

横手盆地東縁断層帯・太田断層を横断する浅層反射法地震 探査 (2003 年): データ取得と処理について

楮原京子^{1)*}・内田拓馬²⁾・宮内崇裕³⁾・今泉俊文⁴⁾・佐藤比呂志⁵⁾・越後智雄⁶⁾・池田安隆⁷⁾・越谷信⁸⁾・野田 賢⁸⁾・松多信尚⁹⁾・石山達也¹⁰⁾・戸田 茂¹¹⁾・加藤 一¹²⁾・岡田真介⁷⁾・加藤直子⁵⁾・荻野スミ子⁵⁾・木村治夫⁵⁾・渡邊勇二¹³⁾・宇野知樹¹⁴⁾・田中 環¹⁵⁾・小島 淳¹⁶⁾・市川史大¹⁷⁾・小畑一馬¹⁸⁾・乗田康之¹⁹⁾・今村朋裕²⁰⁾・野田克也²¹⁾・井川 猛²¹⁾

¹⁾ 山梨大学大学院医学工学総合教育部 (現在: 東北大学大学院理学研究科)・²⁾ 千葉大学大学院自然科学研究科 (現在: 慶応義塾高等学校)・³⁾ 千葉大学大学院自然科学研究科・⁴⁾ 山梨大学教育人間科学部 (現在: 東北大学大学院理学研究科)・⁵⁾ 東京大学地震研究所・⁶⁾ 東京大学大学院理学系研究科 (現在: (財) 地域 地盤 環境 研究所)・⁷⁾ 東京大学大学院理学系研究科・⁸⁾ 岩手大学工学部・⁹⁾ 東京大学地震研究所 (現在: 国立台湾大学)・¹⁰⁾ (独) 産業技術総合研究所活断層研究センター・¹¹⁾ 愛知教育大学教育学部・¹²⁾ 山梨大学教育人間科学部・¹³⁾ 山梨大学大学院工学研究科 (現在: (有) アイピーエス)・¹⁴⁾ 山梨大学教育人間科学部 (現在: (株) きもと)・¹⁵⁾ 千葉大学大学院自然科学研究科 (現在: 富士通(株))・¹⁶⁾ 千葉大学大学院自然科学研究科 (現在: 出光興産(株))・¹⁷⁾ 岩手大学工学部 (現在: (有) 石橋)・¹⁸⁾ 岩手大学工学部 (現在: 大成ロテック(株))・¹⁹⁾ 岩手大学工学部 (現在: 青森県埋蔵文化財調査センター)・²⁰⁾ 京都大学大学院理学研究科 (現在: 京都府丹後土木事務所)・²¹⁾ (株) ジョシス

High-resolution seismic reflection profiling across the Ota fault, eastern margin of the Yokote basin fault zone, northeast Japan: data acquisition and processing

Kyoko Kagohara^{1)*}, Takuma Uchida²⁾, Takahiro Miyauchi³⁾, Toshifumi Imaizumi⁴⁾, Hiroshi Sato⁵⁾, Tomoo Echigo⁶⁾, Yasutaka Ikeda⁷⁾, Shin Koshiya⁸⁾, Masaru Noda⁸⁾, Nobuhisa Matsuta⁹⁾, Tatsuya Ishiyama¹⁰⁾, Shigeru Toda¹¹⁾, Hajime Kato¹²⁾, Shinsuke Okada⁷⁾, Naoko Kato⁵⁾, Sumiko Ogino⁵⁾, Haruo Kimura⁵⁾, Yuji Watanabe¹³⁾, Tomoki Uno¹⁴⁾, Tamaki Tanaka¹⁵⁾, Jun Kojima¹⁶⁾, Fumihiro Ichikawa¹⁷⁾, Kazuma Obata¹⁸⁾, Yasuyuki Norita¹⁹⁾, Tomohiro Imamura²⁰⁾, Katsuya Noda²¹⁾ and Takeshi Ikawa²¹⁾

¹⁾ Graduate School of Medical and Engineering Science, Yamanashi University (Now at Graduate School of Science, Tohoku University), ²⁾ Graduate School of Science and Technology (Now at Keio Senior High School), ³⁾ Graduate School of Science and Technology, Chiba University, ⁴⁾ Faculty of Education and Human Sciences, Yamanashi University (Now at Graduate School of Science, Tohoku University), ⁵⁾ Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, ⁶⁾ Graduate School of Science, the University of Tokyo (Now at Geo-Research Institute), ⁷⁾ Graduate School of Science, the University of Tokyo, ⁸⁾ Faculty of Engineering, Iwate University, ⁹⁾ Earthquake Research Institute, the University of Tokyo (Now at National Taiwan University), ¹⁰⁾ Active Fault Research Center, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, ¹¹⁾ Faculty of Education, Aichi University of Education, ¹²⁾ Faculty of Education and Human Sciences, Yamanashi University, ¹³⁾ Graduate School of Engineering, Yamanashi University (Now at IPS Ltd.), ¹⁴⁾ Faculty of Education and Human Sciences, Yamanashi University (Now at KIMOTO CO., LTD.), ¹⁵⁾ Graduate School of Science and Technology (Now at FUJITSU LIMITED.), ¹⁶⁾ Graduate School of Science and Technology, Chiba University (Now at Idemitsu Kosan Co., Ltd.), ¹⁷⁾ Faculty of Engineering, Iwate University (Now at Ishibashi), ¹⁸⁾ Faculty of Engineering, Iwate University (Now at Taisei Rotec Corporation), ¹⁹⁾ Faculty of Engineering, Iwate University (Now at Aomori Prefectural Archeological Artifacts

* e-mail: d0-0b-kago@mail.tains.tohoku.ac.jp (〒980-8578 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3)

Research Center),²⁰⁾ Graduate School of Science, Kyoto University (Now at Tango Public works and Construction office, Kyoto Prefecture),²¹⁾ Geosys Inc.

Abstract

The eastern margin of the Yokote basin fault zone extends north to south about 56 km at the western foot of the Ou Backbone Range, northeast Japan. The Rikuu earthquake ($M=7.2$) occurred in the Ou Backbone Range (Mahiru Range) on 31st August, 1896. Associated with this earthquake, four thrust faults- Obonai, Shiraiwa, Ota, and Senya fault-appeared on the surface of the western foot of the Mahiru Range. These faults were highly sinuous with numerous gaps and en echelon steps.

