

地震での地殻変動検出におけるだいち2号の貢献

ALOS-2 contributions for detection of crustal deformation associated with earthquakes

*三浦 優司¹、宮原 伐折羅¹、仲井 博之¹、本田 昌樹¹、攪上 泰亮¹、藤原 智¹、矢来 博司¹、小林 知勝¹、森下 遊¹

*Yuji Miura¹, Basara Miyahara¹, Hiroyuki Nakai¹, Masaki HONDA¹, Yasuaki Kakiage¹, Satoshi Fujiwara¹, Hiroshi Yara¹, Tomokazu Kobayashi¹, Yu Morishita¹

1. 国土地理院

1. GSI of Japan

地震活動に伴う地殻変動を捉える技術の一つに人工衛星に搭載された合成開口レーダーによるSAR解析がある。この技術を活用して地殻変動を検出する主な長所として、地上観測機器の設置が不要であることや高い空間分解能で広域を面的に観測できることが挙げられる。

2014年5月24日に陸域観測技術衛星「だいち2号」(ALOS-2)がJAXAによって打ち上げられた。だいち2号は、この先行機であり2006年から2011年に運用された「だいち」(ALOS)に比べ、回帰日数(46日から14日へ)や空間分解能(最高で10mから3mへ)などの性能が向上した。また、だいち2号は、だいちとは異なり、左向き観測や広域観測モードの干渉解析が可能になった。このような性能の進歩により、地震発生時のSAR観測の迅速性や地殻変動の計測能力が大きく向上した。

地震予知連絡会SAR解析ワーキンググループ(地震SAR解析WG)は、地震予知連絡会の下にある専門家のグループで、だいち2号によるSAR画像の分析から地震に伴う地殻変動の把握、手法の高度化、地震発生機構の解明、災害対応・災害軽減へのSARデータの活用を調査・検討してきた。国土地理院は、地震SAR解析WGの事務局を担当しており、だいち2号の打上げから3年間の活動で得られた地震SAR解析WGの成果に関する報告書を取りまとめているところである。

本発表では、これまで地震SAR解析WGで観測を要求し、検討を行った代表的な地震について、国土地理院の解析結果をもとにだいち2号の成果を示す。特に、2016年は、平成28年熊本地震や鳥取県中部を震源とする地震(Mj6.6)といった内陸を震源とする地震において詳細な変動を検出しており、それらの地震を中心に説明する予定である。

キーワード：だいち2号(ALOS-2)、SAR、地震、地殻変動

Keywords: ALOS-2, SAR, Earthquake, Crustal deformation

宇宙測地技術により検出された1995年兵庫県南部地震の余効変動 Postseismic Deformation following the 1995 Kobe, Japan, Earthquake Detected by Space Geodesy

*橋本 学¹、小澤 拓²、西村 卓也¹、宗包 浩志³、飛田 幹男⁴

*Manabu Hashimoto¹, Taku Ozawa², Takuya NISHIMURA¹, Hiroshi Munekane³, Mikio Tobita⁴

1. 京都大学防災研究所、2. 防災科学技術研究所、3. 国土地理院、4. 宇宙航空研究開発機構

1. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 2. National Research Center for Earth Sciences and Disaster Resilience, 3. Geospatial Information Authority, 4. Japan Aerospace Exploration Agency

A Mw 6.8 earthquake hit the city of Kobe, southwest Japan, and its surrounding area on January 17, 1995, and claimed more than 6,400 fatalities. The source faults, trending in the NE-SW direction, are estimated beneath the foothill of the Rokko Mountains, which are located north of the city and the highest peak is 931 m high, but it has a dominant right lateral strike slip components. The Rokko Mountains may have been built by the motion of active faults, but the uplift during the 1995 earthquake may not be enough. Therefore there is a possibility that postseismic deformation contributes to the building of the Rokko Mountains.

In order to study the postseismic deformation following the Kobe earthquake, we collected all available space geodetic data during about 20 years, including ERS-1/2, Envisat, JERS-1, ALOS/PALSAR and ALOS-2/PALSAR-2 images and continuous GPS data, and reanalyzed them. Especially, temporal continuous GPS observation made by the Geographical Survey Institute (present the Geospatial Information Authority), Japan in and around the Kobe area is important. We recalculated coordinates of these continuous GPS stations with recent PPP procedure using reanalyzed orbits and clocks of satellites. We made DInSAR and PSInSAR analyses of SAR images using ASTER-GDEM ver.2 or GSI DEM.

Time series analysis of JERS-1 images revealed line-of-sight (LOS) decrease of the Rokko Mountains. PSInSAR results of ALOS/PALSAR also revealed slight uplift north of the Rokko Mountains that uplifted by 20 cm coseismically. These observations suggest that the Rokko Mountains might have uplifted during the postseismic period.

LOS increase in a wedge shaped region between two active faults east of the Rokko Mountains in the vicinity of the NE terminus of the source fault of the Kobe earthquake. The LOS increase is also confirmed by ERS-1/2, Envisat and ALOS/PALSAR images. These facts indicate that the subsidence between these two faults continued up to 2010. Continuous GPS observation during the first two years of the postseismic period shows north-south extension with right lateral motion between these two faults.

These observations suggest that the Rokko Mountains may have uplift till 2010. On the other hand, active faults near the NE terminus continued to slip with the formation of graben-like structure, due to coseismically loaded stress.

キーワード：1995年兵庫県南部地震、余効変動、GPS、合成開口レーダー干渉法、六甲断層帯

Keywords: 1995 Kobe earthquake, Postseismic deformation, GPS, SAR interferometry, Rokko fault zone

2014-2015年Bárðarbungaダイク貫入イベントに伴う氷帽・地殻変動の検出

Detection of both icecap and crustal deformation associated with the 2014-2015 Bárðarbunga rifting episode

*姫松 裕志¹、古屋 正人¹

*Yuji Himematsu¹, Masato Furuya¹

1. 北海道大学大学院理学院

1. Graduate School of Science, Hokkaido University

The 2014-2015 Bárðarbunga rifting episode is one of the largest event in Iceland. Previous studies have already reported that the earthquake swarm migrated from Bárðarbunga to Holhraun where the fissure eruptions occurred at northern edge of Vatnajökull icecap. There were few ground-based GPS observation points near the epicenters of the swarm. While the nearby crustal deformation associated with the episode have also been detected by using satellite InSAR-data, phase decorrelation problems have hampered detecting the icecap deformation during the rifting episode. Although the icecap has been known to flow steadily, one of our motivations is to see if the rifting episode affected the flow speed of ice in light of the well-known Jökulhlaups event by subglacial eruption. Moreover, phase-based InSAR measurement does not allow for the detailed measurement of the subsidence over the graben, which is indispensable to constrain the volume and geometry of intruded dike.

