

## 横手盆地東縁断層帯・千屋断層（運上野）を横断する浅層 反射法地震探査（2004年）：データ取得と処理について

楮原京子<sup>1)\*</sup>・今泉俊文<sup>2)</sup>・佐藤比呂志<sup>3)</sup>・宮内崇裕<sup>4)</sup>・越後智雄<sup>5)</sup>・松多信尚<sup>6)</sup>・石山達也<sup>7)</sup>・越谷信<sup>8)</sup>・野田賢<sup>8)</sup>・加藤一<sup>9)</sup>・内田拓馬<sup>10)</sup>・宇野知樹<sup>11)</sup>・森泉俊行<sup>12)</sup>・小田晋<sup>13)</sup>・神田聡史<sup>14)</sup>・森下信人<sup>2)</sup>・水本匡起<sup>2)</sup>・梅津洋輔<sup>15)</sup>・小林勉<sup>16)</sup>・氷高草多<sup>17)</sup>・野田克也<sup>18)</sup>・井川猛<sup>18)</sup>

<sup>1)</sup> 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）・<sup>2)</sup> 東北大学大学院理学研究科・<sup>3)</sup> 東京大学地震研究所・<sup>4)</sup> 千葉大学大学院自然科学研究科・<sup>5)</sup> 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）・<sup>6)</sup> 東京大学地震研究所（現在：国立台湾大学）・<sup>7)</sup> (独)産業技術総合研究所活断層研究センター・<sup>8)</sup> 岩手大学工学部・<sup>9)</sup> 山梨大学教育人間科学部・<sup>10)</sup> 千葉大学大学院自然科学研究科（現在：慶應義塾高等学校）・<sup>11)</sup> 千葉大学大学院自然科学研究科（現在：(株)きもと）・<sup>12)</sup> 千葉大学大学院自然科学研究科（現在：東日本住宅(株)）・<sup>13)</sup> 東京大学大学院理学系研究科（現在：出光興産(株)）・<sup>14)</sup> 岩手大学工学部（現在：岩手大学大学院工学研究科）・<sup>15)</sup> 東北大学大学院理学研究科（現在：(株)日本航空インターナショナル）・<sup>16)</sup> 東北大学大学院理学研究科（現在：三井造船システム技研(株)）・<sup>17)</sup> 東北大学大学院理学研究科（現在：大阪府立大手前高等学校）・<sup>18)</sup> (株)ジオシス

## High-resolution seismic reflection profiling across the Senya fault at the Unjono in the Yokote basin, north-east Japan: data acquisition and processing

Kyoko Kagohara<sup>1)\*</sup>, Toshifumi Imaizumi<sup>2)</sup>, Hiroshi Sato<sup>3)</sup>, Takahiro Miyauchi<sup>4)</sup>, Tomoo Echigo<sup>5)</sup>, Nobuhisa Matsuta<sup>6)</sup>, Tatsuya Ishiyama<sup>7)</sup>, Shin Koshiya<sup>8)</sup>, Masaru Noda<sup>8)</sup>, Hajime Kato<sup>9)</sup>, Takuma Uchida<sup>10)</sup>, Tomoki Uno<sup>11)</sup>, Toshiyuki Moriizumi<sup>12)</sup>, Shin Oda<sup>13)</sup>, Satoshi Kanda<sup>14)</sup>, Nobuto Morishita<sup>2)</sup>, Tadaki Mizumoto<sup>2)</sup>, Yosuke Umetsu<sup>15)</sup>, Tsutomu Kobayashi<sup>16)</sup>, Sota Hidaka<sup>17)</sup>, Katsuya Noda<sup>18)</sup> and Takeshi Ikawa<sup>18)</sup>

<sup>1)</sup> Graduate School of Medical and Engineering Science, Yamanashi University (Now at Graduate School of Science, Tohoku University), <sup>2)</sup> Graduate School of Science, Tohoku University, <sup>3)</sup> Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, <sup>4)</sup> Graduate School of Science and Technology, Chiba University, <sup>5)</sup> Graduate School of Science, the University of Tokyo (Now at Geo-Research Institute), <sup>6)</sup> Earthquake Research Institute, the University of Tokyo (Now at National Taiwan University), <sup>7)</sup> Active Fault Research Center, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, <sup>8)</sup> Faculty of Engineering, Iwate University, <sup>9)</sup> Faculty of Education and Human Sciences, Yamanashi University, <sup>10)</sup> Graduate School of Science and Technology, Chiba University (Now at Keio Seino High School), <sup>11)</sup> Graduate School of Science and Technology, Chiba University (Now at KIMOTO CO., LTD.), <sup>12)</sup> Graduate School of Science and Technology, Chiba University (Now at Higashinohon Jutaku co., Ltd.), <sup>13)</sup> Graduate School of Science, the University of Tokyo (Now at Idemitsu Kosan Co., Ltd.), <sup>14)</sup> Faculty of Engineering, Iwate University (Now at Graduate School of Engineering, Iwate University), <sup>15)</sup> Graduate School of Science, Tohoku University (Now at Japan Airlines International Co., Ltd.), <sup>16)</sup> Graduate school of Science, Tohoku University (Now at Mitsui Zosen Systems Research Inc.), <sup>17)</sup> Graduate School of Science, Tohoku University (Now at Osaka Prefectural Otemae High School), <sup>18)</sup> Geosys Inc.

