

## 広域を表現できるデフォルメ地図の詳細度制御

堀 久実子<sup>†</sup> 岡島 仁美<sup>†</sup> 宮村(中村)浩子<sup>††</sup> 古谷 雅理<sup>†††</sup> 斎藤 隆文<sup>†</sup>

<sup>†</sup>東京農工大学 大学院 生物システム応用科学府

<sup>††</sup>日本原子力研究開発機構システム計算科学センター

<sup>†††</sup>東京農工大学 大学院 工学府 情報工学専攻

本研究では、広域を表現できるデフォルメ地図の詳細度制御法を検討する。複雑な 3 次元形状を表現するための大規模ポリゴンデータは、その転送・描画に多大な時間を要する。本研究で対象とするデフォルメ地図では、近景は平行投影、遠方の領域は非線形投影を用いることで近距離の領域では方角や距離、遠方の領域では山の形状をわかりやすく表現できる。この投影方法は表示すべき領域が広域となるため、扱うデータが大規模化してしまう。したがって、平行投影される領域と、遠方の領域はポリゴン数を削減する必要がある。提案手法では、二等辺三角形メッシュを用いた詳細度制御法をデフォルメ地図に適用し、要素数を削減する。

### LoD Control for Large-Area Deformed Map

Kumiko HORI<sup>†</sup> Hitomi OKAJIMA<sup>†</sup>

Hiroko Nakamura MIYAMURA<sup>††</sup> Tadasuke FURUYA<sup>†††</sup> Takafumi SAITO<sup>†</sup>

<sup>†</sup>Graduate School of Bio-Applications and Systems Engineering,  
Tokyo University of Agriculture and Technology

<sup>††</sup>Center for Computational Science & E-systems Japan Atomic Energy Agency

<sup>†††</sup>Department of Computer, Information and Communication Sciences,  
Tokyo University of Agriculture and Technology

We propose a Level-of-Detail(LoD) control method for large-area deformed maps. The large-scale polygon data to express complex three-dimensional model shape requires large time the forwarding and drawing. The deformed maps used in this study are plainly expressible distance and direction information in the closed area by parallel projection, and the shape of mountains in the distance area by nonlinear projection. To draw all visible mountains from a view point, the terrain model for huge area is required. Therefore, it is necessary to reduce the number of polygons in the closer area where parallel projection applied. And also the number of polygons is reduced in the distance area. The proposed method uses the LoD control method with regular meshes and reduces the number of polygons to be rendered

#### 1. はじめに

複雑な 3 次元形状を描画するために使用される大規模ポリゴンデータは、その転送・描画に多大な時間を要する。そこで、一般的には形状要素数

を増減させる詳細度制御を用いることで描画品質を落とさずに処理を高速化させる。詳細度制御には様々な手法が提案されているが、投影方法や使用するデータの種類の種類やサイズによって保持すべき特徴が異なる。

本研究で対象とするデフォルメ地図[1](以下、本稿での「デフォルメ地図」はこの手法を指す)は、視点から近い領域は平行投影、遠方の領域では非線形投影を用いている。この投影方法により近距離の領域では方角や距離を正確に読み取る事が可能となり、遠方の領域では山の形状をわかりやすく表現できる。デフォルメ地図の投影方法は、実際に見渡した際に見える範囲を全て表示しないと、遠方の山の形状が正しく表現されないため、表示すべき領域は広域になり、扱うデータは大規模化してしまう。したがって、対話的操作を実現するために詳細度制御を施す必要がある。通常の詳細度制御は形状特徴が大きい領域に細かいポリゴンを用いるが、デフォルメ地図では、平行投影の領域では地形の特徴を失っているため形状特徴を考慮する必要がないことなど、その投影方法を考慮した特徴評価が必要となる。

そこで本稿は、デフォルメ地図の投影方法に適した詳細度制御法について検討し、描画品質を落とさずに描画効率を向上させることを目指す。

## 2. デフォルメ地図

文献[1]のデフォルメ地図では、多視点投影を用いている。近景の領域には平行投影、遠景では、注視点が遠ざかるほど球面に近い曲面になる投影面に透視投影する非線形単視点投影を行なう。

