

2. リモートセンシングの分類

衛星画像を使用したリモートセンシングを以下の観点から分類し、各々について説明する。

2.1 軌道による分類

2.2 センサによる分類

2.3 補正処理による分類

2.4 利用分野による分類

2.1 軌道による分類

衛星の軌道は表 2.1-1 に示すように円軌道、楕円軌道、極軌道の基本軌道の他、静止軌道などのいろいろな種類があるが、どの軌道を飛行させるかは衛星の目的によって決められる。

これらの軌道のうち、図 2.1-1 に示すように、地球観測衛星の場合は気象観測を含めると静止軌道と太陽同期、準回帰軌道が選択されるので、以降はこれらの軌道について説明を行う。

表 2.1-1 衛星軌道の種類

項目	種類	パラメータ
軌道形状	円軌道 楕円軌道 放物線軌道 双曲線軌道	離心率 $e=0$ $0 < e < 1$ $e=1$ $1 < e$
軌道傾斜角	赤道軌道 傾斜軌道 極軌道	傾斜角 $i = 0$ $0 < i < 90$ $i = 90$
同期性	太陽同期軌道 太陽非同期軌道 静止軌道	
回帰性	回帰軌道 準回帰軌道	

静止軌道

赤道上空約 36000km の静止衛星用の軌道 主に静止気象衛星 GMS 等

- ・主な衛星名 : GMS シリーズ (静止衛星)
- ・衛星高度 : GMS (36000km)
- ・センサ種類 : 光学センサ
- ・観測幅 : 半径約 6400km の範囲
(北緯 60° ~ 南緯 60°、東経 80° ~ 西経 160°)
- ・空間解像度 : 1.25Km ~ 5km(GMS VISSR)、

太陽同期・準回帰軌道

太陽同期軌道と準回帰軌道を組み合わせた地球観測衛星用の一般的な軌道

- ・主な衛星名 : JERS-1、LANDSAT、SPOT、RADARSAT、IKONOS 等
- ・衛星高度 : 550km ~ 900km
- ・センサ種類 : 光学センサ / マイクロ波センサ(SAR)
- ・観測幅 : 60km ~ 200km (IKONOS は 11km)
- ・分解能 : 10m ~ 120m (IKONOS は 1m)

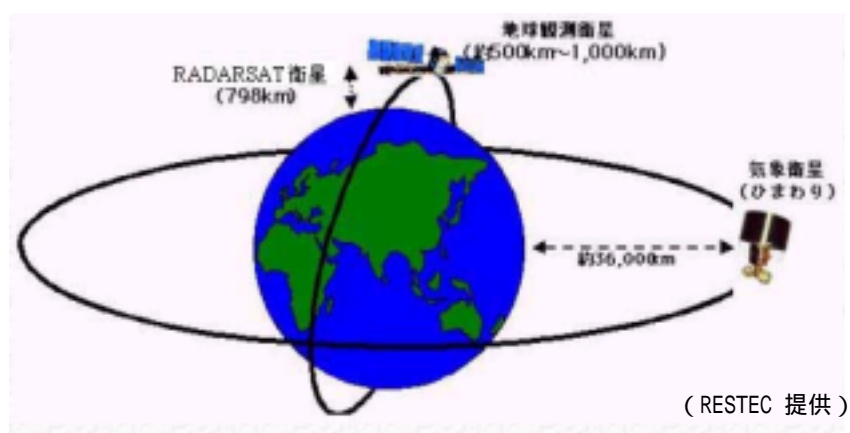


図 2.1-1 地球観測衛星と気象衛星の軌道

本書で対象とする多くの地球観測衛星は、両極付近の上空(地上高度 500km から 1,000km)を通過し衛星軌道と地球の自転が少しずつ擦れて地表が見える位置も少しずつ変化することで多くの地域の情報を集めることができるという特徴をもたせるために、太陽同期軌道と準回帰軌道の 2 つの軌道を組み合わせた軌道を飛行する。

この軌道では地球の表面にあたる太陽の角度が同じになる(太陽同期軌道の特性)という条件のもとで、定期的に同じ地域の観測(準回帰軌道の特性)が行える。以下に太陽同期と準回帰の各軌道について説明を行う。

