

高分解能衛星画像を用いた地形図修正 ガイドライン(案)

平成 15 年 3 月

国土交通省 国土地理院

目 次

はじめに

1. 適用範囲	- 2 -
2. 高分解能衛星の種類	- 4 -
2.1 主な衛星の種類	- 4 -
2.2 データ製品の種類	- 6 -
3. 衛星画像の精度	- 12 -
3.1 分解能	- 12 -
3.2 画質	- 12 -
3.3 位置精度	- 13 -
4. 高分解能衛星画像への要求仕様	- 14 -
5. 地形図修正	- 16 -
5.1 地形図修正用衛星画像の整備	- 16 -
5.2 予察	- 25 -
5.3 地図更新	- 28 -

はじめに

GIS(地理情報システム)の急激な利用拡大・普及と相まって地形図を始めとする地図情報のデジタル化が進んだこともあり、今日では新規、修正/更新を問わず地図情報の作成編集プロセスにおけるデジタル化も進んできている。

しかし、これまで地形図情報を修正/更新するには、新規に撮影されたアナログの航空写真を用いて行う(航空写真を用いた空中写真測量)ことが一般的であった。別の手段としては、従来からの実測のほか、最近においてはレーザスキャナーのような新技術も出てきてはいるものの、地図形態の主流がアナログからデジタルに変わりつつある今日においても、基本的な状況は変わっていない。

一方、航空写真に類似または代替できる新しい情報ソースとして数年前から高分解能衛星が注目されてきた。高分解能衛星は航空写真に匹敵する情報を、面的かつ定期的に取得することが可能であり、しかも位置座標を持ったデジタルデータとして提供されるためGISで扱う上で他のデジタル化された地図情報との親和性が高い。近年、ようやく実運用されるとともに近い将来複数機の打ち上げが予定されており、今後の利活用が大きく期待されているところである。

このようなことから、本ガイドラインでは、地形図修正に必要な衛星データの種別、形態、整備手法および要求仕様について整理するとともに、実施可能な更新手法およびそれを用いた適用事例を示すことで、利用者が地形図修正を行う際の指針となることを目的としており、次の内容で構成される。

1. 適用範囲
2. 高分解能衛星の種類
3. 衛星画像の精度
4. 高分解能衛星画像への要求仕様
5. 地形図修正

1. 適用範囲

本ガイドラインで対象とする高分解能衛星、地形図、修正手法、修正項目は下記を想定している。

表 1-1 適用範囲

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、地表面分解能が数十 cm ~ 2.5m 程度のもの
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

(1) 衛星データ

どの程度の分解能の衛星を用いるかによって、抽出可能な情報のスケールは異なる。ここでは、今日、一般に高分解能衛星と呼ばれており、かつデータ入手が可能なものを対象とする。

(2) 地形図

上記の衛星データでの情報抽出の可能性のある縮尺を対象とする。

(3) 修正手法

単画像¹からのデジタイジングとする。

¹ 従来の空中写真測量と同様の、ステレオペアの衛星画像からの情報抽出は、技術的には可能であるが、一般にはまだデータが限られていることや、利用可能なソフトウェアが一般的ではないことから、ここでは現状で容易に実施可能な単画像からのデジタイズを対象とする。

(4) 修正項目

高分解能衛星の単画像上で識別可能な項目は、衛星の種類や分解能にもよるが、概ね以下の表の例に示すとおりであり、ここではこれらの項目を対象とする。

ただし、衛星の種類や分解能によってはここで示された項目が識別できない、あるいはここに示されない項目が識別できることもある。また、項目によっては現地調査による確認が必要であるが、その方法は従来手法に準じる。

表 1-2 単画像上で識別，更新可能な項目の例

(1/2,500 1/5,000 の図式項目)

大分類項目	分類	名称
交通施設	道路	真幅道路，庭園路，建設中の道路
	道路施設	道路橋，分離帯，並木
	鉄道	普通鉄道
	鉄道施設	鉄道橋
建物	建物	普通建物，堅牢建物
水部	水部	水がい線

表 1-3 単画像上で識別，更新可能な項目の例

(1/25,000 の図式項目)

大区分	区分	名称
地形	陸部の地形	砂礫地，噴火口・噴気口，湿地，万年雪
	水部の地形	水涯線，河川，空間の水路，湖・池など
交通施設	道路	真幅道路，記号道路など
	鉄道	鉄道（JR線，JR線以外），駅，鉄道橋など
建物等	建物	独立建物，総描建物など

2. 高分解能衛星の種類

現在データ入手が可能な高分解能衛星としては、IKONOS、QuickBird、SPOT-5、EROS-A1 等がある。また 2004 年には国産の高分解能衛星である ALOS の打ち上げと運用が予定されている。

ここではまず、本ガイドラインにおいて対象となる高分解能衛星にどのようなものがあるかを整理している。

また、それらの衛星データ製品についても、その特徴を示している。

2.1 主な衛星の種類

主要な高分解能衛星について、以下に示す。

IKONOS

米国 Space Imaging 社が運用する衛星で、民間の高分解能衛星として初めて運用に成功した衛星で(1999年9月25日打ち上げ)、現在も順調な運用を続けている。国内では、日本スペースイメージング(JSI)社をはじめとする代理店からデータを入手することが可能である。2005年には、次世代機(50cm分解能)の打ち上げが予定されている。

QuickBird

米国 Digital Globe 社が運用する衛星で、IKONOS に続いて 2001 年 10 月に打ち上げられた民間高分解能衛星。現在運用されている衛星のなかでは、最も優れた空間分解能(直下視で 61cm)を持つ。国内では、日立ソフト社をはじめとする代理店からデータを入手することができる。

