

起伏ある林床の微地形の最小 2 乗法による判定

荒瀬輝夫, 中野正基

信州大学農学部

Classification of Undulating Forest Floor Microtopography by a Least Squares Method

Teruo ARASE & Masaki NAKANO

Faculty of Agriculture, Shinshu University

Summary: Undulating forest-floor microtopography was examined in a natural *Lindera umbellata* habitat using a least squares method. Centered at each tree, relative elevation was measured at five points (0, 50 and 100 cm from the tree) along longitudinal and lateral base lines. A quadratic polynomial with the relative elevation as the dependent variable and distance from the tree as the independent variable was used to model the microtopography with the sign of the coefficient of the binominal term indicating convex or concave microtopography. Regarding the approximation accuracy for the base line directions, a standard error was slightly larger (mostly up to 15 cm) while R^2 was larger (mostly over 0.9) for longitudinal measurements, and standard error was smaller (mostly up to 10 cm) while R^2 was lower (less than half were over 0.9) for lateral measurements. Results of this least squares method were compared to those of the topographic position index (TPI), which is based on differences in relative elevation; 92.8% of ‘convex-convex’ (longitudinal-lateral directions) microtopography cases were evaluated as ‘convex’ in TPI and 78.9% of the ‘concave-concave’ cases were evaluated as ‘concave’ in TPI. However, this least squares method detected ‘convex-concave’ and ‘concave-convex’ microtopographies, which cannot be described by TPI. From analysis using quantification theory type one (multiple regression analysis with dummy data as independent variables) to explain the number of *L. umbellata* trees by various topographical features, ‘mid-slope’ and ‘valley’ in larger-scale topographies, and ‘concave’ in microtopographies for both the longitudinal and lateral directions were estimated with negative weighting; microtopography in the present study could be related to the degree of soil humidity in the *L. umbellata* habitat.

キーワード：微地形, 最小 2 乗法, 2 次多項式, 林床, クロモジ

Key words: Microtopography, Least squares method, Quadratic polynomial, Forest floor, *Lindera umbellata*

1. はじめに

植物の生育地の環境として微地形を調査するときの適切なスケールは、植物体や植物群落の大きさに応じて異なるを考えるのが妥当であろう。地形図で表現できるスケールであれば、精密な等

高線入りの地形図や DEM データを利用することができるので、従来用いられてきた様々な地形の表現方法で微地形を表現できる。しかし、それより小さいスケールで生育する植物の場合、利用できる図面やデータがないので、現地でデータを取

得して微地形を表現しなければならない。

微地形のスケールは、見た目の大きさだけでなく、地形の形成と維持にかかわるプロセスも含む概念である(田村 2016)。そのため、丘陵地のとくに谷頭部を構成する微地形が注目され細かく区分されている。微地形の分類は研究の進展とともに何回もの変更が重ねられ(菊池 2001)、微地形スケールと上位のスケールの地形単位を統合した地形分類(12の微地形単位:頂稜の頂部平坦面から谷壁斜面をへて谷底の水路まで)が田村(1996)によりまとめられている。これらの微地形単位は土地の特性の理解につながり、個々の植物の生活様式と植物群落の成り立ちを理解するうえで役立つことが期待されている(菊池 2001)。また、湿原では、植物やコケ類などの分布が微地形により強く影響されるため、微地形を小凹地や小凸地などに区分してとらえる見方が行われている(高橋 1987, 上野・沖津 1996)。

一方、より実務的な問題として、地表の凸凹の判定や、何らかの目的に応じた地形の数値化が必要な場合もある。これには、目的によっていくつかの手法が用いられている。伐木の集材の観点からは、傾斜の分布が重要であり、車両系集材の緩傾斜地(30%未満)と架線系集材の急傾斜地(60%以上)の面積比をもとにした地形指数が考案されている(堀・李 1989, 1990)。森林での機械化作業の観点からは、地形の複雑度の表現(斜面方位の偏差、沢や尾根などの極値密度および傾斜方向の不一致度(地形褶曲度))や、斜面傾斜の特性が解析されている(井上・岡 1996, 1997)。

