

ALOS PRISM 画像を用いた 三方向視による三次元計測手法開発

1090406 石田圭佑

高知工科大学工学部社会システム工学科

ALOS PRISM の直下視・後方視・前方視の三方向視(トリプレット)画像を用いた三次元計測を試みた。直下視と後方視を用いた二方向視(ステレオ)画像を用いた計測結果と GPS 観測で取得した検証点とで比較・検証した。その結果、予想に反してトリプレットの方が精度が悪いことが判った。画像マッチングに問題があると考えられた。特に前方視は、異方向反射特性により、他の二つの画像と異なる反射状況の画像となるからと考えられた。

Keyword: 三次元計測 ALOS PRISM 画像・トリプレット画像・画像マッチング

1. はじめに

2006 年 10 月、陸域観測技術衛星 ALOS が常運行に移行し、一般のユーザにも観測データの提供が開始された。ALOS には、PRISM,AVNIR-II,PALSAR の三種類のセンサが搭載されている。この中でも PRISM(パナクロマティック立体視センサ)は、衛星軌道から直下視・後方視・前方視と三種類の異なる角度から地上を撮影し、これらの衛星画像から三次元計測を行い、地図を製作するために搭載されたものである。この PRISM 画像を使用すれば、高精度、高分解能の三次元データを生成することが期待できる。

昨年プロジェクト研究において、PRISM 画像の直下視と後方視のステレオ(二方向視)画像を用いた三次元計測手法が開発・確立された。しかし、今現在 PRISM 画像の中で、前方視画像は使用されていない。ここで、従来使用されてきた直下視・後方視のステレオ画像に前方視画像を加えたトリプレット(三方向視)画像を用いて三次元計測を行うことで計測精度の向上を図る。

本研究の目的は、PRISM 画像を用いたトリプレットでの三次元データ生成手法の開発である。

2. 使用データ

2-1. 対象地域

本研究の対象地域は野市町の青少年センター周辺 2.3km×2.2km に対して 10m メッシュで計 63,246 点に対して計測を行うものとする。本研究の広域から見た対象地域を図 2-1 に示す。



図 2-1. 広域対象地域図

2-2. 使用衛星画像

本研究では、陸域観測技術衛星 ALOS の PRISM 画像から、直下視画像、後方視画像に加え前方視画像を使用した。この PRISM 画像は、2.5m/pixel という高分解能であるため、これと同等レベルの分解能の三次元データが期待できる。対象地域の衛星画像を図 2-2 に示す。



図 2-2. 使用 PRISM 画像
(左から直下視、後方視、前方視)

2-3. 数値標高データ

イメージマッチングの初期値算出(後述)において、抛り所となる標高値を与えることで探索幅を限定することが可能となり、計算時間の大幅な短縮が期待できる。そのため、本研究では、国土地理院によって発行されている四国 10m メッシュ標高データを使用し、この標高デ

ータの±100mをイメージマッチングの探索幅とした。

2-4. 地上基準点データ

幾何モデルの構築(後述)において、モデル式の変換係数を算出する為に複数の地上座標データが必要となる。そこで、研究室の他のプロジェクトにおいて作成された四国基準点データセットから地上基準点の三次元座標を基準点(GCP)18点、検証点(CP)28点を取得した(図2-3)。



図 2-3. GCP・CP 分布図
(□: GCP, ○: CP)