SPOT-5

従来から多岐に渡る分野で利用されてきた仏国 SPOT Image 社の地球観測衛星である SPOT の最新型機で、他の民間高分解能衛星に匹敵する空間分解能を有する。SPOT-5 には、立体視専用のセンサ(HRS)が搭載されており、それによる高精細な標高データ提供への貢献も期待される。

EROS-A1

イスラエルの Image Sat 社が運用する民間高分解能衛星。パンクロマティック²セン

² パンクロマティック：単バンドモノクロ。

サのみの搭載であるが、1.8mの空間分解能を持つ。今後、EROS-B1～B6の衛星が打ち上げられ、複数機による運用が予定されている。EROS-B1以降には、マルチスペクトル³センサが搭載される。

ALOS

地図作成、地域観測、災害状況把握、資源探査等を目的に開発が進められている国産衛星。2004年の打ち上げが予定されている。高分解能マルチスペクトルセンサ(AVNIR-2)の他、3方向視(直下視、前方視、後方視)が可能な立体視センサ(PRISM)および、全天候型の合成開口レーダ⁴(PALSAR)を搭載し、全世界の1/25,000地図作成への貢献が期待されている。

高分解能衛星の諸元について、下表に示す。

表 2-1 主な高分解能衛星の諸元

衛星名称	運用	センサ名	センサ種別	分解能	回帰日数 (サブサイクル)	観測幅
IKONOS	1999.09～	PAN	PAN	0.82m	11日 (2日)	11km
		MS	MS	3.3m		
QuickBird	2001.10～	PAN	PAN	0.61m	(1～3.5日)	16.5km
		MS	MS	2.44m		
SPOT-5	2002.05～	HRG	PAN	2.5m or 5m	26日	60km
		HRS	PAN	10m		120km
		VEGITATION	MS	1km		2,250km
EROS-A1	2000.02～	PAN	PAN	1.8m	26日	12.5km
ALOS	2004～ (予定)	PRISM	PAN	2.5m	46日 (2日)	35km
		AVNIR-2	MS	10m		70km
		PALSAR	SAR	10m 100m		70km 250～350km

HRG : High Resolution Geometry

HRS : High Resolution Stereo

PRISM : Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping

AVNIR-2 : Advances Visible and Near Infrared Radiometer type 2

PALSAR : Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar

PAN : パンクロマティックセンサ

MS : マルチスペクトルセンサ

SAR : 合成開口レーダ

³ マルチスペクトル : 多バンドカラー。

⁴ 合成開口レーダ : マイクロ波を地上に発射し、昼夜・天候に左右されず地表面の映像を取得するセンサ。

2.2 データ製品の種類

対象とする高分解能衛星のうち、現在運用されているものについて、国内エリアを対象として提供されている製品の一覧を下表に示す。

IKONOS

表 2-2 IKONOS の製品一覧

製品名称	種別 ^{*1}	分解能	価格 ^{*2}	位置精度	最小注文面積
デジタルジオ画像	パンクロ	1.0m	5,500 円/km ²	対象外 (数m~100m程度)	新規撮影： 121km ² アーカイブ： 25km ²
	マルチ	4.0m			
	パンシャープン	1.0m	7,000 円/km ²		
デジタルオルソ ライト画像	パンクロ	1.0m	16,000 円/km ²	水平誤差： ±3.5m (1)	
	マルチ	4.0m			
	パンシャープン	1.0m	20,000 円/km ²		
デジタルオルソ エキスパート画像	パンクロ	1.0m	24,000 円/km ²	水平誤差： ±1.75m (1)	
	パンシャープン	1.0m	30,000 円/km ²		

^{*1}種別については以下の通り

パンクロ : 単バンドモノクロ(パンクロマティック)画像

マルチ : 3or4 バンドカラー(マルチスペクトル:青/緑/赤/近赤外)画像
3 バンドの場合、青/緑/赤または緑/赤/近赤外のいずれかを選択

パンシャープン : パンクロ・マルチの合成処理により高解像度化した 3or4 バンドカラー画像
3 バンドの場合、青/緑/赤または緑/赤/近赤外のいずれかを選択

^{*2}新規撮影においては、別途新規撮影料が必要な場合がある

標準コース : 1,200,000 円、特別コース 4,000,000 円

表 2-3 QuickBird の製品一覧

製品名称	種別 ^{*1}	分解能 ^{*2}	価格 ^{*3}	位置精度	最小注文面積
基本画像 (Basic Image)	パンクロ	0.61 ~ 0.72m	1,006,400 円/シーン	14m (RMSE)	1 シーン
	マルチ	2.44 ~ 2.88m	1,115,200 円/シーン		
	パンクロ・マルチ両画像同時購入		1,332,800 円/シーン		
標準画像 (Standard Image)	パンクロ	0.6m or 0.7m	3,700 円/km ²	14m (RMSE)	新規撮影： 64km ² アーカイブ： 25km ²
	3バンドカラー	2.4m or 2.8m			
	マルチ	2.4m or 2.8m	4,100 円/km ²		
	パンクロ・マルチ両画像同時購入		4,900 円/km ²		
	パンシャープン	0.6m or 0.7m			
オルソ画像 (Orthorectified Imagery) 1:25,000	パンクロ	0.6m or 0.7m	14,800 円/km ²	7.7m (RMSE)	150km ²
	3バンドカラー	2.4m or 2.8m			
	マルチ	2.4m or 2.8m	16,300 円/km ²		
	パンクロ・マルチ両画像同時購入		19,200 円/km ²		
	パンシャープン	0.6m or 0.7m			

