

### 3. 3. 2 断層帯周辺における自然地震観測

(稠密アレー観測による地震活動及び地殻不均質構造の解明)

#### (1) 業務の内容

(a) 業務題目 断層帯周辺における自然地震観測 (稠密アレー観測による地震活動及び地殻不均質構造の解明)

(b) 担当者

所 属	役 職	氏 名
国立大学法人東京大学地震研究所	教授	平田直
国立大学法人東京大学地震研究所	助手	加藤愛太郎

(c) 業務の目的

糸魚川－静岡構造線断層帯南端における断層帯周辺の微小地震活動を高精度に把握することで、その深部構造を解明する。

(d) 5 ヶ年の年次実施計画

1) 平成 17 年度：

糸魚川－静岡構造線断層帯南端で稠密アレーによる自然地震観測を行い、糸魚川－静岡構造線断層帯南端における断層帯周辺の微小地震活動を高精度に把握し、その自然地震データを用いて深部構造を解明した。

2) 平成 18 年度：

諏訪盆地周辺部での反射法探査域で稠密地震観測を実施し、断層帯周辺の微小地震活動を高精度に把握し、その自然地震データを用いて深部構造を解明した。

3) 平成 19 年度：

18 年度に引き続き諏訪盆地周辺で稠密地震観測実施すると同時に、これまでの観測データを総合的に解析し、断層帯周辺の微小地震活動を高精度に把握することで、その深部構造を解明する。

4) 平成 20 年度：

断層帯北部での反射法探査域で稠密地震観測を実施し、断層帯周辺の微小地震活動を高精度に把握し、その自然地震データを用いて深部構造を解明する。

5) 平成 21 年度：

断層帯の北部・中部で稠密地震観測を行うと同時に、前年度までのデータを統一的に処理し、総合的な解析を行う。断層帯周辺の微小地震活動と 3 次元速度構造、反射探査による構造、電気比抵抗構造との関係を明らかにする。

(e) 平成 18 年度業務目的

現地収録式の自然地震観測装置を、糸魚川－静岡構造線断層帯・諏訪盆地周辺部に設置し、断層帯中部における断層帯周辺の微小地震を観測する。本研究観測によって得られた自然地震データと、周辺の定常観測データをトモグラフィ法で解析し、断層帯周辺の不均質な

地殻構造と、糸魚川－静岡構造線断層帯の深部構造を推定する。さらに、不均質な地殻構造を考慮して微小地震活動を高精度に把握し、断層の深部形状と微小地震の関係を明らかにする。また、平成 17 年度までに取得したデータと既存観測点のデータを統合した解析を行って糸静線南部の断層周辺の構造を明らかにする。

## (2) 平成 18 年度の成果

### (a) 業務の要約

現地収録式の自然地震観測装置を、糸魚川－静岡構造線断層帯・諏訪盆地周辺部に 60 箇所に設置し、糸魚川－静岡構造線断層帯中部における断層周辺の微小地震を観測した。本年度までに得られた自然地震データと、周辺の定常観測データをトモグラフィー法で解析し、断層帯周辺の不均質な地殻構造と、糸魚川－静岡構造線断層帯の深部構造を推定した。推定された速度構造は、表層地質と対比された。断層周辺では低速度となり、深さ 10km 程度まで低速度領域と高速度領域が西傾斜している。不均質な地殻構造を考慮して微小地震分布を高精度に推定すると、本研究期間に発生した微小地震の一部が断層の深部延長活動と関係がある可能性があることが分かった。

### (b) 業務の実施方法

3. 1 にて実施の糸魚川－静岡構造線断層帯・諏訪盆地周辺部の反射法測線上とその周辺域で、平成 18 年 9 月 13 日から 12 月 12 日まで、地震観測点を約 3 カ月間展開（稠密臨時観測）し、同地域の微小地震活動を把握した。稠密臨時観測点では 3 成分、1 Hz の地震計からの信号を 200Hz でサンリングし、GPS によって校正された刻時装置をもつ長時間デジタル記録装置（DAT；篠原・他、1997）に連続的に記録した。さらに、同期間に産業技術総合研究所（AIST）によって設置された臨時観測点、周辺の定常観測点（気象庁、Hi-net、大学）104 点のデータを統合し、win フォーマット（卜部・東田、1992）の波形データベースを作った。平成 18 年 9 月 1 日から 12 月 31 日までの、稠密臨時観測点 60 カ所と、周辺の定常観測点 104 カ所で観測した連続記録を平成 18 年度の統合データベースとした。図 1 に、本調査研究に用いた観測点と震源を示す。これらの連続波形データから、気象庁一元化震源リストに従って地震毎に連続データを編集し、P 波、S 波の到着時刻を目視によって読み取った。読み取り観測点数の分布を図 2 に示す。

