

II-11 GISを用いた災害・環境シミュレーションのための地形モデリング

樫山和男¹ 谷口健男² 白石一馬³ 小野康平⁴ 志熊 隆⁵
 Kazuo KASHIYAMA Takeo TANIGUCHI Kazuma SHIRAISHI Kouhei ONO Takashi SHIKUMA

【抄録】本論文は、災害・環境シミュレーションのための地形モデルを、GISを用いて正確にかつ簡便に作成するためのシステムの構築を行うものである。入力データとしては数値地図または地形図を用い、GIS機能を用いて作成した等高線および地性線（尾根線と谷線）上に節点を発生させて修正Delaunay法により有限要素三角分割を行っている。本システムを実際の地形に適用することにより、微地形を正確に表現した地形モデルが作成できることを示している。

【キーワード】GIS、地形モデリング、災害・環境シミュレーション、FEM

1. はじめに

わが国は四方が海に囲まれ、また地形は急峻であるため水害、風災害、土砂災害などの自然災害が数多く発生している。これら自然災害や大気環境・水環境の予測を行う上で数値シミュレーションは有力な道具であり、それらを高精度に解析するためには、谷や尾根などの微地形を正確に表現した地形モデルを作成することが重要である。これまで著者らのグループでは、地図のスキャニングシステムにより地形データを獲得しモデリングを行ってきたが¹⁾、地形を構成する等高線上の節点の発生は半自動で行なわれており、また谷線や尾根線などの地性線の考慮はなされておらず微地形を正確に表現したものにはなっていなかった。

そこで本研究は、災害・環境シミュレーションのための地形モデルをGIS (Geographic Information System)を用いて正確にかつ簡便に作成するためのシステムの構築を行うものである。要素形状は任意形状への適合性の良い三角形を用いている。入力データとしては国土地理院発行の数値地図50mメッシュまたは既存の地形図を用い、GIS機能を用いて作成した等高線および地性線（尾根線と谷線）上に節点を発生させてDelaunay法により三角分割²⁾を行っている。微地形をより正確に表現するために、等高線と地性線は必ず三角形の一辺で構成されるように、また要素の歪みや棚田の発生を極力抑えた要素分割を行っている。本システムを実際の複雑地形に適用することにより、微地形を正確に表現した地形モデルが作成できることを示す。

2. システム概要

本研究では、GISソフトとしてArcView GISを用いた。ArcViewは地理データを視覚化、調査、照会、解析を行い、地理的な相互関係を把握することができる。この機能を活用することによって等高線と地性線の表現が可能となる。また、等高線と地性線を構成する線分と節点の情報を取得するため、ArcViewのオブジェクト指向スクリプト言語であるAvenue³⁾⁴⁾を用いてプログラミングしArcViewに新しい機能を追加した。

本システムの概要について、静岡と神奈川の県境の十国峠付近を例題に用いて説明する。このあたりは、断層が多数存在しており複雑な地形形状となっている。図-1に本モデリングシステムの流れを示す。

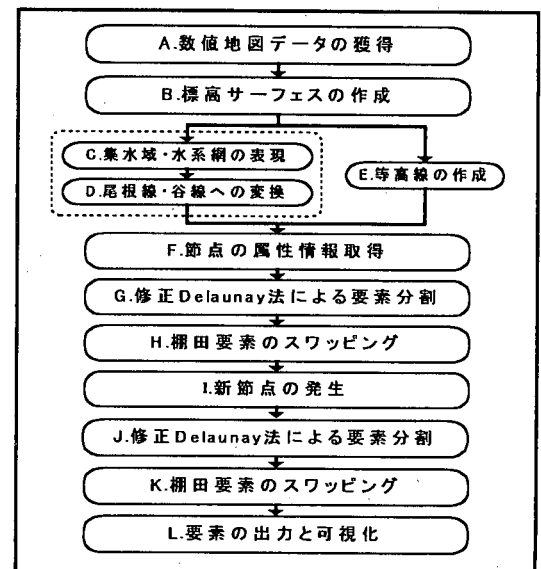


図-1 モデリングシステムの流れ

(1) 数値地図データの獲得（図1のA）

数値地図50mメッシュ⁵⁾または既存の地形図の標高既知点をArcViewへ取り込む。そして、対象とする領

1.: 中央大学理工学部土木工学科
 〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27
 TEL. 03-3817-1808 , FAX. 03-3817-1803
 2. 岡山大学環境理工学部環境システム科
 3. 中央大学理工学部土木工学科
 4. 埼玉県
 5. 三井造船

