

小流域におけるラスタ単位の地位推定と間伐優先箇所の抽出

新野雄大¹・阿部信行^{2*}

(平成20年12月26日受付)

要 約

本研究は GIS から得られる実用的な地形因子データを基に、スギ人工林を対象とした小流域単位での地位推定を行い、要間伐林分の抽出を行うことにある。地位に影響を及ぼす要因として DEM から斜面方位、斜面傾斜角、陰影起伏、曲率を求めた。他に尾根、沢からの距離そして標高を用いた。これらの因子を要因に、地位指数を外的基準として数量化 I 類を用いて、スギ人工林の地位推定が有効であることを示した。また、地位指数が高い林分ほど、間伐遅れが進行していることを明らかにし、間伐優先箇所を示した。

新大農研報, 61(2):167-173, 2009

キーワード：地位指数、DEM、間伐林分、スギ

スギは国内の人工林面積 1,036 万 ha のうち、451.6 万 ha を占める日本の代表的な造林樹種である。スギの成長は土地条件・環境条件に大きく左右されるため、適地の判定を誤れば成長不良を招く。そのため、適地の判定はスギ造林において必要不可欠な作業となっている。

造林適地の判定は重要な課題として認識されてきた。造林樹種の樹高成長と土地条件、環境条件との関係解析に関心が集まり、地質、地形、土壌等の分野において多くの研究がなされてきた（竹下、1965；西沢、1965；山根ら 1990；寺岡ら、1991）。西沢ら（1965）はカラマツの地位推定に数量化 I 類をはじめ用い、土壌型、A 1 層深度、有効深度、腐植含量、土壌構造、標高、方位、傾斜、母材などの主として土壌条件のアイテムを用いて、高い精度でカラマツ林の地位指数を推定できることを明らかにした。この数量化 I 類は、スコア表の数値を足し算するだけで地位指数が推定できることから、全国の適地適木調査事業に応用された。新潟県においても数量化 I 類を用いた適地判定が行われており、新潟県農林水産部治山課が作成した適地適木調査報告書（1979）では、標高、方位、傾斜、土壌型、堆積型、局所地形、表層地質、最深積雪、地域の計 9 つの要因から地位指数を推定し、信頼性の高い結果を得ている。

しかし、適地適木調査報告書は対象範囲を広く想定しており、森林管理の最小単位となる小班において、細かく地位を判定することは難しい。適地適木調査報告書で使われているアイテムには、土壌型や表層地質等のアイテムがあり、現地調査や専門知識が必要である。

この研究では、スギ人工林を対象に GIS ソフトを用いて、小コストで効率のよい小流域単位での地位推定を行うことを目的とした。

従来、地位指数の推定では、上述した数量化 I 類のほか、重回帰分析（吉田、1985）やニューラルネットワークを応用した方法（美濃羽ら、2005）、DEM 法を用いた方法（MITSUDA et al.2001）がある。数量化 I 類は、西沢ら（1965）によれば、測定されたものが数値であろうと範疇化されたものでであろうと同じとみなしてよいとされデータが収集しやすい。同時に、適地適木調査事業で使われてきた実績があり、スコア表の数値を

足し算することで地位指数を推定できる方式は極めて実用的である。そこで、数量化 I 類を用いたスギ人工林における地位指数の推定結果を報告する。

また、調査地周辺では間伐遅れ林分の問題が生じており、地位と密度管理図の収量比数（RY）の間にも有意な正の相関がみられたことから、地位指数推定式をもとに作成した地位区分図を応用し、小班内の間伐優先箇所の抽出を試みた。

