

3. 2 長期海底地震観測によるプレート間すべりに関する研究

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

長期海底地震観測によるプレート間すべりに関する研究

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
国立大学法人東京大学地震研究所	教授	金沢敏彦	
	准教授	篠原雅尚	
	助教	山田知朗	
	特任研究員	桑野亜佐子	
	技術職員	八木健夫	

(c) 業務の目的

宮城県沖地震を始めとする海溝型地震の発生に関する長期評価の高精度化を目指し、宮城県沖地震の想定震源域において、長期観測型海底地震計による繰り返し観測を実施し、正確な地震活動を把握することを目的とする。

(d) 5 ヶ年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

1) 平成17年度：

宮城県沖地震の想定震源域においてアスペリティ周辺における地震活動が示す空間的な特徴を把握するため、想定震源域における繰り返し観測を5観測点で平成17年12月から開始した。東京大学地震研究所で新規整備した海底地震計の設置作業は、東北大学と協力して実施した。また、海底地震計の大量のデータを処理するための一次処理装置の構築を行った。

2) 平成18年度：

新規整備した長期観測型海底地震計6台を、前年度に設置した5台の海底地震計を回収する際に設置して、観測を継続するほか、回収した地震記録の解析を行った。6観測点での観測であるが、このうち2観測点は前年度と同一地点である。新たに記録処理装置一式を追加導入し、海底地震計データの一次処理能力を向上させた。

3) 平成19年度：

複数回の航海に分割して、長期観測型海底地震計の設置回収を行ったが、本年度全体では、新規整備した5台および再整備した5台の長期観測型海底地震計を、前年度に設置した6台の海底地震計を回収する際に設置して、観測を継続するほか、回収した地震記録の解析を行った。10観測点での観測であるが、このうち5観測点は前年度と同一観測点である。

4) 平成20年度：

複数回の航海に分割して、長期観測型海底地震計の設置回収を行ったが、本年度全体では、新規整備した4台および回収後に再整備した11台の長期観測型海底地震計を、前

年度に設置した 10 台の海底地震計を回収する際に設置して、観測を継続するほか、回収した地震記録の解析を行った。計 15 観測点での観測を実施したがそのうち、10 観測点は前年度と同一の観測点である。また、データ量が増加したため、一次処理装置の追加整備を行った。

5) 平成 21 年度 :

計画の最終年度であるため、年度内に 2 回の航海に分けて、全 15 点の海底地震計を回収して、解析を行い、計画の最終成果を求めた。

(e) 平成 21 年度業務目的

長期観測型海底地震計を用いた海底地震観測は、次の要領で実施する。

平成20年5月に設置した6台の海底地震計の回収を行う。

平成20年11月に設置した海底地震計9台の回収を行う。

回収した海底地震計のデータ処理を行う。

宮城県沖において海底地震観測が開始されて以来の観測とあわせ、2002年以降の本地域における地震活動の推移に関する検討を行い、サブテーマ①で明らかにされるプレート間すべり分布と、相似地震以外の地震を含む微小地震の活動度の時空間的な変化との対応関係の検討を行う。

なお、本サブテーマは、気象庁と協同するとともに、海洋研究開発機構が行う（本学が一部を再委託予定）「東海・東南海・南海地震の連動性評価のための調査観測・研究」と連携して実施する。

(2) 平成 21 年度の成果

(a) 業務の要約

宮城県沖地震の想定震源域においてアスペリティ周辺における地震活動が示す空間的な特徴を把握するためには、同一の観測点配置による観測を長期間継続し、データの蓄積を図ることが重要である。また、プレート境界における固着の時間変化を求めるためには、地震活動の時間変化を検出する必要がある。このため、想定震源域における繰り返し観測を5観測点で平成17年12月から開始した。観測に使用した海底地震計は、1年間連続して観測することのできる長期観測型海底地震計である（写真1）。

平成21年度は、5月に、平成20年5月に設置し観測が終了した6台の長期観測型海底地震計の回収作業を実施した。7月から8月にかけては、平成20年11月に設置した6台の長期観測型海底地震計の回収作業を行った。さらに、11月には、平成20年11月に設置した5台の長期観測型海底地震計の回収作業を行い、本研究での観測を終了した。今年度回収した長期観測型海底地震計は、東京大学地震研究所において記録の再生作業を行い、記録の一次処理を実施した。その後、平成14年以降の長期観測型海底地震計および短期観測型海底地震計による海底地震観測データを併せて、統合的な解析を実施し、宮城県沖地震の想定震源域とその周辺における微小地震の活動度の時空間的な変化を求めた。

平成 16 年度に実施した宮城県沖地震の想定震源域とその周辺における発破による海底地震計を用いた広角反射・屈折法探査により求められた構造および平成 18 年度に実施した



写真1 使用した長期観測型海底地震計

福島県・茨城県沖における発破による海底地震計を用いた広角反射・屈折法探査により求められた構造と、本業務で得られた地震活動の空間分布の比較を行った。その結果、宮城県沖地震の想定震源域周辺では、プレート境界付近における地震活動度が高く、さらに、沈み込む海洋プレート内でも地震が多く発生していることと解釈される。

(b) 業務の実施方法

本業務で用いている長期観測型海底地震計は、チタン合金製の耐圧容器、マイクロコンピュータ制御のジンバルシステム（姿勢制御機構）を持つ固有周期1秒の速度型地震計、24ビットのダイナミックレンジを持つデジタル収録式レコーダ、音響通信制御装置などから構成されている。電源には1年間の観測のために大容量のリチウム電池を組み合わせ使用している。平成21年度に実施された長期観測型海底地震計の回収には、函館海洋気象台海洋気象観測船所有の「高風丸」および株式会社オフショア・オペレーション所有の「第5海工丸」を用いた。回収した長期観測型海底地震計については東京大学地震研究所に輸送し、観測記録を回収した。その後データを処理システムに転送し、記録の一次処理を実施した。平成14年以降に対象領域で行われた長期観測型海底地震計および短期観測型海底地震計による海底地震観測データの読み取りデータを東北大学と協力して処理システムにより整理し、統合的な解析を行うことにより、長期間にわたる対象領域の精度のよい震源分布を求めた。

(c) 業務の成果

1) 長期観測型海底地震計の回収及び回収されたデータの処理

平成21年5月に、「高風丸」にて、平成20年5月に設置した6台の長期観測型海底地震計

の回収作業を実施した。7月から8月にかけては、「高風丸」にて、平成20年11月に設置した6台の長期観測型海底地震計の回収作業を行った。さらに、11月には、「第5海工丸」にて、平成20年11月に設置した5台の長期観測型海底地震計の回収作業を行い、本研究での観測を終了した。また、本業務において回収作業を実施するため、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について、回収航海前に動作試験などの総合的な整備を実施した。

本年度回収された長期観測型海底地震計のデータは、海底地震計内のフラッシュメモリおよびハードディスクに収録されている。これらをデータ処理システムに転送し、東京大学地震研究所にて一次処理を行った（図1）。

