

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 1 日現在

機関番号：16401

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2012～2015

課題番号：24403005

研究課題名(和文)スマトラ巨大地震発生後のスマトラ断層：余効変動の収束と新たな歪み蓄積過程の解明

研究課題名(英文) Sumatran Fault after the giant Sumatra earthquake - Temporal decay of postseismic deformation and initiation of a new strain accumulation process

研究代表者

田部井 隆雄 (TABEL, Takao)

高知大学・教育研究部自然科学系理学部門・教授

研究者番号：40207220

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：2004年スマトラ島沖巨大地震に見舞われたインドネシア・スマトラ島アチェ州において、GPS連続及び臨時観測により、地震後の余効変動の収束過程を観測した。さらに、内陸長大横ずれ断層であるスマトラ断層の地震発生ポテンシャル評価を行うため、GPS観測や合成開口レーダー干渉解析に加え、衛星ステレオ画像判読による活断層分布図作成、変動地形の現地調査、断層クリープ測定、トレンチ掘削調査などの変動地形学的研究を併せて実施した。これらにより、異なる時間スケールでのスマトラ断層の活動様式を推定した。

研究成果の概要(英文)：We have conducted continuous and intermittent GPS observations in Aceh province, northern Sumatra, Indonesia to monitor temporal decay of the postseismic deformation after the 2004 giant Sumatra earthquake. In addition we have carried out geodetic and geomorphic studies to evaluate earthquake generation potential of the Sumatran fault that is the arc-parallel strike-slip fault system in the overriding plate. GPS observations, interferometric analysis of synthetic aperture radar images, mapping of active faults from satellite stereo images, geomorphic field research, fault creep measurements, and trench excavation have been conducted to estimate slip pattern of the Sumatran fault in a wide range of time scale.

研究分野：測地学

キーワード：スマトラ断層 プレート境界 GPS 地殻変動 インドネシア 変動地形

1. 研究開始当初の背景

スンダ海溝に沈み込むインド-オーストラリアプレートの運動方向が海溝軸に斜交しているため、上盤側のスンダプレート内に大規模な右横ずれ断層=スマトラ断層が形成されている(図1)。海溝沿いに南東から北西へ向かってプレート進行方向との斜度が増し、スマトラ断層の平均横ずれ速度も北西へ向かって増大すると考えられている。地震活動も活発で、過去120年間にM7.0以上の地震が10個発生している。ただし、断層北端部に位置するアチェ州内のセグメントは未破壊で、地震の空白域とされている。

スマトラ島北端部の地震発生ポテンシャル評価が緊急に必要である理由は、全長1900kmのスマトラ断層の中で最大のすべり速度を持っていること、120年間以上にわたり顕著な地震活動が無いこと、およびスンダ海溝で発生した2つのプレート間巨大地震(2004年スマトラ島沖地震、Mw 9.2; 2005年ニアス地震、Mw 8.7)によって断層に荷重されるクーロン応力が増加していることによる。

プレートの斜め沈み込み-内陸横ずれ断層の図式は西南日本の南海トラフ-中央構造線の関係にも当てはまり、スマトラと西南日本の比較研究は、プレート収束境界域の地殻変形過程の解明に貢献する。また、Mw 9.0を超える巨大地震を経験した東北日本と同様に、震源域近傍で地震後の余効変動から固着回復へ至る遷移過程を連続的に監視することは、より普遍的な地震現象の理解につながる。

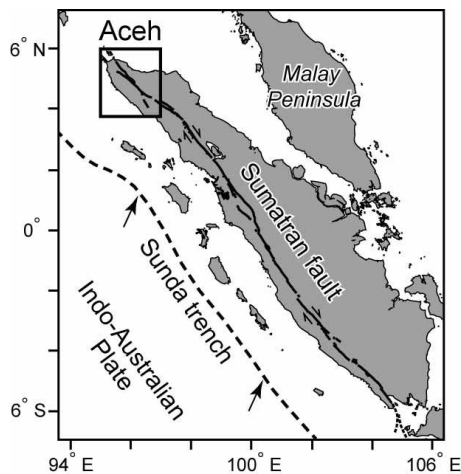


図1. 研究調査地域

2. 研究の目的

2004年スマトラ島沖地震の直後からアチェ州内に段階的に整備してきたGPS観測網を活用し、超巨大地震に伴う余効変動の収束過程を監視するとともに、地震発生に伴う応力擾乱によって始まったスマトラ断層における新たな歪み蓄積過程を解明する。

