

2008油流出に関する国際シンポジウム

衛星画像による
油膜検出へのウェーブレット解析法の適用

2008年2月21日

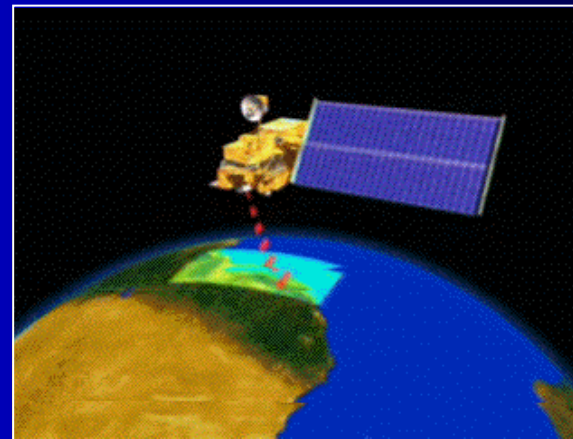
東京、経団連会館

原 政 直

(株)ビジョンテック

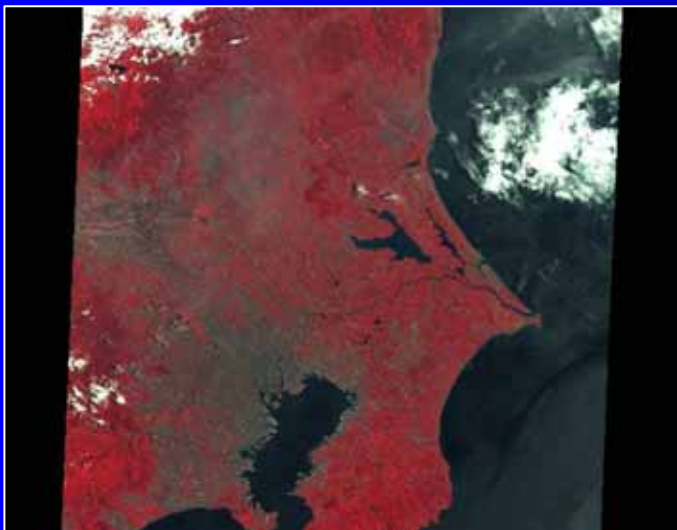
1. 背景

- ・ 海洋立国日本における油流出事故は海洋環境に及ぼす影響は大きく、深刻な問題である。
- ・ 油流出が発生した際に如何に早く、その流出域を検知するかが、その影響を最小にするために重要である。
- ・ 海上で流出した油はその流出域が固定化されず、常に漂流、拡散しているため検知が難しい。
- ・ このような災害、事故のモニターに衛星リモートセンシングの技術が有効に働く。



衛星リモートセンシングの光学センサによる油膜認識への適用例

「ダイヤモンドグレース号」(1997年7月2日、東京湾)



LANDSAT-5/TM July 03 '97



SPOT-2/HX July 03 '97



SPOT-2/Pan July 03 '97



JERS-1/OPS July 05, '97

光学センサによる過去の油流出事故の観測例

Shipname / Location (Country)	Date & Time of the accident		Satellite / Sensor		Observation Date & Time		Cloud Cover	Type of pollutant / Quantity spilled		Conclusion
Diamond Grace / Tokyo (Japan)	1997/7/2	10:20	JERS-1	OPS	1997/7/5	10:44		Crude oil	1550KL	
			LANDSAT-5	TM	1997/7/3	9:45				×
			SPOT	PAN	1997/7/3	10:54				
			SPOT	XS	1997/7/3	10:54				
The Russian tanker NAKHODKA / Oki Island, Shimane (Japan)	1997/1/2	2:51	LANDSAT-5	TM	1997/1/4	10:03	Yes	Heavy fuel oil	6240KL	×
			ADEOS	AVP	1997/1/3	11:09	Yes			×
Thousand Venture / Okino-Torishima, Tokyo (Japan)	1996/4/20		LANDSAT-5	TM	1996/4/27	9:30	Yes	Heavy fuel oil	700KL	×
			LANDSAT-5	MSS	1996/4/27	9:30	Yes			×
Toyotaka-maru / Wakayama (Japan)	1994/10/17	1:45	LANDSAT-5	MSS	1994/10/20	9:50	Yes	RABI Brend oil	570KL	×
			LANDSAT-5	TM	1994/10/20	9:50	Yes			×
			MOS	MESSR	1994/10/18	10:45	Yes			×
			SPOT	HX	1994/10/19	10:54	Yes			×
Taiko-maru / Fukushima (Japan)	1993/5/31	6:10	MOS	MESSR	1993/6/17	10:19		Heavy fuel oil (C)	521KL	×
Node Hope / Tomakomai, Hokkaido (Japan)	1993/1/26	23:44	MOS	MESSR	1993/2/2	10:24		Heavy fuel oil	437KL	
			SPOT	HX	1993/2/4	10:16	Yes			×
			SPOT	PAN	1993/2/4	10:16	Yes			×
			LANDSAT-5	TM	1993/1/29	9:35	Yes			×
Showa Shell Tank / Kushiro, Hokkaido (Japan)	1993/1/15	20:06	LANDSAT-5	MSS	1993/1/22	9:29		Asphalt	246KL	×
			LANDSAT-5	TM	1993/1/22	9:29				×
Nippou-maru / Himeji, Nagoya (Japan)	1991/9/27		LANDSAT-5	MSS	1991/10/3	10:05		Heavy fuel oil	180KL	
Kenhatsu No.11 / Yoanguni Island, Okinawa (Japan)	1990/5/23		MOS	MESSR	1990/5/23	11:16	Yes	Heavy fuel oil		×
Maritime Gardenia / Kyoto (Japan)	1990/1/26	17:50	LANDSAT-5	TM	1990/1/26	9:56	Yes	Heavy fuel oil	918KL	×
Eisei-maru / Muroran, Hokkaido (Japan)	1993/1/13		JERS-1	OPS	1993/1/19	10:38		Marine fire		
			LANDSAT-5	TM	1993/1/13	9:36				×
			LANDSAT-5	MSS	1993/1/20	9:42				
Taishoh-maru / Osaka (Japan)	1994/2/14		SPOT	PAN	1994/2/16	11:06		Chemicals	116KL	
Mass Dike / The Island Sea (Japan)	1992/5/2		MOS	MESSR	1992/5/2	11:07		Chemicals	260KL	
Kyouwa-maru / Omaezaki, Shizuoka (Japan)	1991/6/26		MOS	MESSR	1991/6/27	10:37		Chemicals	100KL	
No.2 Chloe / Kanmon Straits (Japan)	1990/10/27		LANDSAT-5	TM	1990/10/30	10:13		Chemicals	200KL	
			LANDSAT-5	MSS	1990/10/30	10:13				
Hakuun-maru / Fukuoka (Japan)	1997/10/25		SPOT	HX	1997/10/25	11:02		Light oil	100KL	
Ryouyou-maru / Shizuoka (Japan)	1993/7/23		LANDSAT-5	TM	1993/7/24	9:38	Yes	Chemicals	267KL	×
			LANDSAT-5	MSS	1993/7/24	9:38	Yes			×
Kotobuki-maru / Wakayama (Japan)	1992/11/5		MOS	MESSR	1992/11/11	10:39	Yes	Gasolene	100KL	×
Seihou-maru / Osaka (Japan)	1992/5/1		MOS	MESSR	1992/5/8	10:40	Yes	Gasolene	280KL	×
			LANDSAT-5	TM	1992/5/7	9:58	Yes			×
Taihou-maru / Iwate (Japan)	1989/6/28		MOS	MESSR	1989/7/2	10:16	Yes	Light oil	444KL	×

1. 背景

- ・ 油流出の検知を光学センサなど受動型センサで行なう場合は、被雲による影響などで困難な場合が多い。



- ・ これに対して、近年使われるようになってきた合成開口レーダセンサのような能動型センサは有効に働く。
- ・ すなわち、SARは昼夜に関係なく、気象・海象に影響されない特徴がある。



- ・ しかしながら、SAR画像は光学センサの画像のように人間の目で見える画像とは異なるため、その判読にトレーニングや経験を必要とする。

光学センサとSAR画像の比較

光学センサ画像



SPOT

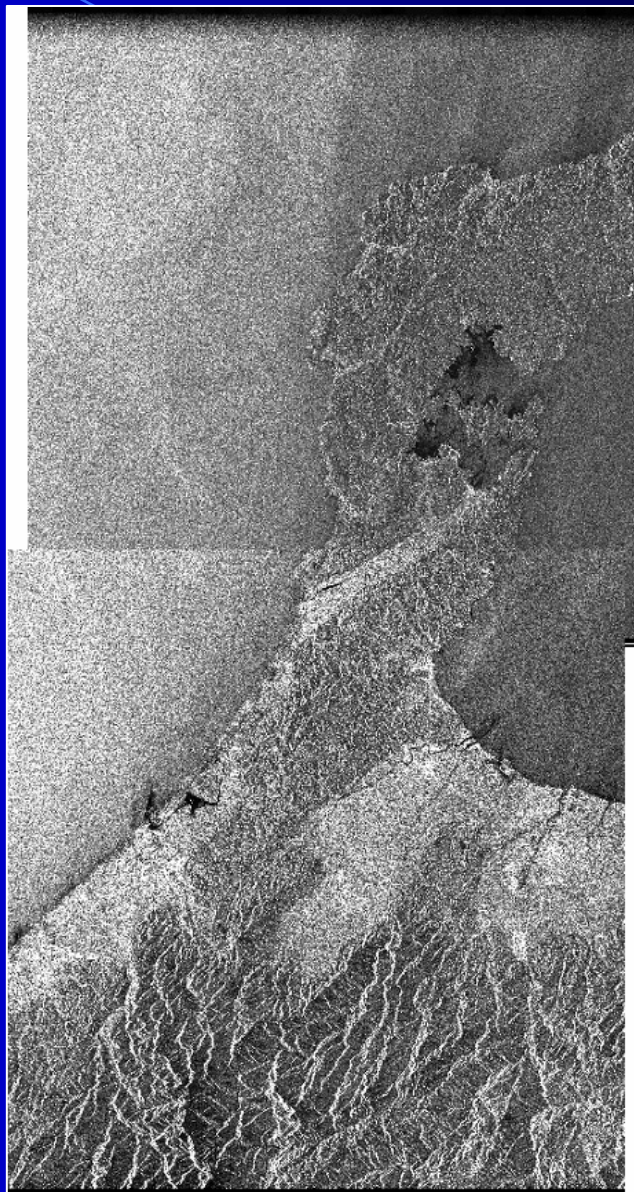
Date: 1997/01/17

Sensor: HX

Path: 324

Low: 275

合成開口レーダ画像



ERS-2

ORBIT:0009125

Date: 1997/01/17

Frame center:

N 37.20

E 136.73

ORBIT:0009125

Date: 1997/01/17

Frame center:

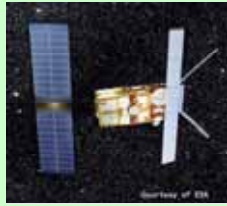


N 36.60

E 136.88

2. 目的

- ・ SAR画像にウェーブレット解析の手法を適用して、油流出域を誰にでも恣意性なく簡単にできる可視化を試みる。
- ・ 最終目標は油膜の自動監視と早期警戒情報を発信できるシステムの構築。

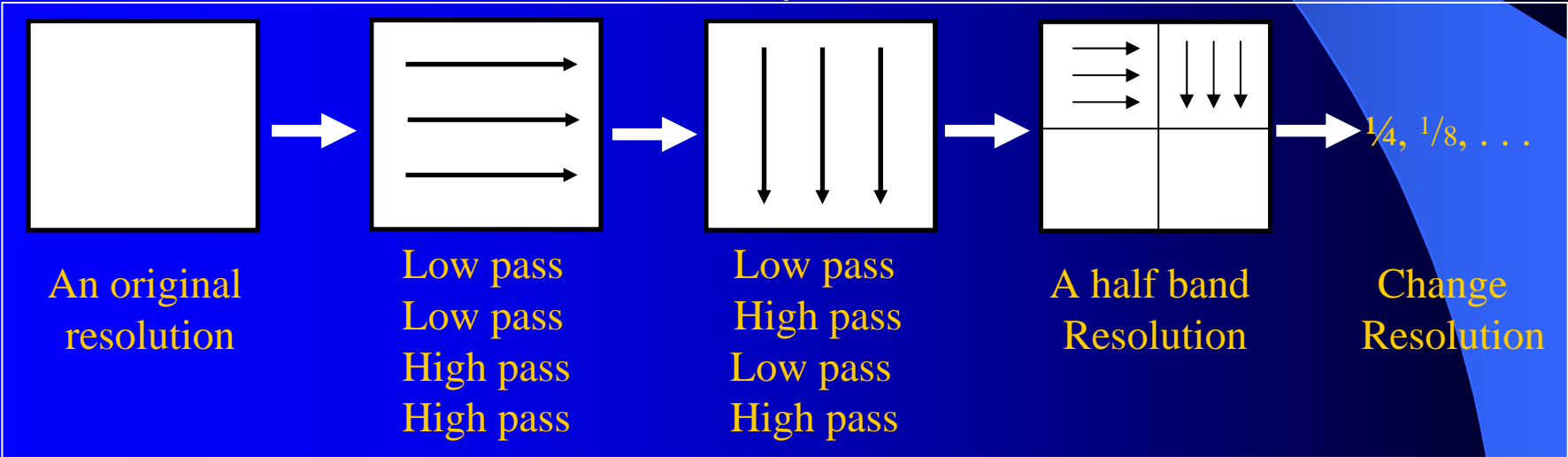
3. SARセンサを搭載した衛星とそのセンサの諸元 (現在運用中)

Satellite	ERS-2	RADARSAT	ENVISAT	ALOS		
						
Country	Europe	Canada	Europe	Japan		
Distributor	ESA	CSA	ESA	RESTEC		
Launch	April 21, 1995	November 4, 1995	March 1, 2002	January 24, 2006		
Altitude	780km	798km	799.8km	691.65km (at Equator)		
Orbital Category	Sun-synchronous sub-recurrent	Sun-synchronous sub-recurrent	Sun-synchronous sub-recurrent	Sun-synchronous sub-recurrent		
Life	6 years	5 years	5 years	3 ~ 5 years		
Repeat cycle	35 days	24 days	35 days	46 days		
Circling the earth	About 100.5 minutes	About 101 minutes	100.59 minutes	About 99 minutes		
Sensor	AMI	C band SAR	ASAR (and 9 others)	PALSAR	PRISM	AVNIR-2
Spatial resolution	30m	10 ~ 100m	30m	7 ~ 100m	2.5m (At nadir)	10m (At nadir)
Bands	5.3GHz(C-Band)	5.3GHz(HH polarization)	5.331GHz (C-Band)	1.27GHz (L-Band)	1 Band (Panchromatic)	4 Bands
Number of bands	1ch	1ch	6ch	1ch, 3 polarization	9ch	4ch
Sensor on board	AMI	SAR	ASAR	PALSAR	Optical sensor	Optical sensor
Mode	Image Mode Wave Mode Wind Mode	Fine Beam Mode Standard Beam Mode Wide Beam Mode ScanSAR Narrow Beam Mode Extended High Mode Extended Low Mode	Image mode Alternating polarization mode Wave mode ASAR ScanSAR mode Wide swath mode Global monitoring mode	Fine mode, ScanSAR mode, Polarimetric (Experimental mode)		
Swath width	80.4km	50 ~ 500km	56 ~ 100km(selectable)	30 ~ 350km	70km (Nadir mode) 35km (Triplet mode)	70km (Nadir mode)
Pointing angle / Incident angle	± 23 °	20 ~ 60 °		8 ~ 60 °	± 1.2 ° (Triplet mode, Cross-track)	± 44 °

4. 解析手法

SAR画像に対して、ウェーブレット変換を多重解像度解析法によって行う。
 (マザーウェーブレット = Haar)

$$\begin{matrix} 1/2 & 1/2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/2 & 1/2 \\ 1/2 & -1/2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/2 & -1/2 \end{matrix}$$