We conducted a high-resolution seismic reflection profiling survey across the Ota fault and nearby tectonic structures in 2003. The obtained seismic reflection data were processed by conventional common mid-point stacking, post-stack migration, and depth conversion. As a result, it was revealed that the subsurface structure is characterized by emergent thrust with branching faults concealed beneath the geomorphic flexure at the foreside of the surface rupture of the 1896 earthquake.

Key words: Rikuu earthquake, Ota fault, thrust fault, subsurface structure, high-resolution seismic reflection profiling

1. はじめに

横手盆地は奥羽脊梁山脈と出羽山地との間に位置し、南北約 60 km、東西約 15 km の狭長な内陸盆地である (Fig. 1). 横手盆地東縁断層帯は、横手盆地と奥羽山脈の境界に沿って、ほぼ南北方向に延び、長さ約 56 km の逆断層帯である (地震調査研究推進本部, 2005). その最新活動は 1896 年 (明治 29 年) の陸羽地震 ($M7.2$) であり、その際、北方の駒ヶ岳西麓断層群 (生保内断層)、東方の真昼山地東縁断層帯の一部 (川舟断層) とともに、横手盆地東縁に沿って地表地震断層が出現した (山崎, 1896; 今村, 1913; 松田ほか, 1980). 松田ほか (1980) は、山崎 (1896) や今村 (1913) などの報告を基に、当時の様子を聞き取りながら、陸羽地震断層の詳細な位置、断層形態、断層変位量 (水平短縮量と上下変位量) などを明らかにした。その結果、横手盆地東縁の地表地震断層を北から白岩断層、太田断層、千屋断層に分けた。

このうち太田断層のトレースは、川口断層 (境界断層) の延長上に位置し、千屋断層とも白岩断層とも直接連続しない (川口川付近で約 1 km 東に位置する; 松田ほか, 1980). 陸羽地震時の変位が最も顕著である千屋断層に対しては、1996 年に反射法地震探査が行われ、千屋断層と川口断層 (境界断層) との関係も含め、千屋丘陵下の地下構造が明らかにされた (佐藤・平田, 1998; 佐藤ほか, 2007).

そこで、本研究では、太田断層の地下形状を明らかに

し、千屋断層との比較から、活構造の連続性を検討することを目的とした。なお、小論では、2003 年に大仙市 (旧太田町) 川口において実施した浅層反射法地震探査のデータ取得と処理結果について報告する。

2. 地形・地質概説

川口川と斉内川に挟まれた太田断層東側の真昼山地は、下位より、中期中新統の湯田層、信倉沢安山岩部層、真昼川層、吉沢川層、後期中新統の弥勒層によって構成され、太田断層の南西部に位置する清水川山付近には、弥勒層および鮮新統～後期更新統の千屋層が分布する (臼田ほか, 1976, 1980; Fig. 1, Fig. 2).

真昼川層は本地域において最も広く分布し、真昼山地の大部分を構成する。本層は下位層を不整合で覆い、玄武岩類、石英安山岩類、泥岩類などからなる。川口川北岸には、この真昼川層を岩床状に貫く石英安山岩が分布しており、この貫入岩に沿って、大台の北東壁に大規模な地滑りが発生している。また、貫入岩の北方延長は北北東方向にのびる断層 (斉内川断層; 臼田ほか, 1980) へと連続している。真昼山地西縁には吉沢川層や弥勒層が分布し、太田断層近傍 (斉内川左岸の露頭) では、これらの地層がキンク状に折れ曲がる構造が確認できる。吉沢川層は臼田ほか (1980) の内沢川層に対比される硬質泥岩、弥勒層は臼田ほか (1980) の真木層に対比される黒色泥岩である。千屋層はシルト岩・礫岩・亜炭を含む