^{*1}種別については以下の通り

- パンクロ : 単バンドモノクロ (パンクロマティック) 画像
- マルチ : 4バンドカラー (マルチスペクトル: 青/緑/赤/近赤外) 画像
- 3バンドカラー : 青/緑/赤または緑/赤/近赤外のいずれかを選択
- パンシャープン : パンクロ・マルチの合成処理により高解像度化した4バンドカラー画像

^{*2}基本画像の場合、撮影角度により変動

標準画像・オルソ画像の場合、選択することが可能

^{*3}新規撮影においては、別途新規撮影料が必要な場合がある

標準：なし、優先：基本価格の50%

表 2-4 SPOT-5 の製品一覧

製品名称	種別 ^{*1}	分解能	価格 ^{*2}	位置精度	最小注文面積
Level 1A	マルチ	10m	650,000 円/シーン		1/8 シーン (約 20km × 20km)
Level 1B	パンクロ	5m			
Level 2A		2.5m	1,100,000 円/シーン		
Level 2B	マルチ	10m	750,000 円/シーン		7 30 × 7 30 (約 13km × 13km)
	パンクロ	5m	1,196,000 円/シーン		
	パンシャープン	5m			
	パンクロ	2.5m			
	パンシャープン	2.5m	1,770,000 円/シーン		
Level 3	マルチ	10m	784,000 円/シーン		7 30 × 7 30 (約 13km × 13km)
	パンクロ	5m	1,228,000 円/シーン		
	パンシャープン	5m			
	パンクロ	2.5m			
	パンシャープン	2.5m	1,809,000 円/シーン		

^{*1}種別については以下の通り

パンクロ : 単バンドモノクロ (パンクロマティック) 画像

マルチ : 3 バンドカラー (マルチスペクトル: 緑/赤/近赤外) 画像

パンシャープン: パンクロ・マルチの合成処理により高解像度化した 3 バンドカラー画像

^{*2}新規撮影においては、別途新規撮影料が必要な場合がある

通常観測要求: なし、優先観測要求: 550,000 円

EROS-A1

表 2-5 EROS-A1 の製品一覧

製品名称	種別 ^{*1}	分解能	価格 ^{*2}	位置精度	最小注文面積
Level 1A Level 1B	パンクロ	1.8m	260,000 円/シーン		1 シーン

^{*1}種別については以下の通り

パンクロ: 単バンドモノクロ (パンクロマティック) 画像

^{*2}新規撮影においては、別途新規撮影料が必要な場合がある。

NARS-標準観測要求: なし、PARS-優先観測要求: 250,000 円

PAS-緊急観測要求: 1,672,000 円 (データ代含む)

一般に、衛星画像製品は、適用される補正処理レベルに応じて、複数の製品が提供される。以下に、補正処理のレベル毎に該当する製品を整理した。

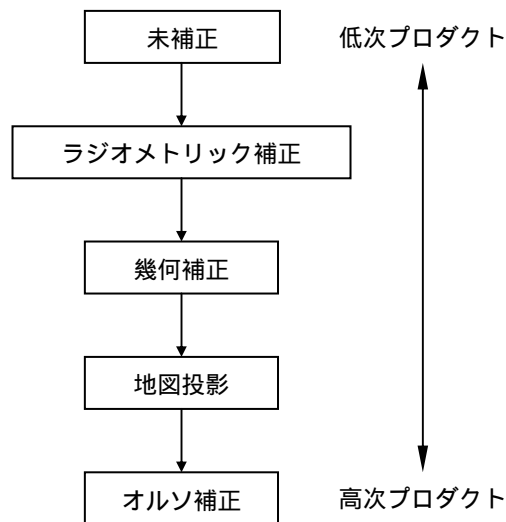


図 2-1 衛星画像製品の処理レベル

- ・製品レベル0（適用される補正処理：なし）
データ補正に関わる如何なる処理も行っていない生データに、補正に必要な情報等を付加した製品を指す。画像処理に関する専門知識と設備を有するユーザ向けに提供される。
- ・製品レベル1（適用される補正処理：ラジオメトリック補正⁵）
センサの感度特性に起因する最低限の補正がなされた製品を指す。幾何学的な歪みに関する補正は適用されない。主に専門的な画像処理を行うユーザ向けに提供される。
- ・製品レベル2（適用される補正処理：幾何補正）
ラジオメトリック補正に加え、衛星の軌道位置や姿勢の誤差、地球の自転や湾曲などの幾何学的な歪みに関する補正が施された製品を指す。

⁵ ラジオメトリック補正：放射量に関する補正のこと。一般には、センサ感度特性の補正に加え、太陽の位置や角度の影響、大気の状態（霧など）などに起因する放射量の歪みを補正することをいう。

- ・製品レベル3（適用される補正処理：地図投影）
ラジオメトリック補正・幾何補正に加え、地図投影面への射像がなされた製品を指す。衛星の姿勢と軌道情報から画像の位置を特定するが、GCP（地上基準点：Ground Control Point）を使用する場合もある。

- ・製品レベル4（適用される補正処理：オルソ補正）
標高データを用いて地形の高低差に起因する歪みを補正し、正射投影に加工した製品を指す。高い位置精度を有し、地図との重ね合わせが可能となる。画像地図として扱うこともできる。

表に、レベルに応じた衛星毎の製品一覧を示す。

製品レベル0およびレベル1の画像を扱うには専門的なツールや知見を必要とする。したがってここでは、レベル2以降の製品を対象とする。

表 2-6 レベル別にみた衛星毎の製品一覧

	IKONOS	QuickBird	SPOT-5	EROS-A1
レベル0				
レベル1		基本画像 プロダクト	Level1A	Level1A
レベル2			Level1B	
レベル3	デジタルジオ画像	標準画像 プロダクト	Level2A (GCP 未使用) Level2B (GCP 使用)	Level1B
レベル4	デジタルオルソ ライト画像 デジタルオルソ エキスパート画像	オルソ画像 プロダクト	Level3	

