

1948 年米軍作成 1/4800 地形図を用いた DEM 作成と 国土地理院 5 m メッシュ標高との差分による地形改変判読

渡 邊 康 志*・辻 浩 平**・上 原 富二男***

(*GIS 沖縄研究室・** ジャパンホームシールド株式会社・*** 沖縄大学法経学部)

Producing DEM Using AMS 1/4800 Topographic Maps (1948) and Landform Transformation Analysis by Differences Between GSI 5m Mesh DEM

Yasushi WATANABE*, Kouhei TSUJI** and Fujio UEHARA***

(*GIS OKINAWA Laboratory, **JAPAN HOME SHIELD Inc.,

***Department of Law and Economics, Okinawa University)

摘 要

本研究では、米軍作成の 1/4800 地形図から効率的に広範グリッド標高を生成する手法を検討し、その手法が有用であることが認められた。このグリッド標高と現地形の差分より求めた広範囲の切土盛土から地形改変状況を把握することができた。沖縄島中南部の米軍作成 1/4800 地形図の地形学的価値は非常に高く、この地形図のグリッド標高は、地形解析の他、防災や環境解析に利用できるものと考えられる。

キーワード：米軍作成 1/4800 地形図，DEM，地形改変，切土盛土分布，GIS

Keywords: AMS 1/4800 topographic map, DEM, landform transformation, distribution of cuttings and embankments, GIS

I はじめに

沖縄島は第二次世界大戦後人口が増加した。特に、うるま市一読谷村以南の沖縄島中南部の人口は、1955 年の 516,193 人から 2010 年の 1,145,731 人と約 2 倍に増加している（沖縄県 2001, 2011）。沖縄島中南部には嘉手納基地や普天間基地をはじめとする広大な米軍基地が存在するため、基地となった地域に居住していた住民や、人口増加分に相当する住民は移動や新規に居住地を求める必要が生じた。そのため沿岸部の埋め立て、旧集落周辺や米軍基地周辺の台地・丘陵での区画整理事業、小規模な宅地開発などにより、市街地が形成された（渡辺 2000）。また、沖縄の本土復帰に伴う米

軍基地返還跡地の利用として、那覇市新都心地区など都市部では大規模な区画整理事業が行われ「都市的土地利用」がなされている（上江洲 2012）。

これらの市街地の拡大は大規模な地形改変を伴い、日本本土に見られないサンゴ礁や丘陵・台地の亜熱帯性地形（目崎 1988；河名 1988；前門 1993）などを破壊している。破壊以前の地形を記録した地形図として、陸軍測地部が作成した 1/25000 地形図（清水 1999）や米軍作成の地形図群、特に詳細な地形が記録されていると考えられる 1/4800 地形図（以下、1/4800 地形図という）が知られている（島袋 2006；小林・小林 2013）。

上原（2000）は、これらを利用し、地形改変以前の宜野湾市の地形分類や水系解析を行い、これ

らの地形図の地形学的価値を示した。渡辺（2001）は、これらの地形図の等高線よりグリッド標高データを作成し、古地形図よりグリッド標高データを作成できることを示した。また、渡邊（2004）は、これらの地形図より作成したグリッド標高データと米軍撮影空中写真をレンダリングすることで、今は失われた地形と景観を復元した。しかし、古地図から広範囲のグリッド標高データを作成する手法は確立されていない。

そこで、本研究は、最も詳細な標高情報を有する 1/4800 地形図を用いて、グリッド標高モデルを作成する手法を検討し、1948 年地形モデルより地形改変以前の状況を確認することで、その手法の有用性を確認し、グリッド標高作成手法を確立することを第一の目的とする。

ところで、都市部を襲った 1978 年宮城県沖地震や 1995 年兵庫県南部地震においては、谷埋め盛土造成地盤区域で発生した地盤の変形による建物や道路等の破壊が問題となった（国立防災科学技術センター 1978；沖村ほか 1999；太田 2004）。また、2011 年東北地方太平洋沖地震においても同様の宅地被害が報告された（沖村ほか 2011）。森・風間（2012）は、仙台市近郊の大規模谷埋め盛土造成地にて、盛土部及び切盛境界部の全壊家屋の比率は、切土部の 25 倍以上となったことを報告している。このような盛土造成地盤の特性は防災上大きな問題であり、市街地の盛土区域を広域に判別する手法を構築する必要性が高まっている。このため、造成地内の盛土分布状況を把握する方法が検討されており、古地形図と現地形の差分による方法が広域に抽出する有効な手法として提案、実証されている（安田 2006；松下ほか 2010）。

そこで、本研究で作成したグリッド標高と国土地理院基盤地図 5 m グリッド標高（現地形）の差分より、切土盛土を求め、その分布図を作成して沖縄島中南部の地形改変状況を明らかにすることを第二の目的とする。

II 使用データ

1. 1/4800 地形図と標高モデル作成範囲

過去の地形のグリッド標高の復元には、1/4800 地形図を利用した。この地形図はカラー印刷で、

等高線は茶色（変色等により図面ごとに若干色合が異なる）で表示され、等高線間隔は 5 フィート（1.524 m）となっている。

1/4800 地形図の作製に用いられた空中写真は 1947 年の 10 月、11 月ならびに 1948 年 1 月に撮影され、空中写真の図化に必要な基準点は、陸地測量部が 1927 年に確定したデータによる（小林・小林 2013）。各地図は、日本測地系で、図郭四隅緯度経度は 1 分間隔となっている。

グリッド標高データ作成範囲は、沖縄島中南部の人口集中地域である那覇市（那覇空港と一部沿岸部を除く）、浦添市（牧港補給基地の一部と一部沿岸部を除く）、宜野湾市の全域、これらの市に隣接する豊見城市^{とみぐすく}、南風原町^{はえぼる}、八重瀬町^{よなぼる}、与那原町^{なかつく}、西原町^{なかつく}、中城村、北中城村^{ちやたん}、北谷町の一部を含む範囲とした（図 1）。

2. 国土地理院基盤地図情報

近年の国土地理院基盤地図情報の公開により、詳細な国土情報（地図や地形）が GIS データとして利用可能になっている。特に、デジタルマップやグリッド標高データなどは、東日本大震災以降にハザードマップ整備などに利用されている。本研究では、1948 年グリッド標高データと現地形データ差分値より広域に地形改変状況を検討したが、現地形データとして国土地理院基盤地図情報数値標高モデル 5 m メッシュを使用した。このデータは 2011 年 10 月 18 日公開のデータで、2 次メッシュ 392725、392726、3992735、392736 の範囲である（図 2）。

今回使用したデータは、2008 年撮影空中写真（国土地理院沖縄支所聞き取り）より、写真測量により作成した数値標高モデルで、地表を 0.2 秒（約 5 m）間隔で区切った方眼（メッシュ）の中心点の標高が収録されている。データ精度は、標高取得位置の標準偏差は 1.0 m 以内、標高点の標準偏差は 0.7 m 以内としている（国土地理院 2013）。このデータは JPGIS 形式（詳細は国土地理院ホームページ参照）で提供されているため、GIS ソフトでインポート可能な BIL/BIN 形式に変換するプログラムを作成し、データインポートし利用した。

