

平成 30 年 6 月 18 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H05134

研究課題名(和文) タイ王国を対象にした活断層による地震ハザード評価と被害予測のための学術調査

研究課題名(英文) Survey Study on Active-fault Induced Earthquake Hazard Evaluation in Thailand

研究代表者

松岡 昌志 (Matsuoka, Masashi)

東京工業大学・環境・社会理工学院・准教授

研究者番号：80242311

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：近年、活断層に起因した地震が頻発しているタイ王国では地震防災対策が喫緊の課題になっている。しかし、地震ハザードの評価および被害予測のための基礎資料が十分ではない。そこで、本研究では、(1)地震環境を理解するための合成開口レーダ(SAR)画像による地盤変動の抽出、(2)地震ハザード推定のための微地形区分と微動計測に基づく地盤特性の評価を行った。具体的には、(1)については、2011年に発生した地震の地盤変動をInSAR解析により把握し、(2)については、チェンライ市を対象にDEMに基づく地形量の算出と微地形分類図の作成、さらに、微動計測データとの比較により地盤の卓越周期の分布図を作成した。

研究成果の概要(英文)：In recent years, earthquake disaster management have become an urgent issue in Thailand where frequent occurrence of earthquakes caused by active faults. However, basic data for earthquake hazard assessment and damage prediction are not sufficient. Therefore, in this research, (1) extraction of ground deformation by InSAR analysis of synthetic aperture radar (SAR) images in order to understand earthquake environment, (2) geomorphologic classification and microtremor measurement to evaluate site characteristics due to strong ground motion, were carried out. Specifically, with regard to (1), the accuracy assessment of SBAS and grasp of the crustal deformation by the 2011 earthquake are carried out using InSAR analysis, and for (2), we calculated the topographical features based on the DEM for the city of Chiang Rai and created the geomorphologic classification map, and furthermore created a distribution map of the dominant period of the ground by comparison with the microtremor data.

研究分野：地震工学

キーワード：微地形分類 微動 地盤特性 合成開口レーダ 地盤変動 チェンライ

1. 研究開始当初の背景

タイ王国（以降、タイと記述する）は自然災害が多発するアジアの国のひとつである。その多くが雨季に発生する水害で、2011年に発生した洪水は北部のチェンマイ県からバンコクまで 58 の県が浸水し、巨額の被害総額をもたらした。内陸地震についてみると、タイには 13 の活断層がある（図 1 参照）。北西部と中南西部に集中しているものの地震発生頻度は低かったが、最近 40 年の間に M5 以上の地震が 5 回発生し、2014 年 5 月 5 日にはタイ北部チェンライ県の Mae Tha 断層と Phayao 断層の付近で M6.3 の過去最大級の地震が発生した。この地震で周辺の寺院や多くの建物が損傷し、そのため、タイでは地震防災対策が喫緊の課題になっているが、地震ハザードの評価および被害予測のための基礎資料が十分ではない。



図 1 タイの活断層分布と 2014 年 5 月 5 日の地震の震源（DMR の活断層図に追記）

2. 研究の目的

宇宙からの計測技術と地上での計測技術を融合させて、活断層およびダムを含む周辺の変動を衛星リモートセンシングにより、地盤の振動特性を可搬型の小型微動計により把握することで、短期的かつ効率的に調査を行う。具体的には、(1) 地震環境の理解および重要施設を守るための合成開口レーダ (SAR) 画像を利用した時系列変動の抽出、(2) 地震動予測のための地盤特性の評価という 2 つの課題に対して、タイの政府機関と協力して取り組む。

3. 研究の方法

ALOS 衛星に搭載された合成開口レーダセ

ンサ (PALSAR) 画像を用いて、SBAS (Small Baseline Subset)-InSAR の精度検証を行うと共に、InSAR 解析によりタイおよび周辺の活断層に起因した地盤変動を把握する。また、タイ北部のチェンライ県の地盤特性の評価のために、DEM に基づく地形量の算出と微地形分類図の作成、さらに、微動計測データとの比較により地盤の卓越周期の分布を作成する。また、シナリオ地震によるハザード推定システムの要素技術を開発する。

