

## 3.3. GPS / 音響測距結合方式による海底地殻変動観測の精度向上のための技術開発

## 3.3.1. 音速構造トモグラフィ手法を用いた GPS / 音響測距結合方式による海底地殻変動観測の精度向上のための技術開発 研究報告

## (1) 業務の内容

## (a) 業務題目

「音速構造トモグラフィ手法を用いた GPS / 音響測距結合方式による海底地殻変動観測の精度向上のための技術開発」

## (b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
名古屋大学大学院・環境学研究科	教授	安藤雅孝	ando@seis.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学大学院・環境学研究科	助手	田所敬一	tad@seis.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学大学院・環境学研究科	助教授	山内常生	yamauchi@seis.nagoya-u.ac.jp
航空宇宙技術研究所	研究員	辻井利昭	tsujii@nal.go.jp

## (c) 業務の目的

想定震源域及びその境界領域におけるプレート境界の変動等に起因する地殻変動を正確に把握するためには、その原因となるすべりなどが発生している直上で観測を実施することが重要である。東南海・南海地震の想定震源域は、その大部分が海域であるため、海底における観測は必須である。

本事業では、以上の点を踏まえて、GPS / 音響測距結合方式による海底地殻変動観測のための観測システムの安定性の向上と 2~3cm の繰り返し観測精度の実現を目指して、音速構造の補正手法の高度化及び音響測距技術の高度化に重点を置いた技術開発を行う。これまでの観測から浮かび上がってきた問題の一つとして、観測中の海中での音速構造の詳細な変動を捉えることが難しいという点がある。本事業では、主として音速構造トモグラフィにより、海洋音速構造と海底位置を同時に決定する手法を採用し、精度および信頼性に優れた観測システムの構築を目指す。なお、平成 15 年度からの 3 年間は、音速構造トモグラフィにより音速構造と海底の位置を同時に決定する手法など複数の手法を用いて試験観測を行い、平成 18 年度からの 2 年間は、それまでの成果を踏まえ、適切なシステムの構築を行う。

また、本事業は、東北大学大学院理学研究科が担当する海底地殻変動観測の精度向上のための技術開発と協力して実施する。

(d) 5 カ年の年次実施計画

1) 平成 15 年度

海底地殻変動観測用の海底局・海上局等とデータ解析手法の開発を行う。熊野海盆に海底局を設置し、音速構造トモグラフィ手法を用いた GPS / 音響測距結合方式による海底地殻変動観測を実施する。また、キネマティック GPS の解析ソフトの開発も始める。

2) 平成 16 年度

海底地殻変動観測用の海底局・海上局等とデータ解析手法の開発を引き続き行う。熊野海盆での観測点を新たに設置すると共に、15 年度設置点での観測を引き続き行う。また、キネマティック GPS の解析ソフトの開発を継続する。

3) 平成 17 年度

海底地殻変動観測用の海底局・海上局等とデータ解析手法の開発を引き続き行う。また、熊野海盆に新たに海底局等を設置し、観測を行うとともに、平成 15 年度に設置した観測点での観測を継続し、中間的な精度評価を実施する。キネマティック GPS の解析ソフトを完成させる

4) 平成 18 年度

海底地殻変動観測用の海底局・海上局等とデータ解析手法の改良を行う。南海トラフ付近に海底局を設置し観測を行うとともに、前年度までに設置した観測点での観測を継続する。開発したキネマティック GPS の解析ソフトを観測に使用する。

5) 平成 19 年度

海底地殻変動観測用の海底局・海上局等とデータ解析手法の改良を引き続き行う。南海トラフ付近に新たに海底局を設置・観測するとともに、前年度までに設置した観測点での観測を継続する。5 年間の観測結果をまとめて、繰り返し観測精度 2~3cm を達成する観測手法と観測条件、およびデータ解析手法を明らかにする。

(e) 平成 15 年度業務目的

想定震源域及びその境界領域におけるプレート境界の変動等に起因する地殻変動を正確に把握するためには、その原因となるすべりなどが発生している直上で観測を実施することが重要である。東南海・南海地震の想定震源域は、その大部分が海域であるため、海底での観測を実施することが必須である。本事業では、以上の点を踏まえて、GPS / 音響測距結合方式による観測システムの安定性の向上と 2~3cm の繰り返し観測精度を目指して、音速構造の補正手法の高度化及び音響測距技術の高度化に重点を置いた技術開発を行う。これまでの観測から浮かび上がってきた問題の一つとして、観測中の海中での音速構造の詳細な変動を捉えることが難しいという点がある。本事業では、主として音響トモグラフィにより、海洋音速構造と海底位置を同時に決定する手法を採用し、精度および信頼性に優れた観測システムの構築を目指す。

## (2) 平成 15 年度の成果

### (a) 業務の要約

熊野海盆 2 カ所に計 6 台の海底局を設置し、GPS / 音響測距結合方式による海底地殻変動観測を実施した。海底局位置決定精度を目指して、音速構造トモグラフィ手法開発の基礎的データを得るため、海中音速構造の不均質性の実測を行った。この不均質性による海底局の位置決定誤差は 20 ~ 80 cm にも達することもある。また、黒潮本流のような流れの激しい海域の方がより不均質性が大きいことも明らかになった。キネマティック GPS 解析ソフトの開発に着手すると同時に、既存のキネマティック GPS ソフトの比較実験を実施した。

### (b) 業務の実施方法

本年度の業務項目は、下記の 5 項目とした。

- 1) 海底局および船上局および観測手法の高度化
- 2) 熊野灘における海底局網の構築
- 3) 音速構造トモグラフィ手法を用いた海中音速構造の不均質性の実測
- 4) キネマティック GPS 測位精度評価実験
- 5) GPS ソフトウェア / システムの比較実験とソフトウェアの開発