また、近年、コンピュータで扱うことのできる数値地図が普及したことで、DEM(数値標高モデル)のメッシュデータをもとにした数理的な地形評価も行われるようになった。DEMデータから算出されるland-surface variables(LSVs)には様々なものがあり(Sirbu et al. 2019)、その中でも地形指数(Topographic Position Index, TPI)(Weiss 2001)が広く用いられている。TPIは中心となるメッシュと周囲のメッシュの平均値を比較して算出されるもので、平坦、凸地形、凹地形などを判別できる(指村ら 2010)。また、ラプラシアンによる幾何学的特性の解析(佐藤・鈴木 2001)もあるが、ラプラシアンには地表面の傾斜に依存する欠点があり、平均曲率のほうが凸凹を表すには適すると指摘されている(西田ら 1997)。他に、

各メッシュの天頂角、傾斜角、方位角に基づく陰影起伏指数があり、日当たりおよび風当たりの指標として用いられている(小串・鎌田 2008)。各メッシュがもつ集水面積と傾斜角から算出される地形指数(TI; Topographic Index)は、土壤水分を示すものとして、植生と地形との関係の解析に有効とされる(Davis and Goetz 1990; Barrio et al. 1997; Osumi et al. 2003)。

さらに、時間軸も考慮した微地形の把握として、横断測量による地表面の変化のモニタリングにより、成立する植物群落との関係が明らかにされている(Werner and Zedler 2001; 黒瀧ら 2010)。

上述のように、地形について、さまざまな数値的指標化がなされているが、いかなる目的やスケールにも十分に合致する手法はないように思われる。なぜなら、各手法が、調査の目的とスケールに応じて考案されたものだからである。

そこで本研究では、生育地の環境把握を目的として、林床の微地形の表現方法を検討した。まず最小2乗法による2次多項式近似を用いた微地形の判定方法を提案し、実際のデータをもとに検証を行うこととした。

2. 最小2乗法による微地形の表現

本報では、林床植物の根元およびその近傍の比高データから微地形を表現することを試みた。

現地調査時に微地形調査を行うことを想定すると、とくに斜面上で傾斜が一定でないような調査地において、植物の根元を基点に設定するほうが、メッシュの中央に設定するよりも効率的である。なぜなら、根元を通る縦断方向や縦断方向の基線上で比高(高低差)の測量を行うことは比較的容易であるが、メッシュの中央に根元をおくと、4つの対角線方向の格子点の位置を計算して決定することが必要になるからである。

そこで、植物の根元(立木の位置)を基点とし、そこを通る直交2方向(斜面上に沿った縦断方向、斜面を横切る横断方向)の基線を引いて、一定間隔で比高を測定するとする(図-1)。

このとき、TPIの考え方に従うと、測定地点が2方向の直線上のみに限られるものの「基点の比高-近傍地点の平均比高」を計算すれば、計算値の符号で小凸地か小凹地(0のときは平坦ないし平衡斜面)を判断できる。しかし、基線上に多くの測定地点を設けると、細かい起伏を平均化によ

り無視した判定となる。

そこで本報では、細かい起伏をより配慮した微地形の判定手法として、最小2乗法による近似を用いることにした。近似モデルとして、最も単純な曲線である2次多項式、

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 \quad (1)$$

(y : 比高, x : 立木からの距離)

を想定した。このとき、(1) 式の x^2 の係数 a_2 が正値ならば下に凸の曲線 (小凹地), 負値ならば上に凸の曲線 (小凸地), 0 のときは平坦ないし平衡斜面となる (図-1)。

