

(1) 実施機関名：

名古屋大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

GPS / 音響方式海底地殻変動観測システムの高度化

(3) 最も関連の深い建議の項目：

3. 新たな観測技術の開発

(1) 海底における観測技術の開発と高度化

ア．海底地殻変動観測技術

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象予測のための観測研究の推進

(1) 地震・火山現象のモニタリングシステムの高度化

ウ．東海・東南海・南海地域

(5) 本課題の 5 か年の到達目標：

GPS/音響方式の海底地殻変動観測システムをモニタリングに資する実用的なものにポリッシュアップするにあたり、現状では 1) 高精度化, 2) 観測・解析の効率化, 3) 広域・多点観測の実施, 4) 連続的観測および機動観測, 5) システムの標準化および普及型システムの開発が課題となっている。これらのうち、本課題では 1) および 2) を実施する。3) については名古屋大学で実施する他の計画「駿河 - 南海トラフ周辺における多項目統合モニタリング」で実施する。

1) 高精度化

これまでの研究開発の結果、海中音速構造の時空間変化が海底局位置決定の精度に大きく影響していることが分かった。この問題を解決しなければ、海底地殻変動観測システムの高精度化は実現しない。そのため、水温水圧計による水温(音速構造)を連続的に測定し、その測定結果を取り入れた解析方法を開発する。また、複数の船上局を用いた音響トモグラフィ的手法を用いたシステムの開発に取りかかり、駿河湾や熊野灘等の実海域でデータ取得を行い、精度向上への有効性を評価する。

2) 観測・解析の効率化

これまで、GPS 解析に使用する暦として最終精密暦を用いていた。そのため、解析結果が出るまでに 1 ヶ月程度の時間を要していた。GPS 解析をより早く行うためには、約 3 時間後に出される超速報暦を用いるのが効果的であると考えられる。そこで、衛星数や時期によらずに超速報暦が常に有効であるかを評価し、解析に導入する。また、多点観測が推進された際の膨大なデータ量に対応した新たな解析アルゴリズムの開発・検討も実施する。

(6) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 21 年度においては、実海域で水温水圧計による水温(音速構造)を連続的に測定し、海中音速構造の時空間変化に対する基礎データを取得する。また、GPS の超速報暦を試験的に導入し、有効性を評価する。また、膨大なデータ量に対応した新たな解析アルゴリズムの開発を開始し、その有効性を評価する。

平成 22 年度においては、実海域で水温水圧計による水温（音速構造）の連続的測定を継続するとともに、複数の船上局を用いた音響測距システムの設計を行う。また、膨大なデータ量に対応した新たな解析アルゴリズムを開発し、過去のデータに適用する。

平成 23 年度においては、実海域で水温水圧計による水温（音速構造）の連続的測定を継続するとともに、その測定結果を取り入れた解析方法を開発し、実海域で取得した水温水圧計のデータに適用して、その有効性を評価する。また、複数の船上局を用いた音響測距システムの試験を開始する。さらに、膨大なデータ量に対応した新たな解析アルゴリズムを過去のデータに適用して再解析を実施する。

平成 24 年度においては、複数の船上局を用いた音響測距システムの試験を継続し、高精度化への有効性を評価する。

平成 25 年度においては、水温水圧計による水温の連続的測定、複数の船上局を用いた音響測距システム、GPS の超速報暦、新たな解析アルゴリズムを組み合わせ、高精度な測定を効率よく行うシステムの構築を目指す。

(7) 平成 23 年度成果の概要：

平成 23 年度は、駿河湾において 3 回の実海域実験を実施した。実施日は、10/18, 11/29-30, 12/20 である。このうち 11 月と 12 月は水温水圧計による水温（音速構造）の連続的測定を実施した。

