

米軍撮影空中写真を利用した戦前北谷の景観復元

— 3Dフライトシミュレーターソフトの利用 —

渡邊 康志

「南島文化」(沖縄国際大学南島文化研究所紀要)第26号抜刷

2004年3月

米軍撮影空中写真を利用した戦前北谷の景観復元

— 3Dフライトシミュレーターソフトの利用 —

渡邊 康志¹

1. はじめに

平成15年度、北谷町教育委員会では「ちゃたんニライセンター」のコンテンツとして、戦前の北谷町の景観を再現するフライトシミュレーターデータ、3Dアニメーションデータを作成した。このような戦前景観を体験するデータは郷土研究や教育分野で有効なツールになるものと思われる。また、同様のデータ処理は他地域にも適用が可能であり、その応用範囲は広い。そこで、このようなデータ作成の手法をとりまとめ報告する。近年、GIS(地理情報システム)利用の情報解析を行いやすい環境が整ってきている。北谷教育委員会作成3Dシミュレーターデータや3Dアニメーションデータは、GISソフトの3次元画像作成機能を利用して作成したものである。以前、このような処理が可能なソフトやコンピュータは非常に高価であったが、パソコンの性能やOSの機能向上により、一般的なパソコンで比較的安価なソフトが利用可能な状況になってきている。

2. データ処理の流れ

GISで扱うデータは大きくベクトルデータとラスターデータに区分される。ベクトルデータは市町村範囲や道路など、線分などで構成される図形として定義され、その図形ごとに属性値を保持している。一方、ラスターデータは正方形または長方形メッシュデータで、1セル(ピクセル)ごとに数値を持ったデータの集合である。スキャナーで読みとった地図や空中写真画像データはその代表的なものである。ベクトルデータは、入力された様々な情報の中から一部の情報だけをとりだしてランク付けや集計などを行い、色分けやグラフを位置つけた地図(主題図)を作成することができる。ラスターデータは、セル数値の算術処理(画像データ処理)により、必要な情報を強調したデータを作成することが可能である。標高メッシュデータ(DEM)もラスターデータとして扱われる。

3DシミュレーターデータやアニメーションデータはGISソフトの3次元画像作成機能を利用して作成した。使用するデータは空中写真(デジタル画像データ)とメッシュ標高データ(DEM)である。GISソフトで、これらのデータを処理することとなるが、その手順は多くの段階を経ることとなり、多少複雑である。その手順の概要を図-1に示す。

¹ GIS 沖縄研究室、沖縄国際大学非常勤講師

その処理の過程は大きく3区分できる。第1は分割撮影されている空中写真に位置情報(緯度経度)を設定し、その情報の基に写真を張り合わせ、GISで利用可能な空中写真地図を作成する過程。第2はメッシュ標高データ(DEM)を作成するため、位置情報を与えた1/25000地形図から等高線を抽出し、一定間隔のメッシュ標高値を補完により算出する過程。第3は作成した空中写真データと標高メッシュデータから3次元表示用データ作成する過程である。

