

3. 3. 2 内陸活断層モデル化の研究（地質・変動地形）

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 地質・変動地形によるモデル化

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
東京大学地震研究所	教授	佐藤比呂志	satow@eri.u-tokyo.ac.jp
東北大学大学院理学研究科	教授	今泉 俊文	imat@mail.tains.tohoku.ac.jp
愛知教育大学理科教育講座	助教授	戸田 茂	shigeru@aecc.aichi-edu.ac.jp
山梨大学教育人間科学部	助手	加藤 一	katou@yamanashi.ac.jp
独立行政法人 産業技術総合研究所 活断層研究センター	研究員	石山 達也	t-ishiyama@aist.go.jp
東京大学地震研究所	産学官連携研究員	加藤 直子	naoko@eri.u-tokyo.ac.jp
東京大学大学院理学系研究科	日本学術振興会特別研究員 (PD)	越後 智雄	techigo@eps.s.u-tokyo.ac.jp
東京大学地震研究所	日本学術振興会特別研究員 (PD)	木村 治夫	haruo@eri.u-tokyo.ac.jp
東京大学地震研究所	技術職員	荻野スミ子	sumi@eri.u-tokyo.ac.jp
京都大学大学院理学研究科	大学院生	杉戸 信彦	nsugito@kugi.kyoto-u.ac.jp
東京大学大学院理学系研究科	大学院生	岡田 真介	s_okada@eps.s.u-tokyo.ac.jp
東北大学大学院理学研究科	大学院生	楮原 京子	d0-0b-kago-@mail.tains.tohoku.ac.jp

(c) 業務の目的

内陸活断層から発生する地震による強震動を予測するためには、震源断層のパラメータを推定する必要がある。ほとんどの内陸活断層は、地震発生層中では固結しているため、地震活動などから直接震源断層のパラメータを求めることは難しい。地震発生層を断ち切るような大規模な内陸地震では、地表にも変形の痕跡を残すために、変動地形学的・地

質学的な活断層調査によって、震源断層のパラメーターをある程度推定することは可能である。このためには、地表近傍の活断層と地震発生層に位置する震源断層との関係、すなわち活断層-震源断層システムについての理解が必要となる。

本プロジェクトは、首都圏・近畿圏周辺に位置する活断層群について、地質学・変動地形学的アプローチによって、強震動予測に必要な震源断層モデルパラメーターについて最も妥当な値を推定することを目的としている。具体的には、浅層反射法地震探査などにより詳細なイメージングを行い、大深度弾性波探査の成果を取り入れて活断層-震源断層システムの形状や連結関係を明らかにし、変動地形学的手法や浅層ボーリングによって変位速度を求める。

(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14 年度： 南関東地方に分布する最も平均変位速度が大きい活断層の一つである国府津-松田断層においてボーリング調査を行い、平均変位速度についての調査研究を行った。
- 2) 平成15 年度： 神縄-国府津-松田断層系の足柄平野北端部に位置する松田北断層において変動地形調査を行い、その地下形状を明らかにするための反射法地震探査を行った。関東平野下のボーリングデータによる生層序による年代決定を行った。
- 3) 平成16 年度： 近畿三角帯の東端部に位置し最も大きな平均すべり速度を示す養老—鈴鹿断層帯の地下形状を明らかにするため、浅層反射法地震探査を行った。関東平野下のボーリングデータによる生層序による年代決定を行った。
- 4) 平成17 年度： 曽根丘陵断層帯について、浅層反射法地震探査を行い、断層の地下形状を求めるための基礎資料を収集した。
- 5) 平成 18 年度： 琵琶湖西縁活断層系についての浅層反射法地震探査を行い、浅層部での分岐断層の有無を含め断層形状を明らかにする。既存データを加え、近畿圏・首都圏周辺地域の内陸活断層の断層パラメーターについてのとりまとめを行う。

(e) 平成 17 年度業務目的

甲府盆地南縁を画する曽根丘陵断層帯について、浅層反射法地震探査を行い、山梨県などが実施した既存反射法データの再処理（山梨県、2004）¹⁾を含め、断層の地下形状を明らかにする。

(2) 平成17年度の成果

(2-1) 曾根丘陵断層帯における反射法地震探査

加藤直子・佐藤比呂志・木村治夫・荻野スミ子（東京大学地震研究所）

今泉俊文・楳原京子（東北大学大学院理学研究科）

加藤 一（山梨大学人間教育科学部）

(a) 業務の要約

甲府盆地の南縁を限る曾根丘陵断層帯は長さ 22 km、ENE-WSWの走向を持つ逆断層である。この断層帯は撓曲構造や断層崖を形成している北側低下の逆断層であり、平均変位速度は 0.1–0.5 m/1000 年と見積もられている（澤、1981²⁾；今泉ほか、1998³⁾；活断層研究会、1991⁴⁾；中田・今泉編、2002⁵⁾）。活断層の地下構造については、重力異常にもとづく密度モデルによる推定（隈元・池田、1993⁶⁾）や反射法地震探査による調査（山梨県、2004¹⁾）がある。この反射法地震探査測線は、道路の制約から活断層の地表トレースの近傍で大きく折れ曲がるなど、明瞭な断層のイメージングが得られていない。また、活断層の地表トレースは曾根丘陵前縁に複数分布しており、それらの複数の断層の関係も明らかにされていない。また、曾根丘陵断層帯は御坂山地の北縁部に位置し、伊豆－小笠原弧と本州弧との衝突の影響を受けていると考えられる。曾根丘陵断層帯の地下構造を明らかにすることは伊豆衝突帯の断層システムを明らかにする上でも重要である。

