

## 桑名断層の P 波浅層反射法地震探査: 2000 年員弁川測線

石山達也<sup>1)\*</sup>・松多信尚<sup>2)</sup>・戸田 茂<sup>3)</sup>・佐藤比呂志<sup>4)</sup>・加藤 一<sup>5)</sup>・竹村恵二<sup>6)</sup>・堤 浩之<sup>7)</sup>・岡田篤正<sup>8)</sup>・荻巣伸洋<sup>9)</sup>・中村謙之<sup>10)</sup>・竹内祥子<sup>11)</sup>・谷美由起<sup>12)</sup>・石井 整<sup>13)</sup>・中西利典<sup>14)</sup>・田力正好<sup>15)</sup>・木村治夫<sup>16)</sup>・長谷川真<sup>17)</sup>・杉戸信彦<sup>18)</sup>・金田平太郎<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 京都大学大学院理学研究科 (現在: 東北大学大学院理学研究科) ・ <sup>2)</sup> 東京大学大学院理学系研究科 (現在: 台湾國立大学地質学部) ・ <sup>3)</sup> 愛知教育大学 ・ <sup>4)</sup> 東京大学地震研究所 ・ <sup>5)</sup> 山梨大学教育人間科学部 ・ <sup>6)</sup> 京都大学大学院理学研究科 (現在: 京都大学地球熱学研究施設) ・ <sup>7)</sup> 京都大学大学院理学研究科 ・ <sup>8)</sup> 京都大学大学院理学研究科 (現在: 立命館大学歴史都市防災研究センター) ・ <sup>9)</sup> 愛知教育大学 (現在: 愛知県立蒲郡高等学校) ・ <sup>10)</sup> 愛知教育大学 (現在: 愛知県立一宮南高等学校) ・ <sup>11)</sup> 愛知教育大学 (現在: 幸田町立豊坂小学校) ・ <sup>12)</sup> 愛知教育大学 (現在: 産業技術総合研究所地圏資源環境研究部門) ・ <sup>13)</sup> 愛知教育大学 (現在: 一宮市立向山小学校) ・ <sup>14)</sup> 京都大学大学院理学研究科 (現在: 土木研究所技術推進本部) ・ <sup>15)</sup> 東京大学大学院理学系研究科 (現在: 日本原子力研究開発機構) ・ <sup>16)</sup> 京都大学大学院理学研究科 (現在: 東京大学地震研究所) ・ <sup>17)</sup> 京都大学大学院理学研究科 (現在: トランスコスモス株式会社) ・ <sup>18)</sup> 京都大学大学院理学研究科 (現在: 名古屋大学大学院環境学研究科附属地震火山・防災研究センター)

## High-Resolution P-wave Seismic Reflection Imaging of the Kuwana Active Thrust: 2000 Inabe River Profile

Tatsuya Ishiyama<sup>1)\*</sup>, Nobuhisa Matsuta<sup>2)</sup>, Shigeru Toda<sup>3)</sup>, Hiroshi Sato<sup>4)</sup>, Hajime Kato<sup>5)</sup>, Keiji Takemura<sup>6)</sup>, Hiroyuki Tsutsumi<sup>7)</sup>, Atsumasa Okada<sup>8)</sup>, Nobuhiro Ogisu<sup>9)</sup>, Kaneyuki Nakamura<sup>10)</sup>, Syoko Takeuchi<sup>11)</sup>, Miyuki Tani<sup>12)</sup>, Sei Ishii<sup>13)</sup>, Toshimichi Nakanishi<sup>14)</sup>, Masayoshi Tajikara<sup>15)</sup>, Haruo Kimura<sup>16)</sup>, Shin Hasegawa<sup>17)</sup>, Nobuhiko Sugito<sup>18)</sup> and Heitaro Kaneda<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Graduate School of Science, Kyoto University (Present Address: Graduate School of Science, Tohoku University), <sup>2)</sup> Graduate School of Science, the University of Tokyo (Present Address: National Taiwan University), <sup>3)</sup> Aichi University of Education, <sup>4)</sup> Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, <sup>5)</sup> Faculty of Education and Human Sciences, Yamanashi University, <sup>6)</sup> Graduate School of Science, Kyoto University (Present address: Institute for Geothermal Sciences, Kyoto University), <sup>7)</sup> Graduate School of Science, Kyoto University, <sup>8)</sup> Graduate School of Science, Kyoto University (Present Address: Research Center for Disaster Mitigation of Urban Cultural Heritage, Ritsumeikan University), <sup>9)</sup> Aichi University of Education (Present Address: Aichi Prefectural Gamagori-Higashi High School), <sup>10)</sup> Aichi University of Education (Present Address: Aichi Prefectural Ichinomiya-Minami High School), <sup>11)</sup> Aichi University of Education (Present Address: Kota Municipal Toyosaka Elementary School), <sup>12)</sup> Aichi University of Education (Present Address: Institute for Geo-Resources and Environment, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology), <sup>13)</sup> Aichi University of Education (Present Address: Ichinomiya Municipal Mukaiyama Elementary School), <sup>14)</sup> Graduate School of Science, Kyoto University (Present Address: Public Works Research Institute), <sup>15)</sup> Graduate School of Science, the University of Tokyo (Present Address: Japan Atomic Energy Agency), <sup>16)</sup> Graduate School of Science, Kyoto University (Present Address: Institute of Geology and Geoinformation, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology), <sup>17)</sup> Graduate School of Science, Kyoto University (Present Address: Transcosmos Inc.) <sup>18)</sup> Graduate School of Science, Kyoto University (Present Address: Research Center for Seismology, Volcanology and Disaster Mitigation, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University)

\* e-mail: t-ishiyama@mail.tains.tohoku.ac.jp (〒980-8578 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3)

## Abstract

We present new, high-resolution seismic reflection data (2000 Inabe River profile) acquired across the forelimb and backlimb of Kuwana anticline to further image its subsurface geometry. A seismic source (mini-vibrator) and 150-channel digital telemetry recording system were used in an off-end configuration with the nearest receiver adjacent to the source to record seismic waves from deeper reflection points. A 15-m source and geophone spacing give a 7.5-m CMP (common midpoint) spacing on the final section. The nominal CMP stacking fold had 75 traces. We also suppressed coherent noise by repeating source points 5–10 times. After data processing including surface-consistent statics, velocity analysis, normal moveout (NMO) correction, residual statics, CMP stack, and migration, the section was finally depth-converted using stacking velocities. Reflectors imaged on the seismic profile illuminate that fluvial terraces folded across the forelimb and backlimb are consistent with the subsurface structure of the fold imaged in a seismic section, providing insights into the kinematic solution of the underlying active wedge thrust.

