

3. 5 震源断層モデルの構築と推定手法の検討

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 震源断層モデルの構築と推定手法の検討

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立大学法人東京大学地震研究所	准教授	石山 達也
国立大学法人東京大学地震研究所	教授	佐藤 比呂志
国立大学法人東京大学地震研究所	特任研究員	加藤 直子
国立大学法人岩手大学	教授	越谷 信
国立研究開発法人 防災科学技術研究所	主任研究員	松原 誠
地震津波防災研究部門	特別研究員	ヤノ トモコ エリザベス
国立大学法人横浜国立大学大学院環境情報研究院	教授	石川 正弘

(c) 業務の目的

サブテーマ 1 及び 2 で得られる結果を総合させて、地表から深部までの断層モデル・震源断層像を提示するとともに、残された課題と課題解決の手法を提案する。さらに、サブテーマ 3 及び 4 の検討結果を踏まえて、日本列島の活断層－震源断層システムの推定とその課題および解決の手法について提案し、長期評価の手法改良に資する。

(d) 3 カ年の年次実施業務の要約

1) 平成 29 年度：

日本列島の活断層－震源断層システムの構造的な特徴の抽出に必要な重力・空中磁気などのデータの収集・整理を行った。

2) 平成 30 年度：

変動地形・構造地質学的データとサブテーマ 3 及び 4 で得られた地殻・最上部マントルの構造的な特徴や地震発生層の厚さに基づき、近年発生した内陸地震およびサブテーマ 1 で反射法地震探査を実施した活断層の深部形状に関する構造的な特徴について統合的な検討を行った。

3) 平成 31 年度：

変動地形・構造地質学的データとサブテーマ 3 及び 4 で得られた地殻・最上部マントルの構造的な特徴や地震発生層の厚さに基づき、近年発生した内陸地震およびサブテーマ 1 で反射法地震探査を実施した活断層の深部形状に関する構造的な特徴について統合的な検討を行う。また、これまでの成果を踏まえ、日本列島の活断層－震源断層システム形状推定・評価手法と詳細な検討と今後の課題について取り纏めを行う。

(2) 平成 30 年度の成果

(a) 業務の要約

サブテーマ1で反射法地震探査を実施した琵琶湖西岸断層帯・花折断層帯と中央構造線断層帯（四国地域）について、既往の深部反射データやサブテーマ2及び3による密度構造・地震波速度構造等に基づき、断層深部形状の推定を試みた。

(b) 業務の実施方法と成果

サブテーマ1で反射法地震探査を実施した琵琶湖西岸断層帯・花折断層帯と中央構造線断層帯（四国地域）について、既往の深部反射データやサブテーマ2及び3による密度構造・地震波速度構造等に基づき、断層深部形状の推定を試みた。3.1章にて述べられたように、饗庭野-朽木測線で得られた中深度断面に基づき、琵琶湖西岸断層帯・饗庭野断層は低角ないしは中角度で西に傾斜する逆断層であるのに対して、花折断層はほぼ垂直な断層構造が推定された。これらの構造的な特徴は和邇-途中測線のそれと似通っている。一方、松原・ヤノ（2018）による饗庭野-朽木測線に沿った微小地震活動およびメカニズム解によれば、深さ10 km以浅の地震活動はほとんどなく、特に花折断層の直下では地震活動に乏しい。一方、饗庭野断層の下方延長に東に傾斜する微小地震の集中域が存在し、逆断層型のメカニズム解が卓越する。琵琶湖西岸断層帯・花折断層帯については、佐藤ほか（2007）において大大特・近江測線の深部構造探査がすでに実施されている。近江測線は和邇-途中測線とほぼ一致していることから、3.1章で推定した堅田断層の深部構造を推定するに都合が良い。先述したように、和邇-途中測線では、古琵琶湖層群堅田層および先新第三系基盤岩類（丹波帯）からなる堅田丘陵東縁部の変動地形学的な検討から推定される堅田断層の地表位置から中角度で西に傾斜する断層面が推定された。また、上盤側の非対称背斜の構造形態から深部でその傾斜を減少させることが推定される。和邇-途中測線と近江測線を比較すると（図1）、和邇-途中測線で推定された堅田断層の断層面の下方延長には断層面からの強い反射波と推定される反射波群が深さ10 km程度まで認められており（佐藤ほか, 2008）、和邇-途中測線と近江測線で推定された堅田断層の断層形状は整合的である。また、松原・ヤノ（2018）ではMatsubara et al. (2017)の地震波速度構造モデルに基づき和邇-途中測線・近江測線の東西断面・微小地震活動およびメカニズム解を作成した（図2）。これらを見ると、右横ずれ断層である花折断層と整合的なメカニズム解を持つ地震活動は深さ10 km以浅に限定されるのに対して、逆断層型のメカニズム解は、和邇-途中測線と近江測線で推定された堅田断層の断層形状からさらに下方に分布している。これは、高角の右横ずれ断層である花折断層帯が、中角度で西に傾斜する逆断層である琵琶湖西岸断層帯の上盤側に発達するとする構造モデル（佐藤ほか, 2007）と整合的である。

