

3. 3. 2 活断層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 自然地震観測 (稠密アレーによる自然地震観測)

(b) 担当者

所 属	役 職	氏 名
東京大学地震研究所	教授	平田直
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	特任研究員	パナヨトプロス・ヤニス

(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（以下、「本断層帯」）南端で稠密アレーによる自然地震観測を行い、本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する。

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する。

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する。

4) 平成 20 年度：

本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：

本断層帯南部で赤石山脈を横断した測線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 20 年度業務目的

現地収録式の自然地震観測装置を、本断層帯の北部に設置し、断層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、本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活動との関係を明らかにする。

(2) 平成 20 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 44 台を、本断層帯北部の豊科市と大町市の間に設置した。観測点は、本断層帯の走行にほぼ直交する方向に列状に配置し、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に対して、トモグラフィ法を適用することで、本断層帯の深部構造を推定する研究をおこなった。推定された震源分布と速度構造の断層帯に沿う変化から、本断層帯の北部と中部を分ける構造境界が存在するというモデルが提案された。

(b) 業務の実施方法

豊科市と大町市の間の 44 箇所で、平成 20 年 8 月 25 日から 11 月 30 日までの約 3 ヶ月間地震計を展開（稠密臨時観測）し、同地域の微小地震活動を把握した（図 1）。観測点は、糸静線断層帯の走行にほぼ直交する方向に列状に 2 箇所配置した。観測作業の日程を表 1 に示す。大町測線は観測点間隔 1.5 km で計 21 点の観測点から成り、豊科測線は観測点間隔 1.5 km で計 23 点の観測点から成る。稠密臨時観測点では、3 成分一体型の 1 Hz 地震計から出力される信号が 200Hz で A/D 変換され、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）に連続的に記録された。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（16 点）と周辺の定常観測点（気象庁、Hi-net, 大学等、133 点）による計 149 点の波形データを、臨時観測点の波形データと統合し、win フォーマット（卜部・東田、1992）の連続波形データベース（平成 20 年度統合データベース）を作成した。さらに、平成 20 年 8 月 25 日から 11 月 30 日までの、気象庁一元化処理震源リストに報告書されている 577 個の地震について、平成 20 年度統合データベースから編集した地震波形データベース（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。577 個の地震波形データベースから、P 波、S 波の初動到着時刻を目視によって読み取った。

本断層帯の北中部の詳細な地震波速度分布を推定するために、平成 18 年度、19 年度と 20 年度の初動到着データを統合し、二重走時差トモグラフィ（Double-difference tomography）法（以下、「DD 法」）（Zhang and Thurber, 2003）を適用した。断層帯の走行に対して平行方向に 11 km 間隔、走向に対して直交方向に 5 km 間隔、深さ方向に 5 km 間隔でトモグラフィ解析用の格子点を配置した。図 3 に平成 18 年度から平成 20 年度までに設置された臨時地震観測点の分布と格子点の配置を示す。解析に使用した地震数は計 951 個であり、P 波と S 波の絶対走時データ数は 42691 個、51050 個である。

(c) 業務の成果

DD 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 4 に示す。糸静線北部に対応する 3 つの断面（ $0 \leq Y \leq 22$ km）では、深さ 15 km 程度まで、与えた速度分布のパターンが良く回復していることが分かる。ただし観測点密度が低い飛騨山脈下の部分（ $-30 \leq X \leq -10$ km）では、回復率が悪いところもある。糸魚川－静岡構造線中部に対応する 4 つの断面（ $-44 \leq Y \leq -11$ km）では、北部と同様に深さ 15 km 程度まで速度分

布のパターンの回復率が広範囲において高い。最後に、糸魚川－静岡構造線の南部の一部に当たる $Y=-66$ と $Y=-55$ km の断面では、地震が糸魚川－静岡構造線の北中部に比べて深い場所で発生するため、深さ 20 km 程度まで解像度が良い。以下の解釈では、この分解能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 5 に示す。糸魚川－静岡構造線北部 ($0 \leq Y \leq 22$ km) では、P 波速度 3.5 ～ 5 km/s の低速度域が本断層帯の東側に存在する。この低速度域は、北部フォッサマグナに対応し ($5 \leq X \leq 30$ km、図 4a—c)、先行研究の結果(蔵下・平田 (2004)、武田他 (2004))とも調和的である。周辺の微小地震は、本断層帯から北部フォッサマグナの底に沿って東傾斜の分布を示しながら、発生しているように見える。さらに、断面 $Y=11$ と 22 km では、(X 、深さ)=(7 km、15 km)の場所に、本断層帯の活動と関連性の低いと考えられる微小地震のクラスター活動が確認された。

