

## 横手盆地東縁断層帯・白岩断層を横断する浅層反射法地震 探査 (2005 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>・越後智雄<sup>3)</sup>・宮内崇裕<sup>4)</sup>・越谷 信<sup>5)</sup>・野田 賢<sup>5)</sup>・加藤 一<sup>6)</sup>・戸田  
茂<sup>7)</sup>・石山達也<sup>8)</sup>・佐藤比呂志<sup>9)</sup>・岡田真介<sup>10)</sup>・神田聡史<sup>11)</sup>・神谷直音<sup>11)</sup>・森下信人<sup>2)</sup>・高橋就  
一<sup>2)</sup>・橋森公亮<sup>2)</sup>・清水聡子<sup>12)</sup>・山崎航太<sup>13)</sup>・小池太郎<sup>14)</sup>・井川 猛<sup>14)</sup>

<sup>1)</sup> 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> 東京大学大学院理学系研究科 (現在: (財)  
地域 地盤 環境 研究所)・<sup>4)</sup> 千葉大学大学院自然科学研究科・<sup>5)</sup> 岩手大学工学部・<sup>6)</sup> 山梨大学教育人間  
科学部・<sup>7)</sup> 愛知教育大学教育学部・<sup>8)</sup> (独)産業技術総合研究所活断層研究センター・<sup>9)</sup> 東京大学地震研究  
所・<sup>10)</sup> 東京大学大学院理学系研究科・<sup>11)</sup> 岩手大学大学院工学研究科・<sup>12)</sup> 東北大学理学部・<sup>13)</sup> 愛知教育大  
学教育学部 (現在: 津田工業(株))・<sup>14)</sup> (株)ジオシス

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

Kyoko Kagohara<sup>1)\*</sup>, Toshifumi Imaizumi<sup>2)</sup>, Tomoo Echigo<sup>3)</sup>, Takahiro Miyauchi<sup>4)</sup>, Shin  
Koshiya<sup>5)</sup>, Masaru Noda<sup>5)</sup>, Hajime Kato<sup>6)</sup>, Shigeru Toda<sup>7)</sup>, Tatsuya Ishiyama<sup>8)</sup>, Hiroshi  
Sato<sup>9)</sup>, Shinsuke Okada<sup>10)</sup>, Satoshi Kanda<sup>11)</sup>, Naoto Kamiya<sup>11)</sup>, Nobuto Morishita<sup>2)</sup>, Shuichi  
Takahashi<sup>2)</sup>, Kosuke Hashimori<sup>2)</sup>, Satoko Shimizu<sup>12)</sup>, Kota Yamazaki<sup>13)</sup>, Taro Koike<sup>14)</sup> and  
Takeshi Ikawa<sup>14)</sup>

<sup>1)</sup> Graduate School of Science, Tohoku University, <sup>2)</sup> Graduate School of Science, Tohoku University,  
<sup>3)</sup> Graduate School of Science, the University of Tokyo (Now at Geo-Research Institute), <sup>4)</sup> Graduate  
School of Science and Technology, Chiba University, <sup>5)</sup> Faculty of Engineering, Iwate University,  
<sup>6)</sup> Faculty of Education and Human Sciences, Yamanashi University, <sup>7)</sup> Faculty of Education, Aichi  
University of Education, <sup>8)</sup> Active Fault Research Center, National Institute of Advanced Industrial  
Science and Technology, <sup>9)</sup> Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, <sup>10)</sup> Graduate  
School of Science, the University of Tokyo, <sup>11)</sup> Graduate School of Engineering, Iwate University,  
<sup>12)</sup> Faculty of Science, Tohoku University, <sup>13)</sup> Faculty of Education, Aichi University of Education  
(Now at TSUDA INDUSTRIES CO., LTD.), <sup>14)</sup> Geosys Inc.

### Abstract

The eastern margin of the Yokote basin fault zone extends 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 Shiraiwa fault. The obtained seismic reflection data were processed by conventional common mid-point methods, post-stack migration, and depth conversion. The subsurface structure across the Shiraiwa fault is characterized by branched low-angle reverse faults and conjugate back-thrust. The emergent thrust associated with the 1896 earthquake is regarded to be a subsidiary reverse fault.

