

### 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	助教	加藤 愛太郎
国立大学法人東京大学地震研究所	大学院生	パナヨトプロス・ヤニス

(d) 5カ年の年次実施計画 (過去年度は、実施業務の要約)

1) 平成 17 年度 :

糸魚川-静岡構造線 (糸静線) 断層帯南端で稠密アレーによる自然地震観測を行い、糸静線断層帯南端における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した。

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。断層周辺の微小地震活動と三次元速度構造、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 19 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 (糸静線) 断層帯・諏訪盆地の南側に設置し、断層帯中南部における断層周辺の微小地震を観測する。本調査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、糸静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 19 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して糸静線南部の断層周辺の構造を明らかにする研究を開始する。

## (2) 平成 19 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（糸静線）断層帯・諏訪盆地周辺部に 33 箇所に設置し、糸静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、糸静線断層帯周辺の不均質な地殻構造を推定する研究を開始した（深さ約 20 km まで）。推定された三次元地震波速度構造と表層地質とを対比して、地震テクトニクスを議論した。糸静線断層帯北部では、東傾斜の断層とそれに付随する速度構造の特徴が見出され、中南部では、西傾斜の構造が推定された。

### (b) 業務の実施方法

平成 19 年度に実施した糸静線断層帯・諏訪盆地周辺部の反射法測線の南側で、平成 19 年 8 月 20 日から 11 月 23 日まで、33 ヲ所で地震観測点を約 3 ヶ月間展開（稠密臨時観測）し、同地域の微小地震活動を把握した（図 1）。観測作業の日程を表 1 に示す。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; 篠原ほか, 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）など、約 100 点のデータを統合し、win フォーマット（ト部・東田, 1992）の連続波形データベース（平成 19 年度統合データベース）を作成した。さらに、平成 19 年 8 月 1 日から 11 月 30 日までの、気象庁一元化震源リストに掲載されている 605 個の地震について、平成 19 年度統合データベースから編集した地震データベース（イベントデータ）を作った。図 2 に、本調査研究に用いた観測点の配置と震源分布を示す。これらのデータから、気象庁一元化処理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。

これまで実施された観測データを統合して、糸静線断層帯全体の速度構造を明らかにする必要がある。今年度は、このための解析手法を開発した。平成 17 (2005) 年度と 18 (2006) 年度に取得したデータと、平成 15 (2003) 年度に実施されたパイロット的重点観測データを統合したデータセットを作成し、二重走時差トモグラフィー (Double-difference tomography) 法 (Zhang and Thurber, 2003) で地震波速度構造を推定した。図 3 に平成 15 年度から平成 19 年度までに設置された臨時地震観測点の配置を示す。これらのデータを解析するために、まず、対象とする領域（糸静線断層帯全体）全体で、広域的トモグラフィー解析（水平グリッド間隔 17 km）を行い、詳細なトモグラフィー解析用の初期速度構造を求めた。上記の初期速度構造を使用して、糸静線断層帯中部と南部の詳細な地震波速度構造を推定した。トモグラフィー解析に用いた初期震源は、上記の初期速度構造を考慮して決定した。

