### 3. 研究報告

- 3.1 南関東の地震像の解明
- 3.1.1 首都圏での地震発生過程の解明

3.1.1.1 首都圏主部での地震発生過程の解明

### (1) 業務の内容

(a) 業務の目的

首都圏地震観測網(MeSO-net)の観測データによって、首都圏のプレート構造の解明を 進め、プレートの詳細な構造と2011年3月11日以降活発化した地震活動の関係を解明し、 将来発生が予想される首都直下地震の地震像(地震規模、地震発生頻度、発生場所)を解 明する。首都圏の地盤の揺れの特性を解明する。そのために、MeSO-netを維持・補修し、 観測データを蓄積する。首都圏主部、特に、東京湾域、房総半島域などの地震活動に注目 し、詳細なプレート構造を解明するための調査研究を行う。「データ収集・処理・公開セン ター」を運用する。

### (b) 平成 26 年度業務目的

- 首都圏及び東京湾に整備された 296 か所の中感度地震観測点と房総半島に整備された 26 か所の房総アレイ観測点からなる首都圏地震観測網(MeSO-net)を維持・管理し、自 然地震観測を行う。必要に応じて、老朽化した一部設備の補修等を行う。
- 2)国立大学法人東京大学地震研究所の「データ収集・処理・公開センター」の整備を進めて、MeSO-netの自然地震観測データを収集・処理する。また、サブプロジェクト②が建物に設置した地震計のデータを収集する。これらの収集データは、サブプロジェクト①で実施する解析やデータの利活用、サブプロジェクト②の地盤-基礎-建物系の応答の研究における観測データ、サブプロジェクト③に提供する情報として活用される。
- 3) 収集した MeSO-net のデータを、独立行政法人防災科学技術研究所の「統合・保管セン ター」と神奈川県温泉地学研究所に送信する。共同研究者等にウェブを利用したデータ の提供を行う。また、サブプロジェクト②が設置した地震計のデータと MeSO-net のデ ータをサブプロジェクト②と共有する。
- 4) 2) で収集・処理されたデータをこれまでに国内で設置された既存観測点のデータと併せ、震源決定法・地震波トモグラフィー法等の手法を用いて、震源分布や地震波速度と非弾性常数の三次元的分布等の解析を進め、予察的な関東地方のプレート構造を求める。 また、収集したデータ等を用いて、MeSO-netの観測点地表における震度相当値の補正値等を求め、震度予測の高度化のための手法を検討する。
- 5) 1) ~4) で得られた情報を首都圏での中小地震と大地震の発生過程の関係の解明のため に課題(1) c 「首都圏での中小地震と大地震の発生過程の関係の解明」に提供する。

### (c) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
東京大学地震研究所	教授	平田 直	
東京大学地震研究所	教授	小原 一成	
東京大学地震研究所	教授	岩崎 貴哉	
東京大学地震研究所	教授	鷹野 澄	
東京大学地震研究所	准教授	酒井 慎一	
東京大学地震研究所	准教授	飯高 隆	
東京大学地震研究所	准教授	卜部 卓	
東京大学地震研究所	准教授	鶴岡 弘	
東京大学地震研究所	助教	蔵下 英司	
東京大学地震研究所	助教	五十嵐 俊博	
東京大学地震研究所	助教	前田 拓人	
東京大学地震研究所	助教	中川 茂樹	
東京大学地震研究所	特任研究員	パナヨトプロ	
		ス ヤニス	
東京大学地震研究所	技術専門職員	八木 健夫	
東京大学地震研究所	技術専門職員	宮川 幸治	
東京大学地震研究所	技術職員	田中伸一	
東京大学地震研究所	学術支援専門職員	川北優子	

# (2) 平成 26 年度の成果

- (a) 業務の要約
- 首都圏及び東京湾に整備された 296 か所の中感度地震観測点と房総半島に整備された 26 か所の房総アレイ観測点からなる首都圏地震観測網(MeSO-net)を維持・管理し、自 然地震観測を行った。必要に応じて、老朽化した一部設備の補修等を行った。
- 2)国立大学法人東京大学地震研究所の「データ収集・処理・公開センター」の整備を進めて、MeSO-netの自然地震観測データを収集・処理した。また、サブプロジェクト②が建物に設置した地震計のデータを収集した。これらの収集データは、サブプロジェクト①で実施する解析やデータの利活用、サブプロジェクト②の地盤-基礎-建物系の応答の研究における観測データ、サブプロジェクト③に提供する情報として活用された。
- 3) 収集した MeSO-net のデータを、独立行政法人防災科学技術研究所の「統合・保管センター」と神奈川県温泉地学研究所に送信した。共同研究者等にウェブを利用したデータの提供を行った。また、サブプロジェクト②が設置した地震計のデータと MeSO-net のデータをサブプロジェクト②と共有した。
- 4) 2) で収集・処理されたデータをこれまでに国内で設置された既存観測点のデータと併 せ、震源決定法・地震波トモグラフィー法等の手法を用いて、震源分布や地震波速度と 非弾性常数の三次元的分布等の解析を進め、予察的な関東地方のプレート構造を求めた。 また、収集したデータ等を用いて、MeSO-netの観測点地表における震度相当値の補正値 等を求め、震度予測の高度化のための手法を検討した。

