

「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト」サブプロジェクト①「首都圏周辺でのプレート構造調査，震源断層モデル等の構築等」の概要

平田 直*・酒井慎一・佐藤比呂志・佐竹健治・瀬瀬一起
東京大学地震研究所

An Outline of the Special Project for Earthquake Disaster Mitigation in the Tokyo Metropolitan Area —subproject I: Characterization of the plate structure and source faults in and around the Tokyo Metropolitan area

Naoshi Hirata, Shin'ichi Sakai, Hiroshi Sato, Kenji Satake and Kazuki Koketsu
The Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

Abstract

A special project for earthquake disaster mitigation in the Tokyo Metropolitan Area is underway (2007–2011). Assessment in Kanto of seismic hazards produced by the Philippine Sea Plate (PSP) mega-thrust earthquakes requires identification of all significant faults, possible earthquake scenarios, rupture behavior, regional characterizations of PSP geometry, physical properties of overlying Honshu arc and local near-surface seismic site effects. We are developing a dense seismic network in the urban area with 178 stations so far. Seismic images with improved spatial resolution beneath the Tokyo Metropolitan Area are obtained to assess source areas of the coming large metropolitan earthquakes.

Key words: mega-thrust, Metropolitan Seismic Observation Network (*MeSO-net*), disaster mitigation

1. はじめに

政府の地震調査研究推進本部は，首都圏を含む南関東でマグニチュード（M）7程度の地震が30年以内に発生する確率は70%程度と評価した（地震調査研究推進本部・地震調査委員会，2004）．この確率は，日本の他の地域と比較しても大変高いことから，首都圏で大地震の発生することは間違いないと思われる．一方，中央防災会議は，首都圏で発生する地震の被害想定を行ない，最悪のシナリオの場合死者11,000人，経済的損失約112兆円と見積もった（中央防災会議・首都直下地震対策専門調査会，2005）．この被害想定をもとに，中央防災

会議は，災害を半減させるための対策を講じる計画を発表した（中央防災会議，2005）．しかし，現在の最新の地震学的知見を持ってしても，首都圏で発生する地震の実体は必ずしも明らかでなく，防災的観点から安全側に被害地震を想定して，「東京湾北部地震」に対する対策を中心としている（中央防災会議，2006）．また，首都圏で発生する地震の発生確率を計算するために用いることが出来た地震は，1894年明治東京地震以降の5つの地震である（地震調査研究推進本部・地震調査委員会，2004）．確率の計算では，それらの地震が時間的にも空間的にも，南関東で一樣に発生すると仮定していたが，これは現実

* e-mail: hirata@eri.u-tokyo.ac.jp (〒113-0032 東京都文京区弥生 1-1-1)

に発生する地震の性質を必ずしも反映していない。適切な防災・減災対策を講じるには、想定される地震像をより確かなものにする必要がある。

日本は世界でも最も地震観測網が整備され、全国均一に約 25 km 間隔で地震計が配備されている (Obara *et al.*, 2000)。このデータを用いて関東地域でも地震波トモグラフィ解析が行われ、フィリピン海プレートが首都圏の下に沈み込む様子が描きだされている (Matsubara *et al.*, 2005)。また、大学、Hi-net、気象庁地震観測網のデータは、気象庁に集められ一元的に処理され、震源要素や地震波到着時刻などが公表されている (一元化データ)。この一元化データを用いて、関東下に沈み込むフィリピン海プレートと、太平洋プレートの相互作用と地震発生の可能性が Wu *et al.* (2007) によって論じられ、さらに、Hasegawa *et al.* (2007) はスラブ内の温度と脱水反応の考察からスラブ内地震の分布について論じている。しかし、これらの研究は、基本的には 25 km 間隔の Hi-net 観測点のデータに基づいているため、スラブ内の詳細な不均質構造を論じるには空間的分解能が不足している。最も空間的に詳細にスラブの形状を得る方法は、制御震源を用いた反射法地震探査法であり、Sato *et al.* (2005) は、この手法を用いて、フィリピン海プレートの上面の深さが首都圏の下で従来の推定より数 km 浅いことを示した。しかし、地表に震源のある制御震源探査だけでは、深さ数 10 km のスラブ内の詳細な構造を得ることが難しい。制御震源による地表付近の詳細な不均質構造の推定に加え、2-3 km 間隔の地震計を数 10 km の範囲に展開して自然地震を観測して、地殻・マントルのトモグラフィ解析を実施すると、数 km の分解能でイメージングできることが、房総半島での研究によって示された (Hagiwara *et al.*, 2006; Hirata *et al.*, 2006)。

そこで、文部科学省は、2007 年 (平成 19 年) から 5 年計画で、「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト」を始めた。地震研究所は、このプロジェクトのサブプロジェクト①「首都圏周辺でのプレート構造調査、震源断層モデル等の構築等」を受託して研究を開始した。サブプロジェクト①では、首都圏に約 400 か所の地震観測点を整備して、高分解能のプレートの形状と内部構造を解明することを目指している。2009 年 (平成 21 年) 度は、プロジェクトの開始から 3 年目になり、地震計の配備がある程度進み、研究の成果も徐々に始めている。小論では、サブプロジェクト①全体を概観して、現時点での成果の概要と今後の展望をまとめる。なお、小論ではプロジェクト全体を概観するために、個別研究テーマの成果の概要をまとめるが、それぞれの研究は、表 1 に

まとめる担当研究者によって実施されているので、個別の研究については、それぞれの個別研究テーマの成果報告・研究業績を、また、2007 年 (平成 19 年) 度と 2008 年 (平成 20 年) 度の成果の技術的な詳細は、成果報告書 [平田編 (2008, 2009)] を参照されたい。

サブプロジェクト①では、首都圏で中感度地震観測網を構築して自然地震を観測し、このデータに基づいてプレート構造を推定し、制御震源等を用いた地殻構造探査の結果と合わせて首都圏で発生する大地震の震源域の地震学的構造を明らかにすることを目指している。同時に、歴史地震等の記録の収集・整理・再評価を行い首都圏で発生する大地震の発生時系列を明らかにすることも計画した。さらに、首都圏で発生する地震の震源断層モデル・地下構造等のモデルを高度化して、南関東で発生する M 7 程度の地震をはじめとする首都直下地震の姿の詳細を明らかにし、首都直下地震の長期予測の精度向上や、高精度な強震動予測につなげる。本サブプロジェクト①は、東京大学地震研究所が研究代表機関となり、防災科学技術研究所、神奈川県温泉地学研究所、千葉大学大学院理学研究科、名古屋大学大学院環境学研究科、東北大学大学院理学研究科、京都大学防災研究所、東京工業大学総合理工学研究科が実施し、さらに地震研究所の共同利用研究 (特定共同研究 (C)) を活用して、その他の機関の研究者も参加している。

2. 個別研究テーマの構成と目標

サブプロジェクト①は、以下の 4 つの個別研究テーマからなる: (1) 地震計を用いた自然地震観測によるプレート構造調査, (2) 制御震源を用いた地殻構造探査, (3) 歴史地震等の記録の収集、整理及び再評価, (4) 震源断層モデル等の構築。これらの個別テーマを総合して、首都圏を含む南関東で発生する地震の「姿」、つまり、地震の発生場所、規模、揺れ方の全体像を明らかにする。4 つの個別テーマそれぞれの実施年次計画を図 1 に示す。

(1) 地震計を用いた自然地震観測によるプレート構造調査

首都圏に新たな中感度地震観測点を機動的に設置し、自然地震の稠密観測を行う。これにより、精度の高い震源分布や強震動予測に必要な地震波速度と非弾性常数の三次元的な分布を明らかにするとともに、プレート境界面の形状やプレート内における弱面の存在等を把握する。特に、フィリピン海プレート内部 (スラブ内) の構造を解明する (図 2)。