遠景の領域は平面投影と球面投影の割合を変数  $(0 \sim 1)$  で制御する Zorin らの手法[2]を用いる。この手法でデフォルメをした後の画像中心からの距離  $\rho$  は式(1)のように表せる。

$$\rho = \alpha \times (\text{平面投影式}) + (1 - \alpha) \times (\text{球面投影式}) \quad (1)$$

球面投影は図1の配置において、注視点Pを球面上の点Aに投影し、これを視点Cより球に接する平面上の点Mへ投影する。このときのRが中心からの距離  $\rho$  であり、視点(0,0,0)から注視点(X,Y,Z)をデフォルメする式は、式(2)のように求められる。

$$\rho = \frac{2r}{D_R + Z_{EYE}} + (1 - \alpha) \frac{2r}{D + Z} \quad (2)$$

ただし、 $D_R$ は平面で表現する範囲の半径、 $Z_{EYE}$ は海面からの視点の高さ、また $r$ 、 $D$ はそれぞれ  $r = \sqrt{X^2 + Y^2}$ 、 $D = \sqrt{r^2 + Z^2}$  である。

次に、近景の平面部分を平行投影することを考える。平行投影領域の境界部分までは注視点の真上に視点があるため、平行投影から非線形投影に切り替わる際、視点移動を最小限にするように平行投影領域の境界上に視点を置き、非線形投影す

る。この視点配置による、主視点(0,0, $Z_{eye}$ )を画面中心とし、注視点(X,Y,Z)をデフォルメする式は、次の式(3)のとおりとなる。

$$\begin{aligned} (\text{近景}) \quad \rho &= \frac{r}{D_R} \\ (\text{遠景}) \quad \rho &= \frac{r - D_R}{D_R} + (1 - \alpha) \frac{r - D_R}{D_m + Z} + 1 \end{aligned} \quad (3)$$

ただし  $D_m = \sqrt{(r - D_R)^2 + Z^2}$  とする。また、近景の領域は画面上で常に1となるように  $D_R$  を設定する。この式を適用した結果が図2である。

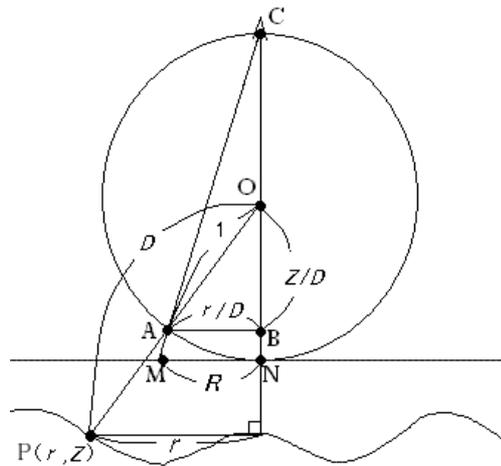


図1. 非線形投影における点配置

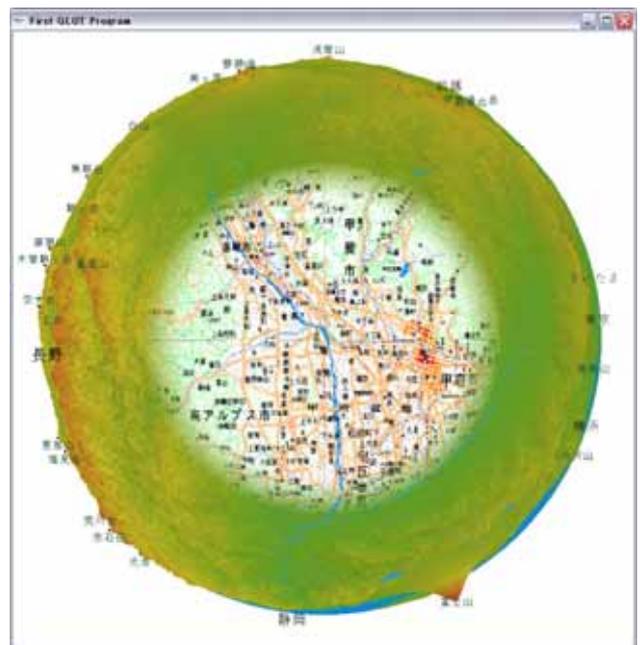


図2. デフォルメ結果

### 3. デフォルメ地図の詳細度制御

デフォルメ地図の投影方法では、実際に見渡した際に見える広大な範囲を表示しないと遠方の山並みが正しく表現されない。したがって、対話的に操作するためには、デフォルメ地図に適した詳細度制御によりポリゴン数を減らす必要がある。

