

季節的な荷重変化と地表変位からみるアイスランド地殻の剛性 Seasonal load variations, cGPS displacements, and crustal rigidity in Iceland

ドロアン ヴィンセント¹; 日置 幸介^{2*}; ジークムンドソン フレイステイン¹;
ラインスドティル シグルン¹

DROUIN, Vincent¹; HEKI, Kosuke^{2*}; SIGMUNDSSON, Freysteinn¹; HREINSDOTTIR, Sigrun¹

¹ アイスランド大学, ² 北海道大学 院理 自然史科学

¹University of Iceland, ²Dept. Nat. Hist. Sci., Hokkaido Univ.

GNSSの測位解にしばしば見られる季節変化成分(年周変化と半年周変化)は、地球表面荷重の季節変化が起源であることが多い。例えば東北日本の主に日本海側で顕著な冬季の沈降と東西短縮は、その多くの部分が積雪荷重の変化から来ていることが知られる(Heki, Science 2001)。また、日本列島全体に目を向けると、積雪荷重以外にも気圧変化、海洋荷重変化、土壌水分変化、ダム水位等が季節的な地殻変動に寄与していることがわかっている(Heki, AGU Monograph 2014)。一方大西洋北部のプレート境界に位置するアイスランドでも、季節的な地殻変動と荷重の先駆的な研究が Grapenthin et al. (GRL 2006)によって成されている。本研究ではアイスランドにある百局を超える連続GNSS観測点の座標値の季節変化から荷重分布を最小自乗法で推定し、積雪荷重との整合性を調べた。また貯水量変化が既知のダム周辺のGNSS点の変位から地殻の剛性の地域性の有無を議論する。詳細は英文要旨を参考のこと。

キーワード: GNSS, GPS, 年周地殻変動, 季節変化, 積雪荷重, 地殻剛性

Keywords: GNSS, GPS, annual crustal deformation, seasonal changes, snow load, crustal rigidity

Fault source modeling of the October 28, 2008 earthquake sequence in Baluchistan, Pakistan, using ALOS/PALSAR InSAR data
Fault source modeling of the October 28, 2008 earthquake sequence in Baluchistan, Pakistan, using ALOS/PALSAR InSAR data

USMAN, Muhammad^{1*}; FURUYA, Masato¹
USMAN, Muhammad^{1*}; FURUYA, Masato¹

¹Hokkaido University

¹Hokkaido University

The Quetta Syntaxis in the western Baluchistan, Pakistan, is formed as a result of oroclinal bend of the western mountain belt and serves as a junction for different faults. As this area also lies close to the left lateral strike slip Chaman fault, which is supposed to be marking the boundary between Indian and Eurasian plate, the resulting seismological behavior of this regime becomes even more complex. In the region of Quetta Syntaxis, close to the fold and thrust belt of Suleiman and Kirthar ranges and on 28 October 2008, there stroke an earthquake of magnitude 6.4 (M_w) which was followed by a doublet on the very next day. In association with these major events, there have been four more shocks, one foreshock and three aftershocks that have moment magnitude greater than 5. Here we use ALOS/PALSAR InSAR data sets from both ascending and descending orbits that allow us to more completely detect the deformation signals around the epicentral region. On the basis of these data sets, we propose a four-faults model that consists of two left lateral and two right lateral strike slips that also include some thrust slip. We have thus confirmed the complex surface deformation signals even from the moderate-sized earthquake. Intra-plate crustal bending and shortening seem to be often accommodated as conjugate faulting without any single preferred fault orientation. We also discuss two possible landslide areas along with the crustal deformation pattern.

キーワード: ALOS/PALSAR data, Earthquake, Crustal Deformation, Source Modeling, Conjugate Faulting
Keywords: ALOS/PALSAR data, Earthquake, Crustal Deformation, Source Modeling, Conjugate Faulting

Possible repeating slow slip events beneath the Bonin Islands Possible repeating slow slip events beneath the Bonin Islands

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

Continuous global navigation satellite system (GNSS) data including the global positioning system (GPS) is one of the most powerful tools available for observation of Earth's surface deformation. In particular, coseismic, postseismic, slow transient, and interseismic deformation have all been observed globally by GPS over the past two decades, especially in subduction zones.

