

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24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や移設を行う。
- 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。
- 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。また、共同研究者等にウェブを利用したデータの提供を行う。
- 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) 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	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	加藤 愛太郎	
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	坂上 実	
東京大学地震研究所	技術職員	増田 正孝	
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	学術支援専門職員	川北 優子	

(2) 平成24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や移設を行った。
- 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。
- 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。また、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。
- 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) 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、文部科学省研究委託事業「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト(2007年ー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、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

MeSO-netは、設置されてから5年以上が経過した観測点もあり、経年劣化しつつある。この観測網で良好な品質のデータを取得し続けるために、地震観測点に設置された地上部装置および観測抗の総合点検を行った。総合点検では、作業員が現地に赴き、観測点の設置環境や外観等を確認した後、内部機器の動作、バッテリーの状態、商用電源等の確認を行った。135ヶ所の観測点に対して点検作業を行った結果、バッテリーの劣化、水没したり土砂で覆われたりした観測孔、樹木の成長によって枝葉で覆われたGPSアンテナ等、SNMPを利用したリモート調査では分からなかった不具合が判明した。そのため、一部の観測点でバッテリーを交換したり、伸びた枝葉を落したりして、観測環境を整えた。さらに、総合点検時には、観測点で伝達関数調査のためのデータを取得した。伝達関数調査は、TS13800のセンサ3成分およびA/Dを観測抗近傍の地表に固定し、30分～1時間程度の連続観測を行った。

一方、TF01(湘南学園)観測点では、地震計を移設した。新築される建物の基礎部分に観測抗があたり、観測環境の悪化が懸念されるため、観測孔だけを約20m西方へ移動させ

た。地上部装置は、既設のものをそのまま利用し、観測抗までのケーブル敷設ルートを変更した。観測データは、以前のもの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、防災科学技術研究所、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）。2011 年 11 月 2 日から 2012 年 6 月 5 日の期間に発生した 510 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 121,887 個、S 相が 69,710 個、最大振幅が 127,573 個、初動振動方向が 61,892 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一次元 P 波速度構造を使用した。またボアソン比を 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、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 360 イベントである。観測点補正値の分布図を以下に示す（図 4、P.23）。

一方、地震発生時刻によって切り出された波形記録に対し、win システムの波形自動検測処理システムを適用して、震源決定を行った。その結果を用いて、手動検測値と自動検測値の差の頻度分布、P 相、S 相、最大振幅、P 相極性、検測数それぞれに対して、観測点ごとの分布図、地震ごとの分布図、それらすべての分布図を作成し、自動検測の精度が向上するように各種パラメータの調整を行った。さらに、手動検測値と自動検測値による処理結果分布図震源分布、マグニチュード、発震機構解、震源決定精度、走時残差、解の収束頻度の差を示す図を作成した。各種パラメータの値による処理結果の違いを手動処理結果と比較し、パラメータの違いが処理結果に及ぼす影響を確認した。

これらの調査から、現在の自動処理システムの問題点が見出され、今後の改良の参考になる情報が得られた。例えば、直前の小振幅の別の地震のために初動の読み取りに失敗することがある。そのような場合は、近隣の観測点で得られた地震波形を比較することが必要であると思われる。一方、シグナルがノイズに埋もれて読みにくい場合も多く見られるが、そのような S/N の低い場合には 3 成分の波形記録に様々なフィルターを施して、総合的に地震かどうかを判断することが有効であると考えられる。

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)²⁾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、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数は計 1,700 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 342,175 個、S 波が 240,420 個であり、二重走時差データは P 波が 1,088,484 個、S 波が 639,969 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、三次元速度構造による震源である。そこで、一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 1.7km (標準偏差 1.0km) の差があり、深さ方向には約 1.3km の差がみられた。

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)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、首都圏に 296 点からなる稠密な地震観測網 (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二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)。推定された見掛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 & 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表す t_0^* から(2)式になる。

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

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 以上の 452 個の地震を選び、 t^* を求めた (図 7、P.26)。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, 1999¹⁷⁾; Rietbrock, 2001¹⁸⁾) を行い、P 波の減衰構造 (Qp 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 15 km 間隔、深さ方向に 10km 間隔で格子点を配置した (図 7、P.26)。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 (Qp) は、深さ 0km で 116、深さ 0km 以深では 400 で、水平方向に一樣とした。観測点直下のサイト効果 t_0^* は、観測点毎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⁾)。求められた t_0^* は、観測点付近の基盤増幅率と特に相関が高いわけではなかった。MeSO-net 観測点が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の影響を受けにくいことが原因と考えられる。

得られた首都圏下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.27；図 10、P.28）。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。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した水が上部にあるフィリピン海プレートに溜まって、プレート内部のカンラン岩の蛇紋岩化が起り始めているのかもしれない。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。

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、東京都東部で最大計測震動が観測される（図 11、P.29）。フィリピン海プレート内の低 Q 域を通過した地震波の振幅だけが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を震度分布だけから推定する際は、このような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期待され、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に対して、HASH1.2（Hardebeck and Shearer, 2002²¹⁾；Hardbeck and Shearer, 2003²²⁾）を用いて発震機構解を求めた（図 12、P.29）。この期間（2011 年 11 月～2012 年 6 月）も、約 6 割が逆断層型の地震であった。この傾向は、2011 年東北地方太平洋沖地震が発生した直後と大きく変化してなく、依然としてフィリピン海プレート上面および太平洋プレート上面での地震が多いことを示している。それ以前は、約 4 割程度であったことから、プレート境界におけるプレート運動が活発であることが示唆される。なお、この検測値データは、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」へ提供している（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前授業（1 件）や講演会（6 件）を行った（表 1、P.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、本サブ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

- 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 C. Thurber: Double-difference tomography: The method and its application to the Hayward fault, California, Bull. Seismol. Soc. Am., Vol. 93, pp. 1875-1889, 2003.
- 3) Kato, A., E. Kurashimo, T. Igarashi, S. Sakai, T. Iidaka, M. Shinohara, T. Kanazawa, T. Yamada, N. Hirata, and T. Iwasaki: Reactivation of ancient rift systems triggers devastating intraplate earthquakes, Geophys. Res. Lett., Vol. 36, L05301, doi:10.1029/2008GL036450, 2009.
- 4) Hagiwara, H., T. Igarashi, N. Hirata, and S. Sakai: 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, 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. Seis. Soc. America, 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. Seis. Soc. America, Vol. 84, No. 5, pp. 1387-1396, 1994.
- 9) Yoshimoto, K., Okada, M.: Frequency-dependent attenuation of S-waves in the Kanto region, Japan. Earth Planets Space, 61, 1067-1075, 2009.
- 10) Nakamura, R., Satake, K., Toda, S., Uetake, T., Kamiya, S.: Three-dimensional attenuation (Qs) structure beneath the Kanto district, Japan, as inferred from strong motion records.

