

1/50万及び1/20万衛星画像合成図の試作

秋山実(国土地理院), 山本智偉, 鈴木康志(弗エフ・アイ・ピー)

1. はじめに

国土地理院では3ヶ年にわたり, LANDSAT MSS データに幾何学的補正及び地図投影変換を施し衛星画像合成図を作成する技術の研究を行ない, 鮮明な衛星画像合成図を作成する処理システムの完成をみた。その主な特長は次の様である。

- (1) 幾何学的歪補正は一般に広く行なわれている GCP (Ground Control Point) を用いた多項式近似による変換ではなく, LANDSAT CCT に付加されている SIAT (Scene Image Annotation Tape) のデータを用いた解析的なモデルによる変換を行なう。但しモデルの高精度化のために数点の GCP を用いる。
- (2) 地図投影は正角円錐図法 (1/50万), 多面体図法 (1/20万) のどちらかを選択することができる。
- (3) リサンプリングは 1/50万図では最近隣法を, 1/20万図では改良を加えた最近隣法を用い, いずれも鮮明な画像を得ることができる。
- (4) 同一バンド内データ相互の濃度レベルの正規化を行い, 縞模様が発生を抑えている。
- (5) 画像出力において良好なコントラストが得られる様に, 濃度レベルのストレッチングを行なう。
- (6) 画像出力はドラムレコーダを用いてシークエンシャルに行ない, そのフィルムサイズは最終成果物である衛星画像合成図の 1/2.0 ~ 1/2.5 であるため歪みの少ない鮮明な画像を得ることができる。
- (7) 衛星画像合成図印刷用の版はバンド毎にフィルムより直接作成され, バンドの組合せ及び配色は全て印刷の処理において決定することができる。

本報告では, CCT 入力より衛星画像合成図作成までの処理手順を先ず示し, それぞれの具体的な内容について紹介する。

尚使用したデータは 1975年 9月 11日 LANDSAT-II の中部山岳地方のデータで, 1/50万図では全シーンを, 1/20万図では 1/20万地勢図高山地区の対応シーンを処理対象とした。

2. 処理手順.

LANDSAT CCT を入力し, 最終的に 1/50万 あるいは 1/20万 衛星画像合成図として印刷するまでの手順を流れ図で表わすと図 2.1 の様になる

(1) 衛星軌道の推定.

CCT に付加されている SIAT データを用いてシミュレーションにより衛星の軌道要素を決定する。これは幾何学的歪補正に用いる。

(2) GCP の選定.

幾何学的歪補正のモデルの高精度化に用いるため地形図より GCP を選定する

(3) モデルの高精度化

GCP に対し実測値と計算値の誤差を打消すように衛星の姿勢パラメータを修正する。

(4) 正規化パラメータの決定.

バンド・データ毎の統計量よりデータ間での正規化及びストレッチングのパラメータを定める。

(5) リサンプリング及び正規化.

幾何学的歪補正・地図投影変換を施し、更に濃度レベルの正規化等を行ない出力画像を作成する。

(6) 画像出力装置用 MT 作成

画像出力装置の入力フォーマットに合わせた MT を作成する。

(7) 画像出力

MT を入力としてドラムレコーダを用いてシクエンシャルにフィルムに画像出力する。

(8) 製版・注記データ

バンド毎に作成された幾何学的歪補正済のフィルムより直接製版を行なう。また衛星画像合成図としての注記データも作成する。

(9) 印刷.

