

## 第6章 マイクロ波による海洋観測

衛星に搭載されるマイクロ波センサーは、地表面物体から自然に放射される電磁波を検出する受動型のマイクロ波センサーと、センサー側からマイクロ波を発振し地表面物体により反射あるいは散乱されるマイクロ波を検出する能動型のマイクロ波センサーの二つに分類される。

マイクロ波は、波長が1mmから1m、あるいは周波数が0.3から300GHzの電磁波である。

UHF ultra-high frequency 0.3 - 3 GHz

SHF super high frequency 3 - 30 GHz

EHF extremely high frequency 30 - 300 GHz

表 マイクロ波識別記号と周波数レンジ

識別記号	周波数レンジ	識別記号	周波数レンジ
L バンド	1 - 2 GHz	Q バンド	30 - 50
S	2 - 4	U	40 - 60
C	4 - 8	V	50 - 75
X	8 - 12	E	60 - 90
Ku	12 - 18	W	75 - 110
K	18 - 26.5	F	90 - 140
Ka	26.5 - 40	D	110 - 170

マイクロ波通信 : 2 - 11 GHz (2.3, 2.5, 3.5, 5.8 GHz)

電子レンジ : 2.45 GHz

受動型マイクロ波センサー (Passive microwave sensors)

マイクロ波放射計

能動型マイクロ波センサー (Active microwave sensors)

マイクロ波高度計

マイクロ波散乱計

合成開口レーダ

## 6-1 マイクロ波放射計

マイクロ波放射計は、地表面あるいは大気中からの電磁波の強度を観測するセンサーである。利用する周波数により、観測対象が異なる。観測対象は、大気温度、海表面温度、塩分濃度、土壌水分、海氷、可降水量、水蒸気量、高度別の水蒸気量などである。

### (1) SSM/I(Special Sensor Microwave / Imager : 特別マイクロ波センサー画像計)

米国空軍の DMSP(Defense Meteorological Satellite Program 国防気象観測衛星計画)に搭載される SSM/I は代表的なマイクロ波放射計である。

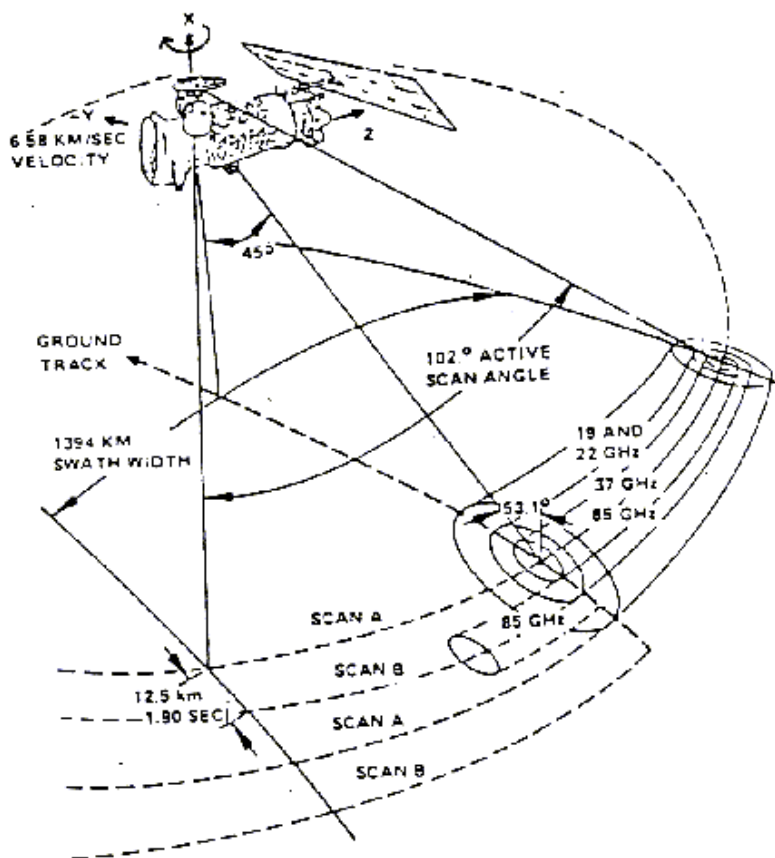


表 SSM/I の放射特性(Hollinger 1989)