長く政治的緊張状態が続いたアチェ州では、フィールド調査がほとんどなされていない。衛星ステレオ画像を用いた基礎的な断層位置のトレースと現地の変動地形調査を实

施し、スマトラ断層の長期のすべり様式と活動履歴を解明する。

対象時間スケールの異なる測地学および変動地形学的な地殻変動の解明を通し、スマトラ断層北端部の変形像を確立する。

3. 研究の方法

スマトラ断層を横断する2つの測線を中心とする連続及び臨時GPS観測網AGNeSS (Aceh GPS Network for Sumatran Fault System)で地殻変動観測を実施する。臨時観測(約15点)を年1-2回実施し、1点あたり2-3日のデータを取得する。使用するGPS受信機6-7組は日本から持参する。解析は日本国内で学術解析用ソフトウェアを用いて行う。

断層近傍に3台の3成分・短周期高感度地震計を配置してオフライン連続観測を行い、現地の150-200kmスパンの粗い観測網では把握しきれない微小地震活動を観測する。

実体視可能なALOS/PRISMステレオ画像を判読し、アチェ州内の活断層分布図を作成する。変位地形が明瞭な数ヶ所を選択して年1回の現地調査を行い、変位量の測定や断層路頭の確認を行う。さらに、有望箇所を選定して断層クリープ測定やトレンチ掘削調査を実施する。

現地調査にはバンダアチェ市シアクアラ大学物理学科地球物理学研究室の全面的な協力を得る。日本側研究者は各自が単独でチームを編成し、シアクアラ大学スタッフ・学生と合同でレンタカーを利用して効率よく調査・観測を行う。

4. 研究成果

(1) シアクアラ大学構内におけるGPS連続観測から、2004年スマトラ島沖地震に伴う顕著な余効変動が確認された。累積水平変位は海溝方向に向かって約1mに達し、それは現在も継続中である(図2)。水平変位と上下変位の減衰を表す時定数が異なることから、余効変動を支配する複数の物理メカニズム(断層面上の余効すべりと地殻-最上部マントルの粘弾性緩和)を提唱した(雑誌論文)。また、2012年4月にプレート内地震として最大規模(Mw 8.6)のインド洋地震が発生した際には、観測網内で最大14.9cmの地震時変位を観測した。

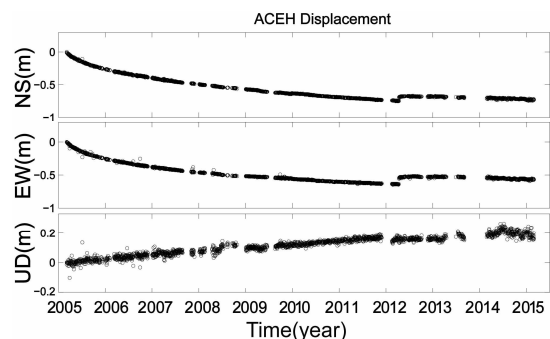


図2. Aceh観測点における変位時系列 (位置は図3を参照のこと)

(2) 2013年1月と7月に、観測網内で相次いでM 6.1の被害地震が発生し、GPSにより明瞭な地震時変動が観測された(図3)。7月の地震発生時には震源近傍でGPS観測を実施中であり、シアクアラ大学の緊急地震調査隊に同行した。2つの地震の断層パラメーターをMarkov Chain Monte Carlo (MCMC)法を用いて推定し、1つ目の地震はスマトラ断層の主断層に発生した右横ずれ地震、2つ目は共役断層に発生した左横ずれ地震と結論した(図3)。スマトラ断層北端部の地震活動活性化は、巨大地震発生による応力増加からも予想されていたことで、今後も十分な監視が必要である。また、2つ目の地震はこれまで未発見の共役断層の存在を示しており、遠地の地震観測からは得られない新たな知見である。以上の成果を学術誌に発表した(雑誌論文)。