- Geoph. Res. Let., 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, 4997–5009, 1970.
 - 12) Boatwright, J.: Detailed spectral analysis of two small New York state earthquakes, Bull. Seis. Soc. America, 68, 1117–1131, 1978.
 - 13) Lindley, G. T., and R. J. Archuleta: Earthquake source parameters and the frequency dependence of attenuation at Coalinga, Mammoth Lakes, and the Santa Cruz Mountains, California, J. Geophys. Res., 97(B10), 14137–14154, doi:10.1029/92JB00550, 1992.
 - 14) Wittlinger, G., Haessler, H., Granet, M.: Three-dimensional inversion of Q_p from low magnitude earthquakes analysis. Ann. Geophys. 6 (1), 427–437, 1983.
 - 15) Hough, S.E., Anderson, J.G., Brune, J., Vernon III, F., Berger, J., Fletcher, J., Haar, L., Hanks, T., Baker, L.: Attenuation near Anza, California. Bull. Seismol. Soc. Am. 78, 672–691, 1988.
 - 16) Lees, J.M., Lindley, G.T.: Three-dimensional attenuation tomography at Loma Prieta: inversion of t^* for Q . J. Geophys. Res. 99 (B4), 6843–6863, 1994..
 - 17) Thurber, C., Eberhart-Phillips, D.: Local earthquake tomography with flexible gridding. Comput. Geosci. 25, 809–818, 1999.
 - 18) Rietbrock, A.: P wave attenuation structure in the fault area of the 1995 Kobe earthquake. J. Geophys. Res. 106 (B3), 4141–4154, 2001.
 - 19) Hirata, N., Sakai, S., Nakagawa, S., Ishikawa, M., Sato, H., Kasahara, K., Kimura, H., 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., Tsai, Y.B.: Evidence of a highly attenuative aseismic zone in the active collision orogen of Taiwan. Tectonophysics, 489, 128–138, 2010.
 - 21) Hardebeck, J. L. and P. M. Shearer: Using S/P Amplitude Ratios to Constrain the Focal Mechanisms of Small Earthquakes, Bull. Seis. Soc. America, 93, 2434–2444, 2002.
 - 22) Hardebeck, Jeanne L., and Peter M. Shearer: "HASH: A FORTRAN Program for Computing Earthquake First-Motion Focal Mechanisms–v1. 0–September 30, 2003.

(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
地震波干渉法による首都圏の地震基盤構造の推定（Ⅱ） （口頭）	吉本和生（横浜市大）・平田直・笠原敬司・小原一成・佐藤比呂志・酒井慎一・鶴岡	日本地震学会秋季大会 （函館市）	2012年10月	国内

	弘・中川茂樹（東大地震研）・木村尚紀・棚田俊收（防災科研）・宮岡一樹（神奈川県温地研）・中原恒（東北大）			
複数のアレイを用いたセンブランス解析による2011年東北地震の大振幅パルスの波源の推定 （口頭）	本多亮・行竹洋平・原田昌武・伊東博・宮岡一樹・吉田明夫（温地研）酒井慎一・中川茂樹・平田直・小原一成（地震研）・木村尚紀・松原誠（防災科研）	日本地震学会秋季大会 （函館市）	2012年10月	国内
A new tomographic image on the Philippine Sea Slab beneath Tokyo - Implication to seismic hazard in the Tokyo metropolitan region – （口頭）	Naoshi Hirata, Shin'ichi Sakai, Shigeki Nakagawa, Masahiro Ishikawa, Hiroshi Sato, Keiji Kasahara	AGU Fall Meeting （米国カリフォルニア州）	2012年12月	国際
Seismic activity of Tokyo area and Philippine Sea plate under Japanese Islands （ポスター）	Shinichi Sakai, Shigeki Nakagawa, Kazuyoshi Nanjo, Keiji Kasahara, Yannis Panayotopoulos, Hiroshi Tsuruoka, Eiji Kurashimo, Kazushige Obara, Naoshi Hirata, Hisanori Kimura, Ryou Honda	AGU Fall Meeting （米国カリフォルニア州）	2012年12月	国際
首都圏の大地震の姿	酒井慎一・平田直	海洋調査技術学会第	2012年11	国内

(口頭)		24回研究成果発表会 (東京)	月	
Regional extent of the large coseismic slip zone of the 2011 Mw 9.0 Tohoku-Oki Earthquake delineated by on-fault aftershocks (口頭)	Aitaro Kato, Toshihiro Igarashi and Junichi Fukuda	AGU Fall Meeting (米国カリフォルニア州)	2012年12月	国際
The lateral variation of shear-wave splitting in the northeastern part of Japan (口頭)	Iidaka, T., K. Obara, and T. Igarashi	AGU Fall Meeting (米国カリフォルニア州)	2012年12月	国際
Seismic scatterer distribution beneath the Wellington region, southernmost part of New Zealand's North Island (口頭)	Kurashimo, E., H. Sato, T. Iidaka, T. Ishiyama, T. Iwasaki, S. Henry, R. Sutherland, T. Stern, M. Savage and D. Okaya	AGU Fall Meeting (米国カリフォルニア州)	2012年12月	国際
Crustal structure and configuration of the subducting Philippine Sea plate beneath the Pacific coast industrial zone in Japan inferred from receiver function analysis (口頭)	Igarashi, T., T. Iidaka, S. Sakai, N. Hirata	AGU Fall Meeting (米国カリフォルニア州)	2012年12月	国際
Structural discontinuities inside the Pacific plate offshore of the Tohoku and Kanto regions revealed by seismic reflection imaging. (ポスター)	Yannis Panayotopoulos, Keiji Kasahara, Naoshi Hirata, Susumu Abe, Masafumi Katou, Aitaro Kato, Kazushige Obara	AGU Fall Meeting (米国カリフォルニア州)	2012年12月	国際
Time-dependent Seismic	Hirata, N., K. Z.	AOGS-AGU(WPGM)	2012年8月	国際

Hazard in Greater Tokyo, Japan (口頭)	Nanjo, S. Sakai, A. Kato, and ,H. Tsuruoka	Joint Assembly (シンガポール)	月	
Attenuation structure in the complex subduction zone beneath the Kanto Basin retrieved by the Tokyo Metropolitan Seismic Observation Network. (ポスター)	Yannis Panayotopoulos	International Workshop of Special Project for Reducing Vulnerability for Urban Mega Earthquake Disasters (Miyagi, Japan)	2012 年 10 月	国際
New assumption of Tokyo scenario (口頭)	Naoshi Hirata	International Workshop of Special Project for Reducing Vulnerability for Urban Mega Earthquake Disasters (Miyagi, Japan)	2012 年 10 月	国際
Rupture propagation of slow slip revealed from tremor activity along the subducting plate interface (口頭)	Kazushige Obara	International Workshop of Special Project for Reducing Vulnerability for Urban Mega Earthquake Disasters (Miyagi, Japan)	2012 年 10 月	国際
Regional extent of the large coseismic slip zone of the 2011 Mw 9.0 Tohoku-Oki Earthquake delineated by on-fault aftershocks (口頭)	Aitaro Kato, Toshihiro Igarashi, and Jun'ichi Fukuda	International Workshop of Special Project for Reducing Vulnerability for Urban Mega Earthquake Disasters (Miyagi, Japan)	2012 年 10 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
首都直下地震防災・減災特別プロジェクト：首都圏の大地震の姿	平田直	地震本部ニュース	2012 年 8 月	国内