資料および方法

1. 調査地と調査方法

調査地は、新潟県新潟市角田山周辺に分布するスギ人工林である（図 1）。森林立地面積は 1,934ha で、そのうちスギ人工林面積が 643.5ha となっている。図 2 には IKONOS（2002 年撮影）の画像を示した。角田山の東から南斜面にかけてスギ人工林が分布していることが分かる。原生林はみられず、すべて二次林で主にスギ、アカマツの植栽とコナラを優占種とする雑木林からなる。調査地の海拔高は 0～481.7 m の範囲にあり、年間平均気温が 13.3℃、暖かさ指数は 100 となっている。比較的中・高齢の小班が多く、また、小規模の個人経営者が多いことから、その小班が細かく分割されている。

調査は 20 m × 20 m のプロットを 20 箇所、主林木 5 本を 1 群として抽出したプロットを 29 箇所、計 49 箇所を無作為に選定して設置した。プロット 20 箇所においてはプロット内のすべてのスギを対象とし、後半の 29 箇所においては、プロットを落とした点を中心として、周囲の主林木 5 本を計測した。計測の内容は樹高、DBH、斜面方位、斜面傾斜角で、プロットの位置座標を DGPS とレーザー測距計を用いて計測した。

樹高に関しては、プロット 1～20 で上位 10 本の平均樹高、プロット 21～49 では計測した 5 本すべての平均樹高をそのプロットの樹高とした。また、林齢に関しては、GIS 上で各プロットの位置座標（DGPS で測定）を森林計画区データにのせてプロット地点の小班番号を求め、森林簿よりその小班の林齢を求めた。プロット 1～20 でプロットの範囲が複数の小班にまたがる場合は、面積に応じて重みをつけて計算したものをそのプロットの林齢とした。

¹ 山形県庁

² 新潟大学農学部 (tomiko@agr.niigata-u.ac.jp)



図1 調査対象地

地位指数に関しては、新潟県農林部から委託を受けて2003年度に行った高齢スギ人工林の実態調査100点と新潟県がスギ人工林分収穫予想表作成の際に収集した資料167点を用いて、地位指数曲線群を作成した (Sri Lestari Munajati2003)。

ガイドカーブ式はミッチャリッヒ式とし、以下である。

$$Y = 41.5452 * (1 - \exp^{(0.01446 * \text{Age})})$$

このガイドカーブから西沢ら (1965) の方法を用いて、地位指数曲線群を作成した。西沢ら (1965) は、ガイドカーブと同じ形状とするために、各林齢におけるガイドカーブ上の値 (Yt) から個々の観測値 (yt) までの隔たりを表す尺度 (残差の標準偏差) を考慮しなければならないとし、この残差の標準偏差は林齢と共に大きくなることを指摘している。今回の資料では

$$\sigma t = 0.02037 * t + 1.5606$$

を用いている。

地位指数曲線群から、樹高と林齢から各プロットの地位指数 (基準林齢: 60年) を求めた。

2. 地形要因

地位指数を推定する地形要因として、斜面方位、斜面傾斜角、陰影起伏、曲率、尾根からの距離、沢からの距離、標高を用いた。作成にはGISソフトArc GIS 9.1 (ESRI社)を使用した。

・標高 (DEM)

DEM (Digital Elevation Model) は、セル値として標高値が与えられたラスターデータのことである。1/5000森林計画図データの等高線をArc GIS上でデジタル化し、等高線のベクタデータを作成した後、セルサイズ10m × 10mのラスターデータに変換した。

角田山-ikonos(2002)

