

地形情報の解析・処理

程 康*,**, 出澤正徳*

*理化学研究所・情報科学研究室、 **中国科学院・成都地理学研究所

等高線地図は、地形の情報を表現するために、極めて広く用いられている。しかし、等高線による表現は、そのデータ形式が、不規則であるため、電子計算機による自動処理には必ずしも適さない。この問題を解決するために、著者らは、前に、等高線型のモデルから電子計算機によって扱い易い格子点型のモデルへ変換するための簡便な方法を考案した。本報告では、このシステムによって等高線型のモデルから格子点型のモデルに変換された地形情報を処理して、より高度な情報を抽出するための方法、格子点型の地形モデルから地表面積、体積変化の計算法、傾斜の情報、尾根線・谷線の抽出法などを検討した。特に、地形の変化に深く関わる水系を支配する尾根線、谷線、傾斜などの解析法を中心に検討した。

Geographical Feature Extraction Method from Mesh Surface Model

CHENG, Kang*,** and IDESAWA, Masanori*

*RIKEN: The Institute of Physical and Chemical Research,
2-1, Hirosawa, Wako-shi, Saitama 351-01, JAPAN

**Chengdu Institute of Geography, Academia Sinica, Chengdu,
Sichuan, China

A contour line type representation is used widely to represent 3-D structure, especially in the field of geography. However, contour line surface model is not suitable for automatic processing by a computer due to its irregular data form. In order to solve this problem, a simplified conversion method was developed by the authors' former work. Based on the obtained mesh surface model, a new system dealing with the geographical feature from a mesh surface model is described, which including the calculation of surface area and solid properties, analysis of slope features, and extraction of ridge-valley lines. Discussions are mainly focused on the extraction methods of ridge-valley features.

1. はじめに

地理学的情報の利用形態はますます高度化し、ある特定の地域の地形や交通網、景観、人口、住民、...の検索・表示⁽¹⁾など非常に多岐にわたっている。特に地形の情報は、等高線地図として表現され、蓄積されている。最近等高線地図を機械により読み取り、その情報を半自動的に計算機モデルとして入力する装置⁽²⁾が開発され、大規模に実用に供されようとしている。入力された等高線地形情報の処理についても高度の利用が試みられている。例えば、ある線に沿った断面形状や距離(表面上)を求めたり、視点を任意の位置に設定したときに、その位置から、指定された位置、地域を見ることができるとか、またどの様に見えるかの解析なども試みられている。また、現在の状況や過去からの変化などを解析、表示⁽³⁾するのみでなく、将来の予測も含めた、さらに高度な利用形態も考えられている。等高線地図としてあたえられている地形情報を電子計算機内で表現するには、等高線型のモデル(表現)を用い

るのが最も正確である。一方、計算機処理という観点からは等高線型のモデルの取扱は容易でない。そこで、より取扱い易い格子点型のモデルに変換して処理することになる。そこで、前に、等高線型のモデルから格子点型のモデルへ変換するための方法⁽⁴⁾を考案した。この変換に際しては、特に等高線が粗な領域での値をどの様に定めるかが、大きな課題であり、その解決法を考案した。

本報告では、このシステムによって等高線型のモデルから格子点型のモデルに変換された地形情報を処理して、より高度な情報を抽出するための方法について考える。特に、地形の変化にとって特に関連の深い水の流れを支配する尾根線、谷線、傾斜などの解析法を中心に検討した。

2. 地理学情報と地形情報

地理学的情報の内でも地形の情報は重要である。地形の特徴、特性を定量的に把握する上で、表面積や、体積、体積、傾斜およびこれらの変化などは重要な要因となる。それでは、計算機内に格納されている地形のモデルからこれ