糸魚川－静岡構造線中部 ($-44 \leq Y \leq -11$ km) では、P 波速度 3.5～5 km/s の低速度域が本断層帯の西側に存在し、松本盆地に対応する ($-5 \leq X \leq 5$ km、図 6)。微小地震は糸魚川－静岡構造線の直下に概ね分布するが、 $Y=-11$ km の断面において地震活動は 2 つのクラスターに分かれて分布する。1 つ目は糸魚川－静岡構造線から東側に深さ 10 km まで低角に傾斜した分布、2 つ目は糸魚川－静岡構造線から高角に深さ 15 km まで続く分布である。ただし、1 つ目のクラスターは、 $Y=-8$ km (断面から約 3 km 北側) より北側の領域に存在し、2 つ目のクラスターは、その領域よりも南側に位置する。したがって、 $Y=-8$ km 付近が本断層帯の北部と中部を分ける構造境界である可能性が考えられる。震源分布の変化に対応して、速度構造にも同様な変化が見られる。

P 波速度分布・震源分布・表層地質から、北部から南部にかけての糸魚川－静岡構造線に沿った構造変化に関する解釈図を図 8 に示す。糸魚川－静岡構造線の北部の深部延長は、北部フォッサマグナの底に沿って東傾斜の低角断層として存在すると考えられる。実際、糸魚川－静岡構造線の北部の深部延長は、反射法探査によって低角の東傾斜であることが報告されている(佐藤他、2004)。一方、糸魚川－静岡構造線の中部の深部延長は、松本盆地の東縁に沿った東傾斜の高角断層として捉えられた。上記の本断層帯の構造変化は、豊科市内 ($Y=-8$ km 付近) で急激に起こると推定される。本調査測線におけるトモグラフィー解析の空間分解能は約 5 km なので、断層破碎帯を直接イメージ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 に平滑化した速度分布を描き出しているといえる。本断層帯近傍の微小地震活動は、この空間分解能の速度分布では概ね高速度域内で発生している。

(d) 結論ならびに今後の課題

平成 20 年度には、豊科市と大町市の付近に約 3 月間の稠密自然地震観測を実施し、トモグラフィー解析に必要なデータを取得した。その後、平成 18 年度、19 年度、20 年度に取得された稠密アレー観測データを統合したデータベースを作成した。このデータベースに対して DD 法を適用し、地殻深部にいたる速度構造を推定した。表層から深さ 10 km 程度の範囲内で、空間分解能 5 km のイメージが得られた。本断層帯の北部と中部の境界で構造が変化していることが明らかになりつつある。糸魚川－静岡構造線の北部の深部延長は、

北部フォッサマグナの底に沿って東傾斜の低角断層として存在すると考えられる。一方、糸魚川－静岡構造線の中部の深部延長は、松本盆地の東縁に沿った東傾斜の高角断層として捉えられた。上記の本断層帯の構造変化は、豊科市内で急激に生じていることが予想される。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、微小地震活動などを総合的に検討する必要がある。

平成 21 年度には、糸魚川－静岡構造線の南部で稠密自然地震観測を実施し、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取得されたデータを統合し、本断層帯に沿った広域にわたる地震波速度構造を明らかにする。この地域の地震活動と速度構造から、本断層帯周辺の震源断層の活動評価を高度化することは、今後の課題として残された。

(e) 引用文献

- 1) Hirata, N. and Matsu'ura, M.: 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 Hirata, N.: 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) Sato, H., Iwasaki, T., Kawasaki, S., Ikeda, Y., Matsuta, N., Takeda, T., Hirata, N. and Kawanaka, T.: Formation and shortening deformation of a back-arc rift basin revealed by deep seismic profiling, central Japan. *Tectonophysics*, 388, 47-58, 2004.
- 5) Takeda, T., Sato, H., Iwasaki, T., Matsuta, N., Sakai, S., Iidaka, T. and Kato, A.: Crustal structure in the northern Fossa Magna region, central Japan, from refraction/wide-angle reflection data, *Earth Planets Space*, 56, 1293- 1299, 2004.
- 6) ト部卓・束田進也：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.
- 7) Zhang, H., and Thurber, C. H.: Double-difference tomography: The method and its application to the Hayward fault, California, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 93, 1875-1889, 2003.

