

内陸断層・弾性衝突を考慮した伊豆半島周辺の地殻変動モデリング

A crustal deformation model around the Izu Peninsula considering inland faults and elastic collision

*望月 一磨¹、三井 雄太²

*kazuma Mochiduki¹, Yuta Mitsui²

1.静岡大学大学院総合科学技術研究科、2.静岡大学理学部地球科学科

1.Graduate School of Integrated Science and Technology, Shizuoka University, 2.Department of Geoscience, Faculty of Science, Shizuoka University

This study models crustal deformation focusing on inland faults and elastic collision around the base of the Izu Peninsula using GNSS(Global Navigation Satellite System) time-series data. First, in order to extract steady deformation, we correct the F3 solution data about antenna replacement from January., 2000 to January., 2010, and remove non-stationary variations using models of earthquakes, volcanic deformation and slow slip events. Next, we set elastic collisional power sources around the base of the Izu Peninsula, locking of plate boundaries, a deep creep of inland faults and a stationary volcanic deformation with a dislocation model and rotational motion of rigid bodies of the Izu micro plate and the Izu arc block (Nishimura, 2011). Then we perform an inverse analysis for the crustal deformation in this region.

The inversion result exhibits that elastic collisional power sources work at -12.7 mm/yr on the eastern foot of Mt. Hakone, 6.2 mm/yr on the northern foot, 11.6 mm/yr on the western foot and -0.5 mm/yr in the eastern Suruga bay. The plate boundaries are locked at 6 - 43.8 mm/yr beneath the Sagami trough, 3.6 - 39.3 mm/yr beneath the Suruga trough, 10 - 15.9 mm/yr in a southern edge of the Itoigawa Shizuoka Tectonic Line and 11 - 105.5 mm/yr on the boundary between the Izu micro plate and the Izu arc block. The inland faults creep at 23.3 mm/yr in deep extension of the Northern Izu fault zone and 23.4 mm/yr in deep extension of the Sagiriko Rokuroba fault group. In addition, the stationary volcanic deformation source at Mt. Mihara in the Izu-oshima island expands at $2.0 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yr}$. Furthermore, for the Honshu, the Izu micro plate rotates at -3.1 °/Myr with the Euler pole of 36.57 °N, 139.72 °E and the Izu arc block rotates at -11.3 °/Myr with the Euler pole of 34.95 °N, 140.46 °E. The spatial variations of the elastic collisional power sources correspond to actual terrain around the base of the Izu Peninsula.

キーワード：弾性衝突、内陸断層、プレート沈み込み、火山活動、伊豆衝突帯、地殻変動

Keywords: elastic collision, inland fault, plate subduction, volcanic inflation, Izu collisional zone, crustal deformation

有限要素法を用いた断層すべりによる地殻変動の解析

Analysis of crustal deformation due to slip across faults using finite element method

*井田 喜明¹、菊池 愛子¹、戸田 則夫¹*Yoshiaki Ida¹, Aiko Kikuchi¹, Norio Toda¹

1.アドバンスソフト株式会社

1.Advance Soft Co.

アドバンスソフト社では有限要素法を用いて断層すべりやマグマの移動に伴う地殻変動を解析するプログラム（プログラムの総称はFrontSTR/GEOS）の開発を進めている。このプログラムは、文部科学省次世代IT基盤構築のための研究開発「革新的シミュレーションソフトウェアの研究開発」の成果プログラムFrontSTRを有限要素法の計算に利用し、それに断層やマグマを表現する機能を独自につけ加えたものである。有限要素法の行列計算には繰り返し法の1種であるCG法を主に用いる。プログラムはパソコンでも大型計算機でも実行でき、並列計算にも対応できる。

有限要素法のメッシュは独自に開発したプログラムmeshgenで自動的に作成される。その手順はまず対象となる領域を六面体要素で分割して全体メッシュをつくり、そこに断層を組み込む。この2段階の操作は独立なので、断層を定義する際にメッシュを意識する必要がない。

全体メッシュは1個または複数のブロックで構成される。各ブロックは六面体要素で分割され、要素の大きさは一定であっても、位置とともに一定の割合で変化させてもよい。全体メッシュの作成時に、地表に接する最上部のメッシュの厚さを調整して地形を組み込むことができる。計算領域の側面と底を区切る人工的な境界には無限要素を設定して、境界条件の影響を抑えることができる。各要素の弾性定数は地震波速度の3次元分布と整合的に設定できる。

断層面は三角形や四角形の集合体で定義され、断層面上のすべりは三角形や四角形の頂点で指定されて内部に内挿される。断層は複数あってもよいが、互いに交差してはならない。また各々の断層は1つのブロックの内部におさまらなくてはならない。

全体メッシュに断層を組み込むときに、断層面が通る要素は断層面でさらに複数の要素に分割される。分割によって断層面上には新しい要素の境界となる節点がつくられるが、この節点は断層面の両側が独立に動けるように変位の値を2重にもつ。すべりや開口はこの2重変位の差によって表現される。有限要素法の計算を実行するときは、2重変位はMPC法で処理される。すなわち、2重変位はその他の変位とともに弾性平衡の条件と2重変位間の拘束条件を両方満たすように計算される。

このプログラムは断層の各点に指定された変位差によって生じる弾性変形の計算を基礎にする。粘弾性変形の効果は弾性変形に働く外力の形で計算に組み込めるので、この性質を利用して粘弾性による変形の緩和を時間とともに追跡することができる。粘弾性緩和の計算には変形によって生じる重力の効果も考慮される。断層面上の二重変位間の拘束条件を調整すれば、断層面に応力条件を設定することも可能である。

計算の事例として2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震を取り上げて、断層の形状や断層すべりの分布が地殻変動にどう影響するかを議論する。また、粘性率に適当な分布を仮定して、粘弾性による変形の緩和を推定する。さらに、この事例を用いて、断層すべりを二重変位で表現する利点について説明する。

キーワード：有限要素法、断層すべり、東北地方太平洋沖地震

Keywords: finite element method, fault slip, the great earthquake east off the northern district of Japan

西南日本における地震間の地殻変動:プレートの斜め沈み込みと前弧のブロック運動

Interseismic Crustal Deformation in Southwest Japan: Oblique Plate Convergence and Forearc Block Motion

*塩見 雅彦¹、田部井 隆雄²、伊藤 武男³*Masahiko Shiomi¹, Takao Tabei², Takeo Ito³

1.高知大院総合人間自然科学、2.高知大理、3.名大院環境

1.Graduate School of Science, Kochi Univ., 2.Faculty of Science, Kochi Univ., 3.Earthquake and Volcano Research Center, Nagoya Univ.

西南日本の地殻変動場は、フィリピン海プレートによる斜め沈み込みによる弾性変形が支配的である。GPS変位速度データの解析から、量的には小さいながらも、中央構造線(MTL)を境とする前弧スリバーのブロック運動を含んでおり、さらにMTL断層面の部分的な固着によるせん断変形が確認されている。地殻変動場の理解には、これらの定量化と分離が必要である。本研究では、プレート境界面上の固着分布、前弧スリバーのブロック運動、MTL面上の固着分布の同時推定を試みた。

解析には、2004~2009年における近畿から九州へ至る291点のGEONET最終座標解から算出したGPS3次元変位速度に加え、37点のMTLトラバース稠密GPS観測結果も併用し、合計328点の変位速度を使用する。この地殻速度場はREVEL (Sella et al., 2002)を基に、アムールプレート準拠で議論する。プレート境界面を深さ5kmから60kmまで1000枚以上の三角形要素群でモデル化し、さらにMTLは4つのセグメントに分割し、それぞれ下限深さ15km、傾斜角50度の矩形要素でモデル化した。

