

粘弾性応答を考慮した2011年東北沖地震の余効すべりの時空間分布 Spatio-temporal afterslip distribution of the 2011 Tohoku-Oki earthquake considering viscoelastic response

鈴木 翔太¹; 伊藤 武男^{1*}; 里 嘉千茂²; 兵藤 守³
SUZUKI, Syota¹; ITO, Takeo^{1*}; SATO, Kachishige²; HYODO, Mamoru³

¹名古屋大学大学院環境学研究科, ²東京学芸大学教育学部, ³海洋研究開発機構 地球内部ダイナミクス領域
¹Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, ²Faculty of Education, Tokyo Gakugei University, ³Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

1. はじめに

2011年3月11日に東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)が発生した。この地震による地殻変動がGEONETや海底地殻変動観測点により観測されており、地震時には日本列島が東向きに変動した。地震後の変動は陸上の観測点では東向きの変動であるが、「宮城沖1」などの海底地殻変動観測点では西向きの変動を示している。地震後の地殻変動の主な原因としては、余効すべりと粘弾性応答があげられる。余効すべりは地震時に破壊した領域の周辺で応力が集中し、その応力集中を緩和するために発生するゆっくりとしたすべりであり、主に地震時と同じ方向の地殻変動が地表では観測される。また、粘弾性応答は地震時のすべりによりアセノスフェアに再分配された応力の緩和現象にともなう地殻変動であり、変動パターンは複雑である。本研究では、これらの2つの現象を考慮し、GEONETと海底地殻変動観測のデータをインバージョン解析することで、2011年東北沖地震の地震時、地震後のすべりの時空間分布を見積もる。

2. 解析手法

断層面上のすべりと地表面での変位の関係を表すグリーン関数は有限要素法を用いて計算した。有限要素法を用いることで、3次元的なプレートの沈み込みの形状や地殻・マントルなどの物性値を考慮した上で弾性的・粘弾性的な地殻変動を計算できる。本研究では東日本の2600×1500×400kmの領域をモデル化した。上部マントルの粘性率はOhzono et al. (2012)を参考に $4.0 \times 10^{18} \text{Pa} \cdot \text{s}$ を採用した。地殻変動データはGEONETと海底地殻変動観測点から得られたものを用いた。観測されたデータには年周変化が含まれているため、最小二乗法によりそれらを取り除いた。インバージョン解析には、すべりがなめらかになるような先験情報を導入した。このすべりのなめらかさの強さを決めるハイパーパラメータは、ノイズリダクションや地震時のMwから最適と思われる値を選択した。

3. 結果・考察

地震時のすべりは宮城沖の海溝付近に位置しており、最大すべりは海溝付近で約60mとなった。また、余効すべりの領域は地震時の破壊領域とは相補的な関係があり、過去のプレート境界での大地震の破壊領域とも相補的な関係があった。余効すべりの大きさは粘弾性を考慮した解析の場合は地震後2.5年間で最大で2mに達し、粘弾性を考慮しない場合では最大で4mに達した。余効すべりによるモーメントマグニチュードは地震後2.5年間で8.06に達しており、余効すべりは今後も発展すると思われる。また、余効すべりの分布は粘弾性を考慮しない場合に比べ、福島沖の余効すべりは顕著に小さくなっており、海底地殻変動観測によって観測された、「宮城沖1」の西向きの変動も粘弾性応答で説明可能であった。このことから上部マントルの粘弾性応答に起因する地殻変動の影響は大きく、逆解析にて考慮する必要がある。

キーワード: 余効すべり, 粘弾性応答, 有限要素法
Keywords: Afterslip, Visco-elastic response, FEM

水準測量より明らかにした東北地方太平洋沖地震による鳴子地域の上下地殻変動 Vertical displacement in Naruko Volcano area following the 2011 Tohoku earthquake deduced from precise leveling survey

塚本 雄也^{1*}; 杉山 賢一¹; 藤田 和果奈¹; 渡辺 慶太郎¹; 渡邊 虹水²; 高畑 明拓²; 松岡 萌²; 後藤 章夫³; 太田 雄策²
TSUKAMOTO, Yuya^{1*}; SUGIYAMA, Kenichi¹; FUJITA, Wakana¹; WATANABE, Keitaro¹; WATANABE, Kosui²; TAKAHATA, Akihiro²; MATSUOKA, Moe²; GOTO, Akio³; OHTA, Yusaku²

¹ 東北大学理学部, ² 東北大学大学院理学研究科, ³ 東北大学東北アジア研究センター

¹Fac. Sci., Tohoku University, ²Grad. School Sci., Tohoku University, ³CNEAS, Tohoku University

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴い、太平洋沿岸で大きな沈降が起きた。沈降量は、内陸（西側）に行くに従って小さくなっていることが、GPSの広域観測で示されている (<http://www.gsi.go.jp/common/000059956.pdf>)。我々は、この変動を捉えるべく、東北大学理学部地球惑星物質科学科の野外実習の一環として宮城県鳴子地域をほぼ東西に走る国道47号線に沿った二等水準路線の約10km区間（水準点番号047-064から047-074；以下、BM64, BM74などと表記）の水準測量を行った。測量は2011年8月23日から28日までと2013年8月19日から25日までの2回行い、いずれにも標尺はライカGPCL3、水準儀はライカDNA03を用いた。2009年の国土地理院の測量成果と比較することで、最も東側のBM64に対するほかの水準点の比高変化を求めた。いずれの水準点間も往復測量を行い、往復残差が一等水準測量を満たさないものは再測を行った。但し、実習期間の制約から、2011年のBM66-BM68間、2013年のBM72-BM74間は、片道測量しか行われていない。

測量前の予想に反し、この区間では、西に行くほどBM64に対して沈降していることがわかった。地震の5か月後に行われた2011年8月の測量では、BM66からBM74はそれぞれ、13.0mm (BM66), 21.4mm (BM68), 81.7mm (BM70), 91.1mm (BM72), 113.9mm (BM74) 沈降し、10kmの基線にも関わらず大きな地震時変位とそれに引き続く余効変動が観測された。さらに2013年8月の測量の結果を2011年8月と比べると、8.5mm (BM66), 16.2mm (BM68), 23.7mm (BM70), 41.9mm (BM72), 46.2mm (BM74), それぞれ沈降していた。2011-2013年で得られた変位の空間パターンは2009-2011年で得られた結果とほぼ同一である。

Ozawa and Fujita (2013), Takada and Fukushima (2013) は In-SAR および GPS データの解析から、東北地方では主な火山地域で沈降が見られることを明らかにした。この沈降は、火山帯の地下にある軟らかな高温岩体が東西方向に引き伸ばされたことで起きたとされている。今回の調査区間はこの地域に含まれ、我々の測量結果はこれと調和的である。一方でこれらの先行研究は地震に伴う変動のみに着目しているが、我々の結果は地震後も鳴子周辺域では継続して沈降が継続していることを示唆する結果となった。特に、鳴子カルデラの縁にかかると見られるMB68とBM70の間で、沈降量が急増するのは注目に値する。

謝辞

2011年の水準測量に参加された小林諒平さんと原永美さんに感謝いたします。

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, 鳴子カルデラ, 水準測量, 沈降

Keywords: Great East Japan Earthquake, Naruko caldera, precise leveling survey, subsidence

超伝導重力計による 2011 年東北地方太平洋沖地震後の重力変化 Postseismic gravity changes after the 2011 Tohoku earthquake recorded by superconducting gravimeters

今西 祐一^{1*}; 田村 良明²; 名和 一成³; 池田 博⁴

IMANISHI, Yuichi^{1*}; TAMURA, Yoshiaki²; NAWA, Kazunari³; IKEDA, Hiroshi⁴

¹ 東京大学地震研究所, ² 国立天文台, ³ 産業技術総合研究所, ⁴ 筑波大学

¹ERI, The University of Tokyo, ²NAOJ, ³AIST, ⁴University of Tsukuba

2011 年東北地方太平洋沖地震は、広い範囲で大規模な地殻変動を引き起こしたが、地表における重力にも大きな影響を与えていることが、松代（長野県）および神岡（岐阜県）の超伝導重力計の記録から明らかになってきた。いずれの観測点においても、地震以前には重力はほぼ一定だったが、地震発生後はほぼ同じレート（およそ 10 マイクロガル/年）で重力が減少し、現在もその傾向が続いている。これらの観測点は、震源域からはある程度離れており（震央距離はそれぞれ約 420km および約 490km）、GEONET のデータによれば余効変動は比較的小さい。したがってこの重力減少は観測点の隆起では説明できず、地下の物質の粘弾性的な流動による密度分布の変化を反映していると考えられる。発表の際は、本州にあるもう一つの観測点である水沢（岩手県）の記録もあわせて紹介する。

キーワード: 超伝導重力計, 2011 年東北地方太平洋沖地震, 余効変動, 粘弾性

Keywords: superconducting gravimeter, 2011 Tohoku earthquake, postseismic gravity changes, viscoelasticity

2013年樽前山近傍の地震活動に先行した地殻変動の圧力源モデル (詳報) Pressure Source Model Inferred from Crustal Deformation Preceding Seismic Swarm in 2013 beneath Tarumae Volcano

小四郎丸 拓馬¹; 村上 亮^{1*}
KOSHIROMARU, Takuma¹; MURAKAMI, Makoto^{1*}

¹ 北海道大学大学院地震火山研究観測センター
¹ ISV, Hokkaido University

樽前山は北海道の南西部に位置する標高 1,041m の活火山である。歴史時代には、1667 年と 1739 年に大規模なプリニー式噴火が発生した。また、1909 年噴火では、山頂に溶岩ドームを形成する噴火を起こしており、本格的なマグマ噴火を頻繁に繰り返している。

しかし、近年の火山活動は、噴気や浅部の火山性地震活動に限られていて、概ね低調である。気象庁などの GPS 繰り返し観測では、溶岩ドーム付近で変動が見いだされているが、力源は比較的浅部に推定されている。一方、国土地理院や気象庁が実施しているやや広域の GPS 連続観測では、深部の火山活動によると考えられる地殻変動は認められていない。これまで、樽前山深部の流体活動を示唆する地殻変動は捉えられてこなかった。

2013 年 7 月上旬頃から、従来は顕著な地震活動が無かった山頂ドームの西方 2km の深さ約 3-5km の領域において、活発な地震活動が始まったが、それに先立ち地殻変動が進行していたことが、傾斜及び歪変化が樽前山周辺の複数の連続地殻変動観測点の記録から確認された。変化の大きさは、およそ $1 \mu \text{ rad}/\mu \text{ strain}$ レベルであった。複数の観測点に同期して現れており、その出現期間は、降雨及び遠地震の影響の可能性が低いことから、地下の力源の何らかの活動に起因する可能性が高い。地殻変動は 7 月中旬までに集中して発生しており、それ以降は、2014 年 2 月時点に至るまで、認められていない。

地殻変動は球状圧力源及びシルを仮定して、グリッドサーチを試みた。山頂ドームの北北西方向の深さ 4.2km (海拔) に体積変化量 $3.4 \times 10^5 \text{ m}^3$ の膨張性球状圧力源が最も良く観測値を説明する。力源の位置は、2013 年 7 月頃より増加した地震活動の震源域のやや東方である。

