

リモートセンシングの基礎

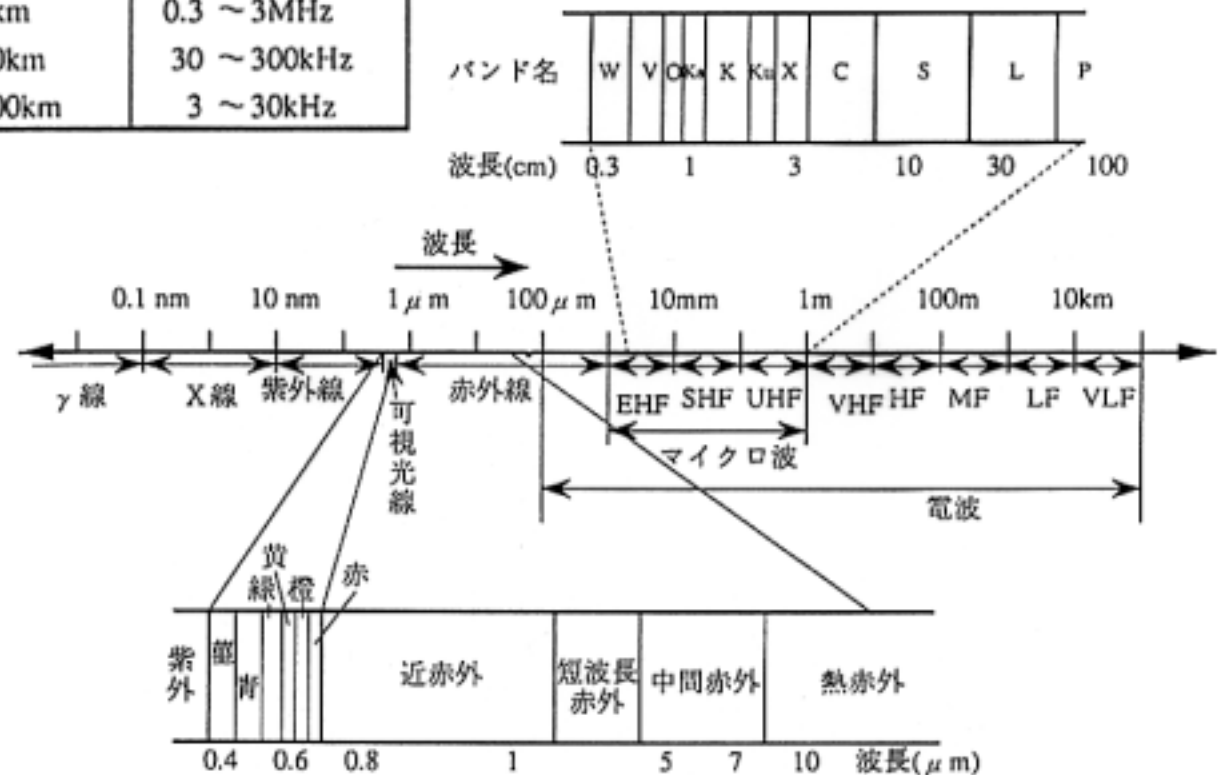
マイクロ波リモートセンシング

マイクロ波

あらゆる物体は電磁波を放射しています。常温の物体が放射する $10\ \mu\text{m}$ 程度の波長の電磁波は物体の温度を計測することができます。電磁波は非常に幅広い波長帯を持ちますが、波長が cm のオーダーであるマイクロ波もリモートセンシングに用いられています。

マイクロ波の波長帯

名 称		波 長 範 囲	周 波 数 範 囲	
紫 外 線		10 nm ~ 0.4 μm	750 ~ 3,000 THz	
可 視 光 線		0.4 ~ 0.7 μm	430 ~ 750 THz	
赤 外 線	近 赤 外	0.7 ~ 1.3 μm	230 ~ 430 THz	
	短 波 長 赤 外	1.3 ~ 3 μm	100 ~ 230 THz	
	中 間 赤 外	3 ~ 8 μm	38 ~ 100 THz	
	熱 赤 外	8 ~ 14 μm	22 ~ 38 THz	
	遠 赤 外	14 μm ~ 1mm	0.3 ~ 22 THz	
電 波	サブミリ波		0.1 ~ 1mm	0.3 ~ 3THz
	マイクロ波	ミリメートル波 (EHF)	1 ~ 10mm	30 ~ 300GHz
		センチメートル波 (SHF)	1 ~ 10cm	3 ~ 30GHz
		デシメートル波 (UHF)	0.1 ~ 1m	0.3 ~ 3GHz
	超 短 波 (VHF)	1 ~ 10m	30 ~ 300MHz	
	短 波 (HF)	10 ~ 100m	3 ~ 30MHz	
中 波 (MF)	0.1 ~ 1km	0.3 ~ 3MHz		
長 波 (LF)	1 ~ 10km	30 ~ 300kHz		
超 長 波 (VLF)	10 ~ 100km	3 ~ 30kHz		



マイクロ波とは

厳密な定義はないが、波長でcmオーダー、周波数ではGHz帯(1 ~ 300GHz帯)の電波の総称

マイクロ波センサには次の二つがある

(1) 受動マイクロ波センサ

マイクロ波放射計で、大気や地表からのマイクロ波の微弱な放射量を計測する

(2) 能動マイクロ波センサ

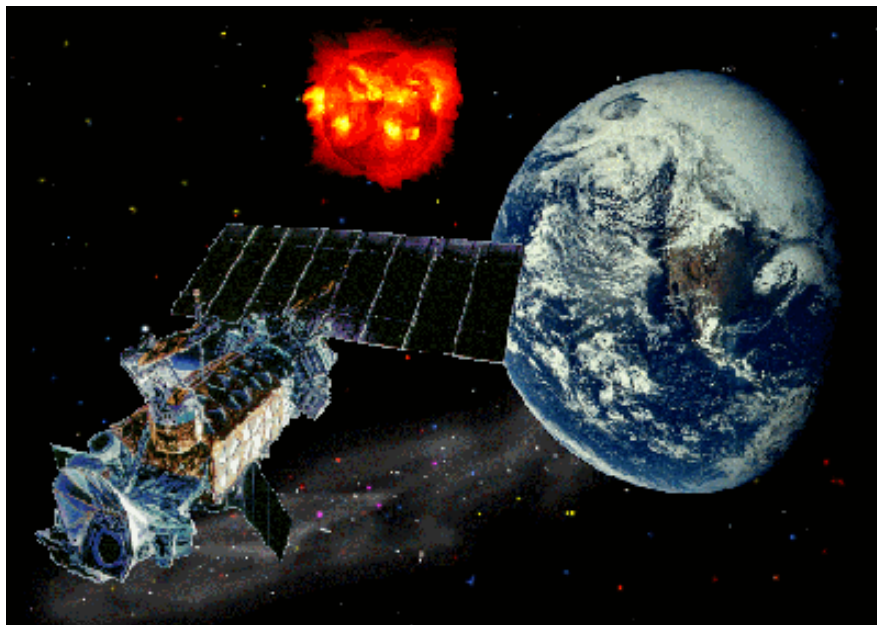
マイクロ波帯の電波を発射し、観測対象物から**散乱**によって戻ってくる電波を受信するレーダ型のセンサ

- (a) マイクロ波散乱計
- (b) マイクロ波高度計
- (c) 映像レーダ

マイクロ波リモートセンシングの歴史

・マイクロ波放射計

- ・NIMBUS-7(1978) SMMR搭載(実験衛星)
- ・DMS/P(1987 ~) SSM/I
- ・MOS-1(1987) MSR



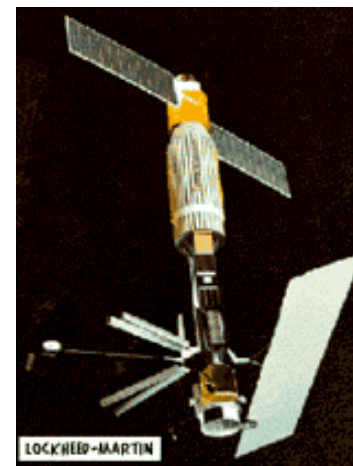
アメリカの実験衛星NIMBUSがはじめてSMMRを搭載したが、実用的なマイクロ波放射計はDMS/P衛星に搭載されたSSM/Iであった。日本も同時期にMSRをMOS-1に搭載したがあまり使われなかった。

・合成開口レーダー

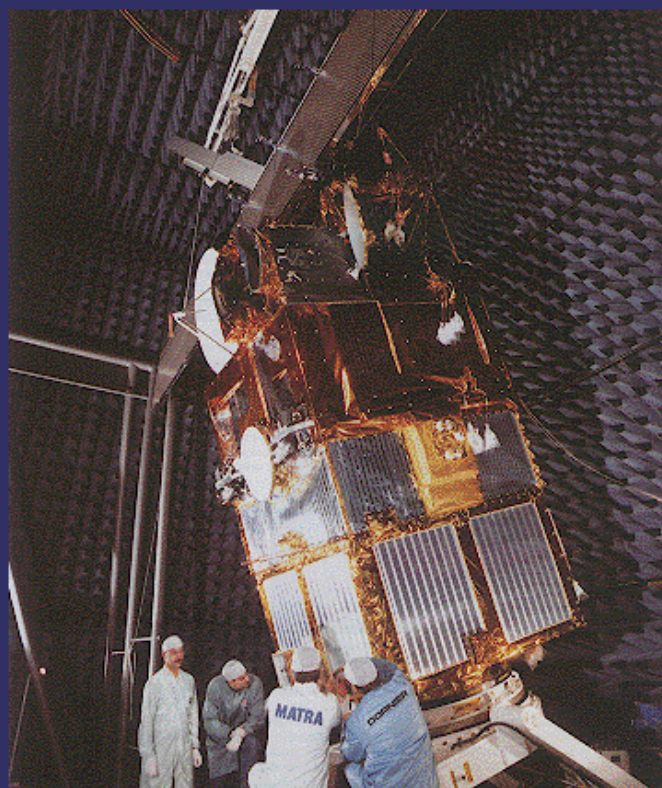
小さなアンテナでも大きなアンテナとして働くように工夫したレーダーシステム

- ・SEASAT (1978)
- ・ERS1 (1991)
- ・JERS1(1992)
- ・RADARSAT

SEASATは初めて合成開口レーダーを搭載したが約100日間しか働かなかった。しかし、その期間に貴重なデータを送り続け、人工衛星によるマイクロ波リモートセンシングの有効性を確立した。



ERS-1 inside the Interspace Test Facility

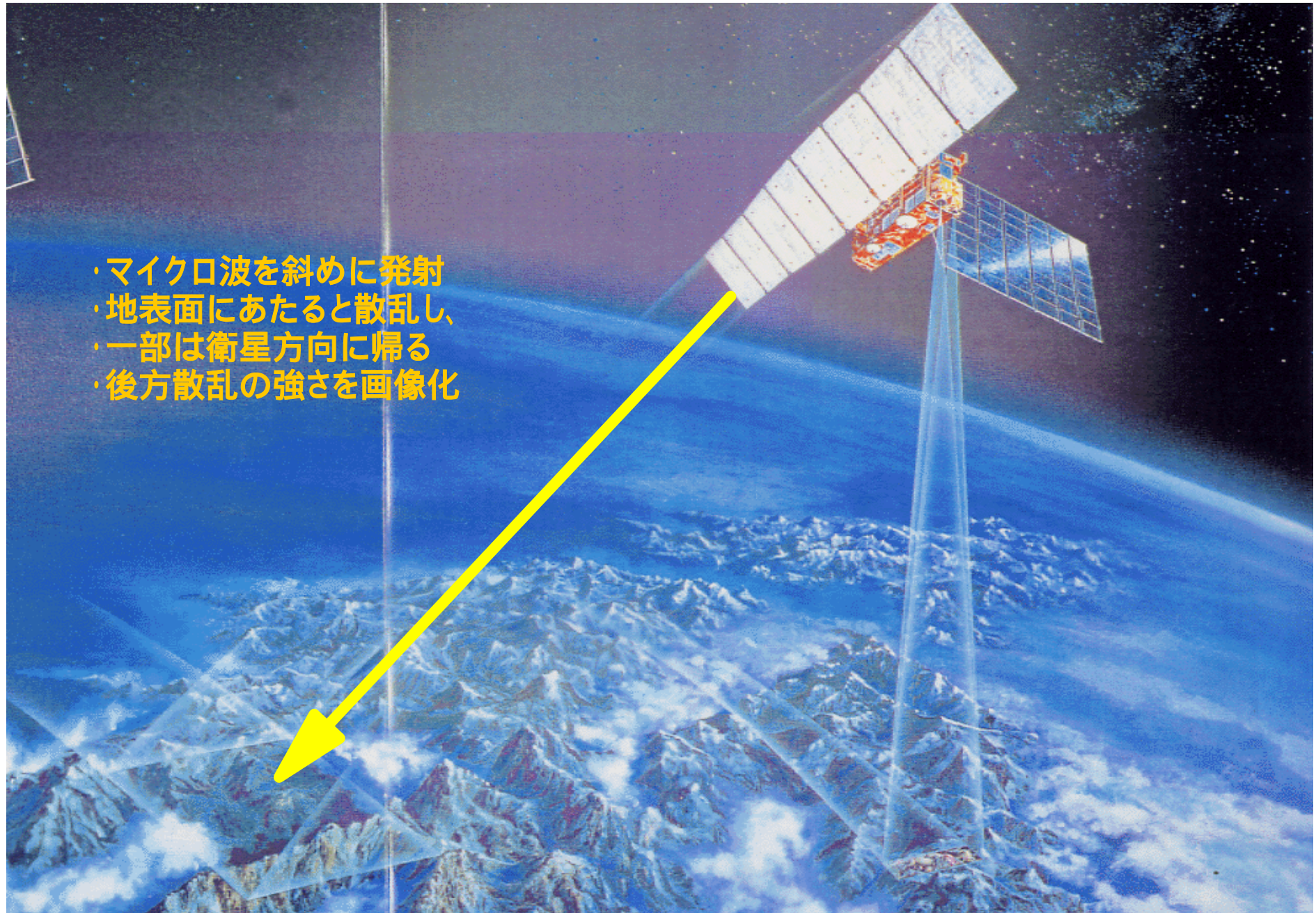


ERS-1 fully deployed inside the Interspace Test facility, Toulouse, France.

SEASATに続いて打ち上げられたのは、欧州宇宙機関のERS1 (European Remote Sensing Satellite-1)、そして日本のJERS1 (Japanese Earth Resources Satellite-1)であった。



合成開口レーダー



〈SARデータの処理〉



生データ

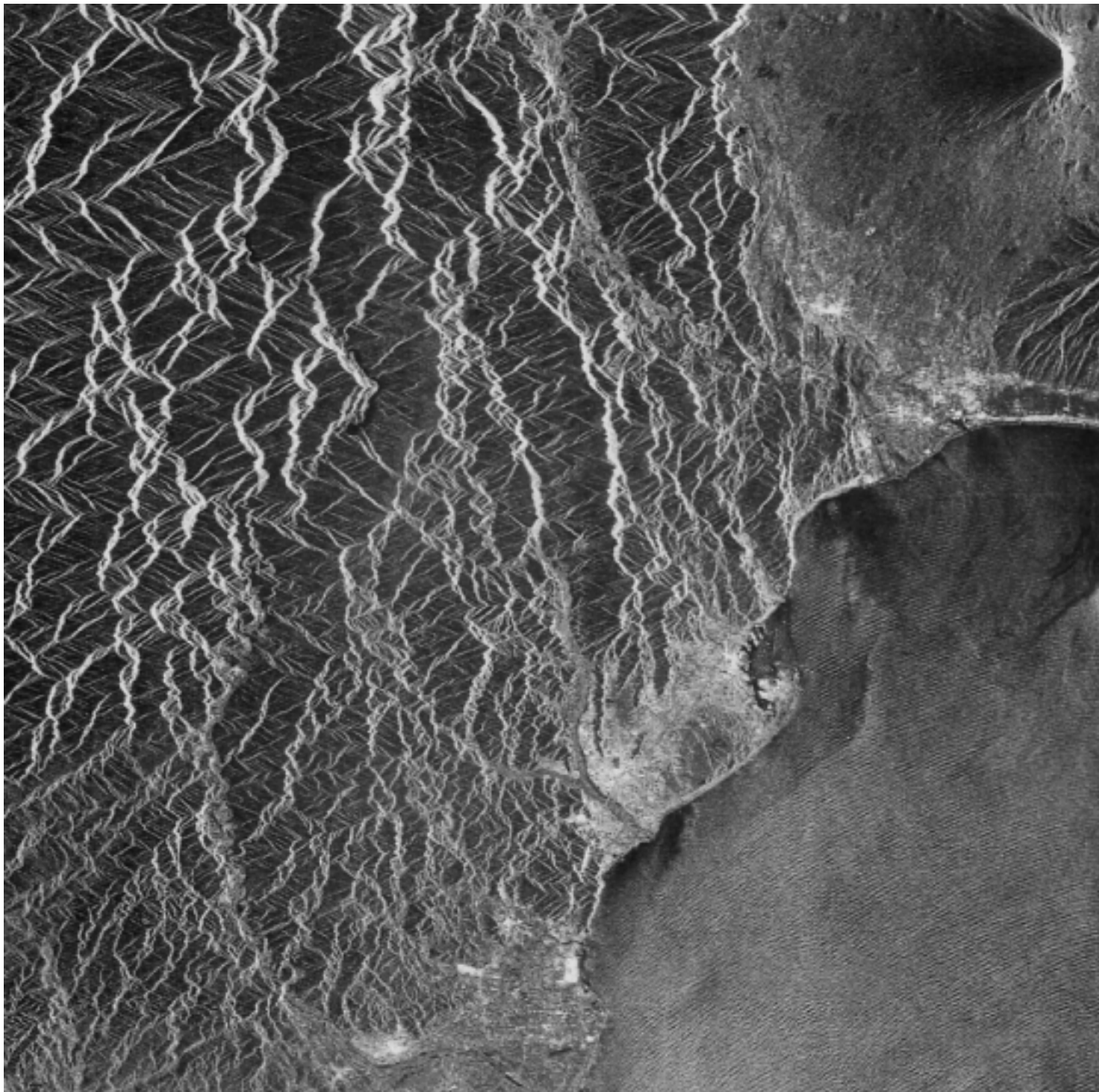
処理画像



80年代はSARデータの再生は光学的に行われていた。コンピューターで簡単に再生できるようになったのは90年代であるが、この間に並列コンピューターの発達を促した。

JERS1とERS1の合成開口レーダーのパラメーター

項 目	(J) E R S - 1 S A R	E R S - 1 A M I (映像モード)
周波数	1 . 2 7 G H z (L - band)	5 . 3 G H z (C - band)
波 長	2 3 . 6 c m	5 . 7 c m
偏 波	H H	V V
オフナディア角	3 5 °	2 3 °
走査幅	7 5 K m	8 0 k m
地上分解能	1 8 m	3 0 m
高 度	5 6 8 . 0 2 3 k m	
軌道長長半径		7 1 5 3 . 1 k m
回 帰 日 数	4 4 日	3 日 氷観測用 3 5 日 通常観測用 1 7 6 日 海洋観測用
降交点通過地方時	1 0 : 3 0 ~ 1 1 : 0 0	1 0 : 3 0

