

地形解析を目的とした標高不連続を有する DEM データの HB-Spline 補間に関する研究

石川工業高等専門学校 正会員 ○新保 泰輝
 五大開発株式会社 正会員 荒木 光一

1. はじめに

近年, 計測機器の高度化に伴い高解像度の DEM データ (以下, DEM と呼称する) が増えてきている. 今後ますます高解像度化すると考えられ, 地形の表現精度は高くなり, 幅広い応用が見込まれる. 地盤工学分野において, DEM に対して地形解析を行うことで土砂災害危険区域を求める事が行われており, これらの更なる高度化が期待される. しかし, DEM は広域や高解像度になると, いわゆるビッグデータになる. ビッグデータに対して地形解析を実施する際には, データ量や計算量の考慮が必須である. 低解像度 DEM 用の地形解析手法では, 解析に非常に多くの時間を要する恐れがある. 著者らはこの解決としてヘテロジニアス分散処理環境を提案している¹⁾. ただし, 分散処理を行った場合でも, 元々のデータ数が多い場合にはデータの保存が解析時間のボトルネックになる場合がある. したがって, データ数を減らすために, Spline 関数のように節点 (knot) のみでデータを保持し, 補間曲面を作成して, その補間曲面に対して地形解析を実施することが望ましい. すなわち, ビッグデータに対応した地形解析を実施するためには, 精度の良い補間曲面の作成手法やそれに適合した地形解析手法が必要である. 本論文では, その基礎として DEM に対する Heaviside B-Spline 関数による補間手法²⁾を提案する.

DEM を連続な三次元曲面に補間する方法として B-Spline がある. ただし, DEM には図 1 に示すように, データが欠損している箇所がある場合や海水面・内水面が存在する箇所には標高が -9999m に設定されている (測量方法によってこの設定は異なる) 場合がある. すなわち, DEM は, データが存在する範囲が任意であり, 地表面との間に標高の不連続を有する箇所が多く存在しているデータといえる. このようなデータに対して B-Spline を適用する場合には, 任意形状への対応, 標高が不連続な位置で発生する Gibbs 現象への対応, データ欠損部での Schoenberg-Whitney 条件への対応を行う必要がある.

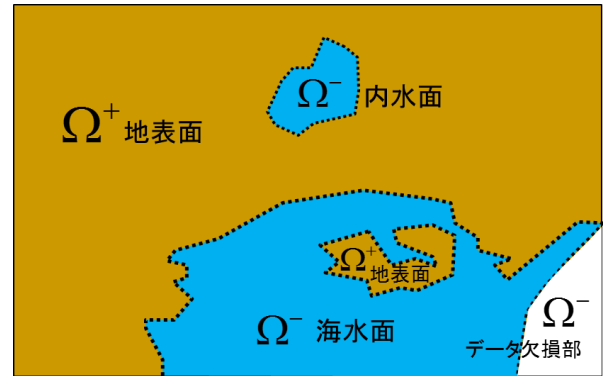


図 1 図郭 Ω 内 DEM データの領域区分

著者らはこれらの問題を解決するために HB-Spline を改良し, 任意の地形形状かつ標高の不連続があっても DEM の 3 次元補間曲面を簡易に得られる手法を開発した.

2. HB-Spline 関数による補間

HB-Spline とは端的に言えば, Partition of Unity 条件に基づき B-Spline 基底関数の線形結合で表された Spline 関数に Heaviside 関数と不連続パラメータを導入する事で Spline 関数に不連続を表す自由度を導入した補間手法である²⁾. 本手法は節点に関係なく二次元平面上に関数が不連続な線を与える事のできるメッシュフリーな手法である. 本論文では DEM の特性を生かし, データ内に標高が -9999m となるデータやデータの欠損があることを想定し, 新たに Spline 関数を作成する.

今, 図 1 の図郭 Ω 内の任意座標 $\mathbf{x} = \{x, y\}$ に対して必ず標高 z が存在すると仮定する (欠損している場合には, 地表面との違いが判るように $z = -9999m$ とする). このとき, Heaviside 関数を次式で与える.

$$H(\mathbf{x}) := \begin{cases} 1 & z > -9999 \quad (\mathbf{x} \in \Omega^+) \\ -1 & z \leq -9999 \quad (\mathbf{x} \in \Omega^-) \end{cases}$$

以上のように Heaviside 関数を定義すると, DEM の標高が不連続な位置を特定する必要なく Spline 関数を求めることができる. 今, 補間対象領域 Ω において Spline 関数が次式のように表されると仮定する.