このように、slip-partitioningの典型例として本プロジェクトで研究対象とした花折断層帯・琵琶湖西岸断層帯については、反射法地震探査の結果とその構造解釈（3.1章）および再決定震源による地震活動・メカニズム解（松原・ヤノ, 2018）から、低角～中角度で西に傾斜する逆断層である琵琶湖西岸断層帯が主断層であり、花折断層がその上盤側に発達する高角の横ずれ断層と推定される。琵琶湖西岸断層帯と花折断層帯の平均変位速度を比較すると、前者の上下平均変位速度が北部で約1.8-2.1 mm/年、南部で約1.4 mm/年と推

定されている（例えば地震調査研究推進本部地震調査委員会，2003a）。一方、花折断層帯北部・南部における右横ずれ変位地形の再検討から、花折断層帯の平均変位速度はおおよそ1 mm/年程度と考えられる（石山，準備中）。これらの値と本研究で明らかになった断層の傾斜を考慮すれば、平均的な断層すべり速度は花折断層帯に比べて琵琶湖西岸断層帯の方が大きくなる。このことは、琵琶湖西岸断層帯が主断層とする構造的な見方と整合的である。

中央構造線断層帯（四国地域）については、3.1章にて述べられたように、徳島・愛媛地域で反射法地震探査を行い、その結果和歌山地域の浅層・中深度反射法探査（河村ほか，2001；Sato et al., 2015）や徳島地域の深部構造探査（伊藤，1996；Ito et al., 2009；Kawamura et al., 2003）と同様に北に傾斜する地質境界断層としての中央構造線の形状が推定された。Sato et al. (2015) では地震活動は中央構造線の下方延長よりも下位で起きているとされた。一方、3.3章で先述されたように、Matsubara et al. (2017)の三次元地震波速度構造を用いて再決定した震源分布によれば、東経133.2度から133.7度の区間では中央構造線の地表位置周辺から明瞭に北に傾斜する面状に配列する地震活動の集中域が認められる一方、中央構造線から鉛直下方に伸びるような震源分布は見られない（松原・ヤノ，本報告の図6～11を参照）。また、震源分布は地震波速度構造の急変部および V_p/V_s の境界部に一致することから、中央構造線ないしはその構造的な下位に分布する三波川帯・四万十帯の内部で発生している可能性がある。このことは地表地質や浅部から中深度構造探査の結果推定される中央構造線および三波川帯・四万十帯など地質帯の構造が、大局的には北傾斜で地下深部に延びていることを示唆しており、断層深部形状を推定する上で興味深い観察事実と言える。なお、このような北に傾斜する地震活動の集中域は、池田断層の西部から岡村断層の中部の範囲に及んでおり、中央構造線活断層系を挟んだ山地・低地配列の異なる徳島・愛媛地域の中央構造線について共通して認められることになることは、興味深い結果と言える。

(c) 結論ならびに今後の課題

サブテーマ1で反射法地震探査を実施した琵琶湖西岸断層帯・花折断層帯と中央構造線断層帯（四国地域）について、既往の深部反射データやサブテーマ2及び3による密度構造・地震波速度構造等に基づき、断層深部形状の推定を試みた。次年度は、これまでの成果を踏まえ、日本列島の活断層・震源断層システム形状推定・評価手法と詳細な検討と今後の課題について取り纏めを行う。

(d) 引用文献

石山達也・佐藤比呂志, 3.1 活断層の地表～深部構造および変動地形・地質構造解析, 活断層の評価に関する調査研究「断層帯深部形状の評価に関する活断層評価研究」平成29年度成果報告書, 5-13, 2018.