5) 1) ~4) で得られた情報を首都圏での中小地震と大地震の発生過程の関係の解明のため に課題(1) c 「首都圏での中小地震と大地震の発生過程の関係の解明」に提供した。

#### (b) 業務の成果

# 1) 首都圏地震観測網(MeSO-net)による自然地震観測

# a) 観測網の維持

本プロジェクトでは、首都圏地震観測網(MeSO-net)を維持し、得られたデータを有効 に活用した研究を進めている(図1、P18)。MeSO-netは、文部科学省委託業務「首都直下 地震防災・減災特別プロジェクト(2007年-2011年)」(前プロジェクトと呼ぶ。)におい て、首都圏における地震活動や地下構造等を明らかにするために構築された(平田・他, 2009<sup>1)</sup>)。この観測網は、296ヶ所の地震観測点からなり、各観測点では約20mのボアホー ルに3成分の加速度計が設置されている(図2、P.18)。測定データはボアホールの孔底で ディジタル変換され、ISO11898 に準拠したシリアルバス(CAN バス)を用いて接続され た地上部装置へ伝送されている。人工ノイズの多い地表から離れたこと、温度変化の少な い地中で測定したこと、すべてディジタルで伝送したこと等から、都市部における地震観 測としては、十分なシグナルを得ることができている。地上装置は、インターネットを利 用して地震研究所のデータセンターまで送信するが、回線の混雑時や回線断の時には自ら 判断してメモリにデータを蓄積し、回線が空いてきた時に改めて送信するといった再送機 能を有した自律協調型の装置である。さらに、停電時にも稼働できるようにバッテリーを 備えているため、データの欠落はほとんどなく、24時間 365 日ほぼすべてのデータを収集 している。

地上部装置は観測装置の制御部として重要な機能を有しているだけでなく、データセン ターにおける各装置の動作状況の監視を円滑かつ自動的に行うため、SNMP(<u>Simple</u> <u>Network Management Protocol</u>)を利用した監視システムを導入した。これにより、少人数 での観測網の運用が可能となっている。また、データセンターから遠隔操作で観測装置の ファームウェアの更新や各機能の制御パラメータの変更を行うことができ、保守に係る人 的・時間的コストの軽減を実現した。データセンターで収集されたデータは、独立行政法 人防災科学技術研究所および神奈川県温泉地学研究所へ送られ、周辺の既存観測点のデー タと共に統合され、研究や高精度処理に利用されている。これらのデータは、共同研究と して本プロジェクト以外の研究者と共に地震防災に関わる様々な研究に利用されている。 さらに、WEBを使って教育関係者等へも渡されていて、防災教育や理科教育にも利用され ている。

#### b) 老朽化した設備の移設及び交換

今年度は、移設工事を1か所(世田谷区立城山小学校)で行った。校舎を新築するため すぐ隣に位置する山崎小学校(約600m北東方向)に移設した。観測孔を新たに掘り、城 山小学校で使用していた地震計および観測装置および伝送装置をそのまま利用することに した。観測データは、移設前と変わりなく良好であることを確認した。

一方で、地震計そのものの不具合も出始めたため、3 観測点(慶應義塾志木高校、多古 町常磐小学校、佐倉市井野小学校)で地震計の交換を行った。原因は不明であるが、ある 成分だけに不具合が生じ、正しい記録を得られない状態が続いていたため、地下にある地 震計を引き上げ、新しい地震計と交換した。

#### c) MeSO-net 地震計の設置方位の検証

MeSO-net 地震計は、地下 20 m のボアホール内に設置されているため、地震計の水平方 位には、若干のずれがあることが指摘されている(汐見・他,2009<sup>2)</sup>)。したがって、この 地震計のデータを用いて、地震動分布の高精度なイメージングを行う場合には、得られた データに対して水平方位の補正を行う必要があるが、このずれを測定していない観測点が ある。そこで、平面波と見なせる程度に遠地で発生した複数の大地震による長周期波動を 用いて、全 296 観測点に対する設置方位を統一的に求めた。初年度に設置された観測点の 中には反転に近い設置が3 観測点あったが、その3 観測点を除き、ほとんどの観測点が磁 北±10 度の範囲に設置されていたことが確認された(詳細は 3.2.1 節を参照)。

