

森林の垂直構造の簡易な定量的測定法の開発

五十嵐哲也

森林研究・整備機構 森林総合研究所

要旨：森林の垂直構造は森林のハビタットとしての質を表す重要な情報と言える。垂直構造の複雑さを表す指標としては、FHD (foliage height diversity) が一般的であるが、推定には手間やコストが掛かる。そこでレーザー距離計を用いた簡易な手法で森林葉群の垂直分布を測定する方法の開発を試みた。森林内の一点から、わずかずつ仰角を変えて測定を行うことで短時間におおまかな葉群の垂直分布に関するデータを取得し、これを階層別葉群密度の代替としてFHDを推定した。推定の妥当性については仮想の葉群分布データを用いたシミュレーションで検討し、真値より有意に小さくなる傾向があるものの、一断面当たりのレーザー測定数を増やすことで真値との差を小さくできることが示された。

キーワード：葉群の垂直分布、垂直構造、レーザー距離計、生物多様性

Development of simple quantitative measurement method of the vertical structure of forest

Tetsuya IGARASHI

Forestry and Forest Products Research Institute, Forest Research and Management Organization

Abstract: The vertical structure of the forest affects diversity, and it is essential information showing the quality as a habitat of the forest. FHD (foliage height diversity) is familiar as an index indicating the complexity of the vertical structure. Although, the investigation of the vertical structure needs troublesome labor and cost. Therefore, we attempted to develop a simple method which can measure the approximated vertical distribution of leaf using the laser rangefinder. In this method, I can obtain the distribution point data of vertical leaf distributions in a short time by measuring the distance and angle to the leaves by slightly changing the angle from horizontal to vertical from one point in the forest. I analyze the point cloud data obtained, estimate the occupancy rate by leaf group at each hierarchy of the forest, and estimate FHD as a substitute for hierarchical leaf group density. The validity of the estimation was investigated by simulation using virtual leaf group distribution data constructed on the computer. As a result, there was a tendency to be significantly smaller than the actual value, but by increasing the number of laser measurements per section, the difference from the actual value could be reduced.

Key-word: vertical distribution of leaves, vertical structure, laser range finder, biodiversity

I はじめに

森林の垂直構造は鳥類、植物、小型ほ乳類などの多様性と関係があり、森林のハビタットとしての質を表す重要な情報であり、生物多様性の解析に当たり、環境条件を表すパラメータの一つとして加える価値があると考えられる。垂直構造の複雑さを表す指標としては、FHD (foliage height diversity) が一般的である。これは階層別葉群密度を元に、Shannon-Weaner の多様度指数 H' と同様の計算方法で求めるが、階層別葉群密度の調査には手間やコストが掛かるという難点がある。階層別葉量の調査方法については様々な試みがあるが、それぞれ問題点があり、手軽に低コストで行える調査方法は存在しないのが現状

である(2)。目視による階層別葉量の推定は個人差が大きく、定量的とは言い難い。足場を組んで葉を刈り取って数える層別刈り取りは膨大な手間と時間がかかる。全天写真やキャノピーアナライザーによる測定も、カメラやセンサーを各階層の高さに持ち上げるために梯子やタワーなどが必要になる。地上据え置き LIDAR による測定は高精度かつ比較的容易な調査方法であるが、まだ比較的に高価であり、データの処理方法も確立していない。より簡易な器具で地上から葉群を測定する方法としては、MacArthur-Horn 法(1)が最も古いものであり、カメラのピントを利用して葉までの距離を測定するため、そこに起因する測定の偏りがある。Sumida の改良 MacArthur-Horn

法(3)では、カメラの代わりにレーザー距離計を利用するため、カメラに起因する問題は解決しているが、計算方法の都合上、密な葉群では、調査点ごとに膨大な回数(100回~500回以上)の距離測定が必要である。

FHD を森林の生物多様性を評価するためのパラメータとして利用するためには、植生などの多様性調査のついでに行える程度の手間とコスト、そして測定に大きな個人差が生じない程度の再現性を両立し、簡易に葉群の「大まかな」垂直分布を測定する方法が望ましい。

