

数値地形モデルを用いた地形分類手法の開発

岩 橋 純 子

DEVELOPMENT OF LANDFORM CLASSIFICATION USING DIGITAL ELEVATION MODEL

By Junko IWAHASHI

Synopsis

Inclination of the trend surface, the frequency of ridges and valleys, and the frequency of the break of inclination were abstracted from the digital topographical map (DEM) to make an automated landform classification. It was found that current landform classification can be simulated with DEM using two criteria of inclination of the trend surface and the frequency of the ridges and valleys. It is also pointed out that the information other than the topography is needed for a complete landform classification. It is, however, emphasized that a computer-aided landform classification with DEM is useful for understanding outline of the interested areas and for reducing the labor and personal difference.

1. はじめに

従来の地形解析作業（空中写真の判読等）は、専門的知識や熟練を必要とし、作業内容によっては非常に時間がかかり、また、結果に個人差が大きい。地形調査の基本である地形分類作業は、その典型である。地形分類作業は、主に空中写真の肉眼実体視による判読と、現地調査によって行われている。地形分類作業は、定性的な要素と定量的な要素が入り交じっているという点で、コンピュータによる作業が難しいと考えられてきた。即ち、山地・丘陵・台地といった大きなカテゴリーを定性的に区分し、さらにそれぞれを起伏量や傾斜量・高度などによって定量的に区分するという複合した作業である。定性的な部分も、実際はある規則に基づいてある程度定量的に行われているが、「どこまでなら丘陵と見なすか」というような区切りの値が人によって、あるいは作業地域によって異なる。コンピュータを用いた機械的な区分を示す事は、作業者の負担軽減に加えて地形分類の普遍化にも役立つと思われる。

数値地形モデル（Digital Elevation Model：以下 DEM）を用いた地形解析は、大きな配列の演算が機械の進歩により高速に行われる様になったため、傾斜解析・水系線の抽出・流域面積の計測など、従来手で行っていた作業の効率化に寄与するようになった。それらと地形分類作業とは、定性的な部分が多く含まれるという点で異なるが、DEMを利用して地表形態の概要を表示することは可能であり、地形分類作業にも、DEMを利用する事による省力化が期待される。本論文では、DEMを画像化し、数種類の画像処理を行った結果を組み合わせることで地表形態の概要を表示した。手法について留意した点は、次の2つである。

簡便さ：既存の分類図では、通常、山地は傾斜量で、丘陵は開析度で、台地は高度・表層地質でというように、カテゴリー毎に区分のパラメータが異なる。本論の手法では、単純さを追求するという点から、全てを一括して同じパラメータを用いて区分した。

再現性：作業者がなるべく既存の安価な画像処理ソフトを利用できるように、画像処理の分野でよく使われる処理を用いた手順を工夫する事と、既存のソフトを利用できない場合に備えて、プログラムを組みやすいように、できるだけ単純なアルゴリズムを用いる事を心がけた。

人が地形を判読するとき、何を考えて境界線を引くかは、その人の知識や主観に大きく左右される。しかし、どの作業者でも考慮している要素として、下のようなものがあると思われる。

- ①標高
- ②地表の形態（きめ、凹凸）
- ③地形の傾斜およびその変換点
- ④地質、地史、地盤の性質
- ⑤植生

作業者は主に①・②・③・⑤によって地形区分線を引き、③・④によって区分名称を付けていると想像される。また、空中写真を用いた肉眼判読の大きな特徴として、視野に入る一定の面積に対して一定の詳しさを観察する、つまり傾斜の緩い地域ほど細かく区分する傾向のある事が挙げられる。区分名称の付け方では、形態的には似通った地形でも、分布する場所や地質により異なった名称を付ける場合がある。

DEM によって得られる情報は、①・②・③の3つである。従って、地史や地質等、地形以外の情報を強く考慮した地形学図的な分類図と同じものを DEM から作成するのは全く不可能であり、地質や地史の知識無しに、各地形区分に何と名称を付けるべきか決めることも難しい。また、DEM から局所処理により作成された出力図は、画素毎に色分けされた図であり、同色の画素の集合から地形区分線を感じとることになる。さらに、DEM から「全ての」地表の形態を知ることはできない。地形図は本来の地形を鉛直方向にデジタル化したものであり、この過程で、微地形は削られる。DEM は補完計算により元の地形を鉛直方向にはある程度復元しうるが、削られた微地形は失われたままであり、また、離散的なサンプリングにより、水平方向のデジタル化が起こる（Fig. 1）。元々地形図に表現されていないような微地形を DEM から検出することはできない。空中写真判読に比べ、DEM を用いた分類は、微妙な地形変化、例えば小規模な段丘崖などを見落とす可能性が高い。従って、DEM を用いた分類は、概査として用いられるべきものである。

DEM を利用して地形分類をしようとする際には、どれくらいの縮尺に対応した図が欲しいのか、どれくらいの広さの分類をしたいのかを考慮に入れて、標高点間隔を決める事が重要である。適当な標高点間隔の DEM を用いれば、少なくとも基図の等高線図から読み取れる程度の分類は可能なはずである。このような事は、手持ちの DEM で解析作業を行う場合の一つの目安となるであろう。

2. 方法

物体の表面形態は、普通、「滑らか」「尖っている」「ざらざら」など、手触りによってその性質を分類されている。

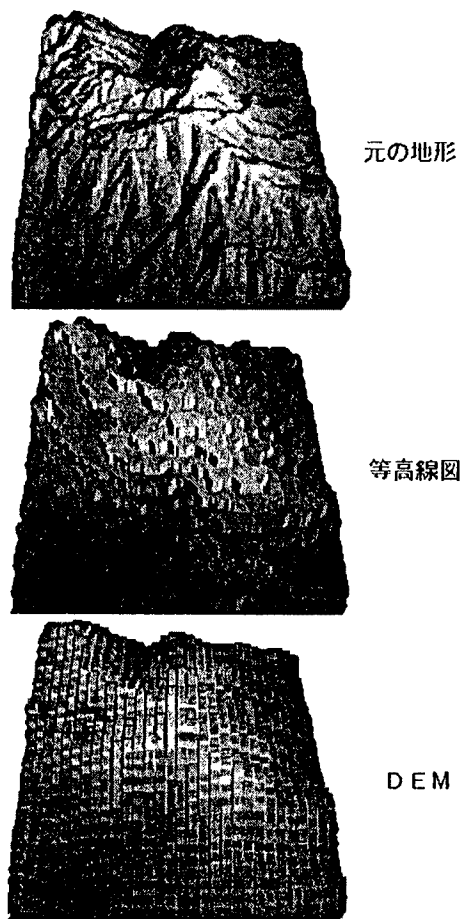


Fig. 1 Comparison of original topography, contour map and DEM.