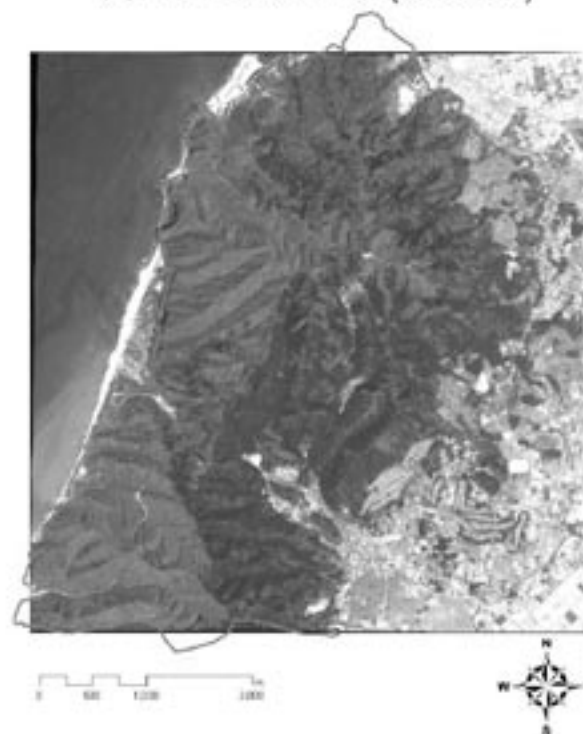


図2 調査地のIKONOS画像

その後このDEMを用い、地形要因として斜面傾斜角、曲率、斜面方位、陰影起伏のラスターデータを作成した。

・斜面傾斜角

主に傾斜がきつくなるほどスギの成長に影響を与えると考えられる。

・曲率

斜面の凹凸を表すデータで、一般に凹状地形では水分条件がよく、凸状地形では悪くなる。

・斜面方位

日のあたり具合を示すデータ。斜面方位は土壤の乾燥状態に影響するといわれている。日射時間の長い南寄りの斜面で土壤は乾きやすく、逆に日射時間の短い北寄りの斜面では土壤は乾きにくいことから、スギの成長に影響を及ぼすと考えられる。数値は0 ~ 359°で表現される。

・陰影起伏

日のあたり具合を示すデータ。ほぼ斜面方位と同じ傾向を示すことが考えられるが、その度合いを直接数値で表現できる。陰影起伏は光源位置を自由に設定できることから、今回はIversonら (1997) が用いた方位202°、高度45°のほか、夏至、冬至、春分秋分の南中高度の、計4種類を作成した。

・尾根、沢からの距離

尾根沿いは土壤中の水分状態が悪いこと、また、風の影響を受けやすいことから、土壤中の水分条件、風によるストレスを示すデータとして作成した。等高線データより、GIS上で尾根筋をトレースし、その線にバッファをかけて尾根からの距離とした。沢沿いは水分状態がよいことから、土壤中の水分状態を示すデータとして、尾根からの距離と同様の方法で作成した。



図3 曲率



図5 陰影起伏



図4 沢からの距離



図6 斜面方位

これらの中から、曲率（図3）、沢からの距離（図4）、陰影起伏（図5）、斜面方位（図6）の状況を示した。

3. 解析

地位指数推定式を求めるために、数量化I類を用いて解析を行った。

数量化I類とは、ある現象が数量Yで表されているとき、この数量Y（従属変数）を質的な特性アイテム（本研究では地

形要因）から推測する手法である。今回は49の各プロットにおいて地位指数と各地形要因を数量化I類にかけた。この際、独立変数を量的変数から質的変数に変換しなければならないために、地形要因のカテゴリ分けを行い、カテゴリ分けされた結果を数量化I類にかけた。数量化I類の独立変数の選択は、従属変数に対する各独立変数の寄与度を示すレンジの値と、偏相関係数、内部相関によって判断し、最終的に地位区分に用いる地位指数推定式を決定した。

4. 地位区分図の作成

多変量解析によって求めた地位指数推定式をもとに ERDAS IMAGINE8.7 の Modeler ツールで地形データ重ね合わせのモデルを作成し、選択された地形データを入力した。これより、ピクセルごとに地位指数の値をもった地位分布図を作成した。さらにこのデータを、新潟県収穫予想表（新潟県農林部治山課、1980）をもとに I～V 等級に区分し、地位区分図を作成した。

5. 間伐優先箇所の抽出

調査地の角田山周辺では現在、新植造林はほとんど行われておらず、中、高齢林の占める割合が高くなっている。新規植栽や主伐による利益が見込めない中、現存する経営林を間伐によって適切な環境に保つことが重要となってくるが、近年の森林経営の厳しさにより間伐遅れの林分が増加し、問題となっている。

