

リモートセンシングデータを用いた タイ南部の津波被害地域の把握

胡内健一¹・山崎文雄²・松岡昌志³

¹東京大学大学院工学系研究科 社会基盤学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷3-7-1)

E-mail:kouchi@iis.u-tokyo.ac.jp

²千葉大学工学部 都市環境システム学科教授 (〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町1-33)

E-mail:yamazaki@tu.chiba-u.ac.jp

³防災科学技術研究所 地震防災フロンティア研究センター (〒651-0073 神戸市中央区脇浜海岸通1-5-2)

E-mail:matsuoka@edm.bosai.go.jp

2004年12月26日スマトラ島沖で発生した巨大地震が、インド洋沿岸の広範な地域において未曾有の津波災害を引き起こした。2005年1月と2月に実施したタイ南部における現地被害調査の結果、被災地域における植生の消失が観察された。この結果を基に、正規化植生指数(NDVI)の変化を指標とした津波被害地域の推定を試みた。リモートセンシングデータには、中解像度(15m)で広域的な範囲を観測でき、比較的安価なASTERデータを用いた。また、局所的な被害を詳細に確認できる高解像度衛星画像とインターネット上に公開されている標高データ、SRTM(Shuttle Radar Topography Mission)データの利用についても考察した。

Key Words : *the 2004 Indian Ocean Tsunami, SRTM(Shuttle Radar Topography Mission), ASTER, remote sensing, inundation*

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、ただちに世界中の多くの防災・リモートセンシング等に携わる企業や専門家が情報収集を開始した。とくに、人工衛星画像に関しては、IKONOSやLandsatなど多くの衛星によって、被災後1週間以内の被災地の様子を撮影した貴重なデータが供給されている。

大規模自然災害が発生した際、迅速に災害情報入手するためのリモートセンシングデータの利用については、2通りの使い方が考えられる。一つは、今後、同様な災害が発生した場合の早期被害検出方法の開発に向けて、時間をかけたデータ分析を行うという使い方¹⁾、もう一つは、災害初期情報として、総覧的災害状況図を作成するという使い方²⁾である。前者については、様々な解像度・センサのデータを組み合わせること等により、正確な分析を必要とする。一方、後者のような利用に際しては、そもそも、どの程度の精度もしくは種類の情報が必要とされているのかを考慮して、迅速な情報提供に結びつけることが大切となる³⁾。

今回のような広域的な津波災害における被害状況

を把握しようとする場合、都市域内の局地的な状況が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、被災エリアを把握していく事が災害後の戦略的対応のために有効となると考えられる。

筆者らは発災2週間後の2005年1月にタイ南部における現地調査を実施した。この地域では、地震発生後の2時間後に、バンガー県やプーケット島などのアンダマン海沿いのリゾート地や漁村に、高さ10mを越える津波が押し寄せた。被災地域のGround Truthデータ収集の目的で、GPSカメラと連動したデジタルカメラとビデオを用いて、位置情報付きの写真や動画を取得した⁴⁾。さらに、発災2ヵ月後の2005年2月にプーケット島で植生の分光放射特性を計測し、津波浸水域において植生が大きく減少していることを確認した。したがって、植物の活性度を表す正規化植生指数(NDVI)を用いることで、津波浸水域の評価が可能であると推察される。さらに、津波の規模は地形の影響を大きく受けると考えられるため、標高データの重要性も高い。

本研究では、タイ南部の被災地域を対象に、中解像度のASTERデータと容易に入手可能な標高データであるSRTM(Shuttle Radar Topography Mission)データとの組み合わせにより、津波浸水域の推定を行った。

表-1 Terra, ASTERの主要諸元⁵⁾

| TERRA | |
|-------|---|
| 軌道 | 太陽同期軌道 |
| 回帰周期 | 16日 |
| 軌道周期 | 98.8分 |
| 観測装置 | 資源探査用将来型センサ (ASTER) 雲・地球放射エネルギー観測システム (CERES) 多重角度画像分光放射計 (MISR) 中分解能分光放射計 (MODIS) 対流圏汚染観測装置 (MOPITT) |
| ASTER | |
| 観測波長帯 | 可視・近赤外域：3バンド (0.52-0.86 μ m) 短波長赤外域：6バンド (1.60-2.43 μ m) 熱赤外域：5バンド (8.125-11.65 μ m) |
| 地表分解能 | 可視・近赤外域：15m 短波長赤外域：30m 熱赤外域：90m |
| 地表走査幅 | 60km |