糸静線断層帯中央部では、断層帯走向方向に対して直交方向に 8.5 km 間隔（水平）、深

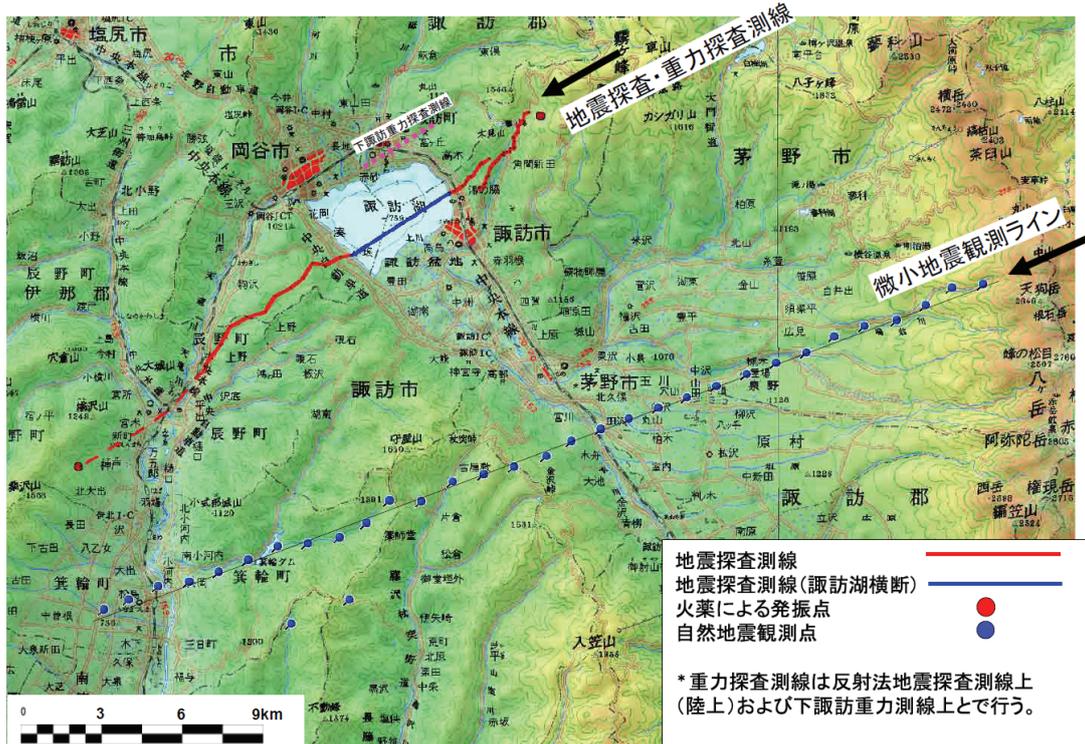


図1 平成19（2007）年度に実施した稠密自然地震観測点（●印33点）分布と、反射法探査測線、重力探査測線。

	8月						9月					10月					11月					
	19	20	21	22	23	24	20	21	22	23	24	20	21	22	23	24	20	21	22	23	24	
機材準備	◎																					
現場移動		◎						◎					◎					◎				
設置作業			◎	◎	◎																	
交換作業								◎	◎	◎			◎	◎	◎							
撤収作業																		◎	◎	◎		
現場離場						◎										◎						◎
機材整理・発送																						◎

