

平成26年度 REDDプラスに係る森林技術者講習会（基礎講習）

衛星データの種類と 入手の際の留意点



一般財団法人 リモート・センシング技術センター
REMOTE SENSING TECHNOLOGY CENTER OF JAPAN

衛星データの種類と入手の際の留意点

講師：磯野 賀瑞夫

ISONO Kazuo

（一般財団法人 リモート・センシング技術センター）

目次 Contents

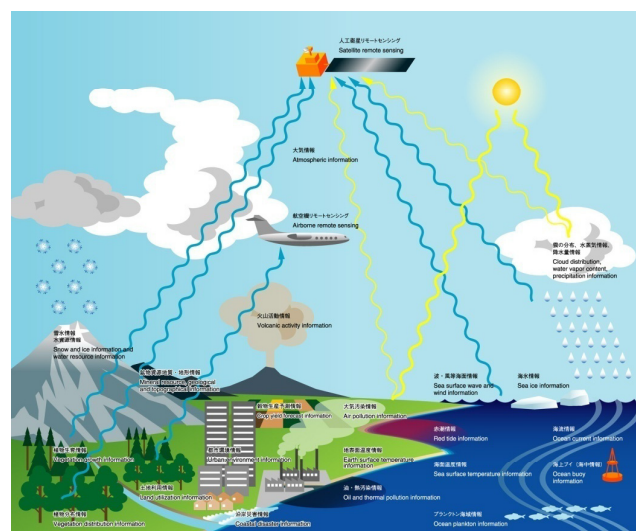
1. 衛星データの概要
2. 撮影の条件
3. 撮影と処理の流れ
4. データ形式と加工サービス
5. いろいろな衛星と搭載センサ

1. 衛星データの概要

- ・衛星リモートセンシングとは
- ・リモートセンシングにおける電磁波の種類
- ・地表対象物の太陽光分光反射特性
- ・センサが見ている各波長帯の特徴
- ・解像度による見え方の違い

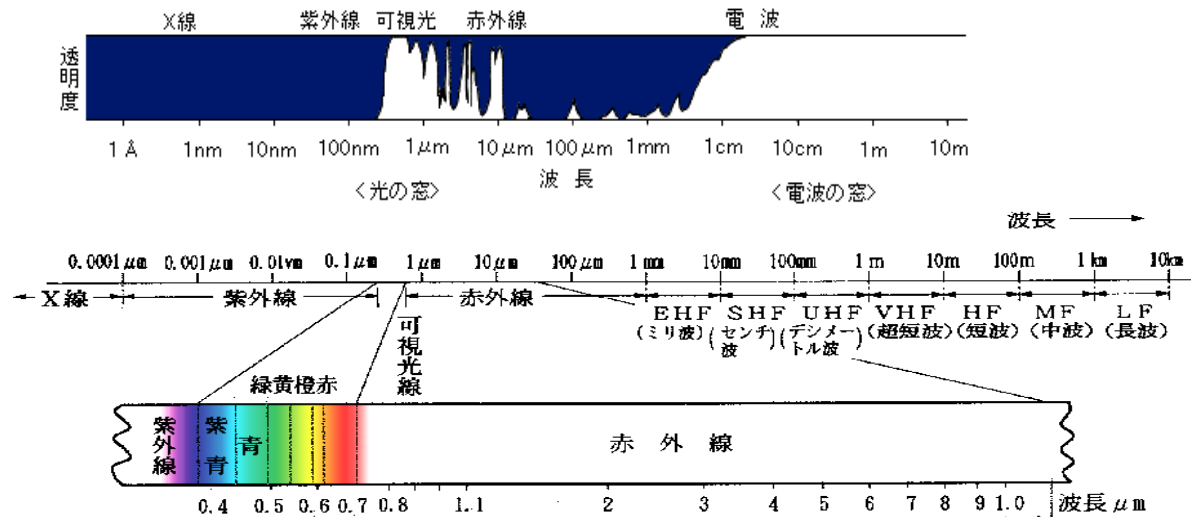
衛星リモートセンシングとは

リモートセンシングとは、直接手を触れないで、対象物や現象に関する情報を収集し、対象物や現象の識別、分類、判読および分析を行う技術である。



収集される情報は、対象物から反射または放射される電磁波に関する情報である。

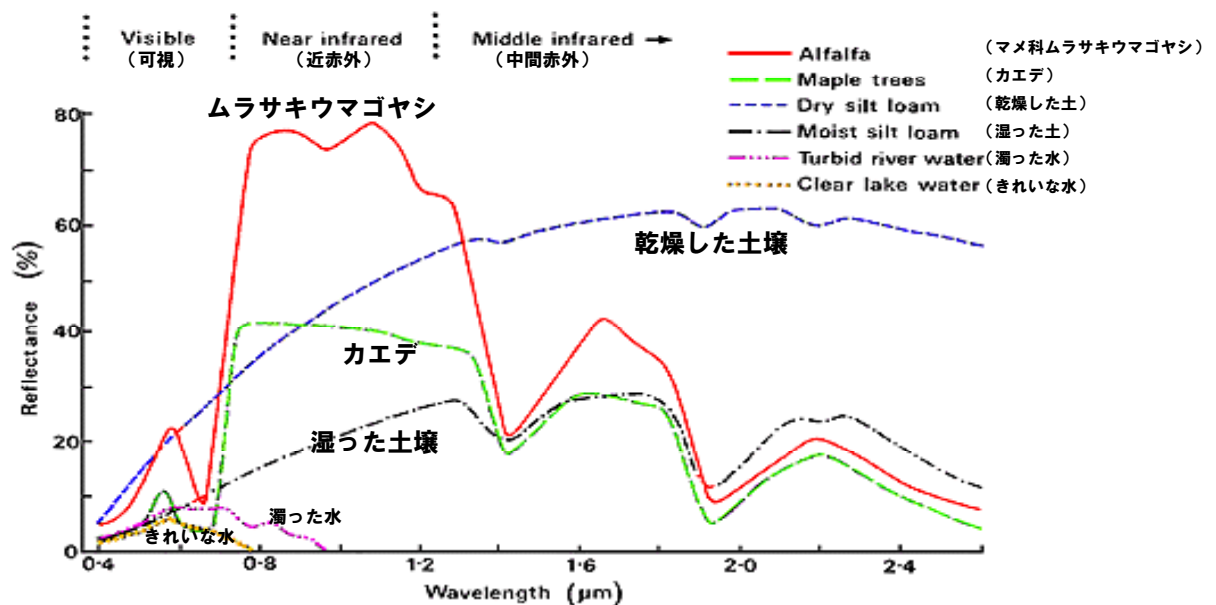
リモートセンシングにおける電磁波の種類



リモートセンシングでは、電磁波を複数個の波長帯域に分けて、その電磁エネルギーを収集する方式がとられる。

地表対象物の太陽光分光反射特性

『すべての物体は、種類および環境条件が異なれば、ことごとく異なる電磁波の反射または放射の特性を有する』



<参考資料>

ムラサキウマゴヤシ牧草地帯



Alfalfa (マメ科・学名: *Medicago sativa*)

日本語ではムラサキウマゴヤシと呼ばれる。
マメ科の多年草の牧草、西南アジア原産、
欧州、アフリカ北部、西アジアに分布世界で
広く栽培され重要な牧草のひとつ。

楓 (かえで)

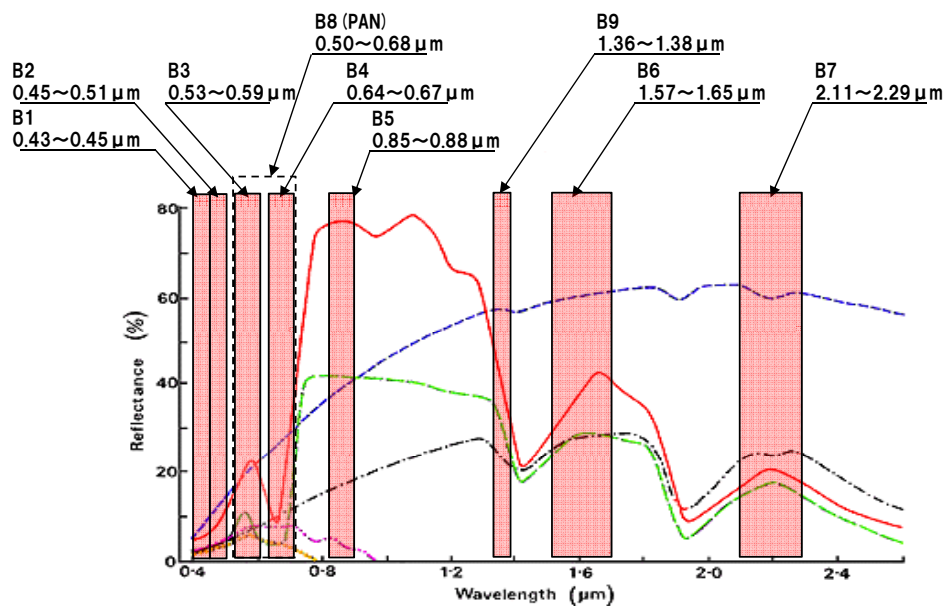


Maple tree (カエデ科・学名 *Acer palmatum*)

Acer: カエデ属 palmatum: 掌(手のひら)状の意、「かえで」「もみじ」とも呼ぶ。

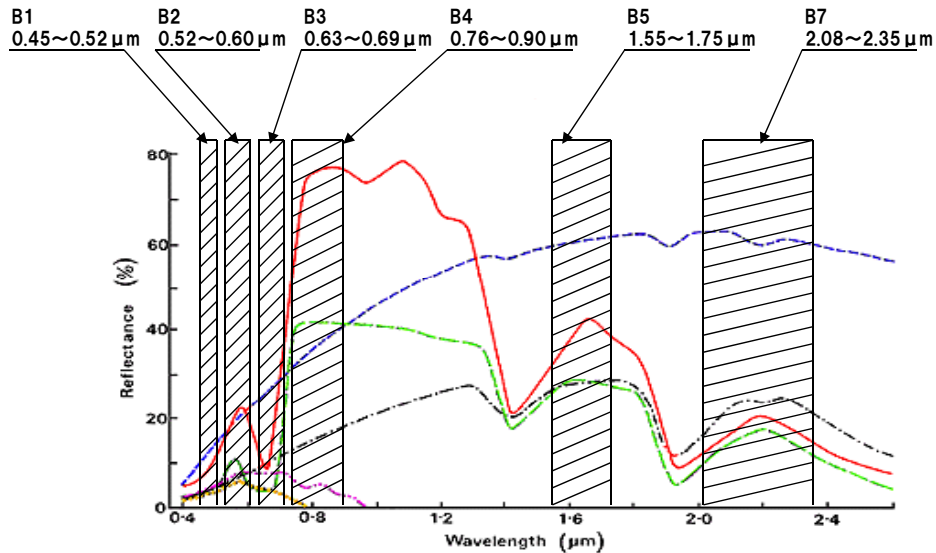
センサが見ている各波長帯の特徴

多くの観測波長帯(バンド)を持ち、現在活躍しているLandsat8/OLIセンサを例にして、各種対象物の分光反射特性と観測バンドの配置を示す。



センサが見ている各波長帯の特徴

OLIセンサの前身であり、広く活躍していたLandsat/TMセンサの画像を例にして、各観測バンドの画像の特徴を見てみよう。



センサが見ている各波長帯の特徴

Landsat/TMの観測バンドと主な応用分野を下表に示す。

バンド	波長帯 (μm)	主な応用分野
1	0.45~0.52	- 沿岸水のマッピング - 土壌と植物の区別 - 落葉樹と針葉樹の区別
2	0.52~0.60	植物の活性度
3	0.63~0.69	植物の種類を決定するためのクロロフィル吸収
4	0.76~0.90	- バイオマス調査 - 水塊分布
5	1.55~1.75	- 植物水分測定 - 雪と雲の区分
6	10.4~12.5	- 植物のヒートストレス測定 - 温度のマッピング
7	2.08~2.35	露出している地表熱水鉱床や鉱石資源探査