1/4800 地形図と国土地理院基盤地図情報数値標

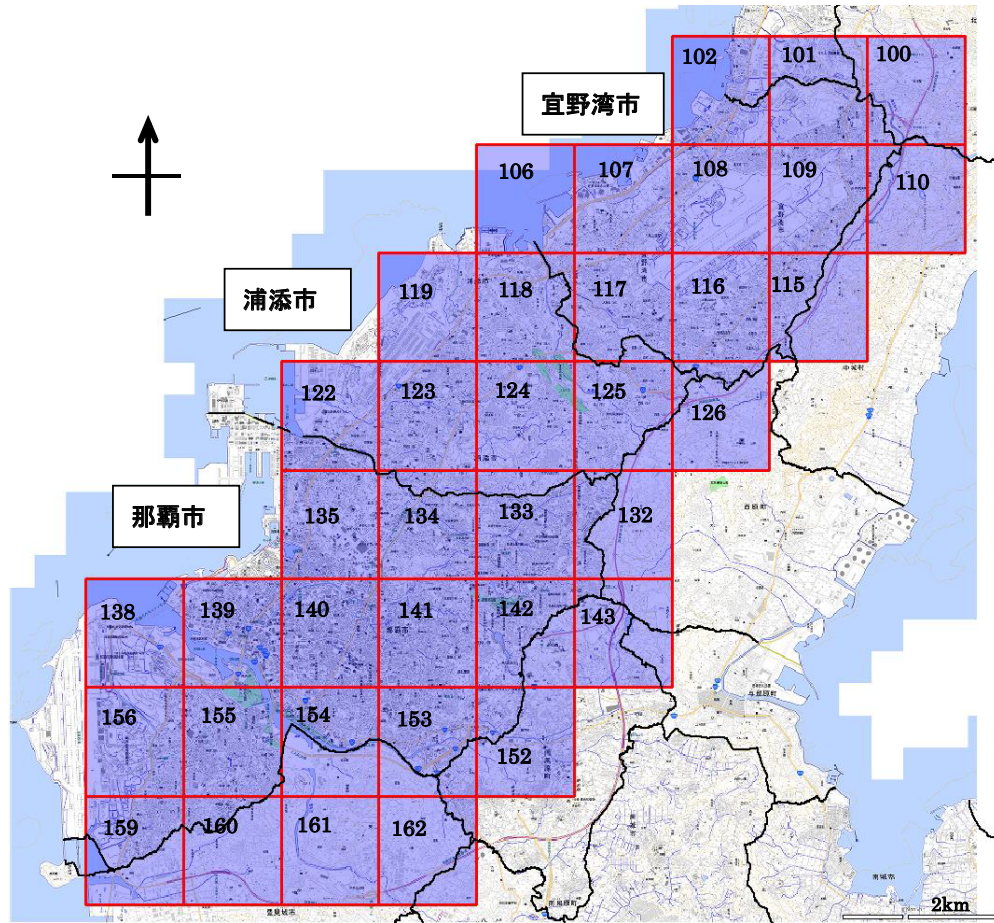


図1 1/4800 地形図でのグリッド標高データ作成範囲（図中の番号は地図シート No.）

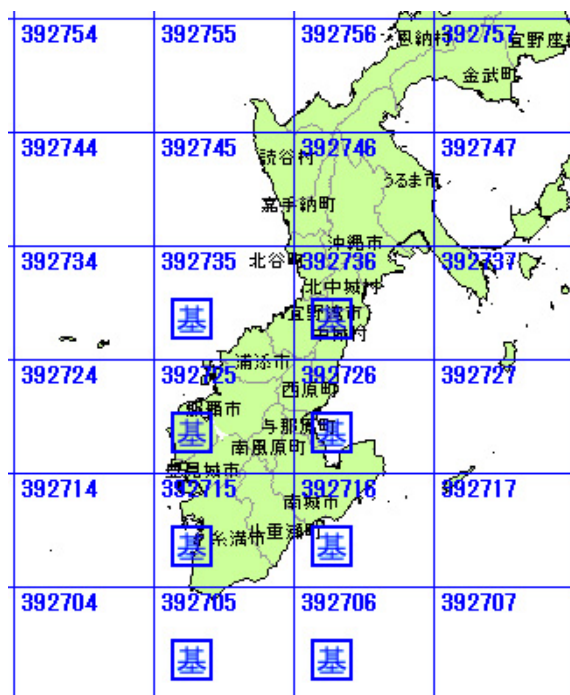


図2 国土地理院基盤地図情報数値標高モデル
5 m メッシュ（国土地理院 HP 画像編集）

高モデル 5 m メッシュから約 60 年間の地形変化を
みることができる。

Ⅲ 標高モデル作成方法

等高線を使って地形を表した地形図からのグ
リッド標高モデルの作成には、主に TNTmips
(Microimages Inc.) を使用した。ベクトルデータ（等
高線）の編集は SuperMap（日本スーパーマップ株
式会社）を使用した。

作業の流れは、①紙地図のスキャニングによる
画像データ化、②ジオリファレンス処理による
GIS データ化、③画像データとして等高線の抽出、
④ラスターベクトル変換によるベクトル等高線の
生成、⑤ラインオブジェクトの編集、⑥属性情報
として標高値の付加、という作業でベクトル等高
線を作成し、その後グリッドデータ化を行う（渡
辺 2001）。紙地図の GIS データ化は、ソフトに
より操作は異なるが、座標系設定と図郭四隅位置

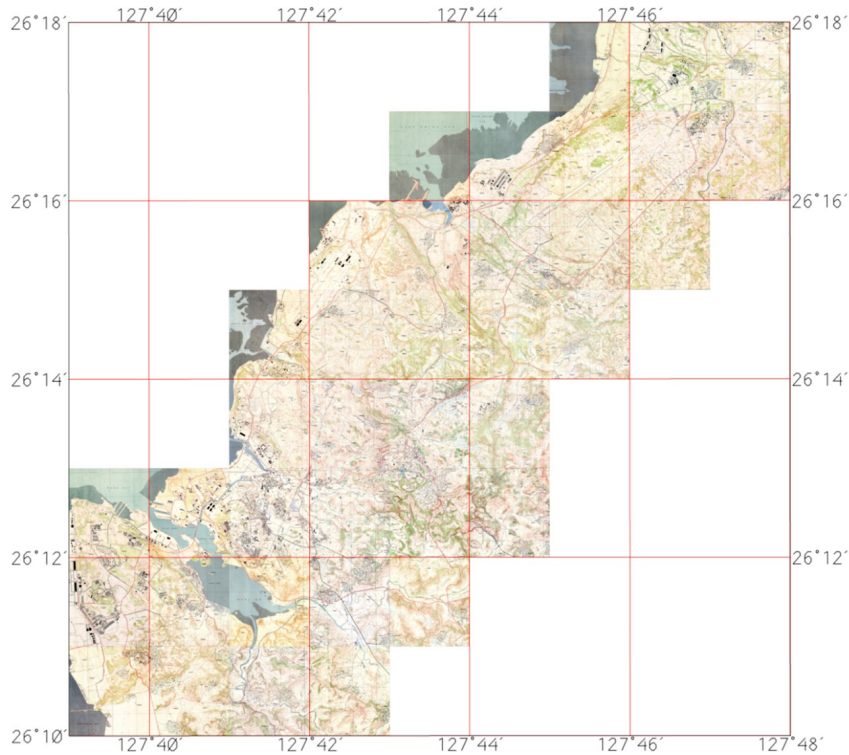


図 3 1/4800 地形図のモザイク地図画像

表 1 RGB 演算概略表

事物の種類	色	R	G	B	R-G	R-B	(R-G)+(R-B)
等高線 標高値ラベル	茶	+++	+	+	++	++	++++
主要道路	赤	+++	+	+	++	++	++++
道路・建物	黒	+	+	+	0	0	0
ラベル（標高値を除く）	黒	+	+	+	0	0	0
山林	緑	++	+++	+	-	+	0
水田	青	++	+	+++	+	-	0
河川,湖沼	青	++	+	+++	-	+	0
バックグラウンド	白	+++	+++	+++	0	0	0

(+は正の値, -は負の値, 符号の数は大きさの程度, 0 は 0 に近い値, を示す)

情報の付加という手順で一般化されている（渡辺 1999）ので、詳細は省略する。

1/4800 地形図画像データに対して、座標系を日本測地系（旧座標系）緯度経度系とし、図郭四隅の位置情報を付加するジオリファレンス作業を行った。GIS データ化した 1/4800 地形図は、その

位置情報に応じて表示され、全範囲を自動的にモザイク地図画像として表示できる（図 3）。

1. 等高線の抽出

本研究では、5 フィート等高線が高密度に分布する地形図 37 枚が作業範囲となる（図 1）。全等高線

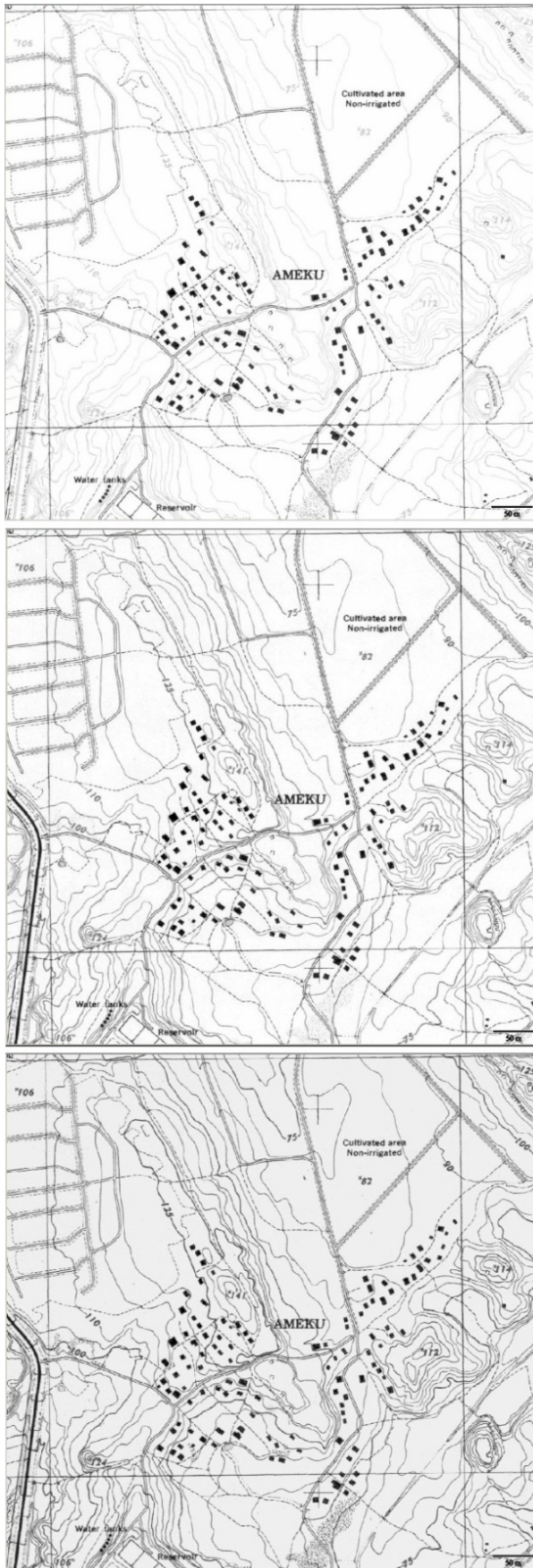


図4 カラー地形図 RGB バンド別画像
(上より R バンド, G バンド, B バンド)

を手作業によるトレースでベクトル化することも可能であるが、膨大な作業量となるため現実的ではない。また、GIS ソフト機能「ラスターベクトル変換」を地形図画像の全データを対象に行えるが、地図内にある等高線以外の事物もベクトルデータとなり、これらのデータを削除する作業が膨大となる。さらに、これらは連続性のある等高線オブジェクトの生成を阻害するため削除後の編集作業が必要になる。そこで、カラー地図画像より茶色で表示された等高線だけを抽出する方法を検討した。

一般に、カラー画像情報は R (赤) G (緑) B (青) の階調値が 0 ～ 255 で表され、リモートセンシングではこの値を使って、事物判読や分布範囲の抽出が行われている。地形図画像上の等高線を RGB バンド別画像 (図 4) で比較すると、R バンドでの階調は大きな値 (明灰色)、G バンド及び B バンドでは小さな値 (暗灰色～黒色) となる。一方、それ以外の事物、特に暗黒～黒色のものは、RGB バンド別画像のいずれでも同程度の階調値となっている。そこで R 階調値 - G 階調値の演算を行うと、等高線で大きな値を、黒色の事物で 0 に近い値を示した。また、R 階調値 - B 階調値の演算でも同様な結果を得る。

さらに、次の演算

$$(R \text{ 階調値} - G \text{ 階調値}) + (R \text{ 階調値} - B \text{ 階調値}) \\ = (R \text{ 階調値} \times 2 - G \text{ 階調値} - B \text{ 階調値})$$

