

## 2章 リモートセンシング技術の解説

### 2. 1 プラットフォームとセンサについて

#### 2. 1. 1 リモートセンシングとは

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、図 2-1-1 に示すように航空機、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、SPOT、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。

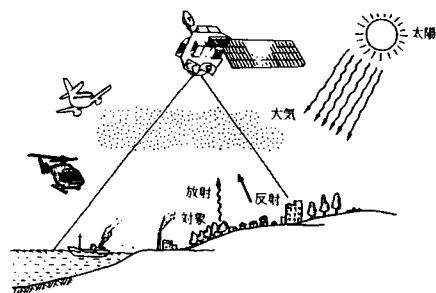


図 2-1-1 リモートセンシングによるデータ収集

出典：改訂版図解リモートセンシング

## 2. 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 2-1-1 に示す種類がある。Landsat、SPOT、NOAA 等の中・低分解能人工衛星は、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 2-1-1 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), NOAA (米), RADARSAT (加), ADEOS-II (日), IKONOS (米), QuickBard (米) 等 *) 各人工衛星のスペックは 4.4 を参照。
スペースシャトル		熱圏   成層圏	240km~350km	SIR (米)
気球・飛行船			100m~100km	成層圏プラットフォーム (日)
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

\*成層圏プラットフォーム：高度 10~50km の成層圏に滞空させる長さ 250m、直径 60m ほどの大型の飛行船。飛行船(成層圏プラットフォーム)が滞空を予定している高度 20km は航空機が通常航行する高度の約 2 倍であり、常に晴天で太陽エネルギーの効率的な利用が行え、常時観測が可能である。また、平均気温は-60°~-50° C 程度、空気密度は地上の 15 分の 1~20 分の 1 程度、風速も比較的安定した環境にある。

## (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。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2-1-2参照)。

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)を発射し、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(2.1.2を参照)。

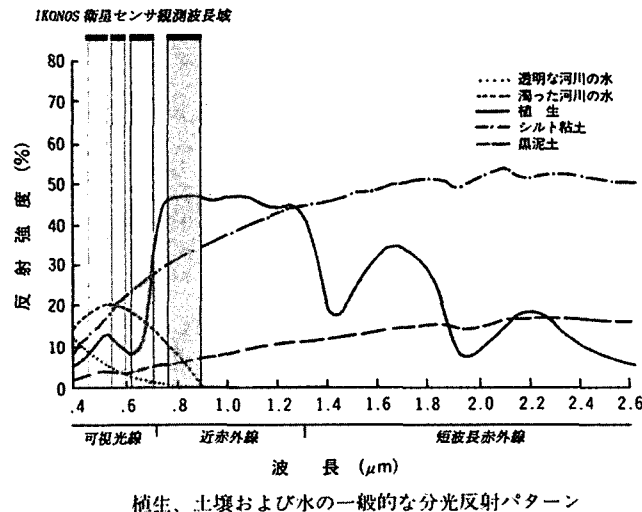


図 2-1-2 分光反射パターンとセンサ取得帯 (IKONOS 衛星の場合)

出典：改訂版図解リモートセンシング

\***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、SPOT、Terra、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 2-1-2 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 2-1-2）。

表 2-1-2 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. SPOT、MOS	
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。

※合成開口レーダの撮像原理は、「平成11年度 リモートセンシングデータに基づく地震被害検知技術に関する調査業務報告書」を参照。

## 2. 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。

(3) センサの地上分解能は、カメラが十数 cm、スキャナ（高分解能人工衛星）は約 1 m である。

### [解説]

#### (1) プラットフォームの特徴比較

人工衛星や飛行船（成層圏プラットフォーム）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。災害時の被災影響という点からも直接地上の被災の影響を受けないため、地震時において緊急撮影のためのプラットフォームが確保されているといえる。ただし、地上受信局及びデータ処理施設が被災せず平常通り運用体制が保たれていることを前提とする。

表 2-1-3 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 2-1-3 に示す。

表 2-1-3 プラットフォームの特徴比較

項目	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
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(予定)	○ 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

