

# 富士川河口断層帯における重点的な調査観測

平成 29 年度  
成果報告書

平成 30 年 3 月

文部科学省 研究開発局  
国立大学法人 東京大学 地震研究所

本報告書は、文部科学省の科学技術基礎調査等委託事業による委託業務として、国立大学法人東京大学地震研究所が実施した平成 29 年度「富士川河口断層帯における重点的な調査観測」の成果を取りまとめたものです。

1. 構造探査に基づく震源断層システムの解明

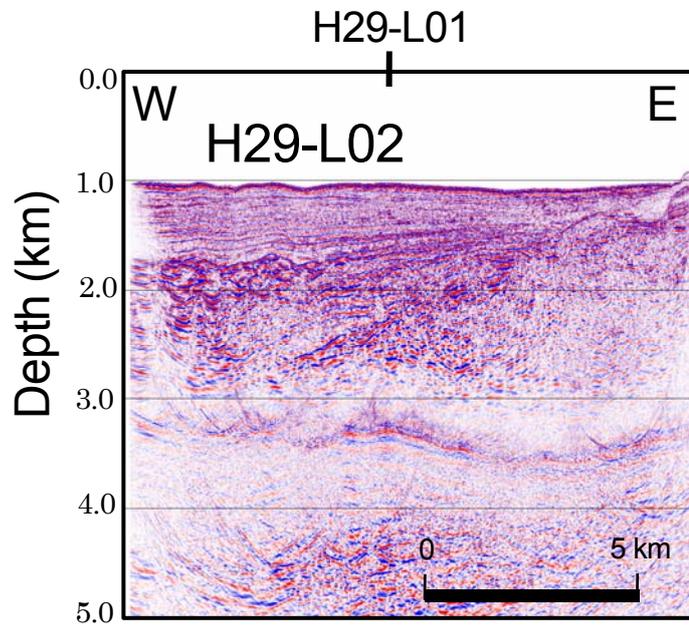
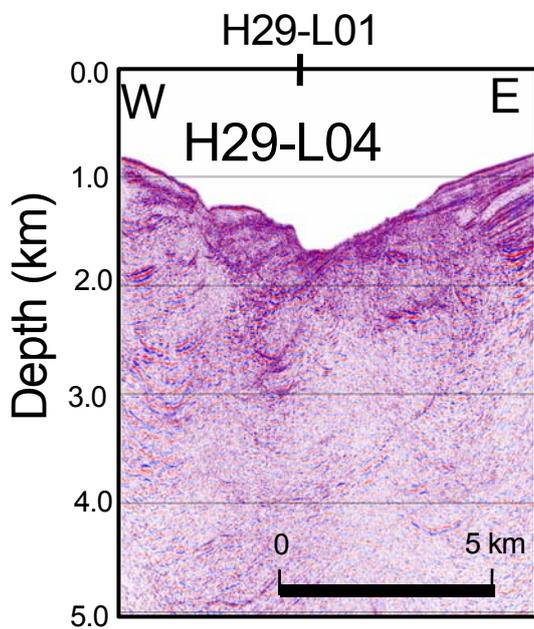
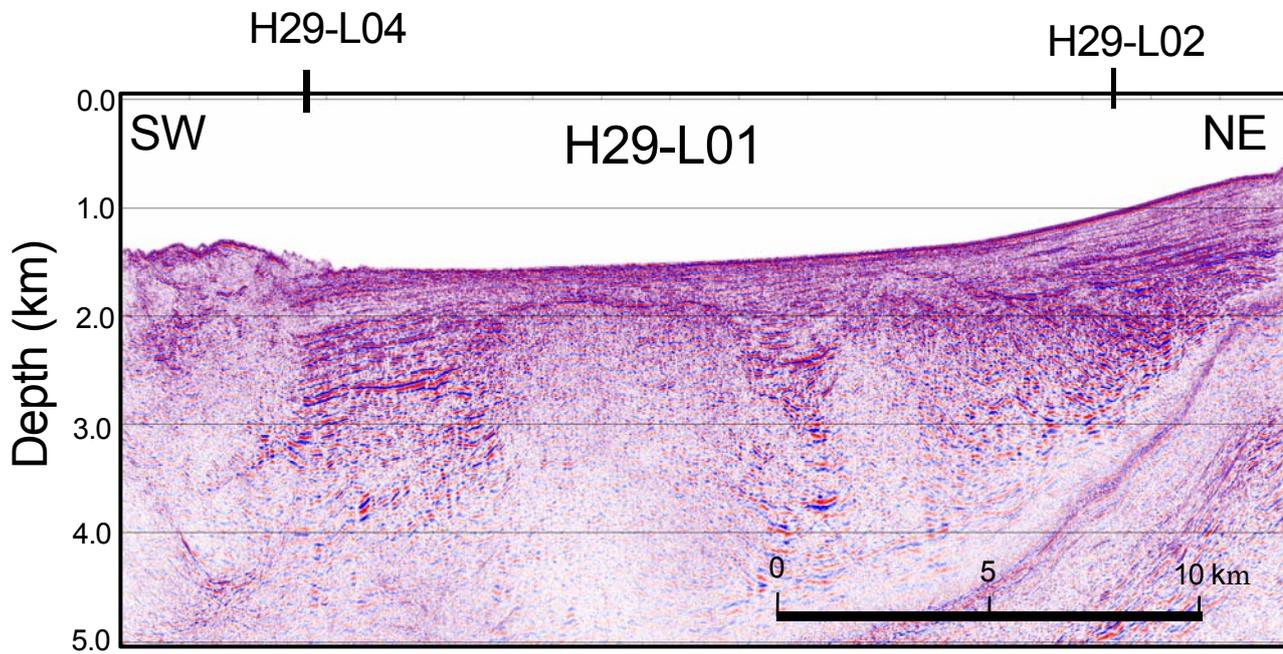


図 東京海洋大学が取得した既存データの反射法地震探査深度変換断面。  
(上) 測線 H29-L01、(下左) 測線 H29-L04、(下右) 測線 H29-L02。

# 1. 構造探査に基づく震源断層システムの解明

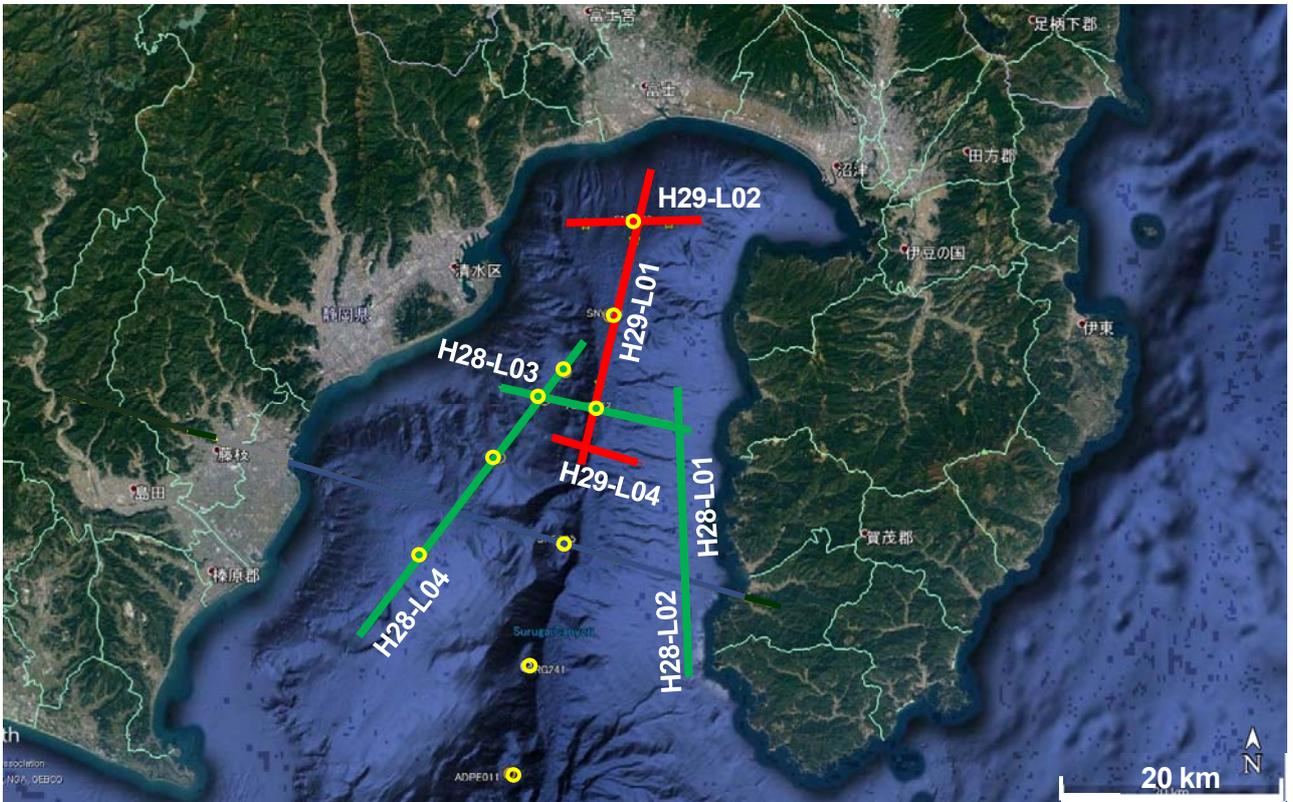


図 反射法データ統合処理。東京海洋大学「平成 28 年度・29 年度駿河湾における海域浅層 2 次元精密構造調査」による地震探査測線図（黄色の丸印●は、東海大学が設置した海底地震計）。

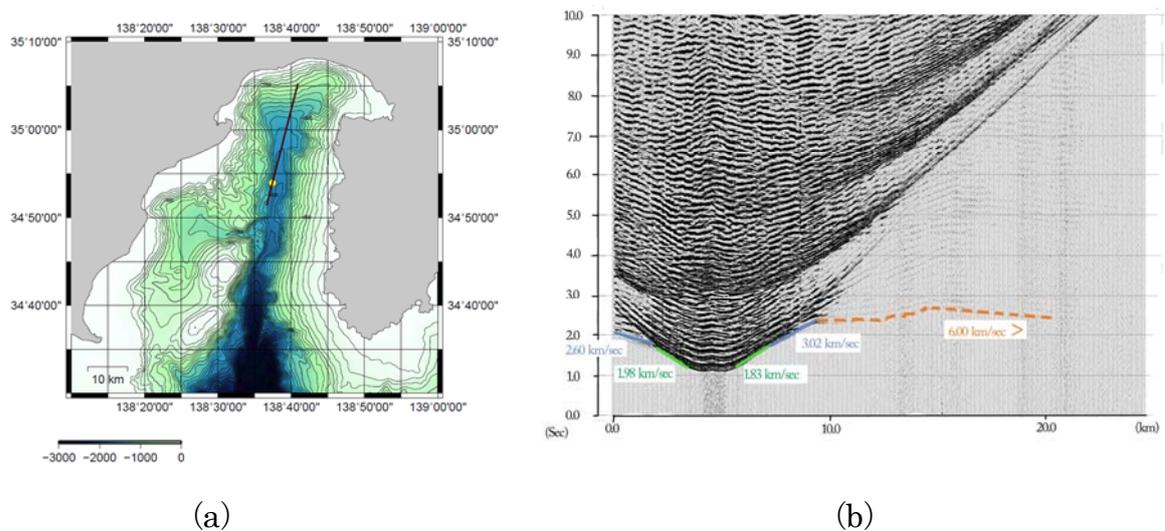


図 「平成 29 年度駿河湾における海域浅層 2 次元精密構造探査」における屈折法地震探査の記録例。(a)：駿河湾海底地形に測線位置（実線）および海底地震計位置（黄色丸●）を重ねた図。(b)：海底地震計●で得られたレコードセクション記録例。

# 1. 構造探査に基づく震源断層システムの解明

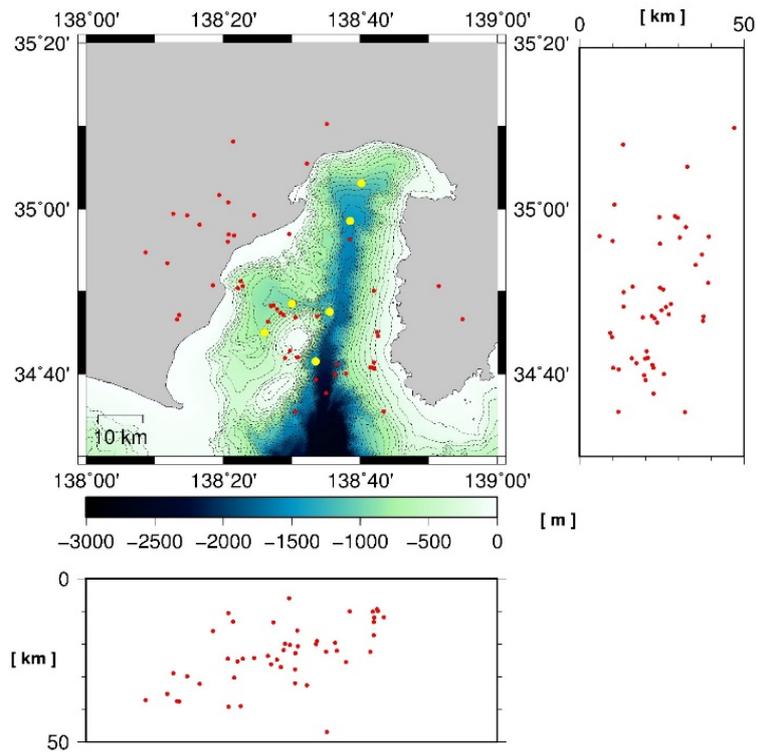


図 (上) 作業船「南十字 (20 トン)」の船上で投入準備中の自己浮上式海底地震計。  
(下) 海底地震計観測点によって決められた震源分布図 (期間：平成 29 年 11 月～平成 30 年 01 月、●：海底地震計位置、●：震源位置)。

## 2. 活断層システムの分布・形状と活動性



図 反射法地震探査の測線図。赤線は活断層の位置（中田・今泉編, 2002）を示す。



図 C 測線での観測風景。(上) 震源車 2 台による発振。(下) 敷設された独立型地震波形収録器。

### 3. 地震活動から見たプレート構造

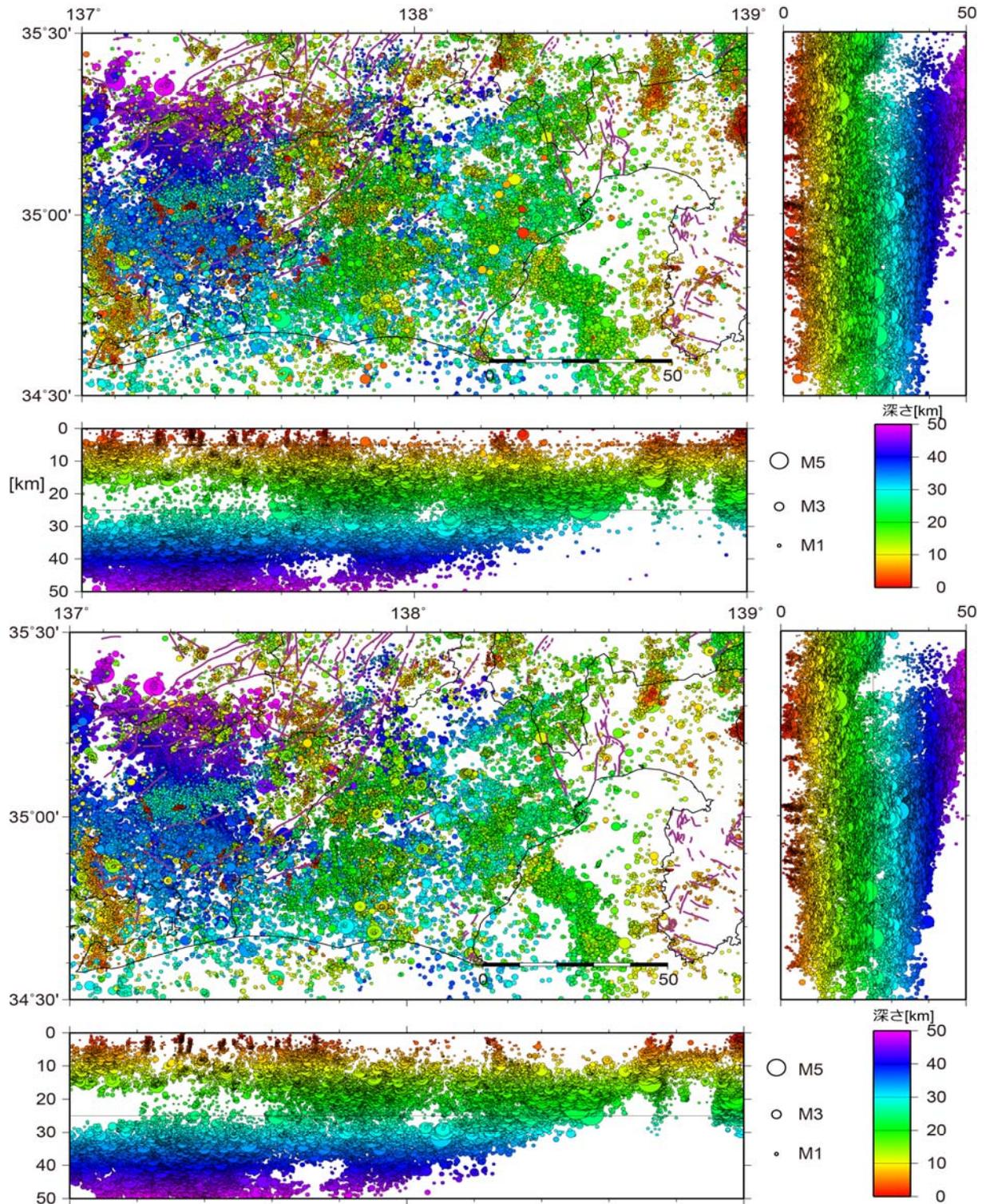


図 防災科研 Hi-net の自動決定を含む定常処理により決められた 2000 年 10 月～2017 年 12 月の M0.0 以上の震源分布 (上) と Double-Difference 法により再決定された震源分布 (下)。

### 3. 地震活動から見たプレート構造

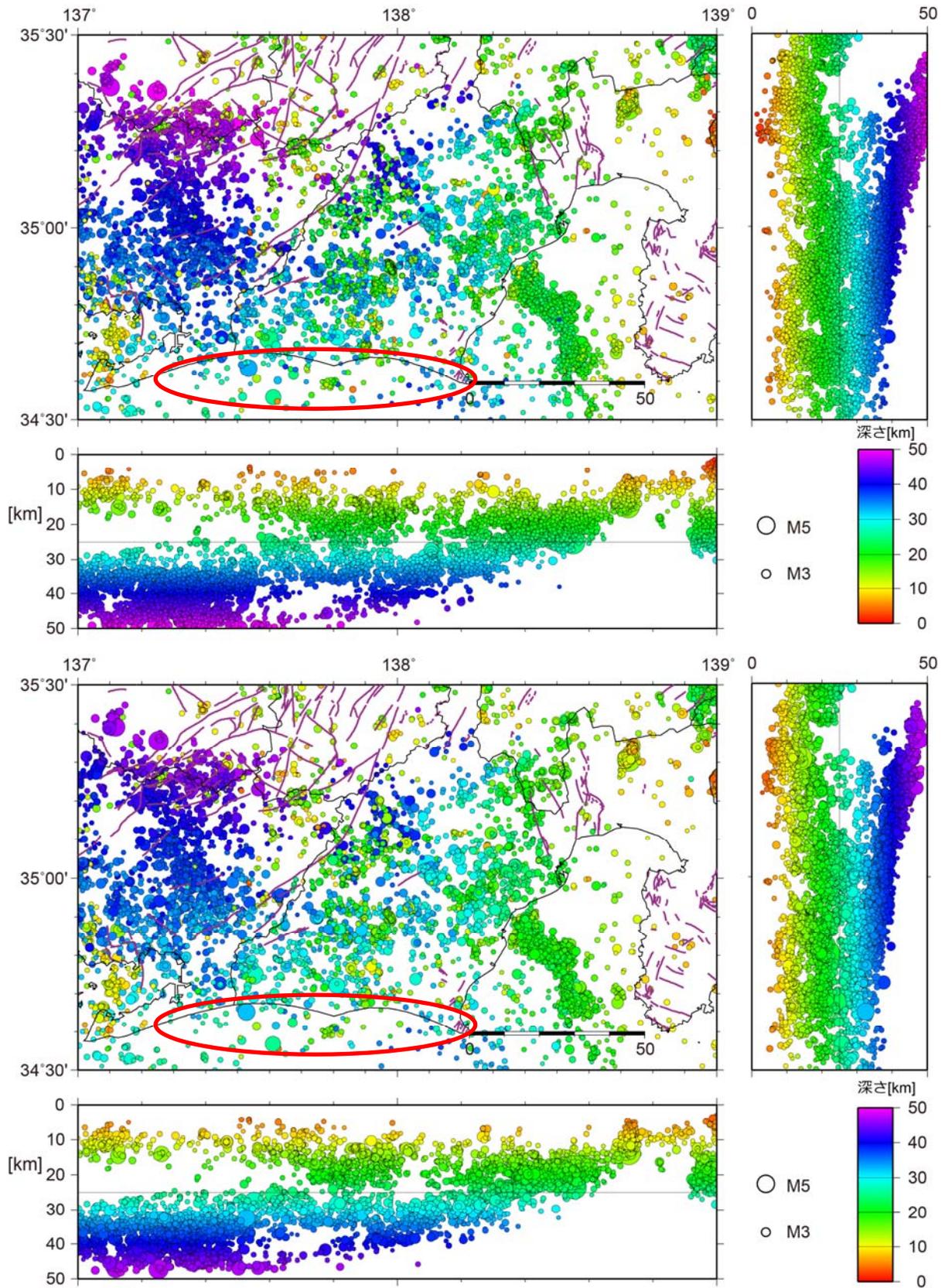


図 防災科研 Hi-net の定常処理により手動検測された 2000 年 10 月～2014 年 7 月までの M1.5 以上の震源分布（上）と三次元地震波速度構造を用いて再決定された震源分布（下）。赤楕円は再決定により陸に近づいた震源を示している。

## 4. 史料地震調査

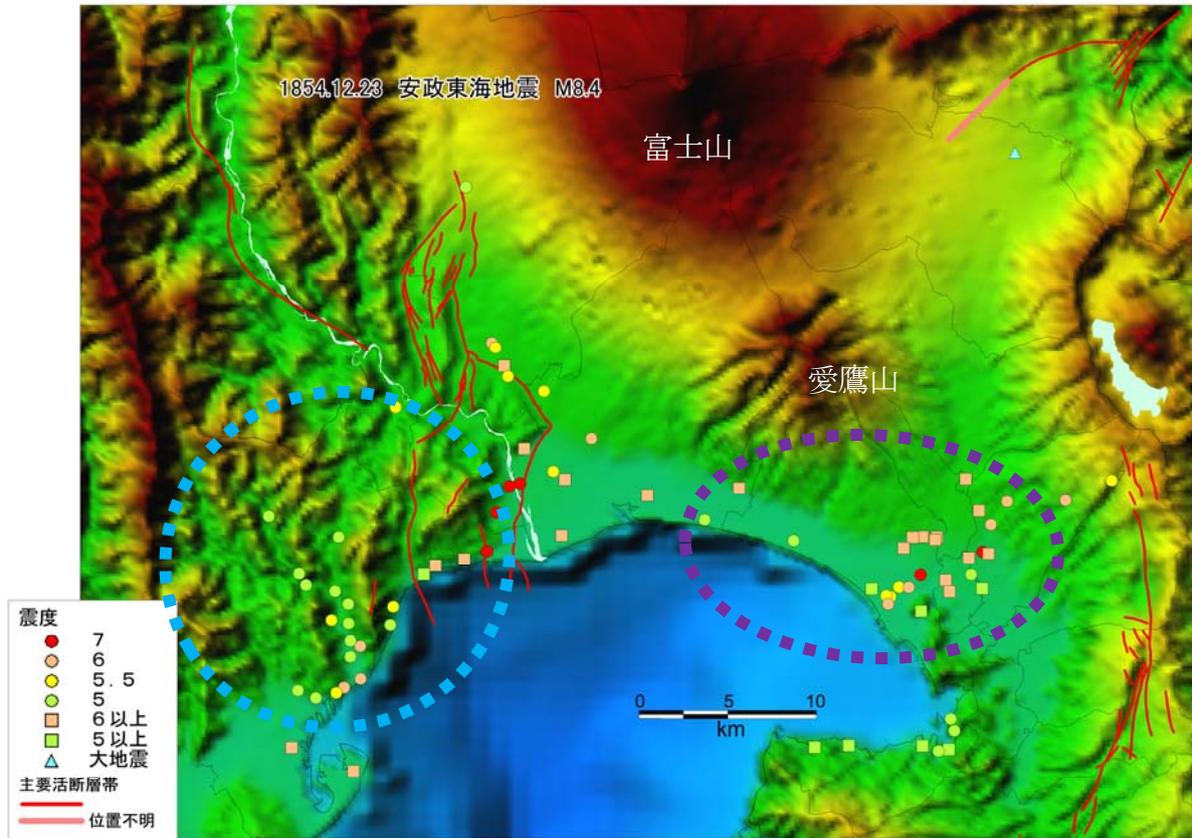


図 平成 29 年度に処理できた史料から推定された、安政東海地震の富士川河口断層帯周辺の震度分布。

まだ悉皆調査ではないので、各震度はより良い史料を重視して変化する可能性があるが、現時点でピンポイント判定できる地点を示してある。活断層は地震本部の評価トレース。

## 5. 強震動予測

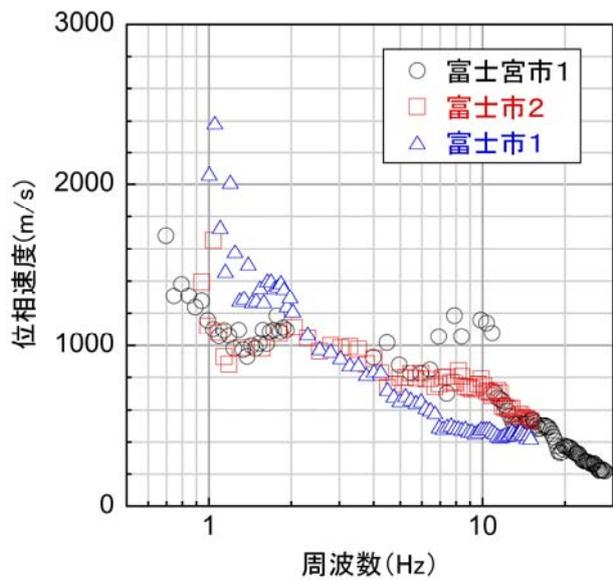


図 微動探査の結果。(上) 既往の微動探査および本研究で実施した微動探査の位置。(下) 本研究で得られたレイリー波の観測位相速度を示す。

## 6. 地域研究会



図 富士川河口断層帯地域研究会（静岡）準備会の開催。平成30年2月13日9団体39名出席。



## 目次

### グラビア

1. プロジェクトの概要.....	1
2. 業務の実施体制.....	3
3. 研究報告	
3.1 構造探査に基づく震源断層システムの解明.....	5
3.2 活断層システムの分布・形状と活動性.....	37
3.3 地震活動から見たプレート構造.....	45
3.4 史料地震調査.....	53
3.5 強震動予測.....	57
3.6 地域研究会.....	69
4. 全体成果概要.....	73
5. 成果の論文発表・口頭発表等.....	75
6. むすび.....	77
7. 全体会議・外部評価委員会	
7.1 活動報告.....	79
7.2 全体会議・外部評価委員会構成員名簿.....	82



## 1. プロジェクトの概要

富士川河口断層帯は、日本列島の陸域では最大クラスの平均変位速度が明らかにされている大規模な断層帯である。伊豆衝突帯の西縁に位置し、フィリピン海プレートのプレート境界断層の陸上延長に相当する。このことから、本断層帯は陸上の活断層としての重要性のみならず、南海トラフで発生する海溝型地震の長期評価にも影響を与える。さらに、本断層帯は人口稠密域かつ大規模経済圏を繋ぐ動脈上に位置していることから、本断層帯から発生する地震像を明らかにしていくことは社会的にも重要な課題である。本調査観測では、最も重要な課題である富士川河口断層帯とプレート境界断層との関係を明らかにするため、駿河トラフを横断する地殻構造探査を実施し、断層の基本的な特徴を明らかにする。陸域に分布する活断層において、高分解能反射法地震探査を実施し、既存データと合わせて活断層・震源断層システムを明らかにする。断層の先端部において、地形・地質調査を行い、第四紀後期の断層の活動性について明らかにする。海底地震観測を含めた地震観測データをもとに、フィリピン海プレート上面のプレート境界断層や富士川河口断層帯の形状や周辺の世界構造を明らかにし、断層モデルを構築する。これらの断層モデルと強震動観測による地下構造データから、強震動予測を行う。史料地震の検討を行い、強震動予測の知見も踏まえて、歴史時代に発生した地震像について検討を加える。また、富士川河口断層周辺に位置する身延断層についても、地形・地質調査を行い、断層の活動によって発生する地震像を明らかにし、長期評価に必要な資料を得る。これらの研究成果が、効果的に防災・減災に活用されることを目的として、地域研究会を開催する。以下の6つのサブテーマを設定する。

### ○ サブテーマ1：構造探査に基づく震源断層システムの解明

富士川河口断層帯とプレート境界断層の関係を明らかにするために、駿河トラフ横断海陸統合地殻構造探査を含め海陸での制御震源による地殻構造探査を行う。陸域においては、既存資料を活用しつつ反射法地震探査を行い震源断層から浅部にいたる断層システムの形状を明らかにする。

### ○ サブテーマ2：活断層システムの分布・形状と活動性

富士川河口断層帯および身延断層など駿河トラフ周辺の活断層・活構造について、これまでの研究成果を踏まえて、その分布・形状・活動性・平均変位速度を解明するとともに、特にプレート境界断層に関連する構造的位置づけを明確にすることを目標に、先行研究のレビューと新たに変動地形・地質調査および高分解能浅層反射法地震探査を主とした調査観測研究を実施する。

### ○ サブテーマ3：地震活動から見たプレート構造

Hi-netなどの定常観測点、本事業で実施する海底地震観測などの地震観測データをもとに、地震波トモグラフィによる速度構造解析、震源の高精度決定、繰り返し地震の抽出、発震機構解の検討、レシーバー関数解析などの総合的な検討により、より高い精度でフィリピン海プレート上面境界モデルを構築する。

### ○ サブテーマ4：史料地震調査

富士川河口断層帯とその周辺地域の史料を検討し、史料地震学的手法により、1854年安政東海地震の震源域の北端を詳細に検討することを含め、とくに近世を中心とした歴史時代における本地域周辺の地震像を解明する。

○ サブテーマ5：強震動予測

富士川河口断層帯周辺地域での既存の地下構造構築に関するデータ（物理探査、ボーリングデータ、地震観測記録など）を収集する。さらに、新たに強震観測や微動観測などを実施し、地下構造データの蓄積を図る。これらの地下構造データを統合し、強震動評価のための浅部および深部地盤の構造モデルの精度を向上させる。他のサブテーマの成果も含め震源断層モデルを構築し、対象地域での強震動予測の高度化を目指す。

○ サブテーマ6：地域研究会

理工学的な調査の成果を地域の防災施策に根付かせるために、特に地方自治体・国の関係機関・ライフライン事業者などを対象として、研究者が参加する地域研究会を開催する。ここでは、本調査観測に対するニーズを把握した上で、研究成果を地域防災に資する取り組みを行う。

## 2. 業務の実施体制

この重点的調査観測は、東京大学地震研究所、東京海洋大学、東海大学、防災科学技術研究所、地震予知総合研究振興会、東京工業大学、静岡大学の7機関が体制を構築し、関係する研究機関（者）の参加・協力を得て実施する。調査観測代表機関は、東京大学地震研究所（研究代表者：佐藤比呂志）とする。

調査観測項目	担当機関	担当者
研究代表者	国立大学法人東京大学地震研究所	佐藤 比呂志
1. 構造探査に基づく震源断層システムの解明	国立大学法人東京大学地震研究所 同 同 国立大学法人東京海洋大学 同 同 同 学校法人東海大学	佐藤 比呂志 篠原 雅尚 石山 達也 鶴我 佳代子 中東 和夫 林 敏史 山中 順子 馬場 久紀
2. 活断層システムの分布・形状と活動性	国立大学法人東京大学地震研究所 同	石山 達也 佐藤 比呂志
3. 地震活動から見たプレート構造	国立研究開発法人防災科学技術研究所 同 同 同	松原 誠 汐見 勝彦 木村 武志 ヤノトモコエリザベス
4. 史料地震調査	公益財団法人地震予知総合研究振興会	松浦 律子
5. 強震動予測	国立大学法人東京工業大学 同	山中 浩明 地元 孝輔
6. 地域研究会	国立大学法人東京大学地震研究所 国立大学法人静岡大学	佐藤 比呂志 岩田 孝仁

また、上記7機関により構成する「富士川河口断層帯における重点的な調査観測 全体会議」（事務局は東京大学地震研究所）を設置し、サブテーマ間の連携を図るとともに、外部有識者からなる外部評価委員会を設置し、研究計画・実施状況・成果についての報告に基づき、事業内容について助言を得る。

