

森林資源有効活用に向けた数値地理情報による地位推定

—三重県菟野町の事例—

廣瀬裕基・川田伸治・松村直人（三重大院生資）

三重県菟野町は、森林保全・経済活性化を目的に、町内の間伐未利用材(木質バイオマス)を活用するエネルギーの地域内循環システムの構築を進めている。木質バイオマスの安定供給には、土地生産力を示す地位の把握が重要であるが、現在、菟野町内の地位データは不足している。本研究では、バイオマス対象樹種であるスギの地位を数値地理情報に基づく6つの地理情報から推定し、地域内循環システムの実現を見据えた今後の森林経営計画の策定支援を行う。結果として、表層地質・土壌が主要な地位の決定因子であることが明らかとなり、また得られた地位推定図は今後の造林・路網整備計画における基礎的データであるといえる。

キーワード：地位指数、数値標高モデル、土地分類基本調査、多変量解析、GIS

I はじめに

三重県の北西部に位置する三重郡菟野町では、林業従事者不足による間伐遅れや放置林の増加が進んでおり、今後の森林管理が課題となってきた。このままでは、森林の有する多面的機能の低下が懸念されることから、菟野町は町内の間伐未利用材(木質バイオマス)を活用することで「災害に強く」、「環境にやさしく」、「経済活動に寄与する」まちづくりを目的に、エネルギーの地域内循環システムの構築を目指している。しかし、2014年度に行われた森林資源調査では、現状確保できるバイオマス推定量は、エネルギー循環システム実現の際に想定される需要量を満たしていないということが明らかになっている(6, 9)。したがって、菟野町では現在さらなるバイオマス量の確保が求められている。

菟野町内における樹種別バイオマス量及び植生状況等を考慮すると、今後のバイオマス生産にはスギ(*Cryptomeria japonica*)が適切な樹種であると考えられる。森林資源の管理には、林地の生産力を示す地位の把握が重要であり、菟野町では現存樹種に対する地位データが森林簿に記載されている。しかし、町内ではスギの分布がわずかであることから、スギの地位データは不足しており、その分布を把握することが必要である。

地位は基準林齢の主林木平均樹高によって決定されるが、樹高は一般的に林分密度や間伐強度の影響を受けにくいとされる(1)。一方で、地形因子や土壌型等の環境因子が地位との間に、統計的に有意な関係を示す研究成果が報告されている(14)。以上を踏まえ、我々は地位と林地の“地理情報”の関係に注目し、スギの地位推定を行う。そして、地域内循環システムの

実現を見据えた今後の森林経営計画の策定支援を行う。

II 研究対象地と方法

1. 研究対象地の概要

菟野町町域は三重県北部の鈴鹿山脈主稜の東側、伊勢湾北部の湾岸線から約10.5kmの内陸に位置している。町内の南と北には丘陵・台地、西には扇状地、そしてその後方に御在所・鎌ヶ岳など標高1,000m余の鈴鹿山脈が峰を連ねている(図-1)。森林植生は主に町の丘陵地帯から鈴鹿山脈にかけて広がっており、標高や地形に応じて植生タイプが豊かである。森林面積は5,365ha(森林率50%)で、その内訳は国有林が76ha、民有林が5,289haと大半を民有林が占めている。また民有林は人工林が1,605ha、天然林が3,454haであることから、日本全国の平均人工林率4割と比較すると、まだ天然林が優占し、人工林化が進まなかった地域といえる。菟野町の気象は全般的に温暖多雨のおだやかな気候であるものの、伊勢湾に臨む東部の平野部と鈴鹿山脈西部の山地部で異なる。年平均気温は15.7℃、年平均降水量は1,600mmと一般的に温和な気候である(8, 11)。

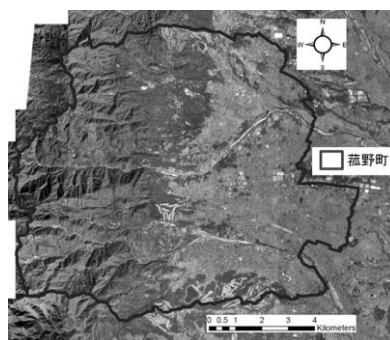


図-1. 三重県菟野町

HIROSE Yuki, KAWATA Shinji, MATSUMURA Naoto, Grad. School of Bioresources, Mie Univ, nma@bio.mie-u.ac.jp