(3) 平成 21 年度業務計画案

平成 20 年度とほぼ同程度の規模の稠密自然地震観測を、南部糸魚川－静岡断層帯で 3 ヶ月実施し、伊豆小笠原列島と日本列島の境界と考えられる南部糸静線の深部構造を解明する。さらに、糸魚川－静岡構造線断層帯全体の三次元速度構造を推定するための広域走時データの収集を継続し、平成 17 年度、18 年度、19 年度、20 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。



図1 平成20年度に実施した稠密自然地震観測点（青色●印44点）の配置図。大町測線内の地震計設置間隔は1.5 kmで計21点から構成され、豊科測線内の地震計設置間隔も1.5 kmで計23点から構成される。

	8月						9月					10月					11月				
	23	24	25	26	27	28	24	25	26	27	28	26	27	28	29	30	26	27	28	29	30
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20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。

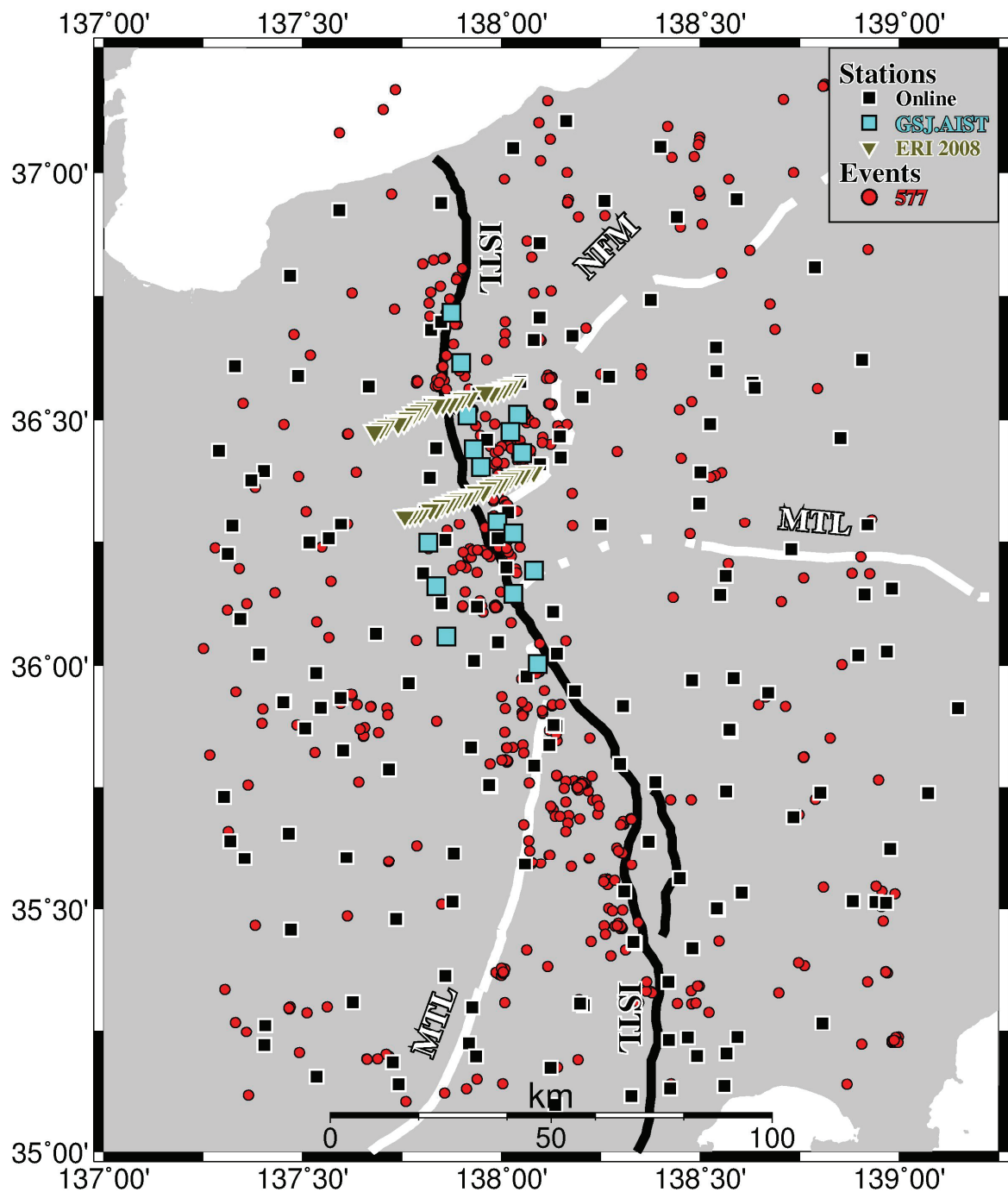


図2 平成20年度に実施した稠密自然地震観測点分布と震源分布。地震研究所が設置した観測点：▼印44点（ERI）、産業技術総合研究所が設置した観測点：■印16点（AIST）、定常観測点：■印149点。●印は解析に使用した577個の震源を示す（平成20年8月25日から11月30日まで）。

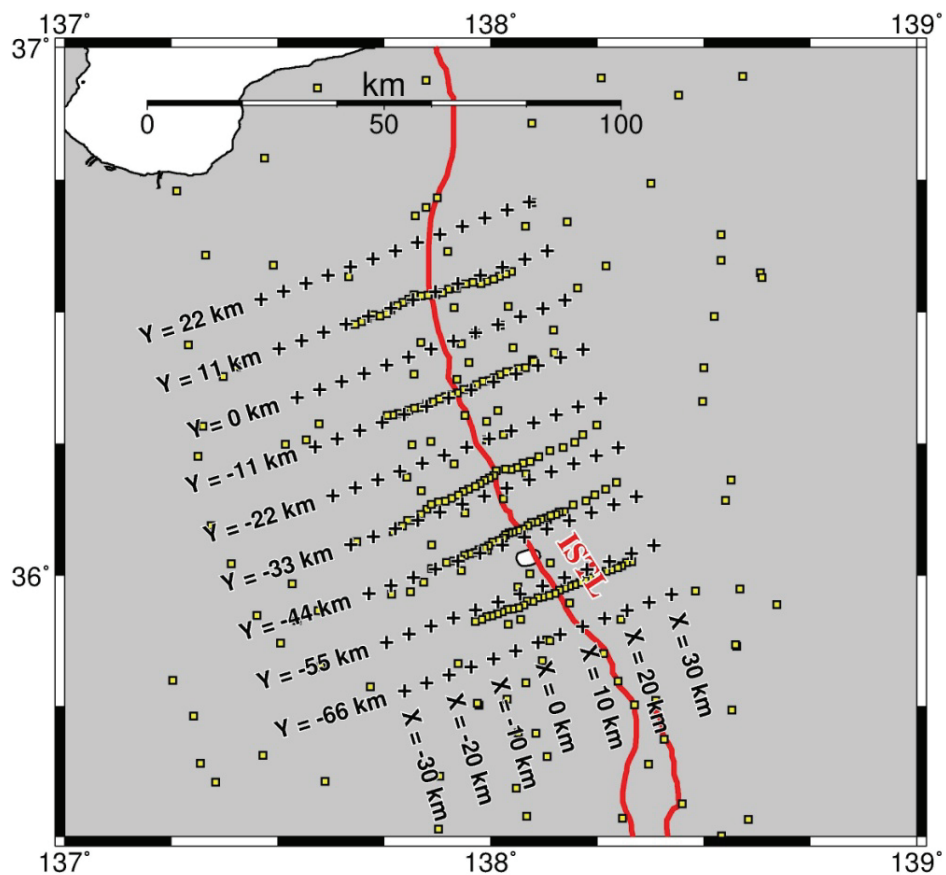


図3 トモグラフィー解析に用いた観測点分布（■）、格子点分布（+）と震源分布（●）を示す。Y = 11 kmとY = -11 kmの断面は、平成20年度の臨時観測点分布と一致する。Y = -55 kmの断面は平成19年度の臨時観測点分布と、Y = -33 kmとY = -44 kmの断面図は平成18年度の臨時観測点分布と一致する。

