ランドサット TM のシステム補正データを用いた サイドラップ領域の高度の算出

COMPUTATION OF ELEVATION DATA OF SIDE-LAPPED AREA USING SYSTEM CORRECTED LANDSAT TM DATA

向井 幸男*, 杉村 俊郎*, 飯嶋 哲二*
綾部 広一**, 館 和夫**, 中沢 孝**

Yukio Mukai, Toshiro Sugimura, Tetsuji Iijima
Koichi Ayabe, Kazuo Tachi, Takashi Nakazawa

Abstract: Two Landsat scenes observed from two neighboring PATHs include a side-lap area located between the two scenes. Landsat data seen by each different angle from the two PATHs enable to compute elevation data of the side-lap area. A test site located in a side-lap area and including a high mountain area was selected, and a method to compute elevations of the test site was developed using two system corrected Landsat TM data which observed the test site from two neighboring PATHs. A base plane for computing elevation was assumed in the test site and two Landsat images of the test site seen from two different angles were overlapped on the base plane. Corresponding points between the two overlapped images were searched automatically throughout the test site and each satellite position at the moment of observation of the each corresponding point between the two images was computed from estimating data of satellite position used at the time of system correction. The elevation of the corresponding point was computed by finding the nearest point between two lines of sight drawn from each satellite position to each corresponding point. An error (rms) of elevation computation method developed by this study was 117m which was examined at about 60 points selected for evaluation of elevation computation accuracy, and it was improved to 93m by computing more precisely with an interpolation in searching corresponding points. An image of elevation data of the test site was generated automatically and it is evaluated by comparing with a counter map extracted from geographical maps of the test site. It was found that the both corresponded pretty well.

概要: 隣接する2つのパスから観測したランドサットデータには両方の観測シーンに含まれるサイドラップ領域がある。サイドラップ領域上では隣接する2つのパスからそれぞれ違った角度で観測されたデータが得られるので、この事を利用してサイドラップ領域の高度情報を求める事が出来る。サイドラップ領域に位置し比較的大きな高度差が存在する様なテストサイトを選定し、両側のパスから観測したシステム補正 TM データを使ってテストサイトの高度を算出する研究を行った。テストサイトにおいて高度算出の基準面を設定し左右の観測画像を基準面で重ね合わせた。次にテストサイトの点名について左右の重ね合わせ画像における対応点を自動的に探索し、左右の対応点を観測した時の各衛星の位置をシステム補正時の衛星位置推定データから求めた。左右の対応点とそれぞれの点を観測した時の衛星を結ぶ直線の最応点とそれぞれの点を観測した時の衛星を結ぶ直線の最も近くなる点を求める事によりテストサイトの高度を算出した。約60点の高度算出評価点における地形図から読み取った高度に際する誤差(rms)は117mであった。

内挿により対応点の探索精度をより細かくする事により93mに改善された。またテストサイトの高度の500m間隔のクラスライズ画像に地形図から抽出した等高線をオーバーレイした画像を作成して見ると両者は良く合致していた。

1. ま え が き

隣接する2つのパスから観測したランドサットデー

タには両方のシーンに重複して観測されるサイドラップ領域がある。サイドラップ領域の幅は厳密には観測シーンの緯度によって異なって来るが、日本列島の中央部が位置する北緯35°付近では40~50kmである。サイドラップ領域上では両側のパスからそれぞれ違った角度で観測したデータが得られるのでこの事を利用してサイドラップ領域の高度を求める事が出来る。ラン

* (財)リモート・センシング技術センター

** 宇宙開発事業団

「写真測量とリモートセンシング」特集号 I, 1987

小領域の画像データ間の相関係数を計算する事により対応点を自動的に探索した。衛星の位置算出にはシステム補正時の衛星位置推定データを使用した。これにより衛星位置の計算を簡単に行う事が出来、システム補正データを使用する意義もここにあるわけである。2つの観測画像間の対応点とそれぞれの対応点を観測した時の衛星位置を交会させる事により対応点の高度を求める事が出来る。隣接するパスから観測した

