

(財)日本建設情報総合センター研究助成事業報告書

指定課題 1 - 1 助成番号 第 2 0 0 4 - 2 号

地球観測衛星情報を導入した  
リアルタイム環境・災害監視用データモデルの構築

平成 1 7 年 9 月

広島工業大学 環境学部 環境情報学科  
教授 菅 雄三

## 目次 -

|   |    |
|---|----|
| <u>1 . はじめに</u> .....                       | 1  |
| <u>2 . 直接受信処理の地球観測衛星データ諸元</u> .....         | 2  |
| 2 . 1    LANDSAT-7 衛星データの性能仕様 .....         | 2  |
| 2 . 2    EROS-A1 衛星データの性能仕様 .....           | 2  |
| 2 . 3    ENVISAT-1 衛星データの性能仕様 .....         | 3  |
| 2 . 4    低分解能衛星データの性能仕様 .....               | 4  |
| <u>3 . 多段階衛星リモートセンシング</u> .....             | 5  |
| 3 . 1    対象地域及び使用データ .....                  | 5  |
| 3 . 2    オルソ補正処理 .....                      | 6  |
| 3 . 3    パンシャープン処理 .....                    | 6  |
| 3 . 4    光学・マイクロ波データの合成処理 .....             | 6  |
| 3 . 5    精密マッピング画像の生成 .....                 | 7  |
| 3 . 6    多段階リモートセンシングによるデジタルマッピング .....     | 8  |
| <u>4 . 環境モニタリング</u> .....                   | 10 |
| 4 . 1    環境変化検出 .....                       | 11 |
| 4 . 2    植生変化検出 .....                       | 12 |
| 4 . 3    海岸線変化検出 .....                      | 13 |
| 4 . 4    土地被覆変化検出 .....                     | 15 |
| 4 . 5    農作物生育変化検出 .....                    | 16 |
| <u>5 . 災害モニタリング</u> .....                   | 20 |
| 5 . 1    河川閉塞地の検出 .....                     | 20 |
| 5 . 2    被災地の検出 .....                       | 21 |
| <u>6 . 光学系およびマイクロ波センサデータの融合化</u> .....      | 22 |
| <u>7 . 衛星ステレオ画像による DEM 及びオルソ画像の作成</u> ..... | 24 |
| <u>8 . 斜面崩壊危険度推定画像の作成</u> .....             | 26 |
| <u>9 . おわりに</u> .....                       | 27 |
| <u>参考文献</u> .....                           | 31 |

# 地球観測衛星情報を導入したリアルタイム環境・災害監視用 データモデルの構築

広島工業大学 環境学部 環境情報学科 教授 菅 雄三

## 1. はじめに

広島工業大学地球観測衛星データ受信局では、文部科学省学術フロンティア推進事業の一環として、地球観測衛星データの直接受信処理に基づく環境・災害監視システムの研究開発を実施している(図1)。このために現在、LANDSAT-7/ETM+、EROS-A1/NA-30、ENVISAT-1/ASAR、TERRA・AQUA/MODIS、NOAA-15,16,17/AVHRR、の複数の地球観測衛星データの直接受信処理を行っている。

本稿では、これらの衛星データの特徴を生かした各種衛星情報の生成ならびに複数の衛星データを用いた多段階的衛星リモートセンシングデータセット構築手法の開発と実際の環境・災害監視に関する適用事例について報告する。

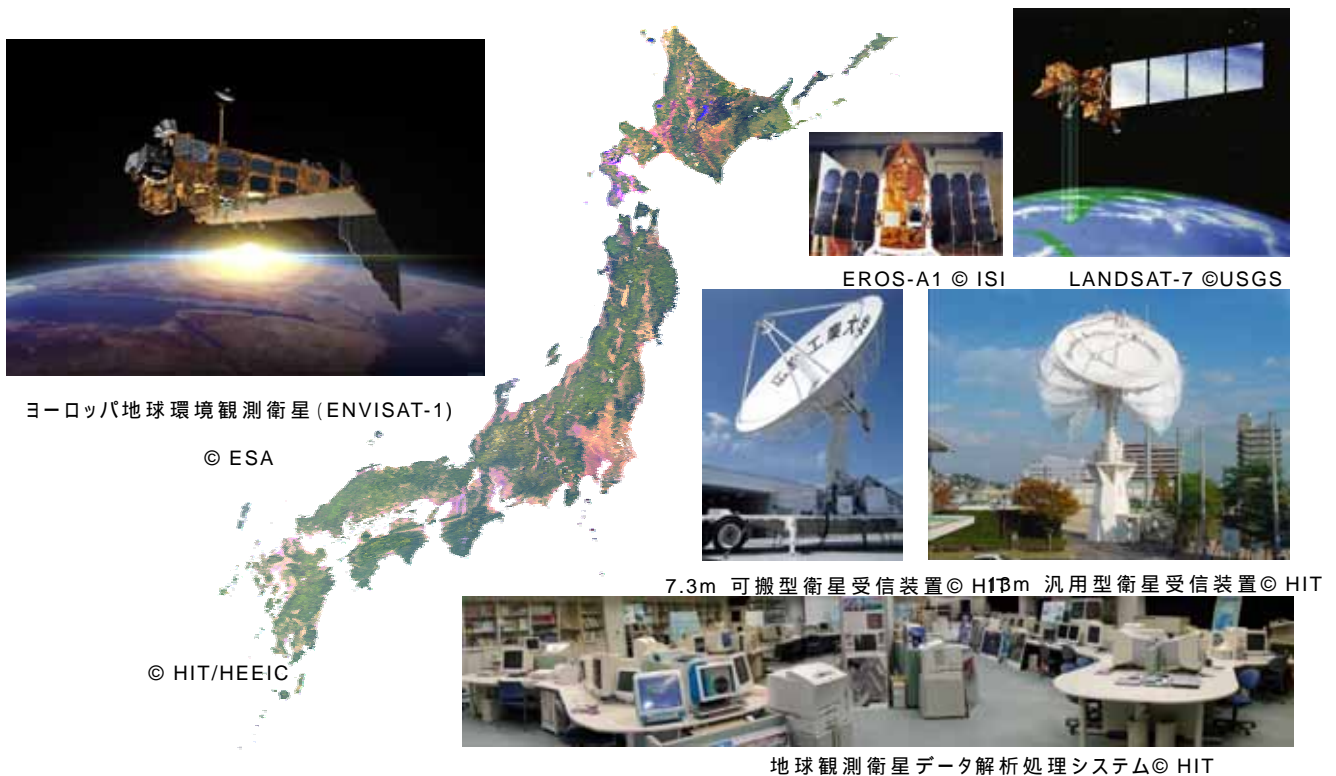


図1 広島工業大学地球観測衛星データ受信局

## 2 . 直接受信処理の地球観測衛星データ諸元

### 2 . 1 LANDSAT-7 衛星データの性能仕様

LANDSAT-7/ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) のデータ諸元は、表 1 に示すとおりである。ETM+の観測データは、15m空間分解能のパンクロマティック、30m空間分解能の可視・近赤外、短波長赤外そして 60m空間分解能の熱赤外データから構成されている。

表 1 LANDSAT-7/ETM+ characteristics.

| Band Number               | Spectral Range(microns)              | Ground Resolution(meters) |
|---------------------------|--------------------------------------|---------------------------|
| 1                         | .45 to .515                          | 30                        |
| 2                         | .525 to .605                         | 30                        |
| 3                         | .63 to .690                          | 30                        |
| 4                         | .75 to .90                           | 30                        |
| 5                         | 1.55 to 1.75                         | 30                        |
| 6                         | 10.40 to 12.5                        | 60                        |
| 7                         | 2.09 to 2.35                         | 30                        |
| Pan                       | .52 to .90                           | 15                        |
| Swath width:              | 185 kilometers                       |                           |
| Repeat coverage interval: | 16 days (233 orbits)                 |                           |
| Altitude:                 | 705 kilometers                       |                           |
| Quantization:             | Best 8 of 9 bits                     |                           |
| On-board data storage:    | ~ 375 GB (solid state)               |                           |
| Inclination:              | Sun-synchronous, 98.2 degrees        |                           |
| Equatorial crossing:      | Descending node; 10:00am +/- 15 min. |                           |

(出典 : U.S.Geological Survey)

### 2 . 2 EROS-A1 衛星データの性能仕様

EROS-A1 衛星の性能仕様は、表 2 に示すとおりである。高度 480km、降交点地方時刻は午前 10 時 30 分、回帰日数は 15 度以内の円錐型観測で 7 日、緯度 40 度での 30 度の円錐型観測で 2~7 日、45 度の円錐型観測で 2 日である。

撮像仕様は、表 3 に示すとおりである。撮像は、最大スキャニング速度 750 ライン/秒のプッシュブルーム方式を採用しており、CCD センサにより可視光領域 0.5~0.9 $\mu$ m のパンクロマティックバンドの画像取得を 12 ビットで行う。地上分解能は、高度 480km での天底点において 1.8m で、観測幅は 12.5km である。モノストリップ画像、離散的画像、モザイク画像、ステレオモノストリップ画像、ステレオ画像などの画像取得が、それぞれの画像サイズで可能である。

EROS-A1 衛星画像の直接受信処理による画像生成では、画像の取得状況をリアルタイムで確認できるクイックルック処理及び画像生成処理を行っている。画像

生成では、放射系補正された L1A 及び幾何学系補正された L1B プロダクトの生成処理を行い、受信後約 15 分程度で第 1 シーン目の画像生成が可能である。

表 2 EROS-A1 satellite performance

|  |                                       |
|--|---------------------------------------|
| Altitude   | 480 km $\pm$ 10 km                    |
| Inclination  | 97.3 $^{\circ}$ $\pm$ 0.04 $^{\circ}$ |
| Local time of descending node                                    | 10:30 a.m. $\pm$ 15 min               |
| Revisit of any point above the earth within a 15 $^{\circ}$ cone | Within 7 days                         |
| Revisit period within $\pm$ 40 $^{\circ}$ latitude               | 2 to 7 days                           |
| 30 $^{\circ}$ cone   | 2 days                                |
| 45 $^{\circ}$ cone   | 2 days                                |

表 3 EROS-A1 satellite tasking

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| Scanning                      | Pushbroom (scanning speed of 750 lines/sec max)   |
| Image sunlight conditions     | Sun-over-horizon angle<br>More than 20 $^{\circ}$ |
| Sensor type                   | CCD   |
| Spectral band                 | 0.5 to 0.9 $\mu$                                  |
| Sampling depth of images      | 12 bits   |
| Sampling depth of transmitted | 11 bits   |
| Signal to noise ratio         | <2/2,048 gray levels after quantization           |
| Ground sampling distance      | 1.8m at nadir from 480 km                         |
| Swath width                   | At least 12.5 km at nadir from 480 km             |

(出典 : ImageSat International)

### 2.3 ENVISAT-1 衛星データの性能仕様

ENVISAT-1/ASAR(Advanced Synthetic Aperture Radar)のデータ諸元は、表 4 に示すとおりである。イメージ・モードでは、空間分解能 30m で比較的細長い帯状の領域(約 485km の視野領域の中の 100km)から観測データを収集する。スキャンサー・モードでは、さらに広い帯状の領域モード(約 400km)で、空間分解能 150m で画像の取得が行われる。偏波モードでは、同じシーンの VV/HH、HH/HV、及び VV/VH 偏波における画像の取得が行われる。本学では、以上の 3 つのモードでの直接受信処理を行っている。この他には、ウェイブモードで、海洋表面波からのレーダー後方散乱における変化の測定やグローバルモードで、広い帯状の領域(約 400km)を空間分解能 1km で画像取得が可能である。

