

DEM を用いた地形解析にもとづく奥羽山地の多雪流域における自然植生図の作成

松浦 俊也, 鈴木 和次郎

Mapping of natural vegetation in a snowy basin in Ou Mountains using a DEM

Toshiya MATSUURA and Wajiro SUZUKI

Abstract: Spatial distributions of seven natural vegetation classes, *i.e.*, old-growth and mature beech forest, dwarf beech shrub, dwarf bamboo meadow, five-needle pine forest, snow avalanche shrub or meadow, and riparian forest, that were sampled from a 1:25,000 scale physiognomic vegetation map, were analyzed with logistic regression models and a 10m DEM in a snowy mountainous basin (approx. 26.8 km²) of northeastern Japan. The distribution of each vegetation class had strong correlations with morphometric parameters derived from the 10m DEM, such as elevation, gradient, aspect, plan and profile curvatures, relative slope position and the topographic wetness index (TWI). These results showed the importance of topoclimatic conditions for the distribution of natural vegetation, *e.g.*, the snow depth distribution, wind exposure and the occurrence of snow glides or avalanches. The estimated vegetation maps are useful for the management and rehabilitation of natural forest vegetation.

Keywords: ロジスティック回帰 (Logistic regression), デジタル標高モデル (digital elevation model), 地形解析 (terrain analysis)

1. はじめに

地形は微気象、水文環境、地表攪乱など植生分布に関わる物理的・生態学的な条件に影響を与える。デジタル標高モデル(DEM)を用いた地形解析は、土地自然条件の広域かつ均一な空間解像度での推定に有用であり(Wilson and Gallant, 2000), 植生分布の特徴把握や推定に広く利用されてきた(Franklin, 1995; Guisan and Zimmermann, 2000).

松浦俊也: 〒305-8687

茨城県つくば市松の里 1

(独) 森林総合研究所 森林管理研究領域

Tel: 029-829-8314

E-mail: matsuu50@affrc.go.jp

しかし国内において斜面や集水域内の自然植生の分布と地形との関係を DEM を用いて解析した事例は少ない(伊藤ほか, 2006)。地形に対応した植生分布は、自然植生の保全・再生における基礎的ユニットを捉える上でも重要である(松井・武内・田村, 編, 1991; 菊池, 2001)。

東北地方日本海側の山地では、豪雪を伴う冬の季節風の影響を受け地形と植生分布の明瞭な関係が捉えられてきた(石塚, 1978; 梶本・大丸・杉田, 編, 2002)。しかし地形に関わる植生分布の特徴をフィールドワークで捉えるには多くの労力が必要となり、広域かつ定量的な解析が難しかった。DEM と統計モデルを用いることで、限られ

た植生分布データにもとづく分布特徴の推定や、広域的な自然植生図の作成が可能と考えられる。

そこで本研究では、DEMと統計モデルを用いて既存の植生図における東北地方の多雪山地流域の自然植生分布と地形との関係を調べ、植生ごとの分布特徴にもとづく自然植生図を作成することを目的とした。

2. 対象地

奥羽山地脊梁部に位置する岩手県胆沢川支流小出川流域（約26.8km²）を対象とした（図1）。同流域は1994年に林野庁の栗駒山・栃ヶ森山周辺森林生態系保護地域に指定され、大部分が人為攪乱の規制された保存地区に含まれ（平吹, 2001）、冷温帯ブナ林における地形と植生の関係を調べる上で適すると考えられた。同流域は冬の豪雪と冷涼な夏に特徴づけられ、約10km東にある石淵ダム管理支所における年平均気温は9.2度、月平均気温は8月に最大（20.5度）2月に最低（-2.4度）となり、平均年間降水量は2056mm、最大積雪深は180cmであり、豪雪を伴う冬の季節風の影響を受けた東北地方日本海側の多雪山地における植

