

3. 1. 2. 1. より正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究（東南海・南海地震の想定震源域および周辺における海底地震観測研究）

3. 1. 2. 1. より正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究（東南海・南海地震の想定震源域および周辺における海底地震観測研究）

### (1) 業務の内容

#### (a) 業務題目

「より正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究」  
（東南海・南海地震の想定震源域および周辺における海底地震観測研究）

#### (b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
国立大学法人東京大学 地震研究所	教授	金沢敏彦	kanazawa@eri.u-tokyo.ac.jp
	准教授	塩原 肇	shio@eri.u-tokyo.ac.jp
	准教授	篠原雅尚	mshino@eri.u-tokyo.ac.jp
	准教授	酒井慎一	coco@eri.u-tokyo.ac.jp
	助教	望月公廣	kimi@eri.u-tokyo.ac.jp
	助教	山田知朗	yamada@eri.u-tokyo.ac.jp

#### (c) 業務の目的

東南海・南海地震の想定震源域および周辺における正確な地震活動の把握を目的とする。対象領域は地震活動度が低いため、長期にわたる地震観測を実施し、十分な数の微小地震を観測する必要がある。また、観測網の展開については、海・陸の観測網が連携する形で、地震活動度の相対的に高い領域から順次観測網を高密度（観測点間隔約 20km）に配置する。

また、上記観測により得られたデータを詳細に解析することにより、東南海・南海地震に関する予測精度の向上に資することも目的とする。

#### (d) 5 ヶ年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

東南海・南海地震の想定震源域およびその周辺においては、地震活動が低いことを考慮し、自己浮上式海底地震計を用いて、長期にわたる地震観測を繰り返して実施し、十分な数の微小地震を観測する。なお、観測網の配置にあたっては、事前に関係機関等との調整を行う。

##### 1) 平成 15 年度

東南海・南海地震の想定震源域及び周辺において、十分な数の微小地震を観測するため、長期にわたる地震観測を開始した。観測準備として、1 年間以上観測可能な長期観測型海底地震計 9 台の整備・組み立てを東京大学地震研究所で実施したほか、音響通信制御装置、GPS 時計制御システム、海底地震観測用 GPS 測位システム等の船上作業支援装置及び海底地震計データ再生装置についても構築・整備を行った。長期観測型海底地震計の海底設置に先立ち、関係機関等（者）との調整を行い、海底地震計配置を決定した。平成 15 年度は計画の 1 年次目であることから、東南海地震及び南海地震それぞれの想定

### 3. 1. 2. 1. より正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究（東南海・南海地震の想定震源域および周辺における海底地震観測研究）

震源域の境界域にあたる紀伊半島南沖から観測を開始することとして、9台の自己浮上式長期観測型海底地震計を設置した。観測網を構築した紀伊半島沖は、想定震源域において地震活動度の相対的に高い領域である。観測された地震の震源を精度良く求めるためには、設置した海底地震計下の地殻構造、特に最も浅い部分の速度の遅い堆積層の地震波速度構造を知ることが必要である。この構造を求めるために、25 リットルの容量をもつエアガンを発震し、シングル・チャンネル・ハイドロホン・ストリーマーを用いた反射法地震調査、およびこの発震を海底地震計でも記録することによる屈折法地震調査を行った。また、海・陸データの併合処理のために、陸域地震観測データ収録システムの構築をし、東南海・南海域陸上地震観測点からの地震観測データの収録を開始した。

#### 2) 平成16年度

長期観測型海底地震計を新規整備したほか、長期観測型海底地震計の記録処理システムを新規整備した。回収した海底地震計の再設置に向けた整備等も実施した。用船および大型ヘリコプターにより、平成15年度に観測を開始した地震観測点9点の海底地震計を入れ替えるとともに、新規整備した長期観測型海底地震計を海底設置して新たに14観測点で観測を開始した。これらの設置・回収作業の実施により、想定震源域の内、紀伊半島南東沖から四国東部沖にかける領域の地震活動を、約20kmから25km間隔に配置された23観測点からなる海底地震観測網で観測する体制ができた。長期観測型海底地震計の設置・回収作業にあたっては、事前に関係機関等（者）との連絡調整を行った。海陸データの併合処理のため、陸域観測網による地震データの集積を継続した。さらに、平成16年9月5日に想定震源域周辺部で発生した2004年紀伊半島南東沖の地震に際しては、余震域で自己浮上式海底地震計5台による緊急観測を実施した。海陸データを併合処理して、想定震源域の主に紀伊半島南沖の地震活動について、より正確な震源分布を明らかにした他、2004年紀伊半島南東沖の地震の正確な余震分布を明らかにした。

#### 3) 平成17年度

地震記録処理システムを新規整備した。回収した長期観測型海底地震計の再設置に向けた整備等を実施した。平成16年度に観測を開始した地震観測点の長期観測型海底地震計を入れ替えて、東南海・南海地震の境界域および紀伊水道において、約20kmから25km間隔に配置した23観測点での長期地震観測を継続した。長期観測型海底地震計の設置・回収作業にあたっては、事前に関係機関等（者）との連絡調整を行った。海陸データの併合処理のため、陸域観測網による地震データの集積を継続した。海陸データを併合処理してほぼ2年弱の期間の地震活動について解析を実施し、想定震源域の境界である紀伊半島と南海トラフの間の領域および紀伊水道下の南海地震震源域におけるより正確な震源分布を明らかにした。南海トラフから紀伊半島の下に沈み込むフィリピン海プレートの境界形状に沿うように、プレートの上部マントルで微小地震が発生している。震源の深さは気象庁一元化震源と比較しておおよそ20kmほど浅い。また、トラフ軸周辺で地震活動が高いことも明らかとなった。

#### 4) 平成18年度

### 3. 1. 2. 1. より正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究（東南海・南海地震の想定震源域および周辺における海底地震観測研究）

長期観測型海底地震計を新規整備したほか、長期観測型海底地震計の記録処理システムを新規整備した。地震記録処理システムを拡張整備した。用船および大型ヘリコプターを用いて、平成 17 年度に展開した 23 台の海底地震計の回収を行い、新たに整備した 2 点を加えることによって、紀伊半島潮岬沖から紀伊水道沖南海トラフ軸近くまでの合計 25 台による観測網を構築した。長期観測型海底地震計の設置・回収作業にあたっては、事前に関係機関等（者）との連絡調整を行った。海陸データの併合処理のため、陸域観測網による地震データの集積を継続した。解析した地震の個数を増やし、さらに精度の高い震源決定を行った。その結果、紀伊半島潮岬沖にある幅 40km 程度の地殻構造不均質が存在する場所で、地震活動度が高いことがわかった。また、この不均質構造を境界として、地震活動の明瞭なコントラストが認められ、西側よりも東側で活動度が低いことがわかった。またプレート境界付近では地震活動度が低く、上部マントル内の地震活動度が高いことがわかった。

#### 5) 平成 19 年度

東南海・南海地震の想定震源域および周辺に設置した海底地震計を回収し、海・陸の地震データを解析して、より正確な地震活動の把握をすすめるとともに、引き続き観測を行う。東南海・南海地震に関する海底地震観測研究は、最終年度にあたるため、年度内に全観測点を回収する。

#### (e) 平成 19 年度業務目的

紀伊半島南東沖から四国東部沖にかけて前年度に設置した 25 台の海底地震計を回収し、海・陸の地震データから、想定震源域およびその周辺における、より正確な地震活動の把握をすすめる。また、新規整備した海底地震計 2 台を加えた 27 台再設置して約 4 カ月にわたって観測を継続する。平成 19 年度は、本研究計画の最終年度に当たるため、11 月から 12 月にかけてこの地震計を回収し、データを解析する。詳細なプレート境界の形状の把握、及び地殻構造と地震活動の対比等（国立大学法人九州大学）について解析を行う。設置にあたっては、事前に関係機関等との調整を行う。陸域地震観測網による地震データの集積をすすめる。

## (2) 平成 19 年度の成果

#### (a) 業務の要約

平成 16 年度に設置し、平成 17 年度に継続した地震観測点 23 点による海底観測網は、約 20km から 25km 間隔に観測点を配置しており、東南海地震及び南海地震の想定震源域の内、紀伊半島南東沖から四国東部沖にかける領域の地震活動を正確に把握することを目的としている。平成 18 年度は、引き続きこの領域の地震活動データを蓄積するため、観測を継続、さらに新規 2 台の長期観測型海底地震計を整備し、紀伊半島沖の東南海地震・南海地震境界域のトラフ軸付近まで観測域を拡大した。平成 19 年度には、平成 18 年度の 25 台による観測網に新たに 2 台の海底地震計を加えて、紀伊半島沖の南海トラフ軸四国海盆北縁まで観測域を拡大した。回収した海底地震計の再設置に向けた整備等は国立大学法人

3. 1. 2. 1. より正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究（東南海・南海地震の想定震源域および周辺における海底地震観測研究）

東京大学地震研究所で実施した。長期観測型海底地震計の設置・回収作業にあたっては、事前に関係機関等（者）との連絡調整を行った。海陸データの併合処理のため、陸域観測網による地震データの集積を進めた。長期観測型海底地震計の記録処理システムを構築した。さらに、回収した長期観測型海底地震計データを陸域地震データに併合して処理し、紀伊半島南東沖から四国東部沖における地震活動の正確な把握を進めた。

(b) 業務の実施方法

1) 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とその周辺に長期観測型海底地震計を設置するにあたり、本業務による前年度までの成果等を考慮にいて観測点配置の調整を行うと共に、事前に関係機関等との調整を行った。本年度は、これまでの本業務の成果や、2004年紀伊半島南東沖の地震の発生を考慮し、新規整備2台の長期観測型海底地震計を加えて紀伊半島沖の東南海地震・南海地震震源域境界域のトラフ軸上四国海盆北縁まで観測域を拡大することとした。海底地震計の設置・回収作業にあたっては、平成15年度に調整した現地関係機関（者）等との連絡体制に基づき、作業概要等の連絡調整を実施したほか、海上保安庁への海上作業届を提出した。

2) 長期観測型海底地震計等の整備

新規購入した海底地震計の整備・組み立ておよび回収した海底地震計の再設置に向けた動作確認と組み立て等を、国立大学法人東京大学地震研究所で実施した。また、設置（回収）作業支援装置である音響通信制御装置についても、動作試験等を行い総合的な整備を国立大学法人東京大学地震研究所で実施した。

3) 長期観測型海底地震計の設置・回収

前年度に東南海・南海地震の想定震源域とその周辺に設置した長期観測型海底地震計25台を平成19年7月21日から24日にかけて、東京大学用船の洞海マリンシステムズ株式会社所属「あせあん丸」により、回収した。また、同じ航海で、前年度と同じ観測点の25台に加え、紀伊半島沖南海トラフ軸上に2台の長期観測型海底地震計の設置を行った。この設置により、27観測点の海底地震観測網が完成し、観測を継続した。本年度は本研究計画最終年度であるため、平成19年11月28日から12月3日にかけて、7月に設置した海底地震計27観測点全台の回収を行った。

4) 浅部構造のデータ収集・解析

長期観測型海底地震計直下の浅部構造データの収集のため、平成15、17、18の各年度にエアガン発震を行っている。平成19年度は、平成18年度に設置した海底地震計の回収した後、7月24日から25日にかけて洞海マリンシステムズ株式会社所属「あせあん丸」により、LS01-LS32-LS33-LS34-LS35-LS39-LS40を結ぶ測線上にて、25リットルの容量を持つエアガンによる発震を行った。また、12月に実施した海底地震計回収作業の期間中に、まずこれまで構造調査を行っていなかった点のうち、LS20とLS22に海底地震計を

3. 1. 2. 1. より正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究（東南海・南海地震の想定震源域および周辺における海底地震観測研究）

設置し、これを結ぶ測線上にて12月1日にエアガン発震を行った。また12月2日には、LS36-LS37-LS38を結ぶ測線上でエアガン発震を行った。回収した海底地震計の記録からエアガン記録を抽出し、浅部構造の推定を行った。これらの構造情報を利用して高精度な震源決定を行った。

5) 陸域観測網による地震データの収集

海域・陸域地震観測データの併合処理のために、東南海・南海地域にある陸上地震観測点のデータを、大容量ディスク装置にリアルタイム連続収録した。

6) 海陸データ統合解析

長期観測型海底地震計の記録処理システムを構築した。これまで得られた海底地震観測データを陸域観測データと併合処理し、震源決定を実施した。各観測点直下の精度良く決められた速度構造を使うことによって、高精度な震源を得るとともに、気象庁一元化震源リストに含まれない多数の微小地震についても震源を得た。紀伊半島沖から紀伊水道にかけての領域において、より詳細なプレート境界の形状の把握を進めた。

7) 総合的な地震活動解析

震源を決定する際には、各観測点において精緻に求められた一次元速度構造を参照することによって、精度の高い震源決定が可能となるように手法の検討を行い、それを適用した。このとき、浅部速度構造については海底地震計設置・回収時に行ったエアガン構造調査による結果を、さらに深部構造については独立行政法人海洋研究開発機構により進められている地殻構造調査の結果を主とし、過去に本海域で行われた構造調査の結果を補助的に参照して、各観測点での一次元速度構造を求めた。その上で、地殻構造調査の結果と長期海底地震観測による震源分布とを対比して、より正確な地震活動の把握をすすめた。

8) 観測データの流通・公開

地震調査研究推進本部調査観測計画部会調査観測データ流通・公開推進専門委員会において定める方針に従って流通公開を行うため、東南海・南海地震想定震源域において長期観測型海底地震計が記録した地震波形について、平成17年度に回収した地震波形から気象庁一元化震源リストに対応する波形データベースを作成し、DVDディスクに保存した。

9) 運営委員会等の設置・開催

調査研究を効率的に推進するため、「海溝型地震調査研究運営委員会（事務局は国立大学法人東京大学地震研究所）」を平成19年10月2日及び平成20年3月14日の二回開催した。

(c) 業務の成果

南海トラフ沿いでは、ほぼ 100 年周期でマグニチュード 8 クラスの地震が繰り返して発生してきていることが歴史記録からわかってきている（図 1、Mochizuki and Obana, 2003<sup>8)</sup>による）。最近の活動である 1944 年と 1946 年の地震では、地震学的データにより、震源域の推定が行われている（例えば、Kanamori, 1972<sup>5)</sup>, Ishibashi, 1981<sup>3)</sup>）。さらに測地学的な研究により、現在は震源域がほぼ固着していることが推定されている（例えば、Mazzotti et al., 2000<sup>6)</sup>）。一方、南海トラフでの地震活動が微小地震も含めて非常に低いことが、陸上からの地震観測、室戸沖における海底地震計を用いた短期間の微小地震観測（例えば Obana et al., 2003<sup>10)</sup>）、さらに本研究計画の平成 18 年度までの成果からわかっている。また、これまでに実施された短期間の海底地震観測により、南海地震・東南海地震の震源域では、微小地震が沈み込むフィリピン海プレート内で発生していることが示唆されている（図 2）。さらに南海トラフ沿いのうち、紀伊半島沖には、例えば 1944 年東南海地震と 1946 年南海地震の破壊域境界であったように、セグメントの境界が存在すると考えられている（図 1）。

南海トラフ沿いの巨大地震発生のメカニズムを明らかにする上で、南海トラフにおける定常的な地震活動を把握することが重要であるが、発生する地震が少ないために、従来型の海底地震計を用いた短期間の地震観測からは、その地震活動特性を明らかにすることは難しかった。そこで、国立大学法人東京大学地震研究所が開発した 1 年間連続観測可能な海底地震計である長期観測型海底地震計を用いて、長期間の観測を行った。平成 18 年度は、海底地震計総数 25 台による観測を行った（表 1）。これら 25 台の観測点配置については、平成 17 年度までの観測によりトラフ軸近傍での地震活動が活発であることが明らかになったこと、及び地震発生領域上限およびトラフ軸周辺域における地震活動の震源の深さを精度良く求めることの重要性の 2 点を考慮して、紀伊半島沖から四国南東沖にかけて海溝軸までの領域を覆うように観測点を配置した（図 3）。これまでの観測から、紀伊半島潮岬沖で特徴的に海溝軸まで活発な地震活動があることがわかった。そこで、平成 19 年度はこれらの地震活動度と震源の深さを正確に決定するために、平成 18 年度に設置した海底地震計の回収後、海溝軸海側に新規 2 台の海底地震計を加えて、総数 27 台による四国海盆北縁までの観測網を構築した（表 2、3 および図 4）。平成 15 年 12 月から開始した、本研究による観測点の配置を図 5 および図 6 にまとめた。

平成 19 年度の本研究計画に関する作業としては、洞海マリンシステムズ所有「あせあん丸」を用いて、平成 18 年度に設置された長期観測型海底地震計を回収し、平成 19 年 12 月までの観測をするための海底地震計 27 台を設置した後の平成 19 年 7 月 24 日から 25 日にかけて、観測点 LS01-LS32-LS33-LS34-LS35-LS37-LS39-LS40 を通る測線で、25 リットルのチャンバーを持つエアガンによる人工震源による構造調査を行った（図 7）。平成 18 年度設置の各観測点における回収までの観測期間は、平成 18 年 7 月に新日本海事株式会社所有の「新世丸」で設置した LS001~LS10、および LS12、LS14、LS18、LS36 については平成 18 年 7 月 6~9 日からの 12 カ月と 2 週間、平成 18 年 8 月に朝日航洋株式会社所有の大型ヘリコプターを用いて設置した LS11、LS13、LS15、LS16、LS19、LS32~LS35、LS37 および LS38 については平成 18 年 8 月 4 日からの 11 カ月と 2 週間、となった（表 1、2 および図 5）。先の平成 19 年 7 月に設置した 27 台の海底地震計については、平成 19 年 11 月 28 日から

### 3. 1. 2. 1. より正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究（東南海・南海地震の想定震源域および周辺における海底地震観測研究）

12月3日にかけて、同じく洞海マリンシステムズ所有「あせあん丸」を用いて全台の回収を行った。したがって平成19年度の観測期間は4カ月と1週間となった(図5)。これらの海底地震計の回収に先立って、11月28日にこれまで浅部構造調査を行っていなかった観測点のうち、LS20とLS22に海底地震計を設置し(図4)、12月1、2日にこの2台を結ぶ直線上、さらにLS36～LS38を結ぶ測線上で9リットルのチャンバーのエアガン発震を行った(図7)。その結果、平成19年度設置の海底地震計については、LS01とLS32～LS40、およびLS20とLS22についてはエアガン発震による海底地震計の位置決めを行い、これらを除いた全観測点については、回収航海時に音響測距による精密な海底観測点位置決定を実施した。船位はディファレンシャルGPSを用いて決定した。

平成19年度は本研究計画の最終年度に当たるため、これまで観測された地震について、総合的な解析を行った。解析の第一段階として、気象庁の震源リスト(一元化震源リスト)に基づき、平成15年12月から平成19年12月までの全観測期間発生した地震について、海底地震記録による震源再決定を実施した。さらに、長期観測型海底地震計観測網で決定された震源位置との比較を行うことで、一元化震源の決定精度に関する検討を行った。回収された長期観測型海底地震計のデータは時刻校正を行った後、一元化震源リストに従って、イベントごとのデータを切り出し、P波およびS波の到達時刻の読み取りを行った。読み取りに際しては、陸上観測点のデータも使用した(図8)。解析の第二段階として、定常的な地震活動をより詳細に把握するために、一元化震源リストに含まれていない、より微小な地震について平成15年12月から平成18年7月までの2年7ヶ月間にわたる長期観測型海底地震計連続記録からの直接確認を行い、P波およびS波の到達時刻の読み取りを行った。以下に、これらの解析について述べる。

四国南東沖から紀伊半島沖にかけての南海トラフ沿いでは、これまでの人工震源を用いた構造調査から、海溝軸陸側斜面下における堆積物構造内の不均質性が大きいことが明らかとなっている(例えば西坂, 1997<sup>9)</sup>; Mochizuki et al., 1998<sup>7)</sup>)。したがって震源位置の決定精度をあげるためには、この不均質性を考慮した震源決定を行わなければならない。本解析における震源決定では、それぞれの観測点における速度構造が一次元構造で代表されると仮定して行った。構造の不均質性は、個々の観測点における地震波到達時刻に対して、補正値を適用することで対処することとした(Hirata and Matsu'ura, 1987<sup>2)</sup>)。各観測点における一次元速度構造を決定するために、観測点を結んだ調査測線にわたってエアガン人工震源による発震を行っている(図8)。計画初年度である平成15年12月の設置時には、LS12-LS11-LS13-LS15-LS18-LS19-LS16-S17までを結ぶ測線において調査を行った(図9)。この発震は海底地震計で記録され、距離-時間軸断面を作成し(図10)、 $\tau$ -Pマッピング法(Shinohara et al., 1994<sup>12)</sup>)および $\tau$ -Sum インバージョン法(Diebold and Stoffa, 1981<sup>1)</sup>)によって浅部一次元速度構造を求めた(図11)。平成17年度はLS01～LS09を結ぶ測線で調査を行っている(図12)。この調査における各観測点の距離-時間軸断面を作成し(図13)、同様に浅部一次元速度構造を求めた(図14)。平成18年度には、東京大学用船の新日本海事株式会社所有の「新世丸」によるLS10とLS36を結んだ測線上の構造調査のほかに、海洋研究開発機構所属の調査船「かいらい」によってLS14とLS18を結んだ測線で構造調査(図15)を行った。これのデータを解析することによって、LS14とLS18直下の浅部一次元速度構造を求めた(図16)。平成19年度は、これまでエアガン発震

### 3. 1. 2. 1. より正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究（東南海・南海地震の想定震源域および周辺における海底地震観測研究）

をしていなかった残りの観測点のうち、LS21 と LS23 を除く全観測点においてエアガン発震を行い、速度構造を求めた(図 17)。このようにして各年度で実施した浅部速度構造調査によって求めた構造(図 18)より深い構造については、過去に本海域で行われた人工地震構造調査(図 19)の結果を参照して決定した(図 20)。

観測領域全域にわたる地震に対して、観測点ごとにそれぞれ一定の補正値を仮に使用するとすれば、全領域の平均的な構造に対する補正を施したことにすぎない。本観測海域のように不均質性の大きい構造に対して補正を行うに当たっては、全領域を不均質性の波長に応じたいくつかの区域に分割し、各観測点について区域ごとの補正値を求める必要がある。本解析では、特に震源の深さを精度よく決定することを目的として、観測点から半径 30km の円で囲まれる領域(図 19)を一区域とし(全 32 区域)、この区域内で発生した地震に対しては各観測点において一定の補正値を適用することとした。補正値の求め方は、Shinohara et al. (2004)<sup>13)</sup>の方法に従った。すなわち、一区域内で発生した地震について、直下の一次元速度構造(図 19)から推定される補正値をその初期値として震源決定を行い、走時残差の平均を求める。この値にさらに補正値を加えることによって残差の縮小を図り、震源の再決定を行って平均走時残差を求める。この操作を繰り返すことによって走時残差を減少させ、最小となったものを最終的な補正値とした。補正値を決定するに当たっては、決定精度を良く保つために、P波走時が4点以上で観測されている地震のみを用いた(図 21、22)。これらの地震のうち震源決定精度が 5 km 以内の地震のみを、最終的な震源解として選択した。

平成 15 年 12 月から平成 19 年 12 月までの一元化震源リストに記載の地震のうち、長期観測型海底地震計観測網で到達時刻が確認できた地震について、決定精度を高くするために P 波到達時刻が 4 観測点以上で検出できた地震について、震源と観測点補正値の同時決定を行った。各観測点からの半径 30km 区域内(図 19)で発生した、先の条件を満たす地震総数 2305 個のうち、震源決定された地震数は 2231 個であった。さらにこれらの地震のうち、震源決定誤差が 5 km 以内の地震は 1699 個であった。これらの地震の震央分布を図 21 および図 22 に示す。また図 23 及び図 24 では、これらの震源と気象庁一元化震源の位置の比較を示した。本解析で決定された震源の位置を丸印で示し、震源の深さを色で表わしている。また、その震源から引かれている実線の他方の端点が気象庁一元化震源の位置である。紀伊半島と四国に挟まれた紀伊水道内で最も陸側に近い地震については、陸上の観測網がそれを囲むように存在するために、もともとの一元化震源が十分な精度をもって決定されているため、その位置はほとんど変化しない。震央が海側に行くにしたがって、本解析により再決定された位置は一元化震源より海側にシフトし、20 km ほど浅くなる。また深さ 10km 程度の上盤側地殻内で発生したと考えられる地震の震源がより浅く決定され(図 24 中、第 3 区域)、それよりも深いプレート境界あるいは沈み込むプレート内で発生したと考えられる地震の震源との分離がより明確になった。震央がさらにトラフ軸に近づく、震源はさらに浅く、震央は海溝軸直行方向海側に移動し、トラフ軸近辺に決定される。これらのトラフ軸近辺の地震は、沈み込むプレート内で発生した地震と考えることができる。ここまでの解析で得られた観測点補正値を、これ以外の地震、すなわち一元化震源リストに記載の地震で P 波到達時刻の検出が 4 点に満たない地震(観測区域内 502 個、このうち震源が誤差 5 km 未満で決定されたもの 382 個)、および一元化震源リストに無い、海