2. ランドサットデータによる高度算出の基本原理

ランドサットデータを使ってサイドラップ領域の高度を求める原理を図1に示す。高度算出の基準面を設定し両側のパスから観測した画像を基準面において重ね合わせた画像を作成する。基準面としてはその平面内で同じ高度を持った重ね合わせのための基準点（基準面 GCP）を多数選定出来る平面が望ましい。基準面で重ね合わせた2つの画像（立体視画像と呼ぶ）においては基準面からある高さ H_p にある点 P はシーン L の画像では L_L の位置に、シーン R の画像では L_R の位置に観測されるので L_D のずれが生じる。 L_D を求める事により高さ H_p を算出する事が出来る。点 P の立体視画像間における対応点を探索し L_L と L_R を求める。次に点 P を観測した時のランドサットの位置を求める事によりランドサットの高度 H_L と H_R およびランドサットから地表面に下した垂線間の距離 L_p が分か

図1 ランドサットデータによるサイドラップ領域の高度算出の基本原則

る。点 P の高さ H_P は次式により計算出来る。

$$H_P = \frac{L_L + L_R - L_B}{L_L/H_L + L_R/H_R} \quad (1)$$

3. テストサイトと対象シーンの選定

ランドサットの観測シーンのサイドラップ領域に位置し比較的大きな高度差が存在する様な領域を探し、テストサイトとして図2に示す様な中央アルプスとその周辺領域を選定した。ランドサット5号の観測シーンのパスローウ108-35(長野)と109-35(飛騨)のサイドラップ領域にあり、北緯35°30'と35°52'および東経137°30'と138°0'によって囲まれた約45km×40kmの矩形の領域をテストサイトとした。中央アルプスの西側に木曾川、東側に天竜川が流れており、これらの川の標高はテストサイト内ではほぼ同一と見なし、この2つの川を含む様な平面を想定しその平面を高度算出の基準面とした。基準面の標高は約600mであり中央アルプス山頂の平均標高約2800mとの間には約2200mの高度差がある。

高度算出の TM データとしては次のシステム補正データを使用した。

右側観測データ 108-35(長野) 1984年12月13日

左側観測データ 109-35(飛騨) 1985年11月21日

両方のデータでは中央アルプスの山頂付近にはすでかなりの積雪があった。飛騨のシーンには右下隅の天竜川の上空に雲があった。またテストサイトの右端では飛騨のシーンのデータが少し欠落していた。

4. 本研究における高度算出手順

高度算出の基本原理解で説明した方法は各シーンの衛星と対応点を含む2つの鉛直平面(図1で直線 $S_L P_L$ を含む鉛直平面と直線 $S_R P_R$ を含む鉛直平面)が同一の平面上で重なるものとし、かつ地平面が水平であると考えた場合である。実際は上の2つの鉛直平面は2~3°ずれておりまた地球の球面を考慮に入れなければならない3次元空間で計算する必要がある。本研究で開発した高度算出手順を図3に示す。先ずランドサットの原画像からテストサイトの部分を切り出し基準面 GCP の画像座標を測定して左の画像を基準にして右の画像をアフィン変換して重ね合わせ立体視画像を作成した。重ね合わせ用 GCP として木曾川と天竜川沿

図2 テストサイトの概要

いに標高600m近辺の32点を選定した。選定した GCP の標高を表1に示す。600mから離れている点も少し含まれている。また基準面 GCP の画像座標と地図座標(緯線度座標)の測定値から最小自乗推定により各シーンの原画像の座標から緯経度座標への変換式を求めておく。画像座標から緯経度座標への変換は UTM 座標を介して行う。基準面 GCP の緯経度座標を (λ, ϕ) 、画像座標を (p, l) 、UTM 座標を (u, v) とすると

$$u = f_1(\lambda, \phi), v = f_2(\lambda, \phi) \quad (2)$$

$$p = g_1(u, v), l = g_2(u, v) \quad (3)$$

f_1, f_2 は緯経度座標を UTM 座標に変換する式であり、ガウスリュウゲルの投影式³⁾で与えられる。基準面 GCP の緯経度データを(2)式により u, v に変換して、その値と対応する GCP の画像座標 (p, l) を(3)式に代入して観測方程式を作成し、最小自乗法により g_1, g_2 を求める。 g_1, g_2 としてはアフィン変換式を用いた。(2)(3)式の逆変換式が画像座標から緯経度座標への変換式となる。