表1 平成19年度糸魚川－静岡構造線断層帯における稠密自然地震観測作業日程表。

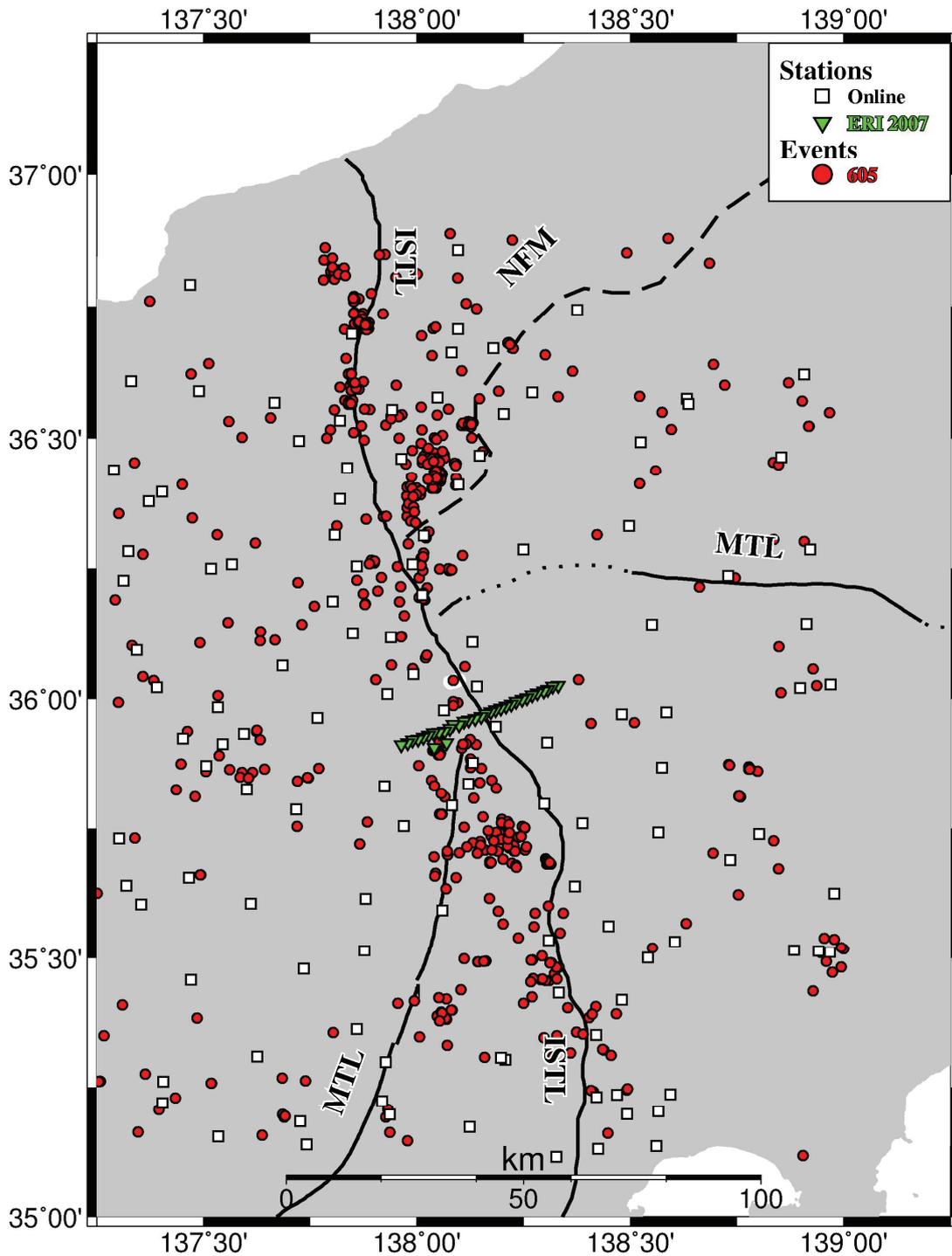


図2 平成 19 (2007) 年度に実施した稠密自然地震観測点 (▼印 33 点) 分布と、糸魚川-静岡構造線断層帯周辺の地震活動 (●印 605 個 8 月 1 日~11 月 30 日) を示す。臨時観測期間は、平成 19 年 9 月 12 日から平成 19 年 11 月 23 日までである。