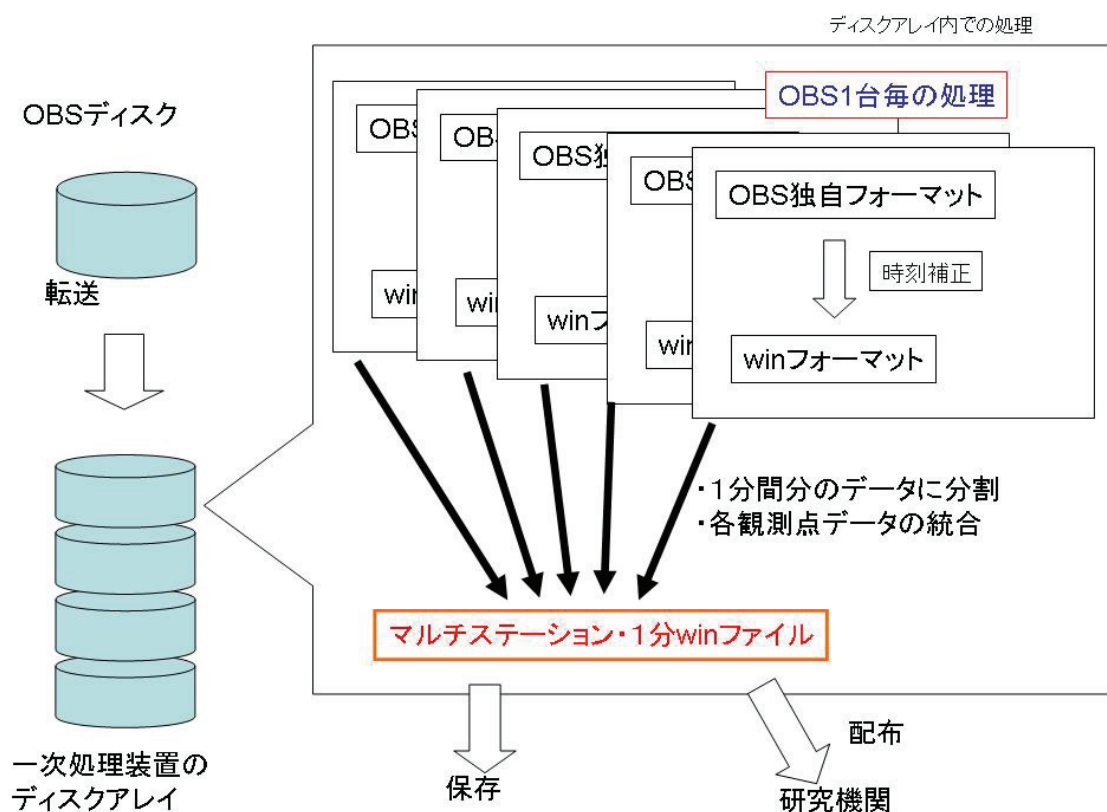
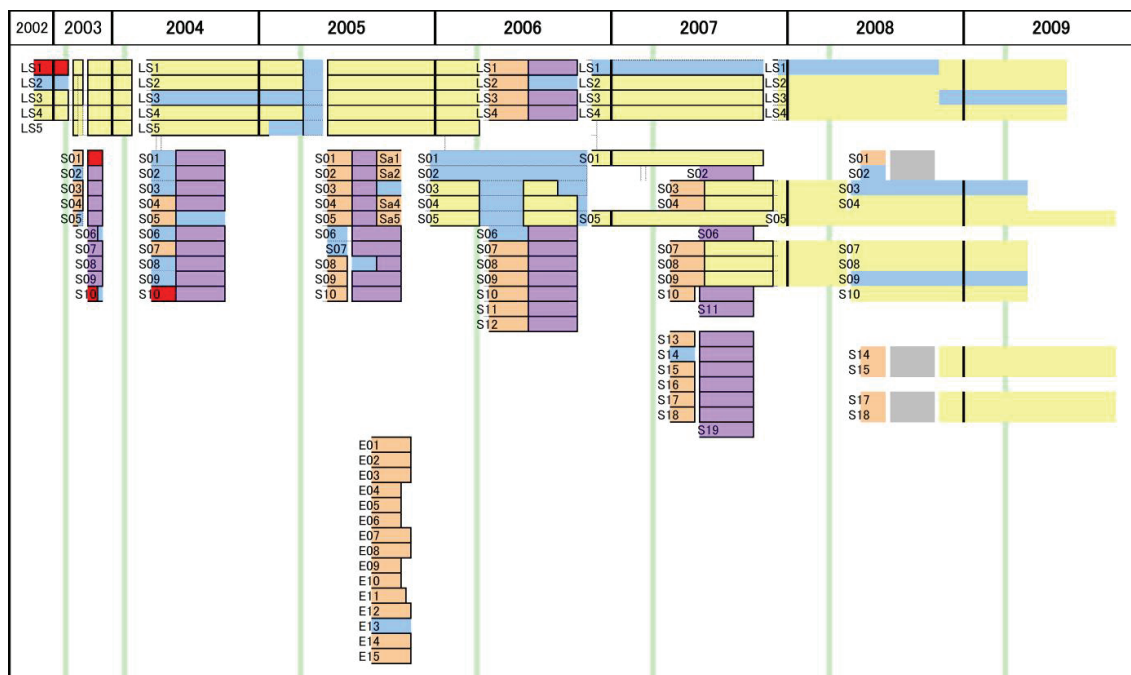


図1 本業務で行った長期観測型海底地震計観測データの一次処理。

2) 微小地震活動度の時空間的な変化

宮城県沖では、平成14年から、パイロット的重点観測として、継続的に長期観測型海底地震計を用いた海底地震観測が行われている（図2）。また、短期観測型海底地震計を用いた海底地震観測も、東北大学により、繰り返し行われている。本研究では、これまでに取得された宮城県沖の海底地震観測データを用いて、統合的なデータ解析・震源決定を行った。まず、これまでにデータ処理・P波S波到着時刻の読み取りが完了しているデータを整理し、時間的にほぼ連続なデータセットを作成した（表1）。このデータセ

表1 2002年以降に宮城県沖で行われた海底地震観測データ。太枠で囲まれた期間のデータを、本研究の解析に用いた。



ットには、沿岸陸上観測点の読み取り値も含まれている。その後、平成14年8月から平成19年10月までのデータから、海域陸域を問わず、P波到着時刻が3点以上、S波到着時刻が1点以上読み取られており、かつ、海底地震計観測点でP波S波の読み取りがそれぞれ1点以上ある地震を選択した。その後、一次元速度構造（図3）を用いて、震源決定を行った（Hirata and Matsu'ura, 1987）¹⁾。観測点補正では、表層のVp/Vs比が3と仮定した。また、震源決定後に直近の観測点までの震央距離が30km以内の地震を選択した。これにより、全期間を通して、5,300個の地震が震源決定された（図4）。その結果、陸上の観測点のみから決定された震源に比べ、深さ方向の精度が向上した（図5および図6）。特に精度がよいと思われる海底地震観測網内の地震活動について、期間別の活動度の変化が明らかになった（図7および8）。