力源の位置や活動時期が地震活動のそれらと近接しているため地殻変動と地震活動の間には何らかの関連性があると考えられる。講演では、示唆される両者の関係についても議論する。

キーワード: 地殻変動, 活火山, 群発地震活動, 樽前山

Keywords: Crustal Deformation, Active Volcano, Swarm Earthquake, Tarumae Volcano

繰り返し GPS 観測による雌阿寒岳及び十勝岳の火山性地殻変動の検出 Campaign GPS for detection of the volcanic deformation on and around Mt.Meakan and Mt.Tokachi

和田 さやか^{1*}; 森 済¹; 奥山 哲¹

WADA, Sayaka^{1*}; MORI, Hitoshi, Y.¹; OKUYAMA, Satoshi¹

¹ 北海道大学院理学院地震火山研究観測センター

¹ Hokkaido University, Institute of Seismology and Volcanology

雌阿寒岳は北海道の東部に位置し、1996年、1998年、2006年および2008年には水蒸気噴火が発生しており、数年おきに水蒸気噴火を起こしている。また、十勝岳は北海道の中央部に位置し、道内でも有数の活動的火山である。最近の活動は活発で、ここ100年間では、1926年、1962年および1988~89年には大規模なマグマ噴火が発生している。本発表では、雌阿寒岳および十勝岳における広域繰り返しGPS観測の結果について議論する。

雌阿寒岳においては2006年から、十勝岳では2007年から繰り返しGPS観測を行っている。観測点は、雌阿寒岳では8点、十勝岳では12点を設置し、毎年数日~数週間の繰り返しGPS観測を行っている。本発表では、これらの毎年の観測データのうち、十勝岳では2007年以降、雌阿寒岳では2008年噴火以降の観測データを用いた。さらに、これらの繰り返しGPS観測と同期間の気象庁の観測点における観測データを同時に用いて、各火山における地殻変動の時系列変化を推定した。データ解析には、解析ソフトウェアRTKLIB(高須ほか、2007)を用い、観測データから各火山における地殻変動の時系列変化を推定した。これらの時系列変化のデータには、火山性と思われる地殻変動だけでなく、地域的なテクトニックな変動や、2011年3月11日の東北沖太平洋地震による変動が含まれている。これらの変動の補正を行うために、各火山周辺の国土地理院の電子基準点(GEONET)における連続観測データを用いた。2007年から2013年までのGEONETのデータを用いて、各火山地域におけるテクトニックな変動と東北沖太平洋地震に伴った変動を空間的に線形近似して推定した。また、より詳細に変動を推定するためには、季節変化による影響をも考慮に入れる必要があると考えられる。地域的なテクトニックな変動や、地震による変動、そして季節変化の補正を行うことで、推定された火山性地殻変動について、詳細な議論を行う。

謝辞

本研究においては、気象庁札幌管区气象台にGPS観測データを提供していただきました。感謝致します。また、国土地理院の電子基準点GPS連続観測データを使用させていただきました。

キーワード: 繰り返しGPS観測, 火山性地殻変動, 十勝岳, 雌阿寒岳

Keywords: campaign GPS observation, volcanic crustal deformation, Mt. Tokachi, Mt. Meakan

蔵王山の火山活動に伴う地殻変動 Crustal deformation associated with the unrest of Zao Volcano

三浦 哲^{1*}; 西村 太志¹; 太田 雄策¹; 山本 希¹; 出町 知嗣¹; 立花 憲司¹; 近江 克也²; 篠原 英一郎²
MIURA, Satoshi^{1*}; NISHIMURA, Takeshi¹; OHTA, Yusaku¹; YAMAMOTO, Mare¹; DEMACHI, Tomotsugu¹; TACHIBANA, Kenji¹; OHMI, Katsuya²; SHINOHARA, Eiichiro²

¹ 東北大学理学研究科, ² 仙台管区気象台

¹ Graduate School of Science, Tohoku University, ² Sendai District Meteorological Observatory

はじめに

宮城県と山形県の県境に位置する蔵王山では、2013年1月に初めて火山性微動が観測されて以降、その後も月に1回程度の頻度で繰り返し観測されている(気象庁, 2013)。蔵王山は2011年東北地方太平洋沖地震の震源域に最も近い火山でもあり、今後の活動の推移が注目される。

東北大学では、蔵王山周辺の火山活動をより詳細に把握するため、2013年新たに地震計4点、傾斜計1点、GPS連続観測5点、全磁力2点等の観測網を展開した。本報告では、これまでの観測により得られている蔵王山周辺の火山活動に伴う地殻変動について報告する。

GPS 連続観測網

これまで、蔵王山周辺のGPS連続観測網は、国土地理院によるGEONETに加えて気象庁の坊平観測点(J310)のみであったが、2013年4月末に本学蔵王観測所に設置したのをはじめ、9月末までに白石スキー場、セントメリースキー場、宮城県営山頂レストハウス、蔵王ロープウェイ地蔵山頂駅への設置を行った。

新設観測点においては、GPSアンテナは既存の建物や構造物の外壁、屋上等に固定した金属製ポールに取り付けた。データは携帯通信端末によりインターネットに接続し、毎日定時に自動で収集している(出町・他, 2011)。

データ解析には、GIPSY-OASIS II ver. 6.2の精密単独測位法(Precise Point Positioning, PPP)を用いた。衛星の軌道情報はITRF2008に準拠したIGS08を、中性大気中の水蒸気に対する補正にはGMF(Boehm et al., 2006)を用いた。

傾斜観測

蔵王山周辺では、本学蔵王火山観測所及び気象庁坊平観測点においてボアホール型傾斜計による観測が行われていたが、いずれも火口湖である御釜からそれぞれ約3 km, 5 kmの距離に位置している。本学では蔵王山の火山活動活発化に対応して、超長周期地震(VLP)の震央となっている御釜の南西約500mの位置(馬の背)に深度約10mのボーリング坑を掘削し、Pinacle社の傾斜計を設置した。

結果

東北地方においては、2011年東北地方太平洋沖地震後の顕著な余効変動が今なお継続しており、蔵王山の火山活動に関連する地殻変動を抽出するためには、余効変動成分を除去する必要がある。余効滑りや粘性緩和などを考慮した余効変動の時間発展を精確に再現する物理モデルが構築されれば、それに基づいて余効変動成分を取り除くことも可能であるが、現段階ではそれ自体が重要な研究課題であることから、本研究では余効変動が広域で長期間継続していることを利用してフィルタリングによる除去を試みた。

蔵王山を含む約100 km四方の範囲にあるGPS連続観測点において2013年5月から11月までの7ヶ月間のデータから得られた変位場に対して、余効変動を緯度経度の3次関数により近似して除去したところ、蔵王山周辺の観測点ではいずれも数mm程度以下の残差変位場を抽出できたが、全体的に東方向への変位が卓越する傾向が見られた。仮定した次数が不十分である可能性があり、今後さらなる検討が必要である。

一方、すべり速度/状態依存摩擦法則によれば、大地震の余効滑りは時間に対する対数関数で近似できるとされている(例えばMarone et al., 1991)。PPP法による解析結果にはプレート運動による剛体回転成分も含まれることを考慮して、さらに1次関数も加えて東北地方太平洋沖地震後の各観測点の変位時系列を近似したところ、残差は非常に小さくなり観測結果をよく説明できることがわかった。残差時系列に基づいた2013年10月から12月までの蔵王山周辺の地殻変動をみると、数mm程度ではあるが山体の膨張傾向を示しているものの、まだノイズレベル以下の変動であり、今後の傾向を注意深く見ていく必要がある。

傾斜計による観測データについては、一般に降雨や季節変動等の影響もあって、数ヶ月程度以上の時定数をもつわずかな現象を捉えることは困難であり、蔵王山周辺の傾斜計でも、今回の火山活動に関連すると思われる長期的変化は現在のところ見られない。一方、2013年1月以降に発生している大きめのVLPに伴った変化が傾斜計でも捉えられており、周期数秒程度の傾動変化は広帯域地震計による粒子軌跡と同様に震源方向を向いている。さらに、これらの短周期変動に先行して約5分前からramp関数的な変動が見られる場合もあり、VLPの発生機構を考える上で重要と考えられる。

参考文献

Boehm et al. (2006), GRL, 33, L07304, doi:10.1029/2005GL025546.

出町・他 (2011), 2011年JpGU大会.

SSS33-06

会場:315

時間:4月30日 10:15-10:30

気象庁 (2013), http://www.seisvol.kishou.go.jp/tokyo/STOCK/kaisetsu/CCPVE/shiryo/127/127_no06_2.pdf
Marone et al. (1991), JGR, 96, 8441-8452.

キーワード: GPS, 傾斜変動, 火山性地殻変動, 火山活動

Keywords: GPS, Ground Tilt, Volcanic deformation, Volcanic activity

The acceleration episode of the back-arc rifting in the Izu-Bonin Arc possibly triggered by a remote earthquake in 2004

The acceleration episode of the back-arc rifting in the Izu-Bonin Arc possibly triggered by a remote earthquake in 2004

ARISA, Deasy^{1*}; HEKI, Kosuke¹
ARISA, Deasy^{1*}; HEKI, Kosuke¹

¹Department of Natural History Sciences, Faculty of Science, Hokkaido University

¹Department of Natural History Sciences, Faculty of Science, Hokkaido University

The Izu-Ogasawara (Bonin)-Mariana Island arc lies along the convergent boundary between the subducting Pacific plate (PA) and the overriding Philippine Sea plate (PH) in the western Pacific. Nishimura (2011) found that the back-arc rifting goes on behind the Izu arc by studying the horizontal velocities of GNSS stations on the Izu Islands. Here we show that this rifting has accelerated in 2004 using GNSS data at stations such as Aogashima, Hachijojima, Mikurajima, Shikinejima, and Nijima (we excluded stations in the Miyake Island because of the volcanic deformation).

The back-arc rifting behind the Izu islands can be seen as the increasing distance between stations in the Izu Islands (they are located to the east of the rifting axis) and stations located in the stable part of PH, e.g. Minami- and Kita-Daito islands. We found that their movement showed clear acceleration around the third quarter of 2004. Such an accelerated eastward movement could be interpreted not only as the acceleration of the back-arc rifting, but also as the trenchward movement of the arc due to a slow slip episode at the PH-PA boundary.

We first rule out the second possibility by constraining the onset time of the acceleration episode, and by correlating it with other inter-plate earthquakes in the PH-PA boundary. There was an inter-plate earthquake occurred on May 29, 2004 (M6.5) at the PA-PH boundary just to the south of the Boso-oki triple junction. However, the time series clearly lacked the jump which should mark the onset of the eastward slow movement. Moreover, the additional velocity vectors do not converge to the epicenter, and the onset time that minimizes the post-fit residual is significantly later than May. We therefore conclude that the accelerated eastward movement started in 2004 was not due to the afterslip of the interplate earthquake in May.

We found that the onset time coincides with the occurrence of the September 5, 2004, Kii-Hanto-oki, September 5, 2004, earthquake (M7.4), which occurred in the PH slab subducting at the Nankai Trough off the Kii Peninsula. We found that the accelerated movement vectors of these islands are almost parallel with each other, and perpendicular to the rift axis. We hypothesize that the seismic wave radiated from the epicenter of this earthquake dynamically triggered the acceleration of the back arc opening in the Izu Arc.