底地震計のみで観測された微小地震の震源決定に適用した。

平成 15 年 12 月から平成 18 年 7 月までの長期観測型海底地震計観測連続記録より、気象庁一元化震源には記載されていない 20756 個の微小地震を確認した。このうち各観測点を中心とした半径 30km の円で囲まれた領域で発生した地震は 5744 個（うち P 波検測 4 観測点以上は 713 個）であった。そのうち 5550 個（うち P 波検測 4 観測点以上は 667 個）の地震について、震源を決定することができた。さらに、これらの地震のうち、3159 個（うち P 波検測 4 観測点以上は 465 個）について決定誤差が 5 km 以内で震源を求めることができた（図 25 および 26）。一元化震源に記載されないようなより微小な地震についても、長期観測型海底地震計観測網によって精度良く震源を決定していることがわかる。気象庁一元化震源の本解析による再決定震源と、長期観測型海底地震計観測網で観測されたより微小な地震の震源を併せて、図 27 に示す。紀伊半島潮岬沖にある潮岬海底谷を境界として、地震活動の明瞭なコントラストが存在している。海底谷の西側では潮岬から海溝軸へと連なる地震活動が見られているのに対して、そのすぐ東側には全く見られない。本海域に沈み込むフィリピン海プレートには、潮岬海底谷を境界として、地殻の厚さに差異が存在することが明らかとなっている（例えば Mochizuki et al., 1998<sup>7)</sup>）。この地震活動は、こうした地殻構造の不均質性に対応するものかもしれない。図 28 は、これまでに本海域で行われた人工地震地殻構造調査（図 19）で得られたトラフ軸に直行する断面図に、本解析で決定された震源をプロットしたものである。紀伊半島より西側では、プレート境界の近傍で発生している地震の活動は活発ではなく、沈み込むプレートの上部マントル内、および上盤側地殻内部での地震活動が活発であることがわかる。上部マントル内において活発に地震が発生しており、この活動がトラフ軸まで続いていることがわかる。独立行政法人海洋研究開発機構によって潮岬沖で行われた、トラフ軸に平行な測線を持つ人工地震地殻構造調査で明らかとなった 2 次元 P 波速度構造に対して、測線を中心とした幅 20km 以内で発生した地震の本解析による震源をプロットした（図 29）。プレート境界近傍での地震は構造不均質の存在する紀伊半島潮岬沖の実で活発ではあり、それ以外の場所では震源は深さ方向に 10km 以上の幅をもって、沈み込むプレートのマントル内にも存在することが明らかである。

3. 1. 2. 1. より正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究（東南海・南海地震の想定震源域および周辺における海底地震観測研究）

表 1 平成 18 年度に設置した長期観測型海底地震計の投入位置及び海底推定位置

観測 点名	設置日時位置					
	年月日-時分	緯度	経度	水深	切離 コード	記録開始
LS01	06/07/07-01:54:25	33 - 09.508	134 - 32.614	592	712	06/07/09 00:00
LS02	06/07/06-23:12:11	33 - 19.957	134 - 36.940	1377	706	06/07/09 00:00
LS03	06/07/06-20:37:22	33 - 30.260	134 - 45.843	700	611	06/07/09 00:00
LS04	06/07/07-04:43:40	33 - 08.759	134 - 52.414	752	707	06/07/09 00:00
LS05	06/07/06-18:23:10	33 - 22.003	134 - 56.040	1356	709	06/07/09 00:00
LS06	06/07/06-15:26:28	33 - 31.665	135 - 08.928	880	704	06/07/09 00:00
LS07	06/07/07-08:18:04	32 - 58.515	135 - 59.996	1910	703	06/07/09 00:00
LS08	06/07/07-10:55:12	33 - 12.009	135 - 06.953	1247	713	06/07/07 14:00
LS09	06/07/06-12:31:33	33 - 21.311	135 - 18.253	1556	705	06/07/06 15:00
LS10	06/07/07-13:54:28	33 - 07.136	135 - 19.984	1320	605	06/07/07 18:00
LS11	06/08/03-16:55:25	33 - 16.998	135 - 34.985	N/A	654	06/08/04 20:00
LS12	06/07/07-16:18:38	33 - 05.983	135 - 43.032	2735	711	06/07/07 21:00
LS13	06/08/03-17:04:14	33 - 15.965	135 - 47.207	N/A	655	06/08/04 20:00
LS14	06/07/08-00:45:20	32 - 53.691	135 - 49.831	3442	653	06/07/09 00:00
LS15	06/08/03-10:55:49	33 - 06.351	135 - 57.267	N/A	659	06/08/04 20:00
LS16	06/08/03-11:19:28	33 - 17.000	136 - 03.039	N/A	686	06/08/04 20:00
LS17	平成 18 年度は設置せず					
LS18	06/07/05-05:36:10	32 - 54.500	136 - 05.836	3712	710	05/07/05 12:00
LS19	06/08/03-11:05:53	33 - 06.996	136 - 13.014	N/A	661	06/08/04 20:00
LS32	06/08/03-15:10:59	32 - 56.313	134 - 36.089	N/A	624	06/08/04 20:00
LS33	06/08/03-15:22:54	32 - 45.253	135 - 44.166	N/A	650	06/08/04 20:00
LS34	06/08/03-15:37:16	32 - 40.926	135 - 02.689	N/A	663	06/08/04 20:00
LS35	06/08/03-15:48:24	32 - 49.823	135 - 16.826	N/A	646	06/08/04 20:00
LS36	06/07/08-03:59:00	32 - 56.429	135 - 30.224	2903	708	06/07/08 05:30
LS37	06/08/03-10:26:12	32 - 43.991	135 - 37.747	N/A	621	06/08/04 20:00
LS38	06/08/03-10:39:28	32 - 44.099	135 - 57.672	N/A	684	06/08/04 20:00

3. 1. 2. 1. より正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究（東南海・南海地震の想定震源域および周辺における海底地震観測研究）

表 2 平成 19 年度に設置した長期観測型海底地震計の投入位置及び海底推定位置

LS20 および LS22 は、浅部速度構造調査のために設置した海底地震計

観測 点名	設置日時位置					
	年月日-時分	緯度	経度	水深	切離 コード	記録開始
LS01	07/07/23-22:03:20	33 - 09.470	134 - 32.571	602	676	07/07/23 23:55
LS02	07/07/24-18:28:17	33 - 20.003	134 - 37.001	1374	658	07/07/24 19:55
LS03	07/07/24-16:20:03	33 - 30.251	134 - 45.844	700	688	07/07/24 21:55
LS04	07/07/24-00:48:10	33 - 08.762	134 - 52.410	750	667	07/07/24 03:55
LS05	07/07/24-14:16:42	33 - 22.004	134 - 55.993	1355	670	07/07/24 19:55
LS06	07/07/24-12:07:29	33 - 31.699	135 - 08.966	862	738	07/07/24 15:55
LS07	07/07/24-02:27:57	32 - 58.515	135 - 00.000	1909	635	07/07/24 05:55
LS08	07/07/24-05:30:20	33 - 12.001	135 - 07.001	1251	638	07/07/24 11:55
LS09	07/07/24-10:05:15	33 - 21.320	135 - 18.287	1555	643	07/07/24 12:55
LS10	07/07/24-07:41:10	33 - 07.140	135 - 19.898	1330	644	07/07/24 11:55
LS11	07/07/22-02:37:25	33 - 17.006	135 - 35.000	1595	745	07/07/22 23:55
LS12	07/07/22-05:17:58	33 - 06.004	135 - 42.992	2691	609	07/07/22 11:55
LS13	07/07/21-23:58:00	33 - 15.959	135 - 47.163	1756	681	07/07/22 03:55
LS14	07/07/25-23:53:10	32 - 53.689	135 - 49.721	3438	668	07/07/26 11:55
LS15	07/07/22-07:33:15	33 - 06.328	135 - 57.227	2238	715	07/07/22 11:55
LS16	07/07/21-21:11:10	33 - 17.000	136 - 02.990	1804	648	07/07/22-03:55
LS17	平成 19 年度は設置せず					
LS18	07/07/22-11:27:25	32 - 54.500	136 - 05.807	3704	727	07/07/22 14:55
LS19	07/07/21-18:29:50	33 - 07.000	136 - 12.984	2456	719	07/07/21 23:55
LS32	07/07/23-19:53:05	32 - 56.271	134 - 36.053	956	692	07/07/23 23:55
LS33	07/07/23-16:18:33	32 - 45.358	134 - 44.156	2643	742	07/07/23 23:55
LS34	07/07/23-12:18:11	32 - 40.920	135 - 02.697	4200	753	07/07/23 15:55
LS35	07/07/23-09:05:08	32 - 49.816	135 - 16.820	2386	616	07/07/23 11:55
LS36	07/07/23-06:47:05	32 - 56.399	135 - 30.234	2899	740	07/07/23 11:55
LS37	07/07/23-02:25:53	32 - 44.038	135 - 37.786	4082	645	07/07/23 23:55
LS38	07/07/22-20:24:12	32 - 44.094	135 - 57.658	4226	683	07/07/22 23:55
LS39	07/07/22-23:38:40	32 - 34.025	135 - 50.457	4660	640	07/07/23 05:55
LS40	07/07/22-21:55:15	32 - 33.795	136 - 06.484	4600	604	07/07/23 02:55
LS20	07/11/28-16:27:30	33 - 18.788	136 - 15.281	1830	677	07/11/28 00:00
LS22	07/11/28-14:42:32	33 - 30.84	136 - 24.28	2038	703	07/11/28 18:00

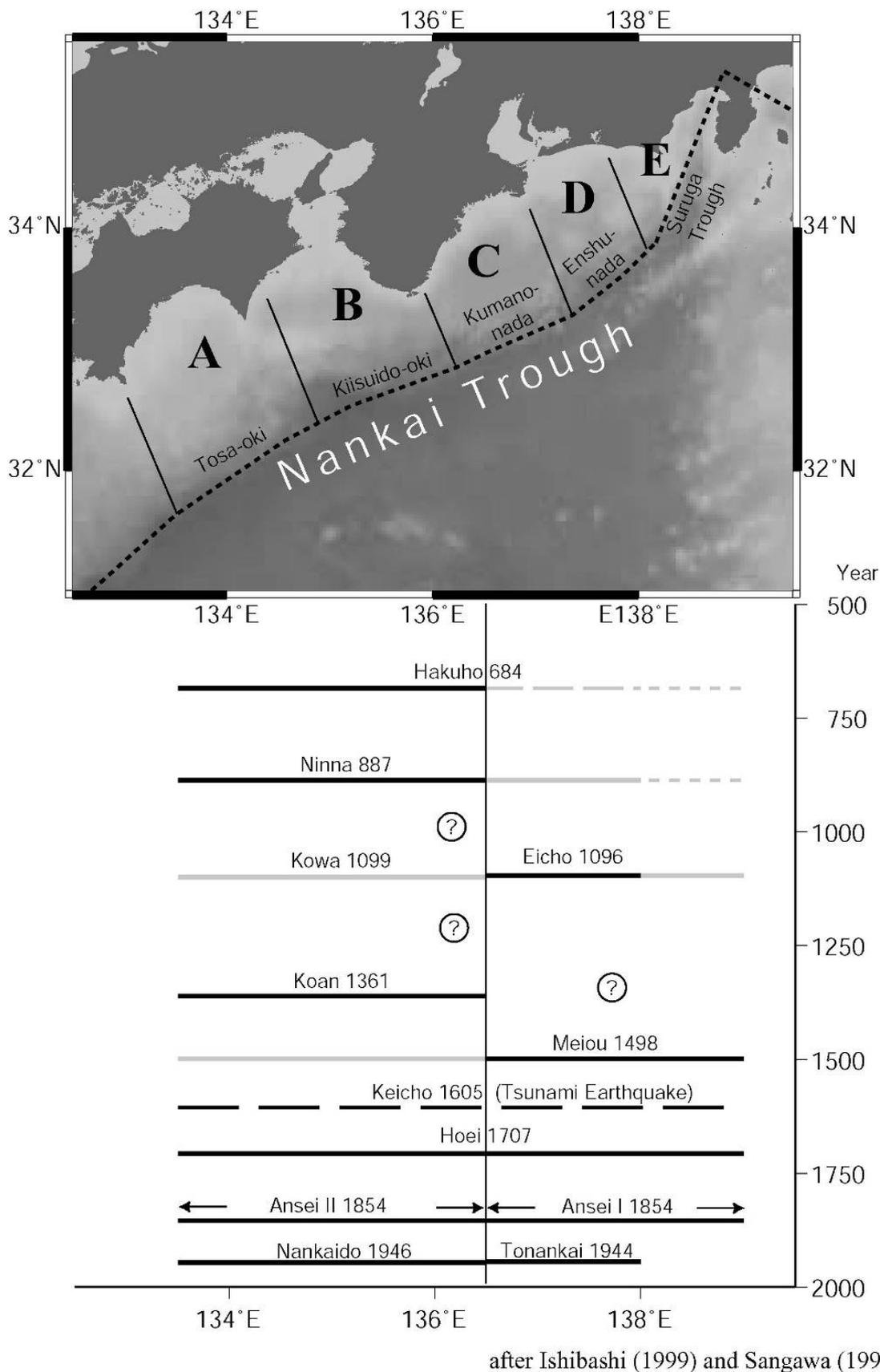
3. 1. 2. 1. より正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究（東南海・南海地震の想定震源域および周辺における海底地震観測研究）

表3 平成19年度に設置した長期観測型海底地震計の観測点再決定位置

LS20 および LS22 は、浅部速度構造調査のために設置した海底地震計

観測点名	海底推定位置			回収日時
	緯度	経度	水深	
LS01	33 - 09.459	134 - 32.599	580	07/11/30-11
LS02	33 - 20.000	134 - 37.015	1376	07/11/30-09
LS03	33 - 30.188	134 - 45.873	678	07/11/30-07
LS04	33 - 08.756	134 - 52.446	802	07/11/30-14:00
LS05	33 - 22.017	134 - 55.954	1348	07/11/29-05
LS06	33 - 31.702	135 - 08.964	869	07/11/29-02:41
LS07	32 - 58.512	135 - 00.021	1952	07/11/30-16
LS08	33 - 11.990	135 - 07.024	1244	07/11/30-18:22
LS09	33 - 21.320	135 - 18.285	1546	07/11/29-00
LS10	33 - 07.107	135 - 20.019	1340	07/11/30-20
LS11	33 - 17.004	135 - 35.026	1562	07/11/30-22
LS12	33 - 06.003	135 - 43.003	2681	07/12/01-01:05
LS13	33 - 15.959	135 - 47.187	1738	07/12/01-02:55
LS14	32 - 53.585	135 - 49.774	3518	07/12/02-05
LS15	33 - 06.328	135 - 57.231	2246	07/12/01-05:00
LS16	33 - 17.001	136 - 02.996	1790	07/12/01-06
LS17	平成19年度は設置せず			
LS18	32 - 54.471	136 - 05.895	3755	07/12/02-02:38
LS19	33 - 06.989	136 - 13.040	2271	07/12/01-18
LS32	32 - 56.292	134 - 36.191	1079	07/12/04-00:19
LS33	32 - 45.498	134 - 44.739	2586	07/12/03-22
LS34	32 - 40.917	135 - 02.705	4247	07/12/03-19:00:00
LS35	32 - 50.009	135 - 17.176	2496	07/12/03-15:30
LS36	32 - 56.363	135 - 30.478	2914	07/12/03-05
LS37	32 - 44.040	135 - 38.222	4094	07/12/03-02:45
LS38	32 - 44.095	135 - 58.118	4227	07/12/02-18
LS39	32 - 34.026	135 - 50.851	4657	07/12/02-23
LS40	32 - 33.790	136 - 06.939	4596	07/12/02-20
LS20	33 - 18.904	136 - 15.365	-1840	07/12/01-15
LS22	33 - 30.847	136 - 24.284	-2027	07/12/01-13:03

3. 1. 2. 1. より正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究（東南海・南海地震の想定震源域および周辺における海底地震観測研究）



after Ishibashi (1999) and Sangawa (1999)

図1 南海トラフでの歴史地震 (Mochizuki and Obana, 2003<sup>8)</sup>による)  
(Ishibashi, 1999<sup>4)</sup> ; Sangawa, 1999<sup>11)</sup>)

3. 1. 2. 1. より正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究（東南海・南海地震の想定震源域および周辺における海底地震観測研究）

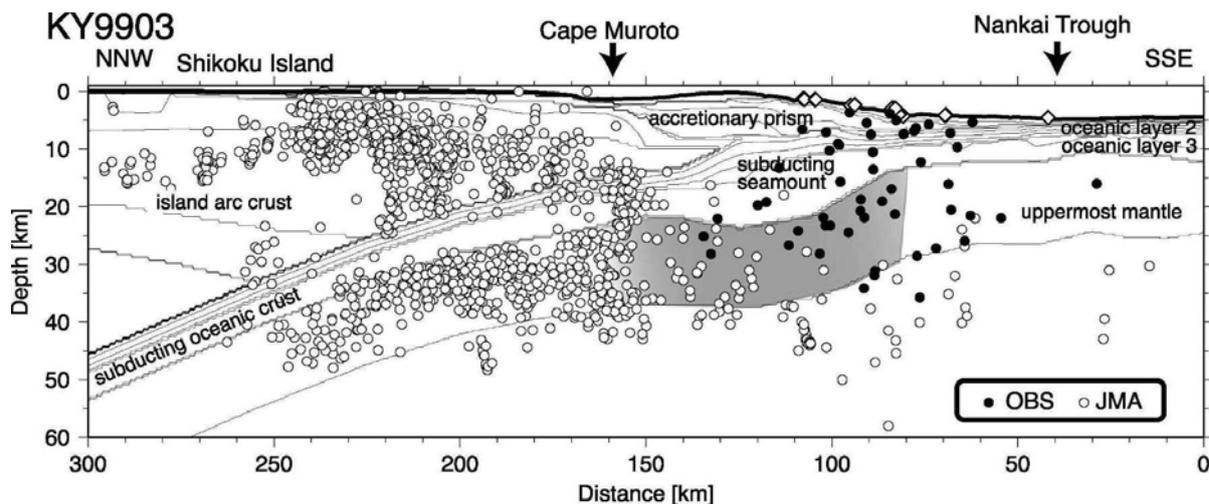


図2 室戸沖の地震活動

黒丸が海底地震計で観測された微小地震、白丸が陸上の観測点で観測された地震（気象庁による）

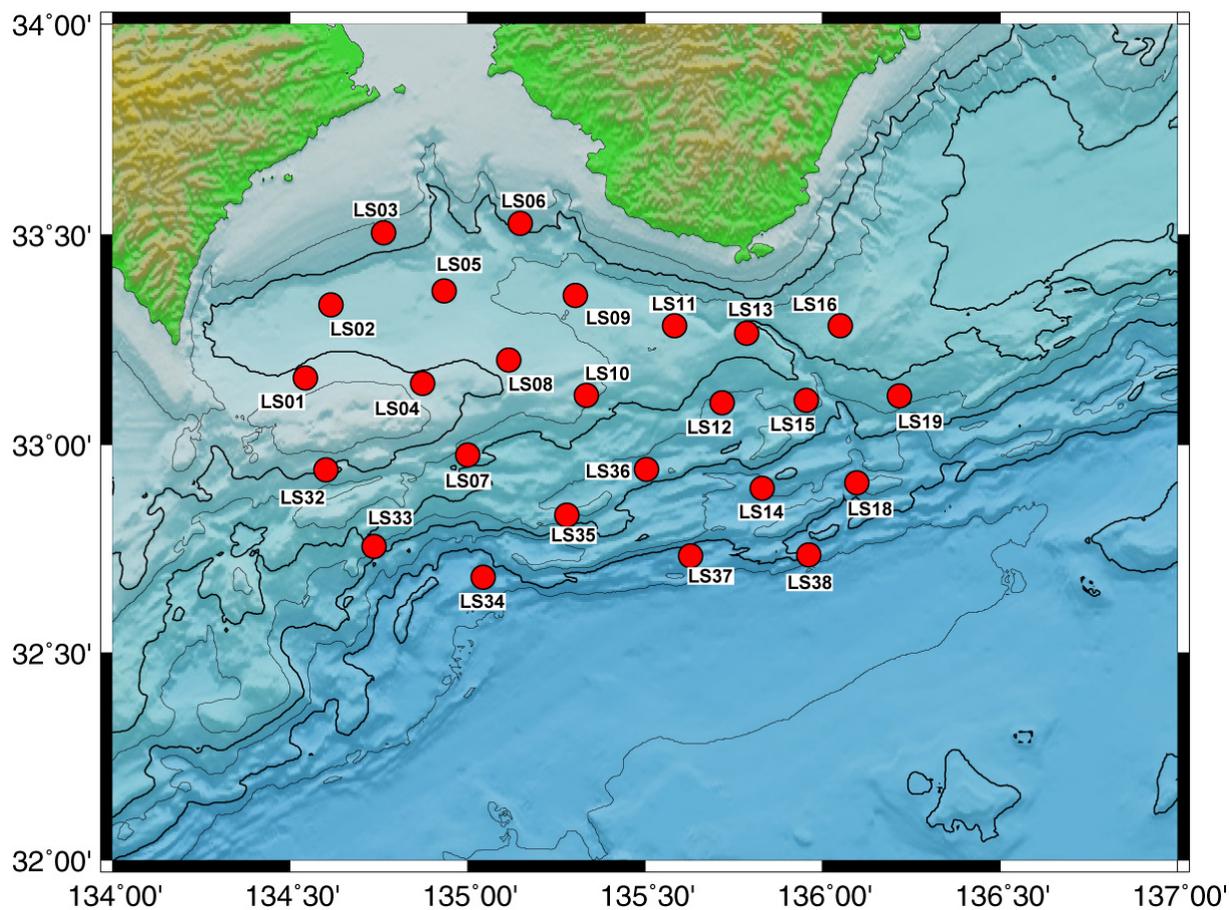


図3 平成18年度に長期観測型海底地震計を設置した25観測点の配置

赤丸が長期観測型海底地震計の位置を表す。

3. 1. 2. 1. より正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究（東南海・南海地震の想定震源域および周辺における海底地震観測研究）

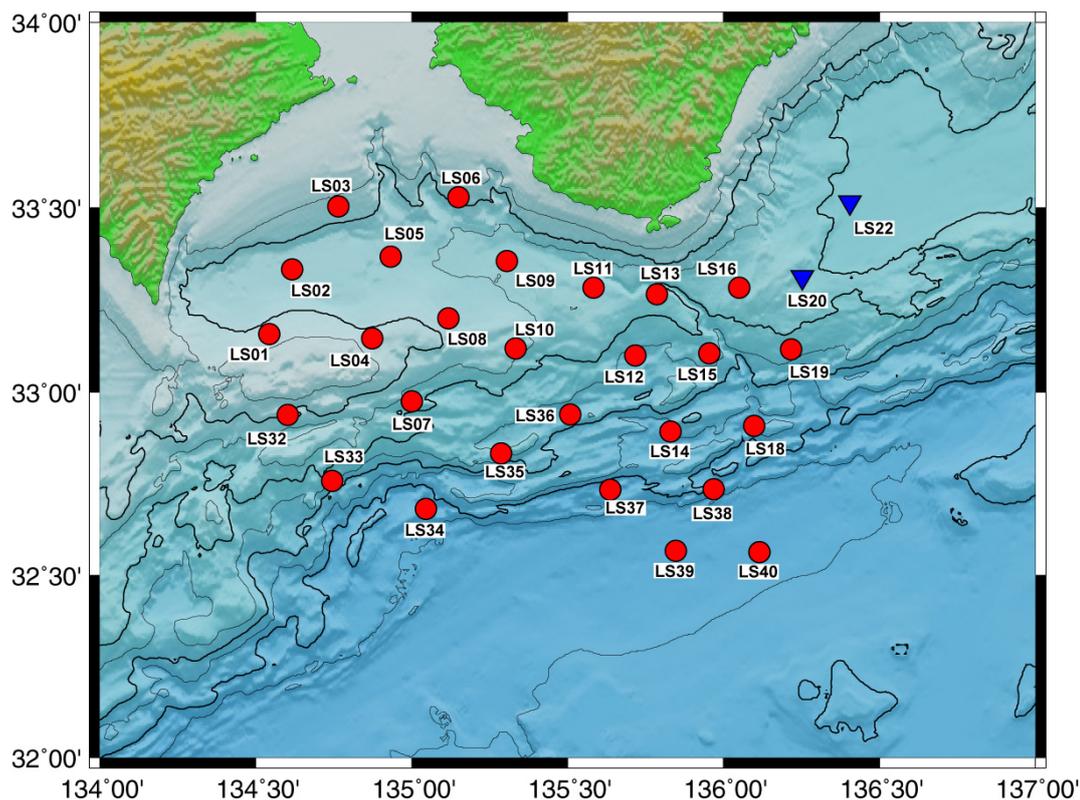


図4 平成19年度に設置した長期観測型海底地震計の27観測点の配置（赤丸）  
青逆三角は、浅部速度構造調査のために設置した海底地震計（LS20、LS22）を示している。

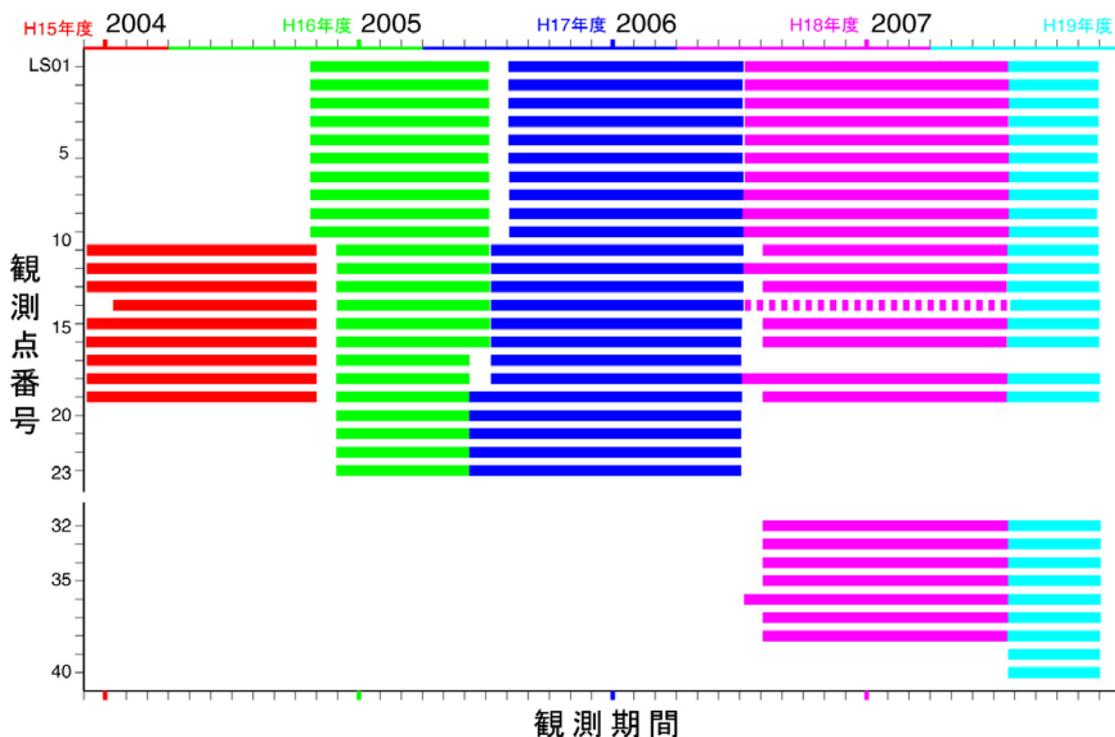


図5 各観測点における観測期間

3. 1. 2. 1. より正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究（東南海・南海地震の想定震源域および周辺における海底地震観測研究）

