

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 25 年度業務目的

- 1) 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、首都圏下のプレート構造モデルの精度向上のための解析を進める。
- 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 3.1.3「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。
- 6) サブプロジェクト①で得られた情報、過去の災害知見・教訓に関する国内外の研究成果、地震ハザードに関する成果を他のサブプロジェクトに提供する。
- 7) 収集したデータを地震防災知識の普及、防災意識の啓発に活かすための教育者や研究者、行政関係者等と連絡組織の運営を行う。

(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	准教授	加藤 愛太郎	
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	高波 鐵夫	
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	特任研究員	村岸 純	
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	中島 剛	
東京大学地震研究所	技術職員	西本 太郎	
東京大学地震研究所	学術支援専門職員	川北 優子	

(2) 平成25年度の成果

(a) 業務の要約

- 1) 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、首都圏下のプレート構造モデルの精度向上のための解析を進めた。

- 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3.1.3「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。
- 6) サブプロジェクト①で得られた情報、過去の災害知見・教訓に関する国内外の研究成果、地震ハザードに関する成果を他のサブプロジェクトに提供した。
- 7) 収集したデータを地震防災知識の普及、防災意識の啓発に活かすための教育者や研究者、行政関係者等と連絡組織の運営を行った。

(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、P.21)。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, 2009¹⁾)。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.21)。測定データはボアホールの孔底でデジタル変換され、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 (Simple Network Management Protocol) 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) 老朽化した設備の補修及び移設

今年度は、2ヶ所の観測点で移設工事を行った。ひとつは TF30（上千葉小学校）観測点で、新築される建物が観測坑の位置にあたり、観測環境の悪化が懸念されるため、観測孔は敷地内の奥へ、屋外筐体は道路脇へと移動させた。もうひとつは W037（青山高校）観測点で、敷地外の電力線の取り回しに変更が生じたため、観測孔はそのまま利用し、地上部装置と引き込み柱を移設した。どちらの観測点も、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。

2) データ解析

a) 震源分布

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、高精度処理に用いた。切り出す地震は、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。

- ・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（図 3、P.22）。2010 年 12 月 19 日から 2011 年 3 月 27 日および 2012 年 6 月 6 日から 2013 年 9 月 25 日の期間に発生した 503 個の地震を切り出し、読み取りを行った。読み取り数は P 相が 133,258 個、S 相が 73,735 個、最大振幅が 137,220 個、初動振動方向が 75,755 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 V_p/V_s 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 150km 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.23）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, 2003²⁾）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)³⁾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)⁴⁾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 10km 間隔（外周部は一部 20km 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 10km から 60km までは 5km 間隔に、それ以深は 70、80、100、150km 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 V_p/V_s 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（鶴川・他, 1984⁵⁾）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 1,650 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 413,685 個、S 波が 237,318 個であり、二重走時差データは P 波が 1,001,797 個、S 波が 510,110 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.24）。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.22）と比較したところ、両者には水平方向に約 1.8km（標準偏差 1.0km）の差があり、深さ方向には約 1.3km（標準偏差 2.2km）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）を求める。これまで、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)⁶⁾や Edwards and Rietbrock (2009)⁷⁾、関東地方の地域的な減衰構造では、ボアホール観測記録を利用した Kinoshita (1994)⁸⁾や Yoshimoto and Okada (2009)⁹⁾、強震動記録を用いた Nakamura *et al.* (2006)¹⁰⁾などが知られている。しかし、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。前プロジェクトでは 296 点からなる稠密な首都圏地震観測網（MeSO-net）を新たに構築した。MeSO-net の観測点間隔は 2～5km であるため、首都圏下の減衰構造がこれまで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)¹¹⁾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, 1978¹²⁾; Lindley and Archuleta, 1992¹³⁾）で表わされるとして、 t^* を求めた。

$$H(f) = \frac{\Omega_0 \exp(-\pi f t^*)}{\left(1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^{2\gamma}\right)^{\frac{1}{2}}} \quad (1)$$

ここで、 f は周波数、 Ω_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、 γ 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（ ω^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（0.2Hz）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 Ω_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、6~18Hz の周波数範囲での増幅度が大きく、主に関東盆地の厚い堆積層の影響と考えられる（図 6、P.25）。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 を利用することにする。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、それをその地震のコーナー周波数 f_c とした。この f_c を用いて、観測点ごとの Ω_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 の関数で表わすことができる（例えば、Wittlinger *et al.*, 1983¹⁴); Hough *et al.*, 1988¹⁵); Lees and Lindlay, 1994¹⁶)。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^* から (2) 式になる。

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

この式は、地震波速度トモグラフィ解析と同様の手法を適用して、速度 V の代わりに減衰 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, 1999¹⁷); Rietbrock, 2001¹⁸)。

本研究では、2010 年 1 月 1 日から 2011 年 5 月 31 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 154 個の地震を選び（図 7、P.25）、 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解析（SIMUL2000）（Thurber and Eberhart-Phillips, 1999¹⁷); Rietbrock, 2001¹⁸) を行い、P 波の減衰構造（ Q_p 分布）および S 波の減衰構造（ Q_s 分布）を推定した。空間分解能テスト（図 8、P.26）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.25）。初期速度構造は 3 次元構造を用い（Hirata *et al.*, 2012¹⁹)、初期減衰構造（ Q_p および Q_s ）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_0^* 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_0^* とした（Lee *et al.*, 2010²⁰)。得られた t_0^* 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-SHIS²¹)）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、もっと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^* には、深部の減衰の効果が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では深さ 40km 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.26）。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, 2001²²) 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（ V_p/V_s ）が大きいとされている部分である（Kamiya and Kobayashi, 2000²³)。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。太平洋プレートから脱水され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のかもしれない（笠原・他, 2003²⁴⁾）。この領域の低 Q 値、高 V_p/V_s は、それを示唆していると考えられる。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 10、P.27）。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、千葉県西部で発生する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 11、P.28）。フィリピン海プレート内の低 Q 域を通過した地震波が、より多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だけから推定する際は、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サブテーマ「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、HASH1.2 (Hardebeck and Shearer, 2002²⁵⁾) を用いて発震機構解を求めた（3.1.3 節図 1、P.107 及び図 2、P.108）（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（5 件）や講演会（9 件）を行った（表 1、P.19-20）。