平成 17 年度に取得したデータと、平成 15 年度に実施されたパイロット的な重点的調査観測データを統合したデータを作成し、二重走時差トモグラフィー（Double-difference tomography）法（Zhang and Thurber、2003）で地震波速度分布を推定した。9 本の測線（ $y = -56, -32, -16, -8, 0, 8, 16, 32, 56$  km）上に、中央部 60km の範囲では、5km 間隔で、その外側は 15 km または 20 km 間隔の格子点を配置し、深さ方向には、深さ 0, 3, 6, 9, 12, 16, 20, 30, 35, 100, 200 km の格子点を配置した（図 3）。トモグラフィー解析の前に、本調査地域で得られている速度モデル（Kurashimo and Hirata, 2004; Takeda et al., 2004）を参考に 1 次元速度モデルを作り、トモグラフィー法の初期構造とした。この 1 次元速度モデルを用いて *hypomh*（Hirata and Matsu'ura, 1987）によって震源を決め、トモグラフ

一の初期震源とした（図4）。

### 稠密自然地震観測点(糸静2006)

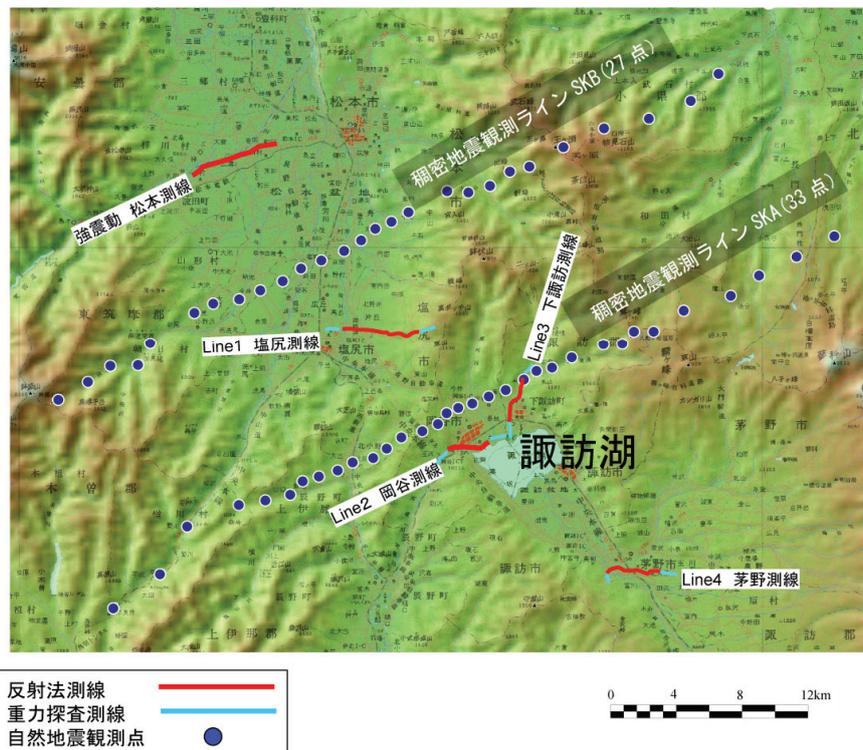


図1 平成18年度に実施した稠密自然地震観測点（●印60点）分布と、反射法測線、重力探査測線。

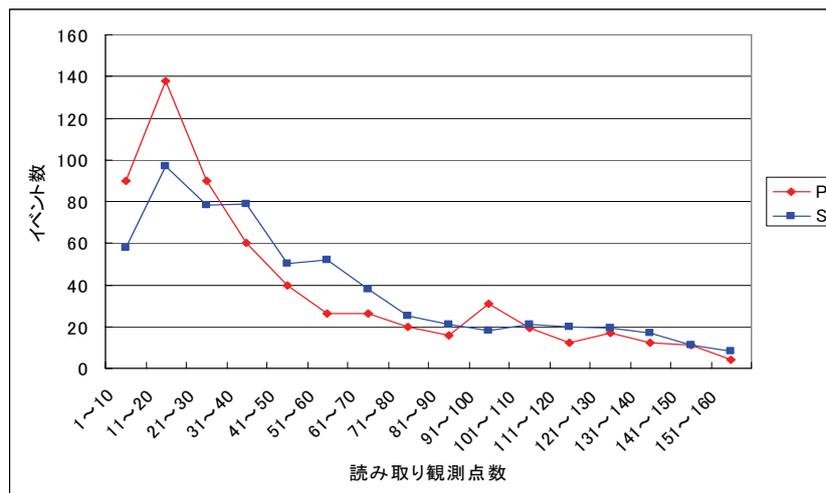


図2 地震毎の読み取り観測点数分布。P相、S相とも11~20個の観測点で読み取った地震が多い。平均読み取り観測点数はP相が44.7、S相が51.7観測点/地震であった。読み取り観測点数の最大は波形データ061126.044917であり、Pを158個、Sを158個読み取った。

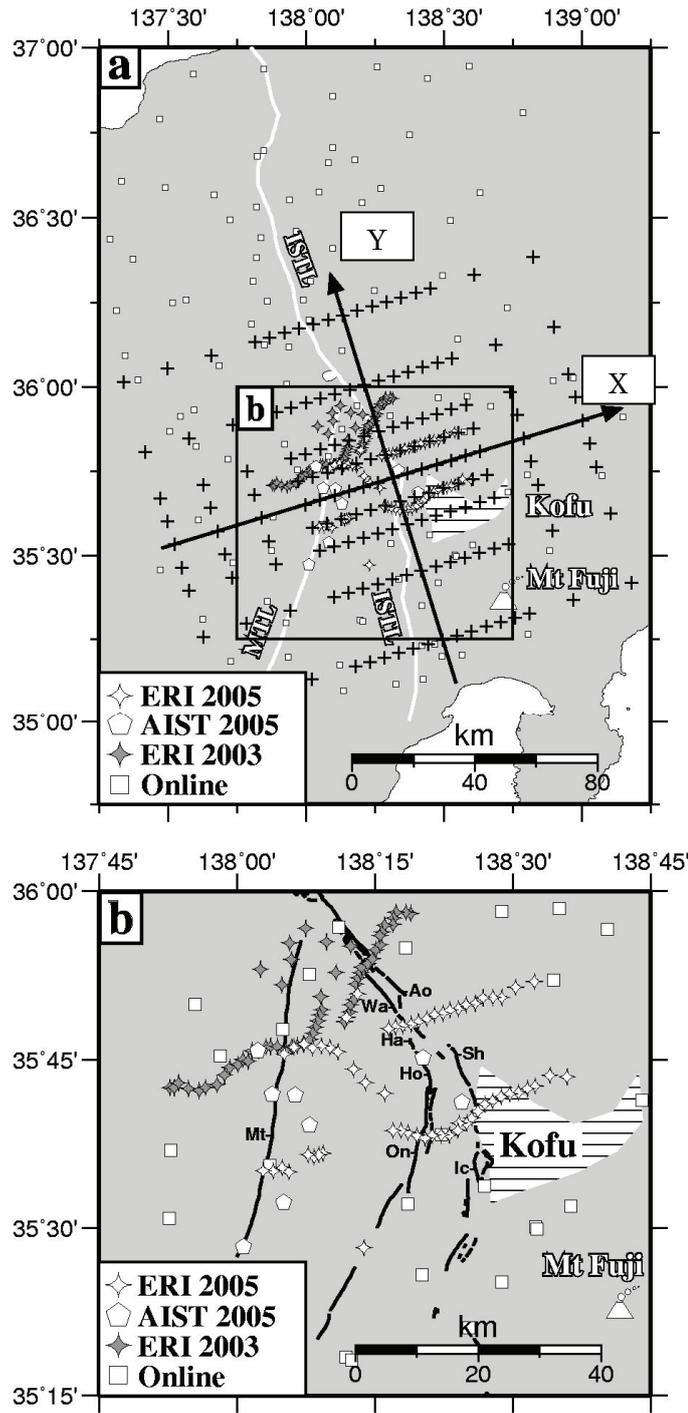


図3 統合トモグラフィー解析に用いた格子点と観測点の分布。(a)2003年、2005年に実施した臨時観測点、解析に用いた座標系。定常観測点、格子点の分布。(b)臨時観測点の分布を拡大図で示す。

