11-8 人工衛星画像を用いた海岸線変化抽出による 2004年スマトラ沖地震・インド洋津波に伴う隆起・沈降域の把握 Coastal changes due to uplift and submergence caused by 2004 Indian Ocean Earthquake

国土地理院 飛田 幹男, 水藤 尚

Mikio Tobita, Hisashi Suito, Geographical Survey Institute

1. 人工衛星画像による海岸線変化抽出

2004年スマトラ沖地震前と地震後の人工衛星画像を用いて海岸線変化を抽出し,震源断層沿いの 島々について,隆起・沈降域を調査した(第1図)。



第1図 人工衛星画像解析によって判明した 2004 年(一部 2005 年)スマトラ島沖地震に伴う隆起沈降域 Fig 1 Uplift and submergence caused by 2004 (partially 2005) Sumatra Earthquake derived from satellite images

2. 海岸線変化抽出例

合成開口レーダー(SAR)のrawデータを国土地理院が解析処理した例を示す。 水色で示した部分は,地震後に反射強度が増加した地域である。 赤色で示した部分は,津波後に反射強度が減少した地域である。 地震の断層運動により生じた地盤の隆起・沈降を示していると考えられる。



第2図 小アンダマン島の離水(隆起)。 RADARSAT 衛星(カナダ)

Fig.2 Emergence due to uplift in the Little Andaman island. RADARSAT, Canada



第4図 南センチネル島の離水(隆起)。 RADARSAT 衛星(カナダ) Fig.4 Emergence due to uplift in the South Sentinel island. RADARSAT, Canada



第3図 アンダマン諸島北西海岸 インタビュー島の離水(隆起)。 Fig.3 Emergence in the Interview island, Andaman islands. RADARSAT,



第5図 大ニコバル島の沈水域及び津波遡上域。 Fig.5 Submergence and inundation in the Great Nicobar island. ERS1/2, ESA



第6図 シムルエ島の離水。 隆起量は最大約 1.5m。RADARSAT 衛星(カナダ) Fig.6 Emergence due to uplift in the Simeulue island. RADARSAT, Canada

- 第7図 スマトラ島北西部の沈水域及び津波遡上域。 RADARSAT 衛星(カナダ)。赤色数字が津波の遡上距 離, 橙色数字が沈水距離を示す。
- Fig.7 Submergence and inundation in the NW Sumatra. RADARSAT, Canada. Red and orange figures denote inundation and submergence distances.

3. 海岸線変化抽出の原理

海岸線変化抽出に多くの利点を持つ(第5節参照)合成開口レーダー(SAR)画像を用いた海岸線 変化抽出の原理を紹介する。

まず,地震前後のレーダー画像を 0.5 pixel 以内の精度で精密位置合わせを行った(干渉 SAR の解 析技術を流用)。

次に,光の3原色の加色混合の原理を利用した。通常(第1・2表の元画像),反射強度が強い陸 域が白く表現されるが,今回は,白の変わりに赤(Red:地震前の画像),及び,水色(Green+Blue: 地震後の画像)を割り当てた(色変換)。色変換後の地震前後の画像の加色混合を行うと,変化のな い陸域では,赤(R)と水色(G+B)が混ぜ合わさり,白(R+G+B)になる。

地震後に海(あるいは滑らか)に変化した場所は赤く,また,陸に変化した場所は水色に表現され, 海岸線変化が抽出可能である。



第1表 反射強度変化に注目した海岸変化・津波遡上域分布の抽出 沈水の場合 スマトラ島西岸 Sudhen 岬 Table1 Change detection by additive color process. Submergence case in cape Sudhen, Sumatra.

第2表 反射強度変化に注目した海岸変化分布の抽出 離水の場合 アンダマン諸島北センチネル島 Table2 Change detection by additive color process. Emergence case in N. Sentinel island, Andaman islands.