3. 三次元計測フロー

図 3-1 は、三次元計測のイメージを示したものである。三方向視のデータを用いて、同一地点の座標情報より計測できる。

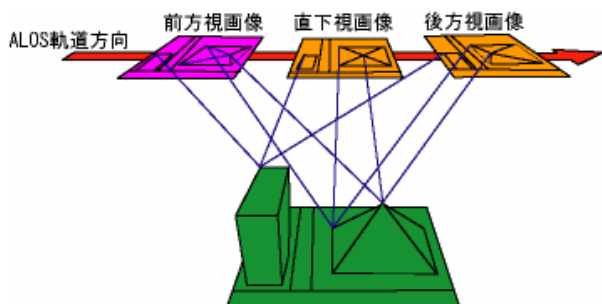


図 3-1. 三次元計測のイメージ

三次元計測は三つの行程で行われる。

1. 地上基準点データから幾何モデルを構築する。
2. 画像対応点をイメージマッチングによって求める。
3. 幾何モデルを用いて地上座標を算出する。

同一地点と画像との関係を表すのが、幾何モデルであり、同一地点を画像処理によって自動的に求めることがイメージマッチングである。本研究では、この同一地点を対応点と呼ぶ。

4. 幾何モデルの構築

今回、幾何モデル式は独立三次元射影変換

(式 4-1)を使用した。これは、通常を中心投影モデルの三次元射影変換の分母が u 方向と v 方向で異なる独立した式となっている。よって、モデル式の変換係数は 14 個と増加するが、センサモデルに近づくので採用した。

求めたモデル式の精度は、GCP 周り、CP(検証点)周りで検証を行った(表 4-1、4-2)。変換精度は、モデルにより計算される GCP と CP の画像座標と、実際の画像座標との残差を平均二乗誤差 RMSE で示した。モデル式精度は CP 周りで約 2.5pixel となった。

$$\begin{cases} U = \frac{a_1 X + a_2 Y + a_3 Z + a_4}{b_1 X + b_2 Y + b_3 Z + 1} \\ V = \frac{a_5 X + a_6 Y + a_7 Z + a_8}{b_4 X + b_5 Y + b_6 Z + 1} \end{cases} \dots (式 4-1)$$

U, V : 画像座標

X, Y, Z : 地上座標

$a_1 \sim a_8, b_1 \sim b_6$: 変換パラメータ

表4-1. GCP周りの幾何モデル精度

GCP:18点	u	v (pixel)
直下視	0.83	1.12
後方視	1.40	2.01
前方視	1.07	1.79

表4-2. CP周りの幾何モデル精度

CP:28点	u	v (pixel)
直下視	1.88	1.98
後方視	2.49	2.71
前方視	2.19	2.11

5. イメージマッチング

5-1. 最小二乗マッチングの初期値算出

本研究では、画像対応点を求める為に最小二乗マッチングを使用するが、この手法は非線形の解法であるため未知数の初期値を必要とする。そこで、面積相関法を用いたイメージマッチングから初期値を算出する。

この手法は、ステレオ画像から取り出した小領域の類似度を計算し、その相関が最も高い画像対応点を出力する。この際、処理を行う地点の画像座標(U,V)は地上座標(X,Y,Z)から幾何モデルを用いて算出される。この時、(X,Y)は既知であるが、標高値Zが未知である。ここで、10mメッシュDEMデータを使用して、DEMの標高値の±100mを探索幅とし、標高値を変化させながら、画像相関を求め、最も相関の高い点が初期値として利用できる。

本研究では、これをステレオ画像ではなくトリプレット画像で行う。手法としては直下視画像をテンプレートとして、これに対して後方視・前方視それぞれ個別に同時処理を行い、その相関係数を平均し、探索幅内でZを変動させ、平均相関係数が最大となる時の対応点 (Un', Vn') (Ub', Vb') (Uf', Vf') を出力した(図 5-1)。尚、画像間の相関をとる小領域のサイズ(テンプレートサイズ)は 101×101 pixel を採用した。

