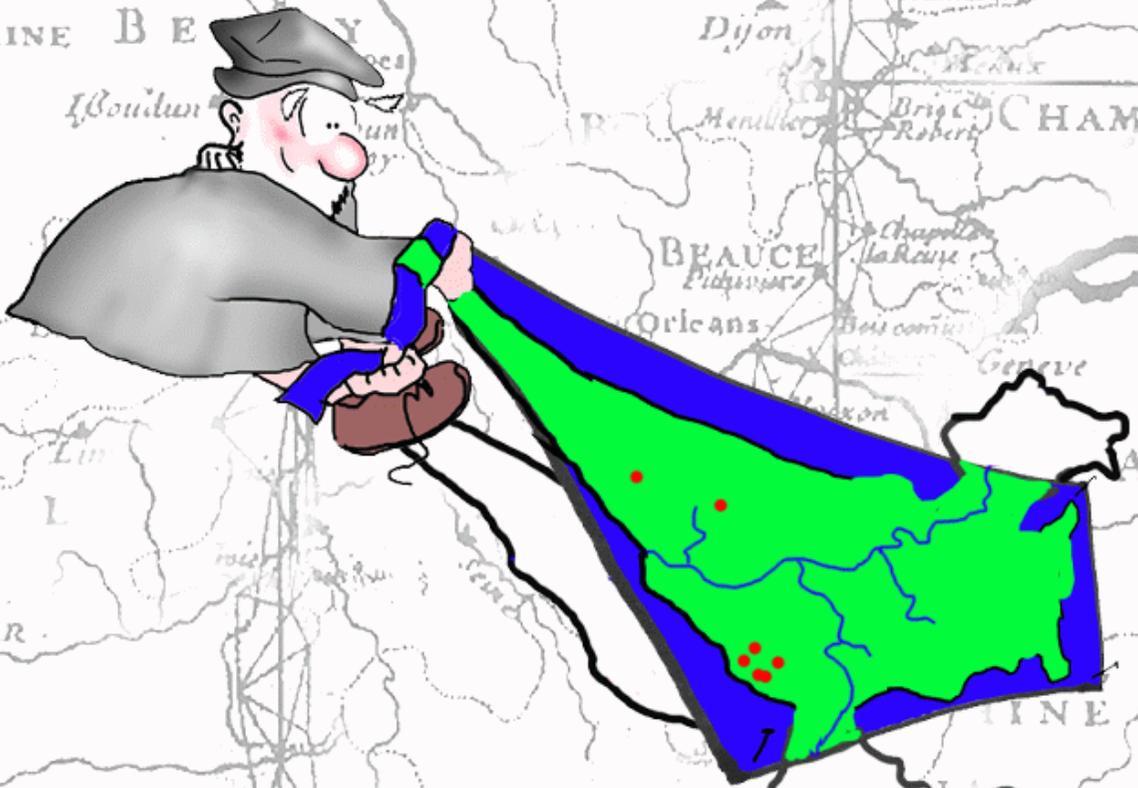


# TNT入門



## 画像の幾何補正



TNTmips®

TNTedit™

## はじめに

本書では、TNTmips® の Automatic Resampling (自動リサンプリング) 処理を紹介します。この処理では、ジオリファレンス・コントロールポイントの情報を使って、歪んだ画像の簡単な幾何補正処理を実行したり、ラスタ画像を希望する地理座標系に変換します。練習問題は幾何補正された画像の大きさ、範囲、方向をコントロールするための様々な機能の他、異なるリサンプリング手法や幾何変換モデルについて触れています。歪んだベクタや CAD オブジェクトの変換 (ワープ) についても簡単に紹介しています。

**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』と『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ます。それらの練習問題はここには含まれない根本的な技能と基本的な技術を紹介しています。また、『TNT入門：ジオリファレンス処理』や『地図投影の概要』は画像の幾何補正を理解するのに役立つでしょう。必要に応じてこれらの冊子やTNTmipsリファレンスマニュアルで調べて下さい。

**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およびCB\_DATAデータ集のサンプルファイルを使用します。

**その他の資料** 本書はラスタ画像の補正とリサンプリングの概要しか説明していません。詳細な情報についてはTNTmipsリファレンスマニュアルを御覧下さい。自動リサンプリング処理について14ページ以上に渡って説明しています。

**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るほか、エクスポートができません。

自動リサンプリング処理はTNTview、TNTatlasでは使用できません。すべての練習問題は、提供されるサンプルデータを使用してTNTliteで実行できます。

Randall B. Smith 博士, 2001年8月27日

一部のイラストでは、カラー・コピーでない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>

## 画像の幾何補正の世界へようこそ

ほとんどの地理データでは、航空機や衛星の画像を平面的な地図データと統合すると便利です。正しく処理されたデジタル地図は幾何的な歪みがほとんどなく、元の地図の投影法や座標系に適合しています。一方、生のデジタル画像は一般的な地理座標系には対応しておらず、それらは一般に画像取得の際に生じる内部の幾何的な歪みを含んでいます。これらの歪みはセンサー水平面の傾き、センサー標高の変化、地球の湾曲、レンズの歪み、地形の起伏やその他の理由から生じます。結果として、生画像は「地図と同等の」幾何形状を持たず、正確な地図との関連をそこから求めることはできません。

Automatic Resampling (自動リサンプリング) 処理 (ワーブ (変換) や「ラバーシート変換」とも呼ばれる時があります) は、画像にジオリファレンス・コントロールを与える地上基準点の位置を用いて、ラスタ画像の幾何形状の変更や補正を行います。この処理では、選択する幾何変換モデルに従って、画像の内部幾何歪みを削除・低減したり、出力ラスタの行や列が指定された地理座標系の軸に平行になるように方向変換や縦横別々に縮尺変更をしたりすることができます。それぞれの入力ラスタは別々に処理され、またそれぞれはジオリファレンス処理をされていなければいけません。コントロールポイントは正確に位置が決められ、選択された変換モデルに適した数が必要で、画像上に均一に分布していなければなりません。

画像の幾何補正処理は全ての場合に必要なわけではありません。起伏の小さい地域の衛星画像は最小の内部歪みしか持っていないと思われるかもしれません。TNTmips の Spatial Data Display (空間データ表示) 処理は異なる地図投影法でジオリファレンスされたレイヤー同士を重ね合わせたり、適切に登録された座標系同士を重ね合わせたりすることができます。しかし、これらのラスタ・レイヤーを習慣的に一緒に使うのならば、共通の地図投影法にリサンプルすることで表示時間をかなり短縮することができます。



### ステップ

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

簡潔のために、また複数の入力ラスタは別々に処理されるため、本書の他のリサンプリング処理に関する議論では、使用されるラスタの数に関わらず「入力ラスタ」と「出力ラスタ」と引用します。

4～9 ページの練習問題では Automatic Resampling (自動リサンプリング) 処理を紹介し、出力ラスタのセルのサイズ、方向、範囲を決定するための様々なオプションについて紹介します。10～11 ページでは、出力ラスタにセル値を内挿するための3つのオプションについて説明します。幾何変換モデルについては12～17 ページで説明します。ベクタの変換 (ワーブ) については18 ページで触れます。そして、参考文献の紹介が19 ページにあります。

地理座標を参照せずにラスタ画像を簡単に再縮尺、回転やひっくり返すには Raster Extract (ラスタ抽出) 処理 (Process / Raster / Extract (処理 / ラスタ / 抽出)) を利用して下さい。この処理では Zoom / Orient (拡大 / 方向) タブパネル上でのコントロールで操作することができます。

