

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2014

課題番号：23580197

研究課題名(和文)時系列三次元リモートセンシングによる広域森林資源シミュレーションシステムの開発

研究課題名(英文)Development of large area forest resources simulation system using time series 3D remote sensing

研究代表者

露木 聡 (Tsuyuki, Satoshi)

東京大学・農学生命科学研究科・准教授

研究者番号：90217381

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、複数の時点で計測された現地調査データやLiDARデータから、森林の現況や成長を予測した。対象樹種は主要な造林樹種であるスギなどとし、東京大学演習林等で蓄積された単木ごとの現地調査データを使用した。蓄積された現地データとレーザー計測によって得られたポイントデータを比較し、胸高直径、地上4m上部直径、樹高、立木材積の現況を推定したところ、ポイントデータから直接単木レベルで現況を把握できることが明らかになった。また、胸高直径、上部直径、立木材積の成長も精度よく推定することが可能であった。以上から、現地計測とLiDAR計測を用いることで単木ごとの現況や将来の成長を予測し得ることを確認した。

研究成果の概要(英文)：In order to determine current tree condition and predict future growth using LiDAR data, tree height, diameter at breast height, diameter 4 m above the ground, tree volume, tree volume growth, diameter at breast height growth and diameter growth 4 m above ground for individual trees were estimated from various crown height metrics and measurements obtained using an airborne laser scanner flown over a planted forest in Japan. Ground-truth values for tree height, diameter at breast height, diameter 4 m above ground, tree volume, and volume and diameter growth were collected. The actual values were compared with the laser-derived crown height metrics, including: percentiles, maximum, mean, coefficient of variation and crown density, all for the first and last crown height laser pulses. The study confirms that it may be possible to predict individual tree growth based on LiDAR data.

研究分野：森林リモートセンシング

キーワード：LiDAR 3次元森林構造 森林資源 成長予測

1. 研究開始当初の背景

近年、リモートセンシング技術の判別能力と空間解像度の高度化にともない、観測のスケールダウンが進み、過去の航空写真や航空機レーザースカナーによる森林の三次元計測によって、時系列の林冠モニタリングだけでなく、樹高・立木本数・胸高直径・材積等の詳細な林分因子の推定が行われている。他方、伝統的な現地計測が実施されてきた調査区や固定試験地における時系列データの蓄積に伴い森林成長予測のスケールアップは著しく、対象範囲に含まれる様々な立地条件の違いを考慮しながら幅広い資源予測を行うことのできる汎用性が高まっている。

2. 研究の目的

このように、これまで個別的に扱われることの多かったリモートセンシング技術と、森林成長予測技術に、時間的・空間的な連続性が得られるに至ったことは、上空および地上から計測された時系列データの結合による詳細な資源予測を広範囲で実現する契機となっている。本研究はこれまでリモートセンシングによる森林計測と森林の成長シミュレーションに取り組んできた東京大学演習林を対象として、リモートセンシングによる三次元計測に立脚した地域資源予測モデルを開発するシステムを構築することを目的とする。

3. 研究の方法

(1)対象地

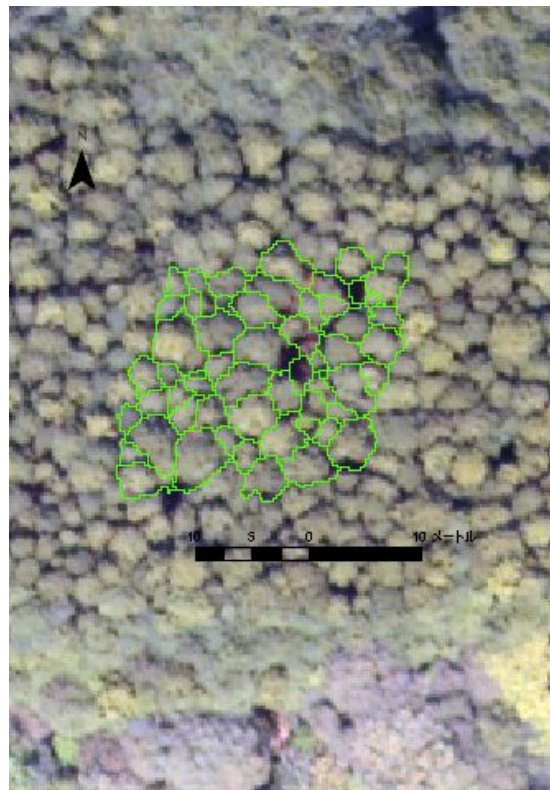
対象地は東京大学千葉演習林人工林試験地である。同演習林は千葉県鴨川市および君津市に属し、標高 50 から 370m にかけて分布している。本論では、同演習林の 25 林班に設置されたスギ人工林試験地において計測された現地調査結果と同試験地を含む航空機レーザー計測データを使用した。

