

IKONOS単画像を用いた2万5千分1地形図の作成及び修正 Mapping and Revising 1:25,000 Topographic Maps using an IKONOS Single Imagery

測 図 部 飯田 洋・矢来恵美・野口真弓
Topographic Department Yo IIDA, Emi YARAI, Mayumi NOGUCHI

沖縄支所 松尾 馨
Okinawa Regional Survey Department Kaoru MATUO

要 旨

衛星画像は空中写真と比べて広範囲かつ歪みの少ない画像であり、定期的にとどこでも撮像できる等の利点がある。1999年9月に打ち上げられたIKONOS衛星は地上分解能1m(直下視で約82cm)であり、従来空中写真で行っていた地形図作成及び修正の情報源として、その利用期待が高まっている。

本稿では地球の丸みによる歪みのみを取り除いたIKONOSデジタルジオ画像を利用した2万5千分1地形図の修正と、DEM及び地上基準点を用いてオルソ幾何補正されたIKONOSデジタルオルソ・ライト画像を利用した2万5千分1地形図の作成作業の結果を報告する。

IKONOSデジタルジオ画像を利用した2万5千分1地形図の修正は、IKONOS画像を地形図編集ソフトウェアVRCの背景画像として取り込み、新設道路などの変化部を単画像図化するという方法で行った。この成果とステレオ空中写真を用いて図化した成果とを比較した結果、精度的に2万5千分1地形図の修正にIKONOSデジタルジオ画像を用いることが可能であることを確認した。

一方、IKONOSデジタルオルソ・ライト画像を利用した2万5千分1地形図の作成は、上述の方法と同様にまずIKONOS画像をVRCの背景画像として取り込み、道路や建物等の判読できる地物を管面上で単画像図化するという方法で行った。2万5千分1地形図図式で規定される地物の内、どの地物が図化可能でどの地物が図化不可能であるかの判読性の検討を行うと同時に、現地実測値とIKONOS画像にあらかじめ付加されている座標値とを比較し、水平位置精度の検証も行った。その結果、等高線情報や一部地物を除き、IKONOSデジタルオルソ・ライト画像を用いることにより、新規に2万5千分1地形図の作成が可能であることを確認した。

1. はじめに

国民の安全・安心を確保するための国土管理を効率的・効果的に行うには、基礎となる空間データ基盤を迅速に整備する必要がある。

2万5千分1地形図の作成・修正には現在、空中写真

を用いているが、道路の新設など部分的な変化情報を迅速かつ低コストで地形図に反映することや、北方四島のように現地の空中写真撮影が困難な場合は、衛星画像等の他の情報源を利用することが有効かつ効率的であると考えられる。国土地理院ではこれまでに地上分解能10mのSPOT衛星画像を用いた10万分1地形図「島原半島」の試作(小白井・渡辺, 1993)及び北方四島5万分1地形図の修正(荻野, 1993)、地上分解能8mのADEOS衛星画像を用いた2万5千分1地形図の修正(齋藤・福島, 1997)などを行っているが、分解能が粗いために図化可能な地物が限られる等、実用的に2万5千分1地形図の作成及び修正作業に用いるには至っていない。

一方、1999年9月に地上分解能82cm(直下)のIKONOS衛星が打ち上げられた後、2001年10月には地上分解能61cm(直下)を持つQuickBird2号衛星が打ち上げられ、いよいよ本格的な高分解能衛星の時代に入るといえる。これらの衛星画像は従来の空中写真と比べて広範囲かつ歪みの少ない画像であり、定期的にとどこでも撮像でき、地表の詳細な情報を得るのに十分な分解能を有しているため、2万5千分1地形図の作成及び修正作業への情報源として、その利用が期待されている。

国土地理院はIKONOS画像の日本総代理店である日本スペースイメージング株式会社と共同研究を行い、同社から提供を受けた画像において、判読特性及び位置精度の検証について中間報告を行っている(小荒井ほか, 2000)。それによると、道路上に白ペンキで書かれた90cm×40cm程度の標識の間隔が分解能の2倍以上ある時は判読できること、近赤外波長域の情報を使うことにより植生の判読が容易になること、IKONOSステレオペア画像より作成した27m間隔のDEMを用いて作成したオルソ画像の水平位置精度検証結果等が報告されている。しかしながら今まで通常の製造工程で作成・提供されているIKONOS画像の評価を行ったことはなかった。

本稿では、通常の製品として販売されているIKONOSデジタルジオ画像(地球の丸みによる歪みのみを取り除いた画像、以下「ジオ画像」という。)を利用した2万5千分1地形図の修正及びIKONOSデジタルオルソ・