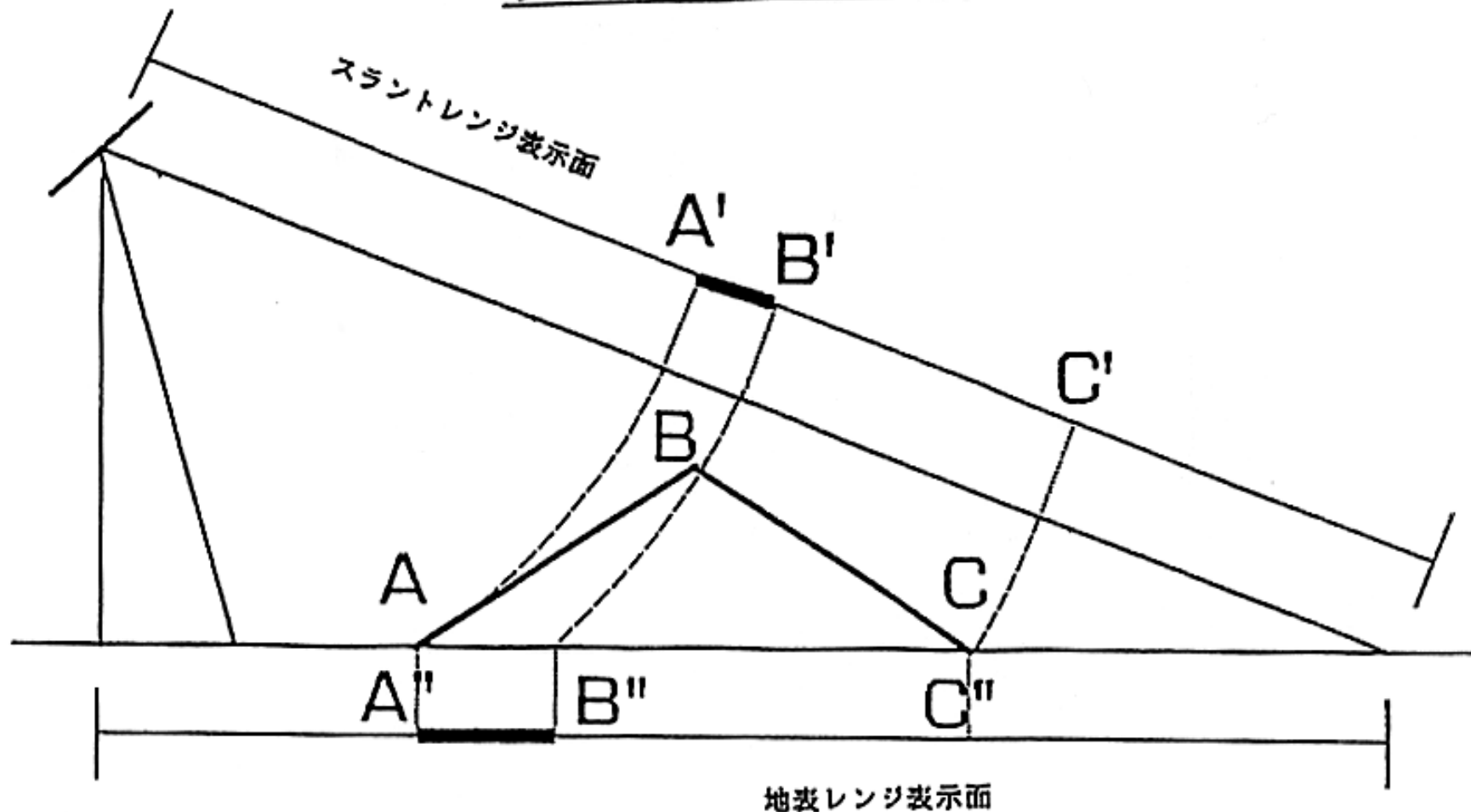


ERS1による静岡付近の画像

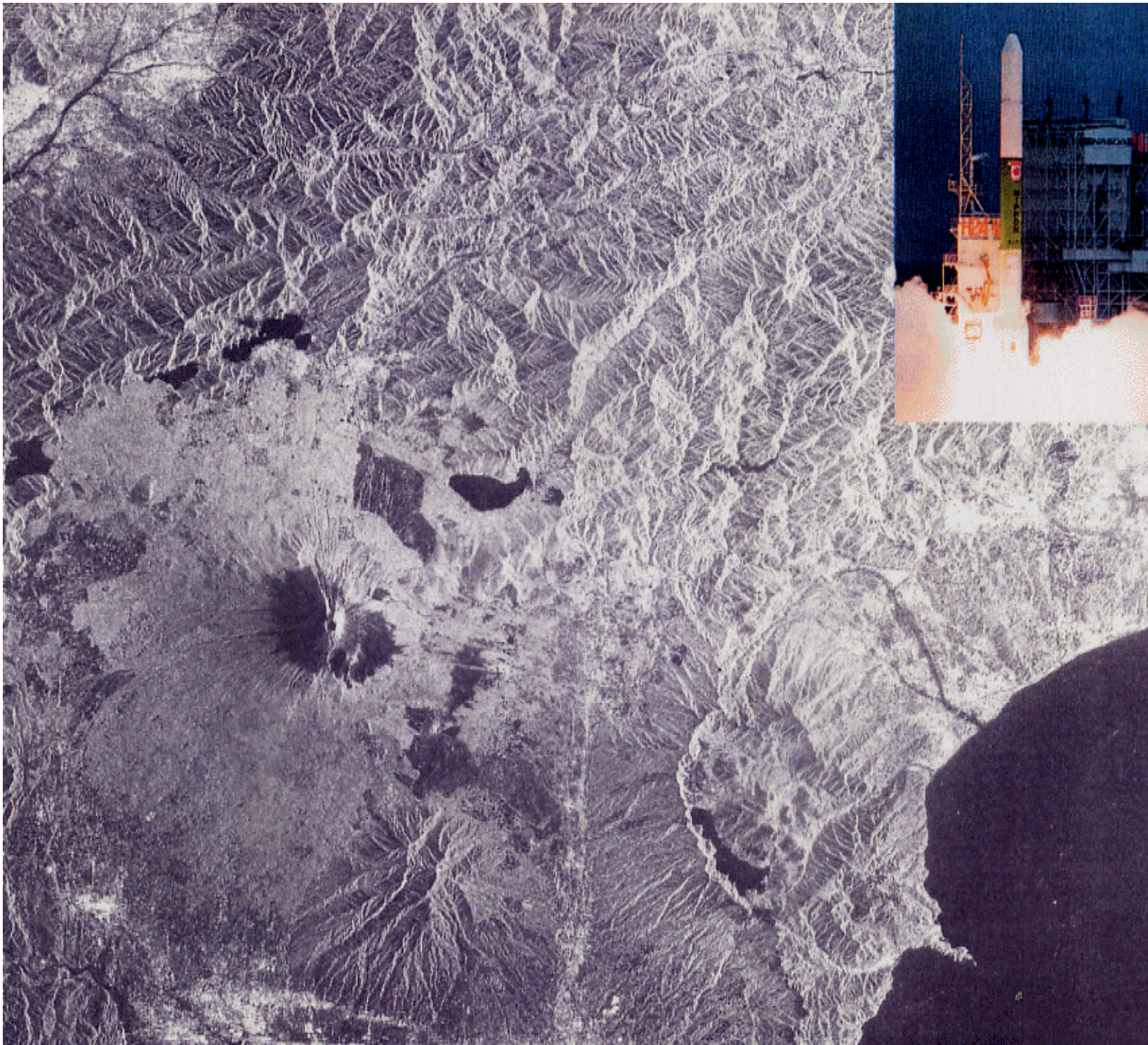
画像の濃淡は地表からの散乱の強さを表す

- ・富士山の形は？
- ・赤石山脈の形は？
- ・海に見えるものは？

フォアショートニング



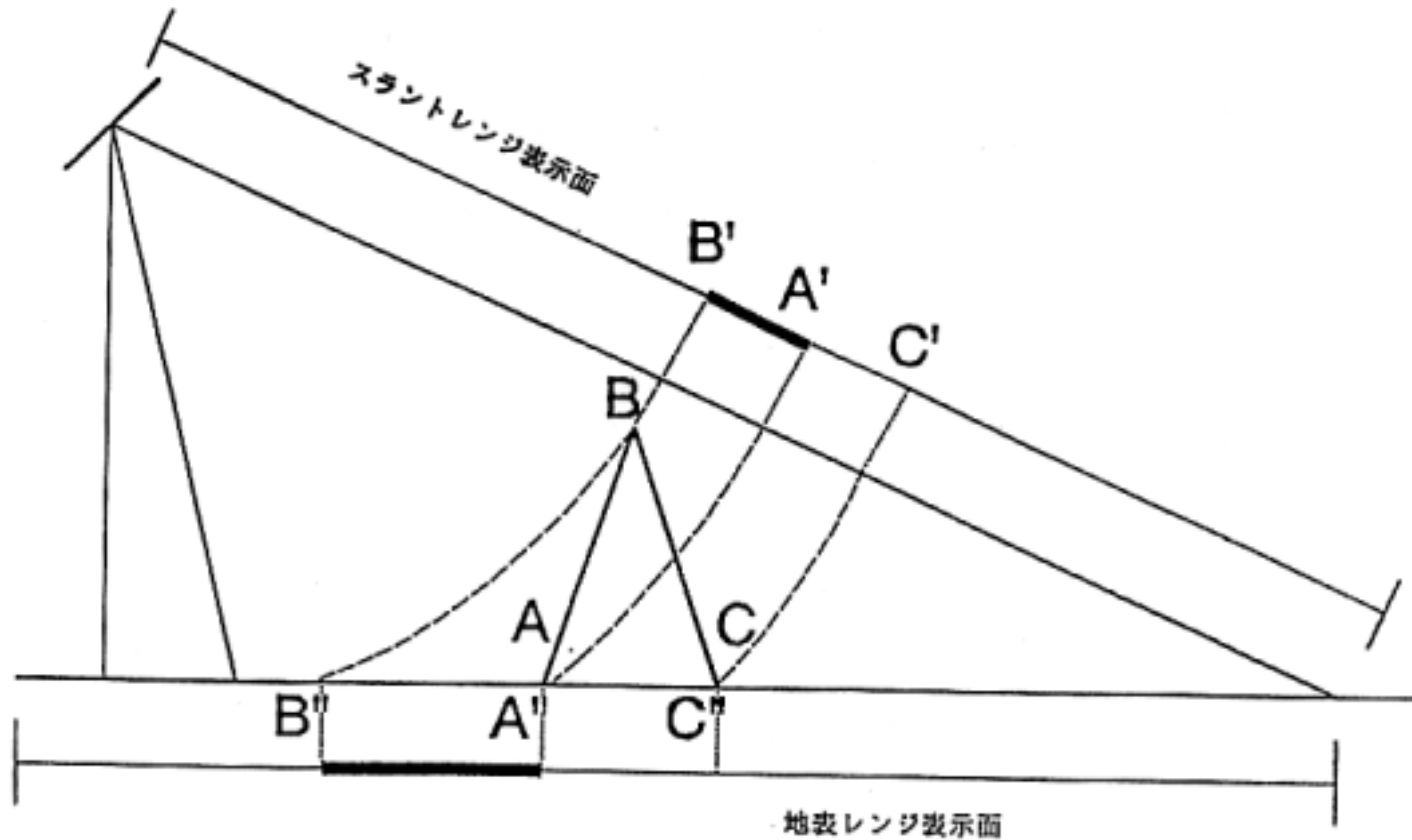
レーダー画像では画像上の位置は衛星からの距離に比例する。上図のように二等辺三角形の山は画像上では衛星側の斜面が短く映し出される。これをフォアショートニングという。



JSARによる富士山周辺地域

- ・色合いの違いは？
- ・地形はよく見える？
- ・海の情報とは？

レイオーバー



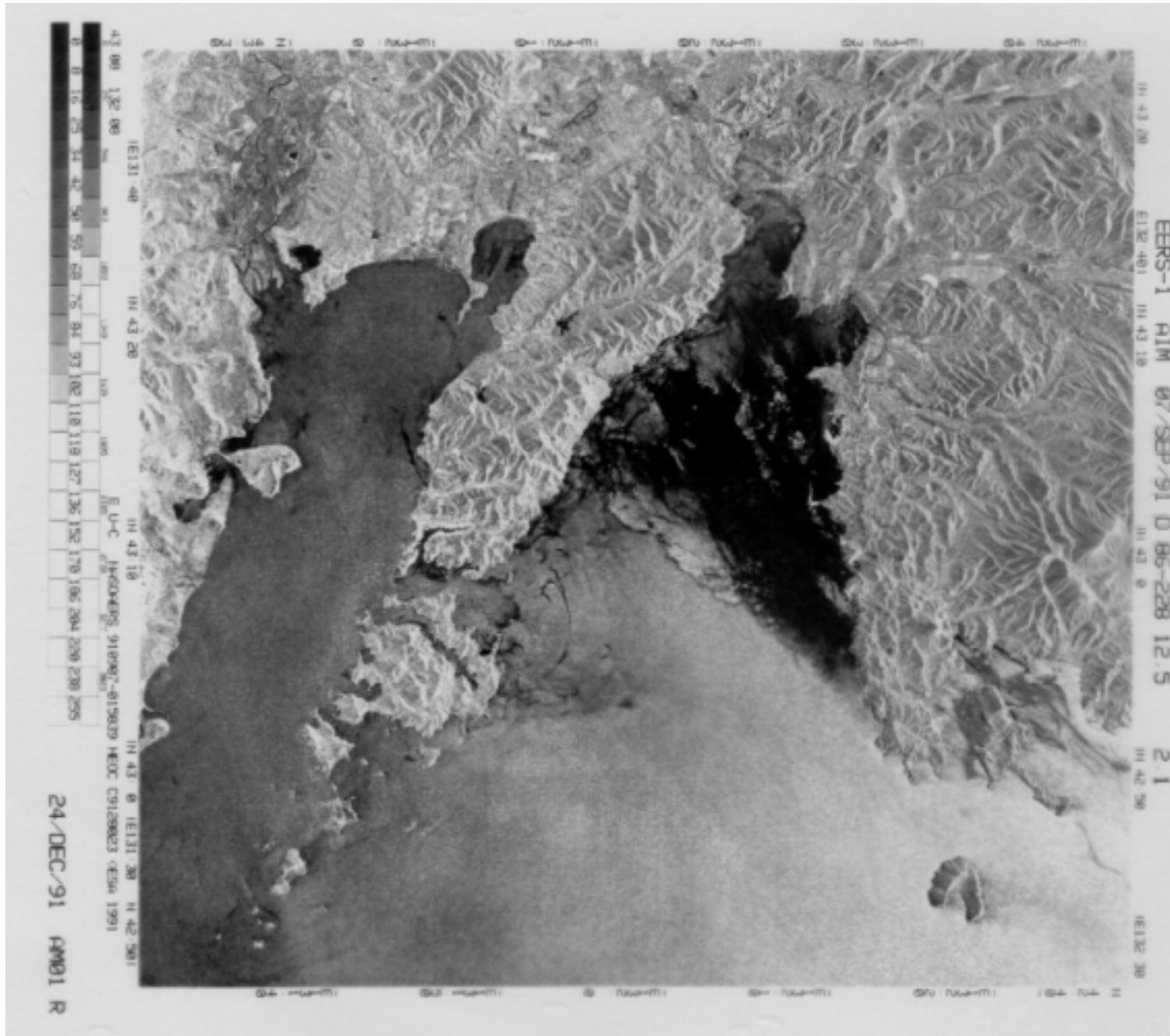
レイオーバー

・山の比高が大きくなると、山頂がセンサ側に倒れ込み斜面の情報は失われる

レーダーシャドウ

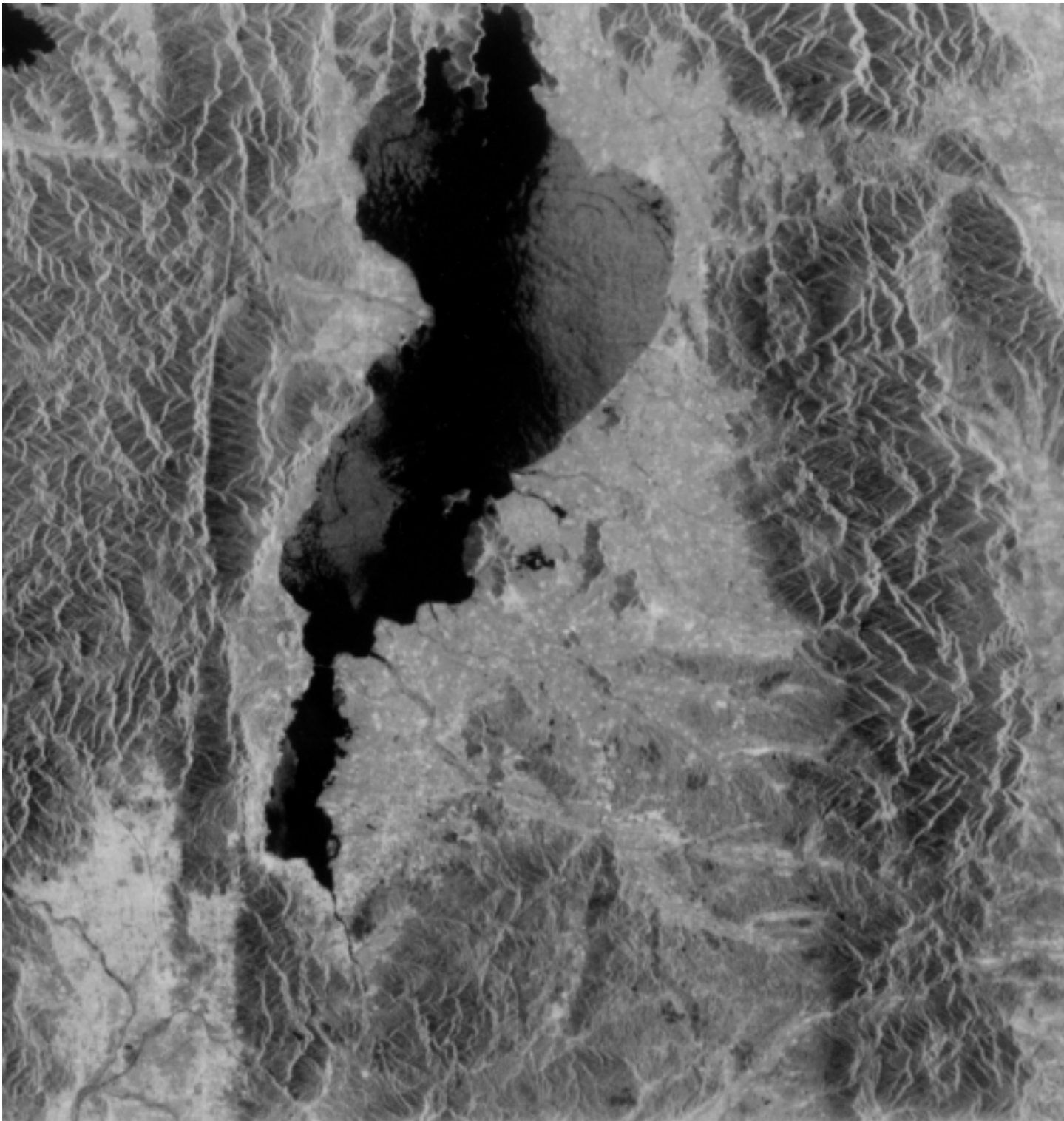
・山の起伏が大きくなると陰となり、情報が抽出できない部分が多くなる

いろいろなSAR画像を見てみよう



ERS1によるウラジオ
ストック周辺の画像

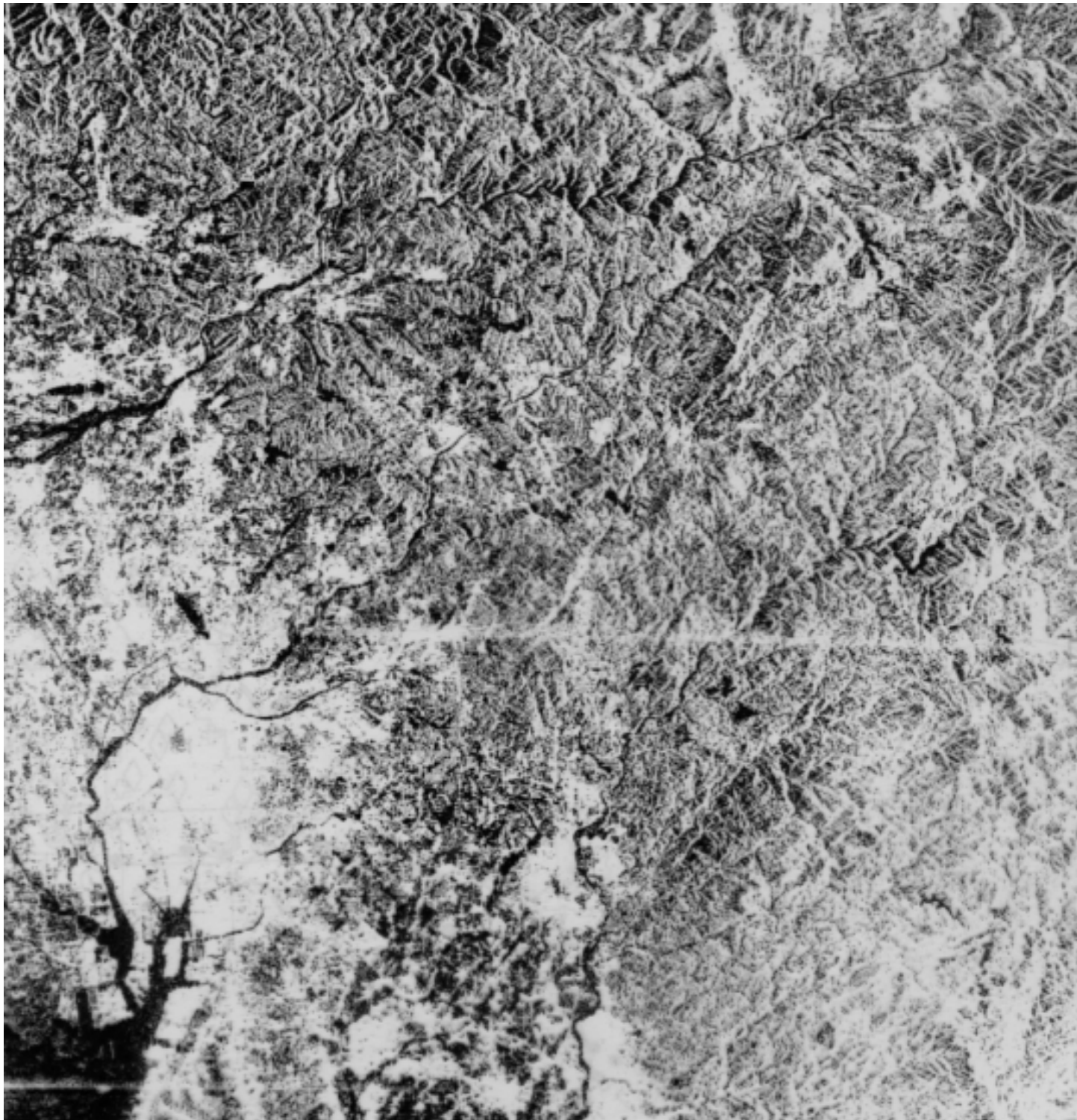
雲はある？



ERS1による琵琶湖周辺の
画像

琵琶湖のさざ波の立ち方
に地域性がある

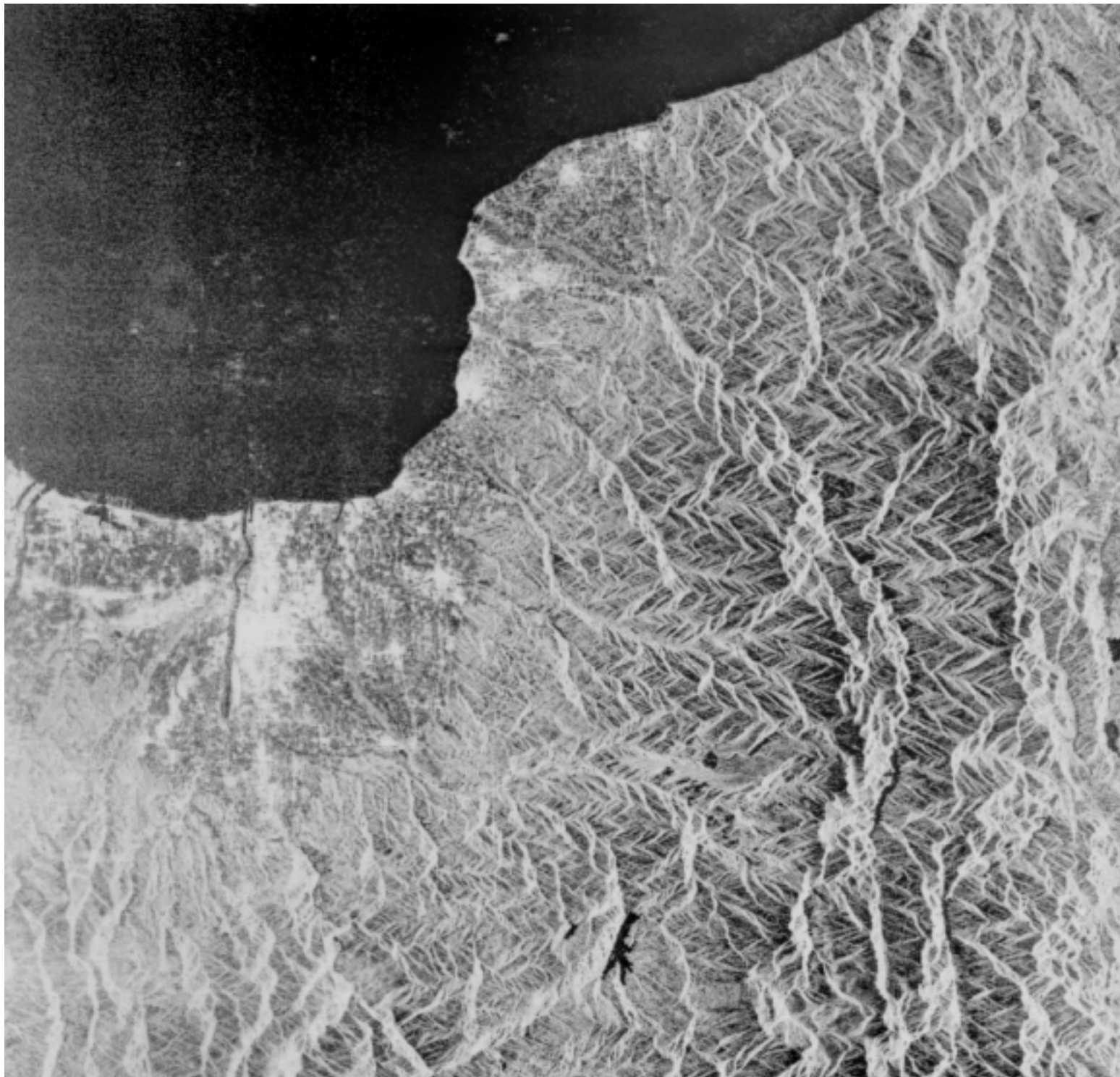
断層(活断層)もはっきりと
見える



JERS1のSARによる名古屋付近

撮影時の天候は雨であったが、見事に撮影されている

横方向のノイズは通信によるものと思われる



JERS1のSARによる
富山と日本アルプス

海には情報がない

NECの航空機搭載XバンドSARによる筑波学園都市の画像。分解能は5 m。



マイクロ波リモートセンシングで何がわかるか

- ・ 標高、地形 (惑星探査にも利用されている)
 - ・ 森林
 - ・ 土壌水分
 - ・ 地殻変動
 - ・ 雪氷
 - ・ 可降水量
 - ・ 風向、風速
 - ・ 高度
 - ・ 海上の油汚染
 - ・ 洪水
 - ・ 大気組成
 - ・ 山火事
- ・ まだまだあり