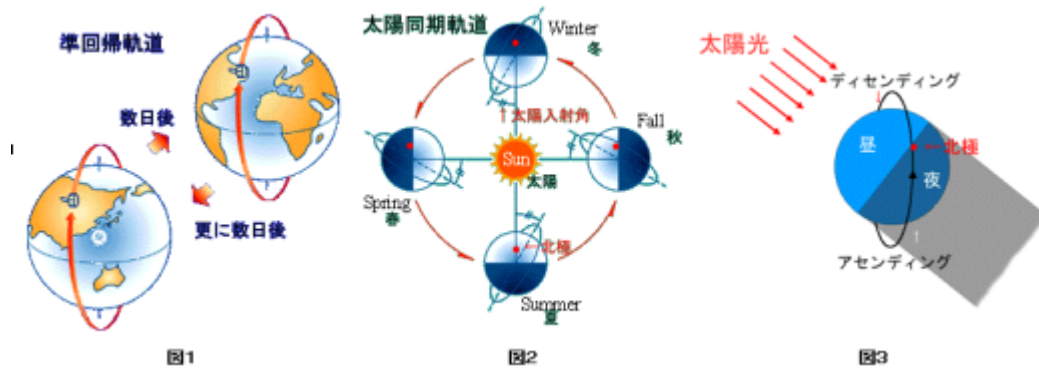
(1) 準回帰軌道

多くの地球観測衛星は太陽同期準回帰軌道という軌道を飛んでいる。図 2.1-2 (図 1) のように衛星によって観測される地域は、衛星が地球を 1 周するたびに少しずつ周回軌道がずれて、何日かたつと同じ地域の上空に戻ってくる。これが準回帰軌道と呼ばれ、同じ地域が一定の間隔で観測できる軌道である。

(2) 太陽同期軌道

図 2.1-2 (図 2) に示した軌道は、衛星と太陽の位置関係が同期している (衛星の軌道面に対する太陽入射角がほぼ一定) ので、観測している地域の時間があまり変わらない、すなわち、観測画像の放射・反射量が太陽の方向によって極端に変わるようなことのない軌道で、これを太陽同期軌道と呼ぶ。多くの地球観測衛星は、これらの太陽同期軌道と準回帰軌道の 2 つの特質を持つ軌道 (太陽同期準回帰軌道) を持っている。

衛星が、地球の南側から北側に向かう時をアセンディング、北側から南側に向かう時をディセンディングと呼ぶ。太陽同期準回帰軌道の衛星が南から北に向かう時に撮れるアセンディングの画像は、多くの場合、観測対象地域が夜であり太陽の反射はないので、可視域のデータを得るのは不向きであるため、北から南に向かう時に撮れるディセンディングの画像が、多くの場合、観測対象地域が昼であり太陽の反射があり多くの情報が得られるので、画像が多く利用されている。



(RETEC 提供)

図 2.1-2 地球観測衛星の軌道

2.2 センサによる分類

地球観測衛星に搭載されたセンサは、人間の目でとらえられる可視光線以外に赤外や紫外線、マイクロ波等の数多くの電磁波を感知することができる。図 2.2-1 に示すようにセンサには大きくわけて、可視光線と赤外線（近赤外線、中間赤外線、熱赤外線）を観測する光学センサとマイクロ波で観測する電波センサの 2 種類のセンサがある。また、対象物から反射・放射される光や電磁波を観測する受動型（受動センサ）と、衛星搭載のアンテナから地上にマイクロ波を照射しその反射波をキャッチして地表面のようすを探る能動型（能動センサ）の 2 種類がある。センサの種類、動作原理等の詳細は第 4 章に記載する。