表 4 ENVISAT-1/ASAR Instrument Parameters

|   | Image              | Wide Swath           | Alternating/cross<br>Polarization | Wave             | Global<br>Monitoring |
|---|--------------------|----------------------|-----------------------------------|------------------|----------------------|
| Polarization                                | VV or HH           | VV or HH             | VV/HH ,<br>VV/VH or<br>HH/HV      | VV or HH         | VV or HH             |
| Spatial Resolution<br>along-track           | 30m                | 150m                 | 30m                               | 10m<br>10m       | 1000m                |
| across-track                                | 30m<br>( ~ 4looks) | 150m<br>( ~ 12looks) | 30m<br>( ~ 2looks)                | (single<br>look) | 1000m<br>( > 7looks) |
| Radiometric<br>Resolution                   | 2.5dB              | 2.0dB                | 3.6dB                             | 2.3dB            | 1.6dB                |
| Swath Width                                 | up to<br>100km     | 400km                | up to 100km                       | 5km<br>vignette  | 400km                |
| Ambiguity Ratio(point)<br>along-track       | 27dB               | 24dB                 | 21dB                              | 27dB             | 26dB                 |
| across-track                                | 30dB               | 24dB                 | 25dB                              | 30dB             | 24dB                 |
| Ambiguity<br>Ratio(Distrib.)<br>along-track | 23dB               | 22dB                 | 20dB                              | 23dB             | 23dB                 |
| across-track                                | 13dB               | 13dB                 | 13dB                              | 17dB             | 13dB                 |
| Radiometric<br>Accuracy(36)                 | 1.6dB              | 1.5dB                | 2.0dB                             | 2.2dB            | 1.8dB                |
| Centre Frequency                            | 5.331 GHz          |                      |                                   |                  |                      |
| Pulse Repet. Frequ.                         | 1650 to 2100 Hz    |                      |                                   |                  |                      |
| Chirp Bandwidth                             | up to 16 MHz       |                      |                                   |                  |                      |
| Antenna Size                                | 10m x 1.3m         |                      |                                   |                  |                      |

(出典 : European Space Agency)

## 2.4 低分解能衛星データの性能仕様

以上に加えて、本学では表5に示す低分解能の衛星データの受信処理も行っている。これにより、局所規模から広域規模に至る多段階的な衛星リモートセンシングデータセットの構築を定常的に実施している。

表5 低分解能衛星データの諸元

| 衛星/センサ        | 空間分解能<br>(m)      | 観測幅<br>(km) | バンド数 | 波長帯(μm)      | 回帰日数<br>(日) | 量子化ビット数<br>(bits) |
|---------------|-------------------|-------------|------|--------------|-------------|-------------------|
| NOAA-17/AVHRR | 1100              | 2800        | 6    | 0.58-12.5    | 1-2         | 8, 10             |
| TERRA/MODIS   | 250, 500,<br>1000 | 2330        | 36   | 0.405-14.385 | 1-2         | 12                |
| AQUA/MODIS    | 250, 500,<br>1000 | 2330        | 36   | 0.405-14.385 | 1-2         | 12                |

### 3 . 多段階衛星リモートセンシング

広島工業大学では、光学センサ搭載衛星の EROS-A1/NA-30、LANDSAT-7/ETM+及びマイクロ波センサ搭載衛星の ENVISAT-1/ASAR データの直接受信処理を行っている。本研究では、これらの衛星画像を用いて、航空写真及び地上での電子平板測量のデータとの統合処理を試みた。これに基づく多段階的なデジタルマッピングを提案し、その適用事例について報告する。

多段階衛星リモートセンシングでは、それぞれの衛星が持つ分解能の特性を利用し、データセットを構築する。空間的、スペクトルの、時間的、放射量的分解能の異なる複数の衛星データから、多段階的な衛星画像データセットの構築が可能である(図2)。

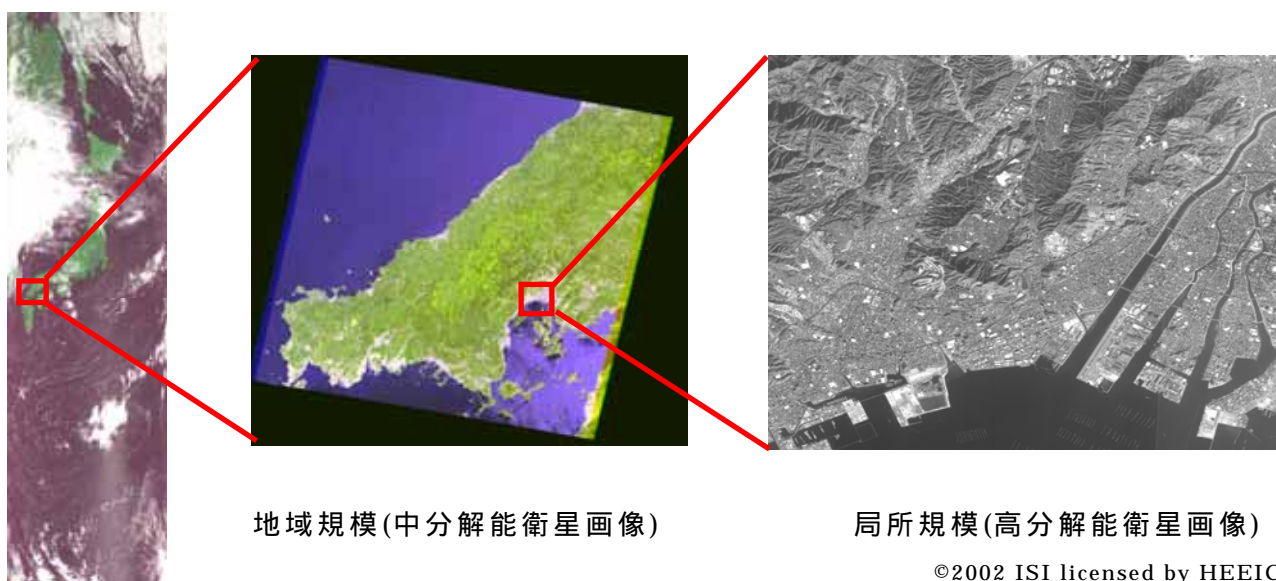


図2 多段階衛星リモートセンシングデータセットの概念

#### 3 . 1 対象地域及び使用データ

本研究では、広島市及びその周辺を対象として、表6に示す衛星画像データを使用した。また、1999年7月8日に撮影した広島工業大学周辺におけるオルソ補正処理された航空写真画像及び学内で行った電子平板測量データを使用した。LANDSAT-7/ETM+画像については、数値地図25000を基準画像として、地上基準点を用いた幾何補正を行った。この場合、リサンプリングのサイズを30mとした。EROS-A1/NA-30画像については、ステレオペア画像からオルソ補正を行った。ENVISAT-1/ASAR画像については、ディセンディング及びアセンディングで観測された画像と数値地図50mメッシュ標高を使用し、フォアショートニングの補正を行った。

表 6 使用衛星データ

| Satellite | Sensor |                         | Date       |
|-----------|--------|-------------------------|------------|
| Landsat-7 | ETM+   | ch:1,2,3,4,5,7<br>(30m) | 2003/04/10 |
| EROS-A1   | NA-30  | pan:1 (1.8m)            | 2001/05/26 |
| ENVISAT-1 | ASAR   | pan:1 (30m)             | 2005/01/28 |
|           |        |                         | 2005/02/01 |

### 3.2 オルソ補正処理

オルソ補正は、多項式変換だけでは除去できない地形の影響による歪みなどを補正するために、DEM (Digital Elevation Model) を使用して、正射投影変換することを目的としている。本研究では、EROS-A1 衛星画像について、1 時期 2 枚のステレオペア画像から DEM を生成することにより、オルソ補正を行い、正射投影画像を生成した。この場合、リサンプリングのサイズを 2.1m とした。ENVISAT-1 衛星画像については、幾何補正済みの LANDSAT-7/ETM+画像との標定処理を行い、国土地理院刊行の数値地図 50m メッシュ標高を用いて、フォアショートニング補正を行った。この場合、リサンプリングのサイズを 15m とした。

### 3.3 パンシャープン処理

LANDSAT-7/ETM+データ及び EROS-A1/NA-30 データを用いて、パンシャープン処理 (スペクトル情報を残したまま、低い空間解像度のデータを高い空間解像度のデータへリサンプリングする処理) 画像を生成した。パンシャープン画像生成のための手順としては、まず中分解能でマルチバンド画像である ETM+に対して、数値地図を基準画像として精密な幾何補正を行った。次に、幾何補正した ETM+のマルチスペクトル画像に対して、15m にリサンプリング処理した ENVISAT-1/ASAR 画像データと 2.1m にリサンプリング処理した EROS-A1/NA-30 画像データをそれぞれ、RGB-HSI 変換により H (Hue)、S (Saturation) に ETM+データ、I (Intensity) に ASAR 及び NA-30 データを割り当てたレゾリューション・マージ処理によりパンシャープン画像を生成した。

### 3.4 光学・マイクロ波データの合成処理

光学及びマイクロ波データの合成処理のために、LANDSAT-7/ETM+画像と ENVISAT-1/ASAR 画像との間で標定処理を行い、空間分解能が ASAR 画像と同じになるようにリサンプリング処理を行った。ここでは、広島市周辺を対象として、



ディセンディング及びアセンディングで撮像された 2 時期の ENVISAT-1/ASAR の  
フォアショートニング補正画像に合わせ、ピクセルサイズ 15m にリサンプリング  
処理を行った。これらをレイヤー構造化して、R に ASAR、G に ETM+ Band5、B に  
ETM+ Band1 を割り当ててカラー合成画像を生成した。赤色が強くなるほど地表  
面の起伏が激しい場所であり、市街地の中高層建築物の分布を反映している。

### 3.5 精密マッピング画像の生成

高空間分解能を有するマルチスペクトル画像の生成を目的に高空間分解能の  
EROS-A1/NA-30データとLANDSAT-7/ETM+データの観測及び受信処理を行った。取  
得された両画像から解像度融合処理によりパンシャープン画像を作成した(図  
3)。高空間分解能及びマルチスペクトル分解能特性を生かした衛星画像による  
統合処理から精密マッピング画像の生成が期待できる。



LANDSAT-7/ETM+  
2003年4月10日(広島市)



EROS-A1 HS L1B  
2003年10月2日  
©2003 ISI licensed by HEEIC



パンシャープン画像

図3 衛星画像統合処理

### 3.6 多段階リモートセンシングによるデジタルマッピング

GPS と CAD を用いた精密デジタルマッピングについての検討も行った。ここでは、GPS 測量による基線解析・点検計算・三次元網平均計算から平面直角座標値及び標高値を算定した。これらを、トータルステーションと CAD による電子平板測量のための基準点とし、二次元及び三次元 CAD データを作成した。さらに、CAD データとオルソ補正された航空写真との合成処理により精密デジタルマッピングを行った。電子平板測量で使用する基準点については、トータルステーションを用いて精度検証を行った。ここでは、水平距離 1 cm 未満を許容範囲とした。また、国土地理院から公表されている電子基準点の成果値を用いて、電子平板測量での基準点(103点)を算定した。ここでの水平距離誤差の最小値は 0m、最大値は 0.009m、平均値は 0.005m であった。広島工業大学及びその周辺の航空写真をオルソ補正した画像を使用して、測量 CAD データとの合成処理を行った。オルソ補正航空写真の 1 画素は、地上距離にして 0.499m であり、標定残差は 1 画素以内であった。これに上述のパンシャープン画像を基図として多段階的に標定及び合成処理して、デジタルマッピング画像を生成した(図 4、5、6)。

本研究では、LANDSAT-7/ETM、EROS-A1/NA-30、ENVISAT-1/ASAR の衛星画像を用いてパンシャープン処理、合成処理による衛星画像の再編集・生成を行い、それぞれの衛星データの特性を生かした画像の生成及び判読について実証した。また、オルソ補正航空写真や測量 CAD データと衛星画像を標定・合成処理することによって、地上測量・航空写真・衛星画像を用いた多段階リモートセンシングによるデジタルマッピングを提案し、その適用事例について実証することができた。

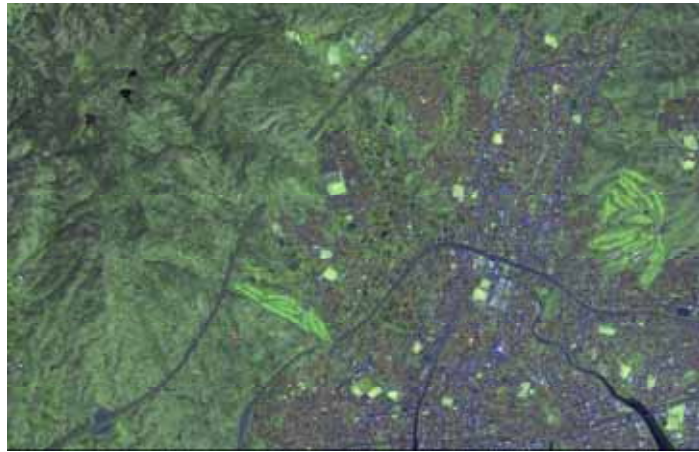


図4 パンシャープン衛星画像  
(EROS-A1/NA-30、LANDSAT-7/ETM+)

