

衛星データ処理マニュアル

目次

総則

1. 目的	2
2. 構成	2

解説編

1章 リモートセンシング技術の解説	3
1. 1 プラットフォームとセンサについて	3
1. 1. 1 リモートセンシング技術の概要	3
1. 1. 2 プラットフォームとセンサの種類	4
1. 1. 3 プラットフォームおよびセンサの特徴比較	7
1. 1. 4 センサとプラットフォームの組み合わせ	11
1. 2 データ取得から入手に至るまでの留意点	12
1. 2. 1 データ取得要求から入手に至るまでの時間的制限	12
1. 2. 2 データ取得に関する天候および時間的制限（昼夜）	16
1. 2. 3 プラットフォームから運用機関へのデータ伝送方法	21
1. 2. 4 ユーザへの配信方法・所要時間	23
2章 都市緑地の変遷調査に適したリモートセンシング技術の解説	24
2. 1 センサ・プラットフォームの選択	24
2. 1. 1 都市緑地の変遷調査に有用なセンサ・プラットフォームとは	24
2. 1. 2 代表的なリモートセンシング衛星	26
2. 1. 2. 1 LANDSAT 衛星	26
2. 1. 2. 2 Terra 衛星	28
2. 1. 2. 3 ALOS 衛星	30
2. 2 データ入手について	32
3章 画像処理手法による都市緑地の変遷抽出に関する技術	33
3. 1 データ処理全体の流れ	33
3. 2 前処理	34
3. 3 都市緑地の変遷抽出のための画像処理	35
3. 4 都市緑地の変遷抽出に関する現状と課題	36

巻末資料

○ 都市緑地変遷抽出の事例	39
---------------	----

総 則

1. 目 的

京都議定書への対応として、我が国は IPCC ガイドライン及び「土地利用、土地利用変化及び林業に係るグッドプラクティスガイダンス (LULUCF-GPG)」で定められた方法に従って、第一約束期間内に温室効果ガス排出・吸収目録を作成し、提出する必要がある。このうち都市緑地は、3条4項「追加的人為的活動」の一つ「植生回復 (revegetation)」に関連して、温室効果ガス吸収量を算定することになる。植生回復の基準年が 1990 年であること、透明で検証性のある算定方法やデータが求められていることなどを鑑みると、地球観測衛星データや各種地理情報の利用性は高い。

しかしながら、地球観測衛星データの入手、処理は煩雑で専門性が高いため、一般に広く普及しているとは言い難い状況である。

本マニュアルは、リモートセンシング技術を活用して迅速に都市緑地の増減を把握するための仕組みを解説することを目的としてまとめたものである。

2. 構 成

本マニュアルは、リモートセンシング技術についての全般的な解説 (第 1 章)、都市緑地の変遷調査に適したリモートセンシング技術の解説 (第 2 章)、都市緑地の変遷抽出技術に関する画像処理手法の解説 (第 3 章) によって構成される。また、実際に都市緑地の変遷を抽出した事例を巻末資料で紹介した。

図 1 に本マニュアルの構成を示す。

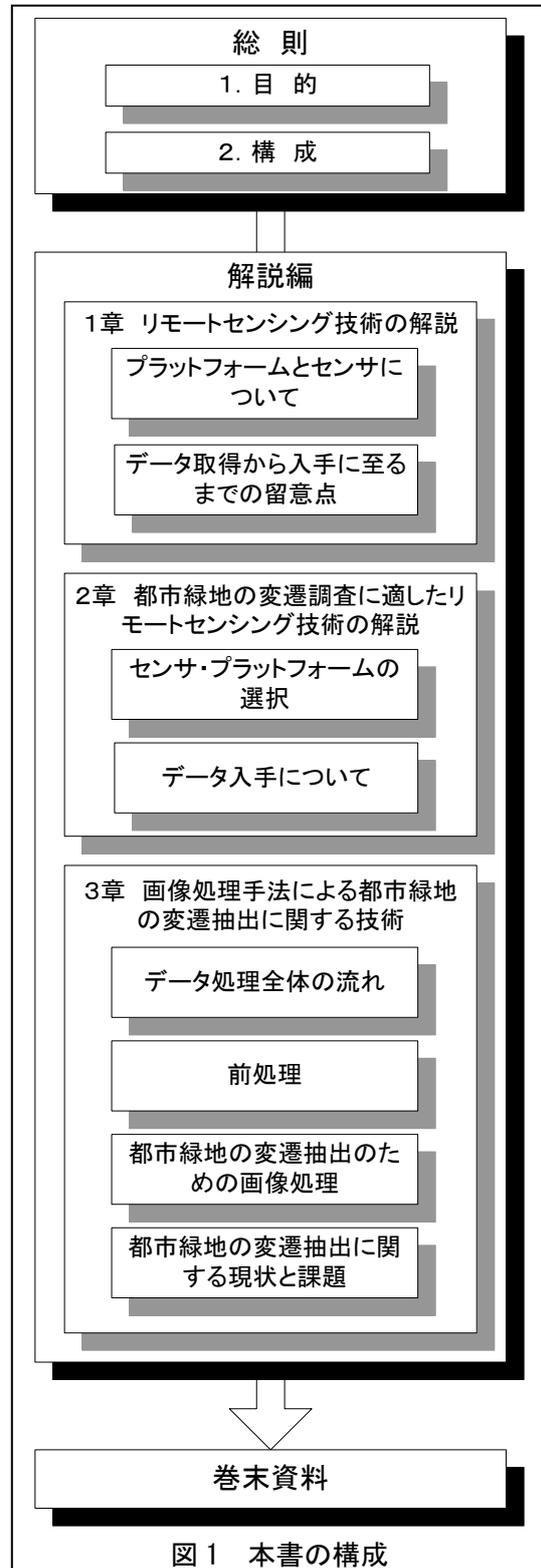


図 1 本書の構成

解 説 編

1章 リモートセンシング技術の解説

1. 1 プラットフォームとセンサについて

1. 1. 1 リモートセンシング技術の概要

リモートセンシングとは、対象物に触れずに調査する技術である。これにより、上空から地球上を観測し、地表面の地物の性状や変化を解析することができる。

リモートセンシングは、対象物から電磁波等を受ける装置（センサ）と、センサを搭載する移動体（プラットフォーム）によって行われる。観測に利用されるセンサには、受動方式と能動方式がある。

【解説】

(1) リモートセンシングとは

リモートセンシングとは、直接物体に触れずに、物体の大きさや性質を調べる技術であり、「遠隔探査」とも呼ばれている。リモートセンシングでは、我々がいつも見ている可視光線のほか、赤外線やマイクロ波といったいろいろな電磁波が利用されている。リモートセンシングの代表的な例としては、航空機、ヘリコプタおよび人工衛星などによる観測があげられる。

なお、このほかに音波や重力などを利用したリモートセンシング技術があり、広義にはこれらも含めてリモートセンシングと称する。

(2) プラットフォームとセンサ

リモートセンシングでは、カメラやスキャナなど電磁波を受ける装置をリモートセンサあるいは単にセンサといい、センサを搭載する航空機や人工衛星、さらに飛行船やUAV（無人飛行機）をプラットフォームと呼んでいる。

人工衛星の代表例としてはLANDSAT、Terra、SPOT、ALOS、IKONOSといった地球観測衛星があげられる。とくに衛星リモートセンシングは「周期性」、「同時性」、「広域性」といった特徴を生かし、従来からさまざまな観測に用いられている。

1. 1. 2 プラットフォームとセンサの種類

プラットフォームには多くの種類があり、さまざまな特徴を持ったセンサを搭載している。

(1) プラットフォームの種類には、人工衛星、飛行船(成層圏プラットフォーム*)、航空機、ヘリコプタ、UAV(無人飛行機)などがある。

(2) センサの種類は、光学センサ、マイクロ波センサ、レーザセンサに分類される。

プラットフォームは、データの撮影のタイミングを、センサは画像の地上分解能や画質を決める要素といえる。

【解説】

(1) プラットフォームの種類

リモートセンシングで主に利用されているプラットフォームは、表 1-1-1 に示す種類がある。LANDSAT、Terra、SPOT、ALOS 等の中分解能人工衛星は、円軌道衛星と呼ばれ、飛行高度は、上空 500~1,000km である。IKONOS、QuickBard 等の高分解能人工衛星の飛行高度は上空約 500km である。熱圏から成層圏までの範囲では、スペースシャトル、気球、飛行船、ジェット機が用いられ、対流圏以下では、航空機やヘリコプタ、UAV が主に使用される。

表 1-1-1 プラットフォームの種類(参考例)

プラットフォーム		飛行高度		利用例
人工衛星	円軌道衛星	外気圏	500km~1,000km	Landsat(米), Terra(米), SPOT(仏), RADARSAT(加), ALOS(日), IKONOS(米), QuickBard(米)等
スペースシャトル		熱圏 成層圏	240km~350km	SIR(米)
気球・飛行船			100m~100km	
航空機	高高度ジェット機	対流圏	10,000m~12,000m	
	低中高度飛行機		300m~8,000m	
ヘリコプタ			100m~2,000m	
ラジコン機			500m以下	
UAV			150m以下	固定翼(グライダー) 固定翼(ヘリコプタ)など

(2) センサの分類

物質には電磁波を受けると、物質の種類や状態に応じて電磁波を反射したり吸収したりする性質と、熱を帯びると特有の電磁波を放射する性質がある。センサはこのように物質から反射あるいは放射される電磁波を測定することにより対象物を識別するものである。

センサは、受動方式のセンサと能動方式のセンサに大別することができる。

受動方式のセンサとは、対象物が反射、または放射している電磁波エネルギーを受動的に検知するタイプのセンサである。

人間が目にする植物、土、水といった物体は、太陽などの光源から発した光を受け、それぞれ物体によって電磁波長ごとに固有の反射をしている。これを物体からの分光反射特性という。植物は近赤外の領域で強い反射を示し、土は可視域から赤外域へと波長が長くなるほど反射が強くなる。水は逆に短波長域で強い反射を示し、赤外域では反射しない。この分光反射特性を利用することで対象物を判別することができる。センサは波長帯ごとに細かく分けられ目的とする波長帯のセンサを用いて観測が行われる。中分解能人工衛星*LANDSAT では7つの波長帯、ALOS/AVNIR-2 では4つの波長帯、高分解能人工衛星**IKONOS では4つの波長帯に分けられ観測されている（図 1-1-1 参照）。

能動方式のセンサとは、センサから対象に向けて電磁波（近赤外・マイクロ波など）を放射し、その反射波（後方反射強度）を収集するタイプのセンサである。代表的なものに RADARSAT 衛星から得られる SAR 画像***がある。マイクロ波は、雲を透過するため、天候の制約を受けることなく観測できることや昼夜の別なく観測できることが大きな特徴である。

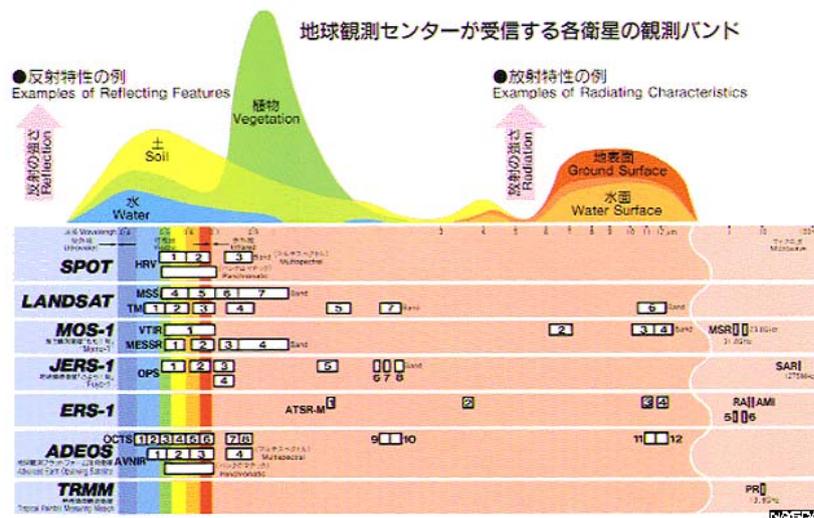


図 1-1-1 分光反射パターンとセンサ取得帯

出典：(独) 宇宙航空研究開発機構 (JAXA) ホームページ：

http://www.eorc.jaxa.jp/hatoyama/satellite/observation/image/remote_g.jpg

*中分解能人工衛星：LANDSAT、Terra/ASTER、RADARSAT などの分解能数 m～数百 m 程度の人工衛星。この他、分解能が 1m 程度の高分解能人工衛星 (IKONOS、QuickBird など)、分解能が数百 m 以上の低分解能人工衛星 (NOAA、ADEOS-II など) と呼ばれる人工衛星がある。

**高分解能人工衛星：IKONOS、QuickBird に代表される分解能 1m 以下の人工衛星。この他、分解能が数 m～数百 m である中分解能人工衛星 (LANDSAT、Terra/ASTER、RADARSAT など)、分解能が数百 m 以上の低分解能人工衛星 (NOAA、ADEOS-II など) と呼ばれる人工衛星がある。

***SAR (合成開口) 画像：表 1-1-2 参照

受動方式及び能動方式センサは、それぞれ使用する電磁波の波長帯域によって光学センサ、マイクロ波センサ及びレーザセンサに分類される。可視から赤外に至る領域のセンサを総称して光学センサと呼び、マイクロ波領域のセンサを総称してマイクロ波センサと呼ぶ。また、最近開発されたレーザセンサは近赤外等が利用されている（表 1-1-2）。