各項目の実施方法は以下の通りである。詳しくは次節「(c)業務の成果」で述べる。また各項目の実施期間は下記表にまとめた。

- 1) は測定機器の開発および実海域での観測手法の開発であり、室内および野外で行う。
- 2) は熊野灘 2 カ所に購入した海底局を、調査船を用いて年度末に設置する。約 1 週間程度の観測を実施するが、準備等は通年行う。観測の際には、船上局や海底局、GPS 受信機等を用いる。
- 3) は調査船 2 隻を用船し、音速構造を同時に測定し、音速構造の空間時間的変化を明らかにするもので、本観測調査は 1 週間程度であるが、基礎実験等は通年行う。本観測に当たっては、音速構造観測用の CTD 測定器等を用いて実施する。
- 4) は陸上の異なる基線長において同時観測を行うことにより移動体の位置決定精度向上を目指すものである。このための準備を含め通年実施する。実験観測にあたっては、GPS 受信機やデータ解析用キネマティック解析用ソフトを用いる。
- 5) はキネマティック GPS 解析ソフト開発を目指すものであり、かつ既存のシステムの比較検討を行うものである。解析はコンピュータを主に用いて行う。

業 務 項 目	実施期間 (平成 15 年 9 月 1 日 ~ 平成 16 年 3 月 31 日)											
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
	海底局および船上局および観測手法の高度化						←					
熊野灘における海底局網の構築						←						→
音速構造トモグラフィ手法を用いた海中音速構造						←						→
キネマティック GPS 測位精度評価実験						←						→
GPS ソフトウェア / システムの比較実験とソフトウェアの開発						←						→

(c) 業務の成果

1) 海底局および船上局および観測手法の高度化

海底局の長期設置信頼性および省電化回路を試み、船上局の測距信号送信間隔の短縮および受信信号のダイナミックレンジ向上を図り、3月の本観測に備えた。測距誤差がランダム誤差の場合、精度の向上には測定回数を増さなくてはならない。また、海水の音速の時間変化による影響をできるだけ避けるには、測定時間の短縮が望ましい。このためには、測距間隔の短縮が必要である。ただし、前の信号の残響の影響を避けるために測定間隔は 10 秒とした。現在のシステムはこれに対し、十分に対応できるように改良を行った。

現在は、測定期間中には、海底局の位置決定精度が不明なまま、観測域を離れなくてはならない。リアルタイム GPS 測位情報やリアルタイム音響測距を試み、船上で海底局位置の暫定値を求める試みに着手した。

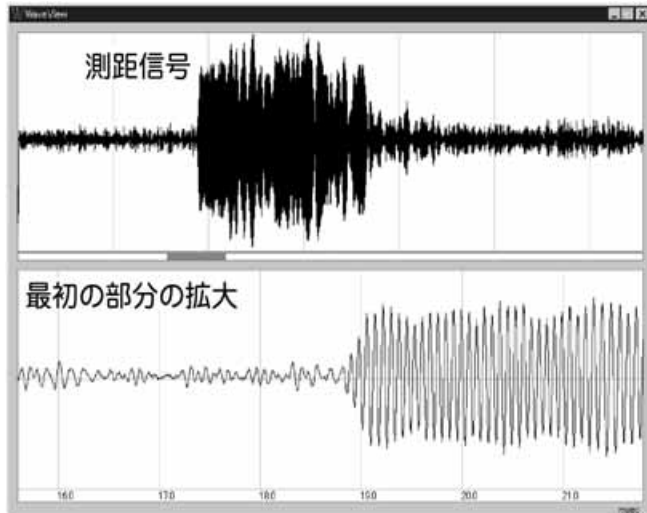


図 1 船上局で受信した海底局から送信された測距信号。  
1 目盛りが 10msec、下図 1 目盛りが 1msec を表す。

## 2) 熊野灘における海底局網の構築

2004 年 3 月 28～30 日にかけて、熊野灘の 2 カ所（図 2、表 1）に海底局を設置し、長期くり返し測定を開始した。

今回設置した海底局には、5 年間の測定が可能な量のバッテリーが収められている。また、ガラス球を海底地震観測等で広く用いられている 17 インチよりも小型の 13 インチにしたことで、船上での取り扱いが容易になった（図 3）。

GPS 基準局は鳥羽（鳥羽商船高専屋上）に設置した。また、GEONET の観測点のうち、志摩、紀伊長島、紀伊勝浦の 3 点を 1 秒サンプリングで収録し、基準局として使用している。これは国土地理院との共同研究である。

今後、長期観測用の海底局を 1 年に 2～4 回の頻度でくり返し測定し、海底局位置決定の系統誤差を評価するとともに、誤差要因を明らかにする計画である。さらに、平成 19 年度までに、熊野灘の少なくとも 6 カ所に海底局を追加し、海底局ネットワークの有効性を吟味する計画である。

