

関東山地「飯能-御坂測線」における稠密自然地震観測

蔵下英司^{1)*}・佐藤比呂志¹⁾・阿部 進²⁾・加藤直子¹⁾

¹⁾ 東京大学地震研究所

²⁾ (株)地球科学総合研究所

Dense Seismic Array Observations Along the Hanno-Misaka Line, Kanto Mountains, Central Japan

Eiji Kurashimo^{1)*}, Hiroshi Sato¹⁾, Susumu Abe²⁾ and Naoko Kato¹⁾

¹⁾ Earthquake Research Institute, University of Tokyo

²⁾ JGI, Inc.

Abstract

In central Japan, the Philippine Sea plate (PHS) subducts beneath the Tokyo Metropolitan area in the Kanto region. In the western Kanto region, the Izu-Bonin arc within the PHS has been colliding from the south with the Honshu arc, forming a complex structure called the Izu collision zone (ICZ). The geometry of the subducting PHS and the overlying crustal structure of the ICZ are important to constrain the process of earthquake occurrence. To obtain detailed images of PHS beneath the northern part of the ICZ, dense seismic array observations were carried out along a 60-km-long line between Hanno and Fuefuki trending ENE-WSW. Seventy-six three-component portable seismographs were deployed on the survey line at 500 to 750 m intervals, and waveforms were recorded during a four-month period from October 2008. High-quality data were obtained for the analysis using receiver function and seismic interferometry to obtain images of PHS. We relocated 263 local earthquakes with arrival time corrections at each station. The relocated hypocenter distribution shows that a double seismic zone associated with the westward subducting Pacific plate is located at a depth of 100–200 km beneath the survey line. The seismicity associated with the northwestward subducting PHS can be traced to a depth of about 30 km beneath the Tanzawa Mountains.

Key words: Philippine Sea plate, Izu collision zone, dense seismic array observation

1. はじめに

関東地域下では、フィリピン海プレートが陸側プレートと太平洋プレートとの間に沈み込むという複雑なプレート配置を形成している。フィリピン海プレートのスラブは、関東北東部下で太平洋スラブと接触し、沈み込むスラブを変形させ、首都圏下の被害地震の要因になる可能性がある (Wu *et al.*, 2007)。地震調査研究推進本部の長期評価によると、南関東で発生するマグニチュード7程度の地震が発生する確率は、今後30年以内で70パーセント程度と予測されている。しかし、これら地震を対象とした調査観測・研究は十分ではなく、未だ首都

直下で発生するマグニチュード7程度の地震の全体像等が明らかにされてはいない。そこで、首都直下地震の全体像を明らかにし、地震による被害の大幅な軽減と首都機能維持に資することを目的とする「首都直下地震災害防災・減災特別プロジェクト」が2007年度より5カ年計画で実施されている (平田・他, 2009)。

首都直下地震を考察する上で、関東地域下における複雑なプレート配置・形状を詳細に把握することは必要不可欠である。関東地域下には伊豆-小笠原弧の前弧と背弧海盆が沈み込んでいるが、伊豆-小笠原弧の島弧地殻部分は伊豆衝突帯を形成し、本州弧と衝突している。こ

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

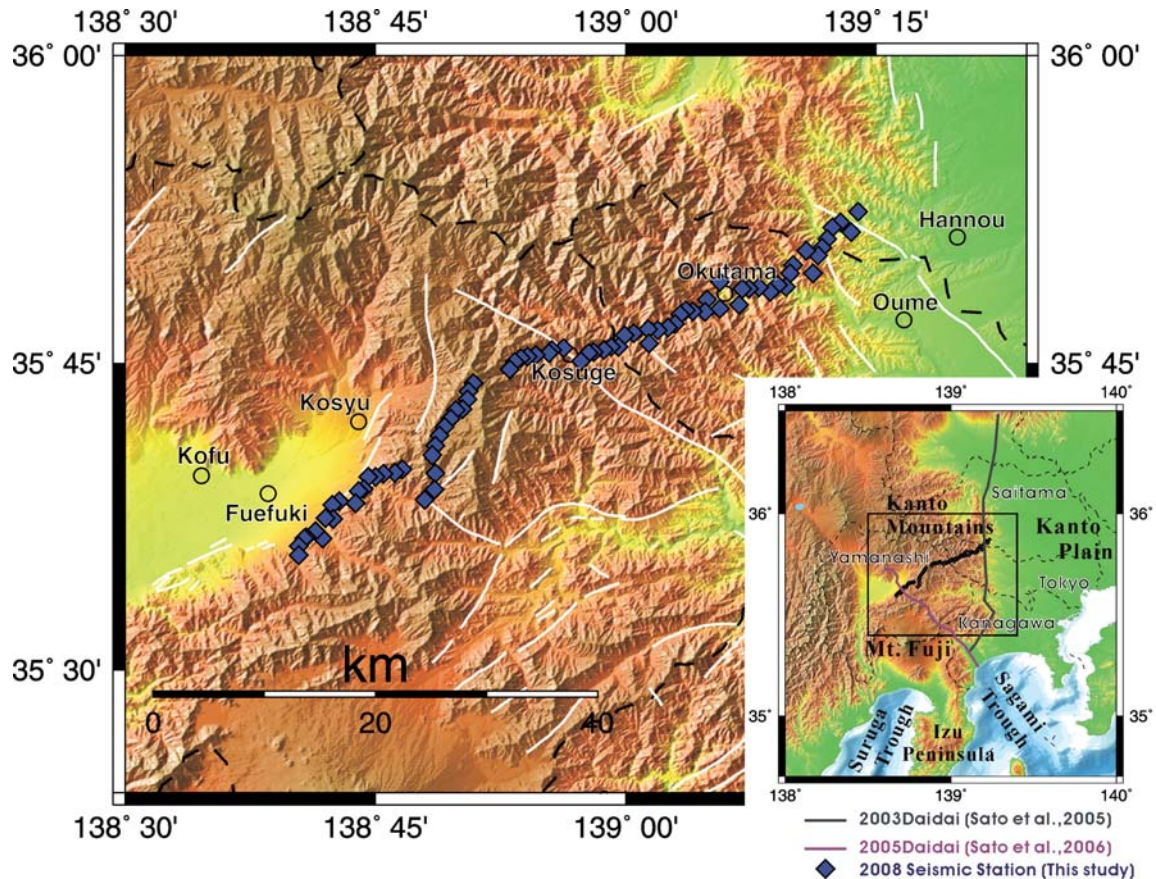


Fig. 1. Location map of the 2008 dense seismic array observation. The study area is indicated by solid square (insert map). The white lines indicate surface trace of the faults. The broken lines indicate the prefectural boundaries. Blue diamond symbols indicate temporary seismic stations (this study). Dark green and purple lines denote the deep seismic reflection survey line (Sato *et al.*, 2005; Sato *et al.*, 2006).