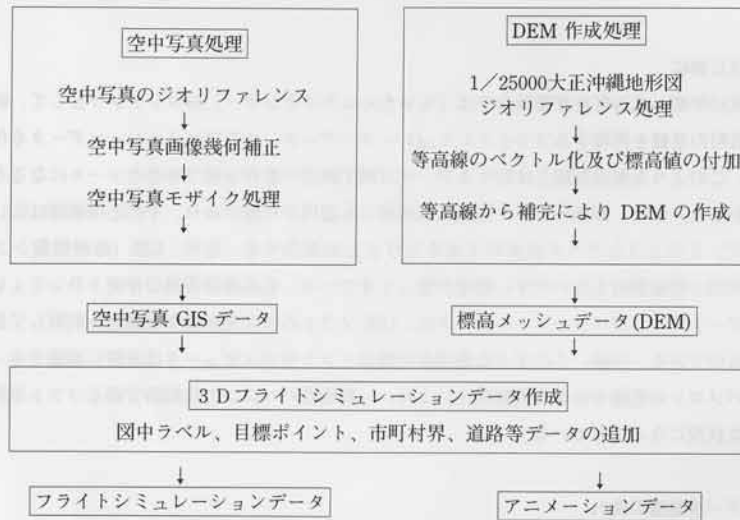


図-1 データ処理の流れ

3. 使用データ

3-1. 米軍撮影戦前空中写真

1944~45年、米軍が沖縄に上陸する以前に撮影された空中写真は、建物、道、耕作地などが写し出されており、近代沖縄の様相を客観的に示した資料として大変重要な資料である。(図-2)。これらの写真を使って、沖縄県文化振興会公文書管理部史料編纂室、沖縄県教育委員会は『空から見た昔の沖縄 沖縄島中部・南部の空中写真』(2002)を発刊し、その中で各集落の拡大写真を掲載している。使用された空中写真は1945年1月3日及び2月28日米軍撮影のものであり、実際に利用されたデータは原盤フィルム(約24×48cm)を約3000dpiで読み込んだ後、デジタル処理し使用されている。空中写真には、屋敷、道、耕作地が明瞭に写し込まれており、当時の土地利用状況や景観を復元できる。利用可能な米軍撮影空中写真は、1945年1月3日撮影及び2月28日撮影の2種類である。1月空中写真は、撮影時の太陽高度が低く、西側に大きく影を取り込んでいる。一方、2月空中写真は、撮影時の太陽高度が高く影が小さく比較的鮮明であるため、北谷町3Dデータは1945年2月28日撮影空中写真データを利用し作

成した。また、空中写真データ利用範囲は、戦前の北谷村範囲である嘉手納町も含むものとした。以後、北谷戦前空中写真と呼ぶ。(図-3)

3-2. 大正1/25000地形図

北谷戦前空中写真に位置座標を与える資料及び戦前の地形モデル(DEM)を得るデータとして、戦前の沖縄島の地形情報である琉球諸島地形図集成(柏書房1999)データより、25,000分の1地形図「泡瀬」、「牧港」、「嘉手納」、「座喜味」を使用した。データの範囲は北谷町戦前空中写真範囲とした。各地形図はスキャナーで読み込み、地図に付記されている位置座標をデジタルデータに与え、GIS基図として利用した。以後、このデータを大正沖縄地形図と呼ぶ。

4. データ処理

戦前北谷地域の地形モデルを作成するための処理、及び北谷戦前空中写真を利用するための処理として、ジオリファレンス処理、幾何補正、等高線の抽出及び標高メッシュデータ作成処理を行う。これらの処理は大正沖縄地形図を基図として行った。

空中写真に位置座標を与える方法としては、写真に撮影された地点(道路交差点、墓、岬など)を標定点として位置座標を設定する方法があり、高精度の位置座標設定が可能である。沖縄中部地域では、米軍基地建設により戦前とは土地利用状況が大きく異なっているため、北谷戦前空中写真中の評定点になりうる地点が、現在では失われていることが多い。また北谷戦前空中写真範囲にこのような地点は一概には分布していない。さらに、この方法を採用して作業を行った場合、現地確認などの作業も伴い、時間及び費用も多大にかかるものと思われる。

戦前の地形モデル作成においては、視差を持った空中写真のステレオ解析によって等高線などの標高データを復元することは可能である(写真測量)。この場合も正確な空中写真位置座標設定や確認測量(標高関係)などが必要になる。このような手法は、普天間基地返還作業に伴う『昔・普天間まちなみ再現検討委員会報告書』(内閣府沖縄総合事務局2002)で行われたことがあるが、費用や時間などが多く費やされている。

今回のデータ作成では、測量レベルの精度は不必要と考えられるので、基図を大正沖縄地形図として全作業を行った。従って、データ精度は大正沖縄地形図(1/25000)と同程度になる。

4-1. ジオリファレンス処理

スキャナーで読み込んだ地形図や空中写真ラスターデータに、位置座標及び投影法を与えることによって、GISにて利用可能になる。この位置座標を与える操作をジオリファレンス(Georeference)と呼ぶ。

地形図の場合は、地形図ラスターデータに地形図投影法を設定後、地形図枠に記入された緯度経度数値を地図ラスターデータに設定することとなる。地形図は正射投影されたラスターデータなので、4点の位置座標設定により、地図内の任意点は正確な位置座標を持つこととな