キーワード: GPS, GNSS, Izu-Bonin Arc, time series, back-arc opening, acceleration

Keywords: GPS, GNSS, Izu-Bonin Arc, time series, back-arc opening, acceleration

GPS 変位速度場から推定した中央構造線の深部構造と運動様式 Subsurface structure and slip pattern of the Median Tectonic Line, SW Japan inferred from GPS displacement rate field

枝川 乃舞子¹; 田部井 隆雄^{1*}; 一谷 祥瑞²; 中村 保彦²
EDAGAWA, Nobuko¹; Tabei, Takao^{1*}; ICHITANI, Shozui²; NAKAMURA, Yasuhiko²

¹ 高知大学理学部, ² 高知大学大学院総合人間自然科学研究科
¹Fac. Science, Kochi Univ., ²Grad. School Int. Arts Sciences, Kochi Univ.

西南日本を東西に縦断する中央構造線 (MTL) は、南海トラフにおけるフィリピン海プレートの斜め沈み込みに起因する右横ずれ断層で、西南日本を外帯と内帯に分割する。外帯はプレート沈み込みによる北西-南東方向の強い圧縮を受けながら、MTL を境に内帯ブロックに対してわずかに西向きに横ずれ運動し、前弧スリバーを形成している。こうした地殻変動場の解明には、南海トラフにおけるプレート境界面上の固着分布に加え、MTL 断層面の構造と運動様式が重要な要因となる。加えて、MTL はそれ自身が将来に内陸直下型の大地震を引き起こす可能性を有しており、地震災害リスク評価の面からも重要な監視対象である。

我々は国土地理院 GEONET を補完する MTL 横断稠密 GPS 観測を実施し、プレート沈み込みの影響を除去した変位速度場から、MTL 北側の幅 20-30km の領域に外帯/内帯の相対運動の遷移帯が存在することを示した (Tabei et al., 2002)。これを説明するため、MTL 周辺の地質構造は北傾斜であるという反射法地震探査結果 (Ito et al., 1996) を用い、北傾斜した断層面の上部が深さ 15 km まで固着し、それより深部で定常的右横ずれが起きているというモデルを提唱した。このモデルで速度場の遷移帯をうまく説明できるものの、傾斜断層面上の純粋な横ずれ運動という、応力場の観点からはいささか不自然な点が残った。さらに、MTL 北側の讃岐平野、燧灘、高縄半島では高角断層面上の右横ずれメカニズムを示す地震が MTL と平行に帯状に発生し (久保・岡田, 2007)、MTL の地表トレースや北傾斜構造と整合しない。こうした問題の解明には MTL 北側での地殻変動観測が重要であるが、瀬戸内海存在により GEONET 観測点密度は低い。そこで、これを補完する目的で、燧灘とその周辺に計 3 点の GPS 連続観測点を設置し、2010 年 11 月より観測を実施している。

MTL 周辺の北傾斜構造と、MTL の北側に連なる高角/右横ずれメカニズムの地震分布の両方を説明するものとして、以下の運動学的モデルを提唱する。北傾斜した MTL 断層面上の盤内に、MTL と平行に複数の鉛直/右横ずれ断層が存在し、断層面が固着して外帯/内帯の相対運動を分散して阻害することで、全体として変位速度場の遷移帯を形成する。今回は深さの異なる 4 枚の平行断層を仮定した。ブロック速度の 1/4 に相当するすべり欠損速度を各断層に与え、それぞれが作る変位場とブロック運動を合算すると、1 枚の傾斜断層による遷移帯とほぼ同等の結果が得られた。

なお、2011 年東北地方太平洋沖地震の発生が西南日本の地殻変動場に及ぼした影響を調べるため、GEONET 574 点の F3 解を用いて地震前 (2006 年 1 月-2009 年 12 月) と地震後 (2011 年 3 月-2013 年 7 月) の変位速度場を算出した。地震後の変動場には東北東に 1-4 cm/yr の広域の速度が重畳しており、震源域に向かう伸張ひずみが認められる。しかし、フィリピン海プレートの沈み込みに伴う北西-南東方向の圧縮場に有意な変化は認められない。

キーワード: 中央構造線, 南海トラフ, GPS, 地殻変動

Keywords: Median Tectonic Line, Nankai Trough, GPS, Deformation

南西諸島北部におけるGPS連続観測 Continuous GPS observation in northern part of Nansei Islands

中尾 茂^{1*}; 八木原 寛²; 平野 舟一郎²; 後藤 和彦²
NAKAO, Shigeru^{1*}; YAKIWARA, Hiroshi²; HIRANO, Shuichiro²; GOTO, Kazuhiko²

¹ 鹿児島大学工学研究科, ² 鹿児島大学南西島弧地震火山観測所
¹GSSE, Kagoshima Univ., ²NOEV, Kagoshima Univ.

GEONET, which is a nationwide GPS observation in Japan cover on all over Japan. However, there is a GEONET site in Toshima-mura which is located in northern part of Nansei Islands. This region is defined the boundary between Northern and Central part of Ryukyu arc (Nishimura et al., 2004). It is not clear that where is the boundary because there is almost no GPS site. Goto (2013) concluded that the great earthquake occurred in 1911 is the interpolate event in this region. We set up the continuous GPS in islands of this region due to observe crustal deformation in this region.

In Akuseki Island (AKSK), Takarajima (TAKR) and Kuchinoshima (KCHI), continuous GPS (CGPS) observation started in March 2007, July 2007 and September 2010, respectively. CGPS set up on Gajyajima (GJYA) and Ujishima (UJIS), where is a deserted island, in May 2009. CGPS in Yokoatejima (YKAT) started in September 2013. Data is recorded at CGPS sites. Electric power system at GJYA, UJIS and YKAT is composed of batteries and photovoltaic cells.

Bernese GPS Software ver. 5.0 are used with IGS precise ephemerides and IERS rotation parameters. We also estimated tropospheric delays every hour and their horizontal gradients every six hours.

The short-term repeatabilities are from 1.6 to 3.0 mm in horizontal component and from 6.5 to 7.9 mm in vertical components. These observation is expected to make contribution to resolve rigid movement and crustal deformation in this region.

合成開口レーダを用いたタンザニアの群発地震における地殻変動の検出とその発生メカニズムについて The detection of crustal deformation associated with earthquake swarm in Tanzania observed by SAR

姫松 裕志^{1*}; 古屋 正人¹
HIMEMATSU, Yuji^{1*}; FURUYA, Masato¹

¹ 北海道大学大学院理学院

¹ Graduate School of Science, Hokkaido University

東アフリカ地溝帯は、陸域で発散するプレート境界がある数少ない地域である。この地域は東西に年間数 cm 拡大し続け、数百万年後には大陸が分断するとされている。また、この地域では中規模の地震や火山活動が活発にみられ、至る所に断層や火山が存在する。

2007年7月にタンザニア北部で最大 Mw5.9 の地震を含む群発地震が発生し、およそ2ヶ月にわたって続いた。Global CMT の発表によると、この群発地震の間に M>5 の地震は8回発生しており、それらはいずれも正断層型の地震である。また群発地震が始まって1週間後には、震源域に近い Oldoinyo Lengai が噴火を始め、群発地震が終息に近づいた頃に噴煙中を伴う噴火をした。

Biggs et al.(2009,2013) では、主に C バンド衛星である ENVISAT/ASAR のデータに基づいて時系列的な群発地震と Oldoinyo Lengai の噴火に伴う地殻変動を検出した。しかし位相アンラップが部分的にできていない領域もあり、データが欠落している領域もある。いずれも Descending のみのデータであるため、地殻変動の詳細を検出できていない可能性がある。そこで本研究では、より位相アンラップが容易な長波長のマイクロ波を用いている L バンド衛星である ALOS/PALSAR の Ascending と Descending のデータを用いて地殻変動の検出を行った。

本研究の目的は、群発地震に伴う地殻変動の検出を行い、その地殻変動をより詳細に説明するために断層モデルを推定することで、陸域のプレート境界における地殻変動のメカニズムを解明する手掛かりを得ることである。

Ascending と Descending の InSAR による解析結果は、北東-南西方向にのびる沈降した領域がみられ、この領域を境に北西-南東方向に拡大する地殻変動が明らかになった。この地殻変動の空間変動パターンは、東アフリカ地溝帯が拡大している方向とほぼ一致する。さらに Azimuth Offset の結果は、沈降した領域がやや南に変動していることを示している。以上の3つの結果を用いて3次元変位を求めた。沈降した領域では、鉛直方向に最大 62cm の沈降と南南東方向に最大 33cm の水平移動がみられ、それを挟む東西の領域では、わずかな隆起と北西-南東方向へ 50cm 程度の水平移動がみられた。

これらの変動を詳細に説明するために、半無限均一弾性体を仮定して断層モデルを推定した。断層形状の複雑性を考慮するために、三角形の食い違い要素を用いた非平面断層モデルを推定した。求められた3次元変位とこの地域が引張場であることを鑑みて、西落ちと東落ちの2枚の断層をおいた。

InSAR によって得られた変位量を説明する断層のすべり量をインバージョン解析によって求めた。いずれの断層も 2-4km の深さで同じ程度のすべり量を示し、Strike 方向には最大 75cm、Dip 方向には最大 1m のすべり分布を示した。そのすべり量から得られる変位量は、観測値を良く説明するものである。

推定した断層モデルによるモーメントの解放量 (Geodetic Moment: GM) は群発地震で解放されたモーメント解放量 (Seismic Moment: SM) を上回り、その比 (SM/GM) は 37.2 % となった。この値が小さいほど非地震性の地殻変動が多く発生したことを示している。

群発地震の発生期間中に Oldoinyo Lengai が噴火し、InSAR によっても、この噴火活動に伴う地殻変動も検出された。群発地震と噴火との関連性についても議論する予定である。

キーワード: 干渉 SAR, 地殻変動, 東アフリカ地溝帯, 群発地震, 大陸形成, タンザニア

Keywords: InSAR, Crustal deformation, East Africa rift valley, Earthquake swarm, Continental tectonics, Tanzania

合成開口レーダーで捉えた2009年 Cinchona 地震 (Mw6.1, コスタリカ) に伴う地殻変動と断層モデリング Coseismic Deformation Detected by SAR and Fault Source Modeling of the 2009 Cinchona Earthquake (Mw6.1), Costa Rica

梅村 宗太郎^{1*}; 古屋 正人¹
UMEMURA, Shutaro^{1*}; FURUYA, Masato¹

¹ 北海道大学大学院理学院自然史科学専攻
¹Department of Natural History Sciences, Hokkaido University

2009年1月8日に中米コスタリカで Mw6.1 の浅い地震が発生した。Cinchona 地震と呼ばれるこの地震は多数の地すべりを引き起こし、20名以上の死者を出す大きな被害となった。付近には NNW-SSE 走向の Angel-Vala Blanca 断層があり、それが震源断層だと推定された (Montero et al., 2009)。地震発生後4日後 (2009年1月12日) には震源から6km西に位置する Poas 火山が1年ぶりに噴火した (VEI 1)。この火山は2006年に10年ぶりの噴火をして以来活動的な状態が続いていた。本研究では地震と火山の関係性を調べる第一歩として、ALOS/PALSAR のデータを用いて地震時地殻変動を検出し、InSAR データを説明する断層モデルを作成した。

