

第6回宇宙総合学研究ユニットシンポジウム
人類はなぜ宇宙へ行くのか4
2013年2月3(日)

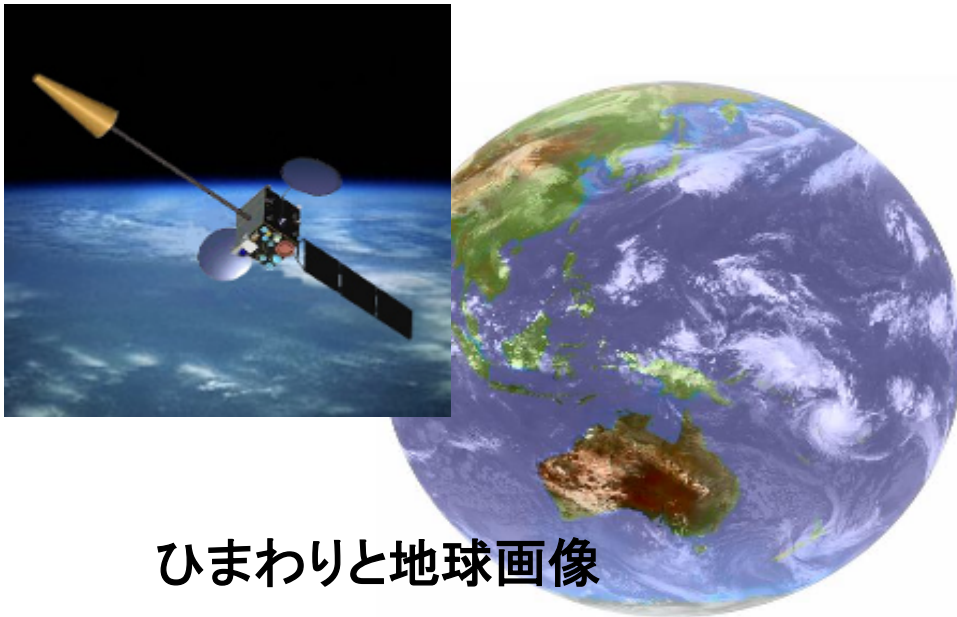
宇宙から地球を見る —地球観測衛星の役割—

宇宙航空研究開発機構
宇宙利用ミッション本部
地球観測研究センター長
福田 徹

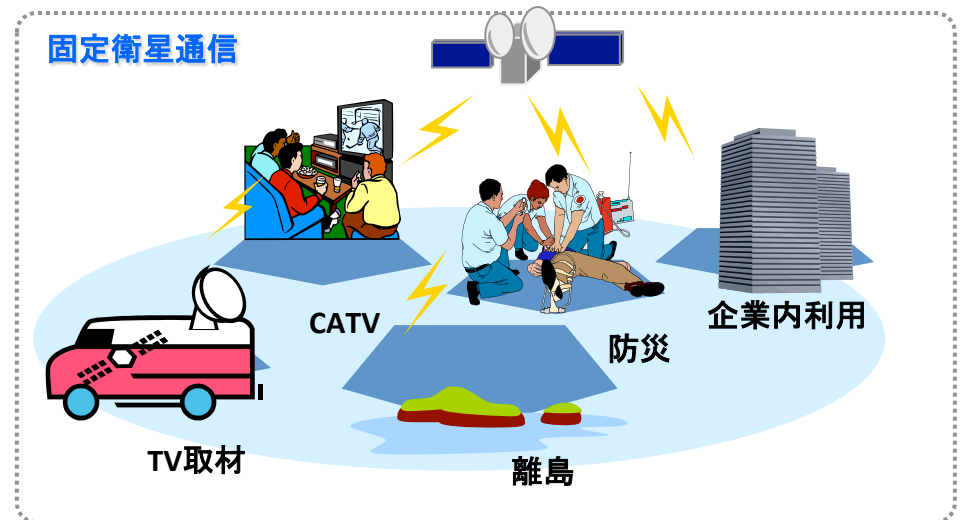
内容

- 宇宙を利用する(概論)
- 人工衛星による地球観測
- 世界の地球観測衛星
- JAXAの衛星計画
- ALOS“だいち”画像の魅力

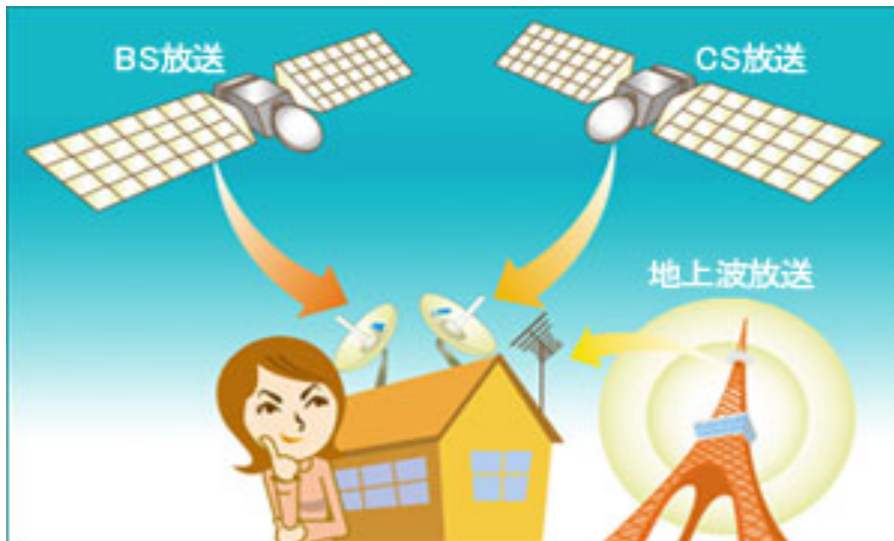
生活の一部・宇宙利用



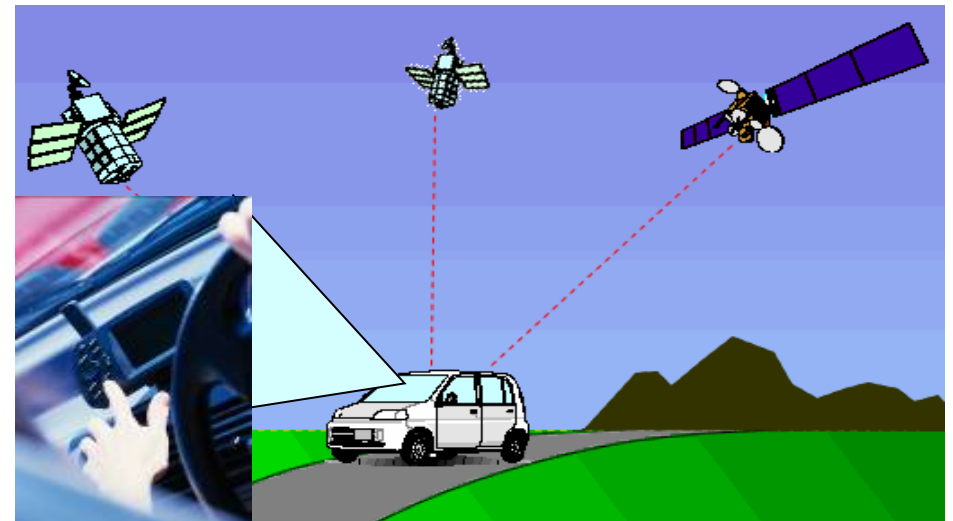
ひまわりと地球画像



通信衛星と通信

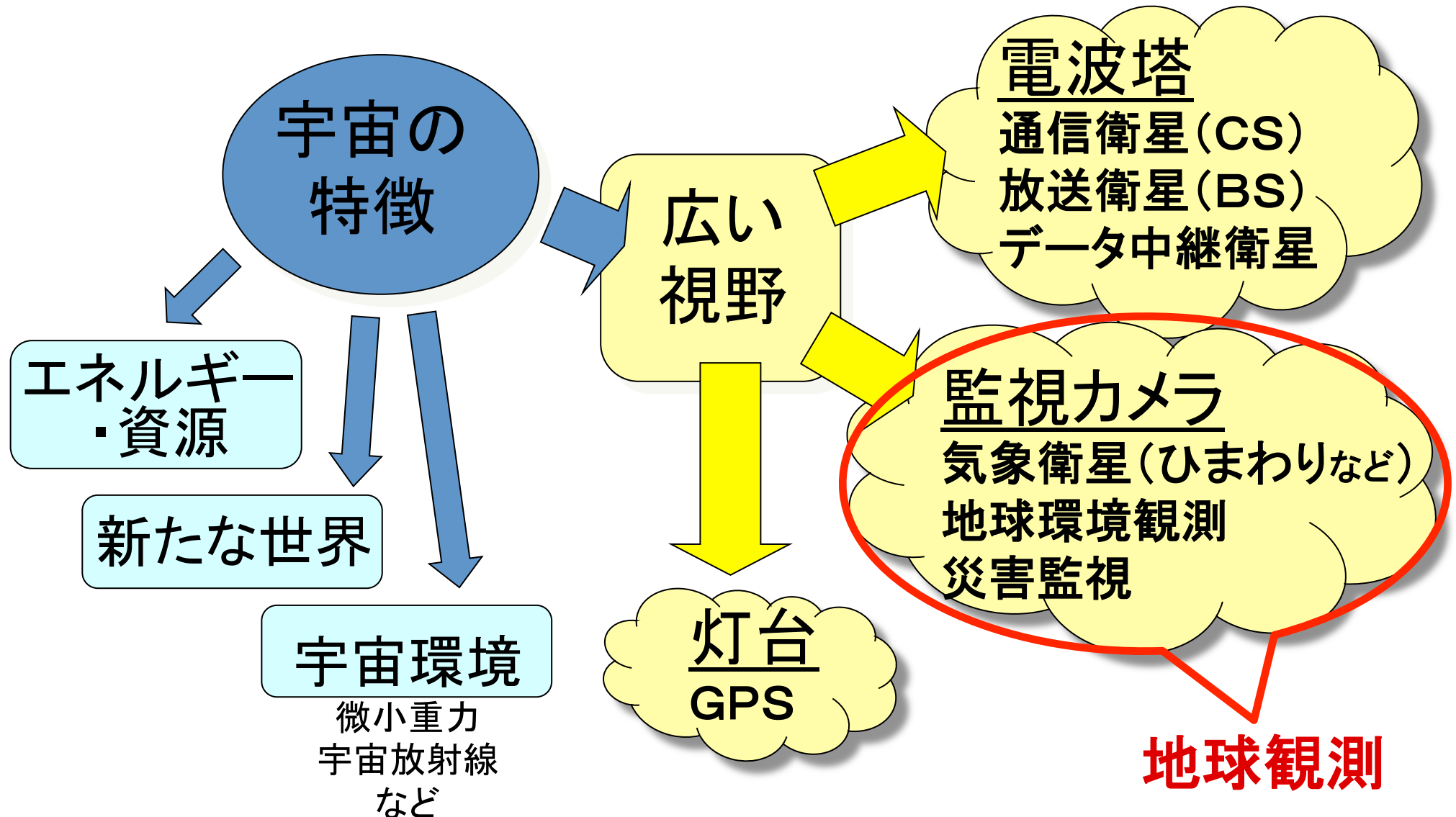


放送衛星とテレビ

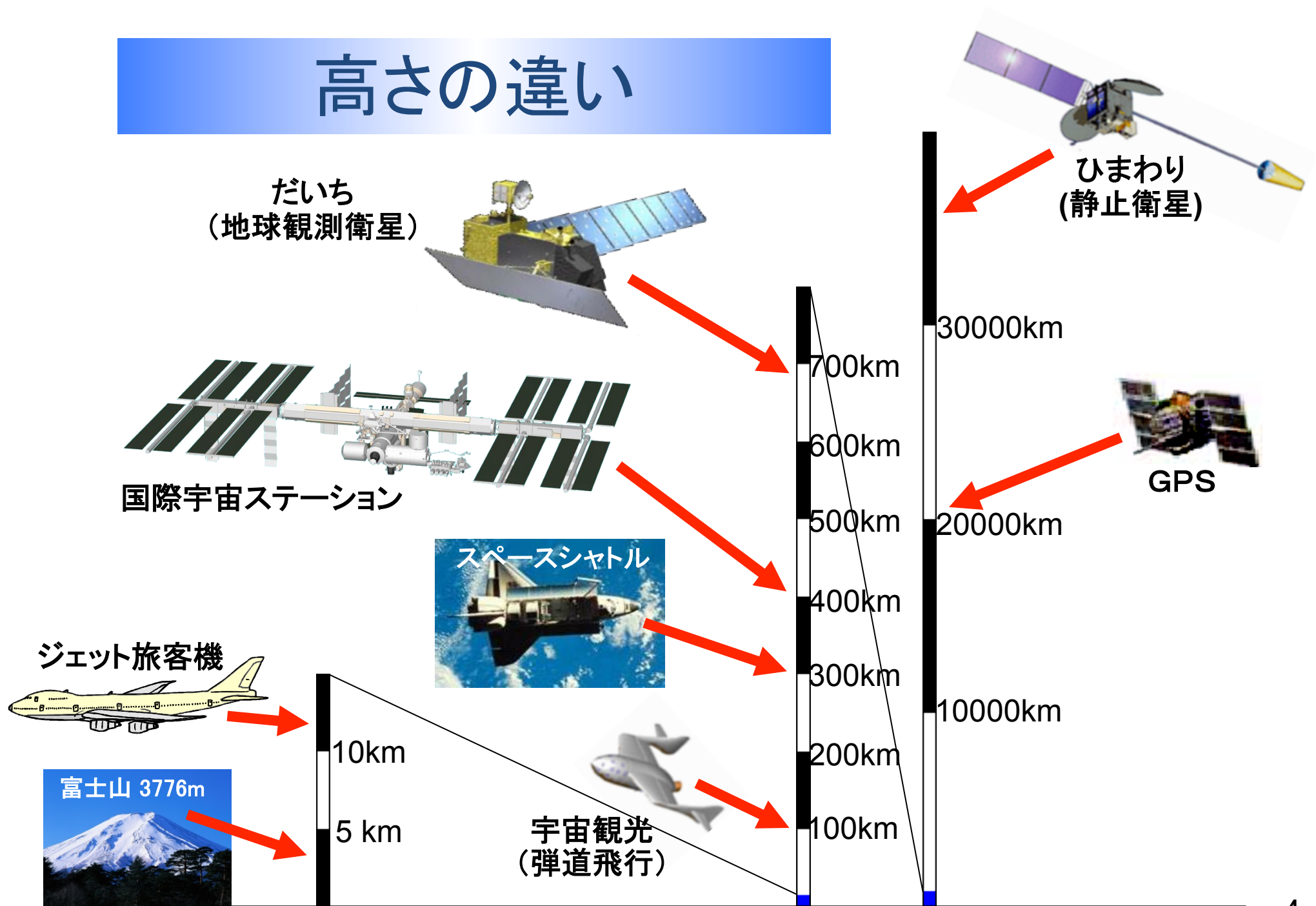


GPSとカーナビ

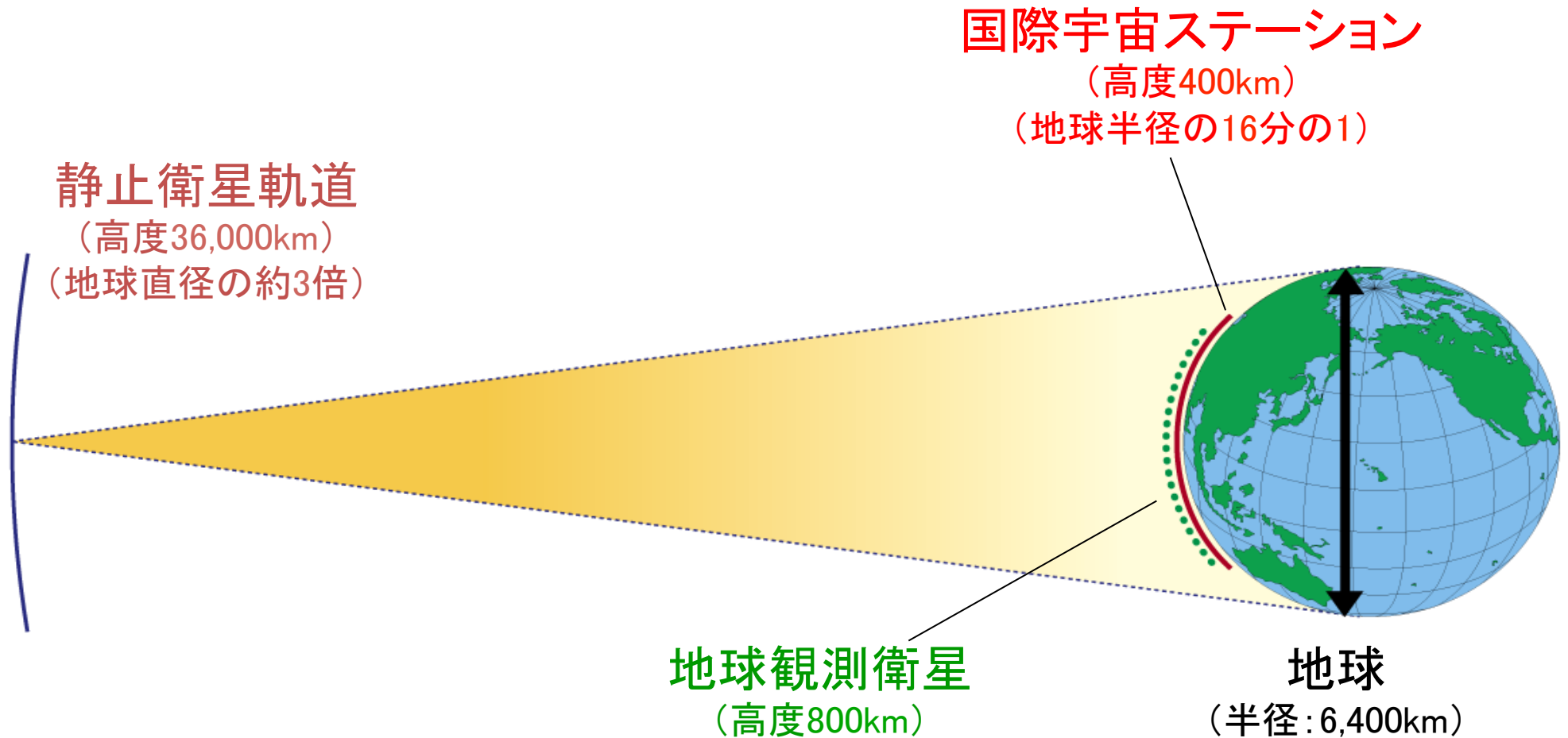
宇宙を利用する



高さの違い



人工衛星・宇宙ステーションの高さ



人工衛星による地球観測

「リモートセンシング」による地球観測

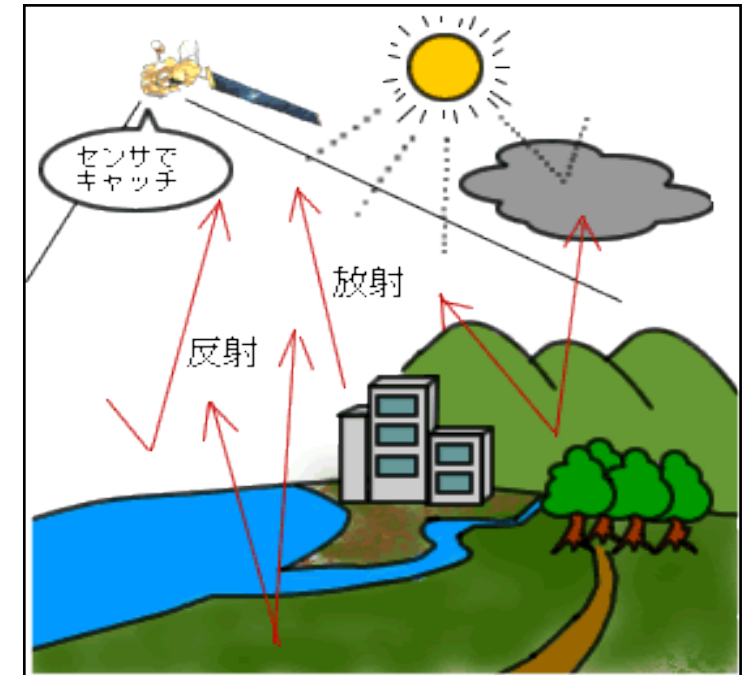
リモートセンシングの定義

物理的な接触をせずにセンサによって収集されたデータの解析を通じて、対象物や対象地域の情報を取得する科学技術。

特に、地球表面と地球大気を対象として上空から観測することを地球観測とする。

[Ress, 2001, Lillesand et al.,

2008]

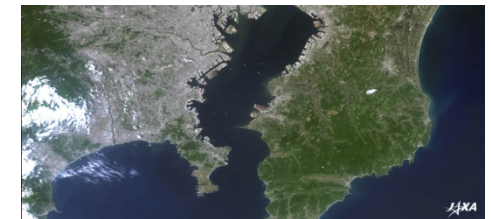
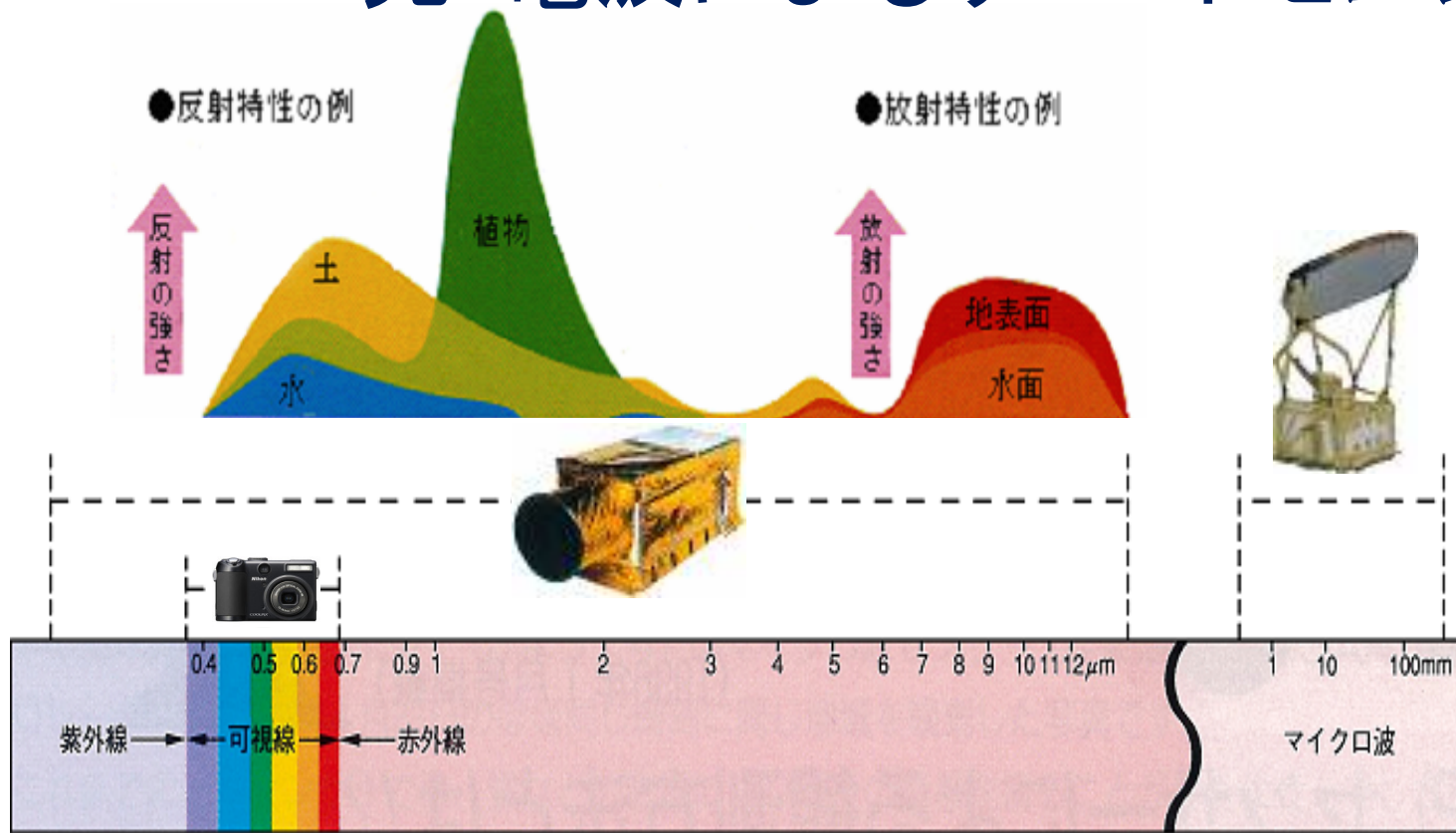


