

リモートセンシングの概念

1. リモートセンシングとは何か？

人工衛星や航空機などに搭載された測定器（センサ）によって、電磁波の反射・放射の強さを観測し、遠く離れた所から「直接、物体に触れずに、物体の大きさや性質を調べる技術」のこと。

特に、人工衛星に専用の測定器（センサ）を載せ、地球を調べる（観測する）ことを衛星リモートセンシングという。衛星に搭載したセンサは、地球上の海、森、都市、雲などから反射したり、自ら放射する電磁波を観測する。



その観測結果から次の様なことが分かる。

- ・ 植物を計る 森林伐採、砂漠化、農作物（水田）の状況
- ・ 地表の温度を計る ヒートアイランド現象
- ・ 海面の温度を計る 黒潮の蛇行、エルニーニョ現象、漁場予測
- ・ 地表の高さを計る 地図の作成
- ・ 雲の状態を計る 天気予報、雨の強さ、台風の内部状況
- ・ 水の状況を計る ダムの貯水量、洪水の被害状況

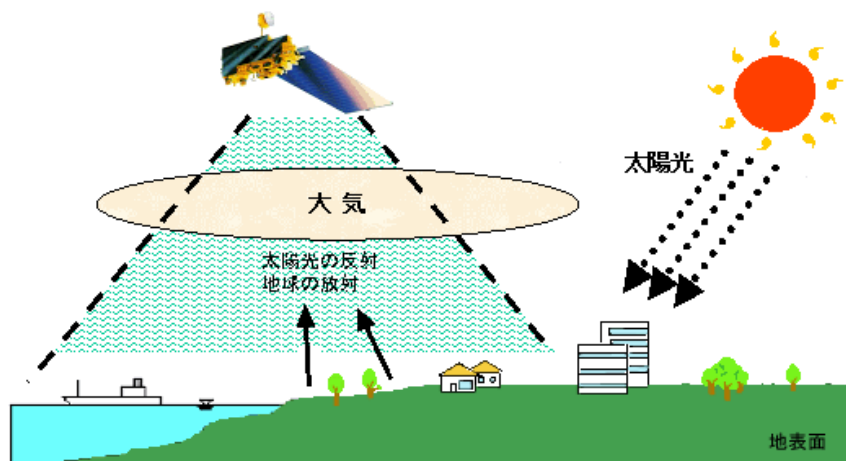
2. 遠く離れた所から観測する手段とは？

電磁波（可視光線、赤外線、マイクロ波など）が主に用いられるほか、音波、重力、磁力なども使われる。

3. なぜ対象物に触れないで、対象物の大きさや性質がわかるのか？

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。物質から反射あるいは放射されている電磁波を測定すれば、対象物の識別ができる。

リモートセンシングでは、衛星などに搭載されたセンサを用いて、電磁波（紫外線、光（可視光線）、熱（赤外線）等）を観測しています。太陽から来た電磁波は、地球の大気を通過して地面に到達します。この時、電磁波の一部は地面で跳ね返され（この現象を反射といいます）、再び大気を通過してセンサで観測されます。また、電磁波の一部は地面で地球に吸収され、その後地球から放出されます（この現象を放射といいます）。放射された電磁波は、再び大気を通過してセンサで観測されます。地面にある物質（岩石や水、植物など）によって電磁波の反射・放射する大きさが異なる性質を利用して、リモートセンシングでは地表面の様子を観測しています。



4. センサ、プラットフォームとは何か？

センサ：測定器

プラットフォーム：センサを搭載した移動体

◆プラットフォーム

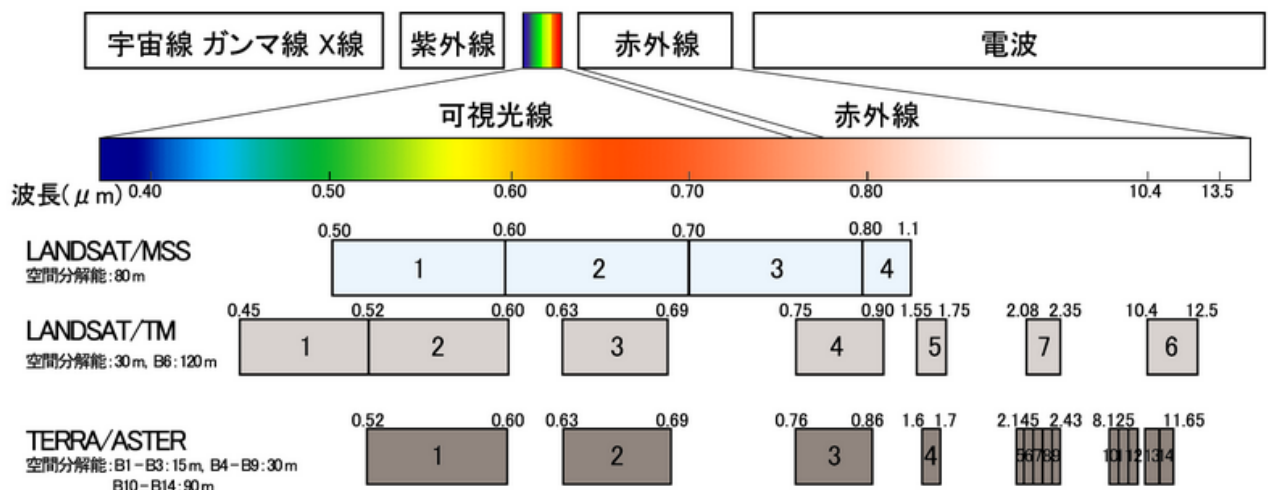
リモートセンシングでは、センサを搭載している移動体のことをプラットフォームと呼びます。プラットフォームには、人工衛星、飛行機、気球などが使用されています。このうち、人工衛星は安定した軌道で飛行しているため、観測条件を一定に保ちながら地球を観測しています。一方、飛行機は衛星に比べて低い高度で観測するため、より詳細な観測が可能です。ただし、気流の乱れなどを敏感に受けるため、観測条件を一定に保てない欠点があります。このように各プラットフォームには長所、短所があるため、観測の目的に合わせてプラットフォームを選択する必要があります。

プラットフォームいろいろ

種類	高度	目的・用途
静止衛星	約36,000km	定点地球観測・気象観測
地球観測衛星	400～900km	定期的地球観測
スペースシャトル	200～300km	不定期地球観測・宇宙実験
ゾンデ（気球）	～100km	気象などの調査
ジェット機	～10,000m	広域調査・偵察
プロペラ機	～5,000m	航空写真測量・環境調査
飛行船	～3,000m	環境調査

◆センサ

地球観測衛星に搭載されたセンサは、人間の「目」の役割を果たしています。センサは私達の目とは違い、特定の波長ごとに電磁波の強さを測定しています（光の場合、青～緑～黄～赤のように、波長の違いは色の違いで現れます）。例えば、Terra 衛星に搭載されたASTER センサでは、可視光線～赤外線を14バンドに分けて、それぞれの電磁波の強さを観測しています。そして、バンドごとの電磁波の強さの違いから、岩石・植物などの特徴を調べています。また、センサで観測されたデータは、デジタル信号に変換されて記録されます。このため、人の目で読み取らなければならない航空写真と違って、リモートセンシングによる観測データは、コンピュータによる処理が可能となっています。