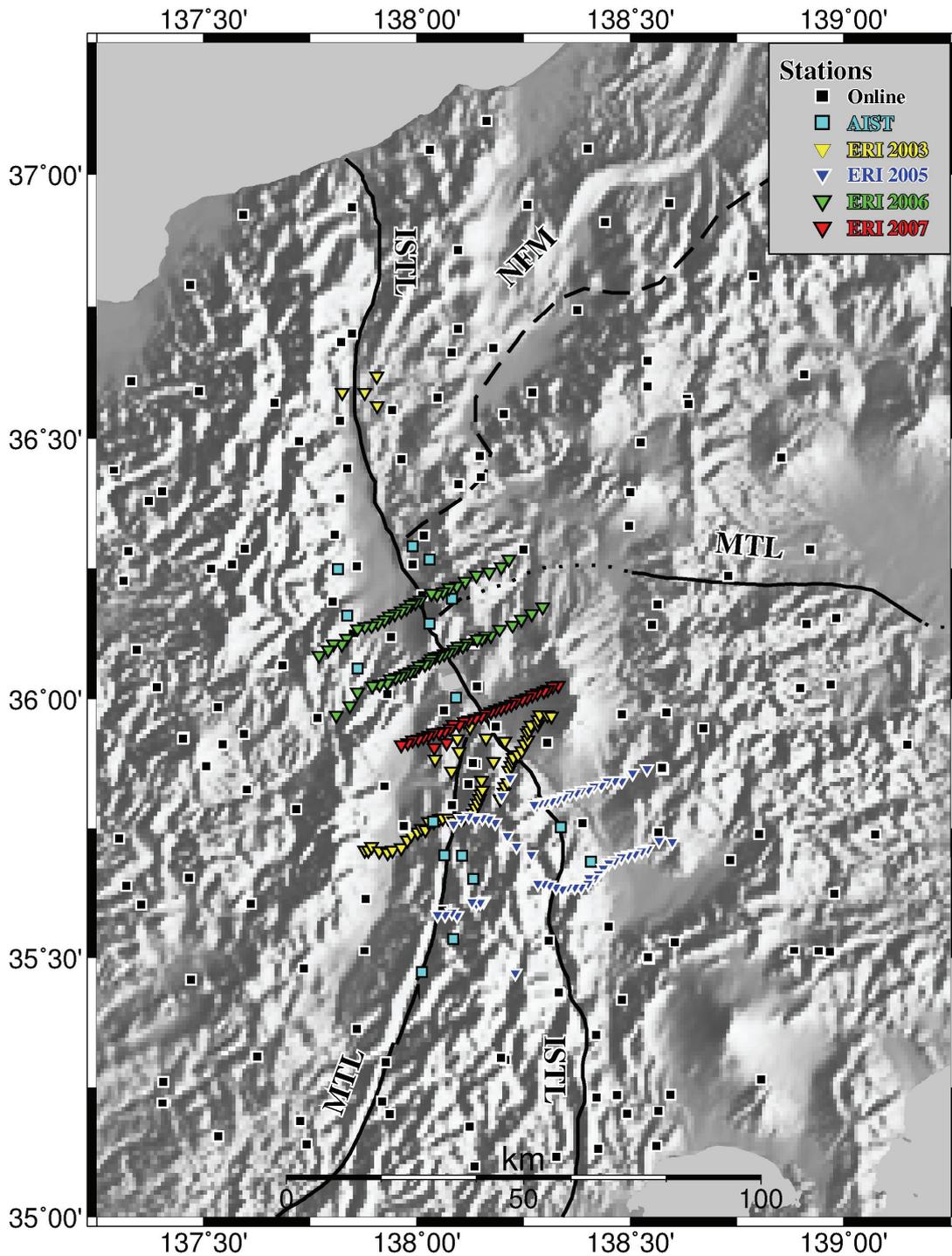


図3 平成15(2003)年度～19(2007)年度の間のDAT観測点配置。a) ■ 定常観測点、b) ■ 産総研の観測点、c) ▼ 2003年DAT設置点、d) ▼ 2005年DAT設置点、e) ▼ 2006年DAT設置点、f) ▼ 2007年DAT設置点

さ方向に 5 km で格子点を配置した (図 4)。解析に使用した地震数は 930 個であり、13 個の制御震源からの走時データも加えた。P 波・S 波の走時データは、44,453 個、47,227 個である。一方、地震数と観測点密度が高い断層帯南部では、水平方向に 5 km 間隔、深さ方向に 3 km で格子点を配置した (図 5)。解析に使用した地震数は 429 個である。P 波・S 波の走時データは、20,723 個、19,797 個である。