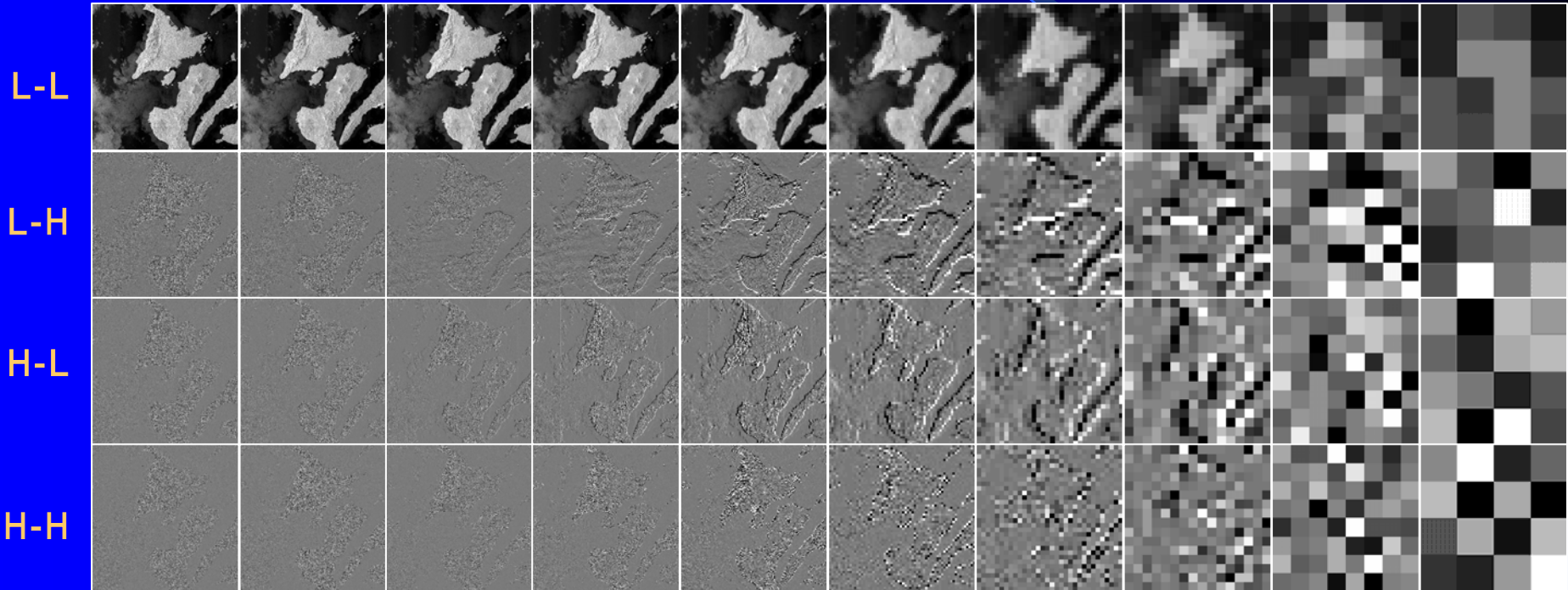


画素単位に各レイヤの持つ値の回帰直線を求めその勾配を抽出

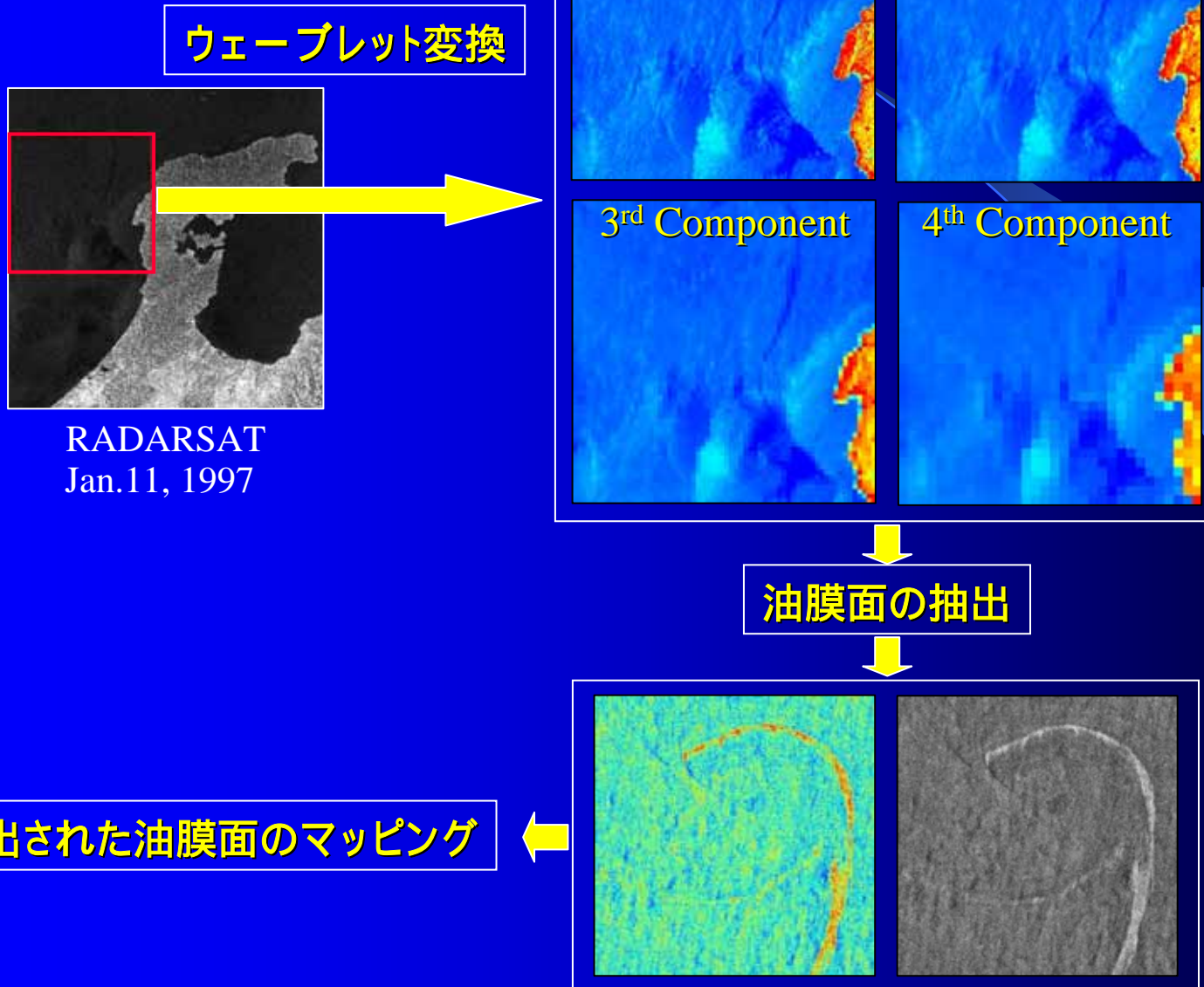
4. 解析手法

多重解析法によって得られた各レイヤの画像

1st Comp. 2nd Comp. 3rd Comp. 4th Comp. 5th Comp. 6th Comp. 7th Comp. 8th Comp. 9th Comp. 10th Comp.



4. 解析手法



5. 事例紹介

1) オイルタンカー「ソーラー1号」の事故概要:

フィリピンのパナイ湾に位置するギマラス島付近を航行していたオイルタンカーが、2006年8月11日、荒天のため沈没。2000キロリットルを積載、200キロリットルが流出。

2) オイルタンカー「プレステージ号」の事故概要:

スペインから150マイルほど沖合いの大西洋で、20000キロガロン以上の油を積載して航行中のプレステージ号が2002年11月13日、大嵐に遭遇し、漂流を続け11月19日に沈没した。この間に漏れた油の量は少なくとも200キロガロンに達した。

3) 原因不明の油流出の概要

スウェーデン沿岸警備隊が2005年5月9日、同国南東海域のバルチック海を定期警備中に、オーランドとゴットランド島の間の海域に97キロメートルに及ぶ油膜を発見。推定25トンの油が流出したが、どこで流れ出たかなど詳細は不明。

4) 発電所の燃料施設事故概要:

レバノン、ベイルートの南約30Kmにあるサイダ市北方の地中海沿いにある発電所の燃料貯蔵タンク2つが、2006年7月13日と15日に中東紛争で爆破され1万から3万5千トンの油が流出、その多くは地中海に流れ出た。同国の海岸約130キロメートルにわたって汚染された。

- レバノン環境省などの発表 -

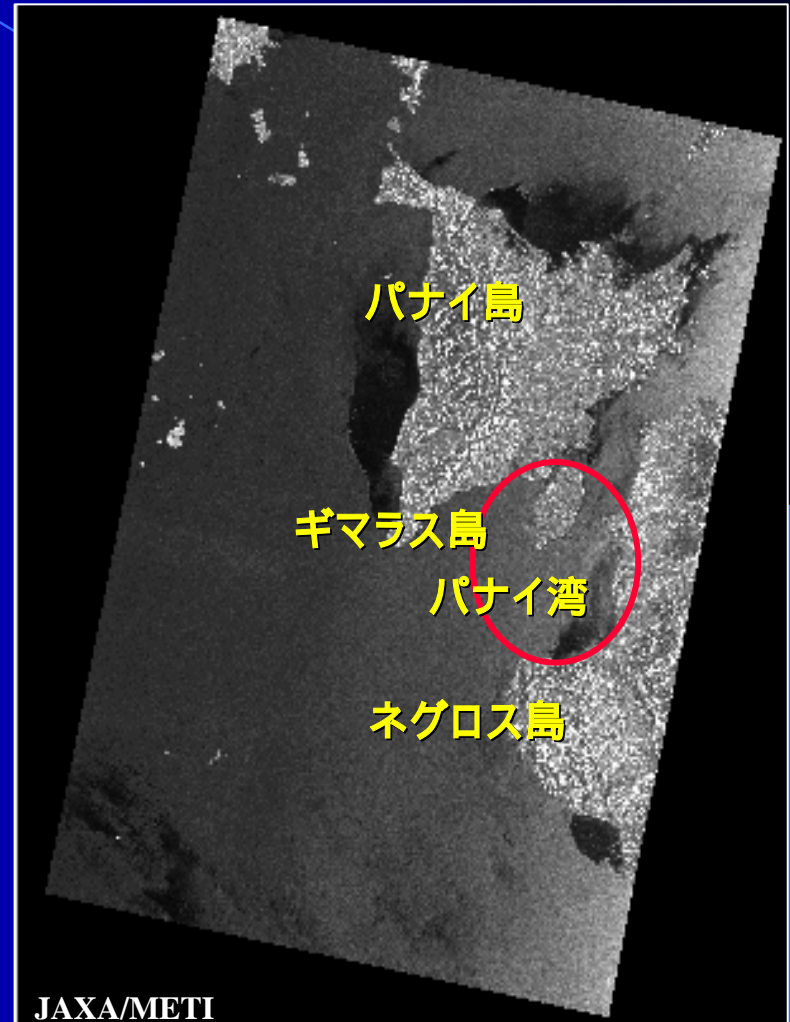
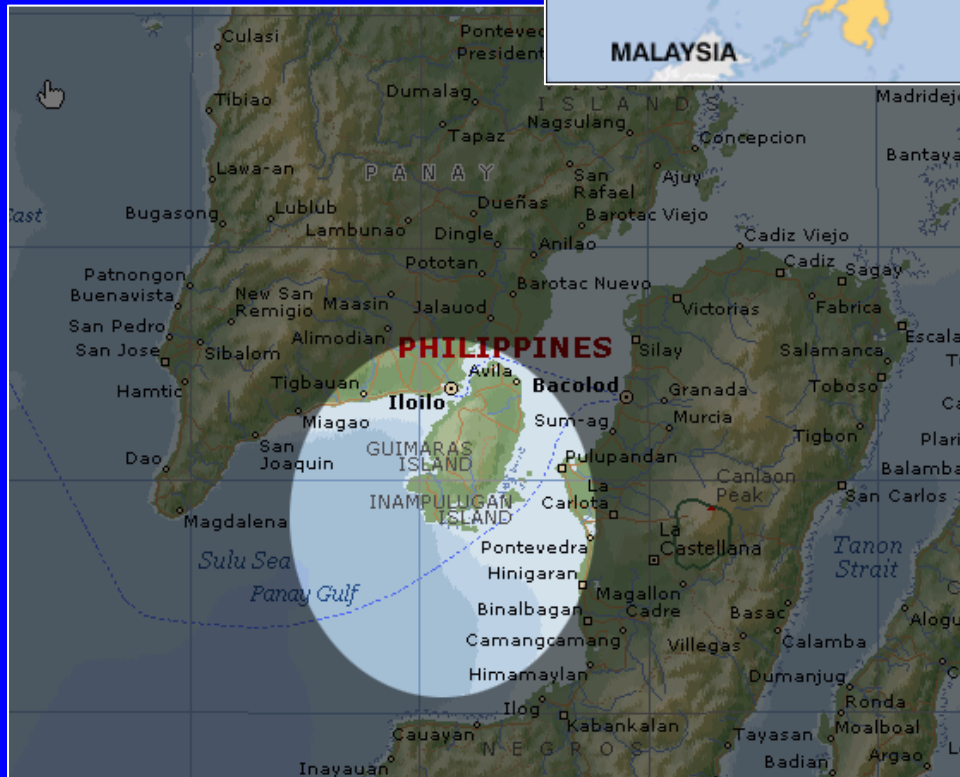
5-1. オイルタンカー「ソーラー1号」の事例

フィリピンのパナイ湾に位置するギマラス島付近を航行していたオイルタンカーが、2006年8月11日、荒天のため沈没。2000Kリットルを積載、200キロリットルが流出。



5-1. オイルタンカー「ソーラー1号」の事例 (2006年8月11日、フィリピン)

発災場所



解析の流れ

発災害日
Aug. 11, 06

観測日時

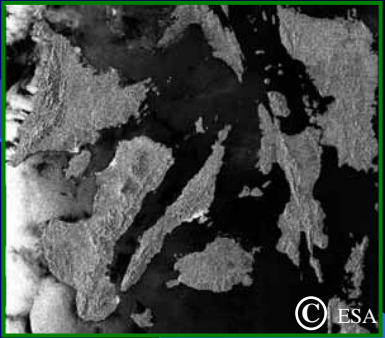
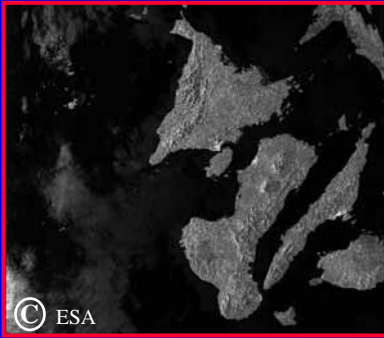
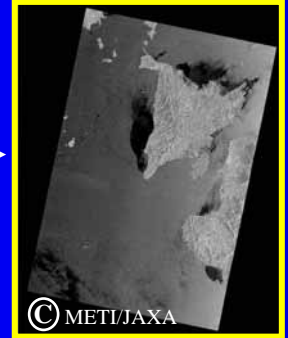
Aug. 25, 06 02:13
ALOS/PALSAR