ライト画像（デジタルジオ画像をDEM及び地上基準点を用いてオルソ幾何補正した画像，以下「ライト画像」という。）を利用して2万5千分1地形図を作成し，判読性及び水平位置精度の検証を行い，これらの画像が2万5千分1地形図の修正及び作成にどの程度適用可能であるかの判断を行ったので報告する。

2. 使用したデータ

2.1 IKONOS衛星仕様

IKONOS衛星及びセンサの主要な仕様を表-1に記す。

2.2 衛星画像

本研究で使用したIKONOS衛星画像については，以下の通りである。なお，2万5千分1地形図の作成作業は，山地部及び平野部を対象に計2地区について行った。ここで衛星位置とは，撮影された地上位置に対する衛星の位置を真北方向からの東回りの角度で示したものである。なおオルソ画像を作成したときのDEMや地上基準点，作成アルゴリズム等の情報はデータプロバイダから開示されていない。

1) 2万5千分1地形図の修正作業に用いた画像

製品内容：IKONOS デジタルジオ画像
 対象場所：東京都新島地区
 データ取得日時：2000年12月15日
 種類：パンシャープン
 ポインティング角：13.1度
 衛星位置：134.4度
 地上撮影時の分解能：(Cross)0.85m，(Along)0.85m
 製品分解能：1m

2) 2万5千分1地形図の作成作業に用いた画像

a) 山地部

製品内容：IKONOS デジタルオルソ・ライト画像
 対象場所：長崎県島原地区
 データ取得日時：2000年1月27日
 種類：パンシャープン
 ポインティング角：14.2度
 衛星位置：140.1度
 地上撮影時の分解能：(Cross)0.85m，(Along)0.86m
 製品分解能：1m

b) 平野部

製品内容：IKONOS デジタルオルソ・ライト画像
 対象場所：熊本県荒尾地区
 データ取得日時：2001年10月3日
 種類：パンシャープン
 オフナディア角：21.6度
 衛星位置：175.4度
 地上撮影時の分解能：(Cross)0.87m，(Along)0.94m
 製品分解能：1m

表-1 IKONOS衛星及びセンサ仕様

運用機関	SPACE IMAGING社(米国)
打ち上げ	1999年9月25日
設計寿命	7年
回帰日数	11日(直下より10度以内に帰る場合)
軌道傾斜角	98.12°
軌道種類	太陽同期準極軌道
衛星高度	680km
撮影時刻	午前10時~11時頃(現地時間)
センサタイプ	リニアアレイ
素子数	パンクロマチック(13,816) マルチスペクトル(3,454)
波長域	パンクロマチック：0.45~0.90µm 青：0.45~0.52µm 緑：0.52~0.60µm 赤：0.63~0.69µm 近赤外：0.76~0.90µm
走査方向	東西方向，南北方向等直線的走査
地上分解能	パンクロマチック： 0.82m(直下) 1.0m(オフナディア角26°) マルチスペクトル： 3.3m(直下) 4.0m(オフナディア角26°)
撮影幅	11.3km(直下) 13.8km(オフナディア角26°)
ポインティング角	45°まで
量子化ビット数	11ビット

(日本スペースイメージング株式会社ホームページよりまとめた)

3. 研究方法

3.1 ジオ画像を用いた2万5千分1地形図の修正

ジオ画像はライト画像と比べてオルソ幾何補正はされていないが，安価であること(約1/3)，納期が短いこと(約1/3)等の利点がある(表-2)。本研究では部分的な修正に同画像が適用可能であるか検証した。

表-2 IKONOS画像の価格と納期

	価格(1km ² あたり)	納期
ジオ画像	7,000円	10日以内
ライト画像	20,000円	30日以内

(日本スペースイメージング株式会社ホームページよりまとめた。ここで価格は1m解像度パンシャープン画像，ライセンス形態として一般ユーザーの場合である。また納期はライブラリ画像の場合である)