In this study, we processed COSMO-SkyMed images to simultaneously detect both the flow signals on the icecap and the crustal deformation associated with the rifting event. The offset tracking data derived from COSMO-SkyMed images showed the displacement signals that consist of both the crustal deformation over land and the icecap flow. Two displacement discontinuities were detected not only on the land but also on the icecap, while we could not capture the entire image of the both deformations due to the limited SAR image coverage. The 3D displacements revealed a graben structure with over 8 m subsidence at the graben floor. At the graben floor, approximately 1 m of the rift-parallel motion which caused by the dog-bone seismicity was detected. Using these observation results, we will estimate the dike intrusion model and discuss the possible interaction between the ice and the crustal deformation during the 2014-2015 Bárðarbunga rifting episode.

キーワード：ダイク貫入イベント、プレート発散境界、合成開口レーダ、アイスランド、ピクセルオフセット法

Keywords: Dike intrusion episode, Divergent plate boundary, Synthetic Aperture Radar, Iceland, Pixel offset technique

2016年10月21日鳥取県中部の地震(M6.6)の地殻変動

Crustal deformation of the 2016 October 21th M 6.6 earthquake in central Tottori prefecture.

*西村 卓也¹、橋本 学¹、細 善信、坂上 啓²、伊東 優治²

*Takuya NISHIMURA¹, Manabu HASHIMOTO¹, Yoshinobu HOSO, Hiromu SAKAUE², Yuji ITOH²

1. 京都大学防災研究所、2. 京都大学大学院理学研究科

1. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 2. Graduate School of Science, Kyoto University

1. はじめに

山陰地方には、海岸線に沿うように微小地震の活発な領域が存在し、過去に1943年鳥取地震 ($M_{JMA} 7.2$) や2000年鳥取県西部地震 ($M_{JMA} 7.3$) などの大地震が発生したことが知られている。西村・他 (2014) は、国土地理院のGEONET観測データから、微小地震の活発な領域とひずみ速度の大きい領域がほぼ一致することを指摘し、「山陰ひずみ集中帯」と呼ぶことを提唱した。

我々は山陰ひずみ集中帯における詳細地殻変動の解明を目指して、2014年の夏から冬にかけて鳥取県と岡山県に13点のGNSS観測点を新設した。観測点は、既存のGEONET観測点と併せて、ひずみ集中帯を横切るように鳥取県東部、中部、西部に南北方向の稠密線状アレイとなるように配置し、観測を継続していた。

そのような中、2016年10月21日14時7分に $M_{JMA} 6.6$ の地震が鳥取県中部で発生し、鳥取県倉吉市、湯梨浜町、北栄町で震度6弱を観測した。この地震の震源域は、鳥取県中部に構築したGNSS稠密アレイと交差しており、この規模の地震としては前例がないほどの地震前・地震時・地震後の地殻変動が詳細に捉えられた。本講演では、稠密GNSS観測とSAR干渉解析によって捉えられた鳥取県中部の地殻変動について報告する。

2. 地震前の地殻変動

山陰ひずみ集中帯における地殻変動の特徴は、南部の瀬戸内海側に対してひずみ集中帯より北側が相対的に東へ動いていることである。岡山県中部を固定して2014年から2016年の地震前の平均的速度を見ると、鳥取県の日本海沿岸では約5mm/年の東向きの変動が見られ、その変動は南ほど小さくなる。岡山県に入ると変動速度がほぼ0となり、瀬戸内海沿岸までは顕著な変動は見られない。この分布から、鳥取県を東西に横断する幅20km程度の領域で右横ずれ運動をひずみ集中帯があることが読み取れる。このひずみ集中帯内で $M_{JMA} 6.6$ の地震が発生した。

3. 地震時の地殻変動

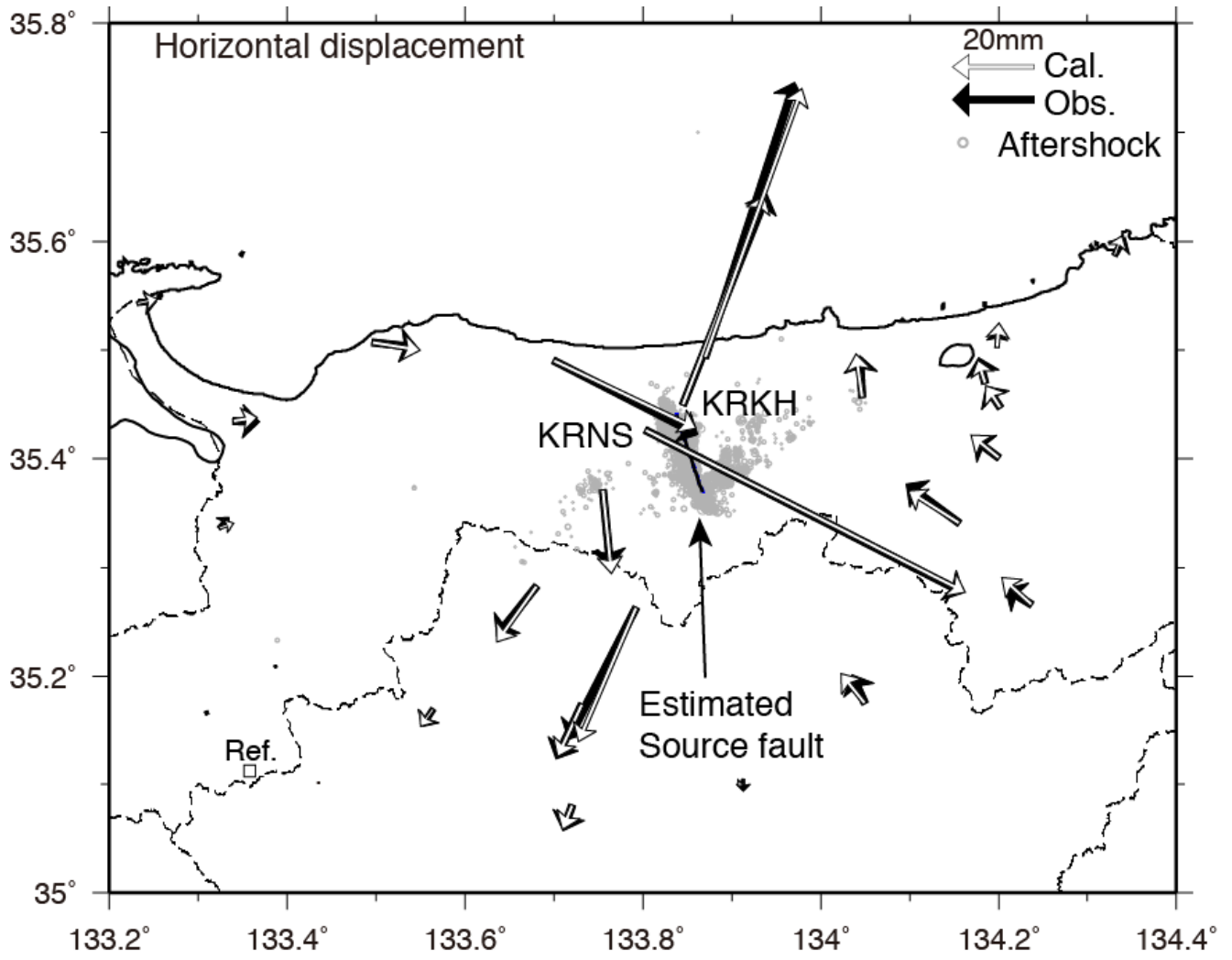
地震時の地殻変動は、鳥取県及び岡山県の観測点で観測された。最大の地殻変動を観測したのはKRNS観測点で、水平変位は東南東方向へ9cmに達し、4cmの沈降も観測された。地震時地殻変動と地殻変動から推定した震源断層モデルを図に示す。この地震の余震分布は北北西-南南東方向に並んでいるが、GNSSデータより、KRKH観測点とKRNS観測点の間を通るほぼ鉛直な震源断層が推定され、その位置は余震分布とほぼ一致している。この断層で約90cmの左横ずれのすべりが生じ、モーメントマグニチュード (M_w) は約6.2と推定された。また、ALOS-2データの干渉SAR解析によっても、横ずれ断層による4象限型の変動パターンを示唆する地殻変動の面的分布が明らかとなっており、GNSSデータから推定された断層モデルと調和的である。