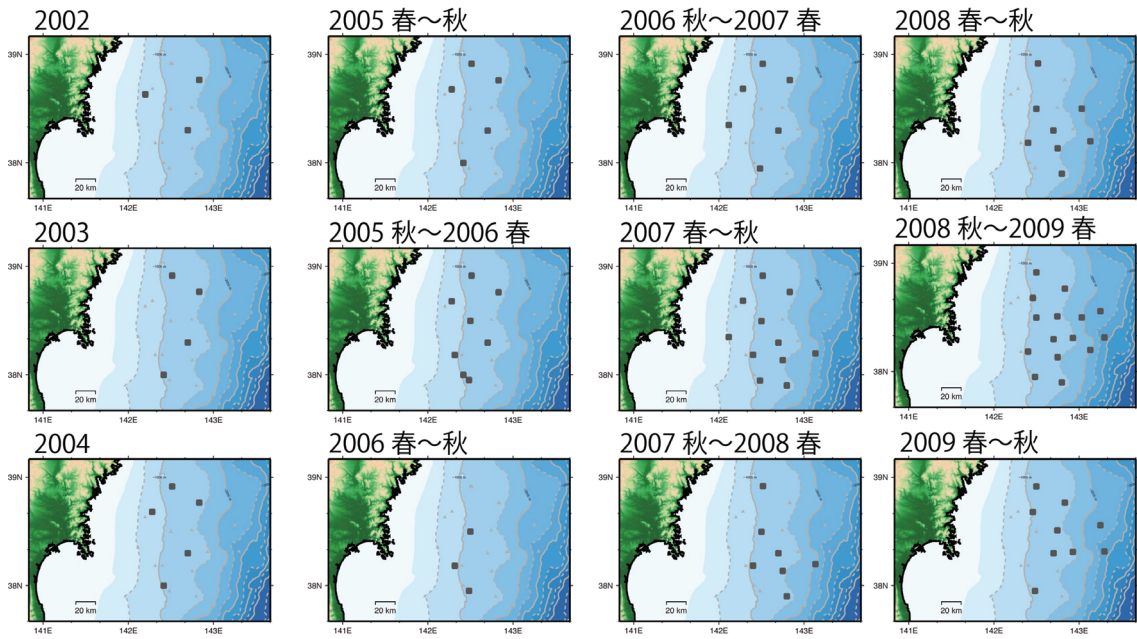


図2 平成14年度から平成21年度までの長期観測型海底地震計の設置位置。

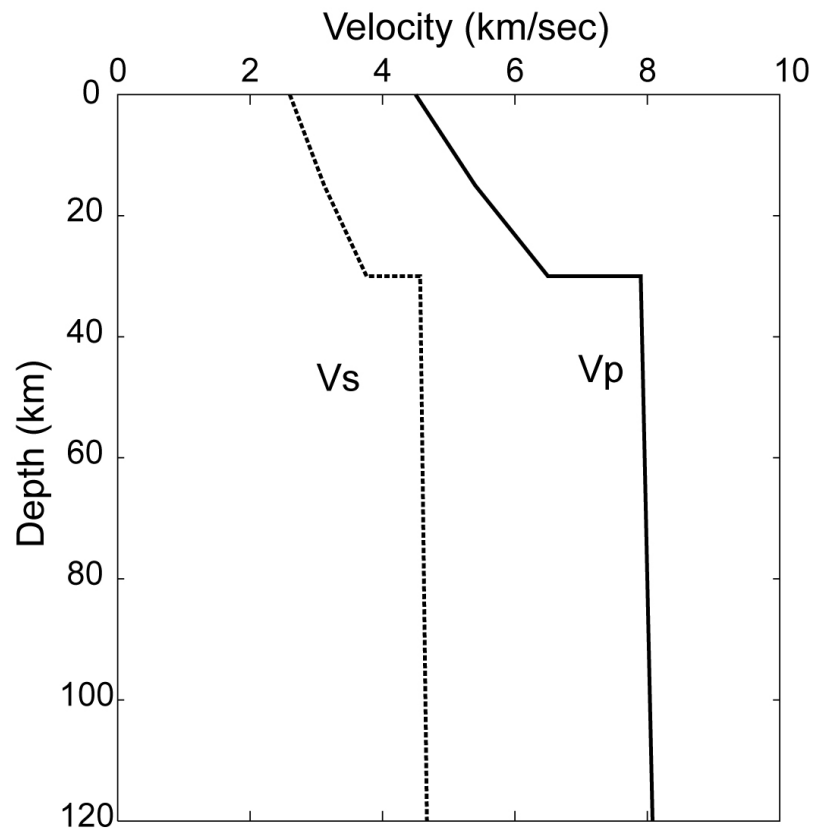


図3 震源決定に用いた速度構造。

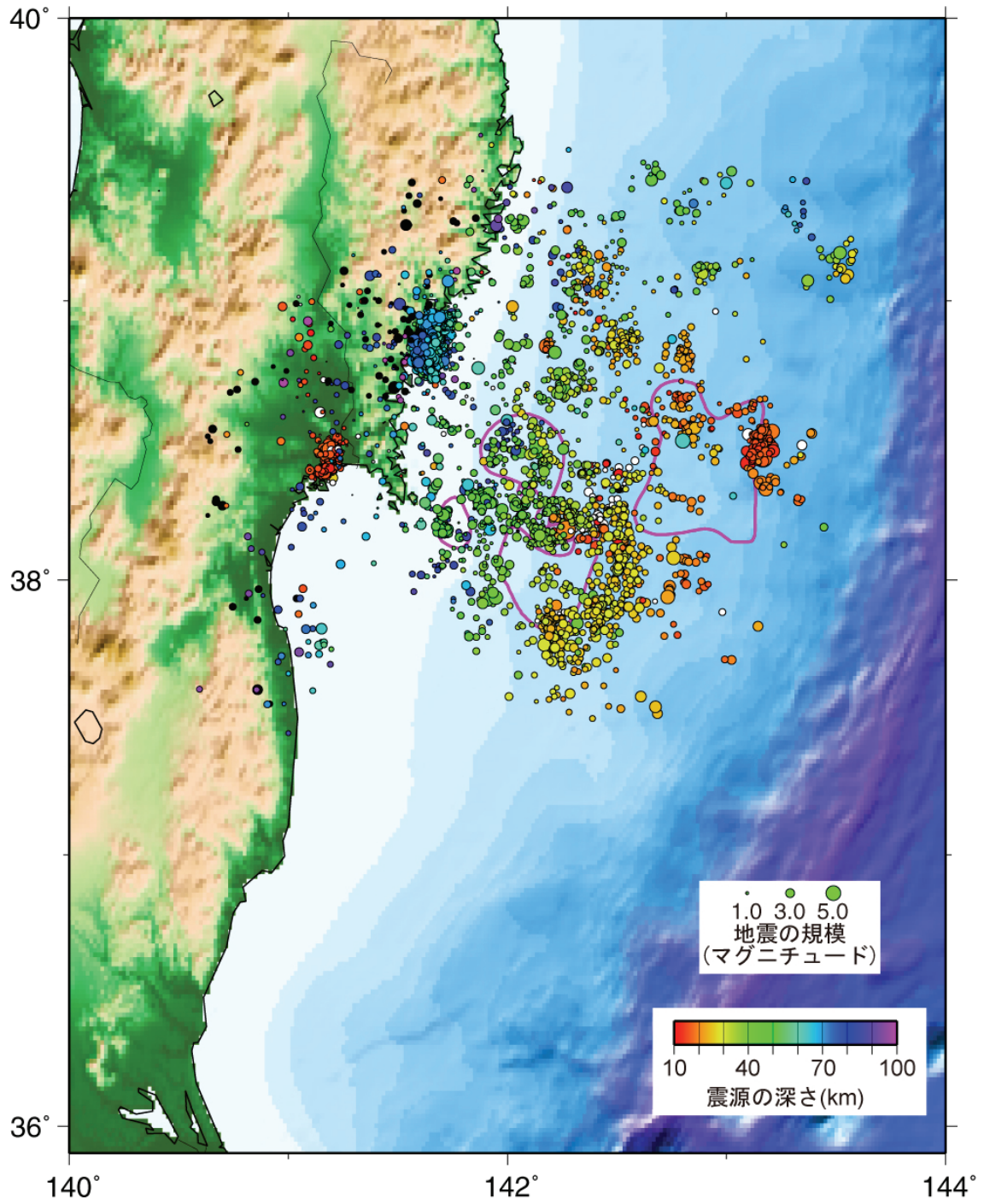