本研究では、同時推定にMCMC法を用いた。MCMC法は、マルコフ連鎖に基づくサンプリングから事後確率分布をパラメータの確率密度関数として求める手法で、パラメータが高次元であるようなモデルに対しても解を推定することができる。モデルの構成は次の通りである。前弧ブロック、背弧ブロック、フィリピン海プレートの運動をオイラー極によって算出し、さらに、ブロック間ではMTL面上の固着により弾性変形が生じていることから、すべり欠損モデルを適用し、前弧と背弧のブロック運動から算出された相対ブロック運動の値を上限として、MTL面上の固着率の推定を行った。また、前弧に対するフィリピン海プレートの相対運動速度をすべり欠損速度として、プレート境界面のグリーン関数に与え、固着率を推定した。固着率は0から1の値で表現し、1は完全な固着を示す。さらに、前弧スリバーの運動はほぼ純粋な右横ずれであるため、相対ブロック運動の方向が、MTL断層面の走向に直交する成分の二乗和が最小となるように先験情報を導入した。

解析の結果、プレート境界面のすべり欠損速度分布は、先行研究で得られたものと同程度であった。また、土佐湾沖の深さ15-25 kmにおいて60mm/yrを超えるすべり欠損速度を推定した。この領域は、1946年の南海地震の主破壊領域とほぼ一致する。さらに、前弧スリバーのブロック運動の相対速度は、約4mm/yrであった。MTL断層面の浅部の固着は、東部のほぼ完全な固着から西のセグメントに向かうにつれ、わずかに変化しながら固着が弱まる。セグメント間の歪蓄積率や地震発生間隔の違いが関連しているのか興味深い結果となった。

キーワード: マルコフ連鎖モンテカルロ法、中央構造線、西南日本、GPS観測

Keywords: Markov Chain Monte Carlo method, Median Tectonic Line, Southwest Japan, GPS observation

GPS連続観測および繰り返し観測によって捉えられたアゾレス諸島プレート三重点のテクトニクスと火山性地殻変動

Tectonic and volcanic deformation at the Azores Triple Junction, observed by continuous and campaign GPS analysis

*岡田 純¹、アラウージョ ジョアン²、ボンフォーテ アレクサンドロ³、グウジェルミーノ フランチェスコ³、ロレンツォ マリア²、フェレイラ テレーザ²

*Jun Okada¹, João PM. Araújo², Alessandro Bonforte³, Francesco Guglielmino³, Maria FP. Lorenzo², Teresa JL. Ferreira²

1.気象庁気象研究所、2.アゾレス地震火山監視情報センター (CIVISA)、3.イタリア国立地球物理学火山学研究所 (INGV) カターニア支部

1.Meteorological Research Institute - Japan Meteorological Agency, 2.Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores (CIVISA), 3.Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Catania

ポルトガルのアゾレス諸島は、ユーラシア、ヌビア、そして北米プレートが互いに接するプレートの3重点に位置し、地震・火山活動が活発な地域である (Gaspar *et al.* 2015)。北米プレートと他の2つのプレートの境界線 (いわゆる大西洋中央海嶺の部分) は明確に定義されている一方、ユーラシアとヌビアプレートの境界線は不明瞭であり、よくわかっていない部分が多い。地質・地球物理・地球化学に基づく先行研究は、このプレート境界部が、diffuse (ひずみが空間的に分散しているということ) かつ複雑なプロセスで形成されてきたことを示している。近年のGPSなどによる宇宙測地技術の応用は、こうしたdiffuseなプレート境界に対する理解 (例えば、Fernandes *et al.* 2004, 2006; Trota 2009; Marques *et al.* 2013) やプレート拡大域における火山活動の検出 (例えばFogo火山 - Trota 2009) に重要な貢献をもたらしている。しかしながら、広域テクトニクス場とそこに発生する火山活動との関係性やその時空間プロセスの詳細については十分な研究がなされていない。アゾレス諸島のサンミゲル島では、近年データの蓄積が進んでおり、そのような一歩踏み込んだ研究が可能となってきた。

本研究では、サンミゲル島に展開されているGPS連続観測点9点 (2008~2013年) と繰り返し観測のデータを解析ソフトウェアBernese5.0 (Dach *et al.* 2007) を用いて解析した。解析解を国際測地系ITRF2005に準拠させるため、アゾレス諸島外部の複数のIGS点基準点データを同時に解析している。プレートの角速度 (DeMets *et al.* 2010) との比較から、2011年から2012年にかけて群発地震の発生したFogo火山の東側で、ひずみ集中帯 (0.28 ppm/yrの伸長場) の存在が明らかとなった。その領域では、ユーラシア - ヌビアプレート間に予測されるひずみ速度の約半分が解消されていることがわかった。

プレート運動によるトレンドを除去したGPS時系列の解析により、Fogo火山周辺では、2011-2012年の群発地震の発生に関係したタイプの異なる2種類の地殻変動があることがわかった。一つは、Fogo山頂部を中心とする「全山規模の変動」であり、高周波の構造性地震の発生に対応している。もう一つは、Fogoの東側での「膨張-収縮反転」である。後者は、2012年8月のやや低周波の地震活動の急激な減衰に対応している。1965-66年の松代地震やイタリアのカンピ・フレグレイの火山危機 (1969-72年と1982-85年) との地殻変動の強い類似性は、Fogo火山の熱水系の存在を示唆しているかもしれない。Fogoの2011-2012年の火山活動については、次のような解釈が可能である：(1)全山規模の圧力源の増圧によって励起された地殻流体の流れが、選択的に広域ひずみの伸長場 (岩石中のクラックや割れ目の多い場所) へ促進された。(2)Fogoの東側における高圧間隙水のクラックへの流入は、地殻浅部を局所的に膨張させる一方で、岩石の破壊強度を低下させるため、やや低周波の地震を発生させた。(3)全山規模の膨張が収まり、間隙水圧が低下すると、間隙水のクラックからの流出に伴って岩石の体積は収縮し、地震活動は終息する (dilatancy recovery)。山頂圧力源について、遺伝的アルゴリズムを用いたインバージョン解析を行った結果、アゾレス諸島の広域応力場ならびにFogo火山周辺で卓越する応力場の特性と整合的なモデルが得られている。

キーワード：地殻変動、GPS、GNSS、プレートテクトニクス、アゾレス、火山測地学

Keywords: crustal deformation, GPS, GNSS, plate tectonics, Azores, volcano geodesy

火山性地殻変動における粘弾性緩和

Visco-elastic relaxation in volcano deformation

*山崎 雅¹*Tadashi Yamasaki¹

1.産業技術総合研究所

1.Geological Survey of Japan, AIST

Satellite-based observation (GPS and/or InSAR) has precisely measured surface deformation, but by itself does not derive a mechanism of the deformation. We therefore need to employ some theoretical model in order to understand characteristic deformation pattern for a given source mechanism, only based on which the deformation source mechanism can be objectively deduced from the observation. Magmatic activity in depth is particularly considered as the source mechanism in this study. We employ a parallelized 3-D finite element code, OREGANO_VE [e.g., Yamasaki and Houseman, 2015, *J. Geodyn.*, 88, 80-89], to solve the linear Maxwell visco-elastic response to a given internal inflation/deflation of magma chamber. In a rectangular finite element model domain, the crust is mechanically two-layered, in which an elastic layer with thickness of H is underlain by a visco-elastic layer, but the entire mantle behaves as visco-elastic material. A depth-dependent viscosity (DDV) is adopted for the visco-elastic crust, where the viscosity exponentially decreases with depth due to temperature-dependency: $\eta_c = \eta_0 \exp[c(1 - z/L_0)]$, where η_0 is the viscosity at the bottom of the crust, c is a constant; $c > 0$ for DDV model and $c = 0$ for uniform viscosity (UNV) model, z is the depth, and L_0 is a reference length-scale. The visco-elastic mantle is contrarily assumed to have a spatially uniform viscosity η_m . A sill-like magma chamber is approximated as a spheroid, and its inflation/deflation is implemented by using the split node method developed by Melosh and Raefsky [1981, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 71, 1391-1400]. We first employ UNV model with $c = 0$, which shows that visco-elastic relaxation abates the inflation-induced surface uplift with time; The post-inflation subsidence would erase the uplift in $\sim 50 - 100$ times Maxwell relaxation time of the crust unless the inflation occurs within the uppermost elastic layer. The rate of the subsidence is governed by a depth of the inflation and the equatorial radius of the sill; but the latter is not important for the earliest post-inflation period. Time-dependent inflation always accompanies with visco-elastic relaxation, and any significant surface uplift is not expected if the inflation has occurred over the time-scale greater than $\sim 50 - 100$ times crustal relaxation time. DDV model with $c > 0$ is also employed in this study to examine how a spatio-temporal deformation pattern at the surface is deviated from that for UNV model. The predicted model behaviour shows that UNV model behaviour approximates DDV model behaviour, but the apparent UNV which best fits a DDV displacement history depends on distance from the centre of the inflation; smaller viscosities are required at greater distances from the centre of the inflation. Such a model behaviour would expect that the spatio-temporal ground movement also depends on the depth of the sill inflation. Furthermore, a UNV model behaviour that the post-inflation subsidence depends on the thickness of the uppermost elastic layer requires us to examine the DDV model behaviour in terms of an effective elastic thickness for a given DDV structure. The model predictions obtained in this study provide important insights into geodetically detectable ground movement in volcanic provinces.