(2) 制御震源を用いた地殻構造探査

首都圏において、制御震源を用いた反射法・屈折法地

「①首都圏でのプレート構造調査、震源断層モデル等の構築等」全体実施計画図

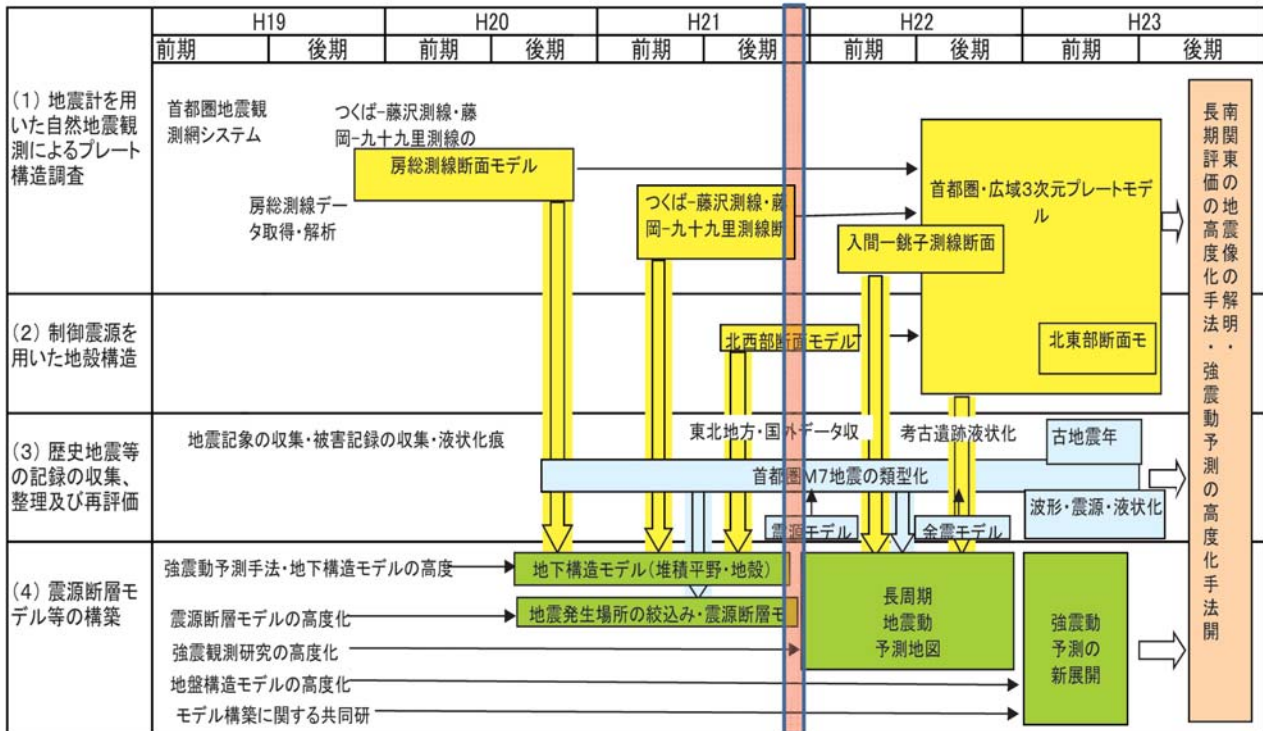


Fig. 1. Annual program of Subproject I of the Special Project for Earthquake Disaster Mitigation in the Tokyo Metropolitan Area

震探査等を行い、10 km～15 km 程度の深さまでの地殻の速度構造や不連続面の形状等を把握する。制御震源のほかに自然地震も併用して深部地殻構造の精度向上を目指す(図3)。

(3) 歴史地震等の記録の収集、整理及び再評価

歴史地震及び近代観測がなされて以降の地震について記録を収集、整理するとともに、(1)、(2)の成果等を踏まえた解析を行うことにより、これらの地震について再評価し、地震調査研究推進本部・調査委員会(2004)が「その他の南関東の地震」としてまとめて評価を行ったM7程度の地震の震源域の位置(プレート境界地震または、スラブ内地震の区別)、繰り返しの有無等を推定する(図4)。

(4) 震源断層モデル等の構築

(1)～(3)で得られたデータ等を総合して、プレート境界地震、スラブ内地震のそれぞれについて、地震発生場所の絞込み、地殻構造モデルの構築、さらには震源断層モデルの構築等を行う(図5)。

3. 成果の概要

2009年(平成21年)度までに行われた成果の概要をまとめる。それぞれの個別研究テーマは、表1に示した

研究者によって実施されているので、本章の個別の成果を参照されるときには、平成19、20年度成果報告(平田直編, 2008, 2009)の個別の章を引用されたい。

(1) 地震計を用いた自然地震観測によるプレート構造調査

1.1 中感度地震観測によるプレート構造調査(東京大学地震研究所)

地震研究所は、2007年(平成19年)に、まず首都圏の約400箇所の中感度地震計を設置してデータを連続観測するシステム(首都圏地震観測網: Metropolitan Seismic Observation Network (MeSO-net))を設計した(酒井・平田, 2009)。地震観測テレメータ方式として新たに、自律協調型の伝送方式を取り入れ、この方式を実装した新しいデジタル地震計とデータ転送装置(観測装置)を開発した(森田他, 2009)。2007年(平成19年)度には新規に開発した135式の観測装置を整備して、室内で性能試験を行い、首都圏の45箇所環境調査等を実施して観測装置を設置した。2008年(平成20年)度には、2007年度試験された90式と、2008年度に整備された37式とを合わせて、首都圏の127箇所環境調査等を実施して、地震観測装置を設置して観測を開始した

首都直下地震防災・減災特別プロジェクト

①首都圏周辺でのプレート構造調査、震源断層モデル等の構築等

(1) 地震計を用いた自然地震観測によるプレート構造調査

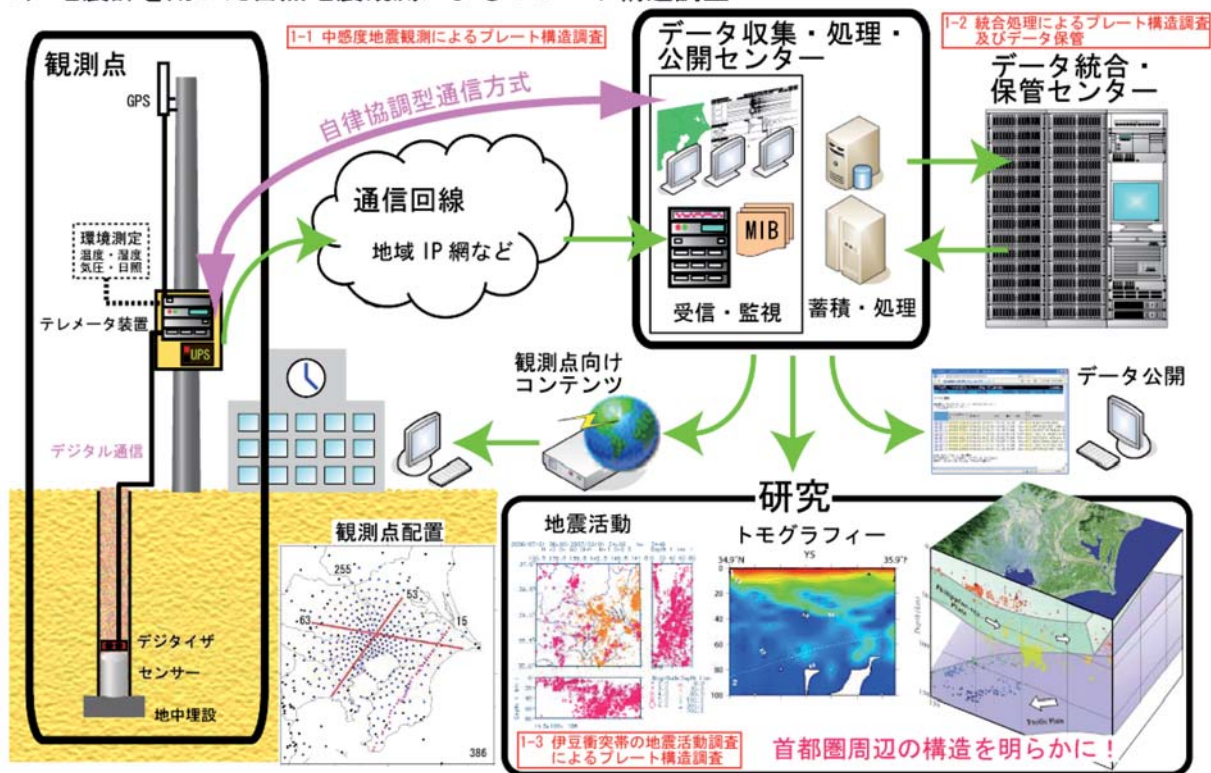


Fig. 2. Schematic diagram of research plan for Individual theme 1 — Characterization of plate structure by Metropolitan Seismic Observation Network (MeSO-net)

(中川他, 2009). 地震研究所の他に, 神奈川県温泉地学研究所が設置する観測点も含めて 2009 年度末までには, 首都圏に 226 観測点が整備される. 本プロジェクトの始まる以前と比較して, 格段に観測点密度が向上した (図 6).

地震研究所には「データ収集・処理・公開センター」を設置してデータを収集・処理を開始した. MeSO-net は観測点に加速度計を設置して, 連続記録を途切れなく収録する点でこれまでの高感度地震観測網や, 強震観測網と異なる (笠原他, 2009). 有感地震でも振り切れることなく, マグニチュード (M) 2 程度の地震でも都会の中で記録できることが示された. また, 加速度計としては, 0 Hz まで記録できることから周期 10 秒以上の信号も十分な信号対雑音比で記録できる. さらに, 新たに開発した自律協調型の伝送方式により, 回線の不調や, 電力の断, データ収録システムでの障害が発生しても, 結果的に欠落のない連続記録が自動的に生成されることが確かめられ, 従来の地震観測システムに比較して, データの品質と完全性に優れた観測システムとなった.

MeSO-net 及び, 南関東に設置されている既存観測網

(地震研の関東の観測点と房総半島に設置されている稠密観測網, 防災科学技術研究所の Hi-net, 気象庁観測網, 神奈川県温泉地学研究所観測網等) からのデータを収集して, 基礎的な解析を始めた. 2007 年度に設置された「つくば-藤沢測線」下のトモグラフィー解析によって, 従来の観測データに比べ空間的に高分解能な速度分布図が得られることが示された (図 7, 中川他, 2008). さらに, 稠密な観測点配置である MeSO-net データを用いて, 地震波干渉法により, 脈動や自然地震の波から S 波速度構造を推定すること (西田他, 2009, 吉本他, 2009) や, P-S 変換波の解析によって地殻・マンツルのイメージング解析が行われつつある (Tonegawa *et al.*, 2009).