バイオマス・・・植物や植物性プランクトンが光合成によって生産する有機物の量

Landsat衛星データ（TMセンサ）の画像例

観測地域の説明

画像は、静岡県の駿河湾に流れ込む富士川流域
（1992年4月23日）のものです



衛星画像の見方

バンド毎の画像

各バンドの画像はそれぞれの観測値（反射強度、または放射強度）を、全てグレースケール（白黒）で表示します。1画素あたりの情報量を0～255（8bit）階調のレベルでとらえ、バンドごとにとらえたデータを使用して解析を行います。

階調数とは

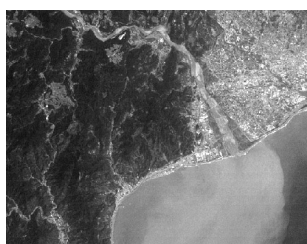
	1ビット（ $2^1=2$ ）
	2ビット（ $2^2=4$ ）
	3ビット（ $2^3=8$ ）

濃淡の一般的な解釈

- ・画像では、強く反射したところほど白く映ります。
- ・可視域の画像では、市街地や乾燥した裸地など可視域の光を強く反射するものは、明るく（白っぽく）見え、逆に森林や水域など反射が弱いものは、暗く（黒っぽく）見えます。

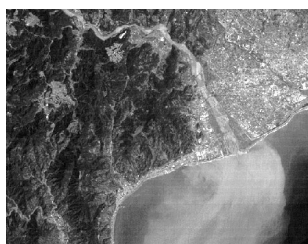
Landsat TMセンサの各バンドごとの画像

バンド1（0.45～0.52 μ m）



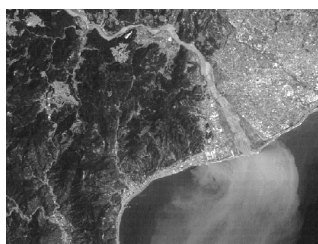
バンド1は青色から緑色にわたる波長帯。山岳部はクロロフィルの吸収、濁水の反射が見える

バンド2（0.52～0.60 μ m）



バンド2は緑色から黄色にわたる波長帯、水域と陸域の区別がバンド1よりも明確

バンド3（0.63～0.69 μ m）



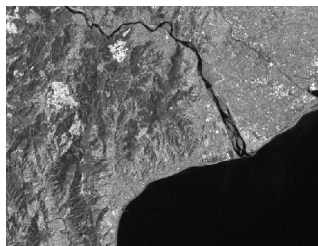
バンド3は、赤色の波長帯、水域と陸域は更にはっきりする。植物域が黒くはっきりわかる

バンド4（0.76～0.90 μ m）



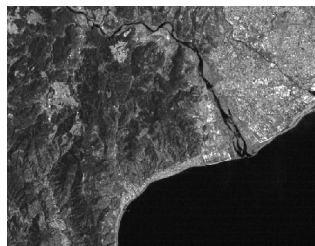
バンド4は、植物の反射が強い波長帯、山岳域が白く見える。川や海は黒く反射が無い

バンド5（1.55～1.75 μ m）



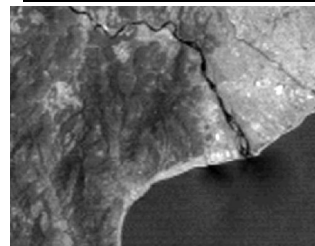
バンド5は植物や土壌の反射が強い波長帯。水分が多く含まれていると暗く、水分が少ないと明るい

バンド7（2.08～2.35 μ m）



バンド7は植物の反射が土壌に比較し弱い分バンド5に比べ山岳域が暗く見える

バンド6（10.4～12.5 μ m）

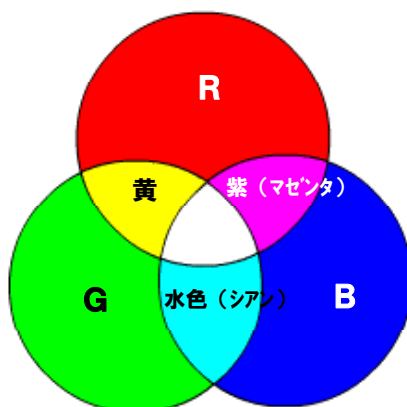


熱赤外域の画像では、低い温度ほど暗く、高い温度になるに従って明るく映る。水温も検出できる

画像の合成

人間に見える全ての色はR（赤）、G（緑）、B（青）の3色を混ぜ合わせる
ことによって表示することが出来ます（光の3原色）。

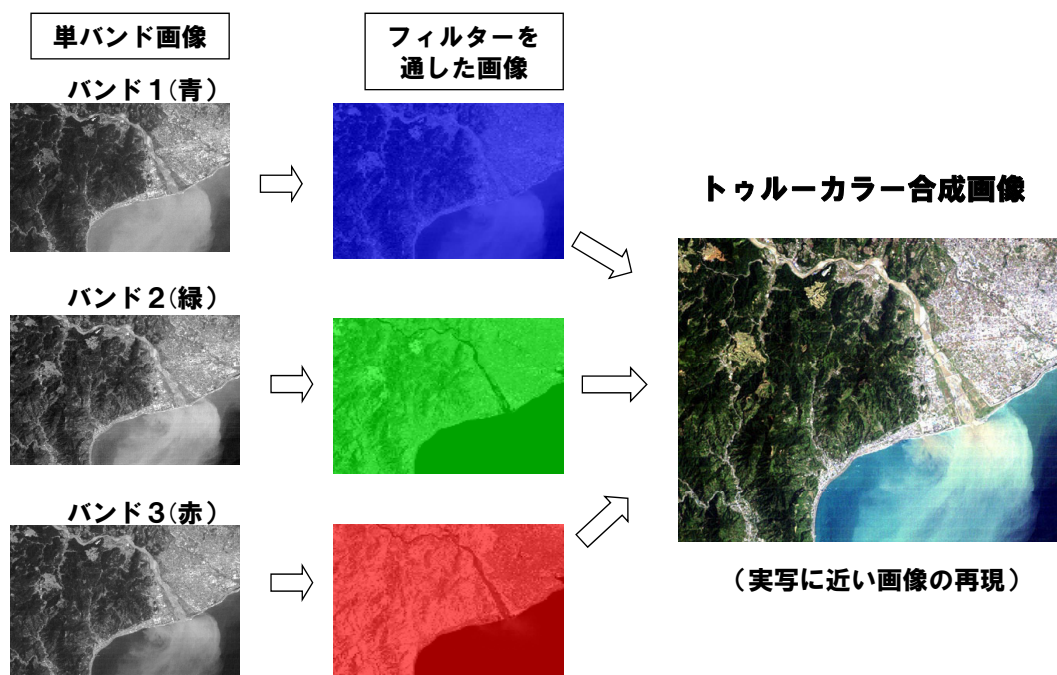
バンド1の画像に青のフィルターを通したものと、バンド2に緑のフィルター
を通したものと、バンド3に赤のフィルターを通したものと、この3つを合成する
ことにより実写に近い画像を再現することが出来ます。



光の3原色

カラー合成

異なるスペクトル画像に光の3原色を指定し、色を再現することをカラー合成と言う。トゥルーカラー、
フォールスカラー、ナチュラルカラーのカラー合成画像 (Color Composite Image) ができます。



カラー合成 –バンドの組み合わせ例–

ナチュラルカラー合成画像

—植生が緑色に強調—



バンド3 を赤
バンド4 を緑
バンド2 を青

フォールスカラー合成画像

—植生が赤色に強調—



バンド4 を赤
バンド3 を緑
バンド2 を青

短波長赤外カラー合成画像

—都市域内、植物域内の区分が
より詳しく表示—



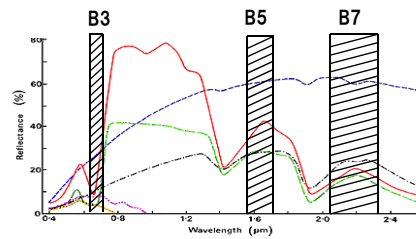
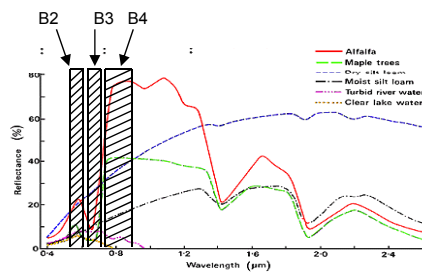
バンド7 を赤
バンド5 を緑
バンド3 を青

熱赤外線カラー合成画像

—温度が高いところを赤で強調—

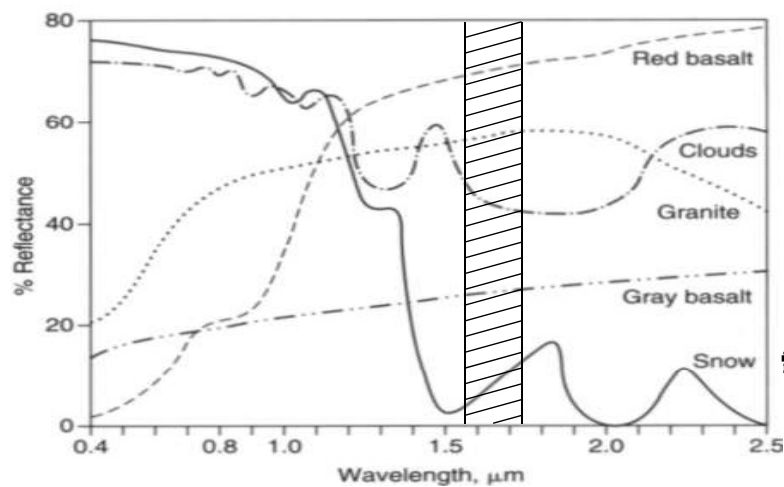


バンド6 を赤
バンド4 を緑
バンド2 を青



中間赤外波長帯の特徴

中間赤外バンド5 (1.55~1.75 μm) による雲と雪の識別



雲の分光反射特性

雪の分光反射特性

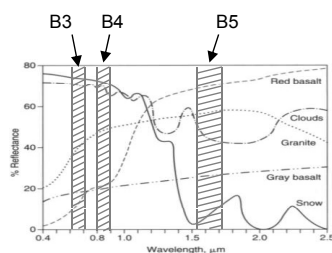
中間赤外域の雲と雪の分光反射特性

1.6 μ m帯を利用した雲と雪の識別

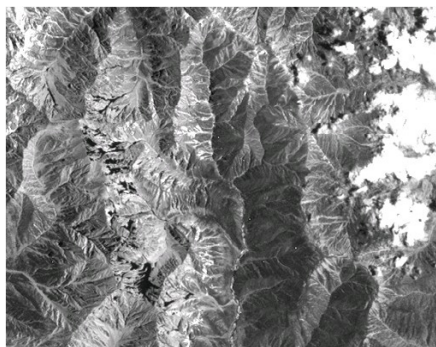


RGB=321 実写に近い画像

可視バンドのみを用いたカラー合成では、積雪と雲とが同じような白っぽい色で表示されてしまい、ほとんど区別ができません。



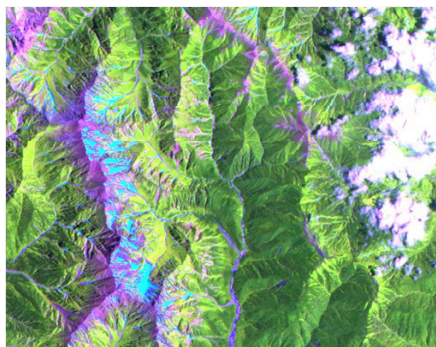
バンドと色配置



中間赤外バンド5画像

(1.55~1.75 μ m)

バンド5では雪は黒く
雲は左図のように白く
反射して見えます



RGB=543

バンド5を赤色、
バンド4を緑色、
バンド3を青色
雲は可視・近赤外バンド
の画像と同じように白っ
ぽく表示されていますが、
西側の尾根の積雪は水色
(青色+緑色)で示され
ています