網掛け：本ガイドラインの対象とする製品

参考：衛星の運用形態について

高分解能衛星は、運用の形態により、撮影時の諸条件の設定やユーザーへの対応が若干異なる。以下は、IKONOS 衛星と QuickBird 衛星の運用の形態である。

表 2-7 運用の形態

	IKONOS 衛星	QuickBird 衛星
撮影角度	<p>最大 45 度までの撮影角度により広範囲の撮影が可能であるが、通常は撮影角度を 15 度までとし、出来る限り真上に近い角度からの撮影を行っている。</p> <p>ユーザーによる撮影角度の指定はできない。</p>	<p>原則として 0 度～25 度の撮影角度において運用している。</p> <p>ユーザーによる撮影角度の指定にも応じている。</p>
衛星への撮影指示およびデータ受信	<p>撮影指示およびデータ受信を国内設備から実施。撮影当日の天候等を考慮したフレキシブルな対応と迅速なデータ受信が可能。</p>	<p>撮影指示、データ受信とも海外設備から対応。</p>

3. 衛星画像の品質

衛星画像の品質を示す実用的な指標として、分解能、画質、位置精度がある。これらを左右する要因には天候条件や機器、処理の仕様といったものがある。

高分解能衛星画像の利用にあたっては、画像の実利用にあたり不都合がないか予めチェックしておく必要がある。ここでは、チェックの対象となる項目を列挙し、各々の意味や性質について説明する。

3.1 分解能

ここいう分解能とは、地表面が撮影された高分解能画像において、1画素が地上で占める大きさを示す。なお画素とは、数値化された2次元の像の最小単位のことである。

3.2 画質

ここでは、雲やノイズ、影の有無や程度、画像の明るさなどを指す。画質に影響を与える要因は以下のように整理される。

(1) 天候条件

例えば、雲や雲影、大気中の水蒸気や浮遊物（黄砂等）の影響により、データの欠測や異常値が計測されたり、画像のコントラストや色調が変化することでオペレータの視認性が低下するなどの問題が考えられる。

(2) 計測機器やシステム

希に、ハードウェアやシステムに起因すると思われる何らかの原因で、画像にノイズ（例えば、斑点状のものやライン状のもの）が混入することがある。

(3) 地物の存在

例えば、密集した樹林や、高層建築物の影の部分では、地盤や地物が隠れてしまうため、直接情報を得ることは困難である。

3.3 位置精度

絶対位置、既存図や既知点との整合性等を指す。

精度に影響を与える要因は、データ取得時の条件とデータ処理（幾何補正）の方法が挙げられる。

データ取得時の条件

空中写真撮影における撮影諸元や航空機搭載型レーザスキャナによる計測の諸元等、対象の一次計測の諸元は要求精度によって必然的に決まるものであるため、新規に計測する場合には、当然それを満たすような条件、設定がなされる。すなわち、ある精度を満たすために適切な空中写真の撮影縮尺があり、それを実現するための適切な飛行高度やレンズの焦点距離等が決められる。

しかし人工衛星の場合は、同一のセンサにより固定された同一軌道上から撮影しているため、基本的には諸元は同じであり、得られるデータの位置精度は変わらない。但し、ポインティング（首振り）機能により撮影方向を変えた場合は、最初に得られるデータの精度も変化することを念頭に置く必要がある。具体的には、直下を撮影した画像と、斜視のものとは後者のほうが歪みが大きくなる。

データ処理（幾何補正）の方法

幾何補正の方法も精度に影響を与える。すなわち、2.2で述べたような、適用される補正処理のレベルによって製品の位置精度も異なる。

4. 高分解能衛星画像への要求仕様

高分解能衛星への要求仕様は、対象とする地形図の要求精度により異なる。

位置精度の側面からの高分解能衛星への要求仕様は、対象とする地形図の要求精度、すなわち公共測量作業規程第195条に定められる修正測量の精度を満たすものとする。

表 4-1 修正測量の精度

項目		縮尺 (1/1,000 以下)	摘要	
標準偏差	水平位置	1.0mm 以内	図上距離	
	標高	標高点	$h/2$ 以内	h は主曲線の間隔
		等高線	$h/2$ 以内	同上

ただし、本ガイドラインで対象としている単画像のデジタル化では、高さの情報を抽出することはできないため、水平位置の精度を要求仕様とする。

一方、画質、分解能の側面からは、修正対象項目（地物）が判読できることが条件となる。具体的には、表 1-2，表 1-3 の項目のうち、ユーザが修正する項目について当該画像からの判読可能性を判断する。

画質については、対象項目が雲や影、ノイズ等に妨げられることなく明瞭に確認できることが条件である。

分解能については、衛星画像の分解能と地形図の縮尺に応じて、以下の式を参考に、画像を見ながら判断する。

$$s = 1 / (5 , 0 0 0 \times r)$$

ただし、s：地形図の縮尺，r：衛星画像の分解能（m）⁶

例えば、1 / 5 , 0 0 0 の地形図修正には、1 m 分解能の画像を使うことを目安とする。

⁶ 長 村井:判読を目的としたデジタル衛星画像の適正縮尺の検討,「写真測量とリモートセンシング」
Vol.32,No.1, 1993.