本研究では ALOS/PALSAR の北行軌道 (path162, frame190) と南行軌道 (path465, frame3410) のデータを用いた。地形効果の補正に ASTER GDEM の数値標高モデルを、SAR データの解析には Gamma Remote Sensing のソフトを用いた。干渉処理においては大気ノイズの除去を行った。断層要素のグリーン関数の計算には Meade(2007) で公開されている半無限均質弾性体を仮定した triangular dislocation elements による変位の解析解のスク립トを利用した。

InSAR 解析の結果、北行軌道で最大20cm、南行軌道で最大22cmの地震時地殻変動による LOS (Line of Sight) 変位が認められた。断層モデルをトライアンドエラーで探したところ、strike/dip が 133/65、中央での rake が -163 の断層で変位をうまく説明できた。これは Angel-Vala Blanca 断層とは違う断層パラメーターであり、未知断層が震源となったと考えられる。また、断層運動によって Poas 火山の直下の圧力が増加した。この圧力変化が噴火にどう関連するか、さらなる議論が必要である。

キーワード: InSAR, 地震時地殻変動, 断層モデル, コスタリカ
Keywords: InSAR, Coseismic Deformation, Fault Source Model, Costa Rica

精密水準測量による台湾台東縦谷断層中部における クリープ滑りの加速イベント
(2010-2013)
An acceleration event of creeping slip detected by precise leveling survey at the central
part of the Longitudinal valle

村瀬 雅之¹; 松多 信尚^{2*}; Lin Cheng-Hong³; Chen Wen-Shan⁴; Lin Jui-Jen³; 西川 由香⁴; 和田 絵里香¹; 小泉 尚嗣⁵
MURASE, Masayuki¹; MATSUTA, Nobuhisa^{2*}; LIN, Cheng-hong³; CHEN, Wen-shan⁴; LIN, Jui-jen³; NISHIKAWA, Yuka⁴
; WADA, Erika¹; KOIZUMI, Naoji⁵

¹ 日本大学文理学部地球システム科学科, ² 名古屋大学環境学研究所, ³ 中央研究院地球科学研究所 (中華民国台湾), ⁴ 国立台湾大学 (中華民国台湾), ⁵ 産業技術総合研究所

¹Department of Geosystem, College of Humanities and Sciences, NIHON University, ²Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, ³Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, ⁴National Taiwan University, ⁵The National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

Precise levelling surveys were conducted across the central Longitudinal Valley Fault, eastern Taiwan, to understand the deformation of the transition zone between the stable fault creep area and the locked area, which maybe correspond to an asperity. In order to investigate the surface relationship between the fault creep area and the geological condition of the transition zone, we established levelling routes in the Yuli, and Chike-san areas. The Yuli area forms the geological boundary of the Lichi Melange Formation, which is composed of chaotic mudstones containing numerous exotic blocks of various sizes and lithologies. Along the Yuli route, located on the Lichi Melange, an uplift rate of 30 mm/yr was detected during the period 2010-2013, suggesting that aseismic fault creep might be continuing with long-term stability. Along the Chike-san route, located on no Lichi Melange, a vertical deformation rate of 8 mm/yr, 40mm/yr, and 20mm/yr were detected in the period 2010-2011, 2011-2012, and 2012-2013, respectively.

The creep slip distribution was estimated by using a two-dimensional single-fault model proposed at Chike-san in the period 2012-2013. Large slip rates were estimated at 4-5 km of the fault plane. At the previous periods 2010-2011 and 2011-2012, relatively large slip rates were estimated at two parts of the fault plane-one at a depth of about 1.5 km and another at a depth of 4-5 km-. We believe that the acceleration event of creeping slip was continued at the depth of 4-5 km in the period 2012-2013. The northern limit of the stable creep area may be the Yuli area. The episodic creep event occurred in the transition zone between the stable fault creep area and the asperity area. The boundary between the stable creep area and the episodic creep area is consistent with the geological boundary of the Lichi Melange Formation.

キーワード: 台東縦谷断層, クリープ, 精密水準測量

Keywords: Taiwan, Longitudinal valley fault, precise leveling survey, aseismic creep motion

コサイスミックな内部応力変化の理論計算-丸い地球の場合 Internal stress changes due to point dislocations in a spherical earth

高木 悠^{1*}; 大久保 修平¹
TAKAGI, Yu^{1*}; OKUBO, Shuhei¹

¹ 東京大学地震研究所

¹Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

地震によって生じる応力変化などの内部変形は、一様半無限弾性体モデルについては Okada (1992) によってシンプルかつ完全な形で示された。この一様半無限媒質モデルは、例えば、地震間の「相互作用」を考える上での指標を与える Δ CFF の計算に用いられるなど、現在幅広い研究で使われており、地震の理解に貢献してきた。一方、巨大地震に伴う広範囲な応力変化などのグローバルな変形は、より現実的な地球モデルである球対称モデルで計算する必要がある。Sun and Okubo (1993) は球対称モデルで、点震源によって生じる地表の変位や重力変化の計算に成功した。しかし、内部の応力や変位については、球対称モデルで計算された例はない。それは、原理的な方法は示されているものの (Takeuchi and Saito, 1972)、実際に計算しようとするに困難が生じるためである。そこで本研究では、球対称モデルで、点震源によって生じる内部変形を計算する手法を提案し、実際に計算を行った。

本講演では、以下の点について述べる。

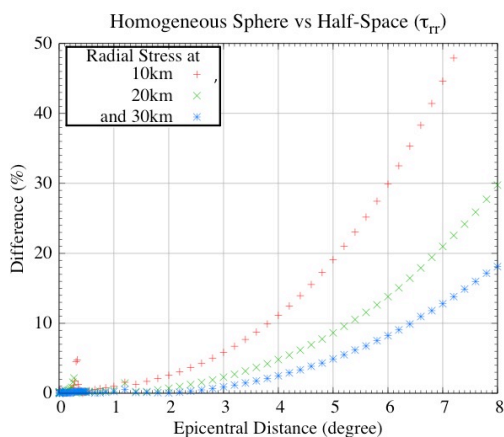
- i) 内部変形を計算するための手法の概説。
- ii) 解析解が分っている一様半無限媒質の結果と本研究で計算された一様球の結果との比較。
- iii) PREM のような成層構造モデルでの計算結果。

一様球と一様半無限媒質の結果を詳細に比較すると (ii)、例えば、深さ 32km の横ずれ断層によって生じる鉛直方向の垂直応力では、両者の差が 10 % になる角距離は、観測の深さが 10km、20km、30km でそれぞれ 4 度、5 度、6.5 度であることが分った (図)。4 度はおおよそ 400km であり、東北地方太平洋沖地震の断層の長さに相当する。

図. 一様球と一様半無限媒質との差。深さ 32km の横ずれ断層によって生じる鉛直方向の垂直応力変化を比較した。横軸が震央距離、縦軸がモデル間の差 (%) である。赤、緑、青はそれぞれ観測点の深さが 10、20、30km を表す。

キーワード: 内部応力変化, 球対称地球, 点震源, 成層構造

Keywords: internal stress change, spherically symmetric earth, point dislocation, stratification



GPS 津波計を活用した GPS—音響システムによる海底地殻変動の連続観測 Continuous measurements of ocean bottom crustal movements based on GPS-acoustic system using GPS buoy

今田 成之^{1*}; 寺田 幸博²; 坂上 啓³; 田所 敬一⁴; 加藤 照之⁵

IMADA, Naruyuki^{1*}; TERADA, Yukihiko²; SAKAUE, Hiromu³; TADOKORO, Keiichi⁴; KATO, Teruyuki⁵

¹日立造船株式会社, ²高知高専, ³所属なし, ⁴名古屋大学大学院環境学研究科地震火山研究センター, ⁵東京大学地震研究所

¹Hitachi Zosen Corporation, ²Kochi National College of Technology, ³None, ⁴Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, ⁵Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

GPS ブイを活用した GPS—音響システムに基づく海底地殻変動の連続観測の試験観測について報告する。

我々は GPS ブイを用いて津波を早期に検知するシステムを開発してきた。一方, Spiess らによって提唱され, 日本の海上保安庁や大学で開発が進められてきた GPS—音響を用いた海底地殻変動計測では海上の位置決めには船舶や船舶に曳航されたブイに設置された GPS を用いた間欠観測が行われてきた。2011 年東北地方太平洋沖地震の発生を受けてこのような海底地殻変動観測の重要性が改めて指摘されたが, 今後の課題として, これまでの間欠的観測から, より詳細な地殻変動観測のための連続観測の技術開発が重要であることが認識された。

我々が実施している津波の早期検知をめざした GPS ブイに海底地殻変動連続観測の機能を付加すれば, 海底地殻変動の連続的な計測が行えるはずである。そこで, GPS ブイに音響装置を設置して海底地殻変動の連続観測の可能性を検証する実験を行った。室戸岬西方沖 13km に設置していた GPS 津波計を用いた予備的な実験の後, 2013 年 8 月から室戸岬南方沖 35km の GPS 津波計 (黒牧 16 号ブイ) を用いて 2 カ月間の連続計測を実施した。この GPS 津波計設置位置の水深が 726m であることから, ブイの周囲 3 地点の海底に水深と同程度の距離を相互に離して音響トランスポンダーを配置した。海底に設置した 3 局とブイとの測距は, ブイの側面の海面下に音響送受波器 (周波数 10kHz) を設置し, PSK 変調をした 5 次の M 系列音波を用いて 1 分間隔でシーケンシャルに送受信する方式で行った。

現在得られたデータの解析中であり, 2 カ月間のデータから雑音特性や日々の座標値の繰り返し誤差, ブイの動揺による雑音等についての予察の結果を報告したい。現在日本周辺には津波監視用の GPS ブイが 15 基程度展開されているが, 今後 GPS ブイをさらに展開し, 津波の早期監視と共に海底地殻変動の連続的な監視が可能となれば日本列島の地殻変動と津波の監視に極めて効果的な監視体制が構築できると期待される。海岸から 100km を超える沖合での海面変動監視の可能性についての技術的課題が既にクリアされているが, ブイからのデータの伝送に関しては次世代の通信衛星が必要であり, 海面変動及び海底地殻変動をあわせた衛星データ通信の仕様の検討にも本試験による成果が有用であろうと期待される。

揚水・湧水により発生する断層の動きと間隙弾性体による理解 — 東濃地震科学研究所地域の NNW 断層の場合 —
Movement of a fault arised by a pumping or a spring water and its understanding by poroelasticity -a case of NNW fault-

石井 紘^{1*}; 浅井 康広¹
ISHII, Hiroshi^{1*}; ASAI, Yasuhiro¹

¹ 東濃地震科研
¹ TRIES, ADEP

東濃地震科学研究所では深部ボアホールで連続観測可能な総合観測装置や応力計を開発している。現在、研究所周辺の 10km 四方の地域に約 15 カ所の深部ボアホール観測を実施し、地殻変動や地下水の振る舞いなどを調べている。最も深いボアホールの深度は 1030m である。