キーワード：火山性地殻変動、粘弾性緩和、マックスウェル緩和時間

Keywords: Volcano deformation, Visco-elastic relaxation, Maxwell relaxation time

2015年11月14日に薩摩半島西方沖で発生した地震による地殻変動

Crustal deformation by the West Off Satsuma Peninsula earthquake occurred on November 14, 2015

*中尾 茂¹、八木原 寛²、平野 舟一郎²、後藤 和彦²、内田 和也³、清水 洋³

*Shigeru Nakao¹, Hiroshi Yakiwara², Shuichiro Hirano², Kazuhiko Goto², Kazunari Uchida³, Hiroshi Shimizu³

1.鹿児島大学大学院理工学研究科地球環境科学専攻、2.鹿児島大学大学院理工学研究科附属南西島弧地震火山観測所、3.九州大学大学院理学研究院附属地震火山観測研究センター

1.Department of Earth and Environmental Sciences, Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima University, 2.Nansei-Toko Observatory for Earthquakes and Volcanoes, Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima University, 3.Institute of Seismology and Volcanology, Kyushu University

The earthquake (JMA Magnitude 7.1) occurred on November 14, 2015 in the area of west off Satsuma peninsula. The epicenter is located in Okinawa Trough where is in about 160 km west from Makurazaki City in Kagoshima Prefecture. This earthquake is one of the largest earthquakes in this area. Seismicity in this area is low in last twenty years. Two continuous GNSS sites are operated by Kagoshima University, one is UJIS site in Uji island which is 84 km to east from the epicenter and the other is MESM site in Meshima island which is 121 km north from the epicenter. At UJIS seismic observation is also operated by Kagoshima University and it is operated by Kyushu University at MESM. We went to those sites in order to get GNSS and seismic data because GNSS and seismic data are not telemetered at those sites. In this research, co-seismic crustal deformation and activity of aftershocks are reported. We relocated the main shock and aftershock until 10:00 on November 16. Length of aftershock area is about 60 km. Its Strike is the same of Okinawa Trough. The epicenter of the main shock is located at the south-west end of the aftershock area and maximum aftershock, which is occurred on November 15, is at north-east end. Activity of aftershock in northern part of aftershock area is high. However, in southern part it is low except aftermath of occurrence of the main shock. GNSS data analysis is by Bernese GNSS software Ver. 5.2 with CODE precise ephemeris. Daily site coordinates of UJIS and MESM are calculated with GEONET sites. Coseismic deformation is estimated by the difference between two days averages before and after the main shock. Displacement at UJIS and MESM is 0.82 cm and 0.65 cm, respectively. The theoretical coseismic deformation is estimated by a strike slip fault model (Okada, 1992). Fault length, strike, dip angle and fault position are estimated by the length of aftershock area. Fault width is assumed a half of the fault length. Amount of fault slip is estimated by the relationship between earthquake magnitude and moment (Sato, 1979). JMA moment magnitude 6.7 is used (JMA, 2015). Theoretical displacement at UJIS and MESM is 1.3 cm and 1.1 cm. Direction of observed displacement is coincident with that of theoretical displacement. However, amount of observed displacement is smaller than theoretical one.

2016年台湾美濃地震による地表面変動

Surface deformation associated with the Meinong, Taiwan, earthquake

*橋本 学¹*Manabu Hashimoto¹

1.京都大学防災研究所

1.Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

2016年2月6日、台湾南部高雄市付近を震源とするMw6.4の地震が発生し、台南市でビルの倒壊による100名以上の犠牲者が出る等、大きな被害が発生した。この地震による地表面変動を検出するために、宇宙航空研究開発機構（JAXA）が運用するALOS-2/PALSAR-2画像を解析した。

地震後の観測は、2月9日に北行軌道から高分解モードで、14日に南行軌道から広域観測モードで行われた。特に、広域観測モードの観測は震央を含む台湾南部をカバーし、変動の全体像を議論することができる。Gammaを用いて、2パス干渉処理を行った。DEMはASTER-GDEM ver. 2を用いた。広域観測モードの干渉画像に、20km×20km四方の最大9 cm程度の視線距離伸長の領域と、その西隣に南北約20km×東西約10kmの最大12cmにおよぶ視線距離短縮領域が認められた。西側の視線距離短縮領域は、高分解モードの干渉画像に認められ、この地域は隆起したものと考えられる。これらの観測結果派、現地台湾国立成功大学のグループによるGNSS観測結果とデコルマの逆断層運動とする解釈（Ching et al., 2016, personal communication）と整合する。興味深いのは、さらに西側に2つの視線距離短縮領域に挟まれた視線距離伸長の領域があることである。この視線距離伸長領域の周辺部では、道路等に亀裂も見つかったという報告がある（Ray Chuang, personal communication）。この結果は、デコルマの西端に副次的な断層運動が生じたことを示唆する。台南市の北東部にも視線距離伸長領域を検出した。この地域は、河川に沿った沖積平野であることから、液状化現象が生じたものと考えられる。

3月に現地を訪れ、特に変動域を中心に調査する予定である。この結果も合わせて報告する。

ALOS-2/PALSAR-2画像は、地震予知連絡会SAR解析WGの活動の一環として、JAXAより提供されました。ALOS-2/PALSAR-2画像の所有権・著作権はJAXAにあります。

キーワード：2016年台湾美濃地震、地表面変動、合成開口レーダー、ALOS-2/PALSAR-2

Keywords: 2016 Meinong Taiwan earthquake, surface deformation, SAR, ALOS-2/PALSAR-2

Block Rotation and Intra-plate Deformation in Java, Indonesia based on GPS observations

*Henri Kuncoro¹, Satoshi Miura¹, Irwan Meilano², Susilo Susilo³

1.Graduate School of Science, Tohoku University, 2.Geodesy Research Division, Institute Technology of Bandung, 3.Geospatial Information Agency of Indonesia

Using the 1998-2013 horizontal velocity field including continuous and campaign Global Positioning System (GPS) phase data, we interpret the kinematics of Sunda Block and the present deformation of Indonesia. Four major earthquakes, the 2006 Java (M7.7, e.g. Ammon et al., 2006), The 2009 West Java (M7), and the 2012 Indian Ocean earthquakes (M8.6 and 8.2) occurred around southern boundary of the Sunda Block that affected the horizontal velocity field within the block. Since we only have the short span of time series for several sites especially in the Java island, we should remove the offsets and the exponential or logarithmic trends in the time series due to the earthquakes. By means of TDEFNODE (McCaffrey, 2009), we invert GPS site velocities simultaneously to estimate the Euler rotation parameter of blocks, earthquake slip vectors, and uniform horizontal strain rate tensor within the blocks. We constructed several block models for the Sunda Block kinematics and deformations. We assume one to four faults extending from the western part off the southern coast of Java and estimate the slip distributions. We also assume the different constraints on the nodes on these faults. From a series of the block models, we determine a preferred model by applying F-distribution tests between two models. The preferred model here is the one consisting of four faults along the Java trench with unconstrained nodes without a homogeneous strain rate tensor, and produces the reduced chi-square of 0.754. This model generates the Euler rotation parameters of 48.917° N for latitude, 86.876° W for longitude, and $0.330 \pm 0.002^\circ$ /Myr for angular velocity with an error elliptic axes of 0.96° and 0.15° for the pole location. The distributions of interseismic locking on the plate boundary along the Java trench demonstrates the low coupling rate of ~ 30 mm/yr in the western part, the very low rate < 10 mm/yr in the middle part, and the very high rate of ~ 65 mm/yr in the eastern part. The residual velocities derived from this model indicate the effect of the postseismic deformation in the western part of Java and the extensional pattern in the eastern part of Java, which may suggest volcanic deformation.