---

\* 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)

**Key words:** Riku-u earthquake, Shiraiwa fault, thrust fault, subsurface structure, high-resolution seismic reflection profiling

## 1. はじめに

横手盆地東縁断層帯は、1896 年（明治 29 年）陸羽地震（M7.2）を起こした活断層帯で、長さは約 56 km におよぶ（地震調査研究推進本部，2005）。この地震の時に、真昼山地の山麓に沿って地表地震断層（生保内断層，白岩断層，太田断層，千屋断層，川舟断層；Fig. 1）が出現した（山崎，1896；今村，1913；松田ほか，1980）。

白岩断層は横手盆地の北東部に位置し、真昼山地前縁に形成された小沼丘陵の西縁を限る逆断層である。東側から、白岩岳・境界断層（川口断層；藤原，1954）・小沼丘陵・白岩断層・横手盆地という地形配列もつ。このような地形配列から千屋丘陵周辺（真昼山地・川口断層・千屋丘陵・千屋断層・横手盆地）と同様に断層先端の前進現象（Ikeda, 1983）が予想される。しかし、小沼丘陵の東西幅（約 2 km）は千屋丘陵の半分ほどしかなく、分布する地質は、千屋丘陵の大部分が千屋層であったのに対し、小沼丘陵では千屋層より下位の弥勒層や真昼川層が基部をなし、千屋層はその上位を覆う程度である。また、丘陵内での変動地形（地形面の逆傾斜・傾動・背斜状の高まり、逆向き断層崖など）の発達は、貧弱である。さらに、山地・丘陵の地形境界も明瞭ではなく、境界断層（川口断層）の位置も判断しにくい。このような地形的特徴の違いは、地質の違いに依存するだけでなく、地下の断層構造の違いを反映しているものと考えられる。

本研究では、千屋断層（1996 年と 2004 年に実施）と太田断層（2003 年に実施）でこれまでに明らかにされた断層の地下形状を踏まえ、千屋断層から白岩断層に至る断層構造がどのように連続しているのかを 3 次元的に解明することを目的とした。以下には、2005 年に大仙市（旧中仙町）豊岡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

白岩断層の分布する白岩岳西麓には、下位より中期中新統の八滝沢層、信倉沢安山岩部層、真昼川層、内沢川層、後期中新統の真木層、小屋森安山岩部層、鮮新統～後期更新統の栗沢層・田沢層が分布し、真昼川層までの地層を粗粒玄武岩、石英安山岩などが岩脈あるいは岩床状に貫いている（臼田ほか，1980；Fig. 1, Fig. 2）。

八滝沢層は変質輝石安山岩と同質火山砕屑岩からなり、南部地域の湯田層（臼田ほか，1976）に対比される。

真昼川層はかんらん石玄武岩類、輝石安山岩および石英安山岩類、泥岩類の 3 岩相に大別され、白岩岳をはじめとする真昼山地には、最も広く分布する地層である。内沢川層は臼田ほか（1976）の吉沢川層に対比される硬質泥岩であるが、その分布は斉内川以南に限られ、測線沿いでは欠如する。また、真木層は黒色泥岩からなる地層で、臼田ほか（1976）の弥勒層に対比され、主として真昼山地西縁に分布する。小屋森安山岩部層は紫蘇輝石安山岩・安山岩質火山砕屑岩からなり、内沢川層ならびに真昼川層を覆うことから、真木層と同時代の地質とされている（臼田ほか，1980）が、真昼川層とはほぼ同時代の年代が得られていることから、本稿では、小屋森安山岩部層を真昼川層の一部として扱った。小屋森安山岩部層は斉内川から白岩広久内にかけて細長く分布し、小沼丘陵の北半部にも分布している（なお、丘陵の頂部は栗沢層に覆われている）。この小沼丘陵は標高 200 m 程度の丘陵であり、主として栗沢層からなり、その基部には真木層や真昼川層が一部露出する。栗沢層は、礫岩・砂岩・凝灰岩などからなり、亜炭を挟在する陸成層である。本層は臼田ほか（1976）の千屋層に対比される。また、小沼丘陵には、これらの地層を覆って中期更新世以降の段丘面が発達し、丘陵西縁から横手盆地では主として完新世の扇状地が広がっている。