1.2 統合処理によるプレート構造調査研究及びデータ保管 (防災科学技術研究所)

東京大学地震研究所に集約される首都圏地震観測網 (MeSO-net) データを防災科学技術研究所地震研究部地震観測データセンターに転送し, 基盤的地震観測網データと統合的に処理するシステムを開発し, 本プロジェクトの研究基盤となるデータベースを構築して保管するシ

首都直下地震防災・減災特別プロジェクト

- ①首都圏周辺でのプレート構造調査・震源断層モデル構築
- ii) 制御震源を用いた地殻構造探査

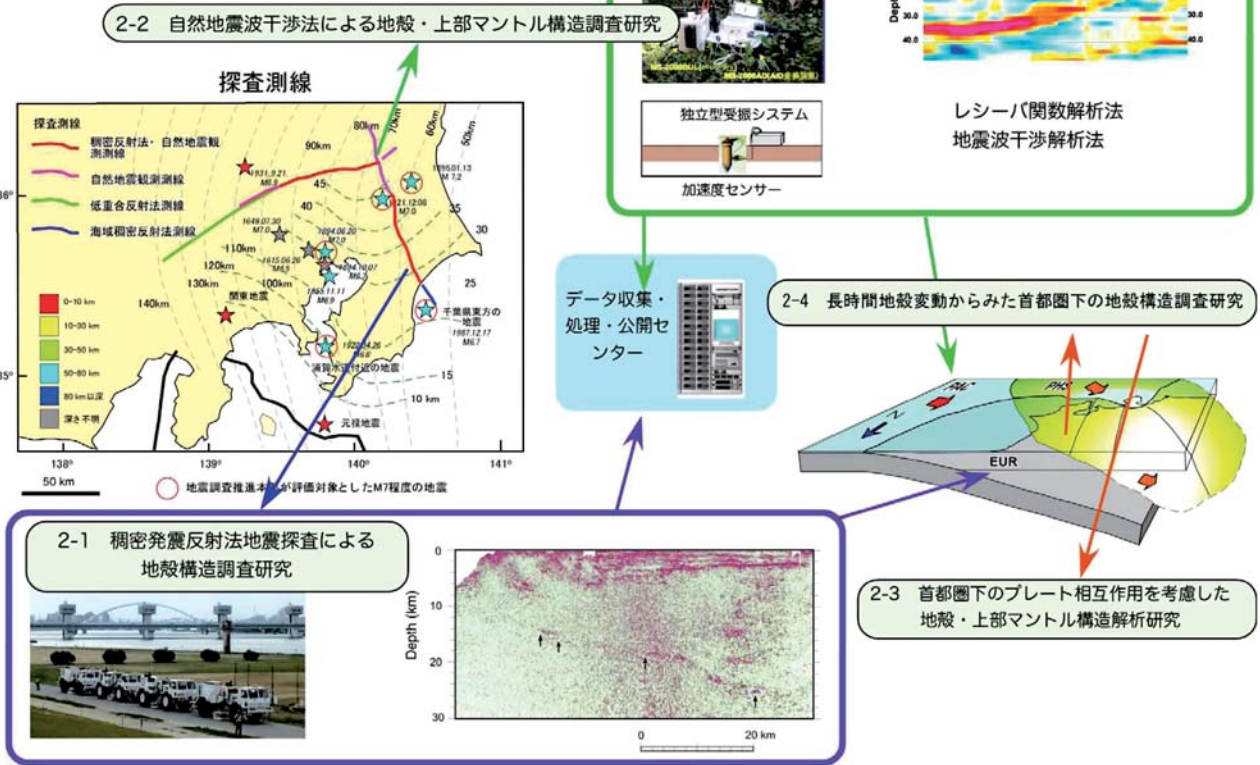


Fig. 3. Schematic diagram of research plan for Individual theme 2 — Seismic survey of lithospheric structure by controlled sources

システムを整備して運用を開始した。

これらのデータを用いて、首都圏直下に発生する相似地震や、高精度相対震源決定法によって求められた茨城県南西部の活動的なクラスターの高精度解析を行い、プレート内外の地震のサイズメカニクスを解明するための研究を進めた。さらに、房総沖の群発地震活動、相似地震やスロースリップイベントの再解析によるプレート形状の推定、プレート内外のサイズメカニクスを解明するための高精度相対震源決定法の改良および地震クラスターの詳細分析を行った。また、高精度3次元地震波速度・減衰トモグラフィー手法を開発し、*MeSONet* が完成した時のトモグラフィーの解像度について調査した。首都圏に対応するレシーバ関数解析等の地震波形解析に基づくプレート境界性状調査手法の開発等、統合処理によるプレート構造調査に向けた予備的解析を行った。

1.3 伊豆衝突帯の地震活動調査によるプレート構造調査研究 (神奈川県温泉地学研究所)

神奈川県温泉地学研究所は、神奈川県内に設置する予

定の約40箇所(5箇年計画分)の地震観測点の適正配置を東京大学地震研究所と検討した。次に、2007年度、神奈川県に設置する地域の地震観測環境調査を実施し、中感度地震観測装置を横浜市平戸小学校に1箇所設置した。さらに、神奈川県内に設置されている観測点からのデータを収集して、事前試行的にトモグラフィー解析および精密震源分布の構築を行い、伊豆衝突帯の地震活動およびプレート構造調査を進めた。2008年度には、地震観測環境調査を実施して、中感度地震観測装置を相模原市小中学校5箇所に設置した。これら5箇所のデータに加え、2007年度から観測を継続している横浜市立小学校の1観測点のデータを地震研究所へ転送した。これらのデータは地震研究所経由で温泉地学研究所の地震観測処理システムにも転送し、震源分布や発震機構の解析を通して伊豆衝突帯の地震活動およびプレート構造調査を進めた。

(2) 制御震源を用いた地殻構造探査

2.1 稠密発震反射法地震探査による地殻構造調査研究 (東京大学地震研究所)

首都圏北西部測線の位置・探査仕様について検討を加

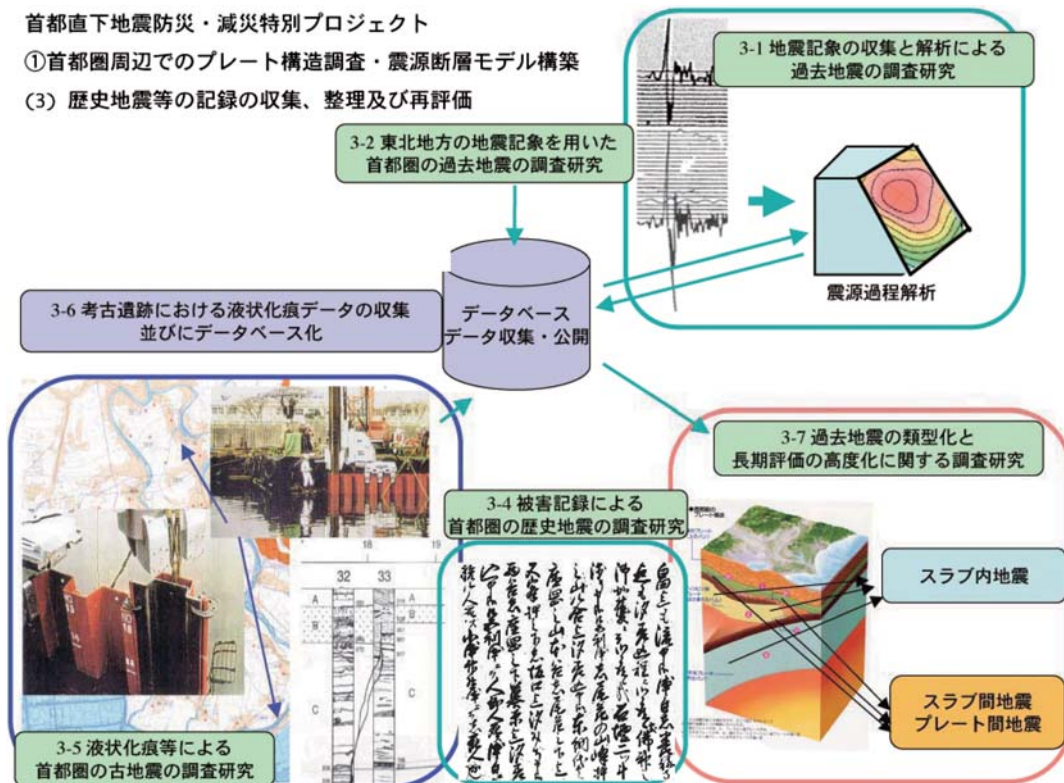


Fig. 4. Schematic diagram of research plan for Individual theme 3 — Collection, cataloging and reevaluation of historical earthquake data

えることを目的として、既存の反射法地震探査データ（「大都市圏地殻構造調査」で実施した2003年関東山地東縁測線の反射法地震探査データ及び屈折法広角反射法地震探査データの堆積平野部分（桐生測線））の解析を行った。この測線は、本プロジェクトで予定している首都圏北西部アレイ測線に近接しているため、堆積盆地内の高分解能断面の構築を主眼とした反射法及び屈折法の追加解析を実施した。これらの結果にもとづいて地質学的な解釈を行い、関東平野西縁の地質構造を明らかにした。

2.2 自然地震波干渉法による地殻・上部マントル構造調査研究（東京大学地震研究所）

2008年度から開始される構造探査のための稠密自然地震観測に使用する観測機器についての検討を行った。その結果、本プロジェクトのような制御震源から遠地地震までの幅広い観測に対応するため、取り扱い・経済性なども考慮してデジタルMEMS（Micro Electro-Mechanical System）と1Hz地震計の組み合わせによる観測が最適と判断した。また、2008年度以降に実施する自然地震データを用いた地震波干渉法について検討した。既存の観測データを用いて解析を行い、糸魚川-静岡構造線中北部・伊豆衝突帯北部で最上部マントルから地殻

内のイメージングの実例を示した。

2008年度には、首都圏北西部アレイの奥多摩周辺約60km区間に、約1km間隔で稠密アレイを構築し、4ヶ月間の連続自然地震観測を行なった。調査測線は、2009年度に制御震源を用いた地殻構造探査を実施する関東山地東縁から奥多摩地域を経て甲府盆地に至る測線と同一とした。観測された自然地震波形データに対してP波・S波の手動検測を行うことで得た走時データを用いて測線近傍の精密震源決定を行うとともに、地震波干渉解析法・レーバ関数解析法により、フィリピン海プレートの構造を明らかにするための解析を行なった。

