

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 30 年 5 月 10 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(A) (海外学術調査)

研究期間：2013～2017

課題番号：25257204

研究課題名(和文)地球物理学的観測によるアジア北東地域のテクトニクスモデルの刷新

研究課題名(英文)Geodynamics in Far East

研究代表者

高橋 浩晃 (Takahashi, Hiroaki)

北海道大学・理学研究院・教授

研究者番号：30301930

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 36,800,000円

研究成果の概要(和文)：ロシア極東地域から中国東北部を含むアジア北東地域のテクトニクスの解明を目指し、地震とGNSS観測を実施した。2011年東北地方太平洋沖地震による広域的な余効地殻変動が観測され、ロシア沿海州地方は地震時変動を上回る変位が得られた。ロシア極東地域に展開した広帯域地震観測網のデータから、当該地域の上部マントル地震波速度構造を明らかにし日本海下に低速度異常を確認した。上部マントルの粘弾性構造の推定から、日本列島周辺で繰り返し発生する巨大地震がアジア北東地域に長期的な余効変動を引き起こしてきた事実を明らかにした。また当該地域の特徴的な地震活動を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Seismic and GNSS observation had been carried out in northeastern Asia with Russian institutions. Significant regional post-seismic crustal deformation has been detected. Postseismic displacements exceeded co-seismic one in Prymorie stations. Detailed seismic tomographic image using broadband seismograms clearly detected seismic velocity structure beneath Japan Sea. Viscoelastic structure estimation using geodetic and seismic information was performed. Misfit between calculated and observed postseismic displacements might request to construct more complex structure. Our model allow to estimate regional postseismic signals due to historical past great earthquakes in Japan Islands. Estimated viscoelastic parameters had predicted great subduction earthquakes around Japan generated regional and long-term deformation in northeast Asia. This fact suggested current crustal deformation field in continent has been strongly affected by distant subduction earthquakes.

研究分野：固体地球物理学

キーワード：長期広域余効変動 プレート運動 上部マントル構造 粘弾性構造 地震観測 GNSS観測 歴史地震

1. 研究開始当初の背景

(1) 2011年東北地方太平洋沖地震(M9.0)は、震源から2000km以上も離れたアジア北東地域にも広域的な地震時地殻変動をもたらした。また、引き続き余効地殻変動が観測されていた。当該地域には、アムールプレートなどのマイクロプレートの存在が指摘されていて、日本海東縁部から西日本にかけての地震活動に大きな影響を与えていると考えられていた。日本海溝や南海トラフでは、M8を超える巨大地震が繰り返し発生している。2011年東北地方太平洋沖地震は、海溝での巨大地震が大陸内部の地殻変動場に大きな影響を与えてきたことを示す。

(2) これまでのアジア北東地域のプレート運動モデルでは、海溝型巨大地震の影響は考慮されていない。しかし2011年東北地方太平洋沖地震で観測された地震時及び地震後地殻変動は、その評価がアジア北東地域のテクトニクスモデルの構築には必須であることを示す。特に、地震後の広域的な余効地殻変動を過去から未来に渡りシームレスに推定するには、ゆっくりとした変動を引き起こすマンツルの粘弾性の性質を明らかにすることが必要となる。マンツルの粘弾性推定は、巨大地震後に観測される広域的な余効地殻変動からしか推定することができない。

2. 研究の目的

(1) 時空間的に変動するアジア北東地域のテクトニクスモデルの刷新を図ることを目的に、以下の研究を実施する。2011年東北地方太平洋沖地震後に発生している広域的な余効地殻変動をロシアと協力してGNSSで観測し、その変動特性を明らかにする。

(2) ロシア極東域に広帯域地震観測網を展開して世界中で発生する地震の地震波を観測するとともに、新たな表面波トモグラフィの手法を開発して、日本列島から日本海を経て大陸縁辺部に至る上部マンツルの地震波速度構造を明らかにする。