次に立体視画像において或る程度あらい間隔のメッシュの格子点(約250m間隔、1次正方格子点と呼ぶ)の互いに対応する点を自動マッチングにより求めた。自動マッチングの方法としては対応予測点のまわりの部分画像間の相関係数が最も高くなる点を探す方法を採用した⁴⁾。次に得られた対応点の座標を原画像の座標に変換する。左の座標はそのまま切り出し位置の始点座標を加算すれば良いが、右の座標は重ね合わせのために行ったアフィンの逆変換を行った後始点座標を加算して求める。次に原画像座標に変換された対応点の座標を緯経度座標に変換する。この時に基準面の

図3 ランドサットのシステム補正データによる高度算出手順

GCP を使って求めておいた原画像から緯経度への変換式を使用する。同時にそれぞれの対応点を観測した時の衛星の位置（緯度、経度、高度）を計算する。この計算には原画像の TM データをシステム補正した時に使用した衛星位置推定データを用いた。

以上の計算により高度を算出しようとする点 P の左と右の画像で観測された点 P_L , P_R の緯度、経度および P_L , P_R を観測した時の衛星位置 S_L , S_R の緯度、経

度、高度が得られた事になる。以上の 4 点を地球固定座標に変換し、直線 $S_L P_L$ と $S_R P_R$ の交点の座標を求め点 P の高度を計算した。地球固定座標は地球中心を原点、北極方向を Z 軸、経度 0° 方向を X 軸とした右手系の 3 次元座標である。

P_L , P_R を地球固定座標に変換する場合の高度は基準面の高度 (=600m) を使用した。直線 $S_L P_L$ と $S_R P_R$ とは必ずしも 1 点で交わるとは限らないので両者の距離が

最も短くなる点を求めた。

5. 対応点の自動探索と緯経度座標への変換

立体視画像上で縦横方向に9画素間隔で選定した1次正方格子点(約250m 間隔)を対応予測点とし、そのまわりの部分画像のデータ間の相関係数を計算する事により対応点の自動探索を行った(図4)。右の画像が

表1 基準面の重ね合わせのために選定したGCPの標高

G の 番 号	C P の 番 号	標 高 (m)	G の 番 号	C P の 番 号	標 高 (m)
1		760	17		260
2		760	18		640
3		740	19		640
4		740	20		620
5		680	21		600
6		780	22		600
7		640	23		560
8		600	24		520
9		580	25		480
10		520	26		600
11		480	27		680
12		480	28		600
13		420	29		640
14		360	30		560
15		280	31		560
16		280	32		660

ら相関基準画像を切り出し、左の画像から探索画像を切り出して、相関基準画像を探索画像の上に1画素づつずらして重ね合わせ、重なった部分の画像データ間の相関係数が最も高くなる点を対応点とした。相関基準画像の大きさは対応予測点を中心として15ピクセル(横)×5ライン(縦)とした。高度算出の精度を評価するために選定した約60点において、相関基準画像の大きさを10×3から15×9の範囲で何種類か変えて高度を算出して見たが、対応点の探索確率は15×5の場合が最も良かった。1画素28.5m 四方なので約430m×140mの空間に相当する。1画素のずれは約130m (B/H=0.22として28.5m×1/0.22≒130m)の高度差に相当し、基準面高度が600m, 探索範囲の高度差が0~3000mなので探索範囲を対応予測点の左側7ピクセル, 右側30ピクセル, 上下±2ラインとした。探索画像の大きさは探索範囲の周囲に相関基準画像の大きさの1/2を追加した52ピクセル(横)×9ライン(縦)である。相関係数の最高値が0.5より小さい場合はミスマッチ点とした。相関処理には中間赤外域のバンド5を使用した。近赤外域のバンド4でもほぼ同じ結果を示したが積雪領域ではバンド5の方が良い結果を示した。これは積雪領域においてはバンド4は高い反射特性を示すがバンド5は低い反射特性を示すため、バンド4の画像では飽和して濃淡が殆ど失くなるのに対してバンド5の画像では濃淡がまだのこっており、対応点の探索が得られ易くなるものと考えられる。自動探