衛星データ提供：JAXA

解像度（分解能）による見え方の違い

10cm分解能画像: 一つ一つの車について説明ができます
25cm分解能画像: 車の種類について識別が可能です
50cm分解能画像: 車の種類についてどうにか識別ができる程度です
1m分解能画像: 車であることは判るが、車の種類までは判りません

10 cm分解能写真



25 cm分解能写真



50 cm分解能写真



1m分解能写真



(出展;FAS IMINT 101-Introduction to Image Intelligence home page より)

解像度（分解能）による見え方の違い

1.0m分解能画像: どんな種類の建物であるか判ります。車であることが判ります。
2.5m分解能画像: どんな種類の建物かどうにか判ります。何かが在ることは判るが車であることは判りません。
5.0m分解能画像: その物が建物であることは判るがどんな種類の建物かは判りません。車の検出は出来ません。
10.0m分解能画像: 大きな建物の検出がどうにか出来ます。車の検出は出来ません。

1.0m分解能画像



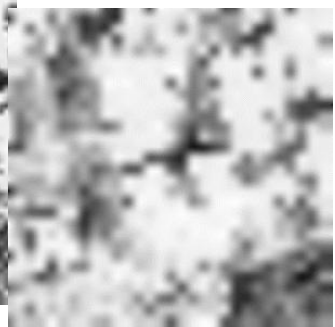
2.5m分解能画像



5.0m分解能画像

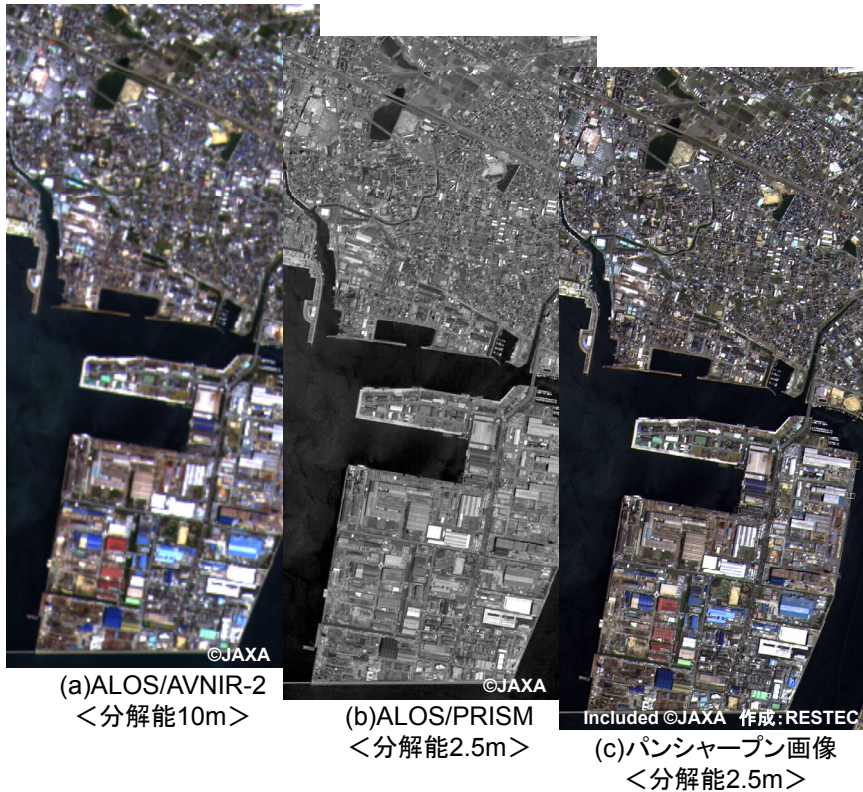


10.0m分解能画像



(出展;FAS IMINT 101-Introduction to Image Intelligence home page より)

カラーによる見え方の違い (パンシャープン加工処理画像)



高分解能のパンクロマティック画像と、それより分解能は劣るがカラー情報を持つマルチバンドの画像の両者を合成して、高分解能かつカラーの画像を作成することをパンシャープン処理と呼びます。

(a)は10mカラーのALOS/AVNIR-2画像、(b)は2.5mパンクロマティックのALOS/PRISM画像で、この二つの画像から合成してできたのが、(c)の2.5mカラーのパンシャープン画像です。

まとめ①

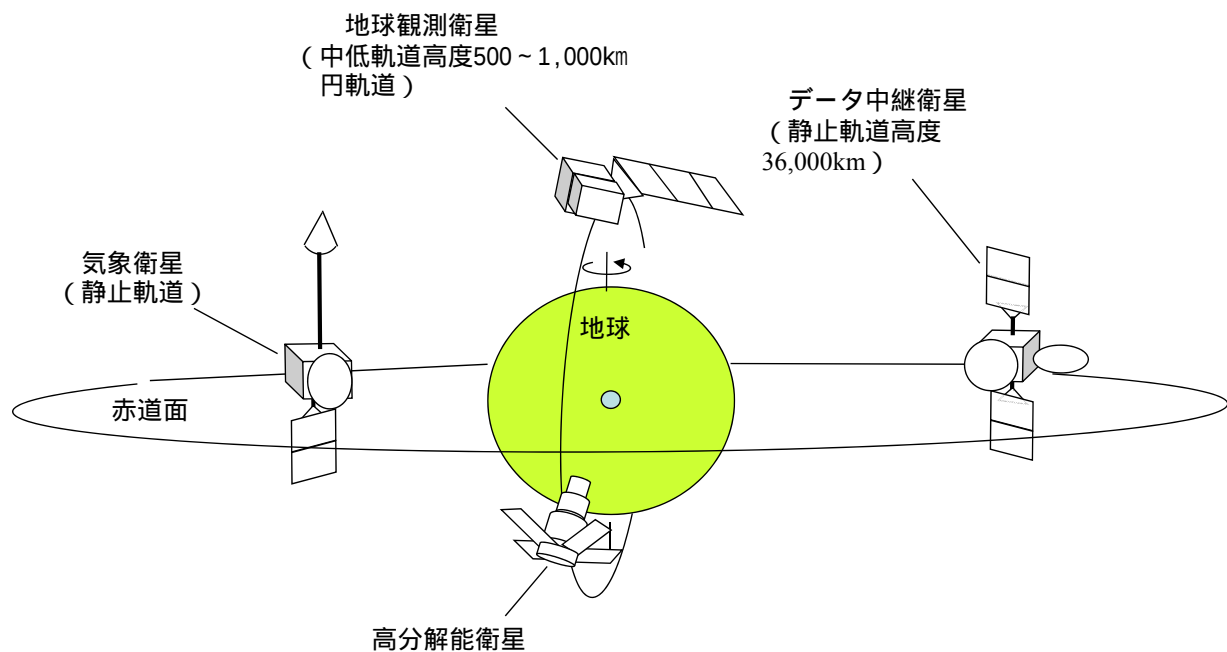
□ 見たいもの、知りたい現象の特徴を整理し、以下の条件を決める

- ・分光反射特性
- ・解像度（分解能）

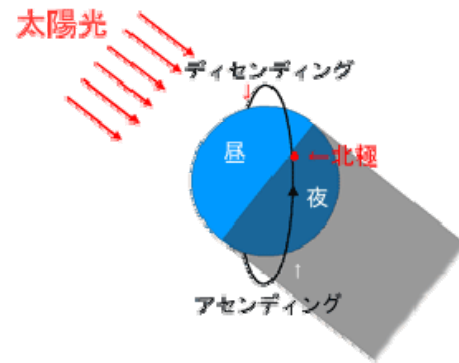
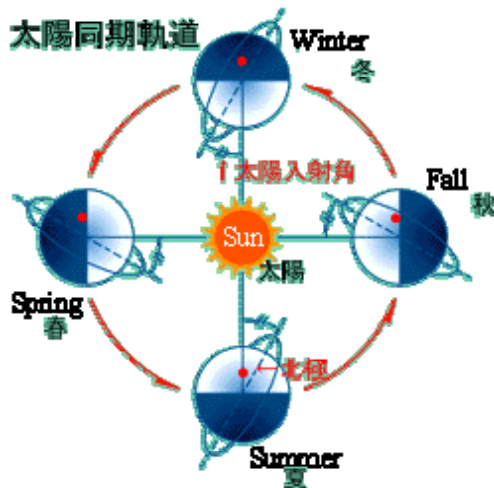
2. 撮影の条件

- ・地球観測衛星の主な軌道
- ・太陽同期軌道とは
- ・軌道と観測幅と撮影の頻度
- ・ポインティング機能と撮影頻度

地球観測衛星の主な軌道



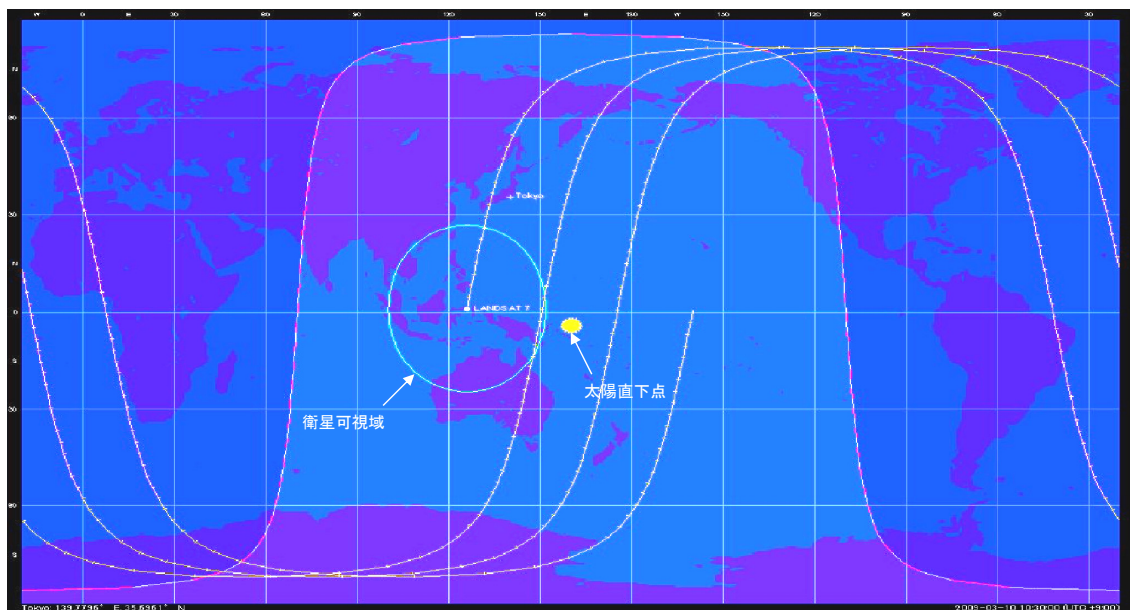
太陽同期軌道とは



「太陽同期軌道」とは、衛星の軌道面と太陽方向がつねに一定になる軌道。つまり、衛星の軌道面の1日あたりの回転角が地球の公転周期（1日あたりの回転角）に等しい軌道。

北から南に向かう時に撮れるディセンディングの画像は、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、ディセンディングの画像が多く利用されています。

Landsat 7の地表面軌跡



夜間

昼間

夜間

Landsat 7 軌道データ

2009.03.10

現地時間10:30

軌道高度: 704.837km

軌道傾斜角: 98.195°

周期: 98.82分

Landsat 7の地表面軌跡

(2009.03.10 現地時間10時30分)