そこで、対象地内において間伐が特に必要とされている林分を抽出することができれば、作業の効率化、コスト削減につながり、有効的な間伐を行うことができると考えられる。この間伐優先箇所の抽出において、今回作成した地位区分図の応用を検討した。

調査データより各プロット（1～23）の ha 当たり本数、ha 当たり材積、平均上層高から収量密度比数（RY）を裏東北・北陸地方スギ林分密度管理図（日本林業技術協会、1979）から求め、地位指数との関係性を求めてみると、 $r = 0.7681$ 、 $p < 0.01$ で、有意な正の相関がみられた（図-7）。これより、地位の高い林分において特に間伐遅れが進んでいるということがわかった。地位が高い林分ではスギの成長は速く、優れた材を得ることができるが、その反面、林内が混みやすく、間伐遅れが進みやすい傾向にあるといえる。

よって、間伐適期である林齢 30～40 年の林分において、地位の高い林分を地位区分図より抽出すれば、そこを間伐優先箇所として視覚的に示すことができる。具体的に、間伐優先実施区とする基準を地位が I 等地、林齢が 30～40 年として GIS 上で選定を行った。

方法は、まず 1/5000 森林計画図より対象林班 345-26-2 の小班ポリゴンを作成し、各ポリゴンに地位区分図より判読した

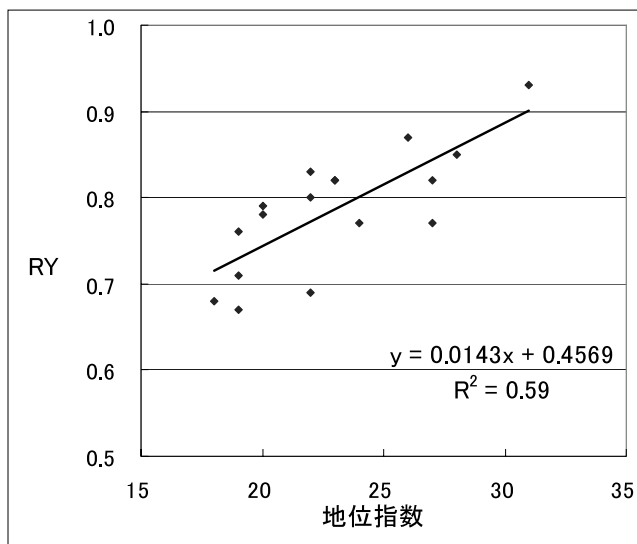


図7 地位指数と RY（収量比数）

地位級を、森林簿より林齢を属性として与えた。

次に、地位が I 等地、かつ林齢が 30～40 年生の小班ポリゴンを選択し、これを間伐優先箇所とした。

結果および考察

1. 調査・地形要因

現地調査と各地形要因データの判読の結果、各プロットにおける地位と地形要因は表 1 のようになった。

表 1. 地位指数と各地形要因の概要

	最小	平均	最大	標準偏差	単位
地位指数	18.00	23.45	31.00	3.26	
標高	85.00	202.53	420.00	72.16	m
傾斜角	9.00	31.12	43.00	8.52	°
曲率	-2.65	-0.26	3.65	1.56	
尾根からの距離	0.00	61.33	125.00	32.76	m
沢からの距離	0.00	52.86	110.00	27.70	m
陰影起伏 (Iverson)	17.00	160.57	252.00	67.06	
陰影起伏 (春秋)	43.00	179.94	254.00	63.74	
陰影起伏 (夏)	140.00	214.76	254.00	30.91	
陰影起伏 (冬)	0.00	120.84	243.00	79.38	
斜面方位	20.00	161.06	330.00	97.29	°