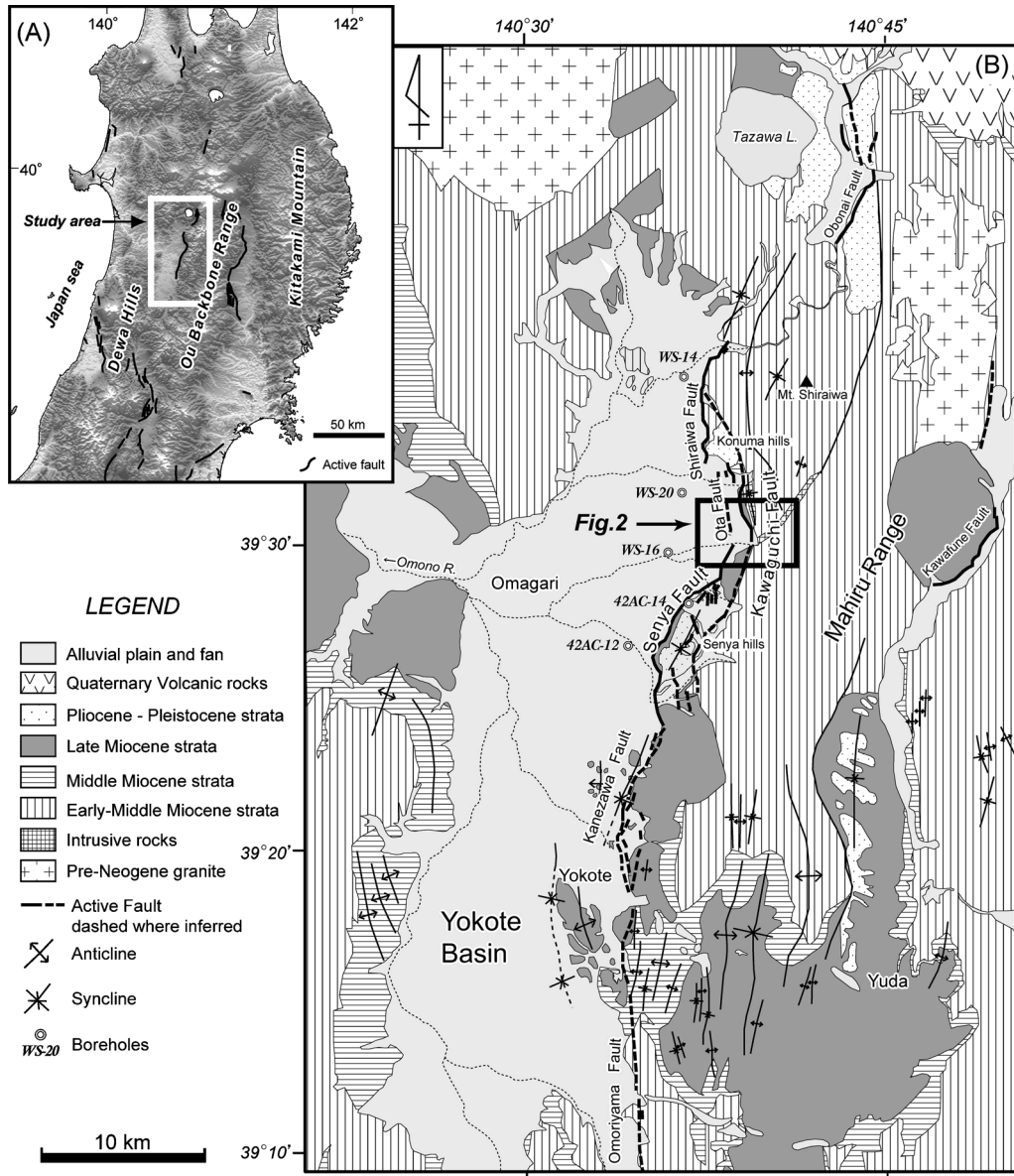


Fig. 1. (A) Shaded relief map based on 250 m DEM showing the locations of active thrusts in the Tohoku district. Active faults are after Ikeda *et al.* (2002) (B) Simplified geological map in and around the Yokote basin. Surface geology is compiled from Usuda *et al.* (1976, 1977, 1980), Osawa and Suda (1980) and Osawa *et al.* (1988).

陸成層であり、下位の弥勒層を不整合に覆う。また、山地西縁や横手盆地には、これらの地層を被覆して中位面～低位面や沖積面が発達する。

前述の清水川山周辺の丘陵は、西縁を千屋断層によって限られており、その北端は川口川南岸に位置する。太田断層は、大神成から川口までの約3 kmの範囲に認められ、川口川北岸の段丘面には6 mに及ぶ断層崖が形成されている。また、その位置は千屋断層・白岩断層より1 km程東よりにあり、山地・盆地境界をなしている。そのため、太田断層のトレースは、川口断層の一部とほぼ一致する。真昼山地西縁を限る川口断層は、白岩から六

郷にかけて長さ約25 kmに渡って認定されている（藤原, 1954; 活断層研究会, 1991）。さらに、太田断層西方（盆地側）約1 km付近には、白岩断層の南延長にあたる沖積面上に、伏在断層の存在を示唆する僅かな傾斜変換（撓み）が指摘されている（池田ほか, 2002）。

3. 反射法地震探査「川口2003測線」

3.1 探査測線とデータ取得

反射法地震探査は2003年8月24日から9月5日まで実施された。測線は、太田断層とその西方にある撓曲帯、真昼山地下の構造を捉えることをねらいとして、大仙市

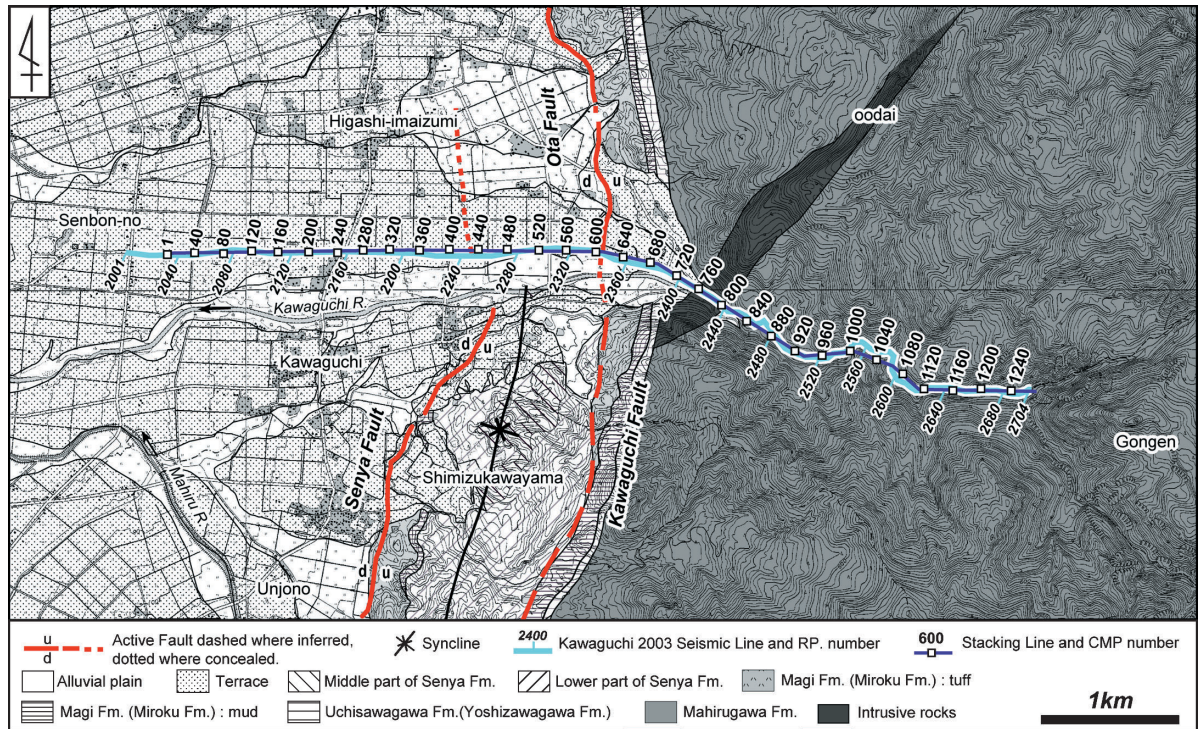


Fig. 2. Location map of the Kawaguchi 2003 seismic line and CMP stacking line.

Table 1. Data acquisition parameters for the Kawaguchi 2003 seismic line.

