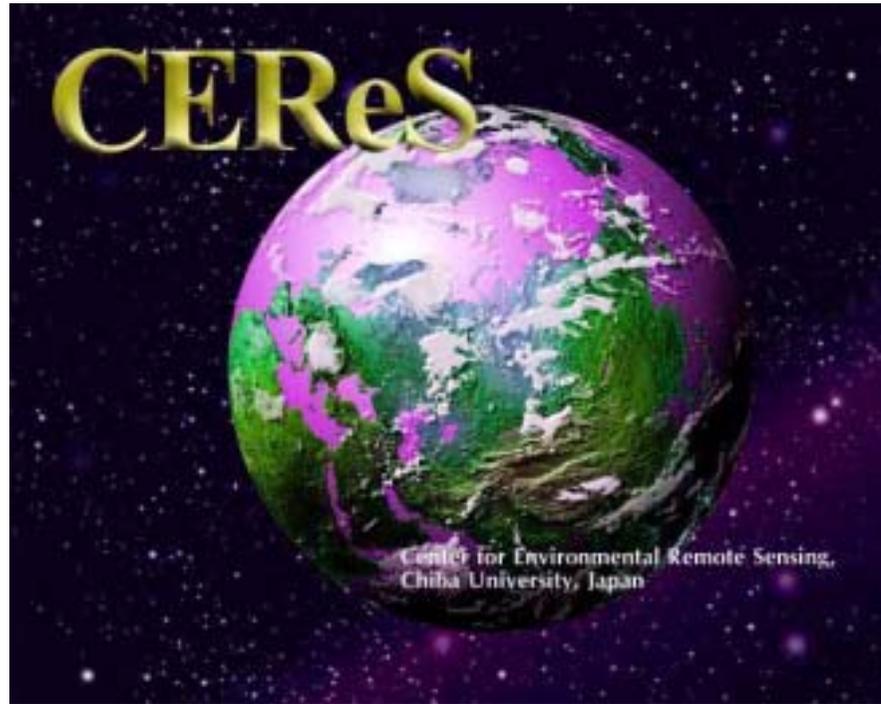


リモートセンシングとはいったい何か



リモートセンシングは文字通り離れた場所から(remote)、感じる(sense)ことであり、日本語で「隔測」、中国語で「遙感」と表記する。この定義からは物理探査全般がリモートセンシングの範疇に入るが、ここではカメラやセンサーを航空機や人工衛星等のプラットフォームに搭載し、地球表層の画像情報を得る技術をリモートセンシングと呼ぼう。

リモートセンシングとは？ The Definition of Remote Sensing

Remote Sensing:

may be defined very broadly to encompass techniques that obtain reliable information about the properties of surfaces and objects from a distance. This may be accomplished by measuring (1) electromagnetic radiation emitted by or reflected from the surface or objects, (2) other force fields such as gravity or magnetic created or modified by them, or (3) mechanical (acoustic, seismic) vibrations or waves emanating from, being transmitted through, or reflected from them (Manual of Remote Sensing, 1975).

is the acquisition of physical data of an object without touch or contact (Lintz and Simonet, 1976).

may be broadly defined as the collection of information about an object without being in physical contact with the object. The term remote sensing is restricted to methods that employ electromagnetic energy as the means of detecting and measuring target characteristics (Sabins, 1978).

is the science and art of obtaining information about an object, area or phenomenon through the analysis of data acquired by a device that is not in contact with the object, area or phenomenon under investigation (Lillesand and Kiefer, 1979).

is the acquisition of information about an object without physical contact (Manual of Remote Sensing, 2nd ed. 1983)

The science of remote sensing consists of interpretation of measurements of electromagnetic energy reflected from or emitted by a target from a vantage-point that is distant from the target (Mather, 1988).

is the technique of obtaining information about objects through the analysis of data collected by special instruments that are not in physical contact with the objects of investigation (Avery and Berlin, 1992).