域を包括する境界を任意に設定し、その内部の標高点のみを抽出する。

(2) 標高サーフェスの作成と等高線の作成 (図1のB, E)

読み込んだ標高既知点を用いてArcViewの標高補間機能により、連続データとしての地表面(標高サーフェス)を作成する⁶⁾。補間法には3次導関数までを考慮したRegularized Spline補間を用いる。なお、標高サーフェスのセル間隔は10mとした。次いで標高サーフェスから等高線を作成する。この際、効率良く要素生成を行うため、等高線形状を崩さない程度に等高線を構成する線分の節点を削除する。図-2に標高サーフェスと等高線を示す。(図1のB, E部分)

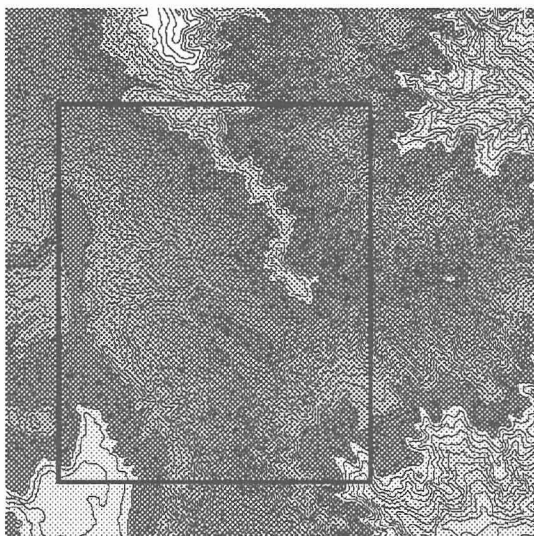


図-2 標高サーフェスと等高線

(3) 集水域・水系網の表現 (図1のC)

ArcViewの水理解析機能⁶⁾により標高サーフェスから集水域と水系網の作成を行う。集水域の輪郭は尾根線と、水系網は谷線とほぼ一致することから、この機能の活用によって尾根と谷の表現が可能となる。集水域と水系網の作成方法は以下の手順による。図-3に作成された集水域と水系網を示す。

- 1) 水流障壁となる窪地を標高サーフェスから除去。
- 2) 新たな標高サーフェスを基に水流方向解析を行う。
- 3) 2)の結果から水流の集積値を計算する。
- 4) 設定した値以上の水流集積値を持つセルの集まりを水系として表現する。
- 5) 各水系にインデックスを与えて区別し、水系網を作成する。
- 6) 2)と5)の結果から集水域を作成する。



図-3 集水域と水系網

(4) 尾根線・谷線への変換 (図1のD)

水理解析で扱うデータ形式はラスタデータであるので、それをベクトルデータに変換する。集水域はそれぞれをポリゴンとして区別し、その外枠線を尾根線とする。水系網は連続したセル同士のつながりを線へと変換し、それを谷線とする。そして、設定した解析領域内に存在する地性線のみを抽出する。ArcViewによって作成した等高線と地性線を図-4に示す。

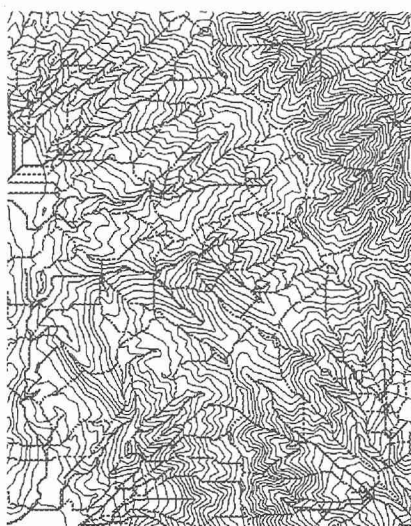


図-4 等高線と地性線

(5) 節点の属性情報の取得 (図1のF)

等高線と地性線、境界線を構成している線分の節点及び他の線分同士との交点に節点を発生させ、その属性情報を取得する。この際、長い線分については設定したある値(ここでは50m)より超えない間隔で、線

分上に節点を発生させる。これは要素生成を行う際に、偏平すぎる要素の発生を防ぐためである。節点の属性情報には、そのXYZ座標と線分の種類のインデックスを与え、テキストファイルの形式で出力する。図-5に等高線と地性線の節点を示す。この時点で等高線上以外の各節点は標高値を持っていないので、新たに標高値を与える必要がある。その際には標高サーフェスとの重ね合わせを行い、節点の位置にある標高サーフェスの標高値を与える。