白岩断層は、小沼丘陵の西縁に沿う東傾斜の逆断層で、陸羽地震時には白岩広久内から大神成おおかんなりに至る約 7 km にわたって、明瞭な断層崖が認められた。また、断層の一般走向は N20°E で、北端部はやや東向きに走向が変化する。平野（1984）は露頭観察と年代測定結果から、沖積面形成以降に 2 回の地震活動があったと推定している。

## 3. 反射法地震探査「小滝 2005 測線」

### 3.1 探査測線とデータ取得

反射法地震探査は 2005 年 9 月 8 日から 9 月 17 日まで実施された。測線は、真昼山地下の構造をできる限り捉えられるように、白岩断層に直交し、小滝川に沿って小沼丘陵を横切るように設定した（Fig. 2）。測線長は 3.8 km である。この測線を小滝 2005 測線と呼ぶ。探査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。本探査のデータ取得パラメータを Table 1 に示す。Fig. 3 に観測開始

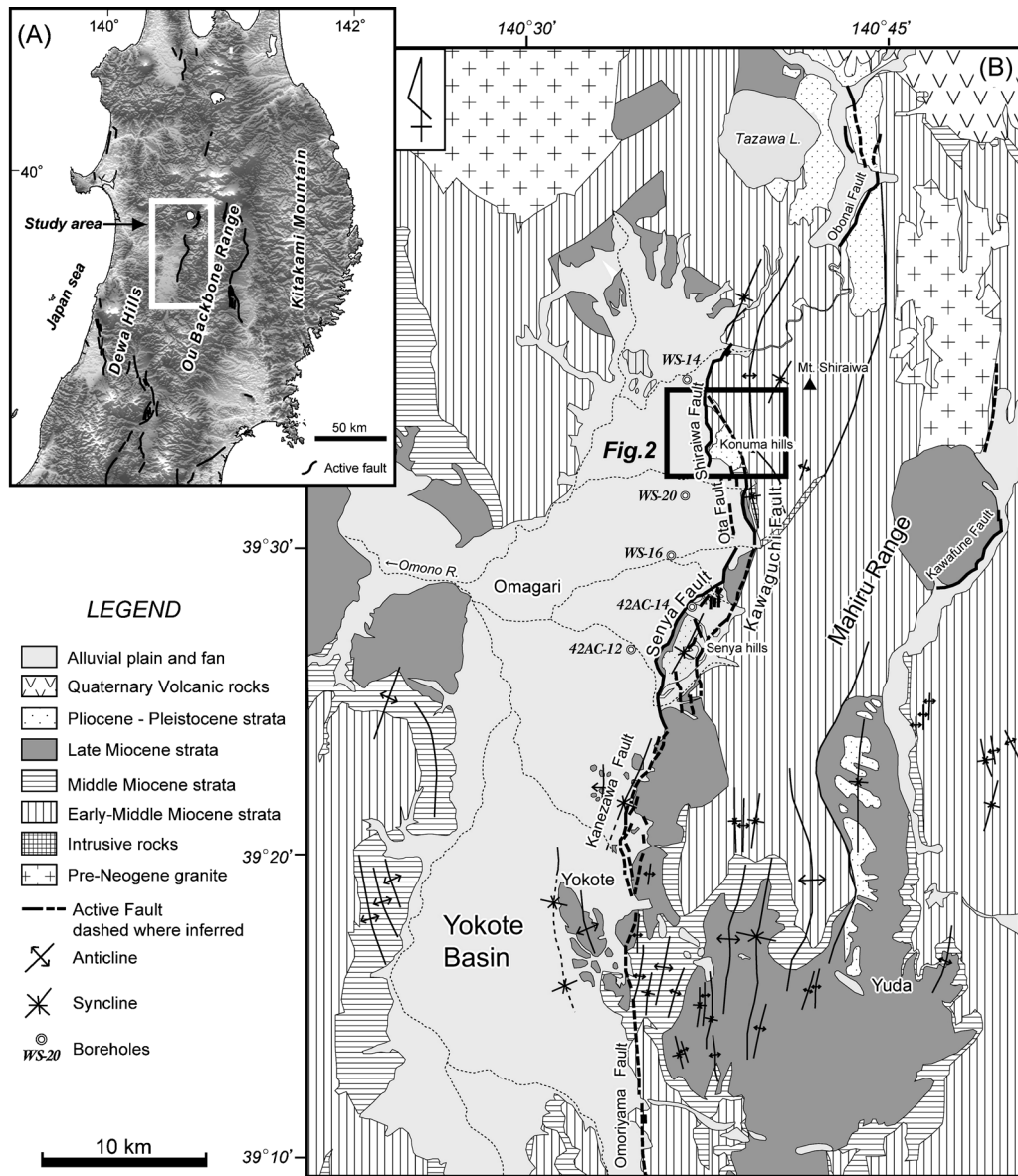


Fig. 1. (A) Shaded relief map based on 250 m DEM showing the locations of active thrusts in the Tohoku district. Active faults are after Ikeda *et al.* (2002) (B) Simplified geological map in and around the Yokote basin. Surface geology is compiled from Usuda *et al.* (1976, 1977, 1980), Osawa and Suda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