の伊豆衝突帯の北西部では深い地震が発生せず、フィリピン海プレートスラブの存否も含め、その形状については不明な点が残されていた。こうした背景から文部科学省の「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」の大都市圏地殻構造調査研究の中で2005年度に小田原から山梨に至る測線で地殻構造探査が実施された (Fig. 1)。この探査によって、御坂山地から甲府盆地下の深さ30–40 kmに存在する北傾斜の反射波群が見つかり、フィリピン海プレートに関連した北傾斜の地震発生領域の深部延長に位置していることが明らかになった (佐藤・他, 2006)。これらの事実から、この反射波群はフィリピン海プレートの非地震性スラブを表すものと判断されている (佐藤・他, 2008)。他方、2003年度に同プロジェクトで実施した関東山地東縁測線 (Fig. 1) では、フィリピン海プレート上面は深さ12–22 kmで北方に傾斜した反射面として、より浅部に位置している (Sato *et al.*, 2005)。このように小田原–山梨測線下と関東山地東縁測線下におけるフィリピン海プレート上面の深度の違いは、スラブ

内の断裂などの不連続的な変化を示している可能性があり、その連続性を含めて検討する必要が出てきた。関東下に沈み込んでいるフィリピン海プレートのスラブは、フィリピン海プレートの北東端である。フィリピン海プレートの全体の動きは、より広域的な要因によって決定されており、関東下のスラブの動きがプレート全体の動きに適合しているかどうかは必ずしも自明ではない。関東平野下におけるスラブの運動方向に拘束条件を与える上で、関東山地東縁から伊豆衝突帯北西領域におけるスラブの形状把握は重要な検討課題であり、関東山地下でのフィリピン海プレートの破断の有無を含めた、スラブの連続性の検討を行う必要がある。

こうした背景から、2008年度に「首都直下地震災害防災・減災特別プロジェクト」の一環として、小田原–山梨測線と関東山地東縁測線を繋いだ、東北東–西南西方向の飯能–御坂測線を設定し、地殻・上部マントルのイメージングを目的とした稠密自然地震観測を実施した (Fig. 1)。本報告では、自然地震観測の概要と観測され

Table 1. Specification of observation systems.

主システム使用機材		
速度型地震計	Lennartz Electric LE-3D lite (1.0Hz)	32台
速度型地震計	Markproducts L-4-3D (1.0Hz)	4台
速度型地震計	Markproducts L-22D (2.0Hz)	6台
記録システム	MS-2000	42台
副システム使用機材		
加速度型地震計	デジタル出力型MEMS型加速度センサー	34台
加速度型地震計	アナログ出力型MEMS型加速度センサー	2台
記録システム	DMS-3000	34台
記録システム	MS-2000	2台

た地震活動について述べる。

2. 観測

稠密自然地震観測測線「飯能-御坂測線」は埼玉県飯能市と山梨県御坂山地を結ぶ測線長約 60 km の区間に設定した (Fig. 1)。この測線は、山梨県東部に位置する大菩薩連嶺を境として、北部測線と南部測線に分けられる。北部測線は、埼玉県飯能市市市場を基点として東京都青梅市北部から奥多摩町内の多摩川及び奥多摩湖沿いに、山梨県北都留郡小菅村の大菩薩連嶺東側に至る約 35 km の区間に設定した。南部測線は、山梨県塩山市上日川ダム北部から甲州市勝沼町深沢を経て、甲府盆地南東縁沿いに山梨県笛吹市八代町に至る約 25 km の区間に設定した。観測期間は、2008 年 10 月 17 日から 2009 年 2 月 8 日までの 117 日間で、受振点は約 60 km の調査測線上において、500-750 m の間隔で、計 76 か所に配置した。地殻構造のイメージングに必要な稠密アレイの構築を前提として、主システムとして 1.0 Hz 速度型地震計、副システムとして MEMS 型加速度計を採用した。本観測では、主システムと副システムを原則として交互配置し、近地地震に関しては両システムによる約 500 m、遠地地震については主システムによる約 1000 m の空間サンプリングを実現した。本観測でのシステム構成を Table 1 に、各受振点の位置と地震計の種類、観測期間を Table 2 に示す。尚、受振点座標に関しては、携帯 GPS 測定によって確定した。調査期間中、奥多摩-小菅村周辺では冬季間で 5.0-7.0 cm 程度の降雪を数回記録したが、測定作業に関わる支障は生じなかった。

副システムとして使用した MEMS 加速度センサー素子としては Digital-3 が採用され、その応答特性は一般的な強震計とほぼ同等とみなされる。大きさ/重量は、外径 65 mm×高さ 175 mm、1.4 kg と小型で可搬が可能であるが、A/D 変換モジュールに関わる回路が付加されている。加速度センサーはステンレス製防水筐体に収納され、上面に水準器とコネクタ（電源入力、デジタルデータ出力）が装備されている。尚、デジタル回路部

分の仕様は、大部分がデシメーションフィルターに依存している。今回採用した Digital-3 では、最も感度の高いモードでは、ビットの重みが 58 nG で、ノイズレベル (Nominal) は、 $100 \text{ nGpeak}/(10-400 \text{ Hz})^{1/2}$ と規定され、この高感度モードでは、測定加速度範囲は $\pm 0.2 \text{ G}$ であり、ダイナミックレンジ 120 dB 以上を有している。このモードでは、近地地震までは有効に収録することが可能である。但し、微小地震及び遠地地震データに関しては、1.0 Hz 速度型地震計と対比した場合、低周波数領域における分解能と自己ノイズレベルの観点から、微小信号に関する初動同定には十分には対応できない場合がある。しかし、レシーバ関数及び地震波干渉法解析による稠密アレイ全体を用いたイメージングにおいては、ビンニング、共通変換点重合及びマイグレーション処理を通じて、微小信号に関する MEMS 加速度センサーのデータは十分に活用可能であると判断した。