周波数(GHz) Frequency	偏向 Polarization	飛行方向分 解能(km)	走査方向分 解能(km)	サンプリン グ間隔(km)	装置雑音(K)
19.35	H(水平)	69	43	25	0.42
19.35	V(鉛直)	69	43	25	0.45
22.235	V	50	40	25	0.74
37.0	H	37	28	25	0.38
37.0	V	37	28	25	0.37
85.5	H	15	13	12.5	0.73
85.5	V	15	13	12.5	0.69

Hollinger, J.P. 1989: *DMSP Special Sensor Microwave/Imager Calibration/Validation*. Final Report, Vol. I., Space Sensing Branch, Naval Research Laboratory, Washington D.C.

(2) Aquarius

NASA は技術挑戦 (Technical challenge) の一つとして、マイクロ波センサーによる海表面の塩分濃度観測を計画している。

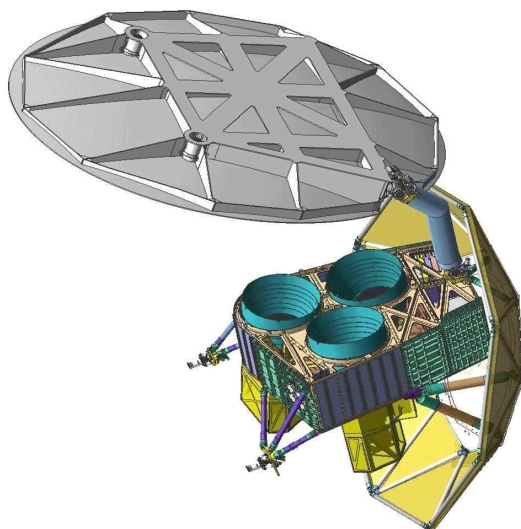


図 アクエリアス概念図

<http://aquarius.nasa.gov>

表 アクエリアスの性能

センサータイプ	放射計 1.413 GHz 散乱計 1.26 GHz
チャンネル	3 アンテナフィード 3 偏向放射計 1 偏向散乱計
センサーサイズ	3 m x 6 m + 4 m アンテナ展開時
フットプリント	76x94 km 84x120 km 96x156 km
雑音等価温度	0.08 K
重量	400 kg

## 6-2 マイクロ波高度計

マイクロ波を利用した海面高度を計測するマイクロ波高度計として、米国とフランスの共同プロジェクトである TOPEX/POSEIDON 衛星計画(1992-)、TOPEX/POSEIDON と同時観測を実現した Jason-1(2001)、OSTM(2008)がある。それぞれ、衛星からパルス波形のマイクロ波を海面に向け発信し、その戻り時間から海面高度を計測する高度計を搭載する。海面高度の計測により、黒潮などの海流の流れにともなう海面高度の分布を観測する。

TOPEX/Poseidon 1992年8月10日打ち上げ

Jason-1 2001年12月7日打ち上げ

OSTM/Jason-2 (Ocean Surface Topography Mission) 2008年6月20日打ち上げ

### (1) ポセイドン3号レーダ高度計(Poseidon-3 radar altimeter/Jason-2)

この高度計は、13.6GHz (Kuバンド)と5.3GHz (Cバンド)の2周波のパルスを発信し、衛星と海面との距離を計測し、海面高度、波高、風速を計測するセンサーである。二つの周波数を利用し、大気によるパルス伝搬の遅延を補正し、より精度の高い海面高度計測を実現する。

