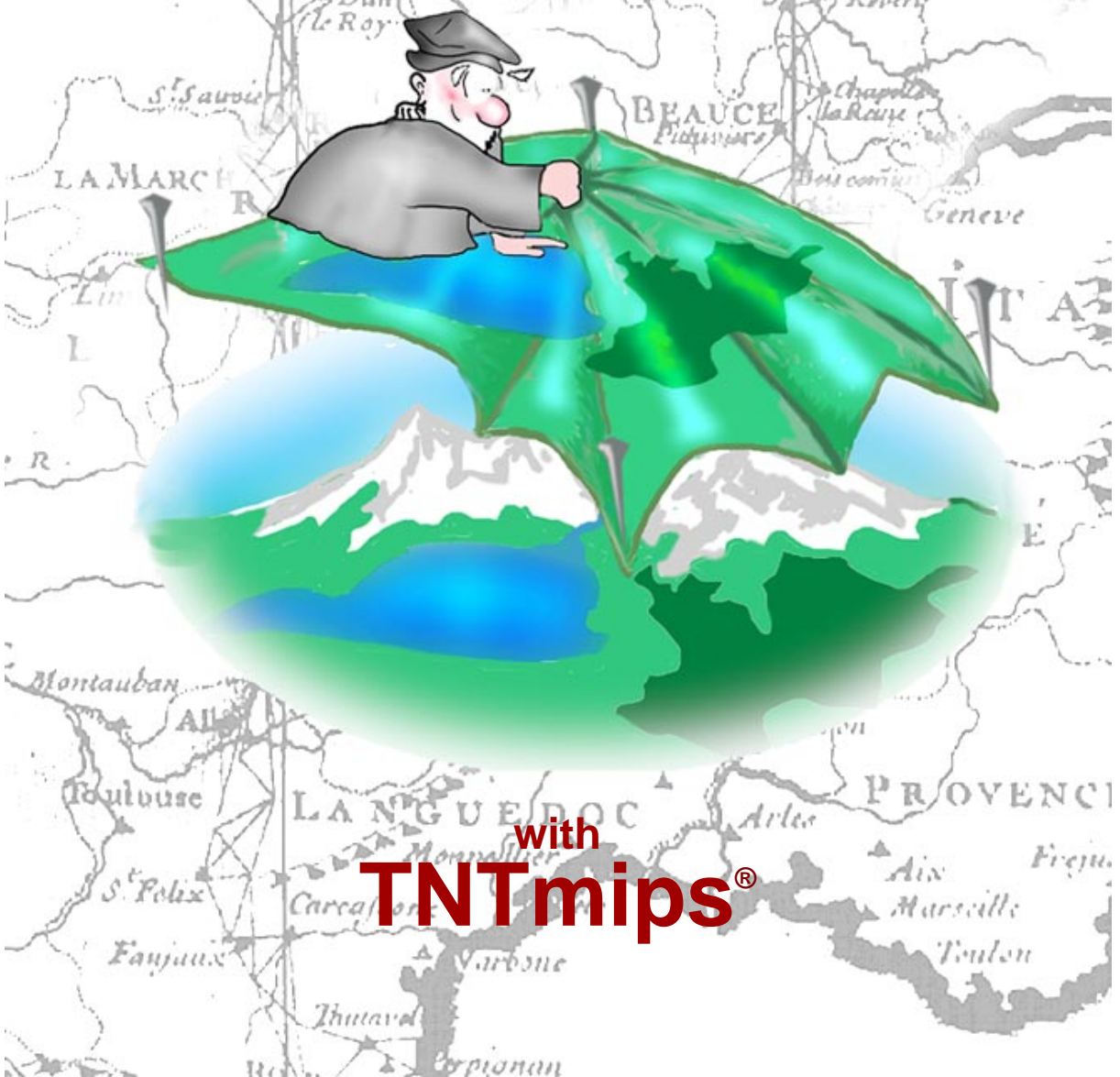


# TNT入門

R  
P  
C  
  
O  
R  
T  
H  
O



## 有理多項式を使用した 画像の正射幾何補正



---

# はじめに

有理多項式の係数という形で画像ジオメトリの数学的モデルが与えられている衛星画像に対しては、正射幾何補正することができます。この処理には、数値標高モデルを必要とします。正確な3次元地上コントロールポイントを使って画像に対して再度ジオリファレンスを与えることによって、有理多項式モデルの近似を改善することができます。本書では、TNTmipsにおける有理多項式を使った画像の正射幾何補正に関係する概念と手順の概要を説明します。幾何補正に先立って画像のジオリファレンス処理における有理多項式モデルの使用方法についても説明します。

**必須基礎知識** 本書では、読者が『TNT入門：地理空間データ表示』、『TNT入門：システムの基本操作』の練習問題を完了しているものと仮定しています。必須知識や基本操作についてはこれらの練習問題で説明されていますので、本書では繰り返して説明しません。また、『TNT入門：ジオリファレンス処理』、『TNT入門：画像の幾何補正』で説明した話題にも習熟する必要があります。わからない部分がある場合は、必要に応じこれらの冊子やTNTmipsのリファレンスマニュアルで調べてください。

**サンプル・データ** 本書の練習問題では、TNT製品に添付されているサンプルデータを使用します。TNT製品のCDにアクセスできない場合は、マイクロイメージ社のウェブサイトからデータをダウンロードできます。特に、本書ではRECTIFYディレクトリのサンプルファイルを使用します。これらのオブジェクトを使用する場合は、変更内容を保存できるよう、サンプルデータの読み込み/書き込み用のコピーをハードディスク上に作成してください。

**TNTmips と TNTlite®** TNTmipsには2つのバージョンがあります。プロフェッショナル・バージョンであるTNTmipsと、無料バージョンであるTNTliteです。本書では、どちらのバージョンも「TNTmips」と呼ぶことにします。プロフェッショナル・バージョン(ソフトウェア・ライセンスキーが必要)を購入されなかった場合、TNTmipsはTNTliteモードで動作し、オブジェクトのサイズが制約されますが、TNTliteの別のコピーとの間でデータを共有することができます。

すべての練習問題は、提供されるサンプル・ジオデータを使用してTNTliteで実行できます。

Randall B. Smith 博士、2004年7月28日

©著作権：2004年、マイクロイメージ社

一部のイラストでは、カラー・コピーでないと重要な点がわかりにくい場合があります。マイクロイメージ社のウェブサイトから本書を入手されれば、カラーで印刷したり表示できます。また、このウェブサイトからは、『TNT入門』のその他のテーマに関する最新のパンフレットも入手できます。インストールガイド、サンプルデータ、および最新バージョンのTNTliteをダウンロードできます。アクセス先は次の通りです。

<http://www.microimages.com>

# RPC 正射幾何補正の世界によろこそ

通常、地表面の航空写真や衛星画像には、地形の起伏や撮影方向が鉛直でないことに起因する空間的な歪みが含まれています。正射幾何補正は、このような歪みを除去する処理であり、地物の位置が平面地図の場合と同じであるような正射画像を作成します。正射画像では地図と同様の幾何学的配置になるため、地図から求められた主題図データは未補正の画像にくらべてより正確に正射画像と適合するので、正射画像から抽出される空間情報はより正確です。