4. 研究成果

(1) 合成開口データ (SAR) 画像の InSAR 解析による地盤変動の抽出

地表での計測データが豊富な関東圏を対象に、時系列 InSAR 解析手法のひとつである SBAS (Small Baseline Subset)-InSAR の精度検証を行った。具体的には、スペckルノイズ低減のためのマルチルック処理が地盤変動検出に与える影響を、関東地方の GPS 観測点および水準点での値と比較した。その結果、画像処理のルック数を大きくすることで測定精度が向上し、数ミリメートルのオーダーにて地盤沈下等の地盤変動を検出できることを明らかにした。本手法をチェンライ県とパヤオ県の Mae Chan 断層、Mae Tha 断層、Phayao 断層、そして、カンチャナブリ県の Si Sawat 断層、Three Pagoda 断層に適用すべく、タイ鉱物資源局 (DMR) の協力を得て、活断層調査や地質環境評価の資料を入手したが、ALOS 衛星の運用期間中 (2006 年~2011 年) にて SBAS の解析に必要な十分な画像が得られないこと、対象地域においてこの期間で有意な地盤変動が想定できないことから、2011 年 3 月 23 日にミャンマー (タイ北部との境界付近) で発生した M6.8 地震での変動を評価することにした。図 2 には USGS が公表したこの地震の震度分布を図 3 には現地の被害写真を示す。

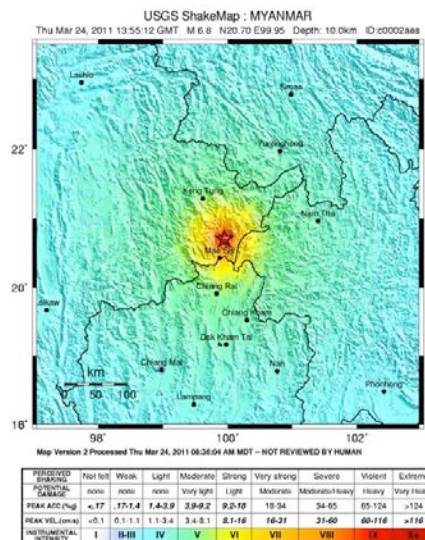


図 2 2011 年 3 月 23 日の地震の推定震度分布 (USGS)



図3 2011年3月23日の地震の被害事例 (Wikipediaより抜粋)

ALOS 衛星は地震前 (2011年2月14日) と地震後 (2011年4月1日) に観測している。ここでは、HH 偏波の PALSAR 画像 (マイクロ波の波長は約 23cm) を用いて InSAR 解析を行った。図4に地震後の PALSAR 強度画像を示す。

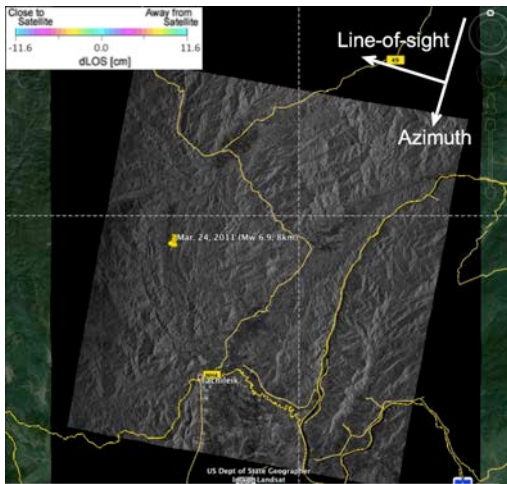


図4 地震後 (2011年4月1日) の PALSAR 強度画像 (Google Earth に表示)

次に、地震前と地震後の画像をサブピクセルレベルで位置合わせを行った後、位相画像から位相差を算出し、2回の衛星軌道の違いに伴う位相差、地形に伴う位相差を除去して地震による地盤変動の位相差を計算した。図5に地盤変動の位相差の分布を示す。位相差の値は0~2 π に畳み込まれている (ラップされている) ため、これをアンラップし、さらに、マイクロ波の波長に基づき変位 (m) に変換した。図6に地震断層周辺の変位分布を示す。なお、断層南側が衛星から遠ざかる方

向あるいは沈降する方向に、断層北側が衛星から近づく、あるいは隆起する方向に変位している。両側の変位量はそれぞれ約 1m と比較的大きい。活断層周辺の地質学的特徴を考慮すると右横ずれ成分の地震断層であったと推定される。なお、断層直上は地表面が乱れているために PALSAR 画像の干渉性が悪く、地表変位が推定できていない。今後、強度画像のピクセルオフセット法により最大変位を正確に求めていく必要がある。

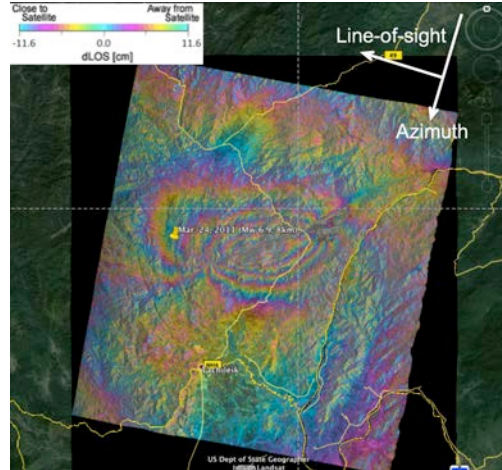


図5 地盤変動による位相差画像 (Google Earth に表示)