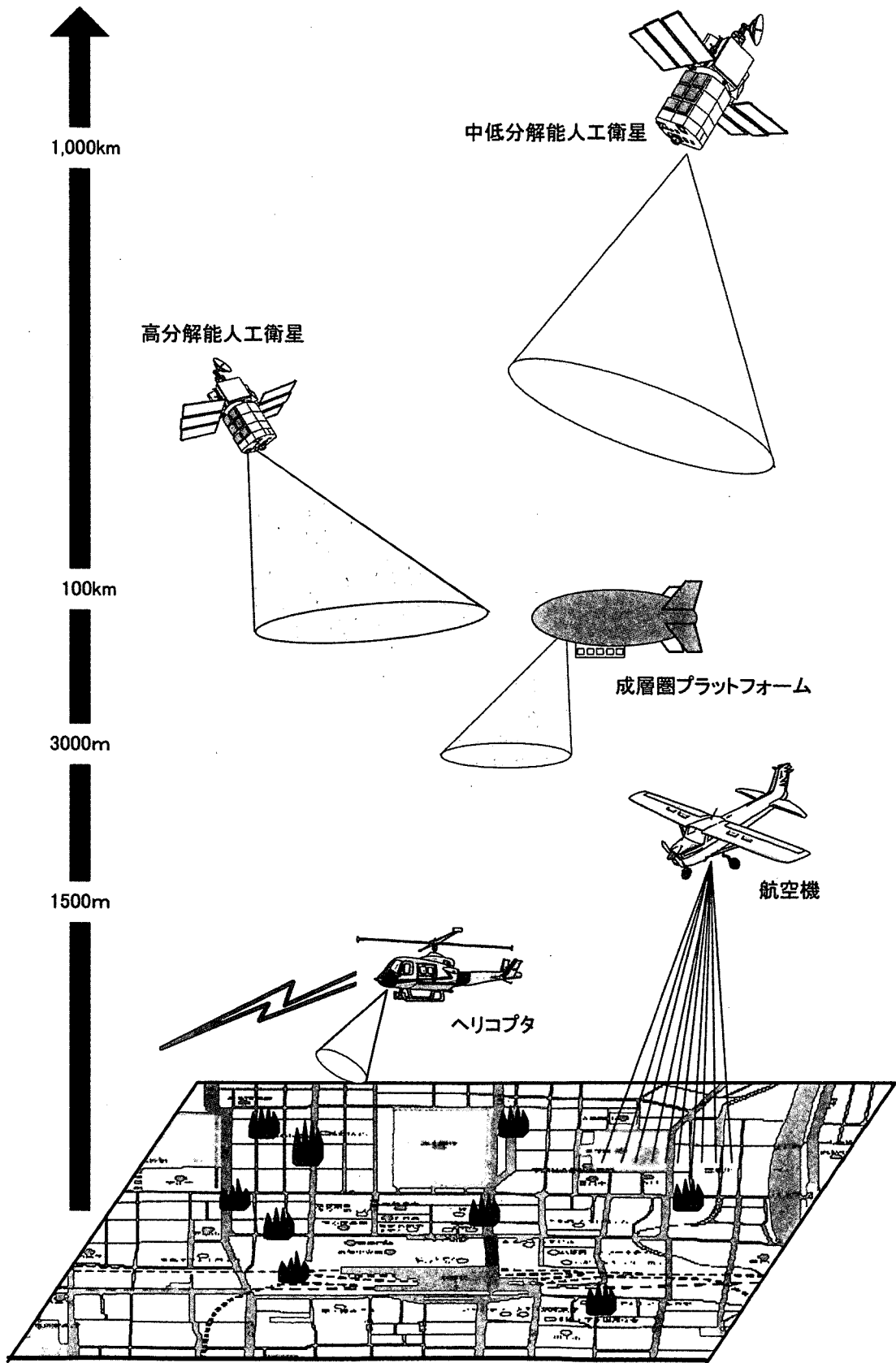


図 2-1-3 飛行高度別のプラットフォーム

## (2) センサの特徴比較

表 2-1-4 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（2.2.2 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 2-1-4 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 2-1-5 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 2-1-5 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
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 (成層圏プラットフォーム)	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

センサの地上分解能の違いによる施設被災抽出の可能性について、検討例を以下に示す。

<阪神淡路大震災時の航空写真シミュレーション画像による被災施設の視認性確認>

阪神淡路大震災の被災施設を撮影した航空写真を利用して、地上分解能が、0.2m、0.5m、1m、2m、10mのシミュレーション画像を作成した。0.2m~0.5mは空中写真、1m~2mは IKONOS などの高分解能人工衛星、10mは SPOT などの中分解能人工衛星を想定し、これらの画像を利用して被災施設の抽出を試みた。その結果を以下に示す。



- 地上分解能 0.2m~0.5m の画像の場合、路面の被災などは、ほとんどの被災を十分検出可能である。大きな路面亀裂などの変状を見つけ出すことも可能である。
- 地上分解能 1m~2m の画像の場合、1m では高架橋のずれ・段差、路面陥没やそのほか小さな被災については判別が困難である。2m では流動化に伴う護岸や河川堤防の被災の判別確認は困難である。
- 地上分解能 10m 程度の画像の場合、ほとんど全ての線的被災状況の判別確認は困難であるが、面的な被災の液状化や土砂災害といった被災は判読可能である。個別施設の変状より地域的な変状を認識することは可能である。

概ね高分解能人工衛星に相当する 1m よりも良い地上分解能では施設被災の判別は可能であるが、中・低分解能人工衛星では面的な被災を除き判別は難しいと見られる。

施設の被災には亀裂などセンチ単位のものがある。しかし、地上分解能の限界もあり、現実的にはリモートセンシングによりこれらを判別することは難しく、地上での現地調査以外には検出は困難である。ただし、落橋により通行障害で発生した渋滞など、被災によって生じた 2 次的現象を捉えることは可能である。

## 2. 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 2-1-6 参照）。

表 2-1-6 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, SPOT, NOAA, RADARSAT, ADEOS-II, IKONOS, QuickBird 等	○ RADARSAT 等	-
スペースシャトル	-	-	-	○ SIR, SRL (米) 等	-
気球・飛行船	○	(○) 成層圏プラットフォーム	(○) 成層圏プラットフォーム	(○) 成層圏プラットフォーム	-
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

\* ) 文部科学省および総務省の成層圏プラットフォーム資料をもとに作成

## 2. 1. 5 異なるプラットフォームやセンサによるデータ取得時の連携

一機の人工衛星の画像データを使用し広域に分布する施設の被災状況を把握することは困難である。そこで、複数の人工衛星を利用し情報を取得することが必要である。また、センサについても光学センサだけでなく SAR 等特性の異なる様々なセンサを組み合わせ、温度情報等異なる性質の情報を取得し被災施設を把握することも考えられる。

### [解説]

被災地を撮影する場合、最も効率よく広範な地域を撮影できるのは人工衛星である。しかし、大規模地震では被災した地域がより広範囲に及ぶため、1機の衛星で範囲をカバーできない場合も考えられる。したがって、そのような場合には中分解能人工衛星や低分解能人工衛星なども含めた、空間的分担や異なるセンサによる分担などの連携が必要になる。また、人工衛星で広範囲の被災地域の中から特に被害が深刻な地域を絞り、その地域へヘリコプタを飛ばし被害を詳細に調査することも考えられる。センサに関しては、晴天の昼間に適した光学センサ、夜間や雲がかかっても観測ができる SAR などデータの取得時の条件に応じセンサを使い分ける必要がある（図 2-1-4 参照）。

### (1) 空間的分担

高分解能人工衛星は、1ショットで撮影できる範囲が比較的狭い。例えば IKONOS では、一度に 11km×11km 四方の範囲を撮影する。大規模地震の場合では、被災施設が広域に分布することが想定される。そこで、複数の高分解能人工衛星により広範な被災地を分担して撮影することや、1ショットで撮影できる範囲が広い中低分解能人工衛星による広域エリアの画像データの取得など、一機の高分解能人工衛星だけでなく、複数の衛星による分担した画像データの取得が必要である。また、人工衛星で広範囲の画像データを取得し、地域の絞り込みを行い詳細な画像データの取得をヘリコプタにより実施するなど、異なるプラットフォームを連携させて画像データを取得する方法も考えられる。

### (2) 異なるセンサによる分担

光学センサは昼間の晴天時には適しているが夜間には使用が困難である。一方、夜間や曇りでも SAR を利用すれば地表の状況に関するデータを取得できる。このように、センサによって使用の条件は異なる。また、センサによって取得されるデータ特性も異なる。このようなことから、異なるセンサを連携して使用することにより取得情報の補足をすることができるようになる。

