

# ALOS PRISM 画像による 高密度三次元データ生成手法

社会システム工学科 高木研究室  
1080500 兵頭 雅

## 1. 背景

2006年10月、陸域観測技術衛星ALOSが定常運行に移行し、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、高分解能で標高抽出・地図の作成を目的としたパナクロマティック立体視センサであるPRISMが搭載されている。これは、衛星軌道上から前方視、直下視、後方視と3種類の異なる角度からの画像を、分解能2.5m/pixelで撮影できるものである。衛星画像からこの分解能の三次元データを生成することができれば、広域な範囲での災害モニタリングに利用することができる。



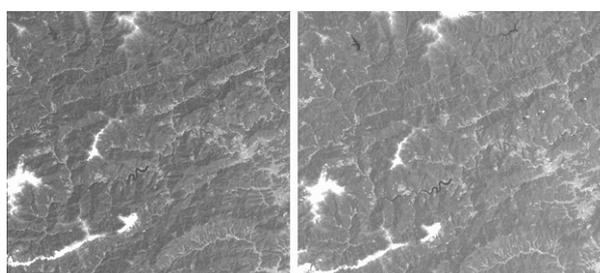
図 3-1 対象地域(高知県吾川郡仁淀川町)

## 2. 目的

本研究の目的は、PRISM画像を用いた三次元データ生成手法の開発である。

昨年プロジェクト研究<sup>2)</sup>では簡易手法を用いて三次元データを作成したが、本研究では昨年よりも精度の高い2.5mメッシュの三次元データを完成することを最終目標とする。

対象地域は、四国有数の地すべり地帯、高知県吾川郡仁淀川町長者とする。現地で観測したGPSデータを用いて精度の検証を行う。



nadir

backward

図 3-2 PRISM画像(nadir, backward)

## 3. 使用データ、機器

### 3.1 ALOS PRISM 画像データ

本研究では、陸域観測技術衛星ALOSのPRISM画像(パナクロマティック立体視センサ)から、nadir(直下視)画像及びbackward(後方視)画像を使用した。

forward(前方視)画像は、北から撮影する為、太陽光の反射が影響して画像処理が困難である。そのため、今回は使用しないことにした。

本研究で対象とした地域と衛星画像をそれぞれ図3-1, 3-2に示す。

### 3.2 数値標高データ

三次元計測を行う際、初期値として近似値が必要なため、本研究では、国土地理院によって発行された四国50mメッシュの数値標高データを使用した。

### 3.3 地上基準点データ

対象地域に地上基準点を設置し、GPS観測によって地上基準点の三次元座標を取得した。

観測手法はVRS-RTK観測。mm単位での位置情報の取得が可能である。幾何モデルの変換係数用に24点の地上基準点を取得し、また、作成した標高データの精度検証用に21点を取得した。

### 4. 三次元計測の流れ

三次元計測は、次の3つの行程で行われる(図 4-1)。  
 まず、ステレオ幾何モデルを構築する。対象地域に地上基準点を設置し、地上基準点とそれに対応する衛星画像の対応点から変換式を作成する。

次に、ステレオ衛星画像同士で対応している点をイメージマッチングにより探し出す。イメージマッチングとは、二組の画像から、同一地点を探し出す手法である。

そして、マッチングしたステレオ対応点の座標を、構築した変換式に入力し、三次元座標を求める。

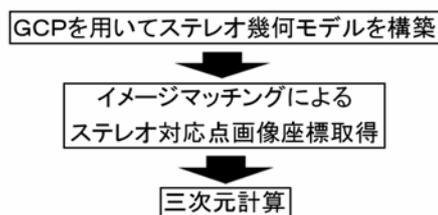


図 4-1 三次元計測の流れ

### 5. ステレオ幾何モデルの構築

今回、ステレオ幾何モデルは、三次元射影変換を利用した。これは、三次元の物体の  $X, Y, Z$  座標を、任意の点から撮影した画像の  $U, V$  座標へと変換できる式である(図 5-1)。現地で取得した地上基準点とそれに対応する画像座標が6点あれば変換式の係数が求まるのだが、今回は精度を高めるために24点の三次元座標を取得し、最小二乗法により求めた。地上基準点は、橋梁や交差点など、衛星画像から視認しやすく、なおかつ現地でも計測しやすい点を選んだ。地上基準点の分布図を図 5-2 に示す。