References:

Ammon, C. J.; Kanamori, H.; Lay, T.; Velasco, A. A. (2006), "The 17 July 2006 Java tsunami earthquake" (PDF), *Geophysical Research Letters* (American Geophysical Union) 33 (24): 1, doi:10.1029/2006gl028005

McCaffrey, R. (2009), "Time-dependent inversion of three-component continuous GPS for steady and transient sources in northern Cascadia", *Geophysical Research Letters*, 36, L07304, doi:10.1029/2008GL036784

Keywords: Sunda Block, Euler rotation, Block kinematics

水準測量より明らかにした東北地方太平洋沖地震後の鳴子地域の上下地殻変動

Vertical displacement in Naruko Volcano area after the 2011 Tohoku earthquake deduced from precise leveling survey

*高橋 菜緒子¹、畠山 雅将¹、百合本 はる妃¹、本田 雄生¹、塚本 雄也²、後藤 章夫³、太田 雄策⁴

*Naoko Takahashi¹, Masayuki Hatakeyama¹, Haruhi Yurimoto¹, Yuuki Honda¹, Yuya Tsukamoto², Akio Goto³, Yusaku Ohta⁴

1.東北大学理学部地球惑星物質科学科、2.東北大学大学院理学研究科地学専攻、3.東北大学東北アジア研究センター、4.東北大学大学院理学研究科附属地震・噴火予知研究観測センター

1.Division of Earth and Planetary Materials Science, Faculty of Science, Tohoku University,

2.Department of Earth Science, Graduate School of Science, Tohoku University, 3.Center for

Northeast Asian Studies, Tohoku University, 4.Research Center for Prediction of Earthquakes and

Volcanic Eruptions, Graduate School of Science, Tohoku University

2011年3月11日の東北太平洋沖地震に伴い、東北地方を中心に大きな地殻変動が生じた。海岸付近では1mを越える沈降が起き、沈降量は内陸（西）に行くに従い小さくなるのがGEONETの観測で示されている（<http://www.gsi.go.jp/common/000059956.pdf>）。東北大学理学部地球惑星物質科学科の夏季フィールドセミナーでは、内陸まで及んだ上下地殻変動を検出すべく、2011年8月に、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で、10kmに渡り水準測量を行った。その結果、太平洋側（東側）ほど大きく沈降しているという調査前の予想に反し、2009年の国土地理院の測量結果との比較により、この区間では地震に伴う沈降が内陸側（西側）ほど大きいことが示された（塚本ほか、2014）。Ozawa and Fujita (2013), Takada and Fukushima (2013)はInSAR解析により、栗駒山から鳴子にかけての火山地帯で、地震に伴い沈降が起こったことを明らかにした。測量区間はこの沈降域にかかっており、2011年の測量結果はこの変動を捉えていたと解釈された。その後の変動有無を確認するため、2013年8月に同じ路線で再度測量を行ったところ、沈降が2011年の夏以降も続いており、その変動パターンが2009-2011年で得られた結果とほぼ同じであることがわかった（塚本ほか、2014）。

これら過去2回の測量結果を踏まえて、さらにその後の変動を検出するために、我々は2015年8月27日-31日に、過去2回と同じ二等水準路線区間（東から水準点番号 047-064, 066, 068, 070, 072, 074；以下BM64などと表記）の水準測量を行った。標尺にはLeica GPCL3, 水準儀にはLeica DNA03を用いた。いずれの水準点間も往復測量を行い、往復残差はすべて一等水準測量の許容範囲内に収まった。

2015年8月の測量結果を2013年8月と比較すると、BM64を基準としたときのBM66, 68, 72, 74はそれぞれ7.6mm, 14.6mm, 31.8mm, 36.2mm沈降しており、変動量こそ小さくなったものの、2009-2013年で得られた結果と同様に沈降が続いていることが確認された。これに対し、BM70だけは4.6mmの隆起に転じていた。測量区間内で隆起が確認されたのはこれが初めてである。

東北大学によって整備された、国道47号線にほぼ平行するGPS路線で上下余効変動を見ると、水準測量を行った区間は、東側の隆起が西側の沈降へと遷移する位置に相当する。BM64と経度がほぼ等しい0174を基準に見ると、測量区間に対応する西側の2点はいずれも沈降し続けており、測量結果と調和的である。一方、BM70で見られた隆起に対応する変動は見えていない。

国土地理院による1969年と2009年の水準測量結果を比較すると、BM68に対して72と74は隆起しているのに対し、BM70は沈降している。Prima and Yoshida (2010)やOgawa et al. (2014)によると、鳴子カルデラのリムの東端がBM68と70の間を横切っていると見られる。BM70の特異な変動は、このような局地的な地質構造が影響しているかもしれない。

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

伊豆の群発地震（1997年3月）の前兆的歪・傾斜変動とM5.5地震の発生について

Precursory Strain and Tilt Variations of Earthquake Swarm Occurring in Izu Peninsula in March 1997 and Occurrence of M5.5 Earthquake.

*石井 紘¹

*Hiroshi Ishii¹

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

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

伊豆半島には1995年、1996年、1997年と1998年の4回活発な群発地震が発生した。今回は1997年3月伊豆半島に発生した群発地震について前兆的な歪・傾斜変動とM5.5地震の発生に至る変動について検討した結果を報告する。東京大学地震研究所はボアホール地殻活動総合観測装置を群発地震が発生している地域に設置し観測を行っていた。この装置は歪計、傾斜計、地震計、磁力計や温度計を搭載している。群発地震の発生に対応して歪計および傾斜計に異常な変動が観測されている。予備的な解析結果は予知連会報等に報告してあるが改めて解析を試みた結果を報告する。

群発地震は3月3日10時30分頃から始まりマグニチュード5.5の大粒の地震が23時9分に発生している。

明らかになってきた主な点は以下のようなものである。

1. 群発地震発生から震源の深さは大体200m/hour程度の割合で浅くなりM5.5の大粒の深度の浅い地震が発生した
 2. 下降ベクトルの図を作成して変化を見ると傾斜計には群発発生前の3月2日頃から通常の変動とは異なる変化が記録されており、群発地震発生後に変動が加速しM5.5が発生した
 3. 主歪の変動は群発地震発生後にそれまでと異なる異常変動を記録し、変動が加速してM5.5が発生した
 4. 群発地震発生前から終了までの傾斜・歪変動の様子が明らかになった
- そのほか震源分布、深度などと傾斜・歪変動との関連性についても議論する。

キーワード：前兆変動、伊豆群発地震、地殻活動総合観測装置、歪変動、傾斜変動

Keywords: Precursory Phenomena, Earthquake Swarm in Izu Peninsula, Multi-component Borehole Instrument for Crustal Activity Observation, Strain Variation, Tilt Variation

地下水流動の気圧応答を用いて推定された地震に伴う透水性変化

Permeability change due to the earthquake estimated by using atmospheric effect on groundwater migration

*向井 厚志¹、大塚 成昭²、福田 洋一³

*Atsushi Mukai¹, Shigeaki Otsuka², Yoichi Fukuda³

1.福山市立大学都市経営学部、2.神戸学院大学人文学部、3.京都大学大学院理学研究科

1.Faculty of Urban Management, Fukuyama City University, 2.Faculty of Humanities and Sciences, Kobe Gakuin University, 3.Graduate School of Science, Kyoto University