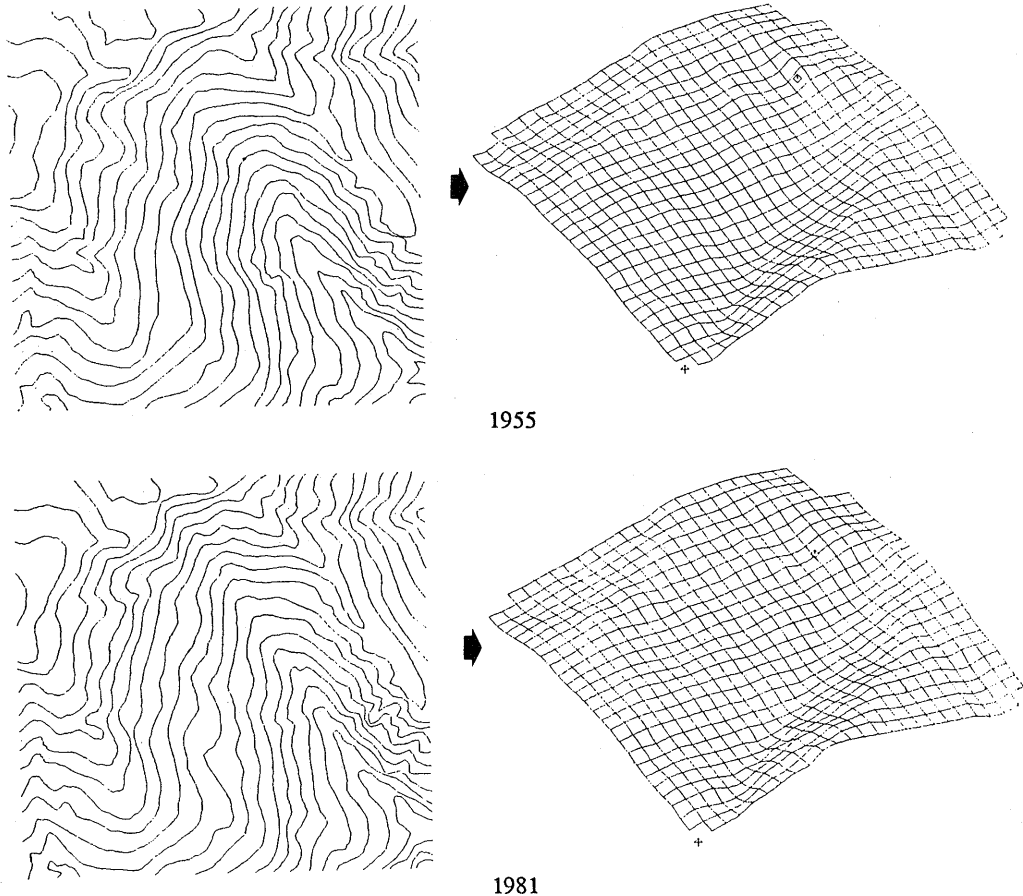


図1. 等高線型地形モデルと格子点型モデル

らの特性値はどの様に算出したらよいであろうか。以下では、格子点型の地形モデルからのこれらの算出法について考える。

2-1. 表面積および体積

地表面積や体積あるいはこれらの変化の解析は、地形変化の解析⁽³⁾や土地利用計画などにおいて、その必要性が高い。格子点型の地形モデルにおける体積および表面積は、1つの格子面上に立つ柱体の体積、あるいはその頂面の面積として考えるのが簡単である。一般に、頂面は曲面であるが、格子があまり大きくない場合には、それを平面で近似してもあまり誤差は生じない。ここでは、簡単化を図るため、頂面を構成する2つの3角形(平面)の組合せとして計算する方法を採用することにして、その算出法を考えた。いま、図2に示すように、注目している格子点上立つ柱体の頂面を構成する格子点上の点を{ P_{ij} , $P_{i+1,j}$, $P_{i+1,j+1}$, $P_{i,j+1}$ }、底面を構成する格子点上の点を{ $P_{Bi,j}$, $P_{Bi,j+1}$, $P_{Bi+1,j}$, $P_{Bi+1,j+1}$ }とする。頂面を構成する2つの三角形は{ P_{ij} , $P_{i+1,j}$, $P_{i+1,j+1}$ }および{ P_{ij} , $P_{i+1,j+1}$, $P_{i,j+1}$ }となる。したがって、頂面の面積 S_{ij} はこれらの三角形の面積の和として、次式で与えられる。

