GIS による地形解析技術を利用した林地生産力の推定

富山県林業技術センター林業試験場・森林保全課　○図子 光太郎（ずし こうたろう）

要旨

本研究では，地理情報システムをプラットフォームとした数値地形解析技術を用いて，スギ人工林の生産力を推定することを目指しました．その結果，数値地形解析により算出したいくつかの環境因子とスギの地位指数との間に有意な相関が認められました．こられの環境因子を説明変数とする重回帰分析から地位指数推定モデルを作成したところ，高い推定精度が得られました．このことから，この手法の有効性が確認されました．

はじめに

富山県では1950年代から1980年代にかけて拡大造林政策により多数のスギ人工林が造成されました．しかし，近年の木材価格の低迷等による林家の経営意欲の減退や林業労働者の減少および高齢化等により，スギ人工林の管理の停滞が顕著になっており，このことは本県の森林政策上の大きな問題の一つとなっています.こうした森林の今後の取り扱いを考える場合,現在の林業経営環境からみて,用材生産林として経営的に成り立つ森林か，そうでないかを区分する必要があります．こうした区分は基本的に対象となる林分の生産力を基準に行うことが妥当であると考えられます.

そこで本研究では,地理情報システム（GIS）をプラットフォームとした数値地形解析技術を用いて,スギ人工林の生産力を広域的に推定し，今後のスギ人工林の取り扱いを検討するための林地生産力を基準とした森林ゾーニングを試みました.

1．　方法

(1) 調査地

調査は富山県氷見市を対象に行われました（図-1）．急峻で積雪の多い富山県の山地において，この地域は丘陵性の緩やかな斜面が多く，積雪も少ないことから，本県有数の林業地域の一つとなっています．かつて，電柱用材として挿し木品種のボカスギが積極的に導入されたことから，ボカスギ林業地として名を馳せました．氷見市の森林面積 13,499 ha のうち 4,704 ha が人工林で，その 90 % 以上がスギ林で構成されています．氷見市内のアメダス観測地点（標高 7 m）における平均気温は 13.0 ℃ で, 年降水量は 2,123 mm です.表層地質は主に新第三紀の砂岩，シルト岩および泥岩から構成されています．また，林地における土壌の大部分は褐色森林土であり，緩傾斜地や尾根の鞍部などで，一部に黒ボク土が出現します.

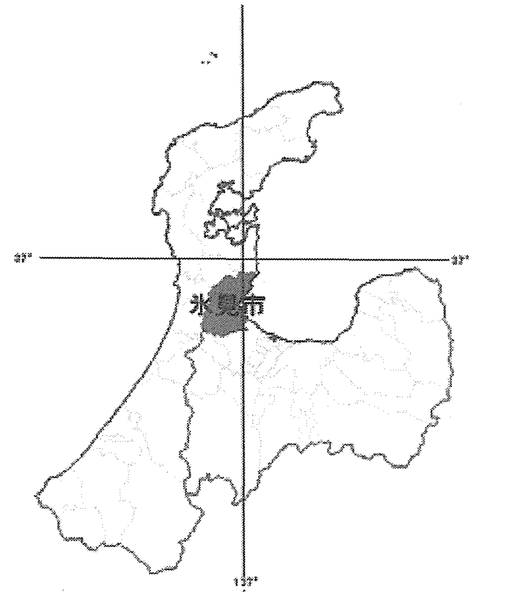

図-1 調査位置図

(2) 野外調査

スギ人工林の生産力を把握するため，91 箇所のボカスギ林分を対象に，20 m×20 m の方形プロットを設置しました．プロット内のスギ個体について胸高直径，樹高および林齢を測定しました．胸高直径は直径巻き尺を用いて全木を調査し，樹高はレーザーデンドロメータを用いて優勢木を対象に 10 本程度を測定しました．林齢は，2 個体から 3 個体を対象に，成長錘を用いて測定しました．また，林地生産力は地位指数を用いて判定しました．地位指数は実測した樹高と林齢から，ボカスギ成長曲線式（嘉戸・田中 1997）を用いて 40 年生時の樹高を求めました．

(3) 数値地形解析

数値地形解析は，GIS で取り扱う数値標高モデル（DEM）から，斜面の傾斜や方位，地形の凹凸といった地形特性を算出する手法です．しかし近年では，このような地形特性だけでなく，地形によって生じる水の動きや，日射量，気温の変化などを再現するモデルが考案され，水文学，生態学，農学および森林学等への適用が図られています．本研究では，この数値地形解析技術を用いて算出した地形環境因子と地位指数との関係を中心に検討を行いました．

本研究において，数値地形解析を用いて算出した地形環境因子は，標高，斜面方位，斜面傾斜，開度，横断曲率，縦断曲率，総曲率，尾根到達距離，渓流到達距離，流出寄与域，地形湿潤指数，推定日射量および推定平均気温の 13 因子です．以下に，特に説明が必要と考えられる因子について解説します．

