

IKONOS画像の判読特性の整理と位置精度の検証（中間報告）

Interpretation Characteristics of IKONOS Imagery and its Coordinate Accuracy Validation

測図部 小荒井衛・門脇利広・渡辺信之・松尾馨

Topographic Department Mamoru KOARAI, Toshihiro KADOWAKI,
Nobuyuki WATANABE, Kaoru MATSUO

1. はじめに

1980年代後半に東西冷戦構造が崩壊したことに伴う米国の国防予算の削減が、軍事技術の民需転用による新規事業展開の模索を促すこととなった。1994年、米国政府の規制緩和により、偵察衛星技術を民生用に転用した商業ベースの地球観測衛星事業を許可する大統領令が発表された。偵察衛星技術を転用した地球観測衛星が認められたことに伴い、1994年、偵察衛星関連技術分野で高い技術と長年の経験を持つ米国最大手ハイテク企業ロッキードマーティン社及びレイシオン/Eシステム社が合併で、商用高分解能衛星の打ち上げと、全世界への画像データ提供を行う事業会社Space Imaging（スペース・イメージング）社（以下「SI社」と言う。）を設立し、1999年9月25日に世界で初めて、商業ベースで1mクラスの地上分解能を有する衛星として、IKONOSが打ち上げられた。

その後SI社における衛星本体及びセンサの検証作業が終了し、簡単な幾何補正のみをした「デジタルジオ画像」と、地図と同様に正射投影された「デジタルオルソ画像」の提供が行われている。本稿では、「デジタルジオ画像」と「デジタルオルソ画像」は、一般名ではなくSI社の提供する商品名として使用することとする。

衛星画像を含むデジタル画像データは、国土空間データ基盤の一つとして位置付けられており、画像データのGIS分野への適用の期待が高まっている。特に高分解能衛星画像については、今後IKONOSの他にも、Quick BirdやOrb Viewなど1m分解能の衛星の打ち上げ計画がある。国土地理院でも、デジタル画像を用いたGISデータの作成及びそのために必要なデジタル画像の品質評価は、国土空間データ基盤整備を行う上での重要な課題と考え、検討を実施してきている。

国土地理院では、建設省公募型共同研究「デジタル画像処理技術の高度化に関する研究」（平成10～12年度）の一環で、IKONOS画像の精度検証について、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（以下「JSI社」と言う。）と共同研究を実施している。

国土地理院は、共同研究の一環としてJSI社から提供を受けたデジタルジオ画像及びデジタルオルソ画像について、判読特性の整理を行うと共に位置精度の検証を実施

してきているので、本稿ではその中間的な概要を報告する。

2. IKONOSの仕様

IKONOSの衛星本体及びセンサの仕様は以下の通りである。

衛星名及び運用者：IKONOS（イコノス）、米国スペースイメージング社

設計寿命及び回帰日数：7年、11日

衛星高度：約680km

ポインティング：全方向、角度は無制限
（但し通常45°まで）

衛星軌道の種類：太陽同期極軌道

波長域：パングロマティック 0.45～0.90 μm

；マルチスペクトル(青) 0.45～0.52 μm

(緑) 0.52～0.60 μm

(赤) 0.63～0.69 μm

(近赤外) 0.76～0.90 μm

量子化ビット数：各ピクセル11ビット

観測範囲：1シーン＝11km×11km

また、提供製品のカタログ仕様は表-1のとおりである。

表-1 IKONOSの提供製品

	観測モード	オフナディア角	分解能
デジタル ジオ画像	パングロマティック	直下	0.82m
		26°	1.0m
	マルチスペクトル	直下	3.3m
		26°	4.0m
デジタル オルソ画像	パンシャープン		1.0m
	パンシャープン		1.0m

3. IKONOS画像の判読特性

3-1 研究の考え方

衛星画像を地図作成分野で利用するには、衛星画像を用いて、何がどこまで判読できるか、またどの位正確に地物を描画できるかを知っておく必要がある。特に、高分解能画像が利用可能になれば、今までの衛星画像では不

可能であった地物の判読・描画が可能になることが予想され、地図作成分野においても大縮尺地図の作成や更新作業への利用が期待される。

本研究は、高分解能衛星画像を空中写真と同等に考え、大縮尺地図で表現する地物について判読を行い、空中写真の判読や現地調査との比較によりIKONOS画像の特徴について整理を行い、その一部を判読カードとしてとりまとめた。