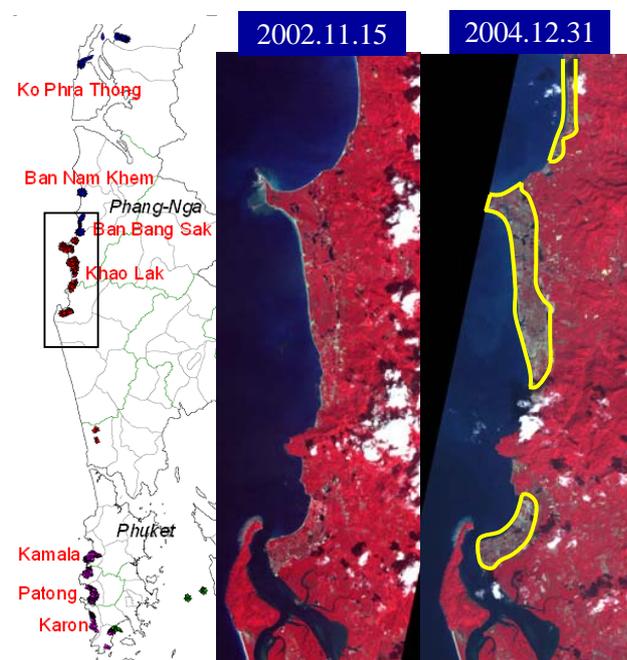


図-1 対象地域の地図とASTER画像。(黄線は目視により津波の被害を受けたと判定された地域)

2. 対象地域のリモートセンシングデータ

(1) ASTER

ASTERとは、日本において開発されたセンサで、NASA(米国航空宇宙局)が中心となって進めているEOS(Earth Observing System)計画の初号機として打ち上げられた地球観測衛星Terraに搭載されている。TerraとASTERに関する諸元を表-1に示す。

ASTERセンサは可視光から熱赤外波長域のデータを取得可能であるため、資源・環境分野における地表面の分析に優れている。また、可視・近赤外域では地上分解能が15mである。解像度は高解像度衛星よりも劣るものの、撮影範囲が1シーン60km×60kmと広く、1シーン当たりの価格も1万円程度と安価である点が特徴的である。



図-2 プーケット島パトンビーチのQuickBird画像。(左：2002.3.23撮影，右：2005.1.2撮影)

図-1に、対象とするタイ南部パンガー県南部の被災地域の津波前と津波後の様子を捉えたASTER画像(レベル2B05V：地表面反射率)を示す。画像は近赤外バンドをR、赤色領域バンドをG、緑色領域バンドをBに割り当てたFalse Color画像を示している。

(2) 高解像度衛星画像(QuickBird, IKONOS)

商業用高解像度人工衛星としては、IKONOSやQuickBirdが知られている。1m以内の地上分解能が実現されており、都市の構造物も観察できるため、大地震による建物一棟単位の被害の目視判読が試みられている^{6),7)}。また、撮影頻度にも向上が見られ、2004年の新潟中越地震の際には、地震の翌日にIKONOS画像が得られ、2日後には斜面崩壊箇所等を判読した災害状況図が作成されている⁸⁾。

図-2に示すように、高解像度衛星を用いることで、災害後の被災地の状況を詳細に把握することが可能であるが、観測幅が十数km程度と狭い。また、1シーン当たりの価格が高価であるため、広域的被害把握には適していないと考えられる。しかし、現地調査結果と組み合わせて利用することで、初期被害把握結果の検証・更新に用いることが可能である。

(3) SRTM(Shuttle Radar Topography Mission)

SRTMデータとは、2000年2月11日に打ち上げられたスペースシャトル“Endeavour”に搭載された合成開口レーダにより取得されたデータを用いた全地球標高データのことであり、地球上の陸地の約80%、全人口密集地の約95%をカバーしており、3秒(約90m)メッシュの標高データが公開されている⁹⁾。データは、ftpサイト(ftp://e0mss21u.ecs.nasa.gov/srtm/)から取得可能である。

