

## 山地次数区分に基づく日本の山地区分と地形計測

山 田 周 二\*

Classification and Geomorphometry of Japanese Mountains Based on Mountain Ordering<sup>1)</sup>

Shuji YAMADA \*

### Abstract

This study classified Japanese mountains based on mountain ordering using 1:500000 topographic maps, and examined the relationships of relief, relative relief and perimeter fractal dimension for the classified mountains. Mountain order was defined in terms of closed contour lines on the topographic map. A set of closed, concentric contour lines defines a first-order mountain. Higher-order mountains can be defined as a set of closed contour lines that contain lower-order mountains and that have only one closed contour line for each elevation. Relief, relative relief and fractal dimension were measured for ordered mountains using personal computer, and were defined as follows: relief  $E = H/A^{1/2}$ , where  $H$  and  $A$  are the height and area of each ordered mountain, respectively; relative relief  $R = h_i/H$ , where  $h_i$  is the height of the enclosed, lower-order mountains, and represents the degree of vertical roughness of the ordered mountain; fractal dimension was measured for perimeter contour line by the pixel dilation method, and represents the degree of horizontal roughness of the ordered mountain. Japanese mountains were classified into 74 third order mountains and 11 fourth order mountains. The area of a third order mountain varies from 50 to 4712 km<sup>2</sup>, and that of a fourth order mountain is 2498 to 15563 km<sup>2</sup>. A significant relationship was found among relief  $E$ , relative relief  $R$ , and fractal dimension  $D$  for the ordered mountains ( $r=0.91$ ,  $n=85$ ) and can be defined by the expression:

$$\text{Log}E = -aD - b\text{Log}R - c$$

This relationship shows that Japanese mountains have the following morphological characteristics: a high relief mountain has low vertical and horizontal roughness, and a low relief mountain has high vertical and horizontal roughness. These characteristics suggest that slope angle of Japanese mountains converges within a certain range.

Key words : Japanese mountains , geomorphometry , mountain ordering , relief , relative relief , fractal dimension

キーワード : 日本の山地 , 地形計測 , 山地次数 , 起伏 , 相対起伏 , フラクタル次元

\* 東京都立大学大学院理学研究科地理学教室

\* Department of Geography, Tokyo Metropolitan University

## 1. はじめに

本研究は、日本の山地の地形的特徴を定量的にあきらかにすることを目的として日本の山地を区分し、区分された山地の地形計測を行ったものである。

地形の定量的評価は、山地の地形に関わる研究の基礎になる。地形に関する研究を行うためには、対象とする地形を認識し、これを記述する必要がある。したがって、地形を忠実に表現する方法が必要になる。幾何学的な形に比較的近似しやすい地形（例えば、平坦面や扇状地）は、定性的な記述で地形を比較的忠実に表現できる。一方、日本の山地のように尾根と谷が複雑に入り組んだ地形は、定性的な記述で地形を忠実に表現することは難しい。このため、山地の地形を表現するために、地形計測による定量的な評価がなされてきた。古くは、傾斜や起伏、流域に関わる地形量（例えば、谷密度や面積高度比積分）などの比較的単純な地形を表現する地形量が地形図を用いて計測されていたが（例えば、Horton, 1932; 谷津, 1950; Strahler, 1952）、近年では新しい幾何学の導入および数値地形図の発達によって、より複雑な地形を表現する地形量をより広域的に計測することが可能になった（例えば、Culling and Datoko, 1987; Huang and Turcotte, 1989; Ouchi and Matsushita, 1992; Chase, 1992; Klinkenberg and Goodchild, 1992; Wilson and Dominic, 1998; 野上, 1999; Mayer, 2000）。このような計測法の進歩によって、山地の複雑な地形をより忠実に記述できるようになりつつあるものの、多くの計測法に共通する大きな問題が残されている。それは、地形量を計測する範囲に関する問題である。

山地の地形を表現する地形量は、計測対象とする範囲によって異なる結果が得られる。例えば、飛騨山脈の槍ヶ岳と富士山とを比較すると、山頂付近のみを対象とした場合には槍ヶ岳の方が尖っていることを示す値が得られるが、山麓まで対象とした場合には富士山の方が尖っていることを示す値が得られる。したがって、山地の地形量を計測するためには、まず何らかの方法で山地の範囲

を特定する、すなわち山地を区分する必要がある。

日本の山地区分に関する研究は従来から行われているものの、明確な基準を基に区分された例はなく、複数の要素から総合的に判断されたものであった。例えば、山地の高度、ひろがり、配置の状態によるもの（渡辺, 1952）、接峰面の等高線の密度と走向によるもの（岡山, 1953）、水系と高度によるもの（西村, 1958）、などである。これらの例のように複数の要素を基にした総合的な区分では、単純明解に山地の境界線を決めることが困難で、個人差が生じやすい。山地の区分は連続した地表面に境界線を引くという作業であるため、区分の基準が異なれば境界線の位置も異なる。したがって、山地の区分は、ある基準で区分した結果が正しいという性質のものではなく、さまざまな基準でさまざまな結果が得られるのは当然であるが、少なくとも客観的な再現性のある境界線を引く必要がある。このためには、複数の要素を基にした総合的な区分よりも、単一の明確な基準を基にした区分の方が適当である。

著者は、再現性のある客観的な山地区分の方法として「山地次数区分」を考案し、これを用いた地形計測を行ってきた（Yamada, 1999）。この山地次数区分とは、地形図の等高線を用いて山地を区分する方法で、定義は以下のとおりである（図1）：1）山地の頂上付近の等高線間隔以上の凹凸がない範囲、すなわち等高線（閉曲線）が1つの同心円を描く範囲を1次の山とする；2）2次以上の山は、ストレーラーの水系次数（Strahler, 1952）と同様に定義する、すなわち、 $m$  次の山を2つ以上含み、なおかつ、それらを含む閉曲線が1つの同心円を描く範囲を  $m + 1$  次の山とする。この方法は、山頂を水系の源頭部に見立てて、水系と同じように山の枝分かれから次数を区分することになるため、区分された山地は同じ次数であれば同じような枝分かれの構造を有することになる。したがって、以上のような定義を用いれば、客観的に同じような構造を有する山地の範囲を特定することが可能である。

本研究では、この山地次数区分に基づいて山地を区分し、区分された山地の地形計測を行った。

まず、山地次数区分に基づいて、日本の山地全体を対象として山地を区分した。次に、区分された山地の規模を表す4つの地形量（最高点高度、最低点高度、比高、底面積）および形態的な特徴を表す3つの地形量（山地の起伏を表す地形量、垂直方向の凹凸を表す地形量：相対起伏、水平方向の凹凸を表す地形量：輪郭のフラクタル次元）を計測し、これらの地理的な分布を記述した。そして、形態的な特徴を表す3つの地形量間の関係を検討し、日本の山地にみられる地形的な特徴をあきらかにした。

## II. 対象地域および方法

対象地域は日本全土とし、国土地理院発行の50万分の1地方図（等高線間隔200m）を用いて山地区分および地形計測を行った。まず、地図上で山地を次数区分した。そして、区分された山地の範囲を計測に使用した1/50万地方図に山地名が記されている範囲との比較によって記述した。これは、1/50万地方図に山地名が記されている範囲が一般的に認知されている山地の範囲をおおむね表していると考えたためである。次に、3次および4次の山地のみを対象として地形計測を行った。これは、2次以下の山地は地図上で面積が小さく、正確な計測ができないためである。また、本州および北海道は5次の山地になる、すなわち海岸線が5次の山地の境界線になるものの、計測対象にはしなかった。これは、本研究では陸上に山地の境界線があるもののみを対象としたためである。