建設省公共測量作業規程では、目的の縮尺の地図を作成するには、その縮尺の1/3倍～1/8倍程度の縮尺で撮影した空中写真をステレオ視で8倍～10倍程度に拡大して目的の縮尺の地図を作成する。したがって、縮尺5千分1国土基本図を作成することを想定し、撮影縮尺1/20,000程度の空中写真を用いて、空中写真とIKONOSデジタルジオ画像を縮尺2千5百分の1程度に拡大し、比較・検討した。

3-2 使用データ

使用したIKONOS画像は、精密な幾何補正等の処理を行っていないデジタルジオ画像と呼ばれる画像である。地域は神戸地区とつくば地区の白黒画像である。つくば地区ではパンシャープン画像を使用している。また、空中写真は、神戸地区では撮影縮尺1/20,000カラーポジフィルムを高精度スキャナーによりスキャンサイズ10μmでデジタル化したものであり、検討・比較時には、カラーからグレースケールにしている。つくば地区では撮影縮尺1/7,000及び1/10,000の白黒ポジフィルムを使用した。さらに、地図データについては、1万分の1地形図や現在2万5千分の1地形図の修正を行っているラスターデータ等である。

以下に使用したデータの詳細を示す。

(1) 神戸地区

a) IKONOS画像

観測日：平成11年10月20日
 観測モード：パンクロマティック
 オフナディア角：約12度
 地上解像度：0.86m×0.84m

b) 空中写真

写真種類：カラー空中写真（比較には白黒ポジフィルムを使用）
 撮影縮尺：約1/20,000
 撮影日：平成11年1月5日
 デジタル化：ポジフィルムを10μmでスキャン（1画素約0.2mの地上分解能）

c) 地図データ

1 万分 1 地形図
 2 万 5 千分 1 地形図ラスターデータ
 数値地図2500

(2) つくば地区

a) IKONOS画像

観測日：平成12年3月2日
 観測モード：パンクロマティック
 :パンシャープン
 オフナディア角：約14度
 地上解像度：1.0m

b) 空中写真

写真種類：白黒空中写真
 撮影縮尺：約1/7,000及び約1/10,000
 撮影日：平成10年10月9日
 デジタル化：ポジフィルムを10μmでスキャン

c) 地図データ等

図化データ
 数値地図2500
 2 万 5 千分 1 地形図ラスターデータ

3-3 主な判読結果

管面による判読作業を行った全体的な感じでは、SPOT、IRS等のこれまでの衛星画像に比べ、分解能が向上している分、様々な項目について判読が可能になってきている。具体的な内容は以下に示す。

(1) 道路

SPOT画像、ADEOS画像、IRS画像については、これまでの研究で4車線道路については大半のものが判読できたが、1車線道路については、IRS画像で他の資料の活用で約半分の判読率であり、SPOT画像、ADEOS画像に至っては、他資料を活用しても1割程度の判読率であった（小荒井：2000）。

IKONOS画像については、徒歩道以外の道路については、幅員が1m以上あればほとんど判読可能である。2車線以上の道路については、中央分離帯や通行区分の白線が読みとれるので、車線数まで判読することが出来る。走行区分用白線等が無い道路については、周囲の状況及び接続道路から道路と判読できるが、車線数、幅員までは確認できない。山地部にある林道は、樹木等が伐採されてあるので容易に判読できる。

IKONOS画像の地上分解能は、最大0.82mである。しかし、道路縁の白線（幅約15cm～約45cm）等、コントラストが大きく地物間の幅が大きい場合には、分解能以下の地物であっても判読できる場合がある事がこれまで公開されている画像から指摘されている（門脇ほか：1999）。そのため、国土地理院構内において図-1の現地写真に示すように、白ペンキで対空標識を設置し、IKONOS画像で確認を行った（図-1のIKONOS画像）。その結果、地物間隔が地上分解能の2倍以上ある場合には、短辺40cm位の対空標識が判読できる。

したがって、センターラインを判読することにより、道路の中心線は、判読・描画が可能である。一方道路縁については、道路縁に白線が引かれている場合には確認は

容易であるが、無い場合には不明瞭になるため確実な確認が出来無い。そのため、道路縁の取得は取得誤差1ピクセルは避けられないと判断される。

(2) 建物

大きな建物については判読が可能であるが、大縮尺地図に必要な小さな建物(短辺4.0m以下)では、オフナディア角等の観測条件により判読困難な場合がある。基本的に単画像での判読であるため、建物形状は確認できるものの、立体感が無く、場所と物によっては見落とす