そこで、本研究では、近年広く普及しているレーザー距離計を用いて、簡易な手法で森林の葉群の大まかな垂直分布が測定できる方法の開発を試みた。この方法では、森林内の一点から、水平から垂直まで、わずかずつ角度を変えて葉までの距離と角度の測定を行うことで短時間に多くの葉群の分布点データを得ることができる。得られた点群データを解析して森林の各階層の葉群による占有率を推定し、これを階層別葉群密度の代替として FHD を推定する。推定の妥当性については計算機上に構築した仮想の葉群分布データを用いてシミュレーションを行って検討した。

II 材料と方法

測定方法 調査にはレーザー距離計を利用し、森林の一断面の葉群の垂直分布を推定する。測定に際しては、森林内の一点に立ち、測定する垂直面上で、わずかずつ仰角を変えて葉までの距離と角度の測定を行い、垂直面上の葉の分布を得る(図 1a)。レーザー距離計によって森林を垂直にスキャンする形になるため、この方法を VS (Vertical Scan)法と仮称する。

データの解析 VS 法でスキャンした森林の垂直断面を $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ の pixel に分割する。ピクセル内に一つでも葉が測定されれば「葉群あり」とする(図 1b)。各階層にいくつ「葉群あり」のピクセルがあるかを各階層の葉量の代替値として、FHD を計算する(図 1c)。

測定精度の推定 計算機内の仮想空間に仮想の葉群を配置した仮想森林を構築し、VS 法による垂直分布の測定と FHD の算出を行い、仮想森林の葉群分布から直接計算した真値と比較した。仮想森林の構築は、 $30\text{ m} \times 30\text{ m} \times 30\text{ m}$ の空間に仮想の立木(回転楕円体の内部にランダム分布させた葉群)をランダムに配置し、同様に樹高の小さい葉群を高木や低木として配置して階層構造を作った。仮想の葉は地面に平行な半径 5 cm の円とした。精度の推定に当たっては、様々な FHD の仮想森林を 100 パターン構築して林内に測定ラインを設定し、ライン上の葉群の階層構造から FHD を直接計算して真値

を求め、同じラインで VS 法によって FHD を推定した結果との相関を推定した。精度の推定は、1 回の測定に用いるレーザー数 N を 50 本から 200 本まで変えて行い、測定レーザー数が精度に及ぼす影響を推定した。

III 結果と考察

FHD の VS 法による推定値(FHD VS)と、仮想森林の葉群分布から直接計算した真値(FHD real)との相関は測定レーザー数 (N) が 50 本の時に $R=0.83$ で、100 本で $R=0.93$ 、150 本で $R=0.95$ 、200 本では $R=0.97$ であった(図-2)。

このことから、VS 法による FHD の推定値は、高い精度で真値と相関しており、また測定レーザー数が多いほど真値との相関が高くなることが示された。

また、VS 法による推定値はレーザー数に関わらず常に真値より有意に小さかった(図-2)。FHD の真値が 2.26 から 2.34 程度の値であるのに対して、VS 法による推定値は、測定レーザー数 50 本の場合で真値が 2.34 に対して推定値は 1.84、100 本で 2.26 対 1.99、150 本で 2.30 対 2.11、200 本で 2.27 対 2.12 と全ての場合で有意に小さく、また、測定レーザー数が大きいほど差が小さいことが示された。

一回の測定に用いるレーザー数は、50 本では FHD の真値が 2.5 以下の場合に極端なばらつきが出る(図-2a)ため、少なくとも 100 本は必要と思われる。150 本、200 本とレーザー数を増やすにつれて真値との差は小さくなるが、調査時間とのトレードオフになるのでデータの用途次第で決定すべきだと思われる。その他の測定上の問題点としては、低木の密な葉群などによって影になる部分の測定が出来ないことが挙げられる(図-3a)が、これはある程度は測定ラインの選定の際に避けられると考えられる。また、1 点からではなく、両側から挟むようにスキャンすれば精度は上がると考えられるが、これも調査時間とのトレードオフということになる。また、林冠の葉群密度が極端に高い場合にも、樹冠上部にレーザーが届かなくなることで大幅に階層構造を過小評価していた(図-3b)。こちらについては林外から測定した森林高などを用いて上層部の葉群を補間する必要があると思われる。いずれにせよ、実際に利用するに当たっては、現実の森林で精度を検証する必要がある。また、据え置き LIDAR などを利用した検証が必要と思われる。