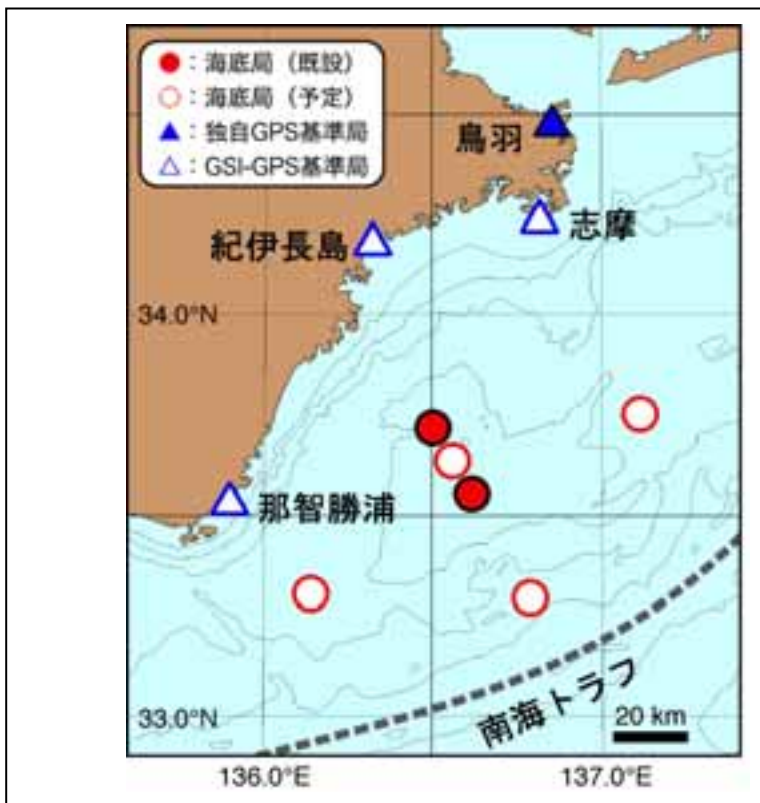


図 2 熊野灘における海底局設置地点（予定点を含む）と GPS 基準点



図 3 13 インチ耐圧球に納めた海底局の外観

表 1 熊野灘海底局設置位置

KMN	9	33 ° 44.150	136 ° 31.000	2070
	10	33 ° 43.580	136 ° 29.900	2070
	11	33 ° 43.000	136 ° 31.000	2070
KMS	12	33 ° 35.155	136 ° 36.980	2080
	13	33 ° 34.599	136 ° 35.882	2080
	14	33 ° 34.035	136 ° 36.976	2080

### 3) 音速構造トモグラフィ手法を用いた海中音速構造の不均質性の実測

音響測距で得られるデータは、船上-海底間を往復する超音波の走時である。この走時データを距離に換算するには、海中の音速構造を知る必要がある。ところが、海中音速構造は時空間的に変化するため、その変化量によっては、海底局位置決定精度に大きな影響を及ぼす可能性がある。これまでの研究で、海中音速構造の日変化は最大 8m/s、季節変化は最大 17m/s (1%以上) にも達することが明らかになっている<sup>1)</sup>。しかしながら、これらは全く同じ地点で測定した結果に基づくわけではないため、空間変化も含まれているものと思われる。

海中音速構造の空間変化(不均質性)の大きさを定量的に把握するため、熊野灘において2隻の船を用いて同時にCTD(Conductivity-Temperature-Depth)測定を行なった。この方法では、異なる地点で同時に測定しているため、時間変化が含まれない空間変化のみを実測することができる。図4に2隻の配置と間隔を模式的に示す。潮流と海中音速構造の不均質性との関係を把握するために、潮流に対して平行および直交な方向に2隻を配置して測定を行なった。CTDプロファイラはSea Bird社のSBE-19、SBE-25、およびSBE-911plusを使用した。音速への換算にはDelGrossoの式<sup>2)</sup>を用いた。なお、本測定は三重県科学技術振興センターとの共同研究として実施した。

比較のために他の実験で行なった測定結果<sup>3)</sup>をここに示す(図5)。測定地点は黒潮反流(黒潮本流から分岐した西向きの流れ)上の北緯33度40分、東経136度30分付近である。