これは表面の凹凸によるものである。また、目で見ることによって、面の集合としての形態を認識するが、これは、面の傾きによって全体の形の印象を捕らえているのである。このように、物体の表面形態は、凹凸の程度と傾斜角を求めることによって、ある程度グループ分けされると思われる。

地形においても、傾斜と凹凸の程度に関連において、受け盤・流れ盤・第四系がそれぞれまったく別の系列を作ることは、阿讃山地及び和泉山脈の他の研究ですでに知られている¹⁾²⁾。

本論では、実用的な見地から、画像処理手法を用いたより単純な方法を検討した。

地表の凹凸の基本的な形は、Fig. 2 のような5通りであると考えられる。

- a: 尾根だけが丸みを帯びている
- b: 尾根・谷とも丸みを帯びている
- c: 尾根・谷とも尖っている
- d: 谷だけが丸みを帯びている
- e: 平らな面の集合

山田 (1955)³⁾は、阿武隈相馬地方の地形の研究の中で、Fig. 2 のうち A に近い形のスケールの小さいものを丘陵地、C に近い形でスケールの大きいものを山岳地、A と E が組み合わさる、高地にあるものを高原地、E を平野地とした。大石 (1985)⁴⁾は、D のような幅の広い谷底と鋭い山稜を持つ地形を低山性の地形として紹介している。Fig. 2 のような5通りの形を識別するのに必要なのは、主に尖ったエッジの密度と地表の丸みの程度である。以下にその具体的方法を示す。

隣接標高点間で演算を行うことにより、地表の表面形態を表現する以下の3つのパラメータを求めた。ただし、画像の3×3のある局所領域

$$H = \begin{pmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{pmatrix} \dots\dots\dots (1)$$

における画素値は次のように定め、演算式の返値を中心画素 (e) に代入する。出力画像はすべての画素について演算を行うことによって表示される。このような処理は局所並列処理 (フィルタリング) と呼ばれる。

2.1 傾斜量

一般には曲面のある1点における傾斜は、その点で曲面に接する平面の傾斜として定義される。しかし、ここで取り扱う傾斜量は、地形特徴を同じくするある範囲の平均的な傾斜の大きさである。DEM から傾斜量を求める手法として、3×3近傍の一次傾向面の傾斜角を求めたものが、下のような沖村 (1991)⁵⁾の傾向面の傾斜 θ である。

$$\tan \theta = \frac{\sqrt{A^2 + B^2}}{6D} \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 D はグリッド間隔であり、 A と B は上記の画素値を用いて次のように定義される。

$$A = (a + d + g) - (c + f + i) \dots\dots\dots (3)$$

$$B = (a + b + c) - (g + h + i) \dots\dots\dots (4)$$

これはデジタル画像における一次導関数であり、平面直交座標を採用している等高線図から作成されたDEM についてこの演算を行った場合、厳密な値を与える。

画像処理の分野でも、様々な傾斜量の求め方がエッジ強調

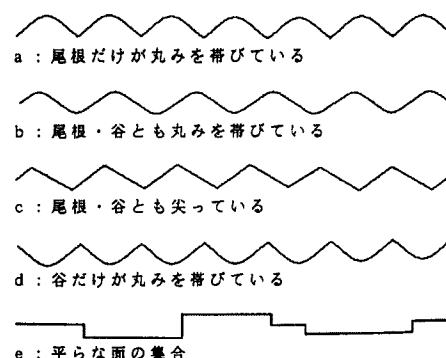


Fig. 2 Fundamental features of ground surface undulation.

の手法として考案されている。画像処理の分野で言うところの“gradient”では数学的に厳密な gradient を求めるよりむしろいかに美しい出力図を得るかに重点を置いており、勾配を求めると共に平滑化を同時に行うものが多い。出力値そのものより出力画像全体の明瞭さが重視されるからである。本来地形を対象としたオペレータではないので、グリッド間隔は考慮されず、 $\Delta x = \Delta y = 1$ として演算が行われる。gradient は、画像の縦・横軸を x および y 、それぞれの方向への標高の差分を dx および dy で示すと、大きさは $\sqrt{dx^2 + dy^2}$ で表現される。自乗や平方根など時間のかかる演算をさけるために $|dx| + |dy|$ が用いられる事も多い。 dx , dy の求め方は様々である。

最も基本的な手法は、Prewitt (1970)⁶⁾ の differential type で、 dx は先の A, dy は B と同じである。計算された gradient が中心画素の最大値となる。Template type の Prewitt オペレータは、上の基本型に、斜め方向も含めた 8 方位についての出力値を求め、最大値を中心画素の出力値とする事で近似的に gradient を求める手法である。例えば、画像の上を北として方位で表すと、北と北西方向に対する gradient は以下の式で与えられる。

$$G_N = (a+b+c) - (g+h+i) - (d-2e+i) \dots\dots\dots (5)$$

$$G_{NE} = (b+c+f) - (d+g+h) + (a-2e+i) \dots\dots\dots (6)$$

これは、局所領域の差分にエッジの接線方向にそった 2 次導関数を加えたもので、ノイズの強調を伴わないエッジの強調を意識している。

他に、有名なオペレータとしては、下のように dx , dy を求める Sobel のオペレータがある⁷⁾。

$$dx = (c+2f+i) - (a+2d+g) \dots\dots\dots (7)$$

$$dy = (a+2b+c) - (g+2h+i) \dots\dots\dots (8)$$

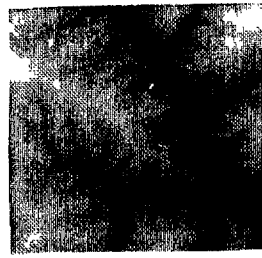
Frei and Chen (1977)⁸⁾ のオペレータは、これらとは異なり、理想的な形のエッジにどれだけ近いかをともにエッジ強度を出力する。

Fig. 3 に上述の方法で求めた傾斜量の画像とヒストグラムを示す。この図で、ヒストグラムが滑らかであったりぎざぎざだったりするのは、出力値の幅が異なるからである。出力値の幅が大きいほど、当然見た目はきれいになる。Frei and Chen の手法は良い効果を示す。アルゴリズムは、Template type の Prewitt オペレータが、**Fig. 3** にあげた中で最も簡単である。コントラストの違いはあるにせよ、以上の代表的なエッジ強調オペレータの出力画像の明暗のパターンは、どれも沖村 (1991) の傾向面⁵⁾の傾斜角のそれとほぼ一致する。またそれぞれのヒストグラムの形が相似なので、代用としても特に問題ないことが分かる。したがって、使用ソフトに合わせてどれかを利用して傾斜量の画像を出力すればよい。本論では、主として Template 型 Prewitt オペレータを利用した。

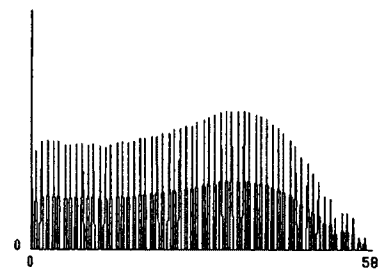
傾斜量は、一般に、DEM の標高点間隔により変化する。**Fig. 4** は、4 つの地域について、元の画像を縮小することによって標高点間隔を広げ、平均傾斜量の変化をプロットした例である。元の画像の標高値の幅はすべて 256 階調に正規化している。いずれも、標高点間隔が広がるほど平均傾斜量が小さくなっている。そのため、同一地域といえども、標高点間隔の異なる DEM から求めた出力値を単純に比較する事はできない。ただし画像のコントラストは全体として変化しないので、後述のように平均値をもとに論じる限りは、特に問題がない。

2. 2 凹凸の分布密度

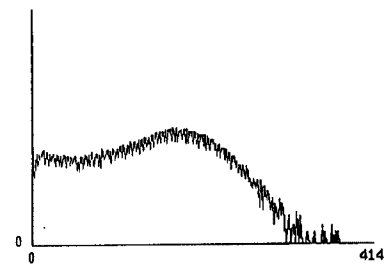
先に、地表形態の違いは、尖ったエッジの分布密度と丸みの程度で大まかに判別できることを示した。これらは、凹凸の分布密度と言い換えることもできる。凹凸として認識される地形は、周囲と傾斜が変化している地点 (エッジ) であると考えられる事から、凹凸の分布密度は、傾斜変換点の密度によって求められる。画像処理は、レントゲンなど医療用画像の輪郭強調処理から発達したため、傾斜変換点を求めるオペ