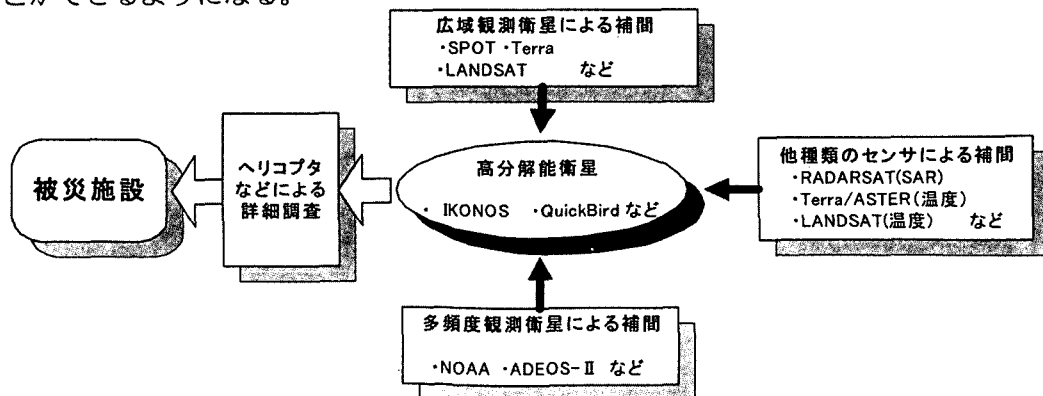


図 2-1-4 異なるプラットフォームやセンサによるデータ取得時の連携

## 2. 2 データ取得から入手に至るまでの留意点

### 2. 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し、被災施設の把握を行うためには、人工衛星や航空機等の運用会社へデータ取得要求を出す必要がある。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) 高分解能人工衛星では、地震の発生時刻によって手元に画像が届くまでの時間は異なってくる。具体的には、高分解能人工衛星の場合、撮影時間は午前 10 時 30 分頃とほぼ固定されており、また、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。このため撮影時刻直前の数時間前までに地震が発生した場合には、最短で当日の夕方には画像データを手元に入手できる。撮影時刻直前の数時間前以降に地震が発生した場合には、翌日の夕方以降まで画像データを入手できない。(図 2-2-1 参照)。

(2) 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(2.2.3 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。被災当日のデータ取得に関して、航空機やヘリコプタは、人工衛星より時間的制約は小さい(図 2-2-1 参照)。

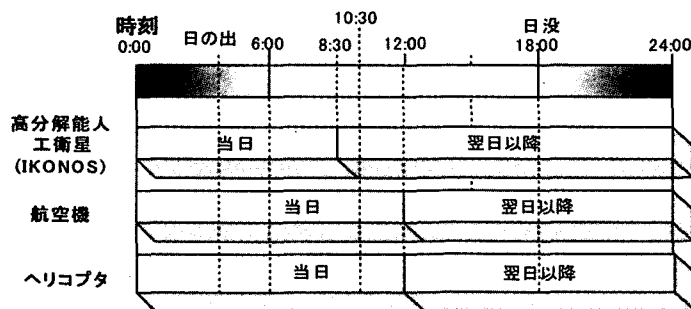


図 2-2-1 災害発生時刻に対するデータが手元に届くまでの時間

#### 【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 2-2-1~2 に示す。災害時における画像撮影の手順や所要時間も合わせて示す。

緊急時には、2.2.3 で後述するように、運用手続きなど時間の短縮化が図られている。

## (1) 高分解能人工衛星

人工衛星は常時上空を周回しており、緊急時の撮影要求においてもその手順は平常時と同じ行程を経て行われる。

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 2-2-1 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		災害緊急時の特例	
	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。	<ul style="list-style-type: none"> <li>運用会社による自主的な撮影の検討が行われている。</li> <li>ヒアリングによれば現時点では、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。</li> </ul>	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		
	画像処理	数日 (処理内容により異なる)	運用会社の自主的な判断による優先処理。	数時間
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の発生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。しかしこれ以降の発災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。初動期の情報の重要性を考えると、地上分解能が落ちるものの天候や昼夜の影響を受けないマイクロ波を用いて取得できる SAR 画像のデータ利用も重要な方法といえる。

データを手元に入手するまでの時間は地震の発生時刻とプラットフォームにより異なる。

先に述べたように中・高分解能人工衛星の場合、撮影時間がほぼ固定されているため発災から撮影時刻までの準備・待機・撮影時間と撮影後の処理・配信時間の合計がデータを手元に入手するまでの時間となる。撮影後の所要時間は大きく変わらないため地震発生時刻から撮影までの所要時間がデータを手元に入手するまでの時間に大きく影響する。

## (2) 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 2-2-2 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		災害等緊急時の特例		
	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 (レーザスキャナのみ)	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。ヘリコプタ映像の場合は、リアルタイムの映像として取得でき発災後30分～1時間程度で入手できる可能性がある。

## 2. 2. 2 撮影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。人工衛星及び成層圏プラットフォームは、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。航空機とヘリコプタについては、飛行と離着陸において、制約が生じる。飛行に関しては、昼間と同一の気象状態に応じた飛行方式が航空法によって課せられている。離着陸に関しては、航空法によって規定された夜間照明施設が確保されていることが夜間の離着陸ができる条件とされている。夜間の離着陸においては夜間照明施設確保の他、空港によっては夜間の騒音抑制のため利用時間帯を制限しているところもあり夜間の空港利用の制約となっている。これらの飛行と離着陸の条件を満たした場合には夜間の撮影が可能となる。

航空機は通常夜間飛行が可能な灯火や計器飛行の装備があるので、夜間照明設備を持った飛行場を確保できれば飛行し撮影することが可能である。ヘリコプタは計器飛行の装備を一般的には備えていないことから夜間に有視界気象状態のもとでのみ飛行が可能である。また、ヘリコプタは航空機に比較し離着陸に必要なオープンスペースが狭く確保しやすいため、離着陸の条件は航空機に比べ確保し易い。

(3) センサ別には、夜間撮影は太陽光を必要としないビデオカメラ（超高感度、赤外）、SAR、レーザスキャナなどで可能性がある。

### [解説]

#### (1) 天候による影響

地震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

衛星及び成層圏プラットフォーム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 2-2-3 のように整理できる。

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 2-2-4 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）。なお、有視界気象状態の条件に関しては、表 2-2-5 および図 2-2-2 に示す。

十分な視界が常に確保されるような気象状態、つまり、有視界気象状態（VMC: visual

\*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。

meteorological condition) (表 2-2-5、図 2-2-2 参照) では、パイロットの目視により飛行する有視界飛行方式が原則である。有視界気象状態であれば、飛行計画を最寄りの空港事務所に提出するのみで飛行でき、有視界飛行に規定される高度であれば、パイロットの判断で自由な高度を選ぶことができる。しかし、空港および空港周辺においては、管制機関の指示に従わなければならない。航空交通管制範囲内を航行している間は無線機器で管制機関の指示を聴取し、定められた位置通報を行わなければならない。ただし有視界気象状態で計器飛行方式により飛行することは自由であり、現在の大型機は、航空交通管制の見地からほとんど計器飛行方式の飛行となっている。

有視界気象状態より視界が不良となる気象状態、つまり計器飛行状態 (IMC) では、有視界飛行方式で飛行することはできず、計器指示による計器飛行方式 (IFR) で飛行する。計器飛行方式は、管制承認 (クリアランス) を受けることを必要とし、出発到着の際はもちろん、航路上においても常に安全間隔 (高度および水平間隔) などの指示を管制機関から受ける。この他、計器飛行を行うためには、航空機は計器飛行方式に必要な計器を装備するとともに、パイロットも計器飛行証明の資格を持っていなければならない。この点ヘリコプタは計器飛行の装備を一般的には備えていないことから、夜間では、有視界気象状態のもとでのみ飛行が可能である。

表 2-2-3 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 (成層圏プラットフォーム)	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

表 2-2-4 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 2-2-2 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	