5. センサの観測結果に影響を及ぼす因子は何か？

センサ	センサ自体の性能
センサと対象物の間	大気中の水蒸気や気温
観測中	太陽高度、気象、地表の状態、プラットフォームと地表面に対する姿勢

6. 観測結果に影響を及ぼす因子を取り除くためにはどうするか？

センサの校正、姿勢に関するデータ取得、地上での対象物の状況調査（グラントゥールース）

7. リモートセンシング技術の特徴は何か？

非接触、広域同時性、視覚化、反復利用

8. リモートセンシング技術の利用状況と方向性は？

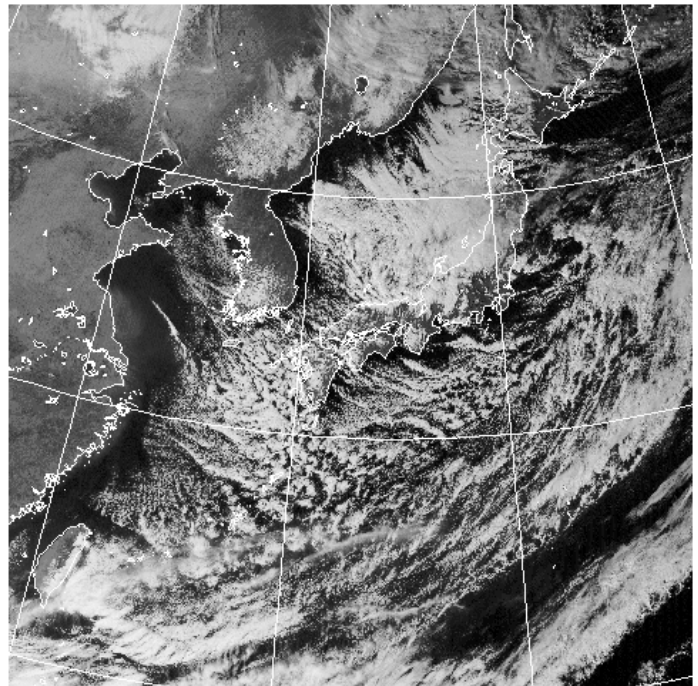


◆気象観測（ひまわり画像）：熱赤外線で夜間でも雲の動きをキャッチ

天気予報に登場する気象衛星「ひまわり」の画像は、リモートセンシングの身近な例です。高度約36,000kmの静止軌道に打ち上げられた気象衛星は、一時間ごとに日本付近を観測します。リアルタイムに送られる衛星画像によって、天気予報の精度は非常に向上しました。特に、台風や梅雨の時期、ひまわりの画像を元にした的確な大雨情報は、私達の生活を守る上で非常に大切な情報といえます。



気象衛星ひまわり5号のイメージ 画像:気象庁



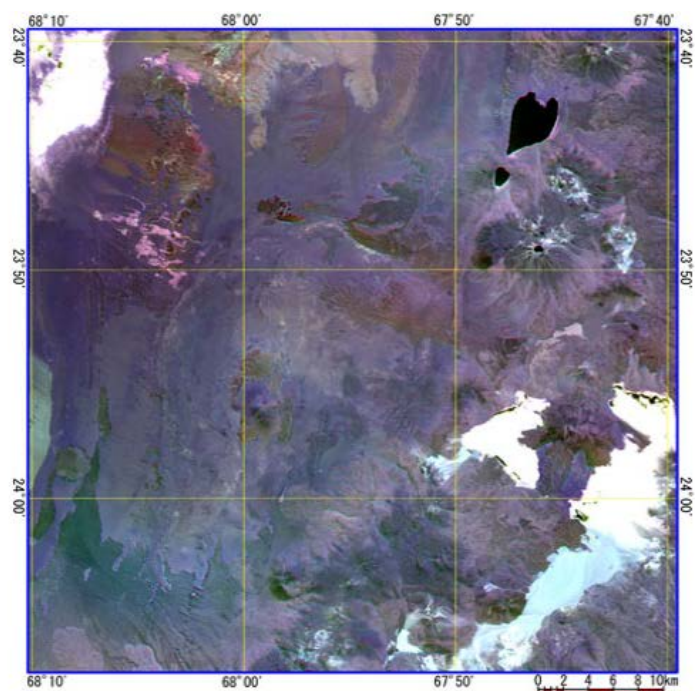
気象衛星ひまわり5号の画像 2002年11月04日観測(GMS) 画像:気象庁

◆資源調査（ランドサット画像）：広範囲の写真で地形地質調査を行い、鉱物資源等の探査資料に

広い地域を瞬時に観測できるリモートセンシングは、金属や石油などの資源調査に有益な情報を提供します。衛星画像より判読される地形や地質の情報は、資源が眠っている場所に私達を導きます。また、地図が無い地域の調査では、衛星画像は地図として活躍します。リモートセンシングは「地球の宝探し地図」であり、私達に安定して資源を供給する上で、大切な役割を果たしています。



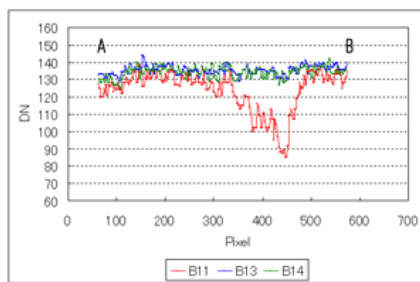
現地調査 スペクトルデータの収集



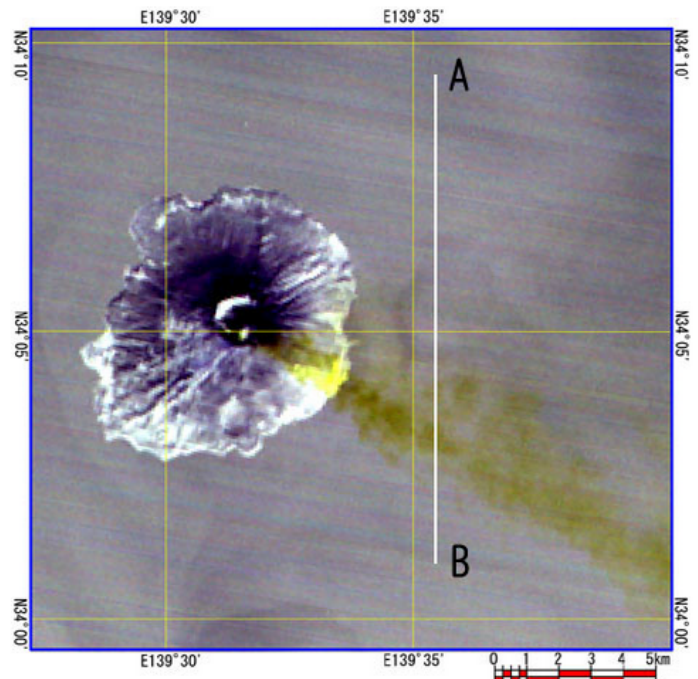
チリ 比演算処理画像(R,G,B=4/7,4/6,4/5) 2000年4月8日観測(Terra/ASTER)

◆地球環境：自然災害のほか、人類による環境破壊（産業廃棄物の不法投棄）にも応用

環境破壊（熱帯雨林の減少・エルニーニョ現象・オゾンホール・大気汚染・植物による炭素固定量推定）や自然災害（地震・火山・地すべり・水害・森林火災）など、1970年代から蓄積された観測データは、地球で起きた様々な出来事を私達に語りかけてきました。21世紀に入り、私達の社会は自然との共生が求められています。リモートセンシングによる地球の監視技術は、これからますます重要な存在となるでしょう。



二酸化硫黄によるASTERセンサ・バンド11の吸収

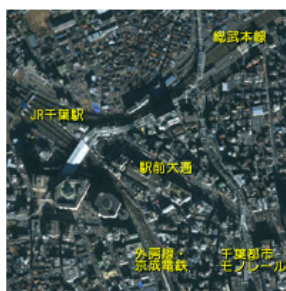


三宅島 フォールスカラー画像(R,G,B=14,13,11) 2000年11月08日観測(Terra/ASTER)