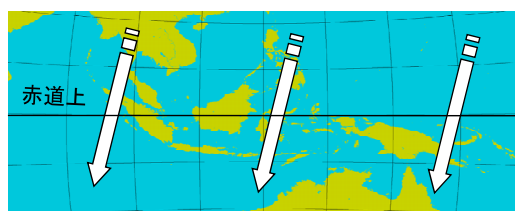
データソース: [Orbitron]より

回帰軌道・準回帰軌道

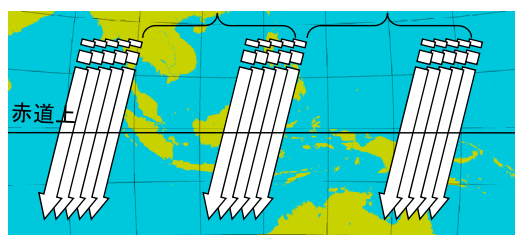


「回帰軌道」の衛星は、その日のうちにもとの場所の上空にもどる。

「準回帰軌道」は、数日後に同じ場所の上空に衛星がもどる。



回帰軌道の
衛星パス
(毎日同じ軌
道上を通過)



準回帰軌道の
衛星パス
(左図は18日
回帰の5日
目)

衛星通過（パス）イメージ

準回帰にすることによって、地球全体をすきまなく観測することが可能。

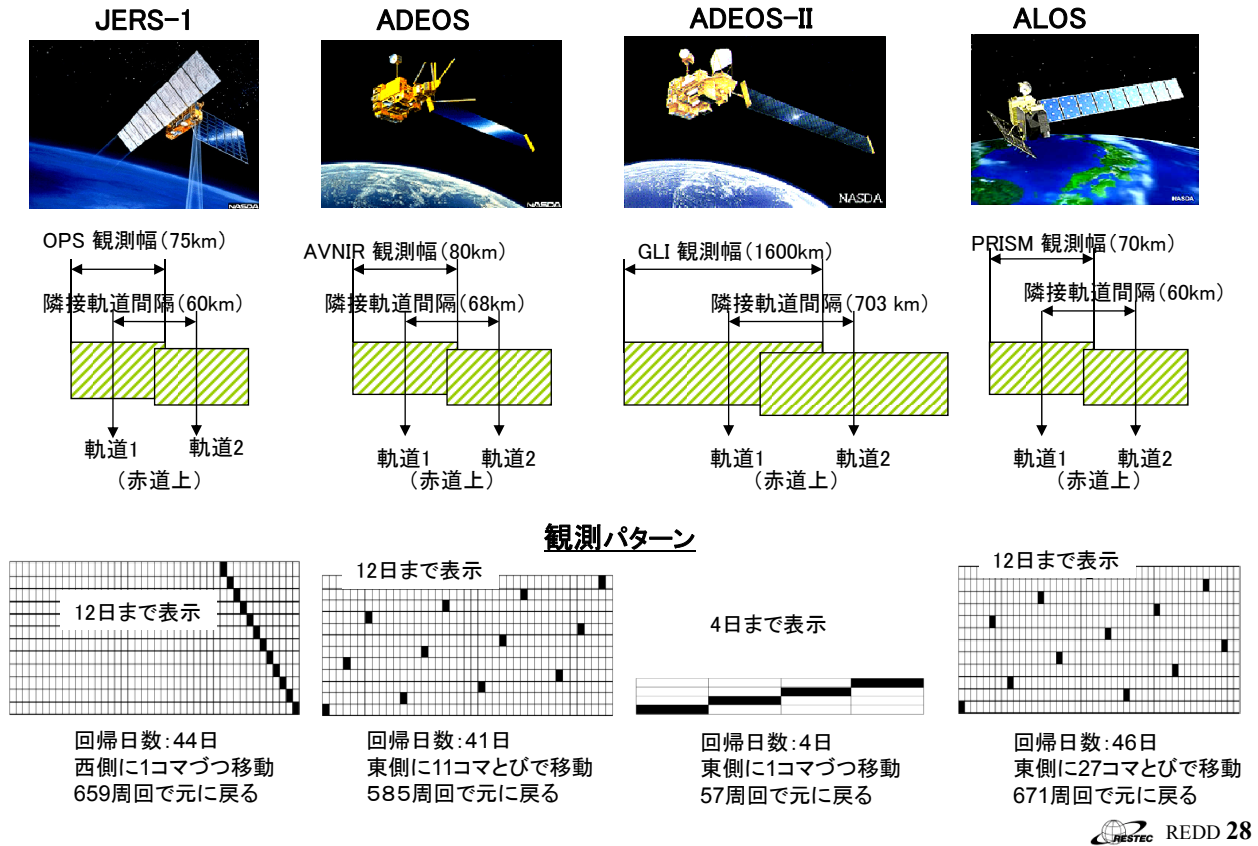
観測衛星の軌道パラメータ

衛 星		JERS-1	ADEOS	ADEOS-II	ALOS
軌道種類		太陽同期準回帰	太陽同期準回帰	太陽同期準回帰	太陽同期準回帰
周回数/1日	周/日	15-1/44	14+11/41	14+1/4	14+27/46
回帰日数	日	44	41	4	46
軌道高度	K m	568	796.75	802.92	691.65
軌道傾斜角	度	97.67	98.5	98.62	98.16
周期	分	96	100.92	101	約98.7
1回帰あたり周回数	周	659	585	57	671
隣接軌道間隔（赤道上）	K m	60	68	703	60
観測幅(センサ名)	K m	75 (OPS)	80(AVNIR)	1,600(GLI)	70(PRISM)

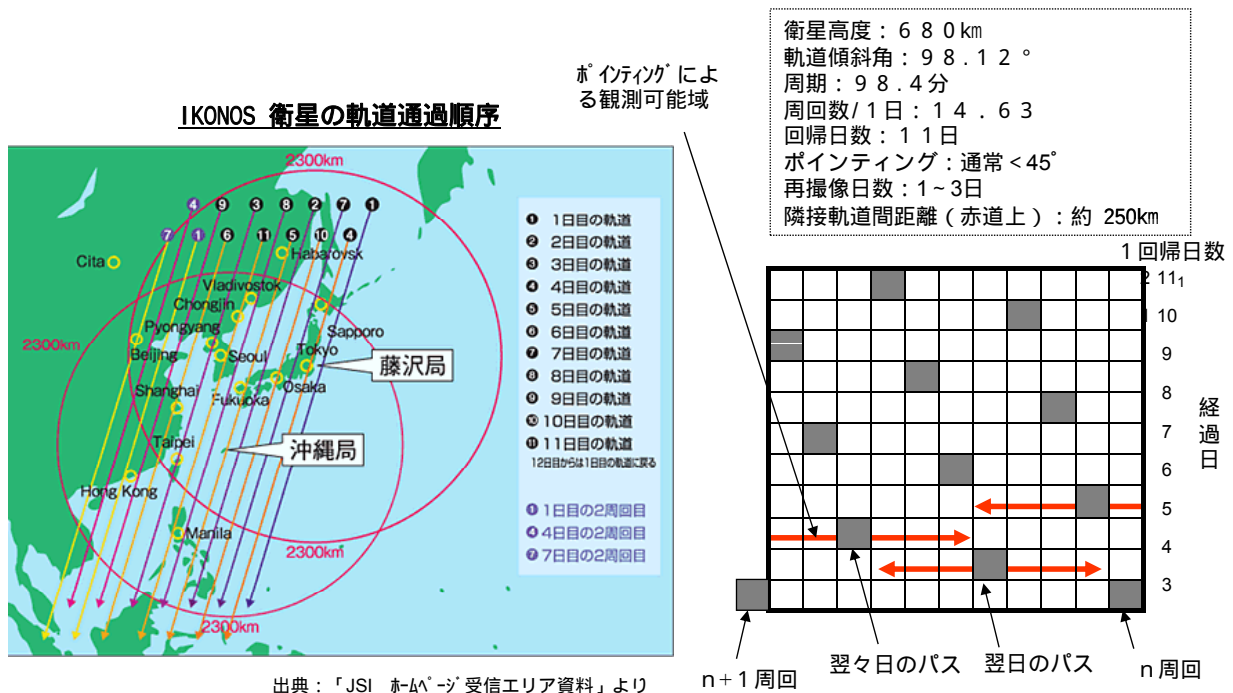
1回帰あたり周回数（周）＝周回数（周/日）×回帰日数（日）

隣接軌道間隔（赤道上）＝地球の円周長さ（赤道上）／1回帰あたり周回数

軌道と観測幅と観測頻度



ポインティング機能と撮影頻度- IKONOS衛星



出典: 「JSI ホームページ」受信エリア資料より

IKONOS 衛星の観測パターン

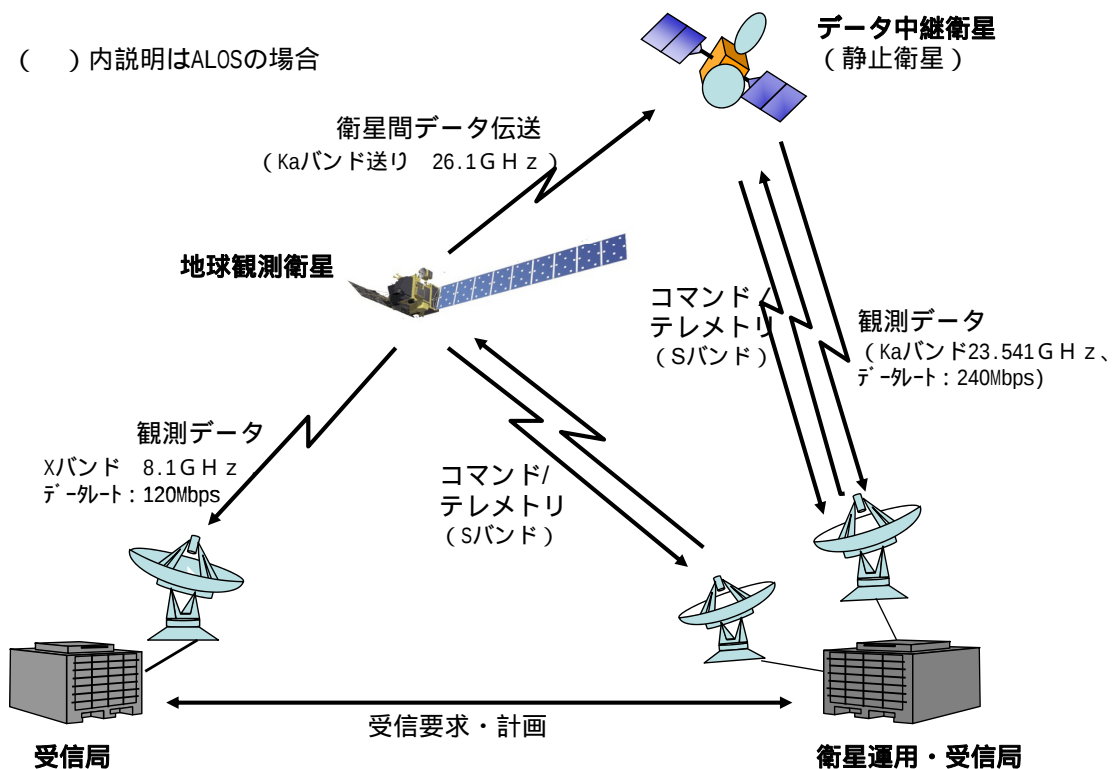
まとめ②

- 見たいもの、知りたい現象の特徴を整理し、以下の条件を決める
 - ・ いつ撮影されたデータが良いのか（時間、季節）
 - ・ 撮影の頻度
 - ・ 既存撮影／新規撮影

