

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H01984

研究課題名（和文）中国ロシア日本を統合するGNSS観測ネットワークで見る東アジア変動帯の全容

研究課題名（英文）Regional crustal deformation in east Asia inferred from GNSS data

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） 13,100,000円

研究成果の概要（和文）：日本列島をはじめ東アジアの各国にはこの20年でGNSS観測網が飛躍的に整備され、地殻変動場がリアルタイムで描かれるようになった。これら複数の国にまたがるデータを統一的な基準座標系で整理し、時空間的に変動する地殻変動場を広域テクトニクスの視点で検討した。本研究で得られた東アジア地域の地殻変動場からは、日本列島の地殻変動場が巨大地震後に長期間継続する余効変動の影響を列島規模で受けており、太平洋側のプレート沈み込み帯でのプレート間固着率の推定や、非正常地殻変動場の議論には、過去に発生した地震の影響を適切に評価することが必要であることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで、日本列島の地殻変動場は日本列島内に基準点を設定し、そこからの相対変位として表現されてきた。このため、2011年東北地方太平洋沖地震をはじめとした巨大地震が引き起こす長期広域的な影響の評価が難しく、プレート間固着の推定等に系統的な誤差が混入している可能性があった。本研究で示された、日本列島内ではない基準座標系を設ける方式を導入することにより、列島規模の長期広域的な地殻変動場を評価することが可能となり、沈み込み帯でのプレート間固着率や日本列島内のひずみ蓄積状況のモニタリングの高精度化を始めとした地震発生評価にも貢献することが期待される結果である。

研究成果の概要（英文）：The GNSS observation network has been dramatically developed in the East Asian countries. We evaluated and arranged crustal deformation data across multiple countries in a unified reference coordinate system. Spatio-temporal crustal deformation field in east Asia as drawn by our research clarified the Japanese Islands has been widely affected by complex lasting post-seismic deformation after large earthquakes. This result request to evaluate above effects for plate coupling estimation on subduction zones along the Pacific ocean of Japanese Islands.

研究分野：固体地球科学

キーワード：広域テクトニクス 東アジア GNSS

1. 研究開始当初の背景

日本をはじめ東アジアの各国では、この20年間にGNSS観測網の整備が飛躍的に進み、現在の地殻変動の様相が描き出されるようになった。日本列島では、観測点数1200点余を誇る国土地理院のGEONET観測網により、ほぼリアルタイムに座標時系列データが得られている。日本列島は沈み込み帯に位置しているため、太平洋側のプレート沈み込みを視座に地殻変動場が描かれる場合が多い。一方、広域テクトニクスの視点で見れば、日本列島はヒマラヤでの衝突に始まる東アジア変動帯の終着点として位置づけられる。日本列島周辺では大地震が頻発するため、それらが引き起こす地震後の余効変動が列島規模で時空間的に複雑に重畳していることが予想され、日本列島内に地殻変動の基準とすべき場所を探すことは困難である。東アジアの広域的な視点で日本列島の地殻変動場を描くことで、ダイナミックに変形する日本列島がより客観的にとらえられと予見される。

基準座標系を日本列島以外に求める場合には、大陸とのデータ結合が有効と考えられる。中国及び極東ロシアと続けてきた国際共同研究の枠組みを活用し、日本列島周辺域を含めた東アジアの広域的な地殻変動場を描き出すことを目指した研究を行うこととした。

2. 研究の目的

日本列島のテクトニクスは、太平洋プレートやフィリピン海プレートの沈み込みを中心に据えて描かれることが多い。東アジアの広域テクトニクスの視座に立てば、インドプレートのヒマラヤでの衝突が駆動する変動の終着点として日本列島は位置づけられる。中国やロシア極東などのGNSSデータを統合し同一基準系での取り扱いを可能にしたうえで、東アジアの広域地殻変動場を描き出し、時空間的にダイナミックに変動する日本列島の姿を明らかにする。

3. 研究の方法

GNSS観測データに基づき広域的な地殻変動場を作成するために、日本列島及びIGSグローバル観測点のデータを最新の基準座標系であるITRF14に基づき独自解析を行う。その際、データの統合を行う中国とロシアの共同研究機関の採用している解析戦略と同じようなパラメータ設定で座標整合性の向上を目指す。独自解析結果に国土地理院のF3及びF5解、中国及びロシアの共同研究機関から提供された座標時系列データを加え、相互の整合性を確認する。共通する観測点での座標時系列データを比較し、座標変位とその時間変化の系統的なずれの有無を統計的に確認し、統合可能な座標データセットを選別する。また、ヒマラヤ地域でのプレート収束状況を明らかにするために既に設置されているGNSS観測網の維持を行いデータを蓄積する。

