

人工衛星画像と GPS を活用したタイ南部の津波被害調査

Tsunami damage survey in south Thailand using satellite images and GPS

○山崎文雄¹, 松岡昌志², P. Warnitchai³, S. Polngam⁴, S. Ghosh⁵

Fumio YAMAZAKI¹, Masashi MATSUOKA², Pennung WARNITCHAI³,
Supapis POLNGAM⁴ and Shubharoop GHOSH⁵

¹千葉大学 工学部 都市環境システム学科

Department of Urban Environment Systems, Chiba University

²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

Earthquake Disaster Mitigation Research Center, NIED

³アジア工科大学院(AIT)

Asian Institute of Technology

⁴タイ国 空間情報リモートセンシング局(GISTDA)

Geo-Informatics and Space Technology Development Agency (GISTDA), Thailand

⁵ImageCat, Inc., USA

ImageCat, Inc., Long Beach, CA 90802, USA

This paper summarizes the results of tsunami reconnaissance survey in south Thailand conducted by a team consisting of researchers from Thailand, Japan, and USA. The area was hit by a series of tsunamis caused by the 26 December, 2004 North Sumatra Island earthquake. The primary objective of the survey is to gather geo-referenced tsunami inundation and damage information with enhanced use of satellite images and GPS. Digital photos and videos were taken and they were linked to the satellite images. Measurement of spectral reflectance for surface materials in tsunami affected areas was also conducted. Using all the data gathered and satellite imagery, the present authors plan to develop tsunami hazard/inundation maps in Thailand.

Key Words: the 2004 Indian Ocean Tsunami, satellite image, GPS, damages survey, inundation, spectrometer, reflectance.

1. はじめに

2004年12月26日00:58(UTC)に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。アンダマン海に面したタイ南部では、地震発生から約2時間後に高さ10mを越える津波が押し寄せ、バンガー県、プーケット県、クラビ県などのリゾート地や漁村が甚大な被害を被った。タイ政府が3月9日時点で確認した人的被害は、死者5,395人、行方不明2,932人である。

津波災害の状況が明らかになるにつれ、国際的な枠組みでの調査が必要との認識で、筆者らは以前より災害リモートセンシングに関して、合同調査¹⁾や国際ワークショップを行ってきた米国多領域地震工学センター

(MCEER)の研究者達と連絡を取るとともに、タイの研究者に合同調査を呼びかけた。その結果、日本から山崎と松岡、米国からはImageCat社のS. Ghoshが、タイからはアジア工科大学院(AIT)のPennung、空間情報リモートセンシング局(GISTDA)のSupapisとSiamが参加、これにGISTDAにJICAから派遣されている本澤雅彦博士が加わった日米タイ3カ国の合同調査チームとなった。

本調査の大きな目的は、人工衛星画像から被災地域を判読するための、現地確認データを収集することである。このために調査においては、複数の解像度の人工衛星画像を地図として利用するとともに、GPSと連動したデジタルカメラとデジタルビデオを持参し、位置付きの写真や動画を取得した(図1)。現地調査は、1月8日から11日までの4日間、カオラック、プーケット島、ピビ島などの被災地域を調査した。以下に、人工衛星画像との対応をとりながら、この現地調査の結果について報告する。

2. 調査地域と調査概要

本調査チームによるタイ南部のGPS連動写真の撮影位置を図2に示す。調査初日の1月7日には、バンガー県のカオラック周辺を車で回り調査した。翌日はプーケット島から高速船をチャーターしてクラビ県のピビ島とKo Khai Nai および Ko Khai Nok という小島を調査した。3日目は再びバンガー県に向かい、中部のBan Nam Khen や Ban Bang Sak などの地区を見るとともに、津波で壊滅