図4 平成14年度からの海底地震観測のデータを用いた震央分布。総数5,300個の地震の震央がプロットされている。赤線で囲まれた領域は過去の大地震の震源域。

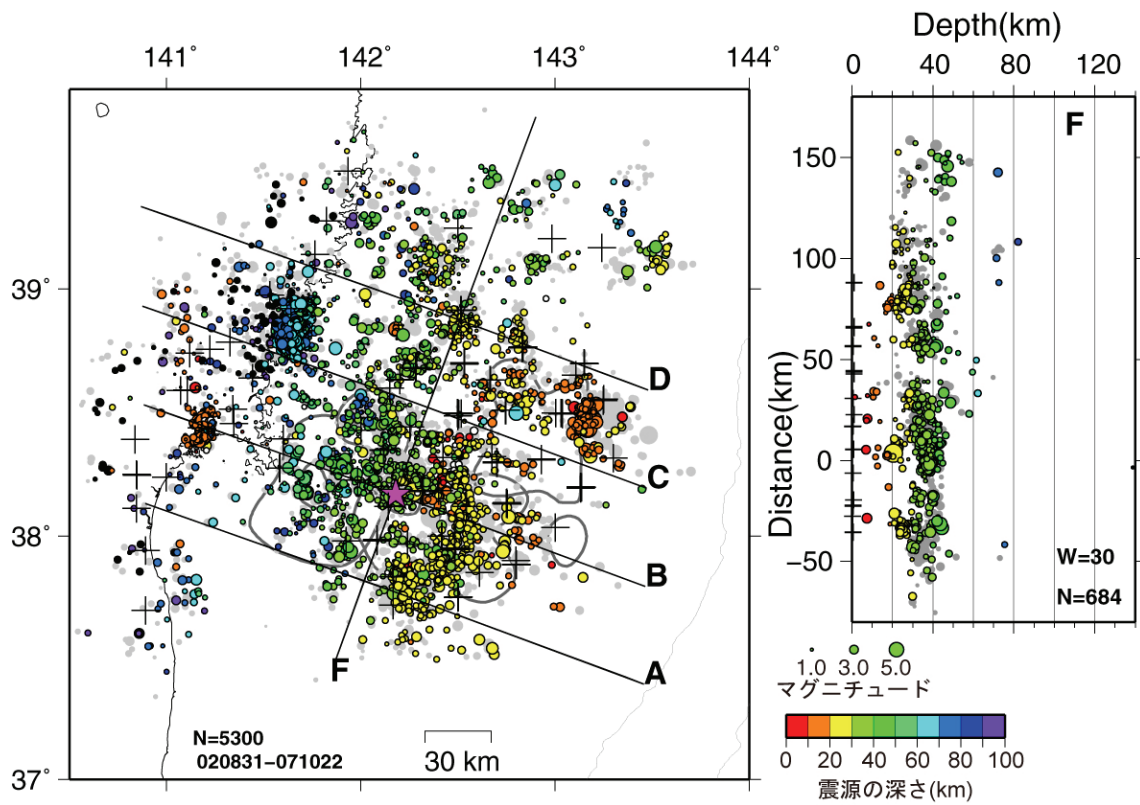


図5 震源の震央分布（左）と、測線Fから両側15km以内の地震の深さ分布（右）。背景の灰色丸は、陸上の観測点のみから決定された震源位置。

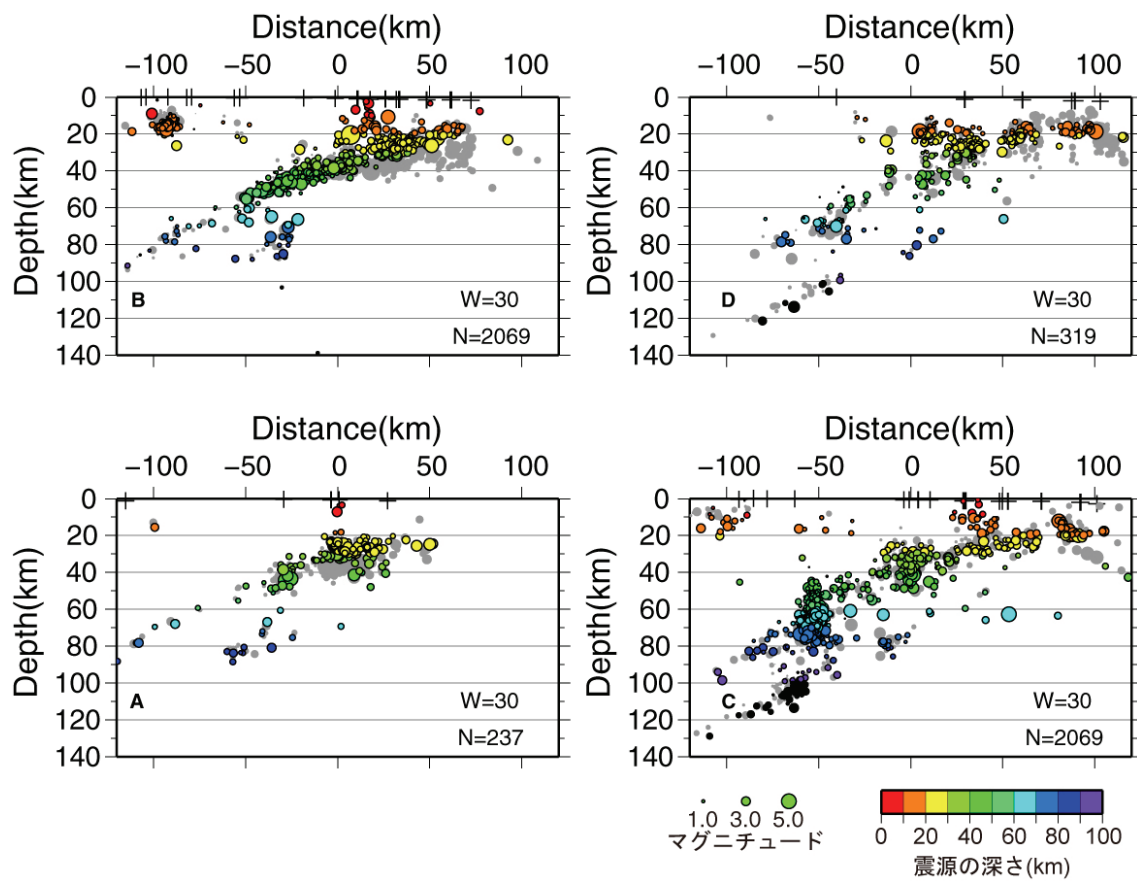