地形図修正作業方法を，下記に詳述する。

1) 国土地理院で使用している地形図編集ソフトウェア(VRC)にジオ画像を背景画像として取り込んだ。位置あわせには，標高値が比較的同じ地点を地上基準点と

して使用した(図-1)。本作業では7点使用している。またVRCに取り込むために8ビットモノクロ画像に変換した。

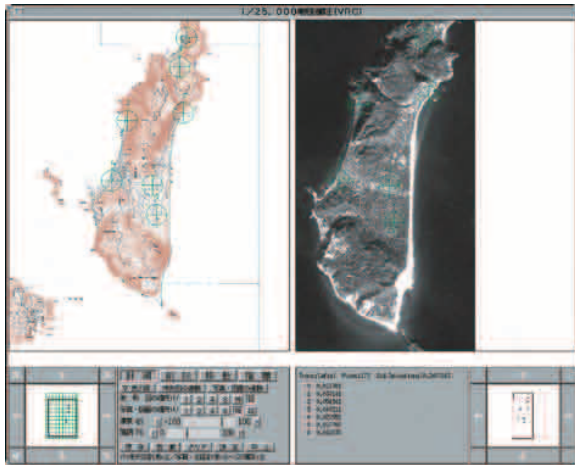


図-1 VRCへのIKONOS画像の取り込み

2) 取り込んだジオ画像の平行移動を行い、修正を行いたい地物のそばにある、2万5千分1地形図に既に図化されている道路など、位置が判っている地物と画像中で認識できる地物を重ねあわせる(図-2)。

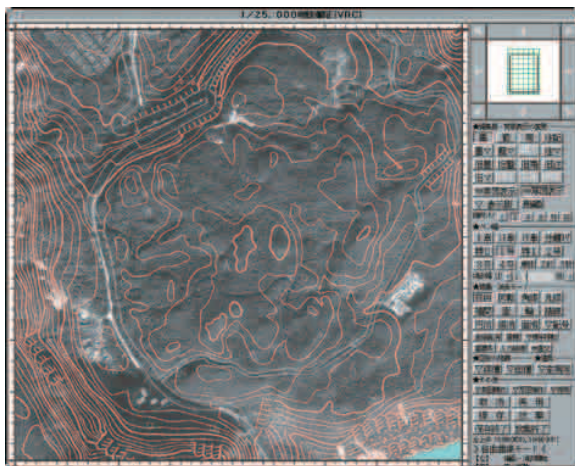


図-2 IKONOS画像と既存地物との位置あわせ

- 3) ジオ画像を参照画像として、新設道路や新たに建築された構造物などの変化部を単画像図化する(図3)。
- 4) これと並行して空中写真を用いて、デジタルフォトグラメトリックワークステーション(DPW)で3)で単画像図化した同一地物について図化する(図-4)。
- 5) DPWで図化した変化部情報を正解データとして、VRC上で単画像図化した変化部情報とを比較し、水平位置精度の検証を行う。

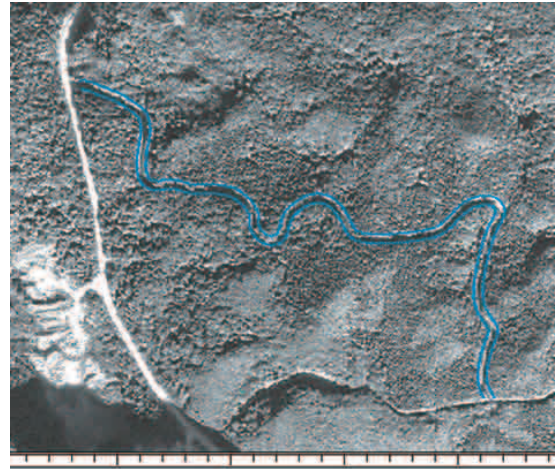


図-3 新設道路の単画像図化

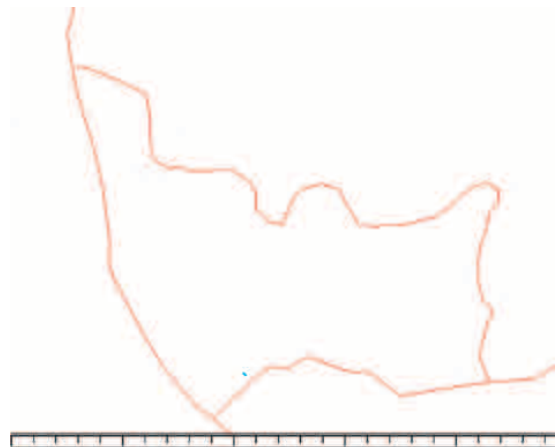


図-4 DPWで行った新設道路の図化

3.2 ライト画像を用いた2万5千分1地形図の作成

IKONOS デジタルオルソ画像には、公表精度±3.5mのIKONOS デジタルオルソ・ライト画像と、公表精度±1.75mのIKONOS デジタルオルソ・エキスパート画像の2種類があるが、2万5千分1地形図の精度及び費用の観点から、本研究ではIKONOS デジタルオルソ・ライト画像を使用した。対象地域は比高差のある山地部として長崎県島原地区を、比高差の小さい平野部として熊本県荒尾地区を選定した。上記2地区において、約1~1.5km²の地域についてライト画像を用いてVRC上で単画像図化を行い、地形図の作成を行った。この時、2万5千分1地形図図式における図化対象地物について、どのような地物が判読可能であり、どのような地物が判読不可能であるかの調査を行った。なおオルソ画像であるために等高線の情報は取得できない。併せて画像中で明瞭に識別できる白線の角等の位置について、画像計測値と実測値とを比較し、水平位置精度の検証を行った。研究方法の詳細を以下に記す。

