

イコノス衛星画像の位置精度について

打田 明雄, 笹原 昇: 海洋研究室

河合 晃司: 第五管区海上保安本部下里水路観測所

High-Precision Point Positioning Using IKONOS Satellite Imagery

Akio UCHIDA and Noboru SASAHARA: Ocean Research Laboratory

Koji KAWAI: Shimosato Hydrographic Observatory, 5th R.C.G. Hqs.

1 はじめに

1999年9月25日, 米国 SPACE IMAGING 社により IKONOS 衛星が打上げられた。これは, 1994年3月10日に発表された大統領令 (PDD-23) による米国政府の規制緩和に伴い, 偵察衛星による軍事技術を民生用に転用したものであり, 1999年4月27日の1号機の打ち上げ失敗を受けて2号機目として打上げられた。IKONOS 衛星画像は, 高度約680kmから地球表面を撮影し高解像度で且つ高い位置精度を保持する衛星画像として, 2000年1月から国内で一般に販売されることとなった。このことは, これまで海洋情報部では例のない高解像度衛星画像の利用の可能性を意味し, 海図作成のためのデータ取得 (島嶼等の位置決定や岸線抽出) への活用が想定された。このため, 画像から得られる情報のうち, 主として海岸線付近における位置精度について検証を行ったので報告する。

2 IKONOS 衛星及び撮影される画像について

(1) 衛星仕様

衛星名称	IKONOS-2
運用機関	SPACE IMAGING 社
打上月日	1999年9月25日
設計寿命	7年
回帰日数	11日 (直下より10度以内に戻る場合)
軌道傾斜角	98.12°
軌道の種類	太陽同期準極軌道

衛星高度 680km

撮影時刻 午前10時~11時頃

(2) 太陽同期準極軌道衛星について

太陽同期軌道と準極軌道が組合わされたもので, 太陽同期軌道は, 衛星と太陽の位置関係が同期し, 各観測地域での撮影時間があまり変わらない軌道であり, 準極軌道は, 観測地域が, 衛星の周回ごとに少しずつずれて, 何日かたつと同じ地域の上空に戻ってくる軌道となっている。

また, 搭載されている GPS, ジャイロ, スタートラッカー (恒星を利用して角度を検出する) により衛星の位置・姿勢の計測が行われており, これらの値は地上局でモニターされ, 必要に応じて補正される。

(3) センサー仕様

衛星に搭載されている撮影センサーは, リニアアレイタイプの検知素子 (CCD; charge coupled device) で, パンクロマチックで13,816個, マルチスペクトラムで3,454個の素子数となっている。また, 波長域及び地上分解能については, 第1表に示す。

第1表 撮影波長域と撮影角度による地上分解能
Table 1 Spectral Bandwidths and resolution (GSD; ground sample distance).

	波長域	地上分解能 (オフナディア角 0°, 26°)
パンクロマチック	0.45~0.90 μm	0.82m, 1.0m
青	0.45~0.52 μm	3.3m, 4.0m
緑	0.52~0.60 μm	同上
赤	0.63~0.69 μm	同上
近赤外	0.76~0.90 μm	同上

(4) 画像識別基準について

米国の IRARS (the Imagery Resolution Assessments and Reporting Standards Committee) では、画像の情報価値を判断するため、NIIRS (National Image Interpretability Rating Scales) という画像上にある地物の識別レベルにより、具体的にレベル1 (分解能 9 m を超える画像) から 9 (分解能 10cm 以下の画像) までのランク分けを行っており、IKONOS 衛星画像は、レベル 5 (分解能 0.75~1.2m) に該当する。この基準は、撮影対象別 (軍事、農業、都市など項目別) に規定されている。

(5) 提供画像

日本スペース・イメージング社が日本における画像の撮影・提供を行っており、国内画像は、処理レベルにより次の3種類の画像データが一般的に提供されている。

① デジタルジオ画像

地球の丸みやシステム特性によって生じる画像の歪みを補正する幾何補正のみを行っている。解像度は 1 m で、位置精度は保障されていない。

② デジタルオルソ・ライト画像

幾何補正に加え、地上測量による GCP (Ground Control Point, 地上基準点) と標高データ (DTM; Digital Terrain Model) により正射投影補正を行っている。解像度は 1 m で、