る。なお、スキャナー読み取り時に生じる図面の傾きや縦横方向の歪み（伸び縮みなど）は座標設定後の自動処理によって修正される（図-4）。

空中写真データの場合は、空中写真の道路交差点や岬先端など、その位置を1/25000地形図で確定しやすい場所を選定し、同地点に地図から読みとった緯度経度座標値を設定する作業となる。実際の作業は、ジオリファレンス済み地形図と空中写真をソフト上に同時に開き、地形図と空中写真において同一ポイントを指示していく作業となる。設定するポイント数は、後述する幾何補正の手法と関連する（図-5）。

4-2. 空中写真の幾何補正

航空機などから撮影された空中写真は、中心投影であるため高さのある対象物は主点（中心点）を中心に放射状にずれて写る。さらに、1枚の空中写真中でも場所によって縮尺が異なり、中心付近では縮尺が大きく周辺部で小さくなる。また、近接地点間で標高の高い部分で縮尺は大きくなる。従って、ジオリファレンスを行った空中写真は、その設定座標値より方位の補正や空中写真特有の歪みなどを補正する幾何補正を施す必要がある。幾何補正を施さない状態では地図とのズレが大きく、GIS データとしては使いにくいものになってしまう。

GIS ソフトは空中写真の幾何補正方法を数種類提供している。大きくは、アフィン変換を主体とする線形変換と多項式を用いた非線形の幾何補正がある。多項式を用いたものは、画像の歪みの大きい斜め撮影の写真や、撮影範囲内の高度差が大きい写真の処理に用いられる場合が多い。この方法では多数の座標点を設定する必要があり、また計算時間も長くなる場合が多い。アフィン変換を主体とする幾何補正は、主に回転、正規軸ごとの拡大・縮小及び平行移動の処理を行うのみで、設定座標は3点あるいは4点以上であれば良く、計算時間も短いものとなる。

アフィン変換を主体とする幾何補正は、空中写真の幾何補正に適用可能な簡単な方法であり、GIS ソフトでは、『Affine Transformation』と『Plane projective model』の2方法と複数ポイントから画像分割後、各部分にアフィン変換を適用する『Piecewise Affine model』が利用可能である。

『Affine Transformation』は単純にアフィン変換を利用した方法であり、最低3点の座標点を使い、回転と縮尺及び平行移動によって画像を幾何補正する線形手法である。線形変換であるため撮影時傾斜した空中写真に適用した場合には誤差を生じ、また空中写真特有のひずみを除去することができない（図-6）。

『Plane projective model』は中心投影に適應した幾何補正で、最低4点の座標を与えることによって補正する。補正法の概要は入力座標点をつないで想定される界線からカメラの中心点を想定し補正を行う。この補正により当初のイメージ〔画像〕で見つかった傾斜歪曲は修正され（図-7）、さらに傾斜補正後アフィン変換による補正も行われる。『Affine Transformation』に比べ、写真撮影時の傾斜を補正できる点が優れている。

『Piecewise Affine model』は空中写真に多数の緯度経度座標を与え、その情報を基に写真

を複数の三角形領域に区分し、その三角形ごとにアフィン変換を適用するという方法である（図-8）。この方法では、写真上の点を任意の位置に移動する事が可能（点の位置関係が崩れるような移動は不可）で、統一的な写真の歪み（写真撮影条件）が不明な場合などに有効であり、古地図などの利用に適用可能である。

今回は大正沖繩地形図を基準に空中写真を処理した。このデータに『Affine Transformation』と『Plane projective model』を適用した場合、1枚の写真中で部分的に大きな誤差（地形図上の位置との差）や隣接する写真との接合に不具合が生じた。原因は、空中写真に大きな歪みが含まれている可能性があること、また基準に使った大正沖繩地形図にも誤差が含まれているためと推定される。3D データを作成する場合、大正沖繩地形図から作成した地形モデルに写真を合わせる（レンダリングする）必要があるため、『Piecewise Affine model』を使用し、戦前北谷空中写真を大正沖繩地形図に正確に合致するよう幾何補正した。