Length of seismic line	7.1 km
Source parameters	
Source	Minivib (IVI, T-1500)
Sweep frequency	10-100 Hz or 10-60 Hz
Sweep length	15 sec or 24 sec
No. of sweeps	7
No. of shot points	558
Shot interval	10 m or 20 m
Receiver parameters	
Natural frequency	10 Hz
Receiver interval	10 m
No. of channels	180 ch
Recording parameters	
Instruments	JGI, GDAPS-4
Sampling rate	2 msec
Recording length	3 sec
Standard CMP fold	80

千本野から川口川に沿って権現山に至る 7.1 km に設定された。この測線を川口 2003 測線と呼ぶ。Fig. 2 に反射法地震探査測線を、Table 1 に本探査のデータ取得に関する仕様を示す。観測は東京大学地震研究所に導入された探査システム（佐藤，1996）を活用し、震源は、東京大学地震研究所所有の Minivib T-1500（IVI 社製）を使用した。得られる地震波形は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）を用いて、

180 ch で収録した。観測に使用した受振点には RP2029-2704 とした。RP2029-2149 および RP2644-2704 では固定展開とし、RP2150-2642 では西側 120 ch、東側 60 ch の非対称形展開のロールアロング方式で収録した。使用した受振器は固有周波数が 10 Hz で 9 個組のものを使用し、受振点間隔は 10 m とした。発震は観測開始時に RP 2042 において震源のスイープ周波数のテストを行い、スイープ周波数を 10-100 Hz、スイープ長を 15 秒、標準スタックを 7 回と設定した。発震点は 10 m 間隔に設けたが、山地に入り、路面状況の悪化等によって、ショット記録の質が低下したため、RP2413 において再度テストを行った。テストの結果、スイープ周波数 10-60 Hz において、浅層から往復走時約 1 秒までの反射面が他の記録よりも、鮮明であることから、RP2414 以降はスイープ周波数を 10-60 Hz、スイープ長を 24 秒に変更し、1 ショットの記録を向上させた。その上で、時間調整のために発震点を 20 m 間隔とした。Fig. 3 は発震パラメータ変更時に RP2413 で行った震源のスイープ周波数のテストショットを 180 ch で記録した結果である。これらのショット記録には 500 msec の AGC を施している。テストではスイープ周波数 10-60 Hz、10-80 Hz、10-100 Hz のそれぞれについて 5 回のスタックを行った。

3.2 データ処理

観測データは、反射法データ解析用ソフト Super X-C

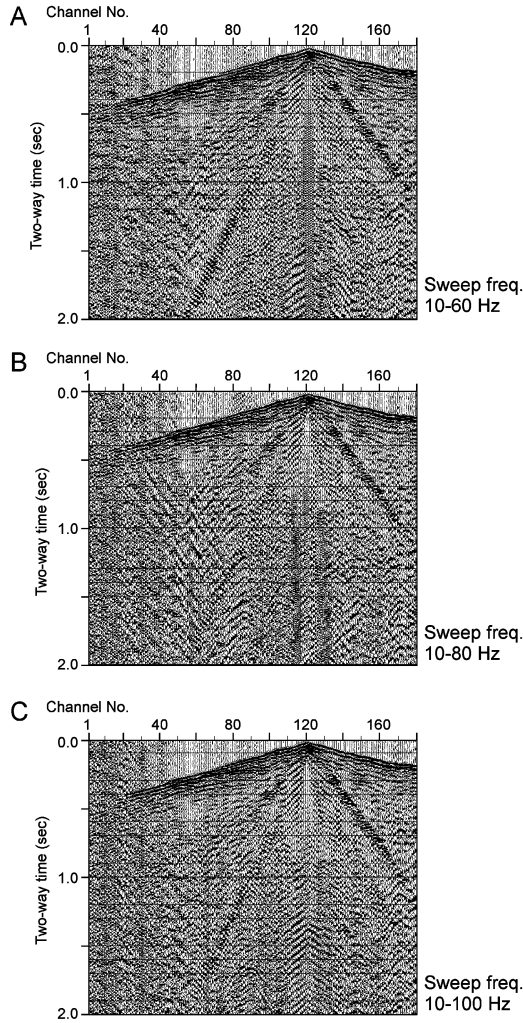


Fig. 3. Examples of shot gathers at different sweep frequency.

- A. Sweep frequency 10-80 Hz.
B. Sweep frequency 10-100 Hz.
C. Sweep frequency 10-120 Hz.

((株)地球科学総合研究所製)を用いて、一般的な共通反射点重合法で解析した (Fig. 4)。データ解析処理パラメータを Table 2 に示し、以下に主要な処理の概要を述べる。

(1) 共通反射点編集 (CMP Sorting)

測量結果から、発震点・受振点の位置を求め、これから共通反射点の分布を計算し、最適な CMP 重合測線を決定した。重合測線を Fig. 2 に示す。この測線に従って共通反射点の編集を行った。CMP の間隔は 5 m に設定し、CMP 重合測線に沿った重合数は、概ね 80 となった (Fig. 5)。

(2) 振幅補償 (Gain Recovery)

テストの結果、以下のパラメータを用いて、 t^n 型振幅調整と自動振幅調整 (AGC) を行い、振幅の減衰を回復

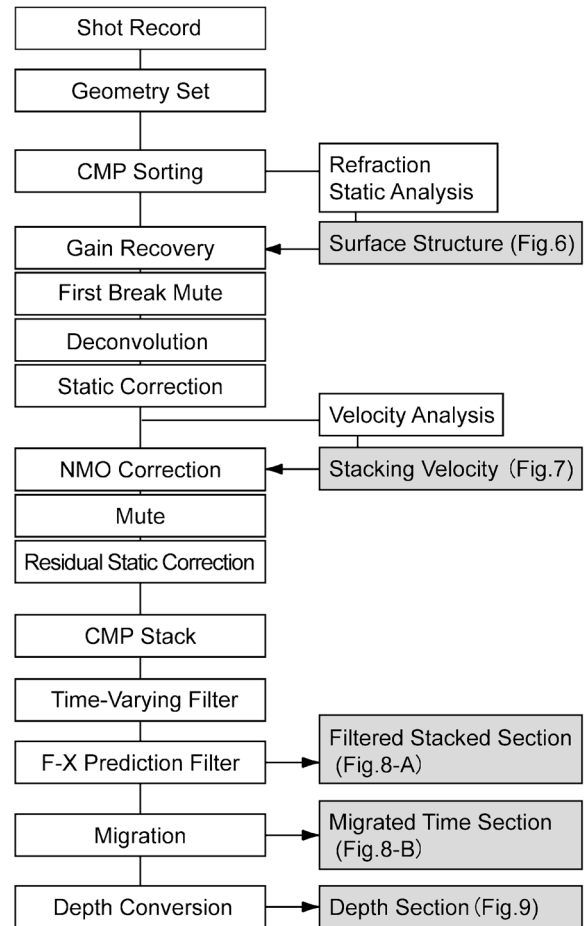


Fig. 4. Flow chart of data processing.