2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)の本震記録と余震記録を用いた首都圏およびその周辺地域に於ける長周期地震動の特性	津野靖士・山中浩明・翠川三郎・山本俊六・三浦弘之・酒井慎一・平田直・笠原敬司・木村尚紀・明田川保	日本地震工学会論文集	2012 年 9 月	国内
首都直下地震防災・減災特別プロジェクトにおける東京湾アクアライン（海ほたる・風の塔）での地震観測点の設営について	坂上実・酒井慎一・中川茂樹	地震研究所技術研究報告	2013 年 2 月	国内
Rupture process of the largest aftershock of the M9 Tohoku-oki earthquake obtained from back-projection approach using the MeSO-net data	Ryou Honda, Yohei Yukutake, Hiroshi Ito, Masatake Harada, Tamotsu Aketagawa, Akio Yoshida, Shin'ichi Sakai, Shigeki Nakagawa, Naoshi Hirata, Kazushige Obara, Makoto Matsubara and Hisanori Kimura	Earth Planets Space	In press.	国際
首都直下地震の調査研究	平田直	電気評論	2012 年 7 月	国内
首都直下地震の姿	平田直	Structure	2012 年 7 月	国内
首都圏地震の姿を探る：最新の地震観測技術	平田直	OHM	2012 年 12 月	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
私も一言！夕方ニュース	平田直	NHKラジオ第一	2012 年 10 月 24 日	国内
特集 首都直下地震 みえてきた地下構造	平田直・佐藤比呂志	日経サイエンス 2013年4月号	2013年2月	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25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。
- 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、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(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。
- 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。

表 1 出前授業及び講演会一覧

日付	場所	参加人数	内容概要
出前授業（1件）			
2012 年 10 月 24 日	小平第四小学校	約 80 名	小平市教育委員会が行っている安全教育推進研究発表会の一部として小平市周辺の教員に向けて東京の地震活動についての講演
講演会（6件）			
2012 年 4 月 13 日	川口商工会議所	約 100 名	震災対策・危機管理セミナーの一部として、「首都圏の地震に対する備え」についての講演
2012 年 6 月 29 日	臨海広域防災センター	約 60 名	防災教育支援研修会として、「研究機関と学校の連携による防災教育実践例」についての講演
2012 年 9 月 4 日	フォーリンプレスセンター	約 100 名	防災プレスツアー「首都直下地震に備える東京」というテーマでの講演
2013 年 1 月 24 日	地震研究所	約 40 名	江東区中学校教育研究会理科部施設見学会で、「地震から身を守る～大人たちの役割」というテーマでの講演
2013 年 1 月 26 日	柏市松葉町近隣センター	約 100 名	防災講話会「首都直下地震とその備え」というテーマでの講演
2013 年 2 月 13 日	品川区立中小企業センター	約 100 名	「首都直下地震とその備え」というテーマでの講演