4バンドより3バンドを選択し配色を定めて注記データとともに印刷する。

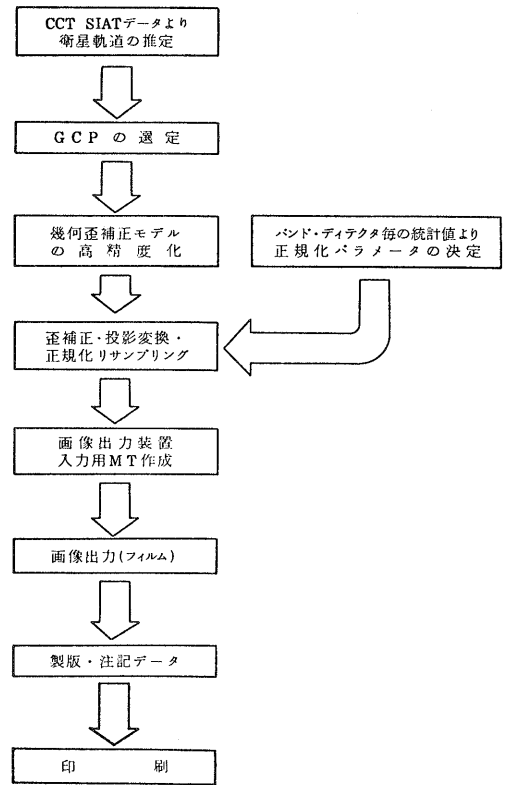


図 2.1 処理手順

3. 幾何学的歪補正.

地球上の任意の一点について、MS5 画像上のライン番号を I 、その中での画素番号を J としその座標を (I, J) で表わす。一方その点での緯度を θ 、経度を λ とし測地座標を (θ, λ) で表わす。以下に (I, J) から (θ, λ) への変換の考え方を述べる。

(1) (I, J) と (θ, λ) の関係.

今、地球中心に対する衛星の位置ベクトルを \vec{R} 、スキャナーの観測地点を見る方向余弦を $\vec{\alpha}$ 、地球半径を r 、地球中心から観測地点を見る方向余弦を $\vec{\alpha}$ とすると

$$\vec{\alpha} = \frac{1}{r} [\vec{R} - \alpha \{ \vec{R} \cdot \vec{\alpha} + \sqrt{r^2 - |\vec{R}|^2 + (\vec{R} \cdot \vec{\alpha})^2}]$$

と表わされる。 $\vec{a} = {}^t(a_x, a_y, a_z)$ とおくと (θ, λ) とは次の様な式が成立つ。

$$\begin{aligned}\theta &= \sin^{-1} a_z \\ \lambda &= \tan^{-1} (a_y/a_x)\end{aligned}$$

又、 (I, J) においてスキャナーがその点を見込む角を (φ, ψ) とすれば

$$\begin{aligned}\varphi &= \left\{ 1 - \frac{2}{J_{\max}}(J-1) \right\} \bar{\varphi} \\ \psi &= \left\{ -\frac{(m-1)}{2} + \text{mod}(I-1, m) \right\} \bar{\psi}\end{aligned}$$

但し J_{\max} はライン内の画素数、 $2\bar{\varphi}$ はスキャナーの視野角、 $\bar{\psi}$ は瞬間視野角、 m は1スキャンのライン数であり、LANDSAT-II MSS データでは次の様に与えられる。

$$J_{\max} = 3264, \quad 2\bar{\varphi} = 0.202 \text{ rad}, \quad \bar{\psi} = 0.086 \text{ mrad}, \quad m = 6$$

更に $\vec{\lambda}$ と (φ, ψ) の間には次式が成立つ。

$$\vec{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 \psi + \tan^2 \varphi}} \begin{pmatrix} \tan \psi \\ \tan \varphi \\ 1 \end{pmatrix}$$

以上により (I, J) と (θ, λ) が関係づけられたことになる。

(2) 座標変換

$\vec{\lambda}$ はスキャナ座標、 \vec{R} は軌道座標で表わされるが、 \vec{a} は地球座標で表わされる。このため $\vec{\lambda}$ と \vec{R} を \vec{a} と同じ地球座標に変換してやらねばならない。スキャナ系から地球系への座標変換 T_S^E を分解して次の様に表現する。

$$T_S^E = T_i^e \cdot T_o^i \cdot T_b^o \cdot T_s^b$$

但し添字 e, i, o, b, s はそれぞれ地球系、慣性系、軌道系、機体系及びスキャナ系を表わし、 T_i^e は慣性系から地球系への変換という形で表わしてある。