時に行った震源のスィープ周波数のテスト結果を示す。テストはスィープ周波数 10-80 Hz, 10-100 Hz, 10-120 Hz について、それぞれ 5 回のスタックを行い、180 ch で記録した。なお、これらのショット記録には 500 msec の AGC を施している。それぞれのショット記録を比較し、観測では、往復走時 0.3~0.8 秒に認められる反射面群を分解能良く捉えている 10-100 Hz をスィープ周波数とし、スィープ長は 20 秒、標準スタック数は 10 回で発震した（一部、時間調整のため 7 回スタックに変更）。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。観測では RP1001-1120, RP1308-1368 を固定展開とし、RP1121-1307 は西側 60 ch, 東側 120 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 10 Hz（9 個組）で受振点間隔は 10 m とした。

### 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。



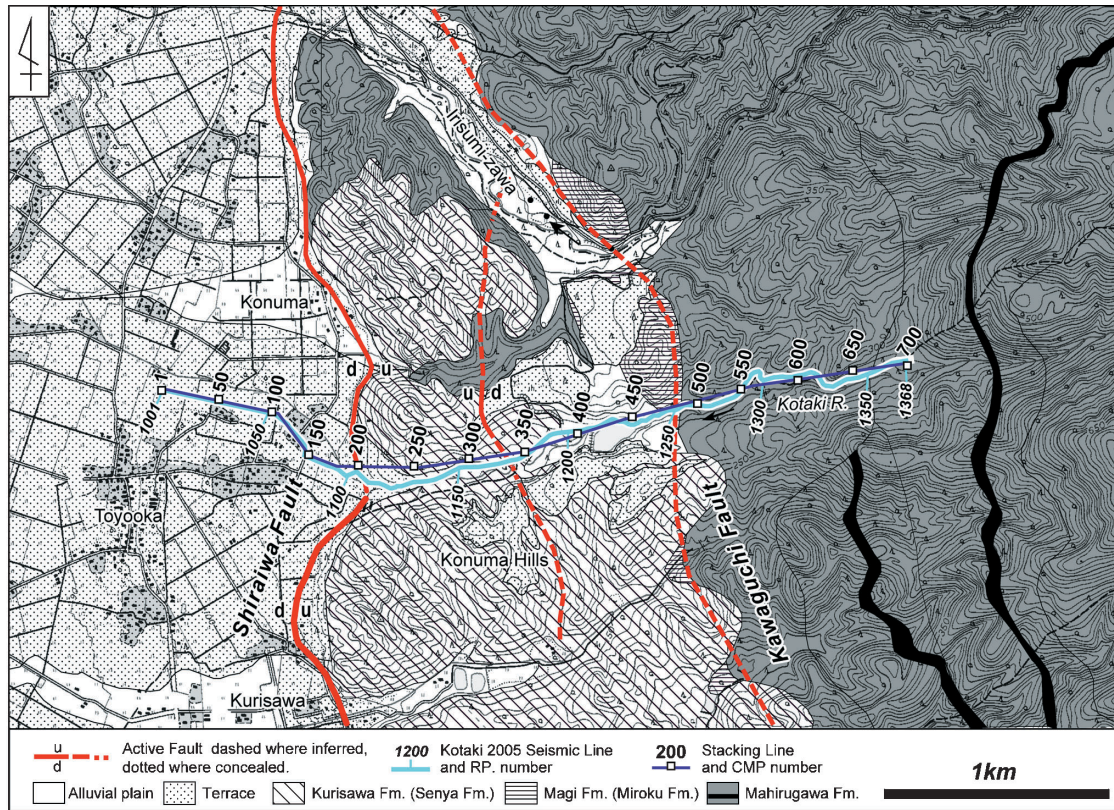


Fig. 2. Location map of the Kotaki 2005 seismic line and CMP stacking line.