マイクロ波リモートセンシングの特徴



・波長1cm～数十cmのマイクロ波帯電波を用いるリモートセンシングは雲の有無に影響されず、また昼夜の別なく観測できる

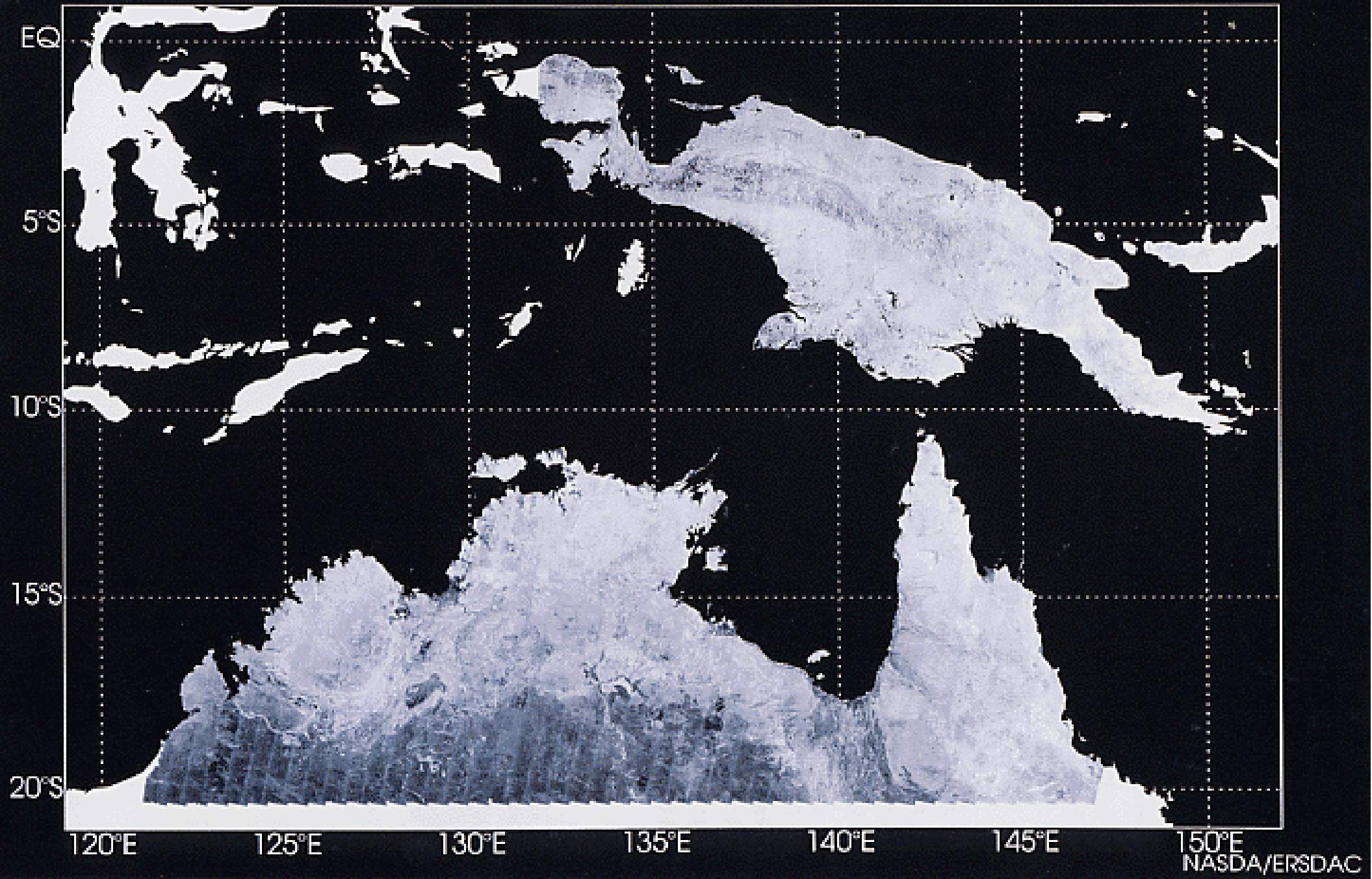
・特に波長数cm以上のマイクロ波帯は雨に影響されることなく、天候に無関係に観測できる

いつも雲に被われている湿潤熱帯地域でも雲を通して地表面を観測できる(左の画像はインドネシア、イリアンジャヤ)

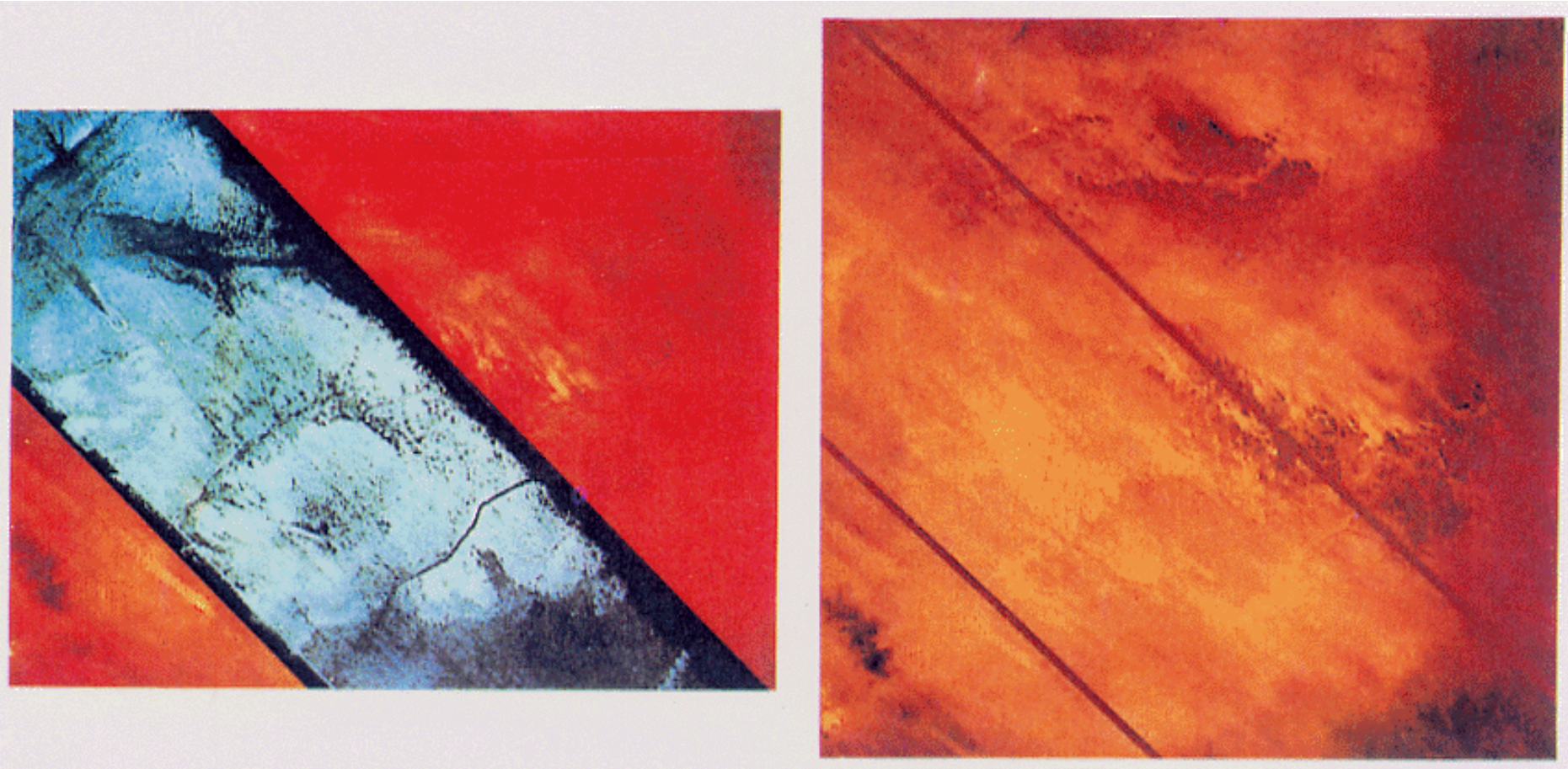
広域の地形構造が見えることにより、石油等の資源探査が容易になった



NASDA JERS-1 Global Rain Forest Mapping Project
New Guinea, Mar/Apr 1996 Northern Australia, Oct/Nov 1996



・波長によっては乾いた砂を透過する



ランドサットによるサハラ砂漠東部の砂漠地域の画像(右)と、スペースシャトルコロンビアのSIR(Shuttle Imaging Radar)による同じ場所の画像。砂を通して基盤の地形が見える > 地下水開発への応用



山岳から砂漠の間は、扇状地とそれに続くワジが存在する

ワジはまれに降る雨を集中中流として砂漠に導き、地下水を涵養する

したがって、砂丘の下の地下構造を明らかにすることは、水資源開発に結びつく重要な情報源である

0 10km

MITI/NASDA Retain Ownership of Data

・積雪分布、積雪量、相当水量を定量的に計測できる



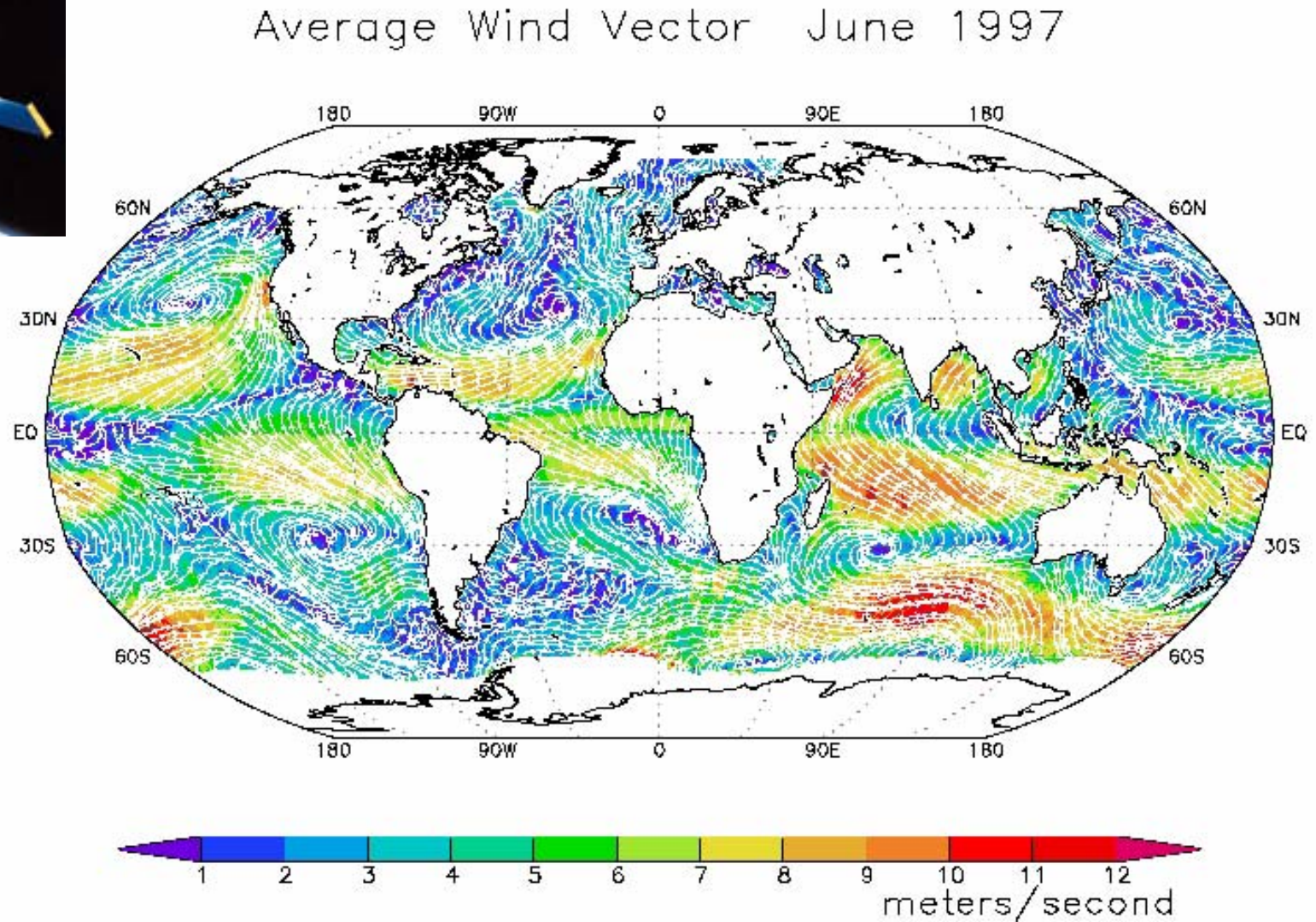
Nimbus-7衛星のSMMRの37GHz帯のデータを用いて描いた1983年2月の全球の積雪分布 全球スケールの積雪モニタリングにどんな重要性があるか、考えてみよう!

・可視・赤外域センサでは観測が困難な海面近くの風向、風速のような諸量が計測できる

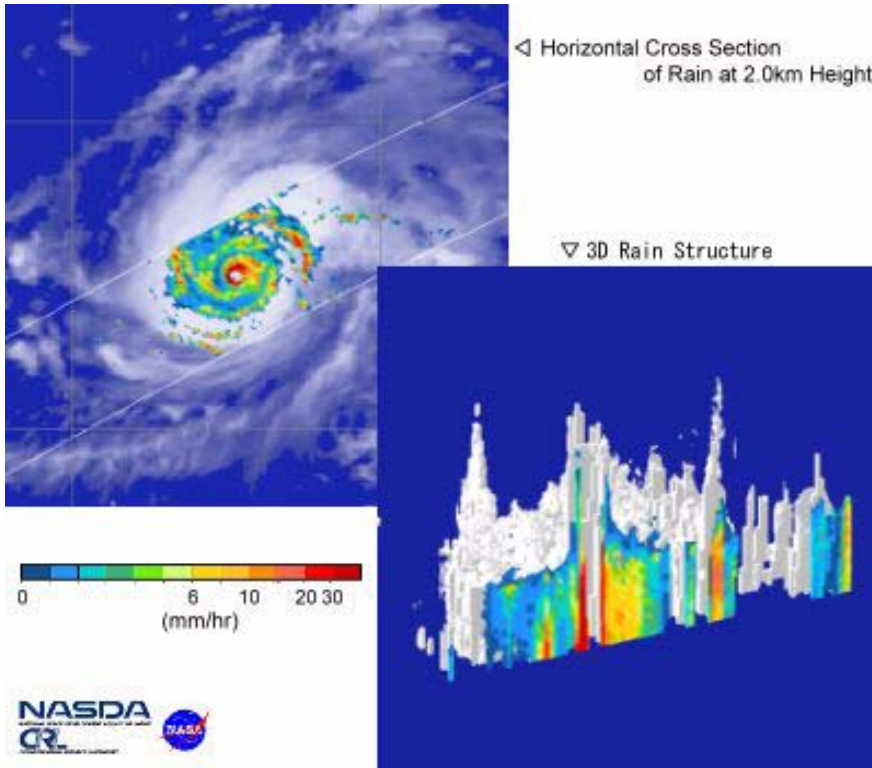


NSCAT (NASA散乱計)

海面に向かってマイクロ波パルスを照射し、異なる方向からの後方散乱を計測することによって、海上の風向・風速を計測することができます



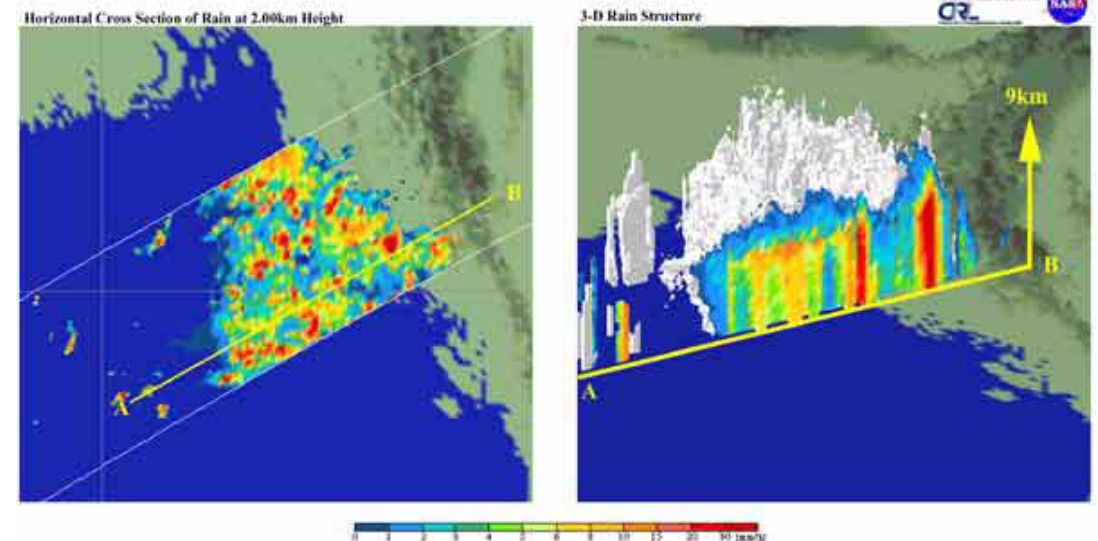
・衛星に降雨レーダーを搭載し、降水量を宇宙から計測することができる



2000年台風8号(左)

TRMM衛星は降水レーダー (PR) を搭載し、低緯度 (緯度南北35度) の降水量分布を計測することができます。

TRMM PR 2A25 Rain over Bay of Bengal
29 Aug. 2000 1:29-1:32 (UTC)