$$S_{ij} = \frac{|(P_{i+1,j} - P_{ij}) \times (P_{i+1,j+1} - P_{ij})|}{2}$$

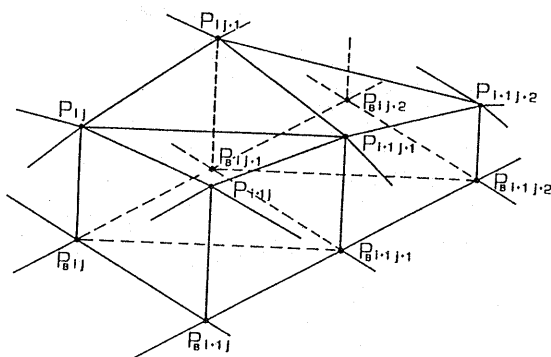


図2. 格子面上での柱体{ P_{kl} : 格子点 k における地表面座標、 P_{Bkl} : 格子点 k における底面座標}

表1. 表面積および体積の変化の解析例

	MODEL 1955	MODEL 1981	SUBTRACTION
SURFACE AREA	1,150,922 m ²	1,144,820 m ²	6,102 m ²
RELATIVE SOLID VOLUME	292,391,424 m ³	290,198,784 m ³	2,192,640 m ³
DURATION : 26 years			
AREA OF MODEL : 1.0428 km ²			
AVERAGE SOIL LOSS : 84,332 m ³ /year·km ²			

$$+ \frac{|(P_{i+1,j+1} - P_{ij}) \times (P_{i,j+1} - P_{ij})|}{2} \quad (1)$$

一方、頂面と底面間の柱体の体積 V_{ij} は、次式で与えられる。

$$6V_{ij} = (P_{ij} - P_{Bi,j}) \cdot \{ (P_{i+1,j} - P_{ij}) \times (P_{i+1,j+1} - P_{ij}) + (P_{i+1,j+1} - P_{ij}) \times (P_{i,j+1} - P_{ij}) \} + (P_{Bi+1,j} - P_{Bi,j}) \cdot \{ (P_{Bi+1,j+1} - P_{Bi+1,j}) \times (P_{i+1,j+1} - P_{Bi+1,j}) + (P_{i+1,j+1} - P_{Bi+1,j}) \times (P_{i,j+1} - P_{Bi+1,j}) \} + (P_{Bi,j+1} - P_{Bi,j}) \cdot \{ (P_{i+1,j+1} - P_{Bi,j+1}) \times (P_{i+1,j+1} - P_{Bi,j+1}) + (P_{i+1,j+1} - P_{Bi,j+1}) \times (P_{i,j+1} - P_{Bi,j+1}) \} \quad (2)$$

2-2. 傾斜情報の算出

傾斜情報は、最大傾斜方向とその勾配で与えられる。一般に、表面の高さが高さ関数 $H(x, y)$ で与えられているとき、 x 方向および y 方向、これらと $\pi/4$ ずれた方向 xy 方向および yx 方向に対する勾配 g_x, g_y, g_{xy}, g_{yx} は $H(x, y)$ の対応する方向への偏微分として与えられ、これらと最大勾配 g_0 およびその方向 θ の間には次の関係が成り立つ(図3)。

$$g_0 = \sqrt{g_x^2 + g_y^2}, \quad \tan \theta = g_y / g_x$$

and

$$g_0 = \sqrt{g_{xy}^2 + g_{yx}^2}, \quad \tan \theta = (g_{xy} - g_{yx}) / (g_{xy} + g_{yx}) \quad (3)$$

したがって、 x 方向および y 方向あるいは xy 方向および yx 方向に対する偏微分値がわかれば最大勾配とその方向を確定できる。格子点型のモデルでは、各格子点について、 g_x, g_y を x 方向 y 方向に沿ってスプライン内挿された断面形状から求めることによって偏微分値として求めること

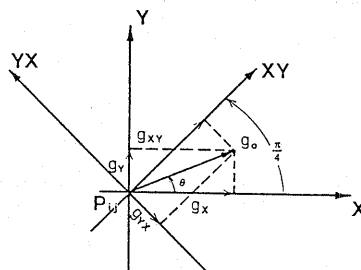


図3. 傾斜方向と勾配の関係{ θ : 傾斜方向、 g_0 : 勾配、 g_x, g_y, g_{xy}, g_{yx} : X, Y, XY, YX 方向に対する勾配(偏微分値)}