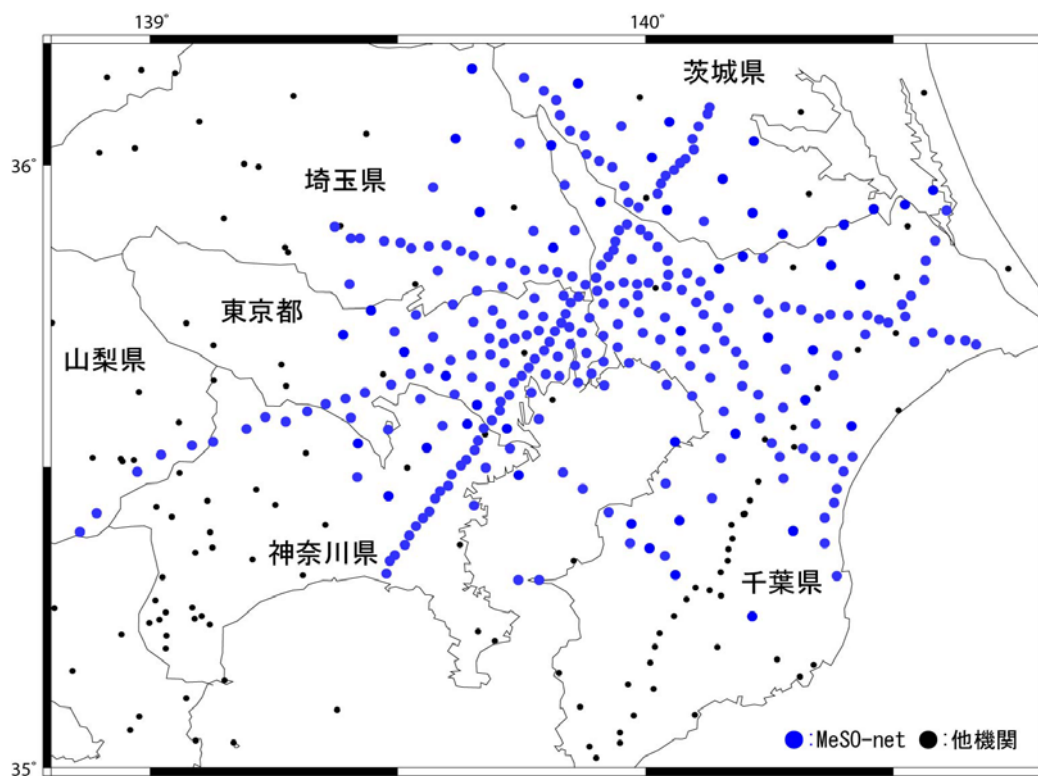


図1 地震観測点分布。MeSO-netは首都圏に296ヶ所設置している。



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。

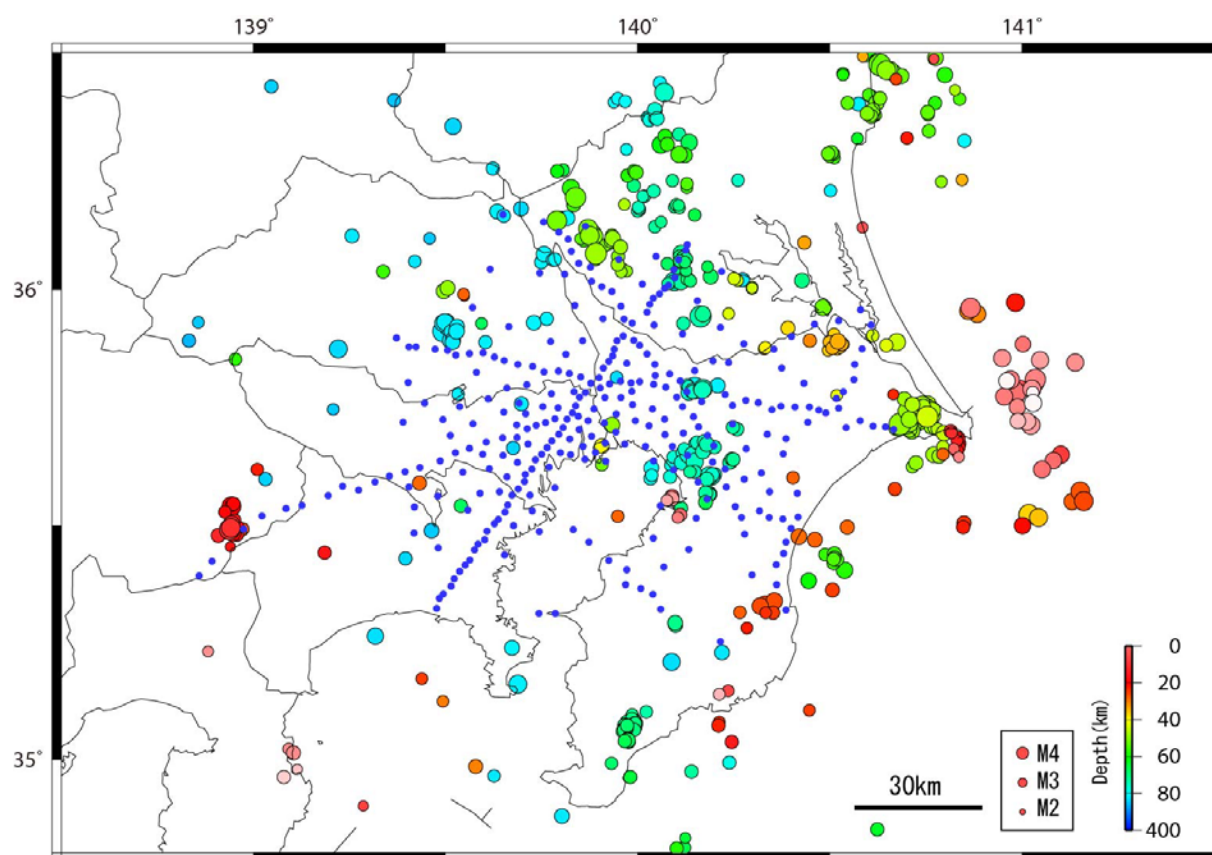


図3 震源分布。今年度処理した震源（2011年11月2日～2012年6月5日）。

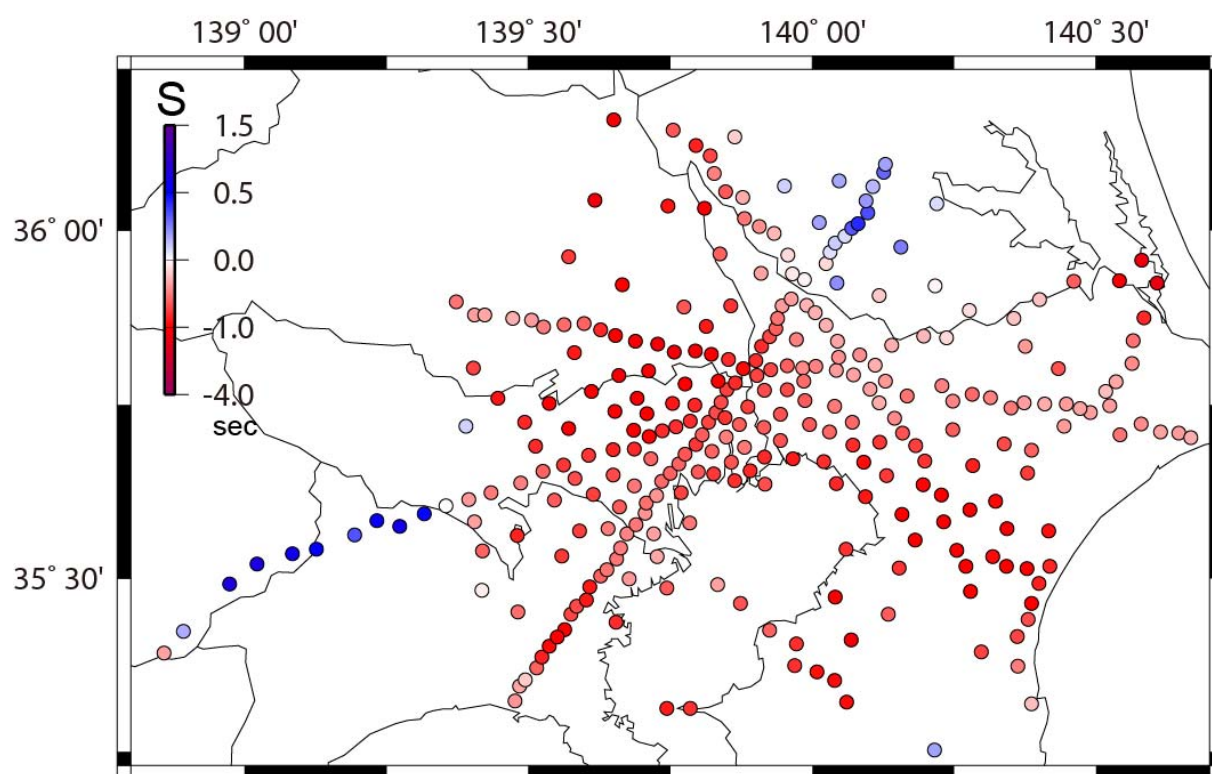
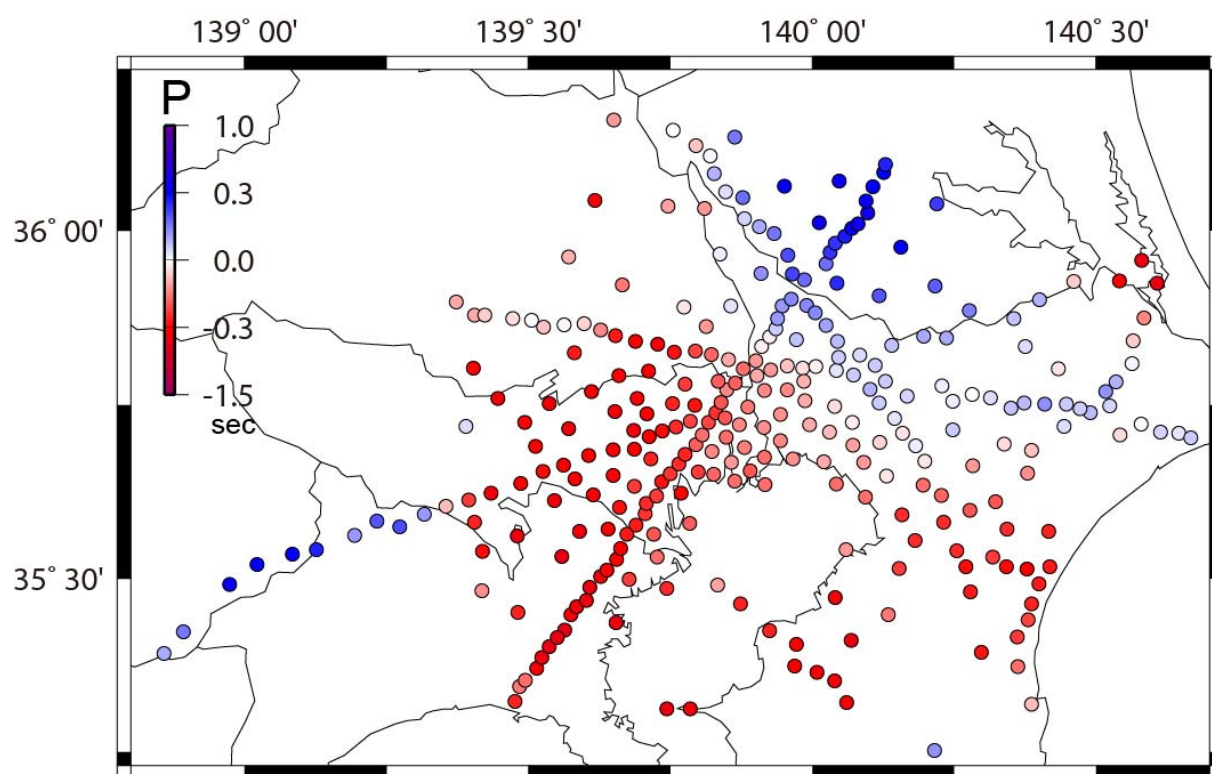


