

三次元GISのためのTINの高速描画法

平岡 透* 山田 清文* 浦浜 喜一**

1. はじめに

筆者らは前に¹⁾²⁾、三次元空間内をスムーズに移動するために必要となる地形データの一般的な表現モデルであるDEM (Digital Elevation Model) の高速な描画法を提案した。しかし、DEMは正規メッシュ上に標高を付与して地形を表現するため、忠実に地形を再現するにはメッシュの間隔を細かくする必要があり、データ量が膨大となる。一方、地形を不規則な三角網で表現するTIN (Triangulated Irregular Network) は、尾根や谷、崖、法などの傾斜不連続線に多くのブレークラインを設けて作成することで、DEMと比較してより少ないポリゴン数で地形を忠実に再現することができるが、高速描画でのデータの処理が複雑になるといった欠点があり、広域の地形データを扱う場合の三次元GIS (Geographic Information Systems) ではあまり利用されていないのが現状である。そこで本論文では、以前筆者らが提案したDEMの高速描画法¹⁾²⁾をTINに拡張した方法を提案し、実験を通してその有効性を検証する。

2. TINの高速描画の必要性

現在、三次元GISは、現実世界が三次元であるということから、人に視覚的に分かり易く情報を伝達でき、三次元的な各種解析が可能なツールとして注目されている³⁾⁴⁾⁵⁾。例えば、将来の道路や橋梁などの計画構造物を

取り込んだ景観表示ツール、資料館や博物館などに設置した地域案内ツール、都市空間内の建築物に関する規制を立体化かつ色分けして視覚化した業務支援ツール、河川氾濫や土砂災害、地震などに備えた防災ツール等を中心として様々の利用が期待されている。この中でも、景観表示ツールや地域案内ツールではそれ程データに精度は求められないが、業務支援ツールや防災ツールでは場合によってはデータに精度が求められ、特に直接人命に関わる防災ツールではシビアな精度のデータが必要であると考えられる。三次元GISで扱うデータには、地形データ、構造物データ、属性データ、画像データ、音声データ等多様に存在するが、基盤データとなるのが地形データで、より忠実に地形を再現できるモデルがTINであり、三次元GISでは必要に応じてTINの使用が要求される。同時に、使用者に三次元映像をストレスなくスムーズに提供する必要性も生じる。

3. 方法

本手法は、視点から近いTINは詳細に、遠いTINは粗く描画すること、視野に入るTINを構成する三角形のみを描画すること、

TINの各三角形を各ブロックに振り分けて、まずは各ブロックが視野に入るかどうかを判定して、視野に入れば更にそのブロック内のTINの各三角形が視野に入るかどうかを判定することによって計算量を削減すること、TINの各三角形の各頂点を共有する別の三角形とリンク付けることによって計算量を削減

* 東亜建設技術株式会社 ** 九州大学

することという大きく4つのアイデアがベースとなっている。また、処理はデータベース作成ステップと描画ステップに大きく2つのステップに分かれて行われ、前もってデータベースを作成しておき、システム起動時にそのデータベースからTINをロードして描画するという手順になる。

3.1 データベース作成ステップ

まず、TINの三角形を間引きして新たに大まかなTINを作成する。間引きの方法であるが、TIN内の三角形を選択して、三角形が削除されて形成される多角形領域を幾つかの三角形に分割するということを繰り返し行い、TINの三角形の数が元のTINの三角形の数の $1/2$ になったらこの処理を終了する。より詳細に説明すると、初めに削除する三角形を1つ選択し、その三角形と接する三角形も削除するものとして、図1に示すように、三角形が削除されて形成される多角領域を初めに選択された三角形の重心に新たに点を設けて新たに三角形を形成する。重心の高さは、初めに選択された三角形が形成する平面上の重心xy座標のz座標値とする。この場合TINの削除する三角形を選択する場合、新しく構成されるTINが元のTINと出来る限り似たTINとなるようにした方がよい。そこで、傾斜の変化量が少ない場所を間引きした方がよいというアイデアから、削除される三角形の傾斜度の平均が最小となる三角形を選択する。ここで傾斜度は、三角形の重心と各3頂点との高さの差の絶対値を距離で割った値の平均を削除する三角形に対して全て求め、その和とする。しかし、以上の方法だと多角形領域が凹ポリゴンとなる場合に巧く三角形を形成できないことが生じるため、このときは傾斜度が最小でも選択していないとする。

次に、TINの各三角形を各ブロックに振り

分けるに当り、ブロックはある一定間隔の矩形ブロックとする。このとき、矩形ブロックの境界線上にある三角形は境界線で分割して、分割後三角形になる領域はその部分で新たに三角形を、分割後四角形になる領域は四角形を分割して2つの三角形を作成する。ここでTINの各三角形を矩形ブロックに振り分けるのは、計算量を削減する目的の他、TINに航空写真や衛星画像、地形図等をテクスチャマッピングする作業を容易に行えるようにすることも考慮に入れている。