<http://www.eorc.jaxa.jp>

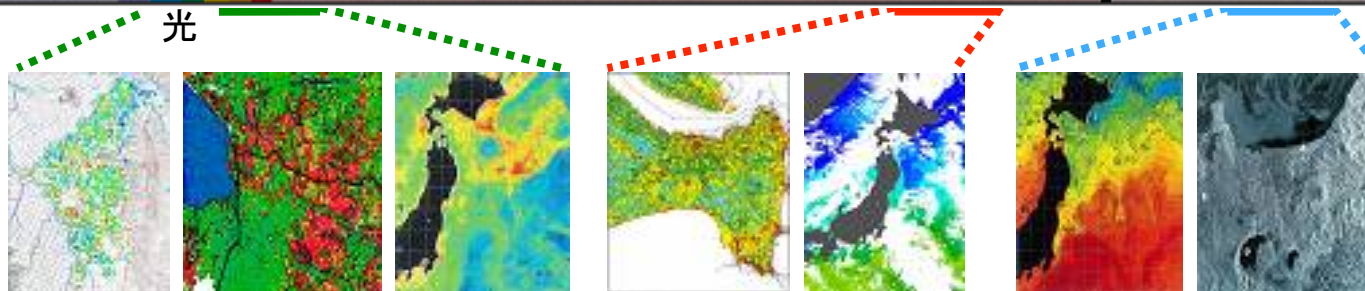
リモートセンシングの原理

- すべての物質は電磁波に対して特有の反射・吸収・透過特性を持つ
- 物質から反射・放射される電磁波をセンサにより観測することで対象物の情報を取得

光・電波によるリモートセンシング



・人の見た目と同様の画像(関東地方)



・植物
活性度

・森林/風
倒被害

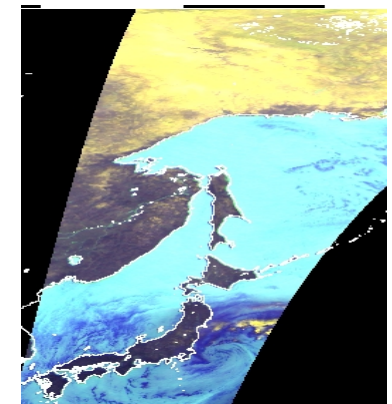
・水色
(植物プラン
クトン)

・地表面
温度

・海面
温度

・海面
温度
(雲透過)

・海水
分布



・マイクロ波の画像

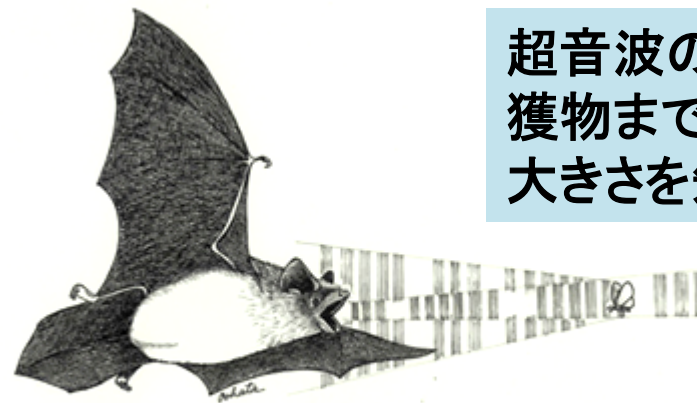
生き物は「リモートセンシング」を使っている



色によって食べ物を見分ける



紫外線で
蜜の在り処
を見つける



超音波の反射から
獲物までの距離や
大きさを知る

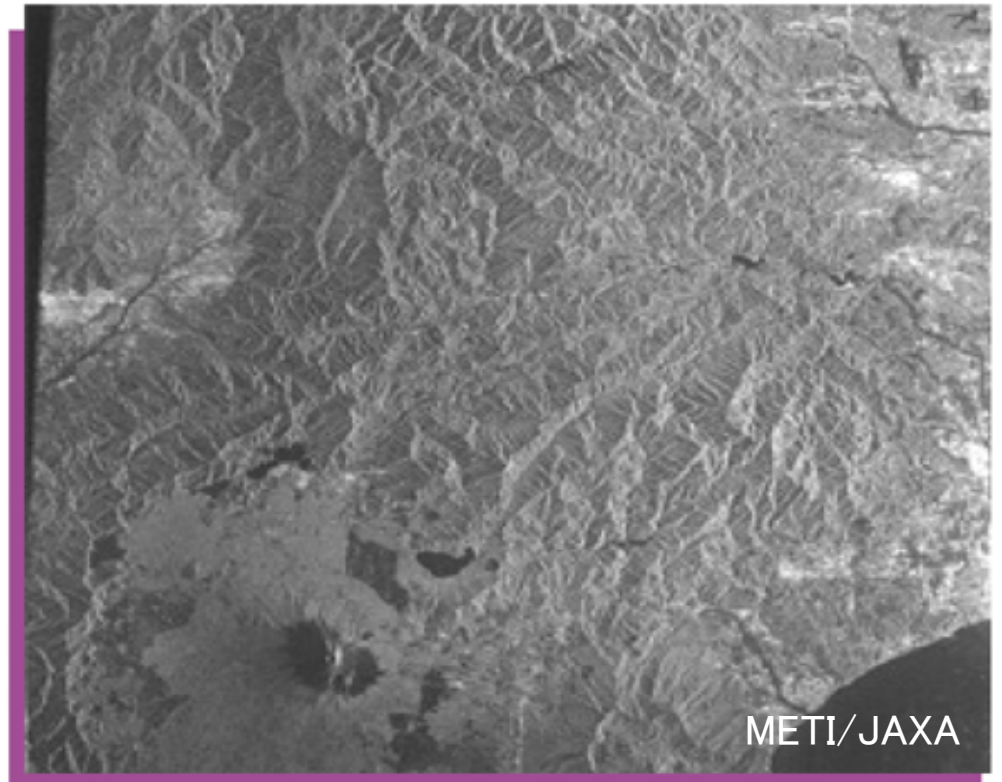
画像引用:

東京大学大学院新領域創成科学研究科河村正二研究室
BJORN ROSLETTI SCIENCE PHOTO LIBRARY
島根県立三瓶自然館サヒメル

光と電波の見え方の違い



光学センサ
LANDSAT/TM



マイクロ波センサ
JERS-1/SAR

地表分解能の比較(シミュレーション)



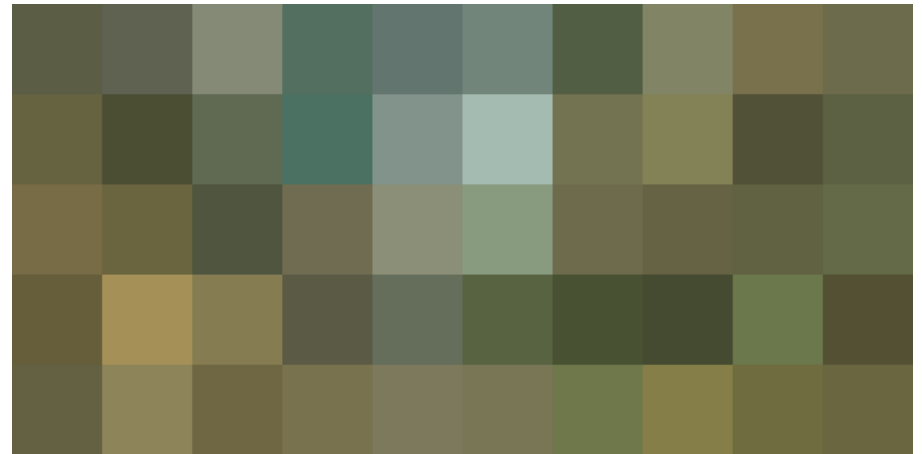
50 cm



2.5 m

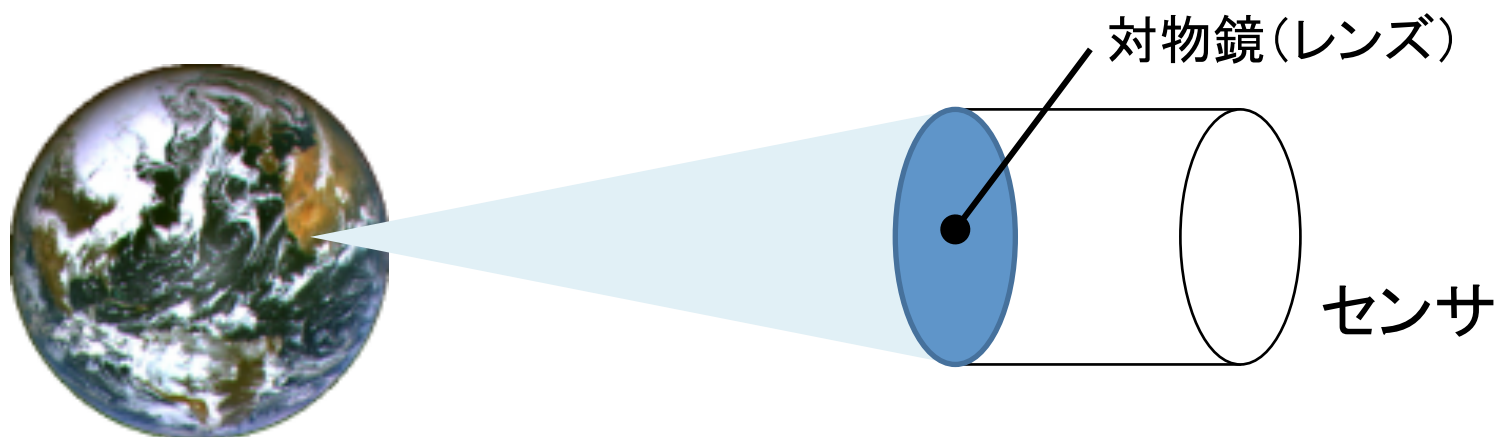


10 m



30 m

地表分解能と対物鏡のサイズ



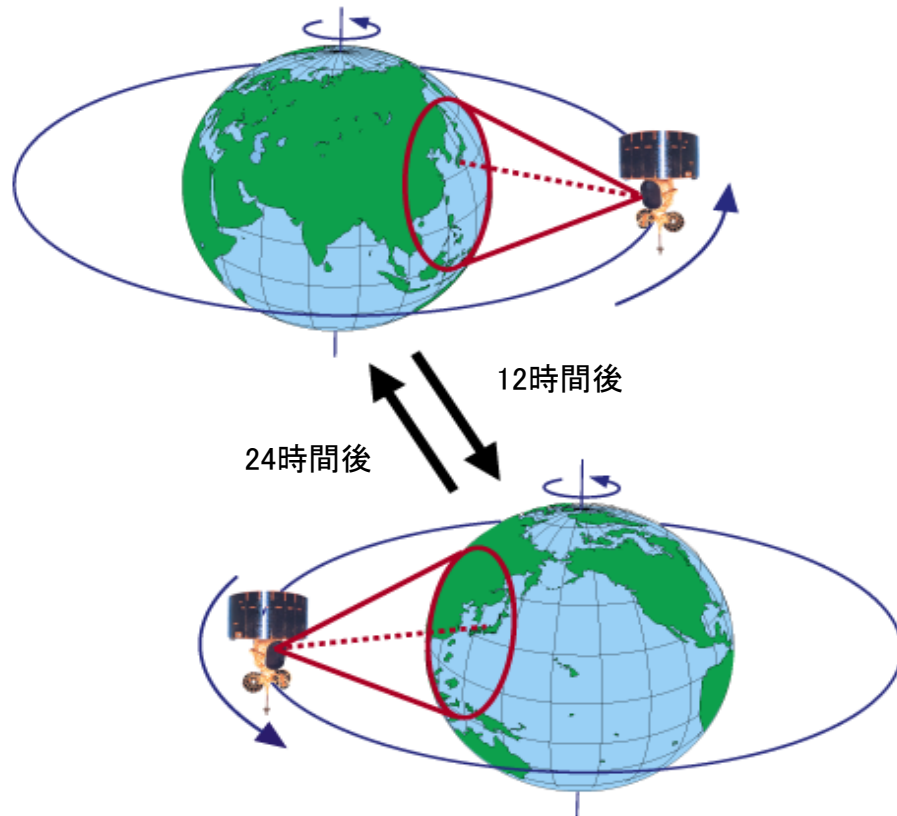
$$\text{地表分解能 (理論的限界)} = 1.22 \frac{\lambda \cdot h}{d}$$

λ : 観測波長
 h : 衛星の高度
 d : 対物鏡の直径

地球観測衛星の軌道

1. 静止軌道

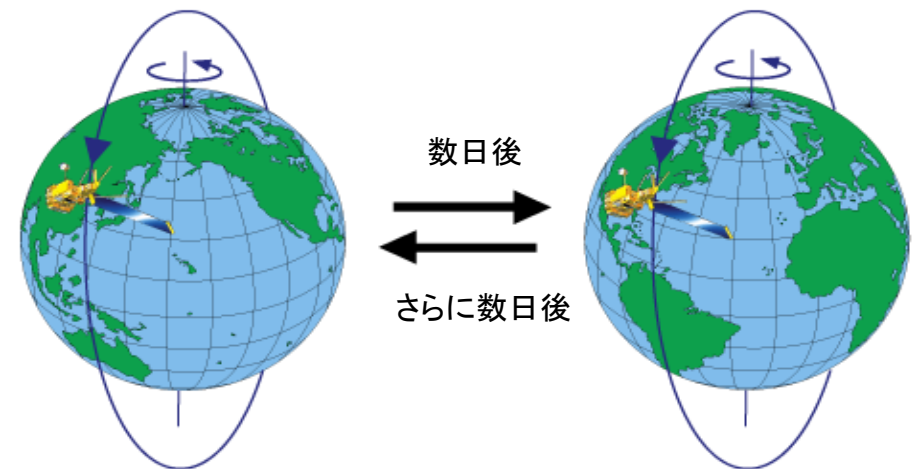
赤道上空約36,000km
(気象衛星、通信衛星など)



衛星の周期が地球の自転周期と同じ24時間のため、地上から止まっているように見える。

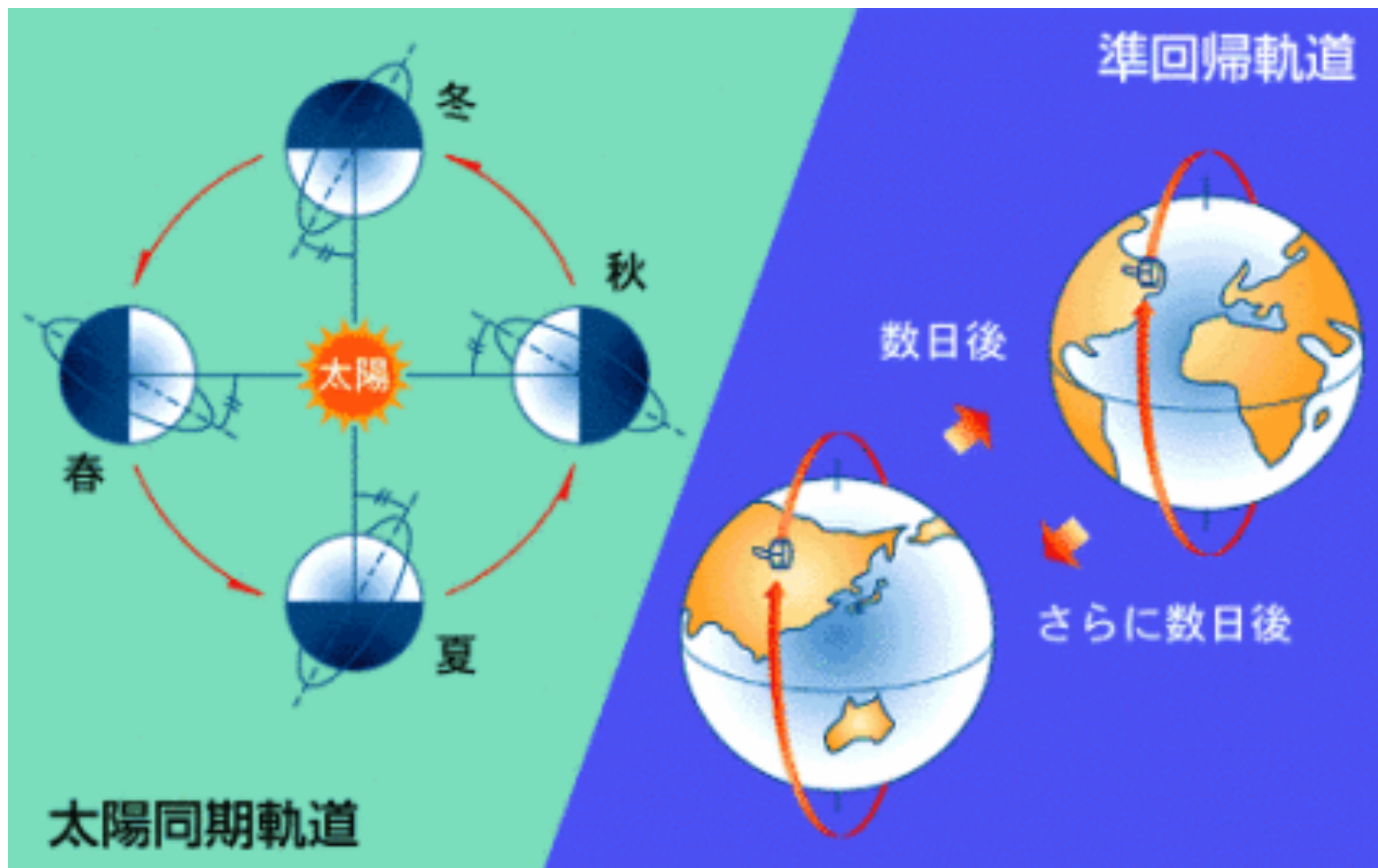
2. 低軌道

地表から約800km
(地球観測衛星など)



十日後に同一地点の上空に定期的に戻ってくる
(準回帰軌道)。このときには必ず前回と同じ時間帯に通過する(太陽同期軌道)

周回観測で良く使われる 太陽同期軌道と準回帰軌道



地球上のどの地点も1年中同じ地方時に観測

何日かごとに同一地点の上空に戻ってくる



Global Change Observation Mission

AMSR2 Quick Look Image Viewer



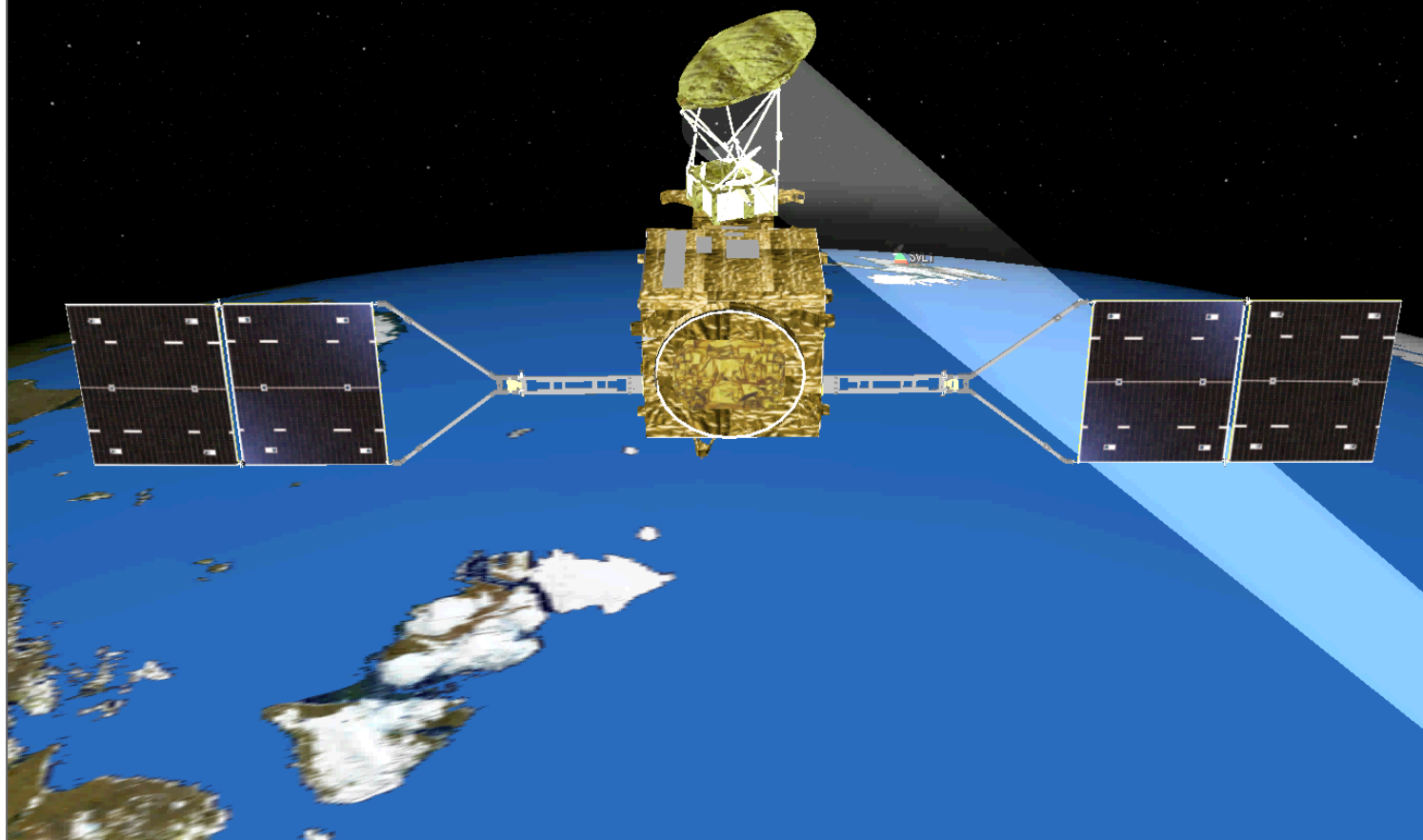
観測データ選択

【手動運転中】

速度 等速



衛星状態3D表示



観測データ情報表示

スキャン時刻(UTC) : 2012/09/27 01:58:18.345

スキャン時刻(JST) : 2012/09/27 10:58:18.345

センサ種別 : AMSR2

緯度指数 : 80.5[deg]

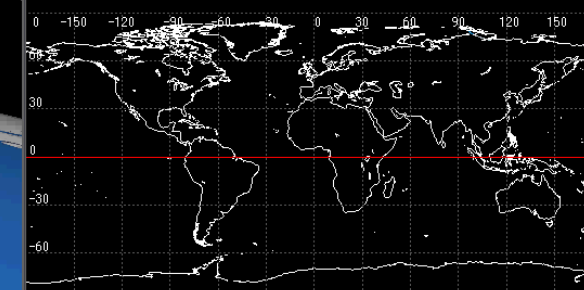
パス番号 : 201

パス方向 : Descending

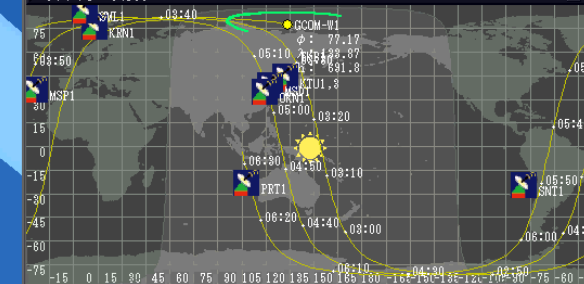
データ種別 : L1B 36.5GHz,H + 89.0GHz-A,H + 89.0GHz-A,V

データ期間 : 2012/09/27 10:58:18 ~ 14:17:04 [JST]