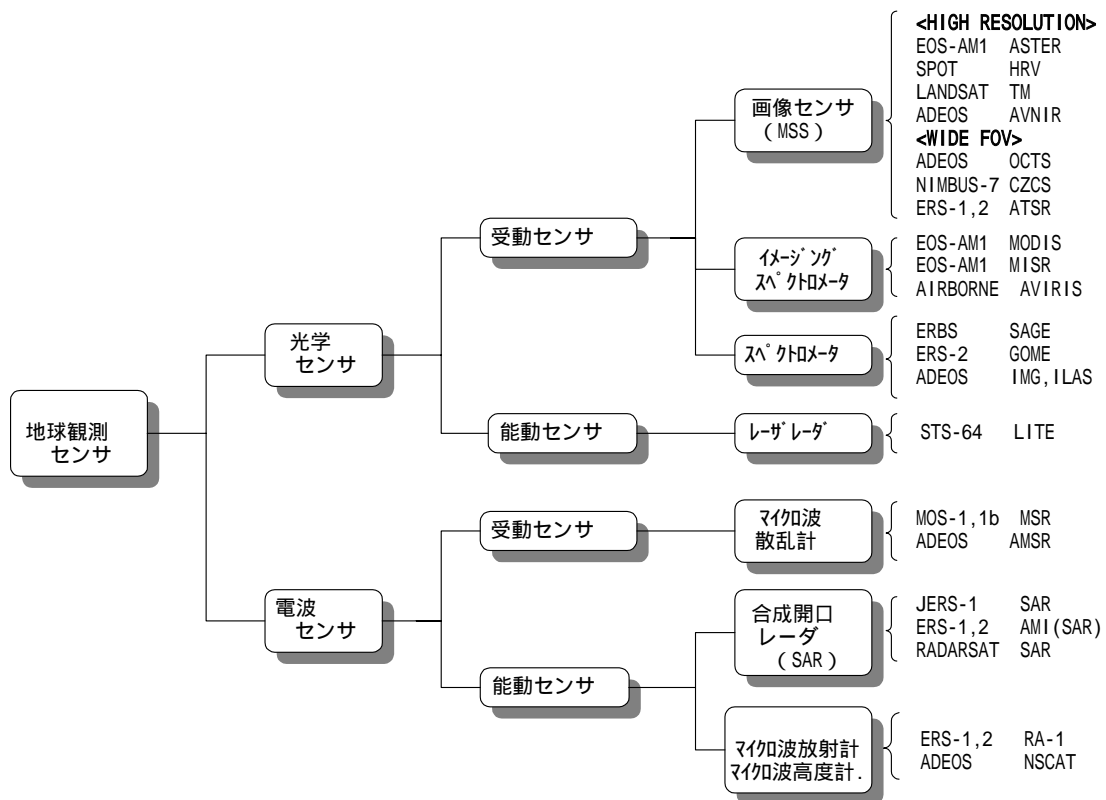


図 2.2-1 センサの分類

(1) 光学センサ

可視・近赤外リモートセンシング

地上の物体は太陽光（可視・近赤外）を反射しており、その反射の強さから諸物体の健康状態を知ることができる。同じように森林や田畑、河川、市街地、湖沼についても、反射の強さを調べればそれらがどのような状況にあるのかを知ることができる。この場合、太陽光が当たらない夜間の観測はもちろん、雲があると太陽光は地上まで届かずに雲で反射してしまうため、雲の下は観測することができない。

可視・近赤外リモートセンシングによる光学センサで観測した衛星画像(例)



衛星名/センサ:ADEOS/AVNIR

観測場所:兵庫県淡路島周辺

・市街地は灰色、草や樹木がはえているところは濃い緑色、海は青色で表示されている。



衛星名/センサ:JERS-1/OPS

観測場所:京都府

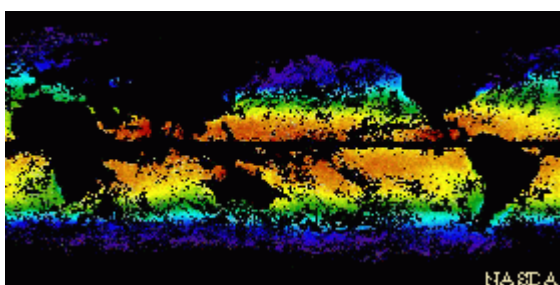
・草や樹木がはえているところは緑色、市街地や住宅地は赤紫色で表示されている。

(宇宙開発事業団 提供)

熱赤外リモートセンシング

地表面からは、太陽光を反射しているだけでなく、太陽光を吸収して暖かくなった熱エネルギーと火山活動や火事などによる熱が熱赤外線として放射している。その放射の強さから、地表面の温度が推定できるため、地面や海面の温度分布、火山活動や地熱などの調査に役立てられている。この場合は、雲がなければ夜間でも地上のようすを観測することができる。

熱赤外リモートセンシングによる光学センサで観測した衛星画像(例)