からは、等高線の演算値の強調と、他の事物の消去という結果が得られる。これらの演算の概要を表 1 にまとめた。

図 5 は、演算 $(R \text{ 階調値} \times 2 - G \text{ 階調値} - B \text{ 階調値})$ より作成したラスターデータを画像として表示したものである (図 1 の地図シート No135)。等高線や軍道 1 号線 (現国道 58 号)、標高値が抽出されている。また、これら以外にも水面が黒色で表示されている。

このラスターデータに、等高線が示すラスター値を強調する閾値を設定し、白黒反転設定を施した画像が図 6 である。等高線を中心に鮮明な画像を得ることができる。必要であれば画像の微調整やノイズ等の削除はエディタ (GIS ソフト内蔵、

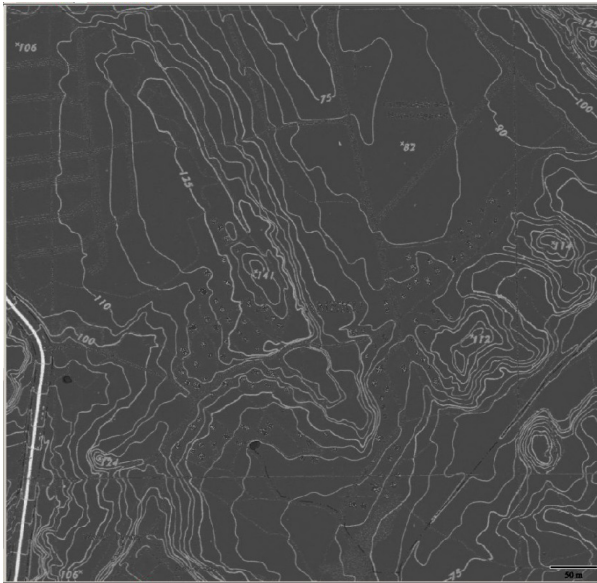


図5 (R階調値×2－G階調値－B階調値)
ラスター値表示

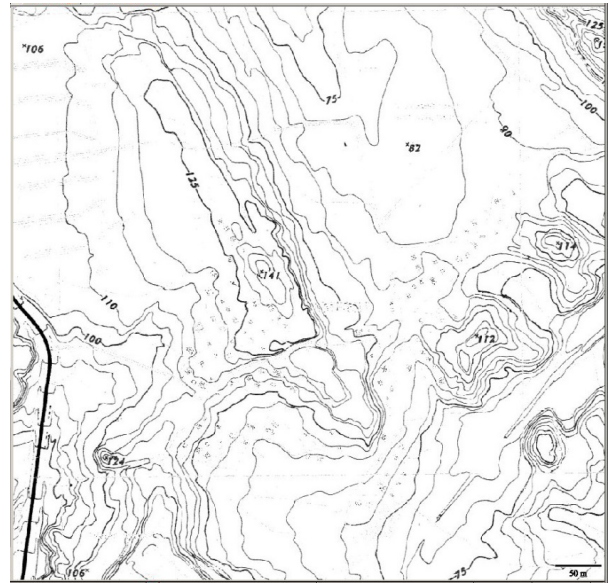


図6 等高線抽出

Photoshop など) を使って手動で可能である。

ベクトル等高線は、このようにして抽出された等高線画像を対象に、ラスターベクタ変換処理 (GIS ソフト内蔵) を行って生成した。

2. ベクトル等高線の編集

変換処理で得られた等高線ベクトルデータは、「フィルター処理」、「トポロジー処理」、「手動編集作業」により、整えられた等高線データとする必要がある。「フィルター処理」、「トポロジー処理」は「手動編集作業」を軽減するための重要な前処理であり、この編集作業を極力省くことで広域データ作成を効率良く行える。また、「手動編集作業」自体も多種類の編集機能が利用可能であれば作業効率が向上する。本研究ではこの作業に SuperMap (日本スーパーマップ株式会社) を使用した。

1) 「フィルター処理」と「トポロジー処理」

ラスターデータより変換された等高線データには、等高線抽出処理でも除去できなかった地形図の汚れや、除去が不十分であった事物から生成されたラインオブジェクトが多数含まれている。多くの場合、これらは短いラインオブジェクトである。そこで、短いオブジェクトを検索し削除するフィルター処理により、これらは除去できる。また、

等高線上にノイズオブジェクトが生成されると、本来連続するラインがその交点で分断され、そのオブジェクト削除後も等高線は分断されたままになる。このような場合、トポロジー処理を行うことで、上記のように分断された等高線を連続させることができ、標高値を属性情報に付加させる作業を軽減できる。

GIS ソフトのトポロジー処理には、接続する分岐のない別々のオブジェクトを融合し 1 個のオブジェクトにする機能がある。また、この処理には、短いギャップで途切れたラインオブジェクトを繋ぐ機能もあるが、誤接続データも多く発生するため今回は利用していない。

これらの等高線データ前処理は、削除対象オブジェクトを短い物より徐々に長くして行った。本研究では、1/4800 の縮尺上でライン長 2m から始め、概ね数十 m までのラインオブジェクトまで処理対象を広げ「フィルター処理」と「トポロジー処理」を繰り返し、ノイズの除去と連続性の良い等高線の生成に努めた。

2) 手動編集作業

手動等高線編集・トレース作業は、全等高線を対象としているわけではない。地形を 5 m グリッド標高モデルで復元するために必要と考えられる

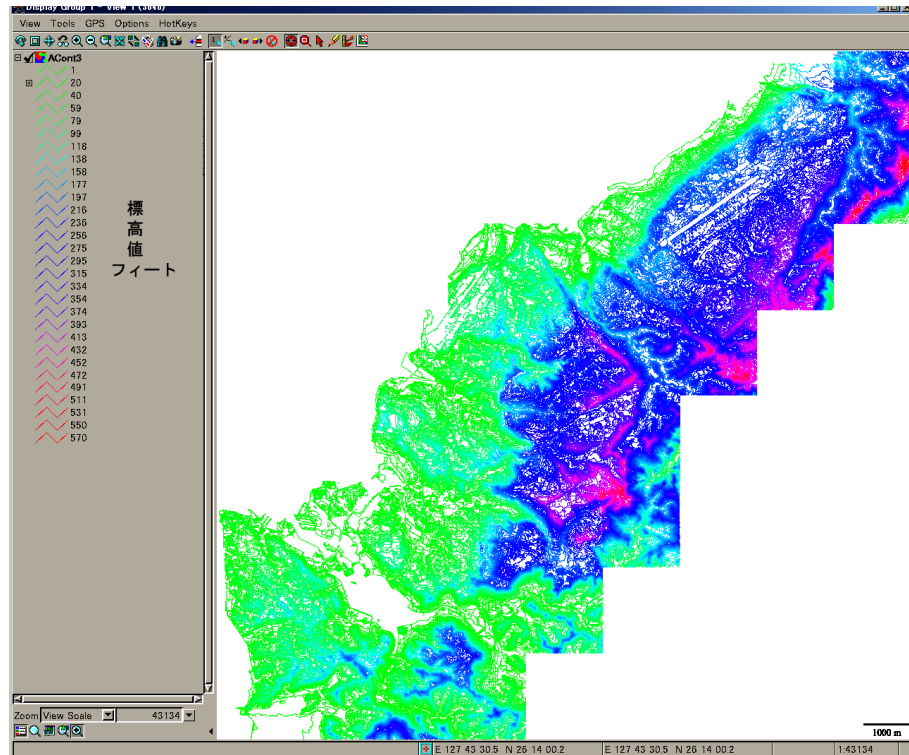


図 7 1/4800 地形図の等高線に標高値を付加した地形図

条件で、等高線を編集した。25 フィート (7.62 m) 等高線は地形図内の全てを編集・トレースし、完成させている。これ以外の 5 フィート等高線は、他の等高線との癒着などの不都合を訂正する程度とし、断片化されている場合もトレース作業等で接続はしていなく、ベクトル変換後の状態である。

例えば、急斜面などのように等高線が密集する場合、癒着等で等高線の多くが正しくベクトル化できず、手動でのトレースが必要になる。このような場合、紙地図データでは 5 フィート等高線がほぼ等間隔で並ぶ。グリッド標高作成過程では、ある格子中心の標高値は周囲の等高線標高値から距離を使って比例配分等で推定する (MicroImages, Inc. 2013a)。従って、等高線間隔が一定すなわち傾斜が一定の区間では多数の等高線は不用で、全ての等高線をトレースする必要はない。また、傾斜が一定区間に 25 フィート等高線が複数あれば 5 フィート等高線は不要になる。ただし、地形形状が複雑である場合や特徴を表現しなければならない場合は、5 フィート等高線を必要範囲で編集・トレースしている。

例えば、斜面上部及び下部で傾斜が変化している場合、等高線間隔が変化する。このように傾斜が変化する地点 (遷急点) 前後の等高線は編集・トレースの対象とした。これ以外においても、谷地形を表現するため谷側面と谷底の遷急部分の等高線、谷底を通る等高線も編集・トレースの対象とした。また、丘陵部では頂部の形状や鞍部を表す等高線も編集・トレースの対象とした。

3. 標高値の付加とグリッド標高 (DEM) の生成

ベクトル等高線データ完成後、地形図ごとに、各等高線に標高値を与え、完成したベクトル等高線データを 1 個のデータファイルにまとめ、グリッド標高データへ変換する。

1) 標高値の付加

この作業は GIS ソフト上で、地形図とベクトル等高線を重ね合わせ、地形図から読み取った標高値を等高線に付加する作業となる。地形状況によるが、1 枚の地形図内には最大数千本のラインオブジェクトが存在する。個別にオブジェクトを指示し、標高値を入力する従来の方法では膨大な