観測データ2D表示



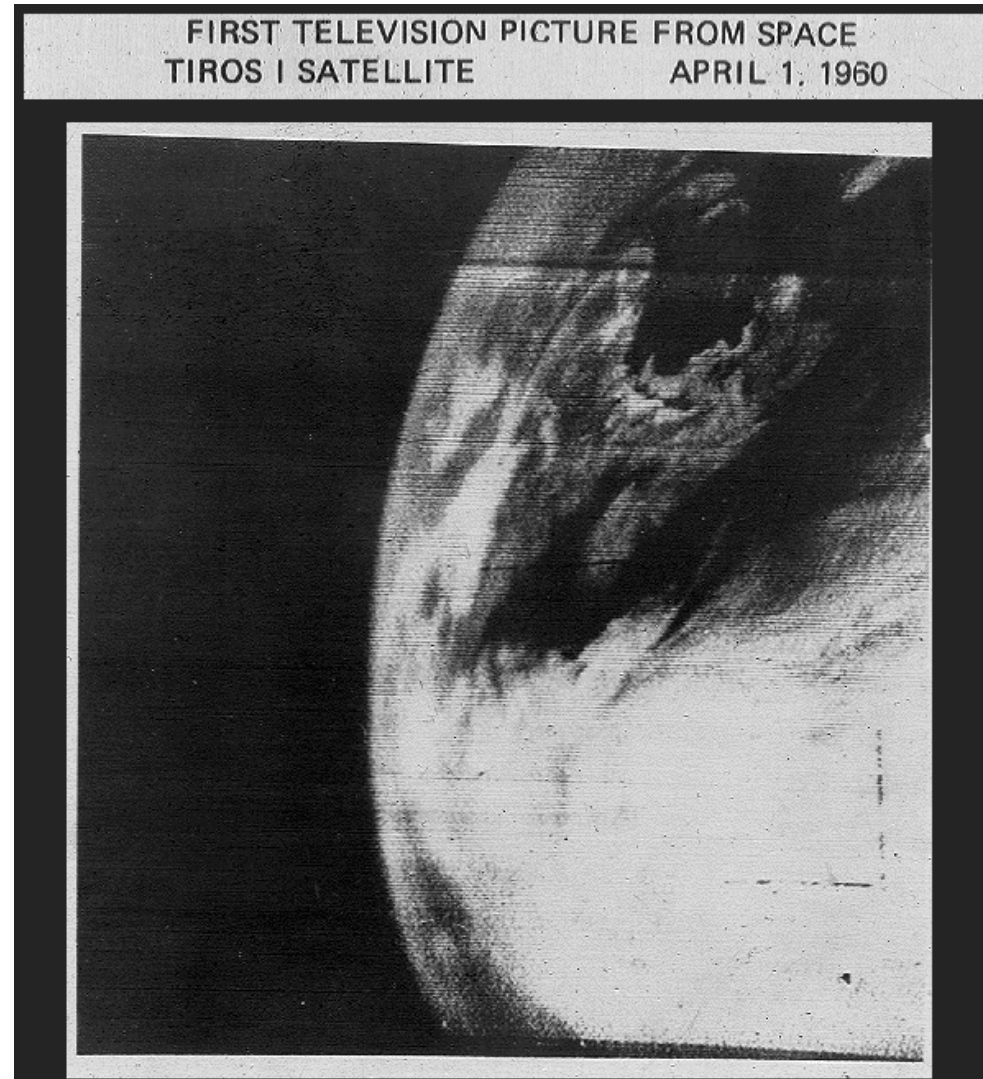
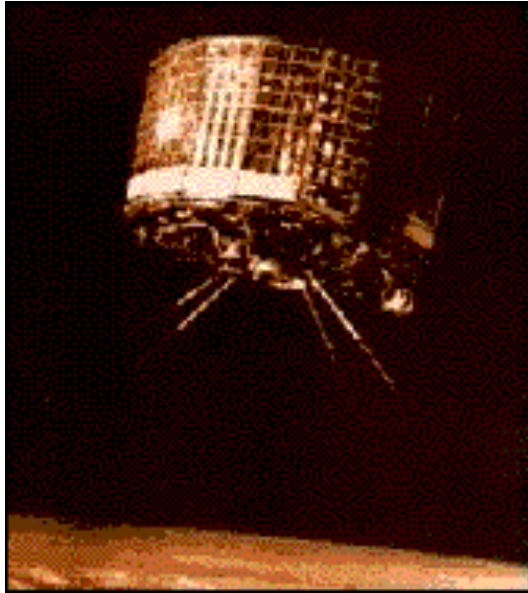
スキャンパス表示



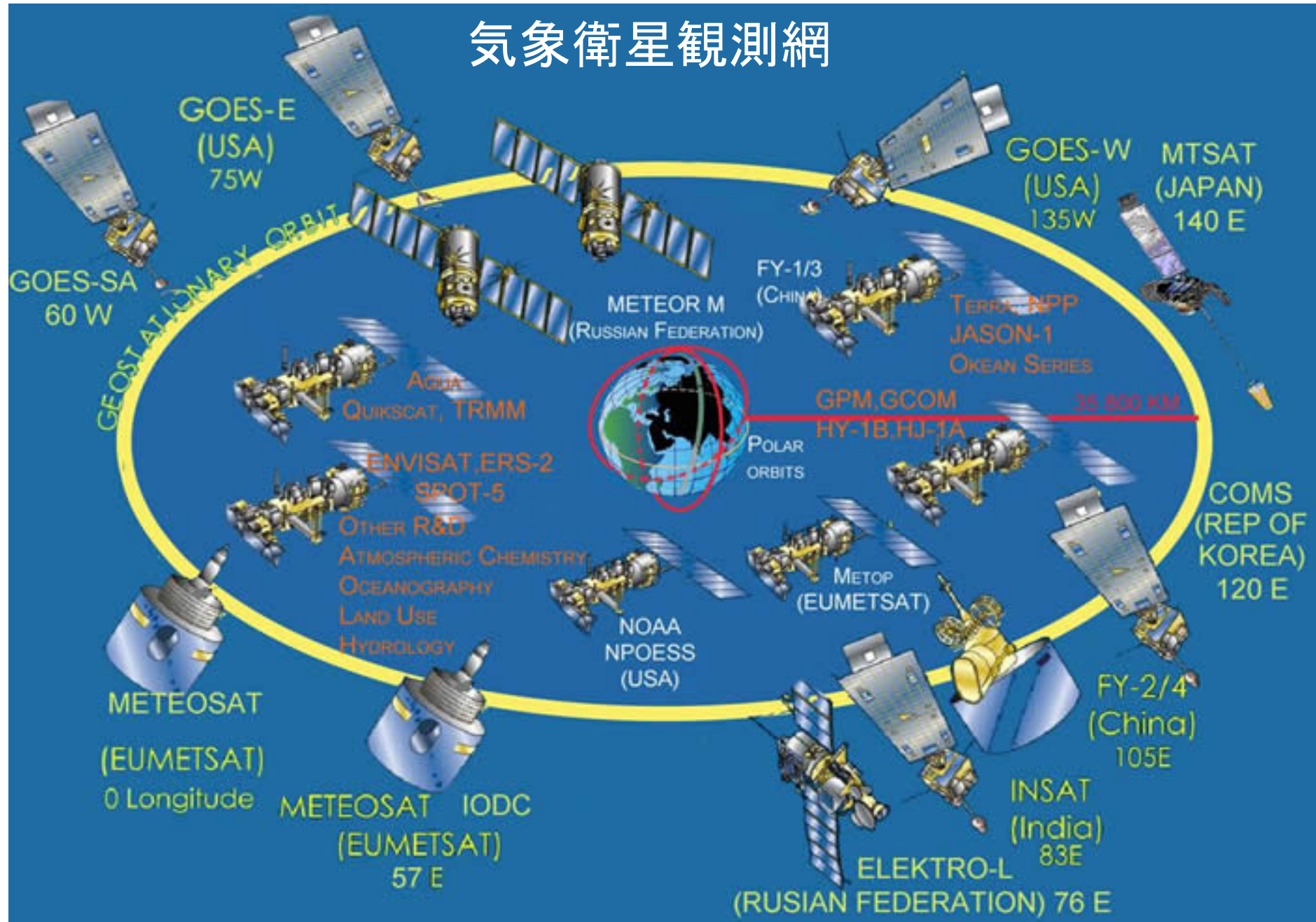
世界の地球観測衛星

世界初の気象観測衛星 TIROS I

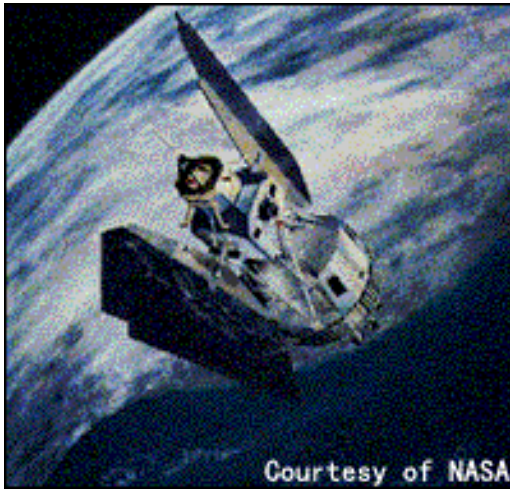
1960年4月1日打上げ(スプートニクの2年半後)



氣象衛星觀測網



地球観測衛星の幕開け： ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellites)
後に Landsat-1 と改名 1972年7月23日打上げ



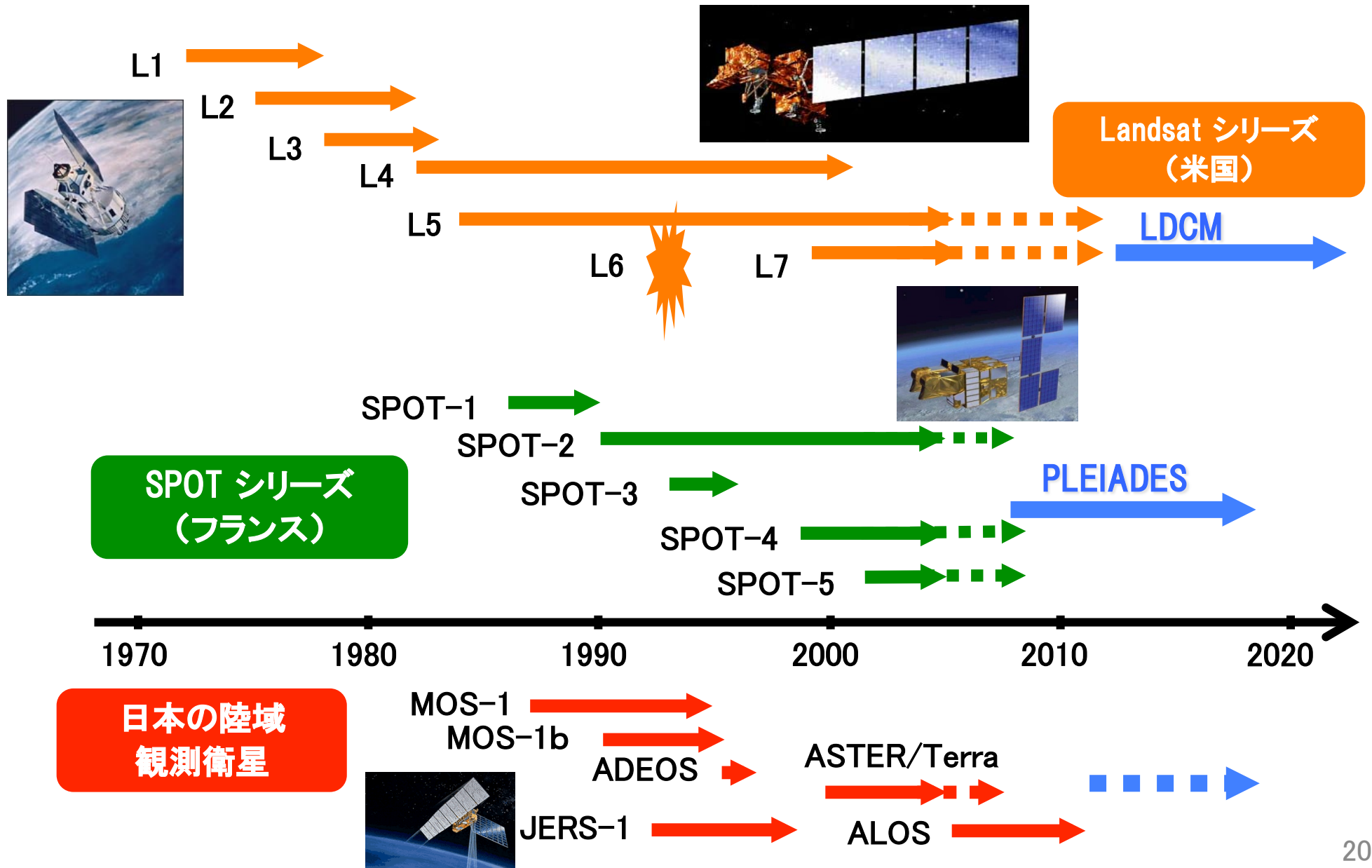
気象衛星 Nimbus
のバスを利用



地表分解能 80m

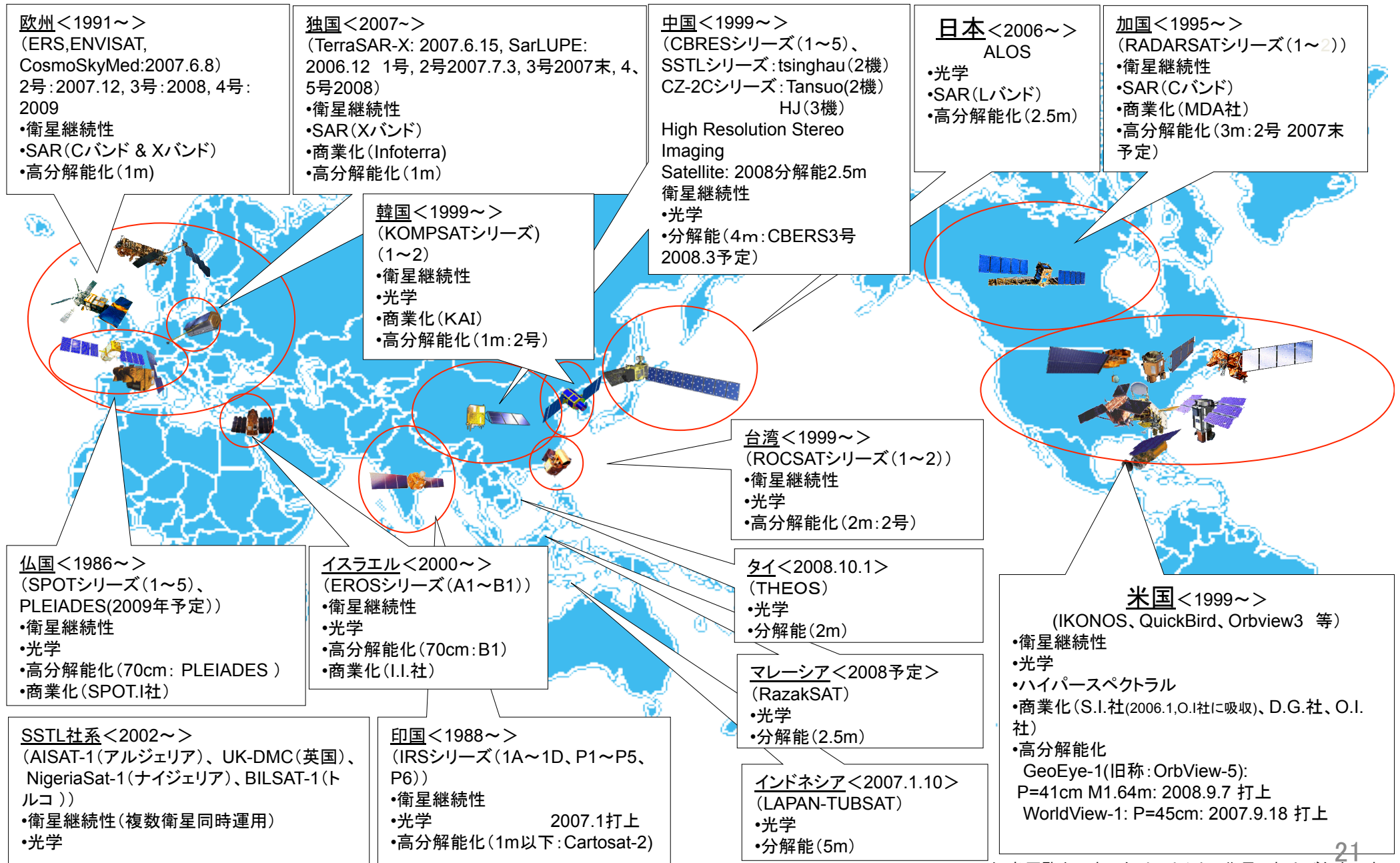
日本の衛星地球観測は Landsat の受信から始まった(1979年～)

陸域観測衛星シリーズ



衛星を用いた地球観測の世界: 高分解能衛星(除 軍事(安全保障関連)及び気象)
～主要国、保有衛星(含 打上予定)及びキーワード～

(財)リモート・センシング技術センターの情報に基づく

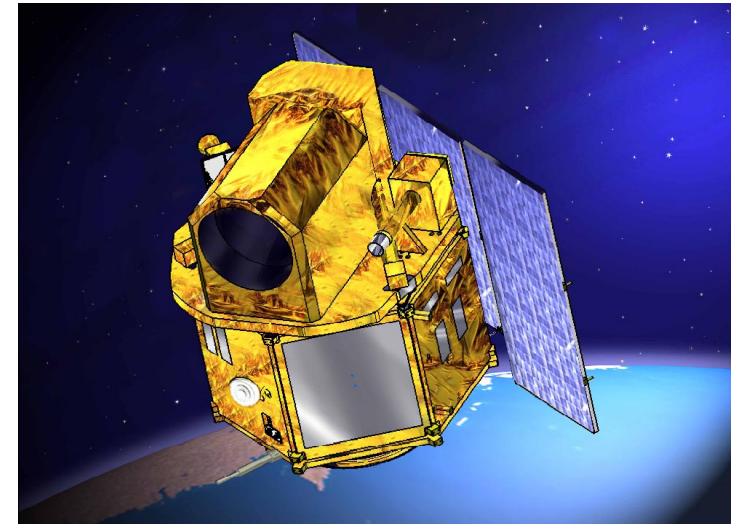


注: 各国覧中の表示年は、はじめの衛星の打上げ年を示す

THEOS(Thailand Earth Observation Satellite)

タイ初の地球観測衛星。土地利用把握、森林管理、農作物監視、沿岸域監視、タイ北部一帯の不法作物(アヘン等)の監視、地図作成、将来のインフラ計画などに利用

打上げ	日時	2008年10月1日
	場所	ヤスニー(ロシア)
	ロケット	ドニエプル
衛星	重量	750kg
	姿勢制御	三軸安定方式
軌道	高度	約822km
	種類	太陽同期軌道
	傾斜角	98.7度
	回帰	26日
設計寿命		5年
製造企業		EADSアストリウム社
搭載機器		分解能: 2m(パンクロ) 15m(マルチ、4バンド) 観測幅: 22km(パンクロ)、99km(マルチ)



SPOTと同一の軌道

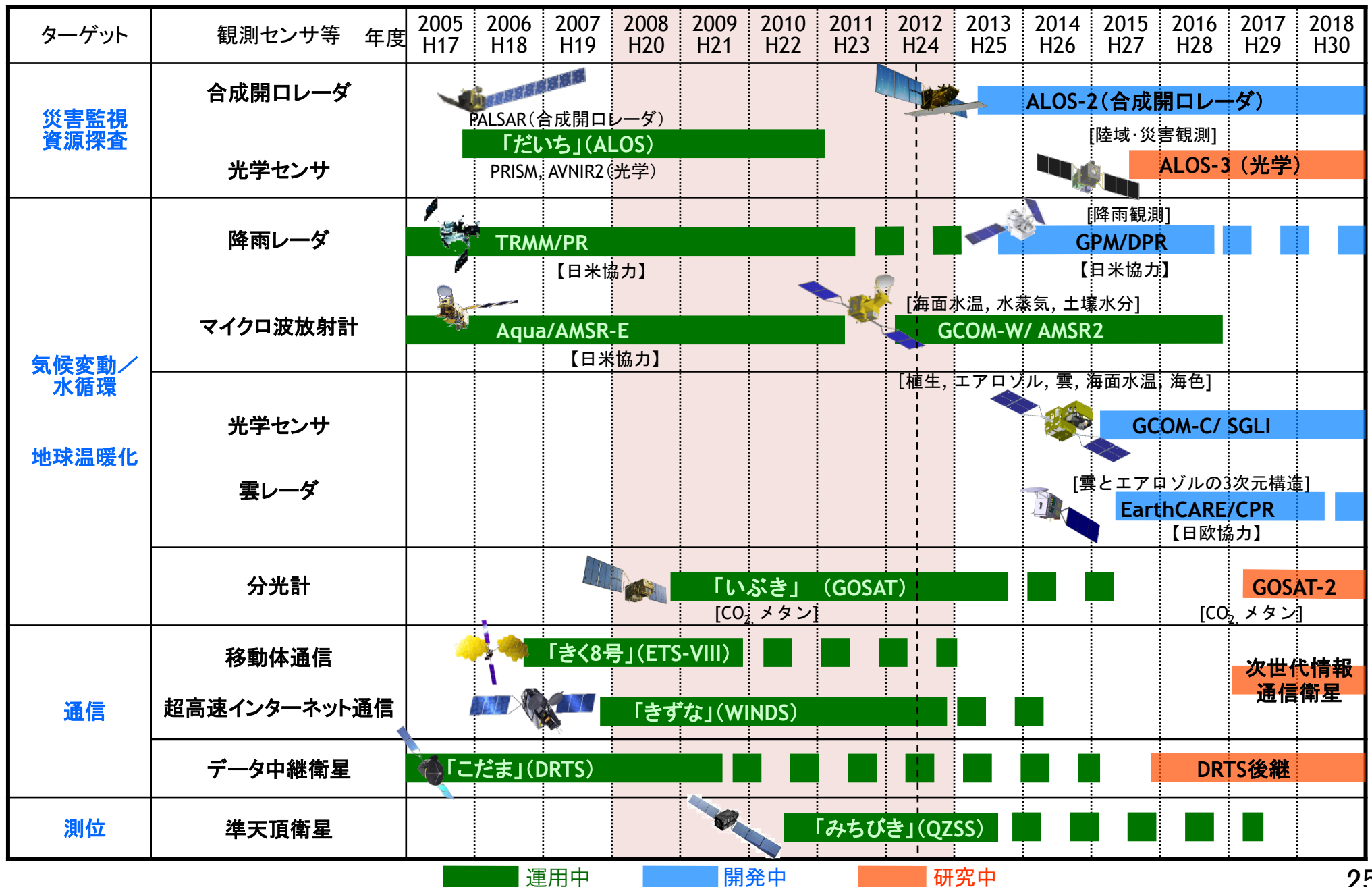
Suvarnabhumi Airport, Samut Prakan



Multi. 15 m.