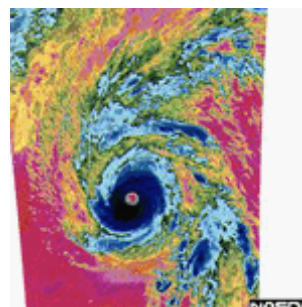


衛星名/センサ：ADEOS/OCTS

観測場所：全球海洋

全球海洋の海面水温の画像。

平成9年3月30日から4月5日の1週間に取得されたデータの平均値が表示されており、青(約6℃)、緑(約14℃)、黄(約21℃)、赤(約29℃)の順に水温が高くなっている。



衛星名/センサ：MOS-1b/VTIR

観測場所：宮古島付近

台風の温度をとらえた画像。

温度の高い方を赤色系に、温度の低い方を青色系で示している。

(宇宙開発事業団 提供)

(2) 電波センサ

この種のセンサには、対象物から反射・放射される電磁波を観測する受動型と、衛星搭載のアンテナから地上にマイクロ波を照射し、その反射波をキャッチして地表面のようすを探る能動型の2つの方法がある。

a) 能動型

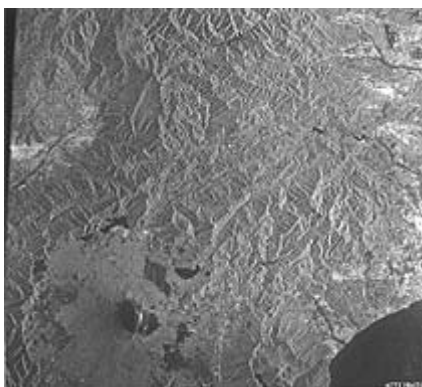
地球観測衛星に載せられたセンサからマイクロ波（電波）を放射し、地表面から反射されるマイクロ波をとらえて観測する方法。地球上の山や谷等を観測するのに適している。

b) 受動型

地表面から自然に放射されているマイクロ波を観測する。自然に放射されるマイクロ波の強さは、海面温度、積雪量、氷の厚さ等を観測するのに適している。

電波センサは、光学センサにはない優れた特徴として、高い分解能を得られるとともに、天候・昼夜に左右されず観測することができる。また、マイクロ波リモートセンシングのひとつに合成開口という技術があり、衛星が飛行しながら衛星搭載のアンテナからマイクロ波を連続的に地上に照射して、その反射波をキャッチし、それらを組み合わせることによって実際のアンテナよりも長いアンテナで観測したのと同じように細かい地表面のようすを知ることができる。