ができるが、通常、地形の解析において必要とされる傾斜情報は、ミクロな構造ではなくマクロな構造であることが多いので、図4に示すように隣接格子点の間の差分として与えてもよく、その方が処理が簡単でありマクロな構造の抽出には十分である。この場合には、(3)式における g_x 、 g_y 、 g_{xy} 、 g_{yx} として次式の値を用いればよい。ここに、 h_{kl} は格子点 (k, l) における高さである。

$$g_x = (h_{i+1,j} - h_{i-1,j}) / 2,$$

$$g_y = (h_{i,j+1} - h_{i,j-1}) / 2$$

$$g_{xy} = \sqrt{2} (h_{i+1,j+1} - h_{i-1,j-1}) / 4,$$

$$g_{yx} = \sqrt{2} (h_{i-1,j+1} - h_{i+1,j-1}) / 4 \quad (4)$$

この方式を図1に示した格子点型モデルに適用して、各格子点に対する傾斜情報(傾斜方向と勾配)を算出した例を図5に示した。图中、矢印が傾斜方向を、その長さが勾配を示している。

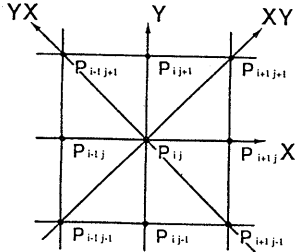


図4. 格子点型モデルにおける傾斜情報の抽出法 { P_{kl} : 格子点 k, l における地表面の座標}

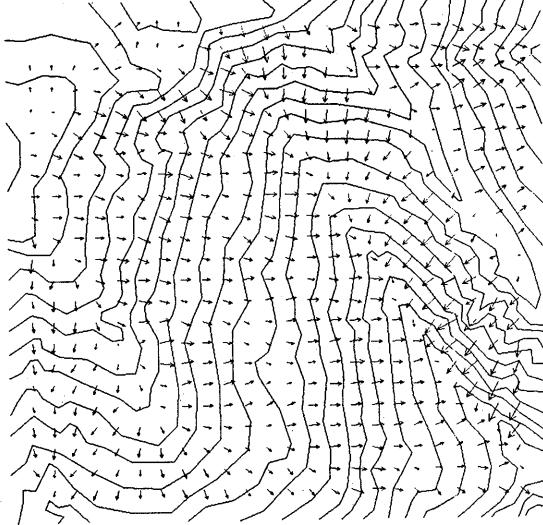


図5. 傾斜の解析例 {矢印が傾斜方向を、その長さが勾配を示す}

3. 尾根線谷線の抽出法

尾根線や谷線は特に水の流れを支配しており、地形の変化に大きく関与している。従って、地形から尾根線や谷線を抽出することは、現在の地理学的特徴、将来にわたる地形変化の推定などのために極めて重要である。

3-1. 尾根線・谷線とは?

分水嶺などと呼ばれているように、そこで水の流れを分ける線が尾根線であり、水を集め流れを形成する、いわゆる集水線が谷線であり、物理的には極めて明確な意味を有する。数学的に明確に定義できるか否かは疑問であるが、計算機によって取り扱って行く上では、なんらかの明確な判定基準が必要とされる。曲面形状の特徴を数学的に定義される構造線(特徴線および分割線)によって表現する方法⁽⁵⁾が提案されている。この構造線が尾根線や谷線に類似したものともいえないが、物理的性質がやや異なっている。物理的な意味からも想像できるように、尾根線や谷線は注目点における数学的な勾配や曲率など、その点のみの状態で定められるものではなく、その周囲の状態が反映されたものであるはずである。それでは周囲の状態を考慮して、いわゆる、分水嶺、集水線を抽出するには、どの様にしたらよいであろうか。一つの基準として、もし、注目点が尾根線あるいは谷線の上の点であったら、その周囲の状態はどの様になるであろうかを考察する。等高線上で

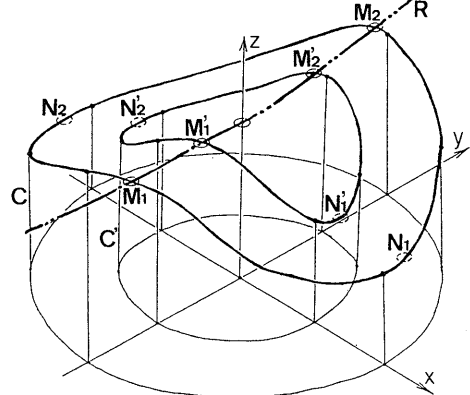


図6. 検査円筒と尾根線 {R: 尾根線、C, C': 検査円筒面、 M_1, M_2, M_1', M_2' : 極大値、 N_1, N_2, N_1', N_2' : 極小値}