表 1 図郭毎の誤差・処理時間一覧

図郭名 (1/2500)	RMS(m)		処理時間(sec)		処理時間 比率(%)
	B-Spline	HB-Spline	B-Spline	HB-Spline	
07ED754	443	0.730	5.93	7.13	17%
07ED861	0.614	0.614	4.93	4.93	0%
07FD551	828	0.143	7.63	8.61	11%
07FD901	696	0.985	4.45	5.10	13%

$$S(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^{h+m} \sum_{j=1}^{k+m} M_{ij}(\mathbf{x}) c_{ij} + \sum_{i=1}^{h+m} \sum_{j=1}^{k+m} H(\mathbf{x}) M_{ij}(\mathbf{x}) d_{ij} \quad (1)$$

$$M_{ij}(\mathbf{x}) := M_i^m(x) M_j^m(y)$$

ここで, h, k は x, y 方向の節点数であり, m は B-Spline の階数であり, 本論文では $m=4$ とする. M_{ij} は正規化された B-Spline である. また, c_{ij} は連続パラメータ, d_{ij} は不連続パラメータである. c_{ij}, d_{ij} は上式と DEM 座標 $\mathbf{x}_r$ に対する標高 z_r の残差二乗和を最小にするように次式の正規方程式から求める.

$$\begin{bmatrix} \sum_{r=1}^n A_{ijkl} & \sum_{r=1}^n H_r A_{ijkl} \\ \sum_{r=1}^n H_r A_{ijkl} & \sum_{r=1}^n A_{ijkl} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} c_{kl} \\ d_{kl} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \sum_{r=1}^n B_{ij} z_r \\ \sum_{r=1}^n H_r B_{ij} z_r \end{Bmatrix} \quad (2)$$

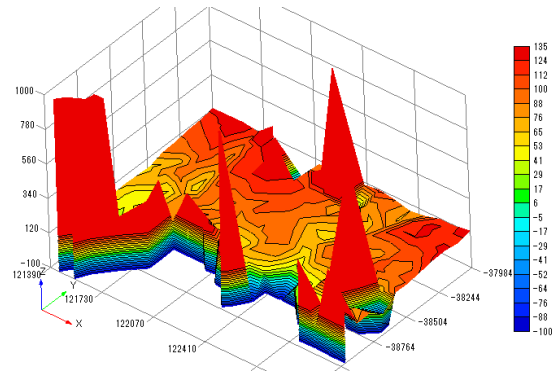
ここで, n はデータ数, $H_r := H(\mathbf{x}_r)$,

$$A_{ijkl} = \sum_{i=1}^{h+m} \sum_{j=1}^{k+m} \sum_{k=1}^{h+m} \sum_{l=1}^{k+m} M_{ij}(\mathbf{x}_r) M_{kl}(\mathbf{x}_r),$$

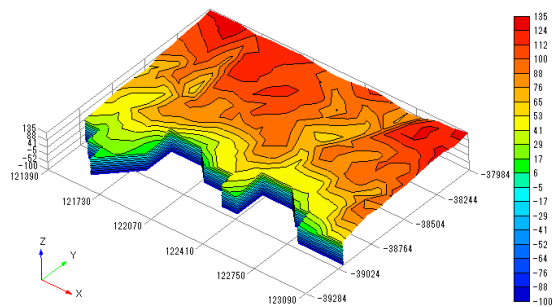
$$B_{ij} = \sum_{i=1}^{h+m} \sum_{j=1}^{k+m} M_{ij}(\mathbf{x}_r).$$

3. HB スプライン補間曲面

石川県内の図郭(縦約 2km×横約 1.5km) に対して B-Spline, HB-Spline を用いて 3 次元補間曲面を求めた. 表 1 に図郭名, RMS (DEM 標高 z_r と式(1)の二乗平均平方根), 処理時間, 処理時間比率を示す. 表 1 に示すように, Spline は $z = -9999m$ が多く含まれる海岸付近の図郭 (07ED861 以外) では RMS が非常に大きいことが分かる. 一方, 全ての図郭で HB-Spline は RMS が小さい. なお, 不連続がない 07ED861 では同じ曲面が得られている. また, 処理時間は HB-Spline の方が自由度は多いため, 最大で 17%遅くなっている. 図 2 に 07FD901 から得られた補間曲面を示す. 図 2(a) に示すように B-Spline は Gibbs 現象が生じて曲面が破たんしている. これにより RMS が大きくなっている. 一方, 図 2(b) では Gibbs 現象が生じることなく地形を表現できているのが分かる.



(a) B-Spline 曲面



(b) HB-Spline 曲面

図 2 DEM から得られた 3 次元補間曲面

4. おわりに

本論文では, 標高不連続を有する DEM に対する補間曲面を求める手法として HB-Spline 補間を提案した. その結果, 不連続位置を意識することなく任意の地形形状を表す補間曲面が得られることを示した. 今後は得られた補間曲面に対して地形解析を実施し, 土砂災害危険区域等を求めていく.

謝辞

本研究は総務省 SCOPE(受付番号 162205001)の委託を受けたものである. ここに記して感謝する.

参考文献

- 1) K.Araki, T.Shimbo, An MPI-based Framework for Processing Spatial Vector Data on Heterogeneous Distributed Systems, 8th International Workshop on Parallel and Distributed Algorithms and Applications, pp.554-558, 2016.
- 2) 新保泰輝, 矢富盟祥, 任意の不連続曲線を高精度に表せる HB-Spline 補間手法, Transactions of JSCES, Vol. 2009, 20090020, 2009.