東濃地震科学研究所の近くでは原子力研究開発機構 (JAEA) が直径 6.5m と 4.5m のそれぞれ主立坑と換気立坑を掘削しており、現在深度 500m に達している。両立坑は 40m 離れており、立坑はステージと呼ばれる横坑で繋がっている。この立坑の近くには右横ずれの NNW 断層が存在している。

地下水の変動と地球物理学的観測量との関連を実験や発生した現象を利用して調べている。それらは (1) 断層近くのボアホールにおいて揚水実験を行いボアホール観測点における歪変化や水位変化を観測・解析した。(2) 立坑において大規模な湧水が発生した時のボアホール観測点における歪変化や水位変化を観測・解析した。

その結果以下のような結果が得られた。

1. 立坑内における湧水や近傍のボアホールにおける揚水実験により TGR350 孔の水位は低下するが深度 350m に設置された歪計は NNW 断層が右横ずれの動きをするような観測結果を示した。
2. 湧水の止水や揚水後の TGR350 孔の水位の上昇に伴って深度 350m に設置された歪計は NNW 断層が左横ずれの動きをするような観測結果を示した。
3. 堆積層に設置した伸縮計や浅い深度 (深度 165m) に設置した歪計は断層運動などを反映したデータを示さない。
4. 間隙弾性体としての理解に基づいてこの地域の地下水流動とそのメカニズムを説明できる一つのモデルを考察した。

観測と解析結果の詳細を報告する。

キーワード: 深部ボアホール観測, 揚水・湧水と断層運動, 地下水流動, 間隙弾性体による理解, 連続観測応力計
Keywords: Deep borehole observation, Fault movement by spring and pumping water, Groundwater flow, Understand by poroelasticity, Continuously observable stressmeter

正馬様地殻活動総合観測点の整備 —石井式ボアホール応力計の埋設・設置— Construction of Syobasama crustal activity observatory ?Installation of Ishii-type borehole stressmeter?

浅井 康広^{1*}; 石井 紘¹
ASAI, Yasuhiro^{1*}; ISHII, Hiroshi¹

¹ 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

¹Tono Research Institute of Earthquake Science, Association for the Development of Earthquake Pred.

1. はじめに

瑞浪超深地層研究所 (MIU) の立坑や調査孔の掘削に伴う大量湧水の発生と調査孔における水理試験によって、亀裂性岩盤である土岐花崗岩中の間隙水圧に大きな変動が生じている。この水圧変動が原因となって MIU から約 0.5km 範囲内に位置する戸狩観測点 (TGR350, TGR165) と研究所観測点 (TRIES) および MIU 立坑内観測点 (STG100, STG200, STG300) では、地殻応力・歪・傾斜、地下水位・水圧の連続観測記録に地球潮汐変化の 100 倍以上の変化が記録されている (例えば浅井・石井, JPGU2013)。MIU の近傍には北北西走向のほぼ垂直変位の地質断層がある。

変化の特徴は、断層の南西側で間隙水圧変化が生じると、そのインパクトは同領域の観測点の水位/水圧記録にみられ、かつ、応力、歪、傾斜記録にもみられる。一方、断層の北東側の観測点ではその影響は水位・水圧観測に見られないが、応力、歪、傾斜記録に見られる。断層の北東側で水圧変化が生じる場合でも同様である。この観測結果は、断層は遮水性を持つが、間隙水圧変化によって生じた岩盤の弾性変形は断層に関係なくその周囲に及んでいることを示している。

2. 観測点整備の目的

MIU の北西約 1km に既存の正馬様観測点ボアホール (SBS110; 深度 110m 孔) がある。SBS110 の地下水位記録には MIU 近傍で見られるような水圧変動の影響が見られない。しかしながら、水圧変動に伴う地殻応力・歪変化が正馬様に及んでいるかどうかは、地殻応力・歪の観測を行っていないため不明であった。MIU 立坑掘削の影響がどのように、かつ、どの範囲まで及んでいるかの調査・研究を行うことを目的として、東濃地震科学研究所は、2013 年 12 月に正馬様観測点に新規 100m 深ボアホールの掘削を開始、2014 年 2 月 3 日現在整備を進めている。2 月中には当研究所で開発した石井式ボアホール応力計をボアホール孔底付近の岩盤状態の良い個所に埋設・設置し連続観測を開始する予定である。

講演では観測点整備の概要と最新の観測記録についての議論を行う。

キーワード: 間隙水圧変化, 弾性変形, 瑞浪超深地層研究所, 石井式ボアホール応力計

Keywords: Pore pressure change, Elastic deformation, Mizunami Underground Research Laboratory, Ishii-type borehole stress meter

GPS観測に基づく2011年4月11日福島県浜通り地震(Mw6.6)の余効地殻変動 Post-seismic crustal movements of the 11 April Mw6.6 Fukushima Hamadori earthquake based on GPS observations

堀 草子^{1*}; 青木 陽介²; 加藤 照之²; 宮下 芳¹
HORI, Kayako^{1*}; AOKI, Yosuke²; KATO, Teruyuki²; MIYASHITA, Kaoru¹

¹茨城大学大学院理工学研究科, ²東京大学地震学研究所

¹Graduate School of Science, Ibaraki University, ²Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)は活発な余震活動を伴った。その一ヶ月後2011年4月11日にいわき市付近の深さ5kmで発生したMw6.6の正断層型地震(福島県浜通り地震)は東北地方太平洋沖地震の余震の一つと考えられる。この地震の発生に伴っていわきの観測点が約30cm北東方向に移動するなどの地殻変動が観測された。

福島県浜通り地震にともなう地殻変動はInSARを用いた先行研究により、詳細な断層すべりモデルが得られている(Kobayashi et al.,2013; Fukushima et al.,2013)が、ALOS衛星が福島県浜通り地震直後に運用を停止したために、SARデータを用いて余効変動を計測することはできず、余効変動を観測しているのはGPS観測点のみである。そこで、本研究ではGPSデータを用いて福島県浜通り地震の余効変動のメカニズムを解明することを目標とした。

本研究では、余効変動は先行研究による地震断層モデル(Kobayashi et al.,2013; Fukushima et al.,2013)で仮定した断層の周辺のすべりによって発生していると仮定した。GPSのデータには3月11日の本震以後の大きな余効変動が含まれているので、まず、Fukuda et al.,2013による本震の余効変動のモデルを用い、本震に伴う余効変動をデータから除去した。こうして得られたデータには4月11日の地震の余効変動と考えられる変位が見て取れる。この変位場のデータに基づいて、上記の先行研究で与えられた断層面上でのすべり分布を推定した。推定結果について、講演で解説する。

2011 年東北地方太平洋沖地震に伴う地震時地殻変動の地形および球面補正 Coseismic slip distribution for the 2011 Tohoku-Oki earthquake with topographic corrections

五島 仁志^{1*}; 宮崎 真一¹
GOSHIMA, Hitoshi^{1*}; MIYAZAKI, Shinichi¹

¹ 京都大学大学院理学研究科

¹ Graduate School of Science, Kyoto University

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震は、断層面の破壊が自由表面まで及んだ海溝型地震である (Ide et al., 2011)。このような海溝型地震による地殻変動を計算する際、Okada(1992) 等による半無限弾性体の近似式を用いると、「観測点に対する相対的な震源深さ」、「自由表面までの断層滑り」という 2 つの条件を両立させることが不可能である。そのため Okada(1992) による式を用いて地殻変動を計算する場合、どちらか一方の条件のみを使用することになる。例えば、「観測点に対する相対的な震源深さ」という条件を用いる場合、基準平面を観測点に合わせる必要があり、一方、「自由表面まで断層が滑る」という条件を用いる場合、基準平面を断層上端部に合わせる必要がある。この 2 種類の断層モデルで地殻変動量を計算すると、水平・鉛直変位共に陸域で最大約 30cm の違いが生じる。これは、水平成分では 5 %、鉛直成分では 15 % に相当し、特に鉛直成分でこの 2 手法間の違いが大きくなる。すなわち、地震時の正しい地殻変動を計算したり、観測された地殻変動データから断層滑り分布の逆計算を行う際には、上記 2 種類の仮定を両立させる必要があり、そのためには地形の起伏の影響を考慮したモデルが必要である。そこで本研究では、地形の起伏の影響を考慮した地殻変動計算のソフトウェアを作成し、より現実的な断層滑り分布の逆計算を行った。

本研究では、半無限弾性体の近似式に「地形の傾き」・「地形の高さ」を表す項をそれぞれ追加して地形の影響を表す (Williams and Wadge, 2000)。また、この本手法を利用して地球の曲率を考慮した地殻変動計算も行うことができる。適用可能範囲は食い違い源から半径約 600km ではあるが、計算量が少なく、簡単に地球の曲率を考慮した地殻変動計算ができるという利点がある。

本発表では、東北地方太平洋沖地震の地震時地殻変動に関して地形・曲率の影響を加えた弾性インバージョンを行い、それらの影響を考慮しない半無限解と比較する。この際、陸上地殻変動データに国土地理院 GPS 連続観測網 GEONET の F3 解を、海底地殻変動データに海上保安庁・東北大学の海底地殻変動観測データ (Sato et al., 2011; Kido et al., 2011; Ito et al., 2011) を用いた。

キーワード: 地殻変動, 2011 年東北地方太平洋沖地震, 地形, 球

Keywords: crustal deformation, the 2011 Tohoku-Oki earthquake, topography, sphere

湧水量変化を用いて推定された透水係数の経年変化 Secular change of permeability estimated by using the variations of groundwater discharge

向井 厚志^{1*}; 大塚 成昭²

MUKAI, Atsushi^{1*}; OTSUKA, Shigeaki²

¹ 奈良産業大学情報学部, ² 神戸学院大学人文学部

¹Faculty of Informatics, Nara Sangyo University, ²Faculty of Humanities and Sciences, Kobe Gakuin University

透水係数の経年変化は、湧水量変化に含まれる気圧応答特性の時間的変化を引き起こす。2001 年以降の 12 年間に六甲高雄観測室で観測された湧水量変化を用いて周辺岩盤の透水係数を推定したところ、その透水係数の経年変化には単調な低下とともに、1 年程度の短い期間内での揺らぎが見られた。前者は 1995 年兵庫県南部地震時に緩んだ破碎帯の割れ目が泥の蓄積や地殻応力によって閉口しつつあることを反映しており、後者は大きな地震動によって一時的に割れ目が再開口した影響と推察される。

六甲高雄観測室は兵庫県南部の神戸市に位置し、万福寺断層の破碎帯を貫く坑道に開設された。同観測室では、1995 年兵庫県南部地震時に湧水量の顕著な増大が観測された(藤森他,1995)。このことは、兵庫県南部地震の地震動によって六甲高雄観測室周辺の破碎帯の割れ目が緩み開口したことを示唆している。向井・大塚(2009)は、六甲高雄観測室における潮汐歪から周辺岩盤の弾性定数を推定し、ヤング率が経年的に増大していることを報告した。この結果は、地殻応力による割れ目の閉口や泥の蓄積によって割れ目の固着が進み、破碎帯の強度が回復しつつあることを示している。