# 自動ラスタ・リサンプリング・ウィンドウ

## ステップ

- ✓ Raster Resampling (ラスタのリサンプリング) ウィンドウの [Rasters...(ラスタ)] をクリックします。
- ✓ 標準の File / Object Selection (ファイル/オブジェクト選択) ウィンドウを使って RECTIFY データ集の SANBRUNO プロジェクト・ファイルから TM7、TM4、TM2 のオブジェクトを選択します。
- ✓ Model (モデル) メニューから From Georeference (ジオリファレンスから) を選択します。
- ✓ Resample (リサンプル) メニューから Nearest Neighbor (最近隣内挿法) を選択します。
- ✓ Scale (縮尺) メニューから By Cell Size (セルサイズで) を選択します。Orient (方向) メニューから To Projection (投影法に) を選択します。
- ✓ Extents (範囲) メニューから Entire Input (入力全体) を選択します。

これらの練習問題で入力および出力オブジェクトを見るには標準表示処理 (Display/Spatial Data (表示/空間データ)) を使って下さい。

Model (モデル) メニューは、いろいろな幾何変換モデルの選択を提供します。

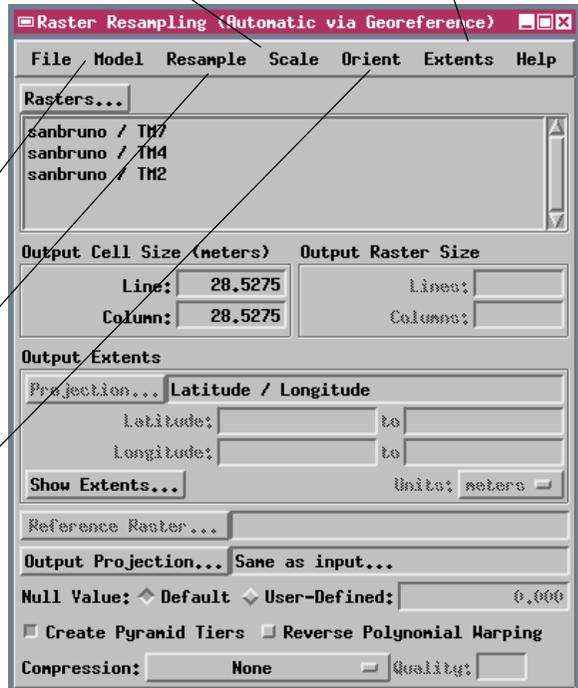
Resample (リサンプル) メニューを使って、出力ラスタのセル値の内挿法を3つの中から1つ選択します。

Orient (方向) メニューは、出力される投影法に対応した出力ラスタの方向を決定するためのオプションを提供します。

Raster Resampling (ラスタのリサンプリング) ウィンドウは、Automatic Resampling (自動リサンプリング) 処理に必要なコントロールを与えます。ほとんどのリサンプリングに関するオプションはウィンドウ上部のメニューを用いて設定します。これらのメニューからの選択は、出力ラスタの大きさ、方向、地理的範囲の決定法その他、幾何変換モデルや出力セル値の内挿法を設定します。このページのステップリストに示された選択はすでに設定されているかもしれませんが、これらはそれぞれのメニューの初期のデフォルト選択です。ただしメニュー上で他の選択をした場合には、その選択は次のセッションでのデフォルト選択として保存されます。望んだメニューの選択が選ばれているか確認するためにそれぞれのパラメータ・メニューを常にチェックして下さい。

Scale (縮尺) メニューでの選択は、出力ラスタの縮尺に使用する方法を決定します。

Extents (範囲) メニューは出力ラスタの地理的範囲を設定するためのいくつかの方法を提供します。

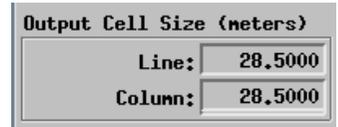


現在の設定にしたまま、次のページに進んで下さい。

## 入力地図投影への幾何補正

Automatic Resampling (自動リサンプリング) 処理は、ジオリファレンス処理されているラスタをジオリファレンス・サブオブジェクトで指定された座標系や地図投影法に変換するとき最も頻繁に使われます。そのためには、Orient (方向) メニュー上でデフォルト選択 (To Projection (投影向き)) とデフォルトの Output Projection (出力投影法) オプション (Same as input... (入力と同じ)) を使用します。出力ラスタセルの水平方向の行は入力された地理座標系の x-軸に平行で、垂直方向の列は y-軸に平行です。この練習問題で用いられている入力ラスタは、ユニバーサル横メルカトル座標系にジオリファレンスされた Landsat Thematic Mapper 画像から切り出したものです。そのため、出力ラスタセットは UTM 座標系の方向に向いています。

縮尺オプションとして By Cell Size (セルサイズで) を選択すると、行と列のセルサイズの値 (メートル) を入力しなければなりません。セルサイズと地理範囲と出力投影法から出力ラスタ内の行と列の数が決定されます。この練習問題では、リサンプルされた出力セットは元画像の 28.5 メートル空間解像度を維持しています。



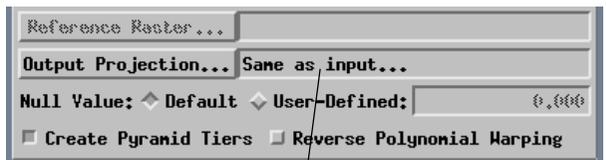
### ステップ

- Output Cell Size (出力セルサイズ) テキストフィールドで、Line (行) と Column (列) の両方に 28.5 と入力します。
- File メニューから Run (実行) を選択します。
- 標準のファイル/オブジェクト選択手順を使い、新しいプロジェクト・ファイルと出力ラスタに名前を付けます。

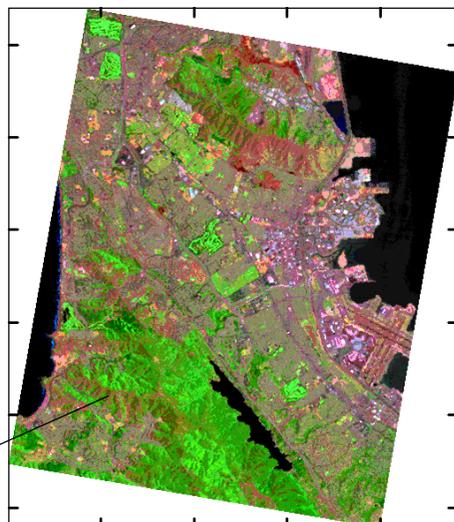
入力ラスタセットの R G B 表示 (R=TM7、G=TM4、B=TM2)。



(UTM座標系に変換し、向きを変えた) 出力ラスタセット。強調のため境界に沿ってUTMのグリッドに印を付けて示してあります。



デフォルトの Output Projection (出力投影法) オプションを使ってジオリファレンス・サブオブジェクトで指定した投影法に入力ラスタを変換 (ワーブ) します。



## 別の投影法に変換する

Output Projection (出力投影法) ボタンをクリックして Coordinate System / Projection Parameters (座標系 / 投影パラメータ) ウィンドウを開きます。ここで、いろいろな出力投影法を選択できます。