4. 地震後の地殻変動

余効変動は、地震直後の急激な変動に比べるとかなり減速したが、2016年12月末までに最大約2cmの達している。余効変動の変位パターンは、地震時変動と似ているが、地震時変動と比較すると震源断層近傍のKRKH観測点とKRNS観測点での変動量が周辺の観測点に比べて大きいという特徴がある。このような特徴は、浅部での余効すべりによって説明できると考えられる。

キーワード：地殻変動、GNSS、InSAR、山陰ひずみ集中帯

Keywords: Crustal deformation, GNSS, InSAR, San'in shear zone



Post-seismic deformation of 2016 Kumamoto Earthquake by continuous GNSS network

*中尾 茂¹、松島 健²、田部井 隆雄³、大久保 慎人⁴、山品 匡史⁴、大倉 敬宏⁵、西村 卓也⁶、澁谷 拓郎⁶、寺石 眞弘⁶、伊藤 武男⁷、鷺谷 威⁸、松廣 健二郎⁷、加藤 照之⁹、福田 淳一⁹、渡邊 篤志⁹、三浦 哲¹⁰、太田 雄策¹⁰、出町 知嗣¹⁰、高橋 浩晃¹¹、大園 真子¹¹、山口 照寛¹¹、岡田 和見¹¹

*Shigeru Nakao¹, Takeshi Matsushima², Takao Tabei³, Makoto OKUBO⁴, Tadashi Yamashina⁴, Takahiro Ohkura⁵, Takuya NISHIMURA⁶, Takuo Shibutani⁶, Masahiro Teraishi⁶, Takeo Ito⁷, Takeshi Sagiya⁸, Kenjiro Matsuhira⁷, Teruyuki Kato⁹, Jun'ichi Fukuda⁹, Atsushi Watanabe⁹, Satoshi Miura¹⁰, Yusaku Ohta¹⁰, Tomotsugu Demachi¹⁰, Hiroaki Takahashi¹¹, Mako Ohzono¹¹, Teruhiro Yamaguchi¹¹, Kazumi Okada¹¹

1. 鹿児島大学大学院理工学研究科地球環境科学専攻、2. 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、3. 高知大学理学部応用理学科、4. 高知大学理学部附属高知地震観測所、5. 京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設火山研究センター、6. 京都大学防災研究所、7. 名古屋大学大学院環境学研究科附属地震山研究センター、8. 名古屋大学減災連携研究センター、9. 東京大学地震研究所、10. 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、11. 北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

1. Department of Earth and Environmental Sciences, Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima University, 2. Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Sciences, Kyushu University, 3. Department of Applied Science Department, Faculty of Science, Kochi University, 4. Kochi Earthquake Observatory, Faculty of Science, Kochi University, 5. Aso Volcanological Laboratory, Institute for Geothermal Sciences, Graduate School of Science, Kyoto University, 6. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 7. Earthquake and Volcano Research Center, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, 8. Disaster Mitigation Research Center, Nagoya University, 9. Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 10. Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Graduate School of Science, Tohoku University, 11. Institute of Seismology and Volcanology, Graduate School of Science, Hokkaido University

The 2016 Kumamoto Earthquake (M 7.3) attacked to Kumamoto prefecture in Japan on April 16, 2016. Seismic intensity 7 was observed twice in the 2016 Kumamoto Earthquake. Post-seismic deformation was observed after the large earthquake occurred in land and trench. Twenty-one continuous GNSS observation sites were occupied after the 2016 Kumamoto Earthquake to observed post-seismic deformation. Thirteen of our twenty-one sites were near Futagawa and Hinagu fault zones, four of our sites were around Aso Volcano, which is east from Futagawa fault zones and the others were in Ohita Prefecture, which is east of Kumamoto Prefecture

Bernese GNSS Software Ver. 5.2 is used for GNSS data analysis of our newly sites together with GEONET and JMA GNSS sites for volcanoes in Kyushu for the period from April 15 to December 31, 2016. We used CODE precise ephemerides and CODE Earth rotation parameters. The coordinates of the GNSS sites are estimated respect to ITRF2008.

Large post-seismic deformation in horizontal component was observed at CGNSS sites near Hinagu and Futagawa fault zone. However, there is almost no observation in vertical component. Largest post-seismic deformation of 11cm from April to December, 2016 is observed in NS-component at MIFN, which is located east side of Hinagu fault zone. It seems that post-seismic deformation does not come to stop. After slip model is assumed for initial post-seismic deformation from April to July, 2016. We assumed two faults, one is located in Futagawa fault zone and the other is Hinagu fault zone. Fault parameters of length, width, strike, dip, amount of slip, position are estimated by simulated annealing method. Top and

bottom of fault plane are 0.1 to 40 km in Hinagu fault and 0.8 to 32 km in Futagawa fault. Two fault planes extended to mantle. It suggests that there are several phenomena in initial post-seismic deformation, effect of viscoelastic etc.

キーワード : GNSS連続観測、余効変動

Keywords: Continuous GNSS observation, post-seismic deformation

Afterslip, viscoelastic relaxation, poroelastic rebound: A possible mechanism in the short and long term postseismic deformation following the 2011 Tohoku earthquake.

*Hidayat Panuntun¹, SHINICHI MIYAZAKI¹, Yoshiaki Orihara²

1. Graduate School of Science, Kyoto University, 2. Department of Physics, Tokyo Gakugei University

Postseismic deformation of the Tohoku earthquake has been investigated by Ozawa et al. (2011), Wang et al. (2012), Diao et al. (2013), Sun et al. (2014), Perfettini and Avouac (2014), Shirzaei et al. (2014), Silverii et al. (2014), and Yamagiwa et al. (2015). Of these studies, Diao et al. (2013) investigated rheological model inferred from postseismic deformation of the Tohoku earthquake using 1.5 years GPS data following the mainshock. Because reliable investigation of the viscosity and its transient behavior require observation with longer time period, we build postseismic deformation model of the Tohoku earthquake using longer GPS data than that of used by previous studies and estimated the inferred rheological model. In addition, we also evaluate the possibility of the poroelastic relaxation signal due to the Tohoku earthquake.