一部のタイプの衛星画像では、TNTmipsの自動リサンプリング処理で、数値標高モデル (DEM) と有理多項式リサンプリング・モデルを使用して正射幾何補正することができます。現在、この方法を使用して正射幾何補正できるのは、IKONOSのGeo Ortho Kit 画像 (Space Imaging 社) と QuickBird の Ortho Ready Standard Product 画像 (DigitalGlobe 社) だけです。これらの画像は歪みを最小限に抑えるように高い視角から撮影されているだけでなく、正射幾何補正に必要な有理多項式係数 (RPC) が格納された補助ファイルも一緒に提供されます。



左は、カリフォルニア州ラホイヤの一部のパンクロマチック IKONOS 衛星画像 (セルサイズ 1m) に平面地図の街路のベクタ (オレンジ色の部分、航空正射写真からトレースしたもの) を重ね合わせたもの。この画像はジオリファレンス処理されていますが幾何補正されていません。右は、RPCによる正射幾何補正処理後の画像。街路ベクタとよく一致しています。このエリア内の標高差は約 60m です。

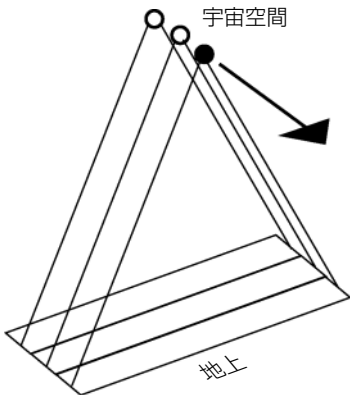
## ステップ

- ☑ TNTmips を起動します。
- ☑ メインメニューから Process / Raster / Resample / Automatic (解析処理 / ラスタ / リサンブル / 自動) を選択します。

研究資料に出てくる RPC という頭字語の意味は、"Rational Polynomial Coefficients" (有理多項式係数) の場合と、"Rational Polynomial Camera model" (有理多項式カメラ・モデル) の場合があります。資料の作成者によっては、同じ数学的モデルに "Rational Function Model (RFM)" (有理関数モデル) という語を使用している場合もあります。

**備考:** フレーミングカメラで撮影した航空画像 (フィルムの場合とデジタルの場合があり) では、衛星画像よりも撮像の幾何学的原理が単純です。TNTmips の写真測量モデリング処理では、ステレオ・ペアの写真または 1 枚の写真と数値標高モデル (DEM) を使用してカメラ画像を正射幾何補正することができます (『TNT 入門: DEM と正射写真の作成』を参照)。

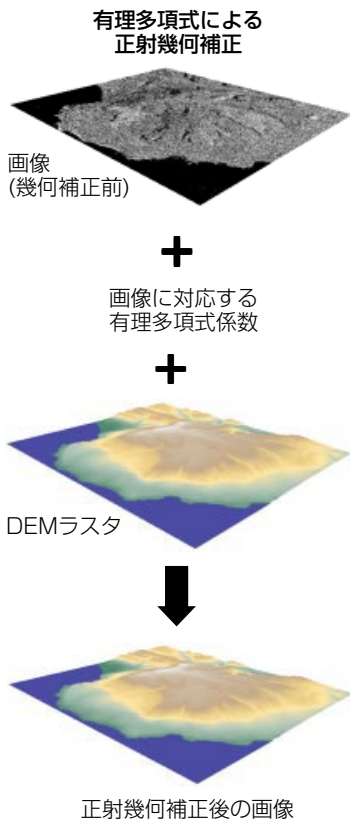
## 有理多項式モデルについて



IKONOSのようなクロストラックスキャンニング・システムは、衛星が軌道(矢印)に沿って前進しながら宇宙空間のさまざまな位置(円マーク)から撮影した走査線群から画像を作成します。

フレーミングカメラによる通常の航空写真では、画像内のそれぞれの位置は1つのカメラ位置から同時に撮影されたものです。このように単純な画像ジオメトリであるため、比較的簡単な式を使用して、二次元画像座標系から三次元地表面座標系への座標系変換を数学的に表現することができます。

これに対し、ほとんどのリモートセンシング衛星画像では、衛星が軌道に沿って前進しながら撮影した一連の走査線群から作成されます。このため、同じ画像内でも、各部分は異なるセンサ位置から撮影されています。画像座標系から地表面座標系への変換を厳密に記述しようとすると、画像処理システムのすべての物理要素を組み込んだセンサの数学的モデルがあまりにも長く複雑なものになってしまう可能性があります。たとえば、IKONOSの厳密なセンサモデルは183ページもの長さになってしまいます！



有理多項式による衛星センサモデルは、画像空間(行と列の位置)を緯度、経度、標高に対応付ける、より簡単な経験的数学モデルです。有理多項式という名前は、このモデルが2つの三次多項式の比で表現されることに由来しています。実際に、1つの画像にはこのような有理多項式が2つ含まれており、一方が行位置の、他方が列位置の計算に使用されます。この2つの有理多項式の係数は、衛星運用企業が、衛星軌道の位置と方向および厳密な物理センサモデルを使用して計算します。ジオリファレンス処理された衛星画像、それに対応する有理多項式係数群、及び標高値を与えるDEMを使用して、TNTmipsの自動リサンプリング処理は、各画像セルの正しい地理的な位置を計算し、正射幾何補正された画像を生成します。



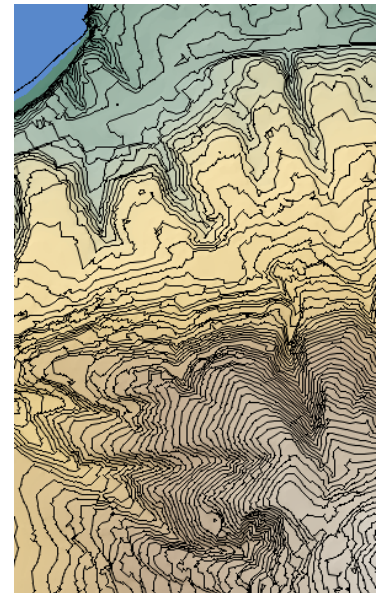
## 数値標高モデルの取得

画像の正射幾何補正に使用する数値標高モデルでは、画像領域やセルのサイズが一致する必要はありません（両者の共通領域が正射幾何補正されます）。ただし、最良の結果を得るためには、DEMのセルサイズと幾何補正する画像のサイズとが、できる限り近くなければなりません。米国内の全土について、米国地質調査所 (USGS) による解像度30mのDEMを無料でダウンロードして入手できるほか、米国の多くの区域については解像度10mのUSGS DEMを入手できます。他の国の場合も、同様な解像度の標高データをそれぞれの政府機関から購入することができます。世界標高モデル (GTOPO30) も USGS から無料でダウンロードできます。世界標高モデルは空間解像度が30秒であり、赤道では約1kmになります。2004年中頃までには地球上の全地域について、NASAの Shuttle Radar Topography Mission が作成した最終版の90mのDEMをUSGSから入手できるようになる予定です。