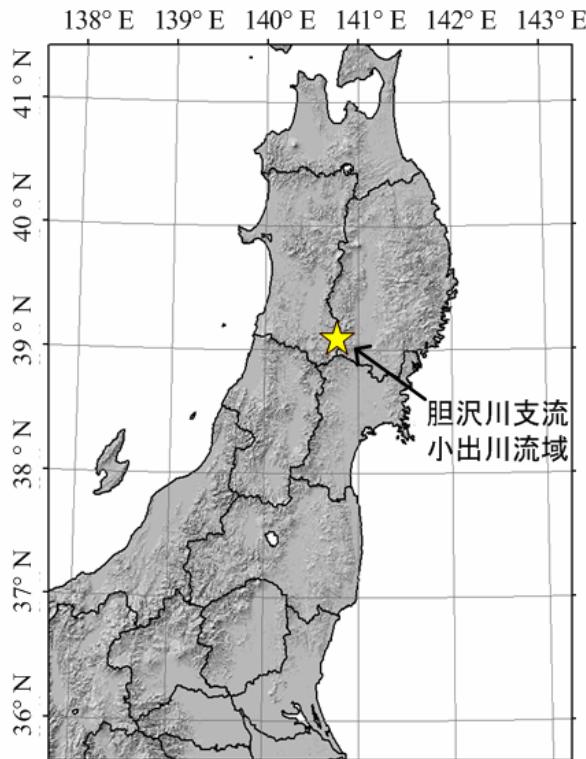


図1. 対象地の位置

生分布特徴を調べる上で適すると考えられた。

3. データと方法

植生分布の把握には1/25,000現存相観植生図（鈴木、未発表）を用いた。同植生図は1985年8月に林野庁が撮影したモノクロ空中写真の判読と植生タイプごとの現地での林分の確認により作成されたものであり、樹高と樹冠のサイズや密度にもとづき以下7タイプの相観植生に区分されている：(A) 老齢ブナ林、(B) 壮齢ブナ林、(C) 矮性ブナ林、(D) ササ草地、(E) キタゴヨウ林、(F) 雪崩草地・叢地、(G) 溪畔林（図2A）。解析にあたり、同植生図をスキャン、幾何補正、デジタル化し、後述する10m DEMのグリッド点においてラスターに変換した。さらに100m×100mのグリッド毎に数点を層別ランダムサンプリングし、相観植生ごとの分布（有／無）データを作成した。対象流域における分布面積の小さい植生（キタゴヨウ林など）についてはサンプリング密度を高めて十分なサンプル数を確保するように努めた。さらに約1km×1kmの3次メッシュを重ね、交互（つまり市松状）にメッシュ内に含まれるサンプル地点を取り出し、モデル構築用と検証用の植生分布データを作成した。

地形特徴の把握には1/25,000地形図等高線の特徴を十分に捉えられる10mグリッドのDEM（10m DEM）を用いた。このDEMは国土地理院刊行の1/25,000地形図等高線を北海道地図（株）が3次多項式を用いて補間生成したものである。同DEMを用い、斜面形状や斜面内および集水域内の位置を示す各種地形特徴量を算出した（表1）。また防災科学技術研究所作成の1/50,000地すべり地形分布図データベースにおける地すべり移動体の分布と、土地分類基本調査における1/50,000表層地質図「焼石岳」（岩手県発行）のスキャン画像をデジタル化したものそれぞれについても10m DEMのグリッド点においてラスターに変換し解析に用いた（表1、図3）。

以上のデータを用い、植生毎の分布の有無を従属変数に、地形や地質などの特徴を独立変数とす

表 1. 用いた説明変数

説明変数	範囲
10m DEMから算出した地形特徴量	
標高	439.5 - 1118.6 m
傾斜度	0 - 64.7°
斜面方位のcosine（北西方向） ^(a)	-1 - 1
斜面方位のcosine（北東方向） ^(a)	-1 - 1
TWI (topographic wetness index)	-0.75 - 19.45
水平曲率	-16.2 - 13.9 m^{-1}
垂直曲率	-15.5 - 16.9 m^{-1}
近隣の谷底からの比高	0 - 533.5 m
近隣の山頂からの比高	0 - 445.7 m
斜面の相対位置 ^(b) :	
（谷底/下部斜面/上部斜面/尾根）	binary
地すべり移動体の分布	binary
表層地質	binary

