

# 地上レーザスキャナを用いた森林計測手法の検討(II)

○米 康充 (パスコ)・小熊宏之 (国環研)

## 1. はじめに

温室効果ガス排出の削減目的を定めた京都議定書が採択され、削減目標には吸収源の算入が認められているが、吸収量評価手法に不確実性がある場合、セーフサイドまで割り引くことになっている。このため吸収量が最大限評価されるためには、精度よく評価を行う手法を開発する必要がある、そのような方法の一つとして地上レーザスキャナを用いて森林バイオマス計測を行う手法がある<sup>1)2)3)</sup>。これまでの研究は主に胸高直径の測定精度や、胸高直径から推定したバイオマス量推定について議論されている。しかし、これらの方法を用いて広範囲に測定を行おうとした場合、樹高曲線作成の必要性や複数点からの測定結果の接合精度の問題等があり容易に計測できないことが予測される。そこで、これらの問題に対応するため著者らは、ビッターリッヒ法の発展形である、箕輪<sup>4)</sup>の上部直径による林分材積推定法(以下箕輪法)を用いた方法を報告した<sup>5)</sup>。ただし、実験を行った林地が林床植物の存在しない条件が良い林分であったため、現実林分での適応性が課題であった。そこで本報告では、カラマツ造林地において本手法の適応性について検討したので報告する。

## 2. 原理

箕輪法はビッターリッヒ法を基に展開された理論である。ビッターリッヒ法とは胸高断面積合計を測定する手法であり、その測定方法は次の通りである。ある十分に広い林地において、無作為に点を落とし、その点に立って周囲の立木の胸高直径を視角 $\alpha$ のスリットで観測する。そして、胸高直径が、その視角 $\alpha$ より大きな立木の数を数える。いま、この値に関して1点当たりの期待値をBとする。すると、この林分(面積T)の胸高断面積合計Gは、

$$G = BT \sin^2 \frac{\alpha}{2} \quad (1)$$

によって推定できる<sup>6)</sup>。

さらに、これを三次元空間に拡張し林分材積を求めようとした理論の1つが箕輪法である。やはり十分に広い林地において、無作為に点を落とし、その点に立って一定の仰角 $\beta$ で全周囲を見通し、見えた立木の切断径 $d(h)$ と切断高 $h$ を測定することで、直接林分材積を推定する方法であり、全林材積は次式で求めることができる。

$$V = \sum_{i=1}^N v_i = \frac{T}{8 \cot^2 \beta} \cdot \sum_{i=1}^N E \left( \frac{d^2(h)}{h} \right) \quad (2)$$

ここで、 $V$ :全林材積  $v_i$ :当該林木の幹材積、 $T$ :全林面積  $N$ :立

木本数、 $h$ :切断高  $d(h)$ :切断径である。本報告では、 $T=1\text{ha}$ とすることで、 $\text{ha}$ 当たり材積を求めることとした。

## 3. 調査地と方法

調査地は、苫小牧市内にある苫小牧国有林 1198 林班のカラマツ造林地(1958年植栽)を対象とした。林内には、他にエゾマツ、広葉樹が侵入している。林床はオシダ、シネワラビなどのシダ植物に、低木のフッキソウが混生する植物によって占められ、一部クマイザサが優占している。