図4 立体視画像間の対応点の自動探索

索により得られた対応点の座標を原画像の座標に変換し、さらに基準面 GCP による標定結果を使って緯経度座標に変換した。

6. 対応点観測時の衛星の位置計算

左と右の対応点を観測した時の衛星の位置を対応点の原画像のライン番号から計算した。本研究ではシステム補正データを使用したのシステム補正時に使われた衛星位置推定データを使って衛星位置を計算した。衛星位置は時間の3次式で計算する。

$$F = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 \quad (2)$$

F はシーンセンター観測時の時刻を 0 とした各画素の観測時刻 t における推定値であり、緯度、経度、高度毎にそれぞれの値を計算するための係数 $a_0 \sim a_3$ が地球観測センターの TM データ補正処理結果として各シーン毎に得られる。システム補正画像の各画素の観測時刻 t はすでにリサンプリングされた画像なので厳密に計算する事が出来ない。従って、画素のライン番号のみを使って次式によりそのおおよその観測時刻 t を計算する事にした。

$$t(l) = \frac{1}{2F_s} \cdot \frac{1}{N_D} \cdot \frac{S_s}{S_U} (l - l_0) + t_0 \quad (3)$$

F_s は TM のスキャン周波数 ($=6.9968H_z$)、 N_D は 1 スキャンのディテクタ数 ($=16$)、 S_s と S_U はシステム補正と未補正画像の画素サイズでそれぞれ 28.5m と 30 m、 l_0 はシーンセンターのライン番号 ($=2983$)、 t_0 は未補正画像と補正画像のシーンセンター時刻の違いを補正するオフセット量でありシステム補正処理結果から得られる。対応点の原画像のライン番号を(3)式の l に代入して t を求め、次に(2)式を使って対応点観測時の衛星の緯度、経度、高度を求めた。

7. 地球固定座標における高度の算出

高度算出点 P の左右の TM 画像における観測点 P_L と P_R の緯経度座標と P_L 、 P_R を観測した時の衛星位置 S_L 、 S_R の緯経度および高度の値を地球固定座標に変換して点 P の高度を求める。地球を球として考えて P_L 、 P_R 、 S_L 、 S_R を XYZ 座標系に変換し、直線 $S_L P_L$ と $S_R P_R$ の交点 P を求めた。2 つの衛星を結ぶ直線 $S_L S_R$ の中点 S_0 を求め原点から S_0 の方向を Z' 軸、 Z' 軸から Z 軸を含んで 90° の方向を X' 軸とした新たな右手系の X'

$Y'Z'$ 座標系を考えてこの座標系で点 P を求める事にした(図 5)。直線 $S_L P_L$ と $S_R P_R$ および Z' 軸はほぼ同一平面内に含まれ、求めようとする点 P は Z' 軸の近くで得られると考えられる。 $X'Y'Z'$ 座標系における高度算出方法の説明図を図 6 に示す。 Z' 軸に垂直な平面 M を考え M と直線 $S_L P_L$ 、 $S_R P_R$ との交点 M_L 、 M_R を求め、直線 $M_L M_R$ が最も短くなる様な Z_0 を求め、 Z_0 から点 P

図 5 地球固定座標における高度の算出

図 6 $X'Y'Z'$ 座標系における高度の算出

の高度 H_P を求めた。 $Z'=Z_0$ として M_L , M_R の $X'Y'$ 座標を求め $M_L M_R$ の距離を計算する。距離 $M_L M_R$ は Z_0 の関数となりこれを Z_0 で偏微分した式を 0 とおくことにより、距離 $M_L M_R$ が最も短くなる Z_0 を求める事が出来る。