させた。

t^n 型振幅調整 (n): 1.2 AGC gate length: 300 msec

(3) 初動ミュート (First Break Mute)

CMP sort 後に屈折初動の大きい部分を削除した。用いたパラメータは Table 3 に示す。

(4) デコンボリューション (Deconvolution)

受振点側および発震点側の周波数特性や、波動伝播過程における種々の周波数依存効果の影響をデータから推定・除去し、分解能の高い記録を得るため、デコンボリューション処理を行った。ここでは以下のパラメータを用いた。

Operator length: 120 msec Gate length: 1200 msec

White noise factor: 5% Prediction length: 2 msec

(5) 表層静補正 (Static Correction)

全てのショット記録から屈折初動走時を読みとり、その値から発震点・受振点における Time-term 値、および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、表層構造を求めた。解析には

Table 2. Processing parameters for the CMP of the Kawaguchi 2003 seismic data.

CMP Sorting	CMP interval: 5 m
Gain Recovery	Gain: $t^{1/2}$, AGC gate length: 300 msec
Deconvolution	Gate length: 1200 msec, Operator length: 120 msec White noise scale factor: 5 %
Static Correction	Time-term method, Two layers model Weathered layer (400 m/sec) and higher velocity layer
Velocity Analysis	Constant velocity stack, Velocity scan interval: 100 CMP
Time-Varying Filter	Time and Frequency : 0-700 msec, 18/24-100/120 Hz : 700-2000 msec, 10/15-80/90 Hz
F-X Prediction Filter	Gate length: 50 traces, Operator length: 5 traces, Window length: 700 msec
Post-stack Migration	Velocity scaling: 100 %

Table 3. Mute parameters for the CMP of the Kawaguchi 2003 seismic data.

	CMP	Distance (m)	Time (msec)	Sliding Velocity (m/sec)
First Break Mute	200	95	90	2000
(Tapar = 10 msec)	500	120	80	1800
	800	70	90	2300
	1200	100	80	3500
Post NMO Mute	200	300	100	3000
(Tapar = 20 msec)	500	300	120	3500
	650	260	100	4000
	750	200	90	4500

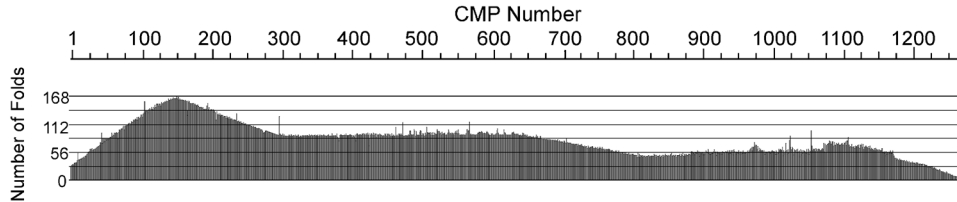


Fig. 5. Distribution of number of folds along the CMP stacking line.

iRAS ((株)地球科学総合研究所製)を使用した。インバージョンの結果得られた各発震点・受振点の Time-term 値, 表層基底層速度と表層速度, Time-term 値と速度情報から計算された深度構造を Fig. 6 に示す。なお, ショット記録の読み取りから, 表層第 1 層の表層速度として 400 m/sec を与えた。

これらの結果に基づき, 表層第 1 層の厚さの変化および標高変化によって生ずる走時変化の補正(表層静補正)を行った。

(6) 速度解析 (Velocity Analysis) と NMO 補正 (Normal Move Out Correction)

定速度重合法 (Constant Velocity Stack) による速度解析を行った。解析点は 100 CMP 毎に設け, 前後 11 CMP のデータから定速度重合パネルを作成して行っ

た。得られた重合速度構造は Fig. 7 に示す。この結果に基づいて, オフセット距離を持つ記録をすべて Normal Time に補正した。補正に伴う波形の歪みを抑制するために, 波形の最大伸び率を 2.5 倍に制限し, これを越える部分は CMP gather を基に設計したパラメータで取り除いた。用いたパラメータは Table 3 に示す。

(7) 残差静補正 (Residual Static Correction)

NMO 補正後の記録に対して, 残差静補正を行い, 静補正では補正できなかった反射波の走時のばらつきを補正した。補正值の許容範囲は 8 msec までとした。

(8) 共通反射点重合 (CMP Stack)

NMO 補正後 CMP gather 内の記録を加算(重合)し, CMP 位置における 1 個の波形記録を作成した。重合には全ての記録を使用した。

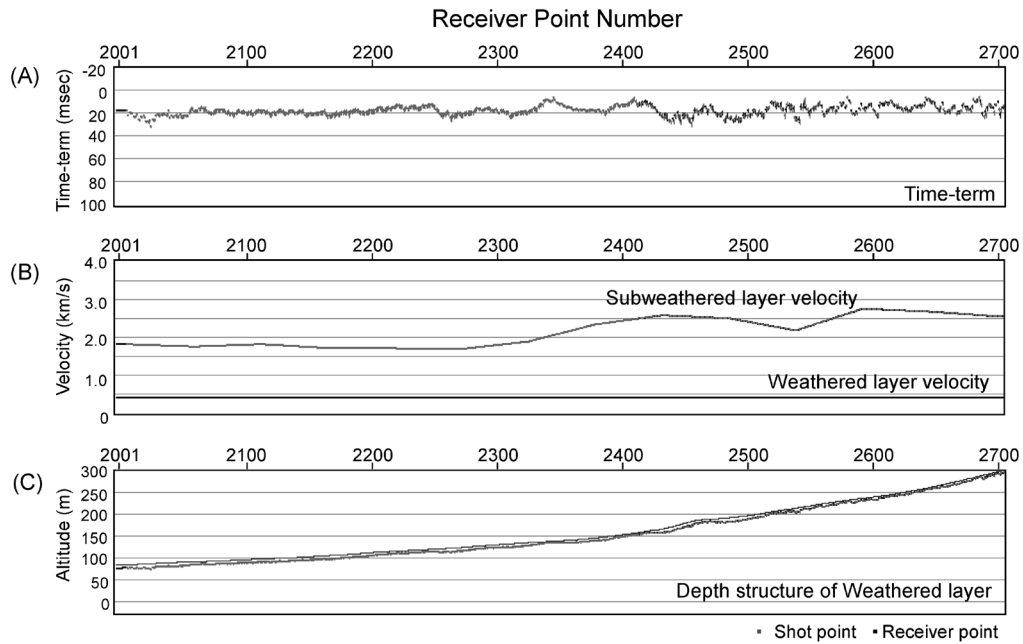


Fig. 6. Surface structure determined by time-term analysis.