表 1-1-2 センサの種類

収集方式	区分	センサ	波長帯域	アナログ / デジタル	撮像原理	
受動方式	光学センサ	カメラ	可視～赤外	アナログ / デジタル	カメラレンズによる集光後、以下の方法で画像を取得する。反応する波長帯により、カメラの種類が分けられる。 アナログ方式：感光フィルム、磁気テープ デジタル方式：CCD、CMOS	
		ビデオカメラ	TVカメラ	可視～赤外		アナログ / デジタル
			超高感度カメラ	可視～赤外		アナログ / デジタル
			赤外カメラ	赤外		アナログ / デジタル
	スキャナ	オプティカルメカニカルスキャナ	可視～赤外	デジタル	回転鏡により地表からの放射を分光して観測を行う機械走査型放射計。スキャナをプラットフォームに搭載し、スキャナの走査方向と直交する方向に移動することで1画素ずつ2次元の情報を得る。 例. Landsat	
プッシュブルームスキャナ		可視～赤外	固体光電子変換素子が1列に並んだ構造の検知器（リニアアレイセンサ）を用いる。スキャナをプラットフォームに搭載し、スキャナの走査方向と直交する方向に移動することで1ラインずつ2次元の情報を得る。 例. ALOS、SPOT			
能動方式	マイクロ波センサ	合成開口レーダ（SAR）	マイクロ波	デジタル	プラットフォームから進行方向にマイクロ波を照射し、観測対象物から戻ってくる後方散乱波を画像の形で記録する。合成開口処理により進行方向の分解能を改善したものを合成開口レーダという。 プラットフォームの進行方向に対し直角方向に走査を行い2次元画像を得る。	
	レーザ	レーザスキャナ	近赤外等	デジタル	レーザ光を発射して、その散乱・反射光の戻る時間や強度、周波数偏移、偏光状態の変化等から、測定対象の距離、濃度、速度、形状などの物理的性質を測定する。	

CCD：電荷結合素子。表面に光を電荷に変えるフォトダイオードが並んでいる。
CMOS：2種類のトランジスタ素子を半導体基板上に形成した回路。

1. 1. 3 プラットフォームおよびセンサの特徴比較

プラットフォームおよびセンサにはそれぞれ長所・短所があり、目的に応じた組み合わせが必要である。

(1) プラットフォームには、人工衛星のように常に決められた軌道上を飛行し、撮影時刻がほぼ決まっているものや、航空機・ヘリコプタのように任意の場所、時刻で撮影が可能なものがある。

(2) センサには、種類によって、データ取得時の天候や時間帯などによる制限を受けるものがある。

[解説]

(1) プラットフォームの特徴比較

人工衛星や飛行船は常時上空にあるため、航空機やヘリコプタと違って機体運用を必要としない。

表 1-1-3 にプラットフォームの運用面での特徴比較結果を示す。また、飛行高度別のプラットフォームを図 1-1-2 に示す。

表 1-1-3 プラットフォームの特徴比較

項目	人工衛星	飛行船	航空機	ヘリコプタ	UAV
機体運用	○ 不要	○ 不要	× 必要	× 必要	× 必要
撮影までの迅速性	○ 2 時間～	○ リアルタイム	○ 数時間～	○ 30 分～	○ 数時間～
軌道の融通性	× 固定軌道	× 定位置	○ 有り	○ 有り	○ 有り
データ更新性	○ 定期観測	○ 常時観測	× 困難	× 困難	× 困難
天候の影響	○ 無し	○ 無し	△ 有り	△ 有り	○ 無し
夜間運用	○ 可能	○ 可能	△ 可能	○ 可能	○ 可能
カバーエリア	○ 大	○ 大	△ 中～大	△ 中	△ 小～中

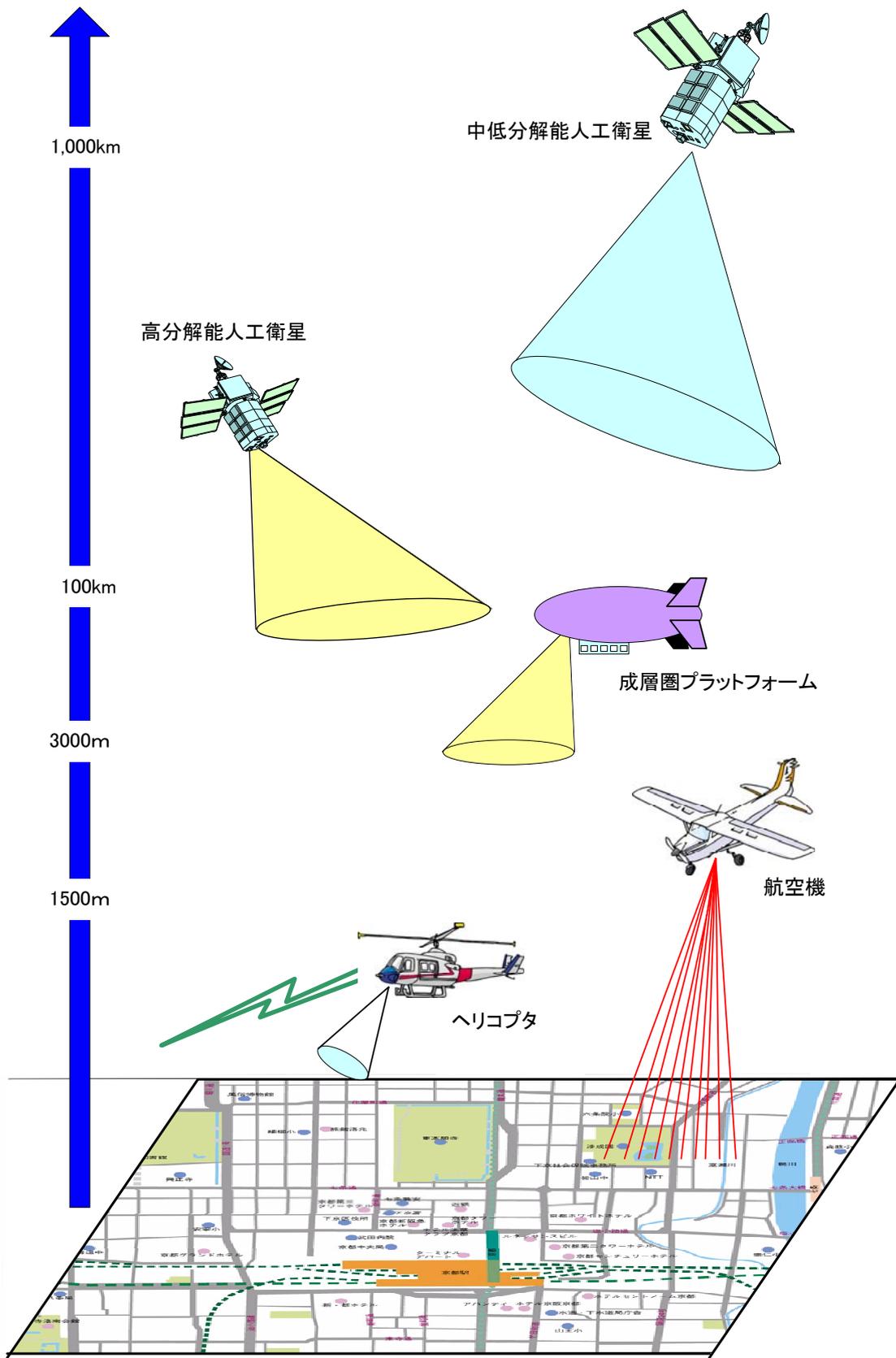


図 1-1-2 飛行高度別のプラットフォーム

(2) センサの特徴比較

表 1-1-4 に示したとおり、撮影の可否に大きく影響する天候条件や時間的制限（昼夜）の影響を受けにくいセンサは SAR、また時間的制限（昼夜）を受けにくいセンサは超高感度・赤外ビデオカメラ、レーザスキャナである（1.2.2 を参照）。

三次元位置情報の取得が可能なレーザスキャナは、デジタルでデータを取得するため、撮影後の処理が容易である。

アナログセンサで取得したデータに関しては前処理としてデジタル化が必須となり、適用する画像処理手法に応じて、オルソ化*・モザイク処理**等も必要になる。また、デジタルセンサで取得したデータに関しては、デジタル化の必要は無いが、適用する画像処理手法に応じて、オルソ化*・モザイク処理**等の前処理が必要となる（3.2 前処理を参照）。

表 1-1-4 センサの特徴

項目	カメラ	ビデオカメラ	スキャナ	SAR	レーザ スキャナ
天候による影響	有り	TV : 有り 超高感度 : 有り 赤外 : 有り	有り	無し	有り
夜間撮影の可能性	不可能	TV : 不可能 超高感度 : 可能 赤外 : 可能	不可能	可能	可能
地上分解能	数 cm～	計測誤差 数十 cm～	1m～	1.5m～	測点間隔 約 1m～

(3) 地上分解能

地上分解能とは、センサによって得られる地上画像において、識別可能な最小領域を地上における距離または対象物の大きさで表現したものをいう。

リモートセンシング画像の地上分解能は、センサの性能とプラットフォームの飛行高度により決まる。プラットフォーム・センサ別に得られる地上分解能を表 1-1-5 に示す。

センサの特性をみると、分解能の精細さではカメラが数十 cm と最も高く、その他は 1m～数 m 程度である。分解能の可変性ではレーザスキャナが測点間隔を任意に設定でき、ビデオカメラにはズーム機能がある。

プラットフォーム別には、航空機、ヘリコプタ及び UAV をプラットフォームとする場合、飛行高度を調整することにより、地上分解能を任意に調整することができる。人工衛星の場合、飛行高度を調整することはできないが、それぞれの人工衛星によって飛行高度が異なるために地上分解能が異なる。

***オルソ化**：中心投影である写真・画像を正射変換して平行投影像にすること。カメラの傾きや地形および建物などの起伏による影響を補正して全ての点を鉛直方向から見たように等縮尺の写真図に直すこと。

****モザイク処理**：部分的に撮影された写真や画像を、多数枚つなぎ合わせて広い地域の写真図や画像にすること。

表 1-1-5 地上分解能

プラットフォーム	センサ	プラットフォーム高度	センサの融通性	地上分解能
中分解能人工衛星 (LANDSAT)	スキャナ	固定	固定	可視～短波長赤外：30m 熱赤外：120m
中分解能人工衛星 (ASTER)	スキャナ	固定	固定	可視～近赤外：15m 短波長赤外：30m 熱赤外：90m
中分解能人工衛星 (ALOS)	スキャナ	固定	固定	パンクロマティック：2.5m 可視～近赤外：10m
高分解能人工衛星 (IKONOS)	スキャナ	固定	固定	白黒画像 1m ・衛星直下で 0.82m ・衛星直下からの距離が 350km 以内で 1m ・衛星直下からの距離が 750km 以内で 1.5m カラー画像 4m
飛行船	ビデオカメラ	固定	未定	未定
	スキャナ	固定	未定	未定
	SAR	固定	未定	未定
航空機	カメラ	可変	固定	飛行高度に依存 対象に応じた分解能を設定できる 例) 写真縮尺 1/8,000：0.16m 1/20,000：0.4m
	SAR	可変	固定	飛行高度に依存 例) 飛行高度 12,000m の場合 X-band SAR：1.5/3m (可変) L-band SAR：3/5/10/20m (可変)
	レーザ スキャナ	可変	可変	対象に応じた測点間隔を設定できる 例) 飛行高度 400m 分解能 スキャン角 20° 約 1.5m スキャ走査頻度 17Hz *)4.4 参照
ヘリコプタ	カメラ	可変	固定	飛行高度に依存
	ビデオカメラ	可変	ズーム 可能	飛行高度、撮影時の倍率に依存
	レーザ スキャナ	可変	可変	対象に応じた測点間隔を設定できる
UAV	カメラ	可変	固定	飛行高度に依存
	ビデオカメラ	可変	ズーム 可能	飛行高度、撮影時の倍率に依存
	レーザ スキャナ	可変	可変	対象に応じた測点間隔を設定できる

1. 1. 4 センサとプラットフォームの組み合わせ

プラットフォーム、センサともにそれぞれ特徴があり、利用目的に適した組み合わせを選択する必要がある。ただし、現時点では、センサとプラットフォームの組み合わせには制限がある。

【解説】

リモートセンシング技術による画像取得手法として、次表のようなセンサとプラットフォームの組み合わせがある。利用者は、目的に適したプラットフォームとセンサをそれぞれ選択することになる（表 1-1-6 参照）。

表 1-1-6 センサとプラットフォームの組み合わせ（代表例）

センサ プラットフォーム	カメラ	ビデオカメラ	スキャナ	合成開口レーダ	レーザ スキャナ
人工衛星	-	-	○ Landsat, Terra, ALOS, SPOT, IKONOS, QuickBard 等	○ RADARSAT 等	-
スペースシャトル	-	-	-	○ SIR、SRL(米) 等	-
気球・飛行船	○	(○)	(○)	(○)	-
航空機	○ 航空写真	○	○ 航空機 MSS	○ PI-SAR(日)等	○
ヘリコプタ	○ 国土交通省 所管ヘリ等	○ 同左	-	-	○
UAV	○	○	-	-	○

○ : 現時適用されている組み合わせ
 (○) : 将来適用可能な組み合わせ

1. 2 データ取得から入手に至るまでの留意点

1. 2. 1 データ取得要求から入手に至るまでの時間的制限

リモートセンシングにより取得した画像データを使用するためには、人工衛星や航空機等の運用機関へデータ注文を行う必要がある。また、データを手元に入手するには、データを地上へおろした後に各種画像処理を施した上で何らかの方法により伝送してもらう必要がある。この一連の流れの中で時間的制約についてプラットフォーム別に示す。

(1) 中分解能人工衛星は、撮影時間が午前 10 時 30 分頃とほぼ固定されている。また、ユーザからの撮影要求は受け付けていないケースが多い。

(2) 高分解能人工衛星は、撮影時間が午前 10 時 30 分頃とほぼ固定されており、また、ユーザからの撮影要求は受け付けているものの、撮影時刻直前の数時間は新たな撮影依頼を運用会社が受け付けない (図 1-2-1 参照)。

