

3. 1. 2. 2. 想定震源域および周辺における地殻構造と地震活動の対比等に関する研究

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

「想定震源域および周辺における地殻構造と地震活動の対比等に関する研究」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
国立大学法人九州大学大学院 理学研究院	教授	清水 洋	shimizu@sevo.kyushu-u.ac.jp
	教授	中田正夫	mnakada@geo.kyushu-u.ac.jp
	准教授	松島 健	mat@sevo.kyushu-u.ac.jp
	准教授	松本 聡	matumoto@sevo.kyushu-u.ac.jp
	助教	植平賢司	uehira@sevo.kyushu-u.ac.jp

(c) 業務の目的

東南海・南海地震想定震源域および周辺を対象として実施する長期海底地震観測に参加してデータ処理を分担する。長期海底地震観測により得られた正確な地震活動と、これまでに得られている地殻構造との対比を行い、想定震源域における地震活動のより深い理解を図る。また、地震活動より推定される応力場の空間分布と地殻構造との対比および重力異常データ等より、プレート間結合特性に関する研究を行う。

(d) 3 ヶ年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

1) 平成17年度

海底地震観測に参加し海域データの取得を行った。陸域データの集積も行い、海域データとの統合処理と解析をすすめた。また、既存のデータを用い応力場解析を行うための手法の策定、開発及び評価を行なった。

2) 平成18年度

海底地震観測を支援した。陸域データの集積も行い、海域データとの統合処理と解析をすすめた。また、平成17年度に評価を行った手法を用い応力場解析を進め、得られた応力場の空間分布の結果と地殻構造との対比によりプレート間結合特性に関する研究を行った。

3) 平成19年度

海底地震観測に参加し海域データの取得を行う。陸域データの集積も行い、海域データとの統合処理と解析をすすめる。また、応力場解析を進め、得られた応力場の空間分布の結果と地殻構造との対比および重力異常データ等によりプレート間結合特性に関する研究のまとめを行う。

(e) 平成19年度業務目的

プレート間結合特性を解明するためには、プレート境界域の応力場がどうなっているのかを知ることが必要である。そこで平成19年度では、平成17年度に検討・評価した応力テンソルインバージョン手法を用いて、平成18年度に引き続き東南海・南海地震想定震源域および周辺の応力場のより詳細な空間分布を明らかにすることをめざす。また、重力異常データや地震波速度構造の解析結果も併せ、プレート間結合特性に関する研究を行う。

また、応力場の空間分布を精度よく推定するためには、震源の位置、特に深さの決定精度を向上させる必要がある。これは発震機構解や応力テンソルを求める上で地震波の射出角や方位角のデータが重要であるが、震源の深さの誤差が大きいとこれらの値の誤差も大きくなるからである。そこで、当該海域の震源を精度良く求めるために、平成19年度も国立大学法人東京大学等と共同で当該海域における海底地震観測を継続し、検測などの地震データ処理を分担する。

(2) 平成19年度の成果

(a) 業務の要約

想定震源域および周辺の海域における観測作業及び海底地震計のデータ処理を国立大学法人東京大学とともに分担して行った。2004年以降に取得された海底地震データを用いて自然地震の発震機構解を求めた。さらに、これらのデータに応力テンソルインバージョンを適用して、海陸プレート境界域の応力場の空間分布を推定した。また、重力データを検討した結果、日向灘のような顕著な密度差を持つ物質が当該海域下には存在しないことが分かった。

(b) 業務の実施方法

1) 海底地震観測点配置に関する調整

陸域における既設の高感度地震観測網（陸域観測網）に接続する形で、東南海・南海地震の想定震源域に長期観測型海底地震計を設置するにあたり、その観測点配置について事前に関係機関等との調整を行った。

2) 長期観測型海底地震計の設置・回収

国立大学法人東京大学が実施した長期観測型海底地震計の設置回収作業及び組立て解体の支援を行った。

3) 陸域観測網による地震データの収集

海・陸データの併合処理のため、データ処理システムを用いて、既設の陸域観測網で記録される地震データの収集を継続実施し、地震活動および応力場の空間分布の把握のためのデータセットを作成した。

4) 海陸地震データ統合解析

国立大学法人東京大学とともに、より正確な地震活動の把握をすすめるため、2005年

3月と2007年1月から6月に発生した地震の海・陸の地震データの処理を分担した。九州大学が処理を行った地震は606個である。2004年11月以降のデータセットを用いて、想定震源域の震源分布と三次元速度構造を明らかにした。また、前年度に引き続き応力テンソルインバージョンにより応力場の推定を行った。

#### 5) 密度構造解析

想定震源域および周辺の重力データの収集を行い、その結果を応力場の空間分布や地震活動、地震波速度構造などと対比した。

#### (c) 業務の成果

想定震源域および周辺における地震観測データ処理に関しては、2005年3月と2007年1月から6月に発生した地震の震源位置を、国立大学法人東京大学と分担して決定した。

解析は、2004年11月から2007年6月までのデータを用いて行った。まず、三次元速度構造とその構造による震源位置を、DD トモグラフィ法 (Zhang and Thurber, 2003) を用いて決定した。観測位置と計算に使ったグリッド配置を図1に示す。使用した地震はM1以上、読み取り観測点数8点以上の計2,551個である。波線の本数はP波が61,057本、S波が59,642本、DDの本数はP波が259,976本、S波が227,759本である。図2にインバージョン前と後の震源分布を示す。インバージョンの結果により、上盤側（島弧の地殻）と下盤側（沈み込むフィリピン海プレート）の震源がよりきれいに分離できている事が分かる。上盤側と下盤側双方で微小地震活動が活発である。深さ毎の水平断面でのP波速度偏差を図3に、垂直断面のP波速度偏差を図4に示す。顕著なマンテルウェッジは見られず、フィリピン海スラブにおいては相対的に高速度な領域で地震が発生していることが分かった。