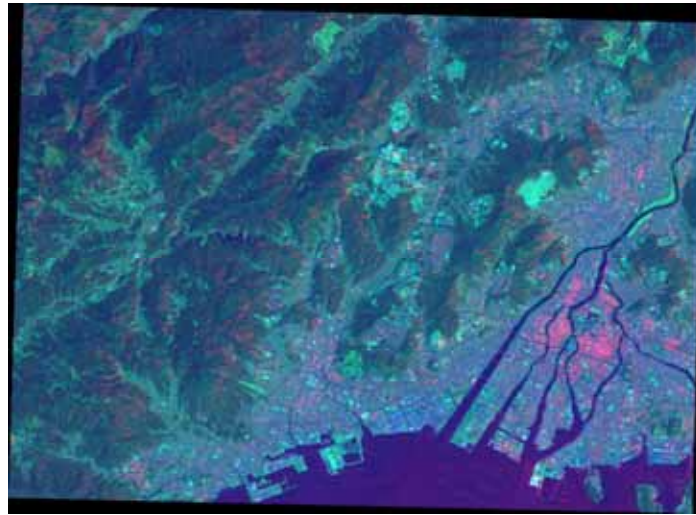


図5 光学・マイクロ波データ合成衛星画像  
(ENVISAT-1/ASAR、LANDSAT-7/ETM+)



図6 多段階リモートセンシングによるデジタルマッピング画像  
(パンシャープン衛星画像、オルソ補正航空写真、測量CAD)



#### 4 . 環境モニタリング

多段階衛星画像データセットの応用事例として、2003年3月22日に北海道地域を観測した TERRA/ MODIS データを使用し、正規化差雪指標画像 (NDSI: Normalized Difference Snow Index) を作成した (図7)。MODIS データによる NDSI は、下式に示すようにバンド4とバンド6による比演算から算出される (Hall, Riggs, & Salomonson, 1995)。

$$NDSI = (\text{band 4} - \text{band 6}) / (\text{band 4} + \text{band 6})$$

MODIS データからは、2,330km 観測幅での広域的観測に基づきデータセット構築ができる。この時期は、サハリンから北海道にかけて流氷の接岸や陸域での積雪がみられる。MODIS 雪指標画像では、NDSI の値が0.6以上の部分が積雪及び流氷として1画素500mサイズで抽出されている。この指標画像上では、積雪、流氷が雲とは明瞭に区別されている。

さらに、図8に示すように2005年2月21日観測の ENVISAT-1/ASAR データを使用し、流氷検出画像を作成した。これにより、同一地点における広域規模から局所規模までの雪氷状態を的確に把握することが可能である。

このように、多段階的な衛星画像データセットを構築することにより、広域・地域規模から局所規模での環境モニタリングが可能である。また、光学センサでは雲や大気の状態により情報抽出の精度が制約されるため、所定の期間での観測データの組み合わせや合成開口レーダデータとの併用が有効である。

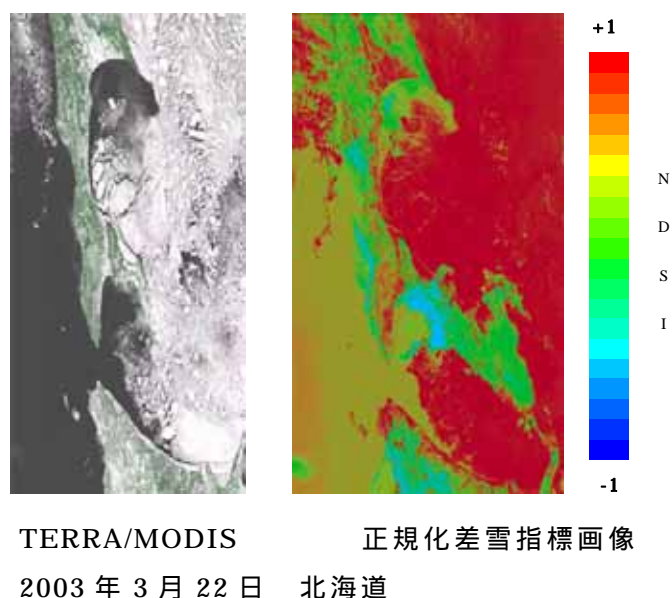
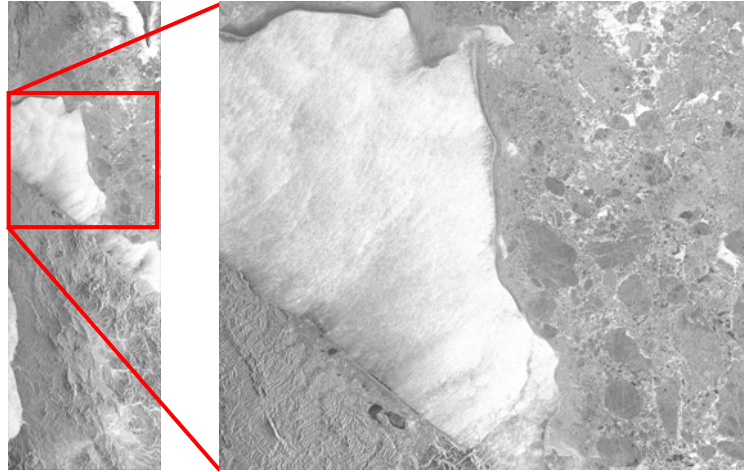


図7 正規化差雪指標画像データセット



2005年2月21日00:45:56(UTC) 北海道浜頓別町

図8 ENVISAT-1/ASAR IS2 V/V 画像

©ESA 2005, reproduced by Hiroshima Institute of Technology  
under license from Eurimage

#### 4.1 環境変化検出

時系列衛星データセットを用いて、広域・地域規模から局所規模にいたる環境・災害に関する変化検出について、以下の適用事例について試みた。

衛星リモートセンシングの利用分野として、変化検出についての検討を次の内容で行った。1) 植生変化検出：森林及び農耕地を対象とした植生指標の算出とその時系列的变化検出、2) 海岸線変化検出：侵食・堆砂に伴う変化検出、3) 土地被覆変化検出：人間活動に伴う土地被覆/利用の変化検出、4) 農作物生育変化検出：農作物の生育に伴う変化検出。本研究では、これらの変化検出に際して、利用する衛星リモートセンシングデータの特長（空間分解能、スペクトル分解能、時間分解能、放射量分解能）を考慮した定性的かつ定量的な変化検出手法について検討を行った。

本研究では、表7に示す低・中・高分解能分解の複数の衛星データから時系列衛星データセットを構築して、変化検出を行った。

表 7 使用衛星データ

| 衛星/センサ         | 空間分解能<br>(m)   | 観測幅<br>(km) | バンド<br>数 | 波長帯<br>( $\mu\text{m}$ ) | 回帰<br>日数<br>(日) | 量子化<br>ビット<br>数<br>(bits) |
|----------------|----------------|-------------|----------|--------------------------|-----------------|---------------------------|
| TERRA/MODIS    | 250, 500, 1000 | 2330        | 36       | 0.405-14.385             | 1-2             | 12                        |
| AQUA/MODIS     | 250, 500, 1000 | 2330        | 36       | 0.405-14.385             | 1-2             | 12                        |
| LANDSAT-7/ETM+ | 15, 30,<br>60  | 183         | 8        | 0.450-2.350              | 16              | 8                         |
| SPOT-4/HRVIR-X | 20             | 60, 12<br>0 | 4        | 0.50-1.75                | 26              | 8                         |
| SPOT-5/HRG-X   | 10, 20         | 60, 12<br>0 | 4        | 0.50-1.75                | 26              | 8                         |
| IKONOS         | 0.82, 3.3      | 11.3        | 5        | 0.45-0.90                | 11              | 11                        |

#### 4.2 植生変化検出

図 9 に示すように、TERRA/MODIS、AQUA/MODIS データについて、それぞれ季節ごとの 4 時期のデータを用いて、西日本地域を対象とした正規化差植生指標画像を生成し、時系列データセットを構築した。TERRA/MODIS では夏から秋の植生指標の値が高くなっており、冬から春の値が低くなっている。夏においては、山間部のみでなく田畑の農作物が生育しているため、都市部を除く陸域の植生指標の値が全体的に高くなっていることがわかる。さらに、時系列での正規化差植生指標画像データセットを構築することにより、西日本地域における季節ごとの植生の分布状況の変化を的確に把握することが可能である。

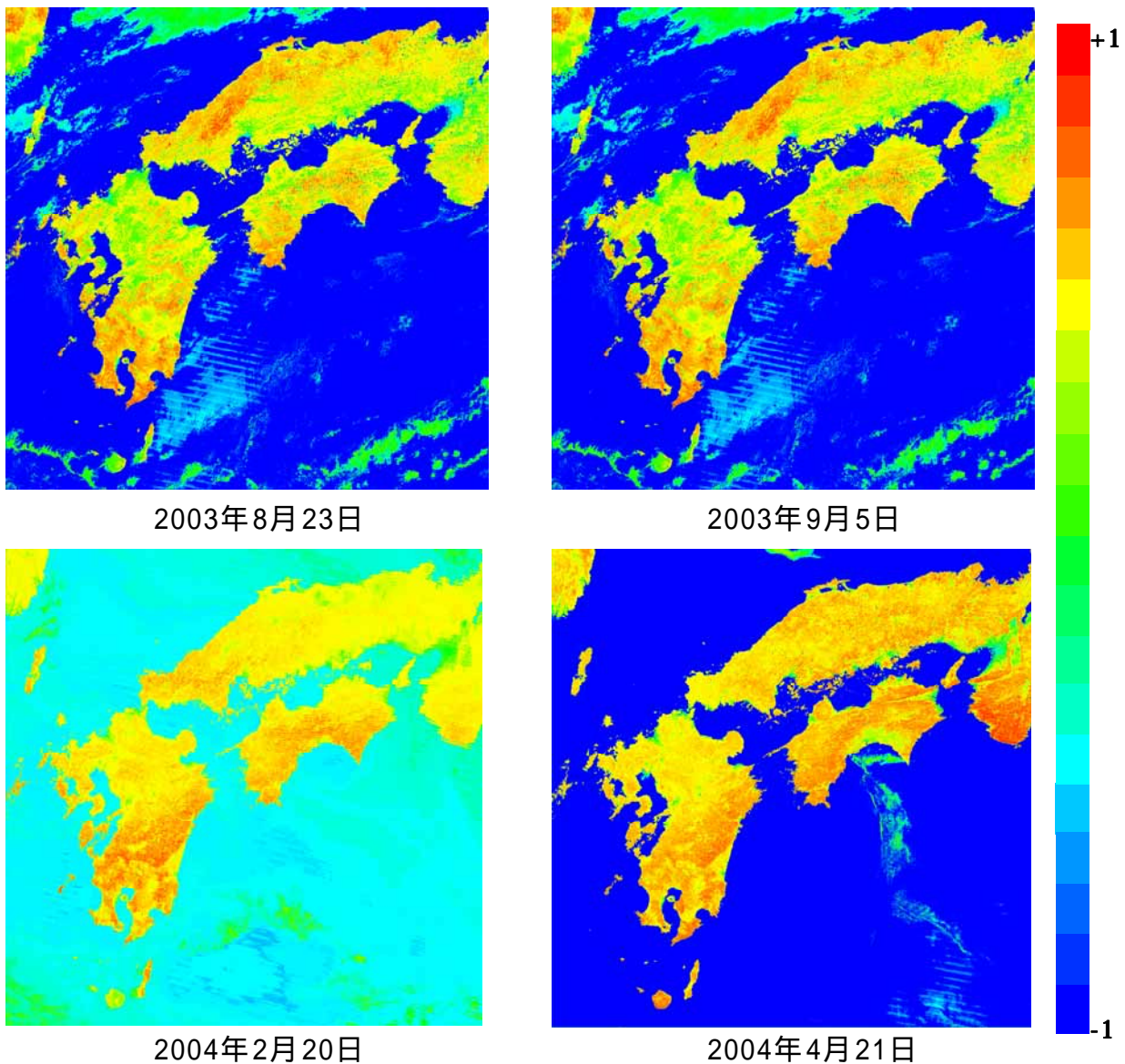


図9 植生指標時系列データセット(TERRA)