(3) 航空機・ヘリコプタ (航空写真撮影・レーザスキャナ計測) では、撮影計画を策定して撮影の諸元とコース図の作成を行い、同時に撮影地域が航空交通管制範囲にかかる場合には飛行許可申請を行う必要がある (1. 2. 2 参照)。天候を確認した後、撮影地への飛行移動、撮影及び帰着という手順で撮影が行われる。写真を撮影した場合には、着陸後、フィルム等が人によって運ばれ、現像などの工程を経てユーザに画像が届く。レーザ計測の場合は、着陸後、データが人によってコンピュータールームに運ばれ、処理を行った後データがユーザに届く (図 1-2-1 参照)。

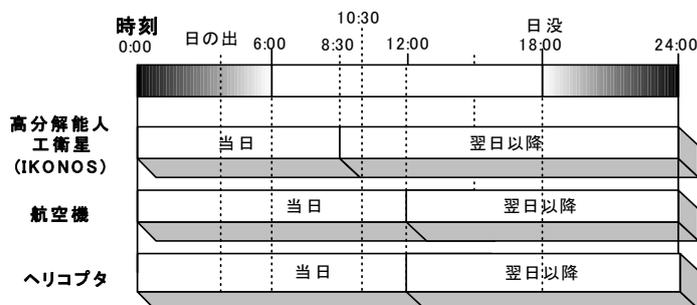


図 1-2-1 データが手元に届くまでの時間

[解説]

人工衛星や航空機、ヘリコプタなどによってデータを手元に入手するまでの手順をプラットフォーム別に表 1-2-1~2 に示す。

(1) 中分解能人工衛星

中分解能人工衛星は常時上空を周回しており、定期的に撮影を行っている。その運用は政府系機関が行っており、撮影の指示 (タスキング) は運用機関が対応している。

中分解能人工衛星による画像取得のタイミングは、人工衛星が軌道上のどの場所を移動しているのかで決まる。さらに撮影範囲は、撮影時における人工衛星の軌道位置と撮影可能なポインティング角度により決定される。

現在運用されている中分解能人工衛星（LANDSAT、Terra/ASTER、ALOS など）の撮影時間帯は午前 10 時 30 分頃に集中しており、運用機関があげる撮影指示に応じて撮影が行われる。しかし、LANDSAT、Terra/ASTER、ALOS などの光学系のセンサの場合、天候の影響による観測の可否の問題が起りうる。撮影後は、データの転送（ダウンリンク）、処理、配信などのプロセスを経て、ユーザが入手できる状態になる。

（２） 高分解能人工衛星

高分解能人工衛星も常時上空を周回している。

高分解能人工衛星（IKONOS）の場合、撮影要求は運用会社へ直接行うことになる。撮影範囲の指示以降は運用会社が対応する。

表 1-2-1 高分解能人工衛星（IKONOS）による撮影から配信までの手順と所要時間

運用会社が行う手順	通常時		緊急時の特例（主に災害時のみ）	
	内容	時刻・所要時間	特例の内容	時刻・所要時間
①撮影申請の受付	新規撮影の画像注文シートが運用会社に FAX または郵送で届けられる。	通常 48 時間前まで受け付ける。	・運用会社による自主的な撮影の検討が行われている。 ・現時点では、撮影時刻の 2 時間前に申請すれば撮影申請を受け付けるとのこと。	実現すれば 0 時間。
②撮影	撮影指示（国内）	AM9:30 頃		
	撮影	AM10:30 頃		
③データ転送・画像処理	転送	数分	運用会社の自主的な判断による優先処理。	数時間
	画像処理	数日（処理内容により異なる）		
④配信	ユーザへ配信	数時間（配信先により異なる）		実現すれば高速回線で数分。

高分解能人工衛星による画像取得のタイミングは、撮影要求時の衛星軌道と人工衛星が軌道上のどの場所を移動しているのかで決まる。さらに撮影範囲は、撮影時における人工衛星の軌道位置と撮影可能なポインティング角度により決定される。

現在運用されている高分解能人工衛星（IKONOS、QuickBird など）の撮影時間帯は、午前 10 時 30 分頃に集中している。高分解能人工衛星（IKONOS）は、観測時刻の数時間前までであれば最短で当日の夕方には画像データの配信が可能である。しかしこれ以降の場合には最短でも 24 時間データ取得が行えない可能性がある（IKONOS の軌道は 11 日周期でほぼ元の位置に戻る。日本の上空を通過するのは 11 日間で 6 日～7 日になる）。

高分解能人工衛星のほとんどは可視～近赤外波長帯による観測であるため、天候の影響による観測の可否の問題が起こりうる。

データを手元に入手するまでの時間はプラットフォームにより異なる。

(3) 航空機、ヘリコプタなど

通常、航空機やヘリコプタなどを利用する場合は、機体運用（待機基地と撮影エリア上空との間の移動）と撮影の行程を経て行われる。具体的には、撮影計画の作成（撮影縮尺、飛行高度の設定、コース図の作成）を行い、同時に撮影地域が航空交通管制範囲にかかる場合には飛行許可申請を行う必要がある。撮影計画の作成、飛行許可申請は、運用会社へ撮影エリアを伝えることにより作成してもらえらる。天候をチェックした後、撮影地への飛行移動、撮影及び帰着という手順で撮影が行われる。UAVによる撮影手順には、車両による離発着可能な場所への機体運搬が必要である。

表 1-2-2 プラットフォーム別撮影手順と所要時間(航空機、ヘリコプタ、UAV)

運用会社が行う手順	通常時		緊急時の特例		
	作業内容	所要時間	特例の内容	所要時間	
①撮影計画作成	航空機	撮影縮尺の設定 撮影高度の設定 コース図の作成	③を含めて 数時間～2日 ※撮影範囲による	無し 緊急に実施する	数十分～数時間 ※撮影範囲による
	ヘリコプタ	撮影縮尺の設定 撮影高度の設定 撮影方法の検討 コース図の作成		無し 緊急に実施する	数十分～数時間 ※撮影範囲による
	UAV	撮影コースの検討	⑤を含めて数時間～	無し	無し
②飛行許可申請	航空機、 ヘリコプタ	申請書作成提出	3～4日（郵送）、 FAXで済む空港は 数時間内	事務所と直接 交渉によりFAX 等で済ませる	数時間
	UAV		3～4日（郵送）	無し	無し
③飛行前準備	航空機、 ヘリコプタ	飛行プログラム入力 撮影計画の最終確認		無し	無し
		地上基準点の設置 (レザースキヤのみ)	1日		
	UAV	飛行プログラミング			
④機体運搬	UAV	離発着可能な地点へ 車両による移動	— (地域による)	無し	無し
⑤機体準備	航空機、 ヘリコプタ	機体点検	30～40分	無し ※③と同時期 に行う	無し
	UAV		15～30分	無し	
⑥離陸	航空機		10分	無し	無し
⑦移動		撮影地域への移動	} 飛行速度 による	無し	無し
⑧撮影		撮影		無し	無し
⑨移動		撮影地域からの帰還		無し	無し
⑩着陸	航空機		10～15分	無し	無し
⑪機体回収		機体の格納	15～30分	無し	無し
⑫機体運搬		車両による移動	— (地域による)	無し	無し

航空機、ヘリコプタ、UAV ともに、写真を撮影した場合には、現像などの時間をさらに要する。航空写真や航空機・ヘリコプタによるレーザスキャナは、天候や時刻(特に日没後)に左右されるものの、昼間に撮影できれば当日ないしは翌日に画像データの入手が可能である。

1. 2. 2 データ取得に関する天候および時間的制限（昼／夜）

天候の状態や撮影時刻（昼／夜）により撮影ができない等のケースが発生する。

（１）天候の影響について。人工衛星は飛行高度が高いため天候の影響を受けない。航空機及びヘリコプタでは、航空法が定める気象状態に応じて２通りの飛行方式（有視界飛行方式／計器飛行方式）が規定されている。ヘリコプタの場合は、計器飛行用装備が一般的には備わっていないため、原則として有視界飛行方式によって、有視界気象状態でのみ飛行ができる。

（２）夜間の撮影について。LANDSAT、Terra/ASTER、ALOS などのうち、光学系のセンサについては、夜間の撮影は行われぬ。熱赤外センサについては夜間の撮影も行っており、太陽光の影響を受けない地表の放射熱を観測することができる。

[解説]

（１）天候による影響

発生時の天候は様々な状況が考えられる。撮影時における天候条件の影響を、センサとプラットフォームによる要因とに分けて整理する。

1) プラットフォーム別のデータ取得条件

人工衛星は飛行高度が高々度であるため天候の影響を受けない。しかし、航空機及びヘリコプタの場合は天候の影響を受ける。天候と飛行条件との関係は、表 1-2-3 のように整理される。航空機及びヘリコプタは航空法上の航空機（航空法第 2 条）に該当するため、航空法が定める気象状態（有視界気象状態／計器気象状態*）に応じて表 1-2-4 のように 2 通りの飛行方式（有視界飛行方式／計器飛行方式）が規定されている（航空法施行規則第 5 条）。

表 1-2-3 プラットフォーム別の天候と飛行条件の関係

プラットフォーム	天候と飛行条件
人工衛星	天候の影響はない
飛行船	天候の影響はない
航空機	1) 有視界気象状態 →有視界飛行方式、 又は計器飛行方式 2) 計器気象状態 →計器飛行方式
ヘリコプタ	
UAV	強風、降雨時の運用は制限される

***計器気象状態(IMC:instrument meteorological condition)** : 計器飛行を行わなければならないような天候状態。視程及び雲の状況を考慮して国土交通省令で定める視界上不良な気象状態をいう。有視界気象状態に定めた気象条件の限界より悪化した場合は、計器飛行方式によることが義務づけられている。

表 1-2-4 気象状態と飛行方式

気象状態区分	気象状態	飛行方式	備考
1) 有視界気象状態	図 1-2-2 参照	有視界飛行方式、または計器飛行方式	} 航空法で規定
2) 計器気象状態	視界上不良な気象状態 (1) 以外)	計器飛行方式	

UAV は前述の航空機に該当しないため、航空法で定められた気象状態に応じた飛行方式の適用を受けない。よって、基本的に全天候で飛行可能であるが、機体が軽いため強風などの悪天候下における運用は制限される。

2) センサ別のデータ取得条件

センサは、観測する波長帯によって天候の影響の受け方が異なる。カメラやスキャナ等の光学系センサの場合、太陽光に依存するため雨天及び曇天では良好なデータが得られず撮影は困難である。これに対し、SAR は雲を透過するマイクロ波を用いているため、太陽光が照射しない季節、晴天率の低い地域での観測が可能である。

レーザは下方に雨・雪・雲がある場合、乱反射を起こすため撮影はできない。但し、曇天でも、センサ (機体) の下方に雲が無ければ雲の影響の無いデータを取得できる (表 1-2-5 参照)。

表 1-2-5 センサへの天候による影響

センサ		天候の影響
カメラ		太陽光が少ない場合、またはセンサの下方に雨・雲がある場合は、良好なデータが得られない。
ビデオカメラ	TV カメラ	太陽光が少ない場合、またはセンサの下方に雨・雲がある場合は、良好なデータが得られない。
	超高感度カメラ	センサの下方に雨・雲がある場合は、良好なデータが得られない。
	赤外カメラ	センサの下方に雨・雲がある場合は、良好なデータが得られない。
スキャナ		太陽光が少ない場合、またはセンサの下方に雨・雲がある場合は、良好なデータが得られない。 (熱赤外は天候の影響が小さい)
SAR		天候の影響はない。
レーザスキャナ		センサの下方に雨・雲があると良好なデータは得られない。

(2) 夜間撮影の可能性

夜間撮影の可能性はセンサとプラットフォームによる要因とに分けて次のように整理される。

1) プラットフォーム別のデータ取得条件

プラットフォーム別にみると、人工衛星や飛行船は常時上空にあるため時間帯を問わず運用可能である。

航空機及びヘリコプタの場合、夜間飛行の可能性は飛行条件と離発着の条件に左右される。

飛行条件については、夜間運用に関しても昼間と同一の気象状態（航空法で定める気象状態：有視界気象状態、計器気象状態）に応じた飛行方式が適用される。

離発着条件については、離発着に利用する施設の夜間照明設備の保持が必要な条件である。平常時は、夜間照明の条件の他に周辺地域への環境問題（騒音）から、各空港で定める夜間運営時間によって離発着が制限されていることもある。羽田空港、成田空港、関西空港のように24時間オープンしている民間空港や自衛隊所管の空港では夜間の離発着を許可しているところもある。（表 1-2-6 参照）。

UAV は航空法による航空機の扱いから除外されるため、夜間も昼間と同様に全天候下で使用が可能である。離発着場も機体が小さいことから空き地等のオープンスペースを利用しやすい。

表 1-2-6 プラットフォーム別の夜間飛行の可能性

プラットフォーム	夜間飛行の可能性
人工衛星 (高・中・低分解能)	昼夜関係なく常時上空軌道上を移動。
飛行船 (成層圏プラットフォーム)	人工衛星に同じ。
航空機	飛行：昼間と同一の条件下で可能。 離発着：夜間照明があれば基本的には可能。但し各空港の夜間運営時間により制限あり。
ヘリコプタ	飛行：航空機に同じ。 離発着：航空機に同じ。
UAV	制約を受ける法が整備されていないので可能。

2) センサ別のデータ取得条件

センサに関しては、光学系センサの場合、太陽光のない夜間の撮影は困難である。一方、ビデオカメラ（超高感度、赤外）、SAR、レーザスキャナは太陽光を必要としないため、夜間撮影は可能である（表 1-2-7 参照）。

