

(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) 連続的観測及び機動観測, 5) システムの標準化及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) 及び 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 か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 ）計画期間中（平成 21 年度～25 年度）の成果の概要：

音響トモグラフィ的手法の開発として、平成 21 年度は、海中音速構造の空間変化と海底ベンチマーク位置決定精度の関係を評価し、海中音速構造の空間変化（傾斜構造）が海底ベンチマーク座標のバイアスに影響を与えることが確認された。また、観測海域において海中音速構造に傾斜があることが確認された。平成 22 年度は、観測船と小型係留ブイを用いた船上 2 点方式によって、実データを用いて海中音速構造の傾斜を推定したが、時間変化との分離が難しいことが改めて確認された。平成 23 年度は、同じ航路上を複数回周回しながら取得したデータをもとに海中音速構造の時空間変化の検出を試み、1.5m/s の空間変化と 1.2m/s の時間変化の検出に成功した。平成 24 年度は、3 つの海上局小型ブイを用いたデータ取得を行い、小規模な水塊の移動に伴うと思われる水温の変化を捉えることに成功した。また、水温測定の結果から、約 30 分～1 時間の時間差で水温変化が伝播する様子が捉えられた。

膨大な量の全ての観測データを一度に利用する新たな解析アルゴリズムを試作し、平成 21 年度に実データに適用したところ、海底局の作る三角形の形状は変化しないとした場合に、変位速度ベクトルの推定誤差が低減することが確認された。このアルゴリズムはすでに実用化され、その後の解析に適用されている。

解析時間の短縮のため、平成 22 年度は、超速報暦が海域における 50km を越える長基線でのキネマティック GPS 解析に利用可能かを検討し、基線長 100km でも超速報暦がキネマティック GPS 解析に利用可能であることが示された。また、音響測距信号解析の時間短縮のため、平成 22 年度は数値実験を実施し、受信した音響信号に含まれる後続波が海面での反射波であること、また、反射波が 2 つ以上入ることによって正しい走時が読み取れない事態に陥ることが判明した。

平成 25 年度は、これまでのこれまで開発してきた素要素を組み合わせ、高精度な測定を効率よく行うシステムの構築を行う予定であったが、海中音速の空間変化が海底局位置決定に与える影響の問題が残っており、この件について数値実験についてさらに検討を加え、海底局位置決定精度向上の方策を確立した。まず、10m オーダー程度の非常に小さな範囲での速度異常があり、局位置が誤った位置に決定されている場合には、正負それぞれの走時残差について最大のものから順に選ぶと、ある軸に対して空間的に分かれて分布し、真の海底局位置は、分布境界軸にほぼ直交で負の走時残差が分布する方向であることが分かった（図 1）。次に 100m 以上のスケールで広がる空間変化があり、局位置が誤った位置に決定されている場合には、走時残差分布は一見複雑であるが、それでも方位角ごとに正負の走時残差が棲み分け、ある軸に対して対称な分布をするという特徴があることが明らかになった（図 2）。このとき、真の海底局位置は、対称軸上で負の走時残差が分布する方向であることが分かった。何れの場合でも、特徴的な走時残差分布が消える（分布が反転する直前）まで海底局位置をずらすことによって、正しい海底局位置が求められることが分かった。

(8) 平成 25 年度の成果に関連の深いもので、平成 25 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
 Nagai, S., K. Tadokoro, T. Watanabe, T. Sakata, and K. Yasuda, Positioning accuracy of seafloor benchmarker
 due to acoustic velocity heterogeneity via numerical simulation for development of seafloor geodesy,
 IHAS-IAPSO-IASPEI Joint Assembly, Gothenburg, Sweden, 2013.