### (2) ジオイドと海面高度

地球は海底地形、山脈などの地形分布の変化により固体地球の重力分布が異なる。この重力分

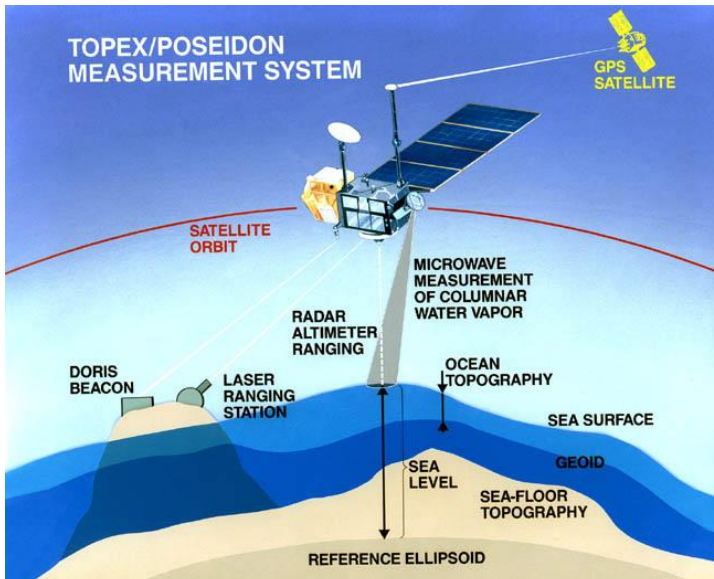


図 海面高度計による海面高度計測の海念図

<http://sealevel.jpl.nasa.gov/>

布の上に河川水、海水が存在し、固体地球と水塊を合わせた重力が等しくなるような等ポテンシャル面が存在する。この等ポテンシャル面はジオイド面と呼ばれる。地球の基準楕円体と比較したとき、ジオイド面は-106~85cmの差をもつとされる。衛星は、ジオイド面との引力バランスにより飛行するため、基本的には軌道はジオイド面と平行になる。しかし、実際に

は、地表面上の気圧分布にともなう海面高度の分布、あるいは、黒潮等の流軸の盛り上がりなど水塊の不均質な分布により実際の重力が変化する。このため、正確な海面高度を求めようとするとき、図 10-1 に示すように、衛星の高度を正確に捕捉し、正確な海面高度を求める努力がはらわれている。

### 6-3 マイクロ波散乱計

衛星からパルス状のマイクロ波を発信し、その海面による散乱強度の方向分布から、海上風を推定する装置が、マイクロ波散乱計である。これまで、NSCAT (NASA Scatterometer)、SeaWinds (QuikSCAT、ADEOS-II)などのマイクロ波散乱計が観測データを提供してきた。

NSCATはADEOSに搭載され1996年8月から1997年6月まで運用された。NSCATは、13.995GHzの周波数のマイクロ波を利用し、50kmの空間分解能の海上風観測を実現した。SeaWinds/QuikSCATは1999年6月19日に打ち上げられた。QuikSCATのSeaWindsは、14GHzの周波数のマイクロ波を発信し、25kmの空間分解能の海上風観測を実現した。ADEOS-IIに搭載されたSeaWindsは、2002年2月に打ち上げられたが2002年11月にはADEOS-IIの運用停止とともに計測を終了した。