画像のエリアに対応する十分な空間解像度のDEMが見つからない場合は、ユーザ自身で作成することもできます。地域によっては、デジタル形式の地形等高線データも入手することができます。また、スキャンされたその地域の地形図からこれを作成することもできます。結果として得られたベクタ等高線データをTNTmipsの地表面モデリング処理で面近似してDEMを作成することができます（詳細は、『TNT入門：地表面モデリング』を参照）。たとえば、マイクロイメージ社で、カリフォルニア州ラホイヤのIKONOSの1mパナクロマチック画像を幾何補正したいのに、USGSからは解像度が最高でも30mのDEMしか得られないとします。このような場合は、サンディエゴ郡から安価な等高線間隔が5フィートのベクタ等高線データを購入します。等高線処理時に出来た不自然な部分を除去するように編集してから等高線を面近似し、セルサイズが1m、標高値がメートル単位の少数部付き数値（浮動少数点ラスタ）で表わされたDEMを作成します。こうすると、必要な画像データに適した解像度のものが得られます。



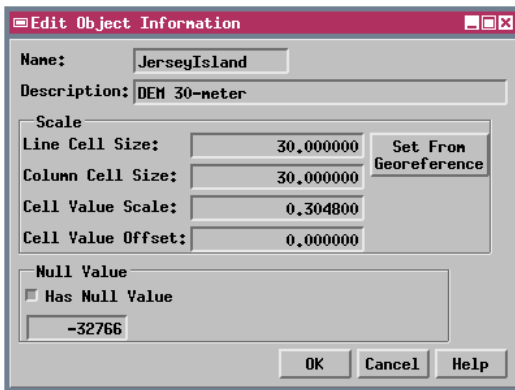
カリフォルニア州ラホイヤ地域の30m（解像度）のDEMの一部（カラーパレットを付けて表示）。USGSから入手できる最高解像度のもの。



等高線間隔が5フィート（1.5m）のベクタ等高線（黒い線）を面近似することで得られた、セルサイズが1mのDEMの一部。

## 標高の単位と基準面

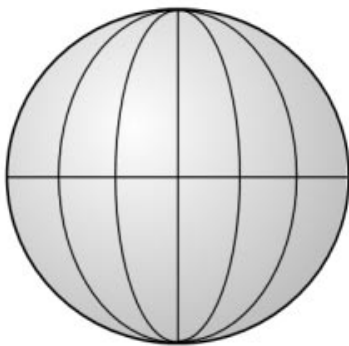
地形の等高線図と数値標高モデルでは、標高値の表現にさまざまな単位が使用されます。たとえば、米国で入手可能なDEMでは標高の単位としてメートル、デシメートル、フィートが使用され、データソースやその局所的な場所での標高差の違いによって使い分けられています。RPCによる正射幾何補正にDEMを使用する前に、元のデータに添付されているメタデータや他のテキスト情報をチェックして、標高の単位を確認してください。RPCによる正射幾何補正処理では、標高の単位がメートルになっていなければなりません。



このEdit Object Information (オブジェクト情報の編集) ウィンドウでは、DEMはフィート単位になっており、Cell Value Scale (セル値の単位変換倍率) は、DEM 値をメートル単位の値に変換するように設定されています。

ただ、DEMで使用されている単位がこれと異なっても慌てる必要はありません。これに対処する簡単な方法があります。TNTmipsのプロジェクトファイルのメンテナンス画面を開き (Support / Maintenance / Project File (サポート / メンテナンス / プロジェクトファイル))、DEM ラスタを捜して Edit (編集) アイコンボタンを押し、Edit Object Information (オブジェクト情報の編集) ウィンドウを開きます。このウィンドウの Scale (単位変換倍率) パネルには Cell Value Scale (ピクセル値の単位変換倍率) フィールドがあり、ラスタセル値をメートル単位に変換するための変換倍率を入力することができます (たとえば、デシメートルをメートルに変換するには 0.1 を、フィートをメートルに変換するには 0.3048 を入力します)。こうしておくで、すべてのTNTmips処理で、修正後の値が自動的に使用されます。

特定の衛星画像の有理多項式係数は、衛星センサの軌道上の位置と方向に関するデータを使用して計算されます。衛星の位置には、高さ (標高) の要素が含まれていますが、「どこからの高さ」なのでしょうか？



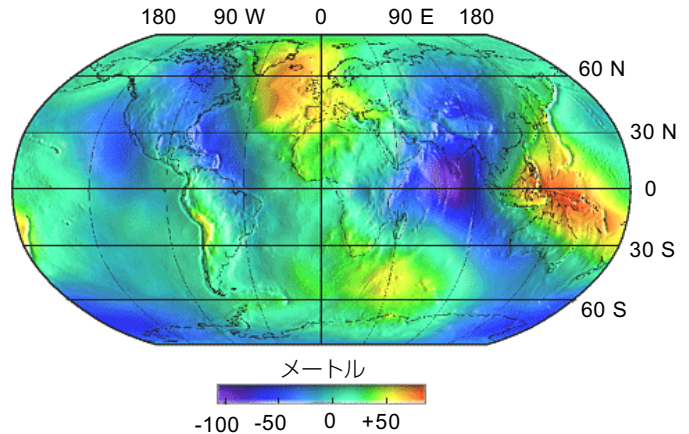
全地球を最適近似できる楕円体はほぼ球形ですが、極方向の半径が赤道方向の半径に比べて 1/298.257 だけ短くなっています。

実際の地表面は不規則であり、あらゆる場所の標高が正確にわかっていないわけではないため、実際の地表面を基準面にはできません。衛星の高さの場合に基準となるのは、実際の地表面ではなく、地球の中心を中心として数学的に定義され地球全体の形状を最適近似できる理想的な幾何学的形状である楕円体です。この楕円体として最も一般的なのは世界測地系 (World Geodetic System : WGS) 1984 楕円体であり、WGS1984 測地データの基本となっています。(QuickBird やIKONOSのような) リモートセンシング衛星と全地球測位システム (Global Positioning System : GPS) 用の衛星群は、どちらも、この仮想楕円体の表面を高さの基準面としています。したがって、画像のRPCモデルに組み込まれる標高値は楕円体面からの高さであり、GPS受信機がGPS衛星の情報から計算した高さの値です。

