



# REDD+

Reducing Emission from Deforestation  
and Forest Degradation-plus

平成24年度 基礎講習

## 第6章

# REDDプラスにおける リモートセンシングの役割

独立行政法人 国立環境研究所  
地球環境研究センター  
陸域モニタリング推進室  
林 真智





REDDプラスに係る森林技術者講習会（基礎講習）

# REDDプラスにおける リモートセンシングの役割

林 真智

(独)国立環境研究所 地球環境研究センター  
陸域モニタリング推進室  
hayashi.masato@nies.go.jp

[写真引用：NASAホームページ]



# 1. リモートセンシングとは

## 言葉のうえでのリモートセンシング

- 対象物に接触することなしに、離れた（remote）場所から観測する（sensing）こと。
- 人間の五感（視・聴・嗅・味・触）に例えると、視覚・聴覚・嗅覚に相当。

## 一般的な意味でのリモートセンシング

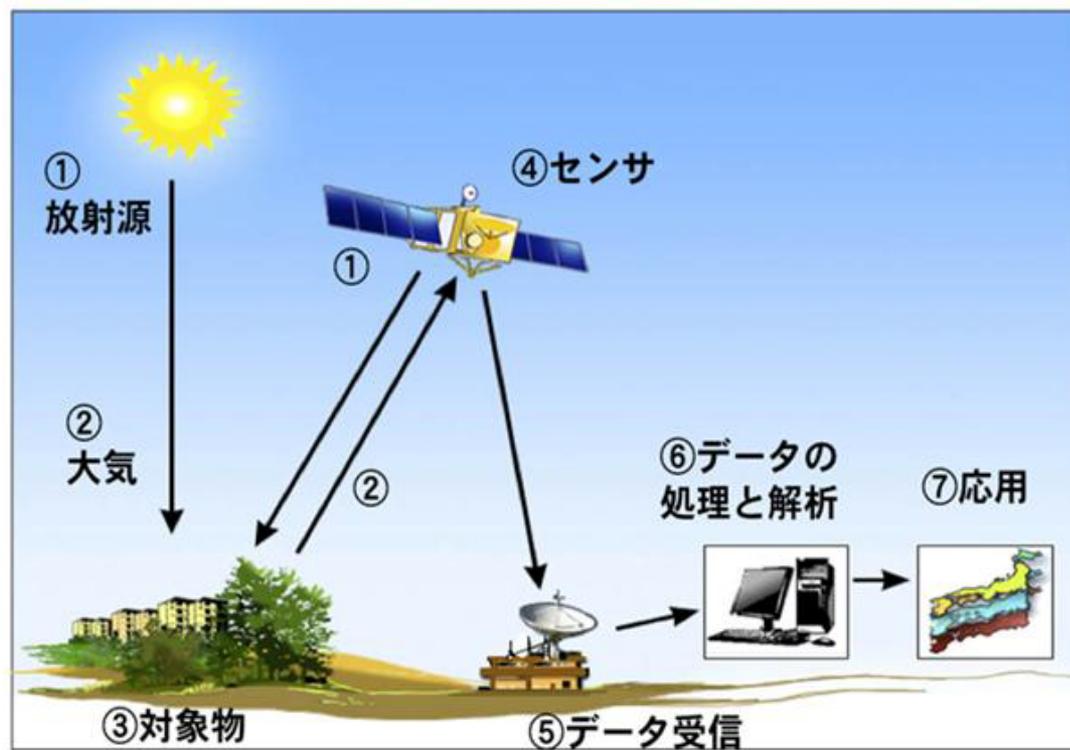
- 人間の五感に例えると、視覚に相当する技術。
- 上空から地球表面あるいは大気を観測し、知りたい情報を得る技術（あるいは科学）。

## 広義のリモートセンシング

- 地上の観測装置で離れた位置の地上または大気を観測することも含める。
- 人間の五感に例えると聴覚に相当する技術も含める。
- 月、惑星を対象とした観測技術も含める。

[文引用：基礎からわかるリモートセンシング（一部改変）]

# 1. リモートセンシングとは

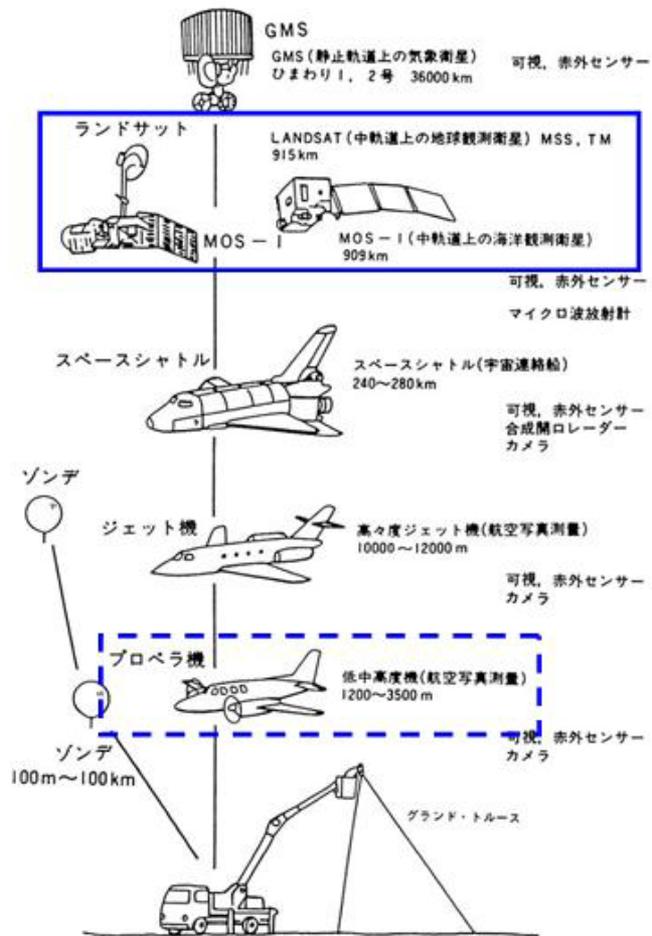


[図引用：基礎からわかるリモートセンシング]

- ① 放射源 = 太陽・地球（自然の放射源）、レーダ等の送信機（人工の放射源）。
- ② 大気 = 大気による吸収・散乱・放射の影響を受ける。
- ③ 対象物 = 対象物から上空に向かう電磁波は対象物の特性によって決まる（対象物の情報を含んでいる）。



# 2. プラットフォーム



高度

観測範囲

空間分解能

高  
↑  
↓  
低

広  
↑  
↓  
狭

粗  
↑  
↓  
細



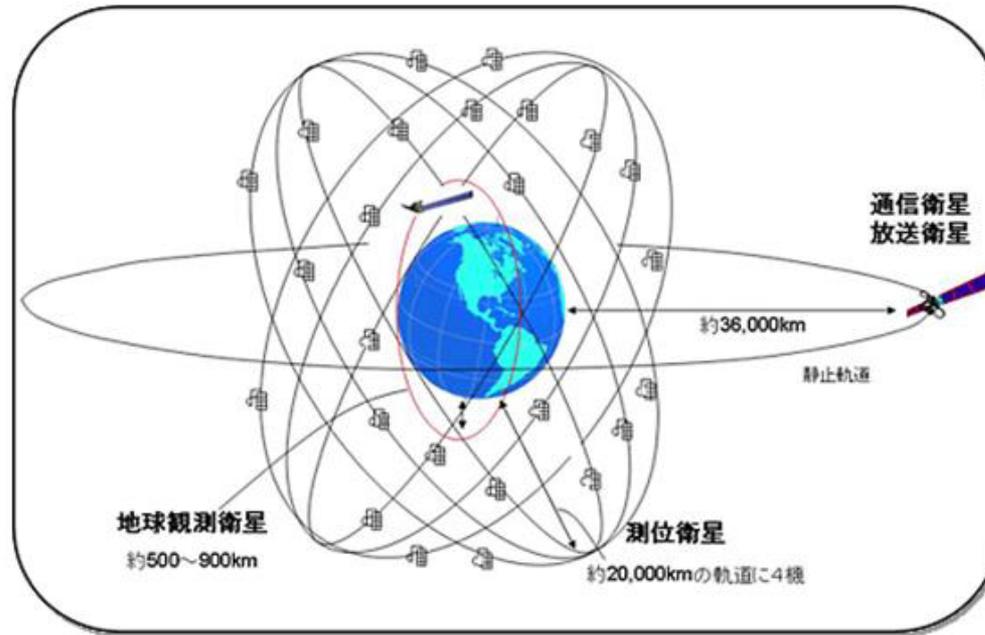
REDDプラスにおける利用が想定されるプラットフォーム

[図引用：図解リモートセンシング]





### 3. 衛星軌道



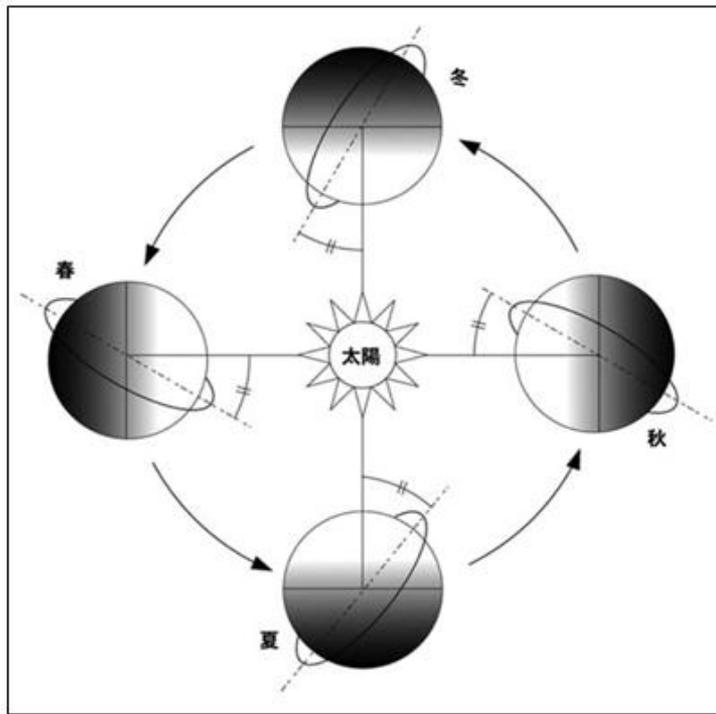
[図引用：RESTECホームページ]

