画像情報整備における衛星画像の活用について
Utilizing Satellite Image of Collection for Imagery Information

測図部　雪下勝典・岡谷隆基
Topographic Department　Katsunori YUKISHITA and Takaki OKATANI

要　旨

国土地理院では基盤地図情報整備に合わせ，オルソ画像及び標高データ整備を進めている．都市計画区域については基盤地図情報の要求精度レベルが２千５百分１地形図相当であるため，地図作成のベースは空中写真によらざるを得ないが，中山間地域，離島地域等については，要求される精度レベルが２万５千分１地形図相当となるため,「だいち」等の衛星画像の活用も可能であり，機動性等から衛星画像の方が有利な点もある．

こうした背景を受け，画像情報整備を空中写真及び衛星画像双方に対して行っているが，その効率的整備に資するため，高分解能衛星画像の判読性等についての評価を空中写真との比較に基づいて実施したので報告する．

１．はじめに

空中写真及び衛星画像等の画像情報は，国土の管理に不可欠な情報であり，災害時においては，被災地域の特定・被災状況の把握，平時においては，公共施設の管理，環境保全等の広範な分野に活用できる．国土地理院では，こうした政府における国土管理等へのニーズに応えるべく，画像情報の整備を行っている．

画像情報整備に関しては,平成 19 年度より実施している「基盤地図情報」の整備に合わせ，標高データ及びオルソ画像の整備を都市計画区域について実施してきている．加えて，周期的に実施している都市計画区域外の空中写真撮影によるオルソ画像整備と合わせ，平成 21 年度からは「電子国土基本図」の構成要素としての「オルソ画像」整備となっている．「電子国土基本図」は，地図等により国土を表す際の基準として，また広く共通に利用されるデジタルデータの地理空間情報として国土地理院が整備するものであり,「オルソ画像」のほか,「地図情報」「地名情報」から構成される．

空中写真については，国土地理院及び林野庁等が国土の周期的な空中写真撮影を行ってきている．このうち国土地理院は平野部を中心に撮影を実施してきており，それらを一般に提供してきた．近年は，航空カメラのデジタル化にともない，これら空中写真について画像データの形でも提供している.また，近年，IT の進展にともない，空中写真がインターネットで容易に閲覧できるようになるなど，これまで一部の専門家が中心であった空中写真の利用者層が，広く一般へ拡大している．また，従来は航空機から直下を撮影した垂直写真をそのまま提供することが一般的であったが，こうした写真は建物が写真中央から外側に倒れ込んで写るなどの歪みを含んでおり，地図とはそのまま重ならないものであった．こうした問題を解決すべく，近年ではオルソ画像の提供が一般的になってきている．

国土地理院においても，地理空間情報の整備について空中写真以外のソースとして衛星画像の利用への取り組みを行ってきている．中でも，2006 年１月に打ち上げられ,同年 10 月より観測データの一般提供が開始されている，陸域観測技術衛星 ALOS（だいち）は，地形図作成を目的の一つとしており，国土地理院でも積極的な利活用を図っているところである．特に，「パンクロマティック立体視センサ（PRISM)」は，分解能 2.5mを持ち，３方向（前方，直下，後方）の観測により立体視が可能なため，２万５千分１地形図修正に必要な地形・地物の変化情報の把握が可能となった.「だいち」衛星画像による地形図修正は，対応可能なデジタルステレオ図化機の導入により平成 17 年度より開始され,硫黄島などの空中写真撮影が困難な離島地域における地形図修正作業に活用しているほか，空中写真と比較して高頻度の画像情報取得が可能である衛星画像の特性を活かし,国土の変化情報の取得にも利用している(岡谷，2008)．

リモートセンシングによる地球観測の分野において，搭載されるセンサの高分解能化が急速に進み，1972 年の LANDSAT (米国), 1986 年商用衛星 SPOT (フランス）により分解能が 10m以下となり，地図作成の分野における衛星画像の活用が期待されるようになった．その後，1999 年に運用を開始した IKONOS を始めとして，分解能１m未満の衛星画像も入手可能となり，本格的な高分解能衛星の時代に入った．2008 年５月には IKONOS の後継機で最大分解能が 50cm を切る GeoEye-1 衛星が運用を開始し，2009 年 10 月には QuickBird，WorldView-1 の後継機で GeoEye-1 と同等の分解能を持つ WorldView-2 が運用を開始している．主な高分解能衛星の諸元を表－１に示す．