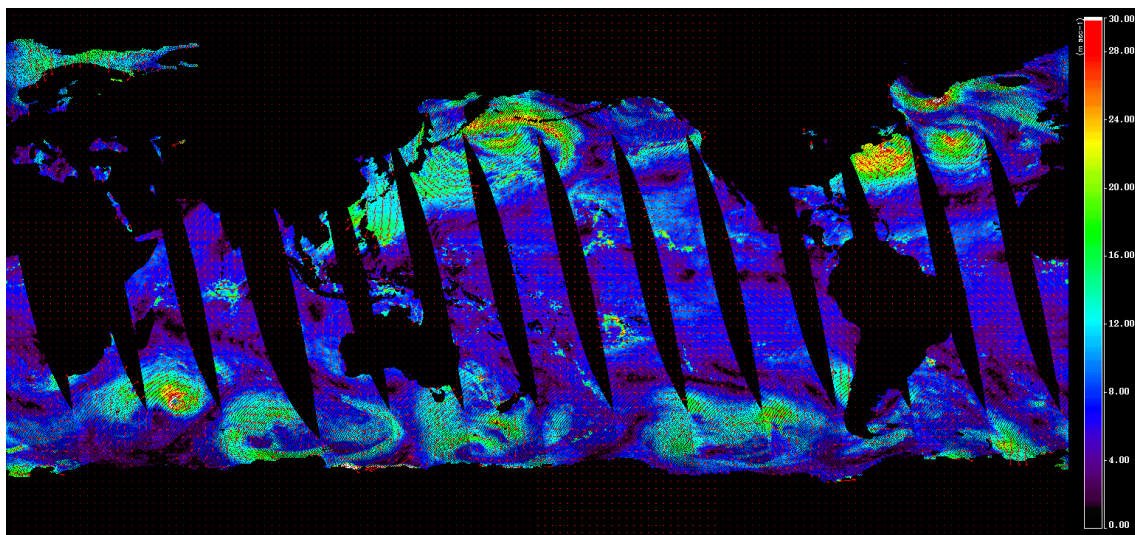


図 SeaWinds/QuikSCATによる海上風分布図(2009年1月1日)

#### 6-4 合成開口レーダ

合成開口レーダーは、波長形状を周期的に変調させたマイクロ波を発信し、地表面あるいは海表面の形状により反射されたマイクロ波を、空間方向及び時間軸により実アンテナにより受信し、飛行方向に複数の実アンテナの信号を合成することで、雲の影響をほとんど受けずに高解像度の観測を可能にした装置である。

- ・ シーサット SAR

シーサットにより衛星観測が実現した。シーサットは NASA の Jet Propulsion Laboratory (JPL) が担当したマイクロ波センサーを搭載した衛星である。1978 年 6 月 28 日に、高度 800km 軌道傾斜角 108 度の極軌道に打ち上げられた。残念ながら、105 日間の 1978 年 10 月 10 日まで運用であった。



図 Seasat の概念図

この後、航空機レベルの合成開口レーダーによる実験が各国により繰り返され、米国によりスペースシャトル搭載の合成開口レーダ、カナダによる Radarsat、欧州による Envisat、日本による PALSAR など多くの合成開口レーダ搭載衛星が打ち上げられ、運用されている。日本の内閣衛星情報センターにより、合成開口レーダー搭載衛星が運用されているが、一般には公開されていない。

合成開口レーダーは、雲などの影響を受けずに、地表面、海表面の形状の観測が可能なセンサーである。電力に余裕があれば、夜間の観測も可能である。



- ・ スペースシャトル合成開口レーダー

(<https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/srtmBibliography.html>)から引用。

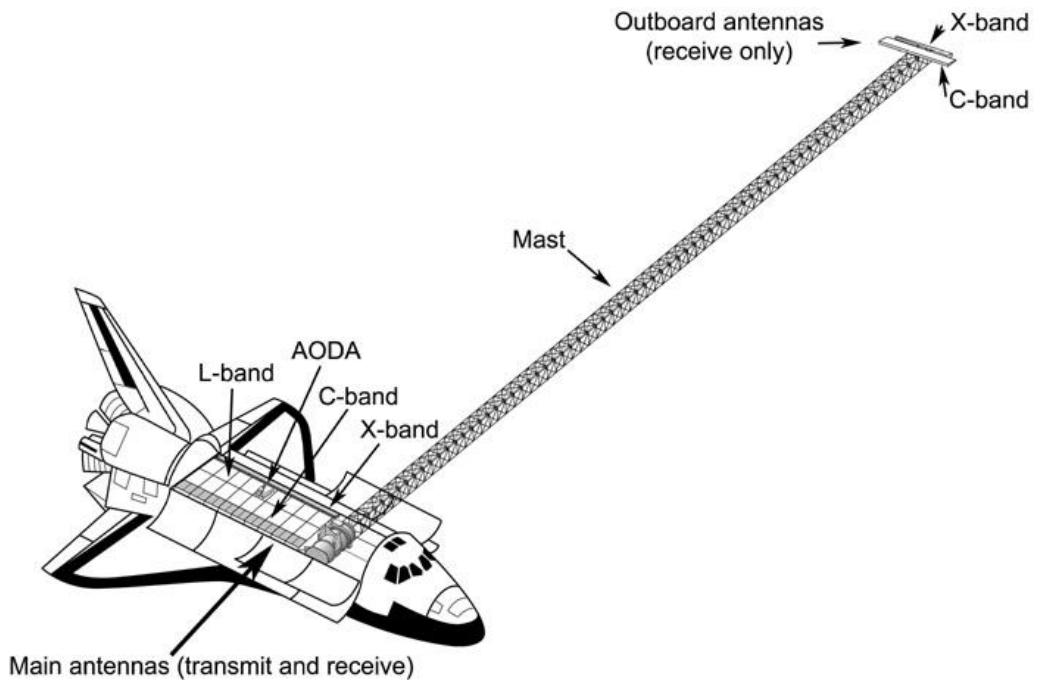


図 スペースシャトルからのアンテナ展開図 (NSAS の WEB から)