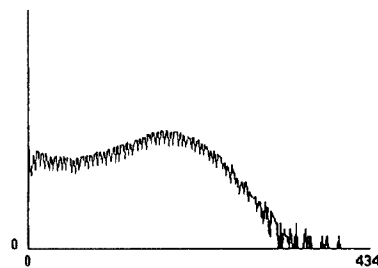
DEM画像（標高値を輝度に変換）



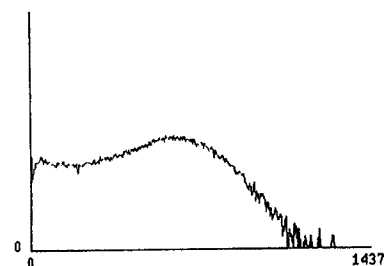
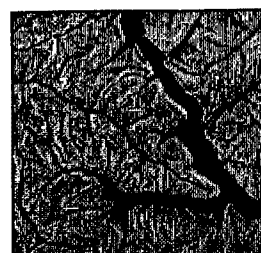
傾向面の傾斜角（沖村；1991による）



Template型Prewittオペレータによる出力



Sobelオペレータによる出力



Frei&Chenのオペレータによる出力

Fig. 3 Outputs of different operators to obtain the inclination.

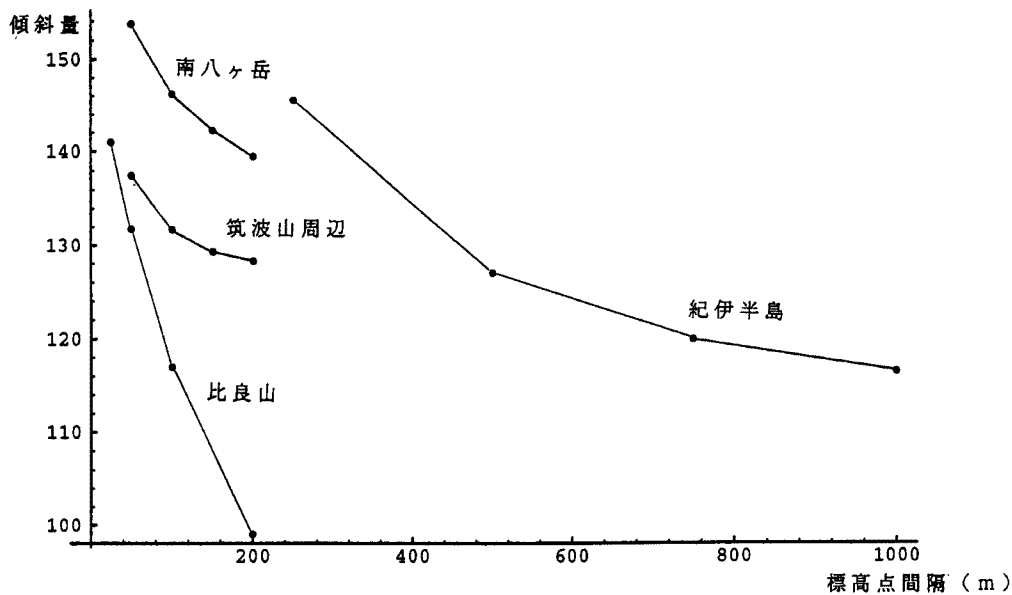


Fig. 4 Relationship of the grid interval of DEM and areal mean inclination.

レータは何種類も考案されている。エッジ検出オペレータが検出できるエッジの種類や、どの程度の変化ならエッジと見なすかはそれぞれ考案者によって異なっており、傾斜変換点を完全に求めるためには、全く性質の異なるエッジ検出手法を幾つか組み合わせた方がよい。本論では、尖ったエッジ（尾根・谷；傾斜方向の変換点）に反応するフィルタと、丸みの度合い（傾斜量の変換点）に反応する Laplacian オペレータを採用した。

2. 2. 1 尾根・谷密度（尖ったエッジの分布密度）

劣化した画像のごま塩雑音のようなスパイク状のノイズを消すために、いくつかのオペレーションが考案されている。このようなノイズ除去フィルタで処理した画像と原画像の差は、DEM 画像から尾根・谷線を検出する非常に簡便な手法にもなる。なぜなら、DEM 画像に対しこのフィルタを適用したとき、ノイズとして除去されるのは、尖った尾根・谷およびスパイク状の孤立点であり、それらの連続したものは、人間が尾根・谷として認識する線の性質に非常に似ているからである。

メディアンフィルタは、上記の目的のオペレータの中で最も代表的なものである。メディアンフィルタは、中心画素の値を局所領域の中間値（median）に置き換える事により異常値を除去するオペレータである⁹⁾。メディアンフィルタによる尾根・谷の検出は、以下のような手法で行った。

$$\text{尾根: } [P \{I(x, y) - M(x, y)\}] / [P \{M(x, y) - I(x, y)\}]$$

$$\text{谷: } [P \{M(x, y) - I(x, y)\}] / [P \{I(x, y) - M(x, y)\}]$$

ここに、 $I(x, y)$: DEM 画像

$M(x, y)$: メディアンフィルタで処理した DEM 画像

P : 負の値を 0 に置換する関数

ただし、画素値の割り算において、 $0 \div 0 = 0$ 、 $0 \div n = 0$ 、 $n \div 0 = \text{画素のとりうる最大値}$ と定義されていることとする（ $n : 0$ 以外の数）。

メディアンフィルタは非線型フィルタであり、アルゴリズムが単純なわりには処理に時間がかかる。メディアンフィルタと同様の効果をもたらすオペレータに、OPEN, CLOSE がある。これらに対しては、局所領域内の最大値を出力する最大値フィルタと、最小値を出力する最小値フィルタが利用される^{7), 10)}。OPEN は画像に最小値フィルタを適用した後最大値フィルタを適用して突起物を除去するものであり、

CLOSE は逆に最大値フィルタを適用した後最小値フィルタを適用して窪みを除去するものである。尾根線・谷線は次のようにして求められる。

$$\text{尾根: } Q \{I(x, y) - O(x, y)\}$$

$$\text{谷: } Q \{C(x, y) - I(x, y)\}$$

ここに $O(x, y)$: OPEN で処理した DEM 画像

$C(x, y)$: CLOSE で処理した DEM 画像

Q : 0 以外の値をバッファの取りうる最大値に置換する関数

Q は一種のしきい値処理である。OPEN, CLOSE による手法は、尾根・谷線をよく検出するが、8 近傍型（局所領域 H における $a \sim i$ すべての画素を用いる演算）では、メディアンフィルタを利用した場合と比較し、線が太くなりすぎるきらいがある。(1)式において e の 4 近傍 (b, d, f, h 及び e) で行う方が尾根・谷線らしくなるようである。

以上のどちらかを利用して得た尾根・谷分布図を合成し、 21×21 の円形の一様重み線型フィルタ⁷⁾で処理する事により、傾斜方向の変換点の密度分布図を得た。これは、 21×21 画素の局所領域において、中心画素から半径 10 画素の範囲の画素の値の平均を求め、中心画素に置き換えるフィルタである。尾根・谷線は、基図の精度に適合した DEM 画像から得られるものほど滑らかで太い。DEM 間隔の広すぎるものでは、ウィンドウサイズを 5×5 などに広げないと、線としてとらえられにくい。しかし、密度分布図として観察する限りにおいては、DEM 間隔の違いはそれほど問題にならない。これらのフィルタは微妙な値の変化に反応するため、使用するソフトが 16 ビット以上のものに対応しているかどうか最も問題になる。8 ビット (256 階調) に階調を圧縮された画像に対してこれらのフィルタを適用すると、浅い尾根や谷が表示されなくなり、密度分布に変化をきたす。