ほとんどの衛星が，高分解能のパンクロマティッ

表－１　主な高分解能衛星の諸元　（財）リモート・センシング技術センター及び運用機関 HP より引用

名称	IKONOS	QuickBird	ALOS「だいち」	WorldView-1	GeoEye-1	WorldView-2
搭載センサ *1 分解能	PM:0.82m MS:3.3m	PM:0.61m MS:2.44m	PM:2.5m MS:10m	PM:0.5m MS:無し	PM:0.41m *4 MS:1.64m	PM:0.46m *4 MS:1.85m
回帰日数 （再訪日数又はサブサイクル）*2	11 日 （3日）	20 日 （1～3.5 日）	46 日 （2日）	46 日 （1.7～5.9 日）	11 日 （3日）	不明 （1.1～3.7 日）
1km^2 あたり単価 （円　税抜き） （製品名）	6,000 （Geo）	3,400 （パンシャープン4バンド標準画像）	約 20 *3 （ALOS PRISM オルソライト画像）	2,800 （標準画像）	6,000 （Geo）	未定
打ち上げ	1999 年9月	2001 年 10 月	2006 年1月	2007 年9月	2008 年5月	2009 年 10 月
運用国・機関	米国 スペースイメージング社	米国 デジタルグローブ社	日本 JAXA	米国 デジタルグローブ社	米国 スペースイメージング社	米国 デジタルグローブ社

*1　PM…パンクロマティック　MS…マルチスペクトル又は同等の機能を持つもの
*2　ポインティング等による最短での観測可能周期
*3　１シーンあたりの価格を撮影モード OB2 における撮影面積（35km×70km）で割った価格
*4　製品として一般に提供されている画像は分解能 0.5m

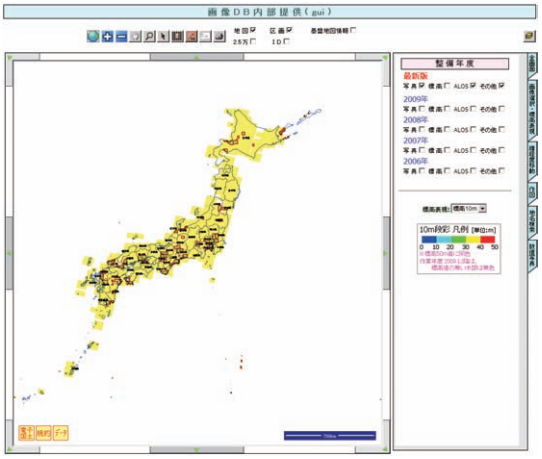
クと，やや分解能が落ちるマルチスペクトルのセンサを併せ持ち，同時撮影した双方の画像を合成（パンシャープン）することで，擬似的に分解能が向上したカラー画像を取得することが可能となっている．また，ポインティング機能を持つセンサにより，短い周期での同一場所の繰り返し撮影が可能となっている．

本稿では，商用衛星の高分解能化の流れを踏まえ，これまでの衛星画像の利用範囲を超えた，２万５千分１地形図レベルの地物・植生等の判読，及びそれ以上の大縮尺データの修正に向けた情報取得等の可能性について，空中写真との比較に基づき検証したのでここに報告する．

２．国土地理院における画像情報整備の概要

国土地理院では，平野部等における空中写真をベースとして作成した標高データ・オルソ画像，及び中山間地域等における衛星画像を，電子国土 web システムを利用した配信システム「画像データベース」（図－１）により一元管理し，院内に公開・提供を行っている．このうち，空中写真によるオルソ画像については基盤地図情報整備に合わせ要望により公共機関への提供を行っているところであり，加えて災害時において，オルソ画像等を関係公共機関の要望により提供できる体制をとっている．

国土地理院における各画像情報整備の概要を以下に述べる．



図－１　画像データベース

２．１　電子国土基本図（オルソ画像）の整備

国土地理院では，平成 19 年度より都市計画区域の線引き区域を対象として，撮影縮尺１万分１の空中写真撮影を行い，基盤地図情報となる標高データを作成するとともに，その標高データを利用したオルソ画像の整備を行っている．加えて，国土や地域の管理上重要な平野部及び離島を対象として，撮影縮尺２万分１の空中写真を撮影し，それを利用したオルソ画像の整備に着手している．撮影縮尺１万分１及び２万分１の空中写真から作成したオルソ画像は，それぞれ 20cm，40cm の地上画素寸法を持つ．オルソ画像とは，空中写真を歪みのない画像に変換し正しい位置情報を付与したもので，様々な地理空間情報との重ね合わせが可能であり，垂直写真に比べてよ

り多様な利用が可能である．このことから国土地理院は，国土を表す際の基準となる地理空間情報，「電子国土基本図（オルソ画像）」（以下，「オルソ画像」という.）として整備を行い，デジタルの画像データとして広く一般に提供することとしている．オルソ画像の諸元を表－２に示す.