(3) 余効地殻変動と地震波速度構造を用いて、海溝島弧背弧系下の地殻・上部マンツルの粘弾性構造を明らかにする。

(4) 推定された粘弾性構造モデルを用いて、過去に日本列島周辺で発生した巨大地震による広域長期地殻変動場を推定し、海溝型巨大地震がアジア北東地域のテクトニクスやプレート運動に与える影響を評価する。同時に、当該地域の地震活動特性を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) ロシア極東地域において、GNSSの連続・機動観測を実施し2011年東北地方太平洋沖地震による余効地殻変動を観測し、地震後5年間程度のデータを得る。精密ソフトウェアを用いたデータ解析を行い、観測点の座標時系列データを得る。

(2) 広帯域地震観測網を維持運用し、世界中

で発生する地震による地震波を観測する。これまで以上に高精度に地下構造を推定可能な表面波トモグラフィ手法を開発・適用することで、日本海下の詳細な地震波速度構造を推定する。

(3) (2)の結果を先験情報として上部マンツルの初期粘弾性構造を仮定し、粘性率や弾性層厚等のパラメータをグリッドサーチで変化させつつ、観測された余効地殻変動座標時系列と最も残差が小さくなるベストフィットモデルを探索する。

(4) (3)の粘弾性構造を用いて、日本列島周辺で過去に発生した巨大地震(千島海溝17世紀、日本海溝869貞観・1611慶長、南海トラフ1854安政・1707宝永等)を入力し、広域的な余効地殻変動の時空間変化を算出し、アジア北東地域のプレート運動場に与える変位速度を推定する。

4. 研究成果

(1) GNSS観測を実施し、2011年東北地方太平洋沖地震の広域的な余効地殻変動のデータを得ることに成功した。ロシア沿海州の観測点では、余効変動量が地震時変動を上回る観測点もあり、余効変動が当該地域の地殻変動場に大きな影響を与えていることが確認された。また、2017年時点でも余効変動は継続しており、その減衰特性の全容把握にはより長期の観測が必要であることが示された。

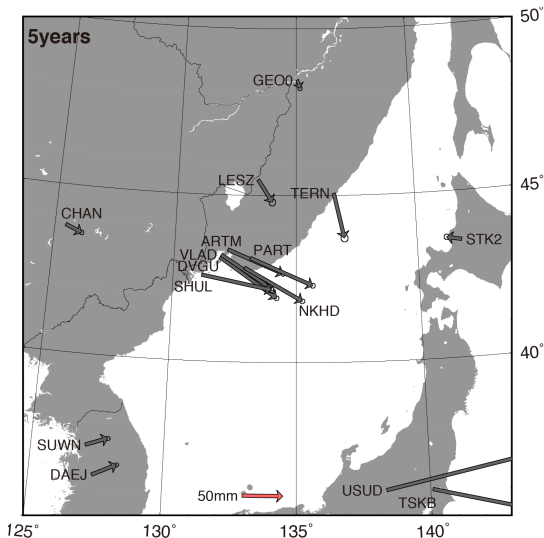


図1. 2016年までの余効地殻変動ベクトル

(2) ロシア極東地域で広帯域地震観測を実施し、地震波形を取得した。新たな表面波トモグラフィ手法を開発・適用することで、日本列島から大陸縁辺部にかけての詳細な上部マンツル地震波構造を明らかにした。特に北朝鮮北部からウラジオストク沖合にかけての日本海南西縁下の上部マンツルに顕著な大規模低速度異常が見いだされた。また、日本海の海洋地殻を示すと考えられる高速度異常をクリアに描き出すことに成功した。

(3) 上部マンツル地震波速度構造を先験情

報として、地殻マンツルの粘弾性構造パラメータの推定を行った。観測された余効地殻変動とのフィッティングの結果、上部マンツルの粘性率は  $10^{18}$  Pa s オーダーである可能性が示唆された。この値は、一般的に見てやや小さいが、背弧海盆を有し複雑な構造となっている沈み込み帯の特徴を表している可能性が高い。今回のベストフィットモデルと、観測された座標時系列との間には残差が見られるため、現実の構造はより複雑である可能性が示唆される。今後は、更なる多層化や3次元構造を含めた検討が必要である。