位置精度は $\pm 3.5\text{m}$ (1σ) とされている。

③ デジタルオルソ・エキスパート画像

幾何補正に加え、地上測量による GCP と精密な標高データ (DTM) により正射投影補正を行っている。解像度は 1 m で、位置精度は $\pm 1.75\text{m}$ (1σ) とされている。

また、他の提供画像としては、画像の解像度、色調の違いにより、1 m 解像度のパングロマティック画像、パングロマティックと 4 m 解像度のマルチスペクトル画像を組み合わせで作成した 1 m 解像度のカラー画像 (パンシャープン) がある。

なお、ステレオ画像の撮影については、試験的に実施されており、そのオーダーも可能である。

各提供画像のデータフォーマットは、標準フォーマットとして GeoTiff が使用されており、1 画素あたりのビット数は、11ビット又は 8ビットが選択できる。

3 画像の検証

3.1 画像から識別できる地物

IKONOS 衛星画像から実際に識別できる地物については、幅 1 m 以下の地物である道路上の白線 (幅 15cm)、船舶の係留索、定置網の浮き及び索等でも、コントラストがあり且つ連続性のあるものは識別が可能である。しかし、写真 1 に示すような幅 45cm で白色、黒色が交互に並ぶ横断歩道の白線は分離でき

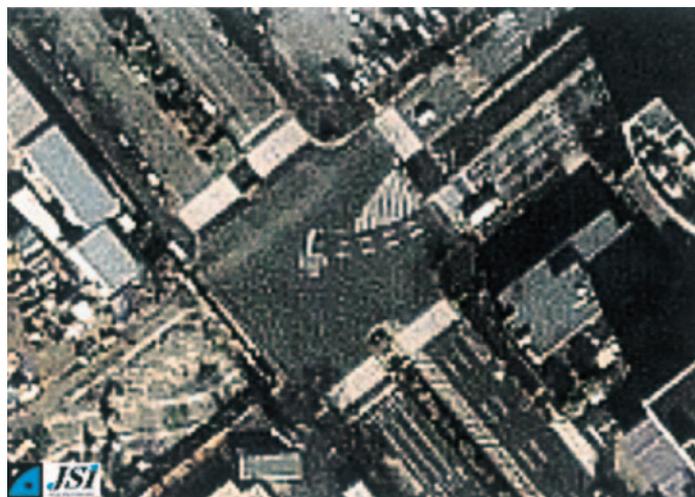


写真 1 横断歩道

Photo. 1 IKONOS satellite imagery of pedestrian crossing.

ないことから、連続性のない地物同士の識別には、それぞれが解像度以上の幅をもち、コントラストが明瞭である必要がある。

また、連続性のない幅 1 m 以下の単物標の例として、岸壁に設置された明瞭なコントラストをもつ係留ビット（幅66cm×63cm、高さ69cm、白色塗装、写真2）は、写真3に示すように極めて良好な識別が



写真2 係船ビット
Photo. 2 The mooring bit used as ground control point.

可能であり、写真4(a)に示すように画像上1画素として扱えるため、GCPと比較する点(比較評価点)として使用した。

海上でのGCP取得として使用が予測される中型測量船の撮影状況については、写真5に示すごとく、甲板上の白く塗装されたギャロス等が識別できる。

3.2 画像の位置精度

海洋情報部におけるIKONOS衛星画像の利用は、島嶼等のうち、上陸が不可能で直接GPS観測が出来ない箇所を主として対象としているため、位置精度の保証のないデジタルジオ画像を用いて、岸線付近での画像位置の抽出により検証を行った。

3.2.1 位置精度の検証に使用した画像

(1) 東京湾周辺画像(写真6)

2001年1月17日撮影された築地市場から富津岬までのパンシャープン画像(東西・南北約2~6km×40km)で、画像の座標系(準拠楕円体・投影法)は、WGS84, UTM 図法である。本画像は、平成13年度整備した画像である。