Aug. 25, 06 13:53
ENVISAT/ASAR

Aug. 27, 06 10:02
RADARSAT/SAR

Aug. 28, 06 13:58
ENVISAT/ASAR

観測データ

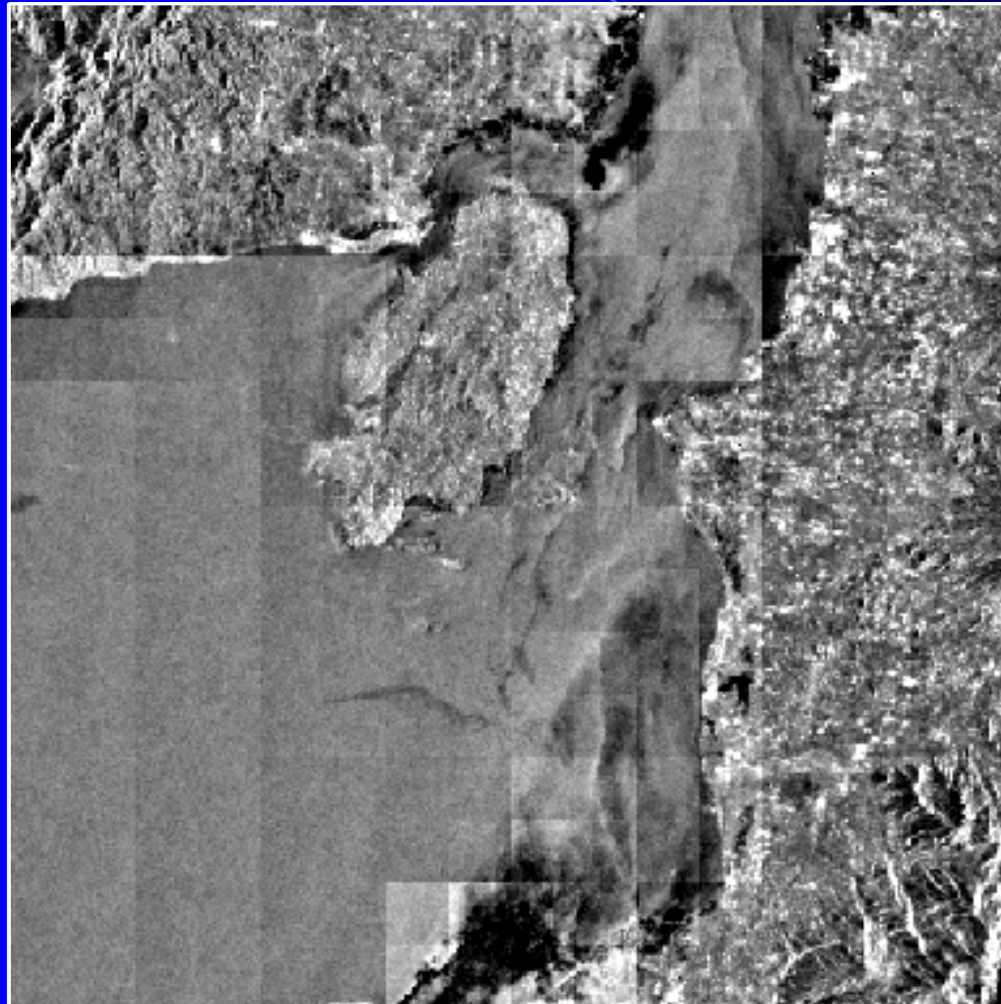


ウェーブレット解析の適用

マッピング

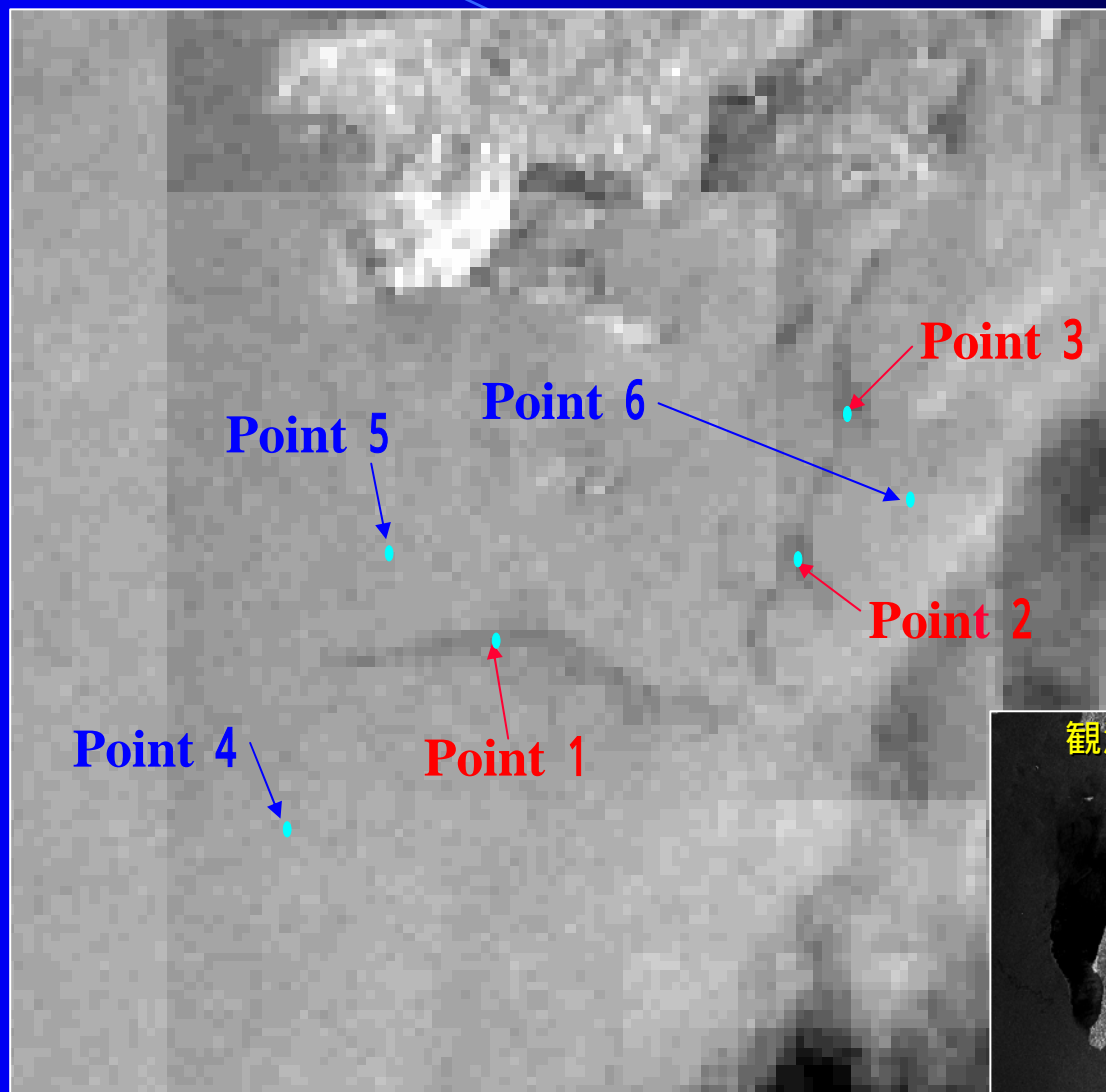
解析例 1. ALOS/PALSAR (観測日2006年8月25日)

ウェーブレット変換(LL)画像(1-3レイヤ)

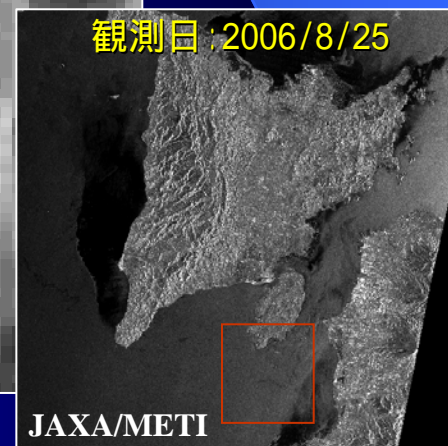


Processing area (2048 * 2048)

ウェーブレット変換解析結果



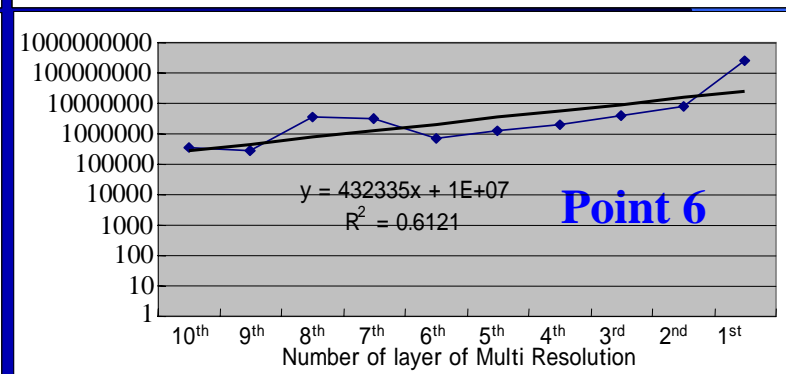
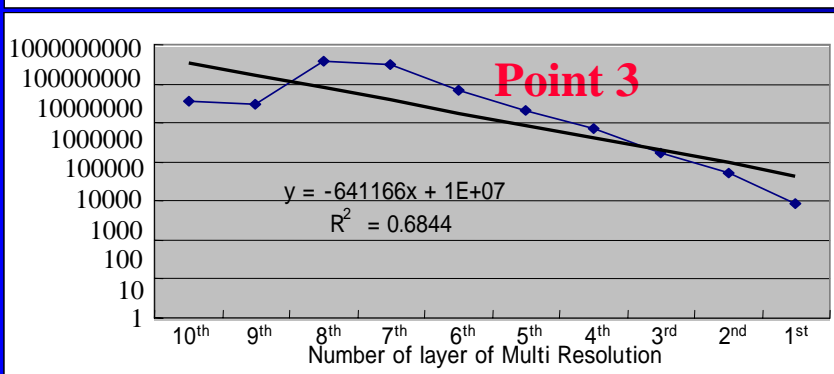
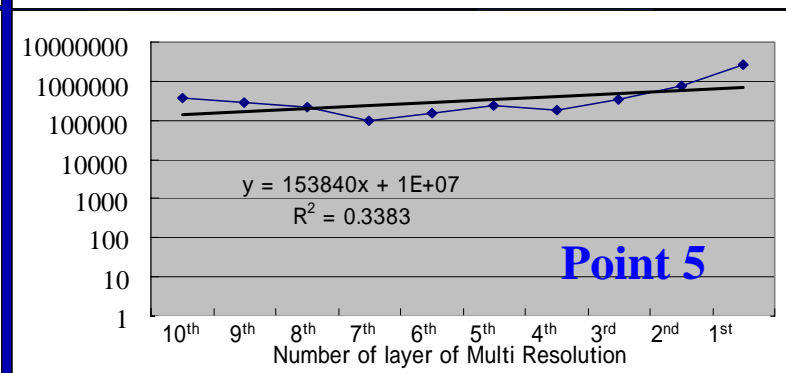
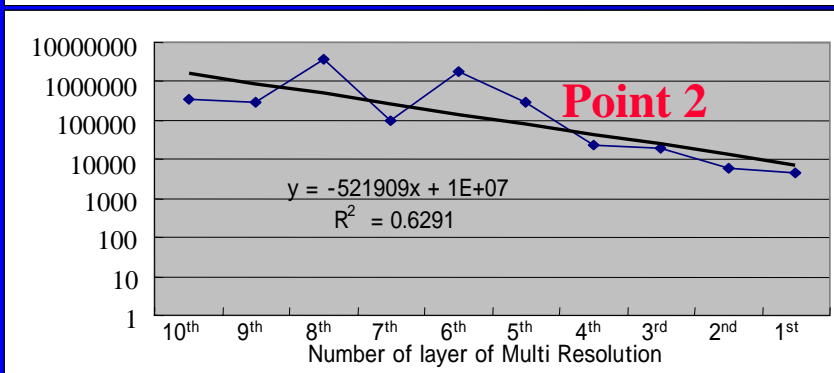
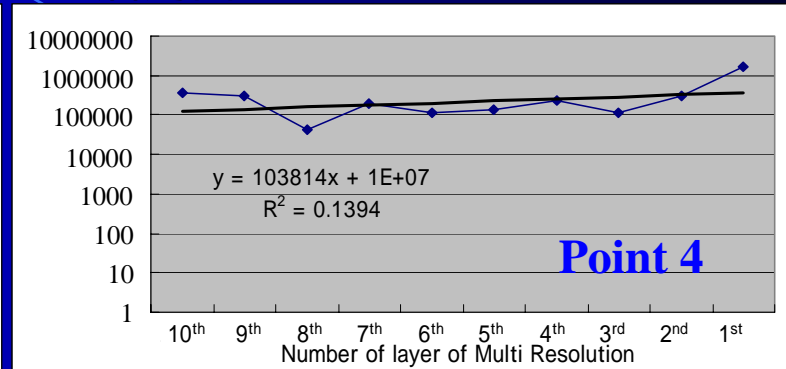
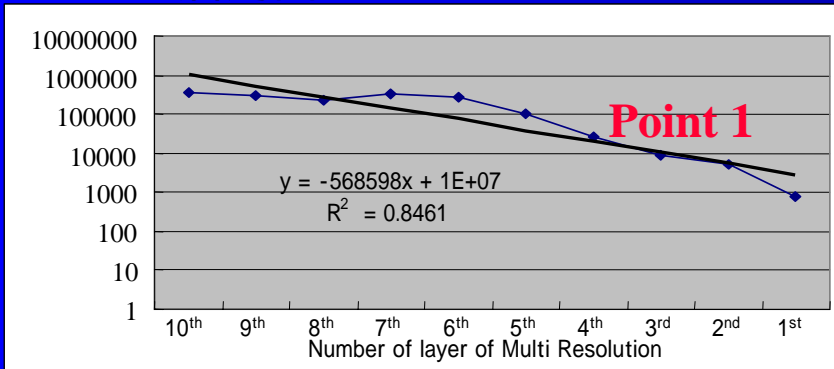
海表面に油濁があると思われる点: Point 1 ~ 3
海表面とされている点 : Point 4 ~ 6



