## 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ヵ年の年次実施計画
- 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地震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:

断層帯北部での反射法地震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、総合的な解析を行い、断層周辺の微小地震活動と3次元速度構造、反射法地震探 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 17 年度業務目的

現地収録式の自然地震観測装置を、糸魚川-静岡構造線断層帯南部に設置し、断層帯南端 における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。

## (2) 平成 17 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-静岡構造線断層帯南部に 60 箇所設置し、断 層帯南端における断層周辺の微小地震を観測した。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 10 km 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、本観測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

平成 17 年度に実施する糸魚川ー静岡構造線断層帯南部域の反射法地震探査測線上とその周辺域で、平成 17 年9月16日から12月22日まで、地震観測点を約2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)。稠密臨時観測点60点では3 成分、1 Hz の地震計からの信号を200Hz でサンプリングし、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8点、周辺の定常観測点(気象庁、Hi-net、大学)100点のデータをwinフォーマット(卜部・束田、1992)で統合した波形データベースを作った。図1に、本調査研究に用いた観測点と震源を示した。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。このとき、周辺定常観測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。この結果、1 地震あたりの P 波の到着時刻データ数は平均38 観測点、S 波については平均40 観測点となった。読み取り観測点数の分布を図2 に示す。

読み取られた到着時刻から二重走時差トモグラフィー法 (Double-difference tomography; Zhang and Thurber、2003)を用いて、速度分布を推定した。東北東-西南西 方向の4本の測線 (y = 32 km、8 km、-8 km、-32 km)上の中央部 60 km に5 km 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、トモグラフィーの初期震源とした。







図2 地震毎の読み取り観測点数分布 P相、S相とも10から35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38.2、S相が40.7観測点/地震であった。



図3 地質図とトモグラフィー格子配置 東北東-西南西方向に4本の測線(y=32 km、8 km、-8 km、 -32 km)上の中央部60kmに5 km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。

(c) 業務の成果

二重走時差トモグラフィー法によって得られた P 波速度分布結果と、分解能テスト結果 を図4に示す。Y = 8 km (Line 8 km)に沿って推定された P 波速度分布の断面図 (図 4a) とY = -8 km (Line - 8 km)の速度断面を示した (図 4b)。これらの推定値の空間的分解能 を次の方法 (分解能テスト)で調べた。隣り合う格子点に交互に+/-10%の速度偏差を与え た速度モデルから合成走時を作り、二重走時差トモグラフィー法で Line 8 km に沿って推 定した結果 (図 4 c)と Line -8 km に沿って推定した結果 (図 4 d) を示した。分解能テス トの結果から、Line 8 と Line -8 の測線の西端から測線長の 1/3 あたりでは深さ 20 km ま での速度分布を、水平方向 5 km、深さ方向 3 ないし 4 km で分解できることが分かった。 糸魚川ー静岡構造線 (ISTL) が地表で観察される場所を含む X = 0 から 5 km では、深さ 10 km 程度まで速度が推定できることが分かった。

Line 8 の速度断面と地質構造の関係を図5に示す。調査領域には、活断層としての断層 (活断層 ISTL)と地質境界としての構造境界(地質 ISTL)が矢印で示した位置に露出して いる。P 波速度 4.5~5.5 km/s 程度の低速度帯が地質 ISTL の東側に水平方向の広がりが 15 km、深さ0から5 km に存在する。この低速度帯は、地質的には火砕性堆積物(Pyroclastics) の分布と対応している。X=-20 km には中央構造線(MTL)の地表部が存在し、相対的に低 速度帯としてイメージングされている。MTL が西傾斜の断層であるとすると、深さ5 km 程 度まで、低速度領域が西傾斜で存在しているようにも見える。



- 図 4 二重走時差トモグラフィー法の結果と、分解能テスト結果

   (a) Line 8 km (Y=8 km) に沿って推定された P 波速度分布の断面図。速 度の大きさはカラーで示した。
  - (b)Line -8 km (Y=-8 km) に沿った P 波速度分布。

(c)+/-5%の速度偏差を与えた速度モデルから合成走時を作り、二重走時 差トモグラフィー法でLine 8 kmに沿って推定した結果。(d)+/-10%の 速度偏差を与えた速度モデルから合成走時を作り、二重走時差トモグラ フィー法でLine -8 kmに沿って推定した結果。

地質 ISTL と MTL の間は、珪長質深成岩 (Felsic Plutonic rocks) が存在し、この部分は高 速度帯になっている。深さ5 km から 15 km 程度まで高速度帯が分布している。

図6にLine -8の速度断面を示す。この測線は、Line 8より 16 km 南に位置し、反射法 地震探査探査測線と測線の中央部で重なっている。火砕性堆積物の分布領域がLine 8 に比 べ広くなっていることに対応して、浅部の低速度帯がLine 8 より広くなっている。地質 ISTLの西側で相対的に高速度になる点は、Line 8 と同様である。測線の西部では、四万十 帯に対応する位置に低速度領域が少なくとも深さ 10 km 程度まで西傾斜で分布しているこ とが推定された。

本調査測線でのトモグラフィーの分解能は 5 km 程度なので、断層破砕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、この空間規模の速度分布では、高速度領域に存在している。活断層 ISTL の深部延長は、反射法地震探査によって西傾斜であることが報告されているので、深さ 10 数 km の微小地震活動は、ISTL の深部活動と関係がある可能性もある。ただし、この深さでの活断層 ISTL の位置を厳密に評価して微小地震活動との関係を議論する必要がある。



図5 Line 8 に沿った P 波速度分布と糸魚川-静岡構造線断層帯との関係 ISTL:糸魚川-静岡構造線断層帯。 MTL:中央構造線。



図 6 Line -8 に沿った P 波速度分布と糸魚川 - 静岡構造線断層帯との関係 ISTL: 糸魚川-静岡構造線断層帯。 MTL: 中央構造線。

(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によって、高精度微小地震分布とトモグラフィー解析に用

いることのできるデータが得られた。周辺の定常観測点の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ー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5kmから15km程度の範囲で、空 間分解能5km程度の構造が、西傾斜している可能性が示された。

本調査地域で実施されている反射地震探査で取得された走時データを、本研究で行った 解析に加えて浅部の分解能をあげる必要があり、これは、今後の課題として残された。さ らに、反射法地震探査、重力探査、電気比抵抗探査の結果と統合して、地表から深さ 15 km 程度までの統合地殻構造モデルを作る必要がある。

- (e) 引用文献
- Hirata, N. and M. Matsuura, Maximum-likelihood estimation of hypocenter with origin timeeliminated using non-linear inversion technique, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 47, 50-61, 1987.
- Kurashimo, E. and N. Hirata, Low Vp and Vp/Vs zone beneath the northern Fossa Magnabasin 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・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.
- 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.

## (3) 平成18年度業務計画案

諏訪盆地周辺部での反射法地震探査域で、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。諏訪盆地周辺部における地震活動度は低いので、平成 19 年度の成果とあわせて解析するための準備をする。

平成17年度に実施したトモグラフィー解析に、反射法地震探査時に取得された走時データを 加えて、浅部構造の分解能をあげる。

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-静岡構造線断層帯南部域のトモグ
ラフィー解析に着手する。