津波被害の検証や津波防災に対して、地形の特性が重要な要素となり得るので、このようなデジタル標高データが有効である。図-3に、タイ南部地域のSRTMデータを2次元及び3次元表示した画像を示す。

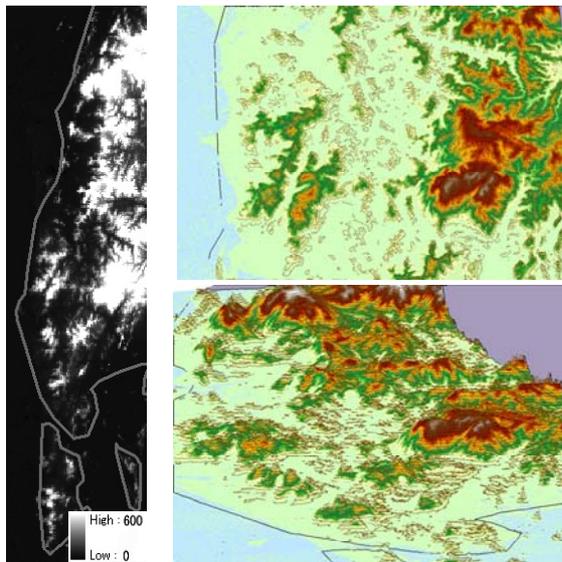


図-3 タイ南部地域のSRTMデータ。左：ラスターデータの2次元表示，右：GISソフトによる3次元表示

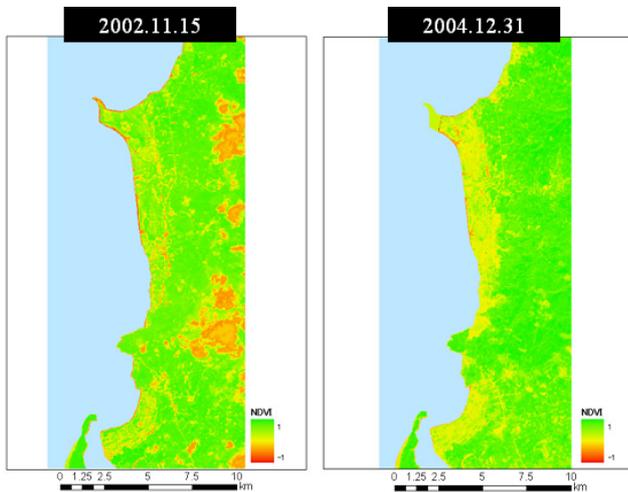


図-4 NDVIの分布図。左：被災前，右：被災後

3. ASTER画像を用いた津波浸水域の推定

(1) 目視による判読

図-1に示した被災前後のASTER画像を目視で比較することにより、沿岸域の変化が確認できる。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いることがわかる。これらの画像は、植生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False Color画像であるため、津波前後で植生が減少したことを示している。津波浸水域では芝生が枯れる、木々が倒れるなど、植生が減少していたことが現地調査からわかっているため、これらの地域は津波被害地域として推定できる。図-1の津波後の画像において、黄線で囲まれた範囲が、津波による被害を受けたと目視判読された地域を示している。これにより、津波の被害が沿岸部の広範囲に渡っていることがわかる。