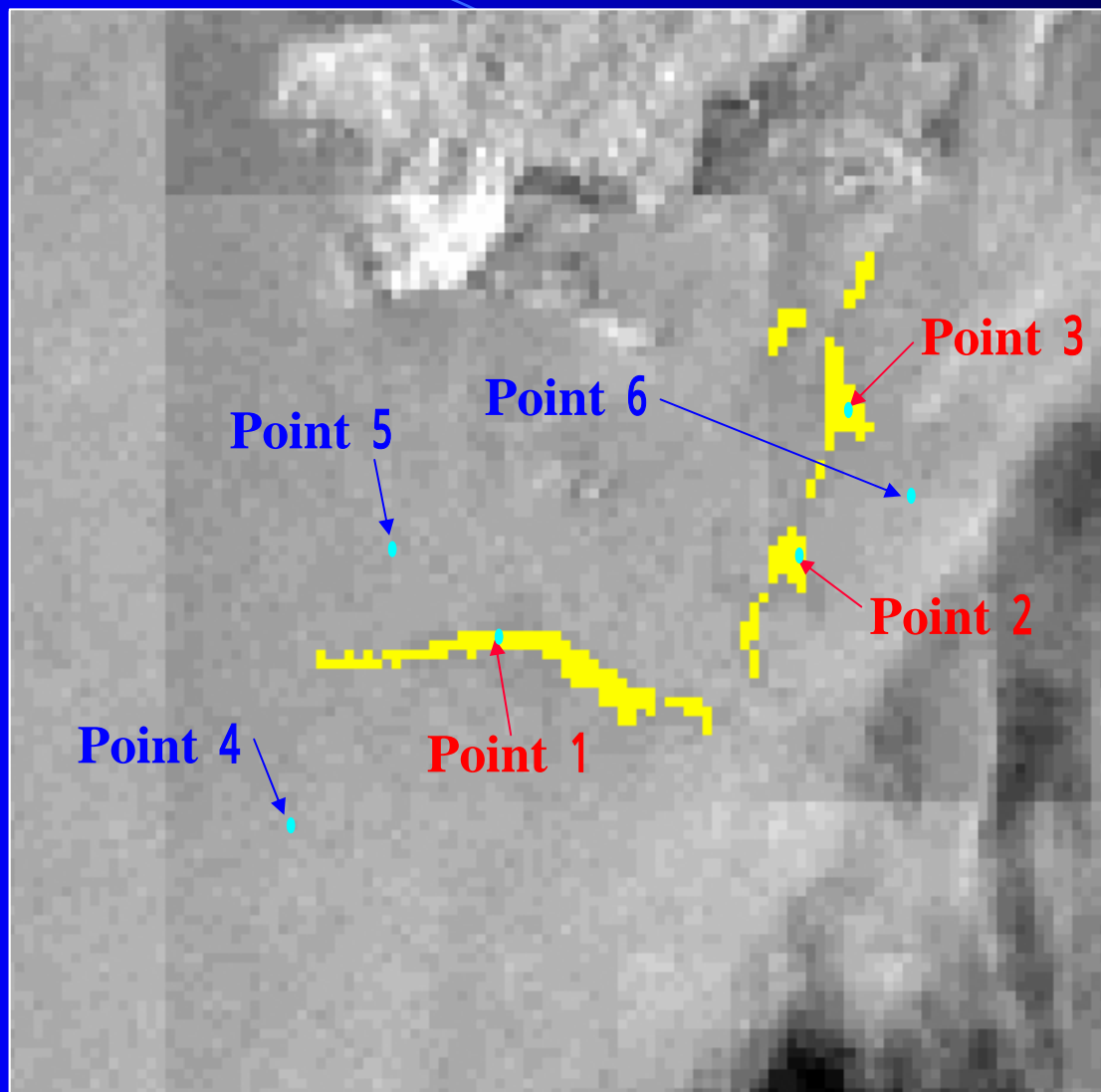
ウェーブレット変換解析結果

油濁面と思われるポイント

油濁面でないと思われるポイント

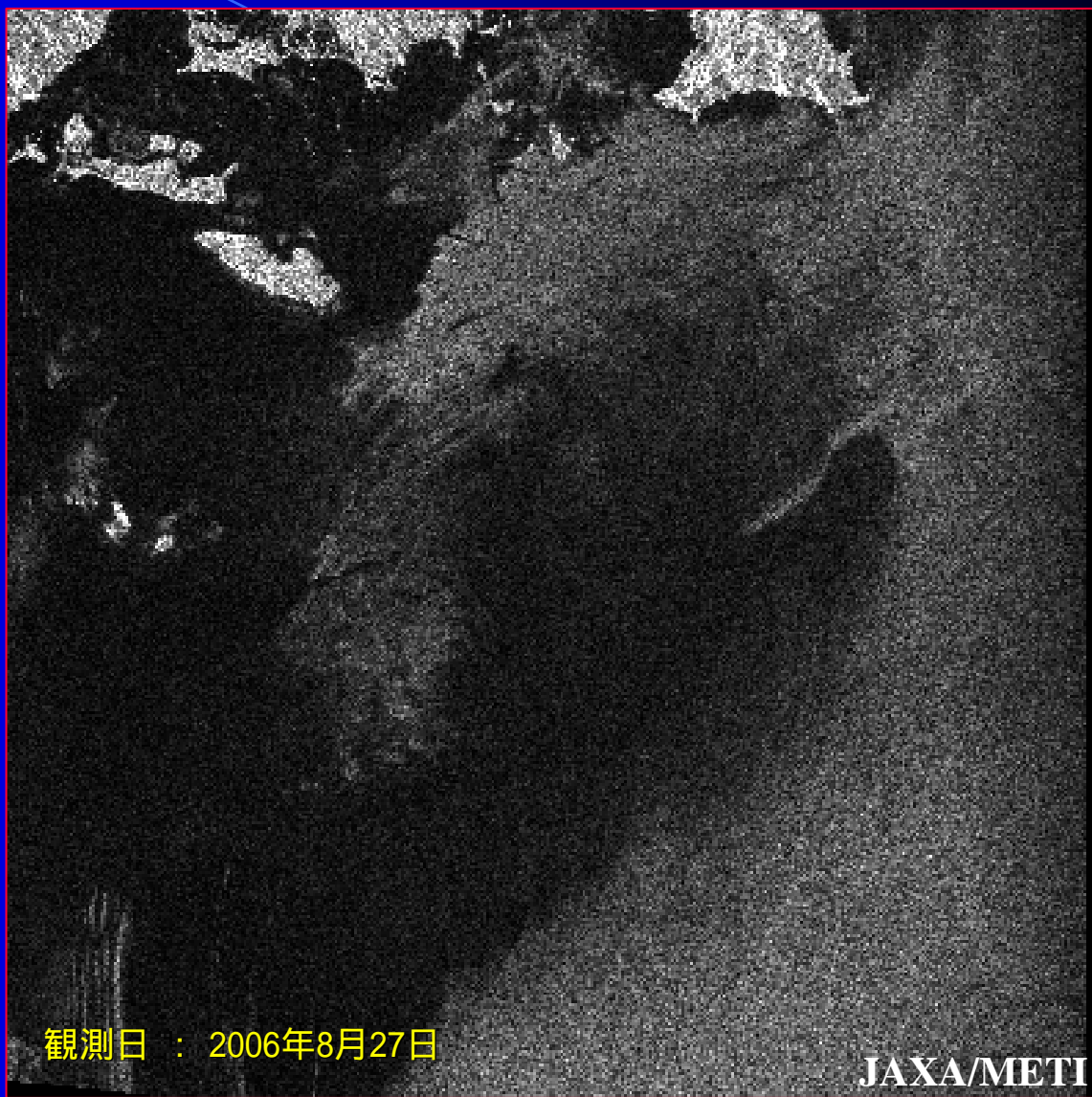
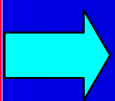
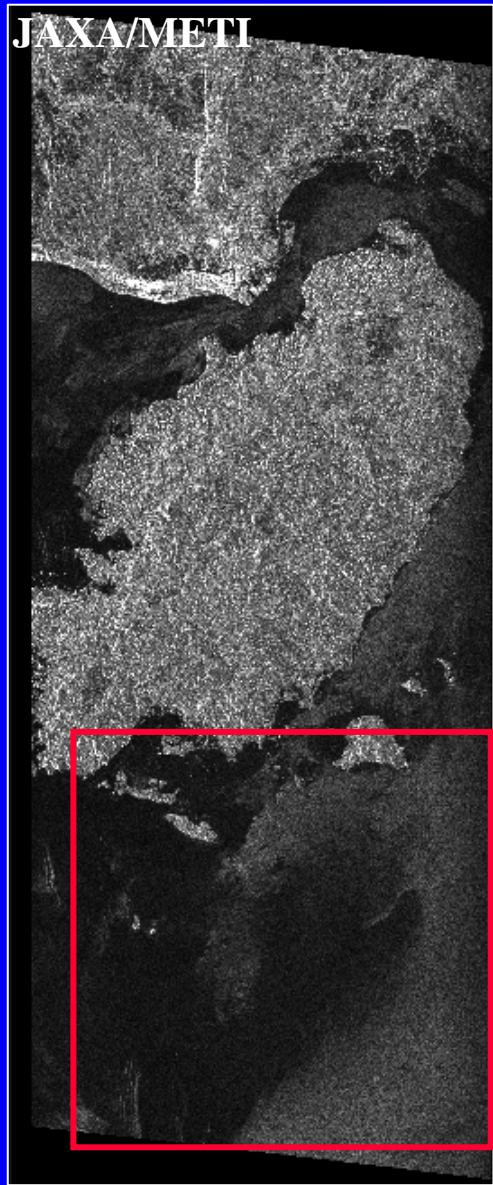


油膜面と思われる海表面のマッピング画像

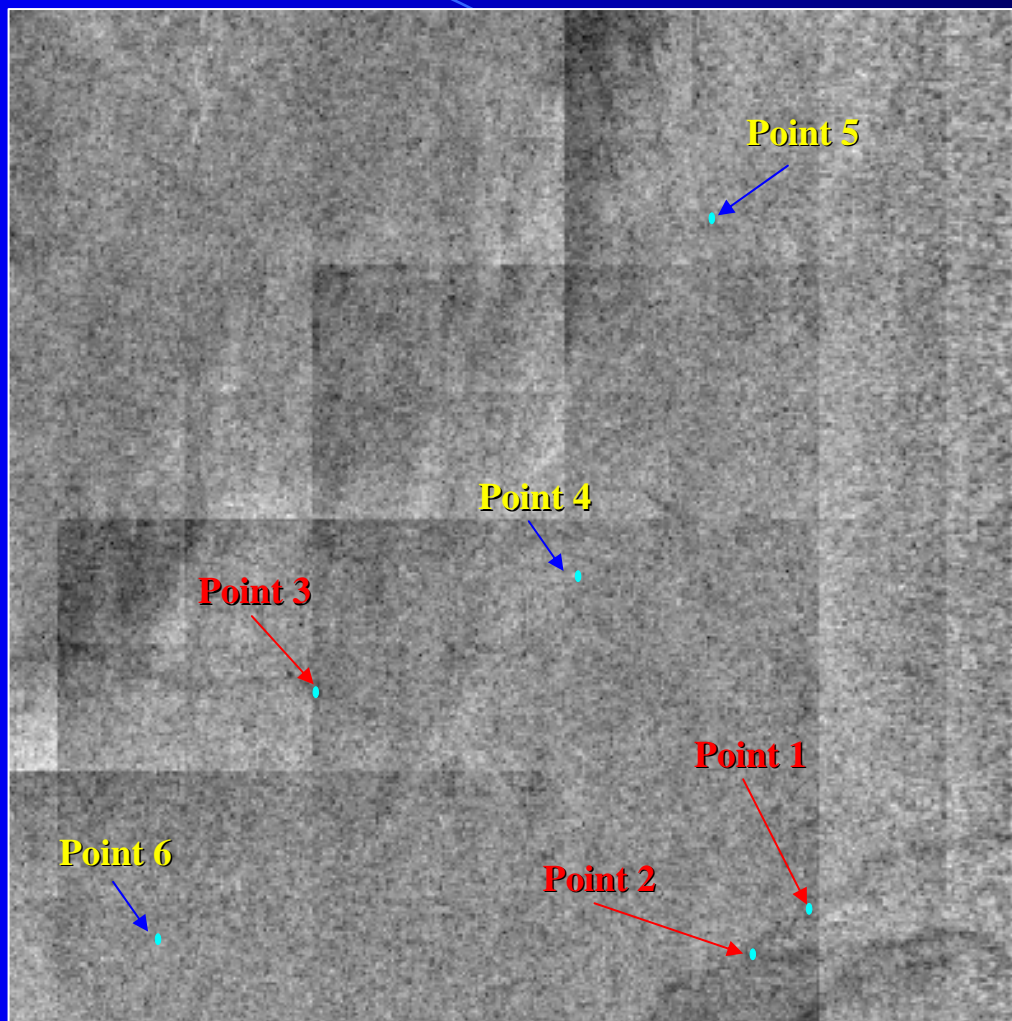


- 抽出された油膜面領域
- 通常の海表面

解析例 2 . ALOS/PALSAR (観測日2006年8月27日)



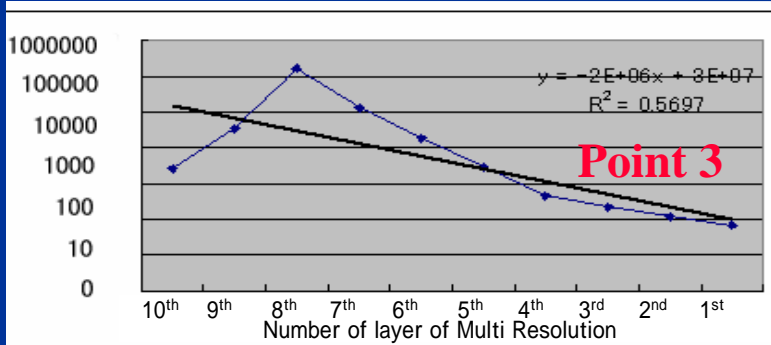
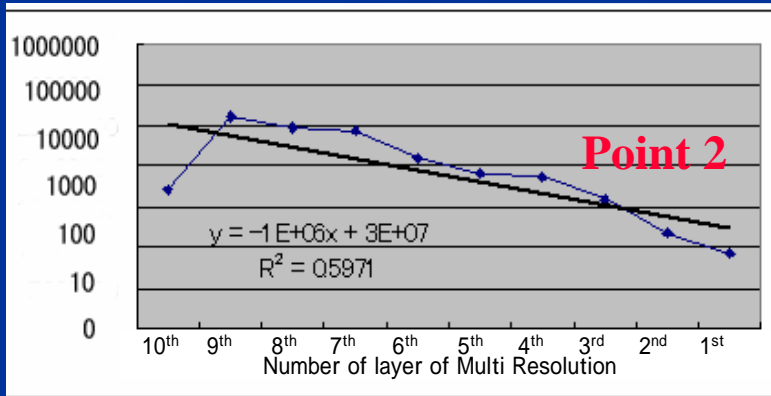
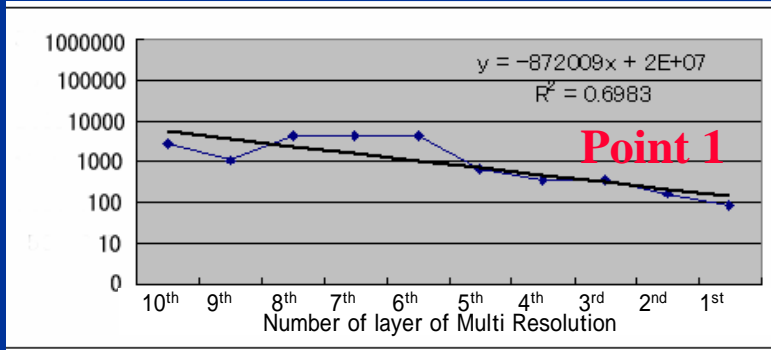
ウェーブレット変換解析結果



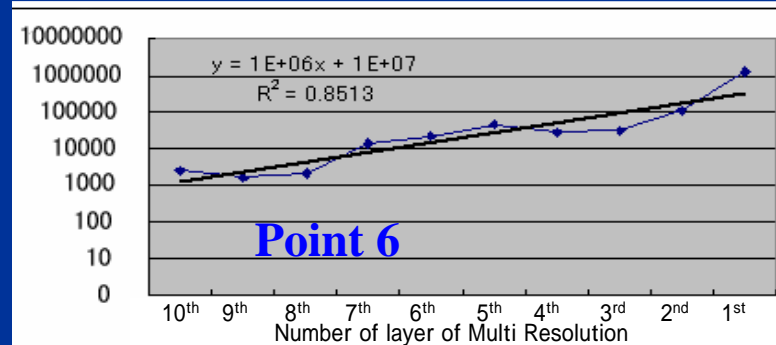
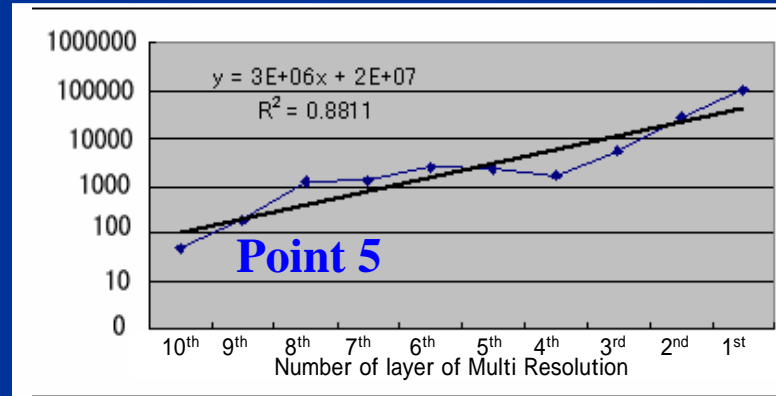
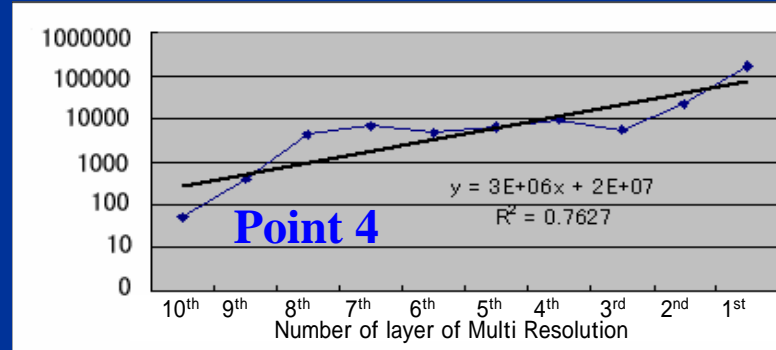
海表面に油濁があると思われる点 : Point 1 ~ 3
海表面と思われる点 : Point 4 ~ 6