得られた座標時系列データを用いて、地殻変動場のマッピングを行う。特に、2011年東北地方太平洋沖地震をはじめとする巨大地震が頻発する日本列島周辺の地殻変動場が、どのように時間変動しているのかを客観的な座標系に準拠して評価する。地殻変動場の時空間変化を評価する視点は2つあり、一つは安定した海洋プレートである太平洋プレート基準、もう一つは日本列島に比して安定している東アジア地域を基準とする。また、地殻変動の時空間変動を詳細に検討するため、変位場に加えプレート間の長基線を組み基線長の変化にも注目する。大地震後の長期的な余効変動を引き起こす上部マントルの粘弾性特性にも着目し、地殻変動場の時空間変化の解釈を行う。

4. 研究成果

(1) 複数の座標時系列データの評価

東アジア～北西太平洋地域の広域的なGNSS観測点のデータを独自に解析するとともに、国土地理院のF3及びF5座標時系列データ、中国地震局の解析した中国国内を含む東アジアのGNSS観測網による座標時系列データの比較検証を行った。同一観測点の座標時系列について、独自解析及び中国の解析結果に比べ、国土地理院F3解座標時系列は2010年代中盤以降に他の座標からの乖離とS/Nの低下が見られることが明らかになった。一方、国土地理院が2021年から公開を始めたF5解は、他の解析結果とよい一致を示した。同じ基準座標系ITRF14に準拠して解析された独自解析・中国解析・F5の座標を利用した地殻変動評価が可能なが示された。

(2) 太平洋プレートを基準とした北西太平洋地域のプレート運動の安定性

独自解析で得られた北西太平洋～北東アジア地域の座標時系列データに基づき、太平洋プレート・フィリピン海プレート・大陸側プレートの絶対・相対運動の2006年以降の時間変化を検討した。検討にはプレート間相互作用のないプレート内部の観測点を利用した。特に2011年東北地方太平洋沖地震前後の速度変化に注視したが、太平洋プレート上にあるハワイ・南鳥島では座標時系列に変化が見られず、太平洋プレートとフィリピン海プレートの相対運動を示す南鳥島・沖ノ鳥島等の基線長にもノイズレベルを超える変化は見られていない。太平洋プレートやフィリピン海プレート内部の運動速度が安定していることが確認された。一方、北東アジアの観測点では2011年東北沖地震時及びその余効変動が広範囲に起こっていることが再度確認された。

(3) 日本海～日本海東縁部の地殻変動場の特性

日本列島と大陸間の地殻変動場を明らかにするため、中国・韓国と日本の座標時系列データを用いて日本海～東シナ海を挟む中国大陸東縁部と日本列島間の地殻変動場の検討を行った。中国と日本列島の間で基線を組み 2000 年以降の時系列変化を調べたところ、北海道の日本海では年間 1-2cm/yr の短縮が現在まで継続しているが、東北日本の日本海では 2011 年東北沖地震前の 1-2cm/yr の短縮が地震以降は 1cm/yr 程度の伸長場に変化した。西南日本の日本海では、韓半島との間で mm/yr オーダーの短縮が継続しているが、北海道～東北日本の日本海に比べ桁程度小さな値となっている。南西諸島地域では大陸との間で 1-2cm/yr の伸長が継続している。北海道では、大陸側のアムールプレートとオホーツクプレートの境界の一部が内陸に上陸していると考えられるため、テクトニックブロックを仮定したモデリングを実施した。北海道北部で観測される変位場は陸域に南北に延びる断層の固着で説明できることが示され、その地理的位置が地震活動や活構造と良い一致を示すことが明らかになった。

(4) 北海道南部の粘弾性構造と東北日本～北海道の地殻変動の時空間特性

ITRF14 系に準拠したグローバル座標系を基準として 1996 年以降の東北日本～北海道の地殻変動の時空間特性を調査した。この間には 2003 年十勝沖地震や 2011 年東北沖地震が発生しており、それらの広域的な影響を注視する。日本列島周辺で発生した大～巨大地震の影響を排除するため、ITRF14 系の座標値に加え、中国東北部の GNSS 観測点を基準として日本とを結んで作成した基線長の時間変化も利用した。2003 年十勝沖地震では、北海道全域に地震時変動が発生したが、それ以降の長期的な余効変動の様相が明らかになった。特に北海道南部では 2011 年東北沖地震発生時までノイズレベルを超える変動が続いていた。