表 1-2-7 センサ別による夜間撮影の有無

センサ	夜間撮影可能性	
カメラ	太陽光に依存するため撮影不可能	
ビデオカメラ	TVカメラ	太陽光に依存するため撮影不可能
	超高感度カメラ	夜間でも撮影可能
	赤外カメラ	夜間でも撮影可能
スキャナ	太陽光に依存するため撮影不可能	
SAR	夜間でも撮影可能	
レーザスキャナ	夜間でも撮影可能	

(3) 天候条件/時間帯による画像の取得手法

前述までの天候条件と時間帯による上空映像・画像の撮影可能性からプラットフォーム・センサの適否をまとめた。晴天の場合はいずれのプラットフォームも撮影可能であるが、雲が厚く低い場合や雨天の場合は反対にどのプラットフォームも困難である。曇天の場合、ヘリコプタは雲の切れ間や低空での飛行が可能であり撮影の機会はある。一方センサに関しては、天候及び時間帯により利用できるセンサが異なる。夜間の場合、超高感度/熱赤外のビデオカメラや SAR といったセンサを用いた撮影が主体となる。

これらプラットフォームやセンサについて天候条件による制限を考慮した場合の、利用可能な画像取得方法について表 1-2-8 に示す。

表 1-2-8 天候条件/時間帯によるプラットフォーム・センサの適否

天候 \ 時間帯	適否	昼間	適否	夜間
晴天	◎	衛星カメラ	○	衛星スキャナ(熱赤外)
	◎	衛星スキャナ	◎	衛星 SAR
	◎	衛星 SAR		
	◎	飛行船カメラ	○	飛行船ビデオカメラ
	◎	飛行船ビデオカメラ		(熱赤外)
	◎	飛行船スキャナ	◎	飛行船 SAR
	◎	飛行船 SAR		
	◎	航空機カメラ	○	航空機ビデオカメラ
	◎	航空機ビデオカメラ		(熱赤外)
	◎	航空機スキャナ	◎	航空機 SAR
◎	航空機 SAR	◎	航空機レーザスキャナ	
◎	航空機レーザスキャナ			
◎	ヘリカメラ	○	ヘリビデオカメラ	
◎	ヘリビデオカメラ		(超高感度/熱赤外)	
◎	ヘリレーザスキャナ	◎	ヘリレーザスキャナ	
◎	UAV カメラ	○	UAV ビデオカメラ	
◎	UAV ビデオカメラ		(超高感度/熱赤外)	
◎	UAV レーザスキャナ	◎	UAV レーザスキャナ	
曇天	△	衛星カメラ	○	衛星スキャナ(熱赤外)
	△	衛星スキャナ	◎	衛星 SAR
	◎	衛星 SAR		
	△	飛行船ビデオカメラ	△	飛行船ビデオカメラ
	△	飛行船スキャナ		(熱赤外)
	◎	飛行船 SAR	◎	飛行船 SAR
	△	航空機カメラ	△	航空機ビデオカメラ
	△	航空機ビデオカメラ		(熱赤外)
	△	航空機スキャナ	◎	航空機 SAR
	◎	航空機 SAR	△	航空機レーザスキャナ
△	航空機レーザスキャナ			
○	ヘリカメラ	○	ヘリビデオカメラ	
○	ヘリビデオカメラ		(超高感度/熱赤外)	
△	ヘリレーザスキャナ	△	ヘリレーザスキャナ	
○	UAV カメラ	△	UAV カメラ	
○	UAV ビデオカメラ	△	UAV ビデオカメラ	
○	UAV レーザスキャナ	△	(超高感度/熱赤外)	
△	UAV レーザスキャナ			
雨天	◎	衛星 SAR	◎	衛星 SAR
	◎	飛行船 SAR	◎	飛行船 SAR
	◎	航空機 SAR	◎	航空機 SAR
	○	ヘリカメラ	△	ヘリビデオカメラ
	○	ヘリビデオカメラ	△	(超高感度/熱赤外)

◎：良好な画像が取得可能 ○：画像の取得が可能 △：機体運用の条件がよければ画像取得が可能
 は国土交通省所有

1. 2. 3 プラットフォームから運用機関へのデータ伝送方法

プラットフォーム上で取得されたデータの伝送方法は、リアルタイムに地上へ伝送する方式とプラットフォームが着陸した後で伝送される方式がある。より早くデータをユーザへ届けるためには、リアルタイム伝送の技術開発が必要である。

[解説]

上空のプラットフォームから運用機関への画像受信の伝送方法を示す(表 1-2-9 参照)。

(1) 人工衛星

国内で受信が行われている高分解能人工衛星の代表例として IKONOS があげられる。IKONOS では、衛星からの信号の受信基地が神奈川県藤沢市にある。衛星が撮影した画像データは受信基地へ衛星から伝送(ダウンリンク)される。その後、東京・丸の内のデータ処理施設にブロードバンド回線を通じオンラインで送信される。

人工衛星から地上局へ送られてくる画像データは、一般的にデジタル形式で伝送される。この伝送されるデータ量は非常に膨大なため、大容量の通信回線を実現するために通信電波として数 GHz から数十 GHz の高周波数帯が使用されている。

(2) 飛行船(成層圏プラットフォーム)

現在、研究開発計画中であり、次世代移動通信システム、デジタル映像伝送システム、高速無線アクセスシステム(数 10Mbps)が試験される予定である。主な特徴として、見通しのよい上空にあるため画像データ受信に対して障害がなく、高仰角が可能なため広範囲な受信が可能で、伝播遅延がない等があげられる。

(3) 航空機

現在、航空機での画像取得の多くは航空写真からによるものである。航空写真の場合は、機体着陸後に撮影ネガフィルムを現像センターに輸送し、写真処理(ネガフィルムの現像および焼付け)を行う作業を必要とする。このため手元に届くまでに1~2日を要する。また、航空機によるレーザスキャナ計測では、機体着陸後、取得データをコンピュータールームへ搬送し、そこで一次処理を行う必要がある。このため、手元に届くまでには、航空写真と同等な時間を要する。

(4) ヘリコプタ

ヘリコプタからの画像伝送システムは、機上設備、画像受信基地局、デジタルマイクロ回線網からなる。ヘリからの画像は地上の固定又は可搬型の受信基地局に伝送され、ここでデジタル信号に変換されて、マイクロ回線網や衛星通信回線を経由し、必要な箇所に送信される。

現在利用されているヘリテレなどのVTR画像は、アナログ伝送方式(14GHz帯)を用いており、受信基地局のサービスエリアは、固定型で半径60km、可搬型で半径25~30kmである。また、レーザスキャナ計測に関するデータ取得後の処理工程や所要時間等は、

航空機の場合と同じである。

(5) UAV

UAV と地上基地との間の通信には、機体をリモートコントロールするための通信と、画像の伝送がある。UAV によるビデオ画像取得に関しては現在リアルタイムで地上のリモートコントロール者へ伝送されるシステムがある。写真撮影に関しては、着陸後の処理となっている。UAV はコンパクトであるため車両に搭載して目的地まで移動できる利点があるが、ヘリコプタと比べて飛行高度が低いことから、地形などによって通信範囲が制限されやすく撮影範囲も限られるのが課題である。

表 1-2-9 プラットフォームから運用会社へのデータ伝送の現状

プラットフォーム		伝送方法
画像種別		
人工衛星		人工衛星から地上へ送られる画像データは、一般的にデジタル信号で伝送され地上受信局で収集する。ノイズに強く、低電力、帯域幅が狭い等の利点がある。高分解能人工衛星 IKONOS では、リアルタイムに処理を行っている。
飛行船（成層圏プラットフォーム）		中継固定通信、移動体通信及び放送の 3 システムが検討されている。見通しのよい上空との通信、高仰角が可能、伝播遅延がほとんどなく、無線回線の耐災害性、柔軟性などが特徴である。リアルタイムに伝送される方法の採用が想定される。
航空機	航空写真等のアナログ画像	着陸後ネガフィルムを宅配便等によって輸送し、写真処理（ネガフィルムの現像及び焼付）を行う。
	レーザスキャナデータ等のデジタル画像	現状では、上空で一旦機内に撮影データを蓄積し、着陸後宅配便等によってデータ処理施設へ搬送している。
ヘリコプタ	ヘリテレによるアナログ画像	現状では、リアルタイムにアナログ画像データを伝送するアナログ伝送方式がとられている。アナログ画像伝送方式は、地上基地局周辺の建物などによる電波の反射障害による画像の乱れが発生や降雨による電波の減衰が問題となっている。将来的にはデジタル化したデータを伝送するデジタル伝送方式に移行すると考えられる。
	レーザスキャナデータなどのデジタル画像	航空機でレーザスキャナデータを取得する場合と同じ。
UAV		UAV によるビデオ画像取得に関しては現在リアルタイムで地上のリモートコントロール者へ伝送されるシステムがある。写真撮影に関しては、着陸後、宅配便等によってフィルム等を搬送し、写真処理（ネガフィルムの現像及び焼付）を行っている。

1. 2. 4 ユーザへの配信方法、所要時間

ヘリテレはリアルタイムで画像データがユーザに伝送され最も高速である。衛星画像などのデジタルデータとして取得されたデータは、画像処理された後、電子媒体に一旦画像を出力・保存してからユーザに送付されている。これ以外のデータに関しても、紙媒体あるいは電子媒体に一旦画像を出力・保存してからユーザへ送付する手段が取られている。

[解説]

地上受信局で受信した後のユーザまでの配信方法（地上画像伝送）は、現状では、ヘリテレで撮影された映像のみ、地上受信局からユーザへの伝送が実現されており、ユーザはほぼリアルタイムで撮影された画像を見ることができる。この他の画像は、紙媒体あるいは電子媒体に一旦画像を出力・保存してからユーザ宛に配送する手段が取られている。

ユーザへの配信方法と所要時間についてのまとめを表 1-2-10 に示した。

表 1-2-10 ユーザへの配信方法と所要時間

画像の種類	保存媒体	配信方法	運用会社からユーザへ配信されるまでの所要時間
航空写真、衛星写真 (紙)	写真	宅配便等による送付	数時間～1日
衛星画像など	デジタルデータ	宅配便等による送付	数時間～1日
画像データ (ビデオ映像：ヘリテレ)	アナログデータ	伝送	リアルタイム
画像データ (その他)	CD-ROM等	宅配便等による送付	数時間～1日

2章 都市緑地の変遷調査に適したリモートセンシング技術の解説

リモートセンシング技術には、さまざまなセンサとプラットフォームの組み合わせが考えられる。実際にリモートセンシング技術を活用する際には、目的に適したセンサやプラットフォームを選択することが必要である。ここでは、都市緑地の変遷調査に適したリモートセンシング技術について概説する。

2. 1 センサ・プラットフォームの選択

2. 1. 1 都市緑地の変遷調査に有用なセンサ・プラットフォームとは

都市緑地の調査には植物の分光反射特性の活用が適しており、有用なセンサは可視域～赤外域をカバーした光学センサである。

都市緑地は街路樹や住宅地の緑など小さな緑の集合体である。したがって、空間分解能の高いデータを取得できる航空機や高分解能人工衛星が有用なプラットフォームである。ただし、対象が広域の場合、航空機や高分解能人工衛星では均質な画像が得られないため、中分解能人工衛星によるマクロな調査も有用である。

【解説】

都市緑地の調査を行うためには、建物や道路などの人工構造物と緑地を分離することが重要である。そのためには、植物の分光反射特性（図 1-1-2 参照）の活用が適している。植物は近赤外の領域で強い反射を示し、土は可視域から赤外域へと波長が長くなるほど反射が強くなる。水は逆に短波長域で強い反射を示し、赤外域では反射しない。したがって、可視域～赤外域をカバーした光学センサが最も適したセンサであるといえる。

また、都市緑地は公園のように一定規模のまとまった緑地もあるが、大多数が街路樹や住宅地の緑などの小さな緑の集合体である。これを適切に把握するためには、空間分解能の高いデータを取得できる航空機や高分解能人工衛星が有効である。しかしながら、対象が広範囲の都市である場合、撮像範囲が狭い航空機や高分解能人工衛星では均質な画像が得られないため、撮像範囲の広い中分解能人工衛星によるマクロな調査も有効である（表 2-1-1）。

表 2-1-1 都市緑地の変遷調査に有用なセンサ・プラットフォーム

センサ プラットフォーム	カメラ	ビデオカメラ	スキャナ	合成開口レーダ	レーザ スキャナ
中分解能 人工衛星	-	-	○ Landsat, Terra, ALOS, SPOT 等	× RADARSAT 等	-
高分解能 人工衛星	-	-	○ IKONOS, QuickBard 等	× TerraSAR 等	-
スペースシャ トル	-	-	-	× SIR、SRL(米) 等	-
気球・飛行船	△	-	-	-	-
航空機	△ 航空写真	×	○ 航空機 MSS	× PI-SAR(日)等	△
ヘリコプタ	△ 国土交通省 所管ヘリ等	× 同左	-	-	△
UAV	△	×	-	-	△

- : 調査に適しているセンサ・プラットフォーム
 △ : 条件次第では有用なセンサ・プラットフォーム
 × : 調査に不向きなセンサ・プラットフォーム

2. 1. 2 代表的なリモートセンシング衛星

2. 1. 2. 1 LANDSAT 衛星

LANDSAT は、アメリカが 1972 年に世界で初めて打ち上げた本格的な地球観測衛星であり、5号と7号は現在も運用されている。データが豊富に蓄積されていることから、過去の都市緑地を調査する上で有用である。

[解説]

LANDSAT は、アメリカが 1972 年に世界で初めて打ち上げた本格的な地球観測衛星であり、その優れた観測能力から人工衛星によるリモートセンシングの飛躍的な発展のきっかけを作った。LANDSAT は 1 号から 7 号まで打ち上げられている。このうち、1982 年～2001 年まで運用された 4 号と 1984 年の打ち上げ以降現在も運用されている 5 号のデータが豊富に蓄積されており、過去の都市緑地を調査する上で有用である。また、1999 年に打ち上げられた 7 号も未だに運用されているが、2003 年にスキャンラインコレクター (SLC) が故障したため、現在は画像が縞状に欠落した画像が配信されている。

