

## ASTER 画像を用いたタイ南部の津波被害地域の検出

Detection of Tsunami Affected Areas in Southern Thailand Using Terra-ASTER Images

山崎文雄<sup>1</sup>, 胡内健一<sup>2</sup>

Fumio YAMAZAKI<sup>1</sup> and Ken'ichi KOUCHI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 千葉大学都市環境システム学科, Dept. of Urban Environment Systems, Chiba University

<sup>2</sup> 日本工営(株) 交通運輸部, Transportation Planning Department, Nippon Koei Co., Ltd.

**SUMMARY:** This paper summarizes the results of the detection of tsunami affected areas in southern Thailand using Terra-ASTER satellite images with 15m resolution. The areas were hit by a series of tsunamis caused by the 26 December, 2004 North Sumatra Island Earthquake. The normalized difference vegetation index (NDVI), soil index (NDSI), and water index (NDWI) were employed as the indicators for the detection. The investigation was carried out in two cases; one is using only the data acquired after the tsunami, and the other is using both data acquired before and after the tsunami. Consequently, the thresholds of index differences were set up for the detection of tsunami-affected areas. In addition, since landform is also a significant factor, Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) data were employed to assess the relationship between tsunami-affected areas and landform characteristics.

### 1 はじめに

2004年12月26日00:58(UTC), スマトラ島沖を震源とする巨大地震が発生し、インド洋沿岸の広範な地域において、史上最大の津波災害を引き起こした。地震・津波の発生を受け、ただちに世界中の防災・リモートセンシング等に携わる機関や専門家が情報収集を開始した。大規模災害が発生した際、災害情報を入手するための人工衛星データの利用は、比較的最近始まったといえよう。とくに、都市域の地震災害については、よほど大きな被害の広がりがない限り、従来の15-30m程度の中解像度の光学センサでは、把握が困難であった[1]。ところがごく最近、60cmから1mの高解像度センサを有する人工衛星が次々に打ち上げられ、都市域の建物倒壊などの被害についても、これらによって詳細に把握することが可能になった[2, 3]。

一方、インド洋大津波のような広域災害における被害状況を把握しようとする場合、局地的な被害状況が詳細に観察できる高解像度衛星画像に加えて、より広域を捉えた中解像度衛星画像を用いて、被災エリアを把握することが災害対応のために有効と考えられる。本研究で用いるASTERは、米国のTerra衛星に搭載された日本の高性能光学センサであり、可視領域から熱赤外領域までに14バンドを有する。その解像度は可視・近赤外領域が15m、短波長赤外領域が30m、熱赤外領域が90mである。

本研究では、インド洋大津波で沿岸域が壊滅的な被害を受けたタイ南部パンガー県のカオラック周辺を対象として、津波前後にASTERで観測された画像を用いて、津波被災地域の自動抽出が可能かどうかについて検討する。この地域を選んだ理由は、筆者らが津波から2週間後と2ヵ月後の2度にわたって現地調査を実施した経験があること[4]、および高解像度衛星画像を用いた津波遡上域の目視判読結果がタイ政府機関より公表されていたことである[5]。ASTER衛星画像から、植物の活性度を表す正規化植生指数(NDVI)などを算出し、1時期の画像におけ

る遡上域内・域外での差異を比較するとともに、津波前後の2時期における変化などを検討する。さらに、世界的な標高データである Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) データと組み合わせて、津波遡上と地形との関係についても検討する。

### 2 ASTER 画像と検討方法

パンガー県のカオラック周辺を写した雲の少ない ASTER 画像としては、津波前は 2002/11/15 のものが、また津波後については、5日後の 2004/12/31 および約6週間後の 2005/2/8 のものが得られている。これらのフォーンスカラー画像を Fig. 1 に示す。図中の黄線は、高解像度衛星 IKONOS 画像 (解像度 1m) を用いて目視判読した浸水域を表している[5]。フォーンスカラー画像は、植物の活性度が強いほど赤色が鮮やかになるように表示した表現法であり、津波前後の画像を目視比較することにより、沿岸域の植生の変化が推定できる。津波前の画像では、沿岸域において内陸部と同様に赤色が鮮やかなのに対し、津波後の画像では沿岸域の赤色が失われており、この顕著な変化が津波遡上線を境にして観察できる。