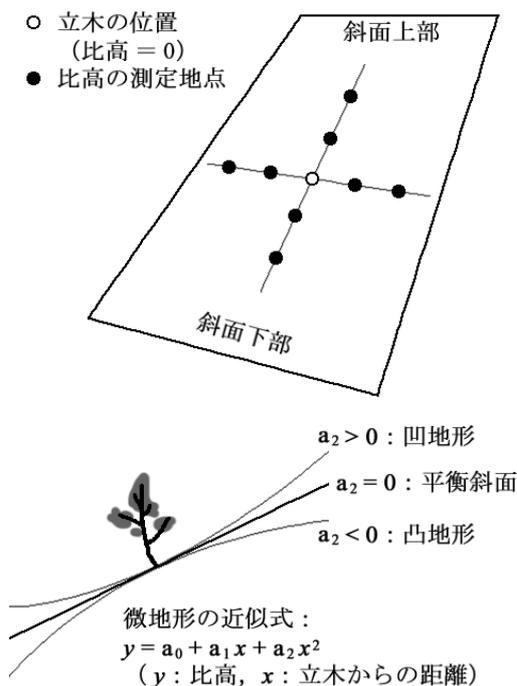


図-1 本報における微地形調査のイメージ
上: 直交2方向の基線上の5点の測定,
下: 最小2乗法(2次多項式近似)による
微地形の判定。

3. 適用例

3.1 調査方法

クスノキ科の落葉低木クロモジ (*Lindera umbellata*) の分布調査 (中野 2022) において、最小2乗法による微地形の表現を適用、検証した。

この調査は、信州大学農学部手良沢山演習林 (長野県伊那市) で行われたものであり、調査地の標高は 1,013~1,241 m, 植生はおもにヒノキ人工林である。調査地内に面積 100 m² (10 m×10 m)

の方形区を 19 プロット設置し、クロモジ立木の分布と生育状況などを調査した。あわせて、生育地の地形の特性として、斜面方位、大地形 (微地形と区別するために「大」と称した: 尾根, 中腹斜面, 谷) および微地形を調査した。微地形については、実生を含む個々の立木の位置を中心として、縦断方向, 横断方向とも 50 cm 間隔で 5 地点 (-100 cm, -50 cm, 0 cm, 50 cm, 100 cm) の比高を測定した。なお, 中心の 0 cm 地点 (立木の位置) では比高=0 である。比高については, 2 m ポールと水準器を用いて水平をとり, 所定の水平距離における地面の高低差を実測した。

3.2 結果

(1) 微地形の判定

クロモジ立木の位置の微地形について、最小2乗法による近似の実例を図-2 に示した。

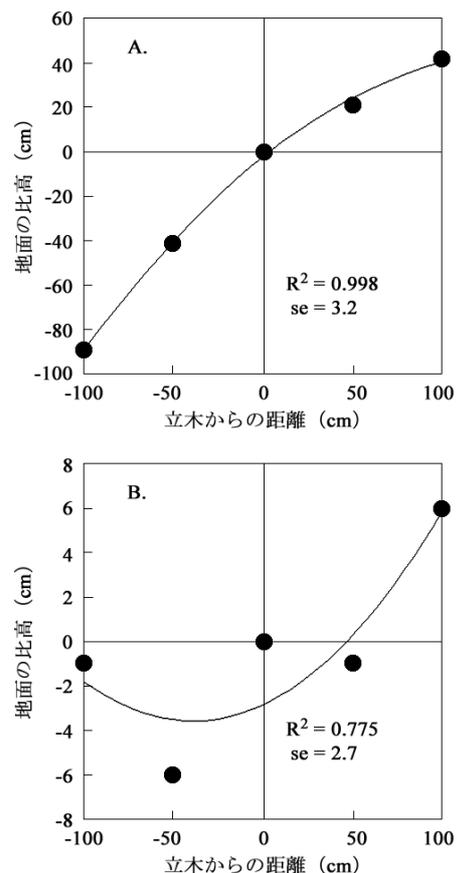


図-2 クロモジ立木の位置の微地形の解析例
A. a_2 が負値 (小凸地) で近似の精度が良い場合, B. a_2 が負値 (小凹地) で近似の精度があまり良くない場合。