2.3 首都圏下のプレート相互作用を考慮した地殻・上部マントル構造解析研究（東京大学地震研究所）

首都圏-西南日本を含む広い領域で、太平洋プレート-フィリピン海プレートの相互作用のモデル化に関する基礎的な考察を行った。とくに房総三重会合の形状と、二つのスラブが接合する際の内部変形とマントルウェッジの挙動などを検討した。フィリピン海プレートと太平洋プレートの相互作用あるいは衝突作用が、地震活動をコントロールしている可能性があり、こうした問題を明らかにするためには、一つのスラブの沈み込みの問題を、

首都直下地震防災・減災特別プロジェクト

①首都圏周辺でのプレート構造調査、震源断層モデル等の構築等
(4)震源断層モデル等の構築

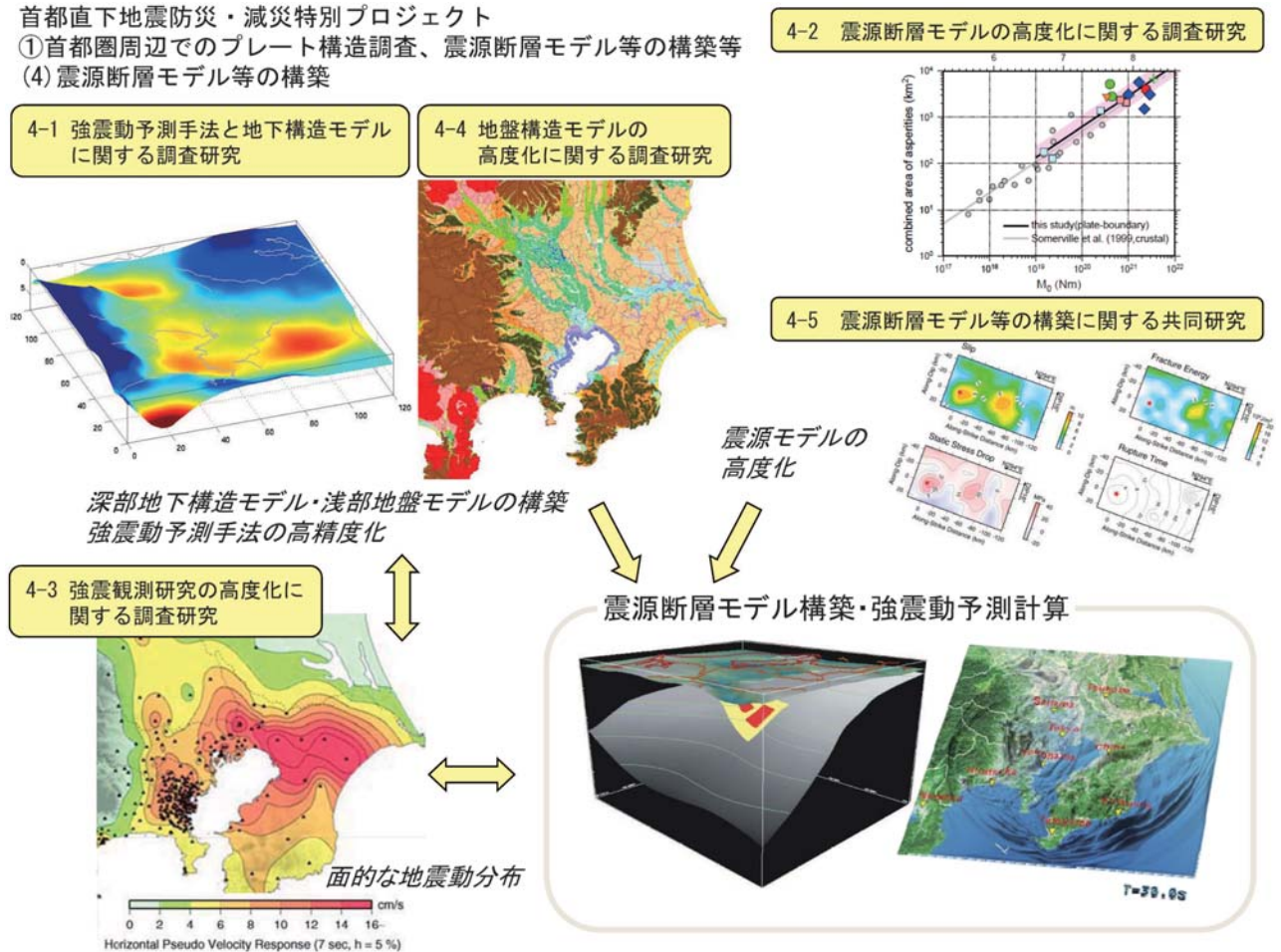


Fig. 5. Schematic diagram of research plan for Individual theme 4 — Modeling of Earthquake Source Faults and Others

また今後は、二つのスラブの沈み込み問題に拡張して理解していく必要があることが分かった。

2008年度には、関東下に沈み込むスラブの運動についての諸問題を整理した。ユーラシア-太平洋-フィリピン海プレートの広域三次元数値モデルを作成し、有限要素法による粘性流体を用いたマントルウェッジの流動とスラブ内応力についての数値実験を行った。数値実験の結果、マントルウェッジ中の粘性と、スラブ内の粘性の比率によって、スラブ内の応力状態が大きく変化することが判明した。実際の地震活動と比較すると相対的に「弱い」スラブモデルが支持された。

2.4 長時間地殻変動からみた首都圏下の地殻構造調査研究 (千葉大学大学院理学研究科)

この個別課題は、2008年(平成20年)度から研究を始めた。2008年には、房総半島西岸(内房)の浅海域において音波探査(反射法地震探査)を行った。新时期面堆積物に潜む地殻変動データを解明することができる良質の記録を獲得した。同時に、長時間地殻変動を数値シ

ミュレーションするための準備として、水準測量のデータと2008年に行った房総沖の観測から得られたプレート形状を整理した。さらに、フィリピン海プレート、太平洋プレートの定常的な沈み込み運動による関東地方の長期地殻変動の計算プログラムを開発した。プレート境界面上に分布する力源の離散化を進め、十分な精度でかつ効率的な関東地方の上下変動計算が可能となった。

(3) 歴史地震等の記録の収集、整理及び再評価

3.1 地震記象の収集と解析による過去地震の調査研究 (名古屋大学大学院環境学研究科)

近代観測が開始されて以降に関東地域で起きた地震について、記録が現存するかどうかを調査した。その結果、大正関東地震前後の強震計記録、普通地震計記録はほとんどなく、微動計記録が何点が残っているくらいであることがわかった。これらのデータを使うにはどうしたらいいか、今後検討する必要がある。古い記録を探すことにあわせて地震計特性情報を集め、それらのデータベース化を始めた。地殻変動データについては過去に関東地

Table 1. List of organizations and researchers participating in Subproject I of the Special Project for Earthquake Disaster Mitigation in the Tokyo Metropolitan Area.

1 「地震計を用いた自然地震観測によるプレート構造調査」研究者リスト

| 所属機関 | 役職 | 氏名 | 担当課題 (注1) |
|--------------------------------|----------|--------|--------------|
| 東京大学地震研究所 | 教授 | 平田 直 | 1.1 |
| 東京大学地震研究所 | 特任教授 | 笠原 敬司 | 1.1 |
| 東京大学地震研究所 | 教授 | 岩崎 貴哉 | 1.1 |
| 東京大学地震研究所 | 教授 | 鷹野 澄 | 1.1 |
| 東京大学地震研究所 | 准教授 | 酒井 慎一 | 1.1 |
| 東京大学地震研究所 | 准教授 | 森田 裕一 | 1.1 |
| 東京大学地震研究所 | 准教授 | 飯高 隆 | 1.1 |
| 東京大学地震研究所 | 准教授 | 卜部 卓 | 1.1 |
| 東京大学地震研究所 | 助教 | 鶴岡 弘 | 1.1 |
| 東京大学地震研究所 | 助教 | 蔵下 英司 | 1.1 |
| 東京大学地震研究所 | 助教 | 五十嵐 俊博 | 1.1 |
| 東京大学地震研究所 | 助教 | 加藤 愛太郎 | 1.1 |
| 東京大学地震研究所 | 助教 | 大木 聖子 | 1.1 |
| 東京大学地震研究所 | 助教 | 中川 茂樹 | 1.1 |
| 東京大学地震研究所 | 特任研究員 | 佐々木 俊二 | 1.1 |
| 東京大学地震研究所 | 特任研究員 | 楠城 一嘉 | 1.1 |
| 東京大学地震研究所 | 技術専門員 | 坂上 実 | 1.1 |
| 東京大学地震研究所 | 技術職員 | 宮川 幸治 | 1.1 |
| 東京大学地震研究所 | 学術支援職員 | 川北 優子 | 1.1 |
| 独立行政法人防災科学技術研究所 地震観測データセンター | データセンター長 | 小原一成 | 1.2 |
| 同 地震研究部 | 部長 | 堀貞喜 | 1.2 |
| 同 地震研究部 | 総括主任研究員 | 関口渉次 | 1.2 |
| 同 地震研究部 | 総括主任研究員 | 野口伸一 | 1.2 |
| 同 地震研究部 | 主任研究員 | 木村尚紀 | 1.2 |
| 同 地震研究部 | 主任研究員 | 汐見勝彦 | 1.2 |
| 同 地震研究部 | 研究員 | 武田哲也 | 1.2 |
| 同 地震研究部 | 研究員 | 浅野陽一 | 1.2 |
| 同 地震研究部 | 研究員 | 松原誠 | 1.2 |
| 同 地震研究部 | 研究員 | 関根秀太郎 | 1.2 |
| 神奈川県温泉地学研究所 | 主任研究員 | 棚田 俊收 | 1.3 |
| 同 | 技 師 | 本多 亮 | 1.3 |
| 同 | 技 師 | 原田 昌武 | 1.3 |
| 同 | 技 師 | 行竹 洋平 | 1.3 |
| 同 | 専門研究員 | 伊東 博 | 1.3 |
| 同 | 特別研究員 | 永井 悟 | 1.3 |
| 同 | 企画調整担当部長 | 杉原 英和 | 1.3 |

