

12 - 7 名古屋大学の海底地殻変動観測：観測成果と今後の課題

Observation of sea-floor crustal deformation performed by Nagoya University: Observational results and future problems

田所 敬一（名古屋大学大学院環境学研究科）

Keiichi Tadokoro (Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University)

1. 海底地殻変動観測システム

名古屋大学では、音響測距とキネマティック GPS (KGPS) 測位を組み合わせた海底地殻変動観測システムの開発を行ってきた¹⁾。

海底に設置する海底ベンチマークは、3台の海底局で構成されている。海底局は、ポップアップ式の海底地震計と同じような外観をしており、13 インチの耐圧ガラス球内に電子回路とバッテリーが収められている。観測船に搭載された船上局では、1PPS 信号で同期を取って送受波器（トランスデューサ）から測距信号が海底局へ向けて送信される。海底局で受信された測距信号は、再生返信（ミラー応答）され、船上局で受信・記録が行われる。この音響測距を海底ベンチマークの周りを観測船で走りながら実施する。収録した測距信号波形に対して測距信号の理論波形との相互相関処理を後に行い、測距信号の往復走時を求める。測距信号の往復走時のデータと KGPS 測位で求められた観測船の位置のデータ、ジャイロ等で測定された観測船の姿勢データ、CTD プロファイラで取得された海中音速のデータを合わせて、測距信号の走時残差の二乗和が最小になるように海底ベンチマーク位置を決定している²⁾。以上のベンチマーク位置決定のプロセスを同一海底ベンチマークに対して繰り返し行うことにより、海底地殻変動の測定を行うことができる。

2. 観測成果

これまでの海底地殻変動観測の成果として、1) 海域で発生した地震による地殻変動の検出と 2) 定常的な地殻変動の検出の 2つが挙げられる。

2004 年 9 月 5 日に、熊野灘の最も南に設置している海底ベンチマークから約 60 ~ 70km 離れた地点で紀伊半島南東沖の地震 (M 7.1, M 7.4) が発生した。地震前後の測位結果から、南向きに 18cm という地震時の水平変動を捉えることに成功した³⁾。本観測システムを用いて海域で発生した大地震による地震時の地殻変動を捉えたのは、これが初めてであった。この観測結果を用いることにより、陸域での観測から推定された地震の断層モデルに拘束を与えることができた³⁾。2009 年 8 月 11 日に発生した駿河湾の地震 (M 6.5) についても、震央から北東に約 20km 離れた地点において地震後に観測を実施し、南西に約 1cm 以上の地震時の変位を観測したが、地震後の観測精度が悪く、この地震の断層モデルの推定といった科学的な議論に用いるのは困難であった。

熊野灘の 3 ヶ所および駿河湾の 2 ヶ所では、それぞれ三重県水産研究所、東海大学海洋研究所と共同で、2004 年頃から定常的な海底地殻変動の観測を実施している¹⁾。これまでの研究・開発により、条件が良いときには 1 cm、条件が悪くても 5 cm の精度で各エポックの測位が可能になり、3 年程度の繰り返し観測を行えば、変位速度を 1cm/yr の精度で測定できる段階に至った。最近では、プレートの収束にともなう地殻変動を検出することが可能になっている (第 1 図)。特に、熊野灘における変位速度ベクトルは、フィリピン海プレートの沈み込みにきわめて調和的である。熊野灘と駿河湾のほかにも、琉球海溝でも琉球大学、名古屋大学、台湾中央研究院、沖縄県水産海洋

研究センターが共同で2008年から海底地殻変動観測を実施している。観測海域は沖縄本島南方約100kmの海溝軸近くに位置し、従来はプレート間カップリングが小さいと考えられていた場所である。2009年までに計5回の観測を実施したところ、観測地点の海底がアムールプレートに対して約4cm/yrで北西方向に移動している、つまり、琉球海溝の海溝寄りにも固着域が存在することが明らかになった⁴⁾。