大気荷重変化による地下水流動は帯水層の水理学的特性に依存しており、観測された湧水量および間隙水圧の気圧応答には周辺岩盤の透水性構造に関する情報が含まれている。本発表では、断層破碎帯で観測された湧水量および間隙水圧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および貯留係数の変化を推定した結果について報告し、透水性変化の原因について考察した。

断層破碎帯はその周辺岩盤と比べて透水性が高く、大気荷重による地下水流動は主に破碎帯内で生ずると考えられる。向井・他(2015)は、断層破碎帯内で水平方向にのみ移動する一次元地下水流動をモデル化し、大気荷重変化に伴う湧水量変化の周波数依存性を表す理論式を導出した。この理論式を観測された湧水量の気圧応答に当てはめることによって、透水係数 k と貯留係数 S の積 $k \cdot S$ の変化を推定することができる。

同じモデルを用いて、断層破碎帯内における間隙水圧の気圧応答の理論式を導出することもできる。このとき、その理論式は透水係数と貯留係数の比 S/k を変数にもつ。その結果、湧水量と間隙水圧の気圧応答観測値を同時に解析することによって、透水係数と貯留係数の変化を個々に推定することが可能となる。

2010年8月～2011年12月に六甲高雄観測室で得られた湧水量および間隙水圧の観測値、ならびに神戸地方気象台の地上気圧観測値を用いて、同観測室が貫く万福寺断層破碎帯の透水係数および貯留係数の変化を推定した。このとき、観測期間を512データ(21.3日)の解析区間で分割し、FFTを用いた周波数解析によって各区間の気圧応答の周波数依存性を計算した。その後、得られた気圧応答に一次元地下水流動モデルの理論式を当てはめ、最適なモデル・パラメータとして透水係数および貯留係数の変化を推定した。

推定された貯留係数は地震直後に約3倍に増大した。向井・大塚(2012)は、水源から観測室へ流れ出す地下水流動モデルを用いて六甲高雄観測室周辺の水源の間隙水圧を推定し、水源の間隙水圧が地震直後に低下し、数ヶ月間回復しなかったことを報告した。これらのことから、亀裂を目詰まりさせていた泥分等が地震動によって流出し、水源を含め、周辺岩盤から間隙水が過剰に排出されたことが示唆される。

一方、推定された透水係数は地震直後に約4割縮小した。このことは、一見、地震動が泥分等を流出させたとの上記の推察と矛盾する。これに関しては、地震動による透水性の変化が周辺岩盤で非一様に生じた可能性が考えられる。周期的な気圧応答による間隙水の移動は狭い範囲に限定されることから、本発表で推定された透水係数は観測室近傍の透水性を反映していると考えられる。地震動によって亀裂から流出した泥分等が間隙水の出口である観測室近傍に集中して亀裂に目詰まりを引き起こした結果、観測室近傍では地震直後に透水性が低下した可能性が示唆される。

キーワード：透水性変化、地下水流動、2011年東北地方太平洋沖地震

Keywords: permeability change, groundwater migration, 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

地殻変動即時把握について

Real-time monitoring of crustal deformation

露木 貴裕¹、近澤 心¹、棚田 理絵¹、*木村 久夫¹、長谷川 浩¹、沼野 あかね²、山田 尚幸¹、中村 雅基¹、橋本 徹夫¹、宮岡 一樹³

Takahiro Tsuyuki¹, Sin Chikazawa¹, Rie Tanada¹, *Hisao Kimura¹, Hiroshi Hasegawa¹, Akane Numano², Naoyuki Yamada¹, Masaki Nakamura¹, Tetsuo Hashimoto¹, Kazuki Miyaoka³

1.気象庁、2.静岡地方気象台、3.気象研究所

1.Japan Meteorological Agency, 2.Shizuoka Meteorological Office, 3.Meteorological Research Institute

気象庁は、東海地震の前兆を捉えることを目的として、東海地域周辺の地殻変動を監視している。これまでの監視システムでは、個々の観測データの変化量について、定常状態で変化しうるレベル（ノイズレベル）を越える異常を検知する（小林・松森（1999））ことにより監視を行ってきた。昨年度導入した新システムでは、さらにスタッキング法（宮岡・横田（2012））により作成したデータの異常を自動検知させて変動源の位置を把握するとともに、断層モデル推定までを自動で行うことにより、地殻変動の即時的異常把握を目指している。

スタッキング法は、あらかじめプレート境界面上のグリッドごとに断層すべりを想定し、このすべりによる理論値の極性を基にして観測値を重ね合わせることで観測データのシグナルを増幅し、変化を検知するものであるが、観測点の配置やノイズレベル等によっては、実際にすべりの生じていないグリッドのスタッキングデータにも変化が生じてしまう場合がある。そこで、このような偽の変化を自動的に除外するために、観測された変化量と仮定した断層すべりによる理論変化量が似ている程度の指標として決定係数を閾値に用いて、変化を検知したグリッドの位置を限定する手法を開発し、これを新システムに採用した。また、異常を検知したスタッキングデータを基に、改めて断層モデル推定を行うことによって、結果の信頼性を高めることを目指している。この新システムにより、プレート境界の断層すべりがこれまでより早く正確に検知できることが期待される。

この新システムに導入した解析手法の概要と、短期的ゆっくりすべりによる異常変化の検出事例について紹介する。

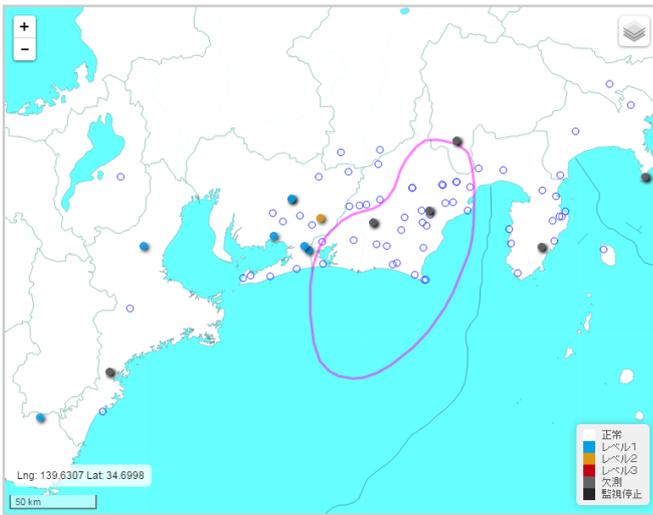
キーワード：ひずみ計、スタッキング、ゆっくりすべり

Keywords: strainmeter, stacking, slow slip event

地殻活動総合監視画面

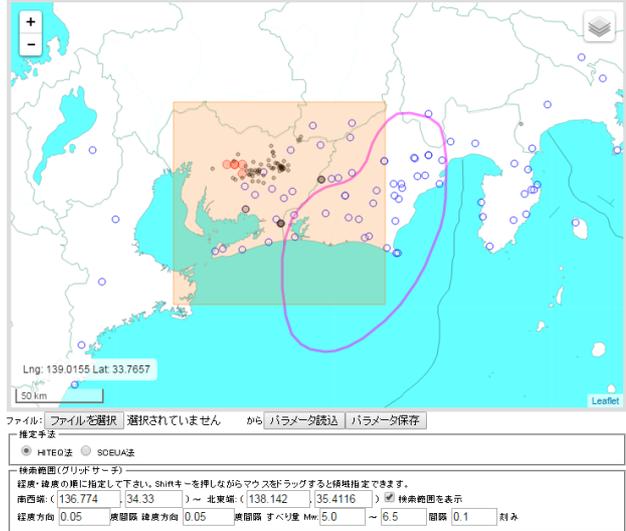
表示時刻: < 2016/1/5 8:35 > | 最新 | 60分ごと | 自動更新 | 更新停止 | 動画 | 印刷