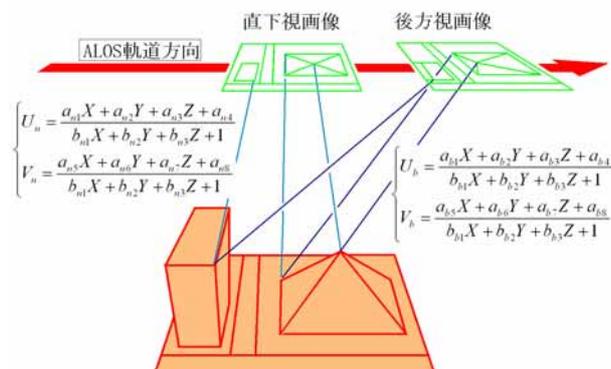


図 5-1 三次元射影変換のモデルと式

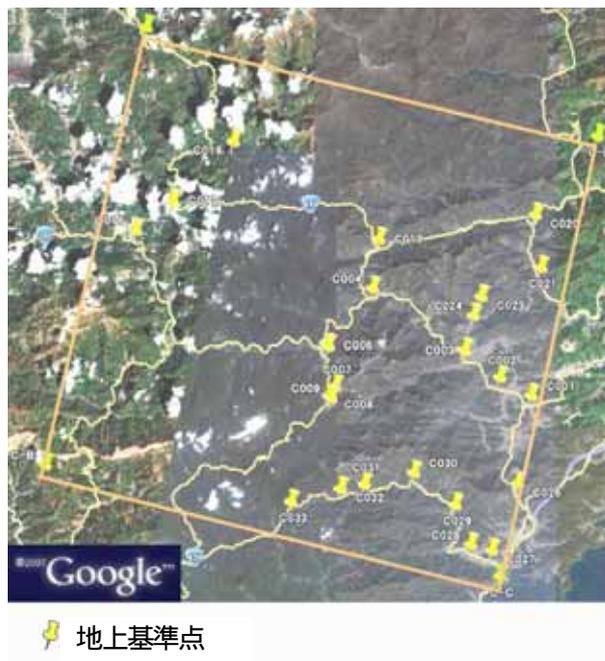


図 5-2 地上基準点分布図

構築したステレオ幾何モデルの誤差は、次のように定義した。地上座標を変換式に代入し、計算によって得られる画像座標と、目視により取得した画像座標との差を誤差として扱った。表 5-1 に幾何変換式に使用した地上基準点の平均二乗誤差 RMSE(平均二乗誤差)と、検証点の RMSE を示す。

表 5-1 変換式の精度

		単位(m)	
		U	V
幾何変換用	nadir	0.587	0.406
地上基準点	backward	0.580	0.488
検証用	nadir	2.043	1.886
地上基準点	backward	1.683	1.912

幾何変換に使用された基準点は、1m 以内と高精度であった。検証点も、衛星画像の 1pixel である 2.5m 以内には留まっており、十分な精度と言える。

### 6. イメージマッチングによるステレオ画像対応点の取得

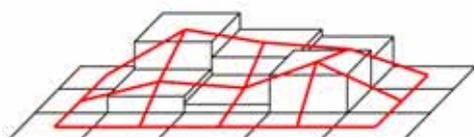
#### 6.1 イメージマッチングとは

イメージマッチングとは、二つの画像の対応する点を探す際に、その点の周辺の画素をテンプレートとして、もう一方の対応する画素を探し出し、その中心を対応点とするものである。

今回は、視差のある画像同士で対応点を取得するため、画像の濃度や形を変えながらマッチングできる最小二乗マッチングを使用する。しかしこの方法は逐次近似の解き方を使うため、初期値を与えなければならない。

### 6.2 イメージマッチングの初期値決定法

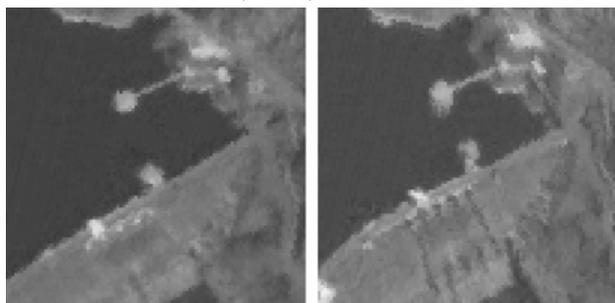
最小二乗マッチングの初期値を取得するために、幾何モデルの変換式を用いて、2枚の衛星画像を、地上座標系に変換した画像を作成する。これはオルソ画像と呼ばれている。オルソ画像を作る際、三次元の座標が必要となるので、仮の値として四国50mメッシュの標高データを共一次内挿法により内挿して使用する(図6-1)。同一座標系に変換できるので、イメージマッチングが簡単になると期待できる。