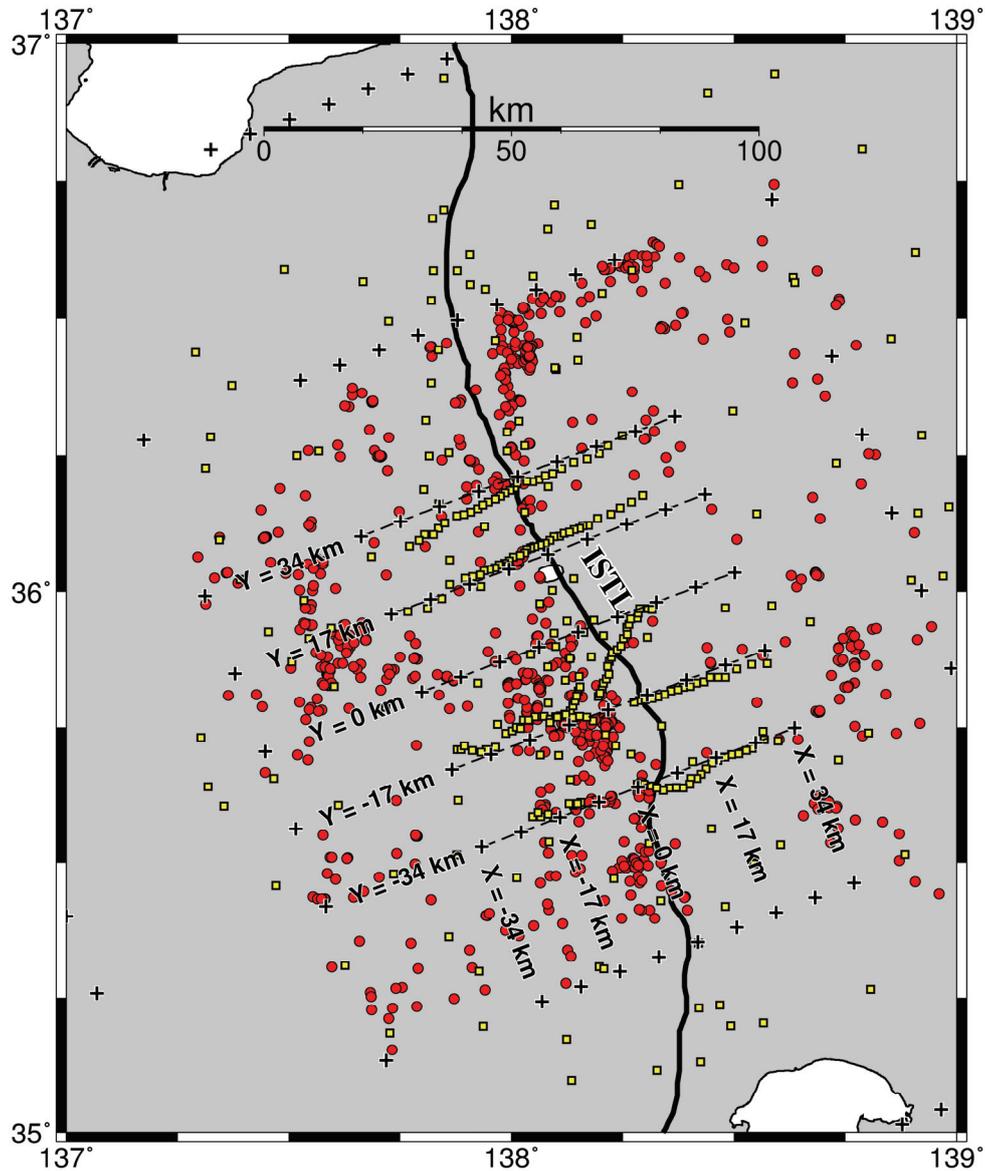


図 4 トモグラフィ解析に用いた観測点の分布 (■) と格子点 (+) の分布を示す。■は、平成 15 (2003) 年度、平成 17 (2005) 年度、平成 18 (2006) 年度の臨時地震観測点と定常観測点である。糸魚川-静岡構造線断層帯の地表トレースを赤実線で表す。

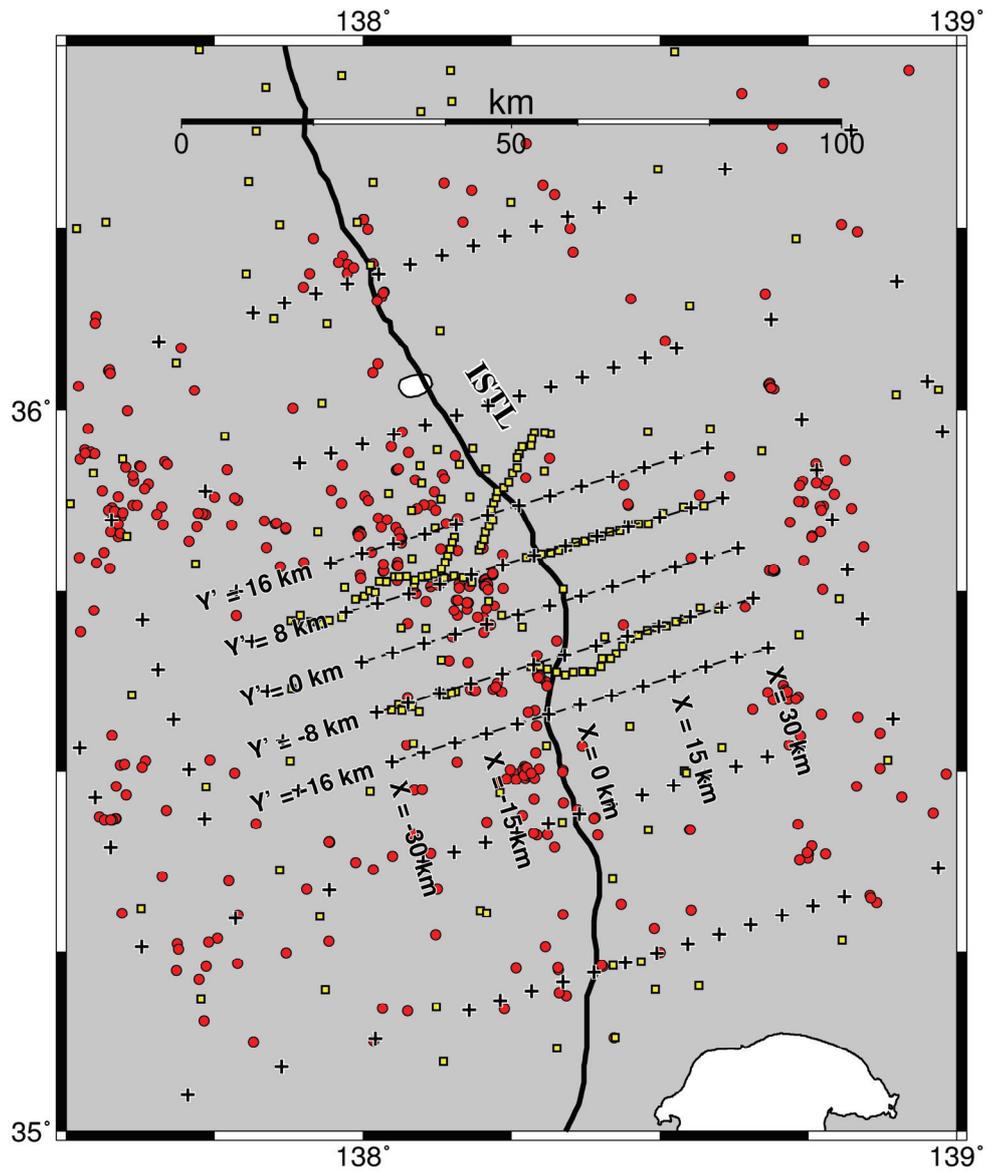


図5 南部糸魚川-静岡構造線断層帯トモグラフィー解析に用いた観測点 (■) と格子点 (+) の分布を示す。■は、平成15(2003)年度、平成17(2005)年度の臨時観測点と定常観測点である。糸魚川-静岡構造線断層帯の地表トレースを赤実線で表す。