We used observed surface deformation recorded by inland GEONET stations from 12 March 2011 to 12 October 2016 (~ 5.6 years). Afterslip model was inverted by assuming a homogeneous elastic half-space (Okada 1992). Viscoelastic relaxation due to coseismic stress change of the Tohoku earthquake is estimated using the Fortran code PSGRN/PSCMP (Wang et al. 2006). We estimated poroelastic relaxation following Gahalaut et al. (2008) and compared the result with observed ground water-level change to investigate relaxation time of poroelastic rebound.

Observed postseismic displacement for 5.6 following the mainshock show that deformation is characterized by seaward movement and is more broadly distributed than the coseismic displacement. Our model show an effective thickness of the elastic crust (D) and an asthenosphere viscosity (η) are 50 km and 5.6×10^{18} Pa s, respectively. This result is consistent with most estimated viscosity in NE Japan area (e.g., Rydelek and Sacks 1990; Suito and Hirahara 1999; Ueda et al. 2003; Hyodo and Hirahara 2003). Incorporating viscoelastic and poroelastic rebound in the early stage of postseismic deformation improve the agreement between predicted and observed displacement. It implies that postseismic deformation following the Tohoku earthquake is likely driven by multiple mechanism instead of single mechanism. Poroelastic relaxation is consistent with the ground water-level change during the first 140 days after the mainshock, suggesting that poroelastic rebound after the Tohoku earthquake have longer relaxation time than 60 days of poroelastic rebound following the 2000 South Iceland earthquake (Jonsson et al. 2003). Landward displacement of poroelastic rebound at offshore area indicate that this mechanism, along with viscoelastic relaxation, could have contributed to the postseismic deformation of the Tohoku earthquake.

Keywords: afterslip, viscoelastic relaxation, poroelastic rebound, GNSS, Postseismic deformation

GNSSデータを用いた日本海東縁周辺の地震間地殻変動場の時空間変化 Interseismic spatiotemporal change of the crustal deformation field estimated from GNSS around western coast of Tohoku region

*佐藤 未佳¹、大園 真子²、長谷見 晶子¹

*mika sato¹, Mako Ohzono², Akiko Hasemi¹

1. 山形大学大学院理工学研究科、2. 北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

1. Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University, 2. Institute of Seismology and Volcanology, Graduate School of Science, Hokkaido University

日本海東縁は、地質学的・測地的にひずみ集中帯が存在することが知られており、測地学のデータからは、「新潟-神戸ひずみ集中帯」と呼ばれる周辺よりもひずみ速度が大きい地域が分布する。先行研究である Sagiya et al. (2000) は、1997年から1999年までのGEONETデータを用いて定常地殻変動場を推定することで、新潟-神戸ひずみ集中帯とその北部延長の沿岸部での、ひずみ蓄積状態の違いを示した。またYokota and Koketsu. (2015) では、1996年からのGNSSデータを用いて、2011年東北地方太平洋沖地震発生前に東北地方の広域でスロースリップが発生していた可能性を示唆した。これらのことから、日本海東縁を含む東北地方の地震間の定常的な変動を詳細に考察することは重要であると考えられる。よって本研究では、2011年東北地方太平洋沖地震前までの定常変動の時期を対象に、GNSSデータを用いた地殻変動速度場の時空間分布を求め、観測点の増加に伴う先行研究との比較、より長期の観測に伴う地殻変動場の時間変化の有無について検討する。

本研究では東北地方全域に設置されているGEONET観測点194点の日座標値(F3解)を使用する。1997年から2011年までの各点・各成分の日座標時系列に対し、地震時・人為的ステップを補正し、2年間のデータを1年間ずつずらしたデータセットを用意し、それに対して、定常変動を仮定した直線、年周、半年周の時系列モデルを最小二乗法によって近似し、直線の傾きとして速度を得た。得られた各点の水平速度ベクトルを太平洋プレート沈み込み方向(N22°W)へ分解し、その速度の時間変化を求める。東北地方を横断する南北幅20km毎の速度プロファイルを作成し、各プロファイル内での速度の時間変化、並んだプロファイルの空間的変化の特徴を調べる。

予備的解析結果として、新潟県北部から秋田県南部の日本海沿岸部のプロファイルを作成したところ、南部ではひずみ集中帯に対応すると思われる速度の変化域が現れ、北部ではその分布は明瞭ではない。これらは先行研究と概ね同じ傾向を示す。また時間変化に関しては、内陸地震やその余効変動に伴う一時的なプロファイルの変化は見られるが、それ以外に大きな特徴は見られない。今後、観測領域を拡大したことにより、その時空間的特徴の把握と日本海東縁北部におけるひずみ集中帯の変形の有無やその原因について議論を進める予定である。

東北地方太平洋沖地震前後の跡津川断層周辺における地殻変動の時間変化 Crustal deformation in and around the Atotsugawa fault before and after the Tohoku-Oki earthquake

*稲松 知美¹、高田 陽一郎¹、鷺谷 威²、西村 卓也³

*Tomomi Inamatsu¹, Youichiro Takada¹, Takeshi Sagiya², Takuya NISHIMURA³

1. 北海道大学大学院理学院、2. 名古屋大学減災連携研究センター、3. 京都大学防災研究所

1. Graduate School of Science, Hokkaido Univ., 2. DMRC, Nagoya Univ., 3. DPRI, Kyoto Univ.

2011年3月11日、Mw9.0の東北地方太平洋沖地震(以下、東北沖地震と呼ぶ)が発生した。歪集中帯や活断層のM9クラスの地震に対する応答を、密に配置されたGPSの観測データを用いて調べた例はほとんどなく、東北沖地震が初めての機会である。本発表では、新潟神戸歪集中帯(Sagiya et al., 2000)の一部である跡津川断層周辺について、東北沖地震前・地震時・地震後の地殻変動をGPSデータから計算し、互いに比較した結果を報告する。

解析には国土地理院のGEONETに加えて、大学が設置した観測点も用いた。地震前については時系列解析により年周・半年周変動を除去し、定常速度場を求めた。地震後については2014年11月25日から2016年7月2日を切り出し、地震前と同じ手法で定常速度場を求めた。地震時については2011年3月5日～10日および2011年3月12日～17日それぞれ5日間の座標平均を計算し、それらの差から変位を求めた。これらの変位・速度からShen et al (1996)の手法を用いて歪速度場(地震時変動については歪場)を求めた。

東北沖地震前後の歪速度場と地震時の歪場は空間パターンが全く異なるものとなった。地震時の歪は弾性歪であり、その空間変化は弾性歪の不均質に起因する。従って、これと異なる地震前・地震後の歪は非弾性歪であると結論づけられる。一方、対象地域全体としては東北沖地震前と地震後で歪速度のパターンは良く似ている。このことは、非弾性歪(粘性流動など)が絶対差応力によって駆動されることにより説明できる。すなわち、長い時間スケールのプレート間相互作用により蓄積された絶対応力は東北沖地震に伴う応力変化よりもはるかに大きいため、地震前と地震後で歪速度が大きく変化しなかったと考えられる。この成果は、新潟地域について同様の解析を行った先行研究(Meneses-Gutierrez and Sagiya, 2016)と調和的である。