**Key words:** Kuwana fault, seismic reflection profile, subsurface structure, central Japan

## 1. はじめに

桑名断層は、後期新生代を通じて逆断層帯による東西短縮変形が著しい近畿地域の東縁部を画する、濃尾-伊勢断層帯（全長約 110 km）の中心をなす大規模逆断層である（活断層研究会, 1991; 鈴木ほか, 1996; 池田ほか, 2002; 中田・今泉, 2002; Fig. 1）。養老断層と同様に、桑名断層に沿っては上部完新統を変位させる撓曲崖地形が発達し（栗田・吉田, 1991; 東郷, 2000）、これらは 1586 年天正地震（宇佐美, 2001）の際に形成されたと考えられる（須貝ほか, 1998; 東郷, 2000）。したがって、桑名断層はその北方延長である養老断層とともに、地表変形と逆断層の構造およびその地震時の成長を考察する上で重要な構造である。桑名断層においては、水資源開発公団・財団法人大阪土質試験所（1995）が桑名市大山田で、栗田（1997）が桑名市東汰上および朝日町埋縄で、それぞれ P 波震源による反射法地震探査を実施している。しかし、これらの探査では主に桑名背斜前翼部やその基部に発達する新期の変位地形のみをターゲットにしており、背斜全体のイメージングには至っていない。また、桑名断層に沿っては幹線国道・鉄道が集中しており、一般的にノイズレベルが非常に高い。その結果、1586 年天正地震時の撓曲崖と対応づけるに足る、詳細な変形構造のイメージを取得するには至っていない。そこで、桑名断層による鮮新-更新統の詳細な変形構造のイメージングを主たる目的として、背斜を横断しかつノイズ源から比較的離れた員弁川洪水敷および堤防上の道路を測線（2000 年員弁川測線）として設定し、マルチチャネル陸上反射法地震探査システムを利用した P 波浅層反射法地震探査を実施した。本稿では、測線位置・観測バ

レータを主とする探査の概要と、解析結果について報告する。なお、本探査により得られた断面に基づく桑名断層の地下構造と地表変形に関する地質学的解釈は Ishiyama *et al.* (2004) で詳しく議論されているので、本稿ではこの部分については省略し、探査について論ずるにとどめる。

## 2. 桑名断層の P 波反射法地震探査・2000 年員弁川測線のデータ取得

### 2.1 2000 年員弁川測線の概要

測線は三重県桑名市福江の日の出橋を起点とし、同島田に至る全長約 8.3 km の区間である（Fig. 2）。測線は桑名断層の変形フロントと考えられる完新世撓曲崖（東郷, 2000）をほぼ東西に横断するように設定した。測線の起点は厚い鮮新・更新・完新統が伏在する濃尾平野に位置し、終点は鮮新-更新統・東海層群から構成される桑名丘陵を開析する員弁川の沖積低地上である。観測は 2000 年 11 月 2 日から同 11 日までの 10 日間で行った。測線は名古屋市や四日市市などの臨海工業地帯を結ぶ国道 23 号線（名四国道）・国道 1 号線・東名阪自動車道といった主要幹線道や JR・近畿日本鉄道と交差しており、これらの交通機関から発生するノイズのレベルは非常に高い。一方で、展開・発震作業はほとんど河川敷で行ったので、測線に流入する交通車両は非常に少なかった。また、河川敷は民家とも離れるため、生活ノイズのレベルは低かった。したがって、上記の交通機関が測線と交わる高架橋から発せられる大きなノイズ以外には、比較的低いノイズレベルの下での観測であったと言える。天候は観測期間を通じて概ね晴天であり、降雨・河