### Abstract

The 1896 Rikuu earthquake (M=7.2) was generated at the eastern margin of the Yokote basin

\* 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)

fault zone which was composed of four surface ruptures: Obonai, Shiraiwa, Ota, and Senya faults. The Senya fault is a major rupture exemplified by front migration of thrusting, and has a flat-ramp structure at the central part of the rupture. It is thought that the above-mentioned structure has been transforming along the fault trace because the Senya fault has a bow-shaped trace with changes of tectonic features between the northern and central parts.

We conducted a high-resolution seismic reflection profiling survey across the northern part of the Senya fault and nearby tectonic structures. 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 of the northern part of the Senya fault consists of two major faults and complex fold structure in the hanging wall. The Senya fault with some subsidiary faults is concealed.

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

## 1. はじめに

千屋断層は、陸羽地震（1896年、M7.2）の時に生じた最も顕著な地表地震断層であり（山崎，1986；今村，1913；松田ほか，1980），横手盆地東縁断層帯の一部をなす。本断層は、境界断層（川口断層；藤原，1954）から、逆断層先端の前進現象として盆地側へ前進してきた断層と考えられている（Ikeda，1983）。千屋丘陵・中部を横断して実施された1996年の反射法地震探査（花岡測線）では、千屋丘陵の地下構造と千屋断層の形成過程が明らかにされた（佐藤・平田，1998；佐藤ほか，2007）。

しかし、千屋断層の北部では、その走向が東向きに変わり、更に北端部でトレースが大きく北向きに屈曲すること、上盤側における断層変位形態は千屋丘陵中央部と異なり短波長の短縮変形が目立つこと、また、千屋断層と太田断層は、そのまま連続せず、2つ断層線の間は約1kmの食い違いがあることなど、千屋断層から太田断層に至る区間では、地表トレース・断層変位形態が複雑に変化する。また、2003年に行われた境界断層の続きと見られる太田断層の反射法地震探査では、千屋断層（花岡測線）とは明らかに異なる地下構造が得られた（楮原ほか，2007）。

このような断層沿いの変化の様子を解明するために、千屋丘陵北部・美郷町（旧千畑町）<sup>うんじょうの</sup>運上野において、2004年に浅層反射法地震探査を行った。この測線は、1996年花岡測線の約5km北に位置する。以下には本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

本地域には下位より、新第三系中新統の湯田層、信倉沢安山岩部層、真昼川層、吉沢川層、弥勒層、千屋層が

分布する。湯田層は変質輝石安山岩と同質火砕岩、信倉沢安山岩部層は熔結凝灰岩を伴う輝石安山岩質角礫凝灰岩、真昼川層は玄武岩類、石英安山岩類、泥岩類などからなり、真昼山地を構成する。吉沢川層は硬質泥岩を、弥勒層は黒色泥岩を主体とする海成層で、真昼山地西縁や南部に分布する。千屋丘陵をはじめとする標高200m級の丘陵部は、千屋層からなり、本層は下位層を不整合で覆う（臼田ほか，1976；Fig. 1, Fig. 2）。また、川口断層以西では、これらの地層を被覆して、後期～中期更新世以降の段丘堆積物が分布し、千屋丘陵西麓から横手盆地には、後期更新世～完新世の扇状地が広く発達する。なお、岩層の違いから臼田ほか（1976）では、弥勒層と同時代の砂岩・シルト岩を上川原層と区分しているが、本研究では、地質調査の結果を踏まえ、一括して弥勒層として扱った。

千屋断層は千屋丘陵西縁に位置し、清水川山から六郷に至る約12kmの範囲において、明瞭な断層崖・撓曲崖として認められる東傾斜の逆断層である。また、その一般走向はN30°Eであり、両端部では山地側へと走向が変化するため、全体を通して大きく弧を描くような分布形態を示す。断層崖近傍には弥勒層が分布し、断層面とほぼ平行な傾斜を持つ。変動地形学的研究により沖積面形成以降に2回の地震活動が推定された（松田ほか，1980；平野，1984）。また、トレンチ調査結果からも、約3,000～4,000年間隔で活動してきた活断層であることが分かっている（千屋断層研究グループ，1986；今泉ほか，1989a, 1989b）。