東北沖地震前後の歪速度場の特長としては、跡津川断層両端の火山地帯と跡津川断層上で歪速度が大きくなっていることが挙げられる。前者では高温による粘性流動、後者では断層深部の断層すべりの進行が期待される。つまり、跡津川断層の周囲では場所によって異なるメカニズムの非弾性歪が進行していると考えられる。

また、詳しくみると東北沖地震前後で、飛騨山脈南部や御嶽山の東側などで局地的に歪速度のセンスが逆転していることが分かった。これらの地域では地下の温度が高いことが知られており、また群発地震も頻発しているため、歪速度の時間変化は火山性の地殻変動に起因している可能性もある。

今回得られた結果には東北沖地震の余効変動の効果が含まれているため、地震前後の非弾性歪速度を定量的に比較できていない。東北沖地震の断層モデルを用いてこの効果を取り除く予定である。

キーワード：東北地方太平洋沖地震、GPS、非弾性歪

Keywords: Tohoku-Oki earthquake, GPS, inelastic strain

GPS-A観測点に影響を与える2004年紀伊半島南東沖地震後地殻変動の推定

Estimation of postseismic deformation at the seafloor GPS-A sites following the 2004 off the Kii Peninsula earthquakes

*渡邊 俊一^{1,2}、Bock Yehuda²、石川 直史¹、横田 裕輔¹、田所 敬一³

*Shun-ichi Watanabe^{1,2}, Yehuda Bock², Tadashi Ishikawa¹, Yusuke Yokota¹, Keiichi Tadokoro³

1. 海上保安庁海洋情報部、2. スクリプス海洋研究所、3. 名古屋大学地震火山研究センター

1. Hydrographic and Oceanographic Department, Japan Coast Guard, 2. Scripps Institution of Oceanography, 3. Earthquake and Volcano Research Center, Nagoya University

Dense near-fault GPS-A seafloor geodetic and on-shore GPS GEONET observations provide significantly improved resolution of the interseismic slip deficit in the Nankai trough, Japan [Yokota et al., 2016]. In a previous study, we included additional seafloor data at the Kumano basin collected by Nagoya University [Tadokoro et al., 2012] to estimate expected seafloor deformation during a large subduction zone earthquake as input to tsunami models [Watanabe et al., 2016 AGU]. However, in order to derive the stable velocities from GPS-A or GNSS data, the displacements caused by episodic events should be quantitatively estimated. Whereas the coseismic and postseismic deformations at the GPS-A sites associated with the 2011 Tohoku-oki earthquake had been already removed in the previous studies, the postseismic deformation of the southeastern off the Kii Peninsula earthquakes (on Sep. 5, 2004 JST, M_{JMA} 7.1, 7.4) have not been quantified. In this study, we constructed the FEM model to calculate the viscoelastic relaxation following these events. At first, we re-estimated coseismic finite fault source models, referencing the source parameters provided by Yamanaka [2004], Saito et al. [2010], Tadokoro et al. [2006] and Kido et al. [2006] for the mainshock, and those by Bai et al. [2007] and Yamanaka [2004] for the foreshock. The viscoelastic deformation was calculated using a 3D FEM model with a realistic subduction geometry. Whereas the oceanic slab and the continental lithosphere were assumed to be an elastic body, the oceanic mantle, the mantle wedge, and the weak asthenosphere which underlay the slab were assumed to have a biviscous Burgers rheology. The displacements due to afterslip occurring around the rupture planes were also estimated to reproduce the residuals between observed and FEM-calculated viscoelastic displacements. Calculating the observation-calculated misfit values, the different parameter sets for viscosities of the mantle and the asthenosphere, and thickness of the continental lithosphere were tested. The preferred model with the lowest misfit value provided the southward displacements of up to 1 cm/year (between July 2006 and July 2009) in the Kumano Basin. Our result affects the estimation of the slip deficit rate in the Nankai subduction zone, such as provided by Yokota et al. [2016], where megathrust earthquakes have repeatedly occurred. In the presentation, we will show the possible impacts of these events and their postseismic deformation on the slip deficit estimate.

キーワード：地震後地殻変動、有限要素法モデリング (FEM)、GPS-A海底地殻変動観測、2004年紀伊半島南東沖地震、粘弾性緩和

Keywords: Postseismic deformation, Finite element method (FEM) modeling, GPS-A seafloor geodetic observation, 2004 southeastern off the Kii Peninsula earthquakes, Viscoelastic relaxation

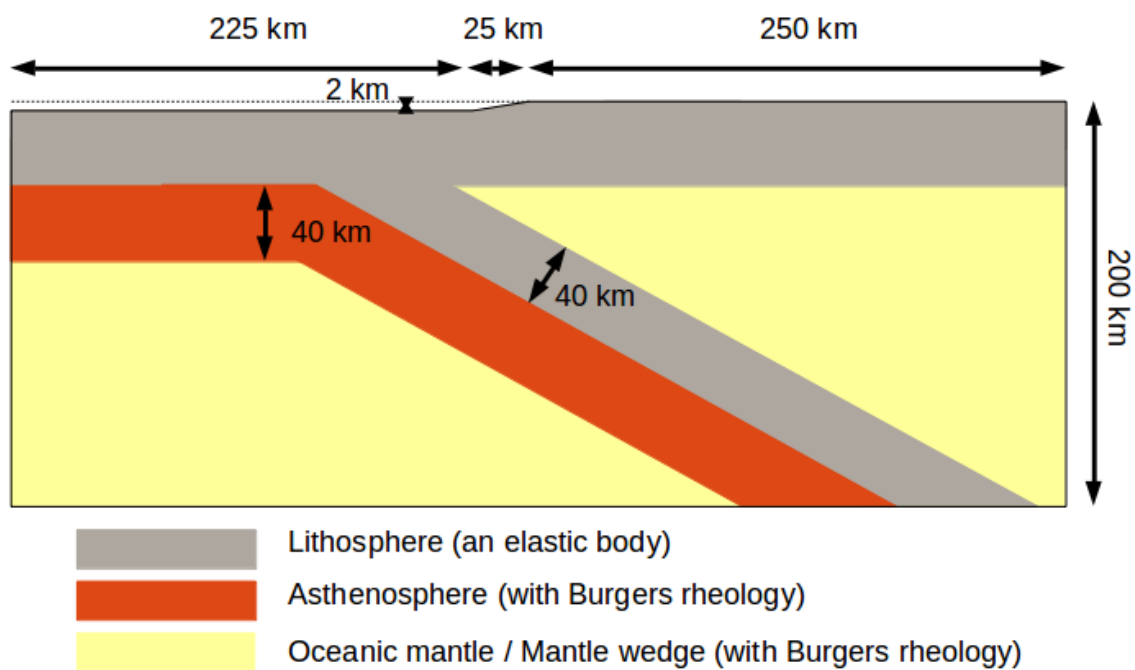


Fig. Schematic picture of FEM structure (cross section)