(c) 業務の成果

二重走時差トモグラフィ法解析によって再決定された震源分布を図6に示す。再決定震源は、気象庁一元化震源に比べて全体的に約1 km浅くなる。糸静線断層帯の北部では、深さ10 kmよりも深い地震はほとんど起きていないことがわかる。一方、糸静線断層帯南部では、震源の深さが全体的に深くなり、深さ15 kmよりも深い場所でも地震が発生している。震源の深さ分布が急変するのは、中央構造線 (MTL) が糸静線断層帯と交差する諏訪湖周辺である。諏訪湖よりも南側では地温勾配が低下することが報告されており (Tanaka, 2004)、一つの可能性として中央構造線に関連した不均質構造の影響により南部で震源が深くなると考えられる。

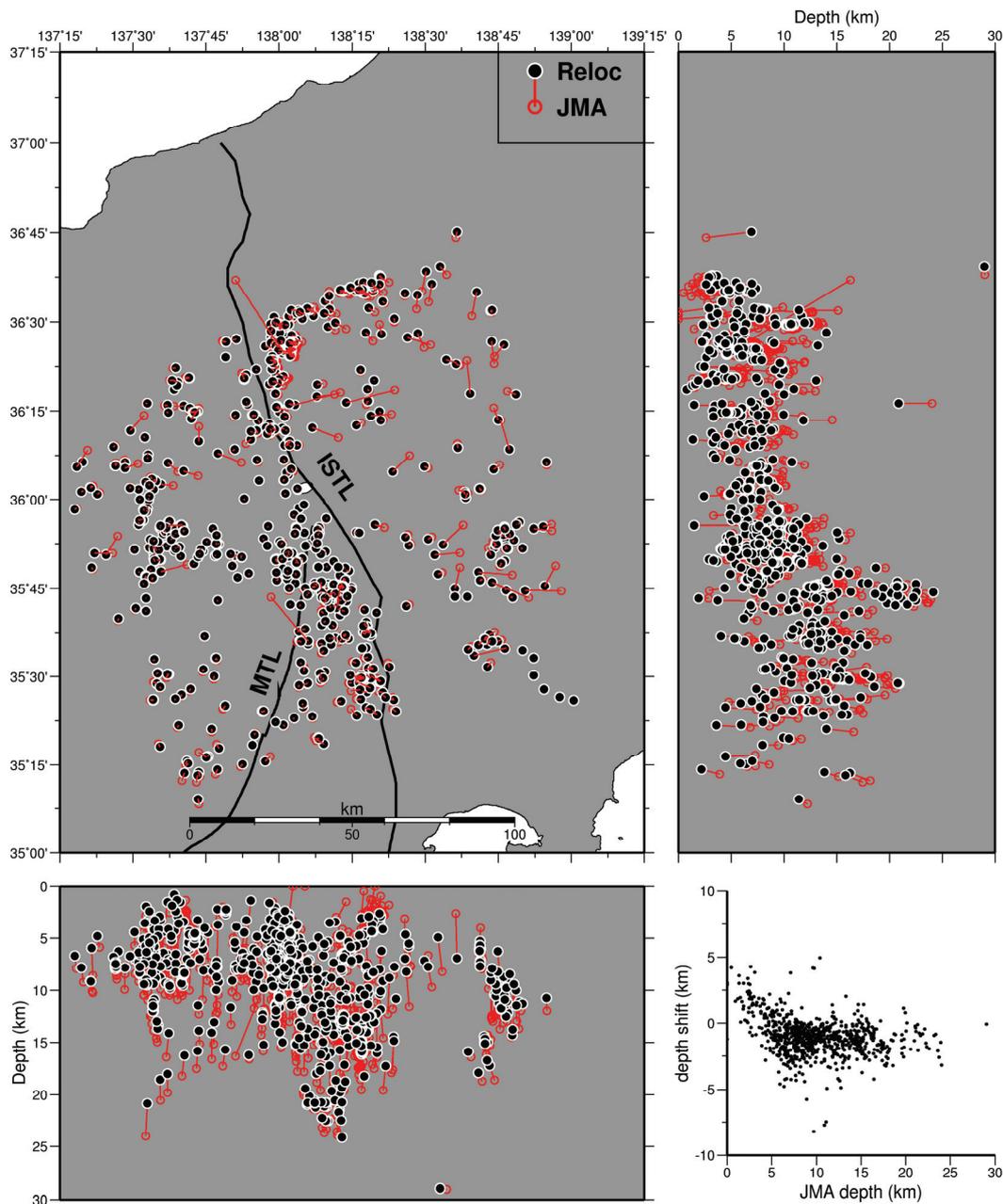


図6 震源分布の比較。●は再決定震源の位置を、○は気象庁一元化処理震源の位置を示す。

トモグラフィー解析によって得られたP波速度構造の代表的な断面図を図6に示す。P波速度構造の分解能テスト結果を考慮して、解像度の低い部分は白色に塗色してある。全体的な特徴として、糸静線近傍の非常に浅い部分には低速度帯が断層帯の地表トレースに沿ってイメージングされており、年代の新しい堆積層の分布を反映していると考えられる。