^(a) 北西からの冬の季節風の影響を定量的に捉えるために、北西方向およびその直交方向（北東方向）への斜面方位（北から時計回りに360°）のcosineを算出した。

^(b) 落水線を用いて谷底と尾根を抽出し、谷底からみて遡上方への斜面縦断形が凹から凸に変わるもの下部斜面、その先を上部斜面とした。

る二項ロジスティック回帰により植生分布の特徴を捉えた。二項ロジスティック回帰とは、ある事象が発生する確率 $p(x)$ を観測された変数群 x により説明するもので、次式で表される。

$$p(x) = \frac{1}{1 + \exp \left\{ -(a + \sum_{i=1}^k b_i x_i) \right\}} \quad \dots \dots (1)$$

ここで a は定数、 b_i は x_i の回帰係数である。独立変数の選択には、植生毎に単回帰で有意 ($p < 0.001$) となった変数のみを用いて多変量のロジスティック回帰をかけ、後方ステップワイズにより、モデルのあてはまりの良さを示す赤池の情報量基準 (AIC) が最小となる独立変数の組合せを求めた。また、変数間の多重共線性を避けるために、スピアマンの順位相関係数の絶対値が 0.3 以上の変数の組合せについては一方のみをモデ

ルに含めた。

4. 結果と考察

4.1 植生ごとの分布特徴

相観植生ごとのロジスティック回帰結果（表 2）は、多雪山地における植生分布と地形の関係を明瞭に示した。

(A) 老齢ブナ林：地すべり移動体と正、傾斜度、斜面方位（北西と北東向き）、谷底からの比高、尾根、安山岩質と負の相関があった。この結果は、老齢ブナ林が緩傾斜のやや南向きの下部斜面や地すべり移動体上に多いことを示す。

(B) 壮齢ブナ林：北西向きの斜面と谷底からの比高と正、TWI、北東向きの斜面および地すべり移動体と負の相関があった。この結果は、壮齢ブナ林が西向き（冬の季節風に対する風衝側）の上部斜面に多いことを示す。

(C) 矮性ブナ林：壮齢ブナ林と同傾向に加え、標高との正の相関があった。この結果は矮性ブナ林が西向き（冬の季節風に対する風衝側）の頂部斜面など高標高の場所に分布することを示す。

(D) ササ草地：標高および北東向きの斜面と正、傾斜度、TWI、北西向きの斜面と負の相関があった。この結果はササ草地が東向き（つまり風背側）の山頂付近の緩傾斜地に分布することを示す。この立地は冬の季節風により吹き溜まった雪が初夏まで残りやすい雪田などの立地に対応すると考えられた。

(E) キタゴヨウ林：標高および TWI と強い負の相関があった。この結果はキタゴヨウ林が、積雪にくく乾燥しやすい低標高の瘦せ尾根に多いことを示す。

(F) 雪崩草地・叢地：北東向きの斜面および傾斜度と強く正、北西向きの斜面および水平断面形と強い負の相関があった。これは冬の季節風の風背側となる東向きの急斜面の谷壁などに雪崩草地が多いことを示す。