8. 一次正方格子点の高度画像の作成

以上の手順によりテストサイトの 1 次正方格子点の高度を算出した。ミスマッチ点（相関係数の最高値が 0.5 未満）には特定の高度の値（=9900m）を与えておいた。

ミスマッチ点や対応点が得られても雲、雪、影等の影響によりかなりずれた位置で対応点が得られ特異な高度が算出されている点があり 1 次正方格子点の算出結果に対して次の 2 つの後処理を行った。先ず 0 ~ 4000m の範囲以外の高度は特異高度点（ミスマッチ点はこの中に含まれる）とし、そのまわりの 8 点の特異高度点以外の高度の平均値で置き換えた（特異高度点処理）。次に各格子点のデータがそのまわりの 8 点の平均値に比べてある一定値（250m に設定）以上離れている場合その平均値で置き換えた（高度急激変化点処理）。1 次正方格子点の最初の算出結果の画像およびその結果にたいして上の 2 つの後処理を行った結果を写真 1 に示す。白い点として見える特異高度点や高度急激変化点は後処理後の画像では失われている。右下

隅で高い高度が算出されているのはこの部分に立体視画像の片方に雲があったためであり、これは後処理後の画像でも残っている。

9. 2 次正方格子点の高度算出

一次正方格子点の高度データからさらに 1/5 の細かい間隔の格子点（2 次正方格子点という）の高度を内挿により求めた。内挿の方法としては図 7 に示す様に求めようとする点 P の近隣 4×4 の 16 点を使った 3 次式による内挿法を用いた⁵⁾。先ず 1 次正方格子点の 4 点 $A_1 \sim D_1$ を通る 3 次式を求め点 P の横方向の内挿値 E_1 を計算する。同様に $E_2 \sim E_4$ を計算し、次に縦方向の 4 点 $E_1 \sim E_4$ を通る 3 次式を求め内挿により点 P の高度 H_P を求めた。

この様にしてテストサイトの約 50m 間隔の高度データの画像を作成した。

10. 高度算出評価点による算出高度の誤差

立体視画像とテストサイトの 5 万分の 1 の地形図を見比べながら地形図との対応が得られ、かつ地形図から高度を読み取れる様な高度算出評価点（以下評価点という）を約 60 点選定した。評価点の立体視画像の片方の画像（長野）の座標を目視で読み取りコンピュータに入力した。その対応点を自動探索して高度を算出し、

写真 1 1 次正方格子点の高度データの画像

5 万分の 1 の地形図から読み取った評価点の高度を真値として算出高度の誤差を調べた。また両方の画像の対応点を目視により探索し、そのデータを入力して算出した高度についても調べて見た。その結果を表 2 に示す。自動探索の場合の方法 A は対応点を 1 画素単位で計算した場合であり 1 次正方格子点の高度算出はこの方法によった。方法 B は相関係数の最高点とその左右どちらか高い点の 2 点間で 0.1 画素単位で BILINEAR で探索画像を内挿した画像を作成し、それらの画像と相関基準画像との相関係数を計算し、さらに相関係数が上の最高点より高くなる点を求めた場合である。方法 C は相関係数の最高点とその左右 2 点

図 7 近隣 4 × 4 点を使った 3 次式による高度データの
内挿

表 2 高度算出評価点によるランドサット TM データに
よる算出高度の誤差 (m)

誤 差	対応点を自動探索			対応点を 目視探索
	方法 A	方法 B	方法 C	
rms 誤差	116.5	96.8	92.9	92.3
誤差の絶対 値の平均	98.5	80.4	76.5	76.8