Fig. 2に反射法地震探査測線を示す。千屋丘陵は横手盆地東縁の中段に位置し、長さ約10km、幅約3kmの楕円形をした丘陵である。丘陵北部（運上野付近）は、そ

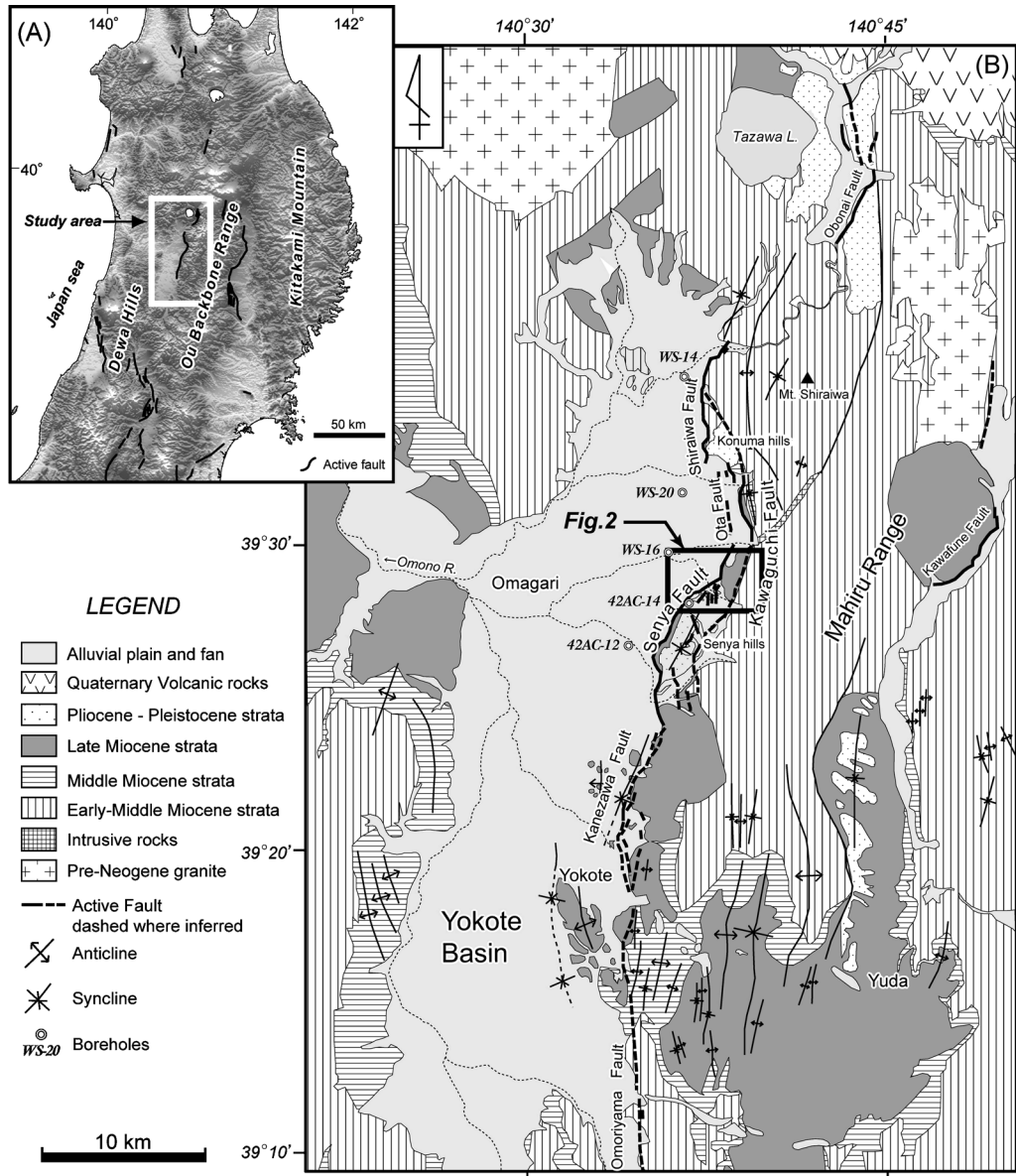


Fig. 1. (A) Shaded relief map based on 250 m DEM showing the locations of active thrusts in the Tohoku district. Active fault is after Ikeda *et al.* (2002) (B) Simplified geological map in and around the Yokote basin. Surface geology is compiled from Usuda *et al.* (1976, 1977, 1980), Osawa and Suda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

の中でも低平であり、断層トレスの湾曲に同調して、断層変位地形も変化する。運上野以南（花岡測線周辺）では、千屋断層に伴って鮮明な断層崖が形成され、その背後の千屋丘陵では、地形面の東へ傾斜する板状の傾動が認められる。これに対して、運上野では千屋断層は撓曲変形を伴い、真昼川に沿う段丘面は、断層上盤に形成された数条の逆向き断層崖によって、波状に変形している。このような地表形態の違いも断層浅層部の構造の違い、または、断層の成長過程の違いを反映しているものと考えられる。反射法地震探査では、このような構造を横断できる測線を設定した。

### 3. 反射法地震探査「運上野 2004 測線」

#### 3.1 探査測線とデータ取得

反射法地震探査は2004年8月31日から9月6日まで実施され、測線は、真昼川に沿って千屋丘陵北部を横切る2.6 kmに設定された (Fig. 2)。測線は千屋断層とその東側に発達する断層・撓曲構造を横断するが、丘陵・山地境界まで展開することができなかった。この測線を運上野 2004 測線と呼ぶ。本探査のデータ取得に関する仕様を Table 1 に示す。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)