斜面方位：斜面方位は，その地点の斜面向きについて北を 0 度，南を 180 度とし，北からの偏差を度単位で示します．

開度：開度は，その地点が周囲に比べ地上に突き出ている程度および地下に食い込んでいる程度を示します．概ね尾根部で大きな値をとり，谷部で小さな値をとる傾向があります．

横断曲率：横断曲率は，その地点の等高線方向における地形の凹凸を示します．凹型の地形では正数を，凸型の地形では負数を，平衡地形では 0 に近い値を示します．

縦断曲率：縦断曲率は，その地点の流線方向における地形の凹凸を示します．凹凸に対する数値の変化は横断曲率と同様です．

総曲率：総曲率は，特定方向に対する曲率ではなく，その地点を含む面の曲率を示します．凹凸に対する数値の変化は横断曲率や縦断曲率と同様です．

尾根到達距離: 尾根到達距離は，流水解析によって発生させた尾根線までの最短距離を示します．

渓流到達距離: 渓流到達距離は，流水解析によって発生させた渓流線までの最短距離を示します．

流出寄与域：流出寄与域は，その地点の地下水流出に寄与する斜面上部の集水域を示します．この値は斜面における土壌水分の分布をよく再現するとされています．

地形湿潤指数: 地形湿潤指数は，単位等高線幅当たりの流出寄与域をその地点の斜面傾斜で割った値です．この値も流出寄与域と同様に，斜面の土壌水分の分布をよく再現するとされています．

推定日射量：推定日射量は，近隣の気象観測データを基に，斜面方位や標高など地形の影響について補正を行い，推定した平均日射量で，単位はMJ / m^2 / dayで表されます．

推定平均気温: 推定平均気温は，近隣の気象観測データを基に，斜面方位や標高など地形の影響について補正を行い，推定した年平均気温で，単位は℃で表されます．

なお，開度は横山ら（1999）の方法を用いて，横断曲率，縦断曲率および総曲率は Moore ら（1993）の方法を用いて，流出寄与域および地形湿潤指数は Quinn ら（1995）の方法を用いて，推定日射量および推定平均気温は Wilson ら（2000）の方法を用いて，それぞれ算出した．

本研究では，GIS ソフトとして TNTmipsVer.6.9（MicroImages, Inc.）を使用しました．数値地形解析に必要なコンピュータープログラムは，GIS ソフト付属のマクロ言語である SML（Spatial Manipulation Language）を用いて作成しました．ただし，推定日射量および推定平均気温に関する解析はサウスカリフォルニア大学によって公開されている地形解析ソフト SRAD を用いました．また，解析に用いた DEM は 10 m メッシュの解像度を有する GISMAP Terrain（北海道地図 K.K.）です．推定日射量と推定平均気温に必要な気象データは輪島測候所観測データ月別平均（(財)気象業務支援センター）を用いました．

(4)統計解析

各調査プロットの立地環境因子と地位指数との関係を検討するため，単回帰分析を行いました．さらに，地位指数を推定するモデルを作成するため，変数選択にステップワイズ法を用いた重回帰分析を行いました．これらの統計解析には，統計解析ソフト SPSS12.0（SPSS Japan Inc.）を使用しました．

2．　結果および考察

表-1 に，数値地形解析を用いて算出した立地環境因子と各調査プロットのスギ林分の地位指数との単回帰分析の結果を示します．地位指数と最も高い相関を示した因子は，流出寄与域でした．流出寄与域は土壌の水分環境を反映することから，林地生産力の分布が土壌水分環境に強く支配されることが確認されました．同様に土壌水分環境を示す地形湿潤指数も地位指数と高い相関を示しました．標高と地位指数との間には高い負相関が認められました．これは，標高による気温の変化が生育に影響するためと考えられます．推定平均気温と地位指数との間の高い正相関がこのことを裏付けていると考えられます．また，推定日射量と地位指数との間に高い負相関が認められました．一般に，日射量の増加は光合成生産量の増加につながりますが，本調査の結果によると，日射量の高い林分で生育が低下する傾向が認められました．これは，日射量の増加によって蒸発散量が増加し，乾燥傾向が助長され，生育が抑制されるためと考えられます．斜面方位と地位指数との関係において，日射量の高い南向き斜面で地位指数が低くなる傾向が認められたのも同様の理由によると考えられます．地形変の凹凸を示す横断曲率および総曲率と地位指数との間にも有意な正相関が認められ，地形の微細な凹凸が生産力に一定の影響を与えることが確認されました．一方，斜面傾斜，縦断曲率，尾根到達距離について，地位指数との間に有意な関係は認められませんでした．

