

高分解能衛星画像を利用した地図作成に関する研究

【国土地理院】

人工衛星に搭載されるセンサで取得される高分解能衛星画像を用いた地図作成に必要な技術について検討し、画像基準点の構築と精度検証を行った。また、高分解能衛星画像を用いた地形図作成ガイドライン（案）を作成した。

1. 概要

近年、人工衛星に搭載されるセンサの技術開発が進み、地上分解能 1 m未滿の人工衛星画像も入手可能となっている。高分解能衛星画像は、広範囲な地域を一度に撮影でき、また、地上分解能によっては、地物の判読性も十分にあることから、地図作成の分野における活用が期待できる。特に衛星画像の特徴として、広範囲の画像を定期的に入手することが可能なので、常に最新の状況を反映した地図データの修正に有効ではないかと期待される。本件では、米国 IKONOS 衛星のオルソ画像（表 3 5）を利用した地図作成の可能性について検討した。

表 3 5 実証実験に利用した IKONOS 画像の諸元

撮影日	製品	座標系	備考
平成 12 年 3 月 27 日	オルソエキスパートパンシャープン(地上分解能 1m/pix.)	平面直角()	1/2,500 図の検討に使用
平成 13 年 3 月 16 日		UTM(53)	1/2,500 図及び 1/25,000 図の検討に使用

2. 画像基準点の構築と精度検証

人工衛星はいつどこを通過したかという軌道情報やプラットフォームの姿勢情報が明らかであり、情報の精度が十分であれば、一般の航空機で撮影された画像から地上の測地座標を求める際に使われる既知点（地上基準点）が原理上不要である。しかし、現時点においては、その衛星画像の撮影やデータ処理の諸元が明らかにされていなかったり、また、精度検証の方法が定式化されていないなどの理由により、製品仕様で示されている精度が信頼できるものか定かではない。このため今回の研究作業において、衛星画像の位置精度検証や幾何補正を行うための画像基準点を岐阜県大垣市内に構築した（図 7 2、図 7 3）。画像基準点は、衛星画像から判読可能でかつ短期間で亡失することがないような地物、例えば、堅牢建物や地面の境界等（学校の校庭の隅等）を利用した。

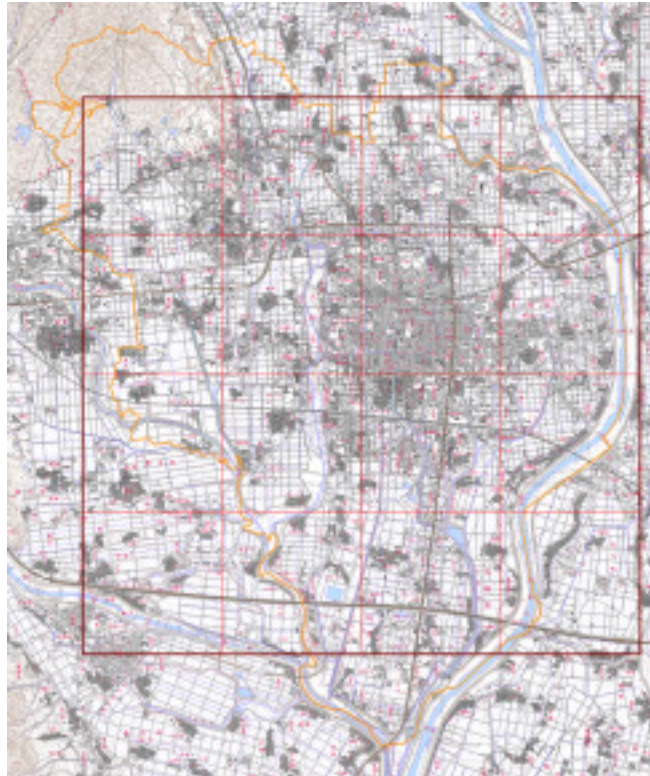


図7 2 画像基準点の設置範囲(大垣市内)

<p>【点名・コード】533604-XX-AAAAA 【地物種別】中層建物 上部4隅 【計測方法】写真測量 【座標値】平面直角座標系 第7系 大垣市 X01 : -55303.246 Y01 : -70989.423 Z01 : 18.09 (12.28) X02 : -55230.989 Y02 : -70986.442 Z02 : 18.28 (12.28) X03 : -55229.627 Y03 : -71014.973 Z03 : 18.3 (12.28) X04 : -55302.031 Y04 : -71018.148 Z04 : 18.26 (12.28) 【GISデータファイル】 <ファイル名あるいはURL></p>	
<p>画像基準点 見取り図</p>	