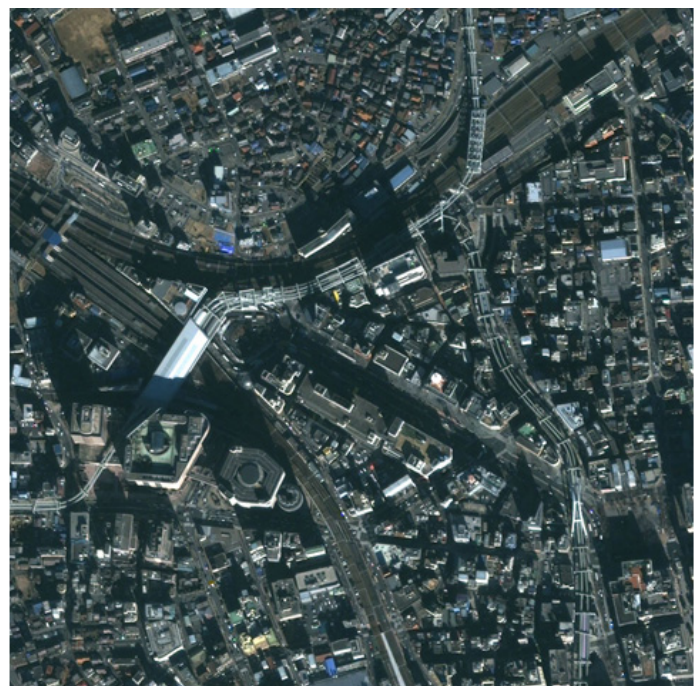
◆将来：より鮮明な画像へ（空中分解能）、観測波長が広範囲に、何度も観測可能へ（時間分解能）

リモートセンシング技術のさらなる発展を目指して、衛星に搭載されるセンサの性能の向上が進められています。

高空間分解能のセンサの実用化が進められており、空間分解能が1mの能力を持つセンサを搭載した地球観測衛星の運用が開始しています。これまでのセンサでは空間分解能の点で活用が難しかった都市計画、建設・土木、河川管理、不動産、防災といった分野での衛星データの利用が始まっています。