(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徴の解明を推進する。

(d) 引用文献

- 1) 平田直, 酒井慎一, 佐藤比呂志, 佐竹健治, 額額一起: 「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.
- 2) Zhang, H. and Thurber, C.: Double-difference tomography: The method and its application to the Hayward fault, California, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 93, pp. 1875-1889, 2003.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 鶴川元雄, 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.
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) Yoshimoto, K. and Okada, M.: Frequency-dependent attenuation of S-waves in the Kanto region, Japan, *Earth Planets Space*, 61, pp. 1067-1075, 2009.
- 10) 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.
- 11) Brune, J. N.: Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes, *J. Geophys. Res.* 75, pp. 4997-5009, 1970.
- 12) Boatwright, J.: Detailed spectral analysis of two small New York state earthquakes, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 68, pp. 1117-1131, 1978.
- 13) 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.
- 14) 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.
- 15) 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.
- 16) 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..
- 17) Thurber, C., and Eberhart-Phillips, D.: Local earthquake tomography with flexible gridding, Comput. Geosci. 25, pp. 809–818, 1999.
- 18) Rietbrock, A.: P wave attenuation structure in the fault area of the 1995 Kobe earthquake, J. Geophys. Res. 106 (B3), pp. 4141–4154, 2001.
- 19) 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.
- 20) 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.
- 21) 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/>.
- 22) 宇津徳治: 地震学, 第3版, 共立出版, 390pp, 2001.
- 23) Kamiya, S. and Kobayashi, Y.: Seismological evidence for the existence of serpentinized wedge mantle, Geophys. Res. Lett., 27, pp. 819-822, 2000.
- 24) 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.
- 25) 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

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果(発表題目, 口頭・ポスター発表の別)	発表者氏名	発表場所 (学会等名)	発表時期	国際・国内の別
New tomographic images of P-, S- wave velocity and Q on the Philippine Sea Slab beneath Tokyo: Implication to seismotectonics and seismic hazard in the Tokyo metropolitan region (口頭)	Hirata, N., S. Sakai, S. Nakagawa, Y. Panayotopoulos, M. Ishikawa, H. Sato, K. Kasahara, H. Kimura, R. Honda	EGU (ウィーン)	2013 年 4月	国際
首都圏の減衰構造	パナヨトプロスヤニ	日本地球惑星科学	2013 年	国内

(口頭)	ス・平田直・酒井慎一・中川茂樹・笠原敬司	連合2013年大会 (千葉市)	5月	
地震波干渉法による関東平野の堆積層構造の推定ー上総層群及び相当層の基底深度ー (ポスター)	吉本和生・平田直・笠原敬司・小原一成・佐藤比呂志・酒井慎一・鶴岡弘・中川茂樹・木村尚紀・棚田俊収・宮岡一樹・中原恒	日本地球惑星科学連合2013年大会 (千葉市)	2013 年 5月	国内
Seismic activity of Tokyo Metropolitan area and the subducted plate under Japanese Islands (ポスター)	Sakai, S., S. Nakagawa and N. Hirata	IASPEI (ヨーテボリ)	2013 年 7月	国際
東北地方太平洋沖地震と今後の巨大地震の姿 (口頭)	平田直	日本法歯科医学会 (横浜市)	2013 年 7月	国内
フィリピン海プレート上面の最近の地震活動と関東地震の震源域 (口頭)	酒井慎一・中川茂樹・平田直	日本地震学会2013年秋季大会 (横浜市)	2013 年 10月	国内
首都圏下の減衰構造 (口頭)	パナヨトプロスヤニス・酒井慎一・中川茂樹・平田直・笠原敬司	日本地震学会2013年秋季大会 (横浜市)	2013 年 10月	国内
WINパケットの表示解析ツールの開発 (ポスター)	中川茂樹・鶴岡弘	日本地震学会2013年秋季大会 (横浜市)	2013 年 10月	国内
Seismic hazard and risk in the Tokyo Metropolitan Area (口頭)	Hirata, N.	VICES Workshop at SCEC (ロサンゼルス)	2013 年 10月	国際
Small repeating earthquakes and inter-plate aseismic slip in and around the Kanto district after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake (ポスター)	Igarashi, T., T. Iidaka, S. Sakai, K. Obara, and N. Hirata	AGU Fall Meeting 2013 (サンフランシスコ)	2013 年 12月	国際

Anomalous attenuation region beneath the Tokyo Metropolitan area (ポスター)	Panayotopoulos, Y., N. Hirata, S. Sakai, S. Nakagawa, K. Kasahara	AGU Fall Meeting 2013 (サンフランシスコ)	2013 年 12月	国際
Sedimentary Basin Amplification in Tokyo from the Ambient Seismic Field (口頭)	Denolle, M., H. Miyake, S. Nakagawa, N. Hirata, G. C. Beroza	AGU Fall Meeting 2013 (サンフランシスコ)	2013 年 12月	国際
The Ambient Seismic Field captures Complex Sedimentary Basin Effects (口頭)	Denolle, M., H. Miyake, S. Nakagawa, N. Hirata, and G. Beroza	International Workshop on New Initiative toward the Advancement of Strong Motion, Site Effect, and Risk Evaluation for Future Mega-Quakes (宇治市)	2014 年 3月	国際

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文（論文題目）	発表者氏名	発表場所 (雑誌等名)	発表時期	国際・国内の別
Rupture process of the largest aftershock of the M 9 Tohoku-oki earthquake obtained from a back-projection approach using the MeSO-net data	Honda, R., Y. Yukutake, H. Ito, M. Harada, T. Aketagawa, A. Yoshida, S. Sakai, S. Nakagawa, N. Hirata, K. Obara, M. Matsubara, and H. Kimura	Earth Planets Space	2013 年 7 月	国際
Time-dependent earthquake probability calculations for southern Kanto after the 2011 M9.0 Tohoku earthquake	Nanjo, K. Z., S. Sakai, A. Kato, H. Tsuruoka, N. Hirata	Geophys. J. Int.	2013年	国際
Long-period seismic amplification in the Kanto Basin from the ambient	Denolle, M., H. Miyake, S. Nakagawa, N. Hirata, and G. C.	Geophys. Res. Lett.	2014 年 3 月	国際

seismic field	Beroza			
WINパケットの表示解析 ツールの開発	中川茂樹・鶴岡弘	震研技報	2014 年 3 月	国内
首都圏の地震像と地震災 害	平田直	地震ジャーナ ル	2013年	国内
災害の予知と防災・減 災・レジリエンス	平田直	MENSHIN	2013年	国内
首都圏の地震の姿	平田直	Bulletin of JAEE	2013年	国内