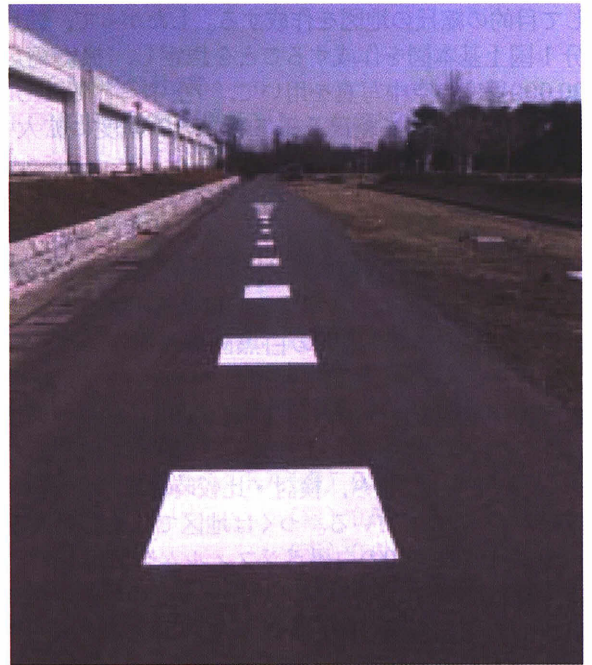
場合があり得る。建物に付設してある細かな軒の凹凸(2m程度)はあまり確認することが出来ず、棟割りを行うことも難しい。

また、描画作業に必要な建物の角であるが、拡大しても的確に位置を特定することができない場合がある。図-2に1/1000まで拡大した例を示すが、空中写真と比べて空間分解能の差が如実に現れている。

今後、ステレオ視可能な画像による再度の検討が必要である。



IKONOS画像(国土地理院構内)
(出力縮尺1/2500程度)



現地写真

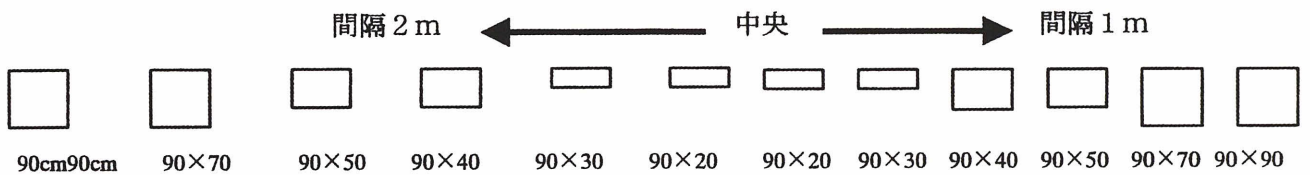
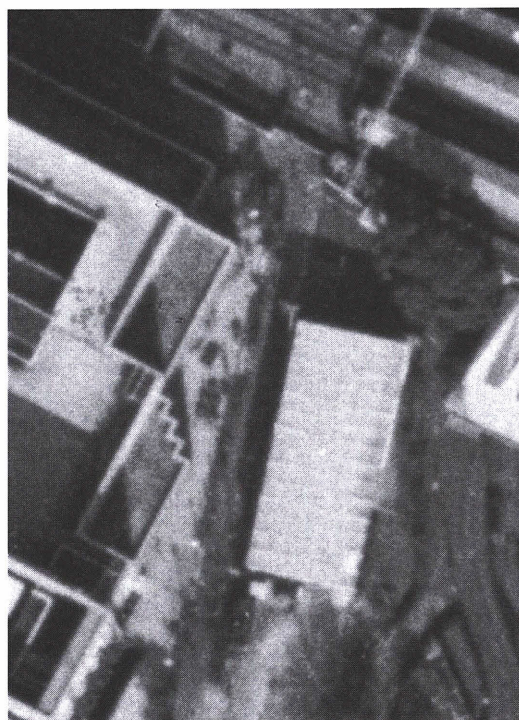


図-1 白線の判読



IKONOS画像



航空写真

図-2 画像比較(縮尺:約1/1000)

