

## 地形の特徴抽出モデルと3次元地形図への応用

赤木 剛朗<sup>†</sup> 土田 賢省<sup>††</sup> 夜久 竹夫<sup>†</sup> 横山 隆介<sup>†</sup>

本論文では、メッシュ型の数値標高データ  $f(m, n)$  から尾根線、谷線などの地形に関する特徴抽出を行うために、3つのモデルを提案する。1つ目のモデルでは  $f(m, n)$  の離散ラプラシアン  $\Delta f(m, n) \equiv f(m-1, n) + f(m+1, n) + f(m, n-1) + f(m, n+1) - 4f(m, n)$  及びその変形を計算し、その値の正負から尾根線、谷線を決定する。2つ目は、地形の各点における局所的な形状を分類し、尾根線、谷線を抽出する。3つ目は、ランダムに地表の点を選び、そこを起点とし、最急降下線を求め、その通過地点を数えあげることによって、尾根線、谷線を抽出する。さらに、1つ目の地形の特徴抽出モデルを用いて、国土地理院発行の数値地図から、尾根線に色のついた3次元地形図を生成しWebブラウザ上に表示する。

## Models for geographic feature extraction and applications to 3D landform maps

Goro Akagi,<sup>†</sup> Kensei Tsuchida,<sup>††</sup> Takeo Yaku<sup>†</sup>  
and Ryusuke Yokoyama<sup>†</sup>

We propose three models to extract geographic features such as ridge line and valley line from numerical altitude data of mesh type  $f(m, n)$ . The first one is due to the calculation of the discrete Laplacian :  $\Delta f(m, n) \equiv f(m-1, n) + f(m+1, n) + f(m, n-1) + f(m, n+1) - 4f(m, n)$ . The second one extracts ridge lines and valley lines by classifying the local shape of topography. The third one relies on finding steepest descent lines on the ground. Furthermore, we produce 3D landform maps with ridge lines and valley lines by using the first models.

### 1. はじめに

地形の特徴抽出とは、形状概念（丸い、四角い、細い、太いなどの図形的概念）から意味概念（河川、山、尾根、谷、扇状地などの地形的概念）を導出する過程として、非常に重要である。ところが、これらの地形の特徴の定義は曖昧である。実際、地学事典[12]では、尾根とは谷と谷との間に挟まれた山地の突起部の連続したもの、谷とは丘や山に囲まれた細長い凹んだ地形とあり曖昧さが残る。また、尾根線や谷線は公式に決められている訳ではなく、地図上の等高線を見た人が独自の判断で引くため、個人差が出てしまう。本論文では、数値地図と呼ばれるメッシュ型の数値標高データから尾根線と谷線を抽出するモデルを提案する。

近年、メッシュ型の標高データと地形の特徴に関するいくつかの研究がなされてきている。[8]では尾根線の3次元線分データから格子点デジタル地形モデルを得る方法を述べており、尾根線にもとづく山岳形状が定義されている。また[9]では、フラクタル手法を用いた手法と用いていない手法について山岳・地形の定義を述べている。しかし、数値地図から地形の特徴を抽出するモデルに関する研究はまだまだ完成しておらず、研究の余地が大いにある。

一方、地形図を3次元表示するための手法、及びデータ構造の研究として、次のようなものが挙げられる。まず、[3]では地形の3次元表示プログラムが提案されている。さらに[4, 6]では、不均一解像度の3次元地形図である多重解像度 3D 地形図のグラフ表現である地

形 8 分格子グラフとそのリスト構造である H7-Code が発表されている。この地形 8 分格子グラフと H7-Code は、表を表現するためのデータ構造を提案した 8 分格子グラフ[2]とそのリスト構造である H3-Code[1]の応用である。

本論文では、地形の特徴抽出モデルとして、次の 3 つを提案する。1 つ目の方法では、離散ラプラシアン及びその変形を計算し、その値の正負から尾根線、谷線を抽出する。2 つ目は地形の各点における局所的な形状を分類し、尾根線、谷線を抽出する。3 つ目はランダムに地表の点を選び、そこを起点とし最急降下線を求め、その通過地点を数えあげることによって、尾根線、谷線を抽出する。また、1 つ目のモデルを用いて、尾根線を描画した 3 次元地形図を作成した。3 次元地形図の作成には、VRML、地形 8 分格子グラフとそのリスト表現である H7-Code を利用している。