図7 3 画像基準点の成果(点の記)

本研究において設置した画像基準点は、GPS やトータルステーション等、地上測量により設置したものが9点、1/8,000 の空中写真から写真測量により計測したものが4 5点(うち一部は、地上測量と写真測

量の両方で計測した。)である。平成12年度業務において試験的に設置した画像基準点を実際の高分解能衛星画像（IKONOS 画像、地上分解能1m）と対比させ、画像基準点の有効性や課題を検証した。

IKONOS デジタルオルソ画像の精度検証の結果は表36のとおりである。平成13年に撮影された画像の誤差（水平精度）の標準偏差は1.64mと製品仕様の水平精度1.75mの範囲内に収まっているが、平成12年撮影の画像では、2.20mと上回っている。これは、平成12年はIKONOS衛星が運用開始直後であったことや撮影条件等の問題もあるが、構築した画像基準点が、高さのある建造物の屋根の部分を取ったものが数多くあり、地盤高との差による倒れ込みや建築物の影等の影響が衛星画像上での建物輪郭の判読を困難なものにし、誤差を生み出したものと思われる。平成13年画像では、これらの点を考慮して、判読が困難な基準点については、検証の対象から外して位置精度を確認した。なお、図74に平成12年3月の撮影したIKONOS画像と平成13年3月に撮影したIKONOS画像に、精度検証で得られた水平位置の誤差分布のベクトルを重ね合わせたものを示す。

いずれにせよ、基本図測量作業規程で示された図上0.7mmの実制限値に照らし合わせると、2万5千分1地形図（17.5m）の修正には十分な精度を有している。また、2千5百分1地形図の修正にも使用できる可能性があることが認められた。

表36 IKONOS デジタルオルソ画像の精度検証結果

撮影日	基準 点数	残差 x(m)		残差 y(m)		RMSe(m)	
		最大	σ	最大	σ	最大	σ
平成12年3月27日	43	3.71	1.13	5.49	1.88	5.67	2.20
平成13年3月16日	38	2.59	1.27	4.10	1.04	4.85	1.64

