

# 数値等高線データを用いた斜面計測手法 Geomorphometric measurement using digitized contour data

地理地殻活動研究センター 水越博子

Geography and Crustal Dynamics Research Center Hiroko MIZUKOSHI

筑波大学地球科学系 安仁屋政武

Institute of Geoscience, University of Tsukuba Masamu ANIYA

## 要 旨

国土地理院では、1999年までに、日本全国をカバーする50m間隔の標高グリッドデータ「数値地図50mメッシュ(標高)」を刊行した。勾配や方位の計算や地形変化量の見積もりを容易に行うことができる標高グリッドデータは、数値標高モデル(DEM: Digital Elevation Model)の中で最も一般的である。しかし、様々なDEMの活用を検討することも、重要な課題の一つである。ここでは、ベクター型の等高線データ(以下、数値等高線データと呼ぶ)を用いた数値地形計測の手法について紹介する。

## 1. はじめに

山地地域では、崩壊、地すべり、岩屑なだれのようなマス・ムーブメントにより引き起こされる斜面災害が一般的であり、また、冬には、雪崩なども深刻な被害をもたらすことがある。重力によって生じるマス・ムーブメントの経路は、地表面の形状によって左右される。このような災害の発生箇所や被害範囲の予測のためには地形分類が有効であり、その項目には、勾配、斜面方位、斜面型(図-1)、傾斜変換線、形成年代、標高などが挙げられる。また、地形分類図を、地質、土壌、植生、人間活動などの要素と組み合わせることにより、ハザードマップが作成される。

例えば、Aniya (1985) は、富士川支流の雨畑川周辺における崩壊危険度図作成のために、勾配、植生、斜面の水平断面形と垂直断面形などの10要素を用いて統計解析を行い、危険度を表すには斜面の水平断面形と勾配と斜面方位が重要であることを示した。また、Dikau (1990) は、ドイツ南西部で降雨による崩壊を調査した結果、斜面型に注目すると谷型斜面(水平断面形)と凹型斜面(垂直断面形)に崩壊が集中し、勾配に注目すると特定の範囲(Dikau (1990)の研究地域では9°~13°)の斜面に崩壊が集中することを示し、降雨による崩壊の発生が斜面型や勾配と深く関わっているという結論に達した。

近年、DEMを用いた数値地形解析が広く行われるようになった。Moore et al. (1991) は、グリッドデータとTIN (Triangulated Irregular Network) と数値等高線データという三種類のDEMについて議論を行い、地形

属性を見積もるために最も有効な構造のDEMは、一般的に、グリッドデータであると述べている。しかし、その後、Moore et al. (1993) は、水文学的解析にとって、数値等高線データは、グリッドデータよりも抜きん出ていることを指摘した。Weibel and Brändli (1995) は、全ての要素において、最も優れているDEMのデータ構造は存在しないという見解を示している。Chou (1992) は、数値等高線データが無駄のない構造であることを強調し、三種類のDEM構造の比較研究を行った。数値等高線データを使う利点は、徐々に認められつつあるが、コンピュータでの計算が難しいことから、これまで、地形解析への応用が限られてきた。しかし、近年のコンピュータ技術の発展により、大量のデータを用いて複雑な計算を行うことが容易になり、数値等高線データを活用する道が開かれた。

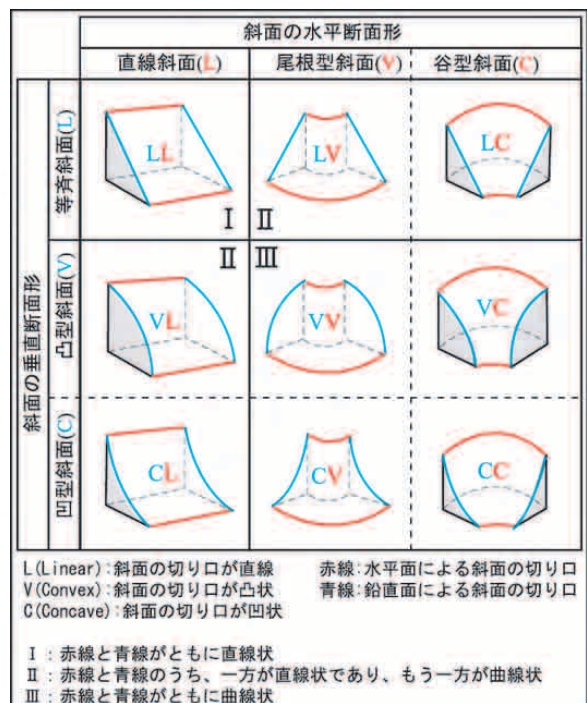


図-1 斜面型の分類(Dikau (1990)を一部改)

本稿では、数値等高線データを用いた地形計測のアルゴリズムC-BATM (Contour-Based Automatic Terrain Mapping) およびC言語で書かれたC-BATMを用いて、東北地方の白神山地において、数値地形計測を行った結果を紹介する (Mizukosi and Aniya, 2002)。C-BATMは、数値等高線データに沿って斜面の水平断面形を分類するアルゴリズム、数値等高線データから落水線を発生させるアルゴリズム、落水線に沿って勾配や斜面方位を計算するアルゴリズム、落水線に沿って斜面の垂直断面形を分類するアルゴリズムから成る。

2. 標高グリッドデータの特徴

地形の統計解析や量的解析に最もよく使われるグリッドデータは、空中写真などから直接作成する手法と数値等高線データから内挿して作成する手法のいずれかで作られることが多い。また、近年は、合成開口レーダ (SAR) の干渉を用いるリモートセンシング (Genz and Genderen, 1996) やレーザスキャナ (Ackermann, 1996) を用いてDEMを作成する方法も開発されている。しかし、等高線は今でも広く利用され、DEM作成の基データとして使われており (Wise, 2000)、数値等高線データから内挿処理により得られた標高グリッドデータの精度と、その精度が地形解析や水文解析の結果に及ぼす影響については、多くの研究が行われている (例えば、Weibel and Heller, 1991; Lee et al., 1992; Moore et al., 1993; Robinson, 1994; Weibel and Brändli, 1995; Wise, 1998; Wise, 2000)。

