高」と定義されている(12)。

この他にも、胸高断面積を重みとして加重平均することにより下層木の影響を小さくした Lorey の平均樹高(7)は古くから知られ、現在でも用いられている(2, 10, 14, 16)。また、樹高の頻度分布において上層と下層のしきい値を客観的に決定する方法が Inoue *et al.* (3) によって提案されており、樹高の頻度分布が二山型の場合は、この方法によって目視によらずに上層木を抽出できる。さらに、中井(9)は樹高階別の胸高断面積合計に着目して、客観的に決定できる森林群落高 CuBI Height を提案している。

過去に収集された毎木調査データを解析する場合、上層樹高の算出に必要な階層区分が行われていないことがある。新たに毎木調査を実施する場合でも、作業の効率化のため目視による階層区分を省略したい場合、あるいは調査者による目視判断のばらつきや偏りを避けたい場合もある。このような場合は、先に述べたような量的な定義による上層樹高を用いることになるが、階層区分による上層樹高と量的定義による上層樹高との関係はこれまで明らかにされてこなかった。そこで本研究においては、同齢単純林において寺崎式樹型級区分が行われた多数回の毎木調査データを用い、1 級木および 2 級木の平均樹高と、いくつかの量的定義による上層樹高とを比較し、上層樹高の量的定義の中から、階層区分による上層樹高に近い定義を特定することを目的とした。

II 資料と方法

毎木調査データとして、関東森林管理局および中部森林管理局管内の国有林に設定されたスギ、ヒノキまたはカラマツの同齢単純林である収穫試験地(西園ら 2019)のデータを用いた。各試験地では、およそ 5~10 年間隔で胸高直径、樹高、寺崎式樹型級区分の全数調査を行うのが原則であるが、一部の調査回では樹高が抽出調査であったり、樹型級区分が記録されていなかったりする場合もあった。

本研究では、樹高と胸高直径が実測され、樹型級区分が記録されている立木が 50 本以上かつ全本数の 90%以上である調査回のみを解析対象とした。目的樹種以外の混交樹種、枯死木、また胸高直径・樹高・樹型級区分のいずれかが欠測である立木は解析対象外とした。

これらの基準をもとに採用したデータセットは 331 回分で、樹種別の内訳はスギ 100 回分、ヒノキ 139 回分、カラマツ 92 回分である。調査区面積の範囲は 0.041~0.4ha、平均 0.18ha、調査時点での林齢の範囲は 10~108 年、平均 52 年、各調査回における調査本数の範囲は 52~746 本、平均 221 本である。

各調査回のデータセットに対し、目視による寺崎式樹型級区分の 1 級木および 2 級木の平均樹高(Ht)を算出して、各種の量的定義による上層樹高と比較した。本研究で比較検討した上層樹高の量的定義は以下の 8 種類である。

- Lorey の平均樹高 (HLorey)
- 樹高の 2 乗を重みとする加重平均樹高 (Hh2)
- 四捨五入で整数にした樹高の最頻値 (Hmode)
- 樹高が高い方から 100 本/ha、250 本/ha の平均樹高 (Ht100, Ht250)
- 樹高が高い方から本数で 20%、50%、90%の平均樹高 (Ht20%, Ht50%, Ht90%)

HLorey および Hh2 はそれぞれ以下の式で表される。

$$HLorey = \frac{\sum h \pi d^2 / 4}{\sum \pi d^2 / 4} = \frac{\sum h d^2}{\sum d^2}$$

$$Hh2 = \frac{\sum h h^2}{\sum h^2} = \frac{\sum h^3}{\sum h^2}$$

ここで h は単木の樹高(m)、d は単木の胸高直径(cm)を表す。Lorey の平均樹高は、胸高断面積を重みとする加重平均樹高と定義されるが(7)、胸高断面を円と考えれば、胸高直径の 2 乗を重みとする平均樹高と同じである。