・全体会議

国立大学法人東京大学地震研究所 佐藤 比呂志 (研究代表者、サブテーマ1・6代表)

国立大学法人東京海洋大学 鶴我 佳代子 (サブテーマ1代表)

学校法人東海大学 馬場 久紀 (サブテーマ1代表)

国立大学法人東京大学地震研究所 石山 達也 (サブテーマ2代表)

国立研究開発法人防災科学技術研究所 松原 誠 (サブテーマ3代表)

公益財団法人地震予知総合研究振興会 松浦 律子 (サブテーマ4代表)

国立大学法人東京工業大学 山中 浩明 (サブテーマ5代表)

国立大学法人静岡大学 岩田 孝仁 (サブテーマ6代表)

・外部評価委員会

国立大学法人東北大学 松澤 暢 (委員長)

国立大学法人千葉大学 宮内 崇裕 (委員)

公立大学法人横浜市立大学 吉本 和生 (委員)

国立大学法人京都大学防災研究所 岩田 知孝 (委員)

国土交通省国土地理院 宇根 寛 (委員)

### 3. 研究報告

#### 3. 1 構造探査に基づく震源断層システムの解明

##### (1) 業務の内容

(a) 業務題目 構造探査に基づく震源断層システムの解明

##### (b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立大学法人 東京大学地震研究所	教授	佐藤 比呂志
同	教授	篠原 雅尚
同	助教	石山 達也
国立大学法人 東京海洋大学	准教授	鶴我 佳代子
同	教授	林 敏史
同	准教授	中東 和男
同	技術補佐員	山中 順子
学校法人 東海大学	准教授	馬場 久紀
公益財団法人 地震予知総合研究振興会	副主席主任研究員	伊藤 谷生

##### (c) 業務の目的

富士川河口断層帯とプレート境界断層の関係を明らかにするために、駿河トラフ横断海陸統合地殻構造探査を含め海陸での制御震源による地殻構造探査を行う。陸域においては、既存資料を活用しつつ反射法地震探査を行い震源断層から浅部にいたる断層システムの形状を明らかにする。

##### (d) 3 ヶ年の年次実施業務の要約

###### 1) 平成29年度：

駿河トラフ周辺の地質構造を明らかにするために、東京海洋大学が保有するマルチチャンネル反射法地震探査データのうち、本事業では 105.4 km について統合的な処理を行った。とくに測線交点での速度構造の連続性に留意し多重反射抑制処理により、地質構造の解明に繋がる反射法地震探査断面を得た。これらの探査時に東海大学による海底地震計観測で取得されたデータをもとに、屈折法・広角反射法による統合的構造解析を実施した。また駿河湾北部で海底自然地震観測を行った。

###### 2) 平成30年度：

富士川河口断層帯南方延長部の震源断層の形状を明らかにするために、駿河トラフを横断する約 60 km の区間で反射法ならびに屈折法による海陸統合地殻構造探査を実施する。海域では東京海洋大学の神鷹丸に搭載した 1950 cu inch のエアガンで発震し、東海大が設置する海底地震計と東京大学が陸上に設置した受振器で記録する。また陸上では東京大学が地下発破などを用いた高エネルギー発震を行う。得られた海陸統合データ等から反射断面を作成する。東海大学は、4 台の海底地震計を用いて駿河湾北部で自然地震を継続する。

### 3) 平成31年度：

富士川河口断層帯を横断する地殻構造探査を実施し、本プロジェクトで取得されたマルチチャンネル反射法地震探査の結果や既存の研究成果を含め、浅部から深部にわたる断層形状を明らかにする。サブテーマ3の自然地震データ解析にもとづく、プレート境界面の形状やトモグラフィによる速度構造などの資料と、制御震源による構造探査データ、サブテーマ2の変動地形・地質データなどを統合して、富士山西麓から焼津沖にいたるプレート境界および富士川河口断層帯、身延断層の震源断層の形状モデルを構築する。

## (2) 平成29年度の成果

### (2-1) 海域地下構造探査

鶴我佳代子・林 敏史・中東和男・山中順子（東京海洋大学）

#### (a) 業務の要約

駿河トラフ周辺の地質構造を明らかにするために、東京海洋大が保有するマルチチャンネル反射法地震探査データのうち、105.4 km について統合処理を行った。測線交点での速度構造の連続性に留意し多重反射抑制処理により、地質構造の解明に繋がる反射法地震探査断面を得た。また同一とみなせる測線上に存在する互いに異なる発震点と受振記録を有する測線群のデータセットの併合処理をおこない、地下構造の空間解像度を向上させた。その結果、特に、駿河湾北部の東西測線（H29-L02；図1）では伊豆弧側のプレートがユーラシアプレートの下へ沈み込む上面と見られる明瞭な連続的な反射面が深さ2～3 km 程度まで確認された。この測線は、平成30年度に実施予定の海域統合測線と斜交するものであるため、得られた知見は今後の探査の大きな基礎となった。

#### (b) 業務の成果

##### 1) 調査地域の地質概要と調査測線

駿河湾は陸/海のプレート境界である南海トラフの東端に位置し、その地質構造は南北に伸びる駿河トラフを境に東側の伊豆半島と西側の静岡市側で大きく異なる（岡村・他、1999）。伊豆半島側は主に火成岩類からなる基盤が西側の駿河トラフ底に向かって傾斜し、その上面には100～300万年前に形成されたとされる浸食平坦面と第四紀地層が発達し覆っている。静岡沖斜面は第四系からなる背斜構造を有する石花海の海盆とその隆起帯に区分され、駿河湾に下る急斜面は著しく変形した堆積岩からなるとされている。

駿河湾での自然地震活動は湾南部の石花海～石廊崎のエリアにほぼ限られているが（馬場・他、本報告書）、駿河湾は南海トラフの東端域であり東海地震の震源想定域とされているエリアであることから、地震活動や地殻変動など陸上での重点観測網の整備がなされてきた。しかしその一方で、海域の地下構造調査は未だ十分ではなく、駿河トラフ全体のプレートの沈み込み構造を俯瞰できるものではないため、正確な強震動予測など防災や減災に有効な地殻構造の情報の取得が急務である。

本業務では、東京海洋大学が保有する駿河湾での地震探査データ（Tsuruga et al., 2017；鶴我・他, 2018 予定）を統合的に処理した。図 1 に、本業務で統合的データ処理を実施した地震探査測線（群）（以降、複数の探査測線が重なる場合は「測線群」と称す）の配置図を示す。本業務に用いた地震探査測線は、伊豆半島西岸沖 1 km 程度の水深 200 m 前後の海域を南北にはしる反射法測線群 H28-L01、本州を含む陸側のユーラシアプレート上を石花海付近～静岡市沖に南西-北東方向にはしる反射法測線 H28-L04、駿河湾ほぼ中央の水深約 1600 m～500 m の海域を南北方向にはしる反射法測線群 H29-L01、駿河湾北部由比沖の反射法測線群 H29-L02、および H28-L03 測線の南方にほぼ平行な反射法測線 H29-L04 である。上記期間中には、東海大学が H28-L03 測線および H29-L01 測線群沿いに勝島社製自己浮上式海底地震計を各々 4 台および 6 台臨時設置した（図 1 中黄色○印）。



図 1 統合的データ処理を実施した駿河湾内の地震探査測線（群）の配置図。  
地震探査およびデータ取得は東京海洋大学により実施された。白色線は本業務で使用した調査測線を表す。参考として、図中桃色線は反射法測線H28-L03および屈折法測線H28-L02 (Tsuruga et al. (2017))、黄丸印は期間中に東海大学が臨時設置した海底地震計の位置を示す。

## 2) データ概要

本事業では、東京海洋大学が保有する海域マルチチャンネル反射法地震探査データを活用し、駿河湾における海底地殻構造を俯瞰できるように統一的な解析手法による統合処理・解析を実施した。データは、同大学練習船「神鷹丸」（総トン数 986トン、全長 65 m、幅12.10 m）の後部甲板および室内観測室に設置された可搬型海域 2 次元地震探

査システムにより、独自に取得したものである (Tsuruga et al., 2017 ; 鶴我・他, 2018 予定)。マルチチャンネル反射法地震探査 (以下、反射法地震探査と称す) のデータ取得に関する 2 カ年度のパラメーターを表 1 に示す。地震探査システムは、10 フィートコンテナ規格の格納庫に入った震源部、コンプレッサー、受振アレイ部、および PC 等の制御・収録システムにより構成される。震源は、H28 年度探査では Bolt 社製エアガン 1900LL (260 cu.in) 2 基で構成される Twin-Gun (総容量 520 cu.in/式) を 2 式擁し左右両舷から 1 式ずつ曳航する方法で発震し、H29 年度探査では Bolt 社製エアガン 1500LL (350 cu.in) 3 基で構成される Tri-Gun を 1 式右舷曳航により発震した。海上受振アレイは、Hydroscience 社製デジタルストリーマーカーケーブル (長さ 600m、センサー間隔 6.25 m、96 チャンネル) と最後尾の測位用テールブイで構成される。反射法地震探査では、船速約 3.5 ノットで航行し、発震点間隔は 50 m であった。必要に応じて同じ測線 (延長) 上での複数の探査が実施された。

表 1 東京海洋大学による H28 年度および H29 年度の反射法地震探査のデータ取得に関するパラメーター。

		H28 年度	H29 年度
収録	記録時間	8 sec	
	サンプルレート	1 msec	
発震系	震源タイプ	BOLT Air Gun (1900LL Twin-Gun)	BOLT Air Gun (1500LL Tri-Gun)
	ガン容量	260 in <sup>3</sup> x 2 基 x 2 式	350 in <sup>3</sup> x 3 基 x 1 式
	発震圧力	2000 psi	
	発震深度 (標準)	6 m	
	発震点間隔 (標準)	50 m	
受振系	ストリーマーカーケーブル	Hydroscience 社製	
	チャンネル数・間隔	96 ch ・ 6.25 m	
	ケーブル長	600 m	
	ニアオフセット (標準)	32.1 m	70.4 m
	ケーブル深度 (標準)	6 m	

### 3) 発震記録

図 2 に発震記録、および図 3 に周波数成分解析の 1 例を示す。取得された反射法データには次のような特徴が見られた： (i) 平成 28 年度取得データにおいて、直達波に後続して、バブル成分がニアオフセットで強振幅の繰り返し波として確認された。(ii) 海底面多重反射波が顕著である。(iii) 低周波数の波浪ノイズが見られる。(iv) 周波数成分解析の図面から、3Hz 以下はほぼ波浪ノイズだけであり、反射波は確認できない。(v) 周波数成分解析の図面から、有効周波数は最大 300 Hz 程度であることが分かる。これらの特徴を考慮して以下のデータ処理・解析を行った。

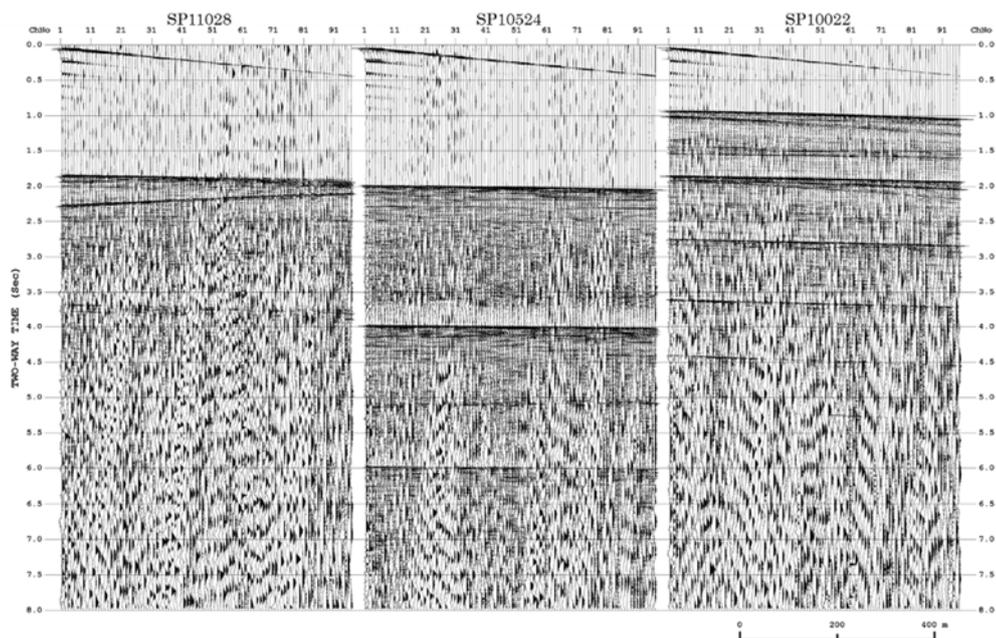


図2 発震記録の例。測線 H29-L01 における異なる3つの発震（ショット番号 11028、10524 および 10022）による8秒間の記録。

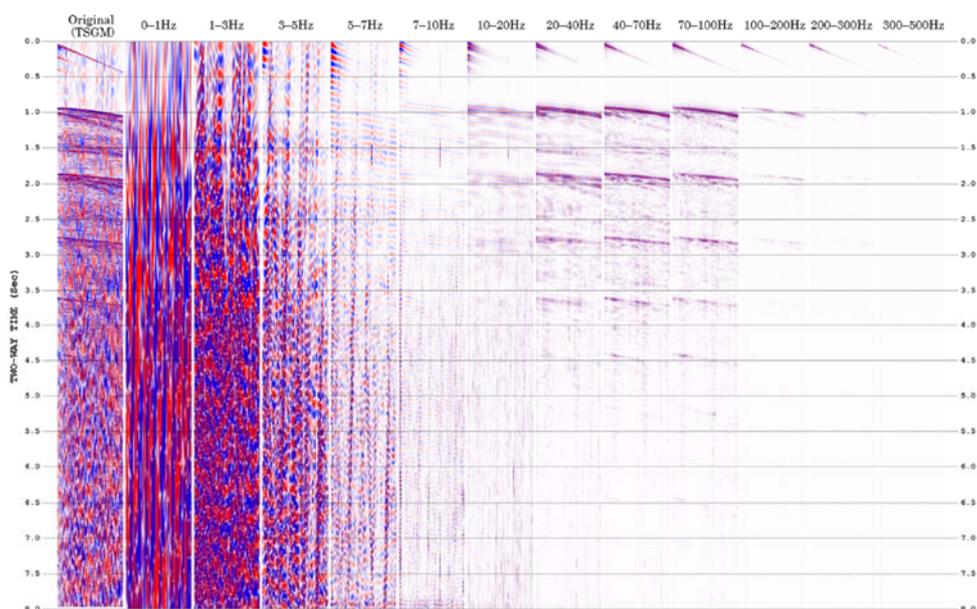


図3 周波数成分解析の例。測線 H29-L01 における発震記録（ショット番号 10022；図2中の右端の記録に対応）の場合。左からオリジナルの発震記録、バンドパス帯域 0-1 Hz、1-3 Hz、3-5 Hz、5-7 Hz、7-10 Hz、10-20 Hz、20-40 Hz、40-70 Hz、70-100 Hz、100-200 Hz、200-300 Hz、および 300-500 Hz の波形記録を表す。

#### 4)データ処理

本事業においてデータ処理・解析を実施した測線の概要は表2のとおりである。

共通反射点（CMP）重合処理および重合前時間マイグレーション（PSTM）処理によって地震断面図を求める処理・解析フローを図4に示す。本処理・解析では処理全般に JGI

の開発したソフトウェア SuperX を用いた。Bolt 社製エアガン Twin-Gun (H28 年度使用) および Bolt 社製 Tri-Gun(H29 年度使用)のそれぞれのエアガン震源の合成ガン波形の作成のため、PGS 社製 Nucleaus+および Oakwood Computing Associates 社製 Gundulf™を用いた。PSTM 処理には Techco 社製 SUMMIG を使用した。

本データ処理にあたっては地質構造の解明に繋がる反射法地震探査断面を得るため、測線交点での速度構造の連続性に留意し多重反射抑制処理による明瞭な地震断面図の取得を目指した。重合処理では重合前記録の品質向上を目的としてノイズ抑制処理(図4中処理フロー(8) Pre-Stack Noise Attenuation)を適用し、さらに多重反射波の抑制処理(処理フロー(9)Multiple Attenuation)として JGI の開発した海水面を介在する長周期多重反射波を抑制する SRME 法を用いて海水内で発生する繰り返し反射波(多重反射波)を抑制する処理を適用した。また、測線下の地下構造の空間解像度を向上させるため、航行方向の違いにより発震点-受振点の配置条件は異なるものの同一とみなせる測線上にある互いに異なる発震点と受振記録を有する測線群のデータセット(H28-L01-01 と H28-L01-02 の測線群、H29-L01-01 と H29-L01-02 の測線群、および H29-L02-01 と H29-L02-01 の測線群)においては、個別に海底面ミュート(処理フロー(11)Seafloor Mute)処理までを実施した後、1本の測線とみなすため CMP ギャザー上で併合処理をおこなった(処理フロー(12)Line Merge)。測線群 H29-L02 の併合処理では、測線 H29-L02-01 と測線 H29-L02-02 の水平方向への位置のズレが最大 50 m 程度生じ海底面時間にズレが生じたため、海底面を共通とみなし測線 H29-L02-01 の記録に時間補正を与えた。速度解析(処理フロー(15)Velocity Analysis)では、連続性を考慮し、定速度走査法(Constant Velocity Scan)を用いて 500 m 毎に速度解析を行った。さらに図4に示す処理フロー(1)から(18)の処理に続いて重合前時間マイグレーション(Pre-Stack Time Migration=PSTM)処理を行った。この処理は、共通オフセット領域におけるキルヒホッフ積分法マイグレーションによって重合前データの見かけの反射点位置を真の位置に移動するとともに、回折波を回折点に復元する解析手法である(処理フロー(20)Pre-Stack Time Migration)。これにより、最終結果として重合前時間マイグレーション時間断面図を取得した。さらに PSTM に適した速度プロファイルを用い、深度変換断面図も取得した。

表2 本事業で反射法データの統合解析を実施した測線の概要。

測線名	測線方向	発震点数	測線長(km)
H28-L01-01	S→N	132	6.550
H28-L01-02	N→S	518	25.850
H28-L04	SW→NE	651	32.500
H29-L01-01	SW→NE	525	26.200
H29-L01-02	NE→SW	369	18.400
H29-L02-01	E→W	245	12.200
H29-L02-02	W→E	245	12.200
H29-L04	W→E	171	8.500

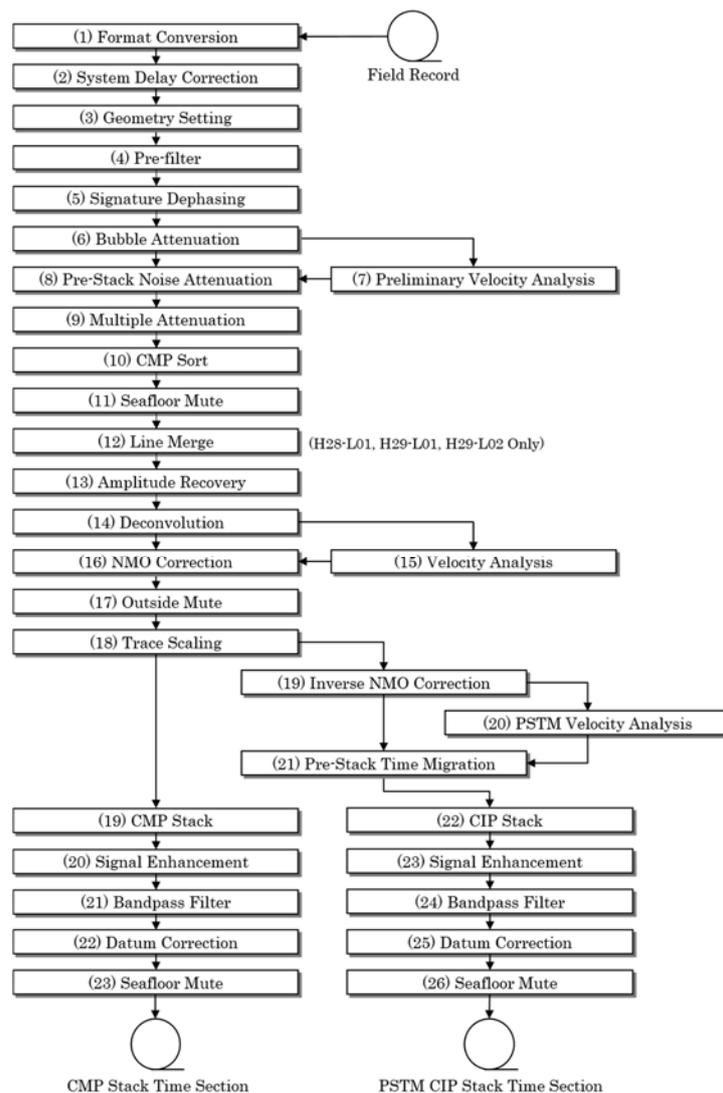


図4 海域マルチチャンネル反射法データの処理・解析フロー。

共通反射点（CMP）重合処理（フローの左分岐の処理）および重合前時間マイグレーション（PSTM）処理（フローの右分岐の処理）によって地震断面図を求める。処理・解析は株式会社地球科学総合研究所による。

#### 5) 重合前時間マイグレーション（PSTM）処理による時間および深度断面図

重合前時間マイグレーション（Pre-Stack Time Migration, PSTM）処理解析の結果を示す。図5～図7は、H28年度に実施した測線群 H28-L01、測線 H28-L03（Tsuruga et al., 2017 を改変）、および測線 H28-L04 での反射法データの PSTM 処理による時間断面図、速度プロファイル、および深度変換断面図をそれぞれに示す。参考として、東京海洋大学の経費によって H28 年度に JGI による処理・解析が実施された測線 H28-L03 の結果を一部改変し転載した。図8～図10は、H29年度に東京海洋大学独自の探査によって取得したデータについて、本事業経費で PSTM 処理解析を行った結果を表している。それぞれ、PSTM 処理による時間断面図、速度プロファイル、および深度変換断面図である。なお解釈に資する範囲は、使用したケーブル長、海域の水深や海底地形の複雑さなど様々な要因により決まるため、最終的に往復走時で2秒程度、深さ2～3 km程度までが

有効解析精度を有する範囲と考えられる。特に本探査におけるケーブル長の仕様から、急峻な海底地形下の解析精度が十分ではなく、今後取得される他のデータからの知見を活用し十分な議論を行う必要があることは留意されたい。

駿河湾東部の測線群 H28-L01 (図 7 上段) では最上部を P 波速度 (root-mean-square(RMS)速度で表示) が 1.5 km/s に近い厚さ 100~200 m 程度の未固結に近い堆積層が覆っており、その下部には伊豆半島側の陸上地形との相関をもつ P 波速度 1.7 km/s 前後の堆積岩層、測線北部では海底下 700 m 前後より深部の地層境界と思われる連続した反射構造が認められた。一方、対岸の駿河湾西部の石花海堆を縦断する測線 H28-L04 (図 7 下段) では、表層は厚さ数 10 m の低速度 ( $V_p < 1.7$  km/s) の堆積物が下部の起伏の激しい堆積岩層 ( $V_p < 1.9$  km/s) を薄く覆う。測線南部では海底下 800 m 前後に明瞭な反射相が連続し、中部・北部に向かって浅くなる。また測線上には海底に至る食い違いが認められた。駿河湾を東西に横断する 3 つの測線のうち H28-L03 (図 7 中段) や H29-L04 (図 10 下段) では、中央を走る駿河トラフを境に東西で反射構造が明瞭に異なる。海底谷の東側では、表層は伊豆半島側から連続する堆積層が覆うが、海底谷付近でそれらは削剥され下部の堆積岩層が露出する。一方西側は、陸上から続く段丘面と急峻な段丘崖、測線 H28-L03 では海底谷にスラスト状の食い違いが見られる。駿河湾北部を東西に横断する測線群 H29-L02 (図 10 中段) では、伊豆弧側のプレートがユーラシアプレートの下へ沈み込む上面と見られる明瞭な連続的な反射面として深さ 2~3 km 程度まで確認された。最上部層は、非常に速度の遅い ( $V_p < 1.6$  km/s) 未固結な堆積物で覆われ、測線西側で厚さ 800 m 程度、測線東側ではほぼなくなる。測線西側の富士川河口の沖に位置する場所では、海底下 800 m 以深に鉛直方向の反射面の擾乱が見られ、陸上構造との関係の検討を要する。また、測線東端には海底付近から西方に 10 度前後の傾斜をもつ明瞭な反射面が連続し、沈み込む伊豆弧の堆積岩上面である可能性が考えられるが、さらに広域および深部構造とのつながりを検討する必要がある。

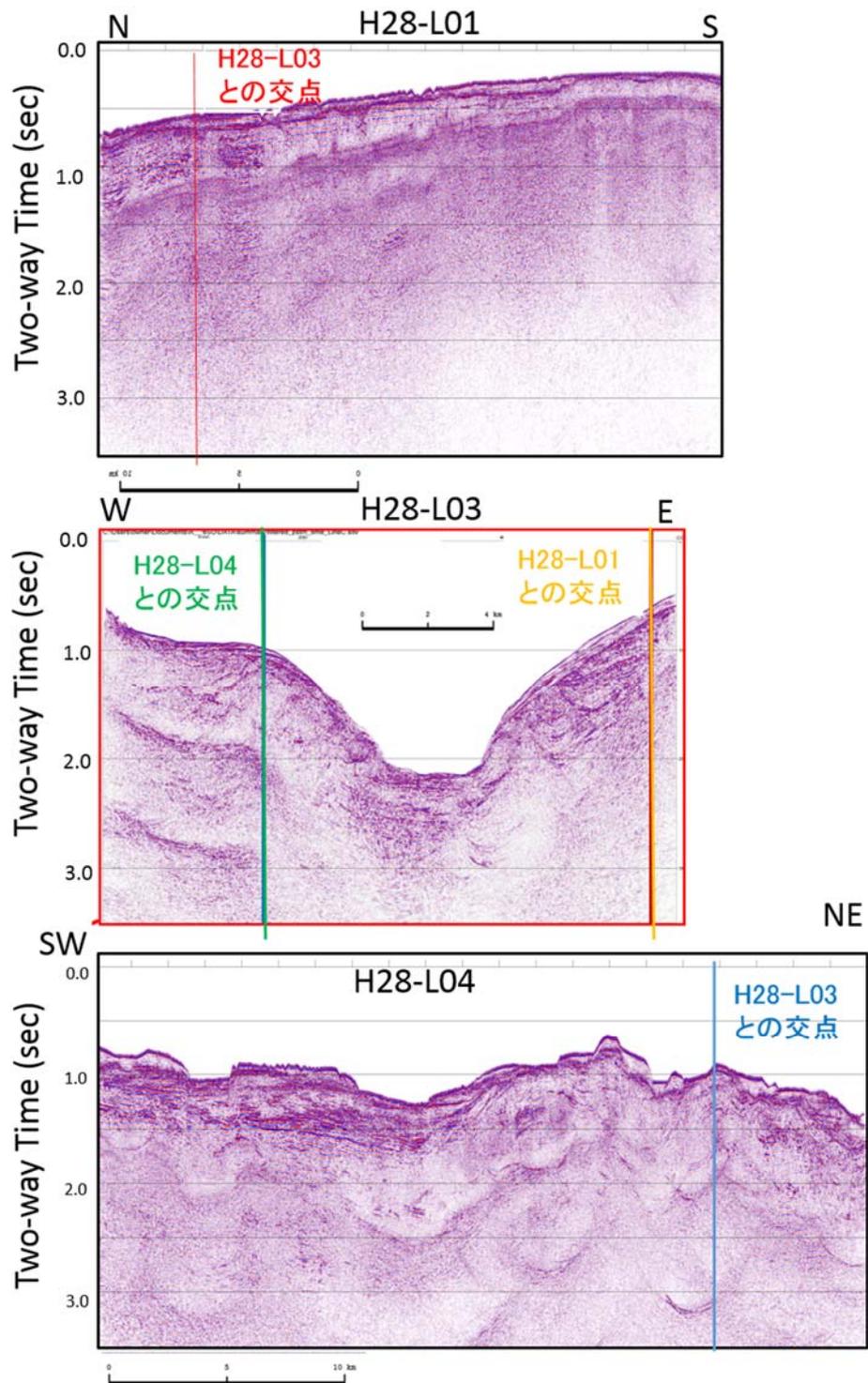


図5 PSTM 処理による時間断面図 (H28 年度)。

(上段) 測線群 H28-L01、(中段) 測線 H28-L03、(下段) 測線 H28-L04。測線 H28-L03 結果は Tsuruga et al. (2017) を改変。縦軸は往復走時 (Two-way Time) を表す。海底から 1 秒程度までの範囲は十分な解析精度を有すると考えられる。

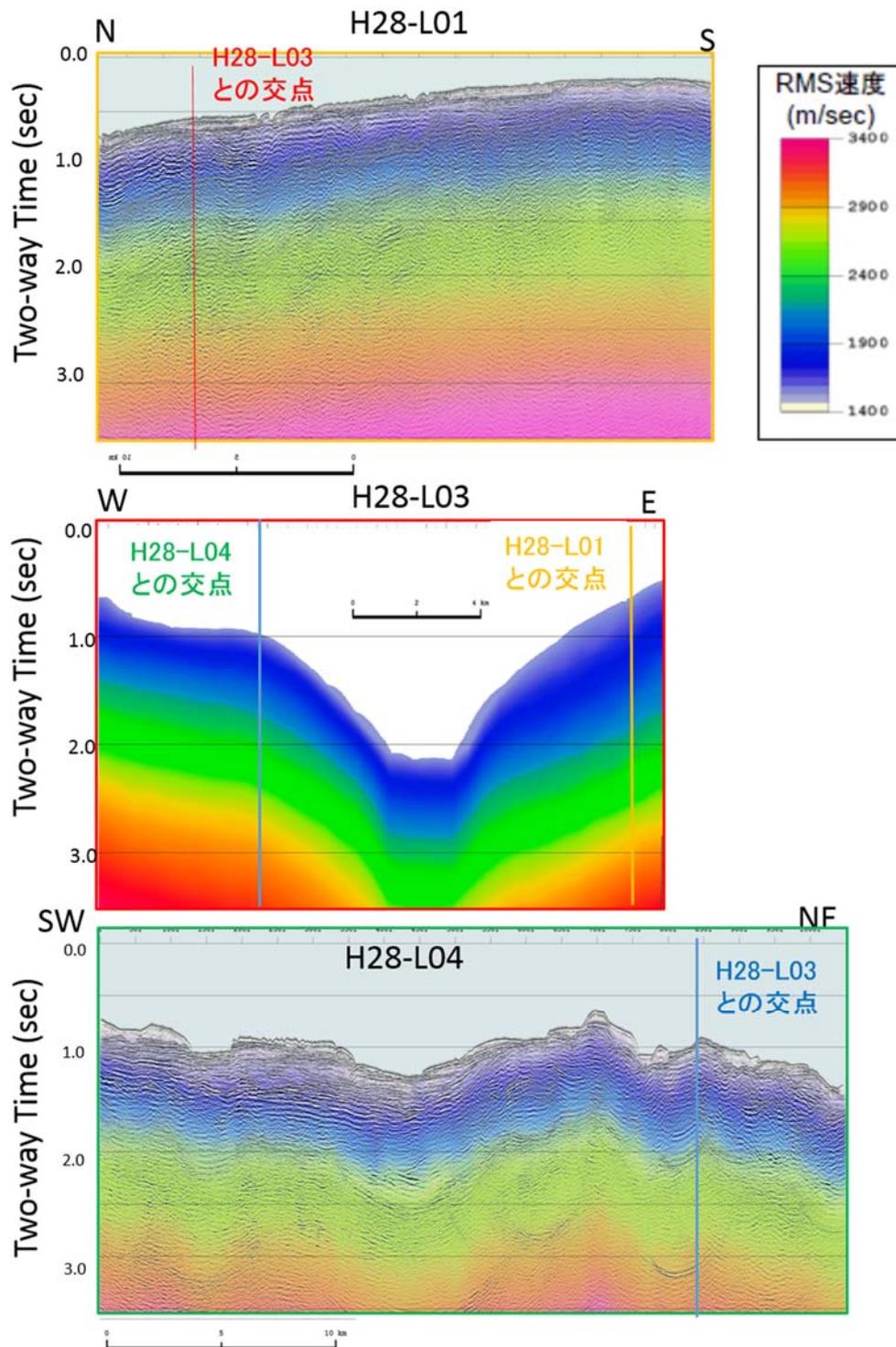


図6 PSTM 処理に適用した P 波速度プロファイル図 (H28 年度)。

(上段) 測線群 H28-L01、(中段) 測線 H28-L03、(下段) 測線 H28-L04。測線 H28-L03 結果は Tsuruga et al. (2017) を改変。縦軸は往復走時 (Two-way Time)、カラーバーは P 波の Root-Squared-Mean (RMS) 速度を表す。海底から 1 秒程度までの範囲は十分な解析精度を有すると考えられる。