2.2.2 傾斜量の変換点の密度 (丸みの度合い)

傾斜量の変換点は、代表的な 2 次微分型オペレータである Laplacian オペレータ でフィルタリングすることによって得られる。演算式は次式で表される⁷⁾。

$$L = 4e - (b + d + f + h) \quad \dots\dots\dots (9)$$

この演算式は、デジタル画像の 2 次差分を示している。Laplacian オペレータで処理された値は、各標高点が局所領域において上に凸である度合いを示す尺度となり、凹部はマイナスで表現される。この性質から、Laplacian は曲率とも呼ばれる。また、曲率は、侵食速度に関係するといわれている¹¹⁾。メディアンフィルタや OPEN, CLOSE との最大の相違点は、崖状のエッジにも反応する点である。Laplacian オペレータに反応した点は、0 以外の値を持つ。DEM を用いた場合、ほとんどの点がこのオペレータに反応する。本論ではプラスの反応をした点のみを取り出して 2 値画像を作成し、それに 21×21 の円形の一様重み線型フィルタを適用して凸部の分布密度を求めた。プラスの反応をした点は、しきい値処理によって取り出せる。この結果は、地表の丸みの程度を表現する図になっている。

Fig. 5 に、メディアンフィルタおよび laplacian オペレータで尾根・谷と凸部を検出する様子を示す。これらの分布図を 21×21 の円形の一様重み線形フィルタで処理して分布密度図を作成し、後の項で説明する処理を行う。

2.3 3つの地形特徴量の組み合わせ

以上 3 つの地形地形特徴量（傾斜量、尾根・谷密度、傾斜量の変換点の密度）の組み合わせで画素をグループ分けするために、次のような手法を考案した。3 個の白黒濃淡画像をそれぞれ平均値より上 (白)・下 (黒) の 2 つの部分に分けると、 $2^3 = 8$ 個の地形区分ができることになる (**Fig. 6** の上段)。区分ごとに異なった色を割当てて合成し、同色の画素の集合から地形区分を観察する。**Fig. 2** の 5 つの地形がもし同じスケールであったとすると、A は区分 1・4 に、B は区分 2・5 に、C と D は区分 3・7 に、E は区分

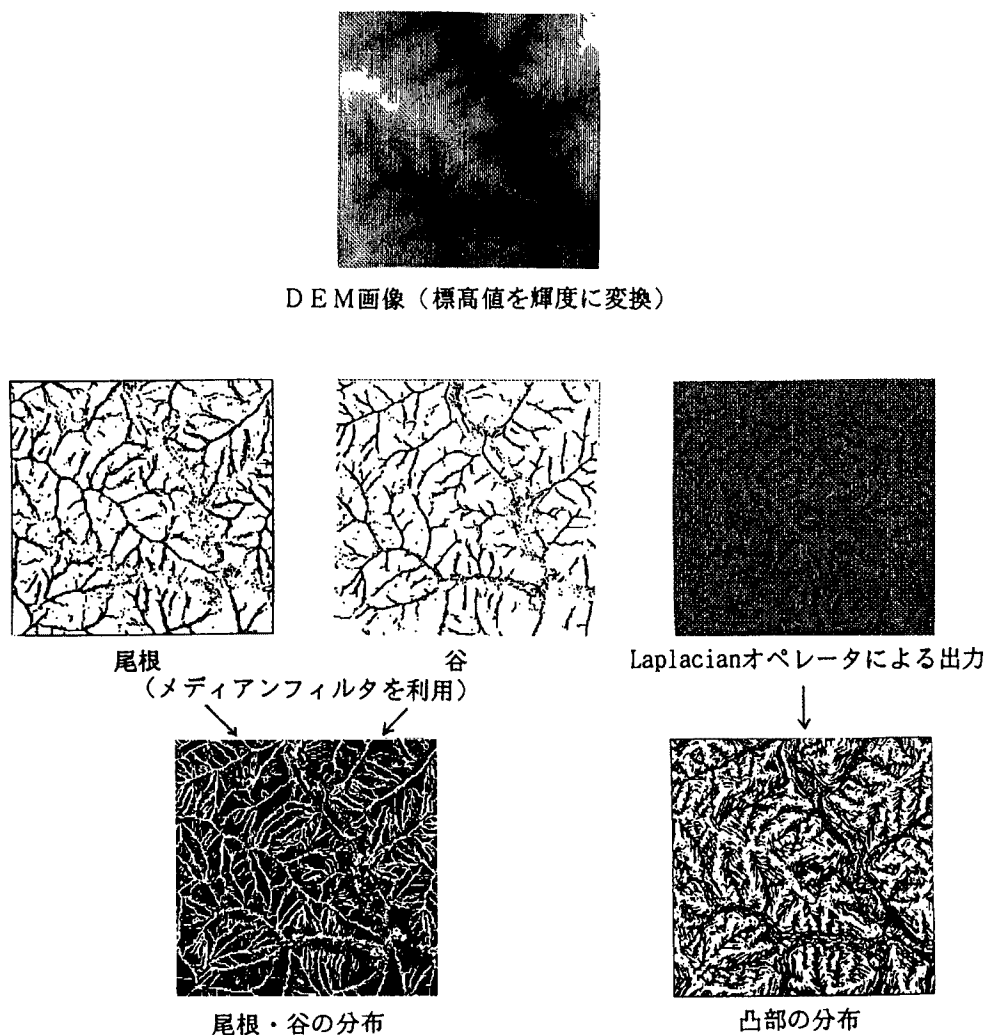


Fig. 5 Detection of ridges and valleys by the median filter and detection of convex features by the Laplacian operator.

4・8に相当する。しかし、実際は地形のスケールが大きく関わってくるため、一概に言えない。スケールの違いは主に傾斜量に現れると考えられる。なぜなら、DやEのように傾斜量あるいはスケールの大きい地形に現れるとは考えられない形もあるからである。CとDでは、どちらかと言えばDは区分3より区分7に現れると考えられる。もっと一般的に言って、区分1・5は凹凸の激しい凸型急・緩斜面に、区分2・6はのっぺりした凸型急・緩斜面に、区分3・7は凹凸の激しい凹型急・緩斜面に、区分4・8は平板的な急・緩斜面に現れると言える。

既存の地形分類図では、鉛直方向から撮られた空中写真で分類しているため、傾斜量の小さい地域ほど、傾斜量に対して相対的に細かく分類する傾向がある。これに対応するためには、Fig. 6の中段や下段のような、傾斜量が平均値より小さかった地域をもう一度8地域に分け直していく手法が有効である。最初に画素を黑白に分ける基準となる値は、画素の平均値を使うのが一般的であると思われるが、平均値を基準とした場合、どの色がどの地形に相当するかは相対的なものである。また、この区分法では、通常の地形分類手法と異なり、山地も台地も平野も、事実上同じ基準を元に区分する事になる。通常の地形分類手法では、山地は傾斜量で、丘陵は開析度で、台地は標高で色分けするというように、それぞれ異なったパラメータを用

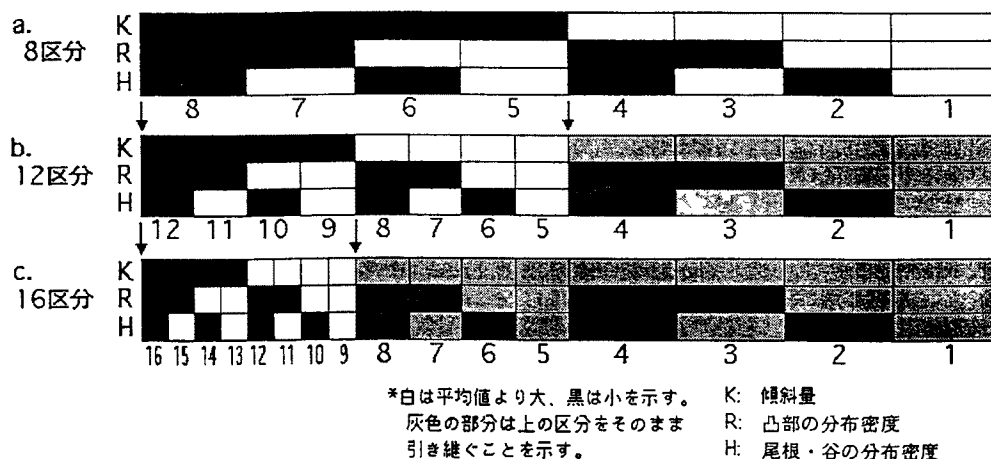


Fig. 6 Grouping of the pixels by the half-half dividing.