向井・大塚(2013)は、一次元の地下水流動モデルを仮定し、六甲高雄観測室で観測された湧水量の気圧応答を用いて、2011 年東北地方太平洋沖地震に伴う透水係数の時間的変化を推定した。透水係数は地震直後に約 1.9 倍に増大し、10 ヶ月後には約 1.3 倍にまで回復した。このことは、遠方の地震による地震動が割れ目内に蓄積されていた泥の流出を促し、一時的に割れ目が再開口されることを示唆している。

本発表では、向井・大塚(2013)と同じ手法を用いて、2001 年以降の 12 年間にわたって六甲高雄観測室周辺の透水係数の経年変化を推定した結果について報告する。湧水量変化の気圧応答を用いて推定された透水係数は経年的な低下を示し、2001 年と比べ、2012 年の透水係数は約 50 %に低下した。このことは、向井・大塚(2009)が潮汐歪を用いて推定したヤング率の経年的な増大と矛盾せず、1995 年兵庫県南部地震時に緩んだ破碎帯の割れ目が固着しつつあることを反映していると考えられる。

キーワード: 破碎帯, 透水係数, 湧水量, 歪変化

Keywords: fracture zone, permeability, groundwater discharge, strain change

水準測量と潮位から推定した房総半島の地殻上下変動（1966～2001 年） Vertical crustal deformation in Boso Peninsula from 1966 to 2001 deduced from leveling and sea level data

小林 昭夫^{1*}
KOBAYASHI, Akio^{1*}

¹ 気象庁気象研究所
¹ Meteorological Research Institute

関東地方は陸側プレートの下にフィリピン海プレートと太平洋プレートが沈み込む複雑な構造をしている。陸側プレートとフィリピン海プレートとのプレート境界では、1923 年関東地震が発生しており、プレート境界面での最近の固着分布も推定されている [鷺谷 (1998)、Nishimura et al. (2007)]。関東地方では、南海トラフ沿いのような深部低周波微動は観測されていないが、房総半島沖では数年に一度、地震を伴う継続期間 10 日程度のスロースリップが発生している。また、Fujii (1993) は房総半島の水準測量データを調査し、1965～1972 年の間にスロースリップが発生した可能性を指摘している。スロースリップの発生域は、将来の巨大地震発生に向けて歪が蓄積されているプレート境界の固着域に隣接しており、その過去からの発生状況を把握することは、プレート境界の状態把握や巨大地震の発生予測のための重要な情報となる。ここでは、GNSS 展開以前の房総半島について、非定常上下地殻変動の有無を確認した。

過去の地殻変動を調査する手段として、水準測量は観測精度が高いが実施頻度が低い。潮位記録は海況の影響除去が難しいために水準測量より地殻変動の観測精度は悪いが、連続記録でありイベントの時期の特定には有力な情報を提供する。これらを組み合わせることにより、過去に発生した非定常なイベントによる地殻変動の場所と時期を推定できる可能性がある。これまで、南海トラフ沿いの水準測量と潮位観測から、長期的スロースリップの場所と時期を推定してきた。

GNSS の上下変動データから定常的な地殻上下変動速度を推定し、それを水準測量結果による各測量間の上下変動から差し引くことにより、各期間に発生した非定常的な地殻変動を抽出する。GNSS データは国土地理院 GEONET の日座標値 F3 解を使用した。GEONET 観測点のアンテナ交換などに伴う人為的要因によるオフセットは、国土地理院 Web ページで公開されているデータセットを用いて補正した。ここでは 1997 年 1 月から 2011 年 1 月までの 14 年間のデータから定常的な地殻上下変動速度を推定した。この期間には房総半島の地殻上下変動に影響を与えるイベントは発生していない。なお 2000 年の伊豆諸島北部イベントや房総半島沖のスロースリップによる陸上の上下変化は 1cm 未満である。

房総半島の水準測量の間隔が 1～数年になった 1966 年以降 2001 年までについて調査した。水準測量データは地殻活動観測データ総合解析システム (INCA) [鷺谷・他 (2003)] から入手した。GNSS から推定された定常的な地殻上下変動速度に測量期間の長さに乗じた変化量を、水準測量間の地殻上下変動から差し引く。期間中に非定常な地殻変動が発生していなければ、上下変動の分布はゼロを中心とするばらつきの範囲内に入るはずである。

1966～2001 年の水準測量からは、市原市北部の工業用水の揚水による地盤沈下、茂原地区を中心とする天然ガスかん水の採取による地盤変動の他は、目立った非定常変動は見られない。津村 (1963) の方法で補正した潮位では、館山市布良で 1980 年代に沈降の停滞 (数 cm の非定常分) が見られるが、水準測量では対応する変化は見られない。また、Fujii (1993) により指摘された 1965～1972 年の房総半島中部の隆起もばらつきの範囲内であり、今後調査対象の水準路線を追加して確認する予定である。

本調査には国土地理院 GEONET の座標値およびオフセット値、水準測量結果を使用させていただきました。

キーワード: 房総半島, 地殻変動, 水準測量, 潮位
Keywords: Boso Peninsula, crustal deformation, leveling, sea level

2014 年房総半島沖のスロースリップ 2014 Boso slow slip

小沢 慎三郎^{1*}
OZAWA, Shinzaburo^{1*}

¹ 国土地理院
¹ Geospatial Information Authority of Japan

はじめに

房総半島では 1996 年、2002 年、2007 年、2011 年にスロースリップイベント（房総半島 SSE）が発生している。過去 4 回とも 10 日間程度で収まっている。また滑り領域もほぼ同じような場所で発生しており、固有地震的なふるまいが見受けられていた。房総半島 SSE の発生間隔は、1996 年から、6.4 年、4.9 年、4.2 年と次第に短くなっていった。そのような中、2011 年の房総半島 SSE から 2.2 年程経過した 2014 年 1 月 1 日から、房総半島 SSE が発生した。本研究では、2014 年のスロースリップの滑り過程を時間依存のインバージョンで推定し、過去のスロースリップとの比較を行った。

データと解析手法

GPS 観測によって非定常変動が 2014 年 1 月 1 日頃から捉えられている。捉えられた非定常変動を明瞭にするために、2009-2011 年の定常的な変動を地殻変動データから取り除き解析に使用した。この結果、房総半島中・南部の領域で南南東を向く非定常変動が検出された。最大の地殻変動は、1 cm 程となっている。この非定常変動は、房総半島 SSE のプレート境界面上の滑りによるものと考えられる。

上記の非定常変動のデータから、時間依存のインバージョンで房総半島 SSE の滑り過程を推定した。データは、房総半島地域の 40 点程の観測点の東西、南北、上下変動量を使用した。固定点は八郷を採用した。フィリピン海プレートの上面の形状は、Nakajima& Hasegawa [2006] を使用している。断層領域は、3 次の B-スプライン関数の重ね合わせで表現し、断層面の滑り量は、やはり B-スプライン関数の重ね合わせで表わされている。トレンド成分と周期成分を元の時系列データから除き解析に使用している。断層面の境界部では滑りが 0 という条件を採用した。

インバージョンの結果は、2014 年の房総半島 SSE では、房総半島沖合で滑りが発生し、時間と共に、滑り領域が南に広がっていることが推定された。推定されたモーメントマグニチュードは 2014 年 1 月 10 日時点で、6.4 に達している。また、過去の房総半島 SSE の推定モーメントマグニチュードは 1996 年で 6.4、2002 年で 6.5、2007 年で 6.5、2011 年で 6.6 と推定されている。5 つの房総半島 SSE では、ほぼ同じような領域で同じような規模で、似通った滑り過程が推定された。房総半島 SSE の再来間隔は、1996-2002 年で 6.4 年、2002-2007 年で 4.9 年、2007-2011 年で 4.3 年、2011-2014 年で 2.2 年となっている。この 5 回の SSE からは、滑り予測可能でも、時間間隔の予測可能でもないように思われる。2014 年の房総半島 SSE は、前回からの再来間隔がもっとも短い。これは、東北地方太平洋沖地震の影響が関連している可能性がある。実際東北地方太平洋沖地震によって、房総半島の付近では若干 CFF が大きくなっている。しかしながら、東北地方太平洋沖地震の CFF は 2011 年の房総 SSE と 2014 年房総 SSE ではあまり大きさに変化がない。したがって、なぜ 2014 年房総 SSE が前回から 2.2 年という短い時間で発生したのか明瞭でない。もう一つの解釈としては、いくつかのシミュレーション計算で、大地震の発生が近づくと、SSE の発生間隔が短くなるという結果が報告されている。1996 年からの房総 SSE の発生間隔の短縮は、このようなシミュレーションの想定を反映しているのかもしれない。この場合、対象となる大地震は、相模トラフ沿いの地震と思われる。従って、今後房総半島付近の地殻変動の様子を詳細に監視していく必要があるように思われる。

キーワード: 房総半島, スロースリップ
Keywords: Boso peninsula, slow slip

GPSデータの同化による余効すべり域の摩擦パラメータの推定：2003年十勝沖地震への適用
Estimation of frictional parameters in afterslip areas by assimilating GPS data :The 2003 Tokachi-oki earthquake

加納 将行^{1*}; 宮崎 真一²; 石川 洋一³; 日吉 善久³; 伊藤 耕介³; 平原 和朗²
KANO, Masayuki^{1*}; MIYAZAKI, Shinichi²; ISHIKAWA, Yoichi³; HIYOSHI, Yoshihisa³; ITO, Kosuke³; HIRAHARA, Kazuro²

¹ 東京大学地震研究所, ² 京都大学理学研究科, ³ 海洋研究開発機構
¹ERI, Tokyo Univ., ²Kyoto University, ³JAMSTEC

Seismological and geodetic observations have revealed that various aspects of fault slips are determined by frictional properties on the interface. Kano et al. (2013) developed an adjoint data assimilation method to estimate frictional parameters from synthetic in-situ slip velocity data and found by numerical experiments that all frictional parameters are constrained if both acceleration and deceleration phases are observed. Additionally, we found that synthetic surface displacement data also have the ability to constrain frictional parameters in the areas where slip is well resolved. Following their study, we then applied the method to an actual case of the 2003 Tokachi-oki earthquake. Given reasonable initial conditions of simulation variables, estimated frictional parameters are well constrained if two conditions above are satisfied. Our results imply that the adjoint method we developed is useful to investigate and understand fault frictional properties.