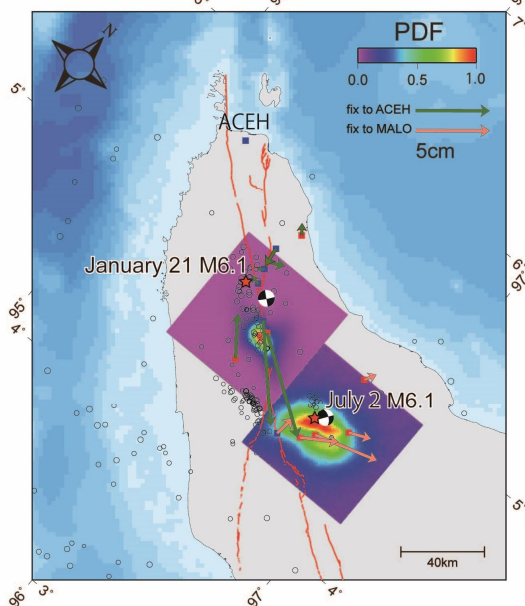


図3. 2013年に発生した2つのM6.1地震と、それに伴う地震時変位。震源位置推定に対する確率密度関数をカラーで示す。

(3) ALOS/PRISM画像よりアチェ州内の活断層分布図を作成した(図4)。スマトラ断層はアチェ州内でAcehセグメントとSeulimeumセグメントに明瞭に分岐する。断層トレースは、河谷の系統的屈曲、閉塞尾根、線状谷、段丘面や火山斜面を切る低断層崖などによって特徴づけられる。現地調査により、基盤岩や河川性の半固結の礫層を切る断層露頭やプレッシャーリッジの内部構造を確認した。断層の2ヶ所において、約100mスパンのアレーを設けて、トータルステーションにより断層クリープの直接観測を行った。得られたクリープ速度は3-4 mm/yrで、断層の長期的な変位速度(約20 mm/yr)の数分の1である。ひずみの大部分は地震時の変位によって解放されると考えられる。さらに、断層の1ヶ所を選定してトレンチ掘削調査を行った。地層の変形・堆積構造から、平均発生間隔が150-300年の3回の活動履歴を確認した。

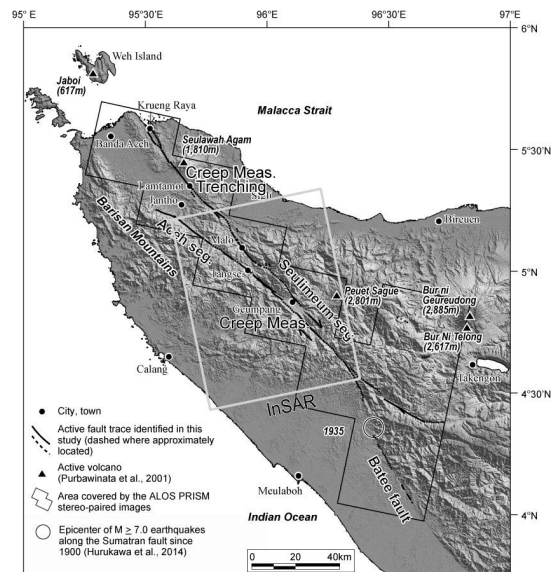


図4. 衛星画像から作成した活断層分布図。Creep Meas.は断層クリープ測定点を、Trenchingはトレンチ掘削点を示す。InSARは合成開口レーダー干渉解析の領域(図5)を表す。

(4) 地表観測の「点分布」を補う目的で、合成開口レーダーALOS/PALSAR画像の干渉解析を行った。2007年1月-2009年12月に撮像された17枚の画像を解析し、干渉度の高い4ペアの結果をスタッキングした(図5)。数十km四方の明瞭な変動域が認められ、断層をはさんで南西側が衛星視線方向へ短縮し、北東側が伸長している。断層の地表トレースの位置で10-15 mm/yrの階段状のオフセットが見られる。変動パターンはスマトラ断層の右横ずれと調和的であるが、断層の平均すべり速度に対しオフセット量はやや過大である。ここに示された変動域は地表観測点が存在しない辺境地であり、今後はALOS/PALSAR-2データを活用するなどして、監視を強めたい。

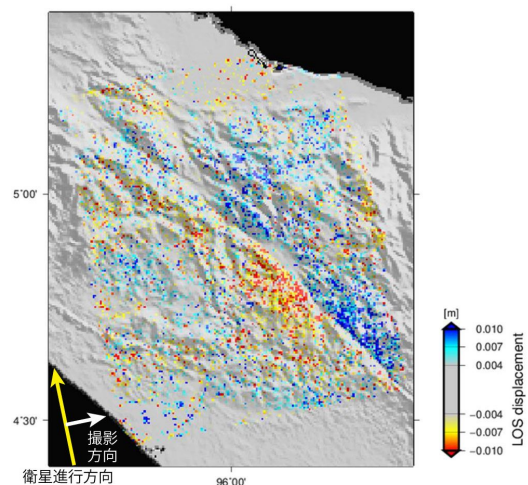


図5. 合成開口レーダー画像の干渉解析による衛星視線方向の距離変化(mm/yr)。解析領域は図4に示されている。

(5) フィールド調査がほとんどなされていなかったスマトラ断層北端部の地震発生ポテンシャルを早急に評価する必要があることから、対象時間スケールの異なる測地学および変動地形学の両面から地殻変動の解明を目指した研究を行ってきた。その意義を学術誌に発表した(雑誌論文)。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計3件)