いて区分している事が多い。

3. 結果

本研究では、SunIP (Sun Microsystems), Adobe Photoshop 日本語版 (Adobe Systems Inc.), NIH Image Version 1.47. (公開ソフト)・Morpho Terra (da Vinci Consulting) を適宜使い分けながら作業を行った。16ビットのデータを扱える、フィルタリング機能がある、画像間の演算ができる、画素の平均値がマスク処理を用いて求められる、しきい値処理がマスク処理を用いて行える、色付けできる等の機能が以上のソフトで満たされたため、本論で述べた手法の画像処理はすべて既成ソフトのオペレーティングのみで行った。

3.1 阿蘇 (データ：2万5千分1地形図の等高線から作成した 25m グリッド DEM)

阿蘇火山は、世界的にも規模の大きい大カルデラ火山で、カルデラの外には火砕流堆積物が溶結凝灰岩となって広く分布し、カルデラ内は阿蘇谷・南郷谷と呼ばれる比較的平坦なカルデラ底に、高岳・中岳・烏帽子岳・杵島岳などの中央火口丘がある。古い火山岩からできた山である根子岳を加えて阿蘇五岳と呼ばれる。バラエティーに富んだ地形を含むため、形での相対的な区分がやりやすい地域である。

Fig. 7 は、DEM 画像から先に説明した3つの画像を作成し、2分法を応用して16区分したものである。この凡例では、1・5・9・13 (緑), 2・6・10・14 (赤), 3・7・11・15 (青), 4・8・12・16 (赤紫) など、Fig. 2 で同種のパターンを持つ画素の集合は、同色系で表現されている。まず、カルデラ壁は濃い赤紫が現れている。これは、急傾斜の開析された凹型斜面の分布を示している。赤紫はカルデラ壁とカルデラ底以外にはほとんど現れない。カルデラの北側に分布する薄緑の凹凸の激しい緩斜面は、火砕流が厚く堆積している部分とほぼ一致している。カルデラの西側に分布する青の部分は、基盤が浅いところまで来ている地域とほぼ一致する。Fig. 7 の中央火口丘の部分を大木・小林 (1987)¹²⁾ による阿蘇地域の地質図と対比すると、全体として、塩基性の溶岩の分布域やきわめて新しい溶岩の分布域には赤ののっぺりした凸型斜面が、酸性の溶岩の分布域には緑や青の凹凸の激しい斜面が分布することが分かる。特に、往生岳・米塚・杵島岳など玄武岩の分布する地域では、のっぺりした凸型斜面の分布が顕著に現れている。このように、阿蘇火山では、地質が地形に強く反映している。

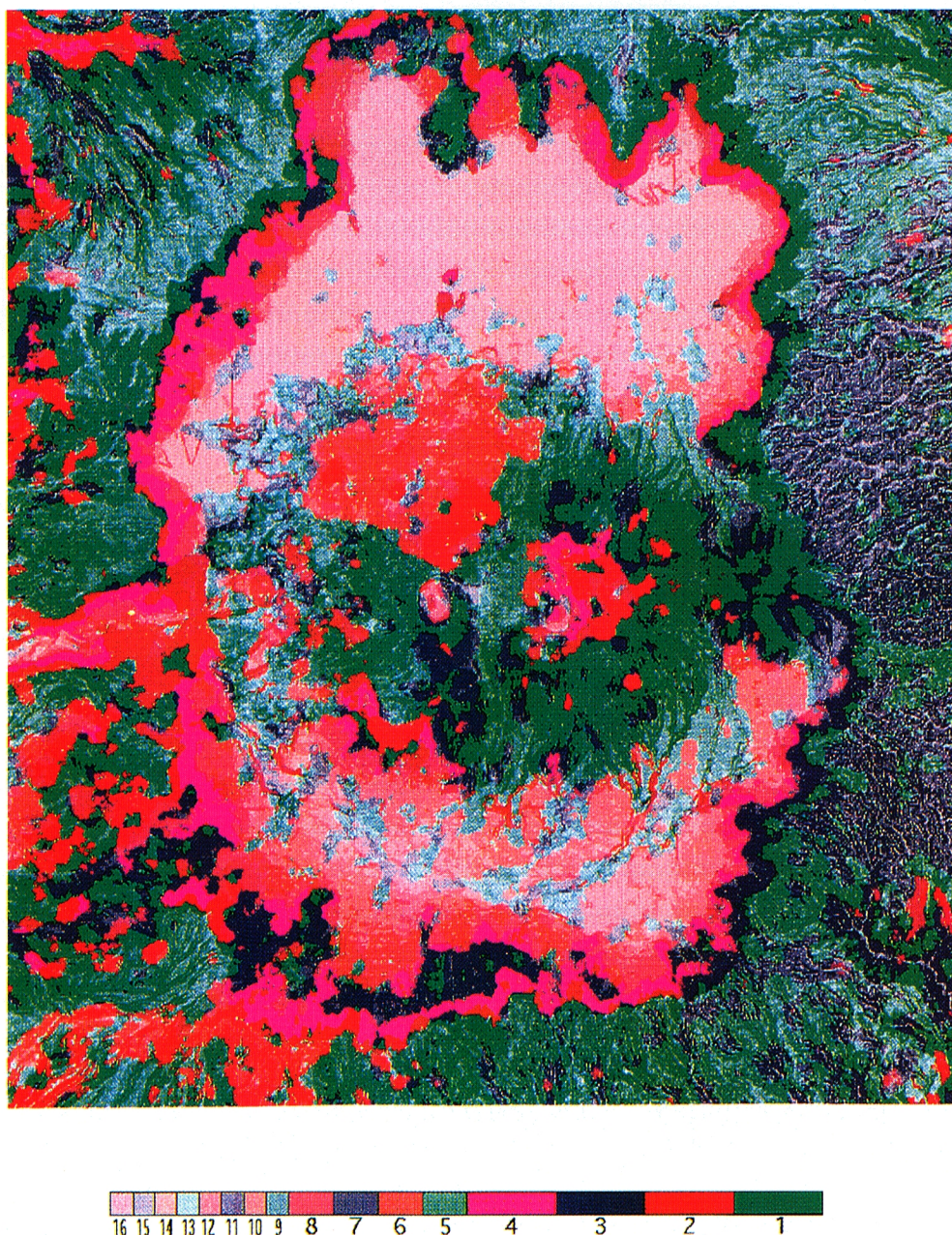


Fig. 7 Landform classification of the Aso Volcano area using DEM.