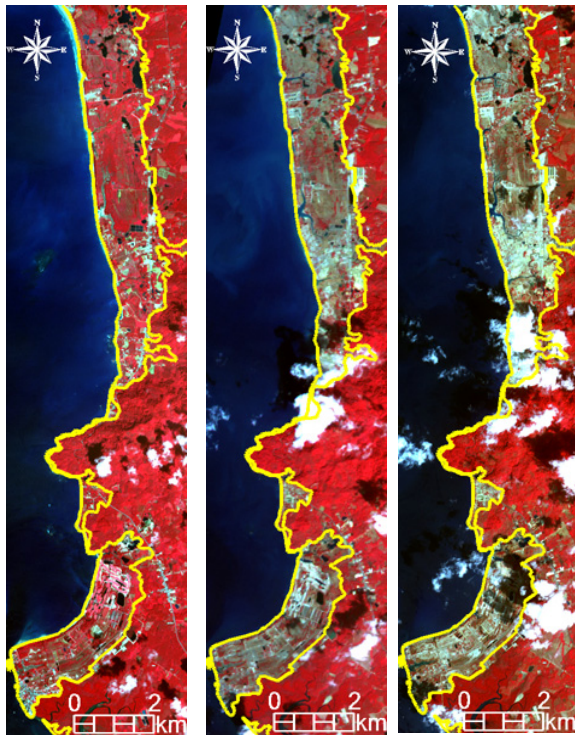
次に、ASTER 画像の異なるバンド間の反射率から、正規化植生指数(NDVI)、正規化土壌指数(NDSI)、正規化水指数(NDWI)を以下の式で計算する。

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R}) \quad (1)$$

$$\text{NDSI} = (\text{SWIR} - \text{NIR}) / (\text{SWIR} + \text{NIR}) \quad (2)$$

$$\text{NDWI} = (\text{R} - \text{SWIR}) / (\text{R} + \text{SWIR}) \quad (3)$$

ここで、R は可視赤色バンド、NIR は近赤外バンド、SWIR は短波長赤外バンドの反射率を表している。NDVI は植生の活性度を表す標準的な指標であり、1.0 に近いほど植生が強いことを示す。NDSI と NDWI は、この考えを土壌分や水分の多さを表すものに拡張したものである[6]。



(a) 2002/11/15 (b) 2004/12/31 (c) 2005/02/08  
Fig. 1. ASTER false color composite images of Khao Lak.

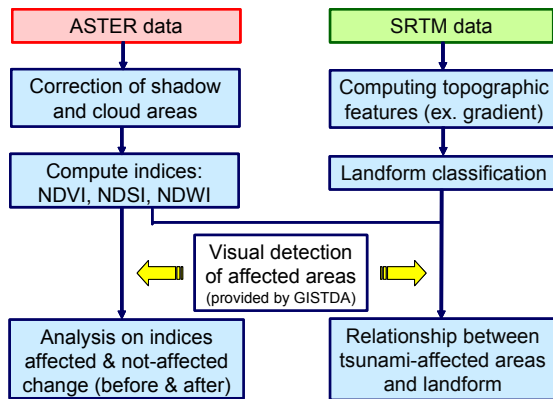


Fig. 2. Flowchart of the study.

本研究の検討の流れを Fig. 2 に示す。ASTER 画像には雲や雲による地上への影が一部に存在する。検討対象範囲をできるだけ確保するために、本研究では、まず雲や雲による影の部分を実動抽出し、該当するピクセルの値を周辺の影響されていないピクセルの値の平均を用いて置き換えるという操作を行う。この補正画像を用いて、NDVI, NDSI, NDWI の 3 指数を津波前後の画像に対して求める。これらの指数の地域分布を、タイ空間情報リモートセンシング局(GISTDA)が解像度 1m の IKONOS 衛星画像から目視判読して求めた津波遡上限界線と比較する。また、90m グリッドの SRTM 標高データ[7]に基づいて地形分類を行い、地形と津波遡上域との関係について検討する。

