

## スギ人工林における LiDAR 取得データによる立木成長量の推定

三次充和・塚越剛史・広嶋卓也（東大千葉演）・中島徹・露木聡（東大農）

**和文要旨：**東京大学千葉演習林において樹齢の異なる複数のスギ人工林を対象に、航空機 LiDAR より陽樹冠長・樹冠占有面積といった樹冠情報と、曲率・累積流量・日射量・斜面傾斜角・陰影起伏・斜面方位といった地形因子を計測した。これらを説明変数候補とした上で、29本の標本木を伐倒し、樹幹解析により求めた最近5年間の材積と樹高、胸高半径の成長量を別個に目的変数として、重回帰分析により推定することを試みた。分析の結果、精度はやや低いものの、各成長量についてこれら因子から推定できる可能性が示唆された。これまで LiDAR データより林分成長量を推定するには、収穫表や成長モデルを介する必要があったが、本論で検討した手法は LiDAR データのみから簡便に成長量を推定できる可能性を示すものである。

**キーワード：** LiDAR, GIS, 地形因子, 樹冠情報, 成長量

**Abstract:** The purpose of this study was to estimate tree growth from crown and terrain characteristics derived from LiDAR data. Study area was three planted stands of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) with different ages in the University of Tokyo Chiba Forest. We calculated the crown characteristics of sun-exposed crown length and crown occupation area and the terrain characteristics of curvature, flow accumulation, solar radiation, slope, shaded relief and slope direction from the LiDAR data that covered target three stands. In addition, we conducted stem analysis for 29 sample trees in the target stands and calculated growth of radius, height and volume for every sample tree in the last five years. Finally, we conducted multiple regression analysis with dependent variables of tree growths derived from the stem analysis and independent variables of crown and terrain characteristics derived from LiDAR data. The results implied that the tree growths could be estimated from these characteristics in the forms of simple linear functions though their correlations were relatively low compared with the previous studies concerning tree growth estimation from LiDAR data with the aid of yield tables, growth curves and so on. The suggested method implied that tree growth could be estimated simply from LiDAR data.

**Key words:** LiDAR, GIS, terrain data, crown data, growth

## I はじめに

LiDAR を用いた森林測定の普及により、現地調査の省力化等が期待されている。スギ・ヒノキ人工林においては、LiDAR データより推定した本数、樹高、樹冠表面積、胸高直径、立木材積などの単木レベルの情報から林分密度、平均樹高、平均胸高直径、林分材積などの林分レベルの情報を算出し、実測調査結果と比較することで推定精度の検討が行われている(3, 4)。近年、測定機器の機能向上により、DSM, DTM ともに高密度の情報を得られるようになった。そこで本論では、LiDAR 測定によって得られた樹冠情報と地形因子から単木レベルの立木成長量を、単純な線型モデルにより推定することを試みた。調査は東京大学千葉演習林内の23年生、24年生、54年生の3ヶ所のスギ人工林分で行った(図-1)。

## II 方法

1. LiDAR 測定 2009年4月30日に、ヘリコプターに搭載したレーザースキャナーを用いて LiDAR 測定を行った。測定の詳細を表-1に示す。
2. 陽樹冠長と樹冠占有面積の測定・計算 LiDAR データから得られた DSM に watershed 法を適用し、樹冠占有面積を求めたうえで、各樹冠の垂直方向のレーザープロファイルから陽樹冠長を求めた。
3. 地形因子の選定・計算 地形因子は LiDAR データから作成した 1m メッシュの DEM より、GIS 上で計算した。高密度の DEM を利用することにより、従来の 10m メッシュレベルの汎用 DEM では不可能であった単木レベルの微地形の違いを表現することができる。後の重回帰で説明因子の候補となる地形因子は、既往研究(1, 2)を参考に、スギの地位指数と相関が高いと思われる

Mitsukazu MITSUGI, Takeshi TSUKAGOSHI, Takuya HIROSHIMA (University Forest in Chiba, The University of Tokyo, Amatsu 770, Kamogawa, Chiba 299-5503), Tohru NAKAJIMA and Satoshi TSUYUKI (The University of Tokyo) Estimation of tree growths in Japanese cedar stands using crown and topographic data derived from LiDAR

曲率 (DEM を 4 次多項式で近似し 2 階微分した曲面の凹凸)、累積流量、日射量 (1 年間の累積全天日射量)、斜面傾斜角、陰影起伏、斜面方位の 7 つを選定した。地形因子の算出結果を図-2 に示す。各因子の値は分散しており、微地形の違いを 1 m メッシュにより表現できている。