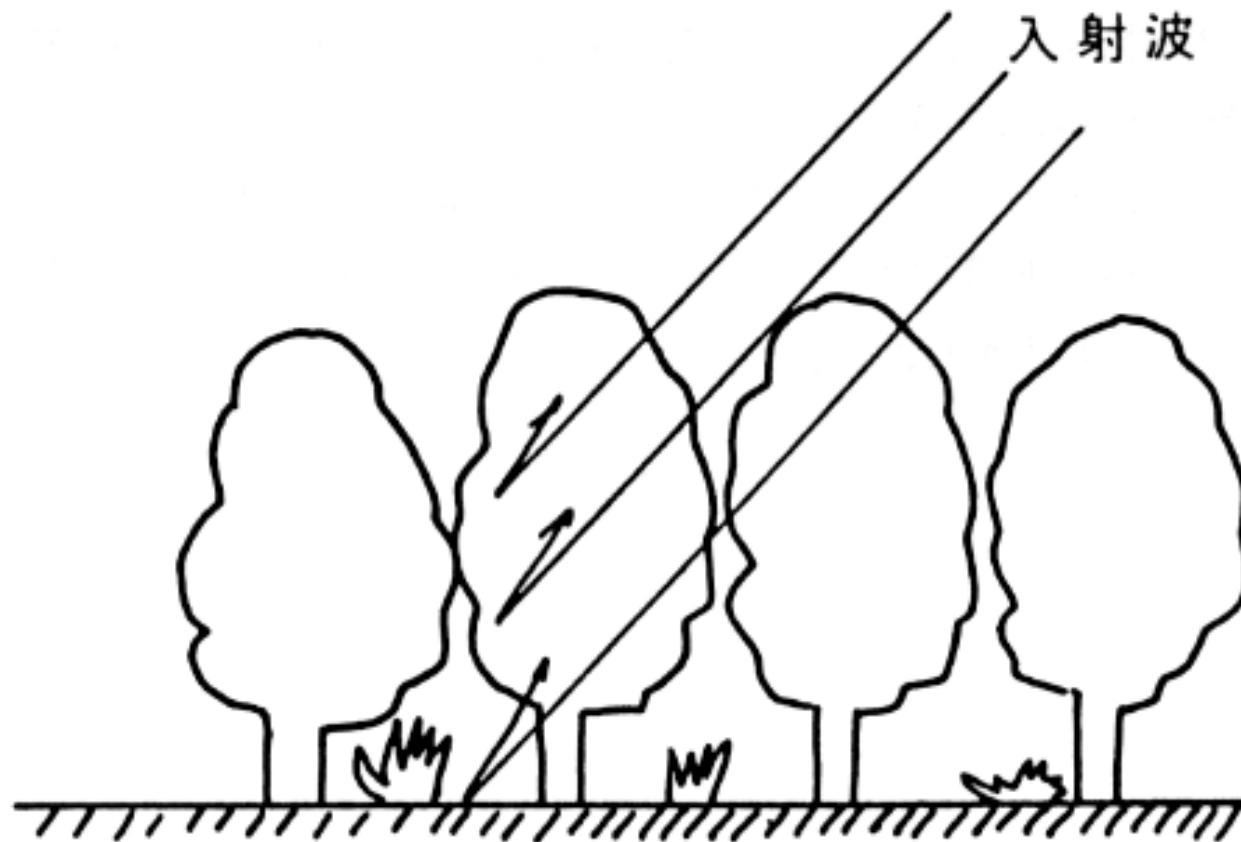


モンスーン期のベンガル湾の降雨(2000.8.29)。左が高度2kmにおける断面、右がABラインの断面

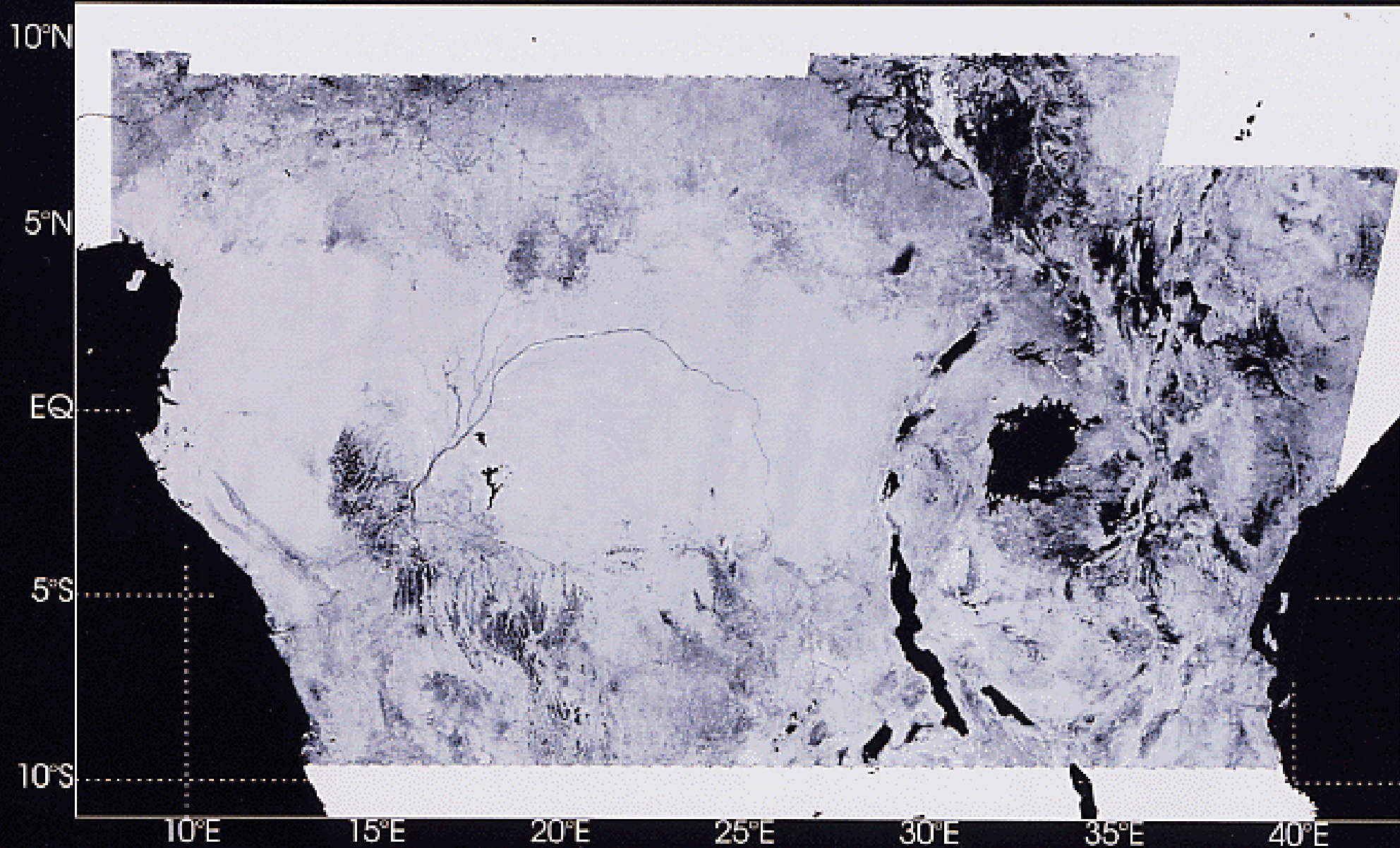
・レーダーではバイオマスを計測することができる

波長(周波数)によって衛星から発射されたマイクロ波は樹冠、樹幹、および地表で散乱される。

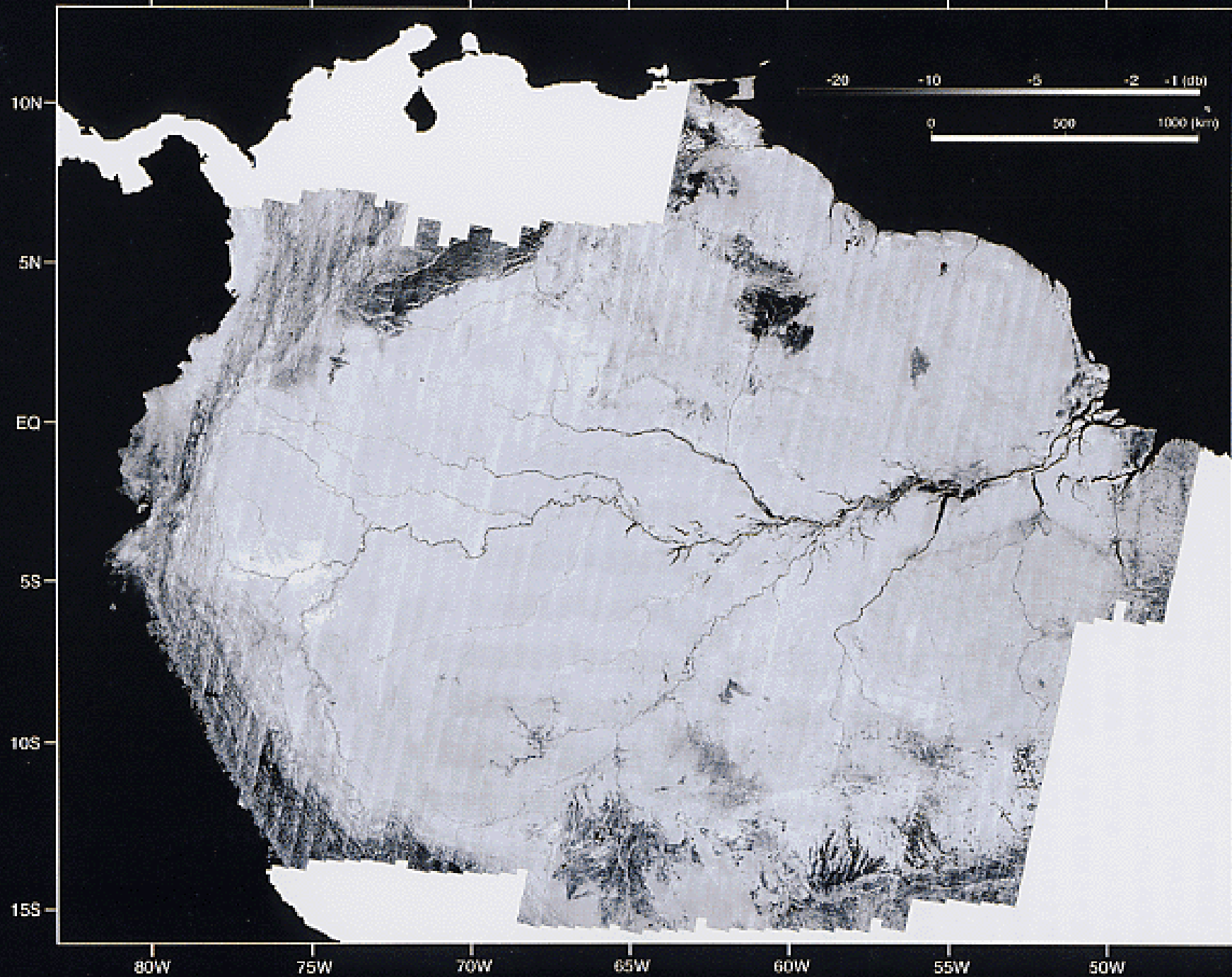
よって、樹木が多いほど後方散乱されて、衛星に返ってくるマイクロ波が多くなる。



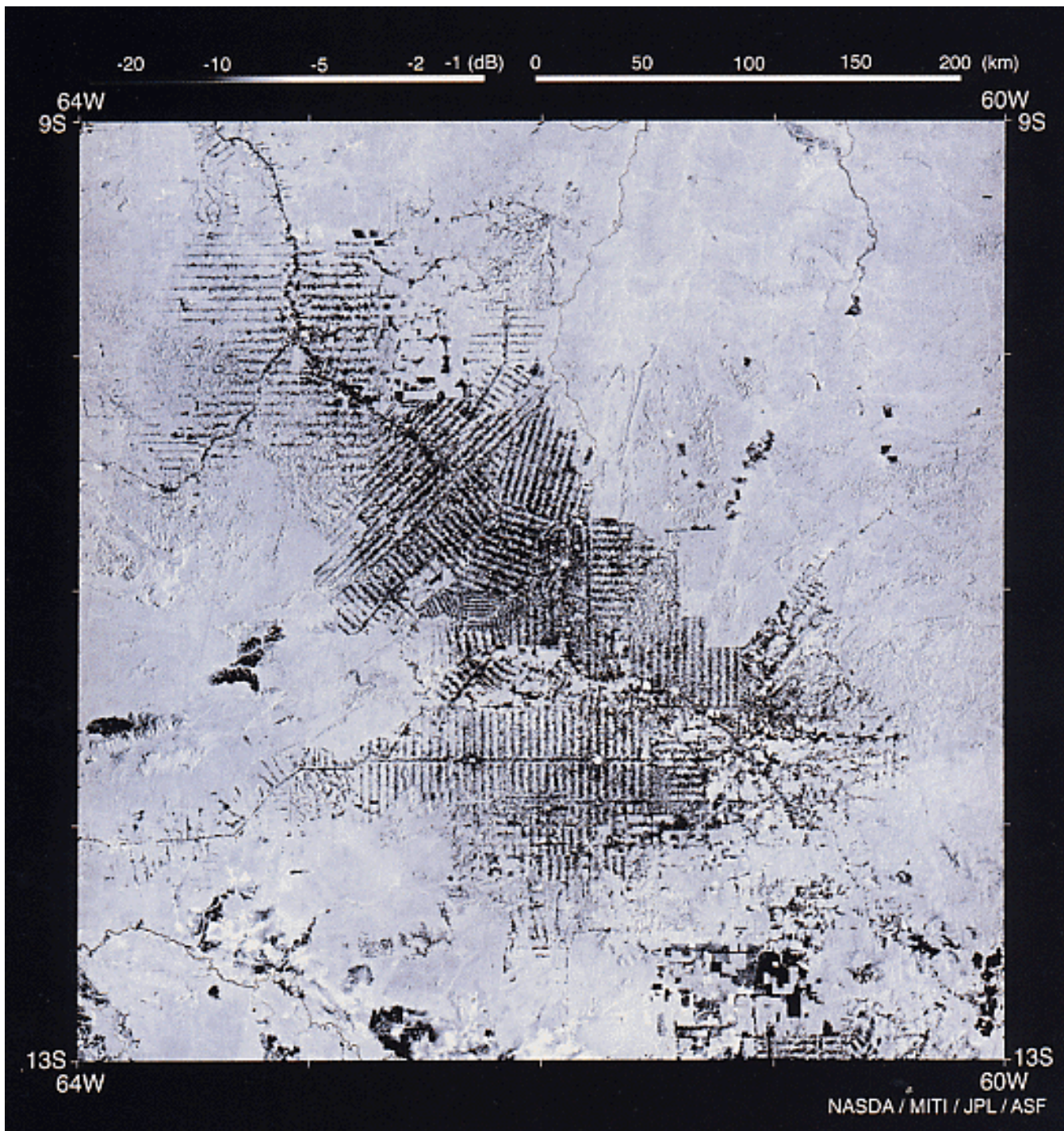
NASDA JERS-1 Global Rain Forest Mapping Project Central and EAST Africa, Jan/Mar 1996



NASDA JERS-1 Global Rainforest Mapping Project, South America, Sep/Dec 1995



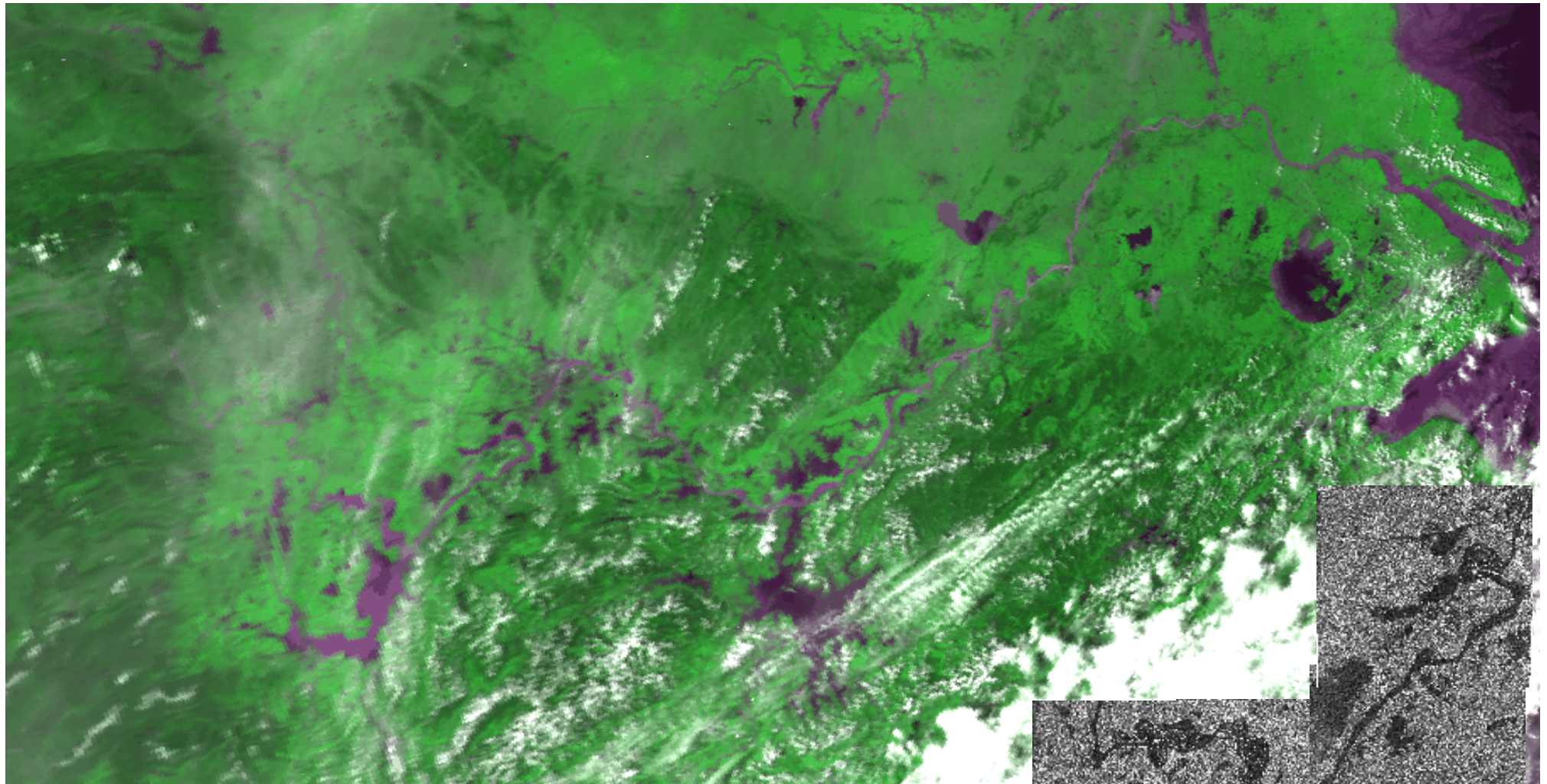
NASDA / JPL / MITI / ASF



有名な Rondônia 州の
フィッシュボーンと呼ばれ
る森林伐採地域

熱帯雨林の消失は地球の
高温、乾燥化を促進する
か？

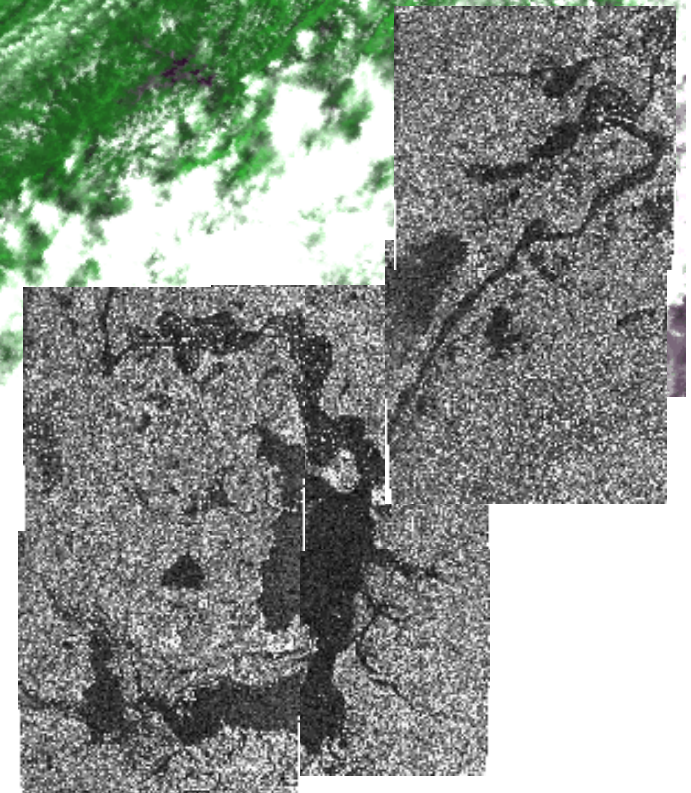
・レーダー画像は洪水の氾濫域を抽出することができる

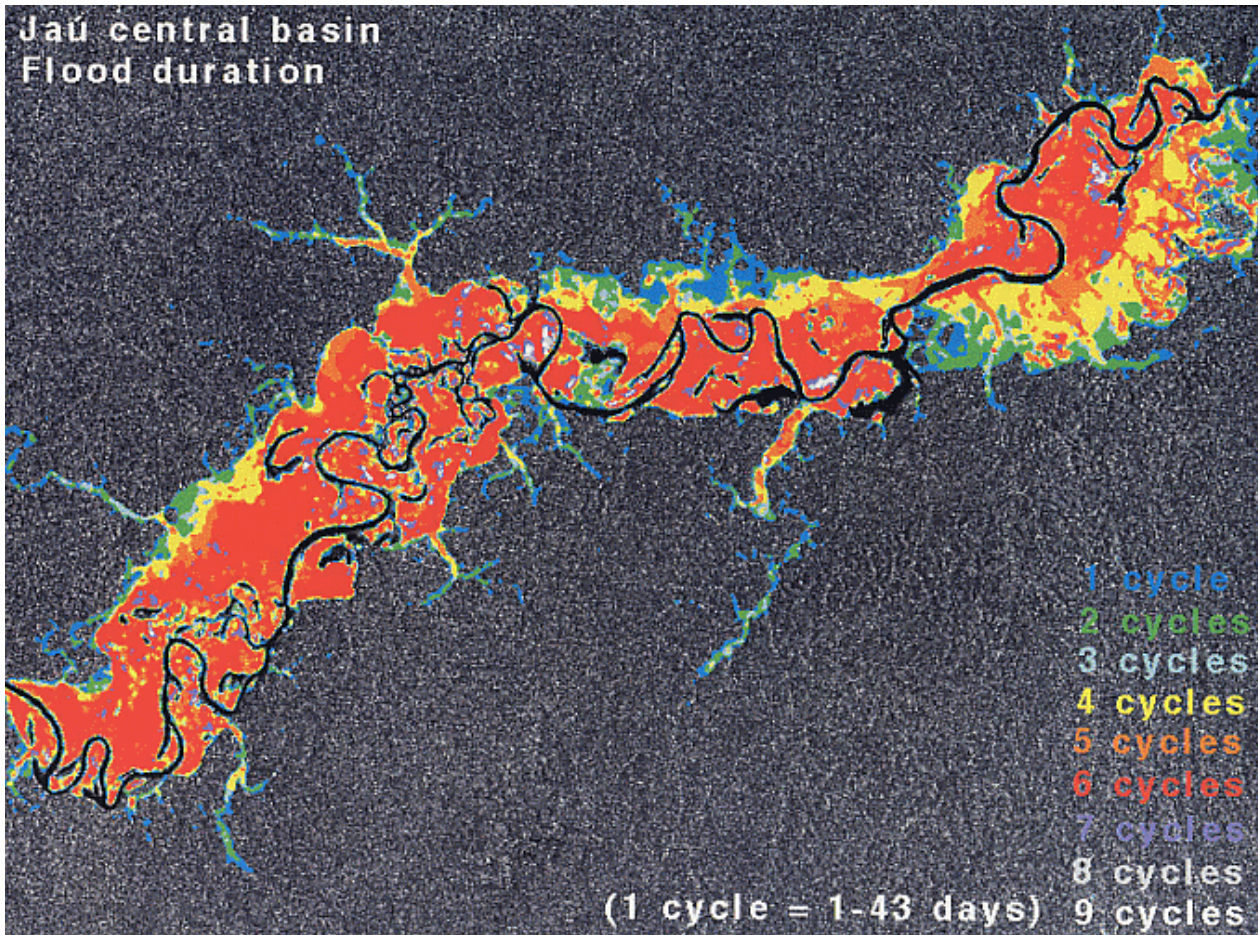


1998年長江大洪水

・NOAA/AVHRRで見た1998年9月の長江
中・下流(上)