(2)方法

以上の対象地で収集されたデータを使用して、単木単位の林木の現況や成長を説明するモデルを検討した。対象地のレーザー計測によって得られた樹冠投影図と重ね合わせた立木位置図は図 1 のようになる。立木位置図には、地理情報システム (GIS) の属性データとして、継続的に計測された胸高直径、上部直径、樹高などの情報を含んでいる。

これに対し、レーザー計測データから得られた数値標高モデル (DEM) と数値表層モデル (DSM) の差分によって数値樹冠高モデル (DCM) を作成した。この DCM にウォーターシェッド法と局所最大化フィルターを適用することによって、単木ごとの梢端と陽樹冠投影図を作成した。以上の画像処理を基礎に、次のように単木ごとの現況と成長を被説明変数とする回帰モデルを作成した。

(a)



(b)

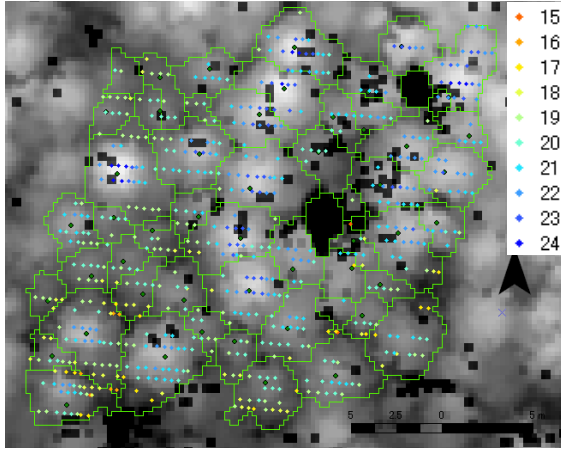


図 1. (a)航空写真 (b)DCM と重ね合わせたファーストパルスのレーザー高(円, m)と樹冠投影図(緑線)。濃緑の点は樹木位置図を表す。

回帰モデルには合計して 16 個の説明変数を検討した。すなわち高さ別の第 25, 第 50 (中間), 第 75 および第 90 までのパーセンタイル(分位数)として算出した相対高, 最大値, 平均値, 変動係数, および樹冠密度を説明変数として設定した。ここで, 樹冠密度は, ファーストパルスおよびラストパルスの総カウント数に対し, 対象木に含まれるファーストパルスおよびラストパルスのカウント数の割合を表す。

これらの説明変数をもちいて, 次のような重回帰モデルを作成した。

$$h = h_{25f}^1 h_{50f}^2 h_{75f}^3 h_{90f}^4 h_{maxf}^5 h_{meanf}^6 h_{cvf}^7 d_1^8 h_{25l}^9 h_{50l}^{10} h_{75l}^{11} h_{90l}^{12} h_{maxl}^{13} h_{meanl}^{14} h_{cvl}^{15} d_f^{16}$$

ここで h : 樹高 (m) $h_{25f}, h_{50f}, h_{75f}, h_{90f}$: ファーストパルスの第 25, 第 50 (中間), 第 75 および第 90 までの分位数に応じた相対高 (m) $h_{25l}, h_{50l}, h_{75l}, h_{90l}$: ファーストパルスの第 25, 第 50 (中間), 第 75 および第 90 までの分位数に応じた相対高 (m) h_{maxf}, h_{maxl} : ファーストパルスおよびラストパルスの最大値 (m) h_{meanf}, h_{meanl} : ファーストパルスおよびラストパルスの