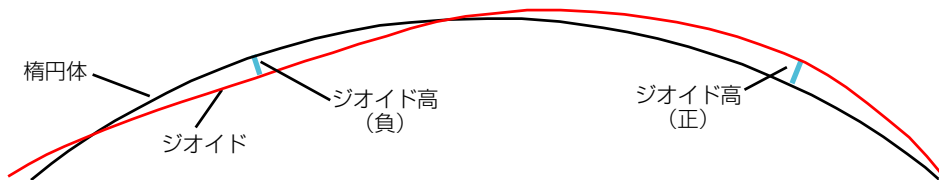
## ジオイド高の取得

一方、ほとんどのDEMの標高値から得られるのは、局所的な平均海面からの地表面の相対高さです。この値は、海拔高度とも呼ばれています。全地球的規模での平均海面レベルは、広い起伏のある面で「ジオイド」と呼ばれ、その形状は、地球重力場をGPSの調査データで補ったものから決定されています。ある地点でのジオイドと楕円体との鉛直方向の差を「ジオイド高」と言い、ジオイドの方が楕円体より上にある場合は正の値、ジオイドの方が楕円体より下にある場合は負の値になります。ジオイド高は、地域的な広さから大陸的な広さぐらいの規模で変化し、その範囲は-100～+100m以内です。

WGS84 楕円体に対する地球各地のジオイド高



鉛直方向の断面図で見るジオイド高 (図は誇張してあります)



有理多項式画像モデルでは楕円体を基準とした標高を使用しているため、このモデルを使用するジオリファレンス処理と幾何補正処理では、DEMの海拔高度からその場所のジオイド高を減算して楕円体上の高さに変換する必要があります。したがって、ジオリファレンス処理や自動リサンプリング処理でDEMを選択した場合は、ジオイド高を入力するように指示してきます (ジオイド高の変化は地域全体ぐらいの広さであるため、IKONOSやQuickBirdのシーン全体を1つのジオイド高で十分カバーできます)。画像エリアのジオイド高を調べるには、ジオイド高を計算してくれる無料サイトが次のようにインターネット内にありますので、その画像の中心位置の緯度と経度を入力します。

<http://earth-info.nga.mil/GandG/egm96/intpt.htm>

<http://sps.unavco.org/geoid/>

<http://gibs.leipzig.ifag.de/cgi-bin/geoid.cgi?en>

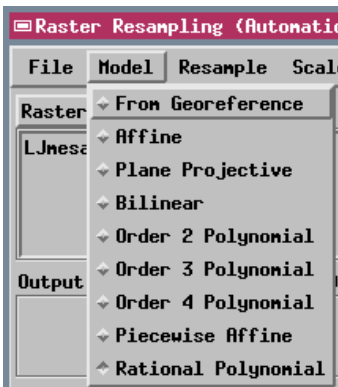
また、次のサイトでは、ジオイド高を計算するWindows 9x/NT用のソフトウェア・プログラム (サポート・ファイルも) を無料でダウンロードすることができます。

<http://earth-info.nga.mil/GandG/wgsegm/egm96.html>

# RPC による正射幾何補正処理の実行

## ステップ

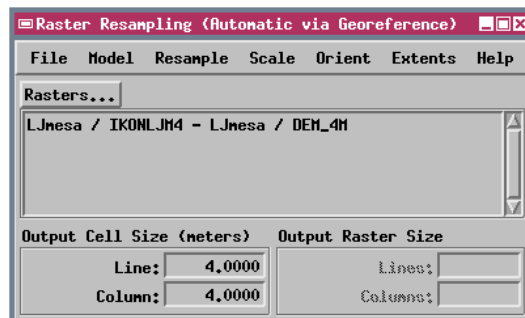
- ☑ Raster Resampling (ラスタのリサンプリング) ウィンドウで、Resample (リサンプル) メニューを Nearest Neighbor (最近隣 (ニアレストネイバー) 法) に、Scale (スケール) メニューを By Cell Size (セルサイズを使用) に設定します。
- ☑ Orient (方向) メニューを To Projection (投影に合わせる) に、Extents (範囲) メニューを Entire Input (入力全体) に設定します。
- ☑ Model (モデル) メニューを Rational Polynomial (有理多項式) に設定します。



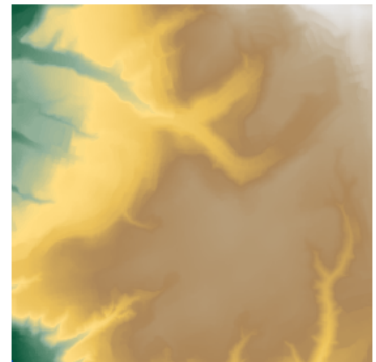
- ☑ [Rasters...](ラスタ...) を押し、RECTIFY サンプルデータ・ディレクトリの LJMESA プロジェクトファイルを検し、IKONLJM4 を選択します。
- ☑ 有理多項式モデル・ファイルを選択するように指示してきますので、RECTIFY / IKONLJM4\_RPC.TXT を選択します。
- ☑ DEM ラスタを選択するように指示してきますので、LJMESA プロジェクトファイルから DEM\_4M を選択します。
- ☑ その場所のジオイド高を聞いてきますので、プロンプトダイアログに -35.0 と入力して [OK] を押します。
- ☑ File / Run (ファイル / 実行) を選択します。
- ☑ 標準のオブジェクト選択ウィンドウを使用して、保存先のプロジェクトファイルを選択するか新たに作成し、出力ラスタオブジェクトに名前を付けます。

有理多項式モデルによる正射幾何補正は自動リサンプリング処理の、Model (モデル) メニューの Rational Polynomial (有理多項式) という選択肢を使用して行います。モデルの設定は、幾何補正するラスタオブジェクト (または複数のラスタオブジェクト) の選択前でも選択後でも行えます。この2つの操作のうち後の方の操作が終わると、一連のダイアログが表示されますので、その指示に従って、標高モデルを選択し、有理多項式の係数が格納されたテキストファイルを選択し、その場所のジオイド高の値を入力します。

この練習問題では、サンプルのカリフォルニア州のラホイヤの地域をカバーする IKONOS のマルチスペクトル画像の、赤、緑、青のバンドから生成したカラー画像を正射幾何補正します。この画像のセルサイズは 4m であり、約 4 平方キロメートルの面積をカバーします。地勢学的には、この地域は南西に傾斜し、狭い峡谷で分断された高原であり、このエリア内での局所的な標高差は 200m です。



幾何補正前の IKONOS 画像 (下)、  
同じエリアをカバーする DEM (右)



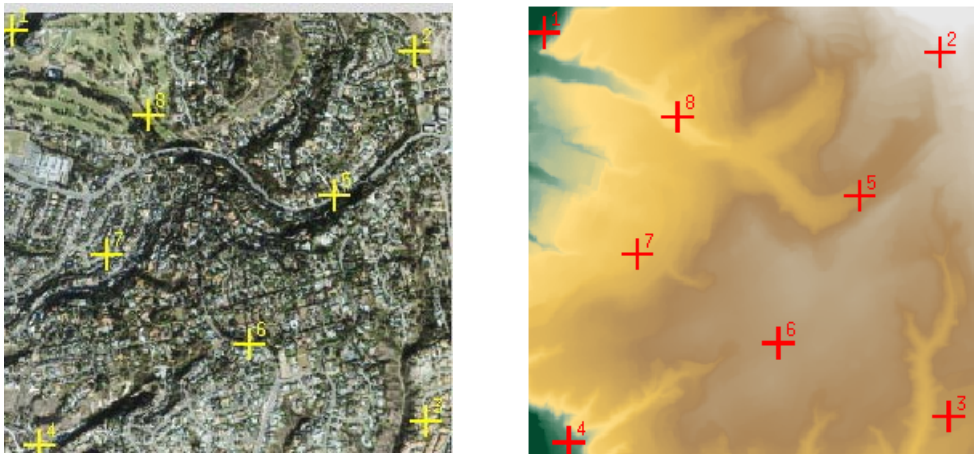
空間表示処理を使用して元の画像と正射幾何補正後の画像を重ね合わせると、幾何補正によるジオメトリの変化がわかります。



