

2P-3

ホモトピーモデルを用いた三次元地形図自動生成*

池田 哲也

國井 利泰†

東京大学理学部情報科学科‡

等高線地形図から三次元立体画像を生成する方法を提案する。従来多くの場合で用いられた三角形パッチの代わりに、尾根や谷の分岐の様相の自動認識など、地形の連続的変化の知識を用いる必要がある場合などに対応できるようにするために、ホモトピーモデルに基づく補間をする。侵食地形に限ると尾根や谷が特別な性質を持つことから、補間法を工夫する。

1 はじめに

地形情報にはさまざまな種類があるが、本稿では等高線地形図を用い、等高線間の地形をできるだけ正確に補間することを目的とする。

等値線から立体画像を生成するのにホモトピーモデルを用いた研究は、品川、國井 [3] による人体の耳に適用したものがある。対応点のとり方などに工夫を施すが、それ以外はこの論文に従う。

人体の器官などと違って、地形は内的、外的営力によって形成されたものであり、一般的にある種の条件が成り立つ。ここでは日本の国土のほとんどを占める侵食地形に注目し、尾根線や谷線などと等高線に囲まれた部分について補間を行なう。

尾根や谷を扱うのに問題となるのは、それらの分岐や合流が起こる時である。節点付近の対応点の選び方以外に、節点そのものを定める時も注意が必要である。

2 地形図

地形データとして代表的なものは、国土地理院が所有している国土数値情報 [7] である。これは緯度、経度の方向に区切られたメッシュデータで、もっとも細かいもので一辺 250m である。

地面の傾斜度などの局所的な属性についてはこのようなメッシュデータでも十分であるが、地形を扱う時には局所的な情報だけでは不十分であり、四角形や三角形のパッチで近似するしかない。本稿の目的は正確に地形を補間することなので、ここでは等高線の形、等高線間の関係などの大域的な情報を利用する。

等高線は閉じている必要はないとし、また入力には向きの情報が含まれていることを仮定する。もっとも簡単には手で、常に同じ向き(高高度側を左に見る向き)に入力するのが良い。

3 ホモトピー

ホモトピーは以下のように定義される。

定義 X, Y : 位相空間、 $f, g: X \rightarrow Y$ をその間の写像とした時、 f, g がホモトープとは、連続な写像 $F: X \times [0, 1] \rightarrow Y$ があって、 $F(x, 0) = f(x), F(x, 1) = g(x) (\forall x \in X)$

のとき、 $f \cong g$ と書く。また、 F を f, g のホモトピーという。

関係 \cong は同値関係で、これによって Y^X はホモトピー類 $[f]$ に類別される。

等高線は一般に高度が高くなるにつれて全長が短くなるので、 f, g の定義域を等しく X にするのは望ましくない。そこで、 $f: X_f \rightarrow Y, g: X_g \rightarrow Y$ として、これらに関係づける関数 $U: X_f \rightarrow X_g$ を定義し、 $f, gU: X_f \rightarrow Y$ のホモトピーを考えることにする。

4 尾根、谷

侵食地形を考えると、侵食と堆積は常に河川に沿って行なわれるために、河川の近傍では河川に平行な方向と垂直な方向を比較して、明らかに前者の方が直線に近く、従って河川に平行な方向、すなわち谷の方向に沿ってホモトピーを設定した方が、低い次数で表すことができ、有利である。このような考えの元に、等高線の集合から尾根線や谷線を定め、関数 U が尾根線や谷線を含むようにして、それらに沿った方向でホモトピーを作る。

そのためにまず、一本の等高線から凸部分(尾根線の通る可能性のある部分)と凹部分(谷線の通る可能性のある部分)を識別する方法について述べる。

等高線を $f: R \rightarrow R^3$ とし、定めた向きに従って媒介変数 s を用いて表す。このとき、 f の曲率は $|\kappa| = \frac{|f' \times f''|}{|f'|^3}$ で与えられるが、分子が z 軸に平行なので、絶対値をやめて、 $\kappa = \frac{(f' \times f'')_z}{|f'|^3}$ とすると、 $\kappa(s) > 0 \iff s \in \text{凸部分}, \kappa(s) < 0 \iff s \in \text{凹部分}$ とできる。

実際の等高線の一部を例にとり、 κ のグラフを示す(図1)。ただし、入力はサンプル点の座標で、間は2階微分まで連続にするために5次のスプライン曲線を使った。図1で、 $\kappa = 0$ の点は変曲点の候補である。 $s = 0$ の点に近い順に、これらの候補に番号をつけ、 $s_i (i = 0, \dots)$ とする。また、 $\Theta(s)$ を $f(s)$ における接ベクトルと、 x 軸の正方向のなす角度とすると、 s が等高線の弧長と一致しているとき、 $\int_{s_{i-1}}^{s_i} \kappa ds = \Theta(s_i) - \Theta(s_{i-1})$

したがって、ある閾値 ϵ があって、 $\int_{s_{i-1}}^{s_i} \kappa ds < \epsilon$ となるような変曲点候補は無視して考えることができる。ただし、入力の信頼度が、ある程度高かったらこれらの点は尾根や谷が合流する特異点として扱うことも可能になる。