(3) 植生

植生の判読では、各種の画像処理を施すことにより、並木や公園の樹木を1本1本強調することが出来、アナログの空中写真と比べて有利な点がある。図-3に神戸市の公園で、画像処理を施して並木や植生の判読をしやすくした例を示す。これは、IKONOS画像が、空中写真と異なり11ビットデータのダイナミックレンジを持つことにより樹間の状態等の違いが判読できるためと、白黒画像が近赤外まで(波長域:0.45~0.90 μ m)の範囲を有しているためと思われる。

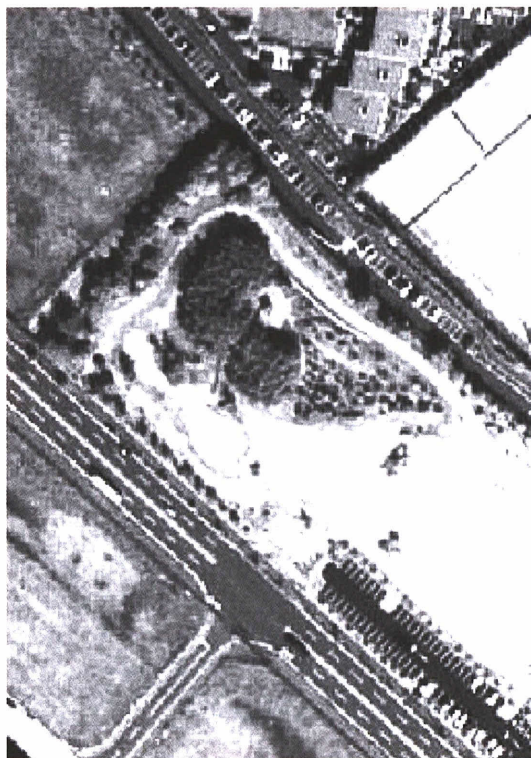
また、IKONOS画像では、1m分解能のパンクロマ

ティック画像と4m分解能のマルチスペクトル画像を組み合わせた、1m分解能のパンシャープンという製品を提供しているが、木々の1つ1つを画像処理により強調することにより、葉の茂り具合の違い等から針葉樹林と広葉樹林を区分することが可能である。国土地理院構内での事例を図-4に示す。

また、土地被覆全体については、水田や畑については、色調、形、周囲の状況等から判読可能である。しかしながら、果樹園と竹林は広葉樹林との区別は付きにくく、畑以外の耕作地(桑、茶、その他の樹木畑等)も、畑としての判読は可能であるが、種別までの判読は出来ない。