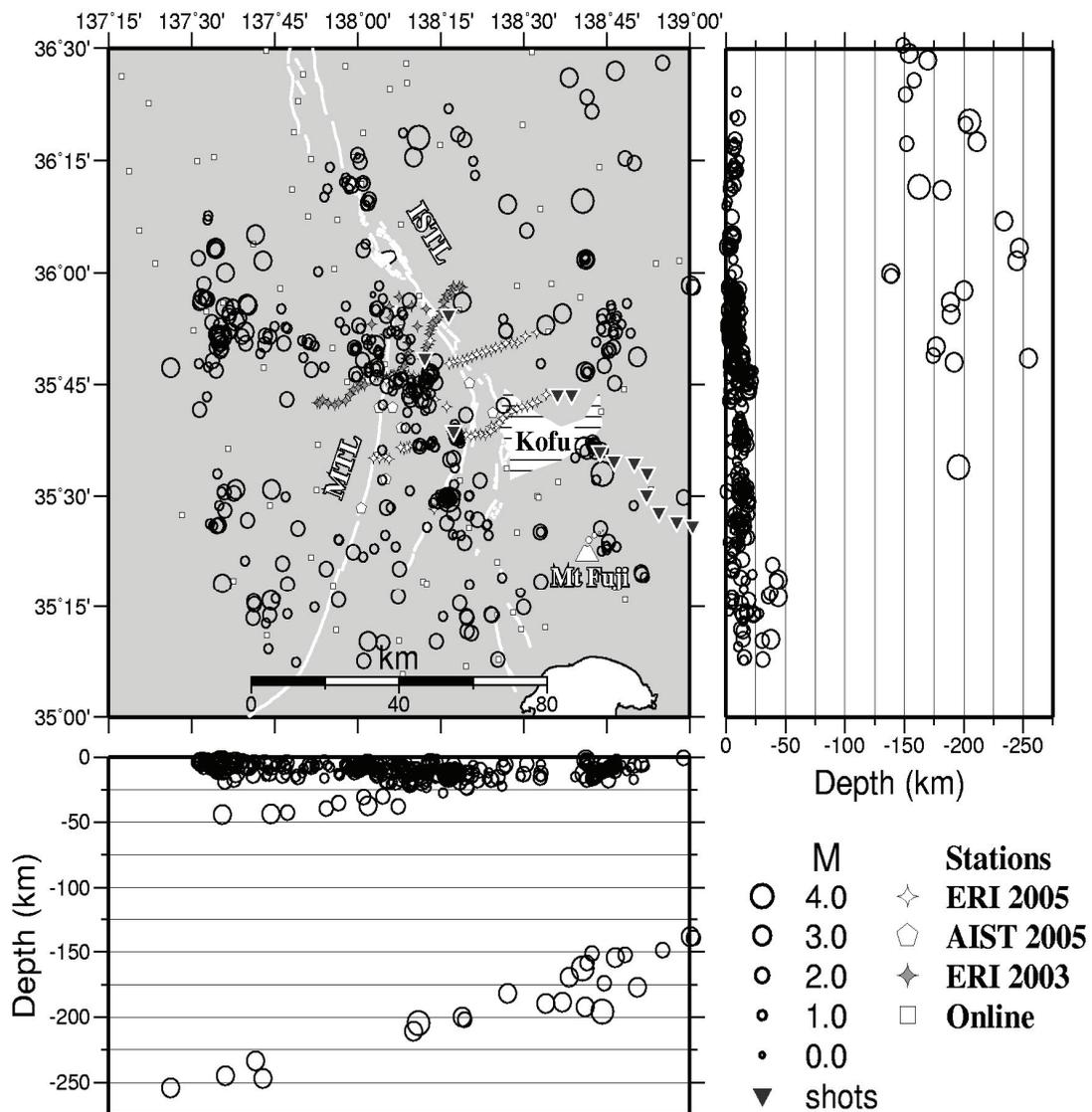


図4 トモグラフィー解析に用いた地震分布と観測点の分布。2003年、2005年の臨時観測点と定常観測点を図中に示した記号で示した。これらの震源をトモグラフィー解析の初期震源とした。

### (c) 業務の成果

平成18年度に得られた統合地震波形データから、この観測期間に一元化震源として報告されている612地震についてP波・S波の相を読み取った。稠密臨時観測点(60点)のほか、周辺定常観測点(104点)のデータについても、一元化震源リストの読み取りを確認し、読み取られていない観測点では、新たにP波、S波の到着時刻、初動極性を読み取った。その結果、P波の到着時刻データが27,354個、S波の到着時刻データが31,625個

得られた。1地震あたりのP波の到着時刻データ数は平均44.7観測点、S波については平均51.7観測点であった。

平成15年度と17年度の観測結果を統合したデータによる二重走時差トモグラフィー法解析によって得られたP波速度分布の分解能テスト結果を図5に示す。Y=-16からY=16までの5測線では、おおむね深さ15km程度まで、与えた速度分布のパターンが回復していることが分かる。また、測線の端部では、復元が悪いところもある。以下の解釈では、このテストの結果を考慮して、解像度の悪い部分はマスクすることにする。