マスコミ等における報道・掲載

報道・掲載された成果 (記事タイトル)	対応者氏名	報道・掲載機関 (新聞名・TV名)	発表時期	国際・国 内の別
NHKスペシャル THE NEXT MEGAQUAKE 巨 大地震「大変動期」	平田直	NHK	2013年4月 6日	国内
朝ズバッ！	平田直	TBS	2013 年 12 月 20日	国内
茨城放送防災の日	平田直	茨城放送	2013 年 11 月 10日	国内
そなえる防災 第6回首 都圏の地震活動 必ず くる！？ 首都直下地 震 被害想定が大幅に 変更された理由とは	平田直	NHK	2013年9月	国内
強くしなやかなRHL へ 平田直東大地震研 究所地震予知研究セン ターセンター長に聞く	平田直	建設通信	2013年6月 28日	国内
大地震起きたら五輪ど うなる？	平田直	毎日新聞	2013年9月 20日	国内
どこでも震度6強の危 険	平田直	しんぶん赤旗日曜版	2014年1月 26日	国内

(f) 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) 平成26年度業務計画案

- 1) 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值等を求め、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(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。

表 1 出張授業及び講演会一覧

日付	場所	参加人数	内容概要
出張授業（5件）			
2013年6月14日	佐野日本大学高等学校	約 800 名	高校 1 年生と 2 年生を対象に、関東で起きる地震と防災・減災について、最新の科学的知見に基づいて「地震学研究の最前線 ～防災と減災への道～」と題して講演を行った。
2013年6月15日	武蔵野市立本宿小学校	約 60 名	「地震を知る」と題して実物の地震計を見せながら授業を行った。
2013年8月2日	多摩市立東愛宕小学校	約 30 名	「首都圏の地震」について実物の地震計を見せながら授業を行った。
2013年10月25日	武蔵野市立本宿小学校	約 200 名	公開授業「共に生きよう」の中で、地震について講演を行った。
2014年1月22日	日野市立平山小学校	約 600 名	運営指導委員会で、全校生徒を対象に最新の科学的知見に基づいて地震に関する講演を行った。
講演会（9件）			
2013年5月29日	中央合同庁舎第2号館	約 100 名	首都直下地震及び南海トラフ巨大地震の備えについて講演を行った。
2013年6月1日	東京臨海広域防災公園内レクチャールーム	約 50 名	第 15 期災害救援ボランティア上級講座で、首都圏で起きる地震と震災、及びそれへの備えについて「地震災害、正しい知識と備え」と題する講演を行った。
2013年7月10日	府中市立府中第八小学校	約 80 名	防災教育推進のための教職員を対象とした研修会で、最新の科学的知見に基づいて地震に関する講演を行った。
2013年7月10日	飯田町ビル	約 200 名	医療従事者等に対して、首都圏の震災に備える可能性について、第 4 回都市防災と集団災害医療フォーラムで、「東日本大震災後の首都圏の地震リスクとは何か？」を講演した。
2013年8月30日	日比谷公会堂	約 500 名	千代田区民に対して、平成 25 年度千代田区防災講演会で、首都圏の地震と災害への備えについて、首都直下地震の姿－地震の影響と防災対策－と題する講演を行った。
2013年9月13日	東京区政会館	約 50 名	特別区長会 第 2 回防災・まちづくり

			部会で、23区の区長に対して、最新の地震学の知見と東京都の地震災害想定との関係について講演。首都圏で予想される地震と備えについて解説した。
2013年10月24日	三菱自動車工業株式会社本社	約150名	三菱グループ各社営業担当者から成る、異業種交流会（MG会、61社）の平成25年度MG会秋季研修会にて、首都圏を含む地震と震災への備えについて、2011年東北地方太平洋沖地震とその日本列島への影響と題して講演を行った。
2013年10月25日	江東区文化センター	約180名	江東区町会・自治会長区政懇談会で、江東区の自治会会長、区議等に対して首都圏の地震への備えについて講演。首都圏で予想される地震と備えについて解説した。
2013年11月10日	佐倉市中央公民館	約50名	平成25年度千葉県災害対策コーディネーター（中核リーダー）養成講座で、地震災害、正しい知識と備えについて講演。首都圏の地震発生の可能性の科学的根拠を解説した。