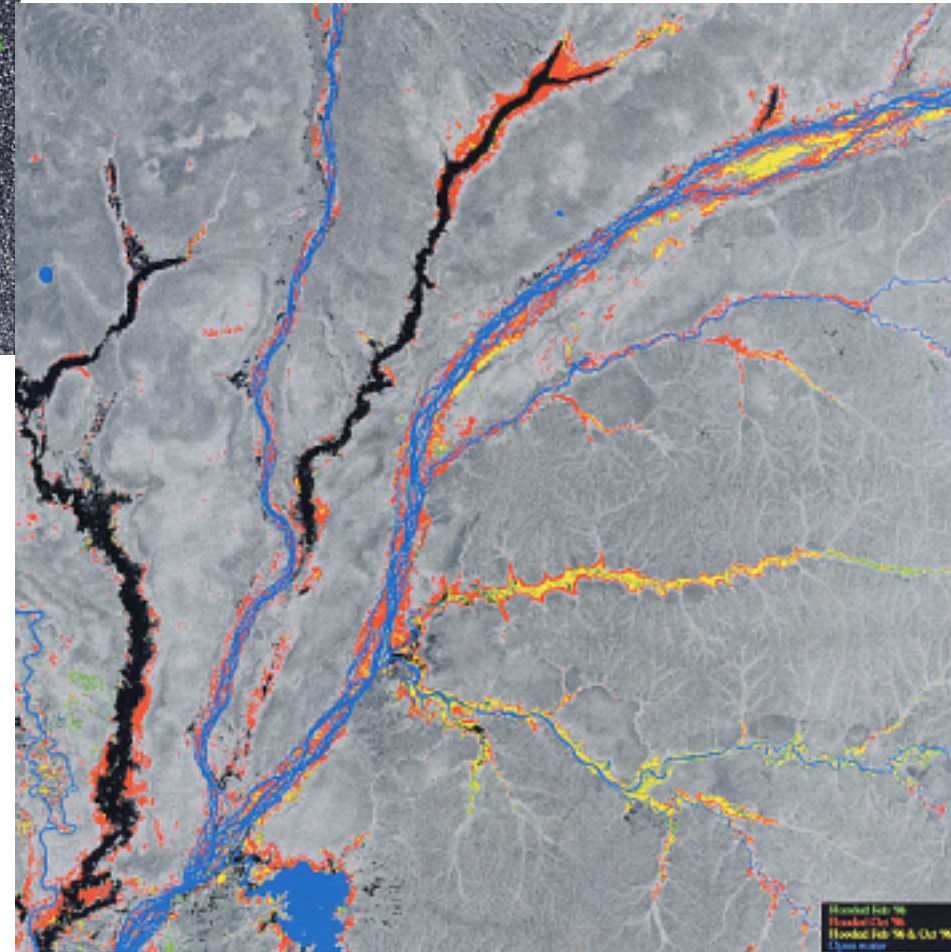
・JERS/SARで見た洞庭湖(右)





アマゾン川の洪水(上)

中央アフリカ、コンゴ川の洪水(右)



土壤水分の計測

地表面におけるマイクロ波の散乱・放射特性は、その電気的性質によって決まる。それは誘電率で表されるが、地表面が水を含むことによって誘電率は大きく変化する

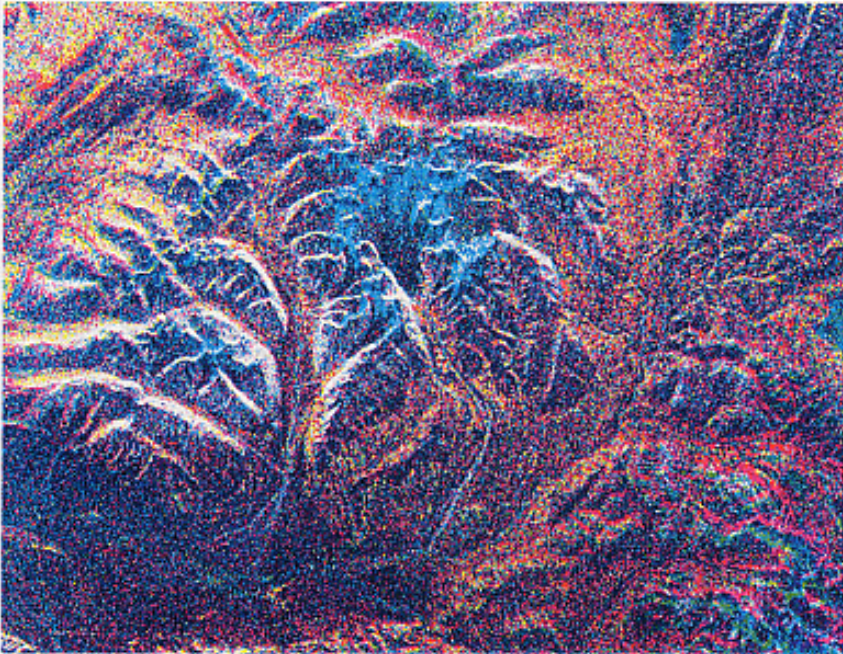


Fig. 1 The image was processed by overlaying three images of JERS-1 SAR obtained in January (blue), May (red), and August (red), 1993

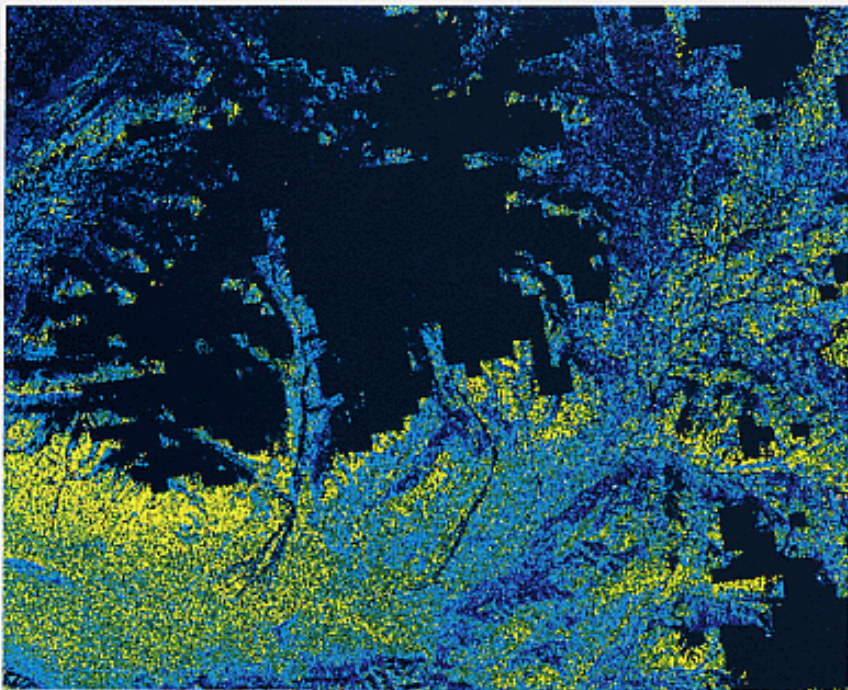
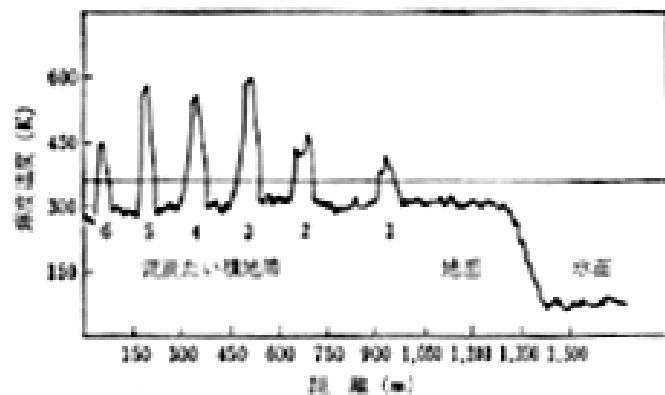


Fig. 2 50-meter mesh soil moisture map on August 17, 1993

Volumetric water content : 10 20 30 40 %

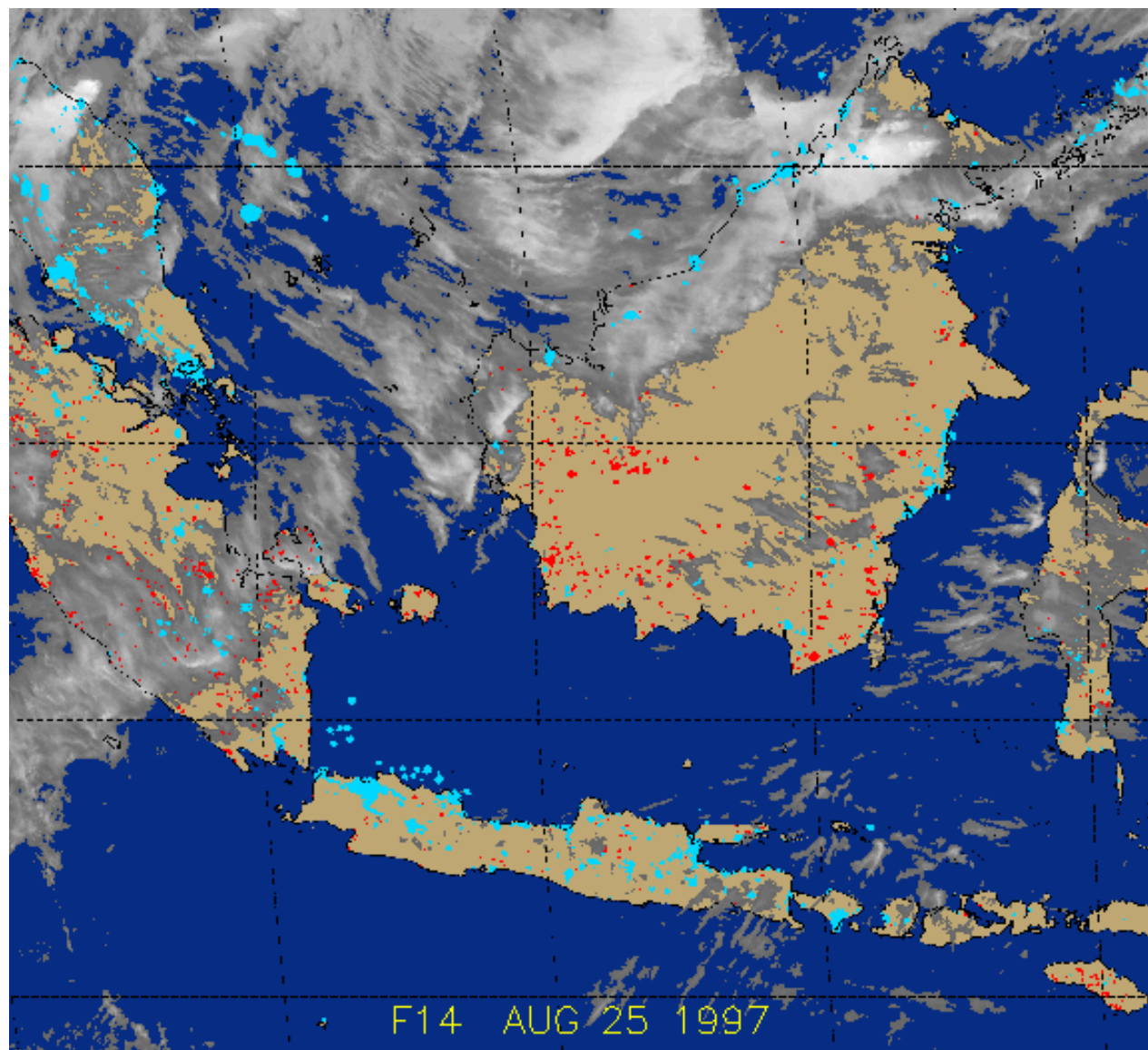


マイクロ波による山火事のモニタリング



煙に覆われた泥炭地の火災でも、マイクロ波の放射を計測すると燃えている場所がわかる (航空機搭載マイクロ波センサーによる)

DMSF衛星のSSM/Iによって抽出されたインドネシアの山火事発生地域(1997.8.25)



土地利用・土地被覆分類

衛星リモートセンシングの重要な機能に土地利用、被覆分類がある

しかし、可視・赤外のリモートセンシングでは雲があると地表面は見えない

SARでは雲を通して地表面を観測することが可能であり、多時期の画像から植物の生育段階の違いを利用した土地利用・被覆(植生)分類が可能となる

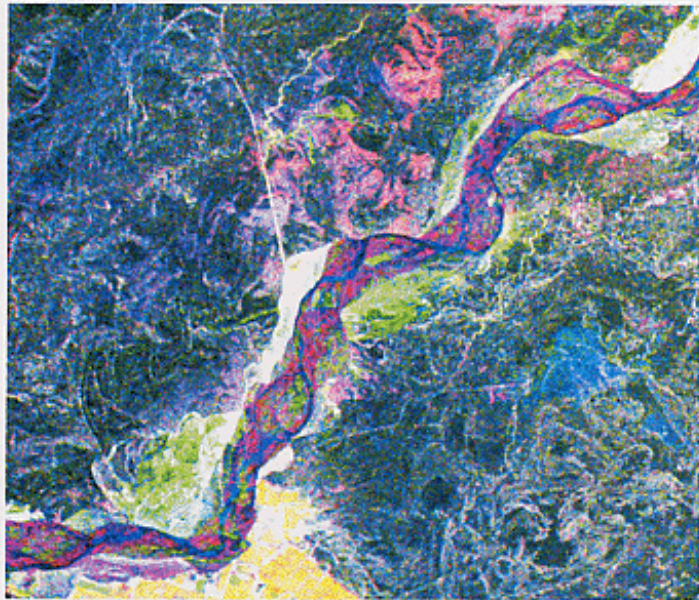


Fig. 1 Color composite image of JERS-1 SAR Sciences 21 September 1992, 26 August 1994 and 12 June 1993 shown in ROB.Path-row:173-232 (the middle reaches of the Train River,China)

Volumetric water content : 10 20 30 40 %

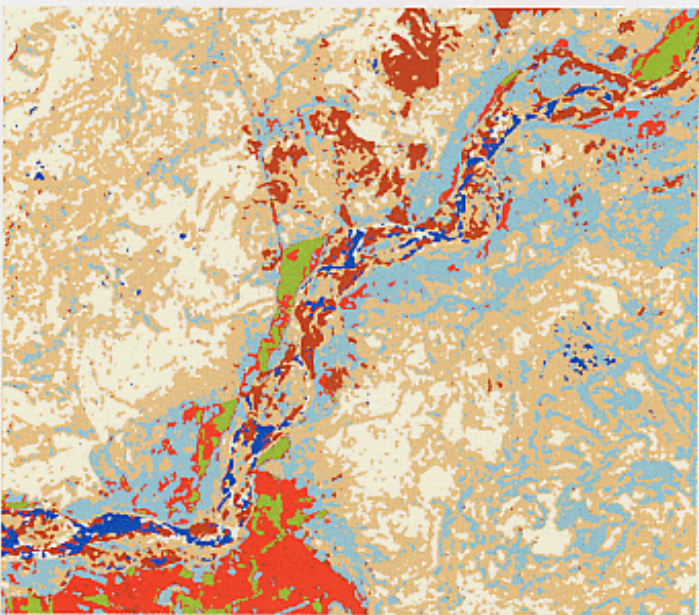
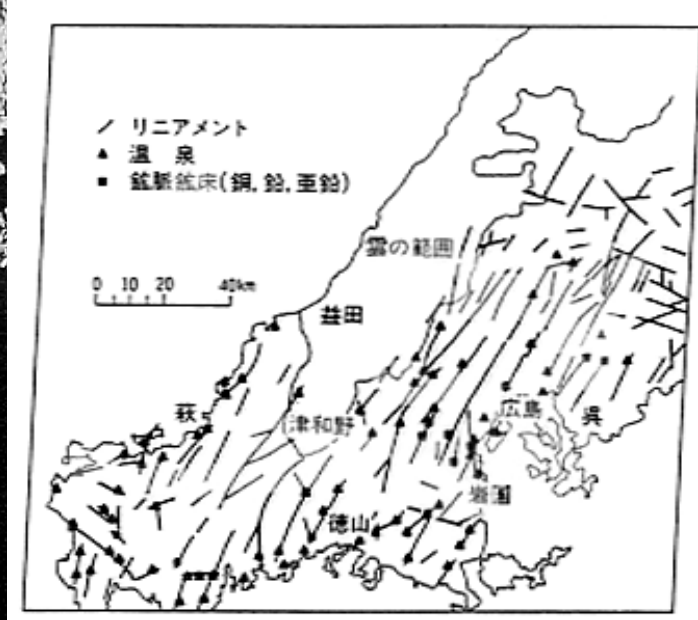


Fig. 2 Distribution of vegetation types





リニアメント解析





淡路島のDEM

この図は国土地理院が作成した50m分解能のDEM(Digital Elevation Model)から作成した地形陰影図

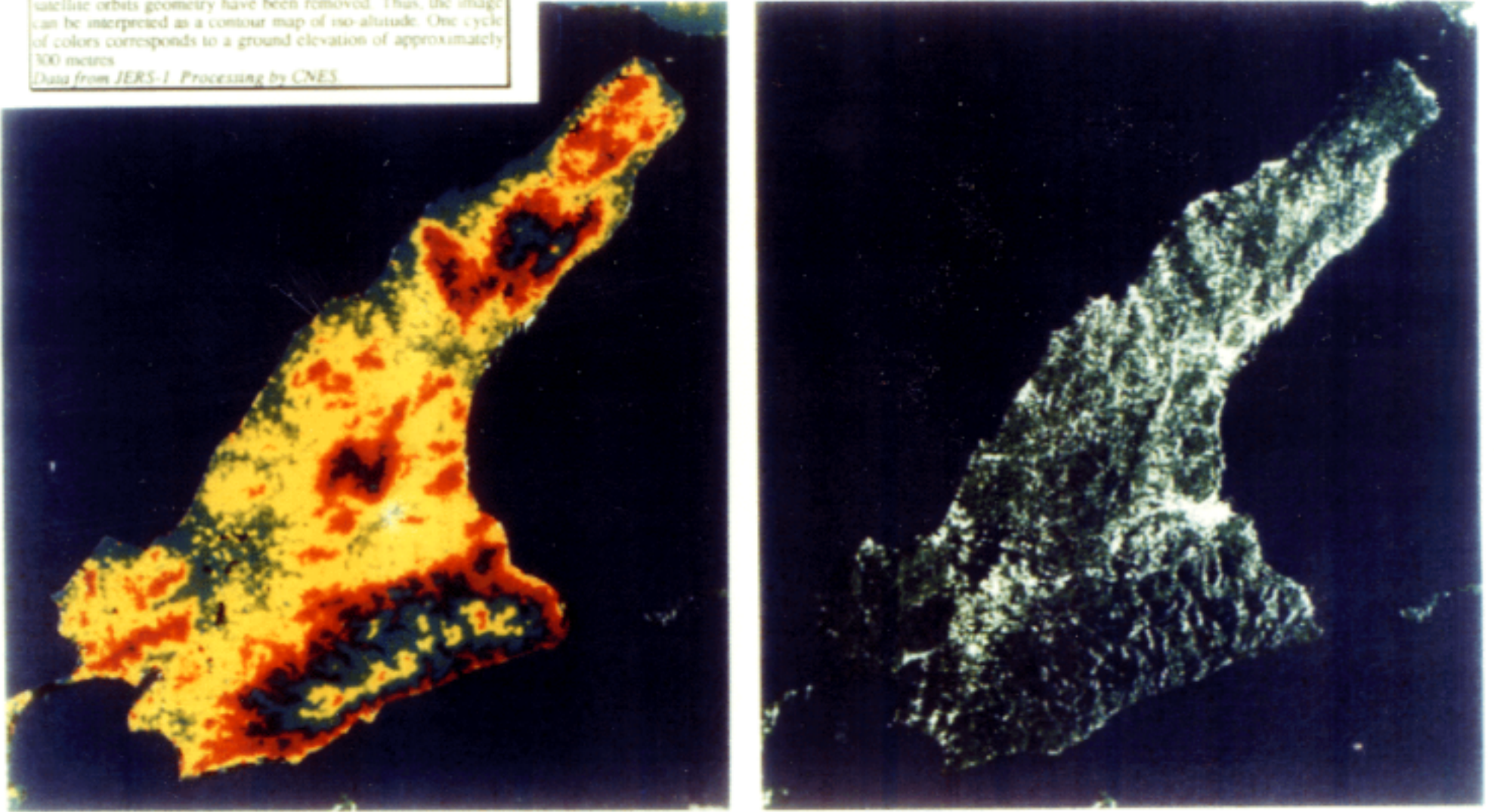
- ・どこが山で、どこが平野？
- ・直線上の構造は何？

Awaji Island Interferogram

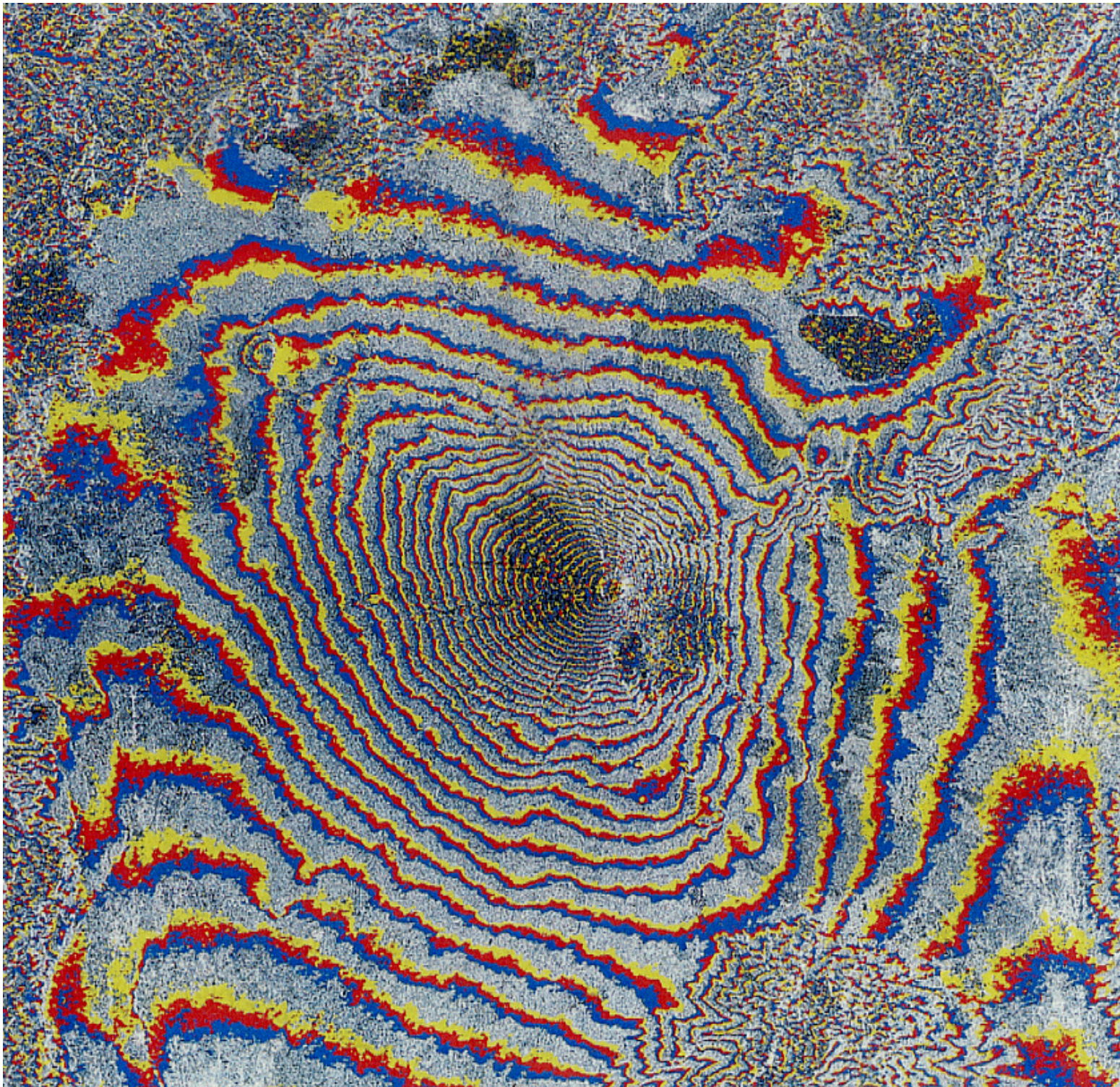
This image shows the difference in phase between two images acquired by the Japanese radar satellite JERS-1. The effect of satellite orbits geometry have been removed. Thus, the image can be interpreted as a contour map of iso-altitude. One cycle of colors corresponds to a ground elevation of approximately 300 metres.