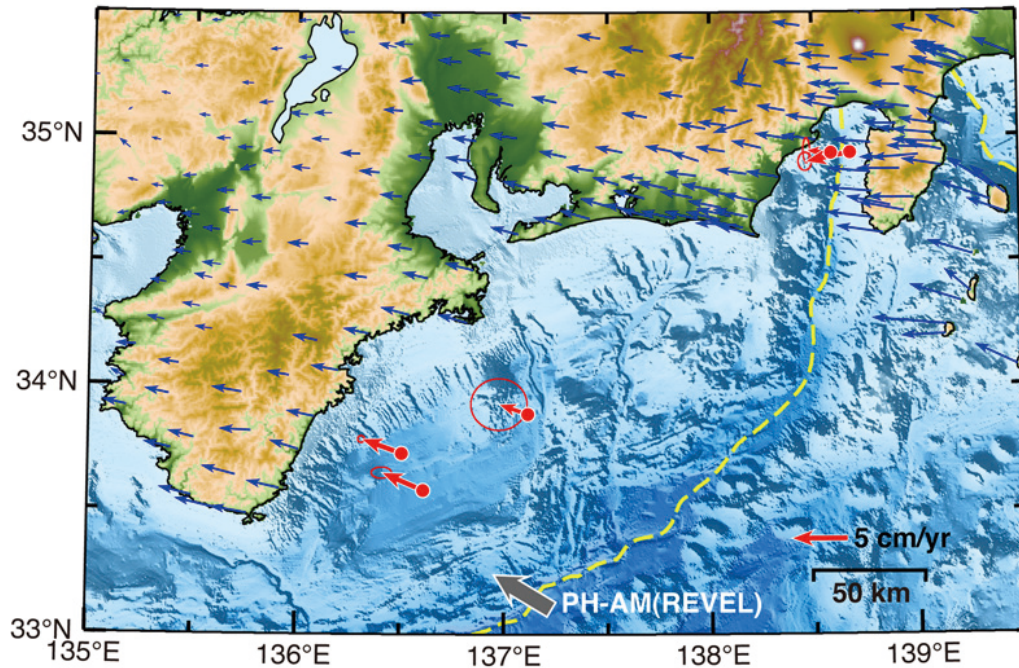
3. 今後の課題

今後の課題は、各エポックの測位精度を条件によらず1cm程度、変位速度の推定精度を1年程度の観測で1cm/yr程度に上げることである。海底ベンチマーク位置決定精度を低下させている要因のひとつは、海中音速構造の不均質性（空間変化）である。特に、黒潮のような大規模な潮流があった場合、海中音速構造に著しく大きな空間変化が生じる（第2図）⁵⁾。現在の解析では、海底ベンチマーク位置決定の際に水平成層構造を仮定しているため、海中音速構造の不均質性が大きいときには海底ベンチマーク位置決定結果に大きなバイアスが生じることが予想される。実際、海面温度分布と海底ベンチマーク位置決定結果のバイアスを比較したところ、海面における温度勾配が大きい時（このとき、少なくとも浅部では音速の不均質性が大きいと考えられる）は、海底ベンチマーク位置のバイアスも大きい傾向がある¹⁾。したがって、音響測距と同時に海中音速構造の不均質性をモニターし、その結果を解析に採り入れる必要がある。

海中音速構造の不均質性のモニタリングのため、観測船と小型ブイの両方に音響測距装置等を搭載し、同一海底ベンチマークに対して同時に音響測距する実験を行った。その結果、水平方向に500m離れた地点での海中音速構造の空間変化や、水塊の移動に伴うと考えられる時間変化が捉えられた⁵⁾。しかし、このシステムでは海中音速構造の時間変化と空間変化を正確に分離することは困難であり、少なくとも3～5台程度の複数海上局を用いた新たなシステムの開発が要求される。