M2以上の地震964個について、初動の押し引き分布により発震機構解を求めた（図5）。震源域直上に長期観測型海底地震計が設置してあることにより、定常観測網では発震機構解の決定がほとんど不可能なM2クラスの微小地震についても発震機構解を求めることができるようになった。上盤側、下盤側とも正断層型、逆断層型、横ずれ断層型など、様々な発震機構解の地震が発生している事が分かった。上盤側の逆断層型の地震のP軸の向きは東西方向が卓越しており、一方、下盤側での逆断層型地震のP軸の向きは南北方向が卓越している。これは、上盤と下盤で応力場が異なっていることが示唆される。

このように個々の地震の発震機構解が変化している地域における regional な起震応力場を Horiuchi et al. (1995) による応力テンソルインバージョン法を用いて行った。対象領域にグリッドを設定し、そのグリッド毎に応力テンソルを求めた。グリッドは水平方向30km間隔、深さ方向10km間隔で設定した。また、各グリッドの応力場の推定には、グリッドを中心とした南北・東西方向それぞれ±15km、深さ方向±10kmに含まれる地震を選択して用いた。図6と図7にそれぞれ最大主応力軸（ $\sigma_1$ 軸）、最小主応力軸（ $\sigma_3$ 軸）の方向を示す。応力場は空間的に変化があることが分り、上盤側と下盤側で応力場が異なることが分かる。また、図6のA-I断面では、 $\sigma_1$ 軸が深さ方向に連続的に変化している。これは、上盤と下盤のカップリングが強いことを示唆している。

上盤側（島弧の地殻）の応力場を図8に示す。上盤側は、東西圧縮・南北張力の応力場であり、1995年兵庫県南部地震と同じである。

図 9 にフィリピン海スラブ上面の応力場を示す。 $\sigma_1$  軸と  $\sigma_2$  軸の方向の分離はあまり出来ていないが、 $\sigma_3$  軸の方向は比較的良く求まっている。紀伊水道以西における  $\sigma_3$  軸の方向は、ほぼ水平であり、かつ、フィリピン海スラブ上面の深さが 25km 以深では等深度線にほぼ平行である。一方、浅い部分では等深度線に斜交している。これは、フィリピン海スラブはスラブプルの状態であるが、上盤側と固着している浅い部分は、上盤側の応力場の影響を受けて斜交していることが示唆される。東南海地震と南海地震の震源域境界と考えられている潮岬付近では、応力場が急変していることが分かった。また、潮岬北部のグリッドでは、すべての主応力軸の方向が、プレート境界面の法線ベクトルといずれも斜交していることより、少なくともこのグリッドにおいてはプレート境界面にせん断応力が働いている状態であることが分かった。これは、当該領域のプレート間の固着が大きいという事実と整合的である。

図 10 にフリーエア重力異常 (Smith and Sandwell, 1997) と地形図を示す。当該域では、重力異常と地形の相関が良いことから、基本的に重力異常は地形を反映しており、日向灘のように地形だけでは説明出来ないような重力異常は特に存在しない。つまり、物質の密度差による顕著な浮力による応力場はなく、当該域でのプレート間固着特性はその他の要因、例えば沈み込むプレート上面の地形や、物質特性、更にはプレートの形状などが決めていると示唆される。

#### (d) 結論ならびに今後の課題

想定震源域および周辺の地震観測データの解析により、三次元速度構造を求めた結果、下盤側（沈み込むフィリピン海プレート）の地震活動は相対的に速度が速い場所で活発であることが分かった。当該地域の個々の地震の発震機構解の多様性が明らかになった。これらの地震データに応力テンソルインバージョン法を適用して当該地域の regional な応力場を推定した結果、上盤側（島弧の地殻）と下盤側（沈み込むフィリピン海プレート）で応力場が異なることが明らかになった。また、応力場が深さ方向に連続的に変化して場所があり、これは上盤と下盤のカップリングが強いことを示唆している。上盤側の地殻内においては東西圧縮・南北張力の応力場であり、四国や本州の地殻の応力場と同様であることが分かった。フィリピン海スラブ上面の応力場については、紀伊水道以西における  $\sigma_3$  軸の方向はほぼ水平であり、また、フィリピン海スラブ上面の深さにより、スラブの等深度線と  $\sigma_3$  軸の方向に変化があることが分かった。これは、フィリピン海スラブはスラブプルの状態であるが、上盤側と固着している浅い部分は、上盤側の応力場の影響を受けていることが示唆される。東南海地震と南海地震の震源域境界と考えられている潮岬付近では、応力場が急変していることが分かり、少なくともここではプレート境界面にせん断応力が働いている状態であることが明らかになった。これは、当該領域のプレート間の固着が大きいという事実と整合的である。当該領域におけるフリーエア重力異常は主に地形を反映していると考えられ、日向灘のように地形だけでは説明出来ない重力異常は特に存在しない。つまり、物質の密度差による顕著な浮力はほとんど無いことが示唆される。また、東南海地震と南海地震の震源域境界と考えられている潮岬付近では応力場が急変しており、今後は、震源域の範囲（セグメント）を決める要因や 2 つの震源域の連動性を解明するうえで、この付近の応力場を詳しく知る事が重要である。さらに、より長期間の観測データ

を取得することにより、来るべき巨大地震発生に向けてどのように応力場が時間的空間的に変化していくのか知る事が、想定地震の準備過程を明らかにするうえで必要である。

(e) 引用文献

1) Zhang, H. and C. H. Thurber, Double-difference tomography; the method and its application to the Hayward Fault, California, B.S.S.A, 93, 1875-1889, 2003.