2) データ解析

### a) 震源分布

今年度は、これまでに処理してきた解析結果を整理した。MeSO-net で収録したデータは、 周辺のテレメータ観測点のデータ(東京大学地震研究所、気象庁、独立行政法人防災科学 技術研究所、神奈川県温泉地学研究所)と統合して、気象庁一元化処理震源カタログに基 づき以下の基準で選んだものである。

・北緯 34.85 度~36.60 度、東経 138.8 度~140.8 度、マグニチュード 2.5 以上

・北緯 35.40 度~36.00 度、東経 140.8 度~141.1 度、マグニチュード 4.0 以上

これらの地震に対し、各観測点の P 波到着時刻、S 波到着時刻、最大振幅、P 波初動振動 方向を読み取り、震源決定を行ったものである(図3、P.19)。2010 年 8 月 15 日から 2014 年 7 月 10 日の期間に発生した地震の中から 1,873 個の地震を選び出した。読み取り数の 合計は P 相が 480,405 個、S 相が 270,757 個、最大振幅が 499,906 個、初動振動方向が 266,538 個である。震源決定には、前プロジェクトと同じく地震研究所の通常処理で使用されてい る 1 次元 P 波速度構造を使用した。また、Vp/Vs 比を 1.73 と仮定して求めた S 波速度を用 いた。最初の震源決定後、観測走時と計算走時の差の平均値を基に観測点補正値を決定し た。観測点補正値を求めるために使用した地震は、今年度の処理データに加えて昨年度の 処理データを合わせたものの中から、東経 138 度から 141 度、北緯 34 度から 38 度、深さ 150 km 以浅で発生した地震のうち、P 相、S 相ともに 50 個以上の読み取りのある 791 イベ ントである。観測点補正値の分布を図 4 (P.20) に示す。

#### b) 地震波速度構造

MeSO-net で取得したデータ及び既存のデータを用いて、二重走時差トモグラフィー法 (Double-difference tomography) (Zhang and Thurber, 2003<sup>3)</sup>)による走時データ・インバー ジョン解析を行い、首都圏の地震波速度構造の推定を試みた。群列配置された観測網に本 手法を適用して地震波速度構造を推定することは、Kato *et al.* (2009)<sup>4)</sup>などの研究により、 震源の相対走時の精度を向上させ結果として分解能の向上に寄与することが示されている。 さらに列状配置された観測網間も、地下深部であれば精度良く推定されることが示されて いる。本解析は、基本的には Hagiwara *et al.* (2006)<sup>5)</sup>が房総半島を中心とした関東地方を対 象領域として行ったトモグラフィー解析を参考にした。解析には、前項 a)で作成した MeSO-net および定常観測網の検測値データを利用した。

解析グリッドの水平位置は、東西方向(X)と南北方向(Y)に基本的には 10 km 間隔(外周部は一部 20 km 間隔)となるようにグリッドを配置した。また、深さ方向(Z)は、深さ 10 km から 60 km までは 5 km 間隔に、それ以深は 70、80、100、150 km にグリッドを配置した。 インバージョン解析用の初期速度構造および初期 Vp/Vs として、独立行政法人防災科学技術研究所高感度地震観測網が、ルーチン処理で用いている構造(鵜川・他, 1984<sup>6)</sup>)を採用した。インバージョン解析に使用した地震は、2010年 10月1日から 2013年 9月 25日までに発生した計 1,539 個で、気象庁一元化処理震源カタログのうちマグニチュード 2.2 以上の地震に相当する。使用した走時データの内訳は、絶対走時データは P 波が 364,910 個、S 波が 242,664 個であり、二重走時差データは P 波が 968,643 個、S 波が 573,603 個である。

その結果、前プロジェクトで得られた速度構造と矛盾しない結果が得られた(図 5、P.21)。 その過程で得られた震源情報は、3次元速度構造による震源である。そこで、1次元速度構 造による震源(図 3、P.19)と比較したところ、両者には水平方向に約 1.7 km(標準偏差 1.7 km)の差があり、深さ方向には約 1.2 km(標準偏差 1.7 km)浅くなった。