図1 現地調査におけるパノラマ VIEWS 撮影の様子

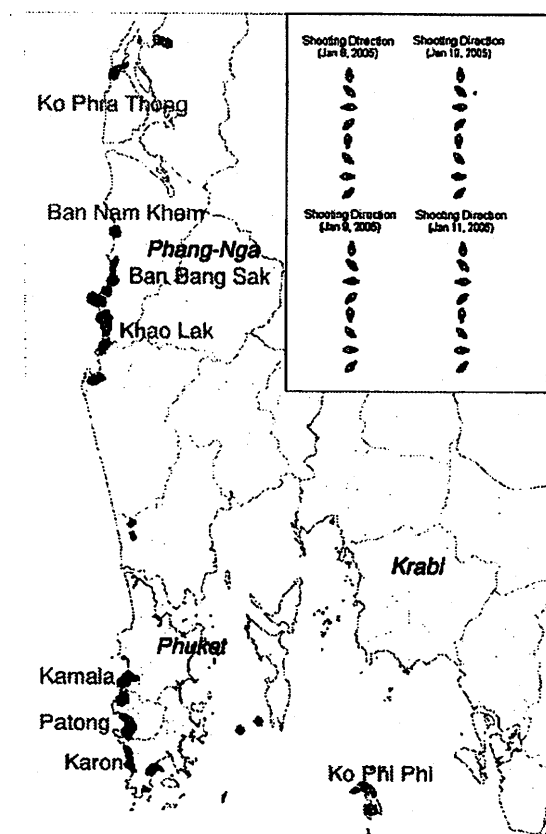


図2 調査地域とGPS運動カメラの撮影位置・方向

した北部の Ko Phra Thong の漁村に小舟で渡り調査した。4 日目はプーケット島内の Kamala, Patong, Karon, Kata などの西岸のビーチを調査した。なお、山崎は 2 月中旬に、松岡は 3 月中旬に再びタイ南部の追加調査を行っている。

3. パンガー県北部・中部

図3はパンガー県北部から中部にかけてのASTER衛星画像(ERSDAC ホームページ)と津波被災状況を示している。津波から6日後の沿岸域のフォールスカラー画像からは、津波前のものに比べて赤い領域が大幅に後退しており、植生の減少が読みとれる。(b)に示す Ban Nam Khen は、津波が港や集落を襲い多数の住民の死者が出たところである。(c)に示す Ban Bang Sak では、津波が海から約 300m 離れた幹線道路を越えた丘まで遡上していることが、植物の状態や津波により運ばれた浮遊物により明瞭に識別することができた。(d)に示す海岸では調査時点ではまだ瓦礫の撤去が行われておらず、津波直後の状況が残っていた。この一帯では、ホテルの2階屋根にまで津波襲撃の痕跡が残っており、最も大きな被害を受けた場所の1つである。