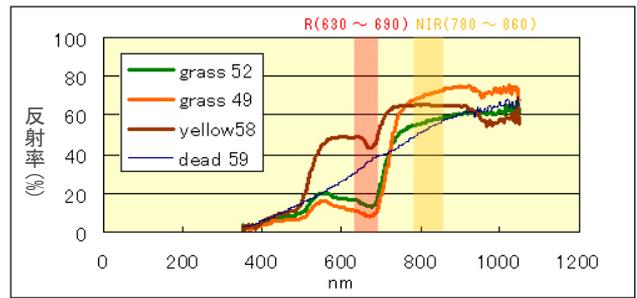


図-5 現地の植生の分光放射特性

表-2 現地の植生のNDVI計測結果

| 植生の種類 | 写真 | NDVI | |
|--------------------------|--------------|---------|--------------|
| Grass 52 (緑色の芝生) | | 0.589 | |
| Grass 49 (緑色の芝生) | | 0.759 | |
| Yellow 58 (黄色の植物) | | 0.168 | |
| Dead 59 (枯れた芝生) | | 0.212 | |
| NDVIの差分 (健全な植生と枯れた植生で比較) | | | |
| 52 - 58 | 0.421 | 49 - 58 | 0.591 |
| 52 - 59 | 0.376 | 49 - 59 | 0.546 |
| Average | 0.400 | Average | 0.568 |

(2) 植生に着目した被害地域の推定

前節で確認した通り、植生が大きく減少している地域を津波の浸水域として推定できると考えられる。そこで、植生の活性度の強さを表す正規化植生指数(NDVI)を計測し、事前・事後画像の比較を行った。その結果を図-4に示す。事後の画像において、沿岸部の植生が減少していることが確認できる。

次に、津波前後の画像におけるNDVIの差分をとることを考える。図-5に2005年2月に実施した現地調査において、被災地域の植生の分光放射特性を計測した結果を示している。緑色の芝生(Grass 52,49)は津波後に植えられた健全な植生で、可視赤色領域から近赤外領域の間で急激に反射率が上がるという植生の特徴をよく表している。一方、津波を被り変色した黄色の植物(Yellow 58)はこの特徴が弱く、津波を被って枯れた芝生(Dead 59)の分光反射率には、この特徴が全く見られなかった。さらに、表-2にASTERセンサが有する可視赤色領域と近赤外領域の波長帯の反射率を用いて算出した、各植生のNDVIを示している。緑色の植生と黄色に変色した植生や枯れた植生との間のNDVIの差分を計算した結果から、NDVIの閾値を0.4と設定し、閾値以上の減少を植生の消失と判定した。図-6に災害前後の画像におけるNDVIの変化を「増加」・「変化なし」・「0.4以下の減少」・「0.4以上の減少」に分類した結果を示す。雲とその影の影響で、内陸部において誤分類が多くみられるが、目視による判読と

(2004.12.31) - (2002.11.15)

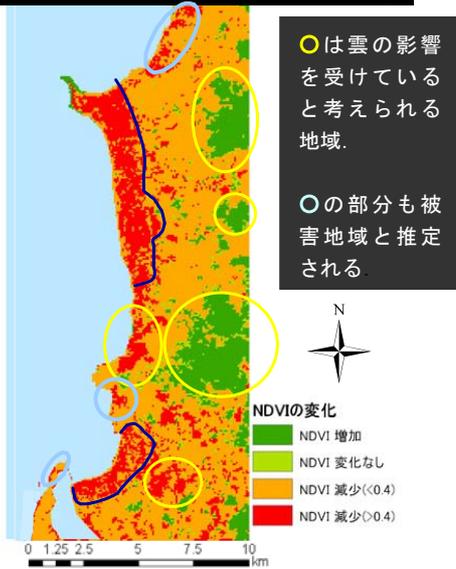


図-6 災害前後のNDVIの変化と、推定津波浸水域

ほぼ同地域の沿岸部において、植生が失われたと判定される。また、目視では確認し切れなかった、狭い範囲の被害推定地域も検出された。事後画像において、全体的にNDVIが減少しているのは、この地域では11月中旬から3月まで乾季となり、12月に年間の最低気温が記録されるという季節の影響と考えられる。

(3) 津波浸水域の推定結果の検証

先に述べた通り、リモートセンシングデータを基に、対象地域における様々な災害状況図が作成されている²⁾。ここでは、中解像度衛星画像を用いた例と高解像度衛星画像を用いた例を参考にして、NDVIを用いた津波浸水域の推定結果の検証を行う。

DLR(German Aerospace Center)のHPから、衛星画像を用いて津波被害地域を目視により抽出した主題図を入手することができる¹⁰⁾。中解像度衛星画像を用いた例として、ZKI(Center for Satellite Based Crisis Information)が、津波前後のパンガー県を捉えた衛星画像を利用して津波の被害地域を目視により抽出した主題図が挙げられる。事前画像としてLandsat ETMデータ、事後画像としてASTERデータ、UK-DMCデータを用いており、2004年12月29日に作成された。この主題図は複数のデータを用い、時間をかけて判読した結果であるため、被害域としての信頼性は高いと考えられることから、ここでは、津波浸水域の検証データとして用いた。