トモグラフィー解析によって得られたP波速度構造を図6に示す。調査領域には、活断層としての断層（活断層ISTL、図6のAo, Ha, Sh, Ic）と地質境界としての構造境界（地質ISTL, Ho, On）が赤の逆三角印で示したところに位置している。P波速度4.5~5.5km/s程度の低速度帯が活断層ISTLの東側の甲府盆地で地表近くに存在する（ $-20 < x < 0$ ）。地質ISTLと活断層ISTLの間には、比較的低速度（ $V_p = 5.2 \sim 5.6$  km/s）の領域が西傾斜の楔状に存在する（Y=8 km, 図6（c））。測線Y = -16 kmで顕著に認められる（図6（f））ように、測線の西側では、大局的には西下がり傾斜する高速度領域とやや低速度の領域の境界が存在する。測線Y = 8 kmでは、深さ5kmから20kmに微小地震の集中した配列が認められる。この配列の地表への延長は、白州断層（Ha）の地表位置と概略一致する。また、配列の西側は、東側に比べて高速度である。

P波速度分布と地表地質の関係から、速度断面（Y = -16 km）を解釈した結果を図7に示す。測線の西端には中央構造線（Mt）が位置し、大ナジカ断層（On）との間は、やや低速度の領域になる。ここは、秩父、四万十、三波川帯からなる西南日本弧の付加体（Jac）に対応し、その東には沈み込んだ伊豆-小笠原弧の中部地殻が存在すると解釈した。この解釈では、活断層の糸静線（Ic）は、伊豆-小笠原弧を断ち切る断層となり、この活動に関連した地震活動があることが示唆される。ただし、微小地震の発震機構解は、断層の傾斜方向に圧縮するような逆断層であり、必ずしも断層に沿った変位をもたらす地震活動が発生しているわけではない（今西・他、2006；桑原他、本報告書）。本調査測線でのトモグラフィーの分解能は5km程度なので、断層破碎帯を直接イメージングすることは出来ない。断層を含む地質構造に対応した空間規模数kmで平滑化した速度分布を描き出しているといえる。ISTL近傍の微小地震活動は、この空間分解能の速度分布では、高速度領域に存在している。なお、活断層ISTLの深部延長は、反射法探査によって低角の西傾斜であることが報告されている。