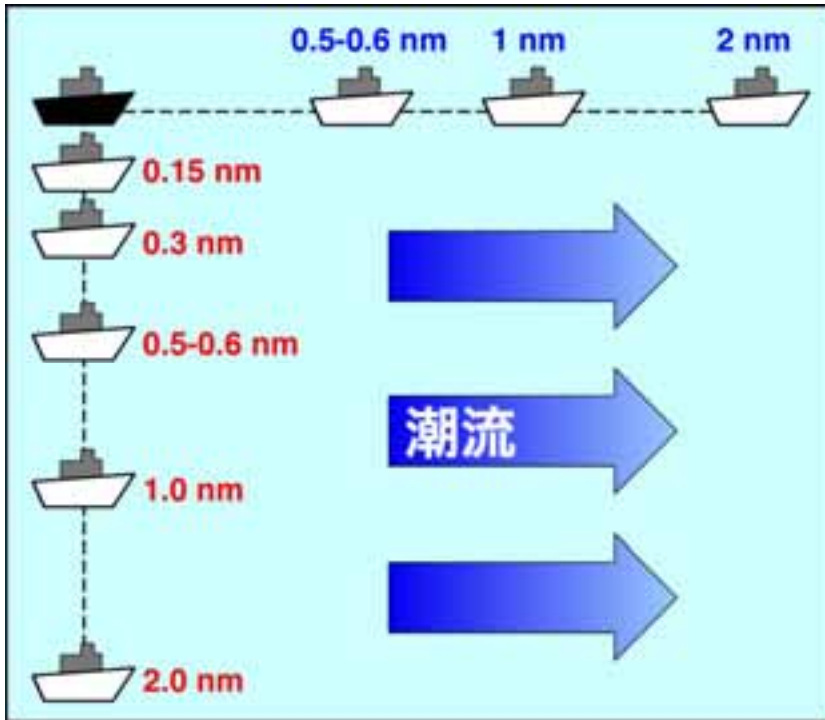


図 4 CTD 同時測定の際の 2 隻の配置。nm は海里 (1 海里は 1852m)。

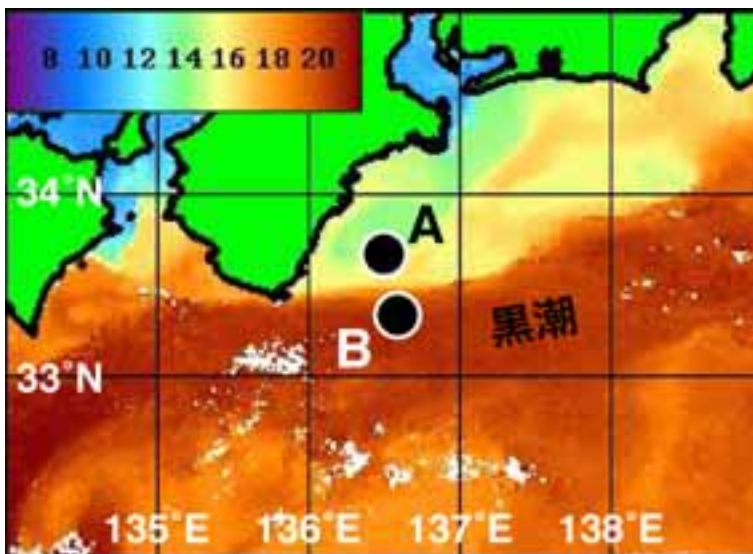


図 5 CTD 同時測定の実施海域。A, 2003 年 7 月 16 ~ 17 日 ; B, 2004 年 3 月 29 日。カラーバーは海面水温 (単位  $^{\circ}\text{C}$ ) を示す。三重県科学技術振興センターHP 掲載の NOAA 海面水温画像 (2004 年 3 月 28 日受信) に加筆。

図 6 に 2 点で測定した海中音速の差を示す。どの距離でも、潮流に直交する方向の方が平行な方向よりも不均質性は大きい。潮流に平行・直交ともに、深さ 600 m より深い部分ではほとんど均質であるが、600 m より浅い部分では不均質性が顕著である。一般に、水深約 500 m 以浅では音速の時空間変化が大きいことが知られているが、わずか 2 マイル (3700 m) の範囲内での空間変化が実測できたことは、音響測距の誤差を議論す



る上で大きな成果である。また、2点間の距離が短いほど、不均質性は小さいことが分かった。距離 0.15 マイル (約 280 m) では、音速の差は最大 1 m/s 程度であるが、距離が 2 マイルになると、差は最大 7 m/s にもおよぶ。ここで得られた不均質性を考慮してレイトレーシングを行なったところ、海底局の位置決定誤差は 20~80 cm になることが分かった。我々は、2 マイル程度の範囲内で音響測距を行うため、この測定で明らかになった海中音速構造の不均質性は無視できない。

本業務では、予備実験の結果を踏まえ、より不均質性が大きいと考えられる黒潮本流直上 (北緯 33 度 20 分、東経 136 度 35 分付近; 図 5) で、2004 年 3 月 29 日に同じ測定を行なった。測定海域が黒潮本流直上であることは、人工衛星 NOAA のデータおよび現地での海面水温と流向・流速の測定結果から判断した。2003 年の測定で、600 m より浅い部分で不均質性が顕著であることが明らかになっているので、今回は CTD 測定を約 600 m まで実施した。結果を図 7 に示す。黒潮反流上での結果と比較すると、黒潮本流上の方が不均質性が大きい。また、潮流に直交する方向の方が不均質性が大きいという傾向は反流上と同じであるが、その傾向は黒潮本流上の方がより顕著である。

以上の実測結果を考慮すると、音響測距部分の精度向上には、1) 各測線毎など頻繁に CTD 測定を行う、2) CTD 測定で得られた音速構造を拘束条件にして時空間的補正を行う、3) 3 つの海底局との測距を利用して、浅部の不均質性をキャンセルするといった工夫が必要であろう。