JR千葉駅前の様子



IKONOS衛星の画像 千葉市中央区、JR千葉駅前(IKONOS:R,G,B=3,2,1)
(C) 日本スペースイメージング株式会社

人工衛星

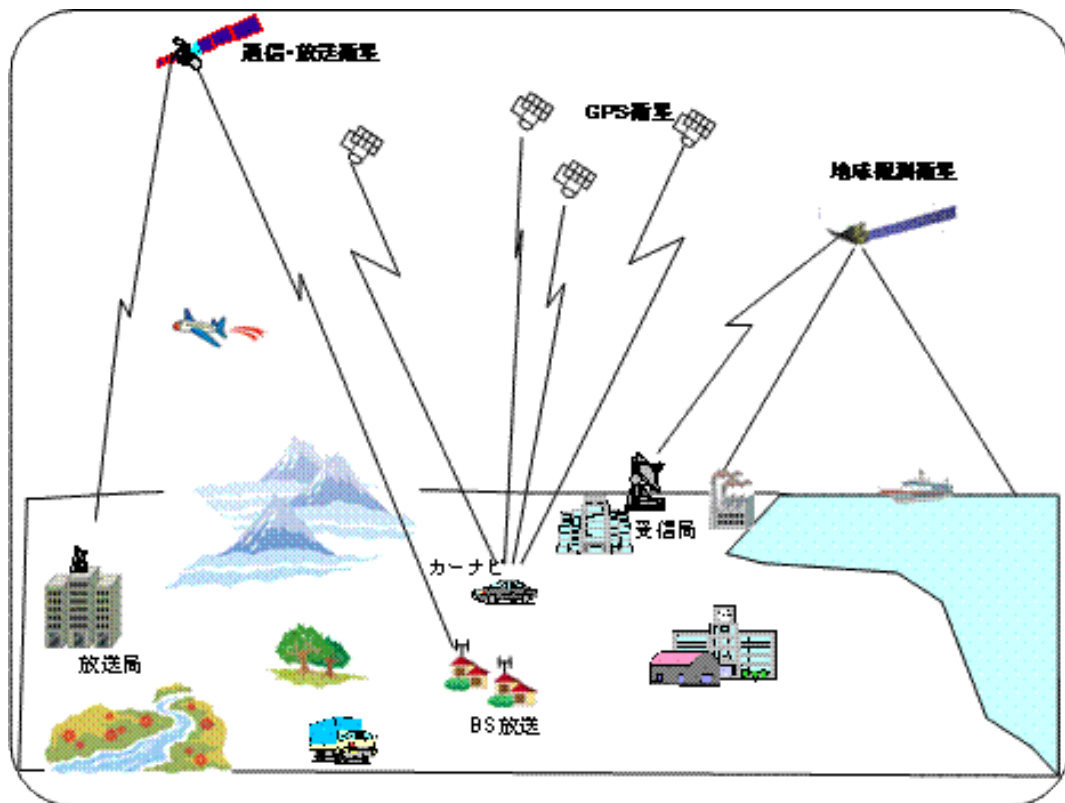
1. 人工衛星にはどんなものがあるか？

地球の周りを飛んでいる人工衛星は、その目的によって大きく 3 種類に分けることができる。

"情報"を伝える … 通信技術 通信衛星・放送衛星

"位置"を測る … ナビゲーション技術 GPS 衛星

"物"を図る … リモートセンシング技術 地球観測衛星

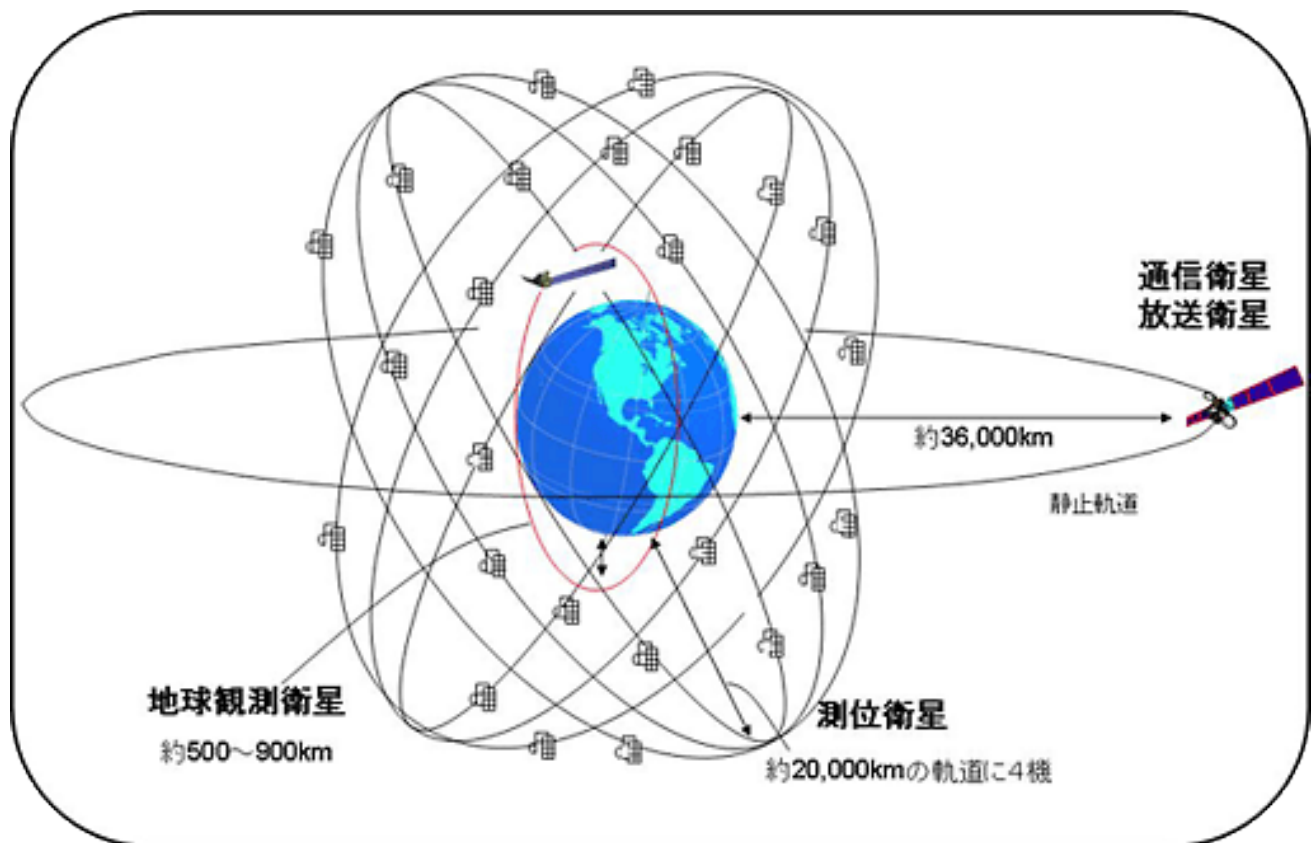


2. 衛星リモートセンシングに利用される衛星は、どんな軌道か？

衛星の軌道は、形（円軌道、楕円軌道）、高度（低/中軌道、高軌道、静止軌道）、地球との位置（極軌道、モルニア軌道）、太陽との位置（太陽同期軌道）など様々な方法で分類することができる