数値等高線データには、基の等高線の誤差と数値化によって生じた誤差が含まれている。数値等高線データから作られたグリッドデータには、さらに、内挿による誤差が生じる。つまり、数値等高線データから作られたグリッドデータの精度は、基の等高線の精度を超えることはできない。また、勾配や斜面方位のような地形計測を行うために、多くのアルゴリズムが開発されているが、使用するアルゴリズムにより、同じデータを用いても得られる結果は変化する (例えば、Skidmore, 1989; Guth, 1995; Wise, 2000)。

標高グリッドデータには、グリッドデータ特有の問題も存在する。例えば、標高グリッドデータを用いて勾配を計算する場合、任意のグリッドにおいて、そのグリッドを囲む3×3や5×5グリッドの計算領域を用いて、最大勾配あるいは平均勾配などを算出することが多い。このとき、計算領域の地形を考慮して、尾根を含む計算領域では、常に尾根の勾配、または、常に尾根以外の勾配を計算するという設定は不可能である。そのため、尾根や谷の入り組んだ山地斜面で勾配を計算するとき、地形的意味の異なる計算値を区別できない場合がある。この問題は、グリッド間隔を小さくすることにより、ある程度軽減できるが、完全に排除することはできない。

グリッドの処理では、グリッド間隔に加えて、グリッ

ドの高さの精度も考慮する必要がある。例えば、与えられた点の高さの精度が2mであるとき、サンプリングされたグリッドの間隔が50mであるか25mであるかは、計算結果に大きな影響を与える。グリッド間隔が25mであるときは、50mであるときに比べて尾根や谷を含む計算領域の数は明らかに減少するが、計算される値は、50m間隔のグリッドデータを用いた計算値よりも大きな誤差を含むことになる。

数値等高線データの場合も、与えられた縮尺と標高間隔に関して似たような問題があり、基となる等高線もまた、

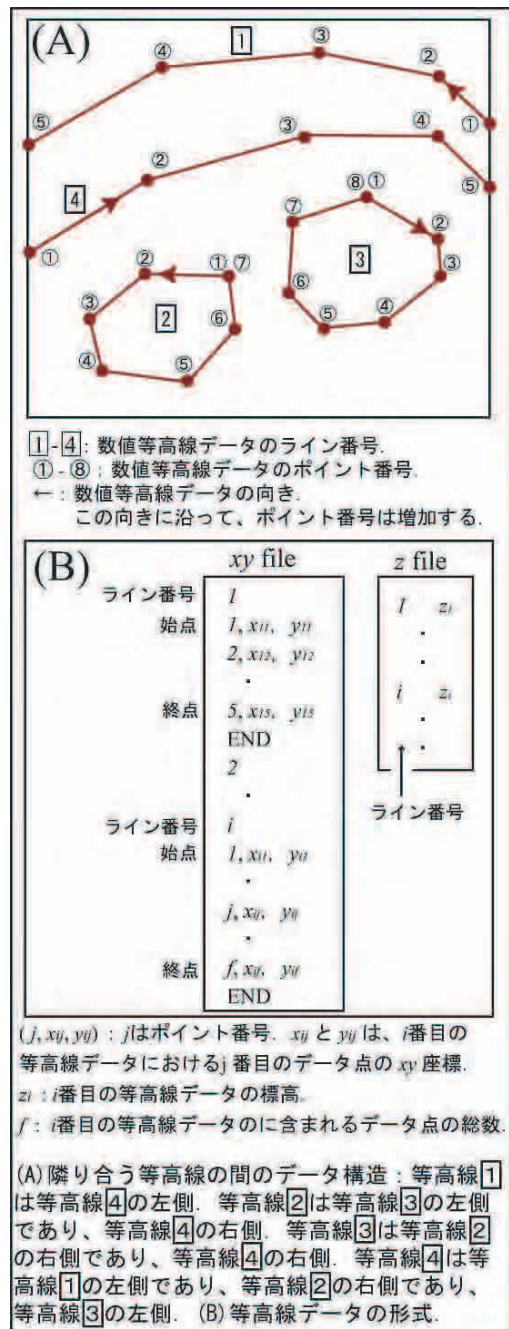


図 - 2 等高線のデータ構造と形式

谷や尾根を正確に描写していない可能性がある。水越・安仁屋(2000)は、標高グリッドデータと数値等高線データの違いを挙げている。しかし、等高線は、等高線の形状が地表面の形態を表現するという利点を持つ(Mark, 1986; Robinson, 1994; Wise, 2000)。

### 3. 数値等高線データ

数値地図50mメッシュ(標高)は1:25,000地形図の等高線を用いて作成された。等高線はスキャナで読み込まれ、ベクター化された後、内挿法によって、50m間隔の標高グリッドデータに変換された。本研究では、これらのベクター化された等高線を用いた。しかし、このデータは、最終成果である50m間隔の標高グリッドデータを作成するための中間データであり、多少のエラーを含むことから、手作業による修正を行う必要がある。

等高線のベクターデータは、標高や各等高線のデータ点の数という情報を持つが、隣り合う等高線との相対位置などの情報は持たない。これらのデータは、IGES形式に変換した後、ARC/INFOに読み込ませた(以下、本手法に用いる数値等高線データを等高線データと呼ぶ)。本手法では、各等高線データにライン番号を、等高線データの各データ点にポイント番号を与え、ポイント番号が大きくなる向きに沿って、等高線データの向きを定義した(図-2)。各データ点は、ライン番号とポイント番号によって特定され、XYZ座標も唯一に決まる。等高線データは、ライン番号と各データ点のxy座標値から成るテキストファイルと各等高線の標高値から成るテキストファイルの形に保存した(図-2B)。また、本手法では、隣り合う等高線データの相対位置の関係は、等高線データの向きを用いて表現した。