$T_i^e, T_o^i, T_b^o, T_s^b$ は衛星の軌道要素、姿勢要素等を用いて与えることができ T_S^E が決定される。この T_S^E を用いて (I, J) より (θ, λ) への座標変換を行うことが可能となる。

(3) 姿勢の推定

SIAT に画像内9点におけるロール、ピッチ、ヨー情報がその時刻とともに記されており、これを用いてそれぞれを時刻に関する3次の多項式で近似した。

(4) 軌道の推定

姿勢と同様に SIAT 中に11点における緯経度 (θ, λ) と高度 h の情報が記されている。これより一意に軌道要素を求めることはできないが、 $T_o^i = T_i^e \cdot T_o^e$ を用いて得られる三式及び、軌道の方程式より最も誤差の少ない軌道6要素の組を推定する。

(5) モデルの高精度化

上記のモデルに含まれる誤差は数点のGCPを用いてそれを計算し、衛星の

姿勢を修正する秒で打消す。

4. 逆変換.

画像出力を出力画像座標系に沿ったシーケンシャルな方法で行なおうとする
と、出力画像の各点に対する入力画像上の位置を求めなければならない。この
ためには図4.1に示すように入力画像座標から出力画像座標への変換（正変換）
の逆すなわち、出力画像座標から入力画像座標への変換（逆変換）を行なわね
なければならない。

ところが、正変換は前述のように衛星の軌道姿勢情報を用いた衛星座標変換
により入力画像座標 (I, J) を地球の緯経度 (θ, λ) に変換し、更に地図投影変換
により出力画像座標 (x, y) に変換すればよいのにくらべ、逆変換はその対応を
求めるのが困難である。従って逆変換は正変換を用いて繰返しの収束計算によ
り求めるものとした。

逆変換は局所的な一次式で近似し、これを近似する領域（サーチ領域）を徐々
に小さくしていくことによって、正変換とのよい対応がとられる。

はじめの点は、その近似が一次式では近似がよくないので、もっと次数を増や
した近似関数とした。

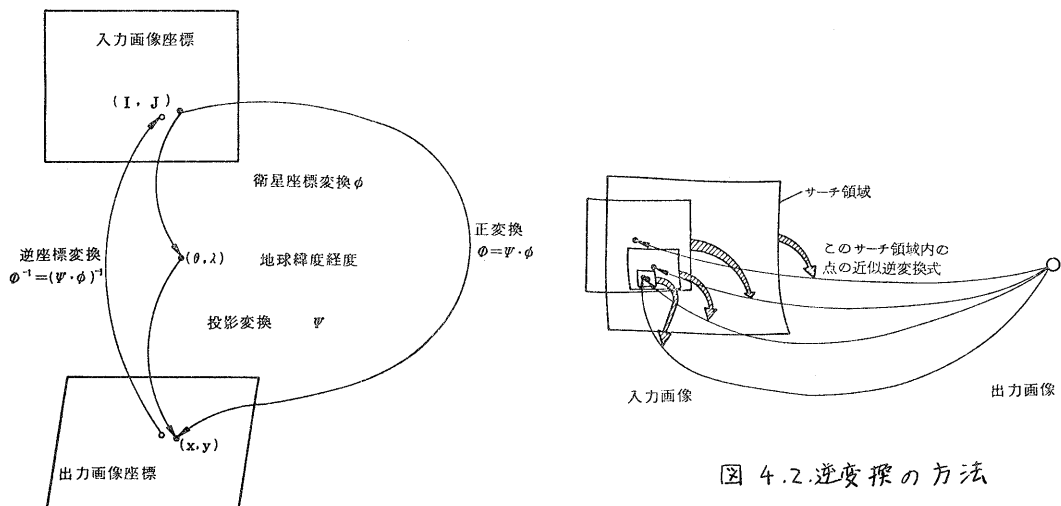


図 4.1. 正変換と逆変換

5. リサンプリング.