1) 2万5千分1地形図の作成

IKONOS画像から図化対象地域を切り出し、VRCの背景画像に取り込んだ。本研究では島原地区約1km²、荒尾地区約1.5km²を研究対象地域とした。なおVRCに取り込むために8ビットモノクロ画像に変換した。管面上で必要に応じて拡大、縮小を行い、昭和61年2万5千分1地形図図式で規定されている地物について、判読できる物を単画像図化した。その際、カラー情報を利用するために普通紙に出力して参照画像として利用した。図化作業を行った後、刊行図との比較及び現地調査を行い、判読可能な地物及び不可能な地物についての整理を行った。

2) 水平位置精度検証

使用したIKONOS画像のフォーマットはGeoTIFF形式であり、画像自体に座標値情報が付加されている。駐車場にひかれている白線の角等、IKONOS画像上で位置を特定できる場所(図-5)を、画像処理ソフトウェア上で適当な大きさに拡大した後に、管面上で座標値の計測を行った。また同一地点を現地においてGPS測量機を用い実測した。画像計測に際しては、実測を行った2名が行い、それぞれ2回計測し、平均値をとった。本研究では島原地区7地点、荒尾地区5地点について計測を行った。



図-5 画像計測を行った駐車場白線の一例

4. 結果及び考察

4.1 ジオ画像を用いた2万5千分1地形図の修正

ジオ画像は、地球の丸みによる歪みのみを取り除いているだけで、投影による歪みは取り除いていないので、水平位置の精度保証はされていない。しかしながら、航空機で取得する空中写真と比べて、人工衛星は軌道及び姿勢が安定しており、また高高度から撮像しているので、画像中の投影による歪み量はポインティング角及び投影

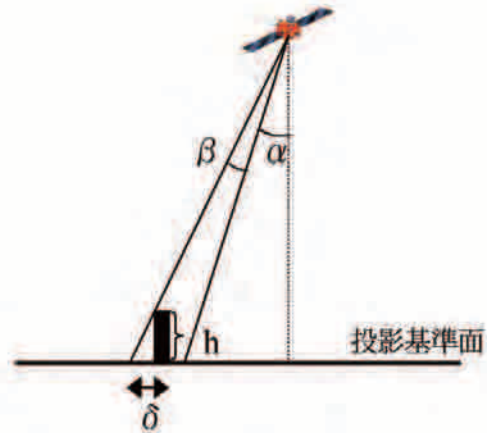


図-6 地物の投影による歪み

基準面がわかれば概略値を知ることができる。図-6にポインティング角 α 、画像中心から地物までを衛星から見込む角度を θ とした時の、地物(投影基準面に対し比高 h)とこの地物の投影による歪み量 δ との関係を示す。

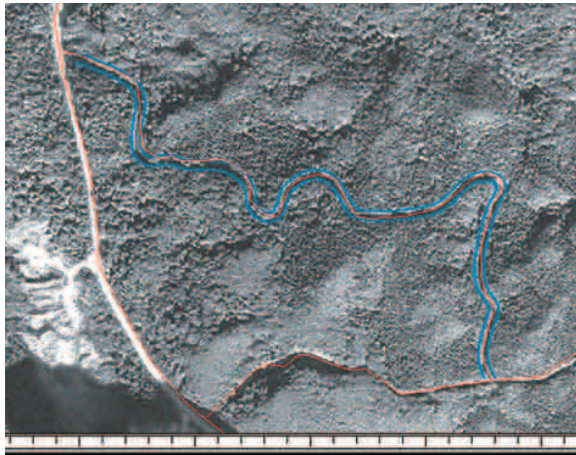
衛星画像において、投影基準面に対する比高 h の地物の投影歪み量 δ は、センサによる歪みや大気の影響等を無視すると、 $\delta = h \cdot \tan(\alpha + \theta)$ で表すことができる。ここで δ の最大値は、地物の高さが等しいときは、起伏が特に大きくない地域においては衛星から見て一番遠方端の画像上に存在する地物の歪みと等しい。この時の見込み角 α は走査角の半分なので、直下の観測幅が11.3km、衛星高度が680kmであることより、 $\tan \alpha = (11.3/2)/680$ の関係が成り立ち、約0.5°であることが解る。本研究で使用したジオ画像は $\alpha = 13.1^\circ$ の条件で撮像されており、これらを代入すると、歪み量の最大値は $\delta_{MAX} = 0.24 \times h$ となる。