3次および4次に区分された山地を対象として、以下のような規模に関わる4つの地形量および形態を表す3つの地形量を計測した（図1）。それらは、規模に関わる地形量：最高点高度  $h_x$ 、最低点高度  $h_n$ 、比高  $H$ 、面積  $A$ 、形態を表す地形量：起伏  $E$ 、相対起伏  $R$ 、輪郭のフラクタル次元  $D$  である。最高点高度および最低点高度は、それぞれ山地を構成する等高線のうち、最も高いものおよび最も低いものの標高に等高線間隔の半分の値（ここでは100m）を加えたものおよび減じたものとした。等高線間隔の半分の値を加減したのは、最も標高の高い等高線よりも真の最高点は高く、ま

た、最も標高の低い等高線よりも真の最低点は低いためである。比高は最高点高度と最低点高度の差とした。面積は、対象とした山地の投影面積、すなわち底面積として、地図をスキャナーを用いてパーソナルコンピュータに取り込み、画像計測ソフトを用いて計測した。なお、ここで用いた50万分の1地方図の投影による面積のひずみは、最大でも0.2%以下である。また、画像の取り込み解像度は300dpiで、1画素の大きさは地図上で0.0072mm<sup>2</sup>、実面積にして0.0018km<sup>2</sup>と、計測対象とした画像（最小のもので50km<sup>2</sup>）に比べて十分に小さい。起伏  $E$  は、比高  $H$  を底面積  $A$  の平方根で除した値、すなわち、

$$E = \frac{H}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

とした。この値は、面積で標準化した相対的な山の高さを表す。起伏という用語は標高差を意味する場合もあるが、本論文では、起伏と記した場合はすべて面積で標準化した高さを意味する。相対起伏  $R$  は、対象とする山地の比高  $H$  とその山地内にある、より低次の山の比高  $h_i$  を積算したものと、すなわち、

$$R = \frac{h_i}{H} \quad (2)$$

$$h_i = N_c I_c - H \quad (3)$$

とした。ここで、 $N_c$  は山地内のすべての等高線の数、 $I_c$  は等高線間隔である。なお、最高点を複数の次数の山が共有する場合、例えば1次の山の最高点と2次の山のものが同じ位置になる場合、より低次の山の比高は  $h_i$  から除外した。これは、1つの山頂に対して1つの比高を用いるのが適当であるからである。したがって、 $h_i$  は山地内のすべての等高線の数と等高線間隔との積とその山地の比高  $H$  との差になる。この相対起伏は、対象とした山地の内部に、より低次の山が多いほど、またその山の比高がより大きいほど、値が大きくなる。したがって、ここでは一括して山地の垂直的な凹凸の程度を表す指標とした。輪郭のフラクタル次元は、対象とした山地の輪郭を構成する等高線に対して、パーソナルコンピュータを用いて計測した。まず、地図をスキャナーを用いて300

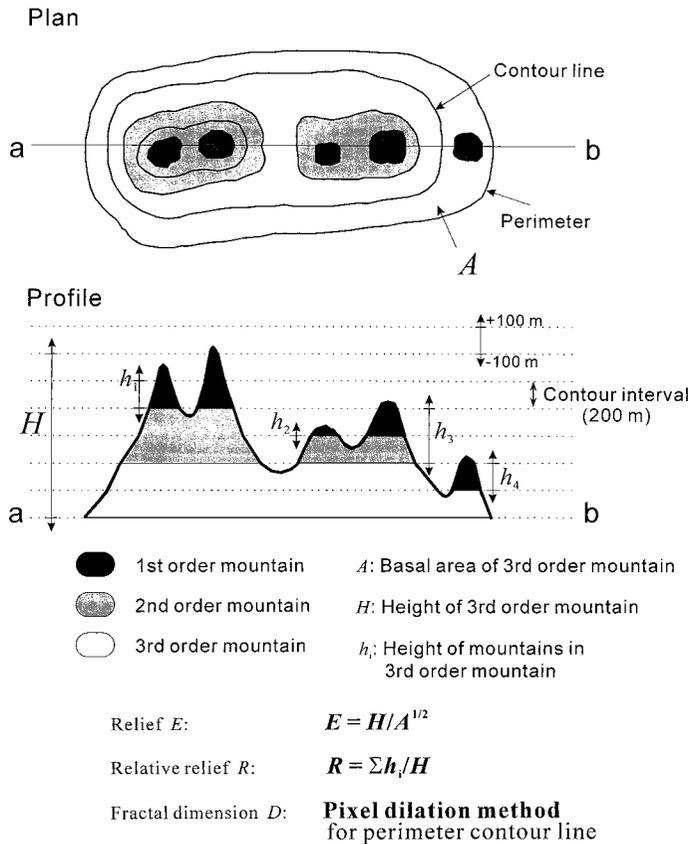


図 1 山地次数および地形量の定義。

Fig. 1 The definition of mountain order and topographic parameters.

dpi の解像度でパーソナルコンピューターに取り込み、対象とした山地の輪郭の等高線を取り出した。この輪郭の等高線の画像を基に、画素点膨張法を用いてフラクタル次元を計測した。画素点膨張とは、パーソナルコンピューター上で、ある画像に対して一定の長さだけ外側に膨張させる画像処理で、画素点膨張をした画像は細かな凹凸が消失するという特徴を利用したフラクタル次元の測定法が画素点膨張法である(菅田ほか, 1992)。画素点膨張は画像計測ソフトを用いて行い、以下の式からフラクタル次元  $D$  を算出した:

$$\frac{\mathcal{A}(n)}{\mathcal{A}(1)} = k\mathcal{E}(n)^{D/2} \quad (4)$$

ここで、 $\mathcal{A}(n)$  は  $n$  回画素点膨張した時の画像の面

積、 $\mathcal{E}(n)$  は 1 画素点に対して  $n$  回画素点膨張した時の面積、 $k$  は比例定数である。このフラクタル次元は 1 から 2 の間の値をとり、等高線の形が複雑になるほど、すなわち等高線の屈曲が多くなるほど 2 に近づく。したがって、山地の輪郭のフラクタル次元は山地の水平方向の凹凸の程度を表す指標となる。

### III. 山地区分の結果

山地次数区分に基づいて、日本の山地は 74 の 3 次の山地および 11 の 4 次の山地に区分された(図 2, 表 1, 2)。3 次の山地は、北海道に 12, 本州に 48, 四国に 4, 九州に 9 分布する。4 次の山地は、北海道に 3, 東北に 2, 関東に 2, 中部に 2, 近畿