出力画像の各点に対し入力画像上の位置を求めるには前記逆変換を用いるが
全点に対しこの様な計算をするには龐大な計算時間を要する。このため出力画
像を小区画（パッチ）に分割し、このパッチの4隅の点に対しては逆変換によ
り入力画像座標を求め、4隅以外の内部の点に対しては線形補間で座標を求め
るという方法をとった。

6. 濃度レベルの正規化

LANDSAT CCT中の濃度レベルは0~127あるいは0~63であるが画像出力装置は0~255を入力とするため、鮮明な画像を得るには元の濃度レベルを広げてやる必要がある。更にLANDSAT MSSでは一つのバンドに対し6つのディテクタを用いており、ディテクタ間の特性のはらつきを補正する必要がある。この2つの処理をまとめて、次の様な線形変換を行なう。

$$L_o = \frac{255}{m+n} \{ (L_i - \mu_i) / \sigma_i + n \}$$

ここで L_i が入力濃度レベル、 L_o が出力濃度レベル、 μ_i 、 σ_i は L_i に対応するディテクタでの平均値、標準偏差であり、 m 、 n はバンド毎に定められ $\mu_i - n\sigma_i \sim \mu_i + m\sigma_i$ の範囲を0~255に拡げることを指定する変数である。

この様な変換により、同一バンド内ディテクタ相互では平均値標準偏差が一致する。また m 、 n を適切にとることにより、画像出力装置が許容する入力レベルいっばいの範囲に濃度レベルが拡がる。

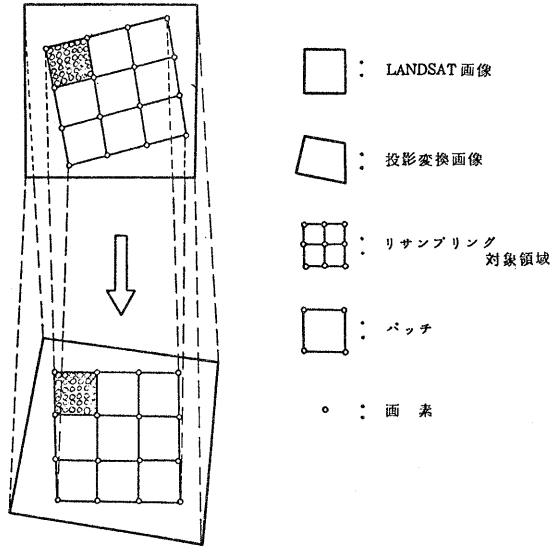


図5.1 リサンプリング

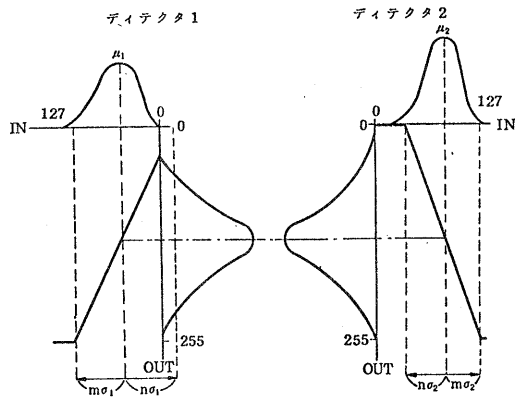


図6.1 正規化

7. リサンプリング時の濃度レベルの補間法

幾何学的歪補正及び地図投影変換により入力画像座標 (I, J) と出力画像座標 (X, Y) の対応が求まり、実際にはその逆変換を用いて (X, Y) より (I, J) を求めるが一般に (I, J) は整数とはならないためその点での濃度レベルが一意には定まらず、いかに補間するかが問題となる。1/50万図では最近隣法を、1/20万図では改良した最近隣法を使用した。

(1) 最近隣法

(I, J) に最も近い点の濃度レベルをとる。

この方法は出力画像が小縮尺で画像の拡大を伴わない場合には鮮明さもとんぼ失なわれないが、大縮尺で画像の拡大を伴う場合には矩形メッシュの集合といった画像となり自然な感じが失なわれる。