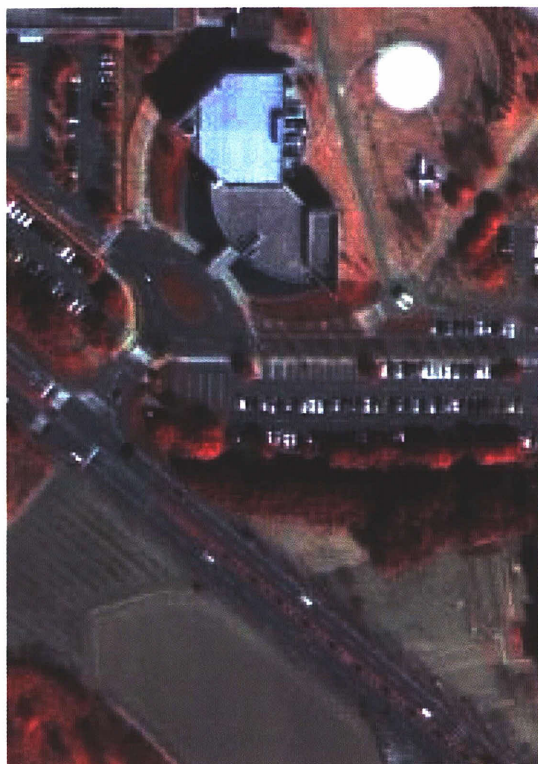


オリジナルを8ビット処理

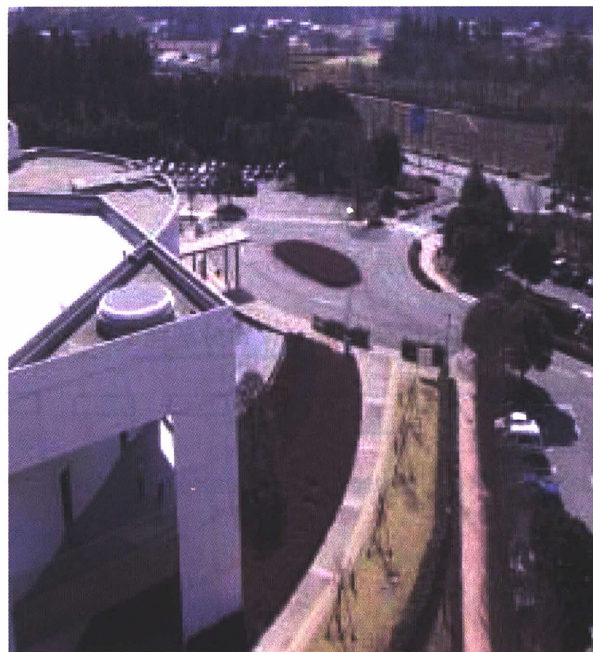


輝度処理画像

図-3 画像処理により植生判読をしやすくした例



IKONOS画像(フォルカラー) (出力縮尺1/2500程度)



現地写真(植生分類が明確)

手前(駐車場側)が広葉樹、奥(道路側)が針葉樹

図-4 近赤外による植生分類

4. 地形図修正作業の試み

地形図修正作業への適用を検討するため、2万5千分1地形図の修正作業で使用しているシステムにIKONOS画像（デジタルジオ画像）を取り込み、2万5千分1地形図とIKONOS画像を重ね合わせて、変化部分を抽出を試みた。変化部分の抽出作業では、IKONOS画像を用いることにより、従来の手法である単画像の空中写真を用いた変化情報の抽出に比べ、広範囲の作業が行えることや重ね合わせ時の歪みが少ない（地形の高低差の大きい地域を除く）等、作業効率上がる可能性が大きい。

参考までに、各衛星画像と地図画像を重ね合わせたものを図-5に示す。フランスのSPOT画像（分解能約10m）、インドのIRS画像（分解能約5.8m）、そしてIKONOS画像である。SPOT画像やIRS画像では分解能が不十分であるために、建物1つ1つの識別など、変化部分の抽出は必ずしも容易ではないが、IKONOS画像は4m×4m以上の建物の識別は可能であり、変化部分の抽出は容易である。

今回のIKONOS画像と地図画像との重ね合わせは平坦な地域であったため、道路、建物、土地利用界とも大きなズレは認められず、2万5千分1地形図の位置精度（図上0.7mm:17.5m）から判断すると、平坦部での地形図修正作業については、デジタルジオ画像でも十分に行えるものと判断される。

5. 位置精度の検証

デジタルオルソ画像の位置精度の検証は、つくば地区の平坦な地形の地域を対象に行った。検証したデジタルオルソ画像は、精度とデータ取得幅が異なるDEMで、SI社がIKONOS画像をオルソ化して作成している。検証対象高さデータは次の通りである。

a. IKONOSステレオ画像より作成した27m間隔DEMデータ（高さ精度5.5m:1 σ ）

SI社では基本的にはデジタルオルソ画像は、IKONOSのステレオ画像からDEMを作成し、直下撮影のIKONOS画像（オフナディア角の小さい画像）をDEMでオルソ化

して作成している。なお、SI社ではデジタルオルソ画像のみを一般に提供し、ステレオ画像の提供はしていない。SI社が全世界的に提供するデジタルオルソ画像としては、この27m間隔DEMで作成したものが最も位置精度が良く、商品カタログ上の位置精度は1.5mである。

b. レーザプロファイラで作成した5m間隔DEMデータ（高さ精度0.25m:1 σ ）

JSI社では、日本国内では上記の27m間隔DEMで作成したデジタルオルソ画像の提供はせず、5m間隔DEMで作成したより精度の良いデジタルオルソ画像を提供することを考えている。この商品カタログ上の位置精度は1mである。今回検証した画像は、ステレオ画像からではなくレーザプロファイラから5m間隔DEMを作成してオルソ化している。

検証手法は、デジタルオルソ画像を用いて取得した図化データと撮影縮尺1/10,000の空中写真（平成9年10月16日撮影）からデジタルステレオ図化機を用いて取得した図化データを点及び線状の地物毎に比較し、その残差がJSI社カタログのいう位置精度を満たしているかどうかの検証を行った。