実海域での水温水圧計による水温（音速構造）の連続的測定結果をふまえた音響トモグラフィの手法のアルゴリズム開発のため、まずは既存の手法を改良し、実データに適用して、音響トモグラフィの手法の有効性の検討試験を実施した。検討に用いた手法は、地震学において使用されている震源および 1 次元速度構造の同時決定の方法であり、使用した実データは、水深約 800m の駿河湾で取得した音響測距データである。この方法を適用する際、ある領域・時間内では共通の海中音速構造をもち、上の層よりも下の層の方が速度が速く、深部は速度構造の時空間変化が少ないとの仮定をおいた。本来この方法で決定されるのは、海底局位置と海中音速構造の両方であるが、海底局位置は時間変化をしない均質媒質を導入して決定した座標を採用した。したがって、速度構造に関する空間不均質性や短周期の時間変化が走時残差に現れることになる。まず、このアルゴリズムを駿河湾で取得した音響測距データに適用したところ、音響測距信号の走時残差分布に 2 つのピークが現れ、ピークの差は約 0.4ms であった（図 1）。これら 2 つのピークは、海中音速構造の時間や空間変化が存在したことを意味する。そこで、音響測距データを分割し、それぞれの分割データに基づいて海中音速構造を求めたところ、深さ 100～600m の層で、同一領域における約 1 時間の間の時間変化（1.2 m/s）と、同一時間帯における異なる領域での空間変化（1.5 m/s）が検出された。これらの時空間変化の値は、前述の走時残差分布のピークの差（約 0.4ms）と整合的である。以上のことから、地震学で利用されている既存の方法を改良することで、ある程度の海中音速構造の不均質性および時間変化が検出可能であることが明らかになった。

複数の船上局を用いた音響測距システムの試験については、機器の製造が遅れており、今年度中に完成し、来年度以降に実海域試験を実施する予定である。

広域・多点観測を行った場合に得られる膨大なデータ量に対応するため、音響測距信号の到達時刻を半自動で読み取るアルゴリズムを用いるとともに、過去の全データについて反射波の影響の除去、キネマティック GPS 測位結果および姿勢測定結果の異常値を削除し、各エポックの海底ベンチマーク座標を再解析した（図 2）。その際、過去の全データを用いて海底ベンチマーク形状を固定して、その重心位置の移動のみを求めるアルゴリズムを適用した。各エポックの座標値をもとに各サイトにおけるアムールプレートに対する水平変位速度を求めた。求められた変位速度ベクトルは、KMN サイトでは N75 W 方向に 39 mm/yr, KMS サイトでは N69 W 方向に 43 mm/yr, KME サイトでは N75

W 方向に 42 mm/yr であり、その誤差は 5～10 mm/yr であった。得られた変位速度ベクトルの向きと大きさは、いずれのサイトにおいても大局的にはフィリピン海プレートの収束にともなう定常的な地殻変動と一致している。