(G) 溪畔林（サワグルミ、トチノキ、カツラ等）：下部斜面域と正、標高、傾斜度、谷底からの比高と負の相関があった。これは溪畔林が低標高の緩

表 2. ロジスティック回帰結果

	説明変数									切片	AIC(赤池の情報量基準)		
	10m DEMから算出した地形特徴量												
	標高(m)	傾斜(度)	TWI	NW	NE	水平曲率(m-1)	谷底からの比高	尾根	下部斜面				
(A) 老齢ブナ林	-	-0.021 (0.98)	-	-0.107 (0.90)	-0.273 (0.76)	-	-0.005 (0.95)	-0.243 (0.78)	-	-0.661 (0.52)	0.692 (2.00)	1.280 8191	
(B) 壮齢ブナ林	-	-	-0.256 (0.77)	1.683 (5.38)	-1.017 (0.36)	-	0.004 (1.04)	-	-	-0.800 (0.45)	-2.861	3389	
(C) 矮性ブナ林	0.005 (1.05)	-	-0.141 (0.87)	0.971 (2.64)	-0.573 (0.56)	-	0.003 (1.03)	-	-	-	-7.578	2497	
(D) ササ草地	0.011 (1.12)	-0.057 (0.94)	-0.201 (0.82)	-0.549 (0.58)	0.554 (1.74)	-	-	-	-	-	-11.410	1715	
(E) キタゴヨウ林	-0.016 (0.85)	-	-1.354 (0.26)	-	-	-	-	-	-	-	8.564	780	
(F) 雪崩草地	-	0.064 (1.07)	-	-0.745 (0.47)	0.835 (2.30)	-0.146 (0.86)	-	-	-	-	-3.278	5423	
(G) 溪畔林	-0.020 (0.82)	-0.098 (0.91)	-	-	-	-	-0.061 (0.54)	-	1.019 (2.77)	-	-	12.955 623	

※ $p < 0.001$ で有意となった説明変数の回帰係数を上段に示し、下段の括弧内にオッズ比=exp(回帰係数)を示す。

※標高(m)と谷底からの比高(m)については、オッズ比=exp(回帰係数×10)で計算した。

※負の相関(回帰係数が負、即ちオッズ比が1より小)は太字で表示。

傾斜地である谷底や沖積錐に多いことを示す。

以上の結果は、東北地方日本海側の多雪山地におけるフィールドワーク等にもとづく植生分布に関する既往研究(例えば、石塚, 1978; 梶本・大丸・杉田, 編, 2002)とよく符合した。

4.2 植生ごとの分布推定と検証

植生ごとのロジスティック回帰式を用いて10mグリッドごとの出現確率を算出し、対象流域における自然植生分布を推定した(図4)。さらにモデル全体の当てはまりを示すROC(receiver operating characteristic)曲線のAUC(area under curve)を用いて植生ごとの分布推定結果を検証した。ROC曲線とは出現確率 p の閾値を0~1に変化させたときのerror matrixから求まるsensitivityと1-specificityをそれぞれ縦、横軸にプロットした曲線であり、この曲線の下部の面積(AUC)は0.5~1の値をとり、1に近いほど高精度となる(Fielding and Bell, 1997; Manel, Williams and Ormerod, 2001)。

次に、植生ごとの分布推定図を、一致度を示すkappa統計量が最大となる出現確率で二値化し、推定精度を示すAUCの値が大きい植生を優先さ

せて重ね合わせた自然植生分布推定図を作成した(図2B)。得られた推定図は全体の一致度を示すoverall accuracyやkappa統計量は低いものの(表3)視覚的には元の植生図と類似した植生分布特徴を捉えられた。溪畔林と老齢ブナ林を除く植生の推定精度が低くなった理由は、植生どうしの競合関係などを捉えていないこと、偶発的要因により変動する自然植生分布を推定する難しさなどが考えられた。なお老齢ブナ林は面積的に卓越するために推定精度が比較的高くなつたと考えられた。

4.3 解析結果の応用可能性

得られたロジスティック回帰結果は、対象流域内のみならず、類似した気候や地形条件をもつ他地域への外挿による自然植生分布の推定にも利用できる。このような解析は、人為攪乱を受けた周辺地域における潜在自然植生の推定においても有効である。また多雪山地における植生分布は雪崩や雪のグライドなどと密接に関わることから、これらの現象の起きやすい場所の推定への応用可能性もある。植生分布が地形に規定されるることは多雪山地に限らず広く認められるため(例え