伊藤谷生・井川 猛・足立幾久・伊勢崎修弘・平田 直・浅沼俊夫・宮内崇裕・松本みどり・高橋通浩・松澤進一・鈴木雅也・石田啓祐・奥池司郎・木村 学・國友孝洋・後藤忠徳・澤田巨啓・竹下 徹・仲谷英夫・長谷川修一・前田卓哉・村田明広・山北 聡・山口和

- 雄・山口 覚, 四国中央構造線地下構造の総合物理探査. 地質学雑誌, 102, 4, 346-360, 1996.
- Ito, T., Kojima, Y., Kodaira, S., Sato, H., Kaneda, Y., Iwasaki, T., Kurashimo, E., Tsumura, N., Fujiwara, A., Miyauchi, T., Hirata, N., Harder, S., Miller, K., Murata, A., Yamakita, S., Onishi, M., Abe, S., Sato, T., Ikawa, T., Crustal structure of southwest Japan, revealed by the integrated seismic experiment Southwest Japan 2002. *Tectonophysics*, 472, 124-134, 2009.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 「琵琶湖西岸断層帯の評価」. 21 p, 2003a.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 「三方・花折断層帯の評価」. 26 p, 2003b.
- 河村知徳・蔵下英司・篠原雅尚・津村紀子・伊藤谷生・宮内崇裕・佐藤比呂志・井川 猛, 活断層周辺における地震波散乱体の検出とその地質学実体の推定, *地震II*, 54, 233-249, 2001.
- Kawamura, T., Onishi, M., Kurashimo, E., Ikawa, T., and Ito, T., Deep seismic reflection experiment using a dense receiver and sparse shot technique for imaging the deep structure of the Median Tectonic Line (MTL) in east Shikoku, Japan. *Earth, planets and space*, 55, 549-557, 2003.
- Matsubara, M., H. Sato, K. Uehira, M. Mochizuki, and T. Kanazawa, Three-dimensional seismic velocity structure beneath Japanese Islands and surroundings based on NIED seismic networks using both inland and offshore events, *Journal of Disaster Research*, 12, 844-857, doi:10.20965/jdr.2017.p0844, 2017.
- Sato, H., Kato, N., Abe, S., Horne, V. A., and Takeda, T., Reactivation of an old plate interface as a strike-slip fault in a slip-partitioned system: Median Tectonic Line, SW Japan. *Tectonophysics*, 644-645, 58-67, 2015.
- 松原 誠・ヤノ トモコ エリザベス, 3.3 断層帯の地震波速度構造および地震活動解析, , 活断層の評価に関する調査研究「断層帯深部形状の評価に関する活断層評価研究」平成29年度成果報告書, 31-42, 2018.
- 佐藤比呂志・他8名, 3.1.3 近畿地殻構造探査(近江測線), 文部科学省 「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」平成18年度成果報告書, 87-214, 2007.