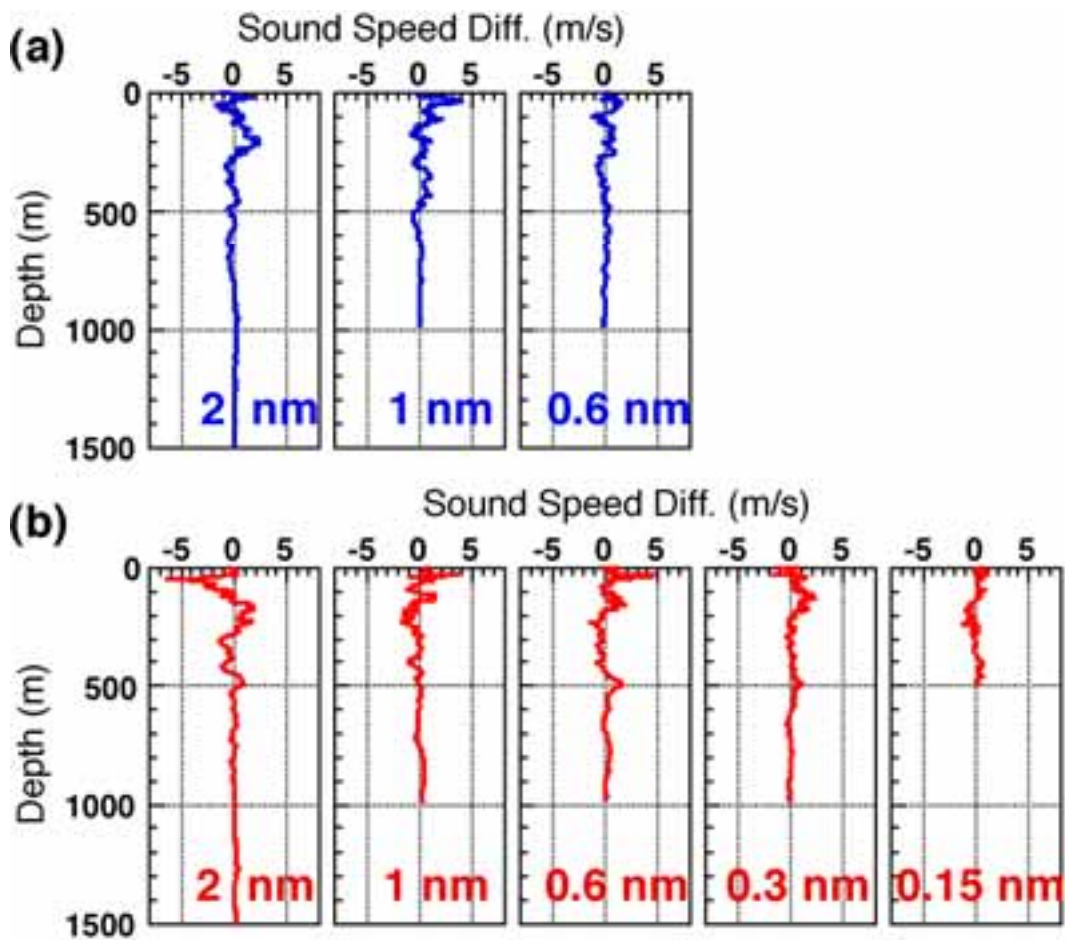


図 6 2003 年 7 月 16 ~ 17 日に実測した 2 点間の音速の差。(a)潮流に平行、(b)直交。

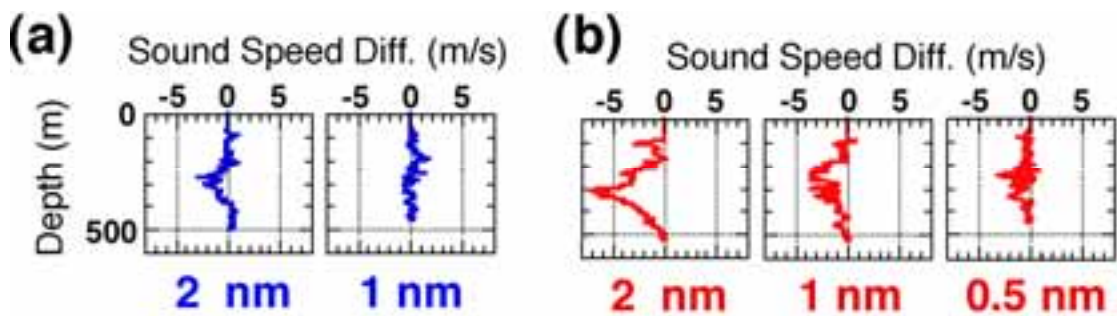


図 7 2004 年 3 月 29 日に実測した 2 点間の音速の差。(a)潮流に平行、(b)直交。

#### 4) キネマティック GPS 測位精度評価実験

キネマティック GPS とは、GPS 衛星から送られてくる搬送波の位相を連続的に追尾して、数 cm 程度の精度で相対測位を行う方式であり、陸上の基準局に対する移動局の位置を決定する。これまでの名古屋大学などの成果<sup>5, 6)</sup>から、キネマティック GPS は、

- a) 基線長が長くなると系統誤差が増大する
- b) 衛星配置により精度が大きく影響される
- c) 海上では位置の再現性が困難であり精度検証に問題がある
- d) 長期間での繰り返し精度（年周変動等）

などの問題があることが明らかになっている。

キネマティック GPS 測位は、通常 10 km 程度以内の短い基線長でのみ測位精度の保証がなされている。キネマティック解析用のソフトウェアである Geodetics 社の RTD (Real-Time Dynamics) でも、精度が保証されている基線長は、せいぜい 50 km までである<sup>4)</sup>。ところが、南海トラフの中軸近くで GPS / 音響結合方式による海底地殻変動観測を行うためには、50-100 km を超える基線での測位が必要となる。これまでの研究<sup>5, 6)</sup>では、基線長が長くなるにつれて、測位のランダム誤差（決定された位置の周りのばらつき）は直線的に、系統誤差（真の位置からのずれ）は 2 次関数的にそれぞれ増加することが明らかになっている。なお、ランダム誤差は 1 回の観測時に、系統誤差はくり返し観測時にそれぞれ問題になる誤差であり、両方の定量的評価が必要である。

キネマティック GPS 測位が海底局位置決定精度にどれだけ寄与しているかを評価するために、基線長別のキネマティック GPS 測位精度評価実験を行なった。実験期間は、2004 年 3 月 11 日から 24 日までである。名古屋大学屋上に写真 1 に示すような全長 15 m のスライダーを設置し、その上でアンテナを往復運動させた（移動局）。この移動局での動きをスライダー近傍に設置した基準局でモニタし、移動しているアンテナの「真の位置」を割り出す。その真の位置に対して、各基準点を用いた場合のアンテナ位置のずれを測位精度（誤差）と定義することとした。

全基準局、移動局とも Thales Navigation (Ashtech) 社の受信機 (Z-surveyor、Micro Z-CGRS、iCGRS) を使用し、原子時計 (ルビジウム発振器) を取り付けた。アンテナにはチョークリング付きのものを使用した。



写真 1 移動局の名古屋大学屋上に設置したスライダと GPS アンテナ

過去の研究<sup>5,6)</sup>では、水平方向の測位精度のみを議論していた。しかし、海底地殻変動観測を行う際には上下位置も精度良く決定する必要があるため、スライダを傾けて約 1.5 m の高度差を設け（写真 1 参照）、上下方向の移動も行えるように工夫した。