#### 3.1 代表的な詳細度制御

詳細度制御は様々な手法が提案されている。デシメーションアルゴリズム[3]のような不規則メッシュを用いる詳細度制御は、それぞれの頂点を特徴評価し、頂点を削除する。また、規則メッシュを用いた詳細度制御[4]は、標高値の変化が少ない場所では粗いメッシュを用いることで形状誤差を計算し、詳細度を制御する。

#### 3.2 詳細度制御の検討

広域を表現できるデフォルメ地図は、テクスチャデータとの関連付けと大規模な標高データの読み込みを簡単にするため、標高データを分割し、必要なデータだけを読み込む。そこで、分割されたデータごとに詳細度制御を行なう。また、分割データを結合する際には、領域間のメッシュの接続部分を調節しなければならない。不規則メッシュの場合、頂点を削除することによる形状誤差は少ないが、逐次的に頂点の特徴を計算するので計算量が多く、時間がかかる。

一方で、規則メッシュを用いた詳細度制御[4]の場合、標高値の変化が少ない場所では粗いメッシュを用いるため、多くの頂点を少ない計算で削除できる。しかし、形状誤差を少なくするには、不規則メッシュよりもポリゴン数が多くなる。

規則メッシュでは、隣接するパッチが決まっているため、領域間でのメッシュの調節が容易である。また、遠方では山並みの表現ができればよいので、異なる詳細度のメッシュを接続することや、テクスチャデータとの整合性を考えると、規則メッシュを用いるのが適している。そこで、図3のような階層的直角二等辺三角形メッシュによる詳細度制御[4]をデフォルメ地図に適用する。

#### 3.3 分割アルゴリズム

階層的直角二等辺三角形による規則メッシュを用いた詳細度制御をデフォルメ地図に適用する。直角二等辺三角形は三角パッチを分割するための頂点を一意に決めることができる。

デフォルメ地図の投影方法では遠方の領域になるほど半径方向に圧縮される。正方形を2枚の三角パッチに分割する場合、図4(a)のように三角パッチの斜辺を水平方向にするよりも、図4(b)のよ

うに斜辺を半径方向にする方が、一般に誤差を小さくできる。そこで、領域ごとに三角パッチの向きに制限を加えて、分割する。

まず、あらかじめ領域ごとに必要な詳細度を定める。次に標高データを1次元配列で保持し、三角形の直角をなす頂点が格納されている配列の添字を $t_0$ とし、反時計回りに他の頂点を $t_1, t_2$ とすると、以下のステップに従って三角パッチを分割していく(図5)：

- ・ 分割する三角パッチの斜辺上に中点が格納されている配列の添字 $t_3$ を計算
- ・ 線分 $t_0 t_3$ により三角パッチを分割
- ・ 分割された三角パッチに頂点の添字 $t_0, t_1, t_2$ を再配置

これを図6(a)の場合は必要な詳細度の1レベル前、図6(b)では必要な詳細度の2レベル前になるまで繰り返す。最後にそれぞれのパッチの形状になるように中点 $t_3$ を計算し、三角パッチを分割する。

また、頂点を省略するとき、山の特徴を示す部分を省略すると山の特徴がなくなってしまうなどの大きな形状誤差が生じる。デフォルメ地図の遠方の領域では、山の小さな凹凸よりも山の形を表現する必要がある。そこで、標高値の高い領域では、山の概形の特徴を残すために、標高値の高い頂点を保存する。また、規則メッシュを崩すこと

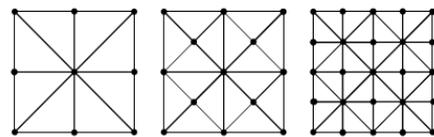
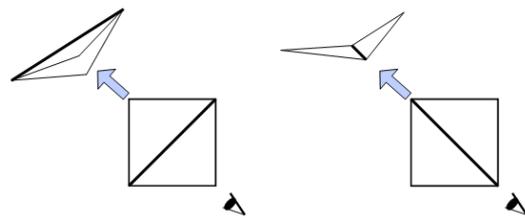