LANDSAT-4 号と 5 号は、飛行高度 705km、軌道傾斜角 98° の太陽同期準回帰軌道を取り、通過時刻は地方平均時 9:39AM である。16 日間で全地球の観測を終了し、17 日目に同じ地点の上空に戻る (16 日回帰)。搭載しているセンサは、MSS (Multispectral Scanner System) と TM (Thematic Mapper) の 2 種で、TM が多く用いられている。LANDSAT/TM の観測波長域は可視～熱赤外の 7 バンド、空間分解能は可視～中間赤外の 6 バンドが 30m、熱赤外バンドが 120m である。

LANDSAT-7 号は、飛行高度 705km、軌道傾斜角 98° の太陽同期準回帰軌道を取り、通過時刻は地方平均時 10:00～10:15AM である。16 日間で全地球の観測を終了し、17 日目に同じ地点の上空に戻る (16 日回帰)。搭載しているセンサは ETM+ (the Enhanced Thematic Mapper Plus) で、空間分解能 15m のパンクロマチックバンドが追加された (表 2-1-2)。

表 2-1-2 LANDSAT 衛星の主な諸元

衛星	LANDSAT		
国	アメリカ		
打ち上げ年	1 : 1972 年 7 月 23 日 2 : 1975 年 1 月 22 日 3 : 1978 年 5 月 5 日 4 : 1982 年 7 月 16 日 5 : 1984 年 5 月 1 日 7 : 1999 年 4 月 5 日		
観測期間	1 : 1972~1978 2 : 1975~1983 3 : 1978~1983 4 : 1982~2001 5 : 1984~ 7 : 1999~		
軌道	太陽同期軌道		
衛星高度	1~3 : 915km 4~7 : 705km		
回帰日数	1~3 : 18 日 4~7 : 16 日		
通過時刻	1~5 : 9 : 39 頃 7 : 10:00~10:15		
主なセンサ	MSS	TM	ETM+
センサタイプ	光学センサ	光学センサ	光学センサ
観測範囲	約 185km×170km	約 185km×170km	約 185km×170km
分解能	83m	30m(可視~短波長赤外) 120m(熱赤外)	15m(パノラマ) 30m(可視~短波長赤外) 60m(熱赤外)
観測波長帯 (μm)	0.495~0.605 緑 0.603~0.698 赤 0.701~0.813 近赤外 0.808~1.023 近赤外	0.45~0.52 青 0.52~0.60 緑 0.63~0.69 赤 0.76~0.90 近赤外 1.55~1.75 短波長赤外 10.4~12.5 熱赤外 2.08~2.35 短波長赤外	0.450~0.515 青 0.525~0.605 緑 0.603~0.690 赤 0.75~0.90 近赤外 1.55~1.75 短波長赤外 10.4~12.5 熱赤外 2.09~2.35 短波長赤外 0.52~0.90 緑~近赤外 (Pan)
データ提供機関	(財)リモートセンシング技術センター	(財)リモートセンシング技術センター	(財)リモートセンシング技術センター

2. 1. 2. 2 Terra 衛星

Terra は、アメリカが 1999 年に打ち上げた地球観測衛星で、5 つのセンサを搭載している。この中の ASTER センサは、現状の都市緑地を調査する上で有用である。

【解説】

Terra は、NASA (米国宇宙局) が推進する大規模な地球観測計画の初号機として、1999 年に打ち上げられた地球観測衛星で、ミッション期間は 6 年である。

Terra には、ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection radiometer)、CERES (Clouds and the Earth Radiant Energy System)、MODIS (MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer)、MISR (Multi-angle Imaging Spectro Radiometer)、MOPITT (Measurements of Pollution In the Troposphere) の 5 種類のセンサが搭載されている。このうち、衛星本体と CERES、MODIS、MISR は NASA、ASTER は日本、MOPITT はカナダが提供している。

Terra は、LANDSAT と同じ飛行高度 705km、軌道傾斜角 98° の太陽同期準回帰軌道を取り、通過時刻は地方平均時 10:30AM である。16 日間で全地球の観測を終了し、17 日目に同じ地点の上空に戻る (16 日回帰)。ただし、ポインティング機能を有するため、観測周期は回帰日数より短い。搭載している 5 種類のセンサのうち、ASTER は、可視～近赤外域 4 バンド (VNIR)、短波長赤外域 6 バンド (SWIR)、熱赤外域 5 バンド (TIR) の計 15 バンドを観測しており、LANDSAT の代替あるいは併用する形で多く用いられている。空間分解能は VNIR、SWIR、TIR それぞれ 15m、30m、90m である (表 2-1-3)。

設計寿命を超過しているものの、Terra/ASTER は LANDSAT と似通った軌道、バンド構成であり、現状の都市緑地を調査する上で有用である。

表 2-1-3 Terra 衛星の主な諸元

衛星	Terra	
国	アメリカ	
打ち上げ年	1999年12月18日	
観測期間	1999～	
軌道	太陽同期準回帰軌道	
衛星高度	705km	
回帰日数	16日	
通過時刻	10:30頃	
主なセンサ	ASTER	MODIS
センサタイプ	光学センサ	光学センサ
観測範囲	60km×60km	2,330km
分解能	15m (可視～近赤外) 30m (短波長赤外) 90m (熱赤外)	250m(可視～近赤外) 500m(可視～短波長赤外) 1,000m(可視～熱赤外)
観測波長帯 (μm)	0.52～0.60 緑 0.63～0.69 赤 0.76～0.86 近赤外 0.76～0.86 近赤外(後方視) 1.600～1.700 短波長赤外 2.145～2.185 短波長赤外 2.185～2.225 短波長赤外 2.235～2.285 短波長赤外 2.295～2.365 短波長赤外 2.360～2.430 短波長赤外 8.125～8.475 熱赤外 8.475～8.825 熱赤外 8.925～9.275 熱赤外 10.25～10.95 熱赤外 10.95～11.65 熱赤外	可視～熱赤外 36バンド
データ提供機関	(財)資源・環境観測解析センター	東京大学など

2. 1. 2. 3 ALOS 衛星

ALOS は、我が国が 2006 年に打ち上げた陸域観測技術衛星であり、3つのセンサを搭載している。この中の AVNIR-2 センサは、現状の都市緑地を調査する上で有用である。

【解説】

ALOS（だいち）は、我が国が 2006 年に打ち上げた陸域観測技術衛星である。ALOS は、地球資源衛星 1 号「JERS-1（ふよう）」および地球観測プラットフォーム技術衛星「ADEOS（みどり）」で開発してきた陸域観測技術をさらに高度化し、高分解能の陸域観測データを全地球的規模で収集することを目的としている。

ALOS は、飛行高度 691.65km、軌道傾斜角 98.16° の太陽同期準回帰軌道をとる。回帰日数は 46 日である。搭載しているセンサは、PRISM（パングロマチック立体視センサ）、AVNIR-2（高性能可視近赤外放射計 2 型）、PALSAR（フェーズドアレイ方式 L バンド合成開口レーダ）の 3 種である。

PRISM は可視域を観測する光学センサで、空間分解能は 2.5m である。衛星の進行方向に対して前方、直下、後方の 3 方向を同時に観測することができるため、高精度の地形データを取得することができる。

AVNIR-2 は可視・近赤外域を 4 バンドで観測する光学センサで、空間分解能は 10m である。±44° のポインティング機能を有しているため、回帰日数より短い間隔で観測することができる。

PALSAR は L バンドの能動型マイクロ波センサで、天候や昼夜に影響されない観測が可能である。分解能 10m の高分解能観測モードと 100m の広観測域モード（ScanSAR）がある。（表 2-1-4）。

3 種のセンサのうち、AVNIR-2 は Terra/ASTER や LANDSAT と似通ったバンド構成であり、現状の都市緑地を調査する上で有用である。

表 2-1-4 ALOS 衛星の主な諸元

衛星	ALOS		
国	日本		
打ち上げ年	2006 年 1 月 24 日		
観測期間	2006～		
軌道	太陽同期準回帰軌道		
衛星高度	691.65km		
回帰日数	46 日		
通過時刻			
主なセンサ	PRISM	AVNIR-II	PALSAR
センサタイプ	光学センサ	光学センサ	マイクロ波センサ
観測範囲	70km (直下視) 35km (3 方向視)	70km	40～70km (高分解能モード) 250～350km (広観測幅モード)
分解能	2.5m	10m	7～88m (高分解能モード) 100m (広観測幅モード)
観測波長帯 (μm)	0.52～0.77 緑～近赤外	0.42～0.50 青 0.52～0.60 緑 0.61～0.69 赤 0.76～0.89 近赤外	L-band、HH、HV、VH、VV
データ提供機関	(財)リモートセンシング技術センター	(財)リモートセンシング技術センター	(財)リモートセンシング技術センター (財)資源・環境観測解析センター

2. 2 データ入手について

都市緑地の変遷調査に有用なリモートセンシングデータの代表的な入手方法は以下のとおりである。

- ・ 中分解能人工衛星は政府系衛星であるため、データ配布を行っている財団からデータを入手する。
- ・ 高分解能人工衛星は商業衛星であるため、民間の運用機関からデータを入手する。
- ・ 航空写真・航空機センサは、民間の航測会社からデータを入手する。
(航空写真は、国土地理院や林野庁が撮影を行っており、それぞれデータ配布を行っている機関からも入手できる)

[解説]

都市緑地の変遷調査に有用なセンサ・プラットフォーム（表 2-1-1）のデータ入手方法や価格は、選択したデータによってまちまちであるため事前に精査する必要があるが、大まかに区分すると、中分解能人工衛星、高分解能人工衛星、航空写真・航空機センサに分けることができる。

中分解能人工衛星（LANDSAT、Terra/ASTER、ALOS など）は政府系の衛星であるため、データ配布を行っている財団からデータを入手する。LANDSAT、ALOS は（財）リモートセンシング技術センター（RESTEC）*、Terra/ASTER は（財）資源・環境観測解析センター（ERSDAC）*から取得済みデータを入手することができる。RESTEC の場合、地球観測衛星画像オンライン検索・注文システム「**CROSS**」から取得済みデータの検索や購入手続きを行うことができる。ERSDAC の場合、ASTER 地上データシステム「**ASTER GDS**」から取得済みデータの検索や購入手続きを行うことができる。なお、価格は 1 シーンあたり 1 万円～10 万円程度である。

高分解能人工衛星（IKONOS、QuickBird など）は商業衛星であるため、民間の運用機関からデータを入手する。我が国では、IKONOS は日本スペースイメージング株式会社*が運用しており、QuickBird は日立ソフトウェアエンジニアリング株式会社*が運用している。価格は 1km² あたり 5,000 円～2 万円程度で、中分解能人工衛星と比べると高めに設定されている。

航空写真・航空機センサは、民間の航測会社に撮影を依頼する。また、航空写真は国土地理院や林野庁が撮影を行っており、国土地理院撮影については（財）日本地図センター*、林野庁撮影については（社）日本森林技術協会*から撮影済み写真（データ）を入手することができる。民間の航測会社が独自に販売しているケースもある。

*都市緑地の変遷調査に有用なリモートセンシングデータの配布機関

- ・（財）リモートセンシング技術センター（RESTEC） <http://www.restec.or.jp/>
- ・（財）資源・環境観測解析センター（ERSDAC） <http://www.ersdac.or.jp/>
- ・（財）日本地図センター <http://www.jmc.or.jp/>
- ・（社）日本森林技術協会 <http://www.jafta.or.jp/index-j.html>

3章 画像処理手法による都市緑地の変遷抽出に関する技術

人工衛星や航空機などで取得された画像データを用いて都市緑地の変遷を抽出するには、画像データを目視し読み取る方法の他に、目視作業を軽減するためにコンピュータソフトウェアを用い画像を処理する方法（画像処理）がある。ここでは、画像処理により必要な情報を画像データから抽出する手法について概説する。

3. 1 データ処理全体の流れ

人工衛星や航空機などのプラットフォームに搭載されたセンサで得られた画像データは、前処理（大気補正や幾何補正などの前処理）を経た後、抽出したい情報に応じて適切な画像処理を行い、その他の処理を経て結果を出力する。

【解説】

画像データ処理の流れを図 3-1-1 に示す。また、データ処理に関する特徴を表 3-1-1 に示す。

人工衛星、航空機およびヘリコプタから得られた最初の段階の画像データは、大気による影響や撮影時の幾何学的歪みがある。そこで画像処理を行う前に、前処理（放射量補正、幾何補正、地形補正など）が行われる。

続いて行われる画像処理には様々な手法がある。都市緑地の変遷を抽出するためには、緑地の特徴を考慮して手法を選定する必要がある。

画像処理によって緑地の変遷を抽出した後、必要に応じて画像間のモザイク、3次元化およびGISへの取り込みなどを行い、目的とする処理結果を出力する。

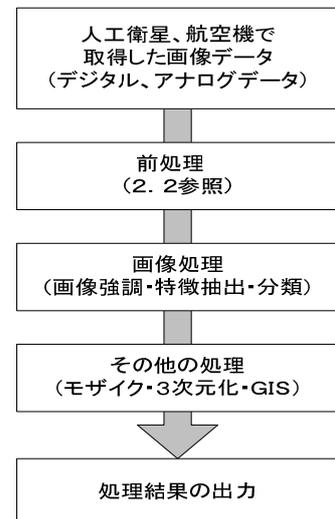


図 3-1-1 画像処理全体の流れ

表 3-1-1 画像データ処理に関する特徴

プラットフォーム	センサ	データの種類	地上分解能	特徴
人工衛星	スキャナ	デジタル画像	1m～	幾何補正、正射投影補正済みの商品がある
航空機	カメラ	アナログ（垂直写真）画像、	数十センチ	幾何補正、モザイクに時間を要する 画像間の色調などに違いがある
	レーザ	デジタル画像	数十センチ	データ処理に時間を要する
ヘリコプタ	カメラ ビデオ	アナログ（斜め写真）画像	数センチ～ 数十センチ	正確な位置情報が得られにくい 画像の幾何補正が難しい 地図上(GIS)への展開が難しい 画質が粗い
		デジタルビデオ	数センチ～ 数十センチ	写真やビデオなどの管理と変換作業が煩雑