表－２　オルソ画像の諸元

区分 （地上画素寸法）	20cm	40cm
写真撮影縮尺 （数値写真レベル）	1/10,000 （10000）	1/20,000 （20000）
水平位置精度 （地表面における標準偏差）	1.0m以内	2.0m以内

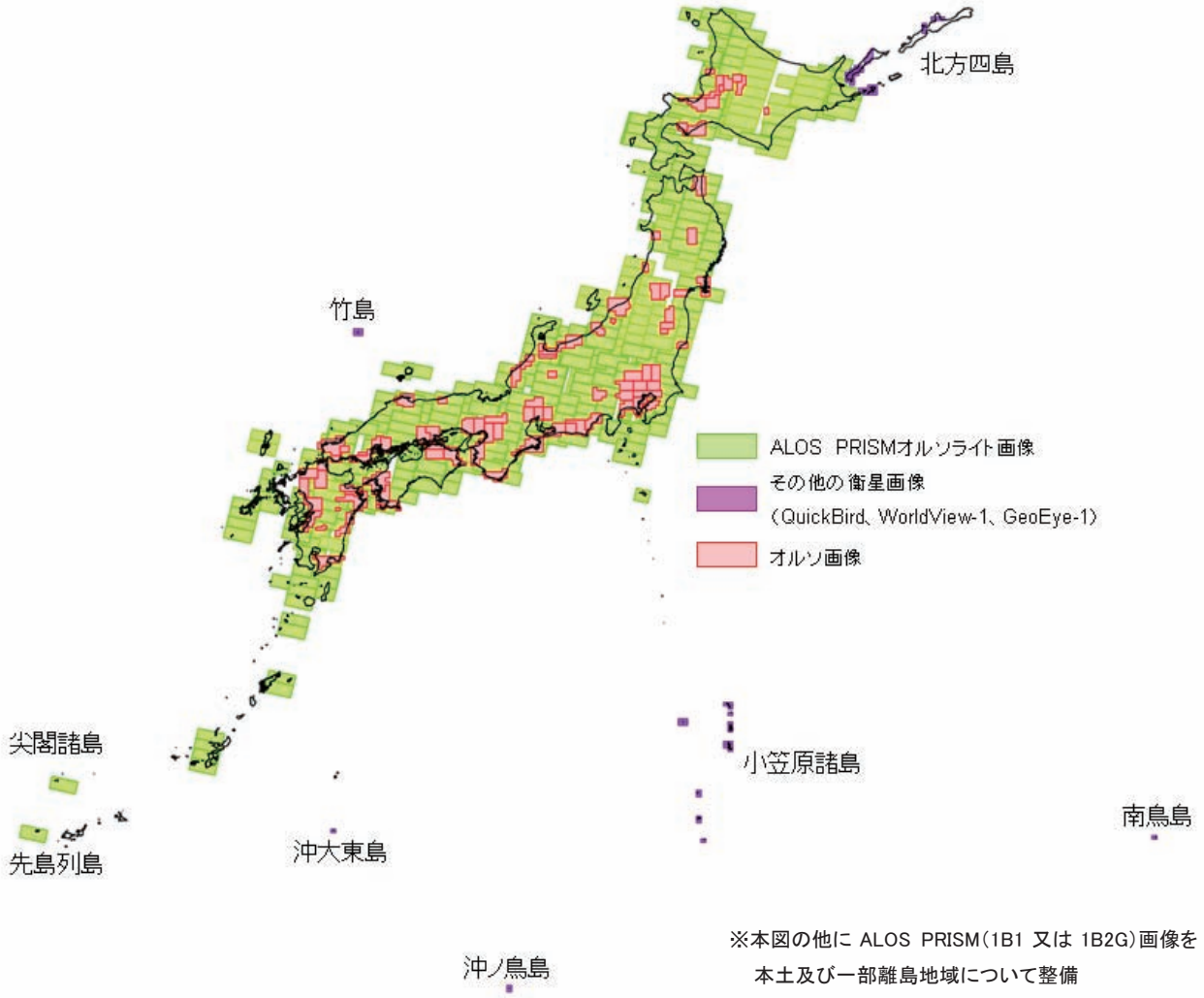
オルソ画像は，国土のおよそ半分にあたる約 19 万 km^2 を整備対象としており，平成 21 年度末までに，その約４割について整備が完了する予定である.

２．２　高分解能衛星画像の整備

衛星画像は，センサを搭載する衛星が常時軌道上を周回していることと，１回の撮影範囲が広大であることから，広範な地域の画像情報を短期間かつ比較的安価に整備することが可能である．また，遠隔地であることや様々な制限のために航空機による空中写真撮影が困難な地域についても，画像情報の取得が可能である.

前述した IKONOS，QuickBird を始めとする１m未満の分解能を持つ高分解能衛星の出現により，中縮尺，大縮尺地図作成への衛星画像の利用が可能となっている．また，国産の高分解能衛星「だいち」の運用開始により，これまで以上に安価に高分解能衛星画像が入手できるようになり，国土地理院では「だいち」衛星画像を地形図作成に積極的に導入することとなった.