この主題図から、対象としているパンガー県南部地域の部分を拡大したものを図-7(左)に示す。図中の赤線に囲まれた被害判読地域を図-6に重ね合わせたものを図-7(右)に示す。これによると、雲による影響を受けている部分を除くと、津波前後でNDVIが0.4以上減少した地域が、検証データの被害地域に概ね含まれていることがわかる。

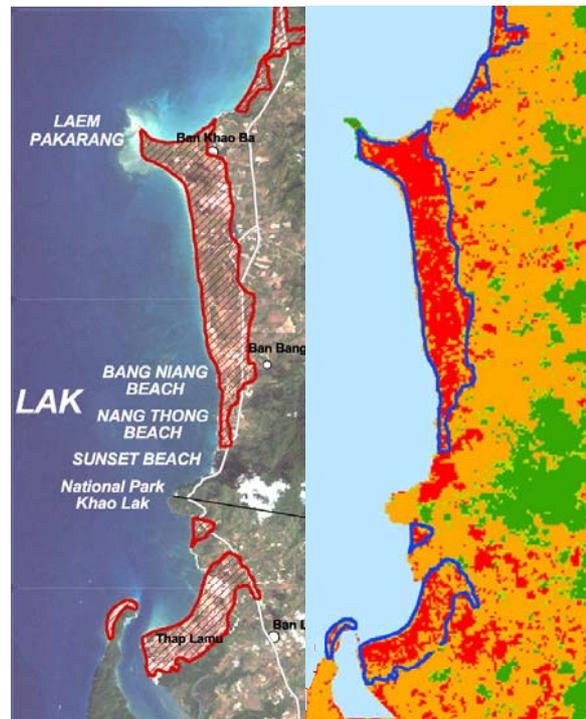


図-7 左：検証データの拡大画像、右：図-6と検証データにおける被害判読地域との重ね合わせ

また、同じくZKIにより、被災前後の高解像度衛星IKONOSの画像を利用してパンガー県カオラックにおける津波被害地域を目視により抽出した主題図が2004年12月31日に作成された。

この主題図は、被害地域の判読結果のみならず、海岸部分の消失や海岸線の後退までも明瞭に示している。このことより、高解像度衛星を用いた津波被害地域の判読結果はより信頼性の高い検証データの一つとして扱うことができると考えられる。しかし、観測幅が十数km程度と狭いことから、広範囲の判読を試みた場合、労力と時間は相当量必要になる。地域の被害概況を大局的に把握する、あるいは、局所的な被害を詳細に調べる、といった目的に応じて、用いるデータの精度(主に解像度)や種類を選択することが重要である。

4. SRTMデータを用いた被害地域の3次元表示

SRTMデータをラスターデータに変換して地図として表示することで、簡単に標高図を作成することが可能である。標高や地形が津波被害のポテンシャルに直接影響するため、広域的なDEMデータ活用のメリットは大きい。さらに、標高や斜面の角度を用いた土地の地形分類にも利用できる¹¹⁾。そこで、図-8に示したフロー図に従って、パンガー県地域を低地・台地・山地(傾斜地)・海に分類した結果を図-9に示す。まず、ASTER画像から抽出した海岸線を参考に、海域を手動で分類した。次に、斜面の角度を算出し、 5° 以下の部分を平坦地、 5° 以上