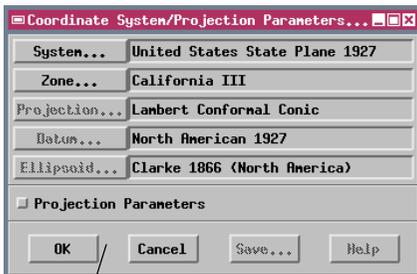
入力ラスタを、ジオリファレンスされた以外の座標系や地図投影法に変換 (ワープ) できます。Coordinate System / Projection Parameters (座標系 / 投影法パラメータ) ウィンドウを使って、いくつかの定義済みの座標系の中から選択するか、あるいは、User Defined (ユーザ定義) 座標系オプションを使用してユーザ固有の地図投影や投影パラメータの選択をします。この練習問題では、入力ラスタセットは State Plane 1927 (米国州平面 1927) 座標系の向きに方向修正されています。



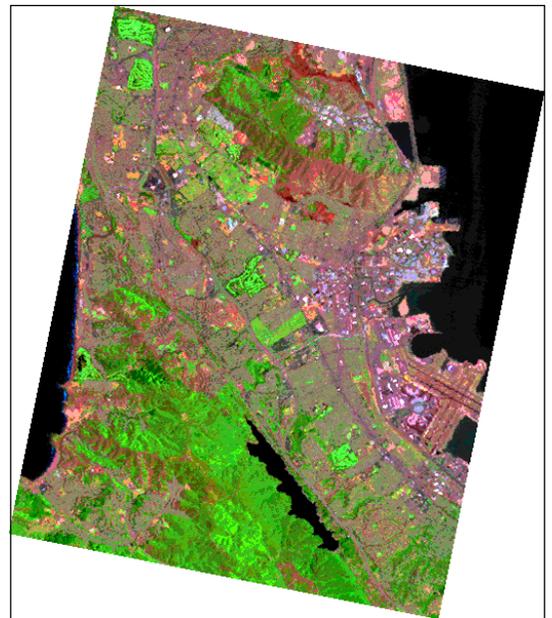
### ステップ

- [Output Projection... (出力投影法)] をクリックします。
- Coordinate System / Projection Parameters (座標系 / 投影パラメータ) ウィンドウで [System... (座標系)] をクリックします。
- Coordinate System (座標系) ウィンドウで United States State Plane 1927 (米国州平面 1927) を選択し、[OK] をクリックします。
- [Zone...] をクリックします。
- Zone Selection (区域選択) ウィンドウで California III を選択し、[OK] をクリックします。
- Coordinate System / Projection Parameter (座標系 / 投影パラメータ) ウィンドウで、[OK] をクリックします。
- File メニューから Run (実行) を選択し、出力ラスタオブジェクトに名前を付けます。

ラスタを地図投影法へ変換すると、一般的に画像が大きく回転する他に、内部の幾何形状の変化が生じます。画像全体 (この練習問題のように) を変換すると、画像の縁は出力ラスタの行、列と平行ではなくなり、変換され回転した画像は、元よりもいく分か大きいラスタの中に埋め込まれ、三角形の“空白” (無画像) 部分を持ちます。(空白部分にはヌル値が設定され、ラスタを表示するときに透明にできます。)



Coordinate System / Projection Parameter (座標系 / 投影パラメータ) ウィンドウの使い方とそれに関連する概念は『TNT入門: 地図投影の概要』に紹介されています。



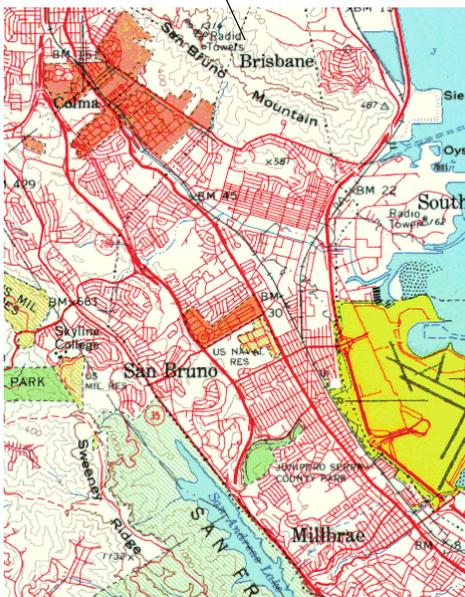
State Plane 1927 (米国州平面 1927) 座標系の出力ラスタセット。

## 基準ラスタに変換する

すでに地理座標系の向きに配列しているラスタを、Reference Raster (基準ラスタ) として選択し、リサンプリング処理で作られる出力ラスタのセルサイズ、方向、範囲をコントロールすることができます。縮尺と方向は次の例のように関連しています; Scale (縮尺) メニューから Match Reference (基準に合わせる) を選択すると自動的に Orient (方向) メニューで To Reference (基準の方向) が選択されます (逆もまた同じです)。これらのオプションが選択されると、出力ラスタのセルサイズと方向は基準ラスタと同じになります。

Extents (範囲) メニューの Match Reference (基準に合わせる) オプションを使用して、出力画像を基準ラスタの正確な範囲に切り出すことができます。これは、もし基準ラスタが (ここの練習問題のように) 入力ラスタ画像の範囲内に完全に含まれていれば適切な選択です。基準ラスタと入力ラスタが部分的に重なっているだけの場合、両方に共通な範囲だけを出力するためには Overlap Reference (基準と重なる部分) オプションを選択するようにして下さい。

セルサイズ 20 メートルで、UTM 座標系の方向に配列した基準ラスタ MAP。



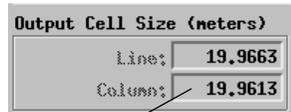
縮尺、方向、出力範囲を指定する基準ラスタを使ってリサンプルされたラスタセット。

ステップ

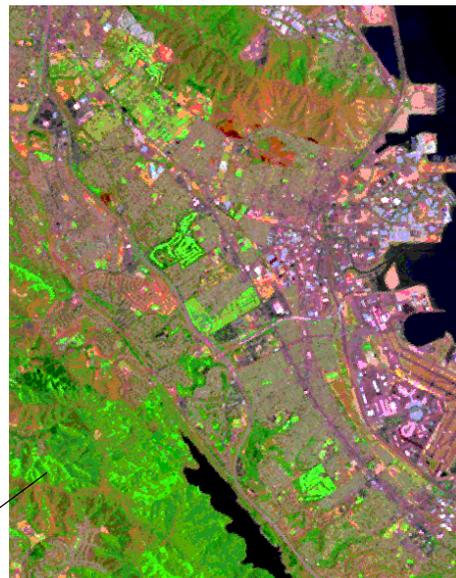
- Scale (縮尺) メニューから Match Reference (基準に合わせる) を選択します。
- Extents (範囲) メニューから Match Reference (基準に合わせる) を選択します。
- Reference Raster (基準ラスタ) ボタンをクリックし、SANBRUNO プロジェクトファイルから MAP オブジェクトを選択します。



- リサンプリング処理を実行します。



出力の縮尺と方向をコントロールするために基準ラスタを用いると、出力されるセルサイズは自動的に設定されます。基準ラスタ投影法は前に選択した出力投影法を取り消します。