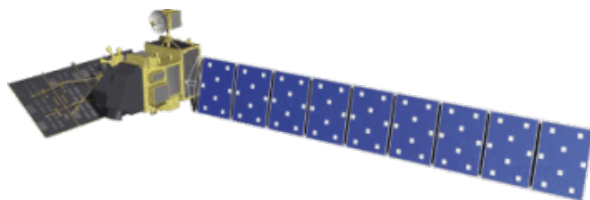
JAXAの衛星計画

JAXAの衛星計画(地球観測、通信、測位分野)



陸域観測技術衛星(ALOS)シリーズ

- 高分解能と比較的広い観測幅を持ち、沿岸域、離島の観測などに威力
- 合成開口レーダにより夜間、悪天候時も波浪、海氷などの情報が得られ、また船舶検知も可能



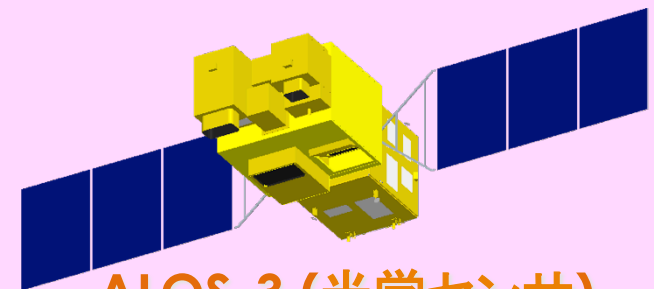
だいち(ALOS)
(光学センサ & 合成開口レーダ(SAR))
(平成18年1月～平成23年5月)

広観測幅(50km)・高分解能(0.8m)を両立した光学・立体視センサを搭載し、3次元のグローバルな地理空間情報を取得。



ALOS-2 (合成開口レーダ(SAR)) (平成25年度打上げ)

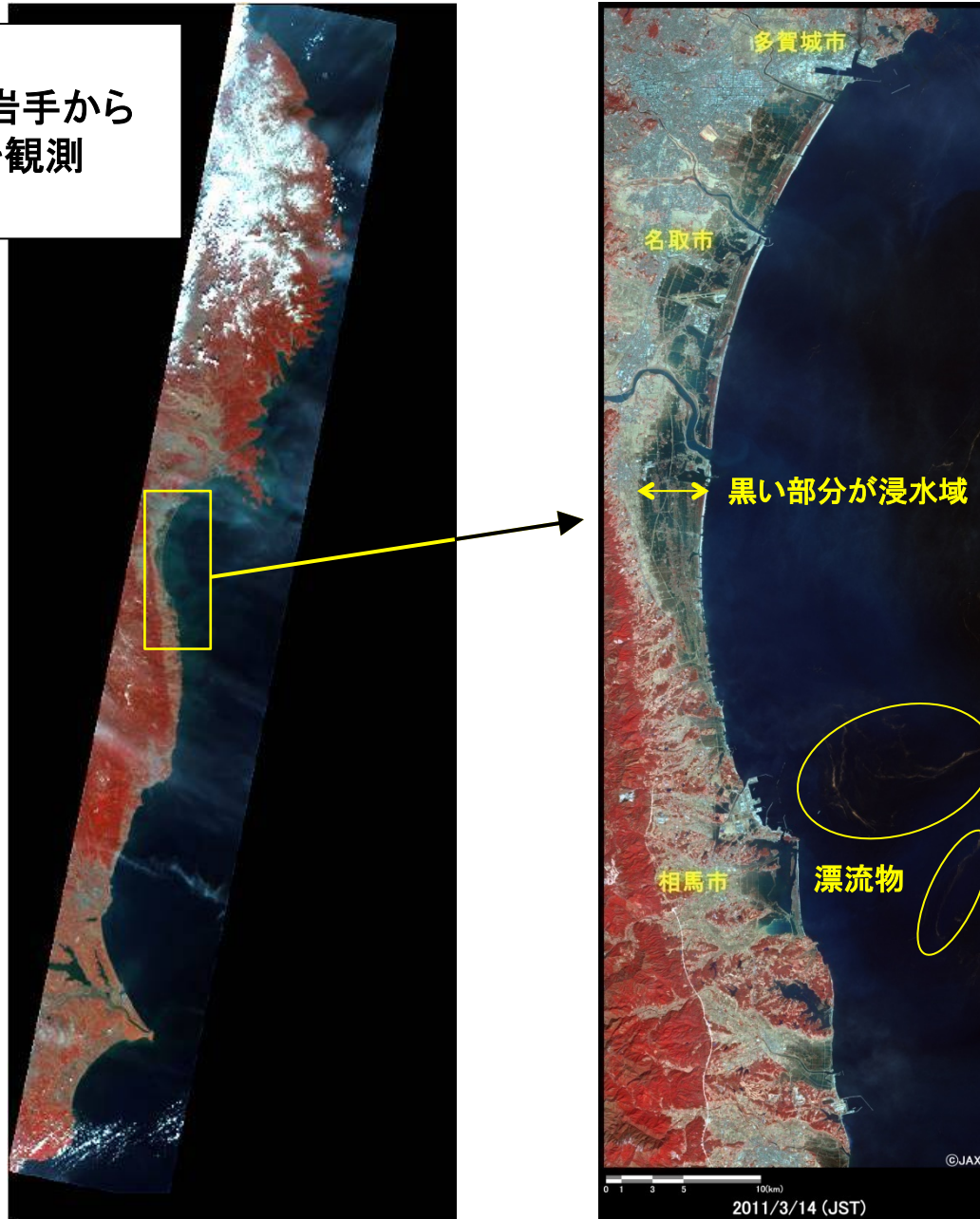
夜間・悪天候でも観測可能な、最大490 kmの広観測幅、最高分解能1m～3mのレバンド合成開口レーダを搭載



ALOS-3 (光学センサ)
(平成27年度以降打上げ)

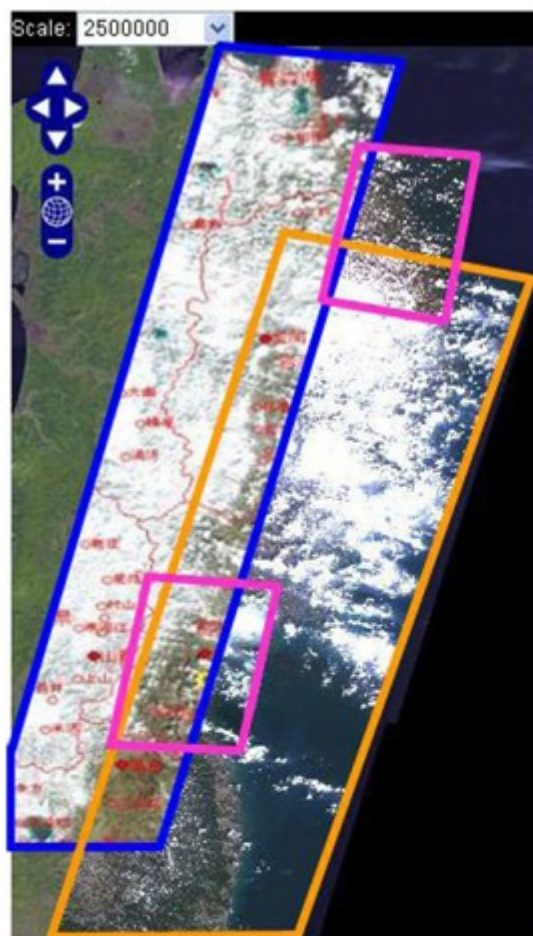
“だいち”による広範囲の津波被害把握

3月14日午前
「だいち」により岩手から
関東の沿岸域を観測
(観測幅70Km)



- ✓広範囲の沿岸部が冠水している状況を観測
- ✓海上に津波に流されたと考えられる漂流物を確認
- ✓「だいち」は広域俯瞰的な被害状況の把握に有効

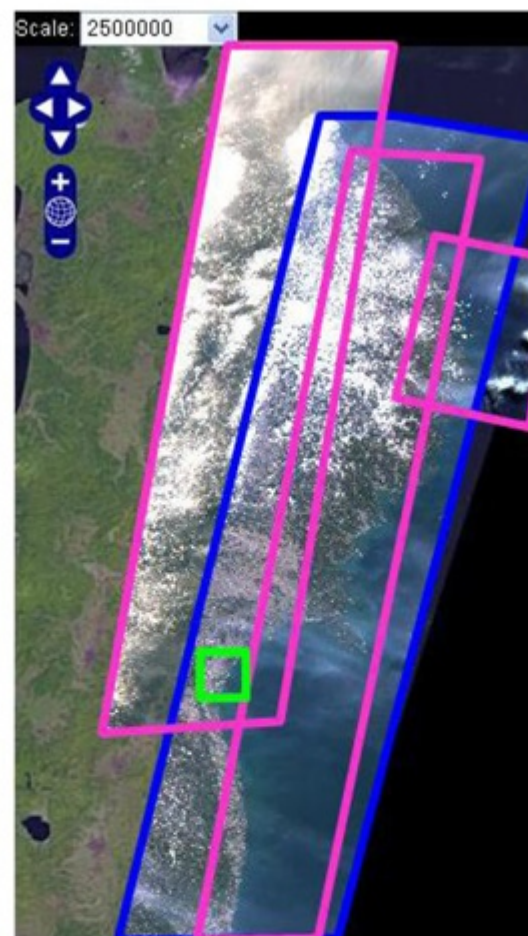
センチネルアジアによる観測協力



3月12日



3月13日



3月14日

ALOS

THEOS

FORMOSAT-2

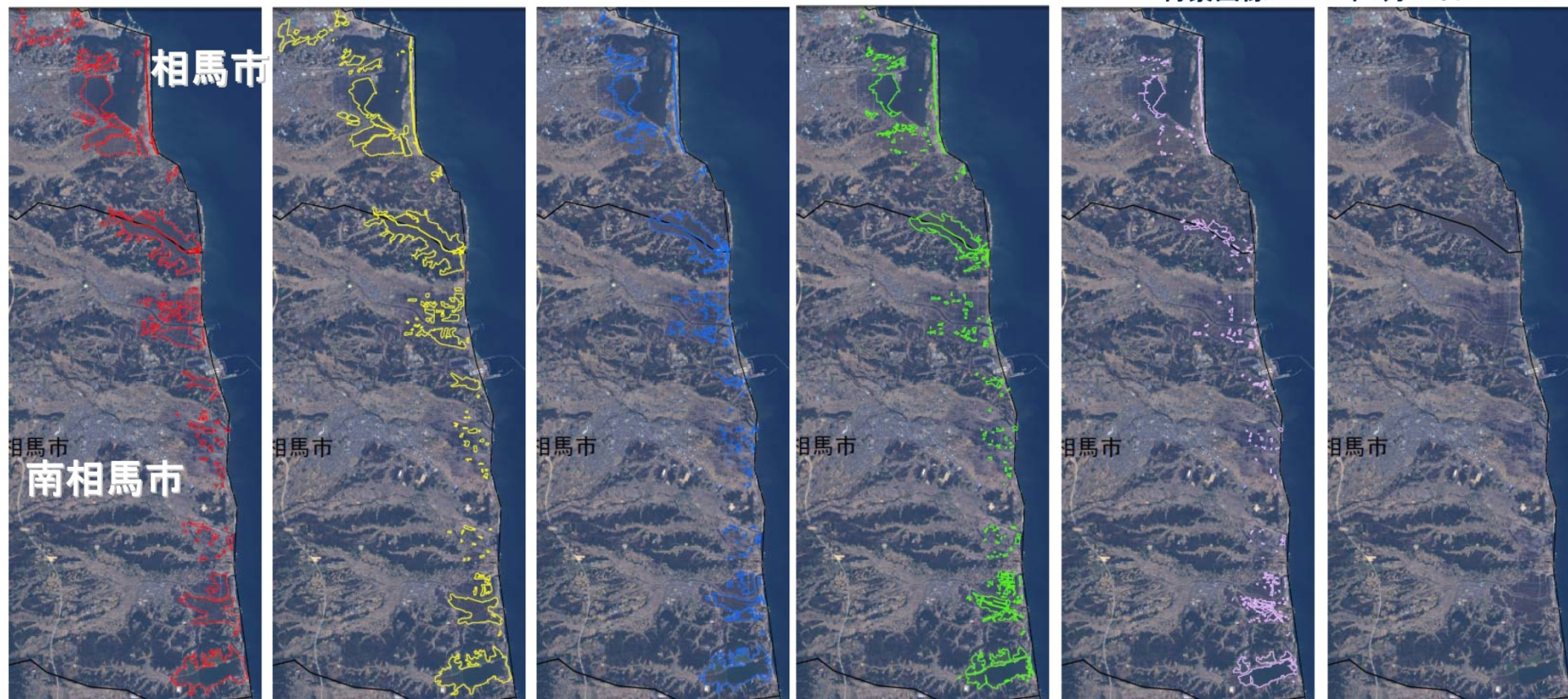
CARTOSAT-2



背景 : LANDSAT, NASA 28

“だいち”による湛水面積の把握(発災直後～約1ヶ月継続)

背景画像:2011年4月17日AVNIR-2



3月14日観測	3月19日観測	4月5日観測	4月10日観測	4月17日観測	4月20日観測
25.902 [km ²]	21.521 [km ²]	13.943 [km ²]	11.025 [km ²]	5.847 [km ²]	0.094 [km ²]

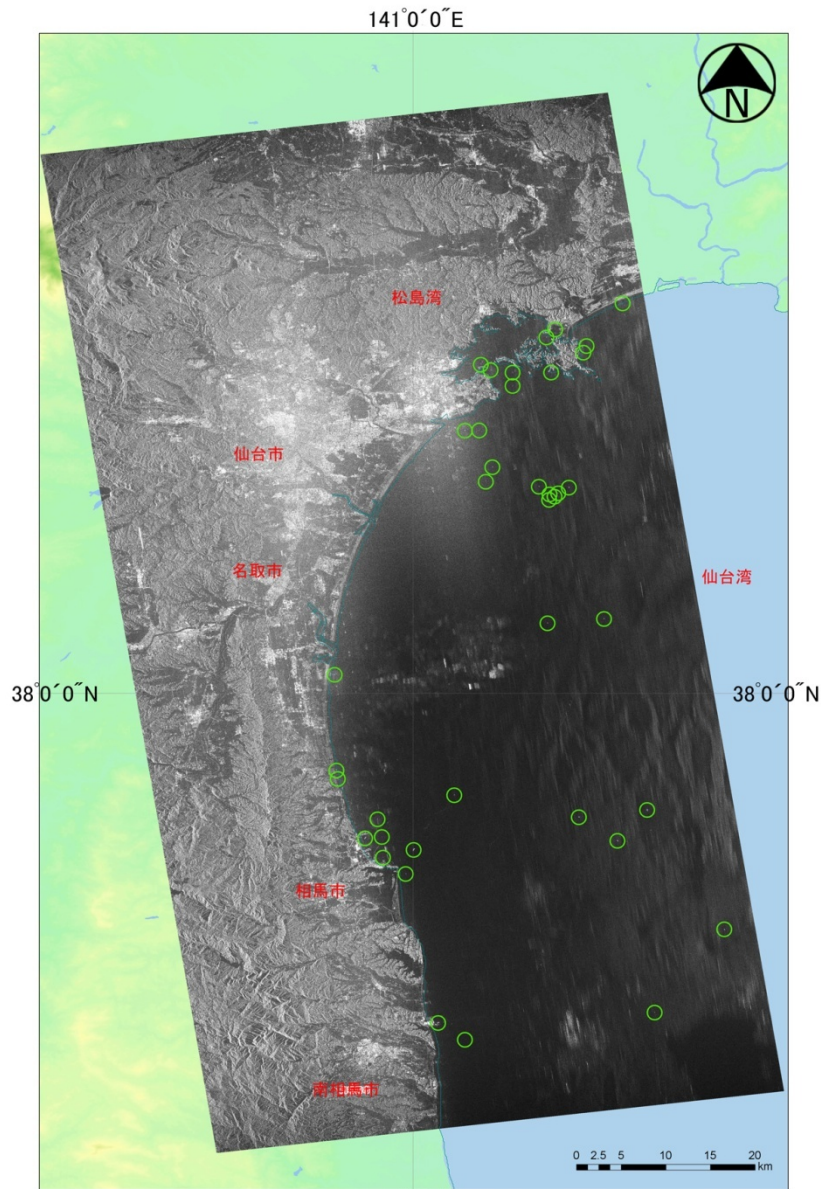
面積:福島県のみ

市区町村単位で湛水ポリゴン作成、面積抽出
湛水域抽出結果提供先:内閣官房、内閣府、国土交通省、農林水産省 等

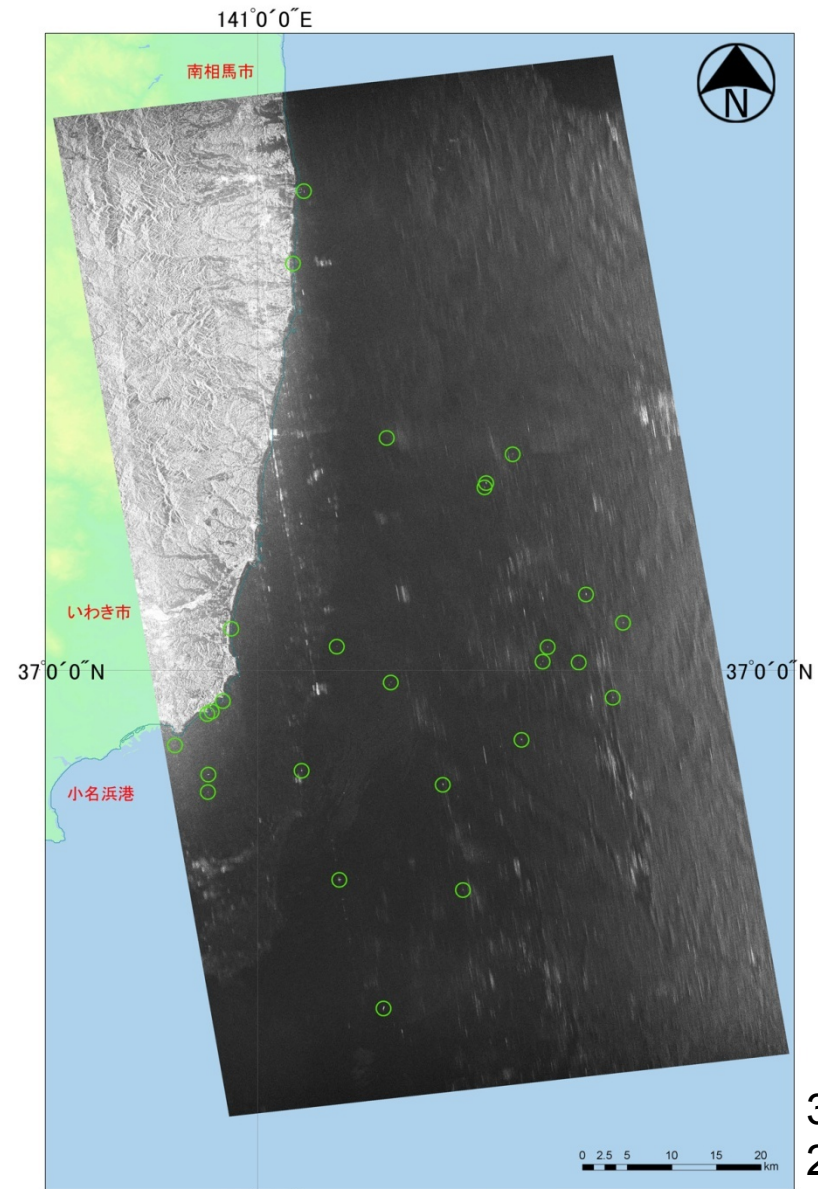
AVNIR-2湛水域抽出結果(宇宙利用ミッション本部WEB)
http://www.satnavi.jaxa.jp/project/alos/news/2011/pdf/110422_alos.pdf

時間と共に
湛水域が減少

“だいち”レーダーによる海上漂流物の検出

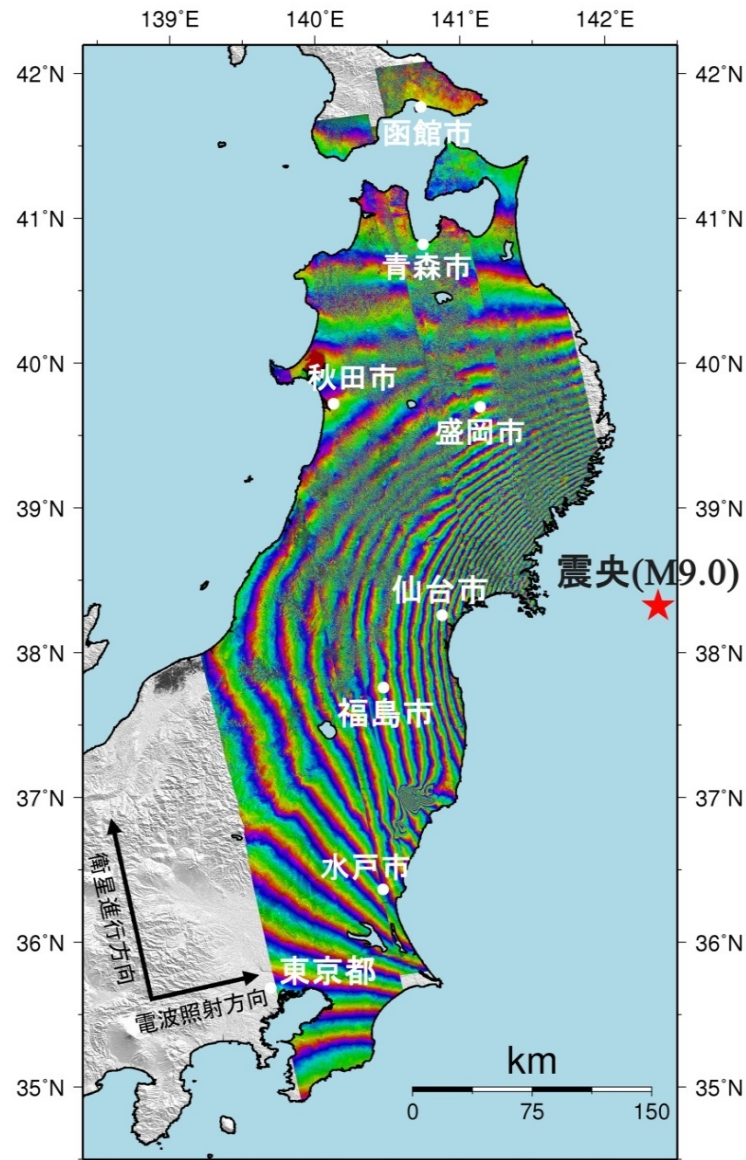


141°0'0"E ©JAXA, METI Analyzed by MSS
仙台湾周辺(39個の漂流物を検出)



141°0'0"E ©JAXA, METI Analyzed by MSS
南相馬市～いわき市沖合周辺(27個の漂流物を検出)
3月13日
22時頃撮影

“だいち”レーダーによる東日本大震災の地殻変動観測



地面が衛星に近づく
(隆起もしくは西向き)

地面が衛星から遠ざかる
(沈降もしくは東向き)

-11.8cm
(縮む)

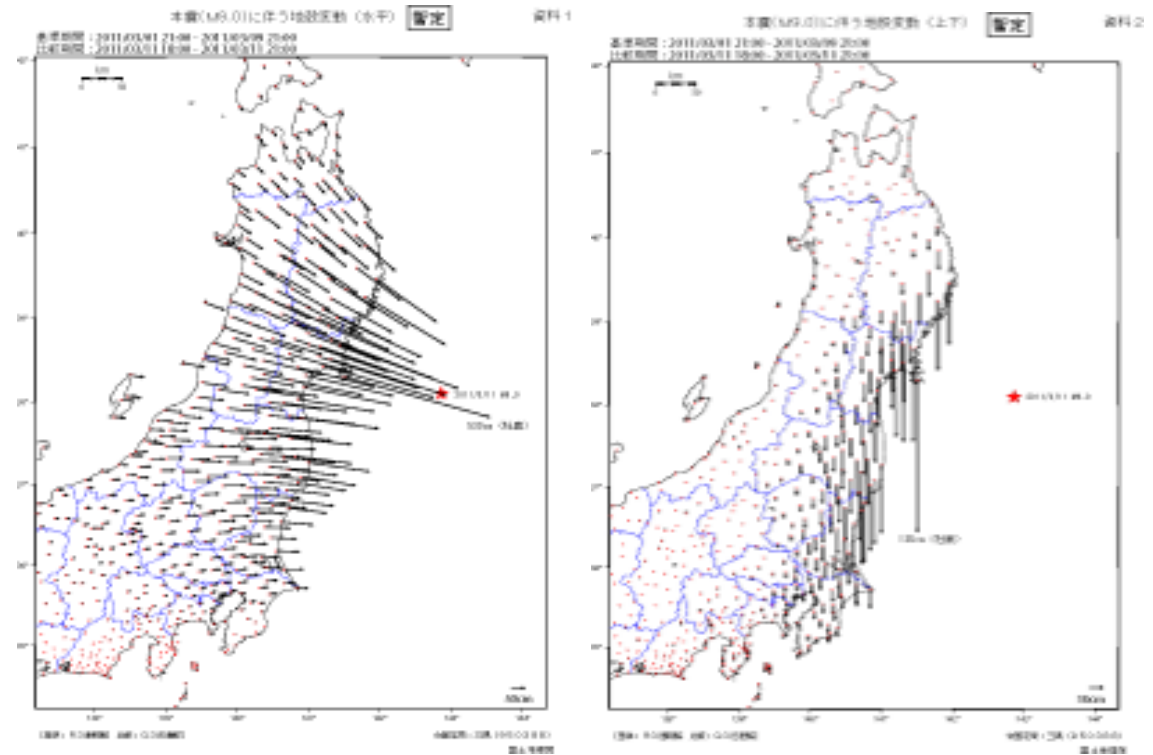
0

+11.8cm
(伸びる)