マイクロ波センサで観測した衛星画像（例）



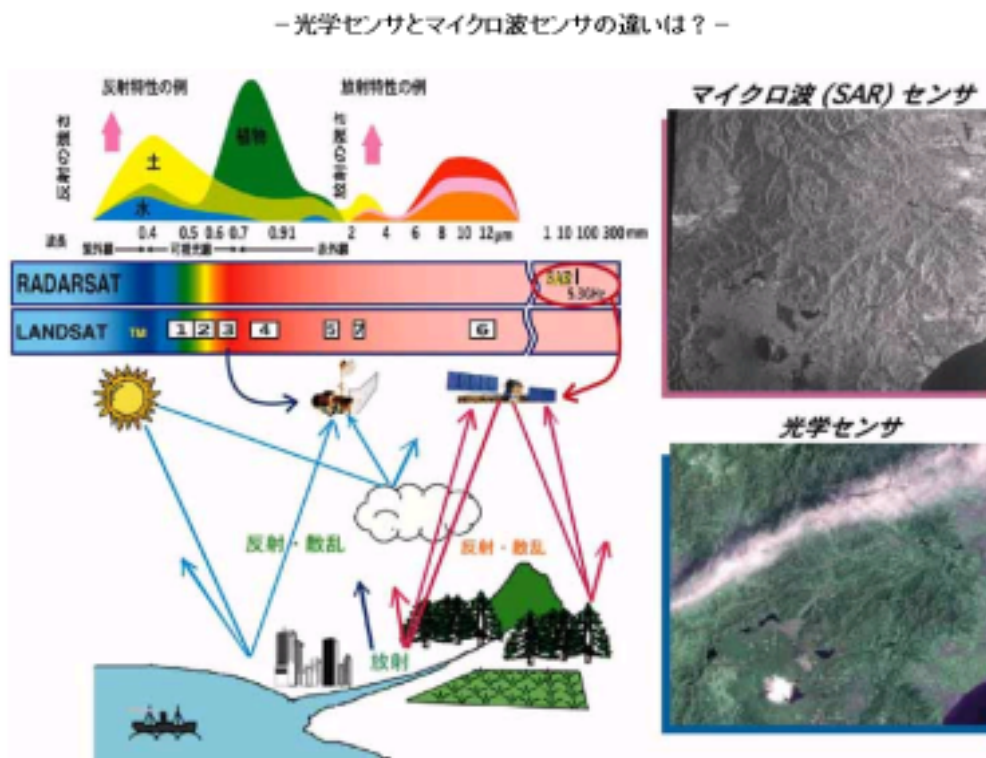
衛星名/センサ：JERS-1/SAR

観測場所：富士山周辺

大気中の雲や水分に影響されずに、地表の様子を詳しく観測することができる。

（宇宙開発事業団 提供）

図 2.2-2 に光学センサと電波センサについての違いを示す。



(宇宙開発事業団 提供)

図 2.2-2 光学センサとマイクロ波センサの違い

2.3 補正処理による分類

データの補正処理レベルについての分類を示す。補正処理レベルはデータ提供される製品名としても使用され、衛星/センサまた衛星データプロバイダーによって提供される製品や呼び方が異なるのでデータを要求する際は確認が必要である。

下記のツリー図(図 2.3-1)は補正処理の種類と補正処理データの関係を示したもので、下図の内挿処理は補正処理を行うためのリサンプリング処理方法の種類を示している。詳細は後記6項において述べる。

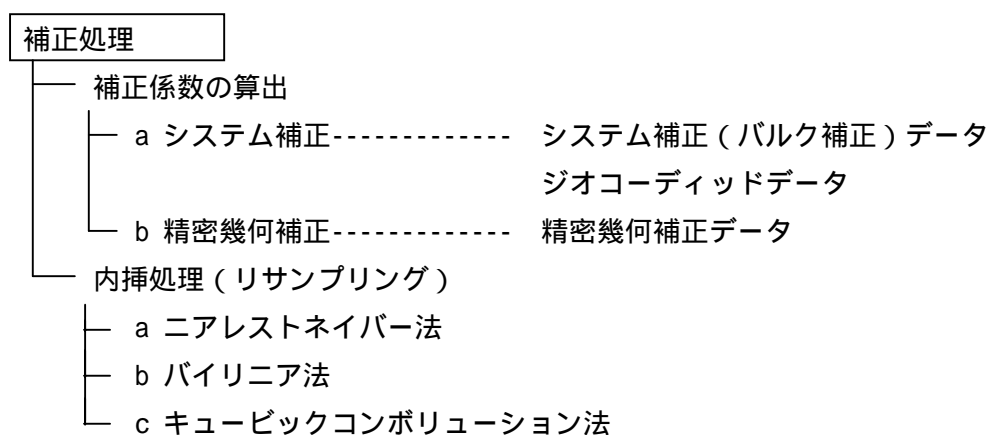


図 2.3-1 補正処理の種類と補正処理データの関係

(1)補正処理の必要性

リモートセンシング画像には様々な歪が含まれている。これらの歪を除去する処理を補正処理という。補正には画像の濃淡に関する歪を除去する放射量補正（ラジオメトリック補正）と、幾何学的な歪（主に衛星の移動、姿勢の変化、地球の回転、センサ自身の観測データに対する幾何学的特性などに起因する）等の幾何学的形状に関する歪を除去する幾何補正とがある。

