

3. 2. 1. 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（日本海溝・千島海溝周辺における海底地震観測研究）

3. 2. 1. 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（日本海溝・千島海溝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」  
（日本海溝・千島海溝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
	助手	望月公廣	kimi@eri.u-tokyo.ac.jp
	助手	山田知朗	yamada@eri.u-tokyo.ac.jp

#### (c) 業務の目的

日本海溝・千島海溝周辺の海溝型地震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。対象領域の地震活動度を考慮し、十分な数の微小地震を観測するには、1年程度にわたる地震観測を実施する必要がある。本調査研究の対象領域が広域であることを考慮し、観測対象領域を毎年度変更しながら地震観測を行う。

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、日本海溝・千島海溝周辺に関する研究を行い予測精度の向上に資することも目的とする。

#### (d) 5ヵ年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

日本海溝・千島海溝周辺の海溝型地震の想定震源域およびその周辺における調査研究（平成16年度の開始）においては、観測対象領域を毎年度変更しながら観測を実施し、5年間かけて日本海溝・千島海溝沿いほぼ全域のより正確な地震活動の把握をすすめる。

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16年度

長期観測型海底地震計を新規整備したほか、記録処理システムを新規整備した。青森県八戸市に臨時ヘリポートを設けて新規整備した長期観測型海底地震計を大型ヘリコプターにより海底設置した。この設置作業の実施により、三陸沖北部の想定震源域の地震活動を、約20kmから25km間隔に配置された18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。平成17年10月までこの観測網で観測を継続した。地震計の設置作業にあたっては、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。

2) 平成17年度

平成16年度計画として平成17年3月から観測を開始した18観測点による三陸沖北部の海底地震観測網は、地震発生確率の高い三陸沖北部の地震活動を正確に把握することを目的として実施された。三陸沖北部想定震源域の北西部において約20kmから25km間隔の観測点配置となっている。平成17年度は、引き続き三陸沖北部の地震活動データを蓄積した後、平成17年10月に用船により全観測点を回収して観測を終了した。続く平成17年12月および平成18年1月に大型ヘリコプターを用いて、新規購入及び回収後の再整備を実施した長期観測型海底地震計総計30台を、地震発生確率の高い根室沖・釧路沖に設置して観測を開始した。平成18年10月頃までこの観測を継続した。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。海底長期観測データの処理システムを新規整備した。さらに、回収した海底長期観測データを陸域地震データに併合して処理し、三陸沖北部の地震活動の正確な把握を進めた。

3) 平成18年度

平成17年度計画として根室沖から釧路沖にかけて設置した長期観測型海底地震計総計30台は約20kmから25km間隔の観測点配置となっている。平成18年度は、引き続き根室沖から釧路沖の地震活動データを蓄積した後、平成18年9月に用船により全観測点を回収して観測を終了した。続く平成18年10月に用船により22台の、平成18年11月に大型ヘリコプターを用いて20台の、新規購入及び回収後の再整備を実施した長期観測型海底地震計総計42台を、地震発生確率の高い三陸沖北部から十勝沖にかけての領域に設置して観測を開始した。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。海底長期観測データの処理システムを増強および新規整備した。さらに、回収した海底長期観測データを陸域地震データに併合して処理し、根室沖想定震源域における地震活動の正確な把握を進めた。一方、平成17年度に回収した三陸沖北部の地震観測データの解析を引き続き実施し、三陸沖北部の地震活動の正確な把握を進めた。

4) 平成19年度

三陸沖北部から十勝沖にかけての領域に展開した海底地震計を回収し、海・陸の地震データを解析して、当該海域のより正確な地震活動の把握をすすめる。三陸沖南部から宮城沖海溝軸寄り・福島沖北部にかけての領域で、海底地震計による観測を開始する。

5) 平成20年度

三陸沖南部から宮城沖海溝軸寄り・福島沖北部にかけての領域に展開した海底地震計を回収し、海・陸の地震データを解析して、当該海域のより正確な地震活動の把握をすすめる。福島県沖から房総沖にかけての領域で、海底地震計による長期観測を行い、海・陸データ解析から、より正確な地震活動の把握をすすめる。最終年度にあたるため、年度内に全観測点を回収し、本観測研究の総まとめを行う。

(e) 平成19年度業務目的

平成 18 年度に三陸沖北部から十勝沖にかけての領域において観測を開始した長期観測型海底地震計 42 台を回収して、海・陸データの併合処理を実施する。この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、三陸沖北部から十勝沖にかけての領域の地震活動を正確に把握することが目的とする。また、日本海溝・千島海溝周辺の海溝型地震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して、三陸沖南部から宮城沖海溝軸寄り・福島沖北部にかけての領域に新たに長期観測型海底地震計を設置して観測を開始する。海底地震計の配置にあたっては、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 18 年度計画として平成 18 年 10 月に用船により 22 台の、平成 18 年 11 月に大型ヘリコプターを用いて 20 台の、新規購入及び回収後の再整備を実施した長期観測型海底地震計総計 42 台を、地震発生確率の高い三陸沖北部から十勝沖にかけての領域に設置して観測を開始した。平成 19 年度は、引き続き三陸沖北部から十勝沖の地震活動データを蓄積した後、平成 19 年 5 月から 6 月にかけて用船により全観測点を回収して観測を終了した。続く平成 19 年 10 月に海洋研究開発機構の学術研究船「白鳳丸」により 49 台の新規購入及び回収後再整備を実施した長期観測型海底地震計を、地震発生確率の高い三陸沖の領域に設置して観測を開始した。平成 20 年 6 月頃までこの観測を継続する。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。海底長期観測データの処理システムを増強および新規整備した。さらに、回収した海底長期観測データおよび平成 17 年度に本業務で実施した三陸沖北部での海底長期観測データと、陸域地震データを併合して処理し、三陸沖北部から十勝沖の領域における地震活動の正確な把握を進めた。一方、平成 18 年度に回収した根室沖から釧路沖での地震観測データの解析を引き続き実施し、根室沖想定震源域における地震活動の正確な把握に努めた。

### (b) 業務の実施方法

#### 1) 観測点配置に関する調整

三陸沖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。なお、三陸沖の領域に設置した観測点は 49 点である。49 観測点の配置は、昨年度本業務により三陸沖北部から十勝沖で実施した観測点および宮城沖地震重点的調査観測による海底地震観測点と一部が重複するように配置するものとした。また、地震研究所の三陸沖ケーブル式海底地震観測点を観測網の一部となるように海底地震計の配置を調整した。海底地震計の設置・回収作業にあたっては、現地関係機関（者）等と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

新規購入および三陸沖北部から十勝沖から回収した長期観測型海底地震計は、国立大学法人東京大学地震研究所で動作確認と組み立て等の整備を実施した。また、音響通信制御装置、GPS 時計制御システム等の設置作業支援装置についても動作試験等を行い総合的な整備を実施した。

#### 3) 長期観測型海底地震計の設置・回収

平成 18 年度に三陸沖北部から十勝沖にかけて設置した観測網は、平成 19 年 5 月から 6 月にかけて全観測点の長期観測型海底地震計回収作業を用船によって実施した。続く平成 19 年 10 月に海洋研究開発機構の学術研究船「白鳳丸」を用いて三陸沖の領域に 49 観測点の設置を実施した。

#### 4) 浅部構造のデータ収集・解析

平成 19 年 5 月から 6 月にかけて用船し、2 チャンネルハイドロフォン・ストリーマーを曳航してのエアガン (2~3 台) 発震を、三陸沖から十勝沖にかけての領域で実施した。この構造調査のデータを解析して、震源決定に用いるための海底地震計直下の不均質浅部構造を精度良く求めた。また、平成 19 年 10 月に海洋研究開発機構の学術研究船「白鳳丸」により、三陸沖の領域に 49 観測点の設置直後に、エアガンアレイ (容量 25 リットル 4 台) を用いた制御震源発震を行った。

#### 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、コンピュータネットワーク経由でほぼリアルタイムに配信されている日本全国の陸地震観測点のデータの中から三陸および襟裳岬周辺観測点のデータを抽出し、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

海底長期観測データの処理システムを、データ量の増加に伴い、増設及び新規整備した。平成 17 年度に本業務で実施した三陸沖北部での海底地震観測のデータおよび平成 19 年度に実施した三陸沖から十勝沖での海底地震観測のデータと陸域観測網で記録された地震データを併合処理し、震源再決定を行った。その結果気象庁一元化震源で求まっている地震を含めて 2687 個の震源を決定し、三陸沖から十勝沖における、より詳細なプレート境界形状の把握を進めた。また、平成 18 年度に実施した釧路沖・根室沖での海底地震観測のデータと近接する海底ケーブル式地震観測点と陸上の地震観測点のデータを併合処理し、震源再決定を行った。その結果、2459 個の震源を決定し、釧路沖・根室沖におけるプレート境界形状を求めた。さらに、これらの結果と、2003 年十勝沖地震の海底余震観測の結果を合わせて、根室沖から、釧路沖、十勝沖、三陸沖北部におけるプレート境界形状の把握を行った。

#### 7) 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



において定める方針に従って流通公開を行うため、三陸沖北部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観測対象領域における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。

#### 8) 運営委員会等の設置・開催

調査研究を効果的に推進するため、平成 19 年 10 月 2 日及び平成 20 年 3 月 14 日に、「東南海・南海地震等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）」を開催した。

#### (c) 業務の成果

陸域の高感度地震観測網による地震の検知能力および震源決定能力相当を海域に広げ、日本海溝および千島海溝沿いの想定震源域の地震活動について、より小さな地震まで正確に震源決定できるようにすることは、地震発生の物理モデルを用いた予測精度の向上を図る上できわめて重要である。日本海溝・千島海溝では海溝型地震の発生が想定されており（図 1）、地震活動の正確な把握、プレート境界の位置・形状の推定や地震活動と地殻構造を比較することは、地震発生の物理モデルを構築する上で、モデルパラメータの一部となるために、重要である。このため本調査研究においては、長期観測型海底地震計を対象領域に設置して 1 年程度の観測を行うという手法を使い（図 2）、順次観測網を移動することによって、日本海溝・千島海溝周辺全域にわたる、より正確な地震活動の把握を進めている（図 3）。長期観測型海底地震計は国立大学法人東京大学地震研究所で開発したものを使用した。海底地震計に使われている地震センサーは陸域の高感度地震観測網では標準的な固有周期 1 秒の地震センサーと同等な周波数特性を持っており、海・陸地震データを併合して処理しやすい地震波形データを取得できる。

平成 18 年 10 月と 11 月に新規整備 12 台および回収後再整備した 30 台の長期観測型海底地震計を設置して、三陸沖北部から十勝沖にかけての領域で観測を開始した。地震調査研究推進本部地震調査委員会による海溝型地震の長期評価を踏まえて、地震発生確率が高い領域から観測を行うという考え方にに基づき、三陸沖北部から十勝沖にかけての領域での観測を 3 年次目を実施したものである。三陸沖北部の想定震源域東側の領域およびその領域と 2003 年十勝沖地震の震源域境界の地震活動を明らかにする目的である。観測網の一部は本業務で初年度に海底地震観測を実施した観測点と一部重複するように設定した。この領域は、これまで十分な観測が行われておらず、知見の蓄積が少ない海域である。

三陸沖北部から十勝沖にかけての観測実施にあたっては、関係機関（者）等との調整を行い、最終的に海底地形を考慮して水深が 1000m より深い海域に海底地震計を設置した（図 4）。新規整備の海底地震計の都合のために、晩秋期における設置となり、平成 18 年 10 月に実施した船舶による設置では、海況の比較的良好な観測域南側に 22 台の地震計を設置した。その後は、海況が不良であることが多く、船舶による設置は困難であると考えられたために、ヘリコプターによる設置を行った。ヘリコプターによる設置は、ある程度までの強風下でも実施することが可能であり、平成 18 年 11 月 23 日から 25 日の 3 日間で 20 台を設置し、総計 42 台で観測を開始した（表 1）。平成 19 年 5 月 31 日から 6 月 4 日にかけて、震源

決定に用いるための海底地震計直下の不均質浅部構造を精度良く求めるために、用船を用いて、エアガン2~3台（総容量50~75リットル）による発震を行った（写真1、2）。また、同じ用船により長期観測型海底地震計は、平成19年5月28日から6月5日にかけて、全台回収された（写真3）。

その後、平成19年10月に新規整備した7台の長期観測型海底地震計を加え、総計49台の長期観測型海底地震計を、三陸沖の領域に設置して、観測を開始した（図5、表2）。この領域の陸側では海底地震計を用いた構造探査調査や自然地震観測が行われている（Hino et al., 2000<sup>2)</sup>, Miura et al., 2005<sup>6)</sup>, 桑野, 2005<sup>5)</sup>）。しかし、長期間連続した自然地震観測は行われておらず、地震活動の特徴の把握、プレート境界形状の把握、地殻構造と地震活動の対比等に関する知見の蓄積が十分ではない領域である。平成19年10月13日から15日の3日間で49台を海洋研究開発機構の学術研究船「白鳳丸」により設置した（写真4）。海底地震観測データは来年度の地震計回収まで待つ必要があるが、地震活動はある程度活発な場所であり、海溝軸から陸域まで連続的により正確な震源による地震活動の把握、プレート形状の把握、地殻構造と地震活動の対比を行う予定である。

#### 1) 三陸沖北部想定震源域北西部における海陸データ統合解析

平成19年度は、平成18年10-11月に平成16年度の観測領域の東に隣接する領域に構築した海底地震計ネットワーク（42点）の直上での制御震源探査および地震計の回収を行った。作業は、平成19年5月28日から6月5日まで株式会社オフショア・オペレーションの「第5海工丸」を用いて行った。制御震源としては、25リットルのエアガンを2~3台用い、発振間隔60~80秒で発振した。同時に2チャンネルストリーマーによる反射法探査も実施した。観測点配置およびエアガン測線位置を図6に示した。観測された微小地震活動について震源決定を行い、また制御震源探査によって2次元P波速度構造を求め、両者からプレート境界面の深さ分布を推定した。

制御震源探査の解析については、まず海底地震計で記録されたデータに時刻補正などを施したのち、距離時間軸断面を作成した（図7、8、9、10）。各観測点における距離時間軸断面を見ると、複雑な地殻構造を反映して、初動に凹凸が見られるが、平均すると震央距離20km程度までは見かけ速度4km/sの、震央距離80km程度までは見かけ速度6km/sの初動を見ることが出来る。また、後続波として、沈み込む太平洋プレート上面や、より深部からの反射波と考えられる相を見ることが出来る。解析には破線追跡法を用い、試行錯誤的に速度構造を求めた（図11、12、13、14）。得られた速度構造を見ると、P波速度1.6~2.0km/sの堆積層の下に、P波速度4km/s程度の層が見られる。この層の上面の深度変化は大きい。P波速度4km/sを示す層の下に島弧地殻の上部地殻と思われるP波速度5.8km/s程度の層が見られる。この層は層厚の変化が大きく、特にLineEでは層厚が約5~10kmの間で変化している。また、LineD、E、Fでは上部地殻の下に下部地殻と考えられるP波速度6.4~6.8km/sの層が見られる。太平洋プレート上面の深さは島弧側から海溝に向かって浅くなっており、LineDで24km、LineEで22km、LineFで21km、LineGで16km程度である。また、LineD、E、Fでは測線中央部で、太平洋プレート上面が下に凸になっているように見える（図12、13）。

自然地震解析については、まず最初に、海底地震計記録から気象庁一元化震源リスト

にある地震について WIN システム（卜部・東田，1992<sup>8)</sup>）を利用してディスプレイ上で目視による検測を行った。それらの地震について、Hirata and Matsu'ura (1987<sup>3)</sup>)により震源決定を行った。図 15 に示したように、平成 16-17 年の観測海域と平成 18 年-19 年の観測海域は隣り合っているため、双方の観測記録を合わせて解析に用いた。陸域観測点と海域観測点とでは速度構造が系統的に異なるため、別々に与えた(図 16)。海域の観測点については、構造探査の結果を踏まえて速度構造を定義した。構造探査で明らかのように、観測点ごとに堆積層の厚さが異なっており、走時に影響を及ぼす。これを補正するため、各観測点ごとの走時残差平均値を計算し、観測点補正值として与えた。観測点補正值の見積もり法としては、まず震源決定を行った後、各観測点の走時残差平均値を求め、それを過剰に見積もるのを防ぐため 0.3 倍したものを観測点補正值として走時データに加え、再度震源決定するという操作を 10 回行った。解析に使用した観測点数は、長期観測型海底地震計 17 点(平成 16-17 年)、42 点(平成 18-19 年)、陸域定常観測点 72 点、海底ケーブル観測点 2 点の計 133 点である。ALS01 海底地震観測点の記録は良好ではなかったため、今回の解析には使用していない。解析対象とした地震数は 3117 個で、4 点以上の観測点で P 波、S 波両方が検測されていることを条件として解析する地震を選択した。また、震源決定の度に、走時残差の標準偏差が平均値の 2.5 倍以上あるもの、また残差が P 波で 0.5 秒、S 波で 1 秒以上あるデータはその後の震源決定では除くようにした。解析の結果、2725 個の震源が収束し、その内 2713 個が決定精度 5km 以下で求まった。最終的な観測点補正值を図 17 に示した。また、図 18 に解析の結果得られた震源の震央分布を示した。

図 18 に示した震源を、鉛直断面(水平位置は図 18、20 中の赤枠)に投影し、水平方向に 0.2 度間隔で配置したグリッドの深さを手動で調整することで沈み込むプレートの上面の地震の深さ分布を推定した。深さ 30km 以浅にはイベントが少ないため、制御震源探査構造から推定されたプレート境界面を投影し、滑らかにつながるようにグリッド深さを調整した(図 19)。また、深さのコンターを図 20 に示した。1968 年十勝沖地震アスペリティ(Yamanaka and Kikuchi, 2004<sup>9)</sup>)の北側でプレート境界面のディップ角が変化していた。このことは、沈み込む海洋プレートの幾何学的形状が大地震のすべり領域の拡がりを制約する条件の一つである可能性を示唆している。また、プレート境界面の沈み込み方向に対する傾斜は、日本海溝側(北緯 41 度以南、図 19 断面 1, 2, 3, 4)では西側に向かってほぼ一定の沈み込み角でなめらかであるのに対して、日本海溝と千島海溝の会合部(図 19 断面 6, 7, 8, 9)では深さ 20km から 30km までは 30km 以深に比べ沈み込み角が非常に緩やかになっていた。また、平成 16 年度のエアガン探査によって推定された 2 次元 P 波速度構造(図 21)と比較すると、1968 年十勝沖地震アスペリティ付近では、プレート境界面付近で活動が低調であった(図 21 の黒点線で示した)。

## 2) 根室沖・釧路沖における海陸データ統合解析

釧路沖・根室沖から回収された長期観測型海底地震計のデータを用いて、根室沖・釧路沖の正確な震源位置の推定を行った。回収作業は、地震研究所の用船で洞海マリンシステムズ(株)所有の「みらい」によって、平成 18 年 9 月 14 日から 9 月 17 日にかけて行った。また、平成 18 年 5 月 27 日から 6 月 4 日にかけて、株式会社オフショア・オペ

レーション「第 5 海工丸」を用いて、観測域において、エアガンの発震を行った。このエアガンの直接到達波の走時を用いて、各長期観測型海底地震計の着底位置を決定した。今回回収した長期観測型海底地震計の観測期間は平成 17 年 12 月下旬から平成 17 年 9 月中旬の約 9 ヶ月間である。

回収した海底地震計 1 台（NLS27）は、データが欠落しており、解析には 29 台の長期観測型海底地震計を使用した。これらの地震記録は時刻校正を行った後、近接する陸上の地震観測点 38 点およびケーブル式海底地震観測点 3 点のデータと統合した。これらのデータは、はじめに気象庁が決定した一元化震源リストに基づき 1418 個の地震波形の切り出しを行い、WIN システム（卜部・東田, 1992<sup>8)</sup>）を利用してディスプレイ上で目視による検測を行った。一元化震源リストに含まれていない地震については、本観測網直下で発生したと考えられる地震について、海底地震連続記録から、上記と同様の方法で検測作業を行っているところである。これまでに検測を行った日別の地震数を図 22 に示す。2006 年 2 月分については、気象庁一元化震源リストに含まれる地震の 2 倍程度の数の地震について、読み取りを実施している。

海底地震計データを用いた震源決定では、海底地震計直下の堆積層が走時に大きく影響する。そこで、平成 18 年 5 月から 6 月にかけてエアガンを用いた地殻構造調査を行った（図 23）。このデータから距離時間軸断面を作成し（図 24）、過去に行われた構造探査の結果（Iwasaki et al., 1989<sup>4)</sup>、Nakanishi et al., 2004<sup>7)</sup>）を参考にし、二次元波線追跡法（Zelt and Smith, 1992<sup>10)</sup>）により（図 25）、海底地震計直下の浅部 P 波速度構造を求めた（図 26）。

次にこれらの読み取り値を用いて、Hirata and Matsu'ura (1987)<sup>3)</sup>を用いて震源決定を行った。速度構造は今回の観測で実施した構造探査を含む、この海域で行われた構造探査の結果を参考にし、図 27 に示す P 波速度構造を使用した。Vp/Vs は 1.73 とした。また、主として観測点直下の不均質構造の影響を除去するため、観測点補正値を導入した（図 28）。観測点補正値は各観測点の走時残差の平均値を初期観測点補正値として与え、5 回震源決定を繰り返すことによって求めた。

気象庁の一元化震源リストに含まれる地震 1418 個と、一元化震源リストに含まれない地震 1041 個の震央を図 29 と図 30 に示す。Yamanaka and Kikuchi (2004)<sup>9)</sup>によって求められた 1973 年根室沖地震、2003 年十勝沖地震、2004 年釧路沖地震のすべり域と、地震調査委員会による根室沖地震想定震源域も重ね合わせた。1973 年根室沖地震のすべり領域および根室沖地震想定震源域では、海溝寄りの領域で地震活動度が低いことが気象庁一元化震源リストから明らかになっていたが、一元化震源リストに含まれない微小地震活動をみても、同様に活動度が低いことが、本研究で初めて明らかとなった。

図 31 に本研究で求めた 9 ヶ月分の高精度な震源と、1998 年から 2006 年までの 9 年間の気象庁一元化震源の鉛直断面を示す。一元化震源からみえるような二重地震面（Hasegawa et al., 1978<sup>1)</sup>）に沿って地震が分布しているほか、特に陸から離れた領域では、海底地震計データを含めた結果の方が震源の深さ方向のばらつきが小さく、相対的に浅く決まる傾向にある。このような差異は、速度構造の不均質の影響のほか、陸域の高感度地震観測網が、陸から離れた海域で発生する地震に対しては、震源深さ決定の分解能が低下しているためと考えられる。