: 標準偏差

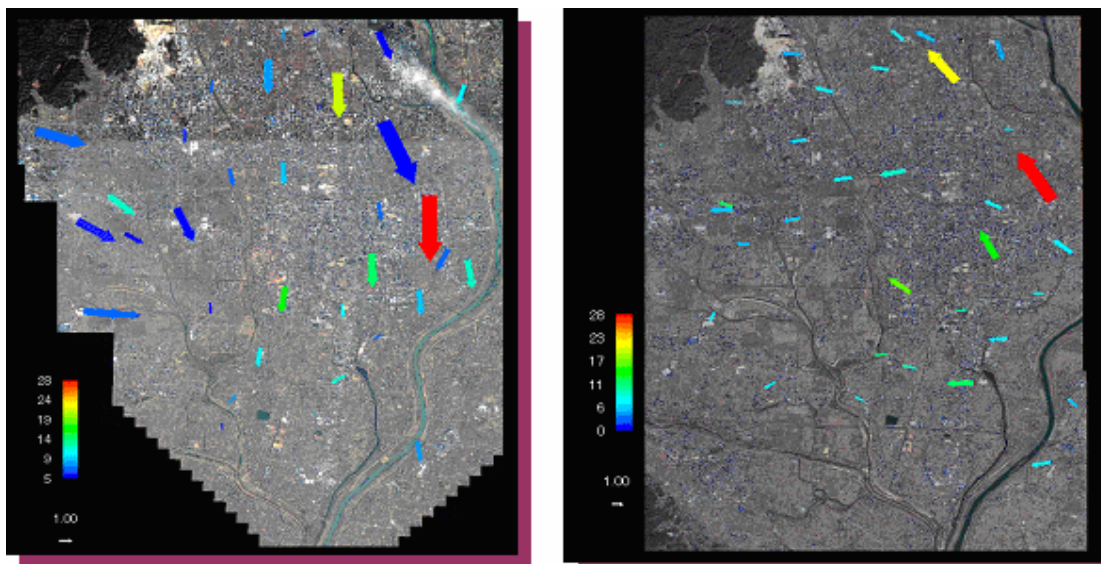


図74 IKONOS 画像（©日本スペースイメージング（株））と水平位置精度における誤差分布
（左：平成12年3月撮影、右：平成13年3月撮影）

3. 地図作成のための判読性の検証

高分解能衛星画像を利用した地形図作成の可能性について調査するため、IKONOS 衛星画像による地物の判読性の面から検証を行った。

まず、地物の判読性について、地図の図式（1/2,500 国土基本図図式）の項目ごとに、判読ができるかできないかを IKONOS 画像上で調査し、その結果を整理した。この結果、現地調査や資料による情報に頼らざるを得ないものを除き、概ね従来の空中写真に迫る判読性を有していた。一方で、今回使用した衛星画像はオルソ画像のため、崖や擁壁等、判読に立体感を必要とする地物については、ステレオ視ができる空中写真にくらべて情報の抽出力が劣っていた。

次に、IKONOS 衛星画像から建物の図化（国土地理院開発の VRC（ラスター型地形図修正システム）による管面図化 / オルソ画像）を行い、これを空中写真測量で作成された 1/2,500 の DM データと比較した。図 7 5（左）が、IKONOS 画像と DM データを重ね合わせたもので、同（右）は、実際に IKONOS 画像を用いた図化の結果と IKONOS 画像を重ね合わせたものである。この結果を見ると、IKONOS 画像では空中写真から図化された DM データを比べて、建物の微少な凹凸がよく見えないのが分かる。このように、1/2,500 レベルの大縮尺地図の修正で利用するには地物の詳細な部分についての判読性に難があるものの、地物によっては図化が可能である。また、1/25,000 レベルの中縮尺地図の修正においてはこのように詳細な地物の形状を判別する必要が無く、従来の空中写真に代わって十分に利用可能であるといえる。

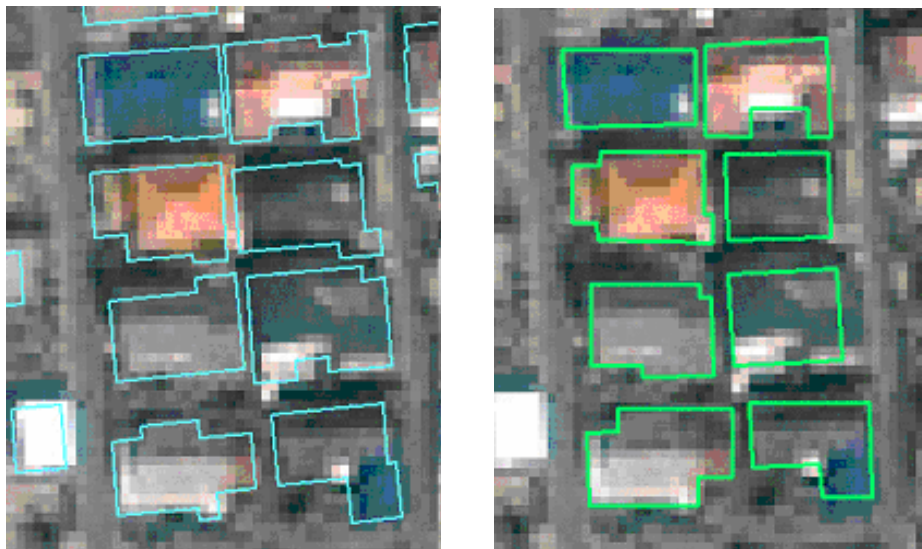


図 7 5 IKONOS 画像（大垣市街）(©日本スペースイメージング（株）)
DM データの重ね合わせ（左）
IKONOS 画像を使った建物輪郭の取得（右）

4. 地図データ更新手法の検討

1/2,500 図と 1/25,000 図を対象に、高分解能衛星画像を用いた地図データ更新の検討を行った。まず高分解能衛星画像を参照して、それぞれの図式に記載されている地物項目のうち、取得可能な地物と取得不可能な地物を整理した上で、実際のデータ（1/2,500DM および 1/25,000 地図画像）を用いた更新実験を行った。