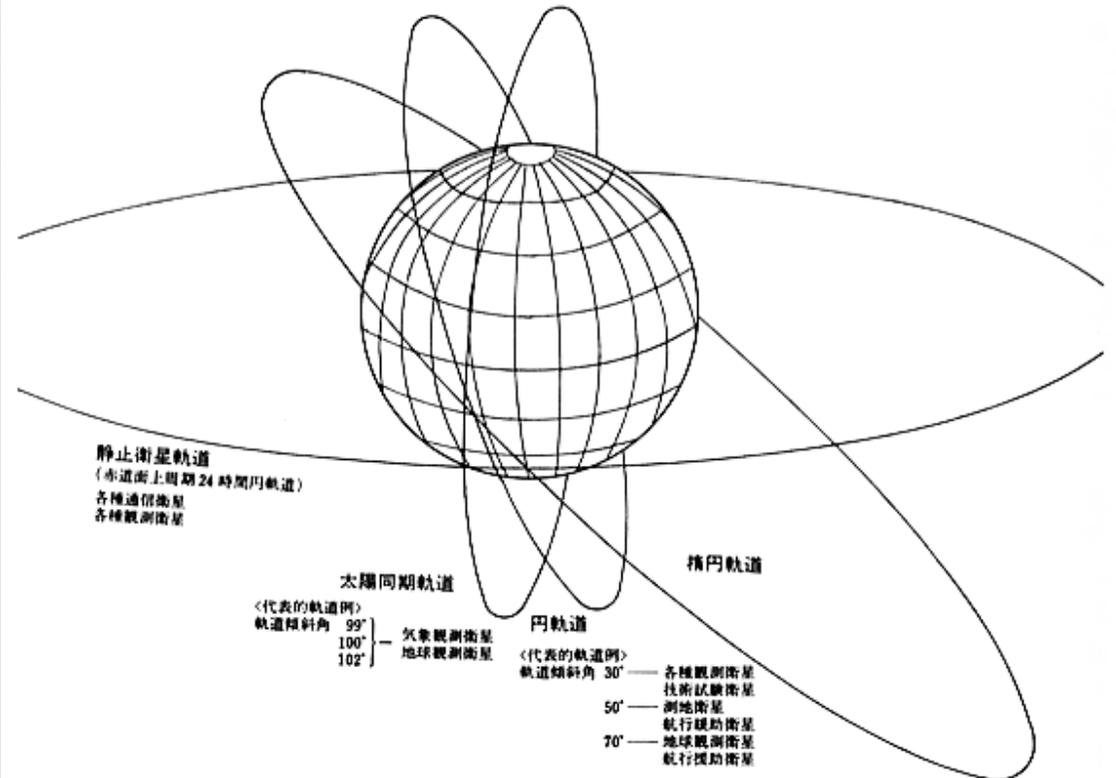
リモートセンシングの基礎



: センサーとプラットフォーム

衛星の軌道

静止軌道と太陽同期準回帰極軌道



人工衛星の軌道

重要な軌道

静止軌道

地軸から約4万2000km上空の円周速度は約3km/sで、地球の円周速度と同じ速度で軌道にあれば、地球から見て静止しているように見える

太陽同期準回帰軌道

極軌道：

南極から北極の極軸方向で、やや傾斜した角度の軌道。

準回帰軌道：

衛星の軌道が1日あるいは毎週回ごとにもとに戻る軌道を回帰軌道といい、準回帰軌道は一定の日数ごとに元に戻る軌道をいう。

太陽同期：

軌道面が常に太陽の方向を向き、赤道を通過する時間が決まっている。したがって、同じ場所では常に同じ地方時に観測が行われる。

主要な地球観測衛星の系譜

1972年	米	ランドサット (運用中)
1986年	仏	スポット (運用中)
1987年	日	MOS1, 1b 「もも」 (~1996年)
1991年	欧	ERS (運用中)
1992年	日	JERS 1 「ふよう」 (~1998年)
1996年	日	ADEOS 「みどり」 (~1997年)
1997年	日	TRMM (運用中)
1999年	米	Terra (運用中)
(予定)		
2002年	米	Aqua
2003年	日	ADEOS-II
2004年	日	ALOS

気象衛星

TIROS-1 1960.4.1
1965.7.2打ち上げの10号まで

ESSA-1 1966.2.3
1869.2.26打ち上げの9号まで

ITOS-1 1970.1.23
NOAA-1 1970.12.11

実験開発衛星

NIMBUS-1 1964.8.28
1975.6.12打ち上げの6号まで

ATS-1 1966.12.6(静止衛星)
1968.8.10打ち上げの4号まで

日常業務に使われている気象衛星

GMS (ひまわり)、GOES、METEOSAT、NOAA



衛星データの利用技術の進展

- ・第1段階(～1970年代前半)
1972 LANDSAT-1 打ち上げ

視覚判読と成果図表の手による重ね合わせ

- ・第2段階(1970年代後半)
1979年NASDAがLANDSAT受信開始

視覚判読から自動判読へ

統計的手法・・・多変量解析法
土地被覆分類の手法

様々な指標・・・植生指標、土壌指標

・第3段階(1980年代)

グローバルな土地被覆植生変動の研究(*GVI* 作成開始)

ローカルな環境解析に関する研究(*LANDSAT TM*)

Global Change研究の重要性が認識された

1984 *LANDSAT-5*

1986 *SPOT*

1987 *MOS-1*

・第4段階(1990年代)

地球環境が複雑で多様性に富んだ対象であることを再認識

水・エネルギー循環理解のための地域研究(*GEWEX/GAME*)

衛星による地球環境観測開始

1992 *JERS-1*

1996 *ADEOS-I*

・第5段階(2000年代)