4-3. モザイク処理

ジオリファレンス及び幾何補正終了後の空中写真は、その位置情報を基に張り合わせ、旧北谷村範囲の画像データに編集した。この画像データは位置情報を有しており、他の GIS データとの重ね合わせや画像分析が可能となる（図-9）。

4-4. 等高線の抽出

ベクトル化された等高線データ（ライン）に標高などの数値情報を付加することにより、GIS ソフト上の数値処理でメッシュデータ作成などの処理が可能になる。

等高線処理は、GIS ソフトの機能を使用し、ジオリファレンス済み大正沖繩地形図から等高線の抽出・ベクトル化を行う作業である（自動処理）。作成したベクトル等高線に対しては、属性値として標高を付加する。この作業は GIS ソフト上で地図画像データとベクトル等高線を重ね合わせ、手作業で等高線に標高を与えることとなる（図-10）。

4-5. 標高メッシュデータ(DEM)の作成

3D 表示や地形分析を行う場合、各地点ごとの標高値からなる地形モデル（DEM）を作成する必要がある。地形モデル（DEM）は一般に、標高点を不規則な三角形網で結節した形状（TIN）のデータや等間隔の格子点ごとに標高値が与えられたデータ（標高メッシュ）がある。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）から計算により、このようなデータを作成することが可能である。今回は、標高メッシュデータを利用した。

標高メッシュ計算方法として、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（図-11）。ランダムな標高ポイントより作成する方法は、逆距離加重補間法(IDW)と TIN（不規則三角網）法があるが、いずれの方法もポイントが一応に分布する場が処理に適している。それらの概要は下記のとおり。

①逆距離加重補間法(IDW)：標高メッシュ中の1点の標高を計算するため、その点を中心に一定距離範囲を検索し、その中に存在する標高点の平均値から DEM を算出する方法で、このとき距離の遠い点の影響を小さくする手法を用いる算出方法である。

②TIN (不規則三角網)：標高ポイントを連結し地形面を多数の三角形で構成される多面体に近似し、各三角形は頂点の位置座標を使った平面の方程式により記述する。標高メッシュ中の1点の標高を計算する場合、その点の属する三角形を選択し、その平面方程式よりその点の標高を算出する。

等高線(ライン)を利用した算出方法は、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地形断面を想定し、各標高メッシュ値を算出する。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。

大正沖縄地形図から抽出した等高線を利用し地形標高メッシュデータを作成することから、等高線(ライン)を利用した算出方法が最適な方法であると考えられる。一方、等高線から標高ポイントへのデータ変換処理により、ポイントを利用した方法が利用可能ではあるが、等高線位置にポイントが集中するため、特に等高線間隔が開く平坦な地形の等高線と調和的な地形モデルを得にくい。

従って、今回は等高線(ライン)を利用した算出法を使って、格子間隔10mの標高メッシュデータを作成した(図-12)。

4-6. 図中ラベル、字界、遺跡等ポイント作成

フライトシミュレーターで空中写真データを3D表示する場合、ラベル、ポイント及び境界線などのベクトル情報を上書きすることが可能である。そこで、フライトシミュレーター使用時に上書き表示するデータを作成した。これらのデータは2次元GISデータとして作成すれば、自動的にフライトシミュレーター上に表示することが可能であるので、大正沖縄地形図及び現在の1/25000地形図を基に作成した。(図-13)

作成したデータは、以下の通り。

データ名称	出 展
字界データ(属性値:字名)	国土地理院数値地図2500「沖縄」
沖縄軽便鉄道嘉手納線	北谷戦前空中写真より作図
遺跡ポイント、井戸ポイント	『北谷町の遺跡』(北谷町教育委員会1994.3)
拝所ポイント	『北谷町の拝所』(北谷町教育委員会1995.3)
集落ラベル	『北谷町の自然・歴史・文化』(北谷町教育委員会1996.3)

5. フライトシミュレーターと3Dアニメーション

5-1. フライトシミュレーター用データの作成

GISソフトのフライトシミュレーター用データ作成プロセスによる。標高メッシュデータよ

り、ワイヤーフレーム地形モデルを作成し(写真-14)、この地形モデルに空中写真データを張り付ける(レンダリング)する手順となる。このとき、地形モデルの精度やレンダリング画像画素の精密を設定し、必要な精度の画像を作成することとなる。また、ラベルや目標物などのベクトル情報などもこの処理段階で1つのレイヤーとして取り込む。(図-15)