表 2-2-5 有視界気象状態の条件

			視程	雲からの距離		
				垂直方向		水平方向 (半径)
				上方	下方	
高度 10,000ft (3,000m) 以上	航空交通管 制範囲内外	空域	5miles (8,000m) 以上	1,000ft (300m) 以上	1,000ft (300m) 以上	1miles (1,500m) 以上
高度 10,000ft (3,000m) 未満	航空交通管 制範囲内	空域	3miles (5,000m) 以上	500ft (150m) 以上	1,000ft (300m) 以上	2,000ft (600m) 以上
		飛行場※1		1,000ft (300m) 以上	-	-
	航空交通管 制範囲外	高度 1,000ft (300m) をこえ る空域	1mile (1,500m) 以上	500ft (150m) 以上	1,000ft (300m) 以上	2,000ft (600m) 以上
		高度 1,000ft (300m) 以下の 空域	1mile (1,500m) 以上※2	雲から離れてかつ 地表または水面を引き続き視認		

※1 東京国際空港においては他の飛行場と異なり、視程 5miles (8,000m)、雲からの距離において標高 1,500ft (450m) が必要

※2 他の物件との衝突を避けることができる速度で飛行するヘリコプタについては 1,500m 未満の視程で飛行できる

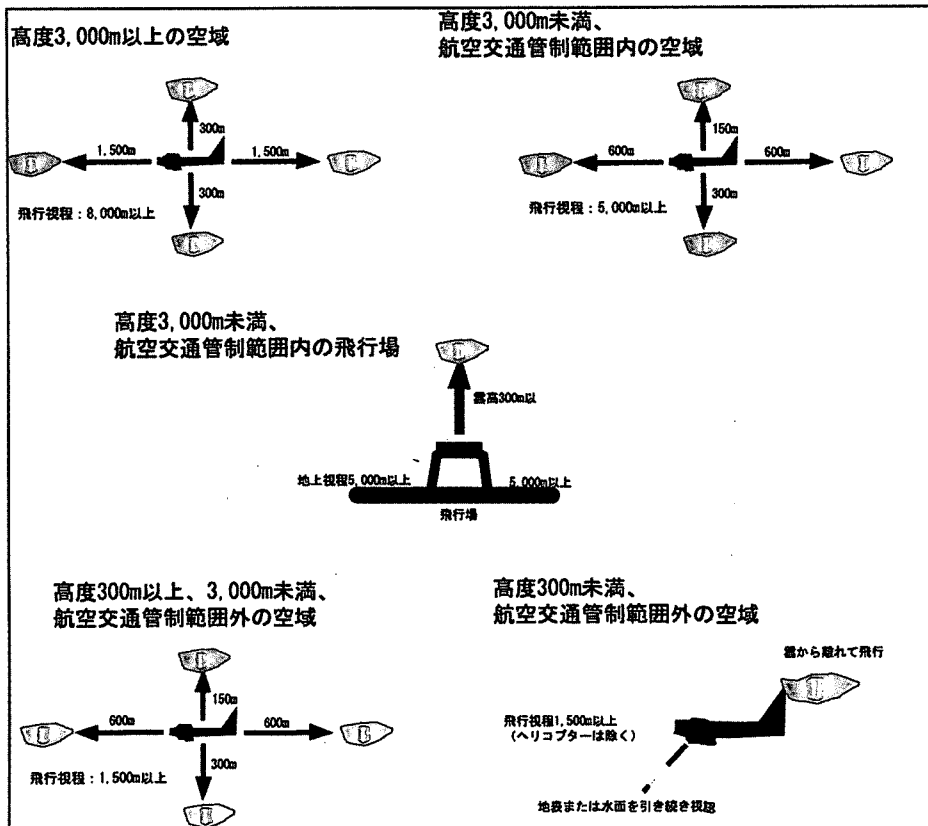


図 2-2-2 有視界気象状態の条件

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 2-2-6 参照）。

表 2-2-6 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

地震が発生する時間帯によっても、撮影条件は大きく制限される。とくに夜間撮影の可能性については、センサによる要因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できる。

### 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以下の2つの条件に左右される。

#### ① 飛行の条件      ② 離発着の条件

①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（表 2-2-4～5、図 2-2-2 参照）。

②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 2-2-7 参照）。

例. 調布飛行場→日没まで    八尾飛行場→21:00 まで

ただし、発災時の緊急やむを得ないと認められる場合は、申請手続きを取ることでより使用は可能となる。

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 2-2-7 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 2-2-8 参照）。

表 2-2-8 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

### ○夜間撮影可能なビデオカメラについて

夜間の災害撮影に適したカメラには超高感度カメラと赤外カメラとがあり、撮影対象規模に応じて使い分ける必要がある。ヘリテレで試験撮影を行った既往文献によれば、赤外カメラはある程度以上の規模を持つ路面、のり面の崩壊、陥没または道路上の障害の把握が可能であり、一方、超高感度カメラは特に近距離（100m 程度）からの詳細な撮影に有効であるとの結果が得られている。（出典：災害情報システムの開発報告書第Ⅱ巻 基本技術編／建設省）

### (3) 地震時の天候条件/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。晴天ではど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地震発生時の時間帯と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 2-2-9 に示す。

表 2-2-9 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	昼間		夜間	
		適否		適否	
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
		◎	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		
曇天		◎	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
雨天		◎	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
雨天		△	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
雨天		○	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	△	UAV レーザスキャナ
		◎	衛星 SAR	◎	衛星 SAR
		◎	飛行船 SAR	◎	飛行船 SAR
雨天		◎	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

## 2. 2. 3 災害時における利用上の特例措置

災害時における利用上の特例措置は、センサを搭載するプラットフォームの高度や運用状況によって異なる。

人工衛星：現時点では特例措置等はなく、被災地の撮影を優先すること等は運用会社の判断にゆだねられている。

航空機・ヘリコプタ：航空法の特例措置により、緊急時において、国、自治体等が所管するプラットフォームに関しては、飛行場以外の場所であっても国土交通大臣の許可なくして離着陸することができ、また危険区域など飛行禁止区域の上空を飛ぶことも、さらに最低安全高度を切って低空飛行をすることも認められている。

ただし、飛行計画や運用のための気象条件を満たしている必要がある。

UAV（無人飛行機）：航空法が適用されないため、運用制限等はほとんどない。

### 【解説】

#### (1) 人工衛星

現在運用されている高分解能人工衛星である IKONOS や QuickBird は米国の民間商用衛星として運用されており撮影申請及び撮影に対して法的な規制や緊急時の特例はない。

一方、Terra、SPOT、Landsat など公的機関の管理する人工衛星については、国内に受信局はあるもののやはり他国運用の人工衛星であり、利用にあたっては運用国への連絡が必要で、利用国とのスケジュール調整が必要になる。これらの衛星を運用する会社へのヒアリングによれば、災害時における被災地の画像撮影は運用会社の判断で優先的に行われる可能性が高いとのことである。

