2. この 10 年の全国の地殻変動状況(海域について)

1. はじめに

海上保安庁海洋情報部は,地震調査研究に係る測地 学的観測として,GNSS-音響測距結合方式(GNSS-A) による海底地殻変動観測を実施している.

本稿では、海底地殻変動観測により得られた海域にお ける地殻変動の成果を紹介する。海底地殻変動観測につ いては第1部第3章2.(4)を参照されたい。

2. 海底地殻変動観測の主要な観測成果

2.1 2011 年東北地方太平洋沖地震前の観測で得られ た日本海溝沿いの海底地殻変動

GNSS-A 海底地殻変動観測は,海底の位置を,地球を 基準とした座標系の上で表現できるという点において, 長周期~定常の動きに主たる感度を持つ観測手法である といえる.こうした特性を持つため,特に平均的な海底 の移動速度を算出することができ,それはほかの測位技 術とも容易に比較可能である.

Sato et al. (2013)¹⁾は,2011年3月の東北地方太平洋 沖地震までに実施した海底地殻変動観測の結果から,各 観測点の平均移動速度を算出した(図1).比較的デー タ数が多く信頼性の高い宮城県から福島県沖のデータを 比較すると,福島県沖の海底の動く速度は宮城県沖に比 して小さいことがわかる.この速度の差は,東北地方太 平洋沖地震時の変動の空間パターンとも定性的に類似し ており,地震間と地震時の動きがコヒーレントであると いうことを示す一例であるといえる.



図1 東北地方太平洋沖地震前の平均移動速度. 陸上の結果は 国土地理院 GEONET の F3 解から求めたもの.

楠 勝浩 (海上保安庁)

2.2 2011年東北地方太平洋沖地震前後の観測で得られた日本海溝沿いの海底地殻変動

2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震(M 9.0) の発生を受け,海上保安庁では、同年 3 月末から 4 月 にかけて日本海溝沿いに設置している観測点の位置を測 定し、その直前の観測値と比較した結果、水平 20 m,上 下 1 mを超える大規模な変位が検出された(Sato et al., 2011b²⁾,図 2).



図2 東北地方太平洋沖地震時の地殻変動.陸上の結果は国 土地理院 GEONET の F3 解から求めたもの.星印は 東北地方太平洋沖地震の震央.

大きな変位は複数の観測点で捉えられており,これらの結果から、20 mを超える大規模な海底変位が,南北方向数十キロメートルにわたって発生したことが明らかとなった.上下変位については,海溝軸に直交する方向のバリエーションも捉えられた.なお,Kido et al. (2011)³⁾も同様の手法で,より沖合の観測点において 30 mを超える変位を検出しており,こうした観測成果は地震時のすべり分布を推定する上で重要な役割を果たしている (e.g., linuma et al., 2012⁴⁾).

2.3 2011年東北地方太平洋沖地震後の観測で得られた日本海溝沿いの海底地殻変動

東北地方太平洋沖地震後も日本海溝沿いの各観測点 で海底地殻変動観測を継続し、余効変動による変位を 調査している.地震後の余効変動にはいくつかの緩和過 程が併存しているが (e.g., Wang et al., 2012⁵⁾)、陸域の GEONET 観測点での余効変動は余効すべりのメカニズ ムでも概ね説明できていた.しかし、海底地殻変動観測 の結果は、陸域の地殻変動とは大きく異なるものであっ た(図3).Watanabe et al. (2014)⁶⁾は、海域で観測さ れた変位の向きが太平洋プレートの運動方向を向いてお り、陸域の海溝に向かう変位とは正反対であること、ま た、その変位速度が地震前の太平洋プレートの沈み込み 速度より顕著に大きいこと、さらに各観測点がいずれも 沈降傾向を示していることから、これらの観測点の動き は、アセノスフェアにおける粘弾性緩和の影響を強く受 けている可能性が高いことを示した。



図3 東北地方太平洋沖地震後の余効変動. 2011 年3月か ら 2017 年 12 月までの累積値. 陸上の結果は国土地 理院 GEONET の F3 解から求めたもの.

これらの観測データを説明するモデルは Sun et al. (2014)⁷⁾等いくつも提案され,研究が進められている. このように海底地殻変動データは地震後の地殻変動研究の基礎的なデータとして役立てられている.

2.4 フィリピン海プレート上で検出された地殻変動

Watanabe et al. (2015)⁸⁾は、フィリピン海プレート上 に設置した観測点での観測結果から、それらが伊豆前弧 のブロックに乗って動いていることを確認した.また、 相模湾の海底地殻変動観測結果と伊豆半島のGNSS 観 測結果(GEONET)を比較し、伊豆半島の東部海域で 発生した 1980年伊豆半島東方沖地震(M 6.7)の断層 が固着していることを明らかにした.

2.5 南海トラフ沿いで検出された地殻変動とすべり欠 損速度分布の推定

将来,巨大プレート境界地震の発生が懸念される南海 トラフ沿いの海域においても,繰り返し海底地殻変動観 測を実施している.2011年度には東北地方太平洋沖地 震の発生を受け,より広く面的なデータを得られるよう に観測点を増設した.