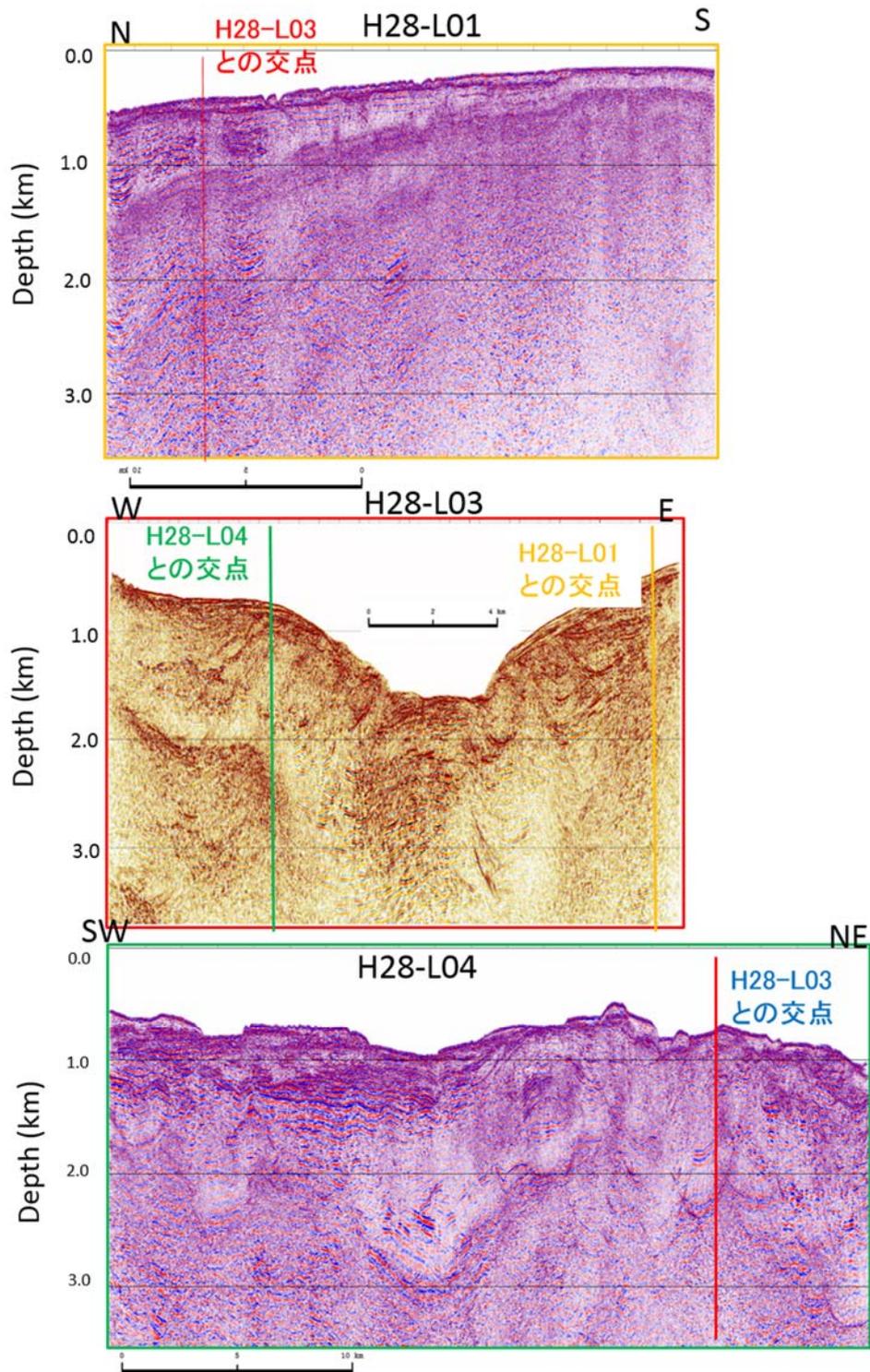


図7 PSTM処理による深度変換断面図（H28年度）。

（上段）測線群 H28-L01、（中段）測線 H28-L03、（下段）測線 H28-L04。測線 H28-L03 結果は Tsuruga et al. (2017) を改変。深さ 2~3 km 程度までの範囲は十分な解析精度を有すると考えられる。

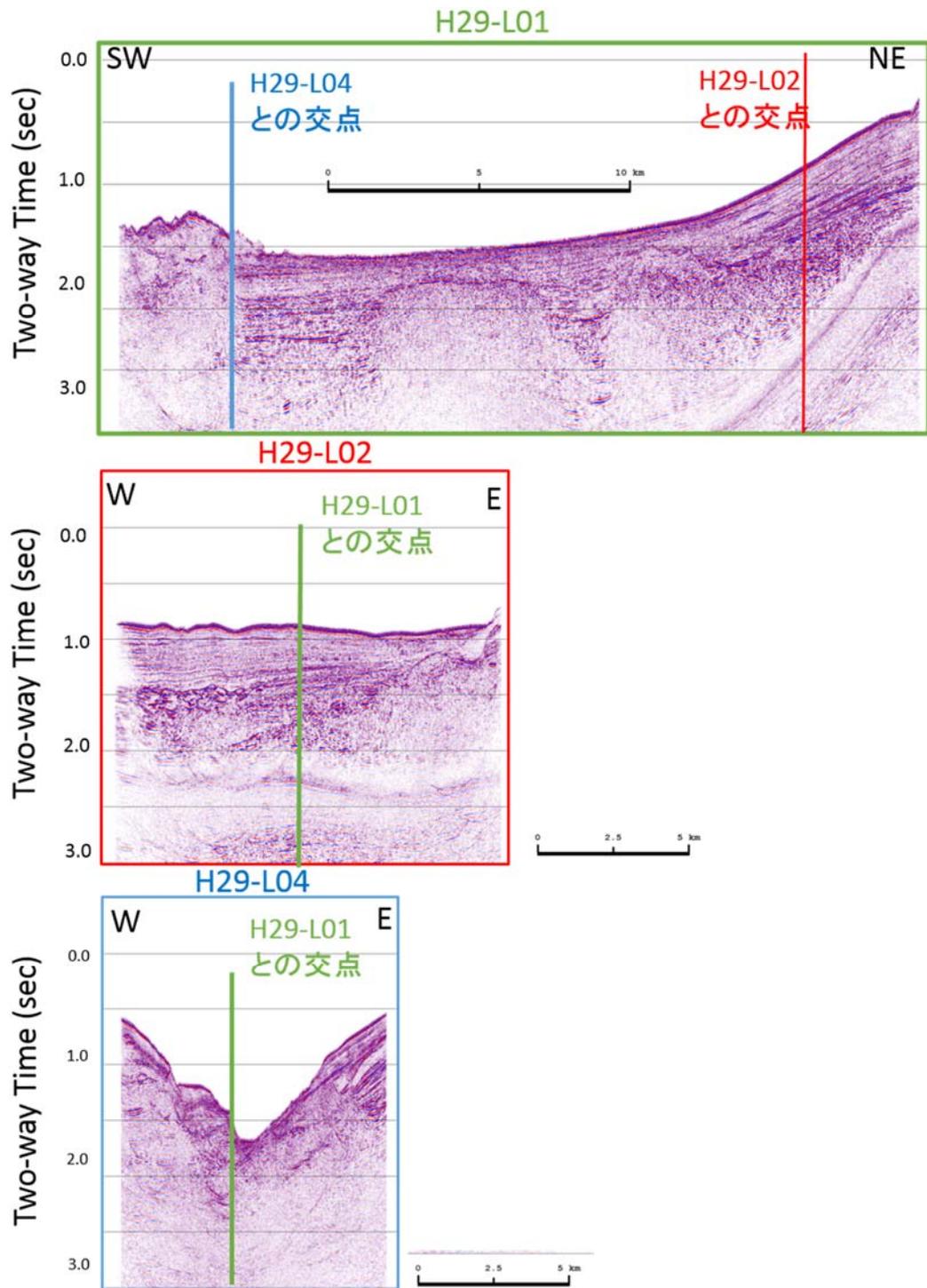


図8 PSTM 処理による時間断面図 (H29 年度)。

(上段) 測線群 H29-L01、(中段) 測線群 H29-L02、(下段) 測線 H29-L04。縦軸は往復走時 (Two-way Time) を表す。海底から 1 秒程度までの範囲は十分な解析精度を有すると考えられる。

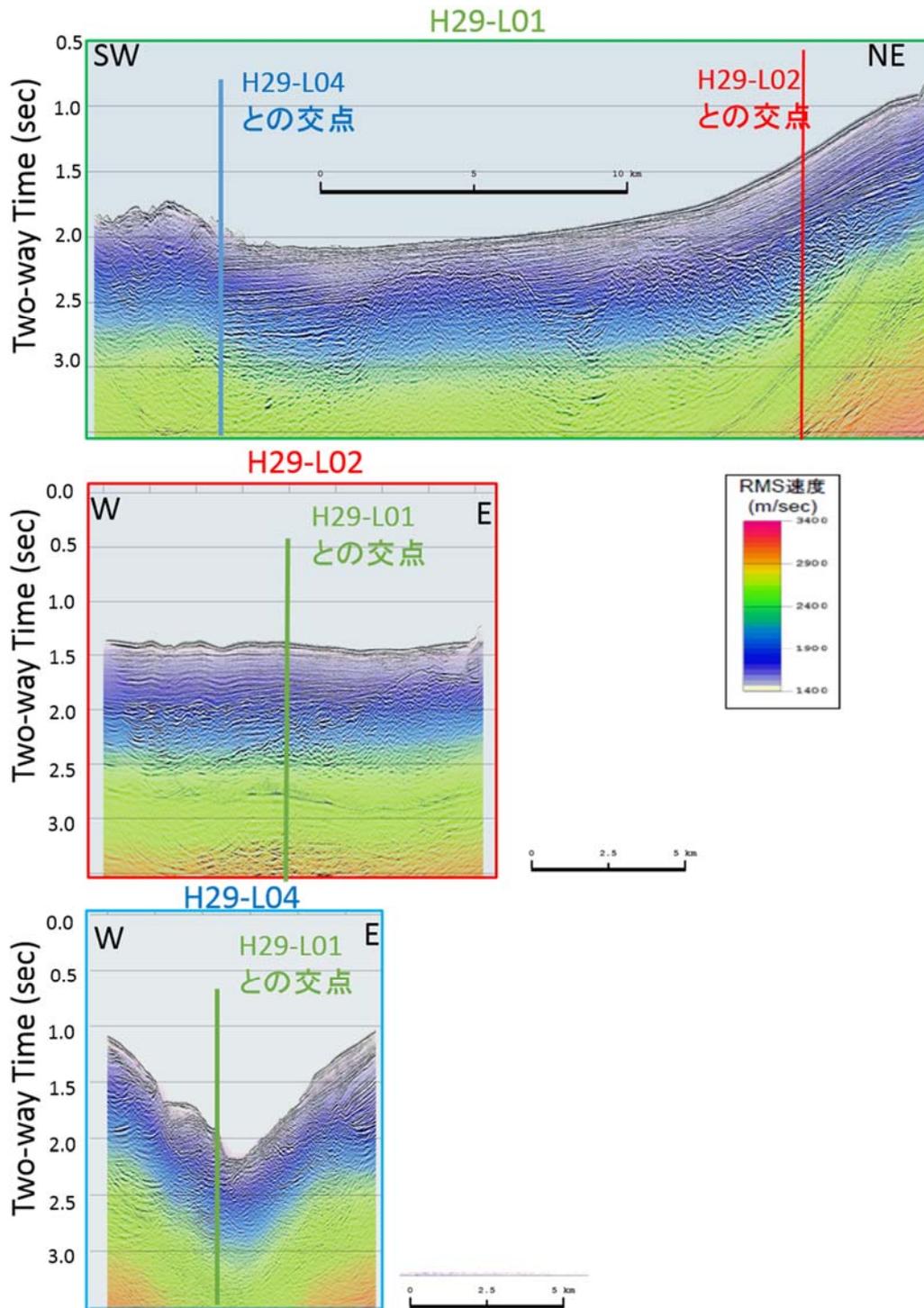


図9 PSTM 処理に適用した P 波速度プロフィール図 (H29 年度)。

上段) 測線群 H29-L01、中段) 測線群 H29-L02、下段) 測線 H29-L04。縦軸は往復走時 (Two-way Time)、カラーバーは P 波の Root-Squared-Mean (RMS) 速度を表す。海底から 1 秒程度までの範囲は十分な解析精度を有すると考えられる。

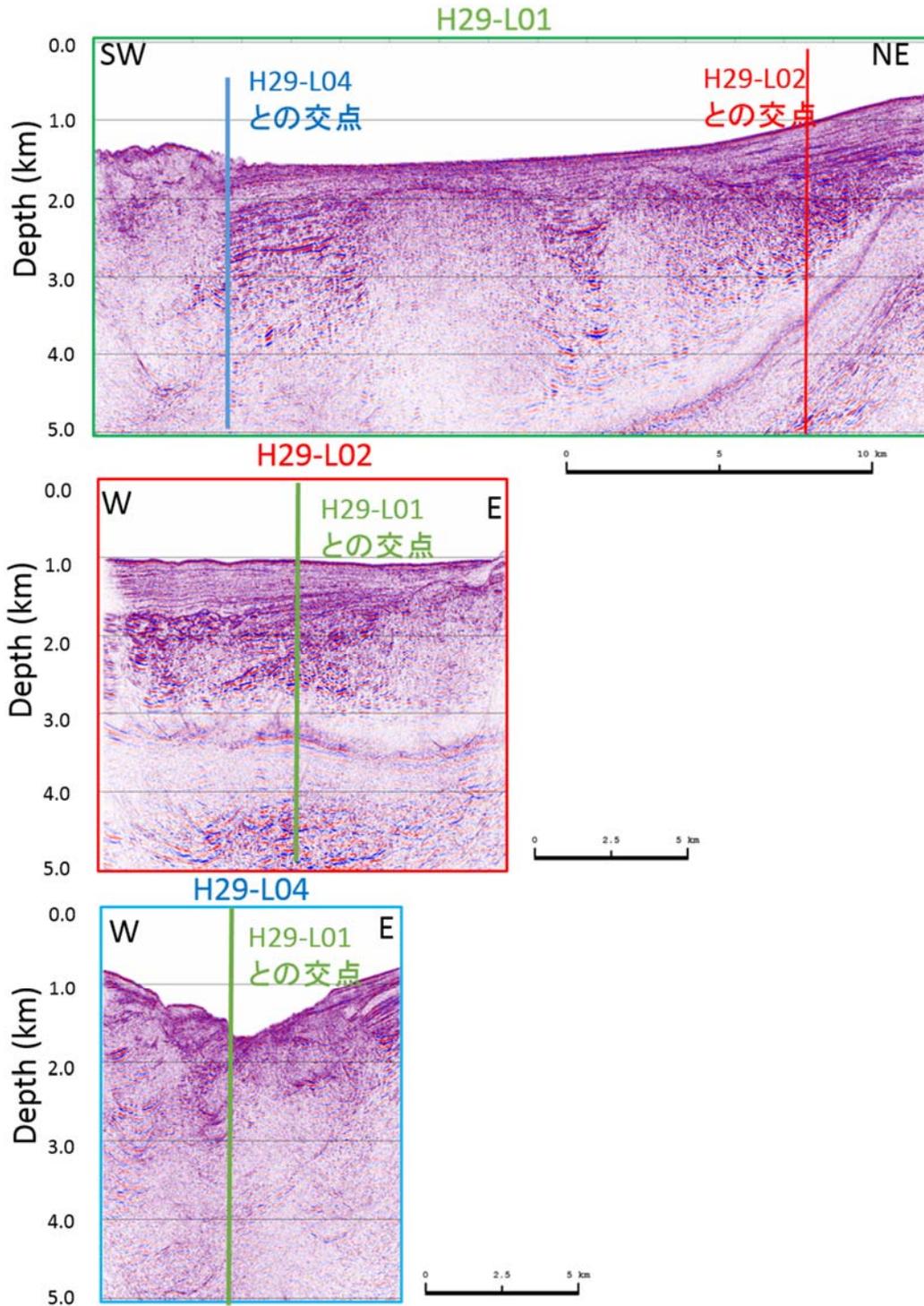


図 10 PSTM 処理による深度変換断面図（H29 年度）。

上段) 測線群 H29-L01、中段) 測線群 H29-L02、下段) 測線 H29-L04 深さ 2~3 km 程度までの範囲は十分な解析精度を有すると考えられる。

(c) 結論ならびに今後の課題

本業務では、駿河トラフ周辺の地質構造を明らかにするために、東京海洋大が保有するマルチチャンネル反射法地震探査データのうち、105.4 km について統合処理を行った。測線交点での速度構造の連続性に留意し多重反射抑制処理により、地質構造の解明に繋がる反射法地震探査断面を得ることができた。また同一とみなせる測線上に存在する互いに異なる発震点と受振記録を有する測線群のデータセットの併合処理をおこない、地下構造の空間解像度を向上させた。特に、駿河湾北部の東西測線では伊豆弧側のプレートがユーラシアプレートの下へ沈み込む上面と見られる明瞭な連続的な反射面として深さ 2~3 km 程度まで確認され、平成 30 年度実施予定の海陸統合探査における重要な知見が得られた。今後の課題として、より深部構造を明らかにすべく震源パワーの増大と S/N 向上のための観測方式の検討、海底地震計による海底受振点の稠密化、測線下の海底地形の影響を最小限に抑制すべく航行性能の向上などが挙げられる。

(d) 引用文献

岡村行信・湯浅真人・倉本真一, 20 万分の 1 「駿河湾海底資質図および説明書」, 海洋地質図シリーズ, 52, 産業技術総合研究所, 1999.

Tsuruga, K., Y. Sekino, J. Kanda, T. Hayashi, R. Hagita, T. Aikawa, T. Hosaka, H. Sugawara, H. Baba, K. Suyehiro, C. Aoyama, T. Tsuru, K. Nakahigashi, S. Ohnishi, T. Inamori, N. Inoue, M. Onshini, T. Kuroda, T. Iiduka, N. Murata, D. Sugawara, Y. Ueda, and K. Fujita, The 1<sup>st</sup> sea trial of 2-D Seismic reflection and refraction surveys in Suruga Bay, Central Japan, by TUMSAT (1<sup>st</sup> report), JpGU-AGU Joint Meeting, Abstract, E\_SCG71\_P14, Chiba, Japan, 2017.

鶴我佳代子・関野善広・神田穰太・近藤逸人・林敏史・曾川鉄太郎 (東京海洋大学)・馬場久紀 (東海大学)・菅原博 (東京海洋大学), 東京海洋大学による駿河湾における第 2 回海域 2 次元反射法・屈折法地震探査 (序報), 日本地球惑星科学連合 2018 大会予稿, 千葉, 2018 (投稿中) .

## (2-2) 駿河湾の海底地震観測と海底地震計データを用いた構造解析

馬場久紀（東海大学）、鶴我佳代子・林 敏史・中東和男・山中順子（東京海洋大学）

### (a) 業務の要約

東海大学および東京海洋大学は共同で、海底地震計による人工地震観測記録を用いた屈折法のデータと反射法データを組合せた屈折法・広角反射法統合解析を開始した。初段解析として、東海大学では波線追跡法による順問題による走時解析を開始、東京海洋大学ではマルチナロービームソナーSeaBeam3050を用いて取得した音響データから測線直下の海底地形データを求めた。

平成29年11月、駿河湾北部・富士川河口周辺の断層を把握するため、東京海洋大学練習船神鷹丸による「駿河湾における海底下浅層2次元精密構造調査」が実施された。この調査では、エアガンレイと海底地震計を用いた屈折法・広角反射法地震探査も行われた。

駿河トラフ軸上の南北測線（Line01）では、全長約26 kmの測線上に3台の海底地震計、駿河湾北部の東西測線（Line02）では、全長約13 kmの測線上（Line01との交点）に1台の海底地震計が設置されており、良好な記録を得ることができた。

現在までの解析進捗状況は、各海底地震計の測線毎のレコードセクションまでがまとめられており、速度構造モデルを順次構築していく予定である。

### (b) 業務の実施方法

本業務の詳細は、本報告(2-1)駿河湾における海域2次元反射法地震探査データ統合処理でも、詳しく記載されている。本業務では、平成29年度に東京海洋大学練習船神鷹丸で実施された「駿河湾における海底下浅層2次元精密構造調査」の一環として海底地震計を3台設置した。

3台の海底地震計は、駿河トラフ軸に沿う南北測線のLine01（測線長約26.2 km）に約11 km間隔に設置された。また、東西測線のLine02（測線長約12.2 km）上には、3台のうちの1台（Line01の交点）が配置されている。

図1は、海底地震計データおよび反射法データを用いた屈折法・広角反射法統合解析フロー（笠原・他，2008）について、Tsuruga et al.(2008)によって改変されたものである。本解析法では、海底地震計データのほか、反射法地震探査等による地震断面図、マルチナロービーム等で取得した測線直下の精密な海底地形データ、その他の地質学的・地球物理学的な先見情報を統合し、フォワードモデリングによるはぎ取り法を実施する。得られた地殻構造モデルについて理論走時および波形記録を計算し、またPS波変換波解析、地殻内反射波（PmPなど）の抽出、後続波の解釈なども行い、観測記録との適合性を評価し最終構造モデルを確定する。可能な場合は、重力評価も併せて構造モデルの評価もおこなう。

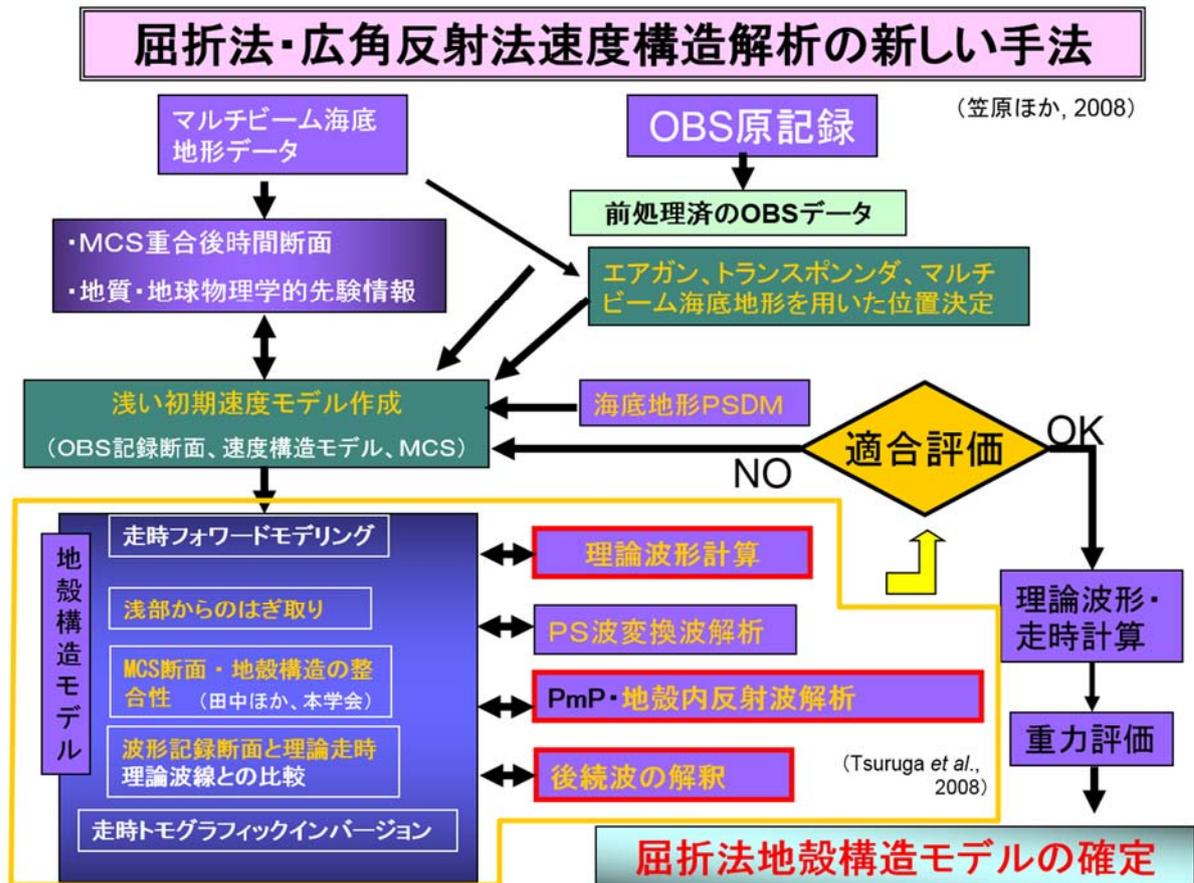


図1 海底地震計データおよび反射法データを用いた屈折法・広角反射法統合解析フロー（笠原・他，2008）を改変）。

(c) 業務の成果

図2・図3は、平成29年度に実施された東京海洋大学練習船神鷹丸による「駿河湾における海底下浅層2次元精密構造調査」について、Line01・Line02の各測線と海底地震計のそれぞれの配置場所が示されている。

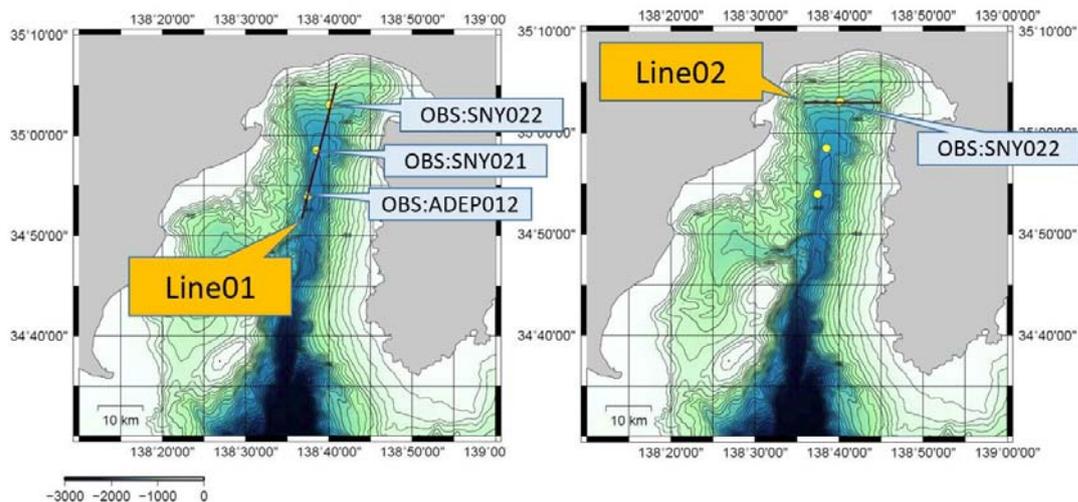


図2 Line01 測線と海底地震計配置

図3 Line02 測線と海底地震計配置

(実線：ショット位置、●：海底地震計)。(実線：ショット位置、●：海底地震計)。

解析は、各海底地震計の測線毎のレコードセクションがまとめられており、速度構造モデルを順次構築していく予定である。以下に、各海底地震計によるレコードセクション記録例と暫定的な見かけ速度を示したものを図7～10に示す。

図4は、Line01における海底地震観測点：SNY022のレコードセクションの例、図5は、Line01における海底地震観測点：SNY021のレコードセクションの例、図6は、Line01における海底地震観測点：ADEP012のレコードセクションの例、そして図7は、Line02における海底地震観測点：SNY022のレコードセクションの例である。走時の時間軸は、花崗岩質層による標準的な速度6.0 km/secで差し引かれたReduction Velocityで表示されている。

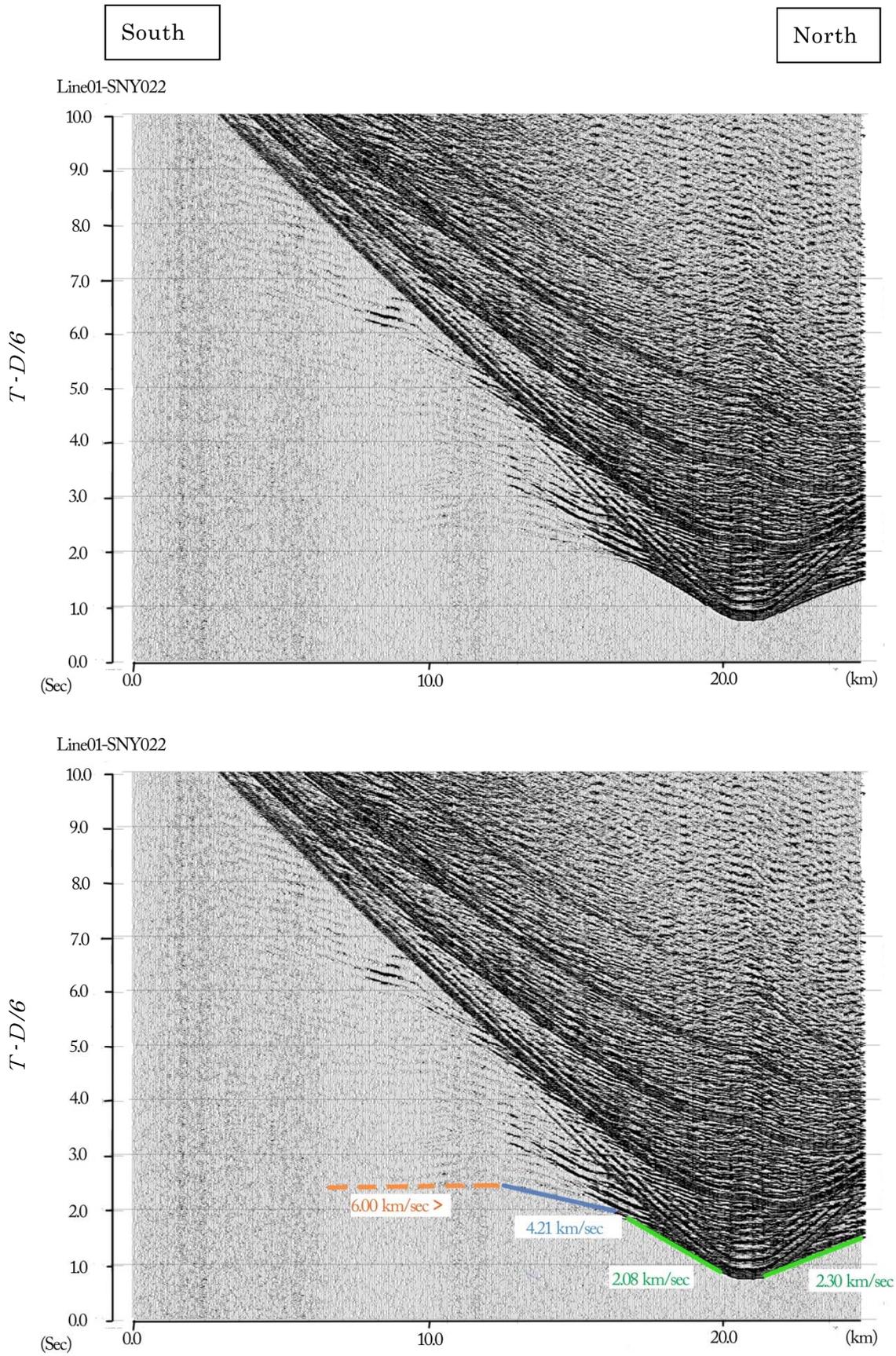


図4 レコードセクション記録例。(上) オリジナル記録、(下) 初動の見かけ速度挿入。  
観測点：SNY022 測線：Line01 ※時間軸は、6.0 km/sec で reduction されている。