(2) 東京お台場周辺画像

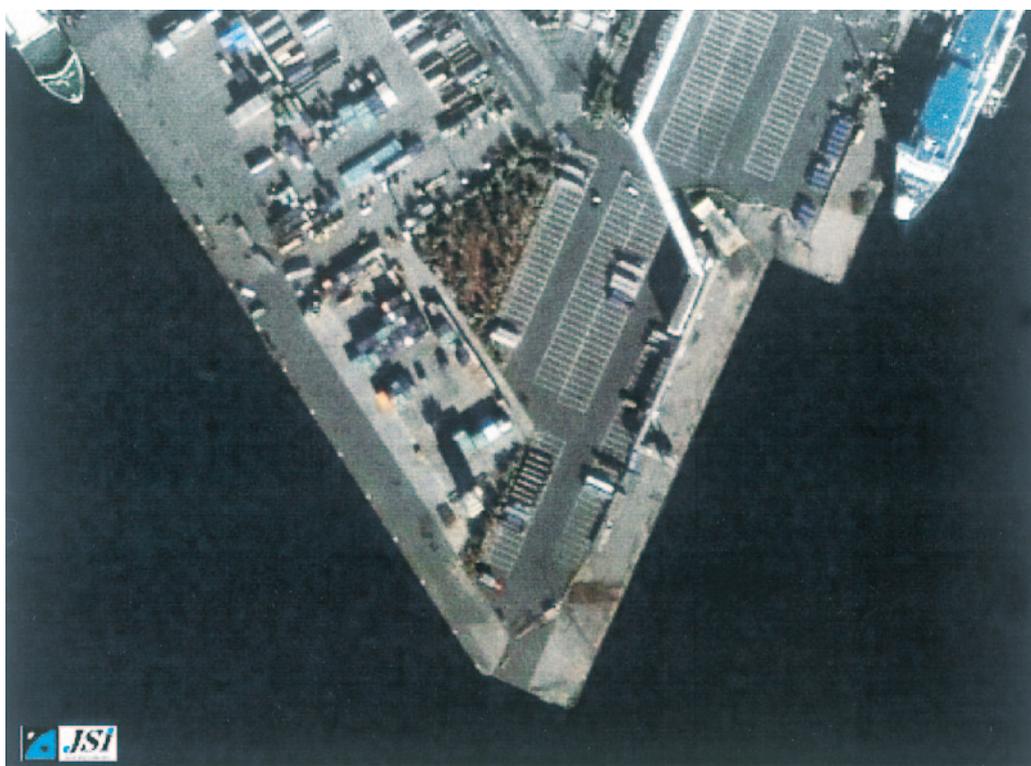


写真3 有明フェリー埠頭
Photo. 3 IKONOS satellite imagery of the Ariake ferry wharf.

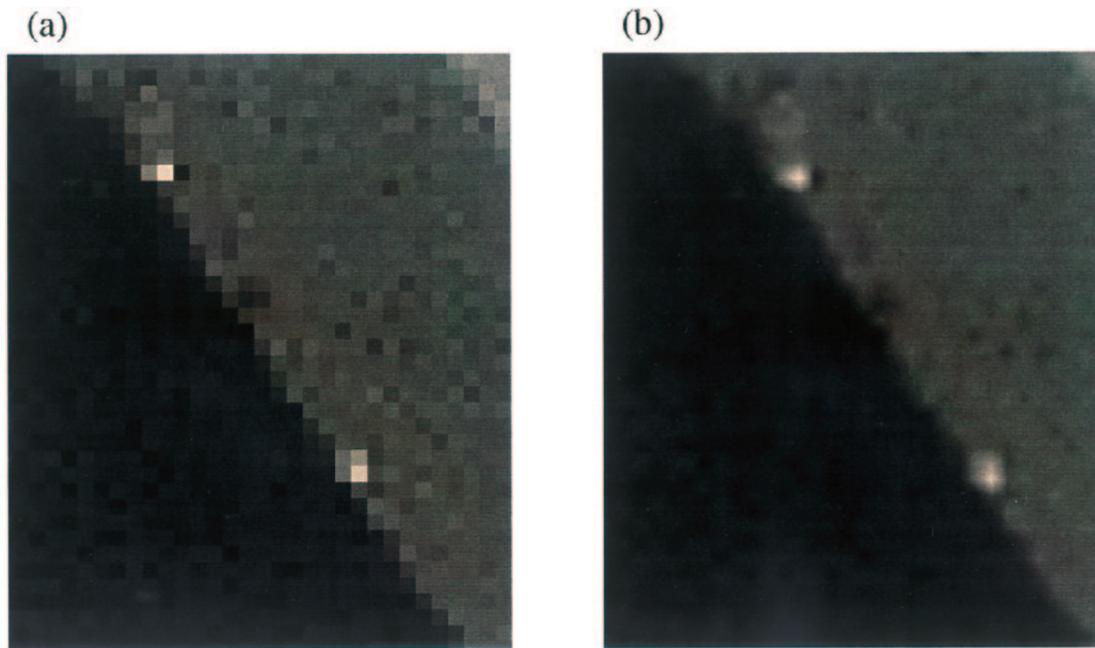


写真4 画像上の係船ビット，(a)ニアレストネイバー表示，(b)バイリニア表示
Photo. 4 IKONOS satellite imagery of the mooring bit; (a) nearest neighbor mode, (b) bi-linear interpolation mode.