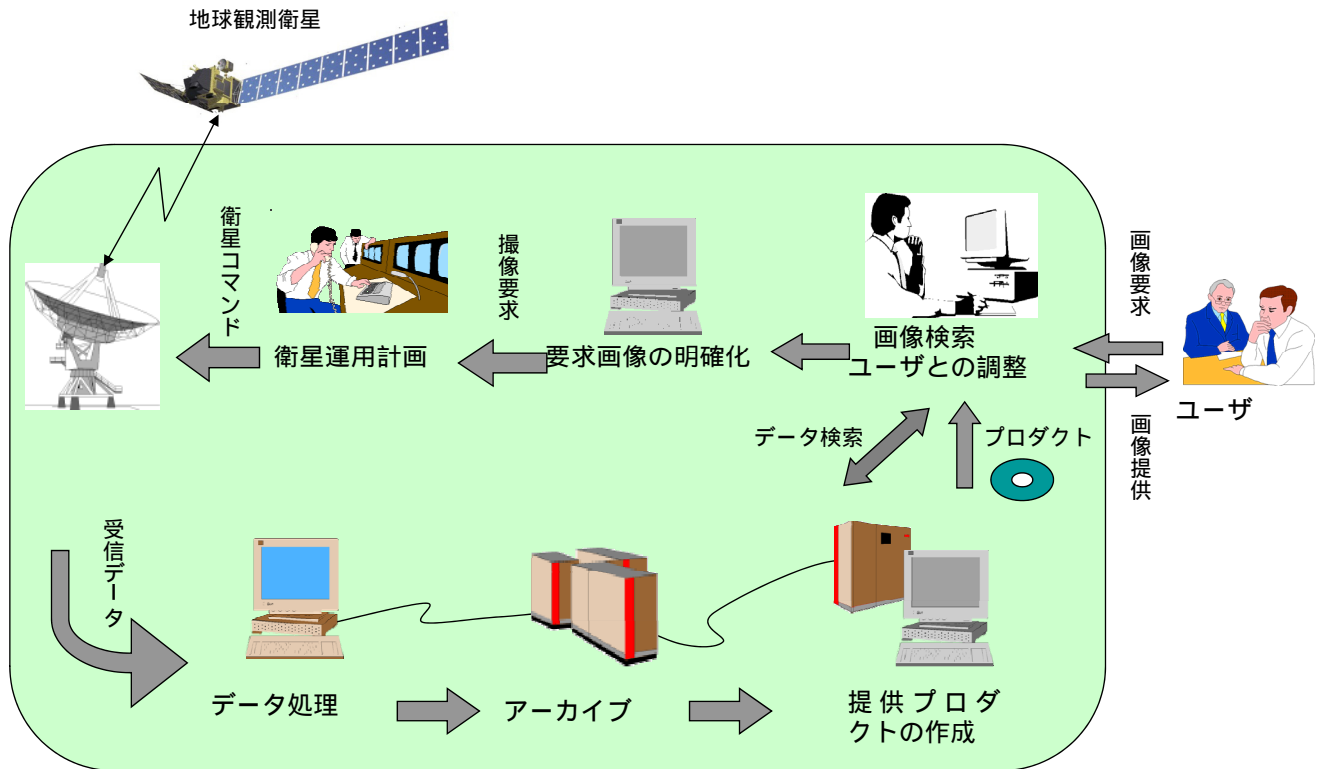
3. 撮影と処理の流れ

- ・ 衛星観測システムの概要
- ・ 衛星地上システムの運用概要
- ・ データ処理の概要
- ・ データの処理レベル

衛星観測システムの概要



衛星地上システムの運用概念



データ処理の概要

(1) 衛星から送信されるデータ

- ・ センサから出力されるデータ-----観測データ、補助情報、同期コード

(2) データ処理の目的

- ・ 受信データの同期と並べ替え、ハンドリング単位（シーン）への分類
- ・ 画像に含まれる歪等の除去

幾何学的な歪

- 衛星の移動による効果
- 地球の自転の効果
- センサの素子配列
- 観測時の衛星センサの位置、姿勢、振動、熱歪等

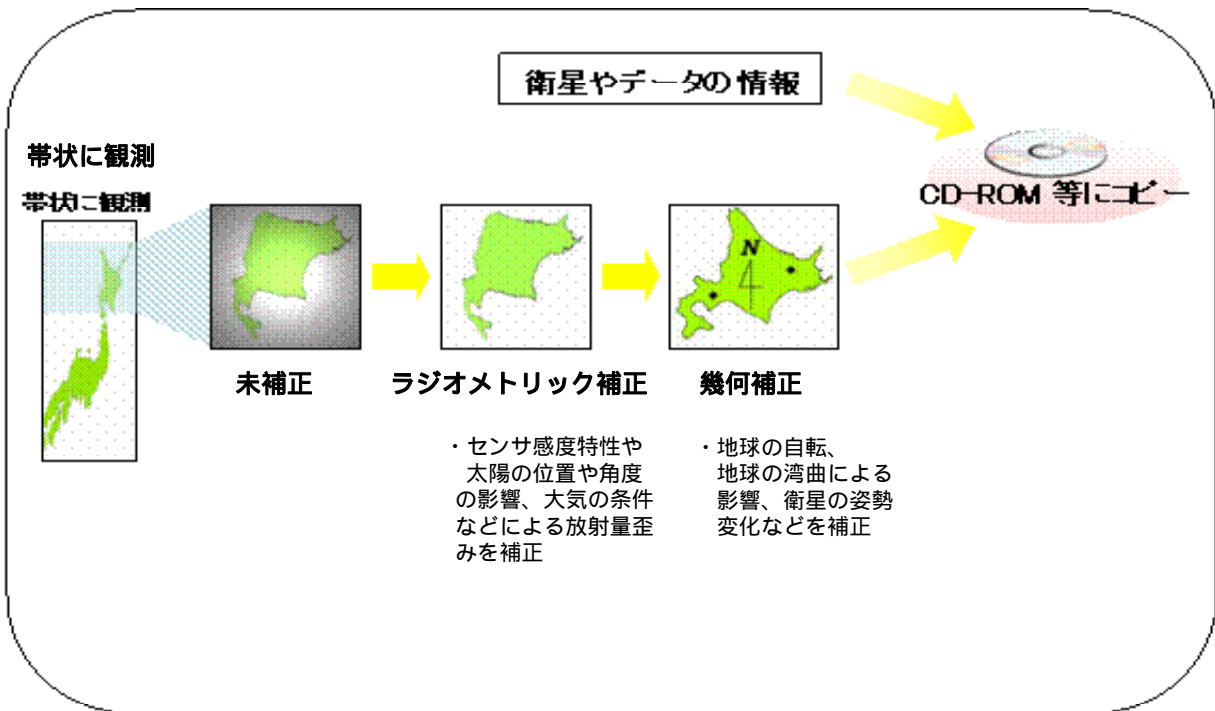
ラジオメトリックな歪

- センサ感度特性（経年変化を含む）
- 太陽の位置、角度の影響
- 大気の補正

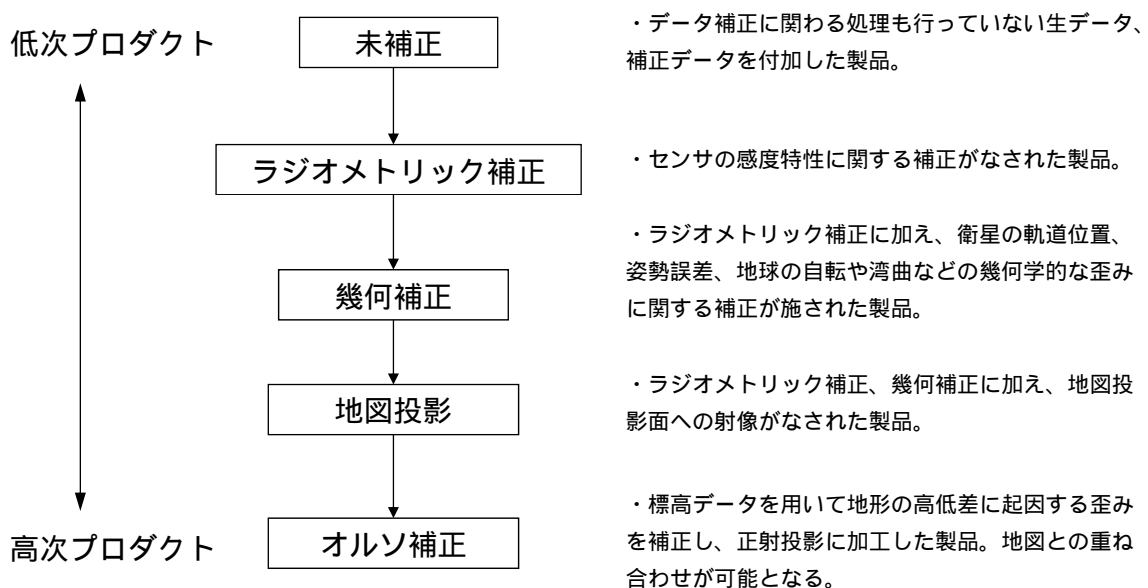
衛星の画像データを利用するためには、衛星の画像と地上の位置との対応を正しく対応づけるために幾何補正が重要となる。

- ・ 提供フォーマットの編集

データ処理の概要



データの処理レベル



処理レベルの一般的な定義としては、未補正製品がレベル0、ラジオメトリック補正製品がレベル1、さらに幾何補正された製品がレベル2と呼ばれている。センサ及び衛星により定義が異なるので注意が必要である。

まとめ③

- データ撮影・処理の流れを知り、以下の点に留意する
 - ・ いつデータが手に入るのか
 - ・ 求めている加工内容と“処理レベル”が合っているか

4. データ形式と加工サービス

- ・ 主なデータ形式
- ・ 幾何学的な歪みの補正（オルソ補正）
- ・ カラー高分解能処理（パンシャープン処理）

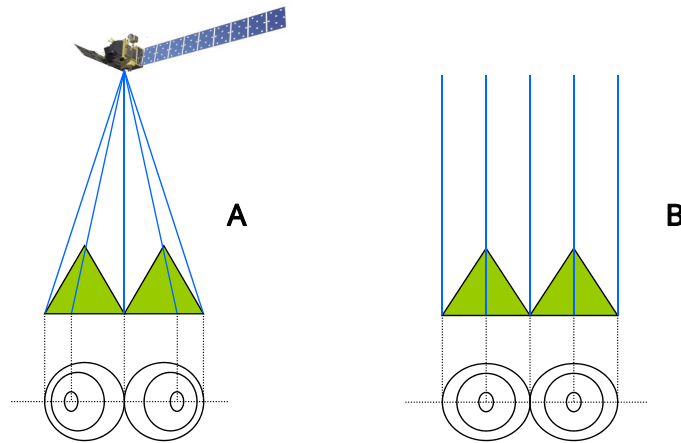
主なデータ形式（フォーマット）

フォーマット	特徴	採用衛星/センサ
CEOS	CEOS（committee on Earth Observation Satellites：地球観測衛星委員会）で標準化されたフォーマット。バンドごとにファイルが分割される「CEOS-BSQ」と、複数のバンドが多重化された「CEOS-BIL」とがある。従来の多くの中分解能衛星データに採用されている。	・ LANDSAT (TM, MSS) ・ JERS (SAR, OPT) ・ ADEOS (AVNIR) ・ ALOS (PALSAR, PRISM, AVNIR2) ・ SPOT (HRV)
HDF	Hierarchical Data Format の略、多様なコンピュータ環境で容易にデータの相互交換を行えるようにイリノイ大学のNCSA（National Center for Supercomputing Applications）で開発されたフォーマット。複数のバンドが一つのファイルにまとめられているため、画像表示/解析するためには専用のソフトが必要となる。グローバルデータを中心に利用されている。	・ ADEOS (OCTS) ・ ADEOS-II (GLI, AMSAR) ・ LANDSAT (ETM⁺)
Geo TIFF	通常のTIFF（Tagged Image File Format：Aldus社及びMicrosoft社によって開発された）にリモートセンシング用の情報を付加したフォーマット。専用ソフトが無くても一般的な画像ビューア等で開くことが可能。	・ IKONOS ・ QuickBird ・ ALOS ・ WorldView-2