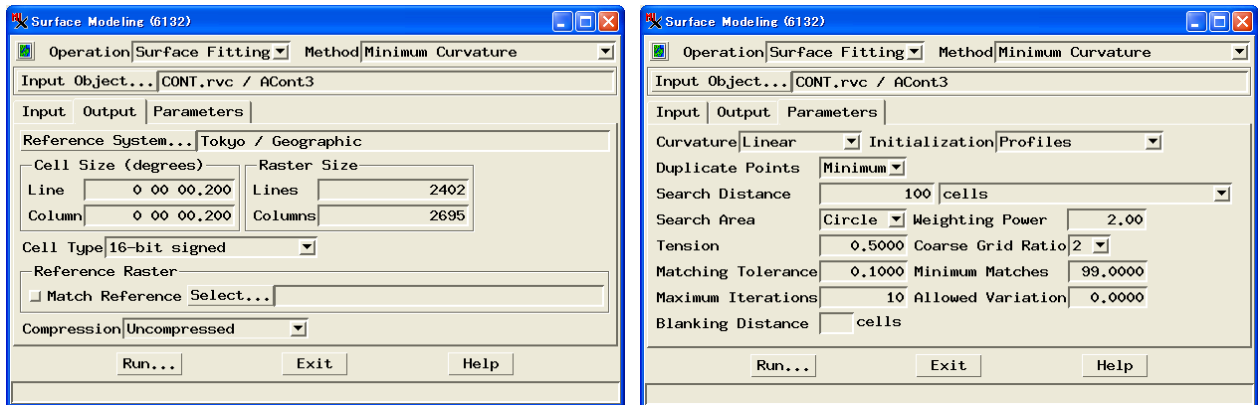


図 8 グリッド標高生成パラメータ

作業となるため、この作業には TNTmips の標高値付加ツールを利用した。これは、初期標高値と等高線間隔を入力し、画面上で等高線を横断するようカーソルを移動させるだけで、横断した等高線に標高値を自動的に付加するツールである (MicroImages, Inc. 2013b)。このツールにより、標高値付加作業は大幅に省力化できた。

地形図単位で完成した等高線ベクトルデータを融合し、研究範囲内で 1 個のデータファイルにまとめた。その結果、ラインオブジェクト数は約 75,000 個、等高線の総延長は 9,720 km になった (図 7)。

2) グリッド標高の生成

ラスターデータの一種であるグリッド標高は地形分析や 3D 表示などを行うことが出来るデータ形式である。このデータは等間隔の格子点に標高値を持ったデータであるが、GIS ソフトでは属性値として標高値を持ったベクトルデータ (ポイント, ライン) から作成することが可能である。

GIS ソフトではグリッド標高データ計算方法として、ランダムな標高ポイントより作成する方法と等高線ラインから算出する方法がある。ランダムな標高ポイントより作成する方法は、IDW (逆距離加重補間法) と TIN (不規則三角網) 法があるが、いずれの手法もポイントが一応に分布する場合の処理に最も適している。グリッド標高生成方法として、等高線から標高ポイントに変換し、IDW 法や TIN 法を使用することも考えられたが、ポイントが等高線位置に集中し、分布が一応ではないため、この方法は不適當である。

等高線 (ライン) を利用した算出法においては、計算点の周辺にある等高線を検索し、それらの標高値より標高を算出する。この手法では等高線に調和的に標高メッシュデータを作成することが可能である。ベクトル等高線データからのグリッド標高の生成には、TNTmips を使用した。グリッド標高の生成には、生成方法の設定、グリッドサイズ、その他パラメータを指定する (MicroImages, Inc. 2013a)。

本研究のグリッド標高生成の設定は以下の通りにした。設定ウィンドウ上の詳細は図 8 に示した。

生成方法 : Minimum Curvature

グリッドサイズ : 0.2 秒 × 0.2 秒, 国土地理院 DEM と同じサイズ

生成データの変数型 : 符号付き 16 ビット, 単位はフィート

3) 座標系の変換

ここまでの過程で作成したグリッド標高データの座標系は、スタート時点の地形図ジオリファレンス作業が日本測地系で行われていたことにより、この座標系となっている。国土地理院のグリッド標高やデジタル地図等は世界測地系で整備されているため、重ね合わせや差分計算時に不都合を生じる。そのため、GIS ソフト (TNTmips) が有する変換機能を利用し、グリッド標高データの座標系を日本測地系から世界測地系に変換した。

多くの GIS ソフトの変換処理は、3 パラメータと呼ばれる地球楕円体中心座標の位置補正を行う変換である。これは日本全国のデータに対し適用

表 2 座標系変換結果

	日本測地系	世界測地系	
		TNTmips変換	TKY2JGD変換
緯度	N 26°14′ 00″ .000	N 26°14′ 14″ .580	N 26°14′ 14″ .10942
経度	E 127°43′ 30″ .900	E 127°43′ 23″ .863	E 127°43′ 24″ .19479

できるが、その精度はやや劣る。国土地理院では、地域パラメータと呼ばれる各地域に適用する詳細な変換方法をウェブ上で公開し、日本測地系の位置情報を入力すれば、世界測地系に変換された精度の高い位置情報を取得できる。この変換は次のサイトで行うことができる。

web 版 TKY2JGD, <http://surveycalc.gsi.go.jp/sokuchi/tky2jgd/main.html>

本研究では、日本測地系からの変換精度を向上させるため、国土地理院変換ツール（web 版 TKY2JGD）を使い、グリッド標高データ作成範囲の中心座標を変換し、GIS ソフト（TNTmips）での変換処理後の中心座標との差を補正した（表 2）。補正は、GIS ソフトでの世界測地系変換後のグリッド標高データを、この両中心座標の差分だけ平行移動させて微調整した。その移動量は x 軸方向に +0.3318 秒、y 軸方向に -0.4706 秒となった（表 2）。この値は約 10 m 程度の移動距離となる。

4) GIS ビューワーソフト TNTAtlas を用いたシステムの作成

1/4800 地形図の 1948 年グリッド標高データを自由に閲覧できるようにするため、無償版の GIS ビューワーソフト TNTAtlas（Microimages Inc.）を使ったシステムを作成した。これはグリッド標高データより陰影付き地形図やアナグリフ（レッド・シアン）等の地形立体画像を生成できるシステムで、現在は破壊された陸域の亜熱帯性地形を立面像として復元することができる。また、現在の地形とも比較検討できるよう、国土地理院 5 m グリッド標高も同様の表示を行い、1948 年とのオーバーレイ表示ができるようにした。

Ⅳ 切土盛土分布図の作成方法

盛土造成地盤の特性は防災上大きな問題である

との認識から、2006 年宅地造成等規制法が改正され、地方公共団体は「大規模盛土造成地の変動予測調査」を行うこととなり、第一次スクリーニングとして大規模盛土造成地分布図を縮尺レベル 2500（住宅地図レベル）で作成、公表することがガイドラインとして示されている（国土交通省 2008）。

国土交通省（2013）は、平成 25 年 5 月現在の大規模盛土造成地マップの公表状況についてまとめている。地方自治体ごとのこれらマップの整備状況は、表 3 にまとめた通りであり、2 県 10 市がホームページ上で公開している。

仙台市の例では、郊外に造成された住宅団地を中心に、旧都市計画図（1958 ～ 1968 年）と国土地理院の基盤地図情報（2008 年）を重ね合わせて地形の変化を把握し、切土と盛土の分布、さらに盛土層厚図を作成している。さらに、ホームページ上で提供している pdf 形式のデータは、背景地形図を 1/10000 レベルのベクトル形式としているため、住宅地図レベルに拡大し詳細な位置情報の把握が可能である（仙台市 2013）。岡崎市では仙台市の 2 年前に同等データをホームページで公開しており、詳細な大規模盛土造成地マップ公開の先駆けとなったと考えられる（表 3）。

仙台市と岡崎市以外では、大規模盛土造成地範囲だけの表示で、背景地図も白地図や小縮尺地形図よりなる。そのため、住宅地図レベルの位置情報の把握は不可能である。東日本大震災で未曾有の被害を受けた仙台市は詳細な情報の公開に踏み切っているが、岡崎市を除く他の市町村は住宅地図レベルの判読は不可能であり、何のための誰のためのホームページでの公開か疑問である。

国土交通省（2008）は、大規模盛土造成地を抽出する方法の一例として、グリッド標高値を利用する方法を解説している。この中で、過去の地形

表 3 大規模盛土造成地マップの公表状況

県・市	公開年	公開データ	情報の特徴	住宅地図レベルの位置把握
川崎市	平成19年6月	盛土造成地分布 (pdf)	小縮尺白図。背景に地形・道路情報なし。	不可能
鳥取県	平成20年7月	ホームページ上の画像	小縮尺白地図に盛土造成地位置のポイント情報	不可能
鳥取市	平成20年7月	盛土造成地分布 (pdf)	1/10000程度縮尺の等高線と道路だけの背景図	ランドマークなし、難しい。
豊田市	平成20年8月	ホームページ上の画像	小縮尺白図。背景に地形・道路情報なし。	不可能
埼玉県	平成21年5月	盛土造成地分布 (pdf) 秩父市など22市19町のデータ	1/50000程度縮尺の不鮮明な背景地形図	不可能
横浜市	平成22年2月	ホームページから削除	古地図が公開されている	不可能
春日井市	平成22年4月	ホームページ上の画像	極めて小縮尺白図。盛土造成地分布自体が不鮮明	不可能
岡崎市	平成23年8月	盛土造成地分布及び盛土層厚 (pdf)	1/10000縮尺の地形図を背景	ベクトル地形図が背景、拡大表示可能。位置把握可能。
さいたま市	平成24年6月	盛土造成地分布 (pdf)	1/40000縮尺の地形図を背景	背景地形図縮尺では難しい。
横須賀市	平成24年11月	盛土造成地分布 (高解像度jpg画像)	1/60000縮尺白地図。町丁目境界記入。	不可能
京都市	平成25年1月	盛土造成地分布 (pdf)	1/50000縮尺の地形図を背景	背景地形図縮尺では難しい。
仙台市	平成25年5月	盛土造成地分布及び盛土層厚 (pdf)	1/10000縮尺の地形図を背景	ベクトル地形図が背景、拡大表示可能。位置把握可能。

復元用データとして、1960年代より整備が開始された5m間隔等高線で地形を表す1/5000国土基本図利用を例示している。本研究では、前述したように、作成したグリッド標高と国土地理院基盤地図5mグリッド標高（現地形）の差分より、切土盛土を求め、その分布を作成した。このように作成された切土盛土分布図からは地形改変状況を明らかにすることができる。