こうした背景から、この曾根丘陵断層帯において浅層反射法地震探査を行った。複数の断層トレースを横断する長さ 2.8 kmの測線Aと、山梨県（2004）¹⁾が実施した深部探査と連続する長さ 0.8 kmの測線Bにおいて、小型バイブレーターを震源とする反射法地震探査を実施した。

(b) 業務の実施方法

曾根丘陵断層帯は甲府盆地北縁に位置、複数の断層トレースが報告されている（図 1、2）。曾根丘陵の地下構造を明らかにするために 2 つの浅層反射法地震探査測線を設定した。測線 A は中央市（旧豊富村）高部から甲府市（旧中道町）下向山をとおり、中央市（旧豊富村）右左口に至る約 2.8 km の区間である（図 2）。この測線は断層崖や複数の断層トレースを横切るように設定した。測線 B は甲府市（旧中道町）上曾根から笛吹市寺尾に至る間門川沿いの 0.8 km の区間である（図 2）。この探査測線は深部構造探査との対応を見るために設定した。

観測実施期間は、2006 年 2 月 6 日から同年 2 月 17 日である。データ取得に関しては共通反射点重合法を用いて実施された。測定仕様を表 1 に示す。データ収録および震源は東京大学地震研究所所有のマルチチャネル陸上反射法地震探査システム GDaps-4（（株）地球科学総合研究所製）ならびに小型バイブレーター震源 T-15000（IVI 社製）を用いた。本探査では 284 チャネル（測線 A）、80 チャネル（測線 B）を使用し、受振点は固定した。受振点間隔及び発震点間隔は共に 10 m である。発震の垂直重合は標準 10 回とした。受振器は固有周波数 10 Hz のものを使用し、9 個を 1 グループとして 1 受振点に設置した。レコーディングのサンプリング間隔は 2 msec で記録長は 3 sec（測線 A）、2 sec（測線 B）とした。

反射法地震探査処理については通常の共通反射点重合法によった。データ処理は（株）

地球科学総合研究所製作の反射法データ処理システム Super X-C を使用した。屈折初動解析は、全記録の P 波初動の到達時間を読み取り、その値から発震点・受振点・表層基底層速度を未知数とするインバージョン（改良タイムターム法）を行い、Time-Term 値、表層基底層速度、表層構造を得た。これらの値により静補正を行った。インバージョンでは、第 1 層目の速度を 800 m/s として行った。

(c) 業務の成果

2測線において共通反射点重合法によるデータ取得を行い、良好な反射法地震探査記録が得られた。測線Aで得られた観測記録（図3）では、地表の断層トレース位置の下盤側ではほぼ水平な反射波群が卓越する。一方、断層上盤側での観測記録では南に傾斜する反射波が卓越する。

一方、B測線で得られた観測記録（図4）では、地表の曾根丘陵断層トレースの下盤側にも、褶曲が見られる。このことは、曾根丘陵断層帯の地表トレースの盆地側（低下側）に伏在する断層の活動示唆している。

それぞれの測線における屈折法初動解析の結果を図5、6に示す。

(d) 結論ならびに今後の課題

曾根丘陵断層帯を横切る 2 測線において浅層反射法地震探査を実施し、データを取得した。今後、さらに解析を行って、反射法地震探査断面を作製し、断層形状を明らかにする。山梨県（2004）¹⁾が実施した平野部の地下構造探査を目的とした反射法地震探査を、断層のイメージングに最適化した重合測線を再設定し、反射法地震探査データの再処理を行う。また、大深度弾性波探査測線のデータと総合し、地震発生層から地表までの曾根丘陵断層の形状を明らかにする。とくに地表でいくつかの断層に分かれるシステム全体の形状を明らかにする。

(e) 引用文献

- 1) 山梨県:平成 15 年度地震関係基礎調査交付金 甲府盆地地下構造調査業務成果報告書, 150pp., 2004.
- 2) 澤 祥: 甲府盆地西縁・南縁の活断層, 地理学評論, 54, 473-492, 1981.
- 3) 今泉俊文・澤 祥・東郷正美・池田安隆: 都市圏活断層図 甲府, 国土地理院, 1998.
- 4) 活断層研究会: 新編日本の活断層—分布図と資料, 東京大学出版会, 448pp., 1991.
- 5) 中田 高・今泉俊文編: 活断層詳細デジタルマップ, 東京大学出版会, 2002.
- 6) 隈元 崇・池田 安隆: 南部フォッサマグナ, 甲府盆地の低角逆断層の地下構造とネットスリップ, 地震, 第 2 輯, 46, 245-258, 1993.
- 7) 活断層研究会編: 日本の活断層図[地図と解説], 東京大学出版会, 74pp., 1995.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
加藤直子・佐藤比呂志・今泉俊文ほか 8 名	甲府盆地南縁・曾根丘陵断層帯における浅層反射法地震探査	日本地質学会第 113 年学術大会	平成 18 年 9 月 16-18 日 (予定)