4. 樹幹解析 29 本の標本木について樹高を測定後に伐倒し、枝下高の測定と円盤の採取を行った。円盤は地際から 0.0m・0.3m・1.3m 以降 2.0m 間隔で採取し、材積、樹高、胸高半径の連年成長量を算出した。得られた各成長量より 2005 年から 2009 年までの最近 5 年間の成長量を集計し、解析に使用した。

5. モデル推定 上記の手順で得られたデータより、陽樹冠長、樹冠占有面積、地形因子 (曲率、累積流量、日射量、傾斜角、陰影起伏、斜面方位) を説明変数候補、最近 5 年間の各成長量 (材積成長量、樹高成長量、胸高半径成長量) を別個に目的変数とした重回帰分析を行った。説明変数の選択には変数増減法を採用した。

### III 結果と考察

重回帰分析の結果を表-2 に示す。材積成長量のモデルとして、陽樹冠長、曲率、累積流量、傾斜角を用いたモデル：

$$15.5403[\text{陽樹冠長}] + 0.0640[\text{曲率}] + 0.3300[\text{累積流量}] + 0.8244[\text{傾斜角}] - 14.6474 \quad (R=0.83, F(4, 28)=13.17, p<0.01)$$

が採用された。いずれの説明因子も正の回帰係数となり、表 2 で P 値の有意な 3 つの因子について成長量に対する影響をみると、樹冠長が長く、凸状の度合いが大きく・傾斜角の大きい立地条件にある立木ほど、高成長であることがわかる。曲率については、10m メッシュレベルの地形で見た場合には負の回帰係数になる (凹地で高成長) ことが一般的で (1, 2), 1m メッシュレベルの微地形では逆の効果 (凸地で高成長) となるのか、標本数を増やしてモデルを再推定すれば負の回帰係数になるのかは現時点では定かでない。

樹高成長量のモデルとしては、樹冠占有面積、累積流量、日射量、陰影起伏、斜面方位を用いたモデル：

$$-0.0787[\text{樹冠占有面積}] - 0.0068[\text{累積流量}] + 0.0064[\text{日射量}] + 0.0058[\text{陰影起伏}] - 0.0031[\text{斜面方位}] - 0.3005 \quad (R=0.77, F(5, 28)=6.68, p<0.01)$$

が採用された。表 2 で P 値の有意な 2 つの因子について成長量に対する影響をみると、樹冠占有面積が小さく、日射量の大きい立地条件にある立木ほど、高成長であることになるが、前者の負の回帰係数は解釈が困難であり、

適当なモデルとは考えられない。

半径成長量のモデルとしては、陽樹冠長と日射量を用いたモデル：

$$0.9972[\text{陽樹冠長}] + 0.0601[\text{日射量}] - 16.9784 \\ (R=0.66, F(2, 28)=9.89, p<0.01)$$

が採用された。表 2 で P 値の有意な 2 つの因子について成長量に対する影響をみると、陽樹冠長が大きく、日射量の大きい立地条件にある立木ほど、高成長であることがわかる。この回帰係数は既往研究の傾向と一致する (1, 2)。

また、各モデルによる成長量推定値と、樹幹解析による成長量実測値の関係を図-3 に示した。いずれのモデルも  $y=x$  の直線から標本点は相応に乖離し、平均誤差率を計算すると、材積成長量で 28.30%、樹高成長量で 27.36%、半径成長量で 19.03% となり、いずれも決して小さな値ではなかった。これは、今回使用した標本数が 29 と少なかったことにも起因すると考えられ、今後標本を追加しモデルを再構築することで精度は向上するであろう。

一般に 1 m メッシュの DEM があれば単木ごとに異なる地形因子を計算することが可能である。上記推定式と LiDAR データから推定した地形因子および各立木の位置情報をあわせれば、LiDAR 経路上のすべての立木の成長量を推定することが可能となり、ひいては、それらを積算して林分レベルの成長量を推定することも可能となる。これまで LiDAR データより林分成長量を推定するには、林分の平均樹高から地位をもとめ、該当する地域・樹種・地位の収穫表を介したり、幹材積と立木密度を入力因子としてプロセスモデルを介したり (5) する必要があった。本研究のモデルでは、これら 2 手法のような推定精度は得られなかったが、調査地から取得した LiDAR データのみから成長量を推定できるという利点がある。今後、標本数を増やして推定精度の高いモデルを作成できれば、森林管理の現場において汎用性の高い手法となり得る可能性がある。