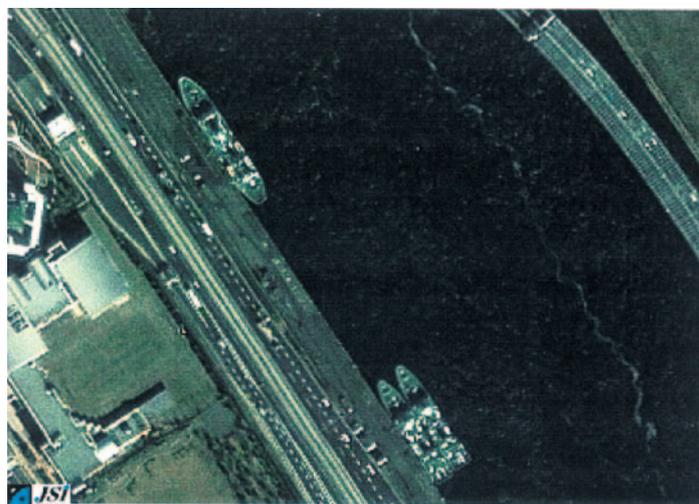


写真5 測量船「明洋」，「海洋」及び航路標識測定船「つしま」
Photo. 5 IKONOS satellite imagery of the survey vessel MEIYO and KAIYO, and the aid to navigation service vessel TSUSHIMA.

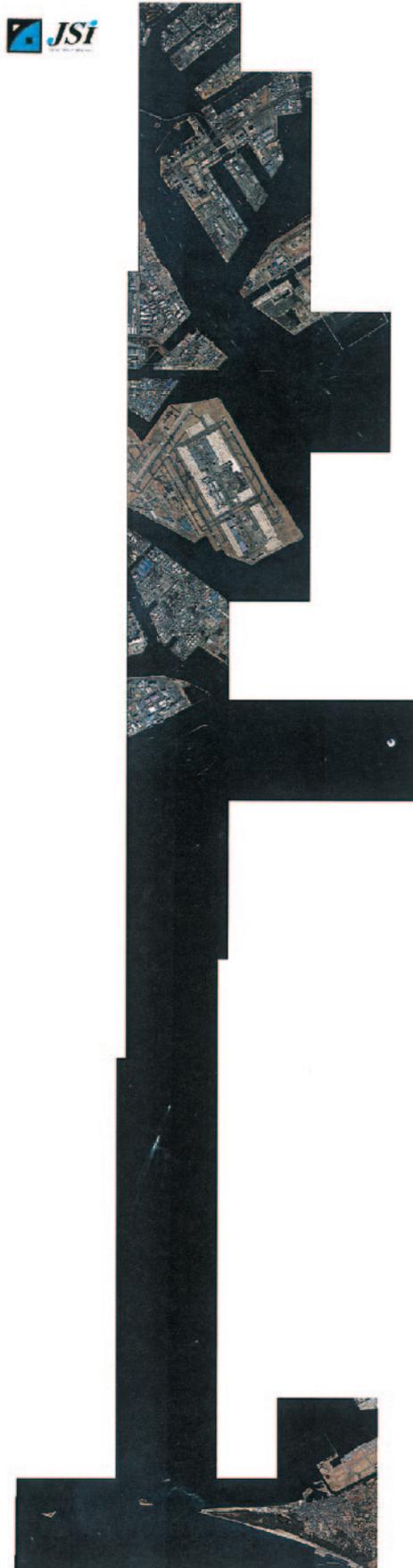


写真6 東京湾周辺画像
Photo. 6 IKONOS satellite imagery of the Tokyo Bay.



写真7 熱海・網代港周辺画像
Photo. 7 IKONOS satellite imagery of the Atami and Ajiro Harbor.