### 4. アルゴリズムC-BATM

#### 4.1 落水線の作成 (Program FL)

落水線は等高線と直交しながら、最大傾斜方向へ下る線であり、尾根や谷とは決して交差しない。この落水線の作成は、C-BATMの基本となる処理であり、次の手順により、等高線データの全データ点からの落水線を得ることができる。

#### 手順1. 落水線データの作成開始

ライン番号が最も小さい等高線データの最初のデータ点から落水線データの作成を開始する。等高線データM(標高 $E_M$ )のデータ点mから、次の手順で、落水線を作成する。mを落水線の線分作成のための起点とする。

#### 手順2. 等高線とデータ点の選択

まず、等高線データMより標高が1ランク低い等高線データを全て選び、これらの等高線データのデータ点のうち、起点mの半径R以内に存在するデータ点を選択点とする。半径Rは研究地域に対して選ぶものであり、等高線密度を考慮して、試行錯誤で選ぶ。山地地域を対

象とする本研究では、 $R=150m$ (1:25,000地形図上では6mm)とした。Rの選択は、計算時間に影響する。半径R以内に選択点が存在しない場合は、起点mが落水線データの終点となる。この場合は手順1に戻り、mの次のデータ点(m+1)を起点mとして、手順2へ進む。

#### 手順3. 起点と各選択点との距離の計算

起点mと手順2で選ばれた各選択点との間の距離を計算し、起点mへの距離が最も短くなるような選択点を選ぶ。選ばれた選択点を $t_1$ とし、 $t_1$ を含む等高線データをTとする(図-3A)。

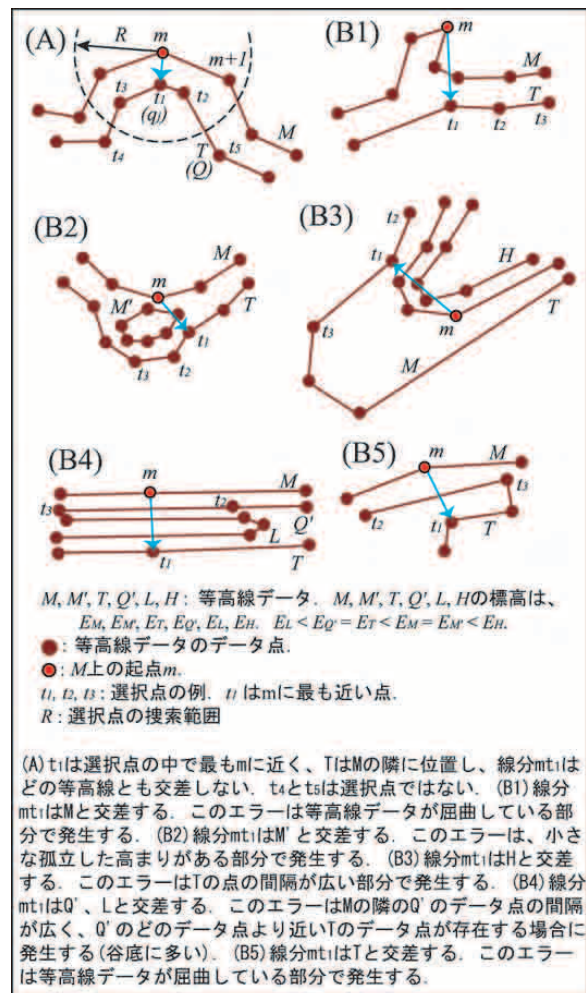


図-3 点 $q_j$ の搜索と決定

#### 手順4. 標高が低い、隣の等高線データの点の選択

まず、起点mの半径R以内に存在するデータ点それぞれについて、各点を含む等高線の線分を選ぶ(これらの線分を、以後、仮線分と呼ぶ)。これらの仮線分を用いて、等高線データTが等高線データMの隣に存在するかどうかを調べる。TがMの隣の等高線データであるならば、線分 $mt_1$ はどの仮線分とも交差することはない(図-3A)。このとき、TをQ、 $t_1$ を $q_j$ とし、手順5へ進む。

もし、線分  $mt_1$  が仮線分と交差するときは (図 - 3, B1 - B5),  $t_1$  を放棄し、手順 3 に戻り、 $t_1$  の次に起点  $m$  に近い点  $t_2$  を選び、手順 4 に進む。もし、全ての選択点 ( $t_1$  から  $t_n$ ) を用いても  $Q$  を決定できない場合は、起点  $m$  を落水線データの終点とする。このとき、手順 1 に戻り、 $m$  の次のデータ点 ( $m+1$ ) を起点  $m$  として、手順 2 へ進む。