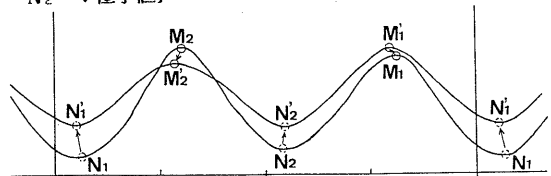


図7. 検査円筒面上円周方向に対する高さの変化

は、等高線を十分に密な場合であれば、等高線の曲率が極大となる点を結んだ線が尾根線あるいは谷線となるともいえる。但し、これのみでは不十分であり、例えば、尾根線上あるいは谷線上の点が同一水平面上にある場合には、含まれないことになってしまう。いま、尾根線あるいは谷線上の一点を通り鉛直な軸を持つ円筒面（検査円筒面）を考え、その円筒面と地表面との交差を考え、円周方向に対する高さ値の変化を考えてみる。もし検査円筒面の中心軸が尾根線上あるいは谷線上にあれば、検査円筒面上での高さは円周方向に対して必ず2つ（あるいはそれ以上）の極大値と、2つ（あるいはそれ以上）の極小値を持つはずであり、また、その逆も成り立つ。したがって、これをもって、尾根線上の点、あるいは谷線上の点であることの判定条件とすることが可能である。

例えば、回転対称軸が鉛直に置かれた回転対称面（例えば円錐面）は、尾根線や谷線を持たないことは明白である。すなわち、どここの位置でも同じ条件となり分水嶺あるいは集水線となることはない。これは、ここで述べた方法によれば、極大値、極小値はそれぞれ一つであり、上述の条件に適合しない。一方、回転対称軸を傾斜させると様相は変わってくる。すなわち、垂直軸と傾斜させた回転対称軸とが作る平面が回転対称面を切断した線の部分に尾根線あるいは谷線が現れる。この線上の点を通り鉛直な軸を持つ円筒面で回転対称面を切断したときの切口に沿った高さは、それぞれ二つの極大値および極小値を持つ。物理的にもこの線上で水流が分けられるであろうことは容易に理解できるであろう。

さて、例えば、円筒上円周方向に対して各々2個の極大値および極小値が検出された場合でも、そこを通過するのが尾根線であるか、あるいは谷線であるかの判定はできない。そこで、半径がわずかに異なる2つの検査円筒面を考え、各々に沿った極大値および極小値を検出して、それらの関係を考えてみる。2個の検査円筒面について検出される極大値、極小値の数は同じであるとする。いま、大きな半径の極大値および極小値に（検出位置的に）対応する小さな半径の極大値および極小値の大小関係を考えてみると、それらの円筒を通過する尾根線あるいは谷線によって、表2に示すような関係がえられる。一般に、極大値および極小値の数は同数であるが、これらが存在しない、各々1個存在する、各々2個存在する、各々3個存在する、各々4個存在する、各々5個以上存在するなど、様々な場合がありうる。存在しない場合には水平面と、各々1個の場合には、単純傾斜面と見なせる。各々2個の場合には、表2

表2. 極値が2組の場合の尾根線・谷線の判定条件

M ₁	M ₁ '	M ₂	M ₂ '	N ₁	N ₁ '	N ₂	N ₂ '	decision
a.	>		>	d.	>		>	VB
b.	<		<	e.	<		<	RT
a.	>		>	e.	<		<	RVS
a.	>		>	f.	not d and not e			V
c.	not a and not b			e.	<		<	R
c.	not a and not b			f.	not d and not e			?