これを上部マントルの粘性緩和に起因する変動と仮定し、地下構造のモデル化を行ったところ、 10^{18} Pa s の粘性率が得られた。この数値は先行研究とも一致する。北海道南部で推定された上部マントルの粘性率は、北海道東部で推定された 10^{19} Pa s より一桁小さな値となっている。北海道南部は 2003 年十勝沖地震から断層サイズの 2 倍程度離れており、地震時地殻変動も震源に近い北海道東部に比べ小さかったが、相対的に小さなマントルの粘性率が長期間の余効変動を励起していたことが明らかにされた。推定された粘性率を用いたモデル計算によると、緩和時間は 7 年程度となり、入力された地震時応力に対して GNSS 観測で検出が期待される S/N 以上の余効変動は 20 年程度継続することが予想される。

東北日本～北海道南部では、2003 年十勝沖地震に加え、1983 年日本海中部地震、1993 年北海道南西沖地震、1994 年北海道東方沖地震、1994 年三陸はるか沖地震の M7 後半～8 クラスの地震が発生している。本研究で得られた粘弾性構造モデルを用いた場合、これらの地震の余効変動が当該地域で 20 年程度継続することが予想される。東北北部～北海道においては、1983 年以降の座標時系列には、日本海溝～千島海溝の太平洋プレートの沈み込みに伴うプレート間固着の影響に加え、これら過去の地震の記憶とも言うべき時間遅れの長期的な変動が重畳していることが予想される。中国東北部を基準とした基線長変化データを見ると、上記を示唆するような座標の時間変化とも考えられる特徴が見られた。ただし、GNSS の観測データが 1996 年以降に限られるため、1983 年日本海中部地震以降の地震の影響をデータから直接確認することは困難である。

GNSS 座標時系列データを用いた非常地殻変動の検討が行われることが多い。ある地殻変動を非常と判断するためには、基準となる定常変動を定義することが必要となる。本研究で示されたように、日本列島のような地震が頻発する地域では、地震時の応力変化が駆動する粘性緩和による余効変動が 10 年を超えて長期間にわたり継続することとなるため、定常的な期間を定義することは事実上困難である。日本列島は時空間的に複雑に変動しており、その地殻変動を適正に評価するには、日本列島内ではない基準座標系を用いることが効果的である。特に、大陸側から日本列島の地殻変動を評価することが重要と考えられ、その一端を本研究で示すことが出来たのではないかと考えている。

(5) 東アジアの地殻変動を駆動するネパールヒマラヤ地域のインドプレート衝突の様相

東アジアの地殻変動はヒマラヤでのインドプレートの衝突が主要な駆動力となっている。ネパールに設置されている GNSS 観測点の保守を実施してデータの蓄積を図った。得られたデータを用いてブロックモデルから固着状況を推定し、プレート相対運動のうち半分程度がヒマラヤ主要断層帯での固着で消費され、残りはチベット以北に広く拡散していること、2015 年 Gorkha 地震より西部でプレート間固着が強いことが明らかにされた。