本研究による震源分布と、Nakanishi et al., 2004<sup>7)</sup>による P 波速度構造を比較する（図 32）と、震源の多くが主としてプレート境界および二重深発面に対応するところに分布していることがわかる。さらに本研究による震源分布では、海溝寄り付近では本観測データを加えた震源の方が震源の深さがより浅く決定されているため、海溝軸近傍で太平洋プレートが沈みこみを開始し、沈み込み角度が沈み込み方向に連続的に増加していく様子が明瞭である。そこでこの震源分布と、エアガンを用いた地殻構造探査から明らかになったプレート境界の深さ、さらに隣接地域である十勝沖で実施された海底余震観測の結果（図 33）を参照して、十勝沖から根室沖にかけての領域について、プレート境界深度を推定した（図 34）。プレート形状は峡谷を境として大きく変化しており、十勝沖側では複雑な形状を示している。このような形状の違いは、十勝沖と根室沖における巨大地震発生様式に差異をもたらすかもしれない。

### 3) 根室沖から三陸沖北部にかけての海陸プレート境界の把握

本研究により平成 17 年度に実施した根室沖・釧路沖の長期海底地震観測、平成 16 年度および平成 18 年度に実施した三陸沖北部の長期海底地震観測から、同地域での精密な震源分布を求めることができた。そこで、この精密な震源分布と同海域で実施された構造探査実験の結果（Iwasaki et al., 1989<sup>4)</sup>、Nakanishi et al., 2005<sup>7)</sup>）および本研究で実施した根室沖・釧路沖および三陸沖北部における構造探査実験の結果を比較し、これらのデータから、根室沖から三陸沖北部にかけてのプレート境界位置を推定した（図 35）。また、十勝沖に関しては、2003 年十勝沖地震の海底余震観測（Shinohara et al., 2004<sup>11)</sup>、山田・他、2005<sup>12)</sup>）により、精密な余震分布が求まっており、プレート境界位置の推定がなされている（篠原・他、2005<sup>13)</sup>）。十勝沖でのプレート境界位置を推定するにあたっては、これらのデータと結果を参照した。推定されたプレート境界形状は、釧路沖と十勝沖において、形状が変化すること、十勝沖では、西に向かってプレートの沈み込み角度が小さくなること、三陸沖北部海溝よりの地域（プレート境界深度が 20km から 30km の領域）では、沈み込み角度が極めて小さくなること、1968 年十勝沖地震などの三陸沖北部で発生した大地震のアスペリティは、プレートの沈み込み角度が大きくなったところにあたり、アスペリティの端と、形状が変化する場所がおおよそ一致することなどが特徴である。

表1 平成18年度に設置したえりも沖の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
ELS01	06/11/24-09:53:07	41-37.088	142-36.836	1050*	699	06/11/25-00:00:00
ELS02	06/11/24-09:01:39	41-27.618	142-49.670	1260*	631	06/11/25-00:00:00
ELS03	06/11/24-08:49:42	41-30.551	143-07.831	1070*	689	06/11/25-00:00:00
ELS04	06/11/23-13:53:09	41-30.782	143-25.107	1150*	657	06/11/24-00:00:00
ELS05	06/11/24-14:23:48	41-31.516	143-40.922	1150*	673	06/11/25-00:00:00
ELS06	06/11/25-08:49:28	41-37.910	143-57.777	1200*	693	06/11/26-00:00:00
ELS07	06/11/24-09:40:52	41-24.243	142-32.419	1350*	618	06/11/25-00:00:00
ELS08	06/11/24-09:27:20	41-14.993	142-44.478	1640*	617	06/11/25-00:00:00
ELS09	06/11/24-09:15:24	41-17.753	143-02.103	1910*	626	06/11/25-00:00:00
ELS10	06/11/24-11:43:20	41-18.043	143-19.257	2080*	632	06/11/25-00:00:00
ELS11	06/11/24-11:07:40	41-22.200	143-37.196	2200*	674	06/11/25-00:00:00
ELS12	06/11/25-09:32:07	41-25.523	143-52.679	2290*	620	06/11/26-00:00:00
ELS13	06/11/25-09:11:05	41-28.319	144-07.443	2150*	627	06/11/26-00:00:00
ELS14	06/10/22-15:53:39	41-04.95	142-56.40	1930	687	06/10/24-00:00:00
ELS15	06/10/21-16:11:30	41-05.29	143-13.37	2021	628	06/10/24-00:00:00
ELS16	06/11/24-11:31:49	41-11.342	143-32.923	2170*	669	06/11/25-00:00:00
ELS17	06/11/24-14:09:00	41-14.694	143-48.295	2730*	641	06/11/25-00:00:00
ELS18	06/11/25-09:22:04	41-17.503	144-02.872	2900*	694	06/11/26-00:00:00
ELS19	06/10/21-11:47:08	40-52.16	142-50.75	1719	633	06/10/24-00:00:00
ELS20	06/10/21-13:49:15	40-52.54	143-07.55	1559	697	06/10/24-00:00:00
ELS21	06/10/21-17:46:46	41-00.45	143-28.69	2017	625	06/10/24-00:00:00
ELS22	06/11/24-11:21:08	41-03.870	143-43.894	2320*	619	06/11/25-00:00:00
ELS23	06/11/24-13:57:54	41-06.708	143-58.362	3300*	691	06/11/25-00:00:00
ELS24	06/10/22-13:07:15	40-49.59	143-24.49	1921	639	06/10/24-00:00:00
ELS25	06/10/21-19:05:25	40-52.97	143-39.55	2161	675	06/10/24-00:00:00
ELS26	06/11/24-13:48:40	40-57.965	143-54.748	3530*	647	06/11/25-00:00:00
ELS27	06/10/21-09:34:53	40-39.37	142-45.13	1670	685	06/10/24-00:00:00
ELS28	06/10/22-09:10:10	40-39.78	143-01.74	1474	664	06/10/24-00:00:00
ELS29	06/10/22-10:44:33	40-38.71	143-20.21	1717	695	06/10/24-00:00:00
ELS30	06/10/22-11:59:39	40-42.15	143-35.21	2415	671	06/10/24-00:00:00
ELS31	06/10/21-20:23:01	40-46.09	143-49.93	3130*	622	06/10/24-00:00:00
ELS32	06/10/21-07:36:16	40-27.03	142-56.11	1550	660	06/10/24-00:00:00
ELS33	06/10/22-07:16:44	40-27.84	143-16.07	1832	696	06/10/24-00:00:00
ELS34	06/10/22-03:24:55	40-31.31	143-30.89	2242	642	06/10/24-00:00:00
ELS35	06/10/22-00:46:35	40-34.25	143-45.04	2944	649	06/10/24-00:00:00
ELS36	06/10/21-21:49:25	40-37.08	144-00.28	4274	698	06/10/24-00:00:00
ELS37	06/10/21-05:49:38	40-14.25	142-50.26	1405	651	06/10/24-00:00:00
ELS38	06/10/22-05:54:08	40-16.95	143-11.88	1473	672	06/10/24-00:00:00
ELS39	06/10/22-04:36:43	40-20.45	143-26.63	2020	636	06/10/24-00:00:00
ELS40	06/10/22-02:06:04	40-23.40	143-40.61	2744	629	06/10/24-00:00:00
ELS41	06/10/21-23:13:34	40-26.17	143-55.79	4178	690	06/10/24-00:00:00
ELS42	06/11/25-08:59:53	41-39.141	144-12.001	2380*	634	06/11/26-00:00:00

\*は、ヘリコプターによる設置のために、水深は海図よりの読み取り値（次ページに続く）

表1 （続き）

観測点名	推定海底位置（WGS84）			位置決定方法	回収日
	緯度（度 - 分）	経度（度 - 分）	水深（m）		
ELS01	41 - 37.1376	142 - 36.7878	1053	エアガン	2007/6/4
ELS02	41 - 27.6102	142 - 49.7244	1263	エアガン	2007/6/5
ELS03	41 - 30.5958	143 - 07.8816	1100	エアガン	2007/6/5
ELS04	41 - 30.8244	143 - 25.0734	1323	エアガン	2007/6/3
ELS05	41 - 31.4496	143 - 40.8834	1220	エアガン	2007/6/3
ELS06	41 - 37.9170	143 - 57.7836	1285	エアガン	2007/6/2
ELS07	投入位置を使用				2007/6/4
ELS08	投入位置を使用				2007/6/4
ELS09	41 - 17.7888	143 - 02.1222	1944	エアガン	2007/6/5
ELS10	41 - 18.0408	143 - 19.2630	2124	エアガン	2007/6/3
ELS11	41 - 22.0902	143 - 37.1556	2197	エアガン	2007/6/3
ELS12	41 - 25.5546	143 - 52.6920	2290	エアガン	2007/6/2
ELS13	41 - 28.2582	144 - 07.4160	2406	エアガン	2007/6/2
ELS14	41 - 04.8510	142 - 56.3544	1913	エアガン	2007/6/5
ELS15	41 - 05.2452	143 - 13.3572	2027	エアガン	2007/6/3
ELS16	41 - 11.2320	143 - 32.8980	2174	エアガン	2007/6/3
ELS17	41 - 14.6484	143 - 48.2790	2776	エアガン	2007/6/2
ELS18	41 - 17.4180	144 - 02.8392	3051	エアガン	2007/6/2
ELS19	40 - 52.4820	143 - 07.4306	1719	エアガン	2007/6/5
ELS20	40 - 52.4820	143 - 07.5306	1531	エアガン	2007/6/3
ELS21	41 - 00.4578	143 - 28.6824	1995	エアガン	2007/6/3
ELS22	41 - 03.7794	143 - 43.8840	2314	エアガン	2007/6/2
ELS23	41 - 06.6900	143 - 58.3746	3222	エアガン	2007/6/2
ELS24	40 - 49.5348	143 - 24.4578	1900	エアガン	2007/6/3
ELS25	投入位置を使用				2007/6/2
ELS26	40 - 57.9222	143 - 54.7008	3550	エアガン	2007/6/2
ELS27	投入位置を使用				2007/6/4
ELS28	40 - 39.7536	143 - 01.7280	1463	エアガン	2007/6/4
ELS29	40 - 38.7624	146 - 20.2362	1698	エアガン	2007/6/3
ELS30	40 - 42.2004	143 - 35.2398	2396	エアガン	2007/6/3
ELS31	40 - 46.1598	143 - 49.9464	3114	エアガン	2007/6/1
ELS32	40 - 27.0534	142 - 56.1054	1533	エアガン	2007/6/1
ELS33	40 - 27.7590	143 - 16.1470	1817	エアガン	2007/6/1
ELS34	40 - 31.3368	143 - 30.9126	2226	エアガン	2007/6/1
ELS35	40 - 34.3356	143 - 45.0942	2920	エアガン	2007/6/1
ELS36	40 - 37.2204	144 - 00.3576	4274	エアガン	2007/5/31
ELS37	40 - 14.2800	142 - 50.2938	1389	エアガン	2007/6/1
ELS38	40 - 16.9296	143 - 11.8806	1461	エアガン	2007/6/1
ELS39	40 - 20.4672	143 - 26.6490	2030	エアガン	2007/6/1
ELS40	40 - 23.4420	143 - 40.6374	2813	エアガン	2007/6/1
ELS41	40 - 26.2518	143 - 55.8330	4159	エアガン	2007/6/1
ELS42	40 - 39.1248	144 - 11.9952	2450	エアガン	2007/6/2

表2 平成19年度に三陸沖に設置した長期観測型海底地震計の投入位置

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
ML01	07/10/15-10:25:38	38-14.25	143-31.96	3337	617	07/10/15-16:55:00
ML02	07/10/07-17:34:27	38-57.22	143-37.31	2832	657	07/10/15-18:45:00
ML03	07/10/14-23:14:26	39-07.95	143-38.73	3535	704	07/10/15-05:55:00
ML04	07/10/14-21:30:12	39-18.69	143-39.99	3248	649	07/10/15-03:55:00
ML05	07/10/14-20:38:18	39-29.45	143-41.32	3223	627	07/10/15-02:55:00
ML06	07/10/14-15:29:19	39-40.18	143-42.70	2884	708	07/10/14-20:55:00
ML07	07/10/14-14:42:13	39-50.94	143-44.06	3021	631	07/10/14-20:55:00
ML08	07/10/13-08:37:04	40-01.65	143-45.44	2976	696	07/10/14-14:55:00
ML09	07/10/14-07:45:03	40-12.41	143-46.82	3278	691	07/10/14-12:55:00
ML10	07/10/15-09:14:56	38-02.58	143-21.71	3483	633	07/10/15-14:55:00
ML11	07/10/15-11:16:49	38-20.55	143-20.55	2857	695	07/10/15-16:55:00
ML12	07/10/15-13:04:51	38-31.31	143-21.91	2433	630	07/10/15-18:55:00
ML13	07/10/15-14:56:55	38-42.05	143-23.25	2212	625	07/10/15-20:55:00
ML14	07/10/15-16:49:28	38-52.78	143-24.60	2332	699	07/10/15-18:55:00
ML15	07/10/15-00:11:31	39-03.53	143-28.90	2668	693	07/10/15-06:55:00
ML16	07/10/14-22:25:07	39-14.27	143-27.25	2716	709	07/10/15-04:55:00
ML17	07/10/14-19:48:11	39-25.02	143-28.62	2960	620	07/10/14-23:55:00
ML18	07/10/14-16:18:41	39-35.75	143-29.96	2612	647	07/10/14-21:55:00
ML19	07/10/14-13:55:45	39-46.52	143-31.35	2174	634	07/10/14-19:55:00
ML20	07/10/14-09:28:04	39-57.23	143-32.73	2008	626	07/10/14-15:55:00
ML21	07/10/14-06:58:43	40-08.00	143-34.10	2036	651	07/10/14-12:55:00
ML22	07/10/15-08:03:19	37-54.62	143-05.28	2154	611	07/10/15-11:55:00
ML23	07/10/15-12:07:26	38-26.85	143-09.22	2402	712	07/10/15-17:55:00
ML24	07/10/15-14:03:43	38-37.60	143-13.53	2180	618	07/10/15-19:55:00
ML25	07/10/15-16:01:50	38-48.33	143-11.86	2001	622	07/10/15-21:55:00
ML26	07/10/15-01:05:43	38-59.08	143-13.21	2228	669	07/10/15-06:55:00
ML27	07/10/14-19:02:06	39-20.56	143-15.94	2031	663	07/10/14-23:55:00
ML28	07/10/14-17:06:55	39-31.30	143-17.28	2224	655	07/10/14-22:55:00
ML29	07/10/14-13:09:52	39-42.07	143-18.66	2200	671	07/10/14-18:55:00
ML30	07/10/14-10:20:43	39-52.77	143-20.02	1744	698	07/10/14-15:55:00
ML31	07/10/14-06:12:30	40-03.52	143-21.42	1422	628	17/10/14-11:55:00
ML32	07/10/15-06:13:35	38-18.29	142-52.60	1382	639	07/10/15-11:55:00
ML33	07/10/15-05:10:39	38-31.73	142-54.27	1579	710	07/10/15-10:55:00
ML34	07/10/15-03:02:58	38-45.13	142-55.94	1531	690	07/10/15-08:55:00
ML35	07/10/15-02:04:22	38-58.57	142-57.58	1504	685	07/10/15-07:55:00
ML36	07/10/14-18:09:13	35-25.41	143-00.97	1834	664	07/10/14-23:55:00
ML37	07/10/14-12:13:59	39-38.84	143-02.69	1703	629	07/10/14-17:55:00
ML38	07/10/14-11:16:15	39-52.27	143-04.38	1447	674	07/10/14-16:55:00
ML39	07/10/14-05:22:47	40-05.73	143-06.13	1233	619	07/10/14-10:55:00
ML40	07/10/15-04:09:47	38-39.55	142-39.61	1294	711	07/10/15-09:55:00
ML41	07/10/13-20:49:32	38-52.97	142-41.32	1257	707	07/10/14-02:55:00
ML42	07/10/13-23:00:58	39-06.40	142-42.99	1269	706	07/10/14-04:55:00



3. 2. 1. 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（日本海溝・千島海溝周辺における海底地震観測研究）

ML43	07/10/14-00:01:39	39-19.84	142-44.69	1622	694	07/10/14-05:55:00
ML44	07/10/14-02:15:10	39-33.27	142-46.37	1334	689	07/10/14-07:55:00
ML45	07/10/14-03:08:10	39-45.21	142-46.37	1098	636	07/10/14-08:55:00
ML46	07/10/14-04:12:55	40-00.00	142-45.48	1082	632	07/10/14-09:55:00
ML47	07/10/19-53:53	38-47.36	142-25.53	1029	686	07/10/14-02:00:00
ML48	07/10/13-21:58:17	39-00.77	142-27.16	1135	673	07/10/14-03:55:00
ML49	07/10/14-01:17:12	39-27.61	142-30.55	1021	641	07/10/14-06:55:00

3. 2. 1. 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（日本海溝・千島海溝周辺における海底地震観測研究）



写真1 三陸沖北部から十勝沖の浅部構造調査のために使用したエアガン(平成19年5月)

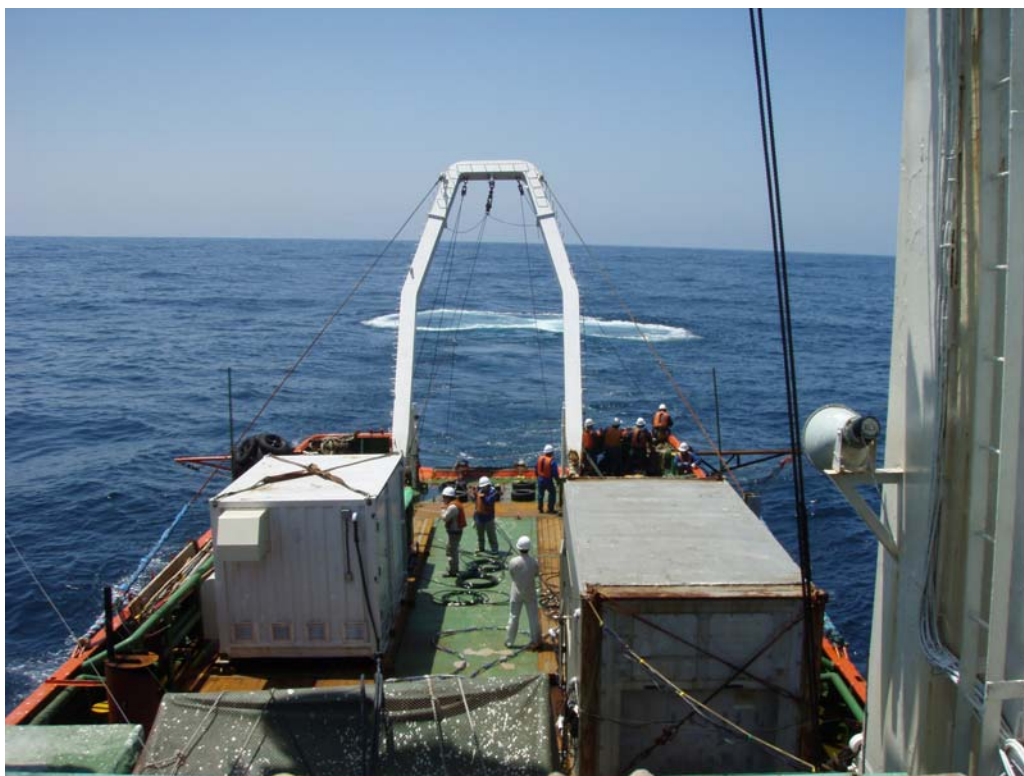


写真2 三陸沖北部から十勝沖におけるエアガンの発震(平成19年5月)



3. 2. 1. 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（日本海溝・千島海溝周辺における海底地震観測研究）



写真3 三陸沖北部から十勝沖から回収作業中の海底地震計（平成19年6月）



写真4 三陸沖に設置される海底地震計（平成19年10月）

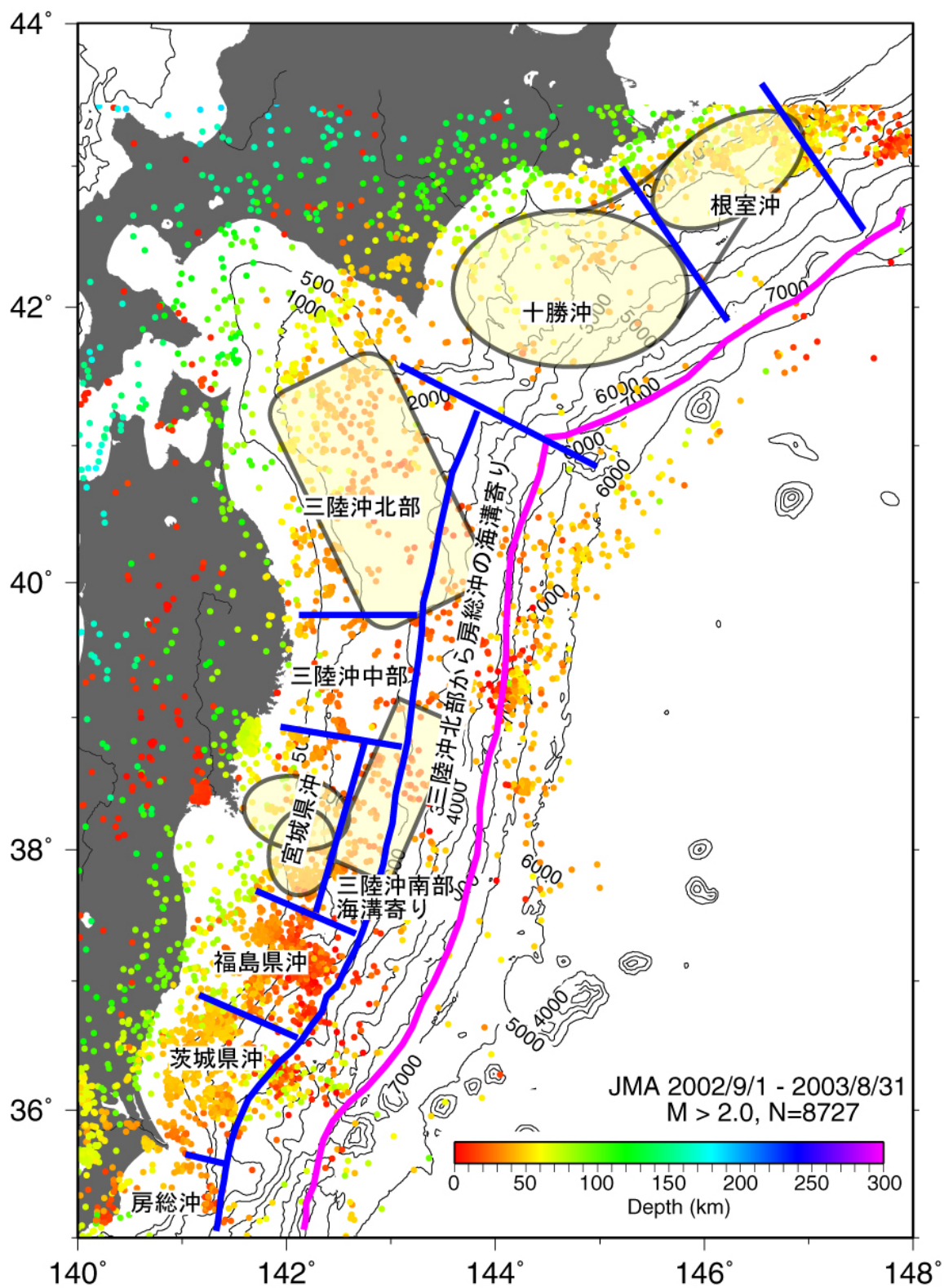


図1 地震調査委員会による海溝型地震想定震源域



3. 2. 1. 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（日本海溝・千島海溝周辺における海底地震観測研究）