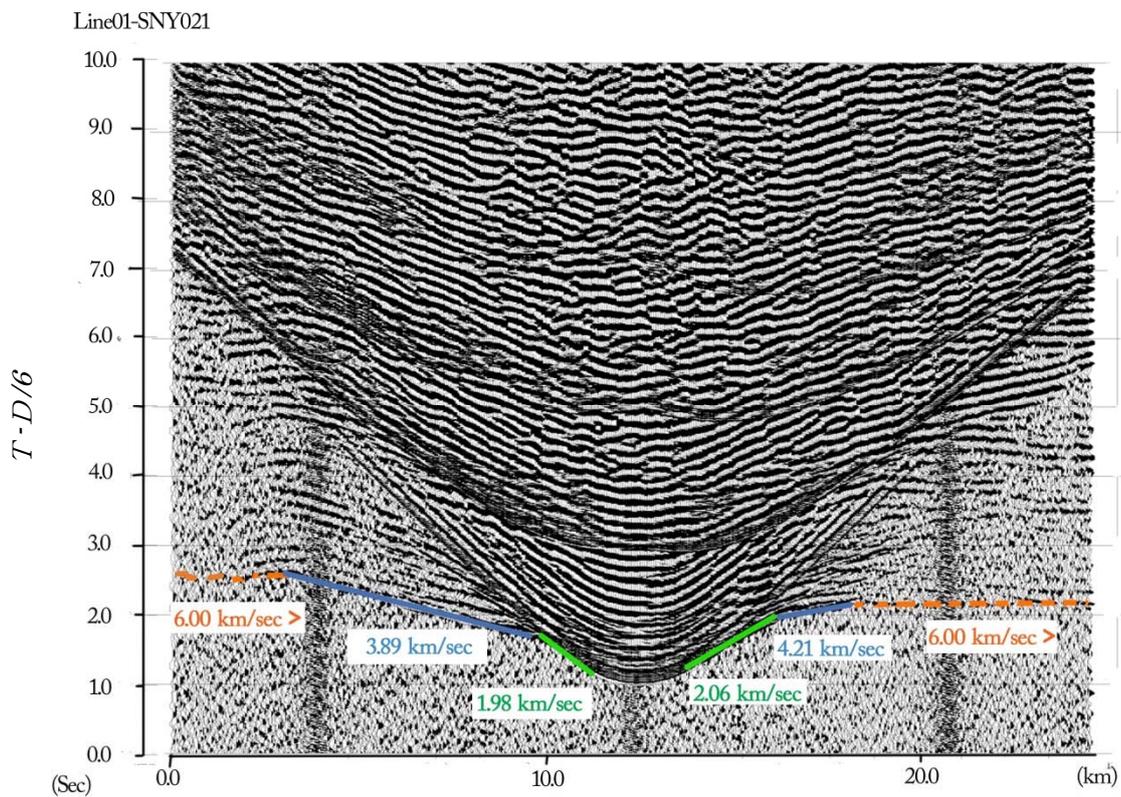
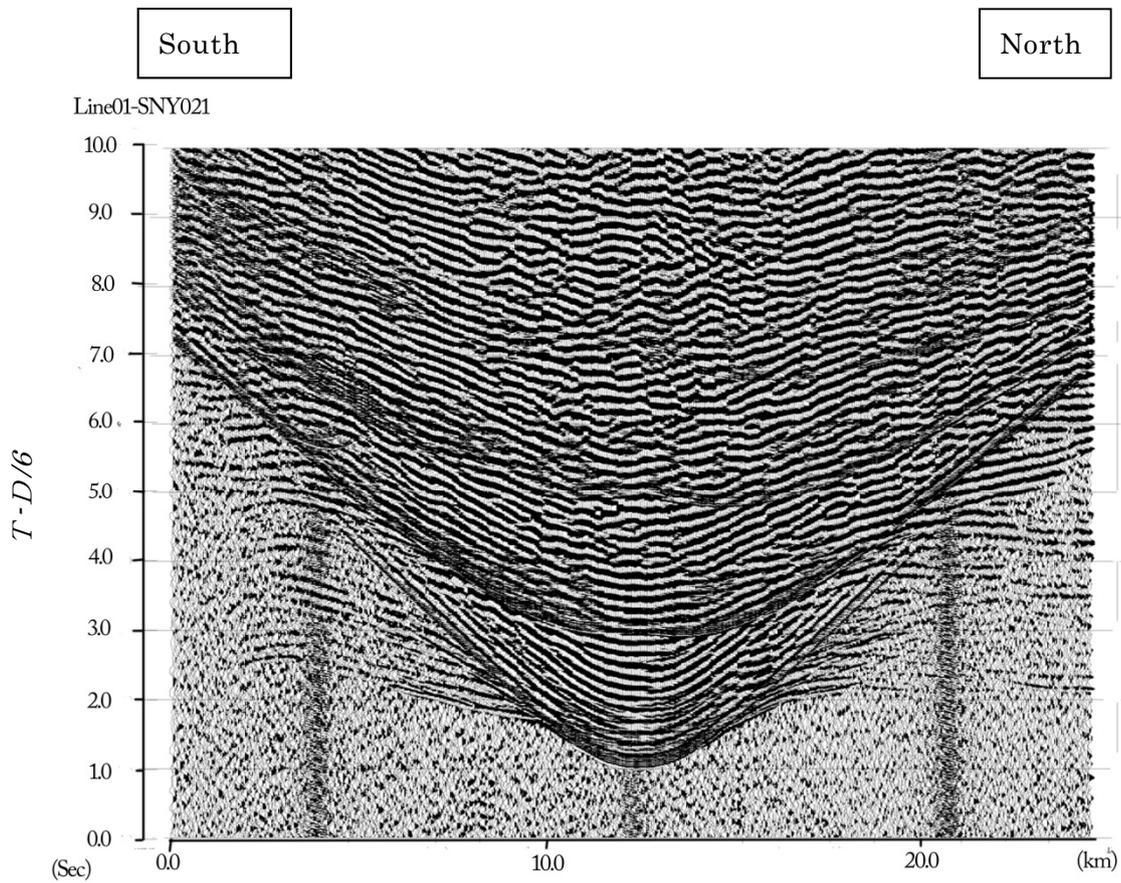


図5 レコードセクション記録例。(上) オリジナル記録、(下) 初動の見かけ速度挿入。  
観測点：SNY021 測線：Line01 ※時間軸は、6.0 km/secで reduction されている。

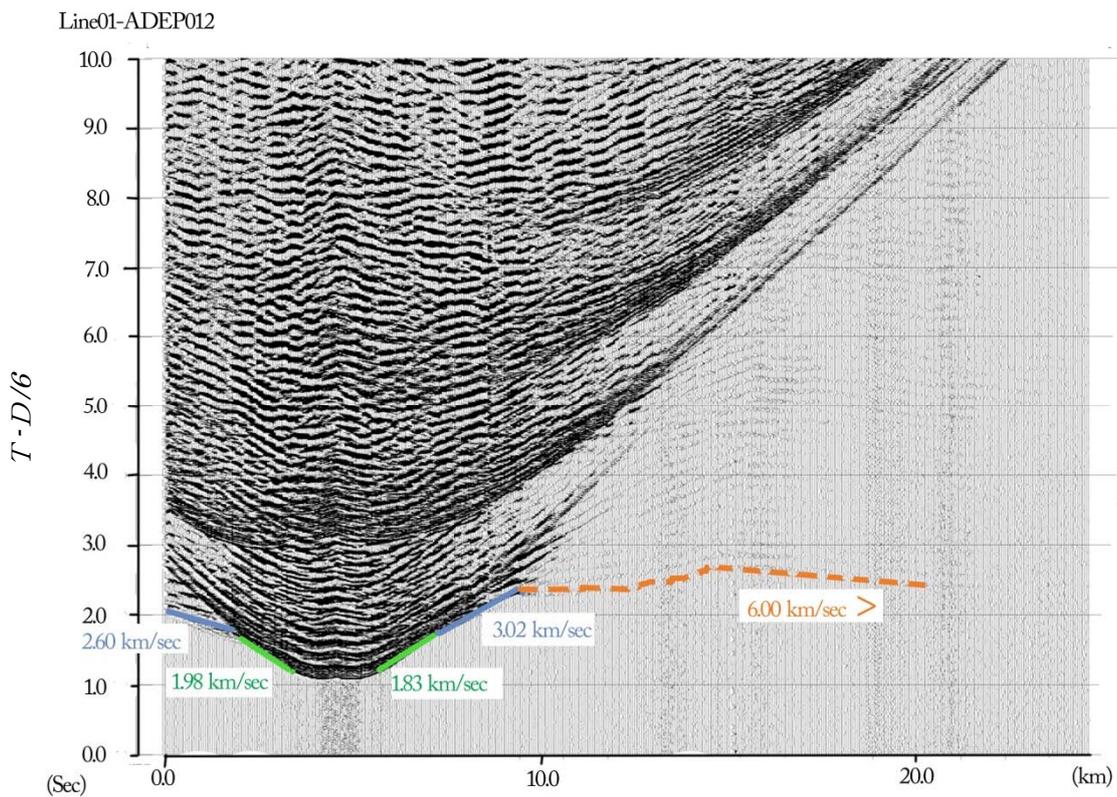
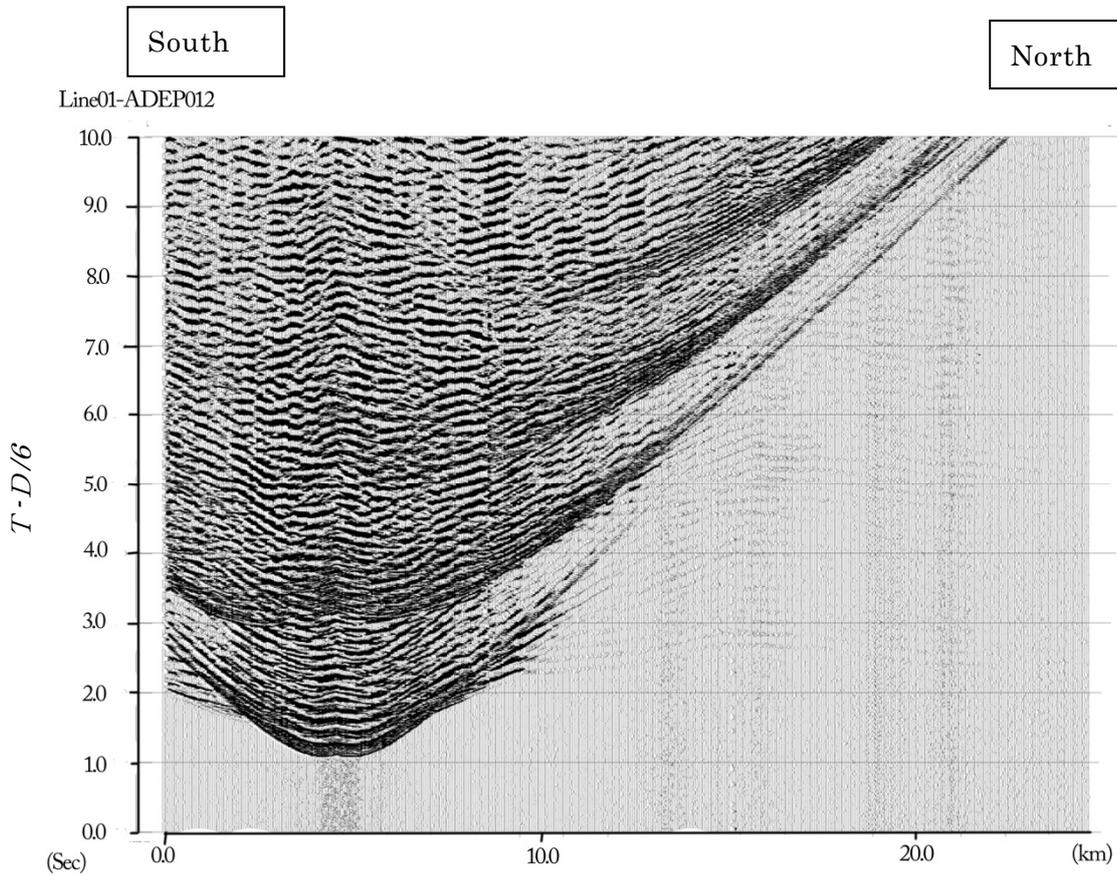


図6 レコードセクション記録例。(上) オリジナル記録、(下) 初動の見かけ速度挿入。  
観測点：ADEP012 測線：Line01 ※時間軸は、6.0 km/sec で reduction されている。

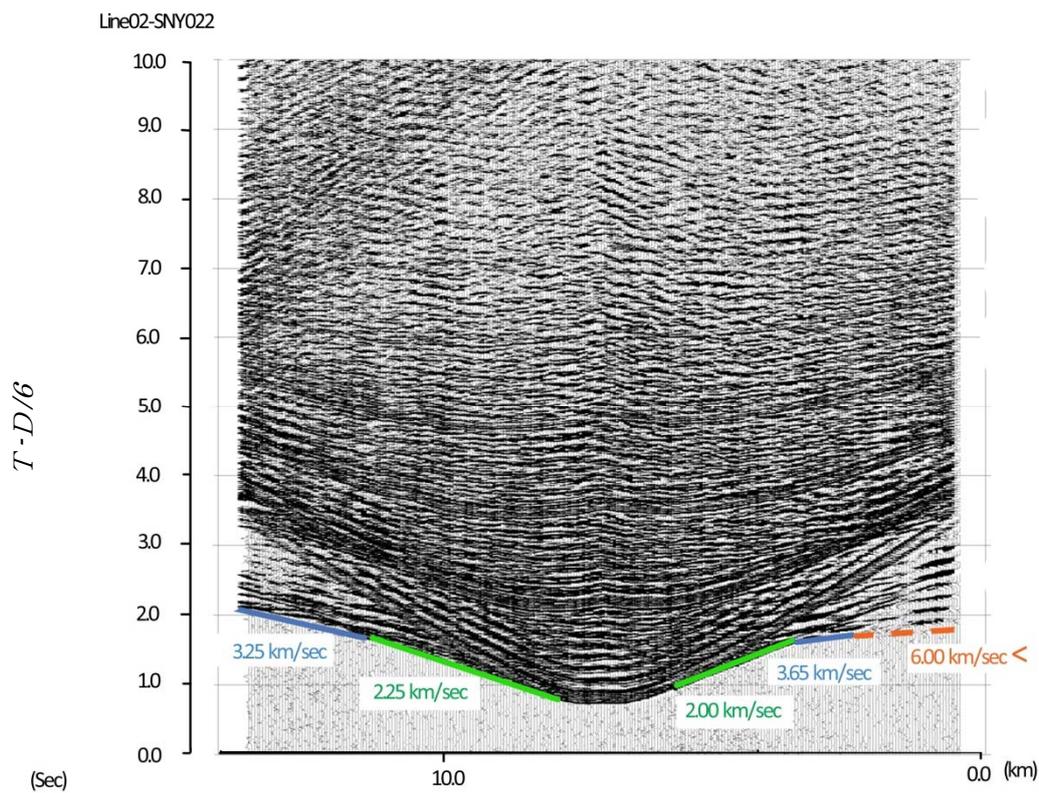
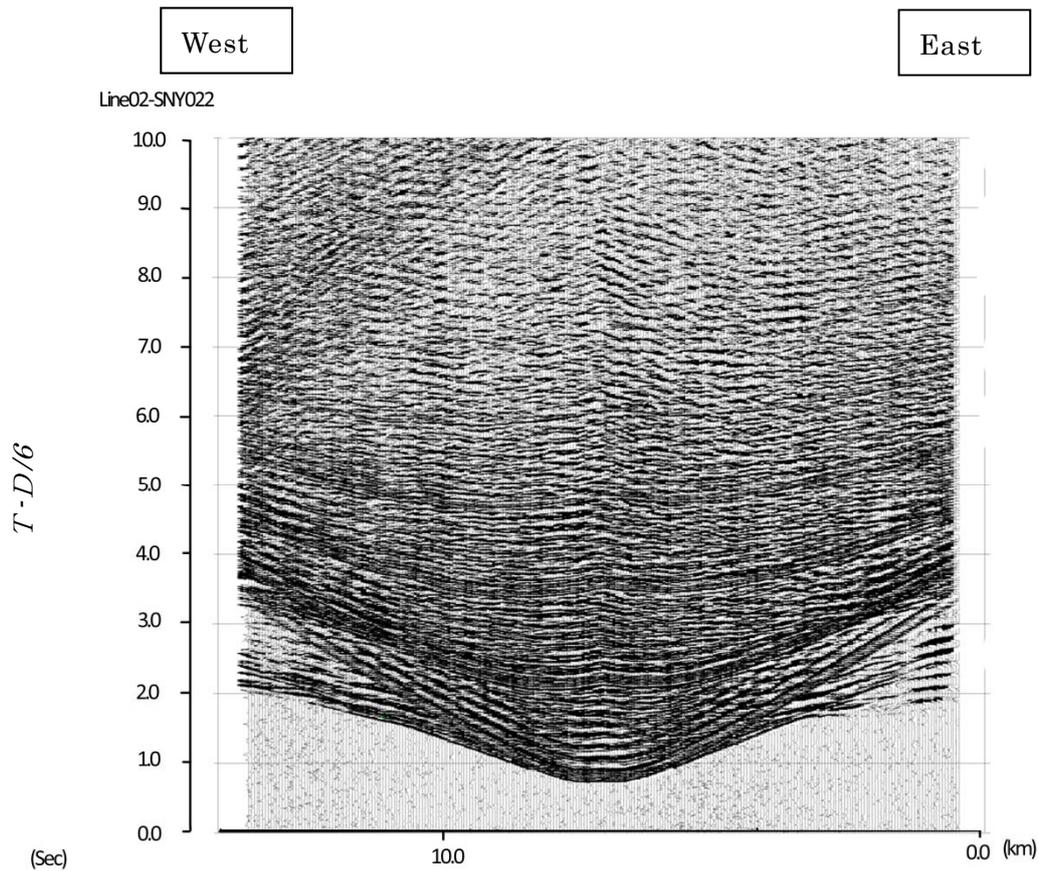


図7 レコードセクション記録例。(上) オリジナル記録、(下) 初動の見かけ速度挿入。  
観測点：SNY022 測線：Line02 ※時間軸は、6.0 km/sec で reduction されている。

東京海洋大学が実施したH28年度およびH29年度の地震探査の際には航行中、同大学練習船「神鷹丸」の船底に装備されたマルチナロービームソナー SeaBeam3050を用いて海中および海底の音響データを取得した。本業務では、表1に示す6つの測線における音響データを用いて測線直下の海底地形データを求めた。水中音速の補正には、H28年度航海で11月19日に4回、H29年度航海で期間中の1回採取した水中音速度データを使用した。図11にCDTセンサーで水中音速度データを計測した地点を示す。

表1 海底地形データを取得した測線とその長さ。

測線名	長さ
H28-L01	26.0 km
H28-L03	17.5 km
H28-L04	32.5 km
H29-L01	26.2 km
H29-L02	12.2 km
H29-L04	8.5 km

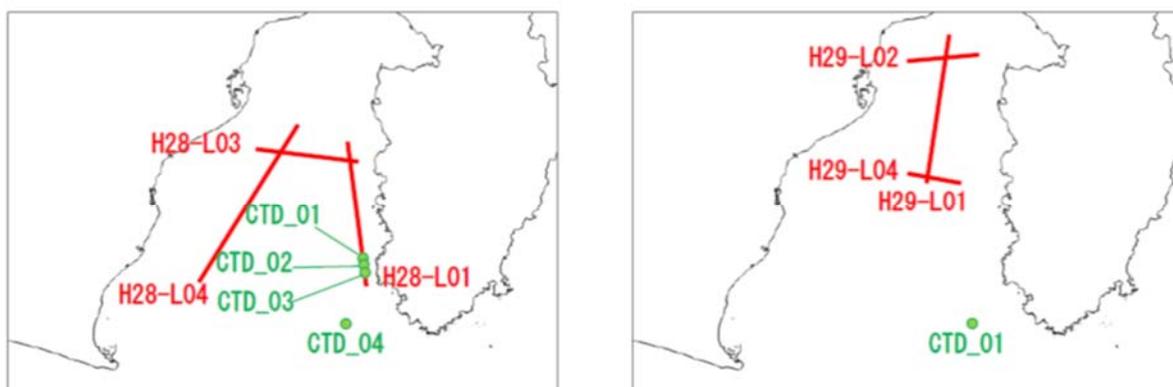


図8 CTDセンサーで水中音速度データを計測した地点。(左)H28年度航海期間中、(右)H29年度航海期間中の計測地点。

図9は、H28年度およびH29年度に計測した駿河湾内での海底地形データ分布およびその水深を表したものである。表示された水深は100 m～2000 mの範囲である。図中の○印は、東海大学が同時期に設置した海底地震計の配置を示している。測線下に片側数100 mの幅を有する。図10は地震探査測線H28-L01, H28-L03, およびH28-L04直下の海底地形の2次元断面図、図11は測線H29-L01, H29-L02, およびH29-L04直下の海底地形の2次元断面図を表す。

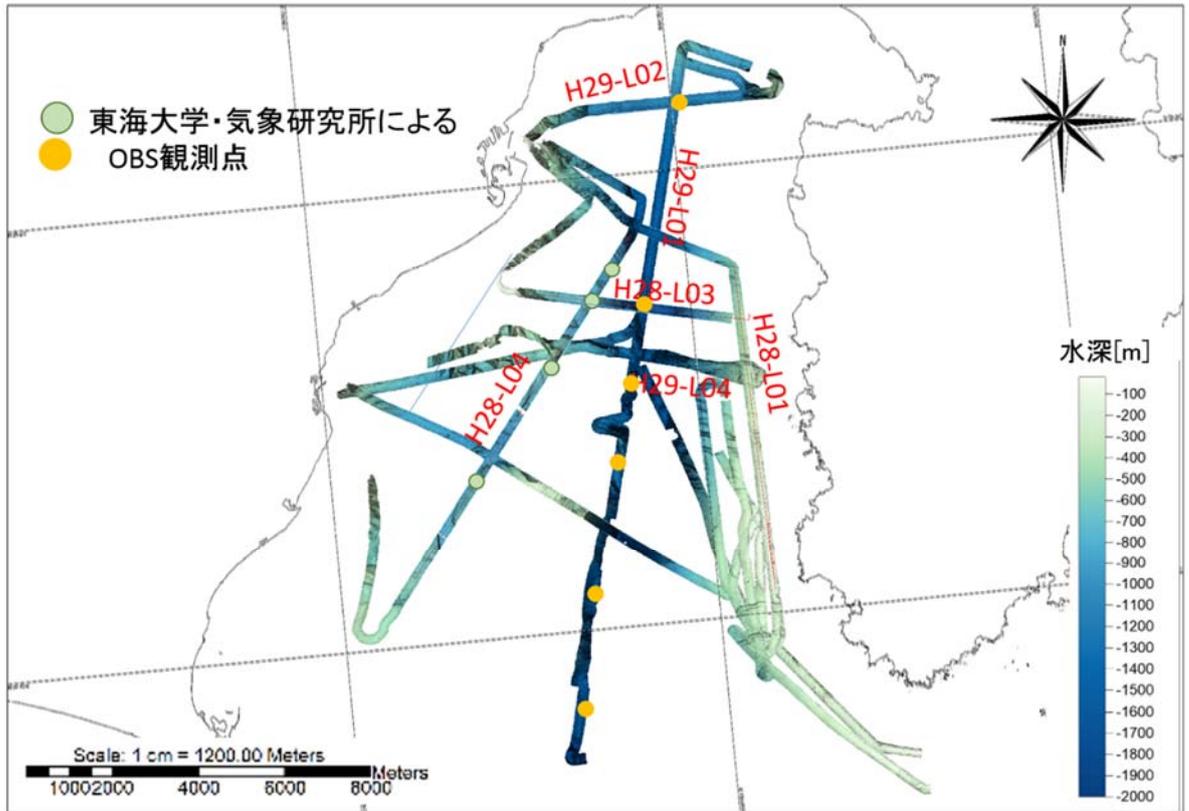


図9 平成28年度および平成29年度に計測したマルチナロービームソナーの音響データから求められた海底地形データの分布。○印は、東海大学が各時期に設置した海底地震計の位置を示す。

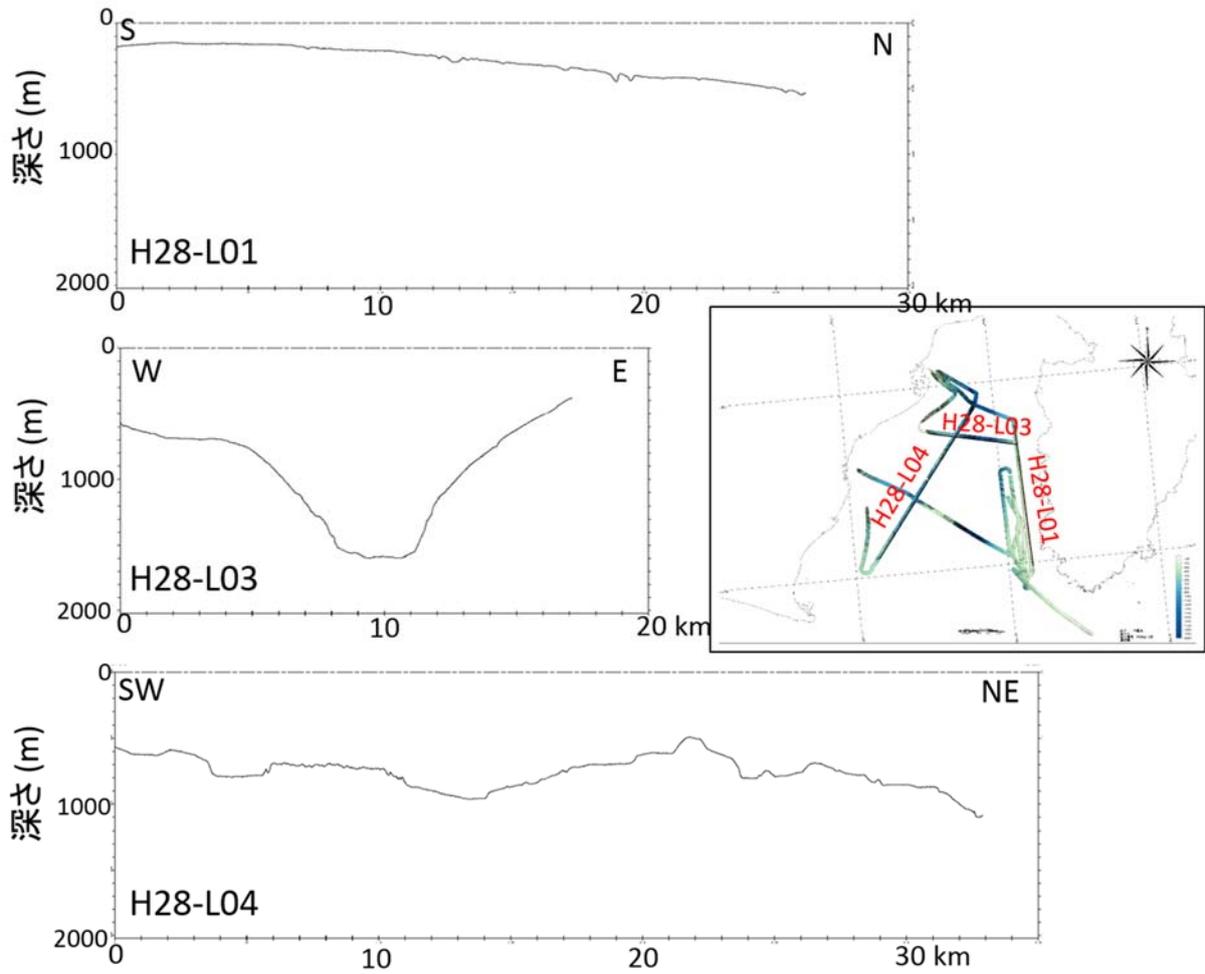


図10 地震探査測線H28-L01、H28-L03、およびH28-L04直下の海底地形の2次元断面図。

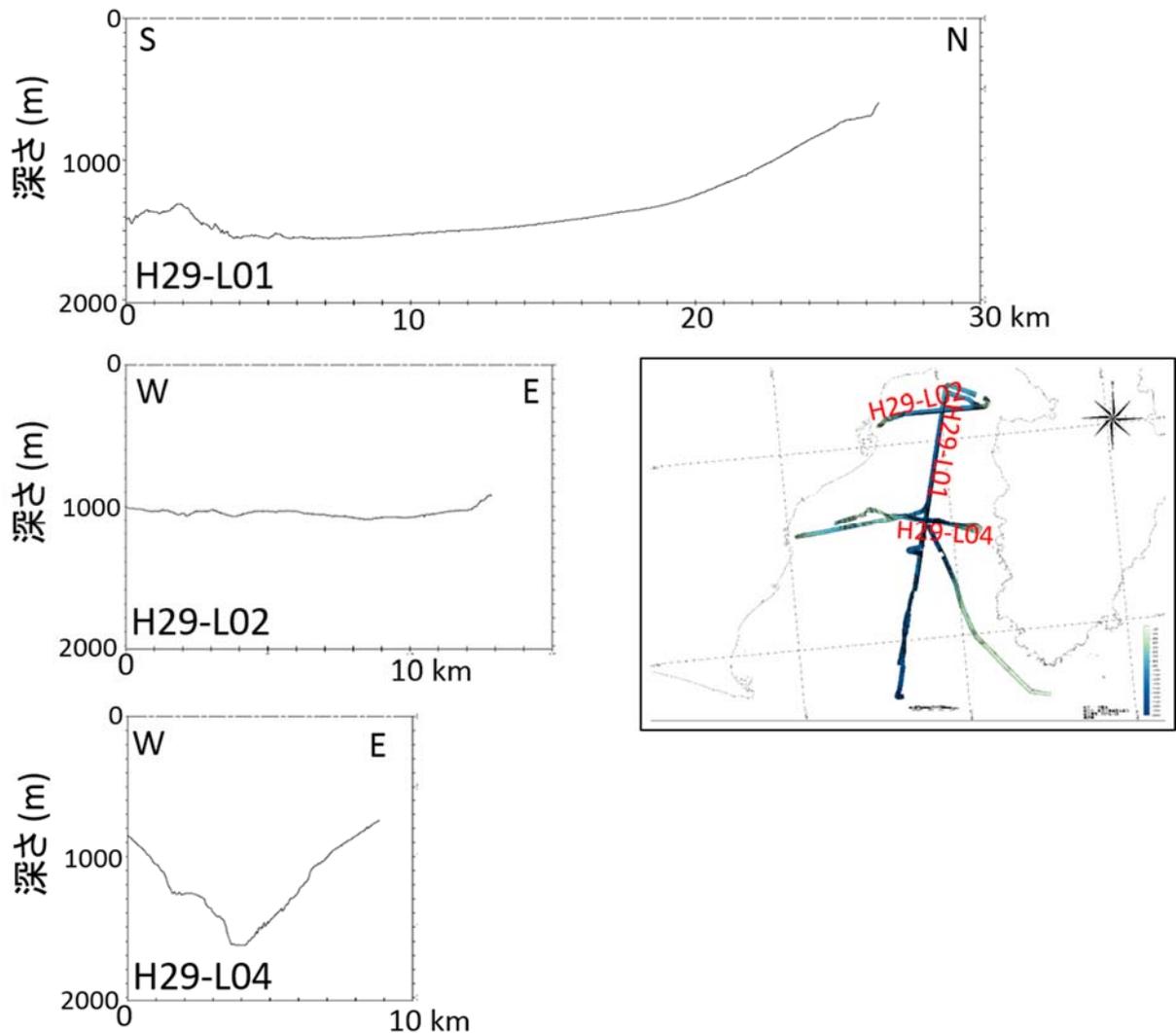


図11 地震探査測線H29-L01、H29-L02、およびH29-L04直下の海底地形の2次元断面図。

南北方向の H28-L01、 H28-L04、および H29-L01 の各測線は、ほぼ平坦で単純な海底地形を示している。一方、駿河トラフを東西に横切る測線では、H28-L03、および H29-L04 の各測線は、V字型の地形が明瞭に示されているが、駿河湾北部の H29-L02 測線についてはほぼ平坦な海底地形をしめしていることが判る。

これらの海底地形データは、地殻構造モデルを構築する際に重要なデータであり、海底地形とマルチチャンネル(MCS)反射法地震断面図から浅部構造（堆積層）の速度モデルの構築から始め、浅部からの構造をはぎ取りながら深部構造を推定していく予定である。

#### (d)結論ならびに今後の課題

解析は、海底地震計データの屈折法によるレコードセクション記録がまとめられた段階であり、図1のフローチャートに基づいて今後地下速度構造を構築していく予定である。

図4～7に示された記録例には、初動振幅の大きい箇所において暫定的な見かけ速度が示されている。これらの結果からは、

- ・Line01では、初動の立ち上がりがほとんど確認できなくなるフェーズ(6.0 km/sec層)がある。このフェーズは、3箇所の海底地震観測点で共通していることから、構造による影響であることも考えられるため、解析で考慮する必要がある。

- ・Line02では、観測点の西側と東側で層構造が大きく傾いていることが推定でき、東側で初動の出現と見かけ速度が速い。これは、構造が東側から西側に向かって深くなっていることが示されている。

これらの結果は、地下速度構造を考えるにおいて有益な情報ではあるが、観測点が1点だけでは、詳細について議論ができない。駿河湾北側では、東西の湾幅が狭いこともあり、測線を長く取れないことから陸域にわたって構造探査を行うことが必要である。

より深部の構造を正確に理解するため、東海大学と共同で海底地震計による人工地震観測記録を用いた屈折法のデータと反射法データを組合せた屈折法・広角反射法統合解析を開始した。初段解析として、東京海洋大学がマルチナロービームソナーSeaBeam3050を用いて取得した音響データから測線直下の海底地形データを求めた。これは今後の屈折法地震探査のための基礎データとなる。

速度構造モデルは、図1でのフローチャート(笠原・他, 2008)でも示されているようにマルチナロービームソナーSeaBeam3050、海底地形の2次断面、MCS重合による反射記録断面、そしてOBS記録断面(レコードセクション)より、フォワードモデリングによって浅部から順次深部へと構築していく予定である。

#### (e) 引用文献

笠原順三・鶴我佳代子・久保田隆二・田中智之・村瀬圭・西山英一郎・田村八洲夫・西澤あずさ・金田謙太郎: 屈折法・広角反射法による地殻構造解析の総合的手法. 最近の物理探査手適用事例集, 物理探査学会, 387-392, 2008.

Tsuruga, K., J. Kasahara, R. Kubota, E. Nishiyama, A. Kamimura, Y. Naito, F. Honda, N. Oikawa, Y. Tamura, A. Nishizawa and K. Kaneda, Evaluation and interpretation of the effects of heterogeneous layers in an OBS/air-gun crustal structure study, *Exploration Geophysics*, **39**, 1-14, 2008.