フィルムカメラやTVカメラにより撮影された画像のように、濃淡や色が連続的に変わる画像をアナログ画像という。これに対し、アナログ画像を同じ形状の非常に小さなセル（一般には矩形）に分割し、各セルの平均濃度や中心部の濃度をそのセルの代表濃度として整数値化したものをデジタル画像という。この各セルを画素またはピクセル（pixel）と1ピクセルに対応する地表面での領域の大きさを空間分解能（解像度と同義）といい、地上のどの程度のもまで観測できるかの目安となる。いま、1枚の画像が衛星進行方向にMピクセル、進行方向と直角方向にNピクセルで構成されているとする。このときMをライン数またはロウ数、Nをピクセル数またはカラム数と呼ぶ。各ピクセルの位置はこのM×Nの2次元空間（マトリクス）で表現される。さらに、C個の濃淡レベルで表現され、バンド数Bの波長域で観測されたとすると、この衛星データの各ピクセルはM×N×Bの3次元空間で構成され、各ピクセルがC階調の濃淡レベルで表現できることになる。放射量補正（ラジオメトリック補正）はこのC階調の濃淡値に含まれる歪を除去することであり、幾何補正はマトリクス上の位置と実際の地上の測地学的位置との関係を明らかにする処理のことである。

リモートセンシングで得る画像は幾何補正を行い、地表面に関わる画像情報は地図と対応づけられることが一般的であることを考慮すると、幾何学的な歪み（主に衛星の移動、姿勢の変化、地球の回転、センサ自身の観測データに対する幾何学的特性などに起因する）は、画像上に示される位置と、実際の地図上に示される位置との差異といいかえることもできる。つまり衛星の画像データを利用するためには、衛星の画像と地上の位置との対応を正しく対応づけるために幾何補正が重要となる。

以下に衛星データプロバイダーから配布された衛星画像に対し幾何補正する一連の流れを記す。

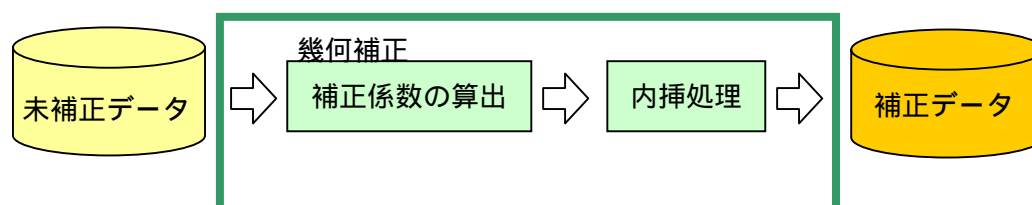


図 2.3-2 衛星画像データの幾何補正の流れ

(2)補正処理の実際

以下に、補正処理を行うデータ処理レベルの概要（LANDSAT-5 の例：RETEC 提供）を説明する。

未補正データ：

補正を全く行っていないデータに補正に必要な情報等を加えたもの。

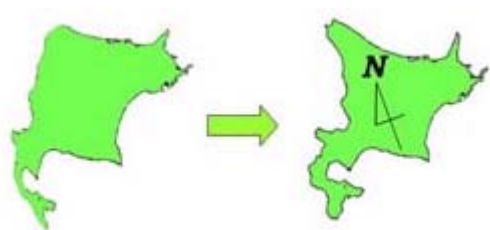


未補正データ

システム補正（バルク補正）データ：

センサ感度特性に起因する補正（ラジオメトリック補正）と、地球の自転、地球の湾曲による影響、衛星の姿勢変化などを補正（幾何補正）したもの。

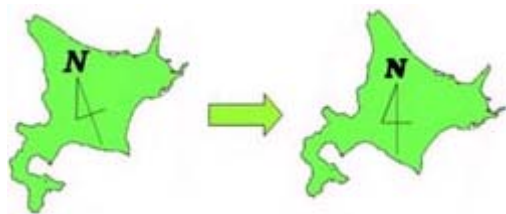
なお、一般的なラジオメトリック補正（放射量補正）とは、センサ感度特性の他に、太陽の位置や角度の影響、大気の状態（霧など）などに起因する放射量の歪みを補正する。



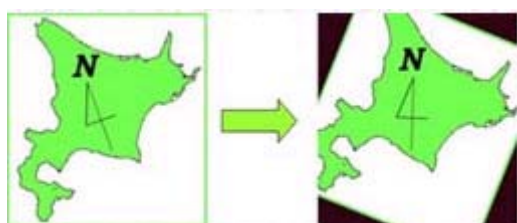
システム補正データ

ジオコーディッドデータ :

システム補正（バルク補正）された画像の北方向と画像の上方向が一致するように画像を回転させる。媒体（CD-ROM 等）に格納される情報が、回転により画像隅のデータが欠落してしまうこともある。