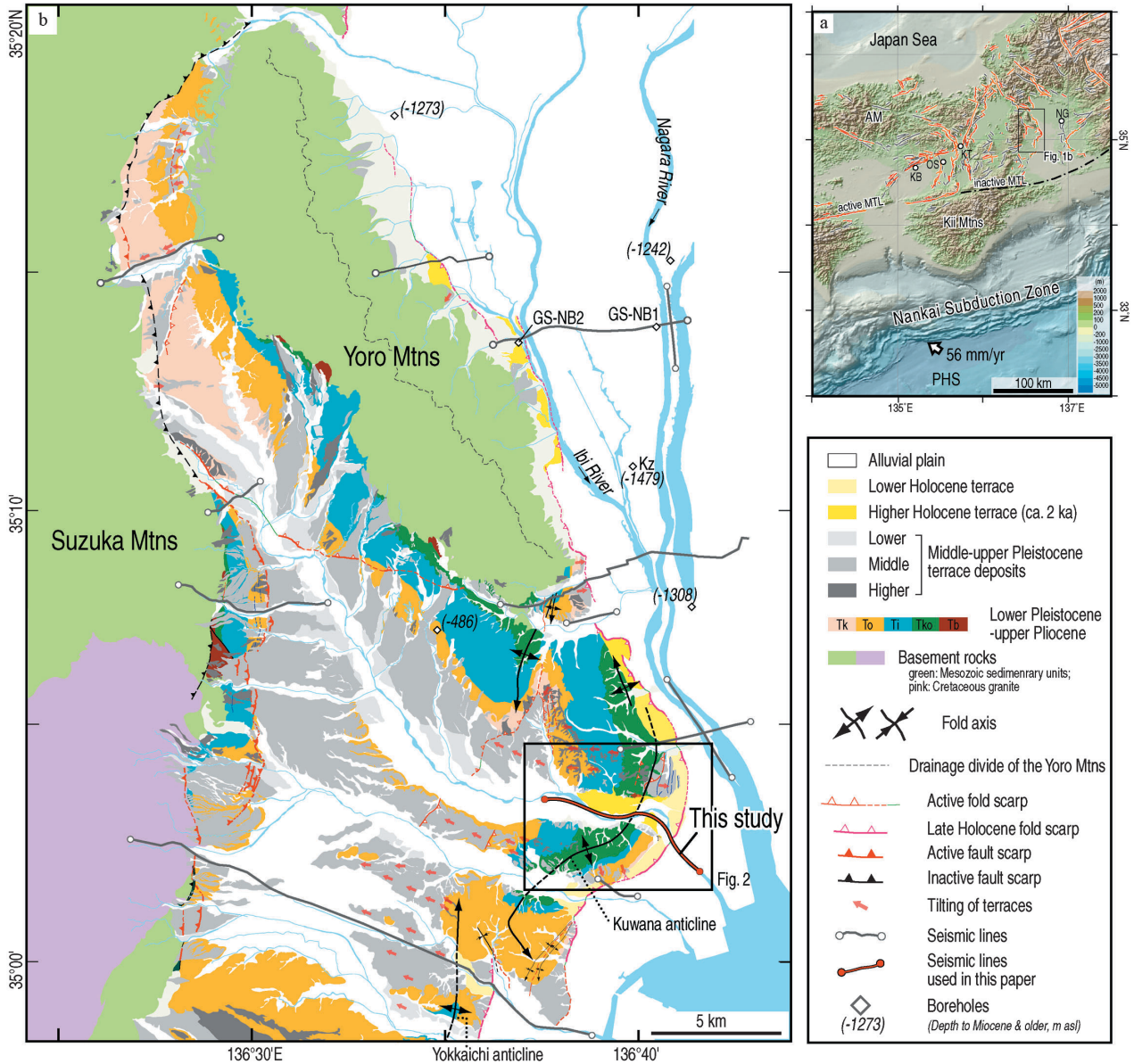


Fig. 1. (a) Shaded relief map based on 250 m digital elevation model (DEM) (Kishimoto *et al.*, 2000) showing the topography and distribution of active faults within the Kinki region, central Japan. Locations of active faults are from Nakata and Imaizumi (2002). Red, orange, and gray lines mark active faults that are precisely located, approximately located, and inferred, respectively. Barbs denote hangingwalls of active thrusts. Arrows indicate slip directions of strike-slip faults. Abbreviations for metropolitan areas are: KB: Kobe, OK: Osaka, KT: Kyoto, NG: Nagoya. (b) Regional Geologic Map of the Nobi-Ise fault zone including Kuwana fault (Modified from Ishiyama *et al.*, 2007). Geologic units are modified from Miyamura *et al.* (1976), Takada *et al.* (1979), Yoshida (1984; 1988), Harayama *et al.* (1989), and Yoshida *et al.* (1991). Red line with solid circles indicates location of the seismic line in this study.

川の流水によるノイズが最小限の条件下で観測を行った。

## 2.2 観測パラメータ

本探査の主なデータ取得パラメータを Table 1 に示す。本探査は地下 1-2 km 程度までの高分解能断面を取得することを目的とするため、東京大学地震研究所所有

のデジタルテレメトリーシステム GDaps-4 ((株)地球科学総合研究所製) および小型バイブレーター震源 T-15000 (IVI 社製) (佐藤, 1996) を用いた。チャンネル数は 150, 使用した地震計の固有周波数は 10 Hz であり, 9 個一組で使用した。高分解能の断面を得るため, 受振点および発震点間隔は 15 m とした。発震のスweep長は 20



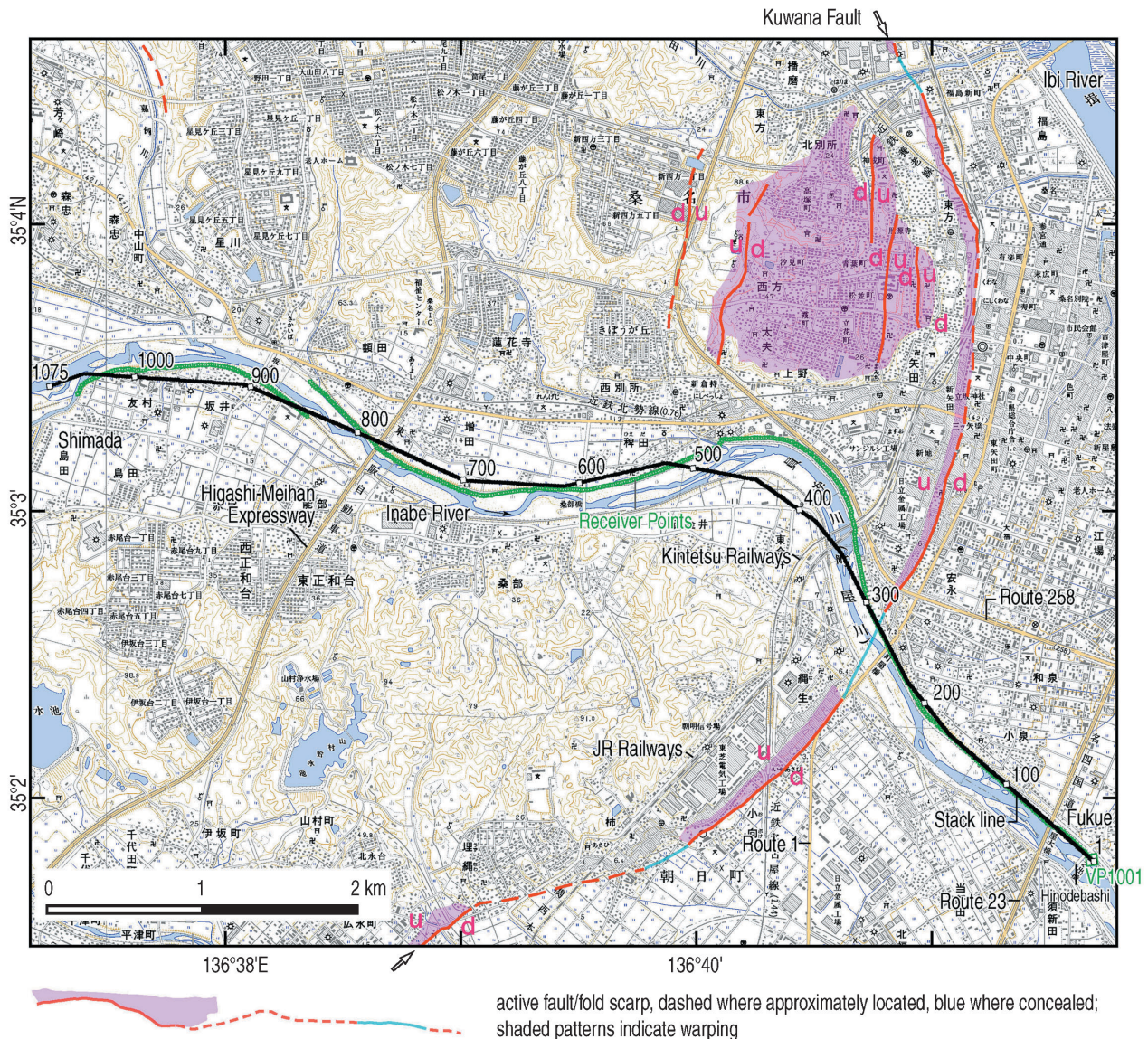


Fig. 2. Detailed topographic map showing locations of survey line with receiver points and stack line with CMP (common midpoint) numbers. Locations of active fold scarps along the Kuwana fault is redrawn from Ikeda *et al.* (2002).