5-1 IKONOSのステレオ画像から作成したデジタルオルソ画像の精度検証

① 点状地物の位置精度

空中写真から取得した図化データを真値として、道路の停止線や学校のプール等、デジタルオルソ画像で判読できる111点について位置精度の検証を実施した。検証範囲及び結果は、図-6のとおりである。

X方向の残差では、最大5.1mでRMSE（1 σ ）0.94mである。Y方向の残差では、最大3.0mでRMSE（1 σ ）0.73mである。方向ベクトルにするとRMSE（1 σ ）約1.19mである。

今回検証を行った27m間隔DEMで作成したデジタルオルソ画像の位置精度は、JSI社カタログのいう1.5m（RMSE（1 σ ））の位置精度を満たしている。



SPOT画像



IRS画像

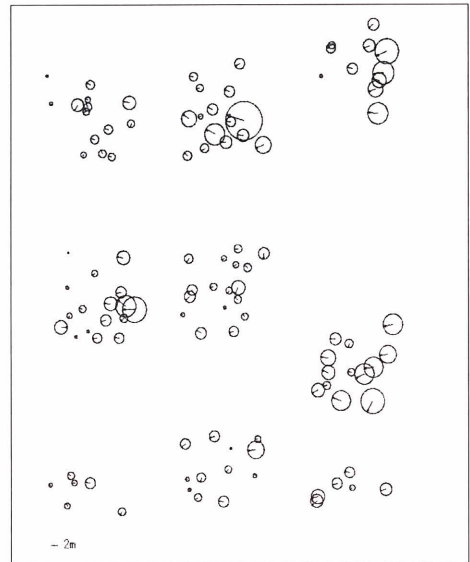


IKONOS画像

図-5 衛星画像と地図画像の重ね合わせ



20万分1地勢図



位置精度ベクトル図

図-6 IKONOSデジタルオルソ画像(27m間隔DEMにより作成)の位置精度検証結果

②線状地物の位置精度

線状地物の検証は、つくば地区にある自動車研究所の周回コースと土木研究所の周回コースにある白線を対象に実施した(図-7)。白線を図化したデータとデジタルオルソ画像を管面デジタイズして取得したデータを比較し、その誤差を線状地物の位置誤差(ϵ モデル; 門脇・柴崎:1992)として検討した。位置誤差を計測する手法は、GISのバッファリング機能を利用して計測した。結果は図-8のとおりである。バッファリング幅が2.0m内に線状地物の延長約98%が存在し、バッファリング幅が0.8m内に線状地物の延長約65%存在する。この結果は、位置精度1.5m(RMSE: 1σ)の制限内にある。



図-7 デジタルオルソ画像と空中写真による図化データ(赤色)の重ね合わせ(一部)(出力縮尺約1/7000)

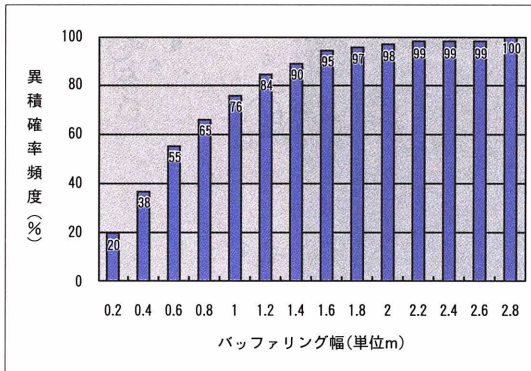


図-6 デジタルオルソ画像(27m間隔DEMにより作成)の線状地物の位置精度検証結果

5-2 レーザプロファイラを使用して作成したデジタルオルソ画像の精度検証

レーザプロファイラで取得したDEMを使用して作成したIKONOSのデジタルオルソ画像について、精度検証を行った。

レーザプロファイラは、Tera Point社のALTMSで、IKONOS画像をオルソ化する際に、1.5m間隔のDEMデータを5mに補間して利用している。

精度検証は点状地物の水平位置の精度検証を行った。IKONOSのステレオ画像から作成したデジタルオルソ画像の精度検証と同様に、図化データを真値として、デジタルオルソ画像で判読できる95点について検証を実施した。

X方向の残差では、RMSE(1 σ)で0.66mである。Y方向の残差では、RMSE(1 σ)で0.68mである。方向ベクトルにするとRMSE(1 σ)約0.96mである。