表-1 最小2乗法による微地形の推定精度（クロモジ立木の位置の度数分布）

項目	階級	縦断方向				横断方向			
		小凸地	%	小凹地	%	小凸地	%	小凹地	%
決定係数 (R ²)	0.1 未満	0	0.0	0	0.0	4	3.5	1	1.4
	0.1~0.2	0	0.0	0	0.0	5	4.4	3	4.2
	0.2~0.3	0	0.0	0	0.0	2	1.8	3	4.2
	0.3~0.4	0	0.0	0	0.0	2	1.8	1	1.4
	0.4~0.5	0	0.0	0	0.0	5	4.4	2	2.8
	0.5~0.6	0	0.0	0	0.0	7	6.1	4	5.6
	0.6~0.7	1	0.7	1	2.8	7	6.1	10	14.1
	0.7~0.8	2	1.3	0	0.0	15	13.2	4	5.6
	0.8~0.9	0	0.0	0	0.0	18	15.8	8	11.3
0.9 以上	146	98.0	35	97.2	49	43.0	35	49.3	
計		149	100.0	36	100.0	114	100.0	71	100.0
標準誤差 (cm)	5 未満	76	51.0	25	69.4	97	85.1	59	83.1
	5~10	55	36.9	5	13.9	15	13.2	11	15.5
	10~15	15	10.1	4	11.1	2	1.8	0	0.0
	15~20	0	0.0	1	2.8	0	0.0	1	1.4
	20~25	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	25~30	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	30~35	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	35 以上	3	2.0	1	2.8	0	0.0	0	0.0
	計		149	100.0	36	100.0	114	100.0	71

図-2のAではa₂が負値（小凸地）で近似の精度が良い場合、Bではa₂が負値（小凹地）で近似の精度があまり良くない場合を挙げてある。Bでは、近傍50cmスケール（3点）でみると小凸地に見えるが、近傍100cmスケール（5点）で見ると小凹地と判定され、微地形の判定が逆転したケースである。

最小2乗法の推定精度を検証するため、それぞれの立木の位置の微地形における2次多項式近似の決定係数（R²）と標準誤差（se）を集計すると、表-1の度数分布が得られた。なお、基線上の5点の比高データに基づくので、いずれもn=5である。R²、seとも、判定が小凸地、小凹地のときで度数分布に顕著な差は見受けられなかった。R²について、縦断方向でほとんどが0.9以上であったのに対し、横断方向で0.9以上となるのは40%台にとどまり、0.1未満から0.9以上まで様々な値となっていた。一方、seについて、縦断方向で15cm未満に、横断方向でやや小さく10cm未満にほとんど収まる傾向が見られた。

次に、最小2乗法による判定と、従来法として比高差による判定とを比較することにした。本調査では2本の基線上のみで比高を測定したため、地形指数（TPI）を「中心の比高-それ以外の測定地点（4地点×2本=計8地点）の平均比高」で算出した。なお、中心地点は立木の位置なので比高は0である。

両者を比較した集計表は、表-2のとおりである。まず、凸と凹の組合せ地形（「凸、凹」と「凹、凸」）はTPIで表現できないので、この区分にはTPIは全く該当しない。小凸地（凸、凸）の判定については、最小2乗法とTPIとで92.8%という高い一致率を示した。一方、小凹地（凹、凹）の判定では、両者の一致率は78.9%とやや低くなった。なお、微地形が平坦地ないし平衡斜面となる判定は最小2乗法では得られなかったが、TPIでは1個体が該当した。

表-2 最小2乗法（2次多項式近似）および比高差（TPI）による微地形判定の比較

判定方法	微地形	2次多項式近似 (縦断方向, 横断方向の組合せ)			
		凸, 凸	凸, 凹	凹, 凸	凹, 凹
TPI	小凸地	90	48	10	4
	小凹地	7	4	6	15
	平坦, 平衡斜面	0	0	1	0
	計	97	52	17	19
一致率 %	92.8	-	-	78.9	

は判定が一致した組合せである。

(2) 微地形の意味づけ

調査地において185個体のクロモジ立木が確認された。最小2乗法による微地形の判定に基づき、地形の特性で集計したプロット毎の個体数を表-3に示す。クロモジ立木の位置としての微地形は、縦断方向、横断方向の組合せで「凸、凸」が