測定には、地上レーザスキャナである RIEGL 社製 LMS-Z210 を用いた。本装置の計測距離範囲は、2m~350m、計測精度は $\pm 25\text{mm}$ 、視野角は $330^\circ$ (水平) $\times \pm 40^\circ$ (垂直)、角度分解能は $0.072^\circ$ である。スキャナ計測は2003年4月に行った。計測ポイントは、対象地内に10m間隔で $4 \times 6 = 24$ カ所に規則的に設定した。各計測点においてスキャナを胸高位置(地上1.3m)に設置し、視野角:水平 $330^\circ \times$ 垂直 $+40^\circ$ 、角度分解能:水平 $0.072^\circ \cdot$ 垂直 $0.144^\circ$ の情報を取得した(図4)。一点あたりの計測にかかる時間は約8分程度で、この計測のみであれば三脚設置も含め約15分程度である。取得した情報は、マシビジョン画像解析プログラムを用い、領域成長法により樹幹部を抽出し(図5)、仰角を $2.5\sim 37.5^\circ$ まで $5^\circ$ 間隔にした場合の樹幹直径・測定高を自動計測した。材積の算出にあたっては箕輪法を用い、さらに水平視野角が $360^\circ$ に足りないことを補正するため、算出した値に $360/330$ を乗ずることで材積の補正を行った。なお、この方法で算出される材積は、スキャナ設置高、つまり胸高より上部の林分材積となる。

また、スキャナ計測の精度を検証するために、同林分において2001年11月に計測された毎木調査データを用いた。調査は $100\text{m} \times 100\text{m}$ のプロットを設定し、調査区内の胸高直径5cm以上の立木に対し、樹種と胸高直径・立木位置の測定を行った。胸高直径の測定は直径割巻尺を用いmm単位で測定を行った。樹高については、各径級の代表木を測定し、樹高曲線式を作成して全木にあてはめることにより求めた。また、立木幹材積は胸高直径・樹高より幹材積表を用いて求めた。カラマツについては北海道立木幹材積表<sup>7)</sup>を用い、エゾマツ・広葉樹については立木幹材積表<sup>8)</sup>を用いた。胸高より上部の林分材積は上記により求めた材積から、胸高から下の幹を円柱と仮定し、その材積を引くことにより求めた。

$$V_u = V - \pi \cdot (DBH / 2)^2 \quad (3)$$

ここで、 $V_u$ :胸高より上部の林分材積、 $V$ :林分材積、 $DBH$ :胸高直径である。なお、本報告では以降、胸高より上部の林分



図 2 RIEGL LMS-Z210

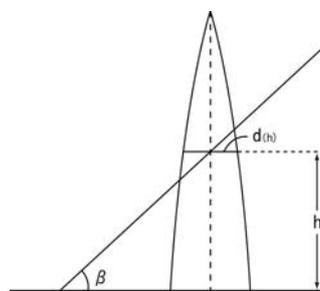


図 1 仰角と切断径・切断高

材積を林分材積と略すこととする。なお、本調査地の林分材積は 128.49m<sup>3</sup>/ha、平均樹高は 13.8m であった。

#### 4. 結果と考察

図 3 に仰角と各点の推定材積を示す。分散分析を行ったところ仰角が 2.5° の時の材積が他の推定値にくらべ有意に低い値となった。箕輪法においては、ある仰角で見通した場合に見える立木すべての計測を行う必要がある。計測ポイントから見通すべき距離は次式で求めることができる。

$$l = h_{cr} / \tan^{-1} \beta \quad (4)$$

ここで  $l$  見通すべき距離、 $h_{cr}$  平均樹冠高、 $\beta$  仰角である。本林分では、平均樹高は 13.8m なので、2.5° の場合、見通すべき距離は約 316m となる。これは、本計測装置の計測限界に近く、またこの距離であると分解能も立木を測定するのには不足すると考えられる。このため、計測されない立木が多くなり、推定材積が過小評価されたと考えられる。一方、仰角 32.5°、37.5° の時の推定値は他に比べ有意に高い値となる傾向が見られた。樹冠抽出画像を観察すると、仰角の高い部分において、林冠部分が幹と誤抽出される傾向が強いため、推定値が過大評価されたものと考えられる。