2. 多変量解析

全変数を数量化 I 類にかけて解析を行った結果、推定式が重相関係数 0.9414、標準誤差 1.099 m と、非常に精度の高い結果を示した。しかし、陰影起伏（夏至）、陰影起伏（春、秋分）、標高、曲率のレンジが他の要因と比べて非常に低くなっており、これらの地位に対する影響は小さいと考えられる。よってこの 4 要因を要因から外すことにし、6 要因で再度数量化 I 類にかけた。

6 変数で解析を行った結果、推定式の精度は重相関係数 0.9055、標準誤差 1.383 となった。全変数に比べてレンジのばらつきはなくなったが、陰影起伏 (Iverson) と陰影起伏 (冬至) の間に高い内部相関がみられた。そのため、レンジが低いほうの陰影起伏 (冬至) を要因から外すことにし、5 要因で再度数量化 I 類にかけた。

5 変数で解析を行った結果（表 2）、重相関係数 0.8788、標準誤差 1.555 と、全変数、6 変数の場合に比べ精度は低下したが、高い値を保っている。6 変数の場合に比べ、レンジについては陰影起伏 (Iverson) がほかの要因に比べてやや小さい値を示したが、おおむねバランスよく分布している。内部相関も高いものはなかったため、数量化 I 類においては 5 変数が適当だと判断し、この推定式を採用した。

採用した地位指数推定式を詳しくみていく。採用された地形要因（表-2）はレンジの高いものから順に、斜面方位、斜面傾斜角、尾根からの距離、沢からの距離、陰影起伏 (Iverson) となっており、このうち偏相関係数が高く、有意と判断されたものは斜面傾斜角 ($r = 0.7392$, $p < 0.01$) と尾根からの距離 ($r = 0.5917$, $p < 0.05$) であった。この 2 変数は Chen ら (1999) もスギの地位区分に用いており、有効であると考えられる。スギの成長要因として最も重要とされているものは水分供給量であり (吉田、1985)、この 2 変数が GIS 上で水分供給量を間接的、総合的に表現できる有効な要因であると考えられる。

表2. 地位指数推定結果 (スコア表)

地形要因	カテゴリ	スコア (平均値)	レンジ	偏相関係数
斜面方位	① 北	1.2101	5.4624	0.5933
	② 北東	1.6320		
	③ 東	2.2524		
	④ 南東	0.6082		
	⑤ 南	-0.8804		
	⑥ 南西	-3.2100		
	⑦ 西	-1.9232		
	⑧ 北東	0.3456		
陰影起伏 (I)	① 0 ~ 129	-0.8891	2.5833	0.4404
	② 130 ~ 159	-0.8808		
	③ 160 ~ 219	0.0999		
	④ 220 ~	1.6943		
斜面傾斜角	① ~ 19°	4.2826	5.4429	0.7392**
	② 20 ~ 29°	1.8070		
	③ 30 ~ 41°	-1.1603		
	④ 42° ~	-0.7022		
尾根からの距離	① 0 m	-4.5024	5.2549	0.5917*
	② 1 ~ 29m	-1.3388		
	③ 30 ~ 69m	0.7525		
	④ 70m ~	0.1733		
沢からの距離	① 0 m	2.6369	3.6132	0.4064
	② 1 ~ 29m	0.6324		
	③ 30 ~ 69m	0.1797		
	④ 70m ~	-0.9763		

重相関係数 R = 0.8788** **: 1%有意 *: 5%有意

また、採用された地形要因のうち、斜面方位に関しては、レンジでは最も値が大きいことに加え、偏相関係数でも $r = 0.5933$ と尾根からの距離とほぼ同じ値を示しているにもかかわらず、有意と判断されていない。これはカテゴリ分けの際に、尾根が4区分であるのに対して斜面方位では8区分のため、有意と判断される基準が尾根からの距離に比べて高かったためである。よって、サンプル数が多い場合には、斜面方位も有効な要因として判断されると考えられる。