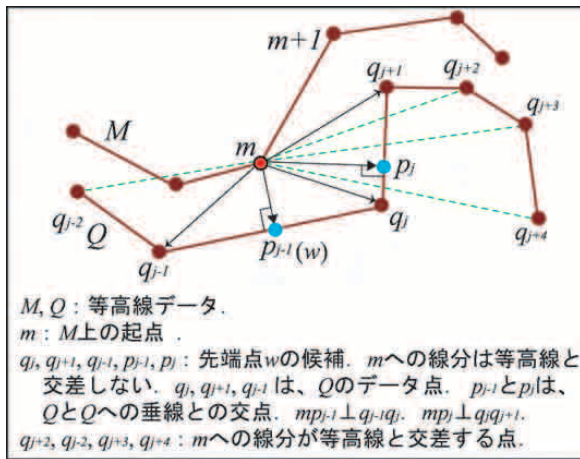


図 - 4 先端点  $w$  の候補を探す手順

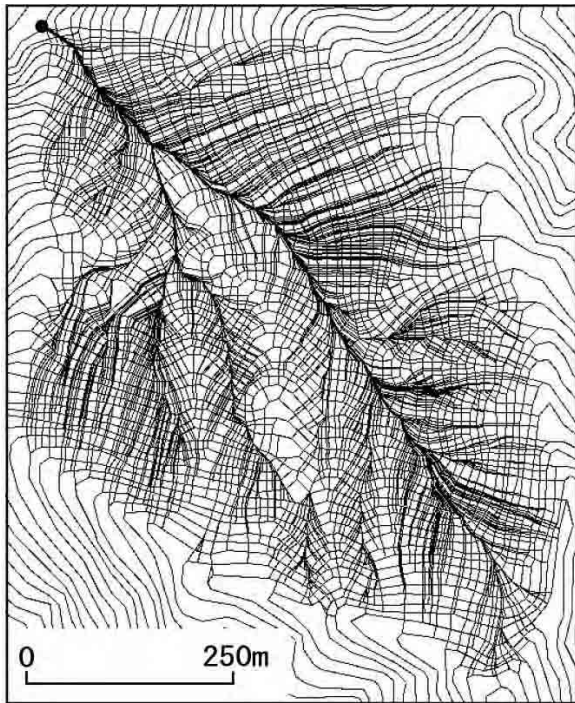


図 - 5 同じ終点 (図中 印) を持つ落水線

手順 5 . 落水線の線分の決定

落水線の線分  $mw$  (点  $w$  は  $Q$  上の点であり、落水線の線分の先端点) を決定する。この線分  $mw$  は勾配、斜面方位、斜面型を計算するために用いられる。

等高線データ  $Q$  のデータ点  $q_{j-5}$  から  $q_{j+5}$  までの中から、

先端点  $w$  の候補点を探す。データ点の範囲は、等高線の複雑さに応じて変更する。線分  $mq_{j-5}$  が仮線分と交差しない場合は、 $q_{j-5}$  を先端点  $w$  の候補点とする。残りのデータ点 ( $q_{j-4}, q_{j-4}, \dots, q_{j+5}$ ) に対しても、同じ処理を繰り返す。

次に、仮線分に対する垂線を調べる。データ点  $q_j$  と  $q_{j+1}$  を通る線に対し、起点  $m$  から垂線を下ろし、その交点  $p_j$  が仮線分  $q_jq_{j+1}$  上に存在するかどうかを調べる。交点  $p_j$  が仮線分  $q_jq_{j+1}$  上の点であり、かつ、線分  $mp_j$  が仮線分と交差しない場合に、 $p_j$  を先端点  $w$  の候補点とする。  $q_{j-5}$  から  $q_{j+5}$  までの各仮線分に対しても同じ処理を繰り返す。

先端点  $w$  の候補点全ての中から、起点  $m$  に最も近い点を先端点  $w$  として選ぶ (図 - 4 では、 $mp_{j-1}$  が最短となる)。等高線データ  $Q$  の点  $w$  を、等高線データ  $M$  の点  $m$  に置き換え、手順 2 に戻り、落水線の終点に到達するまで、落水線を下方へ延長していく。

落水線のデータは基の等高線データとは別のファイルに保存される。図 - 5 は、同じ終点を持つ落水線の例である。

4.2 隣り合う等高線の相対位置の把握 (Program TPGY)

斜面の水平断面形の分類を行うためには、等高線が、標高の高い側と低い側のどちらに向かって突き出ているのかを知る必要がある。つまり、等高線データ  $M$  の隣に存在し、かつ、標高が異なる等高線との位置関係を知る必要がある。Program TPGY は、落水線の線分を利用して、等高線の位置関係の把握するためのプログラムである。

チェック 1

等高線データ  $M$  のデータ点  $m_j$  において、 $M$  の隣に位置し、かつ、 $M$  より標高が低い等高線データ  $K$  を探す。次に、等高線データ  $K$  が  $M$  の左右どちらの側に位置するかを調べる。

Program FL を用いて、データ点  $m_j$  を起点として等高線データ  $K$  への最短距離の線を引き、この線と  $K$  との交点を  $k$  と呼ぶ。もし、点  $k$  が存在しない場合は、 $K$  の位置を判断できないため、 $m_j$  の次のデータ点  $m_{j+1}$  を用いて判定を行う。

データ点  $m_j$  から点  $m_{j+1}$ ,  $m_{j-1}$ ,  $k$  までのベクターをそれぞれ  $\alpha, \gamma, \beta$  とし (図 - 6),  $x$  と  $y$  の値のみを用いて ( $z=0$  とする), 外積  $\gamma \times \beta$  と  $\beta \times \alpha$  を計算する。  $\gamma \times \beta > 0$ , かつ、  $\beta \times \alpha > 0$  である場合は、点  $k$  は等高線データ  $M$  の右側に位置し、図 - 6 のように、等高線データ  $M$  の右側が低くなる。また、  $\gamma \times \beta < 0$ , かつ、  $\beta \times \alpha < 0$  である場合は、点  $k$  は等高線データ  $M$  の左側に位置し、等高線データ  $M$  の左側が低くなる。 1)  $\gamma \times \beta > 0$ , かつ、  $\beta \times \alpha < 0$ , 2)  $\gamma \times \beta < 0$ , かつ、  $\beta \times \alpha > 0$ , 3)  $\gamma \times \beta = 0$ ,