表-1 立地環境因子と地位指数との関係

独立変数	相関係数	有意確率
標高***	-0.531	0.000
斜面方位***	-0.396	0.000
斜面傾斜	0.075	0.488
開度**	-0.350	0.001
縦断曲率	0.181	0.091
横断曲率**	0.362	0.001
総曲率**	0.292	0.006
尾根到達距離	0.159	0.139
渓流到達距離*	-0.228	0.033
比流域面積***	0.551	0.000
地形湿潤指数***	0.437	0.000
推定日射量***	-0.422	0.000
推定平均気温***	0.442	0.000

***: 0. 5%水準で有意，**: 1%水準で有意
*: 5%水準で有意，n=91

数値地形解析から算出した地形環境因子から地位指数を推定するため，重回帰分析を行いました．その結果，下記のモデル式が得られました．

$y = -0.014x_1 + 11.893x_2 - 0.435x_3 + 1.688x_4 + 14.482$
$R = 0.749$
y:地位指数　x_1:標高　x_2:横断曲率
x_3:推定日射量　x_4:流出寄与域

図-2は，このモデル式を用いて算出した地位指数の推定値と実測値との関係を示しています．1：1の直線に対し大きく偏ることなく，比較的高い相関を有しており，実用的なモデルが得られたと考えられます．

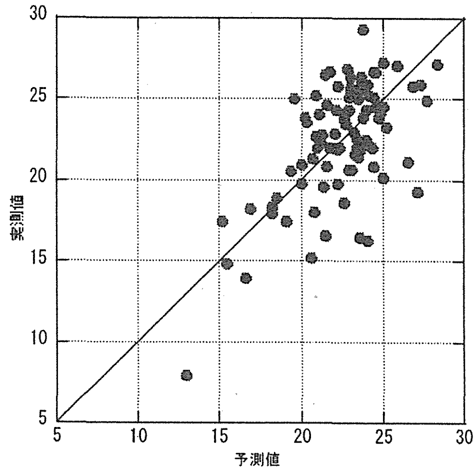

図-2 地位指数の実測値と予測値の比較

上記のモデル式をGIS上に展開し，林地生産力に基づくゾーニングを試みました（図-3）．ゾーニングは，生産重視林タイプ，選択タイプおよび保全林タイプの3つの区分を用いて行いました．生産重視林は富山県の基準で1等地以上の地位を有し，40年間で800 m³ / haから1000 m³ / haの生育が見込める地域です．このような地域に分布するスギ人工林については，今後も用材生産のための施業を続け，資源の循環利用に資することが望まれます．

一方，保全林タイプは地位が2等地未満で，現在の林業経営環境からみて，用材生産による林業経営に適さないと考えられる地域です．このような地域に分布するスギ人工林については，用材生産を目的とした施業から，広葉樹の侵入を促すなど，天然林型へ誘導する施業への移行が望ましいと考えられます．そして，山地防災や水土保全に資する森林として取り扱うべきと考えられます．また，選択タイプは生産重視林タイプと保全林タイプの中間の生産力が見込まれ，林業経営基盤の整備状況や山地災害の発生状況等を考慮し，生産重視林タイプおよび保全林タイプのどちらかに振り分ければよいと考えられます．

図-3 林地生産力を用いた森林ゾーニング

おわりに

本研究の結果，数値地形解析技術を用いて算出した地形環境因子によるスギ林分の林地生産力の推定が可能であることが明らかとなりました．この方法は，土壌調査や気象観測などを行うことなく，既存のデータのみを用いて，実用的な精度で林地生産力の推定を行うことができます．さらに，使用

した DEM と同等の解像度で，林地生産力の空間分布を推定することが可能です．また本研究では，この様な手法で求めた地位指数推定モデルを使って，林地生産力を基準とした森林ゾーニングを試みました．このようなゾーニングに，林道路網，気象災害，地滑りの発生箇所といった様々な情報を重ね合わせることによって，現実的で実用性の高い森林ゾーニングが可能になると思われます．

GIS 技術は，森林管理の分野において，さらに普及発展していくことが予想されます．このため，こうした GIS を活用した技術手法の確立と GIS で取り扱えるデータの整備がますます重要になると考えられます．

参考文献

嘉戸昭夫・田中和博（1997）ボカスギのシステム収穫表の成長パラメータ．中森研 45：43-46

Moore I.D., Gessler P.E., Nielsen G.A., and Peterson G.A. (1993) Soil attribute prediction using terrain analysis. Soil Sci. Soc. Am. J. 57：443-452

Quinn P.E., Beven K.J., and Lamb R. (1995) The ln(α / tan β) index: how to calculate it and how to use it within the TOPMODEL framework. Hydrological Processes 9：161-182

横山隆三・白沢道生・菊池祐（1999）開度による地形特徴の表示．写真測量とリモートセンシング 38：26-34

Wilson J.P. and Gallant J.C. (2000) Terrain analysis -Principal and Applications- 479pp, John Wiley & Sons, New York.