

航空機 LiDAR データによる地位指数の推定

図子 光太郎（富山県農林水産総合技術センター 森林研究所）

I はじめに

近年、航空機に搭載されたレーザ測距機（LiDAR : Light Detection and Ranging）による森林計測が広く行われるようになり、広域的な森林資源量把握や森林モニタリングなどにおいて積極的に活用されている。LiDAR による森林計測では、樹冠表面で反射された点群から構成される表層標高データ（DCSM : Digital Canopy Surface Model）と樹幹層を透過して地表面で反射された点群から構成される地盤標高データ（DEM : Digital Elevation Model）が作成され、その差分である樹冠高データ（DCHM : Digital Canopy Height Model）を取ることで、樹高や樹冠形状など森林の垂直情報を広域的に取得することができる（松英ら 2006）。

一方、林地生産力の指標である地位指数は、造林の適否判定、施業計画の立案、伐期の設定など林業経営上の指針として極めて重要である。こうした地位指数の推定には現地での樹高データの取得が必要となるため、これを市町村や県といった広域の森林を対象として行うには、現地調査に多大な費用や労力・時間を要する。これまで、著者は地位指数を DEM から算出した地理・地形因子や気象因子と関連付け、数理モデル化することによって、広域的な地位指数推定を効率的に行う手法などを提案してきた（Zushi 2006）。本研究では現地調査の省力と広域多点サンプリングによる信頼性向上を目指し、航空機 LiDAR 計測によって取得したスギ林の樹高データを用い、これを DEM から算出した地理・地形因子や気象因子と関連付け、数理モデル化することによって、現地調査によらない県域レベルの地位指数推定を試みたので報告する。

II 調査方法

2018 年から 2021 年にかけて、富山県の民有林を対象（県内民有林の 98 %）とする航空機 LiDAR 計測にもとづく地盤標高および森林資源量に関するデータ（以下、LiDAR データ）が整備された。地盤標高は最小単位を 0.01 m とする 0.5×0.5 m グリッドサイズの数値標高モデル（DEM）として調整された。森林資源量は DCHM、樹冠形状データ、レーザ反射強度データおよび同時撮影されたオルソ航空写真をもとにスギ、ヒノキ、マツ類、カラマツ、タケ類、広葉樹などの林相に区分され、このうち針葉樹に分類された森林について、樹頂点が抽出され、単木毎の樹高、樹冠長、樹冠長率、樹冠面積、胸高直径、幹材積などが推定された。

本研究では富山県農林水産公社（以下、公社）が保有するスギ人工林エリア（7408 ha、3604 小班）の LiDAR データを使って地位指数推定モデルの作成を試みた。公社では小班単位で林分を管理しており、小班内のスギ林分は基本的に同齢であり、同一の施業がなされている。公社の小班界を表すポリゴンを GIS（Geographic Information System）ソフトウェア上で、20×20 m グリッドサイズに分割し、グリッド毎に LiDAR データのスギ樹高の平均値を求めた。この樹高平均値とグリッドが属する小班の LiDAR 計測時林齢から樹高成長式（嘉戸・田中 2009）をもとに地位指数（40 年生時樹高）を算出した。

モデル作成の特徴量に用いた地理・地形因子は、標高（elevation）、緯度（latitude）、経度（longitude）、流路基準高度（channel network base level）、流路到達距離（channel network distance）、地形収束度（convergence index）、斜面長-傾斜係数（LS factor）、斜面方位の北から偏差（deviance from north）、横断曲率（plane

curvature)、縦断曲率 (profile curvature)、相対斜面位置 (relative slope position)、開度 (openness)、斜面傾斜 (slope)、地形湿度指数 (topographic wetness index)、集水域 (total catchment area)、谷深度 (valley depth)、直達日射量 (direct insolation)、散乱日射量 (diffuse insolation) である。これらの因子はLiDAR計測により作成したDEM (0.5×0.5 mグリッドサイズ) を20×20 mグリッドサイズに再調整し、地球科学分析自動化システムSAGA GIS (Conrad et. al 2015) のBasic Terrain AnalysisモジュールとPotential Incoming Solar Radiationモジュールを用いて算出した。また、気象因子として気候値メッシュ (国土交通省 https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gmlold/datalist/gmlold_KsjTmplt-G02.html) から年平均気温 (average temperature)、年間降水量 (annual precipitation)、平均最大積雪深 (maximum snow depth) を用いるとともに、気温データをもとに算出した暖かさ指数 (warmth index) と寒さ指数 (coldness index) を用いた。

公社営林を含む全グリッド (256037 個) のうち、スギ樹頂点を含まない、林齢値の欠損により地位指数を算出できない、スギ林面積が0.02 haに満たないといった条件に該当しない127527グリッドを抽出し、その80%をモデル作成用に、残りの20%をモデル検証用に供した。モデルの作成には機械学習の一つであるExtreme Gradient Boosting (Xgboost) を用いた。また、地位指数と各特微量との関係性を検討するため、地位指数を目的変数とする重回帰分析を行った。なお、統計処理にあたっては、統計解析ソフトR ver4.0.5およびそのライブラリであるcaret (R Core Team 2021) を用いた。