3. 2 前処理

都市緑地の変遷抽出のための画像処理を行う前に前処理が行われる。緊急時の場合必ずしも行う必要はないが、正確な出力画像を得る場合には必要とされる。

【解説】

前処理の流れを図 3-2-1 に示す。

人工衛星あるいは航空機から得られたデータは、写真などのアナログデータの場合、まずスキャナでデジタル変換（A/D 変換）される。この段階でのオリジナルデジタル画像は、大気による影響や撮影時の幾何学的な歪みを持った画像になっている。そこで大気の影響を取り除く放射量補正や幾何補正が行われる。

データの前処理についてはデータ配布機関によってすでに補正処理されたデータを配布しているケースがあるので、それを利用することも可能である。

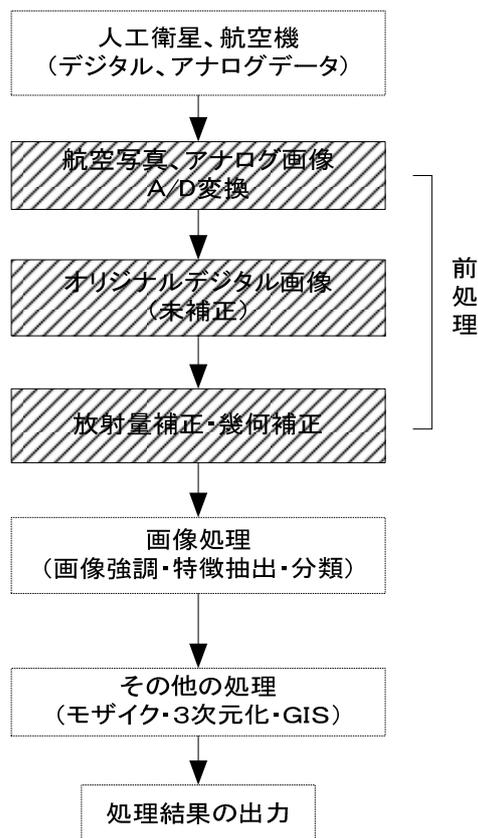


図 3-2-1 前処理の流れ(ハッチ部分)

3. 3 都市緑地の変遷抽出のための画像処理

画像処理は、目的とする情報を抽出するための一手法である。処理手法によっては時間や抽出される情報の精度が大きく変化するため、目的に合った適切な処理方法を選定する必要がある。

[解説]

画像処理は、処理目的によっておもに画像強調、特徴抽出および分類処理に区分される。

表 3-3-1 に主な画像処理手法をまとめた。

画像強調は画像のイメージを損なわず、画像にコントラストをつけたりノイズを除去したりすることにより判読しやすい画像を得るための処理である。線構造・断線の有無や領域の広がりなどを知る場合に用いる。おもな手法にはカラー合成、濃度変換、フィルタリングによるエッジ強調などがある。

特徴抽出は画像の中から特徴ある線や異なる濃度の境や領域を抽出する画像処理である。処理により画像中の線や領域が強調されるため判読性が高まる。線構造の抽出には幾何学的特徴抽出、領域の抽出にはスペクトル抽出、テクスチャ特徴抽出が主として用いられる。おもな手法にフィルタリングによるエッジ抽出、画像間演算、テクスチャ解析がある。

分類処理は、画像全体を共通的な特徴を持つ領域に分類（グループ化）する処理であり、類似する地域を抽出するのに用いることができる。既知のサンプル領域をもとに分類する処理と画像の統計的な特徴から自動的に分類する処理がある。おもな画像処理手法にはマルチレベルスライス、クラスタリングなどがある。

これらのうち、緑地や樹林地といった目的とする情報を抽出するためには、画像分類手法を適用する必要がある。画像分類手法は一般的なものから研究段階にあるものまで多岐にわたっており、目的に適した分類手法を見出すことが重要である。

代表的な画像分類手法を表 3-3-2 にまとめた。

表 3-3-1 主な画像処理手法

処理方法		解説
濃度変換		色調補正によりコントラストを協調。
カラー合成		異なる時期の画像をカラー合成することにより、変化域の色調の違いを抽出する。
フィルタリング	平滑化	ノイズを弱め画像全体を滑らかにする。
	エッジ強調	画像の劣化などによる不鮮明な線や縁を強調させる。
	エッジ抽出	画像の濃淡急変部および線状物体を強調させる。線状構造の抽出に有効である。
画像間演算	比演算	異なる画像の輝度値の差をもとにした演算処理で、輝度値に変化のある場合に有効である。
	差分解析	異なる時期に取得された画像間の差を利用して変化を抽出する。輝度値に変化のある場合に有効である。
テクスチャ解析		ヒストグラムの平均、分散、歪度、尖度などの特徴量と計算し、きめを数値で表示する。
分類	マルチレベルスライス	多次元の特徴空間で濃度に任意の閾値を設け、その閾値で区分する。画像の色調が明瞭なとき有効である。
	クラスタリング	類似した特徴をグループ化する方法。迅速な分類が可能である。
3次元化		3次元的な変状判読をする。 高さ情報の抽出に有効である。
地理情報の併用		DEM や他の地理情報と組み合わせた抽出処理。

表 3-3-2 代表的な画像分類手法

処理手法		処理内容	メリット	デメリット	
ピクセルベース分類	バンド間演算	植生指標 近赤外域データを含むバンド間演算処理。最も代表的な植生指標は、近赤外域と赤色域の比演算によるNDVI(正規化植生指標)。植生の活性度や緑被率と関連性があるといわれている。	<ul style="list-style-type: none"> ・一般的に用いられている。 ・処理が簡便。 	・樹林地と草地を分けることが難しい。	
	教師つき分類	最尤法	各クラスに対する画素データの尤度を求め、尤度最大のクラスにその画素を分類する方法。	<ul style="list-style-type: none"> ・一般的に用いられている。 ・樹林地と草地の区分が可能。 ・分類結果が確率統計的な意味を持つ。 	・分類教師(トレーニングデータ)が必要。
		最短距離法	画素データと分類クラスの特徴との類似度を特徴空間における距離で表し、距離の最も短いクラスに画素データを分類する手法。	<ul style="list-style-type: none"> ・比較的一般的に用いられている。 ・樹林地と草地の区分が可能。 	・分類教師(トレーニングデータ)が必要。
		マルチレベルスライス	多次元の特徴空間(バンド)を各軸上に設定された値域によって分割することで分類する方法。閾値の設定はサンプリングによる方法と経験的な方法がある。分割によって得られた多次元直方体が各分類クラスに対応する。	<ul style="list-style-type: none"> ・処理が簡便。 ・樹林地と草地の区分が可能。 	<ul style="list-style-type: none"> ・分類教師(トレーニングデータ)が必要。 ・事前に主成分分析が必要な場合がある。
		デシジョンツリー法	各画素の特徴値を設定された基準値と、階層的に次々と比較することで分類する手法。	<ul style="list-style-type: none"> ・処理が簡便。 ・樹林地と草地の区分が可能。 	・事前に各分類クラスの特徴を分析し、決定木を構築する必要がある。
	教師なし分類	クラスタリング	特徴の類似したデータを”似たもの同士”としてグループ(クラスタ)化する手法。	<ul style="list-style-type: none"> ・分類教師(トレーニングデータ)を必要としない。 ・樹林地と草地の区分が可能。 	・分類後に各クラスの意味づけが必要になる。
ミクセル分解(カテゴリー分解)		1画素の中に複数のカテゴリが混在している画素(ミクセル)に着目した分類法。ミクセルの画素値が、構成する各カテゴリの画素値の線形結合によって表現されるという「線形ミクセルモデル」によって画素内の占有面積比率を求める手法が主流。	<ul style="list-style-type: none"> ・原理的に、1画素より小さいスケールの対象物を捉えられる可能性がある。 	・事前に構成するカテゴリ(エンドメンバー)を設定し、ピュアピクセルの画素値を分析する必要がある。	

3. 4 都市緑地の変遷抽出に関する現状と課題

- (1) 雲などの障害がある画像については、目的とする都市緑地の変遷抽出が困難である。
- (2) 撮影季節・時刻や天候によって画像状態（画質）が異なることが多く、処理結果に影響する場合がある。
- (3) 都市緑地の変遷抽出に中分解能衛星画像を用いる場合、対象物に対して衛星の解像力が粗いので、抽出の正確性に一定の誤差が生じる。

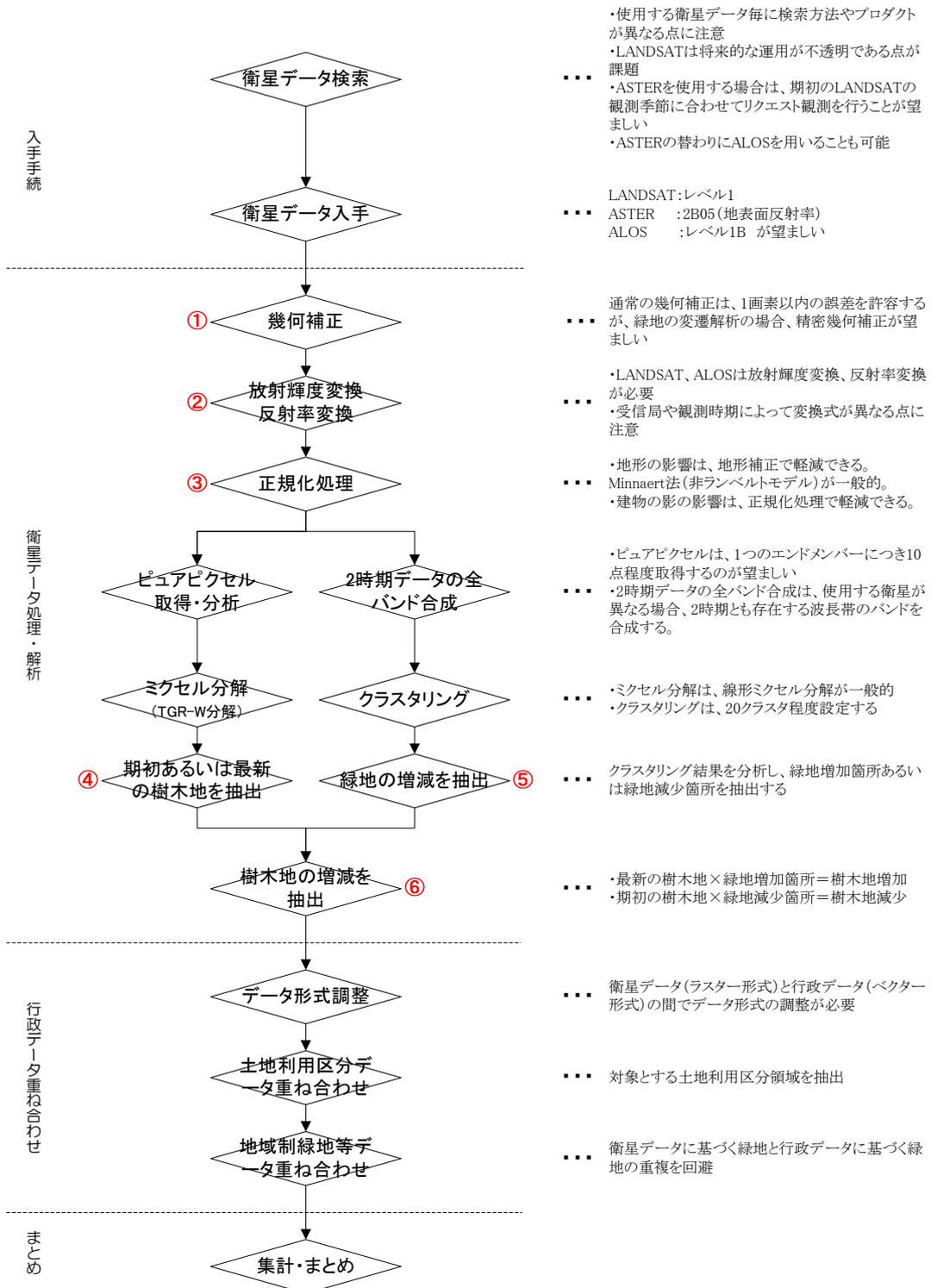
[解説]

都市緑地の変遷抽出に関する現状と課題を次にまとめた。

- 1) 光学系センサで得られた画像データから、画像処理手法によって雲を取り除くことは困難である。したがって、雲が緑地にかかっている場合は、緑地の変遷抽出は難しい。薄い雲や煙がかかっている場合は、対象物の目視による判別は可能だが画像処理による抽出は精度が低下する。
- 2) 光学系センサで得られた画像データは、撮影季節・時刻や天候によって画像状態（画質）が異なることが多く、処理結果に影響することがある。例えば、街路樹の葉が茂った夏に取得した画像と落葉後の冬に取得した画像を比較すると葉が無くなった箇所があたかも樹木が減少した箇所として抽出されることがある。また、プラットフォームからの撮影角度や方向および時刻の違いで、影の付き方が2時期で異なると、異なった影の付き方が緑地の変化箇所として判断されることがある。
- 3) 都市緑地の変遷を大局的に見ると、高度経済成長期に都市への人口集中が起こり大幅に緑地の減少が生じ、その後減少ペースは緩やかになっている。我が国の都市は人口過密状態にあることから、緑化等によって緑が増加した箇所は小さな面積の積み重ねであることが多い。したがって、都市緑地の変遷抽出に中分解能衛星画像を用いる場合、対象物に対して衛星の解像力が粗いので、抽出の正確性に一定の誤差が生じることを理解する必要がある。しかし、目視によって緑地の変化を見つけることは膨大な時間と労力を要する。画像処理による都市緑地の変遷抽出は、多少の誤差は生じるものの、広範囲の状況を迅速に推定できることがメリットであり、正確性を高めるためには、画像処理によって大まかに抽出された箇所を目視し、変化の有無を判断するといった位置付けを画像処理手法に与えることが適当である。