表 3 7 1/2,500DM 実作業への適用可能性の検討

	メリット	デメリット	今後の改善の方向性
地物の判読可能性	建物や道路といった骨格データは 1/2,500 レベルでも概ね判読可能	以下の情報は取得出来ない(しづらい) ・画像から判読できない小規模な地物 ・3次元の情報	判読できる地物を増やすには ・より高分解能な画像の利用 ・スレホアの利用
変化箇所抽出	旧地図と新画像との対比は精度的には十分	2 時期の画像の差分情報は撮影条件の違いによるノイズが影響し精度が低い	旧地図と新画像を直接画面でオーバーレイし情報抽出するシステム(インタフェイス)の改良により実利用が可能
地物の形状や位置の正確な再現(精度)		地物が小規模な場合や画質によって輪郭が不明瞭。斜視の画像の場合は真位置の特定が難しい。	要求精度に応じた分解能、位置精度の画像の使用
作業効率について	従来の図化作業に比して特殊な装置が不要であり作業の習熟も簡単	判読可能な項目であっても、空中写真と比較すると判読しにくい ため時間がかかる	手順の自動化により大量生産や広範囲かつ高精度のデータ更新が可能

表 3 8 1/25,000 地図画像の適用可能性の検討

作業工程	メリット	デメリット	今後の改善の方向性
予察作業	通常の更新作業において使われる単写真の空中写真と比べて同等もしくはそれ以上に地物を判読することが可能。(理由は、衛星画像と地形図を直接重ね合わせたことで変化箇所の同定作業がし易かったことと、衛星画像の情報量が多いことに起因していると考えられる) なお、衛星画像は単画像で高さ情報が取得できないことに加え、高さのある地物の像が完全に正射投影変換されていないため、高層建物等では誤差が大きくなる傾向にあるが、個別の建物の形状を正確に描画する必要のない 1/25,000 図では、特に問題にはならない。	衛星画像の情報量の多さゆえに、判読にやや時間を要した(難しかった)という面もあった。	重ね合わせでは情報量過多でかえって時間を要するため、画像と地形図をモックで並列連動表示するシステム等が効果的と思われる。
地形図修正	衛星画像を図化素図として使用し、地図画像の変化部修正に使うことについては、「高さの情報が必要な項目」を除けば充分可能。	高分解能衛星の有する情報量が 1/25,000 地図画像と比較して著しく多いため、双方をオーバーレイ表示しながらの編集作業で、必要な情報の取舍選択に時間と手間を要した。	情報の取舍選択を効率化する仕組みが必要(判読基準の確立、本修正の前に簡易図化を行う等) 地図の表現上、意図的にずれて描画されている地物や記号化されている地物に関わる修正について、取り扱い(とくに位置精度許容範囲)を決めておく必要がある。

5. 地図データ更新手法ガイドライン(案)の作成

高分解能衛星を地図データ更新に利用するにあたり、使用する画像の要求仕様を整理し、適用範囲や適用方法についての基本的な方向性を示すことで、実利用の際の指針となることを目的とし、「高分解能衛星画像を用いた地形図修正ガイドライン(案)」を作成した。図76に「高分解能衛星画像を用いた地形図修正ガイドライン(案)」の概要として目次を示す。

はじめに	
本ガイドライン(案)作成の背景と位置づけについて記述	
1. 適用範囲	
本ガイドライン(案)で対象とするデータ、手法、項目の定義	
高分解能衛星	可視光域、近赤外域のセンサを搭載するもので、地表面分解能が数cm~2.5m程度
地形図	概ね縮尺1/2,500~1/25,000
修正手法	単画像を用いたデジタイジング
修正項目	単画像で識別可能な項目
2. 高分解能衛星の種類	
2-1 衛星の種類	
対象とする高分解能衛星の概要紹介	
2-2 データ製品の種類	
各画像プロダクトの紹介と処理レベルの解説	
3. 衛星画像の精度	
衛星画像の精度を示す実用的な指標として、分解能、画質、位置精度について解説	
3-1 分解能	
3-2 画質	
3-3 位置精度	
4. 高分解能衛星への要求仕様	
前述の分解能、画質、位置精度の3つの側面からの高分解能衛星への要求仕様を定義	
5. 地形図修正	
5-1 地形図修正用衛星画像の整備	
衛星画像を更新作業に使用するにあたっての必要な判断、処理について、フローに沿って解説	
5-2 予察	
衛星画像と旧地形図データをオーバーレイしての予察作業について解説	
5-3 地形図修正	
衛星画像と予察結果をオーバーレイしての修正作業について解説	