新潟県の調査書で採用された地形要因のうち偏相関係数の高いものは、局所地形 (0.619)、土壌型 (0.590)、標高 (0.446) となっており、解析結果とは大きく異なる。局所地形は角田山のほぼ全域が小起伏山地、土壌型はほとんどがB d型と大まかな分布で表現されているため、細かな地位のばらつきの表現は難しい。また、土壌型、局所地形などは経営者個人が容易に判断できる要因ではないため、経営者個人で地位推定を行なうのは難しいと考えられる。

3. 地位区分図作成

採用した地位指数推定式を元に ERDAS IMAGINE 8.7 の modeler ツールを用いて選択された各地形要因を重ね合わせ、ピクセルごとに地位指数の値を持つ地位分布図を作成した。さらに分布図を地位 I ~ V に区分して作成した地位区分図を図8に示す。

図8より、平坦地、もしくは沢付近においては地位が高く、

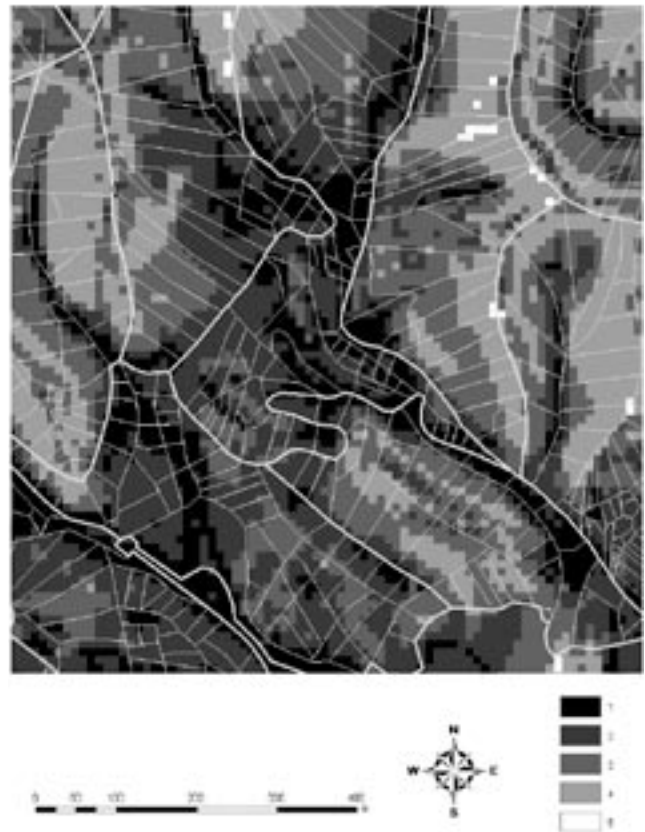


図8 地位区分

傾斜がつくと地位の値が低下していることが分かる。具体的な地形との関係を見てみると、沢で緩斜面のところが地位が高いというスギの特徴が出ていることがわかる。小班でみてみると、10 m × 10 m のサイズで、小班内の施業区ごとの地位のばらつきまで表現できている。これより、小流域単位での精度の高い地位の表示が可能となったといえる。

しかし、施業区内部でのセル単位の地位のばらつきが確認され、沢寄りでは地位がI、尾根寄りでは地位がIII、と判定されるような場合がみられた。実際の施業は施業区単位で行われているために、地位区分を参考にすることは施業区ごとに地位が区分されて表示されているほうが扱いやすい。しかしながら、森林計画図、森林簿上では施業区内がスギのみの植栽となっている場合でも、実際には尾根寄りで広葉樹、沢寄りでスギを植えている場合もある。そのため、地位推定の結果をセル単位で表示すべきか施業区ごと区分すべきか、判断が難しい。この場合、森林簿、森林計画図の情報が現状にあった区分になっていれば問題は大きく改善されると考えられる。山本ら (2005) は GIS を用いた森林簿の修正を行っている。このような定期的な森林簿、森林計画図の更新も、地位推定の結果を十分に活用するうえで重要になってくると考えられる。