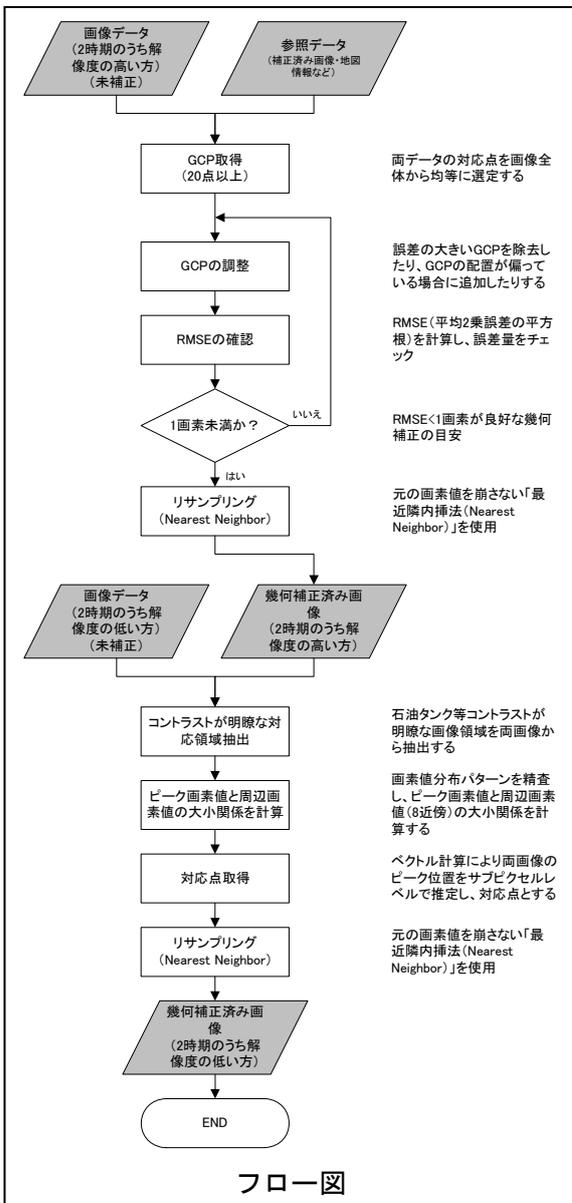
巻末資料

都市緑地変遷抽出の事例



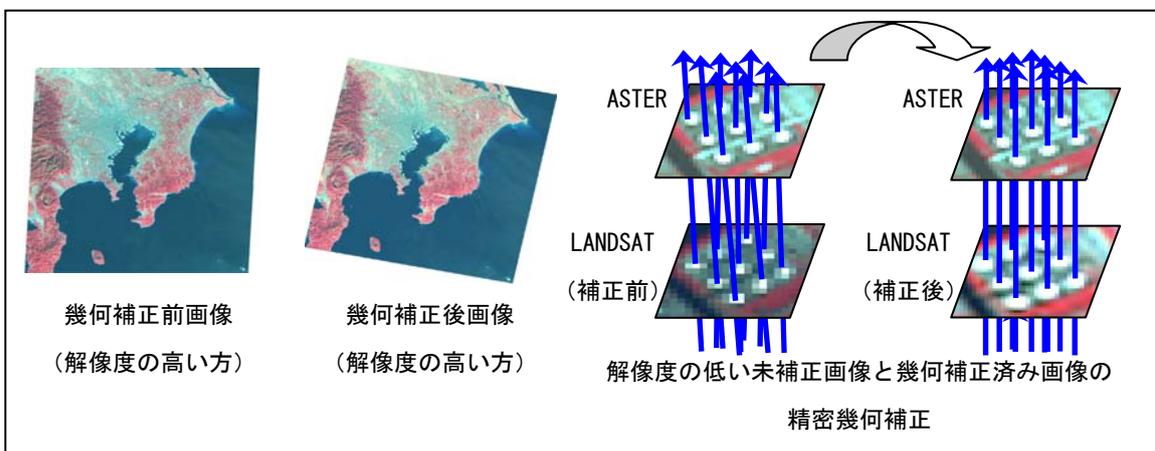
付図1 都市緑地の変遷抽出のための画像処理手法

①幾何補正

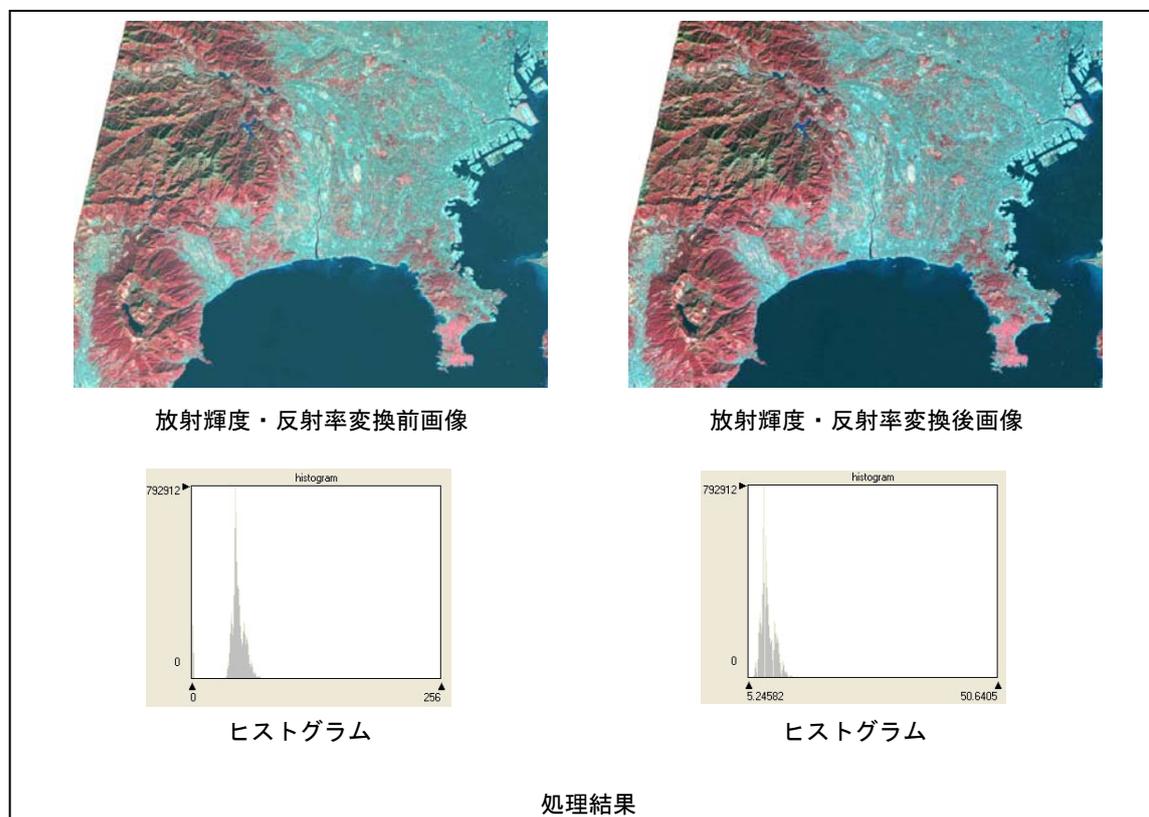
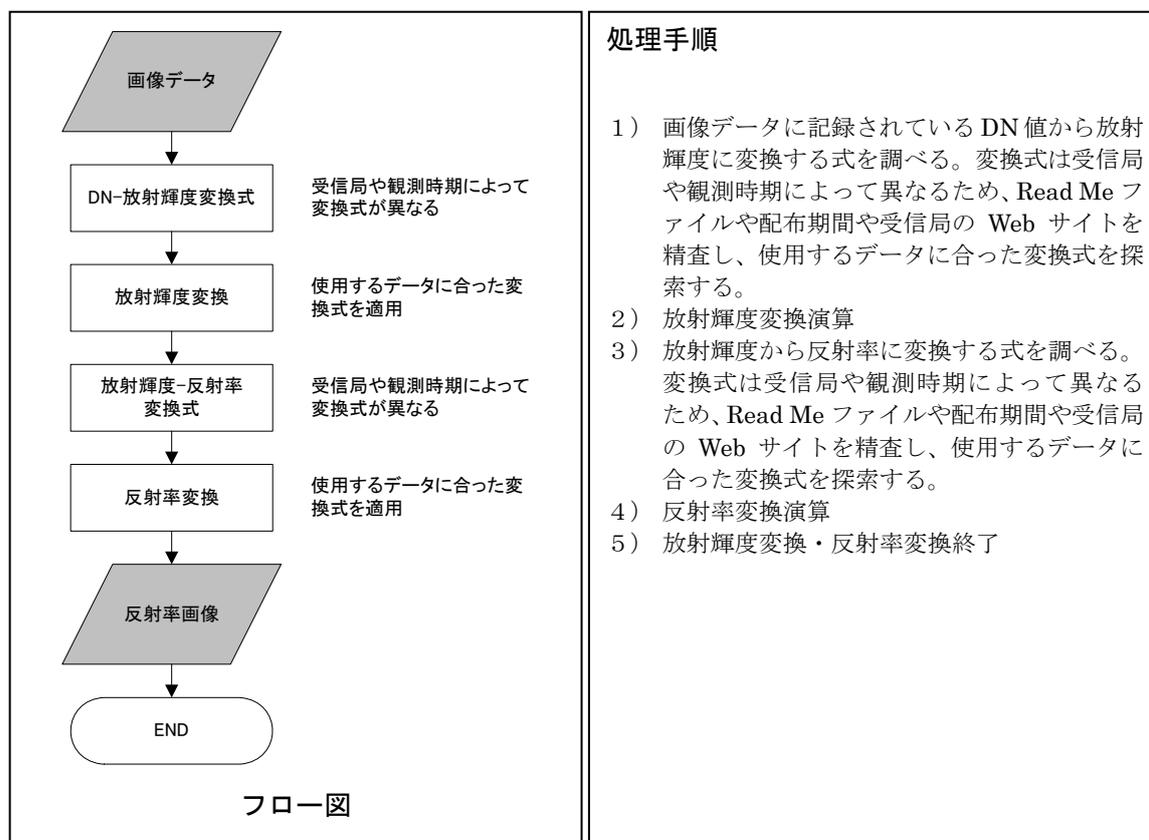


処理手順

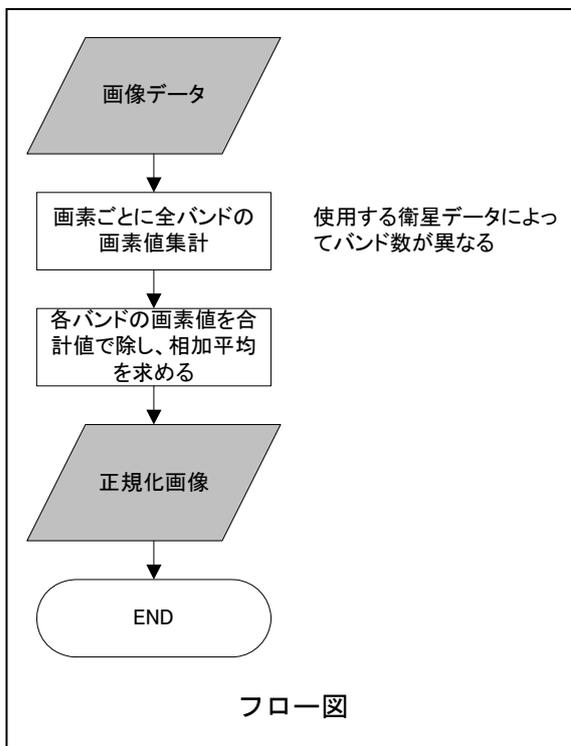
- 1) 衛星データと同じ範囲がカバーされた参照データ（地図画像など）を用意する。
- 2) 未補正の衛星データ（2 時期のうち解像度の高い方）と参照データの対応点（GCP）を画像全体から均等に選定する。20 点以上が目安。
- 3) 誤差の大きい GCP を除去する、GCP の配置の偏りを軽減させるなどの調整を行う。
- 4) RMSE（平均 2 乗誤差の平方根）を計算し、誤差量を確認する。
- 5) RMSE が 1 画素（LANDSAT の場合 30m）以上であれば、GCP を再調整する。1 画素未満であれば、リサンプリング（画素の再配列）に移行する。
- 6) リサンプリング方法は、「最近隣内挿法（Nearest Neighbor）」「共 1 次内挿法（Bi-Linear）」「3 次たみ込み内挿法（Cubic Convolution）」などがあるが、元の画素値を崩さない最近隣内挿法を使用する。
- 7) 2 時期のうち解像度の高い方の幾何補正終了
- 8) 未補正の衛星データ（2 時期のうち解像度の低い方）と幾何補正済み衛星データ（2 時期のうち解像度の高い方）から、コントラストが明瞭な対応領域を抽出する。
（円形のターゲットが望ましい。ガスタンク、給水塔、ゴルフ場のバンカーなど）
- 9) ピーク画素値と周辺画素値（8 近傍）の大小関係を計算する。
- 10) ベクトル計算により両画像のピーク位置を推定し、対応点とする。
- 11) 最近隣内挿法でリサンプリングする。
- 12) 2 時期のうち解像度の低い方の幾何補正終了