#### 4.3 海岸線変化検出

海岸線の変化を把握することは、侵食・堆砂の原因究明、将来の変化予測等において重要である。2003年4月10日、2000年5月3日観測のLANDSAT-7画像データを使用し、画像間標定処理を行い、海岸線変化検出を行った(図10(a))。対象地域である島根県大田市の西部にある静間町、五十猛町には和江港、自然海岸である逢浜海岸が広がっている。図中の赤色部は、海岸線の拡大もしくは干満の差による変化域である。一方、人工海岸である大阪湾を対象として2000年5月5日、2003年1月6日観測のLANDSAT-7画像データを使用し、同様に海岸線変化検出を行った(図10(b))。図中の赤色部は、埋め立てによる造成が行われた地域である。以上のように、複数時期の衛星データから自然海岸及び人工海岸における変化域の検出が可能である。



(a) 逢浜海岸及びその周辺



(b) 大阪湾及びその周辺

図 1 0 海岸線変化検出画像



#### 4.4 土地被覆変化検出

図11に示すように、1972年10月8日観測のLANDSAT-1/MSS、1980年2月29日観測のLANDSAT-3/MSS、2003年4月10日観測のLANDSAT-7/ETM+のLANDSAT衛星時系列データを使用して、2003年の画像を基準とした画像間標定処理を行い、広島都市圏規模での土地被覆変化検出画像の作成を行った。この画像から、沿岸部の埋立地(赤色部)や内陸部の宅地開発(橙色部)などの土地被覆変化を的確に判読することが可能である。陸域での土地被覆変化では、森林伐採による宅地開発が主であるが、場所によっては季節変化による植生変化も検出されていることを考慮に入れる必要がある。水域における土地被覆変化では、海岸線の埋立や河川の護岸整備による変化が検出されている。画像から、埋立地(赤色部)や宅地開発(橙色部)などの土地被覆変化を視覚的に判読することが可能である。本研究では、20~30年間での地方都市圏規模の土地被覆変化を検出することにより、衛星データから定期的に土地被覆変化検出を定量化することが可能であることを実証した。これにより、衛星データを用いた国土調査における土地情報データベース構築に活用することができると考えられる。



R : ETM+ BAND 7, 2003年4月10日  
G : MSS BAND 7, 1972年10月8日  
B : MSS BAND 4, 1972年10月8日

図11 土地被覆変化検出画像

#### 4.5 農作物生育変化検出

水稲は日本の基幹作物であり、その生育状況をモニタリングすることは食料管理の上で重要である。しかし、LANDSAT/TM などの光学センサは天候に左右されるため、水稲の観測に必要な時期のデータを毎年定期的を取得することは非常に困難である。そこで、マイクロ波センサ ASAR を搭載した ENVISAT-1 衛星による水稲のモニタリングを行った。

使用したデータは広島工業大学で直接受信した ENVISAT-1/ASAR の偏波モード VV/VH で観測した 2005 年 6 月 4 日から 2005 年 8 月 29 日までの 17 シーンである。解析対象地域は広島県東広島市と愛媛県松前町(図 1 2)であり、ASAR 観測に合わせて稲高、茎径などの現地調査も合わせて行った。

水稲の田植えから刈り取り時期までの ASAR データから 5x5 画素を平均して後方散乱係数( $\sigma^0$ )の変化を抽出した。その結果を図 1 3、1 4 に示す。また現地で計測した稲高の平均値を図 1 5 に示す。

田植え後の 6 月 4 日にはすでに田植えが行われているが、水面が良く見える状態であり稲の影響は少なく、主に水面からの鏡面反射により  $\sigma^0$  は低い(東広島市: V/V -16.2dB V/H -18.1dB、松前町: V/V -12.8dB V/H -16.8dB)。その後、水稲の生長により  $\sigma^0$  が増加しており最大で東広島市: V/V -3.8dB V/H -10.8dB、松前町: V/V -6.2dB V/H -9.4dB である。

図 1 6 に示した ASAR 画像は田植え初期の 6 月 4 日、稲が実った 8 月 13 日とそれらの合成画像である。合成画像上で赤く表示されて部分は水稲の生長により後方散乱が増加した箇所である。

ASAR の V/V 偏波では 7 月初旬頃から  $\sigma^0$  の増加傾向が緩やかになり東広島市では 8 月末から逆に低下傾向になっている。一方、V/H 偏波では V/V 偏波の  $\sigma^0$  があまり増加しなくなる 7 月以降も増加を続けている。これは、V/V 偏波では水稲からの  $\sigma^0$  が -4 ~ -6dB で飽和しているのに対して、V/H 偏波では収穫期においても  $\sigma^0$  が -10dB 程度であり飽和レベルにまで達していないものと考えられる。

水田における田植え期から収穫期までの後方散乱係数の変化を定量的に解析した結果、ENVISAT-1/ASAR の偏波モード VV/VH による定期的な観測が水稲の生育モニタリングに有効であると考えられる。

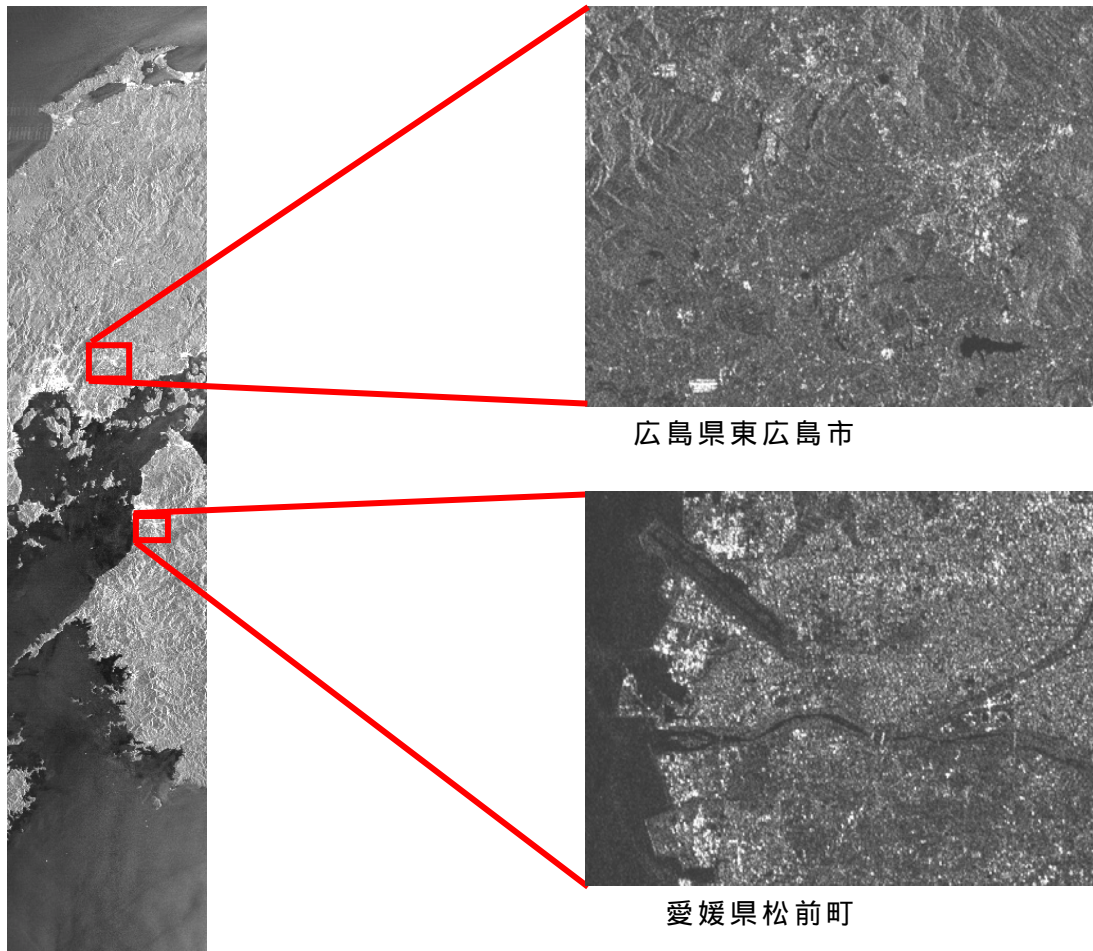


図 1 2 モニタリング対象地域

ENVISAT-1/ASAR

©ESA2004, reproduced by Hiroshima Institute of Technology  
under license from Eurimage

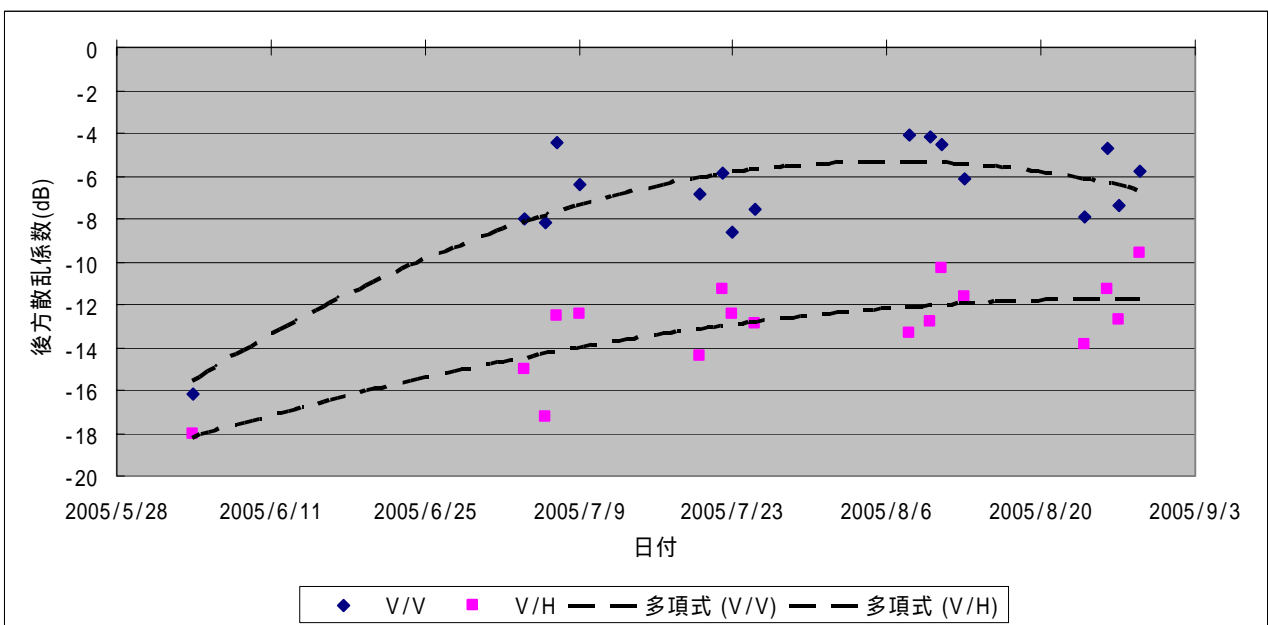


図 1 3 水稻の後方散乱係数変化 (東広島市)