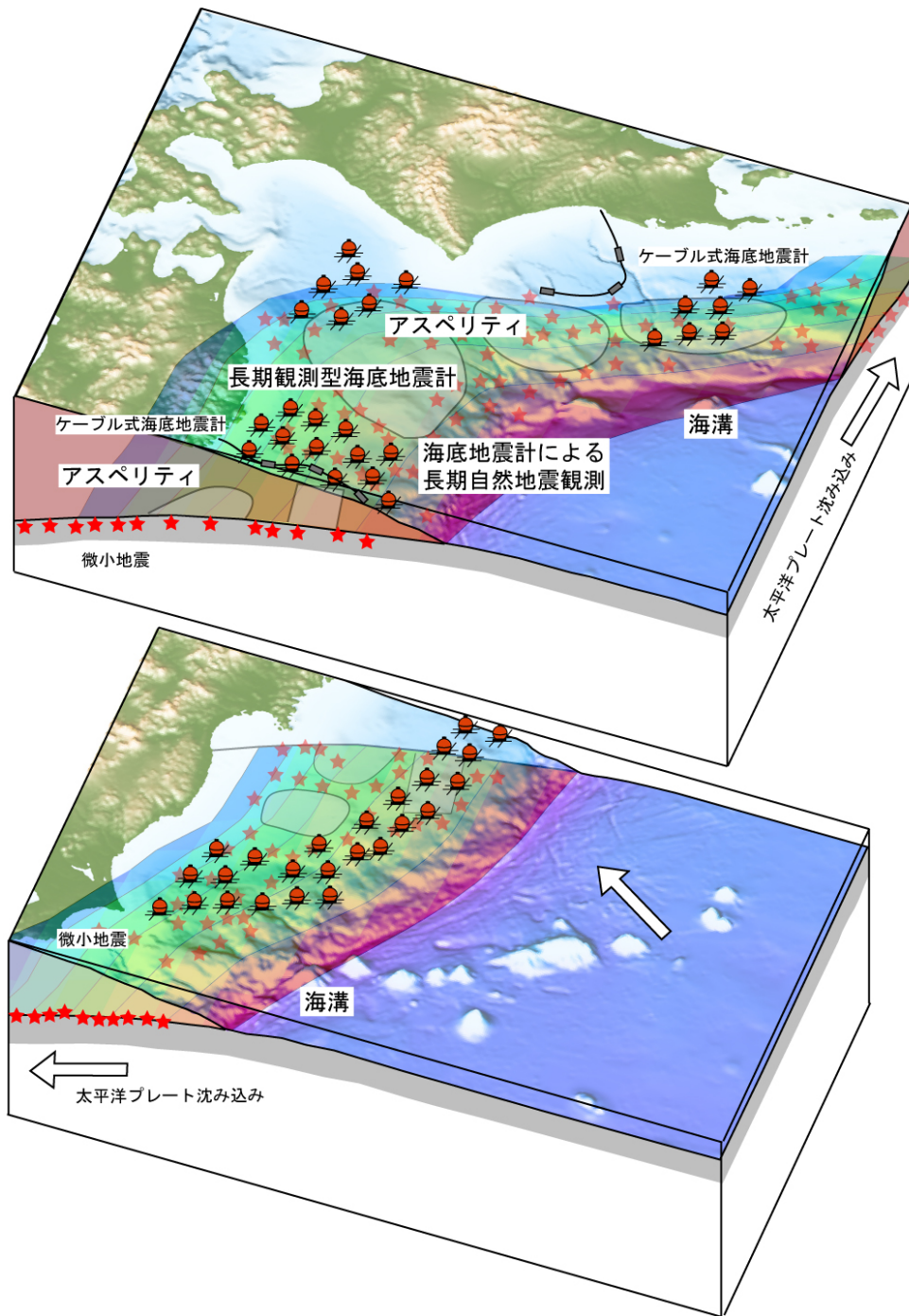


図2 長期観測型海底地震計を用いた観測手法の概念図

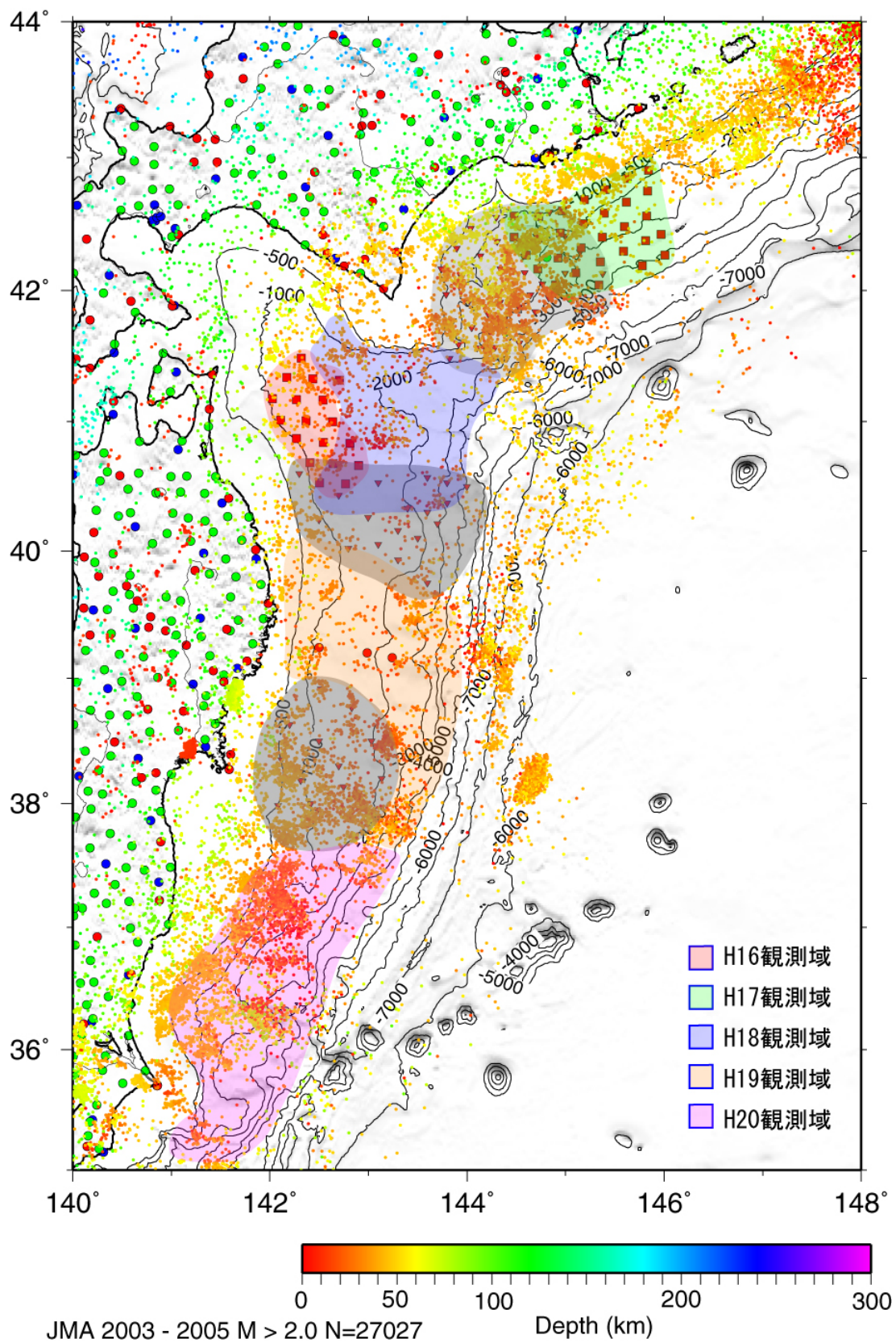


図3 本研究計画による長期海底地震観測計画



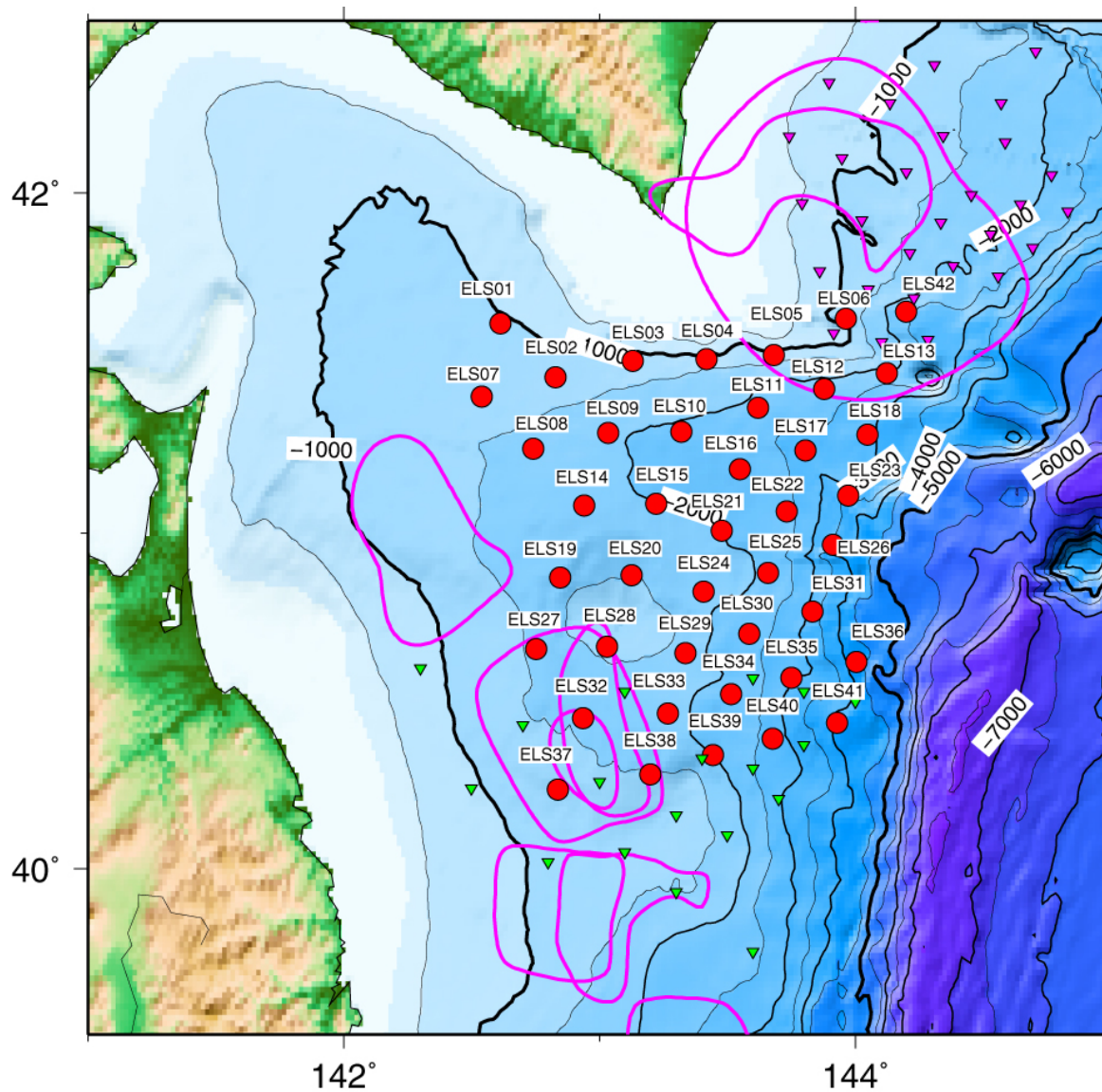


図4 平成18年度観測の三陸沖北部から十勝沖にかけての領域における海底地震計設置点  
 平成18年10月20日から23日にかけて、南側の22台を、平成18年11月23日から25日にかけて、北側の20台をヘリコプターを利用して設置した。赤丸が本研究計画で設置した長期観測型海底地震計、逆三角は、2003年十勝沖地震余震観測（赤）と1994年三陸はるか沖地震余震観測（緑色の逆三角）の海底地震計の設置位置を示す。赤のコンターは、Yamanaka and Kikuchi, 2004<sup>9)</sup>による大地震のアスペリティの位置を示す。

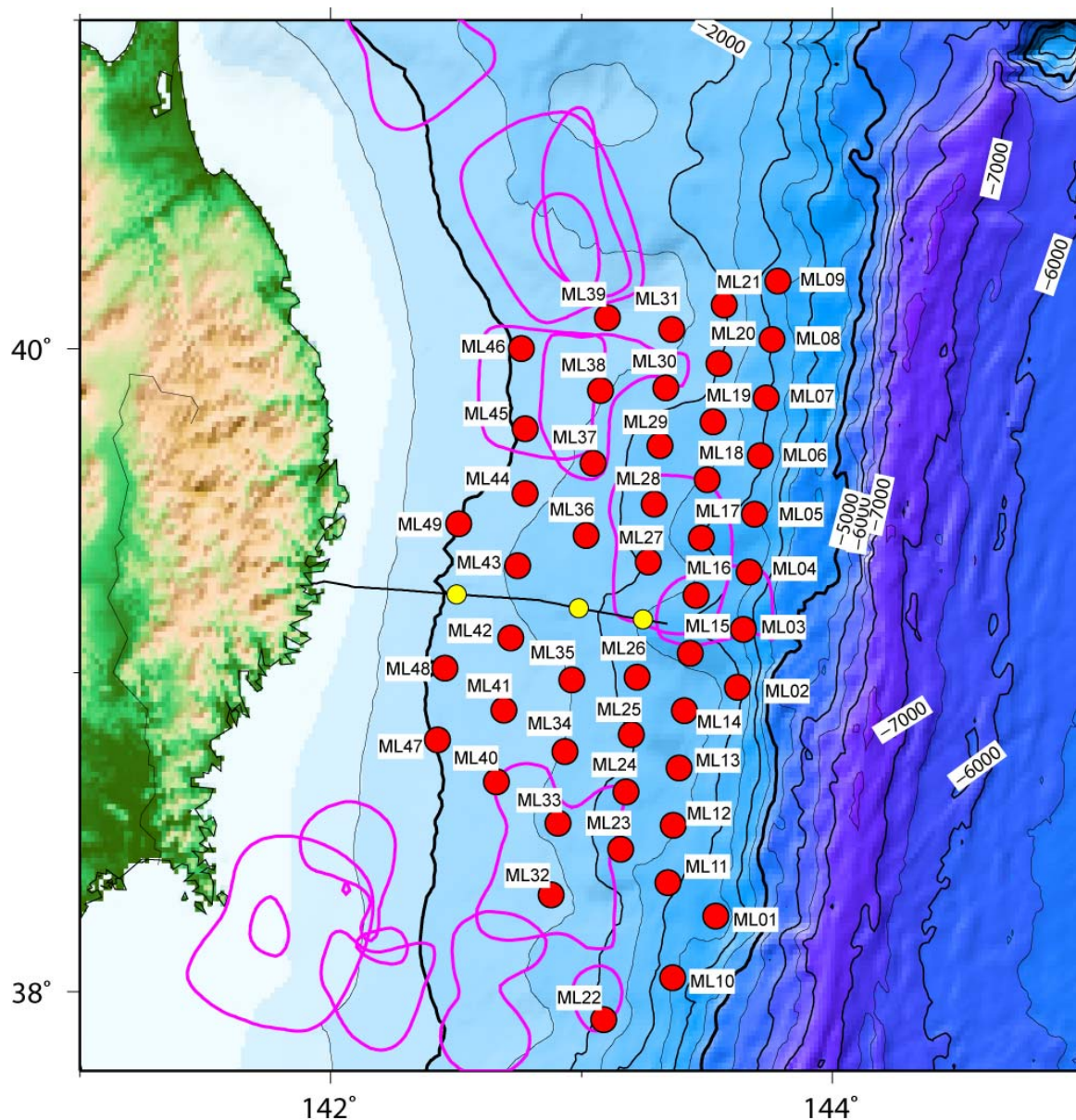


図5 平成19年度観測の三陸沖における海底地震計設置点

平成19年10月13日から15日にかけて、海洋研究開発機構の学術研究船「白鳳丸」を利用して設置した。赤丸が本研究計画で設置した長期観測型海底地震計、黄色丸は、東京大学地震研究所のケーブル式海底地震計の位置を示す。赤のコンターは、Yamanaka and Kikuchi, 2004<sup>9)</sup>による大地震のアスペリティの位置を示す。