3. 観測波形例

飯能-御坂測線において取得した自然地震観測例を Fig. 2 と Fig. 3 に示す。Fig. 2 は測線西端下の深さ 121 km で発生した深発地震 ($M_j 1.7$) の観測記録例である。時間軸は原点が震源時に対応し、波形記録にはフィルター処理を施していない。得られた記録からは、P 波初動や S 波初動が明瞭に確認でき、それらの相の間にも幾つか相を確認できる。Fig. 3 は、測線東部下の深さ 14 km で発生した近地地震 ($M_j 1.5$) の観測記録例である。時間軸は、上下動成分は 6 km/s でリデュースし、水平動成分は、上下動成分で見られる P 波に対応する S 波が同定できるように、リデュース速度を上下動成分のリデュース速度 (6 km/s) の $1/3^{1/2}$ (3.4 km/s)、表示時間の長さを上下動成分の表示時間長 (10 秒間) の $3^{1/2}$ 倍 (17.32 秒間) とした。波形記録にはフィルター処理を施していない。P 波初動や S 波初動が明瞭に観測され、全センサー記録に関して、ほぼ同等の品質を持った記録が得られていることがわかる。Fig. 3 において、対応する P 波初動と S 波初動の傾きを比較すると、震央距離の遠

Table 2. Specification of observation sites.

Station name	Latitude (deg.)	Longitude (deg.)	Height (m)	Sensor	Start date	End date
N-1	35.87312	139.23227	209	L-4-3D	20081018	20090207
N-3	35.85668	139.22505	218	LE-3D lite	20081019	20090207
N-4	35.86435	139.21437	204	Digital MEMS	20081018	20090207
N-5	35.86037	139.20602	273	LE-3D lite	20081018	20090207
N-6	35.85062	139.20067	209	Digital MEMS	20081018	20090207
N-7	35.84390	139.19612	323	LE-3D lite	20081018	20090207
N-8	35.83732	139.19247	370	Digital MEMS	20081018	20090207
N-9	35.84120	139.17967	508	LE-3D lite	20081018	20090207
N-10	35.82318	139.18720	441	LE-3D lite	20081018	20090207
N-11	35.82973	139.16735	339	Digital MEMS	20081018	20090207
N-12	35.82318	139.16405	280	LE-3D lite	20081018	20090207
N-13	35.81197	139.16002	296	L-22D	20081018	20090207
N-14	35.81367	139.15225	280	Digital MEMS	20081018	20090208
N-15	35.80745	139.14378	384	LE-3D lite	20081018	20090208
N-16	35.81130	139.13260	306	Digital MEMS	20081018	20090208
N-17	35.81028	139.12323	293	Digital MEMS	20081018	20081028
N-17	35.81053	139.12270	285	Digital MEMS	20081028	20090208
N-18	35.81003	139.11637	320	LE-3D lite	20081018	20090208
N-19	35.79727	139.11262	426	Digital MEMS	20081018	20090207
N-20	35.81575	139.09400	366	LE-3D lite	20081018	20090207
N-21	35.79405	139.09402	432	LE-3D lite	20081018	20090207
N-22	35.80167	139.08108	380	Digital MEMS	20081018	20090207
N-23	35.79173	139.07878	464	LE-3D lite	20081018	20090207
N-24	35.79215	139.06728	389	LE-3D lite	20081018	20090207
N-25	35.79293	139.06047	395	Digital MEMS	20081018	20090207
N-26	35.78927	139.05440	463	Digital MEMS	20081018	20090207
N-27	35.78165	139.04913	528	Digital MEMS	20081016	20081219
N-27	35.78165	139.04913	528	LE-3D lite	20081219	20090117
N-28	35.77887	139.04155	535	LE-3D lite	20081016	20090207
N-29	35.77663	139.03237	543	Digital MEMS	20081016	20081219
N-29	35.77663	139.03237	543	Analog MEMS	20081219	20090117
N-30	35.77763	139.02150	572	LE-3D lite	20081018	20090207
N-31	35.76588	139.02307	550	Digital MEMS	20081018	20090207
N-32	35.77423	139.00757	560	Digital MEMS	20081019	20090207
N-33	35.77253	138.99893	526	L-22D	20081018	20090207
N-34	35.76302	138.99318	542	Digital MEMS	20081018	20090207
N-35	35.76278	138.98512	575	LE-3D lite	20081018	20090207
N-36	35.76037	138.97790	584	LE-3D lite	20081018	20090116
N-37	35.75872	138.96765	592	Digital MEMS	20081018	20090207
N-38	35.75812	138.96327	592	LE-3D lite	20081018	20090207
N-39	35.75122	138.95470	730	Digital MEMS	20081019	20090207
N-40	35.76210	138.93798	678	LE-3D lite	20081019	20090207
N-41	35.76058	138.92560	701	Digital MEMS	20081019	20090207
N-42	35.75810	138.92298	712	LE-3D lite	20081019	20090207
N-43	35.75628	138.90983	833	Digital MEMS	20081019	20090207
N-44	35.75532	138.90247	871	LE-3D lite	20081019	20090208
N-45	35.75403	138.89472	874	Digital MEMS	20081019	20090208
N-46	35.75098	138.88893	991	LE-3D lite	20081019	20090208
N-47	35.74493	138.88440	1072	LE-3D lite	20081019	20090208