ウェーブレット変換解析結果

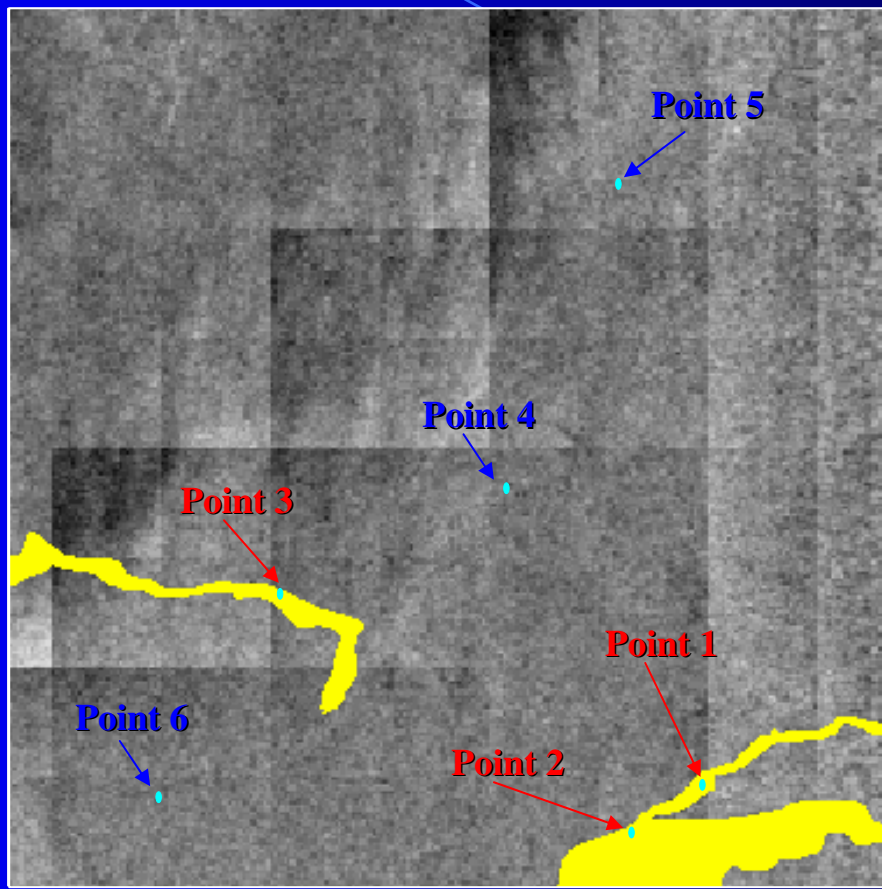
油濁面と思われるポイント



油濁面でないと思われるポイント

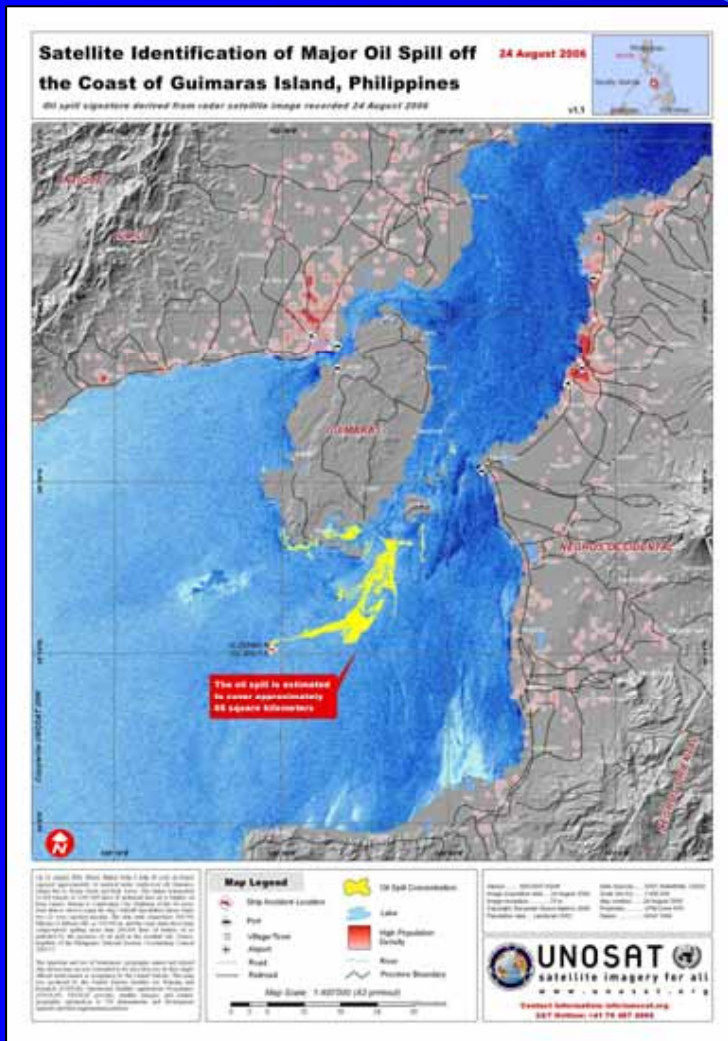


油濁面と思われる領域のマッピング表示

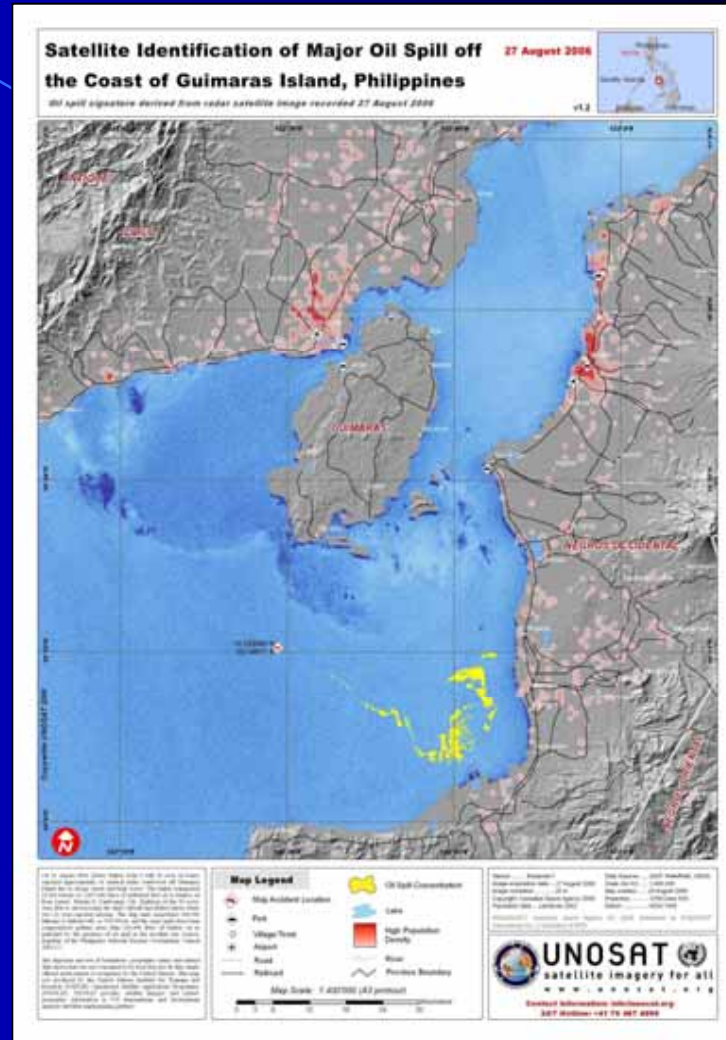


	抽出された油膜面領域
	通常の海表面

国際災害チャータのUNOSATの推定油流出域との比較

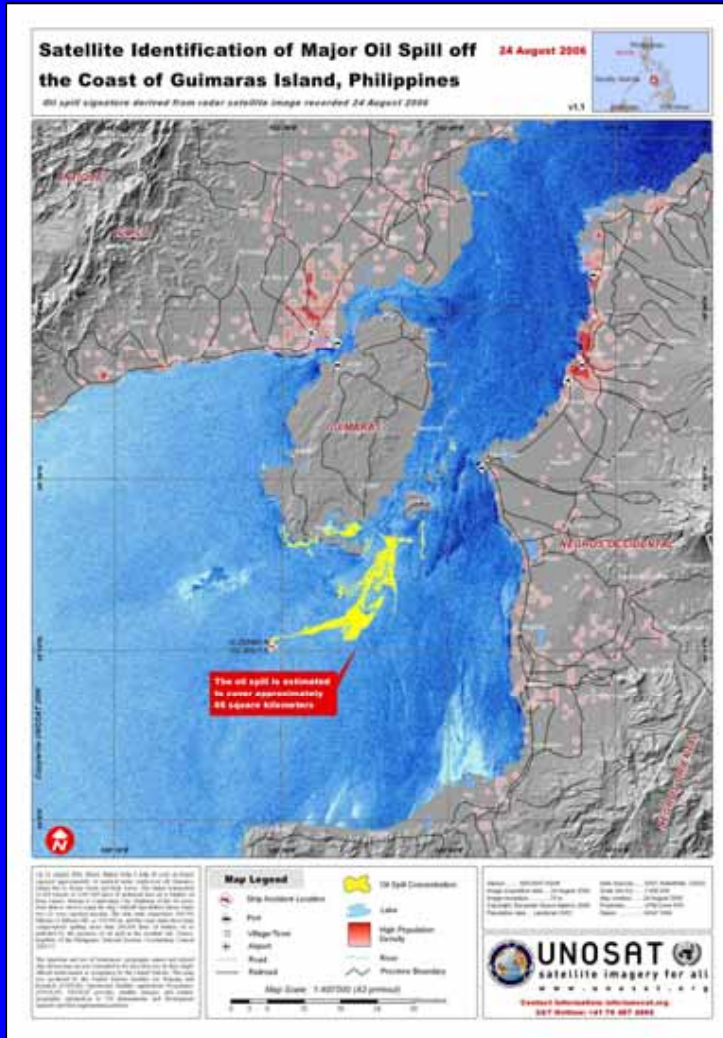


Aug. 24, '06 (UNOSAT)
 ENVISAT/ASAR (Aug. 24, 2006)

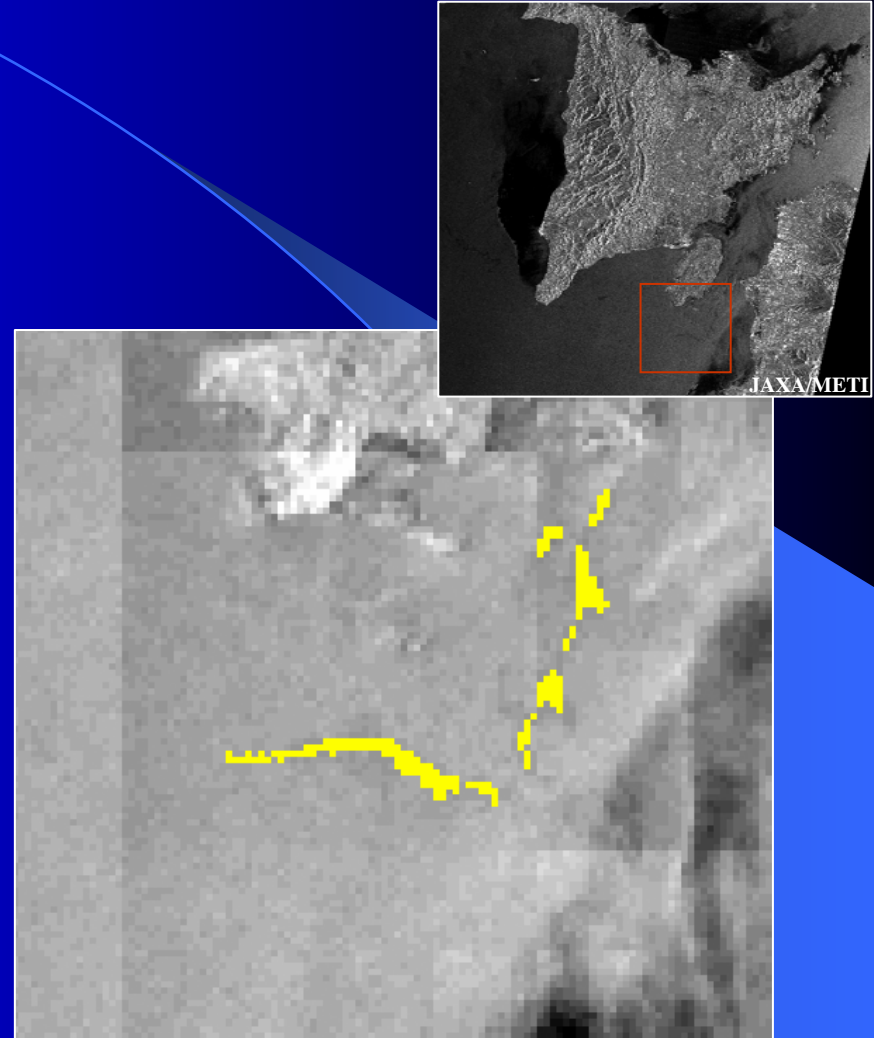


Aug. 27, '06 (UNOSAT)
 RADARSAT (Aug. 27, 2006)

UNOSATの推定域(8月24日)とPALSAR(8月25日)による推定域の比較

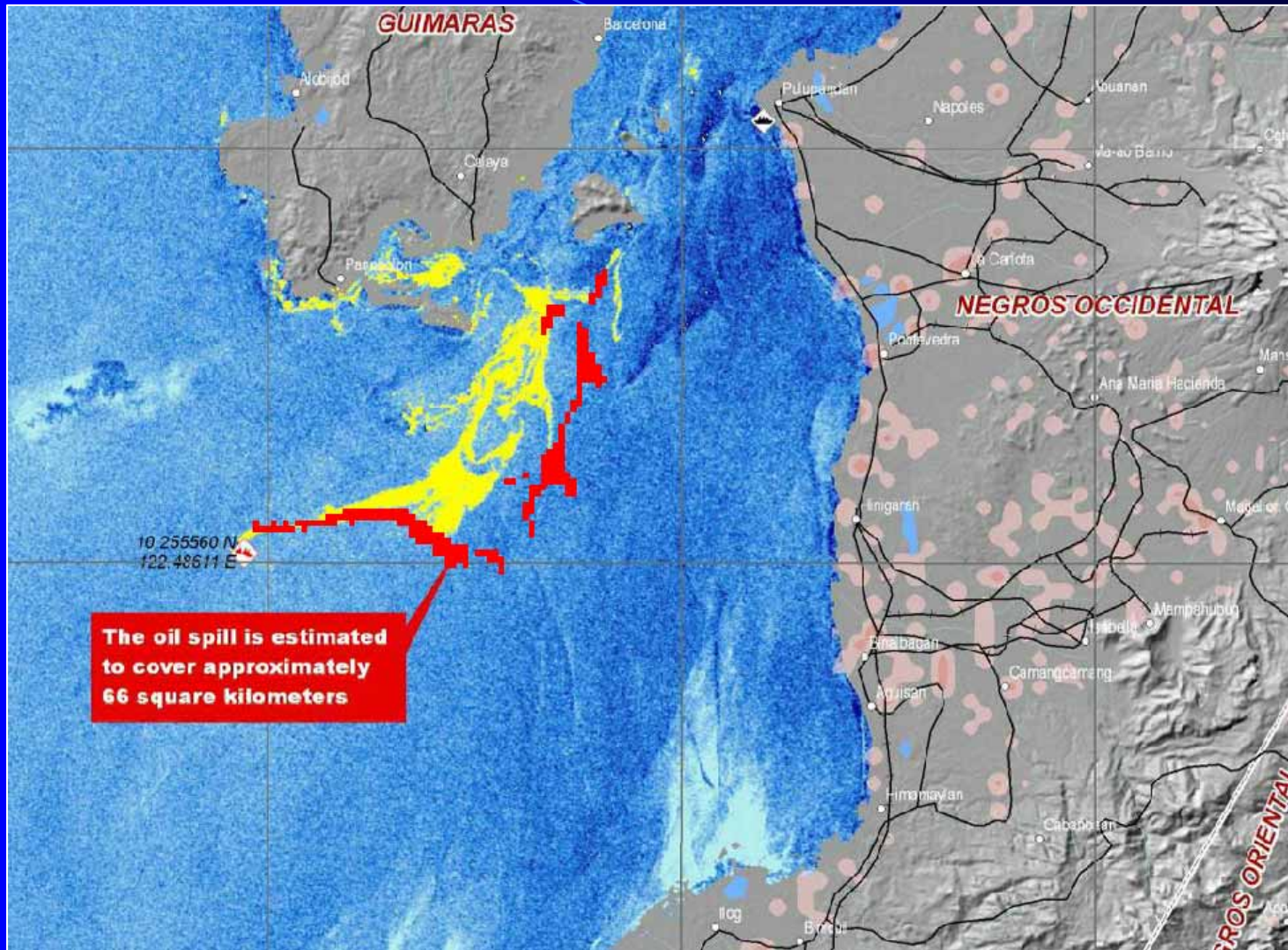


Aug. 24, 06 (UNOSAT)
 ENVISAT/ASAR (Aug. 24, 2006)



ALOS/PALSAR (Aug. 25, 2006)

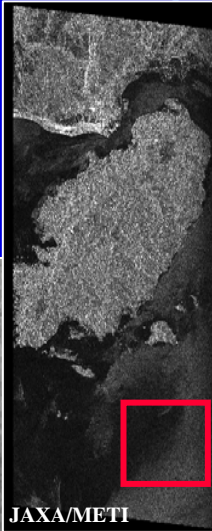
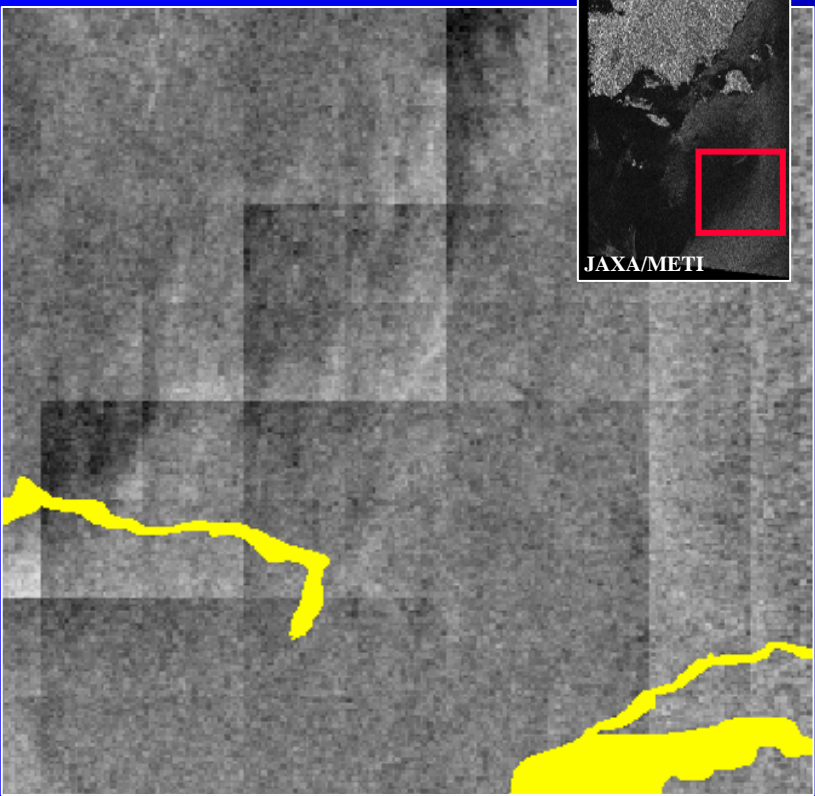
UNOSATの推定域(8月24日)とPALSAR(8月25日)による推定域の比較