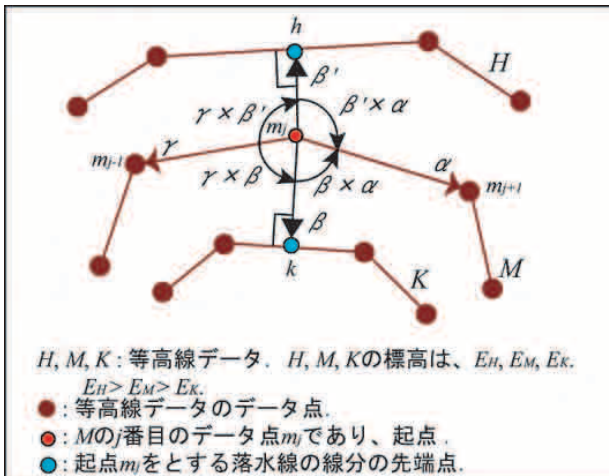


図 - 6 等高線データMとMの隣の等高線データの関係

4)  $\beta \times \alpha = 0$ のいずれかである場合は、点kを用いてKの位置を判断することはできない。

チェック2

Mの隣に位置し、かつ、Mより標高が高い等高線データHを用いて、チェック1と同様の処理を行い、等高線データHがMの左右どちらの側に位置するかを調べる。

Program FLを用いて、データ点 $m_j$ から等高線データHへの最短距離の線を引き、この線とHとの交点をhと呼ぶ。もし、点hが存在しない場合は、Hの位置を判断できないため、 $m_j$ の次のデータ点 $m_{j+1}$ を用いて判定を行う。

データ点 $m_j$ から点hまでのベクトルを $\beta$ とし、xとyの値のみを用いて( $z=0$ とする)、外積 $\gamma \times \beta$ と $\beta \times \alpha$ を計算する(図-6)。  $\gamma \times \beta < 0$ 、かつ、 $\beta \times \alpha < 0$ である場合は、点hは等高線データMの左側に位置し、図-6のように、等高線データMの左側が高くなる。また、 $\gamma \times \beta > 0$ 、かつ、 $\beta \times \alpha > 0$ である場合は、点hは等高線データMの右側に位置し、等高線データMの右側が高くなる。1)  $\gamma \times \beta > 0$ 、かつ、 $\beta \times \alpha < 0$ 、2)  $\gamma \times \beta < 0$ 、かつ、 $\beta \times \alpha > 0$ 、3)  $\gamma \times \beta = 0$ 、4)  $\beta \times \alpha = 0$ のいずれかである場合は、点hを用いてHの位置を判断することはできない。

等高線データMと隣の等高線データとの位置関係を確認するために、データ点( $m_j = m_{j+1}, m_{j+2}, \dots$ )を変えながら、チェック1と2を繰り返す。Program TPGYは、各等高線データの二番目のデータ点(状況に応じて可変)から上述のチェックを開始し、データ点を変えながら、三回(状況に応じて可変)、同じ位置関係が認められたとき、その位置関係を正しいと判断した。

4.3 勾配と斜面方位

勾配と斜面方位を計算するための単位は、落水線の線分 $w_j w_{j+1}$ である(図-7)。勾配 $\varepsilon_j$ は線分 $w_j w_{j+1}$ と水平

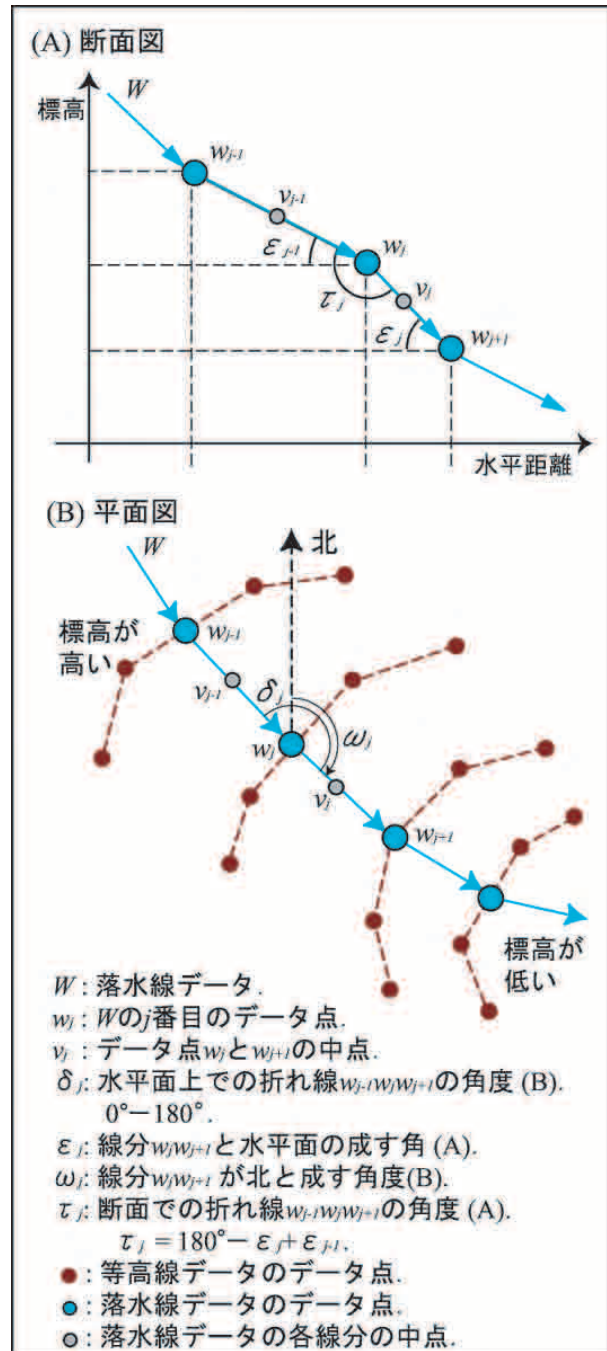


図 - 7 落水線データの線分による地形属性

面が成す角であり(図-7A)、斜面方位 $\omega_j$ は、北と線分 $w_j w_{j+1}$ が成す角である(図-7B)。角 $\varepsilon_j$ と $\omega_j$ は、地形属性として、落水線の線分 $w_j w_{j+1}$ に付与される。

4.4 斜面の垂直断面形

斜面の垂直断面形は連続する二つの落水線の線分 $w_{j-1}w_j$ と $w_jw_{j+1}$ が成す角度 $\tau_j$ を用いて、分類することが出来る(図-7A)。角 $\delta_j$ ( $0^\circ < \delta_j < 180^\circ$ )は、落水線の線分 $w_{j-1}w_j$ と $w_jw_{j+1}$ が水平面上で成す角である(図-