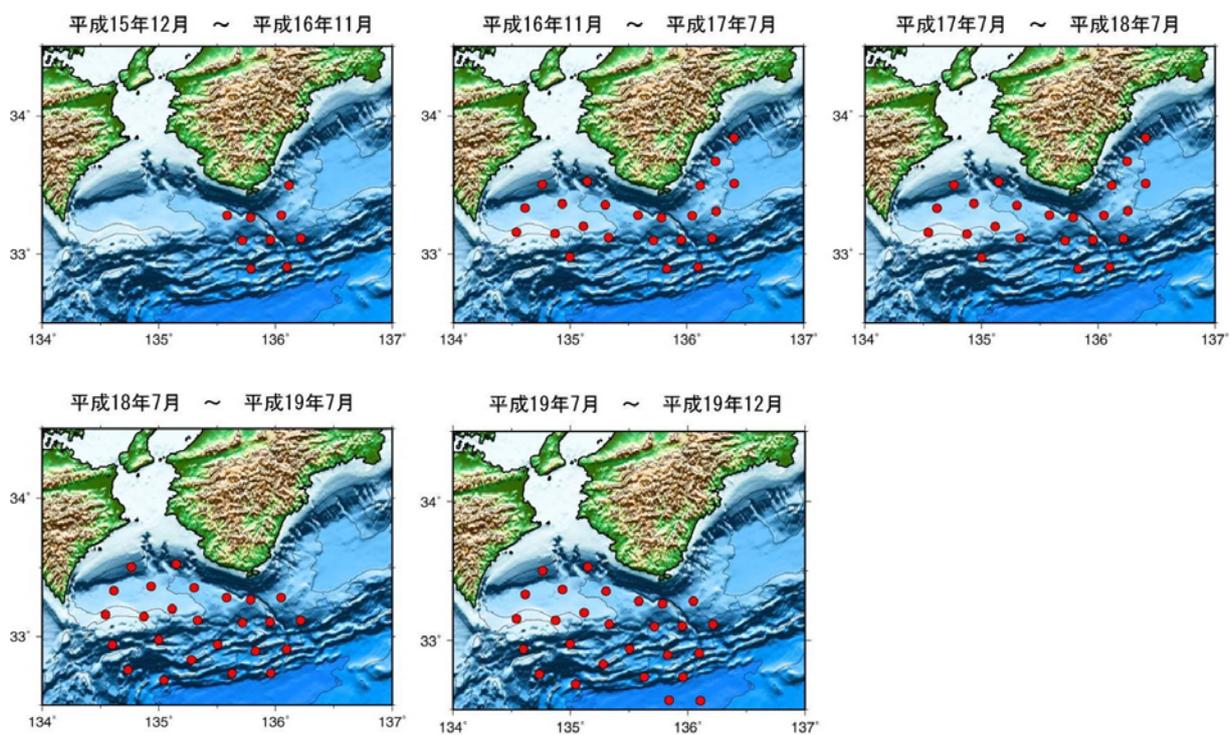


図 6 各観測期間における観測点配置

3. 1. 2. 1. より正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究（東南海・南海地震の想定震源域および周辺における海底地震観測研究）

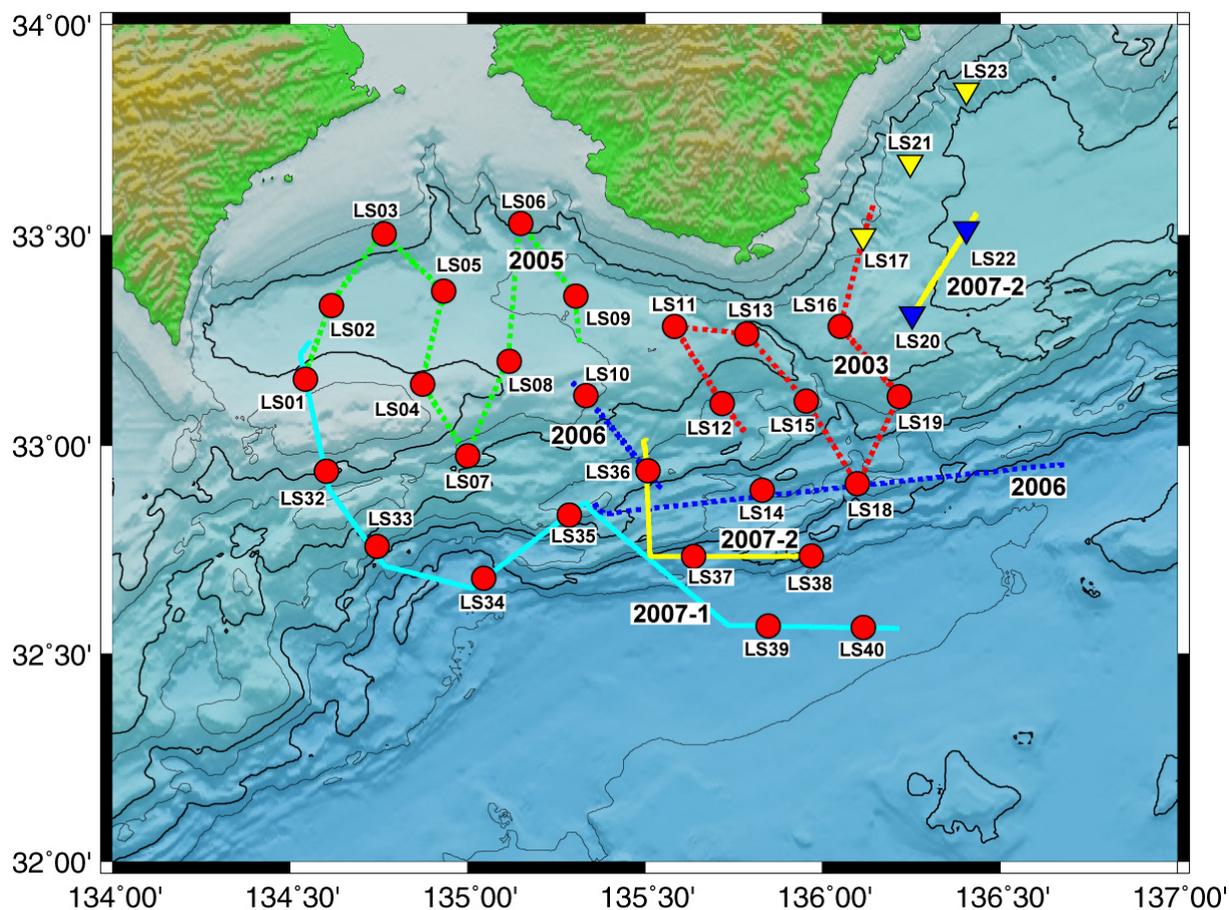


図7 長期観測型海底地震計の観測点配置および構造調査測線

赤丸は平成19年度に長期観測型海底地震計を設置した観測点位置、青三角は平成19年11月に浅部速度構造調査のために設置した海底地震計。黄逆三角は、平成17年度設置の長期観測型海底地震計を回収して、その後は観測を中断している観測点の位置を示す。緑点線、赤点線および青点線は、平成18年度までに実施した人工震源による構造調査測線を示す。黄実線は平成19年7月に、水色実線は平成19年12月に実施した構造調査測線を示す。

3. 1. 2. 1. より正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究（東南海・南海地震の想定震源域および周辺における海底地震観測研究）

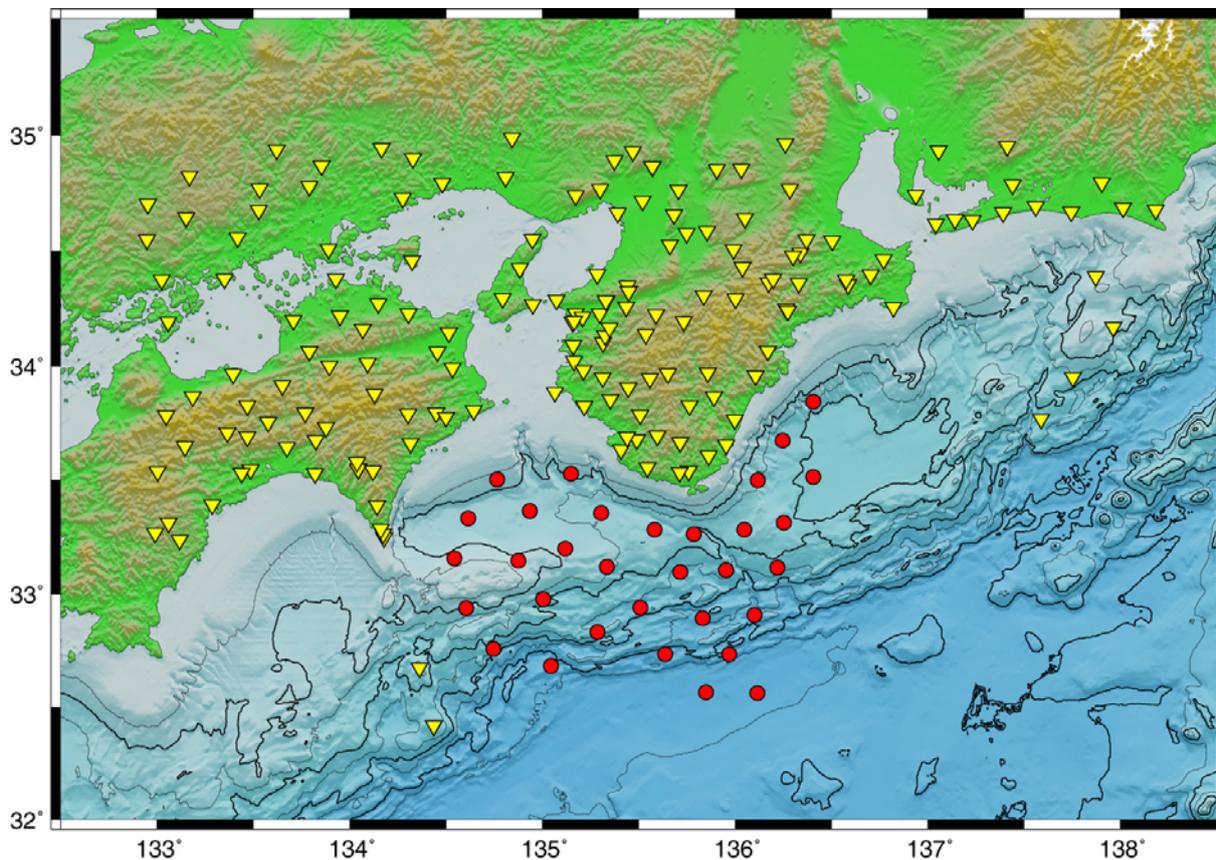


図8 気象庁一元化震源リストに記載の地震についての解析に使用した観測点  
本プロジェクトで設置した海底地震計（赤丸）と既存の地震計（黄逆三角）観測点の分布。  
震源リストに載っていない微小地震については、海底地震計記録のみで解析を行った。

3. 1. 2. 1. より正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究（東南海・南海地震の想定震源域および周辺における海底地震観測研究）

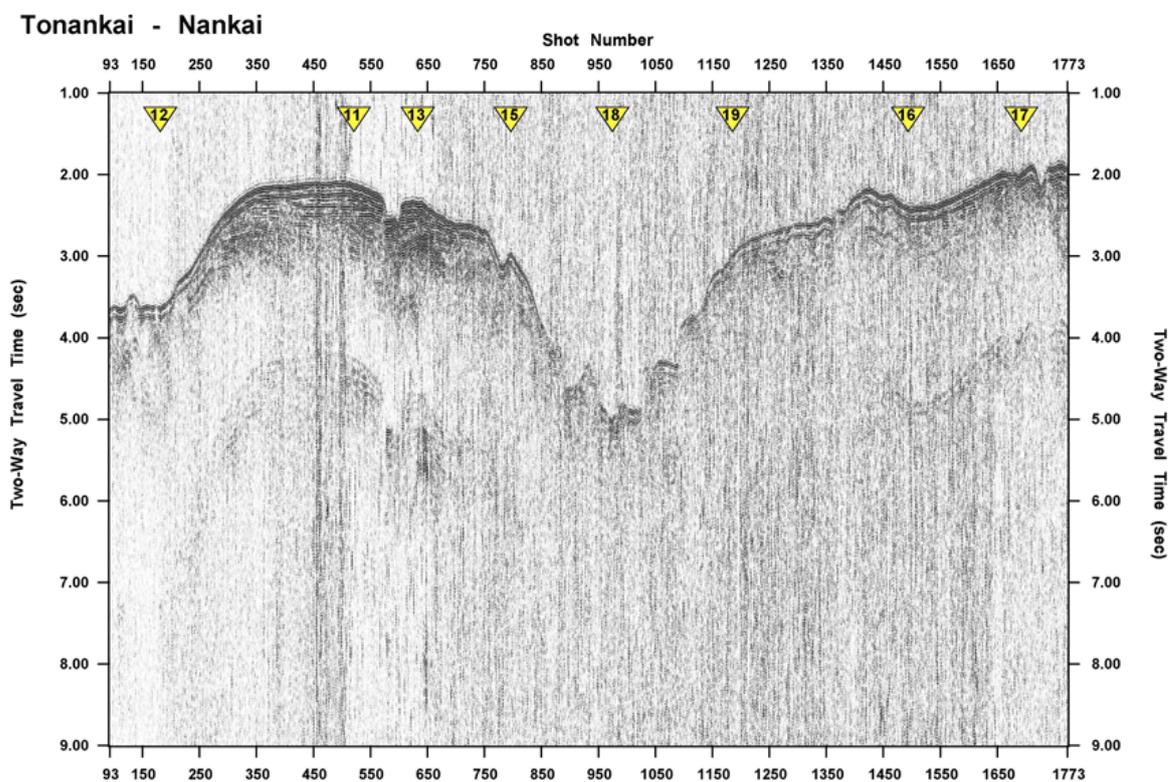
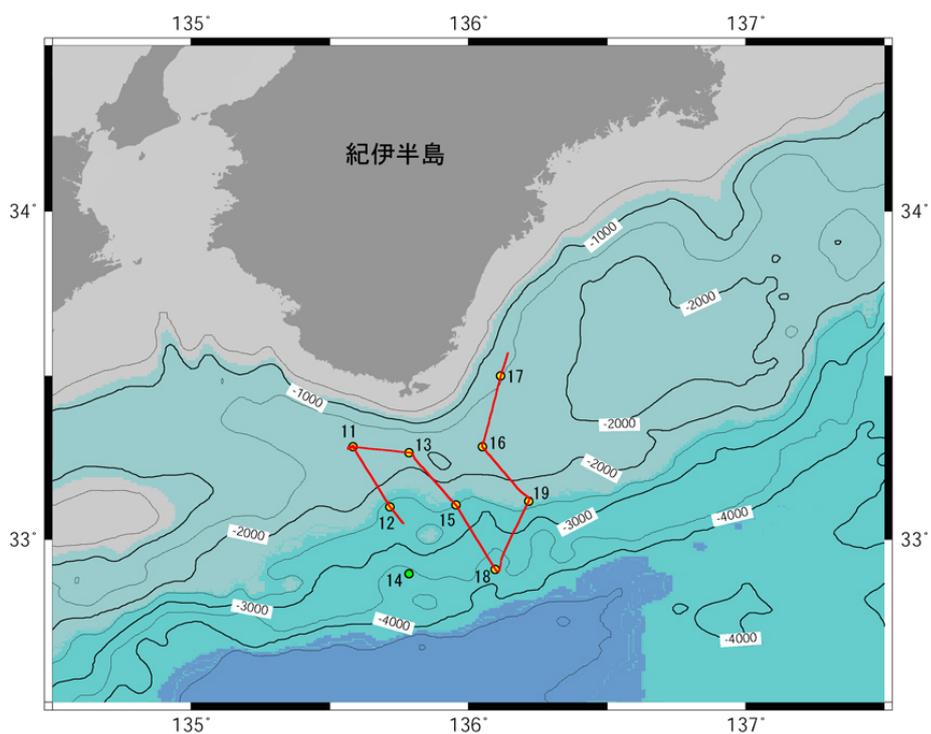


図9 平成15年度に実施した浅部構造探査測線(上図)と反射法断面図(下図)

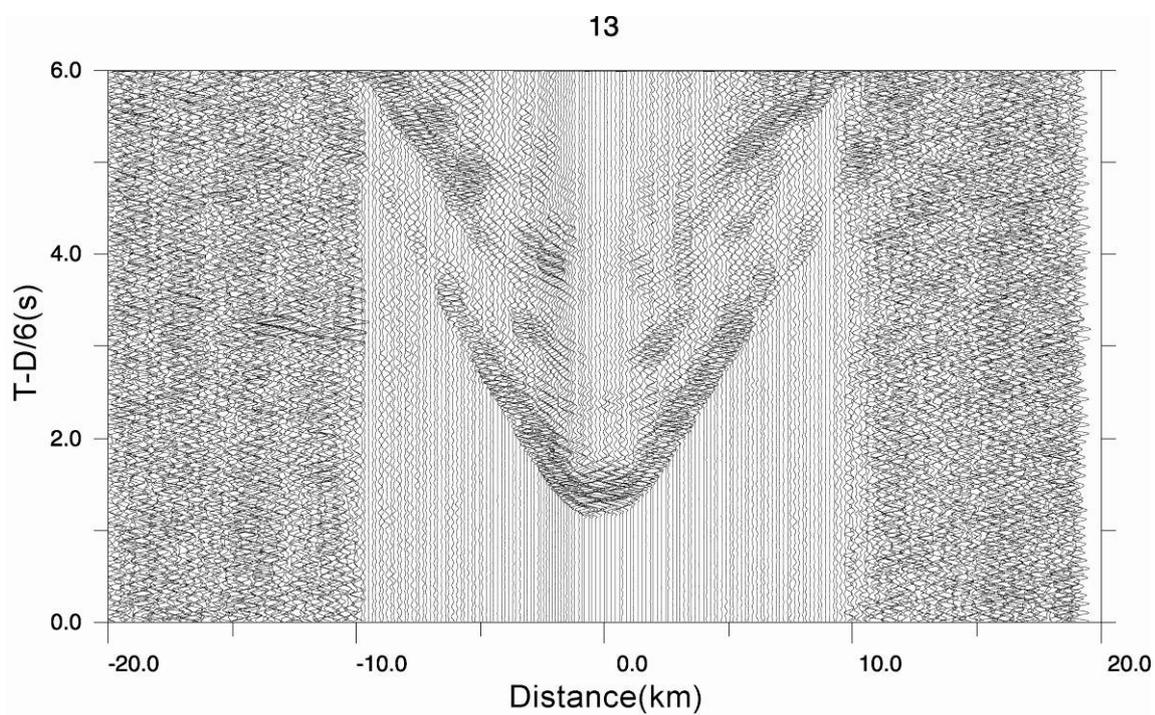
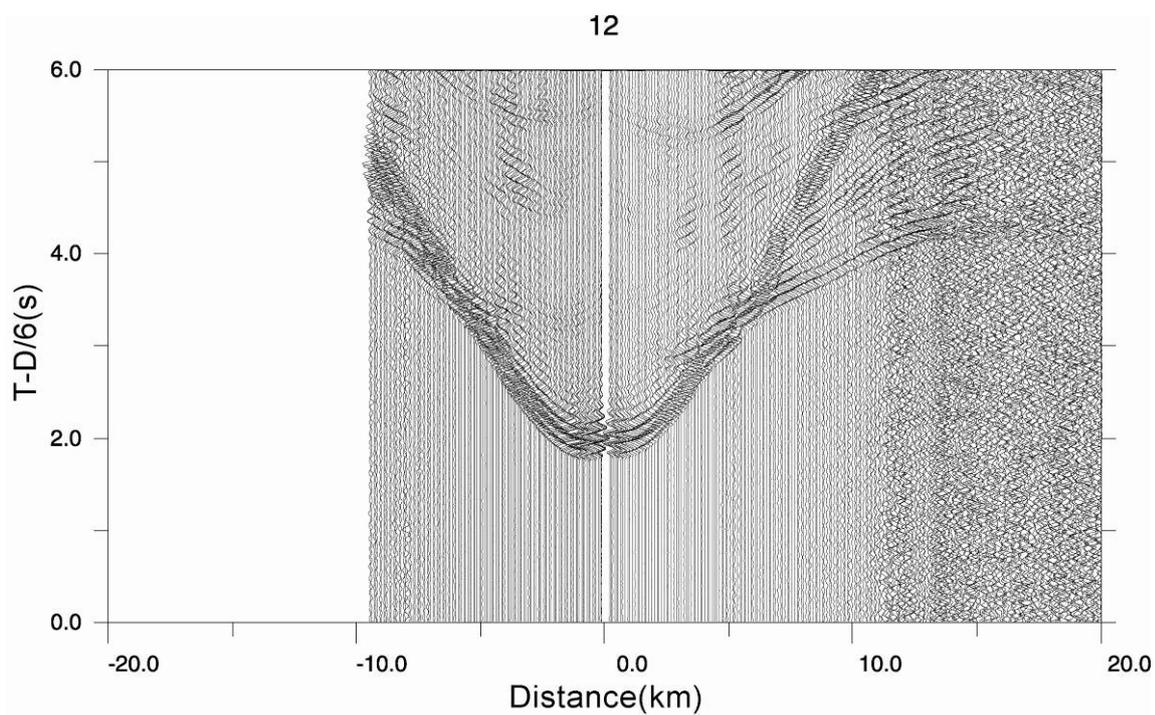


図 10 平成 15 年度に実施した構造探査実験により発震したエアガンの波形記録  
明瞭な浅部からの屈折波及び広角反射波が記録されている。図の上の数字は長期観測型海  
底地震計の番号を示している。

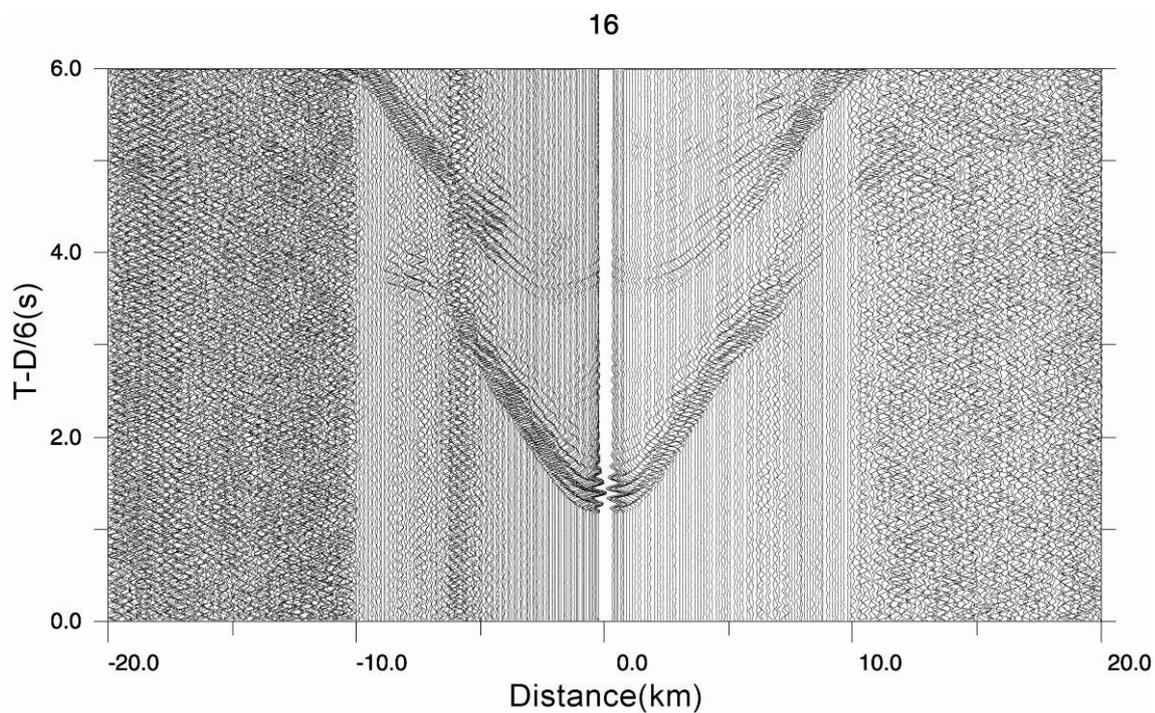
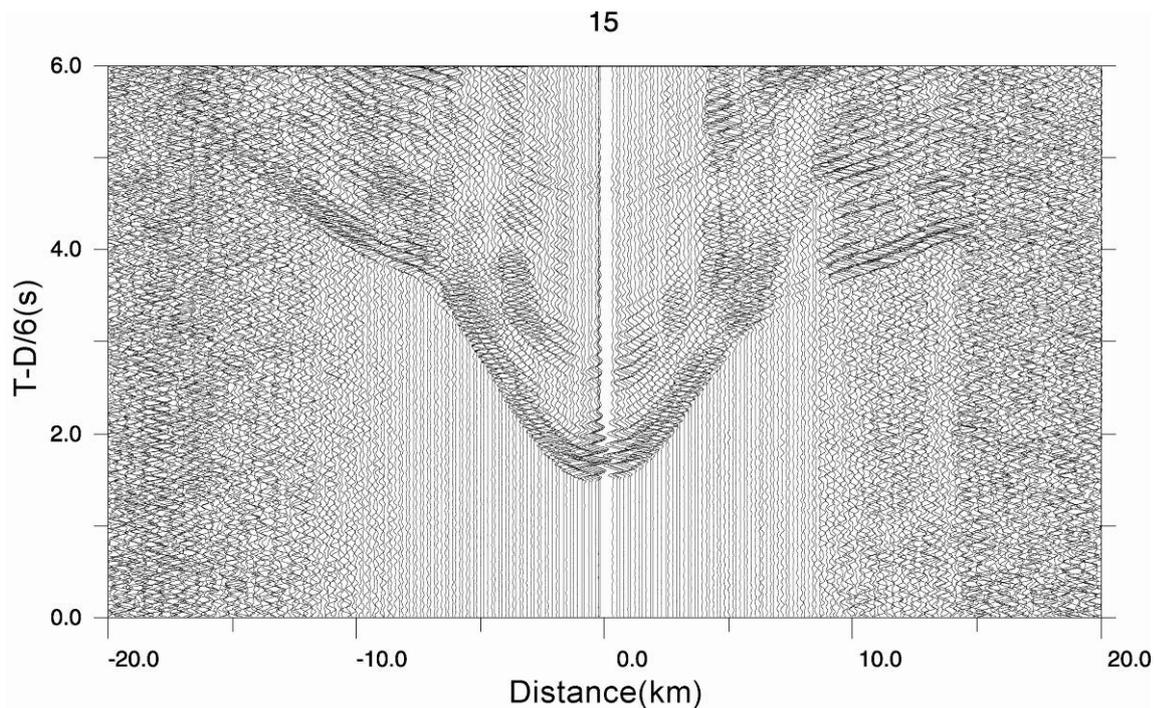