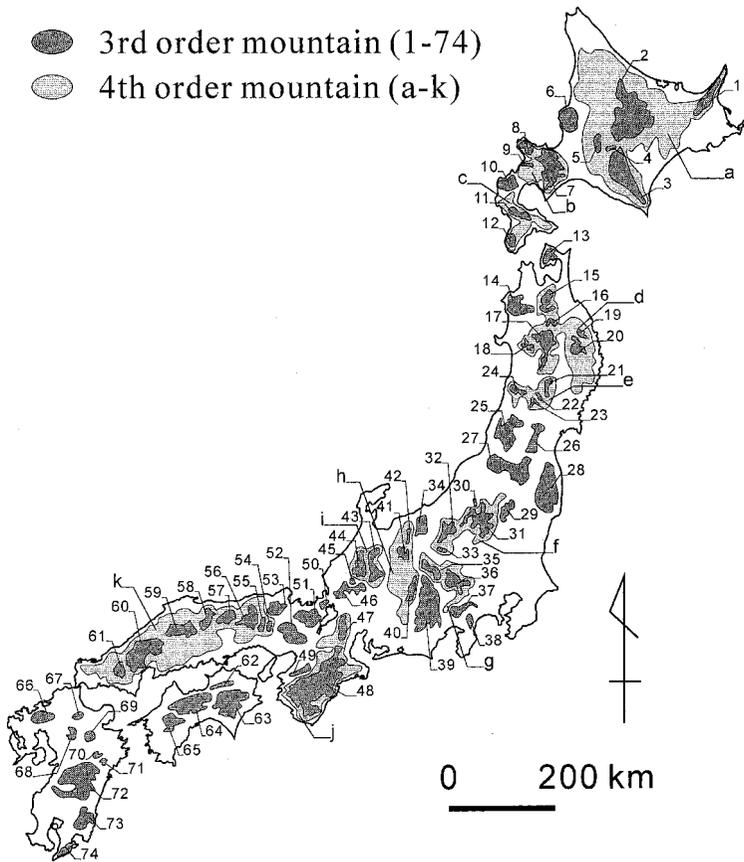


図 2 3次および4次の山地の分布図。  
 図中の番号(1-74)および文字(a-k)はそれぞれ表1および表2のもので対応している。日本列島付属の諸島も対象としたが、いずれも2次以下であるので示していない。

Fig. 2 Distribution of third- and fourth-order mountains.  
 Number (1-74) and character (a-k) in this figure correspond to those in Table 1 and 2, respectively.

に1, 中国に1分布し, 四国および九州にはみられない。ただし, 四国および九州は, それぞれの島全体が4次の山地に, 北海道および本州はそれぞれ5次の山地になる。

区分された3次の山地は, 計測に使用した1/50万地方図に山地名が記されている範囲, 例えば木曾山脈と記されている範囲とおおむね一致するものとそうでないものがある。両者が一致する山地は, 例えば, 山地記号3(日高山脈)や28(阿武隈高地), 40(木曾山脈), 39(赤石山脈), 47

(鈴鹿山脈), 49(和泉山脈)などである。両者が一致しない山地には二通りあり, 3次の山地が1/50万地方図に山地名が記されている範囲を2つ以上含む場合と, 反対に2つ以上に分かれる場合とがある。前者の例としては, 2(石狩山地・北見山地)や, 17(八幡平・岩手山・真昼山地), 25(月山・朝日山地), 37(富士山・丹沢山地), 51(比良山地・丹波高地)などで, 火山とそれに隣接した非火山性の山地との組み合わせで3次の山地を構成するものが多い。2つ以上に分かれる山地は,

表 1 3 次の山地の地形量 .

Table 1 Topographic parameters of third order mountains.

山地 記号	地方	山地名	最高点高度 $h_x$ (m)	最低点高度 $h_n$ (m)	比高 $H$ (m)	面積 $A$ (km <sup>2</sup> )	起伏 $E$	相対起伏 $R$	フラクタル 次元 $D$
1	北海道	知床半島	1700	300	1400	917	0.046	12.00	1.27
2	北海道	石狩山地, 北見山地	2300	500	1800	4712	0.026	35.56	1.36
3	北海道	日高山脈	2100	500	1600	2324	0.033	31.88	1.42
4	北海道	トマム山	1300	500	800	125	0.072	3.00	1.40
5	北海道	夕張山地	1700	500	1200	454	0.056	6.17	1.38
6	北海道	増毛山地	1500	100	1400	1208	0.040	9.57	1.39
7	北海道	余市岳, 空沼岳	1500	300	1200	1964	0.027	19.00	1.29
8	北海道	余別岳	1300	300	1000	320	0.056	7.10	1.34
9	北海道	ニセコアンヌプリ	1300	300	1000	179	0.075	3.00	1.09
10	北海道	狩場山地	1500	100	1400	783	0.050	7.29	1.36
11	北海道	渡島半島	1100	300	800	421	0.039	11.00	1.35
12	北海道	松前半島	1100	300	800	253	0.050	8.00	1.40
13	東北	恐山山地	900	100	800	524	0.035	8.00	1.32
14	東北	白神山地	1700	300	1400	1038	0.043	12.43	1.34
15	東北	八甲田山	1500	500	1000	542	0.043	4.80	1.28
16	東北	稲庭岳	1100	500	600	156	0.048	4.67	1.35
17	東北	八幡平	2100	500	1600	1289	0.045	8.44	1.29
18	東北	出羽山地	1100	500	600	228	0.040	8.00	1.39
19	東北	安家森(北上高地)	1300	700	600	150	0.049	4.33	1.37
20	東北	堺ノ神岳(北上高地)	1300	700	600	541	0.026	5.67	1.35
21	東北	栗駒山	1700	700	1000	255	0.063	4.80	1.32
22	東北	雄勝郡	1500	700	800	101	0.080	2.75	1.37
23	東北	神室山地	1300	700	600	105	0.056	4.67	1.38
24	東北	鳥海山	2300	500	1800	301	0.104	1.67	1.31
25	東北	朝日山地	1900	500	1400	1422	0.037	11.64	1.35
26	東北	船形山, 蔵王山	1900	500	1400	793	0.050	9.14	1.29
27	東北	飯豊山地	2100	500	1600	2053	0.035	12.44	1.33
28	東北	阿武隈高地	1100	300	800	2282	0.017	29.75	1.31
29	関東	那須岳, 高原山	1900	900	1000	441	0.048	6.00	1.34
30	関東	未丈ヶ岳	1500	900	600	50	0.085	1.67	1.37
31	関東	谷川岳, 燧ヶ岳, 白根山	2500	1300	1200	1256	0.034	15.83	1.26
32	関東	苗場山, 岩菅山	2300	1300	1000	648	0.039	9.40	1.21
33	関東	浅間山	2500	1300	1200	137	0.102	2.00	1.08
34	関東	戸隠山, 妙高山	2500	900	1600	567	0.067	5.50	1.25
35	関東	八ヶ岳	2900	1300	1600	559	0.068	3.25	1.18
36	関東	秩父山地	2500	1300	1200	771	0.043	12.00	1.30
37	関東	富士山, 丹沢山地	3700	900	2800	572	0.117	2.14	1.23
38	関東	箱根山	1500	700	800	192	0.058	2.50	1.17
39	中部	赤石山脈	3100	900	2200	2756	0.042	15.45	1.27
40	中部	木曾山脈	2900	1300	1600	433	0.077	3.00	1.20
41	中部	薬師岳, 穂高岳(飛騨山脈)	3100	2100	1000	284	0.059	10.00	1.30
42	中部	白馬岳, 針の木岳(飛騨山脈)	2900	2100	800	102	0.079	4.75	1.23
43	中部	御前岳, 鷲ヶ岳	1900	900	1000	806	0.035	13.80	1.30
44	中部	白山	2700	900	1800	746	0.066	6.67	1.29
45	中部	荒島岳	1500	700	800	75	0.092	2.25	1.28
46	中部	能郷白山	1700	700	1000	609	0.041	16.20	1.41
47	近畿	鈴鹿山脈	1300	300	1000	469	0.046	10.00	1.32
48	近畿	紀伊山地	1900	300	1600	4562	0.024	51.00	1.38
49	近畿	和泉山脈	1100	100	1000	386	0.051	8.00	1.23
50	近畿	野坂山地	900	300	600	173	0.046	7.67	1.26