図3. 規則メッシュ



(a)円周方向

(b)半径方向

図4. 三角パッチの分割方向による誤差

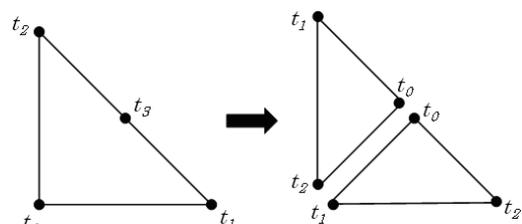


図5. メッシュの分割

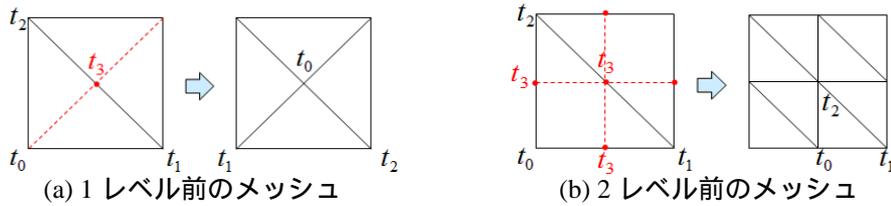


図 6: パッチの形状による分割方法

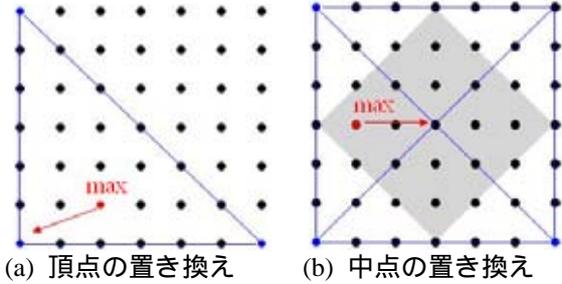


図 7. 標高値の置き換え

なく標高値を保持するために、標高 50m 以上の頂点を含む領域ではその最大値を、50m 未満の領域では図 7(a)のように最小値を 1 番近い要素に置き換える。各メッシュの中点を残す際は、図 7(b)のグレーで塗られている範囲の中で標高値を比較し、値を置き換える。

#### 4. 詳細度制御の制御手法

デフォルメ地図は、表示領域が広大なため、頂点を削除した場合に失われる特徴を逐次的に計算していると時間がかかる。そこで、距離に応じて領域ごとに詳細度を設定する。

##### 4.1 詳細度の制御方法

一般に詳細度制御は、形状を特徴付ける頂点付近や、視点から近い領域を詳細にすることが多い。しかし、デフォルメ地図は、視点から近い半径約 10km 部分は平行投影であり、遠くなるほど球面に近い非線形投影になる。平行投影は高さ情報が失われることから、詳細なメッシュは必要ない。そこで、3次元形状が表現される非線形投影について詳細度を考える。今回は、遠方の山並みを大規模なデータから効率良く表現するため、地域ごとの地形に依存せず、中心からの距離に応じて詳細度を変えていく。

##### 4.2 標高の高低差による誤差の解析

詳細度を設定する指標として詳細なメッシュを用いた場合に生じる誤差について考える。実際に使用する標高データを同じ詳細度で描画するとき、図 8 において、三角パッチの斜辺  $P_1P_2$  を中点  $P_3$  で分割したとき、 $P_1P_2$  の傾斜角  $\theta_{12}$  と  $P_1P_3$  の傾斜角  $\theta_{13}$  との誤差  $E$  を式(4)で評価する。

$$E = |\tan \theta_{12} - \tan \theta_{13}| = \frac{2d}{a} \quad (4)$$

日本国内で比較的凹凸の激しい南アルプス周辺の 40km 四方について、斜辺の長さを 0.4 ~ 18.1km ( $0.4 \times 2^{5.5}$ ) に変化させて、誤差  $E$  の分布を調べた。x 軸にパッチの斜辺の長さ (km)、y 軸に誤差  $E$  の平均二乗偏差 ( $\sigma$ ) を示したグラフを図 9 に示す。このグラフから、同じ領域であっても、パッチの大きさによって角度誤差が変化することがわかる。それは、地形が完全なフラクタルではなく、標高の上限に制約があるためと考えられる。