2016/1/5 8:35 現在の状況



断層推定結果

観測値設定 | すべり推定開始 (ID = 95aa100ac4f0) | 推定位置登録
2016/01/05 00時~2016/01/06 23時の変化量を使って得られた推定結果



キネマティックPPPデータ解析にもとづく2011年東北地方太平洋沖地震直後の余効変動にともなう内陸ひずみ異常の特徴

Characteristic of inland strain anomalies caused by the postseismic deformation immediately after the 2011 Tohoku-Oki earthquake based on kinematic PPP data analysis

平田 雄一郎¹、*太田 雄策¹、大園 真子²、日野 亮太¹
Yu'ichiro Hirata¹, *Yusaku Ohta¹, Mako Ohzono², Ryota Hino¹

1.東北大学大学院理学研究科附属地震・噴火予知研究観測センター、2.山形大学理学部地球環境学科
1.Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Graduate School of Science, Tohoku University, 2.Department of Earth and Environmental Sciences, Faculty of Science, Yamagata University

We have investigated spatial and temporal development of anomalous crustal strain in the northeastern Japan region associate with a postseismic deformation immediately after the 2011 Tohoku-Oki earthquake. Ohzono et al. (EPS, 2012) found the characteristic strain anomalies associate with the step-like stress change caused by the large coseismic displacement. Their results, however, should contaminate the crustal deformation by the early postseismic within one day.

Based on these backgrounds, we adopted the kinematic precise point positioning (PPP) analysis for understanding the crustal deformation caused by the early postseismic immediately after the mainshock. We used GIPSY-OASIS II Ver. 6.3 software for kinematic PPP processing of whole GEONET sites in 10 March 2011. We applied every 6 hours nominal wet and dry zenith tropospheric delay value as a priori information based on the ECMWF global numerical climate model. For the coordinate time series and tropospheric parameters, we assumed white noise and random walk stochastic process, respectively. These unknown parameters are very sensitive to assumed process noise for each stochastic process. Thus, we searched for the optimum two variable parameters; wet zenith tropospheric parameter and its gradient.

Furthermore, we applied the principal component analysis for eliminate the spatial correlated noise from the kinematic PPP time series. The strain calculation from the displacement data is based on the method developed by Shen et al. (JGR, 1996). Obtained dilatation strain clearly shows the inhomogeneous distribution. Compared with the seismic tomography results by Nakajima et al. (JGR, 2001), large expansion area by this study mostly just correspond to the low Vp region at the 10km depth. This results suggested that these localized expansion areas correspond to the lower elastic moduli in the upper crust and/or shallower portion. Furthermore, we assessed the amount of strain anomalies by the early postseismic deformation relative to strain anomalies by the coseismic deformation. Our early postseismic results suggest that the 20-30% of strain anomalies by Ohzono et al. (2012) may be caused by the postseismic deformation. This result suggested that the early large postseismic deformation behaved as "step-like" stress change to the crust as well as the coseismic deformation.

GNSSのキネマティック解から見る2011年東北沖地震直前と直後の動きとピラーの熱膨張
Surface movements immediately before and after the 2011 Tohoku-oki earthquake from
kinematic solution of GNSS and thermal expansion of the pillars

*三枝 優輝¹、日置 幸介¹

*Yuki Saegusa¹, Kosuke Heki¹

1.北海道大学大学院理学院自然史科学専攻

1.Department of Natural History Sciences, Graduate School of Science, Hokkaido University

2011年3月11日に発生したMw9.0の東北地方太平洋沖地震（以下、東北沖地震と呼ぶ）は、プレートの沈み込み境界である日本海溝における断層すべりによって生じ、その地震と同時に日本列島は大きく東向きに変位した。Ohta et al. (2012) は、東北沖地震の地震直前の地表の動きについて、GNSS局の三時間毎の測位解を報告している。またHino et al. (2014) は、海底圧力計を用いて震源に近い海底の上下運動について地震直前の観測結果をより高い時間分解能で報告している。さらにHirose (2011)はHi-net傾斜計で地震直前の傾斜変化について報告している。それらのデータに共通して見られるのは、本震二日前の前震の余効変動が徐々に減衰する様子であり、地震直前に特別な動きは見られていない。

一方地震直後のGEONET、全球航法衛星システム(GNSS)局の動きについては、キネマティック解析の結果がいくつか報告されている。例えばMunekane (2012)は、比較的大規模な前震に伴う変動や本震の余効すべりにともなう変動をEOF解析によって抽出しており、またMitsui & Heki (2012)は地球自由振動に伴う周期的な動きを解析した。Munekane (2012)によると、それらの実際の地殻変動に加えて、地震と関係なく均一な北上と南下が見られる時刻があったことが報告されている。それらはアンテナが取り付けられた金属製ピラーの日向と日陰の温度差によって生じた、熱膨張の影響だろうと解釈されている。

本研究では、地震直前直後に比較的広域で均一に見られた水平変位について、より細かい時間および空間スケールで、これらの変位と日照を関係付けられないかを議論する（添付図参照）。用いたデータは、GNSSキネマティック測位データについてはMitsui and Heki (2012)と同じくGEONET局（GNSS測位局）の30秒ごとの位置データ（UNAVCOの岩淵博士によるRTnetを用いた精密単独測位）を、日照の時空間分布については気象庁HP (<http://www.data.jma.go.jp/risk/obsdl/index.php>)から得られた気象データを用いた。