幾何学的な歪みの補正（オルソ補正）

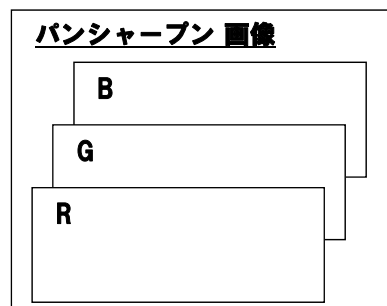
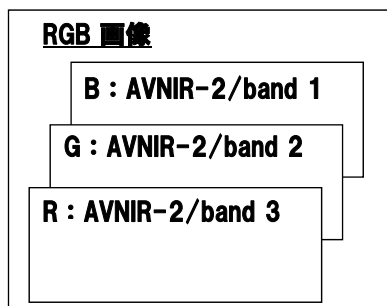
地形の高低差に起因する歪の補正処理をした画像のこと。中心投影である画像を真上からの平行投影（正射投影）に変換したもので、オルソ画像（Orthorectified Image）と言う。

- A： 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
（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）
- B： 地図と同じ表現のオルソ画像（正射投影図）イラスト
Aの画像の歪みを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言う

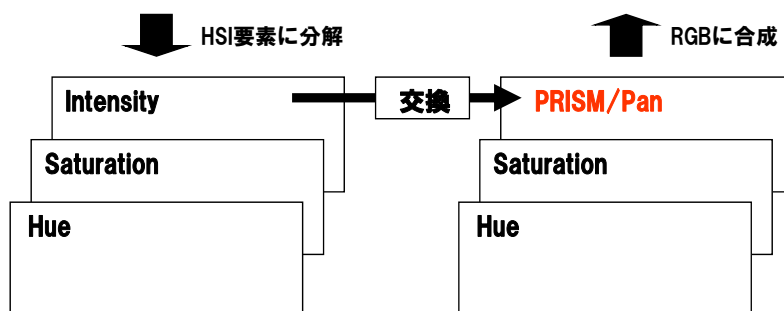


オルソ補正処理の概念

カラー高分解能処理（パンシャープン処理）

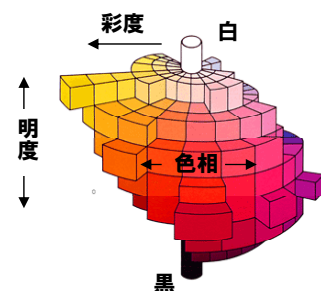


Hue : 色相（色あい）
Saturation : 彩度（鮮やかさ）
Intensity : 明度（明るさ）
マルチスペクトルデータをHSIの各要素に分解し、分解したうちのI成分をモノクロデータに置き換え、再度RGBに合成することでパンシャープン処理を行います。



HSI変換の手順

（ALOS AVNIR-2データとPRISMデータの例）



色立体図出典<http://konicaminolta.jp/instruments/colorknowledge>

色立体の例

（彩度の段階が色相と明度ごとに異なる）

AVNIR-2 トゥルーカラー合成画像（RGB=321）



データ提供：JAXA

AVNIR-2とPRISMの合成画像（パンシャープン処理画像）



データ提供：JAXA

まとめ④

- どのように使うかを決めて、以下の条件を決める
 - ・衛星データの形式（データフォーマット）
 - ・追加加工サービスの必要性

5. いろいろな衛星と搭載センサ

衛星とその画像を紹介

・地球観測衛星

ALOS (PRISM, AVNIR-2, PALSAR)

ALOS-2 (PALSAR-2)

・商業用高分解能衛星

IKONOS、QuickBird、WorldView-3

日本の衛星と搭載センサの概要

日本で打上げ・運用されてきた主な地球観測衛星には以下のような衛星・センサがあります。2013年にも新規衛星の打上げが予定されており、データ蓄積の継続が期待されます。

衛星名	主なセンサ	運用期間	高度	回帰 日数	分解能	観測幅
MOS-1, 1b	MESSR 可視近赤外放射計	1987.2 ～ 1996.4	909km	17日	50m	100 km
	VTIR 可視熱赤外放射計				900m (V)、2700m (IR)	1500 km
	MSR マイクロ波放射計				32km(23.8GHz), 23km(31.4GHz)	370 km
JERS-1	SAR 合成開口レーダ(Lバンド)	1992.9 ～ 1998.10	568km	44日	18m	75 km
	VNIR 可視近赤外放射計				18.3m x 24.2m	75 km
	SWIR 短波長赤外放射計				18.3m x 24.2m	75 km
ADEOS	AVNIR 高性能可視近赤外放射計	1996.8 ～ 1997.6	797 km	41日	16m (Multi) 8m (Pan)	80 km
	OCTS 海色海温走査放射計				700m	1400km
	(ILAS, IMG, NSCAT, TOMS, POLDER)					
ADEOS-2	AMSR 高性能マイクロ波放射計	2002.12 ～ 2003.10	803km	4日	5-50km	1600km
	GLI グローバルレイメジャー				250m, 1km	1600km
	(IRAS-II, POLDER, SeaWinds)					
ALOS	PRISM ハンクマチック立体視センサ	2006.1 ～ 2011.5	692km	46日	2.5m	35km、70 km
	AVNIR-2 高性能可視近赤外放射計2				10m	70 km
	PALSAR フェーズドアレイ方式 Lバンド合成開口レーダ				10m 100m	70 km 250～350 km
ALOS-2	PALSAR-2 フェーズドアレイ方式 Lバンド合成開口レーダ	2013	628km	14日	1-3m 3-10m 100m	25km 50-70km 350km

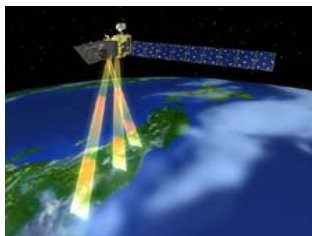
各国の衛星と搭載センサの概要

世界各国で打上げ・運用されている主な地球観測衛星には以下のような衛星・センサがあります。国毎に特色があり、データ利用者は単独または複数の衛星データを利用して、目的の情報を解析・抽出することとなります。

国名	衛星名	打上年月	センサ	分解能	観測幅
米国	IKONOS	1999.9	Pan, Multi (4)	0.82m, 3.28m	11.3km
	GeoEye-1	2008.9	Pan, Multi (4)	0.41m, 1.64m	15.2km
	GeoEye-2	2012末	Pan, Multi (4)		
	QuickBird	2001.10	Pan, Multi (4)	0.65m, 2.62m	18.0km
	WorldView-1	2007.9	Pan	0.5m	17.6km
	WorldView-2	2009.10	Pan, Multi (8)	0.46m, 1.85m	16.4km
	WorldView-3	2014	Pan, Multi (8), SWIR (8)	0.31m, 1.24m 3.7m	13.2km
	LDCM	2013.1	Pan, Multi (8), Thermal (2)	15m, 30m, 100m	185km
タイ	THEOS	2008.10	Pan, Multi (4)	2m, 15m	22km, 90km
カナダ	RADARSAT-2	2007.12	RADAR (C)	3m - 100m	20km - 500km
欧州	ENVISAT	2002.3~ 2012.5	RADAR (C)	30m - 100m	56 - 100km
イタリア	COSMO-SkyMed1~4	2007.6~ 2010.11	RADAR (X)	1m - 100m	10km - 200km
ドイツ	TerraSAR-X, TanDEM-X	2007.6, 2010.6 2013	RADAR (X)	1m - 16m	10km - 100km
	RapidEye (5機)	2008.8	Multi (5)	6.5m	80km
	SPOT-5 SPOT-6,7	2002.5 2012, 2013	Pan, Multi (4)	2.5m-5m, 10m-20m 1.5m, 6m	60km
フランス	PLEIADES-1 PLEIADES-2	2011.12 2013	Pan, Multi (4)	0.7m, 2.8m	20km

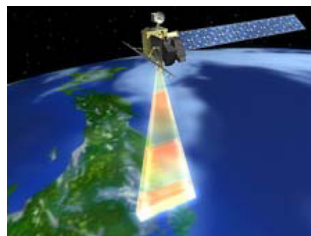
陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS)

- 災害監視、地図作成、地域観測、資源探査
- 2006年1月24日打上げ
- 2011年5月12日に運用停止



PRISM

PRISMは、**2.5m**(35km四方)という高分解能で地表のデータを観測することを目的に設計されており、人間が見ることのできる波長の光を3方向から観測することで、地形の凹凸を標高データという形で取得することができます。



AVNIR-2

AVNIR-2は、青、緑、赤の3色と近赤外領域の計4種類の波長で観測することで、多目的なカラー画像(**10m**分解能:70km四方)を作成することが可能です。
また、災害時などには衛星直下以外の領域を観測可能なようにポインティング機能を持っています。



PALSAR

PALSARは、衛星から発射した電波の反射を受信することで観測するセンサであるため、観測する領域の天候・昼夜に関係なくデータを取得可能です(**10m**分解能他:70km四方)。
また、観測範囲や分解能が可変であり、用途に応じた柔軟な観測が可能です。

高分解能・光学センサ-ALOS PRISM

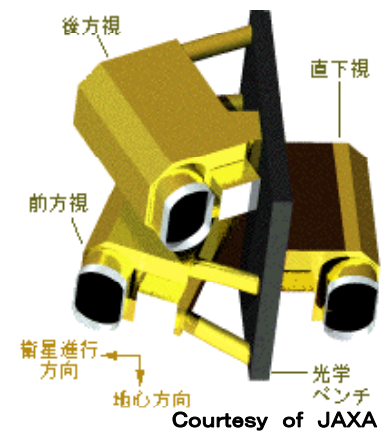


パナクロマチック立体視センサ (PRISM)が観測した静岡県清水港



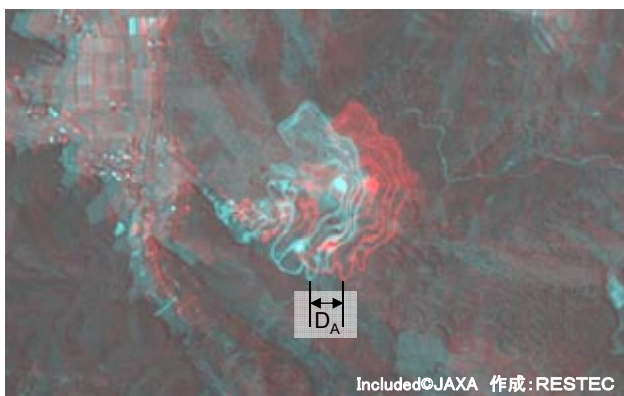
静岡県清水港(左図枠内部分拡大)

ALOS PRISMの概要

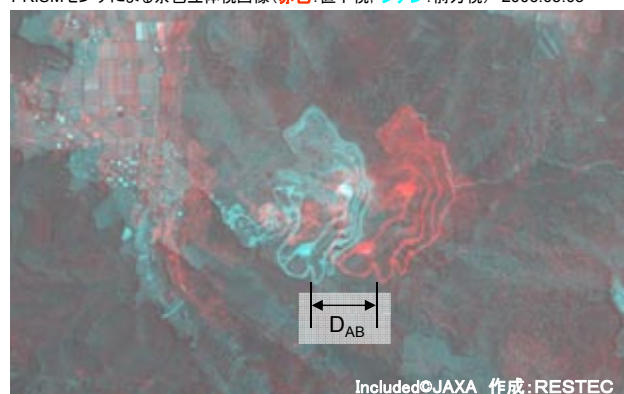


観測波長帯: 0.52-0.77 μ m
 視方向 : 3 (前方・直下・後方)
 ベースハイト比: 1.0 (前方視+後方視)
 地表分解能 : 2.5m
 観測幅 : 70km (直下視のみ)
 35km (3方向同時視)
 ポインティング : $\pm 1.5^\circ$ (cross track)