衛星リモートセンシングに利用される代表的な軌道は次の通り。

- ・ 静止軌道 => 赤道上空に有り、地球の自転と同じ早さで飛行する軌道
- ・ 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軌道
- ・ その他の軌道



3. 静止軌道

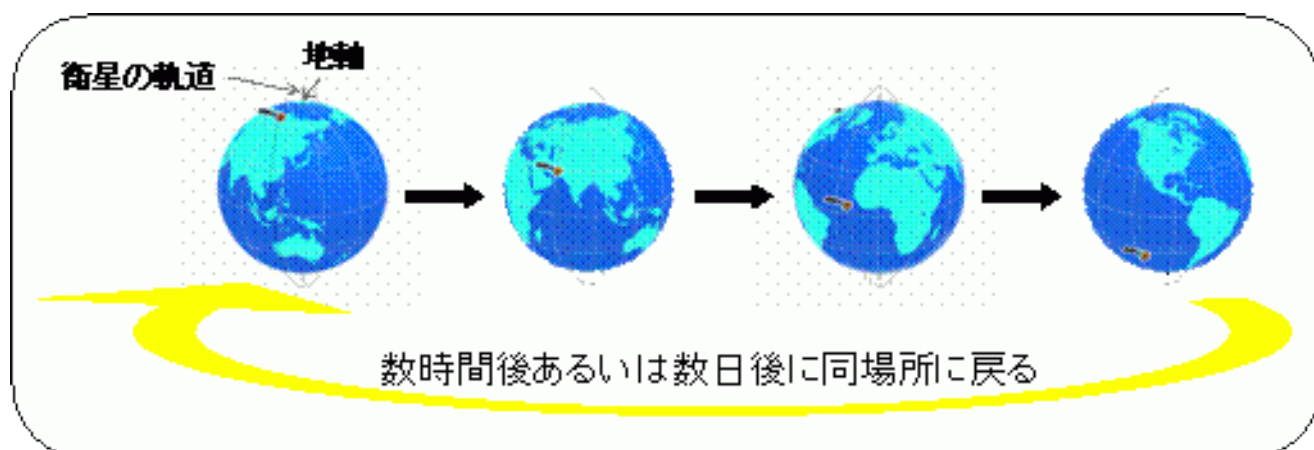
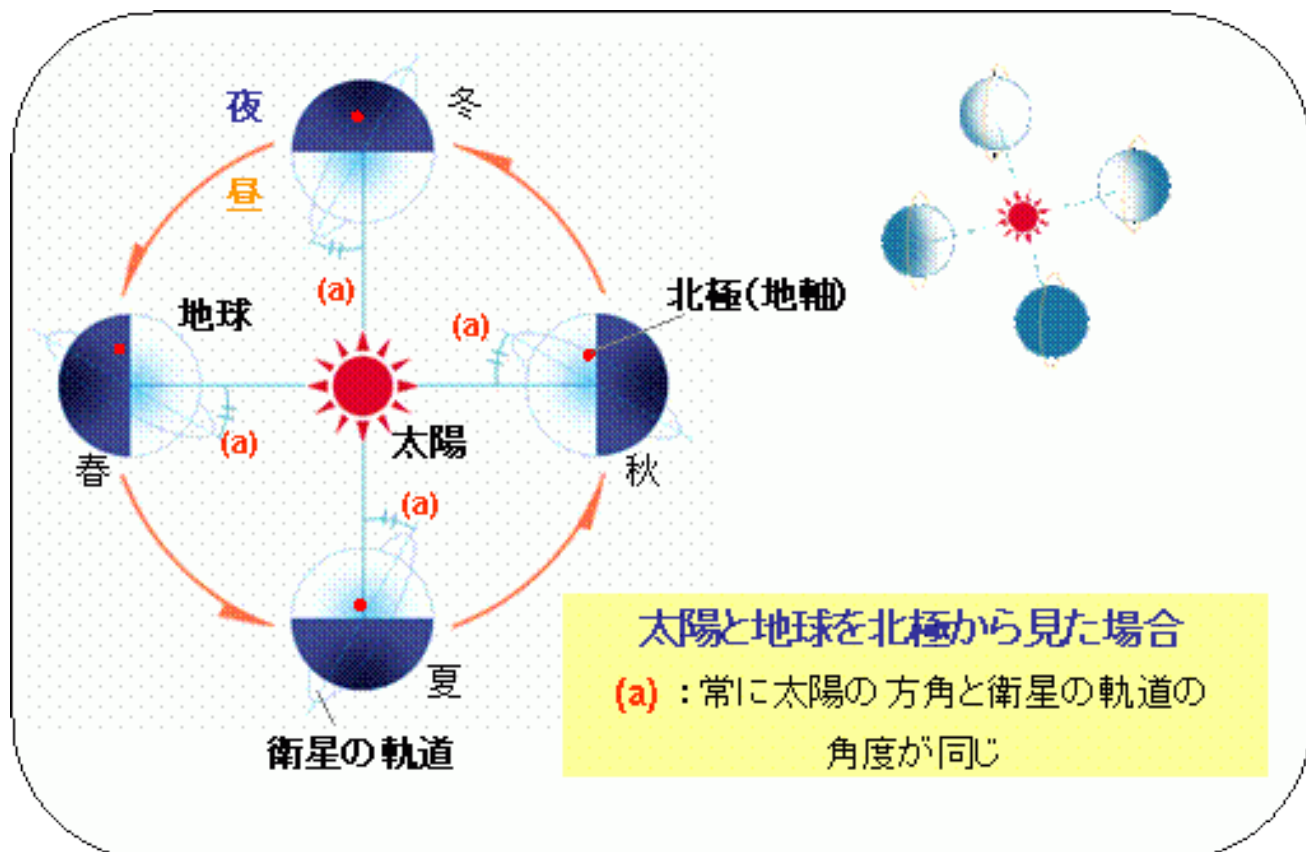
- ・ 静止軌道は、通信、放送、気象などの衛星に利用されている。
- ・ この軌道は、地表から約 36,000Km 離れた赤道上の軌道で、地球の自転と同じ早さ同じ向きで衛星が飛行するため、地球から衛星を見た場合、衛星が常に同じ場所に止まっているように見える。
- ・ 通信・放送・気象観測など「常時使用」に適した軌道である反面、地球の反対側からは直接使用することが出来ない。
- ・ リモートセンシング衛星としては、「ひまわり」などの気象衛星が採用する軌道である。