## 出力範囲とラスタサイズの設定

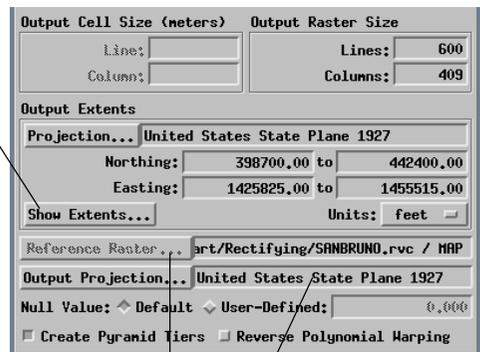
### ステップ

- Orient (方向)メニューからTo Projection (投影の方向)を選択します。
- Scale (縮尺)メニューからBy Raster Size (ラスタサイズで)を選択します。
- Output Raster Size (出力ラスタサイズ)パネルのLine (行)フィールドに600を、Column (列)フィールドに409を入力します。
- Extents (範囲)メニューからUser Defined (ユーザ定義)を選択します。
- Output Extents (出力範囲)パネルで[Projection... (投影法...)]をクリックします。
- Coordinate System / Projection Parameters (座標系/投影パラメータ)ウィンドウを使い、System (システム)としてUnited States State Plane 1927、Zone (区域)としてCalifornia IIIを選択します。
- Output Extentsパネルでは、Unit (単位)オプションボタンからFeet (フィート)を選択します。  
次の範囲を入力します。
- Northing (北距)  
:398,700から442,400  
Eastning (東距)  
:1,425,825から1,455,515
- リサンプリング処理を行います。

出力ラスタの範囲を指定するためのオプションとして、Entire Input (入力全体)、Match Reference (基準に合わせる)とOverlap Reference (基準と重なる部分)などに触れました。最後のオプションは、User Defined (ユーザ定義)です。このオプションをExtents (範囲)メニューから選択すると、Output Extents (出力範囲)パネルがアクティブになります。パネル内のテキストフィールドでは、利用できる座標系を用いて、出力ラスタの正確な地理範囲入力を可能にします。Latitude / Longitude (緯度/経度)はデフォルトの座標系です。他のシステムを選択するときには、Output Extents (出力範囲)パネルのProjection (投影法) ボタンをクリックし、Coordinate System/Projection Parameters (座標系/投影パラメータ) ウィンドウを開いてください。

出力ラスタにある特定の大きさの行や列を持たせたい場合、Scale (縮尺)メニュー内のBy Raster Size (ラスタサイズで) オプションがそれを可能にします。行と列のセルの大きさは、ラスタサイズと出力範囲によって定められます。

[Show Extents... (範囲を表示...)]をクリックすると、入力ラスタの地理的範囲を示すウィンドウが開きます。



State Plane 1927座標系の出力ラスタ (範囲は Output Extents (出力範囲) パネルで指定したもの)。6 ページの画像と比べてみてください。

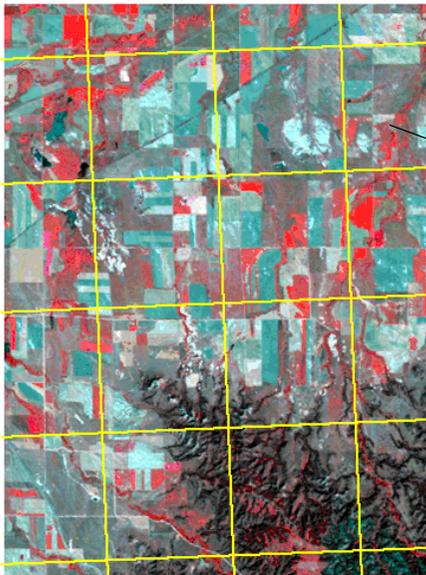
先の練習問題で使われた基準ラスタはまだ選択されており、利用できるようになっています。しかし、Reference Raster (基準ラスタ) ボタンは色が薄くなっており、現在の設定ではそのラスタが使用されていないことを示しています。一つ前に設定したState Planeの出力投影図が再びアクティブになっています。

この練習問題を終わったらFile / Exit (ファイル/終了) を選択して下さい。

## 方向の指定

入力ラスタの地図座標系（例えば米国州平面や UTM など）の縦軸は、その場所での真北方向とは平行ではないかも知れません。Orient（方向）メニューは、ジオリファレンス情報を用いて出力ラスタの上方向を東西南北のいずれかにすることができます。これらのメニューは、入力ラスタが既に地図座標系に向いており、その入力ラスタの北を上方向にする場合に最適です。

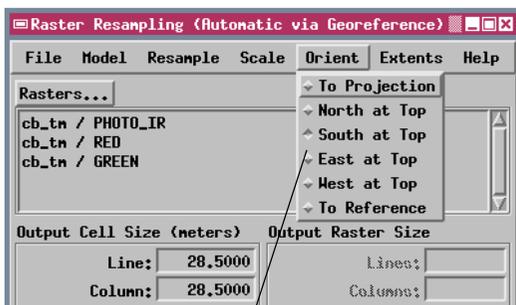
この例では、入力ラスタのセットの縁は等緯度（水平）の線と等経度（垂直）の線に一致しています。それゆえ北が上方向に方に向いています。入力ラスタを State Plane 投影の方向に向けると数度時計回りに回転します。上方向を南に方向づけると画像が逆さまになります。



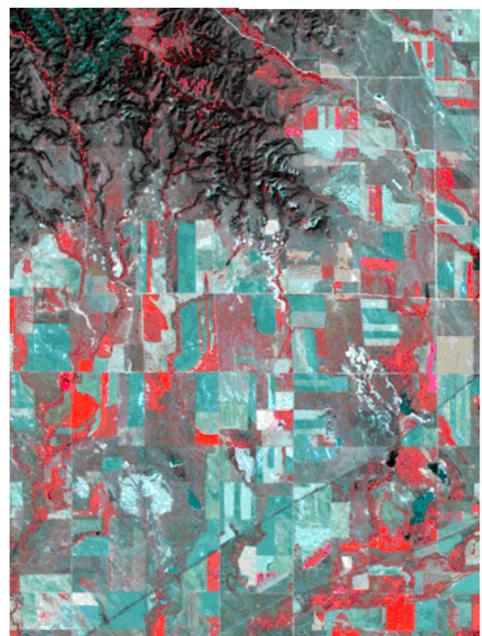
入力ラスタセットの RGB 表示 (R = PHOTO\_IR、G = RED、B = GREEN) と 10000 フィート間隔の州平面座標系の地図グリッド (黄色)

### ステップ

- 再び Automatic Resampling (自動リサンプリング) 処理を起動します。
- [Rasters... (ラスタ...)] をクリックし、CB\_DATA データの CB\_TM プロジェクトファイルから PHOTO\_IR、RED、GREEN のオブジェクトを選択します。
- Scale (縮尺) メニューから By Cell Size (セルサイズで) を選択します。
- Output Cell Size (出力セルサイズ) テキストフィールドで、Line と Column 設定の両方に 28.5 を入力します。
- Extents (範囲) メニューから Entire Input (入力全体) を選択します。
- Orient (方向) メニューから South at Top (南が上) を選択します。
- リサンプリング処理を実行します。



出力ラスタの上方向を主要な 4 つの方向 (東西南北) のうちいずれかに指定できます。

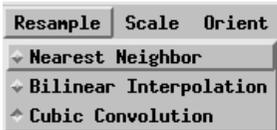


南が上の方向に向いた出力ラスタセット。

## リサンプリングでのセル値内挿法

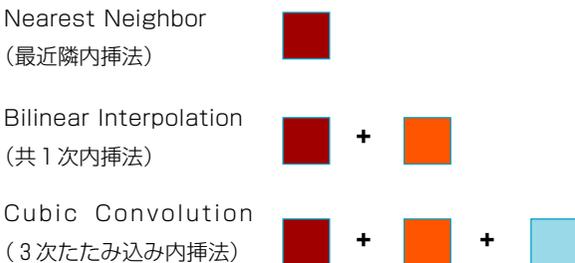
### ステップ

- [Rasters… (ラスタ…)]をクリックし、SANBRUNO 集プロジェクトファイルから PAN オブジェクトを選択します。
- Output Cell Size(出力セルサイズ)パネルで、Line (行) とColumn(列)両方のテキストフィールドに 2.00 と入力します。
- Orient (方向) メニューから To Projection(投影向き)を選択します。
- Resample (リサンプル) メニューでNearest Neighbor (最近隣内挿法)がまだ選択されているか確認します。
- リサンプリング処理を実行します。