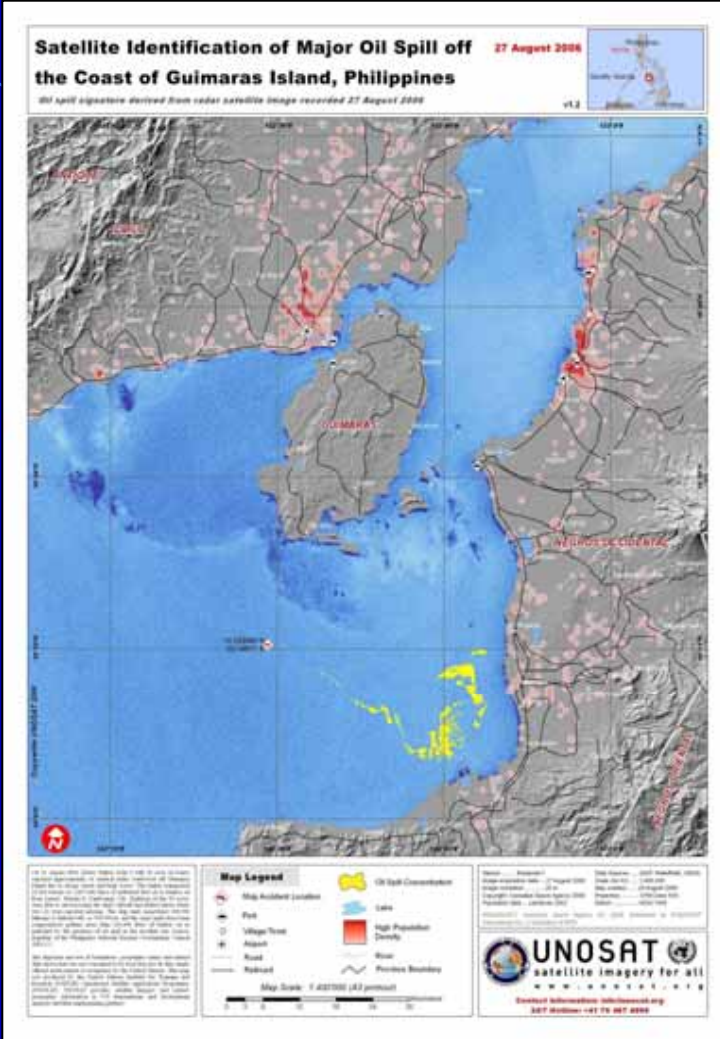
■ Aug.24, 2006 (ENVISAT)

■ Aug. 25, 2006 (PALSAR)

UNOSATの推定域(8月27日)とPALSAR(8月27日)による推定域の比較

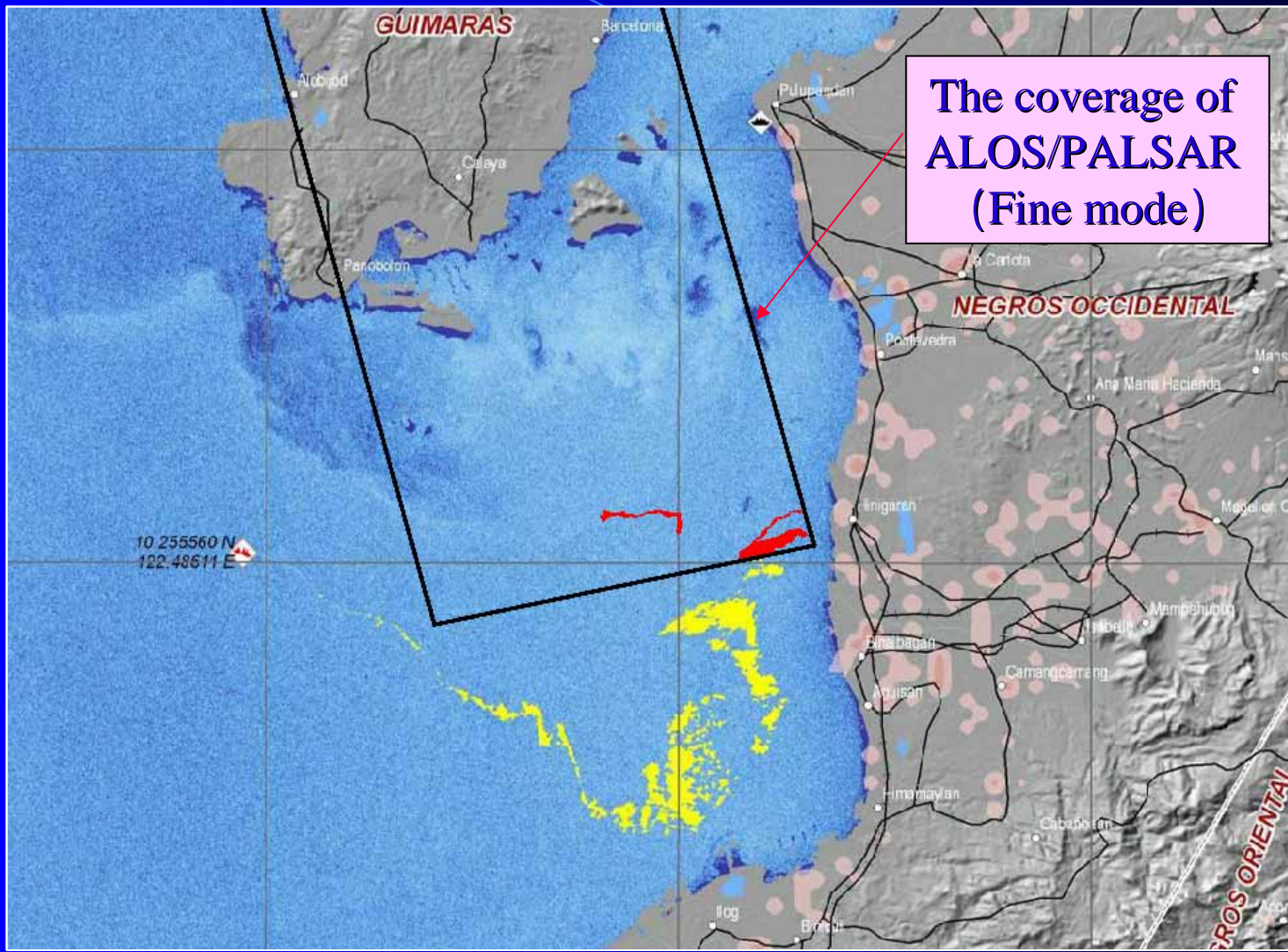


ALOS/PALSAR (Aug. 27, 2006)

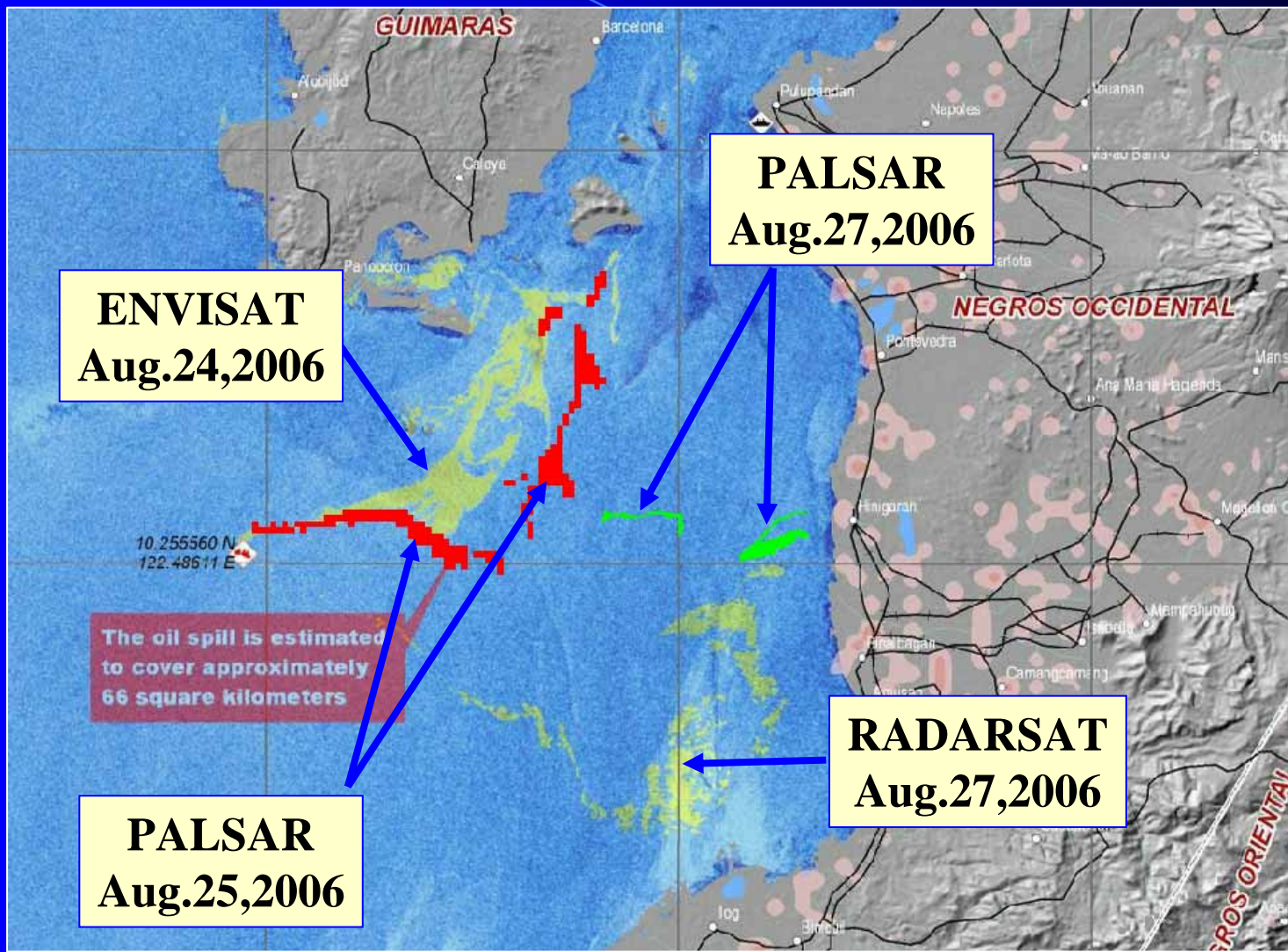


**Aug. 27, '06 (UNOSAT)
RADARSAT (Aug. 27, 2006)**

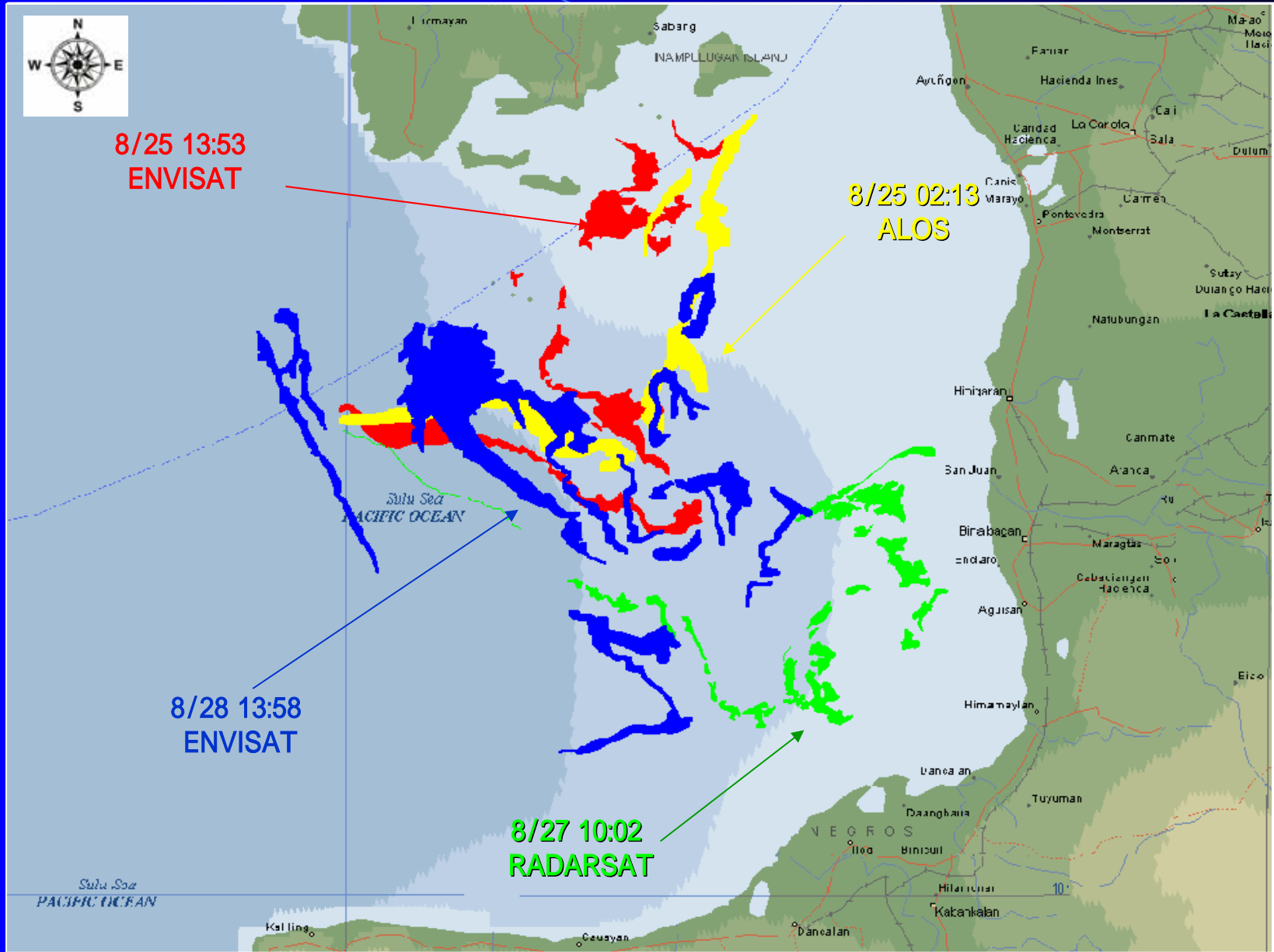
UNOSATの推定域(8月27日)とPALSAR(8月27日)による推定域の比較



UNOSATの(8月24、27日)とPALSAR(8月25,27日)の推定域の比較



衛星画像4シーンから抽出した油膜域



5-2. オイルタンカー「プレステージ号」の事例

スペインから150マイルほど沖合いの大西洋で、20000キロガロン以上の油を積載して航行中のプレステージ号が2002年11月13日、大嵐に遭遇し、漂流を続け11月19日に沈没した。この間に漏れた油の量は少なくとも200キロガロンに達した。



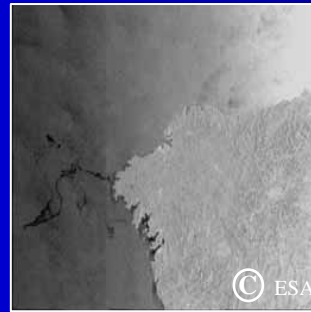
Photos : http://www.cedre.fr/index_gb.html
http://earth.esa.int/ew/oil_slicks/galicia_sp02/ (copyright AP)

5-2. オイルタンカー「プレステージ号」の事例 (2002年11月13日、スペイン)