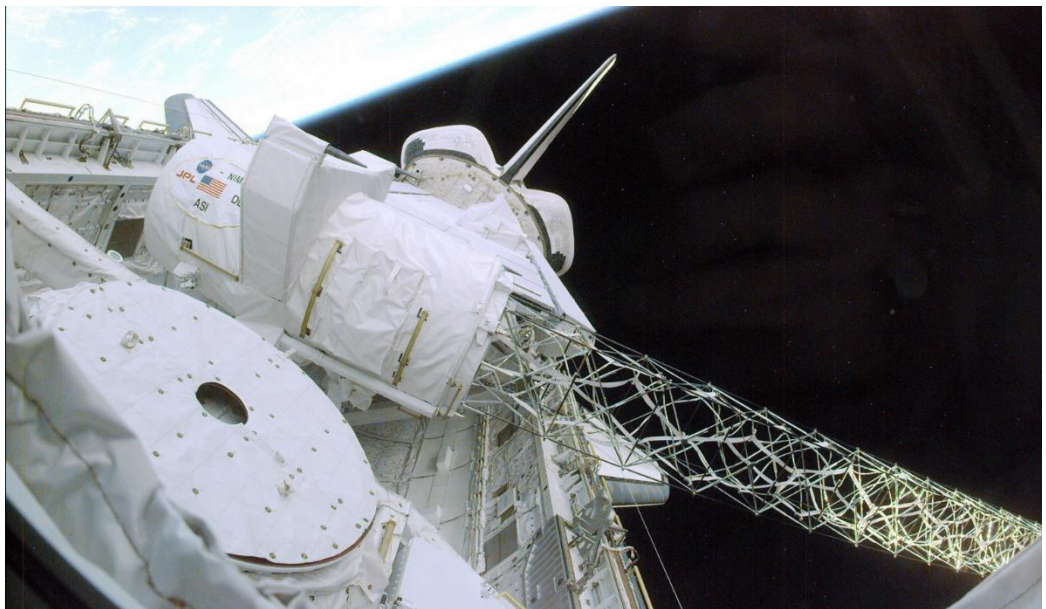


図 スペースシャトルの展開状態の写真 (NASA の WEB から)