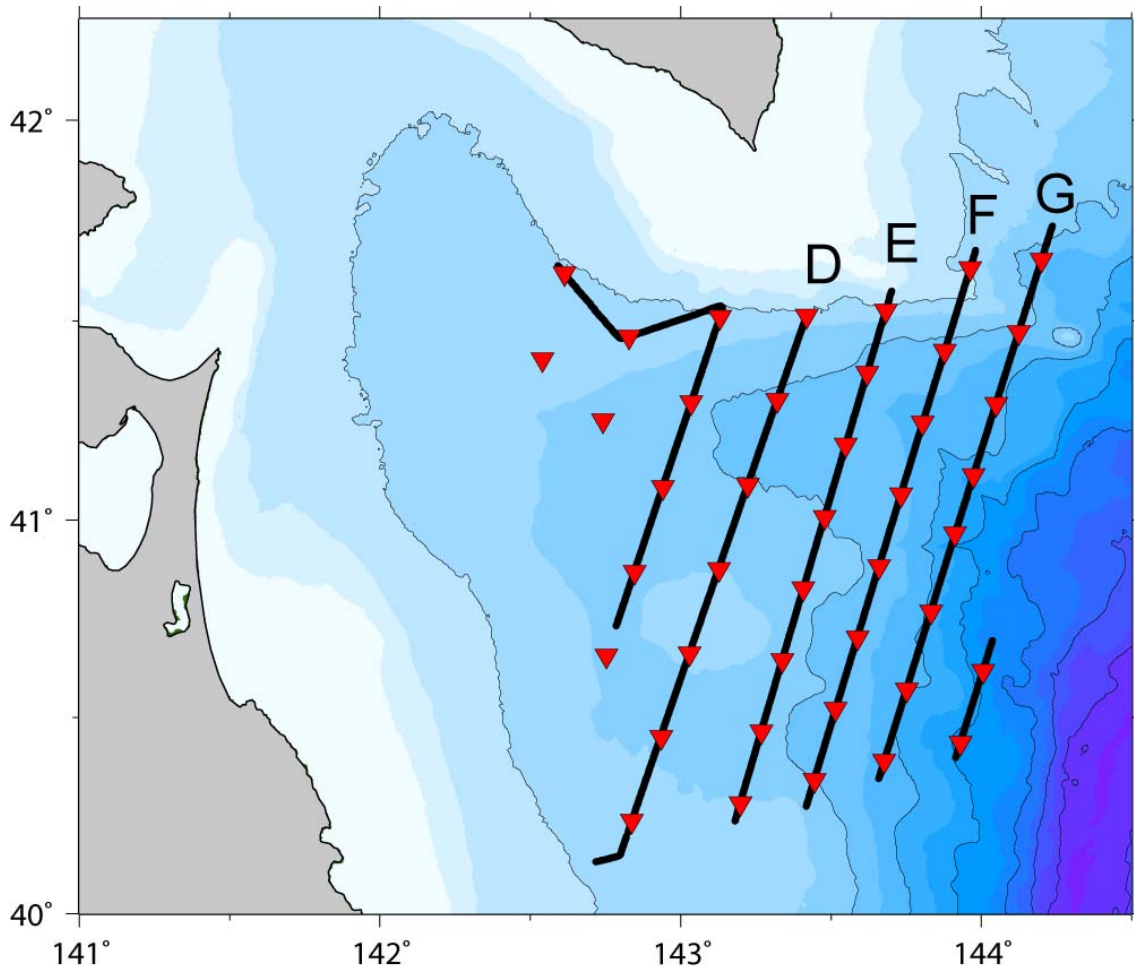


図6 エアガン測線配置図

図中の赤三角が長期観測型海底地震形の位置、黒線がエアガン発振測線、アルファベットは測線名。

# 10

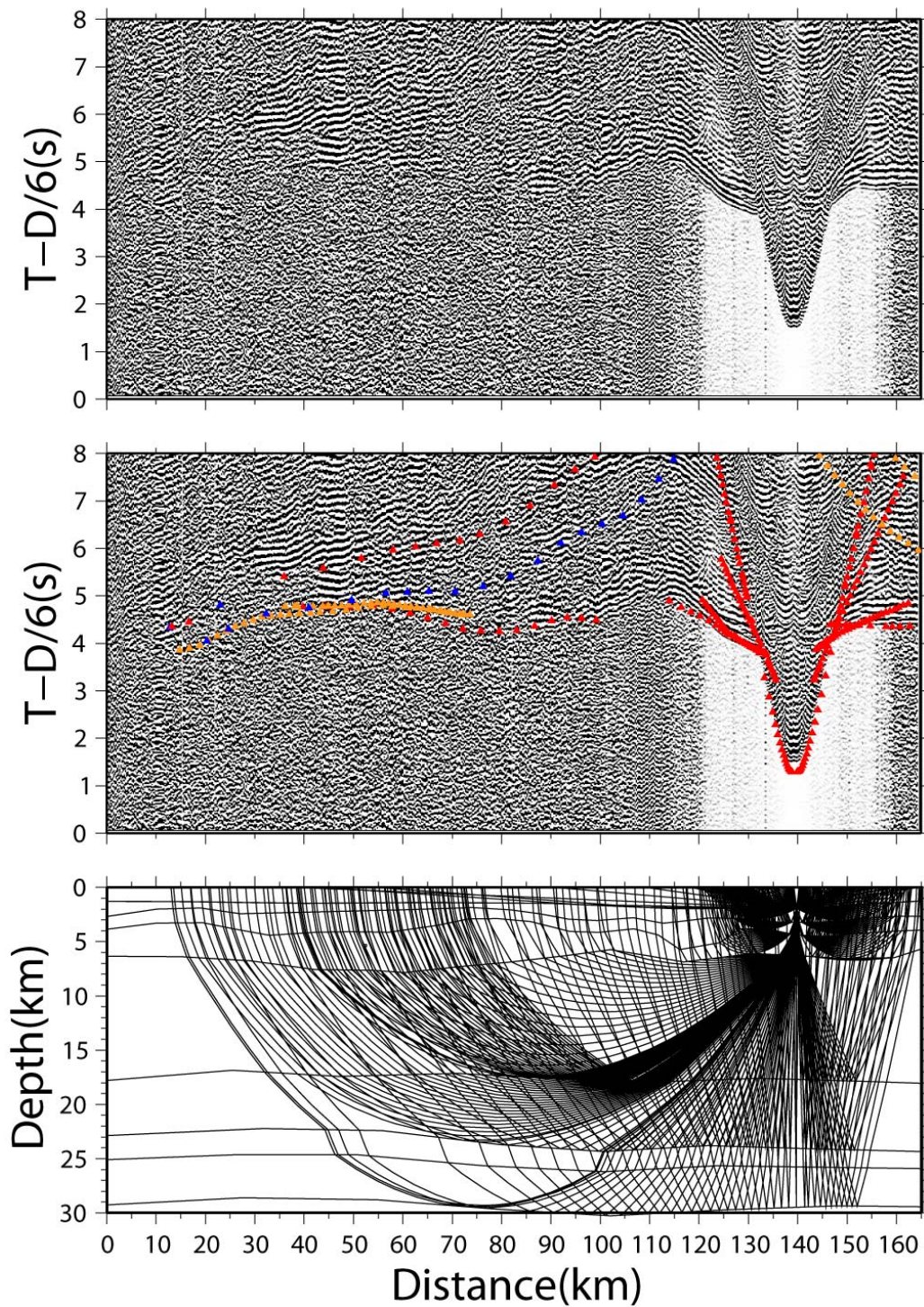


図7 (上)LineD, OBS10 で得られた波形、(中)波形とモデルから計算された理論走時、(下)波線図

波形記録には 6-12Hz のバンドパスフィルターを施し、最大振幅で規格化している。



# 33

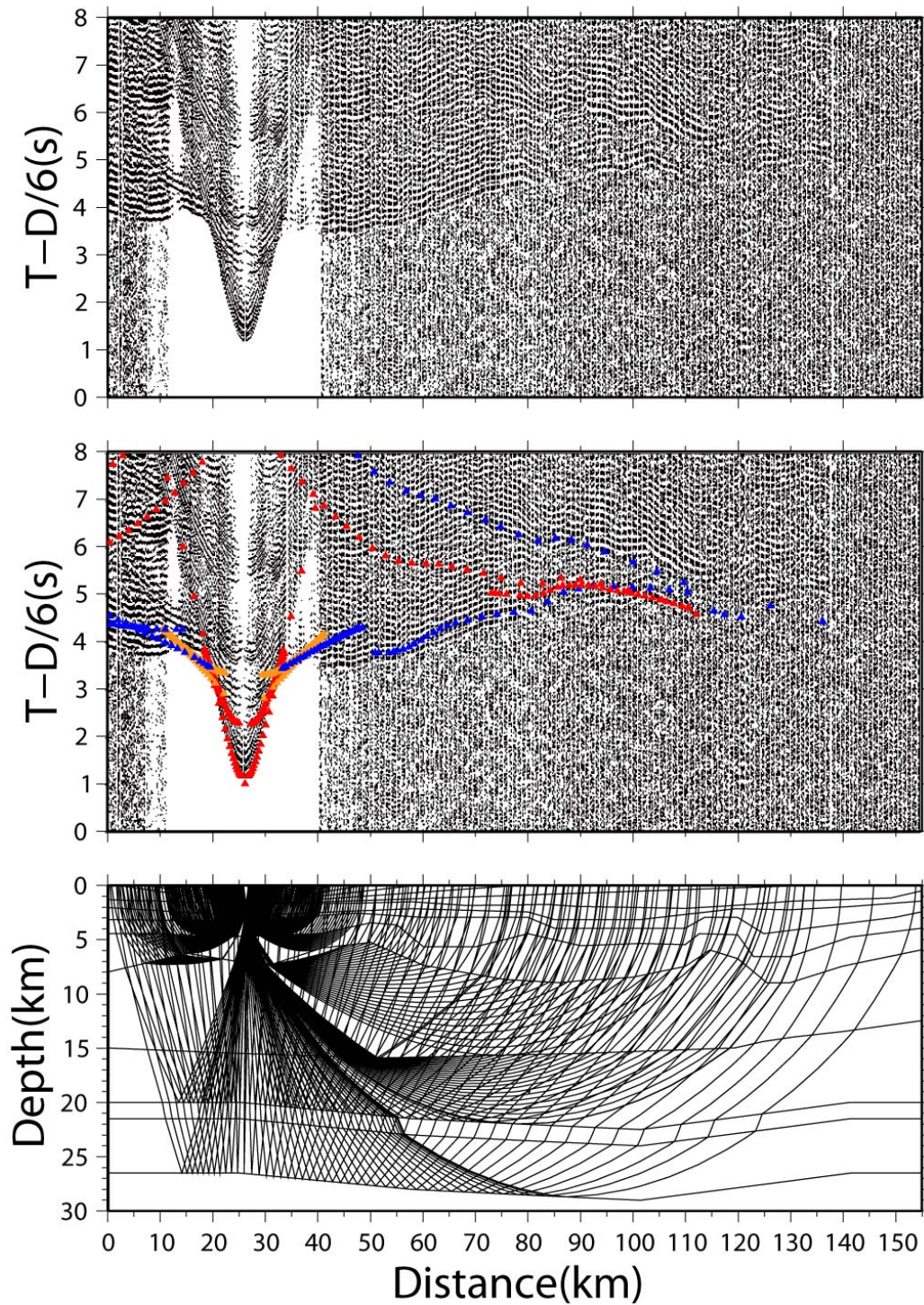


図8 (上)LineE, OBS33 で得られた波形、(中)波形とモデルから計算された理論走時、(下)波線図

波形記録には 6-12Hz のバンドパスフィルターを施し、最大振幅で規格化している。



# 34

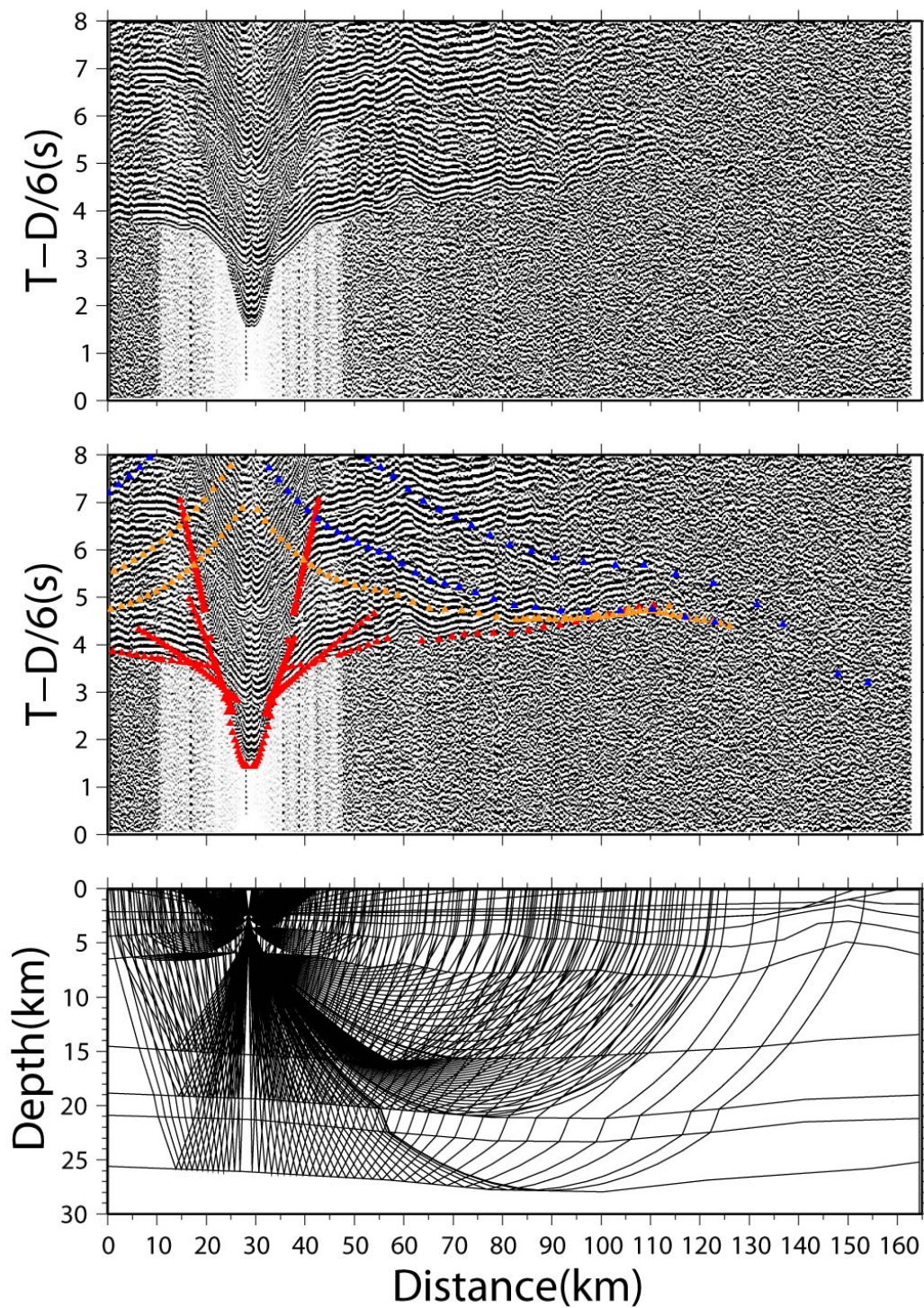


図9 (上)LineF, OBS34 で得られた波形、(中)波形とモデルから計算された理論走時、(下)波線図

波形記録には 6-12Hz のバンドパスフィルターを施し、最大振幅で規格化している。



# 35

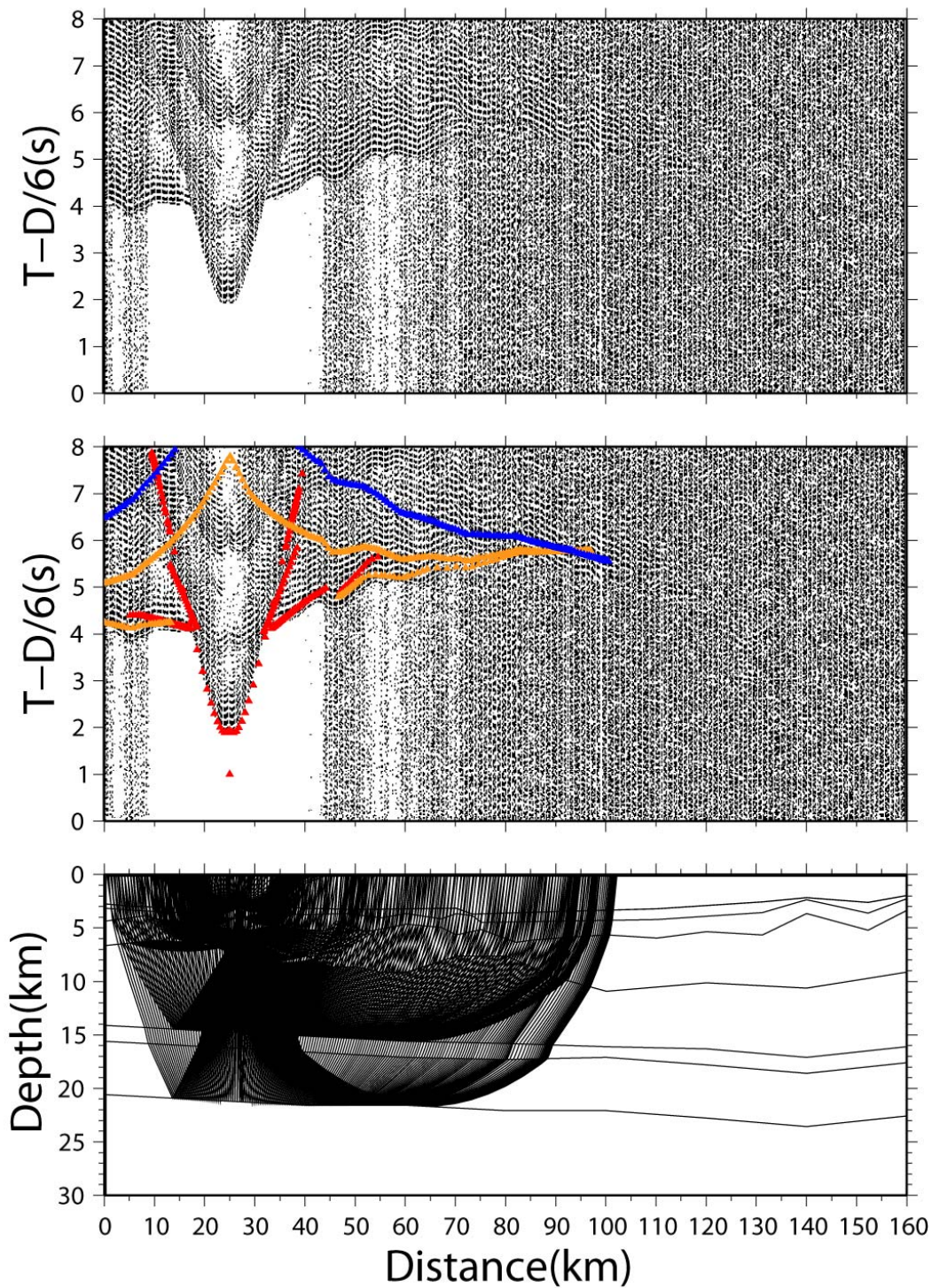


図 10 (上)LineG, OBS35 で得られた波形、(中)波形とモデルから計算された理論走時、(下)波線図

波形記録には 6-12Hz のバンドパスフィルターを施し、最大振幅で規格化している。

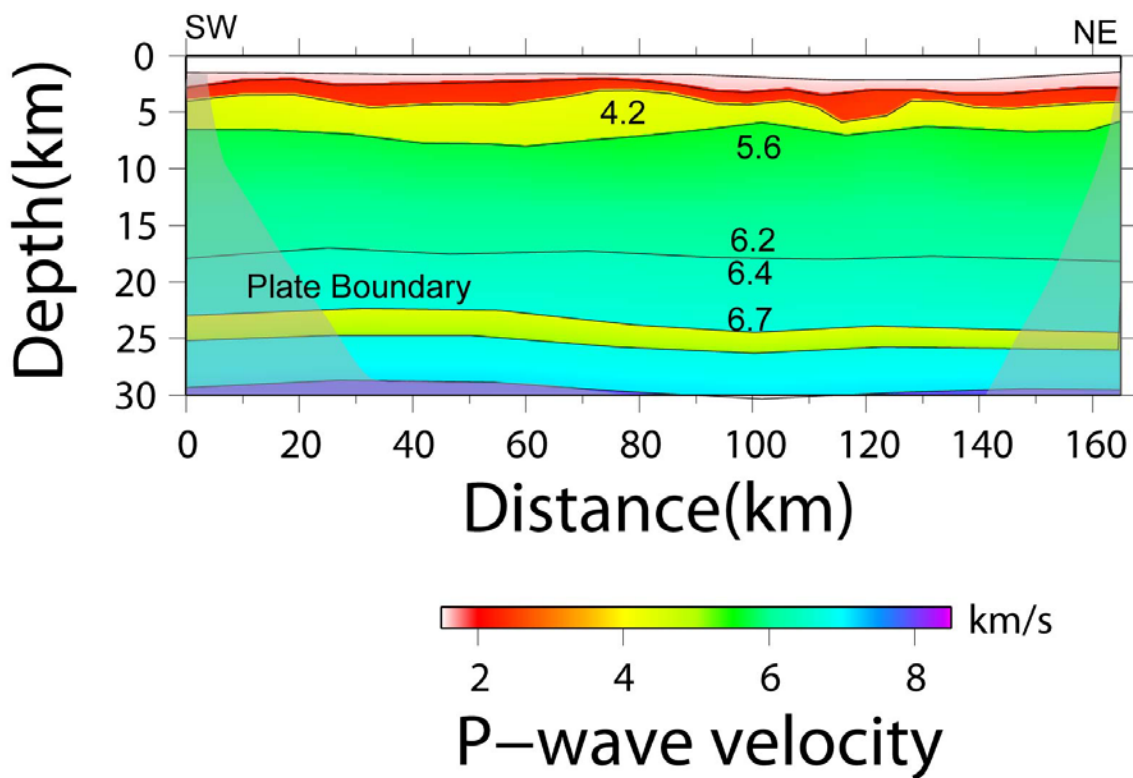


図 11 LineD での速度構造モデル

プレート境界の深さ 24km 程度であり、測線中央部で下に凸の形状をしている。

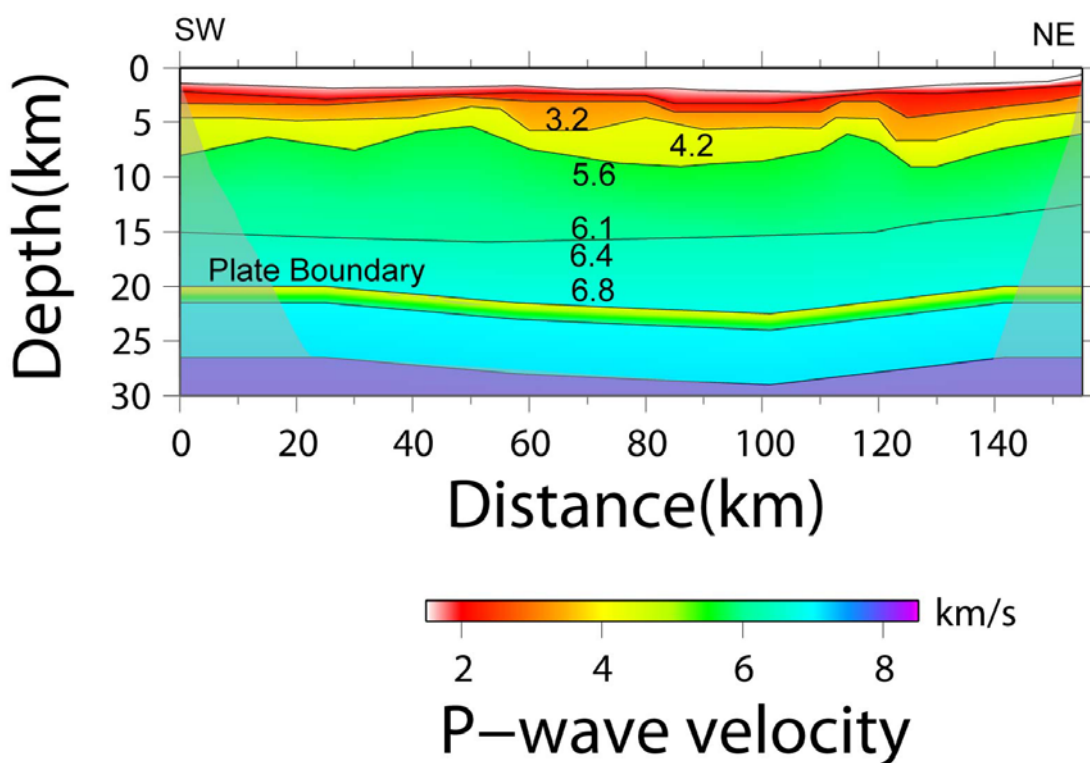


図 12 LineE での速度構造モデル

P 波速度 5.6km/s 程度の上部地殻と考えられる層の厚さ変化が大きい。プレート境界の深さ 22km 程度であり、測線中央部で下に凸形状をしている。

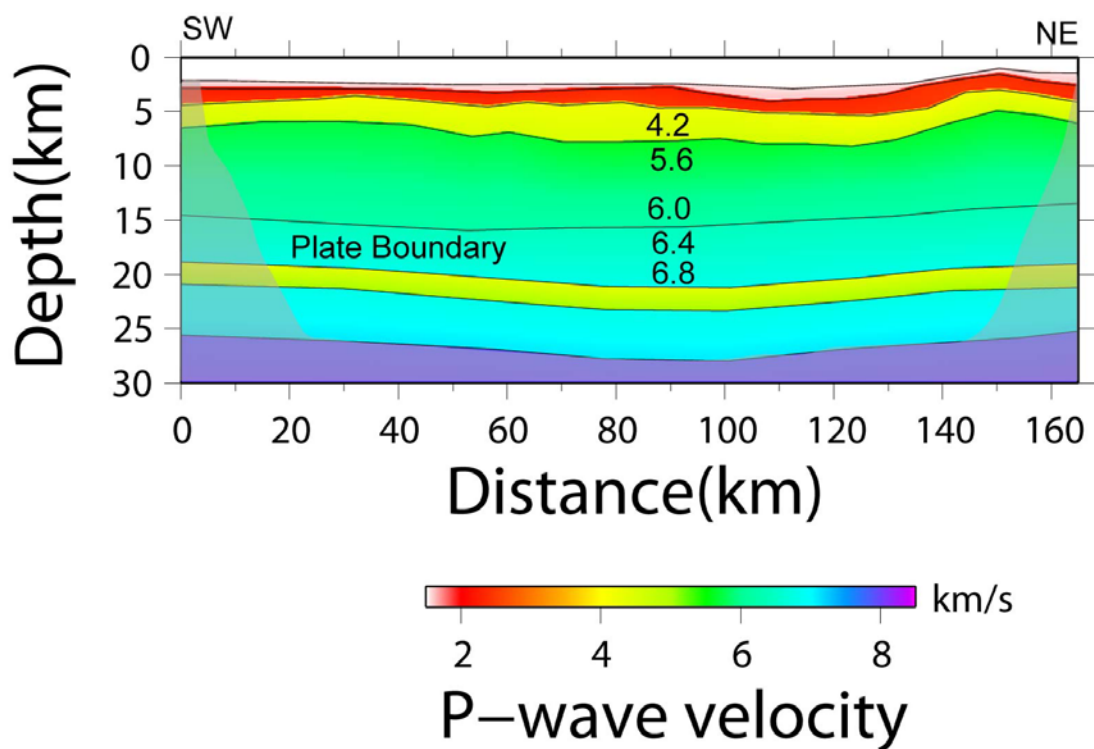


図 13 LineF での速度構造モデル

プレート境界の深さ 21km 程度であり、測線中央部で下に凸の形状をしている。