V: valley, VB: bottom, R: ridge, RT: top, RVS: saddle

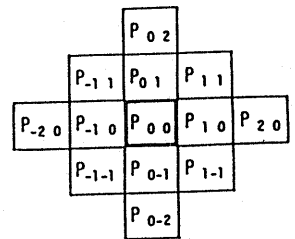
の様な関係となる。各々3個の場合には、検査円筒内で3尾根線あるいは3谷線が交差していると考えられる。各々4個の場合には、2尾根線と1谷線あるいは1尾根線と2谷線が検査円筒を通過しているか、または、4尾根線あるいは4谷線が検査円筒内で交差している場合が考えられる。検出される極大値および極小値の組が3組以上の場合については、表の様な関係を用意しておくよりは、例外的な処理として、周囲の状況も考慮して判定する方が容易となる。

3-2. 画像における尾根線・谷線の抽出法

画像のように十分に細かく格子点上の値が与えられる場合の尾根線や谷線はどの様にして定められるであろうか。干渉縞やモアレ縞より等高線を抽出する場合などには、これが大きな課題であった。x方向、y方向などについての勾配が零となるすなわち極値となる点を尾根線あるいは谷線上の点とする方法もあるが、これでは尾根線あるいは谷



(a) ピーク検出方向

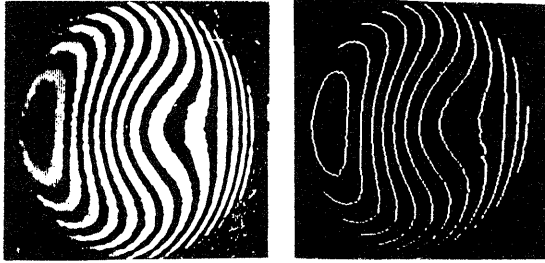


(b) 尾根線検出のためのマスクの1例

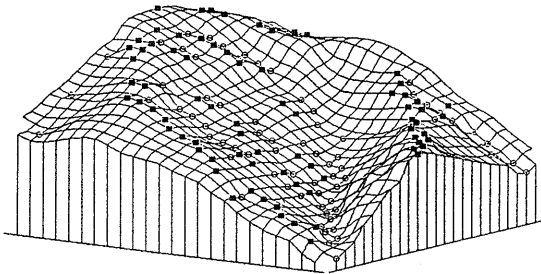
$$\begin{aligned}
 X & \begin{cases} (P_{01} + P_{00} + P_{0-1}) > (P_{-11} + P_{-10} + P_{-1-1}) \\ \text{and} \\ (P_{01} + P_{00} + P_{0-1}) > (P_{11} + P_{10} + P_{1-1}) \end{cases} \\
 Y & \begin{cases} (P_{-10} + P_{00} + P_{10}) > (P_{-1-1} + P_{0-1} + P_{-1-1}) \\ \text{and} \\ (P_{-10} + P_{00} + P_{10}) > (P_{-11} + P_{01} + P_{11}) \end{cases} \\
 XY & \begin{cases} (P_{-11} + P_{00} + P_{1-1}) > (P_{-20} + P_{-1-1} + P_{0-2}) \\ \text{and} \\ (P_{-11} + P_{00} + P_{1-1}) > (P_{02} + P_{11} + P_{20}) \end{cases} \\
 YX & \begin{cases} (P_{-1-1} + P_{00} + P_{11}) > (P_{-20} + P_{-11} + P_{02}) \\ \text{and} \\ (P_{-1-1} + P_{00} + P_{11}) > (P_{0-2} + P_{1-1} + P_{20}) \end{cases}
 \end{aligned}$$

(c) 各方向に対するピークの条件

図8. 格子点が密な場合の尾根点検出法



濃淡縞画像 抽出された尾根線
 図9. 縞画像における尾根線抽出の例



■ Ridge Point
 ○ Valley Point 図10. 格子点型モデルへの適用例

線のいずれの上にもない点についても検出してしまふ恐れがある。そのため、前述の尾根線、谷線の条件からの類推で、図8に示すように、 x 、 y 方向に加えて、 xy および yx の2方向、計4方向についての極値を調べ、これら4方向のうちいずれか2方向について極値を採る場合に尾根線あるいは谷線上の点であるとする方法⁽⁶⁾を考えて適用した。この方法によって、図9に示すように、縞画像から尾根線として等高線をうまく抽出することが可能となった。これを、図1の格子点型モデルに適用した場合の例が図10である。地形の格子点型モデルでは、画像の場合に比べて、与えられる格子点値がかなり粗となり、この方法の適用にはかなりの無理が生ずる。