添付図の説明

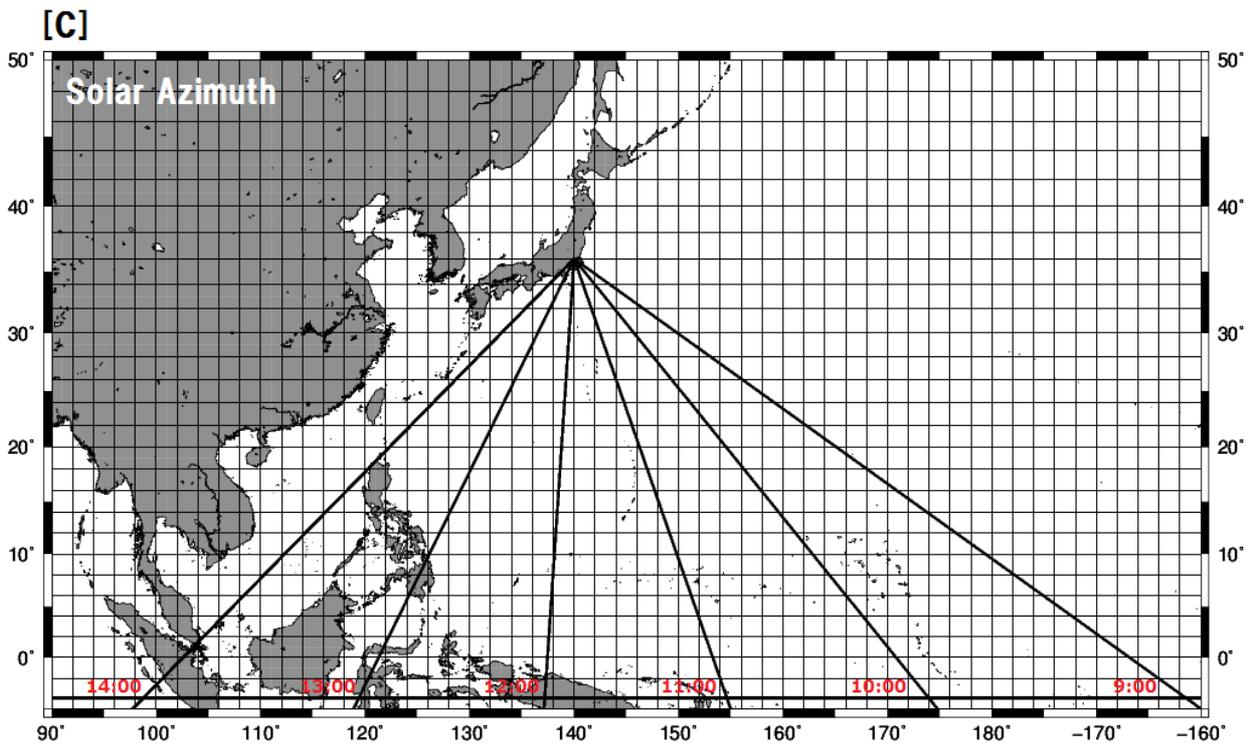
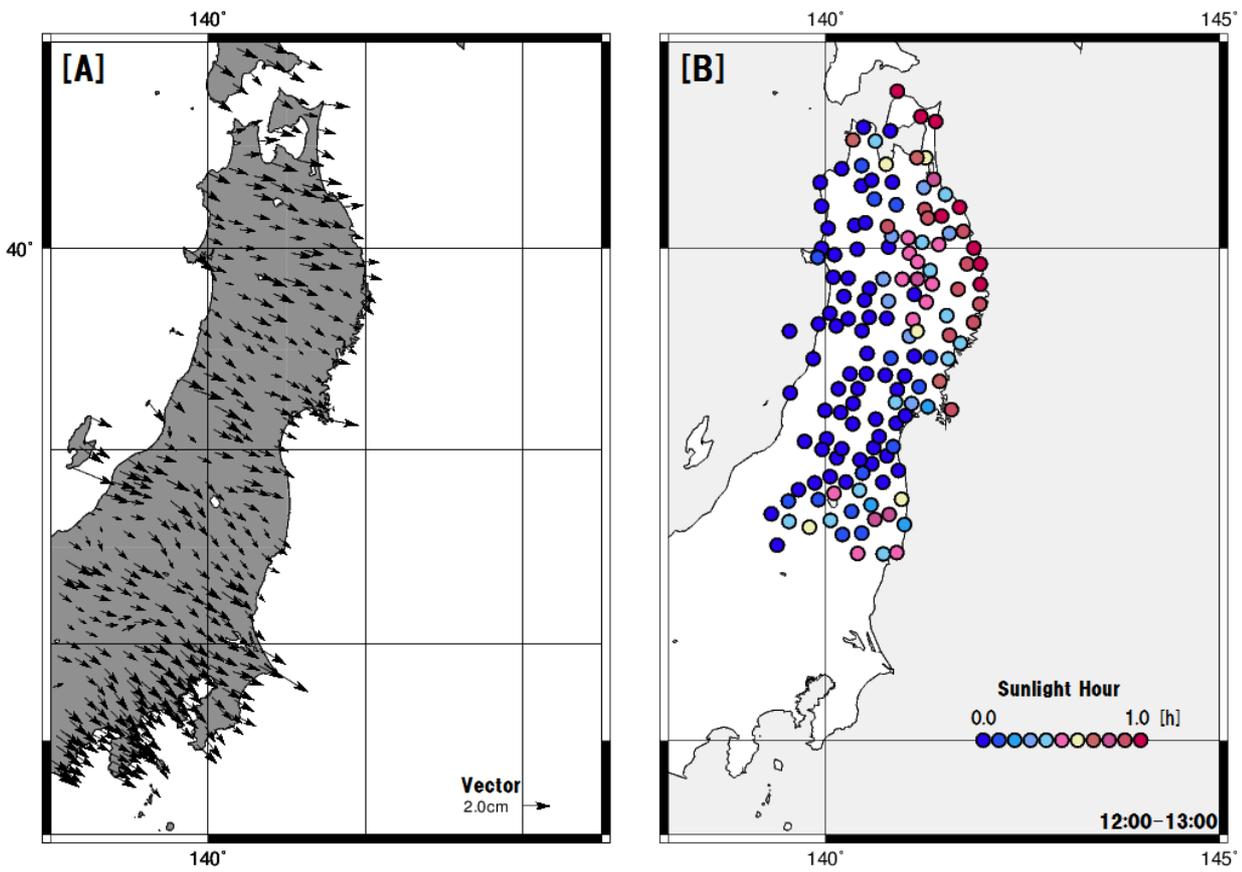
[A]:kinematic解が示した、日本時間12:00から13:00までのGNSS局の位置変化

[B]:各アメダス観測地点における、日本時間12:00から13:00までの日照時間

[C]:各時間における太陽方位角

キーワード：地殻変動、GNSS、熱膨張

Keywords: crustal movement, GNSS, thermal expansion



東北地方太平洋沖地震後の日本列島の地殻変動の変化とその解釈

Change of crustal deformations after the 2011 Tohoku-oki earthquake

*水藤 尚¹*Hisashi Suito¹

1.国土交通省国土地理院

1.GSI of Japan

平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震は日本列島の地殻変動に多大な影響をもたらしている。地震時には震央に最も近い宮城県牡鹿半島先端部で最大5.4mの水平変動と1.1mの沈降に代表されるように大規模な地殻変動が観測された。引き続いて発生している余効変動は地震発生から5年弱が経過した現在も継続している。本発表では、東北地方太平洋沖地震後の日本列島の地殻変動の変化をGNSS連続観測の結果に基づいて報告する。

水平変動ベクトルは、地震直後から震源域に向かう東方向の変動が卓越し、時間とともに変動量は減衰し、その傾向にほとんど変化は見られない。しかしながら、水平ひずみ場で見ると、大きく変化が見られる。地震直後の1年間は、東日本の広範囲で伸張ひずみが卓越しているが、宮城県の太平洋側では東西方向の短縮ひずみが卓越していた。東西方向の伸張ひずみは時間とともに減衰し、地震発生3年後からの1年間で見ると、東北地方太平洋側では東西方向の短縮、奥羽山脈付近では南北方向の短縮、日本海側では東西方向の伸張が卓越している。奥羽山脈付近を境にして太平洋側では短縮、日本海側では伸張という特徴が見られる。この最近1年間の特徴的なひずみ場は粘性緩和によって概ね説明できる。

上下変動は、地震直後の1年間は岩手県北部を除く太平洋側では隆起、岩手県北部と東北地方内陸から日本海側にかけては沈降が広がっていた。関東から甲信越地方と北海道南部では隆起が観測されていた。地震発生直後は沈降が観測されていた岩手県北部では、1年程度で沈降が止まり、その後は隆起に転じている。そのほかの地域では地震直後の傾向とほとんど変化はない。東北地方での隆起と沈降の境界は奥羽山脈付近にあり、この場所は地震直後からほとんど変化がない。

地震後の地殻変動は余効すべりや粘性緩和等によって生じていると考えられるが、前述の地殻変動の変化は単一のメカニズムでは説明できない。地殻変動から2つのメカニズムの影響を分離して推定することは難しいが、各メカニズムによる変動の特徴を抽出することで、今後、地殻変動の変化という観点から両者のメカニズムを系統的に分離していきたいと考えている。

キーワード：東北地方太平洋沖地震、余効変動

Keywords: 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake, postseismic deformation

Insight into poroelastic rebound deformation following the tohoku earthquake

*hidayat panuntun¹, SHINICHI MIYAZAKI¹

1. Graduate School of Science, Kyoto University

K. Wang, Hu, and He (2012) proposed 3 primary processes that dominate the deformation following an earthquake at subduction zones; (1) afterslip, (2) viscoelastic relaxation, (3) re-locking of subduction fault. However, if the upper crust was saturated by fluid, the crust must be treated as a fluid-saturated poroelastic medium instead of elastic medium. Coseismic stress change disrupts pore fluid equilibrium and causes fluid migration from high pressure to zone of low pressure. Fluid migration drives transient surface deformation which is known as poroelastic rebound. Pore fluid flow induced by coseismic stress change is usually ignored due to the fact that; (1) this effect occurs in short time at early postseismic deformation just around the rupture area, (2) and no clear evidence of fluid-rich existence in the upper crust of the rupture. Due to the fluid-rich existence detected in the upper crust (Z. Wang, Huang, Zhao, & Pei, 2012; Yamamoto, Obana, Kodaira, Hino, & Shinohara, 2014; Zhao, Huang, Umino, Hasegawa, & Kanamori, 2011), pore fluid flow induced by coseismic stress change can produce contribution to the surface deformation.