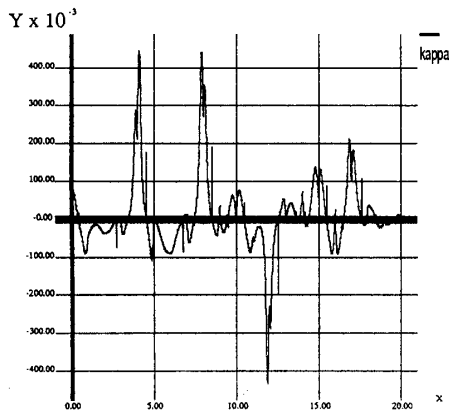
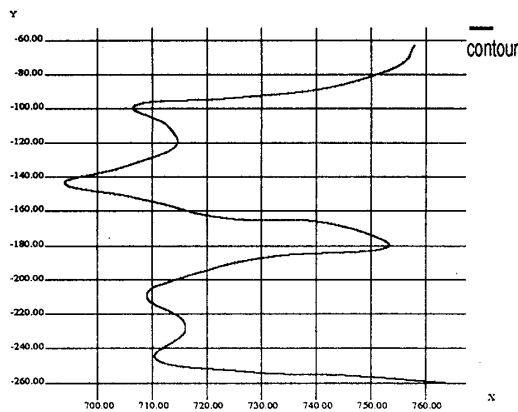
以上のようにしてある等高線について、変曲点の集合が求まったら、凸部分では $\text{redge}_i = f(s_{r_i}), s_{r_i} \in [s_i, s_{i+1}]$ 、 $\kappa(s_{r_i}) = \max(\kappa(s) | s \in [s_i, s_{i+1}])$ として尾根線上の点が定まる。谷線も同様である。各点について、すぐ隣の等高線の同種類の点のうちもっとも距離の近いものを結べば、尾根線、谷線が検出できる。同様にして、変曲点も結ぶ。

枝分かれがなければ、二本の等高線と尾根線(谷線)と変曲点の線に囲まれた領域のみを考え、その中で面を張っていく。

*Automatic Generation of Three Dimensional Topography by Homotopy

†Tetsuya Ikeda, Toshiyasu L. Kunii

‡Department of Information Science, Faculty of Science, The University of Tokyo



上：等高線の一部、下： κ のグラフ
図1：凸部分、凹部分の検出

5 枝分かれ

実際の地形図を見ると、尾根(谷)の線が枝分かれする場合がほとんどである。したがって、枝分かれのある場合を扱うことは重要である。尾根線のこのような性質を扱ったものとしては、村岡、千葉らの論文[4]がある。しかし、この論文は架空の地形で主尾根線が与えられる場合を扱っており、今の場合のように枝分かれの状態を探索するものではなかった。

本稿では、等高線を低い方から探索することによって尾根線を木構造の中に収めることを考える。このためには、探索中において、

1. 一度合流した尾根は再び分岐することはない。
2. 尾根が頂上以外の点で消滅することはない。

という仮定が必要である。この仮定は言い替えると、尾根線には次のような性質があることになる。

1. 一つ上の等高線に対応する点のない尾根線は、必ず次の等高線に至るまでに、別の尾根線と合流する。
2. 尾根線は必ず山の頂点に到達する。

したがって、次のようなアルゴリズムが考えられる。

Step 0 注目する等高線をもっとも低いものにする。

Step 1 等高線の上で尾根線上にある点を記録する。

Step 2 隣あった等高線上のその様な点のうち尾根線としてつなぐことのできる点は全て同じ番号をつけ、Step 4へいく。

Step 3 対応する点がなかったら、Suspendedとして、記録する。

Step 4 つながっている尾根線のうち、Suspendedな尾根線に十分近いものがあればつなぎ、Suspendedの方の番号を書き換える。

Step 5 一つ上の等高線に進み、Step 1へ戻る。

このアルゴリズムは、等高線がなくなれば終了だが、上記の仮定によりSuspendedな尾根線は残ることはない。

このようにして尾根線の構造が解析されれば、枝分かれのない場合と同様にして、面が作れる。

6 結び

地形図から三次元立体画像を構成する一手法について考察した。これまでの三角形パッチに比べて、滑らかさ、正確さともに向上するはずである。しかし、これにきめの表現を加えることで現実感に満ちた映像が得られる。

残された課題としては、

1. スプライン補間でなく、土砂の拡散を考慮したモデル
 2. 侵食地形以外でのホモトピーの用い方
 3. 現在の地形から将来の変化を予測する
- などが挙げられ、研究中である。

参考文献

- [1] K. Janich. "Topology". Springer-Verlag, 1984.
- [2] A. E. Scheidegger. "Theoretical Geomorphology". Springer-Verlag, 1970.
- [3] Yoshihisa Shinagawa and Toshiyasu L. Kunii. "The Homotopy Model: A Generalized Model for Smooth Surface Generation from Cross Sectional Data". Technical Report 90-016, Department of Information Science, Faculty of Science, The University of Tokyo, 1990.
- [4] 村岡 一信, 千葉 則茂, 八重樫 一仁. "尾根線の再帰生成による山岳地形の定義法". 情報処理, Vol. 41, No. 2,, 1990.
- [5] 貝塚 爽平, 大田 陽子, 小嶋 尚 他. "写真と図で見る地形学". 東京大学出版会, 1988.
- [6] 野上 道男. "数値地形分析のための処理システム". 地形, Vol. 6, No. 3,, 1985.
- [7] 大森 博雄. "地形数値データと画像処理". 地形, Vol. 6, No. 3,, 1985.