最小値 (m) h_{cvf}, h_{cvl} : ファーストパルスおよびラストパルスの変動係数 (%) d_f, d_l : ファーストパルスおよびラストパルスによって推定された樹冠密度

樹高と同様に, 胸高直径 (D) 4m 上部直径 (D4) および材積 (V) を回帰モデルによって推定した。なお, 材積は山本-Schumacher 式によって樹高と直径から推定した。

さらに, 過去 20 年の二時点の実測データから, 胸高直径 (DG) 4m 上部直径 (D4G) および材積 (VG) の平均成長量を算出し, 同様に回帰分析を行った。

なお, 単木ごとに計算されたこれらの被説明変数の範囲および平均値は, 表 1 のようになる。

表 1. 被説明変数の範囲および平均値

| Characteristic | Range | Mean |
|-------------------------|---------------|-------|
| h (m) | 17.3 - 23.7 | 19.34 |
| D (cm) | 14.48 - 41.83 | 23.37 |
| D4 (cm) | 13.65 - 33.35 | 20.40 |
| V (m ³) | 0.159 - 1.343 | 0.512 |
| hG (m/yr) | 0.12 - 0.42 | 0.30 |
| DG (cm/yr) | 0.09 - 0.94 | 0.35 |
| D4G (cm/yr) | 0.10 - 0.61 | 0.31 |
| VG (m ³ /yr) | 0.003 - 0.048 | 0.014 |

h : 樹高, D : 胸高直径 (DBH), D4 : 4m 上部直径, V : 材積, hG : 樹高成長, DG : 胸高直径平均成長量, D4G : 4m 上部直径平均成長量, VG : 材積平均成長量

4. 研究成果

推定された回帰モデルを表 2 に示す。樹高は, ファーストパルスの最大値と高い相関を示した。

ファーストパルスの最大値は林冠高における梢端を意味していると考えられるため, これは妥当な結果である。その他の被説明変数も, 決定係数 0.69 から 0.79 の範囲で推定されており, 本研究で使用した回

帰モデルによって、同齡人工林の現況や成長を推定し得ることを確認した。

表 2. レーザー計測によって得られた回帰係数等の統計値

| Variable | lnh | lnD | lnD4 | lnV |
|----------------|----------|----------|----------|------------|
| $\ln \beta_0$ | -0.48 NS | -2.78 * | -3.06 * | -15.59 *** |
| $\ln h_{maxf}$ | 1.14 *** | 2.15 *** | 2.16 *** | 5.19 *** |
| $\ln d_f$ | | 0.15 *** | 0.12 *** | |
| $\ln d_i$ | | | | 0.27 *** |
| R^2 | 0.76 | 0.76 | 0.75 | 0.79 |
| RMSE | 0.04 | 0.12 | 0.11 | 0.24 |
| CV(%) | 1.32 | 3.75 | 3.67 | 28.12 |
| κ | 1.00 | 2.11 | 2.11 | 2.06 |

| | lnDG | lnD4G | lnVG |
|--|----------|-----------|------------|
| | -8.71 ** | -8.73 *** | -20.54 *** |
| | 3.06 ** | 2.91 *** | 5.78 *** |
| | 0.42 *** | 0.32 *** | 0.36 *** |
| | 0.69 | 0.71 | 0.77 |
| | 0.29 | 0.23 | 0.29 |
| | 25.93 | 19.45 | 6.75 |
| | 2.06 | 2.06 | 2.06 |

R^2 : 決定係数、RMSE : 二乗平均平方根誤差、CV : 変動係数、 κ : 係数

Ln : 自然対数、h : 樹高、D : 胸高直径、D4 : 4m 上部直径、V : 材積、DG : 胸高直径平均成長量、D4G : 4m 上部直径平均成長量、VG : 材積平均成長量

有意水準: NS = not significant (>.05)

* < .05、** < .01、*** < .001

以上、本研究では GPS を介して結合された人工林の現地データとリモートセンシングによって、林分の現況と成長を説明し得ることを確認した。このような手法をより広域に拡張することで、より現実的な森林計画の立案に資するものと考えられる。