sec, 周波数は10–100 Hzの線形アップスイープである。垂直重合数は標準で5回とし、ノイズの大きい区間で10回とした。平均水平重合数は75である。本測線は背斜を横断するため、背斜前翼部を横断する展開では反射波が測線下部に、後翼部を横断する展開では波線が測線上部に、それぞれ伝播することが予想される。したがって、背斜前翼部を横断する展開ではより測線下部の展開長を長く、後翼部では逆に短くなるような非対称の展開を採用し、発震を行った。また、ロールアロング方式で展開を測線上部に移動しつつ計測作業を行った。最大オフセットは2,250 mである。受振点・発震点の位置はトータルステーションを用いた光波測量により決定した。

得られた走時記録は明瞭な反射波群を捉えている。Fig. 3 (a) に発震点番号 1001 (断層下盤側) におけるショット記録を示す。このように、原記録は非常にレベルの高いランダムノイズが卓越するが、少なくとも往復走時約1秒までは明瞭な反射波を捉えていることがわかる。バンドパス・フィルター (次章を参照のこと) を施した記録 (Fig. 3 (b)) を見ると、ランダムノイズがかなり除かれ、往復走時約1.5秒まで反射波が往復走時約1.5秒まで明瞭に確認できる。また、ノイズの大きい断層下盤側ではオフセットの大きい区間で屈折初動が不明瞭になるが、それ以外では全展開長にわたり明瞭な屈折初動を見いだすことができる。



Table 1. Recording parameters for the 2000 Inabe River seismic reflection profile.

<i>Date</i>	00/11/2-11 (10 days)
<i>Source Parameters</i>	
Source	Mini-vibrator@IVI T - 15000 (ERI)
Sweep frequency	10 - 100 Hz
Sweep length	20 s
Shots/record	5-10
Shot intervals	15 m
<i>Receiver Info</i>	
Resonant frequency	10 Hz
Geophones/channel	9
Channels	150
Receiver intervals	15 m
Survey length	8.3 km
<i>Recording Parameters</i>	
Observation system	GDaps-4@JGI (ERI)
Record length	4 sec
Sampling rate	2 ms
Standard CMP fold	75
Max. offset	2250 m

### 3. データ解析

本探査で得た走時記録を用いて、反射断面を作成するための反射法処理を行った。データ解析に際しては、対話型反射法データ処理ソフトウェア ProMAX<sup>TM</sup> (Landmark 社製) を用いた。反射法の処理は共通中間点重合法に基づき、Yilmaz (1987) に代表される通常の反射波走時記録の処理方法を採用した。以下に主要な処理の内容について述べる。なお、処理のフローチャートを Fig. 4 に、各処理の主要パラメータを Table 2 に示す。

#### (1) ジオメトリの設定と適用

受振点・発震点の座標値に基づき測線のジオメトリを求めると共に、これを使って共通中間点分布・重合数を算出した上で重合測線を設定した (Fig. 2)。また、重合測線に基づいて共通中間点の座標を決定し、ショット記録のヘッダーに書き込み、CMP 編集を行った。

#### (2) バンドパス・フィルター

表面波などの低周波ノイズや高周波のランダムノイズを抑制するためにバンドパス・フィルターを適用した。適用した範囲は、震源のスイープ周波数を目安にし、テストの結果を比較して決定した。また、測線を横断する送電線に起因する電気信号ノイズを除去すべく、60 Hz のノッチ・フィルターを適用した。

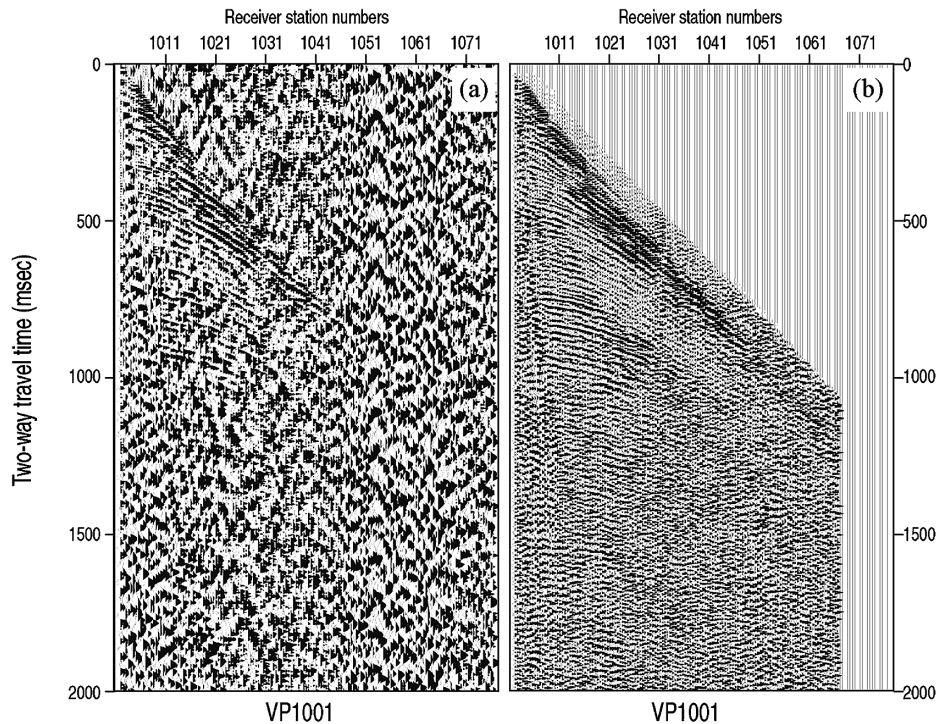


Fig. 3. (a) Shot gather and (b) filtered gather obtained at shot point 1001.