#### (2) 飛行船（成層圏プラットフォーム）

現在のところ研究・計画段階のものであるため、明確な規定は定められていない。

#### (3) 航空機

航空機の使用にあたっては、次の事項を満たさなければ運用させてはならないとしている。

- ①航空法令上必要な飛行届を出していること（飛行計画等）
- ②航空法に定められた気象条件が満たされていること
- ③航空法令上必要な飛行許可を得ていること（離着陸の場所、飛行禁止の区域、最低安全高度等）

### ① 航空法令上の必要な飛行届

航空機の運用上、航空交通管制範囲（航空交通管制区\*、航空交通管制圏\*\*）にかかる場合、飛行許可申請（飛行計画の通報：航空法 97 条）を行う必要がある。現在、災害時においてもこの飛行許可申請についての特例はなく実施しなければならない。

通報先は 高々度の場合：東京航空交通管制部（所沢）、

低高度の場合：各飛行場の管制情報部

災害時は飛行許可申請手続きの簡略化での対応が必要となる。このため空港事務所との直接交渉により飛行許可申請を FAX などで済ませたり、飛行計画を事前に作成しておくことで撮影プロセスの短縮を図っている。現在では、早ければ 30 分程度で行える。

### ② 航空法に定められた気象条件

飛行時の天候、時間帯（昼／夜）に関する規定は、2.2.2 に示したとおりである。災害時にもこの規定が適用され、特例措置はない。

表 2-2-10 災害時プラットフォーム運用に関連する航空法規

安全事項	航空法	規定の要点
離着陸の場合	79 条	航空機は飛行場以外の場所において離陸し、又は着陸してはならない。ただし、国土交通大臣の許可を受けた場合は、この限りではない。
飛行の禁止区域	80 条	航空機は、危険を生ずるおそれがある区域の上空を飛行してはならない。
最低安全高度	81 条	航空機は一定高度以下の高度で飛行してはならない。ただし国土交通大臣の許可を受けた場合は、この限りではない。 ① 人家の密集した市街地など——航空機を中心として水平距離 600m 以内の最も高い障害物の上 300m。 ② 人家の少ないところや広い水面——地上又は水上の障害物から 150m 以上の距離を保持する。 ③ 前 2 項以外の地域——地面又は水面から 150m 以上の高度
搜索または救助のための特例	81 条 2	前 3 条（離着陸場所、飛行禁止区域、最低安全高度）の既定は、国土交通省令で定める航空機が搜索又は救助を行うために行う航行については適用しない。
	施行規則 176 条	国土交通省令で定める航空機は次の通り。 ① 国土交通省、防衛庁、警察庁、都道府県警または地方公共団体の消防機関の使用する航空機。 ② 国土交通省の依頼により搜索または救助を行う航空機。
飛行計画（フライトプラン）	97 条	（飛行計画及びその承認）航空機は、飛行しようとするときは、国土交通大臣に飛行計画を通報しなければならない。
	98 条	（到着の通報）航空機の機長は、飛行計画で定めた飛行を終わったときは、遅滞なく国土交通大臣に通知しなければならない。

\*航空交通管制区：地表又は水面から 200m 以上の高さの空域であって、航空交通の安全のために国土交通大臣が告示で指定するものをいう。ほぼ日本全域を覆っている。

\*\*航空交通管制圏：国土交通大臣が告示で指定する飛行場及びその附近の上空の空域であって、飛行場及びその上空における航空交通の安全のために国土交通大臣が告示で指定するものをいう。

### ③航空法令上必要な飛行許可

航空機の運用上の規定には表2-2-10に示すように航空法第79条(離着陸の場所)、第80条(飛行の禁止区域)、第81条(最低安全高度)があり、緊急時の出動にも国土交通大臣の許可を受ける必要がある。しかし緊急、救助の場合の活動を妨げないように特例が設けられている。これは「救助のための特例」(航空法第81条の2)で、「前3条の規定は、国土交通省令で定める航空機が航空機の事故、海難その他の事故に際し捜索又は救助のために行う航行については、適用しない」とするものである。

この特例措置として適用される航空機は、国土交通省、防衛庁、警察庁、都道府県警察または地方公共団体の消防機関の使用する航空機であって捜索または救助を任務とするものである。つまりこれらの航空機は、飛行場以外の場所であっても国土交通大臣の許可なくして離着陸することができ、また危険区域など飛行禁止区域の上空を飛ぶことも、さらに最低安全高度以下の低空飛行をすることも認められている。また国土交通大臣の許可を得た航空機についても同様である。

## (4) ヘリコプタ

ヘリコプタについても航空機同様に法的制限や特例がある。

### ① 航空法令上の必要な飛行届

航空法令上の必要な飛行許可は、ヘリコプタに関しても航空機(前項(3)①)と同様である。

### ②航空法に定められた気象条件

天候による条件も航空機の場合と同じである(2.2.2参照)。

### ③航空法令上必要な飛行許可

航空法令上必要な飛行許可は、ヘリコプタに関しても航空機と同様である。

現在のところ、緊急時の初動期対応は、ヘリコプタによるものがほとんどを占めており、その機動性とリアルタイム性などの利点を生かした運用体制が組まれている。

## (5) UAV(無人飛行機)

UAVは無人機で、地上からの操縦により情報収集を行うものである。航空法上では航空機として扱われていないが、「航空機の飛行に影響を及ぼす恐れのある行為」(航空法施行細則第209条の3・4)に抵触しない範囲での運用が求められている。



## 2. 2. 4 プラットフォームから運用会社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会社への画像受信の伝送方法を示す(表 2-2-11 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・丸の内へ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、高仰角が可能の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。このため災害対策本部の手元に届くまでに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、災害対策本部の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、本省、地方整備局、災害対策本部など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 2-2-11 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に同じ。
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。

## 2. 2. 5 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、災害対策本部など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 2-2-12 に示した。

表 2-2-12 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. 2. 6 災害後の画像データの継続的な入手と災害前の画像データ入手

地震前のデータあるいは刻々と変化する災害状況や復旧のデータを継続的に取得することは災害状況を把握し、復旧計画を策定するうえでも必要である。

(1) 災害後の画像データの継続的な入手に関しては、高分解能人工衛星の場合、最短で2～3日間隔となる。また、低分解能人工衛星では、3～4回/日の画像データの入手が可能となる。航空機・ヘリコプタなどは、いつでも画像データを入手できるが、撮影準備・機体運用など毎回の撮影ごとに手続きが必要となる。

(2) 災害前の画像データの入手については、高分解能人工衛星の場合、運用会社が平常時より自主的に撮影した画像をストックしており、それを利用できる。現在、IKONOSの画像ストックは、国土の面積ベースで83%が整備されている。航空機・ヘリコプタで撮影した航空写真については、自治体等様々な機関においてストックされている。