平成 15 年度実施の成果として以下のものがある。

著者	題名	発表先	発表年月日
木村 治 夫 ・ 佐 藤 比 呂 志 ほか 12 名	国府津-松田断層帯松田北断層における浅層反射法地震探査	活断層研究, 25 号	平成 17 年 6 月 30 日

(g) 特許出願, ソフトウェア開発, 仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

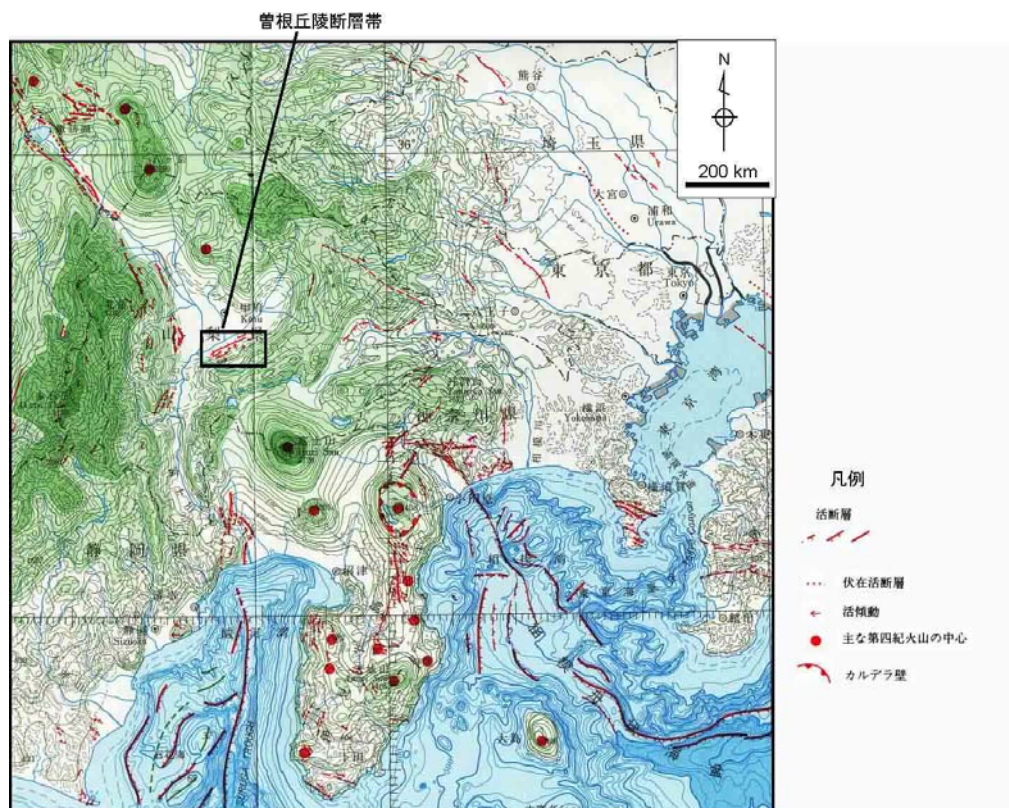