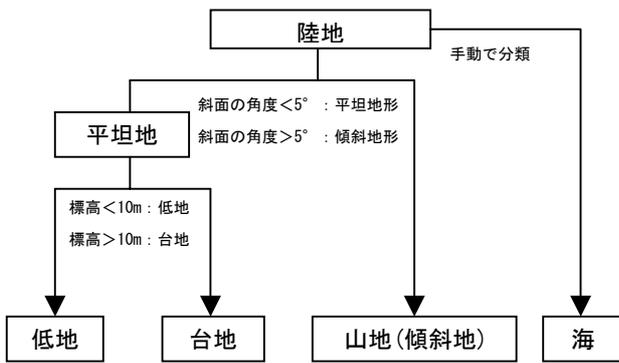


図-8 地形分類フロー

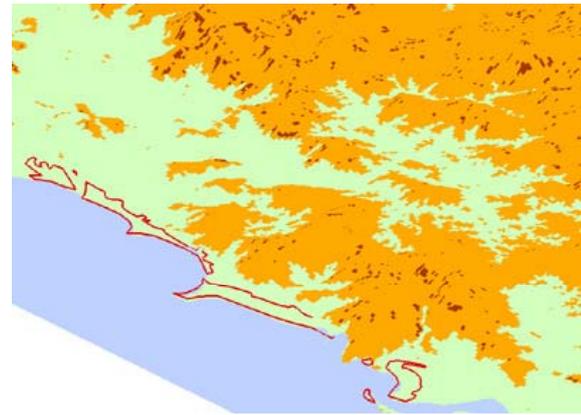


図-10 3次元表示した地形分類図

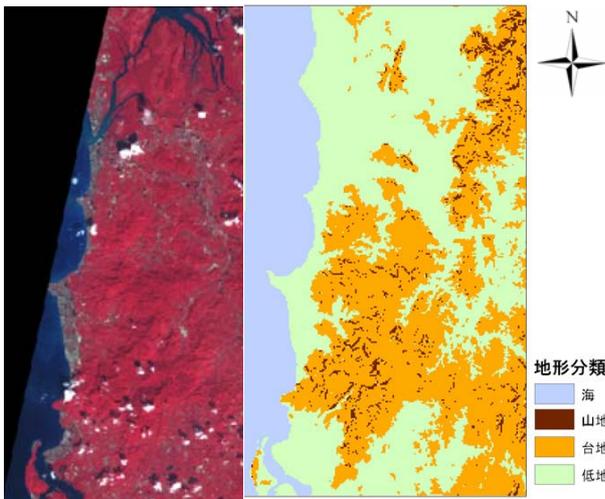


図-9 地形分類図と同範囲のASTER画像

の部分に山地(傾斜地)とした。平坦地をさらに低地と台地に分類する際、ここでは簡単に、標高10mを基準としてそれ以下を低地、それ以上を台地とした。ただし、平坦地を分類する例として、尾根と重なる平坦地を台地、水系線(河川)と重なる平坦地を低地とする手法も提案されており¹²⁾、平坦地の分類方法は今後の検討課題といえる。

また、GISソフトを用いて標高データを3次元表示することにより、地形分類図を立体的に表示できる(図-10)。前章で検証データとして用いた被害判読地域を併せて示してあり、被害地域が低地に広がっていることがわかる。

SRTMデータから取得された高さデータに画像データを重ね合わせることで、立体的な画像表示が可能となる。図-11にASTER画像を重ね合わせた画像を示しているが、被害地域の範囲がより容易に理解でき、被害状況の把握に役立つものと期待される。

今後、SRTMデータの利用に関して、広域地形分類図の精度向上を図ることや、標高データを土地被覆分類へ利用することを考えている。また、津波浸水域の標高を分析することにより、標高と津波の遡上との関係を調べることも今後の研究課題である。

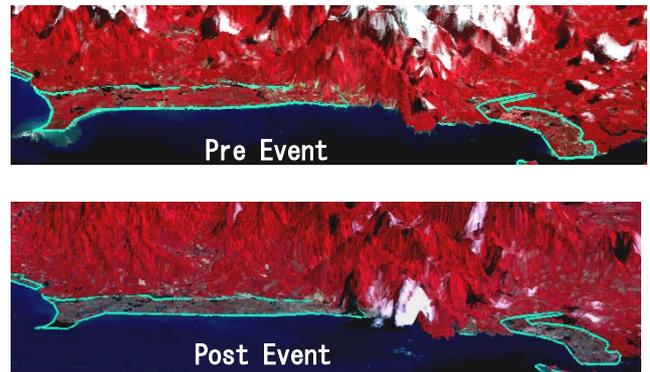


図-11 3次元表示したASTER画像(白い部分は雲)