## 画像の再ジオリファレンス処理

前の練習問題で幾何補正した画像には、画像プロバイダが提供するジオリファレンス情報が含まれていません。衛星運用企業は、画像処理衛星の軌道上の位置、センサの向いている方向、そのシーン内の平均標高から、画像の地理的な位置を計算します。これらのパラメータは、画像の4隅の地図座標の計算に使用されますが、衛星パラメータのわずかの誤差が画像ジオリファレンス処理で大きな誤差になってしまうことがあります。このような誤差があると、幾何補正に使用するDEMとの位置合わせの誤差が発生する可能性があります、さらにそれが原因となって、得られる正射幾何補正後の画像の位置や内部ジオメトリの誤差が発生します。

ほとんどの画像では、正確で適切に分布した地上コントロール点(GCP)を使用して画像を再ジオリファレンス処理 (TNTmipsのジオリファレンス処理機能を使用) することで、正射幾何補正処理の結果を改善することができます。こうすることで、画像の正確な地理的範囲を計算し、正射幾何補正時に画像がDEMと正しく位置合わせされるようにすることができます (最良の結果を得るためには、画像に付いている四隅のコントロール点を削除します)。新しいコントロール点群は、縁部やコーナー部を含め画像範囲全体に比較的均一に分布していなければなりません。



IKONOSによるラホイヤ・メサのマルチスペクトル画像 (左) では地上コントロール点群が適切に分布して画像全体をカバーしており、DEMの図 (右) の範囲の標高も含まれています。

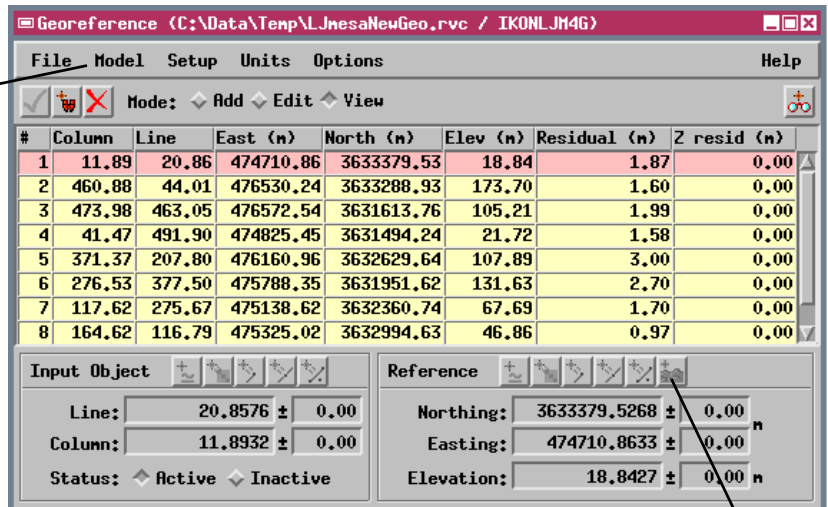
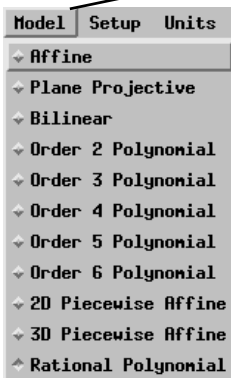
ジオリファレンス処理では、ユーザ独自のコントロール点群を使用することで、画像に付属する有理多項式による正射幾何補正モデルをさらに改善することができます (次ページ以降を参照)。適切に分布した正確なコントロール点が4~6ヵ所あるだけで、モデルの近似性能が大幅に改善され、得られる正射幾何補正画像の位置合わせと内部ジオメトリを改善することができます。場合によっては、コントロール点の数をさらに増やすと、精度の低いコントロール点による位置誤差への影響を小さくし平均化することで、近似性能をさらに改善することができます。コントロール点を増やす場所が地形的に重要な位置 (丘の頂上や谷底など) であれば、RPCモデルの近似性能がさらに向上します。

# RPC モデルによるジオリファレンス処理

## ステップ

- ☑ TNTmips メインメニューから Edit / Georeference (編集 / ジオリファレンス) を選択します。
- ☑ Object Georeferencing (オブジェクトのジオリファレンス処理) ウィンドウで File / Open (ファイル / 開く) を選択します。
- ☑ 標準のオブジェクト選択ダイアログで、LJMESA プロジェクトファイルから IKONLJM4G ラスタオブジェクトを選択します。
- ☑ サブオブジェクト選択ダイアログで [OK] をクリックし、既存の UTM ジオリファレンス・オブジェクトを開きます。
- ☑ 地表面レイヤーとして RECTIFY プロジェクトファイルから DEM\_4M ラスタオブジェクトを選択します。
- ☑ プロンプトダイアログでその場所のジオイド高を聞いてきますので、-35 と入力して [OK] を押します。
- ☑ Options (オプション) メニューから Show Elevation in List (リストに標高を表示) を選択します。

RPCによる正射幾何補正の前に画像をリジオリファレンス処理する場合は、Georeference (ジオリファレンス) ウィンドウの Model (モデル) メニューから Rational Polynomial (有理多項式) を選択します。自動リサンプリング処理の場合と同様に、プロンプトに従って、RPC テキストファイルと DEM を選択し、ジオイド高を入力します。このモデルを選択すると、コントロール点の残差が計算されます。この計算では、まず有理多項式モデルを使用してすべてのコントロール点の位置が投影され、すべての地形の位置ずれが除去されますので、残分は幾何補正モデルからのずれを示します。また、この処理では、この残分が最小限になるように画像と地理座標の間の変換も調整されます。この調整では、各コントロール点の水平方向の座標だけでなく正確な標高値も必要になります。標高値は、Reference (リファレンス) パネルを使用して手動操作で (地図座標とともに) 入力することもできますし、同じパネルの Set Z from Surface (地表面から Z を設定) アイコンボタンを使用して DEM 内の対応するセルから標高値を自動的に割り当てることもできます。



有理多項式モデルを使用してジオリファレンス情報を保存すると、ジオリファレンス・サブオブジェクトとともに RPC テキスト情報が自動的に保存されます。(この練習問題のように) ジオリファレンス処理や自動リサンプリング処理の中でこのような画像を開くと、RPC が自動的に読み込まれ、モデルは有理多項式モデルに設定されます。したがって、DEM を選択してジオイド高を入力する操作だけで済みます。