## (2-3) 駿河湾の海底地震観測

馬場久紀（東海大学）

### (a) 業務の要約

駿河湾北部の地殻構造を自然地震を使って明らかにするための基礎資料を得るため、また富士川河口断層帯とその周辺の断層運動によって発生する地震活動を調査するために、富士川河口沿岸域（駿河湾北部）に4台の海底地震計を平成29年12月と平成30年1月の2回に分けて2台ずつ設置した。この4台の海底地震計は、平成30年3月27日に2台の回収が完了、4月中旬に2台を回収する予定で、順次震源決定のための検測を行う。本年度の業務では、東京海洋大学練習船神鷹丸による「駿河湾における海底下浅層2次元精密構造調査」で設置した海底地震計2台と、東海大学と気象庁気象研究所が共同で展開している海底地震計4台の海底地震計データ（馬場・他, 2015）を用いて、平成29年11月～平成30年1月までの期間について震源決定を行った。

この期間に駿河湾の海底下で決められた震源は約30個で、地震のほとんどは陸上の定常観測網では決められていない規模のものである。これらの震源は、主に平成21年（気象庁、2009・2010）と平成23年（気象庁、2012）に発生した駿河湾のM6クラスの地震の余震と考えられ、富士川河口断層帯とその周辺の断層による震源はほとんど観測されなかった。

### (b) 業務の実施方法

#### 1) 海底地震計を用いた駿河湾の地震活動調査

本業務では、駿河湾奥の富士川河口付近に自己浮上式海底地震計を4台設置した。使用した自己浮上式海底地震計は、東海大学海洋学部所有の「北斗（16トン）」・「南十字（20トン）」の小型船舶作業船で設置し平成30年3月27日に2台を回収した。ほか2台はまだ観測中である。南十字の船上で投入準備中の自己浮上式海底地震計の様子を図1に示す。海底地震計の回収作業も、これら小型船舶作業船で実施した。

4台の海底地震計は原子時計を内蔵しており、約3ヶ月間の観測で0.01～0.02秒の誤差が生じる程度である。記録のサンプリングレートは100Hzで、上下動1成分・水平動2成分の3成分地震計がジンバル機構によって海底地震計内に組み込まれている。

震源決定ための検測では、卜部・東田（1992）によるWINシステムを利用した。また、震源決定計算には、Hirata and Matsu'ura（1987）のHypomhを使用した。なお、海底下の堆積層による影響を取るための堆積層補正には、PS変換波を読んで補正を行った（Iwasaki et al.,1991）。

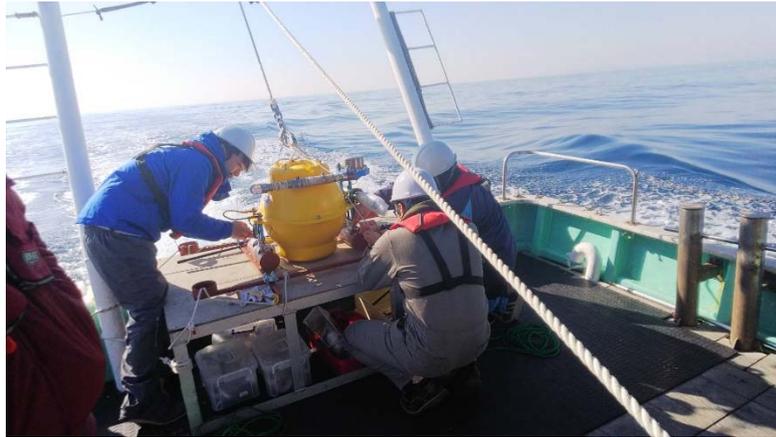


図1 作業船「南十字（20トン）」の船上で投入準備中の自己浮上式海底地震計の様子。

(c) 業務の成果

本業務のために設置した海底地震計の配置図を図2と図3に示す。

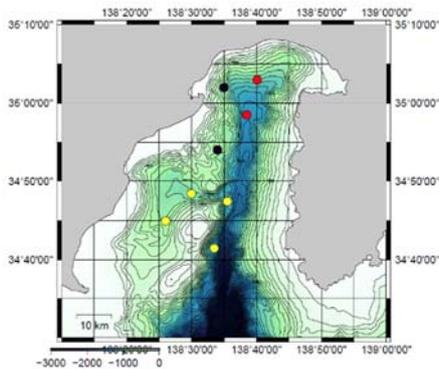


図2 海底地震計配置図

(平成29年12月20日～平成30年1月16日)。

- 東海大・気象研 定常観測点
- 平成29年神鷹丸観測点
- 本業務観測点（平成29年12月20日設置）

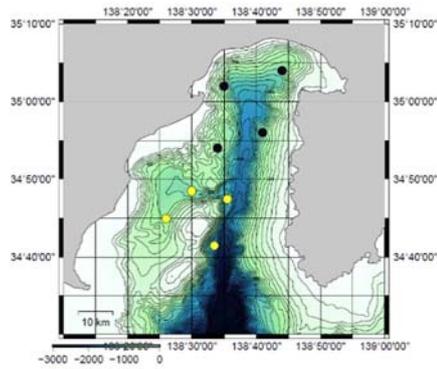


図3 海底地震計配置図

(平成30年1月16日～4月まで)。

- 東海大・気象研 定常観測点
- 本業務観測点（平成29年1月16日設置）

本業務で設置した4台の海底地震計（図2、3：●）は、2台は回収済みで2台は平成30年3月現在で観測中である。駿河湾では、本業務以外で東海大学・気象庁気象研究所（石花海周辺海域）の定常観測点（馬場・他，2015）の海底地震計4台（図2、3：●）が展開されていた。また、平成29年度に東京海洋大学練習船神鷹丸による「駿河湾における海底浅層2次元精密構造調査」で設置された海底地震計（図2：●）は、平成30年1月16日まで観測が行われた。これらの海底地震計で得られたデータを用いて、平成29年11月～平成30年01月までの期間について、震源決定を行った。図4に決められた震源分布図を示す。

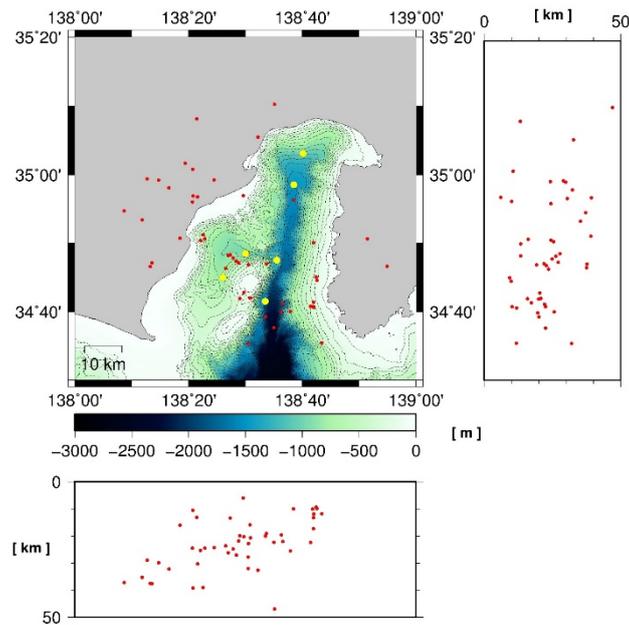


図4 海底地震計観測点によって決められた震源分布図。

期間：平成29年11月～平成30年01月、●：海底地震計、●：震源位置。

決められた震源分布について、

- ・期間内に駿河湾で決められた震源数は約30個であった。
- ・駿河湾内で決められた震源のほとんどは石花海周辺集中している。  
石花海周辺で集中する震源は、平成21年（気象庁, 2009・2010）と平成23年（気象庁, 2012）に発生した駿河湾のM6クラスの2つの地震の余震と考えられる。
- ・駿河湾北部・富士川河口周辺では、震源がほとんど決められていない。
- ・プレート境界に沿って発生すると考えられる地震は少ない。

ということが示された。

これらの結果は、Baba et al. (2017)の結果と整合性が良い。

#### (d) 結論ならびに今後の課題

富士川河口断層帯とその周辺の断層活動によって発生する地震活動について、駿河湾で海底地震計による地震観測を実施した。その結果、陸域の定常観測網では観測することができない（検知することができない）震源を2ヶ月間で約30個決めることができた。しかしこれらの震源は、

- ・震源のほとんどは石花海周辺集中している。  
これは、平成21年と平成23年に発生した駿河湾のM6クラスの2つの地震の余震と考えられる。
- ・駿河湾北部・富士川河口周辺で決められた震源はほとんどない。
- ・プレート境界に沿って発生すると考えられる震源は少ない。

という結果であった。

本調査は、自然地震を対象とした観測であるため、比較的長い期間にわたった調査となることはやむを得ないと考えられる。本業務では、約 2 ヶ月間で約 30 個の震源が決められたという実績から、約半年間の観測では 90 個程度の震源が決められることが期待できる。なお、自然地震を用いて地殻構造を解明する観点からは、より多くの地震観測データが必要であり、H30 年度も海底地震計による自然地震観測を継続する。

今後の予定として、本業務における H30 年 1 月 16 日～4 月中旬までのデータについては、海底地震計回収後に順次震源決定を実施する。震源決定は、陸上の定常観測点のデータも併せて解析を行う。これはサブテーマ 3（地震活動から見たプレート構造）と関連して解析を行う予定である。

なお、H30 年 4 月中旬の 2 台の海底地震計回収時には、入れ替えの海底地震計を再び 4 台設置し、H30 年 9 月までの約 5 ヶ月間の観測を継続する。

#### (e) 引用文献

馬場久紀・平田賢治・山崎明・対馬弘晃・勝間田明男・前田憲二・上野寛・青木重樹・小林昭夫・木村一洋・弘瀬冬樹・長尾年恭（2015）：自己浮上式海底地震計（OBS）を用いた駿河湾石花海周辺海域における連続地震観測，東海大学海洋研究所報告，36，23-29.

Baba H., S. Ichinose, K. Hirata, A. Yamazaki, H. Tsushima, K. Nakata, T. Nishimiya, K. Imamura and T. Nagao (2017), Continuous Earthquake Observation using pop-up Ocean Bottom Seismographs (OBSs) In Suruga Bay at the Pacific Coast of Shizuoka, Japan, 2017 American Geophysical Union, Fall Meeting T41C-0645.

防災科学技術研究所（2010），2009 年 8 月 11 日駿河湾の地震：過去の地震活動状況・発震機構解変化，地震予知連絡会会報，83，6-8，247-257.

Hirata N. and M. Matsu'ura (1987), Maximum-likelihood estimation of hypocenter with origin time eliminated using nonlinear inversion technique, Phys. Earth Planet. Inter., 47, 50-61.

Iwasaki T., N. Hirata, T. Kanazawa, T. Urabe, Y. Motomiya and H. Hirayama (1991), Earthquake distribution in the subduction zone off eastern Hokkaido, Japan, deduced from ocean-bottom seismographic and land observations, Geophysical Journal Inter., 105, 693-711.

気象庁（2009），2009 年 8 月 11 日駿河湾の地震（M6.5）について，第 183 回地震予知連絡会活動報告.

気象庁（2010），2009 年 8 月 11 日駿河湾の地震（M6.5）について，地震予知連絡会会報，83，6-3，211-230.

気象庁（2012），2011 年 8 月 1 日の駿河湾の地震（M6.2）について，地震予知連絡会会報，87，6-2，264-269.

卜部卓・東田進也（1992），WIN-微小地震観測網波形検束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秋季大会，331.



### 3.2 活断層システムの分布・形状と活動性

#### (1) 業務の内容

(a) 業務題目 活断層システムの分布・形状と活動性

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立大学法人東京大学地震研究所	助教	石山 達也
国立大学法人東京大学地震研究所	教授	佐藤 比呂志
国立大学法人信州大学	教授	廣内 大助
国立大学法人岡山大学	教授	松多 信尚
公益財団法人地震予知総合研究振興会	主任研究員	田力 正好
公益財団法人地震予知総合研究振興会	副主席主任研究員	伊藤 谷生
静岡大学防災総合センター	客員教授	狩野 謙一
静岡県立富士宮東高校	教諭	山本 玄珠

(c) 業務の目的

富士川河口断層帯および身延断層など駿河トラフ周辺の活断層・活構造について、これまでの研究成果を踏まえて、その分布・形状・活動性・平均変位速度を解明するとともに、特にプレート境界断層に関連する構造的な位置づけを明確にすることを目標に、先行研究のレビューと新たに変動地形・地質調査および高分解能浅層反射法地震探査を主とした調査観測研究を実施する。

(d) 3ヵ年の年次実施業務の要約

1) 平成29年度：富士川河口断層帯を主とする駿河トラフ周辺の活断層・活構造を対象に既存資料を収集し、地形・地質調査を実施するとともに、空中写真判読・高精度数値標高データ解析等による活断層・変動地形の位置・分布・性状を検討した。また、富士川河口断層帯・安居山断層帯およびその北方延長部において高分能反射法地震探査を実施し、地下浅部の構造のデータを取得した。加えて、次年度以降に実施するボーリング・トレンチ等断層帯の活動性調査の地点や内容を検討した。

2) 平成30年度：平成29年度に取得した高分解能反射法地震探査データの解析を行い、富士川河口断層帯浅部の構造を明らかにする。また、地形・地質調査を行い、同じく29年度に取得した地形・地質学的データに基づき富士川河口断層帯を主とする駿河トラフ周辺の活断層・活構造の分布・性状について検討するとともに、次年度に実施するボーリング・トレンチ等断層帯の活動性調査の地点や内容をさらに検討する。

3) 平成31年度：平成29・30年度の調査成果を元に、富士川河口断層帯・身延断層および周辺の活構造において、変動地形・地質調査等を行い、断層の詳細な分布とこれらの活動性・平均変位速度を解明する。以上の結果とサブテーマ1ほかで得ら

れた深部構造データを統合し、富士川河口断層帯を主とする駿河トラフ周辺の活断層・活構造の分布・形状を明らかにする。

## (2) 平成29年度の成果

### (a) 業務の要約

断層先端部の浅部～中深度の構造を解明するために、安居山断層・芝川断層、安居山断層北部、断層帯北部延長部（富士山北東麓部）において3測線の高分解能反射法地震探査のデータを新たに取得した。安居山断層、芝川断層の主要部にて、1961年国土地理院撮影の約1/1万空中写真を用いて航測図化による変動地形の復元を行った。また、空中写真判読と共に地形解析を行って変位地形の検討を行った。その結果、芝川断層沿いに断層により形成されたと推定される新期の低崖地形が複数見出された。この変位地形の成因を明らかにする目的で上柚野地区にてトレンチ調査を実施し、崖基部に西傾斜の衝上断層の可能性のある構造が確認された。また、段丘面年代推定のための予備的な掘削調査を行い、変位基準の年代推定に有用な試料を得た。これらのことから、芝川断層沿いの地点で本格的な古地震調査を行う手がかりを得た。

### (b) 業務の実施方法と成果

#### 1) 富士川河口断層帯の概要

富士川河口断層帯は、駿河トラフの陸上延長部にあたる富士川河口部から富士火山東麓部にかけて分布する活断層である（羽田野, 1977; 羽田野・他, 1979; 山崎, 1979; 山崎・他, 1981; 活断層研究会編, 1991; Yamazaki, 1992; 中田・他, 2000; 尾崎・他, 2016; 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 2016）。本断層帯に沿っては、富士火山から噴出した新旧の溶岩や、古富士泥流などの岩屑なだれ堆積物、またこれより下位の中・下部更新統に累積的な著しい変形が認められ、変位基準の上下変位量とその年代から、本断層帯の上下平均変位速度は数 mm/年と、内陸活断層としては最大級の活動度を有すると考えられている（Yamazaki, 1992）。また、駿河湾沿岸に分布する完新統、特に縄文海進期前後の堆積物の分布高度からも、本断層帯による顕著な上下変動が指摘されている（羽田野・他, 1979; 松島, 1984; 松原, 1984; 1989; 2000; Yamazaki, 1992; Yamazaki et al., 2002; 米倉・他, 1985）。また、過去の地震活動については、トレンチ調査やボーリング調査に基づき推定されている（下川・他, 1996a; 1996b, 1998; 静岡県, 1996; Yamazaki et al., 2002; 丸山・斎藤, 2007; 地震調査研究推進本部, 2010）。その一方で、変位速度が非常に大きいこと、富士火山起源の溶岩・岩屑なだれ堆積物が厚く累重することなどから、明確な断層露頭や直接的な断層運動の証拠、浅部構造といったデータは未だ十分とはいえず、このような基礎的なデータを蓄積する必要がある。

#### 2) 富士川河口断層帯における浅層反射法地震探査

富士川河口断層帯では過去にいくつかの浅層反射法地震探査が実施されている（伊藤・山口, 2016; 下川・他, 1996b; 下川・他, 1998）。これらはいずれも測線長が短く、可探深度も数 100 m 内外であり、断層や断層運動に関連する地質構造に関する良好な反射断面図は得られていない。そこで、富士川河口断層帯を横断する 3 測線で浅層反射法地震

探査を実施した（図 1）。A 測線は静岡県富士宮市地内から同地内に至る約 6 km 区間、B 測線は静岡県富士宮市地内から同地内に至る約 7 km 区間、C 測線は静岡県富士宮市地内から同地内に至る約 7 km 区間である。3 測線は富士川河口断層帯を横断する主要な活断層である安居山断層、芝川断層およびその延長を横断する。また、A 測線は Lin et al. (2013)で指摘された富士火山北東麓部に分布する活断層を横断すべく設定した。

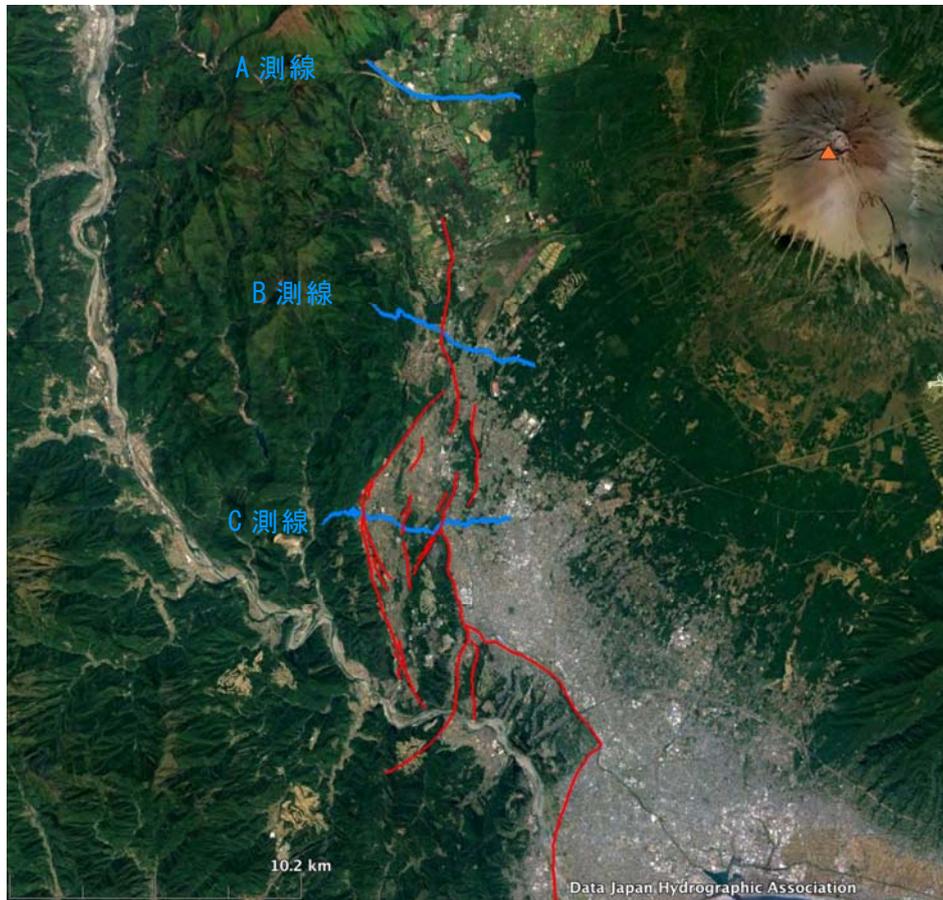


図 1 反射法地震探査の測線図。赤線は活断層の位置（中田・今泉編，2002）を示す。

本探査では独立型収録器 GSR-1 および GSX-3（OYO Geospace 社製）を用いた 10 m 間隔の受振点固定展開と、中型バイブレーター EnviroVib（IVI 社製）2 台による稠密発振を行い、高分解能反射法のデータを取得した（図 2）。実施期間は 2018 年 2 月 1 日～2 月 20 日である。本探査では水平解像度を高める目的で、10 m 間隔の受振点展開に対して、5 m 間隔の稠密発振を行った。

主なデータ取得パラメーターは以下の通りである：受振点間隔：10 m、発振点間隔（標準）：5 m、総発振点数：885 点、展開チャンネル数：885 ch、スイープ長：16 sec、スイープ周波数：8-100 Hz、地震計固有周波数：10 Hz、記録長：4 sec、サンプリング間隔：2 msec、平均垂直重合数：3 回。

次年度は、この観測記録を用いて、共通反射点重合法に基づく反射法のデータ解析を行い、反射断面を作成するとともに、変動地形・地質学的データとあわせて断層帯の形状などについて検討を行う。



図 2 C 測線での観測風景。(左) 震源車 2 台による発振。(右) 敷設された独立型地震波形収録器。

### 3) 富士川河口断層帯における地形・地質調査

富士川河口断層帯の分布や活動性に関する新規データを取得するにあたり、断層沿いの変位地形を再検討するために、まず断層帯を構成する代表的な活構造である安居山断層と芝川断層の変位地形について既存の空中写真を用いて再検討した。その結果、これらの断層沿いには完新世に形成されたと考えられる新期の低崖地形が断続的に分布する可能性があることがわかった。特に芝川断層沿いには、芝川溶岩（約 1.7 ka; 高田・他, 2016）以降に、天子山地東麓部を東西に流下する芝川支流により形成された扇状地性の河成段丘面を変位・変形させる東向き低崖地形が南北方向に断続的に分布する（図 3）。

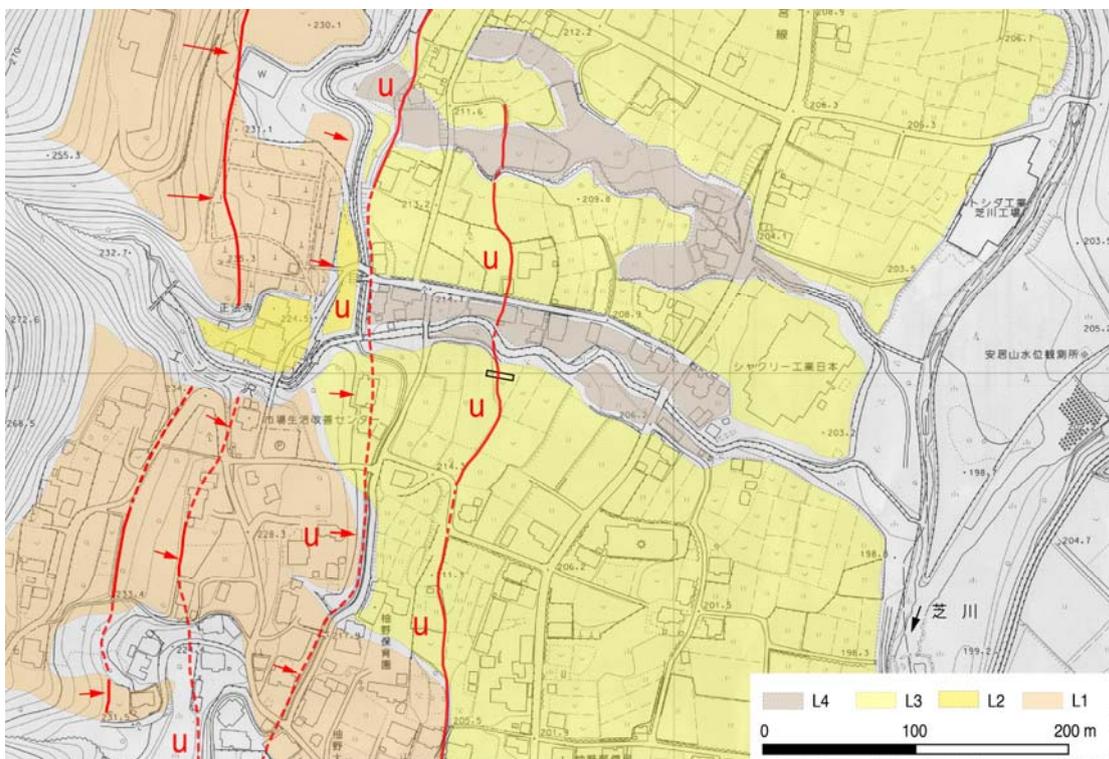


図 3 富士宮市上柚野、芝川断層沿いに分布する東向き低崖地形。赤線は崖線（実線は位置明瞭、破線は位置不明瞭）、赤矢印は地形面の撓み下がる方向を、u は地形面上昇側を示す。また黒い矩形はトレンチ（図 5）の位置を示す。

これらの崖地形は、国土地理院 1961 年撮影、縮尺約 1 万分の 1 の空中写真を使用して復元した顕著な人工改変前の地形図（図 4）でも明瞭に認められる。

低崖地形は所々に撓みも伴いつつ、複数条の線状分布をなすほか、異なる形成年代の段丘面を同一方向に変位させており、変位の累積性が認められる。特に、段丘面を開析する谷低地形を切断しており、その形成時代が極めて新しいと考えられることは注目される。

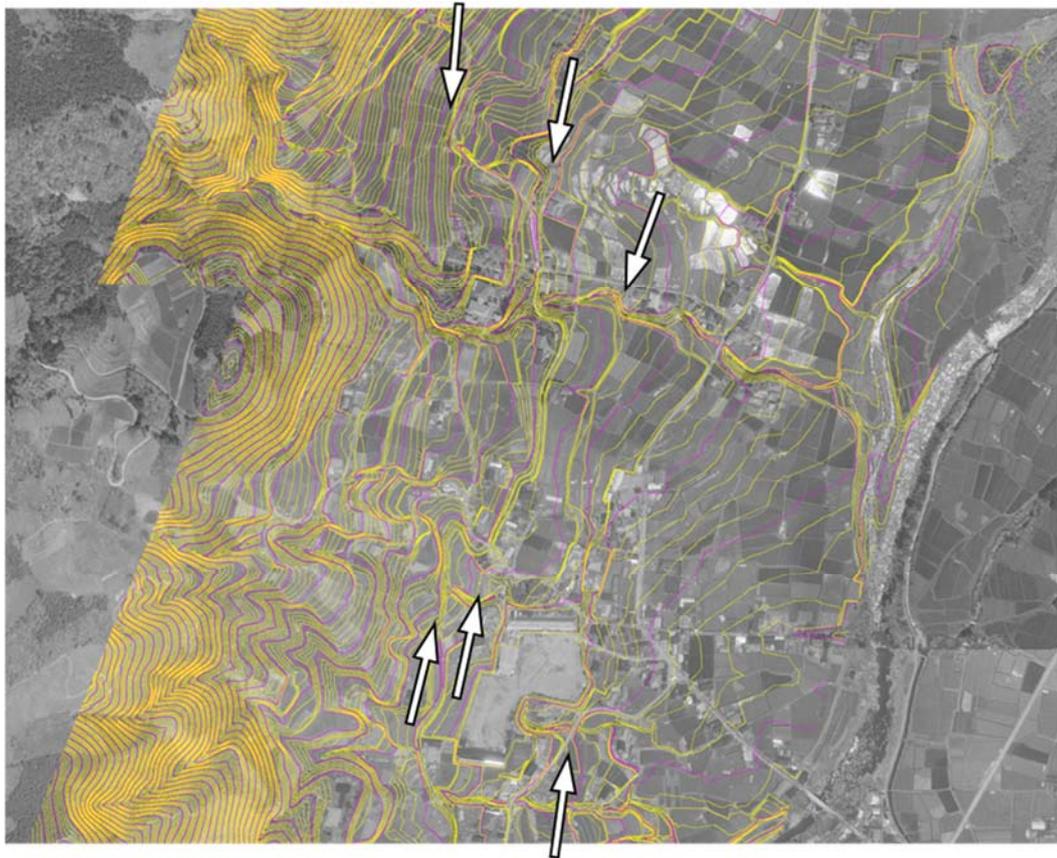


図 4 航測図化により復元した地形図に表現された芝川右岸沿いに分布する東向き低崖地形。白矢印は崖地形基部の位置を示す。

これらの崖地形の成因を確かめるべく、富士宮市上柚野において東向き低崖地形を横断するトレンチ調査を実施した（図 5）。ここでは、最終氷期極相期に形成されたと推定される低位段丘面（L1 面）を開析して広がる L3 面を南北方向に切る、比高 2 m 内外の東向き崖地形が南北に断続的に延びる。崖地形は更に低位の段丘面も切るほか、崖地形のトレースと現河床の交差部分では現河床に遷急点が存在する。トレンチ調査の結果、崖地形基部に L2 面を構成する砂礫層を切断する西傾斜の地層境界が壁面に出現した（図 5）。境界の西側では L2 面を直接構成する砂礫層が F-Os（富士大沢テフラ；約 2.5-2.8 ka；町田・新井，2003）に覆われる。今後、トレンチ壁面や周辺で実施した簡易掘削試料から得られたサンプルの放射性炭素同位体の年代測定や火山灰分析を進め、地層の層序を確定して地質構造の解釈を行う。



図 5 富士宮市上柚野で行ったトレンチ調査で出現した露頭。赤矢印は断層の可能性のある地層境界。北壁面を示す。

このように、地形学的な検討から天子山地東麓部に断続的に認められる東向きの低崖地形が、西傾斜の衝上断層によって形成された変動崖（低断層崖・撓曲崖）である可能性がある。今後は安居山断層も含めて更に地形・地質学的な検討を加えて、最終年度に実施する古地震学的な調査の地点・内容を絞り込む予定である。

#### (c) 結論ならびに今後の課題

富士川河口断層帯において3測線の高分解能反射法地震探査のデータを新たに取得した。また、航測図化・空中写真判読等に基づき、芝川右岸沿いに芝川断層により形成された可能性のある新期の低崖地形を複数見出した。上柚野地区でトレンチ調査を実施した結果、完新世後期の砂礫層を切断し、地表まで伸びる傾斜の衝上断層が確認された。今後は芝川断層沿いでH31年度に実施する古地震調査にむけた地形・地質調査を更に進めるとともに、他の断層についても同様の検討を進める。また、反射法地震探査のデータ解析を進め、断層帯の形状についても検討する。

#### (d) 引用文献

羽田野誠一，大宮・入山瀬断層と蒲原地震山の読図と判読．地図，15，40-41，1977．

羽田野誠一・津沢正晴・松島義章，駿河湾北岸の完新世垂直変動と測地的上下変動．地震予知連絡会会報，21，101-106，1979．

伊藤 忍・山口和雄，富士川河口地域における反射法地震探査．海陸シームレス地質情報集，「駿河湾北部沿岸域」，海陸シームレス地質図S-5，産業技術総合研究所地質調査総合センター，2016．

地震調査研究推進本部地震調査委員会，富士川河口断層帯の長期評価の一部改訂について（平成22年10月20日公表），2010

[http://www.jishin.go.jp/main/chousa/10oct\\_fujikawa](http://www.jishin.go.jp/main/chousa/10oct_fujikawa)

- 活断層研究会編，新編日本の活断層－分布図と資料－．東京大学出版会，437p, 1991.
- Lin, A., Iida, K. and Tanaka, H., On-land active thrust faults of the Nankai–Suruga subduction zone: The Fujikawa-kako Fault Zone, central Japan, 2013.
- 町田 洋・新井房夫，「新編 火山灰アトラス-日本列島とその周辺」.東京大学出版会，336p, 2003.
- 丸山 正・齋藤 勝，富士川河口断層帯の古地震調査．活断層・古地震研究報告，no.7, 129-155, 産業技術総合研究所地質調査総合センター，2007.
- 松原彰子，駿河湾奥部沖積平野の地形発達史．地理学評論，Ser. A, 57, 37-56, 1984.
- 松原彰子，完新世における砂州地形の発達過程－駿河湾沿岸低地を例として－．地理学評論，Ser.A, 62, 160-183, 1989.
- 松原彰子，日本における完新世の砂州地形発達．地理学評論 Ser. A, 73, 409-434, 2000.
- 松島義章，完新世段丘からみた相模湾・駿河湾沿岸地域のネオテクトニクス．第四紀研究，23, 165-174, 1984.
- 中田 高・東郷正美・池田安隆・今泉俊文・宇根 寛，1：25,000 都市圏活断層図「富士宮」．国土地理院技術資料D・1-No.375, 2000.
- 中田 高・今泉俊文編，活断層詳細デジタルマップ．東京大学出版会，DVD-ROM2 枚・付図1 葉・60p, 2002.
- 尾崎正紀・水野清秀・佐藤智之，5万分の1富士川河口断層帯及び周辺地域地質編纂図及び説明書．海陸シームレス地質情報集，「駿河湾北部沿岸域」，海陸シームレス地質図S-5，産業技術総合研究所地質調査総合センター，2016.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター，海陸シームレス地質情報集，「駿河湾北部沿岸域」，海陸シームレス地質図S-5，産業技術総合研究所地質調査総合センター，2016.
- 下川浩一・山崎晴雄・水野清秀・井村隆介，平成7 年度活断層調査研究報告No.27 富士川断層系のトレンチ掘削等による活動履歴調査．地質調査所研究資料集，no.251, 49p, 1996a.
- 下川浩一・山崎晴雄・水野清秀・井村隆介，富士川断層系の活動履歴及び活動性調査．平成7 年度活断層研究調査概要報告書，工業技術院地質調査所，地質調査所研究資料集，no.259, 73-80, 1996b.
- 下川浩一・荻谷愛彦・山崎晴雄，富士川河口断層帯．安居山断層の補備調査．地質調査所速報・活断層・古地震研究調査概要報告書(平成9 年度)，EQ/98/1, 27-35, 1998.
- 静岡県総務部地震対策課，平成7 年度静岡県地域活断層調査業務報告書．284 p, 1996.
- 高田 亮・山元孝広・石塚吉浩・中野 俊，富士火山地質図(第2版) 及び解説書．特殊地質図，no.12, 産業技術総合研究所地質調査総合センター，2016.
- 山崎晴雄，プレート境界部の活断層－駿河湾北岸内陸地域を例にして－．月刊地球，1, 571-576, 1979.
- Yamazaki, H., Tectonics of a plate collision along the northern margin of Izu Peninsula, Central Japan. Bulletin of the Geological Survey of Japan, 43, 603-

657, 1992.