内挿前の50mメッシュ標高データ  
内挿後のスムージングされたデータ

図 6-1 内挿された標高データ

作成した nadir と、backward のオルソ画像を比較すると、変換式や、標高データの精度の問題から、わずかなズレはあるが、マッチングで適応できる範囲の画像であると判断した(図6-2)。



nadir backward

図 6-2 オルソ画像の比較

二つのオルソ画像の同じ座標の点を、再び幾何変換式で元画像の座標に戻し、そこを初期値として最小二乗マッチングを用いて、衛星画像のステレオ対応点を求める。衛星画像の範囲が広大なため全域をするには時間がかかってしまう。そこで今回は、本研究室が毎年地すべり調査を行っている高知県仁淀川町長者の周辺 1500m × 1500m(300pixel × 300pixel)の範囲を対象としてイメージマッチングを行うことにする。

### 7. 三次元計算

構築された幾何モデル変換式に、イメージマッチングにより、求められたステレオ対応点座標( $U_n, V_n$ ), ( $U_b, V_b$ )をそれぞれ代入すると、4つの式ができる。(式7-1) これに対し未知数は  $X, Y, Z$  の3つなので、最小二乗法を用いてこれらの式を解き、地上座標を求める。

$$\begin{cases} U_n = \frac{a_{n1}X + a_{n2}Y + a_{n3}Z + a_{n4}}{b_{n1}X + b_{n2}Y + b_{n3}Z + 1} \\ V_n = \frac{a_{n5}X + a_{n6}Y + a_{n7}Z + a_{n8}}{b_{n1}X + b_{n2}Y + b_{n3}Z + 1} \\ U_b = \frac{a_{b1}X + a_{b2}Y + a_{b3}Z + a_{b4}}{b_{b1}X + b_{b2}Y + b_{b3}Z + 1} \\ V_b = \frac{a_{b5}X + a_{b6}Y + a_{b7}Z + a_{b8}}{b_{b1}X + b_{b2}Y + b_{b3}Z + 1} \end{cases} \quad (式7-1)$$

### 8. 結果及び検証

イメージマッチングの結果、9万点のうち、8万2千点の解が求められ、三次元座標が計算された。作成された三次元データを、GISソフト、ArcGISに取り込み、点と点の間を三角形でつないだ TIN データへと変換する。すると点データだったものが面データになり、視覚的にもわかりやすいデータとなる(図8-1)。

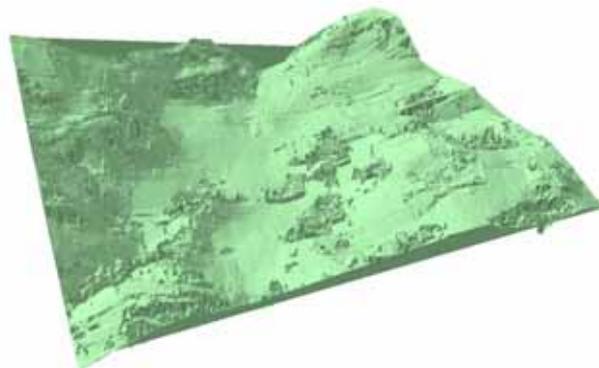


図 8-1 作成された三次元データ

作成した三次元データを用いて、変換式に使用していない検証用 GPS データとの比較を行う。GPS データの  $X, Y$  座標上にある  $Z$  の値と、三角形により内挿された三次元データの値を比較した。その結果、最大でも 3.5m、平均二乗誤差は 2.4m と、非常に小さい範囲に収まった(表8-1)。