コントロール点の追加や編集を行う場合、Set Z from Surface (地表面レイヤーから Z を設定) アイコンボタンが有効になります。



## GPS 調査で得られるコントロール点



低コストなハンドヘルド式 GPS 受信機を使用して公園のピクニック・テーブルで取り込んだ制御点。GPSを使用する場合は、コントロール点の標高を示す“Z”値を固定し、地上からのユニットの高さを減算することも忘れてください。



画像を再ジオリファレンス処理するためのコントロール点を取得するには、いくつかの方法があります。そのエリアにアクセスできる場合は、全地球測位システム (Global Positioning System: GPS) 受信機を使用して地理的な位置データを取得することができます。可用性制限 (非軍事利用受信機用に位置精度を意図的に落としてある) の常時サービスは終わったため、低価格のポータブル GPS ユニットが 1 台あれば、IKONOS や QuickBird のマルチスペクトル (4m) 画像に対して十分な数のコントロール点群を提供して十分正確に地図座標を求めることができます。地上放送ソースや広域補強システム (Wide Area Augmentation System: WAAS) 衛星からのリアルタイムの差動補正値を受信できるように設計された受信機を使用すれば、さらにこれよりも高精度の位置情報を得ることもできます。また、第二の固定 GPS ユニットを使用してデータを収集し、ローミング受信機からのデータに差動補正の後処理を適用することもできます。

GPS ステーションを置く位置は、GPS 信号や差動補正信号を遮る可能性がある障害物のない開けた場所でなければなりません。また、ステーション群は、画像内で容易に認識できるようにしなければなりません。

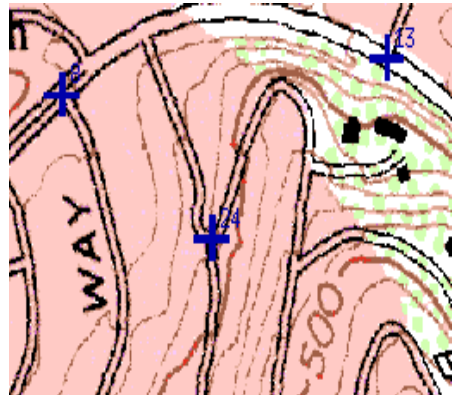
通常、GPS 位置は、WGS 1984 データムに対する相対的な緯度と経度として表現されます。使用する画像と同じ座標系やデータムで位置を報告するように GPS を設定しておくといいでしょう。また、このように設定しない場合は、ジオリファレンス処理の中の Setup / Projections (セットアップ / 投影法) メニューオプションを使用すると、入力した座標はある座標系を使用し、保存には別の座標系を使用するようにジオリファレンス処理を設定することができます。GPS 衛星から計算される標高は、楕円体面からの標高です。通常、この値は水平方向の座標より精度が低いので、この方法でなく DEM の標高を使用しても良いでしょう。また、GPS 受信機によっては標高を示す気圧計が組み込まれているものもあります。通常、気圧による標高は、ジオイドからの標高が示されている地形図の既知の標高値を使用して補正します。したがって、気圧計による標高値を使用する場合は、コントロール点の標高を入力する前にジオイド高を減算する必要があります。





## 地図や正射画像からのコントロール

画像に表示されているエリアに実際に行けない場合やGPSにアクセスできない場合は、そのエリアのデジタル形式の地形図、他の平面地図、または正射写真を使用して、コントロール点の位置を求めることができます。米国および一部の先進国では、さまざまな縮尺の地形図のジオリファレンス処理されたビットマップ（ラスタ）画像を政府機関から入手することができます。紙の地図しか入手できない場合は、それをスキャンし、得られた地図ラスタをジオリファレンス処理することができます。デジタル正射写真は、連邦、州、郡、その他の地方自治体の機関で入手することができます。



スキャンした地図をジオリファレンス処理の基準として使用する場合は、道路の交差点や河川の合流点など、地図と画像両方で容易に認識できる地物を見つける必要があります。基準地図のコントロール点の位置の精度は、スキャンした地図のセル・サイズよりも元の地図の空間精度規格の方が、より大きな影響を与えます。通常は、基準正射画像の方が、より認識しやすい地物、より詳細で優れた空間精度が得られます。



地形図には、等高線という形で標高情報が含まれている利点があります。隣接する等高線を補間することで、コントロール点の標高を計算することができます。ただし、コントロール点の標高は楕円体上のメートル単位の標高でなければならないことに注意してください。補間した標高をジオリファレンス処理時にコントロール点に割り当てる前に、(必要ならば)メートルに換算し、その場所でのジオイド高を減算してください。その画像エリアのDEMが十分に

詳細なものである場合は、DEMから得た標高をコントロール点に割り当てることもできます。正射画像を使用して画像をジオリファレンス処理する場合は、別のソース（DEMなど）からコントロール点の標高を求める必要があります。

Georeference (C:\Data\Ikonos\LJhesa.rvc / IKONLJH4G)				
File	Model	Setup	Units	Options
Mode: <input type="checkbox"/> Add <input type="checkbox"/> Edit				<input type="checkbox"/> Show Reference View
Colors...				Sort By
#	Column	Line	East (m)	
1	29.73	208.94	474781.	

ジオリファレンス処理時に参照オブジェクトを使用するには、Options (オプション) メニューから Show Reference View (リファレンス表示ウィンドウを表示) を選択します。次に、リファレンスレイヤコントロール・ウィンドウを使用して必要なラスタオブジェクトを参照オブジェクト表示ウィンドウに追加します。詳細は、『TNTmips入門: ジオリファレンス処理』を参照してください。



## コントロール点の残差と統計量

メインのGeoreference(ジオリファレンス)ウィンドウのコントロール点リストに表示される列位置、行位置、残差は、幾何補正されていない入力画像の位置です。有理多項式モデルを使用して残差を計算する場合は、Control Points Projected to Orthorectified Image (正射幾何補正画像に投影されるコントロール点) というウィンドウも開きます。このウィンドウには、現在調整中のRPCモデルから作られる正射幾何補正画像のコントロール点列位置と行位置、および結果として得られる残差が表示されます。この2つのウィンドウの同じ点の残差は通常、きわめて小さい値ではありますが、同じではありません。

前述のように、これらの残差は、各コントロール点と、すべての点から計算される、地形による位置ずれの影響も組み込み済みの最適近似モデルにおける予測位置との間の距離を示します。メインのジオリファレンス・ウィンドウのOptions (オプション) メニューを使用すると、XとYの残差を個別に表示するか組み合わせ合わせて表示するかを選択できます (両方のウィンドウのZ残差は単にその位置の入力値とDEM値の差を示すだけであり、DEMからコントロール点の標高値を割り当てた場合は、その点のZ残差は0になります)。Edit (編集) ラジオボタンをオンにすると、大きな残差値で示さるような位置決め精度が悪いコントロール点の位置を調整することができます (次ページを参照)。