5-2. フライトシミュレーター

北谷町3Dフライトシミュレーターデータは、インターネットから無償で入手可能なフライトシミュレーターソフト用に作成されている。従って、このように作成された3Dフライトシミュレーターデータは、ソフトをダウンロードした学校や各種機関でデータを活用することが可能である。ソフト利用者が自由に飛行を操作し、様々な方向・視線で対象物を観察し、結果として対象地域の地理や景観などを理解していくことが可能である。

このソフト起動は普通のプログラムと同様であり、アイコンから起動、使用ファイルを開くことによって動作開始する。フライトシミュレーターの視点や視線方向はキーボード、マウス及びゲーム用コントローラーにより簡単に変更可能である。(図-15、16)

キーボードによる基本操作は、①高度上昇・下降、②飛行(前進・後退)、③機首コントロール(機首下げ、上げ、左右)などで、飛行操作がキーボードキーに割り当てられている。また、これらの操作はゲーム用コントローラーに割り当て可能である。(若年層はこちらが使いやすいものと思われる。)

マウスによるコントロールは、飛行操作(前進・後退など)ができないが、視点位置や視線方向を自由にコントロールできることにより、ソフト利用者が必要とする視点・視線方向から対象物を鳥瞰した画像を簡単に作り出すことが可能である。また、作成した画面は、画面のハードコピー(パソコン機能)により簡単に保存可能である。マウスによる操作の概要は以下の通りである。

①システム起動直後、3Dビュー(そのときの視点で見ている画像)とマップウィンドウが表示される。マップウィンドウの+マークが視点(飛行機)位置、○マークが視線中央を表す。それぞれのマークをマウスでドラッグすると飛行機及び視点の位置を素早く変更でき、そのときのビュー(鳥瞰図)が同時に全画面に表示される。

②3Dビュー画面上の任意の1点をマウスによりクリックする事によって、その地点を画面中央に移動した景観を即座に表示する。高度の変更は、マウスのホイール操作により変更可能である。

3Dビューには、ラベル、字界、遺跡等ポイントの情報を付加表示可能である。これは表示レイヤーの追加操作により可能になる。(図-17)

5-3. 3Dアニメーション

近年パソコン上で動画を扱うことが容易になり、パソコン購入時に付属しているWindows Media Playerや無償で利用可能なReal One Playerなどが普及している。

このような環境を利用可能な3Dアニメーション(3D景観ムービー)を作成すれば、上記フライトシミュレーターの操作ができない利用者が手軽に動画として景観を観察することが可能である。また、ある目的を持った飛行コース3Dアニメーションを作成すれば、ある地域に対する概要説明コンテンツも作成可能である。

GISソフトには3Dアニメーションを作成する機能がある。これは地形モデル上で視点が移動し、そのときの景観を記録、動画とする機能である。この機能を使って3Dアニメーションを新規に作成する場合、GISソフトが必要になる。今回はGISソフトなしで任意の3D景観ムービーを作成する手法を考案した。

近年、パソコンで動画画像を利用する機会が増え、多くの動画編集ソフトが提供されている。一部は無料で近い形でインターネット上に公開されている。このような動画画像編集ソフトには、パソコン表示画面をそのまま取り込み、動画ファイルとして保存するソフトが存在する。このようなソフトを使って、フライトシミュレーター画面を動画ファイルとして保存し、3Dアニメーションを作成した。この方法を利用すればGISソフトなしに、一度作成したフライトシミュレーターデータを利用して、種々の3Dアニメーションデータを作成することができる。

図-18は戦前北谷フライトシミュレーションデータに対して、北谷町北前から嘉手納町嘉手納に向け、沖縄軽便鉄道嘉手納線沿いに飛行し、作成した3Dアニメーションである。

5-4. 北谷町教育委員会データ

北谷町教育委員会で作成したフライトシミュレーターデータは以下の通りであり、現在の空中写真及び地形から作成したデータも作成し、それぞれ複数レイヤーにデータを配置して、景観の変化等を実感できるように工夫した。また、3Dアニメーションを閲覧した利用者がさらに興味を持った場合、フライトシミュレーターを利用するようにデータを準備した。