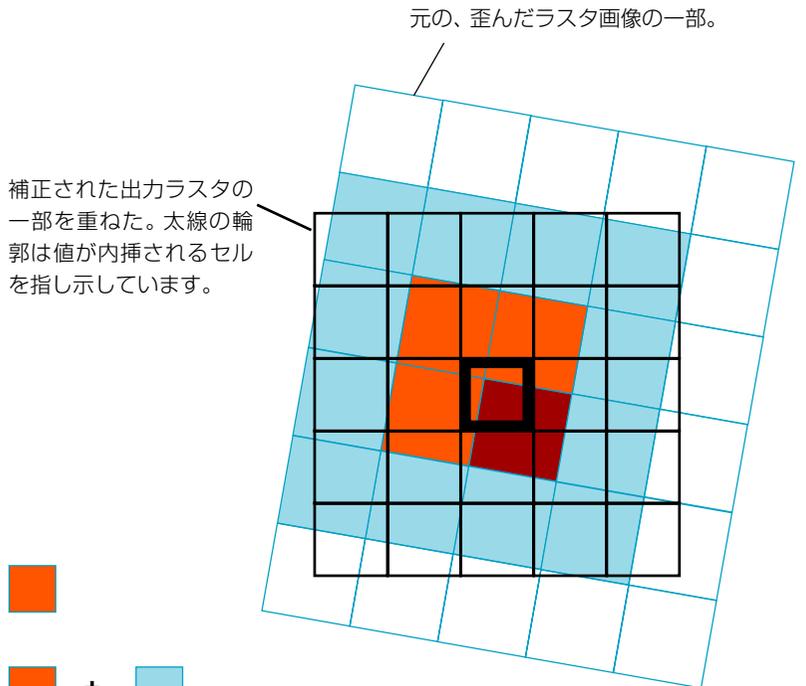
- Resample (リサンプル) メニューからBilinear Interpolation (共 1 次内挿法)を選択し、リサンプリング処理を再び実行します。
- Cubic Convolution (3 次たたみ込み内挿法)についても同じ方法で繰り返します。

現在の注目しているセルに対して、それぞれのリサンプリング手法で使用される入力セル。



変換された出力ラスタを得るために、Automatic Resampling (自動リサンプリング) 処理はいくつかの段階を踏みます。はじめに、幾何変換手順 (後で説明) は正しい範囲と縮尺 (セルサイズ) を持った「空白の」補正されたラスタを作ります。次に、セル値が補正されたラスタ内のそれぞれのセルに対して決定されます。そのためには、各出力セルに対して幾何変換の逆を行って、元のラスタの行と列の座標をもとに出力セルの位置を決定します。注目している出力セルが入力セルに比べて大きい場合と小さい場合があり、いくつかの入力セルと重なる可能性があります。したがって、出力セル値はそれを取り囲む入力セルの組み合わせによって計算 (内挿) されなければなりません。

Resample (リサンプル) メニューは出力セル値を内挿するのに 3 つのオプションを提供してくれます: Nearest Neighbor (最近隣内挿法)、Bilinear Interpolation (共 1 次内挿法)、Cubic Convolution (3 次たたみ込み内挿法) です。これらの方法は下の図で図示され、次のページで論じられます。



## リサンプリング手法

**Nearest Neighbor(最近隣内挿法)** 最近隣内挿法での各出力セル値は、最も近い入力セル値からの値です。他の方法よりも必要な計算量が少ないため、入力ラスタが大きい場合に、短時間で処理できるという長所があります。リサンプリングされたラスタが後で自動画像分類のような定量的な解析に利用される場合、初期のセル値が保持されていることは利点になります。しかし、最近隣内挿法では地物の縁が最大で入力セルサイズの半分まで距離的なズレを引き起こす可能性があります。ラスタを違ったセルサイズにリサンプリングする場合、入力セル値の重複(出力セルサイズが元のセルサイズより小さい場合)または欠落(出力セルサイズが元のセルサイズより大きい場合)によって、結果がブロック状に見えます。

**Bilinear Interpolation(共1次内挿法)** 共1次内挿法での出力セル値は、最も近い4つの入力セル値の加重平均です。重み係数は入力セルと出力セルの直線的距離から決定されます。この方法では、最近隣内挿法に比べ画像がなめらかになりますが、地物の縁の鋭さとコントラストが減少してしまいます。この方法は、元のセルよりも小さい出力セルにリサンプリングする場合に最適です。

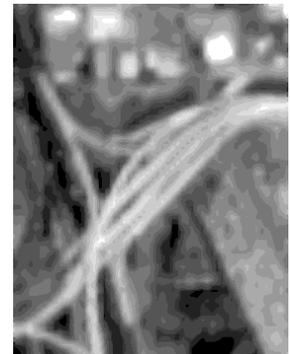
**Cubic Convolution(3次たたみ込み内挿法)** 3次たたみ込み内挿法では、周りを取り囲む4 x 4ブロックの入力セルから出力セルが計算されます。出力値は距離加重平均ですが、加重値は距離の非線形関数として変化します。この方法は、共1次内挿法に比べ、鋭く、ぼけの少ない画像をつくりますが、計算量が最も多いリサンプリング手法です。この方法は、元のセルより大きい出力セルにリサンプリングする場合に好まれます。

最近隣内挿法は、Automatic Classification(自動画像分類)処理で作られるクラスラスタのような分類ラスタに適する唯一の方法です。これらのラスタのセル値は、数値的な意味が無く、単なる任意のラベルなので、近隣のセル値の数学的な組み合わせは意味がありません。

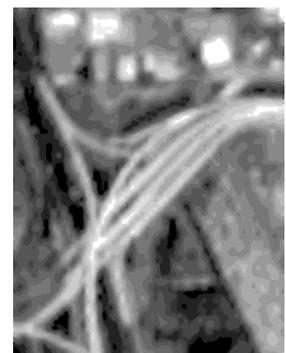
3つのリサンプリング手法を用いてセルサイズを10メートルから2メートルにリサンプリングしたPANラスタ。



Nearest Neighbor  
(最近隣内挿法)



Bilinear Interpolation  
(共1次内挿法)



Cubic Convolution  
(3次たたみ込み内挿法)

## 赤外カラー航空スライドの幾何補正

### ステップ

以下を確認しながら Display (表示)処理を使用して下さい。

- RECTIFYデータ集のSECT32プロジェクトファイルから選択した NIR、RED、GREEN オブジェクトの RGB 表示。
- SECT32プロジェクトファイルの SECTMAPオブジェクトの単一ラスタ表示。