#### c) 非弾性常数の三次元分布

首都圏下に沈み込むプレート構造と首都圏で発生する地震活動との関係を理解するために地震波の減衰構造(Q構造)を求めた。これまでも、地震波減衰構造に関して調べられてきた。日本全国の大規模構造に対しては、たとえば Jin and Aki (2005)<sup>7)</sup>や Edwards and Rietbrock (2009)<sup>8)</sup>、関東地方の地域的な減衰構造に対しては、ボアホール観測記録を利用した Kinoshita (1994)<sup>9)</sup>や Yoshimoto and Okada (2009)<sup>10)</sup>、強震動記録を用いた Nakamura *et al.* (2006)<sup>11)</sup>などが知られている。しかしながら、それらは観測点密度が不十分であるため得られる減衰構造の分解能が低く、沈み込むプレート境界やプレート内の物質特性を知るために十分な精度とは言えない。前プロジェクトで構築された MeSO-net の観測点間隔は 2 ~5km と稠密であるため、首都圏下の減衰構造が従来よりも高空間分解能で得られることが期待される。

まず、MeSO-net で観測された地震波形記録に対して、震源から観測点までの地震波の減 衰効果を表すパラメータ ( $t^*$ 、 $f_c$ )を求める。一般に観測された波形のフーリエスペクト ルH(f)は、震源スペクトルと地震波伝播経路と観測点直下での減衰または増幅の効果の積 として表わされる。本研究では Brune (1970)<sup>12)</sup>の震源モデルを用い、観測されたスペクト ルH(f)が以下の式(1) (例えば、Boatwright, 1978<sup>13)</sup>; Lindley and Archuleta, 1992<sup>14)</sup>)で表わさ れるとして、 $t^*$ を求めた。

$$H(f) = \frac{\Omega_{\rm o} \exp(-\pi f t^*)}{\left(1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^{2\gamma}\right)^{\frac{1}{2}}}$$
(1)

ここで、fは周波数、 $\Omega_0$ は周波数f = 0のスペクトル振幅、 $t^*$ は地震波伝播経路での減衰

の影響を表すパラメータ、 $f_c$ はコーナー周波数、 $\gamma$ は震源スペクトルの周波数依存性を決めるパラメータである。本研究では、 $\gamma = 2$ とし、オメガ二乗( $\omega^2$ )震源モデルを用いた。観測された加速度波形を2回積分して変位波形を求めてからフーリエ変換してフーリエ振幅を求めた。積分に伴うドリフトを補正するためにハイパスフィルター(0.2 Hz)を通した地震波形に対し、P 波到着時刻1秒前から3秒後の範囲でスペクトルを求め、理論スペクトルに合致する $\Omega_0$ 、 $t^*$ 、 $f_c$ をグリッドサーチで得た。

観測された地震波のスペクトルを見ると、6~18 Hz の周波数範囲での増幅度が大きく、 これは主に関東盆地の厚い堆積層の影響と考えられる(図 6、P.22)。推定された見かけの コーナー周波数 $f_c$ はばらつきが大きく、推定された $t^*$ も同様にばらついていた。そこで本研 究では、安定した $t^*$ を求めるために、一つの地震に対してはどの観測点でも同一の $f_c$ である と仮定して、平均的な $f_c$ を利用することにした。走時差が 1 割以下である隣接した観測点 を選び、平均フーリエスペクトルを求め、これをその地震に対するコーナー周波数 $f_c$ とし た。この $f_c$ を用いて、観測点ごとの $\Omega_0$ と $t^*$ を推定した。

一方で、*t*\*は減衰の程度を示す*Q*と地震波速度*V*の関数で表すことができる(例えば、
 Wittliger *et al.*, 1983<sup>15)</sup>; Hough *et al.*, 1988<sup>16)</sup>; Lees and Lindlay, 1994<sup>17)</sup>)。観測記録から得られる*t*\*は波線経路上の*Q*の積分と観測点の付近のサイト効果を示す*t*<sup>\*</sup><sub>0</sub>から(2)式になる。

$$t^* = t_0^* + \int_{\text{ray path}} \frac{1}{QV} ds$$
 (2)

この式は、地震波速度トモグラフィー解析と同様の手法を適用して、速度Vの替わりに 減衰Qに関するインバージョン解析を行うことで、多数の地震の $t^*$ 値から減衰Qの3次元分 布が得られることを示している(Thurber and Eberhart-Phillips, 1999<sup>18</sup>); Rietbrock, 2001<sup>19</sup>)。