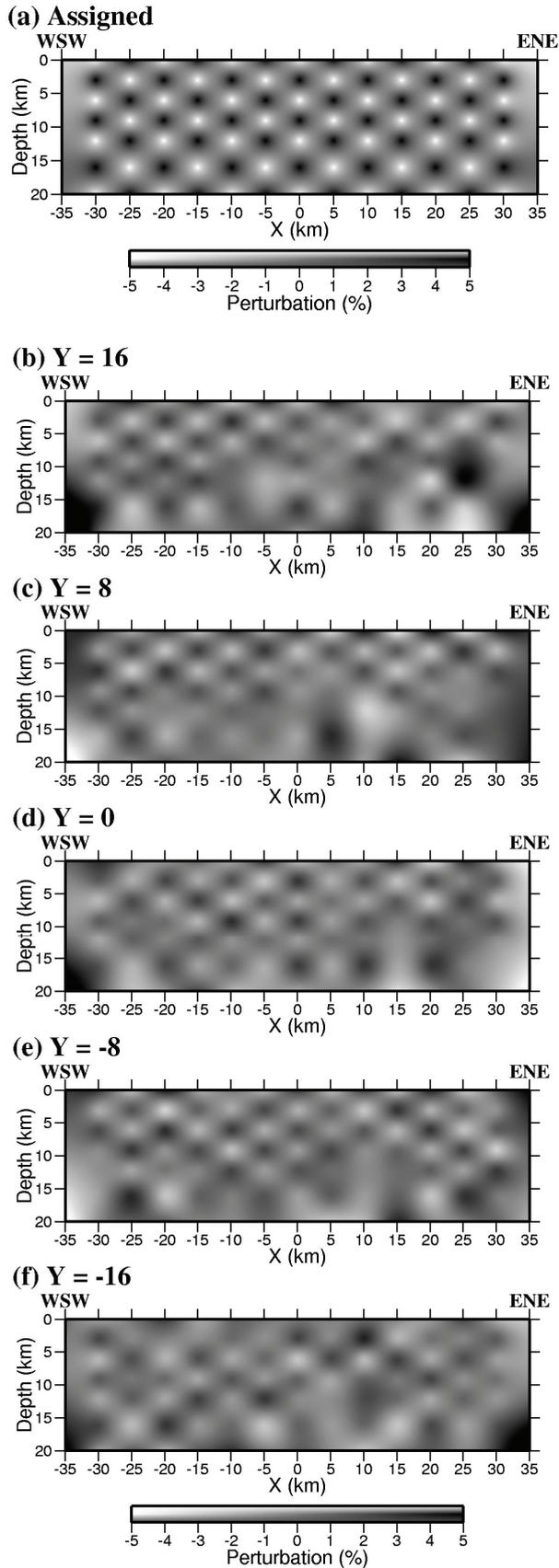


図5 チェッカーボード解像度テストの結果。(a) 合成走時データを作る時に仮定した速度分布。 $\pm 5\%$ の速度偏差を与えた。(b)から(f)に、それぞれ $Y=16$  km から $Y=-16$  kmでの復元の様子を示した。

