

琉球海溝付近における海底地殻変動観測

○奥田隆 A) 中村衛 B) 名大海底地殻変動観測グループ C)

- A) 教育・研究技術支援室 計測制御系
- B) 琉球大学理学部物質地球科学科
- C) 環境学研究科地震火山・防災研究センター

1 はじめに

名古屋大学海底地殻変動観測グループでは、駿河湾と熊野灘において海底地殻変動の機器開発・研究観測を行ってきた。これらの経験を生かし 2007 年度から琉球大学と共同で中部琉球海溝付近での観測を開始した。陸上 GPS 観測網の速度場から見ると、もし沖縄本島付近の琉球海溝にカップリング領域があるとすると、それは海溝軸付近に存在することが予想される。しかしそこは陸から約 100km 離れており、陸上 GPS で海溝付近のカップリングの有無を判断することは不可能である。これを検証するため、GPS/音響測距の結合方式による海底地殻変動観測をおこなうこととした。琉球海溝付近では、フィリピン海プレートが約 9cm/yr で北東方向に沈み込んでいる。一方、沖縄本島側は沖縄トラフの拡張により約 2cm/yr で南南東方向に移動している。2つのプレートの相対速度は約 10cm/yr になるため、センチメートルオーダーの測位ができれば、1年程度の観測でプレート間カップリングの有無が検出できることが予想できる。

2 観測の概要

海底地殻変動観測は図 1.のように、海底に設置した海底ベンチマークと呼ぶ基準局へ船に取り付けた音響トランスデューサから信号を送信し往復時間を計測する。そのときの船の位置は陸上に設置した GPS 観測点を基準とするキネマティック GPS で決定する。同時に、時間から距離を求めるため CTD プロファイラーで水温・圧力・塩分濃度を計測する。GPS/音響測距の結合方式と呼ぶこれらのシステムにより海底ベンチマークの位置を求めることを行う。観測地域は沖縄本島南東沖およそ 100km の中部琉球海溝陸側付近で、水深はおおよそ 3000m である。海底に音響基準局 3 台を 1 辺約 2km の正三角形に配置し、自由落下方式で設置した。設置および観測は沖縄県水産研究センターの協力を得て、漁業調査船「図南丸」(総トン数 176 トン)を使用した。