#	Column	Line	East (n)	North (n)	Elev (n)	Residual (n)	Z resid (n)
1	11.75	20.59	474710.86	3633379.53	18.84	0.15	0.00
2	461.54	43.76	476530.24	3633288.93	173.70	0.90	0.00
3	472.85	462.56	476572.54	3631613.76	105.21	0.99	0.00
4	41.03	491.94	474825.45	3631494.24	21.72	0.62	0.00
5	370.87	207.78	476160.96	3632629.64	107.89	2.37	0.00
6	278.23	377.58	475788.35	3631951.62	131.63	2.15	0.00
7	118.01	275.41	475138.62	3632360.74	67.69	0.37	0.00
8	163.76	116.99	475325.02	3632994.63	46.86	0.36	0.00

Model: Rational Polynomial  
 RMS Error (Active Points): X = 0.89 n; Y = 0.89 n; XY = 1.26 n; Z = 0.00 n;  
 RMS Error (Inactive Points): X = 0.00 n; Y = 0.00 n; XY = 0.00 n; Z = 0.00 n;  
 Mean Deviation: (Active Points): X = 0.61 n; Y = 0.66 n; Z = 0.00 n;  
 Mean Deviation: (Inactive Points): X = 0.00 n; Y = 0.00 n; Z = 0.00 n

Save as Text... Close

ジオリファレンス・ウィンドウの下部には、現在のコントロール点の統計情報の一覧が表示されます。RMS Error (二乗平均平方根誤差) と Mean Deviation (平均偏差) の値は、コントロール点全体が調整後の有理多項式モデルにどの程度適合するかを示します。コントロール点に関して何らかの変更が行われると、これらの値が直ちに更新されます。

Cell Size (meters): X = 4.0453; Y = 4.0001;  
 Projection Angle: -0.0653 Shear Angle: -0.1828 North Angle: -0.2062  
 Model: Rational Polynomial  
 RMS Error (Active Points): X = 1.41 n; Y = 1.45 n; XY = 2.02 n; Z = 0.00 n;  
 RMS Error (Inactive Points): X = 0.00 n; Y = 0.00 n; XY = 0.00 n; Z = 0.00 n;  
 Mean Deviation: (Active Points): X = 1.27 n; Y = 1.27 n; Z = 0.00 n;  
 Mean Deviation: (Inactive Points): X = 0.00 n; Y = 0.00 n; Z = 0.00 n

メインのジオリファレンス・ウィンドウの統計情報一覧

## コントロール点の評価

Georeference (ジオリファレンス) ウィンドウに表示される個々のコントロール点の残差やRMS誤差統計量はコントロール点の精度を判断するのに役立ちますが、これは主観的なものであって、明確な基準がありません。画像のセルサイズよりも点の残差が小さいのが理想的ですが、実際に可能なのは、このレベルの精度に近付けることだけです。また、特定の1つの点の残差が大きい場合は、何らかの大きな間違いやミスがあったことを示しています。現場でGPS地図座標を記録する際に間違えた、あるいは点の座標の入力時にタイプミスがあった、Input (入力) ビューやReference (参照) 表示ウィンドウで間違った位置に点を配置したなどが考えられます。誤差の明らかな原因がわからない場合や、修正するための情報がない場合は、Georeference (ジオリファレンス) ウィンドウのStatus: Inactive (ステータス: 無効) ラジオボタンを使用して、異常な点を無効にすることができます。こうすると、残った有効 (Active) な点の残差 (および有効な点全体のRMS誤差) が自動的に再計算されます。これにより結果が大幅に改善されるようであれば、その異常な点は除去した方が良いでしょう。

コントロール点を無効にするには、リスト内の対応する項目を左クリックし、Inactive (無効) というステータス・ボタンをオンにします。Edit (編集) モード時のみは、Apply (適用) ボタンも押す必要があります。このリストにおける有効な点、無効な点、現在選択されている点の色は、Options / Colors (オプション / 色) メニューオプションで設定された記号の色を「くすんだ」感じにした色です。この例では、有効な点は黄色で、無効な点は緑で、現在選択されている点は赤で表示されています。

Georeference (C:\Data\DigitalGlobe\CastleRockQB.rvc / \_02JUL09175416\_)

File Model Setup Units Options Help

Mode: Add Edit View

#	Column	Line	East (n)	North (n)	Elev (n)	Residual (n)	Z resid (n)
3	4829.98	5243.93	506245.57	4364663.85	1793.23	0.97	0.14
4	5902.66	9170.50	506984.03	4361915.12	1834.78	0.61	-1.50
5	5962.62	17569.06	507003.32	4356032.67	1929.59	0.86	-0.96
6	5142.40	2156.97	506428.76	4352811.10	1954.00	6.08	-0.42
7	10438.37	9730.84	510144.64	4361525.29	1848.34	1.89	-2.43
8	10672.10	16821.80	510285.54	4356561.44	1949.32	1.04	1.01
9	10830.98	21686.77	510392.44	4353141.01	1926.02	1.16	-0.02
10	17135.42	4092.93	514811.55	4365494.03	1904.85	0.75	-3.71

Input Object Reference

Line: 16821.8006 ± 0.00

Column: 10672.1005 ± 0.00

Status: Active Inactive

Northing: 4356561.4400 ± 0.00 n

Easting: 510285.5440 ± 0.00 n

Elevation: 1949.3170 ± 0.00 n

Cell Size (meters): X = 0.6960; Y = 0.7016;  
 Projection Angle: -0.1128 Shear Angle: -0.2632 North Angle: -0.0277  
 Model: Rational Polynomial  
 RMS Error (Active Points): X = 0.75 n; Y = 1.24 n; XY = 1.45 n; Z = 2.02 n;  
 RMS Error (Inactive Points): X = 4.63 n; Y = 3.33 n; XY = 5.71 n; Z = 2.91 n;  
 Mean Deviation (Active Points): X = 0.64 n; Y = 1.02 n; Z = 1.59 n;  
 Mean Deviation (Inactive Points): X = 4.60 n; Y = 3.33 n; Z = 2.25 n;

ただし、残差は、有効な点全体が最適近似されるように計算されることに注意してください。この処理ではすべての点が同等な影響を持つため、点の分布は結果に影響します。あるコントロール点の残差が大きくなる場合は、その点が、互いに近い位置にある他の点群から離れているからですが、通常は、画像を十分カバーするためにそのような離れた点も残しておく必要があります。残差が最も大きい点が、その点群の中で「最悪の点」であるとは限りませんので、注意してください。また、データムの選択を間違えた場合のような、すべての点に同等に作用する系統的な誤差は、残差には現れません。