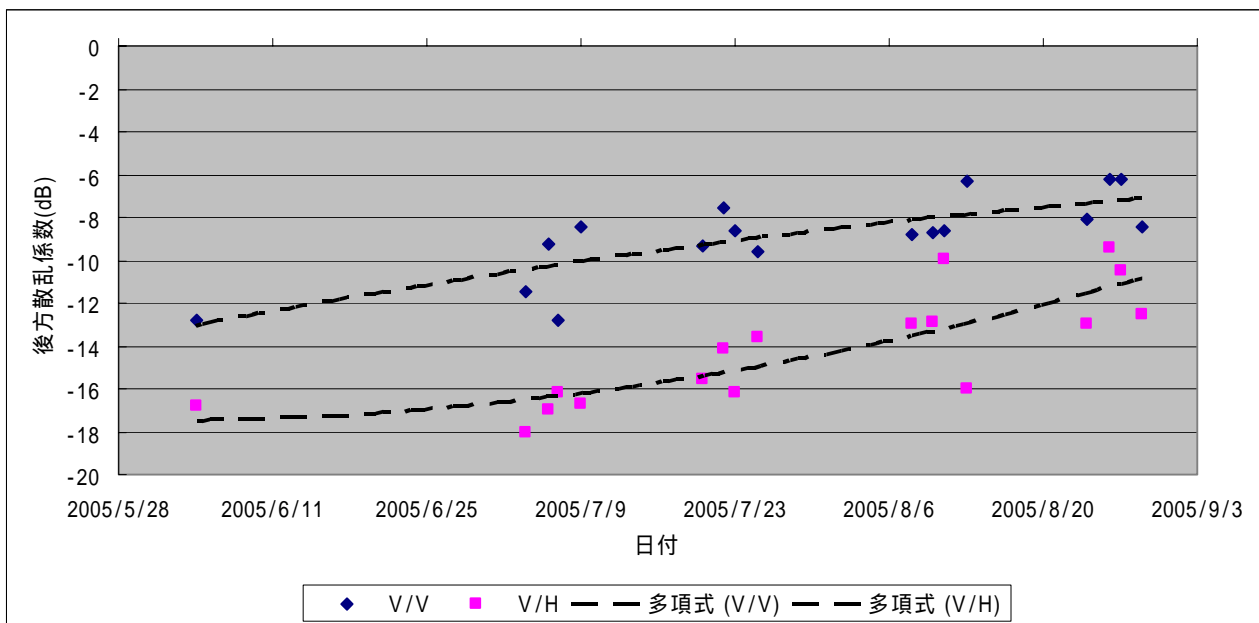


図 14 水稻の後方散乱係数変化 (松前町)

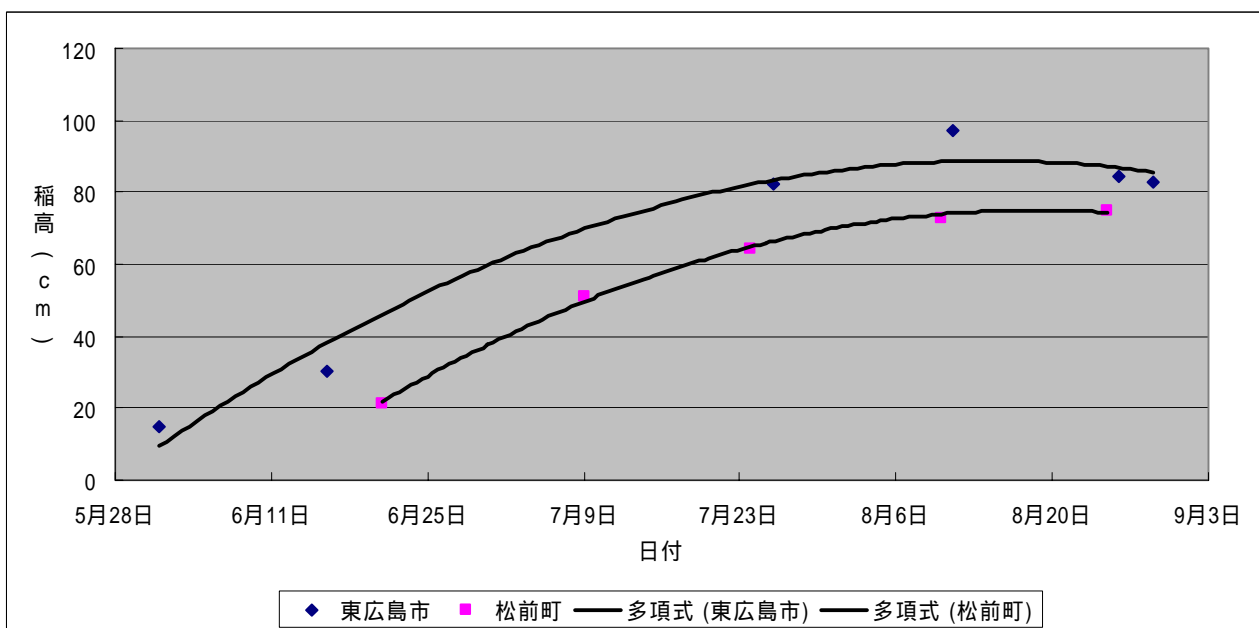
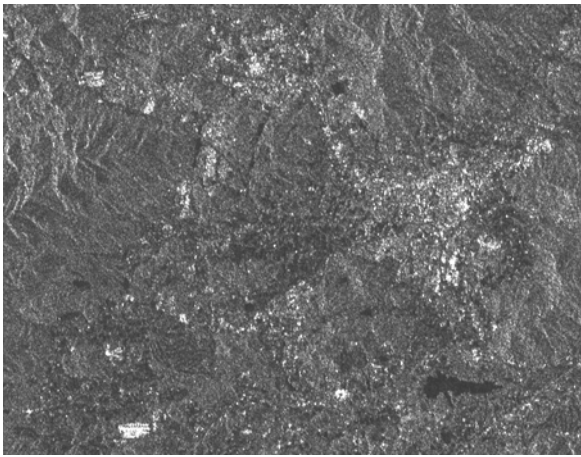
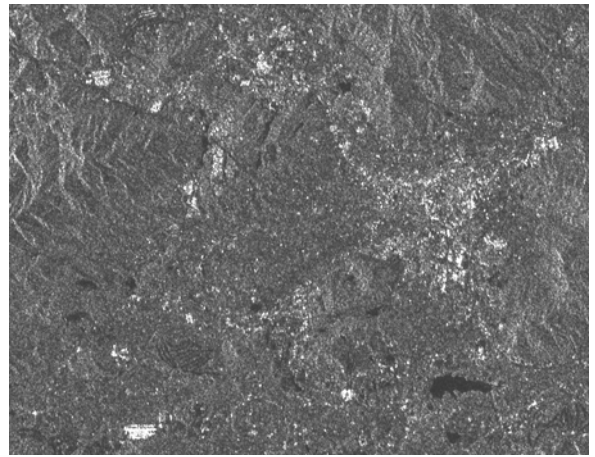


図 15 稲の高さ

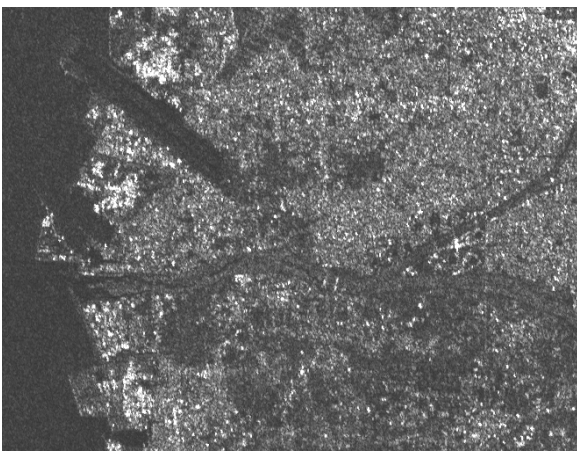




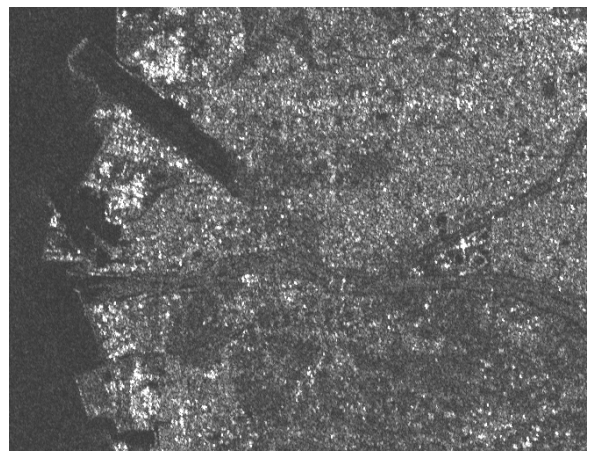
ENVISAT-1/ASAR IS5 V/V  
(2005年6月4日) 東広島市



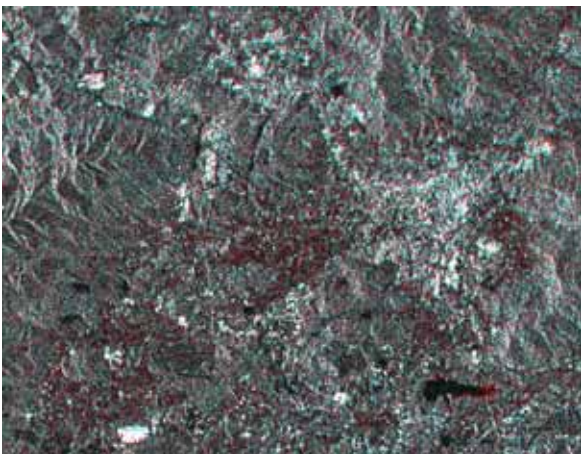
ENVISAT-1/ASAR IS5 V/V  
(2005年8月13日) 東広島市



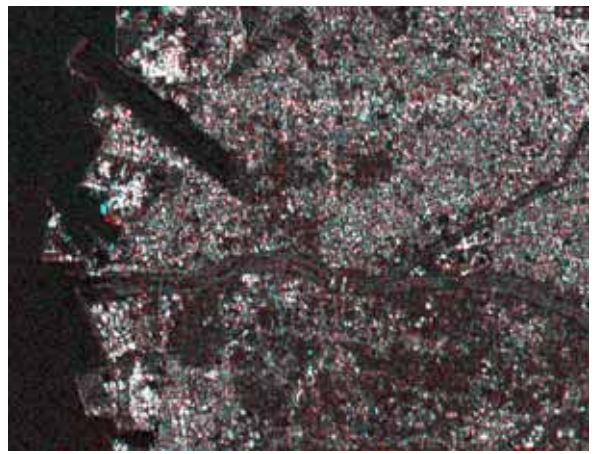
ENVISAT-1/ASAR IS5 V/V  
(2005年6月4日) 松前町



ENVISAT-1/ASAR IS5 V/V  
(2005年8月13日) 松前町



ENVISAT-1/ASAR IS5 V/V  
2005年6月4日、2005年8月13日  
合成画像 東広島市



ENVISAT-1/ASAR IS5 V/V  
2005年6月4日、2005年8月13日  
合成画像 松前町

図 16 水稻生育モニタリング画像

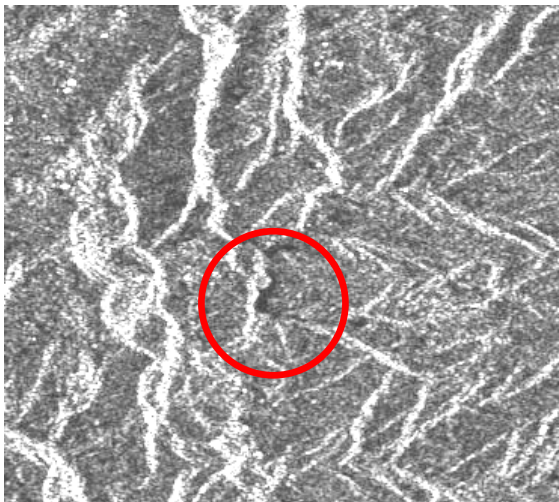
ENVISAT-1/ASAR

©ESA2004, reproduced by Hiroshima Institute of Technology  
under license from Eurimage