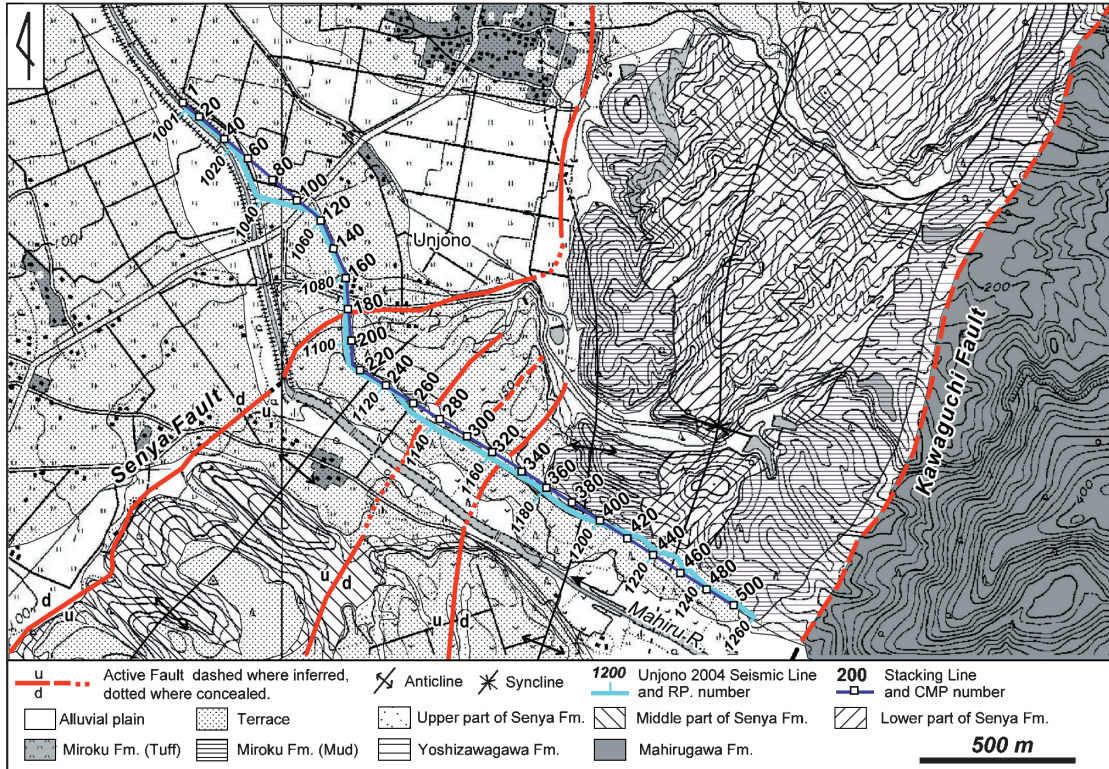


Fig. 2. Location map of the Unjono 2004 seismic line and CMP stacking line.

Table 1. Data acquisition parameters for the Unjono 2004 seismic line.

<b>Length of seismic line</b>	2.6 km
<b>Source parameters</b>	
Source	Minivib (IVI, T-1500)
Sweep frequency	10-100 Hz
Sweep length	20 sec
No. of sweeps	5 or 30
No. of shot points	388
Shot interval	10 m or 5 m
<b>Receiver parameters</b>	
Natural frequency	10 Hz
Receiver interval	10 m
No. of channels	260 ch
<b>Recording parameters</b>	
Instruments	JGI, GDAPS-4
Sampling rate	2 msec
Recording length	3 sec
Standard CMP fold	185

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、260 ch (固定展開) で収録した。受振器は固有周波数が 10 Hz で、9 個組のものを使用した。標準的な発震点と受振点間隔はともに 10 m としたが、千屋断層や断層上盤側の逆向き断層崖などを横断する RP1080-1199 では 5 m 間隔で発震させた。

Fig. 3 に震源のスweep周波数を決定するために行っ

たテストショット記録を示す。テストはスweep周波数 10-80 Hz, 10-100 Hz, 10-120 Hz, 10-150 Hz について、それぞれ 5 回のスタックを行った。観測記録は全体を通して良好であったが、このテスト記録の中でも浅層部の分解能がよく、往復走時 1.5-2.0 秒の反射波を鮮明に捉えている 10-100 Hz をスweep周波数とし、スweep長を 20 秒、標準スタックを 5 回で発震させることを決定した。

### 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 ((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。重合測線は 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 185 となった (Fig. 5)。