本研究では、2008年4月1日から2013年10月2日までに発生した地震のうち、計測震 度が0.5以上で、なるべく多くの観測点でS/Nの良い記録を得ることができた1,355個の 地震を選び(図7、P.22)、t\*を求めた。得られたt\*を用いて地震波減衰トモグラフィー解 析(SIMUL2000)(Thurber and Eberhart-Phillips, 1999<sup>18)</sup>; Rietbrock, 2001<sup>19)</sup>)を行い、P波の減 衰構造(Qp分布)およびS波の減衰構造(Qs分布)を推定した。空間分解能テスト(図 8、P.23)から、水平方向に15km 間隔、深さ方向に10km 間隔で格子点を配置した(図7、 P.22)。初期速度構造は3次元構造を用い(Hirata *et al.*, 2012<sup>20)</sup>)、初期減衰構造(Qpおよび Qs)は、深さ0kmで116、深さ0km以深では400で、水平方向に一様とした。観測点直 下の地盤の違いを考慮するために、観測点毎に求めたt\*の残差の平均値を初期t<sub>0</sub>として、 再び式(2)を解くことを5回くりかえして最終的なt<sub>0</sub>とした(Lee *et al.*, 2010<sup>21)</sup>)。得られたt<sub>0</sub> は、観測点近傍の基盤増幅率(独立行政法人防災科学技術研究所地震ハザードステーショ ンJ-SHIS<sup>22)</sup>)と特に相関が高いわけではなかった。MeSO-netの地震計は、工学的基盤に近 い約20mのボアホール底に設置されているため、最も大きな減衰効果を示す地表浅部の 影響を受けにくいことが原因と考えられる。従って、得られたt\*は深部における減衰の効 果をより多く反映していると考えられる。

得られた首都圏下の P 波の減衰構造から千葉県西部や東京都東部における深さ 40 km 付 近には低 Q 域が存在し、フィリピン海プレート内の太平洋プレートと接合している領域と 対応することがわかる(図 9、P.23、図 10、P.24)。一般的に古くて冷たいプレート内部で は Q 値は高いと考えられている(宇津, 2001<sup>23)</sup>)が、沈み込むフィリピン海プレート内部 は低 Q 値であり、先行研究で P 波と S 波の地震波速度比(Vp/Vs)が大きいとされている 部分である(Kamiya and Kobayashi, 2000<sup>24)</sup>)。この領域では、フィリピン海プレートの下に 太平洋プレートが沈み込んでいて、海洋プレート内部の岩石が脱水反応を伴う変成作用が 起こる深さに達していると考えられている。この領域における低 Q 値、高 Vp/Vs は、太平 洋プレートから脱水した水が浅部にあるフィリピン海プレート内にとどまり、プレート内 部のカンラン岩に蛇紋岩化が起こり始めている可能性を示唆する(笠原・他, 2003<sup>25)</sup>)。同 じ地域の S 波の減衰構造でも同様な低 Q 域が存在するが、まだデータ不足のためか解像度 が低く、P 波の減衰構造と比べて顕著ではない(図 11、P.24、図 12、P.25)。今後、地震数 を増やして、解像度を上げた解析が必要である。

本研究で得られた減衰構造で、首都圏で観測される震度分布の不均質を説明することが できる。例えば、太平洋プレート上面の地震では、震源地直上ではなく、東京都東部で最 大計測震度が観測されることがある(図 13、P.25)。フィリピン海プレート内の低Q域を 通過した地震波がより大きく減衰すると考えれば、定性的にはこの観測事実を説明するこ とが可能である。地震観測記録の無い歴史上の地震における震源地を被害分布に基づき推 定する際は、地盤構造だけでなく、このような地殻内やプレート内の減衰の効果を考える 必要がある。本研究で得られた減衰構造と速度構造を統合して解釈することにより、沈み 込むプレートの物質特性を知ることができる。これらの成果を利用することでより現実的 な強震動シミュレーションが可能になり、首都圏の地震防災・減災に寄与すると考えられ る。

#### 3) 発震機構解の分布

今年度処理を行った MeSO-net および定常観測網の検測値データを課題(1) c 「首都圏で の中小地震と大地震の発生過程の関係の解明」へ提供し、HASHv2 (Hardebeck and Shearer, 2002<sup>26)</sup>)を修正したプログラムを用いて発震機構解を求めた(3.1.3 節図 1、P.106)(詳細 は 3.1.3 節を参照)。

# 4) 地震防災知識の普及、防災意識の啓発への活用

地震防災知識の普及のため、MeSO-net を設置した学校等では収集したデータを閲覧できるようにウェブを運用している。さらに、防災意識の啓発に活かすための教育者や研究者、行政関係 者等とのメイリングリストを運営している。一方で、MeSO-net を設置した学校や関係自治体 等では、防災意識の啓発を目的とした出張授業や講演会を行った(詳細は 3.3 節を参照)。

