

ポリゴンの図心を基準点に用いた高精度幾何補正

Accurate Geometric Correction by using Centroid of Polygon as Control Point

宮田 剛*・Jong Hyeok JEONG**・高木 方隆**

Takeshi MIYATA, Jong Hyeok JEONG and Masataka TAKAGI

Abstract : Recently, high resolution satellite imageries (about 1 meter spatial resolution) are used in many fields. Generally, they are expected to be overlaid with GIS data and updating existing map. It is important issue for remote sensing to detect land-use/land-cover changes using high resolution satellite imageries. Therefore, the accuracy of geometric correction should be reduced to sub-pixel error. It is necessary to prepare accurate control points to correct geometrically. The control points are Ground Control Point (GCP) collected from the ground surface and corresponded Image Control Point (ICP) from selected imagery. Nowadays, the defined centroids of circles on the ground are used as accurate control points. However, it is difficult to prepare circle type GCPs. The existing types could be evaluated at first part of this study. Continuously, accurate geometric correction could be established using centroids of the polygons as control points. The result showed 0.54m pixel error by applying proposed methodology. It showed that the accuracy of proposed method is approximately same as circle type centroid method. Therefore centroid of rectangular type and polygon type were efficient for the geometric correction of high resolution imageries.

1. はじめに

近年、空間分解能 1 m 未満の高分解能衛星画像は様々な分野で利用が行われている。一般に、既存地図の更新や GIS データとの重ね合わせに期待されている。更に、高分解能衛星画像を利用した変化抽出は、リモートセンシング分野で重要なトピックとなっている。変化抽出を行う為には、幾何補正精度をサブピクセルの精度で行わなければならない。ところが、高分解能衛星画像は、直下視の画像でないことや、中心投影より画像に歪みが生じる。現在、高分解能衛星画像を対象とした高精度幾何補正手法に関する研究がなされている。山川¹⁾C.S. Freser²⁾らは RPC モデルやアフィンモデルに基づく手法を提案した。基準点として、円形対象物の図心を用いた。その結果、サブピクセル

での幾何補正精度を達成している。しかし、日本には円形対象物はあまり存在しない。円形以外のポリゴンを用いた基準点取得の検討を行う必要がある。

2. 目的

本研究の目的は、高分解能衛星画像 IKONOS を対象に、ポリゴンの図心を基準点とした高精度幾何補正の有効性の検討を行うことである。ポリゴンとして田畑の形を利用した。地上基準点、画像基準点の取得手法は以下の通りである。

・地上基準点

田畑の輪郭を GPS 測量の中のキネマティック測量を用いて地上基準点ポリゴンを取得し、取得された地上基準点ポリゴンの図心を計算する。その図心を地上基準点として利用する。

・画像基準点

地上基準点ポリゴンと対応する画像基準点ポリゴンを高分解能衛星画像上より目視で取得し、取得した画像基準点ポリゴンの図心を計算する。その図心を画像

* 国際航業㈱

〒183-0057 府中市晴見町2-24-1

**高知工科大学

「写真測量とリモートセンシング」VOL. 46, NO. 3, 2007

基準点として利用する。

3. 使用データ

本研究で使用した IKONOS 衛星画像は、地球の丸みによる歪みを補正したデジタルジオ画像を用いた。撮影範囲は高知県香美郡土佐山田町を含んだ約11 km×11km であり、市街地、大学、工場、森林、河川、田畑、港、空港などが存在している。特徴は、高層ビルが無く、農地が多いことが挙げられる。画像範囲における標高差は、およそ400m である。撮影日は2000年6月15日であり、一年を通して植生の量が多い時期に撮影されている。図1に使用した IKONOS 画像、表1に IKONOS 衛星画像の仕様を示した。



図1 IKONOS 衛星画像

表1 IKONOS 衛星画像の仕様

Item	Detail
Cross Scan	0.86m
Along Scan	0.84m
Scan Direction	0°
Nominal Collection	263.9600°
Azimuth	
Nominal Collection	76.68608°
Elevation	
Acquisition Data/Time	2000/6/15
Photography Area	Tosayamada Kochi JAPAN
Area (km ²)	134.848
Product Level	Digital-Geo Image
Sensor Type	Pan-Sharpen (4 Bands)
Map Projective Method	Transverse Mercator
Ellipsoid	Bessel
Datum	Tokyo

4. シミュレーションによる検討

ポリゴンの図心が基準点として利用できるかシミュレーションによって検討を行った。ポリゴンは4,000 m²とし、南北方向に長い長方形と東西方向に長いポリゴンを設定し、そのポリゴンが IKONOS 衛星画像にはどのように写りこむかを IKONOS 衛星の仕様に沿ってシミュレーション画像を作成した。衛星の高度を680km として衛星の位置を設定し、オフナディア角は0~30度に設定した。そして各オフナディア角でのシミュレーション画像を作成した。