4. パンガー県カオラック

パンガー県中部のカオラックはタイ南部有数の高級リゾート地である。図4にカオラック周辺の IKONOS 衛星

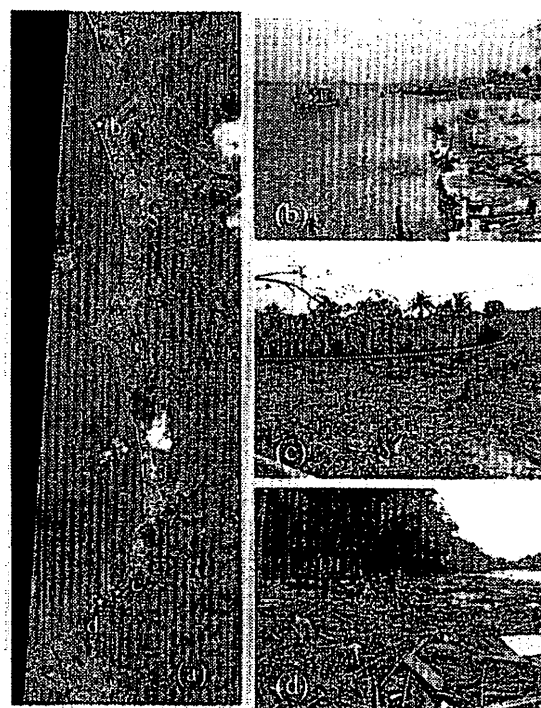


図3 パンガー県北部・中部のASTER衛星画像と津波被災状況。

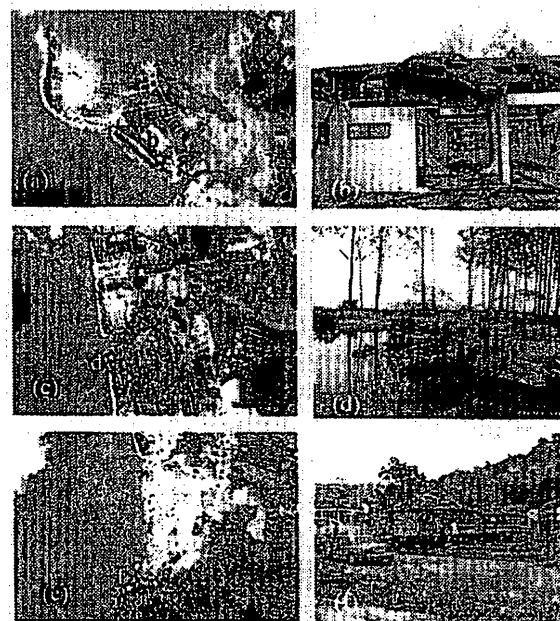


図4 パンガー県カオラック周辺の IKONOS 衛星画像(2004/12/29)と被災状況。青い点はGPS運動写真の撮影位置、☆は図に示す写真の撮影位置である。

画像(2004/12/29)と被災状況を示す。シンガポール大学 CRISP やドイツ航空宇宙センターDLRなどのホームページでは、この周辺の IKONOS 画像が公開されている。(a)はPhakarang 岬周辺であり、岬の先端部の Bamboo Orchid

Resort は 2 方向からの津波に襲われ壊滅した。岬の先端の津波高さは局所的に 15m にも上ると報告されている。(b)は屋根に打ち上げられた乗用車であるが、IKONOS 画像を拡大すると、この車と思われる黒い数ピクセルを確認することができる。(c)は Khao Lak 中部の気象局周辺であり、(d)に示す津波で流された橋や、破壊されたコテージなど、津波の破壊力を示す被害の跡が一面に広がっている。(e)は Khao Lak 南部の Nang Thong beach 周辺である。(f)に示す Similana Resort やその北部の一带のリゾートや商業施設は、1 階の屋根までの高さの津波に襲われ、壊滅的な被害を受けている。

5. プーケット島

プーケット島では、地震発生の約 2 時間後にところにより 5m を越える津波が、海岸線のビーチを次々に襲った。この津波襲来の様子は、観光客が撮影した幾つかのビデオ映像により、鮮明に記録されている。プーケット島の津波高さは、西岸中部の Kamala ビーチと Patong ビーチで最も高く平均 5m 前後、西岸南部の Karon ビーチや西岸北部の Bang Thao ビーチなどで平均 4m 前後と報告されている。

図 5 は プーケット島の Kamala ビーチの IKONOS 画像 (2004/12/29)と津波襲来時の状況を示している。(b),(c),(d)は住民が、津波襲来時に鉄筋コンクリート建物の 3 階から撮影した写真であり、津波が来襲し家の屋根まで覆うようになるところまでが、数枚の写真で写されている。

プーケット島で一番の賑わいのある Patong ビーチは、海岸沿いの通りは大きな被害を受けていたが、山側へ行くと徐々に高度が高くなり、海から 200m ほど内陸に入ると、浸水はしたが被害は殆ど受けていない。

プーケット島は雲がないことが少ないせいか、質の良い高解像度衛星画像は少ない。パンクロマティックバンドで 0.6m と解像度が最も高い QuickBird 衛星は、2005/1/2 に Patong ビーチを含む地域を撮影したが、画質はあまり良好ではなかった。2005/1/5 には再度撮影が行われ、Patong, Karon, Kata Yai のビーチを含む地域がほぼ雲がなく撮影された。また、事前画像としては、2002/3/23 に Patong と Karon を含む質の良い画像が得られている。筆者らの日米チームではこれらの画像を共同購入したので、今後、これらの画像の比較解析により、津波浸水域の検証を行いたいと考えている。