3.2 比良山（データ：2万5千分1地形図の等高線から作成した25mグリッドDEM）

比良山地は琵琶湖の西岸にそびえる最大標高約1200mの山地で、西縁に花折断層、東縁に比良断層で区切られた断層地帯であり、山頂部には小起伏平坦面が見られる。**Fig. 8**は比良山地の地形外観¹³⁾を示す。花折断層は横ずれ断層と考えられており、この地域では幅数100mの破碎帯が存在する¹⁴⁾。比良断層は逆断層と考えられており、山麓では土砂の生産が活発で、複合扇状地と天井川が発達している。中央部を北東に流れる鴨川下流には、段丘が発達している。V字型を呈するこの山地の中央から西側は古生層、東側は花崗岩が分布している¹⁵⁾。比較的狭い地域ながら、比良山地周辺には、山地・準平原・丘陵・台地・扇状地・

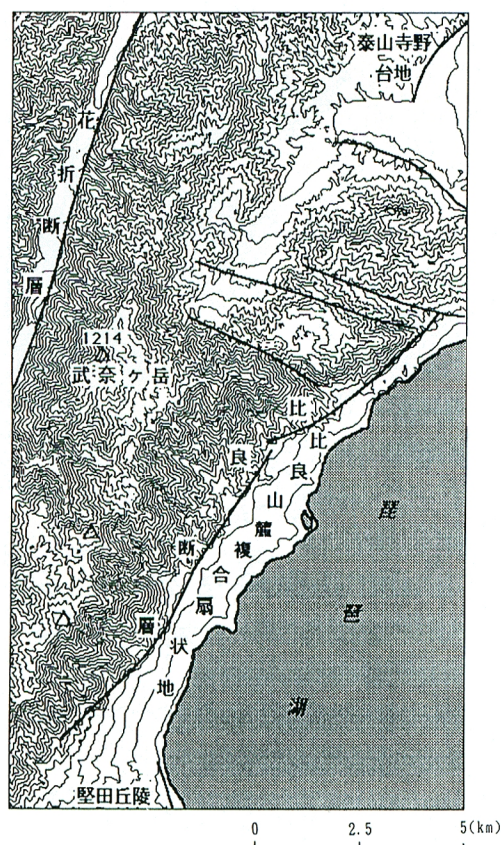


Fig. 8 An outline map of the Hira Mountains with a contour interval of 50m. Thick lines show the faults.

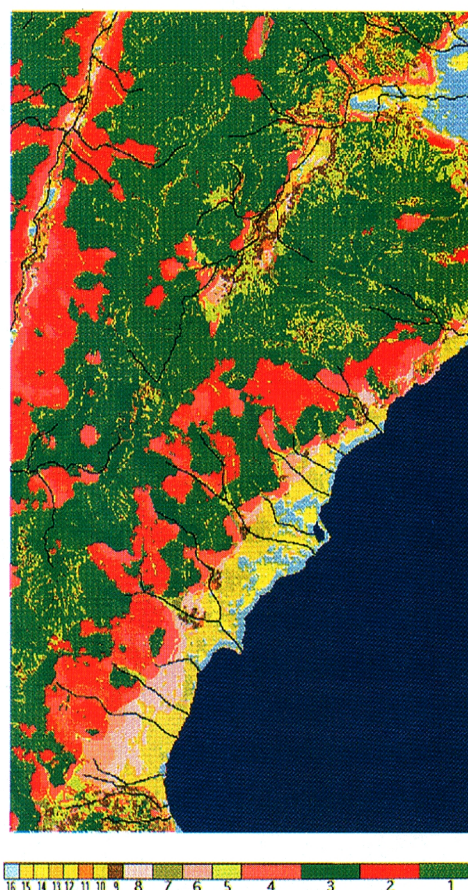


Fig. 9 Landform classification of the Hira Mountains using DEM.

断層地形・平坦地など、非常に多種多様な地形が見られ、2分法による分類がしやすい地域である。16区分した出力図を Fig. 9 に示す。この地域を傾斜量の平均を基準に2分すると、その境界線は山麓線にほぼ一致した。比良山地域では、区分1・5・9など、地形の凹凸において同種のものというよりは、むしろ、傾斜量と尾根・谷密度の似通ったひとつとばしの区分が隣接して現れるというはっきりした傾向がある。つまり、Laplacian オペレータの出力は結果にほとんど効いていないということである。ここでは、傾斜と尖ったエッジつまり尾根谷密度の大小によって分けられる2つのシーケンスが見られる。

Fig. 9 で非常に特徴的なのは、花折断層や比良断層の周辺に分布する赤色の区分2・4である。比良断層の周辺では、区分2・4のアーチ状の分布が見られるが、これは開析前線に相当する地域であり、崖が多く分布する。東側の山麓線にも区分2の赤色が細く分布し、扇状地と一致する区分10・12・14などののっぺりした斜面へと遷移していく。傾斜量中心の区分であるので、扇状地については扇頂部から数段階に分かれて表示される。泰山寺野台地や堅田丘陵に相当する地域には、区分9・11・13・15を中心とする凹凸の激しい緩斜面が分布する。山頂平坦面は余り明瞭でないが、区分5が特徴的に分布する。Fig. 9 を基に、既存の地形分類図¹³⁾と似通った図を作成することが可能である。Fig. 10 は、Fig. 9 の区分1～4をひとまとめにした後、その中で傾斜量大きい方から1/3に入る部分を急斜面として別の色で塗ったものである。Fig. 10 の区分5～16はFig. 9 と同じものであるが、国土地理院の地形分類図¹³⁾と凡例が合うよう色を替えてある。このようにして、従来の地形解析作業によって作られたのと同じ地形分類図を、コンピュータを

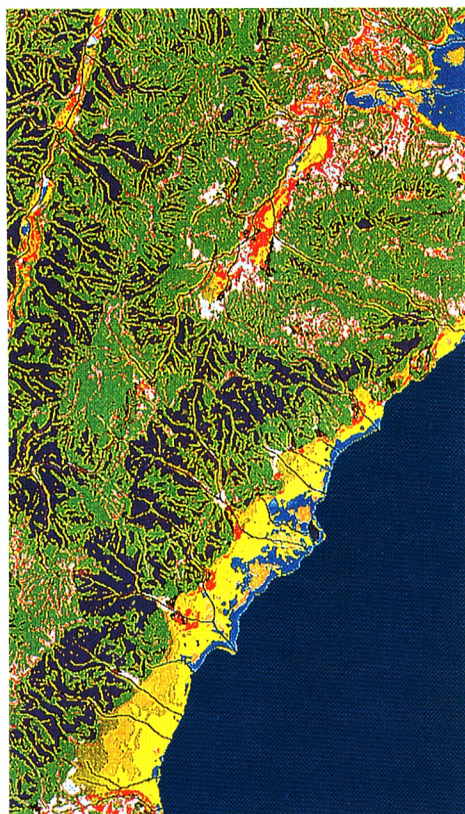


Fig. 10 Landform classification of the Hira Mountains. Categories and coloring of Fig.10 have been modified so as to compare with Fig. 12.



Fig. 11 Landform classification of the southern part of the Yatsugatake Volcano area using DEM.