#### 4.3 詳細度の設定

詳細度の設定方法は、第 2 章のデフォルメ式を適用した際の画面上の誤差 (ピクセル) により決定する。まず全ての頂点の標高を 0m とし、パッチを分割する際に求める頂点  $P_3$  に、標準的な標高値  $h$  を持たせる。 $h$  は 4.2 節で求めた  $E$  の平均二乗偏差  $\sigma$  を用いて以下の式(5)で決定する。

$$h = \frac{a}{2} \times \sigma \quad (5)$$

次にデフォルメ式を適用し、パッチを  $P_3$  で分割しない場合の誤差を、斜辺  $P_1P_2$  の中点における非線形投影後の誤差  $e = P_3P_3'$  とする (図 10)。

今回は誤差  $e$  が 1.5 ピクセル以上になったときにメッシュを分割する。また、処理に対する誤差

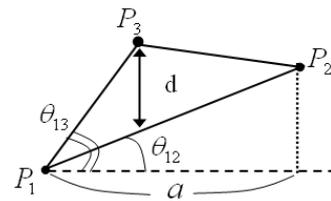


図 8. 局所的な標高値による誤差

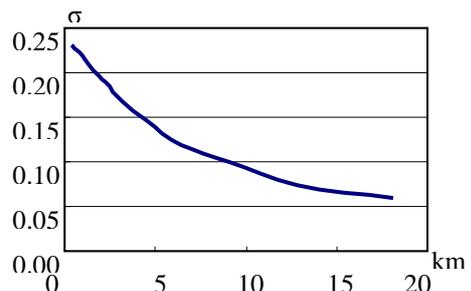


図 9. 各パッチの平均二乗偏差

e を図 10 に示す．このとき，三角パッチの斜辺の長さを中心からの距離の関係を表 1 に示す．ただし，近景では平行投影のために粗いメッシュを用いる．また，距離に対する誤差 e を図 11 に示す．

### 5. 描画実験

描画実験をするために，あらかじめ使用するデータは必要なものだけを読み込めるように作成する．次にデフォルメ地図に詳細度制御を適用する．

#### 5.1 データ構造

地形データとして，国土地理院数値地図 50m メッシュの標高データを使用する．データを読み込む際は適時均等に要素を間引いた簡略データを用いる．また，デフォルメ地図の近景は地名や河川，道路などの詳細な情報を表示するため，テクスチャマッピングが必要である．テクスチャデータは対話的操作を実現するため，サイズを縮小し，正方形に補正したものを作成する．

#### 5.2 標高値の保存

6,400m 間隔のメッシュで標高値を保存せずに頂点を削除したものを図 12(a)に，必要な標高値を残して頂点を削除したものを図 12(b)に示す．図 12(a) では，山並みが全体的に平らになっているのに対し，図 12(b)では標高値の高い山が表現されていることがわかる．

#### 5.3 デフォルメ地図の詳細度制御の適用

200m 間隔のデータを用いて，全ての頂点の間隔を 200m で描画した地図を図 13 (a)に示す．次に，遠方に簡略データを用い，表 1 のような詳細度制御を行った結果を図 13(b)に示す．図 13(a)の地図の中央部分約 10km にテクスチャマッピングを行い，山の名前や地名を表示したものを図 13(c)に示す．テクスチャマッピングは，半径約 10km からアルファブレンディングをしている．また，図 13(d)に図 13(c)のメッシュを示す．

図 13(a)と図 13(b)を比較すると，表示時間は約 16 分の 1 まで短縮しており，ポリゴン数は約 50 分の 1 に減少している．遠方の領域では粗いメッシュを用いているが，標高値の置き換えをしているため山が平らになるなどの大きな形状誤差は少ないことがわかる．また，図 13(c)と図 13(d)より，