図 10 (つづき) 平成 15 年度に実施した構造探査実験により発震したエアガンの波形記録。明瞭な浅部からの屈折波及び広角反射波が記録されている。図の上の数字は長期観測型海底地震計の番号を示している。

3. 1. 2. 1. より正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究（東南海・南海地震の想定震源域および周辺における海底地震観測研究）

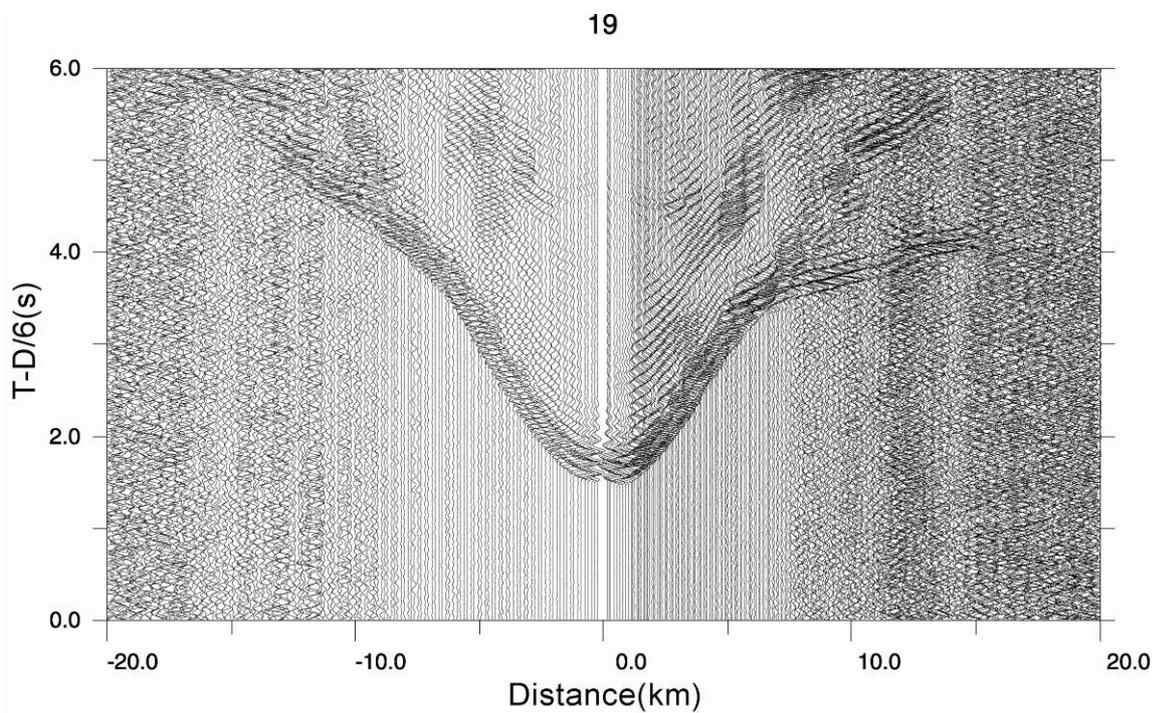
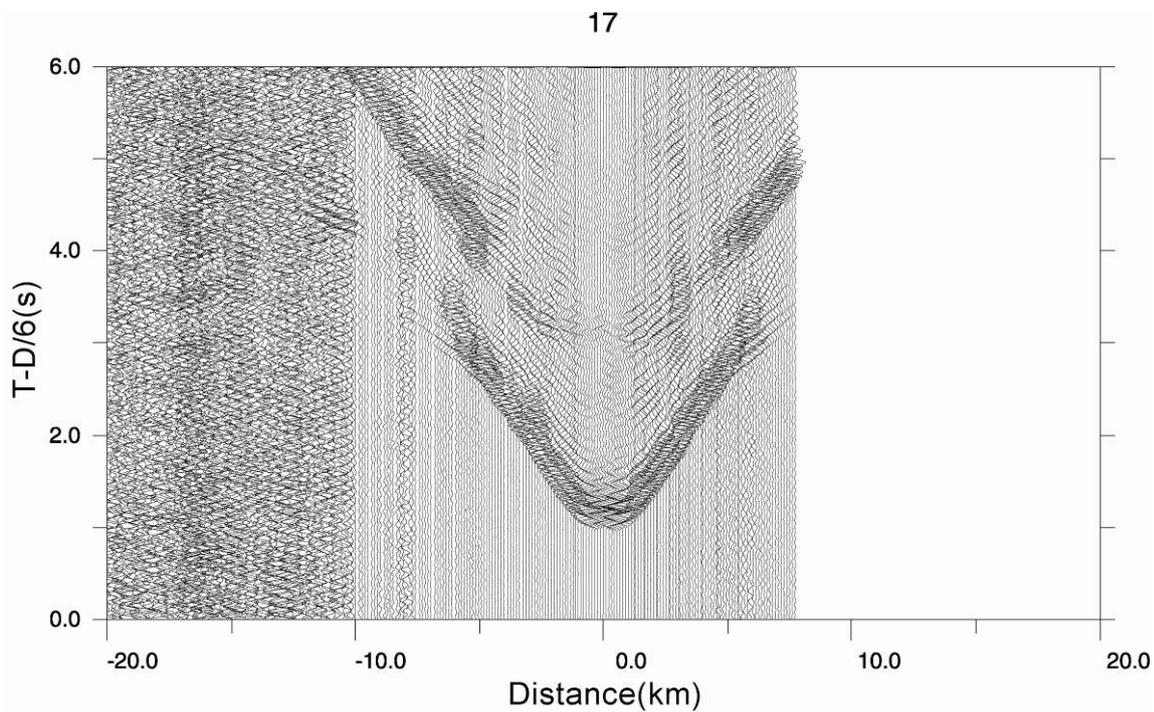


図 10(つづき) 平成 15 年度に実施した構造探査実験により発震したエアガンの波形記録  
明瞭な浅部からの屈折波及び広角反射波が記録されている。図の上の数字は長期観測型海  
底地震計の番号を示している。

3. 1. 2. 1. より正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究（東南海・南海地震の想定震源域および周辺における海底地震観測研究）

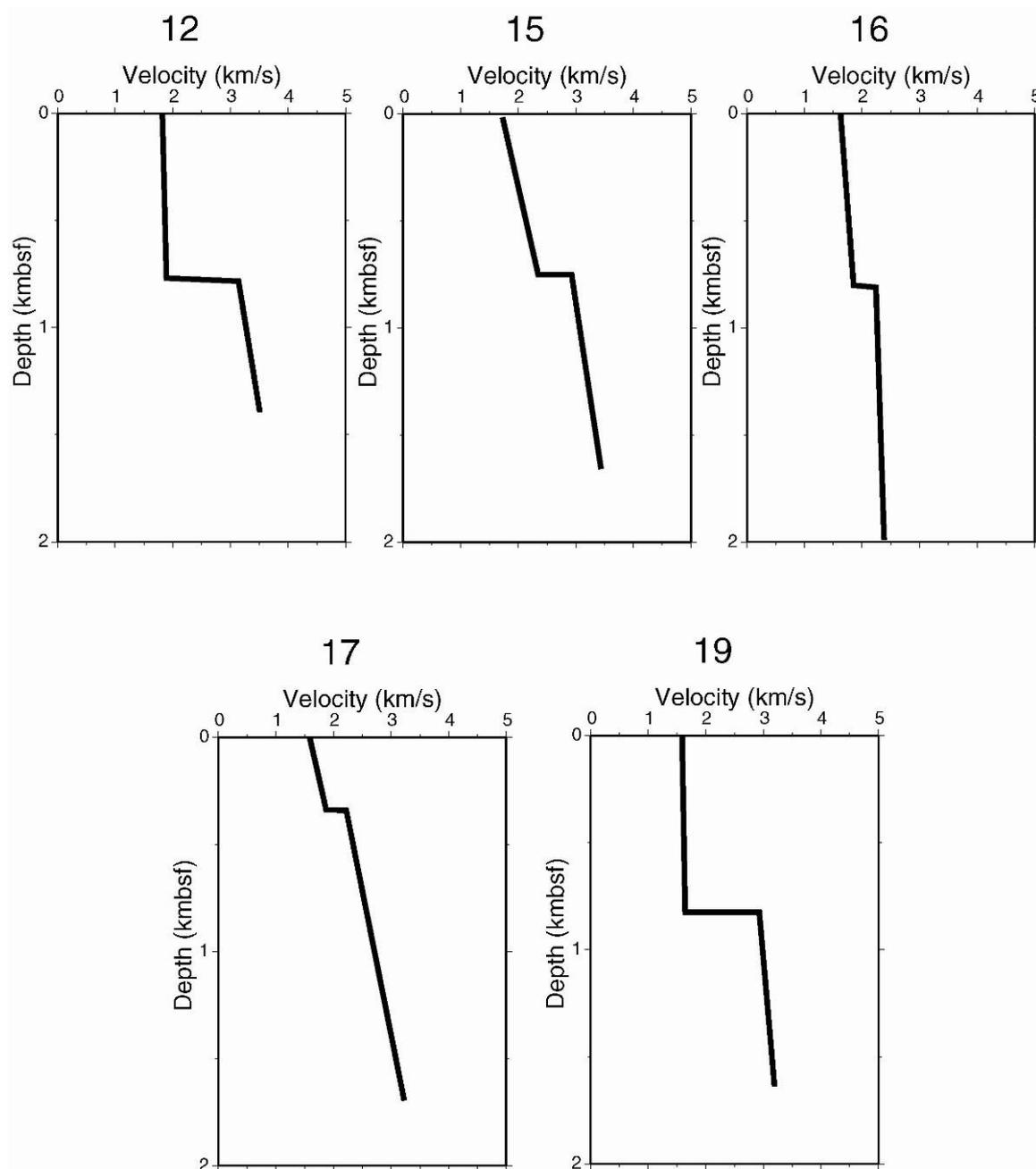


図 11 エアガンを用いた構造探査実験から得られた各海底地震計直下の P 波速度構造  
これらのデータから、観測点補正值の初期値を決定した。なお、図の上の数字は長期観測型海底地震計の番号を示している。

3. 1. 2. 1. より正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究（東南海・南海地震の想定震源域および周辺における海底地震観測研究）

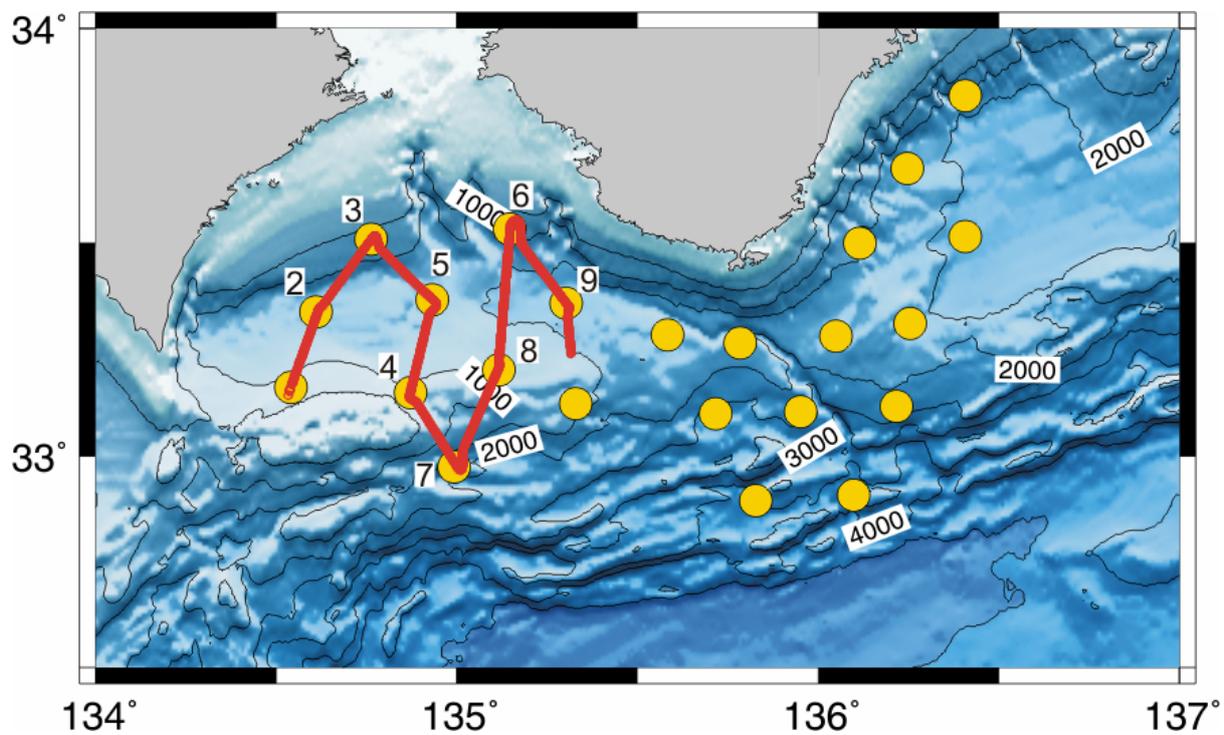


図 12 平成 16 年度に実施した浅部構造探査測線

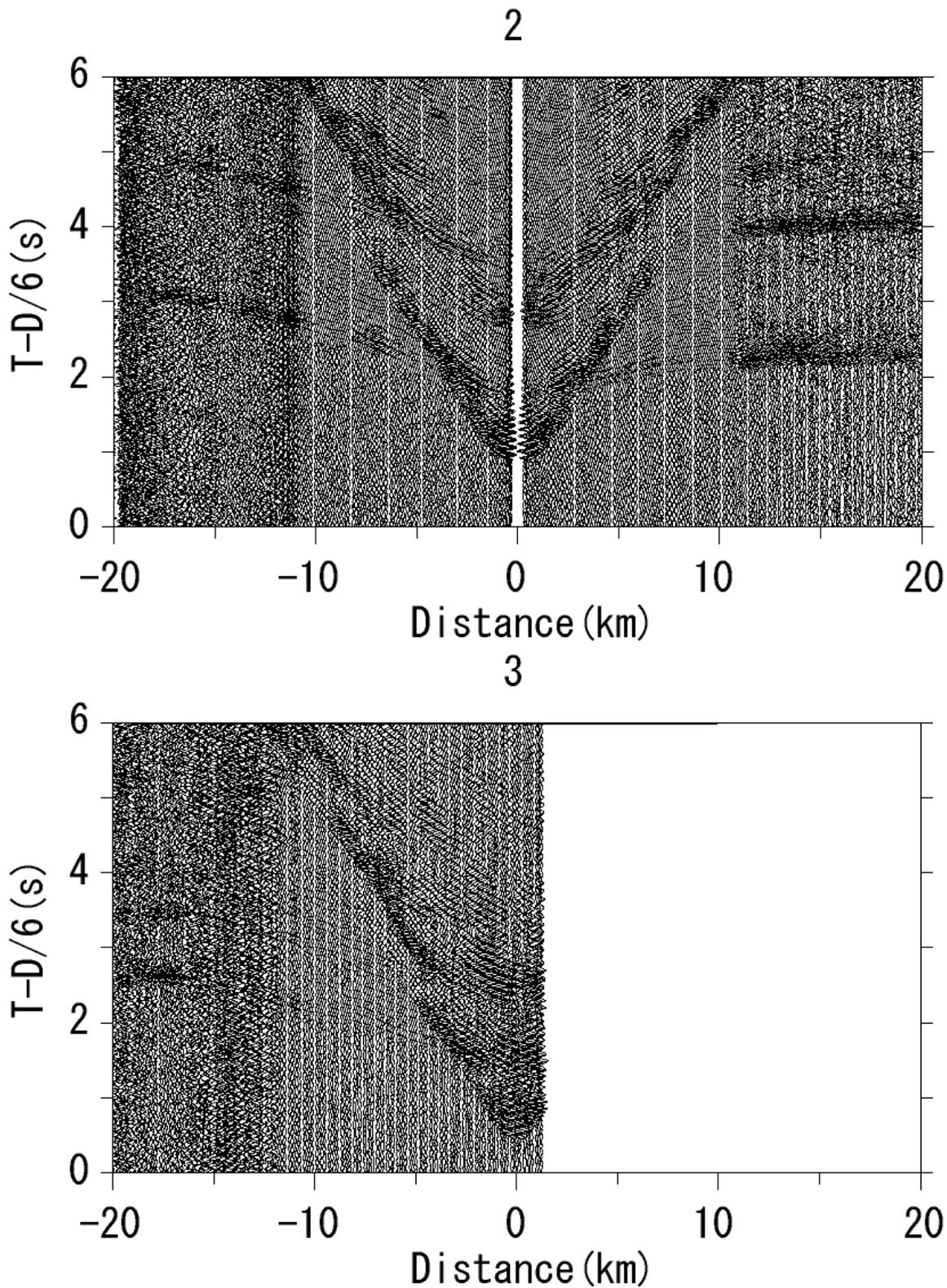


図 13 平成 16 年度に実施した構造探査実験により発震したエアガンの波形記録  
明瞭な浅部からの屈折波及び広角反射波が記録されている。図の上の数字は長期観測型海  
底地震計の番号を示している。

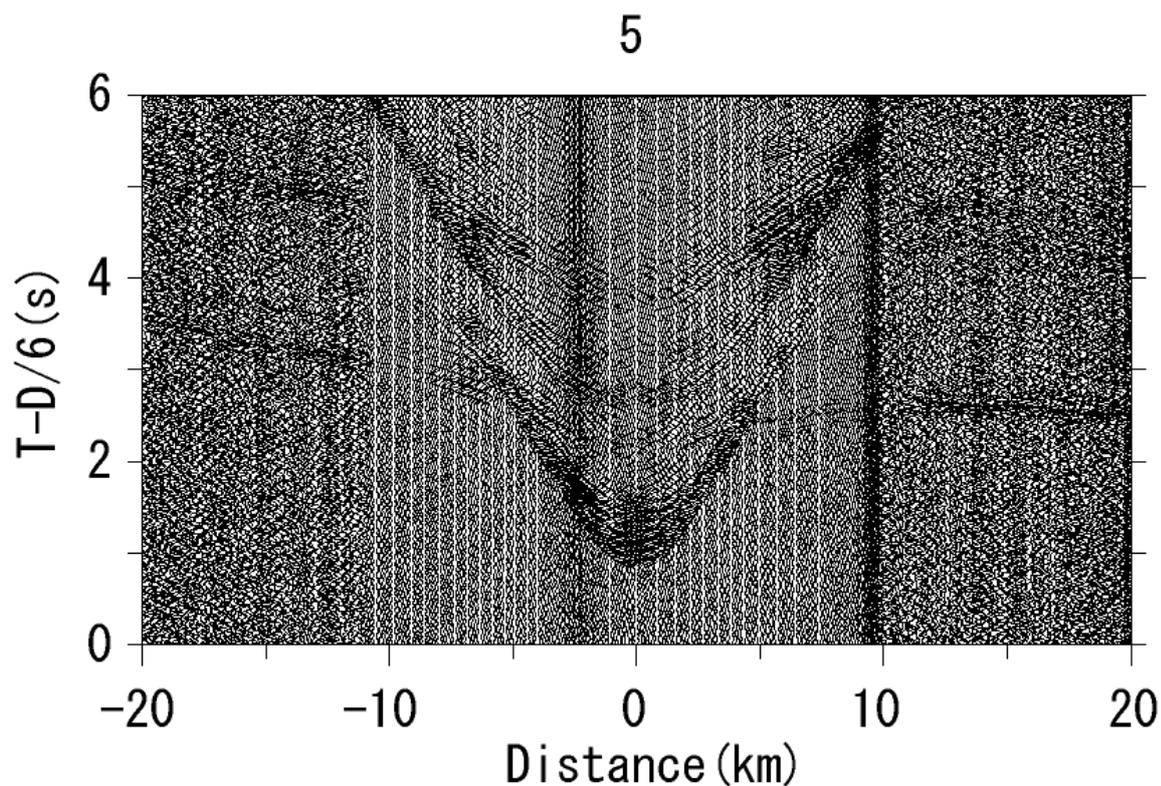
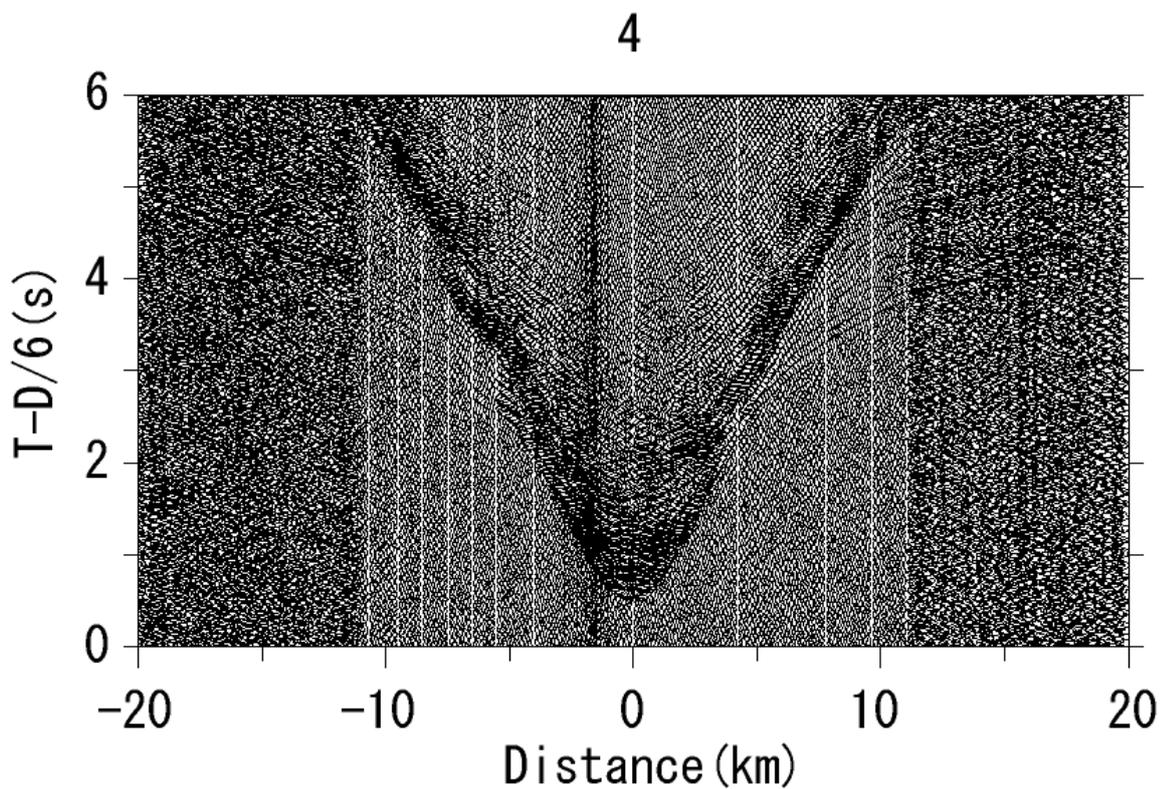


図 13(つづき) 平成 16 年度に実施した構造探査実験により発震したエアガンの波形記録  
明瞭な浅部からの屈折波及び広角反射波が記録されている。図の上の数字は長期観測型海  
底地震計の番号を示している。