5. 地形図修正

地形図修正作業は、衛星画像の整備、予察、地形図修正の順で行う。

高分解能衛星を用いた地形図修正作業は、「衛星画像の整備」「予察」「地形図修正」の順で実施する。以下に、それぞれの作業について記述する。

5.1 地形図修正用衛星画像の整備

衛星画像の整備が適切におこなわれなければ、後続の工程をいかに丁寧におこなったとしても要求精度を満たすことは難しい。ここでは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、処理について述べる。

- (1) 既存の画像を利用する場合
フローを図 5-1 に示す。

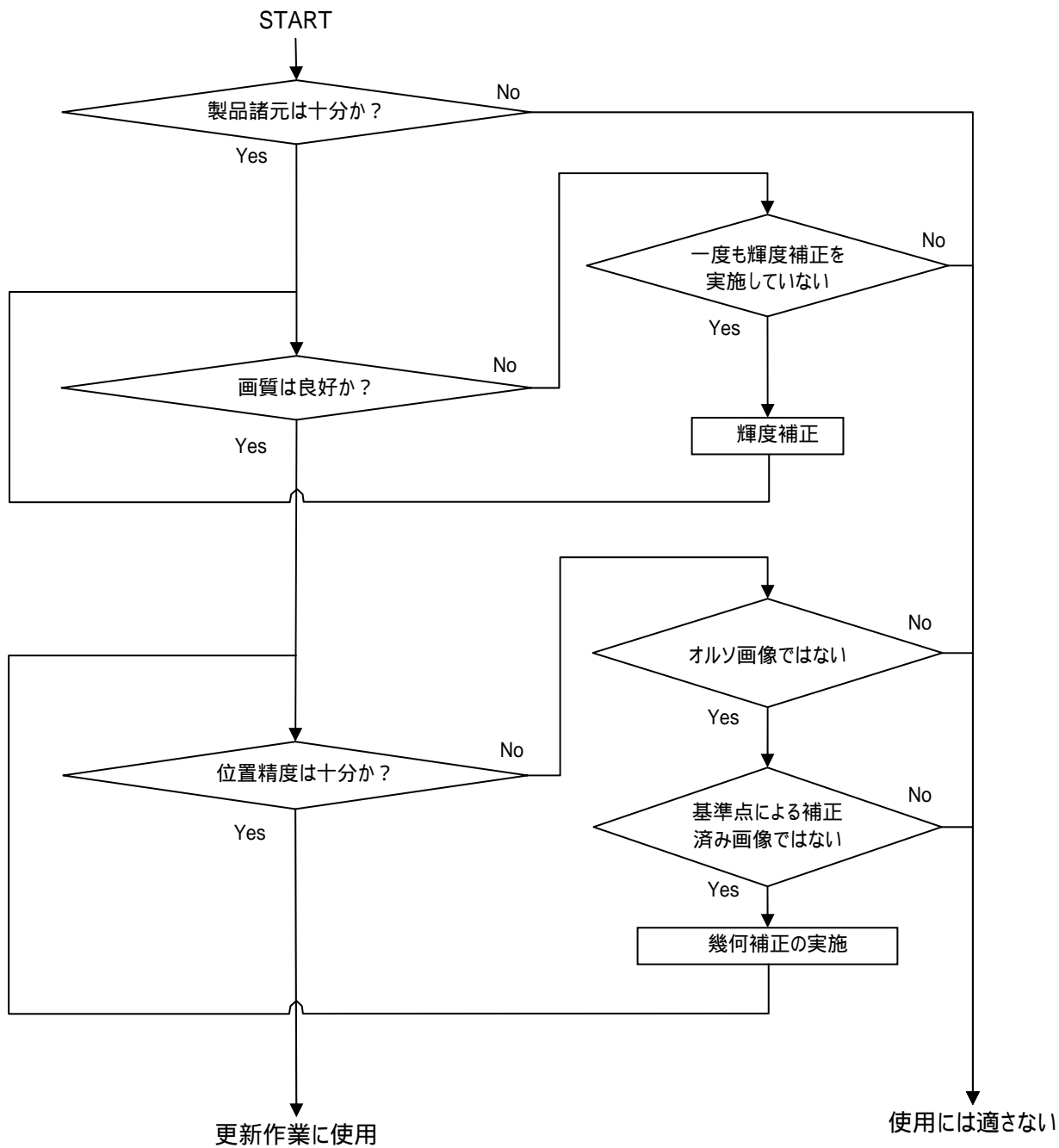


図 5-1 衛星画像整備フロー

製品の諸元

確認する項目：【分解能】【撮影時期】【撮影範囲】【撮影方向】

対象とする地形図および項目が判読できる分解能であるか、撮影時期は適切か（古くないか）、撮影範囲は適切か、撮影方向（角度）は判読に支障のない程度かを、仕様および画像を確認することにより判断する。

画質

確認する項目：【雲】【ノイズ】【明るさ】【影】

まず対象地域の画像に、判読の妨げとなる雲やノイズがないか、あったとしても問題にならない程度のものであることを確認する必要がある。また、雲やノイズ以外に、画像全体の見やすさ（明るさ等）についても確認する。

輝度補正

雲やノイズは無いが画像が全体的に見づらいといった場合には、明るさ、色調の調整が有効な場合がある。代表的な手法として、原画像のヒストグラムに偏りがある場合、その画素値域をより広い値域に線形に引き伸ばす線形変換があり、画像のコントラストを向上させたりするのに最も簡便な方法である。

原画像の画素値域 [X_a, X_b] を [Y_c, Y_d] に変換する線形変換は以下の式で表される。

$$Y_j = \frac{Y_d - Y_c}{X_b - X_a} (X_i - X_a) + Y_c$$

ただし、 X_i 、 Y_j は、それぞれ変換前、後の最大許容画素値域

なお線形変換に限らず、最適な輝度補正の手法や程度は、画像毎にヒストグラムが異なることや画像の視認しやすさが作業者によって異なることもあり、一概には言えないが、この場合目的としては作業者が見やすい画像を作成することにあるので、市販のフォトタッチソフト⁷等を利用していろいろな補正方法、パラメータを、ディスプレイ上で画像を適宜確認しながら補正することも、作業を容易に行う上で有効な手段の1つである。