また、今回用いた新潟県の森林計画図のポリゴンデータの属性には、森林簿の詳しい情報は追加されていなかった。ポリゴンの詳しい情報を確認するには、森林計画図で小班番号を確認したのち、膨大な森林簿エクセルデータより対象地を確認しなければならず、非常に苦勞した。森林簿と森林計画図のリンクがなされれば、スギ人工林のポリゴンを容易に抽出、表示する

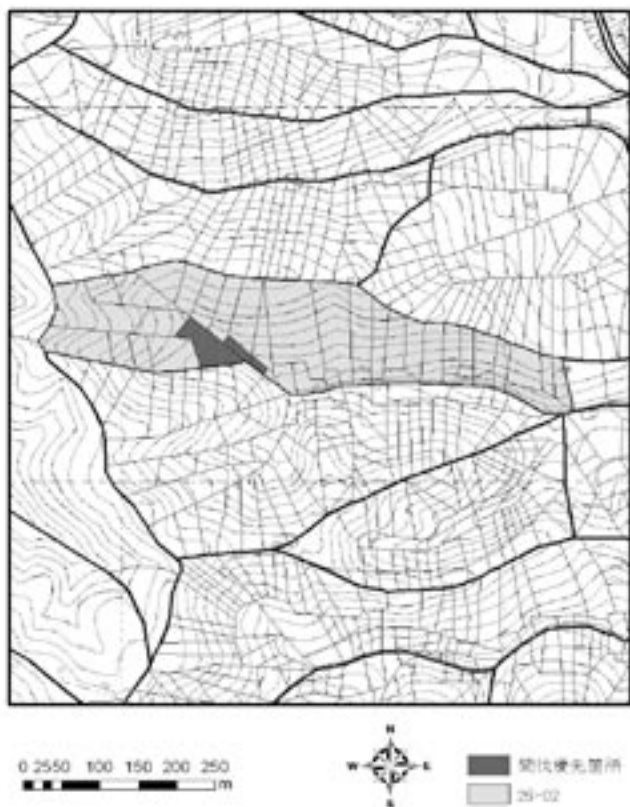


図9 間伐優先箇所

ことができ、スギ人工林における具体的な地位のばらつき等の情報を効率的に知ることができると考える。

4. 間伐優先箇所の抽出

間伐優先箇所を抽出した結果を図9に示す。間伐優先箇所として抽出された場所は沢沿いの施業区3箇所であり、ここは地位が高く、林齢が間伐期にあっている。地利条件をみてみると、最も近い林道から、約45～175mの距離にある。

調査地の角田山は急峻な地形となっているため、新しく林道、作業道を開設することは難しい。傾斜角が20°を超えると架線系集材機による集材が一般的である(阿部,1993)ことから、実際の間伐作業はタワーヤーダやスイングヤーダなどの架線系集材機による集材と、チェーンソーでの伐倒・造材が考えられる。そこで、今回作成した間伐優先実施区にデータに加えて、既存の林道・作業道の位置や、搬出経路、集材機械の設置位置など、GIS上で表現できる地利情報を用いることで、より効率的で適切な施業計画を樹立できると考えられる。

まとめ

今回の研究では、角田山全域を対象として、10m×10mのセルサイズで地位区分図を行い、さらに小班内における間伐優先箇所を抽出した。これより、小流域単位での森林管理にもGISが有効であることが示された。

間伐優先箇所の抽出については今回、森林計画図、森林簿、地位区分図を用いて選定を行なったが、今後、衛星画像や航空写真を用いることによって実際の林分の状況を把握し、今回の結果に反映させることができれば、よりの確かな選定、広域の効

率的な森林管理につなげられると考える。

また今回、施業区内の地位のばらつきをどう扱うか、という問題が生じた。これについては、森林簿・森林計画図の定期的な更新が必要であると考えられる。地位区分図の利用、間伐優先区の選定ともに、森林簿とのリンクが行われれば作業が大きく改善されることが予想される。