#### (2) 振幅補償 (Gain Recovery)

テストの結果、以下の自動振幅調整 (AGC) を採用し、振幅の減衰を回復させた。



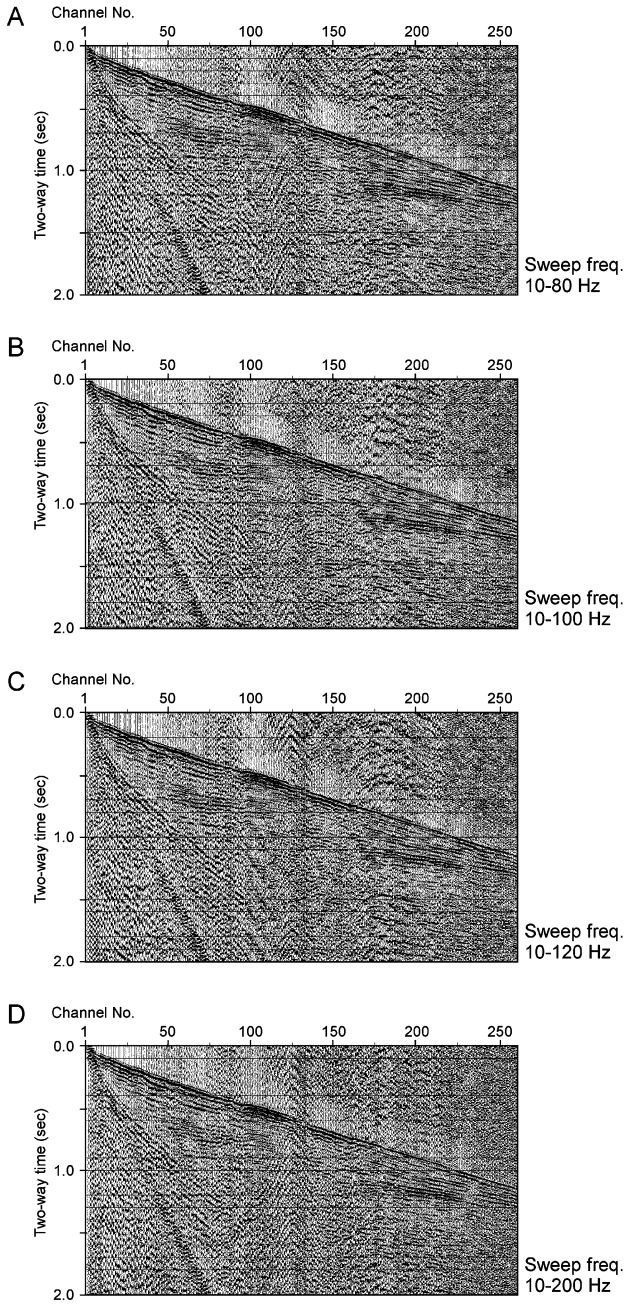


Fig. 3. Examples of shot gathers at different sweep frequency.

- A. Sweep frequency 10-80 Hz.
- B. Sweep frequency 10-100 Hz.
- C. Sweep frequency 10-120 Hz.
- D. Sweep frequency 10-200 Hz.

AGC Gate length: 600 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。用いたパラメータを 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

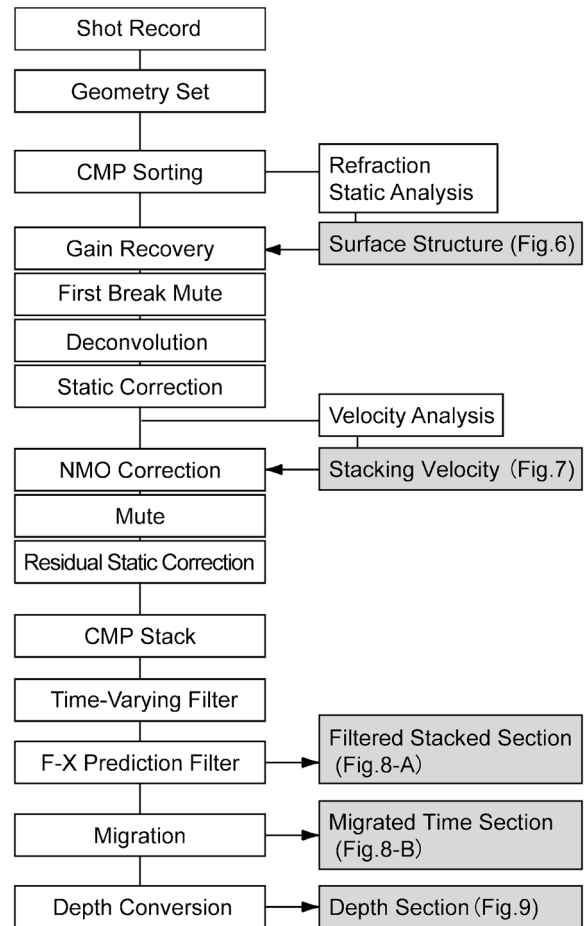


Fig. 4. Flow chart of data processing.

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: 150 msec, Gate length: 1500 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 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 700 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

Table 2. Processing parameters for the CMP of the Unjono 2004 seismic data.

CMP Sorting	CMP interval: 5 m
Gain Recovery	AGC gate length: 600 msec
Deconvolution	Gate length: 1500 msec, Operator length: 150 msec White noise scale factor: 5 %
Static Correction	Time-term method, Two layers model Weathered layer (700 m/sec) and higher velocity layer
Velocity Analysis	Constant velocity stack, Velocity scan interval: 20 CMP
Time-Varying Filter	Time and Frequency : 0-700 msec, 18/24-100/110 Hz : 700-1100 msec, 15/20-90/100 Hz : 1100-3000 msec, 10/15-80/90 Hz
F-X Prediction Filter	Gate length: 50 traces, Operator length: 5 traces, Window length: 500 msec
Post-stack Migration	Velocity scaling: 90 %

Table 3. Mute parameters for the CMP of the Unjono 2004 seismic data.