表-3 各プロットにおけるクロモジの個体数（調査面積 100 m²）

No.	標高 (m)	斜面方位		大地形	微地形 (縦断方向, 横断方向の組合せ)				計
		(°)	(4方位)		凸, 凸	凸, 凹	凹, 凸	凹, 凹	
1	1,013	206	S	谷	1	1	1	2	5
2	1,067	125	E	尾根	1	3	1	1	6
3	1,061	107	E	尾根	18	3	1	2	24
4	1,131	54	E	谷	4	4	-	-	8
5	1,147	60	E	中腹	6	-	-	1	7
6	1,222	118	E	尾根	6	2	-	-	8
7	1,161	270	W	谷	5	-	-	-	5
8	1,111	118	E	中腹	-	-	-	-	0
9	1,237	86	E	尾根	3	2	1	-	6
10	1,180	58	E	中腹	1	3	1	3	8
11	1,119	35	N	尾根	14	9	3	-	26
12	1,167	152	S	中腹	3	1	3	2	9
13	1,258	77	E	尾根	8	1	-	1	10
14	1,129	172	S	尾根	5	2	-	1	8
15	1,132	338	N	尾根	10	2	3	2	17
16	1,155	28	N	尾根	-	-	-	2	2
17	1,241	165	S	尾根	2	14	2	1	19
18	1,164	89	E	谷	-	-	-	-	0
19	1,204	228	W	尾根	10	5	1	1	17
計					97	52	17	19	185

最多（97 個体）で過半数を占めており、次いで「凸, 凹」（52 個体）, 「凹, 凹」（19 個体）, 「凹, 凸」（17 個体）の順となっていた。この内訳を、微地形が偶然に決まる（内訳が均等になる）という帰無仮説のもとで検定すると高度に有意であり（ $\chi^2=90.96$, $p<0.0001$ ）, 縦断方向が小凸地である微地形に顕著に偏っていた。

こうして得られた微地形の区分が、植物にとってどのような意味をもつのかについて、表-3 のデータをさらに検証することとした。そのため、数量化理論 I 類（名義尺度のダミー変数を説明変数とする重回帰分析）による解析を行い、地形の特性の各区分への重みを数値化した。目的変数はクロモジ個体数とし、説明変数は個体数地形の特性（斜面方位, 大地形, 縦断方向の微地形, 横断方向の微地形）とし、それぞれの区分を 1 または 0 の値からなるダミー変数で表現した。なお、基準となる区分（当該の地形の特性におけるすべてのダミー変数=0）を、クロモジ立木の最も多かった区分（斜面方位：N, 大地形：尾根, 縦断方向の微地形：小凸地, 横断方向の微地形：小凸地）に設定した。解析は、Microsoft Excel2010 の手動演算によった。

その結果、有意な重回帰式が得られ（ $R^2=0.384$, $p<0.0025$, F 検定）, 地形の特性の各区分への重み（ダミー変数の係数）の推定値は表-4 のように

なった。基準となる区分の重みは 0 であり、それと比較して、斜面方位では N と W で重みが大きく、大地形では谷, 中腹の順に絶対値の大きな負の値となった。縦断方向の微地形では小凹地で -0.817, 横断方向の微地形では小凹地で -0.298 といずれも負の値となった。すなわち、斜面方位では西～北, 大地形では尾根, 微地形では縦断方向, 横断方向とも小凸地でクロモジの個体数が多くなることがうかがえた。

地形の特性の各区分の重みをもとに、クロモジ各個体の地形の特性を数値化して、クロモジ個体数との相関をみると、有意となったのは斜面方位と縦断方向の微地形であった（それぞれ $r=0.288$, $p<0.05$; $r=0.486$, $p<0.0005$, F 検定：表-4）。

表-4 数量化理論 I 類による各地形区分への重み

説明変数	区分	重み	クロモジ個体数との相関			
			r	p 値		
(地形の特性)						
斜面方位	N	0.635	0.288	0.0382		
	E	0.000				
	S	0.022				
	W	0.309				
大地形	尾根	0.000	0.140	0.321		
	中腹	-0.096				
	谷	-0.298				
微地形	縦断方向	小凸地	0.486	0.00026		
		小凹地			-0.817	
	横断方向	小凸地			0.223	0.112
		小凹地				

4. 考察

最小 2 乗法（2 次多項式近似）による林床の微地形の表現について、本報ではクロモジ立木の生育地を例として検証した。まず、縦断方向と横断方向とを比較すると、前者では最小 2 乗法の標準誤差（se）がやや大きいものの決定係数（ R^2 ）はほぼ 0.9 以上と高く、後者では se はやや小さいものの R^2 は低下していた（表-1）。この理由として、縦断方向では斜面に沿った傾斜が卓越していることが挙げられる。すなわち、地表の凹凸にかかわらず、近似モデルとして 1 次直線式を用いても推定精度が良いため、説明変数に 2 次項を加えると残差がさらに減少し推定精度が高くなる現象（中川・小柳 1982）と考えられる。逆に、凹凸が小さくとも、傾斜の明確でない横断方向では推定精度が低くなる傾向がありそうである。