糸静線断層帯の中部（諏訪湖北部域）では( $Y = 34$  km)、中央隆起帯に相当する高速度体が浅部で東側へ傾斜しているように見える（図7a中の赤色破線）。この場所では、先行研究の制御震源反射法探査により低角で東に傾斜する反射面が浅部で確認されている（Sato et al., 2004）。糸静線断層帯の西側では、中央隆起帯に比べて速度が全体的に低下する。地震活動は糸静線断層帯の地表トレースの直下で活発であるが、顕著な面上分布は示さない。

諏訪湖の南部( $Y = 0$  km)では、糸静線断層帯の東側に、地殻深部から八ヶ岳へ続く低速度帯がイメージングされた。この低速度帯は、マグマの供給経路を示している可能性がある。震源分布は、糸静線断層帯よりも西側の深さ5~15 km内に分散する。

糸静線断層帯の南部域 ( $Y' = 8$  km、 $-16$  km)では、西側にくさび形を呈する低速度体 ( $V_p = 5.4 \sim 5.8$  km/s)が存在する。このくさび型の低速度体は、傾斜角約 $45^\circ$ で西側に向けて深度が深くなる特徴がある。低速度体の下面の浅部延長部は、地表の地質断層の糸静線断層線に一致する（図7d中の赤色破線）。制御震源反射法探査により西傾斜の低角な反射面が、活断層の糸静線断層線の西側に発見されている（図7dの赤実線, Ikeda et al., 2007, in preparation）。よって、活断層の糸静線は深部で低速度体の下面に収斂すると考えられる。さらに、 $Y' = 8$  kmの断面図では、西側に傾斜した低速度体の下面とほぼ平行して、震源が西側に向けて徐々に深くなる特徴が見られた。上記のくさび型の低速度体は西南日本外帯に相当し、それに接する高速度体は伊豆弧であると解釈される。

#### (d) 結論ならびに今後の課題

平成19年度には、諏訪湖の南方で約1月間の稠密自然地震観測を行い、トモグラフィー解析に必要なデータを取得した。平成15年度、平成17、18年度の稠密アレー観測データから構成される統合データベースを作成した。さらに、このデータベースを用いた統合解析手法を開発し、二重走時差トモグラフィー法で三次元地震波速度構造を推定した。深さ5 kmから15 km程度の範囲で、空間規模5 km程度の分解能の速度構造が明らかにされた。糸静線近傍の非常に浅い部分には低速度帯が断層帯の地表トレースに沿ってイメージングされており、堆積層の分布を反映している可能性がある。糸静線断層帯の北部、中部、南部で、地殻内の地震波速度構造が変化していることが明らかになりつつある。北部では、東傾斜の構造が卓越し、南部では西傾斜している可能性が示された。今後、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ために、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、メカニズム解などを総合的に検討する必要がある。