	CMP	Distance (m)	Time (msec)	Sliding Velocity (m/sec)
First Break Mute (Tapar = 10 msec)	200	110	100	1800
Post NMO Mute (Tapar = 25 msec)	150	75	90	2200
	250	135	100	2150
	350	190	120	2300

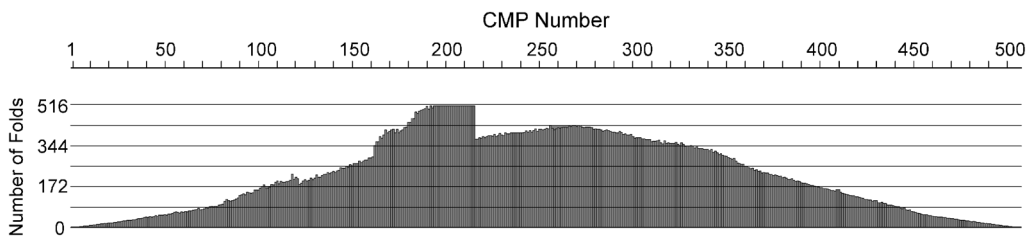


Fig. 5. Distribution of number of folds along a CMP stacking line.

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 20 CMP 毎に設け、前後 9 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を 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 2.0 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。用いたパラメータを Table 3 に示す。

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

NMO 補正後のデータに対して、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 6 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。重合にはオフセット距離 0-800 m までの記録を使用した。

(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)	18/24-100/110 (Hz)
700-1100 (msec)	15/20- 90/100 (Hz)

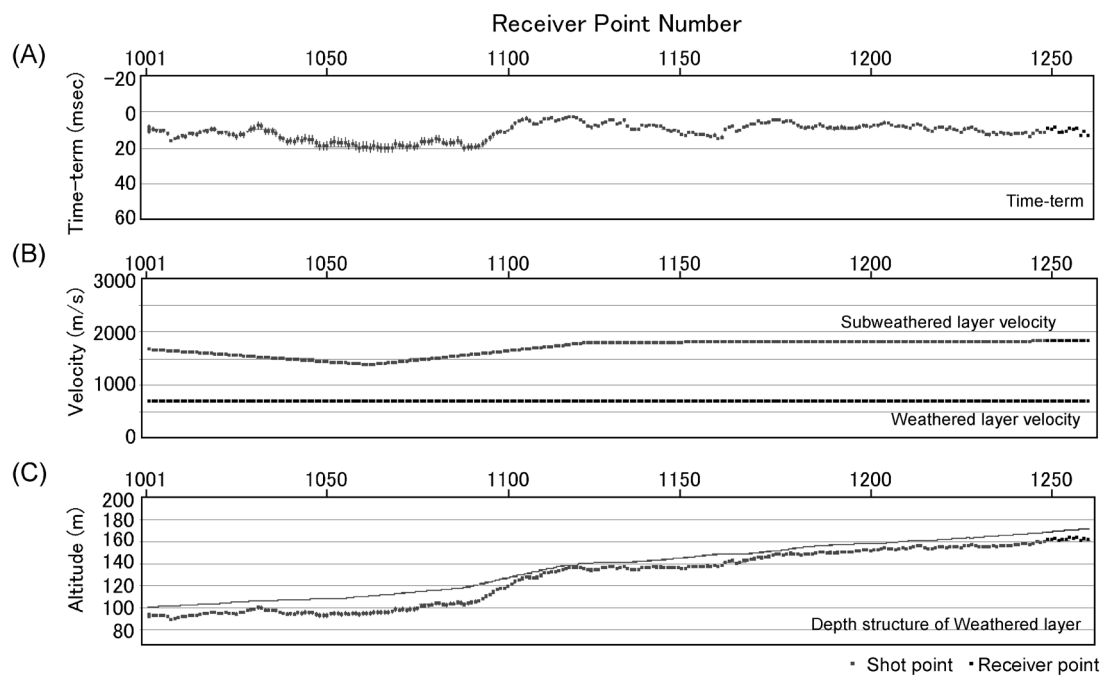


Fig. 6. Surface structure determined by time-term analysis.

(A) Time-terms.

(B) Velocities of second layer.

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

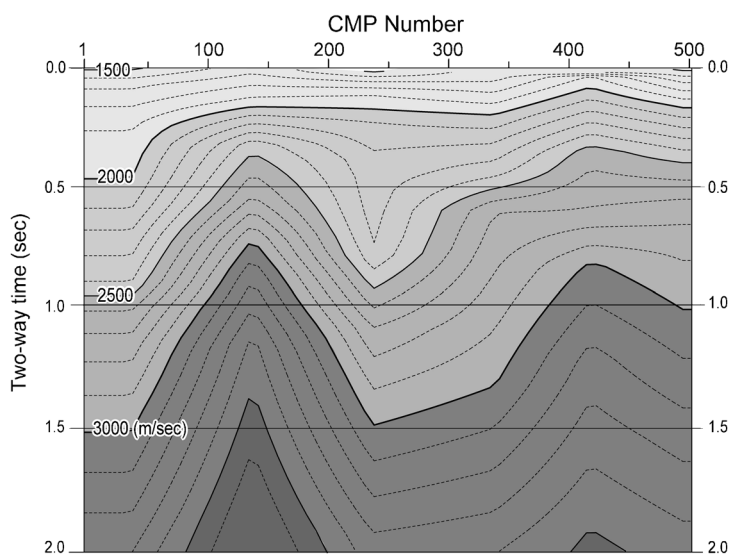


Fig. 7. Optimum stacking velocities determined by velocity analysis.