発災場所



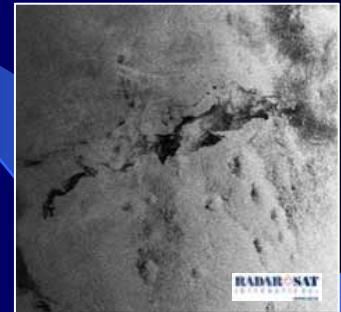
発災日時:
2002年11月13日



11/17/2002
ENVISAT

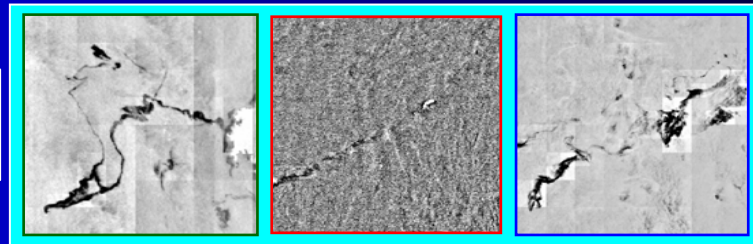


11/18/2002
RADARSAT



11/25/2002
RADARSAT

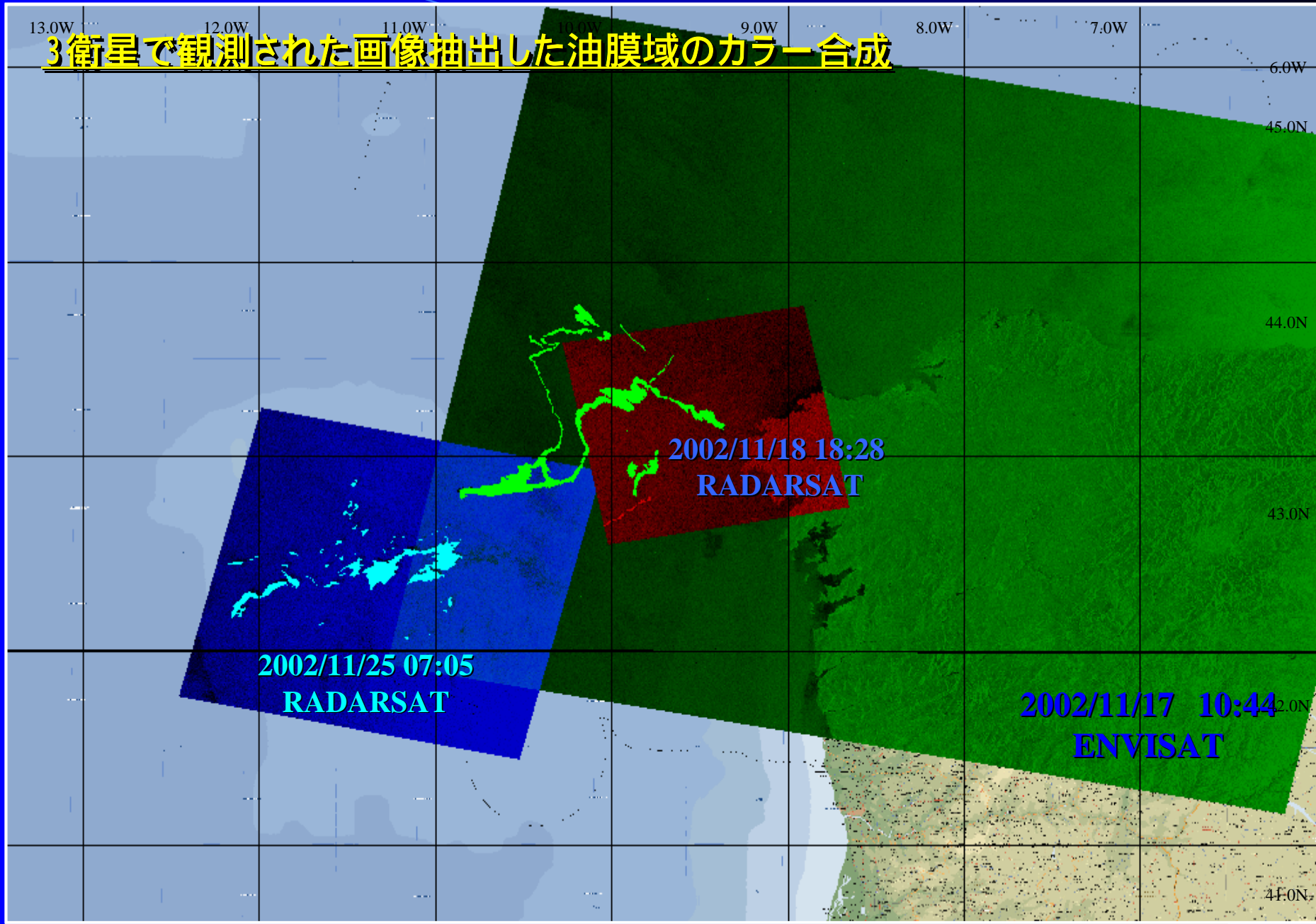
ウェーブレット解析



マッピング

油膜域の抽出

3衛星で観測された画像抽出した油膜域のカラー合成



プレステージの漂流跡と抽出した油膜域

11/15/2002 3.05pm,
ship evacuated



11/18/2002
RADARSAT

11/14/2002 10am,
towing

11/17/2002 midday,
leakage observed

11/18/2002 10am,
no leakage observed

11/13/2002
drifting vessel

11/25
RADARSAT

11/17/2002
ENVISAT

11/19/2002 8am,
vessel broke in two



http://www.cedre.fr/index_gb.html

http://earth.esa.int/ew/oil_slicks/galicia_sp02/ (copyright AP)

5-3. 原因不明の油流出

スウェーデン沿岸警備隊が2005年5月9日、同国南東海域のバルチック海を定期警備中にオーランドとゴットランド島の間の海域に97キロメートルに及ぶ油膜を発見。推定25トンの油が流出したが、どこで流れ出たかなど詳細は不明。

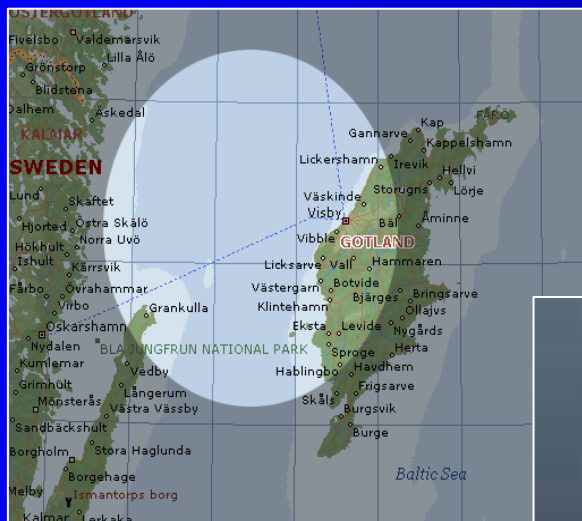
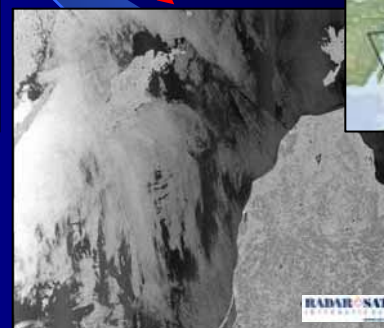
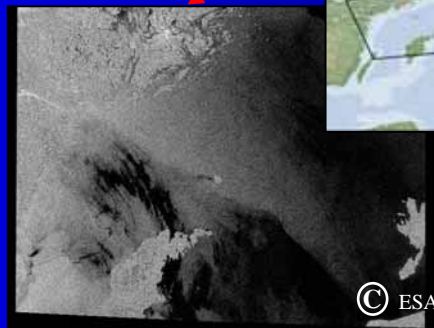


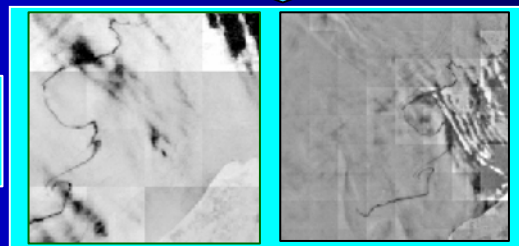
Photo: Swedish Coast Guard

5-3. 原因不明の油流出(2005年5月9日、スウェーデン)

発災場所



ウェーブレット解析

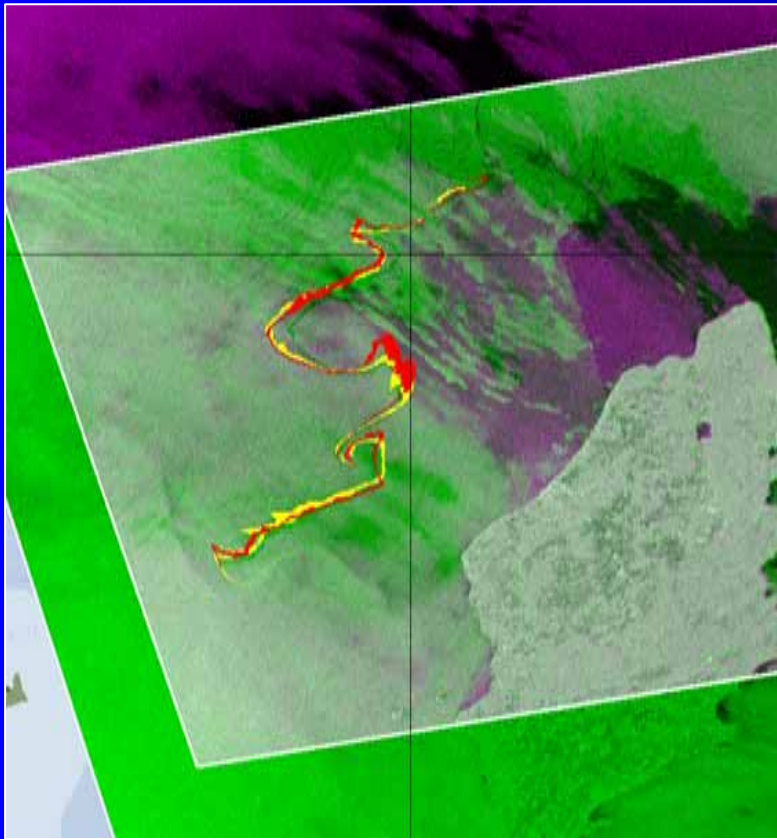


ENVISAT
05/09/2005

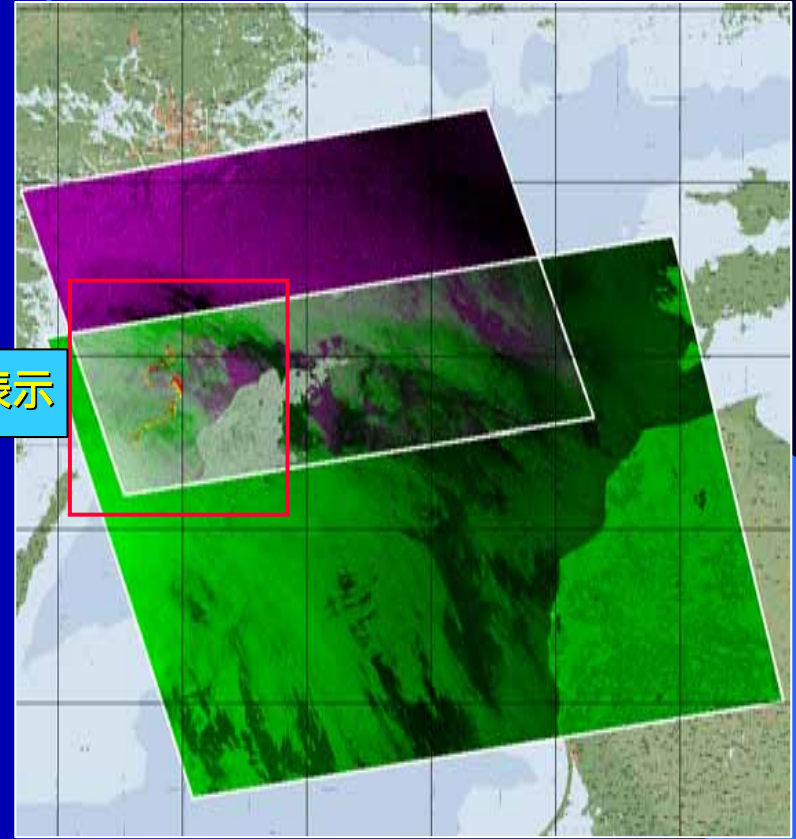
RADARSAT
05/09/2005

マッピング ← 油膜域の抽出

ウェーブレット解析により抽出された油膜域(画像合成)



拡大表示



観測日時 :

RADARSAT-1: May 09, 2005 16:13

ENVISAT/ASAR: May 09, 2005 20:14



油膜域マッピング画像



ENVISAT
May 9, 2005 20:14

RADARSAT
May 09, 2005 16:13



Photo: Swedish Coast Guard

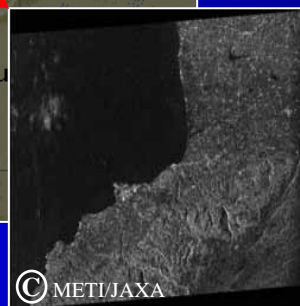
5-4.発電所の燃料施設爆破事故

レバノン、ベイルートの南約30Kmにあるサイダ市北方の地中海沿いにある火力発電所の燃料貯蔵タンク2つが、2006年7月13日と15日に中東紛争で爆破され1万から3万5千トンの油が流出、その多くは地中海に流れ出た。同国の海岸約130キロメートルにわたって汚染された。

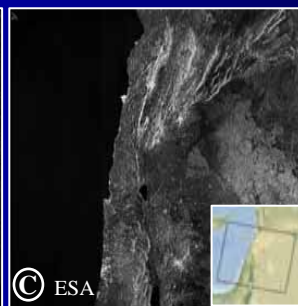


5-4. 発電所の燃料施設爆破事故 (3005年7月13,15日、レバノン)

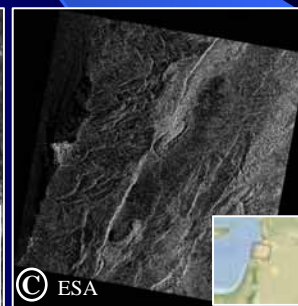
発災場所



Aug.16, 2006 20:10
ALOS/PALSAR



Aug.03, 2006 07:40
ENVISAT/ASAR



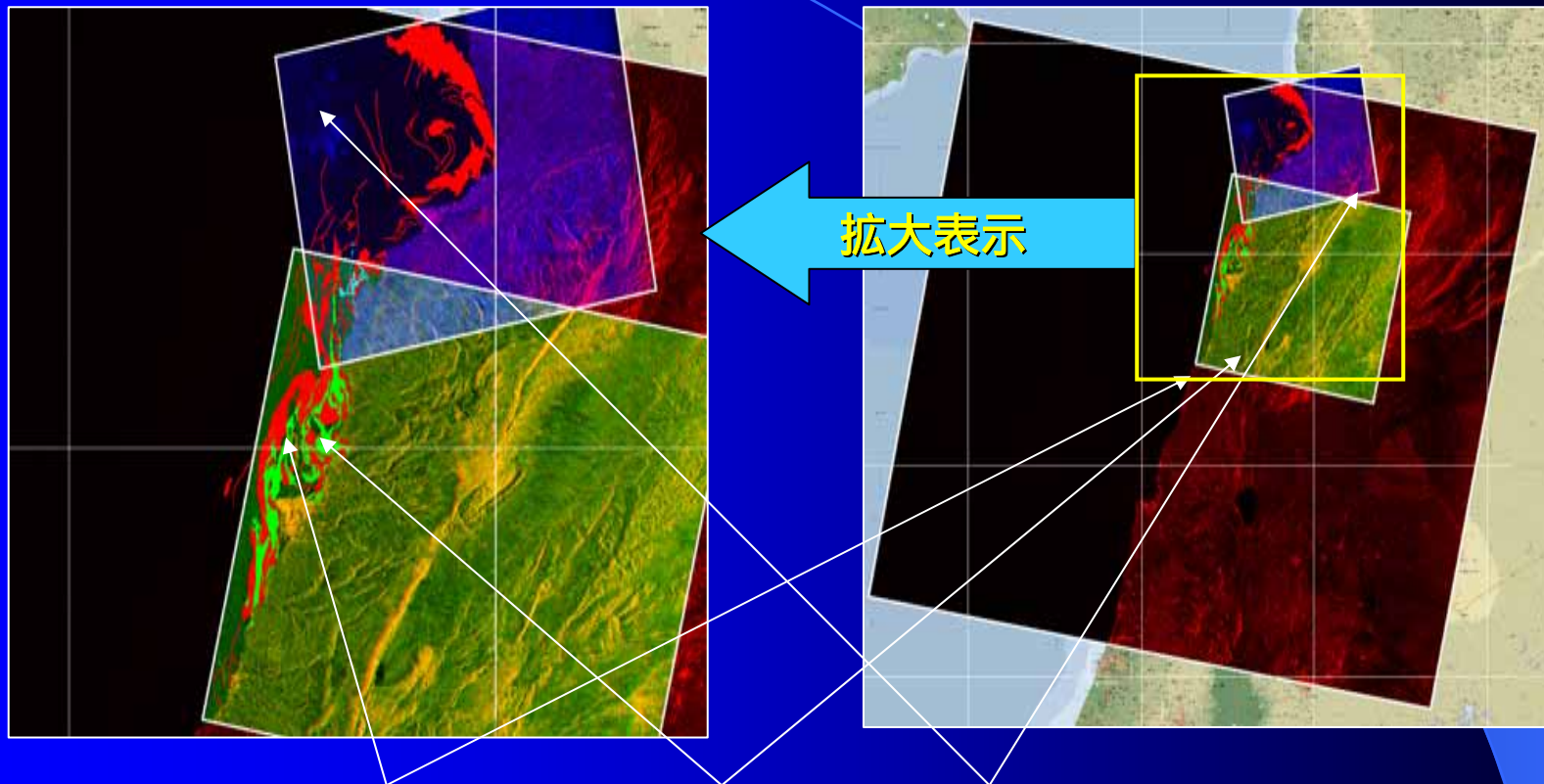
Aug.06, 2006 08:15
ERS-2/AMR



マッピング ←

油膜域の抽出

ウェーブレット解析により抽出された油膜域(画像合成)