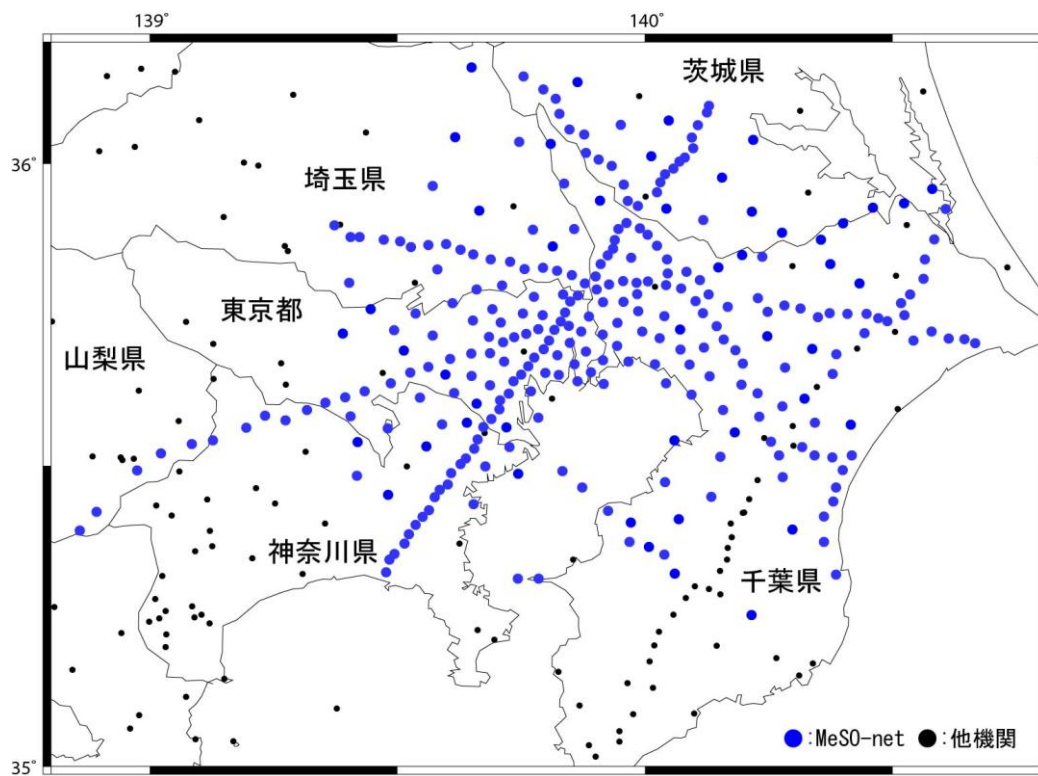


図 1 観測点分布。首都圏 296 ヶ所に設置された観測点を維持。



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。