- ❖ 静止軌道 = 地球の自転と同じ速度で衛星が飛行できる軌道。赤道上空約36,000kmにあり、通信・放送・気象などの衛星に利用される。
- ❖ 極軌道 = 南北両極のほぼ上空を通過し、赤道にほぼ直交する軌道。全球を観測できるため、多くの地球観測衛星に利用される。



### 3. 衛星軌道

#### 太陽同期軌道



[図引用：基礎からわかるリモートセンシング]

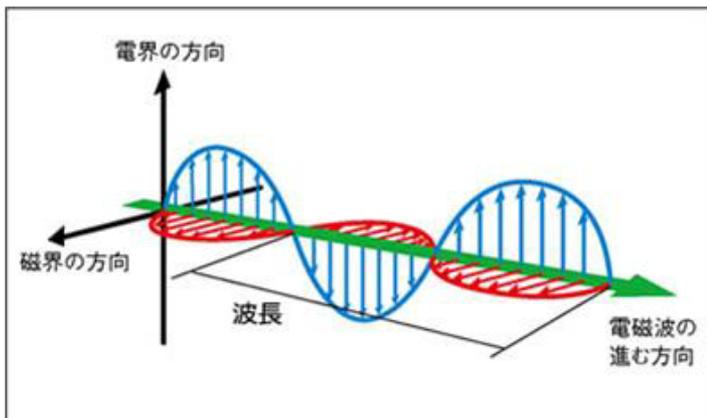
- ❖ **太陽同期軌道** = 観測地域の太陽方位角が一定（地方平均太陽時が一定）となる軌道。水蒸気の影響を低減するため、午前の軌道を探ることが多い。太陽光の当る向きが一定となり、画像同士の比較がしやすくなる。
- ❖ **準回帰軌道** = 数日後に地表面から見て元と同じ位置を通る軌道。Landsat（4号以降）の回帰日数は16日。

多くの地球観測衛星は、太陽同期軌道と準回帰軌道を組み合わせた極軌道を利用。



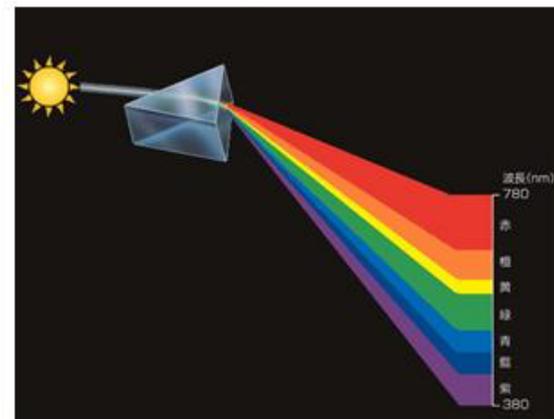
# 4. 電磁波

電磁波とは

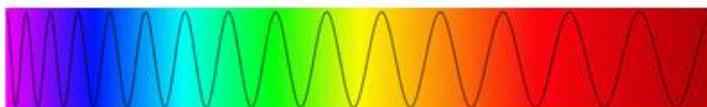


[図引用：文部科学省ホームページ]

波長に応じた太陽光の分離



[図引用：高嶋技研ホームページ]



[図引用：広島大学ホームページ]

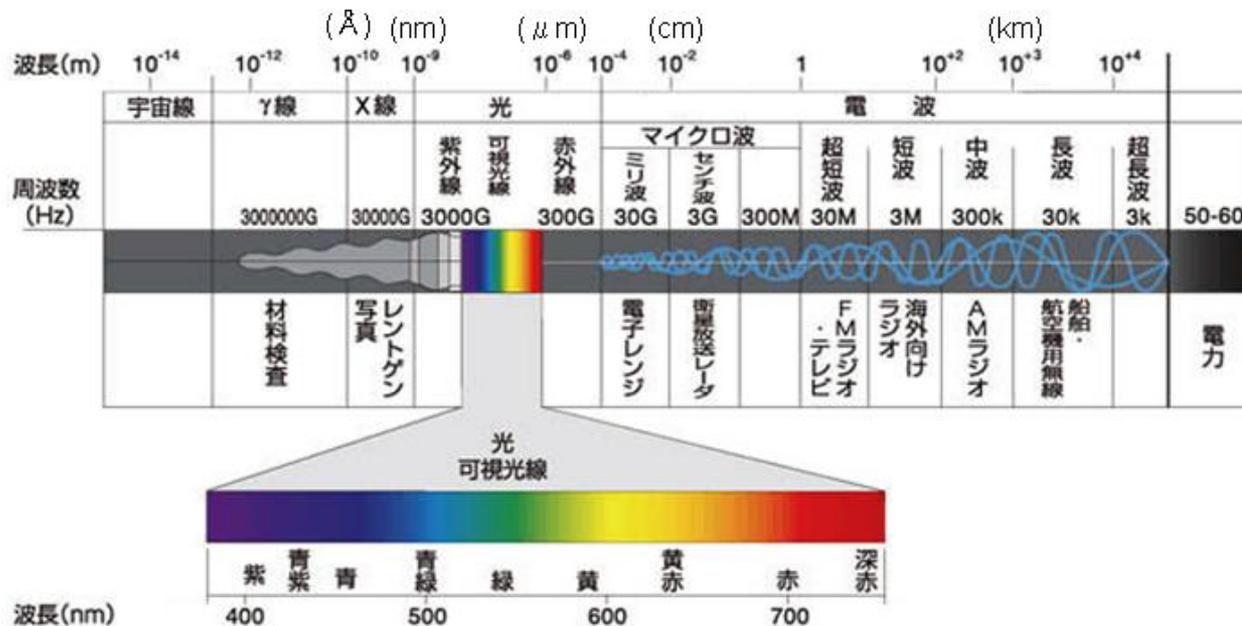
❖ 電界(電場)と磁界(磁場)が相互に作用しながら空間を伝播する波。





# 4. 電磁波

電磁波の呼称



[図引用：スガツネ工業ホームページ(一部改変)]

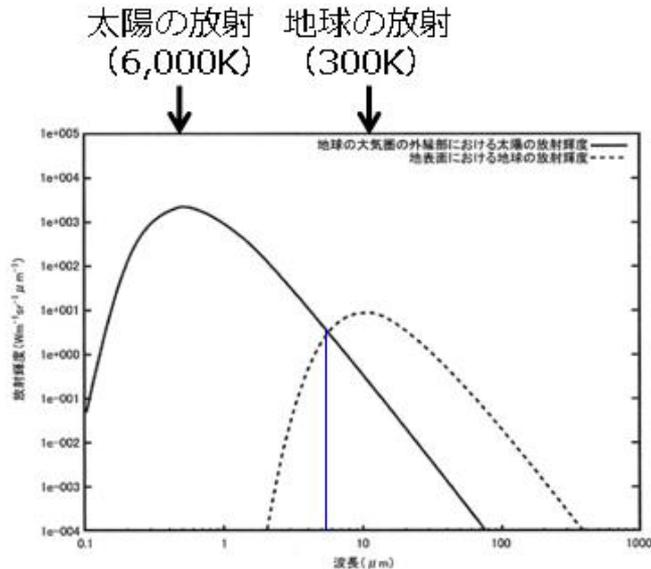
- ❖ リモートセンシングに用いられるのは、光（紫外線、可視光線、赤外線）とマイクロ波。
- ❖ 赤外線には「近赤外－中間赤外－遠赤外」と「短波長赤外－中波長赤外－長波長赤外」という2つの区分があるが、リモートセンシング分野では混合して用いることが多い。





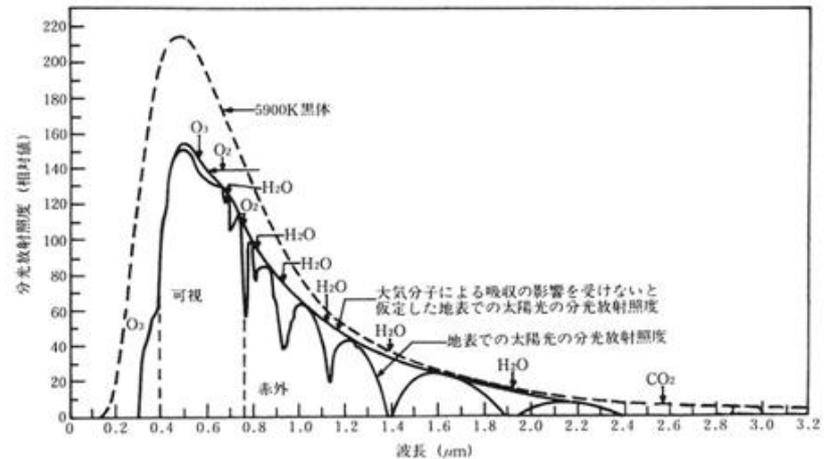
# 4. 電磁波

太陽と地球の放射



[図引用：はじめてのリモートセンシング]

大気による太陽光の散乱・吸収



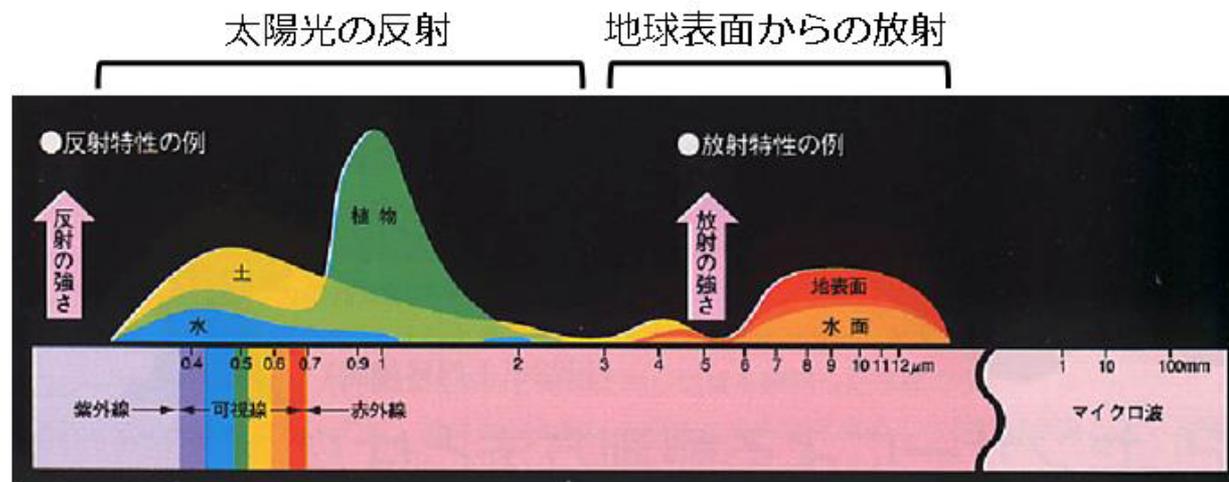
[図引用：図解リモートセンシング]