51	近畿	比良山地, 丹波高地	1100	300	800	1051	0.025	36.00	1.45
52	近畿	豊能郡, 多紀郡	700	100	600	1129	0.018	52.67	1.32
53	近畿	丹後山地, 大江山	900	100	800	493	0.036	15.25	1.38
54	中国	千ヶ峰(中国山地)	1100	300	800	225	0.053	6.00	1.29
55	中国	段ヶ峰(中国山地)	1100	500	600	177	0.045	8.00	1.30
56	中国	氷の山, 那岐山(中国山地)	1500	500	1000	821	0.035	13.00	1.33
57	中国	高鉢山, 花知ヶ山(中国山地)	1300	500	800	529	0.035	10.50	1.24
58	中国	大山, 花見山(中国山地)	1700	500	1200	485	0.055	8.67	1.26
59	中国	道後山, 琴引山(中国山地)	1300	500	800	882	0.027	25.00	1.35
60	中国	阿佐山, 冠山(中国山地)	1300	300	1000	2209	0.021	29.80	1.30
61	中国	平家ヶ岳(中国山地)	1100	300	800	493	0.036	9.25	1.27
62	四国	讃岐山脈	1100	300	800	311	0.045	3.25	1.29
63	四国	剣山地	1900	500	1400	1770	0.033	15.93	1.33
64	四国	石鎚山脈	1900	500	1400	1715	0.034	15.29	1.30
65	四国	大川嶺	1500	500	1000	626	0.040	7.60	1.32
66	九州	背振山地	1100	100	1000	676	0.038	7.40	1.20
67	九州	英彦山	1100	500	600	134	0.052	4.33	1.32
68	九州	釈迦岳, 国見山	1300	500	800	222	0.054	4.50	1.30
69	九州	九重山	1700	700	1000	260	0.062	3.80	1.19
70	九州	祖母山, 傾山	1700	900	800	104	0.078	3.00	1.21
71	九州	大崩山	1700	900	800	89	0.085	2.50	1.25
72	九州	国見岳, 白髪岳	1700	500	1200	2529	0.024	36.33	1.39
73	九州	鱈塚山地	1100	100	1000	746	0.037	12.60	1.43
74	九州	肝属山地	900	100	800	405	0.040	4.50	1.18
		最大値	3700	2100	2800	4712	0.117	52.67	1.45
		最小値	700	100	600	50	0.017	1.67	1.08
		平均値	1673	589	1084	812	0.050	11.23	1.30

$h_x$ : Maximum elevation,  $h_n$ : Minimum elevation,  $H$ : Height,  $A$ : Basal area,  $E$ : Relief,  $R$ : Relative relief,  $D$ : Perimeter fractal dimension

山地名は, 1/50 万地方図に記載された山地あるいは山脈名とし, その記載がない場合は山名あるいは地名とした. 地方の区分は, おおむね 1/50 万地方図の図幅の区分にしたがった.

19・20 (北上高地: 北と南とに分離), 41・42 (飛騨山脈: 後立山と槍穂高とに分離) などである.

4 次の山地は, 1/50 万地方図に山地名が記されている範囲をいくつか含む場合がほとんどである. 例えば, d (北上高地・奥羽山脈), h (飛騨山脈・木曾山脈), j (鈴鹿山脈・紀伊山地・和泉山脈) などである. ただし, k (中国山地) のみ, 1/50 万地方図に山地名が記されている範囲と 4 次の山地とがほぼ一致する.

#### IV. 地形量の地理的分布

3 次および 4 次の山地を対象として計測した 7 つの地形量, すなわち, 最高点高度, 最低点高度, 比高, 面積, 起伏, 相対起伏, 輪郭のフラクタル

次元は, 以下のような地理的分布を示す (図 3, 4, 5). 中部地方以北ではそれより西の地方よりも最高点, 最低点ともに標高が高く, また, 比高も大きい山地が多い. 関東, 中部, 中国, 九州地方には, 比較的面積が小さい山地が多い. 近畿, 中国地方には, 起伏が小さく, 相対起伏が大きい山地が多い.

最高点高度は, 中部地方以北の方がそれより西の地方よりも高い山地が多い. 3 次の山地は, 範囲が 700 ~ 3700 m, 平均値が 1673 m であり, 4 次の山地はそれぞれ 1100 ~ 3100 m, 2173 m と, 4 次の山地が若干高い. 最高点高度が 2000 m を超える山地は, 3 次の山地も 4 次のものも, 中部地方より北にしか分布しない. 特に, 関東, 中部地

表2 4次の山地の地形量.

Table 2 Topographic parameters of fourth order mountains.

山地 記号	地方	山地名	最高点高度 $h_x$ (m)	最低点高度 $h_n$ (m)	比高 $H$ (m)	面積 $A$ ( $\text{km}^2$ )	起伏 $E$	相対起伏 $R$	フラクタル 次元 $D$
a	北海道	知床半島, 石狩山地, 北見山地, 日高山脈, トマム山, 夕張山地	2300	100	2200	15563	0.018	147.64	1.44
b	北海道	余市岳, 空沼岳, 余別 岳, ニセコアンヌプリ	1300	100	1200	4735	0.017	31.00	1.30
c	北海道	渡島半島, 松前半島	1100	100	1000	2733	0.019	40.30	1.43
d	東北	八甲田山, 稲庭岳, 八 幡平, 出羽山地, 北上 高地	2100	300	1800	9926	0.018	43.50	1.41
e	東北	栗駒山, 雄勝郡, 神室 山地, 鳥海山, 朝日山 地	2300	300	2000	2498	0.040	14.20	1.38
f	関東	未丈ヶ岳, 谷川岳, 燧 ヶ岳, 白根山, 苗場山, 岩菅山, 浅間山	2500	900	1600	4949	0.023	36.25	1.37
g	関東	八ヶ岳, 秩父山地, 富 士山, 丹沢山地	2900	900	2000	3333	0.035	19.40	1.35
h	中部	飛騨山脈, 木曾山脈	3100	900	2200	5952	0.029	33.55	1.34
i	中部	御前岳, 鷲ヶ岳, 白山	2700	900	1800	2724	0.034	24.56	1.39
j	近畿	鈴鹿山脈, 紀伊山地	1900	100	1800	9547	0.018	86.44	1.42
k	中国	中国山地	1700	100	1600	14295	0.013	167.81	1.42
		最大値	3100	900	2200	15563	0.040	167.81	1.44
		最小値	1100	100	1000	2498	0.013	14.20	0.30
		平均値	2173	427	1745	6932	0.024	58.60	1.38

$h_x$ : Maximum elevation,  $h_n$ : Minimum elevation,  $H$ : Height,  $A$ : Basal area,  $E$ : Relief,  $R$ : Relative relief,  $D$ : Perimeter fractal dimension

山地名は, 1/50万地方図に記載された山地あるいは山脈名とし, その記載がない場合は山名あるいは地名とした. 地方の区分は, おおむね 1/50万地方図の図幅の区分にしたがった.