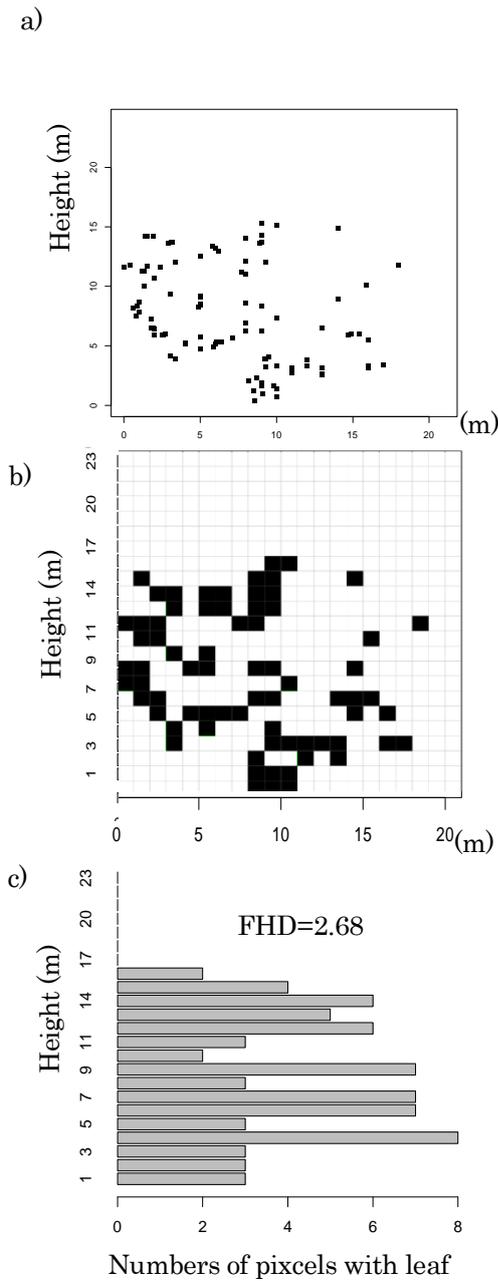


図-1. FHD 推定の手順 a) レーザーが当たった葉の分布 (黒点) と林外からの測定レーザーの軌跡 b) ピクセルごとの葉の有無に変換 c) 階層ごとの葉群が存在するピクセルの数の積算.

Fig-1. Procedure for estimating FHD a) Measure the distribution of leaves by laser rangefinder. b) Convert the distributions of leaves to the status of pixels with/without leaves. c) Total number of pixels with leaves per hierarchy.