⁷フォトタッチソフト：画像の編集・加工など、目的としたPCソフトウェア。近年のデジタルカメラの普及と相まって、使いやすいユーザインターフェースにすぐれたものが数多く市販されてきている。

精度検証

幾何補正済みの画像の水平方向の誤差を検証し、要求精度を満たすかどうかを判断する。精度検証は、画像の有する精度が既知の場合にはその値と要求精度の値とを比較する。未知の場合には、原則として座標が既知である基準点と、その点に対応する画素点の座標の誤差（残差）で評価する。以下にその手法について記す。

< 基準点を利用した評価 >

基準点は、対象地域内に偏りのないように、10 数点以上設定することが望ましい。例えば、対象とする地図を縦 3 分割横 4 分割してできる格子の中に、それぞれ 2 ~ 3 点ずつ設置する。

基準点は、画像上での視認および地図との対比が容易な以下のような場所のうち、対象地域内で明らかに経年変化がない箇所で取得する。

- ・工場等の堅牢建物の角
- ・人工的な河岸 / 海岸の縁（埠頭や防波堤の先端など）
- ・道路の交差点の縁辺部の角

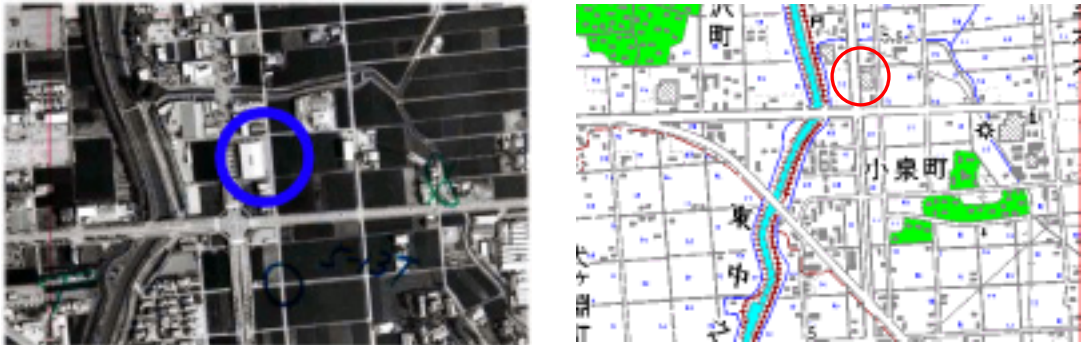


図 5-2 基準点の取得候補箇所の例（堅牢建物）

基準点の取得方法は三角点の利用や現地測量、空中写真測量、地図データの利用等が考えられるが、いずれにしても検証対象とする縮尺に対して十分精度の高いものでなければならない。その目安として、ここでは基準点の精度が使用する衛星画像の分解能に収まっていれば良いとみなし（それ以上の精度を有していたとしても衛星画像上では区別できないため）、表 5-1 を基準とする。

表 5-1 基準点の精度

地形図縮尺	必要分解能	基準点に必要な精度	地図データを利用する場合の最小縮尺
1/2,500	0.5m	±0.25m	1/500
1/5,000	1 m	±0.5 m	1/500
1/10,000	2 m	±1 m	1/1,000
1/25,000	5 m	±2.5 m	1/2,500

精度検証は、各基準点毎の RMS error を求め、その標準偏差で評価することとする。RMS error は以下の式で求められる。

$$RMS\ error = \sqrt{(X_r - X_i)^2 + (Y_r - Y_i)^2}$$

但し、 X_r, Y_r 基準点座標

X_i, Y_i 基準点に対応する画像座標

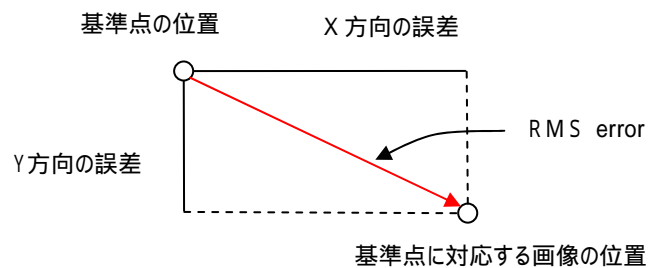


図 5-3 各基準点における誤差と RMS error

また、基準点における定量評価に加え、以下のような定性的な確認も補助的手段として有効である。

< 地図の利用 >

ベクタ地図あるいはラスタイメージ化された地図等と対象画像をオーバーレイし、画像全体あるいは要所要所で一致の程度をチェックすることで、位置ずれや歪みの程度を判断する。

< 既存画像の利用 >

要求仕様を満たした画像と比較することで利用に適した精度か否かを検証する。画像全体あるいは要所要所をチェックすることで、位置ずれや歪みの程度を判断する。

精度検証の結果、位置精度が十分でないとは判定された画像のうち、以下のものは使用には適さない。

- a. オルソ画像
- b. オルソ画像ではないが、基準点を用いた補正が行われている画像

これらの画像がDEM（数値標高データ）や基準点を用いて補正されているにもかかわらず精度を満足しないということは、元画像の歪みが複雑であったり、変換式の精度が不十分であることが考えられるが、一般に、このような画像に対し、さらに補正を行っても精度を向上させることは困難である。