2000年3月10日撮影された東京お台場周辺を中心としたパンクロマティック画像（東西・南北約11km×11km）で、画像の座標系（準拠円体・投影法）は、WGS84, UTM 図法である。本画像は、日本スペースイメージング社の公開画像である。

(3) 熱海・網代港周辺画像（写真7）

2000年4月9日撮影された熱海港から網代港までを含む画像で、平成12年度実施されたハイドロイノベーション21に係る「衛星画像による詳細海岸線情報の整備の検討報告書」に添付されたものであり、パンクロマティック（白黒）とマルチスペクトル（青、赤、緑）の画像（東西・南北約5km×8km）である。これら画像については、詳細

は後述するが、熱海港において、100mを超える位置の差があるとともに画像全体に歪みがあり、且つ WGS84から日本測地系への変換定数が不明な画像であった。

このため、報告書は、画像の歪みを含む位置精度の悪い IKONOS 衛星画像を評価対象にして作成されている。また、この地域の画像は、2001年4月15日再度撮影されており、日本スペースイメージング社から評価地点位置の抽出のみの利用として同一区域のサンプル画像が提供された。

これらの画像の座標系（準拠楕円体・投影法）は、2000年4月9日撮影画像については Bessel, TM 図法及び同一撮影データでの WGS84, UTM 図法であり、2001年4月15日撮影画像は WGS84, UTM 図法である。

3.2.2 検証方法

東京湾周辺及び熱海・網代港画像上で、識別が容易な防波堤及び岸壁の角や係留ピット等の地物から、東京湾周辺では東京港周辺26点、富津岬周辺14点、熱海・網代港周辺では熱海港10点、網代港7点の比較評価点を選定し、現地で衛星画像と照合して GPS 受信機(Trimble4600LS)により観測を行った。

観測した GPS データの解析は、各比較評価点近傍の国土地理院電子基準点神奈川川崎 (5339-25-7403)、富津(5239-76-7602)及び網代(5239-40-4701)を基点とし、解析ソフトウェア TTC (Trimble Total Control Ver.2.50) により各比較評価点での GCP とする位置を算出した。

また、各画像からは、比較評価点とした地点の位置（緯度・経度）を、平成12年度整備したソフトウェア「衛星画像 View」及び「Remorte View」を使用し読み取った。これらの比較評価点での読み取り位置と GCP との差を求めその評価を行った。

なお、画像から位置を読み取る時の画像表示には、最も近傍の画素の濃度を選択し表示するニアレストネイバー法 (nearest neighbor mode, 写真4(a)) と周囲の4つの画素の濃度値から濃度補間を行うバイリニア法 (bi-linear interpolation mode, 写真4(b)) がある。「Remorte View」は、両機能を備えて

いるが、「衛星画像 View」での表示は、ニアレストネイバー法のみである。

3.2.3 検証結果

(1) 東京湾周辺画像

衛星画像を用いた島嶼等の位置決定を行う上での課題であった既知点 (GCP) から対象地物までの距離 (GCP として適用できる距離) の検証を、富津岬の展望台付近から築地市場南角までの東西2km南北方向約38kmの範囲内の比較評価点32点に対して実施した。その結果、第2表及び第1図に示すごとく GCP と画像の持つ位置の差のばらつきは、全域にわたり画像の分解能にほぼ等しい結果が得られている。なお、第2表中の偏差は、確率 (95%) で示した。

(2) 東京湾お台場周辺画像

第2表及び第2図に示すごとく画像上の評価地点位置は GCP から103.7度、11.5m (差の平均値) の固定的なずれがあるものの、画像の持つ位置のばらつきは、画像の分解能の範囲におさまり安定している。使用した比較評価点21点は、東西・南北約2km×4.3kmの範囲に存在する。

(3) 熱海・網代港画像

2000年4月9日撮影画像は、当初 Bessel 楕円体、日本測地系、平面直角座標系の第 VIII 系で展開された TM 図法による画像を使用した。第2表及び第3図に示すごとく画像上の評価地点位置と GCP とのずれが約100m前後であったため、同一撮影データで WGS84楕円体、WGS84測地系、UTM 図法で作成された画像を用いて再度検証した結果、位置ずれは約50m前後となった。この楕円体、測地系、図法の違いによる差は、処理過程での変換定数の誤りと考えられるが、日本スペースイメージング株式会社によれば、画像の提供開始から約1年間は米国において処理がされており、その内容は不明であった。