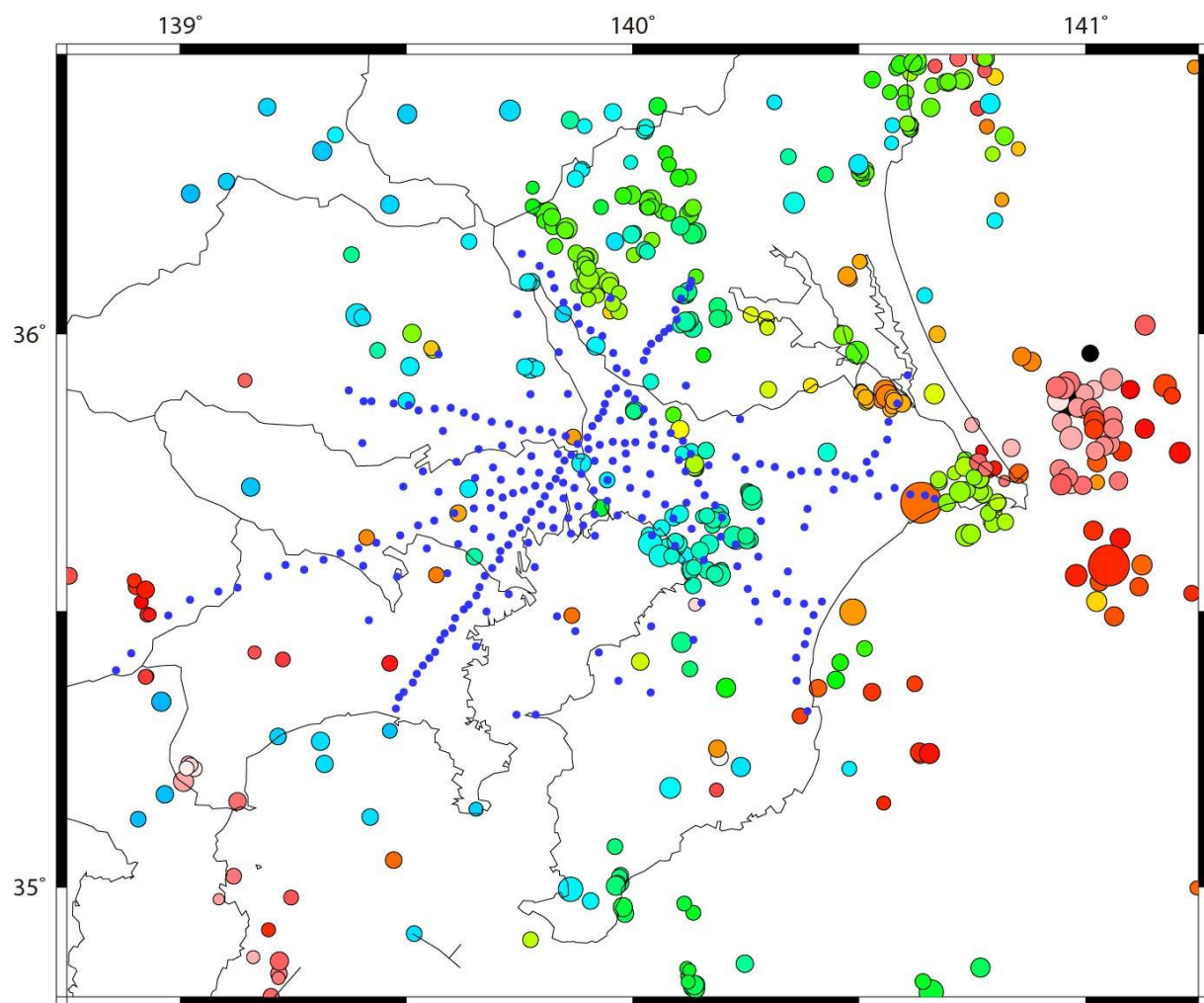


図3 震源分布。今年度処理した震源（2010年12月19日～2013年9月25日）。

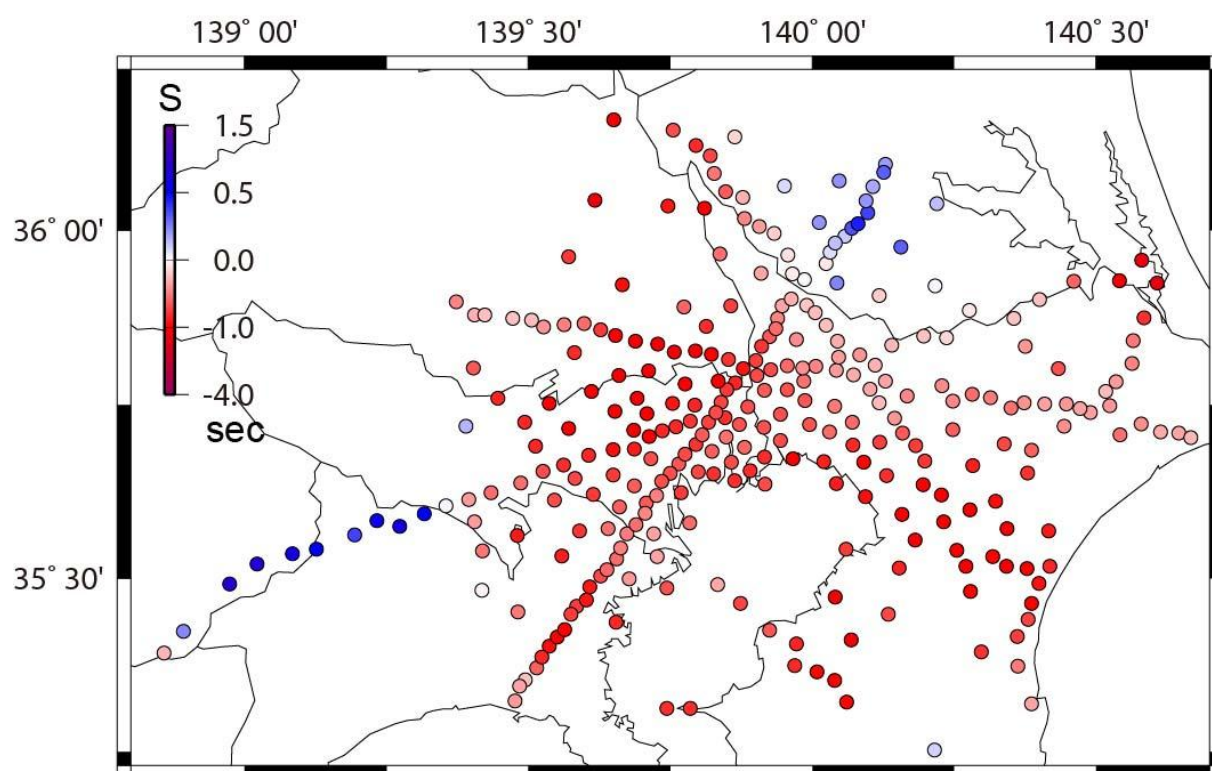
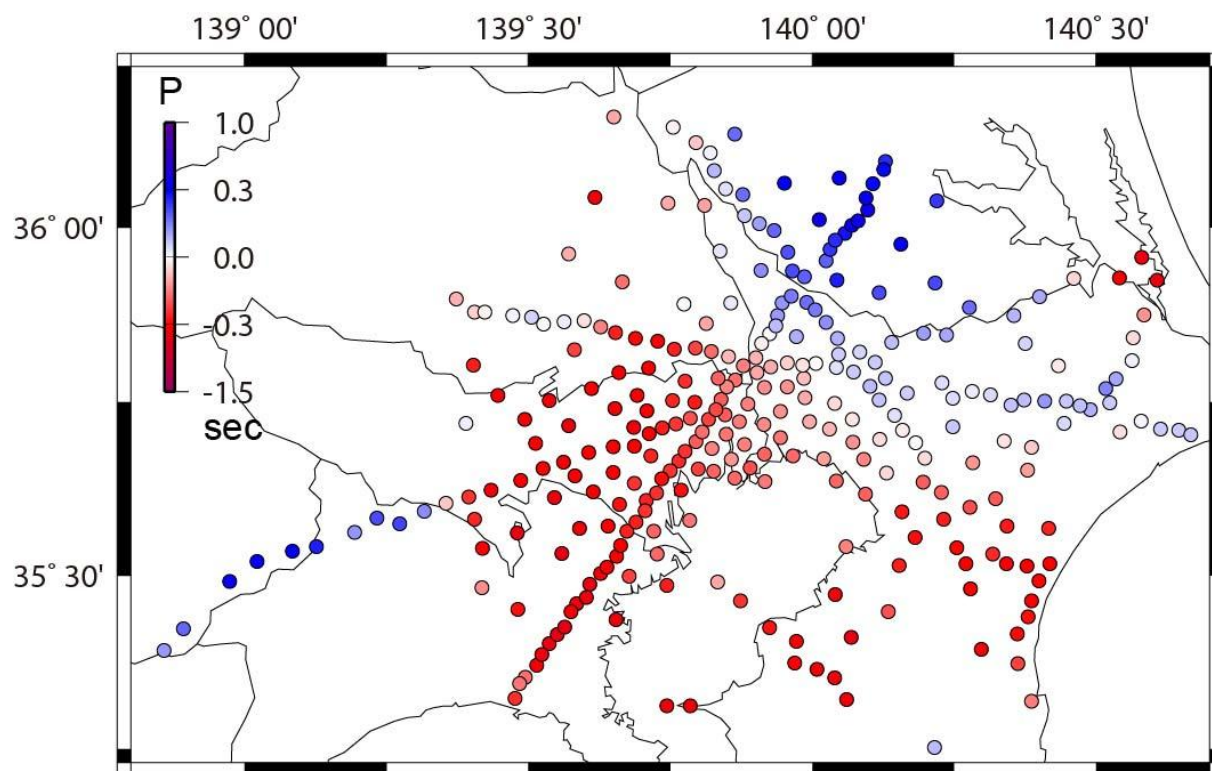