設定したポリゴンの図心が、画像上のどこに投影されるかを計算し、一方でシミュレーション画像におけるポリゴンから、その図心を求め、両者を比較した。その結果、東西方向に長くても南北方向に長くても長方形であれば、次の条件の下で1/4ピクセル未満の精度が得られることが解った。まず地上でのポリゴンの高低差が5m 未満であること。次に IKONOS 衛星画像においてオフナディア角が20度未満であることである。

さらに、地上基準点と画像基準点の精度を考慮して幾何補正の精度を評価したところ、地上基準点0.1m 未満、画像基準点0.1ピクセル未満の平均二乗誤差を保てば、1/4ピクセルの幾何補正精度が得られることが判った。したがって、本研究では、長方形に近いポリゴンの図心を利用することとし、1/4ピクセルの幾何補正精度を目指した。

5. 地上基準点の取得手法

5.1 地上基準点ポリゴンの取得

本研究では、田や畑に着目し、新たな基準点取得手法の提案を行った。日本での田や畑はポリゴン(多角平面)の形状が多く、いたる所で見かける事が出来る。今回基準点として利用する、田や畑の輪郭をGPS 測定のキネマティック測量にて地上座標を取得した。その際、道路の内側の田畑と道路の境界部に沿うように測量した。表2に今回使用したGPS の仕様を示した。

取得した座標データは、地上基準点ポリゴンと名付けた。図2は実際にキネマティック測量によって取得した地上基準点ポリゴンと対応する衛星画像を示している。地上基準点ポリゴンの図心を計算し、計算され

表2 使用したGPSの仕様

項目	仕様
メーカー	TOPCON
品名	GP-SX1
チャンネル数	12チャンネル並列処理
受信電波	L1 C/A コード, 搬送波
精度 (D: 基線長)	
スタティック	
水平: 5 mm + 1 ppm × D (≤10km)	
水平: 5 mm + 2 ppm × D (>10km)	
高低: 10mm + 2 ppm × D	
キネマティック	
20mm + 2 ppm × D	

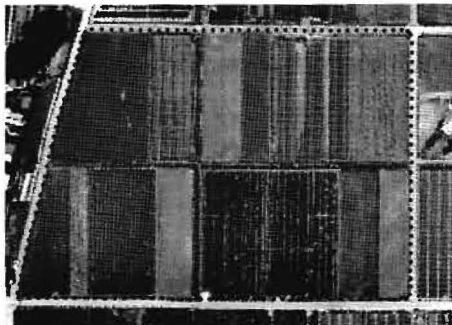


図2 キネマティック測量により取得した地上基準点ポリゴン

表3 提案手法の幾何補正による平均二乗誤差
単位 (m)

基準点	x	y	z
5	-0.267	0.221	-0.011
6	-0.016	-0.016	-0.006
14	-0.027	0.068	-0.005

た図心を地上基準点として利用する。キネマティック測量により取得されたデータの誤差をポリゴンの閉合差によって評価したものを表3に示す。GPSの基準局と離れた場所においても10cm程度の閉合差で測量する事が出来た。しかし、測量結果には、GPSキネマティック測量における系統的誤差も含まれていると考えられる。

5.2 図心計算手法

図心計算のための地上基準点ポリゴンの図心計算例を図3に示した。まず初めに任意に原点の設定を行う。次に、原点と観測点を結び三角形を作成する。そして、

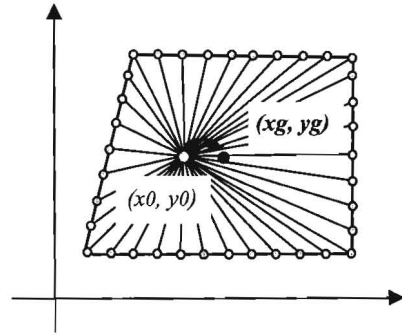


図3 地上基準点ポリゴンの図心計算例

それぞれの三角形の図心と面積を計算し、面積を重さとしてモーメントの計算を行い地上基準点の図心を計算した。計算された図心を高精度地上基準点として利用する。式1は図心計算式である。

$$X_c = X_0 + \frac{\sum_{i=1}^n S_i \times (x_{ci} - X_0)}{\sum_{i=1}^n S_i}$$

$$Y_c = Y_0 + \frac{\sum_{i=1}^n S_i \times (y_{ci} - Y_0)}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad (1)$$