Table 2. (Continued)

station name	Latitude (deg.)	Longitude (deg.)	Height (m)	Sensor	Start date	End date
S-0	35.73348	138.84755	1702	LE-3D lite	20081017	20081206
S-1	35.72680	138.84275	1555	Digital MEMS	20081017	20090208
S-2	35.72038	138.84245	1568	Analog MEMS	20081017	20090208
S-3	35.71255	138.83705	1474	Digital MEMS	20081017	20090208
S-4	35.71150	138.82993	1377	Digital MEMS	20081017	20090208
S-5	35.70480	138.82530	1336	LE-3D lite	20081017	20090208
S-6	35.69795	138.81880	1296	Digital MEMS	20081017	20090207
S-7	35.69097	138.81442	1258	Digital MEMS	20081017	20090207
S-8	35.68262	138.81042	1196	LE-3D lite	20081018	20090207
S-9	35.67503	138.80683	1135	L-4-3D	20081017	20090207
S-10	35.66055	138.81038	1036	L-22D	20081018	20090208
S-11	35.64758	138.80887	827	LE-3D lite	20081018	20090207
S-12	35.63912	138.79928	716	Digital MEMS	20081017	20090207
S-13	35.66388	138.77655	785	L-4-3D	20081017	20090207
S-14	35.66108	138.76855	685	LE-3D lite	20081018	20090207
S-15	35.66022	138.75812	586	LE-3D lite	20081018	20090207
S-16	35.65757	138.75012	548	Digital MEMS	20081017	20090207
S-17	35.65778	138.74280	508	L-22D	20081018	20090208
S-18	35.64768	138.73787	508	Digital MEMS	20081017	20090208
S-19	35.64603	138.73317	514	LE-3D lite	20081018	20090207
S-20	35.63638	138.73040	751	Digital MEMS	20081016	20090207
S-21	35.63788	138.71375	478	Digital MEMS	20081016	20090207
S-22	35.63492	138.70692	429	L-22D	20081018	20090207
S-23	35.62337	138.70842	555	L-4-3D	20081018	20090207
S-24	35.62410	138.69978	470	Digital MEMS	20081016	20090207
S-25	35.60770	138.69727	583	Digital MEMS	20081015	20090207
S-26	35.61322	138.68958	498	LE-3D lite	20081018	20090207
S-27	35.60863	138.68128	576	Digital MEMS	20081015	20081103
S-27	35.60765	138.67885	504	Digital MEMS	20081105	20090207
S-28	35.60122	138.67278	504	LE-3D lite	20081018	20090207
S-29	35.59387	138.67250	556	L-22D	20081018	20090207

いところではS波初動の傾きの方が大きいことがわかる。このことの原因の一つとして、測線下に V_p/V_s 比が $3^{1/2}$ より小さい領域があることが考えられる。また、水平動成分で得られた記録では、地殻深部からの反射波と考えられる顕著な後続波を確認することができる。

4. 震源決定

飯能-御坂測線近傍の震源分布を得るために、測線上に設置した観測点で得た観測データを用いた震源決定を実施した。本観測で得た記録は連続記録であるため、震源決定を実施する震源リストに基づき、地震毎のデータに編集する必要がある。気象庁一元化震源カタログによると、観測期間中の2008年10月19日-2009年2月8日の間では、Fig. 4で示す範囲で601個の震源が決定されている。この震源リストから、測線から25km未満で発生した地震は全ての地震、測線から25km以上では、マ

グニチュード0.5以上の地震から震源が均等に分布するように地震を抽出し、震源決定を実施する280個の震源リストを作成した。作成した震源リストに従って、連続記録から地震毎のデータに編集する作業を行った。さらに、本観測で得たデータと、Fig. 4で示す周辺の43点のテレメータ観測点で得られたデータとの統合作業を行った。

本観測で得たデータと測線周辺のテレメータ観測点で得られたデータを統合したデータから作成した280個の地震波形データに対して、P相、S相、最大振幅、初動振動方向を読み取った。読み取り個数は、P相が12,351個、S相が15,896個、最大振幅が12,604個、初動振動方向が4,626個である。得られたP波到達時刻、S波到達時刻にHypomh (Hirata and Matsu'ura, 1987) を使用して震源決定を行った。その際、Fig. 5で示す1次元P波速度構造を使用した。また、 V_p/V_s 比を1.73と仮定したS波