- ❖ スペクトル = 波長によって光の強さが変化する様子。
- ❖ プランクの法則 = 物体から放射される光のスペクトルは物体の温度に依存する。
- ❖ 太陽放射は約 $0.5\mu\text{m}$ 、地球放射は約 $10\mu\text{m}$ にピーク。各々が卓越する波長の境は約 $3\mu\text{m}$ 。
- ❖ 太陽光が地表面に到達するまでに、地球大気による吸収・散乱の影響を受ける。

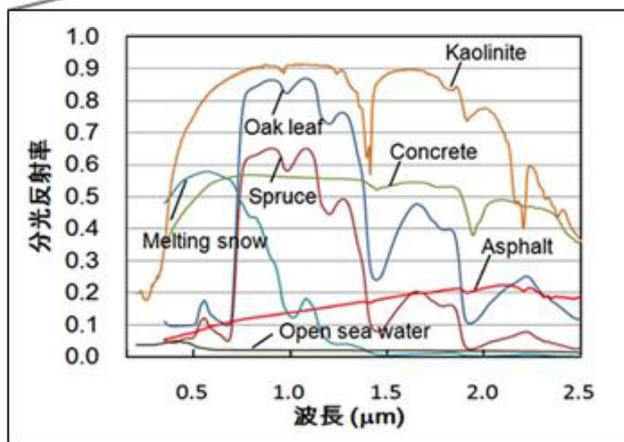




# 5. スペクトル特性



[図引用：RESTECホームページ]



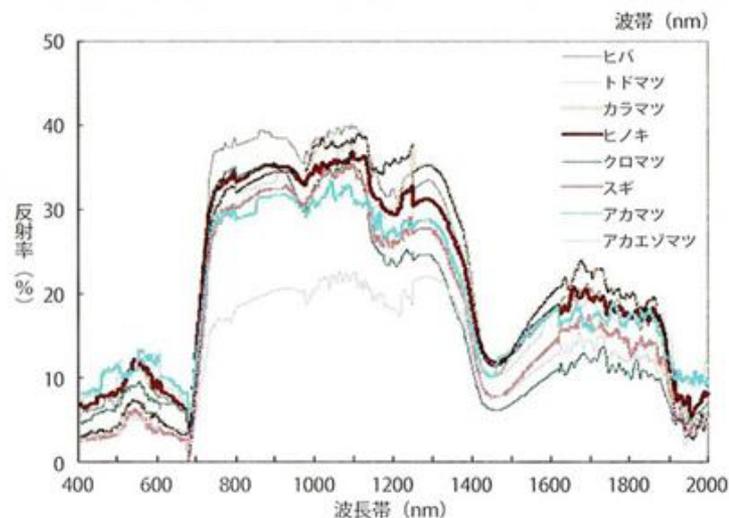
[図引用：基礎からわかるリモートセンシング]

- Kaolinite = 陶磁器やセメントに用いられる粘土質鉱物。
- Oak = ナラ・カシ (広葉樹)。
- Spruce = トウヒ (常緑針葉樹)。

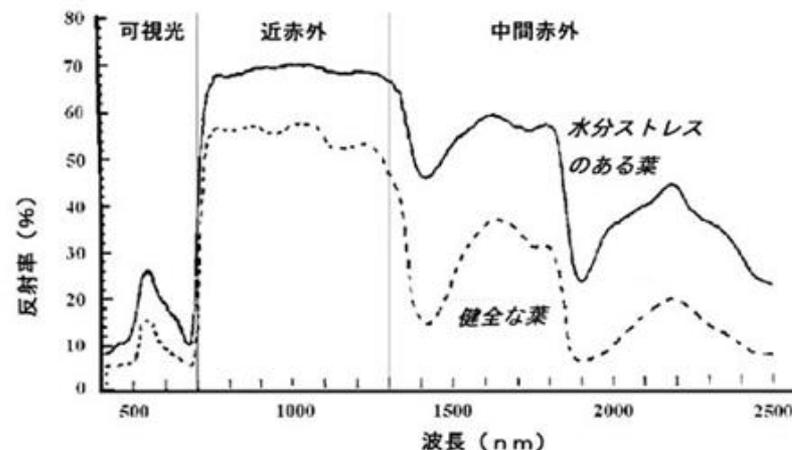


## 5. スペクトル特性

### 樹木（葉）のスペクトル



[図引用：森林リモートセンシング第3版]

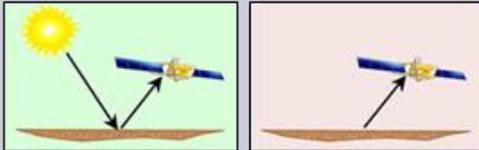
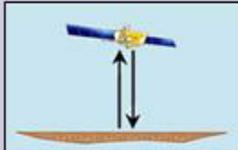
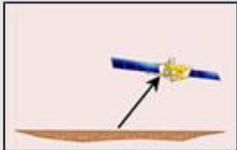
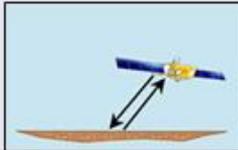


[図引用：森林総合研究所ホームページ]

- ❖ クロロフィル（葉緑素）の吸収が大きい青・赤領域の反射率は低く、吸収がやや小さい緑領域の反射率はやや高い。近赤外の反射率は全般的に高い。
- ❖ スペクトル特性は樹種により異なる他、病虫害、温度や水ストレスの影響や生長に伴っても変化する。
- ❖ 近赤外の特定の波長帯における反射率の低下は、水による吸収の影響。



## 6. センサ分類

	受動型	能動型
光学	<p>光学画像センサ スペクトロメータ</p> 	<p>ライダー (LiDAR)</p> 
マイクロ波	<p>マイクロ波放射計</p> 	<p>合成開口レーダ マイクロ波高度計 降雨レーダ</p> 

[図引用：基礎からわかるリモートセンシング]

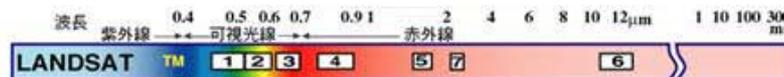
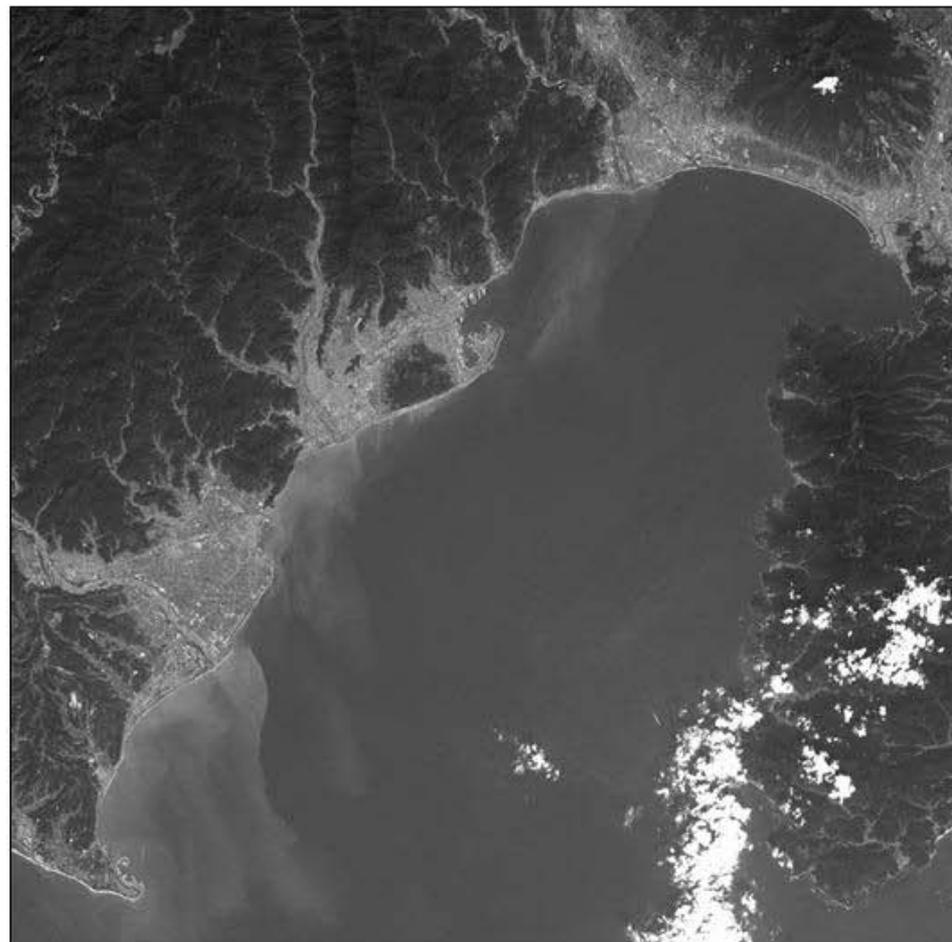
- ❖ REDDプラスにおける利用が想定されるのは、主に『光学画像センサ』と『合成開口レーダ』。



## 7. 波長帯別に見た画像

バンド1  
0.45 - 0.52  $\mu\text{m}$  (青)

