

ALOS / PRISM 画像を用いた簡易 3 次元計測

1070523 中川 享洋

高木研究室

1. 背景

2006 年 10 月、陸域観測技術衛星 ALOS が定常運用に移行し、一般のユーザにも観測データの提供が開始された。ALOS は、地上分解能 2.5m という高精度で標高抽出を行うためのパンクロマチック立体視センサ (PRISM) を搭載している。現在、四国の標高データは 50m でしか整備されていない。PRISM 衛星画像を用いれば、より高密度の標高データを作成することが可能である。高密度での標高データが作成できれば、広域な地域での災害モニタリングに利用できると考えられる。

2. 目的

本研究の目的は、PRISM 画像を用いて三次元座標データの抽出を行うことである。PRISM は、可視域の波長を用いて、前方・直下・後方の 3 方向視の画像を同時に取得することが可能である。同一の地点を異なる位置、方向から撮影したステレオ画像があれば 2 次元平面から 3 次元情報を計測できることは一般的に知られている。今回は簡易手法を用いて DSM (Digital Surface Model) 数値標高データを作成し、またその精度の検証を行う。三次元計測のフローを図 2.1 に示す。

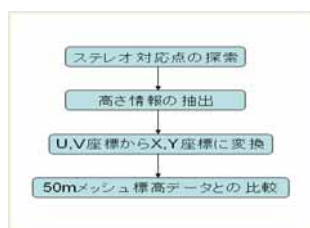


図 2.1 三次元計測フロー

3. 使用データ

図 3.1 図 3.2 に今回使用した ALOS PRISM 画像の直下視と後方視の画像を示す。処理レベル 1B2R(Geo-reference)のものを使用した。

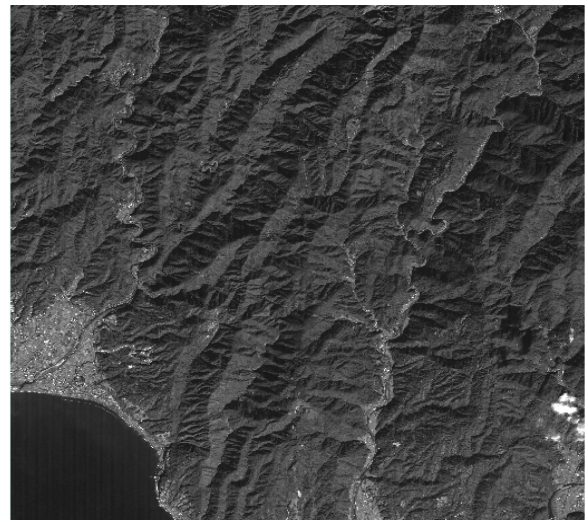


図 3.1 直下視画像

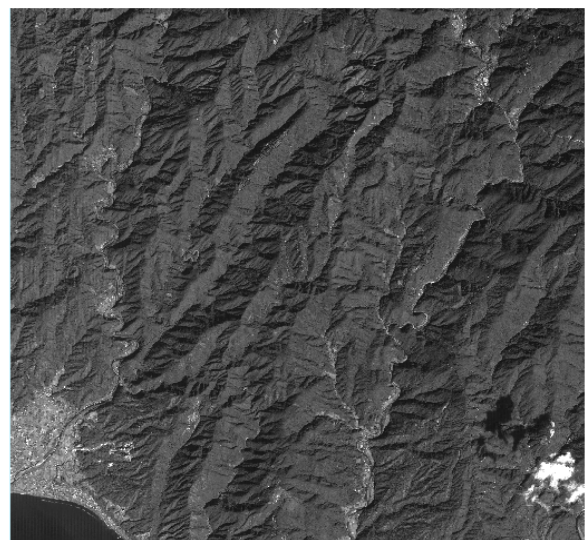


図 3.2 後方視画像

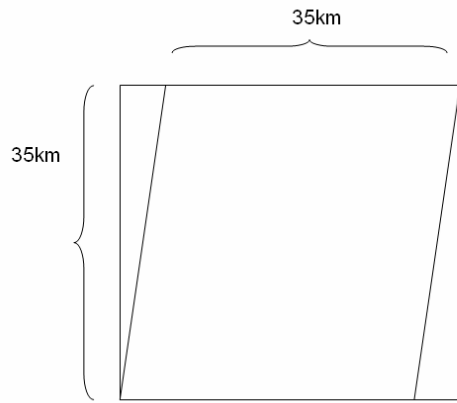


図 3.3 レベル 1B2R のシーンサイズ

レベル 1B2R 画像とは、未補正画像の中心ラインを基準としてフレーミングされた、35km 14,000 ラインを持つ地図投影済み画像である。

対象地域 芸西村周辺 35km × 35km
検証用データとして四国 50m メッシュ標高データを利用した。また衛星画像の幾何補正のために LANDSAT 画像(四国全域モザイク)を利用した。