Estimating site index using digital spatial information for effective use of forest resources — A case study in Komono Town in Mie Prefecture —

2. 地位データ

地位に関するデータは、三重県農林水産部から提供された森林簿（2010年度版）を使用する。森林簿に記載されている地位データは、地位指数を3つに区分した地位データとして、基準林齢（一般的に40年生時）の主林木平均樹高から決定される地位指数の高い順に地位1等、2等、3等に分けられている（13）。この地位データは、該当小班に森林簿上生育している樹種のデータ分しか含んでおらず、生育樹種以外の地位データは把握することが出来ない。例えば、本研究の対象樹種であるスギは、菰野町内の全6,362小班中、635小班にしか生育していないため、残りのおよそ9割にあたる小班のスギの地位は不明ということになる。

3. 地理情報

地理情報の取得にあたっては、国土交通省のウェブサイトで入手した10mメッシュの数値標高モデル（Digital Elevation Model : DEM）及び土地分類基本調査データを使用する。本研究で地位推定に使用する地理情報は、標高、傾斜度、曲率、日射量、TWI、土壌、表層地質の7つである。傾斜度、曲率、日射量、TWIは、DEMデータからArcGIS 10.1（Esri社、米国）の空間解析機能を用いることで取得している。なお、10mメッシュのDEMデータ容量は、本研究で使用するPCのGISで解析可能な容量を超過しているため、15×15mのセルサイズに軽量化を行い、以上の7つの地理情報を取得した。以下に各地理情報に関する簡単な解説・補足等を行う。

標高： DEM由来の標高データは、標高の値が整数値に四捨五入されることによって実地にはない窪地が生じている可能性があるため（4）、本研究で使用するにあたって事前にGISで補正処理を行った。

傾斜度： 各セルから計算するZ値の最大変化率を表す（3）。

曲率： 地形の凹凸度を示す。正の曲率は上方向に凸状、負の曲率は上方向に凹状であることを示す（3）。

日射量： 全天可視領域ラスタを太陽軌道図と全天分割図のラスタにオーバーレイし、算出される散乱日射と直達日射の合計である（3）。設定期間は2014年の3月～11月。

TWI（Topographic Wetness Index）：

斜面位置によって生じる土壌水分傾度を数量的に表す地形指標である（2）。算出式は $\ln(a/\tan\beta)$ 。 α ；集水面積（ m^2 ）， β ；斜面傾斜（ $^\circ$ ）

土壌： 菰野町内に分布している土壌は次の7種である。乾性褐色森林土、褐色森林土、残積性未熟土、黒ボク土、黄色土、赤色土、粗粒灰色低地土。

表層地質： 町内に分布している表層地質は次の5種である。砂礫・粘土、砂岩泥岩、洪積砂礫、花崗岩類、粘板岩・砂岩等。

4. 解析

本研究では、地位を目的変数、地理情報を説明変数として、ダミー変数を用いた重回帰分析（数量化I類）を行うことで、地位と地理情報の関係性に基づく地位の推定を行う。標本数nはスギの地位データ数（スギの生育小班数）の635であり、この標本数に合わせるために、各地理情報のラスタのセル値は1小班毎に平均化されている。

まずは、1)地位と個々の地理情報の重回帰分析を行い、次にその結果を基に2)地位と6つの地理情報から重回帰分析を行い、地位推定式を算出する。なお、地理情報の標高、傾斜度、曲率、TWIは、量的データで取得しているため、それぞれを4つのカテゴリーに分けて解析する。統計解析ソフトは、Excel 2010（マイクロソフト、米国）及びSPSS Statistics 20（IBM、米国）を使用した。

5. 地位推定図の作成

重回帰分析で求めた推定式を菰野町に適用し、地位推定図を作成する。さらに、推定地位の高い地域に、菰野町の地理的森林施業条件と森林簿に基づく植生状況を付加させ、バイオマス確保に向けた方向性を検討する。

