

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.

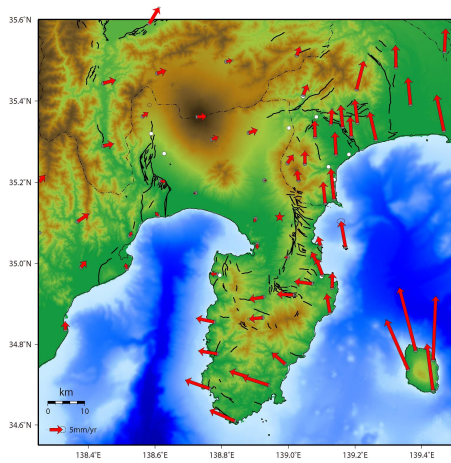
キーワード: GPS, 地殻変動, 伊豆衝突帯, 北伊豆断層帯

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*}; 瀨瀬 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