図6 測線A, B, C, D (図4左) から両側15km以内の地震の深さ分布。背景の灰色丸は、陸上の観測点のみから決定された震源位置。

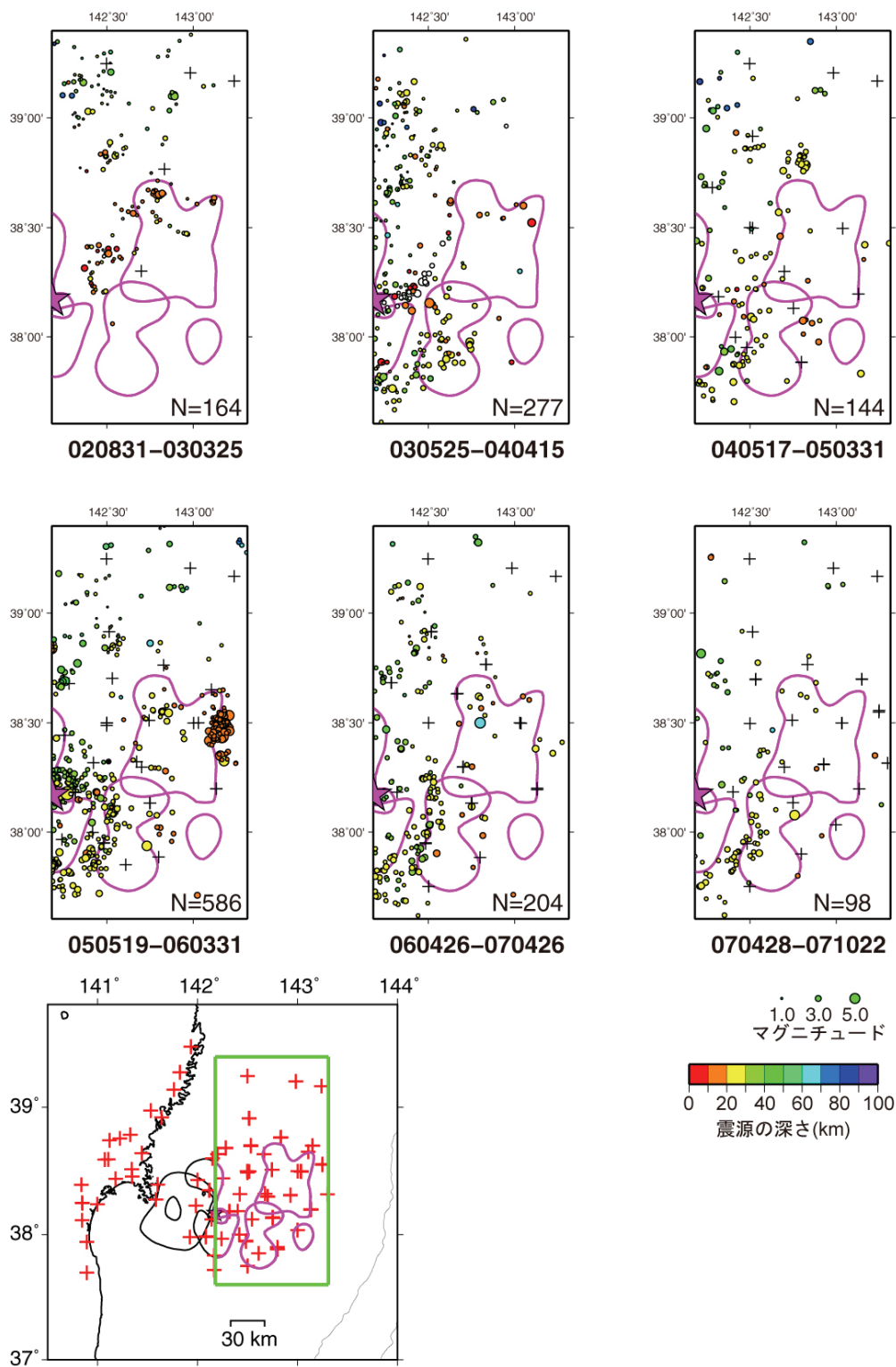


図7 海底地震観測網内の地震活動の期間別変化(震央分布)。回収および再設置のために、海底観測点が少なくなった期間は、除外されている。解析に用いた全ての観測点の位置と対象領域を左下に示す。赤線で囲まれた領域は過去の大地震の震源域。