方では, 2000 m を超える 3 次の山地が約 60% を占め, 北海道, 東北地方 (約 20%) よりも高い山地が多いことを示す。

最低点高度は, 中部, 関東地方ではそれ以外の地域よりも高い山地が多い。3 次の山地は, 範囲が 100 ~ 2100 m, 平均値が 589 m であり, 4 次の山地はそれぞれ 100 ~ 900 m, 427 m と若干 4 次

の山地が低い。最低点高度が 2000 m を超える山地は, 中部地方の飛騨山脈の 3 次の山地のみで, 1000 m を超える山地も, 3 次, 4 次ともに中部, 関東地方にしか分布しない。

比高は, 中部地方以北の山地がそれより西の山地よりも高いものが多い。3 次の山地は, 範囲が 600 ~ 2800 m, 平均値が 1084 m であり, 4 次の山

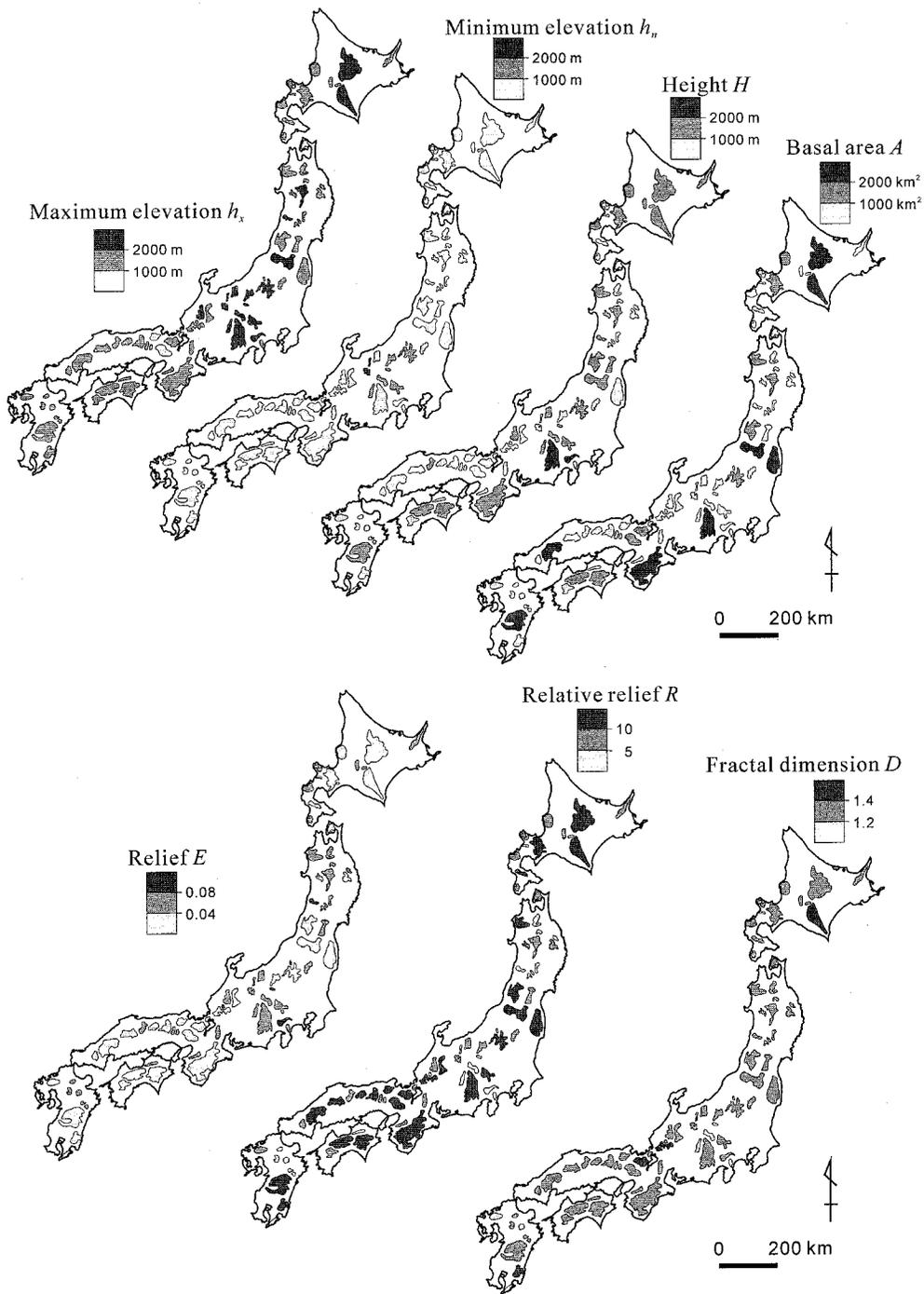


図 3 3 次の山地の地形量の地理的分布 .

Fig. 3 Distribution of topographic parameters of third order mountains.

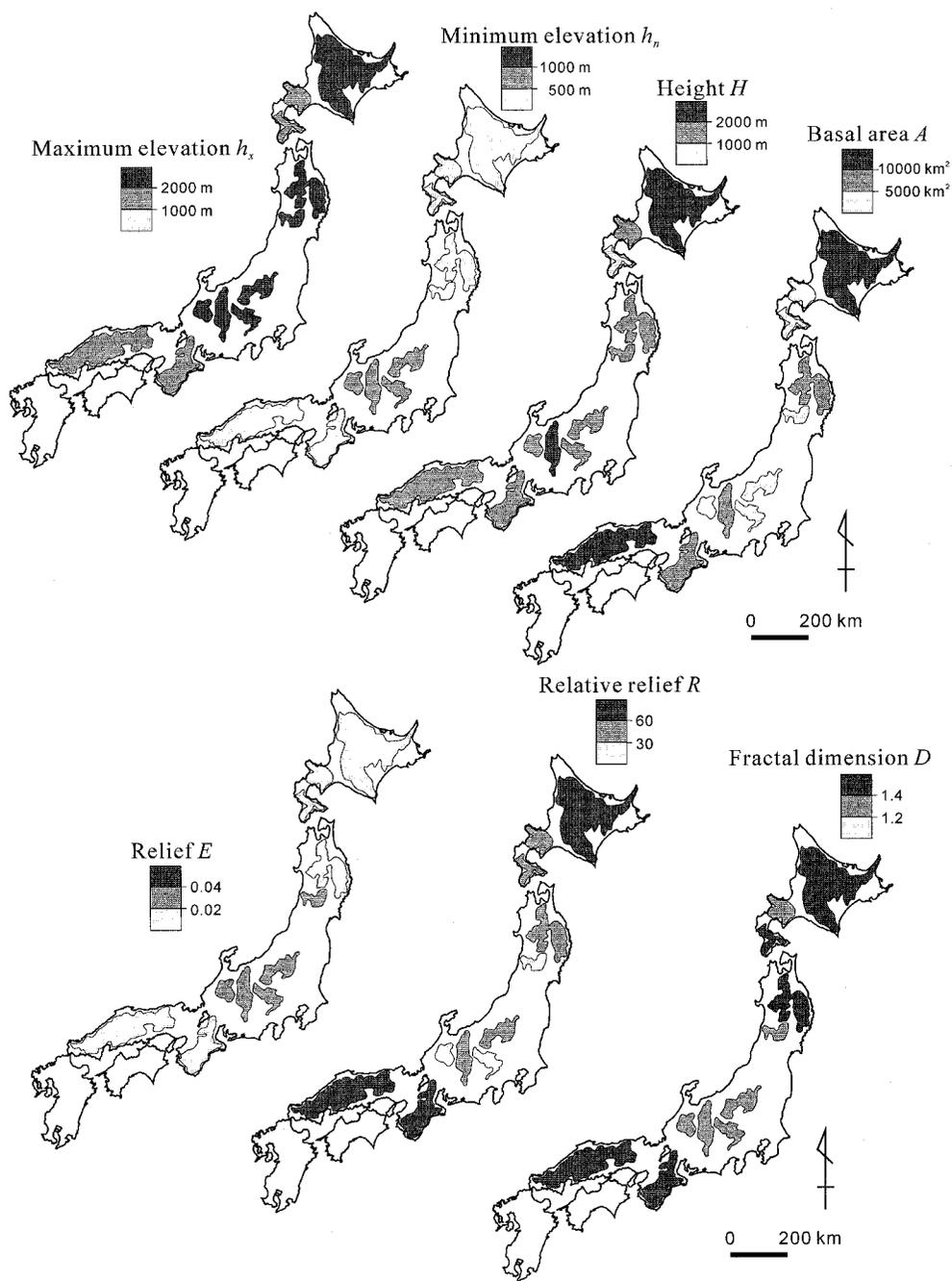


図 4 4 次の山地の地形量の地理的分布 .