図76 高分解能衛星画像を用いた地形図修正ガイドライン(案)の目次

6. GIS参照点に関する調査

(1) 調査の背景

高分解能衛星画像に関する調査とは直接の関わりはないが、GIS基盤データの構築に必要な要素技術として、GIS参照点に関する調査を行ったのでこの章を借りて紹介する。建設行政で利用されている種々の地理情報あるいは地図基盤データ（空間データ）は、それぞれ異なる複数の部局で共有できるかたちで整備されることにより、データの重複整備を防ぎ、各部署の情報交換を迅速にし、行政の効率化と住民サービスの向上を図ることができる。このような複数の地理情報（空間データ）を統合的に利用できる環境を可能とするためには、各々の空間データ相互の位置座標の調整を図るために共通の基準点が必要である。一般的には、三角点などの国家基準点、公共基準点がこの役割を果たすが、これらの基準点は従来型の測量、紙ベースの地図作成を目的として整備されたものであり、GISの普及とともに、空間データの整備や利活用に応じた基準点の必要性が高まっている。

(2) GIS参照点とは

GIS参照点とは以上のことから、全く異なる部署のあるいは異なる機関の複数の空間データの相互の調整を果たす役割を持つ基準点であり、当然電子化されたデータを保有しなければならぬ。また、その精度は、目的とするGISの内容にもよるが、例えば、道路GISのデータと都市計画GISのデータを重ね合わせたときに、道路と建物が交錯していけないし、相当の精度を有するものでなければならない。GIS参照点の要件としては、下記のような事が考えられている。

さまざまな主体が作成した空間データの位置合わせがスムーズに行えるような高精度の絶対位置情報を与える基準点あるいは位置のコントロール点の必要性

空間データの絶対位置座標の取得を容易にし、空間データの修正、維持更新を簡単に行うための位置情報取得の仕組みの必要性

高精度ナビゲーションなど、空間データと組み合わせた応用システムのための位置情報サービスの必要性

(3) 豊中市におけるGIS参照点の整備

国土地理院の電子基準点等、特別な位置情報システムを構築せず、既に整備されている基準点の位置情報を有効に利用することによってGIS参照点として運用し、空間データの作成、修正などを効率的に実施している事例として、大阪府豊中市を調査した。

豊中市におけるGIS参照点の概要は次の通りである。

高精度かつ高密度の基準点（約1万点）と道路境界点（約7.5万点）を整備

基準点・道路境界点から、基本図データベース（道路台帳平面図DM500）を作成し、庁内及び市民サービスに幅広く活用

道路管理業務のために整備した基準点、道路境界点が「GIS参照点」

豊中市では、約10,000点の1～4級基準点と約75,000点の道路境界点が整備されており（表39）これらの高精度、高密度の基準点を用いて、GIS用の基本図データベースを作成している。また、これらの基準点はインターネット等により広く公開されており、庁内の各部局での業務や民間企業において境界確定等に幅広く使用されている。

表39 豊中市が管理している基準点・道路境界点

基準点の等級	点数
1級基準点	36
2級基準点	163
3級基準点	1,903
1級基準点（3級接点を含む）	約8,800
道路境界点	約75,000

平成13年10月現在

これらの基準点は、昭和49年に1級基準点を設置して以来、順次2、3級基準点を整備し、道路境界確定の業務に利用してきたが、国土地理院が昭和63年度より精密測地網二次基準点を実施し平成成果を公表したときに、それまでの観測データである1、2、3級基準点を再計算した。このとき、3級基準点は地域毎にブロック分けされた測量であったため、地域間による誤差が著しく見られた。そこでこれら地域間の誤差をなくすために、全域の基準点を一括して厳密網平均計算を行い、市内全域で高精度の基準点整備が実現できた。

また、これらの高精度で高密度な基準点、道路境界点を用いて道路区域確定業務を行っている他に、基本図データベース（道路台帳平面図 DM500）を作成している。空中写真測量によるデジタル図化をベースに、空中写真に写っていないところは徹底的に現地にて基準点、道路境界点を基に測量を実施することにより、高精度の基本図データベースを構築している。このようにして作成された基本図データベースは土木部のみならず庁内各部局にて様々な業務支援システムで利用されている。

このように豊中市のGIS参照点は、GISの活用を目的とした「GISのための基準点」として整備されたものではなく、道路管理業務のなかで利用するために整備された基準点、すなわち「位置参照点」が元々の整備目的であるが、積極的GISでの利用が進められており、これら基準点、道路境界点が「GIS参照点」と位置づけられている。