2) Horiuchi, H., G. Rocco and A. Hasegawa, Discrimination of fault planes from auxiliary planes based on simultaneous determination of stress tensor and a large number of fault plane solutions, J. Geophys. Res., 100, 8327-8338, 1995.

3) Smith, W. H. F. and D. T. Sandwell, Global Sea Floor Topography from Satellite Altimetry and Ship Depth Soundings, Science, 277, 1956 - 1962, 1997.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

なし。

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

なし。

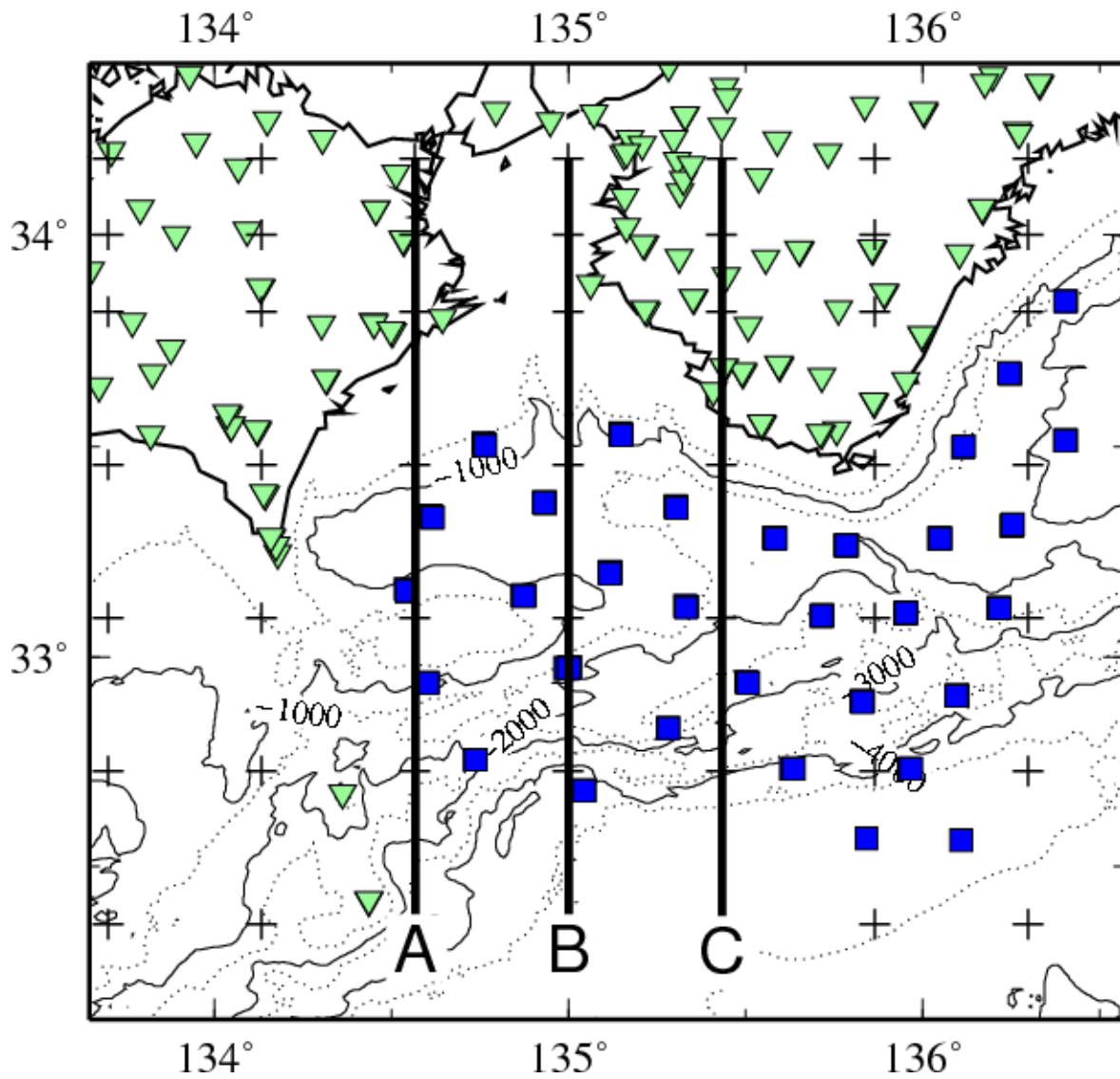


図1 DD トモグラフィ法で使用した観測点配置（四角：海底地震計、三角：定常観測点）とグリッド配置（+印）。