Ⅲ 結果および考察

公社営林のスギ林分における24個の地理・地形因子および気象因子を投入し、Xgboostによる地位指数推定モデルを作成した。作成されたモデルのtree数は150、深度は6(分岐数)であった。検証用データにおけるモデルのRMSEは2.57となり、決定係数は0.599となった(表-1)。また、モデルに投入された特微量の重要度は表-2のとおりとなった。

表-1. 地位指数推定モデルの精度指標

R ²	RMSE	MAE
0.599	2.574	1.945

Xgboostに投入された特微量の中で、緯度、経度および標高などの地理因子が比較的高い重要度を示した。重回帰分析の結果をみると、緯度、経度および標高の回帰係数はいずれも負数であり、増加するにしたがって地位指数は減少する傾向があった。また、標高、緯度および経度はいずれも年平均気温、年間降水量、最大積雪深、暖かさ指数、寒さ指数といった気象因子と高い相関を示すとともに、斜面傾斜、流路基準高度、散乱日射量などの地形因子とも高い相関を示した。このことから、地理因子は気象因子と地形因子との複合的な作用をとおして地位に影響を及ぼしていると推察された。

投入された地形因子の中では地形湿度指数の重要度が特に高かった。この地形因子は傾斜土壌層中の側方流によって生じる水分含量の空間変動を表すとされており、これまでの研究においてもスギ林の生産力との高い関連性が指摘されている(Zushi 2006)。スギは水分要求度が高く、土壌水分量の地形に沿った変化に対し成長が敏感に反応する。地形湿度指数はこうしたスギの特性に伴う地位指数の空間変動をよく表すことが改めて確認された。

投入された気象因子の中では年間降水量の重要度が比較的高かった。重回帰分析の結果では回帰係数は正数となっており、降水量の増加に伴い地位指数が増加する傾向を示した。このことも水分要求度が高いスギの特性を考えると矛盾はない。一方、年間降水量を除く気象因子のモデルにおける重要度は総じて低かった。これらの気象因子は緯度、経度および標高といった地理因子と相関が高く、地理因子によって気象の影響が概ね説明される

表一 2. 地位指数推定モデルに投入された特徴量の重要度

Characteristic	Importance
Longitude	100
Elevation	96
Topographic wetness index	81
Annual precipitation	70
Latitude	69
Profile curvature	47
Diffuse index	45
Coldness index	36
Channel network base level	29
Relative slope position	22
Valley depth	20
Total catchment area	20
Deviance from north	14
Convergence index	13
Openness	12
Maximum snow depth	12
Direct insolation	10
Plan curvature	8
Channel network distance	6
Warmth index	4
Average temperature	3
Slope	2
LS factor	0

表一 3. 地位指数の重回帰分析による解析結果

Characteristic	Beta	95% CI ¹	p-value
Elevation	-1.6	-5.3, 1.6	0.4
Longitude	-2.9	-5.0, -0.83	0.005
Latitude	-4.4	-9.3, 0.59	0.084
Channel network base level	1.6	-1.6, 5.3	0.4
Channel network distance	1.6	-1.6, 5.3	0.4
Convergence index	0.03	0.00, 0.06	0.058
LS factor	-0.55	-1.0, -0.07	0.018
Deviance from north	0.30	0.01, 0.60	0.040
Plan curvature	-62	-114, -9.3	0.021
Profile curvature	-69	-118, -19	0.006
Relative slope position	-0.43	-3.1, 2.2	0.7
Openness	0.93	-4.9, 6.7	0.8
Slope	24	9.6, 38	<0.001
Topographic wetness index	1.3	0.60, 2.0	<0.001
Total catchment area	0.00	0.00, 0.00	0.3
Valley depth	0.02	0.01, 0.04	0.005
Annual precipitation	0.00	0.00, 0.01	0.006
Average temperature	11	0.93, 21	0.032
Warmth index	-1.3	-2.2, -0.35	0.007
Coldness index	-0.52	-1.6, 0.56	0.3
Maximum snow depth	-0.02	-0.04, 0.00	0.064
Direct insolation	-1.4	-2.7, -0.12	0.034
Diffuse insolation	70	31, 108	<0.001