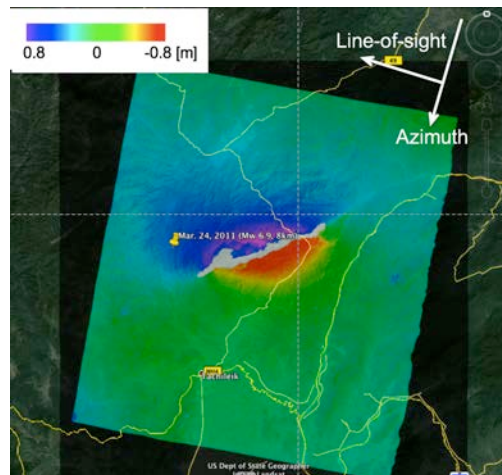


図6 2011年3月23日の地震の地盤変動の分布 (Google Earth に表示)

(2) 地盤特性の評価

地震ハザード評価の対象地域のひとつであるチェンライ市と周辺における地盤モデル作成に関して、SRTM の数値標高モデル (DEM) から3つの地形量 (傾斜、凸部の分布密度、尾根谷密度) を用いて、既往の手法を参考にして微地形分類を行った。図7にフローを示す。その際には、解析対象範囲をチェンライ市の含む狭い範囲と東南アジア地域を含む範囲の2つの範囲に適用し、さらに、DEMの解像度について250mと1000mメッシュの2種類を用いて、これらの組み合わせから4つの微地形分類図を作成して比較と考察を

行った。図 8 に DEM の解像度が 250m, 解析対象範囲を東南アジア地域にした場合のチェンマイ市における微地形分類図を示す。図 9 には凡例を示す。

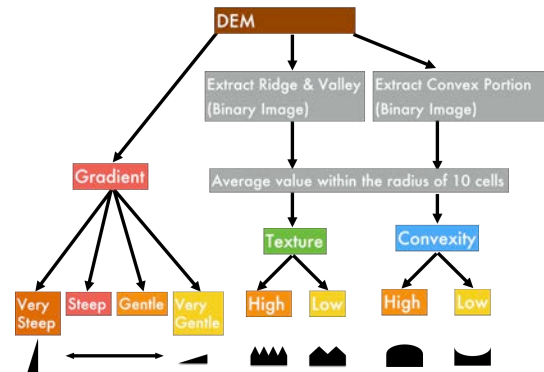


図 7 微地形区分のフロー (Iwahashi and Pike, 2007)

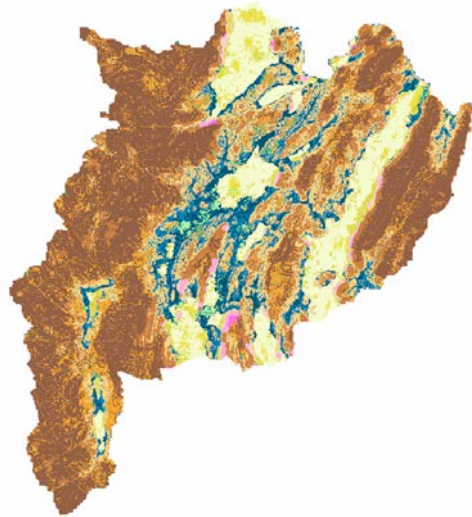


図 8 チェンマイ市の微地形分類図

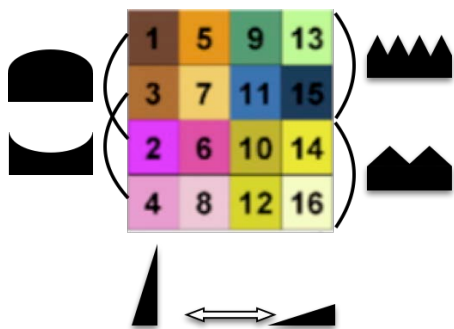


図 9 微地形の凡例 (クラスと地形的特徴)

なお、既往手法では地形を 16 種類に区分するが、ここでは、山地、傾斜地、台地、低地の主要 4 区分に大まかに分けた。解析対象地域および DEM 解像度が結果に与える影響を主題図の変化分析にて検討したところ、解析対象地域を変えると主要 4 区分間において地形が変化するなど、結果に大きな違いがみられた。一方、DEM 解像度の違いは主要 4 区分内の地形間で変化を与えることがわかった。