上記のいずれにも当てはまらない場合には、幾何補正の実施により精度を満たすことができる可能性がある。

幾何補正の実施

地形図と画像とを対比させ、同一とみなせる点を基準点として複数設定し座標を取得したのち、変換式を作成して画像を幾何補正する。

基準点の設定および取得は、精度検証と同様の方法で良いが、幾何補正後に再度精度検証する際には異なる基準点を使うものとする。

幾何補正の変換式には、「拡大・縮小」「平行移動」「回転」「スキュー（平行四辺形状の斜めの変換）」に対応した、線形（1次）変換と、より複雑な歪みの補正に対応した非線形（2次以上の高次）変換があるが、システム補正済みの衛星画像であれば線形変換で十分な場合が多い。以下に線形変換の式を示す。

$$u = a x + b y + c$$

$$v = d x + e y + f$$

(u , v); 出力座標 (x , y); 入力座標

ここで、a , b , c , d , e , f は変換係数とも呼ばれ、基準点の座標の組を与えて最小二乗法により決定される。

なお、以上の一連の処理に必要な機能は、地理情報を扱える画像処理装置やGISでパッケージ化されて組み込まれているので、これらを用いると容易かつ効率良く実施できる。

次頁に、必要な一連の判断を整理した、地形図修正用衛星画像のチェックシート例を示す。

表 5-2 地形図修正用衛星画像 チェックシートの例

諸元	分解能	分解能： _____m 判読可能な地形図縮尺の目安*1 1 / _____	適（左の縮尺が更新対象とする地形図の縮尺よりも大きい） 否（同 小さい）
	時期	適（概ね1年以内に撮影されている） 否（撮影時期が古い）	
	範囲	適（地形図の範囲が全て撮影されている） 否（撮影されていない範囲がある）	
	方向	適（斜視による建物等の歪みは小さい） 否（歪みが大きく、建物等の正しい位置がトレースできない恐れがある）	
	適（いずれの項目も「適」） - - - - - 画質の確認へ 否（いずれかの項目が「否」） - - - - - 使用には適さない		
画質	雲・ノイズ	適（雲やノイズが全くないか、あっても判読の妨げにならない程度である） 否（地形図の範囲に全く見えない、または見づらい部分があり、判読の支障となる恐れがある）	
	明るさ・影	適（適度な明るさであり判読の妨げとはならない） 否（明るすぎる、または暗すぎる部分があり、判読の支障となる恐れがある）	
	適（いずれの項目も「適」） - - - - - 位置精度の確認へ 否（いずれかの項目が「否」） 雲・ノイズのチェックが「否」 - - - - - 使用には適さない 明るさ・影のチェックが「否」 一度も 輝度補正を行っていない場合 - 輝度補正を実施後、再度 画質の確認へ 既に 輝度補正を行っていた場合 - - - 使用には適さない		
位置精度	水平精度	RMS*2： _____m	許容誤差*3： _____m
	適（精度を満たしている） - - - - - 更新作業に使用 否（同 満たしていない） 衛星画像は判読画像である場合 - - - - - 更新作業に使用 衛星画像は判読画像ではないが、基準点を用いた補正が行われている場合 - - - - - 使用には適さない 上記のいずれでもない場合 - - - - - 幾何補正を実施後、再度 位置精度の確認へ		

*1 縮尺の分母 = 5000 × 分解能(m)

*2 精度が既知の場合はその値を、未知の場合は精度検証結果を記入

*3 許容誤差 = (更新対象地形図の縮尺の分母) × 0.1 × 1000(m)

(2) 新規に画像を注文する場合

この場合、購入後チェックの結果使用には適さないということを避けるために、購入前に利用可能かどうかを判断する必要がある。具体的には、高分解能衛星画像の取り扱い代理店に直接問い合わせ、注文することになるが、データの内容について Web による検索システムを提供しているところもあり、カタログ画像（検索、参照用に分解能を下げて作成されたもの）やそのメタデータ（説明）により仕様や画質（ノイズの有無、画像に占める雲に覆われている面積の割合など）を調べることが可能である。確認する項目は、既存の画像を利用する場合と同様である。

製品の諸元

確認する項目：【分解能】【撮影時期】【撮影範囲】【撮影方向】

画質

確認する項目：【雲】【ノイズ】【明るさ】【影】

精度検証

確認する項目：【製品種別と位置精度】

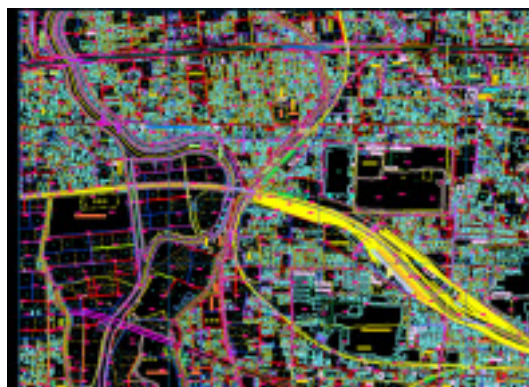
5.2 予察

CAD 等の地図編集ソフトを用いて、衛星画像と旧地図データをオーバーレイ（重ね合わせ表示）し、経年変化が認められる箇所を目視で抽出する。



衛星画像の例

+



旧地図データの例（1/2,500）



オーバーレイ

図 5-4 オーバーレイのイメージ



図 5-5 衛星画像と旧地図データとのオーバーレイ

上図は、更新対象地における衛星画像と旧地図データとのオーバーレイの例である。画像中央のやや左寄り、上寄りのエリアにおいて、集合住宅や工場等と思われる堅牢建物が、一般建物（戸建て住居）に変化している。