図 4 観測点補正值分布（上図：P 波、下図：S 波）。

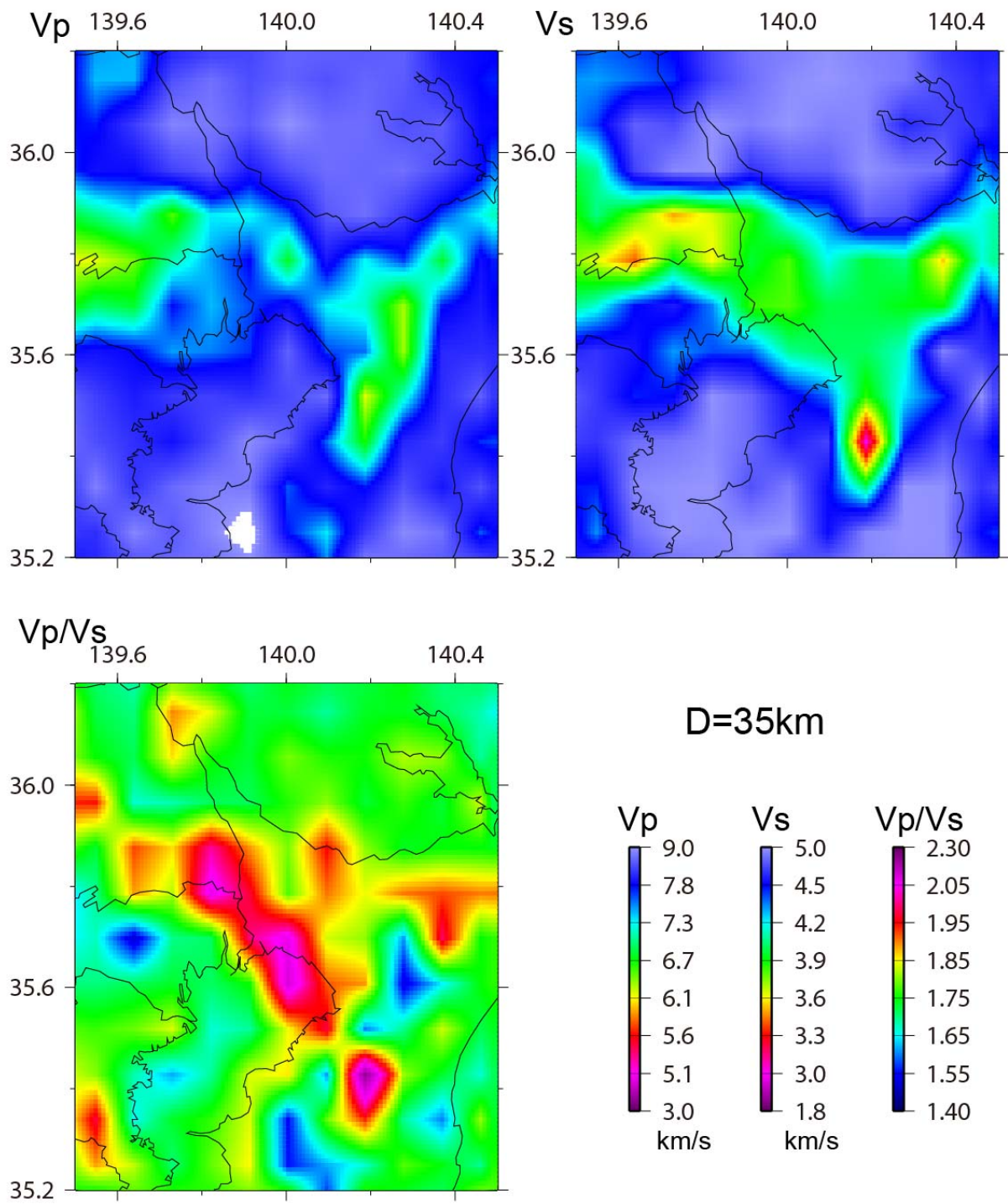


図5 地震波速度構造（深さ 35km）。上左図：P 波、上右図：S 波、下左図： V_p/V_s 。

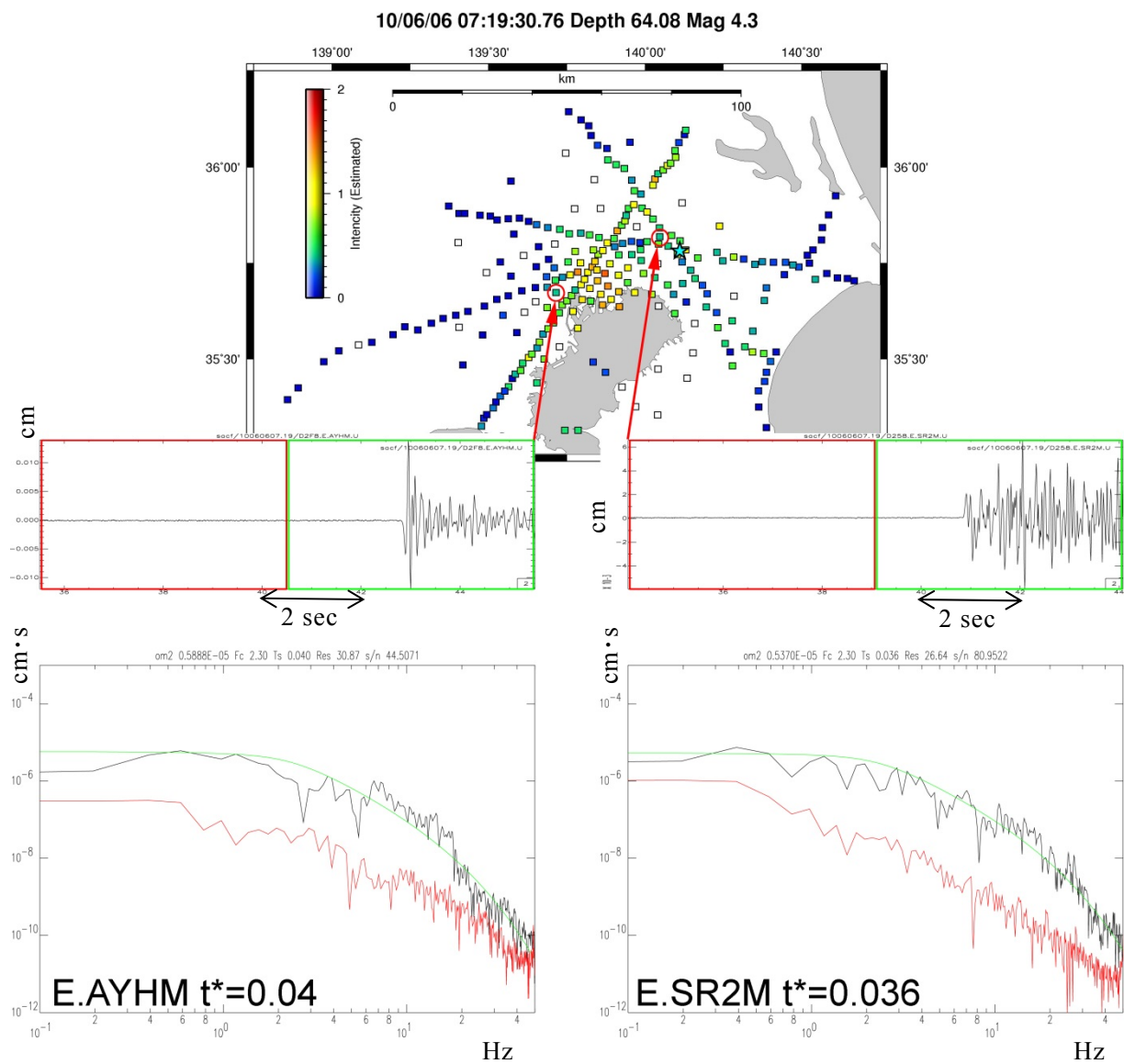


図 6 観測波形のスペクトルと得られた t^* (左下図：青山高校、右下図：白井第二小学校)。緑枠内がスペクトル窓、赤枠内はノイズ波形のスペクトル窓。