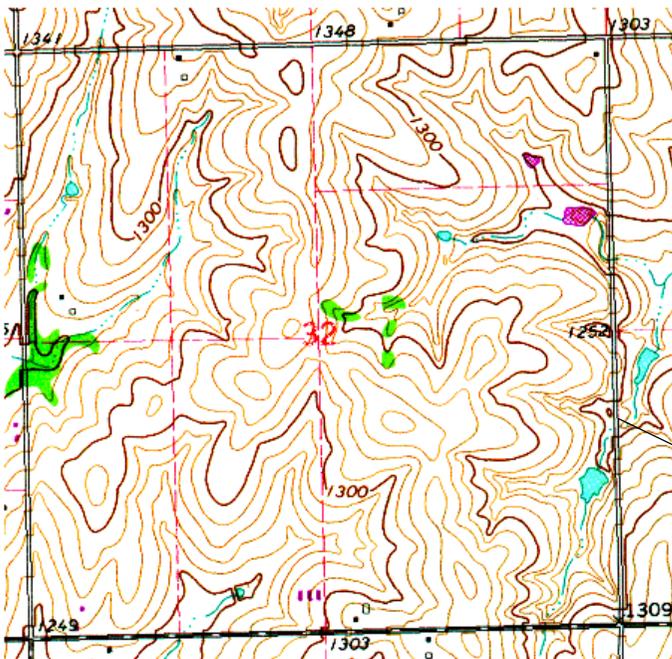
ジオリファレンスに用いられる地上のコントロールポイントの位置を含んだ Section32の赤外カラー写真。セルサイズが1メートルの UGSG Digital Orthophoto Quad画像を用いて、UTM座標系にジオリファレンスした画像です。

この写真の中で北と南の区分線は平行でなく、西に向かって集まっているように見えます(下の地図と比べて下さい)。これは、カメラが真下を向いておらず、写真が撮られたときにわずかに西に傾いていたことを示しています。

残りの練習問題ではネブラスカ州東部の農業・住宅地域の1平方マイル区画の赤外カラー航空スライドを用います。航空スライドはいろいろなタイプの歪みを示します。また、練習問題は、この画像を幾何補正する際、異なる幾何変換モデルによる効果を調べます。



区分線の中にはわずかに外に曲がっているものもあります。いくつかのエリアの湾曲部は地形の隆起部で見られ、これを起伏変位の影響と言います。また、いくつかの湾曲部はカメラレンズの不完全性から生じる放射状の歪みによる場合もあります。



UTM座標系に合うようにリサンプルされた、Section32を覆う地形図(SECTMAP オブジェクト)。区画の境界をつくっている道路によってほとんど正方形に区切られていることに注目して下さい。この区画を4分割したうち南東の部分の住宅開発はこの地図が編集されたときには現れていませんでした。

## 幾何変換モデル

入力ラスタの幾何形状を変えるために、Automatic Resampling (自動リサンプリング)処理は、ジオリファレンス処理で割り当てた地上のコントロールポイントの位置を分析します。それらは、標準の地理参照システムにおける既知の座標を持った画像内の点です。この処理では、コントロールポイントの地理座標と選択した幾何変換モデルによって推定されるコントロールポイントの位置とを比較します。結果は、元の歪んだ画像を希望する地理座標系に変換する座標変換式の数値係数を決定するのに用いられます。

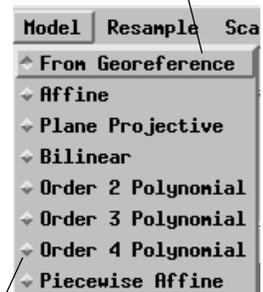
Automatic Resampling (自動リサンプリング) 処理は、コントロールポイントの位置精度を評価するためのGeoreference (ジオリファレンス) 処理で選択できる全ての幾何変換モデルを使えます。個々の変換モデルは、解を得るために必要な最低限の数のコントロールポイントが必要です。最低限の数のコントロールポイントは、ただ一つの特定の解を与えますが、コントロールポイントの位置に何か誤りがあると変換に直接影響してしまいます。もしより多くのコントロールポイントが使用できれば、最小2乗法によって最適な変換を計算します。この手順では、残差の二乗(目的の座標系における予測された位置と実際の位置との偏差)の総和が最小になるような係数が選ばれます。

補正の質はコントロールポイントの数、精度、歪みと選択する変換モデルによって決まります。ジオリファレンス処理を注意深く行うことが、補正成功の鍵です。画像全体を覆うようにコントロールポイントを配置し、個々のコントロールポイントの残差値(最小2乗法の結果から得られるエラー推定)が最小になるようにコントロールポイントの位置を調整して下さい。それぞれの変換モデルの適切な使い方は、次ページ以降で論じられています。

### ステップ

- [Rasters...]をクリックし、SECT32プロジェクトファイルからNIR、RED、GREENオブジェクトを選択します。
- ResampleメニューからCubic Convolution(3次たみ込み内挿法)を選択します。
- ScaleメニューからMatch Reference(基準に合わせる)を選択します。
- [Reference Raster...(基準ラスター)]をクリックし、SECT32プロジェクトファイルからSECTMAPオブジェクトを選択します。

From Georeference (ジオリファレンスから) オプションは各オブジェクトのジオリファレンス・サブオブジェクト中のコントロールポイントの位置とともに保存された変換モデルを選択します。この選択肢は、様々な変換モデルを入力リストの中の異なるラスターオブジェクトに適用することを可能にします。



その他のモデル選択肢は、ジオリファレンス処理で用いたモデルに関わらず、すべての入力ラスターオブジェクトに適用されます。

現在の設定にしたまま次のページに進んで下さい。

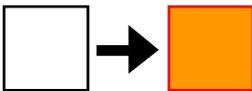
## アフィン・モデル

### ステップ

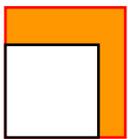
- Model(モデル)メニューから Affine (アフィン) を選択します。
- リサンプリング処理を実行します。

この練習問題と以下の練習問題では入力画像全体を処理しますが、出力画像のセルサイズと方向を制御するのに SECTMAP ラスタを使います。画像は、約3.37mのセルサイズから4.0mの出力セルサイズにリサンプルされます。

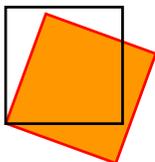
### Affine Transformation (アフィン変換)



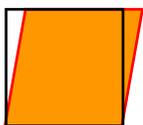
Translate (平行移動)



Rescale (拡大縮小)



Rotate (回転)



Skew (斜変形)

アフィン変換モデルは座標を(元の座標系によって定義される)ある平面から(出力座標系によって定義される)他の**平行な面**に投影します。アフィン・モデルは下図で示されている全ての変換を行うことができます。すなわち、平行移動、拡大縮小、回転、斜変形(または剪断変形)です。拡大縮小では2つの座標軸の方向それぞれに、別々の縮尺係数を適用させることができます。元の画像にある2つの線が平行であれば、つくられる画像においてもそれらの線はすべて平行のままになります。アフィンモデルでは最低3つの一直線上にないコントロールポイントが必要です。

アフィン・モデルは、平面の地図ラスタ(あるいは既に幾何補正された画像)を、元の座標系と投影法から新しい平面座標系(例えば UTM から State Plane 座標へ)へ変換する必要があるときに最適です。地形起伏がほとんどない(この場合、地表面は平面として近似でき、傾斜変位や起伏変位が少なく、あるいは全くない状態になります。)狭い地域を真上から見た空中写真や衛星画像を補正する場合は、満足のいく結果が得られるでしょう。



アフィン変換したCIR画像によって回転・拡大縮小した画像。ただし区分線の湾曲と傾き(さらに複雑な傾斜歪みや起伏変位による影響)は修正されていません。

## 平面投影モデル

平面投影モデルは、元の平面と目的の平面のペア (平行でない平面を含む) の間の座標系を変換します。これは、透視投影法を用いて行われます。入力と出力の座標位置を結ぶ投影線は1つの中心視点から伸び、これはカメラや他のセンサーの実際の配置と似ています。そのため、平面投影モデルは、通常、比較的平らな地形を斜め上から撮影した空中写真画像の修正に用いられます。