## 5 . 災害モニタリング

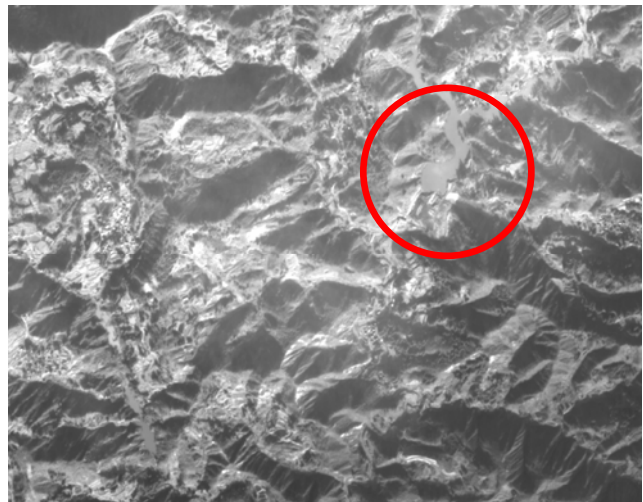
### 5 . 1 河川閉塞地の検出

一般的に、災害発生後、対象地域付近は天候が悪く、光学衛星による観測が非常に難しい状態にある。マイクロ波センサ ASAR を搭載した ENVISAT-1 衛星及び EROS-A1 衛星の観測要求によって、新潟県中越地震(2004 年 10 月 23 日)による被災地の観測と画像生成を行った(図 1 7 (a))。地震発生後、それぞれの衛星観測の要求を行った。ENVISAT-1/ASAR は回帰日数と観測モードの調整の結果、最短での観測と受信処理が行われた。EROS-A1/NA-30 は、雲による影響の結果、その観測と受信処理が行われた。図 1 7 (b)は、新潟県山古志村で発生した河川閉塞地区の検出(赤 部分)をそれぞれの衛星画像から行ったものである。衛星観測要求に基づく受信処理及び画像生成による被災地検出の可能性を示したものである。



(a)

ENVISAT-1/ASAR IS2 V/V  
(2004 年 11 月 11 日)  
©ESA2004, reproduced by  
Hiroshima Institute of  
Technology under license from  
Eurimage



(b)

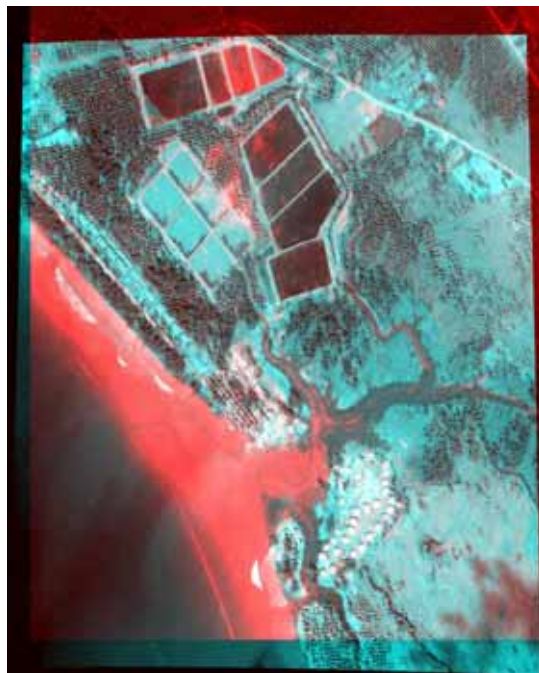
EROS-A1/NA-30  
(2004 年 12 月 7 日)  
©2004 ISI licensed by HEEIC

図 1 7 河川閉塞被災地検出画像(新潟県山古志村)

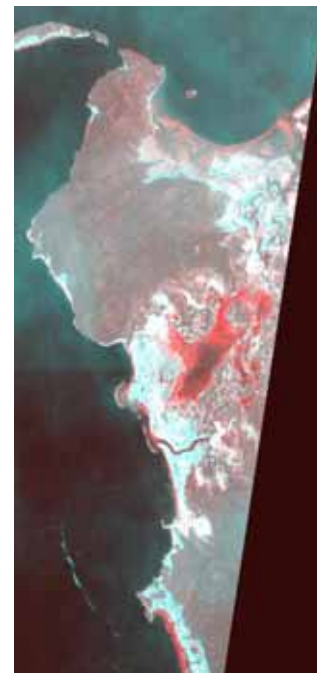


## 5.2 被災地の検出

2004年12月26日に発生したインドネシア・スマトラ島沖地震による被災地の検出を試みた。SPOT-4、SPOT-5、IKONOSによって観測されたタイ・カオラック、インドネシア・バンダアチェ、インド領ニコバル諸島カチャル島を対象として地震発生前後のデータを用いて、それぞれ画像間標定処理を行い、被災地の検出を行った。被災地が海岸線から1km以上に渡っており、海岸の消滅、低地の水没など、地震・津波による被害は非常に大きいものであることがわかる。衛星リモートセンシングデータによる災害情報生成手法の検討を行い、時系列による複数衛星データを用いた解析事例を示すことができた。また、災害発生当初、これらの被害地域や被害規模などはまったくといっていいほど把握できておらず、救難活動や支援は混乱を極めた。本研究では、災害の1~3日後に観測された衛星データを用い、衛星リモートセンシングによる迅速な被災地情報の提供の可能性を実証することができた(図18)。



(a)タイ・カオラック  
IKONOS image © CRISP 2004



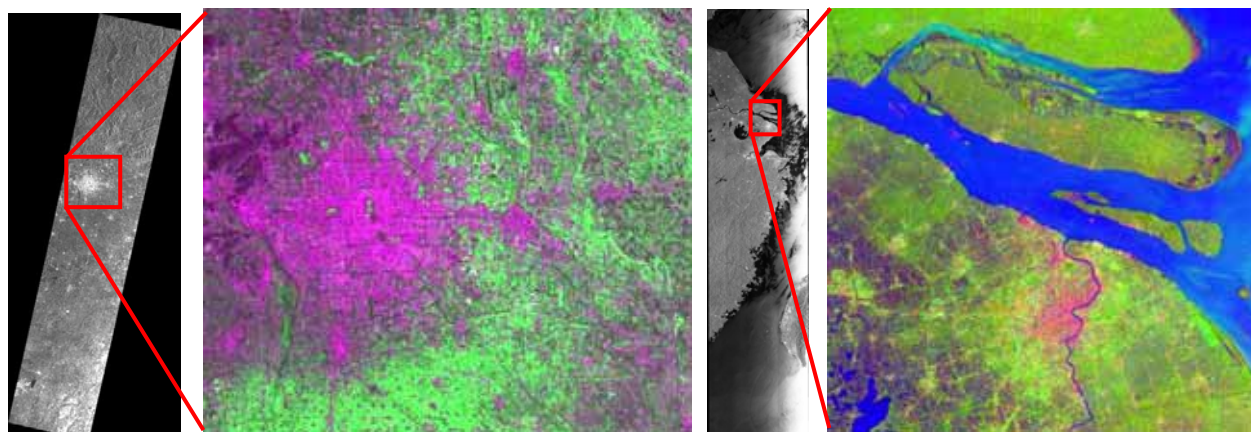
(b)インドネシア・バンダアチェ  
IKONOS image © CRISP 2004

図18 地震津波被災地検出画像

現在利用可能な複数の衛星データを用いて、時系列衛星データセットを構築し、衛星リモートセンシングデータの特徴を生かした、広域・地域規模から局所規模にいたる環境・災害に関する変化検出の有効性を明らかにすることができた。

## 6 . 光学系およびマイクロ波センサデータの融合化

光学系とマイクロ波データの特徴を生かしたデータ生成を目的として、LANDSAT-7/ETM+、ENVISAT-1/ASAR データの観測と画像生成に基づき、データフュージョン処理を行った(図19)。それぞれの画像から対象地域である、中国北京市及び上海市を抽出し、IHS変換および逆変換処理を行い、データフュージョン画像を生成した。これにより、マルチスペクトル光学データのカラー表示による地形・地物判読に加えて、マイクロ波データの地表面の凹凸や電気的特性といった両者のデータ特徴を生かした複合的な衛星画像情報を生成することができ、視覚的な判読をさらに容易にすることが可能である。



北京市街地

ENVISAT-1/ASAR IS2 V/V  
(2004年2月18日02:28:07 UTC)  
©ESA 2004, reproduced by Hiroshima  
Institute of Technology under license  
from Eurimage  
LANDSAT-7/ETM+ (2003年2月2日)

上海市街地

ENVISAT-1/ASAR WS V/V  
(2004年2月19日01:58:22 UTC)  
©ESA 2004, reproduced by Hiroshima  
Institute of Technology under license  
from Eurimage

図19 光学およびマイクロ波センサデータの融合化画像

日本列島のような山岳地域を対象とする場合、LANDSAT-7/ETM+、ENVISAT-1/ASAR データによるデータ合成処理に際しては、精密な幾何学的補正処理が必要である。SAR画像には、山間部がセンサ方向に倒れこんで見えるフォアショートニング歪みが生じている。このため、数値地図50mメッシュデータ(国土地理院発行)を衛星データの分解能30mに内挿して、対象地域内の各画素での標高を求め、フォアショートニング補正を行う必要がある。

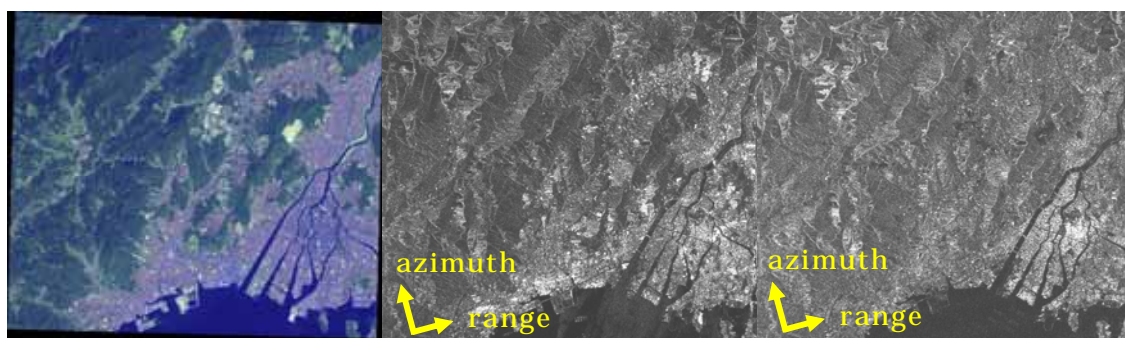
ENVISAT-1/ASARの大きな特徴として多偏波観測モードがあり、VV/HH、HH/HV、VV/VHでの観測が可能である。広島市を中心にHH/HVで観測及び受信処理したASARデータにフォアショートニング補正を行い、ETM+データと合成処理を行った。



図 2 0 (d) は、ASAR HV (赤)、ASAR HH (緑) として ASAR HV (青) をカラー合成して表示したものである。HH と HV の明るさの違いは、衛星の観測方向と構造物の角度や向きに大きく依存する。緑色に見える地域は、衛星の観測方向(レンジ方向)にほぼ垂直で HH からの後方散乱が強い地域で、観測方向に対して傾いていると紫色の HV の方が強い。

さらに、図 2 0 (e) はマイクロ波データと光学系データを用いて、ASAR HV(赤)、ASAR HH (緑) として ETM+ のバンド 5 (青) をカラー合成して表示したものである。

多偏波観測では構造物の方向、植生構造、土壌の湿度に敏感に反応するため、単偏波観測と比較して、土地被覆パターンを詳細に把握することが可能である。さらに、光学系データとの合成処理により地表面構造との比較判読が容易となる。

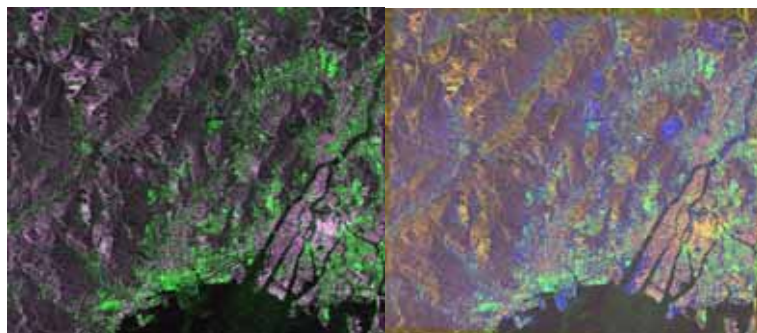


(a)  
LANDSAT-7/ETM+  
(2003年4月10日)

(b)  
ENVISAT-1/ASAR  
IS2 H/H(2005年4月8  
日)(12:59:49 UTC)

ENVISAT-1/ASAR  
IS2 H/V(2005年4月8日)  
(12:59:49 UTC)  
©ESA/Eurimage/HIT

©ESA 2005, reproduced by Hiroshima Institute of Technology  
under license from Eurimage