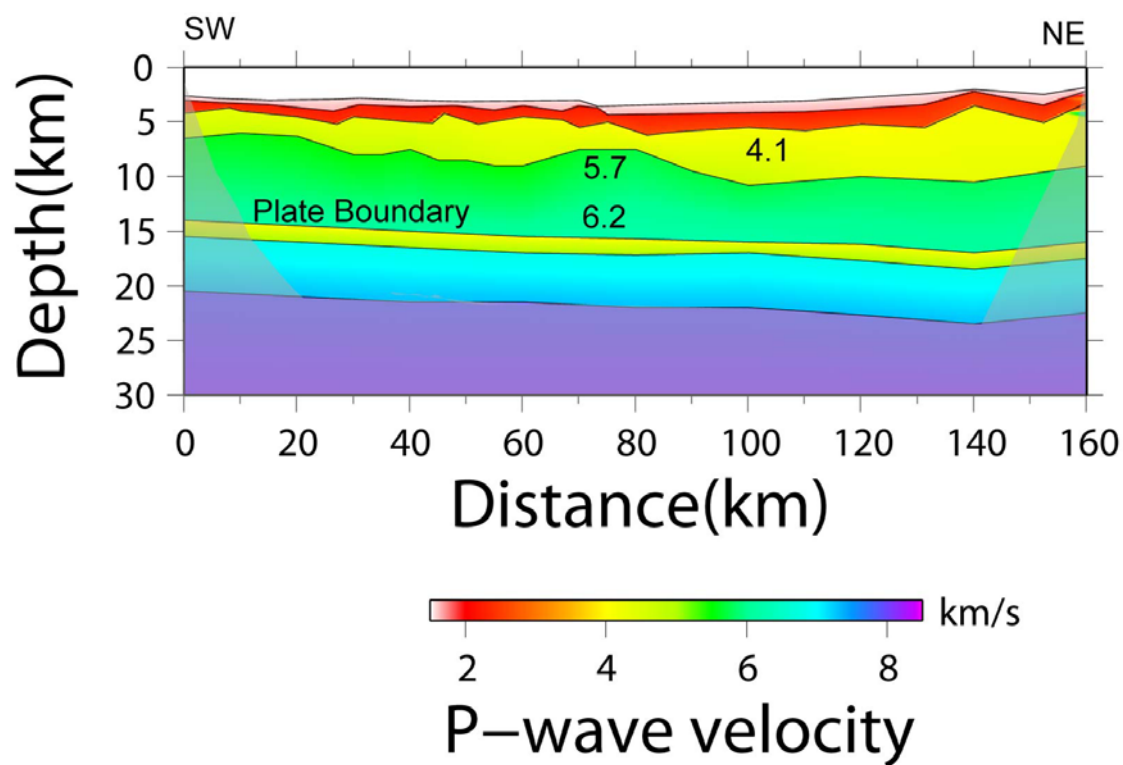


図 14 LineG での速度構造モデル

地殻浅部が複雑な形状をしていることがわかる。プレート境界の深さ 16km 程度であり、島弧地殻は上部地殻で太平洋プレートに接している。



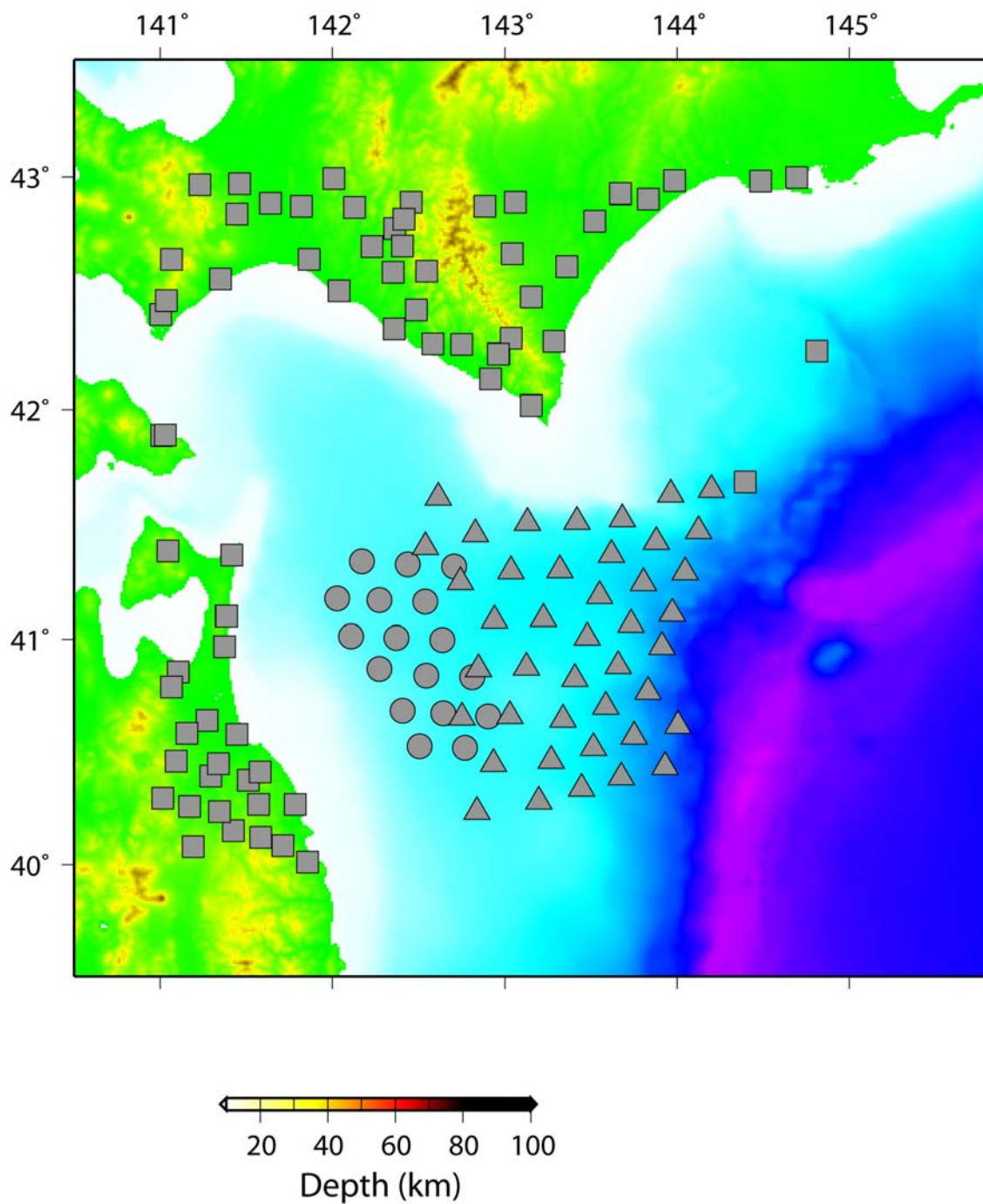


図 15 震源決定に使用した観測点の配置

○：海底地震計（平成 16－17 年）、△：海底地震計（平成 18－19 年）、□：陸域定常観測点および海底ケーブル観測点。



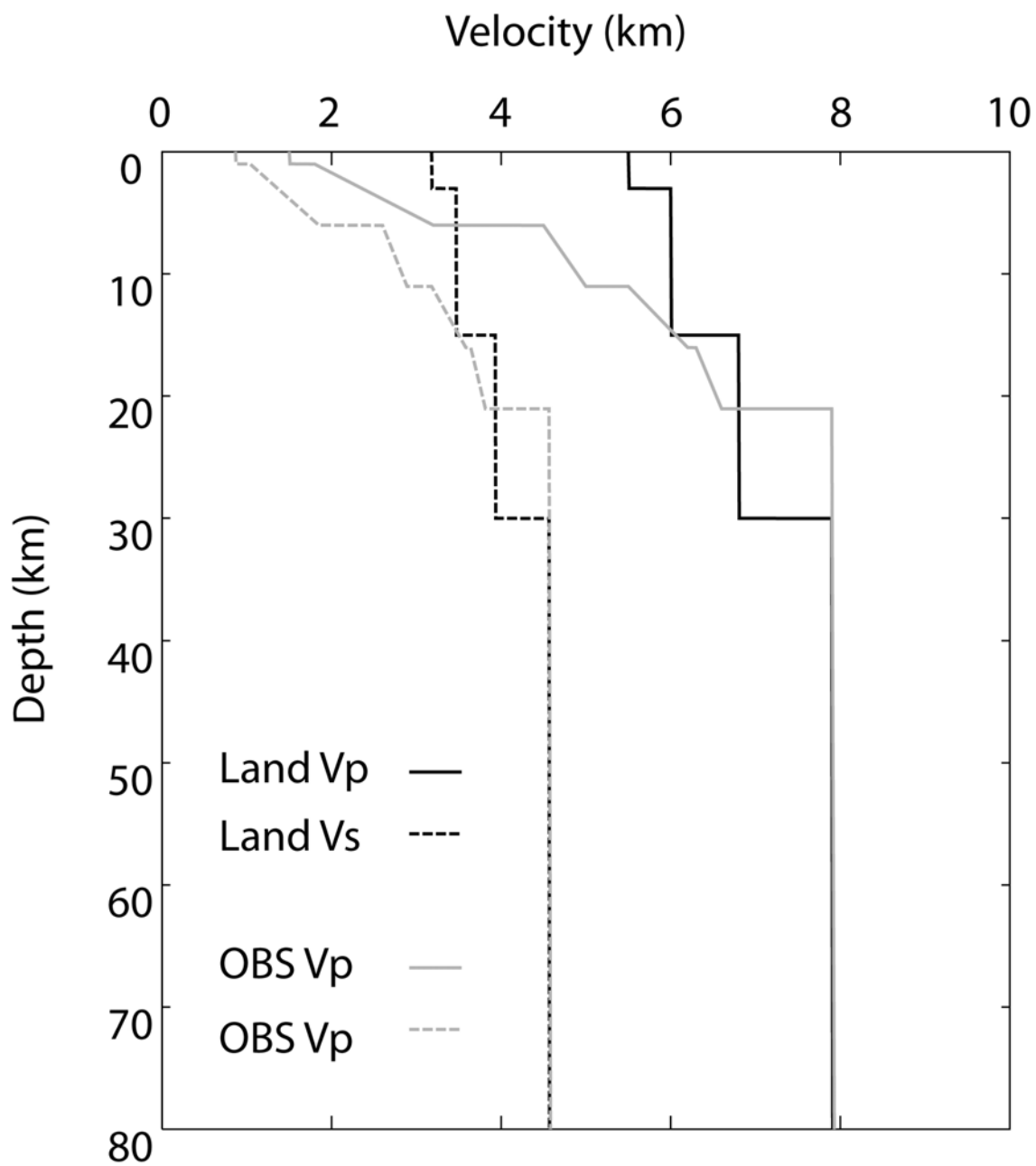


図 16 震源決定に使用した一次元地震波速度構造  
 黒色が陸上観測点、灰色が海底観測点に与えたもの。実線が P 波、点線が S 波速度構造を示す。V<sub>p</sub>/V<sub>s</sub> は 1.73 と仮定した。

3. 2. 1. 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（日本海溝・千島海溝周辺における海底地震観測研究）

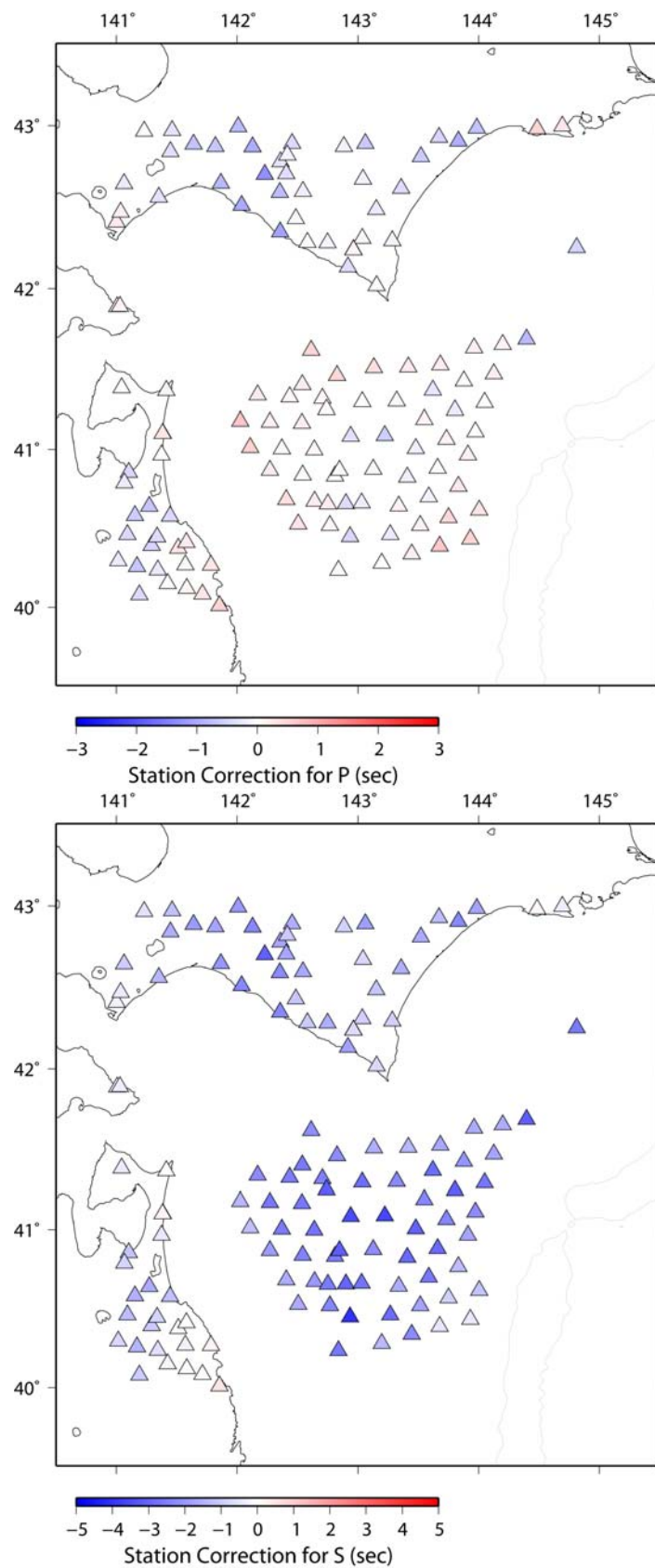


図 17 各観測点の P 波(上)、S 波(下)の最終的な補正值  
補正值を色で示す。△が観測点の位置。

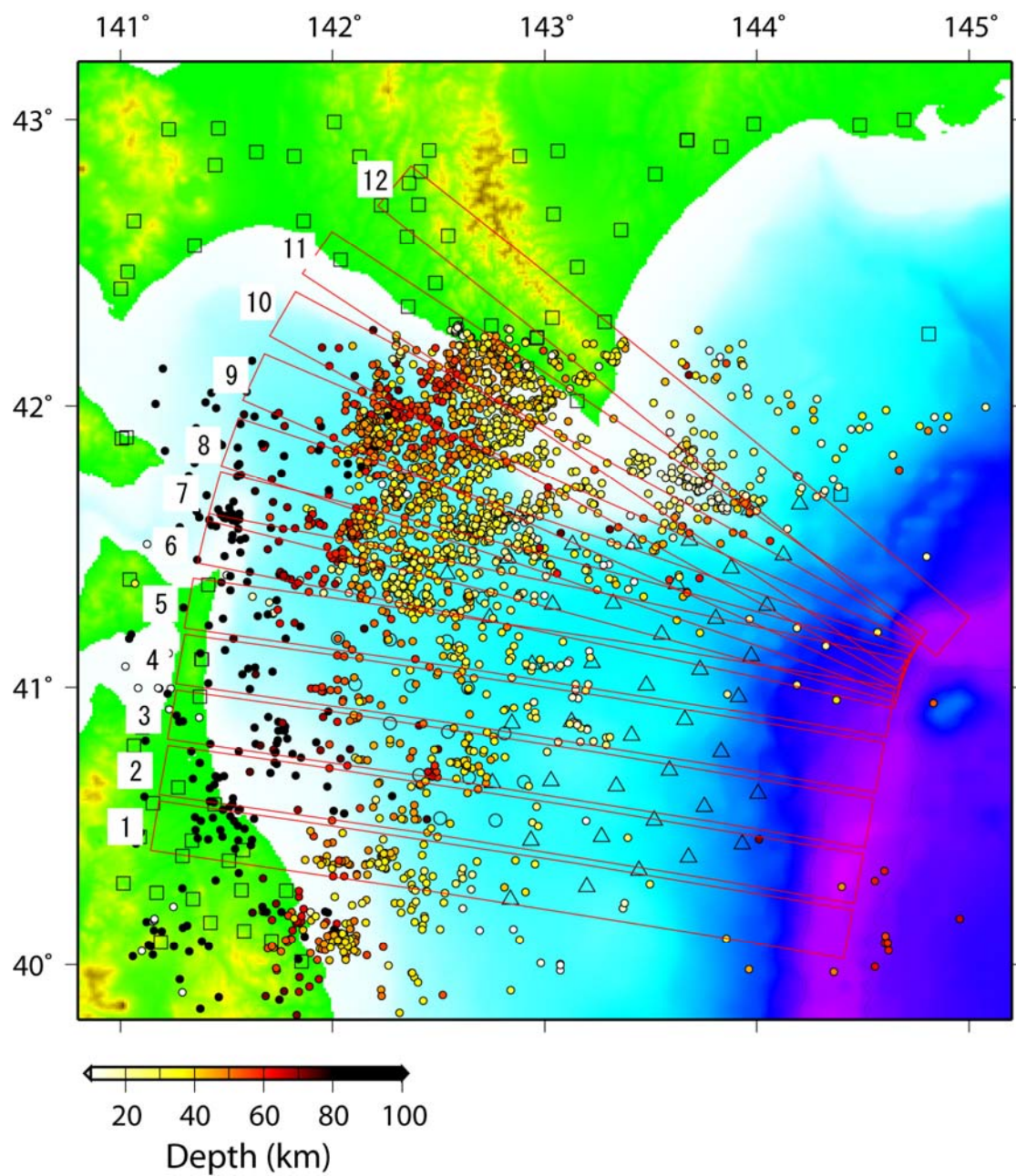


図 18 解析の結果得られた震源の震央分布  
震源深さをカラーで示した。○、△、□は解析に使用した観測点の配置を示す(図 7 参照)。  
番号と赤枠は、図 19 で示す震源深さ断面図の位置。

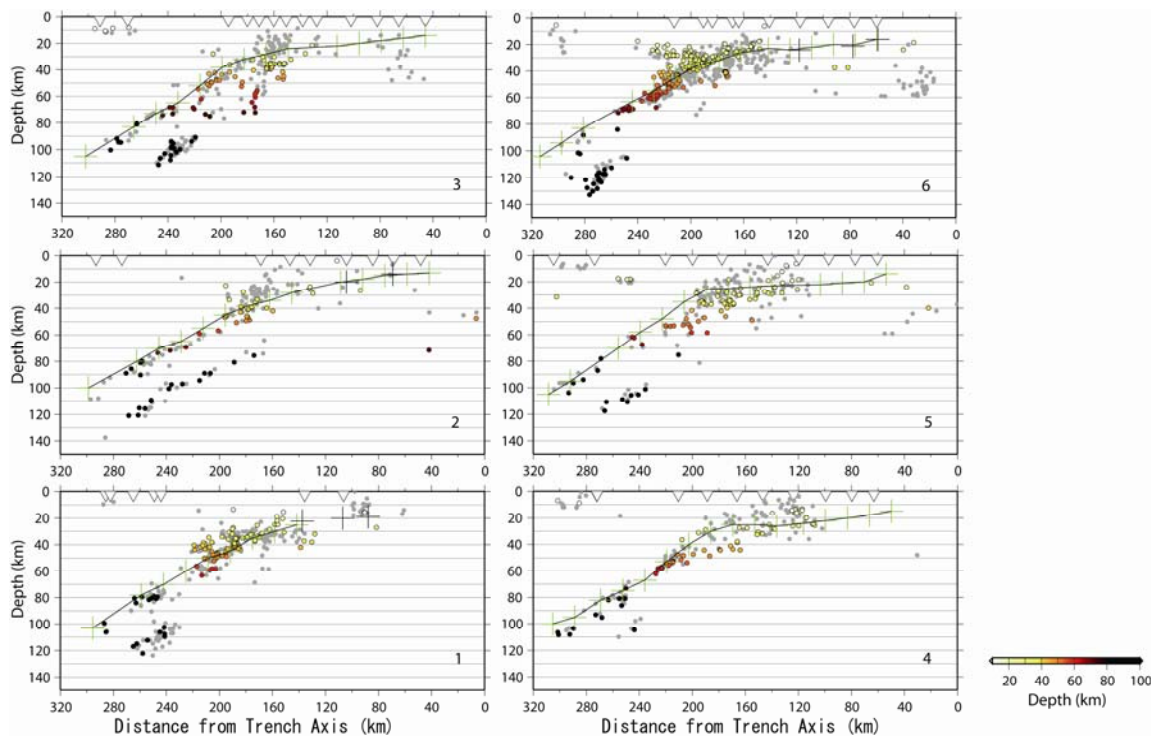


図 19 解析の結果得られた震源の鉛直断面投影図

各断面図中右下の番号は図 10、20 の赤枠の番号を示し、震源は各赤枠内のもの。震源深さをカラーで示す。黒実線は震源深さと制御震源探査構造で推定したプレート境界面深さ、緑十字は深さ推定と図 20 のコンター作成に使用したグリッドの位置を示す。黒十字は制御震源探査によるプレート境界面の位置。▽は赤枠中の観測点の位置。灰丸は気象庁によって決定された 2005/3/20-10/27、2006/10/1-2007/6/10 の地震。