1100–3000 (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: 500 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



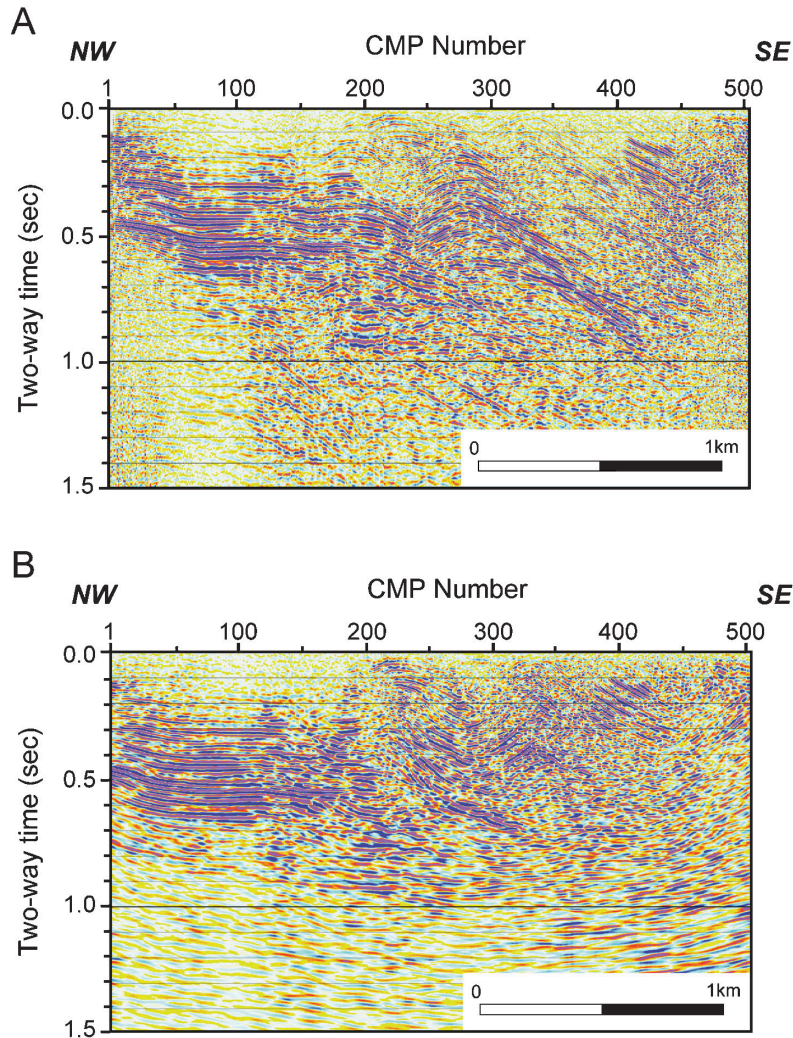


Fig. 8. Filtered stacked section (A) and post stacked, migrated time section (B).

平滑化し、90%のスケーリングを施したものをを用いた。

#### (12) 深度変換 (Depth Conversion)

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1.0m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 1.2km まで有意な反射波が得られた。横手盆地下 (CMP 1-180) では、表層から約 0.2 秒 (深度 100 m) までは反射波の振幅が小さく不明瞭であるが、約 0.2-0.6 秒 (深度 100-700 m) にかけては、ほぼ水平な反射面が数多く認められ、下位ほど南東方向への連続は良い。Fig. 9 では深度変換断面上に、既存のボーリングデータ (金属鉱業

事業団、1974 の WS-16) を投影し、地層対比および地質学的解釈を加えた。

前述の水平な反射面群は、中期中新世以降の堆積層に対比され、地表から深度 200 m までが千屋層、深度 300-500 m が弥勒層、深度 500-700 m が吉沢川層となる。また、深度 700 m 以深では反射面の様相が断続的に波打ち、低周波成分が卓越するものへと変化することから、火山岩類を主体とする真昼川層に対比されると考えられる。また、CMP150-350 では短波長の褶曲変形が、CMP 350 以降には東傾斜の反射面群が認められる。

主な断層はこのような地下構造の境界部にそれぞれ推定される。このうち千屋断層として本地域の地形・地質構造の形成に大きく寄与した断層は、CMP160 付近の地表下 200 m に伏在する。また、この断層の上盤の背斜部 (前述の褶曲変形) では、放射状に派生する小規模な断層が認められ、それぞれの断層は千屋断層上盤に認められ