Data from JERS-1 Processing by CNES

Massonnet, Rogan and Rossi (1995)



干渉SARによって抽出した淡路島の標高



富士山のInSAR

撮影時期の異なる二つのJERS1のSARデータを干渉させて等高線を発生

標高データは位置エネルギーの分布を表すため、多くの環境解析において必須のデータとなっている

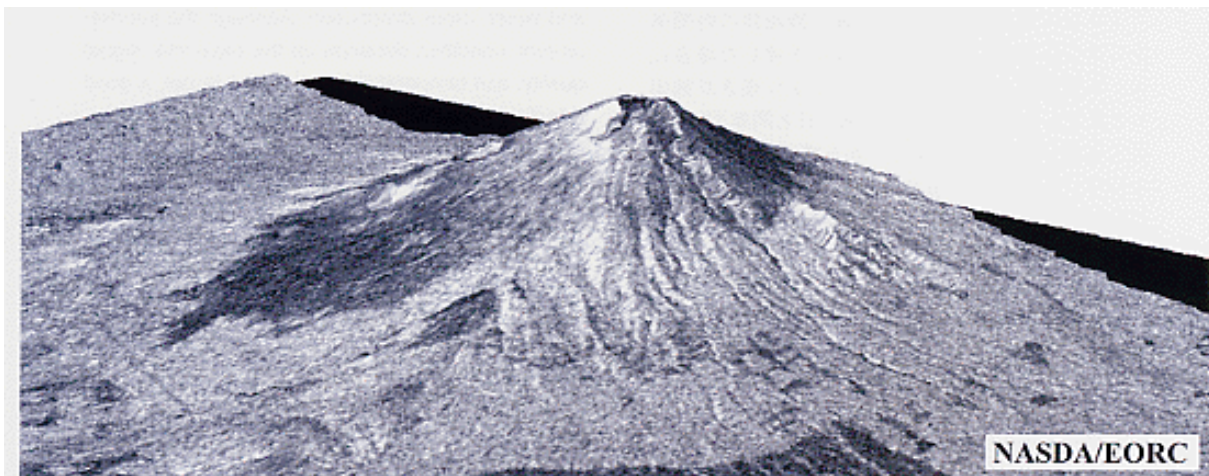


Fig. 1

標高データが抽出できれば
三次元画像も作成可能

(Q) 衛星リモートセンシング
によるDEM作成の利点は

(A) 世界のどこでも地形図作
成が可能

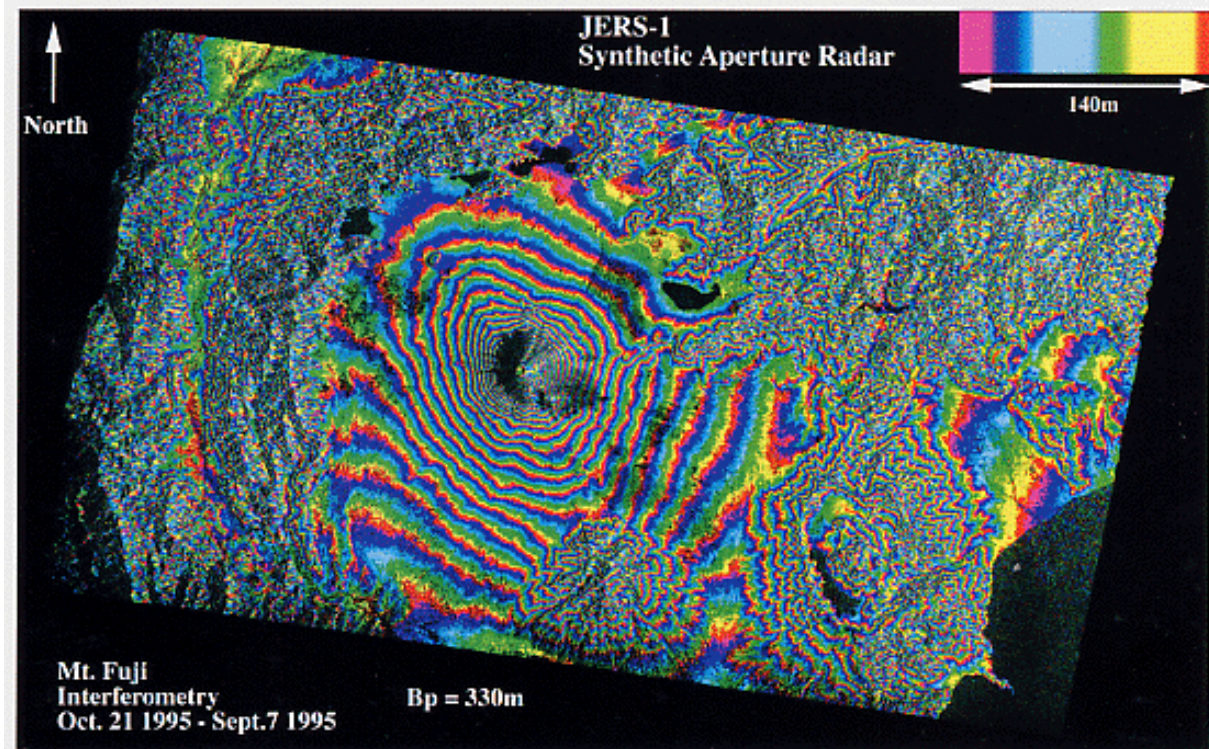


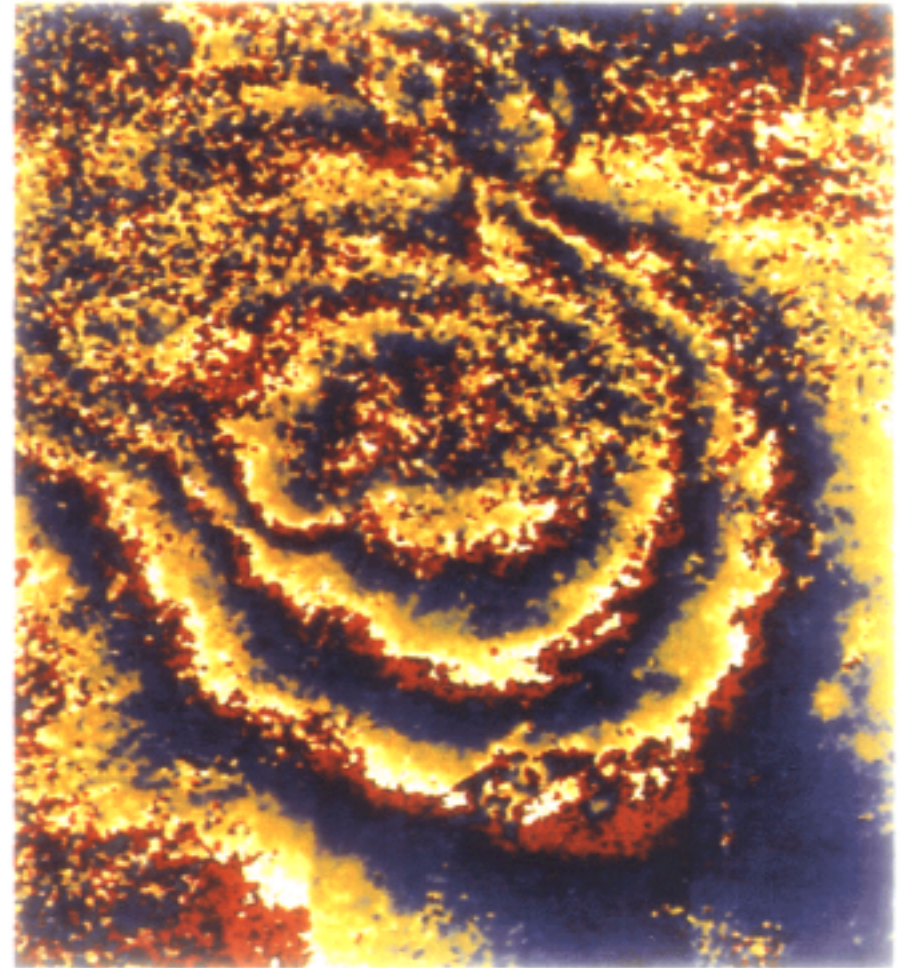
Fig. 2

注) DEM: Digital Elevation
Model 数値地形モデル

NORTHRIDGE EARTHQUAKE by JERS-1



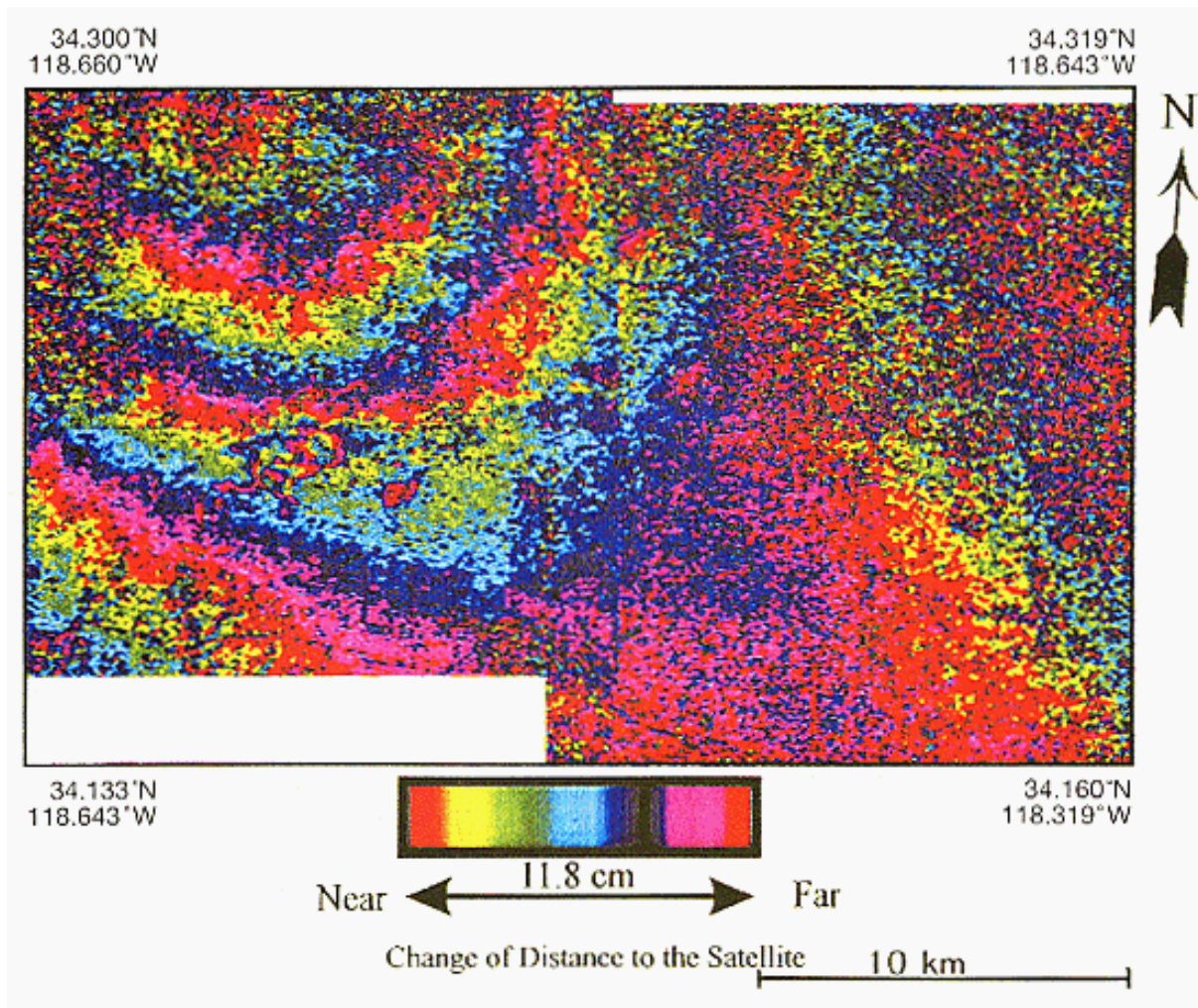
SAR IMAGE



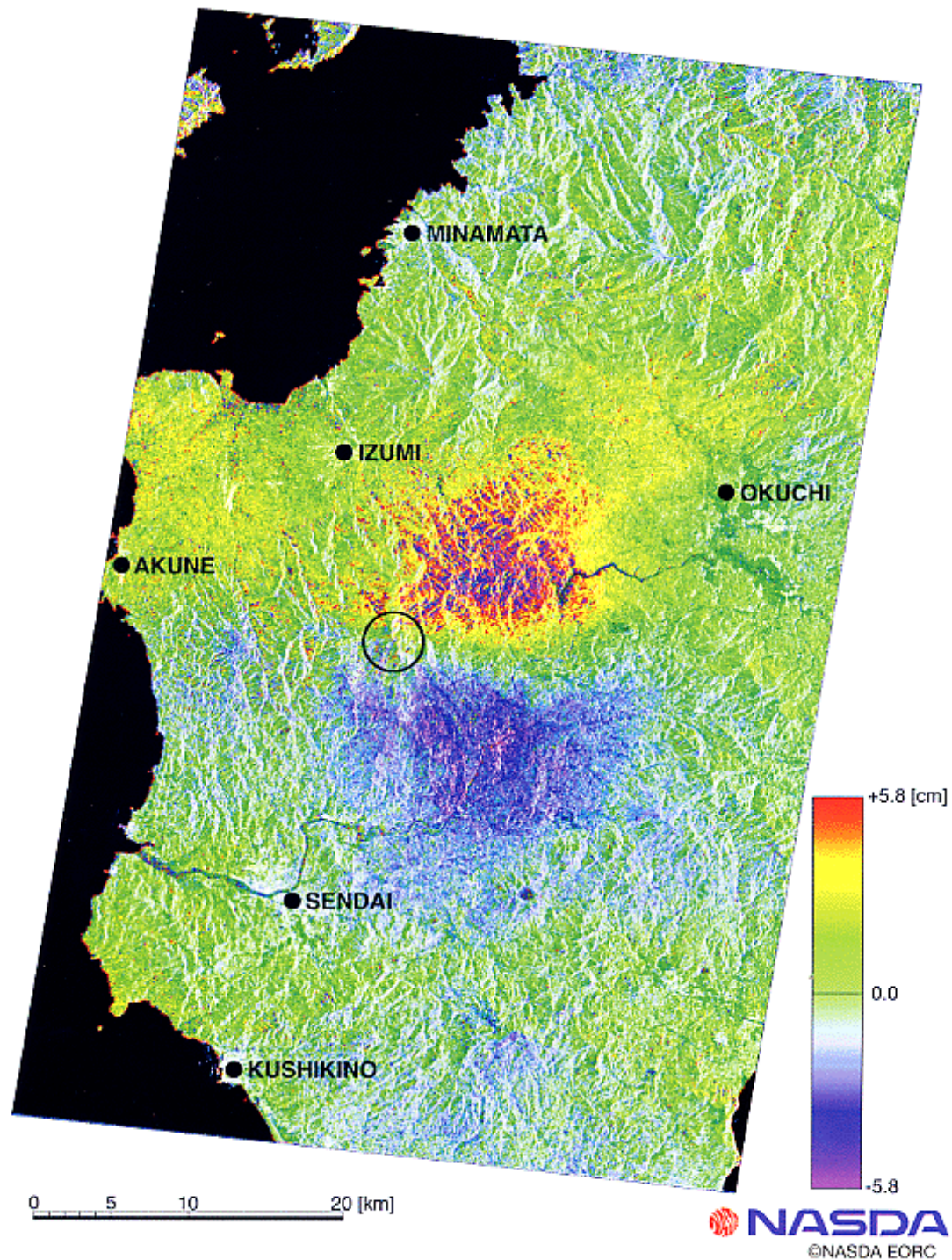
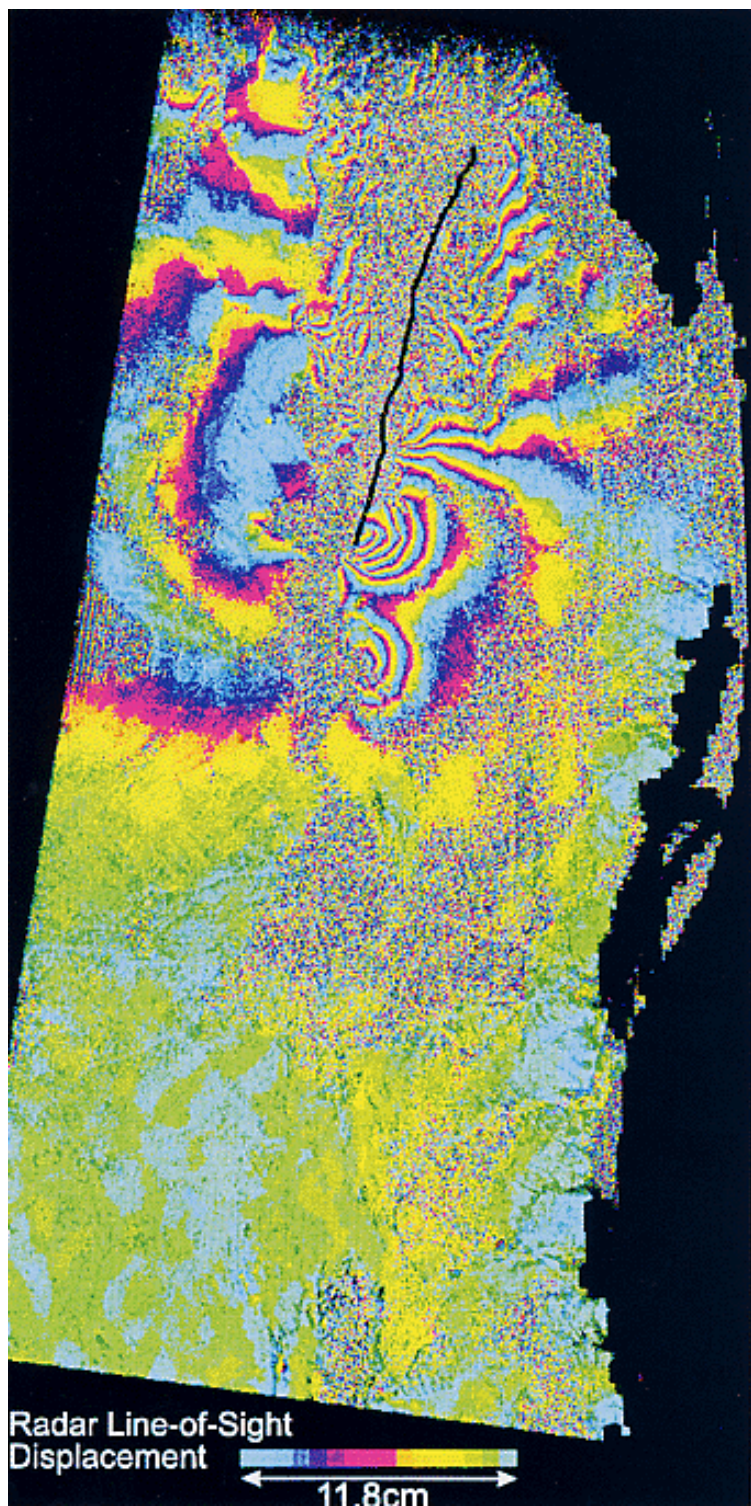
DISPLACEMENT FIELD