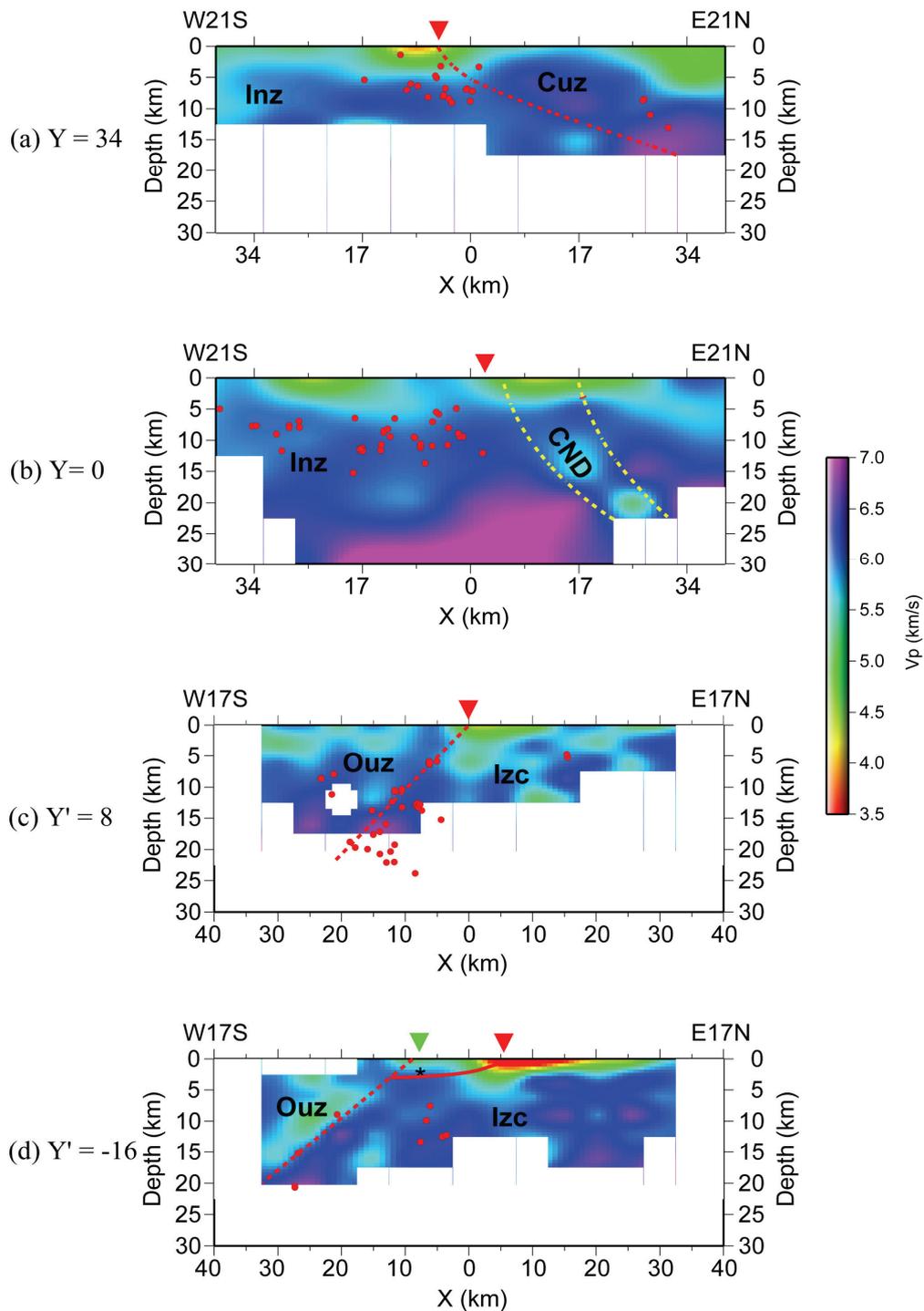


図7 糸魚川-静岡構造線断層帯トモグラフィー解析断面。 a) または b) 中部のトモグラフィー解析結果 (図4)、c) または d) 南部のトモグラフィー解析結果 (図5) を震源分布 (●) とともに示す。図中の赤色破線は、糸魚川-静岡構造線断層帯の深部形状を表す。▼: 活断層の糸魚川-静岡構造線、▼: 地質断層の糸魚川-静岡構造線、Inz: 西南日本内帯、Cuz: 中央隆起帯、CND: 八ヶ岳下の低速度帯、Ouz: 西南日本外帯、Izc: 伊豆弧、赤の実線: Ikeda et al (in preparation, 2007) による反射面、を示す。

平成 20 年度には、糸静線南部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する。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、糸静線断層帯全体の地震波速度構造を明らかにし、地震の震源分布と合わせて、この地域の地震活動と速度構造から、糸静線断層帯周辺の震源断層の評価を高度化することは、平成 19 年度の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) Sato, H., Iwasaki, T., Kawasaki, S., Ikeda, Y., Matsuta, N., Takeda, T., Hirata, N., T. Kawanaka, Formation and shortening deformation of a back-arc rift basin revealed by deep seismic profiling, central Japan. *Tectonophysics*, 388, 47-58, 2004.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) Tanaka, A., Geothermal gradient and heat flow data in and around Japan (II): Crustal thermal structure and its relationship to seismogenic layer, *Earth Planets Space*, 56, 1195-1199, 2004.
- 7) ト部卓・東田進也, win - 微小地震観測網波形験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.
- 8) Zhang, H., and C. H. Thurber, Double-difference tomography: The method and its application to the Hayward fault, California, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 93, 1875-1889, 2003.
- 9) 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 20 年度業務計画案

南部糸魚川-静岡構造線断層帯で実施される反射法探査域で、平成 19 年度とほぼ同程度の規模の稠密アレー地震観測を 3 ヶ月間実施し、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。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三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、19 年度に得られた稠密アレイデータを加え、糸魚川－静岡構造線断層帯全域のトモグラフィー解析を進める。