### 2. 準備

#### 2.1 数値地図

この研究で使用している基本データは、国土地理院が発行している数値地図 CD-ROM[10][11]である。数値地図データは、国土地理院が刊行している 2 万 5 千分の 1 地形図に描かれている等高線から作成されたベクトルデータを基に、計算によって求めた数値標高データをメッシュ方式で収めたものである。地形図を分割し、得られる各区画の中心または平均の標高がテキスト形式で収録されている。50mメッシュ（標高）[10]は標高の各区画の一辺の長さが実距離で約 50mとなっている。約 10 km × 10 km の区域ごとの標高データがそれぞれ 1 ファイルに収められている。よって 50mメッシュ（標高）の場合、標高データの数が縦方向、横方向に 200 個 × 200 個 = 計 40000 個のデータとなる。

<sup>†</sup> 日本大学  
Nihon University  
<sup>††</sup> 東洋大学  
Toyo University

## 2.2 3次元地形図

3次元地形図は数値標高データを基にVRMLで記述された地形の3次元CGである。図1は富士山の3次元地形図の表示例である。

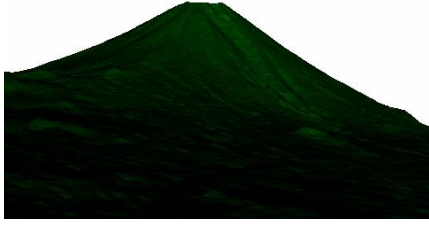


図1 3次元表示した富士山の地形図

## 2.3 地形8分格子グラフ[6]

地形8分格子グラフは8分格子グラフによる3次元地形図の表現である。3次元地形図を表示する際の計算量は、それを構成するポリゴンの数に大きく依存する。そのため、地形に応じてメッシュサイズの異なる不均一メッシュ型の3次元地形図が必要となる。8分格子グラフは、不均一な矩形分割の表現方法として知られており、それを不均一メッシュ型の3次元地形図の表現に応用したものが地形8分格子グラフである。

8分格子グラフの各頂点から出る辺の数は高々8本である。図2で矩形分割の例と対応する8分格子グラフを示す。

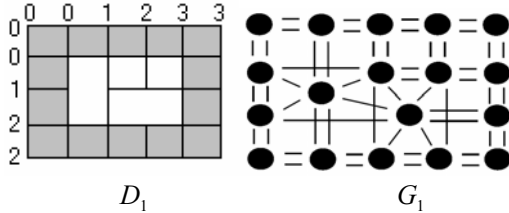


図2 矩形分割の例と対応する8分格子グラフ

内部の白い部分の矩形を内部セル (inner cell) と呼び、周りの部分の矩形を周辺セル (perimeter cell) と呼ぶ (地形8分格子グラフの定義は[2]を参照)。