①北谷今昔：現在のカラー航空写真と戦前の白黒写真をベースにしたデータ。レイヤーの切り替えにより、戦前北谷写真と現在写真の切り替えができる。同じ視点からみた昔と今の北谷町の変化を知ることができる。

②むかし北谷：戦前の白黒写真をベースに、集落名や字界、拝所・遺跡ポイントなどの情報を付加。レイヤー切り替えやポイント表示などで、分布情報を閲覧できる。また、レイヤー切り替えにより、大正沖縄地形図を利用することも可能で、立体表示された地形図により、目標を検索し、写真に切り替えることができる。

また、3Dアニメーションは以下のものを作成した。戦前北谷空中写真と現在の写真を基にしたデータで景観を作成し、戦前戦後の変化を体感できるものとした。

①北谷町域周回ムービー：北谷町を中心に飛行機が周回し、作成した3D景観ムービー。戦前の景観と現在の景観で作成した。

②北谷沖からの鳥瞰ムービー：北谷西方沖から北谷町を南から北へ鳥瞰したムービー。戦前の景観と現在の景観で作成した。北谷埋め立て地の変化が理解できるものとなった。

③軽便鉄道周辺ムービー：北谷町北前から嘉手納町嘉手納に向け、沖縄軽便鉄道嘉手納線沿いに飛行し、作成したムービー。戦前の景観と現在の景観で作成した。

6. まとめ

米軍撮影戦前空中写真GISデータ及び大正沖縄地形図からの標高メッシュデータから、パソコンとGISソフトを利用して、フライトシミュレーションデータおよび3Dアニメーションを作成することが比較的容易に可能である。このような3次元画像データを利用することによって、戦前の景観を体感することが可能になり、教育分野や研究分野に広く応用が可能である。北谷町教育委員会「ちゃたんニライセンター」では、現在この手法で作成されたデータが利用可能である。データ作成上の問題点としては、画像解像度(最大720×540)や1シーンの制作可能時間(最大2分弱程度)などがあるが、いずれもパソコンハードやソフトの性能の限界であり、近い将来解決されていくものと思われる。

北谷町教育委員会の関係者の方々には、このデータ作成の機会を与えていただいて感謝申し上げます。

参考・引用文献、使用データ

「北谷町の遺跡」(北谷町教育委員会1994.3)

「北谷町の拝所」(北谷町教育委員会1995.3)

「北谷町の自然・歴史・文化」(北谷町教育委員会1996.3)

「琉球諸島地形図集成」(柏書房1999)

「空から見た昔の沖縄 沖縄島中部・南部の空中写真」、(財)沖縄県文化振興会公文書管理部史料編纂室2002

TNTmips マニュアル MicroImages, Inc

国土地理院数値地図2500「沖縄」

米軍撮影空中写真 北谷町教育委員会2003

使用ソフトウェア

GISソフト：TNTmips 6.9 MicroImages 社製(アメリカ)

フライトシミュレーションソフト：TNT3Dsim6.9 MicroImages 社製、ダウンロード先

<http://www.microimages.com/product/tntsim.htm>

パソコン画面キャプチャリングソフト：Movie Cappuccino Version2.50

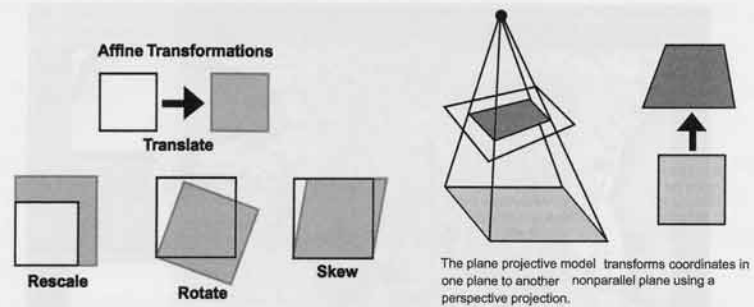


図-6 Affine Transformation
(TNTmips マニュアルより)

図-7 Plane projective model
(TNTmips マニュアルより)