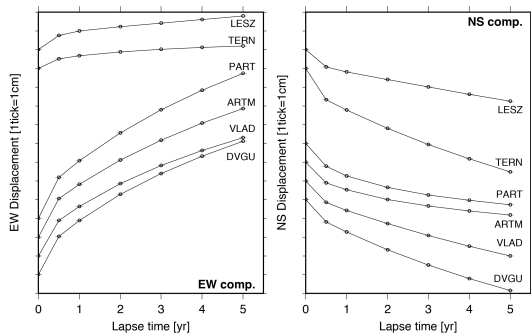
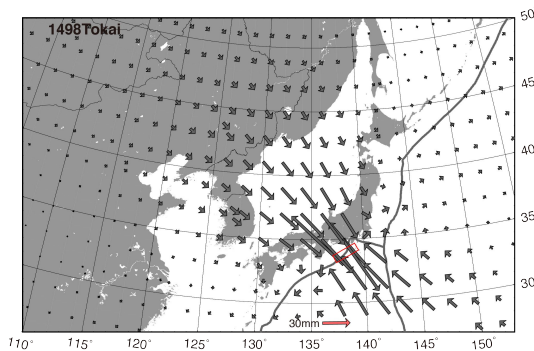


図2. 観測座標時系列とモデルの比較

(4) (3)で得られた粘弾性構造パラメータを用いて、過去の海溝型巨大地震による長期広域地殻変動場の評価を実施した。南海トラフや日本海溝で発生した M8.2 を超える巨大地震の場合には、アジア北東地域の広域に長期にわたる地殻変動が発生することが明らかになった。現在観測されている地殻変動には、これら過去の巨大地震による余効地殻変動が重畳している可能性が高く、プレート運動パラメータ等を推定する際には、その影響を評価することが必要である。



図：1498年明応東海地震10年後の変位場

(5) 2013年に発生した観測史上最大規模の新発地震 (M8.3) について、ロシア極東地域のGNSSデータの解析を実施し、地震時地殻変動の検出に成功した。千島海溝の地震活動の解析を実施し、地震活動度の時間変化を検出した。2016年サハリンで発生した M5.8 の震源過程と余震活動特性を明らかにした。北海道と北方四島の地震観測点データを併合することで、北方四島域の震源決定精度が向上することを明らかにした。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計14件)

Kononov A., A. Stepanov, D. Safonov, A. Kozhurin, A. Pavlov, A. Polets, A. Gavrilov, K. Manaychev, H. Takahashi, M. Ichiyangi, The Mw=5.8 14 August 2016 Middle Sakhalin Earthquake on a Boundary Between Okhotsk and Eurasian (Amurian) Plates, Journal of Seismology, accepted, 2018. 査読有

Petr Voropaev, Hiroaki Takahashi, Vadim Saltykov, Statistical Estimation of the Seismicity Level Change around Hokkaido, Northern Japan, Pure and Applied Geophysics, DOI: 10.1007/s00024-018-1776-2, 2018. 査読有

Gerasimenko M. D., N. V. Shestakov, A. G. Koromuets, G. N. Gerasimov, H. Takahashi, D. V. Svisoev, G. V. Nechaev, Vertical crustal movement of the south of Primorsky Krai and their relationship with the subduction zone geodynamic processes, Geodesy and Cartography, 33-37, DOI: 10.22389/0016-7126-2016-909-3-30-34, 2016. 査読有

Mako Ohzono Hiroaki Takahashi Masayoshi Ichiyangi, An intraplate slow earthquake observed by a dense GPS network in Hokkaido, northernmost Japan, Geophysical Journal International, 200, 144-148, DOI: 10.1093/gji/ggu380, 2015. 査読有

N. P. Perevalova, N. V. Shestakov, S. V. Voeykov, H. Takahashi, M. Guojie, Ionospheric disturbances in the vicinity of the Chelyabinsk meteoroid explosive disruption as inferred from dense GPS observations, Geophysical Research Letters, 42, DOI: 10.1002/2015GL064792, 2015. 査読有