山崎晴雄・坂本 亨・秦 光男・倉沢 一・垣見俊弘・羽田野誠一・町田 洋・大八木規夫，駿河湾北岸における活断層の地質学的研究．東海地域の地震予知に関する総合研究報告書，科学技術庁研究調整局，177-207, 1981.

Yamazaki, H., Shimokawa, K., Mizuno, K. and Tanaka, T., Off-fault paleoseismology in Japan: with special reference to the Fujikawa-kako fault zone, central Japan. Geographical Reports of Tokyo Metropolitan University, 37, 1-14, 2002.

米倉伸之・池田安隆・鹿島 薫・松原彰子，駿河湾周辺の海岸低地における沖積層掘削調査．阪口 豊編：最終氷期以降の自然環境の変動(昭和58・59 年度東京大学特定研究経費成果報告書：文部省科学研究費)，35-80, 1985.

### 3. 3 地震活動から見たプレート構造

#### (1) 業務の内容

(a) 業務題目 地震活動から見たプレート構造

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立研究開発法人防災科学技術研究所地震津波防災研究部門	主任研究員	松原 誠
同	副部門長	汐見 勝彦
同	主任研究員	木村 武志
同	特別研究員	ヤノ トモコ エリザベス

(c) 業務の目的

Hi-net などの定常観測点、本事業で実施する海底地震観測などの地震観測データをもとに、地震波トモグラフィによる速度構造解析、震源の高精度決定、繰り返し地震の抽出、発震機構解の検討、レシーバー関数解析などの総合的な検討により、より高い精度でフィリピン海プレート上面境界モデルを構築する。

(d) 3 ヶ年の年次実施業務の要約

1) 平成 29 年度：

より精度が高いプレート境界を明らかにするために、防災科学技術研究所（防災科研）高感度地震観測網（Hi-net）で検出した東海地域における地震を精密震源再決定法により決め直した。同時に、プレート境界特有の低角逆断層型の繰り返し発生する地震の抽出システムを構築した。

2) 平成 30 年度：

平成 29 年度に構築したシステムを用いて、波形相関に基づくプレート境界特有の低角逆断層型の繰り返し発生する地震を抽出する。海底観測データの地震波到達時刻を活用した三次元地震波速度構造解析に向けた準備として、防災科研 Hi-net による到達時刻データとの統合手法などを開発し、地震波速度構造解析の試行をし、浅部構造の解像度の向上可能性を検討する。

3) 平成 31 年度：

Hi-net などの定常観測点、本事業で実施する海底地震観測などの地震観測データをもとに、地震波トモグラフィによる速度構造解析、震源の高精度決定、繰り返し地震の抽出、発震機構解の検討、レシーバー関数解析などの総合的な検討により、より高い精度でフィリピン海プレート上面境界モデルを構築する。さらに、地震活動や地震波速度構造から富士川河口断層帯における地震発生層の下限を求める。

## (2) 平成29年度の成果

### (a) 業務の要約

より精度が高いプレート境界を明らかにするために、防災科研 Hi-net で検出した東海地域における地震を2種類の方法で再決定した。1つ目の方法として、波形相関を用いた Double-Difference 法という精密震源再決定法を用いて再決定し、浅部においては断層に沿って集約する分布が得られた。2つ目の方法として、三次元地震波速度構造を用いて再決定した。表層近くの地震は深く、深い地震は浅く震源再決定され、沿岸から海域の地震は概ね陸に近づく方向に再決定された。また、プレート境界特有の低角逆断層型の繰り返し発生する地震の抽出システムを構築した。当該地震から  $0.1^\circ$  以内に発生した地震について、P波の1秒前からS波の5秒後までの波形を比較して相関係数を計算し、20 Hz の波形で相関係数 0.80 以上の観測点が存在した場合に、さらに 100 Hz の波形での相関係数を計算し、相関係数 0.95 以上の観測点が3観測点以上存在した場合に、その地震の組み合わせを相似地震として抽出した。

### (b) 業務の実施方法

#### 1) 東海地域における震源再決定

東海地域においては陸側プレート内、陸側プレートと沈み込むフィリピン海プレートの境界部、さらにフィリピン海プレート内部における地震活動が活発である。定常的な地震活動を精査するため、一次元速度構造を用いるが、断層などに集約した分布を得やすい波形相関を用いた Double-Difference 法 (DD法; Waldhauser and Ellsworth, 2000) による再決定と三次元地震波速度構造を用いた再決定を実施した。

2000年10月～2014年7月までのマグニチュード1.5以上の微小地震について、三次元地震波速度構造 (Matsubara and Obara, 2011) を用いて再決定した。また、2000年10月～2017年12月までのマグニチュード0以上の微小地震について、一次元地震波速度構造と DD法を用いて、震源再決定を実施した。

#### 2) 低角逆断層型の繰り返し発生する地震の抽出システムの構築

プレート境界においては、低角逆断層型の地震が発生する。固着域の周囲では、ほぼ同じ規模の低角逆断層型の地震が周期的に同じ場所で発生している現象が東北地方の太平洋プレート上面において観測されている (Igarashi et al., 2003; Uchida et al., 2003; Matsubara et al., 2005)。フィリピン海プレート上面においても、静岡県藤枝市の下付近において同様の繰り返し地震が観測されている (Matsubara et al., 2006)。このような繰り返し地震の探索には複雑な処理・解析が必要であり、それらを効率的に処理するシステムを構築した。

### (c) 業務の成果

#### 1) 東海地域における震源再決定

防災科研 Hi-net の定常処理により決められた 2000 年 10 月～2017 年年 12 月の東海地域 (東経  $137^\circ\sim 139^\circ$ 、北緯  $34.5^\circ\sim 35.5^\circ$ ) における自動処理を含むマグニチュード (M) 0.0 以上の地震の震源分布を図 1 に示す。DD 法を用いて再決定された震源を図 2

に示す。浅部においては断層に沿って集約する分布が得られた。

防災科研 Hi-net の定常処理により決められた 2000 年 10 月～2014 年 7 月の東海地域（東経 137°～139°、北緯 34.5°～35.5°）における手動検出されたマグニチュード（M）1.5 以上の地震の震源分布を図 3 に示す。三次元地震波速度構造を用いて再決定された震源分布を図 4 に示す。表層近くの地震は深く、深い地震は浅く震源再決定され、沿岸から海域の地震は概ね陸に近づく方向に再決定された。

## 2) 低角逆断層型の繰り返し発生する地震の抽出システムの構築

既存の解析サーバーのメモリーをリプレースして増やした上で、システムを構築した。これまで、手作業で実施していた各段階の作業を自動的に行うようにシステム化した。これにより、繰り返し地震を抽出したい期間と範囲を入力するだけで、自動的に、処理に必要な未成ファイルの作成、相関係数計算処理、同一地震の判定処理などを実施することができるようになった。あるイベントと比較対象イベントの抽出過程を図 5 に示す。

解析手順としては、まず、win32 形式で蓄積されている地震波形を sac 形式に変換する。その際、生波形（100 Hz）に加えて 1-4 Hz, 1-8 Hz, 1-20 Hz のバンドパスフィルターをかけた波形ファイル、および 1-4Hz の波形については相関係数の計算時間短縮のために 20 Hz にダウンサンプリングした波形も作成する。当該地震から 0.1°以内に発生した地震について、1-4 Hz のバンドパスフィルターをかけた 20 Hz の各観測点の波形を用いて P 波の 1 秒前から S 波の 5 秒後までの波形を比較して相関係数を計算し、相関係数 0.80 以上の観測点が存在した場合はさらに 100 Hz の波形での相関係数を計算し、相関係数 0.95 以上の観測点が 3 観測点以上存在した場合に、その地震の組み合わせを相似地震として抽出する。

Matsubara et al. (2006)により抽出されている静岡県藤枝市付近の小繰り返し地震の抽出結果を図 6～7 に示す。繰り返し地震として抽出された地震の組み合わせの中で最も距離が離れた地震は 0.018°（約 2 km）であった。

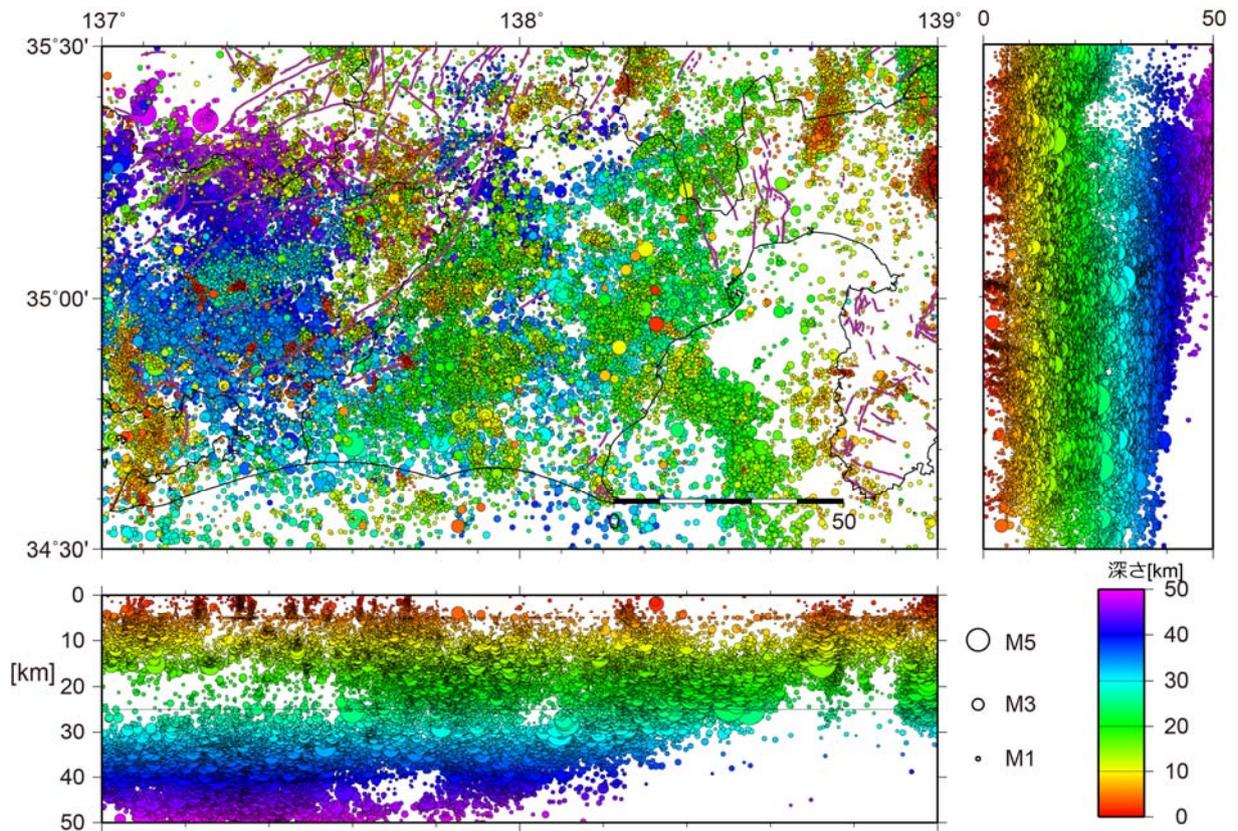


図1 防災科研 Hi-net の自動決定を含む定常処理により決められた 2000 年 10 月～2017 年 12 月の M0.0 以上の震源分布。

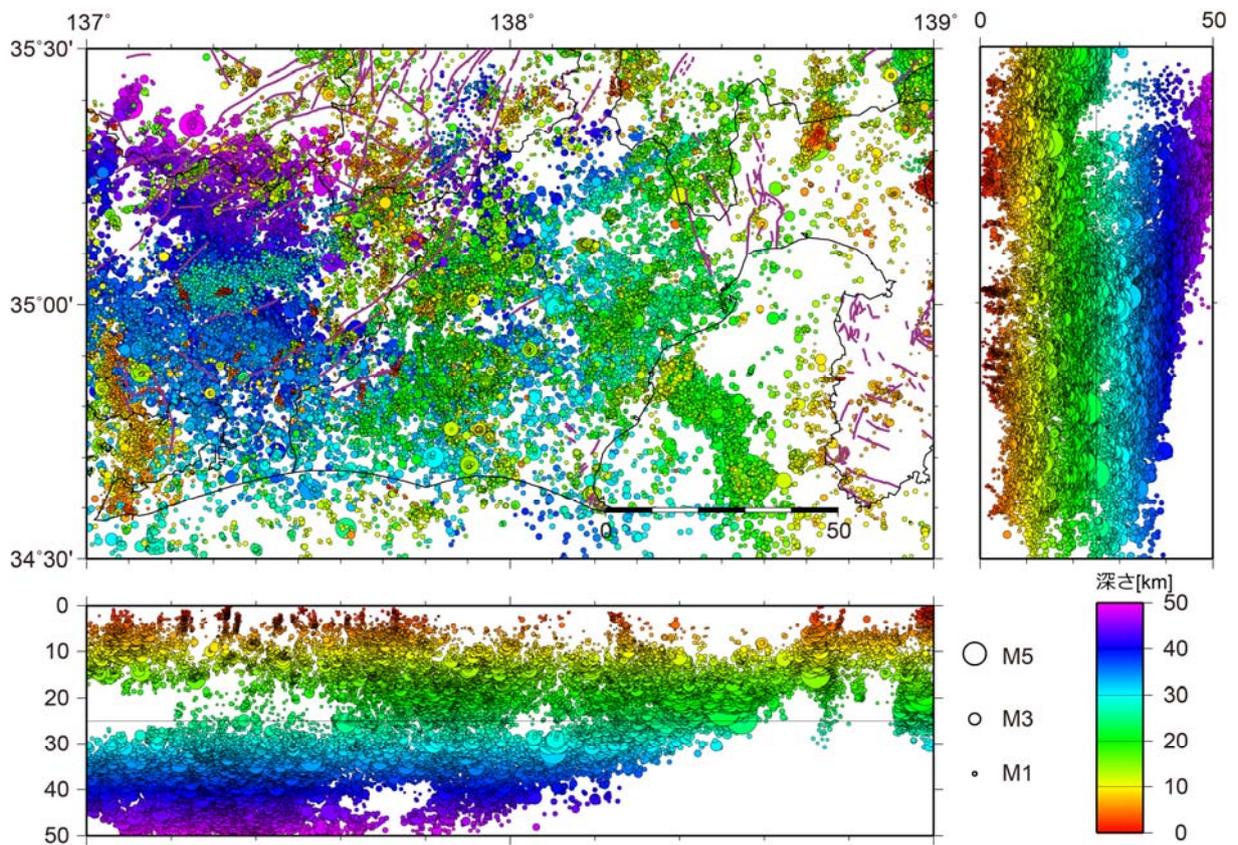


図2 波形相関を用いた DD 法により再決定された震源分布。

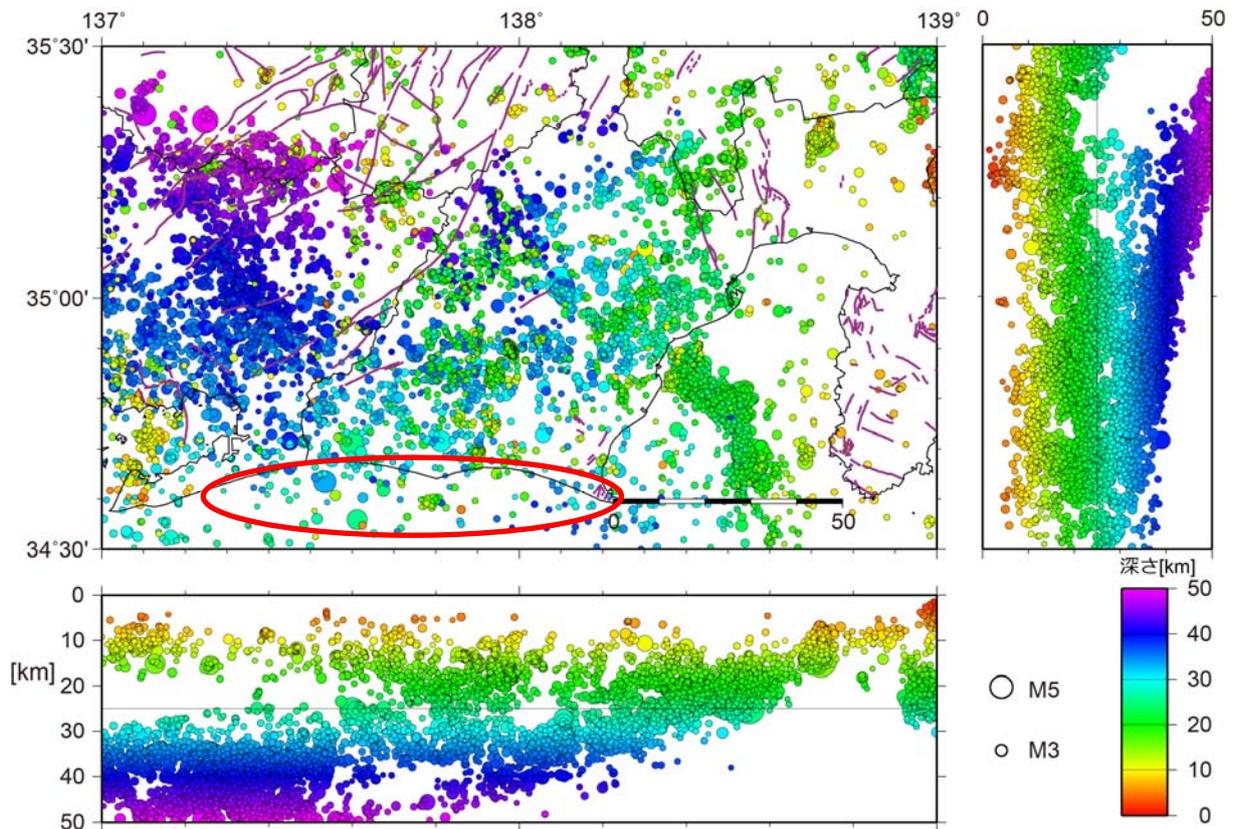


図3 防災科研 Hi-net の定常処理により手動検測された 2000 年 10 月～2014 年 7 月までの M1.5 以上の震源分布。赤楕円は再決定により陸に近づいた震源を示している。

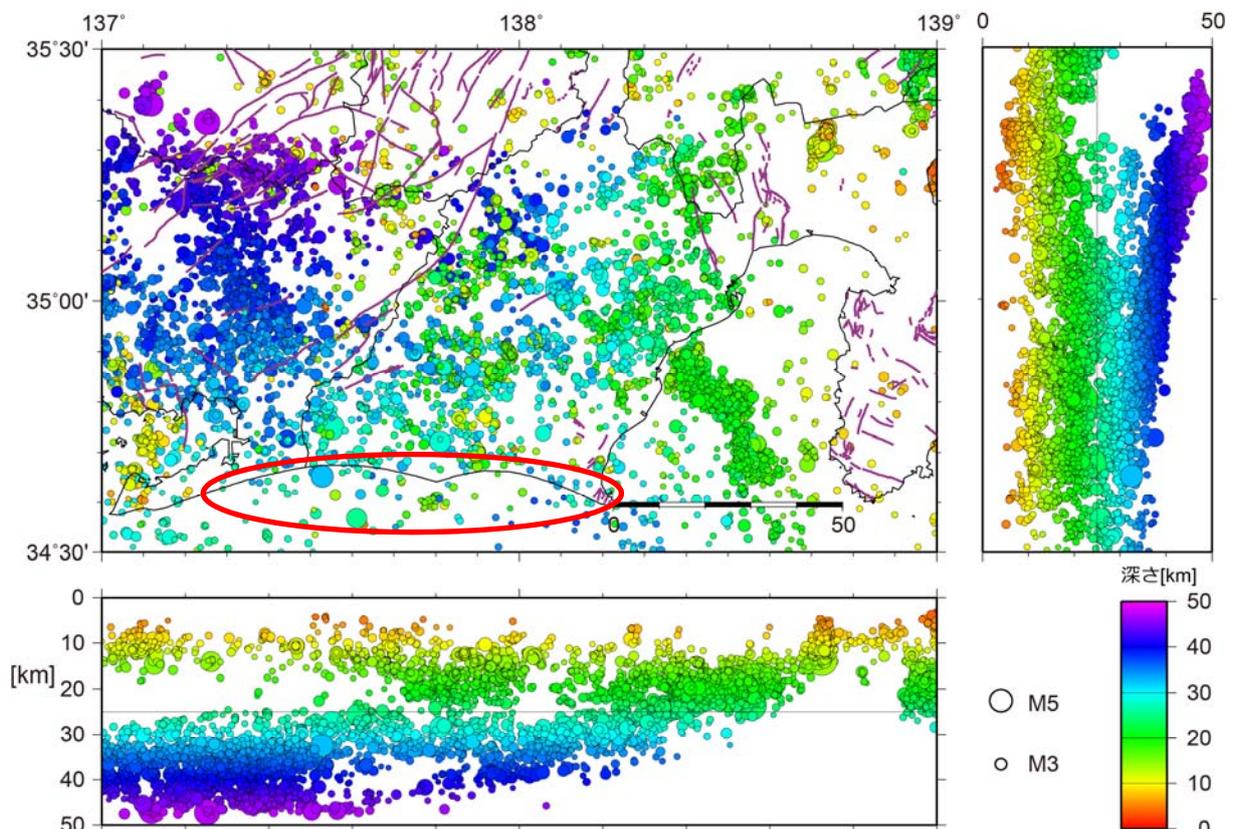


図4 三次元地震波速度構造を用いて再決定された震源分布。赤楕円は再決定により陸に近づいた震源を示している。

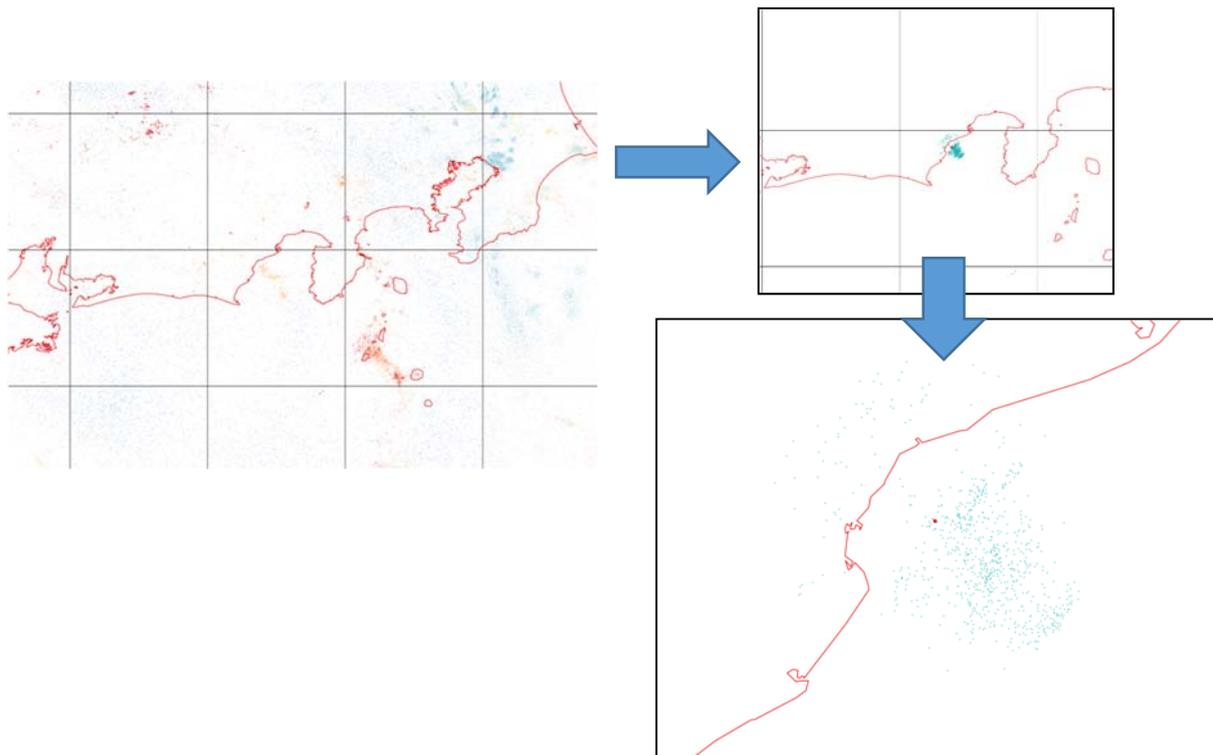


図5 波形を比較する対象イベントの抽出過程。解析対象全域の震源分布（左上）からあるイベントとその比較対象イベントを抽出した（右上）。その拡大図を右下に示す。

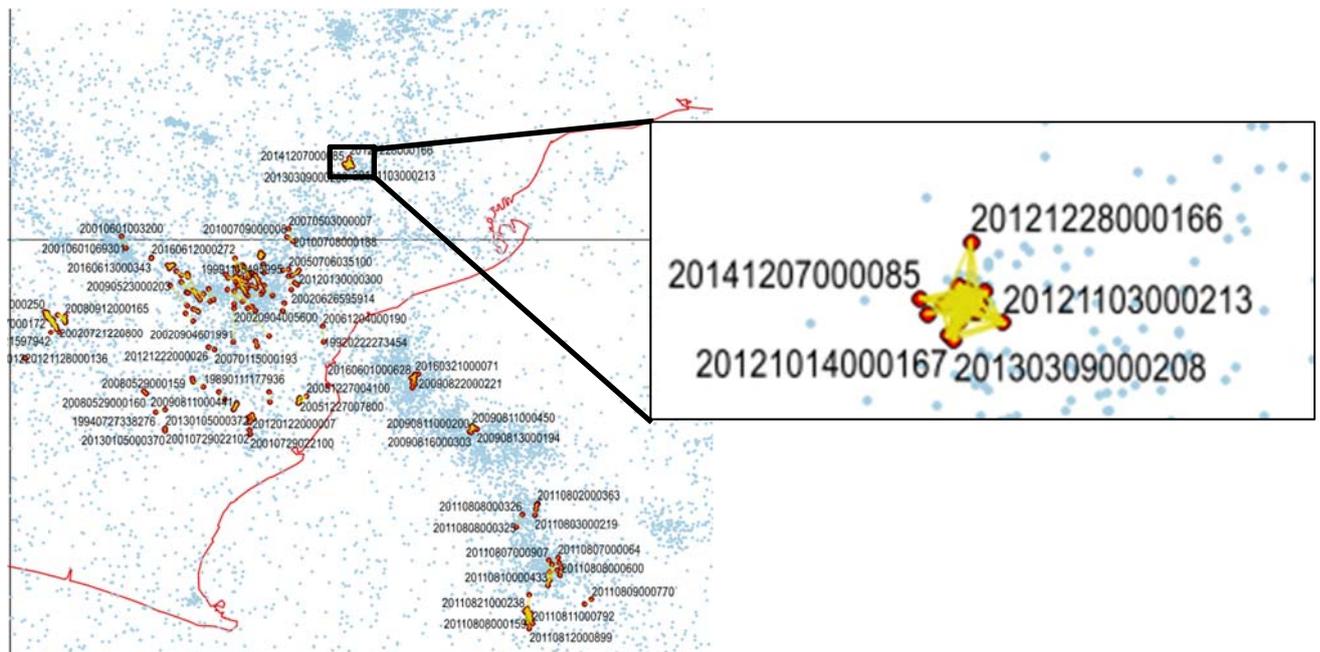


図6 相似地震として抽出された地震の組み合わせ例。薄青丸は比較対象の地震の震源を、赤丸が相似地震として抽出された地震の震源を、黄色の線は相似地震として抽出された地震の組み合わせを示す。

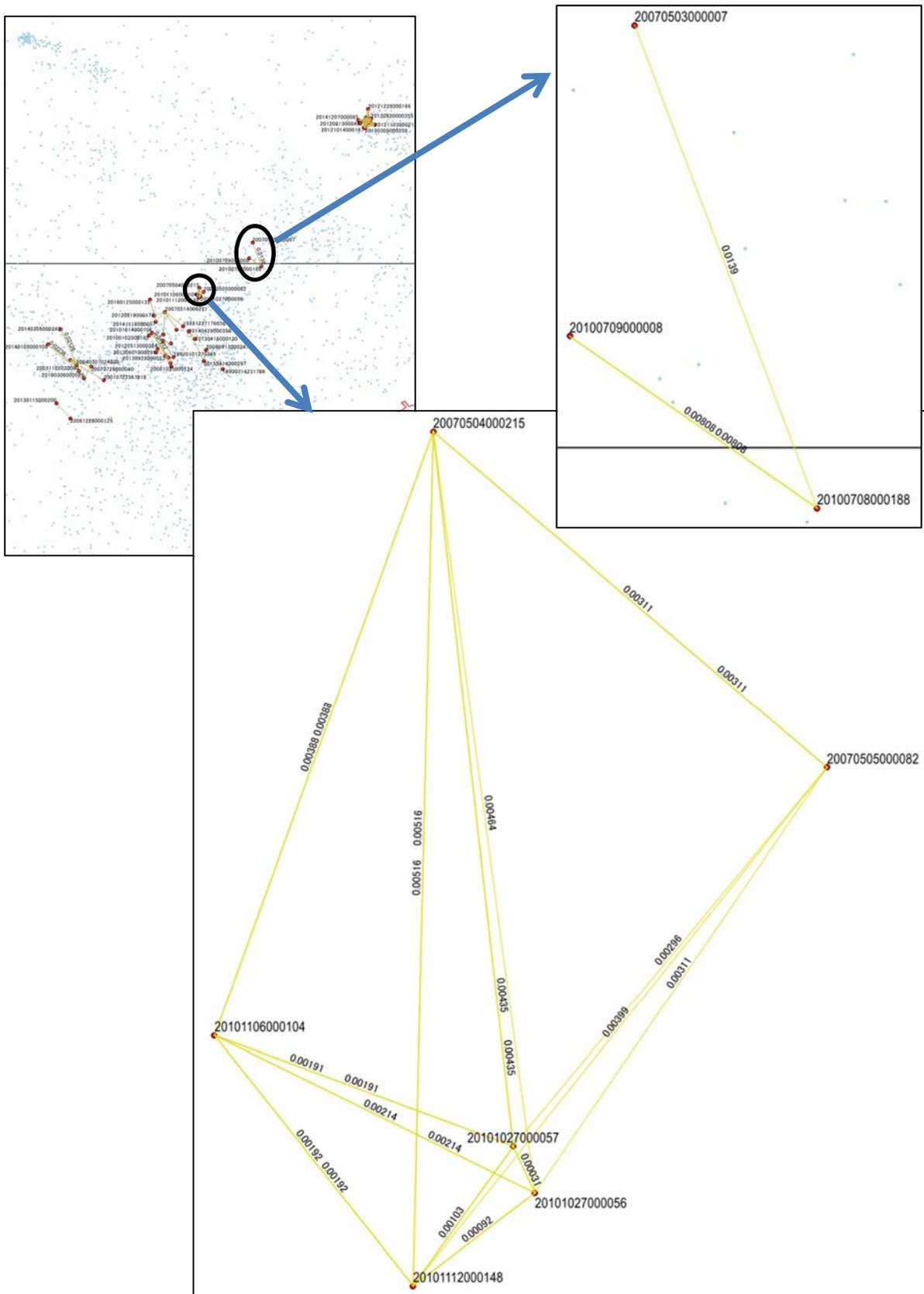


図7 相似地震として抽出された地震の組み合わせ例。黄色の線の値は地震の間の距離（単位：°）を示す。

(d) 結論ならびに今後の課題

本解析により三次元地震波速度構造を用いた震源再決定により、深さ方向の精度が向上した。一方、DD法を用いた震源再決定により、断層などに集約する震源分布が得られた。深さの絶対的な位置は三次元地震波速度構造を用いた震源分布から、断層の形状についてはDD法を用いた震源分布を用いて議論できることが分かった。

また、プレート境界に特有の繰り返し発生する低角逆断層型の地震の抽出システムを構築した。今後、このシステムを活用して、フィリピン海プレート上面における低角逆断層型の地震を抽出し、プレート境界構造の推定に活用できると期待される。

(e) 引用文献

- Igarashi, T., T. Matsuzawa, and A. Hasegawa, Repeating earthquakes and interplate aseismic slip in the northeastern Japan subduction zone, *J. Geophys. Res.*, 108(B5), 2249, doi:10.1029/2002JB001920, 2003.
- Matsubara, M., H. Sato, K. Uehira, M. Mochizuki, and T. Kanazawa, Three-dimensional seismic velocity structure beneath Japanese Islands and surroundings based on NIED seismic networks using both inland and offshore events, *Journal of Disaster Research*, 12, 844-857, doi:10.20965/jdr.2017.p0844, 2017.
- Matsubara M. and K. Obara, The 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku earthquake related to a strong velocity gradient with the Pacific plate, *Earth Planets Space*, 63, 663-667, doi:10.5047/eps.2011.05.018, 2011.
- Matsubara, M., Y. Yagi, and K. Obara, Plate boundary slip associated with the 2003 Off-Tokachi earthquake based on small repeating earthquake data, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L08316, doi:10.1029/2004GL022310, 2005.
- Matsubara, M., K. Obara and K. Kasahara, Small repeating earthquake activity beneath the Kanto and Tokai region, central Japan, from 1979 to 2001 derived from NIED Kanto-Tokai seismic network, *EOS, Transactions, American Geophysical Union*, T11G-04, 2006.
- Uchida, N., T. Matsuzawa, T. Igarashi, and A. Hasegawa, Interplate quasi-static slip off Sanriku, NE Japan, estimated from repeating earthquakes, *Geophys. Res. Lett.*, 30(15), 1801, doi:10.1029/2003GL017452, 2003.
- Waldhauser F, and W. L. Ellsworth, A double-difference earthquake location algorithm: method and application to the northern Hayward fault, California. *Bull Seismol Soc Am* 90:1353-1368. doi:10.1785/0120000006, 2000.