### [解説]

#### (1) 災害後の画像データ更新

地震直後は刻々と変化する被災状況等を把握するため、継続的にリモートセンシングにより災害状況を撮影することが望まれる。

災害後の画像データの更新頻度は、画像の撮影手順と同様、プラットフォームに依存するところが多い。

衛星の場合、軌道観測による定期的な撮影が可能のため天候が良好であればデータ更新は容易である。高分解能人工衛星では最短で2～3日以内のデータ更新が可能である。地震発生後の被災地域・箇所の緊急対応や計画、復旧の状況など経時的にモニタリングを行うことも可能となる。低分解能人工衛星に関しては、1日に3～4回のデータ更新が可能である。

これに対し、航空機、ヘリコプタ、UAVなどでは、任意に画像データ（航空写真等）を取得できるが、プラットフォームとなる機体の運用（飛行計画の申請など）と撮影プロセスを改めて繰り返す必要がある。

表 2-2-13 画像データの更新

プラットフォーム	データ更新
人工衛星	2～3日で更新可能。 撮影頻度は地上分解能により異なる。 1m地上分解能：3日 2m地上分解能：2日 打ち上げが予定されている複数の衛星の併用により、 数時間～1日程度に短縮される可能性がある。
飛行船 (成層圏プラットフォーム)	常時滞空しているため随時更新可能と推定。
航空機・ヘリコプタ・ UAV	任意の時点で更新可能。但し更新には機体運用を含めた手続きが必要。

## (2) 災害前の画像データ入手

地震被害の状況を把握するために災害前の状況と比較を行い、変状を抽出する事は被災地の絞込みなどをする上で有効である。その場合、被災前のデータは発災時点に近い(=最新)ほど良い。

被災前の画像を入手する可能性は画像データのストック状況に依存する。ストック状況は、プラットフォームとセンサの組み合わせによって異なり、表 2-2-14 のように整理できる。

過去の画像情報ストック量が多いのは航空写真である。国内の地形図整備を目的として国土地理院が計画的に全国の撮影を行ってきた成果等が蓄積されている。但し、撮影年次は場所により不特定で必ずしも最新の写真があるとは限らない。縮尺も同一とは限らないため注意が必要である。その他、施設管理者が独自に撮影している航空写真も存在するが、撮影年次、縮尺、範囲は不特定である。

高分解能人工衛星では IKONOS の場合、運用会社により、2003 年 2 月現在で国土の面積ベースで 83%の画像データが既にストックされている。今後のストックの充実が期待される。レーザスキャナは実用段階に入ったばかりで、3 次元データのストックは大都市圏に限られる。航空機 SAR 及び UAV は、ストックはほとんど無い。

なお、被害状況を把握するため災害発生前の画像と発生後の画像を比較する際に、目視で行う場合には、画像の種類(衛星データ、航空写真等)が異なっても縮尺を同程度にすることによりある程度比較は可能である。しかし、比較にコンピュータによる画像処理ソフトを利用する場合には同一種の画像を準備したほうが処理結果の精度が向上すると考えられる。

表 2-2-14 災害前の画像データのストック状況

プラットフォーム	センサ	ストック状況
高分解能人工衛星 (IKONOS)	スキャナ	現在ストックが蓄積されつつある。 2003 年 2 月時点、面積ベースで 83%が整備済み。
飛行船 (成層圏プラットフォーム)	ビデオカメラ	技術開発中であり、ストックは無い。
	スキャナ	
	SAR	
航空機	カメラ	国や自治体に過去の航空写真ストックあり。但し、 撮影年次・縮尺・範囲は不特定。
	SAR	研究目的で一部あり。
	レーザスキャナ	政令指定都市を対象にストックが蓄積されつつある。
ヘリコプタ	カメラ	ストックはほとんど無い。
	ビデオカメラ	ストックはほとんど無い。
	レーザスキャナ	首都圏を中心にストックがある。
UAV	カメラ	ストックは無い。
	ビデオカメラ	
	レーザスキャナ	

## 2. 3 災害対応に活用する上での課題

災害対応において、リモートセンシング技術を活用する上での課題を取りまとめた。

[解説]

表 2-3-1 に現状と課題についてまとめた。

表 2-3-1 災害対応に活用する上での課題

項目	課題
プラットフォーム・センサ	現状では、発生直後からの災害対応全体を通して利用可能なプラットフォーム・センサはない状況にある。したがって、状況（時間・精度）に応じて、プラットフォーム・センサを組み合わせて利用する必要がある。例えば、飛行高度や撮影範囲が違う複数のプラットフォーム・センサを一度に活用し、お互いのデータ補間を行うことで利用性は広がると考えられる。
データ取得からユーザへの配信	現状でデータ取得にリアルタイム性を有しているのはヘリテレのみである。人工衛星のデータに関しては、最も条件が良い場合でも、データ取得から配信までに数時間を要する。この時間を短縮するという課題の解決に対しては、専用回線を構築するなど配信システムの強化が挙げられる。また、航空機による航空写真撮影に関しても同様に数時間を要する。これらの課題に対しても、取得したデータをデジタルに変換し、人工衛星のデータと同様に専用回線を構築することによって配信時間を短縮させる事が可能になると考えられる。
画像処理について (被災施設抽出の精度)	現状、画像処理手法による被災施設の抽出は、精度に限界がある。したがって、画像処理によって完全に被災施設を抽出することは困難である。しかし、担当者が直接画像を判読して被災施設を抽出することに比べれば作業効率を大きく向上させることが可能であると考えられる。今後の課題としては、画像処理手法による被災施設抽出の精度向上である。精度を向上させるためには、発生前の画像とリモートセンシングデータ (GIS) を対比させるなどして被災情報を抽出する等が挙げられる。
その他	リモートセンシング技術を活用して得られる画像データは、主に被災地の上空から直下を撮影した情報であり、必要な情報がすべて得られる訳ではない。このため、地上からの情報も組み合わせて利用することが必要になる。

現状では人工衛星はリアルタイム性にやや難があるが、今後打ち上げが予定されている人工衛星が順調に稼働するとリアルタイム性の向上が期待される。現在稼働している人工衛星を表 2-3-2 に、今後打ち上げが予定されており災害対応への利用が想定される人工衛星を表 2-3-3、表 2-3-4 に示す。

また、航空機レーザスキャナの計測原理を参考として図 2-3-1 に示す。

表2-3-2 人工衛星の諸元




衛星	LANDSAT-7	SPOT-7	IKONOS
衛星外観			
国	アメリカ	フランス	アメリカ民間
打ち上げ年	1999年4月	2002年5月4日	2001年10月18日 1: 1999年4月28日 2: 1999年9月24日
観測期間	1999~	2002~	1999~
衛星高度	705km	822km	681km
回帰日数 <赤短波長(高解)〉	16日	26日<8日>	11日<1.5日>
観測時間	10:16頃	10:30頃	10:30
主センサー	ETM+	HRVIR-X	MSS
センサータイプ	光学センサー	光学センサー	光学
観測範囲	約185km×170km	約60km×60km (可視~近赤外) 約120km×120km (短波長赤外)	11km×高さ110km (前後左右視±45°)
分解能	15m(γ,γ) 30m(可視~短波長赤外) 60m(熱赤外)	10m(可視~近赤外) 20m(短波長赤外)	1m
観測波長帯 (μm)	0.45~0.52 青 0.53~0.61 緑 0.63~0.69 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)	0.50~0.59 緑~黄 0.61~0.68 赤 0.79~0.89 近赤外 1.58~1.75 短波長赤外	0.45~0.52 青 0.52~0.60 緑 0.63~0.69 赤 0.75~0.89 近赤外
子機搭載機関	(財)ヒートソング 技術センター (財)広島地球環境情報センター EROS, GUSTDA, ACRES, RSGS	(財)ヒートソング 技術センター (株)イーステック (株)NTTデータ SPOT IMAGE	日立ワイルドワンが(株) (株)NTTデータ (財)ヒートソング 技術センター 日本スペースイノベーション(株) (財)ヒートソング 技術センター