基準局の配置と移動局からの基線長を図 8 に示す。

本実験では、下記の事柄に注目してキネマティック GPS の測位精度を評価する：

- a) 基線長別の水平方向の測位精度
- b) 基線長別の上下方向の測位精度
- c) 衛星配置と測位精度との関係
- d) 静止時 / 移動時の測位精度の違い
- e) 移動速度と測位精度との関係

さらに、季節による測位精度の違いを把握するため、2004 年 7～8 月にも同様の実験を行う予定である。

本実験は、立命館大学理工学部および京都大学防災研究所地震予知研究センターとの共同研究であり、大阪大学理学研究科、大山田西小学校、市原小学校の協力を得て実施した。

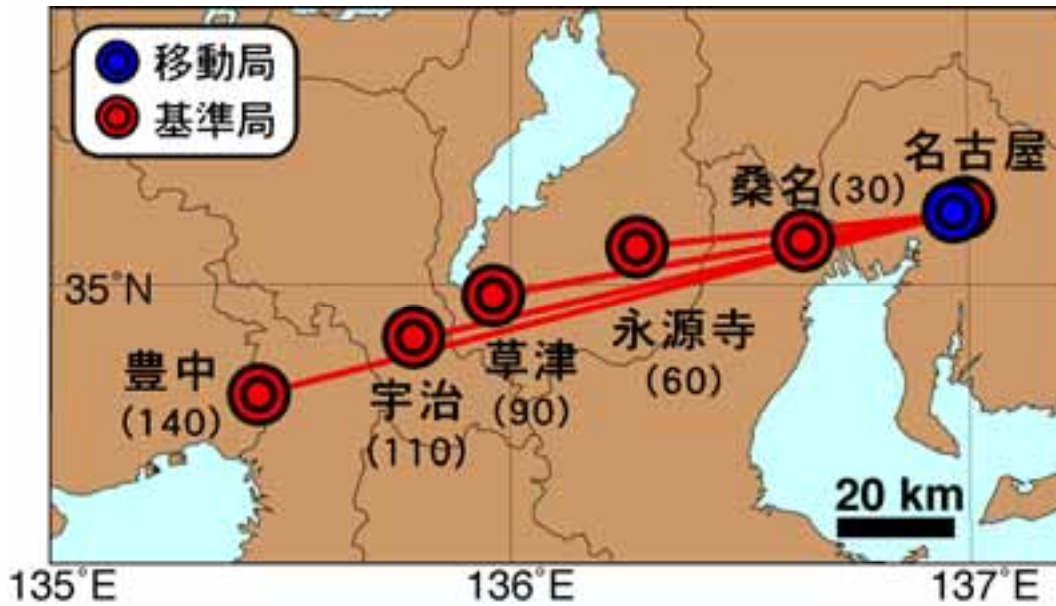


図 8 キネマティック GPS 測位精度実験における移動局と基準局の配置。括弧内の数値は移動局からの基線長（単位 km）。

#### 5) GPS ソフトウェア / システムの比較実験とソフトウェアの開発

海底地殻変動観測の精度向上のためには、常に移動している船上のトランスデューサーの位置を正確に決定することがひとつのポイントである。手法としてはキネマティック GPS 測位を用いる。

平成 15 年度は上記の課題を検証するためいくつかの実験を行った。ここでは 2 種類の異なる解析ソフトウェア / システムを用いて、鳥羽港に停泊している船舶の楕円体高と気象庁による鳥羽の潮位データとの整合性を比較した実験の結果を報告する。

まず、本実験で用いた解析ソフトウェア / システムの特徴を簡単に挙げておく：

##### a) RTD : Real Time Dynamics ( 図 9 )

二周波数を利用して電離層遅延誤差の補正を行う、搬送波位相による干渉測位を行う、高速な出力レートに対してもエポックごとに位相アンビギュリティが得られ、独立した解を求めることができる、などが特徴である。また、今回は後処理で解析を行ったが、補正情報を送信することによってリアルタイムでの位置決定も可能である。

##### b) StarFire System ( 図 10 )

Real-Time GIPSY の技術を用いたディファレンシャル GPS の一種である。ほぼリアルタイムの衛星軌道誤差の補正、数秒ごとの衛星時計の補正、二周波数による電離層遅延誤差の補正モデルによる対流圏遅延誤差の補正を行う。これらの補正データは、基準局ネットワークからインマルサット衛星により送信されるので、距離依存性がほとんどないため、陸上でも海上でもほぼ等しい精度が得られるものである。

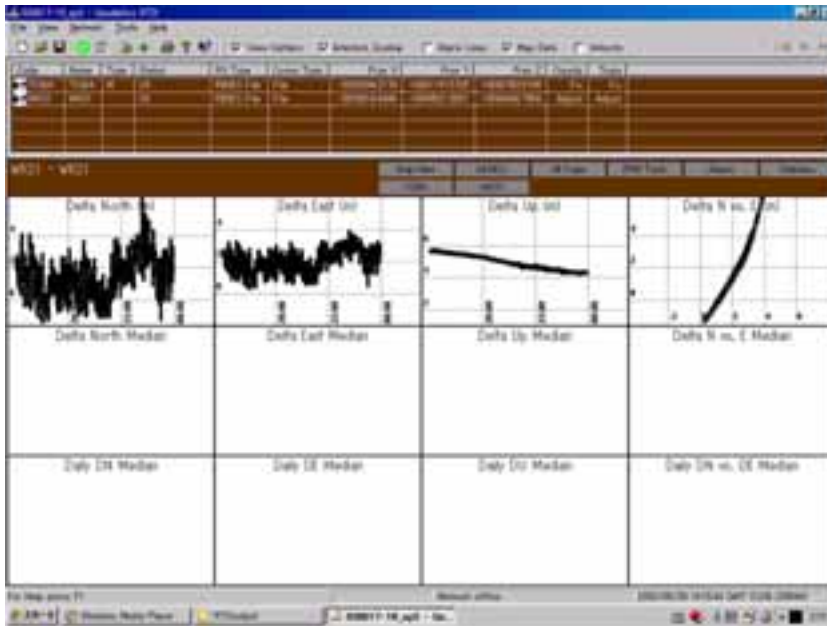


図 9 キネマティック GPS ソフトウェア RTD の解析結果の表示  
左より南北、東西、上下、および水平の軌跡を示す。ただし表示は地球の中心に原点を置いた直角座標の位置を示す。