## 2.4 H7-Code[4, 6]

H7-Codeとは地形8分格子グラフを表現するリスト構造である。図3ではH7-Codeの外部表現の例を表す。各レコード(1区切りのデータ)のフィールド(データを書き込む最小単位)の属性がメッシュ型標高データの1メッシュ分に対応している。

```

# This file was transformed by map2h7-50m Version 1.14
# Date: 2005/08/31 Time: 17:13
# MESH SIZE: 50m
# MAP NAME: 富士山
# MESH CODE: 53305
# LINE: 001-200 (ORG:001-200)
# COLUMN: 001-200 (ORG:001-200)

114200 200 0 0 0 0
1 0 0 0 2 0 2 0 3 0 2 0 3 1 -1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -1 0 0 0 0 0 0
2 0 3 1 3 1 0 2 0 4 0 2 0 4 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -1 0 0 0 0 0 0
3 0 4 2 4 2 0 2 5 0 2 0 5 0 1 1 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -1 0 0 0 0 0 0
4 0 5 3 5 3 0 2 0 6 0 2 0 6 0 1 2 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -1 0 0 0 0 0 0
5 0 6 4 6 4 0 2 0 7 0 2 0 7 0 1 3 4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -1 0 0 0 0 0 0
6 0 7 5 7 5 0 2 0 8 0 2 0 8 0 1 4 5 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -1 0 0 0 0 0 0
7 0 8 6 6 6 0 2 0 9 0 2 0 9 0 1 5 6 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -1 0 0 0 0 0 0
8 0 9 7 7 7 0 2 1 0 0 2 1 0 0 1 6 7 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -1 0 0 0 0 0 0
9 0 1 0 8 10 8 0 2 1 1 0 2 1 1 0 1 7 8 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -1 0 0 0 0 0 0
10 0 1 1 9 11 9 0 2 1 2 0 2 1 2 0 1 8 9 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -1 0 0 0 0 0 0
11 0 1 2 10 12 10 0 2 1 3 0 2 1 3 0 1 9 10 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -1 0 0 0 0 0 0
12 0 1 3 11 13 11 0 2 1 4 0 2 1 4 0 1 10 11 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -1 0 0 0 0 0 0
13 0 1 4 12 14 12 0 2 1 5 0 2 1 5 0 1 11 12 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -1 0 0 0 0 0 0
14 0 1 5 13 15 13 0 2 1 6 0 2 1 6 0 1 12 13 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -1 0 0 0 0 0 0
15 0 1 6 14 16 14 0 2 1 7 0 2 1 7 0 1 13 14 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -1 0 0 0 0 0 0

```

図3 図1の3次元地形図のH7-Codeファイルの一部

## 2.5 離散ラプラシアンによる尾根線・谷線の抽出[7]

ここでは、離散ラプラシアンと呼ばれる2階の差分を計算し、その値の正負から尾根線、谷線を抽出する方法について説明する。(詳細は[7]を参照)メッシュ型標高データ  $f(m, n)$  に対し、離散ラプラシアンは次のように定義される (図4参照)。

$$\Delta f(m, n) \equiv f(m-1, n) + f(m+1, n) + f(m, n-1) + f(m, n+1) - 4 f(m, n)$$

( $f(m, n)$ は座標  $(m, n)$ における標高値とする)。上の式により与えられる  $\Delta f(m, n)$  は谷筋では正の値をとり、尾根の場合は負の値をとる。そして、得られた  $\Delta f(m, n)$  の値からノイズを除去するために、ある閾値  $g_0 \geq 0$  以下の値を除去する。

- $\Delta f(m, n) \geq g_0$  のとき  $g(m, n) = 1$
- $\Delta f(m, n) \leq -g_0$  のとき  $g(m, n) = 0$

として、 $g(m, n)$  の値を決める。 $g(m, n) = 1$  の点を繋げることによって谷線が、 $g(m, n) = 0$  の点を繋げることによって尾根線が形成される。

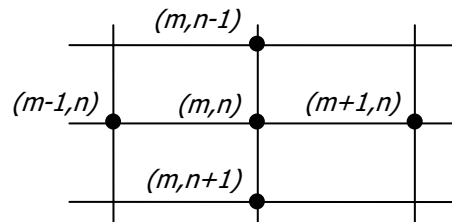


図4 標高値が与えられている座標

## 3. 特徴抽出モデル

この節では、メッシュ型の標高データから尾根線、谷線、傾斜などの地形に関する情報を抽出する方法について考える。

### 3.1 離散ラプラシアンによる尾根線・谷線の抽出法の改良

ここでは、2.5節の方法の改良する。2.5節では、離散ラプラシアンを計算する際に、隣接する場所の標高地のみを用いていたが、2つ先の標高値も用いて離散ラプラシアンを求める。よって、離散ラプラシアンは次のようになる。

$$\Delta_{4.2} f(m, n) \equiv k_1 \Delta f(m, n) + k_2 \{ f(m-2, n) + f(m+2, n) + f(m, n-2) + f(m, n+2) - 4 f(m, n) \}$$