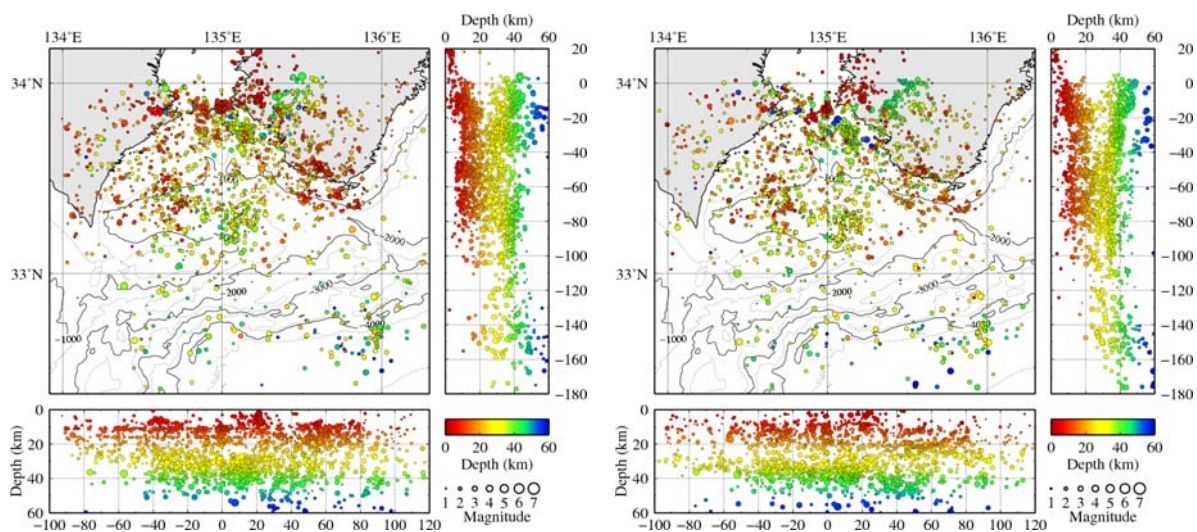


図2 (左) DD トモグラフィインバージョンを行う前の震源分布図 (右) DD トモグラフィインバージョンを行った後の震源分布図

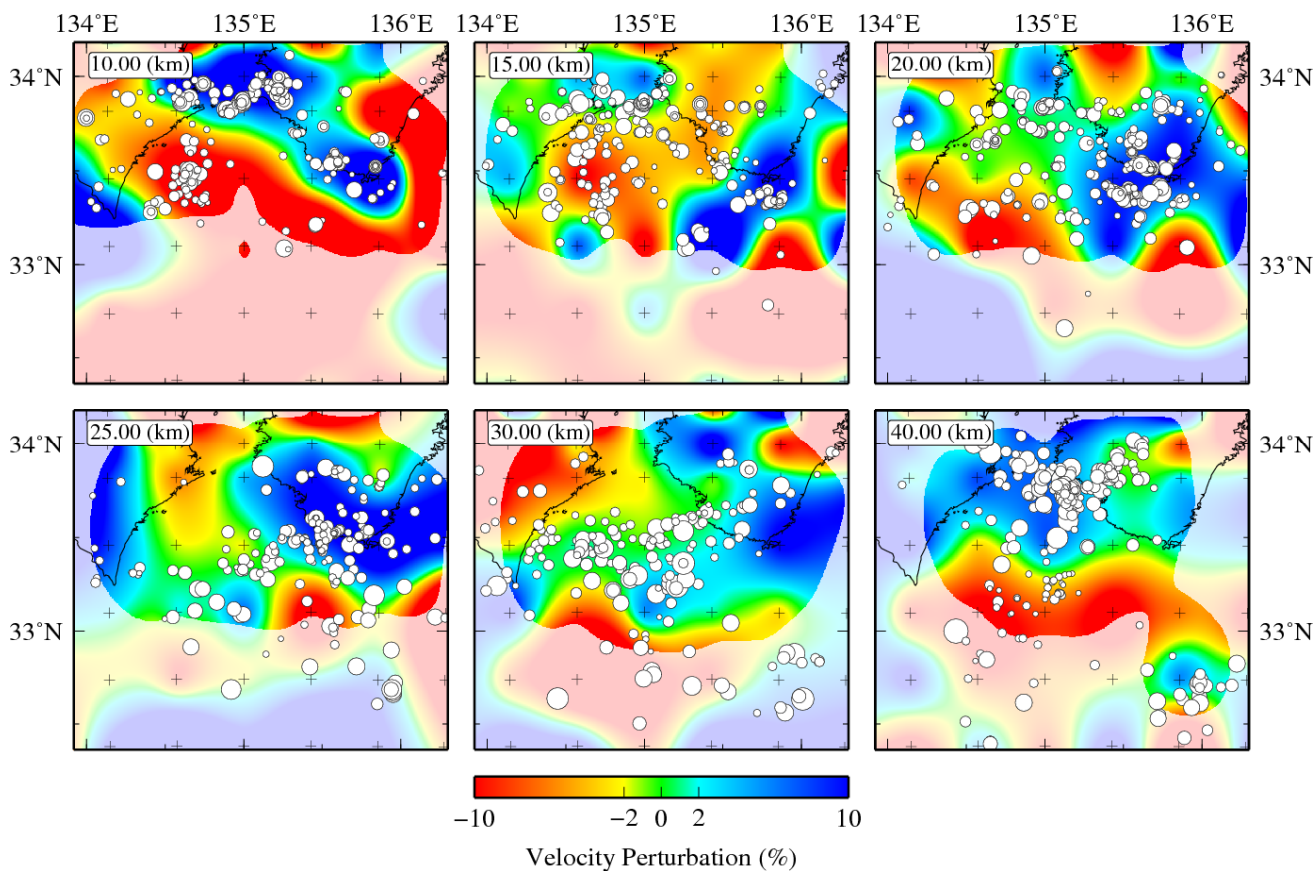


図3 各深さにおける水平断面でのP波速度の偏差

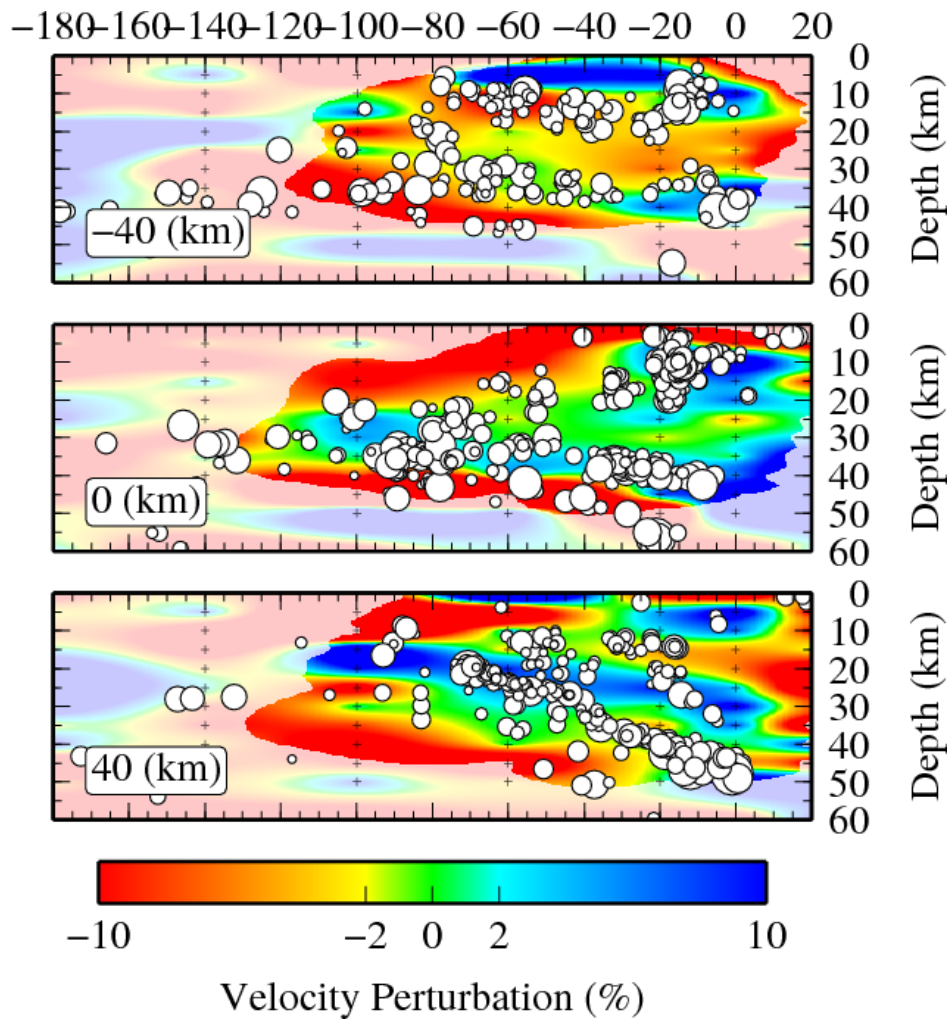


図4 図1のA、B、Cの各断面におけるP波速度の偏差



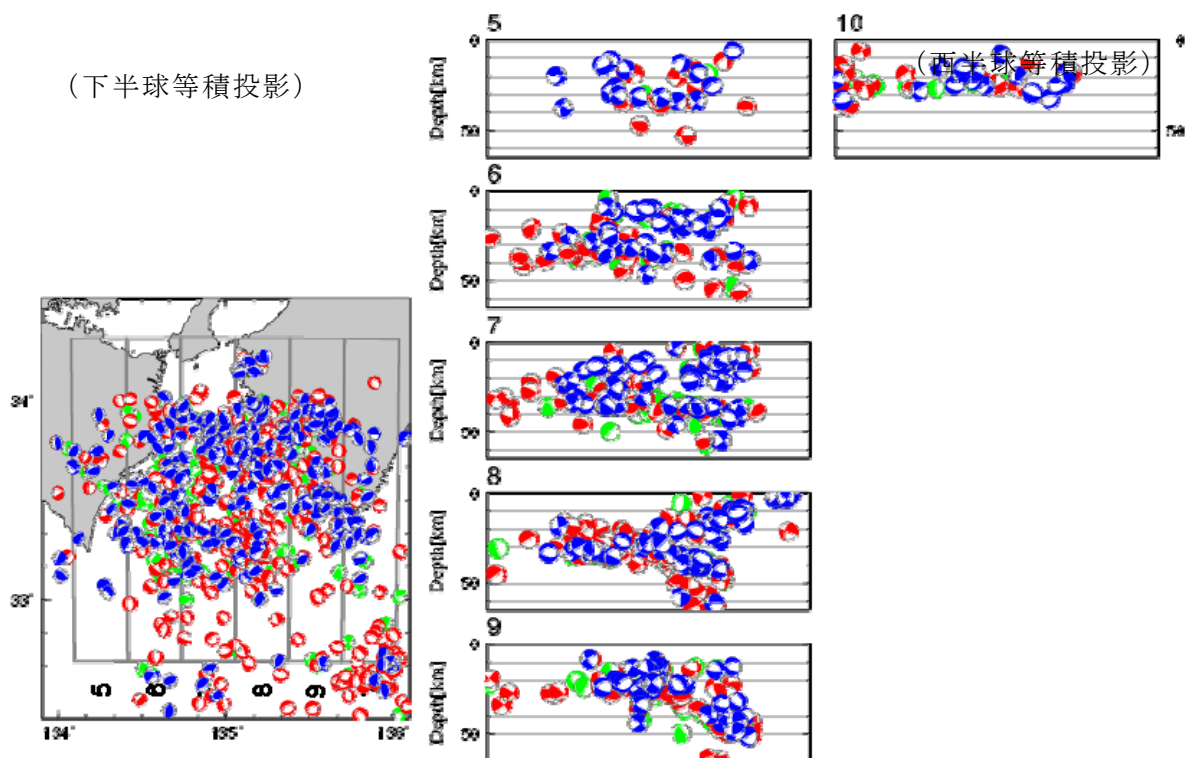