Landsat-7/ETM+  
1999/11/13撮影  
静岡県駿河湾周辺

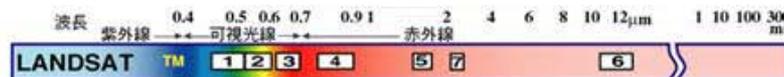
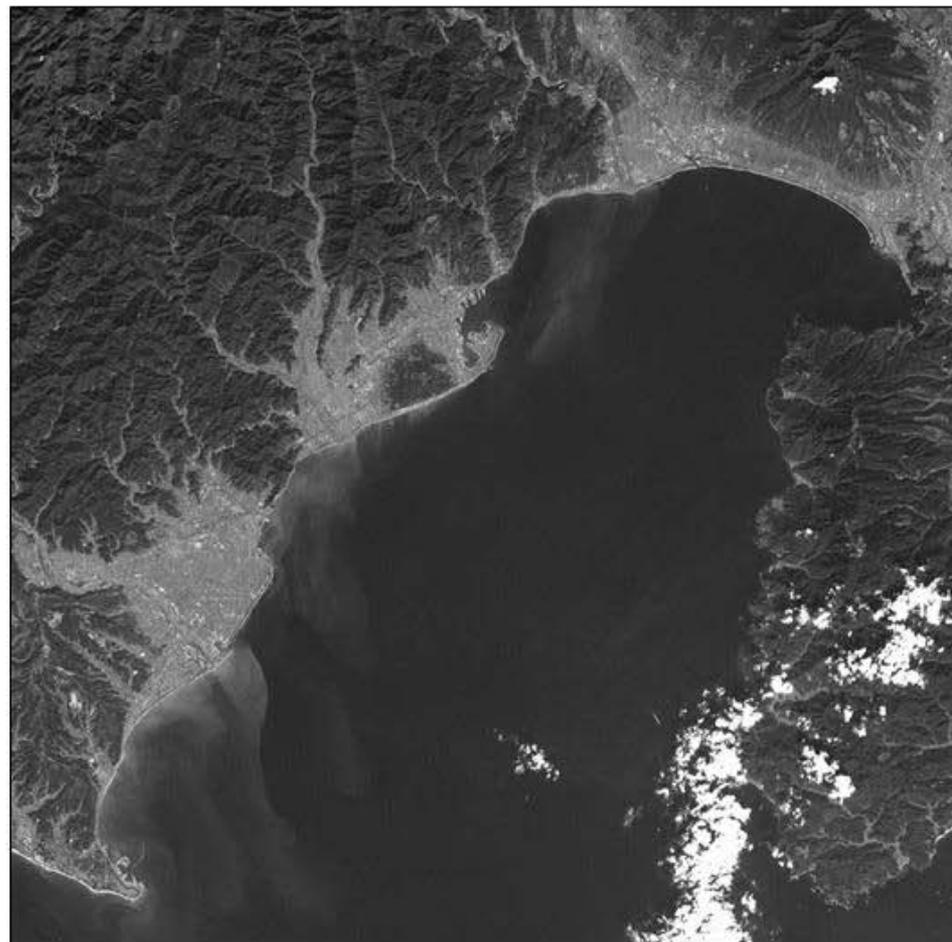




## 7. 波長帯別に見た画像

バンド2  
0.52 - 0.60  $\mu\text{m}$  (緑)

Landsat-7/ETM+  
1999/11/13撮影  
静岡県駿河湾周辺

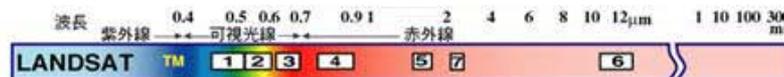




## 7. 波長帯別に見た画像

バンド3  
0.63 - 0.69  $\mu\text{m}$  (赤)

Landsat-7/ETM+  
1999/11/13撮影  
静岡県駿河湾周辺

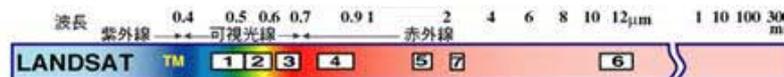
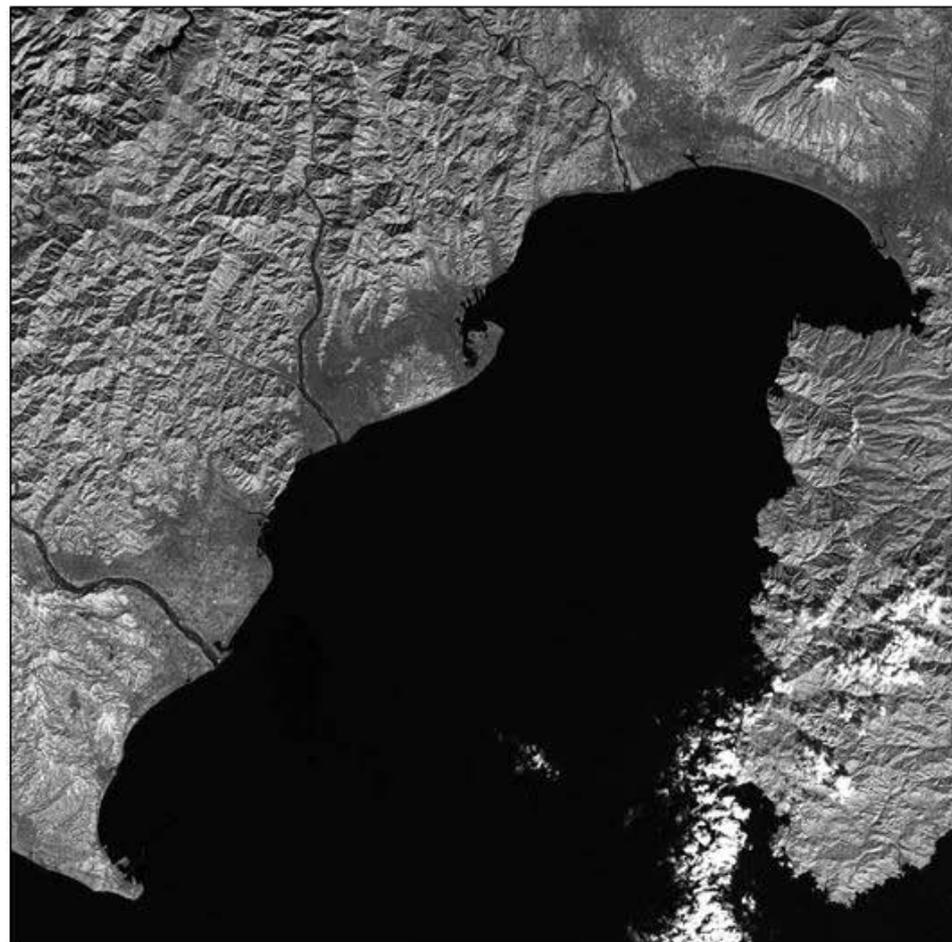




# 7. 波長帯別に見た画像

バンド4  
0.76 - 0.90  $\mu\text{m}$  (近赤外)

Landsat-7/ETM+  
1999/11/13撮影  
静岡県駿河湾周辺

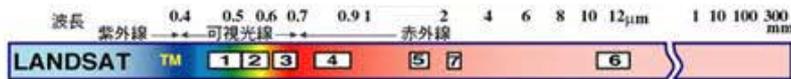




# 7. 波長帯別に見た画像

バンド5  
1.55 - 1.75  $\mu\text{m}$   
(短波長赤外)

Landsat-7/ETM+  
1999/11/13撮影  
静岡県駿河湾周辺

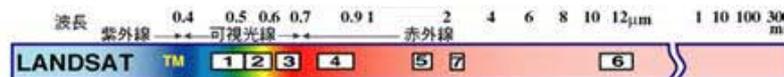




## 7. 波長帯別に見た画像

バンド7  
2.08 - 2.35  $\mu\text{m}$   
(短波長赤外)

Landsat-7/ETM+  
1999/11/13撮影  
静岡県駿河湾周辺

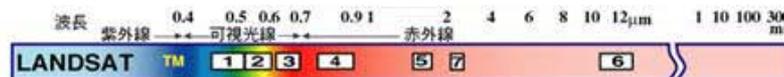
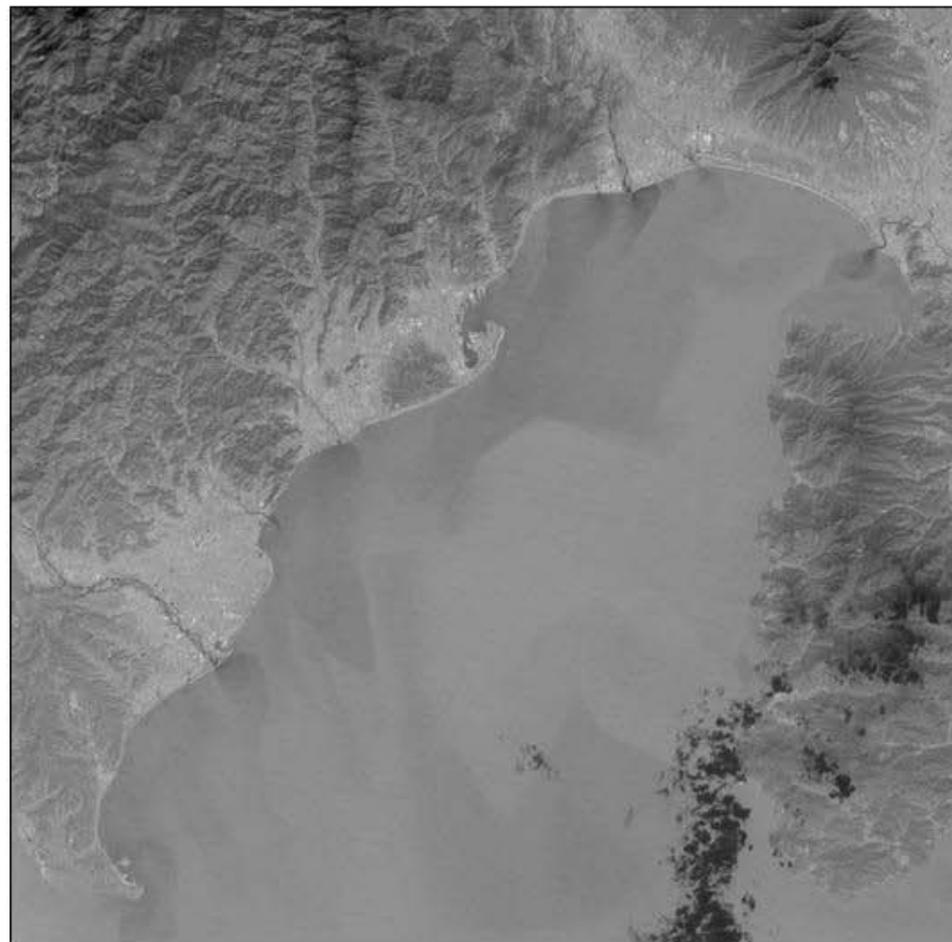