ENVISAT :
Aug.03, 2006

ERS2 :
Aug.06, 2006

PALSAR :
Aug.16, 2006

観測日時 :

ENVISAT/ASAR : Aug. 03, 2006 07:40

ERS-2/AMI : Aug. 06, 2006 08:15

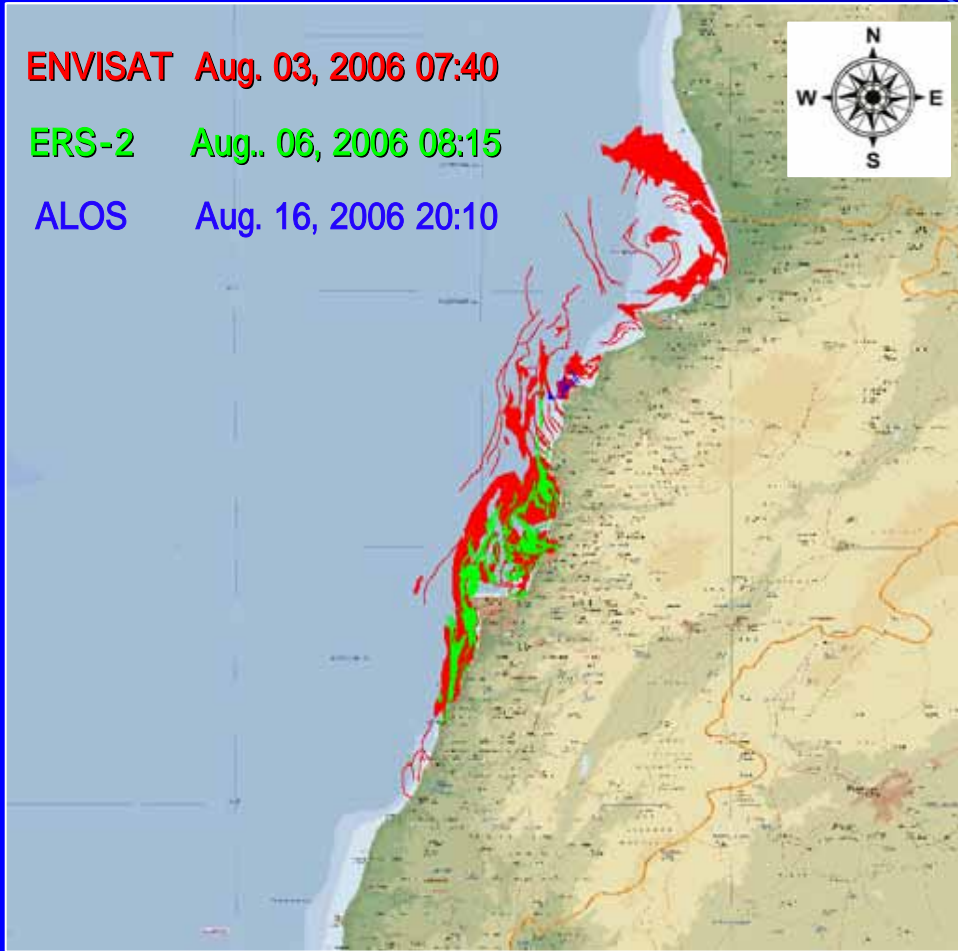
ALOS/PALSAR : Aug. 16, 2006 20:10

国際災害チャータのUNOSATの推定油流出域との比較

ENVISAT Aug. 03, 2006 07:40

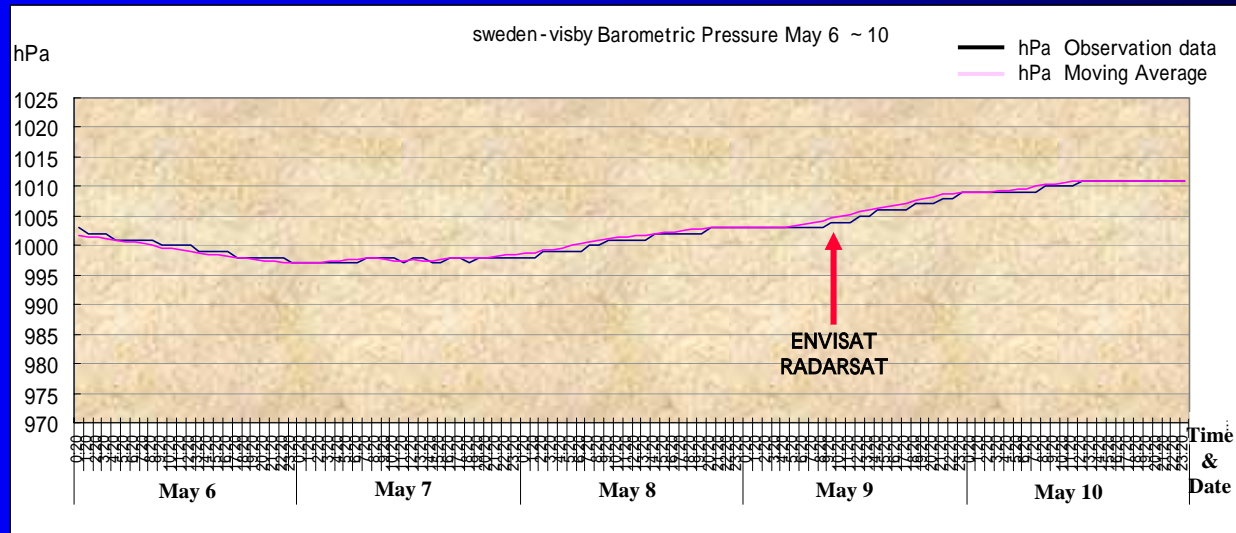
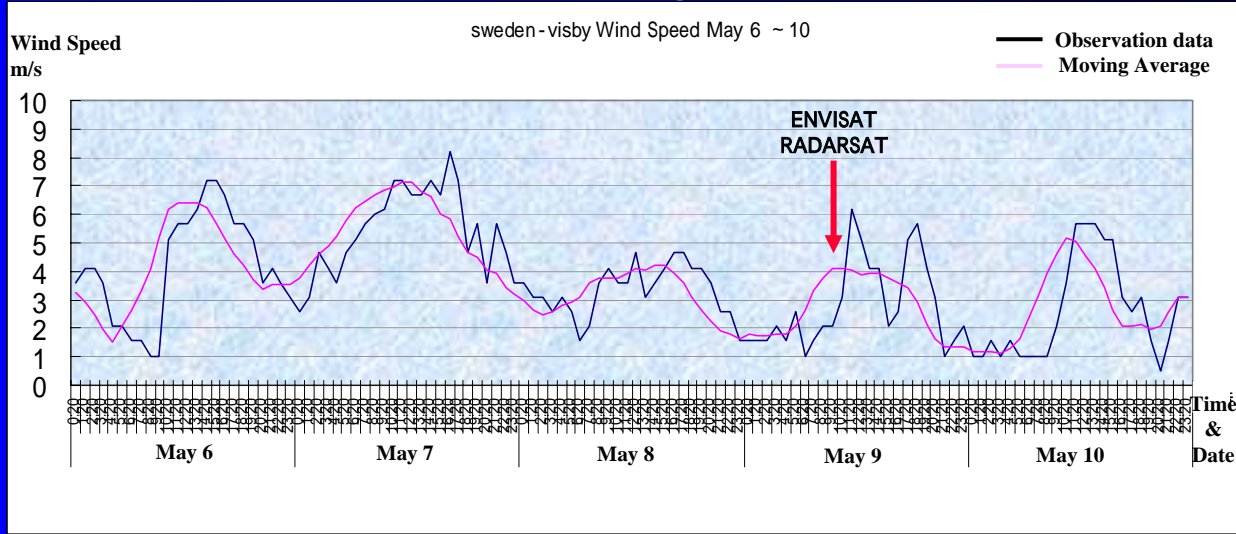
ERS-2 Aug. 06, 2006 08:15

ALOS Aug. 16, 2006 20:10



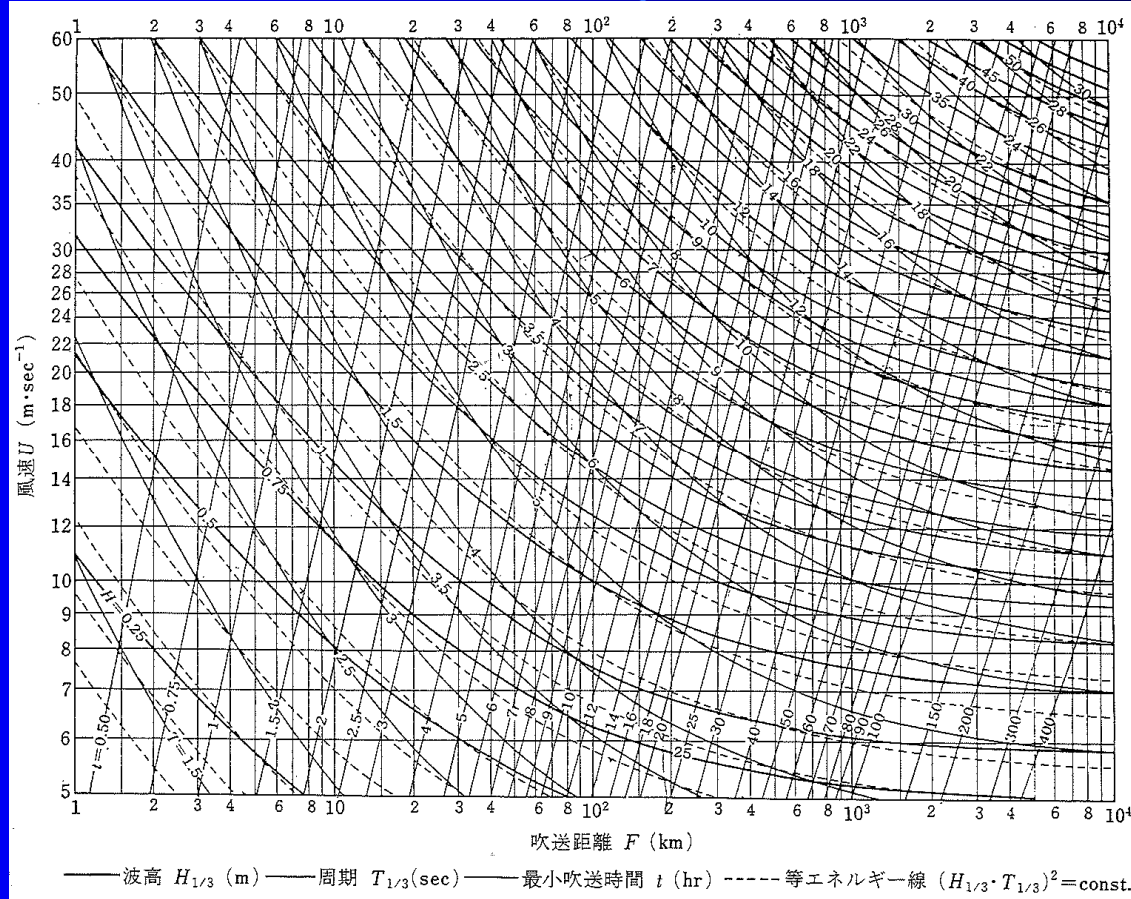
6. 気象と海象の影響

風速と気圧



6. 気象と海象の影響

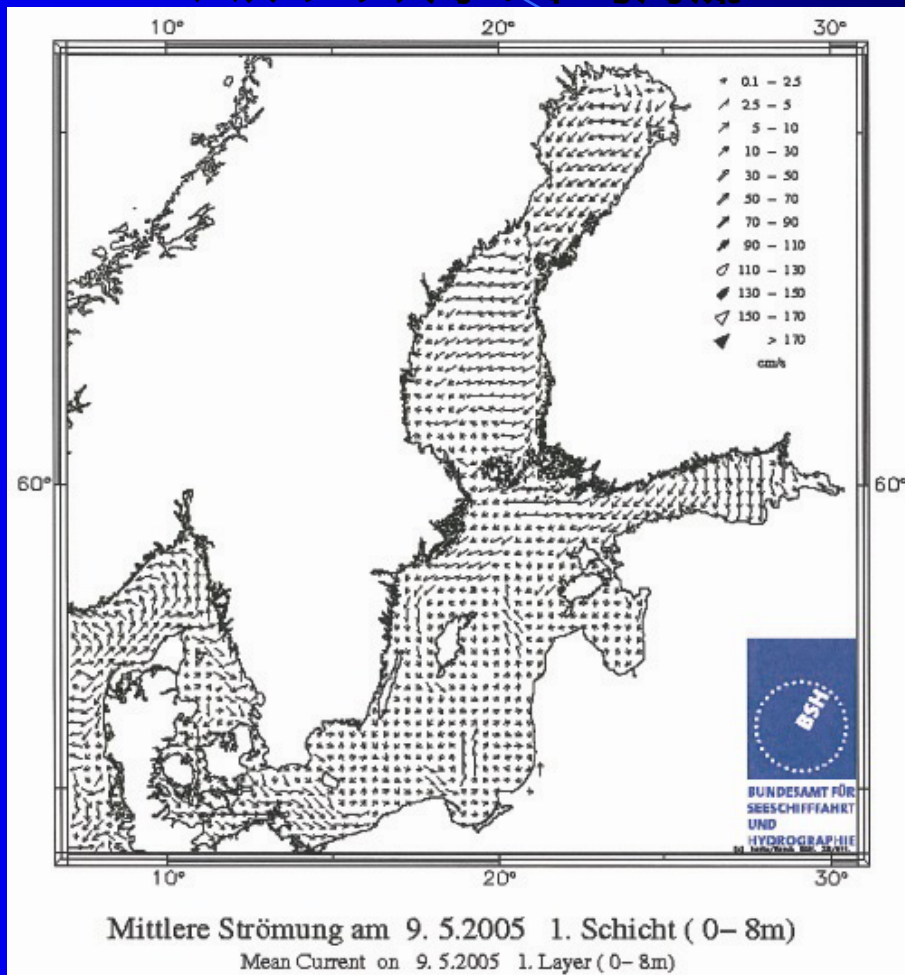
ウイルソンの公式による有義波高の推定 (風波予知曲線)



$$gT_{1/3} / 2\pi U_{10}^2 = 1.37 \left[1 - \left\{ 1 + 0.008 \left(gF / U_{10}^2 \right)^{1/3} \right\}^5 \right]$$

6. 気象と海象の影響

バルチック海のア平均海流



6. 気象と海象の影響

Sea Area	Satellite	Observation date	Time (GMT)	Wind Speed (Av)	Wind Speed (Mx)	significant wave height
				m/sec	m/sec	m
Sea Area of Guimaras Is. Panay Bay	RADARSAT	2006/8/27	10:02:26	0.8	3.9	0.11
	ENVISAT	2006/8/25	13:53:17	0.6	1.9	0.07
	ENVISAT	2006/8/28	13:58:17	0.6	1.9	0.07
	ALOS	2006/8/25	2:13:35	0.6	1.9	0.1
Spanish northwest offing in the Atlantic Ocean	RADARSAT	2002/11/18	18:28:30	2.2	6.1	0.21
	RADARSAT	2002/11/25	7:05:25	0.3	3.6	0.14
	ENVISAT	2002/11/17	10:44:32	2.5	5	0.15
	ERS-2	2002/11/26	11:31:33	2.5	7.2	0.35
The vicinity of Baltic Sea of Gotland Is.	RADARSAT	2005/5/9	16:13:35	1.1	6.1	0.34
	ENVISAT	2005/5/9	20:14:17	1.1	6.1	0.34
The coastline about 30 kilometers South of Beirut, Lebanon	RADARSAT	2006/7/26	15:47:15	—	—	—
	RADARSAT	2006/8/4	3:27:55	0.8	4.2	0.15
	ENVISAT	2006/8/3	7:40:41	0.8	3.1	0.15
	ERS-2	2006/8/6	8:15:05	1.4	4.7	0.32
	ALOS	2006/7/18	20:12:07	—	—	—
	ALOS	2006/7/18	20:11:59	—	—	—
	ALOS	2006/8/16	20:10:23	0.8	3.1	0.11

7. まとめ

- ・ 合成開口レーダ画像にウェーブレット解析を適用することにより、海水、油膜の分離が高い確率でできる可能性が示された。
- ・ このような手法が確立すれば、恣意性のない油膜域の自動認識が可能となり、スクリーニングの一つの方法として利用できる。
- ・ SARデータを用いた本法では、気象・海象の異なる条件下においても問題なく油膜認識ができたことは、昼夜を問わない全天候型の利用への可能性を示した。
- ・ 今後、さらに、海象条件の異なる事例への適用や油膜の薄さ(厚さ)、油種の違いによる反応などへの検証も必要になる。

おわり

ご清聴ありがとうございました。

原 政直
(株)ビジョンテック
<http://www.vti.co.jp>