4. 手法

4.1 ステレオマッチング手法

ステレオマッチングとはステレオ画像の対応点(同じ対象物が写っている画素)をコンピュータ上で自動的に検索する手法である。ステレオ画像とは同一の地点を異なる位置、方向から撮影した 2 枚 1 組の画像セットのことである。画素同士が一致していると判定する指標には、テンプレートと呼ばれる小領域と原画像との輝度値の相関を求め、その値が最大となる点を対応点とした。相関係数を求める式を式 1 に示す。

$$corr = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [(N_{ij} - \bar{N})^2 (B_{ij} - \bar{B})^2]}{\sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (N_{ij} - \bar{N})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (B_{ij} - \bar{B})^2}} \quad \dots(\text{式 1})$$

$corr$: 相関係数

N_{ij} : 直下視画像の配列

B_{ij} : 後方視画像の配列

m : テンプレートの column

n : テンプレートの row

対応点を一様な分布で取得するため、テンプレートは後方視の画像から作成し、直下視の画像から探索窓を指定し、対応点を取得していった。テンプレートの大きさは 21 × 21 ピクセルのサイズとした。21 ピクセルというのは 2002 年度修士論文⁵⁾の基線高度比と最適なテンプレートサイズの項を参考に設定した。なお今回の原画像のサイズでは容量の問題でプログラムを実行する際にメモリ不足が発生したため、シーン中心から 5,000 × 5,000 ピクセルの範囲を抜き取り使用した。

4.2 標高算出手法

直下視センサから得られる画像と後方視センサから得られる画像には各々のセンサの傾きの角度の違いから視差が生じる。視差は各ステレオ対応点のライン数の差として現われる。

ラインの差が求まれば高度は簡単な三角比によって算出できる。以下に標高の具体的な算出方法を示す。図 4.1 は基線と高度の関係を表したものである。

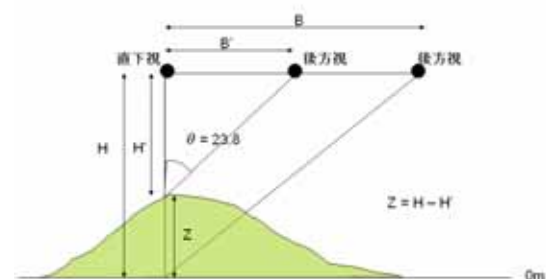


図 4.1 基線と高度の幾何学的関係

まず基準となる基線長を算出する。基準となる基線長とは衛星高度が最大の高度となる点つまり地上の高さが 0(m)での基線長である。

$$B = H \tan \theta \text{ : 基準となる基線長(m)} \quad \dots(\text{式 2})$$

$H = 691,650$:衛星高度(m)

$\theta = 23.8$:直下視からの角度(deg)

次に直下と後方視の対応点の H を求める。

$$B' = B - ((V_b - V_n) * reso) \quad \dots(\text{式 } 3)$$

ステレオ対応点での基線長(m)

V_b :後方視のライン座標(pixel)

V_n :直下視のライン座標(pixel)

$reso$: 2.5 地上分解能(m)

$$H' = B' / \tan\theta : \quad \dots(\text{式 } 4)$$

地上から衛星までの高度(m)

標高は

$$Z = H - H' : \text{標高(m)} \quad \dots(\text{式 } 5)$$

となる。求めた標高とは地表面からの高さ(DSM: Digital Surface Model)となり、木の高さなどを考慮した標高になっている。よって木の高さを考慮していない DEM(Digital Elevation Model)より高い数値で算出される。

4.3 地上座標算出手法

地上座標算出には三次元アフィン変換により求めた。三次元アフィン変換の式を式 6 に示す。

$$\begin{aligned} u &= a_1x + a_2y + a_3z + a_4 \\ v &= b_1x + b_2y + b_3z + b_4 \end{aligned} \quad \dots(\text{式 } 6)$$

$a_1 \sim a_4, b_1 \sim b_4$: 変換係数

x, y, z : 地上座標

u, v : 画像座標

未知の値である変換係数を算出するためにステレオ対応点に対応する 8 点の x, y 座標を地上基準点として LANDSAT の衛星画像より目視によって取得した。変換係数が求まれば画像上のある点 (u, v, z) に対応する (x, y) 座標を算出することが出来る。表 4.2 に地上基準点の残差を示す。これは算出した変換係数を用いて u, v 座標を x, y 座標に変換した値と、入力した x, y 座標の値のズレを表したものである。

表 4.2 地上基準点の残差(単位:m)

基準点番号	U Error(m)	V Error(m)
1	17.07	-1.79
2	16.63	25.30
3	5.74	6.12
4	-8.98	0.15
5	-12.88	-5.25
6	-6.66	-1.29
7	13.00	-32.56
8	-23.91	9.31

残差は最大で-32m であるが LANDSAT の地上分解能が 30m であるため、これ以上の精度の向上にはより地上分解能の高い衛星写真を利用する必要がある。また今回は三次元アフィン変換を利用したが、三次元射影変換での残差も検討する必要がある。