撮影期間中に地表面の形態が変わってしまったら？

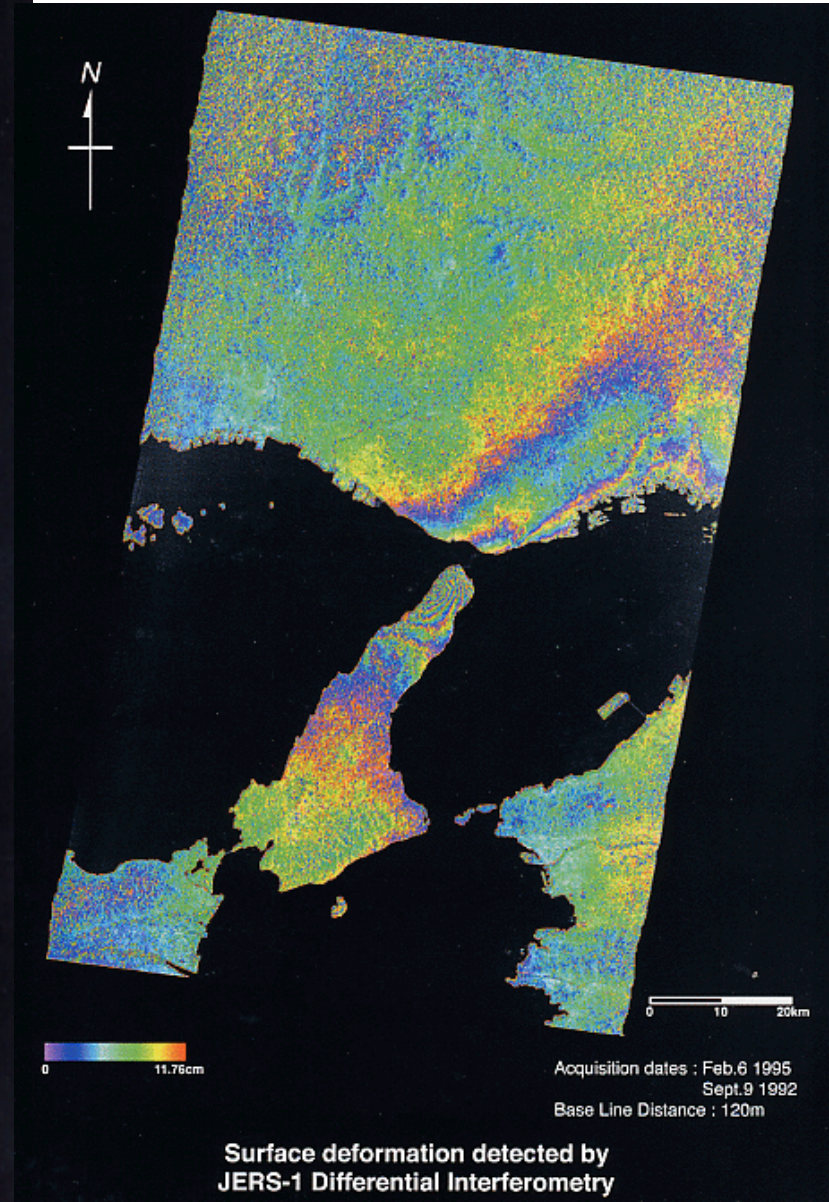
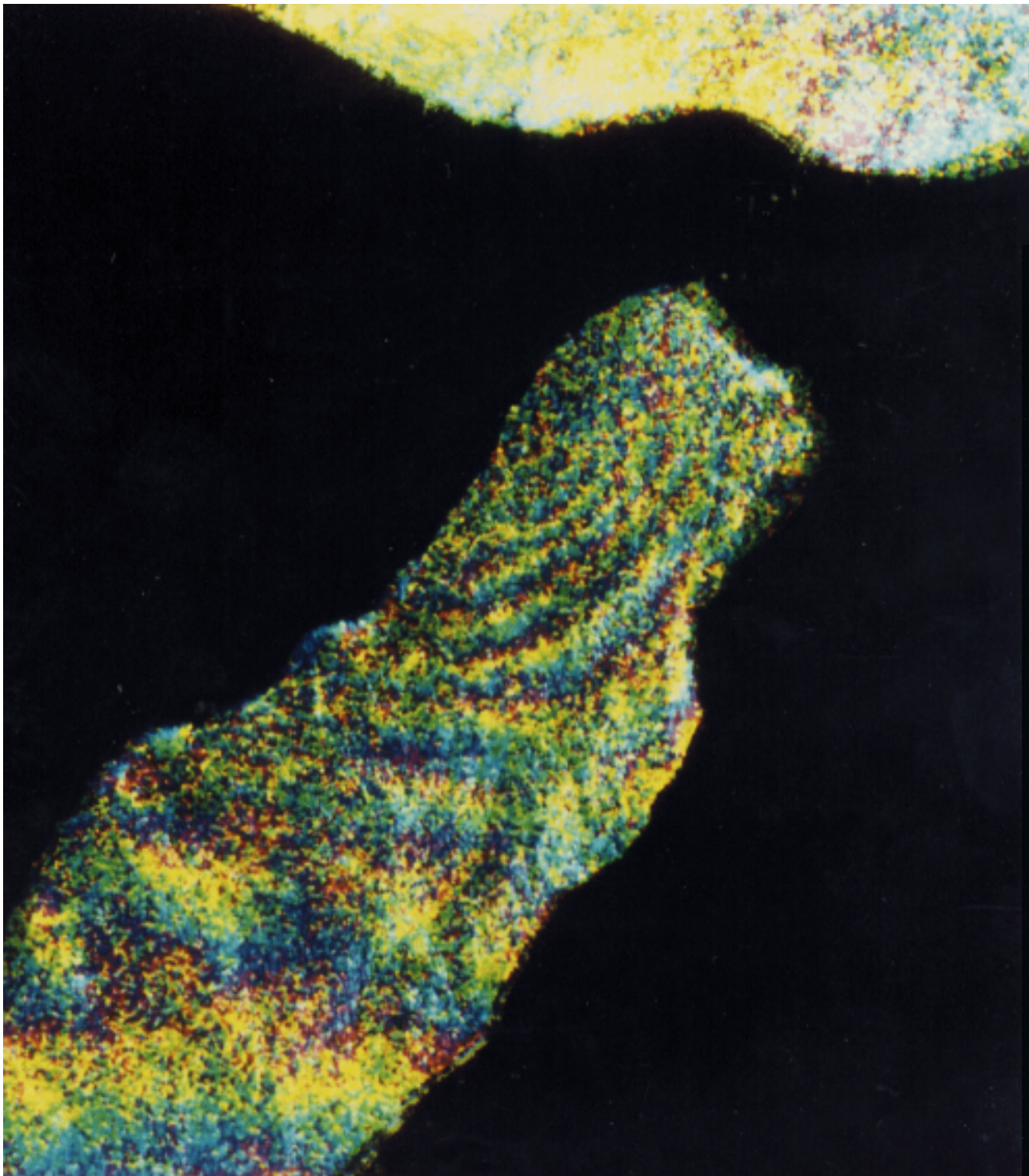
- ・地震による地殻変動、地すべり、浸食、地盤沈下による変形



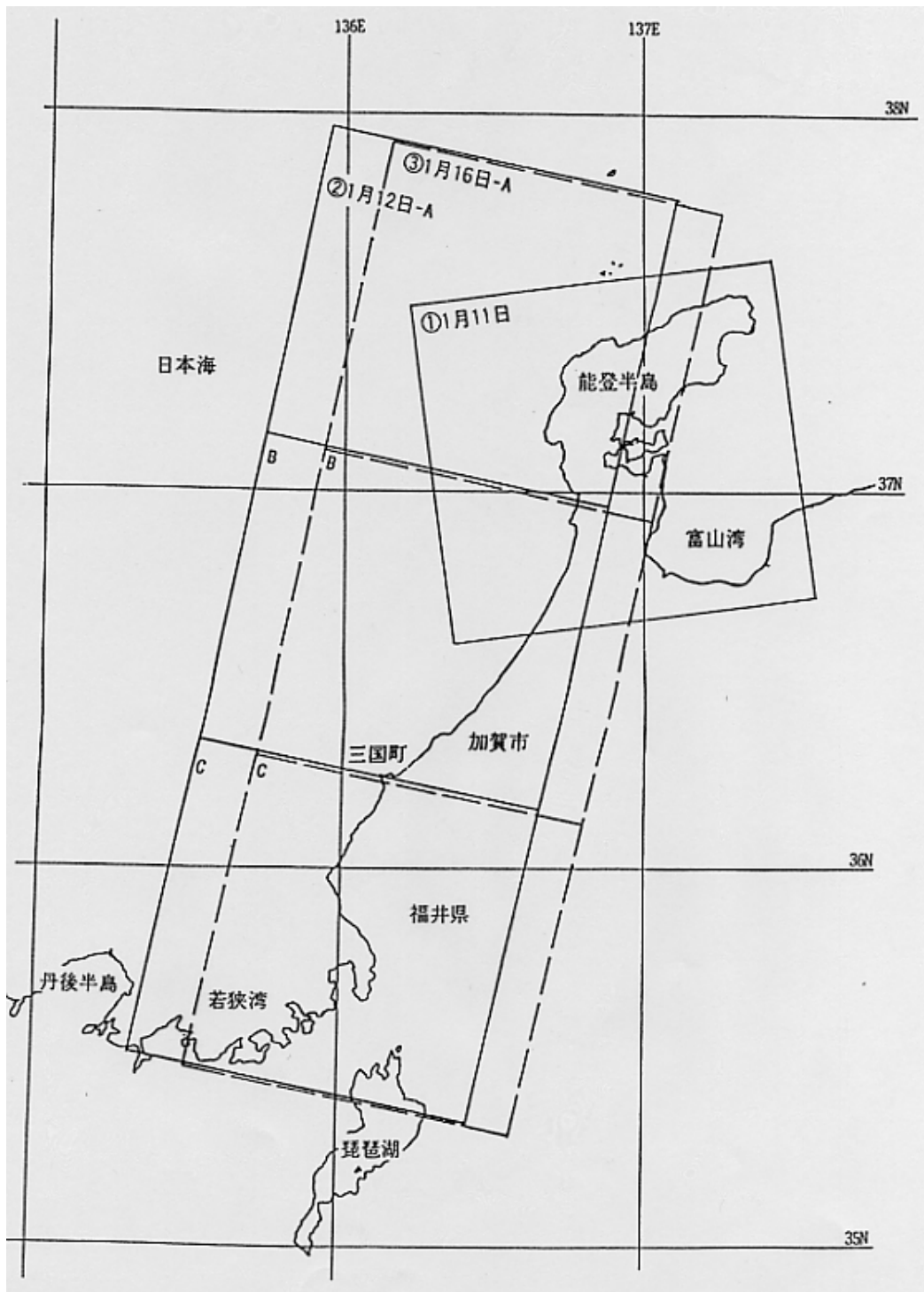
地殻変動を空間的に捉える方法は他にないかな？



阪神大震災前後の野島 断層のInSAR画像



Surface deformation detected by
JERS-1 Differential Interferometry



油汚染

海上にはさざ波がたっているが、油によって表面が滑らかになると、マイクロ波は衛星方向には返らない(鏡面反射)

よって、レーダー画像上で暗い部分は海上が滑らかな部分で、漂流油の可能性が高い

1回の画像では正しい部分か油かわからなくても、時系列で見て連続性があれば、漂流油と判定できる



図 2



図 3

左：1997年1月12日6時

能登半島沖の”の”の字型パターンとその南部に見える筋状パターン、および三国付近から北上するパターンが漂流油によると考えられる

右：1997年1月16日6時

能登半島西岸部から先端部の沿岸地殻に見える暗いパターン、三国付近から北西方向へ延びる暗部が漂流油と考えられる。

1997年1月12日6時の船首部漂着地点(三国付近)のSAR画像

陸域の東北部に小松空港が見える

左上の線上の構造は航跡と考えられる



災害が起こっても見えただけでは何の役に立たない

RADARSATでは受信後直ちにブライズ画像を現場に送り、対策に画像が利用できるシステムを持っている



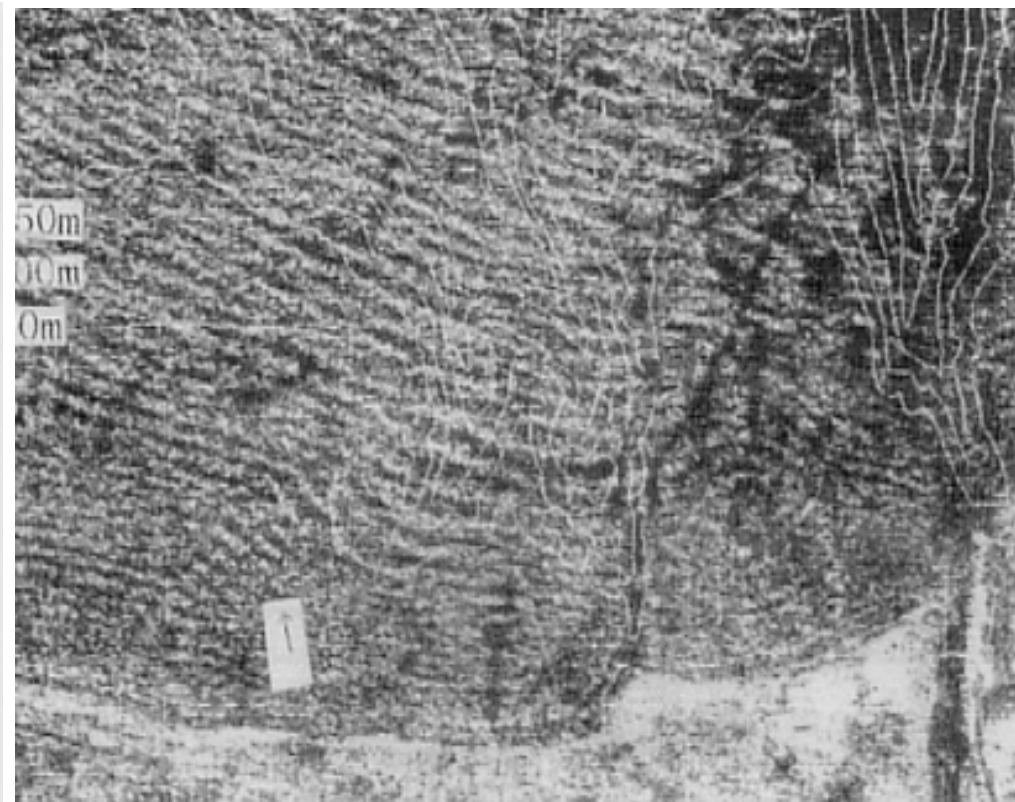
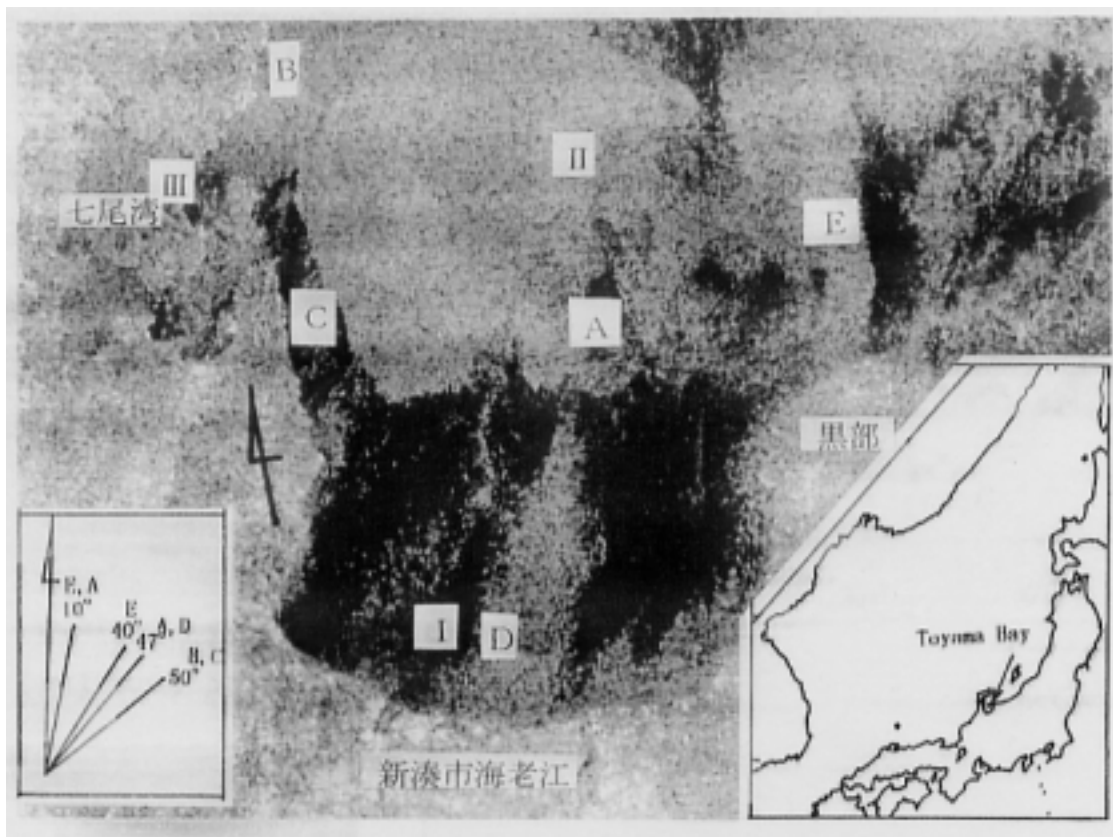
写真1
RADARSAT SAR準リアルタイム処理
のブラウズ画像 (①1月11日)



写真2
RADARSAT SAR準リアルタイム処理
のブラウズ画像 (①1月12日-A)



写真3
RADARSAT SAR準リアルタイム処理
のブラウズ画像 (①1月18日-A)

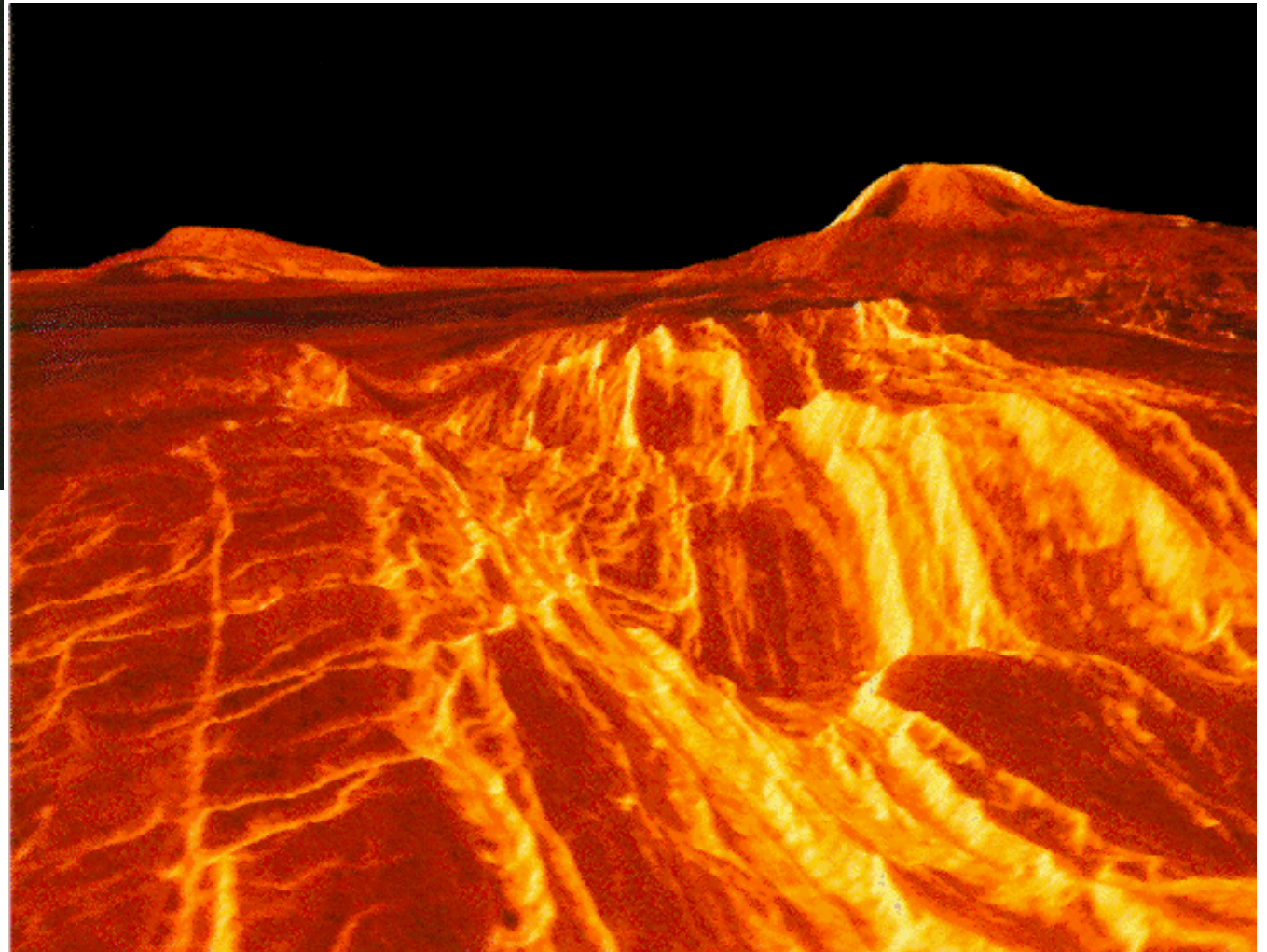


海面の粗度は、さざ波の波長がマイクロ波の波長に比較して滑らかか、粗いかということになる。左上のERSの画像のD地点は左の画像のような状況であった(1993.3.18)。

さざ波のパターンは海底地形によって屈折することがある。右上の画像は富山湾の海底谷によって屈折したさざ波のパターン。

Magellanプロジェクト

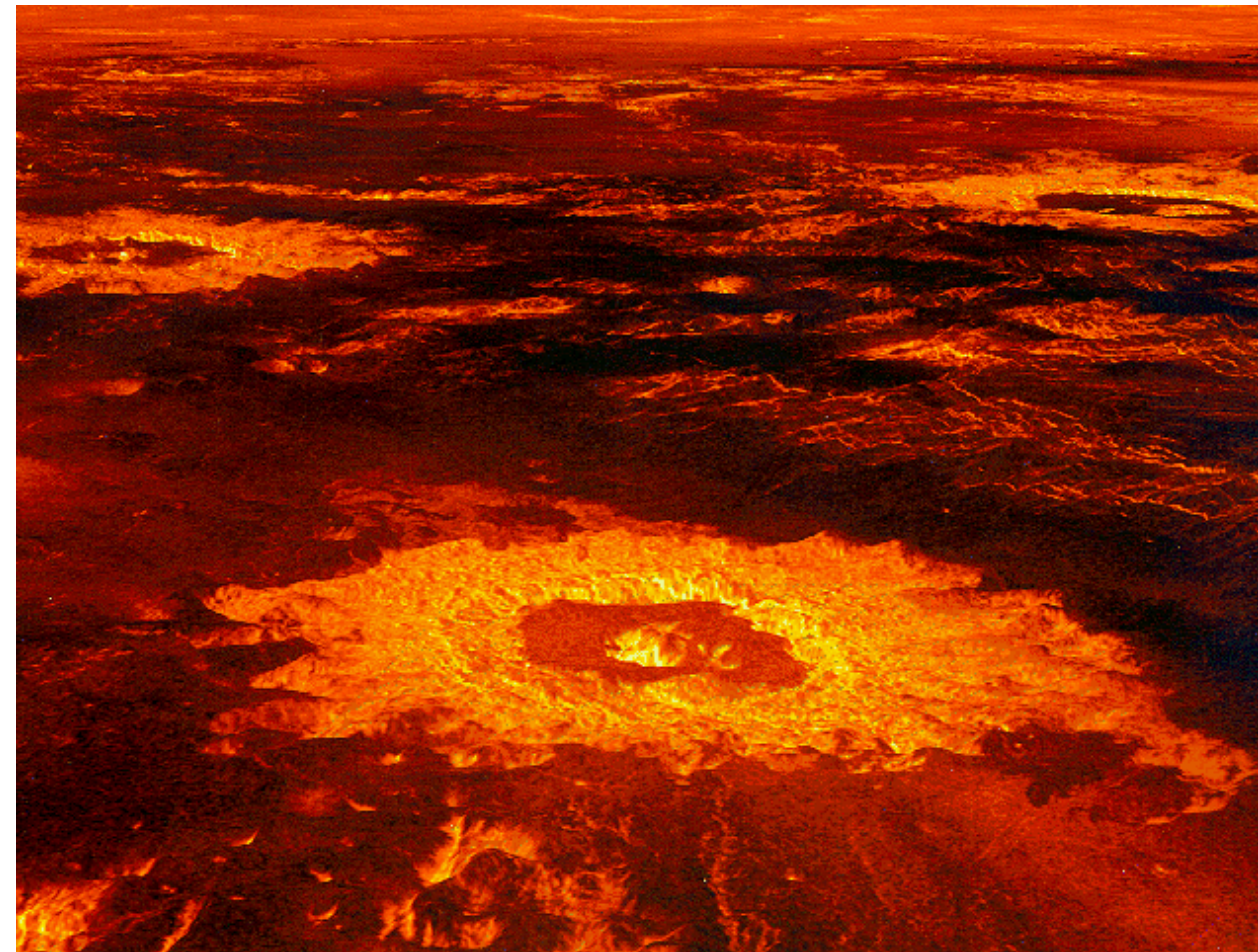
金星探査衛星に合成開口レーダーを搭載し、
厚い雲の下の地形を捉えた
(JPLホームページより)