用いて作ることができる。なぜこのような事が可能かという点、この地域では傾斜量の平均値つまり区分4と5の境界が山麓線に相当するからである。山地の傾斜量とそれ以外の傾斜量の間にはギャップが存在し、多様な地形を含んだ地域では、傾斜量の平均値が山麓線付近に来る事が多い。また、既存の地形分類図では、山地は傾斜量で、それ以外の地域については、主に形に関連したパラメータで区分されているため、**Fig. 10** がそれとよく一致するのである。扇状地間の微高地や低い段丘など微妙な地形変化がほとんど捉えられていないのは、使用したDEMの精度の限界による。

3.3 南八ヶ岳（データ：数値地図50mメッシュ（標高），グリッド間隔約50m）

数値地図50mメッシュ（標高）は、近年市販されている国土地理院のDEMで、2万5千分1地形図1面を、経緯度を元に200×200画素に分割したものである¹⁶⁾。八ヶ岳は、南北に多くの峰々が並んだ火山列であり、地理的にも地質構造上からも日本列島の中央を占める大火山体である¹²⁾。本研究では、南八ヶ岳とその周辺を区分した。南八ヶ岳の頂上部には、開析された古い山体が分布し、その中に網笠山など比較的新しい溶岩丘が噴出している。中腹から山麓にかけては、山麓砂礫層が分布し、なだらかな火山麓扇状地を形成している。南麓端には韭崎火山岩屑流の堆積物が分布する。対象地域の南東端には火山である茅ヶ岳の山麓、南西端には赤石山脈の一部と山麓の段丘、東側には野辺山が含まれる。この地域については山梨県に

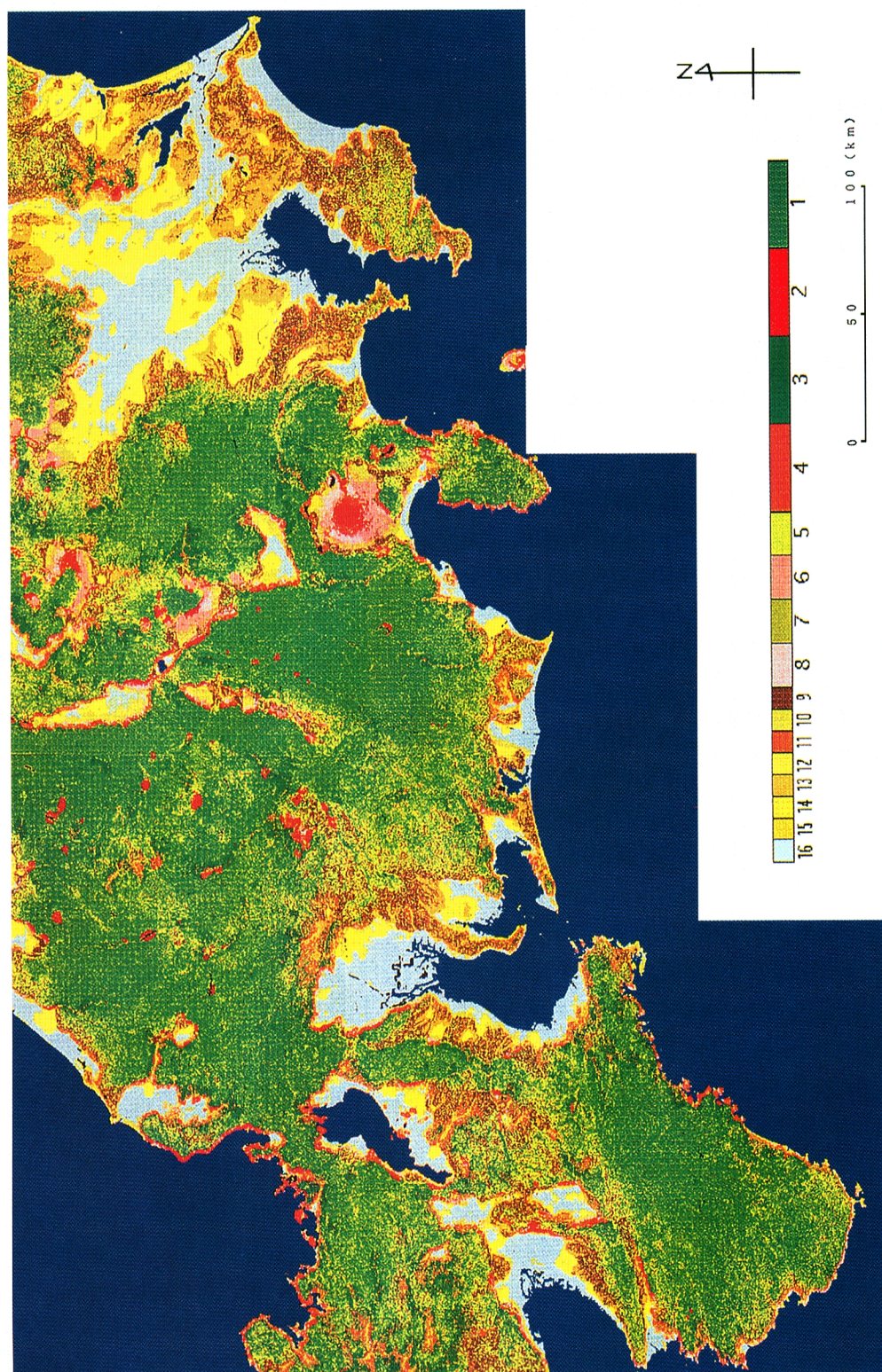


Fig. 12 Landform classification of the central part of Japan using DEM.

よる地形分類^{17), 18)}がある。また DEM を用いた地形分類を **Fig. 11** に示す。赤石山脈の一部と八ヶ岳の頂部の古い山体には区分 1・2・3 が分布する。野辺山はほとんど区分 3 で占められている。八ヶ岳頂部のうち、編笠山や谷筋の周辺には赤色の区分 2・4 が分布する。新期の扇状地には区分 6・8 が特徴的に分布している。

3. 4 中央日本 (データ: 国土数値情報, 約 250m グリッド)

国土数値情報は、現在の所、市販されている DEM の中で唯一全国をカバーしているものである。20 万分 1 地勢図 1 面が 320×320 画素で構成されるように、経緯度線を基に標高値がサンプリングされている¹⁹⁾。**Fig. 12** は、関東から近畿地方にかけての地域を前述の手法で 16 区分したものである。作業地域が非常に広範囲で、多種多様な形の地形を含むため、本論の区分法の長所・特徴を模式的に示す結果となった。地域全体を傾斜量の平均値を基準として 2 分すると、その境界線は比良山地の場合と同様、山麓線にほぼ一致した。その値は約 6 度である。傾斜量はグリッド間隔が広がるほど小さくなる傾向があるので、この値は現実よりかなり小さいものと思われる。

Fig. 12 でも、傾斜量と尾根・谷密度が似通ったひとつとばしの色が隣接して現れるはっきりした傾向が見られる。やはり傾斜量と尾根・谷密度による 2 つのシーケンスがあることを示している。1 番目のグループは区分番号が奇数のもので、傾斜量の大きいものから順に、山地 (1・3) — 小起伏山地 (5) — 丘陵 (7・9) — 開析の進んだ台地面 (11・13・15) と移り変わっていく地域である。2 番目のグループは区分番号が偶数のもので、活火山の頂部 (2) — 火山麓扇状地 (4・6・8・10) — 一般の扇状地 (12・14) — 沖積平野 (16) と移り変わっていく地域である。偶数の色が傾斜量の大きいものから順に連続して出てくる部分は、崖錐性の地形であり、富士山・浅間山や伊那谷に良い例が見られる。これらは、全体として、堆積域であると考えられる。例外的なのは、筑波山の周辺と中津川北方の花崗岩地域である。また、偶数の色を示す画素の中には、エラーに準ずるような地域もある。海や平坦地などのっぺりした部分と接している地域は、すべて細い線状に偶数の区分が分布している。それは、凹凸の密度を求める際に 21×21 画素の範囲で演算を行っているために出た、ダブりの部分だと考えられる。ただし、海岸沿いに出てくる部分のうち、伊豆半島や若狭湾のように、急傾斜の区分 2・4 が分布する地域は、一般の山地と海が接していることを示しており、海食崖の分布域と似通っている。また、内陸に出てくる細い線状の区分 2・4 は、その部分に急激な地形の変化があることを示し、断層 (特に逆断層) との関連が示唆される。