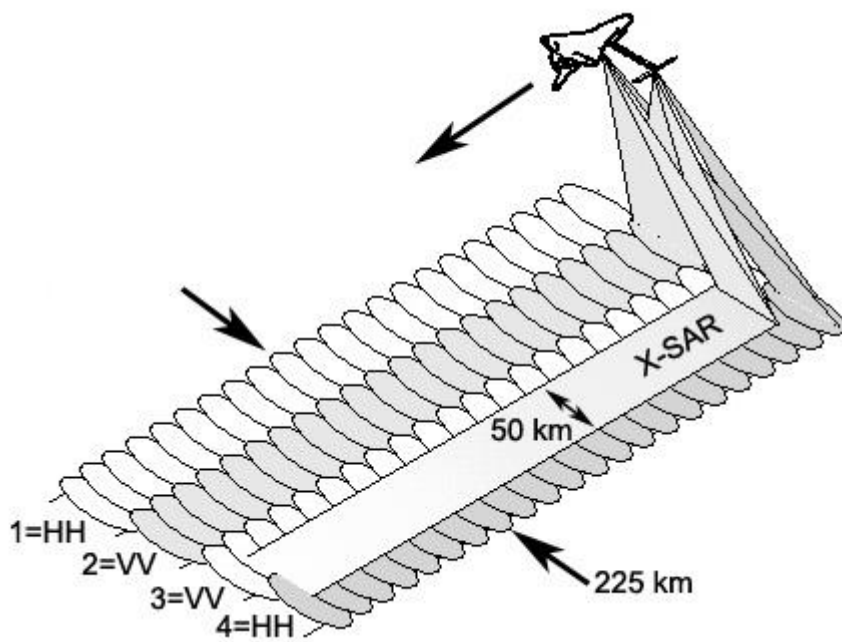


図 スペースシャトルから観測範囲

・ **ALOS 搭載 PALSAR**

PALSAR(フェーズドアレイ方式Lバンド合成開口レーダ)は、改良型地球観測衛星 (ALOS : Advanced Land Observation Satellite) に搭載された合成開口レーダーであり、 JAXA(宇宙航空研究開発機構)と JAROS(財)資源探査用観測システム研究開発機構の共同運用のセンサーである。

PALSAR は地球資源衛星 1 号(JERS-1)に搭載された合成開口レーダ(SAR)の機能・性能をさらに向上させたもので、天候や昼夜に影響されない能動型のマイクロ波センサである。PALSAR は高分解能観測モード、観測角を可変し 250~350km(スキャン数に依存)という広い観測幅を有する広観測域モード(ScanSAR)を持ち、これまでの SAR と比較して 3~5 倍の観測幅となる (JAXA ホームページから)。