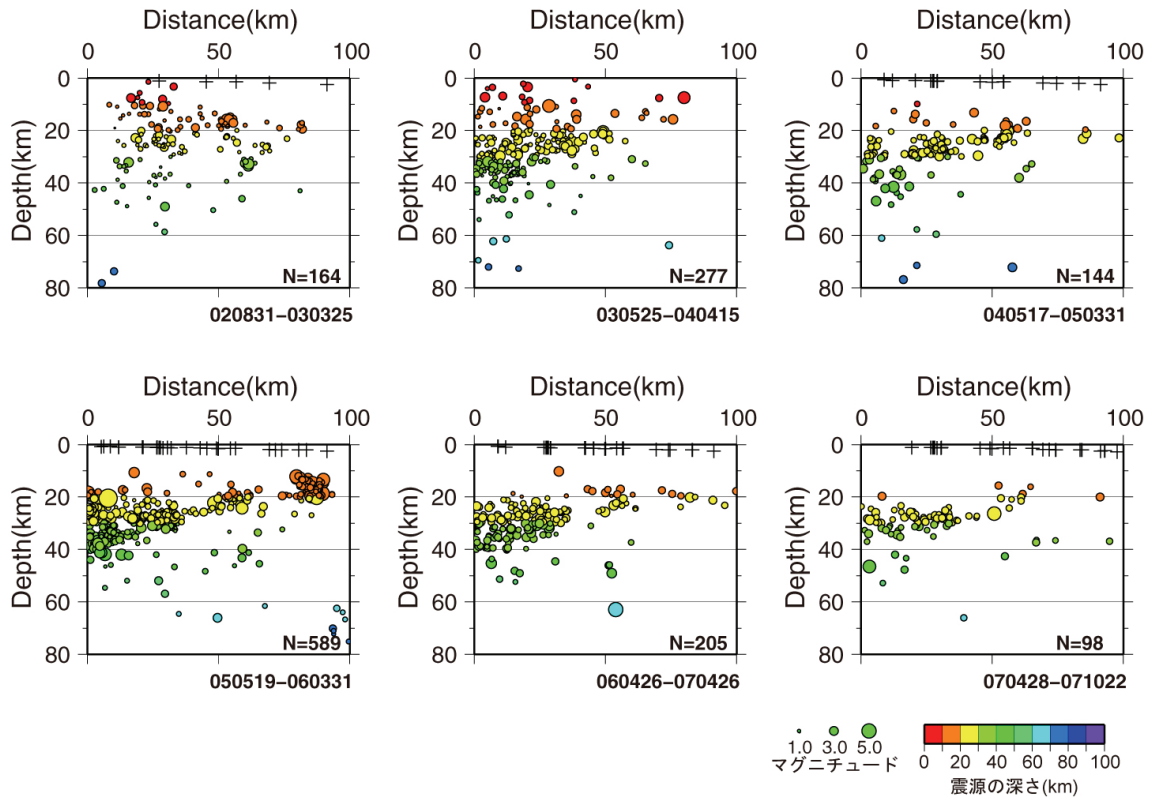


図 8 海底地震観測網内の地震活動の期間別変化（深さ分布）。

3) 構造と地震活動の空間分布との比較

平成 16 年度に実施した宮城県沖地震の想定震源域とその周辺における発破による海底地震計を用いた広角反射・屈折法探査により求められた構造 (Shinohara et al., 2007)²⁾ および平成 18 年度に実施した福島県・茨城県沖における発破による海底地震計を用いた広角反射・屈折法探査により求められた構造 (大久保・他, 2007)³⁾ と、本業務で得られた地震活動の空間分布の比較を行った (図 9)。その結果、宮城県沖では、構造探査により求められたプレート境界付近で、地震が発生していることが分かった (図 10、図 11 および図 12)。その中でも、宮城県沖地震の想定震源域周辺では、プレート境界付近における地震活動度が高い。また、宮城県沖地震の想定震源域周辺の地震は、沈み込む海洋プレート内でも多く発生していると解釈される (図 10)。

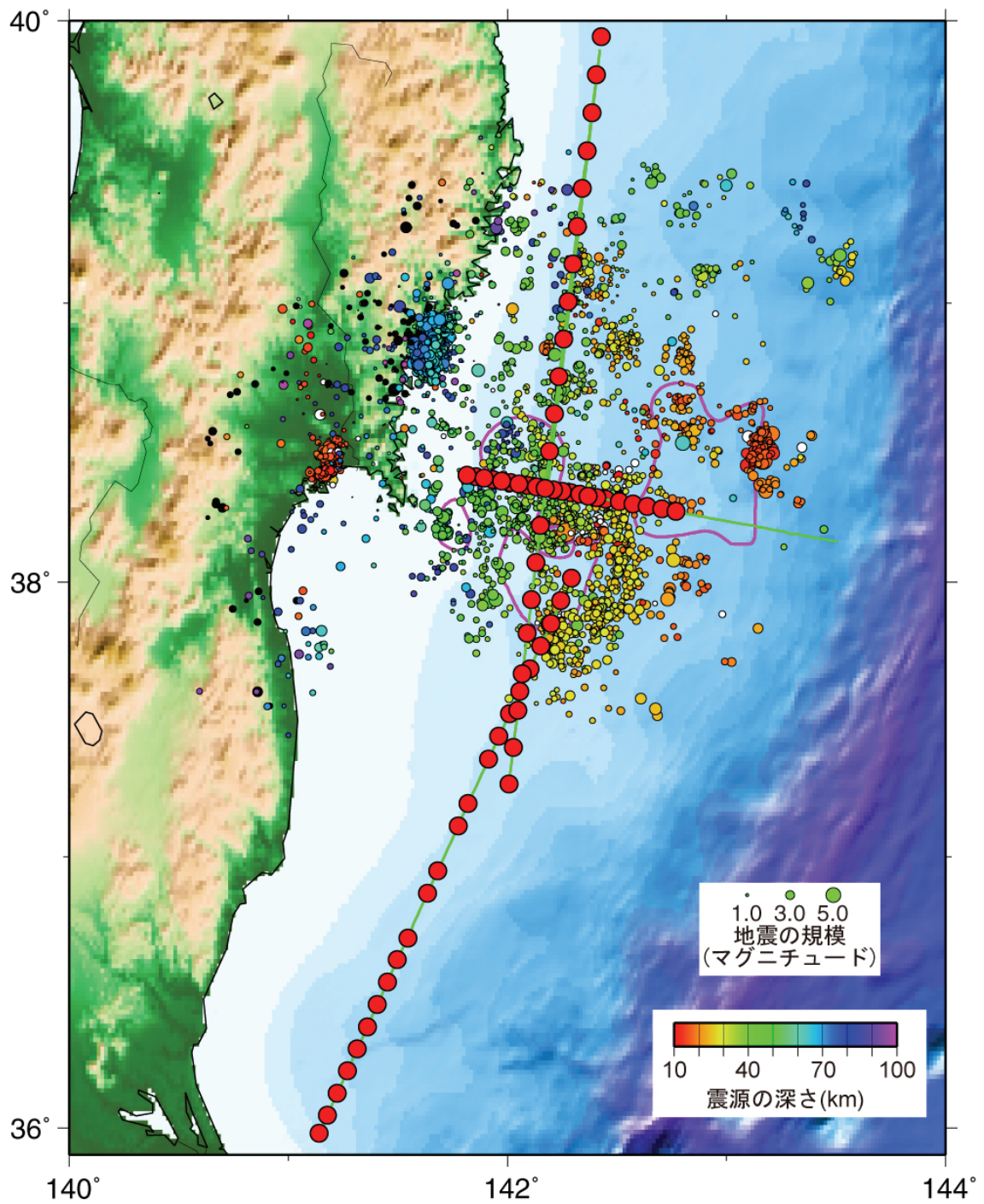


図9 平成16年度および平成18年度に実施した構造探査実験の海底地震計（大きな赤丸）および測線位置（緑線）。本業務による海底地震観測により決定された地震の震央もあわせて示す。