衛星-地面間の距離変化



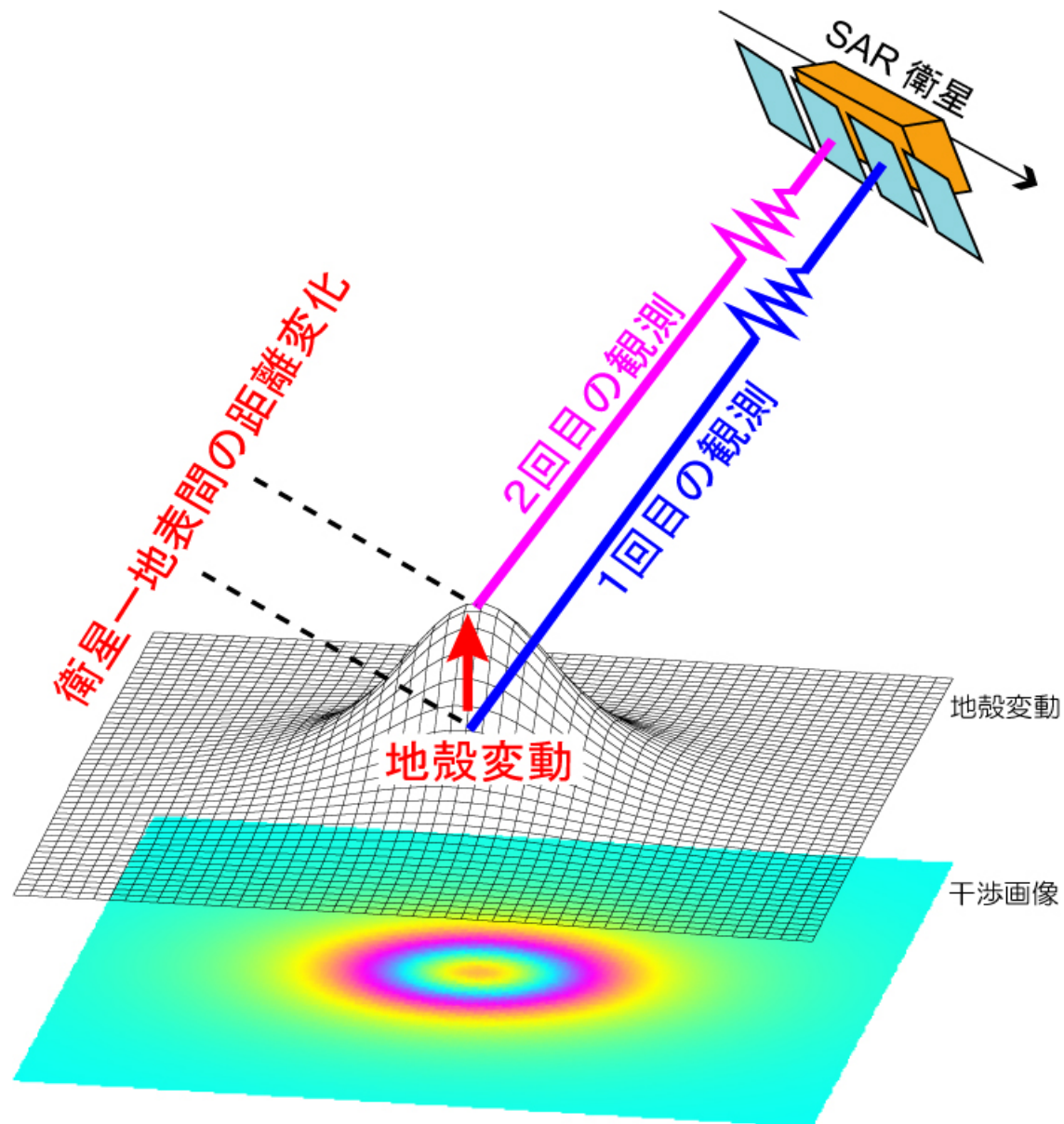
(C)JAXA,METI Analyzed by JAXA



電子基準点による地殻変動量

Copyright: 国土地理院

合成開口レーダ (SAR) による差分干渉解析





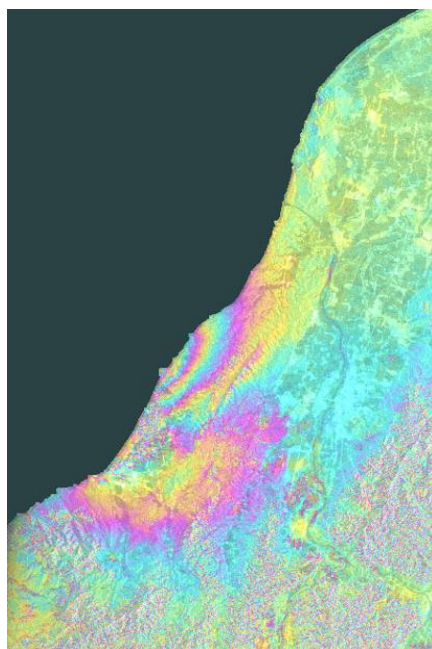
地震

高精度地盤変動測量(国土地理院)

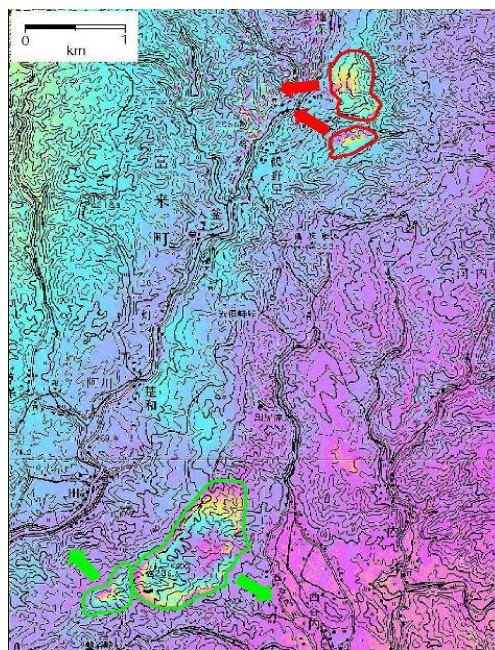
地すべり

火山

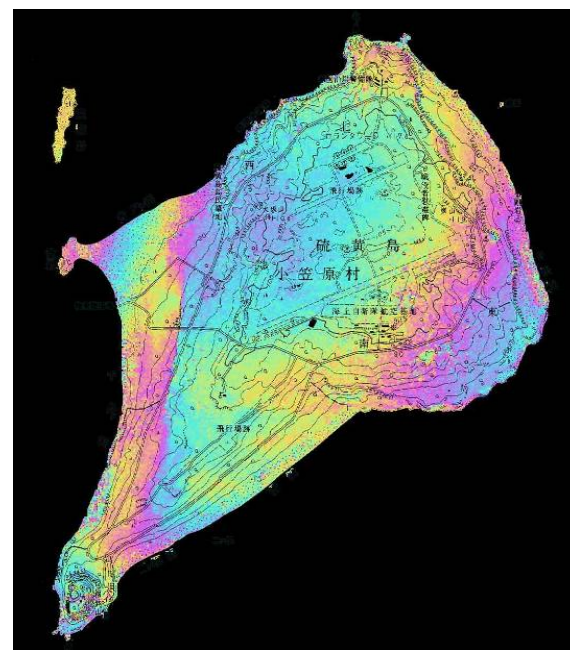
地盤沈下



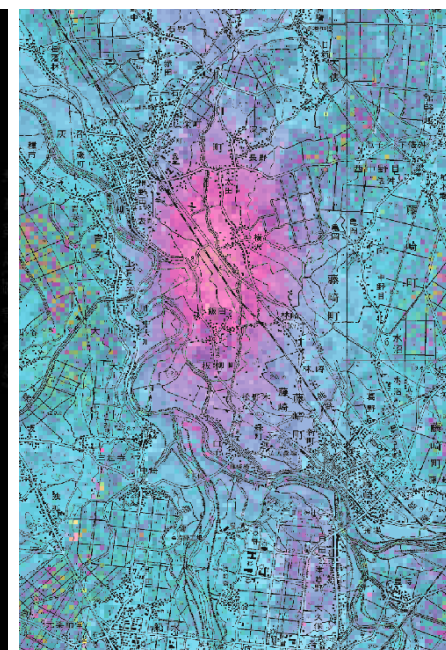
平成19年(2007年)
新潟県中越沖地震



平成19年(2007年)
能登半島地震



(東京都・硫黄島)



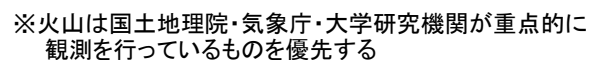
(青森県・岩木川流域)

発生場所不特定
災害発生時に緊急に解析

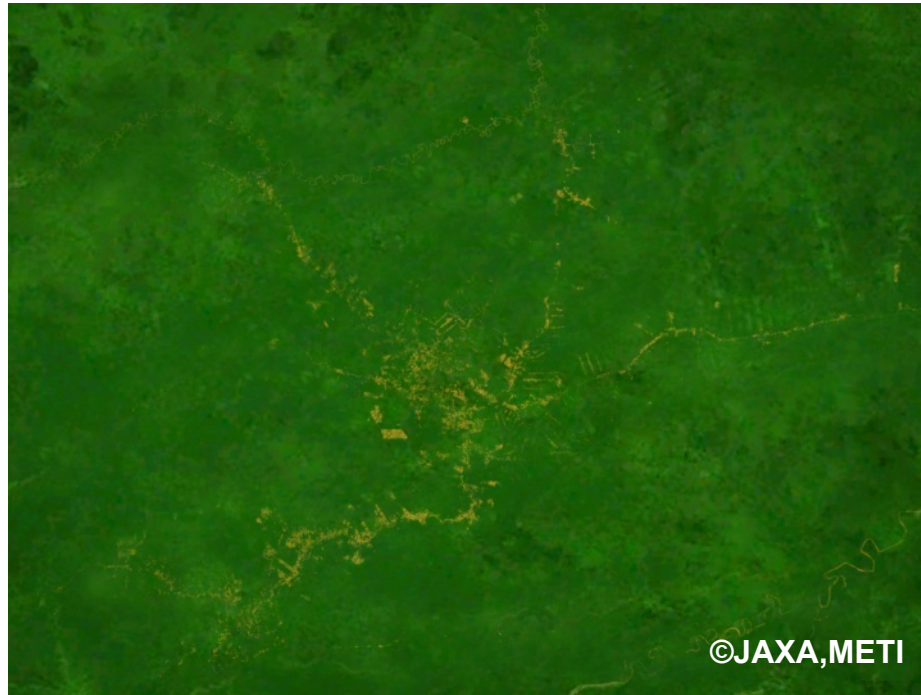
発生場所予め特定
定常的な監視・解析



 地盤沈下地域 16地域
 火山地域 39地域



“だいち”によるブラジル森林伐採監視



1995年(ふよう1号)

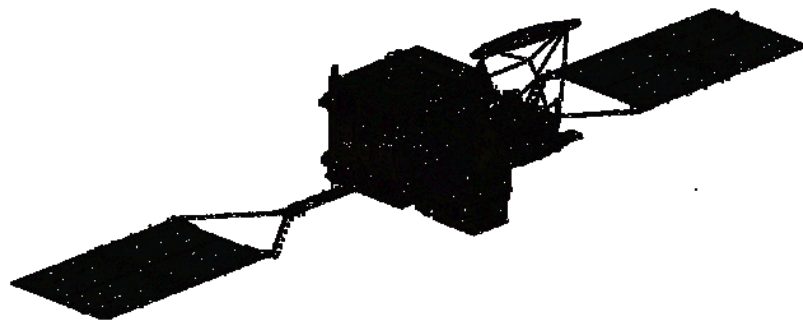


2007年(だいち)

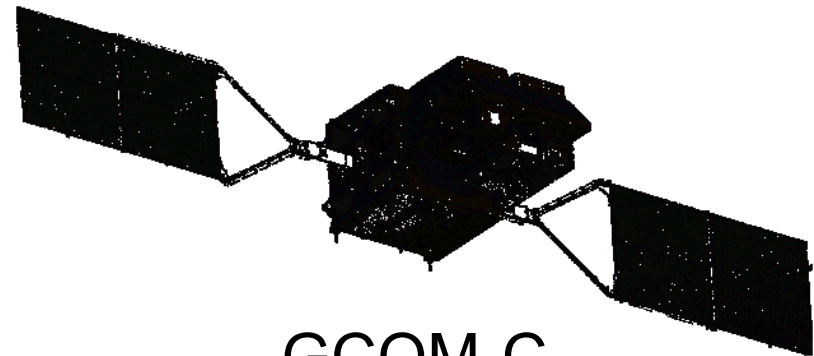
2007年9月からブラジル・環境及び再生可能天然資源院(IBAMA)に対して「だいち」(ALOS)搭載の合成開口レーダ(PALSAR)により取得したデータを概ね5日に1回提供し、準リアルタイムで違法伐採を含む森林伐採領域の特定・監視に協力。これにより、ブラジル国内における森林伐採を、2007年までの19,000平方kmから、2009年の7,000平方kmと激減させることに貢献。

地球環境変動観測ミッション(GCOM)

- 地球環境変動観測ミッション(Global Change Observation Mission: GCOM)は、地球規模での気候変動、水循環メカニズムを解明するため、全球規模で長期間観測を継続し、データを気候変動研究や気象予測、漁業などで利用することを目的とし、ふたつの衛星シリーズで構成される
 - ✓水循環変動観測衛星(GCOM-W): 降水量、水蒸気量、海洋上の風速や水温、陸域の水分量、積雪深度などを観測
 - ✓気候変動観測衛星(GCOM-C): 雲、エアロゾル(大気中のちり)、海色、植生、雪氷などを観測
- 海面水温、海色、海上風など海洋の基本的なパラメータも取得

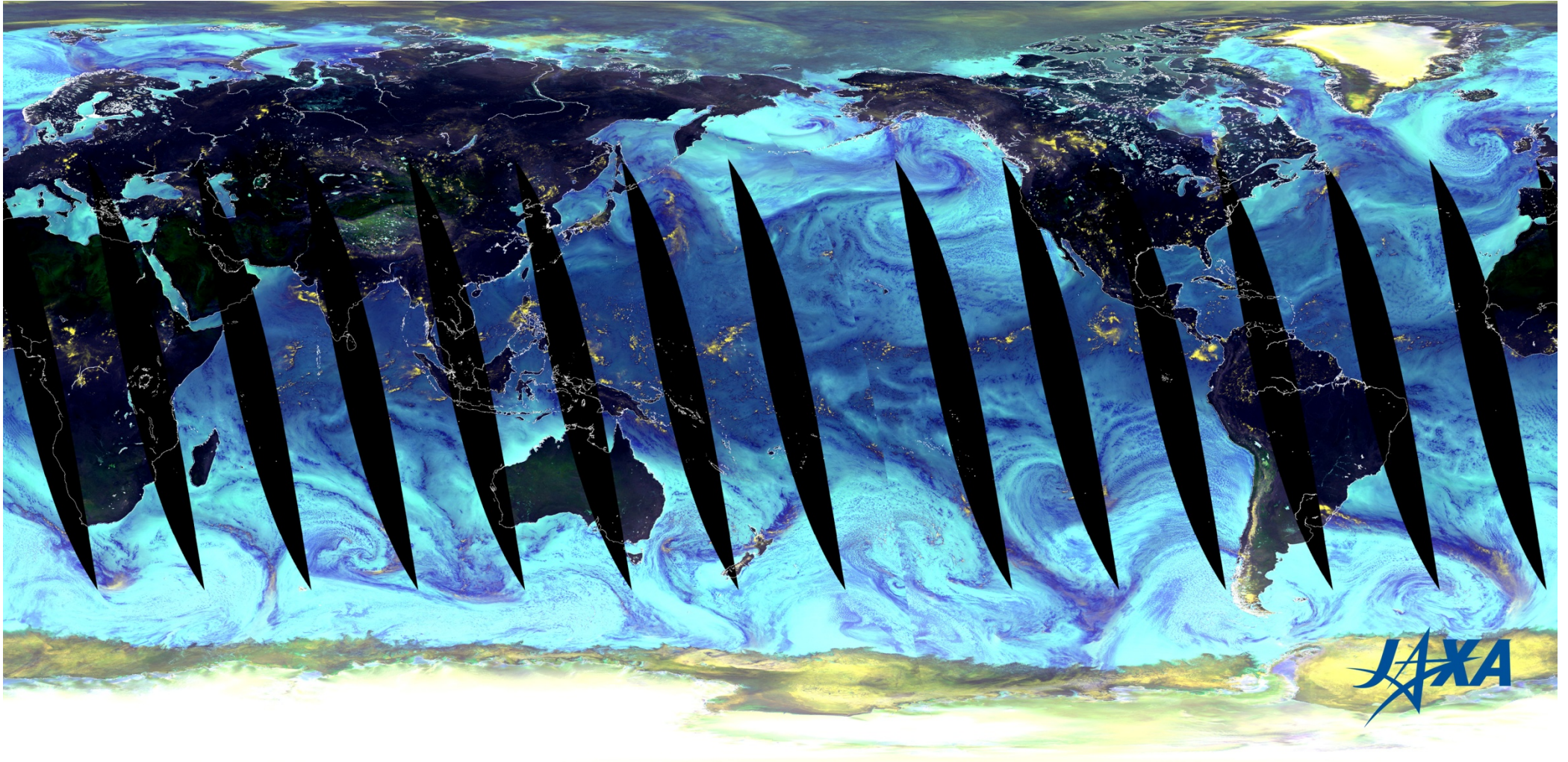


GCOM-W



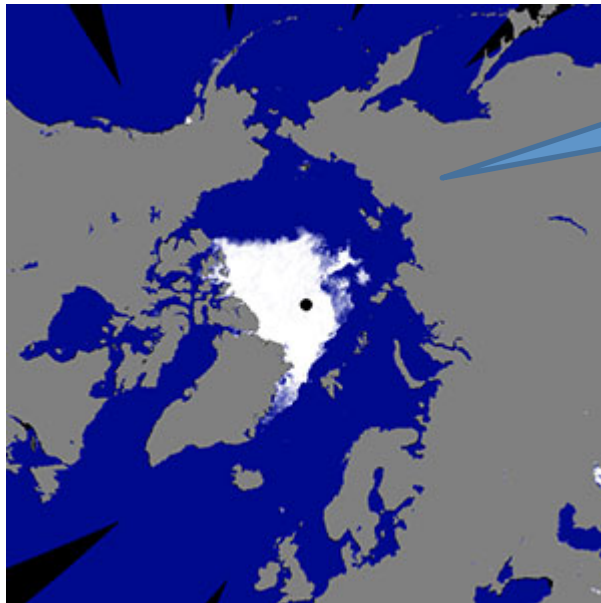
GCOM-C

GCOM-W1“しずく”の初画像

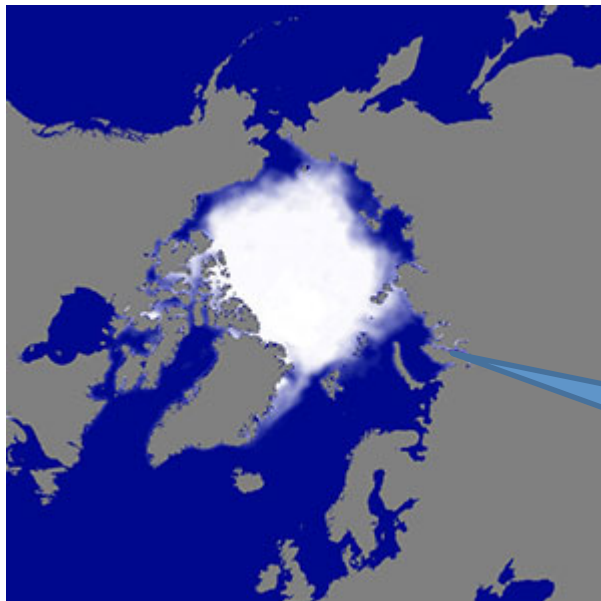


地球全体の擬似カラー合成画像（2012年7月3日9:00JST～4日9:00JST）

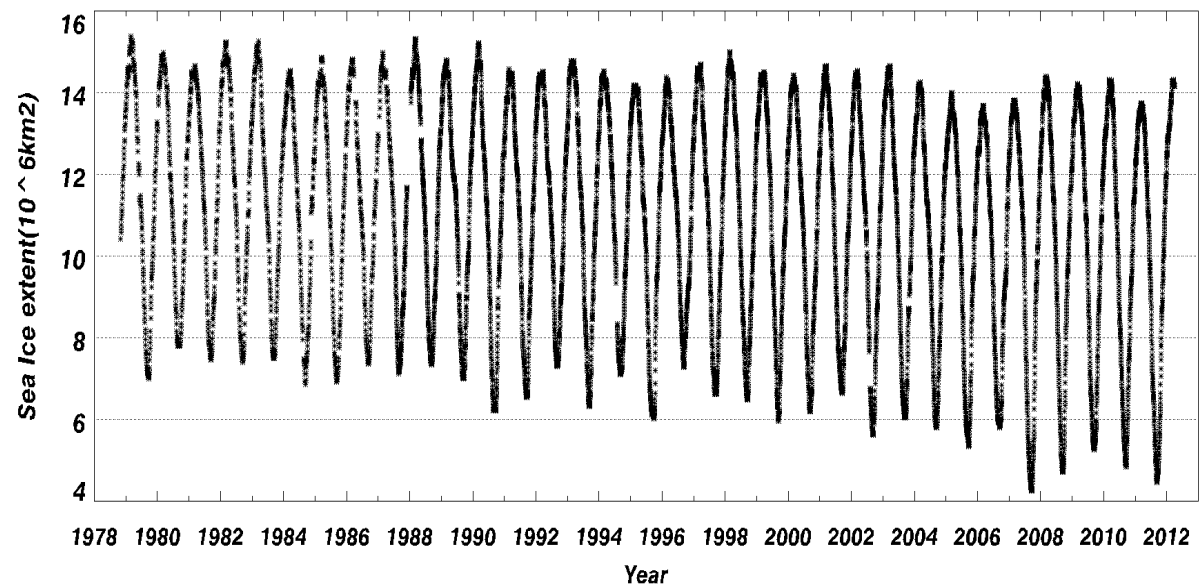
北極海海水の面積 観測史上最小記録



2012年9月16日 しずく/AMSR2[検証中]
が観測した海水分布(観測史上最小面積)



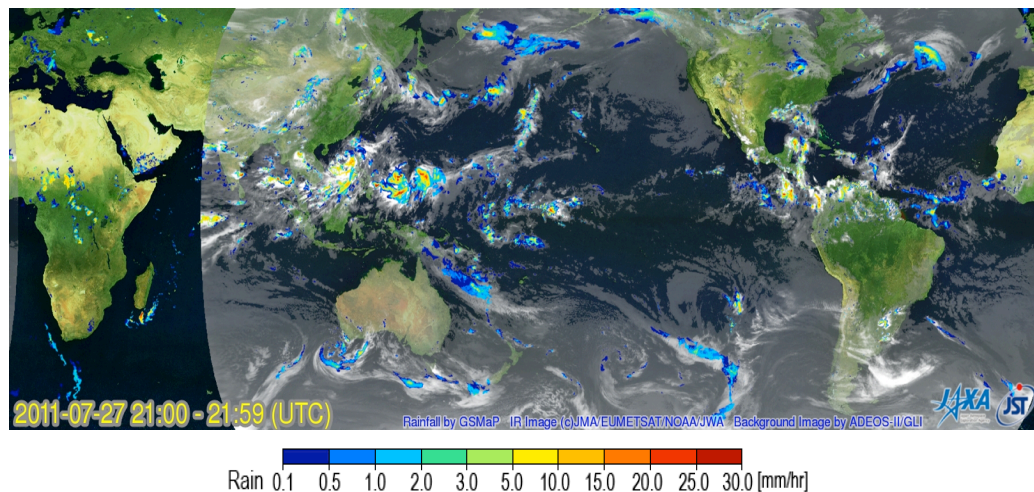
北極海海水面積の長期変動(1978年-2012年)



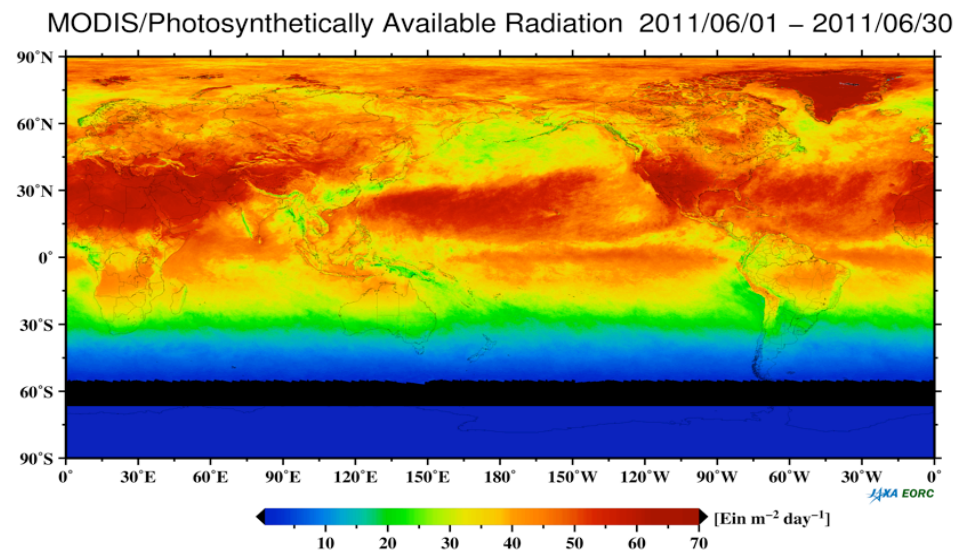
1980年代の9月最小時期の平均的分布
(米国衛星搭載マイクロ波センサの解析結果)