一方、基本図測量作業規程においては平面位置精度として、図上0.7mm(標準偏差)と定めている。これは2万5千分1地形図において17.5mである。今回の研究で使用するIKONOS画像においてこの精度を保つためには、 $0.24 \times h \leq 17.5$ である必要がある。すなわち h 約73mとなる。これは比高差約70m以内の領域にある地物に関しては、相対的な投影歪み量が基本図測量作業規程に定められた範囲内にある事を示す。つまりこの領域内にある地物に関しては、既存の道路など、位置が判っている地物にIKONOS画像をあわせることにより精度が保証され、変化部の修正作業を行うことができる。図-7に本手法で図化した新設道路の一例を挙げる。

この新設道路は直線距離で約600mあり、標高約160mから約200mの比高約40m以内の領域に存在している道路である。すなわち上述した比高差約70mの制限内にあるので、比高による投影の相対的歪み量は基本図測量作業規程内におさまると考えられる。実際に管面上で確認した結果、DPWで図化した道路中心線はIKONOS画像を用いて図化した道路内に含まれていた。VRC上では1車線道路は線も含めて図上0.5mmの幅を持っている

ので、この道路内におさまっていることは、両手法で得られた道路中心線の最大の位置ずれが図上0.25mm以内におさまっていることを示している。これは許容位置誤差内に充分におさまっている。

また本手法を、上記道路と別の場所に新設された道路で行った例を図 - 8 に示す。



— VRCでの単画像図化結果
 — DPWでの図化結果(道路中心線)
 目盛は図上1mm(2万5千分1地形図で25m)
 図 - 7 両手法で図化した新設道路の比較(1)



(凡例は図 - 7と同じ)
 図 - 8 両手法で図化した新設道路の比較(2)

この新設道路は直線距離で約1.5kmあり、標高約370mから約400mの比高約30m以内の領域に存在している道路である。この道路も比高差約70mの制限内にあるので、比高による投影の相対的歪み量は基本図測量作業規程内におさまると考えられる。実際に管面上で確認した結果、前例と同様にDPWで図化した道路中心線は

IKONOS画像を用いて図化した道路に含まれていた。

これらの結果よりジオ画像を用いた2万5千分1地形図修正の可能性が示されたといえる。

しかしながら、IKONOS画像を平行移動して地形図中の地物にあわせる工程では、一方向に伸張している地物であわせるのではなく、できるだけ広い範囲をあわせる等の工夫を行わないと、図 - 9 に示したように、平行にずれが生じてしまうという可能性もある。

図 - 9 では、DPWで図化した道路中心線がVRC上で図化した道路の下線にほぼ重なっている。これはIKONOS画像の平行移動をする際に、縦方向の道路を参考に位置あわせを行った結果、DPWで図化した道路と、VRC上で図化した道路に上下方向の平行ずれが生じた為であると考えられる。精度的には問題はないが、このような誤差は防ぎ得るので、平行移動時には広い範囲で位置あわせをする等の注意が必要である。



(凡例は図 - 7と同じ)

図 - 9 平行なずれが生じた例

4.2 オルソ画像を用いた2万5千分1地形図の作成

本研究で作成した2万5千分1地形図の内、長崎県島原地区を図 - 10 に熊本県荒尾地区を図 - 11 に示す。地物の判読性の整理及び画像の水平位置精度の検証結果について以下に示す。

1) 2万5千分1地形図の作成

分解能が1mでなおかつカラー画像ということもあり、全体的にかなり判読性は良好である。表 - 3 に本研究で図化した両地区において、昭和61年2万5千分1地形図図式で規定されている地物について、判読の可否をまとめた。

建物は一軒一軒判読でき、また形状も把握できるので、2万5千分1地形図より大縮尺の地形図にも適用可能であると思われる。

道路についても現地調査で小型車がやっと通れるような幅員2m程度の道路でも図化可能であった。ただし歩道を判読するのは困難であった。また影の関係で建物と道路の境界が一部不明瞭な所もあった。また1カ所荒地(雑草地)を道路と認識してしまった箇所もあった(図 - 12)。