### 3 雲と雲影の補正

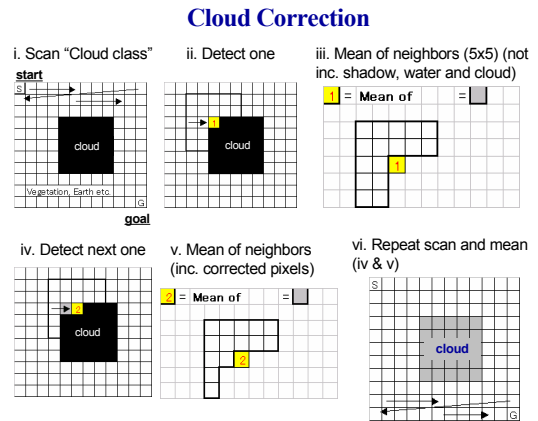
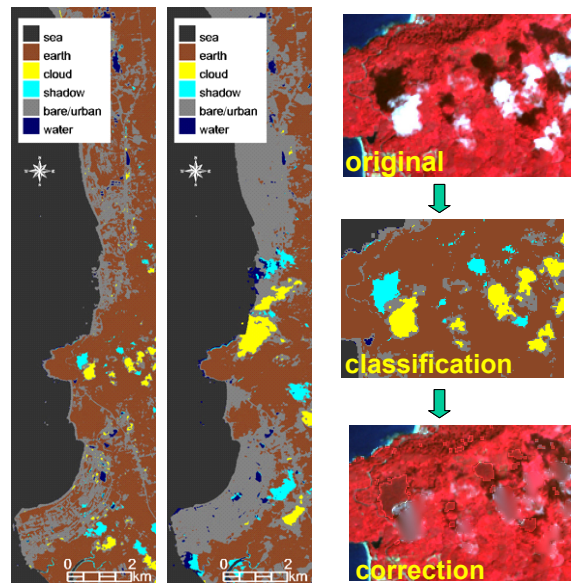


Fig. 3. Method of cloud correction



(a) 2002/11/15 (b) 2004/12/31 (c) Corrected  
Fig. 4. Classification result (yellow: cloud, cyan: shadow) and the correction of cloud and shadow areas.

Fig. 1 に示すように、ASTER 画像には雲や雲による影が存在するので、これを比較的簡易な方法で補正することを試みる。可視および近赤外の 3 バンドを用いて、最尤法により、海、雲、雲影、水、市街地、その他の地表の 6 クラスに分類した。次に、ここで雲に分類されたピクセルの値を、周辺の影響されていないピクセルの値の平均を用いて、次々に置き換える操作を Fig. 3 に示すように行った。また、雲影についても、ほぼ同様のやり方で補正を行った。

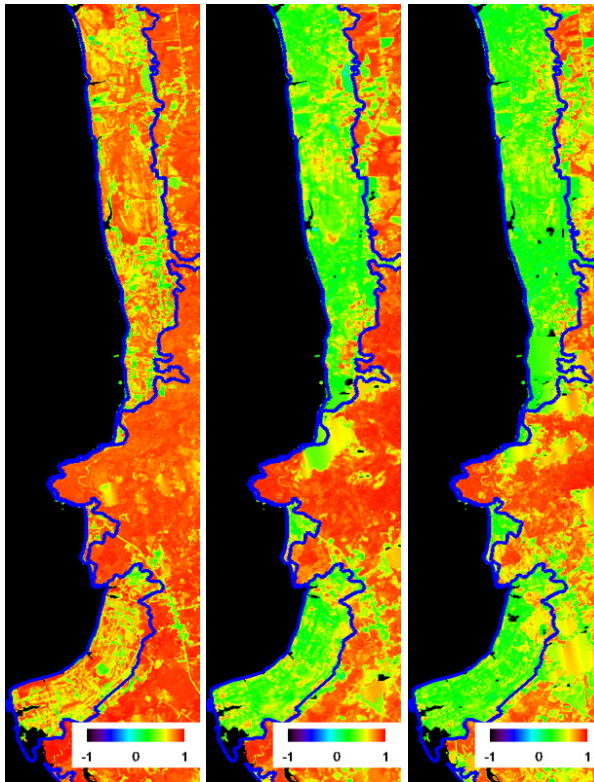
津波前後の画像に対する土地被覆分類結果と、雲および雲影の補正を行った結果の一部を Fig. 4 に示す。Fig. 1 と比較すると、雲および雲影の検出はうまくできていることが分かる。補正については、比較的簡易なやり方であるので、それほど完璧には雲や雲影の影響は取り除けてはいないが、遡上限界付近の検討対象範囲をできるだけ確保するという目的は、果たしているものといえよう。