地域に対する貢献がより強く求められる時代

Synergism 様々な地理情報を同時に解析

2003 *ADEOS-II*

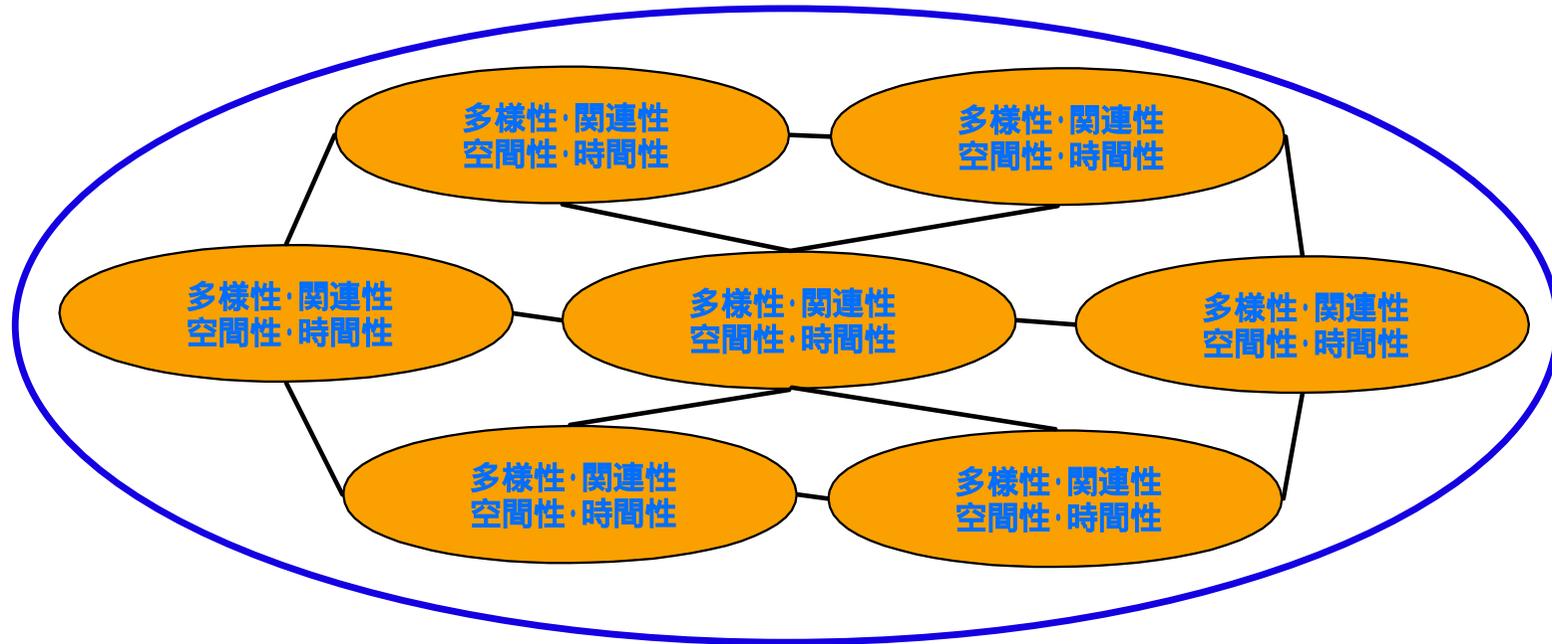
・第6段階

地域で得られた経験、知識をもう一度グローバルに拡張

環境とは

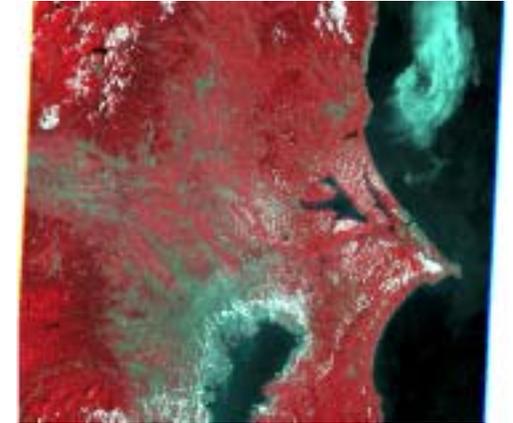
- 様々な要素からなる (多様性)
- 要素間に関連性がある (関連性)
- 空間的に分布している (空間性)
- 歴史を持つ (時間性)
- 認識の仕方において階層性を有する (階層性)

システム



地域の個性をグローバルの中に位置付ける

衛星の説明において何を重視するか



- ・空間分解能

分解能の向上によって情報の精度が変わった

- ・観測波長帯

バンド(チャンネル)数の向上によって、情報の質が変わった

- ・回帰日数

繰り返し観測によって、歴史性(時間性)の認識が可能になった

- ・ポインティングの機能

繰り返しの機会が増え、災害等の対応が可能になった

- ・合成開口レーダーの周波数、オフナディア角

レーダーの仕様によって、様々な情報抽出が可能になった

(1) LANDSAT

(a) 1、2、3号

主力センサー：RBV、MSS

軌道：太陽同期準回帰軌道、円形の準極軌道



平均太陽時9:30に赤道を北から南に通過

周期：約103分、1日に14 - 1 / 18周まわり18日間で全地球の観測終了

翌日西隣の軌道の観測

高度：約900 km

(b) 4、5号

主力センサー：MSS、TM

軌道：太陽同期準回帰軌道、円形の準極軌道

1日に14 + 9 / 16周まわり16日間で全地球の観測終了

周期：約99分

高度：約705 km (TMの分解能を得るため)

(c) M S S (Multi Spectral Scanner)

軌道に垂直に185.3kmの幅で地表を連続的に振動鏡で走査
1回の振動で4つの波長帯域の各々6ラインが同時に走査

空間分解能 80m

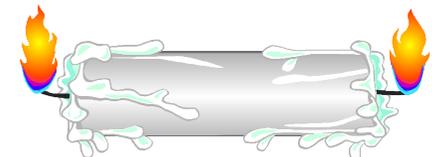
ある瞬間に1個の検出器は79x79m (83x83m)の視野で地表面を見ているが、振動鏡が5.612m/ μ sec (6.82m/ μ sec)の走査速度で軌道に直角に走査していくので、全検出器の1画素(6ライン分)のデータをサンプリングし終える9.958 μ secの間に、検出器の視野は55.99m(67.9m)東に進む。したがって、あらたに得られる画素の情報は、前の画素の23m(15m)分の地表面情報を含み、等価的に地表面を56x79m(68x83m)のメッシュでサンプリングしていることになる。

未補正データでは1画素を56x79m(68x83m)として扱えば、観測対象域の面積測定等において、画素間のサイドラップを無視することができる。

ラジオメトリック分解能 6ビット(64段階:0~63)

CCT作成の段階で7ビット(128段階)に拡張

4	0.5 - 0.6	79	緑
5	0.6 - 0.7	79	赤
6	0.7 - 0.8	79	近赤外
7	0.8 - 1.1	79	近赤外



(d) TM (Thematic Mapper)

空間分解能: 30 m (バンド6のみ120 m)

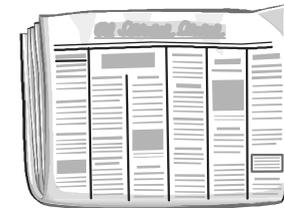
ラジオメトリック分解能: 8ビット (256段階)



1	0.45 - 0.52	青色光	30	沿岸水域図化
2	0.52 - 0.60	緑色光	30	植物の緑色光反射
3	0.63 - 0.69	赤色光	30	クロフィル吸収
4	0.76 - 0.90	近赤外線	30	バイオマス調査
5	1.55 - 1.75	中間赤外線	30	植物水分計測
6	10.4 - 12.5	熱赤外線	120	温度図化
7	2.08 - 2.35	中間赤外線	30	熱水変質帯調査

(e) ETM+

ランドサット7号から利用可能
TMの性能に加えて、15m分解能の白黒バンドを持つ



(2) S P O T Satellite pour l'Observation de la Terre

最初の打ち上げ : 1986年
高度 : 832km
起動傾斜角 : 98.7度
降交点通過地方平均太陽時 : 午前10時39分
回帰日数 : 26日



主力センサー : HRV (High Resolution Visible Imaging Instrument)