Ito, T., Gunawan, E., Kimata, F., Tabei, T., Meliano, I., Agustan, Ohta, Y., Ismail, N., Nurdin, I., Sugiyanto, D., Co-seismic offsets due to two earthquakes (Mw 6.1) along the Sumatran fault system derived from GNSS measurements, Earth, Planets and Space, 査読有, Vol.68, 2016, 1-8

DOI:10.1186/s40623-016-0427-z

Tabei, T., Kimata, F., Ito, T., Gunawan, E., Tsutsumi, H., Ohta, Y., Yamashina, T., Soeda, Y., Ismail, N., Nurdin, I., Sugiyanto, D., Meliano, I., Geodetic and geomorphic evaluations of earthquake generation potential of the northern Sumatran fault, Indonesia, International Association of Geodesy Symposia, 査読有, Vol.145, 2015, 1-8

DOI:10.1007/1345_2015_200

Gunawan, E., Sagiya, T., Ito, T., Kimata, F., Tabei, T., Ohta, Y., Meliano, I., Abidin, H. Z., Agustan, Nurdin, I., Sugiyanto, D., A comprehensive model of postseismic deformation of the 2004 Sumatra-Andaman earthquake deduced from GPS observations in northern Sumatra, Journal of Asian Earth Sciences, 査読有, Vol.88, 2014, 218-229

DOI: 10.1016/j.jseaes.2014.03.016

[学会発表](計5件)

堤浩之, 副田宜男, Ismail, N., 田部井隆雄, スマトラ断層北端部の変位地形・活動履歴・クリープ変位, 日本地質学会第122年学術大会, 2015年9月12日, 信州大学長野キャンパス(長野市)

Tabei, T., Kimata, F., Ito, T., Tsutsumi, H., Ohta, Y., Gunawan, E., Yamashina, T., Ismail, N., Nurdin, I., Sugiyanto, D., Meliano, I., New insight into recent activity of the northern Sumatran fault, Indonesia from geodetic and geomorphic observations, Asian Seismological Commission 10th General Assembly, 2014年11月18日, Manila (Philippines)

Tabei, T., Kimata, F., Ito, T., Gunawan, E., Tsutsumi, H., Ohta, Y., Yamashina, T., Ismail, N., Nurdin, I., Sugiyanto, D., Meliano, I., Geodetic and geomorphic

evaluations of earthquake generation potential of the northern Sumatran fault, Indonesia, 2014年7月23日, International Symposium on Geodesy for Earthquake and Natural Hazards, 大観荘コンベンションホール(宮城県松島町)

Tabei, T., Ito, T., Kimata, F., Ohta, Y., Gunawan, E., Ismail, N., Sugiyanto, D., Nurdin, I., Crustal deformation detected by GPS observation network across the Sumatran fault system in northwestern Sumatra, Indonesia, American Geophysical Union 2013 Fall Meeting, 2013年12月9日, San Francisco (USA)

伊藤武男, Gunawan, E., 太田雄策, 田部井隆雄, 木股文昭, Ismail, N., Sugiyanto, D., Nurdin, I., スマトラ断層北西部のGPS観測網内で連続して発生した地震, 日本地震学会2013年度秋季大会, 2013年10月8日, 産業貿易センター(横浜市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田部井 隆雄 (TABEL, Takao)

高知大学・教育研究部自然科学系理学部門・教授

研究者番号: 40207220

(2) 研究分担者

木股 文昭 (KIMATA, Fumiaki)

公益財団法人地震予知総合研究振興会・東濃地震科学研究所・副主席研究員

研究者番号: 10089849

伊藤 武男 (ITO, Takeo)

名古屋大学・環境学研究科・講師

研究者番号: 40377982

太田 雄策 (OHTA, Yusaku)

東北大学・理学研究科・准教授

研究者番号: 50451513

堤 浩之 (TSUTSUMI, Hiroyuki)

京都大学・理学研究科・准教授

研究者番号: 60284428

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

ISMAL, Nazli (シアクアラ大学)

NURDIN, Irwandi (同上)

SUGIYANTO, Didik (同上)

MEILANO, Irwan (バンドン工科大学)

GUNAWAN, Endra (同上)