#### (c) 結論ならびに今後の課題

「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト」で構築した首都圏地震観測網(MeSO-net) に対して総合点検や監視を行い、正常にデータを収集するように観測網を維持した。その 観測データは周辺の既存観測データと統合され、「データ収集・処理・公開センター」を運 用した。それらのデータを利用して、震源決定、速度構造解析、減衰構造解析、発震機構 解解析などの解析を行って、首都圏のプレート構造の解明を進めた。今後は、プレートの 詳細な構造と 2011 年 3 月 11 日以降活発化した地震活動の関係を解明し、将来発生が予想 される首都直下地震の地震像(地震規模、地震発生頻度、発生場所)を解明する。首都圏 主部、特に、東京湾域、房総半島域などの地震活動に注目し、詳細なプレート構造を解明 するための調査研究を行う。

このデータは、本プロジェクトの各サブテーマにも提供され、将来発生が予想される首 都直下地震の地震像(地震規模、地震発生頻度、発生場所)を解明し、首都圏の地盤の揺 れの特性の解明を推進する。

### (d) 引用文献

- 平田直,酒井慎一,佐藤比呂志,佐竹健治,纐纈一起:「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,地震研究所彙報, Vol. 84, pp. 41-56, 2009.
- 汐見勝彦, 佐々木俊二, 酒井慎一, 笠原敬司, 関根秀太郎, 中川茂樹, 小原一成, 平田 直, 棚田俊收: 地震動の長周期成分を用いた首都圏地震観測網(MeSO-net)の設置方 位推定, 地震研究所彙報, Vol. 84, pp. 115-125, 2009.
- 3) Zhang, H. and Thurber, C.: Double-difference tomography: The method and its application to the Heyward fault, California, Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 93, pp. 1875-1889, 2003.
- Kato, A., Kurashimo, E., Igarashi, T., Sakai, S., Iidaka, T., Shinohara, M., Kanazawa, T., Yamada, T., Hirata, N. and Iwasaki, T.: Reactivation of ancient rift systems triggers devastating intraplate earthquakes, Geophys. Res. Lett., Vol. 36, L05301, doi:10.1029/2008GL036450, 2009.
- 5) Hagiwara, H., Igarashi, T., Hirata, N. and Sakai, S.: Velocity structure in the Kanto Region from dense array observation: A new configuration of the Philippine Sea plate, AGU 2006 Fall Meeting, 2006.
- 6) 鵜川元雄,石田瑞穂,松村正三,笠原敬司:関東・東海地域地震観測網による震源決定 方法について,国立防災科学技術センター研究速報,Vol. 35, pp. 1-88, 1984.
- 7) Jin, A. and Aki, K.: High-resolution maps of Coda Q in Japan and their interpretation by the brittle-ductile interaction hypothesis, Earth Planets Space, 57, pp. 403-409, 2005.
- Edwards, B. and Rietbrock, A.: A Comparative Study on Attenuation and Source-Scaling Relations in the Kantō, Tokai, and Chubu Regions of Japan, Using Data from Hi-Net and KiK-Net, Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 99, No. 4, pp. 2435–2460, 2009.
- 9) Kinoshita, S.: Frequency-Dependent Attenuation of Shear Waves in the Crust of the Southern Kanto Area, Japan, Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 84, No. 5, pp. 1387-1396, 1994.
- 10) Yoshimoto, K. and Okada, M.: Frequency-dependent attenuation of S-waves in the Kanto region, Japan, Earth Planets Space, 61, pp. 1067-1075, 2009.
- 11) Nakamura, R., Satake, K., Toda, S., Uetake, T. and Kamiya, S.: Three-dimensional attenuation (Qs) structure beneath the Kanto district, Japan, as inferred from strong motion records, Geophys. Res. Lett., Vol. 33, L21304, doi:10.1029/2006GL027352, 2006.
- 12) Brune, J. N.: Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes, J. Geophys. Res. 75, pp. 4997–5009, 1970.
- Boatwright, J.: Detailed spectral analysis of two small New York state earthquakes, Bull. Seism. Soc. Am., 68, pp. 1117-1131, 1978.

