

メッシュ標高作成のアルゴリズムに関する調査研究作業

実施期間 平成 17 年度
地理情報部地図情報課 飯田 洋 増山 収
阿部 誠

1. はじめに

数値地図 50mメッシュ（標高）は作成してから 10 年以上が経ち、その間の地形改変により、部分的に標高値が変化していると考えられる。また、日本測地系から世界測地系への変更などもあり、次期刊行への要望が多く聞かれる。今回の調査研究作業は、次期刊行に向けて、DEM 精度や作業能率の向上、新地形図情報システム（NTIS）データを用いた DEM 作成手法の確立等を目的に行った。

2. 研究内容

本調査研究作業の内容は以下の通りである。

2. 1 DEM 作成アルゴリズム調査作業

DEM を作成する様々なアルゴリズムを調査し、利点や欠点等を取りまとめた。

2. 2 DEM 試作作業

現在採用しているアルゴリズムである最大傾斜法の他、2. 1 で調査したアルゴリズムの中から複数のアルゴリズムを用い、NTIS データより DEM を試作した。

2. 3 DEM 精度検証作業

2. 2 で試作した DEM の精度評価を次の 1)、2) の方法で行った。

1) 等高線との重ね合わせによる検証

標高値がその地点を挟む二本の隣接する等高線標高値の間にあることの検証を行った。また上記が満たされている場合においても、アルゴリズムに起因する系統的かつ不自然な誤差（細かいテクスチャ等の存在）の有無について検証を行った。

2) 既存 DEM との比較検証

現在の作成手法である最大傾斜法で作成した DEM との比較の他、レーザスキャナデータ及び SRTM データとの比較検証を行った。

3. 得られた成果

3. 1 DEM 作成アルゴリズム調査作業

標高作成には様々なアルゴリズムが存在するが、大きく分けると、1) 線データに基づく手法、2) 点補間による手法、に大別できる。また、1) では、①交点探索などの発見的手法、②等高線画像に基づく画像処理手法、③その他の発見的手法、に分類でき、2) では、①離散的な空間モデリング手法、②連続的な空間モデリング手法、に分類できる。DEM 作成手法としての実用性を、地形再現性や計算処理速度等の観点から評価付けを行った。表-1 に結果を示す。ここで、○は「対応していると

考えられる」, △は「一部可能であると考えられる」, -は「対象外, もしくは非対応と考えられる」, ×は「明らかに非対応と考えられる」, 空白は「不明」を意味する。

表-1 DEM生成手法とその実用性

項目	地形再現性											処理速度	特記事項
	斜面				地形点			落水線	傾斜方向急変線		水涯線		
手法	急斜面	緩斜面	変換点	傾斜	山頂	凹部	鞍部		尾根線	谷線	河川	湖沼	
線データに基づく手法													
等高線との交点探索など、発見的手法													
8方位探索法	○	△	△	-	-	-	○						
最大傾斜法	○	△	×	×			○					○	傾斜変換線付近に不自然な凹地
バッファリング手法による中間等高線補間	○	×	×	×								△	
8方位探索+3次曲面	○	△	△	○	△	△						△	
区分的最急降下方向による補間	○	△	△	-	-		○					○	平地は対象外
単調関数補間	△	○	○	△	-		△	×					平滑化処理が後処理として必要
屈曲的最急降下方向による補間	○	△	△	△	-	-	○		×			△	V字谷の再現性が低い
等高線画像に基づく画像処理													
ユークリッド距離変換による補間	○	△			○	○							等高線の間断を許容する
モフォロジによる補間	○	△			○	×						○	尾根部に平坦部発生
フーリエ変換/逆変換補間	△	×											緩斜面上にエイリアシング発生
その他の発見的手法													
GradientLines法	○	○	○	-	-	-	△						
中間等高線補間法	○	△	△	△	△	-	△						緩傾斜値に階段ノイズ発生
Enhanced TIN	○	○	○	-	-	-	○	○	○	○	○	○	三角形内はすべて線形内挿
点補間による手法													
連続型のローカルなモデリング手法													
逆距離加重法	○	△	×	△	×				×	×		△	
自然近傍補間法	○	△	△	△	×				×			○	等高線のノード点をランダム点として扱ったために、等高線の高さが保証されない
改良シェパード法	○	△										△	
Radial Basis Function	○	△	×	△	△	△			△	×		×	
平均法	○	△	×	×	×							○	
スプライン法	○	○	×	×	×				△	×		△	テラス現象、リング現象が生じる
クリギング法	○	○	△	×	×		△		△	×		×	
TOPOGRID	○	○	△	△	△		○	○	○	○	○	△	
改良局所地形モデル法	○	△											平地部に不自然な凹凸
GradientLines法+スプライン法	○	○	○	△	△	-	△					△	スプライン法の改良
中間等高線補間+スプライン法	○	○	○	△	△		△					△	スプライン法の改良
連続型のグローバルなモデリング手法													
傾向面解析	×	△	×	×	×	×	×	×	×	×	×		微細な地形は再現されない
フーリエ変換級数モデル	△	△	×									×	×
離散型のTIN手法													
TIN/線形補間法	○	△	○	-	-	-	×	×	×	○	○	○	湾曲部に不自然な平坦地発生
TIN/曲線補間法	○	△	○	△	△		×	×	×	○	○		