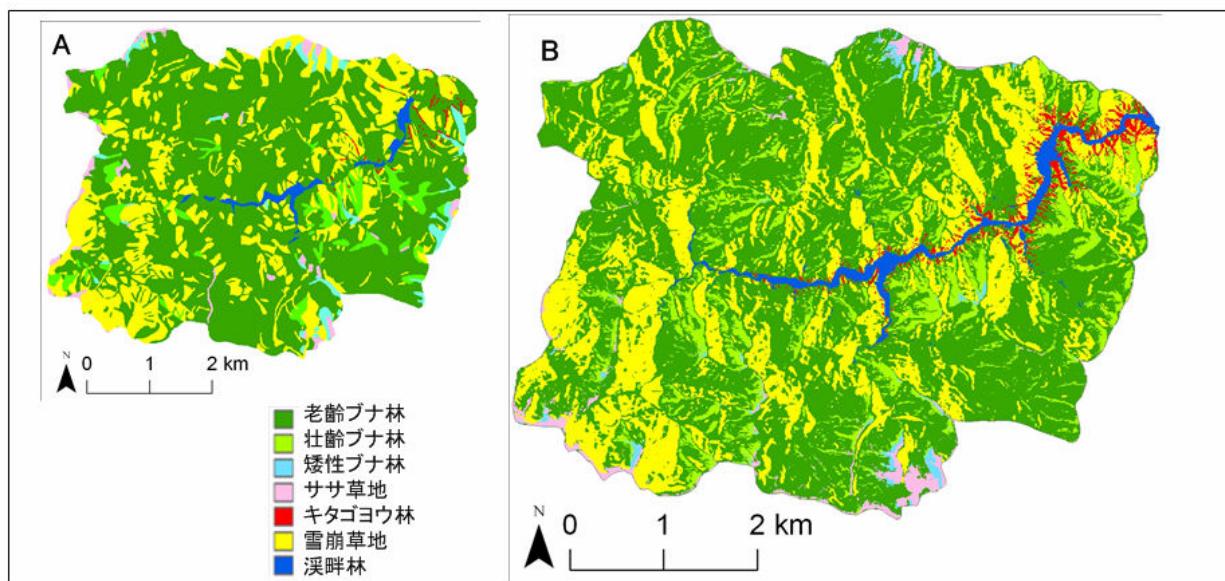


図 2. (A) モデル構築・検証に用いた相観植生図と(B) 推定された自然植生分布図



図 3. 用いたデータ

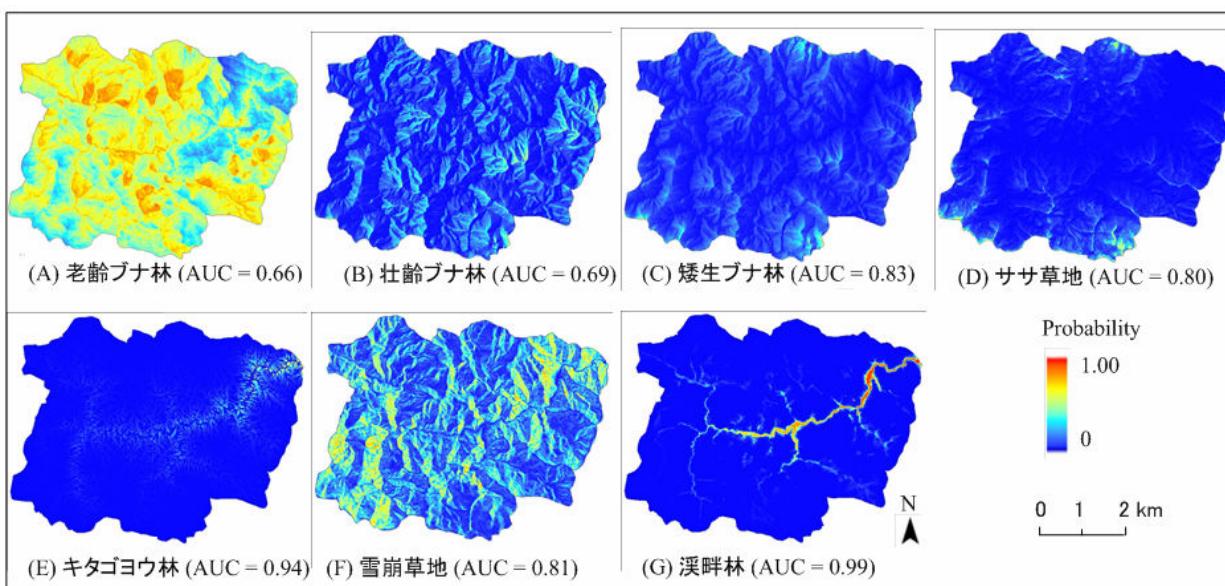


図 4. 植生ごとの出現確率の推定結果

表 3. 自然植生分布推定図の error matrix

	検証用の植生区分							Row total	User's accuracy (%)
	(A) 老齢ブナ林	(B) 壮齢ブナ林	(C) 矮性ブナ林	(D) ササ草地	(E) キタゴヨウ林	(F) 雪崩草地	(G) 溪畔林		
推定された植生区分	(A) 老齢ブナ林	2533	356	100	74	23	487	17	3590 70.6
	(B) 壮齢ブナ林	402	137	105	3	19	48	0	714 19.2
	(C) 矮性ブナ林	11	14	45	5	0	3	0	78 57.7
	(D) ササ草地	34	12	20	51	0	29	0	146 34.9
	(E) キタゴヨウ林	30	5	1	0	18	20	6	80 22.5
	(F) 雪崩草地	669	37	17	54	13	868	3	1661 52.3
	(G) 溪畔林	17	4	0	0	0	10	147	178 82.6
Column total	3696	565	288	187	73	1465	173	6447	
Producer's accuracy (%)	68.5	24.2	15.6	27.3	24.7	59.2	85.0		
Overall accuracy (%)	58.9								
Kappa	0.33								

ば、菊池, 2001), 同様の解析を気候や地形条件の異なる他地域においても行いうると考えられる.

5. おわりに

10m DEM にもとづく地形解析とロジスティック回帰を用い、多雪山地流域における自然植生の分布特徴を捉えた。得られた結果は従来フィールドワークにより捉えられてきた東北地方日本海側の多雪山地における植生分布の特徴とよく対応し、これらの地域における地形に関わる微気象条件である積雪分布、風衝、雪崩や雪のグライドの起きやすさ等により解釈できた。植生ごとの出現確率にもとづき作成した自然植生分布推定図は、植生図の作成が一般に難しい山地森林植生の保全・管理に有用と考えられた。

引用文献