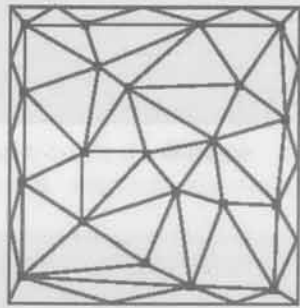


図-8 Piecewise Affine model
(TNTmips マニュアルより)

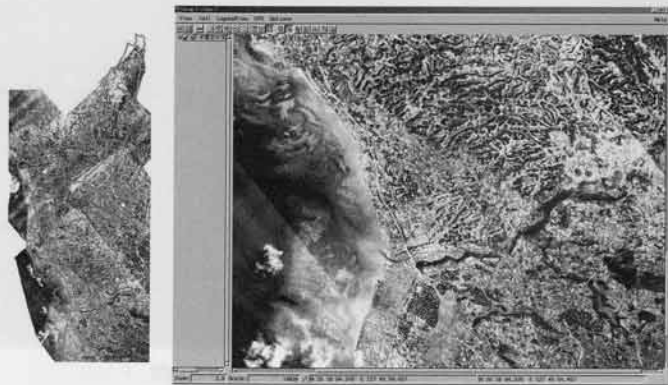


図-9 旧北谷村範囲モザイク写真
(左：全城モザイク写真、右：北谷付近モザイク写真)



図-10 等高線ベクトル

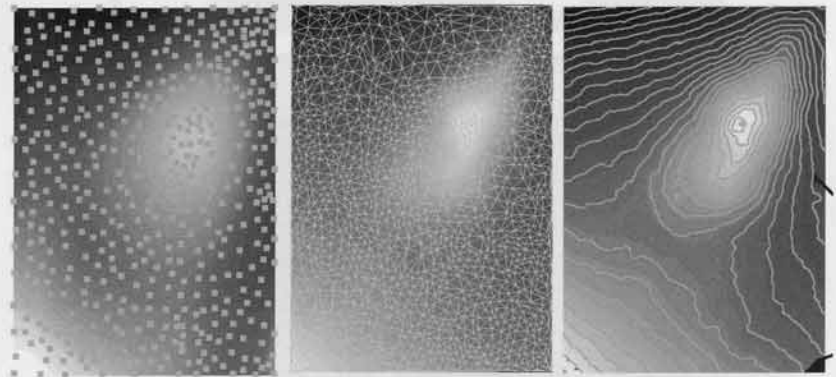


図-11 DEM 作成法(TNTmips マニュアルより)