3. 2. 1. 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（日本海溝・千島海溝周辺における海底地震観測研究）

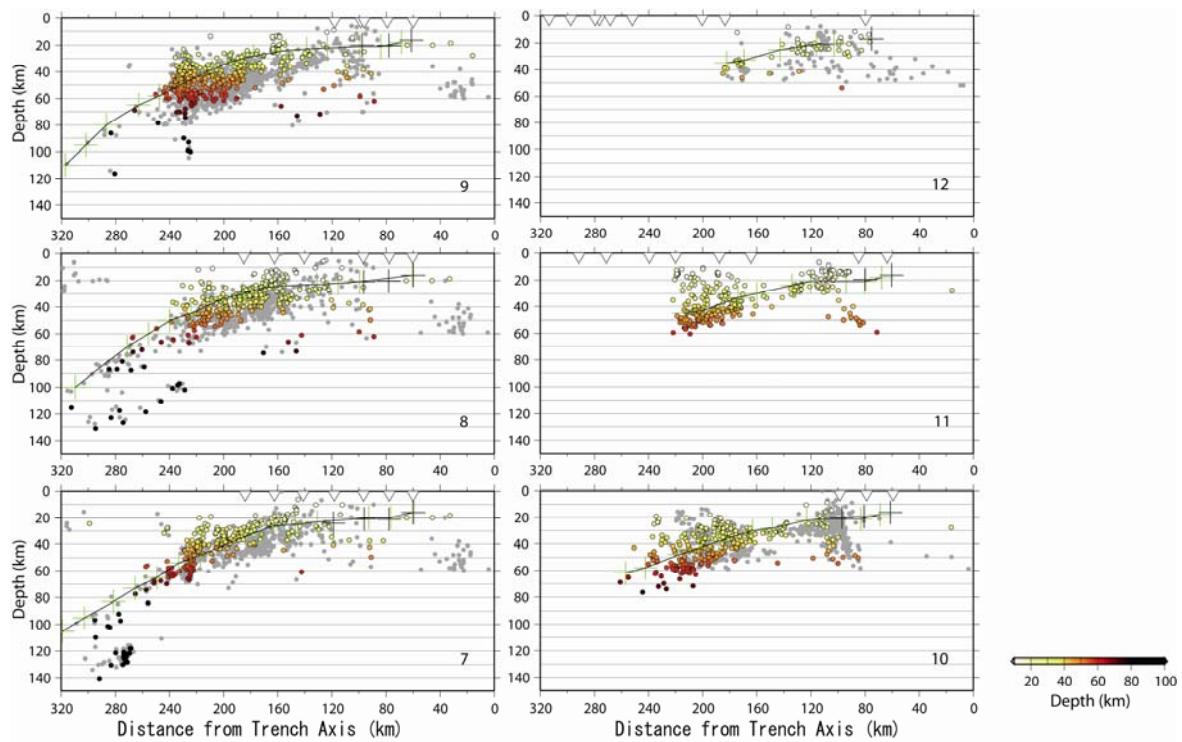


図 19 (つづき)



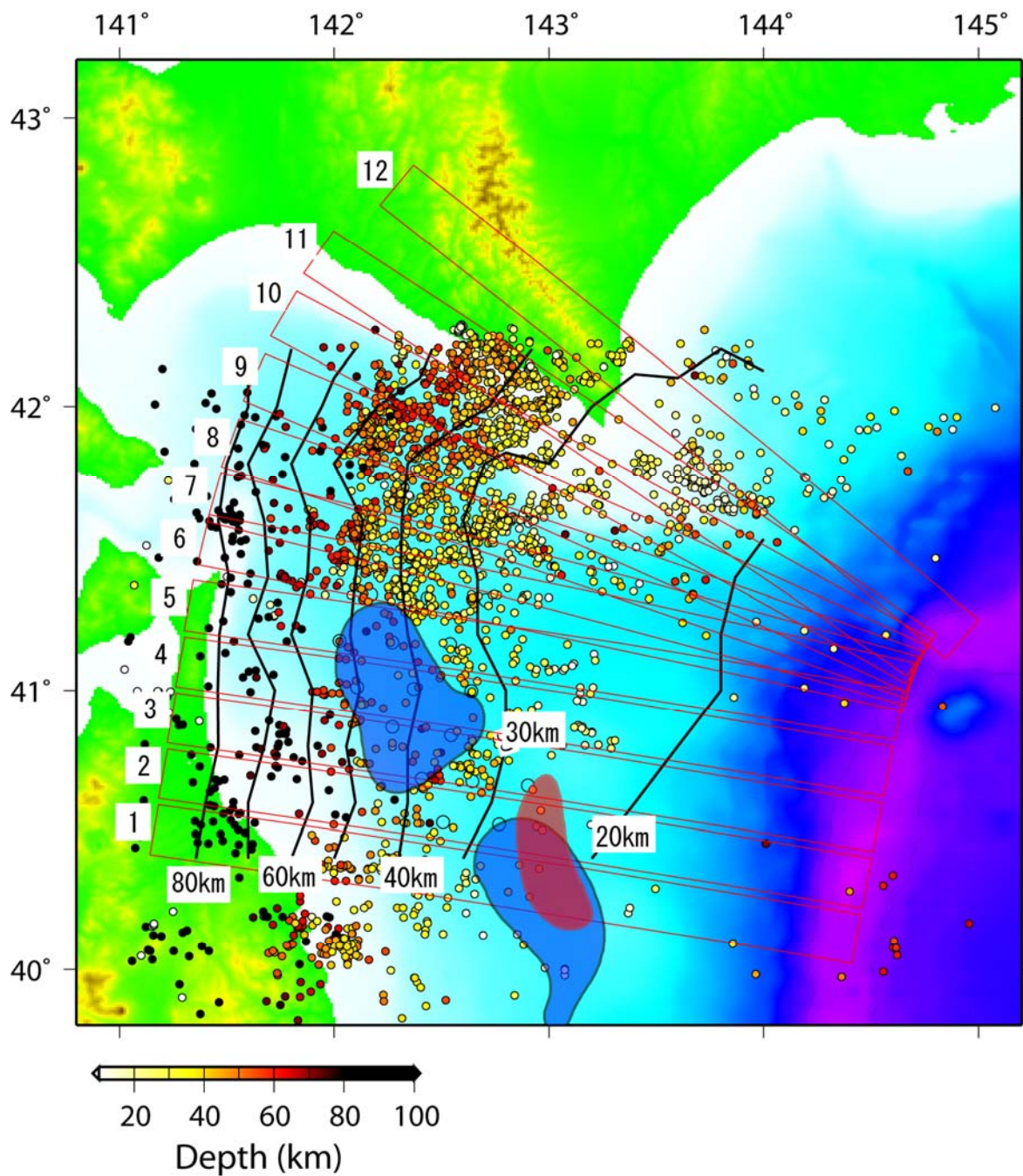


図 20 プレート上面の地震の震源深さ分布と制御震源探査から求めたプレート境界面深さ(黒実線コンター、10km 間隔)

1968 年十勝沖地震アスペリティ(青)、1994 年三陸はるか沖地震アスペリティ(赤) (Yamanaka and Kikuchi, 20049))を合わせて示した。丸は震央位置を表す(図 10 と共通)

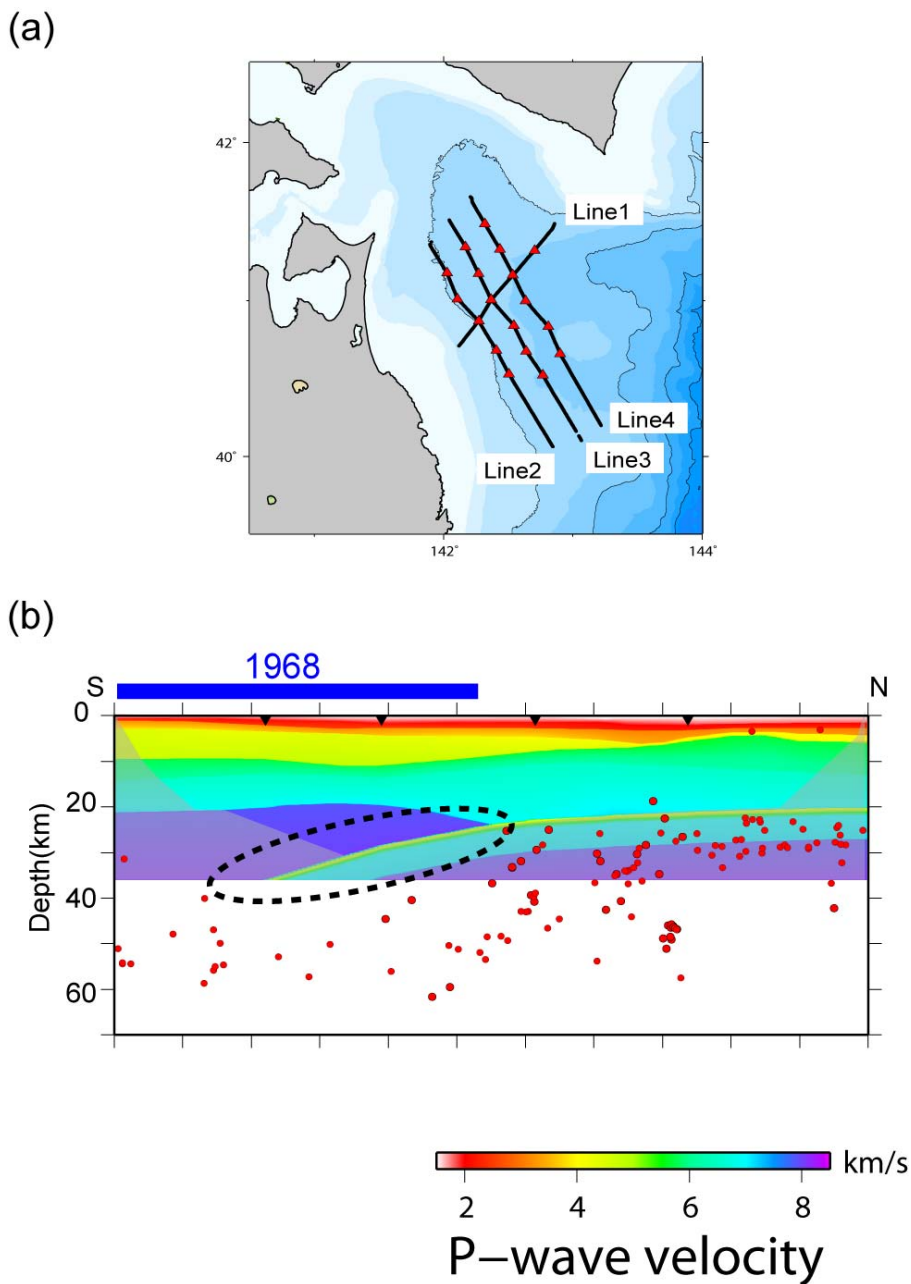


図 21 決定した震源とエアガン探査による 2 次元 P 波速度構造との比較  
 (a)平成 16 年度設置の三陸沖北部地震観測網に対するエアガン発震測線 (Line1~Line4)。  
 図中の、赤△が長期観測型海底地震計の位置、Line1~Line4 (黒線) がエアガン発震測線。  
 (b)Line1、(c)Line3、(d)Line4 の P 波速度構造と震源との比較。構造図の上に示したカラーバー  
 は 1968 年十勝沖地震アスペリティ(青)、1994 年三陸はるか沖地震アスペリティ(赤) (Yamanaka  
 and Kikuchi, 20049)) が測線と重なる領域を示している。  
 黒点線はプレート境界面付近で活動が低調であった場所を示している。

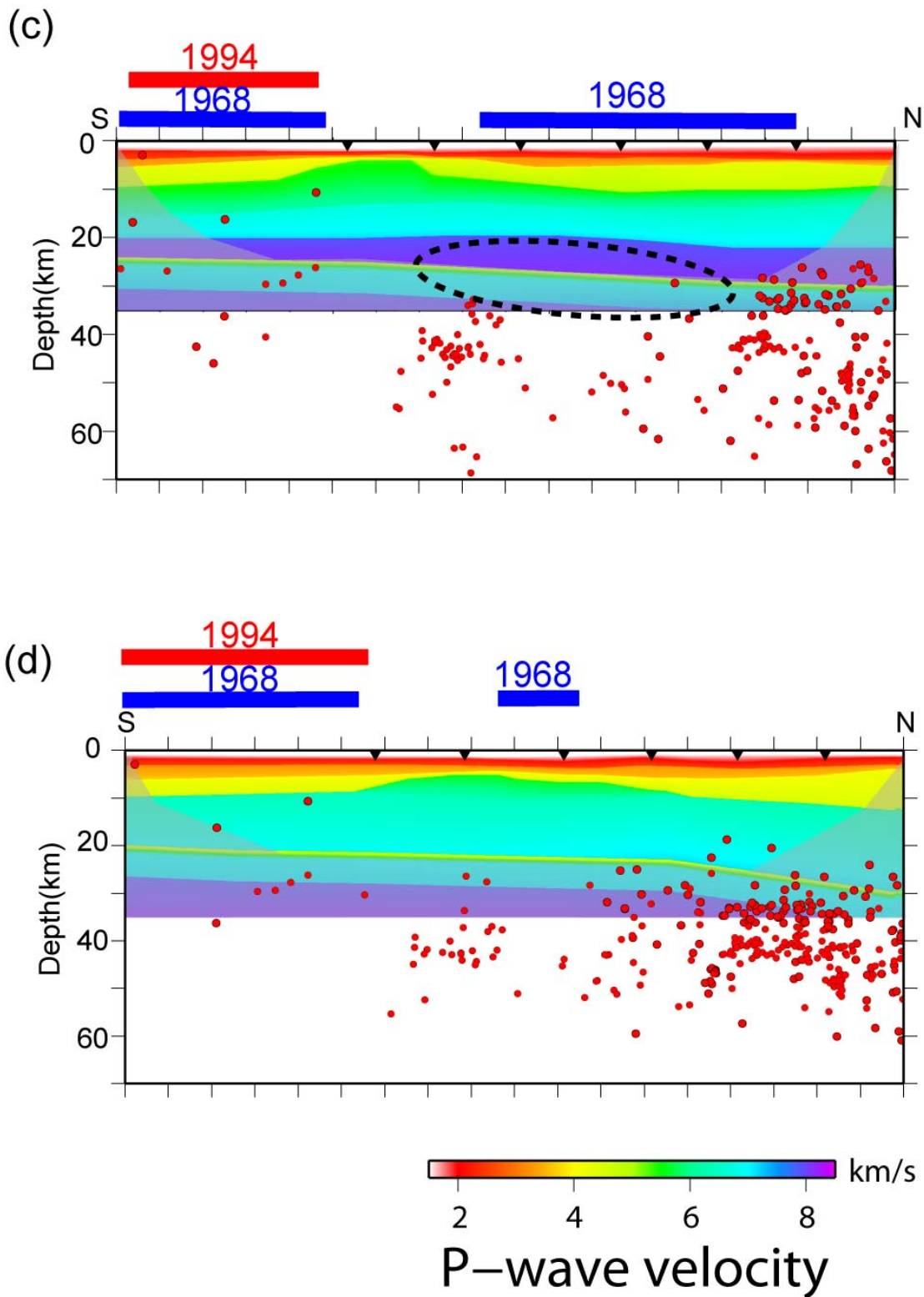


図 21 (つづき)



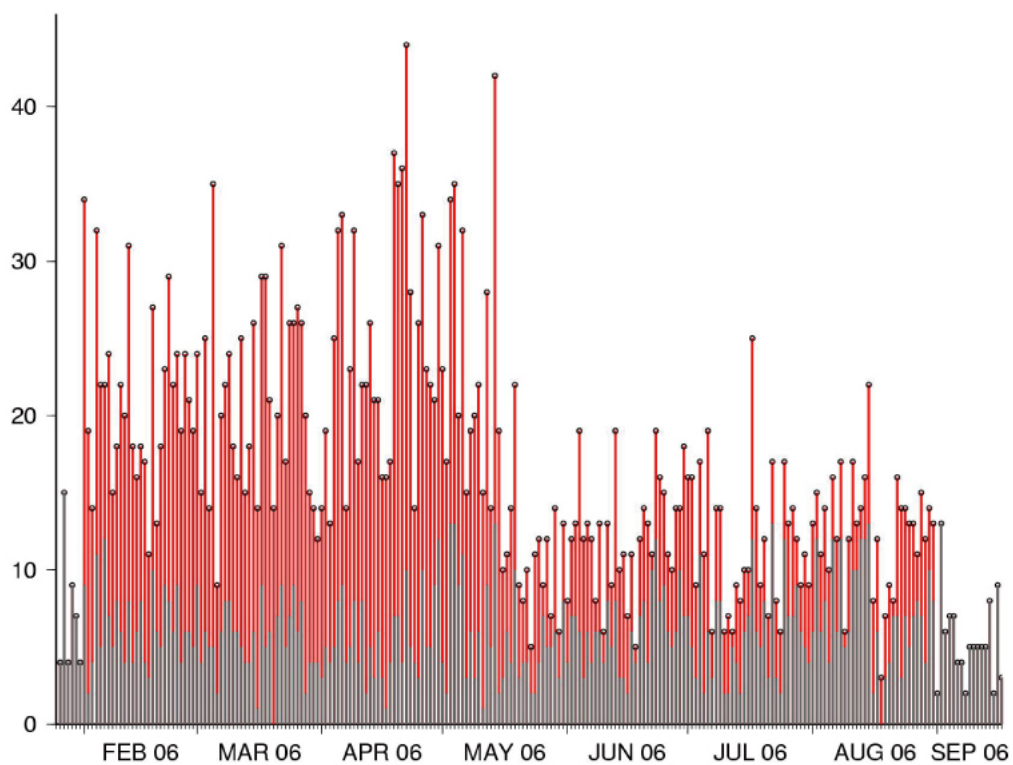


図 22 観測期間中の日毎地震数

赤：海底地震観測で記録されているが気象庁一元化震源リストには含まれていない地震数。

灰：気象庁一元化震源リストによる地震数。

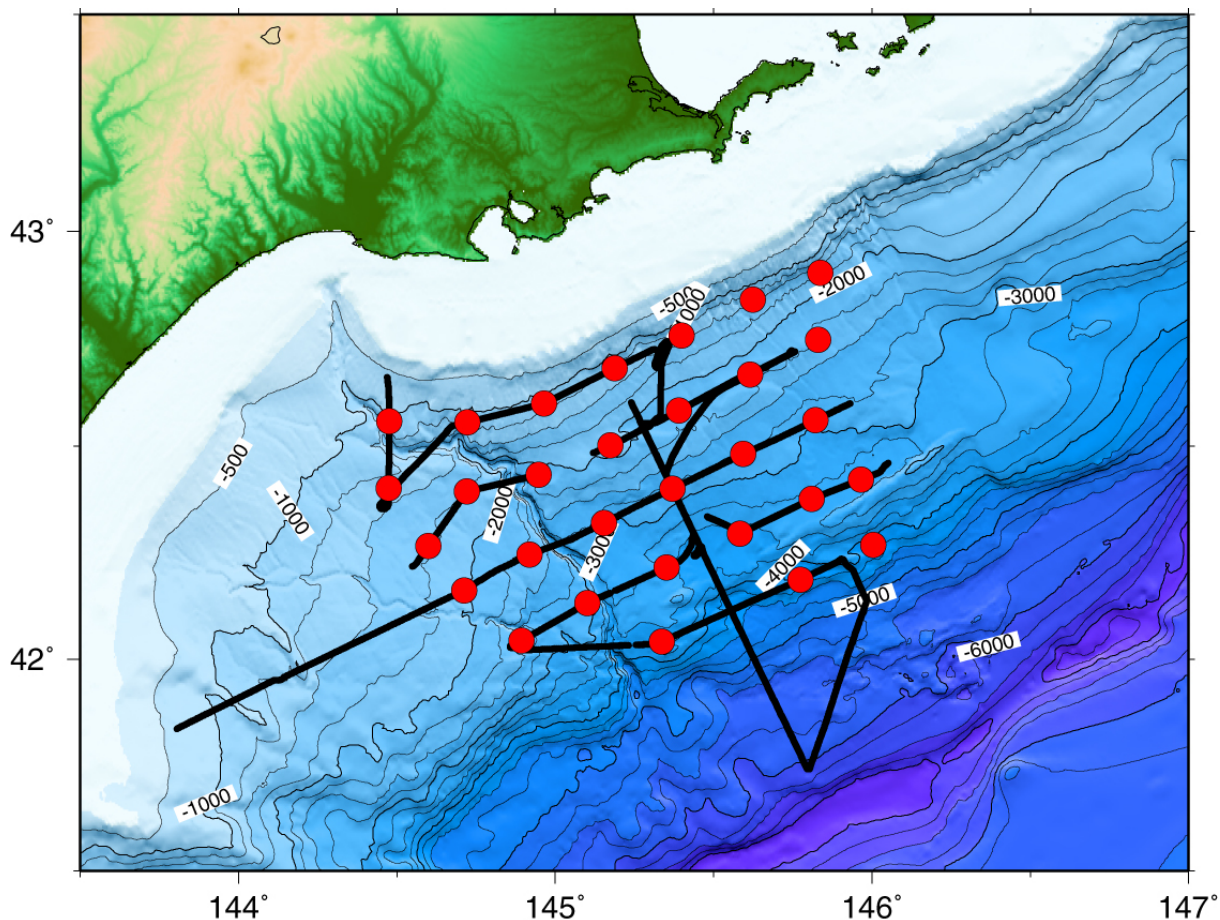


図 23 エアガンの発震測線

赤丸が長期観測型海底地震計の位置、黒線がエアガン発震測線である。

海底地震計観測期間中の 2006 年 5 月 27 日～6 月 3 日の間、地震研究所が用船した第 5 海工丸により、海底地震計直上を通る測線で、エアガン(容量 1500 立方インチ)1 台～3 台を用いた発震を行った。天候などの影響により一部測線では発震出来なかった。