更に、矩形ブロックの境界線と一致する辺で構成される新しく形成された三角形は、この三角形の矩形ブロックの境界線を含む一辺上に間引き前のTINの頂点が存在する場合、図2に示すように境界線上の間引き前のTINの頂点を含んだ三角形に分割して、分割後の三角形を分割前の三角形とリンクしてデータベースに格納しておく。また、TINの各三角形の各頂点に対して、図3に示すようにその頂点を共有する別の三角形とリンクさせてデータベースに格納しておく。

以上の処理を元のTINの三角形の数と比較して $1/2$ 、 $1/4$ 、 $1/8$ ・・・となるような段階的なTINの作成に適用して、データベースに格納しておく。このとき、どの段階までのTINを作成したら良いかは、扱う地形の面積に応じて設計する必要がある。一般的に、TINの面積が大きくなればなる程、またTINの密度が密になる程、段階の数を大きくする必要はある。

3.2 描画ステップ

まず、矩形ブロックの四隅の点が視野に入るかどうかを判定し、四隅の点が全て視野に入れば矩形ブロック内の三角形を全て描画する。また、四隅の点が1点以上でかつ3点以下の数が視野に入れば、更に矩形ブロック内

の各三角形の頂点が視野に入るかどうかをそれぞれ判定して、1頂点でも視野に入ればその三角形とその三角形の視野に入る頂点とリンクしている三角形を描画する。当然、既に描画された三角形の視野に入る頂点とリンクしているという条件で描画された三角形は、再度視野に入るかどうかの計算処理を行わなくて良い。以上の処理を矩形ブロック内の各三角形が視野に入るかどうかを全て判定できるまで繰り返す。

同時に、視点からの距離に応じて矩形ブロック内のTINの粗さを変化させる。視点から近い矩形ブロックほど細かいTINを、遠い矩形ブロックほど粗いTINを描画する。つまり、視点と矩形ブロック中心との距離が近い

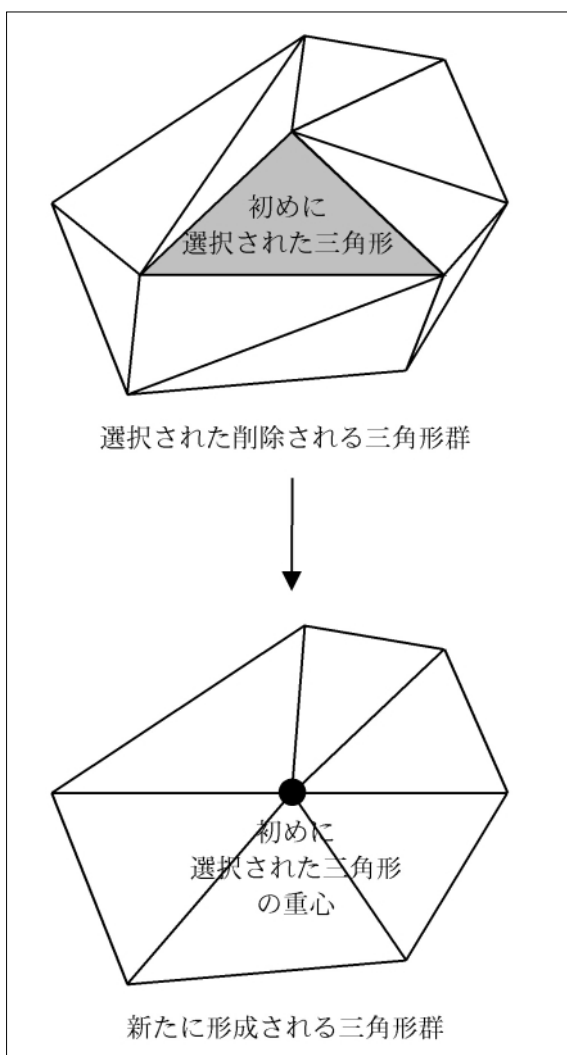


図.1 TINの間引き

場合は元のTINを、距離が離れるに従って矩形ブロック内の三角形の数が1/2、1/4、1/8・・・となるものを描画する。この際、TINの粗さが異なる矩形ブロックが接する場合の整合をとるため、TINの粗い方の矩形ブロック内のTINの細かい矩形ブロックと接する三角形は、リンクされている細かい三角形で表現して描画する。