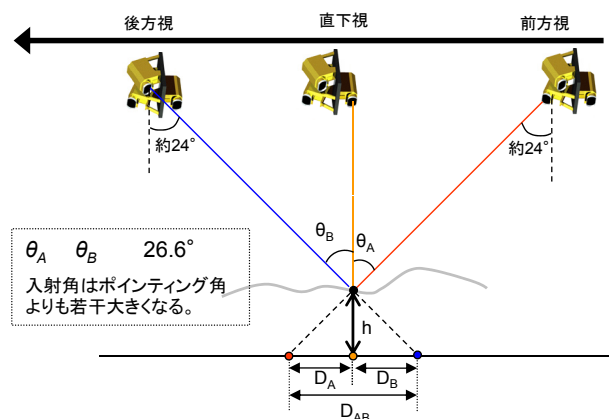
出典:「JAXAホームページ」より



PRISMセンサによる余色立体視画像(赤色:直下視, シアン:前方視) 2006.05.05

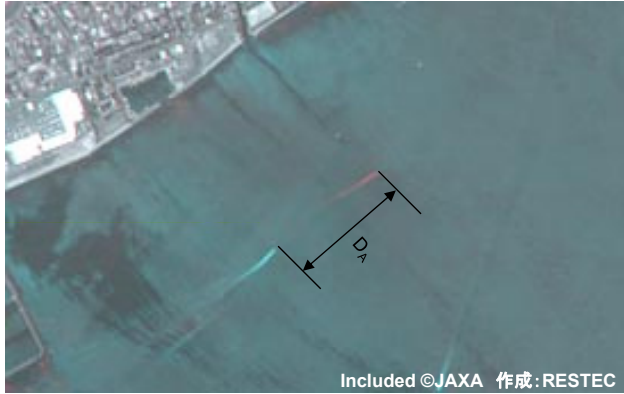


PRISMセンサによる余色立体視画像(赤色:後方視, シアン:前方視) 2006.05.05

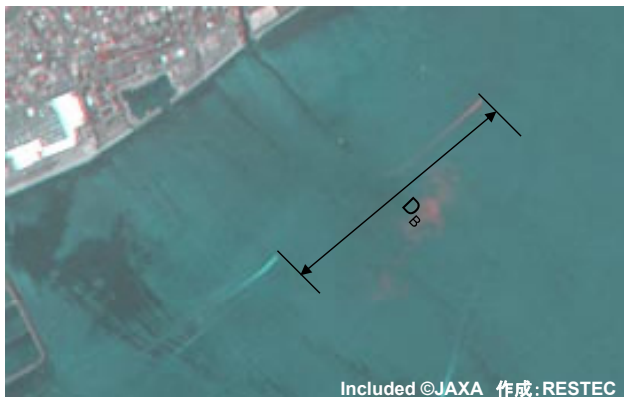


$$\text{前方視と直下視の場合: } h = h_0 + D_A / \tan \theta_A$$

$$\text{前方視と後方視の場合: } h = h_0 + D_{AB} / (\tan \theta_A + \tan \theta_B)$$



PRISMセンサによる余色立体視画像(赤色:直下視, シアン:前方視) 2006.05.05



PRISMセンサによる余色立体視画像(赤色:後方視, シアン:前方視) 2006.05.05

PRISMの3つの方向からの観測が一定の時間差でおこなわれるため、2つの画像における移動体の位置の違いからその速度を概算することができます。

とくに、同じ高さを移動する船などの場合は、その高さを基準として画像を重ね合わせることで視差の影響を考慮することなく、速度を計算することが可能となります。

ここでは、PRISMのステレオデータを用いて移動する船の速度を概算します。速度は2つの画像における移動体の位置の差をD、2つの画像が観測された時間差をTとすると、下記のような式で表されます(添え字のAは前方視と直下視の場合、Bは前方視と後方視の場合)。

$$\text{前方視と直下視の場合: } V = D_A / T_A$$

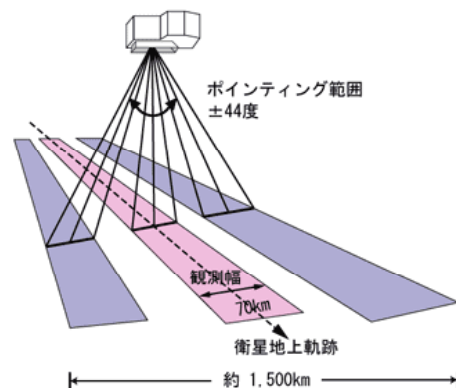
$$\text{前方視と後方視の場合: } V = D_B / T_B$$

マルチスペクトル放射計：ALOS AVNIR-2



「だいち」(ALOS)に搭載した AVNIR-2で観測したインドネシアメラピ火山、噴煙が明瞭に見え、火口から山体に火山灰が広がる様子が見えます

Advanced Visible and Near Infrared Radiometer -2
(高性能可視近赤外放射計2型)の概要



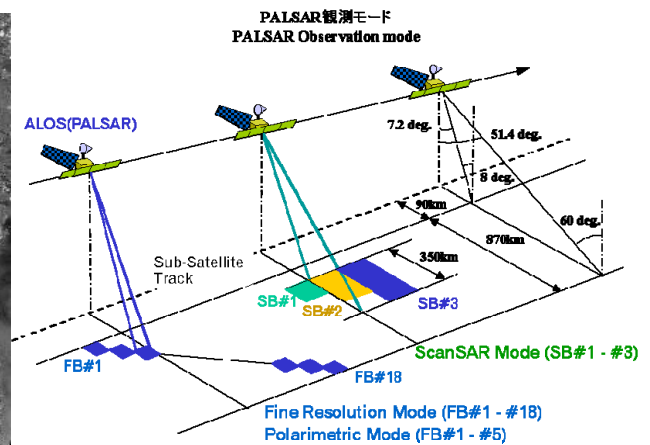
観測波長帯	Band 1: 0.42～0.50 μm
	Band 2: 0.52～0.60 μm
	Band 3: 0.61～0.69 μm
	Band 4: 0.76～0.89 μm
地上分解能	10m(直下視)
観測幅	70km(直下)
ポインティング角	±44°(クロストラック方向)

出典:「JAXAホームページ」より

合成開口レーダ：ALOS PALSAR



2006年7月4、佐渡を含む新潟市を「だいち」(ALOS)に搭載したフェーズドアレイ方式Lバンド合成開口レーダ(PALSAR)の広域観測モードで観測した画像の一部を示したものです

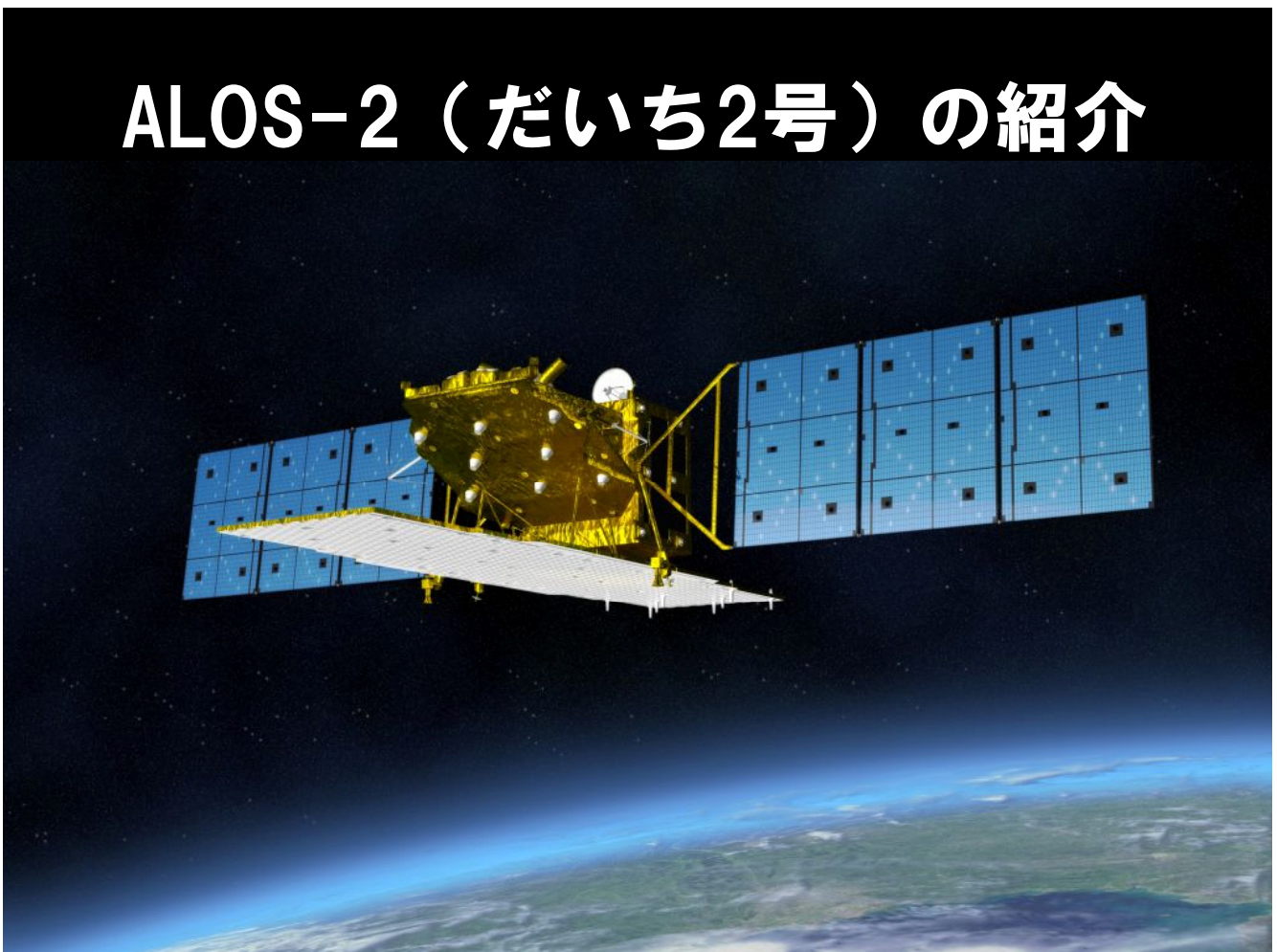


PALSAR 主要性能

項目	高分解能モード	広域観測モード
周波数帯	L-band (1.2GHz 帯)	
分解能	10m (2ルック) 20m (4ルック)	100m
観測幅	70km	250～350km
オフナディア角	18～48度	

出典:「JAXAホームページ」より

ALOS-2（だいち2号）の紹介



ALOS-2について

プロジェクトの目的 (JAXA/ALOS-2Webサイトより抜粋)

1. 大規模自然災害への利用実証

国内外の大規模自然災害に対して、高分解能かつ広域の観測データを迅速に取得・処理・配信するシステムを構築し、関係機関の防災活動、災害対応において利用実証を行うことを目指します

2. 平常時のニーズへの対応

国土管理や資源管理など衛星の運用の過半を占める平常時のニーズにも対応した多様な分野における衛星データの利用拡大を図ることを目指します
(穀物等の生育状況把握、地球規模環境課題の解決、資源、エネルギー供給の円滑化に役立つ：資源調査等に役立つ)

搭載センサ

1. PALSAR-2 : Phased Array-type Synthetic Aperture Radar -2

合成開口レーダ。メインセンサ。Lband

2. CIRC : Compact Infrared Camera

非冷却型赤外検出器。森林火災、火山観測等への応用。実験センサ。

PALSAR-2が右offnadir30度を観測している際に直下を向いて観測できる

3. SPAISE2 : SPace based Automatic Identification System Experiment 2

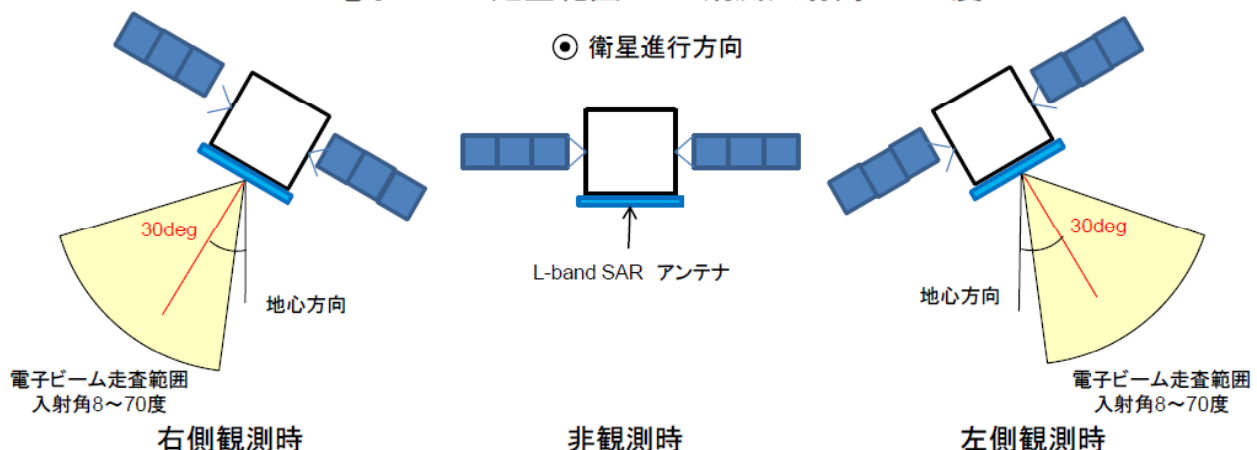
人工衛星搭載のAIS (自動船舶識別装置) の実験センサ。

PALSAR-2の観測概念図

- 衛星姿勢の変更により左・右視観測が可能 (ALOS/PALSARは右観測のみ)