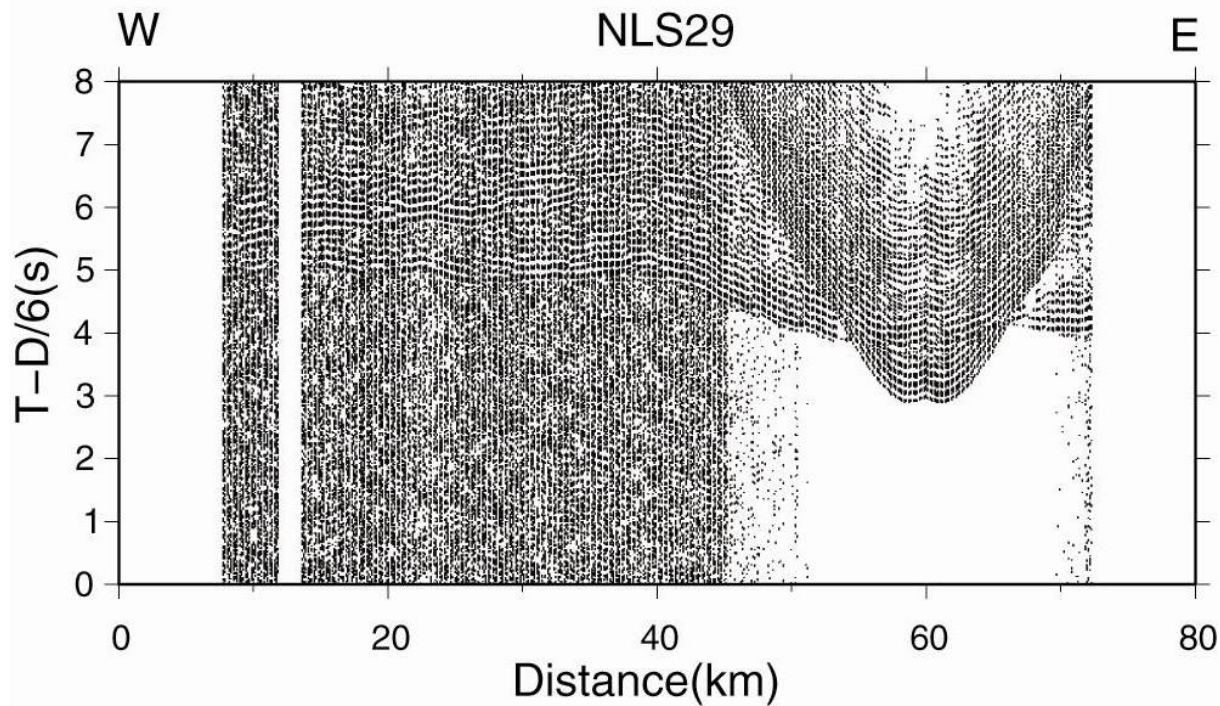


図 24 構造探査の海底地震計 NLS29 における記録例  
6~15Hz のバンドパスフィルターを施してある。沈み込むプレート上面からの反射波と考えられる相が見られる。

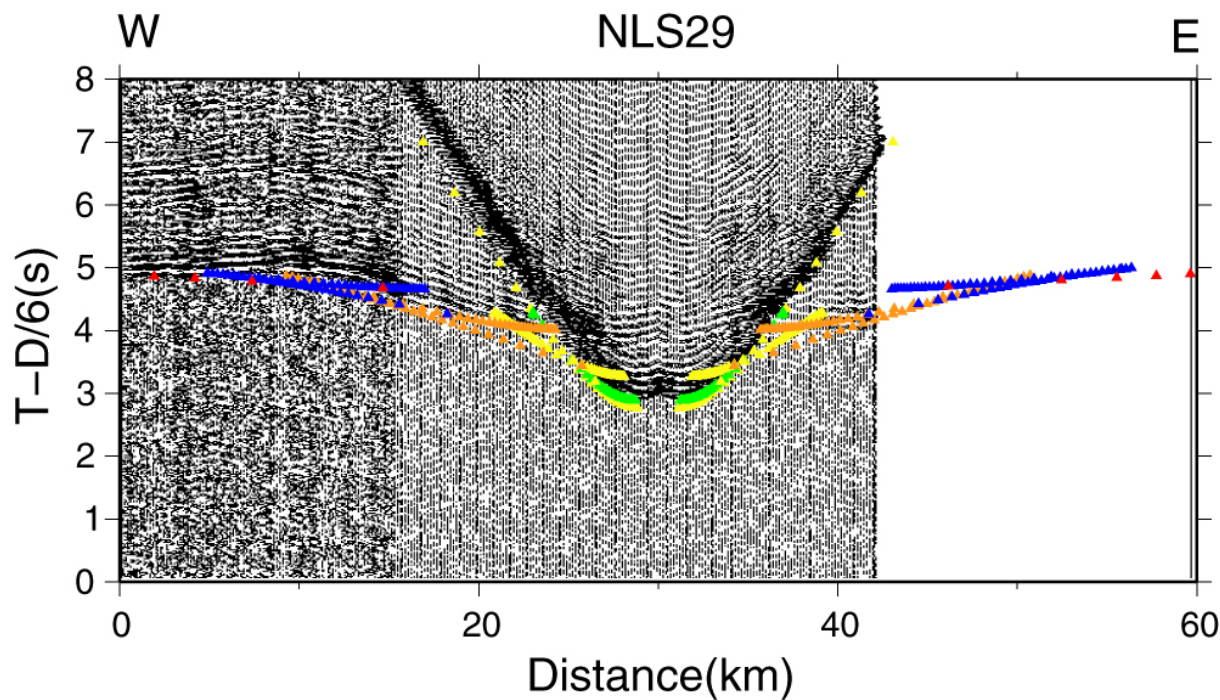


図 25 海底地震計 NLS29 の観測波形と推定した速度構造モデルから期待される到着時刻の比較

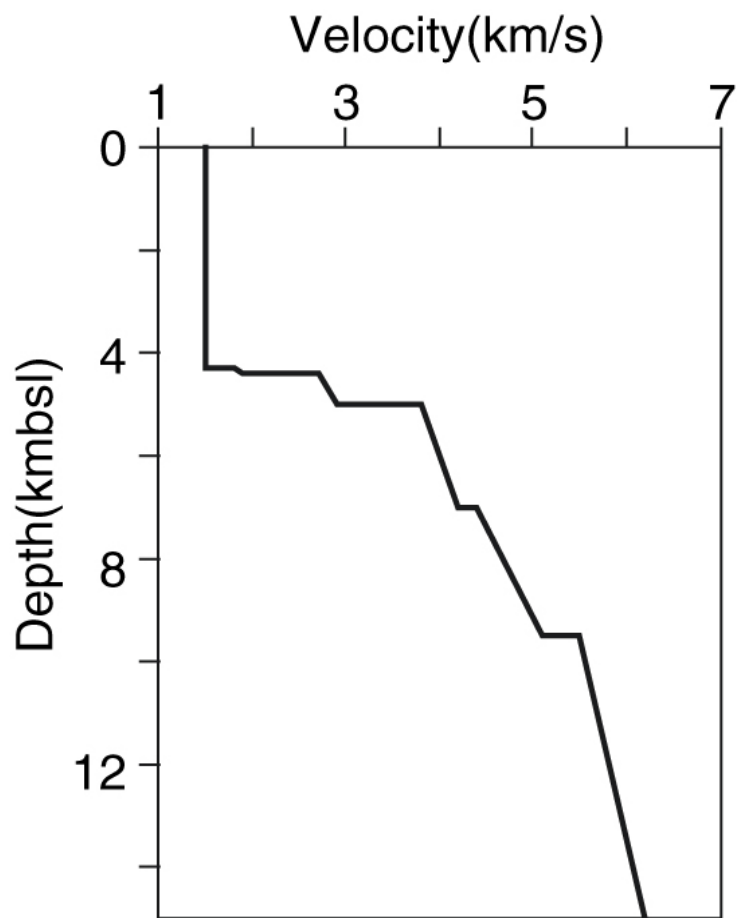


図 26 海底地震計 NLS29 の観測波形から推定した一次元 P 波速度構造モデル

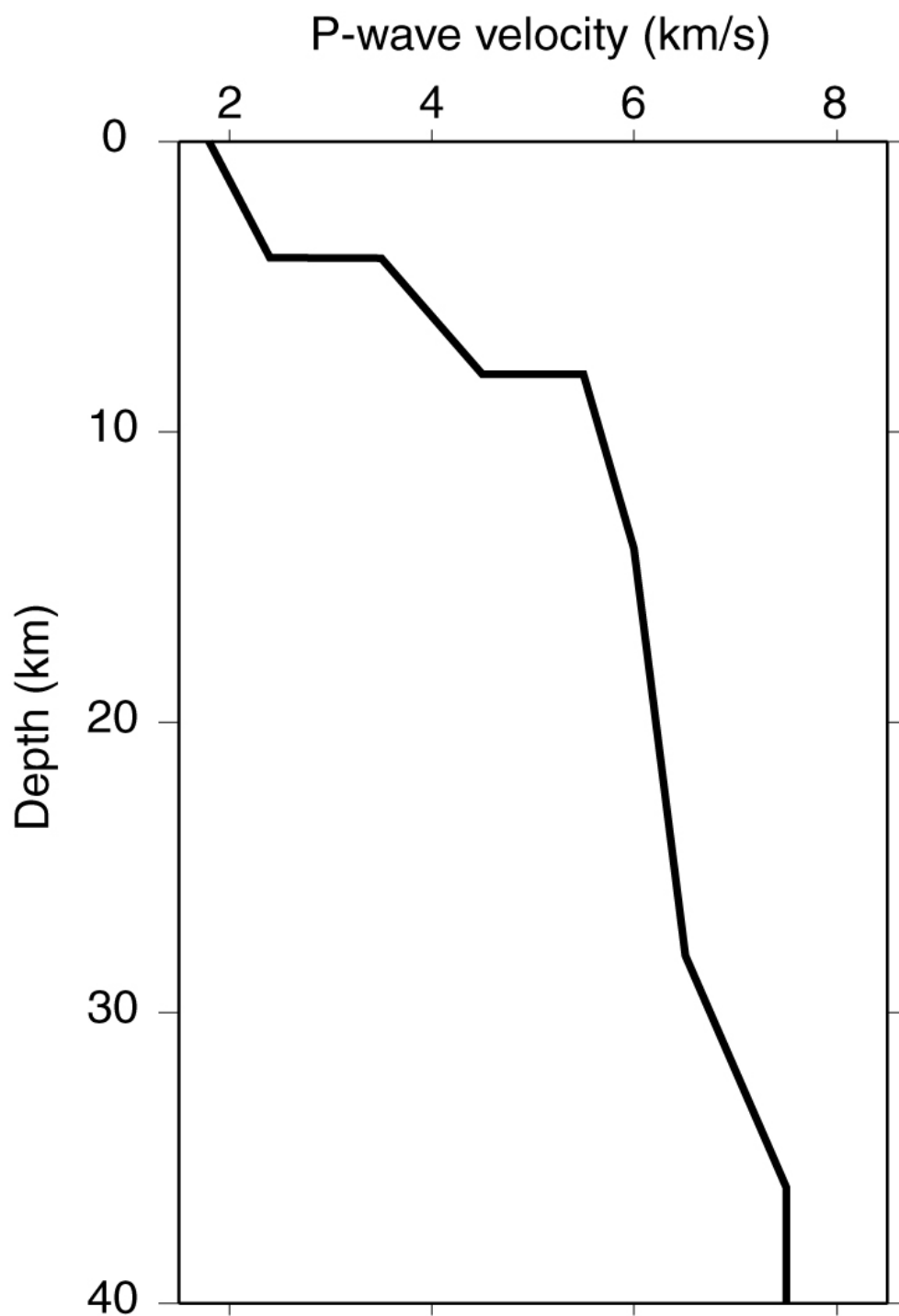


図 27 根室沖・釧路沖の震源決定に使用した速度構造



3. 2. 1. 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（日本海溝・千島海溝周辺における海底地震観測研究）

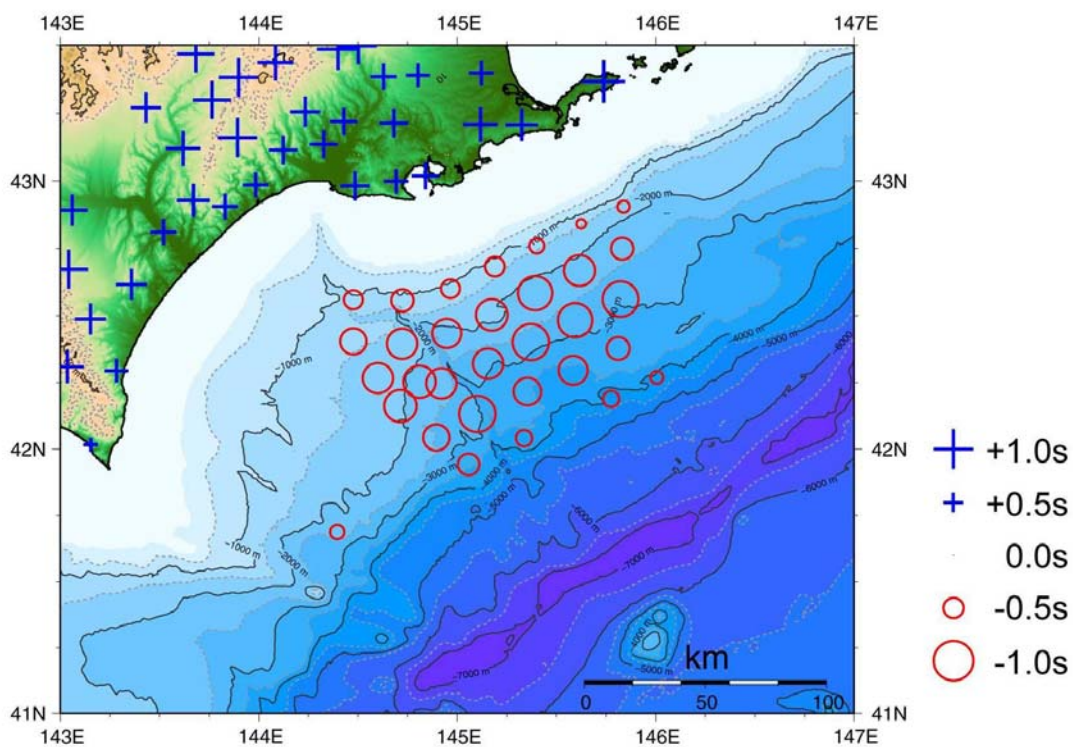


図 28 根室沖・釧路沖の震源決定に用いた観測点補正值

赤丸は観測点補正值が負、青十字は観測点補正值が正を表す。大きさが補正值の大きさを示す。

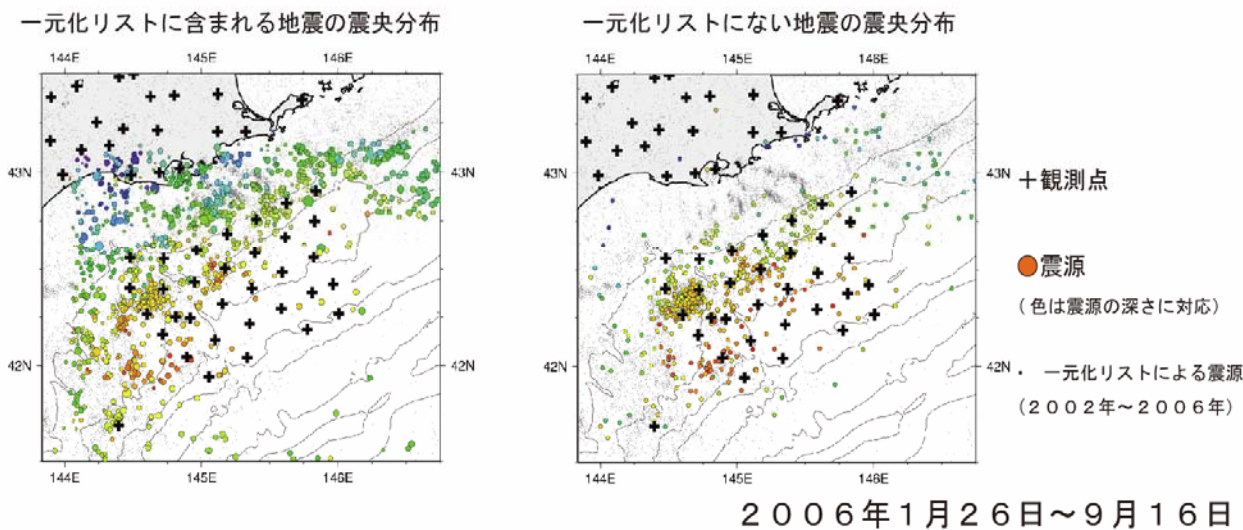


図 29 （上図左）

長期観測型海底地震計のデータを用いて再震源決定した地震 1418 個の震央分布

黒十字は、長期観測型海底地震計の位置、および陸域観測点、ケーブル式海底地震観測点の位置を表す。黒点は、2002 年から 2006 年までの気象庁が決定した一元化震源の震央（17006 個）。気象庁が決定した一元化震源リストのうち、長期観測型海底地震計で読み取ることができた地震を、陸域観測点、及びケーブル式海底地震観測点、長期観測型海底地震計の読み取り値を用いて、再決定した。

図 30 （上図右）

長期観測型海底地震計のみに記録されていた地震 1041 個の震央分布

黒十字は、長期観測型海底地震計の位置、および陸域観測点、ケーブル式海底地震観測点の位置を表す。黒点は、2002 年から 2006 年までの気象庁が決定した一元化震源の震央（17006 個）。長期観測型海底地震計で読み取ることができた地震のうち、気象庁一元化震源リストに含まれていない地震の震源分布である。なお、それぞれの地震のマグニチュードは、決定していない。1973 年根室沖地震の地震すべり領域および根室沖地震想定震源域の海溝寄りの領域では、海底地震観測のみで検出される小さな地震も含めて、地震活動度が低い。

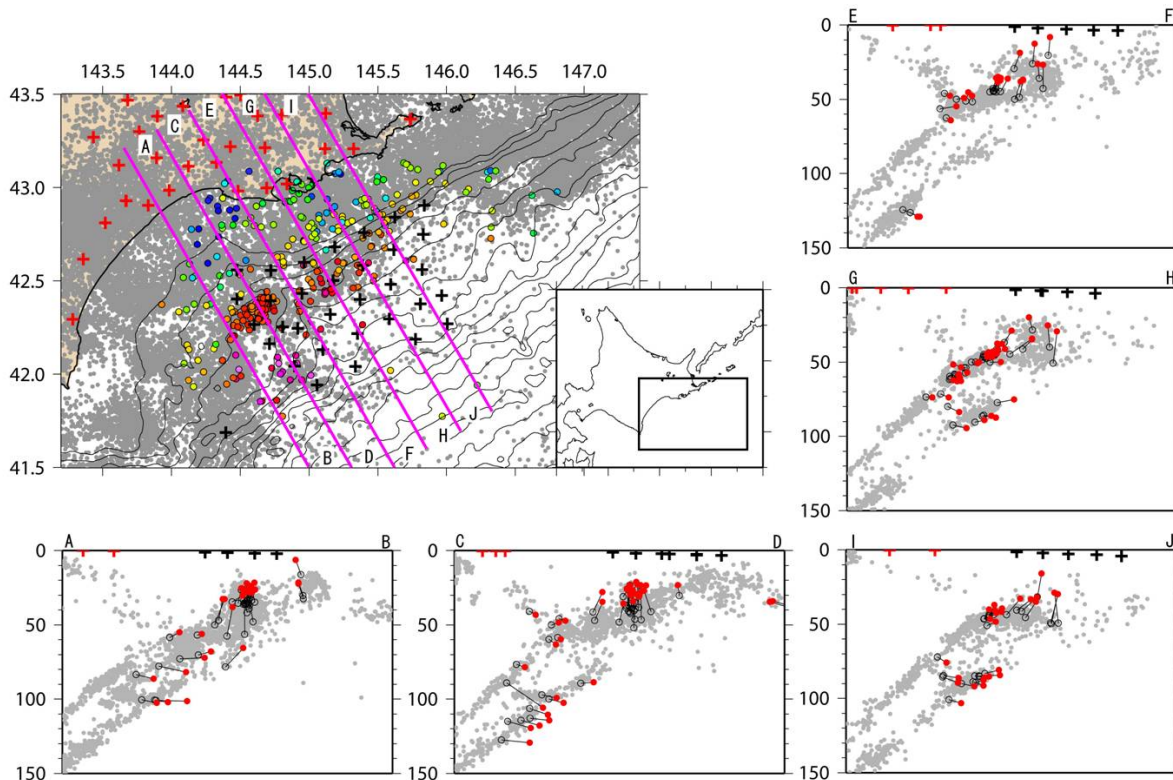


図 31 本研究による震源と一元化震源の比較

本研究で震源決定した地震の中で、一元化リストに含まれるものについて両者の震源位置を比較した。左上に示す AB, CD, EF, GH, IJ の 5 つの領域について、震源の鉛直断面図を示す。黒十字が海底地震観測点、赤十字が陸域地震観測点、赤丸が本研究で決定した震源位置、線で結ばれた黒丸が対応する地震の気象庁一元化处理により決定された震源の位置を示している。また、灰丸は 1998 年から 2006 年まで 9 年間分の気象庁一元化处理による震源分布である。