( $\Delta_{4.2}$  の4は離散ラプラシアンを計算するために用いるデータの個数、2は測定点からの距離を表す。また、 $k_1, k_2$  は  $k_1, k_2 \in [0, 1]$ ,  $k_1 + k_2 = 1$  とし、それぞれ重みパラメータとする。)

また、8方向の標高値を考慮した離散ラプラシアンを定義する。

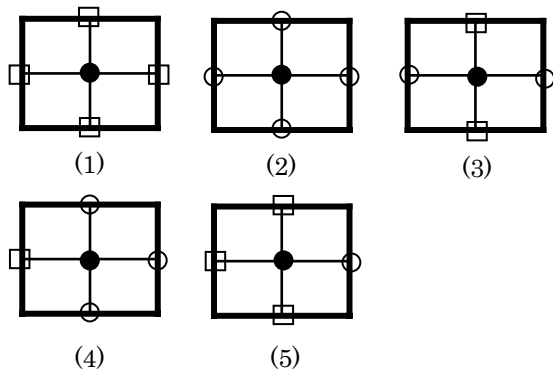
$$\Delta_{8.1} f(m, n) \equiv k_1 \Delta f(m, n) + k_2 \{ f(m-1, n-1) + f(m+1, n-1) + f(m-1, n+1) + f(m+1, n+1) - 4 f(m, n) \}$$

これらの変形した離散ラプラスアンを用いて 2.5 節で説明したモデルと同様に尾根線、谷線を抽出する。

### 3.2 局所的な形状の分類による尾根線・谷線の抽出

ここでは、各メッシュ上の地形の局所的な形状を分類することで、尾根線、谷線を抽出する方法を提案する。

メッシュ型標高データから生成される 2 次元曲面は、90° 回転による同一視をした場合、尾根線、谷線になりうる部分の地点の形状は図 5 で示す 5 種類に分類される。尾根線になる可能性のある形状は(1), (3), (5), 谷線になる可能性のある形状は(2), (3), (4), となり、(3)は尾根線、谷線のどちらにもなりえる。



- : 測定点
- : 測定点より標高が高い点、もしくはそれと標高が同じ点
- : 測定点より標高が低い点

図 5 注目する地形の形状

よって、これらの 5 種類の形状を持つ点を調べることで、尾根線、谷線を抽出することが出来る。図 6 にメッシュ型標高データの例を示す。また、図 7 では図 6 のメッシュ型標高に図 5 で対応する形状番号を記入したものを示す。ただし、(1)~(5)以外の形状には斜線を引き、形状が決められない場所は空白のままにした。

20	20	30	20	20
35	30	40	30	20
20	25	50	30	25
15	20	40	35	40
20	15	30	30	30

図 6 メッシュ型標高データの例

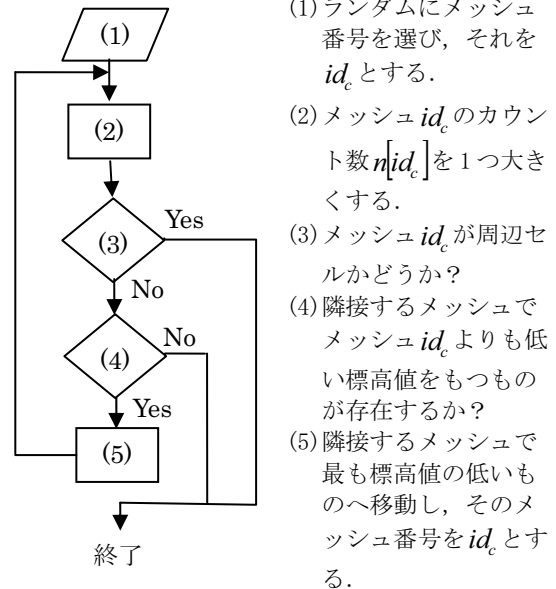
	(3)	(5)		
	/	(1)	/	
	/	(5)	(3)	

図 7 図 5 に対応する形状番号

### 3.3 最急降下線を用いた尾根線・谷線の抽出

この抽出方法では最急降下線を求め、統計的な手法を用いることで尾根線、谷線を抽出する。まずランダムに点を選び、そこを起点とする最急降下線を引き、その通過点をメッシュごとにカウントする。そして、あらかじめ定めておいた閾値よりも、カウント数が多