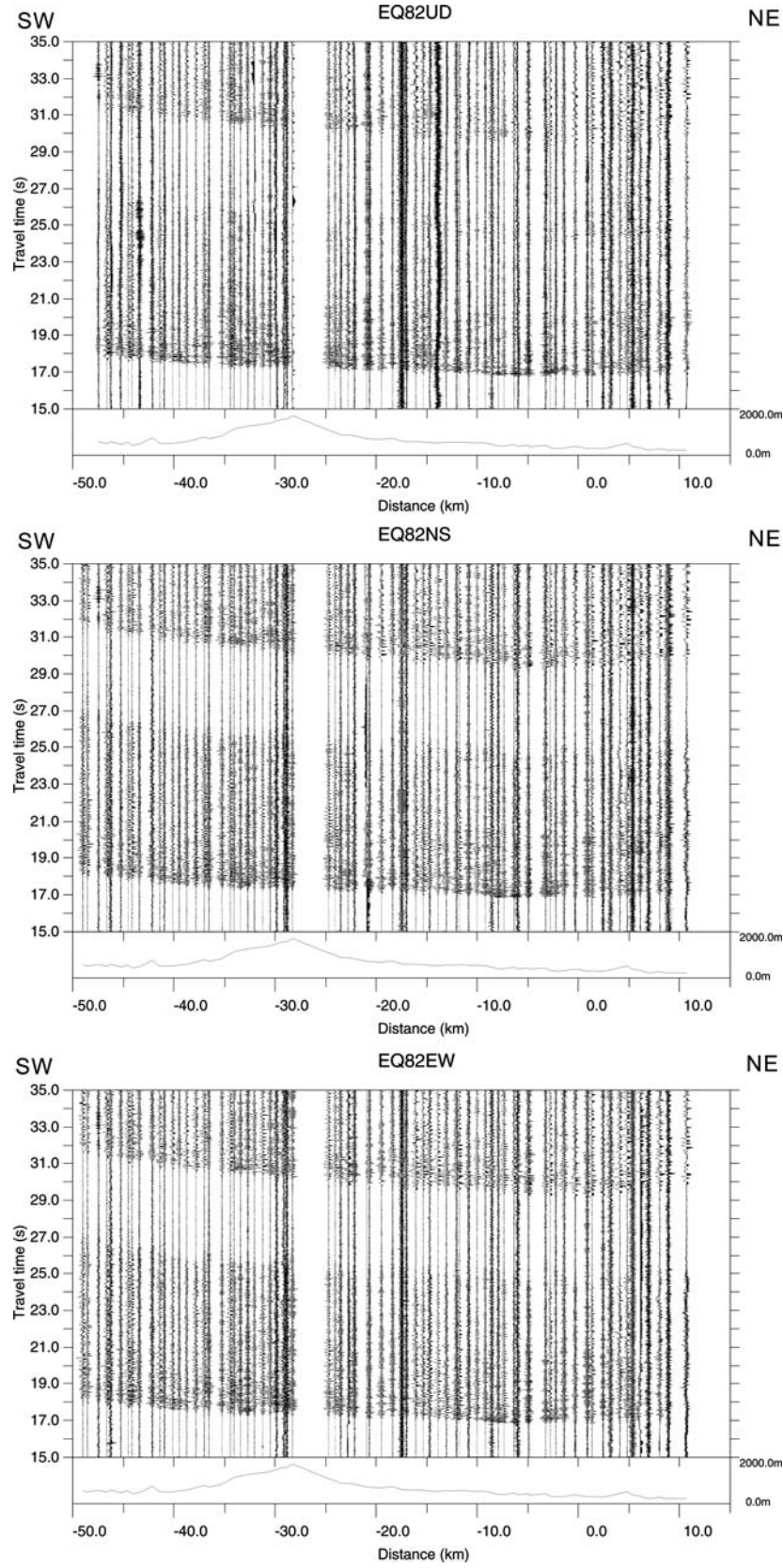


Fig. 2. Example of observed seismograms (Origin time: 2008/11/1 21: 59: 9.23, Latitude: 35.8065°N Longitude: 139.1465°E, 121.63 km deep, $M_{JMA}=1.7$). Horizontal axis is the source-receiver offset. Automatic gain control with 5-s window is applied. (TOP) UD component. (Middle) NS component. (Bottom) EW component.

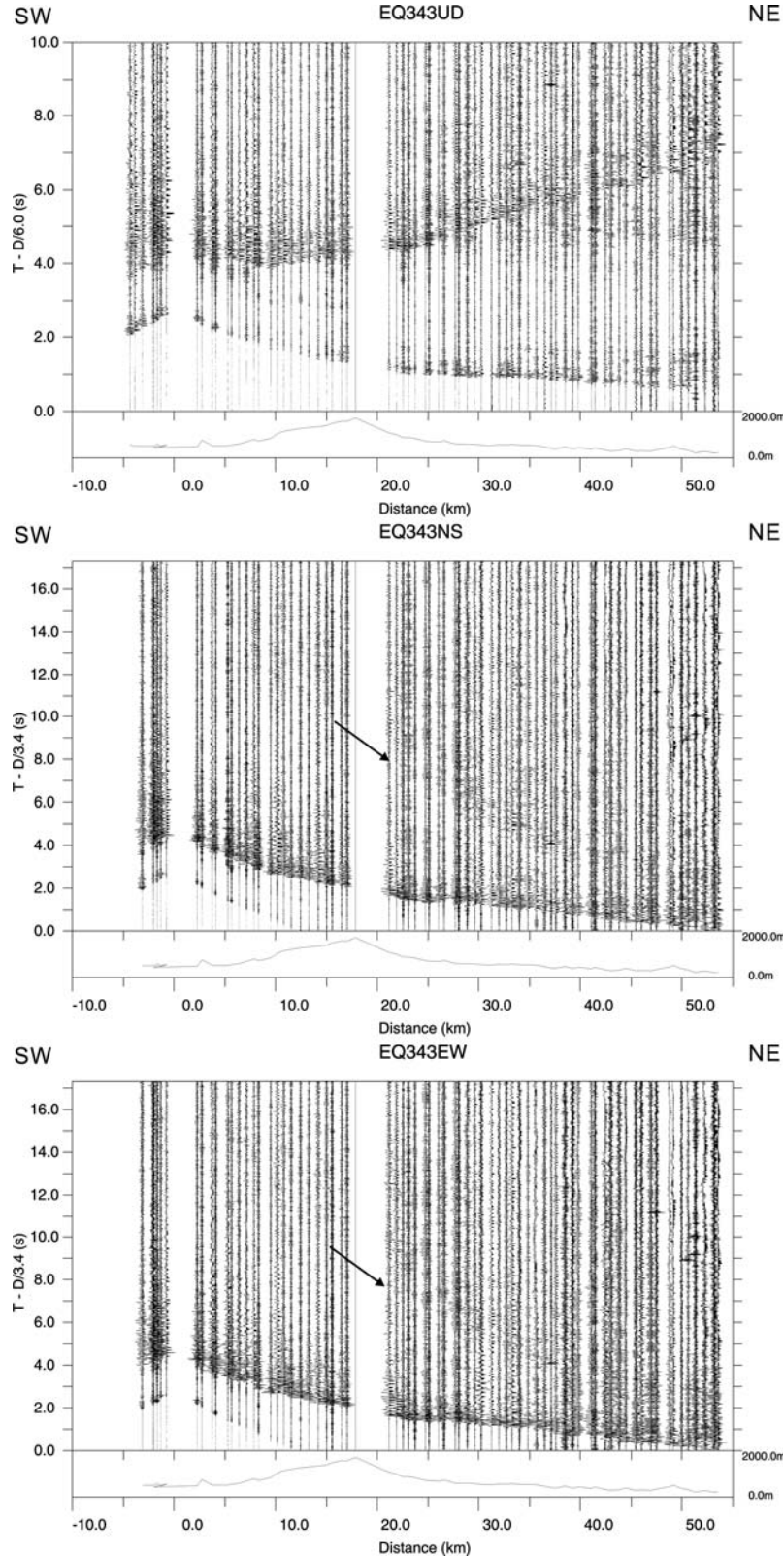


Fig. 3. Example of observed seismograms (Origin time: 2008/12/23 4:54:23.62, Latitude: 35.6173°N Longitude: 138.7108°E, 14.19 km deep, $M_{JMA}=1.5$). Horizontal axis is the source-receiver offset. Automatic gain control with 5-s window is applied. (TOP) UD component. Reduction velocity is 6 km/s. (Middle) NS component. Reduction velocity is 3.4 km/s ($6.0 \text{ km/s}/3^{1/2}$). (Bottom) EW component. Reduction velocity is 3.4 km/s. The timescale of the horizontal component record section is compressed by a factor of $3^{1/2}$ to allow easier comparison between the P and S wave record sections. Arrows show late arrivals.