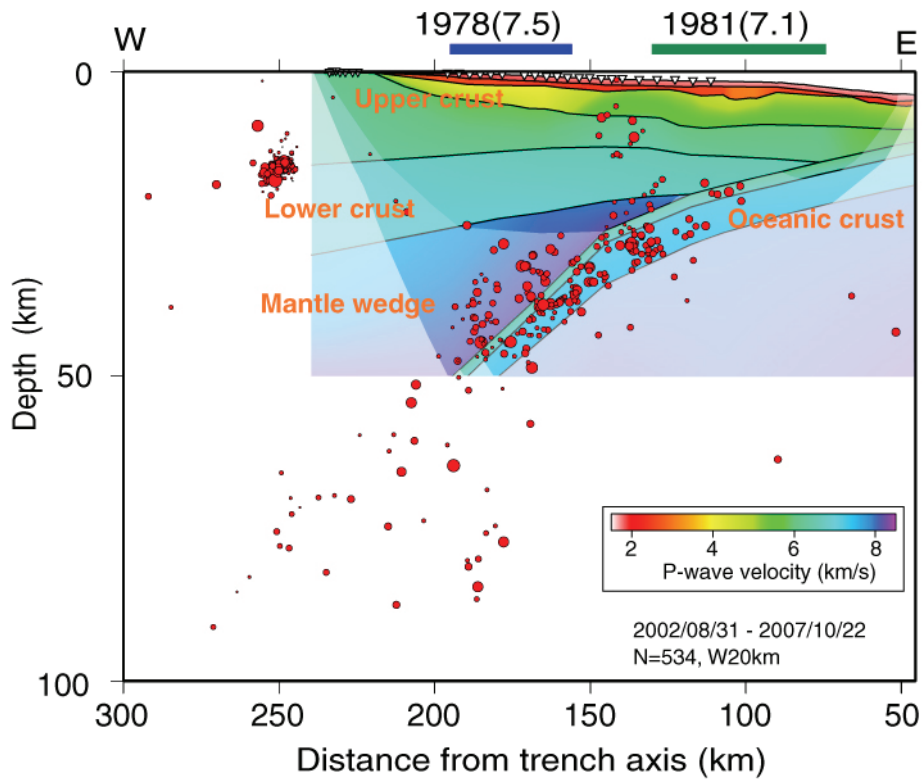


図10 東西測線から求められた構造と、本業務による海底地震観測により決定された震源（赤丸）の比較。▽は探査に用いた海底地震計の設置位置。

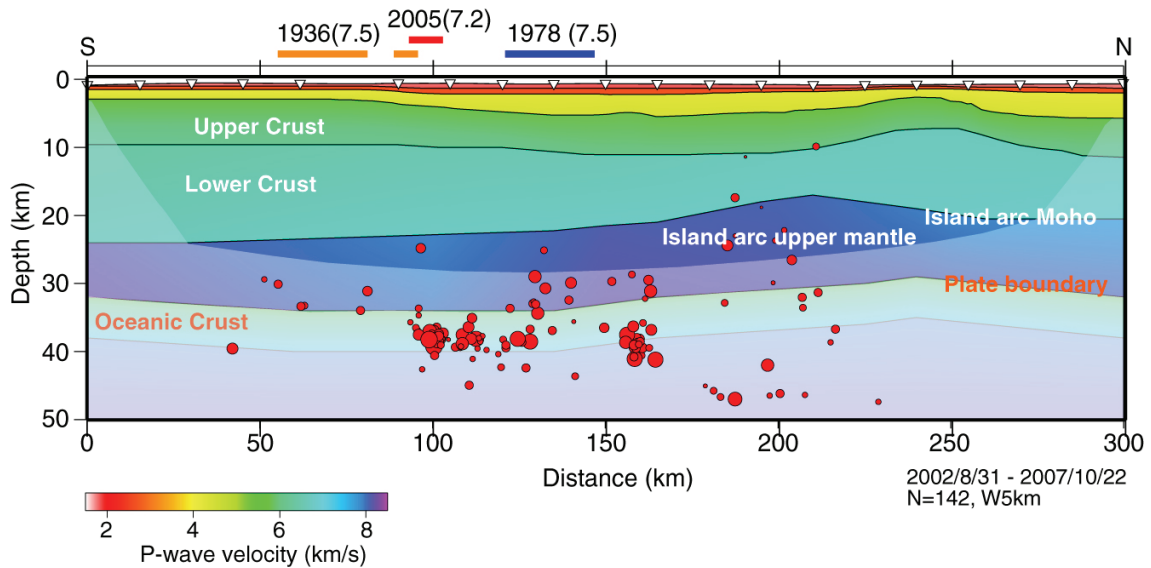


図11 南北測線から求められた構造と、本業務により海底地震観測により決定された震源（赤丸）の比較。

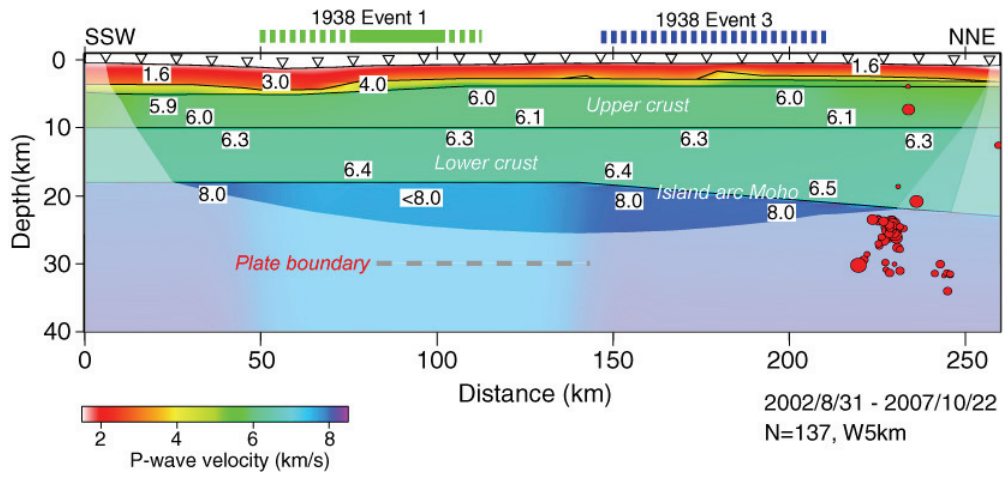


図12 福島県・茨城県沖の構造と、本業務で得られた海底地震計による震源（赤丸）の比較。

(d) 結論ならびに今後の課題

長期観測型海底地震計の回収作業を計画通りに実施し、宮城県沖における長期地震観測を終了した。回収された長期観測型海底地震計は、東京大学地震研究所に輸送し、データ回収作業および海底地震計データの一次処理を行った。その後、平成14年以降の同領域の長期観測型海底地震計および短期観測型海底地震計の統合データ解析をおこない、長期にわたる宮城県沖の精密な地震活動度を求めた。これまでに行われた構造探査実験の結果と、海底地震計による地震活動分布の比較を行った。その結果、宮城県沖地震の想定震源域周辺では、プレート境界付近における地震活動が高く、さらに、沈み込む海洋プレート内でも地震が多く発生していることと解釈される。

