

九州大学北海道演習林における k -Nearest Neighbor 法を用いた林分材積の推定^{*1}

加治佐剛^{*2} · 村上拓彦^{*3} · 溝上展也^{*3} · 吉田茂二郎^{*3}

加治佐剛・村上拓彦・溝上展也・吉田茂二郎：九州大学北海道演習林における k -Nearest Neighbor 法を用いた林分材積の推定 九州森林研究 58：139-141, 2005 近年、北欧諸国では、現地調査データと衛星データを用いて国家レベルの森林資源量の推定が行われている。本研究では、北欧諸国で利用されている k -nearest neighbor 法を用いて九州大学北海道演習林の林分材積の推定を行い、その精度について検証した。林分材積の推定には衛星データおよび環境因子と現地調査データを組み合わせる k -nearest neighbor 法を用いた。カラマツ林では、地位指数を説明変数に加えることで推定精度の向上が見られたが、ミズナラ優占林およびその他広葉樹林においては精度の向上は見られなかった。今回用いた地位指数はカラマツ林を対象にした指数であるため、このような結果になったと考えられる。材積実測値と推定誤差の関係については、材積の小さいプロットで過大推定し、材積の大きいプロットで過大推定する既存の報告と同様の結果となった。

キーワード：LANDSAT / TM, 材積推定, k -NN 法

Kajisa, T., Murakami, T., Mizoue, N., and Yoshida, S.: Timber volume estimation using k -Nearest Neighbor method at the experimental forest of Kyushu University in Hokkaido J.For.Res. 58:239 - 241,2005 The objective of this study is to evaluate the accuracy of timber volume estimates in three forest types (plantations dominated by Japanese larch, natural broadleaf forest dominated by *Quercus crispula*, and natural broadleaf forest dominated by other species) at the Kyushu University forest in Hokkaido. Estimates were made using the weighted k -nearest neighbor (k -NN) method, combining inventory data with LANDSAT / TM data and environmental factors. The estimation was then compared to true timber volumes obtained from inventory data. In plantation areas, the estimation accuracy was improved when environmental factors were added. In natural forest areas, environmental factors had no effect on the estimation accuracy. The result overestimates in low volume plots while it underestimates in high volume plots.

Keyword : LANDSAT / TM, timber volume, k -nearest neighbor method

I. はじめに

森林の状態を正確に把握することは、森林管理の計画を立てる上で非常に重要である。森林施業の時期や空間的な配置等の意思決定には、林相、位置、構造などの情報が必要である。このような森林の状態に関する情報を広域で得る方法として衛星リモートセンシングが挙げられる。海外においてはリモセン技術の向上によって、現地調査を行うよりも低コストで広域の森林について把握することが可能となっている (3)。

これまで林分構造に関するリモートセンシングの研究では、材積や LAI, 林齢の推定が行われてきた。近年では既存の現地調査データと衛星データを結びつけて、点的な情報から面的な情報に拡張し、森林の資源量を推定する方法が開発されている。この方法を用いてフィンランドやスウェーデンでは国家資源調査データと衛星データの情報から国家レベルでの材積等の林分構造の推定が行われている。

フィンランドの国家森林資源調査 (NFI) では、 k -nearest

neighbor (k -NN) 法が用いられている。 k -NN 法は、ノンパラメトリックな手法であり、衛星データの情報だけでなく、地形の情報や施業履歴など様々なデータを利用することができる。

一方、国内においては、スギやヒノキについて回帰分析による材積推定は行われているが、様々な森林タイプを同時に、また k -NN 法を用いた研究例はない。

そこで本研究では、九州大学北海道演習林を対象に LANDSAT / TM から k -NN 法を用いて林分材積を推定し、その精度について検証した。

II. 対象地および使用データ

対象地は北海道足寄町に所在する九州大学北海道演習林である。同演習林は総面積が3,713haある。そのうち2,485ha(演習林全体の67%)が落葉広葉樹天然林および天然生林、残り1,222ha(演習林全体の33%)が人工林であり、そのほとんどはカラマツ林である。