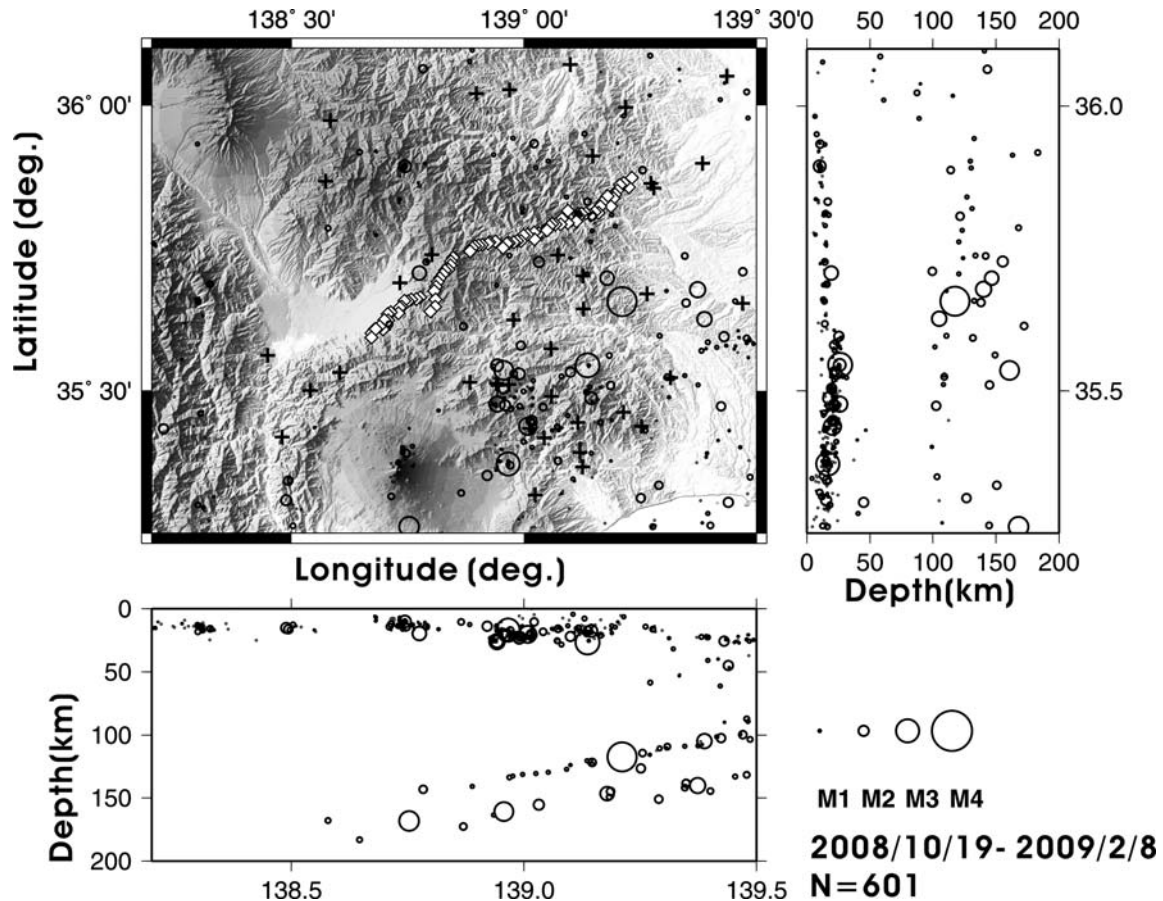


Fig. 4. Distribution of hypocenters determined by the JMA during the seismic array observation (from October 19, 2008 to February 8, 2009). During the seismic array observation, the JMA located 601 earthquakes in this area. The circle symbols are scaled to earthquake magnitude. The plus symbols indicate additional seismic stations used in this study for hypocenter determination.

速度を用いた。最初の震源決定後の各観測点における O-C (観測値-計算値) 平均値の平均は、P が 0.011 秒、S が 0.085 秒である。Fig. 6 に O-C 平面分布を示す。青系統の色は O-C が負であり、震源決定計算で予測される時刻よりも早く地震波が到達することを示す。赤系統の色はその逆である。本観測測線ではおおよそ O-C 平均値と標高が対応する。大菩薩連嶺付近の標高が 700 m 以上の観測点では O-C 平均値が負になっている。関東山地の東部では O-C 平均値が正負混在しているが、ほぼ 0 に近い値である。これら、観測走時と計算走時の差の平均値を基にして観測点毎に観測点補正値を決定し、再び震源決定を実施した。観測点補正後の O-C 平均値の平均は、P が 0.004 秒、S が 0.002 秒となった。観測点補正値を用いた震源決定により得られた震源分布を Fig. 7 に示す。震源分布図から、埼玉県・山梨県県境、山梨県・神奈川県県境 (丹沢)、富士山のそれぞれの地域で地震の密集域が確認できる。深さ 50 km 以浅に決定されている震源の誤差は 0.5 km 以内であり、対応する気象庁一元化震源要

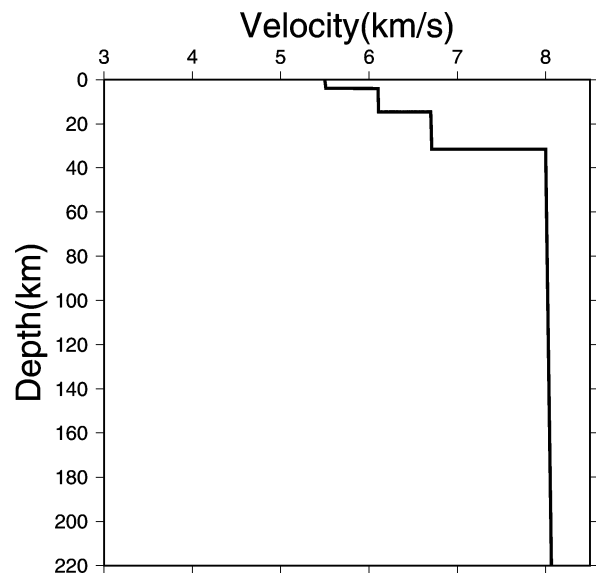


Fig. 5. P-wave velocity structure model used for hypocenter determination. The value of V_p/V_s is assumed to be 1.73.