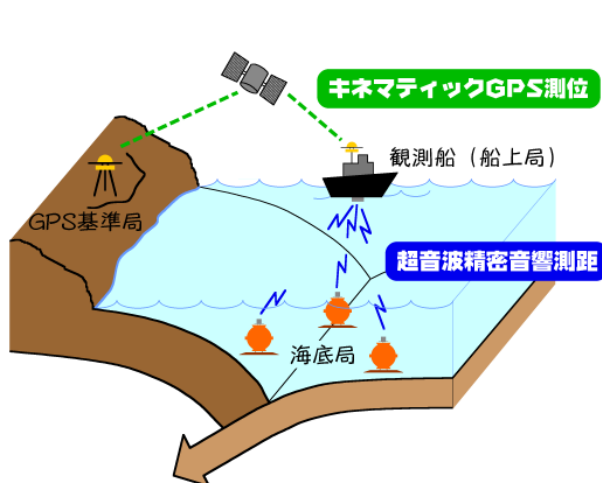


図 1.海底地殻変動観測の概念

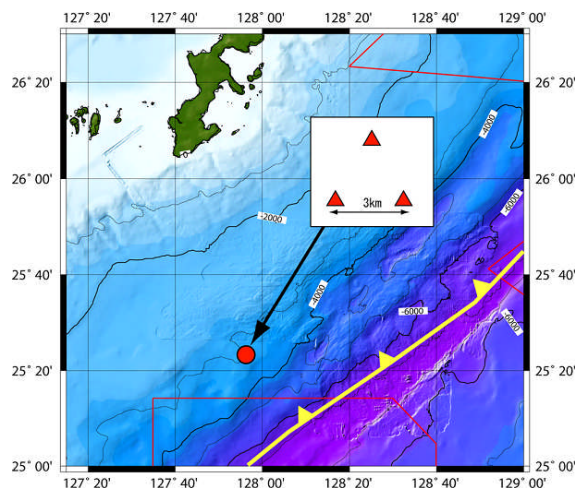


図 2. 海底基準局設置地点

3 観測船への艤装

観測のため事前作業として、調査船へ音響トランスデューサー、GPS アンテナ、揺動測定装置（サテライトコンパス）を取り付けなければならない。それらの作業準備のためにまず、機能に応じた設置箇所を選定する必要がある。音響トランスデューサーは測距用音波の送受信の装置であるので、プロペラから発生する気泡、エンジン音、船体の振動の影響をなるべく受けにくい場所、GPS アンテナは一般的に障害物の多い船上で受信状態をよくするためなるべく高い地点へ、当然レーダーや高圧線付近は避ける必要がある。船体の揺動測定装置であるサテライトコンパスも GPS を利用するので高所へと、それぞれの観測条件を満足する箇所への設置を可能な限り追求することをもとめた。船体側へも最低限の溶接作業や機械加工が必要になるが、構造上避けなければならない箇所、通常作業の邪魔にならない箇所の選定等、様々な制約がある。また観測スケジュールとしては年2回、準備期間を含めて10日間程度である。測定機器は観測が終了すれば取り外すが、観測の継続の都合上船体に残置する機材は防錆や劣化も考慮しなければいけない。

いくつかの条件をクリアしながら作業を進め、船体への溶接作業および機械加工は、囹南丸の停泊地である沖縄県糸満市にある造船所に依頼した。それ以外の全ての艤装部品は名古屋で製作し沖縄へ輸送した。観測機材、製作機器が設置され観測直前の状態が図3、図4である。

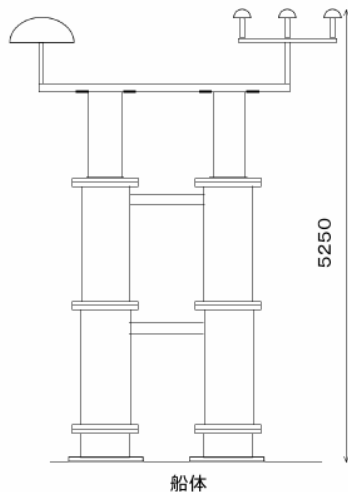


図3. GPS チョークリングアンテナとサテライトコンパス

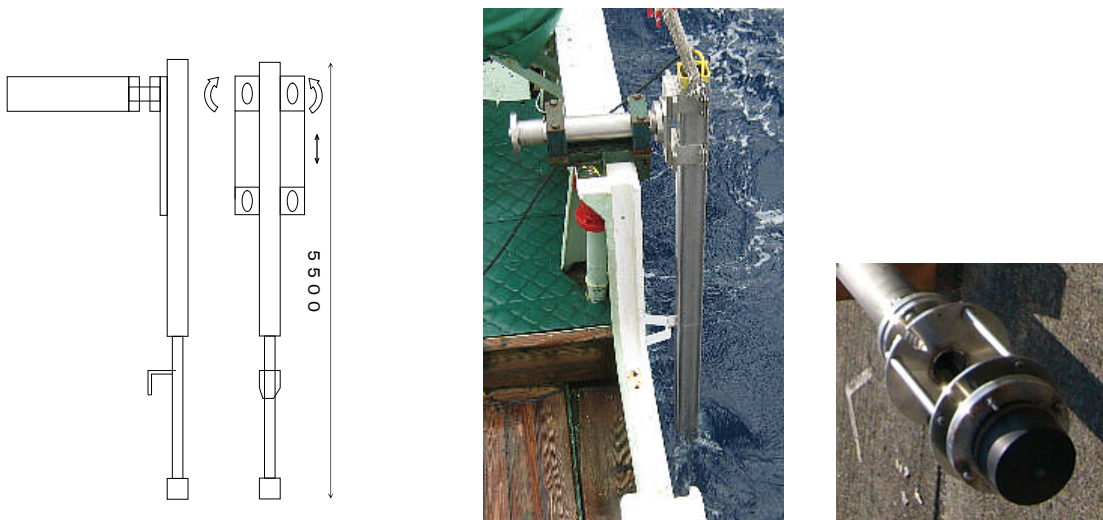


図4. トランスデューサ取り付けロッドとトランスデューサ

4 観測

第一回目の観測は、2008年1月15日から17日にかけて3日間行った。手順は観測海域に到着後、直ちに海底基準局を特別に姿勢をコントロールすることなく、自由落下で投入する。音響信号の反応を見ながら着底したことを確認した後次の投入点へ移動し、同じ作業を繰り返す。沖縄とはいえ真冬の海であるので、強風下、波・うねりとも相当あったがトラブルもなく投入作業を終えることが出来、3つの海底局を設置完了後に通常の観測を開始した。