7 B)  $\delta_j < 90^\circ$  である場合は、斜面の垂直断面形を計測するラインとしては不適当であるので、このラインは使用しない。点  $v_j$  は点  $w_j$  と  $w_{j+1}$  との midpoint であり、ライン  $v_{j-1}w_jv_j$  は斜面の垂直断面形の一単位である。角  $\tau_j, \delta_j, \varepsilon_j, \varepsilon_{j-1}$  は、属性として、ライン  $v_{j-1}w_jv_j$  に付与される。斜面の垂直断面形は、三つの基本的な型、 $\tau_j=180^\circ$  (等斉斜面)、 $\tau_j > 180^\circ$  (凹型斜面)、 $\tau_j < 180^\circ$  (凸型斜面) に分類することが出来る。しかし、厳密に  $\tau_j=180^\circ$  となる斜面はほとんど存在しないことから、実際は、等高線の精度も考慮し、等斉斜面を決める  $\tau_j$  に対して、幅を持たせる必要がある(後述)。また、角  $\varepsilon_j$  と  $\varepsilon_{j-1}$  を用いて、垂直断面形の曲率を計算し、この曲率によって、斜面の垂直断面形を分類することも可能である。

4.5 斜面の水平断面形

斜面の水平断面形は、等高線の形状によって分類され、曲線の変曲点が、水平断面形を分ける点になる。ここでは、変曲点を捜すためにデータ点を通る曲線を近似する代わりに、等高線の線分の向きを用いることにより、より簡単に、水平断面形を分けるための点を求める手法を開発した。

まず、等高線データ M のデータ点  $m_j$  において、データ点  $m_j$  からデータ点  $m_{j+1}$  へ向かうベクターを  $\alpha_j$  とおくと、等高線データ M の全てのデータ点において、外積  $\alpha_{j-1} \times \alpha_j$  を計算する ( $z=0$  とする)(図 - 8)。点  $m_{j+1}$  での外積の符号が、点  $m_j$  での外積の符号と異なる場合は、点  $m_j$  と  $m_{j+1}$  との midpoint を変曲点とし、等高線データ M に新たなデータ点として加える。

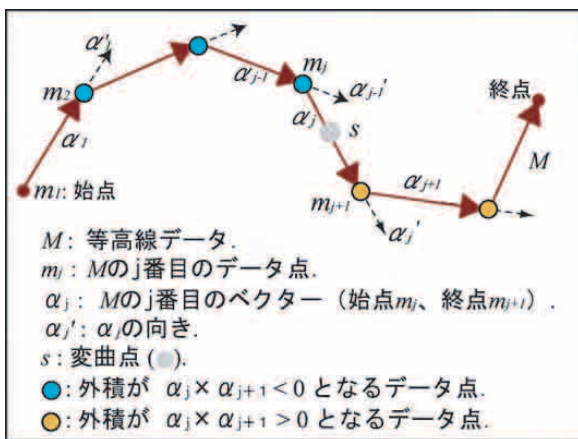


図 - 8 斜面の水平断面形を分けるための点

次に、等高線データ M の全てのデータ点において、斜面の水平断面形を判定する。等高線データ M の両側に、等高線データ H と K が存在するとき、等高線データ H, M, K の標高をそれぞれ、 $E_H, E_M, E_K$  とする ( $E_H = E_M = E_K$ , ただし、 $E_H = E_M = E_K$  である場合は除く)。

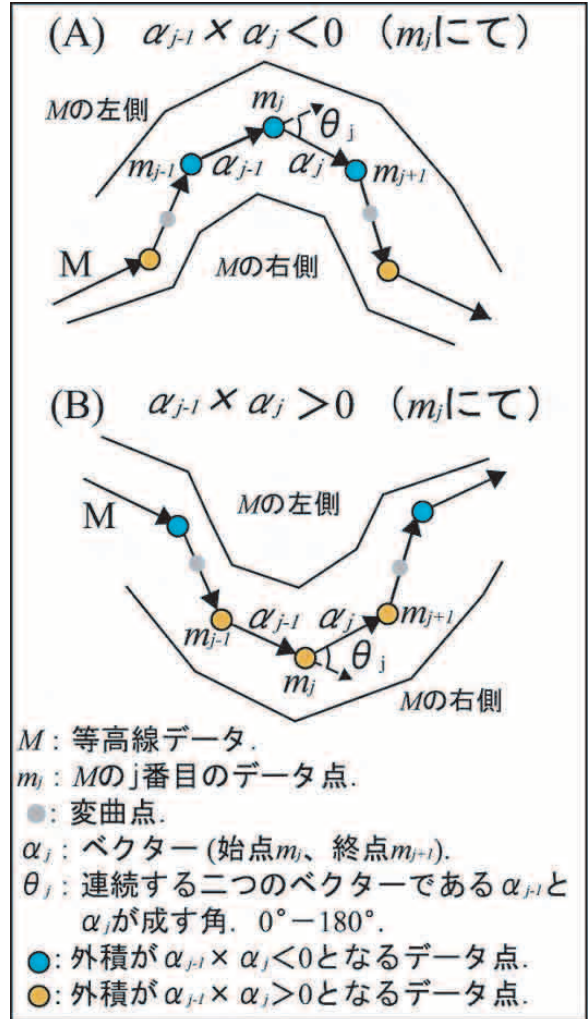


図 - 9 連続するベクターの外積によって得られる等高線の形状の情報

$\alpha_{j-1} \times \alpha_j < 0$  である場合は、ライン  $m_{j-1}m_jm_{j+1}$  は等高線データ M の左側に突き出る(図 - 9 A)。また、 $\alpha_{j-1} \times \alpha_j > 0$  である場合は、ライン  $m_{j-1}m_jm_{j+1}$  は等高線データ M の右側に突き出る(図 - 9 B)。外積  $\alpha_{j-1} \times \alpha_j = 0$  である場合は、 $m_{j-1}m_jm_{j+1}$  は直線であり、ベクター  $\alpha_{j-1}$  と  $\alpha_j$  の角  $\theta_j$  は  $0^\circ$  に等しい ( $0^\circ < \theta_j < 180^\circ$ )。点  $m_j$  における斜面の水平断面形は、Program TPGY と組み合わせることにより、下記のように分類される。