数量化I類については、カテゴリ分けの定義が曖昧である等の問題点が指摘されており、多変量解析の検討と、サンプル数の検討が必要であると思われる。さらに、GIS上で表現する地形要因について、より直接的に土壌中の水分量を示すことができ、高い推定精度を確実に得られる要因の検討も必要である。

謝辞

有益なご助言をいただいた新潟大学農学部村上拓彦准教授、調査に協力していただいた阿部研究室の院生、4年生、森林計画図、森林簿を提供して頂いた新潟県農林部治山課森林計画係のみなさんに厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 阿部信行. 1993. GISを利用したトドマツの間伐作業支援システム. 日林誌75(6): 501～510.
- Chen, J. and Abe, N. 1999. Site classification for sugi plantation using GIS. J. For. Plann. 5: 1～8.
- Iverson, L. R., Dale, M. E., Scotto, C. S., and Prasad, A. 1997. A GIS-derived integrated moisture index to predict forest composition and productivity of Ohio forests (U. S. A.). Land. Ecol. 12: 331～348.
- 美濃羽靖・鈴木倫史・田中和博2005. ニューラルネットワークを応用した地位指数の推定. 森林計画誌39(1)、23-38
- MITSUDA, Y., YOSHIDA, S., and IMADA, M. 2001. Use of GIS-derived environmental factors in predicting site indices in Japanese larch plantations in Hokkaido. J. For. Res. 6: 87-93
- Munajati, Sri Lestari. 2003. Predicting the site index of Japanese cedar plantation in Niigata Prefecture using Quantification method. Niigata University Master thesis 90pp
- 新潟県森林組合連合会. 2004. 新潟県高齢スギ人工林調査報告書. 40pp.
- 新潟県農林水産部治山課. 1979. 民有林 適地適木調査書-蒲原森林計画区-. 55pp.
- 新潟県農林部治山課. 1980. 新潟県収穫予想表.
- 日本林業技術協会. 1979. 裏東北・北陸地方スギ林分密度管理図.
- 西沢正久・真下育久・川端幸蔵. 1965. 数量化による地位指数の推定法. 林試研報, 116: 1-54.
- 竹下敬司. 1964. 山地の地形形成とその林業的意義. 福岡県林試時報17: 1-109
- 寺岡行雄・増谷利博・今田盛生. 1991. 森林経営のための地位指数推定方法-地形図上で判読可能な地形因子による樹高の推定-. 九大農学芸誌 45: 125～133.
- 山本伸幸・森山理加. 2005. GISを用いた地籍情報による森林簿上地番の修正. 日林誌87(1): 80～8.
- 山根玄一・薄井五郎・江州克弘. 1990. カラマツ人工林の成長と立地要因との関係. 北林試報28: 56-64
- 吉田茂二郎. 1985. 地形による立地区分と林分構造との関係解析に関する基礎的研究. 鹿大演報, 13: 1-66.

Predicting the site index of Japanese cedar in small watershed by raster unit and discrimination of thinning priority

Yuudai NIINO¹ and Nobuyuki ABE²

(Received December 26, 2008)

Summary

The purpose of this paper is to estimate the site indices in the small water shed by raster for Japanese cedar based on the practical geographical feature factor data obtained from GIS, and it is important to discriminate of thinning priority. The following environmental factors derived from DEM such as aspect, slope, hillshade, curvature. The distance from ridge and stream and the altitude were used for analysis. These factors were used by the quantification I model for estimation of site index. Moreover, it showed clearly that parts thinning delay with a high site index are advancing, and the thinning priority stand was shown.

Bull.Facul.Agric.Niigata Univ., 61(2):167-173, 2009

Key words : site index, DEM, thinning stand, sugi

¹ Yamagata Prefecture

² Faculty of Agriculture, Niigata University