6. おわりに

スマトラ沖地震津波により多大な被害を被ったタイ南部バンガー県地域を対象として、リモートセンシングデータを用いた津波被害地域の推定を行った。リモートセンシングデータとしては、広域をとらえることができる中解像度衛星画像のASTERデータを用いた。現地調査において、津波浸水域の植生の変色や枯死が観測されたため、植生の減少に着目して被害地域の抽出を行い、その精度を検証した。

ASTERデータを用いて算出した被災地域の正規化植生指数(NDVI)を、津波前後の画像で比較し、閾値0.4以上減少した範囲を津波被害地域として抽出した。その結果、NDVIの減少に着目して抽出した津波被害地域が、複数の衛星画像を用いて被害判読した検証データの被害抽出結果と概ね一致することがわかった。

また、標高データとして容易に入手できるSRTMデータを用いて対象地域の地形分類図を作成し、津波被害地域を3次元表示することにより、津波被害地域の把握における標高データの有効性を示した。

参考文献

- 1) 筒井健, 中川英朗, 白石貴司, 宮崎早苗, 六川修一 : 人工衛星画像を用いた地形標高抽出手法の斜面災害への適用検討, リアルタイム災害情報検知とその利用に関するシンポジウム論文集, pp43-48, 2004.
- 2) 高分解能衛星リモートセンシング研究会 : インド洋大津波のリモートセンシングデータ収集衛星と情報伝達メディア, 日本リモートセンシング学会誌, Vol. 25, No. 2, pp. 200-211, 2005.
- 3) 向山栄 : 地震発生直後に取得する災害情報の特性と衛星画像の利用, 写真測量とリモートセンシング, Vol. 44, No. 2, pp. 41-42, 2005.
- 4) 山崎文雄, 松岡昌志, Warnitchai, P., Polngam, S., Ghosh, S. : 衛星画像とGPSを活用したタイ南部の津波被害調査, 日本リモートセンシング学会第38回学術講演会論文集, pp. 25-28, 2005.
- 5) ASTER GDS Web Site : http://www.gds.aster.ersdac.or.jp/gds_www2002/in dex_j.html.
- 6) Yano, Y., Yamazaki, F., Matsuoka, M., and Vu, T.T. : Building damage detection of the 2003 Bam, Iran earthquake using QuickBird images, Proceedings of the 25th Asian Conference on Remote Sensing, pp. 618-623, 2004.
- 7) Yamazaki, Y., Kouchi, K., Matsuoka, M., Kohiyama, M., and Muraoka, N. : Damage detection from high-resolution satellite images for the 2003 Boumerdes, Algeria earthquake, 13th World Conference on Earthquake Engineering CD-ROM, Paper No. 2595, 13p.
- 8) 向山栄 : 平成16年新潟県中越地震の被災状況をIKONOS衛星画像で見る, 写真測量とリモートセンシング, Vol. 43, No. 6, pp. 2-3, 2004.
- 9) Shuttle Radar Topography Mission : <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>
- 10) DLR(German Aerospace Center) : <http://www.dlr.de/dlr>
- 11) 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, pp91-92, 2005.
- 12) 鄭炳表, 細川直史, 座間信作 : 広域の地盤増幅度の推定に向けたDEMによる地形分類に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 885-886, 2003.

(2005. 6. 16 受付)

DETECTION OF TSUNAMI DAMAGED AREAS IN SOUTH THAILAND USING REMOTE SENSING DATA

Ken'ichi KOUCHI, Fumio YAMAZAKI and Masashi MATSUOKA

This paper summarizes the results of the detection of tsunami damaged areas in south Thailand using remote sensing data. The area was hit by a series of tsunamis caused by the 26 December, 2004 North Sumatra Island Earthquake. According to the tsunami reconnaissance survey conducted in January, 2005, vegetation was observed to be decreased in damaged areas. Therefore, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) was expected to be useful to assess inundation areas. Considered the scale of the disaster, ASTER data with 15m spatial resolution was chosen for NDVI analysis. Moreover, SRTM data and high-resolution satellite images were used for verification of the estimated inundation areas.