表2-3-2 人工衛星の諸元


衛星	RADARSAT-1									
衛星外観										
国	カナダ									
打ち上げ年	1995年11月									
観測期間	1995～									
衛星高度	約793～821km									
回帰日数 <軌道観測周期>	24日<6H>									
観測範囲	SAR-10 <Fine Mode> 入射角：37～48° マイクロ波	SAR-10 <Standard Mode> 入射角：20～49° マイクロ波	SAR-10 <Wide(1) Mode> 入射角：20～31° マイクロ波	SAR-10 <Wide(2) Mode> 入射角：31～39° マイクロ波	SAR-10 <ScansAR(N) Mode> 入射角：20～40° マイクロ波	SAR-10 <ScansAR(W) Mode> 入射角：20～49° マイクロ波	SAR-10 <Extended(H) mode> 入射角：60～69° マイクロ波	SAR-10 <Extended(L) mode> 入射角：10～23° マイクロ波		
センサタイプ	マイクロ波									
観測範囲	約46km×45km	約100km×100km	約165km×165km	約150km×150km	約205km×305km	約510km×510km	約75km×75km	約170km×170km		
分解能	10m (1looks)	30m (4looks)	30m (4looks)	30m (4looks)	50m (2～4looks)	100m (4～8looks)	25m (4looks)	35m (4looks)		
観測波長帯 (μm)	5.3GHz (C-band), HH									
データ提供機関	(財)地球観測技術センター 加野局									



表2-3-2 人工衛星の諸元



衛星		ADEOS-II									
衛星外観		ADEOS-II									
国		アメリカ									
打ち上げ年	2002年6月24日	2002年12月14日									
観測期間	2002～	2002～									
衛星高度	870km	808km									
回帰日数 <地球観測周期>	毎日	4日									
通過時間		10:30PM									
主なセンサ	TOVS-HIRS/2	AMSU-A	AMSU-B	SBUV/2	AMSR	GLI	Sea Wind	FOLDER	ILAS-II		
センサタイプ	光学	マイクロ波	マイクロ波	光学	マイクロ波	光学	マイクロ波	光学	光学		
観測範囲	2,700km	2,240km	2,240km	-	1,600km	1,600km	1,800km	1,440km	10~60km		
分解能	0.6km(可視) 1.0km(近赤外～熱赤外)	40km	15km	169.8km	50km(6.9,10.65GHz) 25km(18.7,23.8GHz) 15km(36.5GHz) 10km(50.3,52.6GHz) 5km(89.0GHz)	1km 250m	26km	7km*6km	1km*13km (中間赤外～熱赤外) 1km*21.7km (熱赤外) 1km*21km (近赤外)		
観測波長帯 (μm)	0.58~0.68 緑～赤 0.82~0.87 近赤外 1.57~1.78 短波長赤外 3.55~3.95 中間赤外 10.30~11.30 熱赤外 11.50~12.40 熱赤外	23.0~90.0GHz(K~Ka-band) 15μm, 7μm	90.0~183.0GHz 5μm, 7μm	0.2520~0.3998 紫外 12μm, 7μm	6.9GHz (C-band) 10.65GHz (X-band) 18.7GHz (K-band) 23.8GHz(K-band) 36.6GHz (Ka-band) 50.8GHz 52.6GHz 89.0GHz	0.375~0.87 μm～近赤外 19μm, 7μm 0.425~0.495 μm 0.620~0.670 μm 0.630~0.690 μm 0.770~0.880 μm 1.04~1.06 μm 1.10~1.17 μm 1.23~1.25 μm 1.36~1.40 μm 1.54~1.74 μm 2.10~3.32 μm 3.55~3.88 μm 4.45~5.05 μm 5.1~5.4 μm	13.4GHz (Ka-band)	0.433~0.453 μm 0.460~0.600 μm 0.610~0.650 μm 0.655~0.675 μm 0.660~0.680 μm 0.760~0.770 μm 0.860~0.900 μm 0.945~0.955 μm	高度範囲: 10~60km		
データ提供機関	(財)日本気象協会 東大生研 東北大学等	-	-	-	未定	未定	未定	未定	未定		

表2-3-2 人工衛星の諸元



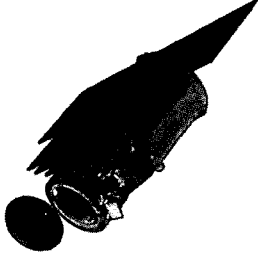
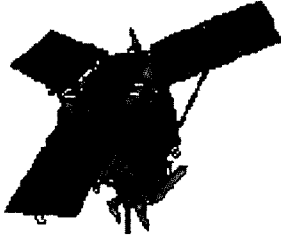
衛星	DART (DART-SAM)				
衛星名称					
国	アメリカ				
打上り年	1999年12月18日				
運用期間	1999～				
衛星高度	705km				
回帰日数 (観測周期)	16日				
運用時間	10:30				
主センサー	ASTER	MODIS	MISR	CERES	MOPITT
センサータイプ	光学	光学	光学	光学	光学
観測距離	60km×60km	2,330km	408km	Scan Angle : ±80°	640km
分解能	15m (可視～近赤外) 30m (短波長赤外) 90m (熱赤外)	250m(可視～近赤外) 500m(可視～短波長赤外) 1,000m(可視～熱赤外)	240m 1,920m	25km	22km 66km 120km
観測波長帯 (nm)	0.52～0.60 緑 0.63～0.69 赤 0.76～0.86 近赤外 1.600～1.700 短波長赤外 2.145～2.186 短波長赤外 2.185～2.226 短波長赤外 2.235～2.286 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 10.05～10.95 熱赤外	可視～熱赤外 36°ノド	0.443 青 0.655 緑 0.670 赤 0.865 近赤外	0.3～0.5 紫外～緑 8～12 熱赤外 0.3～50 紫外～遠赤外	4.7 中間赤外 2.4 短波長赤外 2.3 短波長赤外
メーカー	(財)資源・環境観測解析センター 東大生研、東海大 東京情報大、AIT				