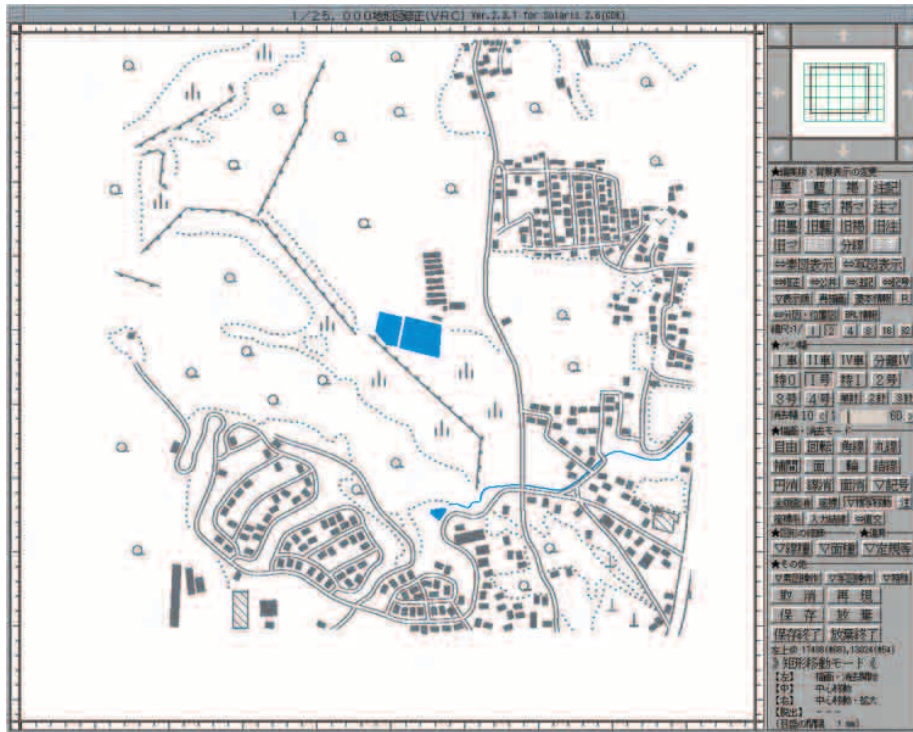


図 - 10 2万5千分1地形図 - 島原地区 (1目盛が25mに相当)



図 - 11 2万5千分1地形図 - 荒尾地区 (1目盛が25mに相当, 背景にIKONOS画像を示した)

河川についても形状や色, 護岸構造物により川幅がかなり狭くても図化可能であると判断した。

墓地は細かい地物が並んでいるという特徴的な形状より図化可能であった (図 - 13)。

一方, 送電線や高塔 (鉄塔) のように判読できない物も存在した (図 - 14)。特に高塔は実体視すれば確実に判読できると思われ, オルソ画像のみによる単画像図化では他の資料と併用するなどの工夫が必要である。植生



図 - 12 道路と誤認した荒地
(現地写真とIKONOS画像 - 矢印)



図 - 13 IKONOS画像中で判読できた墓地(丸印)



図 - 14 判読できなかった鉄塔
(現地写真及びIKONOS画像 - 印内)

判読に関しては作業者の熟練度に左右されると考えられる。本研究と同仕様の画像を用いて針葉樹林、広葉樹林を判読できるという報告もあるが(衛星リモートセンシ

ング推進委員会空間データワーキンググループ, 2002), 本研究では明確には区別できなかった。

山地部, 平野部の相違による情報取得に関する難易度の差は特にはなかった。しかしながら平野部における住宅密集地においては, 個々の建物が小さいことや建物間の隙間が狭いこと等より情報を取得するには注意が必要であると感じられた。

以上のように, 実体視によらない単画像図化であってもかなりの情報量が取得できる事が確認された。

2) 水平位置精度検証

小荒井ほか(2000)によると, 共同研究で提供された27m間隔DEMで作成したオルソ画像(公表精度: RMSE(1)で1.5m)において, 空中写真による図化データを真値として111地点で位置精度の検証を行ったところ, 東西方向の残差は最大5.1m, RMSE(1)=0.94m, 南北方向の残差は最大3.0m, RMSE(1)=0.73m, 方向ベクトルにするとRMSE(1)=1.19mという結果を得ており仕様を満たすことが確認されている。

今回の研究では, 通常の製品として販売されているライト画像を用いて, 同様に水平位置精度の検証を行った。島原地区7点及び荒尾地区5点について, IKONOS画像における地物の画像計測値と実測値とのずれを図-15及び表-4に示す。

図-15から, 島原地区では実測値に対して画像計測値が東及び北方向へずれている一方で, 荒尾地区では北方向のずれが顕著であることがわかる。

ライト画像を作成するときに使用したDEMや地上基準点, アルゴリズム等が開示されていないため, このずれの理由は不明であるが, 地区毎のずれの方向は一様であり, オルソ画像作成過程において幾何学的歪みを充分に取り除き切れていない可能性が考えられる。