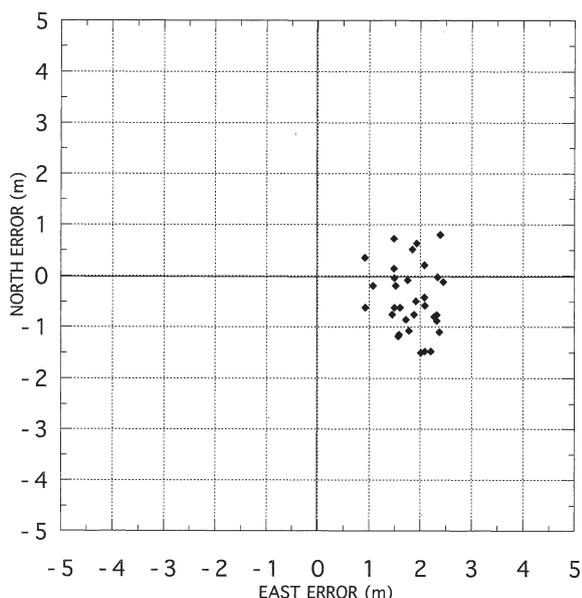
2001年4月15日撮影画像は、1年後再度同一地域を撮影したものであり、固定的なずれもほとんど無く、画像の持つ位置のばらつきは、画像の分解能の範囲に収まり安定している。

これらから、公開されている撮影データの中から

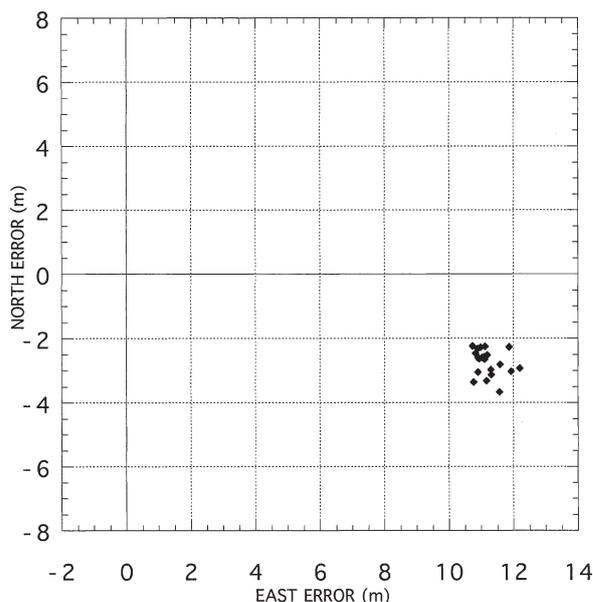
第2表 衛星画像検証結果一覧表
Table 2 Satellite imagery verification results.

	撮影年月日	衛星の仰角 (度)	図法	楕円体	比較評価点でのGCPから画像位置への方位及び距離の平均値		位置の差の平均値からの偏差(95%) (m)
					(度)	(m)	
東京湾周辺画像	2001/01/17	82.33172	UTM	WGS84	110.9	1.9	1.2
東京お台場周辺画像	2000/03/10	80.85935	UTM	WGS84	103.7	11.5	1.0
熱海・網代港画像	2001/04/15	85.75434	UTM	WGS84	335.3	1.5	0.9
熱海・網代港画像	2000/04/09	61.47433	UTM	WGS84	128.2	46.9	3.6
			TM	Bessel	126.3	98.6	3.7

東京湾周辺画像 : Source Image ID : 2001011701225620000011615818
 東京お台場周辺画像 : Source Image ID : 2000031001055430000011628935
 熱海・網代港画像 : Source Image ID : 2001041501312550000010721212
 熱海・網代港画像 : Source Image ID : 2000040901002170000011606328



第1図 東京湾周辺画像における比較評価点でのGCPと画像との位置の差
Fig.1 Error distribution of positions detected at GCPs from IKONOS satellite imagery of the Tokyo Bay.



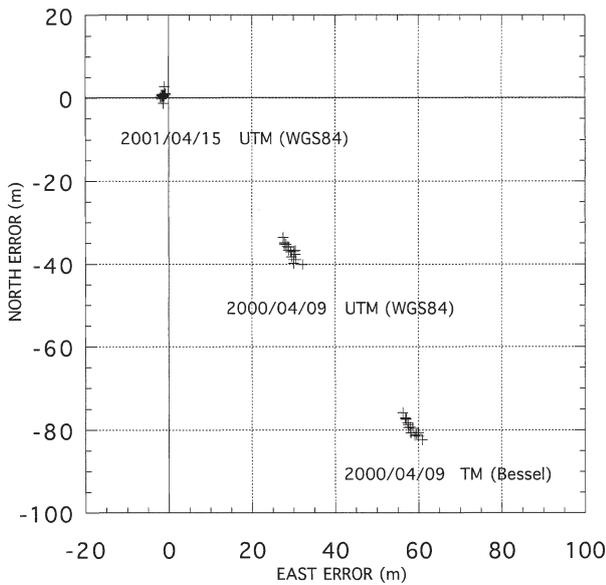
第2図 東京お台場周辺画像における比較評価点でのGCPと画像との位置の差
Fig.2 Error distribution of positions detected at GCPs from IKONOS satellite imagery of the Tokyo-Odaiba area.