Yokota et al. (2016)⁹⁾ は,2015 年までのデータについ て,前述した東北地方太平洋沖地震の影響を補正したう えで,西南日本のプレート境界面上のすべり欠損速度分 布を推定した(図4,図5).



 図 4 海底地殻変動観測の 2006 年 3 月から 2009 年 12 月 までの結果から算出した,南海トラフの各観測点の年 間の地殻変動量(赤矢印).陸上の結果は国土地理院 GEONET の F3 解から求めたもの.



図5 海底地殻変動観測結果から算出した,南西日本のプレー ト境界面上のすべり欠損速度分布図

海底地殻変動データは観測点密度・観測期間・観測 間隔・観測精度の面で陸域のデータよりも不利であるも のの、陸域から推定することができない領域で面的な分 布を推定できた点で非常に重要な成果であるといえる.

この結果からは、多くの新しい知見が得られた.1つ めは南海トラフ想定震源域の全域が固着しているという 事実である.2つめはその固着状態には場所によって強 弱が存在していることである.トラフ軸と平行な東西方 向だけでなく、豊後水道の沖合では南北方向(トラフ軸 との直交方向)にも強弱が見られた.またこの発見によっ て、1940年代のM8クラスの地震は主に強固着状態の 領域で発生していたことも確認された.これらのことか ら、プレート境界での巨大地震と固着状態の強弱には関 係性があることもはっきりした.加えて、超低周波地震 (VLFE)が弱固着域に集中して発生していることも確認 されており、こうした成果はプレート境界面上の物理過 程に関する今後の研究のためのデータとして活用される ことが期待される.

2.6 紀伊水道沖でのスロースリップの検出

解析技術の進展や観測頻度の向上により,海底で発生 する非定常的なイベントの検出も可能となり,2018年に は紀伊水道沖のプレート境界浅部で発生したとみられる スロースリップのシグナルを検出することに成功してい る.本観測結果については,第2部第3章3.(6)に記 載されているので参照されたい.

3. おわりに

海底地殻変動観測は、質・量ともにこの10年で非常 に大きく進展し、この手法でなければ知りえなかった 様々な現象を見出すに至った.その背景には、2.1節で 示したようないくつかの重要なアップデートだけではな く、ルーチンの観測・解析を丁寧かつ地道に進め、また 観測点の増設・維持管理のために貢献した多くの職員の 存在がある.また、SLR 観測も持続的な運用が重要であ るように、こうした時間スケールの長い測地観測を継続 することが、地震調査研究においても非常に価値のある ことであるといえる.他方で、まだこれらの観測には多 くの技術的な課題も残されており、次の10年でも観測 技術を引き続き向上させていくことが求められる.今後 もこうした課題に取り組みつつ、長期にわたりデータを 提供することで、地震調査研究に貢献できると期待して いる.

参考文献

- M. Sato, M. Fujita, Y. Matsumoto, T. Ishikawa, H. Saito, M. Mochizuki and A. Asada, 2013, Interplate coupling off northeastern Japan before the 2011 Tohoku-oki earthquake, inferred from seafloor geodetic data, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 118, 1-10.
- M. Sato, T. Ishikawa, N. Ujihara, S. Yoshida, M. Fujita, M. Mochizuki and A. Asada, 2011, Displacement Above the Hypocenter of the 2011

Tohoku-Oki Earthquake, SCIENCE, Vol332, 1395.

- M. Kido, Y. Osada, H. Fujimoto, R. Hino and Y. Ito, 2011, Trench-normal variation in observed seafloor displacements associated with the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, VOL. 38, L24303.
- 4) T. Iinuma, R. Hino, M. Kido, D. Inazu, Y. Osada, Y. Ito, M. Ohzono, H. Tsushima, S. Suzuki, H. Fujimoto and S. Miura, 2012, Coseismic slip distribution of the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake (M9.0) refined by means of seafloor geodetic data, *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, VOL. 117, B07409.
- 5) K. Wang, Y. Hu and J. He, 2012, Deformation cycles of subduction earthquakes in a viscoelastic Earth, *Nature*, VOL. 484, 327-332.
- 6) S. Watanabe, M. Sato, M. Fujita, T. Ishikawa, Y. Yokota, N. Ujihara and A. Asada, 2014, Evidence of viscoelastic deformation following the 2011 Tohoku-Oki earthquake revealed from seafloor geodetic observation, *Geophysical Research Letters*, 41, 5789– 5796.
- T. Sun, K. Wang, T. Iinuma, R. Hino, J. He, H. Fujimoto, M. Kido, Y. Osada, S. Miura, Y. Ohta and Y. Hu, 2014, Prevalence of viscoelastic relaxation after the 2011 Tohoku-oki earthquake, *Nature*, VOL. 514, 84-96.
- S. Watanabe, T. Ishikawa and Y. Yokota, 2015, Nonvolcanic crustal movements of the northernmost Philippine Sea plate detected by the GPS-acoustic seafloor positioning, *Earth, Planets and Space*, 67, 184.
- Y. Yokota, T. Ishikawa, S. Watanabe, T. Tashiro and A. Asada, 2016, Seafloor geodetic constraints on interplate coupling of the Nankai Trough megathrust zone, *Nature*, VOL. 534, 374-387.