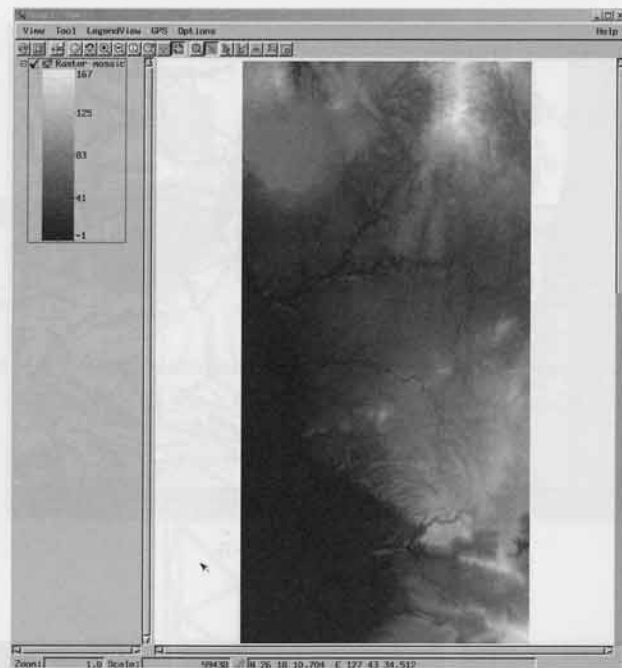


図-12 地形データ

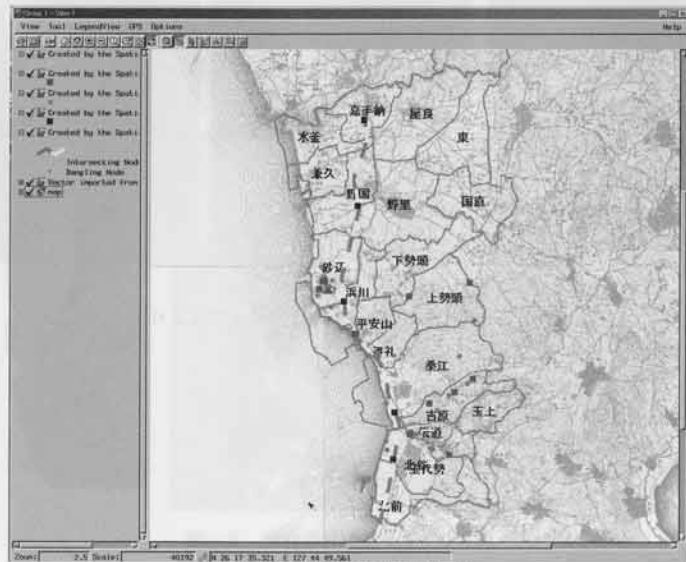


図-13 付加ベクトルデータ

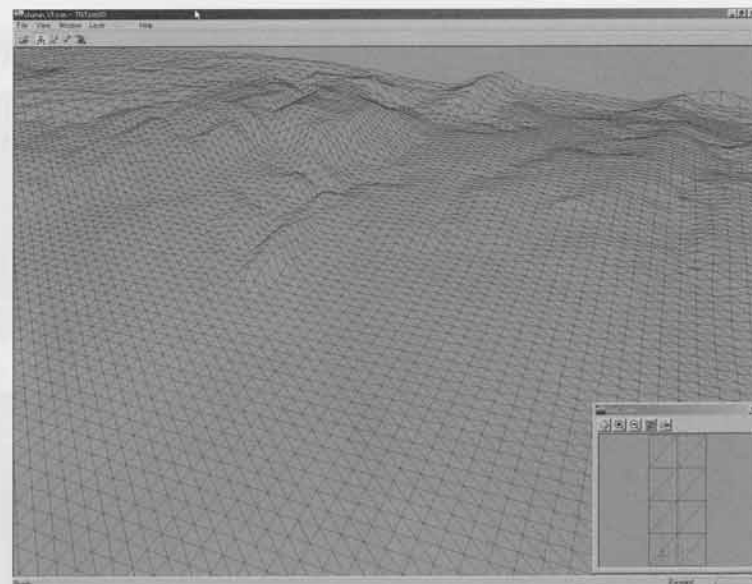


図-14 ワイヤーフレーム表示



図-15 北谷町戦前空中写真3D表示

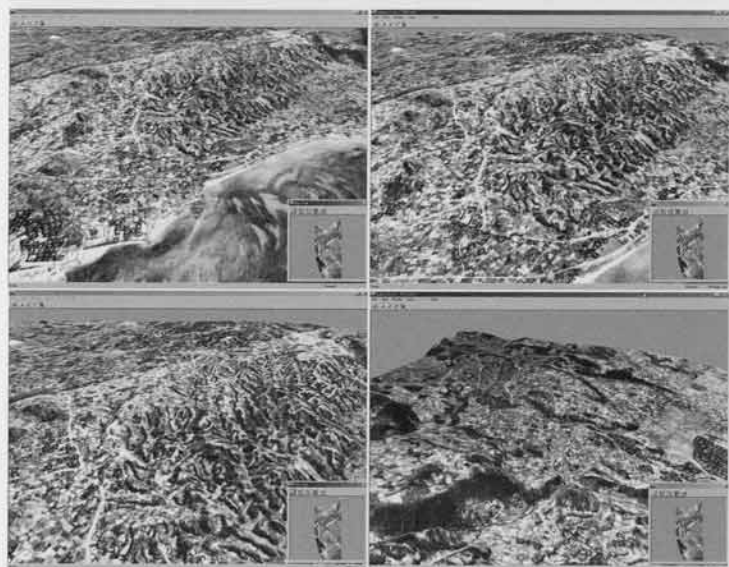


図-16 フライトシミュレーター表示例



図-17 ラベル・字界等合成表示



図-18 3Dアニメーション

(スタートは左上、ここから右方向へ、さらに順に下段へ連続)