過去20年間のGNSSデータに基づく西南日本の上下速度プロファイルと速度変化の有意性

Vertical velocity profile and possible velocity changes in SW Japan from GNSS data over the last 20 years

*岩佐 優太郎¹、日置 幸介²

*Yutaro Iwasa¹, Kosuke Heki²

1. 北海道大学大学院理学院自然史科学専攻地球惑星ダイナミクス講座宇宙測地学研究室、2. 北海道大学大学院理学研究院地球惑星科学部門

1. Space Geodesy Laboratory, Earth and Planetary Dynamics, Natural History Sciences, Graduate School of Science, Hokkaido University, 2. Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, Hokkaido University

GNSS(Global Navigation Satellite System 全地球航法衛星システム)の観測は、地殻変動の研究において大きな役割を果たしている。GNSSを用いて観測された地殻変動から、地震の断層運動や震源メカニズムが解明されており、火山活動に伴う地殻変動は火山防災にも寄与している。またプレート境界地域に置ける歪の蓄積を表す地震間地殻変動は、プレート間の力学的な結合(カップリング)に関する情報を与えてくれる。しかしそれらの研究成果の多くは、地殻変動のうち主に水平成分の解析に基づいており、本来3次元の情報であるGNSSの観測量の全てを有効に利用できていない。これは上下成分が水平成分と比べて信号対雑音比が低いためである。プレート境界領域では、地殻変動の水平成分が剛体プレートの動きとプレート間カップリングの双方を含むのに対して、上下成分には後者の情報のみが含まれており、プレート間カップリングの議論をする上で扱いやすい。Aoki and Scholz (2003)は1996-1999の3年間のデータを用いて日本列島の地殻上下変動を解析しているが、我が国のGNSS連続観測システムGEONET (GNSS Earth Observation Network) ではすでに20年を超える期間のデータが蓄積しており、長期のデータにより上下速度が高精度で推定できる。本研究では、1996-2016の局位置の時系列データを用いて、地殻上下速度の推定した。特に、西南日本の室戸岬から隠岐諸島にかけて得られた上下速度のプロファイルを用いて、西南日本のプレート間カップリングについて解析を行った。その結果を用いて、南海トラフのフィリピン海プレート上面を五つのセグメントに分け、それぞれのカップリング係数を推定した。2011年東北沖地震の数年前から日本海溝におけるプレート間カップリングが段階的に弱くなっていたことが知られており、また粘弾性効果によって島弧の地殻変動が地震サイクルの位相に依存するという古典的な研究もある。南海トラフはフィリピン海プレートが沈み込むプレート境界であるが、そこを震源域とする超巨大地震が、数年から数十年以内に発生することが予想されている。本研究では、上下位置を時間の二次式でモデル化することにより、カップリングの時間変化の有無を議論した。南海トラフに近いGNSS局は沈降、少し離れたGNSS局は隆起を示すが、カップリングの時間変化があればそれらの局に現れる加速度の大きさや符号は様々になるはずである。一方、加速度が単に基準点の動きによる見かけのものであれば、二次の項はすべての局に一様な値として現れる。本研究では、GNSS局の上下の動きに関し、推定された一次のトレンドと二次の加速度成分の関係から、時間の二次の項が実際の変化なのか見かけの変化なのかを検証した。その結果、基準点の動きによる可能性が高いという結論を得た。

キーワード：上下速度

Keywords: Vertical Velocity

西南日本の地震間地殻変動：前弧スリバーのブロック運動と内部変形

Interseismic Strain Partitioning in Nankai Subduction Zone, Southwest Japan: Block Movement and Internal Deformation of the Forearc Sliver

*塩見 雅彦¹、田部井 隆雄²、伊藤 武男³、大久保 慎人²

*Masahiko Shiomi¹, Takao Tabei², Takeo Ito³, Makoto Okubo²

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. 名古屋大学地震火山研究センター

1. Graduate School of Science, Kochi University, 2. Faculty of Science, Kochi University, 3. EVRC, Nagoya University, Nagoya, Japan

西南日本の地殻変動場は、フィリピン海プレートの斜め沈み込みによる弾性圧縮変形が支配的である。先行研究における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と、MTL断層面の部分的固着による剪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、南海トラフ・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断層面上の固着分布の同時推定を試みた。推定にはマルコフ連鎖モンテカルロ（MCMC）法を用いた。MCMC法は、マルコフ連鎖に基づく極めて多数の反復計算によりパラメータの事後確率分布を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。

解析には、2004-2009年の期間の近畿から九州へ至る291点のGEONET最終座標解から算出した3次元GPS変位速度に加え、MTLトラバース稠密GPS観測37点と海底地殻変動観測12点を加えた、合計340点の変位速度を使用する。この変位速度場を、グローバルプレートモデルMORVELを基に、アムールプレート準拠に変換する。深さ5-50 kmのプレート境界面を1000枚以上の三角形要素群で近似し、さらに四国西部から東部に至る長さ約250 kmのMTL断層面を、深さ下限15 km、傾斜角45度の56枚の三角形要素群で表現する。推定するモデルパラメータは、各断層面上のカップリング率と、アムールプレートに対する前弧スリバーのブロック運動のオイラーベクトルである。陸上のGPS変位速度のみから推定した結果をCASE-A、陸上データに海底地殻変動観測結果を加えたデータセットから推定した結果をCASE-Bとした。本研究の特色は、陸域から海域にわたる変位速度データを全て使用し、MCMC法を導入したことによって、前弧スリバーとその境界のより詳細な変動を議論した点にある。

解析の結果、深さ15 km以浅のプレート境界面で、CASE-Bの方がAより大きなすべり欠損速度が推定された。CASE-Bではトラフ軸付近まで50 mm/yr以上の値が推定されたのに対し、CASE-Aでは30 mm/yr程であった。一方、15 km以深ではCASE-A、Bともに、類似したすべり欠損速度分布が得られた。土佐湾の深さ15-25 kmのプレート境界面上に50 mm/yrを超える最大すべり欠損速度が推定された。この領域は1946年南海地震（Mw8.1）の主破壊域とほぼ一致し、次の地震に向けてひずみを蓄積している状態であると解釈できる。25 kmより深部では、豊後水道（深さ30-40 km）を除いて、すべり欠損速度が急激に減衰する。豊後水道では、40-50 mm/yrのすべり欠損速度が推定された。この領域では、6-7年間隔で長期的スロースリップが発生し、1回あたり約300 mmの累積すべり量が見積もられている。発生間隔とすべり欠損速度を考慮すると、この領域に蓄積されたひずみは繰り返しスロースリップの発生により解放されていると考えられる。推定された前弧のブロック運動は反時計回りの回転を示し、アムールプレートに対する相対速度は約5-7 mm/yrであった。MTL断層面浅部の固着は一様ではなく、四国東部ではほぼ完全に固着しているのに対し、西部や中部では固着が弱い。MTL断層面の北傾斜構造と固着分布から、MTLの北側に剪断帯が形成されていることが示唆される。本研究により、プレート間固着による地殻の弾性変形やブロック運動を定量的に分離できただけでなく、従来は分離が困難であったMTL断層面の固着による影響も同時推定できたとと言える。