Here, we are using the deformation data from GPS observations to understand the deformation due to the earthquakes, afterslip and slow slip events in subduction zones around Japan, where geodetic data coverage is particularly dense. We are focusing on Bonin (Ogasawara) Islands Arc to understand its characteristic, especially the possibility of repeating Slow Slip Events (SSE). Global positioning system (GPS) time series in Bonin Islands Arc reveal the possible existence of slow slip events (SSEs) at the boundary between the Philippine Sea plate and Pacific plate.

Using data from this dense geodetic network operated by GSI, there are several possible events look like SSE that have one-year recurrence, detected by stations in Hahajima and Chichijima islands. These SSEs were identified from January 1996 to October 2014 by GNSS time series offset monitoring and rupture modeling with a rectangular fault located on the subducting Philippine Sea Plate. The detected SSEs were found to have a variety of characteristic recurrence intervals, magnitudes, durations, and coincide or relate with other seismic activities.

Time-decaying constant of these slow slips are first estimated to obtain the northward, eastward and vertical components of the ground deformation. Several methods are used to estimate the fault parameter including depth, dip, slip, strike, and width to understand its consistency with the fault boundary geometry. This process is followed by modeling the rupture area during the events and calculating the magnitude of these events based on geodetic approach.

These results lead us to further understanding about sequence of slow slip events in Bonin Islands Arc as a part of Philippine Sea plate.

キーワード: Slow Slip Event (SSE), Bonin Islands Arc, Ogasawara, GNSS, GPS

Keywords: Slow Slip Event (SSE), Bonin Islands Arc, Ogasawara, GNSS, GPS

フィリピン・ミンダナオ島におけるプレート収束過程と地殻ブロック運動 Plate Convergent Process and Block Motions in Mindanao, the Philippines

塩見 雅彦^{1*}; 田部井 隆雄²; 大倉 敬宏³; 木股 文昭⁴; 伊藤 武男⁵
SHIOMI, Masahiko^{1*}; Tabei, Takao²; OHKURA, Takahiro³; KIMATA, Fumiaki⁴; ITO, Takeo⁵

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 東濃地震科学研究所, ⁵ 名古屋大学地震火山研究センター

¹Grad. School Int. Arts Sciences, Kochi Univ., ²Fac. Science, Kochi Univ., ³Aso Volcanological Laboratory, Kyoto Univ., ⁴Tono Research Institute of Earthquake Science, ⁵Earthquake and Volcano Research Center, Nagoya Univ.

フィリピン諸島の下には東西両方向からそれぞれフィリピン海プレート (PHP), スンダランドプレート (SUP) が沈み込み, 内陸では, 左横ずれの長大な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. アジア有数の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は整備されていない. Ohkura et al. (2015) は, ミンダナオ島における 2010-2014 年にまたがる GPS キャンペーン観測データから地殻水平速度場を求め, プレート収束域の変動様式を議論した. 変動場では PHP の沈み込みに伴う西北西向きの変位が卓越し, さらに, 海溝からの距離増加に伴う減衰が顕著ではない. これをプレート間固着のみでは説明できず, 複数の地殻ブロックの剛体運動を導入する必要性が生じた. フィリピン断層は, そうしたブロック間の主たる境界を成す. しかし, 測地インバージョン解析を行うには, 推定すべき未知量に対してデータ数, 空間密度とも甚だ不十分である.

本研究では, プレート境界面の固着, 内陸横ずれ断層のすべり, 地殻ブロックの並進運動などの異なる変動源を同時推定する手法として, マルコフ連鎖モンテカルロ (MCMC) 法を導入する. MCMC 法は, 確率論に基づいて変化した乱数を与え膨大な量の順解析を行い, パラメータを推定する手法である. 解を事後確率分布付きで推定することができ, 解の信頼度を得ることができる. USGS が公表するスラブモデルを元に PHP 境界面の形状を深さ 80km まで 64 枚の矩形要素で近似し, フィリピン断層を 4 枚の鉛直断層で表現した. プレート境界面のすべり欠損の方向をグローバルプレートモデルに基づく PHP-SUP の相対運動方向に, フィリピン断層の変位方向を左横ずれに固定した. すべり欠損速度, 断層変位速度の探索にあたり, PHP-SUP の相対運動速度の 110%, トレンチ調査で得られている断層平均変位速度の 120% を上限として探索した.