3-3. 格子点型モデルにおける尾根線・谷線の抽出法

通常、格子点型のモデルでは、値が画像のように密に与えられていることは少なく、かなり粗であり、それらの間の点における値(高さ)は、適当な補間法によって、計算して与えられる。したがって、前述の方法の適用は困難である。また、尾根線、谷線の定義のところでも示した、検査円筒面に沿った値の変化を調べるにも一工夫が必要である。すなわち、格子点型のモデルでは、任意の点の値を定めることは可能ではあるが、計算量が膨大となるため、特別に必要とされる場合を除いては避けたいものである。一方、格子線に沿った線上の点の値を求めることは、それほどに

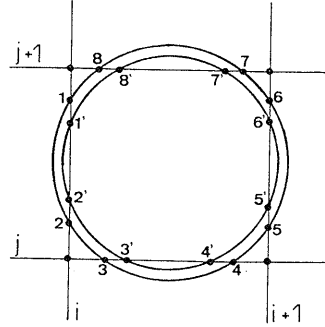


図11. 格子点型モデルでの検査円筒の設定例(格子線上の値を利用)

大変ではない。

そこで図11に示すように、注目格子面で格子線に交差する検査円筒面を設定し、各格子線上で円周上となる点についての値を求め、これら円周上の値を適当な内挿法、例えばスプライン曲線で内挿して円周に沿った、値の変化を調べ、検査円筒面を通過する尾根線あるいは谷線の存在の有無を調べる方法を考えた。図6に示したのと同様に半径のわずかに異なる2つの検査円筒面を設定して、対応する極値の大小関係を調べて、尾根線か谷線の区別が可能である。ただし、図6の場合と異なり、検査円筒面の中心軸が、尾根線あるいは谷線上となるように検査円筒面を設定できないので、この場合には、注目している格子面を通過する尾根線あるいは谷線の存在の有無のみの判定となる。しかし、一般には、尾根線あるいは谷線が極値の位置を通過するとしても大きな誤りとはならない場合が多い。

格子線上で検査円筒と交差する位置での値の算出も、スプライン曲線の計算などかなりの計算を要する。そこで、格子点値のみで尾根線、谷線の抽出を行うことを考えた。図12に示す様に、 3×3 の格子面に注目し、これらの外

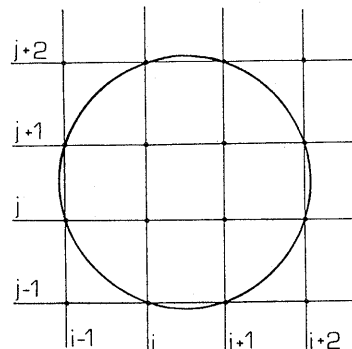


図12. 格子点型モデルでの検査円筒の設定例(格子点値のみを利用)

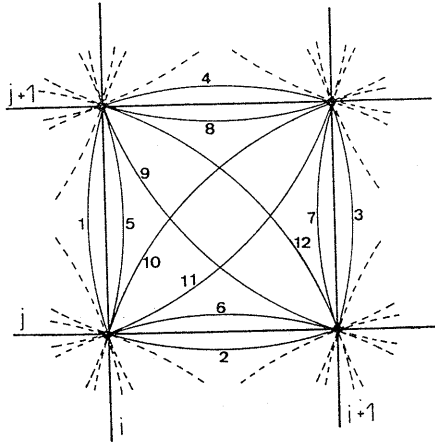


図13. 尾根線、谷線の追跡、推定法

調べ、検査円筒面を通過する尾根線あるいは谷線の存在の有無を調べる方法を考えた。図6に示したのと同様に半径のわずかに異なる2つの検査円筒面を設定して、対応する極値の大小関係を調べて、尾根線か谷線の区別が可能である。ただし、図6の場合と異なり、検査円筒面の中心軸が、尾根線あるいは谷線上となるように検査円筒面を設定できないので、この場合には、注目している格子面を通過する尾根線あるいは谷線の存在の有無のみの判定となる。しかし、一般には、尾根線あるいは谷線が極値の位置を通過するとしても大きな誤りとはならない場合が多い。