4. 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極軌道で、多くの地球観測衛星がこの軌道を利用している。この軌道は、同一地域を通過する時間（太陽方位角）が同じになることから、太陽光の当たる向きが常に一定になり、画像の比較等の解析に容易に利用することが出来る。
- ・ この軌道は地表を隈無く廻るため地球上の様々な地点から利用することが出来る。
- ・ （準）回帰とは、地球を周回している衛星が「定期的」に地球上の同じ場所に帰ってくることを

意味し、ある一定期間毎に同じ場所を同じ位置から観測することが出来る。

・リモートセンシング衛星としては、「だいち（ALOS）」「LANDSAT シリーズ」など多くの衛星が有る。



5. その他の軌道

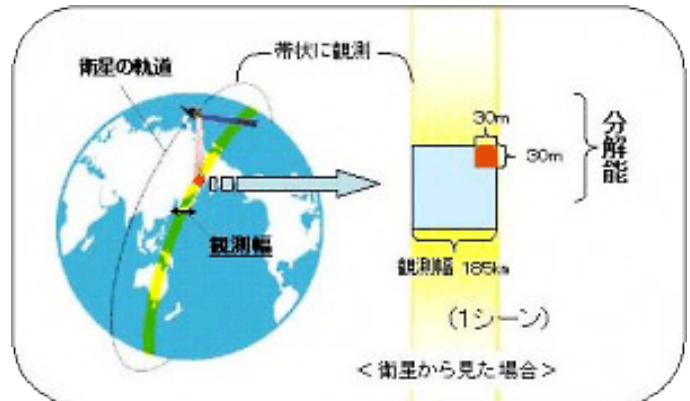
熱帯降雨観測衛星（TRMM）は、赤道を挟んだ熱帯地域のみを隈無く観測できる軌道を採用。

国内外の主な地球観測衛星

1. 地球観測衛星には、どんな種類があるか？

地球観測衛星の種類は軌道と搭載しているセンサによって、観測する幅（観測幅）や細かく見える度合い（分解能）で異なる。例えば、観測幅が185kmで、分解能が30mの場合には、一度に185kmの幅を見ることができ、大きさが30m×30m以上のものであれば認識できる

地球観測衛星には、主に以下のようなものがある。



① 日本国内の地球観測衛星

- ・ もも1号（海洋観測衛星1号：MOS-1/1b） … 光学センサ、受動型マイクロ波センサ
- ・ ふよう1号（地球資源衛星1号：JERS-1） … 光学センサ、能動型マイクロ波センサ
- ・ みどり（地球観測プラットフォーム衛星：ADEOS … 光学センサ、受動型マイクロ波センサ
- ・ みどりII（環境観測技術衛星：ADEOSII） … 光学センサ、受動型マイクロ波センサ
- ・ 陸域観測技術衛星（ALOS（だいち）） … 光学センサ、能動型マイクロ波センサ

② 日本のセンサを搭載している国外の地球観測衛星

- ・ 熱帯降雨観測衛星（TRMM） … 能動型マイクロ波センサ
- ・ 極軌道プラットフォーム衛星（Aqua） … 受動型マイクロ波センサ

③ 日本国外の地球観測衛星

- ・ アメリカのランドサット「Landsat」 … 光学センサ
- ・ フランスのスポット「SPOT」 … 光学センサ
- ・ インドのアイアールエス「IRS」 … 光学センサ 他
- ・ 欧州宇宙機関のエンビサット「Envisat」 … 能動型マイクロ波センサ
- ・ カナダのレーダーサット「RADARSAT」 … 能動型マイクロ波センサ 他

④ 外国の企業所有の衛星：1m程度の分解能をもつ光学センサ

- ・ イコノス「IKONOS」
- ・ クイックバード「Quickbird」
- ・ オープビュー3「OrbView 3」 他

電磁波の種類

1. 電磁波とは何か？（マックスウェル：英国の物理学者）

真空中あるいは物質中を電磁場の振動が伝播することにより電磁エネルギーを運ぶ波

2. 電磁波の性質は？

物質に当たると、「反射」「吸収」「透過」「散乱」する性質を持つ。

粒子としての性質 粒子として扱う場合、光量子と呼ぶ。エネルギーは振動数に比例。

波としての性質 真空中では高速で伝播。

3. 電磁波の種類（名称）は？

波長の短い方から、ガンマ線、X線、紫外線、可視光線、赤外線、マイクロ波、電波

4. 分光反射特性（スペクトル特性）とは何か？

物体（植物、土、水など）によって、電磁波長毎に固有の反射をすること。

5. 植物、土、水はそれぞれ、どの波長帯域で測定すれば有効か？

植物：近赤外の帯域、土：赤外域のように波長が長い帯域、水：短波長帯

6. 対象物からの反射を微小な波長幅に分けて記録できる代表的な機器は何か？

分光反射計、イメージング・スペクトロ・メータ

7. 「大気窓」とは何か？

大気中の分子やエアロゾル粒子によって電磁波が吸収、散乱されにくい分光透過率の高い波長帯域のこと。

電磁波の性質

1. キルヒホッフの法則とは？

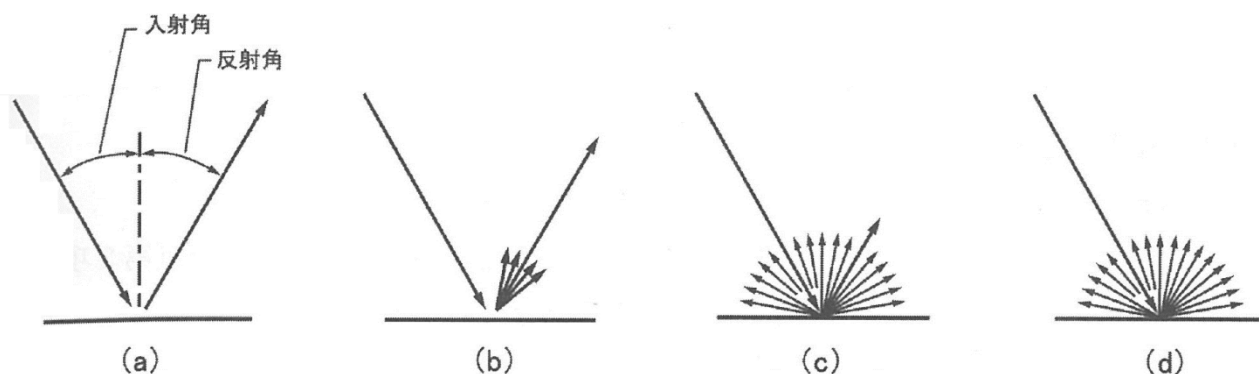
物質に入射する電磁波と反射・吸収・透過する電磁波の関係

入射する電磁波 = 反射する電磁波 + 吸収する電磁波 + 透過する電磁波 であるから、

$$1 = \text{反射率} + \text{吸収率} + \text{透過率}$$

2. 反射と反射率とは？

入射する電磁波のエネルギーと反射する電磁波のエネルギーの比を反射率という。



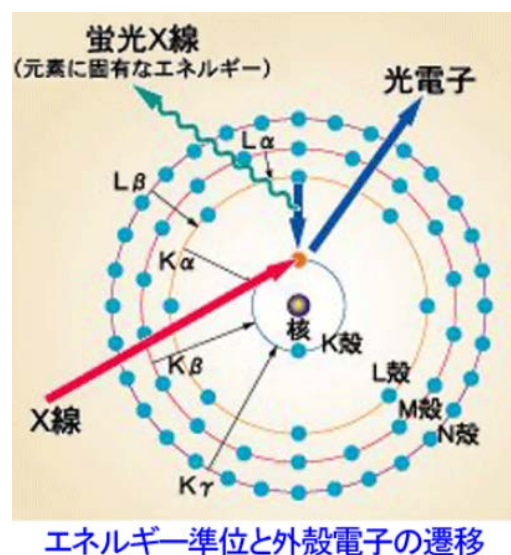
電磁波に対する反射面の種類 (a) 鏡面 (b) 鏡面に近い反射面
(c) 拡散反射面 (d) 完全拡散反射面 (ランバート面)