X_c, Y_c : 図心座標

X_0, Y_0 : 任意の原点座標

x_{ci}, y_{ci} : それぞれの三角形の図心座標

S_i : それぞれの三角形の面積

n : 三角形の数

高さ情報 Z に関しては、高低差の少ない平面を選択することで、 Z 座標の平均を計算し用いた。

6. 画像基準点の取得手法

6.1 画像基準点ポリゴンの取得

本研究では、地上基準点ポリゴンと対応する画像基準点ポリゴンを高分解能衛星画像上より抽出した。田畑の輪郭を高分解能衛星画像上より目視により抽出し、白黒で二値化を行った。そして、画像基準点ポリゴンの図心を計算し、それを画像基準点として利用した。

図4は、実際に、画像基準点ポリゴンの二値化を行ったものである。

6.2 図心計算手法

画像基準点ポリゴンに含まれるピクセルの画像座標の平均値は、図心となる。画像基準点ポリゴンを構成する各ピクセルは同じ面積なので、その平均値を計

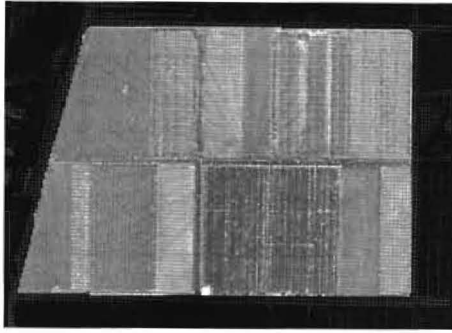


図4 画像基準点ポリゴンの二値化

算することにより図心が計算される。式2は、その図心計算式を示している。

$$U_c = \frac{\sum_{i=1}^n U_i}{n}$$

$$V_c = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n} \quad (2)$$

U_c, V_c : 図心座標

U_i, V_i : 画像基準点座標

n : ピクセルの数

7. 取得データ及び幾何補正結果

図5は、今回取得した基準点データの空間的な分布を示したものである。計15箇所のポリゴンを取得した。ポリゴンの面積は、68,735m²~9,843m²で、すべて



図5 取得基準データの分布

4,000m²以上を満足している。取得したポリゴンの図心を計算し、基準点に用いた。

取得した基準点、計15点中、8点を基準点、7点を検証点として三次元アフィン変換による幾何補正を行った。

$$u = a_1x + a_2y + a_3z + a_4$$

$$v = b_1x + b_2y + b_3z + b_4 \quad (3)$$

u, v : 画像基準点座標

x, y, z : 地上基準点座標

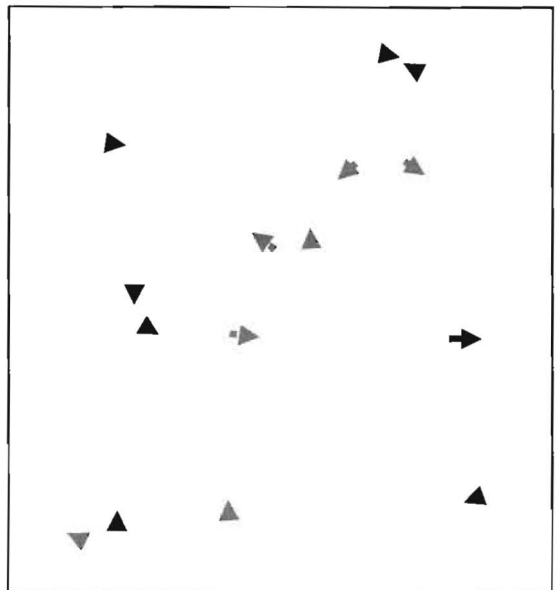
$a_1 \sim a_4$: 変換係数

$b_1 \sim b_4$: 変換係数

基準点の選定は、15点中8点の組み合わせ6,435通り

表4 従来手法の幾何補正による平均二乗誤差

平均二乗誤差	u	v	距離
基準点	0.298	0.159	0.338
検証点	0.349	0.230	0.418
全点	0.322	0.201	0.380



0 1000 2000 pixel

→ 地上基準点ベクトル誤差

⋯▶ 検証点ベクトル誤差

図6 提案手法の幾何補正結果の誤差ベクトル図

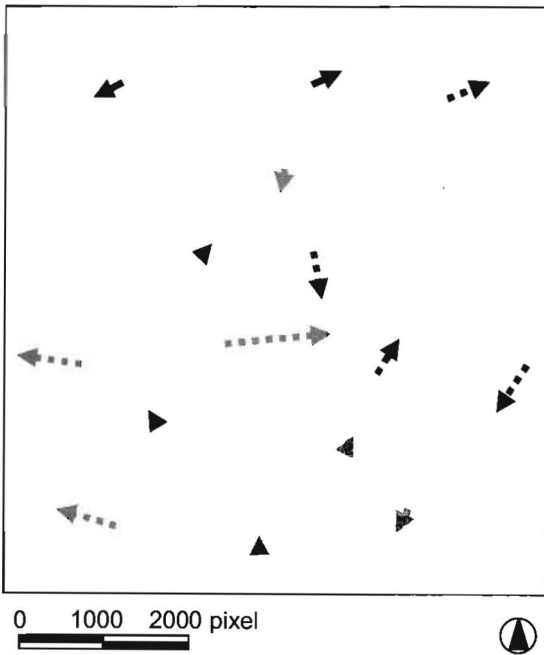
を全て行い、全15点の平均二乗誤差を評価した。その結果、平均で0.54ピクセル、標準偏差0.196ピクセルの平均二乗誤差であった。

表4は、最も誤差が少なかった組み合わせでの平均二乗誤差を表に示したものである。図6は、幾何補正結果の誤差ベクトルを図に示したものである。誤差ベクトルは500倍に拡大している。

提案手法と従来手法との比較を行った。従来手法とは、基準点取得において、地上基準点はGPSのステディック測量により点として取得、画像基準点は目視により取得したものをを用いて三次元アフィン変換により幾何補正を行ったものである。先と同様に15点の基準点のうち8点を用いて精度評価を行った。その結果、

表5 従来手法の幾何補正による平均二乗誤差

平均二乗誤差	pixel		
	u	v	距離
基準点	0.908	0.267	0.946