格子線上で検査円筒面と交差する位置での値の算出も、スプライン曲線の計算などの計算が必要とされる。そこで、格子点値のみで尾根線、谷線の抽出を行うことを考えた。図12に示す様に、 3×3 の格子面に注目し、これらの外辺上の8個の格子点を通る円筒を検査円筒面とする。この円筒面上で円周方向に対する値の変化を調べ、図7の場合と同様な極値の検査を行い、さらに検出された極値と内部の4格子点との値の関係を調べて、検査円筒面を通過する尾根線あるいは谷線が存在するか否かを判定する。この判定は、例えば極値が2組の場合、内部の4格子点の値の平均値が、極大値の小さい方よりも大きい場合には尾根線上の点の候補、極小値の大きな方よりも小さい場合には谷線上の点の候補、両極大値より小さく両極小値より大きな場合には、極大値および極小値が各々鞍部へ向かう尾根線の点および谷線上の点の候補のとして扱う。検査円筒面の軸を順に隣の格子面へと移動して同様の操作を格子面全体にわたって行う。この方法によって、定性的にみて適切な位置に尾根線上の点および谷線上の点の候補が抽出されることが確かめられた。

以上の様にして与えられる点は、あくまでも尾根線あるいは谷線上の点の候補であり、尾根線あるいは谷線を得るにはこれらを接続して、連続した線として確定しなければならない。一つの格子面について考えると、図13に示す様に12個の異なる検査円筒面に属する区分円筒面に対応した尾根線あるいは谷線に対応した極値の情報が得られるので、これらの部分検査円筒面上での極値の位置および値より尾根線あるいは谷線の追跡が行える。例えば、 $i-1$ j の格子面から図中1および5で示す検査円筒面の部分から i j 格子面に尾根線が入ることが分かったなら、尾根線の走行は5に隣接した9および10の検査円筒面での極値へと向かう可能性が大きいため、それらを調べ、適合するものがあればその点（例えば検査円筒面9上の点）へと尾根線を接続し、さらに、それに隣接した12および10の検査円筒面上での極値を調べる。同様な操作を、 i j の格子面から抜けてるまで続け、 i j の格子面から抜けてた区分円筒面（2、3、4のいずれか）に対応した次の格子面へと移動して同様の操作を行ってゆく。

4. むすび

本報告では、等高線型の地形情報から変換して与えられた格子点型の地形モデルを処理して、特に水流などに大きな影響を及ぼす尾根線や谷線の抽出法を検討し、検査円筒面上の円周方向に対する極値の状況より判定する方法を考案した。考案した方法により、地形情報の定量的な判断に有効な特徴を、部分的な処理によって高速に抽出できる可能性が確かめられた。一方、ここで提案した、尾根線、谷線の抽出法を格子点型モデルに適用する場合には、検査円筒面の中心軸を尾根線上あるいは谷線上に正確に一致させることができない。したがって、実際の尾根線および谷線の走行位置が推定された位置とずれてしまう恐れがあり、この影響については、尾根線、谷線の追跡法と併せ、今後、さらに検討することを要する。

参考文献

- (1) 久保幸夫：マルチメディア地理情報システム、理研シンポジウム第8回「非接触計測と画像処理」、43-49(1987-10) / 角本：上下水道管路図面情報管理システム、日立評論、1986-9
- (2) 角本：線図形情報・地図情報の入力、情報処理学会講習会「幾何情報・モデルの入力手法」、1987-9 / 角本：適応型複合円弧方式に基づく図形補間と地形図入力への適用、昭和62年度電子情報通信学会全国大会、情報システム部門、106
- (3) 程康、出澤、相馬：等高線地図から地形変化の解析、情報処理学会、グラフィックスとCAD 23-5(1986-10)
- (4) K. Cheng, M. Idesawa, T. Soma: A Simplified Data Form Conversion Method from Contour Line Surface Model to Mesh Surface Model, (to be appeared in Journal of Information Processing) / 程康、出澤、相馬：等高線型形状モデルから格子点モデルへの変換、情報処理学会、グラフィックスとCAD 21-4(1986-5)
- (5) 榎本、片山、吉田：画像構造線の大局的性質に関する計算機実験とその考察、情報処理、17-7、641-649(1976-7) / 榎本、片山、川本：リンク手法による多変数関数の極値探索法、情報処理、17-9、835-842(1976-9)
- (6) M. Idesawa, T. Yatagai: 3-D Shape Input and Processing by Moire Technique, Proc. 5th Intl. Conf. on Pattern Recognition, 1085-1090(1980) / M. Idesawa, T. Yatagai: RIFRAN: Interactive Fringe Pattern Analysis and Processing System, Proc. 1st Intl. Symp. on Medical Imaging and Image Interpretation(ISMIII), 554-559(1982-10, Berlin)