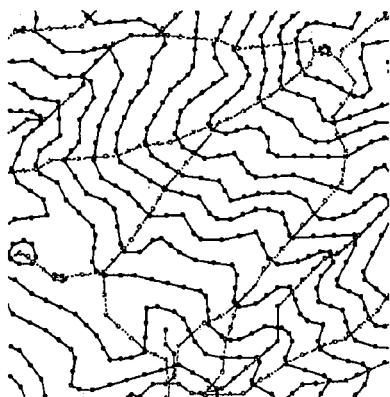


図-5 等高線と地性線の節点

(6) 修正Delaunay法による要素の生成 (図1のG, J)

等高線と地性線、境界線上の節点を基に要素の生成を行う。要素生成法には修正Delaunay三角分割法を用いた。本手法では、境界線を導入後、まず等高線を構成する各線分の節点を用いて要素生成を行う。その後、地性線を構成する各線分の節点を追加することで要素を完成させていく。これは、等高線を地性線より優先させるためである。地性線の節点が等高線の節点と接近している場合は、偏平な要素の発生を防ぐため、地性線の節点を等高線の節点位置に移動させる。また、集水域と水系網をそれぞれ尾根線と谷線として用いたため、この2線が接近・交差する箇所が発生し、偏平な要素が生成される場合がある。その場合は谷線を優先させ、谷線と接近・交差する尾根線の線分と節点は発生させないこととした。なお、地性線の節点を移動させる範囲と尾根線の節点を削除する範囲をメートル単位で決定するパラメータ値はいずれも10mとした。

(7) 新節点の発生 (図1のI)

等高線と地性線上の節点だけを用いての要素分割では、偏平な三角形要素が多数存在する。これは地形表現においては問題ないが、解析用の要素としては誤差

の増大や数値的不安定の原因となる。そこで、領域内に新節点を発生させて偏平な要素の発生を抑える。新節点の発生の検討は、領域内部の節点の場合、図-6に示すように解析領域の最下位左側から δ 間隔で順次行う。また、境界上の節点の場合には、各境界線分において δ 間隔で節点発生の検討を行う。図中、○は新節点の候補であり、□は等高線、地性線上および境界上の節点、●は新節点に認められた内部節点、■は新節点に認められた境界節点を表している。内部節点の場合各候補点において、節点発生間隔を表す半径 f_p の領域内に□、■、●のいずれかの既存節点が存在するかどうかを調べ、存在しない場合に新節点として認める。なお、 δ と f_p はいずれも30mとした。

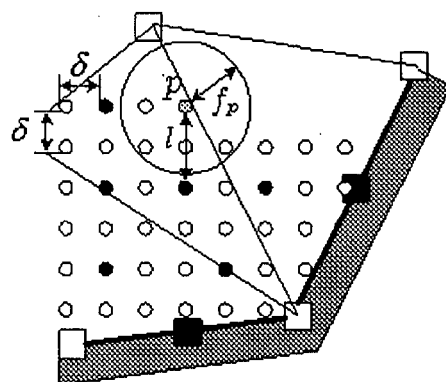


図-6 新節点の発生

(8) 棚田要素のスイッチング (図1のH, K)

従来の等高線節点のみを用いた場合の要素分割には棚田現象が必ず生じてしまう。本手法では地性線と新節点を導入したことでその現象のほとんどを解消することに成功しているが、さらに正確な地形の表現のために棚田要素のスイッチングを行う。図-7と図-8に棚田要素のスイッチング法とフローチャートを示す。棚田要素の各辺に注目し、その辺がブレイクラインではなく隣の要素が棚田要素ではない場合、その辺をスイッチングする(図7 a,b)。幾何学的理由によりスイッチングが許されない場合、隣が棚田要素である辺を先にスイッチングすることで棚田解消のスイッチングが可能となる(図7 c,d,e)。この作業を全ての辺がスイッチングされなくなるまで行っている。

表-1に本例題における棚田の発生状況を示す。処理Aは等高線のみで要素分割した場合、処理Bは等高線に地性線を導入して要素分割した場合、処理Cは処理Bの後に棚田要素のスイッチングを行った場合、処理Dは処理Cの後に新節点を導入して要素分割した場合、処理Eは処理D後に棚田要素のスイッチングを行った

場合である。表-1より、地性線を導入することにより棚田要素の大部分が解消されることが分かる。また、それに加えて棚田要素のスワッピングを行うことにより棚田要素が大幅に削減されることが分かる。また、図-9に処理Aと処理Eによって得られた局所的な要素分割例を示す。図より棚田要素（ハッチ要素）がほとんど解消されていることが分かる。