5 . 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 5 件)

遠國正樹・尾張敏章・平田雅和・鈴木祐紀・高橋功一・笠原久臣・芝野博文(2014) 森林内におけるハンディ GNSS 受信機の測位精度 - 冬季と夏季の比較 -、北方森林研究、査読有、No.62 : 29-31

塩野仁哉・鈴木真衣・川田伸治・松村直人(2013) 200 年生スギ人工林の成長解析 - 三重大学附属平倉演習林藤堂スギ林分の事例 . 中部森林研究、査読有、No.61 : 129-132

古家直行・高橋正義・中根貴雄・小玉哲夫(2013) デジタル空中写真三次元計測による樹高測定の作業効率. 北方森林研究、査読有、No.61 : 115-116

遠國正樹・平田雅和・鈴木裕紀・高橋功一・尾張敏章(2013) 森林内におけるハンディ GNSS 受信機の測位精度 . 北方森林研究、査読有、No.61 : 117-120

守屋智之・龍原 哲・中島 徹・田中 格・露木 聡(2013) GIS と AHP を用いた間伐優先度の決定方法 . 森林計画学会誌、査読有、Vol.46 No.2 : 57-66

[学会発表](計 4 件)

遠國正樹・尾張敏章・平田雅和・鈴木祐紀・高橋功一・笠原久臣・芝野博文: 森林内におけるハンディ GNSS 受信機の測位精度 - 冬季と夏季の比較 -、第 62 回北方森林学会大会、札幌コンベンションセンター(北海道札幌市)、2013 年 11 月 12 日

遠國正樹・平田雅和・鈴木裕紀・高橋功一・尾張敏章: 森林内におけるハンディ GNSS 受信機の測位精度 . 第 61 回北方森林学会大会、札幌コンベンションセンター(北海道札幌市)、2012 年 11 月 13 日

古谷直行・高橋正義・中根貴雄・小玉哲夫: デジタル空中写真三次元計測による樹高測定の作業効率 . 第 61 回北方森林学会大会、札幌コンベンションセンター(北海道札幌市)、2012 年 11 月 13 日

Tomoyuki Moriya, Satoshi Tatsuhara, Tohru Nakajima, Tadashi Tanaka, Satoshi Tsuyuki : Analyzing the relationship between thinning costs and stand attributes . International Ergonomic Workshop of IUFRO RG3.03: Ergonomic Challenges in Future Forest and Forestry、名古屋大学(愛知県名古屋市)、2012 年 10 月 3 日

〔図書〕(計 1 件)

古家直行(分担) 日本林業調査会、森林リモートセンシング第4版-基礎から応用まで-(加藤正人編)(2014) 第16章 森林の物理量(1.樹冠位置、2.樹冠、3.立木本数密度(スギ・ヒノキ人工林))、265-271

6. 研究組織

(1)研究代表者

露木 聡 (TSUYUKI, Satoshi)
東京大学・大学院農学生命科学研究科・准教授
研究者番号：90217381

(2)研究分担者

龍原 哲 (TATSUHARA, Satoshi)
東京大学・大学院農学生命科学研究科・准教授
研究者番号：40227103

美濃羽 靖 (MINOWA, Yasushi)
京都府立大学・大学院生命環境科学研究科・講師
研究者番号：80285246

古家 直行 (FURUYA, Naoyuki)
国立研究開発法人森林総合研究所・北海道支所・研究員
研究者番号：50391181

廣嶋 卓也 (HIROSHIMA, Takuya)
東京大学・大学院農学生命科学研究科・講師
研究者番号：40302591

松村 直人 (MATSUMURA, Naoto)
三重大学・大学院生物資源学研究科・教授
研究者番号：30332711

尾張 敏章 (OWARI, Toshiaki)
東京大学・大学院農学生命科学研究科・准教授
研究者番号：00292003

中島 徹 (NAKAJIMA, Tohru)
東京大学・大学院農学生命科学研究科・助教
研究者番号：10598775