図1 曾根丘陵断層帯の位置図．基図には活断層研究会編（1995）

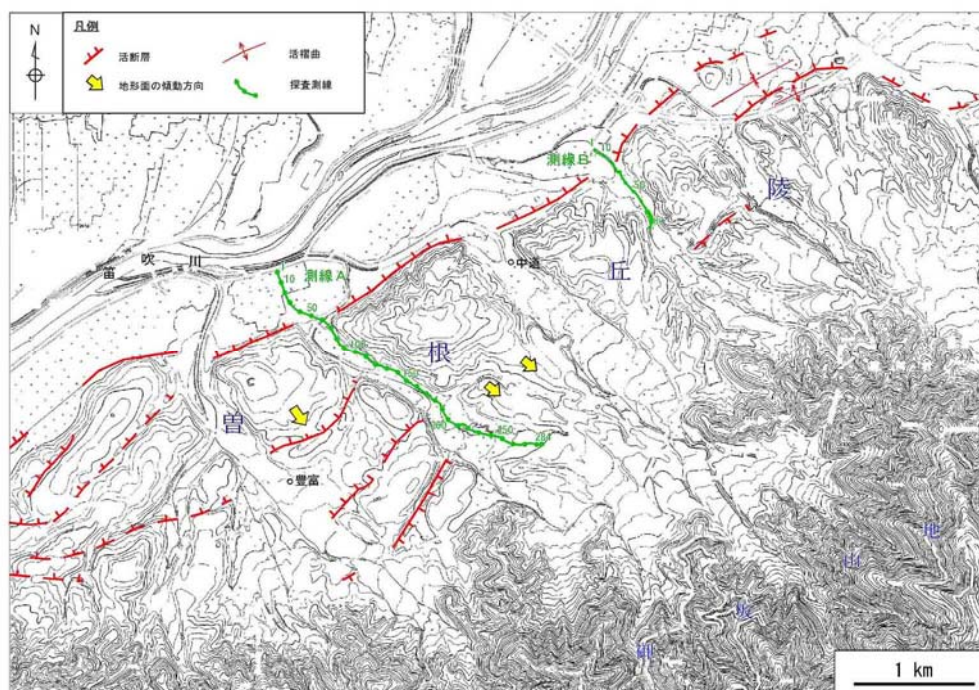


図2 測線位置図. 基図には国土地理院発行 1:25,000 地形図『市川大門』・『甲府』を使用. 断層位置は今泉ほか (1998) ³⁾による.

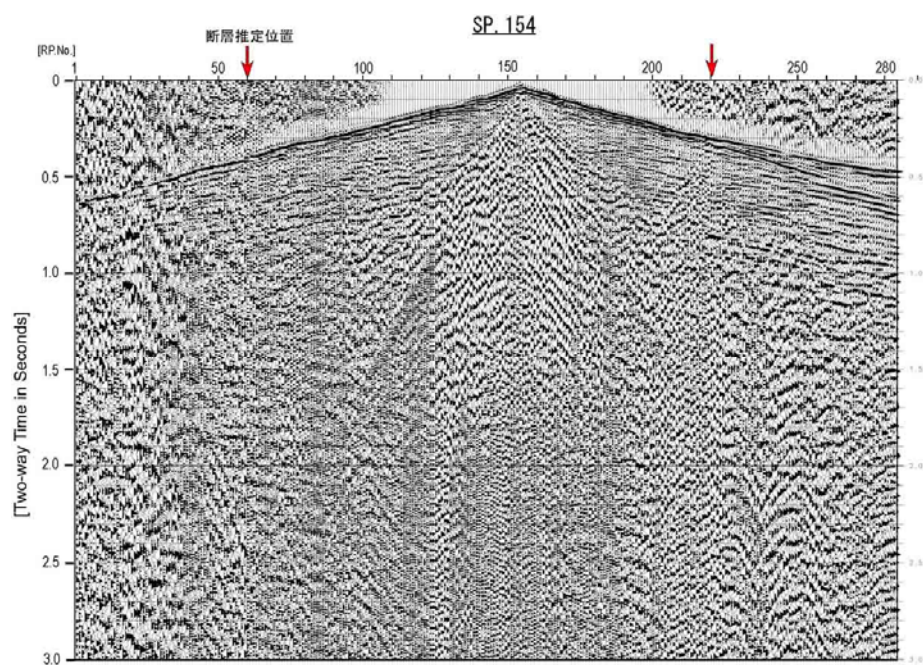


図3 測線Aで得られた観測記録.

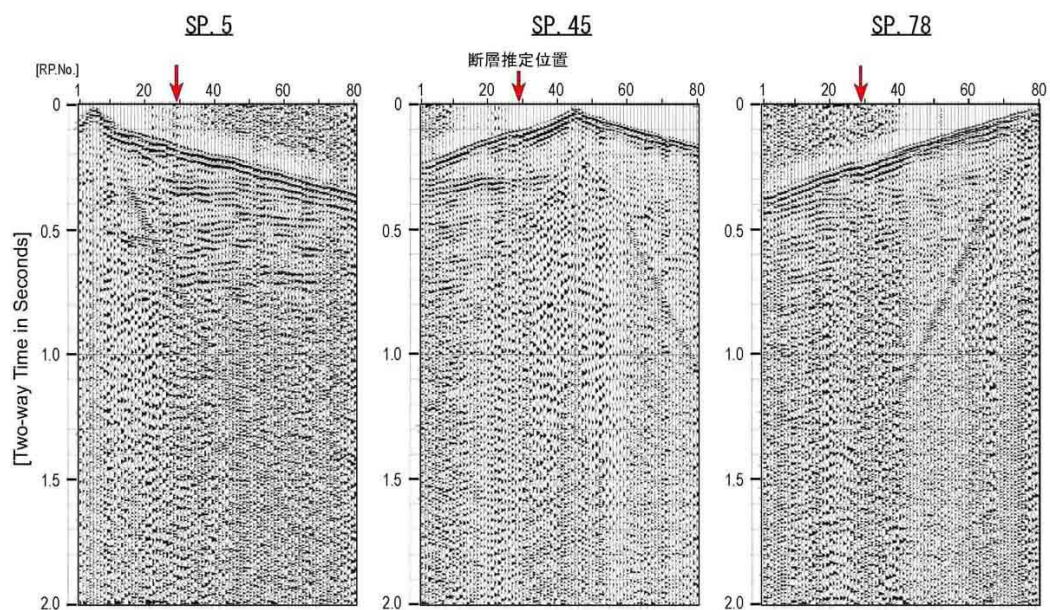


図 4 測線 B で得られた観測記録.