### 4 NDVI, NDSI, NDWI の算出

上記の方法で補正した画像を用いて、正規化植生指数

(NDVI), 正規化土壌指数(NDSI), 正規化水指数(NDWI)を算出した. NDVI に対する結果を Fig. 5 に示す. これより一見して, 津波遡上域内においては, 津波前は海岸線近くまで植生の活性度が高かったのに対し, 津波後は活性度が大きく低減していることが読みとれる. すなわち, GISTDA による高解像度衛星からの目視判読結果は, ASTER 画像の分析結果とよく対応しているといえる.

NDSI と NDWI についても, ほぼ同様の大きな変化を津波前後の画像から読みとることができた. すなわち, 津波後には, 津波遡上域内においては, 土壌分および水分の顕著な増加を見ることができた.



(a) 2002/11/15 (b) 2004/12/31 (c) 2005/02/08  
Fig. 5. Computed NDVI for ASTER images of Khao Lak

### 5 指数値の津波浸水域内外における比較

津波後の1時期の画像を用いて, 3つの指数の値が, 津波浸水域の内外においてどの程度異なるかを調べてみる. 浸水域内外での各指数の累積分布を Fig. 6 に示す. これより, 津波5日後の2004/12/31の画像および6週間後の2005/2/8の画像とともに, 浸水域の内外で指数値に大きな差が見られる. たとえばNDVIについては, 2004/12/31の画像では0.530において, 津波前後2本の累積分布の差が最大となり, 2005/2/8の画像においては0.460でこの差が最大となる. もし1つの閾値で領域を二分すると, 累積分布に重なりがあるために多少の誤差が生じるが, 大まかに浸水域を判断する目安として, この閾値は使えるものと思われる. NDSI と NDWI についても, ほぼ同様に浸水域の内外で指数値に大きな差が見られる.

一方, 津波5日後の分布と6週間後の分布では, それほど大きな違いは見られない. この間の気象条件などによって, 各指数の累積分布が多少移動はしているが, 津波によ

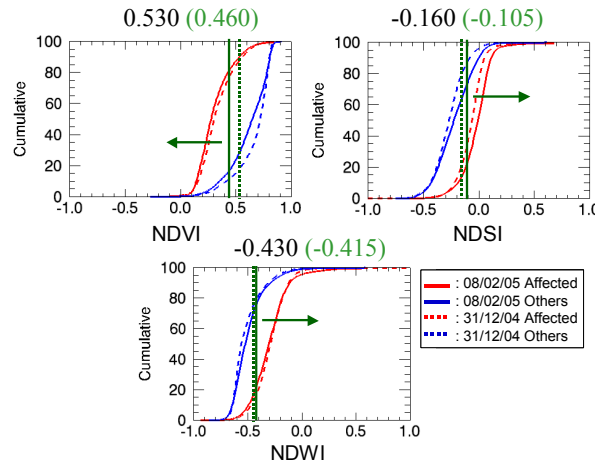
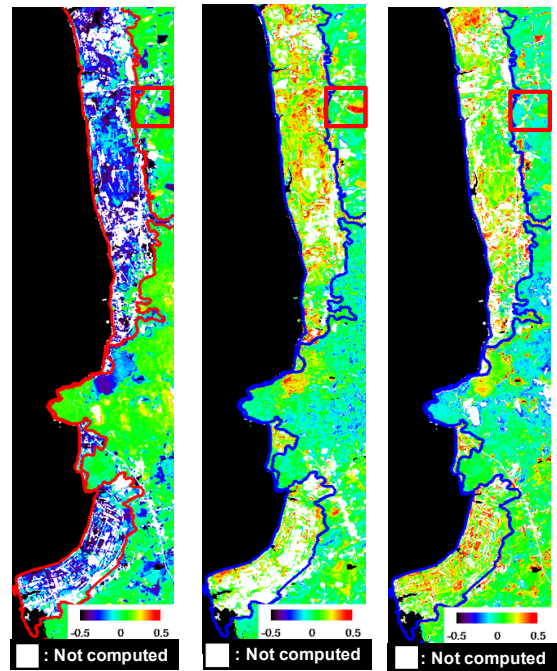