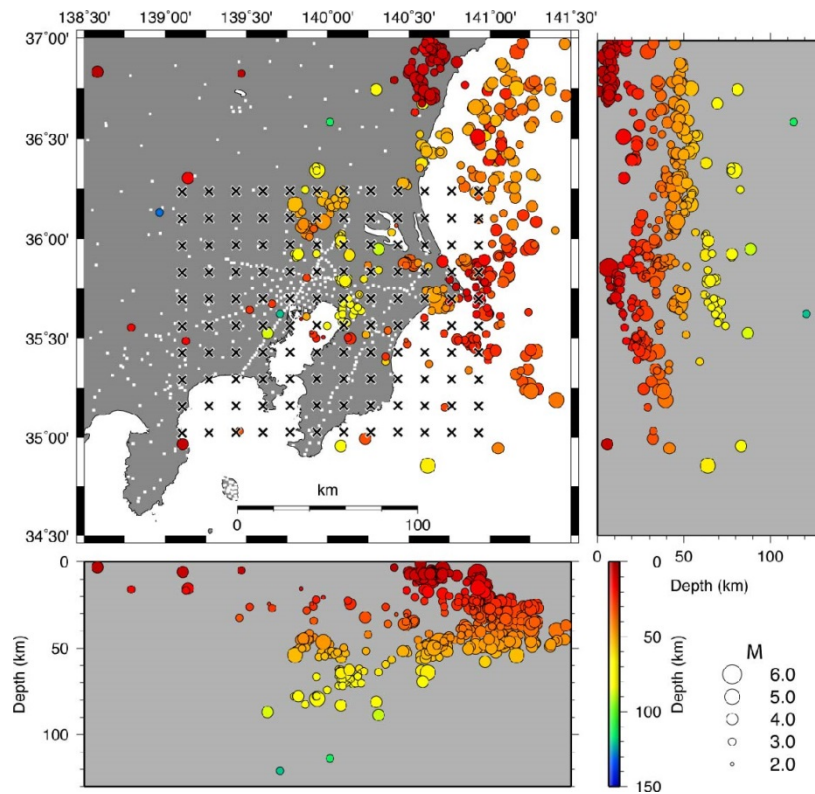


図7 Qp トモグラフィ解析に利用した震源分布と格子点

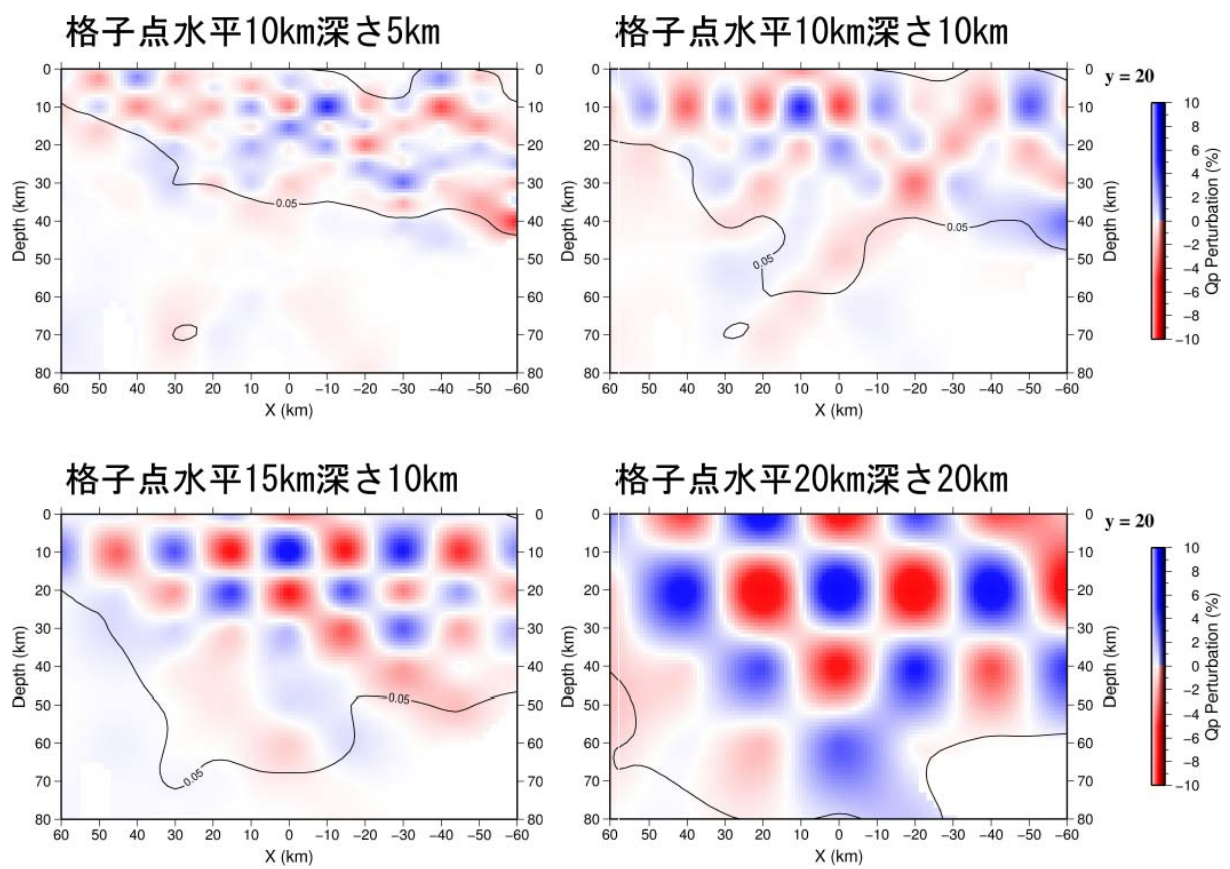


図8 チェッカーボードテストの結果。

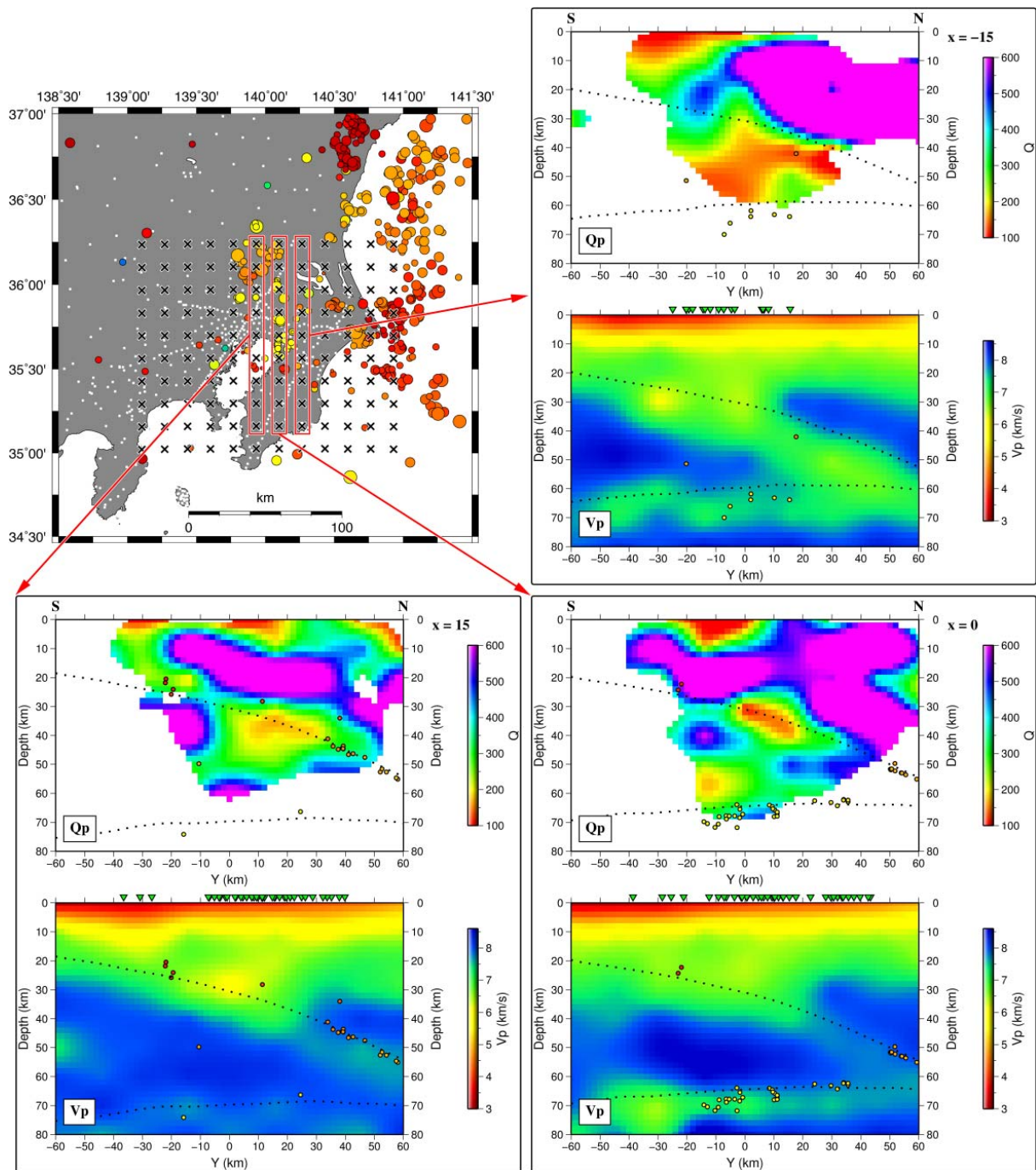


図9 Qp と Vp の南北断面図。