III 結果と考察

1. 地位と個々の地理情報の関係

表-1に地位と個々の地理情報の重回帰分析の結果を示す（回帰係数は省略）。いずれの地理情報においても回帰式は統計的に有意であったものの、重相関係数は全体的に低い値となっているため、単一の地理情報による地位推定は厳しいといえる。地位との関係性を見てみると、“土壌”と“表層地質”が他の地理情報よりも高い相関を示しており、すなわち地位の決定に、より影響が大きいといえる。

表-1. 地位と個々の地理情報の重回帰分析の結果

説明変数	重相関係数 R	有意確率
標高	0.39	<.0001
傾斜度	0.33	<.0001
曲率	0.09	<.0001
日射量	0.27	<.0001
TWI	0.27	<.0001
土壌	0.61	<.0001
表層地質	0.60	<.0001

次に地位の推定精度を向上させるために、地位と全地理情報を組み込んだ重回帰分析を行う。しかし、TWIは傾斜度を用いて算出されているため、傾斜度とTWIは相互に相関（R：0.65）があり、このまま両説明変数

重回帰分析に使用すると多重共線性を引き起こす可能性がある(7)。そこで今回は重相関係数の低いTWIを除いた残りの6つの地理情報と地位から重回帰分析を行う。

2. 地位と6つの地理情報の関係

表-2に地位と6つの地理情報との重回帰分析の結果を示す。III-1.と同様に、変数間の回帰式は統計的に有意となっており(有意確率<.0001)、さらに重相関係数は0.73(決定係数:0.52)であることから、個々の地理情報を用いた場合よりも推定精度の向上が確認できた。

表-2. 地位と6つの地理情報の重回帰分析の結果

説明変数	カテゴリー	回帰係数	t値
標高(m)	0~250	-0.047	-1.422
	250~500	-0.179	
	500~750	0.040	
	750~	0.	
傾斜度(°)	0~20	0.050	-0.627
	20~30	-0.145	
	30~40	-0.160	
	40~	0.	
曲率	~-2.5	-0.101	-0.612
	-2.5~0	0.092	
	0~2.5	0.093	
	2.5~	0.	
日射量 (*10 ⁵ WH/m ²)	0~8.5	0.027	-1.885
	8.5~9.5	-0.090	
	9.5~10.5	-0.080	
	10.5~	0.	
土壌	乾性褐色森林土	-0.335	-3.981
	褐色森林土	-0.548	
	残積性未熟土	-0.222	
	黒ボク土	0.001	
	黄色土	0.119	
	赤色土	0.044	
	粗粒灰色低地土	0.	
表層地質	砂礫・粘土	-0.287	-8.474
	砂岩泥岩	0.200	
	洪積砂礫	-0.159	
	花崗岩類	-0.544	
	粘板岩・砂岩等	0.	
調整済み決定係数 R ² :0.52		定数項:3.019	

地位の推定は、各説明変数のカテゴリーに付随する回帰係数と定数項:3.019の合計によって算出される。地位は数値が小さい方が林地生産力が高いとされるため、負の大きな回帰係数をもつ変数は地位の向上に寄与する。各地理情報の中で、最も地位の向上に寄与するカテゴリーを挙げると、標高:250-500、傾斜度:30-40、曲率:<-2.5、日射量:8.5-9.5、土壌:褐色森林土、表層地質:花崗岩類になる。一般的にスギの生育特性は、「谷筋や緩傾斜地で、適潤かやや湿潤なB_d~B_eの褐色森林土で成長が良い」と言われている(12)。本研究の結果と比較してみると、曲率と表層地質は一致してい

るといえるが、傾斜度に関しては、30-40°のやや急傾斜地が地位の向上につながるという結果になったため、この点は一般的な生育特性と異なっている。

また、以上のカテゴリーに関するt値の絶対値の比較を行うことで、目的変数に対する影響の大きさを調べた。その結果、地位決定に最も大きい影響を与えているのは花崗岩類(表層地質)、続いては褐色森林土(土壌)となった。