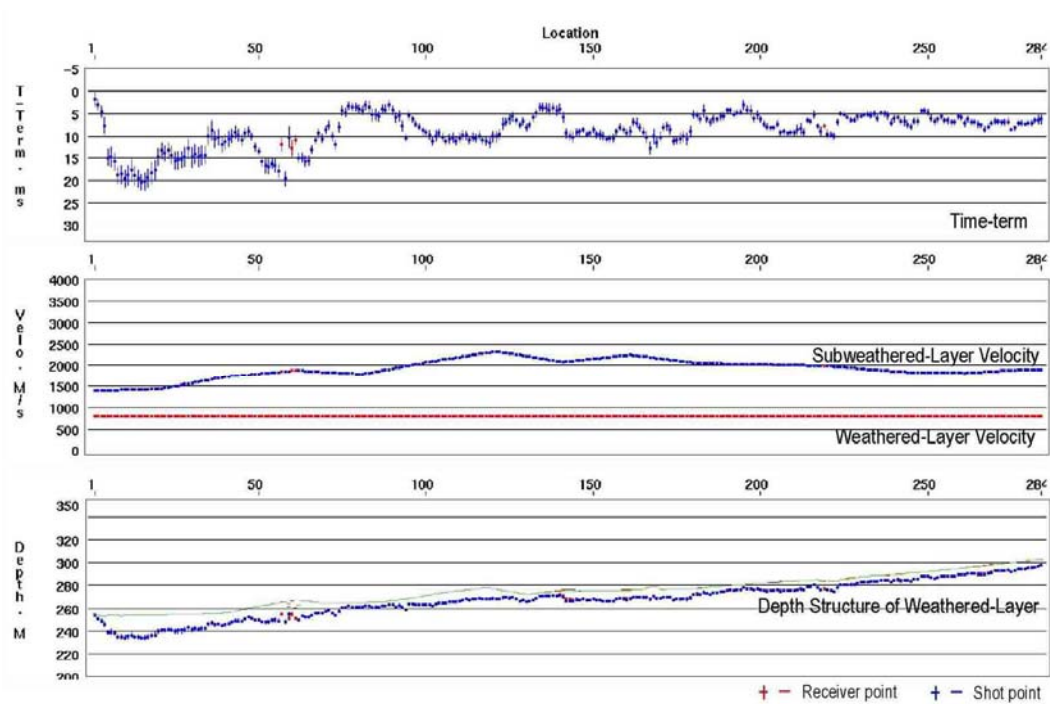


図 5 測線 A での屈折初動解析結果.

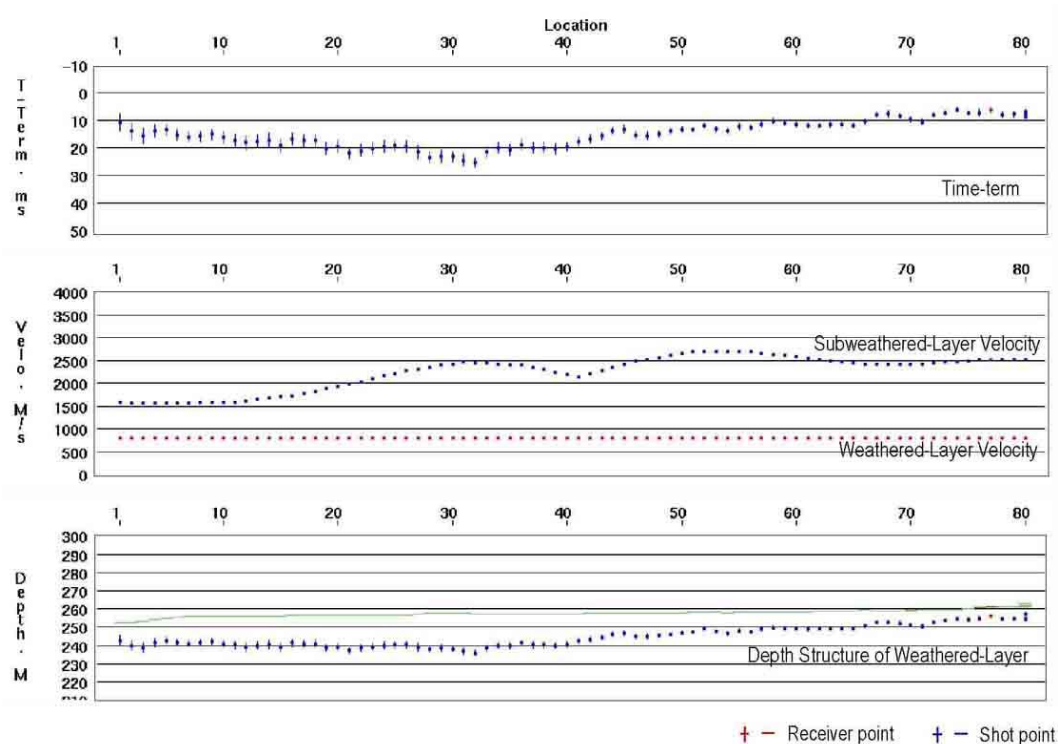


図 6 測線 B での屈折初動解析結果.