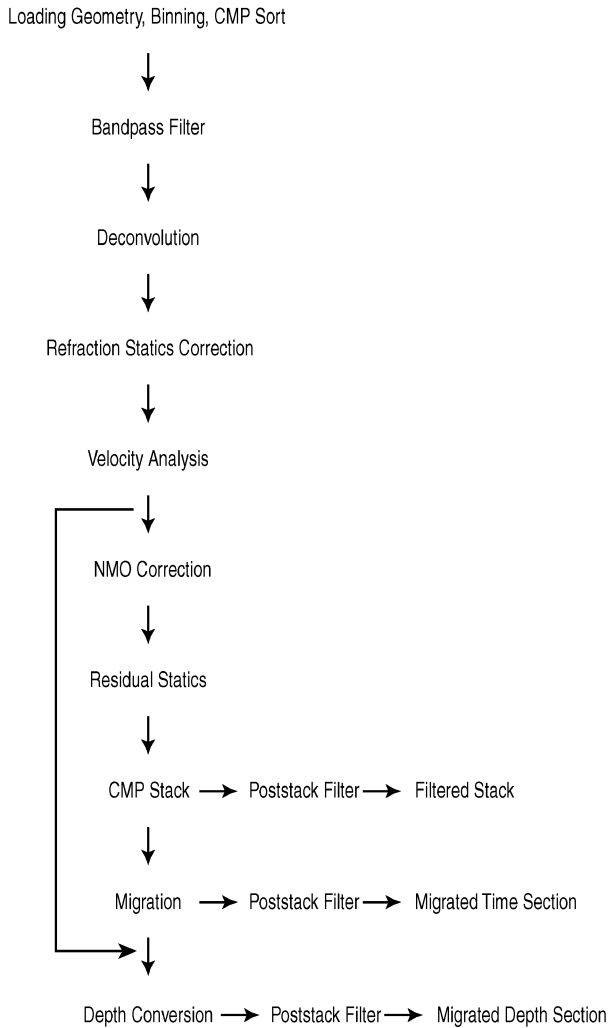


Fig. 4. Flowchart of data processing.

## (3) デコンボリューション・フィルター

観測波形（基本波形）に含まれる観測系の特性や短周期多重反射・地層の非弾性的効果を除去し、理想的なインパルス応答を復元すべく、デコンボリューション・フィルターを設計し、記録波形に適用した。オペレーター長・予測距離はそれぞれ波形の自己相関を作成し、その結果を比較検討することで試行錯誤的に求めた。

## (4) 表層静補正

表層付近の低速度層の分布を推定し、その走時に対する影響を除去するために、表層静補正を適用した。CMP編集した記録波形に標高補正を施した波形から屈折波の初動走時を読み取り、改良タイムターム法（Iwasaki, 2002）を用いた屈折法解析により各発震点・受振点における表層部の伝播時間を求め、その値で補正を施す処理（屈折静補正）を行った。

第1層基底の速度を Fig. 5 (a) に、タイムターム値を

Table 2. Processing parameters for the 2000 Inabe River seismic reflection profile.

CMP sort	
CMP interval	7.5 m
Bandpass filter	
20-80 Hz	
Deconvolution	
Operator length	105 msec
Prediction distance	32 msec
Residual Statics	
Maximum static shift	4 msec
Time window	1000 msec
Gate length	11 traces
F-K migration	
Stretch factor	0.6
Velocity scale factor	70 %
F-X deconvolution	
Horizontal window	10 traces
Operator length	5
Time window	1000 msec

Fig. 5 (b) にそれぞれ示す。測線は河川敷ないしは堤防に位置し、その標高差は最大で約 20 m と非常に小さいため、発震・受振点のタイムターム値は非常に良く一致する。第1層基底の速度は、沖積層の厚い断層下盤側で若干小さく、沖積層が東海層群を薄く覆う上盤側では 2 km/sec とやや大きくなっている。

## (5) 速度解析と NMO 補正

速度スペクトル法と定速度重合法により平均重合速度を求めた。速度解析は、濃尾平野の比較的緩やかな構造の範囲では CMP 100 点おきに、構造が急な桑名断層の撓曲崖付近および前翼部では CMP25 点おきに行った。得られた速度構造を Fig. 6 に示す。さらに、平均重合速度を用いてノーマルムーブアウト（NMO）補正を行い、ゼロオフセットの CMP アンサンブルに変換した。NMO 補正に際してはオフセットの大きい部分をストレッチミュートにより削除するとともに、NMO 後にミュートを行った。

速度解析の結果得られた速度構造を Fig. 6 に示す。東急・西緩の非対称背斜である桑名背斜の構造に対応して、前翼部に厚い低速度域が分布する。また、後翼部にも低速度域が分布するが、その厚さは前翼部に比べて小さい。