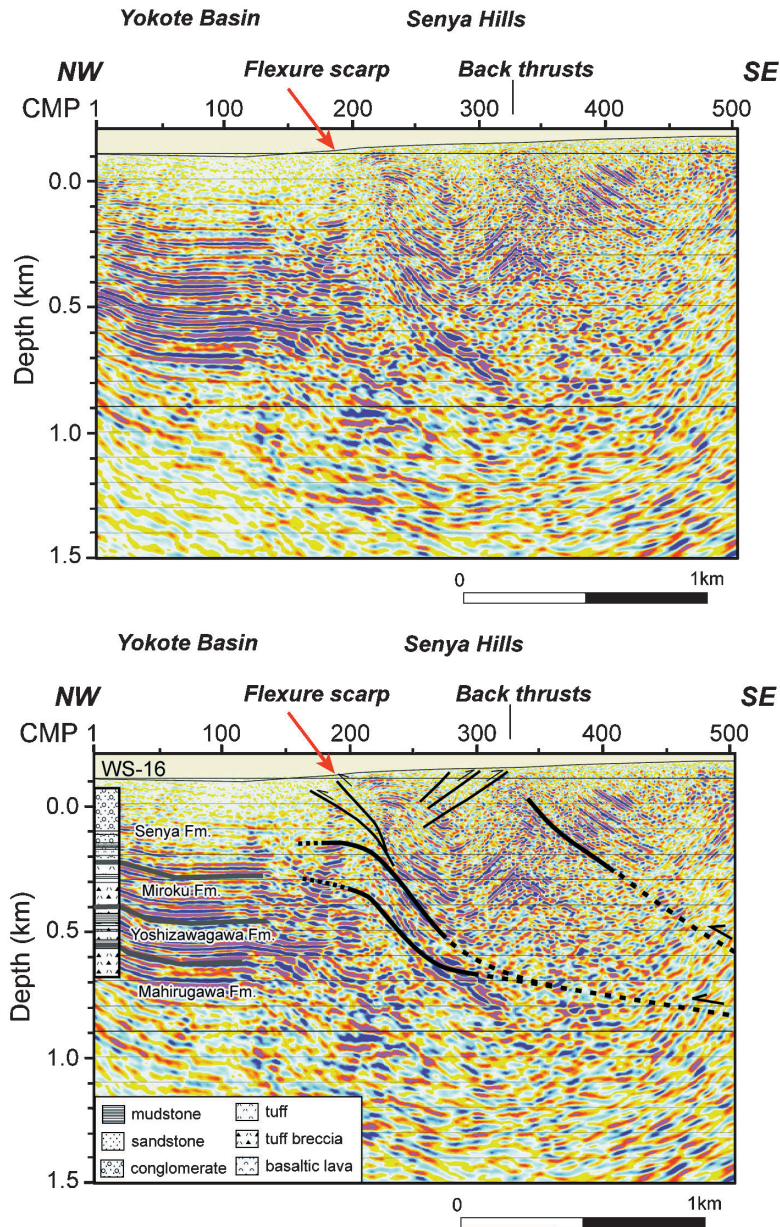


Fig. 9. Depth converted seismic section (above) and its geologic interpretation (bottom). Black, heavy lines and thin lines indicate main faults and subsidiary faults, respectively. The lines are dashed where inferred.

る複数列の高まりや低断層崖を形成する。このように千屋断層は、運上野付近において主断層から上方に雁行する断層形態を有し、花岡測線で得られた構造（佐藤・平田, 1998）とはやや異なることが分かった。

## 5. まとめ

千屋断層の湾曲した断層トレースと、それに対応する地下の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、千屋断層北部において2.6 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、千屋断層北部における地下1 kmまでの地下構造が明確になり、地表形態と調和的な断層構造がイメージされた。運上野付近において、千屋断層は上方に雁行する断層構造を有し、断層上盤の各層は著しい褶曲変形を受けている。

## 謝 辞

本研究を行うにあたり、美郷町（旧千畑町）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。本探査にあたっては、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・野原 壯氏にご支援を、また、地質調査では、応用地質（株）・三輪敦志氏、黒沢英樹氏、環境地質（株）・小坂英輝氏から多くの助言をいただいた。査読者である東京大学大学院理学系研究科・池田安隆先生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.  
 平野信一, 1984, 千屋断層系に沿う地震発生時期の推定, 地理学評論, **57**, 173-185.  
 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.  
 今泉俊文・宮内崇裕・鈴木毅彦・平野信一・松田時彦, 1989a, 1988年千屋断層, (一丈木南地区) トレンチ調査, 活断層研究, **6**, 87-92.  
 今泉俊文・宮内崇裕・吉岡敏和・鈴木毅彦・松田時彦・鈴木康弘・早川唯弘・桜井一賀・柏木修一・東郷正美・山口伸弥・深沢 浩・大杉芳明・熊沢秀晃, 1989b, 1985年千屋断層 (花岡地区) トレンチ調査, 活断層研究, **6**, 81-86.  
 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.  
 楮原京子・内田拓馬・宮内崇裕・今泉俊文・佐藤比呂志・越後智雄・池田安隆・越谷 信・野田 賢・松多信尚・石山達也・戸田 茂・加藤 一・岡田真介・加藤直子・荻野スミ子・木村治夫・渡邊勇二・宇野知樹・田中 環・小島

淳・市川史大・小畑一馬・乗田康之・今村朋裕・野田克也・井川 猛, 2007, 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, 地震研彙報, **81**, 107-117.  
 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.  
 千屋断層研究グループ, 1986, 千屋断層 (秋田県) の完新世の活動と断層先端部の形態—千畑町小森での発掘調査, 地震研究所彙報, **61**, 339-402.  
 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)