Table 1. Data acquisition parameters for the Kotaki 2005 seismic line.

<b>Length of seismic line</b>	3.8 km
<b>Source parameters</b>	
Source	Minivib (IVI, T-1500)
Sweep frequency	10-100 Hz
Sweep length	20 sec
No. of sweeps	10 or 7
No. of shot points	368
Shot interval	10 m
<b>Receiver parameters</b>	
Natural frequency	10 Hz
Receiver interval	10 m
No. of channels	180 ch
<b>Recording parameters</b>	
Instruments	JGI, GDAPS-4
Sampling rate	2 msec
Recording length	4 sec
Standard CMP fold	98

#### (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 98 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、振幅の減衰を回復させた。

$t^n$  型振幅調整 (n): 1.2, 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: 100 msec, Gate length: 1000 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取り、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

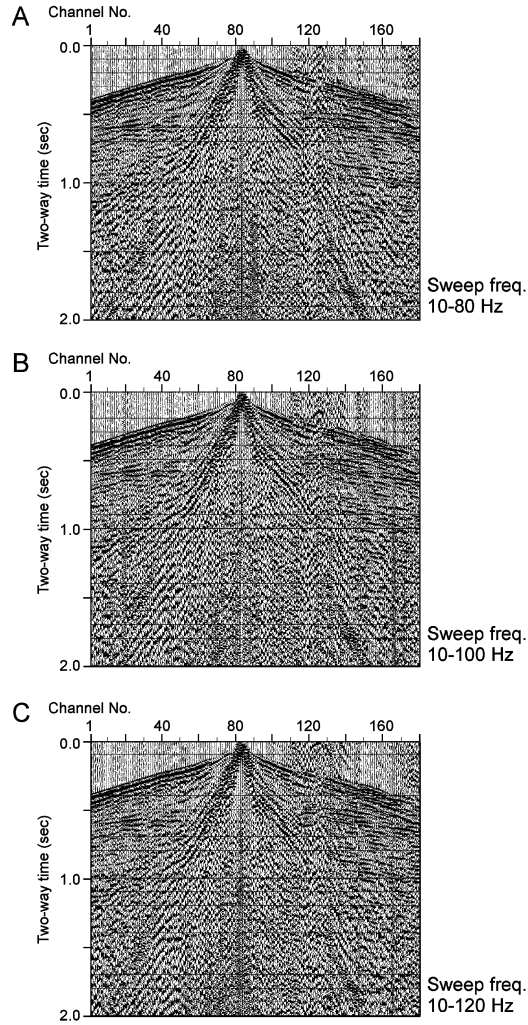


Fig. 3. Examples of shot gathers at different sweep frequency.

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

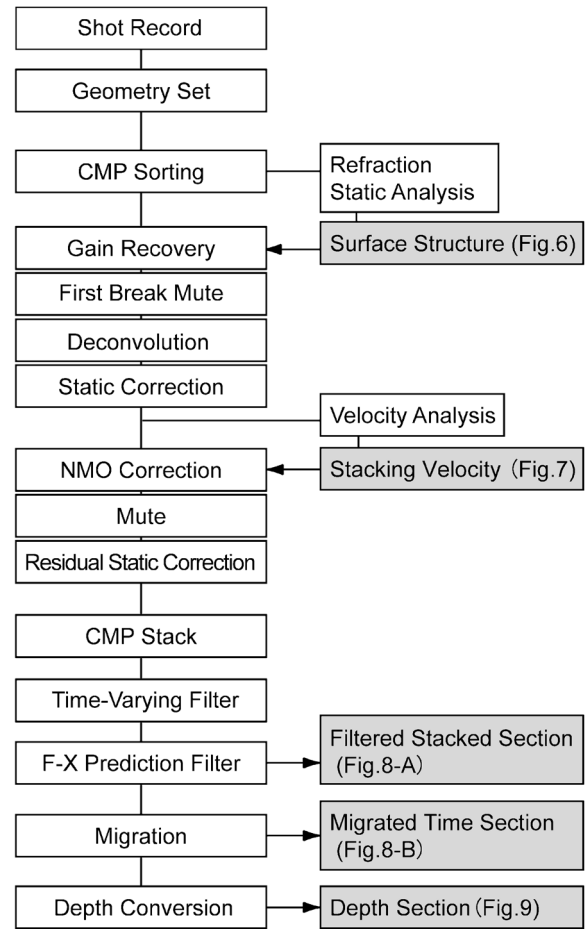


Fig. 4. Flow chart of data processing.