Eistla Regio地域の三次元
画像(右) 右側の火山の
高さは3kmに達する。左の
火山の直径は300km、高さ
は2kmほどである。

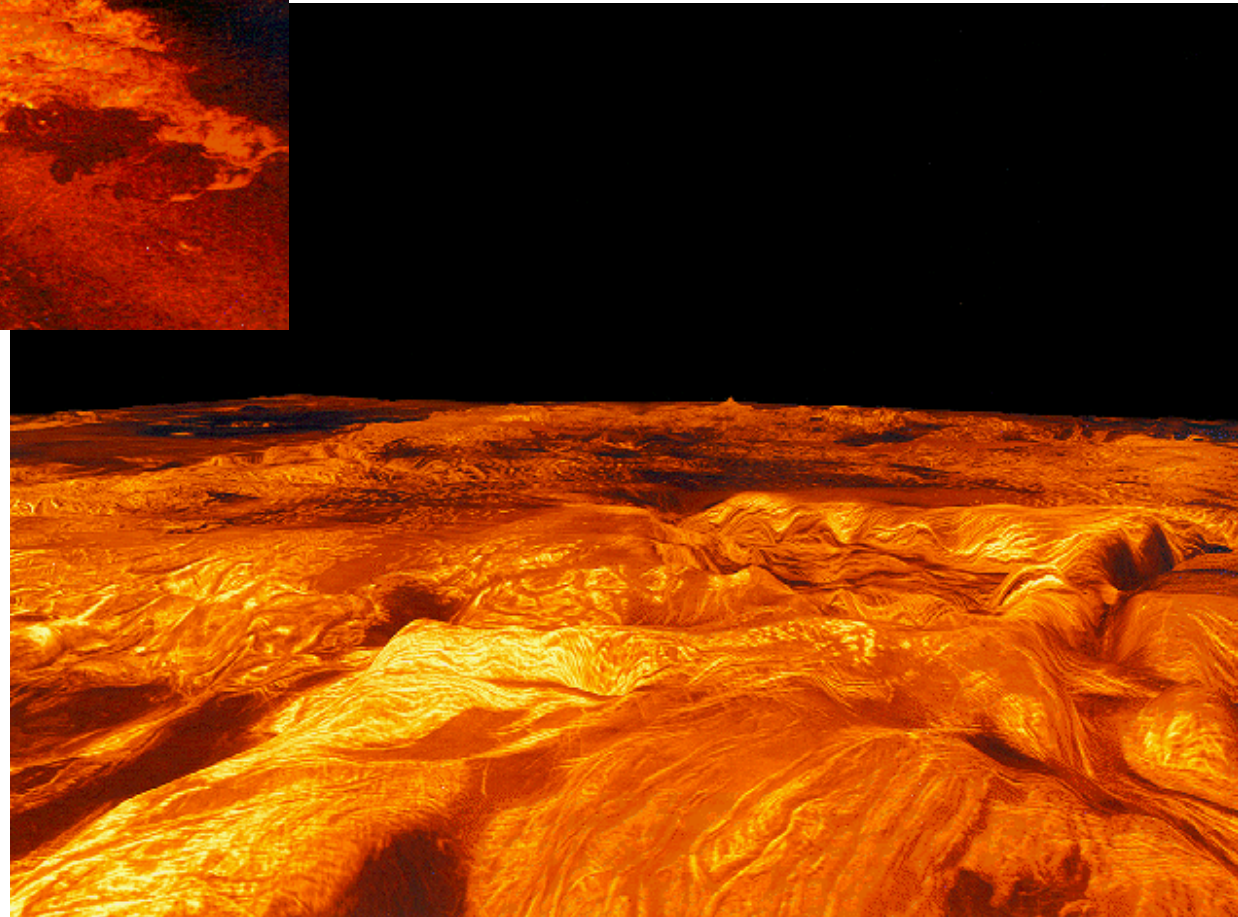
3つのクレーター(左)

Impact craterの三次元画像
色合いは旧ソ連のVenera衛星
の画像によっている

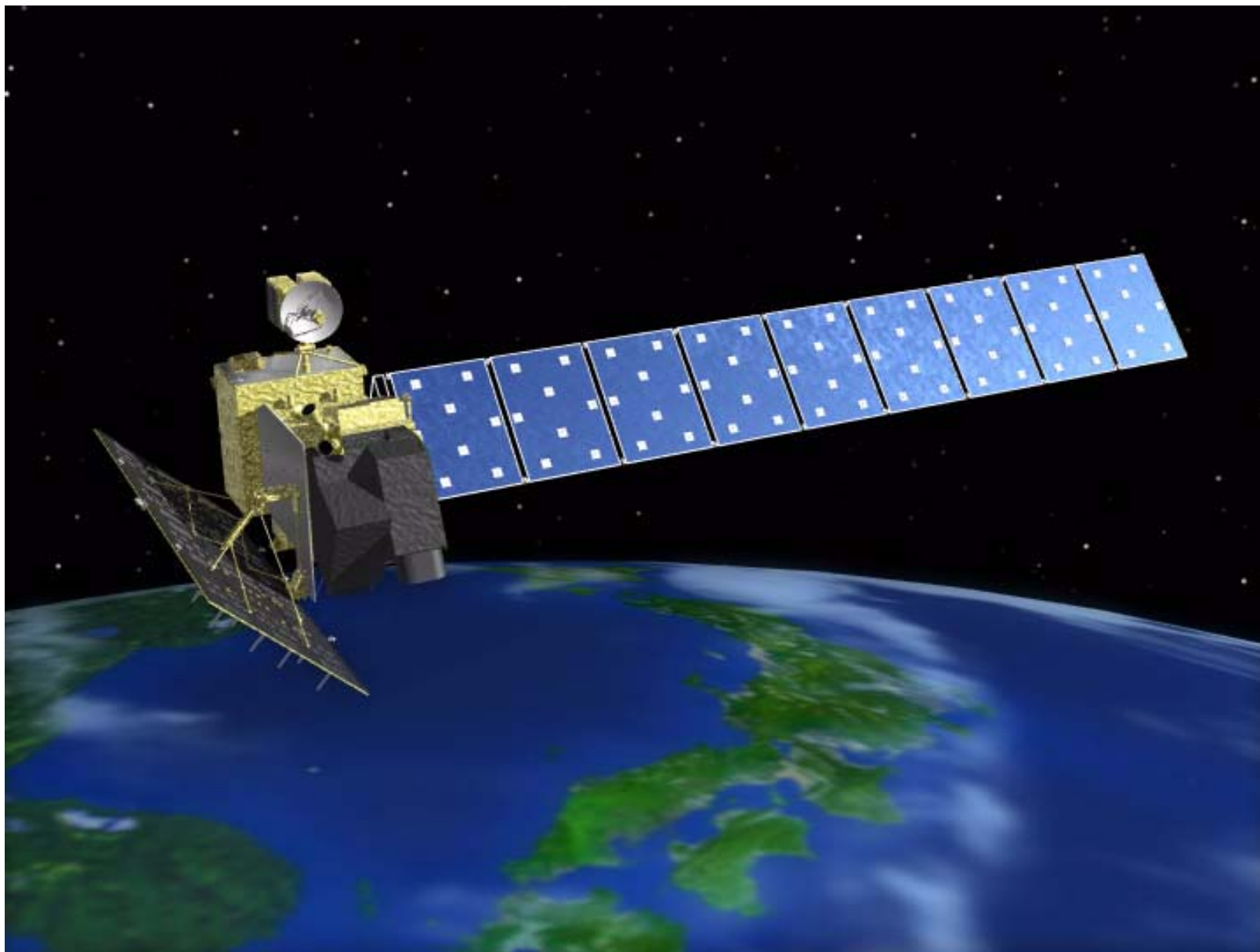


Ovda Regio地域(右)

北東方向からの鳥瞰図。標高の強調は22.5倍。この地域の広さは6300km × 2100kmで、比高は3km以上。暗い部分(すなわち滑らかな表面)は溶岩流と考えられる。



もうすぐ打ち上げられるマイクロ波センサー搭載衛星



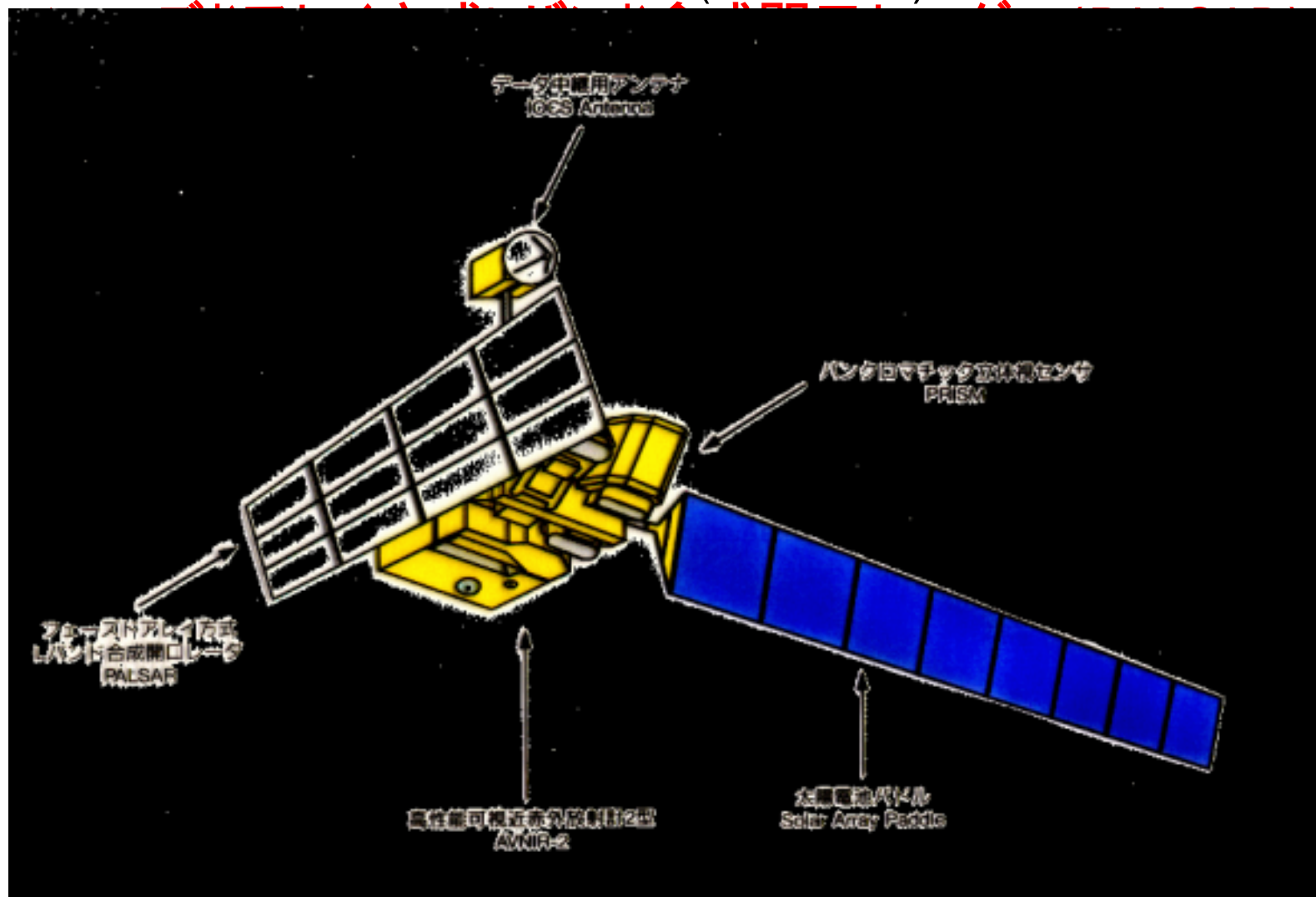
ALOS(Advanced Land Observing Satellite)

打ち上げ予定：平成16年(2004年)夏

搭載センサー：

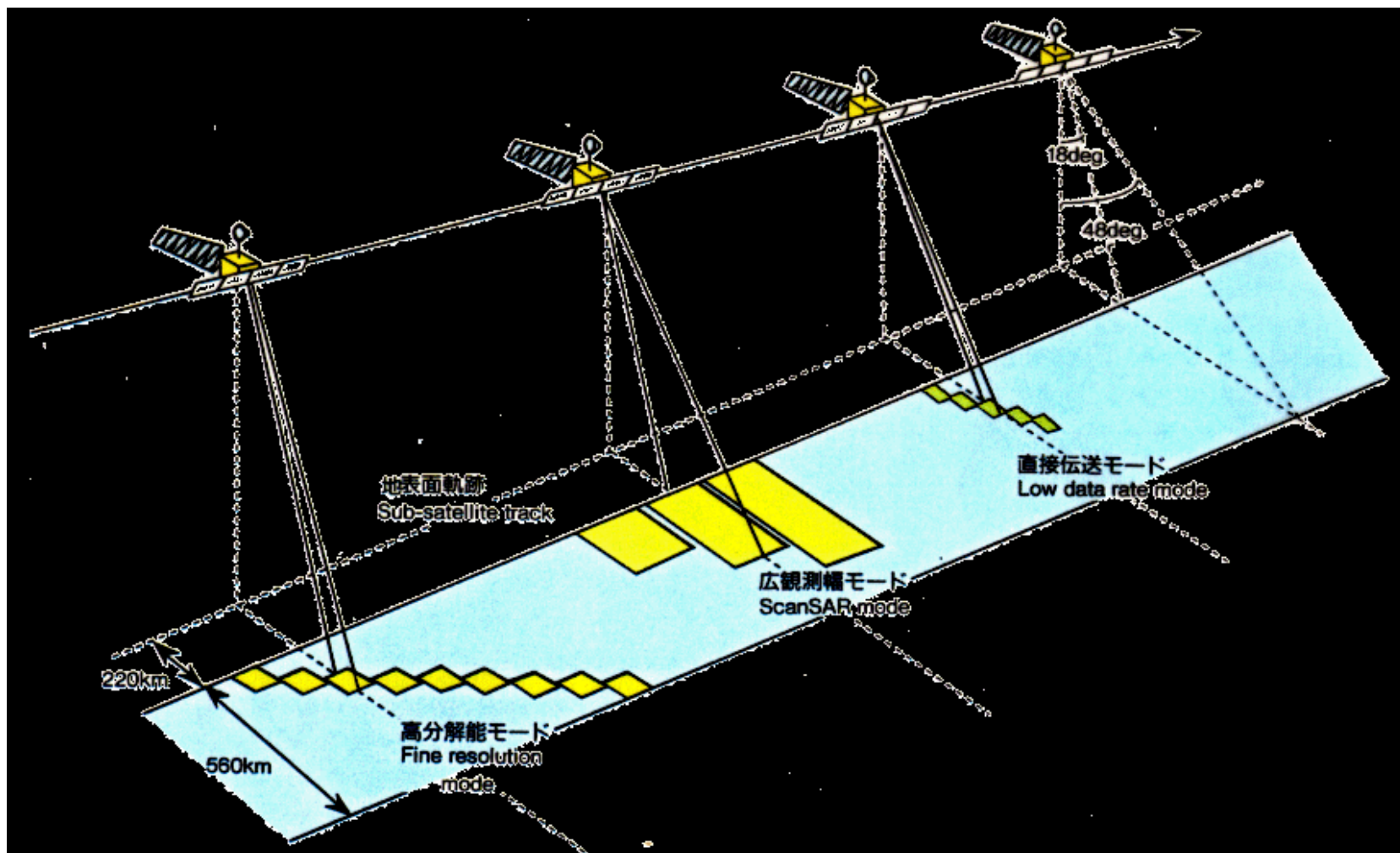
パナクロマチック立体視センサー

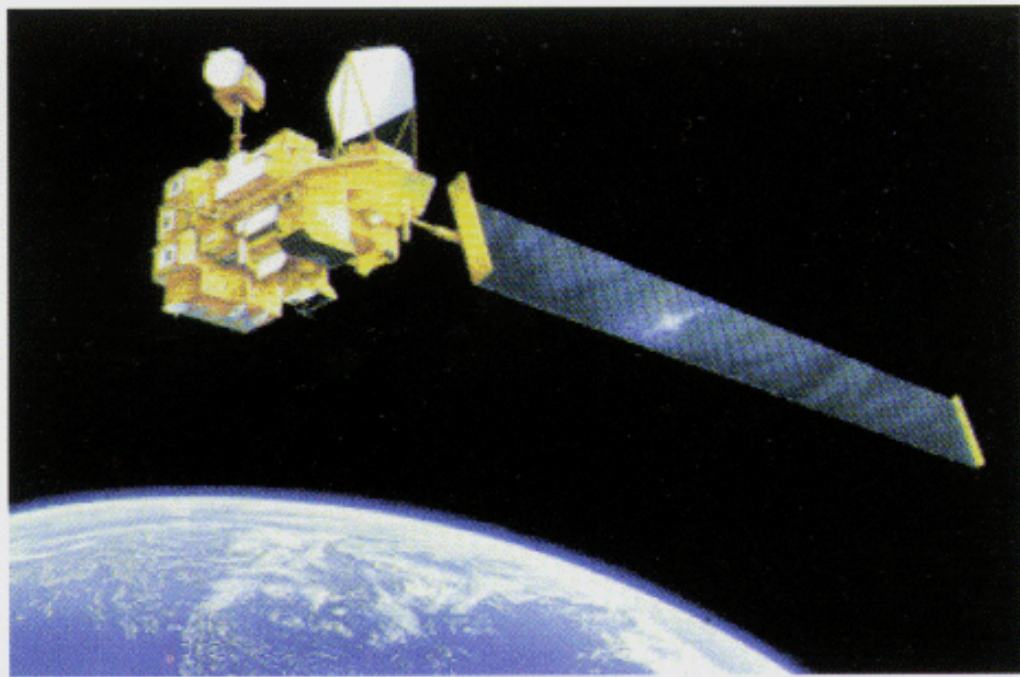
高性能可視近赤外放射計2型(AVNIR-2)



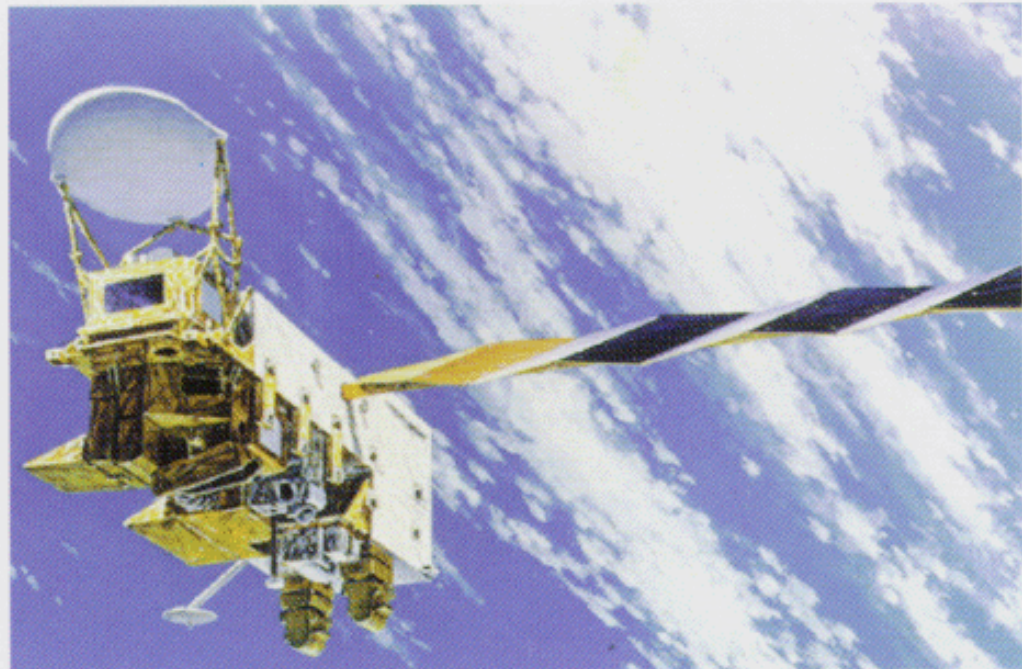


PALSARはJERS1のSARの機能・性能を向上させたもので、オフナディア角を可変とする機能や、広い観測幅を有する観測モード (ScanSAR)を持っている





ADEOS II



AQUA

もうすぐADEOS (左)とAQUA(右)が打ち上げられる(AQUAは5月4日)。この2台の衛星は地球環境観測を目的として打ち上げられ、どちらにもAMSR/AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS)が搭載されている。

その主な目的は
 積雪深分布
 海水氷密接度
 水蒸気量
 海面水温

地球物理量名 Geophysical parameter	領域 Region	目標精度 Target accuracy
積算水蒸気量(可降水量) Integrated Water Vapor (Total Precipitable Water)	全球海洋上(海水域・降水域を除く) Global Ocean (Except sea-ice and precipitation area)	3.5kg/m ²
積算雲水量 Integrated Cloud Liquid Water		0.05kg/m ²
海上風速 Sea Surface Wind Speed		1.5m/s
海面水温 Sea Surface Temperature		0.5℃
降水強度(量) Precipitation	全球海洋上(海水域を除く) Global Ocean (Except sea-ice area)	10%
海水氷濃度 Sea Ice Concentration	両極域およびオホーツク海等 Both polar-regions and Sea of Okhotsk	10%
積雪水量 Snow Water Equivalent	森林地域を除く陸域 Land area except forest region	20%
土壌水分 Soil Moisture	裸地及び草原域 Bare soil and grassland	(研究プロダクト) (Research Products)

まとめ

- ・マイクロ波リモートセンシングによって地球環境に関する様々な情報を抽出することができる
- ・新しい衛星の打ち上げも予定されている (ALOS、ADEOS)
- ・これから君たちが進むであろう分野においてもマイクロ波リモートセンシングを利用するチャンスがあるかも知れない
- ・可能性は無限