V 結果および考察

Ⅲ章で述べた標高モデル作成方法とTNTatlasを使って構築したシステムを用いて作成した浦添市、宜野湾市、那覇市南部の立体地形図が図9、11、13である。また、平行法による立体視が可能なステレオペア画像をそれぞれ図10、12、14に示した。このステレオペア画像作成にも、TNTatlasを使って構築した前述のシステムを用いた。

これらの地形図から、近年の地形改変により様々な亜熱帯性地形が失われていることがわかり、本研究で用いた標高作成方法で求めた1/4800地形図のグリッド標高データの有用性が認識できる。こ

のことは、標高モデルが確立されたことを意味している。

1. 浦添市

浦添市にはリニアメントと砂岩泥岩の特徴的な地形がみられる（図9、図10）。何れも地形改変により不鮮明化あるいは消滅している。1948年のa-a'区間では、琉球石灰岩分布域の伊祖断層（活断層研究会 1991）に沿った北西－南東方向の断層崖と石灰岩堤が非常に明瞭である（図9の上図）。2008年のjおよびk地域では石灰岩堤頂部を中心に削り取られ、一部はほぼ全体が消滅している。またl地域は北東側の断層崖が削り取られ石灰岩堤の幅が狭くなっている。2008年で判読できる伊祖断層に沿った北西－南東方向の断層崖と石灰岩堤の地形は、全体的に不鮮明になっている（図9の下図）。