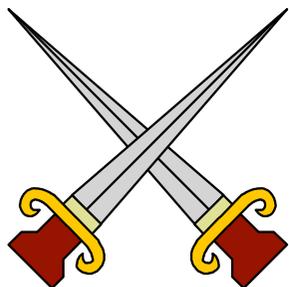
2台搭載、CCDタイプ、素子6000個 軌道直行方向の線分を一瞬で画像化

Pモード : 衛星直下点で空間分解能10mの可視域データが収集

スペクトルバンド	0.51 - 0.73 μ		
地上分解能	10m		
地上走査幅	60km		
画素コーディング形式	6bits DPCM / 1Lineの画素数	6000	

X Sモード : 空間分解能20m、3バンド

	0.50 - 0.59 / 0.61 - 0.68 / 0.79 - 0.89		
地上分解能	20m		
走査幅	60km		
デジタルマトリックス分解能	8ビット / 1Lineの画素数	3000	



(3) MOS - 1 Marine Observation Sat

打ち上げ: 1987年2月19日

高度: 約909 km

軌道傾斜角: 99.1度

周期: 18日

(a) 可視近赤外放射計 MESSR: Multispectral

検知素子: CCD

空間分解能: 50 m

走査幅: 100 km... 2台で185 km

1	0.51 - 0.59	緑
2	0.61 - 0.69	赤
3	0.72 - 0.80	近赤
4	0.80 - 1.10	近赤



海洋観測衛星1号 (もも1号、1号b)
Marine Observation Satellite-1, 1b

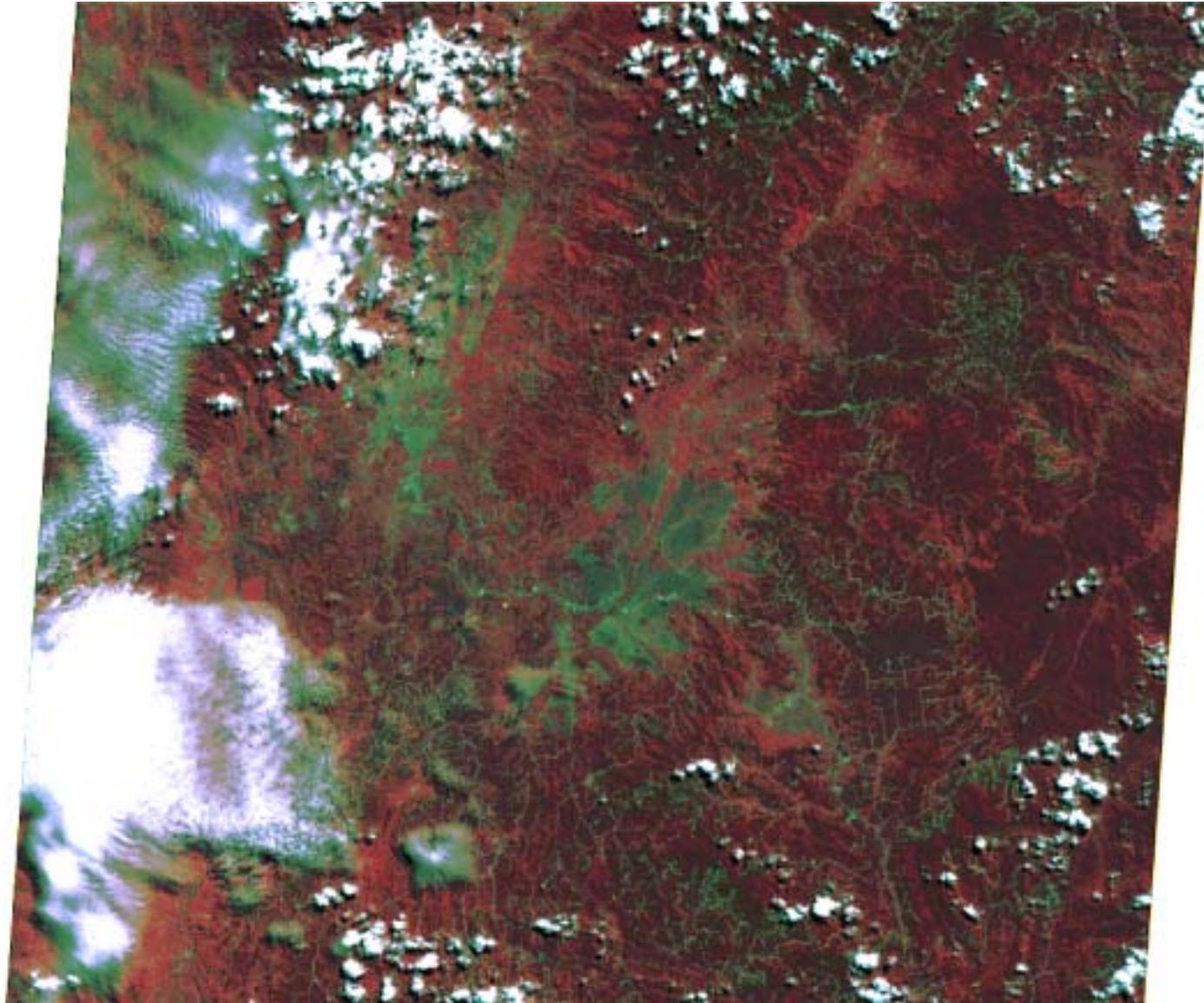
MOS-1「もも1号」は、地球資源の有効利用、環境の保全等に資する人工衛星による地球観測システム開発の一環として、日本の自主技術により開発された我が国初の地球観測衛星です。MOS-1b「もも1号-b」は、もも1号の後継機として打ち上げられたもので同等の性能を有しています。