- ケース 1 .  $\alpha_{j-1} \times \alpha_j = 0$  ( $\theta_j = 0^\circ$ ) : 直線斜面
- ケース 2 .  $\alpha_{j-1} \times \alpha_j < 0$  かつ 等高線データ H (K) が等高線データ M の左 (右) 側に位置する : 集水 (谷型) 斜面 (図 - 9 A)
- ケース 3 .  $\alpha_{j-1} \times \alpha_j < 0$  かつ 等高線データ H (K) が等高線データ M の右 (左) 側に位置する : 発散 (尾根型) 斜面 (図 - 9 A)
- ケース 4 .  $\alpha_{j-1} \times \alpha_j > 0$  かつ 等高線データ H (K) が等高線データ M の左 (右) 側に位置する :

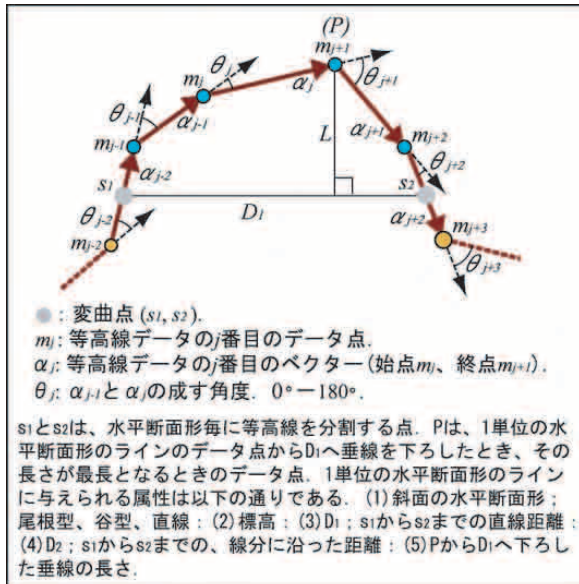


図 - 10 斜面の水平断面形の 1 単位 (点  $s_1$  から  $s_2$  までのライン)

発散斜面 (図 - 9 B)

ケース 5 .  $\alpha_{j-1} \times \alpha_j > 0$  かつ 等高線データ  $H(K)$  が等高線データ  $M$  の右 (左) 側に位置する:

集水斜面 (図 - 9 B)

計算上、 $\theta_j = 0^\circ$  となることはまれであるため、直線斜面を定義する  $\theta_j$  に対して、幅を持たせる必要がある (後述)。

図 - 10 において、点  $s_1$  と  $s_2$  は、二つの連続する変曲点である。点  $s_1$  と  $s_2$  の間のデータ点における水平断面形は同じであり、点  $s_1$  から  $s_2$  までの一連の線分は、水平断面形の一単位となる。水平断面形に加えて、距離  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $L$  が、各単位に対して定義される。距離  $D_1$  は、点  $s_1$  から  $s_2$  までの直線距離であり、距離  $D_2$  は、点  $s_1$  から  $s_2$  までの線分に沿った距離である。距離  $L$  は、単位斜面毎に、データ点 (図 - 10 の  $P$ ) から  $D_1$  へ垂線を下ろしたときの長さが最長となる長さである。斜面の水平断面形は、 $D_1 : D_2$ 、あるいは、 $D_1 : L$  という割合を用いて、分類することも可能である。また、 $\alpha_{j-1}$  と  $\alpha_j$  の成す角  $\theta_j$  の和で、屈曲の度合いを表現することも可能である (図 - 10 では、 $\theta_{j-1}$  から  $\theta_{j+2}$  までの和)。

## 5. 結果

C-BATM を、白神山地の一部の地形で試行した。青森県から秋田県にかけて広がる白神山地は、標高 1200m の起伏を持ち、地すべりが多い地形である。図 - 11 A は、落水線に沿って計算した勾配の図である。比較のため、落水線作成に用いた等高線データを基にして、TIN と 25m 標高グリッドデータを作成し、それぞれの勾配を計算した (図 - 11 B, C)。図 - 11 C は、グリッド点の周囲の近傍点 (12 点) を用いて、IDW 関数 (ESRI, 1999)

によって内挿された標高グリッドデータから作成されたものであり、図 - 11A と 11C の違いは明白である。図 - 11A と 11B はよく似ているが、これらの図の一部を拡大すると (図 - 11D, E, F), 違いが明白である。図 - 11A では、勾配とともに、等高線で表現される地形特徴を同時に確認できる。

図 - 12 は、図 - 11 と同じ範囲での斜面方位図であり、図 - 12A は落水線、図 - 12B は TIN、図 - 12C は 25m 標高グリッドデータを用いて計算した。図 - 12 は、北西からの光による立体感を表現し、 $30^\circ$  毎に分類した。立体感を考えると、図 - 12B が最も良く見えるが、図 - 12A は、立体感に加えて、等高線により地表の詳細な特徴を伝えている。