図 4 観測点補正值分布（上図：P 波、下図：S 波）。

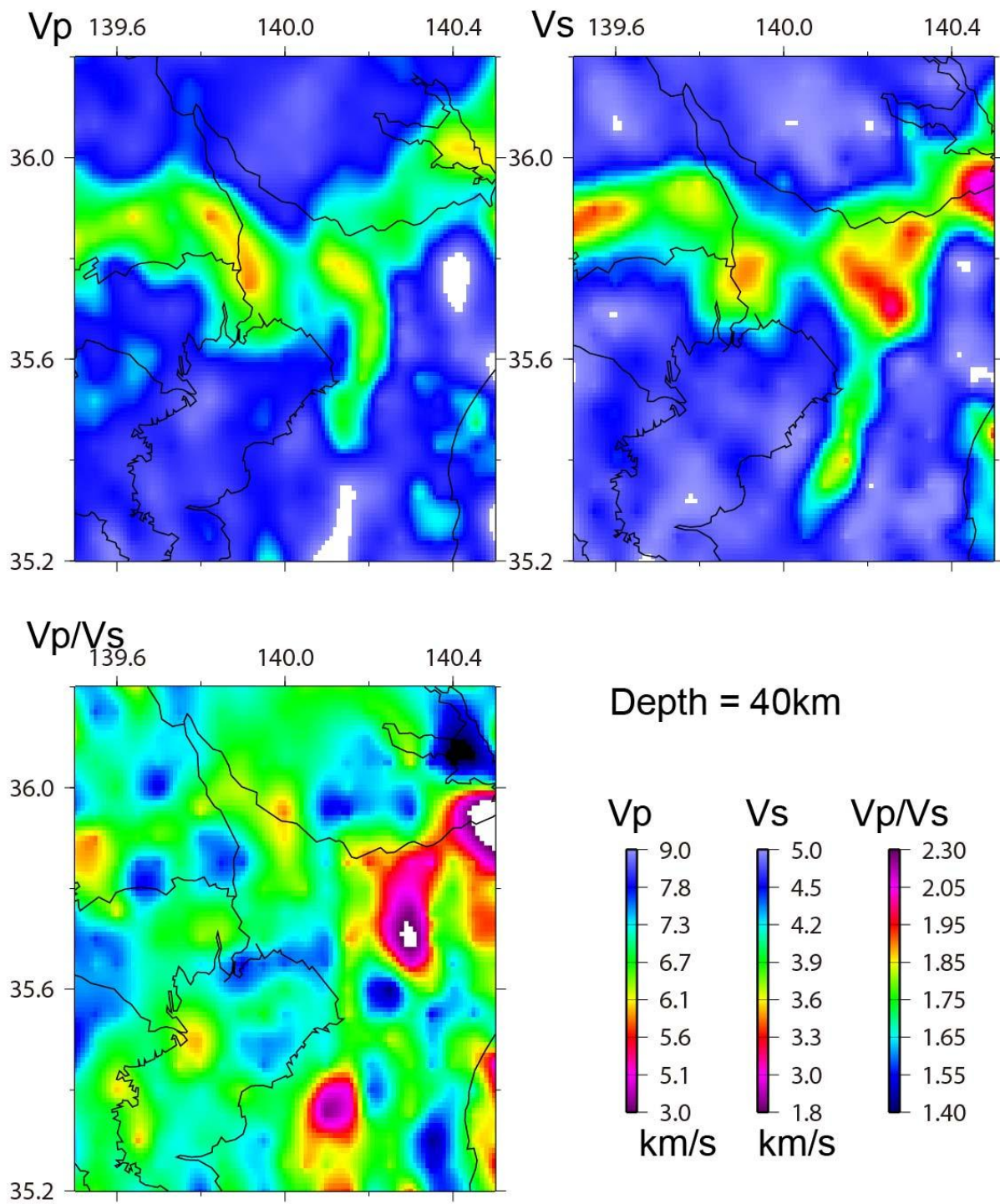


図5 地震波速度構造（深さ 40km）。上左図：P 波、上右図：S 波、下左図： V_p/V_s 。

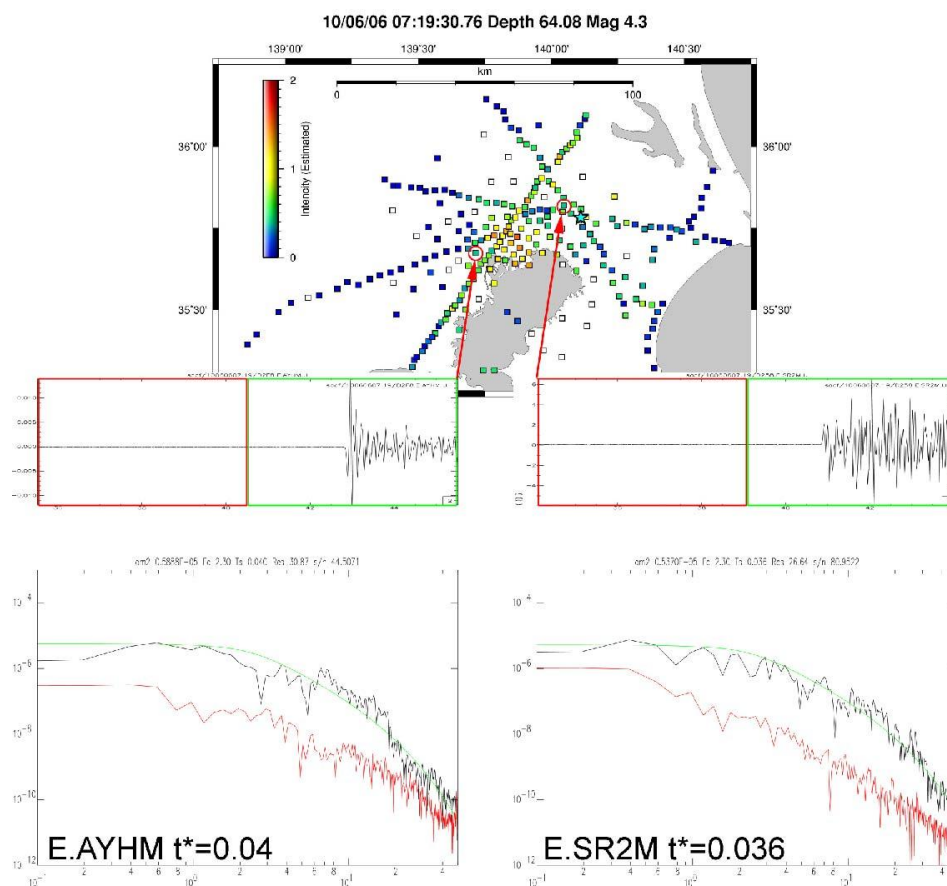


図 6 観測波形のスペクトルと得られた t^* (右下図: 青山高校、右下図: 白井第二小学校)。緑枠内がスペクトル窓、赤枠内はノイズ波形のスペクトル窓。