画像情報整備では，基盤地図情報が求める地理空間情報の精度に対応して，空中写真から作成されるオルソ画像については平野部等の国土の主要地域を



図－２　画像整備一覧

対象に整備し，中山間地域や空中写真撮影が困難な遠隔離島地域の画像情報については，高分解能衛星画像を利用して整備する．

衛星画像の整備については,平成18年度末に中山間地域全体と，一部の平野部についても空中写真との比較検証のため,「だいち」衛星画像（ALOS PRISMオルソライト画像（パンクロマティック））を整備した．また，遠隔離島地域（小笠原諸島，沖大東島，沖ノ鳥島，南鳥島，竹島，北方四島等）については，QuickBird衛星画像をそれぞれ整備した．平成20年度以降は，変化情報取得のため全国土を対象にALOS PRISMオルソライト画像の整備を進めており，また，離島地域についてはQuickBirdとその後継機であるWorldView-1，また平成21年度に運用を開始したIKONOSの後継機であるGeoEye-1の各衛星画像の整備を進めている（図－２）．

３．画像情報整備における高分解能衛星画像の活用可能性

３．１　高分解能衛星画像の判読性

地図作成及び現況把握等のための画像情報において判読性は重要な要素だが，判読性を評価する要因としては，分解能のほか，色調及び立体視における視認性等がある．

「だいち」衛星画像（分解能2.5m）については，国土地理院において，運用開始当初より地形図作成への利用を目的とした幾何精度及び判読性等の検証が行われており，判読性については，２万５千分１地形図の表示項目のうち，幅員10m以上の道路，鉄道等の線状地物や短辺25m以上の建物等については,有無や形状等が十分判読可能である(内山,2007).

高分解能衛星画像の判読性については，体系的な整理がされており(中村ほか,2004),これによると，数m未満の分解能であれば，２万５千分１地形図作成において主要な地物（道路，鉄道，河川）の判読が可能であり，分解能が１m未満であれば，建物や小物体，植生等の判読も可能である．

３．２　空中写真との比較

画像整備に使用している高分解能衛星のうち，分解能が１m未満であるQuickBird，WorldView-1，GeoEye-1の各画像を用いて，オルソ画像と目視比較することにより判読性の評価を行った．

比較に使用する衛星画像について，本報告においては，オルソ画像との比較としたため，パンシャープン又はパンクロマティックの単画像を用いた．

空中写真との比較は，都市部，郊外及び海岸部の３箇所について行った．海岸部は，島嶼部を想定して岩礁等に着目して判読性を検証した．

３．２．１　都市部における比較

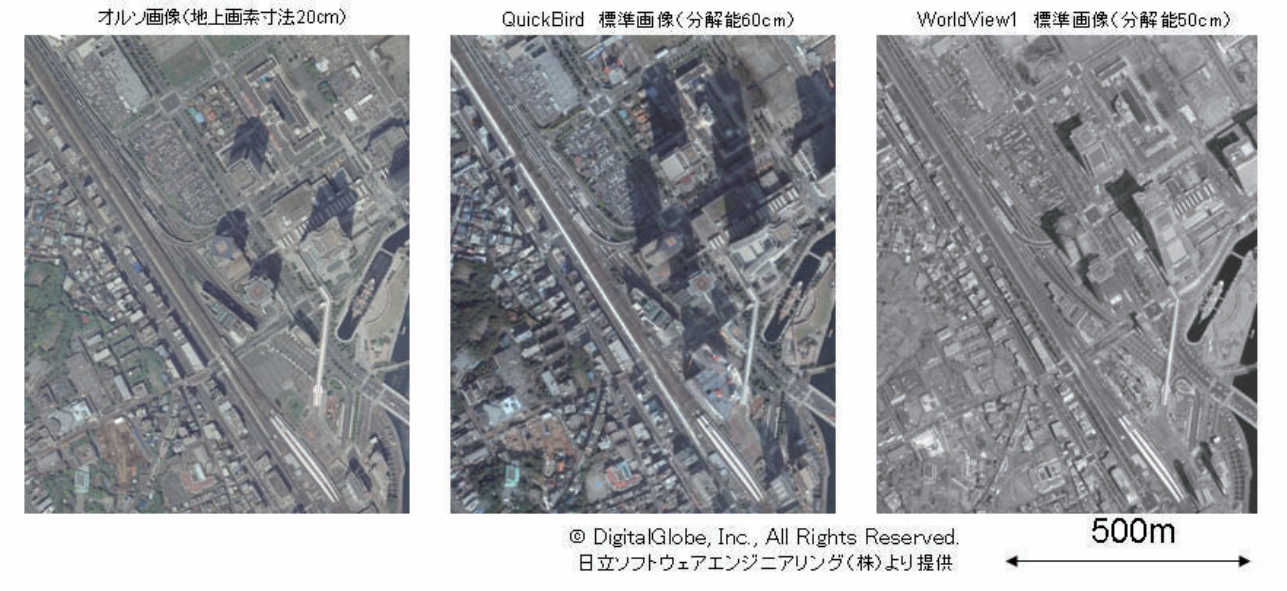
都市部については，電子国土基本図（オルソ画像）のうち線引き区域を対象に整備を進めている地上画素寸法（分解能と同義）20cmのオルソ画像と衛星画像とを比較した．都市部は衛星画像の整備対象ではないが,地図情報レベル2500の大縮尺図作成が可能とされている地上画素寸法20cmのオルソ画像と比較することにより，高分解能衛星画像による大縮尺図作成の可能性を判読性において検証した(図－３)．判読結果は以下のとおりである．