N. V. Shestakov, M. Ohzono, H. Takahashi, M. D. Gerasimenko, V. G. Bykov, E. I. Gordeev, V. N. Chebrov, N. N. Titkov, S. S. Serovetnikov, N. F. Vasilenko, A. S. Prytkov, A. A. Sorokin, M. A. Serov, M. N. Kondratyev, V. V. Pupatenko, Modeling of coseismic crustal movements initiated by the May

24, 2013, Mw = 8.3 Okhotsk deep focus earthquake, Doklady Earth Science, 457, 976-981, DOI: 10.1134/S1028334X1408008X, 2014. 査読有

[学会発表](計28件)

Nikolai Shestakov, Mikhail Gerasimenko, Dmitry Sysoev, Andrey Kolomiets, Grigory Gerasimov, Nikolai Vasilenko, Alexander, Prytkov, Victor Bykov, Victor Pupatenko, Mikhail Serov, Hiroaki Takahashi, Mako Ohzono, Meng Guojie, Recent crustal movements and deformations of the southeast of Russia as seen from continuous GNSS measurements, JpGU-AUG Join Meeting, 2017.

Ikeda, K., Yoshizawa, K. and Nishida, K, Measurements of Rayleigh wave particle motions beneath the Japanese islands: Implications for the crust and uppermost mantle structures, JpGU-AGU Joint Meeting, 2017.

Hiroaki Takahashi, Mako Ohzono, Nikolai Shestakov, Alexander, Prytkov, Nikolai Vasilenko, Plate Convergence, Slow Slip and Seismicity Along Eastern Margin of Amurian Plate, Asia Oceania Geoscience Society Meeting, 2016.

H. Takahashi, M. Ohzono, M. Ichianagi, STRAIN ACCUMULATION AND SLOW SLIP EVENT ALONG HOKKAIDO-SAKHALIN SEISMIC BELT, Geodynamic processes and natural hazards: Lessons of Neftegorsk, 2015.

Mako OHZONO, Hiroaki TAKAHASHI, Nikolay V. SHESTAKOV and Mikhail. D. GERASIMENKO, Rheological Property Beneath the Northeast Asia Estimated from Postseismic Deformation After the 2011 Tohoku Earthquake, International Symposium on Geodesy for Earthquake and Natural Hazards, 2014.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高橋 浩晃 (TAKAHASHI, Hiroaki)  
北海道大学・大学院理学研究院・教授  
研究者番号: 30301930

(2) 研究分担者

大園 真子 (OHZONO, Mako)  
北海道大学・大学院理学研究院・講師  
研究者番号: 10623837

宮町 宏樹 (MIYAMACHI, Hiroki)  
鹿児島大学・学術研究院・教授  
研究者番号: 30182041

谷岡 勇市郎 (TANIOKA, Yuichiro)  
北海道大学・理学研究院・教授  
研究者番号: 40354526

蓬田 清 (YOMOGIDA, Kiyoshi)  
北海道大学・理学研究院・教授  
研究者番号: 70230844

吉澤 和範 (YOSHIKAWA, Kazunori)  
北海道大学・理学研究院・准教授  
研究者番号: 70344463

中尾 茂 (NAKAO, Shigeru)  
鹿児島大学・学術研究院・教授  
研究者番号: 90237214

(4) 研究協力者

一柳 昌義 (ICHIYANAGI, Masayoshi)  
山口 照寛 (YAMAGUCHI, Teruhiro)  
ゴルドイエフ エフゲニー (GORDEEV, Evgeny)  
ブイコフ ビクター (BYKOV Victor)  
ゲラシメンコ ミハイル (GERASIMENKO Mikhail)  
シェスタコフ ニコライ (SHESTAKOV Nikolay)  
ワシレンコ ニコライ (VASILENKO, Nikolay)  
プリトコフ アレキサンダ (PRYTKOV Alexandr)  
レビン ユーリ (LEVIN Yuri)  
ワレンチン ミハイロフ (VALENTINE Mikhailov)  
コスティレフ ドミトリ (KOSTYLEV Dmitrii)  
チェブロフ ダニラ (CHEBROV Danila)  
セロベトニコフ セルゲイ (SEROVETNIKOV Sergey)