解析の結果, PHP 境界面の南部でプレート相対運動速度とほぼ同程度のすべり欠損速度値を得た. ただし, プレート境界面の固着がミンダナオの地殻変動場に及ぼす寄与は大きくなく, 最大でも観測値の 22% を説明するに過ぎない. 残りの大部分は地殻ブロックの並進運動として説明される. 前弧と背弧のブロック境界を成すフィリピン断層の運動は一樣ではなく, ミンダナオ島南部では浅部の固着が示されるのに対し, 北部のセグメントでは年間 20 mm を超える速度のクリープが検出されている. このクリープ速度は, さらに北方のレイテ島で確認されたクリープ運動に近い値を示し, フィリピン断層のある部分はクリープにより定常的に歪を解放していることが示唆される.

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

ダイク貫入時における非地震性横ずれ滑りの検出：2007年タンザニア北部 Aseismic strike slip associated with the 2007 dike intrusion episode in Tanzania

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

2007年7月にナトロン湖 (Lake Natron) 周辺で群発地震が発生し、およそ2か月にわたって続いた。震源域の近くに位置する Oldoinyo Lengai 山は、群発地震が起こる1か月前である2007年6月に穏やかな噴火を始めたが、終息しつつあった9月になってから爆発的な噴火が起こるようになった。この爆発的な噴火は、2008年4月まで続いた。

Calais et al. (2008), Baer et al. (2008), Biggs et al. (2009,2013) では、この群発地震に伴う地殻変動を InSAR を用いて検出したことを報告している。彼らは主に ENVISAT/ASAR(C-band) の Descending のみのデータを用いていた。しかしながら波長が短い C-band では位相のアンラッピングが難しく、変位の勾配が大きな領域ではデータの欠落が生じる。また Descending のみのデータでは、1つの衛星視線方向の変位量しか手に入れることができないため、詳細な変動量を求めることができない。そこで、より長波長の ALOS/PALSAR(L-band) の Ascending と Descending のデータを用いる上に、Azimuth offset のデータを加えることで異なる3方向の変位量が求められた。これらのデータを用いることで、群発地震に伴う3次元の地殻変動を求めることができた。

求められた3次元変位は、全体的にはグラールベン構造のような変位を示した。これは一般的なリフト帯における地震に伴う地殻変動の変動パターンである。しかし、明らかに他と異なる点は、中央の沈降した領域がおおよそ48cmも水平方向に変動したことである。これらの変動を詳細に説明する為に断層モデルの推定を試みた。断層モデルの結果からは、横ずれ成分が全体の解放されたモーメント量のおおよそ20%を占めていることが明らかになった。一連の群発地震の CMT 解は、いずれも正断層型を示していることから非地震性の滑りが生じたと推察した。ダイクの貫入によって生じた応力変化 (ΔCFF) もまた、地表付近で断層すべりを促進する値を示した。

キーワード: InSAR, ダイク貫入, 非地震性すべり, 東アフリカ地溝帯

Keywords: InSAR, dike intrusion, aseismic slip, East African Rift valley, relay ramp

気圧変化に伴う湧水量変化の周波数特性を用いて推定された透水性の変化 Permeability change estimated by using frequency property of the atmospheric effect on groundwater discharge

向井 厚志^{1*}; 大塚 成昭²; 福田 洋一³
MUKAI, Atsushi^{1*}; OTSUKA, Shigeaki²; FUKUDA, Yoichi³

¹ 奈良産業大学情報学部, ² 神戸学院大学人文学部, ³ 京都大学大学院理学研究科
¹Nara Sangyo University, ²Kobe Gakuin University, ³Graduate School of Science, Kyoto Univ.

兵庫県南部の六甲高雄観測室は万福寺断層の破碎帯を貫いており、常時、約 550ml/s の湧水が生じている。この湧水量は降水によって季節的に変化するとともに、地震に伴って短期的に変化している。例えば 2011 年東北地方太平洋沖地震直後には、約 50 % の湧水量の増大が観測された。向井・大塚 (2014) は、水源から観測室へと被圧地下水層を流れる一次元地下水流をモデル化し、観測された湧水量変化および間隙水圧変化の時系列データから 2011 年東北地方太平洋沖地震に伴う透水係数の変化を推定した。推定された地震直後の透水係数は、地震前と比べて約 20 % の上昇を示した。この地震に伴う透水係数の上昇は、地震動によって周辺岩盤の亀裂に蓄積された泥分が緩んだり流出したりしたこと起因すると推察された。