MOS-1は1987年2月19日にN-IIロケットで、MOS-1bは1990年2月7日にH-IIロケットで、それぞれ種子島宇宙センターから打ち上げられ、所定の観測を行い既に運用を終了しています。

(b) 可視熱赤外放射計 VTIR: Visible and Thermal Infrared Radiometer

(c) マイクロ波放射計 MSR: Microwave Scanning Radiometer

NASDAのMOS-1受信局は日本とタイ、バンコクにあったので、日本周辺のみでなく西はインドの一部、スリランカ東はジャワ島までをカバーする画像の取得が可能



ボルネオ島北部の画像の例

林道と思われる線状構造が認められる

森林伐採の現場か？

(4) NOAA National Oceanic and Atmospheric Administration

1960年に打ち上げられたTIROS-N(Television and Infrared Observation Satellite-N series)の後継として、延々と運用されている

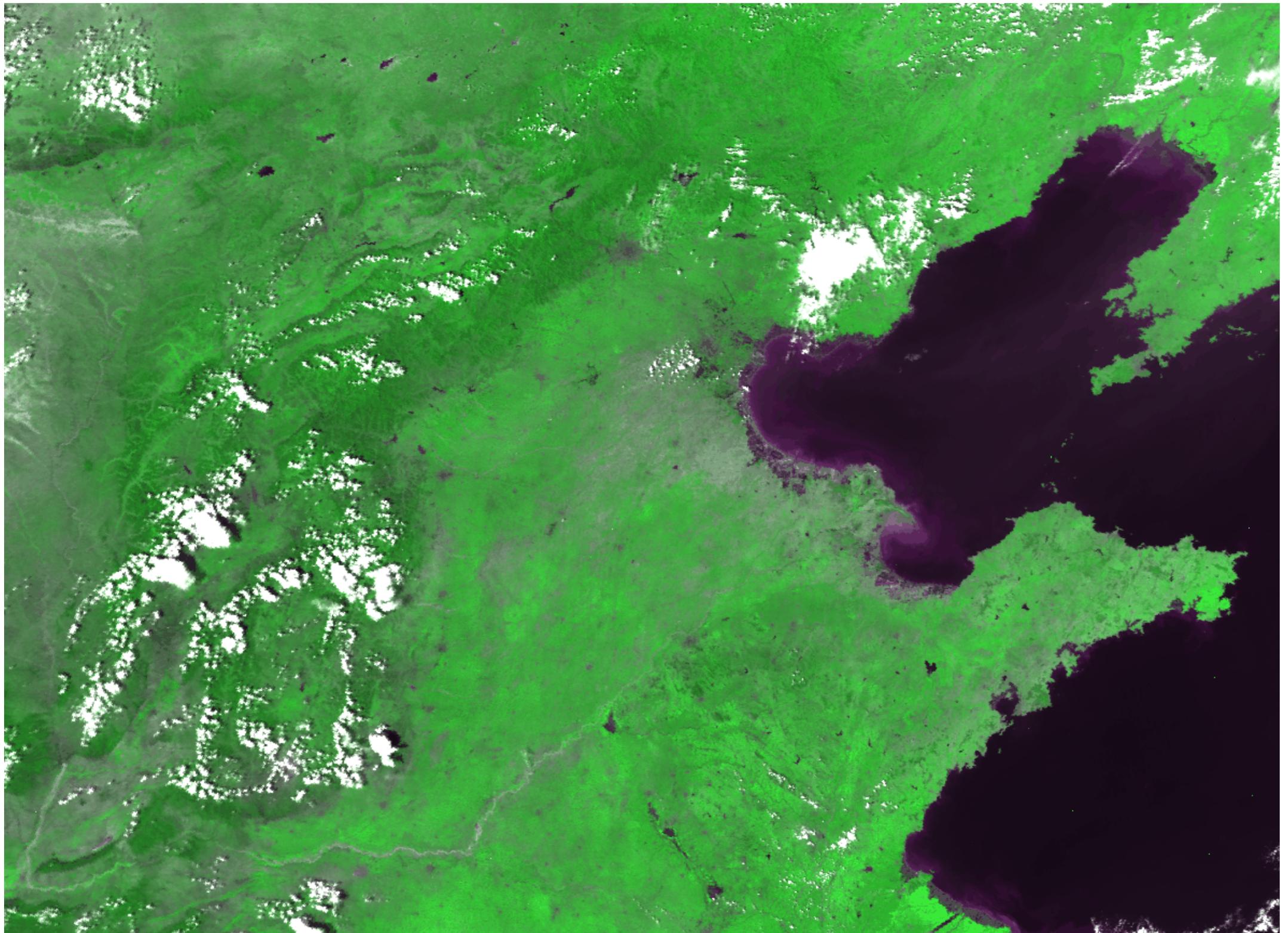
公称高度 833km (805-870km位)
走査幅 約2500km

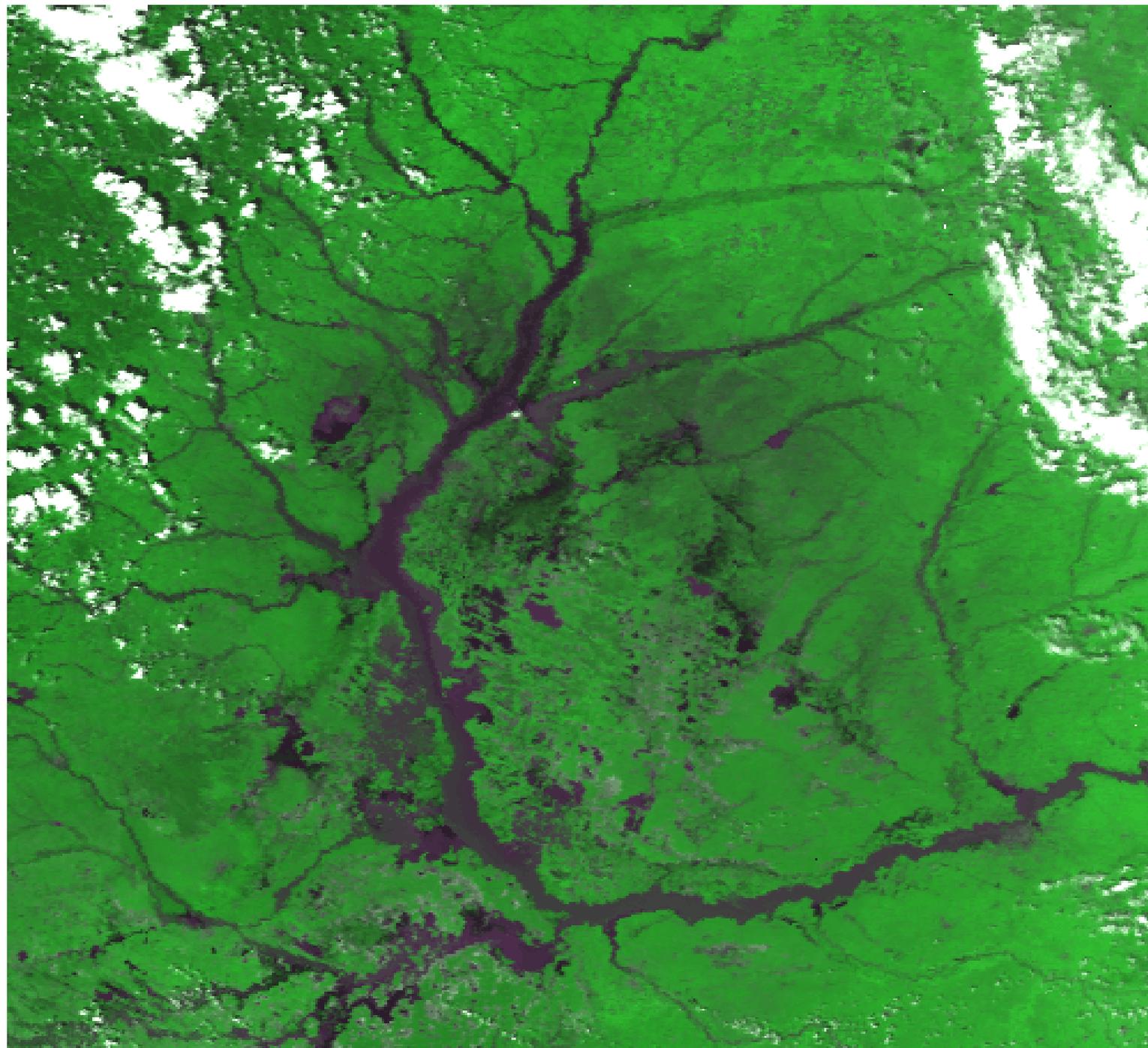
AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer)

	TIROS-N	NOAA(偶数)	NOAA(奇数)	瞬時視野角	
Ch.1	0.55 - 0.90	0.58 - 0.68	0.58 - 0.68	1.39	赤
2	0.725-1.10	0.725- 1.10	0.725- 1.10	1.41	近赤外
3	3.55 -3.93	3.55 - 3.93	3.55 - 3.93	1.51	熱赤外
4	10.5 -11.5	10.5 -11.5	10.5 - 11.3	1.41	熱赤外
5	Ch.4	Ch.4	11.5 - 12.5	1.3	熱赤外

走査幅(刈り幅)が広いので、地球のすべての場所を一日1回は観測することができる。そのデータをコンポジットすることにより、グローバルデータセットを作成することが可能となった

広域性と歴史性





(5) G M S 5 Geostationary Meteorological Satellite

打ち上げ:1995年3月18日

1号機の打ち上げは1977年

東経140度、赤道上高度約35,800km

観測波長帯 (μm)

1 : 0.5-0.75 (可視)

2 : 6.5-7.0 (水蒸気)

3 : 10.2-11.2 (熱赤外 1)

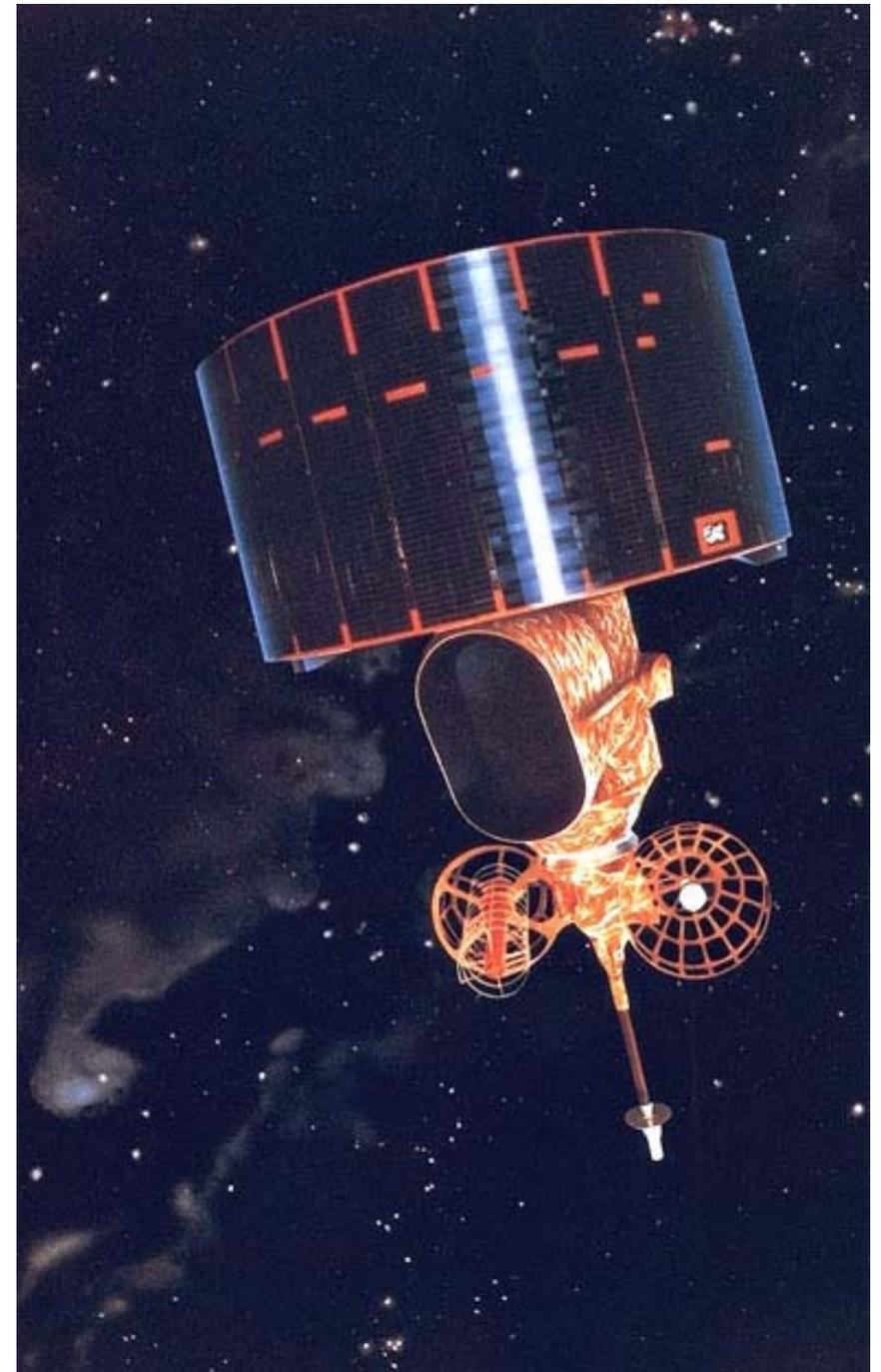
4 : 11.5-12.5 (熱赤外 2)