次に標高値とずれ量の関係について図-16に示す。荒尾地区において, 標高が大きくなるとずれ量が減少するといった相関があるように思われる。しかしながらサンプル数も少ないこともありはっきりとした傾向は示していない。ポインティング角が大きいとオルソ画像を作成する基準となる画像自体の投影歪みは大きくなるが, 本研究ではむしろポインティング角の大きい荒尾地区の画像の方がずれは小さかった。

ライト画像の水平位置公表精度は3.5mであるが, 本研究では1地点を除き全てこの精度内におさまっている。基本図測量作業規程においては平面位置の精度(標準偏差)として図上0.7mm以内(2万5千分1地形図の場合, 17.5m)としている。描画誤差を勘案しても本研究で使用したライト画像は2万5千分1地形図を作成する情報源として十分な精度を有していると考えられる。

5. まとめ

本研究では, 市販されているジオ画像を用いた2万5

表 - 3 地物の判読結果

判読可能であった地物	コメント	判読不可能であった地物	コメント
水涯線・河川	周辺とのコントラストより判読可能	道路橋 (道路をまたぐもの)	道路と道路の交差なので色調差が乏しく判読が難しい
池	容易に判読可能		
道路(幅員 1.5m 以上)	歩道の判読は困難。影の関係で建物と道路の境界が一部不明瞭な所もあった	高塔	高塔かどうかの判読が難しい
庭園路	容易に判読可能	送電線	判読できなかった
鉄道	線状地物であり容易に判読可能	土がけ	高さの情報がないので空地と誤認しやすい
駅	鉄道に隣接しているため容易に判読可能	針葉樹・広葉樹	判読者の経験が必要。今回は判読できなかった
独立建物(大・小)	建物 1 軒 1 軒を判読できたが、密集地では不明瞭なところもある。		
建物類似の構造物 (側壁のない建物 - 競馬場スタンド)	特徴的な形状をしているため容易に判読可能		
へい	周辺とのコントラストより判読可能		
植生界	植生間のコントラストより判読可能		
田	容易に判読可能		
畑	容易に判読可能		
空地	道路と誤認したところもあったが、判読可能		
墓地	細かい地物が並んでいる特徴的な形状より判読可能		

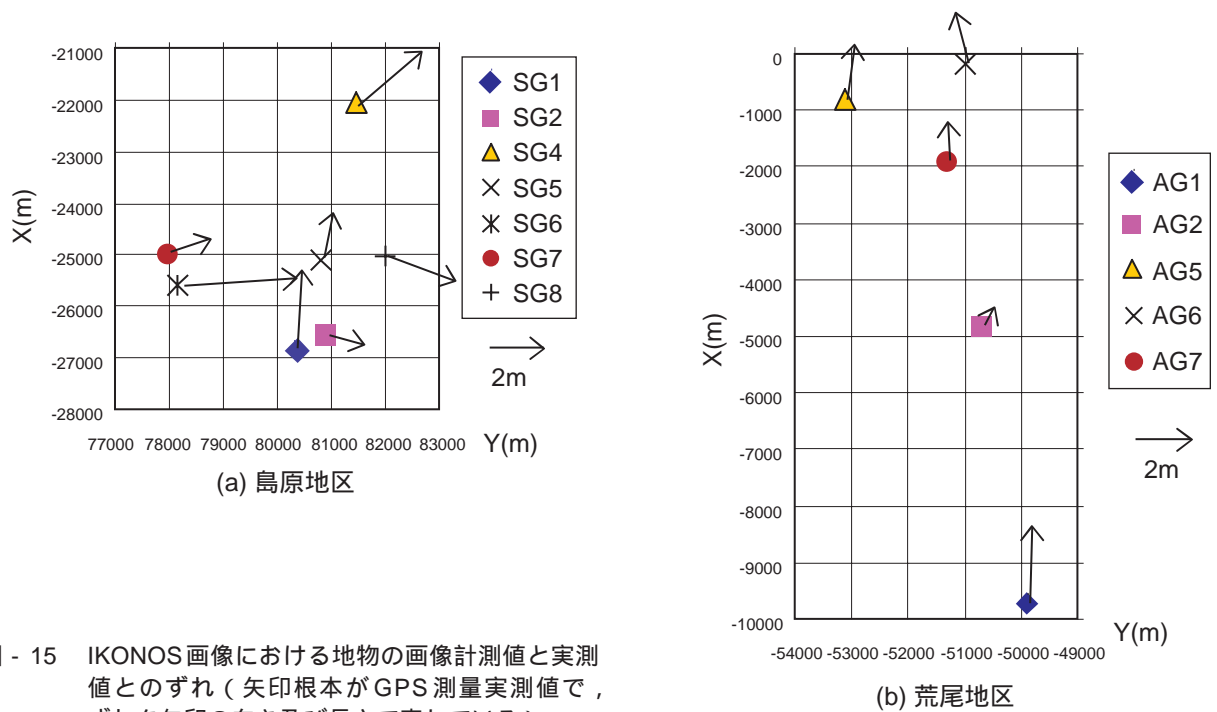


図 - 15 IKONOS 画像における地物の画像計測値と実測値とのずれ(矢印根本がGPS測量実測値で、ずれを矢印の向き及び長さで表している)