次に、4 つの微地形分類図から地震時の地盤特性評価に最適なものを選定することを目的に、チェンマイ市の 28 地点において微動計測を実施した。微動計測地点を図 10 に、観測風景を図 11 に示す。

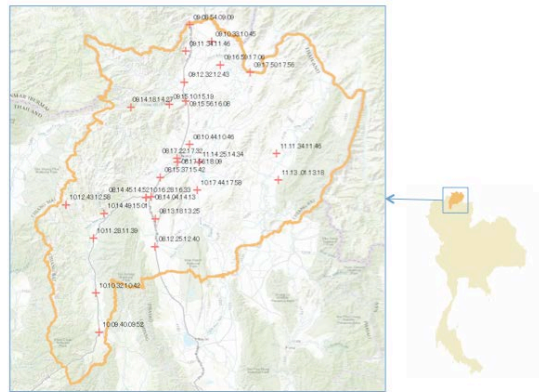


図 10 微動計測地点の分布 (図中の赤点)



図 11 微動計測風景

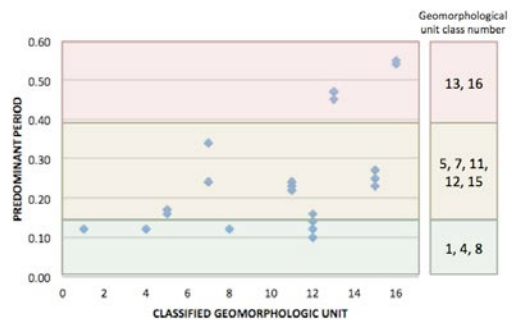


図 12 微地形区分と地盤の卓越周期の関係

微動波形から安定した部分を選定し、H/V スペクトル比から地盤の卓越周期を読み取

った。微動計測地点の地盤の卓越周期と4つの微地形分類図の対応を調べたところ、解析対象地域が東南アジア、DEM解像度が250mの場合(図8)がもっとも対応関係がよいことがわかった。図12には微地形区分と地盤の卓越周期の関係を示す。チェンライ市の地盤は周期0.1~0.6秒と比較的硬質な地盤ではあるが、卓越周期に基づき地盤を3種類に区分して、微地形区分の対応から、チェンライ市の地盤(卓越周期)マップを作成した(図13参照)。図には2014年5月5日の地震の被害箇所も載せており、卓越周期がやや長い地盤と概ねよく対応している。

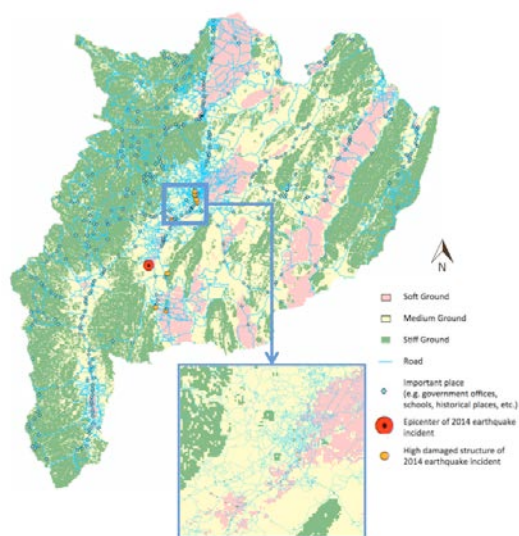


図13 チェンライの地盤の卓越周期分布

次に、チェンライ市を対象としたシナリオ地震のハザード評価に向けた準備として、我が国にて運用されている地震動マップ即時推定システム(QuiQuake)の要素技術をタイ全土に応用した。なお、地盤の増幅特性はUSGSが公開しているVs30マップを利用している。図14には2014年5月5日の地震の硬質地盤(Vs30が600m/s相当)における最大速度(PGV)分布の推定結果を示す。