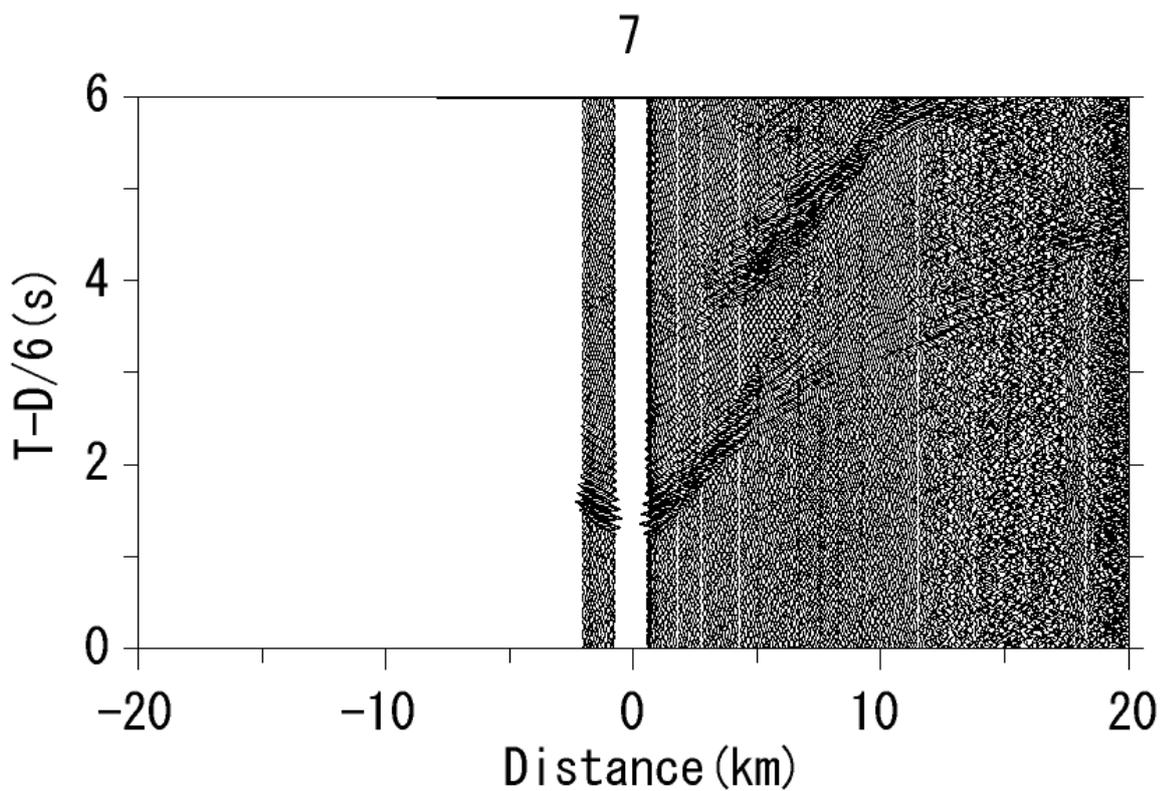
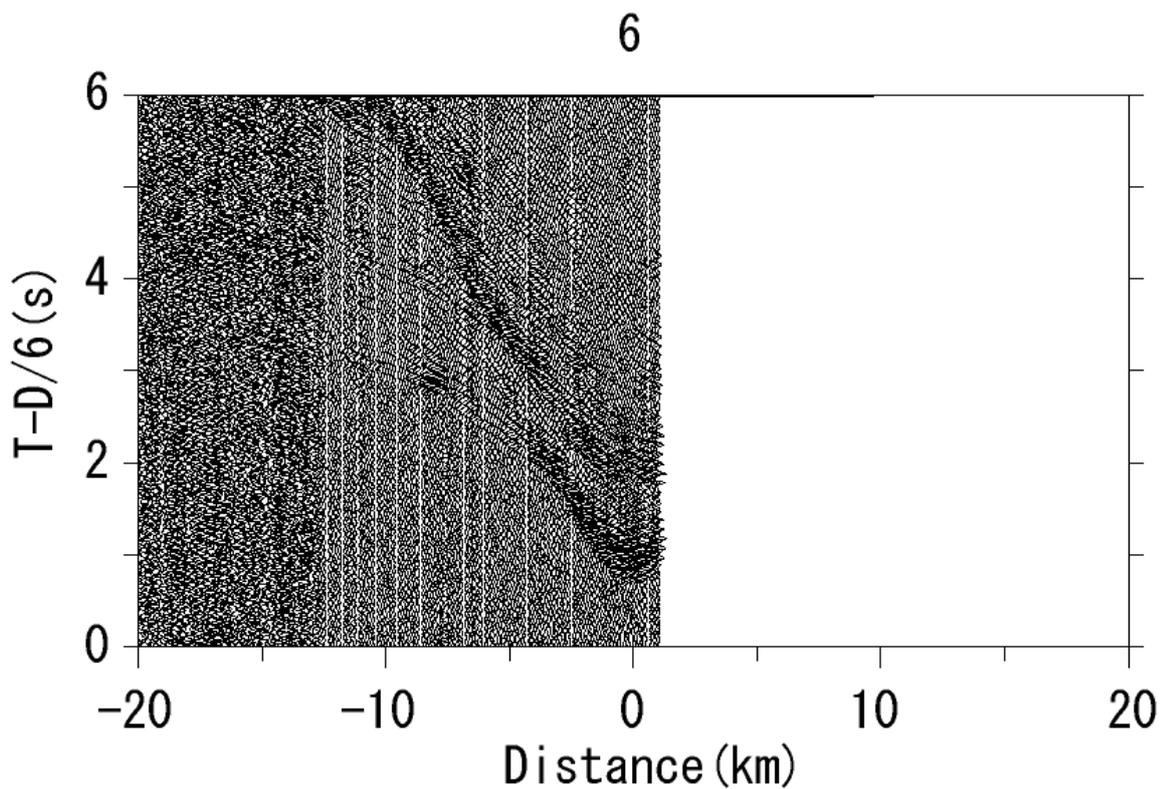


図 13(つづき) 平成 16 年度に実施した構造探査実験により発震したエアガンの波形記録  
明瞭な浅部からの屈折波及び広角反射波が記録されている。図の上の数字は長期観測型海  
底地震計の番号を示している。

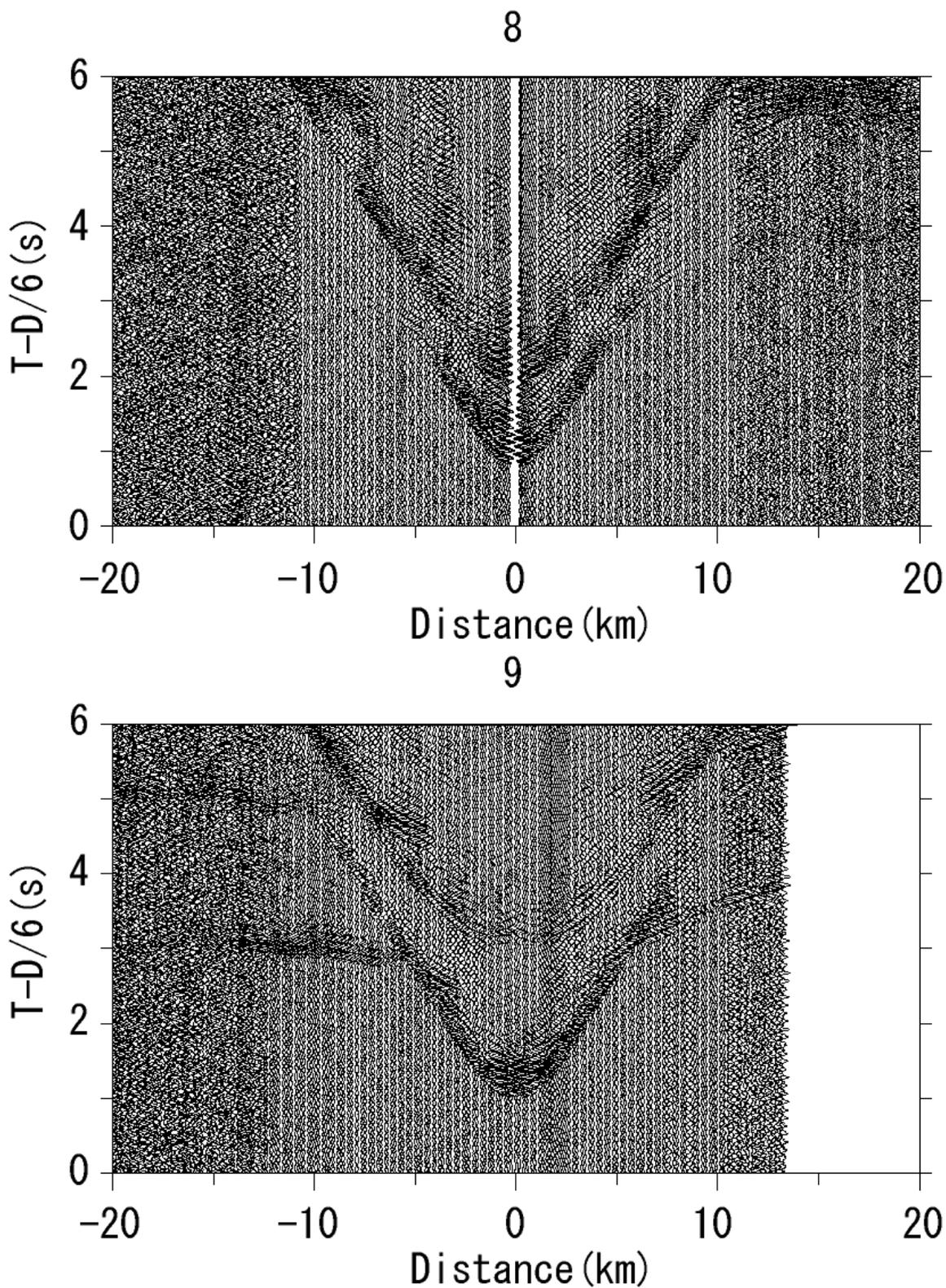


図 13(つづき) 平成 16 年度に実施した構造探査実験により発震したエアガンの波形記録。明瞭な浅部からの屈折波及び広角反射波が記録されている。図の上の数字は長期観測型海底地震計の番号を示している。

3. 1. 2. 1. より正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究（東南海・南海地震の想定震源域および周辺における海底地震観測研究）

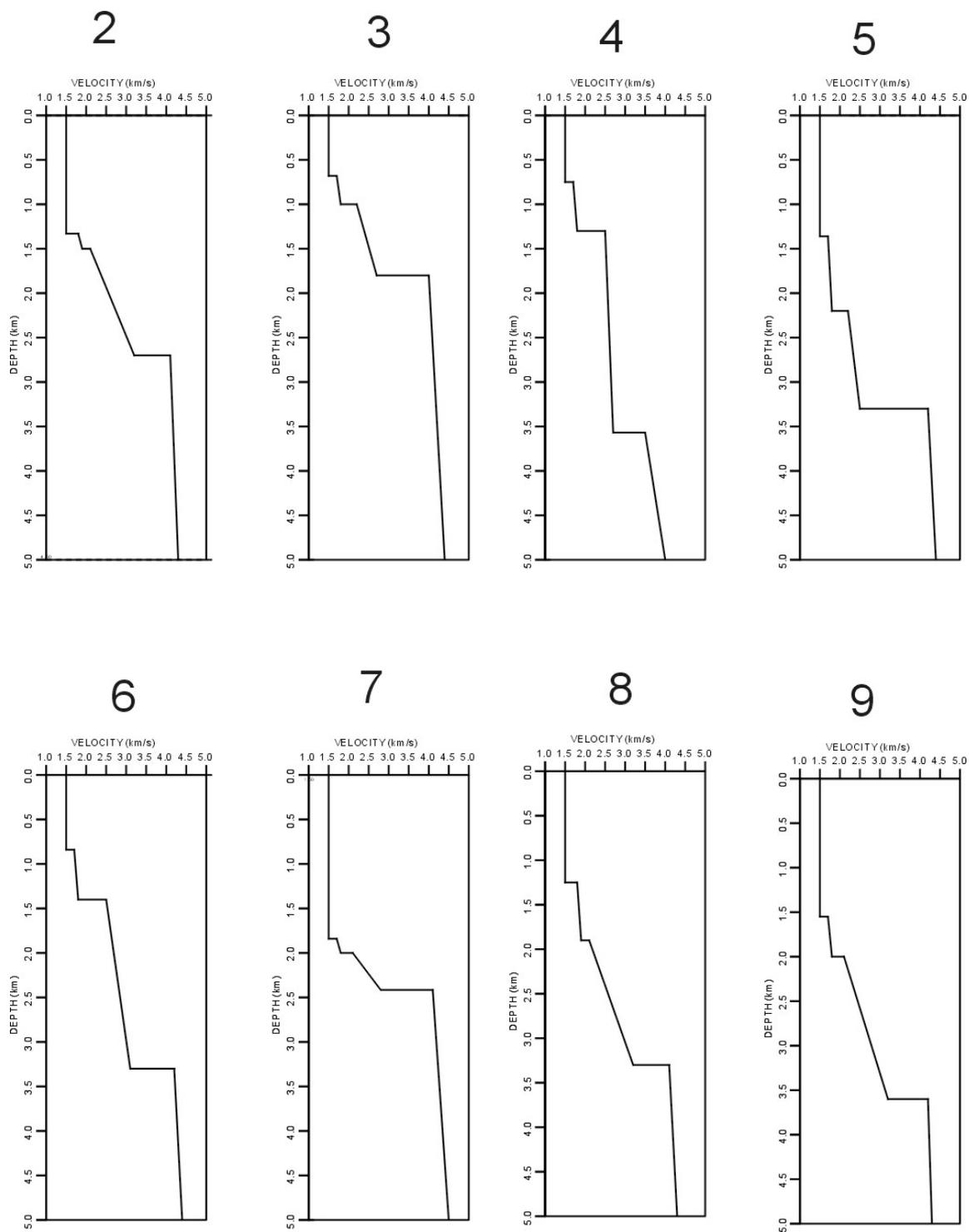


図 14 エアガンを用いた構造探査実験から得られた各海底地震計直下の P 波速度構造  
 これらのデータから、観測点補正值の初期値を決定するとともに、観測点直下の一次元速度構造作成に参照した。なお、図の上の数字は海底地震計の番号を示している。

3. 1. 2. 1. より正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究（東南海・南海地震の想定震源域および周辺における海底地震観測研究）

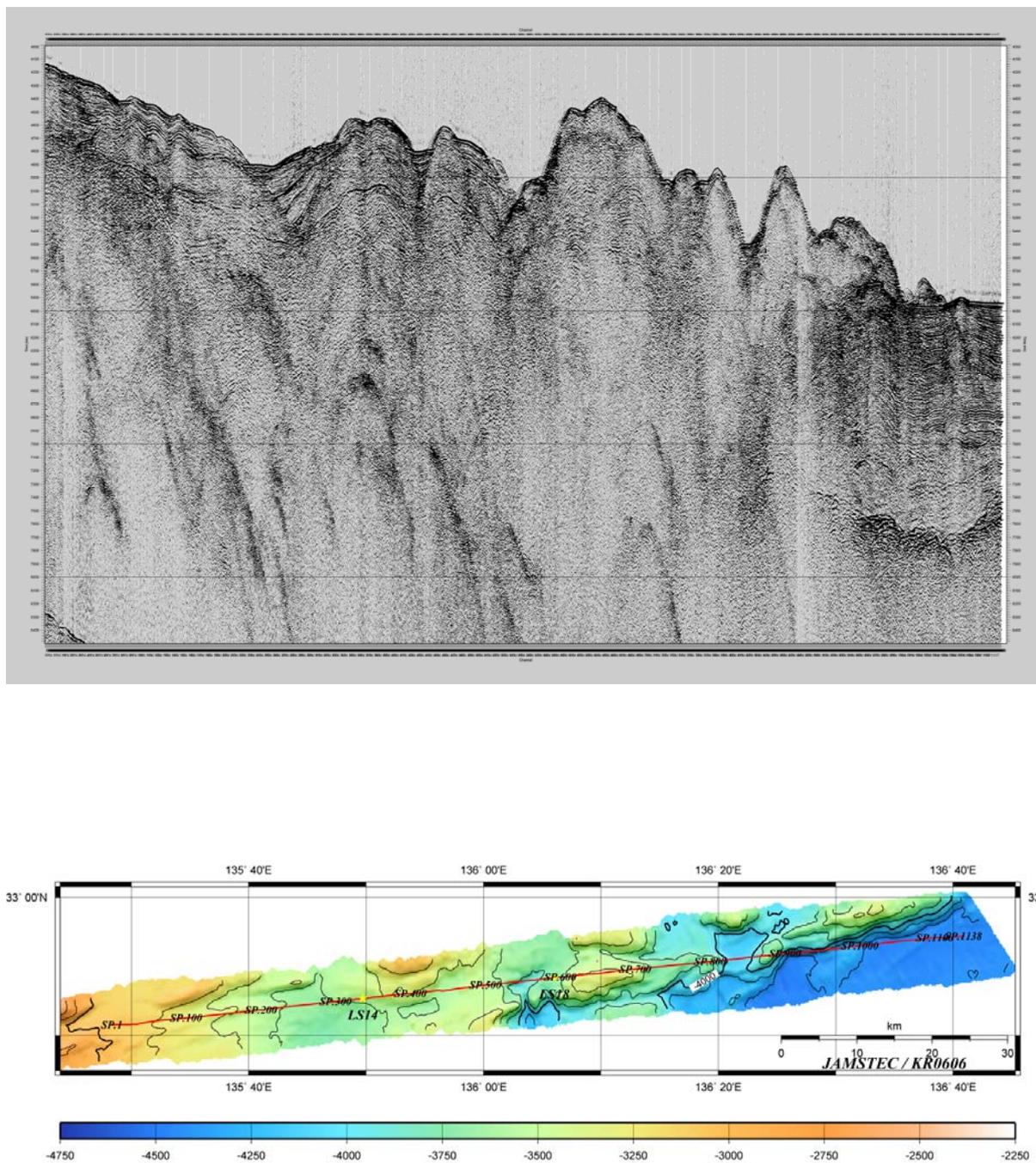


図 15 調査船「かいらい」による構造調査時に得られた浅部地殻構造反射断面図と測線下の海底地形図

# 14

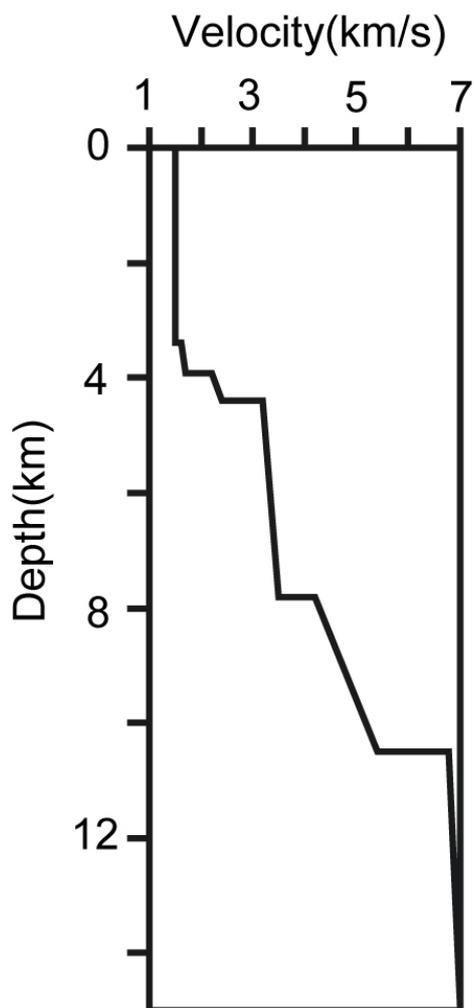
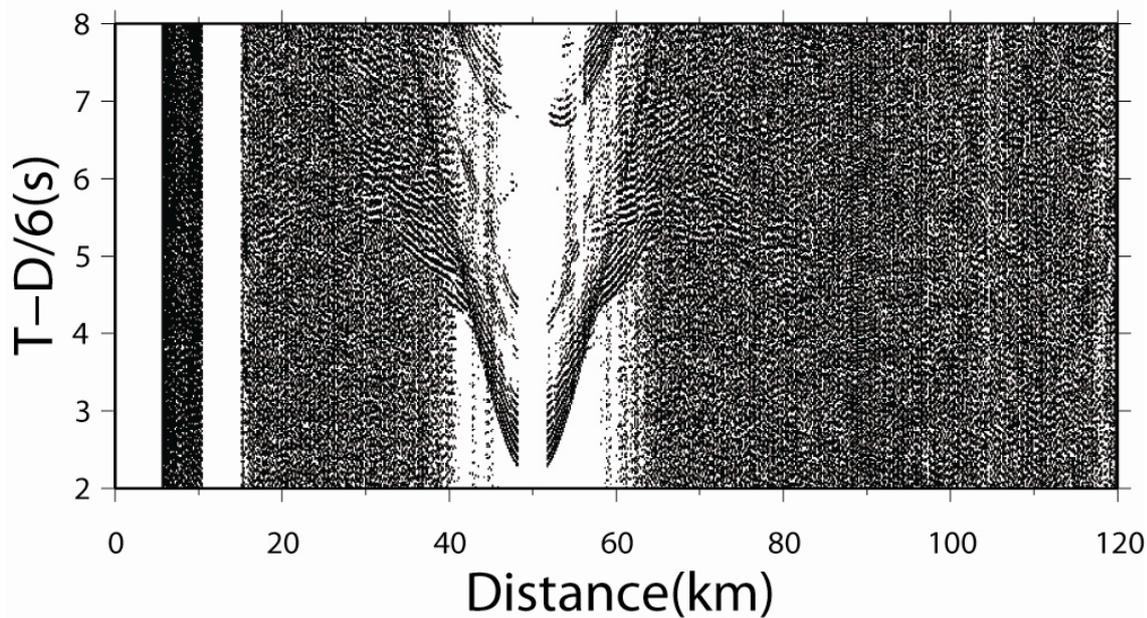


図 16 平成 18 年度に実施した構造探査実験により発震したエアガンの波形記録(上図)および海底地震計直下の P 波速度構造(左図) - 観測点 LS14  
 明瞭な浅部からの屈折波及び広角反射波が記録されている。ここで得られた浅部一次元速度構造から、観測点補正值の初期値を決定するとともに、観測点直下の一次元速度構造作成に参照した。なお、図の上の数字は長期観測型海底地震計の番号を示している。

# 18

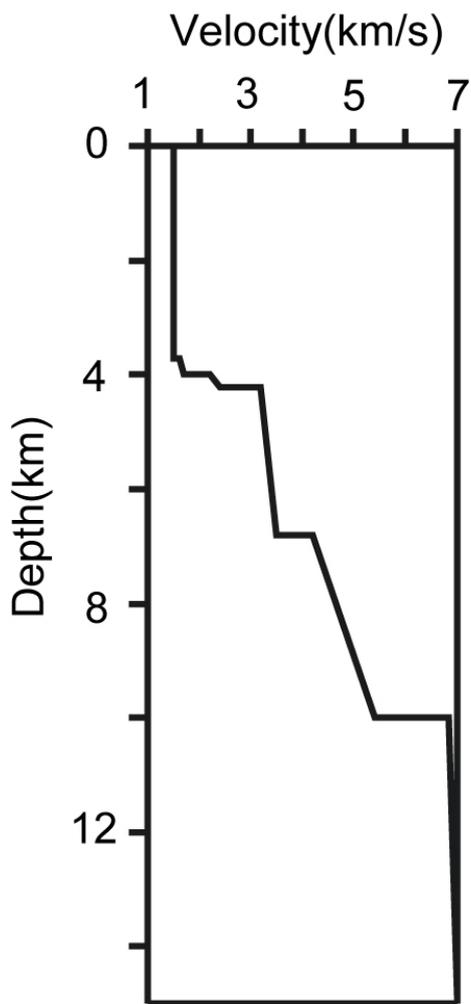
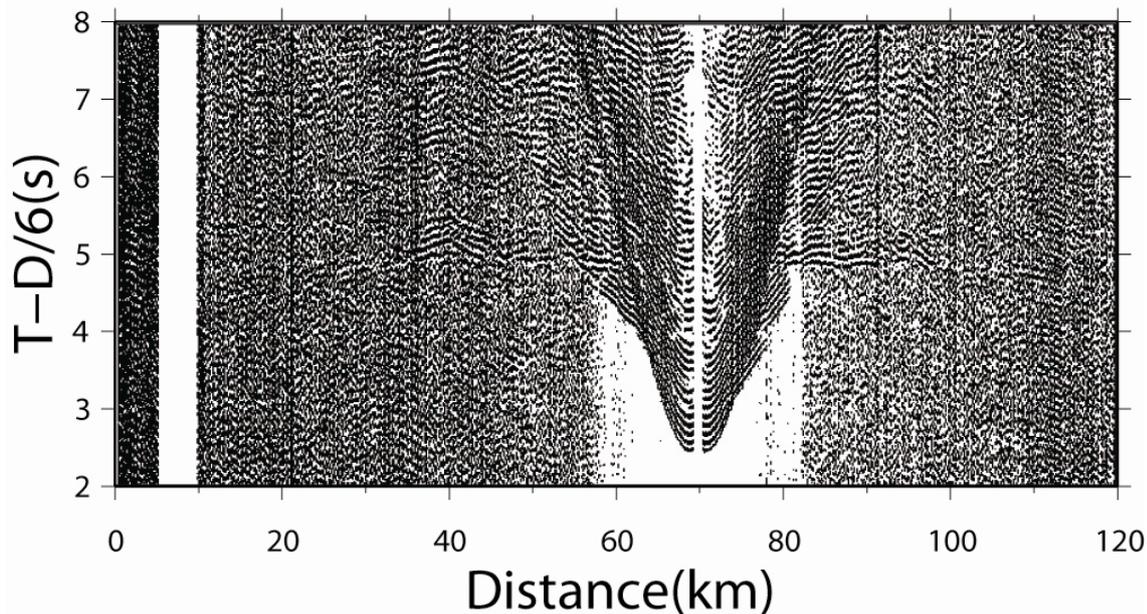


図 16(つづき) 平成 18 年度に実施した構造探査実験により発震したエアガンの波形記録(上図)および海底地震計直下の P 波速度構造(左図) — 観測点 LS18 明瞭な浅部からの屈折波及び広角反射波が記録されている。ここで得られた浅部一次元速度構造から、観測点補正值の初期値を決定するとともに、観測点直下の一次元速度構造作成に参照した。なお、図の上の数字は長期観測型海底地震計の番号を示している。

3. 1. 2. 1. より正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究（東南海・南海地震の想定震源域および周辺における海底地震観測研究）

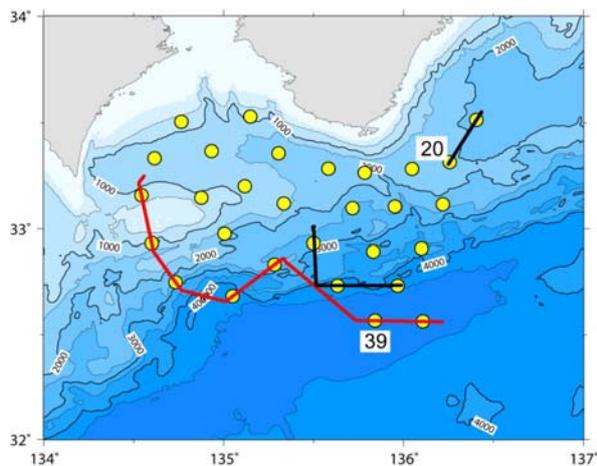
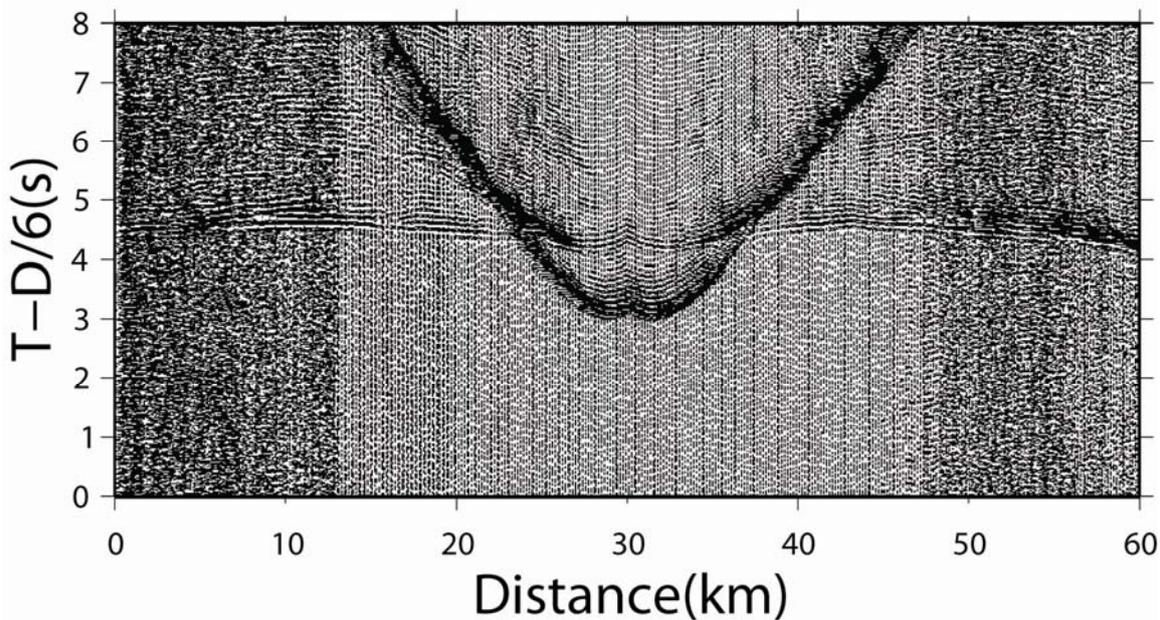