(d)  
R:ENVISAT-1/ASAR H/V  
G:ENVISAT-1/ASAR H/H  
B:ENVISAT-1/ASAR H/V

(e)  
R:ENVISAT-1/ASAR H/V  
G:ENVISAT-1/ASAR H/H  
B:LANDSAT-7/ETM+

©ESA 2005, reproduced by Hiroshima Institute of Technology  
under license from Eurimage

図 2 0 ENVISAT-1/ASAR 偏波画像

## 7. 衛星ステレオ画像による DEM 及びオルソ画像の作成

EROS-A1 衛星では、高分解能のステレオ画像観測が可能である。ここでは、GPS による地上基準点(GCP)を用いた標定処理に基づく、EROS-A1 ステレオ画像からの数値標高モデル(DEM : Digital Elevation Model)の抽出及びオルソ画像の生成を行った。

表 8 に示した EROS-A1 の L1A ステレオ画像データ(3 時期)の観測と画像生成を行った。基本画像サイズは 12.5km×12.5km であり、最大 45 度までのポインティング観測が可能であり、これによりステレオ観測を行うことができる。表 8 では、観測日ごとの画像取得時の方位角、ポインティング角、太陽方位角、太陽高度角、地上解像度が示されている。

図 2 1 は、2001 年 11 月 22 日に観測及び受信処理した EROS-A1/L1A ステレオ画像である。対象地域は、広島市佐伯区及びその周辺の山地を含む地域である。画像標定用基準点データを取得するため、GPS 観測を行った。標定用の GCP は、検証のために 68 点選定し、WGS-84 楕円体高で 32.650m から 701.113m の間で分布している。

EROS-A1 ステレオペア画像上での GCP の選定及び地上での GPS 観測に基づき、標定精度の検証を行った。ここでは、2 次多項式近似を適用して、最小二乗法による標定残差の算定を行った。

表 9 にその結果を示す。3 時期とも平均二乗誤差(rms)でピクセル方向が 1.0 から 1.4 画素、ライン方向が 1.3 から 2.2 画素であった。軌道方向に沿って前後に撮像するため、ピクセル方向に比べてライン方向での残差が大きくなっている。最近隣内挿法による再配列処理を所定の画素サイズで行い、画像相関のためのステレオペア画像を作成した。同一地点の検出のための画像相関処理では、格子サイズを可変にして、相関性を改善できるように配慮している。作成されたステレオペア画像に基づき、視差計算から DEM 及びオルソ画像の作成を行った。図 2 2 は、最終的に作成した 3 次元画像である。

表 8 Specification of EROS-A1 stereo pair images used in this study

| Observation date            | 26 May 2001 |       | 22 November 2001 |       | 13 May 2002 |       |
|-----------------------------|-------------|-------|------------------|-------|-------------|-------|
|                             | #1          | #2    | #1               | #2    | #1          | #2    |
| Imaging azimuth(deg.)       | 59.0        | 143.0 | 358.0            | 207.0 | 360.0       | 205.0 |
| Pointing angle(deg.)        | 23.5        | 23.6  | 25.0             | 24.5  | 35.0        | 35.4  |
| Sun azimuth(deg.)           | 32.5        | 32.3  | 64.1             | 63.8  | 30.8        | 30.4  |
| Sun elevation(deg.)         | 59.9        | 60.0  | 30.6             | 30.7  | 60.8        | 61.1  |
| Ground sampling distance(m) | 2.10        | 2.10  | 2.20             | 2.20  | 2.70        | 2.80  |

表 9 Residual error of registration (rms)

| 26 May 2001 |      |       |      | 22 Nov. 2001 |      |       |      | 13 May 2002 |      |       |      |
|-------------|------|-------|------|--------------|------|-------|------|-------------|------|-------|------|
| #1          |      | #2    |      | #1           |      | #2    |      | #1          |      | #2    |      |
| Pixel       | Line | Pixel | Line | Pixel        | Line | Pixel | Line | Pixel       | Line | Pixel | Line |
| 1.1         | 1.7  | 1.3   | 1.3  | 1.4          | 2.2  | 1.0   | 1.7  | 1.2         | 1.3  | 1.3   | 1.4  |



図 2 1 EROS-A1 ステレオペア画像 2001年11月22日：広島市佐伯区  
©2001 ISI licensed by Hiroshima Earth Environment Information Center

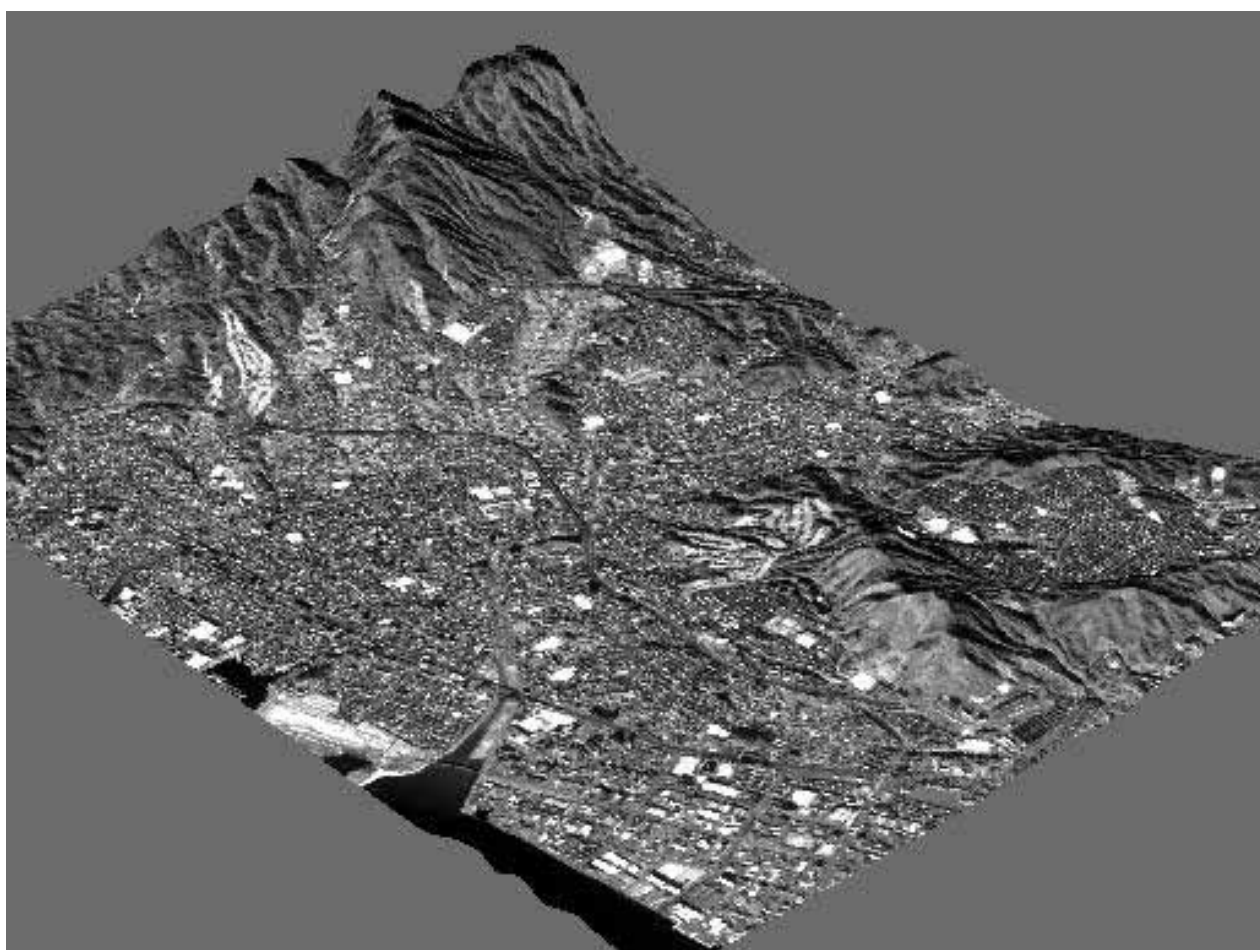


図 2 2 EROS-A1 衛星データによる 3次元画像  
©2001 ISI licensed by Hiroshima Earth Environment Information Center

## 8 . 斜面崩壊危険度推定画像の作成

衛星データから得られる土地被覆情報と GIS による地形データとを併用して、斜面崩壊の危険度を推定し、ハザードマップとして画像化することを試みた。

斜面の崩壊危険度の推定に際して、次の 2 つの要素を想定する。

- ・ 降雨による斜面水量の流量
- ・ 降雨による斜面水量の流量が一定の状態に達するまでの時間

ここでは、流出計算方法の一つである等価粗度法に基づいて、各地点ごとに上記の 2 要素を衛星データと地形データから算出する。

当該地域を対象として衛星データから得られる土地被覆情報と GIS により作成した DEM〔10m〕を用いて斜面崩壊危険度の推定画像を作成した。降雨による流量が多く、かつ到達時間が短いほど崩壊の危険度が高いと仮定する。ここで、流量は上流の流域面積で表すものとする。また、一定強度降雨下で斜面流量が定常状態に到達するまでの時間は、線形流出を仮定した追跡計算により求める。この両者をそれぞれ 6 段階の危険度にランク付けを行い、2 次元マトリクスの集計により危険度推定画像を作成した。図 2 3 は、実際に発生した土砂災害の被災地の検出と崩壊危険度推定画像の 3 次元合成画像（土砂災害被災地 赤色 ・ 危険度推定 危険度の高い地域が茶色 ・ 土地被覆変化検出 青色と黄色）である。



図 2 3 斜面崩壊危険度推定・被災地検出・土地被覆変化の 3 次元合成画像



## 9. おわりに

本研究は、平成16年度(財)日本建設情報総合センターにおける指定課題の助成を受けて実施されたものである。

1) 本研究では、地球観測衛星情報を導入したリアルタイム環境・災害監視データモデルの構築を目的として、広島工業大学地球観測衛星受信局において直接受信処理を行っている LANDSAT-7/ETM+、EROS-A1/NA-30、TERRA/MODIS、AQUA/MODIS、NOAA-17/AVHRR、ENVISAT-1/ASAR ならびに一般に提供されている SPOT、IKONOS などの衛星データを使用した。まず、各衛星データを用いた衛星情報の生成を行い、次に、空間的、スペクトルの、時間的、放射量的分解能の異なる衛星データを使用した多段階的な衛星画像データセットを提案・構築し、それらを用いた広域規模から地域・局所規模に至る環境・災害監視のためのデータモデルの構築を試み、その利用可能性について検討を行った。

2) 光学センサ搭載衛星の EROS-A1/NA-30、LANDSAT-7/ETM+及びマイクロ波センサ搭載衛星の ENVISAT-1/ASAR データを用いて、航空写真及び地上での電子平板測量のデータとの統合処理を試み、これに基づく多段階リモートセンシングを提案し、その適用事例について実証を行った。

本研究では、衛星画像データセットを構築し、オルソ補正処理された航空写真画像及び電子平板測量データを多段階的に構築する手法について検討を行った。LANDSAT-7/ETM+画像については、数値地図 25000 を基準画像として、地上基準点を用いた幾何補正を行った。EROS-A1/NA-30 画像については、ステレオペア画像からオルソ補正による精密補正を行った。ENVISAT-1/ASAR 画像については、ディセンディング及びアセンディングで観測された画像に対して数値地図 50m メッシュ標高を使用し、地形の影響を除去するためフォアショートニング補正による幾何学的補正を行った。

オルソ補正では、多項式変換だけでは除去できない地形の影響による歪みなどを補正するために、DEM (Digital Elevation Model) を使用して、正射投影変換処理を施した。本研究では、EROS-A1 衛星画像について、ステレオペア画像から DEM を生成することにより、オルソ補正を行い、正射投影画像を生成した。ENVISAT-1 衛星画像については、幾何補正済みの LANDSAT-7/ETM+画像との標定処理を行い、国土院刊行の数値地図 50m メッシュ標高を用いて、フォアショートニング補正を行った。