Fig. 4 Distribution of topographic parameters of fourth order mountains.

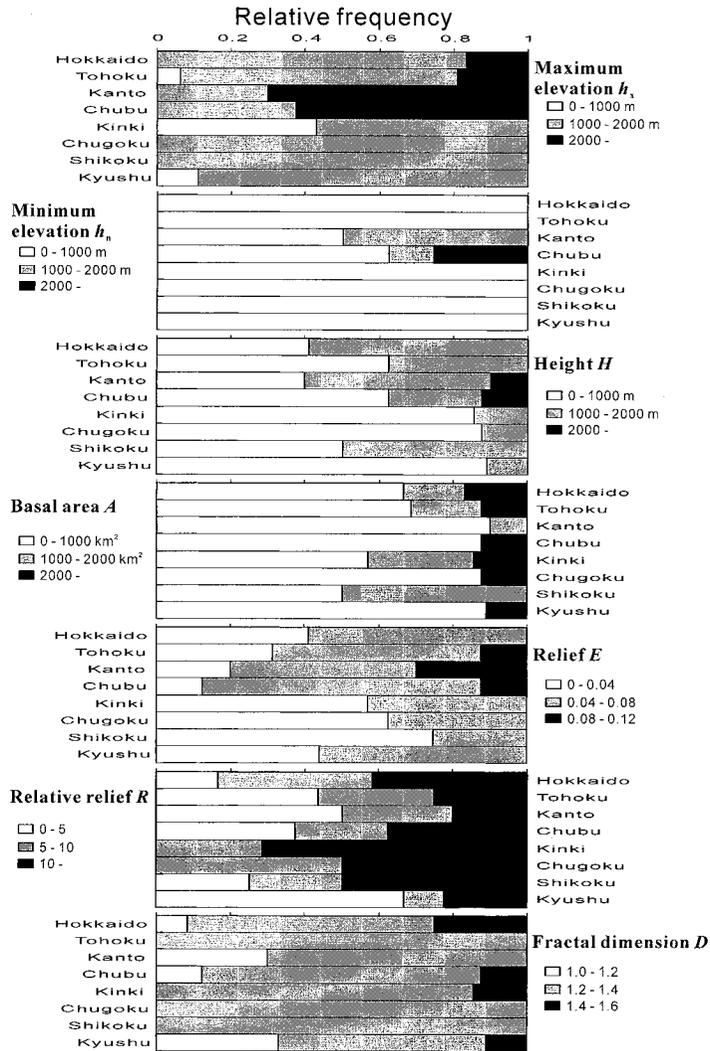


図 5 3 次の山地の地形量の地方別頻度分布。

Fig. 5 Frequency distribution of topographic parameters of third order mountains according to geographic area.

地はそれぞれ 1000 ~ 2200 m, 1745 m と若干 4 次の山地が高い。比高が 2000 m を超える山地は中部地方の 3 次の山地と中部地方以北の 4 次の山地のみで、近畿地方以西には比高が 2000 m を超える山地は分布しない。また、近畿、中国、九州地方では、比高が 1000 m 以下の 3 次の山地が約 90% を占める。

底面積は、関東、中部、中国、九州地方では、

それ以外の地方よりも小さい山地が多い。3 次の山地は範囲が 50 ~ 4712 km<sup>2</sup>, 平均値が 812 km<sup>2</sup> であり、4 次の山地はそれぞれ 2498 ~ 15563 km<sup>2</sup>, 6932 km<sup>2</sup> と 4 次の山地の方が非常に大きい。関東、中部、中国、九州地方では、1000 km<sup>2</sup> 以下の 3 次の山地が 90% を占める。ただし、中国地方の 4 次の山地は 10000 km<sup>2</sup> を超え、北海道の 4 次の山地に次ぐ大きな底面積を有する。

起伏は、近畿、中国、四国地方では、それ以外の地方よりも小さい山地が多い。3次の山地は範囲が0.015～0.113、平均値が0.050であり、4次の山地は、それぞれ0.013～0.040、0.024と4次の山地の方が小さい。近畿、中国、四国地方では、3次の山地の約60%および4次の山地が、それぞれ0.04および0.02以下と小起伏である。これに対して、関東、中部地方では3次の山地の約80%が0.04を超え、また0.08を超える大起伏な山地も存在する。4次の山地も関東、中部地方のものはすべて0.02を超え、4次の山地の中では比較的大起伏である。

相対起伏は起伏とは反対の傾向を示し、近畿、中国地方に大きな山地が多い。3次の山地は範囲が1.67～52.67、平均値が11.23であり、4次の山地は、それぞれ14.20～167.81、58.60と4次の山地の方が大きい。近畿、中国地方では、すべての3次の山地が5以上であり、4次の山地も60を超える大きな値を示す。これに対して起伏が大きい関東、中部地方では、相対起伏が5以下と小さい3次の山地が約40%を占め、また、4次の山地もすべて60以下である。

輪郭のフラクタル次元は、地理的な分布にあまり偏りがみられない。3次の山地は、範囲が1.08～1.45、平均値が1.30であり、4次の山地は、それぞれ1.03～1.44、1.38と若干4次の山地の方が大きい。3次の山地は、いずれの地方でも1.2～1.4の山地が50%以上を占め、あまり偏りがみられない。4次の山地は相対起伏と類似した傾向を示し、近畿、中国地方の山地は1.4を超えるのに対して、中部、関東地方では1.4以下のものしか分布しない。

### V. 地形量間の関係

山地の形態を表す3つの地形量、すなわち、起伏 $E$ 、相対起伏 $R$ 、輪郭のフラクタル次元 $D$ の間には有意な相関があり( $r = 0.91$   $n = 85$   $p < 0.001$ )、以下の式で表される平面に近似される：

$$\text{Log}E = aD - b\text{Log}R - c \quad (5)$$

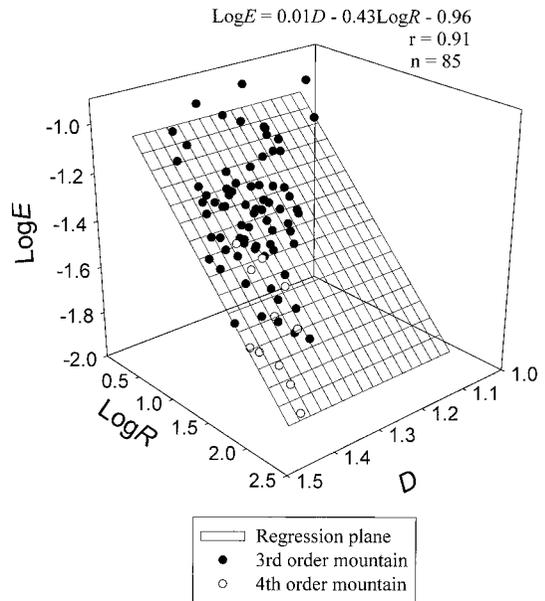


図6 起伏 $E$ 、相対起伏 $R$ 、輪郭のフラクタル次元 $D$ の関係。

Fig. 6 Relationship among relief  $E$ , relative relief  $R$ , and fractal dimension  $D$ .