図中の破線はフィリピン海プレートと太平洋プレートの上端。

丸は震源、逆三角は観測点を示す。

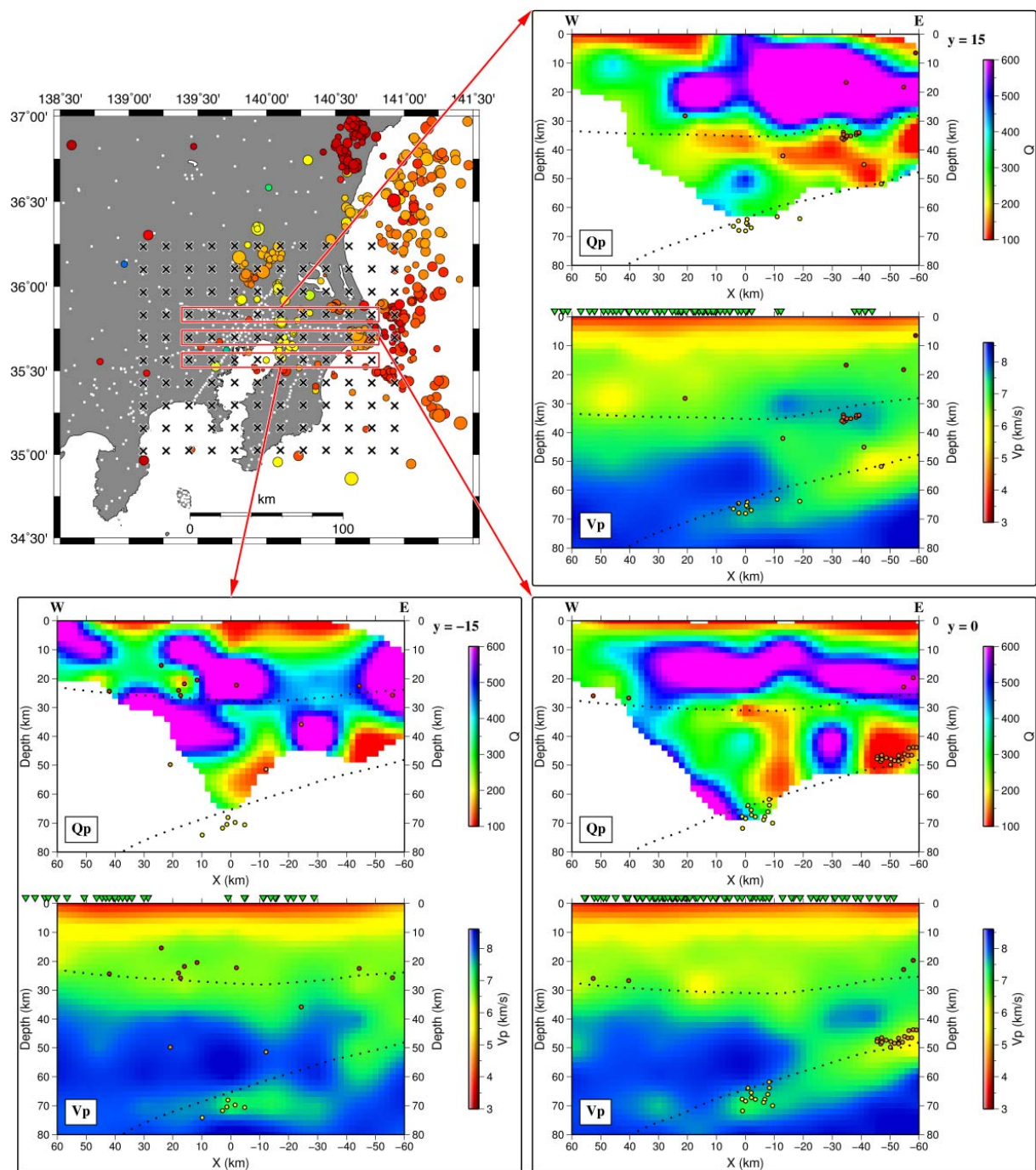


図 10 Qp と Vp の東西断面図。

図中の破線はフィリピン海プレートと太平洋プレートの上端。

丸は震源、逆三角は観測点を示す。

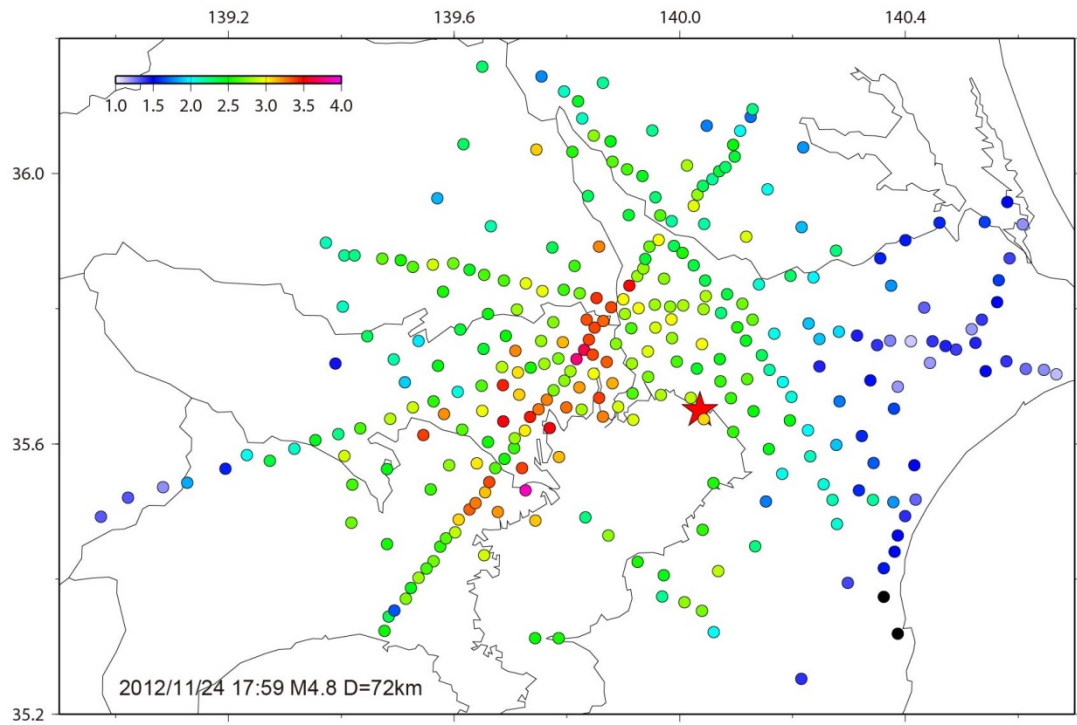


図 11 計測震度相当値の分布図。