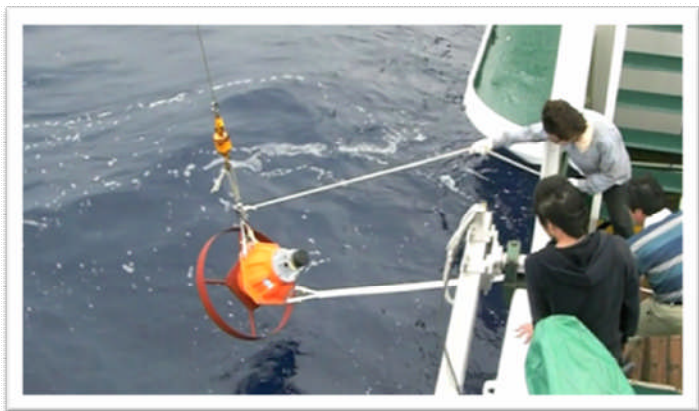


図 5. 海底局の投入作業

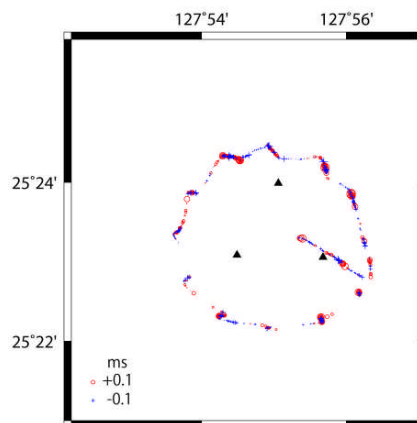


図 6. 第1回目の観測船航跡図

観測船は2～3ノット程度の極めて遅い速力で、プロペラとエンジンからのノイズを極力出さないようにして海底局を囲むコースをとって航行し、距離によって10秒から12秒の間隔でGPS時計によって制御された音響信号を発射する。海底局は入力信号を正確に1秒間保持したのち、同じ波形の応答信号を返すので船上でその信号を収録して往復走時から距離を求める。この時には音響測距を行っている期間中、CTDプロファイラーによる海水の測定を深さ1000m程度まで、3時間おきに行った。これは水中音速と走時の関係から距離を求めるための重要な要素である。

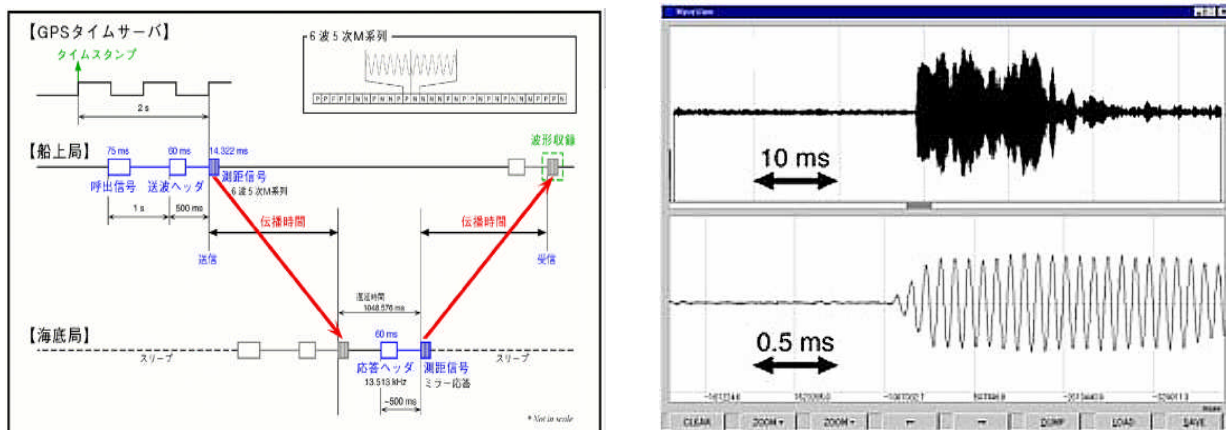


図 7. 観測時の送信波形と受信時の観測波形の例

5 観測機器の幾何的位置の測定

はじめにも述べたように、海底局の位置は船体に取り付けたトランスデューサーとの距離から求める。そのときの船の位置はキネマティックGPSを用いて求める。しかし、実際に測定している箇所はGPSアンテナ