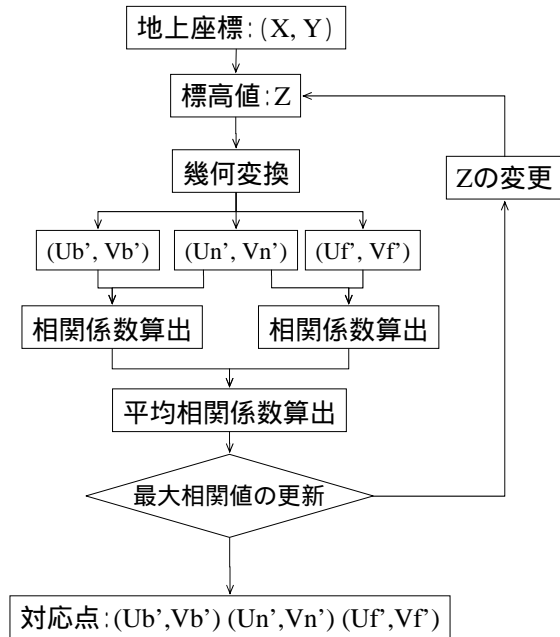


図 5-1. マッチング初期値取得フロー

5-2. 最小二乗マッチング

最小二乗マッチングは、探索画像とテンプレート画像間の相関を測るのではなく、テンプレート画像のそのものを濃度変換・幾何変換により探索画像に近似させながら、最も近似した時のパラメータを保存し対応点の探索を図る手法である。加えて、最も近似するポイントを最小二乗法を用いて計算するので、先述した面積相関法が 1pixel 単位の整数値しか出力できないのに対して、最小二乗マッチングは実数値の結果を出力できる為、高精度な結果を期待できる。

この最小二乗マッチングをトリプレット画像に対して実行するにあたって、直下視・後方視と直下視・前方視でそれぞれステレオマッチング処理を行い、両方が収束した場合にトリプレットの対応点 (Un, Vn) (Ub, Vb) (Uf, Vf) を出力することとした(図 5-2)。又、最小二乗マッチングにおいてもテンプレートとなる画像とマッチングさせる画像サイズの設定が必要となり、直下視に 71×71 pixel、後方視・前方視に 141×141 pixel を与えた。

上記の条件の下に全 63,246 点に対して最小二乗マッチングを実行した結果、60,249 点が収束し約 95%の収束率であった。

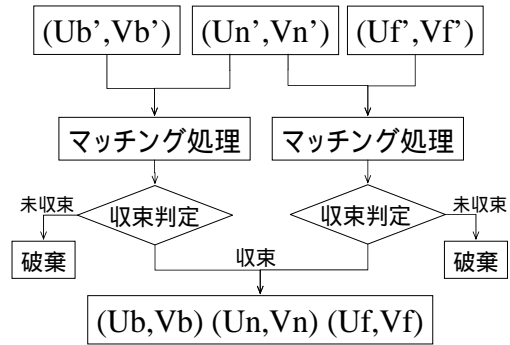


図 5-2. トリプレット最小二乗マッチングのフロー

6. 三次元計測手法

構築された幾何モデル式に、イメージマッチングによって得られた対応点座標 (Un, Vn) (Ub, Vb) (Uf, Vf) を代入することで地上座標 (X, Y, Z) を算出する。この際、それぞれの対応点座標を代入することで、6つの連立方程式ができる。この6つの方程式に対して未知数は (X, Y, Z) の3つなので、最小二乗法を用いてこれらの式を解く。

対象範囲に最小二乗マッチングで算出された対応点 60,249 点に対して計測を行った。計測結果をステレオとトリプレットでそれぞれプロットした陰影図を図 6-1 に示す。図 6-1 を見て分かる通り、トリプレットでの計測結果はステレオでの結果に比べてエラーが目立つ。

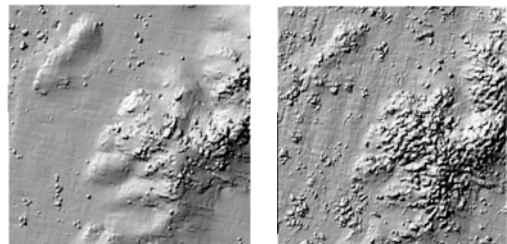


図 6-1. 計測結果 DSM(左からステレオ、トリプレット)