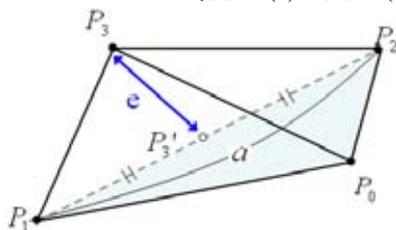


図 10. デフォルメによる誤差 e

表 1. 詳細度の設定

中心からの距離(km)	斜辺の長さ(km)	詳細度レベル
0 ~ 3.2	2.263	4
3.2 ~ 35	0.800	7
35 ~ 56	1.131	6
56 ~ 76	1.600	5
76 ~ 100	2.263	4
100 ~ 123	3.200	3
123 ~ 145	4.525	2
145 ~ 160	6.400	1

中央部分は粗いメッシュを用いているが，平行投影を行なっているため，頂点を省略したことによる形状誤差はなく，テクスチャの読み取りが可能であることが確認できる．

#### 5.4 詳細度制御による誤差

図 13(b)における 3.5 ピクセル以上の形状誤差を，中心からの距離に対してプロットした結果を，図 14 に示す．中心から半径 40km 以内の領域では，細かいパッチを使用しているが誤差が多くなっている．これは，この領域では局所的に高低差のある山並みが多いためと思われる．また，デフォルメ手法において，平行投影と非線形投影の接続部分であることによる歪みの影響も考えられる．

### 6. おわりに

本研究では，広域を表現するデフォルメ地図の詳細度制御を提案した．今後の課題として，標高の高い山が多い領域の誤差を少なくする詳細度を考え，誤差を減らすことを目指す．

#### 参考文献

- [1] 岡島 仁美, 堀 久実子, 宮村(中村)浩子, 齋藤 隆文: 近景から遠景まで同時に表現できる地図のデフォルメ手法, 情報処理学会研究報告 2008-CG-133, Vol.2008, No.109, pp.103-108, 2008.
- [2] Denis Zorin and Alan H. Barr: Correction of Geometric Perceptual Distortions in Pictures, *Proc. ACM SIGGRAPH 95*, pp.257-264, 1995.
- [3] W. J. Schroeder, J.A. Zarge, and W.E. Lorensen: Decimation of Triangle Meshes, *Proc. ACM SIGGRAPH '92*, pp.65-70, 1992.
- [4] P. Lindstrom, D. Koller, W. Ribarsky, L.F. Hodges, N. Faust, and G.A. Turner: Real-Time Continuous Level of Detail Rendering of Height Fields, *Proc. ACM SIGGRAPH 96*, pp. 109-118, 1996.

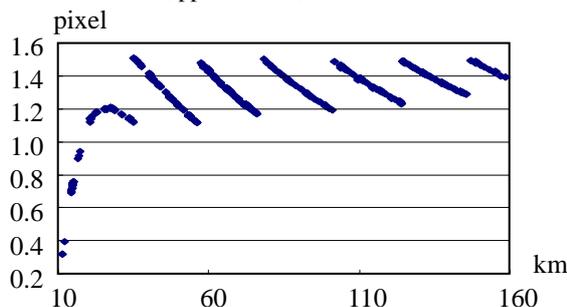
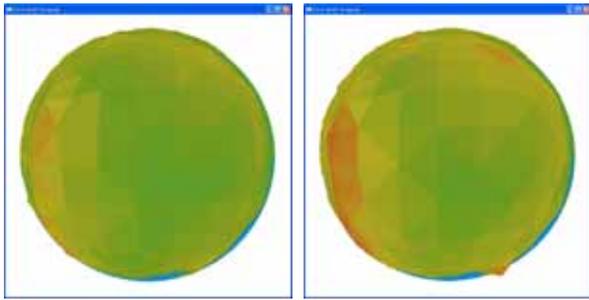