図6からあきらかなように、相対起伏 $R$ および輪郭のフラクタル次元 $D$ が大きい山地ほど起伏 $E$ が小さく、反対に相対起伏および輪郭のフラクタル次元が小さい山地ほど起伏が大きい。全体的には、3次の山地ほど起伏がより大きく、4次の山地ほど起伏がより小さい傾向にあるが、両者ともに同じ回帰平面に近似される分布を示す。相対起伏および輪郭のフラクタル次元は、それぞれ垂直および水平方向の凹凸の程度を表すため、起伏が大きい、すなわち底面積に対して比高が大きい山地ほど垂直、水平方向の凹凸が小さく、反対に起伏が小さい山地ほど垂直、水平方向の凹凸が大きいことになる。

このような関係は視覚的にも認められる(図7)。起伏が非常に大きい山地(図7の鳥海山、富士山、浅間山)では、峰と峠の繰り返しによって表される垂直方向の凹凸が少なく、山地全体の垂直方向の凹凸に比べると、山地内の凹凸は、はるかに小さい。また、山地の輪郭は単純な曲線で表されて

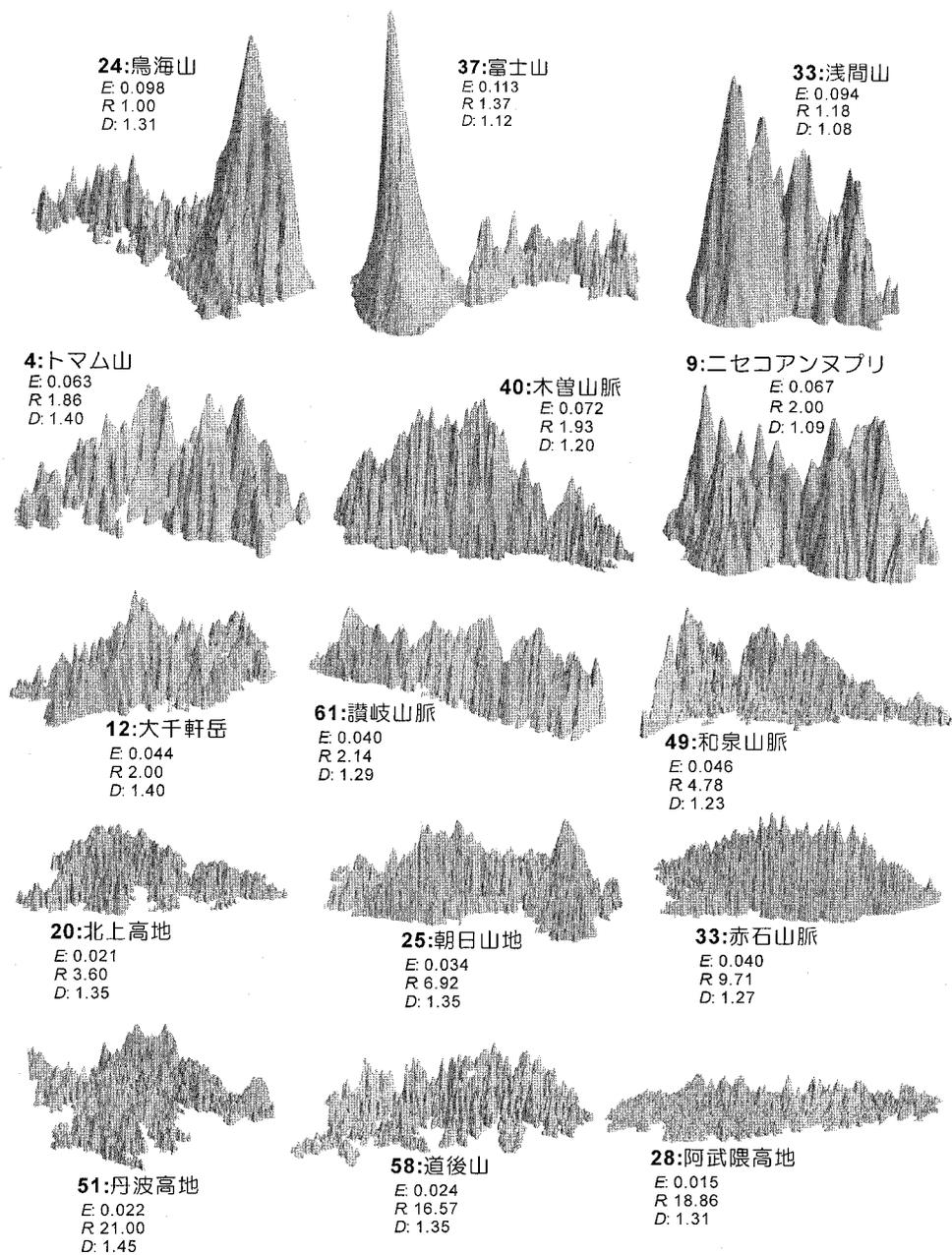


図 7 区分された山地の鳥瞰図。

上の図ほど起伏  $E$  が大きく、相対起伏  $R$  が小さく、右の図ほどフラクタル次元  $D$  が小さい。いずれの図も底面積が等しく見えるようにしたために、それぞれの図のスケールは異なる。ただし、水平、垂直比はいずれの図も 1 : 5 である。山地名前の数字は表 1 と対応する。

Fig. 7 Diagrams showing the perspective landscapes of classified mountains.

Relief  $E$  and relative relief  $R$  of the diagrams become smaller and larger from top to bottom, respectively, and fractal dimension  $D$  of the diagrams becomes larger from right to left. The diagrams are different in scale, but the ratio of horizontal to vertical scale is the same for all diagrams (1 : 5)

おり、水平的な凹凸も小さいことがわかる。これに対して、起伏が小さい山地（図7の丹波高地，道後山，阿武隈高地）では、山地全体の垂直方向の凹凸に匹敵するほどの山地内の峰と峠による凹凸が多数みられ、また、輪郭は非常に複雑な曲線を描く。そして、それらの中間的な起伏を有する山地は、やはり中間的な垂直，水平方向の凹凸を示す。

以上のように、統計的，視覚的に認められる地形量間の関係は、次数区分された山地の地形はある特定の規則にしたがったものであることを示す。例えば、起伏が大きい山地（図8A）の起伏のみを小さくしたような山地（図8a）や、起伏が小さい山地（図8B）の起伏のみを大きくしたような山地（図8b）は現実には存在しない。図8aくらいの小起伏な山地であれば、図8aのようにのっぺりとした凹凸の少ない山地にはならず、現実には図8Bのように多くの峰および峠による垂直方向の凹凸および尾根および谷による複雑な輪郭が存在する。一方、図8bくらいの大起伏な山地であれば、図8bのように針のように尖った峰と峠が繰り返され、また尾根と谷が発達する複雑な輪郭を有するような山地にはならず、現実には図8Aのように山地内の峰と峠による垂直方向の凹凸は小さくそして少なく、また尾根と谷が少ないより単純な輪郭になる。