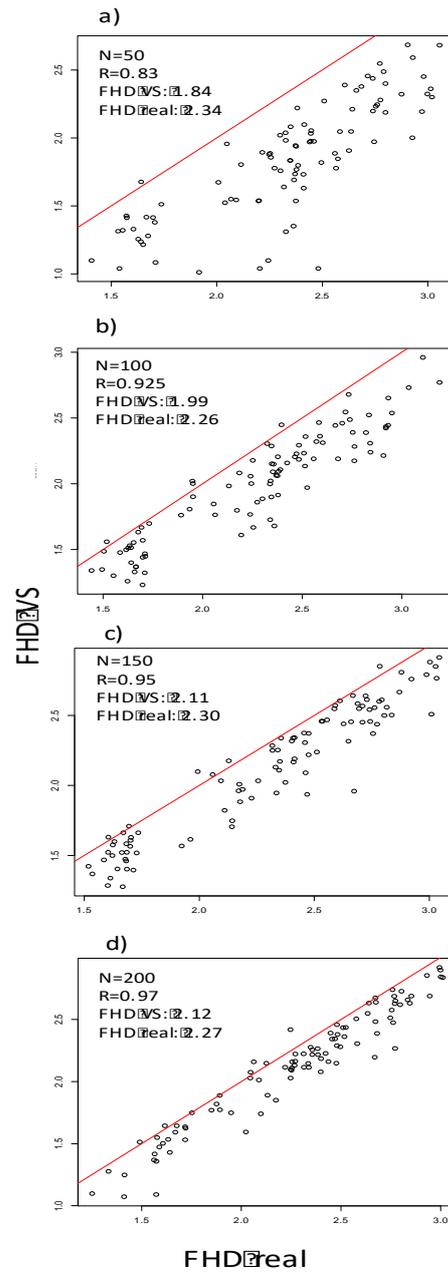


図-2. 測定レーザー数の異なる場合の精度評価結果 (灰色の線は推定値と真値が一致するライン、点は仮想森林ごとの結果) a) レーザー数 50 本 b) レーザー数 100 本 c) レーザー数 150 本 d) レーザー数 200 本

Fig-2. Results of accuracy evaluation with a different number of measuring lasers. A gray line is a line whose estimated value and real value match. The points are results for each virtual forest. a) 50 lasers b) 100 lasers c) 150 lasers d) 200 lasers

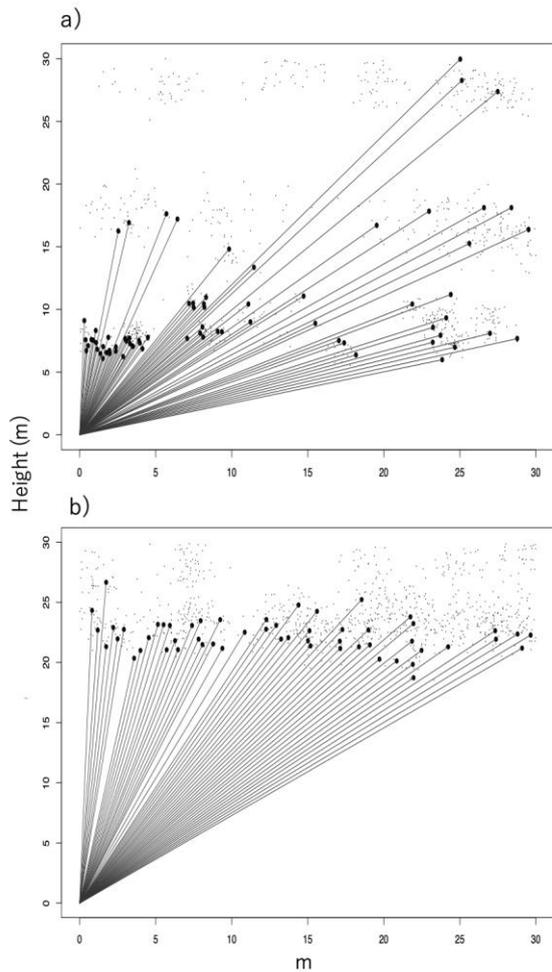


図-3. 推定値と真値が大きく乖離する例 a) 低木の密な葉群にレーザーが遮られた場合 b) 林冠の葉群密度が極端に高い場合 (小黒点: レーザーが当たらなかった葉、大黒点: レーザーが当たった葉)

Fig-3. Examples where the estimated value and the actual value significantly diverge a) When the laser is obstructed by dense foliage of shrubs b) When the leaf group density of the canopy is exceptionally high (small black spots: leaves that the laser did not hit, large black spots: leaves that were hit by the laser)

引用文献

- (1) MacArthur RH, Horn HS (1969) Foliage profile by vertical measurements. *Ecology*. 50:802-804
- (2) Seidel D, Fleck S, Leuschner C, Hammett T (2011) Review of ground-based methods to measure the distribution of biomass in forest canopies. *Annals of Forest Science*, Springer Verlag/EDP Sciences. 68 (2): 225-244
- (3) Sumida A (1995) Three dimensional structure of a mixed broadleaved forest in Japan. *Vegetatio* 119:67-80