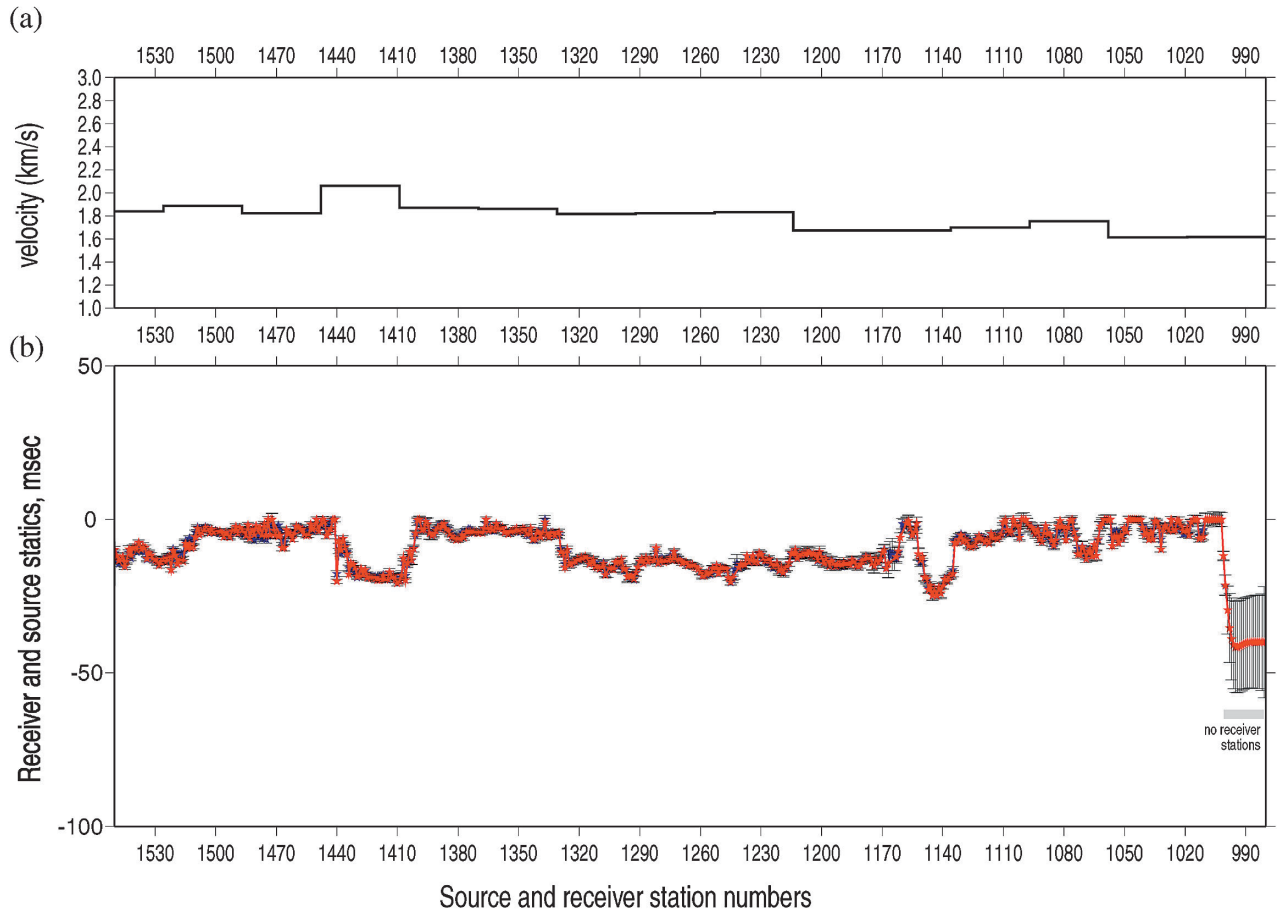


Fig. 5. (a) Near-surface velocity structure and (b) receiver (red) and source (blue) statics calculation based on time-term analysis (Iwasaki, 2002). Offset shots around station 990 produce exceptionally low shifts, which were not applied to CMP gathers.

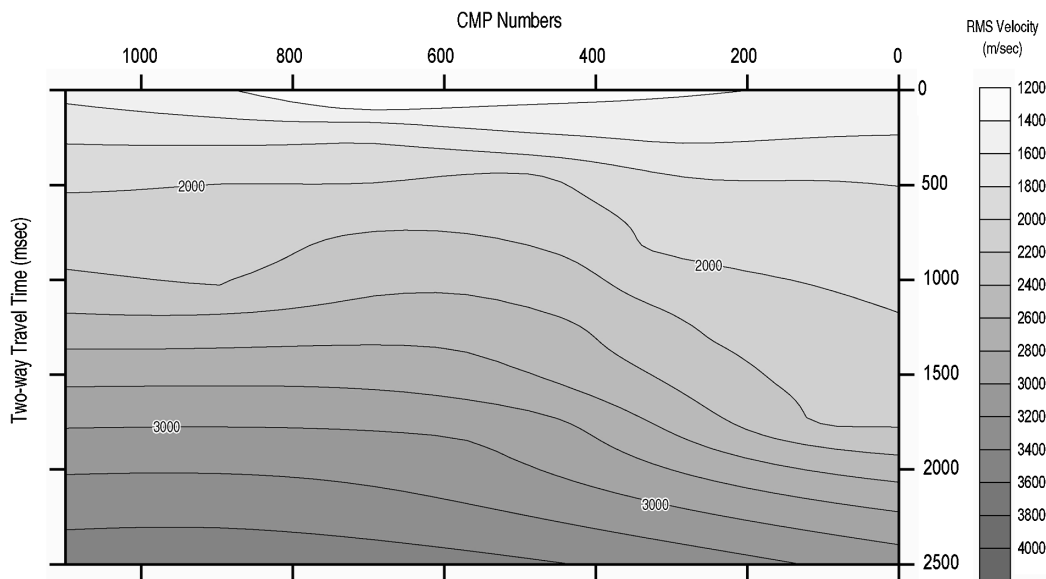


Fig. 6. Stacking RMS velocity structure based on velocity analysis.