周辺岩盤の透水性の変化は、湧水量自体だけでなく、その気圧応答にも影響を及ぼすことが予想される。本研究では、被圧地下水層に周期的な大気荷重が作用する一次元地下水流モデルに基づいて、観測された湧水量の気圧応答から周辺岩盤の透水性の経年変化を推定した。このモデルから導出される湧水量の気圧応答係数の式は、振動数 f の気圧変化に対して $a\sqrt{f}$ と表される。式中の係数 a は、透水係数 k と貯留係数 S の平方根 \sqrt{kS} に比例する。そのため、解析区間を移動させながら気圧応答の周波数特性を求めることによって、周辺岩盤の透水性の経年変化を推定することができる。

2001 年以降に六甲高雄観測室で得られた湧水量観測値と神戸地方気象台の地上気圧観測値を FFT で周波数解析し、振幅の比から湧水量の気圧応答係数を計算した。このとき、2048 データ (85.3 日) を解析区間とし、それを 240 データ (10 日) ずつ移動させながら全 348 区間の気圧応答係数の周波数特性を求めた。その後、湧水量変化と気圧変化が高い相関を示す 0.5~7 日の周期帯において気圧応答係数の周波数特性に \sqrt{f} を当てはめ、各解析区間の係数 a の値を推定した。係数 a は 2011 年東北地方太平洋沖地震の際に約 2 倍の増大を示し、時系列データに基づく向井・大塚 (2014) の解析結果と同様に、地震に伴う透水性の上昇が確認された。また、2004 年紀伊半島南東沖地震等の大きな地震時にも係数 a の増大、すなわち透水性の上昇がみられる。

係数 a は地震だけでなく、降水の影響も受けている。その時間的变化は、2001 年以降のほとんどの期間において、積算降水量の季節的な変化と正の相関を示している。降水後に間隙水圧が上昇することによって、亀裂内の泥分が緩んだり流出したりして透水性が上昇している可能性が考えられる。

キーワード: 透水性, 湧水量, 気圧応答

Keywords: permeability, groundwater discharge, atmospheric effect

地震間の定常的なひずみは 2011 年東北地方太平洋沖地震でどれだけ解放されたのか？

How much was the interseismic strain released by the 2011 Tohoku-oki earthquake?

大園 真子^{1*}; 長谷見 晶子¹
OHZONO, Mako^{1*}; HASEMI, Akiko¹

¹ 山形大学理学部
¹ Faculty of Science, Yamagata University

東北地方において、国土地理院が展開する GEONET の日座標値 (F3 解) を使って、これまで観測されていた測地学的に定常的なひずみが 2011 年東北地方太平洋沖地震の地震時のひずみによってどれだけ解放されたかを推定した。太平洋プレートとオホーツクプレートの収束境界にある東北地方は、定常的に沈み込み帯の影響を受けており 0.1 ppm/yr オーダーの東西短縮が顕著なひずみ場であった。一方で、2011 年東北地方太平洋沖地震では東西方向への顕著な伸長場が、特に震源に近いところは数 10 ppm オーダーで発生した。1996 年から 2002 年の地殻変動が定常的な地震間のひずみ速度を記録していると仮定して、その最大主ひずみ軸が示す方向に対し、地震時に生じたひずみを成分分解し、蓄積されていたひずみが主軸に沿ってどれほど解放されたかを調べた。その結果、東北地方の太平洋沿岸部では、500 年から 1000 年程度分、背弧側では 50 年から 100 年程度分、さらに震源から離れた中部日本北部では数年から数 10 年程度分、これまで蓄積されたひずみが解放されたことが明らかになった。地域的なスケールで見ると、地震時ひずみが定常的な最大主ひずみ軸方向に向かって短縮した地域も現れる。これは、定常的な最大主ひずみ軸が、必ずしも地震時の最大伸長ひずみの主軸の向きと一致しないために生じたと考えられ、この短縮がその地域での地震を誘発する要因になったかもしれない。実際に、2011 年東北地方太平洋沖地震後、内陸では地震活動が活発化した場所がある。例えば山形県米沢地域で群発地震が発生した場所は、定常的な最大主ひずみ軸方向に対し、地震時ひずみが短縮を示す場所となった。今後詳細な検討が必要ではあるが、これらの結果は、今後の各地域でのひずみ蓄積過程を考える上でも重要な値を示したことになり、また、地震学的手法を用いた応力変化の議論に、測地学的なひずみ場の変化として独立した情報を与えることができる可能性を示す。