位置精度に影響を及ぼすと思慮されるパラメーターのうち、撮影時の仰角に着目し、位置精度との関係を第4図に示す。

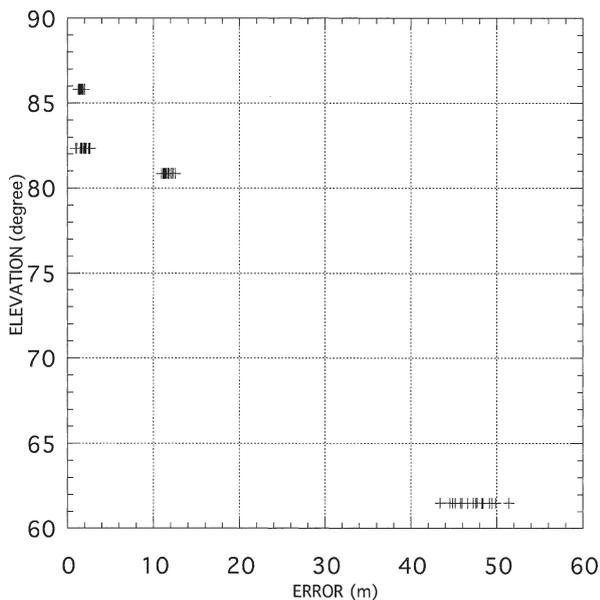
以上の結果からサンプル数は少ないが、仰角が高い画像は、デジタルジオ画像においても高い位置精

度を保持していることがわかる。

また、仰角が高い画像は、画像の歪みが無く位置精度がほぼ均一であるため、撮影時に測量船上でGPS観測を実施し画像に写し込めば、測定対象の島嶼等から約38kmまでの範囲でGCPとして画像位置



第3図 熱海・網代港画像における比較評価点でのGCPと画像との位置の差
 Fig. 3 Error distribution of positions detected at GCPs from IKONOS satellite imagery of the Atami and Ajiro Harbor.



第4図 撮影仰角と比較評価点でのGCPと画像との位置の差
 Fig. 4 The relationship between photogrammetric elevation and GCP positioning error.

の修正が可能であることを示している。なお、この距離については、さらに延びる可能性があり、その有効範囲について今後さらなる検証が必要である。

また、画像から位置を読み取る時の画像表示にバ

イリニア法で表示し読み取ったデータは、ニアレストネイバー法に比較して、読み取り値のばらつきが押さえられる傾向にある。

なお、本検証は、岸線付近での画像位置の抽出を目的としたため、比高のある陸部地域での検証は行っていない。

4 まとめ

使用した IKONOS 衛星画像のサンプル数は少ないものの、デジタルジオ画像の保持する位置精度は、極めて高いものであった。特に撮影時の仰角の高い画像は、画像全体の歪みもなく分解能まで位置精度が達する状況がみられる。今回、海岸線に注目して、その位置精度を検証したことは、比高の大きい陸部とは異なり、海面からの比高が小さい防波堤、岸壁等の箇所での検証であるため、良好な結果が得られたものと考えられる。

このため、デジタルジオ画像でも海岸線の抽出等に用途を限定すれば、十分に利用可能であると考えられる。

これらのことから、次のような利用方法が考えられる。

- (1) IKONOS 衛星画像の撮影仰角に注目し利用すれば、デジタルジオ画像から高い位置精度を持つ岸線の抽出が可能である。
- (2) 島嶼等の位置決め（岸線）には、画像の位置歪みがほとんどないので、撮影画像の中に測量船1隻を写し込み、船上にてGPSデータを取得すれば、GCPとして使用できる。