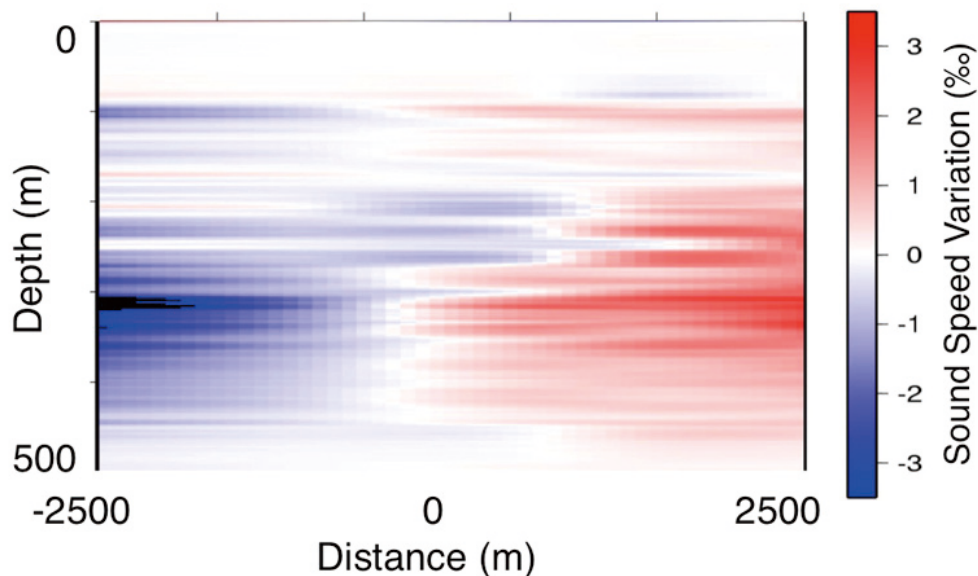
参 考 文 献

- 1) 田所敬一・杉本慎吾・武藤大介・渡部 豪・生田領野・安藤雅孝・奥田 隆・木元章典・佐柳敬造・久野正博（2008），駿河-南海トラフにおける海底地殻変動繰り返し観測，測地学会誌，54，127-139.
- 2) Ikuta, R., K. Tadokoro, M. Ando, T. Okuda, S. Sugimoto, K. Takatani, K. Yada, and G. M. Besana (2008), A new GPS-acoustic method for measuring ocean floor crustal deformation: Application to the Nankai Trough, *J. Geophys. Res.*, 113, doi:10.1029/2006JB004875.
- 3) Tadokoro, K., M. Ando, R. Ikuta, T. Okuda, G. M. Besana, S. Sugimoto, and M. Kuno (2006), Observation of Coseismic Seafloor Crustal Deformation due to M7 Class Offshore Earthquakes, *Geophys. Res. Lett.*, 33, doi:10.1029/2006GL026742.
- 4) 中村 衛・田所敬一・奥田 隆・安藤雅孝・渡部 豪・杉本慎吾・宮田皓司・松本 剛・古川雅英（2010），海底地殻変動観測で検出された中部琉球海溝軸近傍のプレート間固着域，日本地震学会秋季大会.
- 5) 矢田和幸・生田領野・安藤雅孝・奥田 隆・田所敬一・久野正博・杉本慎吾・高谷和典（2004），黒潮海域における海中音速構造の空間変化と海底位置決定精度，日本地震学会秋季大会.
- 6) 江藤周平，永井 悟，田所敬一，渡部 豪，生田領野（2011），海底地殻変動観測の高精度化に向けた海中音速構造の推定方法の検討，日本地球惑星科学連合大会.



第1図 熊野灘および駿河湾における海底地殻変動観測結果（赤矢印）。アムールプレートに対する変位速度ベクトルを示す。陸上のベクトルは国土地理院 GEONET による。

Fig. 1 Results of ocean bottom crustal deformation measurement at the Kumano-nada and Suruga bay (red arrows). Velocity vectors relative to the Amurian Plate are shown in the figure. On-land vectors (blue arrows) are obtained from the continuous data of the GPS Earth Observation Network (GEONET) operated by the Geospatial Information Authority of Japan.



第2図 2隻の観測船を用いて実施したCTD同時測定で得られた黒潮琉軸付近での海中音速構造の不均質。

Fig. 2 Heterogeneity in sound speed structure at the region of the Kuroshio main stream derived from simultaneous CTD measurements using two observational vessels.