図5 初動の極性から求めた発震機構解

赤色は正断層型、青色は逆断層型、緑色は横ずれ断層型の解をそれぞれ示している。

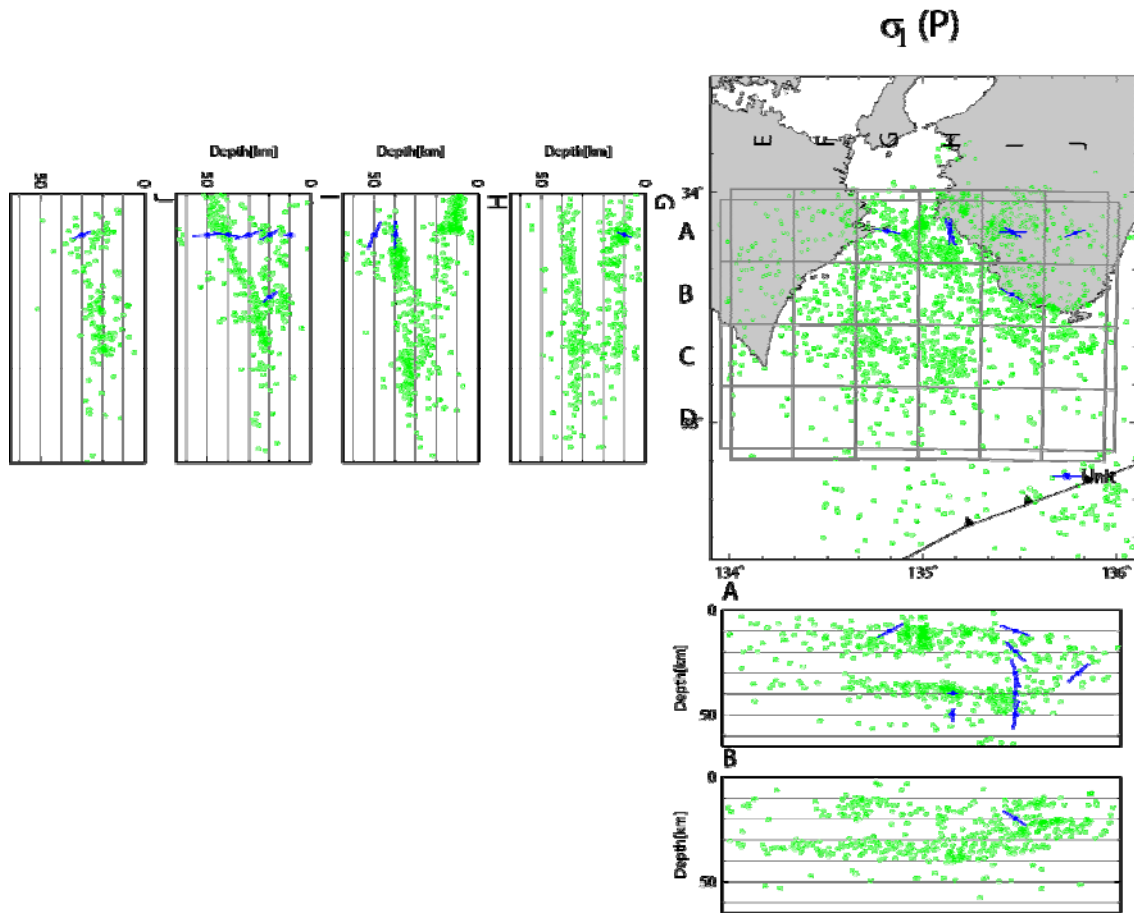


図6 応力テンソルインバージョン法によって求めた最大主応力軸（ $\sigma_1$  軸）の方向  
精度の良く求まったグリッドでの結果のみ表示。

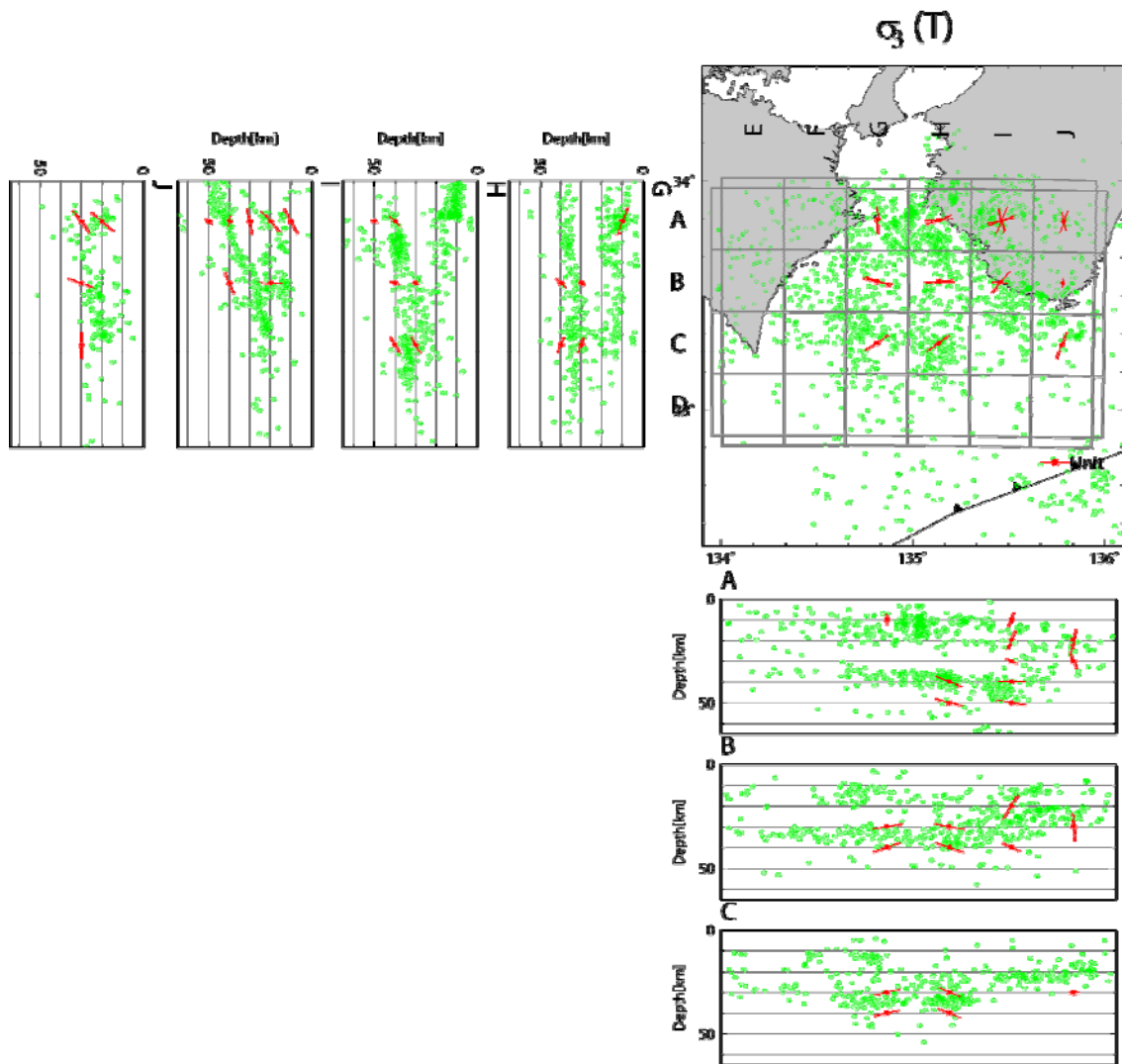


図7 応力テンソルインバージョン法によって求めた最小主応力軸 ( $\sigma_3$  軸) の方向精度の良く求まったグリッドでの結果のみ表示。