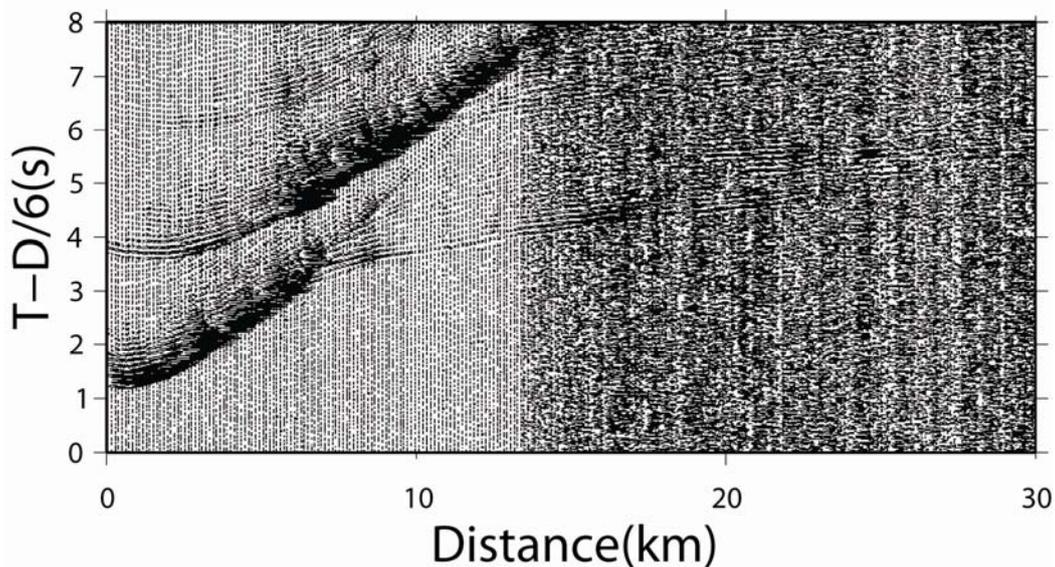
図 17 平成 19 年度に実施した構造探査実験の測線（左上図）と、海底地震計で記録された波形例（中、下）

左上図中、赤実線は平成 19 年 7 月に、黒実線は同 12 月に実施した構造探査測線を示す。海底地震計記録には、明瞭な浅部からの屈折波および広角反射波が記録されている。これらの記録から、浅部一次元速度構造を求めた（図 18、20 参照）。なお、図の上の数字は海底地震計の番号を示している。

39



20



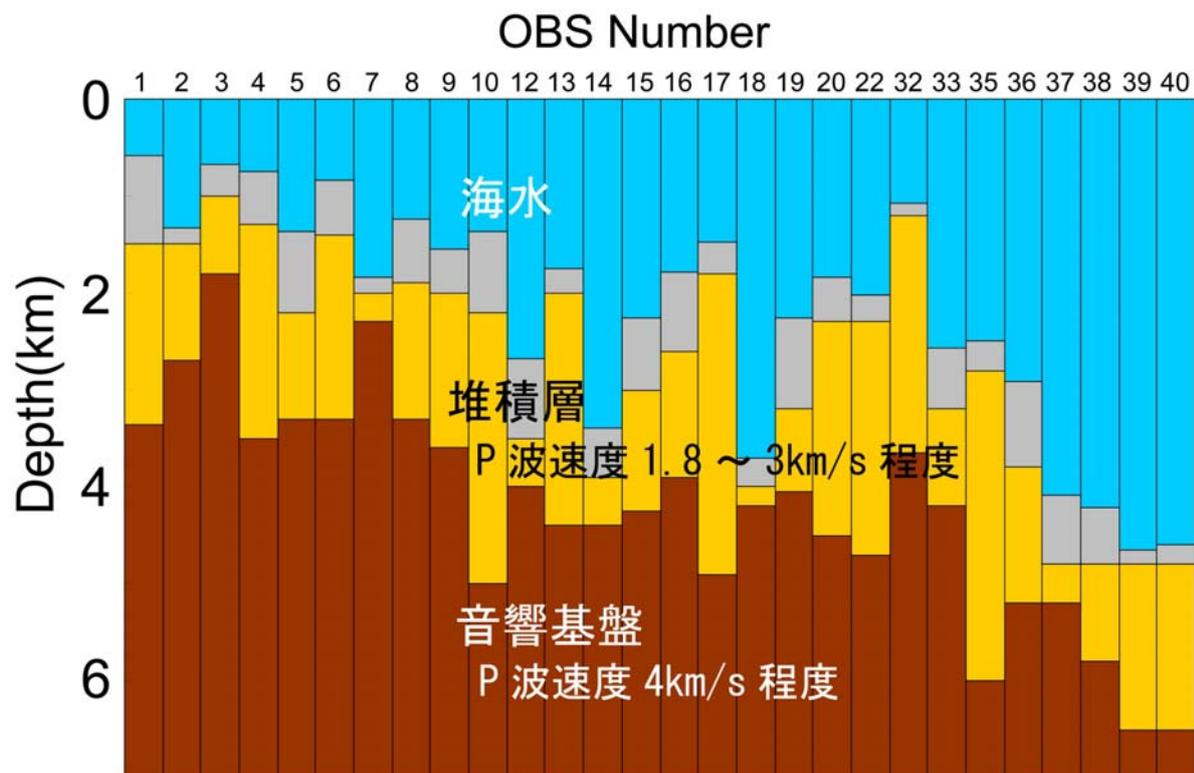


図 18 エアガンを用いた構造調査によって求められた各観測点直下の浅部構造

3. 1. 2. 1. より正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究（東南海・南海地震の想定震源域および周辺における海底地震観測研究）

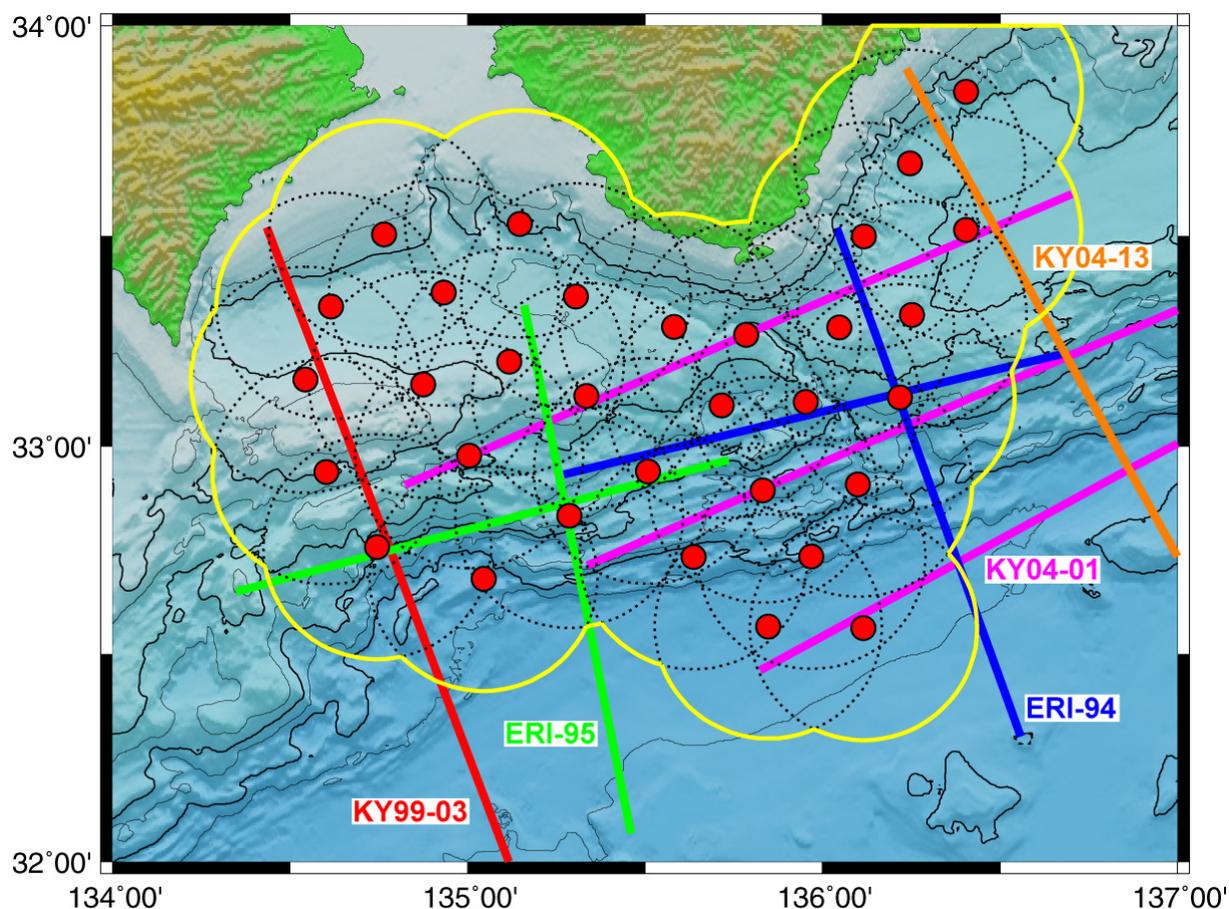


図 19 これまでに本研究海域で行われた大規模構造調査測線及び本研究計画で設置した長期観測型海底地震計の観測点

黒点線は各観測点を中心とした半径 30km の円。個々の円内を一区域とし、その中で発生した地震については、各観測点において一定の補正值を適用した。本解析で対象となる地震は、この円の外周(黄実線)で囲まれた領域内で発生した地震である。

3. 1. 2. 1. より正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究（東南海・南海地震の想定震源域および周辺における海底地震観測研究）

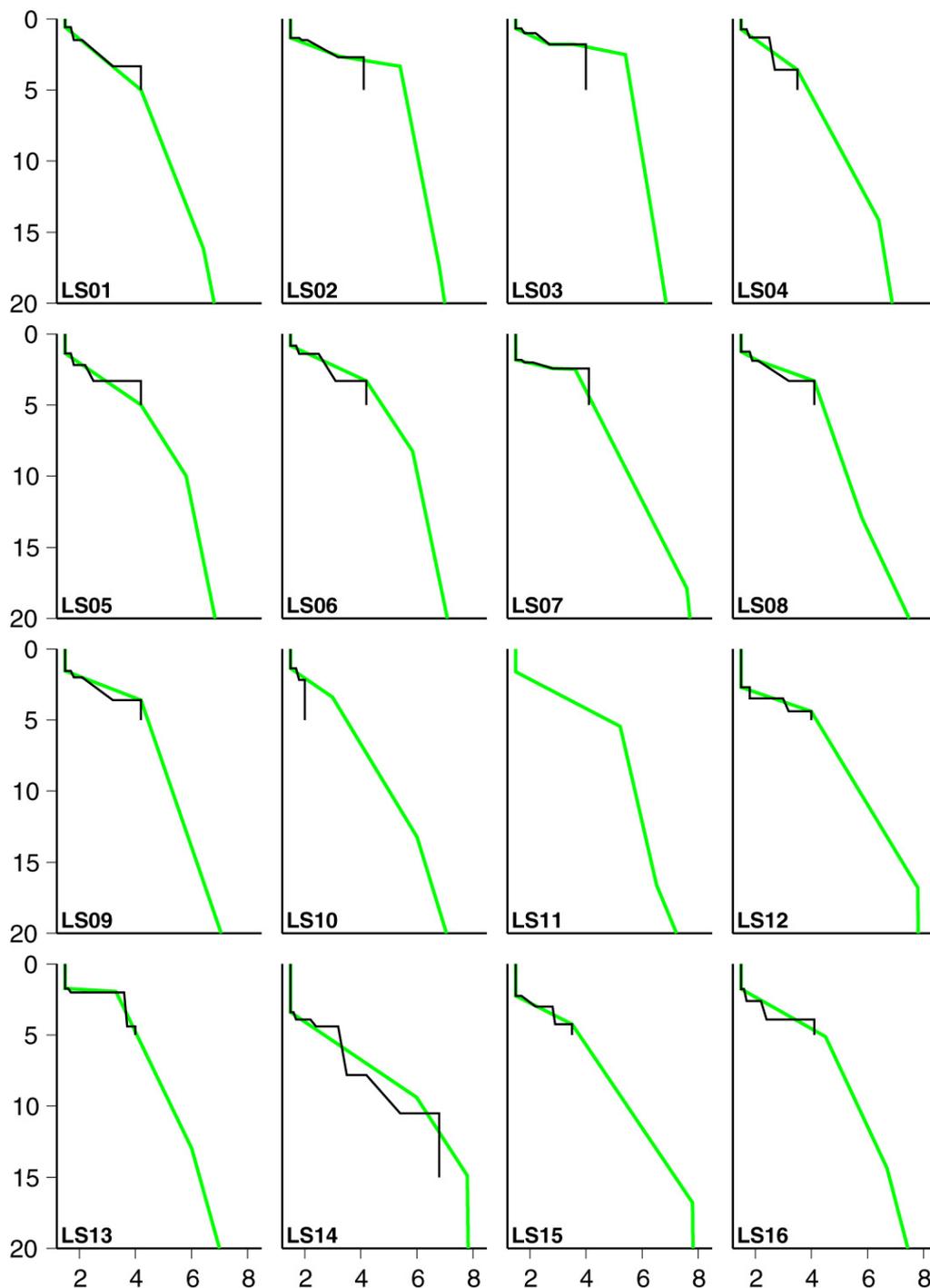


図 20 震源決定に使用した各観測点下の P 波速度一次元構造

黒実線は、本研究計画で実施したエアガンによる浅部速度構造調査で得られた速度構造。この浅部構造と、これまでに本海域で行われた大規模構造調査（図 19 参照）の結果を参照して、震源決定を行うための各観測点下の滑らかな一次元速度構造を決定した（緑実線）。

3. 1. 2. 1. より正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究（東南海・南海地震の想定震源域および周辺における海底地震観測研究）

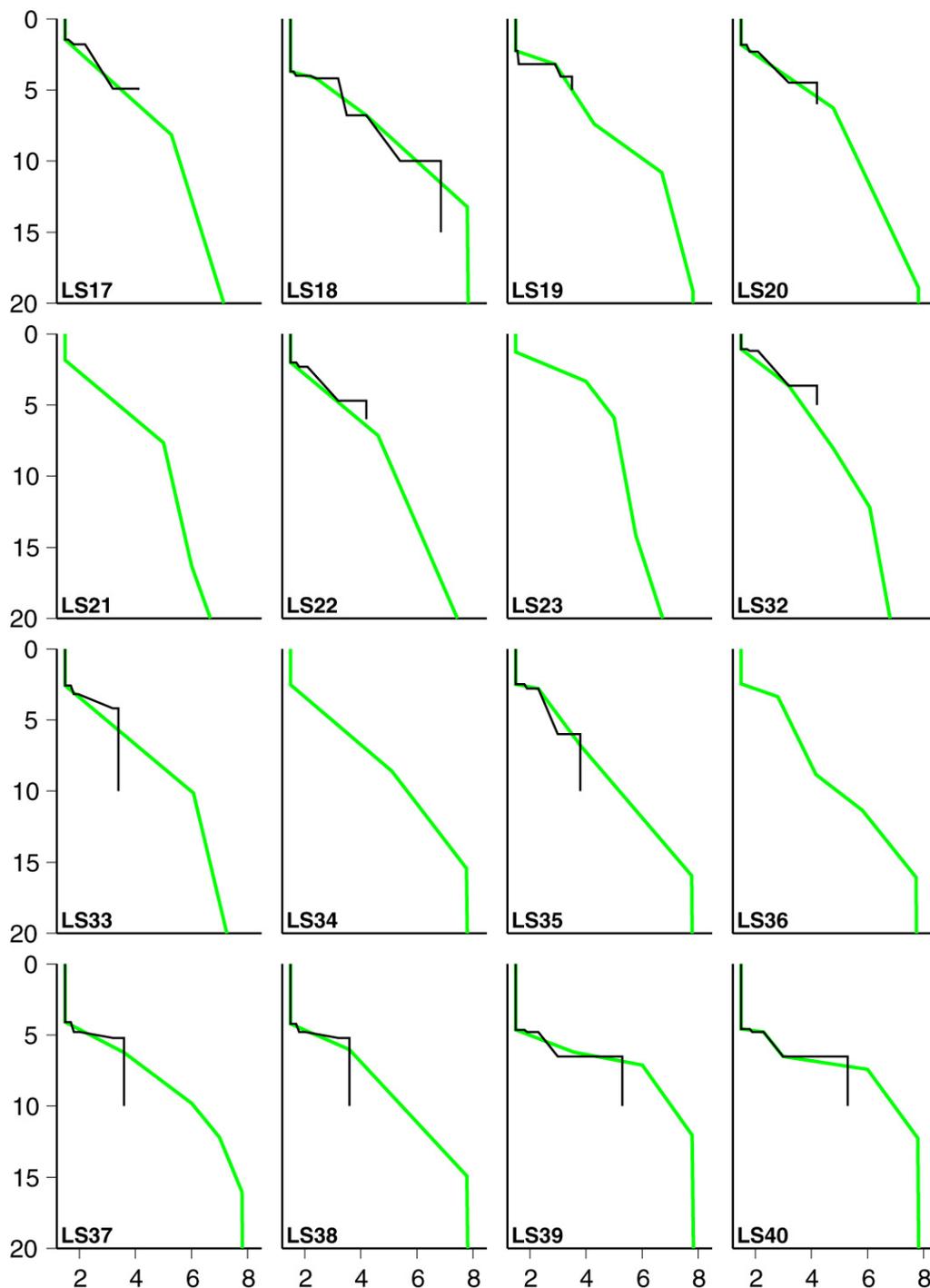


図 20(つづき) 震源決定に使用した各観測点下の P 波速度一次元構造

黒実線は、本研究計画で実施したエアガンによる浅部速度構造調査で得られた速度構造。この浅部構造と、これまでに本海域で行われた大規模構造調査（図 19 参照）の結果を参照して、震源決定を行うための各観測点下の滑らかな一次元速度構造を決定した（緑実線）。

3. 1. 2. 1. より正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究（東南海・南海地震の想定震源域および周辺における海底地震観測研究）

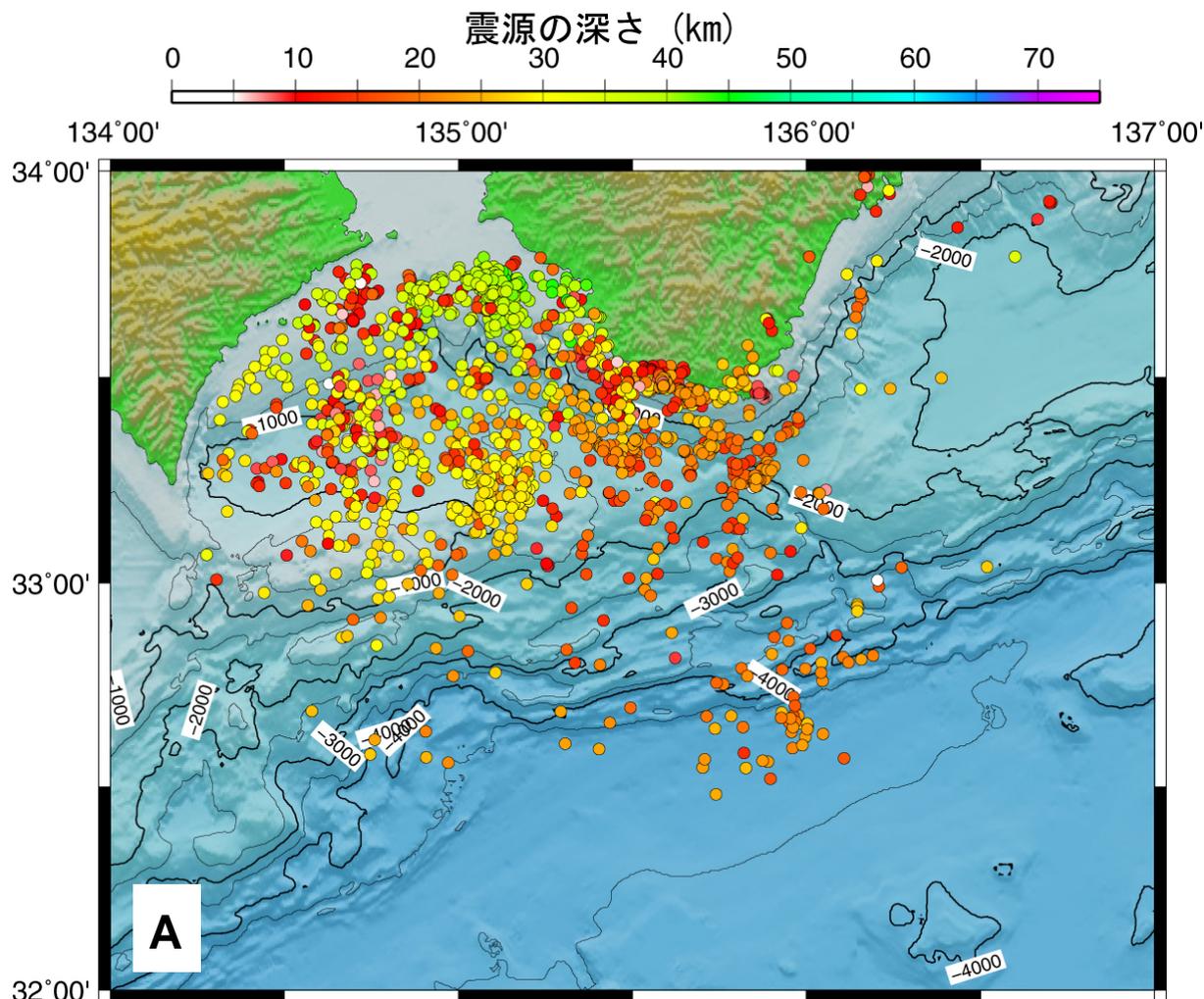


図 21 長期観測型海底地震計と陸上観測網で精度良く求められた震源分布と誤差楕円  
平成 15 年 12 月から平成 19 年 12 月までの気象庁一元化震源リストに記載のある地震の内、  
海底地震観測点から 30km の範囲内で発生し、P 波到達時刻のピックが 4 観測点以上ある地  
震についての震源再決定位置を示す。これらの地震を用いて、統計的に各観測点における  
観測点補正値を決定した（本文参照）。紀伊半島潮岬沖にある潮岬海谷を境界にして、東側  
で地震活動が非活発であることがわかる。

3. 1. 2. 1. より正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究（東南海・南海地震の想定震源域および周辺における海底地震観測研究）

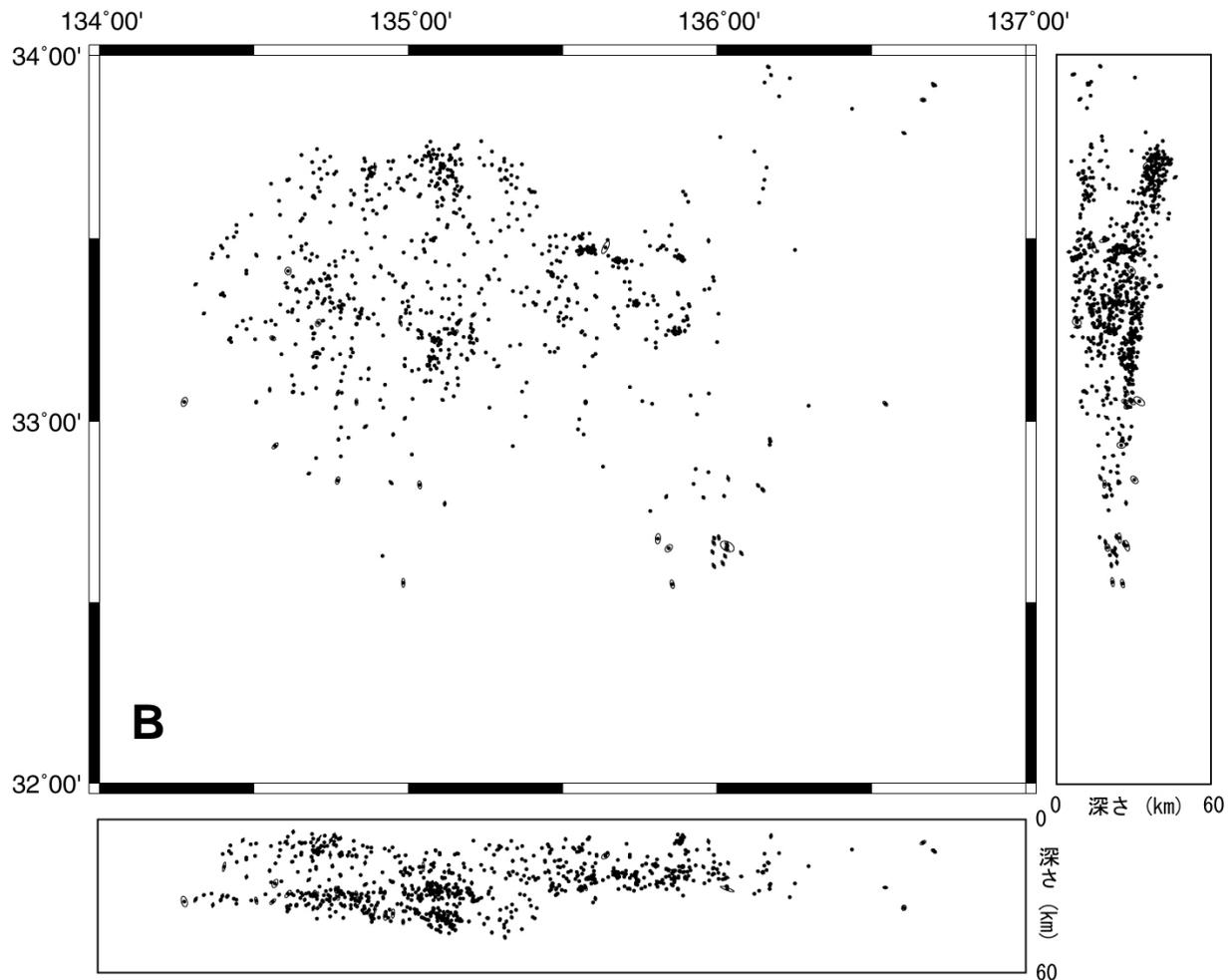


図 21（つづき） 長期観測型海底地震計および陸上観測網で精度良く求められた震源分布と誤差楕円

黒丸は、図 A に示した震源についての水平方向および垂直方向の誤差楕円を示す。海底地震計観測網内の地震について、震源が精度良く決められていることがわかる。

3. 1. 2. 1. より正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究（東南海・南海地震の想定震源域および周辺における海底地震観測研究）