表 8-1 GPS データとの比較・検証

点名	Z座標(GPS)	Z座標(PRISM)	単位(m)
			誤差
1	297.956	299.492	-1.536
2	291.025	291.398	-0.373
3	290.097	287.595	2.502
4	327.953	324.479	3.474
5	325.426	323.690	1.736
6	312.236	309.774	2.462
7	306.098	307.069	-0.971
8	309.322	312.575	-3.253
9	309.049	311.938	-2.889
10	315.088	311.910	3.178
11	319.438	317.350	2.088
12	324.520	322.466	2.054
13	289.559	291.716	-2.157
14	317.969	315.710	2.259
		RMSE	2.364

検証に使用した基準点を、衛星画像、作成した三次元データにそれぞれ重ね、これらを図 8-2, 図 8-3 に示す。

衛星画像と三次元データを見比べると、濃度の変化があまりない場所で、ノイズの多いデータとなっている。

このような部分はマッチングエラーの可能性が高い。

検証点は、すべて滑らかな部分にあるので、マッチングが良好な部分での結果と言える。

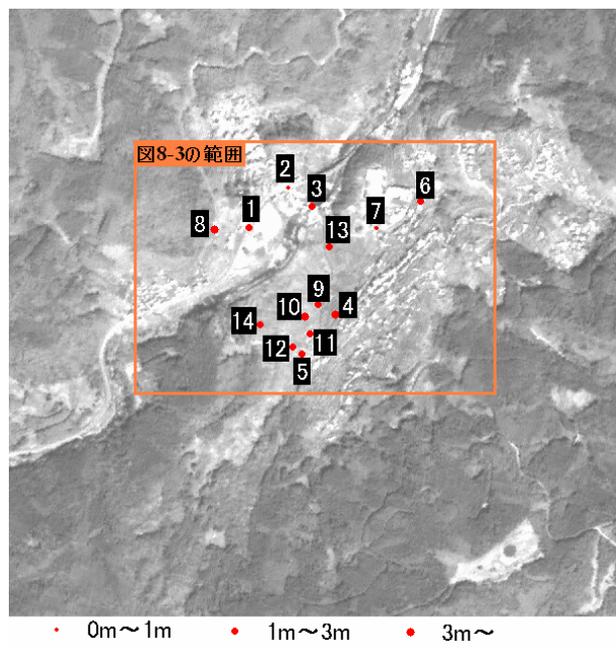


図 8-2 検証用 GCP の分布(衛星画像)

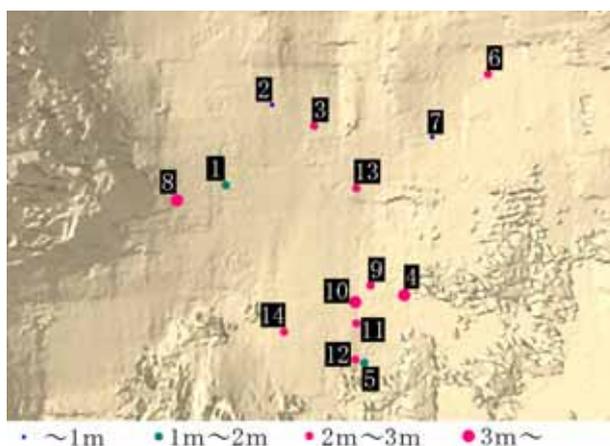


図 8-3 検証用 GCP の分布(DSM)

### 9. 考察

今回の三次元計測では、検証結果を見ると、RMSE が 2.4m と、衛星画像の分解能と同程度の精度が達成された。しかし、以下のような問題点も残っている。

まず、自作のプログラムを使ったイメージマッチングに、あまりにも時間がかかりすぎるという点である。この点については改良の余地が有ると思われるので今後の研究で処理速度を速くする必要がある。

また、森林や平原など、画像の濃度変化が少ないエリアでは、マッチングするポイントがなかなか見つからず、特にノイズが発生しているように感じた。検証点は、GPS 観測によって求められたものなので衛星の電波を捉えにくい森林においては観測できなかった。今後、精度の評価方法を考える必要がある。

画像の濃度変化の少ないエリアでの mismatching を抑えることができれば、高精度での三次元データの作成が可能と期待できる。

### 10. 参考文献・資料

- 1) 高木幹雄：画像解析ハンドブック
- 2) 中川享洋：高知工科大学社会システム工学科 2006 年度学士論文
- 3) 中川享洋：Possibility of Wide Area Monitoring of Slope Failure Disaster Using PRISM
- 4) 宮田 剛：Suitable Type of Ground Control Point for High-resolution Satellite Imagery