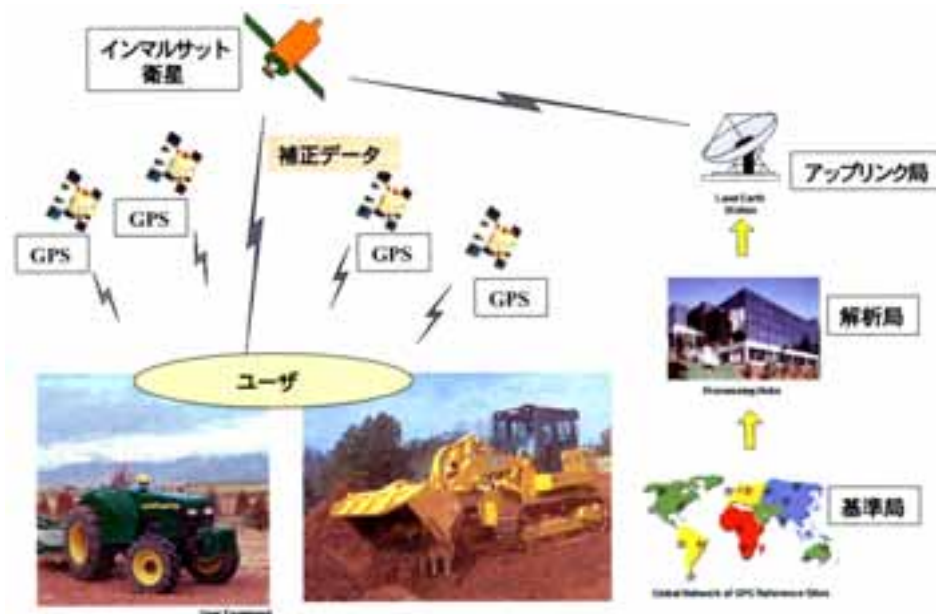


図 10 StarFire の概要。測位衛星技術（株）資料より。

鳥羽港に停泊中の若潮丸（写真 2）に、レーダーや標識灯の影響を受けないように船の一番高い位置にチョークリング付きアンテナを設置した（写真 2）。陸上基準局として鳥羽商船高専の屋上に、やはりチョークリング付きのアンテナを設置した（基線長 4km）。いずれの受信機にも外部時計として 10 MHz のルビジウム発振器を取り付けた。サンプリング間隔は 1 秒とした。

解析結果は図 11 のとおりである。横軸は時刻（UTC）を、縦軸は潮位 / 楕円体高を示

す。RTD による解析結果の方が潮位の変化をよく再現していることがわかる。潮位との差が目立つところは、衛星配置が悪い、あるいは衛星補足数が 5 以下になった時間帯である。なお、潮位のデータは、気象庁による鳥羽での検潮記録を用いた。上記の比較からは、衛星補正を用いた単独測位法より、キネマティック GPS 手法を用いた方が精度が高いことが判明した。

本実験では、上下変動のみ位置決定精度を比較したが、水平位置は、GPS と異なる手法では追跡出来ないため、水平の位置の評価は行わなかった。一般的には水平方向の誤差は、上下変動より小さいものと思われるので、安全サイドに判断して、同程度の誤差があったと思われる。



写真 2 (左) 若潮丸全景、(右) 船のトップに取り付けた GPS アンテナ

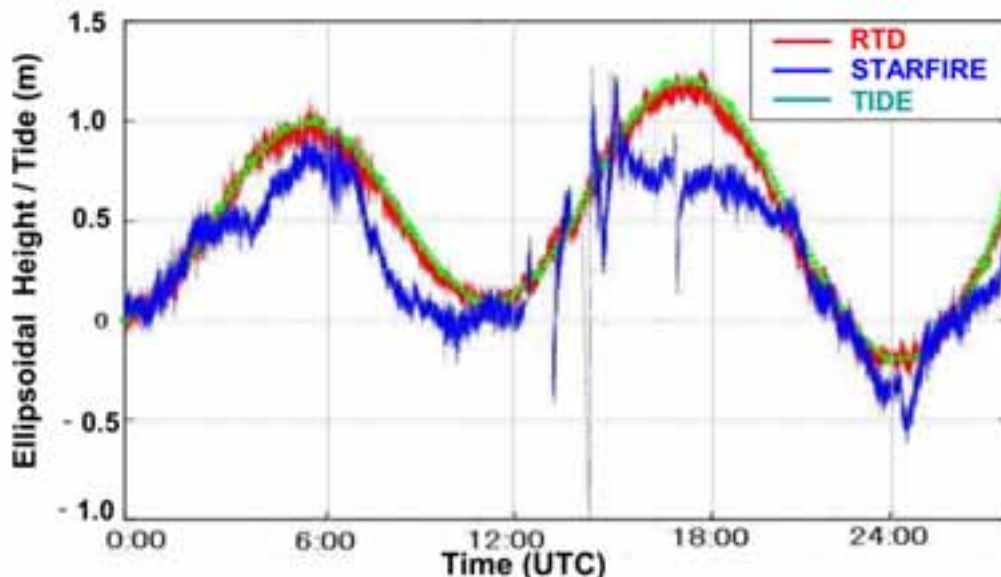


図 11 RTD と StarFire の比較結果  
鳥羽港に停泊中の船上での観測結果。  
RTD は気象庁の鳥羽検潮記録とほぼ一致する。

(d) 結論ならびに今後の課題

平成 15 年度は下記の研究項目を実施した：

- 1) 海底局および船上局および観測手法の高度化
- 2) 熊野灘における海底局網の構築
- 3) 音速構造トモグラフィ手法を用いた海中音速構造の不均質性の実測
- 4) キネマティック GPS 測位精度評価実験
- 5) GPS ソフトウェア / システムの比較実験とソフトウェアの開発