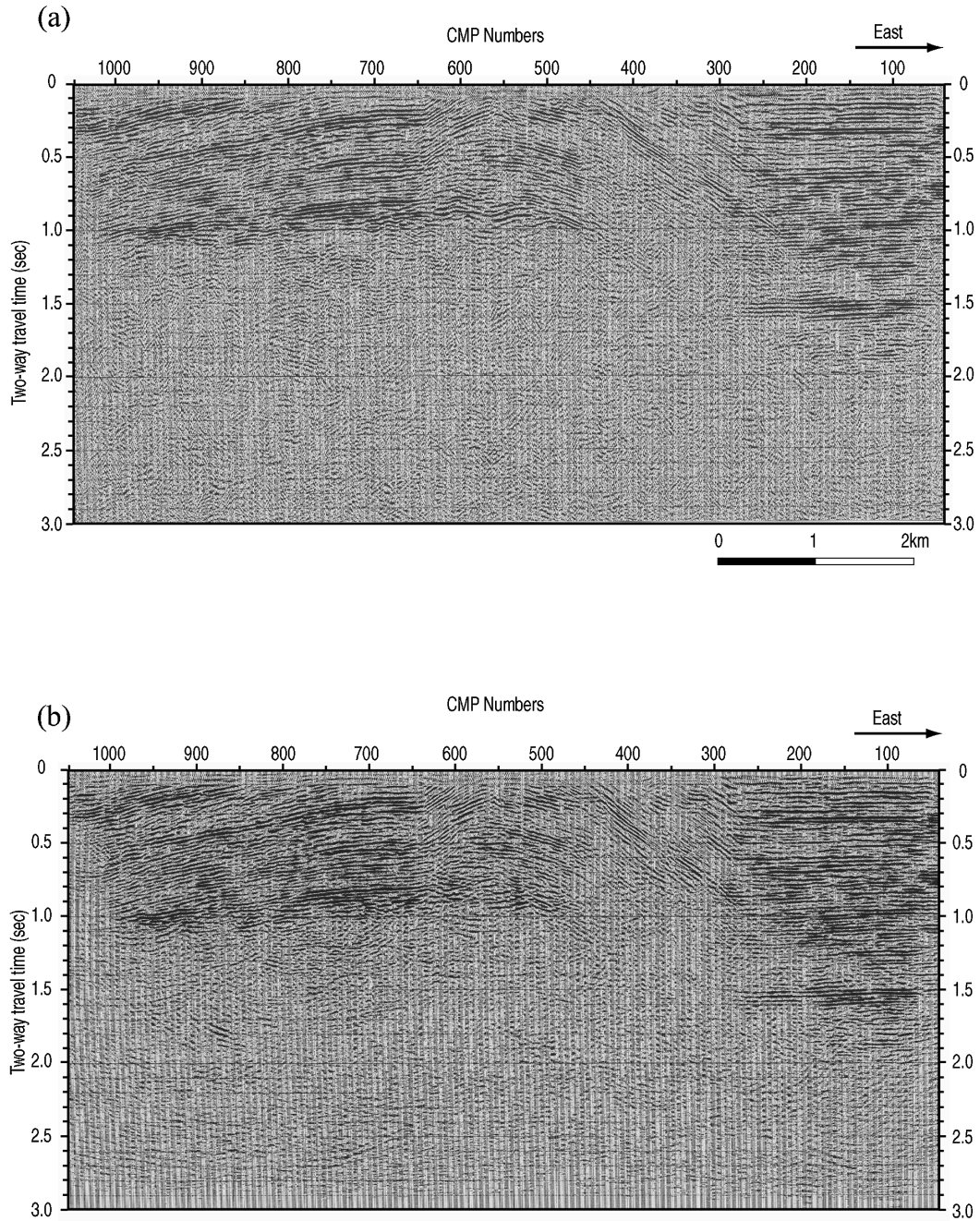


Fig. 7. (a) Filtered stack section and (b) migrated time section based on data processing.

#### (6) 残差静補正

表層静補正で補正しきれない、短い波長の表層の速度変化に起因する走時のずれの残差を補正し、重合効果を高める目的で、残差静補正を適用した。

#### (7) 共通中間点重合

NMO 補正後、CMP アンサンブルのトレースを重合した。この処理により、平均重合速度と異なる速度を持つ波やランダムノイズの振幅は相対的に抑制され、S/N 比は向上する。得られた重合記録断面を Fig. 7 (a) に示

す。

#### (8) 重合後処理

重合後の処理として、空間的なコヒーレンシーのないランダムノイズを抑制し、反射波の連続性を高める目的で予測フィルターの一種である F-X デコンボリューションを適用した。

#### (9) マイグレーション

傾斜する反射面を真の位置に復元するために、F-k マイグレーションを適用した。マイグレーションの結果を



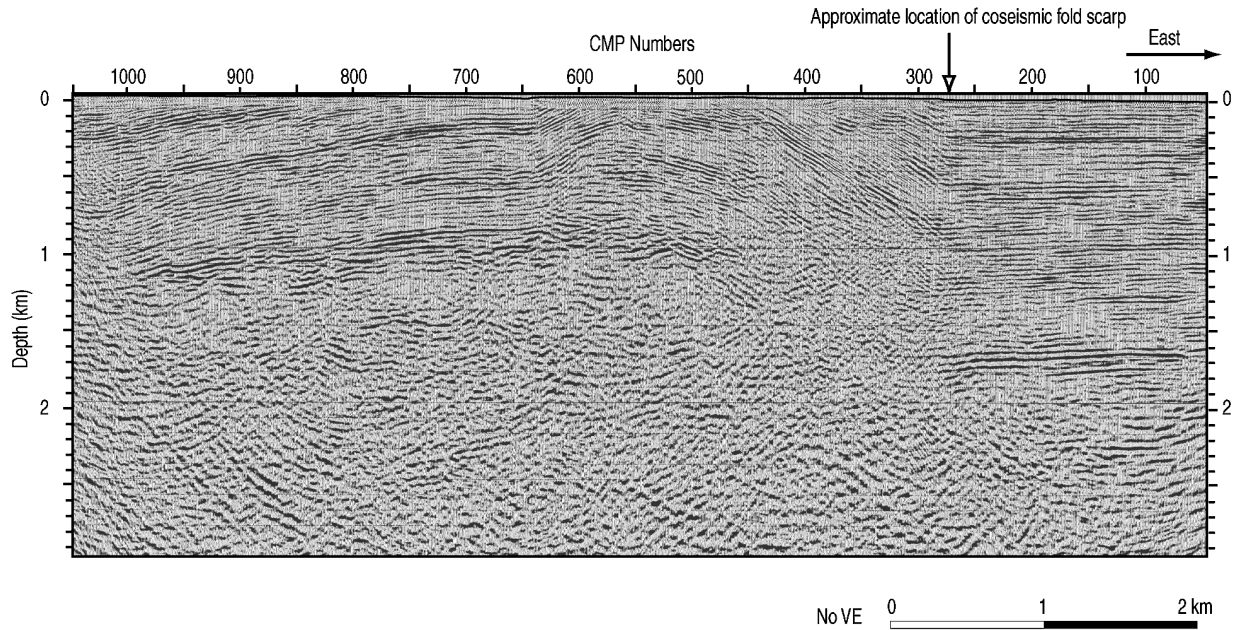


Fig. 8. Depth, migrated section based on data processing (Modified from Ishiyama *et al.*, 2004).