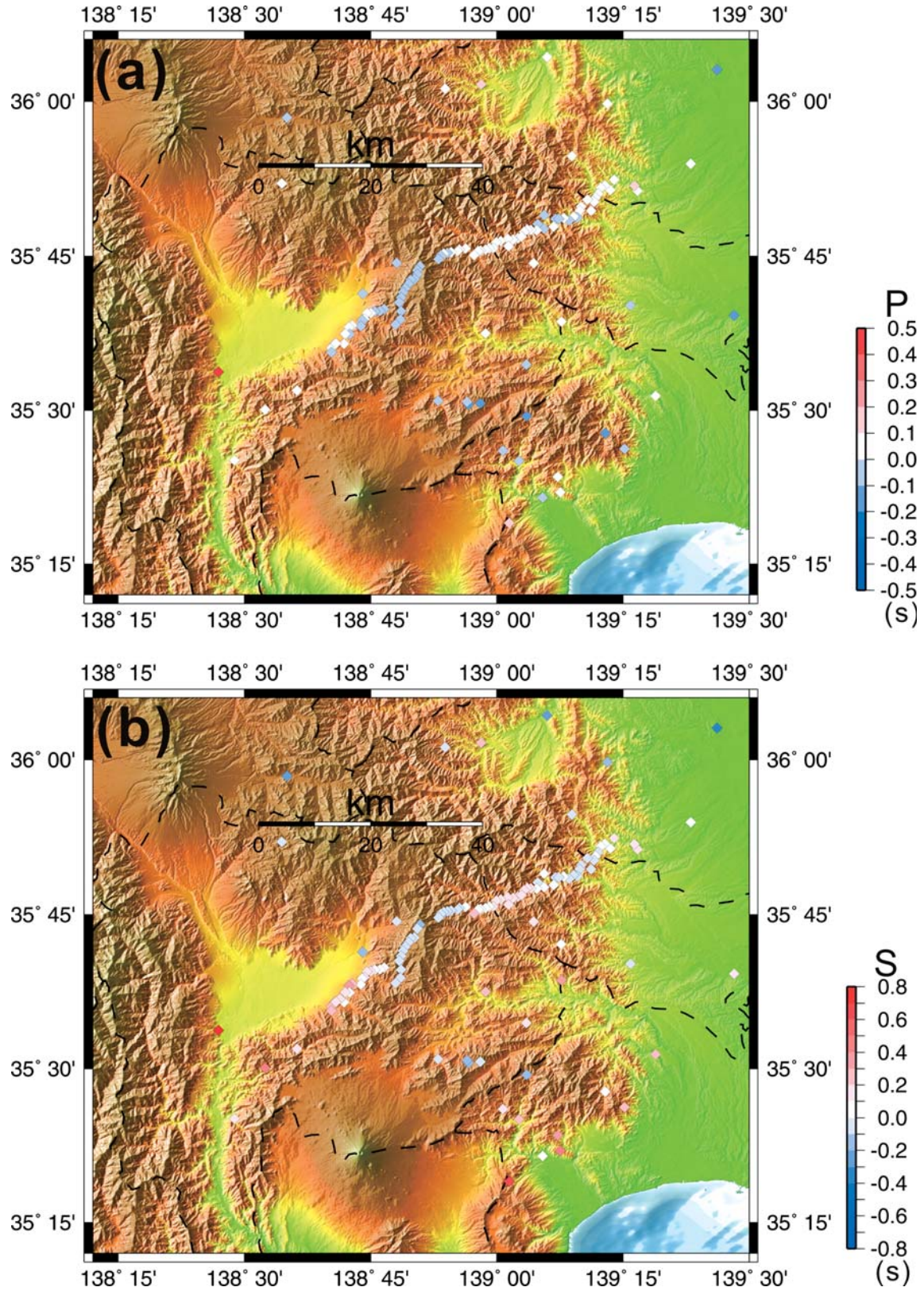


Fig. 6. Station corrections. Value of the station corrections are shown using a color scale.
(a) *P*-wave. (b) *S*-wave.