## 7. 波長帯別に見た画像

バンド6  
10.40 - 12.50  $\mu\text{m}$   
(遠赤外/熱赤外)

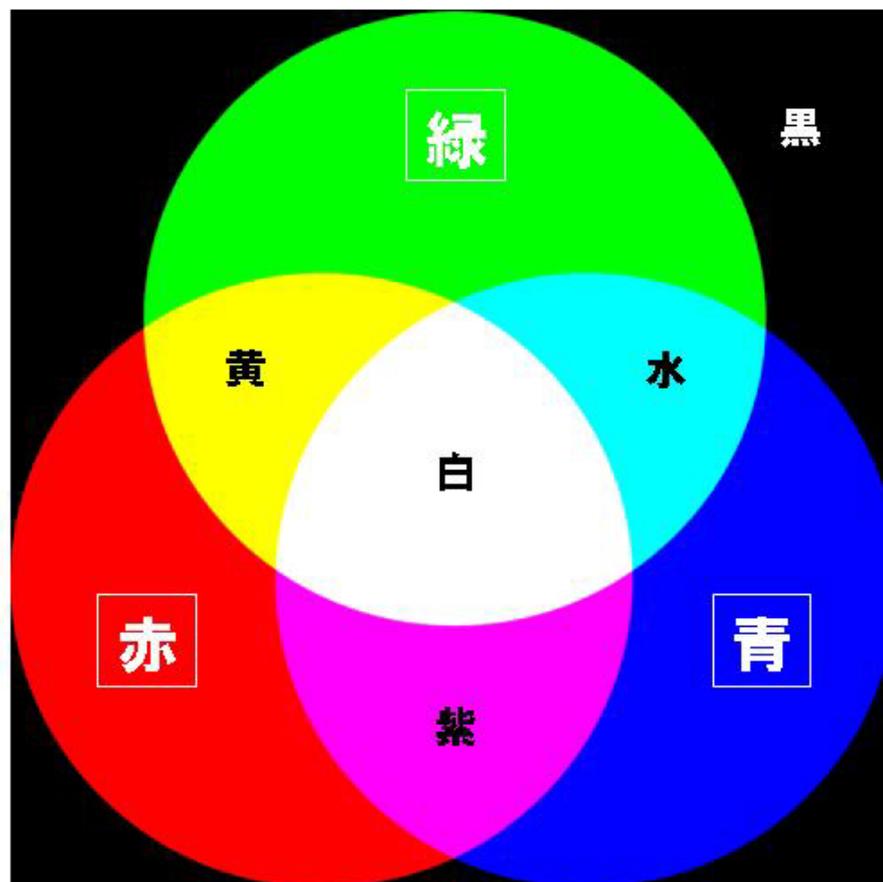
Landsat-7/ETM+  
1999/11/13撮影  
静岡県駿河湾周辺





## 8. カラー合成画像

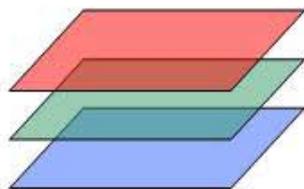
光の三原色による加法混色



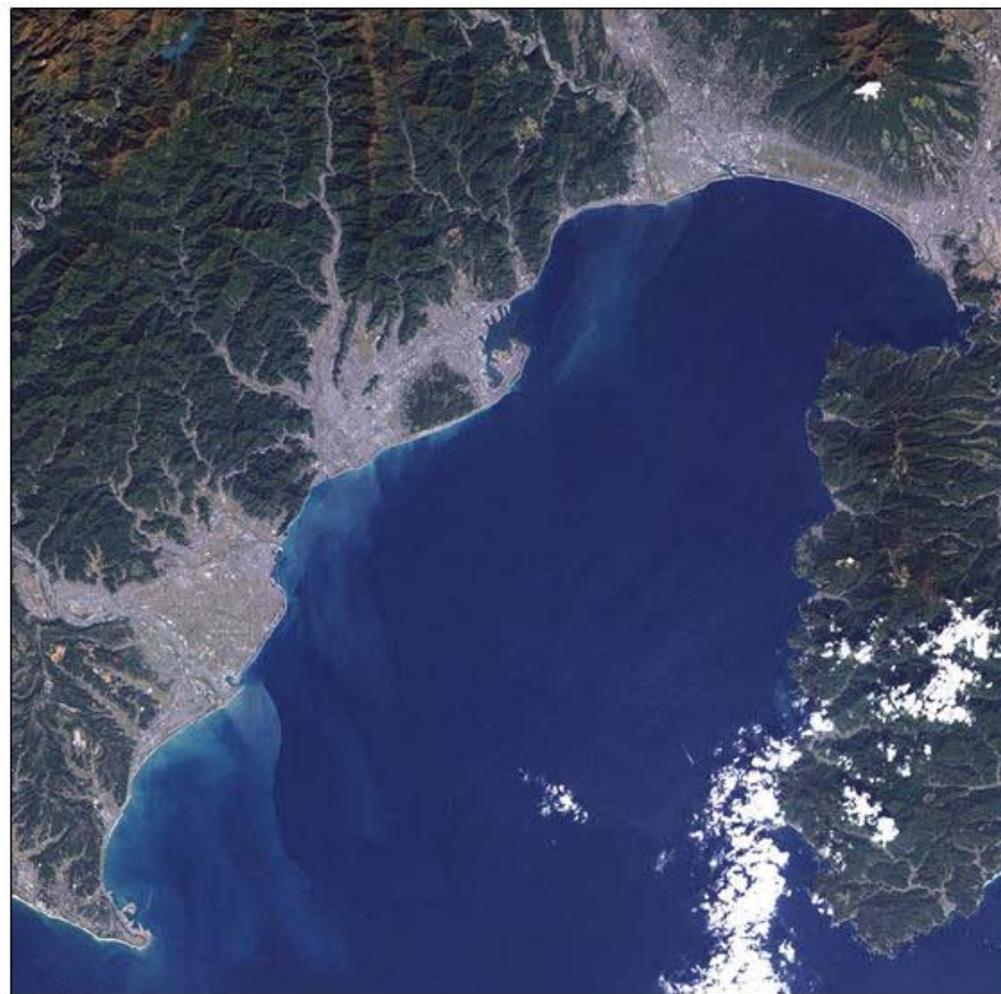


## 8. カラー合成画像

トゥルーカラー画像



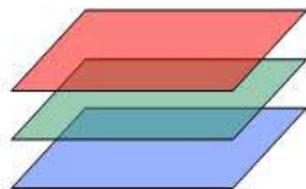
赤 = バンド3 (赤)  
緑 = バンド2 (緑)  
青 = バンド1 (青)





## 8. カラー合成画像

フォールスカラー画像



赤 = バンド4 (近赤外)  
緑 = バンド3 (赤)  
青 = バンド2 (緑)



## 9. 植生指標

### 正規化植生指標画像

- ❖ 赤・近赤外の2バンドの差を両者の和で除した Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) が、植物の量や被覆率等に関する指標として利用される。

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$





## 10. 光学センサの性能

### 性能を規定する主な諸元

- 空間分解能 = どれくらい細かい物まで識別できるか（1画素のサイズ）。
- 波長分解能 = どれくらいの波長範囲を、いくつに分けて観測できるか（バンド数）。
- 時間分解能 = どれくらいの時間間隔で観測できるか（回帰日数）。

[文引用：森林リモートセンシング第3版]

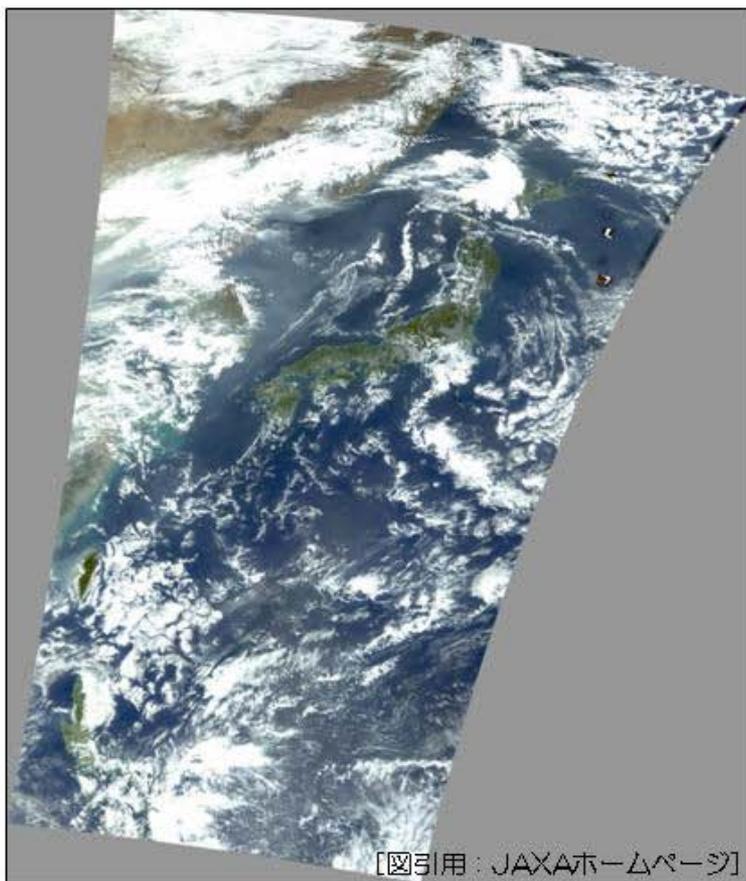
### センサ選択時に考慮する点

- 上記性能のすべてが優れているセンサはないため、目的に応じて選択する。
- 特に空間分解能と時間分解能とが両立したセンサを実現することは困難で、基本的に両者はトレードオフの関係にある。
- 他にも、ポインティング機能やアーカイブの豊富さ、費用等も考慮する。



# 11. 観測幅と空間分解能

## 観測幅の比較



[図引用：JAXAホームページ]