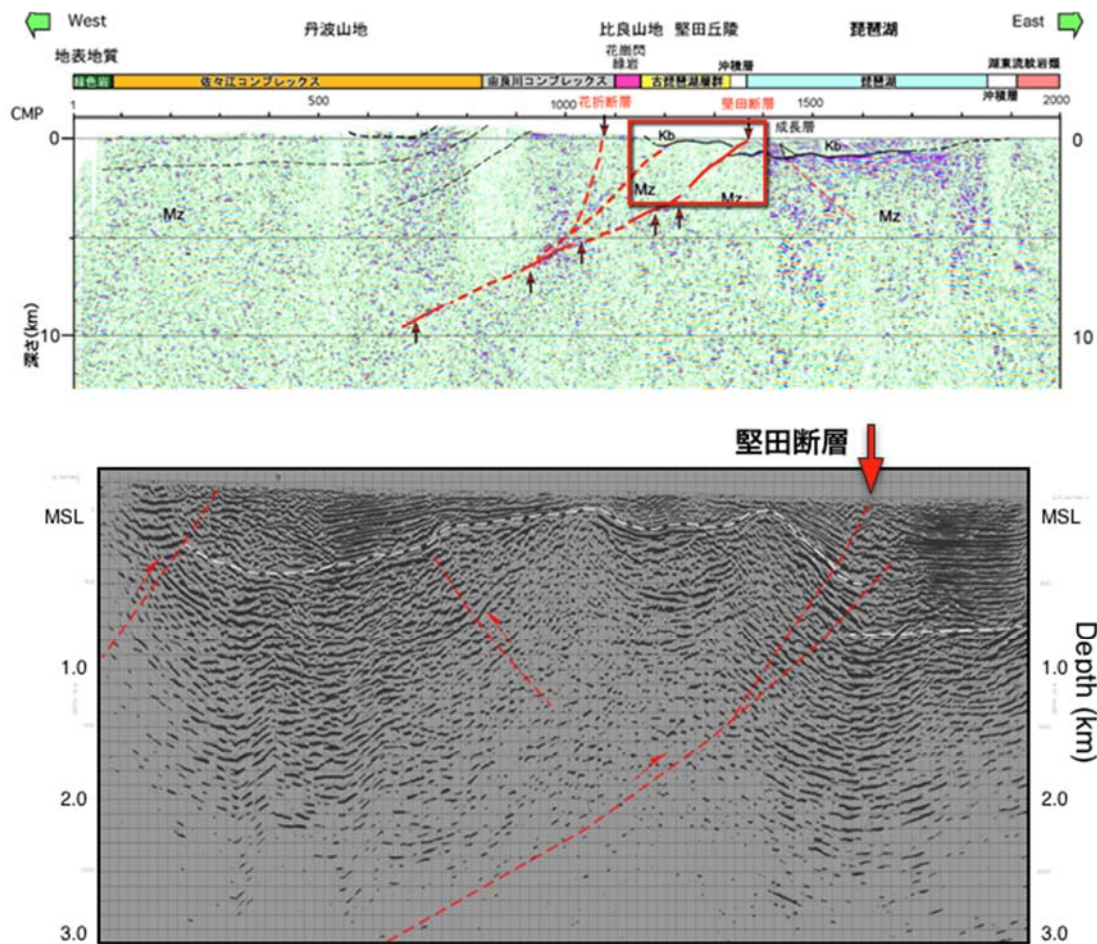


図1 大大特・近江測線（佐藤ほか, 2007）（上）と本事業で得られた和邇途中測線の深度断面図（下）の比較。近江測線の赤矢印は断層面からの強い反射面の位置を示す。

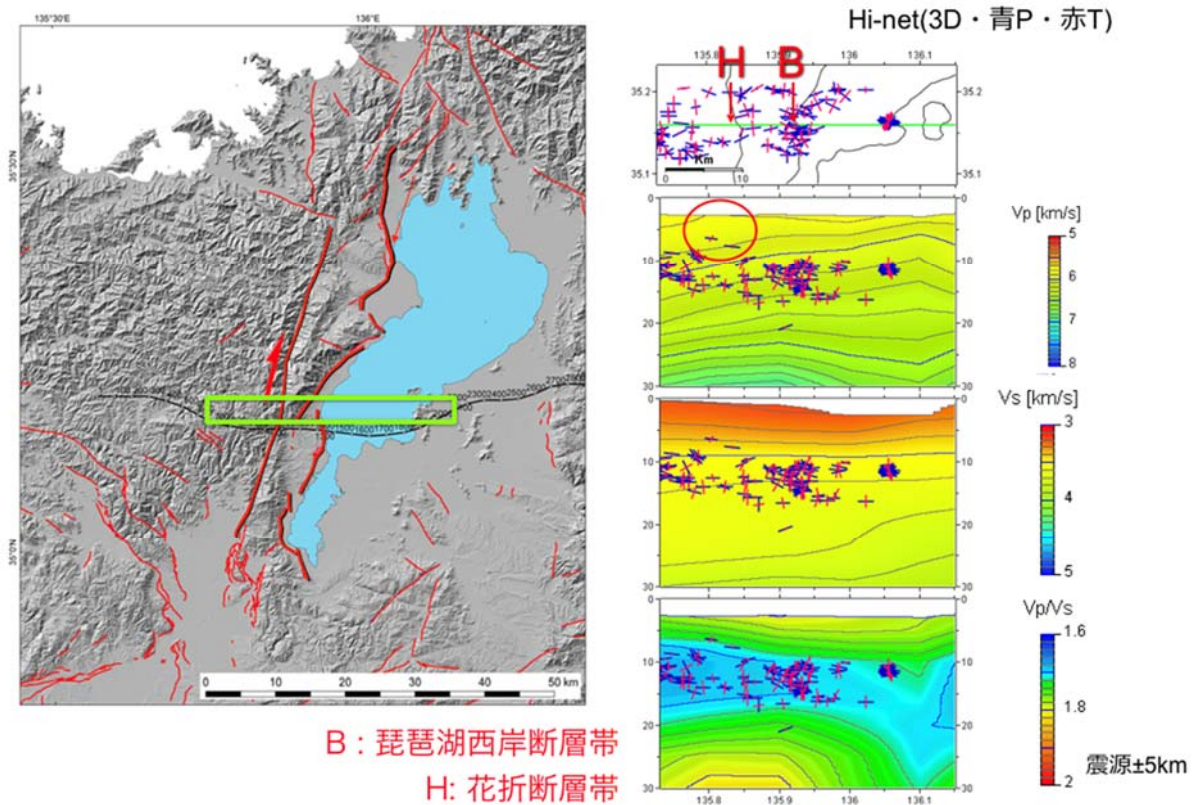


図 2 大大特・近江測線（佐藤ほか, 2007）及び和邇-途中測線を含む範囲（左図）における地震波速度構造断面（P 波・S 波・ V_p/V_s ）とメカニズム解（右図、松原・ヤノ(2018)）。