次に、最小 2 乗法と従来法（比高差に基づく TPI）との比較では、縦断方向、横断方向とも小凸地か小凹地の場合には両者の判定は比較的近く、判定の一致率が約 8~9 割であった（表-2）。その一方で、TPI では表現できない微地形を、2 方向の基線に最小 2 乗法を適用することで判定できることも確認された。縦断方向と横断方向の組合せで「凸、凹」や「凹、凸」となる微地形は、極端な場合、それぞれ谷筋の遷急点や尾根筋の遷緩点にあたりと想像される。

最小 2 乗法による微地形区分の意味づけについて、斜面方位、大地形、縦断方向の微地形、横断方向の微地形を説明変数として数量化理論 I 類による分析を行った。その結果、クロモジ個体数に対する重みは、縦断方向、横断方向とも小凹地で負値となり（それぞれ -0.817, -0.298）、とくに縦断方向とクロモジ個体数の相関係数は説明変数の中で最大であった（表-4）。大地形の各区分の重みは尾根 > 中腹 > 谷の順となっていることから、クロモジ立木は土壌水分が少ない場所が適地であると読み取れる。微地形が小凹地のときに負の効果認められることから、微地形についても土壌水分に関連した環境条件を表していると推測される。ただし、より土壌水分量に直結するはずの大地形より重みや相関係数が大きいこと、斜面方位ではより乾燥した環境にあると思われる E や S の重みが小さいことなどから、本報で表現した微地形は、斜面方位や大地形と全く同じではなく、異なる環境条件も包含していると思わ

れる。

なお、例えば図-2 の B のように、50 cm スケールで見れば小凸地であるが 100 cm スケールで最小 2 乗法を適用すると小凹地になるような場合、果たしてどちらがより妥当な判定なのかは、微地形に対応する環境要因や植物種によるので、一律には決められないであろう。TPI はスケールに依存する変数であることが指摘されており、スケールの異なる地形の評価を組み合わせることがより効果的である（Sirbu et al. 2019）とも報告されている。よって、本報で提案した微地形の表現方法は、微地形を評価する際の新たな選択肢の 1 つとなることが期待される。ただし、本解析結果はあくまで 1 つの事例にすぎないので、他の樹種やスケールを変えた微地形の測定など、事例の積み重ねによる検証が望まれる。

5. 結論

本報では、起伏ある林床の微地形を表現するため、最小 2 乗法の適用を試みた。自生地のクロモジ立木 185 個体について、斜面の縦断方向と横断方向に基線を設け、立木位置を中心に 50 cm 間隔で 5 地点の比高を測定した。比高を目的変数、立木位置からの距離を説明変数とする 2 次多項式近似で、2 次項の係数の符号により小凸地と小凹地を判定した。結果は以下のとおりである。

ア) 推定精度について、縦断方向では se がやや大きいものの R^2 はほぼ 0.9 以上と高く、横断方向では se はやや小さいものの R^2 は低下していた。
イ) 従来法（比高差に基づく地形指数）との比較では、縦断方向、横断方向とも小凸地または小凹地となる微地形において、従来法と 80~90% の一致となった。一方、縦断方向と横断方向とで凹凸が異なる組合せの微地形を判定することができた（これらは地形指数で検出できない微地形である）。また、平坦または平衡斜面という判定は TPI では生じたが、最小 2 乗法では生じなかった。
ウ) 微地形区分の意味づけについて、数量化理論 I 類による分析を行った。その結果、クロモジ個体数に対する重みが負値となったのは、大地形では中腹と谷、微地形では縦断方向、横断方向とも小凹地であった。よって、本報で判定した微地形区分は、クロモジにとって好適な生育条件（土壌の乾燥程度）を示すものと推測される。