このような箇所を画像全体から抽出し、更新対象地としてポリゴン化する。



図 5-6 旧地図データ（白枠内は更新候補地）

なお目視判読は、作業を注意深く行っても抽出モレが起きる可能性があるため、メッシュ（格子）を設定し、そのメッシュ単位に作業を実施すると良い。上図の 1/2,500 図 1 面に対しメッシュを設定し更新対象地をポリゴン化した例を以下に示す。

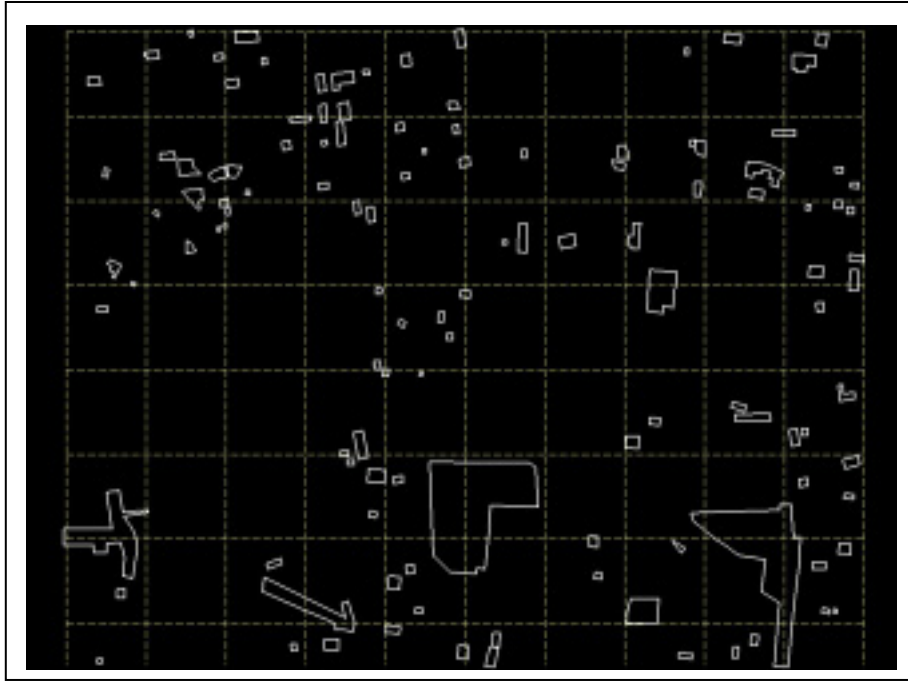


図 5-7 更新対象地抽出のイメージ

抽出した更新候補地について、建物の影や樹木等で不明瞭なところや、注記等の画像からでは抽出できないものについて、現地調査により補測を行う。

予察結果は地形図と同縮尺でプロッタ出力しておき、現地調査結果と併せて地図更新や修正部検査に利用する。将来的には、予察結果をデジタル化しコンピュータ上で修正・検査を行うことも考えられる。

5.3 地図更新

CAD 上に衛星画像と更新候補地域ポリゴンデータをオーバーレイし、更新地域の地図データの編集対象項目（取得可能項目）を図式規程に従って取得、編集する。

画像から確実に抽出できる地物のみを対象に、衛星画像を背景にデジタル化して地図データを作成し、プロッタ出力する。

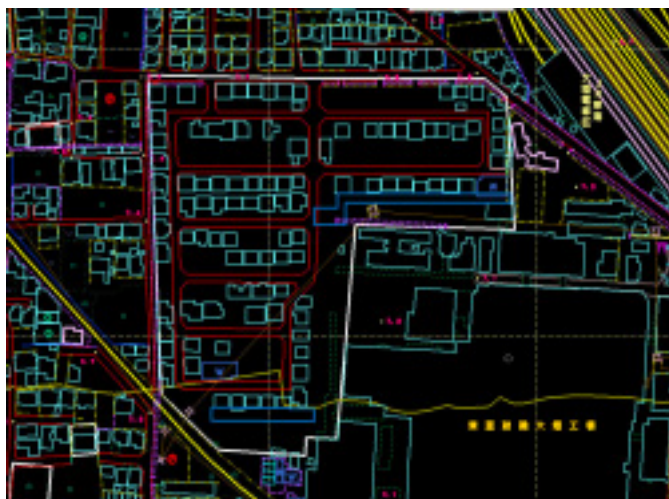


図 5-8 更新後の地図データ

本手法は、画像を作業者が判読して地物の輪郭を取得するという面において、従来手法となんら変わりはなく、同様に作業を行うものとする。すなわち、従来手法では空中写真画像を図化機を通して判読、トレースしていたのに対して、衛星画像を GIS や CAD ソフト上で判読してデジタル化するという違いにすぎない。ただし、前者ではステレオペア写真の利用により高さ方向の情報が得られるのに対し、本手法では単画像の利用を前提としているため、以下の点に注意が必要である。

直下視以外の衛星画像を用いる場合、ビルなどの高さのある地物は斜めに写り込んでいる⁸。1/2,500 や 1/5,000 の建物データは、屋根の輪郭を取得することになっているので、そのままデジタル化したのでは画像上の屋根の位置と真位置にズレが生じる。使用する衛星画像がオルソ画像の場合でも、画像の位置精度は地盤面における精度である。したがって、このズレが誤差許容範囲内に納まることを確認する必要がある。

更新作業終了後は、衛星画像、予察図、現地調査結果と修正後の地形図を対比させ、修正漏れや修正ミスの検査を行う。またこれらの資料は、従来手法と同様に、必要に応じて検査機関に提出できるように作成しておくのが望ましい。

⁸ 位置精度の高いオルソ画像を用いる場合でも、撮影時に斜視であれば同じ状況である。