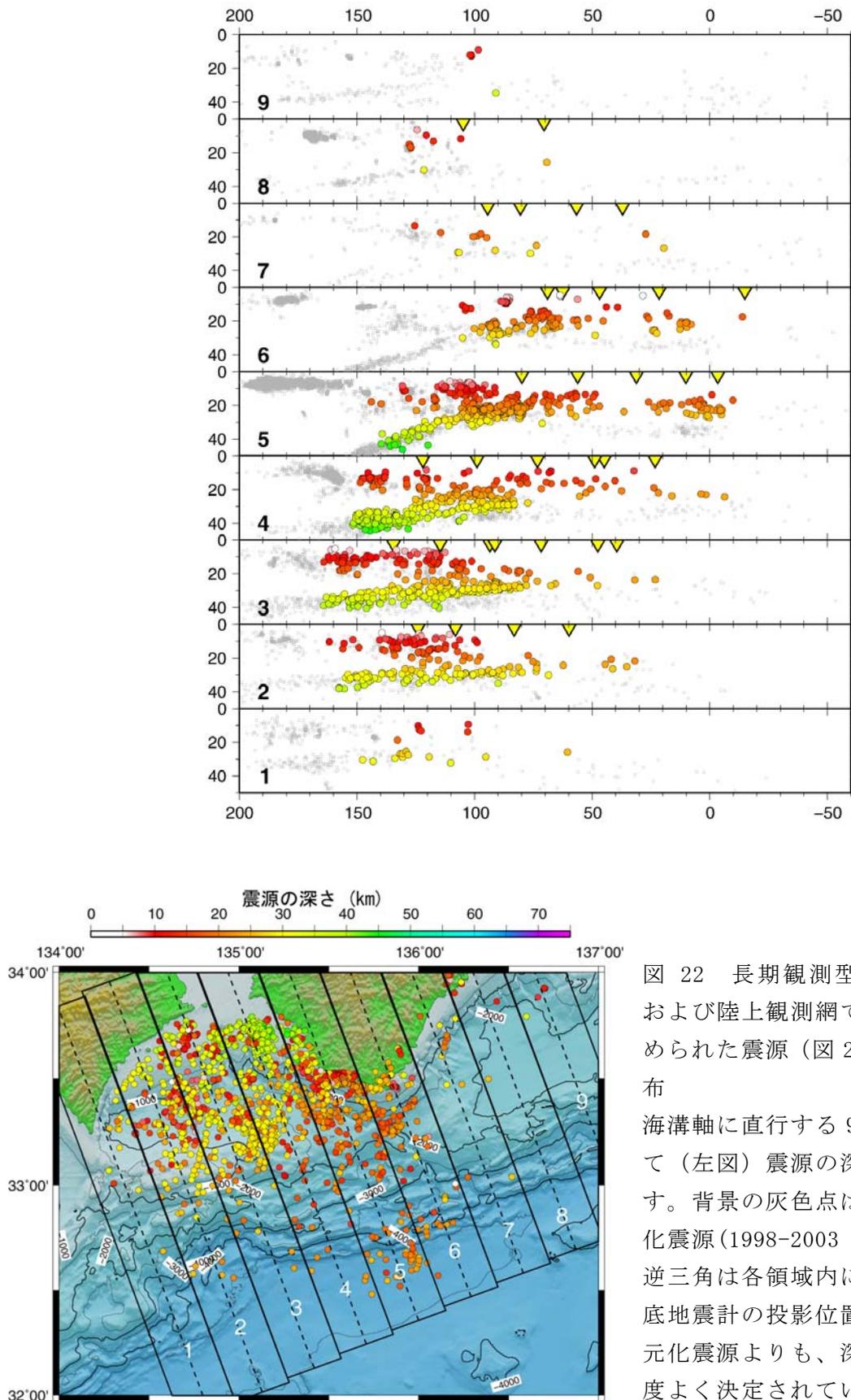


図 22 長期観測型海底地震計および陸上観測網で精度良く求められた震源（図 21）の深さ分布  
海溝軸に直行する 9 領域について（左図）震源の深さ分布を示す。背景の灰色点は気象庁一元化震源（1998-2003 年）、図中黄逆三角は各領域内に位置する海底地震計の投影位置を示す。一元化震源よりも、深さ方向に精度よく決定されている。

3. 1. 2. 1. より正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究（東南海・南海地震の想定震源域および周辺における海底地震観測研究）

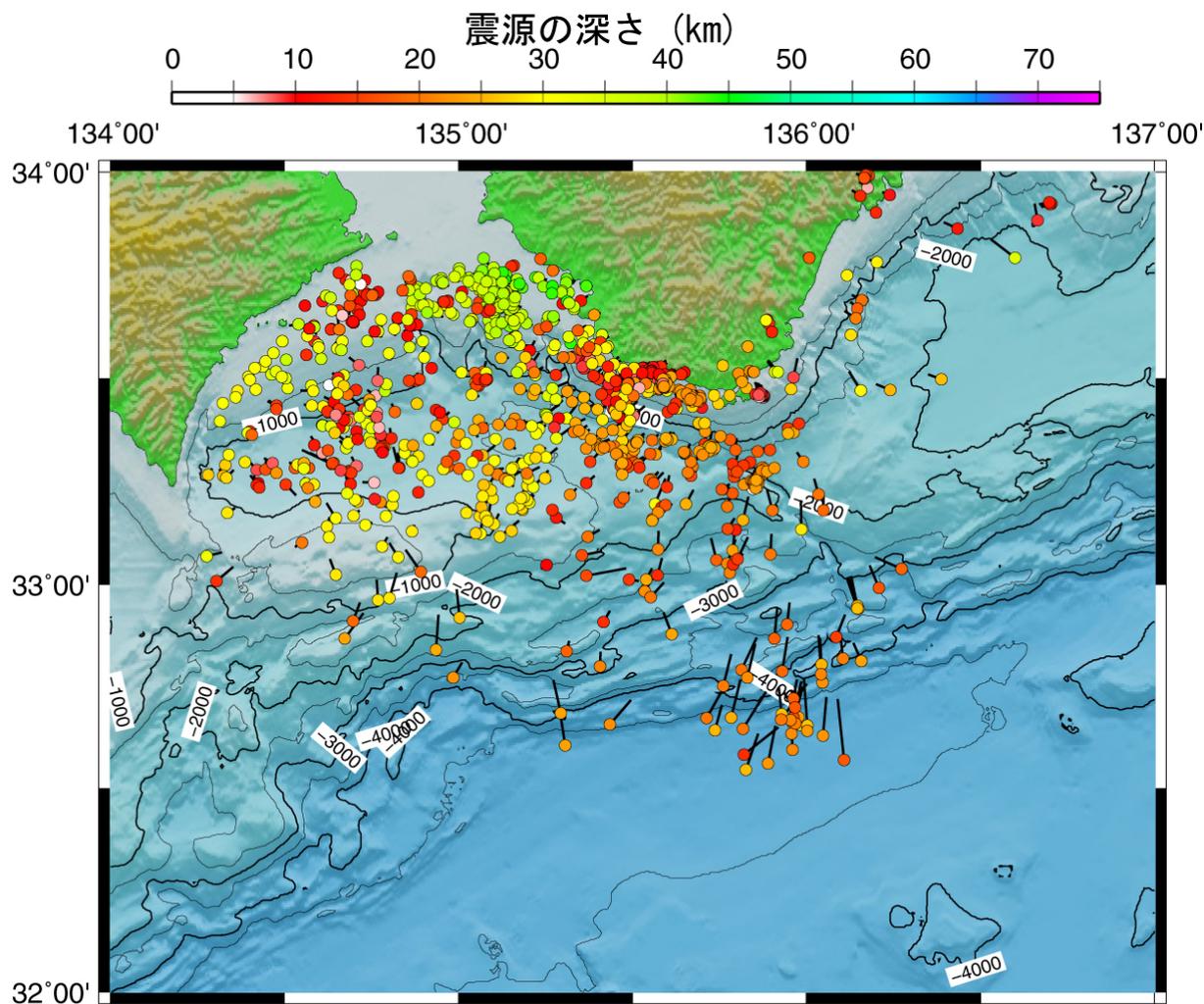


図 23 気象庁一元化震源と、海底地震観測および陸上観測網による再決定震源の震央位置の比較

海底地震観測で決定された震央の位置を丸印で示し、震源の深さを色で表わしている。丸印から延びる実線の端点が、気象庁一元化震源の震央位置。紀伊半島と四国の陸域に近い地震については、一元化震源と海底地震計によって決められた震源の震央位置は変わらないが、陸域から離れた海溝軸に近い海域においては、一元化震源が陸側に偏って決定していることがわかる。

3. 1. 2. 1. より正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究（東南海・南海地震の想定震源域および周辺における海底地震観測研究）

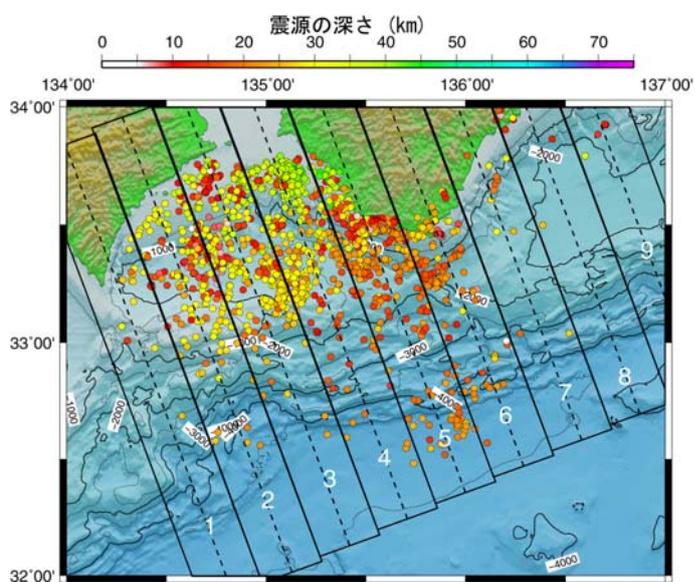
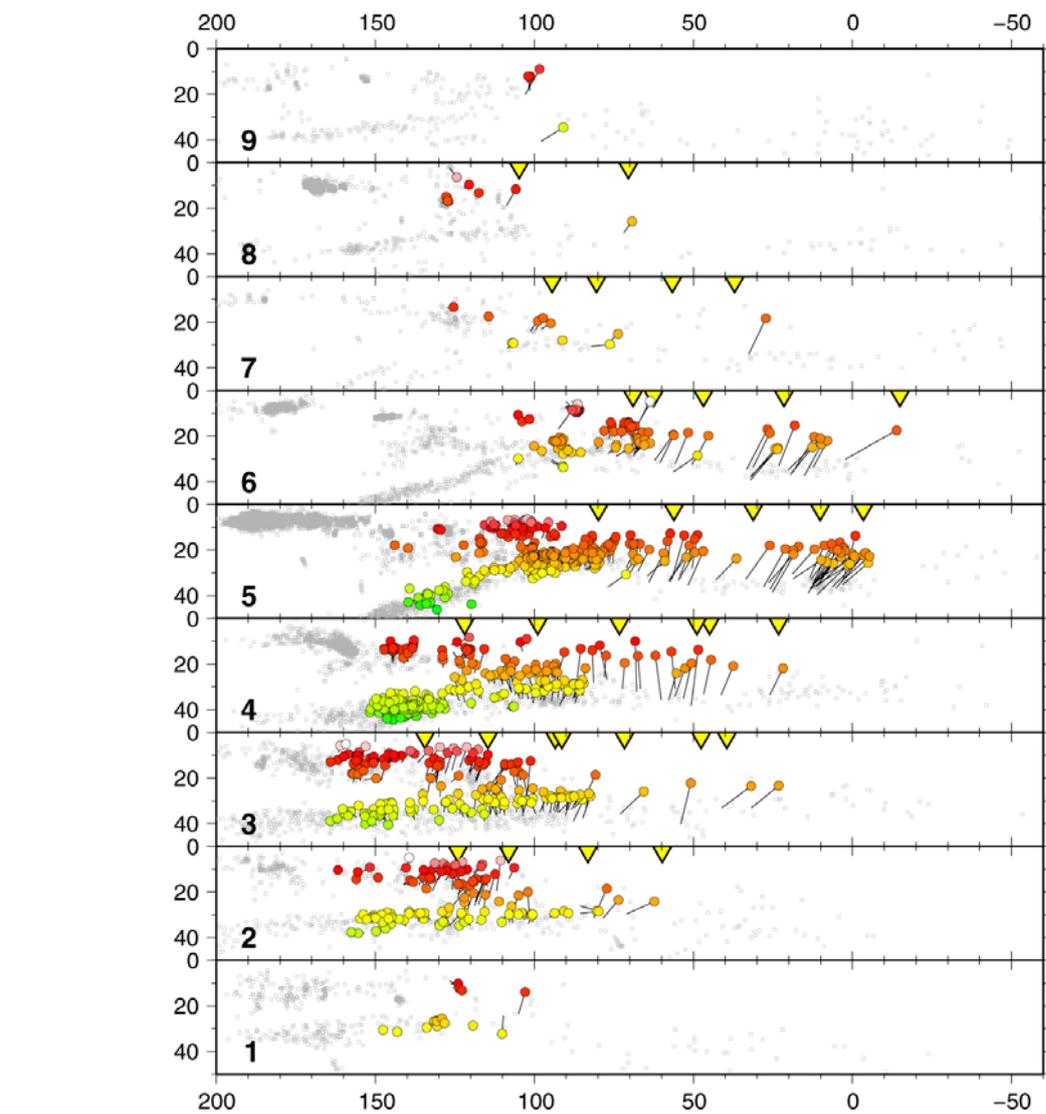


図 24 気象庁一元化震源と、海底地震観測および陸上観測網による再決定震源の震源深さの比較

本解析で決定された震源の位置を丸印で示し、震源の深さを色(下図のカラーチャート)で表わしている。丸印から延びる実線の端点が、気象庁一元化震源の震源位置。縦軸は震源深さ(km)、横軸はトラフ軸からの距離(km)を示す。下図のセクション 1～9 の震源に対応する深さ分布を上図に各々示している。背景の灰色点は気象庁一元化震源(1998-2003 年)。

3. 1. 2. 1. より正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究（東南海・南海地震の想定震源域および周辺における海底地震観測研究）

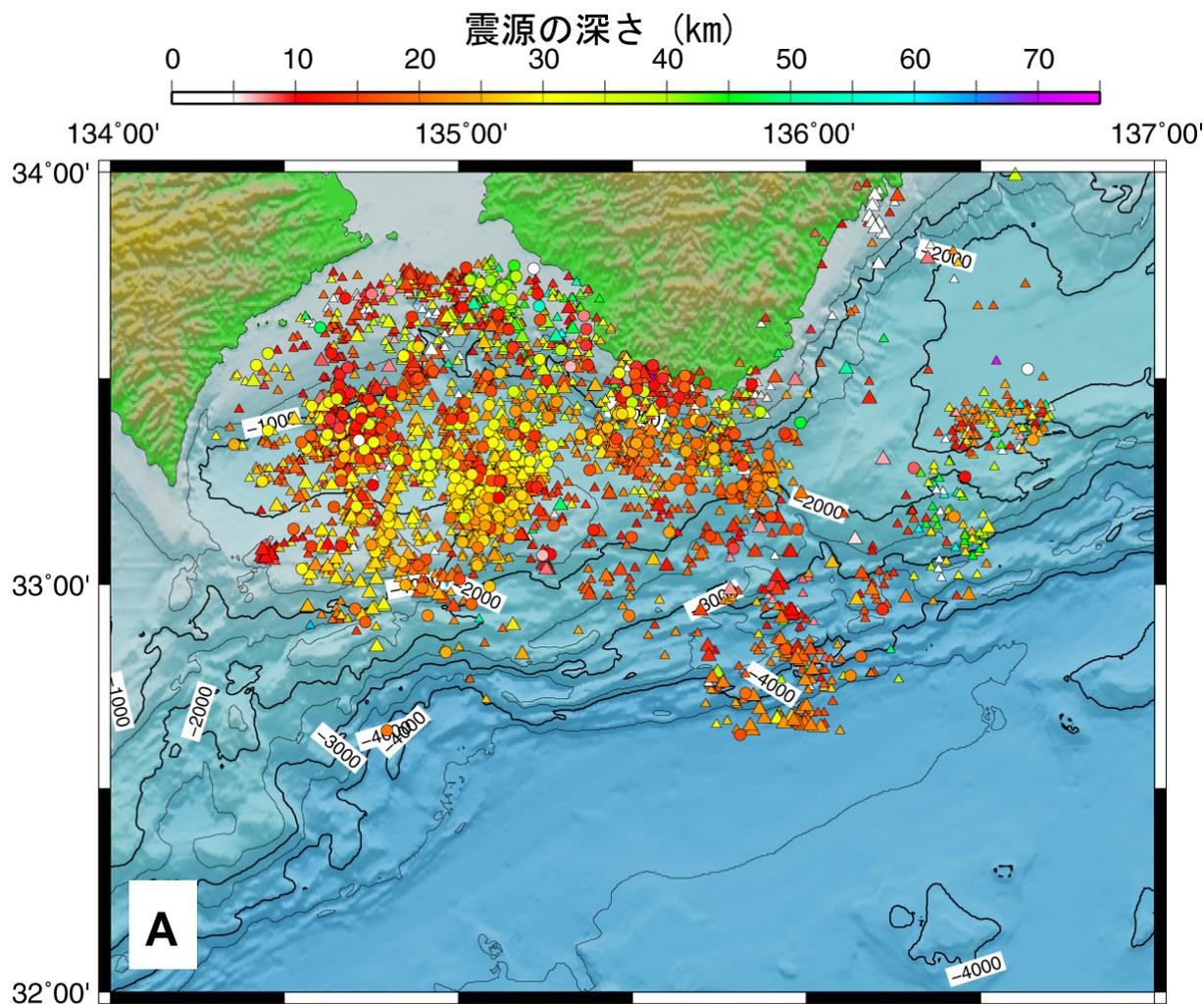


図 25 海底地震観測により求めた気象庁一元化震源のうち、P 波到達時刻の読み取りが 4 観測点未満のもの、および微小地震(気象庁一元化震源リストに含まれていない)の震源  
 気象庁一元化震源リストに載っている地震については、読み取りについて陸上の観測点も  
 使用している。微小地震については、平成 15 年 12 月から平成 18 年 7 月までに海底地震観  
 測点から 30km の範囲内で発生したものについて、海底地震計の連続可視記録において確認  
 し、震源決定した結果の震源位置。

3. 1. 2. 1. より正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究（東南海・南海地震の想定震源域および周辺における海底地震観測研究）

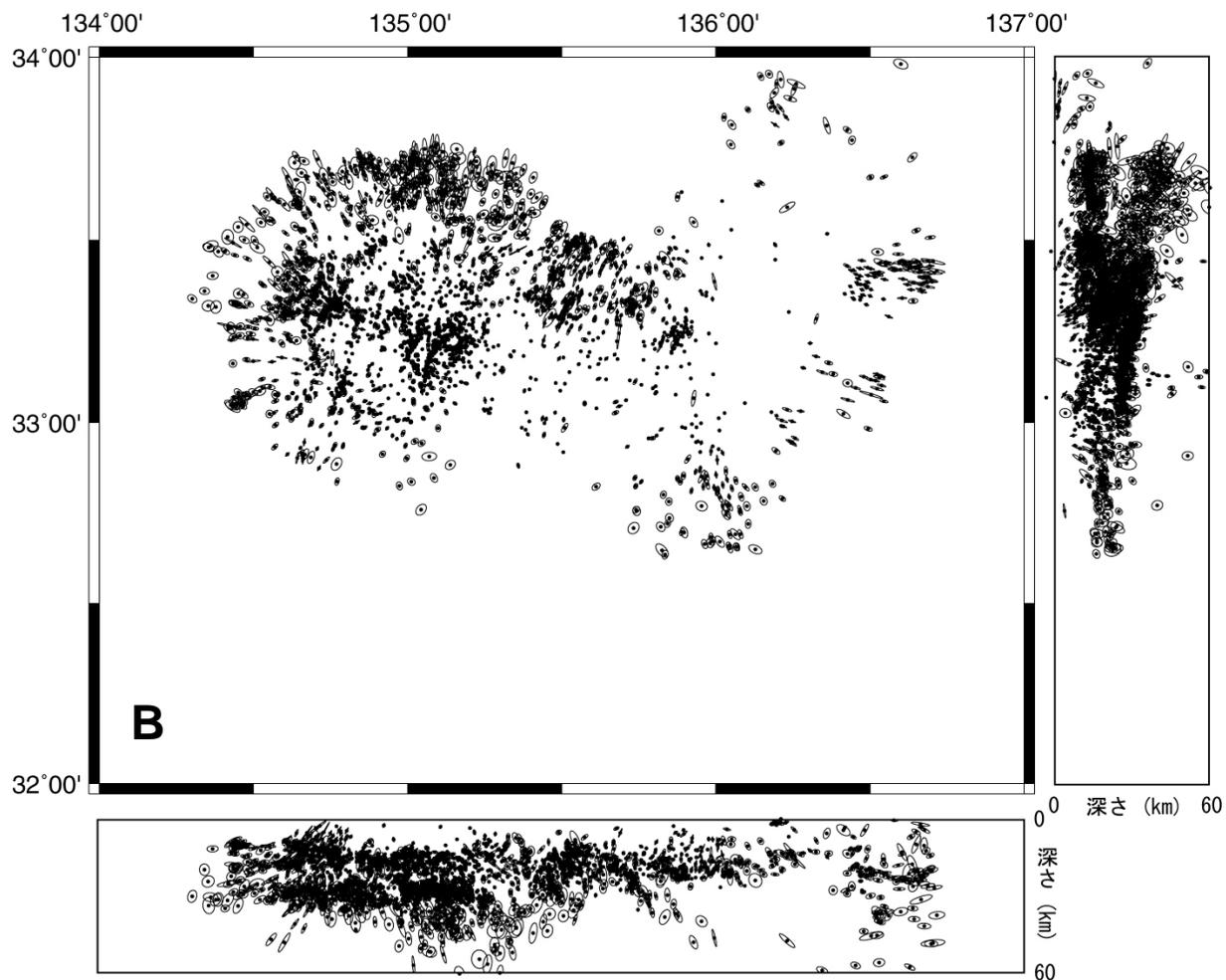


図 25 （つづき）海底地震観測により求めた気象庁一元化震源のうち、P 波到達時刻の読み取りが 4 観測点未満のもの、および微小地震（気象庁一元化震源リストに含まれていない）の震源

黒丸は図 A の震源に対する誤差楕円を示しており、一元化震源で P 波到達時刻読み取りが 4 点以上の地震（図 21）よりも精度は劣るが、観測域境界よりも内側で発生している地震については、精度良く求まっている。

3. 1. 2. 1. より正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究（東南海・南海地震の想定震源域および周辺における海底地震観測研究）