2 「制御震源を用いた地殻構造探査」研究者リスト

| 所属機関 | 役職 | 氏名 | 担当課題 |
|-----------|----|-------|------|
| 東京大学地震研究所 | 教授 | 佐藤比呂志 | 2.1 |
| 東京大学地震研究所 | 教授 | 岩崎貴哉 | 2.1 |
| 東京大学地震研究所 | 助教 | 蔵下英司 | 2.1 |

Table 1. (Continued)

| 所属機関 | 役職 | 氏名 | 担当課題 |
|---------------------------------------|------------------------------|-------------|------|
| 東京大学地震研究所 | 特任研究員 | 加藤直子 | 2.1 |
| 東京大学地震研究所 | 大学院生 | 新井隆太 | 2.1 |
| 東京大学地震研究所 | 教授 | 佐藤比呂志 | 2.2 |
| 東京大学地震研究所 | 教授 | 岩崎貴哉 | 2.2 |
| 東京大学地震研究所 | 助教 | 蔵下英司 | 2.2 |
| 東京大学地震研究所 | 特任研究員 | 加藤直子 | 2.2 |
| 東京大学地震研究所 | 教授 | 佐藤 比呂志 | 2.3 |
| Univ. Southern California Los Angeles | Research Associate Professor | David Okaya | 2.3 |
| 千葉大学大学院理学研究科 | 教授 | 伊藤谷生 | 2.4 |
| 同 | 教授 | 佐藤利典 | 2.4 |
| 同 | 教授 | 宮内崇裕 | 2.4 |
| 同 | 准教授 | 亀尾浩司 | 2.4 |
| 同 | 助教 | 津村紀子 | 2.4 |
| 同 | 特任教員 | 橋間昭徳 | 2.4 |

3 「歴史地震等の記録の収集、整理及び再評価」研究者リスト

| 所属機関 | 役職 | 氏名 | 担当課題 |
|-----------------|-------|-------|------|
| 名古屋大学大学院環境学研究科 | 准教授 | 山中佳子 | 3.1 |
| | 教授 | 鷺谷 威 | 3.1 |
| | 助教 | 中道治久 | 3.1 |
| | 助教 | 伊藤武男 | 3.1 |
| | 助教 | 林 能成 | 3.1 |
| 東京大学地震研究所 | 准教授 | 都司 嘉宣 | 3.2 |
| 東京大学地震研究所 | 教授 | 島崎邦彦 | 3.3 |
| 東京大学地震研究所 | 教授 | 佐竹健治 | 3.3 |
| 高知大学理学部 | 教授 | 岡村眞 | 3.3 |
| 広島工業大学環境学部 | 教授 | 中田高 | 3.3 |
| 高知大学理学部 | 准教授 | 松岡裕美 | 3.3 |
| 大阪市立大学大学院理学系研究科 | 准教授 | 原口強 | 3.3 |
| 東京大学地震研究所 | 特任研究員 | 石辺岳男 | 3.3 |
| 東京大学地震研究所 | 教授 | 島崎邦彦 | 3.4 |
| 東京大学地震研究所 | 特任研究員 | 石辺岳男 | 3.4 |

4 「震源断層モデル等の構築」研究者リスト

| 所属機関 | 役職 | 氏名 | 担当課題 |
|-------------------|-------|------|------|
| 東京大学地震研究所 | 教授 | 瀨瀬一起 | 4.1 |
| 東京大学大学院情報学環／地震研究所 | 教授 | 古村孝志 | 4.1 |
| 東京大学地震研究所 | 助教 | 三宅弘恵 | 4.1 |
| 東京大学地震研究所 | 特任研究員 | 引間和人 | 4.1 |
| 東京大学地震研究所 | 大学院生 | 田中康久 | 4.1 |
| 京都大学防災研究所 | 教授 | 岩田知孝 | 4.2 |
| 京都大学防災研究所 | 助教 | 浅野公之 | 4.2 |

Table 1. (Continued)

4 「震源断層モデル等の構築」研究者リスト

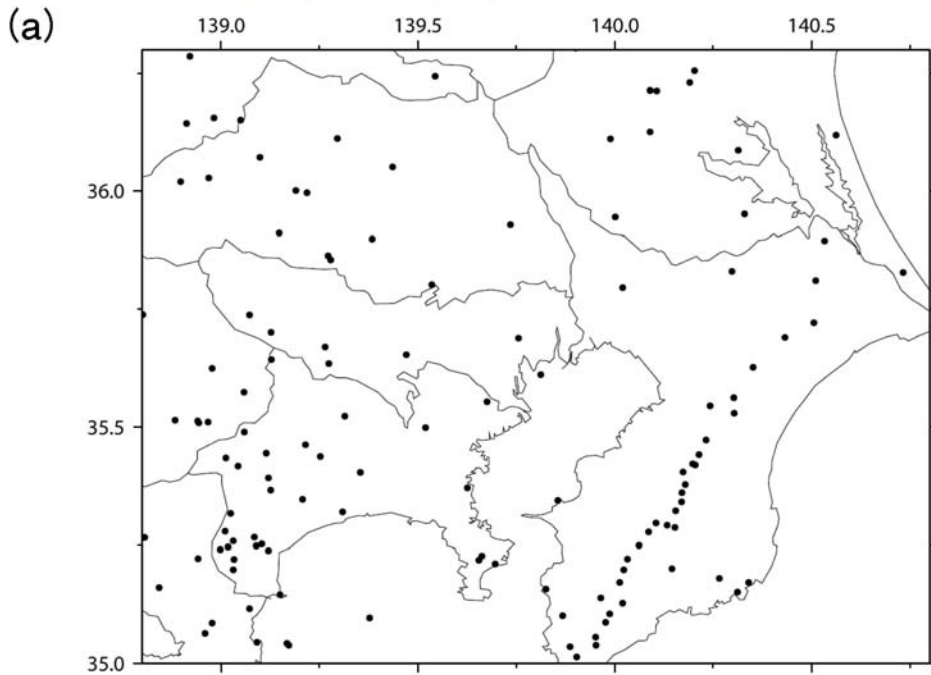
| 所属機関 | 役職 | 氏名 | 担当課題 |
|---|--------------|-----------------|-------|
| 独立行政法人防災科学技術研究所 防災システム研究センター | プロジェクトディレクター | 藤原広行 | 4.3 |
| 同 | 主任研究員 | 河合伸一 | 4.3 |
| 同 | 主任研究員 | 青井 真 | 4.3 |
| 同 | 主任研究員 | 功刀 卓 | 4.3 |
| 同 | 研究員 | 中村洋光 | 4.3 |
| 同 | 任期付研究員 | 森川信之 | 4.3 |
| 同 | 契約研究員 | 先名重樹 | 4.3 |
| 同 | 契約研究員 | 工藤暢章 | 4.3 |
| 同 | 契約研究員 | ハオ憲生 | 4.3 |
| 東京工業大学大学院総合理工学研究 科人間環境システム専攻 | 教授 | 翠川三郎 | 4.4 |
| 同 環境理工学創造専攻 | 准教授 | 山中浩明 | 4.4 |
| 同 人間環境システム専攻 | 助教 | 三浦弘之 | 4.4 |
| 独立行政法人海洋研究開発機構 海 底地震・津波ネットワーク開発部リア ルタイム情報発信グループ | 技術研究主任 | 大堀道広 (研究協力者) | 4.4 |
| 東京大学大学院理学系研究科 | 准教授 | 井出 哲 | 4.5.1 |
| 北海道大学大学院工学研究科 | 教授 | 笹谷 努 | 4.5.2 |
| 九州大学大学院理学研究院 | 准教授 | 竹中博士 | 4.5.3 |
| 鹿児島大学理学部 | 准教授 | 小林励司 | 4.5.4 |
| 東京大学地震研究所 | 教授 | 額綱一起 | 4.5.4 |

(注1)

1. 1 中感度地震観測によるプレート構造調査
1. 2 統合処理によるプレート構造調査研究及びデータ保管
1. 3 伊豆衝突帯の地震活動調査によるプレート構造調査研究
2. 1 稠密発震反射法地震探査による地殻構造調査研究
2. 2 自然地震波干渉法による地殻・上部マントル構造調査研究
2. 3 首都圏下のプレート相互作用を考慮した地殻・上部マントル構造解析研究
2. 4 長時間地殻変動からみた首都圏下の地殻構造調査研究
3. 1 地震記象の収集と解析による過去地震の調査研究
3. 2 被害記録による首都圏の歴史地震の調査研究
3. 3 液状化痕等による首都圏の古地震の調査研究
3. 4 過去地震の類型化と長期評価の高度化に関する調査研究
4. 1 強震動予測手法と地下構造モデルに関する調査研究
4. 2 震源断層モデルの高度化に関する調査研究
4. 3 強震観測研究の高度化に関する調査研究
4. 4 地盤構造モデルの高度化に関する調査研究
4. 5. 1 地震の破壊成長とスケーリング
4. 5. 2 スラブ内地震による強震動予測の高度化に関する研究
4. 5. 3 非一様な破壊伝播を考慮した震源モデルの構築とリアルタイム強震動予測
へ向けた基礎的研究
4. 5. 4 相模トラフ沿いのアスペリティの解明