衛星で捉えることのできる気象要因

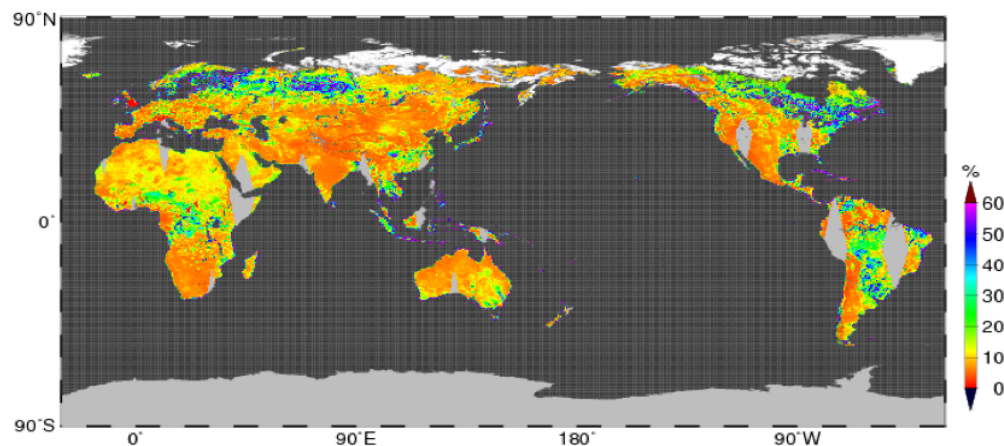
降水量



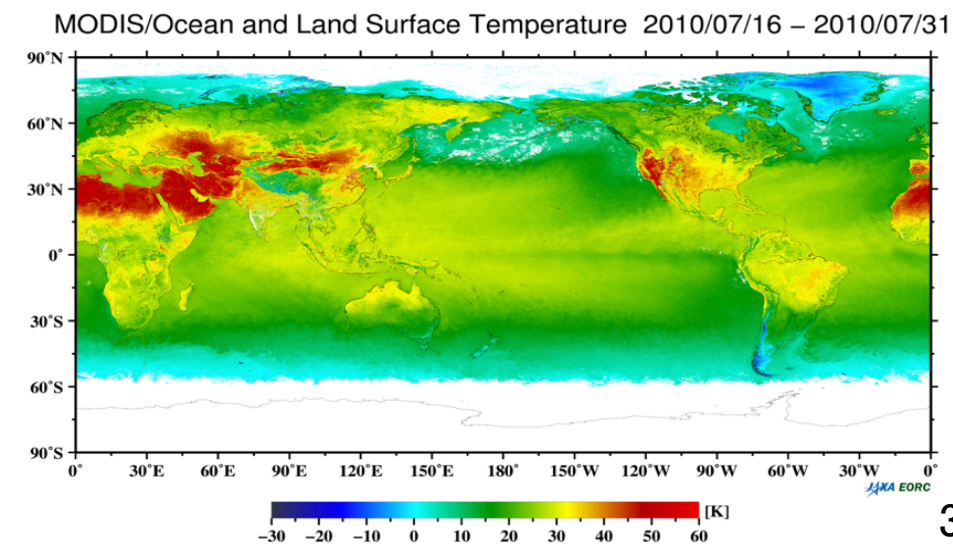
日射量



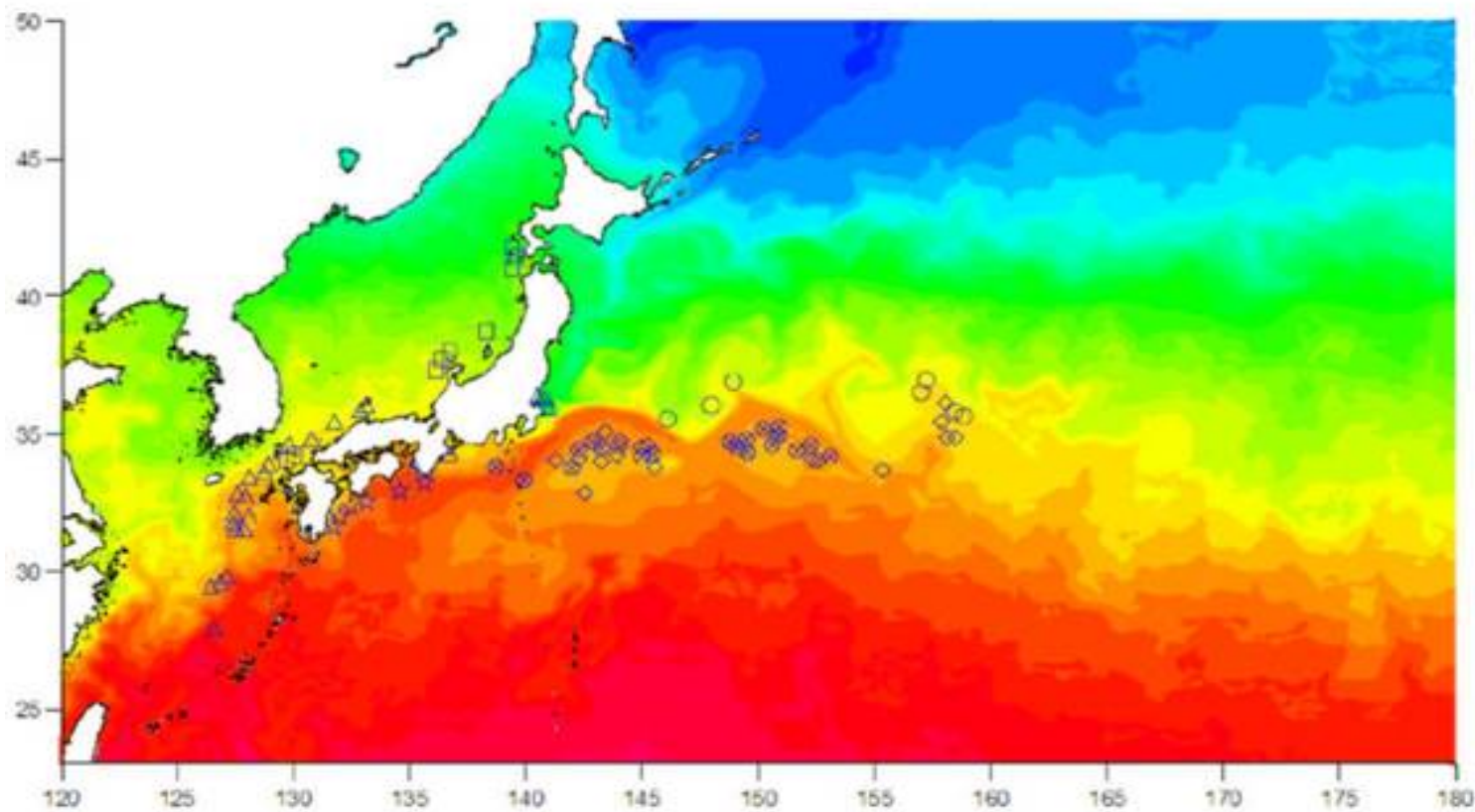
土壌水分量



地表面温度



漁業操業の効率化に貢献

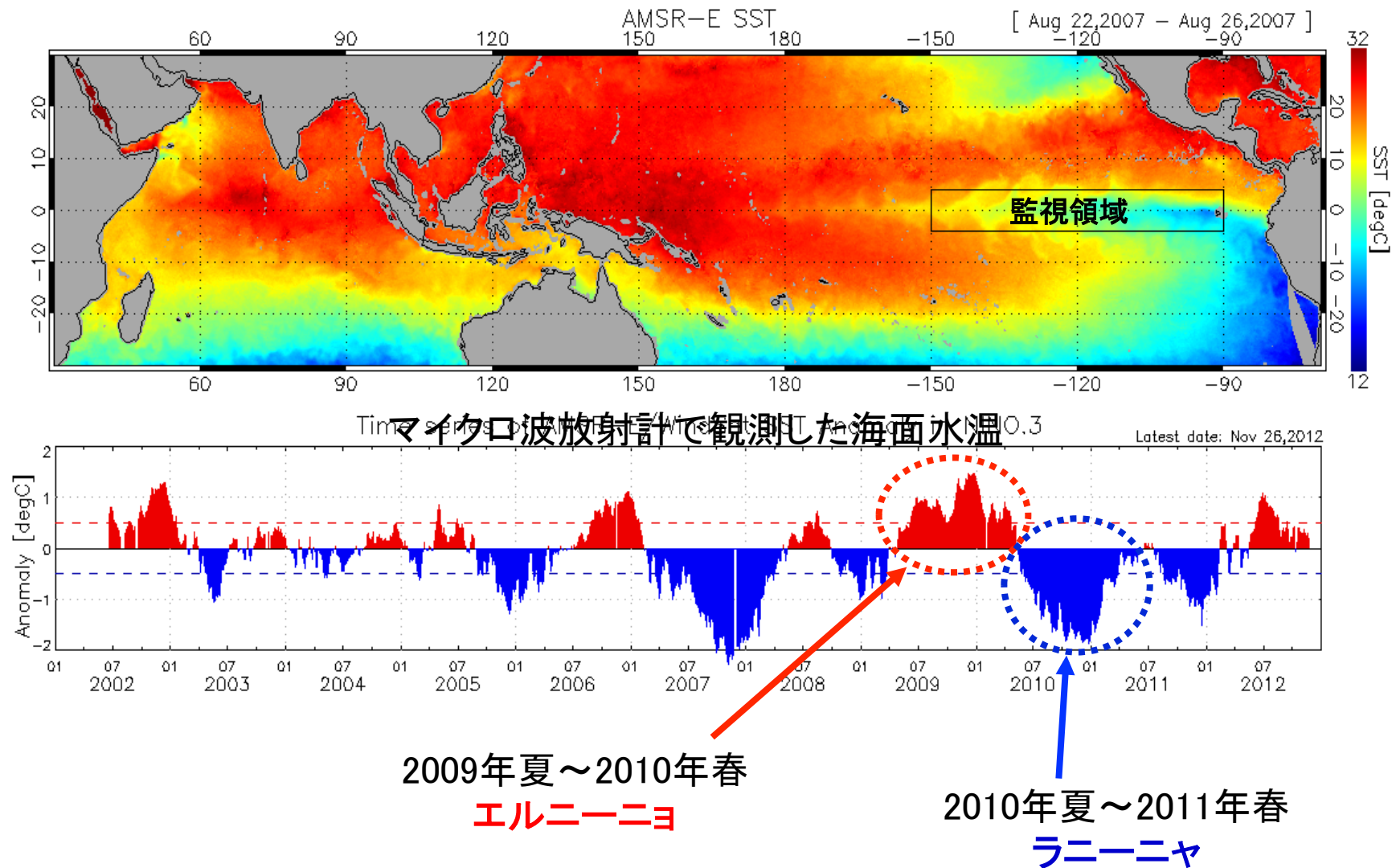


漁業情報サービスセンターにおける、全天候海面水温プロダクトの定常利用による魚海況情報発信の高頻度化(毎週→毎日)により、漁船の操業効率化に貢献(2004.4から)

◇ かつお, ○ まぐろ, □ いか, △ あじ

AMSR-Eを併用して作成された海面水温図と漁場の関係 (JAFIC提供)

エルニーニョ現象・ラニーニャ現象の監視



土壌水分量の観測(干ばつ監視)

- マイクロ波センサにより土壌水分を観測することが可能

地図 北米の土壌水分量平年対比(青円 コーンベルト) 土壌水分大幅低下

2012年6月 1日~15日

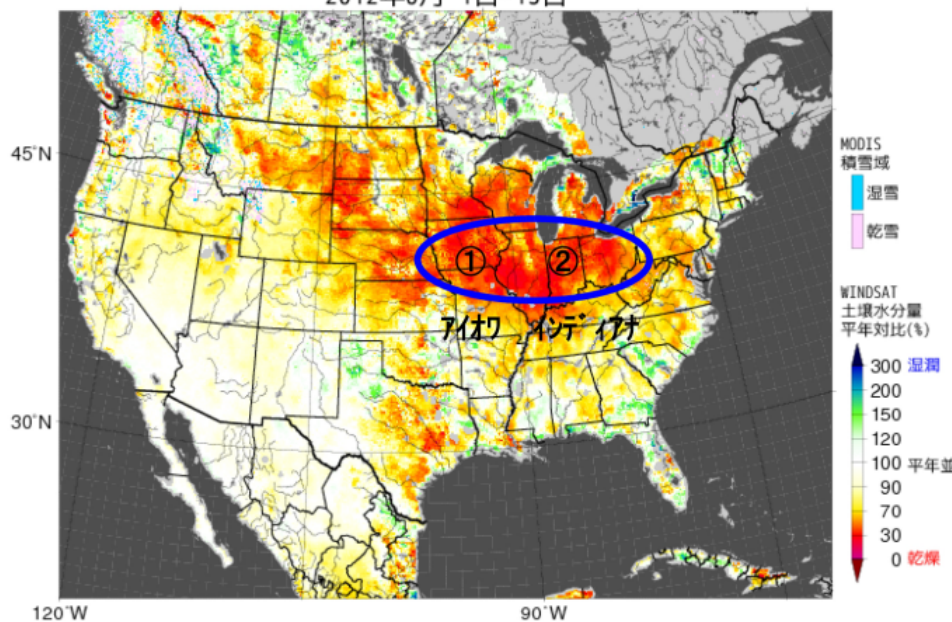
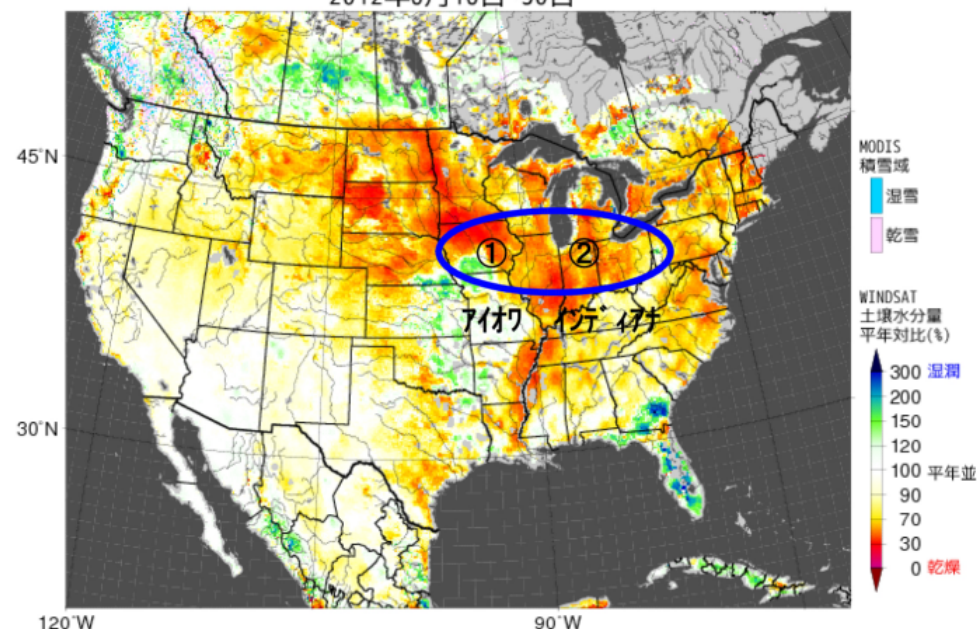


図 北米の土壌水分量平年対比(青円 コーンベルト) 乾燥状態が継続

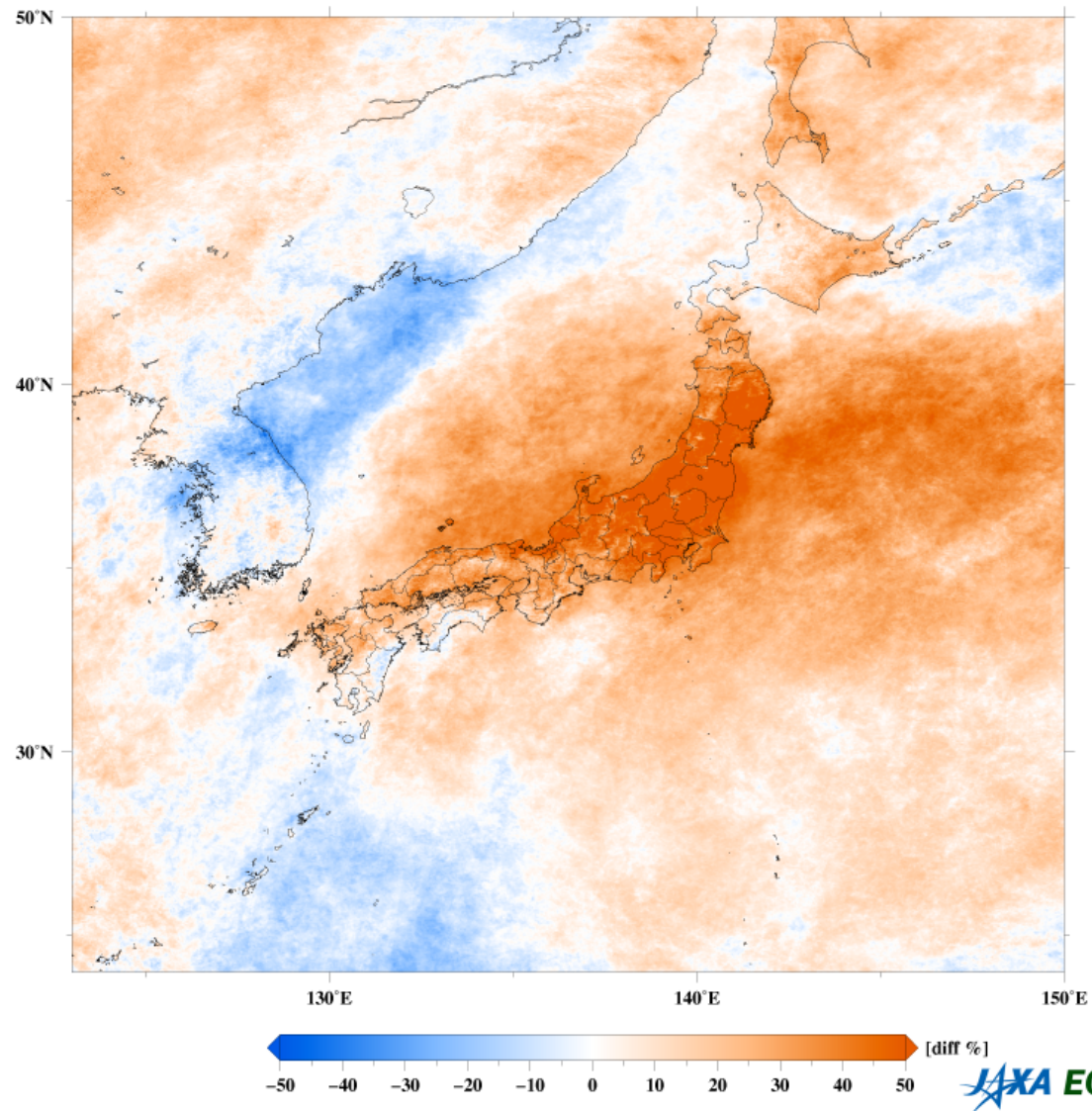
2012年6月16日~30日



[農林水産省 海外食料需給レポート2012年6月、7月より]

光合成有効放射量

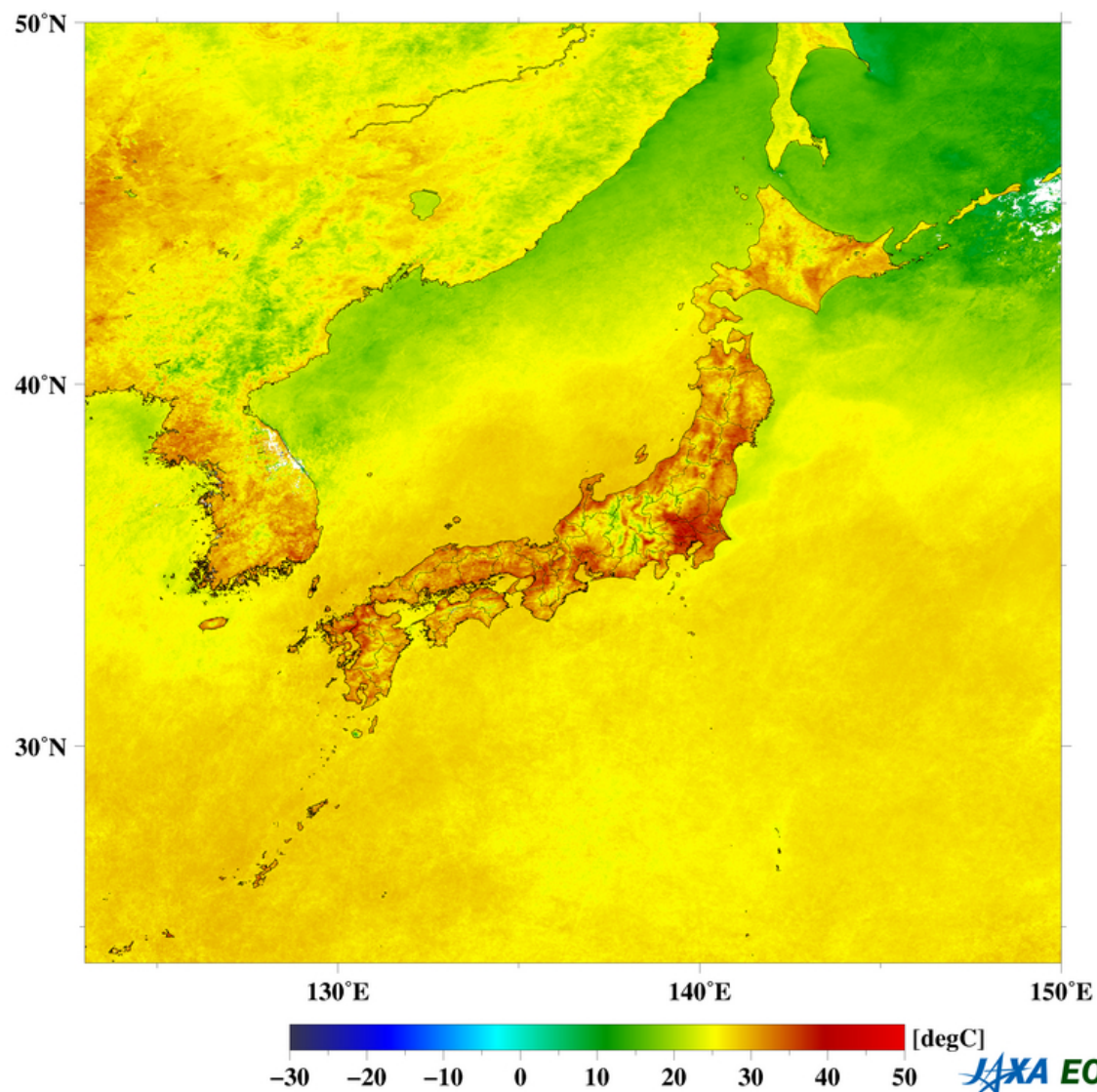
Photosynthetically Active Radiation in 2012/08 (the latter half of month)
Anomaly from average of same periods in 2003–2008.