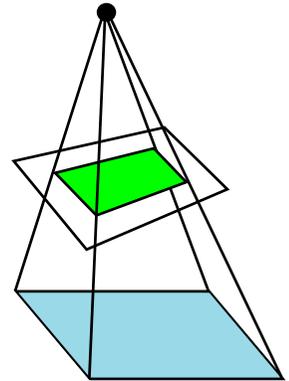
平面投影モデルには、アフィン・モデルに使われる全ての変換が組み込まれています。しかし、歪んだ画像と補正された画像間で平行に保たれる線は、2つの面が交差する線に平行な線だけです。平面投影モデルには最低4つの一直線上にないコントロールポイントが必要です。



元の画像に見られた傾斜歪みを修正した平面投影変換。北と南の区分線は今やほとんど平行です。しかし、これらの線の微妙な湾曲は起伏変位やレンズの影響から生じる多少の歪みがまだ残っていることを示しています。起伏変位による歪みはこの画像においてはあまり重要ではありません。なぜなら、垂直方向の起伏(約110feet;約33 m)はこの画像の水平方向の寸法に比べて小さいからです。

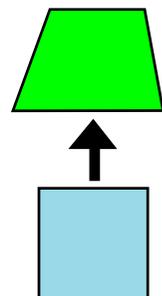
ステップ

- Model(モデル)メニューからPlane Projective(平面投影)を選択します。
- リサンプリング処理を実行します。



平面投影モデルは透視投影法を用いて一つの平面から他の平行でないもう一つの平面に座標を変換します。

正方形の斜め透視図は台形になります。平面投影モデルはこのような簡単な斜めの歪みを補正できます。



## 多項式モデル

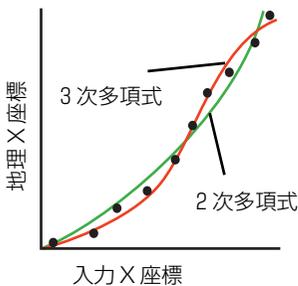
### ステップ

- ModelメニューからOrder 3 Polynomial (3次多項式) を選択します。
- リサンプリング処理を実行します。

必要なコントロールポイント数の最小値は多項式の次数によって増加します。

- 2次：6個
- 3次：10個
- 4次：15個

1つの座標軸における入力コントロールポイント対出力コントロールポイントの位置関係を仮想的にプロットしたもの。異なる次数の多項式を使った場合の近似の差を表しています。



テスト画像の多項式変換は、3つの次数すべてにおいて非常に似た結果を生み出します。おそらく、画像の範囲が狭く、コントロールポイント網が密であり、地形の歪みが小さいことによるものです。3次多項式が一番良い結果(このページに示されています)を生み、平面投影変換の結果に匹敵します。いくつかの区分線は外に曲がったままで、地形の歪みが修正されていないことを示しています。

多項式変換はラスタ画像内で、以前に説明したモデルで扱った線形的な歪みだけではなく、**非線形的な歪み**も修正することができます。歪んだ画像座標系でのコントロールポイントの位置を、出力の地理座標系における対応点に関係づけるために、多項式が使われます。コントロールポイントの情報はその式の項の一連の最適な係数を計算するのに用いられます。多項式モデルの**次数**はその式で用いられる最高次の指数です。また、ある1方向に対して左下の図で示されているように、近似可能な曲線の複雑さを規定します。

Order 2(2次)の多項式はいずれかの方向に(凹とか凸といった)一つ極性を持つ曲線に近似します。このモデルは放射状レンズによる歪みを修正したり、高度の高いときまたは人工衛星で広範囲にわたる地域を撮影した時に地球が球状であるために生じる歪みを修正します。Order 3(3次)の多項式はいずれかの方向に極性が一回変わる曲線への近似を可能にします。そしてOrder 4(4次)の多項式はさらに複雑な曲線への近似を可能にします。これらのモデルはより複雑に歪んだ画像を修正してくれますが、特に画像の端部のコントロールポイント間での歪みを伴います。



## 部分的アフィンモデル

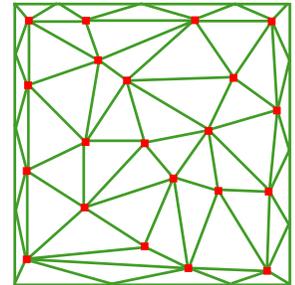
前に説明した変換モデルはすべて画像全体に対して最適な近似をしてくれます。それらはなめらかに移り変わる歪みを取り除くには最適ですが、局所で大きく変化する歪みまでは修正してくれません。実際に、一つや二つのコントロールポイントの位置に及ぼす局所的な歪みは、他の正確にモデル化された点と同様に全体の近似に影響します。結果として、局所的な歪みは補正された画像全体に対して小さな歪みを与えません。

Piecewise Affine(部分的アフィン)モデルはその代用となる方法を提供します。個々のコントロールポイントが正しく配置されていると仮定し、それらをもとにして画像を三角形のネットワークに分割します。そしてアフィン変換がそれぞれの三角形に対し別々に計算されます。一つの歪んだコントロールポイントの位置はそれを取り囲む三角形だけに影響します。最低6つのコントロールポイントが必要ですが、それより多ければさらに良い結果が得られます。

ステップ

- ✓ ModelメニューからPiecewise Affine(部分的アフィン)を選択します。
- ✓ リサンプリング処理を実行します。

テスト画像のコントロールポイントを使って画像を区分した例。



ドロネイの三角形網化処理は、完全にするために追加されたいくつかの外挿された境界点を用いて最適な三角網を計算するのに使われます。

テスト画像のPiecewise Affine (部分的アフィン) 変換は前に述べたすべての方法よりもわずかに改善されています。多数のコントロールポイントとなどらかな起伏のおかげで、いくつかの地形歪みを修正することができ、より真っ直ぐな区画境界線を生成します。また、この方法はいろいろな資料や縮尺のものから集められてつなぎ合わせた地図(土地所有図のようなもの)をスキャナーで取り込んだものを補正するのにも便利です。

起伏の大きな地域の空中写真に見られる特に局所的で多様な起伏変位を持った歪みは Automatic Resample 処理を使って修正することはできません。これらの写真を地図形状に補正(正射補正)するには立体画像や正確なデジタル標高モデル(DEM)を必要とします。詳しくは、『TNT 入門書: DEM と正射写真の作成』を参照して下さい。

## ベクタまたはCADオブジェクトの変換

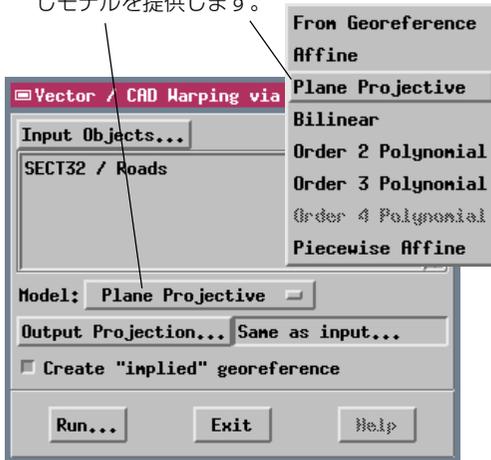
### ステップ

- ✓ TNTmipsメインメニューからProcess / Vector / Warp(処理/ベクタ/変換)を選択します。
- ✓ Vector / CAD Warping(ベクタ/CAD 変換) ウィンドウで,[Input Object...]をクリックします。
- ✓ SECT32プロジェクト・ファイルからROADベクタ・オブジェクトを選択します。
- ✓ ModelオプションボタンからPlane Projective(平面投影)を選びます。
- ✓ [Run]をクリックし,出力オブジェクトに名前を付けます。