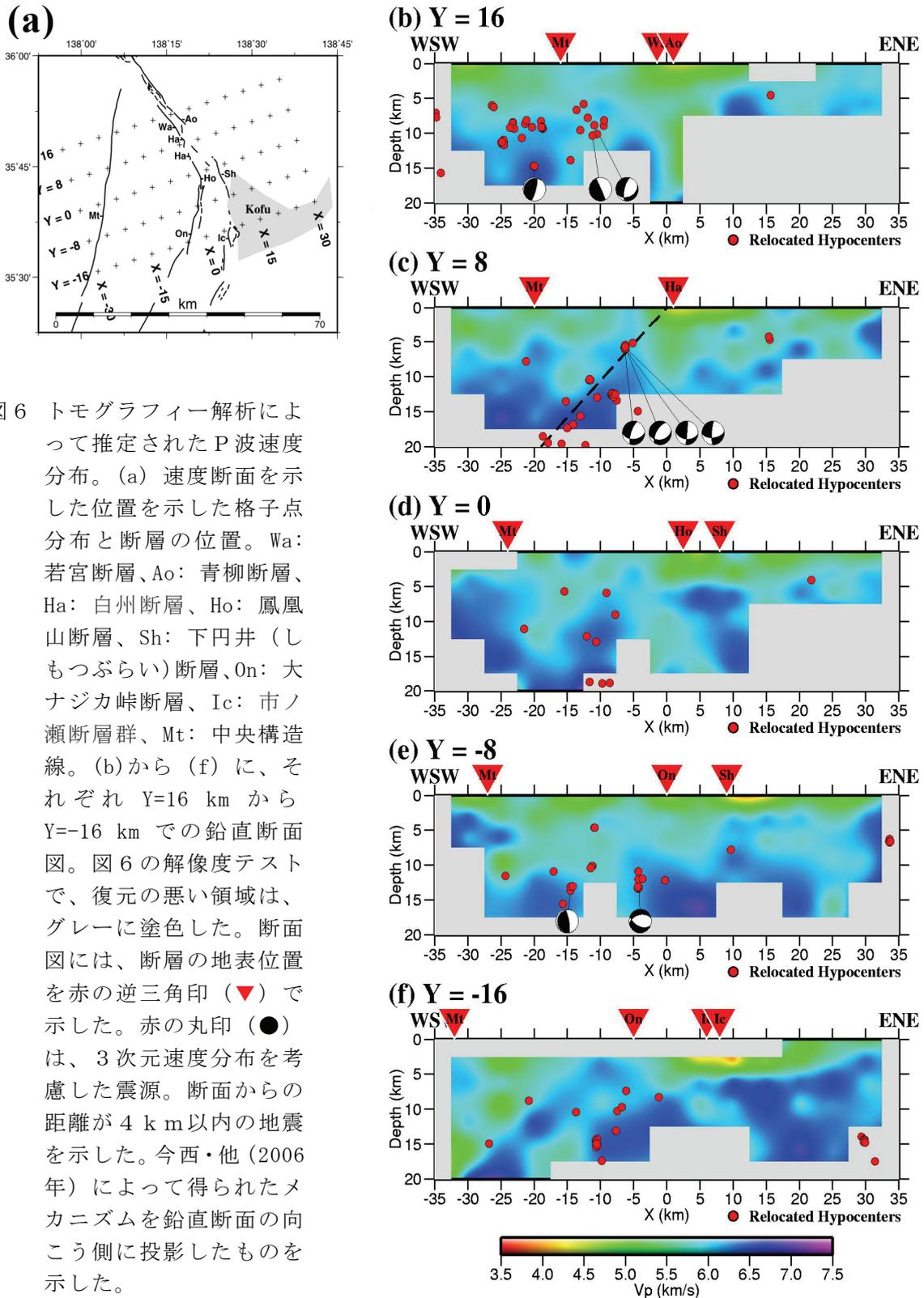


図6 トモグラフィー解析によって推定されたP波速度分布。(a) 速度断面を示した位置を示した格子点分布と断層の位置。Wa: 若宮断層、Ao: 青柳断層、Ha: 白州断層、Ho: 鳳凰山断層、Sh: 下円井(しもつぶらい)断層、On: 大ナジカ峠断層、Ic: 市ノ瀬断層群、Mt: 中央構造線。(b)から(f)に、それぞれ  $Y=16$  km から  $Y=-16$  km での鉛直断面図。図6の解像度テストで、復元の悪い領域は、グレーに塗色した。断面図には、断層の地表位置を赤の逆三角印(▼)で示した。赤の丸印(●)は、3次元速度分布を考慮した震源。断面からの距離が4 km以内の地震を示した。今西・他(2006年)によって得られたメカニズムを鉛直断面の向こう側に投影したものを示した。