表 1. 曾根丘陵断層帯，浅層反射法地震探査仕様.

	SONE	
	Line A	Line B
Length of seismic line	2.8 km	0.8 km
<i>Source parameters</i>		
Source	Mini-vibrator (IVI, T-15000)	
Sweep frequency	10 - 80, 100, 120 Hz	10 -120 Hz
Sweep length	20 s	
No. of sweeps	10	
No. of shot points	282	84
Shot interval	10 m	
<i>Receiver parameters</i>		
Natural frequency	10 Hz	
Receiver interval	10 m	
No. of channels	284	80
<i>Recording parameters</i>		
Instruments	JGI, GDAPS-4	
Sampling interval	2 ms	
Recording length	3 sec.	2 sec.

(2-2) 反射法地震探査から明らかになった養老・鈴鹿山地東縁断層帯の地下構造

石山 達也（独立行政法人 産業総合技術研究所）

佐藤 比呂志（東京大学地震研究所）

戸田 茂（愛知教育大学地学教室）

加藤 一（山梨大学教育人間科学部）

木村 治夫（東京大学地震研究所）

杉戸 信彦（京都大学大学院理学研究科）

越後 智雄（東京大学大学院理学系研究科）

岡田 真介（東京大学大学院理学系研究科）

(a) 業務の要約

近畿三角帯北部（六甲—琵琶湖—養老・鈴鹿）では南北走向の逆断層群による顕著な水平短縮が第四紀後期に進行している。特に養老—鈴鹿山地東縁断層帯は近畿三角帯東縁部を画する褶曲—衝上断層システムであり、年数 mm/yr の水平短縮を解消している。産総研・地震研が合同で実施した鈴鹿山地東縁断層帯(大大特 2004 年度業務)の反射法地震探査で、山地を構成する基盤岩類が鮮新・更新統に衝上する構造が得られた。これらのデータを地表変形および地表地質・地下地質データと統合することにより、鈴鹿山地東縁断層帯が養老断層帯と地下で収斂する imbricate thrust であり、一連の褶曲衝上断層帯を構成することが明確となった。

(b) 業務の実施方法

2004 年度の業務である鈴鹿山地東縁断層帯の反射法地震探査で得られたデータを解析した。測線は岐阜県上石津町下山から同時山に至る全長約 5.0km の区間である（図 1）。ProMAXTM（Landmark社製）を用いて共通反射点重合法によるデータ解析を行い、深度断面を作成した。さらに既存の地質図・層序ボーリングとあわせ、鈴鹿山地東縁断層帯の地下構造を推定した。

(c) 業務の成果

得られた反射断面からは、養老山地と鈴鹿山地の間を埋める厚い堆積層（鮮新—更新統・東海層群）が一樣な傾斜で西に傾き、鈴鹿山地東麓斜面下でとぎれることがわかる（図2）。このような反射波群がとぎれる位置と断層の地表位置から、鈴鹿山地東縁断層が40度程度の断層面をもつと考えられる。また、東海層群は層厚一定で中古生界を覆っており、養老山地の隆起が東海層群の堆積以降に起こったと考えられる。

今回得られた断面と養老断層の深度断面をあわせて、養老・鈴鹿山地東縁断層帯の地下構造を推定した（図3;Ishiyama et al., submitted¹⁾）。養老断層は桑名断層（Ishiyama et al., 2004²⁾）と同様に基盤岩類がコアになる楔型の衝上断層であり、1586年天正地震時の地表変形はこの楔の先端の地表延長部に形成されている。今回得られた鈴鹿山地東縁断層帯の反射断面から、基盤褶曲の西翼部にあたる養老山地西側斜面を構成する東海層群・中古生界は断層下盤側の向斜軸を境に西側でほぼ水平な姿勢に転ずる。この向斜軸に沿っては段丘面の逆傾斜が認められる。このことは、向斜軸が活動的な軸面であり、断層の上盤側を移動

する物質の運動方向がこの軸を境に変化することを意味する。従って、養老断層の断層面の傾斜はこの向斜軸を境に東側で低角になると考えられる。鈴鹿山地東縁断層帯は地下10km以浅で養老断層に収斂すると考えられる。また、鈴鹿山地と養老山地の間の堆積盆地はpiggyback basinであるが、もともと現在の濃尾平野下に伏在する古東海湖盆と一連であったが、養老断層の活動開始に伴う養老山地の隆起に伴って分化したものと考えられる。