3.2 DEM試作作業

3.1より様々なアルゴリズムが存在することが判明したが、地形の再現性や計算処理速度などから考えると、実用的ではない手法も存在することがわかる。また、等高線間隔が広いと作成されるDEMに本来の地形では存在しない凹凸が発生する可能性があり、中間的な等高線を作成し、これを使用することとした。また本研究では、新規にアルゴリズムを実装したソフトウェアを開発することはせずに、既存のGISソフトウェアに実装されているアルゴリズムを利用してDEMの試作を行うこととし、3.1で挙げたアルゴリズムのうち、①中間等高線補間+最大傾斜法、②Enhanced TIN法、③中間等高線補間+クリギング法、④中間等高線補間+スプライン法、の4手法を用いてDEMを試作した。図-1にNTISデータからの作成フローを示す。

DEM作成アルゴリズムの選定には処理速度も重要な要素となる。そこで表-2にTIN生成及び中間等高線生成に要した時間を、表-3に各種アルゴリズムによる50mメッシュDEM生成に要した時間を示す。

その結果、クリギング法やスプライン法では計算処理時間が実用的とはいえない一方で、最大傾斜法やEnhanced TIN法では処理時間に関しては問題ないことがわかった。

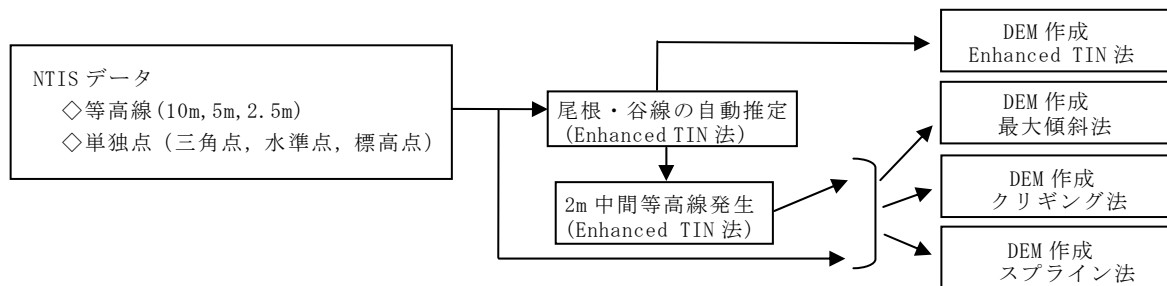


図-1 NTIS データからの DEM 試作フロー

表-2 TIN 生成及び中間等高線生成に要する時間

DEM 試作範囲	「553876 小千谷市」1/25,000 図郭のほぼ 1 / 4
使用 PC スペック	CPU:Pentium4, 2.6GHz, 内部メモリ:1GB
使用ソフトウェア	「図化名人」アジア航測
TIN 生成に要した時間	120 秒
2 m 中間等高線生成に要した時間	65 秒

表-3 各種アルゴリズムによる 50mメッシュ DEM 生成に要する時間

	使用 PC スペック	使用ソフトウェア	生成時間
最大傾斜法	CPU:UltraSPARCIII Cu, 900MHz, 内部メモリ:2GB	「WIT/MAP」インテジ	11 秒
Enhanced TIN 法	CPU:Pentium4, 2.6GHz, 内部メモリ:1GB	「図化名人」アジア航測	20 秒
クリギング法	CPU:Pentium4, 3.2GHz, 内部メモリ:1GB	「ArcMap9.1, Spatial Analyst」ESRI	44 時間 30 分
スプライン法	CPU:Pentium4, 3.2GHz, 内部メモリ:1GB	「ArcMap9.1, Spatial Analyst」ESRI	31 分 12 秒

3. 3 DEM 精度検証作業

1) 等高線との重ね合わせによる検証

目視により、作成された DEM に系統的かつ不自然な誤差が存在しないかの検証を行った。特に山頂や尾根、鞍部、谷底面、傾斜変換点等で詳細に調査を行った。結果を表-4 に示す。