図10のステレオペア画像からは、伊祖断層の北東側に、伊祖断層にほぼ平行に西原断層が延び、これらを境界とし地形面は南西方向へ傾動しているように見える。

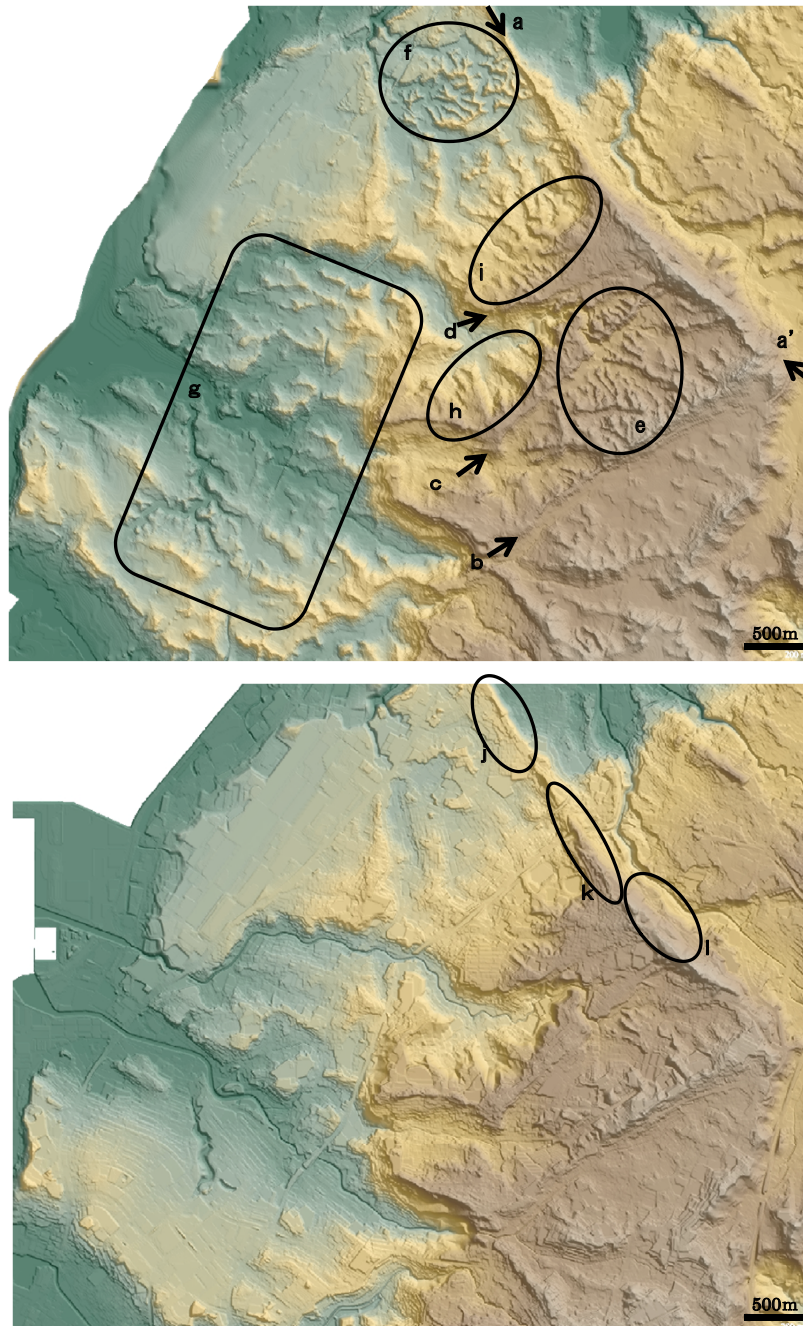


図 9 浦添市の地形比較（上：1948 年，下：2008 年）

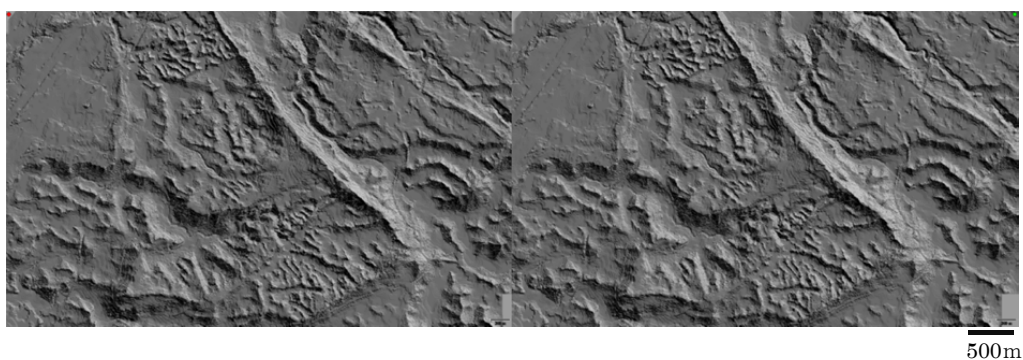


図 10 1948 年の浦添市のステレオ地形画像

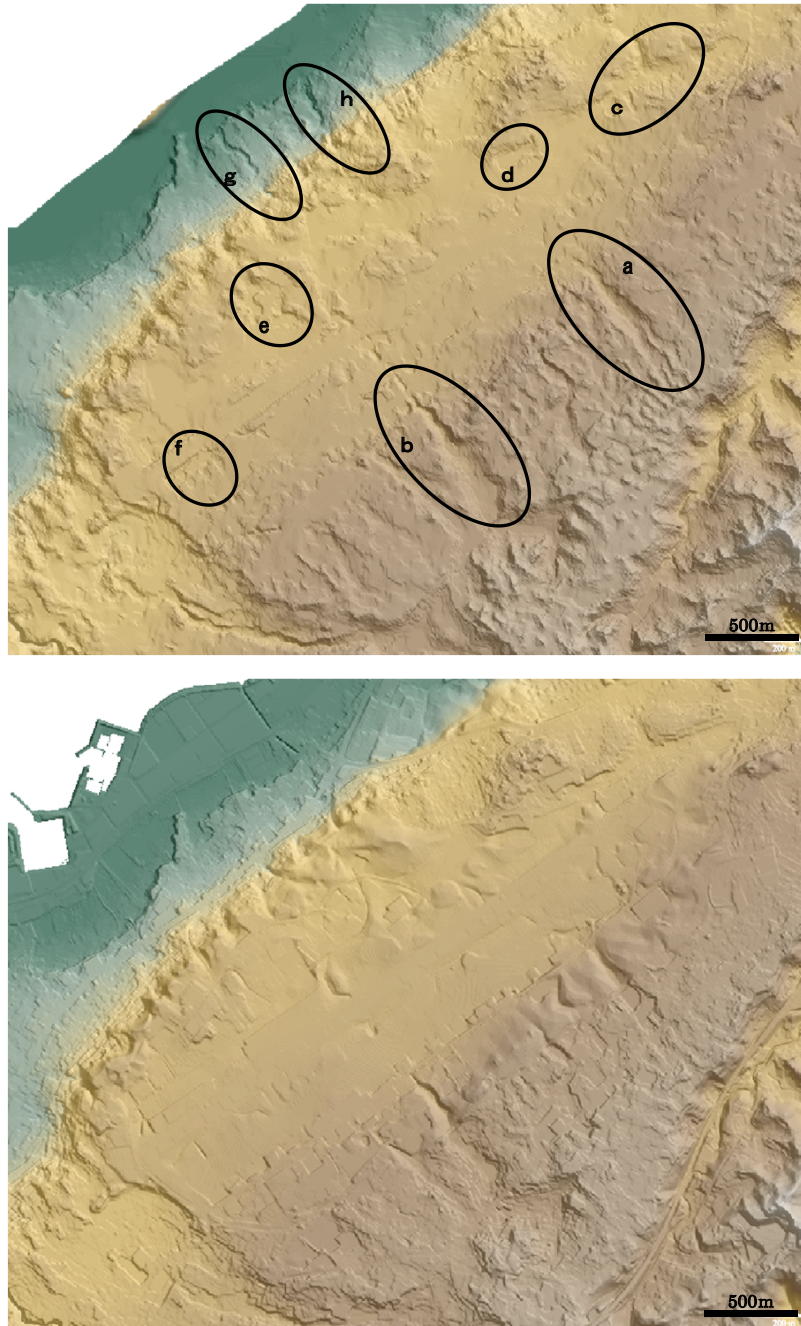


図 11 宜野湾市の地形比較（上：1948 年，下：2008 年）

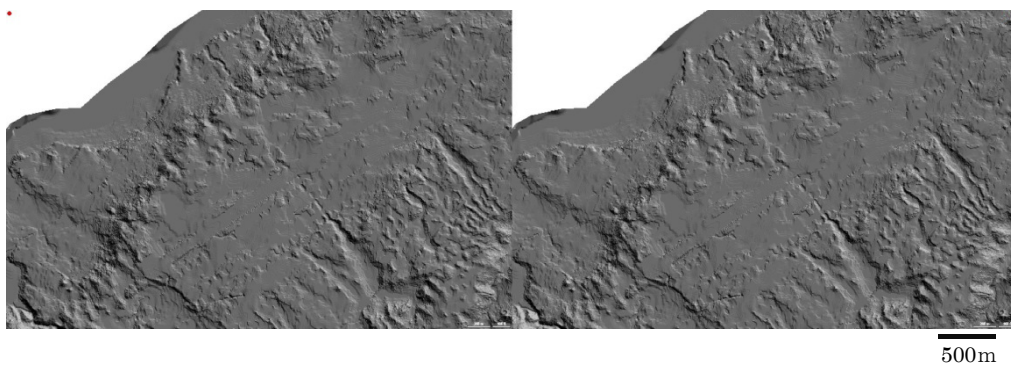


図 12 1948 年の宜野湾市のステレオ地形画像

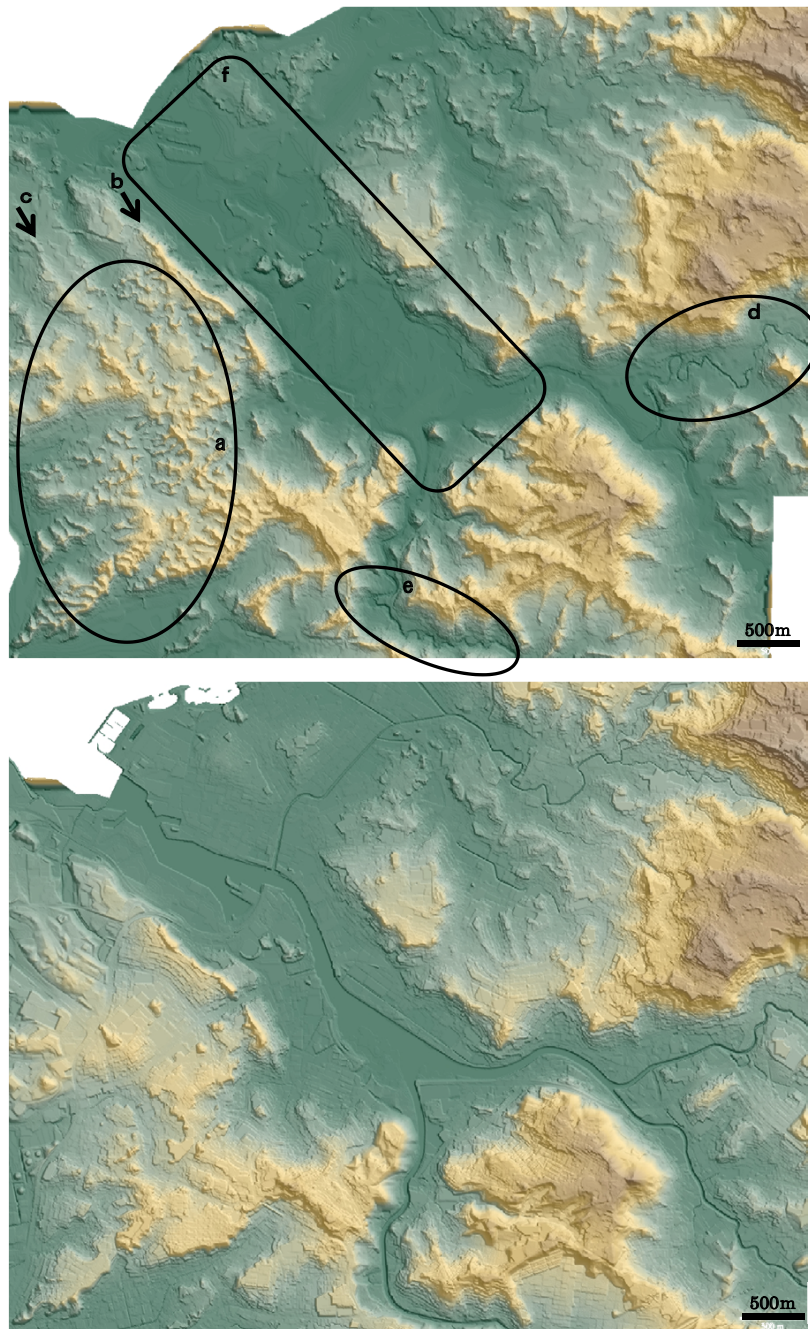


図 13 那覇市南部の地形比較（上：1948 年，下：2008 年）

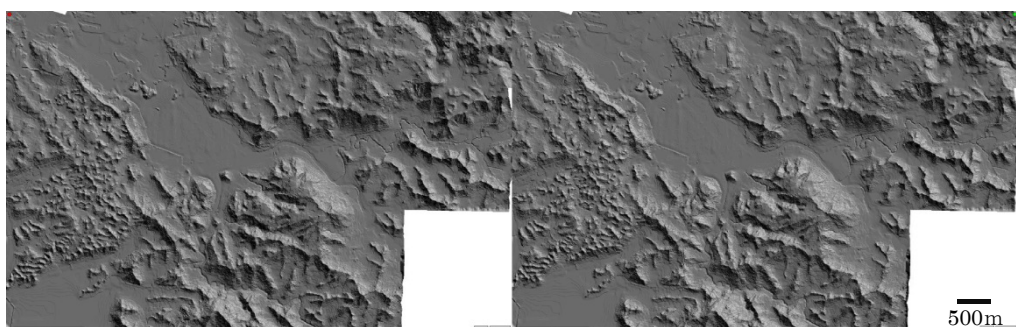


図 14 1948 年の那覇市南部のステレオ地形画像

伊祖断層の南西側では北東－南西方向の3条のリニアメント (b, c, d) が判読でき、これらを境界とした北西方向へ傾動したケスタ状地形をなす。これらの北東－南西方向のリニアメントは、島尻層群豊見城層小禄砂岩部層と泥岩が断層で接する部分であると推定される (氏家・兼子 2006a, 2006b) が、2008 年では b を除き判読が難しい。

浦添市の小禄砂岩部層分布地域には、細かなヒダ状の谷・尾根 (小起伏丘) が e および f 地域に発達する。この地形は 2008 年では e 地域では完全に消滅し、f 地域では一部を除き消滅している。また、同様な地形は小禄砂岩部層の模式地である那覇市金城～田原付近にもみられる (図 13 の a 地域)。島尻層群泥岩が広く分布する南西部の g 地域には、沖縄の気候が生み出した亜熱帯地形の盆状谷 (河名 1986) が発達する。また、これらの谷の最上流部の h および i 地域には泥岩地域の地滑り等により形成された半円形谷頭 (河名 1986) がみられる。

2. 宜野湾市

宜野湾市は琉球石灰岩台地が広がり、カルスト地形が発達している。平行法によるステレオペア画像 (図 12) の立体視では、平坦面の広がりや、その上の凹地形が確認できる。1948 年では普天間基地滑走路等が判読できる状態であるが、基地建設中であるため周辺には元地形が残っている (図 11 の上図)。

上原 (2000) は、宜野湾市に発達する琉球石灰岩の台地を中位段丘と低位段丘に区分し、カルスト地形を詳細に記載している。1948 年 (図 11 の上図) およびステレオペア画像 (図 12) の立体視では、それぞれの地形面が明瞭で、これら記載された詳細な地形が判読・検討できる可能性がある。

宜野湾市南東部周辺には北西方向に延びる複数の谷が a および b 地域に認められる (図 11 の上図)。これらの谷は、降水時以外は流水がみられない涸れ谷で、中位段丘上にあるポノールに流れ込み、これより下流側の流路は消滅する。また、中位段丘上には陥没ドリーネが数箇所 c～f 地域に見られる。上記の谷の下流側やこれらの陥没ドリーネ多くは、2008 年地形では普天間基地の拡大により埋め立てられている。また、これらの谷 (a, b)

の上流は島尻層群泥岩部に位置し、小起伏丘陵となっていたが、2008 年では地形改変により多くは平坦化されている。

一方、低位段丘には、湧出した地下水が段丘面を侵食し形成された谷が g および h 地域みられる。これらは、2008 年では下流側の流路部分は埋め立て等により判別できない。

3. 那覇市南部

那覇市南部小禄には小禄砂岩部層が形成する細かなヒダ状の谷・尾根が a 地域に広く分布する (図 11 の上図)。また、島尻層群中の北西－南東方向の断層 (氏家・兼子 2006a, 2006b) 沿いに b および c の矢印の方向に細長く断続的に石灰岩堤が連続する。2008 年では、何れの地形も宅地造成により影響を受け、特にヒダ状の谷・尾根は消失している (図 13 の上図)。平行法によるステレオペア画像 (図 14) の立体視では、b および c の矢印の方向に連続する石灰岩堤の南東延長方向に、尾根などのリニアメントが読み取れる。

現在は直線状に改修されている国場川と饒波川も、1948 年では d および e 地域で大きく蛇行している。また、国場川と饒波川河口部の漫湖～那覇港は 2008 年地形では大きく埋め立てられ、奥武山などは陸続きになっているが、1948 年地形では埋め立て前の漫湖が f 地域で読み取れる (図 13 の上図)。

4. 切土盛土分布図

切土盛土データは、1948 年グリッド標高と現地形の差分より算出した。1/4800 地形図は、標高基準を那覇港の平均海面 (陸地測量部が 1927 年に確定) にフィート単位で作成されているが、現在の地形図の基準は中城湾でメートル単位となっている。しかし、1/4800 地形図中には現在と同地点の水準点の記載はないため、直接的な差異を知ることはいくつかできない。一方、約 40 年前の 1975 年発行 1/25000 地形図は那覇港基準の標高値によって作成され、この地図内には現在と同地点に何点かの水準点の記載がある (表 4)。この比較より、基準変更による差異、海水準変動や地殻変動による差異は小さいと考え、差分計算は両標高値のフィート・メートル換算だけで行った。