表 2-3-3 今後打ち上げが予定されている人工衛星

国名	2003	2004	2005	2006
日本		●ALOS		
米国	●OrbView-3		●IKONOS-2	

表 2-3-4 今後打ち上げが予定されている人工衛星のスペック

人工衛星	ALOS	OrbView-3	IKONOS-2
外観			
国	日本	米国	米国
打ち上げ予定	2004年9月	2003年6月27日成功	2005年
飛行高度	691km	470km	不明
観測時刻	10:30	10:30	不明
観測周期	最短2日	最短3日	不明
センサー	[PRISM] 光学 [AVNIR-2] 光学 [PARSAR] マイカ波	[Pan] 光学 [MSS] 光学	[Pan] 光学 [MSS] 光学
観測幅	70km	8km	不明
分解能	[PRISM] 2.5m [AVNIR-2] 10m [PARSAR] 10m	[Pan] 1m [MSS] 4m	[Pan] 0.5m [MSS] 不明
観測波長帯 ( $\mu\text{m}$ )	[PRISM] 0.52~0.77 [AVNIR-2] 0.42~0.50 0.52~0.60 0.61~0.69 0.76~0.89 [PARSAR] 1.27GHz	[Pan] 0.45~0.90 [MSS] 0.45~0.52 0.52~0.60 0.625~0.695 0.76~0.90	[Pan] 不明 [MSS] 不明

(平成 15 年 7 月現在)

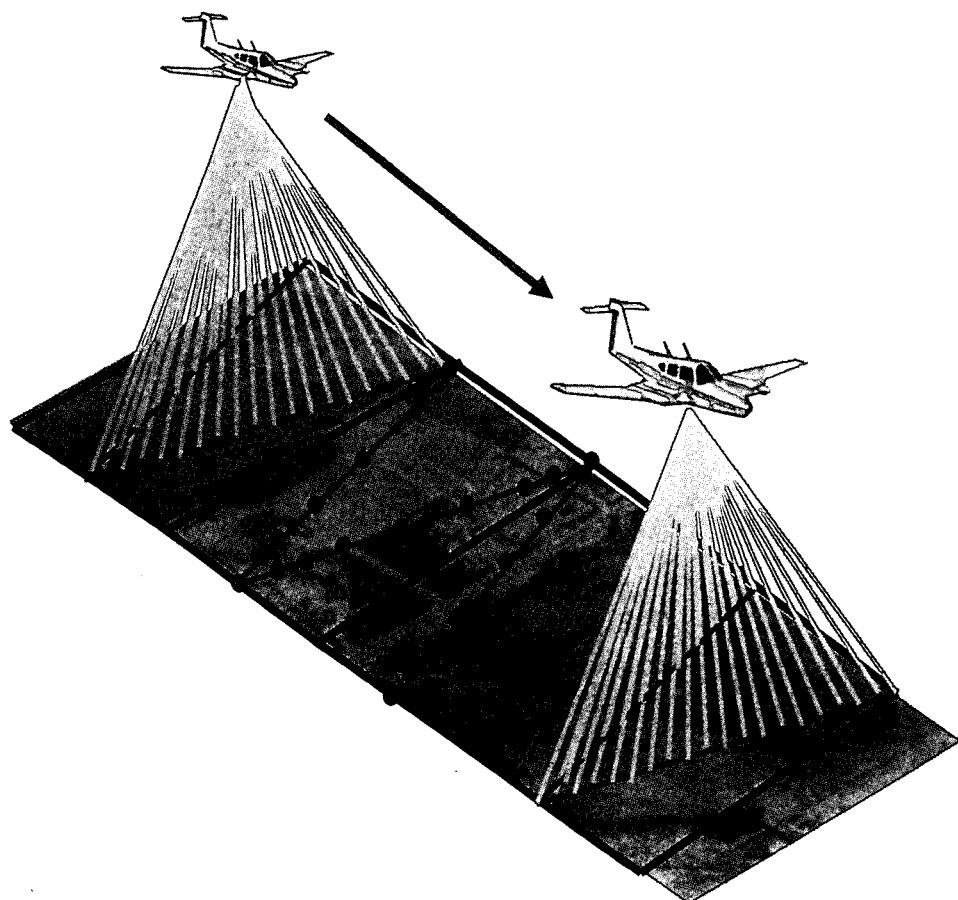
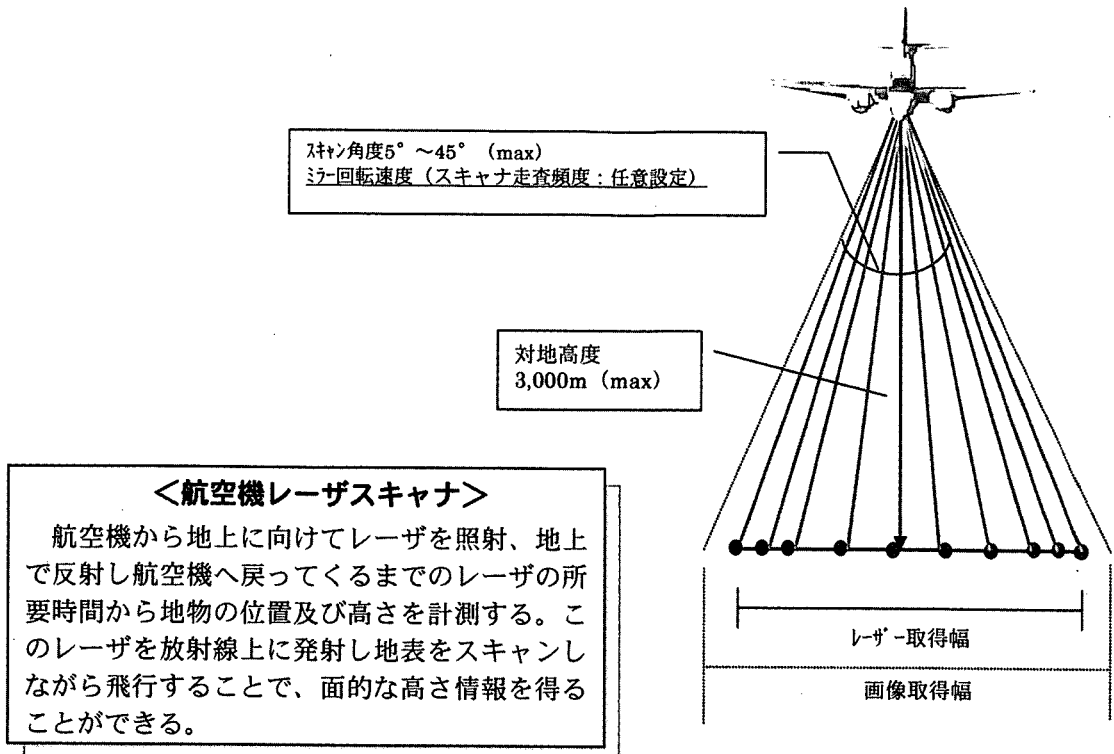


図 2-3-1 航空機レーザスキャナの計測原理