キーワード：地殻変動、西南日本、フィリピン海プレート、中央構造線、GPS

Keywords: Crustal deformation, Southwest Japan, Philippine Sea plate, Median Tectonic Line, GPS

Block motion model in Colombia, using GNSS Observation network (GEORED)

Block motion model in Colombia, using GNSS Observation network (GEORED)

*伊藤 武男¹、Paez Hector Mora²、Juan Ramor Pelaez²、鷺谷 威³

*Takeo Ito¹, Hector Mora Paez², Juan Ramor Gaviria², Takeshi Sagiya³

1. 名古屋大学大学院環境学研究科附属 地震火山研究センター、2. コロンビア地質調査所、3. 名古屋大学減災連携研究センター

1. Earthquake and Volcano Research Center, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, 2. Servicio Geológico Colombiano, 3. Disaster Mitigation Research Center, Nagoya University

Introduction

Colombia is located at the boundary between South-America plate, Nazca Plate and Caribrian plate. This region is very complexes such as subducting Caribrian plate and Nazca plate, and collision between Panama and northern part of the Andes mountains. Although, the effect of subducted Caribrian plate is not clear, the previous large earthquakes occurred along the subducting boundary of Nazca plate, such as 1906 (M8.8) and 1979 (M8.2). These previous earthquakes caused huge damage to life infrastructure and also lost the life along the subduction zone. And also, earthquakes occurred inland, too. So, it is important to evaluate earthquake potentials for preparing huge damage due to large earthquake in near future.

GNSS observation

In the last decade, the GNSS observation was developed in Columbia. The GNSS observation is called by GEORED, which is operated by servicing Geologico Colomiano. The purpose of GEORED is research of crustal deformation. The number of GNSS site of GEORED is consist of 93 continuous GNSS observation site at 2016. The number of GEORED's GNSS site is increasing now. The sampling interval of almost GNSS site is 30 seconds, a part of GEORED is 1 second of sampling interval. In addition, there are campaign type of GNSS observations around the main active faults. A part of campaign type of GNSS observation was started at 1990's. These GNSS data were processed by PPP processing using GIPSY-OASYS II software. GEORED can obtain the detailed crustal deformation map in whole Colombia.

Method

We developed a crustal block movements model based on crustal deformation derived from GNSS observation. Our model considers to the block motion with pole location and angular velocity and the interplate coupling between each block boundaries, including subduction between the South-American plate and the Nazca plate. And also, our approach of estimation of crustal block motion and coefficient of interplate coupling are based on MCMC method. The estimated each parameter is obtained probably density function (PDF). This definition of crustal block model is evaluated by Akaike's information criteria (AIC).

Result

We tested 11 crustal block models based on geological data, such as active fault trace at surface. The optimal number of crustal blocks is 11 for based on geological and geodetic data. These results obtained rigid block motion model with linear problem. This model selection is based on AIC, which based on the number of parameters and residual between calculation and observation. In this presentation, we will

discuss spatial interplate coupling ratio and also earthquake potential at inland faults.

キーワード：地殻ブロックモデル、GNSS

Keywords: crustal block model, GNSS

東北地方の活火山におけるGNSSデータの統合解析

Integrated analysis of GNSS data for volcano surveillances in Tohoku region, Japan

*岡田 純¹

*Jun Okada¹

1. 気象庁気象研究所火山研究部

1. Volcanology Research Department, Meteorological Research Institute - Japan Meteorological Agency

GNSS 測位技術を用いた火山監視は、近年、世界中の活動的な火山の現場で実践され、大きな成果を上げている。例えば、Eyjafjallajokull (アイスランド) の2010年の噴火活動(Sigmundsson *et al.*, 2010)、Santorini カルデラ (ギリシャ) の2011年の火山危機 (Newman *et al.*, 2012)、El Hierro (スペイン) の2011-2012年の噴火危機 (Lopez *et al.*, 2012) では、GNSSによる地殻変動の解析により地下のマグマ供給系が明らかにされつつある。国内のGNSSを用いた火山監視は、気象庁などが火山近傍で行っている観測 (連続およびキャンペーン観測) と山の麓のやや広域に展開された国土地理院のGEONETによる観測の組み合わせによって行われている。これらのデータは、それぞれ別のシステムで独立に解析されることが多く、解析ソフトウェアや解析戦略、パラメータや基準点の取り方などの違いのために、両者の解の整合性には疑問が残る。火山の近傍から遠方まで均質な解を得るために、本研究では、気象庁と国土地理院のGNSSデータを統合し、統一した解析戦略とパラメータによって解析する。火山近傍と遠方のGNSSデータは、それぞれ、地下浅部と深部の情報に敏感であるため、本手法は、火山の深部から浅部に至る全体場を統一的に評価することが可能である。解析には、Bern大学の研究者らによって開発されたBernese5.2 (Dach *et al.*, 2013)を用い、IGS精密暦を用いた24時間毎の後処理解析を行った。また、解はIGb08基準点の座標値を用いてゆるく拘束した。東北地方の最近の地殻変動には、2011年の東北地方太平洋沖地震の大きな余効変動の影響が含まれているため、先行研究 (例えばTobita (2016)など) を参考にこの影響を評価する。年周変動とプレート運動の推定には、Geirsson *et al.* (2006)の手法を用いる。統合解析の火山への応用例として、福島県と山形県の県境に位置する吾妻山の2014年-2015年の火山活動の検出を試みた。

キーワード：地殻変動、GNSS、火山監視、余効変動、吾妻山

Keywords: deformation, GNSS, volcano surveillance, postseismic deformation, Azumayama

火山性地殻変動における深さに依存した地殻内粘性率の役割

The role of depth-dependent background crustal viscosity in volcano deformation

*山崎 雅¹

*Tadashi Yamasaki¹

1. 産業技術総合研究所

1. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

Geodetic (GPS and/or InSAR) observations have provided precise constraints on the mechanism that drives volcanic crustal deformation. Viscoelastic relaxation may play an important role in a long-term component of the deformation because in volcanic region the crustal viscosity is likely weakened by high geothermal gradient. A model with spatially uniform viscosity may be reasonably simple to examine the response of viscoelastic crust in a first-order approximation. But, in more detail, the crustal viscosity spatially varies in rich variety of ways, but the variation with depth is probably the most essential on which further variation would be superimposed, because the crust constitutes a part of the thermal boundary layer in which temperature increases with depth. This study investigates the role of depth-dependent viscosity (DDV) structure in viscoelastic crustal deformation by magmatic intrusion.