(d) 結論ならびに今後の課題

2004年に実施した鈴鹿山地東縁断層帯の反射法地震探査の結果を用いて、養老—鈴鹿山地東縁断層帯の地下構造を推定した。その結果、両者が一連の褶曲衝上断層帯を構成することが明らかになった。今後は、背斜構造の走向沿いの変化に着目し、断層の3次元構造やセグメント境界の構造を明らかにする予定である。

(e) 引用文献

- 1) Ishiyama, T., Mueller, K., Sato, H., Togo: Coseismic fault-related folding, growth structure and the historic multi-segment blind thrust earthquake on the basement-involved Yoro thrust, central Japan, J. Geophys. Res., submitted
- 2) Ishiyama, T., Mueller, K., Togo, M., Okada, A., Takemura, K.: Geomorphology, kinematic history, and earthquake behavior of the active Kuwana wedge thrust anticline, central Japan, J. Geophys. Res., Vol. 109, No. B12, B12408 10.1029/2003JB002547, 2004.
- 3) 池田安隆・今泉俊文・東郷正美・平川一臣・宮内崇裕・佐藤比呂志編：第四紀逆断層アトラス，東京大学出版会，260pp., 2002.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
石山 達也・ 佐藤 比呂 志・ほか 16 名	大大特 2004・P波反射法地震探査による鈴鹿山地東縁断層の地下構造	日本地震学会 2005年秋季大会	平成 17 年 10 月 19 日
Ishiyama, T., Mueller, K., Sato, H., and Togo, M.	Coseismic fault-related folding, growth structure and the historic multi-segment blind thrust earthquake on the basement-involved Yoro thrust, central Japan	Journal of Geophysical Research	submitted