(9) 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

(10) 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 :

(11) 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

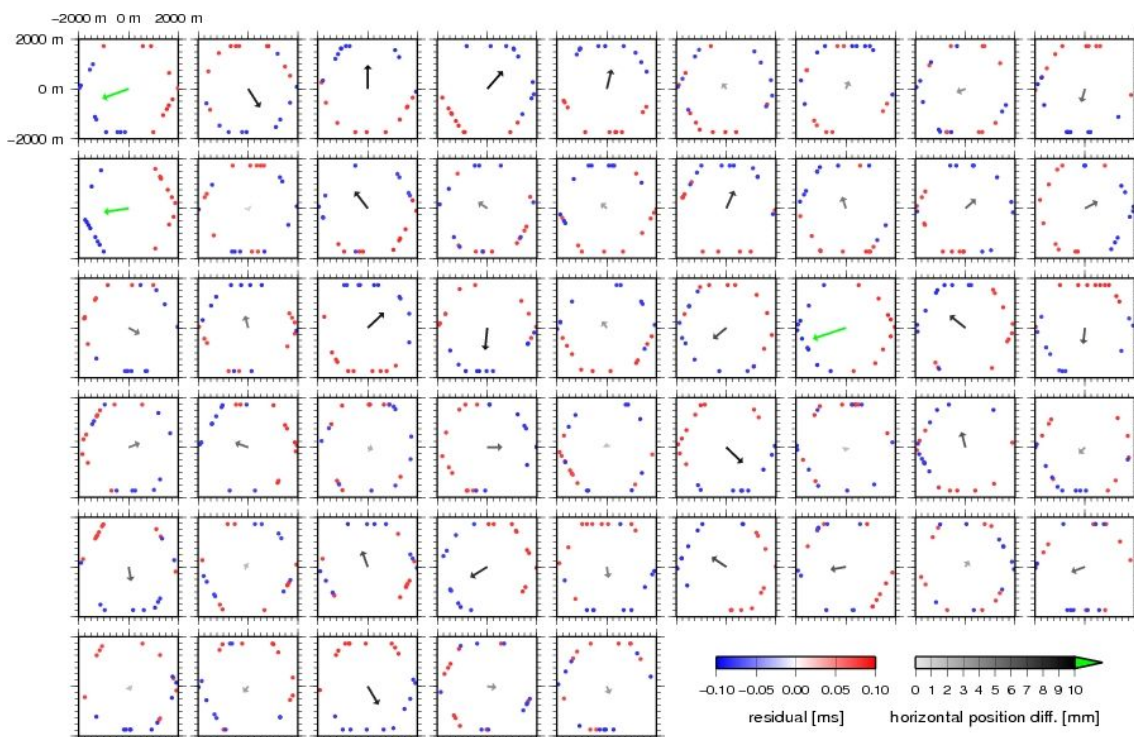


図1 大きな値をもつ走時残差の疑似観測位置(赤及び青の丸) と海底局決定位置のずれとの関係
 海底局の深さを 800m、最大値 0.08 ミリ秒の走時偏差を与えたときの各シミュレーション結果で、走時残差データは、正負それぞれで最大のものから上位 10 個を取り出して示した。矢印の大きさ及びその色と方向は決定位置から見た真の位置からのずれとその方向を示す。走時残差と矢印のカラーズケールは右下に示す。

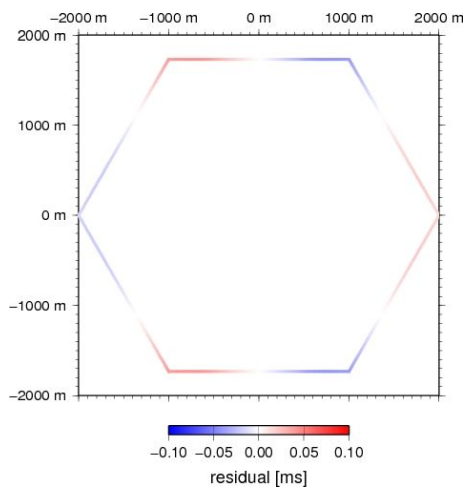


図2 中規模の海中音速の空間変化に対する数値実験における走時残差の空間分布の例

海中音速の空間変化は $X=-1000$ から 1000m の範囲に $0.025\ \%/km$ で深さ 0 から 400m に一様に与えた。海底局の真の位置は図における原点であり、深さ 800m である。推定位置は X 方向に 31.5cm ずれた位置である (深さのずれは 0.33cm)。