### 引用文献

- (1) 広嶋卓也・中島徹 (2009) 高齢人工林における皆伐更新適地の選定. 関東森林研究 60 : 43-46
- (2) 伊藤真一 (2002) 施業方法によるスギ人工林のゾーニング. 新潟大卒論. 50pp.
- (3) 松英恵吾・伊藤拓弥・内藤健司 (2006) 航空機 LiDAR による森林資源量推定 - 密度の異なるスギ・ヒノキの林分パラメータ推定 -. 写真測量とリモートセンシング 45(1) : 4 - 12

- (4) 松英恵吾 (2007) 木を見て森も見る - 航空機 LiDAR による森林資源量推定. 測量 57 (10) : 10 - 13  
 (5) 田口仁・遠藤貴宏・沢田治雄・安岡善文 (2008)

LiDAR データと森林成長モデルの統合. 地理空間情報フォーラム 2008 学生フォーラム発表論文集 10 : 145 - 150

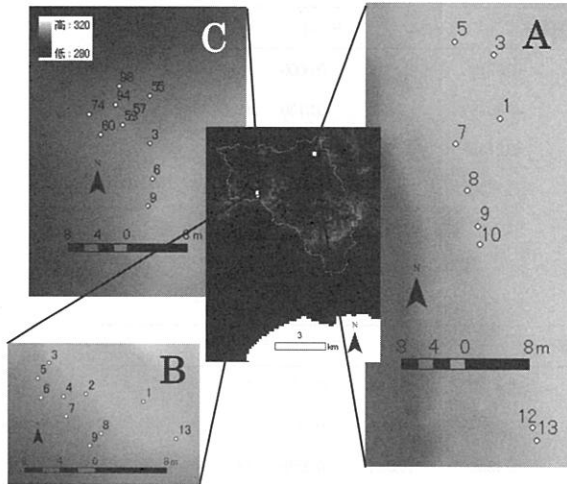


図-1. 調査地及び標本木の位置図

注1 ○: 立木位置 (添字は樹木番号を表す)

注2 林齢 A: 54年生 B: 24年生 C: 23年生

Figure 1. Location map of target stands and sample trees.

Circles show the locations of sample trees appended their IDs.

Stand ages are 54 years old for stand A, 24 for B and 23 for C.

表-1. LiDAR 測定の詳細

Table 1. LiDAR data characteristics of the survey.

システム	ALMAPS-G4
対地高度	650 m
対地速度	33.9 m/s
点密度	8 points/m <sup>2</sup>
レーザー波長	1.064 μm
レーザー発射頻度	100 kHz
スキャン頻度	51 Hz
スキャン角度	14 °
使用データ	First and Last
ビームの拡がり角	0.3 mrad