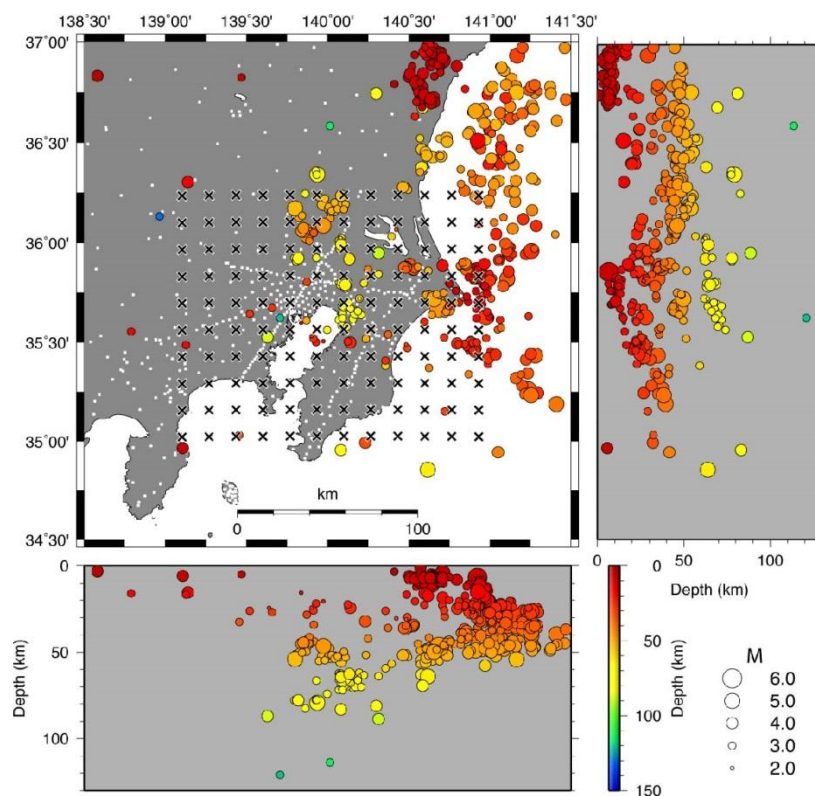


図 7 Q トモグラフィ解析に利用した震源分布と格子点

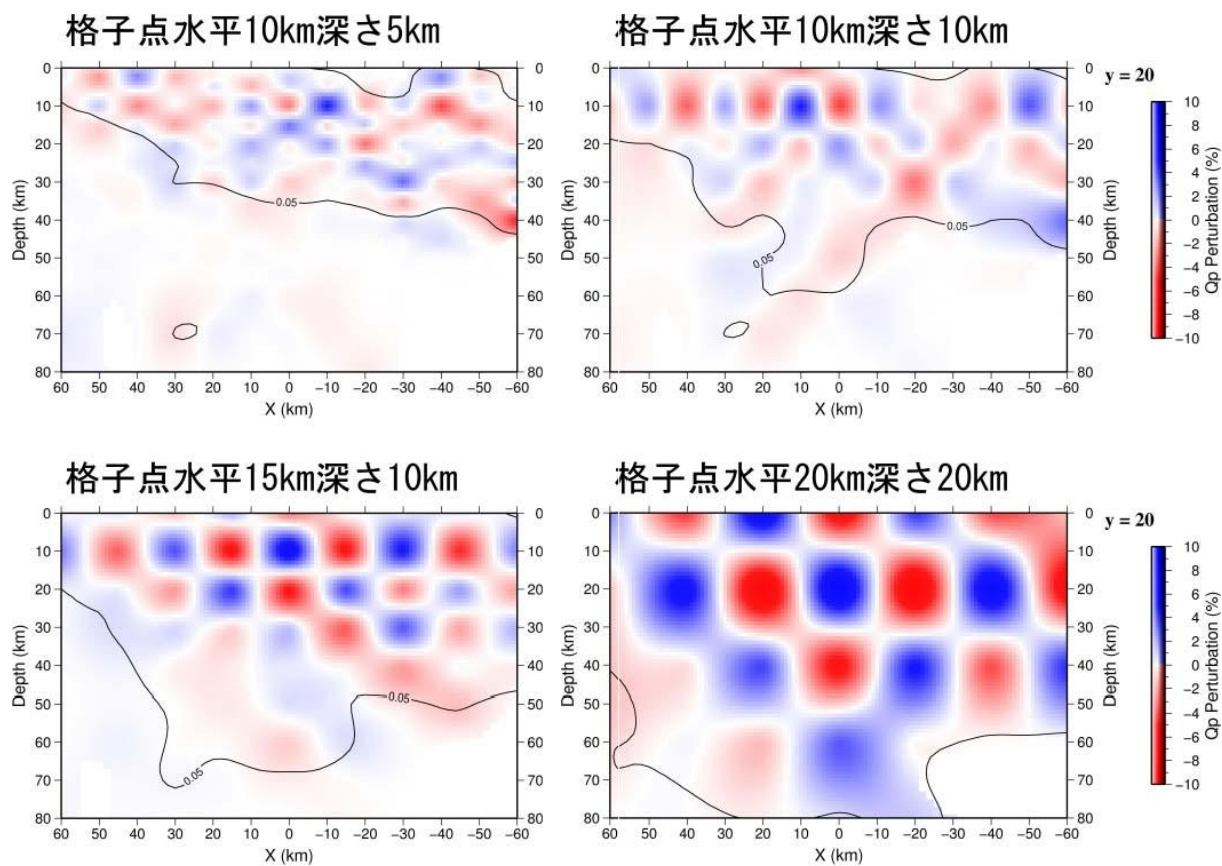


図 8 チェッカーボードテストの結果。

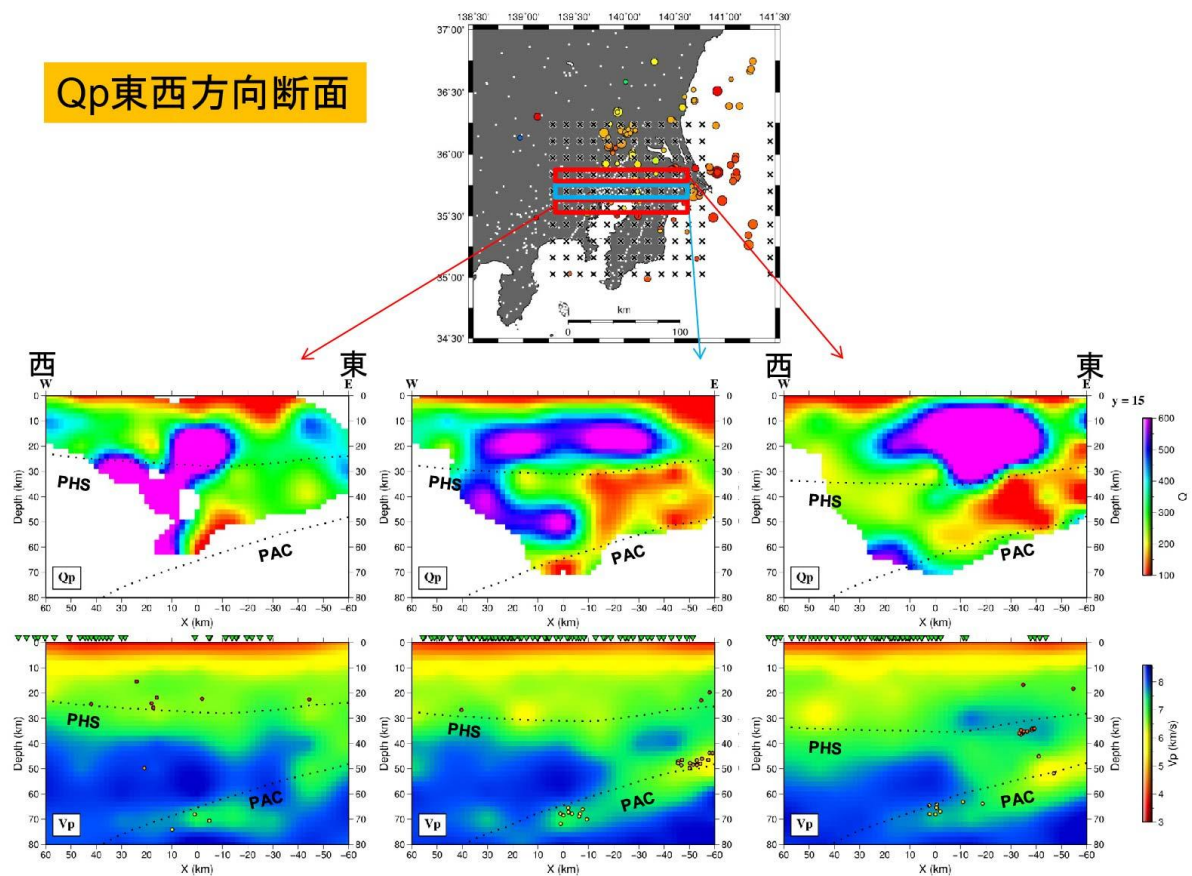


図 9 Q_p と V_p の東西断面図。図中の破線はプレートの上面。

Qs東西方向断面

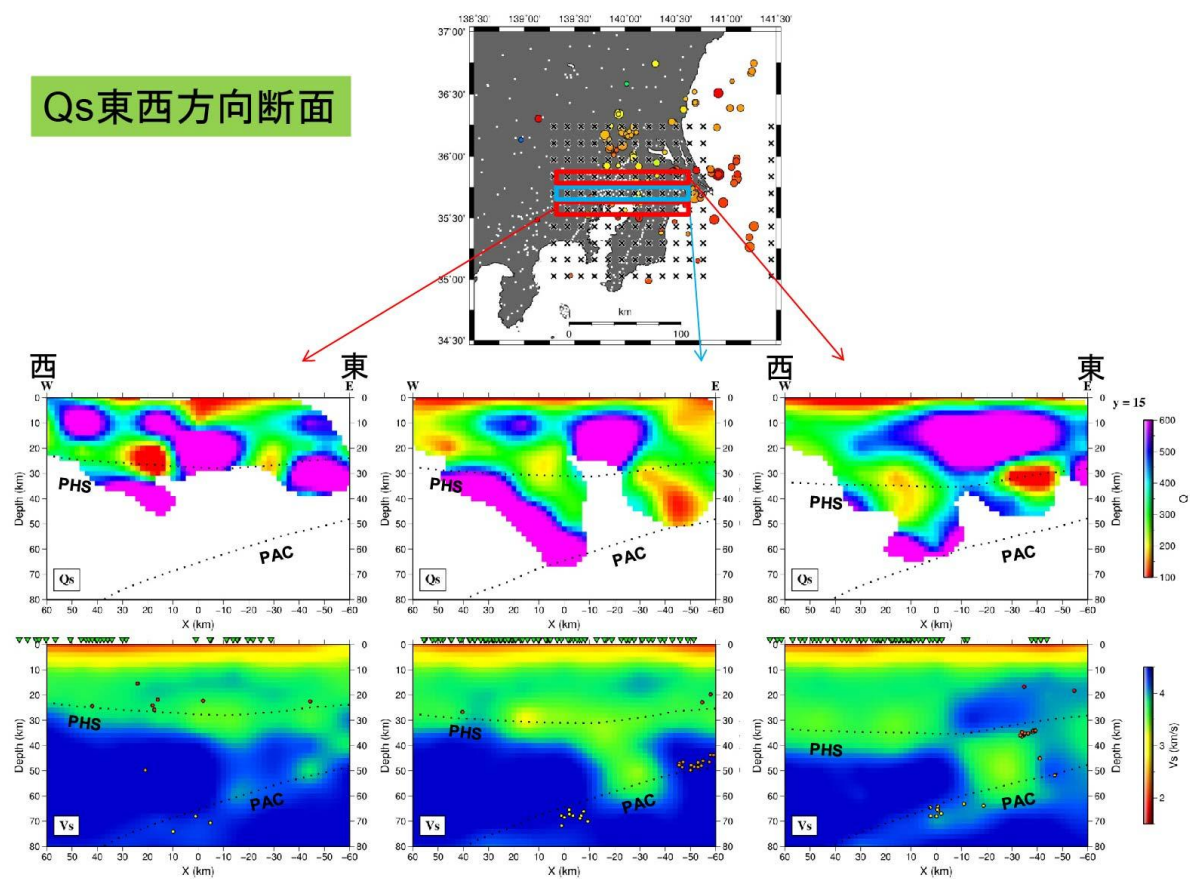