表 - 4 画像計測値と実測値のずれ
(実測値 - 画像計測値)

地区	地点名	X (m)	Y (m)	ずれ (m)
島原	SG1	-2.92	-0.17	2.93
	SG2	0.33	-1.25	1.30
	SG4	-2.03	-2.36	3.11
	SG5	-1.70	-0.32	1.73
	SG6	-0.29	-4.17	4.18
	SG7	-0.48	-1.45	1.53
	SG8	0.92	-2.49	2.66
	荒尾	AG1	-2.83	-0.05
AG2		-0.66	-0.33	0.74
AG5		-2.00	-0.21	2.01
AG6		-1.82	0.49	1.89
AG7		-1.39	0.11	1.40

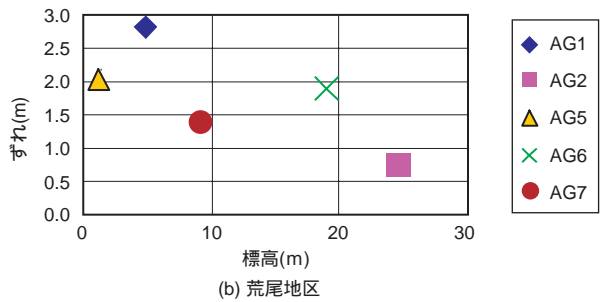
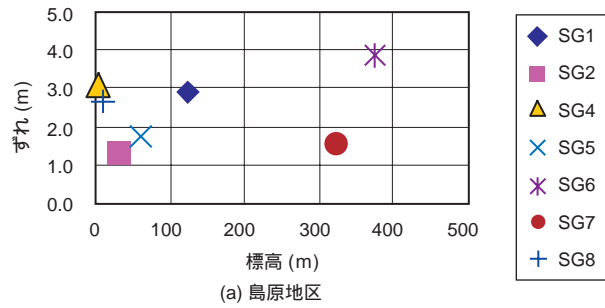


図 - 16 標高とずれ量との関係

千分1地形図の修正, ライト画像を用いた2万5千分1地形図の作成を行った。

ジオ画像を用いた2万5千分1地形図の修正では, オルソ幾何補正されていないジオ画像でも, 比高差が少ない一定の領域内においては相対的な投影歪みが小さいので, 十分な精度を持って修正が可能であることが判った。

ライト画像を用いた2万5千分1地形図の作成では, 高塔や送電線等, 一部地物については判読できない物もあったが, 全般的に判読性は良好であった。単画像であっても高分解能であること, カラー画像であることにより, かなりの情報を取得することができる。また水平精度も, 2万5千分1地形図を作成する際に基本図測量作業規程で示される精度(図上0.7mm)を満たすことができる位置精度を十分に有しており, これらを総合的に判

断すると, 高さ情報を除けば同画像を用いて2万5千分1地形図を新規に作成する可能性が示された。

今後の課題としては, オルソ画像では高さ情報が得られないため, IKONOSのステレオペア画像を用い, 高さ情報の取得及びその精度検証を行う必要がある。併せて同画像を用いて地物を図化したときの水平位置の精度検証, 及び本研究では判読性に難があった高塔や送電線等の地物について, ステレオ視することにより取得できるかどうかを検証することも必要である。

参考文献

衛星リモートセンシング推進委員会 空間データワーキンググループ(2002), 「高解像度衛星画像による地物の判読可能性」
 荻野喜助(1993), 「衛星画像による北方四島5万分1地形図の修正について」, 国土地理院時報, No.77, pp.61-66.
 小荒井衛, 門脇利広, 渡辺信之, 松尾馨(2000), 「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, No.94, pp.38-47.
 小白井亮一, 渡辺信之(1993), 「SPOT衛星画像を用いた縮尺1/100,000地形図作成の試み」, 日本写真測量学会平成5年度年次学術講演会論文集, pp.133-138.
 齋藤秀勝, 福島芳和(1997), 「1:25,000地形図の衛星画像を用いた更新技術に関する考察」, 日本写真測量学会平成9年度秋季学術講演会論文集, pp.87-90.
 日本スペースイメージング株式会社HP, <http://www.spaceimaging.co.jp/>