MODIS : 2,330 km

Landsat : 185 km

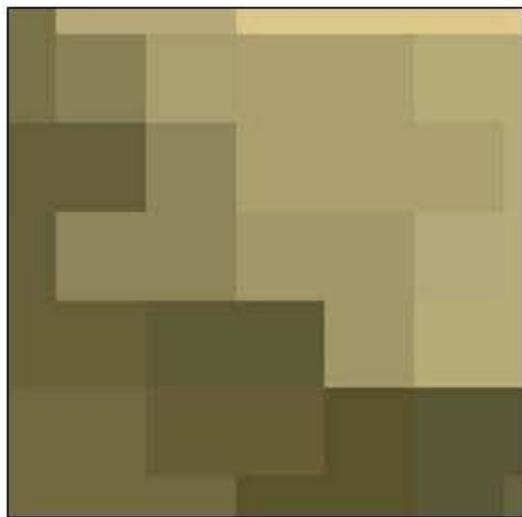
IKONOS : 11 km





# 11. 観測幅と空間分解能

## 空間分解能の比較



MODIS : 500 m



Landsat : 30 m



[図引用：日本スペースイメージング  
ホームページ]

IKONOS : 4 m

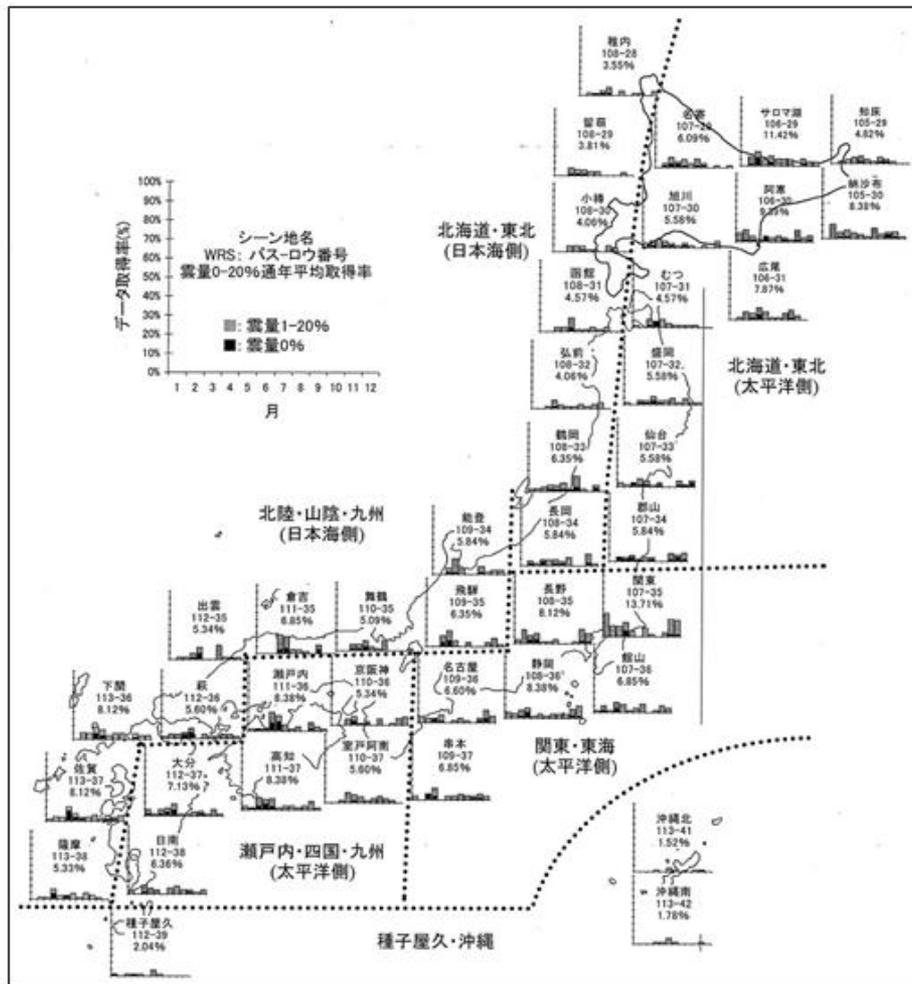
※ 3 km四方の範囲を比較して表示。



# 12. 雲被覆

秋山&川村(2003)の報告

- ❖ Landsat-5が17年間に撮影した画像の雲量を調べた所、快晴の画像（雲量20%以下）が撮影される確率は国内平均で6.17%。
- ❖ Landsat-5の回帰日数は16日であるため、平均256日に1度しか快晴の画像は得られない。
- ❖ 快晴画像が得られる確率が高いのは関東（13.71%）、低いのは沖縄北（1.52%）。



[図引用：秋山&川村, 2003]





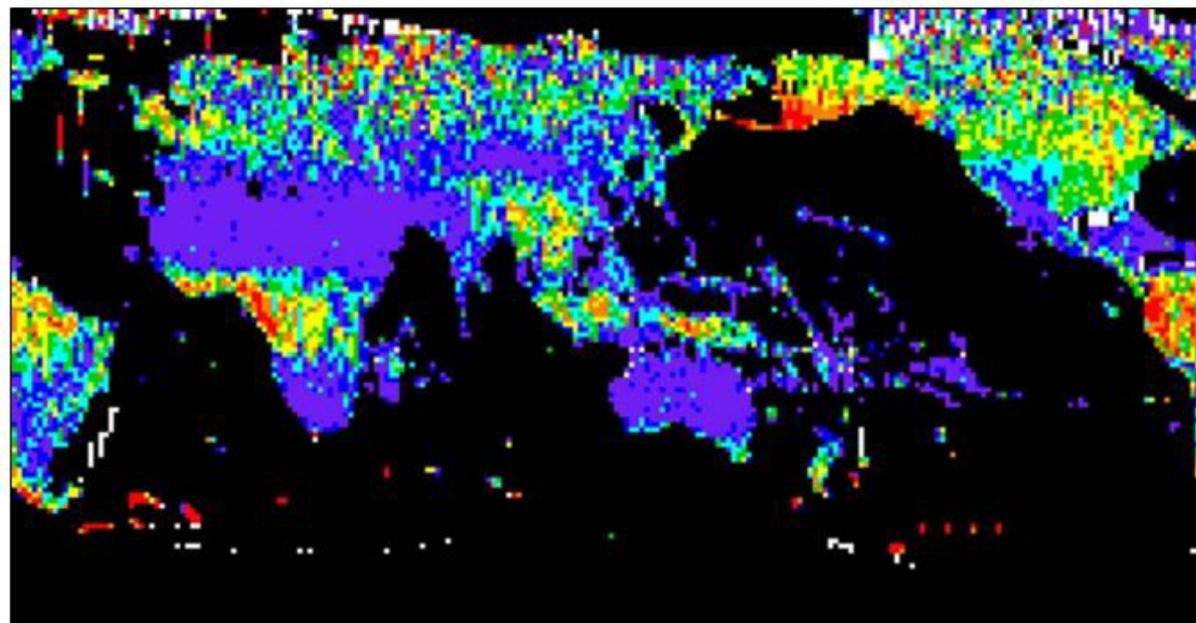
## 12. 雲被覆

### Ju & Roy (2008)の報告

- ❖ Landsat-7が2002年に撮影した画像の雲量から、シーン毎の平均雲被覆率を算定。
- ❖ 平均雲被覆率の全球平均は0.35。熱帯雨林地域で高く、砂漠や乾燥地域で低い。

#### 2002年の平均雲被覆率

紫	: 0~0.2
濃青	: 0.2~0.3
薄青	: 0.3~0.4
緑	: 0.4~0.5
黄	: 0.5~0.6
橙	: 0.6~0.7
赤	: 0.7~1.0



[図引用: Ju&Roy, 2008]



## 13. 合成開口レーダ

- ❖ 合成開口レーダ（Synthetic Aperture Radar; SAR）はマイクロ波を利用する能動型センサで、雲を透過して観測でき、夜間でも観測できる。

光学センサ画像

Landsat-5/TM 1992年4月23日



SAR画像

JERS-1/SAR 1992年4月23日

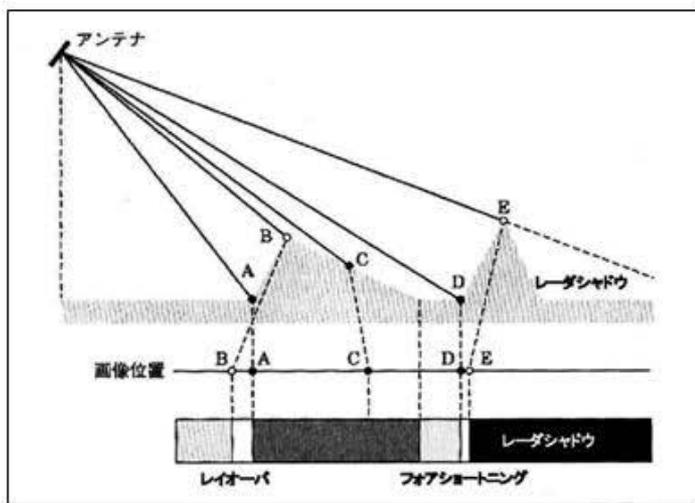


[図引用：JAXAホームページ]

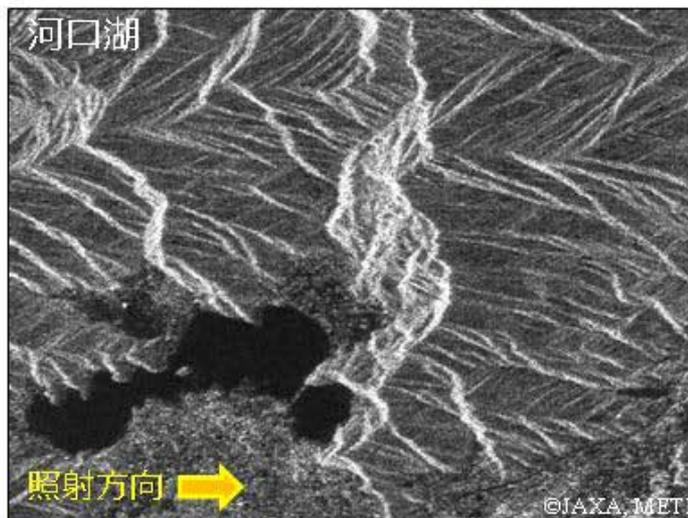
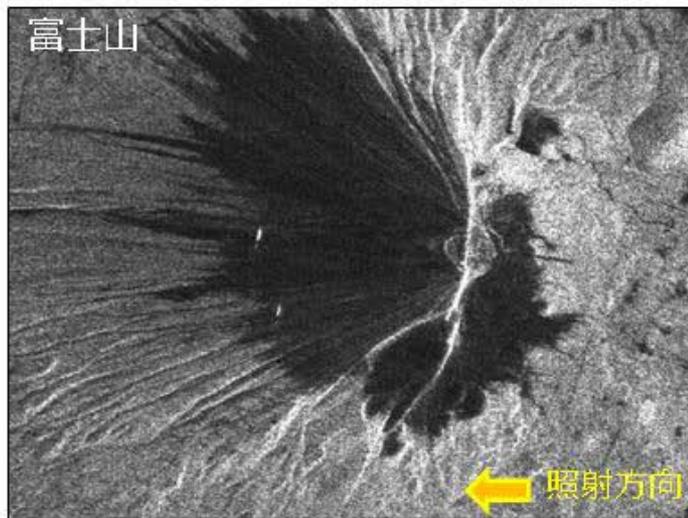