評価点数 61点
方法 A：1 画素単位で計算
方法 B：1 画素以下を BILINEAR で内挿
方法 C：1 画素以下を放物線で内挿

の 3 点の相関係数の値の放物線を求めてその頂点の座標を相関係数の最高値とした場合である。これらの内挿はピクセル方向のみの 1 次元で行った。表 2 によれば TM データによる高度算出の誤差の rms (誤差の自乗の平均値の根) は 117m、誤差の絶対値の平均は 99m である。これに対して 1 画素以下の内挿を行うと精度は良くなり、内挿の方法としては放物線の方が少し良い事を示していてこの場合 rms 誤差は 93m、誤差の絶対値の平均は 77m になっている。対応点を目視により探索 (1 画素単位で行った) した場合の rms 誤差は 92 m であり、この値は本高度算出システムの誤差と考えられる。目視による探索誤差は 0.5 画素以上あると考えられ、92m の誤差の中、対応点の探索誤差が 65m 以上 (1 画素のずれが 130m の高度差に相当) 含まれる。

方法 A の場合の各評価点の TM データによる算出高度と地形図から読み取った高度をプロットした図を図 8 に示す。評価点の高度は 250m から 3000m までを含んでいる。

11. 地形図の等高線との重ね合わせ

ランドサット TM データを使って作成したテストサイトの 2 次正方格子点の高度データの画像を平滑処理した後高度 500m 間隔のカラースライス画像を作成した。平滑処理用の空間フィルタとしては $\text{Cos}^2\theta$ の関数の重味を持ったハニングフィルタを用い、フィルタの大きさは 15 × 15 (地表面の距離にして約 750m × 750 m) とした。高度データの画像にはまだスキャンラインノイズが見られる。これは TM データのフォワードスキャンとリバーススキャンの間の画像のずれの補正が完璧でないため、この部分においてずれた位置で対応点が探索されて算出高度が不連続になり、その結果発生したものと考えられる。

このスキャンラインノイズを消すためと高度のカラースライス画像を滑らかにするために平滑処理を行った。

このノイズを消すためにフィルタサイズを大きくしたいが余り大きくすると等高線が滑らかになりすぎる恐れがあり、フィルタの大きさをいくつか変えて処理を行ってその結果を検討し大きさを 15 × 15 とした。テストサイトの地形図から 500m 間隔の等高線を抽出し、TM データから作成した 500m 間隔の高度のカラースライス画像とを重ね合わせた画像を作成した。

図8 高度算出評価点のランドサット TM データによる算出高度と地形図から読み取った高度

その結果を写真2に示す。カラスライス画像の高度の境界線に比べて地図による等高線の方が複雑に入り組んだ形になっているが両者の位置はかなり良く合致している。右下隅に高い高度の部分が算出されているのは立体視画像における雲の存在によるものである。

中央アルプスの右側に地図による等高線と異なる点は何点か見られる。等高線では1000m以下であるが計算高度が1000m以上となっている。これらの異常高度点の位置を調べて見ると伊那市、駒ヶ根市等天竜川沿いの平野にある市街地付近であった。これらの点の立体視画像を見比べて見ると1つの点では明らかに天竜川の水の流れている部分の形が違っているのが見られた。このため対応点の位置がずれて認識され高度の値が算出されたものと考えられる。その他の点に関しては市街地の部分では地形的特徴が少ないため対応点がうまく探索されず、そのため誤った高度が算出されたものと考えられる。

12. む す び

本研究の結果を要約すると次のようになる。

- (1) 隣接する2つのパスから観測したランドサット TM のシステム補正データを使ってサイドラップ領域の高度を自動的に算出する手順を開発した。
- (2) 2つの画像の間の対応点は部分画像の相関係数を計算する事により自動的に探索する事が出来、部分画像の大きさは15ピクセル×5ラインが適当であった。探索に使用するバンドは5または4のどちらでも良いが雪のある領域では5の方が良かった。
- (3) 約60点の評価点における算出高度の誤差の rms は117mであった。対応点の探索において1画素以下を内挿して計算する事により93mに改善された。
- (4) ランドサット TM データから算出した高度の500 m 間隔のカラスライス画像と地形図から抽出し