- 都市部の建物密集地であっても，陰影や高層建物の倒れこみによる遮蔽が無ければ，短辺が５m未満の小建築物や幅員３m未満の狭小な路地の判読が可能である（図－４）．
- 分解能50cmであれば，建物の周縁部が判読できるので，形状の取得が可能である．
- 道路の白線部が明瞭に判読できる．高分解能衛星は軌道情報と姿勢情報により外部標定要素の取得が可能であり，これを用いて画像標定が可能であるが，画像上で明瞭に判読できる地点を位置計測した標定点を用いることにより水平位置精度を大幅に向上させることができる.道路等の白線部は，パンクロマティック及びマルチスペクトルの双方の画像において，良好な反射特性を示し，永続性に問題はあるものの画像上の位置参照点として有効である（道路等白線部の明瞭な画像は図－６を参照されたい）．地図情報レベル2500の精度を達成することは難しいかもしれないが，従来の２万５千分１地形図相当の精度は，地物の判読性と合わせ十分に確保できるものと考える．

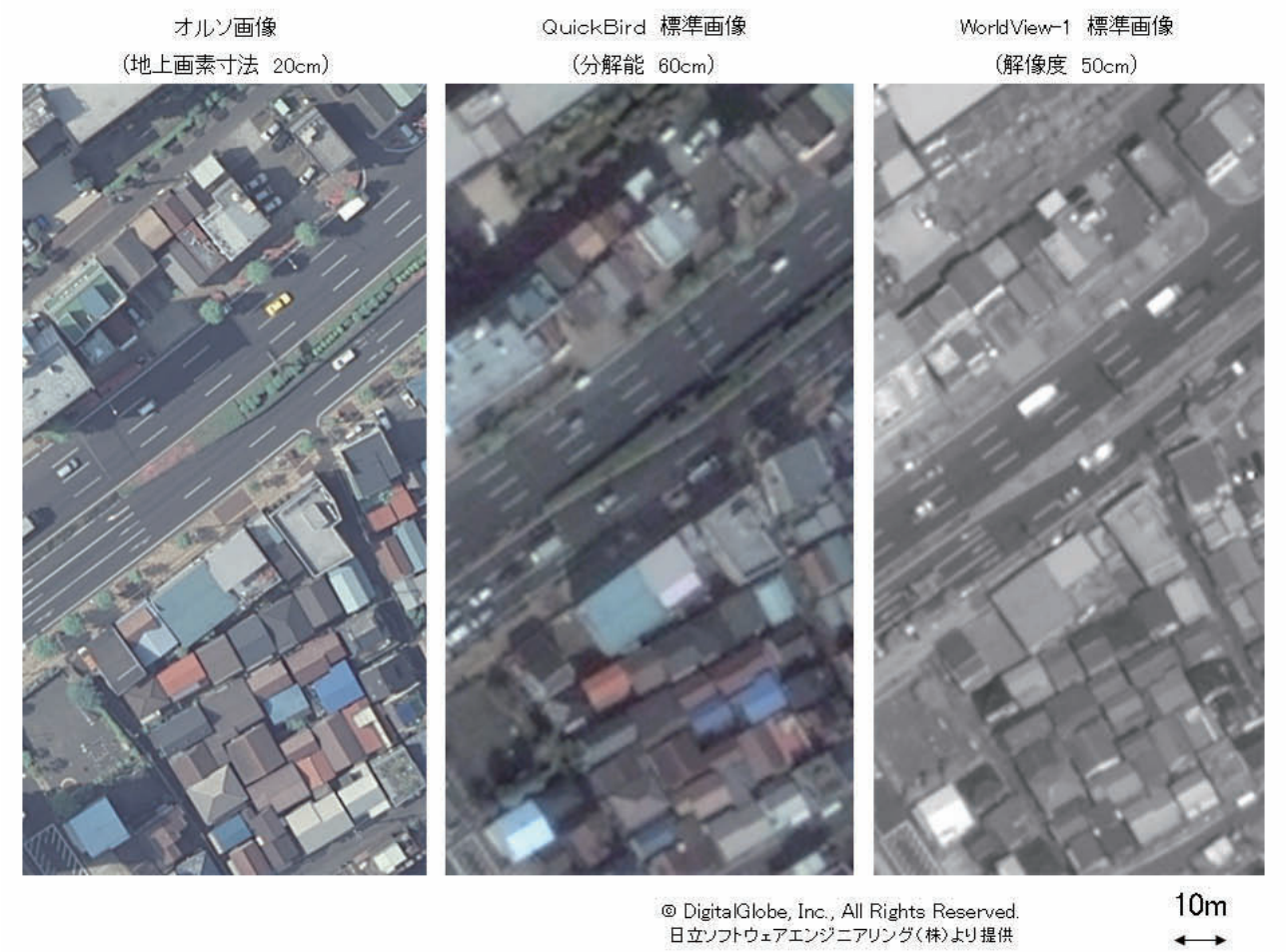