# 13. 合成開口レーダ

## SAR画像における地形効果



「農業リモートセンシングハンドブック(大内2004に加筆)より転載」



「リモートセンシングのための合成開口レーダの基礎」 大内和夫著 東京電機大学出版局 2004  
 「農業リモートセンシング・ハンドブック」秋山・石塚・小川・岡本・斎藤・内田編著 システム農学会 2007

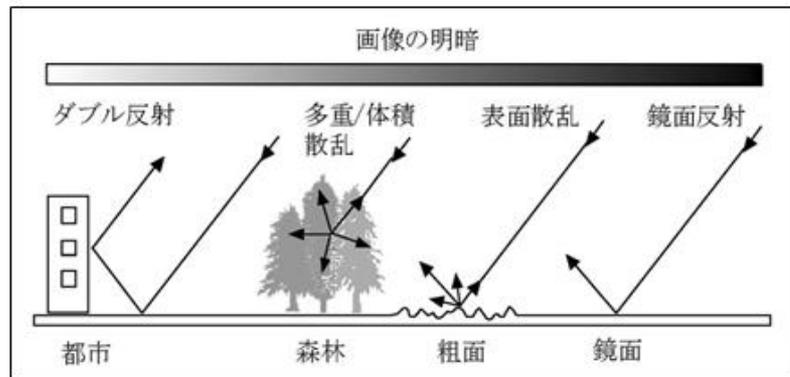
©JAXA, METI



# 13. 合成開口レーダ

## SAR画像の特徴

- ❖ 地表面で**後方散乱**されたマイクロ波を観測している。
- ❖ ごま塩状のノイズである**スペックル**が画像全体に現れる。



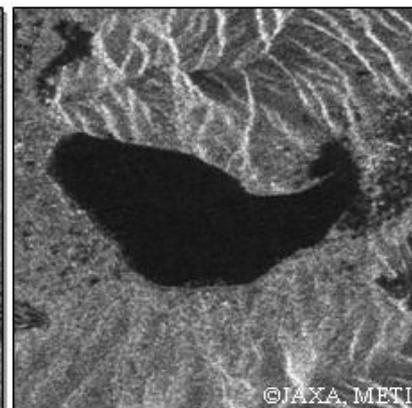
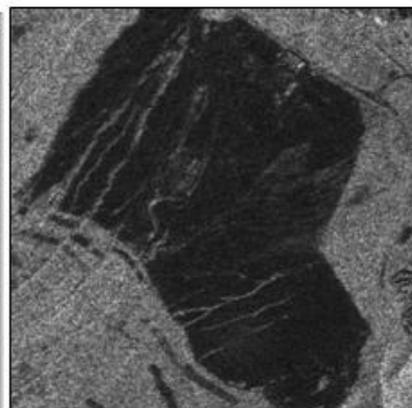
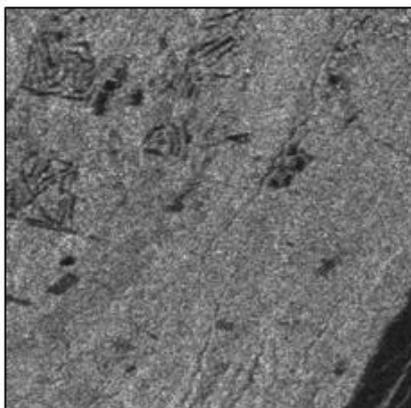
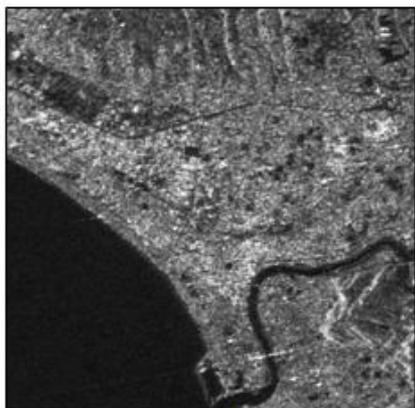
[図引用：基礎からわかるリモートセンシング]

市街地  
(沼津市)

森林  
(富士北麓)

草地  
(北富士演習場)

水面  
(山中湖)



©JAXA, METI

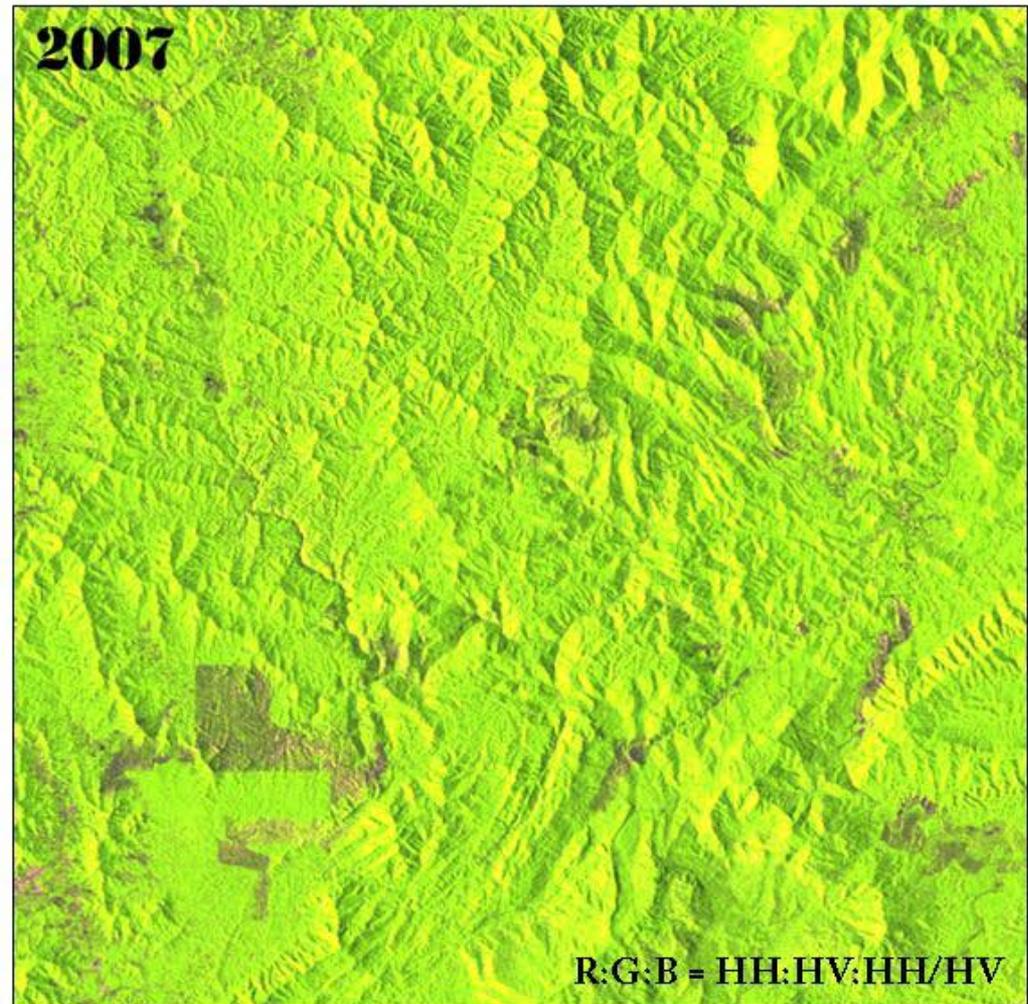
照射方向



# 13. 合成開口レーダ

## 偏波画像の利用

- ❖ マイクロ波の電界の振動方向を偏波と呼ぶ。
- ❖ ALOS/PALSARは送受信それぞれで水平(H)・垂直(V)の偏波を切り替えられるため、4種類の偏波画像を観測。
- ❖ 偏波画像をカラー合成することで、森林・非森林を区別できる。



[図引用：JAXAホームページ (©JAXA, MET)]

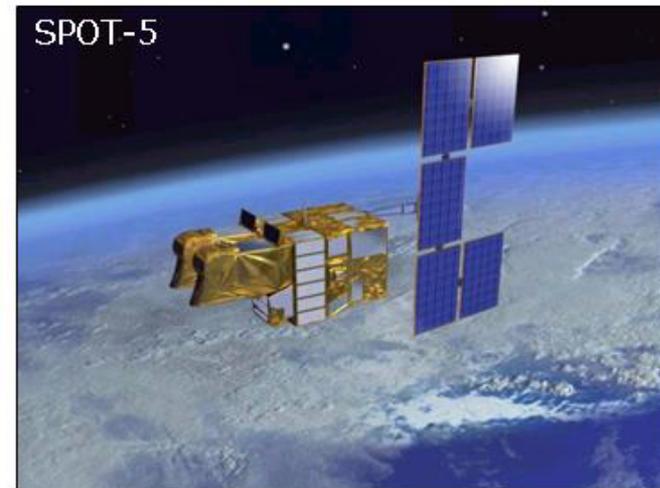


## 14. 代表的な衛星

### **SPOT** (フランス)

1986年以降、継続的にデータを取得。Landsatに比較して高い空間分解能の画像が得られ、ポインティング機能を有するという差異がある。

- 運用年 = 1号 1986～1990年  
                  ⋮  
                  5号 2002年～  
                  6号 2012年～
- 軌道要素 = 高度 約832km  
                  回帰日数 26日



[図引用：CNESホームページ]

名称	波長帯		空間分解能	観測幅
HRG	可視～短波長赤外	4	10 m	60 km
	可視(パンクロマティック)	1	5 m	
HRS	可視(ステレオ画像)	1	10 m	120 km
VGT	可視～短波長赤外	4	1.15 km	2,250 km