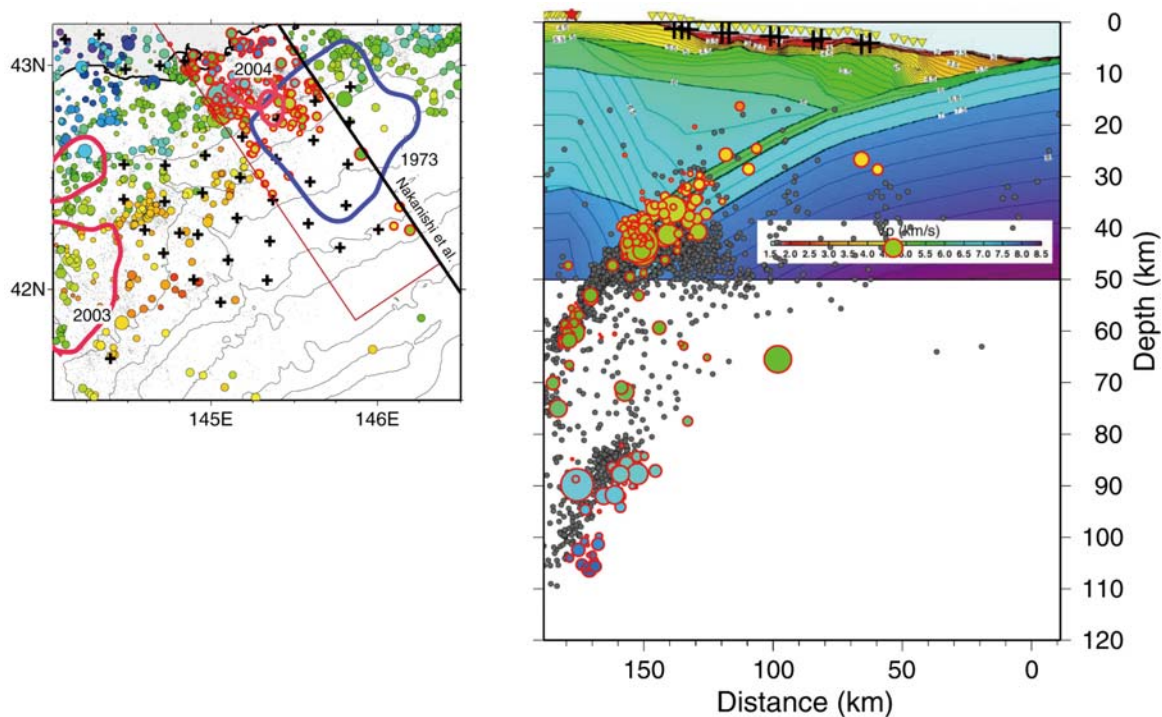


図 32 震源分布と P 波速度構造の比較

左：本研究による震源分布（丸印）および Nakanishi et al., (2004<sup>7)</sup>)による構造探査の測線（黒線）。青と赤のコンターは、それぞれ山中による 1973 年根室沖地震と 2003 年十勝沖地震のすべり域である、

右：Nakanishi et al., (2004<sup>7)</sup>)による P 波速度構造に、左図中の太い縁取りをした測線近傍の地震を投影したもの。灰色は気象庁一元化処理による震源。十字は、投影の対象とした領域内にある海底地震計の位置を示す。

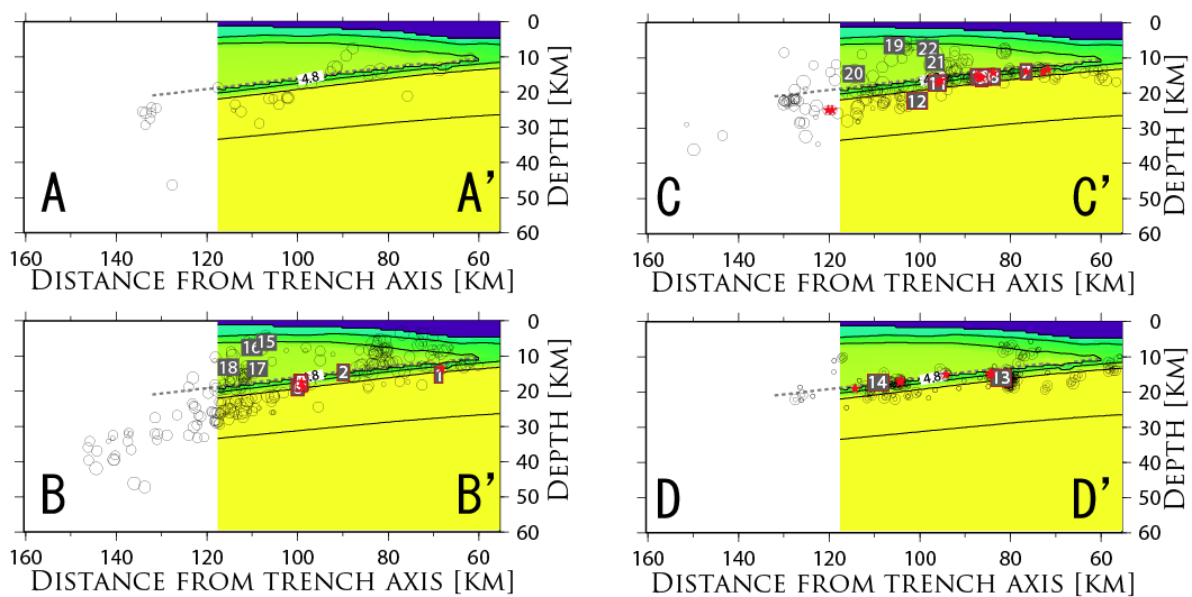


図 33 十勝沖の海底地震観測結果

2003 年十勝沖地震の海底余震観測から求められた震源分布（丸および白抜き数字入り四角）と、相似地震の位置（赤星）。白抜き数字の内、1 から 14 までは低角逆断層型、15 以上はそれ以外の地震メカニズム解をもつ地震である。また、背景の色およびコンターは Iwasaki et al., (1989<sup>4</sup>)による P 波速度構造である。

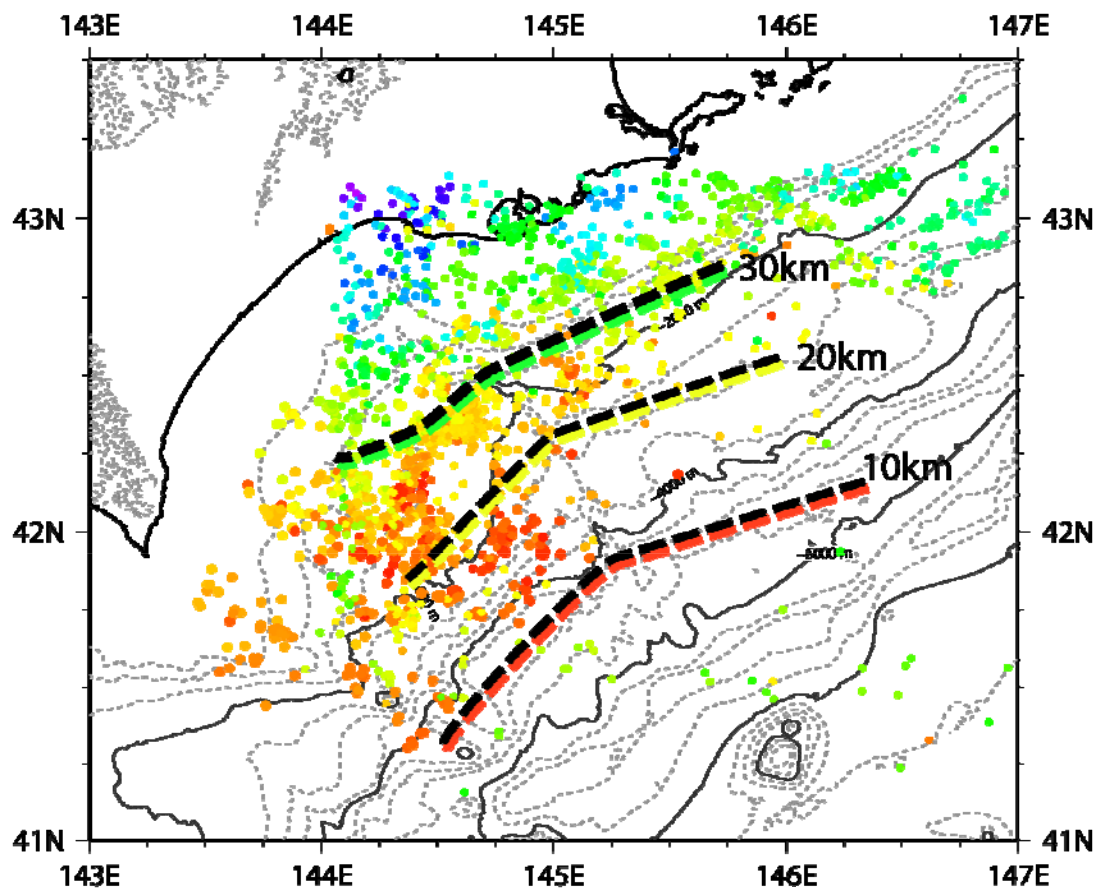


図 34 十勝沖から根室沖にかけてのプレート境界深度

本研究による震源分布およびP波速度構造と、十勝沖海底余震観測により得られた震源分布から推定したプレート境界深度。図中の丸は、本研究および十勝沖余震観測により得られた震央位置を示しており、それぞれの色が震源の深さに対応する。

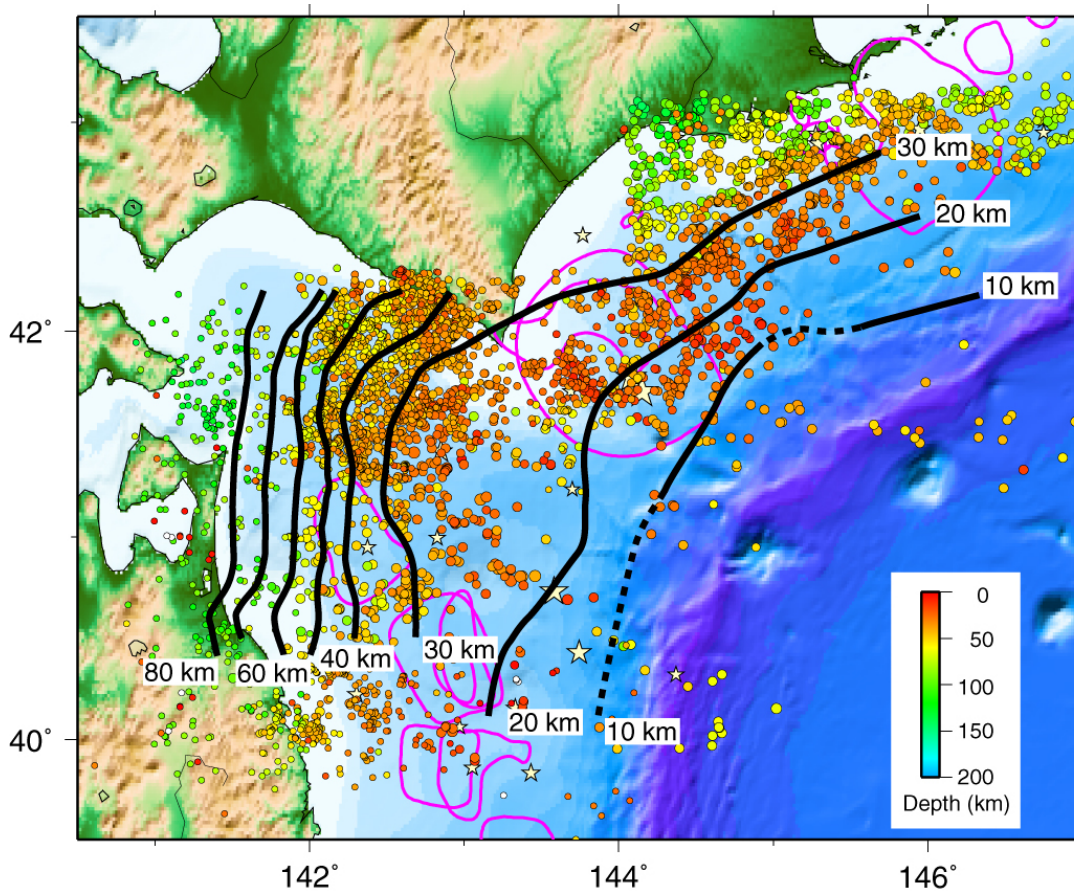


図 35 根室沖から三陸沖北部にかけてのプレート境界深度

本研究による震源分布およびP波速度構造と、過去に行われた構造探査実験の結果、十勝沖海底余震観測（Shinohara et al., 2004<sup>11)</sup>、山田・他、2005<sup>12)</sup>）により得られた震源分布から推定した。図中の丸は、本研究および十勝沖余震観測から得られた震央位置であり、色は震源の深さを表す。星は過去に行った大地震（ $M > 7$ ）の震央、コンターは、Yamanaka and Kikuchi (2004)<sup>9)</sup>によるすべり量分布の大きな地域。



(d) 結論ならびに今後の課題

新規整備および回収再整備した長期観測型海底地震計 42 台を用いて三陸沖北部から十勝沖にかけて約 8 ヶ月間の海底地震観測を実施した。海底地震計は、平成 19 年 5 月から 6 月にかけて全台回収された。また、同航海において回収の前にエアガンによる発震を行い、地下構造探査を行った。この制御震源記録を用いて各海底地震計直下の浅部 P 波速度構造を求めた。震源決定結果からは観測網内およびその周辺で震源決定精度が向上し、海洋プレートが沈み込んでいく様子がイメージングされた。また、エアガン速度構造探査結果と合わせて解釈することにより、日本海溝と千島海溝の会合部において沈みこみ方向の変化する場所が大地震アスペリティのすぐ北側に位置すること、また会合部の沈み込み延長付近では、沈み込み方向に向かってプレート境界面の沈み込み角が大きく変化する場所があることを明らかにした。十勝沖から根室沖にかけての領域では、プレート形状は地形的特長である峡谷を境として大きく変化しており、十勝沖側では複雑な形状を示していた。

以上のように、これまでの 3 回の観測により、日本海溝・千島海溝にかけてのプレート境界面が空間的に複雑に変化している様子、それが大地震発生域の境界と空間的に対応する傾向があるという特徴が、明らかになりつつある。今後は、三陸沖北部から十勝沖、根室沖にかけて 3 次元速度構造不均質を考慮した手法を用いた震源決定を行い、これまで行ってきた震源決定の精度をより向上させること、またその結果を用いて日本海溝・千島海溝全体に渡る広域のプレート境界面形状を推定することを目指す。

また、平成 18 年度に新規整備した 7 台の長期観測型海底地震計を加えて、総計 49 台を用いて、三陸沖で平成 19 年 10 月から、長期地震観測を開始した。これらの海底地震計は平成 20 年度中に回収し、より正確な地震活動の把握、プレート形状の推定、構造と震源分布の対比などを行う。

(e) 引用文献

- 1) Hasegawa A., N. Umino. and A. Takagi, Double-planed structure of the deep seismic zone in the northeastern Japan arc, *Tectonophysics*, 47, 43-58, 1978.
- 2) Hino, R., S. Ito, H. Shiobara, H. Shimamura, T. Sato, T. Kanazawa, J. Kasahara, and A. Hasegawa, Aftershock distribution of the 1994 Sanriku-oki earthquake (Mw 7.7) revealed by ocean bottom seismographic observation, *J. Geophys. Res.*, 105, 21697-21710, 2000
- 3) 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.
- 4) Iwasaki, T., H. Shiobara, A. Hishizawa, T. Kanazawa, K. Suyehiro, N. Hirata, T. Urabe, and H. Shimamura, A detailed subduction structure in the Kuril trench

deduced from ocean bottom seismographic refraction studies, *Tectonophysics*, 165, 315-336, 1989.

5) 桑野亜佐子、三陸沖海陸プレート境界における地震学的構造に関する研究、東北大学博士論文、125pp、2005。

6) Miura, S. N. Takahashi, A. Nakanishi, T. Tsuru, S. Kodaira, and Y. Kaneda, Structural characteristics off Miyagi forearc region, the Japan Trench seismogenic zone, deduced from a wide-angle reflection and refraction study, *Tectonophysics.*, 407, 165-188, 2005.

7) Nakanishi, A., A. J. Smith, S. Miura, T. Tsuru, S. Kodaira, and K. Obana, Structural factors controlling the coseismic rupture zone of the 1973 Nemuro-Oki earthquake, the southern Kuril Trench seismogenic zone, *J. Geophys. Res.*, 109, doi:10.1029/2003JB002574, 2004.

8) ト部卓・東田進也、win-微小地震観測網波形観測支援のためのワークステーション・プログラム（強化版）、地震学会講演予稿集、1、C22-P18

9) Yamanaka, Y. and M. Kikuchi, Asperity map along the subduction zone in northeastern Japan inferred from regional seismic data, *J. Geophys. Res.*, 109, doi:10.1029/2003JB002683, 2004.

10) Zelt, C. A., and R. B. Smith, Seismic travel-time inversion for 2-D crustal velocity structure, *Geophys. J. Int.*, 108, 16-34, 1992.

11) 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, 295-300, 2004.

12) 山田知朗・篠原雅尚・金沢敏彦・平田直・金田義行・高波鐵夫・三ヶ田均・末廣潔・酒井慎一・渡邊智毅・植平賢司・村井芳夫・高橋成実・西野実・望月公廣・佐藤壮・荒木英一郎・日野亮太・宇平幸一・塩原肇・清水洋、稠密海底地震観測による2003年十勝沖地震の余震分布、地震2、57、281-290、2005。

13) 篠原雅尚・山田知朗・平田直・金沢敏彦、高密度海底地震計ネットワークによる2003年十勝沖地震の余震分布、月刊地球号外、49、72-79、2005。

(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
山田知朗・中東和夫・桑野亜佐子・望月公廣・武田直人・酒井慎一・篠原雅尚・金沢敏彦・日野亮太・高波鐵夫・村井芳夫・雨宮晋一郎・東龍介・町田祐弥	根室沖における海底長期地震観測	日本地球惑星科学連合 2007 年大会	2007. 5. 19
中東和夫・桑野亜佐子・山田知朗・望月公廣・篠原雅尚・酒井慎一・金沢敏彦・町田祐弥・東龍介・村井芳夫・高波鐵夫・日野亮太	Seismic crustal structure of the off the coast of Kushiro, inferred from seismic refraction survey	日本地球惑星科学連合 2007 年大会	2007. 5. 23
桑野亜佐子・日野亮太・篠原雅尚・山田知朗・望月公廣・中東和夫・酒井慎一・金沢敏彦・山本揚二郎・長谷川昭・雨宮晋一郎・村井芳夫・高波鐵夫	1968 年十勝沖地震アスペリティ付近の速度構造不均質とプレート境界面形状	日本地球惑星科学連合 2007 年大会	2007. 5. 24
中東和夫・桑野亜佐子・山田知朗・望月公廣・篠原雅尚・酒井慎一・金沢敏彦・丸山友章・佐藤利典・日野亮太・村井芳夫・高波鐵夫	Seismic structure model of asperity area of the 1968 Tokachi-oki event, revealed by a seismic refraction survey	日本地球惑星科学連合 2007 年大会	2007. 5. 24
桑野亜佐子・日野亮太・篠原雅尚・山田知朗・望月公廣・中東和夫・酒井慎一・金沢敏彦・山本揚二郎・長谷川昭・雨宮晋一郎・村井芳夫・高波鐵夫	3D Seismic Velocity Structure and geometry of plate boundary around the rupture area of the 1968 Tokachi-Oki Earthquake	IUGG2007Perugia	2007. 7. 6
桑野亜佐子・篠原雅尚・山田知朗・望月公廣・中東和夫・酒井慎一・橋本信一・八木健夫・金沢敏彦・東龍介・日野亮太・町田祐弥・雨宮晋一郎・三浦亮・村井芳夫・高波鐵夫	長期観測型海底地震計ネットワークによる日本・千島海溝会合部における微小地震観測	日本地震学会 2007 年秋季大会	2007. 10. 25

中東和夫・桑野亜佐子・山田知朗・望月公廣・篠原雅尚・酒井慎一・八木健夫・橋本信一・金沢敏彦・町田祐弥・三浦亮・雨宮晋一郎・村井芳夫・高波鐵夫・東龍介・日野亮太	日本海溝・千島海溝会合部における地殻構造探査	日本地震学会 2007年秋季大会	2007. 10. 26
---	------------------------	---------------------	--------------

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定なし。

### (3) 平成20年度業務計画案

平成20年度は、平成19年度に三陸沖において観測を開始した長期観測型海底地震計を回収する。福島沖から茨城・房総沖にかけての領域に新たに長期観測型海底地震計を設置して観測を開始する。本年度は本研究の最終年度のため、年度内に長期観測型海底地震計を全台回収する。

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、三陸沖から茨城・房総沖にかけての領域における地震活動を正確に把握するほか、日本海溝・千島海溝周辺に関する研究を行い予測精度の向上に資することも目的とする。最終年度にあたるため、総合的な成果のとりまとめを行う。

#### 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、福島沖から茨城・房総沖にかけての海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う。

##### 2) 長期観測型海底地震計等の整備

三陸沖に平成19年度に設置した長期観測型海底地震計は、平成20年度の回収後に再整備して、福島沖から茨城・房総沖にかけての海域に設置する。このための長期観測型海底地震計の動作確認と組み立て等の整備は、国立大学法人東京大学地震研究所で実施する。また、音響通信制御装置、GPS時計制御システム等の設置作業支援装置について総合的な整備を実施する。

##### 3) 長期観測型海底地震計の設置・回収

三陸沖に平成19年度に展開した長期観測型海底地震計を回収する。また、長期観測型海底地震計による観測網を福島沖から茨城・房総沖にかけての海域に展開する。また、最終年度にあたるため、年度内に福島沖から茨城・房総沖にかけての海域に展開した全観測点の海底地震計を回収して観測を終了する。

##### 4) 浅部構造のデータ収集・解析



### 3. 2. 1. 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（日本海溝・千島海溝周辺における海底地震観測研究）

平成 20 年度に長期地震観測を実施する福島沖から茨城・房総沖にかけての海域の浅部構造のデータ収集を実施する。三陸沖、および福島沖から茨城・房総沖のより正確な地震活動を把握するため、浅部構造データより震源決定の際に必要な観測点直下の堆積層補正値を求める。

#### 5) 陸域観測網による地震データの収集

三陸沖から茨城・房総沖にかけての領域に発生する地震の海・陸データの併合処理を実施するため、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実施する。

#### 6) 海陸データ統合解析

三陸沖、および福島沖から茨城・房総沖にかけての海域から回収した長期観測型海底地震計のデータと陸域観測網で記録される地震のデータを併合処理して、正確な地震活動の把握等を進める。解析は以下の項目について行う。

- ・より詳細なプレート境界の形状の把握

より詳細なプレート境界の形状を把握するため、長期海底地震観測により収集した微小地震の震源位置を正確に決定する。

- ・地殻構造と地震活動の対比等

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詳細な地殻構造の対比を行い、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、応力場の空間分布およびプレート間結合特性の情報等を抽出するため、地震の発震機構解を求める。

#### 7) 観測データの流通・公開

長期観測型海底地震計を用いて観測したデータについては、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い、流通公開を行う。

#### 8) 運営委員会の設置・開催

「東南海・南海地震等海溝型地震に関する調査研究」を効果的に推進するため、国立大学法人北海道大学大学院理学研究院、国立大学法人東北大学大学院理学研究科、独立行政法人防災科学技術研究所、国立大学法人東京大学地震研究所の 4 機関に加えて関係機関等からの委員で構成する「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）」を設置する。本委員会は、年に 2 回程度開催することとする。

#### 9) 成果の最終まとめ

最終年度にあたるため、「日本海溝・千島海溝周辺の海溝型地震に関する調査研究」の最終まとめを行う。