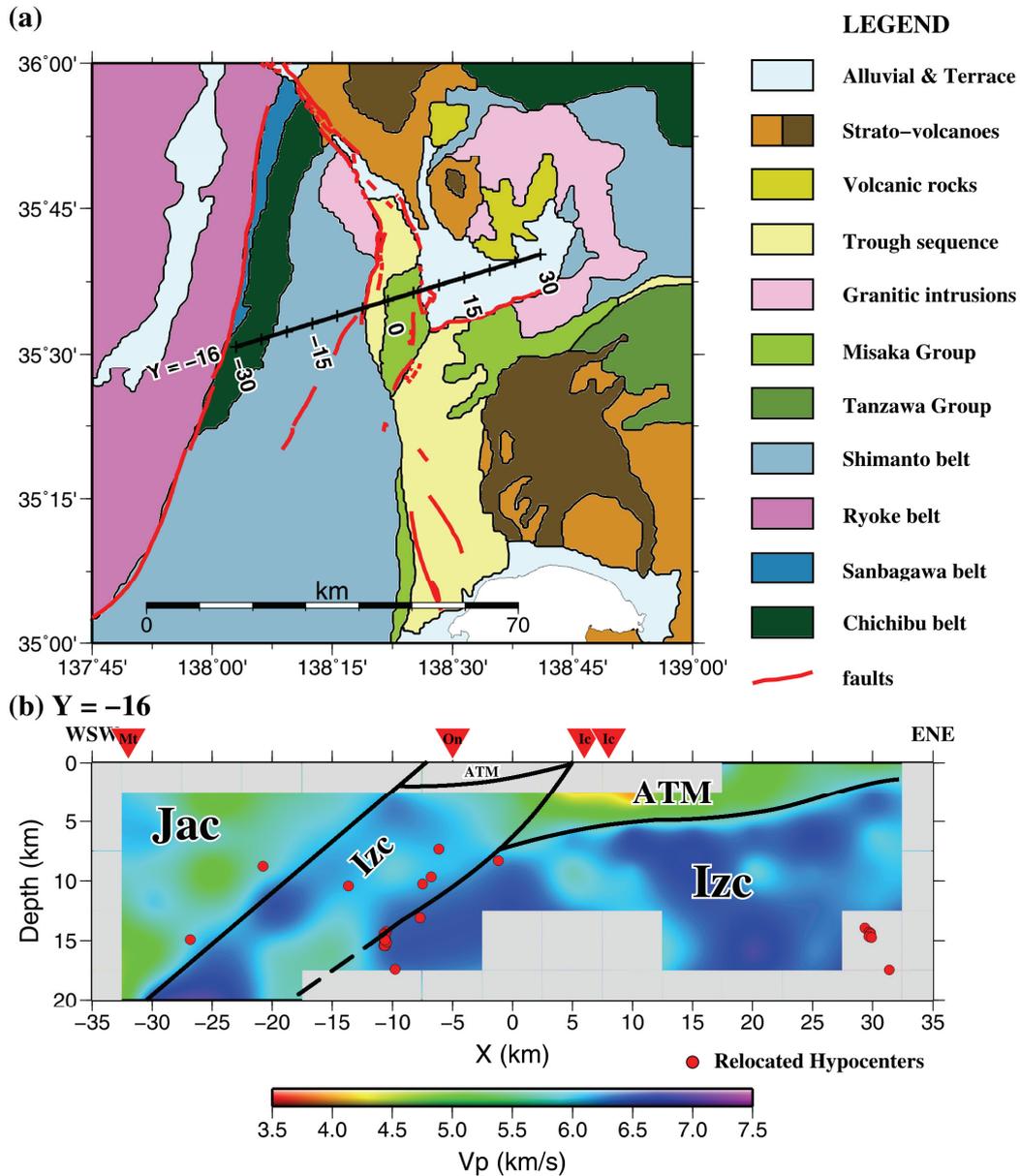


図7 速度分布と地質との関係。赤い丸は本研究によって決められた微小地震。断面からの距離が4 km以内の地震を示した。赤い逆三角印は活断層・地質断層の地表位置を示す。記号の意味は、図6を参照。Jac: 秩父、四万十、三波川帯からなる西南日本弧の付加体。Izc: 伊豆-小笠原弧の中部地殻。ATM: 甲府盆地の第四紀堆積物、中新世のトラフ充填物と伊豆小笠原弧起源の御坂層群からなる。

(d) 結論ならびに今後の課題

平成17年度の稠密アレー観測と、平成15年度に実施された観測データを統合したデータベースを作成して、二重走時差トモグラフィ法で速度分布を推定した。糸魚川-静岡構造線断層帯を含む地質に対応する低速度帯が推定された。深さ5 kmから15 km程度の範囲で、空間規模5 km程度の構造が、西傾斜している可能性が示された。反射法地震探査によって明らかにされた比較的浅い部分の活断層の形状と本調査で得られつつ

ある地殻深部構造との関係を厳密に議論するには、反射法探査の結果、トモグラフィー解析結果、微小地震活動などを総合的に検討する必要がある。

平成 18 年度には、諏訪湖周辺で稠密自然地震観測を行い、周辺の定常観測点のデータと併せて、トモグラフィー解析に必要なデータを収集した。このデータとこれまでに得られたデータをさらに統合して、分解能をあげることは、今後の課題として残された。

(e) 引用文献

- 1) Hirata, N. and M. Matsu'ura, Maximum-likelihood estimation of hypocenter with origin time eliminated using non-linear inversion technique, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 47, 50-61, 1987.
- 2) Kurashimo, E. and N. Hirata, Low  $V_p$  and  $V_p/V_s$  zone beneath the northern Fossa Magna basin derived from a dense array observation, *Earth Planets Space*, 56, 1301-1308, 2004.
- 3) 篠原雅尚・平田直・松本滋夫, GPS 付き地震観測用大容量デジタルレコーダ, 地震 2, 50, 119-124, 1997.
- 4) Takeda, T., H. Sato, T. Iwasaki, N. Matsuta, S. Sakai, T. Iidaka, and A. Kato. Crustal structure in the northern Fossa Magna region, central Japan, from refraction/wide-angle reflection data, *Earth Planets Space*, 56, 1293- 1299, 2004.
- 5) ト部卓・東田進也, win - 微小地震観測網波形観測支援のためのワークステーション・プログラム (強化版), 日本地震学会予稿集, no.2331, 1992.
- 6) Zhang, H., and C. H. Thurber (2003), Double-difference tomography: The method and its application to the Hayward fault, California, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 93, 1875-1889, 2003.
- 7) 今西和俊・長 郁夫・桑原保人・平田 直・Yannis Panayotopoulos (2006)、糸魚川-静岡構造線活断層系中・南部域における微小地震の発震機構解、活断層・古地震研究報告, 第 6 号, 55-70.

(3) 平成 19 年度業務計画案

諏訪盆地周辺部での反射法探査域で、平成 17 年度とほぼ同程度の規模の稠密アレー地震観測を 3 カ月間実施し、断層周辺の微小地震活動を高精度に把握し、その自然地震データを用いて深部構造を解明する。諏訪盆地周辺部における地震活動は低いので、平成 18 年度に取得したデータとあわせて解析する。これまでの観測データを総合的に解析し、断層周辺の微小地震活動を高精度に把握することで、その深部構造を解明する。

糸魚川-静岡構造線断層帯全体の 3 次元速度構造を作るための広域走時データを収集し、平成 17 年度、18 年度に得られた稠密アレーデータを加え、糸魚川-静岡構造線断層帯南部域のトモグラフィー解析に着手する。