研究期間の途中でロシアによるウクライナ侵攻が開始されたため、最終結果にはロシア極東の GNSS データを含めることが出来なかった。本研究で示されたように、日本列島を含め、変動帯である東アジア～北西太平洋地域の地殻変動場の解明には、より安定的な基準座標系に基づいた評価が必要で、中国とロシア極東地域の安定大陸上にある GNSS データが決定的に重要である。今後、より一層の国際共同研究の推進が望ましい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 SUN K., MENG G., HONG S., SU X., HUANG X., DONG Y., TAKAHASHI H., OHZONO M.,	4. 巻 64
2. 論文標題 Interseismic movement along the Luhuo-Daofu section of the Xianshuihe Fault from InSAR and GPS observations	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chinese Journal of Geophysics	6. 最初と最後の頁 2278-2296
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.6038/cjg202100364	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Shestakov Nikolay, Orlyakovskiy Alexander, Perevalova Natalia, Titkov Nikolay, Chebrov Danila, Ohzono Mako, Takahashi Hiroaki	4. 巻 13
2. 論文標題 Investigation of Ionospheric Response to June 2009 Sarychev Peak Volcano Eruption	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 638 ~ 638
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/rs13040638	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Meng G, X. Su, W. Wu, S. Nikolay, H. Takahashi, M. Ohzono, M. Gerasimenko	4. 巻 11
2. 論文標題 Crustal Deformation of the Northeastern China after the 2011 Tohoku, Japan Mw 9.0 Earthquake Estimated from GPS Observations: Strain Heterogeneity and Seismicity	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 3029
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/rs11243029	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Ito C, H. Takahashi, M. Ohzono	4. 巻 71
2. 論文標題 Estimation of convergence boundary location and velocity between tectonic plates in northern Hokkaido inferred by GNSS velocity data	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Earth Planets Space	6. 最初と最後の頁 86
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40623-019-1065-z	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 石田 優香、高橋 浩晃、大園 真子	4. 巻 86
2. 論文標題 2003年十勝沖地震(Mw8.0)の余効変動を用いた北海道南西部の粘弾性構造推定	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 北海道大学地球物理学研究報告	6. 最初と最後の頁 1~12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14943/gbhu.86.1	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計10件(うち招待講演 1件/うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Takahashi H, Y. Ishida, M. Ohzono, G. Meng, W.Wu, N. Shestakov
2. 発表標題 Crustal deformation in the northwestern Pacific region over the recent quarter century by regional GNSS data
3. 学会等名 Geodynamical processes and natural hazards, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takahashi, H
2. 発表標題 Preparedness for a impending supergiant earthquake and tsunami in southern Kuril trench
3. 学会等名 eodynamical processes and natural hazards, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nechaev G, Ni. Shestakov, H, Takahashi, E. Lialiuskko
2. 発表標題 Estimation of postseismic effects of 2013 Okhotsk Sea Mw8.3 deep-focus earthquake
3. 学会等名 地球惑星科学連合大会(国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大園真子・田部井隆雄・B.R.Silwal, R, Bhandari, J. B. Cahnd, K. Thakur, S. N. Sapkota、三宅弘恵、縹織一起
2. 発表標題 GNSS観測によるネパール・ヒマラヤ主要断層帯の固着推定
3. 学会等名 日本測地学会第136回講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石田優香・高橋浩晃・大園真子
2. 発表標題 北西太平洋地域のプレート運動安定性の検討
3. 学会等名 日本測地学会第136回講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 G Nechaev , N. Shestakov , H. Takahashi , M. Ohzono
2. 発表標題 On application of GNSS-techniques for early tsunami warning in the Sea of Japan
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Takahashi , M. Ohzono , C. Ito , N. Shestakov , M. Gerasimenko , N. Vasilenko , A. Prytkov , G. Meng
2. 発表標題 Regional and long-term deformation field due to subduction processes in northeastern Asia.
3. 学会等名 GEODYNAMICAL PROCESSES AND NATURAL HAZARDS, YUZHNO-SAKHALINSK (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ito C., H. Takahash, M. Ohzono, N. Vasilenko, A. Prytkov
2. 発表標題 Convergence boundary between Amurian and Okhotsk plates in northernmost Japan and south Sakhalin inferred by GNSS velocity data
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤ちひろ, 高橋浩晃, 大園真子
2. 発表標題 北海道北部における衝突帯位置と収束速度の推定
3. 学会等名 日本地震学会秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤ちひろ, 高橋浩晃, 大園真子, N. Vasilenko, A. Prytkov
2. 発表標題 GNSSデータを用いた北海道北部・サハリン南部における衝突帯位置の推定
3. 学会等名 日本測地学会講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	大園 真子 (Ohzono Mako) (10623837)	北海道大学・理学研究院・准教授 (10101)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	田部井 隆雄 (Tabei Takao) (40207220)	高知大学・教育研究部自然科学系理工学部門・教授 (16401)	
研究分担者	中尾 茂 (Nakao Shigeru) (90237214)	鹿児島大学・理工学域理学系・教授 (17701)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計1件

国際研究集会 Current crustal deformation in Asia inferred from integrated GNSS data on China, Russia, Nepal and Japan	開催年 2019年～2019年
--	--------------------

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
中国	地震局地震予測研究所			
ロシア連邦	科学アカデミー応用数学研究所	極東連邦大学		