ジオコーディッドデータ



回転により四隅が欠落した例

精密幾何補正データ :

衛星画像と地図とで明確に同一地点と認識できる地点（交差点や大きな人工施設など）にG C P (基準点： Ground Control Point)を設定し、衛星画像の座標変換を行い、画像の幾何学的歪みを補正したもの。衛星画像を地図と重ねあわせて使用する場合などは必要である。



精密幾何補正データ

オルソ補正画像：

地形の高低差に起因する歪みの補正処理をした画像のこと。中心投影である写真を真上からの平行投影（正射投影）に変換したもので、オルソフォトグラフ、正射写真ともいう。オルソフォトスコープと呼ばれる装置で、微小部分を順次印画紙に感光して作成される他、数値地形モデルを用いて、デジタルシステムで作成されることもある。写真地図として単独で用いられたり、GISで他の地図情報と重ね合わせて用いられたりする。

例として、図 2.3-3 にオルソ補正処理の概念、図 2.3-4 にオルソ補正処理の具体例を示す。

A は実際に地球観測衛星で地上を観測した場合のイメージイラストで、B は地図と同じ表現のオルソ画像（正射投影図）イメージイラストで、斜め上から観測したデータを平面上に画像化すると、A の下段のように中心点がずれてしまい、衛星より遠い方に倒れこんだ形に歪む。この歪みを B のような正射投影に補正することをオルソ補正処理と云う。

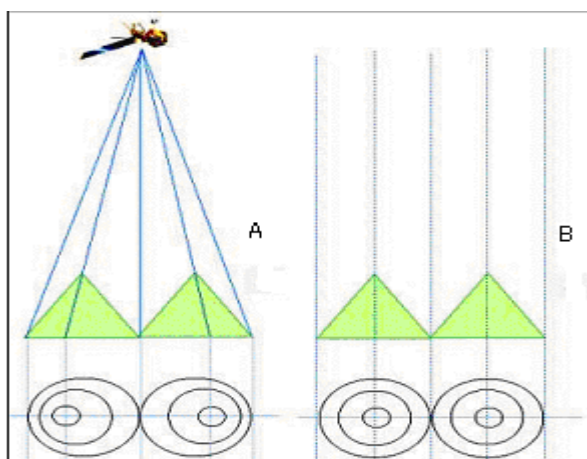
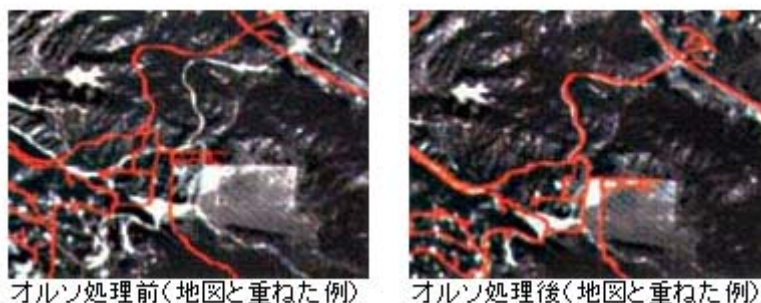


図 2.3-3 オルソ補正処理の概念



(株)イメージワン 提供

図 2.3-4 オルソ処理と地図の重ね合わせ

2.4 利用分野による分類

リモートセンシングデータは基本的に地表面の情報を含んでいる。地面が露出していれば地面の情報、植生に覆われていればその植生の最上部の情報、水域であれば水の表層部の情報を含んでいる。ただ、完全に表面のみではなくその下の情報をも含む場合がある。

例えば、マイクロ波で乾燥した砂漠を観測すれば地下数メートルの含水率の違いが識別できる。また、植生を観測した場合、下部の葉からの反射光が一部最上部の葉を透過してセンサで観測される。水域でも、透明度の高い浅い水域の場合、水底からの反射もセンサで観測される。

地表面のリモートセンシングデータに影響を与える要因は、観測する電磁波の波長によって異なる。波長約 $0.4\mu\text{m}$ ~ $3.0\mu\text{m}$ の可視、近赤外、短波長赤外では、地表面の反射率がリモートセンシングデータの中に情報として含まれている。約 $8\mu\text{m}$ ~ $14\mu\text{m}$ の熱赤外では、地表面物体の放射率と温度がリモートセンシングデータに影響を与える。波長約 1mm ~ 1m のマイクロ波領域では、地表面のマイクロ波散乱特性が影響を与え、これは地表面の形状、地表面物体の含水率などによって決まる。言い換えれば、地表面について知りたいことが地表面の反射率、温度、マイクロ波散乱特性に関係していれば、リモートセンシングを利用できる可能性がある。