- 石塚和雄 (1978) 多雪山地亜高山帯の植生(総合抄録). 吉岡邦二博士追悼植物生態論集, 404-428.
 伊藤哲・光田靖・魏敦祥・高木正博・野上寛五郎 (2006): 数値地理情報を用いた希少溪畔樹種ヤクシマサルスベリの潜在的ハビタットの広域推定. 植生学会誌, 23, 153-161.
 梶本卓也・大丸裕武・杉田久志, 編 (2002) 雪山の生態学 東北の山と森から. 東海大学出版会, 289 pp.

菊池多賀夫 (2001) 地形植生誌 東京大学出版会, 220 pp.

平吹喜彦 (2001): シリーズ森林生態系保護地域14, 栗駒山・柄ヶ森周辺 森林科学, 31, 41-48.

松井健・武内和彦・田村俊和, 編 (1990): 丘陵地の自然環境 その特性と保全. 古今書院, 202pp.

Fielding, A. H. and Bell, J. F. (1997) A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation*, 24 (1), 38-49.

Franklin, J. (1995) Predictive vegetation mapping: geographic modelling of biospatial patterns in relation to environmental gradients. *Progress in Physical Geography*, 19 (4), 474-499.

Guisan, A. and Zimmermann, N. E. (2000) Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135, 147-186.

Manel, S., Williams, H. C. and Ormerod, S. J. (2001) Evaluating presence-absence models in ecology: the need to account for prevalence. *Journal of Applied Ecology*, 38, 921-931.

Wilson, J. P. and Gallant, J. C. (eds.) (2000) *Terrain analysis: Principles and Applications*. Canada, John Wiley & Sons, 479pp.