Table 2. Processing parameters for the CMP of the Kotaki 2005 seismic data.

CMP Sorting	CMP interval: 5 m
Gain Recovery	Gain: $t^{1.2}$ , AGC gate length: 600 msec
Deconvolution	Gate length: 1000 msec, Operator length: 100 msec White noise scale factor: 5 %
Static Correction	Time-term method, Two layers model Weathered layer (600 m/sec) and higher velocity layer
Velocity Analysis	Constant velocity stack, Velocity scan interval: 20 CMP
Time-Varying Filter	Time and Frequency : 0-400 msec, 20/28-100/110 Hz : 400-850 msec, 18/24-90/100 Hz : 850-2000 msec, 10/15-80/90 Hz
F-X Prediction Filter	Gate length: 30 traces, Operator length: 3 traces, Window length: 500 msec
Post-stack Migration	Velocity scaling: 70 %



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 600 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.

Table 3. First break mute parameters for the CMP of the Kotaki 2005 seismic data.

CMP	Distance (m)	Time (msec)	Sliding Velocity (m/sec)
200	95	90	2000
500	120	80	1800
800	70	90	2300
1200	100	80	3500

#### (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 2.1 倍に制限し, これを越える部分は CMP gather を基に, ミュートを設計し削除した. 用いたパラメータを Table 4 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. 補正値の許容範囲は 6 msec までとした.

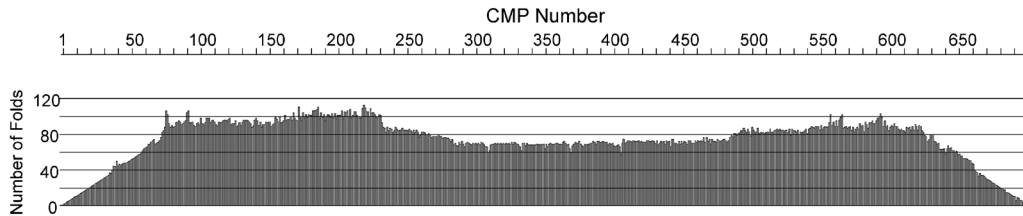


Fig. 5. Distribution of number of folds along the CMP stacking line.

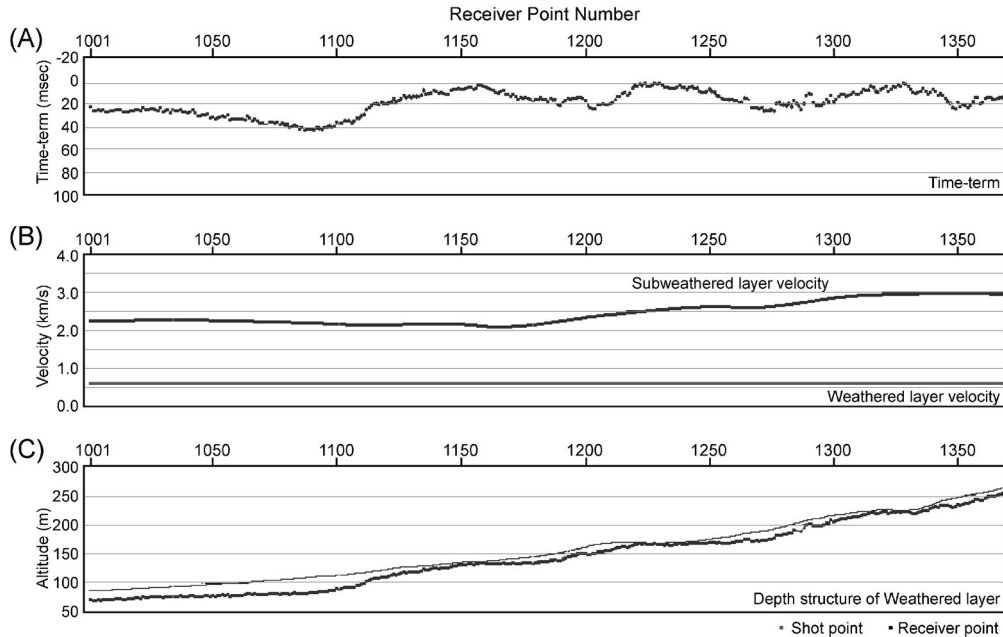


Fig. 6. Surface structure determined by time-term analysis.