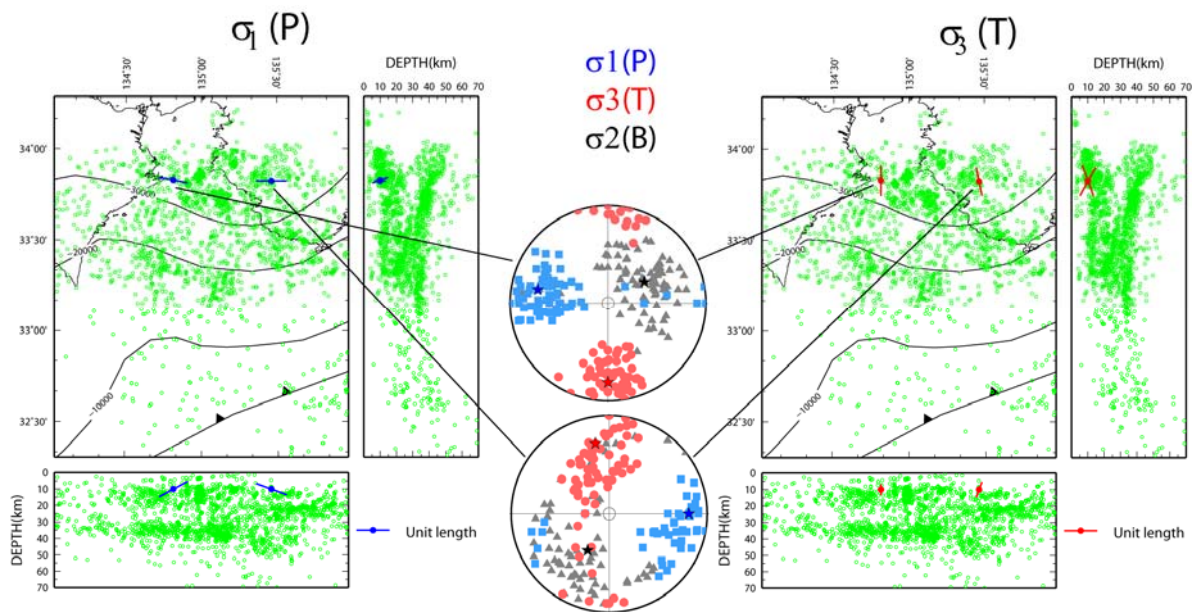


図8 上盤側（島弧地殻）の応力場

（左） $\sigma_1$  軸、（右） $\sigma_3$  軸の方向を表す。地図中のコンターは、フィリピン海スラブ上面の等深度線（単位：m）を表す。（中）それぞれのグリッドでの応力テンソル。応力テンソルは $\sigma_1$  軸（青色）、 $\sigma_2$  軸（黒色）、 $\sigma_3$  軸（赤色）の方向を下半球等積投影したもの（星印）。四角、丸、三角印はそれぞれの軸の80%の信頼区間を示す。