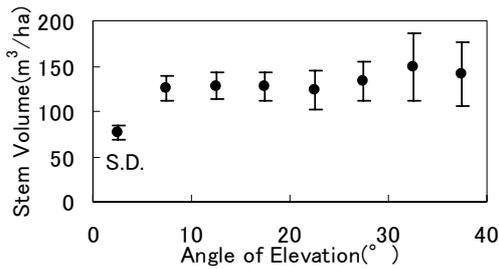


図 3 仰角と推定材積

次に、有意な差がみられなかった仰角 7.5° ~ 32.5° の材積推定値の平均を各計測ポイントにおける材積推定値とした場合、それぞれの計測ポイントにおける推定値と毎木調査による林分材積の間の誤差は、RMSE=14.44、誤差の平均は-1.01、誤差の標準偏差は 14.71 となった。24 箇所の RMSE で林分材積に対して約 11%の誤差があるものの、平均は 1%以下の誤差となっていた。ビッターリッヒ法を用いる際には、ha 当たり 5~8カ所測定するのが望ましいとされているが<sup>6</sup>、本手法においても測定ポイントも同程度設けることで、誤差を小さくできることが期待される。

#### 5. まとめ

本報告により、地上レーザスキャナ計測に箕輪法を適用する方法が、林床植物の存在するカラマツ造林地においても有効であることがわかった。本手法の特徴としては、複数点からの観測データを結合するための GCP の測量が必要なく、また円柱モデリングなどの複雑な処理が必要ないため、外業や内業の大幅な労力削減が可能となること、また、材積表や樹高曲線・形状比等をあらかじめ用意することなく直接材積を推定できることである。このため汎用性があり、今後の発展が期待できる手法と考える。これまでは、平地林分を対象とした計測であったが、今後は、斜面林分へ本手法を適用するため、傾斜地での箕輪法の理論拡張や地上レーザスキャナ運用方法の検討をする必要があろう。

#### 6. 謝辞

本報告は、独立行政法人国立環境研究所地球環境研究センターが運営する苫小牧フラックスリサーチサイトを利用して得た成果である。関係者の方々のご協力に謝意を表す。

#### 7. 参考文献

- 1) 林 真智, 沼田洋一, 小熊宏之, 山形与志樹: リモートセンシングデータを利用した林分構造の計測, 写真測量とリモートセンシング, 40(3):41-46, 2001.
- 2) 米 康充, 小熊宏之, 山形与志樹: 京都議定書に関わる吸収源計測システムの開発-地上レーザスキャナによる点群モデルを用いた計測手法の検討-, 森林計画学会誌, 37(1), 21-30, 2003.
- 3) 大政謙次, 浦野 豊・小熊宏之・藤沼康実: 可搬型 Scanning Lidar データを用いたカラマツ林の樹林マッピングと胸高直径及びバイオマスの推定, 日本リモートセンシング学会誌, 22(5), 550-557, 2002.
- 4) 箕輪光博: 上部直径にもとづく林分材積の推定, 日林誌, 58(3), 1976.
- 5) 米 康充, 小熊宏之: 地上レーザスキャナを用いた森林計測手法の検討, 第 114 回日林学術講, 445, 2003.
- 6) 南雲秀次郎, 箕輪光博: 測樹学, 現代林学講義(10), pp. 243, 1990.
- 7) 中島広吉: 北海道立木幹材積表-メートル法の部一, 林友会北海道支部, 札幌, 1938.
- 8) 林野庁計画課: 立木幹材積表東日本編, 日本林業調査会, 東京, 1970.

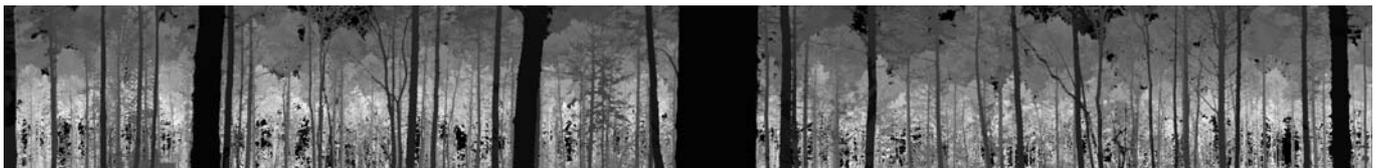


図 4 距離画像



図 5 樹幹抽出画像