5. 三次元計測結果

縦軸に算出した標高データ、横軸に四国 50m メッシュ標高データの軸をとり相関係数 0.8 以上の算出したデータをグラフにした。四国 50m メッシュ標高データを真値として扱い、真値との差を誤差と定義する。今回、誤差が大きかったため $\pm 100\text{m}$ の範囲に収まっていれば許容範囲とし正解とした。相関係数 0.8 以上の標高誤差を図 5.1 に示す。

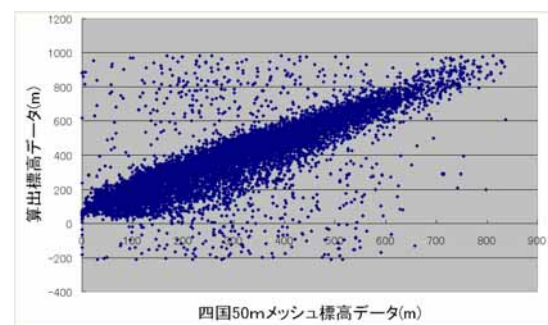


図 5.1 相関係数 0.8 以上の標高誤差

相関係数 0.8 以上の対応点の総数は 11,721 点で、正解数は 6,947 点であった。正解率は 59.27(%)である。

四国 50m メッシュ標高データと計算した標高データが一致すればグラフの点群は

直線になる。相関係数 0.8 以上のデータでは直線から離れた所にノイズが発生している。ノイズとはミスマッチングによる誤差の幅が大きい箇所である。次に相関係数 0.9 以上の標高誤差を図 5.2 に示す。

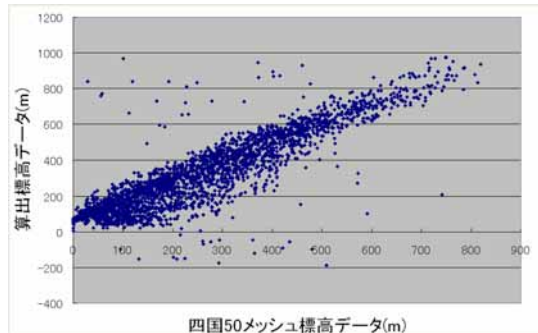


図 5.2 相関係数 0.9 以上の標高誤差

相関係数 0.9 以上の対応点の総数は総数 3,157 点で、正解数は 2,219 点であった。正解率は 70.29(%)である。

相関係数 0.9 以上のケースでは相関係数 0.8 以上の場合と比べてノイズが少なくなっている。しかし全体の総数も少なくなっている。標高データとしての密度は少なくなっている。

図 5.3 は相関係数 0.8 以上の対応地点の標高データを画像化したものである。

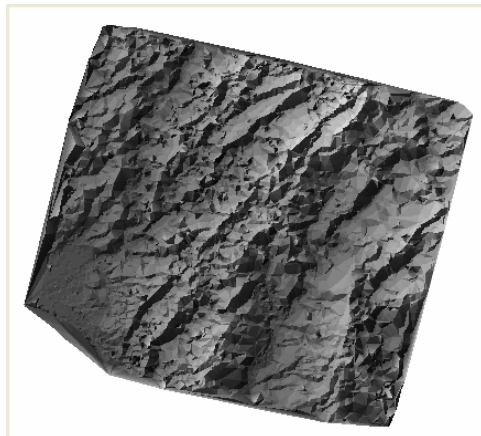


図 5.3 算出した標高データの TIN 画像

実際の衛星画像と比べて概ね山の形が一致している。50m メッシュ標高データとの差を誤差として扱ったが PRISM センサの地上分解能が 2.5m であるため検証用の DEM データより高密度化が可能であると思われる。

る。ただミスマッチングの点も多いため利用できるデータにするためには精度の改善が必要である。

6. 考察

簡易手法でもおおよその DSM データを作成することが出来た。今回の手法では相関係数が精度に与える影響が大きいため、相関係数 0.8 以上のデータを用いて作成したが、それでもミスマッチングによる急激に高い標高がランダムに発生する。これは ALOS の基線高度比が 1.0 以上と大きな値をとっているため同一地点での視差が大きいことに起因すると思われる。使用するデータを相関係数の高いものに上げていくとノイズは少なくなっていくことは分かったが、それでもノイズを完全に消すことができていない、つまり相関係数の最大値が高くても必ずしもマッチングに成功しているとは限らなかった。よって今後は相関係数のピークの形状についても考慮し、複数の高いピークがある場合はミスマッチングの可能性が高くなるので利用しないようにする手法を検討したい。また今回は直下視と後方視の 2 枚の画像しか使っていないが今後は前方視のデータとのトリプレットマッチングを行えばより高精度の標高データが作成できるのではないかと考えられる。

7. 参考・引用文献

- 1) 日本リモートセンシング研究会:リモートセンシングハンドブック
- 2) 日本測量協会:イメージセンシング
- 3) JAXA:地球観測データ利用ハンドブック(ALOS 編)
- 4) JAXA:ALOS 処理プロダクトフォーマット(PRISM 編)
- 5) 野村努:デジタル写真測量による三次元地形モデルの自動生成 2002 年度修士論文 p.37