(A) Time-terms.

(B) Velocities of second layer.

(C) Topography and geometry of surface low velocity layer.

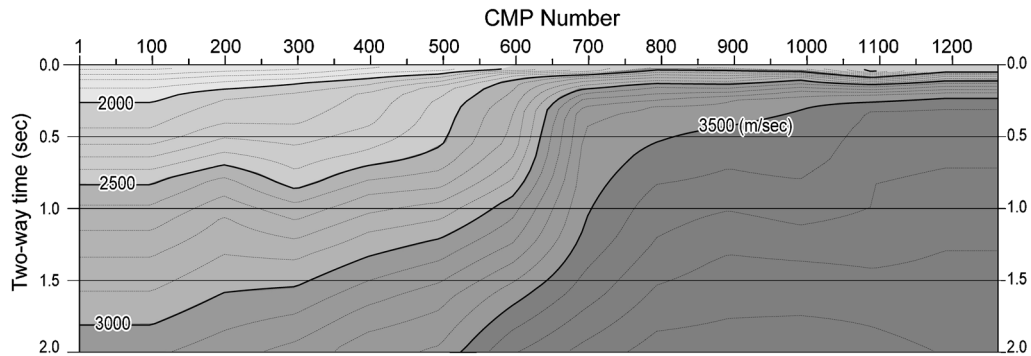


Fig. 7. Optimum stacking velocities determined by velocity analysis.

(9) TV フィルター (Time-Varying Filter)

周波数成分解析の結果を踏まえ、通過帯域が時間、空間方向に連続可変なバンドパスフィルターをCMP 重合断面に施した。設計した制御点の時間および通過帯域の周波数は以下の通りである。

Operator length: 240 msec

Time	Pass-band frequency
0- 700 (msec)	18/24-100/120 (Hz)
700-2000 (msec)	10/15- 80/ 90 (Hz)

(10) 周波数-空間領域予測フィルター (F-X Prediction Filter)

周波数-空間領域に於いて複素型予測フィルターを設

計・適用して、ランダムノイズを抑制し、相対的に S/N を向上させる処理を実施した。用いたパラメータは以下に記す。

Operator length: 5 CMPs, Gate length: 50 CMPs,

Time window length: 700 msec

(11) マイグレーション (Migration)

重合断面の見かけの反射位置を二次元的な真の位置に移動し、より正確な地下構造を得ることを目的として、キルヒホッフ時間マイグレーションを適用した。必要な速度情報は速度解析結果（重合速度関数）を水平方向に平滑化したものを用いた。

(12) 深度変換 (Depth Conversion)