このような地形量間の規則性は、斜面の傾斜と関係しているのかもしれない。起伏が同じであれば、相対起伏および輪郭のフラクタル次元が大きくなるほど尾根 谷や峰 峠によって細分化された斜面の傾斜は大きくなる（図9）。これは以下のような理由による。相対起伏が大きくなる，すなわち垂直方向の凹凸が大きくなるほど，斜面の垂直方向の折り返しが多くあるいは大きくなる。起伏が同じであれば，垂直方向の折り返しが多いあるいは大きいほど斜面の傾斜は急になる。一方，輪郭のフラクタル次元が大きくなる，すなわち水平方向の凹凸が大きくなるほど，斜面の水平方向の折り返しが多くあるいは大きくなる。起伏が同じであれば，垂直方向の折り返しと同様，水平方向の折り返しが多いあるいは大きいほど斜面の傾斜

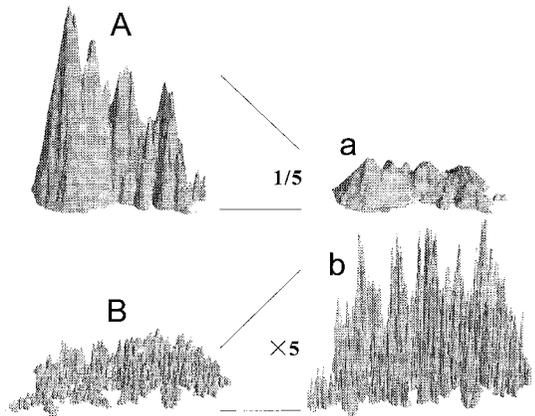


図8 起伏のみを変化させた場合の山地の地形の変化。aおよびbは、相対起伏および輪郭のフラクタル次元を変えずに、起伏のみをそれぞれAおよびBの5倍および1/5にしたものである。aおよびbのような山地は現実には存在しない。

Fig. 8 Changes in mountain landscapes due to changes in relief.

Relief of a and b is one fifth and five times that of A and B, respectively, but relative relief and fractal dimensions are the same as each other.

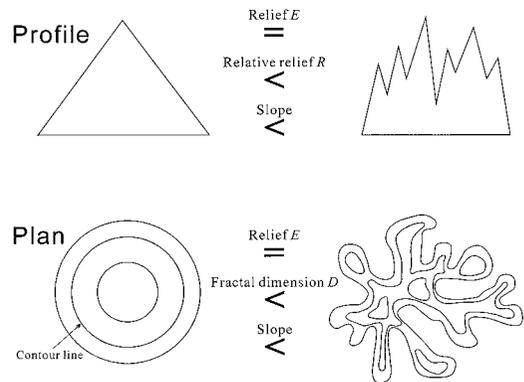


図9 斜面の傾斜と起伏，相対起伏，輪郭のフラクタル次元との関係を示す模式図。

Fig. 9 Schematic figure showing the relationship among slope, relief, relative relief and fractal dimension.

は急になる。したがって、起伏，相対起伏，輪郭のフラクタル次元に相関がみられるということは、それぞれの山地の斜面の傾斜はある一定の範囲に収まっていることを示唆する。そうであれば、起

伏が大きい山地ではある傾斜よりも急になれないため、多くのそして大きな峰 峠や尾根 谷が発達することができず、相対起伏および輪郭のフラクタル次元が小さな値に制限されていることになる。一方、小起伏な山地においては、多くのそして大きな峰 峠や尾根 谷が発達することによって傾斜が緩くなるのを制限されていることになる。斜面の傾斜に上限があることはこれまでも報告されているが (Schmidt and Montgomery, 1995), 下限についてはこれまでに言及されていない。日本のような湿潤地域の山地では、斜面、河川の作用とともに活発に働くため、緩い傾斜の斜面がほとんど存在し得ないのかもしれない。

## VI. 結 論

山地次数区分に基づく山地区分および地形計測によって、日本の山地・山脈スケールの地形はある一定の規則性に仕上がっていることがあきらかになった。ある1つの地形量でみると、日本の山地は多様な値を示すものの、3つの地形量、すなわち、起伏、垂直方向の凹凸の程度を表す相対起伏、水平方向の凹凸の程度を表す輪郭のフラクタル次元の関係をみると、次数区分された日本の山地は1つの平面に近似される。このような結果は、少なくとも日本では、山地はある一定の規則に仕上がった地形にしかかなり得ないことを示唆する。例えば、現在の山地が侵食されて起伏が小さくなったとしても、準平原のようなのっぺりとした地形にはなり得ないのかもしれない。このような推測を論証するためには、日本とは内・外作用の条件が異なる地域での計測を行い、経験的なデータを蓄積すること、そして、このような規則が成り立つメカニズムを検証することが必要である。

## 謝 辞

東京都立大学客員教授のDennis Eden博士には英文要旨を校閲していただいた。記して感謝します。本研究には、トヨタ財団1999年度研究助成「地形計測による山地および丘陵地の地形自然度評価」(代表者山田周二)の一部を使用した。

## 注

- 1) 区分を表す用語はclassificationだけでなく zoning や divide もあるが、本論文では、山地を次数という等級に区分したため、classification が最も適当と考えた。

## 文 献

- Chase, C. G. (1992) Fluvial land sculpting and the fractal dimension of topography. *Geomorphology*, 5, 39-57.
- Culling, W.E.H. and Datoko, M. (1987) Fractal geometry of the soil-covered landscape. *Earth Surface Processes and Landforms*, 12, 369-385.
- 菅田栄一・土門正治・佐々木武仁 (1992) 画素点膨張理論に基づくフラクタル次元測定法. 松下 貢編: 医学・生物学におけるフラクタル. 朝倉書店, 20-33.
- Horton, R.E. (1932) Drainage basin characteristics. *Trans. Amer. Geophys. Union*, 13, 350-361.
- Huang, J. and Turcotte, D.L. (1989) Fractal mapping of digitized images: Application to the topography of Arizona and comparisons with synthetic images. *J. Geophys. Res.*, 94, B6, 7491-7495.
- Klinkenberg, B. and Goodchild, M.F. (1992) The fractal properties of topography: A comparison of methods. *Earth Surface Processes and Landforms*, 17, 217-234.
- Mayer, L. (2000) Application of digital elevation models to macroscale tectonic geomorphology. In Summerfield, M.A. eds.: *Geomorphology and Global Tectonics*. Wiley, Chichester, 15-27.
- 西村健二 (1958) 日本山地地形の数量的考察. 謄写刷. 復刻 貝塚爽平編 (1988) 地形学的方法による地殻変動の研究. 昭和60・61・62年度科学研究費補助金(総合研究A)研究成果報告書, 242-263.
- 野上道男 (1999) 50 m-DEMによる地形計測値と地質の関係. 地理学評論, 72A, 23-29.
- 岡山俊雄 (1953) 日本の地形構造. 駿台史学, 3, 28-37.
- Ouchi, S. and Matsushita, M. (1992) Measurement of self-affinity on surfaces as a trial application of fractal geometry to landform analysis. *Geomorphology*, 5, 115-130.
- Schmidt, K.M. and Montgomery, D.R. (1995) Limits to relief. *Science*, 270, 617-620.
- Strahler, A.N. (1952) Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 63, 1117-1142.
- 渡辺 光 (1952) 日本の地形区. 地学雑誌, 61, 1-7.
- Wilson, T.H. and Dominic, J. (1998) Fractal interrelationships between topography and structure. *Earth Surface Processes and Landforms*, 23, 509-525.
- Yamada, S. (1999) Mountain ordering: A method for classifying mountains based on their morphometry. *Earth Surface Processes and Landforms*, 24, 653-660.
- 谷津栄寿 (1950) 秩父山地の起伏量について. 田中啓爾先生記念大塚地理学論文集, 323-331.

(2000年7月10日受付, 2001年1月15日受理)