Keywords: afterslip, adjoint method, frictional parameters, GPS, earthquake cycle

GPS データによる伊豆衝突帯北東縁の地殻変動 Crustal deformation of the northeastern margin of the Izu Collision Zone inferred from GPS observations

道家 涼介^{1*}; 原田 昌武¹; 里村 幹夫¹; 宮岡 一樹¹
DOKE, Ryosuke^{1*}; HARADA, Masatake¹; SATOMURA, Mikio¹; MIYAOKA, Kazuki¹

¹ 神奈川県温泉地学研究所

¹ Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture

はじめに

フィリピン海プレートの最北端である伊豆半島周辺の地域では、伊豆半島が本州に衝突すると共に、その東側では相模トラフ、西側では駿河トラフでそれぞれ日本列島下への沈み込みが発生している。このような複雑な衝突および沈み込みに特徴付けられる伊豆衝突帯の北東縁部では、歴史的にも M7 クラスの地震が多く発生している（宇佐美、1987；石橋、1993）。また、衝突帯周縁に位置する神縄・国府津 - 松田断層帯や、伊豆半島北半部を南北に走る北伊豆断層帯（丹那断層）など、多くの活断層が分布する（活断層研究会編、1991 など）。

以上の様な、複雑な断層構造・地震テクトニクスを示す伊豆衝突帯北東縁部において、定常的な地殻変動の様子を明らかにすることは、同地域で発生する地震のメカニズムを理解する上で重要である。本研究では、国土地理院の GEONET に加え、温泉地学研究所が独自に行っている GPS 観測のデータを用い伊豆衝突帯北東縁部の地殻変動の傾向について考察を行った。

使用データ・方法

GEONET における日々の座標値（F3 解）に加え、温泉地学研究所の観測点 12 点（内 1 点は、独立行政法人防災科学技術研究所との共同研究による観測点）のデータを用いた。温泉地学研究所の観測点のデータは、周辺の GEONET 観測点のデータと共に Bernese5.0 により解析を行った結果を用いた。また、解析結果と F3 解との座標値のギャップは、同時に解析を行った GEONET 小田原観測点の日々の座標値が F3 解に一致するよう補正した。F3 解におけるアンテナ保守などによるギャップは、国土地理院にて公開されている補正值を用いて補正した。

以上のデータから、GEONET 函南観測点を固定点とした各観測点の時系列グラフを作成し、周辺地域における群発地震活動、スロースリップイベントおよび 2011 年東日本太平洋沖地震による変位・余効変動の影響を受けていないと思われる期間を観測点毎に抽出し、各観測点における定常的な変位速度ベクトルを求め、平面ベクトル図および変位速度プロファイルを作成した。

結果および考察

伊豆衝突帯およびその周辺地域における定常的な変位速度ベクトルの分布・変位速度プロファイルより、以下の地殻変動の特徴が明らかとなった。

- 1) 北伊豆断層帯が分布する東経 139.00° 付近から東側の地域では、顕著な北向きの地殻変動が認められる。
- 2) 北伊豆断層帯から足柄平野付近までの幅 15~20km の区間では、東側ほど北向き変位速度が大きくなる傾向が認められ、同区間の両端における北向き変位速度の差は約 10mm/yr に達する。また、同区間の平均的な剪断歪速度は、およそ $4.7 \times 10^{-7} \text{ yr}^{-1}$ と算出される。
- 3) 北伊豆断層帯の西側では、わずかに北~東向き地殻変動が認められるのみであり、その変位速度の変化も緩やかである。

以上から、伊豆半島の北東端の幅 15~20km の区間では、顕著な剪断変形が生じていることが示唆される。また、北伊豆断層帯は剪断変形帯の西端に位置しており、同断層帯を境とした東西において非対称な地殻変動のパターンを示す。

本研究で示した剪断変形帯は、伊豆半島が衝突する一方その東側の相模トラフで沈み込みが発生しているために、その両側に生じた地殻変動のギャップに起因し形成されたと見受けられる。すなわち、フィリピン海プレート上における衝突側ブロックと沈み込み側ブロックの間の漸移帯として位置付けることが可能である。

文献

- 宇佐美龍夫, 1987, 新編日本被害地震総覧, 東京大学出版会, 434p.
活断層研究会編, 1991, 新編日本の活断層, 東京大学出版会, 437p.
石橋克彦, 1993, 小田原付近に発生した歴史地震とその地学的意義, 地学雑誌, 102, 341-535.

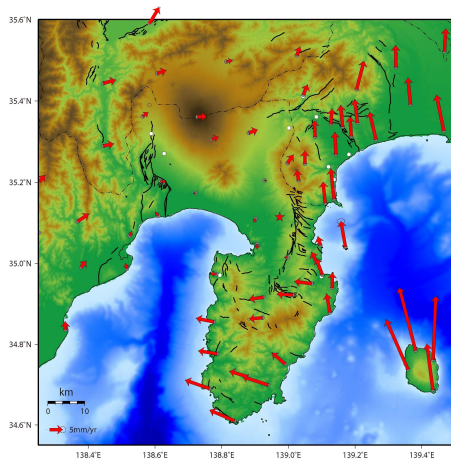
キーワード: GPS, 地殻変動, 伊豆衝突帯, 北伊豆断層帯

SSS33-P07

会場:3 階ポスター会場

時間:4 月 30 日 18:15-19:30

Keywords: GPS, crustal deformation, Izu Collision Zone, Kita-Izu fault zone



体積ひずみ計の降水補正に用いる降水量の風速補正 The wind velocity correction of the precipitation to use for the rainfall correction of the volumetric strainmeter

木村 一洋^{1*}
KIMURA, Kazuhiro^{1*}

¹ 気象研究所
¹ Meteorological Research Institute

気象庁では東海地震の前兆すべりの監視のために東海地域等に体積ひずみ計や多成分ひずみ計を設置し、リアルタイム監視を行っている。それらのうち体積ひずみ計は特に降水の影響を受けやすいため、現在気象庁では体積ひずみ計のデータについてはタンクモデルを用いた降水補正(木村・他、投稿中)を行い監視するようにしている。地殻変動データの降水補正へのタンクモデルの適用に際し、これまで汎用的なタンクの形状は決まっていなかったが、木村・他(2011,2012)は体積ひずみ計データの24時間階差の絶対値の和を目的関数とした上で、この目的関数の値を指標としてタンクの形状を決定した。同様に木村・他(2013)は降水補正に用いる降水量データの選定に際して、レーダーアメダス解析雨量、アメダスによる降水量、ひずみ計観測点に設置した雨量計による降水量の3つについてこの目的関数の値を指標として比較を行い、妥当な結果を得た。このことは逆に言えば、体積ひずみ計のような地殻変動データは、降水量データの品質をも判断できるだけの感度を持つ可能性があるとも言える。

雨量計による観測には、強風時に雨滴の捕捉率が落ちるジェボンス効果があることが知られている。特に降水が雨よりも雪で顕著であるが、幸か不幸か気象庁の設置した体積ひずみ計は降水が雪として降りにくい東海地域や南関東地域である。横山・他(2003)は、雨量計の形状(風よけの有無等)にもよるが降水が雨の場合でも風速6m/sにおいて捕捉率が0.7~0.9に落ちることを指摘している。このような雨量計という測器そのものに起因する効果について体積ひずみ計で確かめられるのではないだろうかという視点で、体積ひずみ計の降水補正に用いる雨量計の風速補正についての調査を行った。しかし、この目論見は成功しなかった。気象庁の体積ひずみ計の降水補正パラメータ等を元に各観測点の特徴について検討したところ、その場で観測した降水量データだけで降水応答を説明できる観測点とそうではない観測点があり、後者については流域面積の大きな川の近くや大きな山の斜面に位置しており周辺部からの流入があっても不自然ではない。ジェボンス効果を確認できるとすれば、周辺部の降水の影響が少ない前者の観測点であろうと予想していたが、実際に降水補正に用いる雨量計の風速補正の効果が得られたのは予想に反して後者の観測点であった。その場で観測した降水量データだけで降水応答を説明できる観測点では大雨の際の流出も比較的早いために降水応答が頭打ちになりやすく、ジェボンス効果を確認できるだけの感度が無いのかも知れない。

なお、鈴木・中北(2009)は降水量の標高依存性について観測調査を行い、台風や低気圧による大雨は停滞前線による大雨に比べて標高依存性(標高が高いほど降水量が多い)が高いことを指摘している。台風や低気圧の際には強風が発生することが多いことから、強風時には降水量の標高依存性が高いと言い換えることもできるだろう。気象庁の体積ひずみ計で降水補正に用いる雨量計の風速補正の効果が得られた観測点は流域面積の大きな川の近くや大きな山の斜面に位置しており、これは観測点より標高の高い上流部で降った降水の影響を受けていると考えても不自然ではない。つまり、気象庁の体積ひずみ計の一部で得られた降水補正に用いる雨量計の風速補正の効果は、強風時における降水量の標高依存性の高さに起因すると考えられる。実際、これらの体積ひずみ計で降水補正に補正不足が生じている事例は台風や低気圧の通過時が多いが、多くの事例でレーダーアメダス解析雨量の面的分布において降水量の標高依存性が確認できている。また、観測点周辺の雨量計を用いた場合の風速補正では捕捉率が1.0よりも小さかったのに対し、標高の高いアメダスを用いた場合の風速補正では捕捉率が1.0を超えるケースも見られた。観測点周辺よりも標高の高いところの雨量計データを降水補正に使うには強風時に多めに降りすぎているということである。つまり、体積ひずみ計のような地殻変動観測施設の設置した場所によっては、観測点周辺で降水量を観測するだけでは不十分な場合もあり、観測点に影響を及ぼす標高の高い上流部で降った降水を何らかの方法で把握することによって降水補正を精緻化できる可能性があることが、体積ひずみ計の降水補正に用いる雨量計の風速補正という一見無関係に見える効果から示唆される。

キーワード: ひずみ計, 降水補正, 風速, 降水量の標高依存性

Keywords: strainmeter, rainfall correction, wind velocity, altitude dependence of the precipitation

伊豆半島東方沖の地震活動に関連した東伊豆奈良本の体積ひずみ計の急激な縮み以外の変化

The change except the sudden contraction of the Higashiizu strainmeter with the seismic activity east off Izu Peninsula

木村 一洋^{1*}; 木村 久夫²

KIMURA, Kazuhiro^{1*}; KIMURA, Hisao²

¹ 気象研究所, ² 気象庁

¹Meteorological Research Institute, ²Japan Meteorological Agency

気象庁が東海・南関東地域に設置した体積ひずみ計のうち、東伊豆奈良本の体積ひずみ計では伊豆半島東方沖の地震活動に伴う急激な縮み変化が発生することが良く知られている。これは数日程度の期間で急激な変化をすることから誰が見ても明らかな現象であったが、体積ひずみ計は降水による季節変化が生じてしまうため、GNSSによって指摘されているやや長期の変化(村上, 2006)についてはこれまで東伊豆奈良本の体積ひずみ計では確認することができなかった。しかし、タンクモデルによる体積ひずみ計の降水補正(木村他, 投稿中)によって、体積ひずみ計の降水による季節変化を除去できるようになったことから、やや長期の変化についても体積ひずみ計で確認できる可能性が出てきた。今回、東伊豆奈良本の体積ひずみ計について、あらためて伊豆半島東方沖の地震活動に関連するひずみ変化を確認したところ、これまでよく知られていた急激な縮み変化以外に、多くの興味深い変化が確認できたので紹介する。

キーワード: ひずみ計, 伊豆半島東方沖の地震活動, 東伊豆奈良本

Keywords: Strainmeter, seismic activity east off Izu Peninsula, Higashiizu

キネマティック PPP 時系列解析によって得られた 2011 年東北地方太平洋沖地震の余効変動にともなう特徴的ひずみ分布 Characteristic strain distribution following the 2011 Tohoku earthquake based on the kinematic PPP analysis

平田 雄一郎^{1*}; 太田 雄策¹; 大園 真子²; 三浦 哲¹
HIRATA, Yuichiro^{1*}; OHTA, Yusaku¹; OHZONO, Mako²; MIURA, Satoshi¹