### 3. 4 史料地震調査

#### (1) 業務の内容

(a) 業務題目 史料地震調査

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
公益財団法人地震予知総合研究振興会	解析部長	松浦 律子

(c) 業務の目的

富士川河口断層帯とその周辺地域の史料を検討し、史料地震学的手法により、1854年安政東海地震の震源域の北端を詳細に検討することを含め、とくに近世を中心とした歴史時代における本地域周辺の地震像を解明する。

(d) 3ヵ年の年次実施業務の要約

1) 平成29年度：

新収日本地震史料第5巻別巻5を中心に主として東海道の由比から吉原にかけての状況に関する一次史料を抽出して解析するため、三保から三島にかけての史料を対象とした調査を実施し、1854年安政東海地震による、現在の静岡市清水区から三島市にかけての地域の詳細震度、および地震前後の地変の実態を、物理的妥当性も考慮に入れつつ検討した。

2) 平成30年度：

日本地震史料を中心に主として東海道の由比から吉原にかけての状況に関する一次史料を抽出して解析するため、三保から三島にかけての史料を対象とした調査を継続するとともに、補遺別巻および続補遺別巻に関して同様の解析に着手する。既往評価の論点となっている近世の浮島ヶ原の地震時地殻変動に関して、土地開発史の観点から検討を行う。歴史地震研究の手法を駆使して、1854年安政東海地震における富士川河口断層帯周辺の震源断層の位置検討を行う。

3) 平成31年度：

その他の地震史料集から三保から三島にかけての一次史料を対象とした調査を継続して、1854年安政東海地震時の駿河湾最奥部の地震前後の地変や、詳細な震度分布から、富士川河口断層帯の活動の有無や震源断層の北端の位置を検討する。

#### (2) 平成29年度の成果

(a) 業務の要約

富士川河口断層帯が活動したという説がある1854年安政東海地震の震源域の北端を詳細に検討して近世の本地域周辺の地震像を解明するため、1854年安政東海地震に関し

て、新収日本地震史料第5巻別巻5などから三保から三島にかけての震度や地震前後の地変などに関する信憑性が高い史料を選択し、ピンポイントで位置を特定して記述内容から震度を判定する作業を行った。途中結果ではあるが、安政東海地震の震源域が富士川河口断層帯まで及んでいたとすれば、震源断層上盤側になる富士川右岸側が、下盤側になる岳南平野東部より大震度が目立つはずであるが、今年度の結果では逆であり、既往研究とは異なる印象の震度分布図が得られた。

#### (b) 業務の実施方法

本事業がスタートする以前に、松浦・他(2018)や田中・他(2018)は現代の高度画像処理技術を用いて、伊能図など安政東海地震前の地形状況と、安政地震後の明治期の地形状況とを比較検討した。これに史料検討を融合させることで、これまで変動地形学的な証拠も、トレンチや露頭による断層変位を直接示すデータも、地震時の土地隆起の直接的史料も無いにも関わらず「安政東海地震で活動した活断層」とされてきた入山瀬断層に関して、少なくとも安政東海地震では活動しなかった結果を示している。これは、地震の調査で得られた堆積物等のオフフォールトの調査結果を、すべて既知の大地震に結びつけるという明治以来の固定観念に既往研究は縛られて、実際は地震よりよほど頻度が高い洪水等の河川のイベントによる地形変化から、「誤認地震断層」を生み出しているのではないかと、という問題提起である。従って、1854年安政東海地震の史料の信憑性に留意した詳細震度の検討は、将来の東海地震に付随して活動すると推定されている富士川河口断層帯の評価にとっても、非常に重要な問題である。そこで、本事業においては、駿河湾奥部周辺に関して、非常に史料数が豊富ではあるが、実は伝聞や複写情報が多く、逆に救済や復旧のために被害に関する細部の実態が判る公的史料は幕末故に少なく、実体験者や信憑性の高い一次史料が実際は少ないために、かえって解析が難しい安政東海地震の詳細震度分布を検討することを目指している。今年度は新収日本地震史料第5巻別巻5などから、三保から三島にかけての震度や地震前後の地変などに関して記述のある史料を抜き出す。これらのうちで信憑性が高い史料を中心に、記述内容からその地点自体の位置をピンポイントで特定するとともに、その地点の震度を判定する作業を行い、精度の判った震度分布図の作成を目指す。ただし、幕末の地震で大量の二次史料があるため、最終的な震度分布図は本事業の最終年度に全体の解析結果を比較検討して、総合的に判断して初めて得られる予定である。また、震度判定の過程で、場所が判った史料記述の集合体ができるため、震度判定には使えない情報でも地変に関する記述に注意しながら、収集・検討する。

#### (c) 業務の成果

今年度の作業によって、のべ240地点に関する史料が抽出され、その中から可能な限り信憑性のある史料の記述に基づいて、図1の震度分布図が得られた。この図を従来の震度分布図[e.g.宇佐美(1989)]と比較すると、駿河湾奥部周辺に関して、震度が総じて小さめである。従来の歴史地震の震度分布図には、火災や津波、土砂崩れ等二次災害による被害の増幅効果を含めたまま、震動の強さではなく、その地域の被害程度を表す震度が示されている場合が多い。また、伝聞情報に基づき、実態を必ずしも表

さない二次史料の混入によって過大な震度が与えられていた可能性もある。震度 7 判定となっている蒲原・中之郷・岩淵・松岡に関しては、未解析史料中に、もっと良質な史料があることが予想されており、本事業の伸展によって今後の変更があり得る。

また、中村・松浦（2018）により、1707 年宝永地震の翌朝に富士山付近で発生した誘発地震の震央が、富士川河口断層帯の北部に近い、白糸の滝より数 km 南の富士山西麓付近に求められ、非常に浅い地震、という結果が示された。この地震の規模は M6.9 以下、と推定されており、今後サブテーマ 2 等との連携効果が期待される。例えば富士川河口断層帯の固有規模の地震は 1 回変位量 7 m で、千年に 1 回とされているが、この誘発地震のような M7 未満の地震が千年間で複数回発生することによっても千年に 7m の累積変位は形成され得るだろう。今まで歴史時代で富士川河口断層帯に関連する候補の地震は無かったが、1707 年の宝永地震翌日の地震という候補が一つ見つかったことになる。

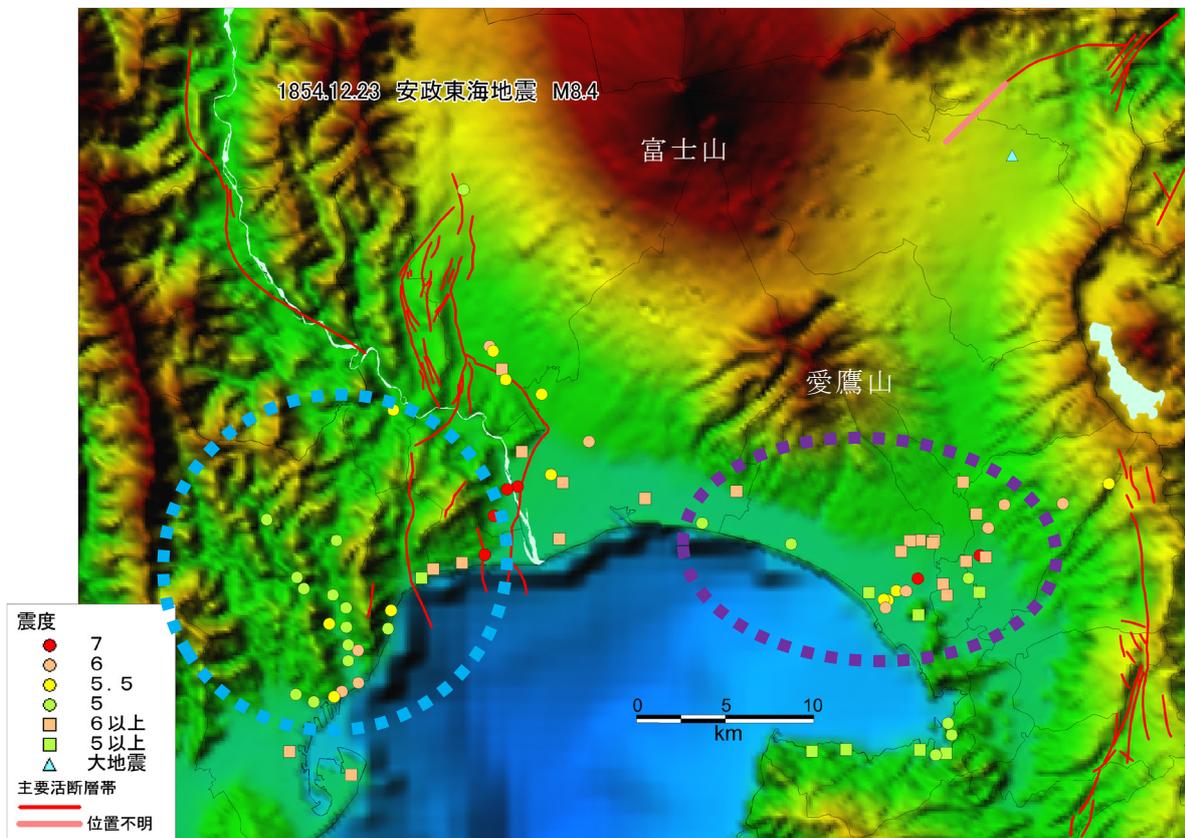


図 1 平成 29 年度末時点での富士川河口断層帯付近における安政東海地震の震度分布  
 安政東海地震の震源域が富士川河口断層帯まで及んでいたとすれば、地震時に震源断層の下盤側になる岳南平野東部（富士川や潤井川が供給する土砂による堆積で河口付近から主として東側に駿河湾北縁に沿って形勢された細長い平野は、富士山南麓の平野という意味で「岳南平野」と呼ばれる。一部分は愛鷹山の南麓でもある。）に広く分布する大震度（紫の点線楕円付近）の方が、上盤になる富士川右岸側（青の破線楕円付近）より目立つ。

(d) 結論ならびに今後の課題

史料地震学的検討によって、1854年安政東海地震時の駿河湾奥部周辺における震度分布

図が作業途中のものではあるが得られた。作成する際、火災等の効果や二次史料の混入によって過大な震度を与えないように注意した。安政東海地震の震源域が富士川河口断層帯まで及んでいたとすれば、震源断層下盤側になる岳南平野東部より、上盤側の蒲原丘陵以西で震度が大きいと予想されるのに、今年度得られた震度分布図では、むしろ下盤側の大震度が目立ち、上盤側と下盤側とで特段の被害程度差が見られない、という結果を得た。今後は悉皆調査と史料の信憑性を考慮した解析を継続して、1854年安政東海地震の震源域の北端の位置に迫る作業を継続する必要がある。

(e) 引用文献

松浦律子・田中圭・中田高・田力正好・松田時彦，蒲原地震山の成因について（速報），  
歴史地震，33，印刷中，2018.

中村操・松浦律子，宝永四年十月五日の地震の被害とその震源の推定，歴史地震，33，  
印刷中，2018.

田中圭・中田高・松浦律子・田力正好・松田時彦，古地図・空中写真の解析による安政  
東海地震全簿の富士川下流域の地形変化と蒲原地震山，地学雑誌，128，印刷中，2018.

宇佐美龍夫，安政東海地震(1854.12.23)、安政南海地震(1854.12.24)の震度分布，地震  
予知連絡会会報，41，7-1，1989.

### 3. 5 強震動予測

#### (1) 業務の内容

(a) 業務題目 強震動予測

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立大学法人東京工業大学	教授	山中 浩明
国立大学法人東京工業大学	助教	地元 孝輔
国立大学法人東京大学地震研究所	准教授	三宅 弘恵
国立研究開発法人防災科学研究所	主幹研究員	先名 重樹
公益財団法人鉄道総合技術研究所	副主任研究員	津野 靖士
公益財団法人鉄道総合技術研究所	副主任研究員	是永 将宏
公益財団法人鉄道総合技術研究所	副主任研究員	野田 俊太
国立大学法人東京工業大学	修士2年	中條 良亮
国立大学法人東京工業大学	修士2年	宮永 隼太郎
国立大学法人東京工業大学	修士1年	河合 亮太
国立大学法人東京工業大学	学部4年	重原 悠太郎
国立大学法人東京工業大学	学部4年	渡辺 雅紀

(c) 業務の目的

富士川河口断層帯周辺地域での既存の地下構造構築に関するデータを収集する。さらに、新たに強震観測や微動観測などを実施し、地下構造データの蓄積を図る。これらの地下構造データを統合し、強震動評価のための浅部および深部地盤の構造モデルの精度を向上させる。他のサブテーマの成果も含め震源断層モデルを構築し、対象地域での強震動予測の高度化を目指す。

(d) 3ヵ年の年次実施業務の要約

1) 平成29年度：

富士川河口断層帯周辺地域において実施されている物理探査やボーリングなどの地下構造データの収集を行った。同様に、既設の強震観測点での強震観測記録も収集および整理した。これらの蓄積状況を踏まえて、新たに強震観測および微動観測を実施し、対象地域での地下構造に関するデータを取得した。これらのデータから地下構造のP波およびS波速度構造情報を抽出し、既存の地下構造モデルとの比較を行った。

2) 平成30年度：

平成29年度に引き続き、強震観測および微動観測などを実施する。観測されたデータから地下構造情報を抽出し、既存の三次元地下構造モデルの試行的な修正を行

う。さらに、強震観測による連続記録に地震波干渉法を適用して、駿河湾を含む海域部の地下構造モデルに関する情報を得る。収集した強震記録の長周期地震動成分のシミュレーションを実施し、試行的に修正した地下構造モデルの強震動説明能力を明らかにする。平成29年度に得られた対象断層帯に関する知見を踏まえて、強震動評価のための震源モデルの構築に関する検討を行う。

### 3) 平成31年度：

強震観測および微動観測などを継続し、地下構造データを蓄積する。これらのデータの分析による地下構造情報を用いて、三次元地下構造モデルの再修正し、地下構造モデルの精度を向上させる。収集した強震記録の長周期地震動成分のシミュレーションを実施し、修正した地下構造モデルおよび既存のモデルの強震動説明能力の差異を明らかにする。平成31年度までに得られた対象断層帯に関する知見を踏まえて、強震動評価のための震源モデルの構築し、上記の地下構造モデルを用いた強震動の評価を行う。

## (2) 平成29年度の成果

### (a) 業務の要約

富士川河口断層帯周辺地域において実施されている既往の微動アレイ観測による表面波位相速度データおよび地下構造モデルの収集を行った。既往の微動アレイ観測が実施されていない地域において微動観測を実施し、周波数0.7から30 Hzの間でレイリー波の位相速度を得た。既往の地下構造モデルから微動観測地点での1次元P波およびS波速度構造情報を抽出した。このモデルに対するレイリー波の理論位相速度は観測結果と一部の周波数で異なっており、地下構造モデルの修正の必要性を示した。既設の強震観測点で得られている強震観測記録を収集し、地下構造のモデル化のために用いるデータの選別を行った。さらに、富士市および富士宮市において強震観測点を設け、強震動予測および地盤モデルの高度化のための強震観測の蓄積を図った。

### (b) 業務の成果

#### 1) 既往の地下構造データの収集

本研究で強震動評価の対象になると考えられる富士川河口断層帯周辺地域を図1に示す。この地域では、強震動評価のためにいくつかの3次元地下構造モデルが提案されてきた(地震調査研究推進本部, 2009; 内閣府, 2015; 静岡県, 2013)。しかし、ほとんどのモデルは、防災科学技術研究所による3次元深部地盤構造モデルに修正を加えたものである。そこで、本研究においても防災科学技術研究所のJ-SHISによる深部地盤構造モデルを参考にすることにした。以下では、このモデルをJ-SHIS(2017)と呼ぶ。

防災科学技術研究所のJ-SHISによるモデルの地震基盤(S波速度3.2km/s)上面の深度分布を図1に示す。地震基盤深度は、伊豆半島側で浅く、対象地域の西側で急に深くなっている。地震基盤よりも浅い中間層(S波速度2 km/s)上面の深度も図1には示されている。この層の深度分布図には、地震基盤深度分布のような急激な変

化は認められないが、東西での地層面の深度の差異は、この層でも認められる。しかし、S波速度 1.5 km/s 層上面は、駿河湾北部および山梨県南西部で深さ 1 km 程度と深くなる。さらに、S波速度 0.9km/s 層上面は、陸域では浅くなり、駿河湾南部で 0.3 km となっている。このように浅い部分の地層は、地震基盤面と異なる傾向を持っている。

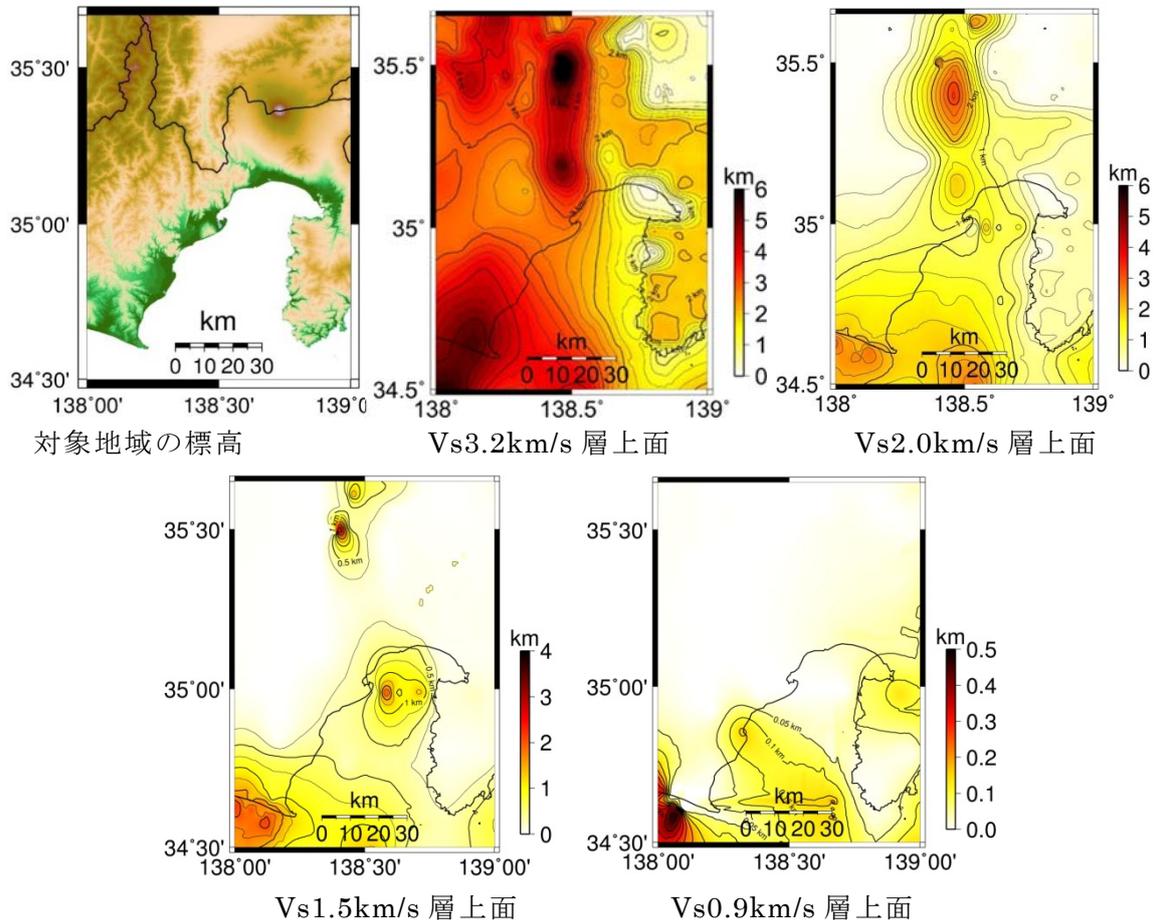


図1 対象地域の標高と J-SHIS (2017) による深部地盤モデル。

## 2) 微動アレイ観測

強震動予測での地盤増幅特性の評価では、地盤の S 波速度構造情報が重要である。地盤の S 波速度構造は、地震探査、微動探査（微動アレイ観測）、地震記録の分析などを用いて研究されている。とくに、微動アレイ観測は、堆積平野部の S 波速度構造探査として実績がある。対象地域においても、微動アレイ観測がいくつか行われており、それらの観測点位置を図 2 に示す。図中の白丸（先名・他, 2017）と赤四角（津野・工藤, 2008；大石・他, 2011；山中・山田, 2006）は、深部地盤の S 波速度構造の探査に着目した規模の大きいアレイでの微動観測である。一方、表層地盤を対象にした微動アレイ観測は、図 2 の青三角の位置で実施されている。これらは、表層地盤を対象にしていることから、小規模なアレイでの微動観測が主体である（先名・他, 2017）。そのために、小規模なアレイ観測は、多くの地点で調査が実施されている。

ここでは、深部地盤のモデル化のために実施されている既往の微動アレイ観測の結果について説明する。図2の赤四角の観測点での位相速度を図3に示す。駿河湾の東側のMSM、NMZ、SMDでは、0.8 Hz以下の周波数で位相速度が1.5 km/s以上となっている。一方、同湾西側のFJK、SHZ、SGR、OMZでは、位相速度が1.5 km/s以上になるのは、0.4 Hz以下の周波数帯域となっている。こうした位相速度の地域性は、図1に示した地震基盤が駿河湾の西側で深くなっていることに対応すると考えられる。

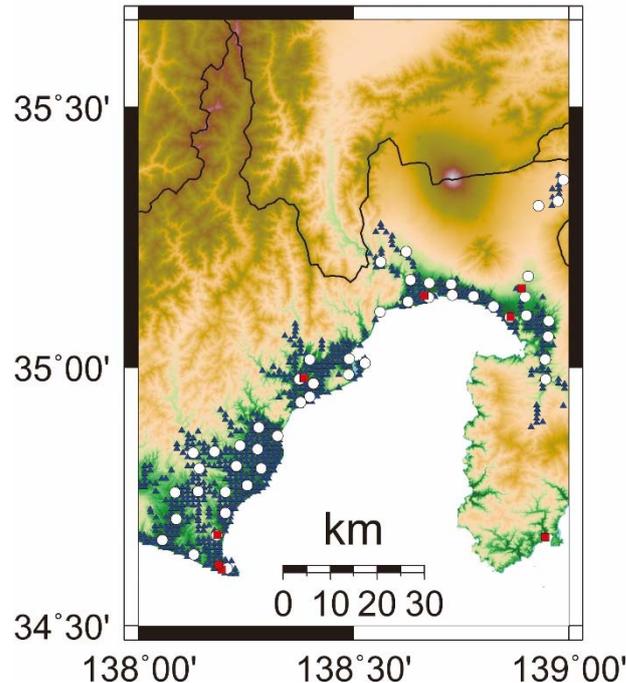


図2 既往の微動アレイ観測の位置。

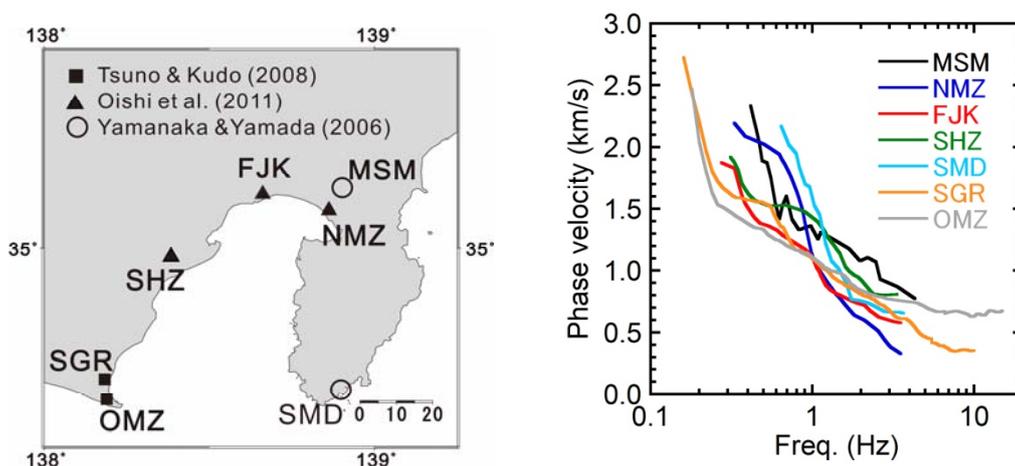


図3 既往の微動アレイ観測による位相速度。

図4に示す微動アレイ観測（先名・他，2017）で得られている位相速度の例が図5に示されている。この観測では、周波数1Hz以下で1.5 km/s程度までの位相速度が得られている。図3で示した既往の観測と比べて、位相速度が小さい範囲が対象とな

っている。なお、図1に示した J-SHIS (2017) のモデルと異なる既往の地下構造モデルとの比較が行われ、一部の周波数帯域で既存のモデルでは説明できないことから、1次元 S 波速度モデルの修正も行われている。



図4 先名・他 (2017) による微動アレイ観測点位置。

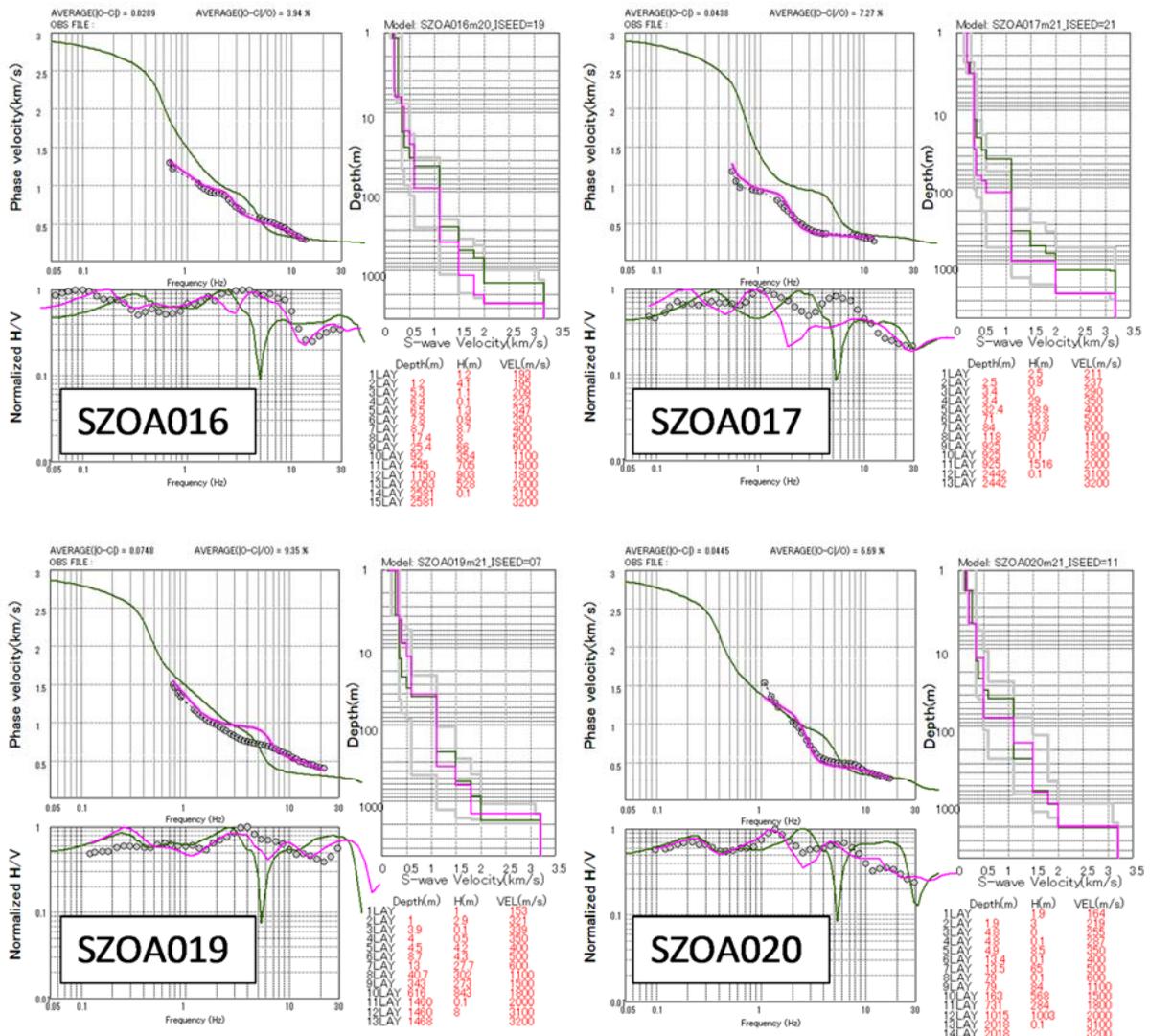


図5 先名・他 (2017) による位相速度とモデル修正の例。

緑とピンクのモデルは、既往のモデルと修正モデルを示し、グレーは探索範囲を示す。また、丸は、観測値である。

図2に示すように、深部地盤の探査を対象にした微動アレイ観測点は、富士市の内陸部、富士宮市、山梨県南部、伊豆半島西側地域では十分に実施されていないことがわかる。そこで、本研究では富士市と富士宮市において微動アレイ観測を実施した。微動アレイ観測の位置が図6の赤い丸で示されている。また、表1には、アレイ観測の位置とアレイサイズがまとめられている。各地点では、7組の機器(図7)を用いて2重三角形のアレイが設けられた。アレイ半径を変えて2回の観測が行われ、各観測で60分間の上下成分の微動記録を得た。なお、富士宮市の大アレイの位置では、表層地盤探査のためにサイズの小さいアレイでの微動観測も実施された。得られた記録は、SPAC法もしくはFK法によって解析され、図8のように0.7~30 Hzの間で位相速度が得られた。富士市大アレイ1の位相速度が、そのほかの2点の結果よりも周波数1 Hz付近で大きくなっており、深部地盤構造が変化していると考えられる。図1の地下構造モデルから得られる各観測点直下の1次元構造モデルに対するレイリー波の理論位相速度も図9に示されている。全体的には、観測位相速度は、理論位相速度と類似している。しかし、一部の周波数で両者の差異が大きくなっており、図5の場合と同様に地下構造モデルの修正が必要であると考えられる。さらに、観測位相速度は、低周波数でばらつきが大きく、解析する記録の品質の検討やより大きいアレイサイズでの観測も実施する必要があると考えられる。



図6 本研究による微動探査(赤丸)と既往の研究による微動探査(白丸)の位置。

表1 微動アレイ観測点の観測諸元。

地点	Lat.	Long.	アレイ半径(m)
富士宮市大アレイ1	35.24343	138.60103	500, 250, 17, 8.5, 3.5, 1.7
富士市大アレイ1	35.14546	138.63627	500, 250, 29, 14.5
富士市大アレイ2	35.18850	138.66396	500, 250, 29, 14.5



図7 本研究による微動アレイ観測の様子（左）と観測機器（右）。

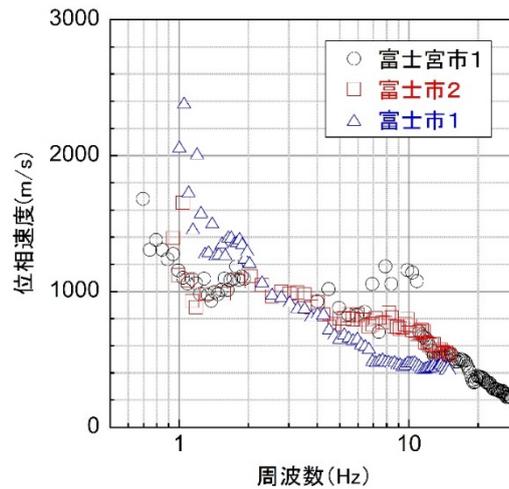


図8 微動探査によるレイリー波の位相速度。

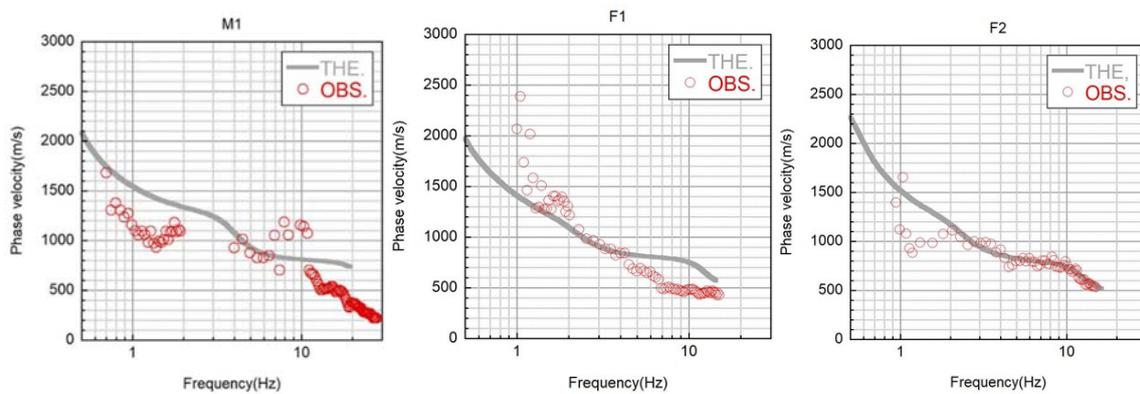


図9 観測位相速度と既往のモデル（図1）による理論位相速度の比較。左から富士宮市大アレイ、富士市大アレイ1、富士市大アレイ2での結果を示し、各図のグレーの線は理論位相速度、赤丸は観測位相速度を示す。