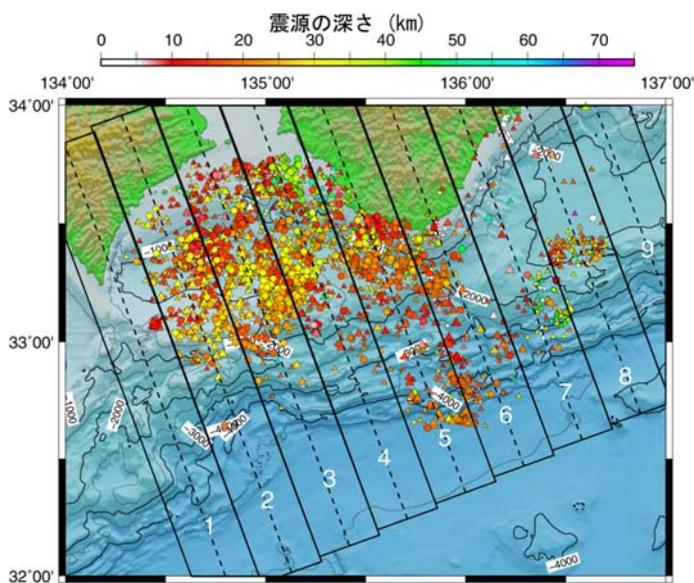
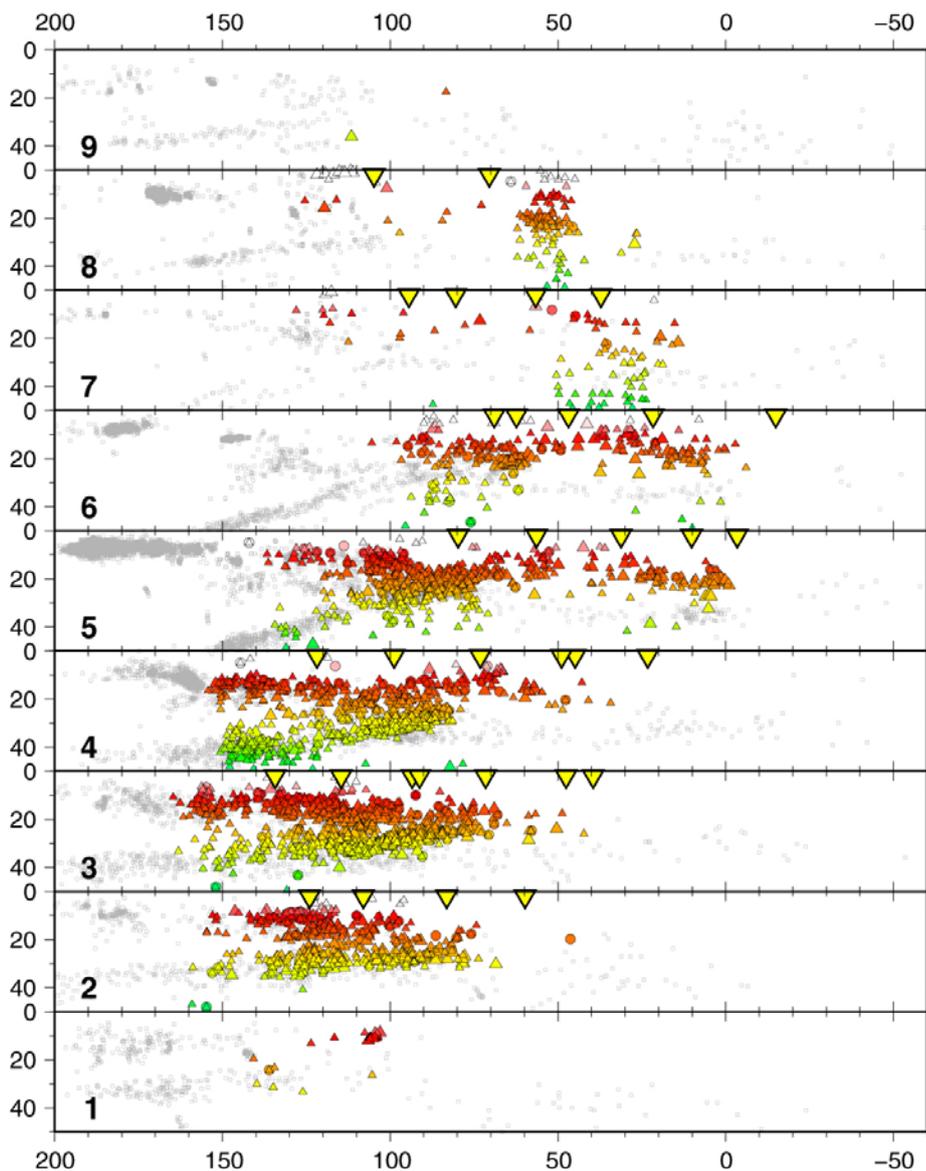


図 26 海底地震観測により求めた気象庁一元化震源のうち、P 波到達時刻の読み取りが 4 観測点未満のもの、および微小地震（気象庁一元化震源リストに含まれていない）の震源の深さ分布

気象庁一元化震源のうち P 波到達時刻読み取りが 4 点未満の地震（これらの地震については陸上観測網も使用）を丸印で、微小地震で 4 点以上の地震を大三角、4 点未満の地震を小三角で示した。背景の灰色点は気象庁一元化震源（1998-2003 年）。

3. 1. 2. 1. より正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究（東南海・南海地震の想定震源域および周辺における海底地震観測研究）

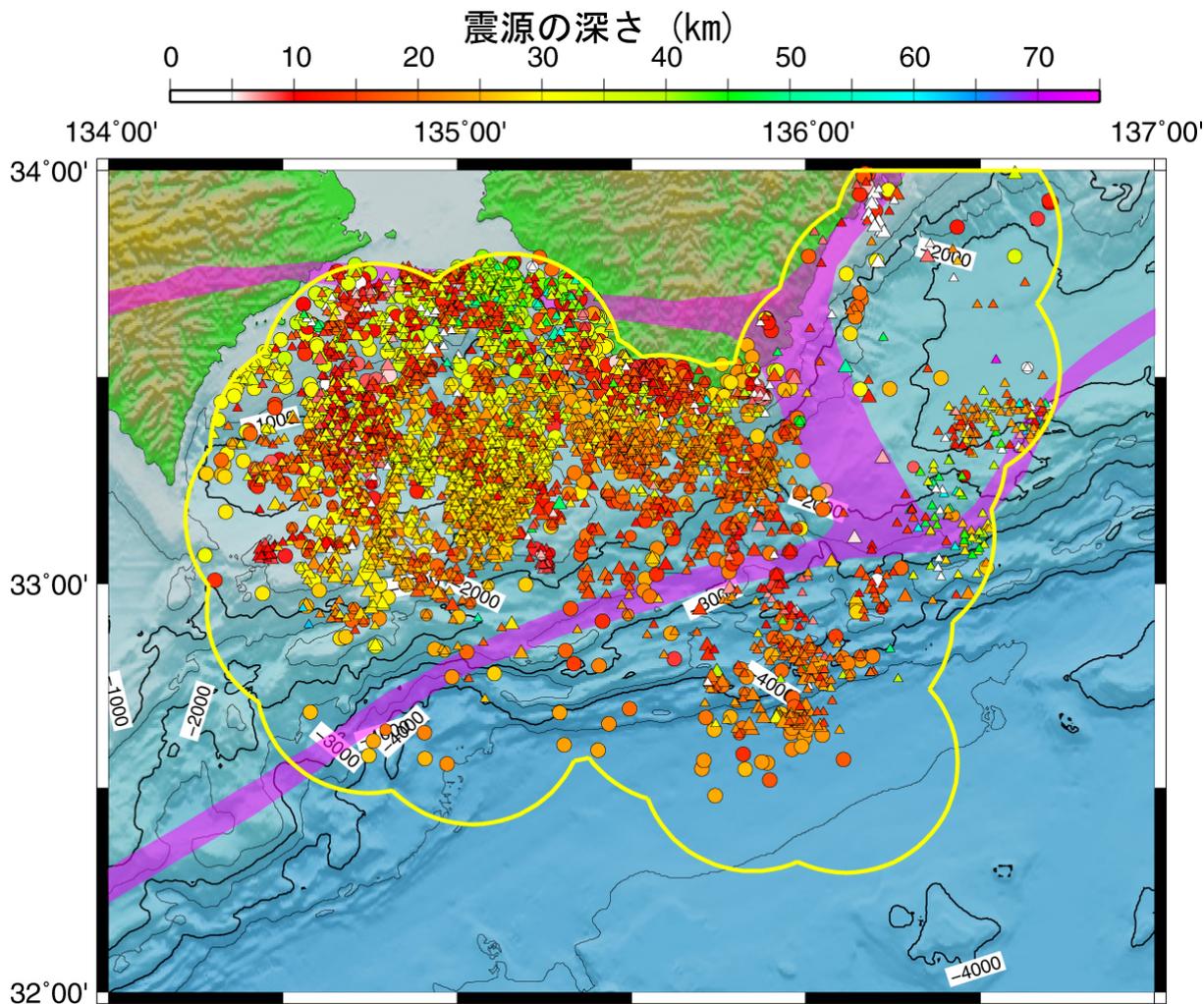


図 27 気象庁一元化震源リストに対応する海底地震観測による再決定震源及び海底地震観測による微小地震の決定震源を併せてプロットした震源分布

気象庁一元化震源リスト中の地震を丸印で、海底地震計で観測された微小地震を三角で示した。また、P 波到達時刻の読み取りが 4 点観測点以上の地震を大きく、それ未満の地震については小さく示している。黄実線は、今回の海底地震計観測網を用いた震源決定の対象海域、ピンク帯は、東南海・南海地震の断層境界を示している。

3. 1. 2. 1. より正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究（東南海・南海地震の想定震源域および周辺における海底地震観測研究）

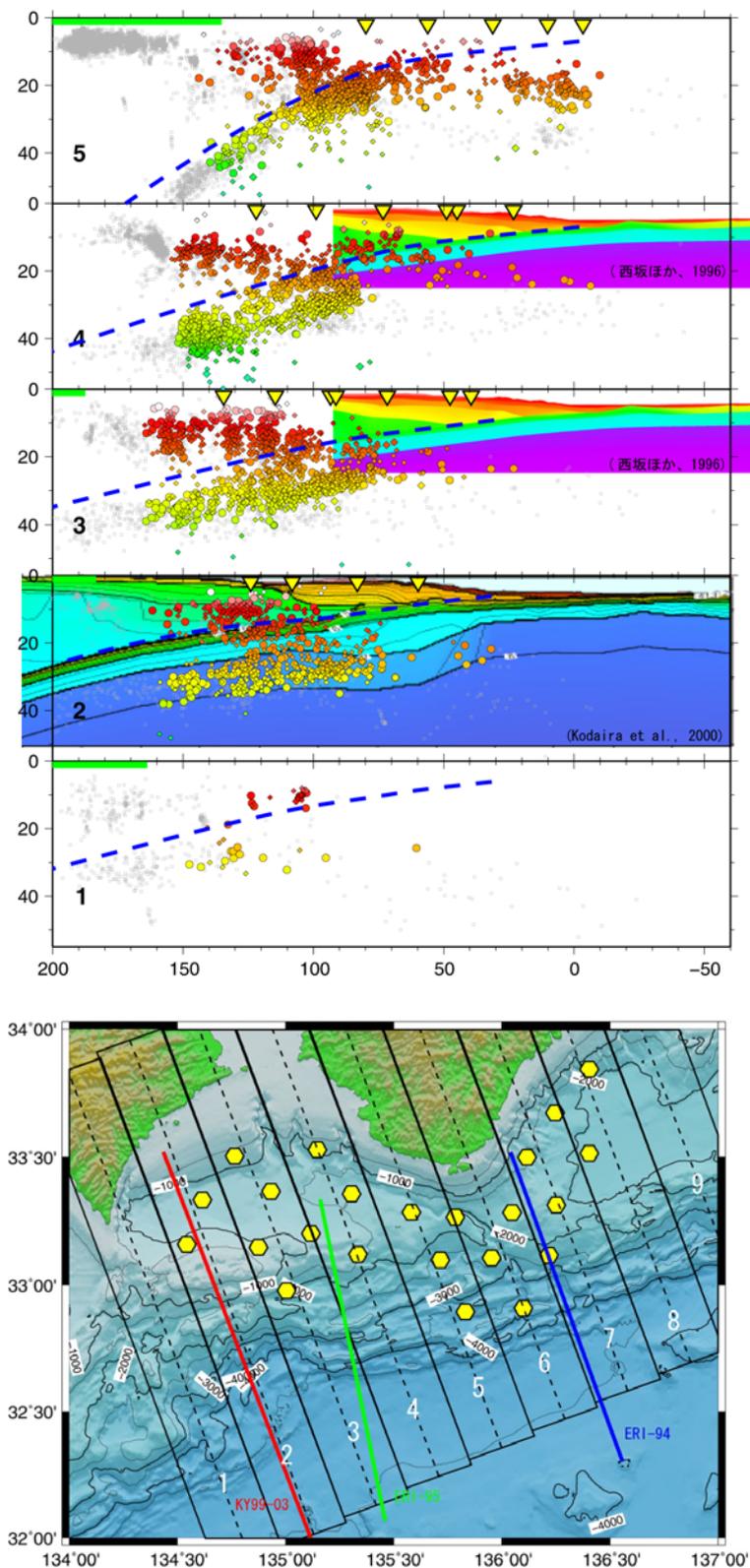


図 28 海底地震観測による震源分布と地殻構造との対応 — 海溝軸直行方向（セクション 1～5）

背景の灰色点は気象庁一元化震源（1998-2003 年）、青点線は構造調査結果から予想されるプレート境界位置を示す。

3. 1. 2. 1. より正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究（東南海・南海地震の想定震源域および周辺における海底地震観測研究）

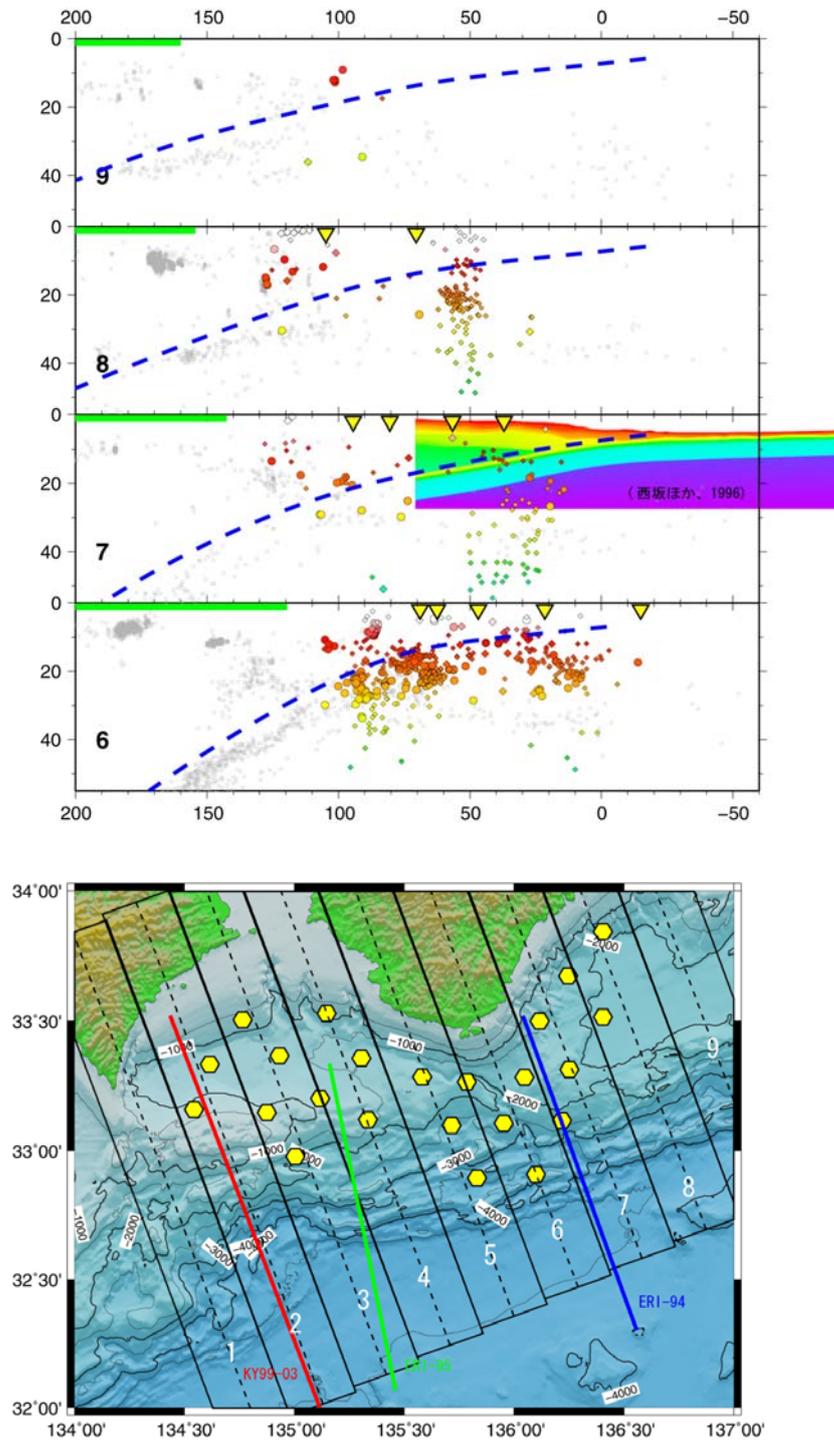


図 28 (つづき) 海底地震観測による震源分布と地殻構造との対応 — 海溝軸直行方向 (セクション 6~9)

背景の灰色点は気象庁一元化震源(1998-2003年)。

3. 1. 2. 1. より正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究（東南海・南海地震の想定震源域および周辺における海底地震観測研究）

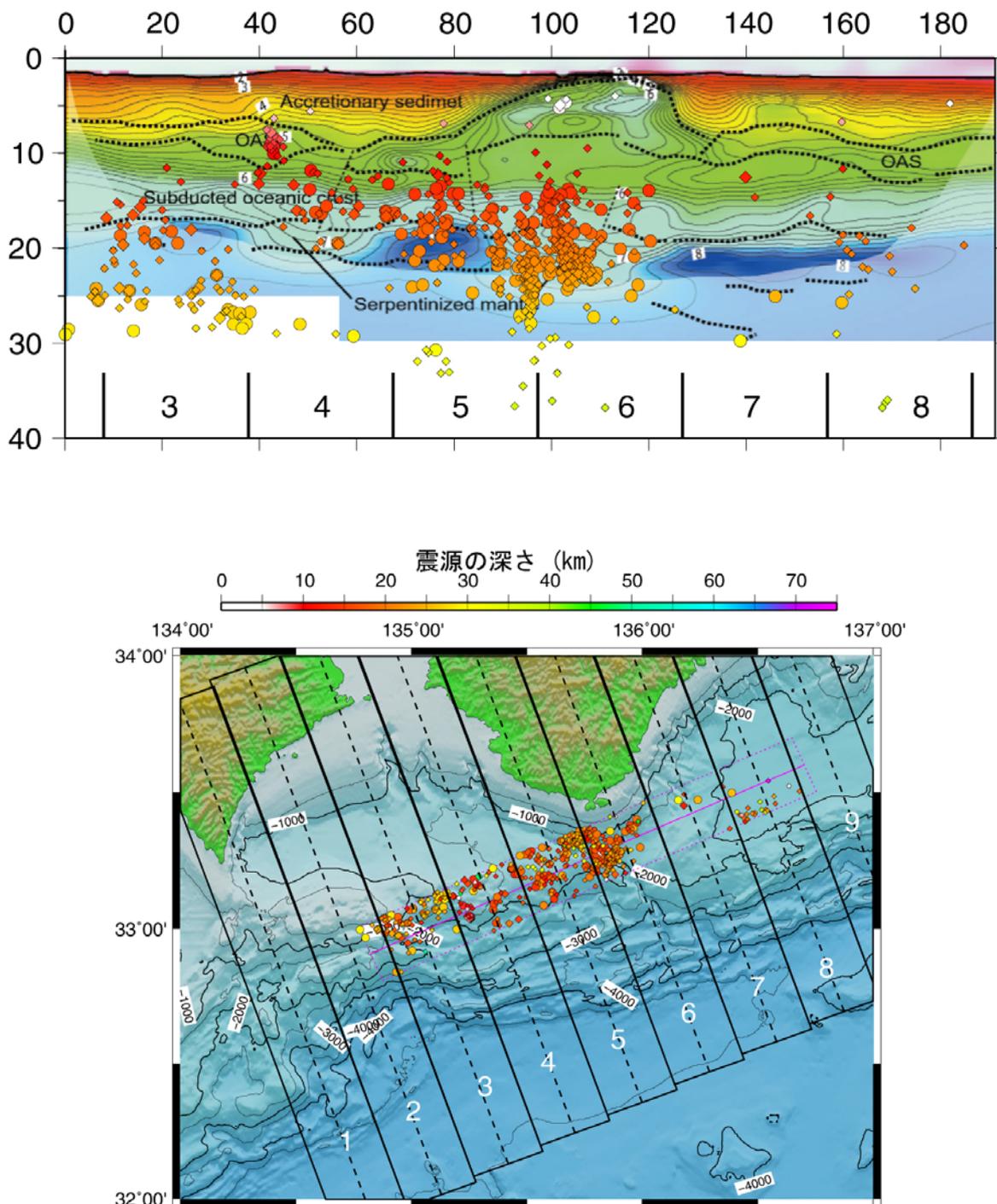


図 29 海底地震観測による震源分布と地殻構造との対応 — 海溝軸平行方向  
 独立行政法人海洋研究開発機構によって、2004年に紀伊半島沖の海溝軸に平行な測線で人工震源構造調査が行われた。この測線を中心として、幅 20km 以内で発生した地震について、得られた P 波速度構造上に海底地震観測による高精度震源をプロットした。不均質性の大きい紀伊半島潮岬沖下で、地震活動が活発である。深さ方向に 20km 程度の幅を持って震源が分布している。

(d) 結論ならびに今後の課題

紀伊半島周辺の東南海・南海地震境界域および紀伊水道における、5カ年度にわたる本研究業務は全て完了した。長期観測型海底地震計の地震記録に陸域観測網データを併合して、平成15年12月から平成19年12月までの期間の気象庁一元化震源リストに記載されている地震について、精度の高い震源を決定した。震源決定にあたっては、この海域の地下速度構造の持つ強い不均質性を考慮した解析方法を採用した。海底地震観測点を中心とした半径30kmの32区域に全観測領域を分割し、それぞれの区域についての観測点補正値を個別に決めることで、震源決定の精度向上を達成した。さらに、陸域の高感度地震観測網では捉えることのできないより小さな微小地震についても、平成15年12月から平成18年7月までの期間について海底地震計の連続可視記録の中から確認して、その震源を決定した。その結果、陸側プレートの地殻内で発生している地震活動のほかに、沈み込むプレート内で発生している地震活動についての詳細が明らかとなった。特に沈み込むプレート内では、紀伊半島潮岬沖を除いてプレート境界近傍の地震活動は活発ではなく、それよりも深い海洋地殻内、あるいはマントル内における地震活動がトラフ軸まで連続して発生していることがわかった。紀伊半島潮岬沖の海底には潮岬海底谷が存在し、海谷下には巨大地震断層の境界が存在することがわかっている。海底地震観測による高精度震源分布から、微小地震活動についても潮岬沖に明瞭な活動境界が存在し、その西側での活動が活発であり、すぐ東側ではほとんど活動が見られないことが明らかとなった。また、本対象海域における地震活動は低いながらも、長期間の連続観測により多くの地震が観測され、総計5240個にのぼる震源を決定することができた。トモグラフィ解析による地震発生と速度構造との対比についても、データ量的に可能になったと考えられる。今後はダブル・ディファレンス法などを用いて、構造と地震活動の関係についても、詳細な議論を行っていく予定である。

(e) 引用文献

- 1) Diebold, J. B., and P. L. Stoffa, The travel time equation, tau-p mapping and inversion of common midpoint data, *Geophysics*, 46, 3, 238-254, 1981.
- 2) Hirata, N. and M. Matsu'ura, Maximum-likelihood estimation of hypocenter with origin time eliminated using nonlinear inversion technique, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 47, 50-61, 1987.
- 3) Ishibashi, K., Specification of a soon-to-occur seismic faulting in the Tokai district, central Japan, based upon seismotectonics, In Simpson, D.W. and P.G. Richards eds.: *Earthquake prediction: An international review*, Maurice Ewing Series 4. AGU, Washington, D.C., 297-332, 1981.
- 4) Ishibashi, K., Great Tokai and Nankai, Japan, earthquakes as revealed by historical seismology:1. Review of the events until the mid-14.th century, *J. Geography (Chigaku Zasshi)*, 108, 399-423, 1999(in Japanese with English abstract).

- 5) Kanamori, H., Tectonic implications of the 1944 Tonankai and the 1946 Nankaido earthquakes, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 5, 129-139, 1972.
- 6) Mazzotti, S., X. Le Pichon, P. Henry and S. Miyazaki, Full interseismic locking of the Nankai and Japan-west Kurile subduction zones: An analysis of uniform elastic strain accumulation in Japan constrained by permanent GPS, *J. Geophys. Res.*, 105, 13159-13177, 2000.
- 7) Mochizuki, K., G. Fujie, T. Sato, J. Kasahara, R. Hino, M. Shinohara, and K. Suyehiro, Heterogeneous crustal structure across a seismic block boundary along the Nankai Trough, *Geophys. Res. Lett.*, 25, 2301-2304, 1998.
- 8) Mochizuki, K., and K. Obana, Seismic Activities along the Nankai Trough, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 78, 185-195, 2003.
- 9) 西坂弘正, 紀伊半島沖南海トラフにおけるフィリピン海プレートの沈み込み域及び島弧前縁部の地殻構造、千葉大学理学研究科修士論文、94、1997。
- 10) Obana, K., S. Kodaira, Y. Kaneda, K. Mochizuki, M. Shinohara, and K. Suyehiro, Micro-seismicity at the seaward updip limit of the western Nankai Trough seismogenic zone, *J. Geophys. Res.*, doi:10.1029/2002JB002370, 2003.
- 11) Sangawa, A., Earthquake traces carved in excavations in the past 2,000 years, *Chikyu Monthly, Special Issue 24*, 56-63, 1999.
- 12) Shinohara, M., N. Hirata and N. Takahashi, High resolution velocity analysis of ocean bottom seismometer data by the  $\tau$ -p method, *Marine Geophys. Res.*, 16, 185-199, 1994.
- 13) Shinohara, M., T. Yamada, T. Kanazawa, N. Hirata, Y. Kaneda, T. Takanami, H. Mikada, K. Suyehiro, S. Sakai, T. Watanabe, K. Uehira, Y. Murai, N. Takahashi, M. Nishino, K. Mochizuki, T. Sato, E. Araki, R. Hino, K. Uehira, H. Shiobara, and H. Shimizu, Aftershock observation of the 2003 Tokachi-oki earthquake by using dense ocean bottom seismometer network, *Earth Planets Space*, 56, 3, 295-300, 2004

3. 1. 2. 1. より正確な地震活動を把握するための海底地震観測研究（東南海・南海地震の想定震源域および周辺における海底地震観測研究）

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

発表者	題名	発表先	発表年月日
望月公廣・中東和夫・桑野 亜佐子・山田知朗・酒井慎 一・篠原雅尚・金澤敏彦	長期海底地震観測デー タを用いた東南海・南海 地震想定震源域におけ る地震活動と地殻構造	日本地球惑星 科学連合 2007 年大会	2007. 5. 19
酒井慎一・山田知朗・篠原 雅尚・金澤敏彦・高波鐵夫・ 日野亮太・清水洋・尾鼻浩 一郎・小平秀一・金田義行	紀伊半島南東沖の海底 地震計でみられた継続 時間の長い振動	日本地球惑星 科学連合 2007 年大会	2007. 5. 19
望月公廣・中東和夫・桑野 亜佐子・山田知朗・篠原雅 尚・酒井慎一・橋本信一・ 八木健夫・金澤敏彦・植平 賢司・清水洋	繰り返し長期海底地震 観測による東南海・南海 地震の境界域における 地震活動の空間変化	日本地震学会 2007 年秋季大 会	2007. 10. 25

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定  
なし。