Vector Warping(ベクタ変換)処理は、ラスタのAutomatic Resampling(自動リサンプリング)処理で得られる変換モデルと同じモデルを提供します。

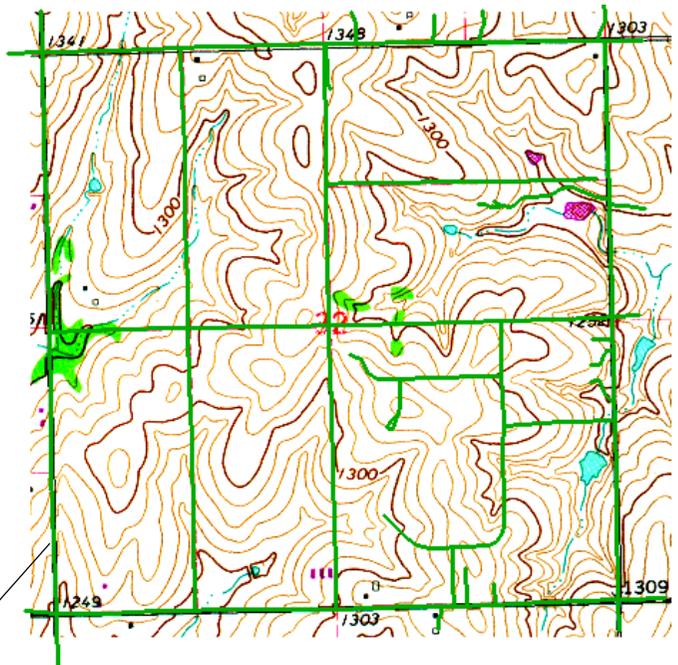
ジオリファレンスのない歪んだラスタ画像からベクタ (又はCAD) オブジェクトが作り出される場合は、結果のオブジェクトは元のオブジェクトの空間的歪みを含んでいます。これらの歪みは、ジオリファレンス・コントロールポイントがベクタ・オブジェクトに設定された後も残ります。TNTmipsでのSpatial Data Display (空間データ表示) 処理は、コントロールポイントのジオリファレンスを持ったベクタオブジェクトをその場で補正して表示します。(Vector Layer Controls(ベクタ・レイヤー・コントロール)ウィンドウのWarp to Model(モデルへ変換)オプションを用います)が、大きなベクタ・オブジェクトは再表示の時間が長くなります。

Vector/CAD Warping (ベクタ/CAD変換) 処理は、歪みのあるベクタやCADオブジェクトを永久的に補正し、選択した投影法に平行になるような出力オブジェクトを作成します。(要素位置は対応する地理座標系になります。)入力オブジェクトは、暗示的ジオリファレンスではなく、別個のジオリファレンス・コントロールポイントを持っていないければなりません。既に論じられた全ての幾何変換モデルは、ベクタとCADの補正にも利用できます。



ROADS オブジェクトは、Object Editor (オブジェクト・エディタ) によって SECT32 の生画像のジオリファレンスされていないものから道路と囲い線を描いて作られました。その後、USGS Digital Orthophoto Quad画像を使ってUTMにジオリファレンスされています。

Plane Projective (平面投影) モデルを用いて UTM に変換された後のROADSオブジェクト。SECT32 地図オブジェクトの上に緑色の線で表示されています。



より良い方法は、上に重ねるベクタを作る前に、元の画像をジオリファレンスし補正することです。するとベクタ・オブジェクトは自動的にジオリファレンスされ、望む座標系と投影法に対応します。

## まとめと参考文献

Automatic Resampling (自動リサンプリング) 処理を使うべきいくつかの共通した状況があります；

- 航空写真や衛星画像で、あるタイプの幾何歪みを除去、低減し、より地図に近い幾何形状の画像を作り出す場合。
- 日時の異なる画像で空間解析、画像分類、変化抽出をしたり、画像間でセル値毎の比較を行うために、ジオリファレンスされた一連のラスタ画像を共通の地図投影法、座標系、セルサイズに投影し直す場合。これは、スキャナーで取り込まれた地形図や平面地図で、ジオリファレンスされているが、まだ希望する座標系の向きになっていないものを含みます。

異なる画像が異なるタイプの歪みを持たない限り、モザイクを作る前に各画像をリサンプリングする必要は**ありません**。Mosaic(モザイク)処理は一つの選択された幾何変換モデルを使って、ジオリファレンスされた全ての画像を共通の投影法と座標系に補正します。

補正の成否は画像に対して注意深くジオリファレンスすることから始まります。画像に存在する歪みのタイプを決定し、適切な幾何変換モデルを選択することが必要です。コントロールポイントの位置の残差を評価するためにジオリファレンス処理の中でこのモデルを使用し、実際の補正のために Automatic Resampling (自動リサンプリング) 処理の中で再び使用します。

### 参考文献

- Christensen, Albert H.J. (1996). The practice of piecewise fits with particular reference to property mapping. *Surveying and Land Information Systems*, 56, 165-183.
- Jensen, John R. (1996). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective* (2nd ed.). Chapter 6, Image Preprocessing: Radiometric and Geometric Correction. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall. pp. 107-137.
- Novak, Kurt (1992). Rectification of digital imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 58, 339-344.
- Wolberg, George (1990). *Digital Image Warping*. Chapter 3, Spatial Transformations. Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society Press, p. 41-94.
- Wolf, Paul R. and Ghilani, Charles D. (1997). *Adjustment Computations: Statistics and Least Squares in Surveying and GIS*. New York: John Wiley & Sons, p. 564.

# 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、様々な形式のリレーショナルデータベースプロジェクトデータを作成、ジオリファレンス、編集するための対話的ツールを提供します。
- TNTview** TNTviewには、複雑な地理空間データの視覚化と解釈を行うための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はどのようなコンピュータにも対応できます。
- 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。ユーザのウェブ・ブラウザ上の地理データ・アトラスやTNTclient Java アプレットを使って操作して下さい。
- 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をダウンロードできます。また、TNTliteの入ったCDを注文することもできます。

## 索引

アフィン変換.....	14	内挿.....	4、10、11
幾何変換モデル.....	13、17、19	共1次内挿法.....	10、11
基準ラスタ.....	7	3次たみ込み内挿法.....	10、11
起伏変位.....	12、14、15、17	範囲、地理的.....	4、7、9
共1次内挿法.....	10、11	部分的アフィン変換.....	17
傾斜歪み.....	14、15	平面投影変換.....	15
コントロールポイント.....	3、13	ベクタ・オブジェクト、変換.....	18
最近隣内挿法によるリサンプリング.....	10、11	変換.....	3、6、7、18
3次たみ込み内挿法.....	10、11	方位決定.....	4
ジオリファレンス.....	3、5、9、13、19	基準ラスタ.....	7
縮尺.....	4、7	地図投影法に.....	5、6
多項式変換.....	16	方角に.....	9
地形歪み.....	16、17	モデル、幾何変換.....	13、17
「起伏変位」を参照		ラバーシート変換.....	3
地図投影、方向.....	5、6	リサンプリング.....	3、4、10
透視投影法.....	15		



**MicroImages, Inc.**

11th Floor - Sharp Tower  
206 South 13th Street  
Lincoln, Nebraska 68508-2010 USA

電話 : (402) 477-9554  
FAX : (402) 477-9559

email : info@microimages.com  
インターネット : 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

Kinokuniya Bld.、1-19-14 Azumabashi, Sumida-ku, Tokyo 130-0001, JAPAN  
TEL (03) 3623-2851 FAX (03) 3623-3025