３．２．２　郊外における比較

郊外についても，都市部と同様に，地上画素寸法20cmのオルソ画像との比較を行った（図－５）．特に，既耕地，未耕地等における植生に着目した．判読結果は以下のとおりである．

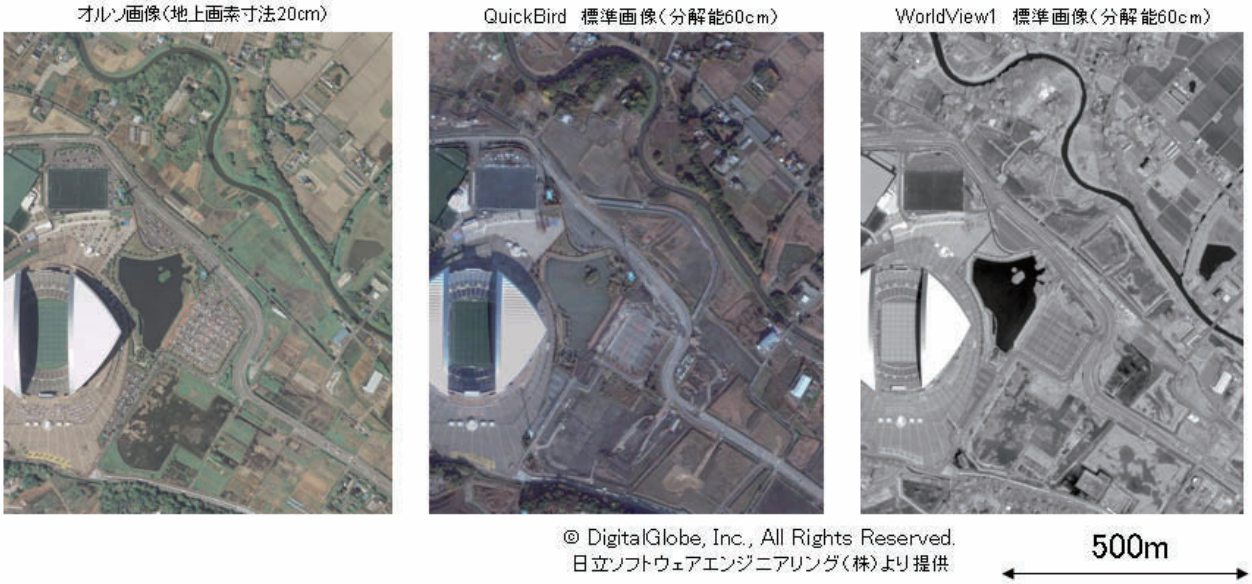
- 植生判読においてキーとなる画像のきめがある程度視認できるため，水田と畑や樹木等の区別が可能である（図－６）.「だいち」衛星画像においては，植生判読が難しかったが，１m未満の分解能を有する衛星画像では，こうした２万５千分１地形図相当の地理空間情報が必要とする精度をカバーできると考える．
- パンシャープン衛星画像（QuickBird，GeoEye-1）における色再現性について，オルソ画像との比較において，極端な差異は見られないが（図－３，図－５，図－７），自動車や家屋の屋根等の反射率が高い地物については，明暗のコントラストが強いハレーション気味の色調で表現されている．銀