2012年8月後半の
光合成有効放射量
(平年からの偏差)

地表面温度

MODIS / Ocean and Land Surface Temperature
2012/08/16 – 2012/08/31



2012年8月後半の
地表面温度

降水観測ミッション／雲エアロゾル放射ミッション

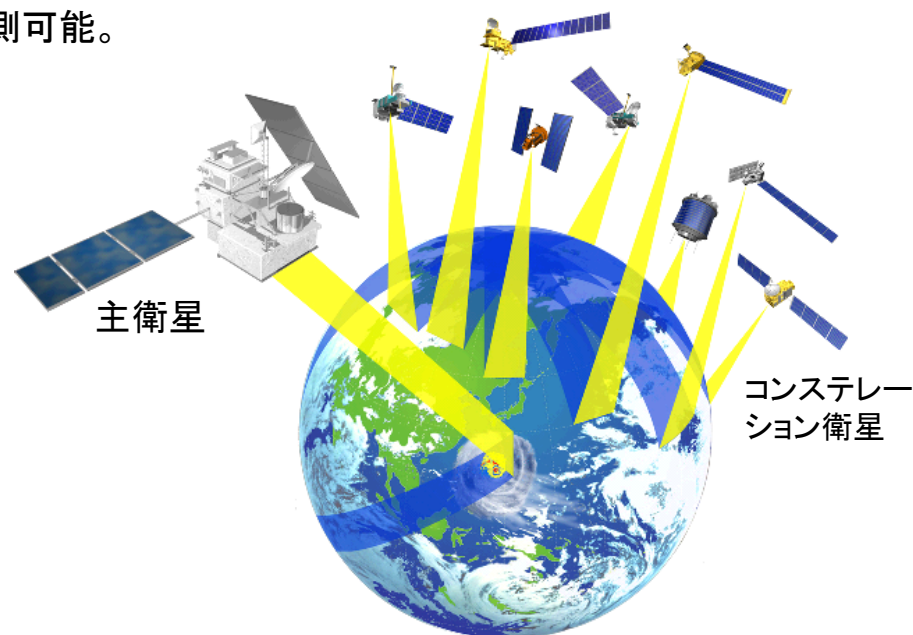
全球降水観測/二周波降水レーダ (GPM/DPR)

■二周波降水レーダ(DPR)及びマイクロ波放射計を搭載した主衛星と、マイクロ波放射計(イメージャ/サウンダ)を搭載したコンステレーション衛星群により、全球降水の高精度・高頻度観測を行なう国際協力ミッション。

■主衛星は日米共同プロジェクト。

JAXAはDPRを開発。NASAは衛星バスやマイクロ波放射計を開発。

■DPRは3次元の降水量が観測可能な世界で唯一の降水レーダ。2つの周波数での同時観測により弱い雨や雪も観測可能。



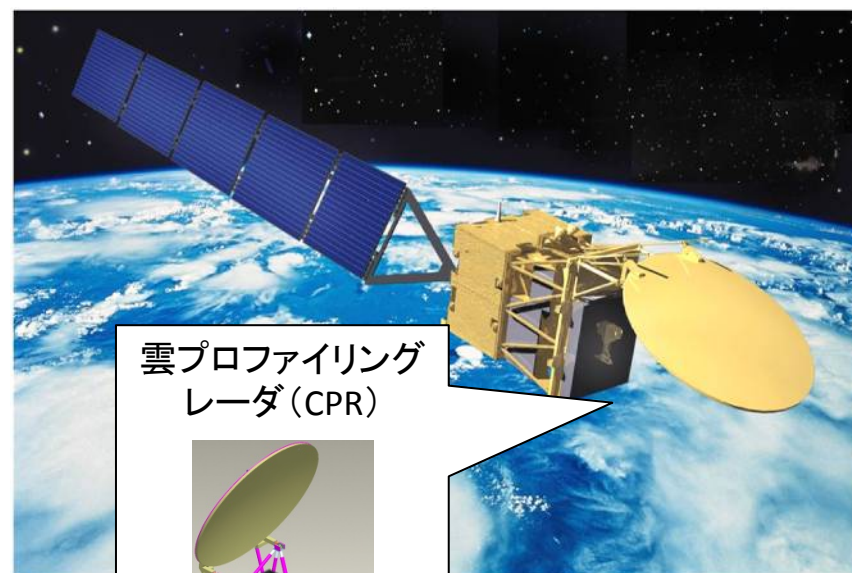
雲エアロゾル放射ミッション/ 雲プロファイリングレーダ (EarthCARE/CPR)

■大気中の雲・エアロゾルの三次元観測を行うことにより、気候変動予測や気象予測の数値モデルにおける誤差の大幅な低減を行う日欧共同プロジェクト。

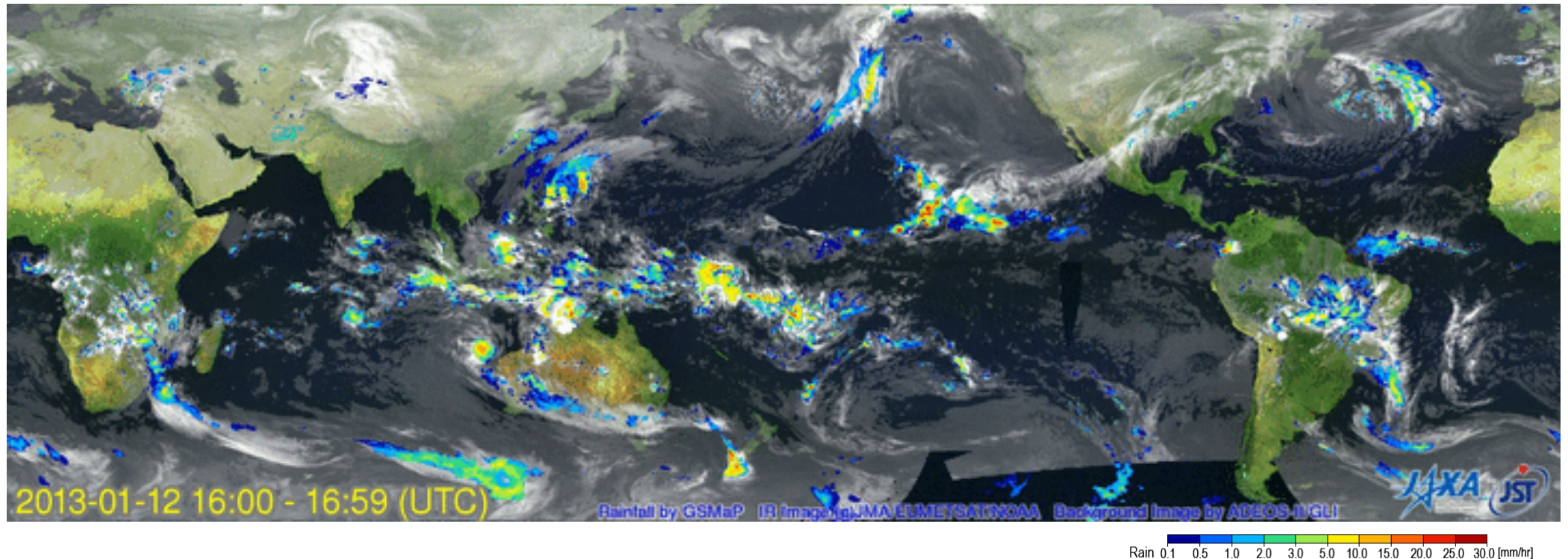
■JAXAはコアセンサであるCPRを開発。

ESAは衛星バスやライダ等の3センサを開発。

■CPRは世界初となるドップラ計測機能を持つWバンド雲レーダ。雲の立体構造と内部の対流の様子を観測することが可能。

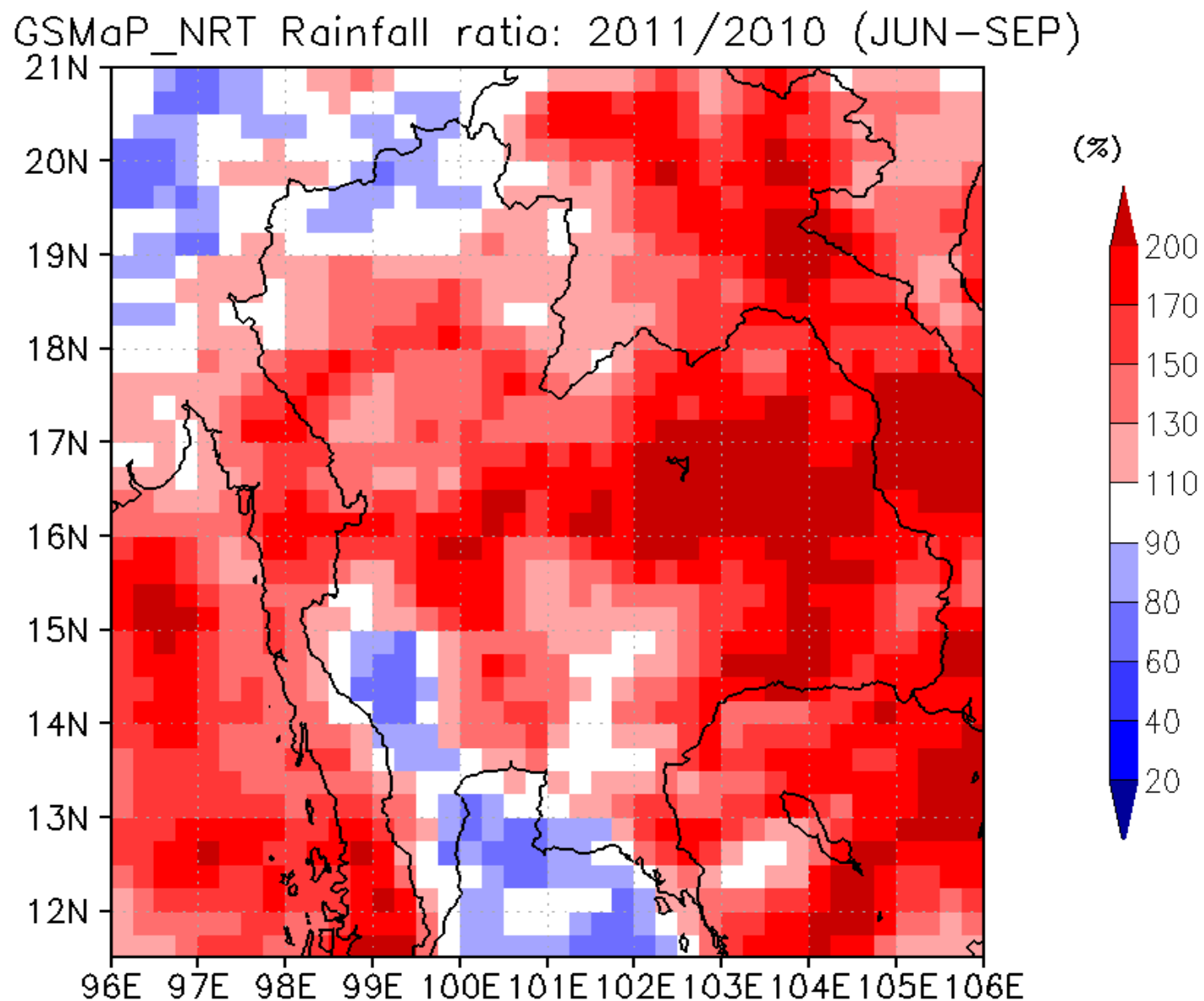


衛星観測による世界の雨分布速報



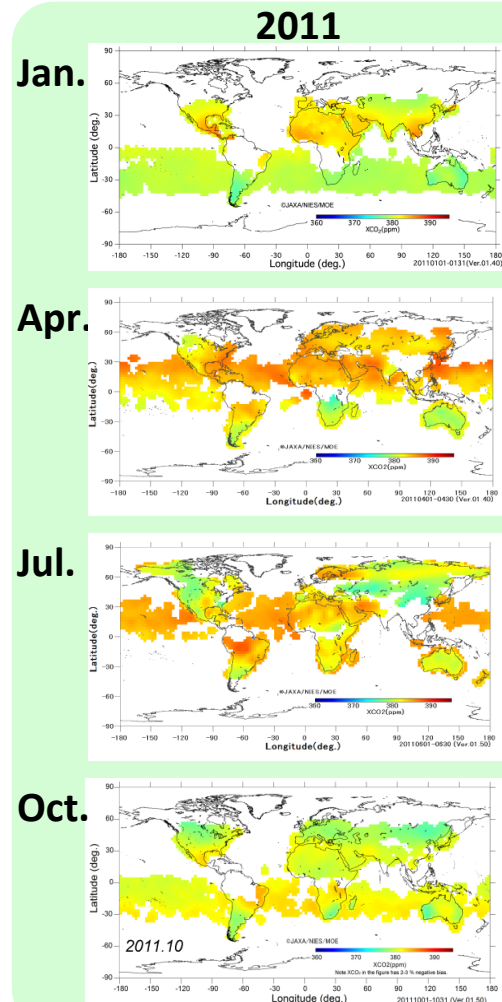
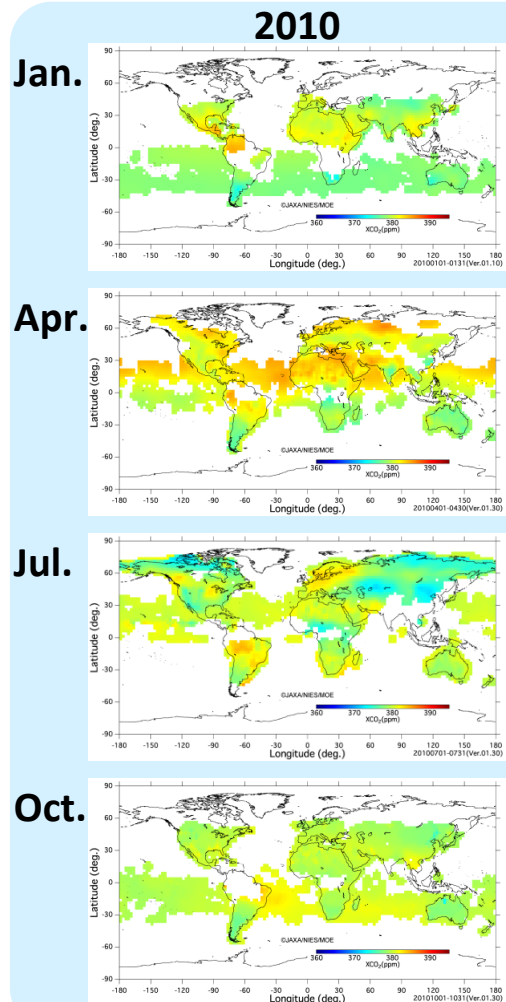
- 日米欧の衛星の観測データから作成した「世界の雨分布速報」
- 緯度・経度0.1度格子(赤道付近で約11km四方)毎に雨量を算出
- 観測後約4時間遅れで提供、1時間毎に更新

GSMaPによる2011年タイ国大洪水の解析

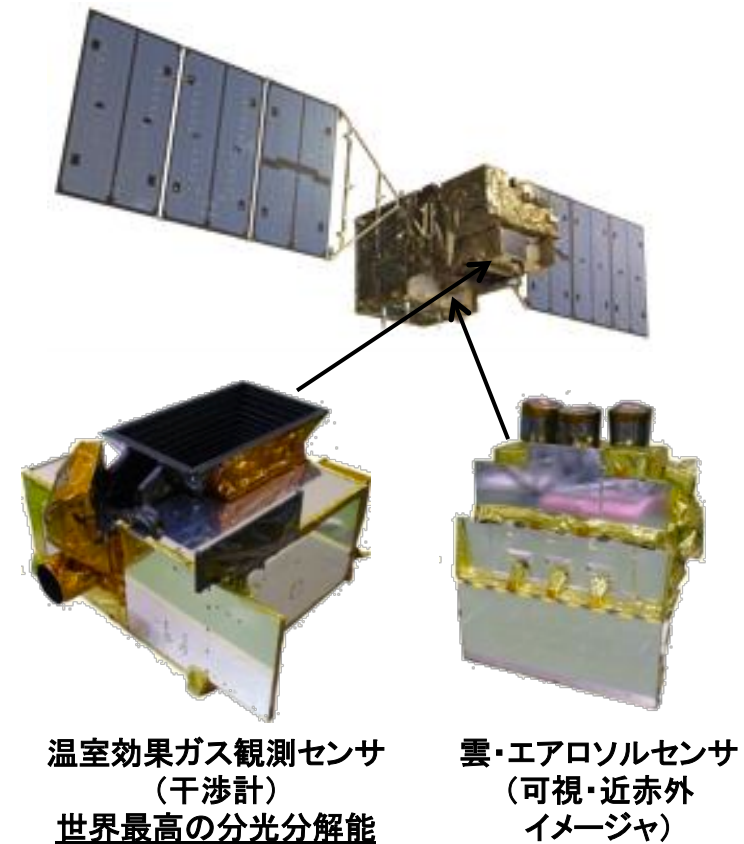


Images and data provided by Dr. T. Kubota of JAXA/EORC.

温室効果ガス観測技術衛星“いぶき”(GOSAT)



季節別の二酸化炭素全球分布
(いずれの季節も年々増加している)



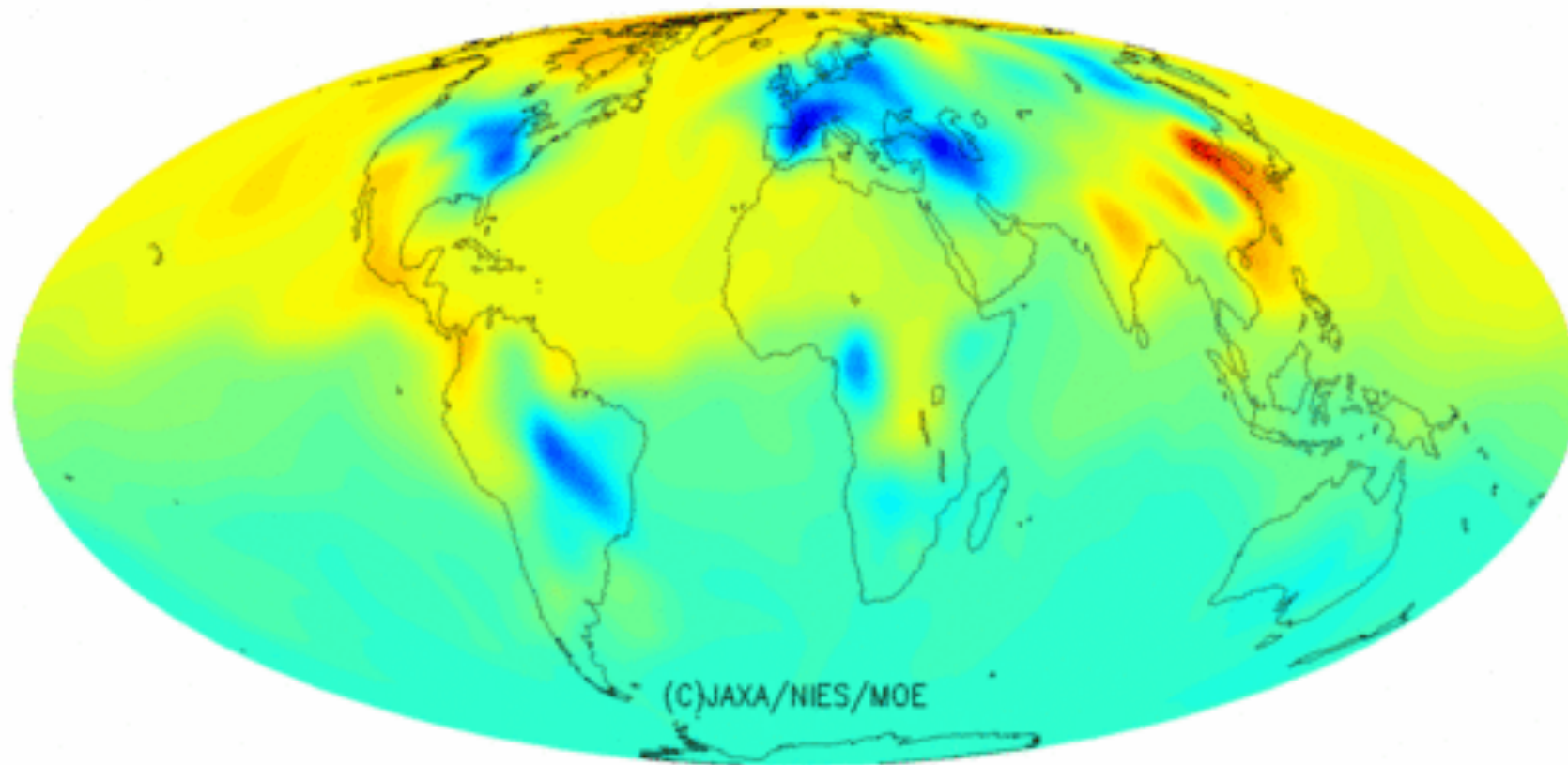
- 目的: 温室効果ガスの全球の濃度分布を測定し、先進国の排出量削減効果の把握に貢献
- 国際的優位性: 世界唯一の二酸化炭素・メタン観測専用衛星、センサ技術・データ処理技術で世界をリード