プロジェクト開始前の観測点分布

MeSO-net



平成21年度観測点 (合計226点)

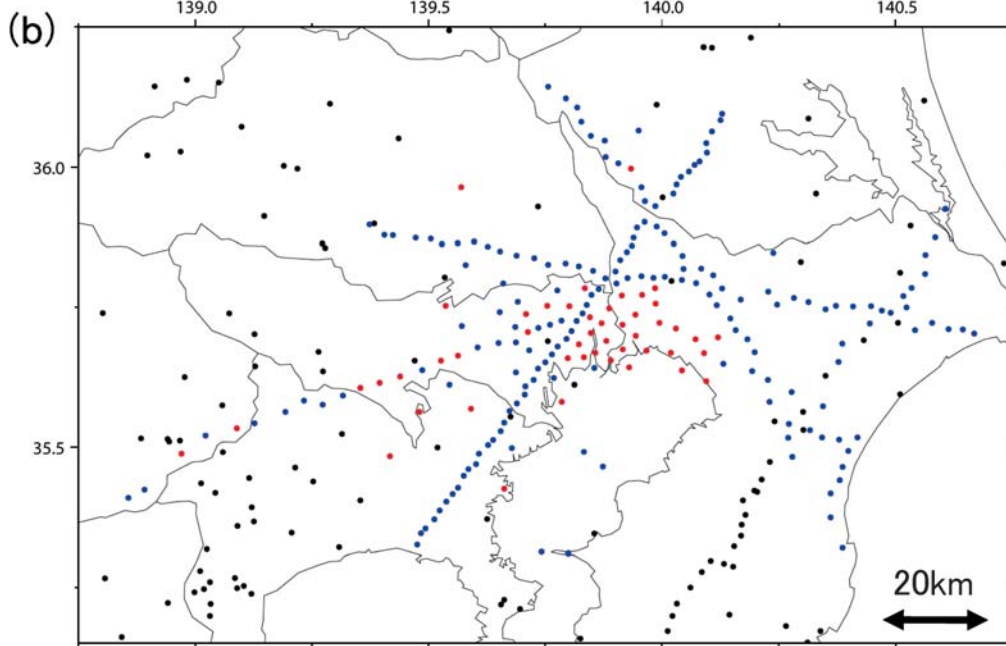


Fig. 6. Station distribution of MeSO-net and current seismic networks. (a) Before the present project, (b) End of 2009 year

域で起こった地震に関して解析可能な地震の洗い出しを行った。まず、1949年の今市地震前後の水準測量データについて整理し、今市地震に伴う上下変動データを整理した。さらに、1900年代以降に首都圏で起こった地震の記録を調査し、収集・整理するとともに、地殻変動に関

するデータの整理を行った。1931年西埼玉地震について地殻変動のデータを収集し、解析した。また、関東周辺で起こったM 6.2以上の地震の強震計データの収集を行い、規模の大きな茨城沖の地震について解析を行った。その結果、同じところで起こったほぼ同規模の地震にも

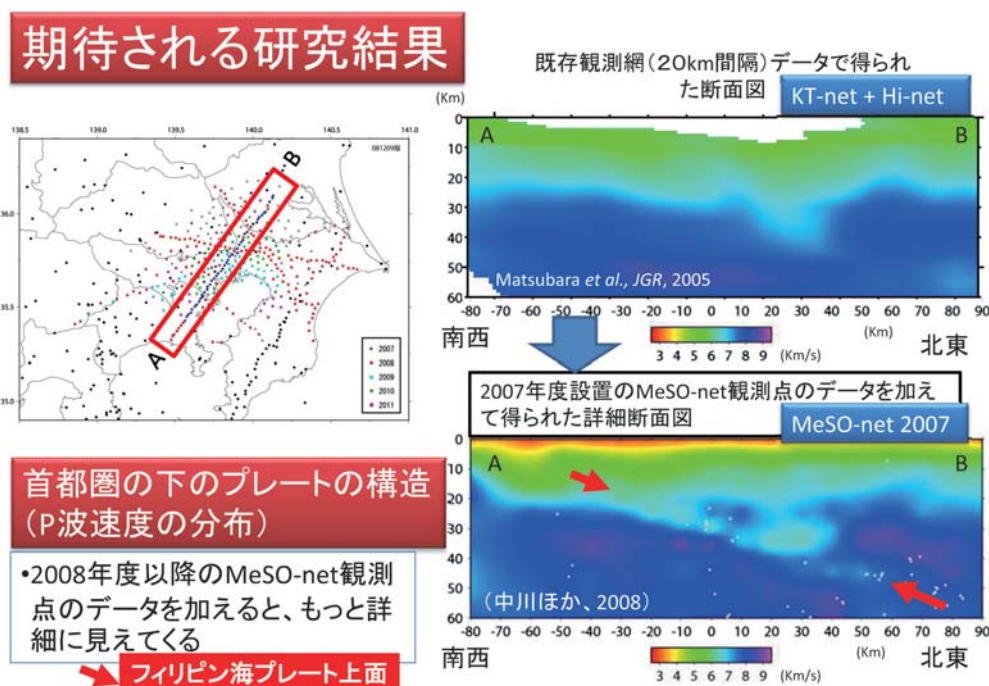


Fig. 7. Tomographic images without and with MeSO-net data.

かわらず、全く様相を異にすることが明らかになった。これまでアスペリティは繰り返すべし、ほぼ同規模の地震を起こすと考えてきたが、そうではない振る舞いをする場所も見えてきた。このことはプレート境界地震の予測に大きく影響することが考えられる。

3.2 被害記録による首都圏の歴史地震の調査研究 (東京大学地震研究所)

関東7都県の各都立・県立図書館において、1990年以後に発行された市町村史を調査対象として、それらの文献に新たに紹介された地震記事を集積した。文化九(1812)年神奈川地震の被害記録をデータベース化し、詳細な震度分布を解明した。震度分布から、震央は神奈川宿と戸塚宿の線上に位置し、震度5と6の面積から地震規模はM 6.8~7.0程度で、安政二(1855)年江戸地震に匹敵する規模であったと推定した。将来、首都圏に発生する地震として、文化九年神奈川地震のような地震も考慮する必要があることを示した。

また、江戸時代に関東地方で発生した2つの被害地震(寛政二年十一月二十七日(1791年1月1日)の埼玉県地震ならび天保十四年二月九日(1843年3月9日)の神奈川西部地震)についても被害記録を収集し、データベースを作成した。得られたデータベースを基に広域・詳細震度分布図を作成し、これら2地震の地震像を明らかにした。

3.3 液状化痕等による首都圏の古地震の調査研究 (東京大学地震研究所)

東京都江戸川区旧江戸川においてジオスライサー掘削、音波探査および電気探査から、古地震履歴の推定を行った。埋没谷周辺部に発生した地震痕跡が見つかった。本調査においては1996年(平成8年)度以降の河川整備事業によるものと思われる浅部地層の剥離から、最新の地震痕跡の発生年代を推定することが困難であったため、調査地点に近い陸上(江戸川小学校)においてボーリング調査を行った。その結果、確認された埋没谷地形の分布は東京低地に広がるゼロメートル地帯の分布域と関連していると推察された。

三浦半島南西部に位置する小網代湾奥の干潟において、3m長ハンディジオスライサーを用いた津波堆積物調査を実施した。その結果、貝殻片・砂層・小礫・粗粒砂からなる淘汰の悪いイベント層を3層発見した。粒度分析や珪藻分析の結果がイベント間の沈降とイベントによる隆起を示唆することから、これらのイベント層は関東地震による津波堆積物と推定された。また、津波堆積物を挟む層から採取された木片などから、その発生年代を推定し、最上位と中間位の津波堆積物はそれぞれ大正、元禄関東地震と対応することを明らかにした。最下位の津波堆積物については、元禄関東地震の一つ前の関東地震によるものと考えられる。地層試料の年代と、史料による関東地震の候補との対比から、1293(永仁元または

正応六)年の地震が元禄地震の一つ前の関東地震であった可能性を示唆した。

小網代湾内では、音波探査から明瞭な反射層が比較的沖合に至るまで連続的に分布していることが確認されていた。そこで、湾内3カ所において、ロングジオスライサーを用いて堆積物を採取した。干潟のように津波堆積物は明白ではないが、一地点の深さ2 mまでに、4層のイベント層が認められた。上から2番目のイベント層は、元禄関東地震による津波堆積物の可能性が高く、上から3番目のイベント層は、ハンディジオスライサー調査から得られた最下位の津波堆積物に対応すると考えられ、推定された発生年代も調和的である。

三浦半島南端に位置する江奈湾入り江の干潟において、1.5 m長ハンディジオスライサーを用いた堆積物調査を実施し、非常に細粒なシルト層に挟まれて多数の貝殻片や砂を含む淘汰の悪い小礫層を2層観察した。

3.4 過去地震の類型化と長期評価の高度化に関する調査研究(東京大学地震研究所)

1943年鳥取地震(M7.2)や1948年福井地震(M7.1)など、内陸活断層で発生し、かつ震源過程が解析されているいくつかの地震について、本震による静的クーロン応力変化(ΔCFF)と現在の微小地震活動に相関が認められることを明らかにした。また、深発地震である1993年釧路沖地震の余震についても同様の調査を行い、深さによって ΔCFF と余震活動の変化に違いのあることが分かった。これらの結果から、近年の微小地震活動から過去に発生した大地震の発震機構等を推論できる可能性が示されたが、背景的地震活動度や余震の時間減衰特性に大きく依存するため、その適用限界を十分に把握した上で行う必要があることが分かった。