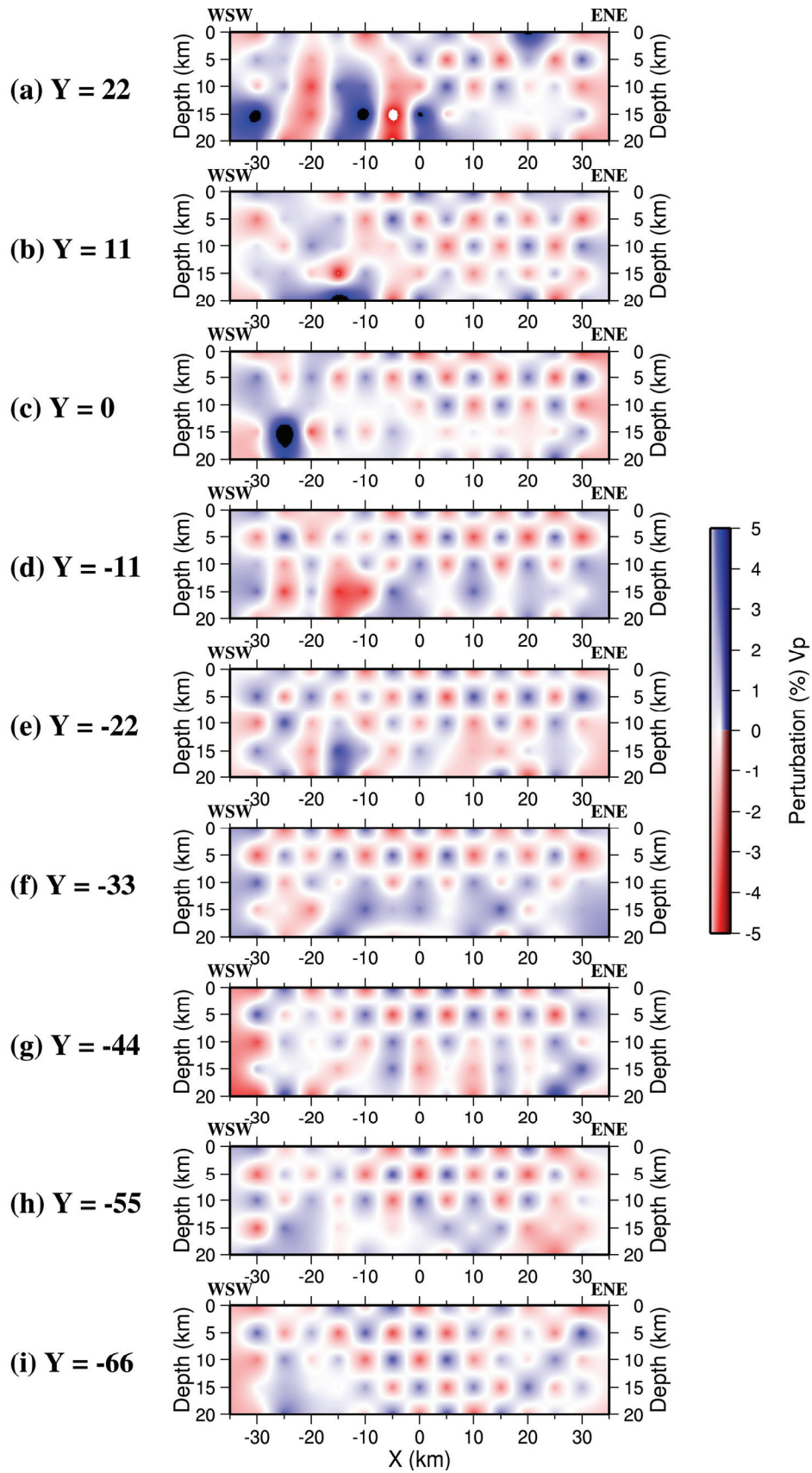


図4 チェッカーボード解像度テストの結果。理論走時データを作る際に、初期速度構造に対して±5%の速度偏差を与えた。

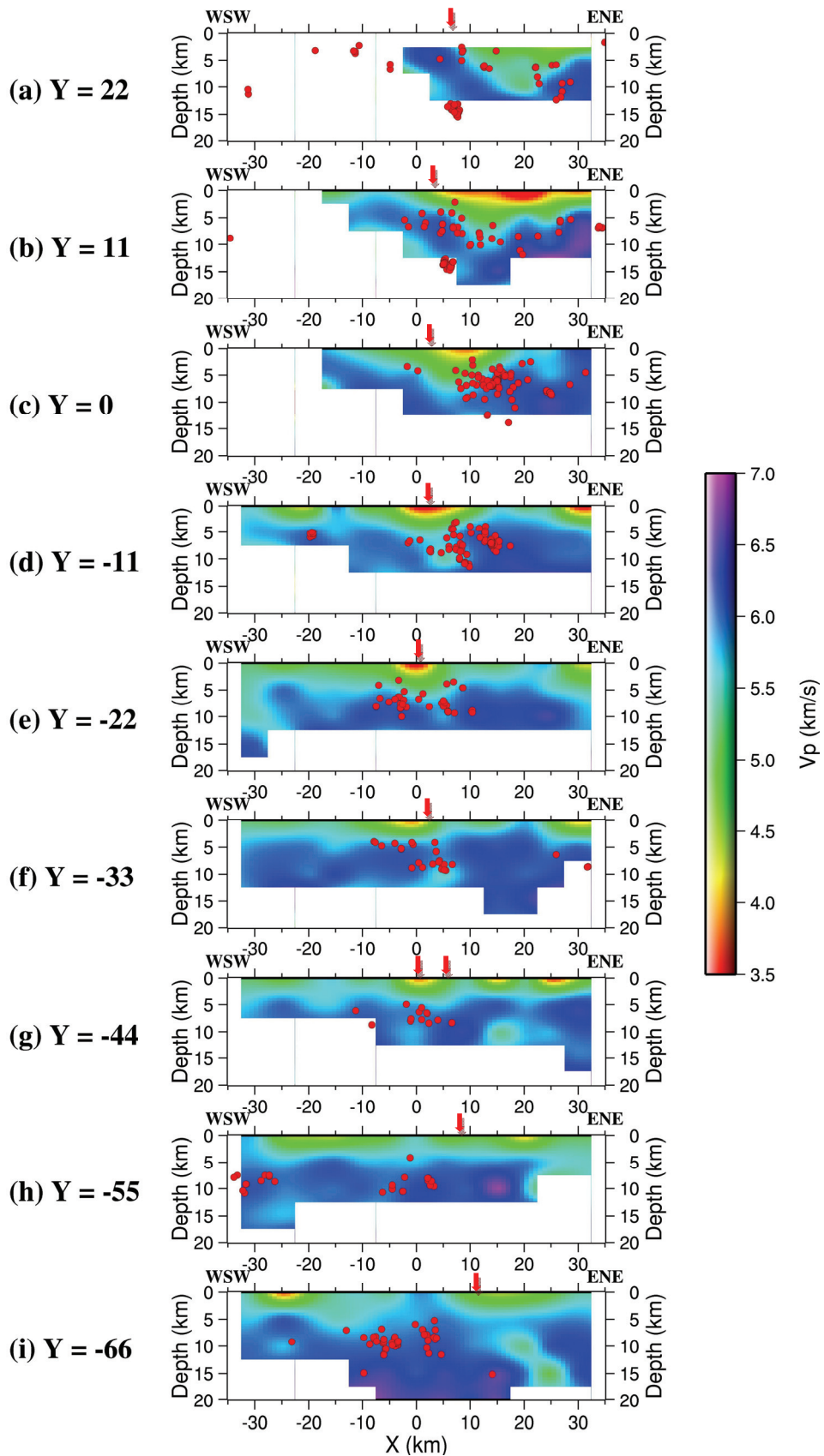


図5 トモグラフィー解析によって推定されたP波速度構造。図4の解像度テストで、回復率の悪い領域は、白色に塗色した。各断面図には、断層の地表位置を赤の矢印(↓)で示した。赤の丸印(●)は3次元速度分布を考慮した震源で、各断面からの距離が ± 5.5 km以内の地震を速度構造に重ねて表示した。