3. 吸収と放射の関係とは？

電磁波の吸収・放射と物質の状態や組成には明瞭な関係がある（物質の内部状態に応じた固有の波長の電磁波を吸収・放射）ので、物質の違いを調べることができる。

4. 放射伝達方程式とは？

放射された電磁波がセンサで観測されるまでの伝播経路を表す方程式

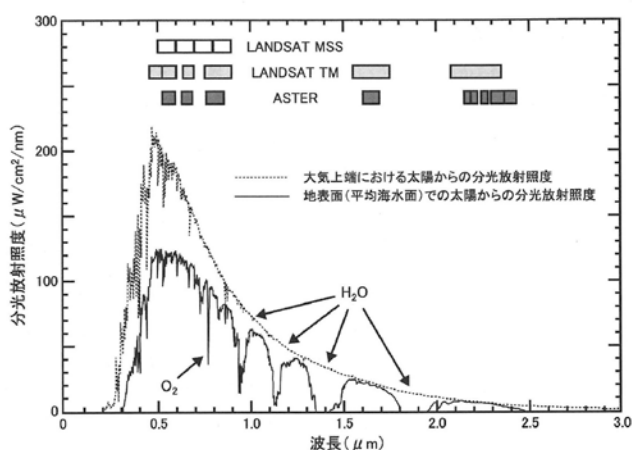


大気の影響

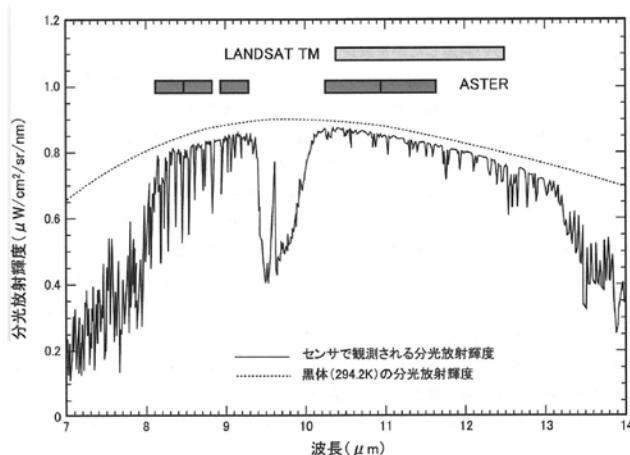
1. センサと対象物の間に存在する大気の影響とは具体的に何か？

具体的には雲、雲でなくても気体分子（例 O_2 、 H_2O 、 O_3 ）やエアロゾル（大気浮遊粒子）による電磁波の吸収・散乱

2. 気体分子やエアロゾルによって、到達する電磁波の強さはどの程度変化するのか？

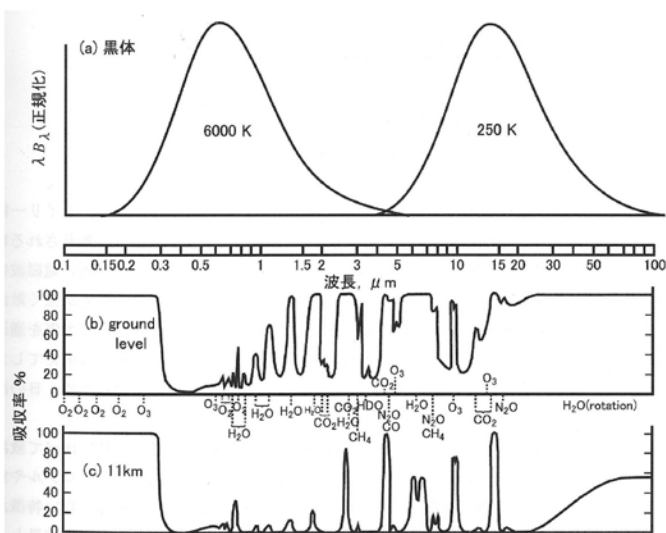


可視～短波長赤外線における太陽から放射された電磁波エネルギーと光学センサのバンド配置

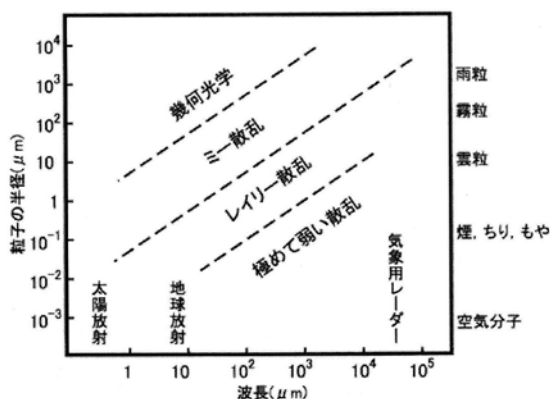


熱赤外線における地球から放射された電磁波エネルギーと光学センサのバンド配置

3. 大気による吸収と散乱はどの波長帯でおこるか？



大気による吸収 (a) 6000K と 250K の黒体放射 (b) 大気上端から地表面の間での大気の吸収 (c) 大気上端から対流圏界面の間での大気の吸収

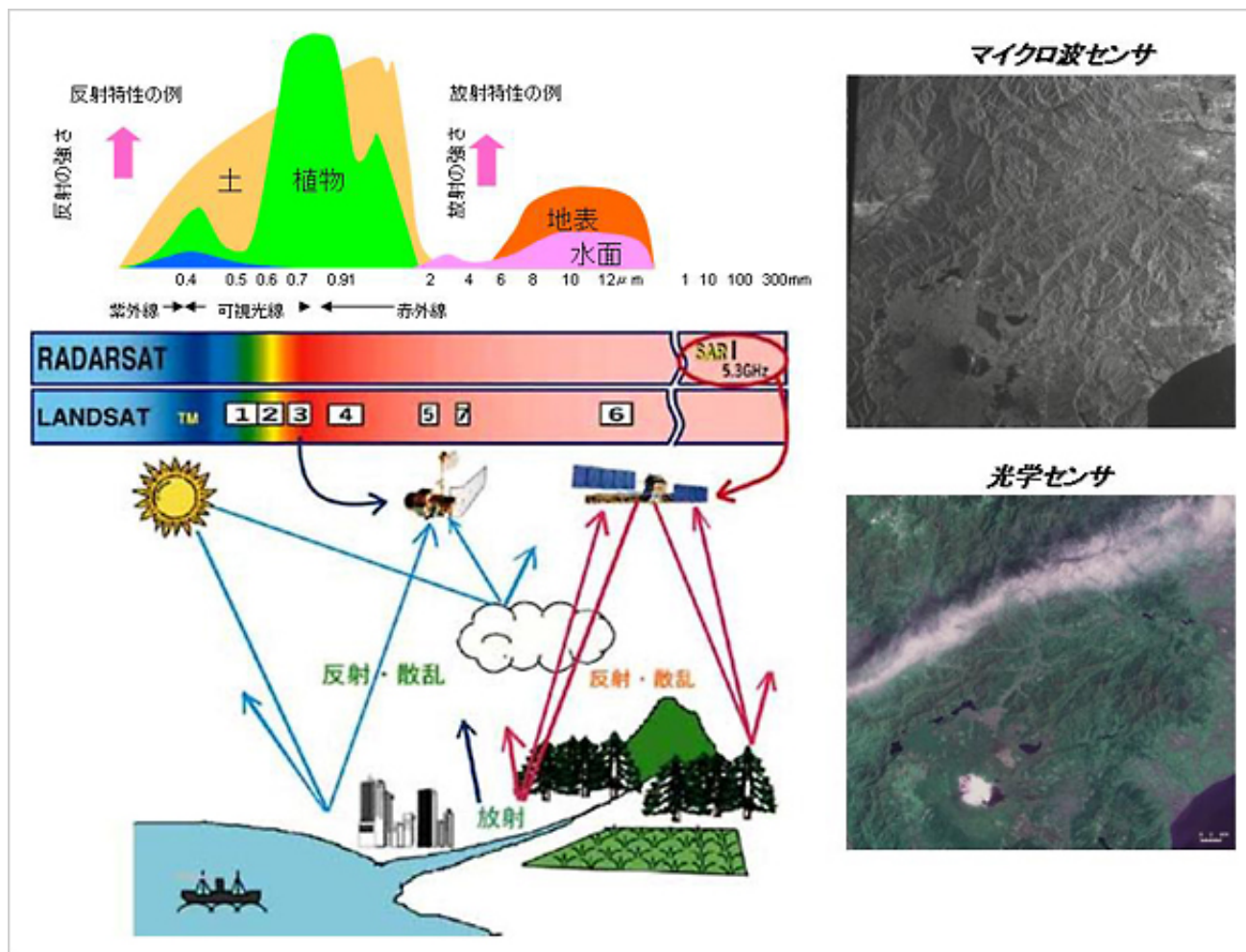


入射する電磁波の波長と散乱体の大きさの関係

センサの概要

1. 地球観測衛星の測定器（センサ）にはどんなものがあるか？

地球観測衛星は、リモートセンシング技術を使って地球を測ることを目的とした人工衛星で、目的に応じて色々な測定器（センサ）を載せている。



2. 代表的なセンサ

地球観測衛星に載せられている代表的なセンサは大きく 3 種類ある。

① <光学センサ> 太陽の光の反射や放射を測る

太陽の光（人間の目に見えない紫外線や近中間熱赤外までを含む）が物に当たり反射した光を測る。
また、対象物から放出（放射）している熱を測る。

② <能動型マイクロ波センサ> センサから発射するマイクロ波を使って、対象物が反射するマイクロ波を測る

自らマイクロ波を地球に向けて発射し、対象物から反射されて戻って来るマイクロ波を測る。マイクロ波は雲の影響が少ないので、光学センサでは困難な「夜間」や「悪天候時」にも観測ができるという特徴がある。主に合成開口レーダ（SAR）と降雨レーダ（PR）の2種類がある。

③ <受動型マイクロ波センサ> 対象物が放射するマイクロ波を測る

物はその種類とその状態によって異なるマイクロ波を放射する。これを測るセンサで、能動型マイクロ波センサと同様、光学センサでは困難な「夜間」や「悪天候時」にも観測ができるという特徴がある。