図 10 Qs と Vs の東西断面図。図中の破線はプレートの上面。

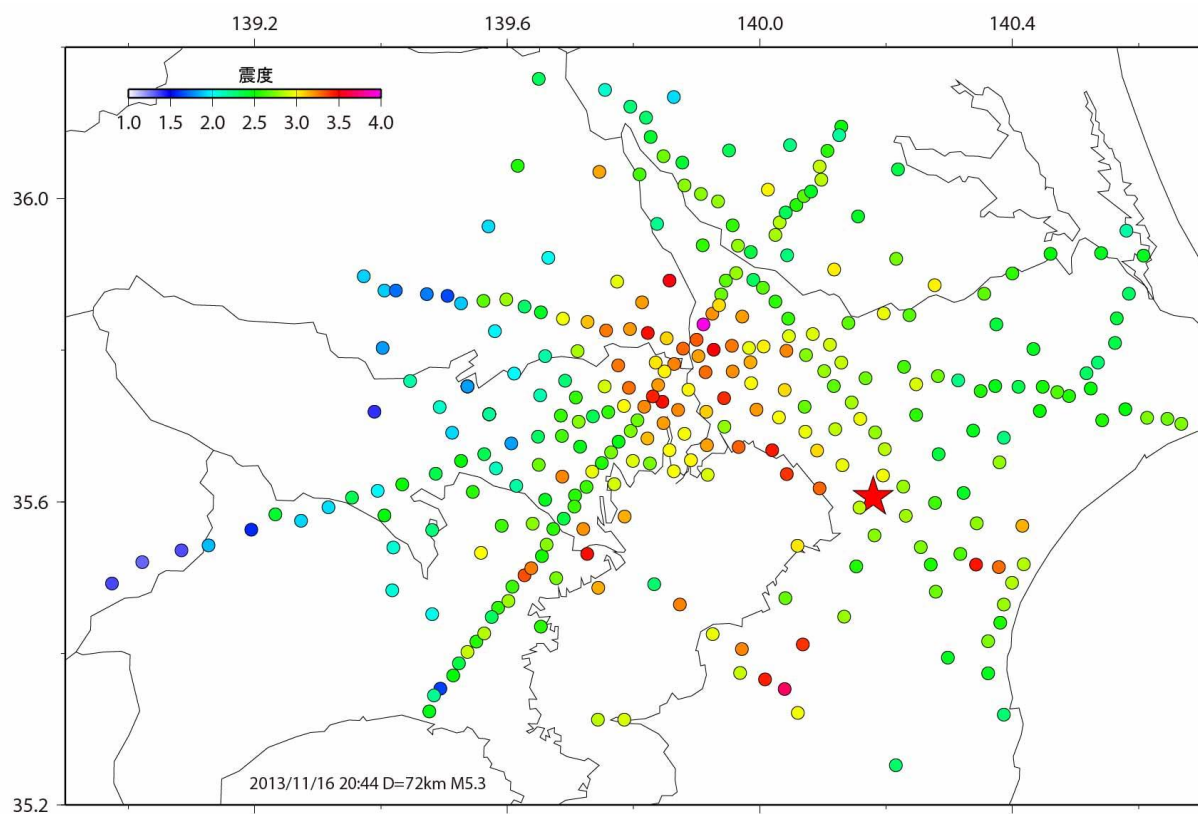


図 11 計測震度相当値の分布図。2013 年 11 月 16 日に千葉県中部の深さ約 72km で発生した M5.3 の地震（赤星印）のときに MeSO-net で観測された波形で計算した計測震度相当値は、必ずしも震源地直上で大きくならず、ちょっと離れた東京都 23 区東部、神奈川県川崎市、千葉県木更津市等で揺れが大きかったことがわかる。