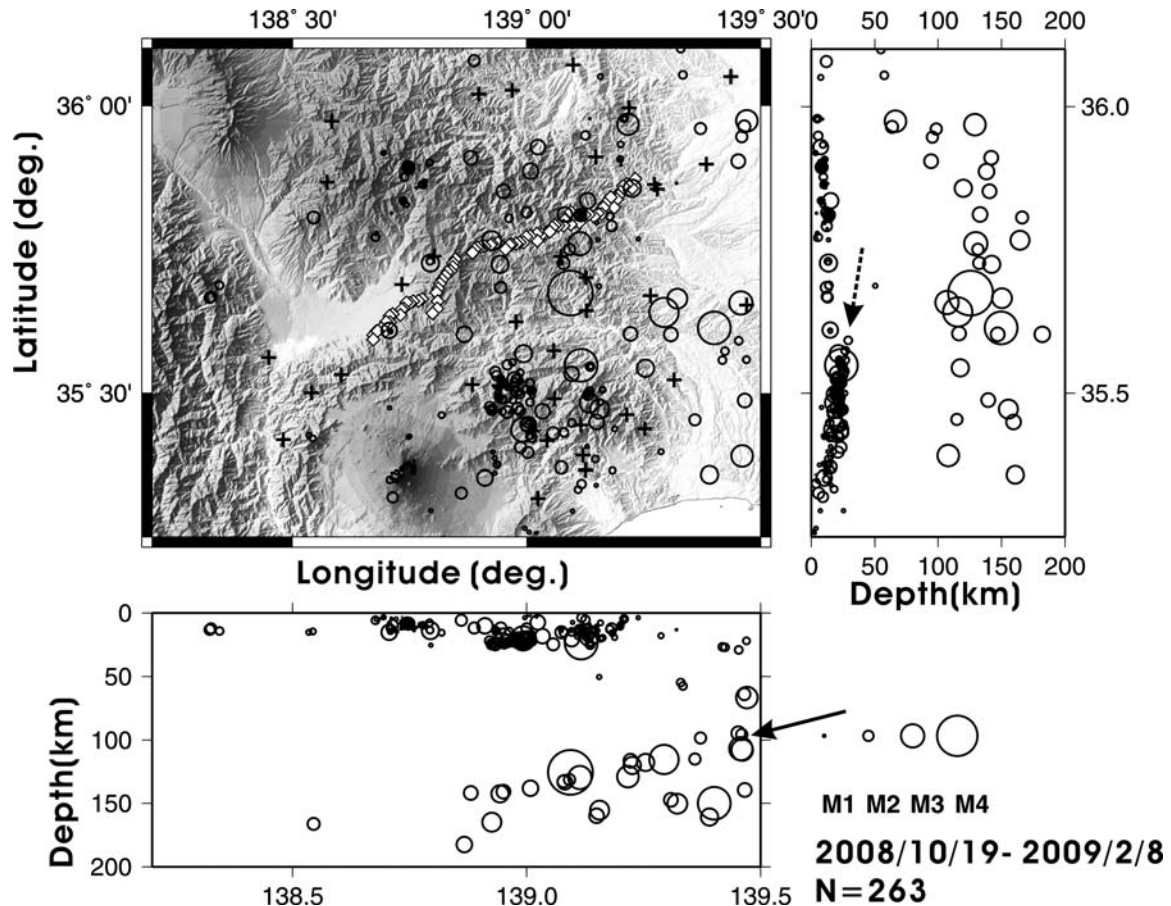


Fig. 7. Map showing the location of hypocenter distribution determined in this study. The circle symbols are scaled to earthquake magnitude. Solid and broken arrows indicate the double seismic zone associated with the westward subducting Pacific plate and the seismicity associated with the northwestward subducting Philippine Sea plate, respectively. The plus symbols indicate additional seismic stations used in this study for hypocenter determination.

素と比較すると、本研究で得た震源の深さの方が数 km 浅く、マグニチュードが大きくなる傾向がある。東西方向断面図の深さ 100 km 以深には、太平洋プレートの沈み込みに伴う西傾斜の二重深発地震面が確認できる。丹沢地域下の深さ 30 km 以浅で見られる北傾斜の震源分布は、フィリピン海プレートの沈み込みに起因したものであると考えられる。

5. おわりに

「大都市圏地殻構造調査研究」によって判明した丹沢山地下 12-22 km の深さ、甲府盆地から御坂山地下 30-40 km の深さで位置するフィリピン海プレート上面の深度変化の実態を明らかにするために、山梨県御坂山から埼玉県飯能市にいたる約 60 km の区間で稠密自然地震観測を行った。記録は良好で P 波・S 波の初動が明瞭に観測された。また、地殻深部に存在する構造不連続面に起因したと考えられる反射波や変換波と思われる後続

波も確認でき、地殻深部に関する地震学的情報もデータに含んでいると考えられる。今後、本研究で得た自然地震観測データと既存地震観測データを統合したデータから、P 波・S 波の初動走時データを作成し、3 次元トモグラフィ解析を適応することで、伊豆衝突帯における高精度な震源分布や 3 次元地震波速度構造が明らかになることが期待できる。また、本研究で取得した観測データにレーバ関数解析・地震波干渉法解析・反射法解析を適応することで、地殻深部のイメージングが得られることが期待できる。

本稠密自然地震観測測線上では、2009 年度に制御震源を用いた地殻構造探査を実施した。一般に、制御震源による地殻構造探査では、高エネルギー震源による稠密長展開の採用によって、上部地殻構造を高分解能でイメージングできる可能性は高い。しかし、モホ面に至る中下部地殻構造及び島弧下に沈み込むスラブのイメージングについては、制御震源データはエネルギー透過度及

びノイズレベル等によってデータ品質は大きく影響を受けるため、自然地震データを補完的に用いた確実度の高い統合プロファイルの構築が望まれる。2009 年度に得た制御震源地殻構造探査データによる高分解能なイメージングに、本研究で得た自然地震観測データによる地殻深部を含むイメージングを補完的に用いることでプレート構造を含む深度までの統合プロファイルの構築が可能になり、御坂山地から関東山地下におけるフィリピン海スラブの幾何学的形状に関する知見が得られることが期待できる。

謝 辞

本研究は、文部科学省受託研究「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」の一環として行われました。稠密自然地震観測を実施するにあたって、埼玉県飯能市役所、東京都青梅市役所、奥多摩町役場、山梨県小菅村役場、甲州市役所、笛吹市役所、東京都水道局水源管理事務所、東京都多摩環境事務所の方々には各種の便宜を図って頂きました。テレメータ観測点の波形データは、気象庁、防災科学技術研究所、神奈川県温泉地学研究所が収録したデータを使用させて頂きました。データ編集を行う際には、気象庁と文部科学省が協力してデータ処理をした結果（一元化震源カタログ）を使用させて頂きました。また、査読者の望月公廣博士からのコメントは、本原稿を改善する上で

大変参考になりました。ここに記して深く感謝の意を表します。

文 献

- Hirata, N. and M. Matsu'ura, 1987, Maximum-likelihood estimation of hypocenter with origin time eliminated using nonlinear inversion technique, *Phys. Earth Planet. Inter.*, **47** 50-61.
- 平田 直・酒井慎一・佐藤比呂志・佐竹健治・額額一起, 2009, 「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, **84**, 41-56.
- Sato, H., N. Hirata, K. Koketsu, D. Okaya, T. Iwasaki, T. Ito, K. Kasahara, T. Ikawa, S. Abe, T. Kawanaka, M. Matsubara, R. Kobayashi and S. Harder, 2005, Earthquake source fault beneath Tokyo, *Science*, **309**, 462-464.
- 佐藤比呂志・平田 直・岩崎貴哉・額額一起・伊藤 潔・伊藤谷生・笠原敬司・加藤直子, 2006, 大深度弾性波探査 3.1. 3. 関東地殻構造探査（小田原-山梨測線）, 大都市大震災軽減化特別プロジェクト1 地震動（強い揺れ）の予測「大都市圏地殻構造調査研究」（平成 17 年度）成果報告書, 98-182.
- 佐藤比呂志・平田 直・阿部 進, 2008, 震源断層のイメージングの現状と地震被害想定へのインパクト, 物理探査学会創立 60 周年記念事業実行委員会編「最新の物理探査適用事例集」, 381-386.
- 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. Letts.*, **34**, L18301, doi: 10.1029/2007GL30763.

(Received January 8, 2010)

(Accepted March 2, 2010)