図－３　都市部における比較－神奈川県横浜市－



図－４　都市部における比較（建物等）

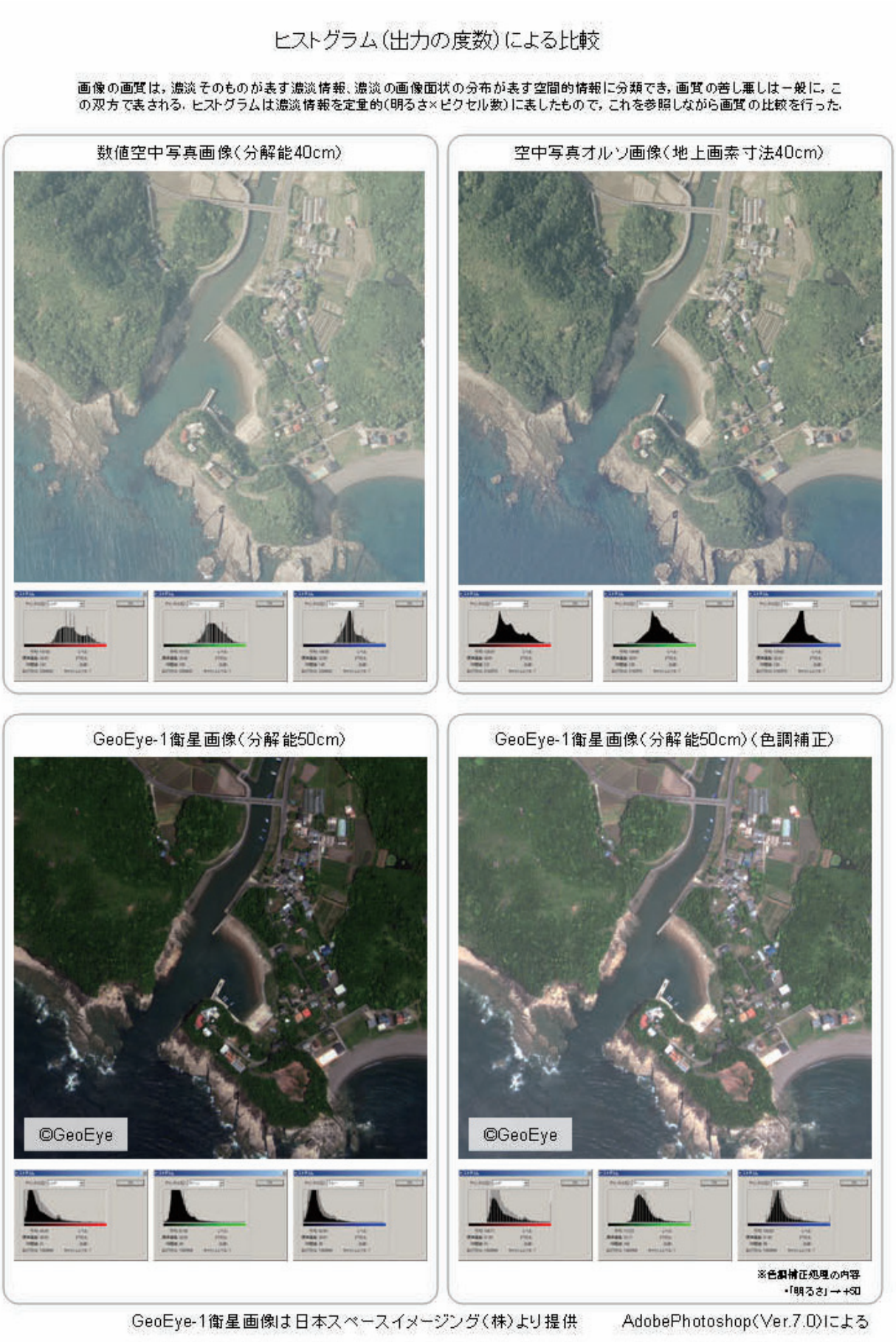


図－５　郊外における比較－埼玉県さいたま市－

図－６　郊外における比較（道路，建物，植生等）

図－７　海岸部における比較－和歌山県白浜町－

図－８　海岸部における比較（建物，岩礁等）



図－９　ヒストグラムによる比較

塩写真から作成されたオルソ画像にはそのような色調はほとんど見られない．リニアアレイ等のセンサ特性によるものと思われる．

３．２．３　海岸部における比較

平成19年７月に施行された海洋基本法により，我が国の海洋政策の拡充が図られることとなったが，その中で経済水域における正当な権益の確保が謳われており，領海基線にかかる遠隔離島地域の現況把握が重要になってきている．本報告においては，このような島嶼部における現況把握を想定し，海岸部を対象に水涯線や岩礁等に着目して判読性を検証した．海岸部については，地上画素寸法40cmのオルソ画像と分解能50cmパンシャープンのGeoEye-1衛星画像とを比較した（図－７）．双方の分解能が近接しているので，色調等についても着目した．判読結果は以下のとおりである（図－８）．

・水涯線については，オルソ画像と同等の精細さで形状を判読することが可能である．
・岩礁については，波浪の有無にもよるが，短辺10m以上の大きさであれば形状も含めて判読が可能である．
・本衛星画像については原画像の色調が暗かったため若干の補正を行ったが，QuickBird と同様に反射率が高いと思われる一部の地物（図－８　係留されているボート）について，明暗のコントラストが強いややハレーション気味の色調で表現されている．
・本衛星画像においては，RGB 各チャンネルにおける信号出力（横軸）と度数（縦軸）の分布をあらわしたヒストグラムを，オルソ画像と衛星画像とで比較した（図－９）．規則的な度数の突出はあるものの，トーンジャンプと呼ばれる出力の欠落は見られず，オルソ画像と同等のなめらかな比較的豊かな階調を保持している．色調補正を施した衛星画像については地上画素寸法 40cm の空中写真オルソ画像とそれほど遜色ない判読性があることが伺える．