図 11. 詳細度設定時の誤差 e



(a) 頂点を削除 (b) 標高値を保存

図 12. 標高値の保存

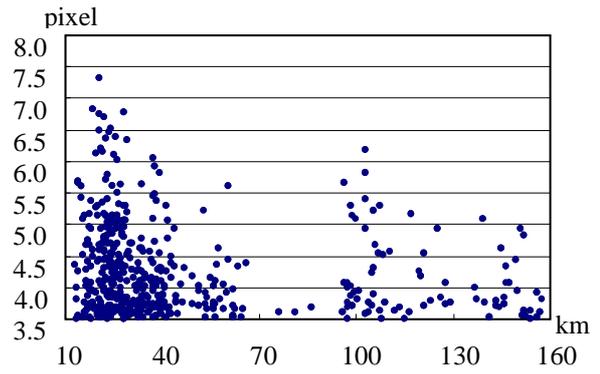
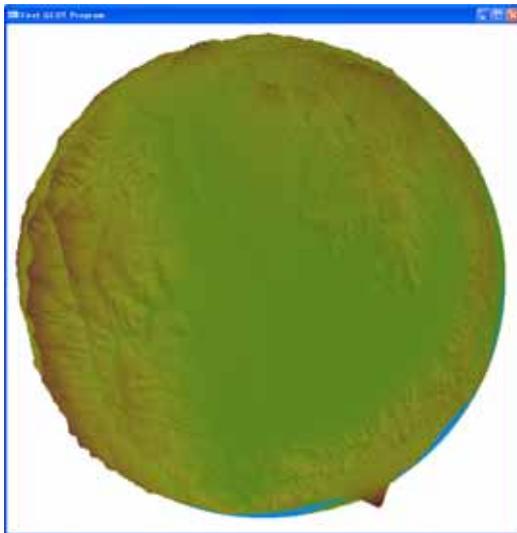
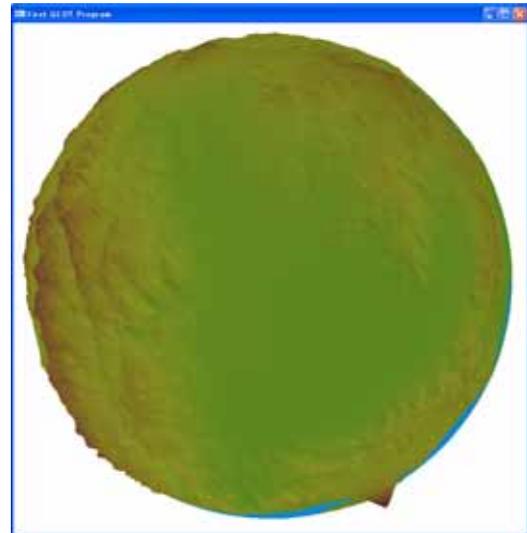


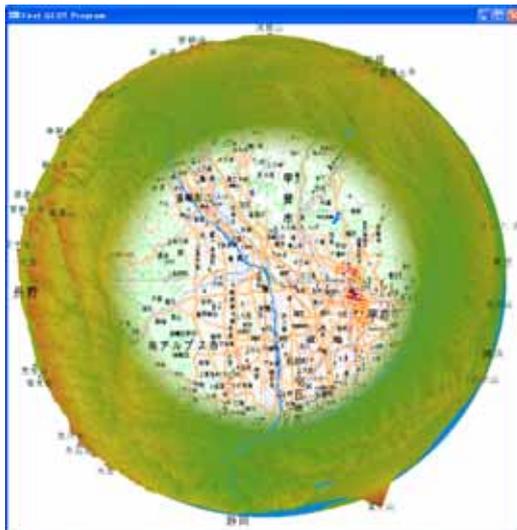
図 14. 実データにおける形状誤差



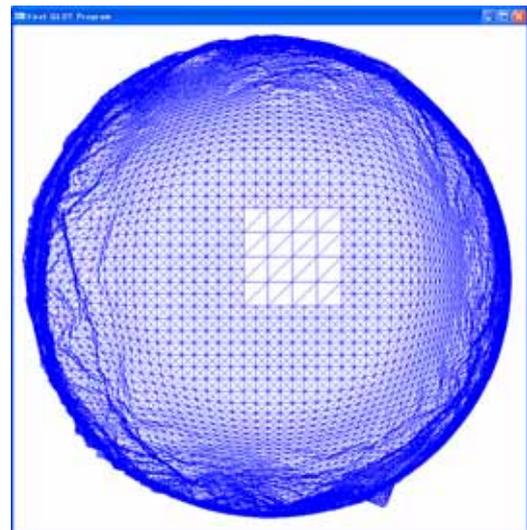
(a) 3,958,784 ポリゴン(表示時間 6.4 秒)



(b) 77,128 ポリゴン(表示時間 0.4 秒)



(c) テクスチャマッピングと地名の表示



(d) ポリゴン表示

図 13. 描画結果