い場所を谷とする。尾根を抽出する場合は地形を反転し、谷線の場合と同様の操作を行う。以上の特徴抽出モデルをもとに、図 8 で、1 本の最急降下線を引く操作のフローチャートを提案する。



- (1) ランダムにメッシュ番号を選び、それを  $id_c$  とする。
- (2) メッシュ  $id_c$  のカウンタ数  $n[id_c]$  を 1 つ大きくする。
- (3) メッシュ  $id_c$  が周辺セルかどうか？
- (4) 隣接するメッシュでメッシュ  $id_c$  よりも低い標高値をもつものが存在するか？
- (5) 隣接するメッシュで最も標高値の低いものへ移動し、そのメッシュ番号を  $id_c$  とする。

図 8 1 本の最急降下線を引く操作のフローチャート

## 4. 特徴抽出プログラム

この節ではメッシュ型の標高データから、離散ラプラスアンを用いた抽出方法を実行し、得られた尾根線を 3 次元地形図上に表示する。

### 4.1 離散ラプラスアンによる尾根線・谷線の抽出の実装

2.5 節で述べた方法のように、離散ラプラスアンから、尾根線を抽出し、それを VRML 上に表示する。閾値  $g_0$  はプログラムをコンパイルするときに決め、条件を満たすメッシュの場所に色をつける。

適切な閾値  $g_0$  を定めるために、いくつかの値で実験した。

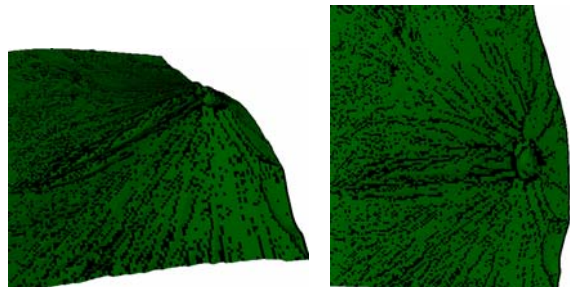


図 9 閾値を -10 にして尾根線を 3 次元地形図上に表示したもの、右はそれを真上から見た図 (富士山)

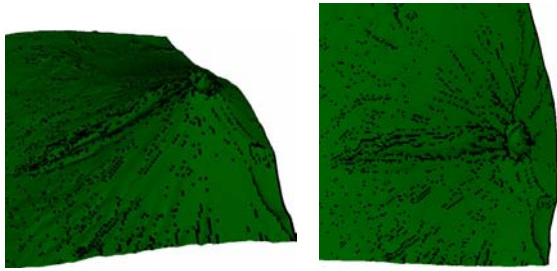


図 10 閾値を-20 にして尾根線を 3 次元地形図上に表示したもの、右はそれを真上から見た図 (富士山)

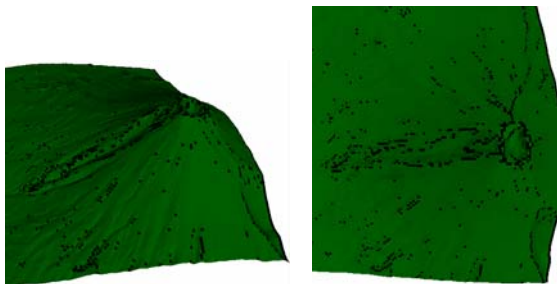


図 11 閾値を-30 にして尾根線を 3 次元地形図上に表示したもの、右はそれを真上から見た図 (富士山)

図 9, 図 10, 図 11 ではそれぞれ閾値を-10, -20, -30 に選び, 抽出した尾根線を 3 次元地形図で表示したものである. 比較して分かるように, 図 9 は図 10 より閾値の条件が弱いため, 余計な点で色が塗られている. 図 11 は閾値の条件が強いためほとんど色が塗られていない. この例の中では図 10 の閾値を-20 にしたものが適当と考える.