6. ビビ島

クラビ県のビビ島はアンダマン海に浮かぶリゾートの島である。津波の波源域から見て、丁度、プーケット島の影を外れる位置にあるため、最高で 6m 程度の津波に襲われた。図 6 にビビ島周辺の Landsat 衛星画像 (2003/1/27)と被災状況写真を示す。ビビ島の中心である Ton Sai 地区は、南北 2 つの山岳島の間を砂州が結ぶような位置に広がっている。標高 2-3m 程度の南北の幅が約

150m の平地であるため、津波に襲われたら逃げ場がない。津波は最初に北の湾から襲ってきて、その後、より高い津波が南の湾から Ton Sai 地区を襲った。この地区では鉄筋コンクリートのホテルが数棟残ったのみで、他の建物は木造の平屋ないし 2 階建てであるため、津波により大破している。中心にある Cabana ホテルの 3 階からは、観光客により津波襲来の様子がビデオで撮影されており、1 階の天井まで津波が浸水していることが分かる。

(b)は島北部の Laem Tong 地区の様子である。この地区も建物の床上まで浸水し、木造のバンガローなどは大破しているが、被害は Ton Sai 地区に比べると小さい。

(c)は Ton Sai 地区の写真である。ビビ島はほぼ壊滅的な被害を受けたため、入島が規制されていたが、津波から 10 日経った頃にやっと入れるようになった。災害対策本部が調査時点で集計した犠牲者は、この島だけで死者 691 人、行方不明者 951 人と極めて大きな数字であった。



図 5 プーケット島の Kamala Beach 周辺の IKONOS 衛星画像 (2004/12/29) と津波襲来時の状況。

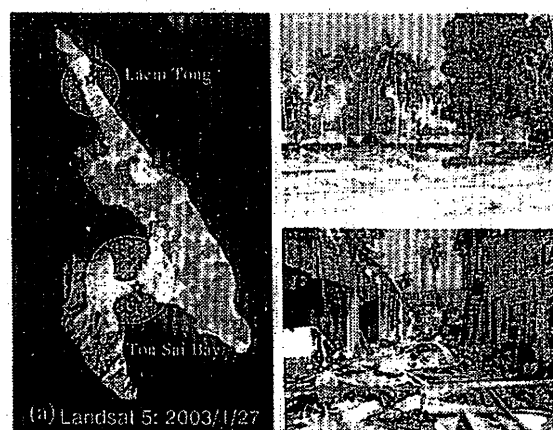


図 6 ビビ島周辺の Landsat 衛星画像 (2003/1/27) と被災状況。

7. GPSと連動したビデオ映像：パノラマ VIEWS

ImageCat 社では、MCEER の研究プロジェクトとして VIEWS (Visualizing the Impacts of Earthquakes With Satellites) と名付けられた衛星画像に基づく災害把握システムの開発を行っている。これは図 7 に示すように、衛星画像を緯度・経度のついたベースマップとして PC 上に登録し、現地調査で移動しながらビデオを撮影する際には、その位置を GPS で取得する。このように取得されたビデオを衛星画像上で位置をリンクすることにより、VRS (virtual reconnaissance systems) として可視化することができる³⁾。これまでに、2003 年イラン Bam 地震⁴⁾をはじめとして、2004 年のハリケーン Charley と Ivan、それに 2004 年新潟県中越地震などの被害調査でこのシステムが使われてきた。

今回の調査では、米国側の持ち込んだビデオに加え、日本側もビデオカメラを 2 台持参したので、3 台のビデオカメラにより同時に前方と左右方向を撮影した。この新しい広角の VIEWS を Panoramic-VIEWS と名づけた。図 7 の 3 つビデオ画面は徒歩での同時撮影であるが、このように、Panoramic-VIEWS ではより広い視野での可視化が可能になった。車からの撮影の場合には、助手席と後部座席の左右に 1 台ずつの計 3 台のビデオにより、同時ビデオ取得を行った。災害現場の生々しい様子は、災害発生から時間が経つと失われていく。今後の教訓として災害の記録を残すためにも、また衛星画像などの現地確認データとしても、このような位置付きの映像は貴重なデータベースとなることが期待される。