- (8) 平成 23 年度の成果に関連の深いもので、平成 23 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
- Tadokoro, K., T. Watanabe, S. Nagai, T. Okuda, R. Ikuta, S. Eto, K. Yasuda, T. Sakata, and K. Sayanagi, Monitoring of Seafloor Crustal Deformation Along the Suruga-Nankai Trough, Japan, AGU Fall Meeting, San Francisco, California, 2011.
- Ikuta, R., K. Tadokoro, T. Watanabe, S. Nagai, and T. Okuda, Surface Reflection Phase in Two Way Acoustic Signal in Oceanic Crustal Deformation Measurement, AGU Fall Meeting, San Francisco, California, 2011.
- Watanabe, T., K. Tadokoro, R. Ikuta, T. Okuda, S. Nagai, and M. Kuno, Crustal deformation at the Nankai subduction zone inferred from onshore GPS velocities and seafloor geodetic observations AGU Fall Meeting, San Francisco, California, 2011.
- Eto, S., S. Nagai, and K. Tadokoro, K. Detection of spatio-temporal change of ocean acoustic velocity for observing seafloor crustal deformation applying seismological methods, AGU Fall Meeting, San Francisco, California, 2011.
- Nagai, S., S. Eto, K. Tadokoro, and T. Watanabe, Detection of anomalies in ocean acoustic velocity structure and their effect in sea-bottom crustal deformation measurement: synthetic test and future suggestion, AGU Fall Meeting, San Francisco, California, 2011.
- 生田領野・田所敬一・奥田 隆・杉本慎吾・渡部 豪・安藤雅孝, GPS/音響結合海底地殻変動解析における海中音速の傾斜構造の導入, 地球惑星科学連合大会, 千葉, 2011 年 5 月 .
- 渡部 豪・田所敬一・生田領野・奥田 隆・永井 悟・江藤周平・久野正博, 衛星軌道暦の違いに基づく KGPS 解析の精度評価(続報), 地球惑星科学連合大会, 千葉, 2011 年 5 月 .
- 藤井昌和・田所敬一・生田領野・永井 悟・渡部 豪・江藤周平, 海底地殻変動観測における音響測距の高精度化に向けて- 海面での反射波を含む音響信号波形に関する数値実験-, 地球惑星科学連合大会, 千葉, 2011 年 5 月 .
- 永井 悟・田所敬一・江藤周平・生田領野・渡部 豪, 海底地殻変動観測システムの高精度化に向けた音響測距データからの海中音波速度構造情報の抽出, 地球惑星科学連合大会, 千葉, 2011 年 5 月 .
- 江藤周平・永井 悟・田所敬一・渡部 豪・生田領野, 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, 地球惑星科学連合大会, 千葉, 2011 年 5 月 .
- 田所敬一・生田領野・渡部 豪・永井 悟・奥田 隆, 東南海地震の想定震源域における海底地殻変動モニタリング, 日本地震学会秋季大会, 静岡, 2010 年 10 月 .
- 渡部 豪・田所敬一・生田領野・永井 悟・奥田 隆・久野正博, 陸域 GPS 観測網と海底地殻変動観測より推定される南海トラフのすべり欠損速度, 日本地震学会秋季大会, 静岡, 2010 年 10 月 .
- 江藤周平・永井 悟・田所敬一, 地震学的手法を用いた海底地殻変動観測のための海中音速構造の時空間変化の検出, 日本地震学会秋季大会, 静岡, 2010 年 10 月 .
- 永井 悟・江藤周平・坂田 剛・田所敬一・渡部 豪・安田健二・生田領野, 海底地殻変動観測の精度向上に向けた音響測距データ解析, 日本地震学会秋季大会, 静岡, 2010 年 10 月 .

(9) 平成 24 年度実施計画の概要 :

平成 23 年度に実施できなかった複数の船上局を用いた音響測距システムの試験を実施し, 音響トモグラフィの観測手法のために最適な観測デザインと, その高精度化への有効性を評価する. この試験は駿河湾において最大 3 回程度実施する予定である .

また, 現在の解析では, 海中音速構造を均質としてその平均的な時間変化を海底局位置とともに求めている. しかし, 平成 23 年度の成果にあるように, 実際には空間変化が存在する. そこで, 最も単純な海中音速の空間変化として傾斜構造を導入し, この傾斜構造(傾斜の方向と度合い)と海底局位置を同時に求めるアルゴリズムを開発し, 実データを用いてその有効性を検討する .

なお, 一部を新規課題へ移行するため, 本年度から水温水圧計による水温連続測定をとりやめる .

- (10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：
 名古屋大学環境学研究科 田所敬一，渡部 豪，杉本慎吾
 他機関との共同研究の有無：有
 静岡大学理学部 生田領野
 東海大学海洋研究所 佐柳敬造，長尾年恭
- (11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先
 部署等名：名古屋大学環境学研究科 地震火山・防災研究センター
 電話：052-789-3046
 e-mail：
 URL：
- (12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者
 氏名：田所敬一
 所属：名古屋大学環境学研究科 地震火山・防災研究センター