様々な地震活動解析を行うFORTRANプログラム群を構築した。このプログラム群を用いて、1900年以降に発生したM6.5以上の地震のうち、震源過程が解析されておりほぼ垂直の横ずれ断層であったものを対象に、本震による ΔCFF と近年の地震活動分布との対応を調査した。その結果、現在の微小地震活動と ΔCFF の対応の様相は大きく異なるが、地震によっては適用の可能性あることを明らかにした。また、首都直下の5地震(長期評価で指摘された、1894年6月20日M7.0、深さ80 kmの地震; 1895年1月18日M7.2、深さ40-80 km; 1921年12月8日M7.0、深さ53 km, 1922年4月26日M6.8、深さ71 km; 1987年12月17日M6.7、深さ58 km)について余震活動の有無を調査した。

(4) 震源断層モデル等の構築

4.1 強震動予測手法と地下構造モデルに関する調査研究(東京大学地震研究所)

首都圏の地震動予測において重要な長周期地震動の計算手法について再検討を行い、新たに導入した差分格子化方法により予測精度が向上することを確認した。また、地下構造モデルの構築を行うため、常時微動や地震観測記録のレイリー波成分を使った速度構造推定法(HZ法)を導入し、その適用性について検討した。その結果、関東地域においてもHZ法が適用可能であることが示された。駿河・南海トラフ沿いで発生する海溝型巨大地震に対する長周期地震動予測地図を作成するために必要な地下構造モデルについて、M7クラス地震の観測波形とシミュレーション波形との比較により検証を行った。その結果、伊豆・駿河湾周辺のモデル修正が必要であることがわかり、レーバ関数などを使って改良を行った。これらにより、長周期地震動の計算に必要な1次地下構造モデルをほぼ完成することができた。このモデルを使い、想定東海地震および東南海地震に対する長周期地震動予測地図を試作した。レイリー波の水平/上下振幅比を使った速度構造推定法(HZ法)の改良を行い、水平成層モデルの深度を求めることを可能とした。この手法を首都圏の地震観測記録に対して広範囲に適用し、関東地方の地下構造モデルの高度化を試みた。さらに、歴史地震の震度分布データを利用して震源モデルを推定する手法の開発を開始し、1855年安政江戸地震を対象に予備的解析を行った。

4.2 震源断層モデルの高度化に関する調査研究(京都大学防災研究所)

国内外で発生したスラブ内地震の地震波等を用いて推定された震源モデルを収集し、地震規模に対する断層破壊領域や平均すべり量、さらにはアスペリティ面積等の不均質震源特性を分析した。その結果を既往のプレート境界地震や内陸地殻内地震の経験式と比較して、スラブ内地震の不均質震源特性の平均像を見出した。

プレート境界地震に対して、強震記録が多く得られているイベントである2005年宮城沖地震の広帯域地震波を用いた強震動生成領域の推定を行った。この分析結果に、既往の強震動生成領域サイズの地震規模依存性を調べ、内陸地殻内地震のそれより、同規模の地震に対して面積が狭い可能性を示した。これらの特徴を踏まえて強震動予測のためのプレート境界地震の震源断層モデルのプロトタイプを提案した。

スラブ内地震の震源モデルを収集し、地震規模に対する断層サイズ、断層面上のすべり分布から地殻内地震や

プレート境界地震で行われているすべりの特性化のための基準に従うアスペリティサイズや平均すべり量を求め、それらの値を地殻内地震やプレート境界地震のそれらと比較するとともに、スラブ内地震震源モデルの特性化に利用できる経験式を提案した。さらに、スラブ内地震である2008年7月岩手県沿岸地震の広帯域シミュレーションに基づく震源モデルの提案と、強震波形インバージョンによる震源モデルとの比較を行って特性化震源モデル構築の検討を行った。

4.3 強震観測研究の高度化に関する調査研究（防災科学技術研究所）

面的な地震動分布の推定精度向上のため、南関東地域の既存強震観測施設の設置環境調査、及び既存強震観測施設周辺での地盤調査のための常時微動測定を実施した。既存観測点の揺れやすさに関する特性を評価し、各観測点のデータから面的な地震動分布を推定するための各観測点毎の補正係数を求めた。地方公共団体が所有する観測施設より得られたデータに関して、今後のデータの利活用の可能性に関しての調査を実施した。

千葉県・茨城県内の自治体観測点において常時微動調査を実施した。調査した結果（微動観測生データ・現場写真・H/Vスペクトル等）について、データの解析等の利活用をスムーズに行うため、データベースに納め整理した。これらのデータに基づき、各観測点のデータから面的な地震動分布を推定するために必要な、観測点毎の地盤増幅特性及び、それらを面的に補間する手法研究の基礎部分を作成した。

今までに作成された関東地域の地盤モデルによる、理論H/Vスペクトルの計算を、微動観測地点全点で行い、観測データとの比較を行い、現状の地盤のモデル化の検証を実施した。

4.4 地盤構造モデルの高度化に関する調査研究（東京工業大学大学院総合理工学研究所）

既往の浅部地盤モデルの収集および整理を行い、既存データの分布状況を明らかにした。データ密度の低い地域を明確にし、さらに、既往の深部地盤モデルとの接続をする際の問題点を整理した。浅部地盤データの不足した部分で、微動の1点観測を行い、地盤卓越周期のデータを現地計測による追加した。さらに、既存データの密度が著しく低い地域では、微動アレイ観測を実施し、地盤データベースを補強した。

浅部地盤データを補強するため、埼玉県の地震観測点約100地点において常時微動一点観測を行い、水平/上下スペクトル比から地盤卓越周期データを得た。深部地盤データを補強するため、深部地盤の情報が少ない計13

地点において微動アレイ観測を行い、深部地盤のS波速度構造データを得た。また、深部地盤モデルから浅部地盤モデルまで切れ目のない地盤モデルを構築するための基礎的な検討として、首都圏の地震観測点計約680点を対象として、地震観測記録から得られる地盤増幅特性の逆解析によって、地震基盤上面から地表までの地盤モデルを推定した。

4.5 震源断層モデル等の構築に関する共同研究

4.5.1 地震の破壊成長とスケーリング（東京大学大学院理学系研究科）

マルチスケール断層すべりインバージョン法の最初の適用例である2004年中越沖地震についての問題点を整理した。また数値計算によって断層面の複雑性と動的破壊を関連付ける方法についての研究をまとめた。マルチスケール断層すべりインバージョンの2例目の適用例として2004年パークフィールド地震の破壊過程を求めた。南アフリカ金鉱山の地震について、初期破壊と最終サイズの関連を調べ議論した。不均質を取り入れた地震サイクルシミュレーションを実施した。

4.5.2 スラブ内地震による強震動予測の高度化に関する研究（北海道大学大学院工学研究科）

提案されているスラブ内地震の特性化震源モデル設定レシピに則って1993年釧路沖スラブ内地震（Mw 7.6）の断層モデルを設定し、経験的グリーン関数法によって強震動を予測し、観測記録と比較した。震源のモデル化に用いられた観測点で両者の一致はかなり良いが、震源のモデル化に用いられていない、大きな加速度を観測した釧路市の3観測点では、予測最大加速度値（PGA）がかなり過大に評価された。これらの観測点では地盤の非線形応答が発生して、過大評価されたことがわかった。

2006年11月15日と2007年1月13日に千島列島シムシル島の東方沖でMw 8を超える2つの大地震が、わずか2ヶ月の間にほとんど同じ場所で発生した。前者は、海溝軸の陸側で発生したプレート境界地震であるが、後者は、海溝軸の海側で発生した海洋プレート内地震である。最初に、北海道で観測された記録を基にして、これらの地震による短周期地震波の励起特性を比較した。その結果、2007年海洋プレート内大地震が、2006年プレート境界大地震に比べて約10倍強い短周期地震波を励起したことがわかった。次に、同じ地域で発生した規模の異なる3つの海洋プレート内地震（Mw: 6.4, 7.4, 8.1）による記録を基に、これらの地震による短周期地震波励起特性のスケーリング則について検討した。その結果、Mw 7.4と8.1の地震は、既存のスケーリング則に比べて約2倍強い短周期地震波を励起したことがわかった。

4.5.3 非一様な破壊伝播を考慮した震源モデルの構築とリアルタイム強震動予測へ向けた基礎的研究(九州大学大学院理学研究院)

2007年度には、実記録に基づく効果的な断層面同定法及びイメージング法の検討を実施し、2007年新潟県中越沖地震と2007年能登半島地震に適用した。新潟県中越沖地震では、近地強震記録のP波の解析から、破壊は北西傾斜の面で発生し(初期破壊)、少なくとも最初のアスペリティが破壊(主破壊)を開始するまでは北西傾斜面で破壊が進行した。さらに、この地震では3つのアスペリティのうち最初のアスペリティまでは初期破壊と同じ北西傾斜面に位置することが強く示唆される。また、能登半島地震では地震発生0.5秒後に破壊が初期破壊面から主破壊面へと移行し、その2.3秒後にアスペリティの破壊(主破壊)が開始し、その破壊は震源に対し輪島市側(北東方向)に向けて進展した。

2008年度には、P波のイメージング解析で得られる情報(初期破壊の存在や主破壊開始時刻など)を事前情報として取り込んだ震源インバージョンを実現し、推定するすべり速度分布の時空間精度の向上を図った。2005年福岡県西方沖地震の強震波形記録に適用し、時空間的な絶対精度の高い解を得た。2008年岩手・宮城内陸地震の地震についてP波イメージング解析を実施し、破壊開始5秒間の震源過程の情報を推定した。

4.5.4 相模トラフ沿いのアスペリティの解明(鹿児島大学理学部・東京大学地震研究所)