### 3) 強震観測

対象地域における既存の強震観測点の位置を図10に示す。これらの観測点での地震記録は、それぞれの観測機関（防災科学技術研究所、東大地震研究所、気象庁）もしくはデータネットワークシステムSK-net（自治体震度計）で公開されている。これらの記録から地盤構造モデルを構築もしくは修正するための地震記録を抽出した。そ

のためには、対象地域外の地下構造の影響が含まれないように、震央位置が北緯 34.5～35.5 度、東経 138.25～139 度で、M が 3～6 の地震を選択した。その結果、図 10 に示す 55 地震による 4 千以上の地震記録が使用可能であると判断した。収集した地震記録の例が図 11 に示されている。自治体の震度計による地震記録のいくつかは、記録の時刻精度が十分ではなく、P 波や S 波の初動の走時がほかの観測点に比べて著しく異なっている。これらの観測点の記録を用いた走時についての検討がやや難しいと考えられるため、スペクトル特性に着目した地盤のモデル化を中心に検討することが適切であると考えられる。

図 10 の既存の強震観測点の分布をみると、富士川河口断層帯周辺地域の近傍では、10 点程度の強震観測点しかなく、地下構造モデルの検証などのためには、十分ではないと考えられる。そこで、本研究では、図 12 および表 2 に示すように、富士宮市及び富士市の 13 地点において新たに強震観測を開始した。強震観測では、図 12 に示すように、強震計（JPE6A3）とデータロガー（LS8800）を 2～4 階建ての学校建物の基礎の上に設置し、バッテリーでデータロガーを稼働させた。データロガーには、加速度の連続記録が収録されている。

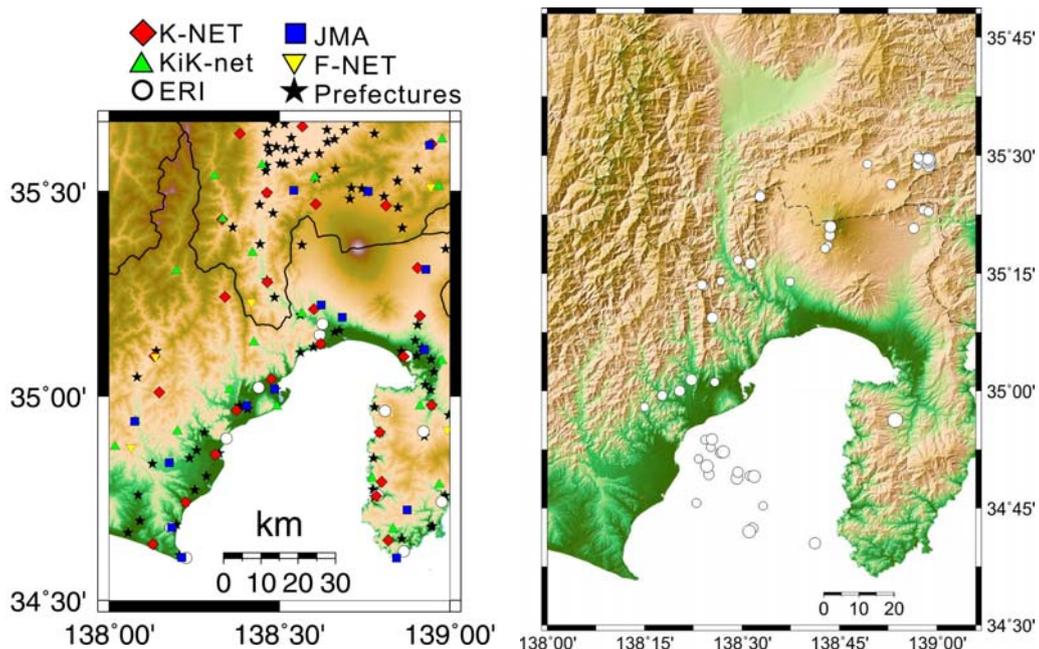


図 10 既存の強震観測点の位置（左）と記録を抽出した地震の震央の位置（右）。

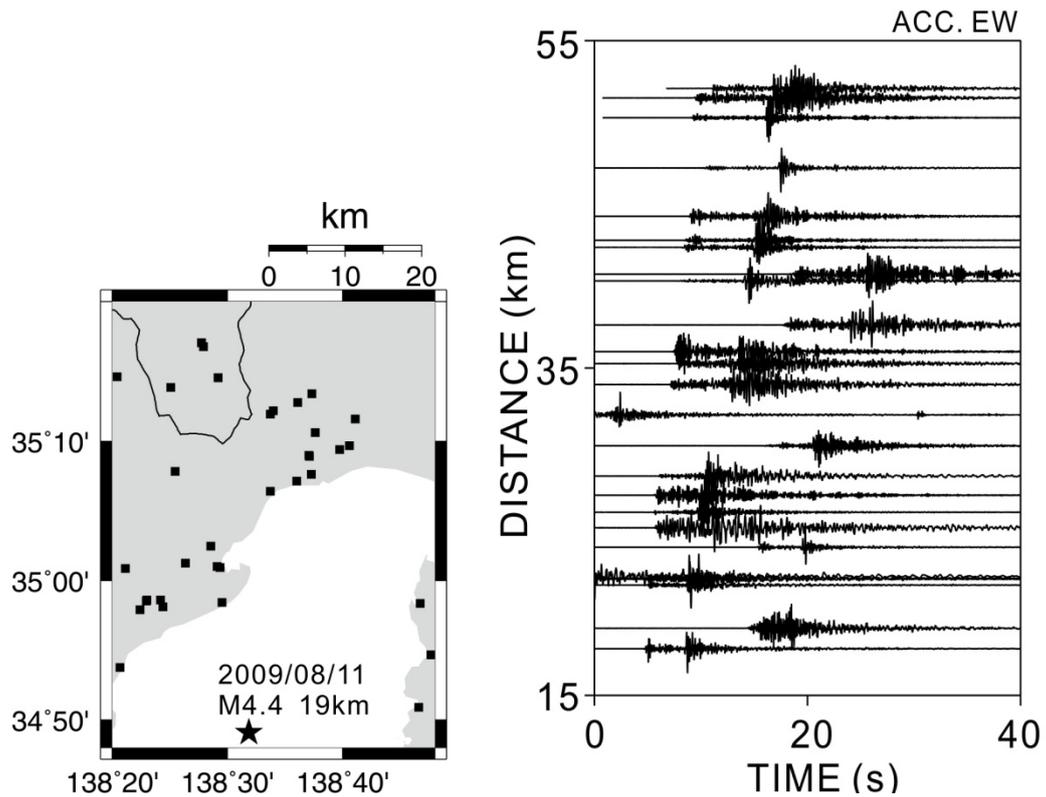


図 11 2009年8月11日18:09の静岡沖の地震の記録の例。  
 左図の四角と星は、強震観測点と震央の位置を示す。右図の波形は、左図の観測点での東西方向の加速度記録を示す。

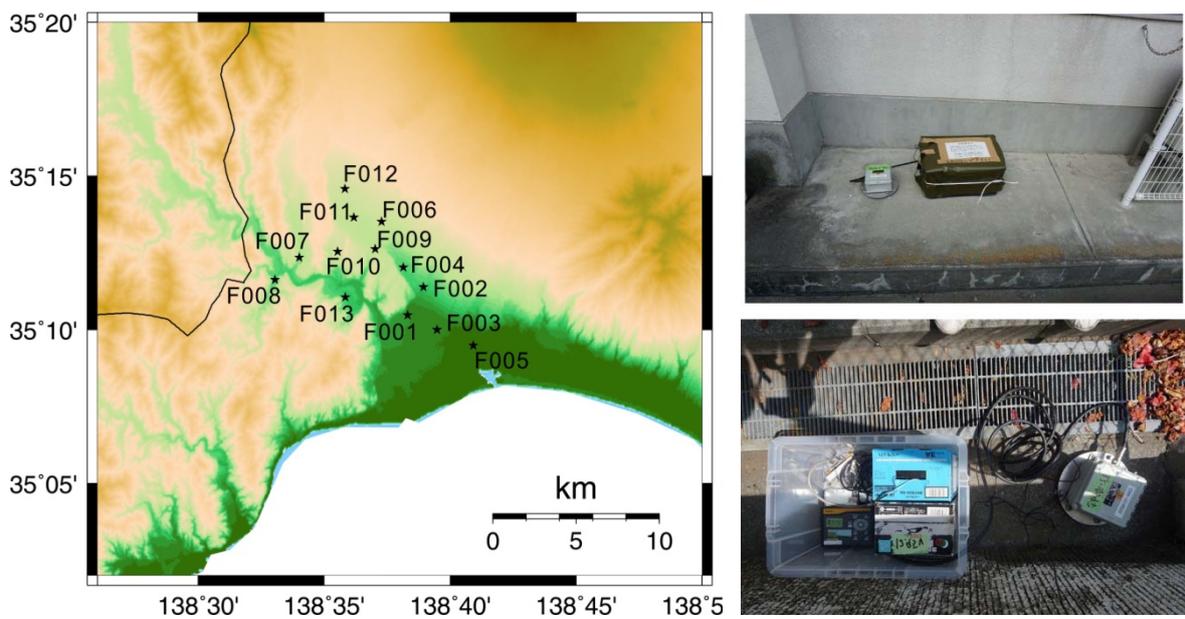


図 12 本研究で設置した強震観測点の位置（左）と観測機器（右の上下）。

表2 本研究で設置した強震観測点リスト。

観測点名	緯度	経度
F001	35.17456	138.63863
F002	35.18992	138.64892
F003	35.16665	138.65810
F004	35.20054	138.63580
F005	35.15813	138.68196
F006	35.22530	138.62117
F007	35.20584	138.56693
F008	35.19379	138.55087
F009	35.21039	138.61709
F010	35.20906	138.59222
F011	35.22760	138.60299
F012	35.24317	138.59698
F013	35.18436	138.59738

(c) 結論ならびに今後の課題

富士川河口断層帯周辺地域において、既存の地下構造情報および微動アレイ観測の結果を収集した。既存の微動アレイ観測によるレイリー波の位相速度には地域性が認められ、それが既存の深部地盤モデルの変化に対応することがわかった。さらに、既存の微動アレイ観測点が少ない地域があり、今後の微動アレイ観測が必要となる地域を指摘した。既往の微動アレイ観測が少ない地域において微動アレイ観測を実施し、周波数0.7～30 Hzの間でレイリー波の位相速度を得た。既存の地下構造モデルによる理論位相速度と観測値を比較し、観測位相速度は、モデルによる理論値と類似しているが、両者の差異が大きい周波数帯域もあることがわかり、地下構造モデルに修正が必要であると考えられる。地下構造モデルの妥当性の検討のために、既設の強震観測点での強震記録から検討に用いる地震記録を収集した。さらに、既存の強震観測点の密度が低い地域において、地震計を設置し、中小地震を対象にした強震観測を実施した。今後、地震観測記録の蓄積を待って、地盤モデルの検証および強震動予測の高度化を進めていくことが期待される。

(d) 引用文献

地震調査研究推進本部,想定東海地震、東南海地震、宮城県沖地震を想定した長周期地震動計算に用いたモデル, 2009.

内閣府, 南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動に関する報告, 2015.

大石真梨子・山中浩明・地元孝輔・山田伸之・津野靖士・坂上実・瀬瀬一起,微動探査お

よび地震波干渉法による駿河湾周辺地域における S 波速度構造の推定, 物理探査学会第 125 回学術講演会, 10, 2011.

静岡県, 第 4 次地震被害想定 (第一次報告) 第 2 編, 2013.

先名重樹・若井 淳・神 薫・前田宜浩・松山尚典・藤原広行, 地震被害推定のための浅部・深部統合地盤構造モデルの構築, 物理探査学会第 137 回学術講演会, 67, 2017.

津野靖士・工藤一嘉, 長周期のアレー微動データおよび強震記録の解析による静岡県南部の S 波速度構造の推定, 物理探査, 61, 499-510, 2008.

山中浩明・山田伸之, 強震動評価のための関東平野の 3 次元 S 波速度構造モデルの構築, 物理探査, 59, 549-560, 2006.



### 3.6 地域研究会

#### (1) 業務の内容

(a) 業務題目 地域研究会

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立大学法人静岡大学	教授	岩田 孝仁
国立大学法人東京大学	教授	佐藤 比呂志

(c) 業務の目的

富士川河口断層帯について、理工学的な調査の成果を地域の防災施策に生かすために、地方自治体の担当者・国の関係機関の担当者・ライフライン事業者などを対象として、研究者を交えた地域研究会を開催し、研究成果がどのように役立つのか、また役立たせるためにはどのような成果が求められているのかについて情報交換を行い、研究成果の有効活用を目指す。

(d) 3カ年の年次実施業務の要約

1) 平成29年度：

富士川河口断層帯の位置する地域における、地方自治体の担当者・国の関係機関の担当者・ライフライン事業者・地域住民の自主防災組織などを対象としたヒアリングを通じ、課題やニーズを把握するとともに、外部評価委員会、全体会議での検討、アドバイザーからの助言を受け、地域研究会(静岡)の立ち上げのための準備を行った。

山梨県については、山梨県担当者に本プロジェクトと地域研究会についての説明を行った。

2) 平成30年度：

地域研究会（静岡）を立ち上げ、先行した対策の事例などを学び、活断層対策の課題、対策ニーズなどの掘り下げを行い、関係機関と研究者相互の情報共有を行う。

3) 平成31年度：

地域研究会において調査成果を報告するとともに、そこから見えてくる地域課題対応策などについての検討及び情報交換を行うための地域ネットワークの構築モデルを提案する。

#### (2) 平成29年度の成果

(a) 業務の要約

富士川河口断層帯の位置する地域における、地方自治体、国の関係機関、ライフライン事業者を対象とし地域研究会（静岡）準備会を開催した。準備会では活断層対策

に取組む先行事例として国内や海外での事例について紹介を行い、各参加者が情報共有を行うとともに、活断層対策に取組むための共通する課題と今回取組む「富士川河口断層帯における重点的な調査観測」への関係機関のニーズの把握を行った。

特に、本調査の対象地域は既に市街地が形成されている地域が多く、活断層が活動した場合、活断層が出現する位置や変位などの具体的なデータが提供できないかの意見が出された。

山梨県については、山梨県担当者に本プロジェクトと地域研究会についての説明を行った。

#### (b) 業務の実施方法

静岡県や関係自治体、ライフライン機関の担当者への個別ヒアリングを行い、富士川河口断層帯に関しての具体的にどのように対策を実施できるのかについては各機関共通の課題であることを確認した。併せて、調査成果や対応などについて相互に情報共有しながら課題をどのように解決できるかについて検討する研究会の立ち上げも同意が得られたため、地域研究会（静岡）準備会を開催した。

山梨県については、本プロジェクトと地域研究会について説明し、協力を要請した。

#### (c) 業務の成果

関係機関として9団体、39名の担当者が集まる準備会を平成30年2月13日に静岡市内で開催し、富士川河口断層帯に関する調査のこれまでの知見と先行的な対策の事例情報の共有、今後地域研究会で議論すべき課題について話し合った。

参加機関は、行政機関として国土交通省中部地方整備局、静岡地方気象台、静岡県（関係10課）、静岡市（関係4課）、富士宮市（関係6課）、富士市（関係2課）、ライフライン機関として静岡ガス株式会社、中部電力株式会社静岡支店、東京電力パワーグリッド静岡総支社が参加した。

富士川河口断層帯に関するこれまでの研究成果や今回の調査観測計画についての情報提供を行うとともに、活断層対策に取組む自治体の例として「徳島県南海トラフ巨大地震等に係る震災に強い社会づくり条例」やカリフォルニア州の活断層法、活断層対策に取り組む構造物の事例などに関する情報提供を行った。

参加者から活断層対策の現状や課題について出された主な意見として、活断層の詳細な位置が分からないこと、断層が活動した時にどのような現象が発生するかについて十分な知見が無いこと、既に都市的土地利用が進んでいる本対象地域では活断層に対してとるべき具体的な対策方針が分からないなどの意見が出された。



図1 富士川河口断層帯地域研究会（静岡）準備会の開催。

#### (d) 結論ならびに今後の課題

特に富士川河口断層帯の静岡地域は市街地が形成され既に多くの土地利用がされている。このような地域における土地利用や構造物の建設において、①地震動に耐える、②断層帯を避ける、③地震時の変位を吸収するという活断層対策を実施するための課題や政策について知見を深めることが当面の地域研究会でのテーマであるとの認識を共有した。

富士川河口断層帯については、未解決の多く課題があり、これらの現状についてのプロジェクトとしての取り組みについて理解していただけるよう説明していく。また、地盤や歴史地震など他のサブテーマでの研究成果などを含めた「富士川河口断層帯における重点的な調査観測」で得られる成果を具体的に地域においてどのように活用していくことが出来るのかについて地域研究会で話し合っていくこととした。

山梨県については、富士川河口断層帯の北端部が分布し、身延断層も分布することから、本プロジェクトでの調査の進行にも配慮しつつ、地域研究会の開催に向けた準備を継続する。

#### (e) 引用文献

特になし



#### 4. 全体成果概要

平成29年度においては、サブテーマ1：構造探査に基づく震源断層システムの解明、サブテーマ2：活断層システムの分布・形状と活動性、サブテーマ3：地震活動から見たプレート構造、サブテーマ4：史料地震調査、サブテーマ5：強震動予測、サブテーマ6：地域研究会の6つのサブテーマについての調査観測・研究を進めた。

サブテーマ1：構造探査に基づく震源断層システムの解明では、駿河トラフ周辺の地質構造を明らかにするために、東京海洋大が平成28年と29年に取得した総延長105 kmの反射法地震探査データの統合的な処理を行った。とくに測線交点での速度構造の連続性に留意し多重反射抑制処理により、地質構造の解明に繋がる反射法地震探査断面を得た。これらの探査時に東海大学による海底地震計観測で取得されたデータをもとに、屈折法・広角反射法による統合的構造解析を実施し、浅部のP波速度構造断面を得た。これらは、富士川河口断層帯の位置・形状を明らかにする上で重要であり、平成30年度に実施する深部探査と統合して、断層の実態を明らかにしていく上で基礎資料となる。また駿河湾北部で海底自然地震観測を行い海域での震源分布などの地震活動についての基礎資料が得られた。これらの地震観測資料は、広域的な地震観測網データとともに海域の速度構造を明らかにするための基礎資料となる。

サブテーマ2：活断層システムの分布・形状と活動性では、断層先端部の浅部～中深度の構造を解明するために、安居山断層・芝川断層、安居山断層北部、断層帯北部延長部（富士山北東麓部）において3測線の高分解能反射法地震探査のデータを新たに取得した。また、1961年国土地理院撮影の約1/1万空中写真を用いて航測図化による変動地形の復元を行った結果、芝川断層沿いに断層により形成されたと推定される新期の低崖地形が複数見出された。この変位地形の成因を明らかにする目的で上柚野地区にてトレンチ調査を実施し、崖基部に西傾斜の衝上断層の可能性のある構造が確認された。これらのことから、今後断層帯にて本格的な古地震調査を行う手がかりを得た。

サブテーマ3：より精度が高いプレート境界を明らかにするために、防災科研 Hi-net で検出した東海地域における地震を精密震源再決定法・Double-Difference法を適用し、再決定することで、深さ精度が向上するとともに、断層などに集約する震源分布が得られた。また、プレート境界特有の低角逆断層型の繰り返し発生する地震の抽出システムを構築した。今後、このシステムを活用して、フィリピン海プレート上面における低角逆断層型の地震を抽出することで、プレート境界構造の推定に活用できると期待される。

サブテーマ4：新収日本地震史料第5巻別巻5を中心に主として東海道の由比から吉原にかけての状況に関する一次史料を抽出して解析するため、三保から三島にかけての史料を対象とした調査を実施し、1854年安政東海地震による現在の静岡市清水区から三島市にかけての地域の詳細震度および地震前後の地変の実態を、物理的妥当性も考慮に入れつつ検討した。その結果、暫定的な駿河湾奥部周辺の震度分布図が得られた。今後は悉皆調査と史料の信憑性を考慮した解析を継続して、1854年安政東海地震の震源域の北端の位置に迫る作業を継続する必要がある。

サブテーマ5：富士川河口断層帯周辺地域において、既存の地下構造情報および微動アレイ観測の結果を収集した。既存の微動アレイ観測によるレイリー波の位相速度には地域性が認められ、それが既存の深部地盤モデルの変化に対応することがわかった。さらに、既存の微動アレイ観測点が少ない地域があり、今後の微動アレイ観測が必要となる地域を指摘した。既往の微動アレイ観測が少ない地域において微動アレイ観測を実施し、周波数0.7～30 Hzの間でレイリー波の位相速度を得た。既存の地下構造モデルによる理論位相速度と観測値を比較し、観測位相速度は、モデルによる理論値と類似しているが、両者の差異が大きい周波数帯域もあることがわかり、地下構造モデルに修正が必要であると考えられる。地下構造モデルの妥当性の検討のために、既設の強震観測点での強震記録から検討に用いる地震記録を収集した。さらに、既存の強震観測点の密度が低い地域において、地震計を設置し、中小地震を対象にした強震観測を実施した。今後、地震観測記録の蓄積を待って、地盤モデルの検証および強震動予測の高度化を進めていくことが期待される。

サブテーマ6：富士川河口断層帯の周辺地域における、特に地方自治体の担当者・国の関係機関の担当者・ライフライン事業者などを対象としたヒアリングを通じ、課題やニーズを把握し、地域研究会立ち上げの準備を行うとともに、外部評価委員会・全体会議での検討やアドバイザーから助言等を得て、地域研究会の計画・方針を定めた。特に、本調査の対象地域は既に市街地が形成されている地域が多く、活断層が活動した場合、地震断層が出現する位置や変位などの具体的なデータが提供できないかの意見が出された。山梨県については、山梨県担当者に本プロジェクトと地域研究会についての説明を行った。本プロジェクトでの調査の進行にも配慮しつつ、地域研究会の開催に向けた準備を継続する。

## 5. 成果の論文発表・口頭発表等

### (1) (サブテーマ1)

#### (a) 成果の論文発表・口頭発表等

なし

#### (b) 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

### (2) (サブテーマ2)

#### (a) 成果の論文発表・口頭発表等

なし

#### (b) 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) (サブテーマ3)

#### (a) 成果の論文発表・口頭発表等

なし

#### (b) 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

### (4) (サブテーマ4)

#### (a) 成果の論文発表・口頭発表等

なし

#### (b) 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

(5) (サブテーマ5)

(a) 成果の論文発表・口頭発表等

なし

(b) 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

(6) (サブテーマ6)

(a) 成果の論文発表・口頭発表等

2018年3月10日 10:30-11:25 放映 静岡第一テレビ「大転換? 防災のかたち」

(b) 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

## 6. むすび

地震調査研究推進本部の「活断層帯の重点的な調査観測の推進」として、平成29年度より「富士川河口断層帯における重点的な調査観測」が3ヶ年計画で開始された。

富士川河口断層帯は、日本列島の陸域では最大クラスの平均変位速度が明らかにされている大規模な断層帯である。伊豆衝突帯の西縁に位置し、フィリピン海プレートのプレート境界断層の陸上延長に相当する。このことから、本断層帯は陸上の活断層としての重要性のみならず、南海トラフで発生する海溝型地震の長期評価にも影響を与える。さらに、本断層帯は人口稠密域かつ大規模経済圏を繋ぐ動脈上に位置していることから、本断層帯から発生する地震像を明らかにしていくことは社会的にも重要な課題である。本調査観測では、最も重要な課題である富士川河口断層帯とプレート境界断層との関係を明らかにするため、駿河トラフを横断する地殻構造探査を実施し、断層の基本的な特徴を明らかにする。陸域に分布する活断層において、高分解能反射法地震探査を実施し、既存データと合わせて活断層・震源断層システムを明らかにする。断層の先端部において、地形・地質調査を行い、第四紀後期の断層の活動性について明らかにする。海底地震観測を含めた地震観測データをもとに、フィリピン海プレート上面のプレート境界断層や富士川河口断層帯の形状や周辺の世界構造を明らかにし、断層モデルを構築する。これらの断層モデルと強震動観測による地下構造データから、強震動予測を行う。史料地震の検討を行い、強震動予測の知見も踏まえて、歴史時代に発生した地震像について検討を加える。また、富士川河口断層周辺に位置する身延断層についても、地形・地質調査を行い、断層の活動によって発生する地震像を明らかにし、長期評価に必要な資料を得る。これらの研究成果が、効果的に防災・減災に活用されることを目的として、地域研究会を開催する。以下の6つのサブテーマを設定した。

平成29年度は、サブテーマ1の「構造探査に基づく震源断層システムの解明」では、駿河トラフ周辺の地質構造を明らかにするために、東京海洋大が平成28年と29年に取得した総延長105 kmの反射法地震探査データの統合的な処理を行った。同時に海底地震計によって取得された制御震源のデータを用いて、浅部のP波速度構造を明らかにするとともに、駿河湾北部で海底地震観測を実施した。サブテーマ2の「活断層システムの分布・形状と活動性」では、断層先端部の浅部～中深度の構造を解明するために3測線の高分解能反射法地震探査のデータを新たに取得した。また、航測図化による変動地形の復元を行った結果、芝川断層沿いに新期の低崖地形が複数見出した。この変位地形の成因を明らかにする目的で上柚野地区にてトレンチ調査を実施し、崖基部に西傾斜の衝上断層の可能性のある構造が確認され、今後断層帯にて本格的な古地震調査を行う手がかりを得た。サブテーマ3「地震活動から見たプレート構造」では、より精度が高いプレート境界を明らかにするために、防災科研Hi-netで検出した東海地域における地震を精密震源再決定法により決め直した。その結果、三次元地震波速度構造を用いた震源再決定により深さ方向の精度が向上した。一方、DD法を用いた震源再決定により、断層などに集約する震源分布が得られた。また、プレート境界特有の低角逆断層型の繰り返し発生する地震の抽出システムを構築した。深さの絶対的な位置は三次元地震波速度構造を用いた震源分布から、断層の形状についてはDD法を用いた震源分布を用いて議論できることが分かった。今後、このシステムを活用して、フィリピン海プレート上面における低角逆断層型の地震を抽出し、プレート境界構造の推定に活用できると期待される。サブテーマ4「史料地震調査」では、史料地震学的検討によって、1854年安政東海地震の震度分布図について、従来の結果は駿河湾奥部周辺に関して火災等の効果や二次史料の混入によって過大な震度が与えられていた可能性を示す震度分布図が途中経過として得られた。サブテーマ5

「強震動予測」では、富士川河口断層帯周辺地域において、既存の地下構造情報および微動アレイ観測の結果を収集した。既存の微動アレイ観測によるレイリー波の位相速度には地域性が認められ、それが既存の深部地盤モデルの変化に対応することがわかった。また、既往の微動アレイ観測が少ない地域において微動アレイ観測を実施し、周波数0.7～30 Hzの間でレイリー波の位相速度を得た。既存の地下構造モデルによる理論位相速度と観測値を比較し、両者の差異が大きい周波数帯域があることがわかり、今後地下構造モデルに修正が必要であると考えられる。地下構造モデルの妥当性の検討のために既設の強震観測点での強震記録から検討に用いる地震記録を収集した。さらに、既存の強震観測点の密度が低い地域において、地震計を設置し、中小地震を対象にした強震観測を実施した。今後、地震観測記録の蓄積を待って、地盤モデルの検証および強震動予測の高度化を進めていくことが期待される。サブテーマ6「地域研究会」では、平成30年2月13日に国・地方自治体の防災関係機関の担当者・ライフライン事業者などを対象とした会合を持ち、ヒアリングを行い課題やニーズを把握し、地域研究会立ち上げ準備を行った。

本重点的調査観測プロジェクトについて、文部科学省の契約が成立したのは平成29年の12月であった。3ヶ月半の期間で、できるだけの調査・観測を実施してきたが、調査はまだ始まったばかりである。実質的な調査・観測期間を考慮すれば、当初目的はほぼ達成されたと判断している。平成30年度については、本断層帯の深部から浅層までの形状を明らかにするための海陸統合地殻構造探査を実施する。具体的な実施計画も検討し、地元調整も進んでおり、研究の進展が期待される。

## 7. 全体会議・外部評価委員会

### 7. 1 活動報告

第1回（平成29年度第1回）「富士川河口断層帯における重点的な調査観測」全体会議 議事概要

日時 平成29年12月26日 9時30分～12時00分

場所 東京大学地震研究所 1号館会議室

議事 1. 平成29年度事業実施計画について  
2. その他

第2回（平成29年度第2回）「富士川河口断層帯における重点的な調査観測」全体会議 議事概要

日時 平成30年3月28日 13時30分～16時10分

場所 東京大学地震研究所 1号館会議室

議事 1. 平成29年度事業成果報告と平成30年度事業実施計画について  
2. その他

第1回（平成29年度第1回）「富士川河口断層帯における重点的な調査観測」外部評価委員会 議事概要

日時 平成30年3月28日 16時20分～17時20分

場所 東京大学地震研究所 1号館事務会議室 B

議事 1. 全体計画と平成29年度の調査計画・調査進捗状況と平成30年度の調査計画

(趣旨)

第1条 この規則は、「富士川河口断層帯における重点的な調査観測」を適切かつ効果的に推進するため、外部評価委員会（以下「委員会」という。）を設置し、その組織及び運営について定めるものとする。

(目的)

第2条 委員会は、外部有識者を評価委員（以下「委員」という。）として招聘し、本プロジェクトの進捗状況の把握・評価・改善提言・指導等を行うことを目的とする。

(任務)

第3条 前条に定める目的を達成するため、委員会は、次の各号に掲げる事項について審議する。

- (1) 本プロジェクトに関わる研究計画や実施状況及び研究成果に関すること
- (2) 事後評価に関すること
- (3) その他、研究推進に関わる事項に関すること

(構成)

第4条 委員会の委員は、次に掲げる者の中からそれぞれ1名以上を東京大学地震研究所長（以下「所長」という。）が委嘱する。

- (1) 地震学・変動地形学・強震動地震学・測地学の各分野における有識者
- 2 必要に応じて、オブザーバーの参加を認める。

(委員長)

第5条 委員会に委員長を置く。

- 2 委員長に事故あるときは、あらかじめ委員長の指名する委員がその職務を代理する。

(任期)

第6条 委員の任期は、1年とする。ただし、再任を妨げない。

- 2 補欠による委員の任期は、前任者の残任期間とする。

(会議)

第7条 委員会は、必要に応じ、委員長が招集する。

(研究支援組織)

第8条 調査・研究の円滑な推進と有機的な連携を保つため、東京大学地震研究所（以下「研究所」という。）に研究支援組織を持つものとする。

(庶務)

第9条 委員会の事務は、研究所において実施する。

(委員会の期限)

第10条 委員会の期限は本プロジェクトの終了までとする。

(補則)

第11条 この規則に定めるもののほか、委員会の運営に関して必要な事項は、委員会の定めるところによる。

附 則

1. この規則は、平成29年12月12日から施行される。
2. この規則の施行によって委嘱された最初の委員の任期は、第6条第1項の規定にかかわらず、平成30年3月31日までとする。

## 7. 2 全体会議・外部評価委員会構成員名簿

### 1. 委託・再委託機関の研究者

国立大学法人東京大学地震研究所	佐藤 比呂志 (研究代表者)
国立大学法人東京大学地震研究所	石山 達也
国立大学法人東京海洋大学	鶴我 佳代子
学校法人東海大学	馬場 久紀
国立研究開発法人防災科学技術研究所	松原 誠
公益財団法人地震予知総合研究振興会	松浦 律子
国立大学法人東京工業大学	山中 浩明
国立大学法人静岡大学	岩田 孝仁

### 2. 外部評価委員会委員

国立大学法人東北大学	松澤 暢
国立大学法人千葉大学	宮内 崇裕
公立大学法人横浜市立大学	吉本 和生
国立大学法人京都大学防災研究所	岩田 知孝
国土交通省国土地理院	宇根 寛

### 3. オブザーバー

(委託元)	文部科学省研究開発局地震・防災研究課
(事務局)	国立大学法人東京大学地震研究所研究支援チーム