表 4 水準点標高比較

水準点位置	1/25000 国土地理院地形図	
	(1975)	(2013)
	那覇港基準 (m)	中城湾基準 (m)
那覇市古波蔵	4.2	4.1
那覇市上之屋	27.3	27.4
浦添市勢理客	10.3	10.3
南風原町宮平	23.2	23.1

作成した標高データや切土盛土データなどのラスターデータは、データ容量を抑えるため、また他形式 GIS データに容易に変換できるように、データ型を単純な 16 bit 符号付き整数とした（複雑な浮動小数型とはしない）。そのため、単位換算は国土地理院グリッド標高をメートルよりフィートへ変換し、全てのラスターはフィート単位に統一した。このことより、ラスター値 1 当り 0.3048 m の解像度となった。

切土盛土データは「1948 年標高値 < 現地形標高値」が盛土、その逆が切土となる。また、盛土区域においては盛土層厚の等値線を作成し、GIS システムとして、国土地理院 1/25000 レベル地形図を背景に、切土盛土分布と盛土層厚線を重ね切土盛土範囲を地図上で確認できるように作成した。

IV 章で述べた方法で作成した那覇市新都心地区の切土盛土分布図を図 15 に示した。本データは国土交通省（2013）が紹介する大規模盛土造成地マップに比較し、大規模盛土造成地に限らず那覇市から宜野湾市の広範囲で、日本本土より古い時期からの改変を明らかにすることができる。また、5 フィート（1.524 m）間隔等高線より算出されたより詳細な盛土層厚情報を有している。

図 15 は国土地理院 1/25000 レベル地形図を背景に那覇市新都心地区周辺を表示したものである。このデータは 5 m グリッド標高をもとに作成されているので、原理的には住宅地図レベルの判読が可能である。

これより、那覇市新都心地区では本研究範囲で最大規模の切土及び盛土が見られ、大規模な地形改変が行われたことがわかる。谷埋め盛土は、安謝川支流の多和田川上流部、旧谷地形に沿って

細長く入り込んでいる。銘苅墓跡群より南西側の上流部や支流銘苅川、大湾川は完全に埋め立てられている。盛土層厚は最も厚い部分で 10 m を超えている。

新都心地区の現在標高と 1948 年標高の差が 3 m 以上の地形改変面積は、切土 55.5 ha、盛土 36.0 ha であり、切土面積は盛土の約 1.5 倍程度、また土量は切土約 409 万 m³、盛土約 239 万 m³ となり、切土は盛土の約 1.7 倍の土量である。面積及び土量とも切土が多くなるが、その差は後述する研究範囲全域の平均に比べ小さい。

新都心地区内には、島尻層群泥岩を基盤に琉球石灰岩が分布し、メサ頂部にキャップロックとして分布する（氏家・兼子 2006a, 2006b）。軟岩である泥岩はブルドーザー等で容易に削ることができるため、谷埋め立て用土砂として利用されたものと考えられる。一方、石灰岩は硬く巨大な岩塊となるため、谷などの埋め立て用土砂には不向きで、敷地外へ運び出される可能性が高い。このために切土盛土の土量アンバランスが生じている可能性がある。

那覇市新都心地区と同様の地形改変が見られる地域には、浦添市城間～伊祖、前田～経塚、西原。那覇市金城～田原、宇栄原～具志。豊見城市宜保、根差部。南風原町津嘉山～本部。西原町上原～千原がある。

5. 大規模切土盛土分布

大規模な切土盛土分布を明瞭にするため、現在標高と 1948 年標高の差が 3 m 以上の地点を抽出し図 16 に示した。

浦添市全域、那覇市新都心地区、小禄地区、豊見城市北部、南風原町北西部などは大規模な地形改変区域が広く分布する。一方、那覇市旧市街から同市真和志地区、宜野湾市台地部には少ない。図 16 より算出した地形改変面積は、切土 1,436 ha、盛土 594 ha と切土面積は盛土の約 2.5 倍となり、両面積はアンバランスである。本データは現在標高と 1948 年標高の差分を算出しているため、その土量を算出することが可能である。具体的には差分値とグリッド面積の積によりグリッド当り土量を算出し、切土、盛土ごとに集計する。研究範囲

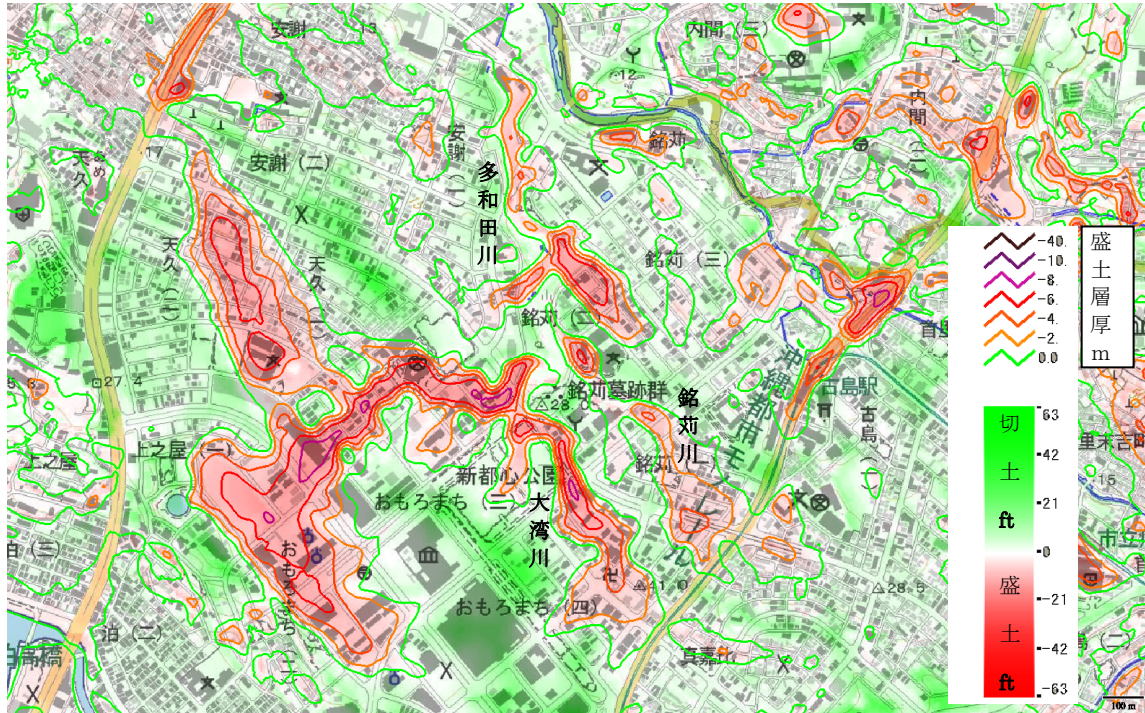


図 15 那覇市新都心地区切土盛土分布図

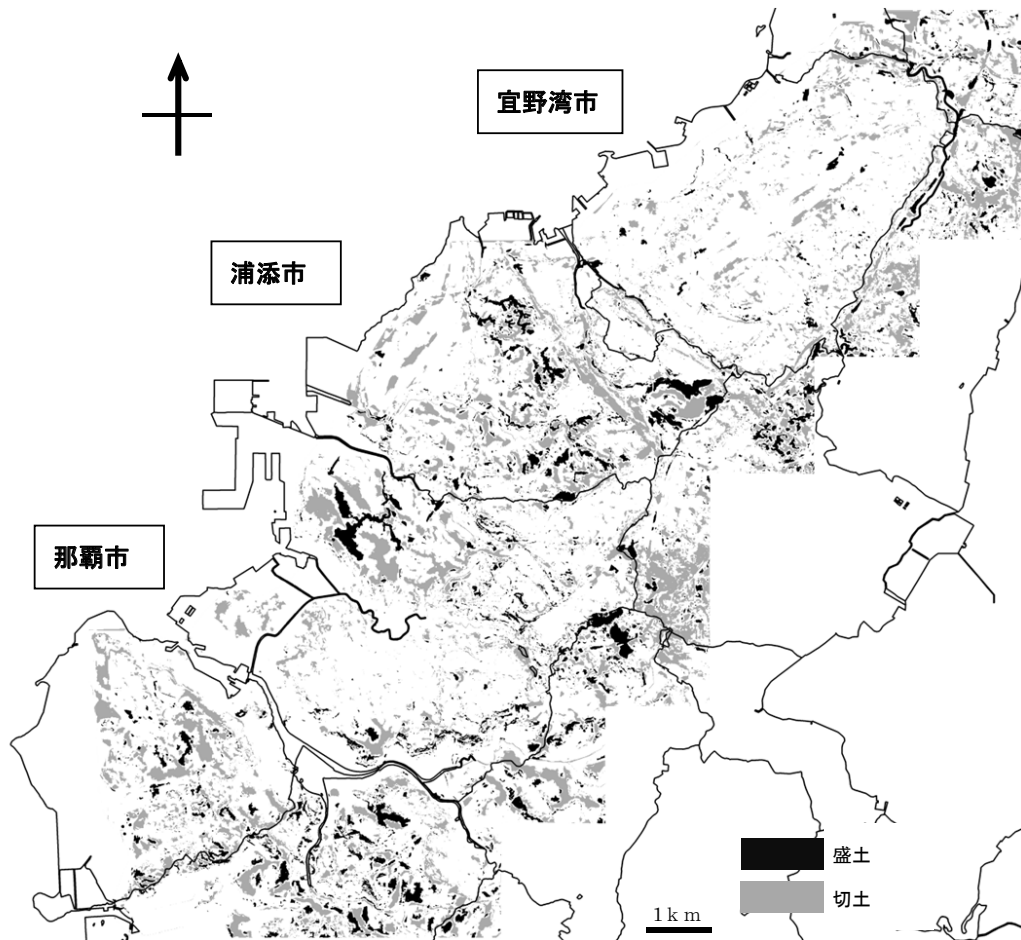


図 16 大規模切土盛土分布図

の切土盛土量を集計すると、切土量約 1.56 億 m^3 、盛土量約 6,800 万 m^3 であり、切土量が盛土量の約 2.3 倍となる。

ところで、大規模な宅地造成では、平坦化のため丘などを崩し、その土砂で谷を埋め立てる工事を行う場合が多い（足立ほか 1995）。そのため、切土盛土面積やその土量はほぼ等しくなるものと推定される。このことから考えれば、本研究範囲では盛土範囲が少なく、切土による土砂が 8,800 万 m^3 ほど余剰であることとなる。