相模トラフ沿いで繰り返し起き、首都圏に壊滅的な被害を与えている沈み込むプレート境界地震のアスペリティを解明するための準備を開始した。まず、フィリピン海スラブ上面に関する過去の複数の研究結果を統合し、アスペリティ推定に使用する断層面の形状モデルを構築する準備を開始した。そのために、フィリピン海スラブ上面に関する論文・研究報告を収集して、これらのフィリピン海スラブ上面の形状モデルを統合し、断層面の形状モデルを作成した。小断層面間の隙間や重なりがないように曲面状の断層面を埋めるために、小断層面を三角形とした。滑り分布や震源過程のインバージョンに必要な各小断層の各種の数値を計算して求めた。各小断層面の走向(strike)、傾斜(dip)、重心、面積を幾何的に求めた。震源過程を得るために各小断層面の滑り始める時間も求めた。三角形の各小断層に対して、測地データのグリーン関数を計算した。さらに、この断層面モデルに適応させるために、震源過程を推定するインバージョン手法において滑らかさの拘束条件を始め、多くの点でプログラムを改訂した。

4. 「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト ①首都圏でのプレート構造調査、震源断層モデル等の構築等」の管理・運営

プロジェクトの効率的な推進を図るために、本計画の代表研究機関である東京大学地震研究所、分担研究機関と関連する研究機関、研究者等より構成される「首都圏周辺でのプレート構造調査、震源断層モデル等の構築等運営委員会」を2007年度から毎年2回開催して、プロジェクトの総括的・効率的な運営を図った。

観測網の設計と、研究の進め方について、地震研究所共同利用のシンポジウム(「首都圏における地震テクニクス」研究集会、2008年3月19日)を開催し、広く研究者と議論する機会を設け、最新の研究動向の理解を図るとともに、他のサブプロジェクトとの連携について議論した。また、地震研究所と学術協力協定を結んでいる南カリフォルニア地震センター(SCEC)との研究協力を進めるために、SCEC年次総会(米国カリフォルニア、2007年、2008年、2009年)に参加して情報収集した。さらに、米国地球物理学連合(AGU)、国際測地学・地球物理学連合(IUGG)総会(イタリア・ペルージャ、2007年7月2日から13日)に参加して、本プロジェクトの意義と成果を広報し、世界の研究者と情報の交換を行った。プレート境界に隣接し大都市が堆積盆地の中に位置するカリフォルニア地域や、ヨーロッパの中では地震活動の比較的高いイタリアでの研究で得られた研究成果と、本研究で得られた成果と比較検討することは、プレート境界近傍における地震像の解明、地震発生の長期予測の高度化、強震動予測の高度化に繋がった。日本地球惑星科学連合2009年大会では、特別セッション(S221)「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト」を提案して実施され、多くの関係の論文が発表された。

5. まとめと今後の課題

2007年度から5カ年計画で始まった首都直下地震防災・減災特別プロジェクトは、3年目を迎え、新しい首都圏地震観測網(MeSO-net)の観測点の整備は略半数が完成した。観測点が設置された場所では、従来より詳しいプレート構造が解明されつつあるが、発生確率の高いとされている南関東の大地震の発生場を理解するには、この観測網の完成が不可欠である。新しい観測データと既存の観測網からのデータを統合して、首都圏で発生する大地震の地震像を描き出す研究が進みつつある。

これまでの研究では、プロジェクトの個別課題の研究が進んだが、プロジェクトの後半では、個別課題間での情報の共有や、相互理解に基づいて、サブプロジェクト

全体として、大地震の発生場の理解に基づいて、今後想定される被害地震による揺れの具体的な姿についての考察が重要となる。とりわけ明治東京地震以降に発生した5つの大地震の地震像を明確にする研究が必要である。さらには、サブプロジェクト間での協同作業も必要で、首都圏に於ける地震災害の軽減に資する知見を得る努力を強力に進める必要がある。

謝 辞

本研究は、文部科学省委託研究「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト」サブプロジェクト①「首都圏周辺でのプレート構造調査、震源断層モデル等の構築等」に基づいている。本研究の一部は、東京大学地震研究所共同利用・特定共同研究(C)(課題番号:2008-C-02, 2008-C-03, 2008-C-04, 2008-C-05)によっている。

引用文献

- 中央防災会議・首都直下地震対策専門調査会, 2005, 首都直下地震対策専門調査会報告, (平成17年7月) <http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/shutochokka/houkoku.pdf>
- 中央防災会議, 2005, 首都直下地震対策大綱(平成17年9月). http://www.bousai.go.jp/oshirase/h17/jishin_taikou.pdf
- 中央防災会議, 2006, 首都直下地震の地震防災戦略(平成18年4月21日). http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/taisaku_syuto/pdf/senryaku/sen.pdf
- Hagiwara, H., N. Hirata, T. Igarashi, S. Sakai, 2006, Velocity structure of the Philippine Sea plate beneath the Boso Peninsula revealed by seismic tomography, 地球惑星科学関連合同大会.
- Hasegawa, A., J. Nakajima, S. Kita, T. Okada, T. Matsuzawa, and S.H. Kirby, 2007, Anomalous deepening of a belt of intraslab earthquakes in the Pacific slab crust under Kanto, central Japan: Possible anomalous thermal shielding, dehydration reactions, and seismicity caused by shallower cold slab material, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L09305, doi: 10.1029/2007GL029616.
- Hirata, N., H. Sato, K. Koketsu, H. Hagiwara, F. Wu, D. Okaya, T. Iwasaki, K. Kasahara, 2006, Mega-thrust and Intra-slab Earthquakes Beneath Tokyo Metropolitan Area, *Eos Trans. AGU*, 87 (52), Fall Meet. Suppl., Abstract S31C-03.
- 平田 直編, 2008, 科学技術振興費 首都直下地震防災・減災特別プロジェクト ① 首都圏でのプレート構造調査, 震源断層モデル等の構築等, 平成19年度 成果報告書, 文部科学省研究開発局, 東京大学地震研究所. <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/shuto/report/H19/index.html>
- 平田 直編, 2009, 科学技術振興費 首都直下地震防災・減災特別プロジェクト ① 首都圏でのプレート構造調査, 震源

- 断層モデル等の構築等, 平成20年度 成果報告書, 文部科学省研究開発局, 東京大学地震研究所. <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/shuto/report/H20/index.html>
- 地震調査研究推進本部・地震調査委員会, 2004, 相模トラフ沿いの地震活動の長期評価(平成16年8月23日). http://www.jishin.go.jp/main/chousa/04aug_sagami/index.htm
- 笠原敬司・酒井慎一・森田裕一・平田 直・鶴岡 弘・中川茂樹・楠城一嘉・小原一成, 2009, 首都圏地震観測網(MeSO-net)の展開, 地震研究所彙報, 84, 71-88.
- Matsubara, M., H. Hayashi, K. Obara, and K. Kasahara, 2005, Low-velocity oceanic crust at the top of the Philippine Sea and Pacific plates beneath the Kanto region, central Japan, imaged by seismic tomography, *J. Geophys. Res.*, 110, B12304, doi: 10.1029/2005JB003673.
- 森田裕一・酒井慎一・中川茂樹・笠原敬司・平田 直・鏡 弘道・加藤拓弥・佐藤峰司, 2009, 首都圏地震観測網(Meso-net)のデータ伝送方式について—自律協調型データ送信手順(ACT protocol)の開発—, 地震研究所彙報, 84, 89-105.
- 中川茂樹・酒井慎一・萩原弘子・笠原敬司・佐々木俊二・平田直, 2008, 首都直下の不均質構造のイメージング(1), 日本地球惑星科学連合2008年大会(千葉市).
- 中川茂樹・鶴岡 弘・川北優子・酒井慎一・平田 直, 2009, 首都圏地震観測網データセンターの構築と運用, 地震研究所彙報, 84, 107-114.
- 西田 究・利根川貴志・中川茂樹・酒井慎一・笠原敬司, 棚田俊收, 小原一成, 平田直, 2009, MeSO-netに記録された脈動記録を用いた関東平野S波速度構造の推定, 地震学会講演予稿集2009年度秋季大会, P 3-28, 251.
- Obara, K., S. Hori, K. Kasahara, Y. Okada, and S. Aoi, 2000, Hi-net: High sensitivity seismograph network in Japan, *Eos Trans. AGU*, 81 (48), Fall Meet. Suppl., Abstract S71A-04.
- 酒井慎一・平田 直, 2009, 首都圏地震観測網の設置計画, 地震研究所彙報, 84, 57-69.
- Sato, H., N. Hirata, K. Koketsu, D. Okaya, S. Abe, R. Kobayashi, M. Matsubara, T. Iwasaki, T. Ito, T. Ikawa, T. Kawanaka, K. Kasahara, and S. Harder, 2005, Earthquake source fault beneath Tokyo, *Science*, 309, 462-464.
- Tonegawa, T., K. Nishida, S. Nakagawa, K. Kasahara, S. Sakai, T. Tanada, K. Obara, N. Hirata, 2009, Seismic imaging of the two subducting slabs underneath Tokyo Metropolitan area inferred from Ps single scattering analysis, AGU Fall meeting.
- 吉本和生・平田 直・笠原敬司・酒井慎一・小原一成・棚田俊收・鶴岡 弘・中川茂樹・中原 恒・木下繁夫・佐藤比呂志, 2009, 地震波干渉法による首都圏の地震基盤構造の推定, 地震学会講演予稿集2009年度秋季大会, B31-04, 63.
- Wu, F., D. Okaya, H. Sato, and N. Hirata, 2007, Interaction between two subducting plates under Tokyo and its possible effects on seismic hazards, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L18301, doi: 10.1029/2007GL030763

(Received November 9, 2009)

(Accepted January 4, 2010)