Fig. 7 (b) に示す。重合記録断面 (Fig. 7 (a)) に比べて、断層上盤側の傾斜する反射面の連続性が良くなったことがわかる。また、基盤岩類上面の凹凸から発生する回折波も正しく除去されているのがわかる。

#### (10) 深度変換

速度解析の結果得られた速度構造から区間速度を求め、これを用いて深度変換を行った。深度断面を Fig. 8 に示す。

#### 4. 反射断面の解釈

上記の処理の結果、桑名断層とその上盤側に発達する桑名背斜の地下 2 km までの高精度地下構造が明らかになった (Fig. 8)。反射断面に現れた桑名背斜の変形構造は、桑名丘陵縁辺部に分布する員弁川の河成段丘面の変形構造に非常に良く一致している。この観察事実を用いて、Ishiyama *et al.* (2004) は反射断面の解釈と段丘面の変形から桑名断層がウェッジ・スラストであることを示した。反射面とボーリング・露頭の対比からは、背斜前翼部基部は断層で切られるのではなく、向斜軸であると考えられる。この向斜軸は 1586 年の天正地震の際に形成されたと考えられる撓曲崖の基部に一致しており、地震時にスラスト・ウェッジが平野側に前進することにより成長したものと考えられる (Ishiyama *et al.*, 2004)。このことは、1586 年天正地震時に形成された養老断層 (須貝ほか, 1999; 東郷, 2000; 石山ほか, 2002) および桑名断層の撓曲崖地形が、いずれも中生代が核をなす

ウェッジスラストの先端部に形成されたことを示している (Ishiyama *et al.*, 2004; Ishiyama *et al.*, 2007)。

#### 5. まとめ

2000 年 11 月 2 日から同 11 日にかけて、三重県桑名市福江から同島田に至る全長約 8.3 km の測線で、東京大学地震研所有の反射法地震探査システムを利用した高精度浅層反射法地震探査を実施した。さらに、観測データを用いて対話型反射法データ処理ソフトウェアにより反射断面を作成した。その結果、桑名丘陵下に伏在する西傾斜の桑名断層によって形成された桑名背斜の詳細な構造が明確になった。

#### 謝 辞

観測に際しては、桑名市役所・三重県警察桑名警察署の関係各位には用地使用手続き全般に関して全面的にご協力頂いた。また、本稿の内容は匿名査読者のご指摘により改善された。以上の方々に對して、ここに謝意を表す。なお、本探査に際しては、平成 12-14 年度文部省科学研究費補助金 基盤研究 (B) 課題番号 12480019 (研究代表者: 岡田篤正) を使用した。

#### 文 献

- 栗田泰夫・吉田史郎, 1991, 桑名断層および四日市断層の完新世における活動, 活断層研究, **9**, 31-68.
- 栗田泰夫, 1997, 桑名断層の第四紀後期の活動性調査, 平成 8 年度活断層研究調査概要報告書, 地質調査研究資料集

- No. 303, 95-104.
- 原山 智・宮村 学・吉田史郎・三村弘二・栗本史雄, 1989, 御在所山地域の地質, 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 145 p.
- 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, 2002, 第四紀逆断層アトラス, 東京大学出版会, 254 p.
- 石山達也・東郷正美・今泉俊文・佐藤比呂志・中田 高・野原壯・原口 強, 2002, 養老断層の極新期断層変位地形の形成過程—岐阜県海津郡南濃町志津菖蒲原地区における養老断層の地層抜き取り調査—, 活断層研究, **22**, 115-126.
- Ishiyama T., K. Mueller, M. Togo, A. Okada, K. Takemura, 2004, Geomorphology, kinematic history, and earthquake behavior of the active Kuwana wedge thrust anticline, central Japan, *J. Geophys. Res.*, **109**, B12408, doi: 10.1029/2003JB002547.
- Ishiyama, T., K. Mueller, H. Sato, and M. Togo, 2007, Coseismic fault-related fold model, growth structure, and the historic multisegment blind thrust earthquake on the basement-involved Yoro thrust, central Japan, *J. Geophys. Res.*, doi: 10.1029/2006JB004377.
- Iwasaki, T., 2002, Extended time-term method for identifying lateral structural variations from seismic refraction data, *Earth Planets Space*, **54**, 663-677.
- 活断層研究会, 1991, 『新編 日本の活断層—分布図と資料』, 東京大学出版会, 437 p.
- 岸本清行, 2000, 海陸を合わせた日本周辺のメッシュ地形データの作成: Japan250m.grd, 地質調査所研究資料集 (CD-ROM), **353**, 1 CD-ROM, 地質調査所.
- 宮村 学・三村弘二・横山卓雄, 1976, 彦根東部地域の地質, 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 49 p.
- 水資源開発公団・財団法人大阪土質試験所, 1995, 長良川河口部周辺地質構造調査 報告書.
- 中田 高・今泉俊文編, 2002, 活断層詳細デジタルマップ, 東京大学出版会, 60 p.
- 佐藤比呂志, 1996, 東京大学地震研究所に導入された反射法地震探査システム, 活断層研究, **15**, 100-105.
- 須貝俊彦・栗田泰夫・下川浩一, 1998, 桑名断層・四日市断層の活動履歴調査, 地質調査所速報, no. EQ/98/1 (平成 9 年度活断層・古地震研究調査概要報告書), 75-90.
- 須貝俊彦・伏島祐一郎・栗田泰夫・吾妻 崇・苅谷愛彦・鈴木康弘, 1999, 養老断層の完新世後期の活動履歴—1596 年天正地震・745 年天平地震震源断層の可能性. 地質調査所速報, no. EQ/99/3, 89-102.
- 鈴木康弘・千田 昇・渡辺満久・岡田篤正, 1996, 1: 25, 000 都市圏活断層図「桑名」, 国土地理院技術資料 D. 1-333.
- 高田康秀・近藤善教・宮村 学, 1979, 津島地域の地質, 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 56 p.
- 東郷正美, 2000, 微小地形による活断層判読, 古今書院, 206 p.
- 宇佐美龍夫, 2003, 日本被害地震総覧: [416]-2001, 東京大学出版会, 605 p.
- Yilmaz, O., 1987, *Seismic Data Processing*, Soc. Exploration Geophys., Tulsa, Oklahoma, 526 p.
- 吉田史郎, 1984, 四日市地域の地質, 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 81 p.
- 吉田史郎, 1988, 鈴鹿・養老両山系間の鮮新・更新統東海層群—東海湖終息期の堆積物—, 地球科学, **42**, 1-16.
- 吉田史郎・栗本史雄・宮村 学, 1991, 桑名地域の地質, 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 154 p.

(Received March 23, 2007)

(Accepted May 9, 2007)