2011年東北地方太平洋沖地震の粘弾性緩和による変動の特徴 Characteristics of viscoelastic relaxation caused by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake

水藤 尚^{1*}
SUITO, Hisashi^{1*}

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の発生に引き続いて、大規模な余効変動が広範囲に観測されている。GEONETによって観測されている陸域の水平変動は概ね東向きである。上下変動は岩手県北部を除く太平洋側では隆起、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る。そして、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る。一方、東北地方太平洋沖に設置されている海上保安庁による海底地殻変動観測点では、宮城県沖合では西向きの変位が観測され、福島県沖と千葉県東方沖では陸域と同じく東向きの変位が観測されている。海域の上下変動はいずれの場所も沈降の傾向が観測されている。余効変動の発生メカニズムには、余効すべりと粘弾性緩和の大きく2つのメカニズムがある。このうち、余効すべりで説明できる観測事実は、概ね陸域における東向きの変動、太平洋側の隆起と東北地方内陸の沈降であり、海域の水平・上下変動と関東から甲信越地方、北海道南部の隆起は説明することが困難である。本稿では粘弾性緩和による変動を数値計算により見積り、その変動の特徴を報告する。

粘弾性緩和による変動は、マントルウェッジと海洋マントルの粘性率の比率に大きく左右されることが分かった。海洋マントルの粘弾性緩和によって、西向きの変動と広域的な沈降が引き起こされる。一方、マントルウェッジの粘弾性緩和は、東向きの変動と隆起を引き起こし、概ね海洋マントルの粘弾性緩和とは逆向きの変動である。つまり、定性的には海底地殻変動観測点での西向き及び沈降の傾向は、海洋マントルによる粘弾性緩和によって引き起こされ、陸域の東向きの変動及び隆起は、マントルウェッジの粘弾性緩和によって引き起こされていると考えられる。マントルウェッジに比べて海洋マントルの粘性率が小さい場合には、西向きの変位と広域的な沈降が卓越する。逆に海洋マントルの粘性率が大きい場合には、マントルウェッジの粘弾性緩和が支配的となり、東向きの変位と太平洋側の陸域において隆起域が卓越することとなる。観測されている変動を定量的に説明するには、マントルウェッジと海洋マントルの粘性率の比率が重要である。

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, 余効変動, 粘弾性緩和
Keywords: Tohoku-oki Earthquake, Postseismic deformation, Viscoelastic relaxation

Crustal tectonic stress and poroelastic relaxation of the Mw 9.1 tohoku earthquake Crustal tectonic stress and poroelastic relaxation of the Mw 9.1 tohoku earthquake

PANUNTUN, Hidayat^{1*} ; MIYAZAKI, Shinichi¹
PANUNTUN, Hidayat^{1*} ; MIYAZAKI, Shinichi¹

¹Graduate School of Science, Kyoto University

¹Graduate School of Science, Kyoto University

The Mw 9.1, Tohoku-oki earthquake has been investigated by many scientists. This earthquake produces changes in the state of strain and stress in the surrounding rupture area. Postseismic deformation following large earthquake including afterslip, viscoelastic relaxation, and pore fluid flow, further modify strain and stress near a fault. The migration of fluid after earthquake from high-pressure area to low-pressure area modify stresses and pore pressure near fault and cause pore pressure changes in the surrounding rocks. This pore pressure changes are a part of coulomb stress calculation for fault interaction analysis.

By using various input of slip model, we calculate undrained coseismic pore pressure and coulomb stress change due to the earthquake (King, Stein, & Lin, 1994; Cocco & Rice, 2002) and its poroelastic relaxation by using green's function proposed by (Kalpna & Chander, 2000). The strain and stress due to slip on the fault are calculated by using analytical expression of (Okada, 1992) and consider stress-strain relation for an isotropic form of Hooke's law, respectively. We find that pore pressure changes following the tohoku-oki earthquake is increased through relaxation in the dilatation region which further modified coseismic coulomb stress in surrounding region. We estimates the pore pressure variation from the first 50 days following the tohoku earthquake has change from 7.08 MPa to 2.62 MPa in the dilatation region, and in the compression region, it change from -9.37 MPa to -3.46 MPa.