今後は、引き続き長期間にわたる海底地震観測データを用いて、決定精度がよい震源分布を求め、地震活動度の時空間変化を抽出することが課題である。

(e) 引用文献

- 1) 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.
- 2) Shinohara, M, I. Watanabe, K. Nakahigashi, G. Fujie, K. Mochizuki, T. Yamada, T. Kanazawa, R. Hino, T. Takanami, T. Sato, K. Uehira, Y. Kaneda and T. Iwasaki, Seismic structure of plate boundary zone off Miyagi by seismic survey -relation between geometry of plate boundary and asperity-, 日本地球惑星科学連合2007年大会, S152-P035, 2007.
- 2) 大久保忠博・篠原雅尚・望月公廣・山田知朗・中東和夫・桑野亜佐子・酒井慎一・金沢敏彦・萩原弘子・蔵下英司・岩崎貴哉・高波鐵夫・村井芳夫・町田祐・山本揚二郎・東龍介・鈴木健介・日野亮太・佐藤利典・樋口春隆・植平賢司・八木健夫・橋本信一・羽田敏夫・平田安廣・渡辺茂・坂守・芹沢正人・田上貴代子・三浦禮子、制御震源と海底地震計・陸上臨時観測点を用いた茨城県沖沈み込み帯の地震波構造探査実験、日本地震学会講演予稿集、2007年度秋季大会、C31-11、p103、2007.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
山本揚二郎, 日野亮太, 篠原雅尚, 藤江剛, 三浦誠一, 小平秀一	宮城県沖地震震源域の地震波速度構造とプレート境界深度	日本地球惑星科学連合2009年大会	平成21年5月16日
東龍介, 日野亮太, 伊藤喜宏, 高波鐵夫, 三浦亮, 一條和宏, 望月公廣, 五十嵐俊博, 植平賢司, 佐藤利典, 篠原雅尚, 金沢敏彦	人工地震波探査で推定した沈み込む太平洋プレートのP波・S波速度構造	日本地球惑星科学連合2009年大会	平成21年5月19日

鈴木健介、日野亮太、伊藤喜宏、金沢敏彦、山田知朗、篠原雅尚、植平賢司、田中昌之、山本揚二郎、金田義行	海底地震観測による宮城県沖地震震源域周囲の応力場の推定	日本地球惑星科学連合 2009 年大会	平成 21 年 5 月 20 日
山本揚二郎、日野亮太、篠原雅尚、藤江剛、三浦誠一、小平秀一	宮城県前弧域の地震波速度構造と地震活動	日本地震学会 2009 年秋季大会	平成 21 年 10 月 21 日
伊藤喜宏、日野亮太、鈴木秀市、山田知朗、篠原雅尚、金沢敏彦	海底地震計記録を用いた地震波干渉法による日本海溝陸側斜面下の不均質構造推定の試み	日本地震学会 2009 年秋季大会	平成 21 年 10 月 21 日
鈴木健介、日野亮太、伊藤喜宏、金沢敏彦、山田知朗、篠原雅尚、植平賢司、山本揚二郎、金田義行	2005 年宮城県沖の地震 (M7.2) による応力変化と宮城県沖の応力場の推定	日本地震学会 2009 年秋季大会	平成 21 年 10 月 21 日
K. Suzuki, R. Hino, Y. Ito, T. Kanazawa, T. Yamada, M. Shinohara, K. Uehira, Y. Yamamoto, Y. Kaneda	Stress change due to the 2005 Miyagi-Oki earthquake and stress field of the Miyagi-Oki region	AGU 2009 Fall meeting	平成 21 年 12 月 18 日
篠原雅尚、山田知朗、金沢敏彦	海底における強震動観測のための加速度計搭載海底地震計の開発	海洋調査技術	2009
金沢敏彦、篠原雅尚、塩原肇	海底地震観測の最近の進展 － 海底地震観測システムと海底における自然地震観測の進展について－	地震	2009

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 5カ年の成果と課題

宮城県沖地震の想定震源域周辺の地震活動が示す空間的な特徴を把握するためには、同一の観測点配置による観測を長期継続し、データの蓄積を図るとともに地震活動の時間変化を検出する必要がある。このため、本研究では、宮城県沖地震の想定震源域において、長期観測型海底地震計による繰り返し観測を実施し、正確な地震活動を把握することを目的とした。さらに、人工地震探査の結果などとの比較によりアスペリティ周辺における地震活動と地殻・上部マントル構造との対応関係を抽出することも目的である。

平成17年度には、長期観測型海底地震計5台と、海底地震計データの一次処理装置の新規整備を実施した。また、東北大学に協力して、5観測点での海底地震観測を開始した。

平成18年度には、長期観測型海底地震計6台の新規整備を実施するとともに、新たに記録処理装置一式を追加導入し、海底地震計データの一次処理能力を向上させた。また、東北大学に協力して、6観測点での観測を開始し、平成17年度に観測を行った海底地震データの一次処理を行った。

平成19年度には、長期観測型海底地震計5台と、海底地震計データの一次処理装置の整備を計画通りに実施した。また、東北大学に協力して、10観測点での観測を実施し、平成18年度に観測を行った海底地震データの一次処理を行った。

平成20年度には、長期観測型海底地震計4台の新規整備および海底地震計データの一次処理装置の追加整備を計画通りに実施した。さらには、計11台の長期観測型海底地震計の整備を実施した。これら計15台の長期観測型海底地震計は、東北大学に協力して、15観測点に設置された。また、平成20年度に回収された計10台の海底地震計データの一次処理を行った。

最終年度である平成21年度には、長期観測型海底地震計回収作業を計画通りに実施し、宮城県沖における長期地震観測を終了した。回収された長期観測型海底地震計は、東京大学地震研究所に輸送し、データ回収作業および海底地震計データの一次処理を行った。このように、5カ年をかけて、大量の海底地震観測データが蓄積された。

平成14年以降の同領域の長期観測型海底地震計および短期観測型海底地震計の統合データ解析を行い、長期にわたる宮城県沖の精密な地震活動度を求めた。これらの震源分布の結果とこれまでに行われた構造探査実験の結果と、海底地震計による地震活動分布の比較を行った。その結果、宮城県沖地震の想定震源域周辺では、プレート境界付近における地震活動が高く、さらに、沈み込む海洋プレート内でも地震が多く発生していることと解釈される。今後は、引き続き長期間にわたる海底地震観測データを用いて、決定精度がさらにより震源分布を求め、地震活動度の時空間変化を抽出することが課題である。