真下(1974)は、花崗岩類と火山灰地域の土壤水貯留量は堆積岩と火山岩地帯よりも大きいという調査結果を得ている(10)。また、藤枝(2008)は、火山岩・花崗岩、堆積岩・火山岩、変成岩の3つの表層地質の流域貯留量(土壤水貯留量の一成分)を調査し、火山岩・花崗岩を表層地質とする流域の貯留量が最大であるという結果を得た(5)。以上を考慮すると、スギの成長には生育地における、一般的な生育特性で言われるような水分特性が特に重要であると考えられる。

3. 地位推定図の作成

推定式を菰野町に適用することで、地位推定図を作成した(図-2)。特徴としては、現在スギ林の多くが生育している町内中央・東側は推定される地位(以下、推定地位とする)が低い地域となっており、一方で西側は比較的推定地位が高い傾向にある。特に、北西・南西部には地位1等に限りなく近い箇所が見られる。

このような地位分布になったのは、III-2で明らかになったように“花崗岩”と“褐色森林土”の分布の影響を強く受けているためであると考えられる。町内西側は、花崗岩を表層地質とする鈴鹿山脈に覆われており、また北西・南西部には褐色森林土が分布しているため、両者の重なり合う地域は推定地位が高くなったといえる。

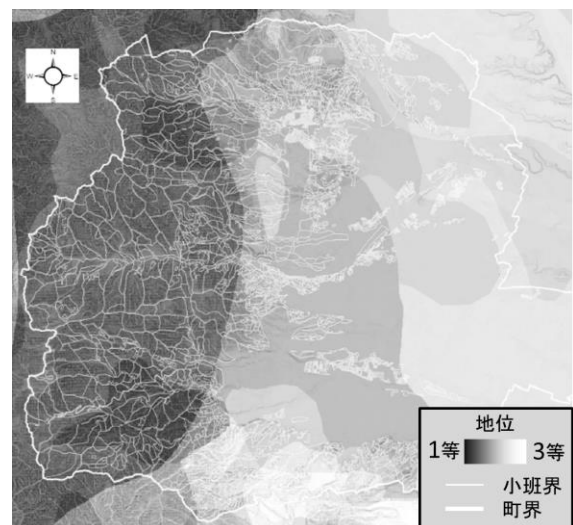


図-2. 推定式の適用結果

以上のように、菰野町の北西・南西部は、特にスギの推定地位が高く、成長が良いと期待できる地域である。しかし、バイオマス利用にあたっては、地位だけ

でなく森林施業条件や植生現況等を考慮することが必要である。

図-3 は、推定地位の高い町内南西部を拡大した図に、菰野町の地形的森林施業条件と森林簿上の植生状況を付け加えたものである。菰野町では、林道から100m以内が施業範囲であると想定されており(II)、また傾斜度40°を超えるような急傾斜地は生産林に不適であるといえる。上記の条件と推定地位との位置関係を見てみると、現在の施業範囲は、推定地位の高い地域をカバーしきれていないこと、急傾斜地は推定地位に関わらず広範囲に及んでいることがわかる。より多くのバイオマスを効率的かつ安定的に供給していくには、適切に整備された林道及び、その範囲の拡大が必要だと予想されることから、この情報は、今後の林道開設や路網の維持・管理の計画策定を支援するものと期待される。

また、森林簿の植生現存情報を検証すると、現在スギの推定地位の高い林地に、多くの天然林広葉樹が生育していることがわかる。バイオマス確保の観点からは、そのような林地をスギ人工林化することが一つの手段であるといえると同時に、推定地位の低いスギ林分は環境林として天然広葉樹林化する、といった造林計画・ゾーニングを提案することができる。このように、スギの地位推定図に基づいたバイオマス確保の方向性を示すことができた。