図 7 IKONOS 衛星画像に重ねたビデオ撮影時の GPS 位置と 3 台のビデオによる動画のスナップショット

8. 津波被災地域の地表物質の分光反射特性

人工衛星の光学センサは、Landsat や ASTER などの中解像度のものも、IKONOS や QuickBird などの高解像度のものも、いずれも可視領域と近赤外領域の波長帯のセンサを有している。図 8 には、分光放射計を用いてブーケット島 Kata ビーチで 2005/2/20 に観測した植物の分光反射率を、QuickBird の 4 つのセンサの波長帯域と比較し

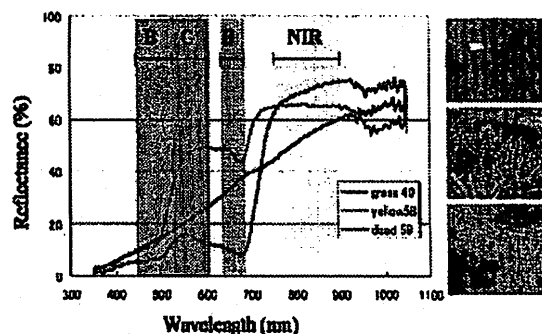


図 8 ブーケット島 Kata ビーチで観測した植物の分光反射率。緑色：元気な芝生，黄色：弱った植物，茶色：枯れた芝生

て示している。写真に示す緑色の芝生は津波後に植えられた新しいもので、可視赤色(R)から近赤外(NIR)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、津波を被り黄色く変色した植物はこの特徴が弱まり、枯れた芝生はまったくこの特徴が失われている。このような観測データから見ても、津波を被った地域の植物は分光反射特性が変化した可能性が高く、人工衛星データによる浸水域の判定に利用できるものと思われる。

9. おわりに

タイおよび米国の研究者と合同で、2004 年 12 月 26 日に発生したスマトラ島沖地震・津波によるタイ南部の被害状況の現地調査を行った。とくに高解像度および中解像度の人工衛星画像をベースマップとして、カオラック、ブーケット島、ビビ島などの被災地域について、GPS と連動したデジタル写真とデジタルビデオの撮影を行った。また 3 つのビデオ映像を用いたパノラマ VIEWS システムを開発した。さらに、津波浸水域の人工衛星データによる推定のための確認用データとして、分光放射計による植生等の分光反射率の観測も行った。今後、タイ・米国の研究者と協力して、これらのデータに基づく広域の津波被害マップ構築を進めていきたいと考えている。

参考文献

- 1) Eguchi, R.T., Huyck, C.K., Houshmand, B., Mansouri, B., Shinozuka, M., Yamazaki, F., Matsuoka, M.: The Marmara Earthquake: A View from Space, The Marmara, Turkey Earthquake of August 17, 1999: Reconnaissance Report, Technical Report MCEER-00-0001, pp. 151-169, 2000.
- 2) 松岡英夫：タイの Khao Lak と Phuket 島における 2004 年北スマトラ島沖地震津波の速報，土木学会誌，90 巻，3 号，pp. 48-50, 2005.
- 3) Ghosh, S., Huyck, C.K., Adams, B.J., Mio, M., Eguchi, R.T., Yamazaki, F., Matsuoka, M.: Post-Tsunami Urban Damage Survey In Thailand Using The Views Reconnaissance System: MCEER Response, 16p, 2005. (<http://mceer.buffalo.edu/research/tsunami/Tsunami032505.pdf>)
- 4) Adams, B.J., Huyck, C.K., Mansouri, B.: Streamlining Post-Earthquake Data Collection and Damage Assessment in Bam, Using VIEWS, MCEER Earthquake Reconnaissance Investigation, 2005. (<http://mceer.buffalo.edu/research/bam/page1.asp>)