この期間に、沖縄島では沿岸部の埋め立てが拡大した（渡辺 2000）ので、これらの土砂が埋め立てに利用された可能性が高い。そこで、その土量を推定してみる。まず、那覇市～北谷町の沿岸部の埋立地面積は 8.92 km^2 である（渡辺 2000）。これら埋立地の平均埋立土砂層厚を推定することは難しいが、水深数 m 程度の礁池内の埋め立てであることから、5～10 m 程度という値は間違いではないと考える。この推定値から埋め立てに必要な土量は 4,500 万～8,900 万 m^3 となり、切土で生じた土砂が埋め立てに利用されたと考えれば上記のアンバランスを説明できる。

本研究範囲には琉球石灰岩が広く分布し（氏家・兼子 2006a, 2006b）、宜野湾市、浦添市、那覇市首里地区では採石場として利用された場所も多い。これらより産出される碎石などは、構造物や構造物の基礎などに利用され、谷埋め土砂に利用されないものと考えられる。例えば、浦添市伊祖断層沿いの石灰岩堤付近は、大規模な採石場として利用されてきた。そこで国道 330 号伊祖トンネル付近から浦添市前田で切土となった土量を算出すると 308 万 m^3 に達する。この土量も余剰切土量から除外すると、前述の切土盛土量のアンバランスの説明材料になるものと考えられる。

6. 道路、米軍基地

図 15 では安謝川沿いの谷底低地を横切る国道 58 号や国道 330 号付近の盛土も判読可能である。研究範囲全域では、沖縄自動車道の切土区間及び盛土区間、同様に国道 58 号や国道 330 号の切土盛土区間を判読することが可能である（図 16）。これらは地震等の災害時、被害を受ける可能性の高い箇

所を抽出する有効な情報であると考えられる。

また、米軍基地範囲内においても切土盛土範囲が判読できる。普天間基地や牧港補給基地などは 1948 年で施設建設が一部行われていたが、その後の改変は判読可能である。近年返還跡地の環境問題が新聞報道などでなされているが、基地内の埋立地（盛土）などは廃棄物の存在の可能性がある場所と考えられる。南風原町新川那覇・南風原グリーンセンター付近のゴミの埋立処分場（小川 2013）では、最大 40 m に達する盛土が分布する（図 16）。

VI まとめ

本研究では、米軍作成の 1/4800 地形図から効率的に、広範囲グリッド標高を算出する手法を確立し、国土地理院基盤地図情報数値標高モデルに対応できるグリッド標高データ（DEM）として整備した。このグリッド標高と現地形の差分より広範囲（那覇市、浦添市、宜野湾市）の地形改変（切土盛土分布）状況を把握することができた。さらに、切土盛土量の考察では、丘陵、台地の地形改変と沿岸部の埋め立てとの関連を示唆した。

沖縄島中南部の 1/4800 地形図の地形学的価値は非常に高く、確立した手法を用いて算出したグリッド標高は、大規模盛土造成地の分布状況把握以外、米軍基地返還跡地での埋蔵文化財分布の推定、基地建設以前の自然環境・民俗景観復元、廃棄物埋立場所の推定などに利用できる可能性がある。

本研究では、地形改変が著しい都市部である那覇市～宜野湾市を対象としたが、沖縄島南部では農業基盤整備事業でも広大な地形改変が行われ、亜熱帯性地形が失われている。今後は、この範囲にもグリッド標高作成範囲を広げて行く予定である。

熊本ほか（2013）は、各年代の 1/200000 地勢図比較や 1960 年代からの 1/25000 土地条件図を使って、東京湾沿岸埋立地や周辺丘陵地地形改変を時系列でも広範囲に解析している。沖縄島には本研究で用いた 1/4800 地形図以外にも、陸軍測地部作成 1/25000 地形図、米軍作成の 1/25000 地形図や昭和 47 年国土基本図などがあり、地形改変を時系列で分析できる可能性がある。これらの地形図を用いた時系列での地形改変の把握は、今後の課題である。

今後、地形学的価値が非常に高い沖縄島中南部のグリッド標高データを、地形研究者へ提供できればと考えている。

(受付 2014 年 4 月 30 日)

(受理 2014 年 6 月 19 日)

文 献

- 足立紀尚・阿部信晴・阿部玲子・嘉門雅史・木村 宏・澤田正昭・菅野耕三・諏訪靖二 (1995): 地盤の科学. 講談社, ブルーバックス B-1088.
- 上江洲薫 (2012): 駐留軍用地跡地利用の課題と地域対応. 地図中心, 2012-5, 通巻 476 号, 16-19.
- 上原富二男 (2000): 宜野湾市の地形・地質・水. 『宜野湾市誌』宜野湾市教育委員会, 第 9 巻資料編 8 自然, 55-124.
- 氏家 宏・兼子尚知 (2006a): 5 万分の 1 地質図幅「那覇及び沖縄市南部」. 地質調査総合センター
- 氏家 宏・兼子尚知 (2006b): 5 万分の 1 地質図幅「那覇及び久高島」. 地質調査総合センター
- 太田英将 (2004): 兵庫県南部地震で実証された造成地盤の危険性. 日本列島地すべり学会誌, Vol.40, No.5, 84-87.
- 小川 護 (2013): 那覇市における一般廃棄物の処理と課題. 沖縄地理, 13, 35-48.
- 沖縄県 (2001): 3-9. 市町村別人口の推移 (昭和 30 年～平成 12 年). 第 45 回沖縄県統計年鑑 (平成 13 年度版).
- 沖縄県 (2011): 3-2. 市町村別人口, 人口密度及び世帯数. 第 54 回沖縄県統計年鑑 (平成 23 年度版).
- 沖村 孝・二木幹夫・岡本 敦・南部光広 (1999): 兵庫県南部地震による住宅地盤被害と各種要因との関係分析. 土木学会論文集, No.623, 259-270.
- 沖村 孝・鍋島康之・岡田 肇・野並 賢 (2011): 東北地方太平洋沖地震による仙台市内及び周辺の宅地被害調査. 地盤工学会 HP- 東北地方太平洋沖地震の被害調査情報 http://www.jiban.or.jp/file/file/saigai_okimura_nabeshima_okada_nonami_0430_mini.pdf
- 活断層研究会 (1991): 新編日本の活断層 —— 分布図と資料 ——. 東京大学出版会.
- 河名俊男 (1988): 『シリーズ沖縄の自然 3 琉球列島の地形日本』新生図書出版.
- 熊木洋太・小荒井衛・中埜貴元 (2013): 東京とその周辺の地形変化. 地学雑誌, Vol.122, No.6, 992-1009.
- 国土交通省 (2008): 大規模盛土造成地の変動予測調査ガイドラインの解説. 国土交通省 HP, http://www.mlit.go.jp/crd/web/topic/pdf/guideline_ver.3.pdf
- 国土交通省 (2013): 大規模盛土造成地マップの公表状況について. 国土交通省 HP, https://www.mlit.go.jp/toshi/toshi_fr1_000008.html
- 国土地理院 (2013): 基盤地図情報 (数値標高モデルの) で提供しているデータについて. 国土地理院 HP, <http://fgd.gsi.go.jp/spec/203/DEMGaiyo.pdf>
- 国立防災科学技術センター (1978): 『1978 年宮城県沖地震による災害現地調査報告』科学技術庁.
- 小林 茂・小林 基 (2013): アメリカ軍作成の沖縄地形図 —— 解説と L893 図 (1:4800) の目録. 外邦図研究ニューズレター, No.10, 45-52.
- 清水靖夫 (1999): 「大正昭和琉球列島地形図集成」解説. 『沖縄県の地形図について』柏書房, 3-22.
- 島袋伸三 (2006): 沖縄県下の米軍作成地図について. 外邦図研究ニューズレター, No.4, 69-73.
- 仙台市 (2013): 仙台市宅地造成履歴等情報マップ. 仙台市 HP, <https://www.city.sendai.jp/kurashi/shobo/shiryo/rirekimap.html>
- 前門 晃 (1993): 熱帯地形研究のメッカをめざして. 沖縄地理学会会報第 20 号.
- 松下克也・藤井 衛・森 友宏・風間基樹・林 宏一 (2010): 造成宅地地盤の地形把握手法とその適用性に関する事例研究. 地盤工学ジャーナル, Vol.5, No.1, 89-101.
- 目崎茂和 (1988): 『南島の地形 沖縄の風景を読む』沖縄出版.
- 森 友宏・風間基樹 (2012): 2011 年東北地方太平洋沖地震における仙台市泉区の谷埋め盛土造成宅地の被害調査. 地盤工学ジャーナル, Vol.7, No.1, 163-173.
- 安田岩夫 (2006): 「人工改変地データベース整備と活用」～3 次元地形地盤データベースの活用～. 先端測量技術, No.91, 68-76.
- 渡辺康志 (1999): GIS ソフトを利用した地質図. 地理情報システム学会第 2 回バーチャルカンファレンス, <http://www.gis-okinawa.jp/report/gis/gis0.htm>
- 渡辺康志 (2000): 第 2 章島嶼別の地理・地形条件, 災害履歴, 社会条件からみた災害危険性の評価 —— 沖縄本島を中心に ——. 沖縄における自然災害リスクとその対応力に関する基礎調査報告書, 財団法人亜熱帯総合研究所, 15-131.
- 渡辺康志 (2001): ベクトル等高線の作成と応用. 沖縄大学地域研究所所報, Vol.23, 35-45.
- 渡辺康志 (2004): 米軍撮影空中写真を利用した戦前北谷景観復元. 南島文化, 26, 67-83.
- MicroImages, Inc. (2013a): Surface Modeling. Tutorial with TNTmips, <http://www.microimages.com/documentation/Tutorials/surfmodl.pdf>
- MicroImages, Inc. (2013b): Advanced Vector Editing. Tutorial with TNTmips, <http://www.microimages.com/documentation/Tutorials/editadv.pdf>