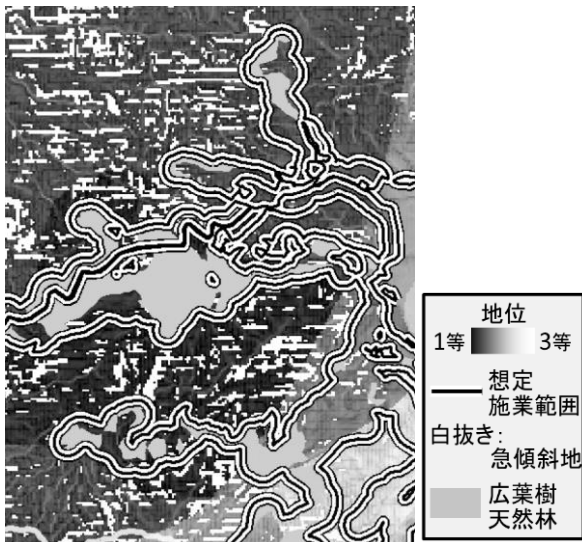


図-3. 推定地位と森林施業条件・植生状況

IV 終わりに

本研究では、地位データと6つの地理情報から地位の推定を行ったが、算出された推定式の決定係数は0.52を示しており、さらなる精度(決定係数)の向上が求められる。今回、一般的に言われるようにスギの生育には林地の水分が特に重要であるとの結果が得られたことから、推定精度向上に向けた手法には、土壌の水分量データ、降水量の気象データ等の水分に関する地理情報を説明変数として使用することが有効であ

ると考えられる。また、DEMデータの軽量化を事前処理として行っているが、解析にあたっては本来の10mメッシュのDEMデータを使用することが望ましい。そこで、菰野町では南部地域が木材生産の優先地域とされていることから、そのような地域を地位推定の対象範囲として、解析範囲を制限することも必要である。

引用文献

- (1) 荒木眞岳, 重永英年, 奥田史郎 (2010) スギ人工林における強度間伐が残存木の成長に与える影響. *Kyushu J. For. Res.* No.63, 60-63.
- (2) 江原秀宗, 松英恵吾, 執印康裕, 逢沢峰昭, 大久保達弘 (2009) 船生演習林ヒノキ人工林における数値地形モデルに基づいた土壌水分指標による樹高推定の有効性. *宇都宮大学農学部演習林報告* 45, 9-15.
- (3) Esri ArcGIS Resource center.
<http://help.arcgis.com/ja/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/009z000000tw000000> (平成27年10月)
<http://help.arcgis.com/ja/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/na/009z000000t9000000> (平成27年10月)
<http://help.arcgis.com/ja/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/009z000000v2000000> (平成27年10月)
- (4) Esri ジャパン (2013) *Spatial Analyst 解析*. 138 pp.
- (5) 藤枝 基久 (2007) 森林流域の保水容量と流域貯留量. *森林総合研究所研究報告*, Vol.6, No.2 (No.403), 101-110.
- (6) 廣瀬裕基 (2015) 持続可能な森林経営における地域版指標の導入. 平成26年度三重大学生物資源学部卒業論文, 40pp.
- (7) 菅民郎 (2001) *Excel で学ぶ多変量解析入門*. オーム社, 121-146.
- (8) 菰野町教育委員会 (1991) *菰野町史 自然編*. 三重県三重郡菰野町, 518pp.
- (9) 前川悠 (2015) 菰野町における木質バイオマスを用いた持続可能な地域内循環システムの構築. 平成26年度三重大学生物資源学部卒業論文, 21pp.
- (10) 真下育久 (1974) 森林の公益的機能定量化調査報告Ⅲ. *水利科学研究所*, 34-66.
- (11) 松村直人 (2014) 菰野町森林資源有効活用調査報告書. 菰野町, 30pp.
- (12) 日本林業技術協会 (2001) *森林・林業百科事典*. 丸善株式会社, 534pp.
- (13) 島田博匡 (2010) 三重県のスギ・ヒノキ人工林における長伐期施業に対応した林分収穫表の作成. *三重県林業研報* (2), 28pp.
- (14) 図子光太郎 (2010) 富山県におけるスギ生育適地の空間分布推定のための数値地形解析に関する研究. *富山県農林水産総合技術センター森林研究所研究報告* 2010, 1-62.