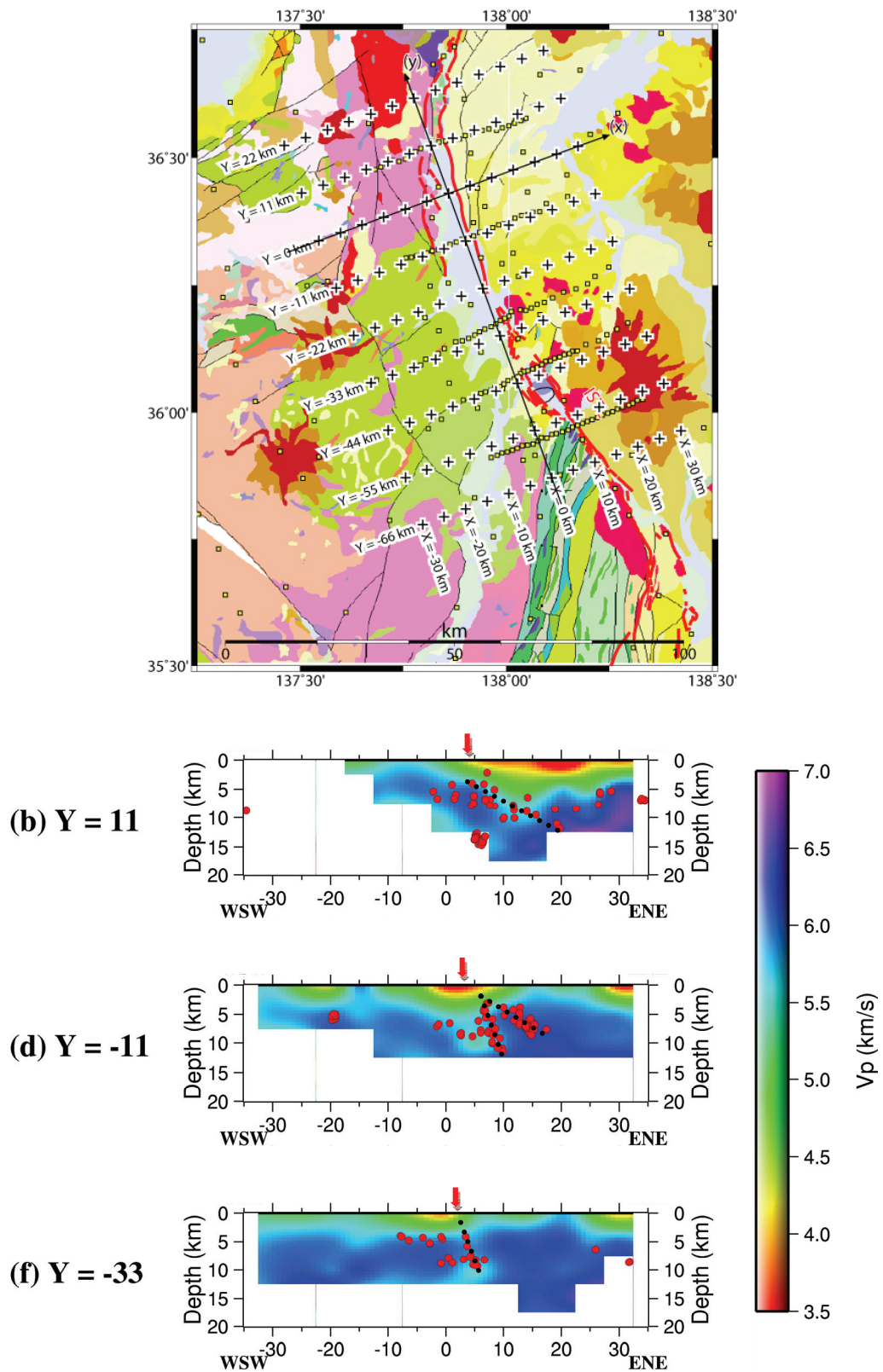


図6 P波速度構造と表層地質との関係。赤い丸は本研究によって決められた微小地震の分布を示す。各断面からの距離が ± 5.5 km以内の地震を表示した。赤い矢印は活断層の地表位置を示す。