“いぶき”観測データを用いて推定した二酸化炭素分布



GOSAT L4B V02.01 CO₂ (2009/06/01) ETA:925

Simulated Concentration



国立環境研究所 GOSAT User Interface Gateway (GUIG) より

ALOS“だいち”画像の魅力



ガンジス川河口



イグアスの滝



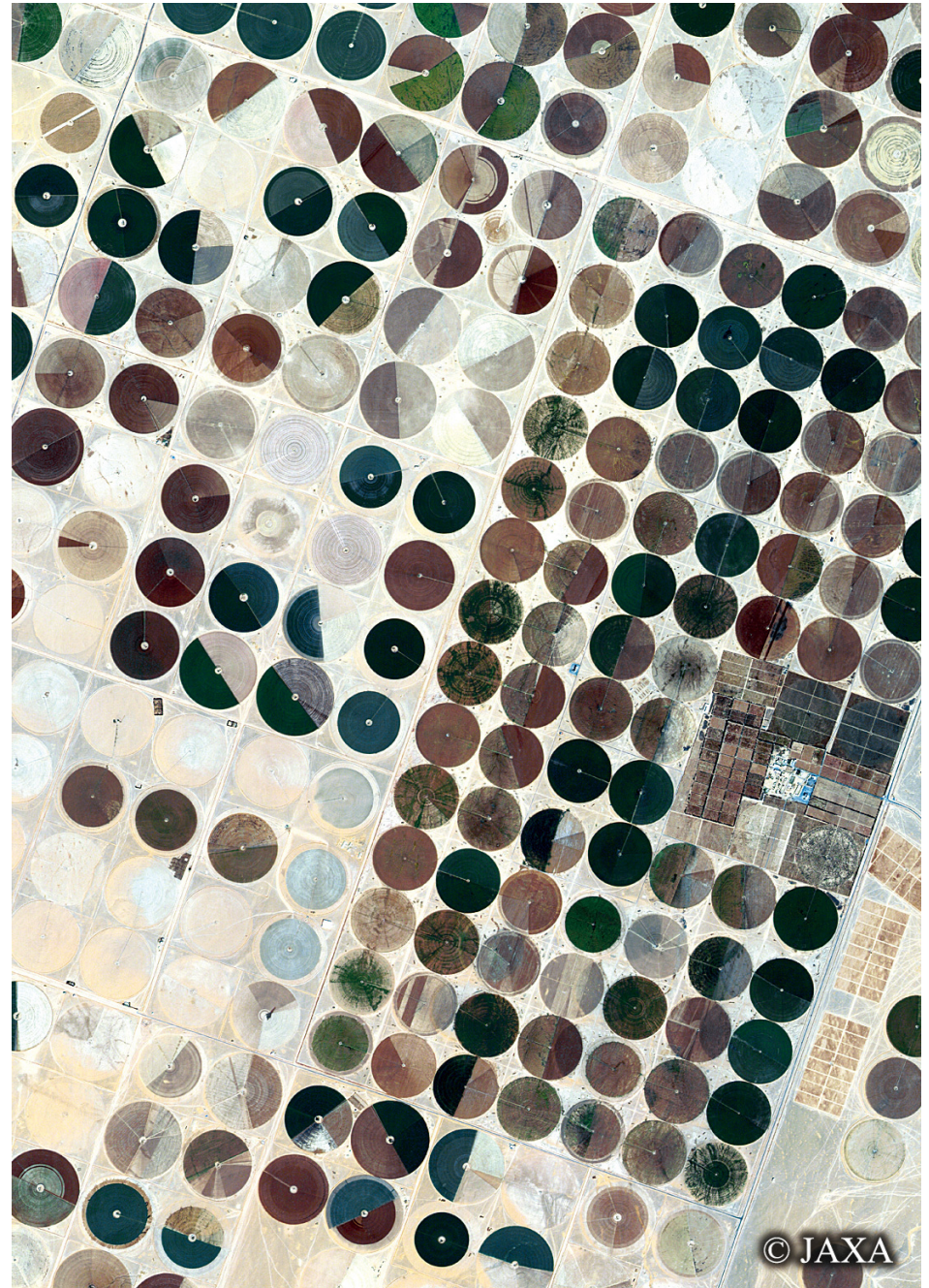
ブラジリア



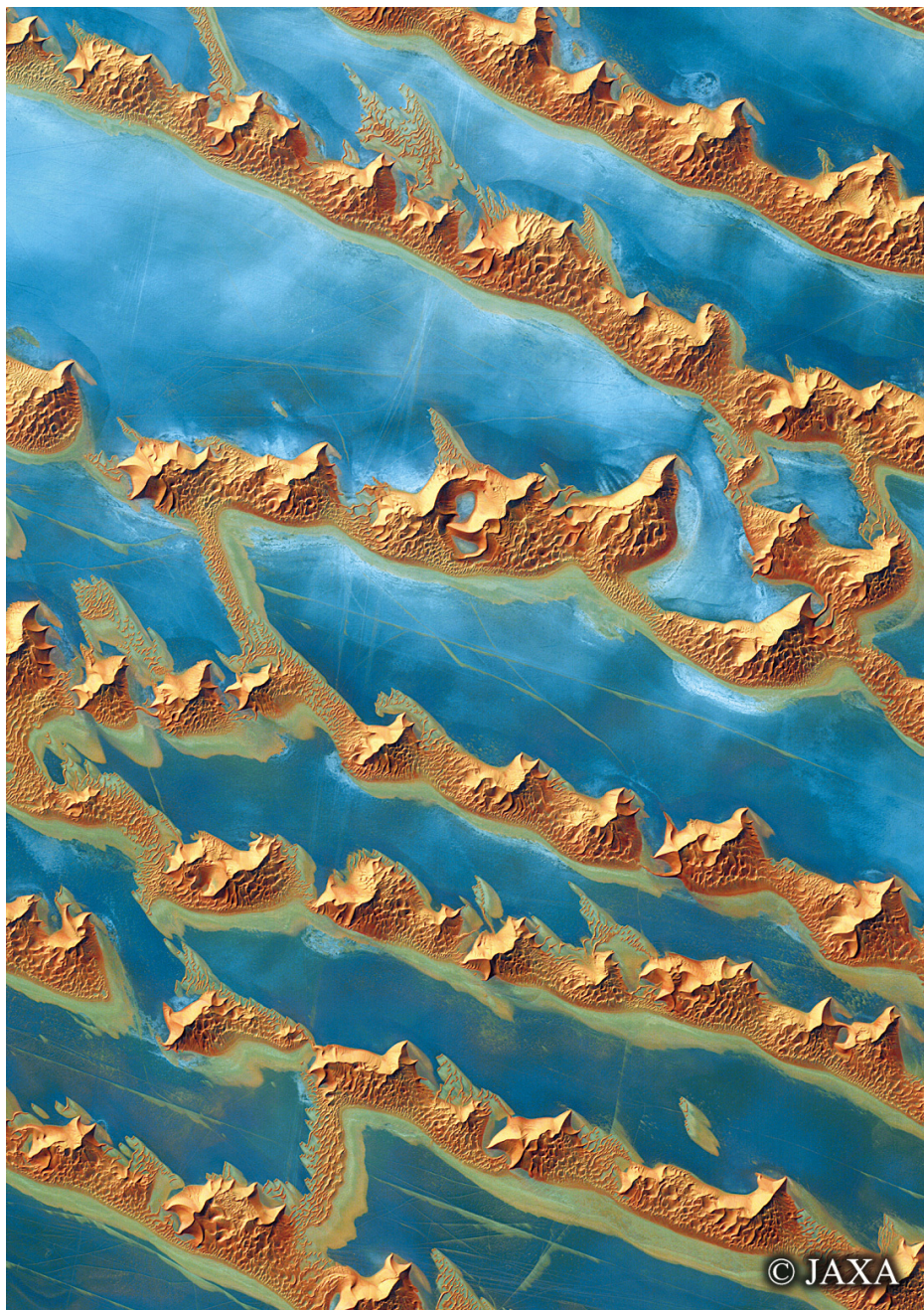
ブラジル・パラナ川



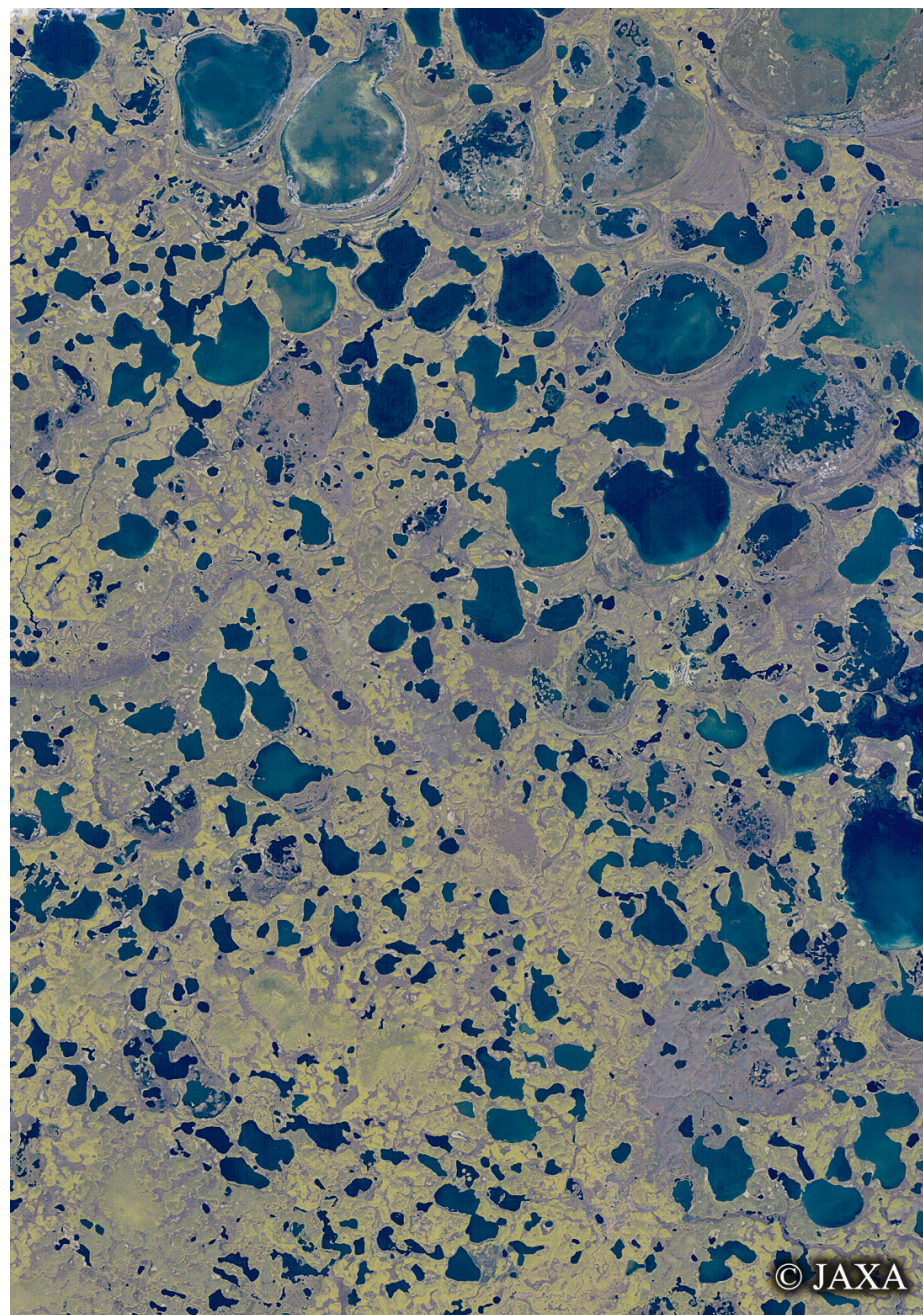
ボリビアの農地



サウジアラビアの円形農場



サウジアラビア・ルブアルハリ砂漠



シベリアの湖沼



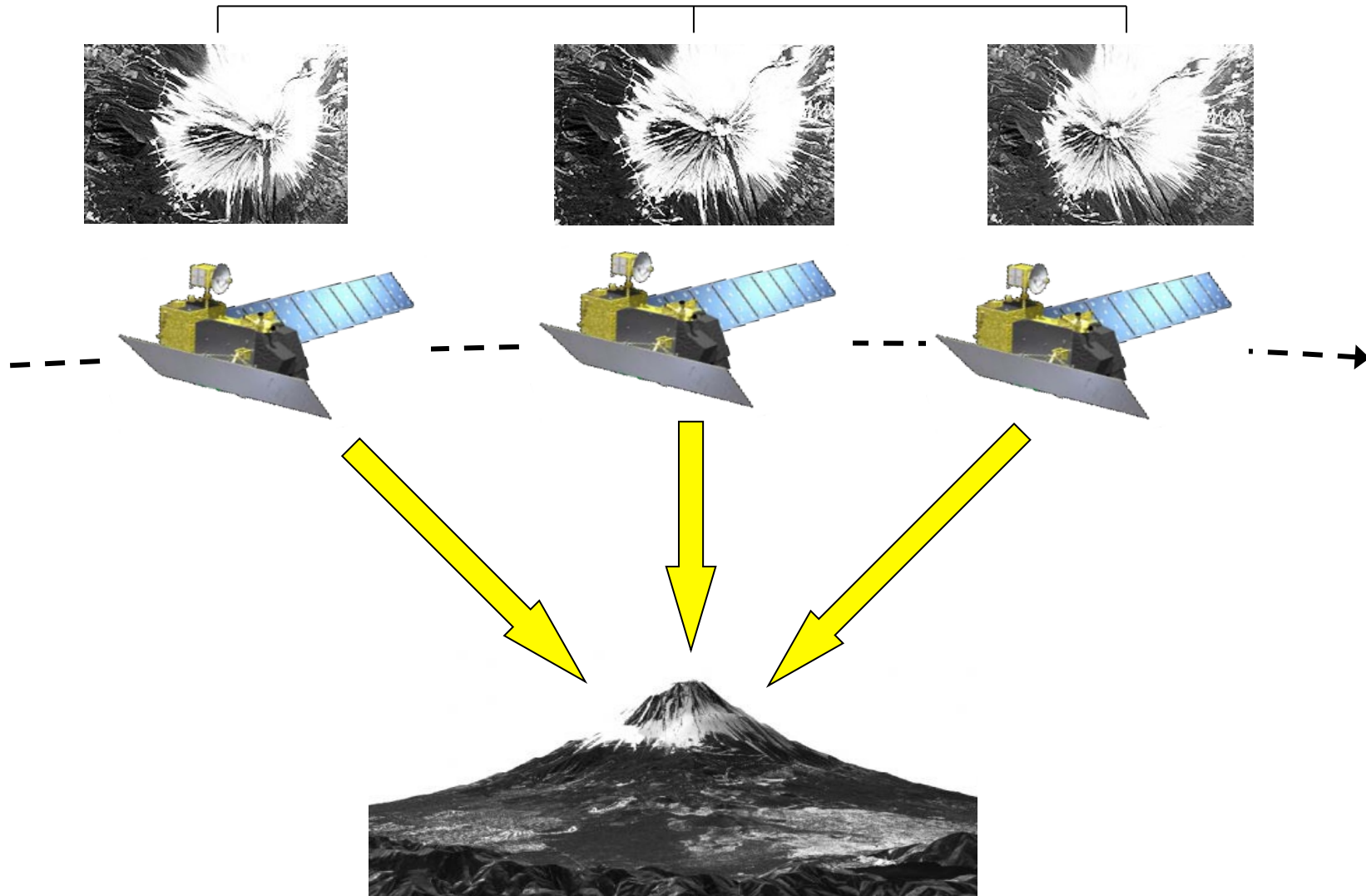
パタゴニア



オーストラリア・プリンセスシャーロットベイ

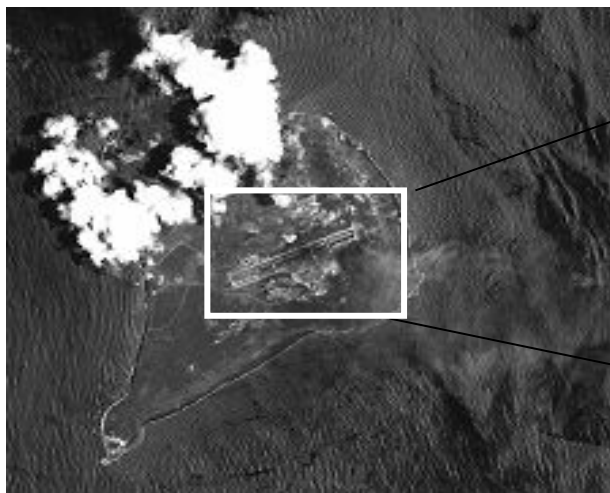
“だいち”によるステレオ観測

前方視、直下視、後方視の視差を用いて標高を抽出



“だいち”による地図の更新

“だいち”で見た硫黄島

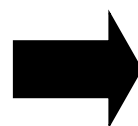


拡大画像



旧

国土地理院

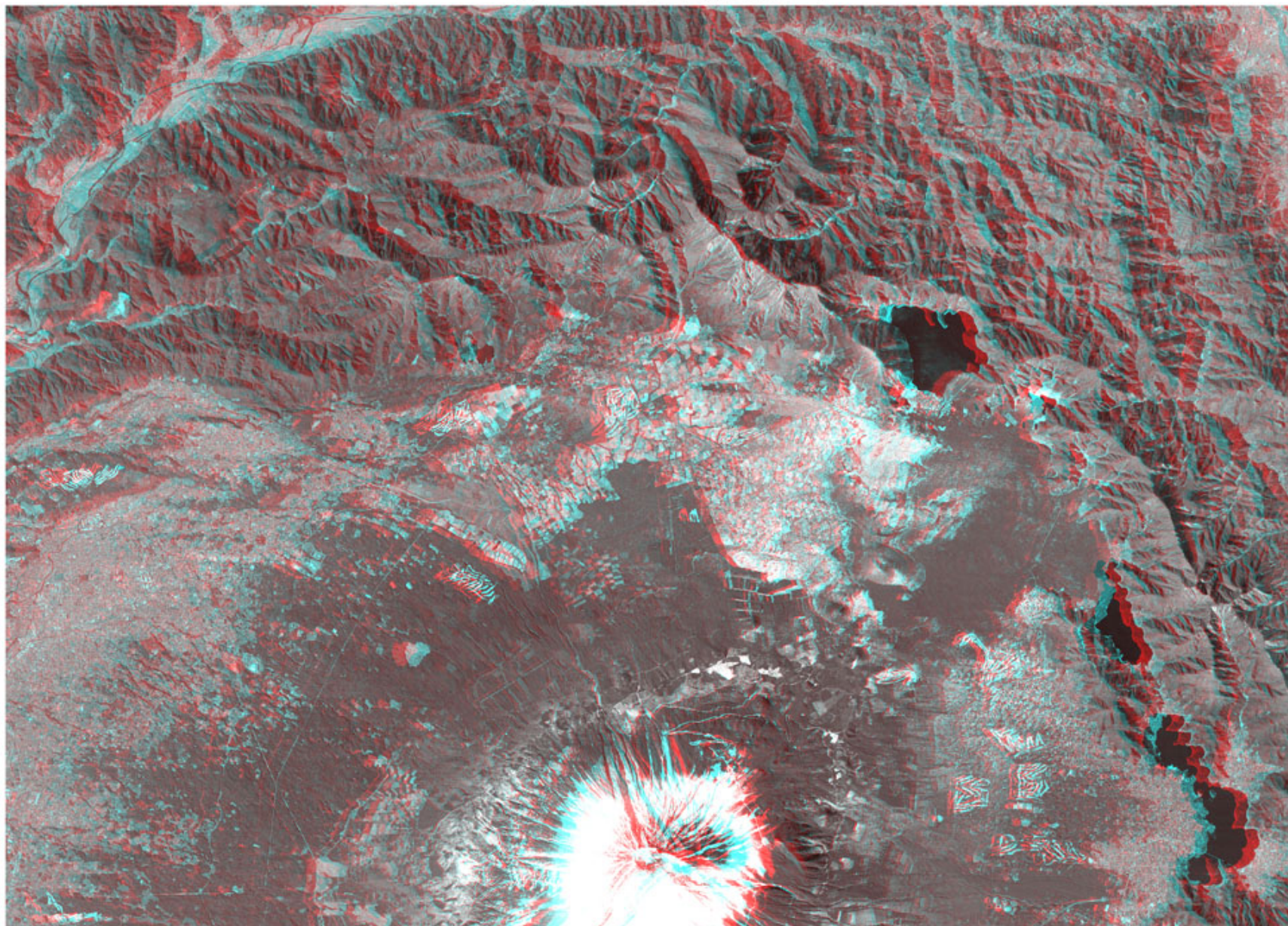


新(2007年8月更新)

国土地理院

反映

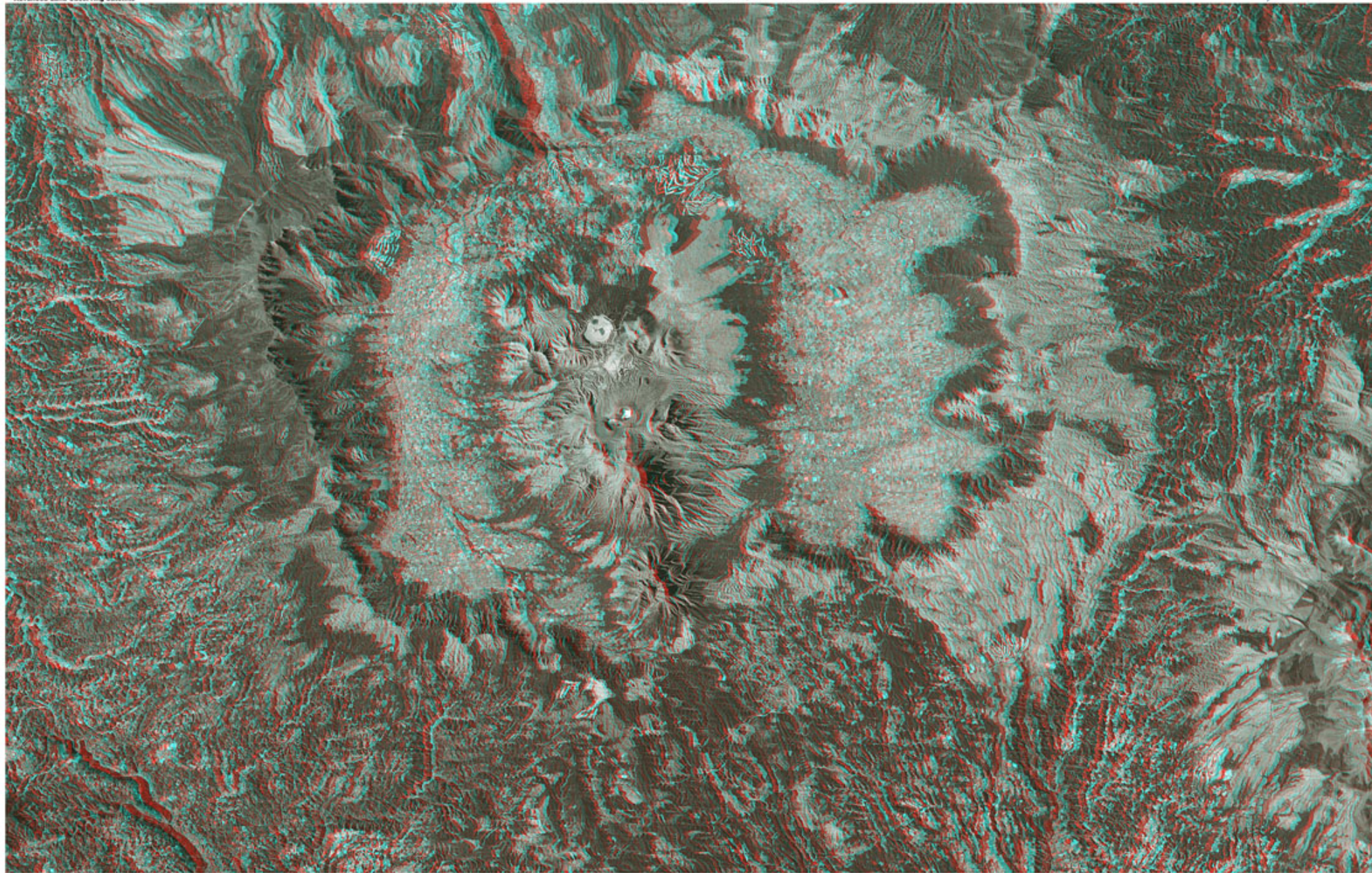
陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS) PRISM の観測画像 富士山周辺



観測日：2006年2月14日 午前10時30分頃



©JAXA SAPC





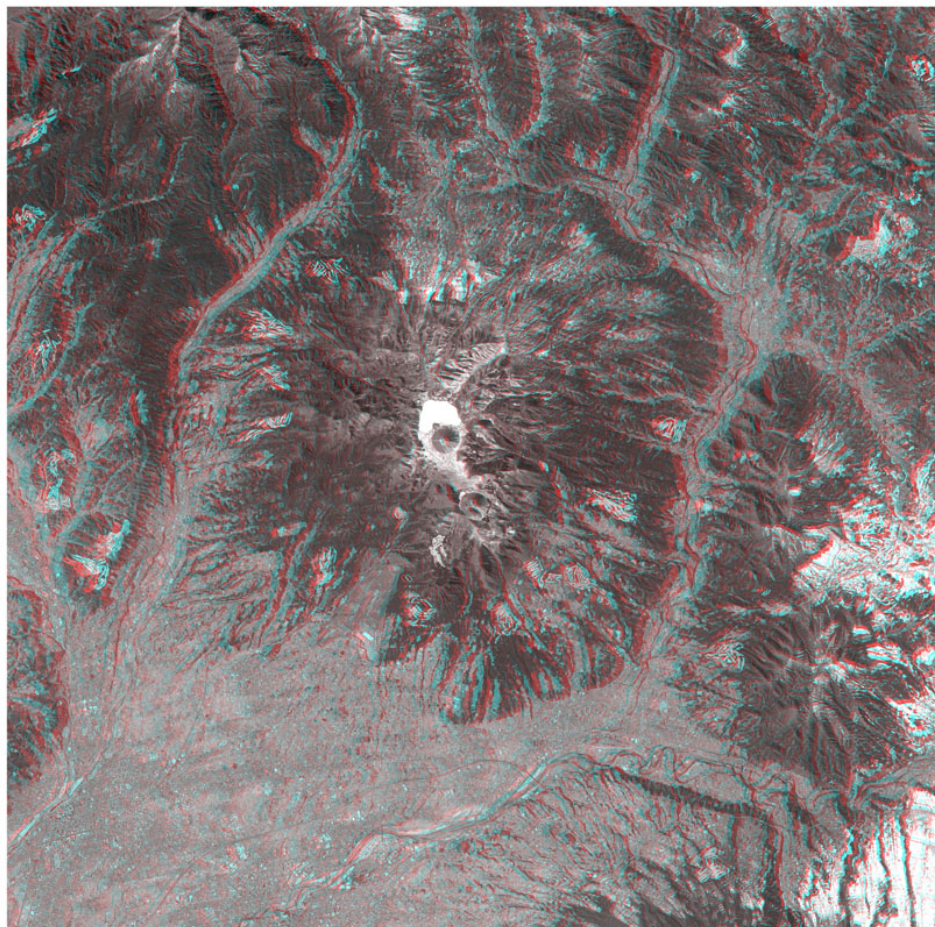


陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS)
PRISM 観測画像



群馬県榛名山周辺

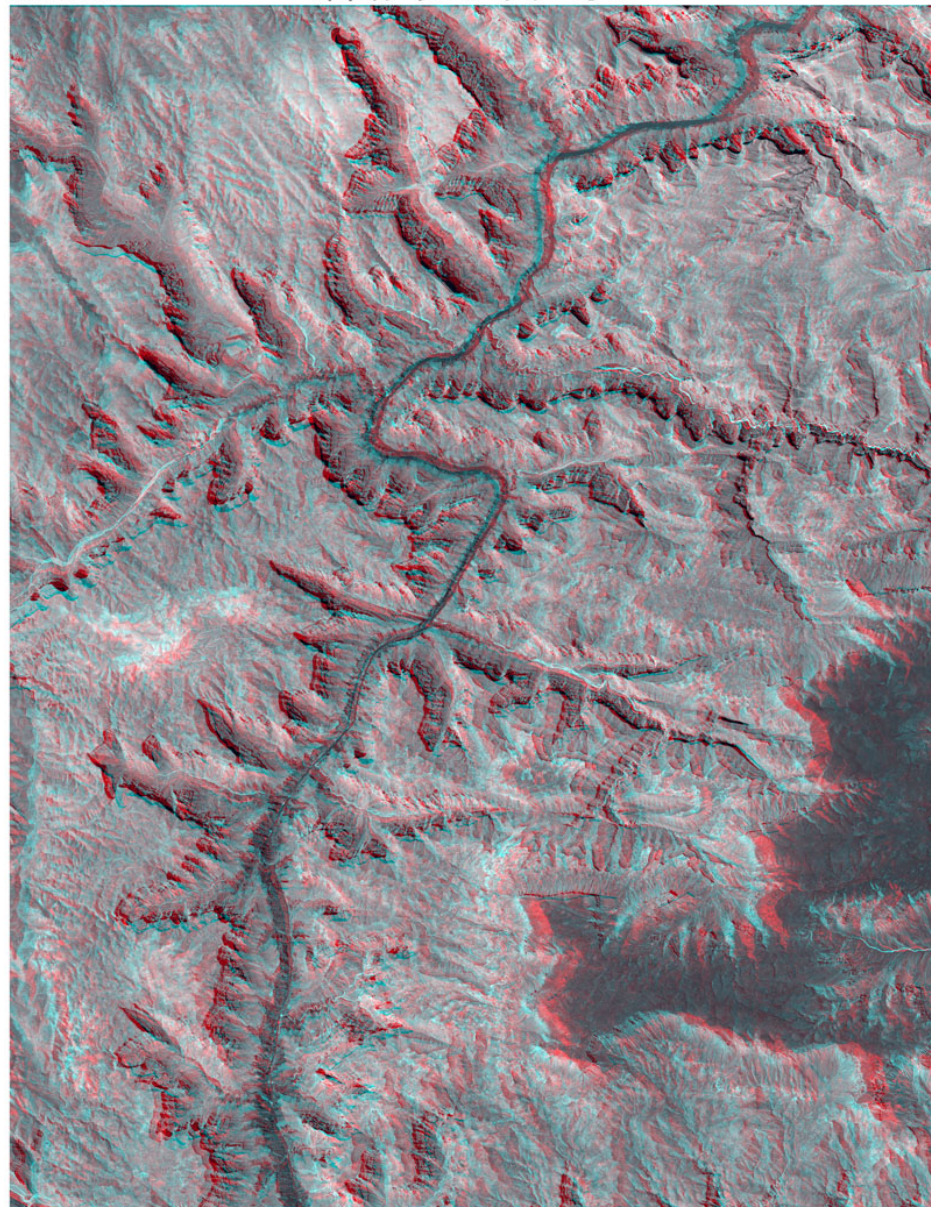
観測日：2006年2月14日
午前10時30分頃



©JAXA



陸域観測技術衛星「だいち」搭載のPRISMが捉えた
米国グランドキャニオン



観測日:2006年6月18日

©JAXA SAPC

まとめ

- 地球は足元にあるが、身の回りを超えた世界のことは意外に知らない
- 高い視点から眺めることにより様々な「もの」や「こと」が「見えて来る」
- 衛星リモートセンシングの技術は、宇宙からの地球の「観測」を可能にし、すでに気象、防災、環境監視、漁業の分野で使われている
- さらに大きな可能性を秘めている
- 異分野交流が必要！