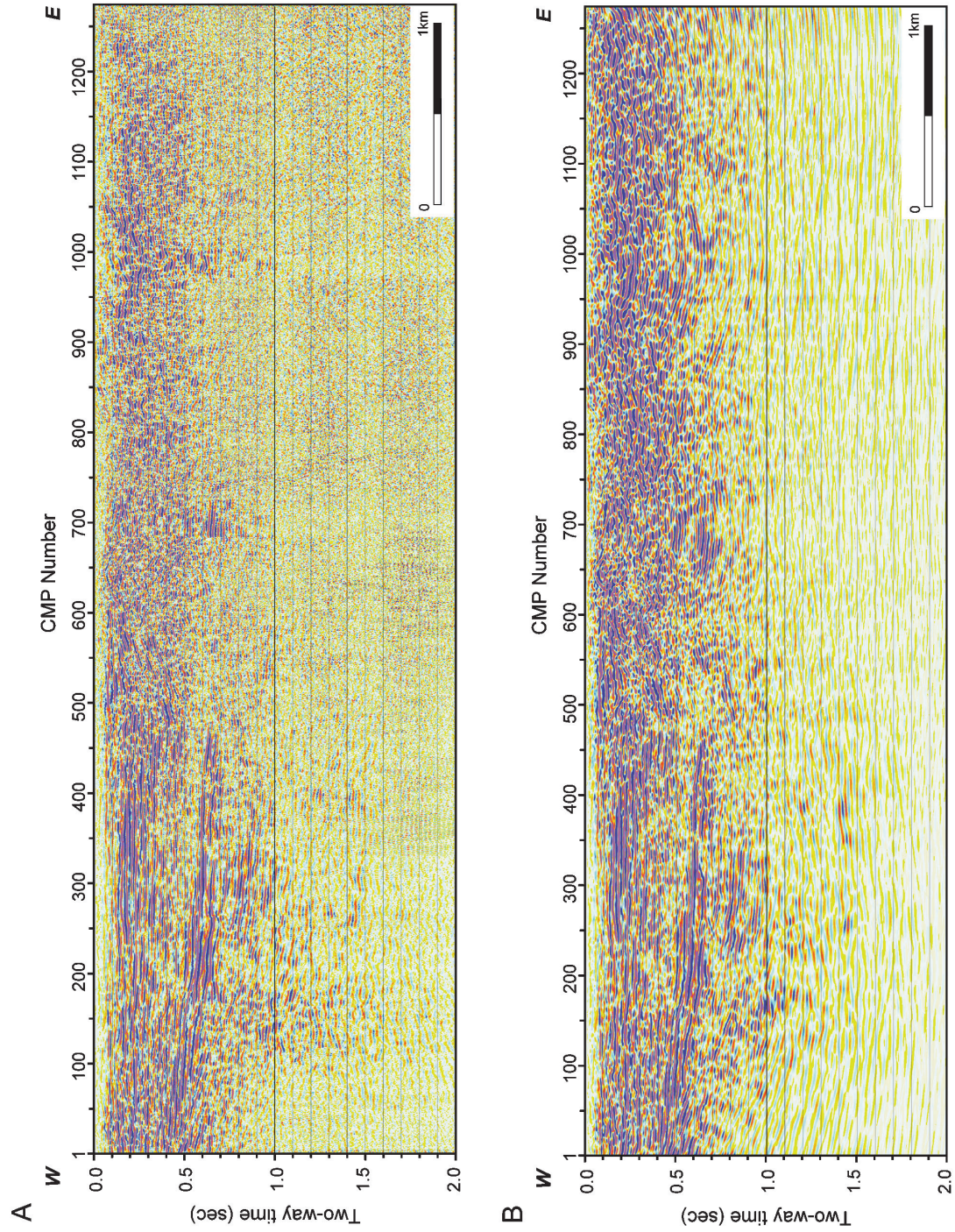


Fig. 8. Filtered stacked section (A) and post stacked, migrated time section (B).

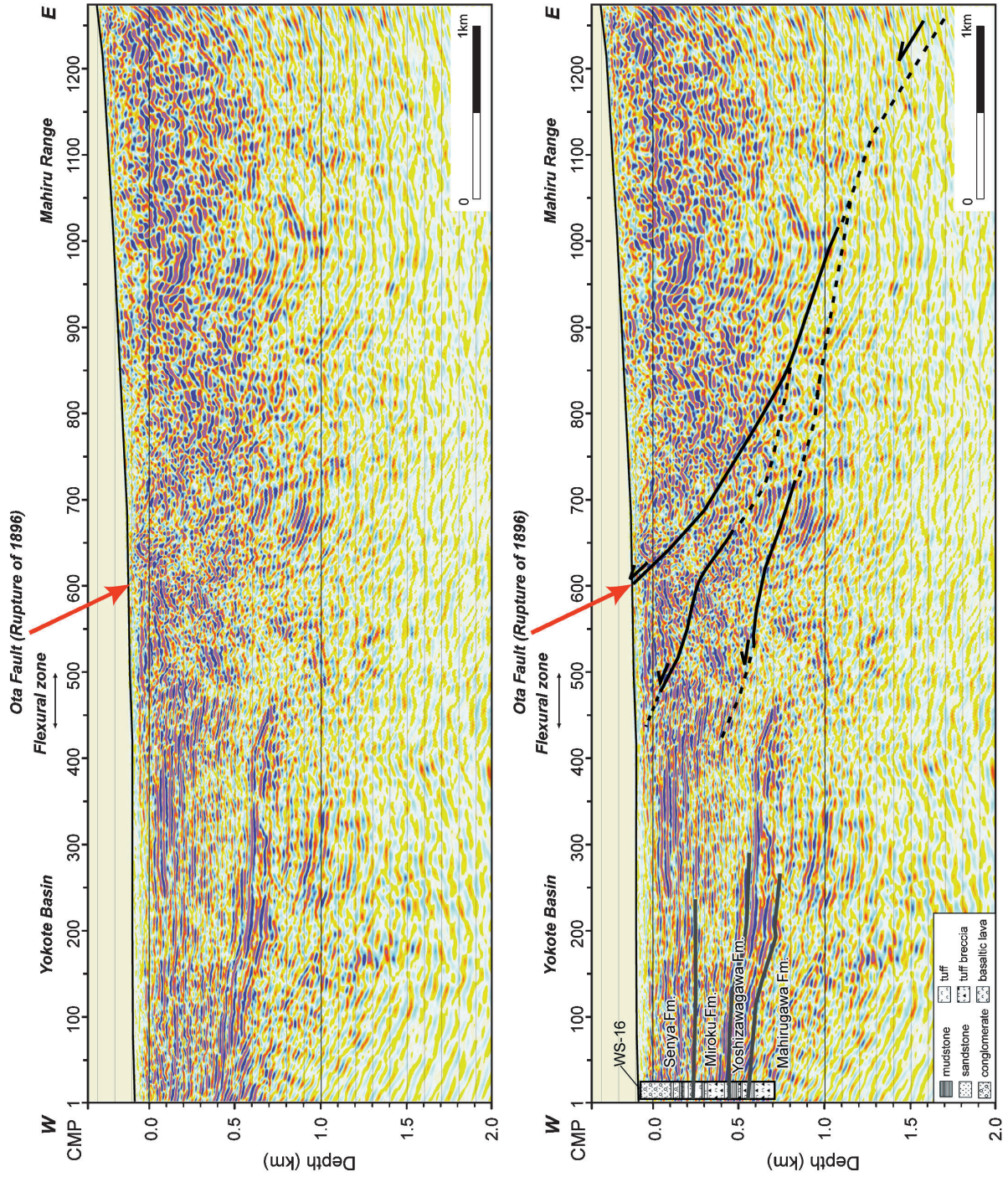


Fig. 9. Depth converted seismic section (above) and its geologic interpretation (bottom). Black solid lines indicate faults. The lines are dashed where inferred.

時間マイグレーション後のデータに対して、平均化した速度関数を用いて、時間を深度に変換した。変換の際の深度サンプリング間隔は 1.0 m である。

4. データ処理結果と反射断面の地質学的解釈

重合後時間断面を Fig. 8-A, マイグレーション後時間断面を Fig. 8-B, 深度変換断面を Fig. 9 にそれぞれ示す。それぞれの断面では、往復走時約 1.0 秒、深度にして約 1.2 km まで有意な反射波が得られた。この測線の約 2 km 西方のボーリングデータ（金属鉱業事業団, 1974 の WS-16）を深度断面に示し、地質学的解釈に用いた。なお、以下では、臼田ほか（1976）の地層名で記述する。盆地地下では、地表から深度 300 m が千屋層、深度 300–500 m が弥勒層、深度 500–700 m が吉沢川層となる。

横手盆地地下（CMP1-500）では、表層から約 0.9 秒（深度 1,000 m）までは連続の良い反射面が多く認められる。特に 0.4–0.6 秒（深度 500–600 m）付近には強反射域がある。これに対して CMP650 以東（真昼山地）では断続的で波打つような低周波の反射波が卓越し、前述の盆地地下の構造とは大きく異なる。太田断層はこれらの反射面群を境する断層として推定される。