このうち 3) では、海中音速構造はわずか 2 マイルの範囲内でも、最大 7 m/s もの差があることが実測された。この不均質性による海底局の位置決定誤差は 20 ~ 80 cm にも達することもある。また、黒潮本流のような流れの激しい海域の方がより不均質性が大きいことも明らかになった。海域での地殻変動モニタリングを実現するには、海中音速構造の不均質性をいかに取り除く（あるいは補正する）かが重要な課題である。

4) について、RTD を使用した後処理キネマティック測位は、衛星補正情報を用いた単独測位システムをよりも、海底地殻変動観測の目的にはより適合していると結論された。

3) および 4) については、年度末の実施であったため、平成 16 年度初頭に解析結果をとりまとめる予定である。また、5) に含まれる、キネマティック GPS ソフトウェアの開発については、その緒に就いたばかりであり、現在は公表できるまでの成果は得られていない。

(e) 引用文献

- 1) 田所敬一・三宅 学・安藤雅孝・奥田 隆・佐藤一敏，海底地殻変動観測の誤差評価：海底局位置決定誤差に対する海中音速構造の影響，地球惑星科学合同大会講演予稿集，D031-P015，2002.
- 2) DelGrosso, V. A., New equation for the speed of sound in natural waters (with comparisons to other equations), J. Acoust. Soc. Am., 56, 1,084-1,091, 1974.
- 3) 矢田和幸・奥田 隆・田所敬一・杉本慎吾・高谷和典・安藤雅孝・久野正博，海水音速構造の不均質性と海底位置決定精度について，日本地震学会講演予稿集，C090，2003.
- 4) Bock, Y., Instantaneous geodetic positioning at medium distances with the Global Positioning System, J. Geophys. Res., 105, 28,223-28,253, 2000.
- 5) 佐藤一敏ほか，海底地殻変動モニタリングシステム開発に向けた kinematic GPS の位置決定精度評価：(1) 基線長別精度評価，地球惑星科学合同大会講演予稿集，Dm-002，2001.
- 6) 田所敬一・安藤雅孝・佐藤一敏・山田卓司・奥田 隆・片尾 浩・岸本清行，音響測距-GPS リンクによる海底地殻変動観測システムの開発，地学雑誌，110，355-361，2001.
- 7) Bisnath, S., D. Wells, and D. Dodd, Evaluation of Commercial Carrier-Phase-Based WADGPS Services for Marine Applications, Proc. ION GPS/GNSS 2003, 17-27, 2003



(f) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
K. Tadokoro M. Ando, T. Okuda, S. Sugimoto, K. Yada, K. Takatani	Observation of Sea-floor Deformation at Tokai-Nankai Region, Japan	International Symposium on Slow Slip Events at Plate Subduction Zones, Nagoya	平成 16 年 3 月 16 日
S. Sugimoto, M. Ando, K. Tadokoro, T. Okuda, K. Takatani, K. Yada	Repeated Observation of Sea-floor Crustal Deformation at Suruga Trough in 2002	International Symposium on Slow Slip Events at Plate Subduction Zones, Nagoya	平成 16 年 3 月 16 日

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

無し。

2) ソフトウェア開発

無し。

3) 仕様・標準等の策定

無し。

### (3) 平成 16 年度業務計画案

#### (a) 海底局の設置

熊野灘の 1 カ所に海底局を設置する。平成 15 年度に設置した海底局の近傍に設置するため、くり返し測定の結果を比較することにより、海底局位置決定の系統誤差のばらつきが把握できる。このデータは、今後の系統誤差低減に役立つ基礎的なデータとなる。また、海底局をネットワーク、あるいはアレイとして使用することにより、位置決定精度の向上や海中音速構造の不均質性の補正（またはキャンセル）に有効かを吟味する

#### (b) 既設海底局のくり返し測定

平成 15 年度に熊野灘の 2 カ所に設置した海底局の測定を 7 月と 9 月の 2 回行う。得られたデータをもとに、くり返し測定時の海底局位置決定の系統誤差を評価するとともに、誤差要因を明らかにする。

#### (c) GPS 精度評価実験

平成 15 年度と同じ実験を 7~8 月にも実施し、季節によるキネマティック GPS 測位精度の違いを評価する。平成 15 年度の結果と併せて、キネマティック GPS 測位精度が良好になる条件を追求する。

これとは別に、複数の基準局を用いることによって船の測位精度が向上すると期待されるが、実際にどの程度向上するかを定量的に吟味する。

#### (d) 海底音速構造不均質性の補正法確立

海底音速構造の不均質性を補正する方法を確立し、海底局位置決定精度を向上させる

#### (e) キネマティック GPS ソフトウェアの開発

海底地殻変動観測に最適な解析ソフトの開発。長距離基線における中継地点の設置などを考慮した、ユーザーフレンドリーなリアルタイム解析用のソフト開発を目指す