3. センサで何がわかるか？

<光学センサ>

植物の有無、地表の温度、海面の温度、地表の高さ、雲の状態、水の有無

<能動型マイクロ波センサ>

植物の有無、地表の高さ、雲の状態、水の有無

<受動型マイクロ波センサ>

地表の温度、海面の温度、雲の状態

センサの種類

1. 宇宙カメラとは何か？

レンズとフィルムを組み合わせたカメラ型センサ。人工衛星やスペースシャトルに搭載して地表面を撮影する。歪みが少なく、解像度が高い。広角レンズで大画面を構成する。

2. オプティカル・メカニカル・スキャナ（MSS:マルチ・スペクトラル・スキャナ）とは何か？

光学—機械走査分光放射計：回転する鏡で地表面を走査し、二次元の画像を得る装置

代表的なもの 地球観測衛星(米)：Landsat の MSS と TM、気象衛星(米)：NOAA の AVHRR

地球観測衛星(日本)：ADEOS の AVNIR

3. MSS の主要な物理量とは何か？

瞬時視野(IFOV)：鏡に対応する地表の大きさ（＝画像を構成する最小単位＝1画素）

観測角(FOV)：MSS 全体が受光できる範囲

走査幅(観測幅)：観測角(FOV)に相当する地上距離

地上分解能：センサで観測された画像で、識別可能な地上の最小距離

空間分解能：瞬時視野(IFOV)に相当する地上投影面の大きさ（≒地上分解能）

4. 固体センサ（リニアアレイセンサまたはプッシュブルームセンサ）とは何か？

固体光電子素子を一行に並べた構造のセンサ。検知素子として CCD を用いることが多い。

2次元配列したものは CCD カメラ、デジタルカメラという。

代表的なもの 地球観測衛星(仏)：SPOT の HRV、海洋観測衛星(日本)：MOS-1 の MESSR

資源探査衛星(日本)：JERS-1 の OPS

5. レーダ（マイクロ波センサ）とは何か？

電磁波の反射を利用して対象物を検出し、その位置を決定し、対象物の性質を調べる装置。

対象物に向けて電磁波を照射し、その反射を受けて観測する能動式センサ。

6. レーダの特徴は何か？

能動方式のセンサ

マイクロ波を利用することから、昼夜の別なく観測できる

雲などに対してマイクロ波は透過性が高く天候の制約を受けにくい

プラットフォームの進行方向に直角に照射、対象物から戻ってくる後方散乱波を画像の形で記録

7. 画像レーダの2種類のアンテナとは何と何か？

実開口レーダ（RAR）…実際にプラットフォームに搭載しているアンテナ長

合成開口レーダ（SAR）…プラットフォームの移動に伴って、実開口アンテナがいくつもつながり、

仮想的に巨大なアンテナを形成したように処理したもの

レーダ画像の地上分解能に関係してくる

8. 実開口レーダ（RAR）のアジマス方向(プラットフォームの進行方向)の地上分解能を上げるには？

アジマス方向(プラットフォームの進行方向)の地上分解能→（ビーム幅×マイクロ波の波長）に比例

→（アンテナサイズ）に反比例

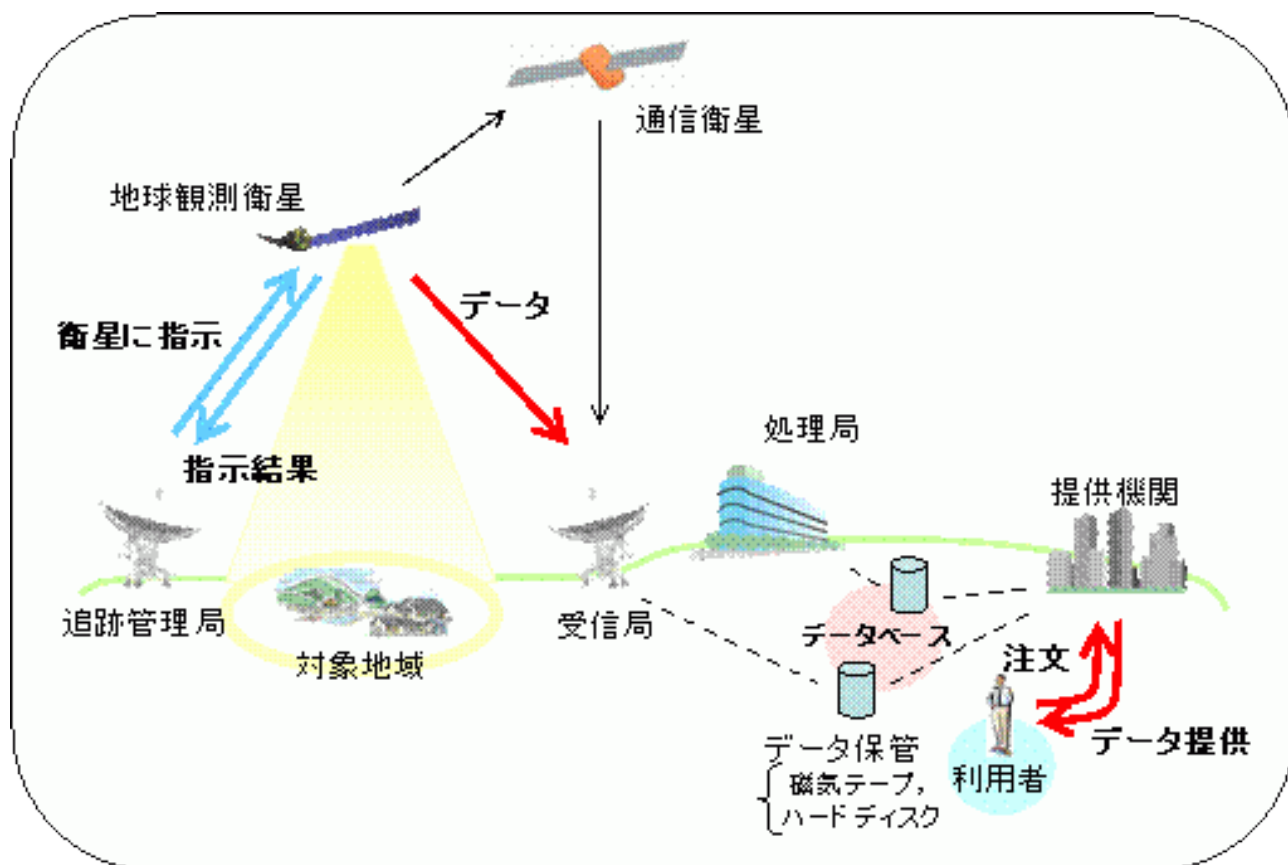
ゆえに、「短い波長(マイクロ波)を使い、大きなアンテナを使うと分解能が上がる！

実際には人工衛星に巨大なアンテナを搭載できないので、合成開口レーダ処理を行う

地球観測衛星の運用

1. どのような運用がなされているか？

- ・地球観測衛星は各国の機関や民間企業が、地上の施設で運用を行っている。これらの施設には、衛星や衛星に搭載されたセンサの状態を確認したり、また衛星の姿勢や軌道を修正したりする追跡管制局や、観測したデータを受信する受信局等がある。
- ・国内の地球観測衛星の場合には、主に宇宙航空研究開発機構（JAXA）が運用を行っており、国外の場合には、アメリカ、インド、欧州等国の宇宙機関が運用を行ったり、各民間企業が行ったりしている。
- ・国外の地球観測衛星に日本のセンサを搭載している場合でも、同じく国外の機関が運用を行っている。
- ・利用者が特定の地域を観測したい場合には、事前に衛星を運用している機関等に連絡しておく必要がある

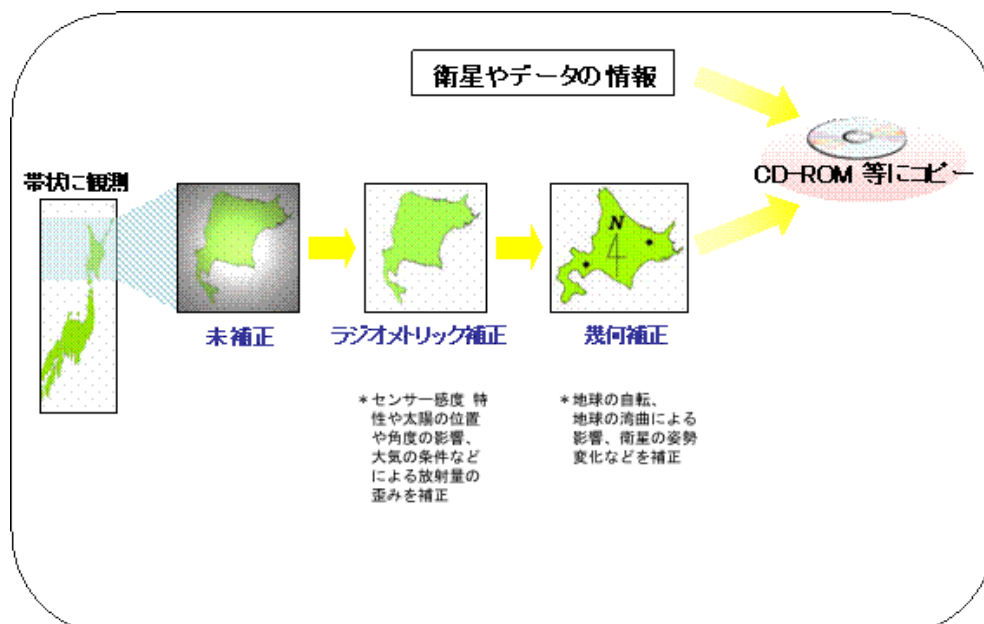


2. 地球観測衛星のデータはどこに保存されているのか？

- ・地球観測衛星には、地球を観測しながらそのデータを電波により直接、地上あるいは通信衛星に送信するものと衛星のハードディスク等に一度記録して、後でまとめて電波で地上に送信するものがある。
- ・観測データは、地上の受信アンテナをもつ受信局や受信装置で受信して、磁気テープやハードディスク等に保存される。また、受信局で受信した観測データを別の処理局で保存する場合もある。
- ・国内では、主に宇宙航空研究開発機構地球観測センター(JAXA/EOC)、広島工業大学、東海大学等で受信、保存（気象衛星「NOAA」や「ひまわり」を除く）されている。
- ・EOCでは、1979年以降のアメリカのLandsatデータや日本のMOS、JERS-1、ADEOS等のデータが保存されている。
- ・国外では、アメリカのEROSデータセンター、欧州宇宙機関のESRIN等の国の機関やスペースイメージング社、デジタルグローブ社及びオーブイメージ社等の民間企業に保存されている。

3. データはどのようにして提供されるか？

- ・地上局等で受信、保存した地球観測衛星の観測データは、そのままでは利用できない。
- ・地球観測衛星は一定の観測幅で帯状にデータを観測するため、その観測データはある決まった大きさに切り出し、衛星に搭載したセンサによる対象物の見え方の特徴（感度）のばらつきを合わせて、衛星の姿勢変化による地上との位置のずれを除くなどの補正処理を行う。
- ・その後、補正されたデータは、衛星の観測日や補正した際の情報等を付加して、CD-ROMや磁気テープなどにコピーされて、利用者に（有料または無料で）提供される。



リモート・センシング データ収集関係サイト

NASA : アメリカ航空宇宙局 <http://www.nasa.gov/>

JAXA : 独立行政法人 宇宙航空研究開発機構 <http://www.jaxa.jp/>

東京大学生産技術研究所 人間・社会系部門 竹内渉 研究室(環境・災害リモートセンシング)
http://wtlab.iis.u-tokyo.ac.jp/~wataru/index_j.php

東海大学情報技術センター
<http://www.tric.u-tokai.ac.jp/>

よくわかる「ひまわり6号」の画像
http://www.yc.ycc.u-tokai.ac.jp/ns/cholab/MTSAT_edu/top.html

東京情報大学学術フロンティア協働研究推進センター
<http://www.frontier.tuis.ac.jp/>

環日本海海洋環境ウォッチ
<http://www.nowpap3.go.jp/jpn/>

NEAR-GOOS 地域遅延モードデータベース
http://near-goos1.jodc.go.jp/index_j.html

一般財団法人 リモート・センシング技術センター 衛星総覧
http://www.restec.or.jp/knowledge/satellite_term.html