衛星直下点の分解能

可視 1.25 km

赤外 5 km

観測頻度 (能力) 30分



(6) ERS - 1 打ち上げ 1991年7月 ギアナ宇宙センター

ミッション機器

AMI : Active Microwave Instrument

RA : Radar Altimeter

ATSR/M : Along Track Scanning Radiometer/Microwave Sounder

PRARE : Precise Range and Range-Rate Equipment

LRR : Laser Retro-Reflector

軌道 3日回帰:氷観測用 Ice Mode / 35日回帰:AMI 映像モード用

176日回帰:海洋観測用

降交点通過時刻 $10:30 \pm 1 \text{ min}$

AMI:合成開口レーダー(SAR) + 散乱計

* 合成開口レーダー

衛星の進行方向に直角の方向にパルス電波を発射し、反射・散乱されて戻ってきたものを受信。

対象物の後方散乱係数は測定対象の表面および表面に近い内部の状態、物質の性質によって定まる。

SAR: 映像モード : 走査幅100kmで、分解能30m

波モード: 海面の波スペクトルを求める 5x5km

散乱計: 風モード : 海面上の風向と風速を地上処理を経て推定

[原理] 後方散乱係数が海上風によって影響を受けた海面の粗さ、および風ベクトルと観測方向との間の角度に依存すること

RA 衛星直下点を照射するパルスレーダー

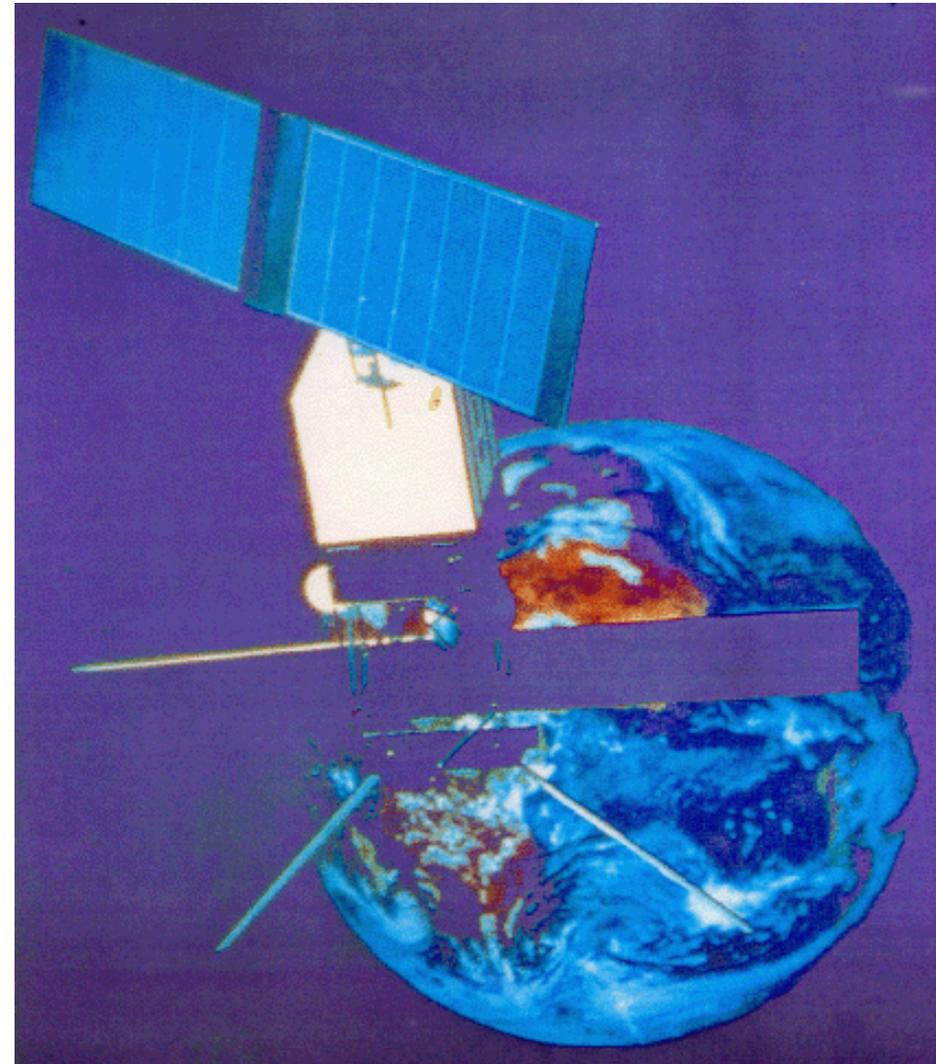
海洋モード: 海面までの衛星高度、
海面波高、風速

氷モード : 海表面の情報

ATSR / M

ATSR : 赤外放射計。海面温度

Microwave Sounder : マイクロ波放射計
大気中の水蒸気量等



(7) JERS - 1

打ち上げ 1992年2月3日

軌道 高度約570km この高度では空気抵抗がかなりあるため、1日に約600m飛行高度が下がるとされている。そのため、軌道計算はかなり複雑。観測の前日に飛行位置がわかるとのこと。

回帰日数 44日

降交点通過地方時 10:30 ~ 11:00

ミッション機器

[OPS]: Optical Sensors

分解能 18.3m(レンジ) × 24.2m

走査幅 75km

画素数 4096

量子化レベル 6ビット(64)

バンド数 8

1 ~ 4 VNIR:可視近赤外放射計

5 ~ 8 SWIR:短波長赤外放射計

[SAR]: Synthetic Aperture Radar 合成開口レー

走査幅 75km

地上分解能 18m

量子化ビット数 3ビット

1	0.56 ± 0.01	0.08 ± 0.02
2	0.66 ± 0.01	0.06 ± 0.02