写真2 ランドサット TM データによる算出高度の500m 間隔のカラーสライス画像と地形図から抽出した等高線の重ね合わせ画像

た500m 間隔の等高線は位置的に良く合致していた。

今後の課題としては高度算出精度の向上と異常高度点の除去が考えられる。高度算出の精度は対応点の探索精度、衛星位置の推定精度および立体視画像作成時の基準面の重ね合わせの精度に依存している。TM データの場合 1 画素のずれが約130m の高度差に相当するので対応点探索の精度が高度算出の精度に最も大きく影響する。

1 画素以下を内挿して計算する事により探索精度が向上しており、TM データではこれ以上探索精度を良

くする事は難しい。根本的にはもっと空間分解能の良いデータを使用する必要がある。

衛星位置の計算にはシステム補正時の衛星位置推定データを使用しており、本研究ではこれは入力データとなっている。しかし衛星位置の推定誤差は対応点の位置推定の誤差に比べて高度算出にそれ程大きな影響を与えないと考えられる。図1を見れば衛星および対応点の位置の変動に及ぼす影響はそれぞれの位置から点 P に対する距離にほぼ反比例する事が分かる。点 P の高度を 3 km, 衛星の高度を705km とすると距離の比は約702 : 3 になる。対応点の 1 画素 (28.5m) のずれ

が130mの高度差に相当するので衛星位置の1 km(軌道と直角の方向への)ずれは次の計算により約19mの高度差に相当する。

対応点の高度での1 kmの位置のずれは

$$130\text{m} \times \frac{1000}{28.5} \div 4561\text{m}$$

4561mの高度差に相当する。しかし衛星の高度での1 kmのずれは点Pに対する距離に反比例するので

$$4561\text{m} \times \frac{3}{702} \div 19\text{m}$$

ランドサットの位置推定システムの誤差は1km以下(バルク補正画像の幾何学的歪は1 km以下である)であり、システム補正データを使った場合の衛星位置の推定誤差による算出高度の誤差は19m以下である。

基準面重ね合わせのために選定したGCPが同一標高の平面内にない場合、厳密には基準面は水平ではなく傾く事になりこれが高度算出の誤差の要因となる。本研究において選定したGCP32点もすべて同一標高ではない。同一標高の平面内で多数のGCPを選定する事は難しいと考えられ、標高が異なるGCPのデータを使っても基準面の重ね合わせを行う事が出来る様なシステムを開発する必要がある。

異常高度点是对应点の探索に自動マッチング技術を使用する場合必ず発生すると考えられる。高度算出後の後処理でうまく除去する方法を検討する必要がある。TMデータの場合いくつかのバンドのデータを使って高度算出を行い、それらの高度データを重ね合わせて異常高度点の少ない画像を作成する方法が考え

られる。

本研究で開発した高度算出システムは衛星位置をシステム補正時の推定データを使用して計算するため未補正データを使用するよりも高度算出手順が簡単である。未補正データを使用した場合多数の地上基準点を選定し、その地図座標(緯経度、高度)と画像座標のデータから写真測量学的手法等を用いて衛星の位置、姿勢を推定する¹⁾必要がある。ランドサットデータではシステム補正時の衛星位置推定データはCCTに記録されていないが、SPOTではCCTに記録されているのでこのデータを使って衛星位置を計算する事が出来る。この高度算出システムがランドサットデータより空間分解能が高くまた斜め観測機能によりB/Hの大きいSPOTデータを使った高度算出にも有効であると期待される。

参 考 文 献

- 1) 嶋本他「ランドサットMSSデータのサイドラップ領域の高度算出」第4回日本リモートセンシング学会学術講演論文集, 1985
- 2) 土屋, 建石, 信田「LANDSAT-4MSSステレオ画像による3次元座標測定」写真測量とリモートセンシング, Vol.24, No.2, 1985
- 3) 森本久弥「地図編集」(財)日本測量協会, 第6版, pp. 97-99, 1980
- 4) 向井, 竹内「画像の自動マッチングを利用した2段階リサンプリング法によるデジタル画像の重ね合わせ」写真測量とリモートセンシング, Vol.25, No.2, 1986
- 5) 村井, 建石「標高メッシュデータを用いた地形の画像出力」生産研究, 1978