の位相中心であり、トランスデューサーとの幾何的な位置関係は別の方法で測定しなければ初期値として与えることが出来ない。しかし通常、船は水上にあるので船体に取り付た機器の位置を測定することは難しい。幸い、船舶は最低1年に一度はドック入りして整備を行う。この時が乾ドックであれば陸上の構造物と同じように測量用機器を用いれば必要なデータが得られる。図8は下関での測量時の写真である。

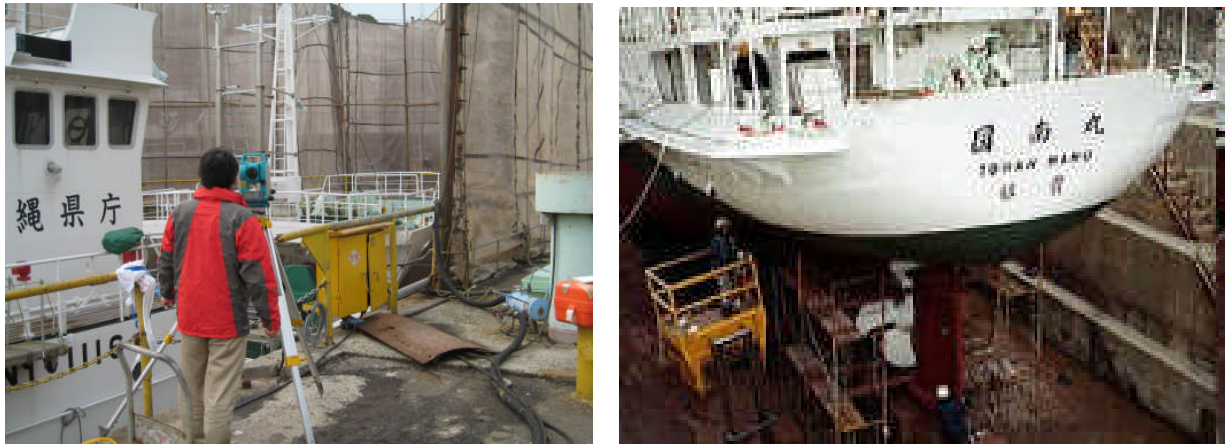


図 8. 乾ドック時の観測機器位置関係の測量

6 結果

2008年の1月に第1回の観測を行ってから、2009年11月までに6回の観測を行った。そのうちの1回は機器のトラブルによりデータが取得できなかった。検討中である2009年11月のデータを除いた結果の例を紹介する。

琉球海溝において2008年1月、2月、7月、2009年5月の計6回の観測を行なった。内4回の解析に用いた音響測距数を図9に示す。OKNWでの回帰直線の傾きは、東向きに $4.5 \pm 2.3 \text{ cm/yr}$ 、北向きに $-0.4 \pm 1.7 \text{ cm/yr}$ であった。(図10) OKNWでのアムールプレートの剛体成分は、東向きに 3.0 cm/yr 、北向きに -1.6 cm/yr である。これらの剛体成分を差し引いたときのOKNWでのアムールプレートに準拠した水平変位速度は、東向きに $1.5 \pm 2.3 \text{ cm/yr}$ 、北向きに $1.2 \pm 1.7 \text{ cm/yr}$ となる。その水平変位速度ベクトルを図11に示す。

| Date | Relative Position (cm) | | Error (\pm cm) | |
|-----------|------------------------|---------|-------------------|------|
| | Northing | Easting | North | East |
| Jan. 2008 | 0.0 | 0.0 | 2.9 | 2.1 |
| Feb. 2008 | 1.1 | -5.6 | 2.4 | 2.3 |
| Jul. 2008 | 8.1 | -6.1 | 5.0 | 2.6 |
| May. 2009 | 0.6 | 1.8 | 1.1 | 2.6 |