^{*1} Kajisa, T., Murakami, T., Mizoue, N., and Yoshida, S.: Timber volume estimation using k -nearest neighbor method at the experimental forest of Kyushu University in Hokkaido

^{*2} 九州大学大学院生物資源環境科学府 Grad. Sch. Biores. and Bioenvir. Sci., Kyushu Univ., Fukuoka 812-8581

^{*3} 九州大学大学院農学研究院 Fac. Agric., Kyushu Univ., Fukuoka 812-8581

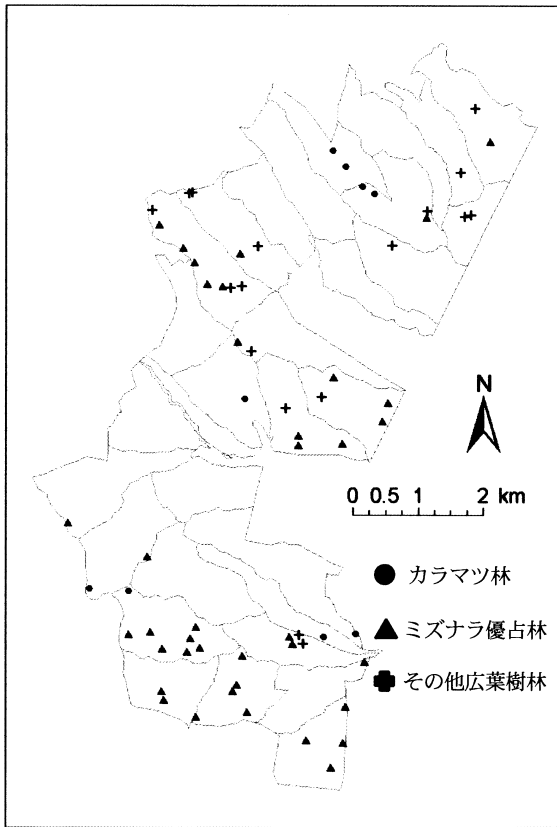


図-1. 対象地および調査プロット

衛星データは、LANDSAT/TM (Path 106, Low 30) の2000年9月22日に観測された画像を使用した。数値地図25000 (地図画像) は幾何補正に、数値地図50mメッシュ (標高) は太陽入射角の算出に使用した。使用したソフトウェアはERDAS IMAGINE ver. 8.7である。

調査プロットは、九州大学森林計画学研究室が1979年より継続的に森林資源調査を行っているプロットである。プロットは、航空写真を用いて対象地全域の林相区分を行い、各林相および対象地全域を網羅するように配置されている。各プロットは、Nishizawa (6) によるラインサンプリング法により設定され、ラインの両側で定角測定法による測定を行った。ライン長は、20mである。断面積定数を4で視準し、断面積定数によって決まる一定角以上の大きさの立木を測定木とした。測定項目は樹種の確認、胸高直径 (胸高位置1.3m)、樹高、立木位置である。また、プロットの位置をGPS (Global Positioning System) により確定した。プロット数は、カラマツ林が9プロット、天然林に関しては、ミズナラ優占林 (38プロット) およびその他広葉樹林 (17プロット) に分けた。

Ⅲ. 解析方法

本論では、 k -nearest neighbor 法 (k -NN) を用いて林分材積の推定を行う。 k -NNは、説明変数の多次元特徴空間における推定を行うプロットと実測値のあるプロットとのユークリッド距離を算出する。そして、推定を行うプロットからユークリッド距離が近