キーワード: pore pressure, poroelastic relaxation, coulomb stress

Keywords: pore pressure, poroelastic relaxation, coulomb stress

間隙水圧および超伝導重力計記録から得られた2011年東北地方太平洋沖地震による地下水挙動の変化 Change of groundwater behavior caused by 2011 Tohoku earthquake detected from pore pressure and gravity

木下 千裕^{1*}; 加納 靖之²; 田村 良明³; 今西 祐一⁴; 池田 博⁵; 伊藤 久男¹
KINOSHITA, Chihiro^{1*}; KANO, Yasuyuki²; TAMURA, Yoshiaki³; IMANISHI, Yuichi⁴; IKEDA, Hiroshi⁵; ITO, Hisao¹

¹ 京都大学大学院理学研究科, ² 京都大学防災研究所附属地震予知研究センター, ³ 国立天文台水沢 VLBI 観測所, ⁴ 東京大学地震研究所, ⁵ 筑波大学研究基盤総合センター低温部門

¹Graduate School of Science, Kyoto University, ²Reserch Center for Earthquake Prediction, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, ³National Astronomical Observatory of Japan, Mizusawa VLBI Observatory, ⁴Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, ⁵Cryogenic Division Research Facility Center, University of Tsukuba

岐阜県神岡鉱山では地震計、歪計、傾斜計、レーザー伸縮計、地下水観測など固体地球科学の様々な観測が行われている。

京都大学防災研究所附属地震予知研究センターでは、2005年から神岡鉱山において間隙水圧と気圧の連続観測を行い、地震による地下水変化を調べている。2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震の際には震央距離がおよそ528kmであるにもかかわらず、顕著な間隙水圧の減少が観測された。この間隙水圧減少が数日間続いた事から、我々は地震によって新たに水みちが確保された、あるいは水が流れやすくなったという仮説をたて、その検証のために岩盤の透水性変化を調べた。

間隙水圧が地球潮汐によって周期的に変化する事から、地震前後における潮汐応答の変化に着目し、潮汐解析ソフトBAYTAP-G(Tamura et al, 1991)を用いて間隙水圧記録から潮汐応答の抽出を行った。その結果、M2分潮(周期:12.42時間)の振幅が22 Paから16 Paと地震後顕著に減少している事がわかった。またO1分潮(周期:25.82時間)についても、わずかながら変化があり、東北地方太平洋沖地震によって、岩盤の性質が変化した可能性を示唆する結果となった。この結果を用いて、線形間隙弾性理論および拡散方程式から、岩盤の水理拡散率を見積もったところ、地震後、拡散率が約2倍増加したという結果が得られた(Kinoshita et al., 2015)。

このような透水性変化が実際に生じているならば、他の観測データでも何らかの変化が見られるはずである。そこで、同鉱山内に設置されている超伝導重力計で得られた記録についても間隙水圧と同様の手法を用いて解析を行った。重力記録は地下の密度構造の変化を反映するため、例えば、地震によって地下水の移動が顕著に生じた場合、重力値に変化が現れるはずである。超伝導重力計は間隙水圧観測点から約2.5 kmのところを位置し、2004年から観測が開始されている。重力記録は間隙水圧よりも地球潮汐が明瞭に現れるため、より多くの分潮(Q1, M1, N2分潮など)を地震前後で比較する事ができる。一方で神岡鉱山周辺は冬季における積雪量が多いため、その質量が重力値に大きく影響するという問題もある。

これまでの観測から東北地方太平洋沖地震後、重力値は約10 μ gal/yearで減少していると報告されている。この変化は、余効変動を含む地殻変動では説明できず、地下の密度変化による可能性が指摘されている(今西他, 2014)。本発表では間隙水圧と超伝導重力計の潮汐応答の結果を示し、東北地方太平洋沖地震によって地下水挙動がどのように変化したか、特に岩盤の水理パラメータ変化について報告する。

キーワード: 間隙水圧, 超伝導重力計, 東北地方太平洋沖地震, 地球潮汐

Keywords: pore pressure, superconducting gravimeter, Tohoku earthquake, Earth tide

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 Postseismic deformation of the 11 April 2011 Fukushima Hamadori (Mw=6.6) earthquake inferred from GPS observations

堀 草子¹; 青木 陽介²; 加藤 照之^{2*}; 宮下 芳¹
HORI, Kayako¹; AOKI, Yosuke²; KATO, Teruyuki^{2*}; MIYASHITA, Kaoru¹

¹ 茨城大学大学院理工学研究科, ² 東京大学地震研究所

¹ Graduate School of Science and Engineering, Ibaraki University, ² Earthquake Research Institute, 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。