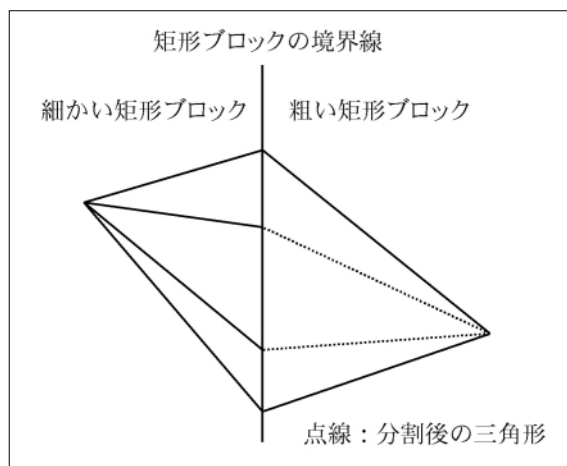


図.2 矩形ブロックの境界線上での三角形の分割

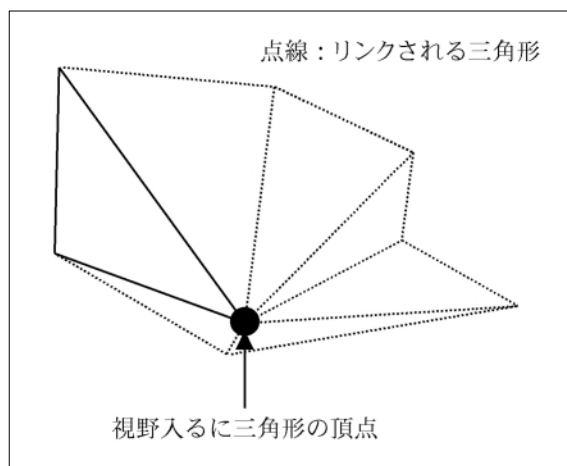


図.3 三角形のリンク

4. 実験

本手法の有効性を検討するために、図3に示す範囲が横3,120.0m×縦2,080.0m、標高の最低が-4.553m、最高が65.603、平均が10.618mのTINを用いて実験を行った。実験の前処理として、TINを縦横520.0m間隔で横6

ブロック×縦4ブロックの合計24ブロックに分割した。分割後のTINの三角形の数は41,797個であった。描画処理速度を計算するに当たり、視点と矩形ブロック中心との距離が1000.0mより小さい場合は元のTINを、1000.0m以上でかつ2000.0mより小さい場合は元のTINの三角形の数を1/2に間引きしたTINを、2000.0より大きい場合は元のTINの三角形の数を1/4に間引きしたTINを描画するとした。また、視点を図4に示す平面位置上で高さを100.0m、視線を図3に示す方向で注視点の高さを100.0m、視野を45.0度とした。

本手法を用いた場合、描画処理に要した時間は0.006秒であった。一方、全ての三角形が視野に入るかどうかを判定して描画した場合、描画処理に要した時間は0.014秒であった。このとき、三角形の3頂点を順次条件判定して、視野に入った時点で描画した。つまり、本手法を用いることによって、単に全ての三角形が視野に入るかどうかを判定して描画するよりも、2倍以上も高速に処理できることが確認できた。

使用したマシンはDell LATITUDE M60で、スペックはCPUがIntel Pentium Mで1.7 GHz、メモリがDDR SDRAMで1.0GBである。

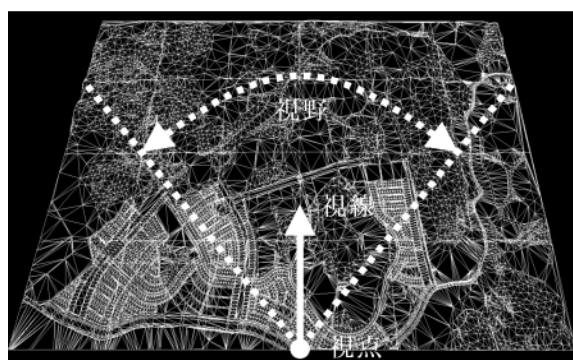


図.4 実験で使ったTIN

が確認できた。今回、数km²のTINに対して実験を行ったが、数百km²といった広範囲のTINに本手法を適用できるようにすること、また本手法を三次元GISに実装し様々な分野で活用して世の中に貢献して行くことが今後の課題である。

参考文献

- 1) 平岡透、浦浜喜一：リアルタイムレンダリングのためのDEMの高速描画方式、APA、No.84、pp.27-29、2003
- 2) 平岡透、是石幸男、浦浜喜一：広域DEMのシームレスな高速描画法、APA、No.85、pp.101-104、2003
- 3) 平岡透、是石幸男、浦浜喜一：デジタル写真測量とリアルタイムレンダリングを用いた景観シミュレーションの利活用、電子情報通信学会技術研究報告、Vol.101、no.455、pp.9-14、2001
- 4) 日本写真測量学会 学会誌編集委員会：三次元GISの基礎技術、写真測量とリモートセンシング、Vol.43、No.1、pp.4-49、2004
- 5) 日本写真測量学会 学会誌編集委員会：三次元GISの応用事例、写真測量とリモートセンシング、Vol.43、No.2、pp.4-50、2004

(受領日2005年2月14日)

5. おわりに

三次元GISのためのTINの高速描画法を提案し、実験を通して本手法が有効であること