い k 個のプロットを選択し、(1) 式より重み付けを行い、(2) 式を用いて各プロットの重みと、実測材積値から材積を推定する。 k を変化させると精度は変動するが、 k が5を超えるとわずかしこ変化しない (4)。そこで本研究では、各森林タイプのプロット数も考慮して k を5とした。

$$w_{(p_i),p} = \frac{1}{(d_{(p_i),p})^2 \sum_{i=1}^k \frac{1}{(d_{(p_i),p})^2}} \quad (1)$$

$$v_p = \sum_{i=1}^k w_{(p_i),p} v_{(p_i),p} \quad (2)$$

p : 推定を行うプロット

p_i : p に対する材積が既知のプロット

$w_{(p_i),p}$: p に対する p_i の重み

$d_{(p_i),p}$: p と p_i 間のユークリッド距離

v_p : p プロットの材積推定値

$v_{(p_i),p}$: p_i の材積実測値

Tomppo *et al.* (7) によると、衛星データ以外の因子を加えることで推定精度の向上が見られることから、以下の環境因子を説明変数として用いた。用いた環境因子は、地位指数 (SI)、太陽入射角の余弦 ($\cos i$) および斜面傾斜角 (slope) である。地位指数は、Mitsuda *et al.* (5) によって九州大学北海道演習林のカラマツ林を対象に作成されたものであり、立地による生育条件の違いを表す因子とした。太陽入射角の余弦は、衛星データにおける地形効果を考慮するために使用した。斜面傾斜角については、生育条件および地形効果の両方に影響を及ぼすものとして使用した。

精度は、推定値と実測値の二乗平均平方根誤差 (RMSE) および相対二乗平均平方根誤差 (RMSEr) によって評価した。RMSE および RMSEr は以下の式で算出される。

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad (3)$$

$$RMSEr = \frac{RMSE}{\bar{y}} \quad (4)$$

\hat{y}_i : 材積推定値 \bar{y} : 材積推定値の平均値

y_i : 材積実測値 n : 観測値の個数

最後に、林分材積推定マップを作成し、各小班単位で平均値を算出し、森林簿上の材積と比較した。

Ⅳ. 結果および考察

各森林タイプに対し、衛星データと環境因子から材積推定を

表-1. 各森林タイプの二乗平均平方根誤差 (RMSE)

volumes (m^3ha^{-1})	Digital Number (DN)	DN & SI	DN & SI & $\cos i$	DN & SI & $\cos i$ & slope
カラマツ人工林	94.8	86.1	86.1	86.7
ミズナラ優占林	112.8	117.3	117.3	115.7
その他広葉樹林	78.9	79.1	79.1	84.6

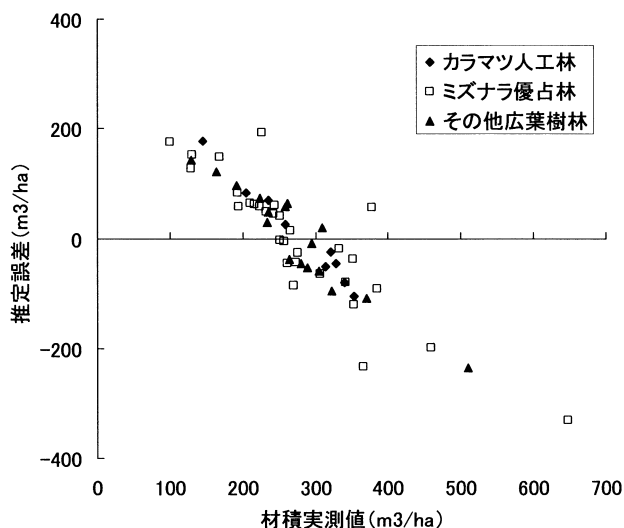


図-2. 材積実測値に対する推定誤差

行った結果の精度を RMSE として表-1 に示す。カラマツ林では、衛星データと地位指数を併用した推定が最も RMSE が低く、精度が最も高いと判断された。一方、ミズナラ優占林およびその他広葉樹林では、環境因子を加えることによる精度の向上は見られず、衛星データのみから推定した場合が最も精度が良かった。今回用いた地位指数がカラマツ林の生育条件を表しているためカラマツ林で地位指数を説明変数として加えることにより精度の向上が見られたと考えられる。一方、広葉樹林についてはカラマツ林とは異なる生育環境を有しており、そのために地位指数を加えても精度の向上が見られなかった。既存の研究 (3, 4, 7) では、RMSE が10~100 (m^3/ha), RMSEr が30~200 (%) となっており、同程度の精度が得られたと思われる。