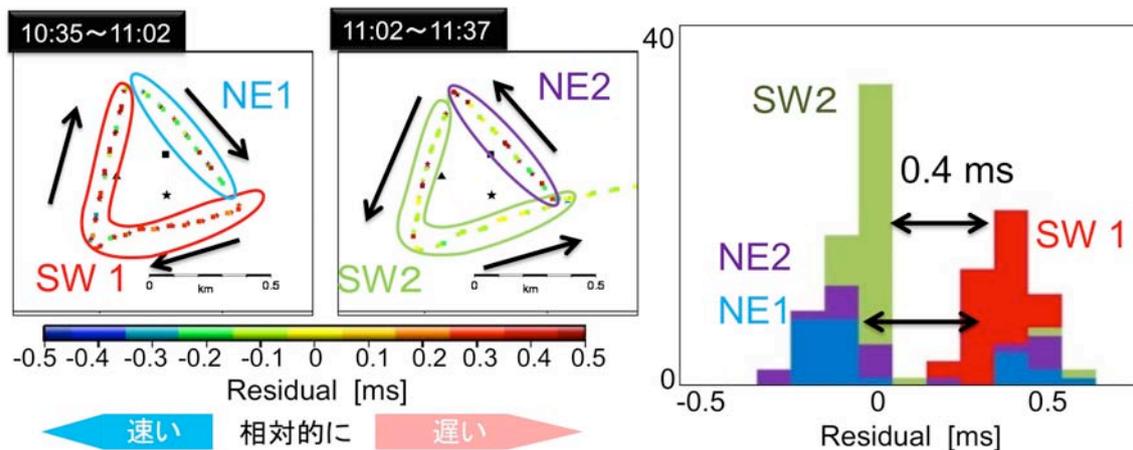
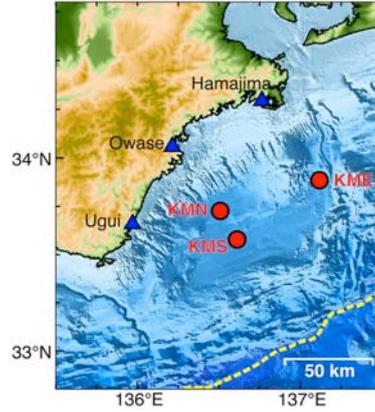
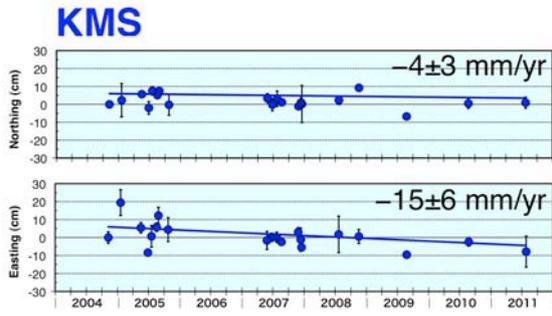
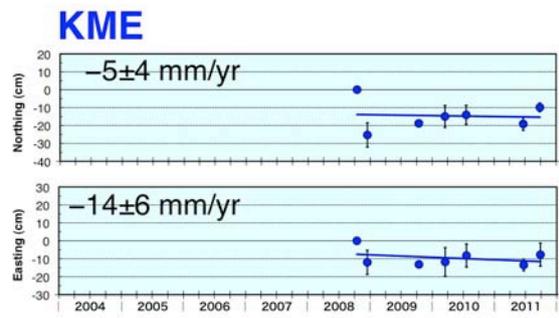
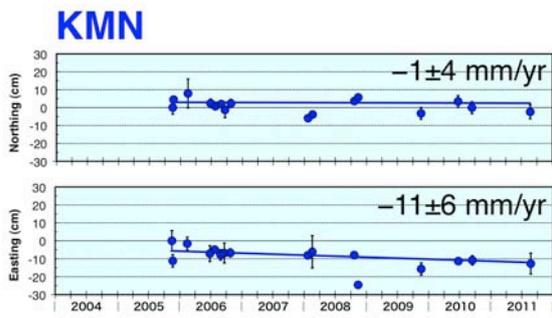


図1：海中音速構造の時空間変化を反映した走時残差分布



局地直交座標系

図 2 : 海底ベンチマーク位置の再解析結果 (熊野灘)