３．３　まとめ

衛星画像の地理空間情報修正への利活用については，既に道路等については「だいち」衛星画像において，２万５千分１地形図作成のための有効性が精度検証により確認されているところであるが，今回より高分解能な衛星を使用してオルソ画像との比較を行ったことにより，１m未満の高分解能画像であれば，植生や建物等についても２万５千分１地形図相当の判読が出来ることが確認できた．

また，分解能が50cmまで向上すると，判読性は空中写真により近いものになることから，今後の更なる検証が必要ではあるが，変化情報取得などであれば地図情報レベル25000を超えた範囲（例えば地図情報レベル5000など）へも活用できる可能性があると思われる．

さらに，画像情報整備の観点で言えば，空中写真並みの高精細な画像情報が取得できるので，高分解能衛星画像は国土管理のための現況把握や災害調査を拡充する上で，有用かつ重要な情報源であり，特に空中写真撮影が困難な遠隔離島地域については，極めて価値が高いと言える．

４．おわりに

国土地理院は，国土の基本的な地理情報として，基盤地図情報整備と連携して電子国土基本図（地図情報），（オルソ画像），（地名情報）の整備を進めており，高分解能衛星画像については，電子国土基本図（オルソ画像）とともに，電子国土基本図（地図情報）作成の資料として，また，国土の現況把握のための画像情報として，今後も整備を進めていくところである．

特に，高分解能衛星画像については，２万５千分１地形図相当の地理空間情報の修正に活用されるだけでなく，縮尺２万分１以上の空中写真を補完する情報としても，地理空間情報の整備・更新等に活用されることが期待されると考える．

一方，民間分野においては，GoogleMap に代表されるWebによる画像情報サービスが著しい発展を遂げ，大都市圏では分解能10cm前後の非常に高精細な画像が閲覧可能になり，そのエリアは拡充されるばかりか，画像の内容について上方からだけでなく，ストリートビューと称して地上で撮影した画像情報さえも配信されるようになっている．高精細な画像情報は，地図情報の大縮尺化と併せて，多くの需要が見込まれ，今後もより一層進展すると思われるが，ストリートビューに対して多くのユーザーからプライバシー保護の観点等から画像公開の差し止めを求める声が出されるなど，高精細な画像情報は，プライバシー侵害の恐れや，また，保安上の懸念も提起されている．画像情報は，情報の劣化や改質が全く無く，それらがネットワークを通じて不特定多数に配信される状況については，微妙な問題をはらんでいる．既にこうした問題の一部は顕在化しているところであるが，国としても情報公開と個人情報保護，セキュリティとの双方のバランスを考慮し，例えば，何がどの程度見えると問題なのかということに関して体系的な検討が必要と思われる．

謝　辞

本報告をまとめるにあたって，衛星画像等の資料をご提供いただいた（財）リモート・センシング技

術センター，日立ソフトウェアエンジニアリング（株），日本スペースイメージング（株）の皆様に，この場を借りて感謝申し上げます．

参 考 文 献

藤井稔（2008）：画像データベースの構築について，国土地理院時報，115，45-50.
石関隆幸（2008）：「たいち」による地図の修正－ALOS/PRISMの活用－，国土地理院技術資料A･1-No.332 第37回国土地理院報告会，63-71.
吉髙神充，田村竜哉（2008）：デジタル航空カメラ等による空中写真撮影，国土地理院時報，115，51-59.
国土地理院測図部（2008）：デジタルオルソ作成作業要領.
水田良幸，笹川啓，小井土今朝己，浦部ぼくろう，田中宏明（2007）：ALOS/PRISM データの２万５千分１地形図作成・修正への適用性の検証－標定精度及び標高抽出精度の検証－，国土地理院時報，111，119-124.
中村孝之，野口真弓，下野隆洋（2004）：高分解能衛星画像の地形図作成への適用について，国土地理院技術資料C･2-No.14 測図部技術報告，13，78-83.
岡谷隆基（2008）：「だいち」による地形図修正について，地図中心，427，10-13.
山後公二（2009）：電子国土基本図（オルソ画像）について，国土地理院時報，118，57-60.
田崎昭男，田村栄一，笹嶋英季，桶屋敏行（2008）：基盤地図情報（標高・オルソ）作成について，国土地理院時報，115，39-43.
内山裕一（2007）：ALOS/PRISM画像の1/2.5万地形図修正への利用について，国土地理院技術資料C･2-No.18 測図部技術報告，17，15-24.