## テスト点の使用

正確であると考えられる十分な数のコントロール点がある場合は、そのうちのいくつかをテスト点として確保し、コントロール点群の質のチェックに使用することができます。最初は、コントロール点だけを入力して残差をチェックし、問題のある点は編集するか削除します。次に、テスト点を入力し、それぞれのテスト点を無効に設定します。残差と全体のRMS誤差は、有効な点と無効な点に対して個別に計算されるため、これらは、現在のRPCモデルを個々に適用したものを示します。「テスト」点は、有効な点のモデルの作成には使用されていないため、コントロール点群の精度を個別にテストできることを示します。テスト点のRMS誤差と個々の点の残差が(有効な点群より)小さければ、そのコントロール点群は、RPCによる正射幾何補正を行うのに適した精度のものであると考えられます。

#	Column	Line	East (m)	North (m)	Elev (m)	Residual (m)	Z resid (m)
8	3733.57	302.59	477251.01	3635508.36	78.60	1.68	-0.61
9	2793.71	5673.58	476298.58	3630138.59	5.90	0.22	-0.36
10	4929.60	3710.60	478431.88	3632104.21	-6.20	1.87	-0.07
11	4589.04	306.07	478102.46	3635506.43	59.80	0.42	-0.48
12	2851.52	1783.51	476374.45	3634027.55	111.56	1.01	0.00
13	1358.47	5604.39	474860.00	3630206.66	-24.48	1.54	0.00
14	4725.48	5613.52	478233.46	3630198.53	18.24	1.35	-0.00
15	4779.29	523.79	478294.15	3635287.62	58.04	2.24	0.00

Input Object	Reference
Line: 5575.6100 ± 0.00	Northing: 3630238.5123 ± 0.00 n
Column: 4319.1500 ± 0.00	Easting: 477829.4502 ± 0.00 n
Status: Active Inactive	Elevation: 39.9000 ± 0.00 n

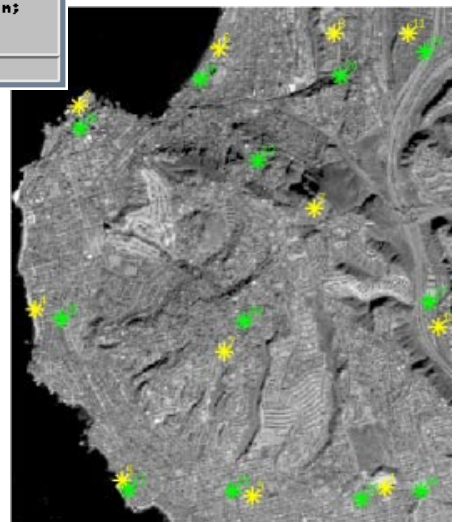
  

Cell Size (meters): X = 1.0031; Y = 1.0001;  
 Projection Angle: -0.0138 Shear Angle: -0.0412 North Angle: -0.1525  
 Model: Rational Polynomial  
 RMS Error (Active Points): X = 0.64 m; Y = 2.27 m; XY = 2.36 m; Z = 0.64 m;  
 RMS Error (Inactive Points): X = 1.33 m; Y = 1.02 m; XY = 1.67 m; Z = 0.00 m;  
 Mean Deviation: (Active Points): X = 0.47 m; Y = 1.81 m; Z = 0.52 m;  
 Mean Deviation: (Inactive Points): X = 1.29 m; Y = 0.90 m; Z = 0.00 m;

この例では、下図の1m画像用のGPSコントロール点(黄色)に、解像度0.15mの正射写真からの無効なテスト点(緑)が追加配置されています。テスト点全体のXY RMS誤差は、コントロール点群の誤差と同等(もしくは以下)になっており、このコントロール点群が正確なものであることを示します。

現在のコントロール点群のステータス(有効または無効)は一時的なものであり、現在のジオリファレンス処理セッションにのみ適用され、ジオリファレンス情報とともに保存されることはありません。実際に、デフォルトのオプション(GeoreferenceウィンドウのOptions(オプション)メニュー)は、無効なコントロール点は保存しないように設定されています。テスト点を使用してジオリファレンスをチェックする場合は、このような動作になっていることを忘れないでください。

画像に対する再ジオリファレンス処理の効果を確認するには、再ジオリファレンス処理されたサンプル画像(IKONLJM4G)を使用してRPCによる正射幾何補正(8ページのステップ)を実行します。空間データ表示処理の中で2つの正射画像を重ね合わせると、結果として得られたジオメトリの変化を確認することができます。



# 地理空間解析のための先進的ソフトウェア

マイクロイメージ社は、地理空間データの視覚化、解析、出版の高度な処理を行う、専門家向けソフトウェアを提供しています。製品に関する詳細は、マイクロイメージ社にお問い合わせになるか、ウェブサイトにアクセスしてください。

**TNTmips** TNTmipsは、GIS、画像解析、CAD、TIN、デスクトップマッピング、地理空間データベース管理機能を統合した専門家のためのシステムです。

**TNTedit** TNTeditは、ベクタ、画像、CAD、TIN、リレーショナルデータベース・オブジェクトから構成されるさまざまなフォーマットのプロジェクト・データを生成、ジオリファレンス、編集するための、専門家のための対話的ツールを提供します。

**TNTview** TNTviewには、TNTmipsと同じ強力な表示機能があります。TNTmipsの演算処理機能や加工機能を必要としないユーザーに最適です。

**TNTatlas** TNTatlasを使用すると、自分で作成した空間プロジェクト・データをCD-ROMにプレスして、低コストで出版や配布ができます。TNTatlasのCDは、一般的なすべてのコンピュータ・プラットフォームで使用することができます。

**TNTserver** TNTserverを使うとTNTatlasのデータをインターネットやイントラネットで公開することができます。ブラウザやTNTclient Javaアプレットを使用して、地理データ・アトラスを操作して下さい。

**TNTlite** TNTliteは、学生や小規模プロジェクトを行う専門家向けの無料バージョンです。マイクロイメージ社のウェブサイトから、TNTliteの最新バージョンをダウンロードできます。TNTliteの入ったCDを注文することもできます。

## 索引

IKONOS .....	3,4,5,8,11	誤差 .....	13-15
QuickBird .....	3,11	数値標高モデル (DEM) .....	3-13
海拔高度 .....	7	正射幾何補正 .....	3,4,5,8,9,10,13,15
気圧計による標高 .....	11	全地球測位システム (GPS) .....	7
広域補強システム (WAAS) .....	11	楕円体 .....	6
残差 .....	10,13-15	楕円体からの標高 .....	6,7,12
ジオイド .....	7	地形図 .....	12
ジオイド高 .....	7,8,10-12	地表面からZを設定 .....	10
ジオリファレンス .....	9-15	等高線 .....	5,12
二乗平均平方根 (RMS)		有理多項式 .....	3,4,7-10,13



MicroImages, Inc.

Voice : (402) 477-9554

email : info@microimages.com

FAX : (402) 477-9559

internet : www.microimages.com

[翻訳]



株式会社 オープン GIS

〒130-0001 東京都墨田区吾妻橋 1-19-14 紀伊国屋ビル 1F

Kinokuniya Bld. 1F, 1-19-14 Azumabashi, Sumida-ku, Tokyo 130-0001, JAPAN

TEL (03) 3623-2851 FAX (03) 3623-3025