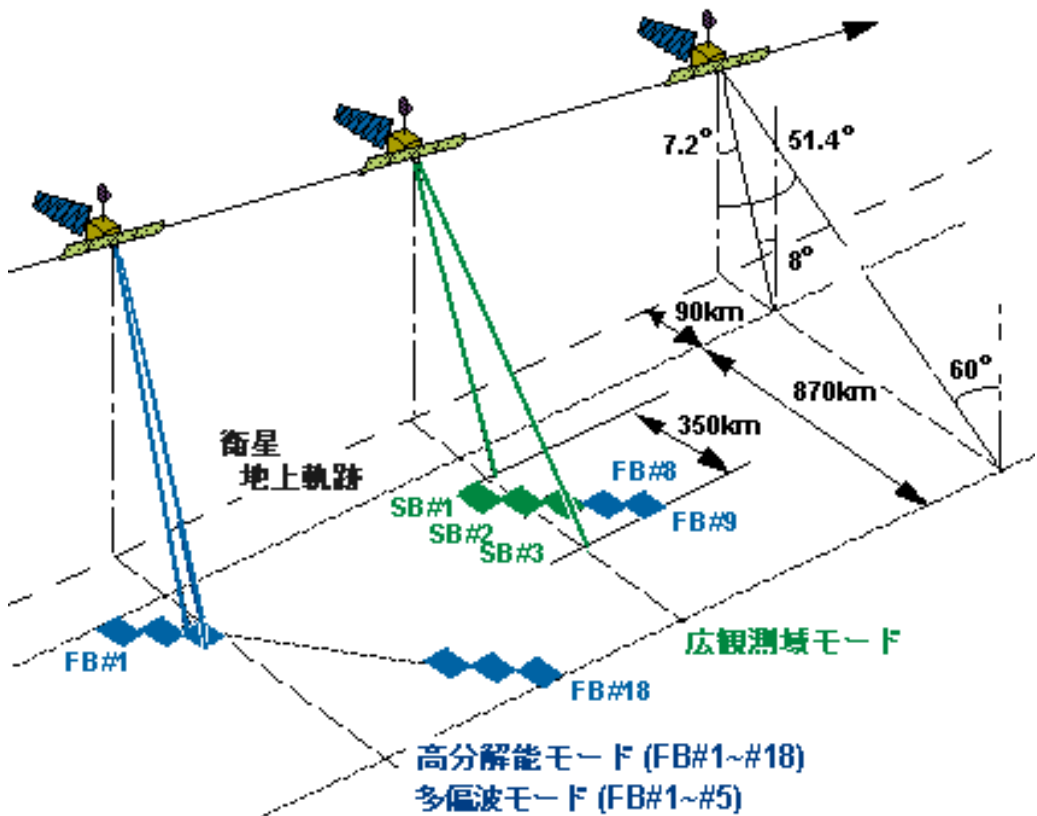


図 PALSAR の観測モードと観測範囲

課題 合成開口レーダーによる海洋観測

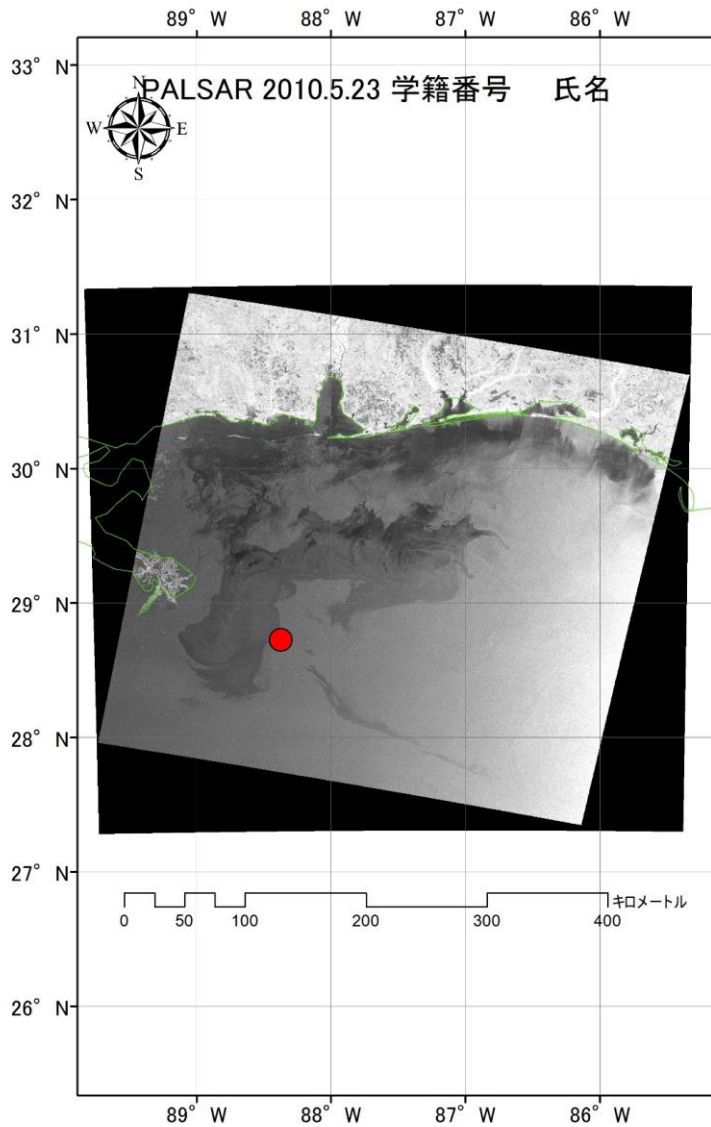


図 PALSAR による流出原油分布図 2010年5月23日

2010年4月20日、メキシコ湾ミシシッピ海溝の水深1522mに設置されたTransocean社の大深度石油掘削リグ（Deepwater Horizon rig）が爆発し、メキシコ湾岸を汚染する大規模な原油流出事故が発生した。図は、ALOS搭載のPALSARにより観測された流出原油分布図である。この原油流出は、沿岸域の生態系に甚大な被害を及ぼした。

## 課題 マイクロ波散乱計による海上風観測

NCEP により提供される準実時間(ニア・リアルタイム)の気象観測データ(MET)が、米国 NASA の SeaDAS チームにより提供される。この準実時間の気象観測データに含まれる風向風速のデータから、風力分布をカラー表示するとともに、風向風速をベクトル表示する。

また、SeaWinds/QuikSCAT により観測された風向風速のデータから、風力分布をカラー表示するとともに、風向風速をベクトル表示する。

両者により表現される風向風速分布について考察し、差異を記述せよ。



図1 NCEP による準実時間観測データによる風力(カラー)と風向風速分布図(ベクトル)



図2 SeaWinds/QuikSCAT による観測データから求めた風力(カラー)と風向風速分布図(ベクトル)

風力分布図に. . . . . の差が見られ、  
風向風速分布図に. . . . . の差が見られた。

学籍番号                  氏名