7. 計測結果の検証

検証の為に、対象範囲内で GPS を用いて 32 点の検証点を取得した(図 7-1)。尚、観測手法は VRS-RTK 観測で行った。この手法は仮想基準点を用いることで単独観測を可能とする手法である。又、観測精度は 2.5cm と十分な観測精度を有している。



図 7-1. 計測精度検証点分布図

GPS による観測値と三次元計測の結果を比較した結果を図 7-2 に示す。図 7-2 は横軸に GPS で得た標高値、縦軸に三次元計測で算出された標高値をプロットしたグラフである。

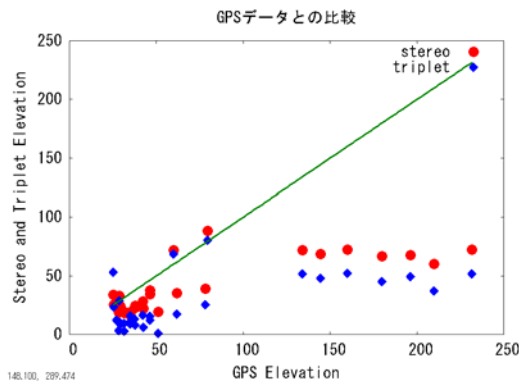


図 7-2. GPS データと計測結果の比較

グラフより、ステレオ、トリプレットともに標高 100m を越えると誤差は大きくなり、トリプレットはステレオより低い標高が得られるという傾向が得られた。両者共に標高が 100m を越えると、誤差が大きいのは幾何モデルが原因ではないかと考えられる。又、トリプレットの誤差が大きいのはイメージマッチングにおいて前方視がミスマッチングを起こしていることが考えられる。そこで、検証点における PRISM 画像を結果別に比較する。図 7-3 は三方向共に良好な結果が得られた場合、図 7-4 は直下視と後方視を使用したステレオの結果のみが良好であった場合であり、図 7-5 はステレオ・トリプレット共に大きな誤差が発生した場合の代表的なものである。



図 7-3. 検証点周りの PRISM 画像
(全方向成功)



図 7-4. 検証点周りの PRISM 画像
(ステレオでのみ成功)

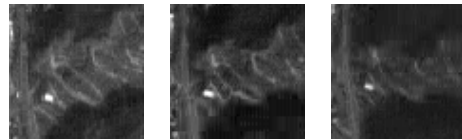


図 7-5. 検証点周りの PRISM 画像
(全方向失敗)

図 7-3 では、各画像共に類似した形状をしていることが分かる。しかし、図 7-4, 7-5 では、前方視画像の様相が違って来る。図 7-4 においては、建築物の写りが大きく違う。特に、右下部分の建築物は他画像に比べて明るく、大きめに写っている。図 7-5 は山肌の蜜柑畑を写しているが、前方視画像は形状の再現に失敗している。加えて、後方視画像も畑部分が直下視に比べて広く写っており、右上部分の様相が大きく違うことが分かる。以上から、マッチングミスの原因として誤差が発生していることが考えられる。

8. 考察

トリプレット画像を用いた三次元計測手法の開発を行った。しかし、ステレオに比べて精度が悪くなった。

まず、幾何モデルの精度向上が必要である。高標高地では、算出された値が一定値以上を超えていないことから、GCP の配置が悪い、もしくは数量不足が考えられる。

次に、画像マッチングの精度向上とミスマッチングの低減が必要である。現状で、初期値には問題が無いと考え、最小二乗マッチングを行う際、前方視画像に何らかの画像処理を施すことでマッチング精度の向上を図ることが課題となる。

9. 参考文献

- 1) 改訂版 図解リモートセンシング
: 社団法人 日本測量協会
- 2) 詳解 画像処理プログラミング
: 昌達 慶仁
- 3) 兵頭雅: 社会システム工学科
2007 年度 学士論文