【引用文献】

- 1) Barrio, G., Alvera, B., Piuigdef, J. and Diez, C. (1997) Response of high mountain landscape to topographic variable Central Pyrenees. *Landscape Ecology*, 12: 95-115.
- 2) Davis, F.W., and Goetz, S. (1990). Modeling vegetation pattern using digital terrain data. *Landscape Ecology*, 4: 69-80.
- 3) 堀 高夫・李 永浩 (1989) 林道網計画対象地の傾斜分布による地形評価 (I) 地形評価指標に関する検討. *日本林学会誌*, 71 (8) : 303-308
- 4) 堀 高夫・李 永浩 (1990) 林道網計画対象地の傾斜分布による地形評価 (II) 地形指数および傾斜比率に関する補足的検討. *日本林学会誌*, 72 (2) : 151-153
- 5) 井上源基・岡 勝 (1996) 森林機械化作業計画のための地形評価に関する研究 (1) - 地形傾斜分布と地形の複雑性に関する検討-. *森林利用学会誌*, 11 (3) : 153-164
- 6) 井上源基・岡 勝 (1997) 森林機械化作業計画のための地形評価に関する研究 (2) - 地形傾斜指数に関する検討-. *森林利用学会誌*, 12 (2) : 73-82
- 7) 菊池多賀夫 (2001) 地形植物誌. 東京大学出版会, 東京. 216 pp.
- 8) 黒瀧麻衣・中島敦司・山本将功・仲里長浩 (2010) 小規模河川河口域の砂州にみられる海浜草本群落と微地形の関係. *日本緑化工学会誌*, 36 (1) : 75-80
- 9) 小串重治・鎌田磨人 (2008) ウラジロモミの侵入に伴う草地消失リスク評価のための要因分析. *景観生態学*, 12 (2) : 1-15
- 10) 中川 徹・小柳義夫 (1982) 最小二乗法による実験データ解析プログラム SALS. 東京大学出版会, 東京. 206 pp.
- 11) 中野正基 (2022) 地形の形態的特性からみたクロモジ属低木3種の生育地の環境. 信州大学農学部専攻研究論文.
- 12) 西田顕郎・小橋澄治・水山高久 (1997) 数値地形モデルに基づく地震時山腹崩壊斜面の地形解析. *砂防学会誌*, 49 (6) : 9-16
- 13) Osumi, K., Ikeda, S. and Okamoto, T. 2003. Vegetation patterns and their dependency on site conditions in the pre-industrial landscape of north-eastern Japan. *Ecological Research*, 18: 753-765
- 14) 指村奈穂子・池田明彦・井出雄二 (2010) ユビソヤナギの広域的な生育域推定及び分布変遷に関する考察. *東京大学農学部演習林報告*, 123 : 33-51
- 15) 佐藤 淳・鈴木雅一 (2001) 東京大学北海道・秩父・愛知演習林における地形特性の50 mメッシュ数値標高モデルを用いた定量的比較. *東京大学農学部演習林報告*, 106 : 77-89
- 16) Sîrbu, F., Drăguț, L., Oguchi, T., Hayakawa, Y. and Micu, M. (2019) Scaling land-surface variables for landslide detection. *Progress in Earth and Planetary Science (open access)*, 6:44: 1-13
- 17) 高橋伸幸 (1987) 大雪山の高地湿原における微地形形成について. *東北地理*, 39 : 161-169
- 18) 田村俊和 (1996) 微地形分類と地形発達-谷頭部斜面を中心に. 恩田裕一・奥西一夫・飯田知之・辻村真貴編「水文地形学-山地の水循環と地形変化の相互作用」. 古今書院, 東京. pp.177-189
- 19) 田村俊和 (2016) 日本の地形学とその関連分野における微地形の認識-主として湿潤温帯流域を構成する微地形をめぐって-. 藤本 潔・宮城豊彦・西城 潔・竹内裕希子編, 「微地形学 人と自然をつなぐ鍵」. 古今書院, 東京. pp. 1-30
- 20) 上野 健・沖津 進 (1996) ミズゴケの微地形分布とニッチ. *千葉大学園芸学部学術報告*, 50 : 249-255
- 21) Weiss, A.D. (2001) Topographic position and landforms analysis. Poster presentation, ESRI Users Conference, San Diego, CA. Available online at URL: <www.jennessent.com/downloads/tpi-poster-tnc_18x22.pdf>
- 22) Wernar, K.J. and Zedler, J.B. (2002) How sedge meadow soils, microtopography, and vegetation respond to sedimentation. *Wetlands*, 22 (3): 451-466

(原稿受付 2022.3.10)