LANDSAT-7/ETM+データ及び EROS-A1/NA-30 データを用いて、パンシャープン処理(スペクトル情報を残したまま、低い空間解像度のデータを高い空間解像度のデータへリサンプリングする処理)画像を生成した。パンシャープン画像生成のための手順としては、中分解能でマルチバンド画像である ETM+に対して、数値地図を基準画像として精密な幾何補正を行った。次に、幾何補正した ETM+のマルチスペクトル画像に対して、リサンプリング処理した ENVISAT-1/ASAR 画像データとリサンプリング処理した EROS-A1/NA-30 画像データをそれぞれ、RGB-HSI

変換により H (Hue)、S (Saturation) に ETM+データ、I (Intensity) に ASAR ならびに NA-30 データを割り当てたレゾリューション・マージ処理によりパンシャープン画像を生成した。

光学及びマイクロ波データの合成処理のために、LANDSAT-7/ETM+画像と ENVISAT-1/ASAR 画像との間で標定処理を行い、空間分解能が ASAR 画像と同じになるようにリサンプリング処理を行った。ここでは、ディセンディング及びアセンディングで撮像された 2 時期の ENVISAT-1/ASAR のフォアショートニング補正画像に合わせ、ピクセルサイズにリサンプリング処理を行った。これらをレイヤー構造化して、カラー合成画像を生成した。

さらに、GPS と CAD を用いた精密デジタルマッピングについての検討も行った。ここでは、GPS 測量による基線解析・点検計算・三次元網平均計算から平面直角座標値及び標高値を算定した。これらを、トータルステーションと CAD による電子平板測量のための基準点とし、二次元及び三次元 CAD データを作成した。さらに、CAD データとオルソ補正された航空写真との合成処理により精密デジタルマッピングを行った。電子平板測量で使用する基準点については、トータルステーションを用いて精度検証を行った。ここでは、水平距離 1 cm 未満を許容範囲とした。また、国土地理院から公表されている電子基準点の成果値を用いて、電子平板測量での基準点を算定した。ここでの水平距離誤差の最小値は 0m、最大値は 0.009m、平均値は 0.005m であった。広島工業大学及びその周辺の航空写真をオルソ補正した画像を使用して、測量 CAD データとの合成処理を行った。オルソ補正航空写真の 1 画素は、地上距離にして 0.499m であり、標定残差は 1 画素以内であった。これに上述のパンシャープン画像を基図として多段階的に標定及び合成処理して、デジタルマッピング画像を生成した。

本研究では、LANDSAT-7/ETM、EROS-A1/NA-30、ENVISAT-1/ASAR の衛星画像を用いてパンシャープン処理、合成処理による衛星画像の再編集・生成を行い、それぞれの衛星データの特徴を生かした画像の生成及び判読について実証した。また、オルソ補正航空写真や測量 CAD データと衛星画像を標定・合成処理することによって、地上測量・航空写真・衛星画像を用いた多段階リモートセンシングによるデジタルマッピングを提案し、その適用事例について実証することができた。

3) 多段階リモートセンシングデータモデルの構築に基づき、その利用分野として、環境モニタリング及び災害モニタリングについての検討を次の内容で行った。本研究では、適用事例に際して、利用するリモートセンシングデータの特徴(空間分解能、スペクトル分解能、時間分解能、放射量分解能)を考慮した定性的かつ定量的なデータモデリング手法について検討を行った。

本研究では、広域規模から地域・局所規模に対応した低・中・高分解能分解の複数の衛星データから時系列衛星データセットの構築を行った

広域規模での雪氷指標画像データセットの構築では、北日本地域を観測した光学センサデータの TERRA/MODIS を使用し、正規化差雪指標画像を生成した。また、全天候型のマイクロ波センサデータである ENVISAT-1/ASAR を用いた流氷検

出画像の生成を行った。高緯度の観測に際して、光学センサでは雲や大気の状態により情報抽出の精度が制約されるため、所定の期間での観測データの組み合わせや合成開口レーダデータとの併用が有効であることを明らかにした。

TERRA/MODIS、AQUA/ MODIS データについて、それぞれ季節ごとの4時期のデータを用いて、西日本地域を対象とした正規化差植生指標画像を生成し、時系列データセットを構築した。TERRA/MODISでは夏から秋の植生指標の値が高くなっており、冬から春の値が低くなっている。夏においては、山間部のみでなく田畑の農作物が生育しているため、都市部を除く陸域の植生指標の値が全体的に高くなっている。さらに、時系列での正規化差植生指標画像データセットを構築することにより、西日本地域における季節ごとの植生の分布状況の変化を的確に把握することが可能である。

海岸線の変化を把握することは、侵食・堆砂の原因究明、将来の変化予測等において重要である。複数時期のLANDSAT-7画像データを使用し、画像間標定処理を行い、海岸線変化検出を行った。自然海岸における海岸線の拡大・縮小もしくは干満の差による変化域の検出の可能性を示した。一方、人工海岸を対象として、埋め立てによる造成などの海岸線変化検出を行い、複数時期の衛星リモートセンシングデータから変化域の検出が可能であることを実証した。

LANDSAT 衛星時系列データを使用して、画像間標定処理を行い、都市圏規模での土地被覆変化検出画像の生成を行った。画像から、埋立地や宅地開発などの土地被覆変化を検出及び判読することが可能である。陸域での土地被覆変化では宅地開発による変化や季節による変化の検出についての画像判読の可能性について実証した。水域から陸域への土地被覆変化では、海岸線の埋立や河川の護岸整備による変化検出について実証した。本研究では、20~30年間での地方都市圏規模の土地被覆変化を検出することにより、衛星データから定期的に土地被覆変化検出を定量化することが可能であることを実証した。

マイクロ波センサASARを搭載したENVISAT-1衛星による水稻のモニタリングのためのデータモデリングについて検討を行った。ASARのV/V偏波では7月初旬頃から $^{\circ}$ の増加傾向が緩やかになり、8月末から逆に低下傾向になることが判明した。一方、V/H偏波ではV/V偏波の $^{\circ}$ があまり増加しなくなる7月以降も増加を続けていることが明らかになった。水田における田植え期から収穫期までの後方散乱係数の変化を定量的に解析した結果、ENVISAT-1/ASARの偏波モードVV/VHによる定期的な観測が水稻の生育モニタリングに有効であると考えられる。

新潟県中越地震における被災地域検出では、地震発生前後のENVISAT-1/ASARデータを比較し、山古志村の東竹沢地区に発生した河川閉塞の検出を行った。また、EROS-A1/NA-30を高空間分解能データとして使用し、河川閉塞の検出を行った。対象地域付近は、災害発生後、現地の天候は悪く、光学衛星による観測が非常に難しい状態にあった。そのような中、マイクロ波センサであるASARを搭載したENVISAT-1衛星によって、被災地の観測に成功し、解析を行うことができた。これにより、災害地観測におけるマイクロ波センサの有効性を実証することがで

きた。

スマトラ沖地震における被災地域検出では、SPOT-4、SPOT-5、IKONOS によって観測された地震発生前後の衛星データを用い、それぞれ画像間標定処理を行い、災害被災地の検出を行った。被災地が海岸線から 1km 以上に渡っており、海岸の消滅、低地の水没など、地震・津波による被害は非常に大きいものであることがわかる。本研究では、衛星リモートセンシングによる災害地域検出をとおして、衛星データによる災害情報生成手法の検討を行い、時系列による複数衛星データを用いた解析事例を示すことができた。また、災害発生当初、これらの被害地域や被害規模などはまったくといっていいほど把握できておらず、救難活動や支援は混乱を極めた。本研究では、災害後 1~3 日の衛星データを用い、衛星リモートセンシングによる迅速な被災地情報の提供の可能性を実証することができた。

4) ENVISAT-1/ASAR と LANDSAT-7/ETM+データを用いた融合化複合情報生成では、光学系、マイクロ波データの特徴を生かしたデータ生成を目的として、LANDSAT-7/ETM+、ENVISAT-1/ASAR データによるデータフュージョン処理を行った。ASAR を基準とし、ETM+データを幾何補正し、それぞれの画像から対象地域である、中国北京市及び上海市を抽出し、IHS 変換および逆変換を用いてデータフュージョン画像を生成した。これにより、マルチスペクトルデータのカラー表示での地形・地物判読に加えて、マイクロ波データの地表面の凹凸や電気特性といった双方のデータ特性を融合した情報を生成することができ、より視覚的に判読を容易にすることが可能であることを明らかにした。

5) 高分解能衛星 EROS-A1 のステレオ画像データによる精密マッピング手法の開発を行い、数値地形画像及びオルソ（正射投影）補正画像の生成を試みた。EROS-A1 衛星の撮像方式である非同期形プッシュブルーム方式に基づく画像の幾何学的特性を明らかにして、地上基準点を導入した実用的な幾何学的補正手法を提案した。これに基づき地上基準点データセットの構築とカメラモデルによる画像標定手法を開発して、撮像時の画像方位角や入射角の違いを考慮した幾何学的歪の補正手法を提案した。ステレオペア画像の前処理として、2次多項式近似を適用しその結果、ステレオペア毎に画素方向及びライン方向での標定残差を明らかにし、これに続く再配列処理によりステレオ解析用の画像を生成する手法を提示した。これに基づき、数値地形画像及びオルソ補正画像を生成する手法の開発を行った。さらに、従来の航空写真測量によるマッピングと高分解能衛星画像によるマッピングとの合成処理に基づく精密マッピングの可能性について実証した。

6) 集中豪雨による局所的な土砂災害の発生や山岳地帯における山腹崩壊などの災害現象に対する防災対策に資するため、実際に土砂災害や山腹崩壊による被害が発生している地域を対象地域に選定して、衛星リモートセンシングと GIS による災害モニタリングシステム開発を行った。河川及び流域規模のみに対応した従



来の危険度評価に対して、時間的かつ空間的に対象地域全体にわたって危険度評価が可能であるシステム構築に基づき、土砂災害に対する斜面崩壊危険度及び山腹崩壊危険度の推定手法ならびに精密ハザードマッピングシステムの開発を行った。本研究では、斜面崩壊危険度の推定のために降雨による斜面水量の流量と降雨による斜面水量が一定の状態に達するまでの時間という 2 つの要素を考慮したシステム開発を行った。この 2 要素を衛星データから得られる土地被覆情報と、GIS データ及びステレオ画像データから作成した数値地形情報に基づき算定する手法を提案した。実際に土砂災害が発生した広島市佐伯区の適用事例では、従来の衛星データに加えて高分解能衛星を使用して、崩壊地の検出ならびに精密ハザードマップの作成を行った。特に、高分解能衛星から作成した数値標高モデルにより、従来の衛星データでは識別が難しかった住宅地周辺の危険度推定が可能であることを明らかにした。また、実際に崩壊が発生した地域と精密ハザードマップ上の危険度の高い部分がほぼ一致しているという結果を得ており、本システムの有効性を実証した。

地球観測衛星データの直接受信処理に基づき、現在利用可能な複数の衛星データを用いて、それぞれの性能及び特性を生かした多段階衛星リモートセンシングデータモデリング手法を提案した。これにより、広域規模から地域・局所規模に至るリアルタイム環境・災害モニタリングに関する実際の適用事例を示し、その有効性を明らかにすることができた。

多段階リモートセンシングデータモデルに基づくリアルタイム電子国土情報整備への利用可能性に貢献できるものと確信する次第である。

## 参考文献

- 1) 菅ほか: 高分解能 EROS-A1 ステレオ画像による DEM 生成と 3 次元衛星画像作成に関する研究, 土木学会第 57 回学術講演会講演概要集, 2002 年 9 月.
- 2) 菅ほか: 多段階衛星リモートセンシングによる環境情報の生成に関する研究, 土木学会第 58 回年次学術講演会 pp471-472, 2003 年 9 月
- 3) 菅ほか: ENVISAT-1/ASAR データの日本での初受信画像とその利用について, 土木学会第 59 回年次学術講演会 pp509-510, 2004 年 9 月
- 4) 菅ほか: 多段階リモートセンシングによるデジタルマッピングに関する研究, 土木学会第 60 回年次学術講演会 pp507-508, 2005 年 9 月
- 5) 菅ほか: 衛星リモートセンシングによる変化検出に関する研究, 土木学会第 60 回年次学術講演会 pp517-518, 2005 年 9 月