Fig. 6. Comparison of cumulative distributions of the indices between 5 days and 6 weeks after the tsunami.

る植生の劣化, 土壌の露出, 水分の増加といった変化は, 1ヶ月程度の期間ではほぼそのまま継続している様子は何える. ちなみに筆者らによる現地調査でも, この間の植生にあまり変化は見られなかった[4].

### 6 指数値の津波前後比較による浸水域推定

5で述べた方法は, 今回の例のようにトゥルースデータが存在する場合などには閾値を決めることができるが, それ以外の場合には, 浸水域とその外とを区分する各指数の閾値の設定が困難と思われる. 中解像度衛星の場合は, 定期的に地球上のほぼ全域を撮影しており, 多くの場合, 事前画像が存在する. したがって, 津波前後の画像の指数の差をとることにより, 植生や土壌分, 水分などの変化を調べることが可能である.



(a) NDVI (b) NDSI (c) NDWI

Fig. 7. Differences of the indices between the pre-event (2002/11/15) and post-event (2004/12/31) data.

津波による植生の変化を抽出する場合は、津波前において NDVI がある程度大きい地域に限定する必要がある。ここでは、浸水域内の津波前の NDVI の累積分布で 20%以下の地域を検討対象から除外した。同様に NDSI と NDWI については、もともと土壌分や水分が多いと考えられる、各累積分布で 80%以上の地域を除外した。Fig. 7 は津波前後の各指数の差を示している。図内で白抜きのピクセルは、上記の理由より検討対象外とした地域を表している。

もう 1 つ注意すべきは、これらの指数の季節や天候による変動である。植生は季節により変化が大きいし、水分は雨が降った後かどうかでかなり変化する。そこで、前後比較をする 2 枚の画像における、津波浸水の影響がないと思われる地域における、平均的な指数値を調べる必要がある。この事例では、NDVI で平均的に 0.0926 の減少、NDSI で 0.0783 の増加、NDWI で 0.0667 の増加が津波後に観測されたため、Fig. 7 ではこれらを補正して示している。

津波前後の各指数の差の累積分布を求め、津波浸水域の内外について Fig. 8 に示す。これより、各指数ともに 2 つの領域における累積分布はかなり分離しており、1 つの指数の変化のみで大まかに浸水範囲の内外を区分できるといえよう。

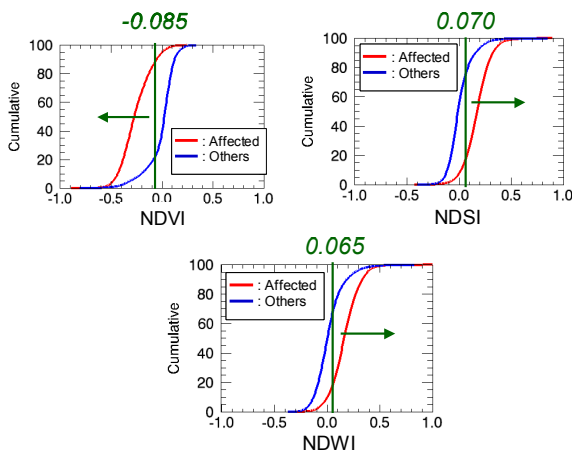


Fig. 8. Cumulative distributions of the differences of NDVI, NDSI, and NDWI.