¹ 東北大学大学院理学研究科, ² 山形大学理学部

¹Gradual School of Science, Tohoku University, ²Faculty of Science, Yamagata University

2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分に発生した東北地方太平洋沖地震 (Mw9.0) に伴って東北地方を含む広い範囲で大規模な地震時変位が観測された。この地震に伴うプレート境界面でのすべりは広い範囲で数十 m 以上であり, (例えば [1]), これは, それまで上盤側プレートにかかっていた応力が急激に除荷されたことに相当する。Ohzono et al. [2] は GEONET 観測データの日座標値解析から推定される地震時ひずみ分布と, 断層モデルから推定される地震時ひずみ分布を比較することによって, 東北地方におけるひずみ不均質を見出し, それと地下不均質構造との関連性について議論を行っている。また Ozawa and Fujita [3] は, GPS 観測と In-SAR 解析から東北地方の火山周辺域における局所的な地震時変位を検出し, シミュレーション結果との比較から, それらは地下に弾性定数が小さい物質を仮定すれば説明可能であることを示した。一方で, これらの先行研究では GPS 日座標値を使用している。そのため本震直後に発生したと考えられる余効変動や余震の影響を含み, 純粋な地震時変位にもとづいた議論ではない。本研究ではキネマティック単独精密測位 (kinematic Precise Point Positioning; kPPP) 法を用いて 1 秒毎の GPS 座標値を推定することで, できるかぎり純粋な地震を抽出し, より短い時定数の地震後余効変動について議論を行う。

使用した観測点は GEONET 観測点 1208 点である。kPPP データ解析には GIPY-OASIS II を用いた。解析した結果のうち, 2011 年 3 月 11 日の本震後 1 時間分, 日座標データは 2010 年 1 月 1 日から 2012 年 10 月末までのデータのうち 2011 年 3 月 10 日から 15 日までのデータを使用した。また純粋な地震時変位は表面波の伝搬時間, 大きい余震の発生時刻, 震源時間関数等を考慮し, 本震後 600 秒の前後 100 秒の変位の平均値と地震前の座標値の差から求めた。そして 2011 年 3 月 12 日での日座標値から 10 日の日座標値を差し引いて得られる変位から, 純粋な地震時変位を除去することで純粋な地震時変位以外の変位を抽出した。さらに得られた変位場の特徴を見るために, それらの変位を入力として Shen et al. [4] の手法にもとづき面積ひずみ分布を求めた。その結果, 大局的には東日本の広範囲で地震直後から進行する余効変動による膨張ひずみが明瞭であるが, 山形県の月山周辺域で周囲よりも大きな膨張となり, 一方, 宮城・山形県境に位置する蔵王周辺域では, その大きさが本震前の kPPP データから推定したノイズレベル以下ではあるが, 収縮となるような特徴的ひずみ分布が得られた。次に, 12 日の日座標値の代わりに 15 日のものを使用して同様にひずみ分布を求めた。その結果, 月山周辺の膨張ひずみ域は拡大し, 蔵王周辺の収縮ひずみは膨張ひずみへとその極性が反転することが明らかとなった。これらの結果は先行研究である Ozawa and Fujita [2] による結果と解析期間を揃えた場合は調和的であるものの, 地震直後ではその膨張-収縮の極性が逆転しているという興味深い結果が得られた。本発表では, こうした特徴的なひずみ分布の時空間発展がどのように生じているかを, 地震波速度構造との比較を含め, より詳細な議論を行う。

[1] Inuma et al., (JGR, 2012), [2] Ohzono et al., (EPS, 2012), [3] Ozawa and Fujita, (JGR, 2013), [4] Shen et al., (JGR, 1996)

キーワード: ひずみ分布, 東北地方太平洋沖地震, 余効変動, キネマティック PPP
Keywords: strain, 2011 Tohoku earthquake, postseismic deformation, kinematic PPP

フィリピン・ミンダナオ島におけるフィリピン海プレートの収束の解明 Convergence of the Philippine Sea Plate in Mindanao, the Philippines

中村 保彦^{1*}; 田部井 隆雄²; 大倉 敬宏³; 木股 文昭⁴; Teresito C. Bacolol⁵; Endra Gunawan⁶
NAKAMURA, Yasuhiko^{1*}; Tabei, Takao²; OHKURA, Takahiro³; KIMATA, Fumiaki⁴; TERESITO C., Bacolol⁵; ENDRA,
Gunawan⁶

¹ 高知大学大学院総合人間自然科学研究科, ² 高知大学理学部, ³ 京都大学火山研究センター, ⁴ 東農地震科学研究所, ⁵ フィリピン火山地震研究所, ⁶ 名古屋大学大学院環境学研究科

¹Grad. School Int. Arts Sciences, Kochi Univ., ²Fac. Science, Kochi Univ., ³Aso Volcanological Laboratory, Kyoto Univ., ⁴Tono Research Institute of Earthquake Science, ⁵Philippine Institute of Volcanology and Seismology, ⁶Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ.

フィリピンではフィリピン海プレート (PHP), スンダランドプレート (SUP) がそれぞれ東方向, 西方向から沈み込んでいる。また, 長大な左横ずれ断層であるフィリピン断層がフィリピン全土を南北に縦断している。人口密集域であるフィリピンにおいて, 地震災害リスクを予測することは非常に重要であるが, 日本のような精密観測網による監視体制が整備されておらず, 未解明の問題が多数残されている。2009 年より JICA-JST 地球規模課題対応国際科学技術協力事業「フィリピン地震火山監視能力強化と防災情報の利活用推進プロジェクト」が開始され, その一環として, 2010 年よりミンダナオ島において GPS キャンペーン観測が行われている。本研究ではこの観測データより地殻水平速度場を求め, ミンダナオ島の地殻ブロックについて議論する。

2010~2013 年までの毎年 3 月に, ミンダナオ島東部の 15 箇所において, 毎回 3~6 日間にわたって連続観測データを取得した。解析には Bernese GPS Software 5.0 を用い, IGS 連続観測点 PIMO (ケソン市) を基線解析に含めることで, ITRF に準拠した全点の座標と速度を算出した。なお, この期間には治安上の問題によりミンダナオ島西部で観測が行われていない。そこで, 1997~2003 年に西部を含めて実施された観測から得られた地殻水平速度場を併用する。また, 議論の際は全体の速度場を SUP に準拠させた。得られた地殻水平速度場を概観すると, PHP の沈み込みに伴い全体として西北西向き水平変位が卓越する一方で, 海溝からの距離増加に伴う減衰は顕著でない。加えて, フィリピン海溝とフィリピン断層を境界とする前弧帯では北方向の水平速度が重畳し, ミンダナオ島の本体部とは異なる地殻ブロックを形成していると推定される。

USGS が公表するスラブモデルデータを元に, PHP 境界面の形状を深さ 80km まで 196 枚の三角形要素で近似した。この境界面に DeMets et al.(2010) によるプレート相対運動モデル MORVEL に基づく PHP - SUP の相対運動速度を与え, ミンダナオ島の弾性圧縮変形を計算した。深さ 80km まで固着率 100 % としているにも関わらず, 計算値は観測値を最大 15 % 程度しか説明できない。そこで, さらに地殻ブロックの剛体回転運動を考慮する必要がある。島全域の速度場から剛体回転運動のオイラー極の位置および角速度を推定した場合, ブロック運動の予測値と観測値の残差の観測値の持つ誤差を有意に上回ったため, ミンダナオ島全域が単一の地殻ブロックであるという仮説は棄却される。フィリピン断層を境界として速度場が系統的に変化することを考慮しても, ミンダナオ島は複数のセグメントから構成されていると考えられる。

さらに, 地殻水平速度データの逆解析を行い, PHP 境界面の固着分布の推定を試みた。しかし, 解析結果の解像度を事前評価するため Checkerboard Resolution Test を行ったところ, 十分な解像度が得られないことが判明した。これは, 観測点の数と観測網の空間的広がり両方が十分でないことによる。ミンダナオ島内の地殻変動は, 本研究で議論した PHP の沈み込みによる弾性圧縮変形および地殻ブロックの剛体回転運動以外にも, SUP の西側からの沈み込みによる影響, およびフィリピン断層の運動による影響なども内包している。これらの大部分が未解明であり, より稠密かつ広域の GPS 観測網が必要である。

キーワード: フィリピン海溝, フィリピン断層, GPS 観測, ミンダナオ島
Keywords: Philippine Trench, Philippine fault, GPS observation, Mindanao

日本列島周辺のすべり欠損分布とその時間変化 Slip deficit rate distribution and its temporal changes along the Japan islands

樋口 駿^{1*}; 瀨藤 一起¹; 横田 裕輔²
HIGUCHI, Shun^{1*}; KOKETSU, Kazuki¹; YOKOTA, Yusuke²

¹ 東京大学地震研究所, ² 海上保安庁
¹Earthq. Res. Inst., ²Japan Coast Guard

日本列島周辺には複数のプレート境界が存在し、海洋プレートの沈み込みによりプレート境界の固着域ではすべり欠損が生じて大きな歪みが蓄積される。そのため、これまで多くの巨大地震が発生してきた。プレート境界における巨大地震の詳細な発生機構を解明するためには、すべり欠損分布を詳しく知ることが重要だと考えられる。また長期的のスロースリップイベントに代表されるように、すべり欠損には時間的な変化が存在する。従って本研究では、GPS 時系列データを用いることで、日本列島全体に対して統一的にすべり欠損分布を推定し、さらにその時間変化を明らかにすることを目的とした。解析期間は国土地理院 GEONET の F3 解が入手可能である 1996 年から 2010 年までとし、インバージョン法によって日本列島全体のすべり欠損分布を 1 年毎に推定した。

日本列島の地殻変動場を求めるために、F3 解の日々の座標値を用いた。各観測点の GPS 時系列データから基準系に対する大陸プレートの運動を差し引き、さらに地震などによるオフセットや余効変動を取り除いた。各観測点で得られた時系列データに対して最小二乗法による回帰分析を行い、日本列島の 1 年毎の水平変動場を推定した。プレート境界面には全国 1 次地下構造モデル (Koketsu et al., 2012) に組み込まれたプレートモデル (馬場・他, 2005) を使用した。また、測地グリーン関数は水平成層構造に対して Zhu and Rivera (2002) による波数積分法を用いて計算した。インバージョンには Yoshida et al. (1996) の手法を用いた。

インバージョンによって得られたすべり欠損分布は、プレート収束速度や先行研究とおおよそ整合的な結果が得られた。すべり欠損分布の時間変化の中には、既知の長期的のスロースリップイベント (東海 SSE、豊後水道 SSE) との対応が見られた。また、北海道や関東地方でもすべり欠損に時間的な変化が見られ、プレート間固着の状態に変化があった可能性が示唆された。本研究で得られたすべり欠損分布は各地域の超巨大地震の震源域と空間的な対応を示した。この対応は地球科学的に意義深いだけでなく震災対策上も意義深いものだと考えられる。

謝辞: 本研究では国土地理院の GEONET の F3 解を使用させて頂きました。記して感謝致します。

キーワード: 日本列島, 地殻変動, GPS, すべり欠損, 超巨大地震

Keywords: the Japan islands, crustal deformation, GPS, slip deficit, megathrust earthquake