- 14) Lindley, G. T. and Archuleta, R. J.: Earthquake source parameters and the frequency dependence of attenuation at Coalinga, Mammoth Lakes, and the Santa Cruz Mountains, California, J. Geophys. Res., 97(B10), pp. 14137–14154, doi:10.1029/92JB00550, 1992.
- 15) Wittlinger, G., Haessler, H. and Granet, M.: Three-dimensional inversion of Qp from low magnitude earthquakes analysis, Ann. Geophys. 6 (1), pp. 427–437, 1983.
- Hough, S.E., Anderson, J.G., Brune, J., Vernon III, F., Berger, J., Fletcher, J., Haar, L., Hanks, T. and Baker, L.: Attenuation near Anza, California, Bull. Seismol. Soc. Am. 78, pp. 672–691, 1988.
- 17) Lees, J.M. and Lindley, G.T.: Three-dimensional attenuation tomography at Loma Prieta: inversion of t\* for Q, J. Geophys. Res. 99 (B4), pp. 6843–6863, 1994.
- 18) Thurber, C., and Eberhart-Phillips, D.: Local earthquake tomography with flexible gridding, Comput. Geosci. 25, pp. 809–818, 1999.
- 19) Rietbrock, A.: P wave attenuation structure in the fault area of the 1995 Kobe earthquake, J. Geophys. Res. 106 (B3), pp. 4141–4154, 2001.
- 20) Hirata, N., Sakai, S., Nakagawa, S., Ishikawa, M., Sato, H., Kasahara, K., Kimura, H. and Honda, R.: A new tomographic image on the Philippine Sea Slab beneath Tokyo - Implication to seismic hazard in the Tokyo metropolitan region, Abstract T11C-06 presented at the AGU 2012 fall meeting, AGU, San Francisco, Calif., 3-7 Dec., 2012.
- 21) Lee, C. P., Hirata, N., Huang, B. S., Huang, W. G. and Tsai, Y. B.: Evidence of a highly attenuative aseismic zone in the active collision orogen of Taiwan, Tectonophysics, 489, pp. 128-138, 2010.
- 22) 防災科学技術研究所: 地震ハザードステーション J-SHIS, http://www.j-shis.bosai.go.jp/.
- 23) 宇津徳治: 地震学, 第3版, 共立出版, 390pp, 2001.
- 24) Kamiya, S. and Kobayashi, Y.: Seismological evidence for the existence of serpentinized wedge mantle, Geophys. Res. Lett., 27, pp. 819-822, 2000.
- 25) 笠原順三, 鳥海光弘, 河村雄行編: 地震発生と水, 東京大学出版会, 412pp, 2003.
- 26) Hardebeck, J. L. and Shearer, P. M.: Using S/P Amplitude Ratios to Constrain the Focal Mechanisms of Small Earthquakes, Bull. Seism. Soc. Am., 93, pp. 2434-2444, 2002.

### (e) 学会等発表実績

発表成果(発表題目、口	発表者氏名	発表場所	発表時期	国際·
頭・ポスター発表の別)		(学会等名)		国内の
				別
MeSO-net の観測データ	酒井慎一・中川茂	日本地球惑星科学	2014年5月	国内
から地表のゆれを推定	樹・平田直	連合 2014 年大会	1 日	
する試み(口頭)		(横浜市)		
A highly attenuative zone	Panayotopoulos, Y.,	日本地球惑星科学	2014年5月	国内
beneath the Tokyo	N. Hirata, S. Sakai,	連合 2014 年大会	1 日	

学会等における口頭・ポスター発表

Metropolitan area	S. Nakagawa, K.	(横浜市)		
(ポスター)	Kasahara			
首都圏地震観測網の新	平田直・酒井慎一・	日本地球惑星科学	2014年5月	国内
たな展開	中川茂樹・笠原敬	連合 2014 年大会	1 日	
(口頭)	司・木村尚紀・本多	(横浜市)		
	亮			
首都圏の異常な震度分	パナヨトプロスヤ	日本地震学会	2014年11月	国内
布	ニス・酒井慎一・中	2014 年度秋季大	26 日	
(口頭)	川茂樹・平田直・笠	숲		
	原敬司	(新潟市)		
MeSO-net データの自動	平田直・中川茂樹・	日本地震学会	2014年11月	国内
処理:見かけ速度適合法	酒井慎一・卜部卓・	2014 年度秋季大	26 日	
による地震検出と P, S	岩崎貴哉・横井康孝	会		
到着時測定		(新潟市)		
(口頭)				
Regional	Hirata, N., S.	AGU Fall Meeting	2014年12月	国際
Characterization of	Nakagawa, S. Sakai,	(サンフランシス	16 日	
Tokyo Metoropolitan area	Y. Panayotopoulos,	コ)		
using a highly-dense	M. Ishikawa, T.			
seismic	Ishibe, H. Kimura,			
netwok(MeSO-net)	and R. Honda			
(ポスター)				
A highly attennuative	Panayotopoulos, Y.,	AGU Fall Meeting	2014年12月	国際
zone beneath the Tokyo	N. Hirata, S. Sakai,	(サンフランシス	18 日	
Metropolitan area	S. Nakagawa, and K.	コ)		
(ポスター)	Kasahara			