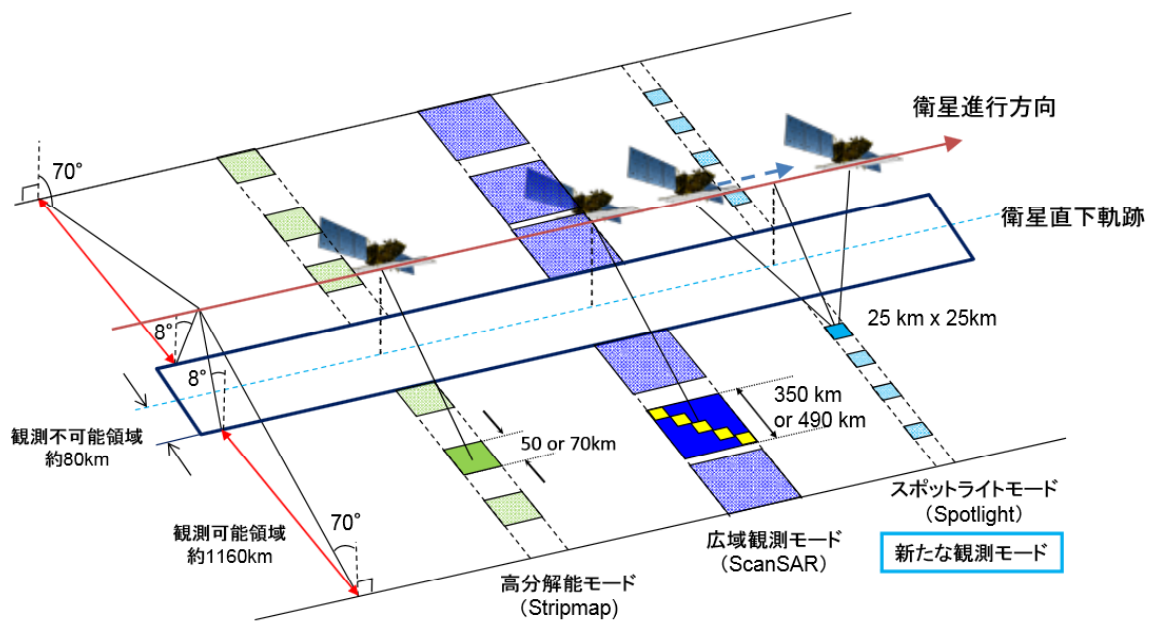
- 非観測時 : アンテナ法線方向 $\Rightarrow$ 地心方向

- 観測時 : アンテナ法線方向 $\Rightarrow$ ロール角 $\pm 30\text{deg}$
: 電子ビーム走査範囲 $\Rightarrow$ 観測入射角 $8 \sim 70\text{度}$



観測モードの変更は約2秒で可能
観測方向の変更は時間がかかる

複数の観測モードが選択可能



衛星の姿勢を傾けて左・右の観測が可能
近くからより遠くまでビームをあてることが可能



観測頻度の向上
応急対応の向上

PALSAR-2センサ

観測モード	SPOT LIGHT	高分解能					広域観測		
		3m	6m	10m			ScanSAR 350km	ScanSAR 490km	
空間分解能 (m)	Rg x Az 3 x 1	3	6	10			100 (3look)	100 (3look)	60 (1.5 look)
観測幅 (km)	Rg x Az 25 x 25	50	50	40	70	30	350 (5Scan)	350 (5Scan)	490 (7Scan)
偏波	1	1 or 2	1 or 2	4	1 or 2	4	1 or 2	1 or 2	1 or 2

ALOS/PALSARセンサからの主な変更点

- 高分解能化 (10m 3m x 1m)
- ScanSAR観測範囲拡大 (350km 490km)
- 全偏波観測 (ポラリメトリ観測) の一般化 実験モードから格上げ
- 左右観測による観測幅拡大: 870km 2300km
- 緊急観測時の頻度向上 リクエストは最短1時間前 (ALOSは5時間)
- 日本は12時間以内、アジア域は24時間以内に観測
- 観測後1時間程度での画像提供 (ALOSは3時間)

商業用高分解能衛星画像

1994年、米国政府の規制緩和により、偵察衛星技術を民生用に転用した商用観測衛星事業が認められた。1999年9月に民生用では世界初の1 m (最高82 cm)解像度を実現した「IKONOS」衛星が打ち上げられた。

2013年、商用衛星世界初の動画撮影機能を持つ小型衛星「SkySat-1」が打ち上げられ、今後24機のコンステレーション観測を予定。

2014年、分解能31cmと商用で世界最高の解像度を持つ光学地球観測衛星「WorldView-3」が打ち上げられた。

- IKONOS
- SkySat-1
- WorldView-3

民生用では初の1 m解像度を実現したIKONOS



打上げ：1999年9月

重量：720 kg

高度：680 km、軌道傾斜角：98.1°

観測幅：11.3 km

観測バンド：

multispectral

Blue :0.45~0.52 μm

Green :0.52~0.60

Red :0.63~0.69

NIR :0.76~0.90

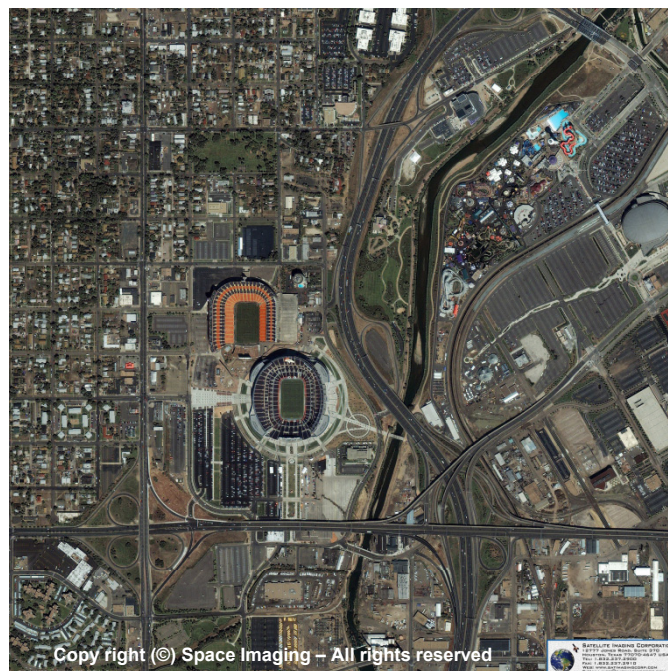
Panchromatic :0.45~0.92

分解能（パנקロ）：0.82m（直下）、
1m（26° Off-Nadir）

ポインティング：60°、通常は<45°

再撮像日数：3日

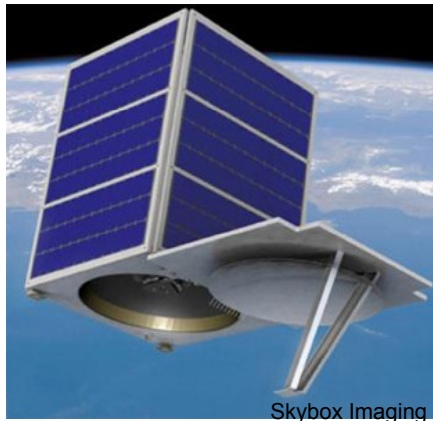
運用会社：米国 GeoEye社



Natural Color, Denver Colorado USA

「IKONOS Satellite Imagery Gallery」より

商用衛星世界初の動画撮影機能を持つSkySat



【特徴】

1. 同一地点を一日数回撮影

24機のコンステレーション配備による運用を予定しており、世界最高となる日中1.5-3時間毎の定点撮影が可能。

2. 100kg級小型衛星で分解能1m以下

パンクロマティックセンサー、4バンドマルチスペクトルセンサーを搭載し、分解能1m以下を実現。

3. 商用衛星世界初 動画撮影機能

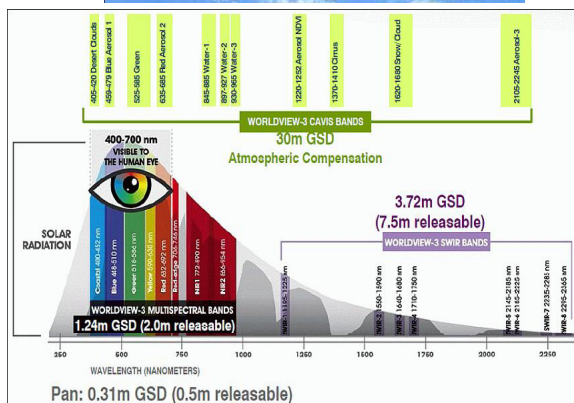
フルモーションビデオ撮影機能を搭載

運用機関	Skybox Imaging
終了日 / ステータス	運用中
観測項目 / 目的	・ 24機のコンステレーションを目指し、2013年に1号機を2014年に2号機を打上げた。コンステレーションにより、1日複数回の同一地点観測を実現。 ・ 1m分解能のパンクロセンサーを搭載、もしくは4バンドマルチスペクトルセンサーを搭載 ・ 商用衛星世界初の動画撮影機能 ・ 日本では日本スペースイメージングが独占配布 ・ 2014年2月、13機の衛星をスペースシステムズグローバル社に発注。2015～2016年に打ち上げる予定。 ・ 2014年6月、Skybox ImagingはGoogle傘下となった。
軌道	太陽同期準回帰軌道
高度	635 km (Skysat-2)
周期	97.3分
軌道傾斜角	98.4度
赤道通過 地方太陽時	10 : 30



SkySat-1 image of Beaton Park in Perth, Australia acquired on Dec. 4, 2013 (image credit: Skybox Imaging)

商用で世界最高の解像度を持つWorldView-3



運用機関	DigitalGlobe
観測項目 / 目的	・ 商用世界最高の地上分解能31cmの「パナクロマチック画像センサー」、16波長帯の「マルチスペクトル画像センサー」と薄雲などの影響を軽減し鮮明な画質を可能にする「大気補正センサー」を搭載 ・ 1ストリップの観測幅は13.1km（直下） ・ 短時間で視野を変えることによる連続広域観測が可能。最大連続広域観測の範囲は、ロングストリップは 360km × 13.1km、5ストリップ観測は112km × 65.5km、2ストリップステレオ観測は 112km × 26.2km
軌道	太陽同期準回帰軌道
高度	617 km
周期	97分
赤道通過地方太陽時	13 : 30
回帰	1日以下（1m解像度） 4.5日（20°オフナディア）



WorldView-3 satellite image capture of the fire in California's Klamath National Forest
(image credit: DigitalGlobe)

The SWIR bands penetrate smoke to differing degrees.
SWIR band 8 has the best smoke penetration; here is a zoomed in shot of the fire line in which no smoke is visible.

まとめ⑤

- 衛星センサの特徴を知り、利用目的にあったものを選択する
 - ・衛星センサの選拓