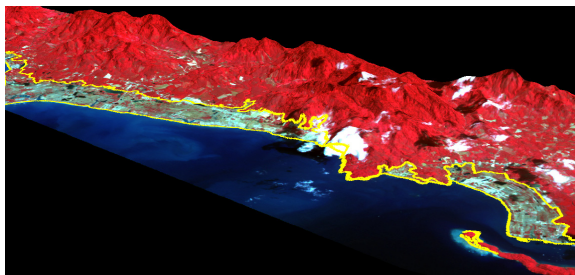


Fig. 9. 3D plot of tsunami affected areas using the 2004/12/31 ASTER image and SRTM 90m DEM.

さらに SRTM 標高データ[7]を用いて、ASTER 画像と津波遡上境界線を 3 次元的に Fig. 9 に表示する。これより、津波の遡上が海岸からの距離と標高に支配されている様子が読み取れる。SRTM データからは、さらに傾斜と尾根/谷筋の情報も求めることができ、これに標高を加えた 3 項目による地形分類[8]も実施した。この結果を 2 時期の NDVI の変化から推定した”被災領域”と比較すると、地形

分類で低平野と分類される地域が主として被害を受けていることが示された。地形と遡上境界線の関係については、今後さらに詳細な検討を行う予定である。

## 7 まとめ

本研究では、2004 年 12 月 26 日に発生したインド洋大津波により、壊滅的被害を受けたタイ南部のカオラック周辺を対象として、津波の前後に ASTER センサで観測された衛星画像を用いて、津波被災地域の自動抽出が可能であるか検討した。この地域に対しては、高解像度衛星画像を用いた津波遡上域の目視判読結果が公表されており、解析結果はこれと比較した。まず、ASTER 画像の異なるバンド間の反射率から、正規化植生指数(NDVI)、正規化土壌指数(NDSI)、正規化水指数(NDWI)などを算出した。津波後の画像について、遡上域内と域外についてこれらの指数を比較すると明瞭な違いが見られ、閾値を設定することにより大まかに被災領域が推定可能であることが示された。また、津波前後におけるこれらの指数を比較したところ、やはり顕著な差異を検出することができた。中解像度の人工衛星は、定期的に地表のほぼ全域を撮影しているため、津波のような広域災害の被災域の抽出に有効な手段であるといえよう、さらに、世界的な標高データである SRTM データと ASTER 画像を組み合わせると、津波遡上と地形・標高との関係についても検討を行い、これらと強い相関があることが示された。

## 参考文献

- [1] 松岡昌志, 山崎文雄, 翠川三郎: 1995 年兵庫県南部地震での被災地域における人工衛星光学センサ画像の特徴, 土木学会論文集, No. 648/I-54, pp. 177-185, 2001.
- [2] Yamazaki, F., Kouchi, K., Matsuoka, M., Kohiyama, M., and Muraoka, N.: Damage Detection from High-resolution Satellite Images for the 2003 Boumerdes, Algeria Earthquake, 13th WCEE, CD-ROM, No. 2595, 13p, 2004.
- [3] Yamazaki, F., Yano, Y., and Matsuoka, M.: Visual Damage Interpretation of Buildings in Bam City Using QuickBird Images Following the 2003 Bam, Iran, Earthquake, Earthquake Spectra, Vol. 21, No. S1, pp. 329-336, 2005.
- [4] Yamazaki, F., Matsuoka, M., Warnitchai, P., Polngam, S., and Ghosh, S.: Tsunami Reconnaissance Survey in Thailand Using Satellite Images and GPS, Asian Journal of Geoinformatics, Vol. 5, No. 2, pp. 53-61, 2005.
- [5] Vibulsreth, S., Ratanasermpong, S., and Polngam, S.: Tsunami Disasters along the Andaman Sea, Thailand, Asian Journal of Geoinformatics, Vol. 5, No. 2, pp. 3-15, 2005.
- [6] 竹内渉, 安岡善文: 衛星リモートセンシングデータを用いた正規化植生, 土壌, 水指数の開発, 写真測量とリモートセンシング, 43(6), pp. 7-19, 2005.
- [7] Shuttle Radar Topography Mission: <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>.
- [8] 鄭炳表, 細川直史, 座間信作: リモートセンシングに基づく面的基盤データの抽出と地震被害想定への適用に関する研究—その 2 SRTM に基づく地形分類と地盤増幅度の推定—, 地域安全学会梗概集, No.16, pp. 91-92, 2005.