各森林タイプで最も精度の高かった説明変数を用いた場合の実測値に対する推定誤差を図-2 に示す。どの森林タイプも、材積の小さいプロットで過大推定、材積の大きいプロットで過小推定となっており、これは Holmgren *et al.* (2) と同様の結果となった。これは、 k -NN 法が内挿して推定する方法であるので推定値が平坦化するためだと考えられる。また、スペクトル値と樹冠の閉鎖した林分の材積とは、相関が低いことが指摘されており (1), これによって推定誤差が大きくなったと考えられる。

今回、演習林内の材積推定マップを作成した (図-3)。本論では、推定値が平坦化すること、推定誤差のばらつきが大きいことといった推定方法、推定精度は課題として残されるが、材積推定マップの利点はピクセルを最小単位として林分の状況を把握できるところである。今後、より精度の高い推定マップを作成する必要がある。

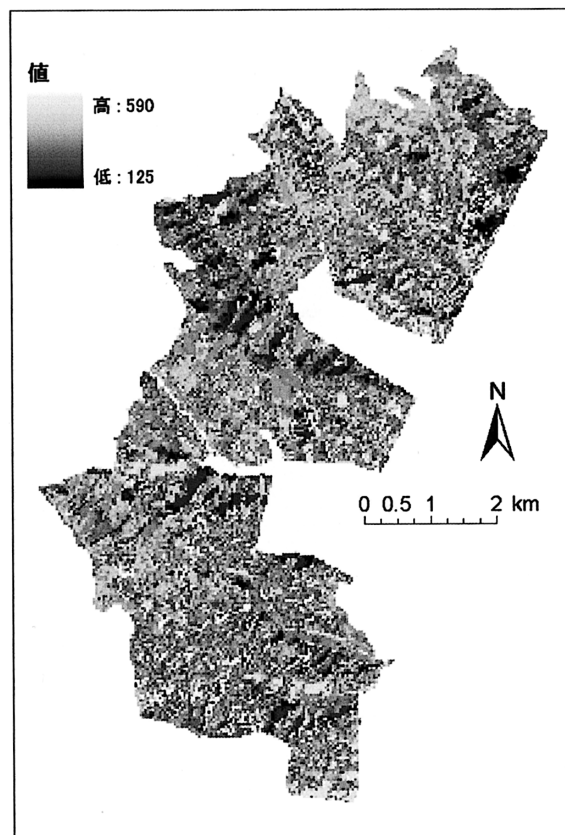


図-3. 材積推定マップ

V. おわりに

九州大学北海道演習林を対象に、リモートセンシングデータといくつかの付加情報を用いて、 k -nearest neighbor 法による林分材積の推定を行った。カラマツ林では、衛星データに環境因子を加えることで、精度の向上が見られた。また、既存の結果と同様に材積の小さいプロットで過大推定、材積の大きいプロットで過小推定となった。

引用文献

- (1) Flanklin, J. (1986) *Int. J. Remote Sens.*, 7:1287-1301.
- (2) Holmgren, J. *et al.* (2000) *Scand. J. For. Res.*, 15:103-111.
- (3) Kilpelainen, P. *et al.* (1999) *For. Ecol. Man.*,124:105-111.
- (4) Makela, H. and Pekkarinen, A. (2004) *For. Ecol. Man.*,196:245-255.
- (5) Mitsuda, Y. *et al.* (2001) *J. For. Res.*,6:87-93.
- (6) Nishizawa (1978) *IUFRO joint meeteng*:222-230.
- (7) Tomppo, E. *et al.* (1999) *Scand. J. For. Res.*, 14:182-192.

(2004年11月5日 受付:2004年12月21日 受理)