福島県浜通り地震に伴う地殻変動は InSAR を用いた先行研究により、詳細な断層モデルが得られている (Kobayashi et al., 2012; 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 データを用いて福島県浜通り地震の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 観測値を用いて福島県浜通り地震の余効変動の検出とそのメカニズムを解明することを目的とした。

本研究では GPS 観測値は国土地理院の F3 と呼ばれる最終解を使用した。この観測された変位場は、福島県浜通り地震に伴う余効変動だけではなく、東北地方太平洋沖地震の余効変動やプレート運動などのブロック運動も重畳されているため、福島県浜通り地震の余効変動を直接は見る事が出来ない。東北地方太平洋沖地震に伴う余効変動は本研究で取り扱っている福島県浜通り地震による地殻変動の空間的な広がりよりもはるかに広範囲に広がっているため、地表で観測される変位場を適当な関数で近似したほうが良いと考え、その関数に対応するパラメータと福島県浜通り地震の余効変動に伴う断層すべり量を同時に推定する方法を試みた。

本研究では福島県浜通り地震の後約半年間のデータを用いる。この期間の観測データには (1) プレート運動に起因する空間的に均一な運動、(2) 東北地方太平洋沖地震の余効変動、(3) 福島県浜通り地震の余効変動が含まれていると仮定する。よって観測値から福島県浜通り地震の余効変動とその他の変動を分離する必要がある。次に、福島県浜通り地震の余効変動のメカニズムを Kobayashi et al. (2012) による断層面を長さ・幅ともに約 2 倍に拡大した面上のクリープによるものと仮定して、余効すべりの分布を推定した。本研究では、これらの推定量をインバージョン解析の手法を用いて一度に推定した。

まず東北地方太平洋沖地震にともなう余効変動を空間についての多項式で表して元のデータから差し引いたところ、福島県浜通り地震の震央域の観測点において顕著な残差が見られたことから福島県浜通り地震による余効変動が観測されていることが明瞭に見て取れた。

東北地方太平洋沖地震の余効変動については、一次から四次までの四種類の多項式を用いて近似したが、これらのモデルにおいて、福島県浜通り地震の断層を含む面上のすべりは共通する四カ所に集中することが分かった。しかしながら、上記 4 種のモデルにおいて東北地方太平洋沖地震の余効変動として与えた多項式が異なることから、福島県浜通り地震の余効変動の観測値もまた異なる結果となっている。そこで、求められた余効変動と計算値を F 検定にかけたところ、ひずみを三次関数まで定式化したモデルが最適であると求められた。また、仮定した断層面の大きさが余効すべりの広がりには及ばず影響を調べるため、ひずみの三次関数のモデルにおいて断層面の幅と長さを Kobayashi et al. (2012) の 1.5 倍、3 倍と変えてみた。その結果、湯ノ岳断層の断層端のすべりが断層境界の場所に依存することが分かったが、一方、塩ノ平断層で見られている滑りは断層境界の位置には大きく依存しないことがわかった。湯ノ岳断層面上の推定が不安定であるのは観測点が少ないためデータから良く拘束できていなかったのではないかと推察される。一方、塩ノ平断層においては余効すべりは比較的良好に求められているのではないかと推察される。いずれにせよ、余効すべりの領域は Kobayashi et al. (2012) による地震時のすべり領域とは相補的な領域にあると推定された。この結果は先行研究なども示すように、地震時にすべった領域がその領域の外周に応力の増加をもたらし、それによって、地震時すべりが次第に周囲に伝播していった、と考えることで説明が可能である。

このように、地震後約半年間の余効変動は余効すべりによって説明が可能であったが、地震後一年間のデータを用いて同様の解析を行ったところ、震源から遠地の観測点においては余効すべりによってよく説明できないことが分かった。そこで地表から 25km までを弾性層、それ以深を粘弾性層と仮定して、地震時の断層すべりを与え、粘弾性緩和においてどのような応答があるか調べた。剛性率は 30GPa、粘性率を 1×10^{18} Pa s という下部地殻としては極めて低い弾性率を仮定すると、震央から遠い観測点の変位を定性的に説明できる。そのため、この地域の下部地殻の粘性率は極めて低いと考えられる。

キーワード: 地殻変動, GPS, 余効変動, 正断層地震

SSS31-11

会場:304

時間:5月25日 17:00-17:15

Keywords: Crustal deformation, GPS, Postseismic deformation, Normal faulting earthquake