図 - 13 は、斜面の垂直断面形の分類結果であり、写真判読により得られた地すべりデータ (大八木ほか, 1985) と重ね合わせた。図 - 13A は、等斉斜面 ( $175^\circ \leq \tau < 185^\circ$ ) を決める  $\tau$  に対して  $\pm 5^\circ$  の幅を持たせている。このとき、凹型斜面は  $\tau > 185^\circ$ 、凸型斜面は  $\tau < 175^\circ$  となる。図 - 13A では、凸型斜面と凹型斜面と等斉斜面が縞状に現れる斜面が確認される。実際、垂直断面形は尾根から谷底にかけて複雑であり、その複雑さは、等斉斜面を決める  $\tau$  を変えることにより、変化する。等斉斜面の範囲を大きくした場合は、縞模様は消えるが (図 - 13B では、 $\pm 10^\circ$ )、小さくした場合は、垂直断面形のわずかな変化を描くことができる (図 - 13A では、 $\pm 5^\circ$ )。図 - 13 では、地すべり地塊の縁と凹型斜面が一致しており、このことは、垂直断面形の分類が、地すべり判読の一助となりうることを示している。

斜面の水平断面形の分類も、同じ地域で行った (図 - 14)。直線斜面を決める  $\theta$  には、 $5^\circ$  の幅 ( $\theta < 5^\circ$ ) を持たせた (図 - 9 より、 $0^\circ \leq \theta < 180^\circ$ )。本手法は、等高線をそのまま用いて分類することから、地表面の形態も同時に把握することが可能である。

等斉斜面を決める  $\tau$  の幅と直線斜面を決める  $\theta$  の幅については、地形の特徴、地形解析の目的、縮尺、データの精度などを考慮に入れて、決定する必要がある。

## 6. まとめ

本稿では、Mizukoshi and Aniya (2002) を基に、数値等高線データを用いた斜面の水平断面形の分類図の作成、数値等高線データの全データ点から落水線が発生させ、それらの落水線を用いた勾配と斜面方位の計算、および、斜面の垂直断面形の分類図の作成を行う一連のアルゴリズム C-BATM を紹介した。

C-BATM による結果を出力した図は等高線を基にしていることから、グリッドデータを用いて作成した図よりも、地形図をベースとして描いた他の情報 - 例えば崩壊分布図や地すべり分布図 - との比較や空中写真との位置対応が容易である。本手法の計測や分類の精度は、基の等高線の精度と数値化された等高線のデータ点の位置

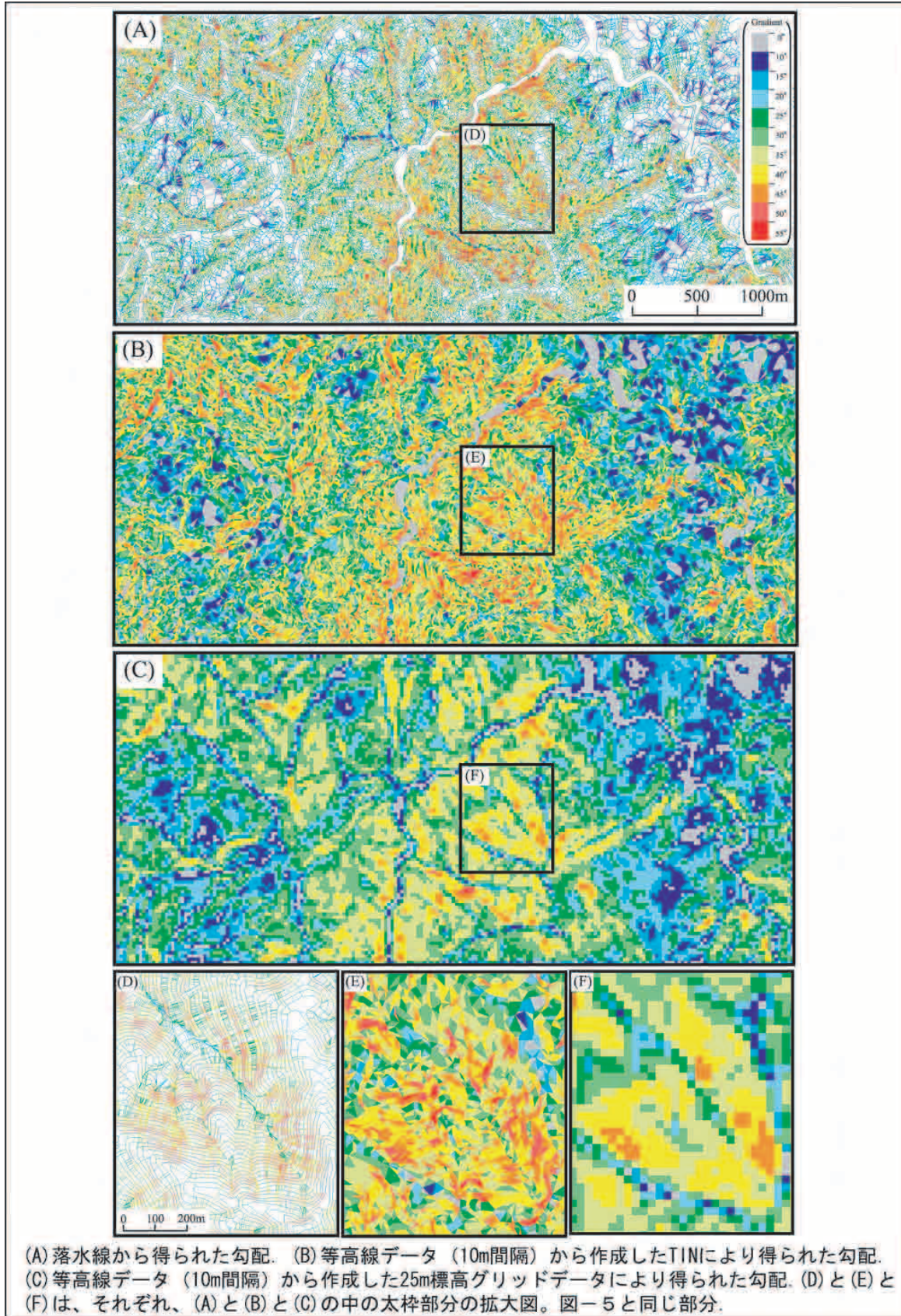


図 - 11 白神山地における勾配の分類 (1 : 25000 地形図「ニツ森」の北東部分)