陸羽地震時の地表地震断層崖（太田断層）にあたる CMP600–660 付近の地表から深度 100 m では、地層が西方へ撓み下がるが、CMP600 以西ではほぼ水平となる。この反射面の不連続に断層が推定される。この断層は東へ約 30 度の傾斜をもって途中不明瞭な部分はあるが、CMP1000 の深度約 1,000 m 付近まで追跡される。この太田断層の下盤側（CMP540–600）の深度 0–200 m では、反射面の西への傾斜が明瞭であり、CMP500 以西では、ほぼ水平な反射面となることから、この構造の不連続から断層が推定される。この断層先端は地表まで達せず、千屋層中に伏在するとみられるが、この付近（CMP450）の地表（沖積面）では、前述のように僅かな撓みが認められ、その変位は地表に及んでいると判断される。また、この断層は前述の太田断層よりも緩やかな傾斜で、東（下方）へ向かって連続するが、CMP650, 深度 600 m 以深では不明瞭となる。さらに、CMP460–600 の深度 250–500 m では、上記の西傾斜の反射面群とは連続しない、西傾斜の反射面群が認められる。この構造よりも西側（CMP460 以西）では、深度 200–400 m の反射面が、やや東へ下がっていることから、西傾斜の反射面群の下位にも断層が推定される。この断層先端は CMP400 の深度 400 m 付近で不明瞭となる。一方、下端（東）は、緩やかな傾斜で CMP750 の深度 900 m 付近まで追跡されるが、これ以深では不明である。

以上の 3 つの断層が地下深部でどのようにつながるのかは、反射断面からは判断し難いが、断層面の傾斜を考慮すると、盆地側にある断層ほど傾斜が緩やかであることから、これらの断層は地下延長部では収斂すると予想される。また、太田断層下盤側で認められる西傾斜の反射面は、いずれも盆地側の強反射部（吉沢川層）の波の特徴に類似することから、吉沢川層に対比される可能性があるが、今後、地質調査やバランス断面法による検討が必要である。以上のように、本測線沿いには、太田断層とそれよりも盆地側に伏在する 2 条の断層が推定された。

5. まとめ

活断層に沿った断層構造の移り変わりを明らかにすることを目的として、陸羽地震断層のひとつである太田断層を横断する 7.1 km の浅層反射法地震探査を実施した。共通反射点重合法によるデータ処理によって、地下 1 km までの地下構造が明確になった。太田断層は、盆地地下（陸羽地震断層より西側）に伏在する 2 条の断層を伴う断層であると推定される。

謝 辞

本研究を行うにあたり、大仙市（旧太田町）教育委員会をはじめ、関係諸機関や地元自治会・地域住民の方々には、ご協力をいただいた。反射法地震探査期間中、佐藤 良氏には技師としてご協力をいただいた。本探査は、2003 年度、核燃料サイクル開発機構（現・（独）日本原子力研究開発機構）東濃地科学センターからの受託研究「逆断層帯の地質構造の 3 次元的モデル化のための弾性波探査手法に関する研究」（代表者：佐藤比呂志）の一貫として行った。また、探査にあたっては東濃地科学センター・野原 壯氏からご支援を、地質調査では応用地質（株）・三輪敦志氏、黒沢英樹氏から多くのご助言をいただいた。匿名査読者ならびに編集者の方には、本稿を改善するにあたり有益なご意見をいただいた。以上の方々に、心よりお礼申し上げます。

参考文献

- 藤原健蔵, 1954, 横手盆地東縁北半部の地形—断層崖下にみられる運動—, 東北地理, 7, 63–69.
- Ikeda, Y., 1983, Thrust-front Migration and Its Mechanism—Evolution of Intraplate Thrust Fault Systems—, *Bull. Dept. Geogr., Univ. Tokyo*, 15, 125–159.
- 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.
- 今村明恒, 1913, 明治二十九年ノ陸羽地震, 震災予防調査会報告, 77, 1–30.

地震調査研究推進本部, 2005, 横手盆地東縁断層帯の長期評価について, http://www.jishin.go.jp/main/chousa/05mar_yokote/index.htm.

活断層研究会編, 1991, 「新編日本の活断層一分布図と資料一」, 東京大学出版会, 437 p.

金属鉱業事業団, 1974, 昭和 47 年度精密調査報告書, 和賀雄物地域, 138 p.

松田時彦・山崎晴雄・中田 高・今泉俊文, 1980, 1986 年陸羽地震の地震断層, 地震研究所彙報, **55**, 795-855.

大沢 穠・須田芳朗, 1980, 20 万分の 1 地質図「秋田及び男鹿」, 地質調査所.

大沢 穠・広島俊男・駒沢正夫・須田芳朗, 1988, 20 万分の 1 地質図「新庄及び酒田」, 地質調査所.

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.

佐藤比呂志・平田 直, 1998, 活断層の深部構造と日本列島の成立, 科学, **68**, 63-71.

佐藤比呂志・池田安隆・今泉俊文・三ヶ田均・戸田 茂・堤

浩之・越谷 信・野田 賢・伊藤谷生・宮内崇裕・八木浩司・東郷正美・岩崎貴哉・坂 守・平田 直・松多信尚・河村知徳・石丸恒存・井川 猛, 2007, 千屋 96 反射法地震探査グループ, 千屋断層(花岡)を横断する浅層反射法地震探査: データ取得と処理について, 地震研究所彙報, **81**, 97-106.

臼田雅郎・白石建雄・岩山勝男・秋元義人・井上武・乗富一雄, 1976, 秋田県総合地質図幅「六郷」, 1: 50,000 地質図および説明書, 秋田県.

臼田雅郎・村山 進・白石建雄・伊里道彦・井上 武・乗富一雄, 1977, 秋田県総合地質図幅「横手」, 1: 50,000 地質図および説明書, 秋田県.

臼田雅郎・村山 進・白石建雄・高安泰助, 1980, 秋田県総合地質図幅「角館」, 1: 50, 000 地質図および説明書, 秋田県.

山崎直方, 1896, 陸羽地震調査概報, 震災予防調査会報告, **11**, 50-74.

(Received November 13, 2006)

(Accepted January 10, 2007)