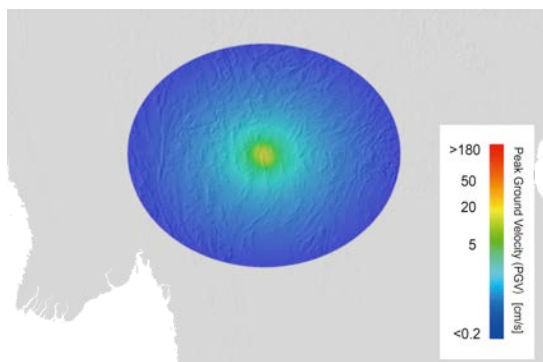


図14 2014年5月5日の地震の硬質地盤での推定最大速度分布

Vs30から地盤増幅度に換算し、硬質地盤の

PGVに乗じて得られる地表でのPGVの推定結果を図15に示す。図16は推定最大加速度(PGA)をGoogle Earthで表示している。

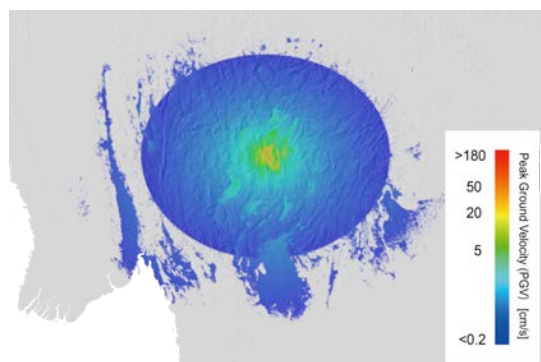


図15 2014年5月5日の地震の地表での推定最大速度分布

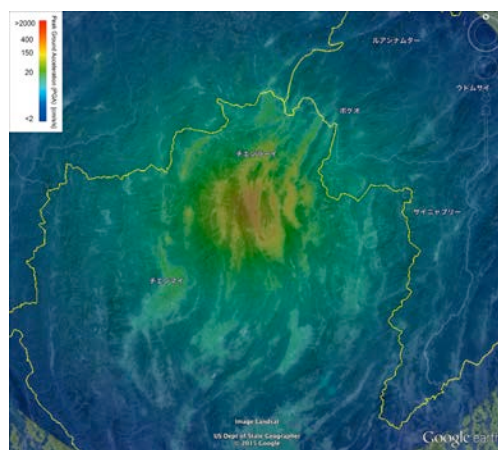


図16 2014年5月5日の地震の地表での推定最大加速度分布(Google Earthに表示)

今後、チェンライ市の地盤の卓越周期だけでなく、Vs30を微動計測データに基づき推定し、面的に拡張を行い、さらに、建物や道路等の施設の分布と、これらの脆弱性に基づいた被害推定手法の構築を進めていく予定にしている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計1件)

P. Nakmuenwai, F. Yamazaki, W. Liu: Automated extraction of inundated areas from multi-temporal dual-polarization RADARSAT-2 images of the 2011 central Thailand flood, Remote Sensing, MDPI, Vol.9, No.1, 78, 2017. (査読有)

〔学会発表〕(計5件)

T. Suvachananonda, Y. Maruyama: Land use change and urban growth prediction in Mae

sort District, Thailand, Proceedings of the 10th Asia GIS Conference on Future Smart Cities, Paper No. S3.1, 2017.

P. Thamarux, N. Leelawat, M. Matsuoka: The GIS database analysis for multi natural hazards risk estimation web application development: A focus on startups in Thailand, Proc. of International Symposium on Remote Sensing 2017, pp.163-166, 2017.

R. Jaturapitpornchai, M. Matsuoka, T. Kasetkasem, P. Rakwatin: Urban detection by using combination of SAR and nighttimelight data based on level set method, Proc. of International Symposium on Remote Sensing 2017, pp.235-238, 2017.

藤田秀隆, 三浦弘之: 2016年ミャンマー地震の被災地での微動による地盤特性の把握とそれに基づく地震動の推定, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第41巻, pp.121-124, 2018.

T. Suvachananonda, Y. Maruyama: Urban growth prediction of special economic development zone in Mae sort district, Thailand, Engineering Journal (Eng. J.), vol. 22, no. 3, 2018. (in press)

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

Thailand -Japan Natural Disaster Risk Mitigation Seminar Series: Application of Satellite Technology and Current Status on Monitoring of Geological Disasters

<https://sites.google.com/site/matsuokamtokyotech/event/20140908>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松岡 昌志 (MATSUOKA, Masashi)

東京工業大学・環境・社会理工学院・准教授

研究者番号：80242311

(2) 研究分担者

三浦 弘之 (MIURA, Hiroyuki)

広島大学・工学研究科・准教授

研究者番号：30418678

山崎 文雄 (YAMAZAKI, Fumio)

千葉大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号：50220322

丸山 喜久 (MARUYAMA, Yoshihisa)
千葉大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号：70397024

(3) 連携研究者
なし

(4) 研究協力者
大串 文誉 (OGUSHI, Fumitaka)
Harris Geospatial 株式会社

本澤 雅彦 (HONZAWA, Masahiko)
リモート・センシング技術センター

ウィウエウイン ウーラチャット
(WIWEGWIN, Weerachat)
Department of Mineral Resources (DMR),
Thailand