今回検証を行ったレーザプロファイラによる5m間隔DEMで作成したデジタルオルソ画像の位置精度は、JSI社カタログのいう1.0m(RMSE(1 σ))の位置精度を満たしている。

6. まとめと今後の課題

IKONOS画像の判読特性の整理と位置精度の検証を行った。

まず、デジタルジオ画像について、それを使っての大縮尺地図作成のための判読可能性及び2万5千分1地形図修正作業への利用可能性について検討を行うことが出来た。その結果、11ビットのダイナミックレンジや近赤外波長を有していることなどから、並木の判読や針葉樹林と広葉樹林の判読など植生に関する判読が容易に出来ること、道路白線のようなコントラストや地物毎の間隔が広い場合には、地上分解能よりも小さい地物も判読できる場合があるなど、従来の航空写真よりも優れた判読特性を示す事例があった。その一方で、建物の角の認識などでは困難な部分もあり、描画性という面では問題が残されていることも判った。また、ステレオ視による判読等、今回の検討では扱えなかった内容も多いため、今後、

地域や観測条件及び補正の処理レベルの異なる画像を用いて、ステレオ視を含めた利用可能性の検討を行わなければならない。これまでは1m及び2.5m分解能のシミュレーション画像を用いてのステレオ視による大縮尺地形図作成に必要な地物の判読特性については、カタログの形で整理されてきている(衛星リモートセンシング推進委員会空間データWG:1999)。今後は、実際の高分解能衛星画像(IKONOSのデジタルジオ画像等)を用いて同様の検討を行い、カタログを作成することとしたい。

また、IKONOSのデジタルオルソ画像について水平位置精度の検証を行ったが、平野部においては、ステレオ画像から作成した27m間隔DEMを使って作成したデジタルオルソ画像で水平精度1.5m、レーザプロファイラによる5m間隔DEMを使って作成したデジタルオルソ画像で水平精度1mを満たす結果となった。しかしながら、比高の大きな地域及びビルが建ち並び複雑な地物構成の都市域等において、位置精度等の検証はまだ実施していない。今後、筑波山地域においてDEMの精度検証も含めて、オルソ画像の位置精度の検証を実施する予定である。

しかし、現時点ではIKONOS軌道情報、センサモデルの情報、画像処理の情報等が開示されておらず、またステレオ画像の提供も標準的には行われていない。そのため、SI社側で作成したデジタルオルソ画像を使って様々なGISデータを作成するしかなく、利用者がIKONOS画像を使って独自に定量的な解析を行えるような環境にはなっていない。2000年の有珠火山の噴火においても、航空規制のかかっている4月4日にIKONOSはステレオ撮影に成功しているが、土地被覆状況の把握等定性的な把握には使えた(小荒井ほか:2000)が、火山山体の地表変動量の計測等定量的な把握は行えなかった。

地図作成や測量分野におけるIKONOS画像の利用可能性の研究を進める上では、今後のIKONOS画像に関する情報公開が必要不可欠である。筆者の1人が2000年7月にアムステルダムで開催された国際写真測量学会に出席したが、IKONOS画像に関して定量的な検討を行った発表はSI社の発表を除いて皆無であった。同学会における写真測量研究者との意見交換では、都市計画・地籍測量等、IKONOSの分解能から判断して現地測量が不可欠な領域では、建物等の変化部の抽出という視点で、IKONOS画像の利用に高い関心を払っている事が伺えた。その一方で、大縮尺地形図の作成やDEM作成の分野では、関心はあるものの、定量的な解析が行えないため、IKONOS画像の利用者・研究者が現れていないのが実状である。

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（1999）：衛星画像と地物の判読可能性について。
- 門脇利広・柴崎亮介（1992）：数値地図における線分データの位置誤差の計測・評価。日本写真測量学会年次学術講演会論文集，71-76.
- 門脇利広・松尾馨・小荒井衛（1999）：高分解能画像を用いた地図作成のための判読可能性に関する研究。生研フォーラム「宇宙からの地球環境モニタリング」第9回論文集，5-12.
- 小荒井衛（2000）：地図作成への応用事例と課題。JACIC情報，58,41-44.
- 小荒井衛・小須賀洋・長谷川裕之（2000）：有珠山2000年噴火。写真測量とリモートセンシング，Vol.39-3,4-5.