学会誌・雑誌等における論文掲載 なし

マスコミ等における報道・掲載 なし

(f) 特許出願, ソフトウエア開発, 仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウエア開発

なし

### 3) 仕様・標準等の策定

なし

### (3) 平成 27 年度業務計画案

- 首都圏及び東京湾に整備された 296 か所の中感度地震観測点と房総半島に整備された
  25 か所の房総アレイ観測点からなる首都圏地震観測網(MeSO-net)を維持・管理し、自 然地震観測を行う。必要に応じて、老朽化した一部設備の補修等を行う。
- 2)国立大学法人東京大学地震研究所の「データ収集・処理・公開センター」の整備を進めて、MeSO-netの自然地震観測データを収集・処理する。また、サブプロジェクト②が建物に設置した地震計のデータを収集する。これらの収集データは、サブプロジェクト①で実施する解析やデータの利活用、サブプロジェクト②の地盤-基礎-建物系の応答の研究における観測データ、サブプロジェクト③に提供する情報として活用される。
- 3) 収集した MeSO-net のデータを、国立研究開発法人防災科学技術研究所の「統合・保管 センター」と神奈川県温泉地学研究所に送信する。共同研究者等にウェブを利用したデ ータの提供を行う。また、サブプロジェクト②が設置した地震計のデータと MeSO-net のデータをサブプロジェクト②と共有する。
- 4) 2) で収集・処理されたデータをこれまでに国内で設置された既存観測点のデータと併せ、震源決定法・地震波トモグラフィー法等の手法を用いて、震源分布や地震波速度と非弾性常数の三次元的分布等の解析を進め、予察的な関東地方のプレート構造を求める。 また、収集したデータ等を用いて、MeSO-netの観測点地表における震度相当値の補正値等を求め、震度予測の高度化のための手法を検討する。
- 5) 1) ~4) で得られた情報を首都圏での中小地震と大地震の発生過程の関係の解明のため に課題(1) c 「首都圏での中小地震と大地震の発生過程の関係の解明」を行うグループに 提供する。



図1 観測点分布。首都圏 296 ヶ所に設置された観測点を維持。



図 2 観測点の概要。地下 20m の深さに地震計が設置され、その信号をテレメータ装置が、 地震研究所へ 24 時間 365 日連続して送信している。



図3 震源分布。これまでに処理した震源(2010年8月15日~2014年7月10日)。色は震源の深さを表し、赤色が浅い震源。



図4 観測点補正値分布(上図:P波、下図:S波)。赤は、平均的な速度構造より遅いことを補正する観測点。





図 5 地震波速度構造(深さ 40km)。上左図:P波速度、上右図:S波速度、寒色ほど速い。下左図:Vp/Vs。





図 6 観測波形のスペクトルと得られた t\* (青山高校)。 上図に波形記録を示す。緑線が解析窓、赤線はノイズ波形の解析窓に対応する。



図7 減衰トモグラフィー解析に利用した震源分布と観測点。



図8 チェッカーボードテストの結果。格子点間隔を小さくすると解像できる範囲が浅 くなる。今回は、水平15km、深さ10kmの格子点間隔で解析したため、Qpに関しては、 深さ50km程度(フィリピン海プレート)まで赤青のパターンが再現できていて、信頼で きる結果と言える。Qsに関しては、深さ30km程度までが、信頼できる結果である。



図9 上図に示した3つの領域下のQpとVpの東西断面図。中図の色はQpの大小を表し、 暖色はQpが小さい(減衰が大きい)。下図の色はVpの大小を表し、暖色はVpが小さい (遅い)。下図の破線はプレートの上面、丸印は速度構造解析に使用した地震。



図10 上図に示した3つの領域下のQpとVpの南北断面図。中図の色はQpの大小を表し、 暖色はQpが小さい(減衰が大きい)。下図の色はVpの大小を表し、暖色はVpが小さい (遅い)。下図の破線はプレートの上面、丸印は速度構造解析に使用した地震。



図11 上図に示した3つの領域下のQsとVsの東西断面図。中図の色はQsの大小を表し、 暖色はQsが小さい(減衰が大きい)。下図の色はVsの大小を表し、暖色はVpが小さい(遅い)。下図の破線はプレートの上面、丸印は速度構造解析に使用した地震。



図 12 上図に示した 3 つの領域下の Qs と Vs の南北断面図。中図の色は Qs の大小を表し、 暖色は Qs が小さい(減衰が大きい)。下図の色は Vs の大小を表し、暖色は Vp が小さい(遅い)。下図の破線はプレートの上面、丸印は速度構造解析に使用した地震。



図 13 2014 年 5 月 5 日に伊豆大島近海の深さ約 160 km で発生した M6.2 の地震のときに MeSO-net で観測された波形から計算した計測震度相当値の分布図。必ずしも震源地の近傍 で大きくならず、東京都 23 区東部、神奈川県川崎市、千葉県木更津市等で揺れが大かっ たことがわかる。