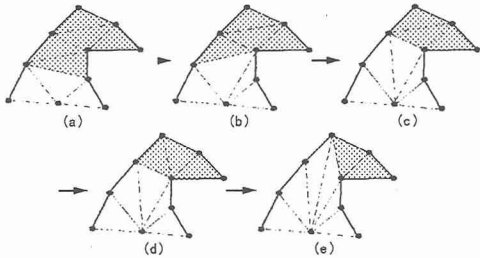


図-7 棚田要素のスワッピング法

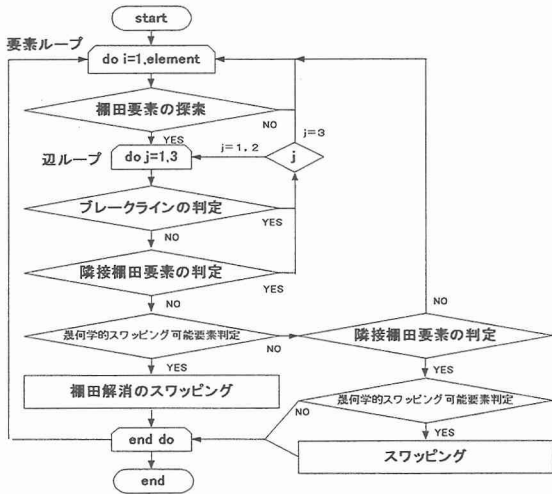


図-8 棚田要素のスワッピング法 (プロ-チャート)

	棚田発生率	棚田要素数	総要素数
処理 A	16.31%	3131	19198
処理 B	3.24%	796	24601
処理 C	0.26%	63	24601
処理 D	0.17%	46	27085
処理 E	0.16%	42	27085

表-1 本例題における棚田解消状況

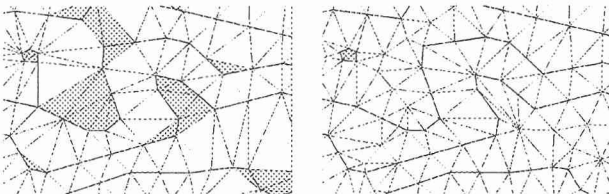


図-9 棚田要素の解消例 (左：処理 A, 右：処理 E)

(9) 要素の出力と可視化 (図 1 の L)

作成したメッシュデータを ArcView に取り込み、地形モデルを可視化する。この際、各要素には節点の結合条件と要素の傾斜角、傾斜方向、各節点には XYZ 座標を属性情報として持たせる。図-10 に作成された地形モデルを 3D 表示したものを示す。

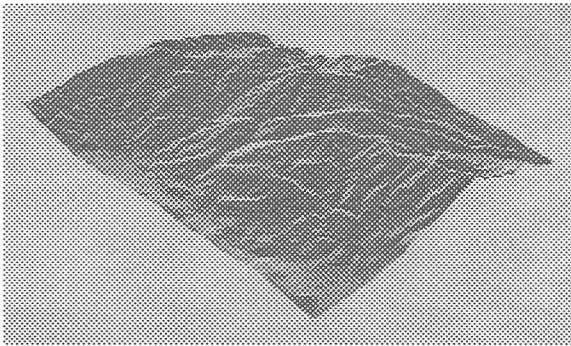


図-10 3D 地形モデル

3. おわりに

本論文では、災害・環境シミュレーションのための正確な地形モデルを、GIS を用いて簡便に作成するためのシステムの構築を行い、以下結論を得た。

- ArcView の水理解析機能を活用することで、各集水域の輪郭を尾根線、水系網を谷線として地性線情報の獲得が可能となった。
- 等高線と地性線を壊さない修正 Delaunay 三角分割法および棚田解消法を構築し、微地形を正確に表現した要素分割が可能となった。
- 新節点の導入により歪んだ要素が解消され、計算の精度および安定性の向上が期待できる。

今後は、実際の災害・環境シミュレーションに適用し、本モデリング手法の有効性の検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 清水仁, 樫山和男 :”構造物を考慮した地形風数値解析のためのモデリング手法の構築” :第 23 回土木情報システムシンポジウム講演集,pp93-96 :1998.
- 2) 谷口健男 :”FEM のための要素自動分割” :森北出版 (株) :1992.
- 3) Amir H. Razavi :”ArcView GIS/Avenue Developer’s Guide” :Onword Press :1999.
- 4) Amir H. Razavi and Valerie Warwick :”ArcView GIS /Avenue Programmer’s Reference” :Onword Press :1999.
- 5) 数値地図ユーザーズ・ガイド (改訂版) : (財) 日本地図センター :1992.
- 6) ArcView Spatial Analyst ユーザーズ・ガイド :ESRI :1996.