3	0.81 ± 0.01	0.10 ± 0.02
4	0.81 ± 0.01	0.10 ± 0.02
5	1.655+0.016 -0.015	0.11 +0.02
6	2.065+0.015 -0.017	0.11 +0.02
7	2.19 +0.015 -0.019	0.12 +0.02 -0.023
8	2.335+0.015 -0.020	0.13 +0.022 -0.024



JERS-1
地球資源衛星1号(ふよう1号)
Japanese Earth Resources Satellite-1

JERS-1「ふよう1号」は、地球の全陸域を観測し、資源探査を主目的に国土調査、農林漁業、環境保全、防災、沿岸監視等の観測を行う地球観測衛星です。1992年2月11日に種子島宇宙センターからH-Iロケットで高度約568km、回帰日数44日の太陽同期準回帰軌道に打ち上げられ、高性能の合成開口レーダ(SAR)と光学センサ(OPS)で約6年半にわたり地球観測データを取得してきましたが、1998年10月12日に運用を終了しました。

(8) ADEOS

1996年に打ち上げられた地球環境観測衛星

(9) TRMM

1997年に打ち上げられた低緯度の降水を観測する衛星(運用中)



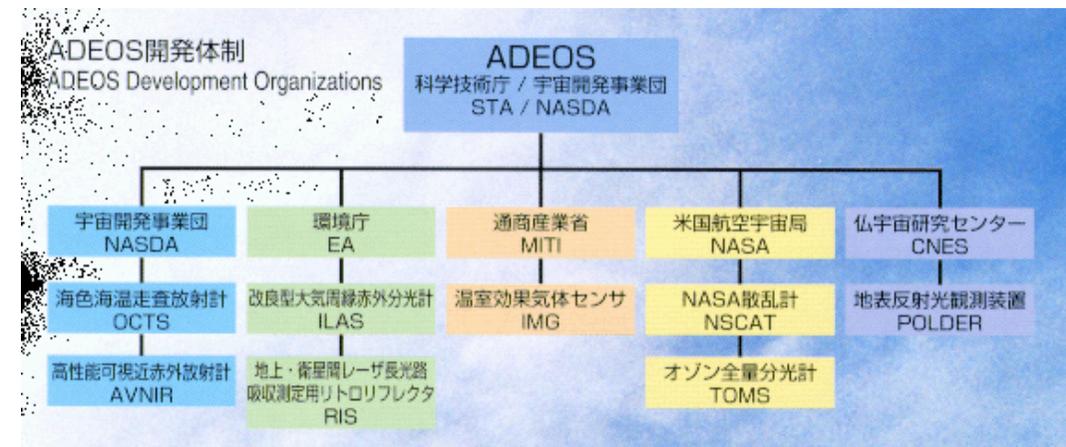
地球観測プラットフォーム技術衛星(みどり)
Advanced Earth Observing Satellite (Midori)

ADEOS「みどり」は、1996年8月17日に高度約800km、回帰日数41日の太陽同期準回帰軌道に打ち上げられました。ADEOSは、地球温暖化、オゾン層の破壊、熱帯雨林の現象、異常気象の発生等の環境変化に対応した全地球規模の観測データを取得し、国際協力による地球環境監視に役立てるとも、次世代地球観測システムに必要なミッションデータレコーダによるデータ収集、プラットフォーム・バス技術、軌道間データ中継技術等の開発を行うことを目的とした衛星でしたが、1997年6月30日に太陽電池パドルの不具合から機能を停止しました



熱帯降雨観測衛星
Tropical Rainfall Measuring Mission

TRMMは1997年11月28日に高度約350km、周期約90分(1日で16周回)の円軌道に打ち上げられ、人工衛星によるリモートセンシング技術を利用して、これまでの観測方法では得られなかった熱帯地域の降雨強度とその水平及び垂直方向の分布を観測する衛星です。熱帯地域の降雨量は、地球全体の降雨の約2/3を占めており、これに関するデータの取得・解析により、地球規模の気候変動の解明や、地球環境保全に貢献できます。TRMMはNASAの衛星でNASDAは降雨レーダ(PR)の開発を担当しています。



その他の衛星

IRS

RADARSAT