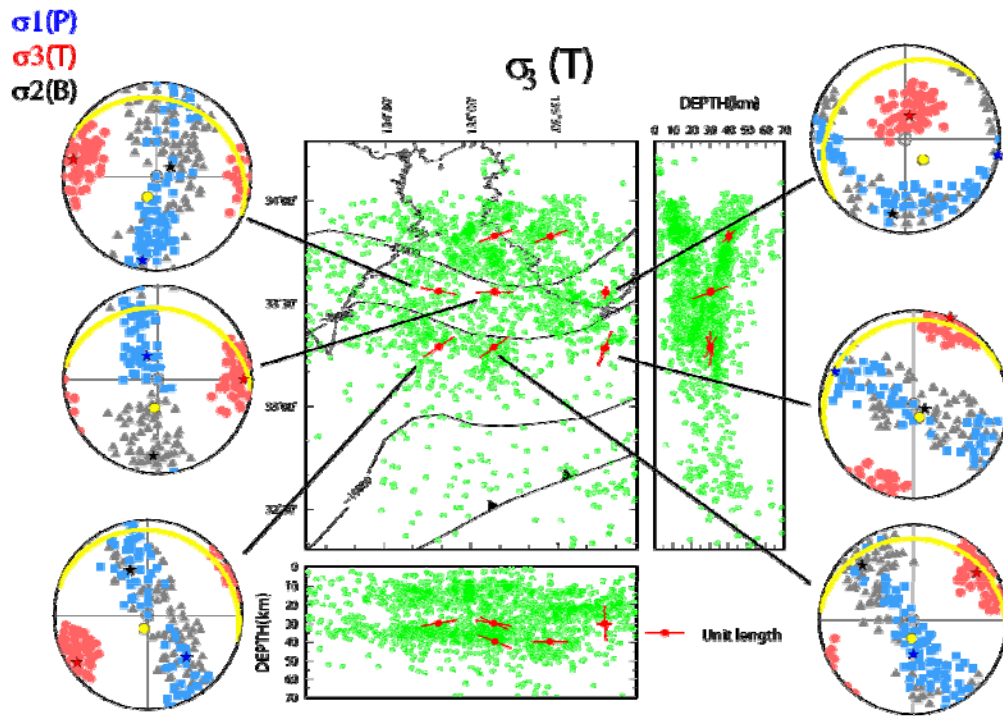


図9 フィリピン海スラブ上面の $\sigma_3$ 軸の方向（地図中の赤丸付の赤線）とそれぞれのグリッドでの応力テンソル

応力テンソルは $\sigma_1$ 軸（青色）、 $\sigma_2$ 軸（黒色）、 $\sigma_3$ 軸（赤色）の方向を下半球等積投影したもの（星印）。四角、丸、三角印はそれぞれの軸の80%の信頼区間を示す。黄色線及び黄色八角形はプレート境界面とその法線の方向を示す。地図中のコンターは、フィリピン海スラブ上面の等深度線（単位：m）を表す。

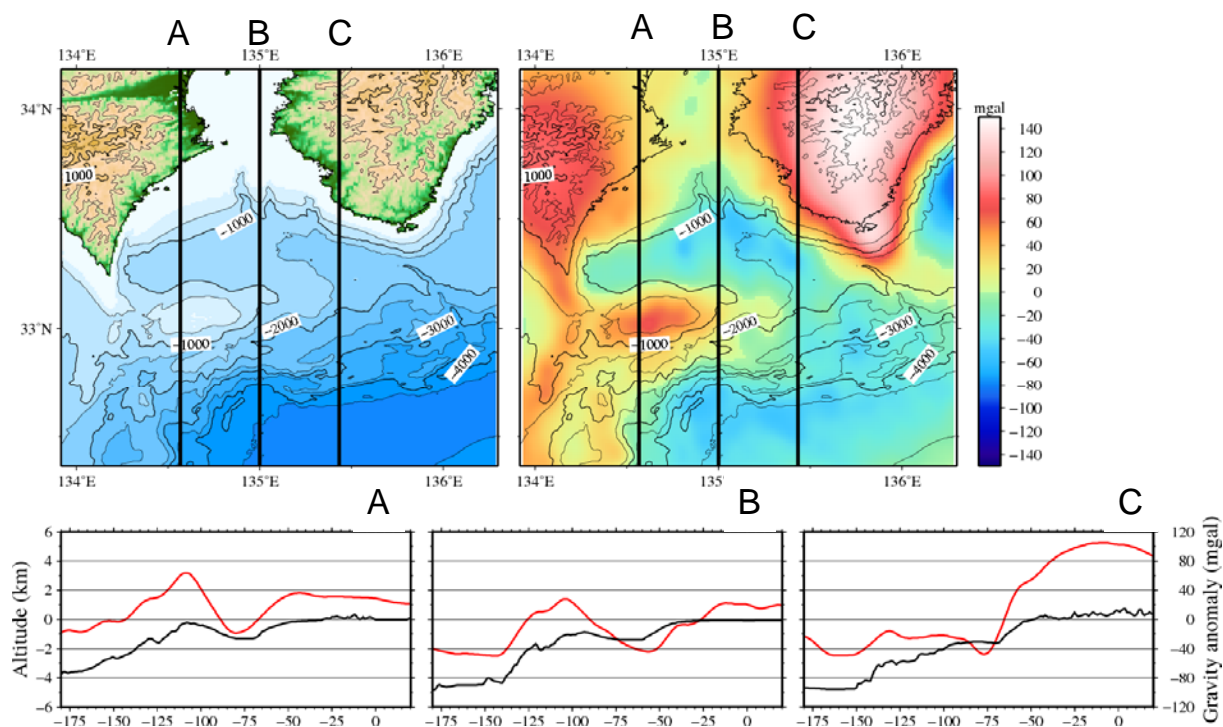


図 10 フリーエア重力異常と地形の比較図

(上図) 左：地形、右：地形＋フリーエア重力異常 (Smith and Sandwell, 1997)。(下図) 上図の各断面における重力異常 (黒線) と地形 (赤線)。