Therefore, poroelastic rebound should be included in the analysis of early postseismic deformation following the Tohoku earthquake. Previous modeling studies in poroelastic rebound used various values for undrained and drained Poisson's ratio (e.g., Peltzer, Rosen, Rogez, and Hudnut (1998); Jonsson, Segall, Pedersen, and Bjornsson (2003)). Instead of just assuming the values of drained and undrained Poisson's ratio, we use grid search to estimate undrained and drained Poisson's ratio value by combining forward calculation of poroelastic rebound and afterslip inversion of inland and offshore GPS data. In total, we build 400 poroelastic rebound models with different combinations of undrained and drained Poisson's ratio. Grid search approach obtained optimum values of 0.23 and 0.29 for drained and undrained Poisson's ratio, respectively. Poroelastic rebound produced by the optimum values of drained and undrained Poisson's ratio estimated horizontal displacement up to 0.28 m in the rupture area. Majority of large uplift due to poroelastic rebound occurred in and around the vicinity of the rupture area where maximum uplift estimated up to 0.37 m around the maximum slip area of the mainshock.

Keywords: poroelastic rebound, undrained and drained Poisson's ratio, grid search, co- and after-slip inversion

GPSデータに基づく2013年以来の東海地方スロースリップイベント

The slow slip event in the Tokai region, central Japan, since 2013 as seen from GPS data

*坂上 啓¹、福田 淳一¹、加藤 照之¹

*Hiromu Sakaue¹, Jun'ichi Fukuda¹, Teruyuki Kato¹

1.東京大学地震研究所

1.Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

時空間的に密な測地観測網が整備されて以来、スロースリップイベント(SSE)と呼ばれる海洋プレートの沈み込み帯で発生する非地震性の非常にゆっくりとした非正常なすべりが観測されるようになった。日本列島ではGPSのデータを用いて1997年に豊後水道で発生したSSEが発見されて以来、房総半島、東海地方、琉球海溝等で観測されるようになった。また、西南日本では防災科学技術研究所の高感度地震観測網に設置された傾斜計を用いて継続時間の非常に短い短期的SSEが検出された。これらの短期的SSEは非火山性の微動や深部低周波微動を伴う。

東海地方では前回2000年から2005年にかけて長期的なSSEが発生しており、これまでに発見されたSSEの中ですべりの継続時間が最も長い。2013年以降、前回の長期SSEが発生した場所でSSEが発生したと報告があった(小沢・矢来, 地震学会, 2014)。

本研究ではGPSのデータを用いて2013年以降の東海地方で発生したSSEの時間発展を推定する解析を行った。解析期間は2008年1月1日から2015年4月30日の期間で、東海地方にあるGEONETの226点のGPS観測点のデータに対し、GIPSY OASIS IIを用いて日々の座標値を推定した。推定された日々の座標値の時系列データには、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)の余効変動の影響が見られる。従って、東北地方太平洋沖地震の前までのデータを用いて定常トレンドと季節成分をフィッティングし、求められた定常トレンドを2015年4月30日まで外挿、除去した。

次に、東北地方太平洋沖地震の余効変動の影響を取り除くために、余効すべりや粘弾性緩和といった物理的なモデルの構築は行わず、指数関数と対数関数の和の時系列が余効変動の時系列に近似できると仮定し、時系列から除去した。そして除去後の時系列に対しインバージョン解析を行い、フィリピン海プレート上でのすべりを推定した。

すべりの時間発展の解析にはFukuda et al. (2008)によって開発された改良型のNetwork Inversion Filter (NIF)を用いた解析を行った。この手法は、Segall and Mathews (1997)によって導入されたNetwork Inversion Filter (NIF)と呼ばれる時間依存インバージョンの手法を改良したものである。NIFではハイパーパラメータが定数であることから、推定されるすべりに過度なスムージングがかかるという問題点があったが、改良型のNIFではこの問題点を改善したことによりすべりの時空間発展をより高い解像度で推定することが可能となった。

推定結果より2013年の中頃から浜名湖の西で長期的なSSEが発生し、またこの非常にゆっくりとした長期的SSEが発生している期間に6個の短期的SSEが推定された。本研究では、検出された長期的SSEと短期的SSEについて詳細に調べた。

まず、2013年10月~12月と2014年8月~10月に静岡県北西部で2~3か月継続する短期的SSEが推定され、この期間に深部低周波微動が観測された。また、2014年1月初めから2月にかけて伊勢湾周辺部で短期的SSEが推定され、すべりの加速とともに深部低周波微動が観測された。他にも2015年の4月にも同様に深部低周波微動が伴った速いすべりが推定された。これに加えて、この2つよりもすべり速度は遅いが、伊勢湾周辺部で継続時間が1週間程度の短期SSEが2回発生したと推定された。

今回検出された長期SSEは、2000年から始まったSSEとほとんど同じかやや南に推定され、2013年1月1日からの最大積算すべり量は約6cmであった。この長期SSEは2015年4月30日時点で継続中であると考えられ、今後も継続的な調査が必要であると考えられる。

日本海東縁、佐渡海嶺の地殻短縮量

Crustal contraction of the Sado Ridge estimated from geologic structure, eastern margin of Japan Sea

*岡村 行信¹

*Yukinobu Okamura¹

1. 独立行政法人産業技術総合研究所活断層・火山研究部門

1. Research Institute of Earthquake and Volcano Geology, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

日本海東縁の佐渡海嶺で、地質構造から東西圧縮による地殻短縮量の推定を試みた。日本海東縁には約350万年前から東西方向圧縮応力によって、多くの逆断層が形成されてきた。逆断層の多くは中新世の正断層が再活動したもので、インバージョンテクトニクスとして知られている。佐渡海嶺は佐渡島の北側に位置する長さ約250 km、幅約70 kmの海底の高まりで、その内部には多くの逆断層が発達し、それぞれが幅10~20 kmの非対象な断面を持つ背斜構造を伴う。この背斜構造が上部地殻全体を切る逆断層のすべりによって形成された断層関連褶曲であると仮定すると、背斜構造の断面積は、断層下端深度と上部地殻の短縮量の積となるはずで、地殻短縮量を推定することができる。

本解析には、旧地質調査所（産業技術総合研究所）が1989年~1992年にかけて取得した反射断面を用いた。探査システムはシングルチャンネルの高速曳航型で、地下深部の地質構造は不明瞭であるが、海底下数百 mまでの地質構造は十分に観察できる。また東西圧縮方向に近い290度方向の測線が約3 km間隔で存在する。

これらの反射断面の解析から、佐渡海嶺で逆断層が形成される前はほぼ平行な反射面からなる地層が広がっていたが、逆断層の活動によって背斜構造が隆起し始めると、地層中に不整合が形成されたことが明らかになっている。この不整合面の背斜形状と、背斜両側の同じ層準の地層を結ぶ直線との間の面積を計測した。この際、背斜構造全体が堆積層からなり、山頂も浸食されていないことが望ましいが、隆起量の大きい背斜構造は頂部が浸食されて失われている。また、一部の背斜構造は基盤からなり、反射面が認められない。このような場合には、不整合面より下位の地層や隆起域周辺の地質構造から、背斜構造内の背斜形状を推定した。このような解析を約50断面について行った。

佐渡海嶺は複数の背斜列からなる。それぞれの背斜列の走向方向には背斜の断面積が大きく変化するが、佐渡海嶺全体を横断する反射断面のすべての背斜面積を合計すると、測線間の差はかなり小さくなる。断層下端深度を15 kmと仮定すると、佐渡海嶺全体の地殻短縮量は平均して約2 km弱という値が推定された。また、反射断面の方向が290度であるが、実際の短縮方向はより東西に近いことが推定された。このような地質構造に基づいた地殻短縮量の推定手法の課題と意義についても議論する。

キーワード：日本海東縁、地殻短縮、断層関連褶曲

Keywords: eastern margin of Japan Sea, crustal contraction, fault-related fold