この処理を電子計算機で行なう場合には極めて簡単な計算をするのみであ

り処理時間が少く大量の画素を処理するには好都合である。
 (2) 改良された最近隣法。

1/20万図の様に縮尺が大きくなると最近隣法ではメッシュ状の模様が残ってしまう。これに対し内挿法等を採用すると画像のぼけが激しくなる。これらの欠点が生じない様に種々の方法を検討した結果次の様な方法をとった。

基本的には最近隣法を行なうが、同一濃度レベルを持つ広がり形状が同一になりメッシュ状の模様が目立つことを避けるため次の様な工夫をする。

$$I' = [I], J' = [J] \quad ([] \text{ は ガウス記号})$$

$$\alpha = I - I', \beta = J - J'$$

とし、 (I, J) における濃度レベルを $f(I, J)$ で表わす。

今 $\Delta f_1^J, \Delta f_2^J, \gamma_\alpha, \alpha'$ を次の様に定める。

$$\Delta f_1^J = |f(I, J) - f(I, J-1)|$$

$$\Delta f_2^J = |f(I, J+1) - f(I, J)|$$

$$\gamma_\alpha = \Delta f_1^J / (\Delta f_1^J + \Delta f_2^J)$$

$$\alpha' = \alpha \gamma_\alpha / (1.0 - \alpha - \gamma_\alpha + 2\alpha \gamma_\alpha)$$

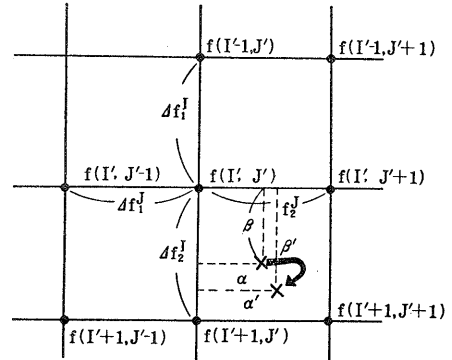


図 7.1

この α' により、リサンプリング時の画素方向の位置 J'' を次の様に定める。

$$J'' = \begin{cases} J' & (\alpha' \leq 0.5) \\ J'+1 & (\alpha' > 0.5) \end{cases}$$

即ち注目点近傍の濃度勾配を加味した α' を画素方向の新しい距離とする。同様にライン方向についても β' を求めて I'' を定め、 $f(I'', J'')$ を $f(I, J)$ とする。

この方法ではメッシュ状の模様はほとんど消える。しかも全体の鮮明感も失なわれることはない。

電子計算機での処理時間は、1点の処理に常に8点に注目するため非常に多くの時間を費す。

8. 画像出力装置

画像出力は東海大学情報技術センターのドラムレコーダを使用した。出力時のアパーチャサイズは $50\mu \times 33\mu$ (ライン方向 \times 回転方向) であり、4096ライン \times 6144絵素の大きさで出力した。フィルムにはバンド間レジストレーション用レジスター・マークも同時に出力される。

フィルム上のサイズは 1/50万図はその 1/2, 1/20万図はその 1/2.5 とした。

9. 印刷.

1/50万図では、バンド4⇒シアン、バンド5⇒イエロー、バンド7⇒マゼンタの配色とし、注記データは主たる山岳名、河川名、湖沼名、都市名とした。

1/20万図では、バンド4⇒シアン、バンド5⇒イエロー、バンド6⇒マゼンタの配色とし、注記データは地理院発行の1/20万地勢図に準じたものとするよう、山岳名、河川名、湖沼名、都市名に加え主要鉄道、道路も入れた。

10. おわりに.

1/50万図、1/20万図共に幾何学的精度、画像の鮮明感のいずれも良い結果が得られ、衛星画像合成図の作成システムとしては一応の完成を見た。

残された問題は、1/20万図作成時の計算機時間が非常に大きいことである。1バンド当りのリサンプリングに要するCPU時間はFACOM 230-75を用いて、1/50万図では200秒であったが1/20万図では1,400秒を要した。今後、同様な効果が得られ、より経済的なリサンプリング法が課題となる。

更に発展的な問題としては、隣接するシーンのモザイク等において、画調および幾何学的にいかにもスムーズに連続させるかといったことが挙げられる。