※ センサは5号について記載。



# 14. 代表的な衛星

## **ALOS** (日本)

国産の地球観測衛星で、愛称は『だいち』。光学センサとSARの両方を搭載する大型衛星。比較的安価にデータを入手可能。

- 運用年 = 2006～2011年
- 軌道要素 = 高度 約692km  
回帰日数 46日



[図引用：JAXAホームページ]

名称	波長帯		空間分解能	観測幅
AVNIR-2	可視・近赤外	4	10 m	70 km
PRISM	可視～近赤外 (パングロマティック/ ステレオ画像)	1	2.5 m	35/70 km
PALSAR	マイクロ波	1	10 m	70 km
			100 m	250-350km



# 14. 代表的な衛星

## **Terra** (アメリカ)

NASAの地球観測システム (EOS) 最初の大型衛星で、5つのセンサを搭載。別名『EOS AM-1』。Aqua (EOS PM-1) に同種のセンサを搭載。安価もしくは無料でデータを入手可能

- 運用年 = 1999年～
- 軌道要素 = 高度 約705km  
回帰日数 16日



[図引用：NASAホームページ]

名称	波長帯		空間分解能	観測幅
ASTER	可視・近赤外	3	15 m	60 km
	短波長赤外	6	30 m	
	遠赤外	5	90 m	
MODIS	可視・近赤外	2	250 m	2,330 km
	可視～短波長赤外	5	500 m	
	可視～遠赤外	29	1,000 m	

※ 他に3つのセンサを搭載。MODISは同種のセンサがAquaにも搭載。



# 14. 代表的な衛星

## IKONOS (アメリカ)

スペースイメージング社の商業衛星で、高解像度の画像を撮影できる。他にもQuickBird等の高解像度商業衛星がある。

- 運用年 = 1999年～
- 軌道要素 = 高度 約680km  
回帰日数 11日
- センサ



[図引用：SatNewsホームページ]

名称	波長帯		空間分解能	観測幅
—	可視・近赤外	4	4 m	11 km
	可視～近赤外 (パンクロマティック)	1	1 m	



## 15. 計画中の衛星

### **LDCM** (Landsat Data Continuity Mission)

Landsatの観測データの継続性を引き継ぐための衛星(Landsat-8)。軌道はLandsat-7と同じで、OLIとTIRSの2つのセンサを搭載。2013年2月に打ち上げ予定。



[図引用：NASAホームページ]

### **SPOT-6, 7**

SPOT-5に較べて空間分解能の高い光学センサを搭載。2基のPléiades衛星と位相をずらして同じ軌道に投入することで、観測頻度を向上。7号は2014年に打ち上げ予定。



[図引用：Astriumホームページ]

### **ALOS-2, 3**

ALOSに搭載されたPALSARとAVNIR-2に較べて性能を向上したセンサを、それぞれALOS-2とALOS-3に搭載。それぞれ2013年と2016年以降に打ち上げ予定。



[図引用：JAXAホームページ]



## 16. 衛星データの入手先・価格

衛星	入手先	価格（税別）
Landsat	USGSホームページ等	無料
	リモート・センシング技術センター(RESTEC)	84,000円
SPOT	東京スポットイマージュ	497,000円 (10mカラー/5m白黒)
ALOS	リモート・センシング技術センター(RESTEC) パスコ	25,000円
	宇宙システム開発利用推進機構	20,000円 (PALSARのみ)
Terra	ASTER：宇宙システム開発利用推進機構	9,800円
	MODIS：USGSホームページ等 (JAXA、東京大学ホームページ)	無料
IKONOS	日本スペースイメージング	3,000円 (1km <sup>2</sup> あたり)

※ 価格は処理レベルにより異なるため、最も廉価な製品の価格を示す。

## 17. 無料のLandsatデータ

- ❖ アメリカ地質調査所 (USGS) ホームページ

<http://earthexplorer.usgs.gov/>

Earth Explorerのページからダウンロードできる。データのアーカイブが豊富。



- ❖ Landsat.orgホームページ

<http://landsat.org/>

オルソ幾何補正した画像をダウンロードできるが、シーン毎に1970・1990・2000年代の3枚の画像のみ。



- ❖ メリーランド大学ホームページ

<http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>

GLCF (Global Land Cover Facility) のページからダウンロードできる。





## 18. 解析用ソフトウェア

### 画像解析ソフトウェア

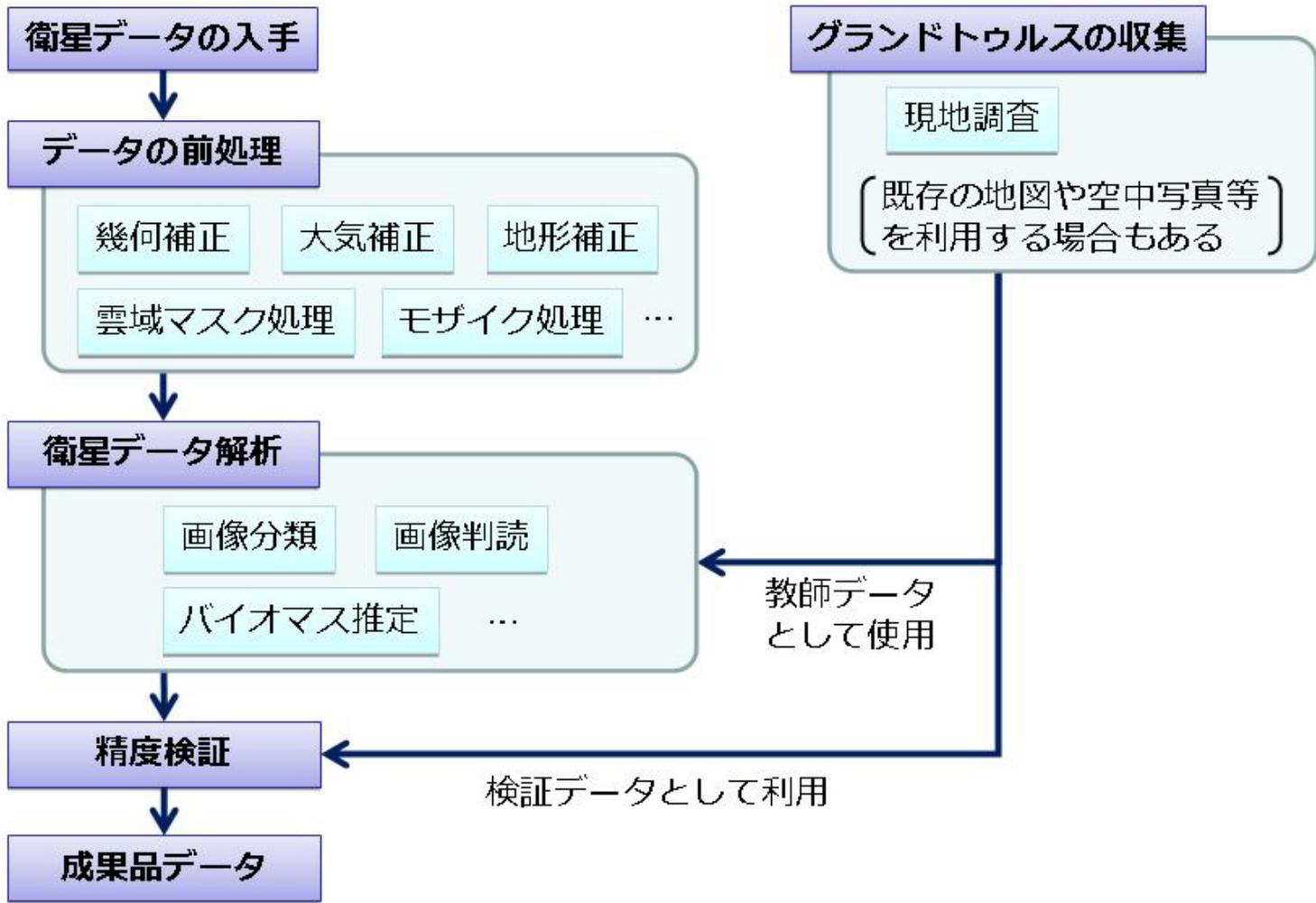
- ERDAS Imagine : 代表的ソフト
- ENVI/IDL : 代表的ソフト
- PCI : 代表的ソフト
- TNTmips : 比較的の低価格
- eCognition : オブジェクトベース分類

### GISソフトウェア

- ArcGIS : 代表的ソフト
- GRASS : Linux用フリーソフト



# 19. 一般的な解析手順





## 20. リモートセンシングの特徴

### リモートセンシングの長所

- 広域性・瞬時性 = 広い範囲をほぼ同時に観測できる（均質なデータを広範囲で取得できる）。
- 反復性 = 一定の周期で繰り返し同じ場所を観測できる（人間活動や自然現象の経時変化を調査できる）。
- 非接触性 = 現地に行かなくても対象地域を観測できる（山岳地や紛争等の立入ることが難しい地域も調査できる）。

[文引用：はじめてのリモートセンシング（一部改変）]

### リモートセンシングの短所

- 電磁波を媒介して対象物の情報を得るため、電磁波に影響を及ぼさない対象物の特性は直接的には観測できない（例えば、海中の温度や地中の鉱物は直接的には観測できない）。

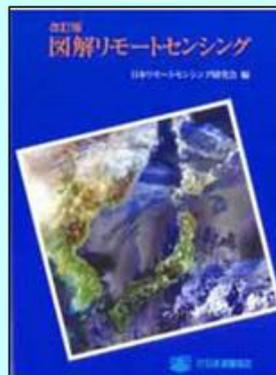
[文引用：基礎からわかるリモートセンシング]



## 21. もっと勉強するには

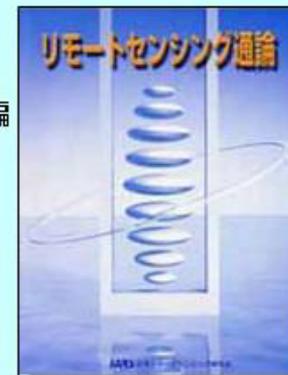
### 図解リモートセンシング

日本リモートセンシング研究会 編  
2004年発行  
3,600円



### リモートセンシング通論

日本リモートセンシング研究会 編  
2000年発行  
3,675円



### 基礎からわかる リモートセンシング

日本リモートセンシング学会 編  
2011年発行  
3,675円



### 森林リモートセンシング 第3版

加藤正人 編  
2010年発行  
3,000円