The linear Maxwell viscoelastic response of the crust and mantle to the inflation of a magmatic sill is solved, using a parallelized 3-D finite element code, OREGANO_VE [e.g., Yamasaki and Houseman, 2015, *J. Geodyn.*, 88, 80-89]. The viscoelastic crust has depth-dependent viscosity (DDV) structure; the viscosity η_c exponentially decreases with depth: $\eta_c = \eta_0 \exp[c(Z_c - z)/L_0]$, where η_0 is the viscosity at the bottom of the crust, c is a constant; $c > 0$ for DDV model but $c = 0$ for uniform viscosity (UNV) model, Z_c is the thickness of the crust, z is the depth and L_0 is a reference length-scale. The viscoelastic mantle has spatially uniform viscosity η_m . For UNV model, so high viscosity is given to the uppermost layer with a thickness of H that it deforms in elastic fashion. DDV model however avoids having such an artificial elastic layer. The sill inflation is introduced by using the split node method developed by Melosh and Raefsky [1981, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 71, 1391-1400]. The geometry of the sill is approximated as an oblate spheroid whose depth is D , equatorial radius is W and thickness at the centre is d_c . The inflation occurs instantaneously at time $t = 0$.

UNV model ($c = 0$) behaviour shows that an inflation-induced surface uplift abates with time by means of viscoelastic relaxation, whose subsidence rate is higher and slower if the sill is inflated at deeper in elastic and viscoelastic layer, respectively, and accordingly maximised by the inflation at the boundary between elastic and viscoelastic layers. The rate also depends on the artificially assumed elastic layer thickness H . DDV model ($c > 0$), on the other hand, shows that for a given c the subsidence rate is greater for greater D , which reflects the viscosity variation with depth. The available magnitude of the subsidence is greater for greater c , which is consistent with the UNV model behaviour that the subsidence is smaller for smaller H . Even if the viscosity gradient is very small, however, the model, having W and D being relatively small to a length-scale over which the viscosity decreases with depth, enhances the rate and available magnitude of subsidence as if the elastic layer is effectively thickened.

The DDV model behaviour requires an effective elastic thickness (EET) to be constrained for a given viscosity gradient in order to properly evaluate the deviation from UNV model behaviour. We thus in this

study constrain EET by applying a UNV model behaviour that the post-inflation subsidence rate is slower for a deeper inflation if the inflation occurs in the viscoelastic layer. The DDV model is compared with a UNV model with $H = EET$, showing that at each surface point the UNV model approximates DDV model behaviour to some extent, but the apparent UNV which best fits the DDV model displacement history is smaller at greater distance from the centre of the uplift and that DDV model displacement is characterised by higher viscosity later in post-inflation period.

地球内部力学を記述する方程式系の物理的基礎の確かな新しい形

A new form of the equation system for geodynamics with clear and solid physical basis

*松野 太郎¹

*Taroh Matsuno¹

1. 国立研究開発法人 海洋研究開発機構

1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

プレートテクトニクスやマントル対流など固体地球の力学を支配する基礎方程式として、これまで長い間、地球内部は「マックスウェル粘弾性体」であるとの考えのもと、その力学を記述する方程式系が用いられてきた。しかし、「固体地球が長い時間スケールで粘性流体の力学に従う」という主張 (Tarcotte and Schubert, 2002他多数) は現実には地球内部に適用される粘性の大きさ (例えば 10^{21} Psec) を考えると超光速の運動量拡散を意味し物理の原理に反して受け入れられない。地球内部が固体で鉱物として決まった結晶構造を持つ以上時間スケールに関わらず同じ弾性の法則に従うはずである。粘性流体とみなす根拠として岩石を含む固体のクリープと粘性流体の流れの類似性が考えられる (例えばMcKenzie, 1967他多数)。しかし、クリープは弾性歪の緩和による固体の塑性流動と解釈するべきで、それを直接表す方程式と弾性体の力学方程式とを組み合わせる基礎方程式系とするのが妥当である。こうした場合、伝統的粘弾性体力学方程式の粘性変位を塑性変位と対応付ければ伝統的方程式系と数学的にはそっくりな形となる。しかし、伝統的方程式系は物理的プロセスを正しく表現できていないので原理的に適用限界があるはずである。実際、近年の研究でマントルとプレートの力学を同時に扱う場合、基本的な変数として粘性流体速度を採用する従来型のシミュレーションでは固体であるプレートの振る舞いを表現し難いと指摘されている。新しい方程式系は力学方程式が固体のものであることによってこの問題が回避されるばかりでなく、地震 (脆性破壊) のプロセスを取り入れるように拡張できるなど地球内部科学にとって重要な多くの問題を取り扱う共通の基盤となる可能性を持つ。

キーワード：地球内部力学、マントル対流とプレート運動、マックスウェル粘弾性体

Keywords: geodynamics, mantle convection and plate motion, Maxwellian viscoelastic media

地下水流動の観測に基づいて推定された断層破碎帯近傍の非一様な透水性構造

Permeability heterogeneous structure nearby a fracture zone estimated by observed 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. Fukuyama City University, 2. Kobe Gakuin University, 3. Graduate School of Science, Kyoto Univ.

断層破碎帯では、地震動によって透水性構造に変化が生じる場合があるが、それがどの程度の空間スケールで生じるものなのかについては明らかではない。本発表では、兵庫県南部にある六甲高雄観測室内の3点において地震動に伴う間隙水圧変化を観測し、断層破碎帯近傍の局所的な透水性構造の変化を推定した結果について報告する。

断層破碎帯はその周辺岩盤と比べて透水性が高いことから、地下水流動は主に破碎帯内で生ずると考えられる。そのため、断層破碎帯は均質な透水性をもつ一枚の板で近似することができる。向井他(2015)は、その内部を移動する次元地下水流動をモデル化し、湧水量変化および間隙水圧変化から透水係数の変化を推定する方法を導出した。万福寺断層を貫く六甲高雄観測室での観測データにこのモデルを当てはめた結果、2011年東北地方太平洋沖地震の際に断層破碎帯の透水係数が地震後数ヶ月間にわたって低下したことが明らかになった(向井他,2016)。このように、断層自身が震源断層にはなくても、外部から伝わってきた大きな地震動によって断層破碎帯の透水性構造が変化する可能性があると言える。

六甲高雄観測室では、湧水量計と水位計各1台を用いて地下水流動の連続観測を実施してきたが、地下水流動を空間的に把握することを目的に、2016年に2台の水位計を新たに設置した。その間隙水圧観測値と湧水量観測値を用いて透水係数の変化を推定したところ、2016年の熊本地震および鳥取県中部地震直後においても透水性構造が変化したことが確認された。しかし、その変化の大きさは、どの場所の間隙水圧観測値を用いるのかによって異なっており、透水係数の変化の程度が断層からの距離に依存することが示唆される。例えば、熊本地震の直後では、断層近傍で透水係数が約7%上昇したのに対して、断層から数10m離れた地点では、透水係数が約22%低下した。こうした違いは、地震動によって流出した泥分等によって生じている可能性がある。亀裂の大きな断層近傍の破碎帯では泥分等そのまま流出するのに対して、断層からやや離れた亀裂の発達十分ではない地点では泥分等が目詰まりを引き起こし、透水係数の低下をもたらしたことが考えられる。

キーワード：断層破碎帯、透水性構造、2016年熊本地震

Keywords: fault fracture zone, permeability structure, 2016 Kumamoto earthquake