リモートセンシングから得られる地表面の情報のうち、特に国土管理の観点からリモートセンシングで得られる主な陸域情報には以下のものがある。

(a) 土地被覆：

異なる土地被覆はそれぞれ特有の反射率をもつため分類することができる。

(b) 地質：

非植生域の岩相の反射率の違いから岩相識別をすることができる。また、熱赤外による放射率の違い、マイクロ波による表面の粗さの違いも岩相識別に利用できる。地形の判読から地質構造を知ることができる。

(c) 地形標高：

ステレオ画像を用い三角測量の原理で標高を知ることができる。これは地表物体がそれぞれ特有の反射率を持っているために、ステレオ画像上で対応点が同定できるからである。マイクロ波を用いた新しい技術インターフェロメトリによっても標高計測ができる。

(d) 植生：

植物の葉に特有の反射率から植物の有無、植生被覆率、植生の季節変動、植物の種別、を知ることができる。これらを農業、森林の解析に応用できる。

(e) 水文：

熱赤外またはマイクロ波により降雨等土壌水分を推定できる。また、土地被覆、植生、地表温度、土壌水分などの情報から間接的に蒸発散量を推定することができる。

(f) 雪氷：

地表面反射率の違いから積雪の有無が判別でき積雪面積がわかる。

なお、ASTER データの研究分野/実用分野における利用事例では、以下のように広範囲な事例が報告されている。

研究分野

(1) 陸域

- 活火山のモニタリング及び噴火現象の観測
- アフリカ地溝帯、メキシコ南部、アンデス山脈等の地質の研究
- 米国大西洋岸及びメキシコ湾岸の海岸浸食と堆積作用のモニタリング
- 熱帯雨林の植生モニタリング
- 湿地のモニタリング
- 陸域表面でのエネルギー・フラックス見積りの研究
- 東アジア地域のデジタル高度モデル(DEM)作成

(2) 海域、陸水域

- 西太平洋の珊瑚礁マッピング及びデータベース化
- 水域の濁度、水生植物のモニタリング
- 沿岸域の海表面温度の解析

(3) 雪氷

- 氷河の流動モニタリング
- 中央アジア等の氷河観測による古気候の解析

(4) 大気

- 代表的なタイプ毎の雲形態の研究
- 極域の雲及び氷のモニタリング

II. 実利用分野

(1) 農林・牧畜

- 野菜、穀物、樹木、牧草等の分類
- 作付け・森林面積の測定
- 収穫量の推定
- 森林生育状態の監視
- 牧草生育状況の監視
- 土壌状況の調査
- 平原・森林火災による被害状況の調査
- 野生動物棲息状況の調査

(2) 土地利用と地図作成

- 土地利用状態の分類
- 地図作成と更新
- 土地利用性の分類

- 都市開発状況の監視
- 地域開発計画
- 交通網の地図化
- 土地・水域の境界の地図化
- 交通・輸送路の調査
- 低海拔地域の洪水対策検討

(3) 地質

- 地質分類
- 岩石分類
- 岩石・土壌の輪郭抽出
- 火山噴出物の分布状態の調査

(4) 水資源

- 水域の境界決定
- 洪水地域の地図化
- 雪氷領域の地図化
- 氷河の特徴の調査
- 堆積物と流れのパターンの調査
- 灌漑地域の地図化
- 湖沼の地図化
- 雪が溶融してできる水の流路の調査

(5) 沿岸資源

- 流れのパターンと渦流の調査
- 沿岸線の変化の地図化
- 浅瀬の地図化
- 流氷の地図化
- 沿岸域の侵食状況の調査
- 石油漏洩等による汚染状況の調査

(6) 環境

- 人間による環境への影響の調査
- 水質汚染状況の地図化と監視
- 自然災害による環境への影響の調査
- 露天掘りや干拓の監視
- 干害の調査
- 固形廃棄物の分布状況の調査
- 発電所やその他の工場等の分布状況の調査