#### 4.2 生成・編集システムの作成

尾根線, 谷線が描画された 3 次元地形図を生成するために, H7-Code にデータフィールドの一部を追加し, さらに生成・表示システムを作成した. 以下の図 12 は地形図表示システムのデータ流れ図を表す.

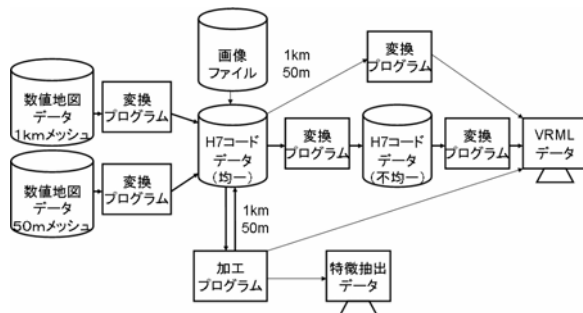


図12 3次元地形図生成・表示システム流れ図

## 5. まとめ

メッシュ型の数値標高データから, 1つ目に離散ラプシアン及びその変形を計算した値の正負で抽出する

方法, 2つ目に地形の各点における局所的な形状を分類して抽出する方法, 3つ目にランダムに地表の点を選び, そこを起点とする最急降下線を求め, その通過地点を数えあげることによって抽出する方法の3つを提案した. さらに, 1つ目の特徴抽出モデルを用いて, 尾根線を抽出し, それに色をつけた3次元地形図を生成するプログラムを作成した. またその際, 数値地図から H7-Codeを生成するプログラム及びH7-Codeから3次元地形図を表示するプログラムを作成した.

今後は § 3.2 と § 3.3 で提案した抽出方法を実装することを目標とする. 既に最大傾斜方向の抽出プログラムは完成している. さらに, その他の地理的特徴 (扇状地, 三角州, クレータなど) の抽出モデルの開発を行う.

## 参考文献

- [1] T. Arita and T. Yaku 「H3-Code 2.0 Reference Manual」 HCC-2003-004 WAAP (2002-2003). URL: [http://www.yaku.cssa.chs.nihon-u.ac.jp/tech\\_note/2003/hcc03-001/h3c10-030828/index.html](http://www.yaku.cssa.chs.nihon-u.ac.jp/tech_note/2003/hcc03-001/h3c10-030828/index.html)
- [2] T. Motohashi, K. Tsuchida and T. Yaku “Attribute Graphs for Table and Their Algorithms” Proc, Foundation of Software Engineering 2002, K. Inoue Ed, Kindaikagakusha, pp183-186(2003).
- [3] 穴田 浩一, 地理学学習支援のための地図データの 3 次元表示システム, 第一回教育支援システムシンポジウム, (2003).
- [4] 穴田浩一, 小林純, 土田賢省, 宮寺庸造, 本橋友枝, 夜久竹夫 “地理教育支援のための 3 次元地形表示システムとそのデータ構造” 教育システム情報学会第 29 回全国大会講究録, (2004).
- [5] T. Arita, T. Motohashi, K. Tsuchida and T. Yaku “An Octet Degree Graph Representation for the Rectangular Dissections” 応用数学合同研究集会報告集, pp131-136(2004).
- [6] G. Akagi, T. Motohashi, K. Nomaki, T. Yaku, “Octal Graph Representation for Multi-Resolution 3D Landform Maps and Its Application” Proceedings of applied mathematics symposium, pp27-32(2005).
- [7] 萩原幸男, 糸田千鶴 “地球システムのデータ解析” 朝倉書店, (2001).
- [8] 八重樫一仁, 千葉則茂 “尾根線にもとづく山岳形状の定義法” 情報処理学会研究報告, 1989-CG-37-7, pp. 49-55 (1989).
- [9] 宮田一乗 “山岳・地形の生成技法の研究動向” 情報処理学会研究報告, 1989-CG-40-11, pp75-80(1989).
- [10] 国土地理院, 数値地図 50m メッシュ (標高).
- [11] 国土地理院, 数値地図 250m メッシュ (標高).
- [12] 下中弘 “新版 地学事典” 地学団体研究会, (1996).