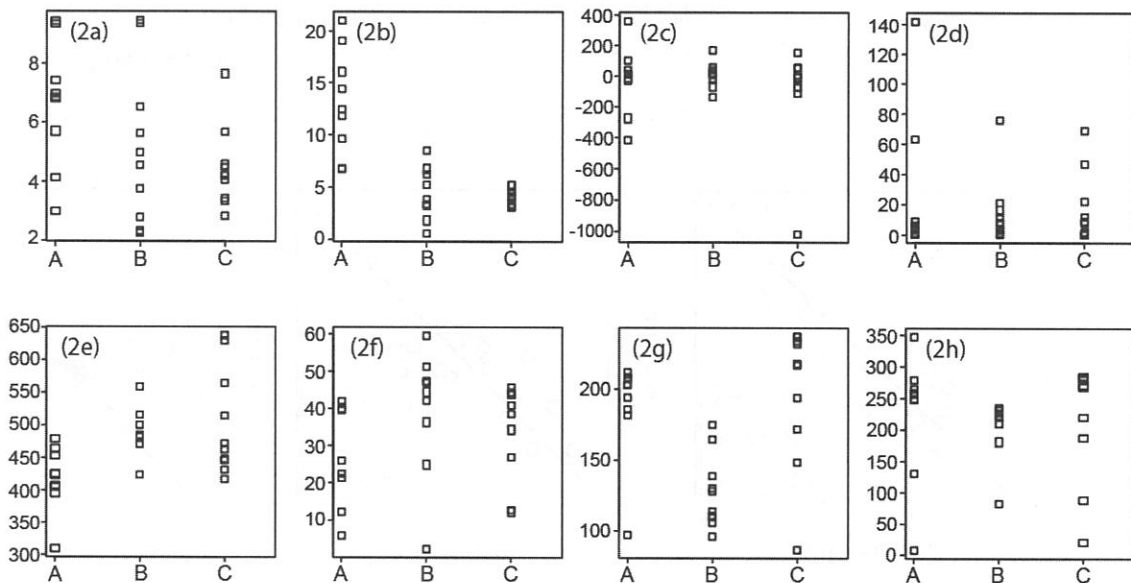


図-2. 解析に使用した樹冠情報と地形因子

(2a): 陽樹冠長 (2b): 樹冠占有面積 (2c): 曲率 (2d): 累積流量 (2e): 日射量 (2f): 斜面傾斜角 (2g): 陰影起伏 (2h): 斜面方位

Figure 2. Crown and terrain data employed for multiple regression analysis.

(2a): sun-exposed crown length (2b): crown occupation area (2c): curvature (2d): flow accumulation (2e): solar radiation (2f): slope (2g): shaded relief (2h): slope direction

表一 2. 重回帰分析の結果

Table 2. Results of multiple regression analysis.

重回帰式(目的変数:材積成長量)

説明変数	偏回帰係数	標準偏回帰係数	t 値	P 値	判定
陽樹冠長	15.5403	0.7215	6.0312	0.0000	**
曲率	0.0640	0.3078	2.6823	0.0130	*
累積流量	0.3300	0.2185	1.8561	0.0758	
傾斜角	0.8244	0.2500	2.1016	0.0463	*
定数項	-14.6474		-0.6729	0.5074	

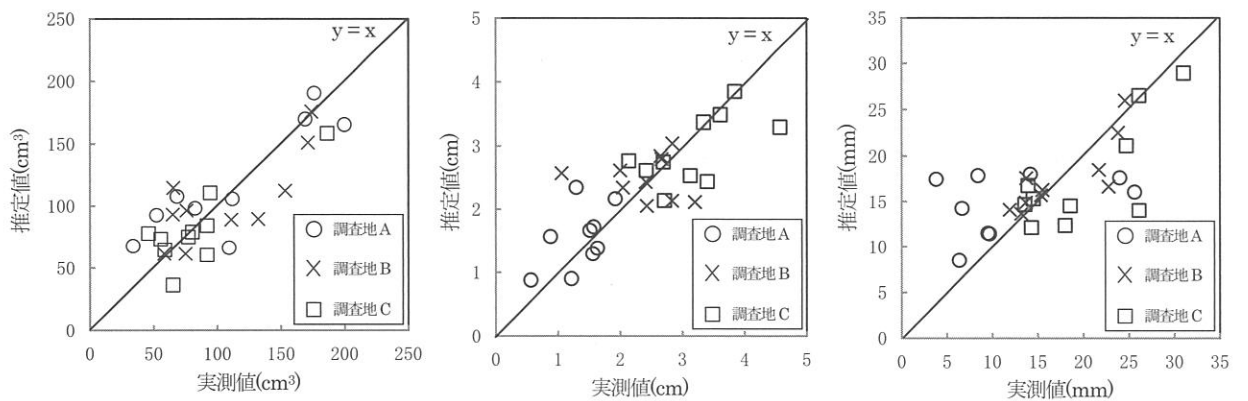
重回帰式(目的変数:樹高成長量)

説明変数	偏回帰係数	標準偏回帰係数	t 値	P 値	判定
樹冠専有面積	-0.0787	-0.4287	-2.6765	0.0135	*
累積流量	-0.0068	-0.2264	-1.6568	0.1111	
日射量	0.0064	0.4548	2.8594	0.0089	**
陰影起伏	0.0058	0.2950	2.0119	0.0561	
斜面方位	-0.0031	-0.2599	-1.7772	0.0888	
定数項	-0.3005		-0.2530	0.8025	

重回帰式(目的変数:胸高半径成長量)

説明変数	偏回帰係数	標準偏回帰係数	t 値	P 値	判定
陽樹冠長	0.9972	0.3160	2.1380	0.0421	*
日射量	0.0601	0.5769	3.9032	0.0006	**
定数項	-16.9784		-2.1898	0.0377	*

\*\*1%有意 \*5%有意



図一 3. 成長量実測値と重回帰分析によって得られたモデルによる成長量推定値との関係

(3a): 材積成長量 (3b): 樹高成長量 (3c): 胸高半径成長量

Figure 3. Relationship between observed and estimated tree growths.

(3a): volume growth (3b): height growth (3c): radius growth at breast height