ただし、撮影は一瞬で終わるので、本船、ブイ等に複数GPS受信機を設置して、GPSデータの取得に万全を期す必要がある。

- (3) 対空設標の無い状況で撮影されたデジタルジオ画像を利用する場合、防波堤、岸壁等の人工的な構造物の角などの識別が容易な地物が画像内に存在すれば、その地物上でのGPS測量を行うことによりGCPとして利用できる。衛星画像の持つ位置精度の把握や、画像位置の修正が可能である。

5 今後の課題

海図作成のためのデータ取得としては、海面からの比高が少ない岸線付近だけではなく、島嶼等に存在する灯台等の比較的高い場所にある物標の位置の決定が必要となるが、単画像では地形の起伏に伴う歪みにより高精度に得られない。また、島嶼等の3次元地形データの抽出は、行うことができない。このため、ステレオ画像の利用が必須となるが、現状では試験的な撮影しか行われていない。

従って、新規に画像の撮影を依頼することとなるが、その経費も然る事ながら、気象等の影響により撮影時期が特定出来ないことや、海上においてGCPとして使用する測量船の運用には、調整が必要であり、撮影が完了するまで長期間の日数を要するものと思慮される。

また、今後各種の衛星画像がより容易に入手可能となると考えられることから、電子海図に採用している海図から数値化した自然岸線の更新や海上における環境保全調査、油汚染の検出、海底火山の活動度を調べるための火山性変色水の検出及び透明度の高い浅海域での海底の把握など、幅広い分野での衛星画像の利用が期待される。

6 おわりに

本報告の作成にあたり、IKONOS 衛星画像に関する情報及びサンプル画像の提供をいただきました日本スペースイメージング株式会社及び衛星画像に関する情報をいただきました方々に感謝の意を表します。

「IKONOS 衛星画像の利用に関して」

使用しました IKONOS 衛星画像の所有権及び著作権は、全て日本スペースイメージング社に帰属します。

なお、IKONOS 衛星で撮影された画像の表し方については、IKONOS 画像、IKONOS 衛星画像、IKONOS 画像データ、IKONOS 衛星画像データ、IKONOS 画像情報等が使用されているが、本報告では、IKONOS 衛星画像とした。

参 考 文 献

- Federation of American Scientists: Presidential Decision Directives [PDD], Clinton Administration 1993-2000, "PDD/NSC 23 Foreign Access To Remote Sensing Space Capabilities 10 Mar 94", <http://www.fas.org/irp/offdocs/pdd23-2.htm>.
- Federation of American Scientists: "Civil NIIRS Reference Guide March 1996", <http://www.fas.org/irp/imint/niirs.htm>.
- 福井弘道, 白田裕一郎, 吉田弘之: 高解像度 IKONOS 画像 (国内研究用) 無償配布のご案内, 写真測量とリモートセンシング, 日本写真測量学会, **41-3**, 28-29, (2002).
- 海上保安庁水路部: 「衛星画像による詳細岸線情報整備の検討」報告書, 1-69, (2001).
- Teruhisa Komatsu, Masahiro Takahashi, Kenichi Ishida, Takashi Suzuki, Hideo Tameishi: Mapping of aquaculture facilities in Yamada Bay in Sanriku Coast, Japan, by IKONOS satellite imagery, Environmental conservation and management-3, **B-3-19**, 1-4, (2000).
- 小荒井衛, 門脇利広, 渡辺信之, 松尾馨: IKONOS 画像の判読特性の整理と位置精度の検証 (中間報告), 国土地理院時報, **94**, 38-47, (2000).
- 小山覚三, 門脇利広: デジタル空中写真画像情報の GIS での利用に関する研究—デジタルオルソ画像の利用に関する検討—, APA, 財団法人日本測量調査技術協会, **75-6**, 46-55, (2000).
- 日本スペースイメージング社: 「製品のご紹介」, <http://www.spaceimaging.co.jp/seihin/seihin1.html>.
- 田中総太郎, 杉村俊郎: 高分解能リモートセンシング時代の幕開け—1999年9月24日, イコノスノ打ち上げ成功—, RESTEC, 財団法人リモート・センシング技術センター, **44**, 2-36, (2000).
- 山川毅, Clive S. Fraster, 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, 日本
写真測量学会, 41-2, 35-43, (2002).

財団法人リモート・センシング技術センター
(RESTC): 「提供している衛星データとその
特徴」, [http://www.restec.or.jp/jpn/
data/data.html](http://www.restec.or.jp/jpn/data/data.html).