Hh2 は Lorey の平均樹高と同じ発想で、樹高の平均値におよぼす下層木の影響を小さくしようとするもので、航空レーザー測量などリモートセンシング技術の普及により今後、胸高直径がなく樹高だけのデータセットが多くなってくる可能性を考え、新たに考案したものである。

Hmode は、最も頻度の高い階級が複数ある場合は、それらを平均して小数になることもあるが、多くの場合、離散的な整数として算出される。

以上 8 種類の定義による上層樹高に加え、対照として枯死木を除いた生立木全体の単純平均樹高(Hmean)も比較検討の対象とした。

なお、前述のとおり Inoue *et al.* (1998) の方法は、樹高の頻度分布が二山型の場合に適した方法で、本研究で対

象とする同齡単純林には向かない。また中井 (2015) の CuBIHeight は、特に実務利用を考えると計算方法が複雑過ぎるので、これら 2 つの方法は、本研究では比較検討の対象外とした。さらに、各調査回の調査者はそれぞれ異なるが、いずれも習熟した研究者や専門技術者であったこと、また固定試験地であり前回調査時の樹型級を参考にしつつ判定が行われたことから、樹型級区分における個人差を考慮せずに検討を進めた。

階層区分による上層樹高 Ht と、量的定義による 8 種類の上層樹高 (HLorey, Hh2, Hmode, Ht100, Ht250, Ht20%, Ht50%, Ht90%) および平均樹高 Hmean との間には、当然ながら明らかな正の相関がある。差異の小ささを評価するため、両者の平均二乗誤差平方根 (RMSE) を、3 樹種全体および樹種別に求めた。また、両者の関係が 1 対 1 に近いかを評価するため、両者の関係に一次式をあてはめ、得られた一次式の傾きおよび切片を比較した。この際、一次式の従属変数を各定義の上層樹高あるいは Hmean とし、独立変数を Ht とした。一次式の傾きが 1 に近いほど、また切片がゼロに近いほど、従属変数と独立変数とが 1 対 1 の関係に近いことを示す。

III 結果と考察

階層区分による上層樹高 Ht と、量的定義による 8 種類の上層樹高 (HLorey, Hh2, Hmode, Ht100, Ht250, Ht20%, Ht50%, Ht90%) および平均樹高 Hmean との平均二乗誤差平方根 (RMSE) を図-1 に示した。上層樹高の量的定義の中で、相対的に RMSE が小さいのは HLorey, Hh2 および Ht90% で、3 樹種全体または樹種別の RMSE は 0.24~0.51m の範囲であった。これに対し、Ht100, Ht250, Ht20% および Ht50% の RMSE の範囲は 0.91~3.01m と相対的に大きく、これらは全体ないし樹種別にそれぞれ対応する平均樹高 Hmean の RMSE よりも大きかった。例えば、3 樹種全体の RMSE が Hmean で 0.64m であるのに対し、Ht50% では 1.08m であった。

Ht を独立変数、各定義の上層樹高や平均樹高を従属変数としてあてはめた一次式の傾きを図-2 に示した。Ht20% および Ht50% は、3 樹種全体または樹種別の傾きが 1.05~1.09 であり、相対的に他の定義に比べ傾きが 1 から離れていた。

Ht を独立変数、各定義の上層樹高や平均樹高を従属変数としたときの一次式の切片を図-3 に示した。切片が相対的にゼロに近いのは HLorey, Hh2, Hmode, Ht50% および Ht90% で、3 樹種全体または樹種別の切片の範囲は -0.76~0.15m の範囲であった。これに対し Ht100 および Ht250 の切片の範囲は 1.16~2.31m で、相対的に他の定

義に比べ切片がゼロから離れていた。

以上の RMSE、一次式の傾きおよび一次式の切片の比較結果を総合すると、目視区分による上層樹高 Ht と各種の量的な定義による上層樹高との対応関係について、次のように言える。