¹ CI = Confidence Interval

ためと考えられる。

富山県の民有林におけるスギ人工林面積は 47500 ha である。モデル作成に使用した公社営林はこのうちの 15% を占め、県内スギ人工林域に概ね偏りなく分布している。こうした広域多点データサンプリングをこれまでのような現地調査によって行うことは現実的に不可能であり、LiDAR データを活用することによって初めて可能になる。また、検証用データにおける決定係数から、本モデルは県域におけるスギ地位指数の変動の 60 %程度を説明した。造林木の樹高成長は、地質、土壌特性、植栽木の遺伝的性質、さらには生育過程での管理や保育施業の影響なども受けることを考えると、地理・地形因子および気象因子のみを用いた地位指数予測モデルとしては十分に高い精度を有しているといつてよい。今後、航空機 LiDAR による森林計測は広く一般化すると思われる。本研究において用いた手法は、植栽年度と分布位置が把握されている林分の情報が一定量程度あれば、LiDAR データをもとに対象域の地位指数分布をコストをかけずに推定できる。こうしたことから極めて汎用性の高い手法といえる。

Xgboost による地位指数モデルをもとに作成した富山県内のスギ林域を対象とした地位級分布を図-1 に示した。富山県ではこれまで林地の地位指数を把握するための様々な取り組みが行われてきたが、県内全域を対象にした地位指数分布図はなかった。今後、これを用いることによって林地生産力の面からスギ林生産に適した林地を端的に把握することが可能となり、森林政策や林業経営における合理的な意思決定につながることを期待される。

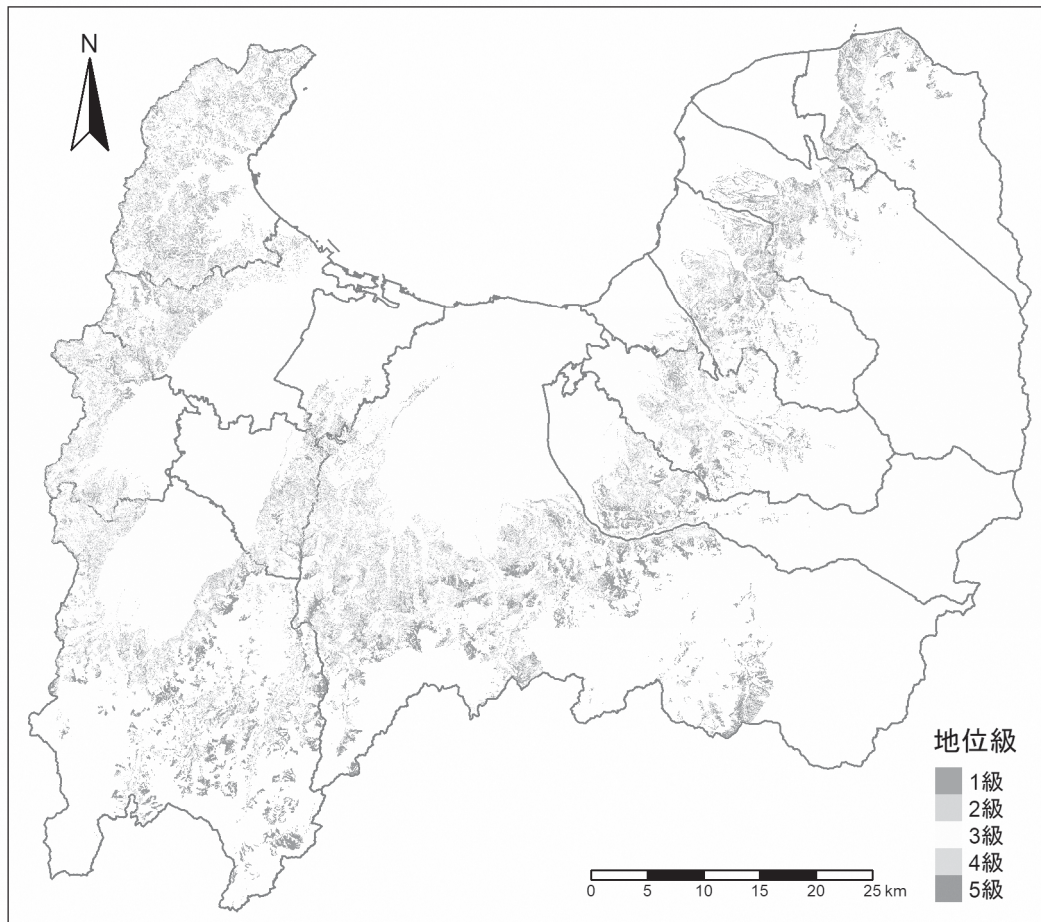


図-1. 富山県内スギ林における地位級分布図

引用文献

- Conrad O, Bechtel B, Bock M, Dietrich H, Fischer E, Gerlitz L, Wehberg J, Wichmann V, and Böhner J. (2015) : System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4
- 嘉戸昭夫・田中和博 (2009) : タテヤマスギ林におけるシステム収穫表の成長パラメータ. 富山森林研報 1 : 44~51
- 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 : 4~13
- R Core Team (2021) : R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Zushi (2006) : Spatial distribution of soil carbon and nitrogen storage and forest productivity in a watershed planted to Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don). J For Res 11 : 351~358