②放射輝度変換・反射率変換



③正規化処理

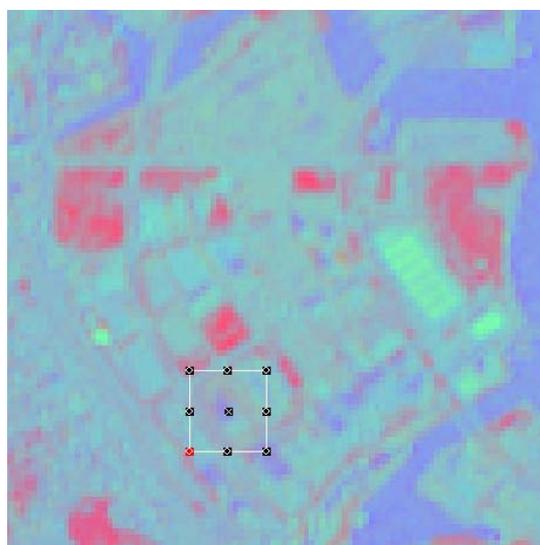


処理手順

- 1) 建物の影や地形の影響を軽減するための処理である。
- 2) 衛星データの画素ごとに全バンドの画素値を集計し、合計値を求める。
- 3) 各バンドの画素値を2)の合計値で除し、相加平均を求める。
- 4) 全バンドを合成
- 5) 正規化処理終了



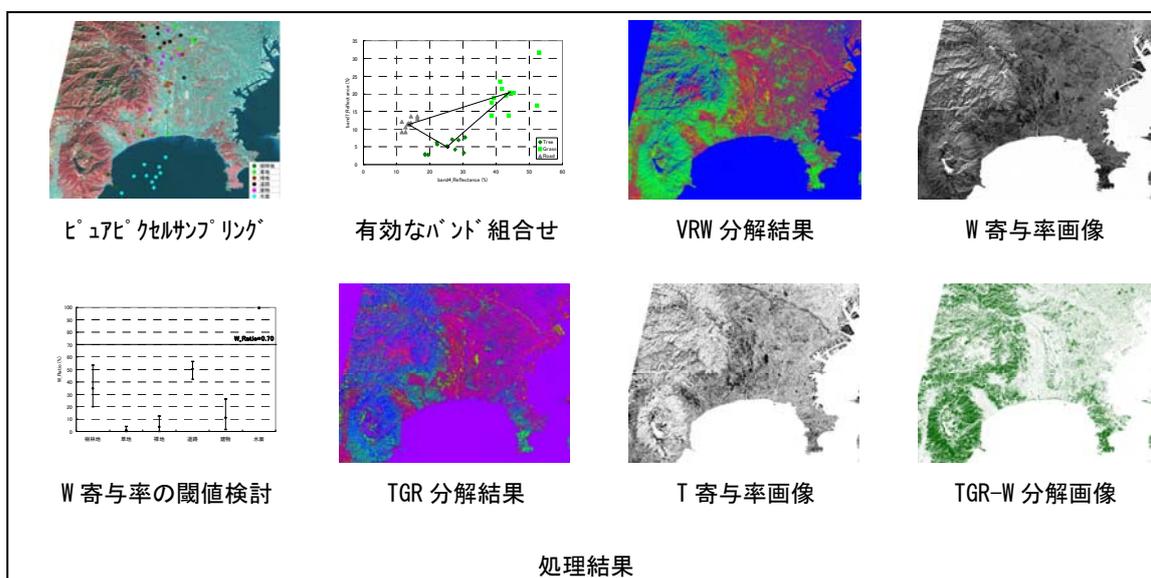
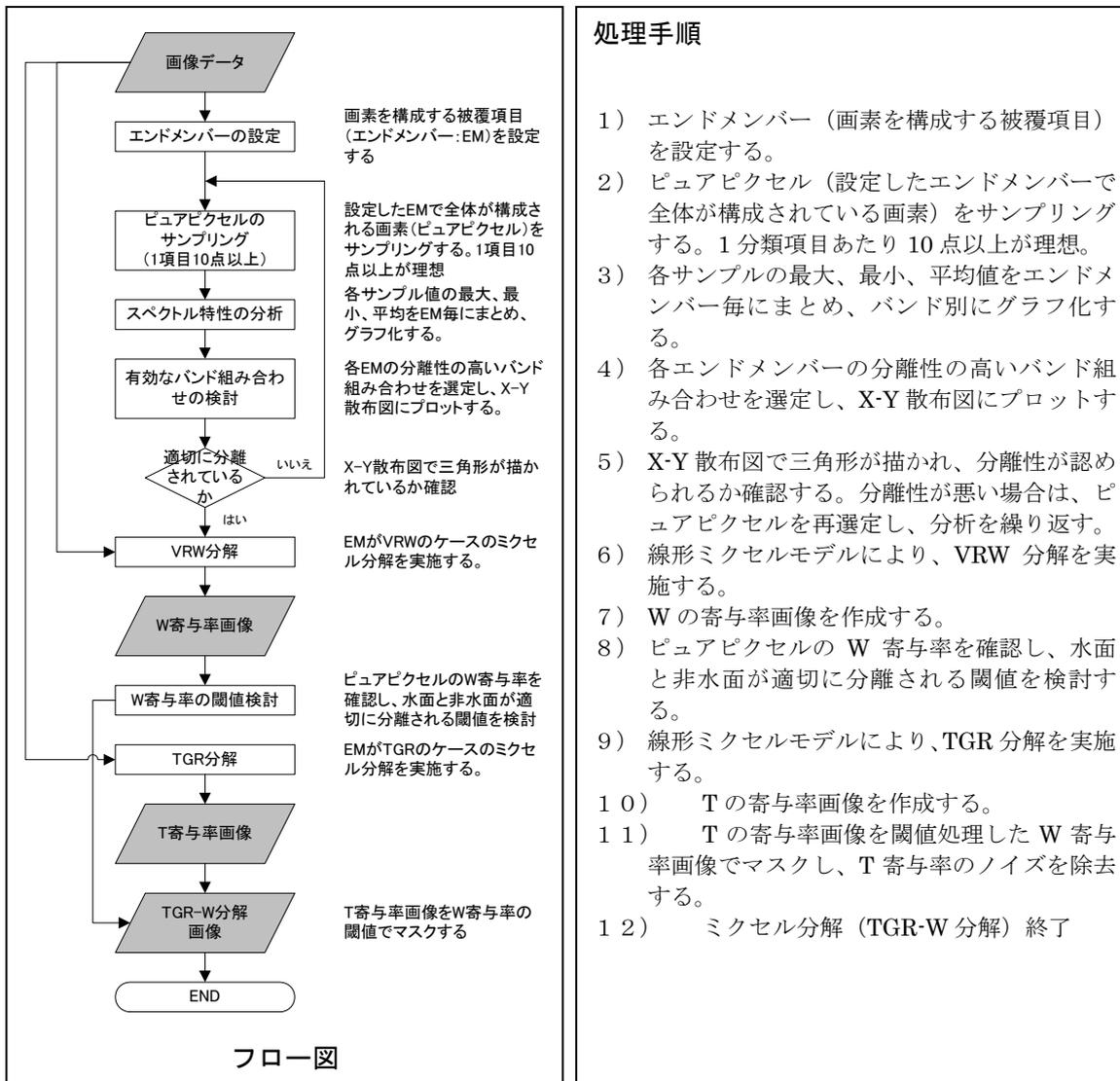
正規化処理前画像



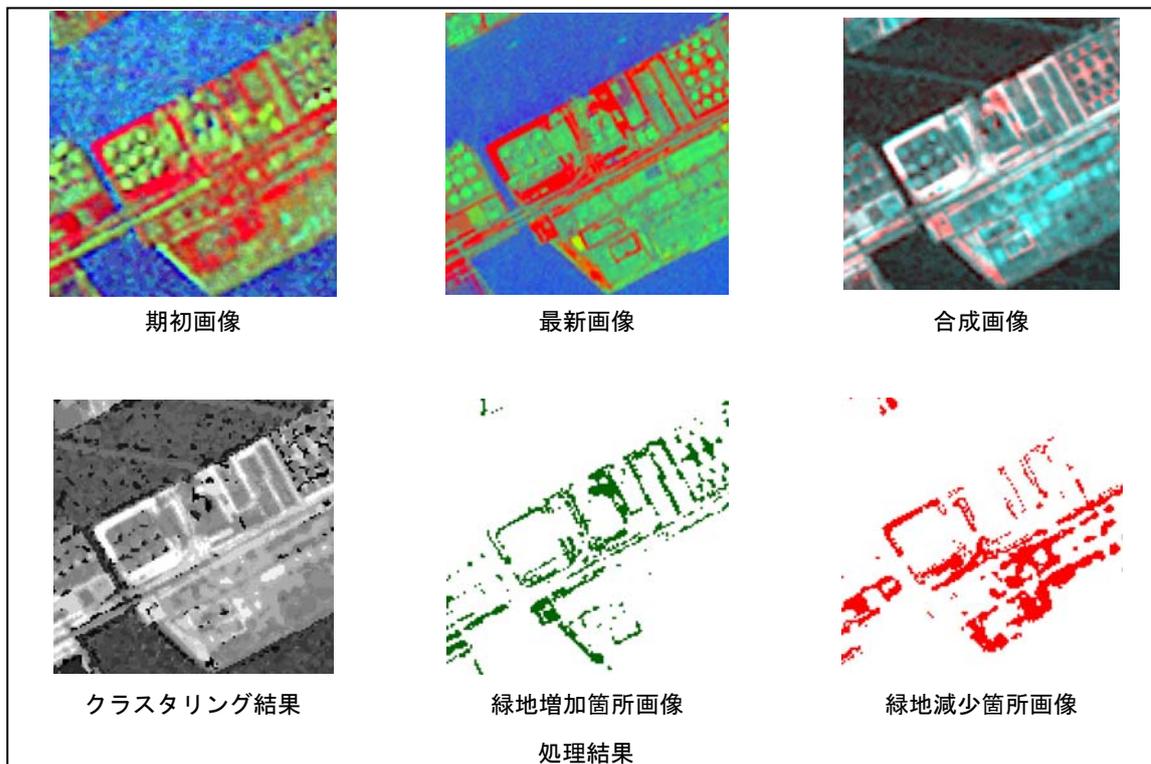
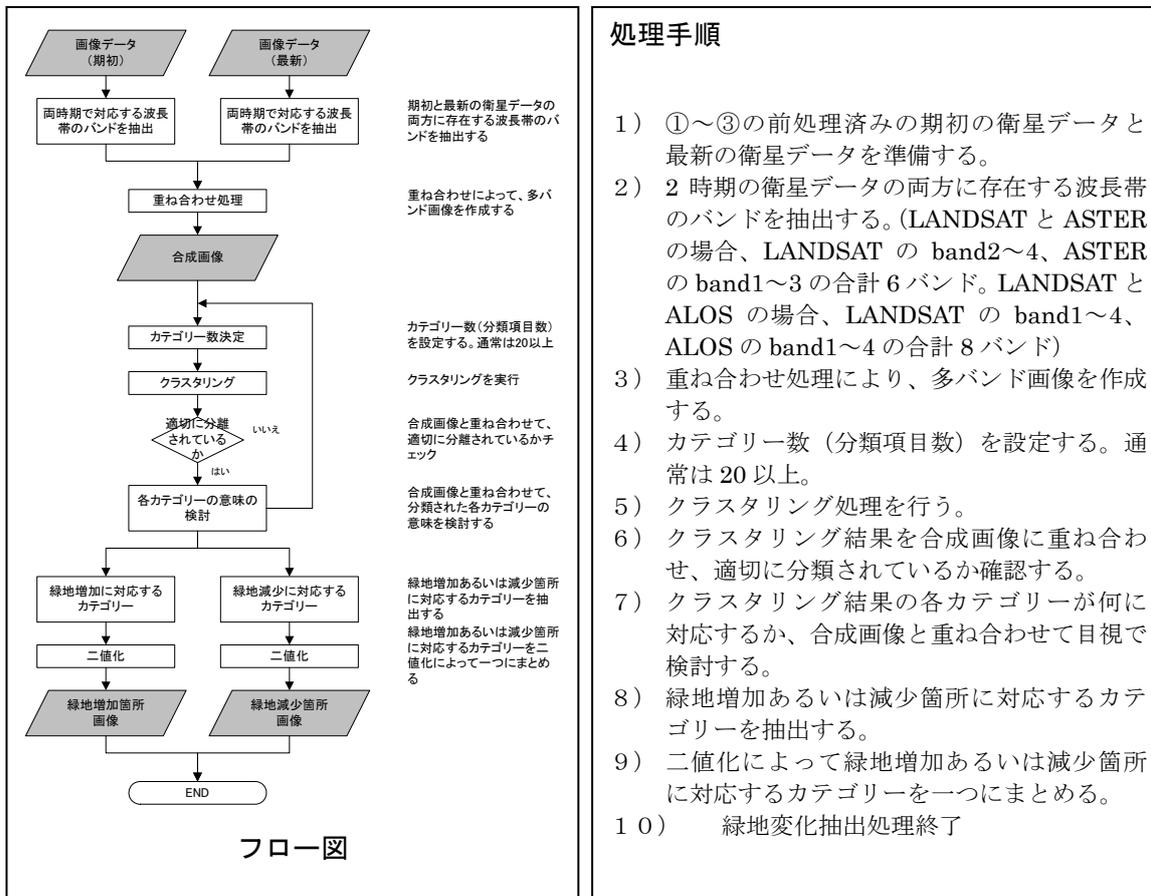
正規化処理後画像

処理結果

④ミクセル分解（TGR-W 分解）による期初あるいは最新の樹木地抽出



⑤2 時期データの全バンド合成とクラスタリングによる緑地変化抽出



⑥期初あるいは最新の樹木地と緑地変化の併用による樹木地変化抽出