表-4 特徴的な地形と作成された DEM との関係

場所	特記事項
山頂や尾根	スプライン法で、頂部に凸部が発生している。
谷底面	最大傾斜法及びスプライン法で、谷底面の一部に凹地が発生している。
傾斜変換点	今回の研究では、傾斜変換点における不自然な凹地は発生しなかった。

以上の結果、一部不自然な地形が発生しているが、全般的に見ると、中間等高線を使用することによって地形の再現性はかなり良好であることがわかった。

2) 既存 DEM との比較検証

3. 2 で作成した DEM と既存の DEM との比較を行った。比較対象は、数値地図 50mメッシュ (標高) (本研究では、経年変化を考慮して同一アルゴリズムである最大傾斜法で対象地域の DEM の再作成及びデータ修正を行った)、レーザスキャナデータ及び SRTM データである。表-5 に結果を示す。

なお検証は3. 2で試作したDEMをそのまま使用しており、修正は実施していない。

表-5 作成したDEMと既存DEMとの比較

	数値地図50mメッシュ(標高) 有効標本数=13,908点	レーザスキャナデータ 有効標本数=13,595点	SRTMデータ 有効標本数=13,908点
最大傾斜法+中間等高線	平均較差 = 0.1m Max = 16.6m, Min = -12.3m 標準偏差 = 0.69m	平均較差 = -1.9m Max = 26.0m, Min = -23.2m 標準偏差 = 4.26m	平均較差 = -6.3m Max = 69.6m, Min = -66.3m 標準偏差 = 13.94m
Enhanced TIN法	平均較差 = 0.1m Max = 8.9m, Min = -6.8m 標準偏差 = 0.57m	平均較差 = -1.9m Max = 25.9m, Min = -23.2m 標準偏差 = 4.24m	平均較差 = -6.3m Max = 69.6m, Min = -66.4m 標準偏差 = 13.98m
クリギング法+中間等高線 (欠損数 = 6点)	平均較差 = 0.1m Max = 16.6m, Min = -9.9m 標準偏差 = 1.24m	平均較差 = -1.9m Max = 24.5m, Min = -21.6m 標準偏差 = 4.34m	平均較差 = -6.3m Max = 70.3m, Min = -65.7m 標準偏差 = 13.83m
スプライン法+中間等高線	平均較差 = 0.27m Max = 27.8m, Min = -23.7m 標準偏差 = 4.28m	平均較差 = -1.7m Max = 27.1m, Min = -31.4m 標準偏差 = 5.79m	平均較差 = -6.1m Max = 84.5m, Min = -62.6m 標準偏差 = 14.36m

以上のように、現在の成果である数値地図50mメッシュ(標高)と比較した結果、どの手法でも平均較差は小さいが、Enhanced TIN法を除くと、最大最小誤差が10mを超えてしまい、DEMの大きかりな修正が必要となる。特にスプライン法では標準偏差も大きく、実用的ではない。従ってEnhanced TIN法がDEM作成時には最も有効であると考えられる。なお、レーザスキャナデータ及びSRTMデータと比較した結果、いずれも平均較差がマイナスとなっている。これは作成したDEMの水平位置の誤差によるものやSRTMデータ特有のデータ特性(植生がある地域においては、地表面より高い場所の値である可能性)によるものと考えられる。

4. 結論

メッシュ標高の次期刊行に向けて、DEM作成アルゴリズムの調査を行い、その利点・欠点を取りまとめた。その結果、DEM作成には大きく1)線データに基づく手法、2)点補間による手法に大別できることがわかった。その中からDEM作成時の地形再現性、計算処理時間及び使用できるソフトウェアが存在することを基準にして、4つの手法を用いて、実際にDEMを試作した。その結果、クリギング法及びスプライン法では作成時間として非常に多く要することが判明したが、その他の方法ではそれほど時間は要しないことが判明した。また試作したDEMの精度検証を行った結果、Enhanced TIN法では平均較差0.1m及び最大最小誤差が10m以内の誤差でDEMが作成できる一方、他の手法では最大最小誤差が10mを超えることが判明した。これは、TINを用いて標高データを作成する手法における特性であるが、Enhanced TIN法で計算のために生成される三角形は、その頂点の標高を周囲の等高線から求めているため、得られる標高も等高線と整合的になるためである。以上を総合的に判断すると、DEM作成にはデータ作成時間が短く、誤差が少なく、傾斜変換点等の特徴的な地形においても平均的に精度の確保ができ、かつ、地形再現性の高いEnhanced TIN法が、NTIS等高線データを基に国土地理院の測量成果としての標高データを作成する上で有効であると考えられる。