	地震前 2004/06/03 レーダー画像	地震後 2004/12/30 レーダー画像	比較図(色の混合後) 離水域分布
元画像			下の画像で海岸付近の水色(G+B)のところが, 地震後に離水した場所です。主な原因は, 断層 運動に伴う隆起と考えられます。
色変換後の画像			
潮位	88 cm	25 cm	

- 4. 概要
 - (1) 小縮尺地図の海岸線を更新する必要が生じるほどの大きな海岸線変化が見られる。
 - (2) アンダマン諸島では、多くの場所で隆起が見られる。特に、西側が数m隆起し、島全体が東 向きに傾斜するような変動が見られる。
 - (3) ニコバル諸島は、全体的に沈降が見られる。
 - (4) スマトラ島北部西岸は、沈降が見られる。
 - (5)シムルエ島は、北西側半分で隆起が見られる。
- 5. レーダー (SAR) 画像の特徴

一般的に光学画像はカラーで,分解能が高く,目で見たままなので,理解しやすく利便性が高いが, 専門家にとっては,レーダー画像には多くの長所があり,光学画像とレーダー画像の両方の特徴をう まく併用することで,実用的な海岸線変化抽出が可能である。

レーダー画像の長所は、以下のとおりである。

- 1) 雲に影響されず, 確実に画像が取得できるため, 災害前の有効な画像が存在する可能性が高い。
- 2) 1シーンの観測面積が大きいため、災害の全体像を把握するのに適している。
- 3)同一衛星位置から撮影した画像が多く、災害前後の画像比較が容易である。
- 4) 散乱強度(反射強度) 画像を適切に利用すれば、災害前後の変化抽出が容易である。
- 6. 詳細情報の公開

衛星データ諸元及び潮位等,詳細については,次のURL 1),学会講演会 2),談話会 4)を参照 していただきたい。本衛星画像解析に基づく断層モデルは,3)で発表される予定である。

- 1) URL: http://cais.gsi.go.jp/Research/topics/topic041226/index.html
- 2)学会講演会:飛田他(2005/5/23 講演予定):衛星レーダー画像によるスマトラ島北部の海岸線変化・ 津波遡上域の把握,地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会講演要旨, J113-009.
- 3)学会講演会:水藤他(2005/5/23 講演予定):衛星画像に基づく 2004 年スマトラ沖地震の断層モデル,地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会講演要旨, J113-010.
- 4)国土地理院談話会:飛田幹男(2005/6/3 講演予定):衛星レーダー画像による 2004,2005 年スマト ラ沖地震に伴う隆起沈降域の把握 – アンダマン諸島,ニコバル諸島,シムルエ島,ニアス島,ス マトラ島–
- 7. 断層モデル

津波の数値シミュレーションで使用されている断層モデルの中から,海洋研究開発機構(JAMSTEC) (http://www.jamstec.go.jp/jamstec-j/sumatra/3_2/Fig1.html)の断層モデルを参考にして、5枚の断層面 を想定した。続いて SAR 画像から得られた隆起沈降の分布(第1図)に整合するように,断層の位置, 走向,すべり角,断層の長さ,幅を調整した。深さおよび傾斜角は山中氏の結果を用いている。すべ り量は断層面1,2によるすべりの合計がモーメントマグニチュード Mw=8.8 となるように調整して, 次に全断層のすべりの合計が Mw=9.0 となるように残りの断層面のすべり量を調整した。(第8図)



 2: Lat=
 5.20, Lon=
 93.80, D=
 10.0km, L=200.0km, W=110.0km, Strike=
 325.0, Dip=
 8.0, Rake=
 90.0, Slip=
 7.50 (m), Mw=8.40

 3: Lat=
 6.80, Lon=
 92.70, D=
 10.0km, L=300.0km, W=100.0km, Strike=
 340.0, Dip=
 8.0, Rake=
 100.0, Slip=
 13.00 (m), Mw=8.65

 4: Lat=
 9.60, Lon=
 91.80, D=
 10.0km, L=150.0km, W=120.0km, Strike=
 50, Dip=
 8.0, Rake=
 105.0, Slip=
 6.50 (m), Mw=8.30

 5: Lat=
 11.10, Lon=
 91.95, D=
 10.0km, L=300.0km, W=120.0km, Strike=
 15.0, Dip=
 8.0, Rake=
 120.0, Slip=
 5.00 (m), Mw=8.42

衛星画像解析:飛田幹男 断層モデル:水藤尚

第8図 SAR 画像比較から得た隆起沈降域を反映した断層モデルによる上下変動 Fig.8 Vertical displacement of a dislocation model based on the radar images.