表 1 OKNWでの繰り返し観測の結果

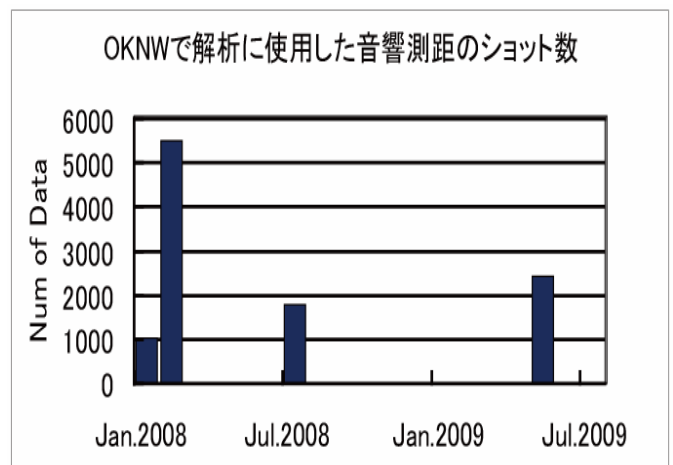


図 9. 解析に使用した音響測距のショット数

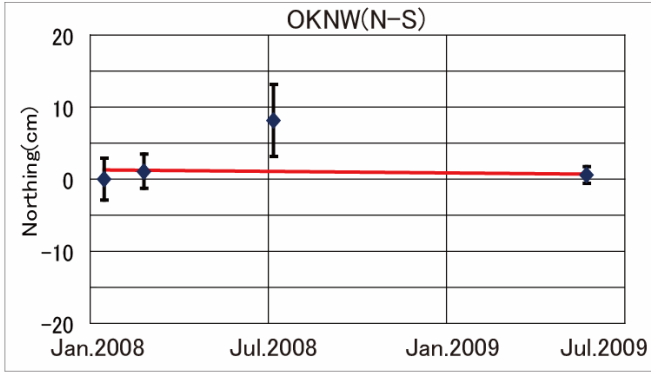
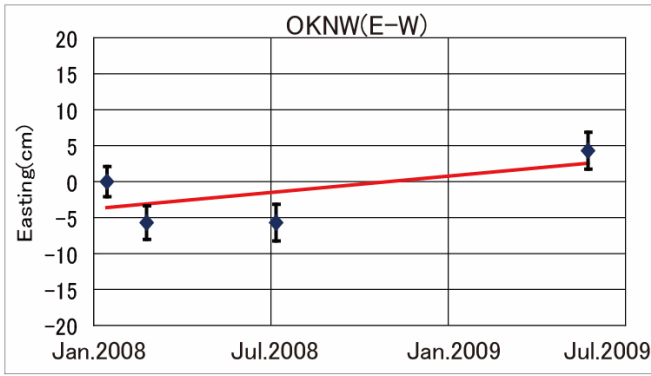


図 10.時系列プロット

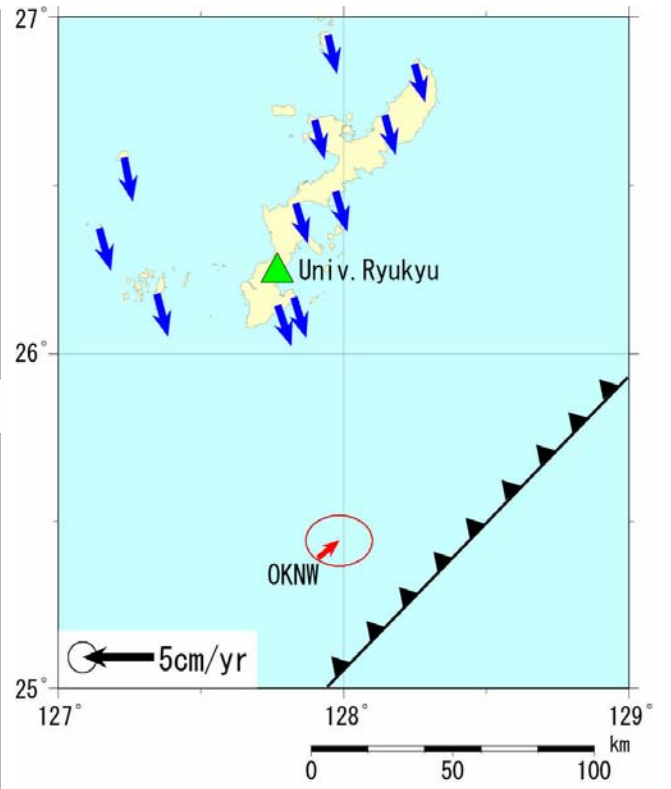


図 11.水平変位速度ベクトル

以上の結果は大きさは別にして予想される方向とは異なっている。ここではあげていないが、同じデータを用いて得た、異なった解析結果もあるので今後検討する必要がある。