2012 年 11 月 24 日に千葉県西部の深さ約 72km で発生した M4.8 の地震（赤星印）のときに MeSO-net で観測された波形で計算した計測震度相当値は、必ずしも震源地直上で大きくなり、東京都 23 区東部や神奈川県川崎市等で揺れが大きかったことがわかる。

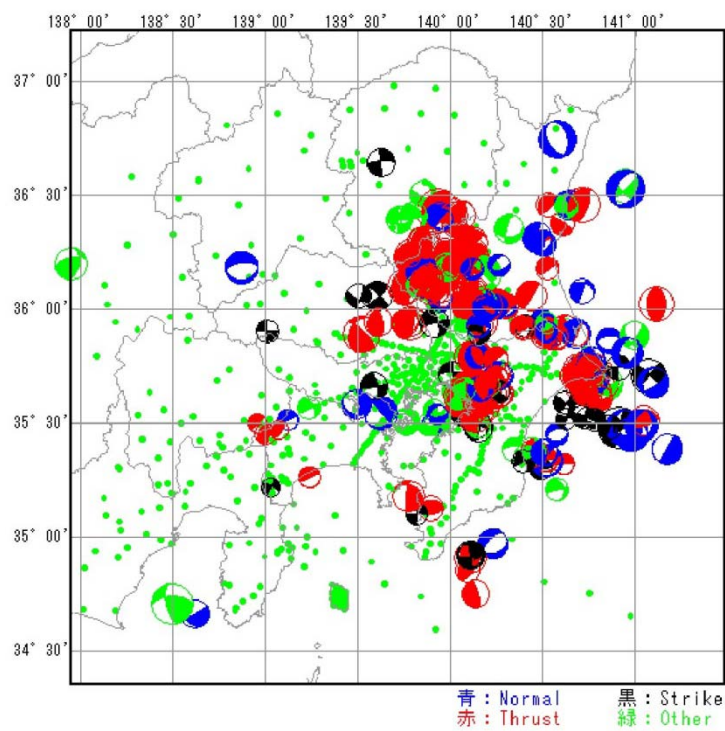


図 12 発震機構解の分布図(2011 年 11 月～2012 年 6 月)。
青：正断層型、赤：逆断層型、黒：横ずれ型、緑：それ以外。