4. 考 察

本論の手法は、対象地域を形によって相対的にグループ分けする手法であり、各地形区分 (山地・丘陵・段丘など) の形がそれぞれ異なると設定しているほか、通常別のパラメータを使用している部分を同じパラメータで一括して処理しているため、既存の地形分類図とは多少異なる部分が出てくる。また、区分線は、地域内での相対値を元に引かれるため、単純な形態しか含まない地域では、本来の地形境界線とかけ離れた所で色分けされる可能性がある。これは、傾斜量の平均値が山麓線に一致する地域で非常によい結果が出る事から、逆に類推できる。これを防ぐためには、区分 4 と 5 の境界を、地域の平均傾斜量ではなく山地とそれ以外を分ける傾斜値に設定すればよい。しかし、先に述べたように、たとえ同一地域でも、DEM 間隔が異なれば傾斜量は変わってくる。さらに、相対的な要素を排除して「どの地域でも変わらない区分」を目指すとなると、地形区分の定量化という問題につながってくる。それはそれで非常に魅力的な題材ではあるが、時間的な問題から、今回は断念した。

次に技術的な側面について述べる。標高値を表現し、簡単な演算を行うためには、1 画素あるいは 1 データにつき最低 16 ビット (65536 階調) のメモリが必要である。しかし、パソコンクラスの画像処理ソフトでは、16 ビットのデータを読み込むと同時に 8 ビット (256 階調) に圧縮してしまう事が多い。一見 16 ビ

ットのまま画像処理が行われているように見えても、バッファではデータが256階調になってしまうのである。このような理由から、使用ソフトの性能によって、地形区分の結果にかなり差が出ることがある。ソフトが16ビットに対応していない時の問題は、主にメディアンフィルタで尾根・谷を検出する際に起こる。データレンジの圧縮により、微妙な凹凸が間引かれ検出されなくなるのである。その結果として、中間値フィルタの反応のみによって判別している地形、例えば、本論の Fig. 11 においては台地面に相当する地域などが、区分しにくくなる。この問題点を解決するためには、16ビット以上のデータに対応する画像処理ソフトを利用する事が必要である。しかし、コスト上の制約からそれ以下のものを利用しなければならない場合もあると思われ、そのような時は、市販ソフトだけでなく、ある程度自作プログラムで処理する必要がある。

本研究では国土地理院作成の2万5千分の1地形図から作成したDEMを用いた。これらのデータは、隣接図幅のつなぎ合わせを意識して経緯度のグリッドで標高点を読んでいる。そのため、グリッドの縦横の大きさは、横が長い。また、南の方と北の方ではグリッドの大きさが異なることになる。したがってここで用いた各種のフィルタの出力値にはいくらかの誤差またはゆがみが出てくるはずであるが、今回はそれを補正していない。この問題は、緯度範囲が広い地域について微妙な地形特徴の違いを判別する場合や、地形の方向異方性を問題を検討する場合には放置できないが、今回扱った地域については、地形量の統計分布の範囲が十分広いので、地形分類上ほとんど問題にはならないと考えられる。

5. 結 論

DEMを白黒濃淡画像化し、画像処理的手法で地表形態の特徴を表示してグループ分けする事により、地形分類の概査的な図を作成することができた。そのような図は調査地域の概観を知るのに役立つ他、作業の省力化・個人差の縮小にも役立つと思われる。また、出力図から逆に、従来の地形分類が数値的に見てどのようなものであるのか知ることできる。DEMの標高点間隔によるスケールの違いはあるが、さまざまな地形を含む地域を本論の手法で区分した場合、Fig. 13のような、尾根谷密度の大小によって区別される2つのシークエンスにまとめることができる。

尾根谷密度 傾斜	大	小
	大	小
大 ↑ ↓ 小	一般の山地	急峻な火山地形
	丘陵地	扇状地（火山麓扇状地を含む）の頂部
	開析された段丘面	扇状地の中央部・開析扇状地
	段丘面	扇状地の末端部・新期の扇状地 沖積平野

Fig. 13 Classification of landforms by two parameters (inclination and the frequency of ridges and valleys) as revealed to be fundamental by this study.

謝 辞

本研究は、国土地理院より京都大学防災研究所に国内留学中に行ったものである。研究の場を与え、指導して下さった地形土壌災害部門の奥西一夫教授と、いつもゼミなどでご討論頂いた同部門の皆様に深く感謝する。また、大阪市立大学文学部の平野昌繁教授・神戸大学工学部の沖村孝教授をはじめ、多くの方にご助言を頂いた。国土地理院地理調査部地図編集課の大井信三技官には、ソフトの使用法についてご教示頂いた。地理調査技術開発室の水越博子技官には、データの転送やプリントアウトなど様々なご助力を頂いた。

参考文献

- 1) 平野昌繁・横田修一郎：西南日本に例をとった電子計算機による地形数値解析。地理学評論，第 49 巻第 7 号，1976，pp.440～454.
- 2) 海老塚正朗・平野昌繁：数値地図に基づく和泉山脈西部の地形数値解析。地形，第 9 巻第 3 号，1988，pp.179～192.
- 3) 山田昌一：微細地形解析に関する森林立地学的研究。林野共済会，1955，281p.
- 4) 大石道夫：目で見る山地防災のための微地形判読。鹿島出版会，1985，267p.
- 5) 沖村孝：地形特性値と地形区分・表土層厚の関係—仙台入菅谷地区を例として—。土地造成工学研究施設報告，第 9 号，1991，pp.19～39.
- 6) J.M.S. Prewitt, J. M. S.: Object Enhancement and Extraction. Picture Processing and Psychopictorics, Academic Press, 1970, pp.75～149.
- 7) 鳥脇純一郎：画像理解のためのデジタル画像処理 I. 昭晃堂，1989，181p.
- 8) Frei, W. and C.C. Chen: Fast Boundary Detection: A generalization and a New Algorithm. IEEE Transactions on Computers, Vol. C-26, NO.10, 1977, pp.988～998.
- 9) 手塚慶一：デジタル画像処理工学。日刊工業新聞社，1985.
- 10) Da Vinci Consulting S.A.: MORPHOTERRA ユーザーズマニュアル，1990.
- 11) 平野昌繁：六甲山地の数値地図と斜面発達モデルにもとづく地形変化速度の一評価法。地形，第 4 巻第 2 号，1983，pp.241～249.
- 12) 大木靖衛・小林忠夫：日本の火山。平凡社，1987，113p.
- 13) 建設省国土地理院：土地条件調査報告書（琵琶湖地区），1986，150p.（付図として 2 万 5 千分 1 土地条件図「北小松」）
- 14) 東郷正美：1662 年寛文地震。琵琶湖西岸～三方五湖付近の活構造巡検案内，1992，pp.2～31.
- 15) 水山高幸，池田碩，大橋健：琵琶湖周辺の地形。琵琶湖国定公園学術調査報告書，1971，54p.
- 16) 建設省国土地理院：数値地図表示・閲覧ソフトウェアマニュアル—数値地図 50m メッシュ（標高）. 国土地理院技術資料 E・1— NO. 222, 1993, 9p.
- 17) 山梨県：土地分類基本調査「韭崎・市野瀬」，1986.
- 18) 山梨県：土地分類基本調査「八ヶ岳・金峰山・高遠」，1992.
- 19) 国土庁計画調整局・建設省国土地理院：国土数値情報。大蔵省印刷局，1988，130p.