(g) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

- 1) 特許出願
なし

- 2) ソフトウェア開発
なし
- 3) 仕様・標準等の策定
なし

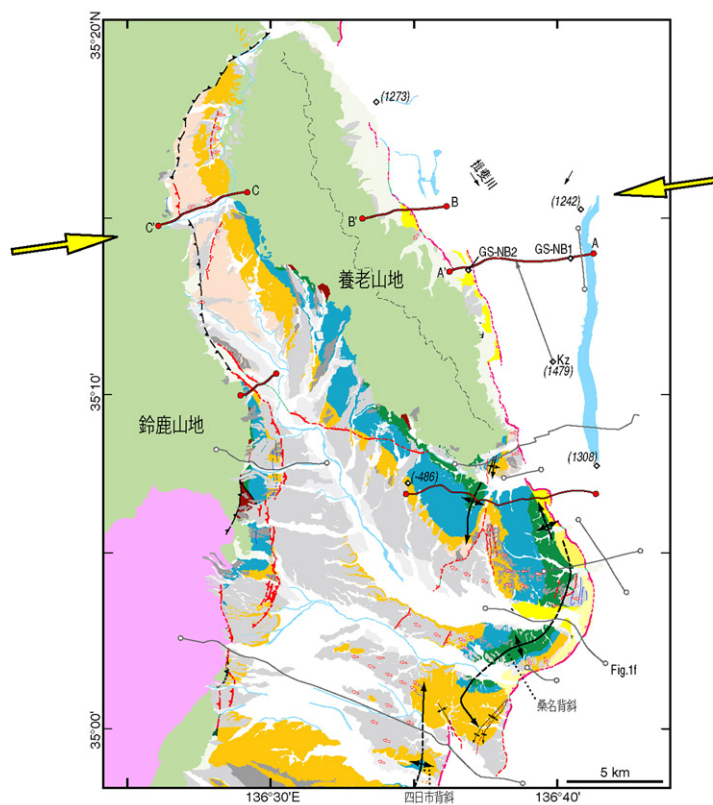


図1 濃尾—伊勢断層帯（池田ほか，2002³⁾）の分布と本実験の測線位置（図中C-C'）

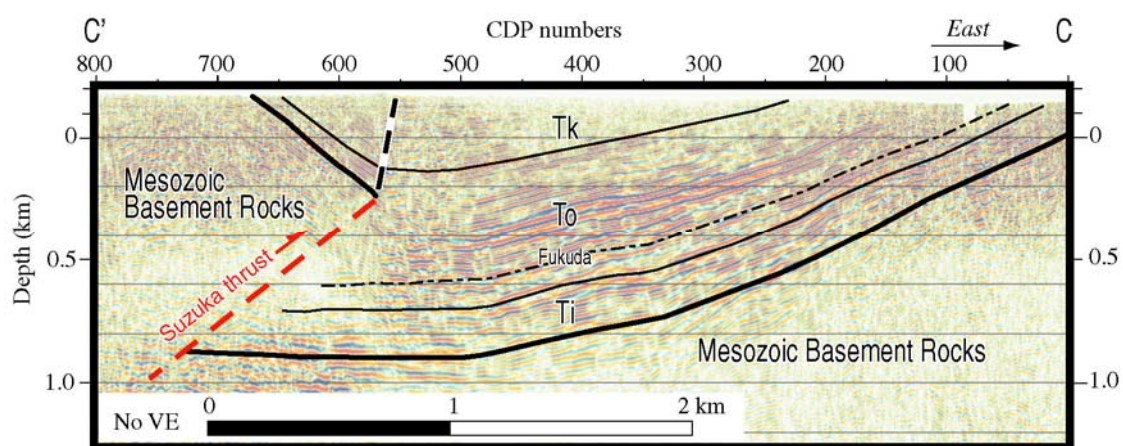


図2 鈴鹿山地東縁断層帯の深度・解釈断面（Ishiyama et al., submitted¹⁾）

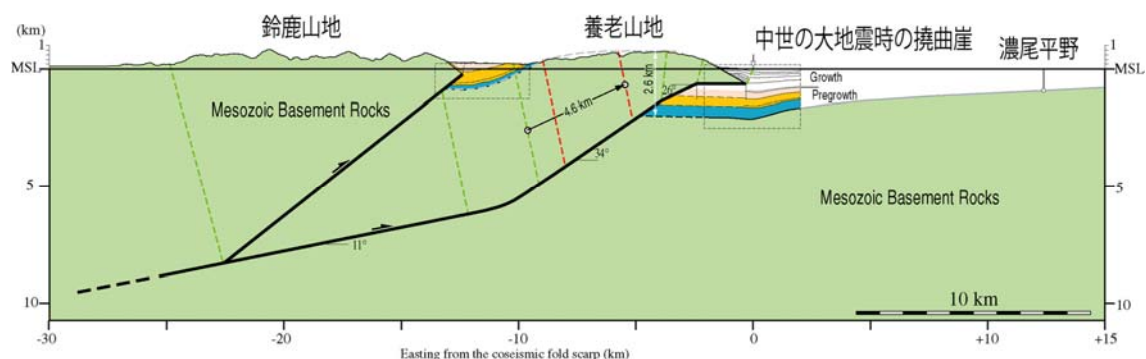


図3 養老－鈴鹿山地東縁断層帯の地下構造 (Ishiyama et al., submitted¹⁾)

(3) 平成18年度業務計画案

1) 首都圏（関東地域）の内陸活断層-震源断層のモデル化

大都市圏地殻構造探査の中で、関東地域において、フィリピン海プレート上面の震源断層の形状と、内陸活断層の深部形状に関する調査・研究を進めてきた。これまで対象として主要な内陸活断層は、国府津-松田断層、丹那断層、三浦半島断層群、関東平野西縁断層帯、曾根丘陵断層帯、綾瀬川断層帯などである。間接的ではあるが藤木-愛川線の南東延長である伊勢原断層についても、深部形状についてのデータが得られている。

これまでの深部および浅層反射法地震探査の成果と、既存の変動地形学的データ、地質学的データ・地下構造探査データを参考にとりまとめ。とくに震源断層の走向・傾斜、長さなどの形状データ、平均実変位速度（地震時のすべり量）、レイク、アスペリティの位置の推定を目的とした活断層の変位量分布などについて、モデル化を行う。

2) 近畿圏（関西地域）の内陸活断層-震源断層のモデル化

近畿圏についても、これまでの大都市圏地殻構造探査の中で実施した、地殻構造探査、浅層反射法地震探査などのデータの他、多くの既存データがある。近畿圏は世界的にも最も密に活断層が分布する地域であり、この分布密度に比べると地下構造探査の測線間隔は不十分であるが、とくにこれまでの本研究で調査を実施した断層系を中心として、首都圏と同様のモデル化を行う。取りまとめるは断層形状と、第四紀後期の平均的な滑りの方向と量、地表の変位量分布である。上町断層、生駒断層系、有馬-高槻構造線活断層系、鈴鹿東縁断層系、布引山地東縁断層系、養老断層系、木津川断層系、この他、18年度の大深度弾性波探査での対象とする花折断層、琵琶湖西岸断層系、中央構造線活断層系である。近畿圏の地下構造は、先第三系の基盤中に生じた現在の活断層の断層運動とほぼ同様の断層運動によって堆積盆地が形成されたために、比較的単純な二層構造で近似しやすい。近畿圏の断層の地下構造のモデル化については、既存の重力測定値から求められる密度構造についても検討を加える。

3) 琵琶湖西岸活断層系における浅層反射法地震探査

大深度弾性波探査は、活断層とその延長部の地震発生層全体におよぼイメージングを目

的としている。したがって、活断層の浅層部のイメージングは、高分解能探査を別途実施するのが、とくに費用対高価の点で合理的である。平成 18 年度に大深度弾性波探査の対象としている中で、変位量が大きな活断層としては、養老断層、琵琶湖西岸断層、中央構造線活断層系などがある。この中で、平成 16 年度には養老断層で浅層反射を実施している。平成 18 年度は、琵琶湖西岸活断層系の先端部分について、浅層反射法地震探査を実施し、深部反射の重要なリファレンスを得ることと、断層の変位速度の推定にも資する詳細な断層近傍の地下構造を得ることを目的とする。