検証点	0.869	0.501	1.003
全点	0.878	0.458	0.990



→ 地上基準点ベクトル誤差

⋯▶ 検証点ベクトル誤差

図7 従来手法の幾何補正結果の誤差ベクトル

平均二乗誤差は平均で1.36ピクセル、標準偏差0.71ピクセルであった。表5は、最も誤差が少なかった組み合わせでの平均二乗誤差を表に示したものである。図7は、誤差ベクトルを図に示したものである。

8. 考 察

本研究では、ポリゴンの図心を基準点に用いた高精度幾何補正手法の有効性を検証した。その結果、1/4ピクセルは達成しなかったもののサブピクセルでの幾何補正が行えた。したがって、円形以外のポリゴンの図心でも、基準点として有効であるということがわかった。また、従来手法における幾何補正結果よりも高い精度で幾何補正が行えた。よって、提案手法の有効性が確認された。

本研究の提案手法が1/4ピクセルを満たせなかった原因は、まず、GPSキネマティック測量で得られた地上基準点ポリゴンに含まれる系統的誤差が考えられる。今後GPSキネマティック測量の基地局を増やす等により、高精度の地上基準点を取得しなければならない。また、画像基準点にしても地上基準点にしても、ポリゴンのトレースの際に人の手による誤差が発生したことが原因であると考えられる。よって、自動的にポリゴンをトレースすることが出来れば人の手による誤差は解決できるはずである。たとえば、自動的に基準点を取得する手法に、イメージマッチング手法がある。この場合、図心は用いないが、地上での測量成果によるCAD上でのポリゴンの形と衛星画像として撮影されたポリゴンの画像とをイメージマッチングさせることで高精度での基準点取得が期待される。

(受付日2006.11.30, 受理日2007.5.11)

参考文献

- 1) 山川 毅, Clive S. Fraser, Harry B. Hanley: 高解像度 IKONOS 衛星画像を用いた精密3次元計測, 写真測量とリモートセンシング 2/2002 vol. 41, no. 2, pp.36~43 (2002).
- 2) C.S. FRASER, H. HANLEY, 2005: Bias-Compensated RPC's for Sensor Orientation of High Resolution Satellite Imagery, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 71(8): 909-915.
- 3) 門田貴江, 中越絵里子, 高木方隆: 三次元 affine

変換による IKONOS 画像の幾何補正, 平成14年度
年次学術講演会発表論文集, 日本写真測量学会, pp.
165~168 (2002).

- 4) TAO, C.V. & HU, Y., 2001: A Comprehensive Study of the Rational Function Model for Photogrammetric Processing. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66(12): 1477-1485.
- 5) Dare P.M.; Fraser C.S., 2001: Mapping infor-

mal settlements using high resolution satellite imagery, *International Journal of Remote Sensing*, 22(8): 1399-1401.

- 6) Toutin, T., 2002. "Error Tracking in IKONOS Geometric Processing Using a 3D Parametric Model", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 68(11).