まず、Ht100 および Ht250 は一次式の切片が 1 m 以上であることからうかがえるように、Ht よりも明らかに大きく、特にカラマツで過大である。RMSE も大きく、相対的にばらつきが大きいことから、Ht100 や Ht250 は全体として Ht によく近似しているとはいえない。次に、Ht20% および Ht50% は、これらの切片は Ht100 や Ht250 ほどにはゼロから離れていないが、傾きが 1.05 以上で、また RMSE も相対的に大きいことから、やはり Ht によく近似しているとは言えない。以上の Ht100, Ht250, Ht20% および Ht50% よりは、むしろ下層木を含む単純平均樹高である Hmean の RMSE が小さく (図-1)、目視区分による上層樹高 Ht との近似性が高いといえよう。

本研究で比較検討した量的定義の中で、Ht との近似性が高いのは HLorey, Hh2 および Ht90% であった。これら 3 つは、RMSE が小さく、相対的に一次式の傾きが 1 に近く、切片がゼロに近かった。Hmode は、相対的に一次式の傾きが 1 に近く、切片がゼロに近いものの、RMSE がやや大きかった。これは、四捨五入で整数にして最頻値を求めている影響によるものであろう。

先に述べたように Hh2 は、航空レーザー測量などの普及を背景として今後、胸高直径がなく樹高だけのデータセットが増えてくる可能性を考え、新たに考案したものであるが、階層区分による Ht との近似性は高く、HLorey と同等であった。また Hh2 と HLorey との RMSE を計算したところ、3 樹種全体で 0.20m、スギだけでは 0.26m、ヒノキまたはカラマツだけではそれぞれ 0.16m であり、Hh2 と HLorey との近似性も高いことが確認された。樹高の 2 乗を重みとする加重平均樹高 (Hh2) は、Lorey の平均樹高 (HLorey) の代用となることが示されたといえる。

結論として、本研究で比較した 8 種類の定義の中で、目視での階層区分による上層樹高に近い値を示す量的定義は、Lorey の平均樹高、樹高の 2 乗を重みとする加重平均樹高、樹高が高い方から本数で 90% の平均樹高、の 3 つであった。上位 250 本/ha の平均樹高や上位 20% の平均樹高のような定義は、もちろん目的に応じ、定義を明示して用いる分には問題ないが、階層区分による上層樹高と比べると過大な値になることに注意が必要であると考えられた。

本研究では、目視区分による上層樹高に近い量的な定

義を見出すことに目的を絞ったが、Sharma *et al.* (14) は無間伐や間伐率の異なる林分の地位指数を評価するには、上位から一定数の平均樹高よりも、目視区分による dominant trees および codominant trees の平均樹高のほうが適切であることを、テーダマツの固定試験地の事例から明らかにしている。わが国においても、今後このような観点からの検討が期待される。

引用文献

- (1) 安藤貴 (1968) 同齡単純林の密度管理に関する生態学的研究, 林試研報 210 : 1-153
- (2) 細田和男ほか (2018) 低コストのデジタル空中写真で林分材積を高精度に推定する. 森林総合研究所研究成果選集 (平成 30 年版) : 22-23
- (3) Inoue A, Mizoue N, Yoshida S, Imada M (1998) A new method for analyzing forest stratification based on discriminant criteria. *Journal Forest Planning* 4:35-38
- (4) 石橋聡・鷹尾元・高橋正義・駒木貴彰・飯田滋生 (2005) 北海道地方版カラマツ人工林収穫予想表. 森林総合研究所北海道支所
- (5) Kershaw JA, Ducey MJ, Beers TW, Husch B (2017) *Forest mensuration* 5th ed. Wiley Blackwell
- (6) Laar A, Akça A (2007) *Forest Mensuration*. Springer
- (7) Lorey T (1878) Die mittlere Bestandeshöhe. *Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung* 54:149-155
- (8) 嶺一三 (1955) 収穫表に関する基礎的研究と信州地方カラマツ林収穫表の調製. 収穫表調整業務研究資料 12 : 1-201
- (9) 中井太郎 (2015) 北方林の群落高と微気象. *低温科学* 73 : 65-71
- (10) Næsset E (2002) Predicting forest stand characteristics with airborne scanning laser using a practical two-stage procedure and field data. *Remote Sensing of Environment* 80:88-99
- (11) Nishizono T, Kitahara F, Iehara, T, Mitsuda Y (2014) Geographical variation in age-height relationships for dominant trees in Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) forests in Japan. *Journal of Forest Research* 19:305-316
- (12) 西園朋広・井上昭夫・細田和男 (2013) 収量比数と相対幹距との関係—関係式の誘導とその性質—. *森林計画学会誌* 47 : 16-28
- (13) 西園朋広ほか (2019) 平成 23~27 年度に調査した収穫試験地等固定試験地の経年成長データ (収穫試験報告第 26 号). 森林総研研報 18 : 231-273
- (14) Sharma M, Amateis RL, Burkhart HE (2001) Top height

definition and its effect on site index determination in thinned and unthinned loblolly pine plantations. *Forest Ecology and Management* 168 : 163-175

(15) 滝谷美香 (2014) トドマツ人工林の地位指数曲線の改訂. 北林試研報 51:7-11

(16) 田中真哉 (2018) 広葉樹はどのくらいある? 地上調査とリモートセンシングによる資源量評価. 平成 30 年度森林総合研究所関西支所公開講演会要旨集 : 7

(17) 寺崎渡 (1928) 実験間伐法要綱. 大日本山林会

(18) West PW (2015) *Tree and Forest Measurement* 3rd ed. Springer

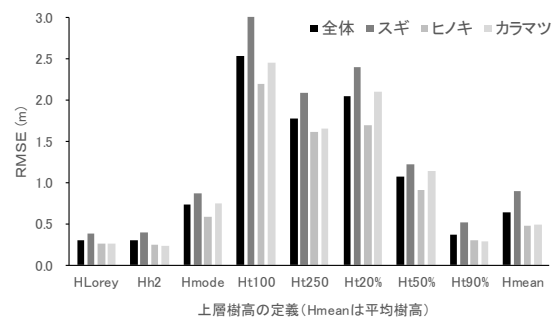


図-1. 階層区分による上層樹高と他の量的定義による上層樹高の平均二乗誤差平方根の比較

Fig.1 Root mean square error between the top heights by visual classification and by the other quantitative definitions.

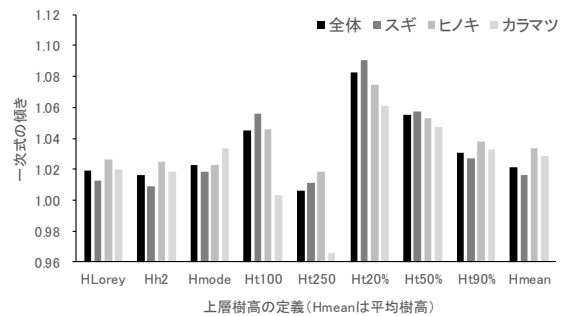


図-2. 一次式の傾きの比較

Fig.2 Comparison of slope of linear equations

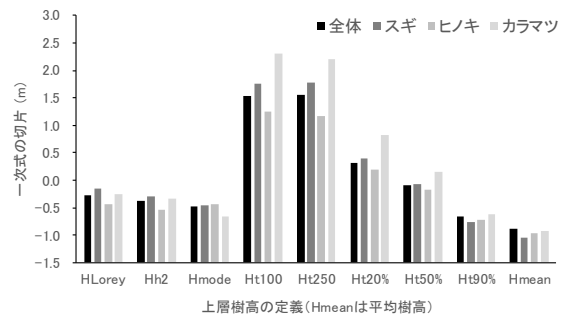


図-3. 一次式の切片の比較

Fig.3 Comparison of intercepts of linear equations