(A) Time-terms.

(B) Velocities of second layer.

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

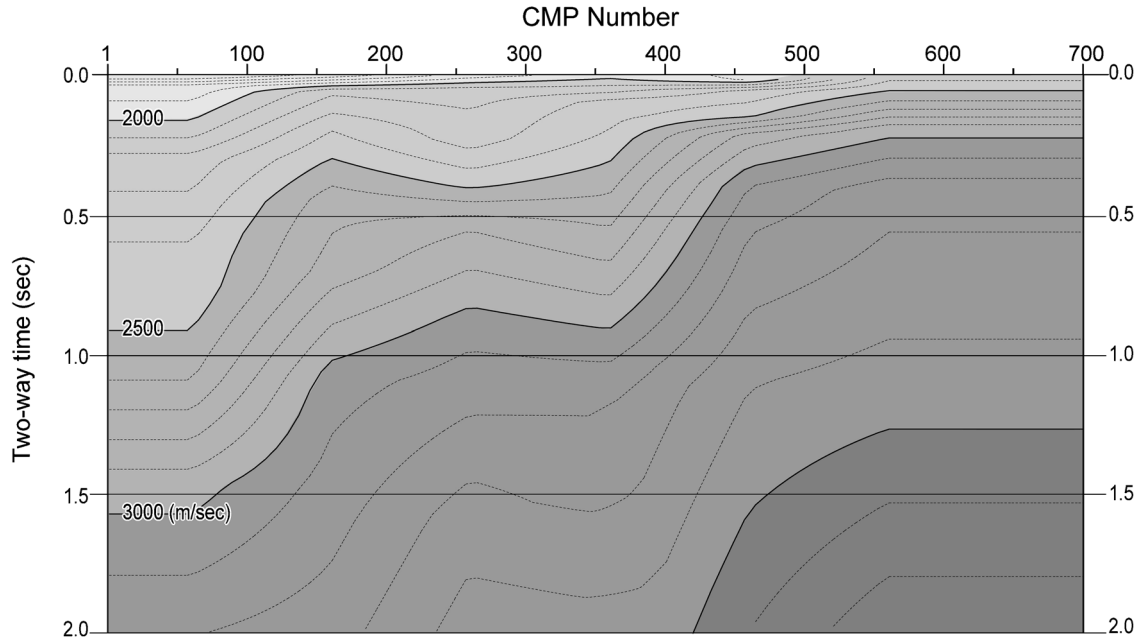


Fig. 7. Optimum stacking velocities determined by velocity analysis.

Table 4. Post NMO mute parameters for the CMP of the Kotaki 2005 seismic data.

CMP	D1 (m)	T1 (msec)	D2 (m)	T2 (msec)	D3 (m)	T3 (msec)	D4 (m)	T4 (msec)	D5 (m)	T5 (msec)	D6 (m)	T6
50	60	41	197	42	198	115	493	200				
100	2	16	181	17	182	70	503	198	599	199	600	
150	9	17	94	90	412	230	710	231	976	440	1606	
200	1	20	40	21	146	115	387	125	483	170	1452	
250	1	25	141	26	1442	85	481	180	600	250	1074	
300	2	25	142	26	187	105	490	155	869	370	1137	
350	10	30	113	31	156	80	615	145	708	230	1108	
400	3	10	145	11	146	80	608	220	1103	370		
450	1	15	123	16	124	65	503	165	715	275	1077	
500	2	15	136	16	380	100	579	220	1282	380		
550	2	15	173	16	174	90	1269	390				
600	1	15	103	16	104	65	507	150	975	345		
650	10	20	502	170								

D1～D6: Distance, T1～T6: Time.

#### (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- 400 (msec)	20/28-100/110 (Hz)
400- 850 (msec)	18/24- 90/100 (Hz)
850-3000 (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。用いたパラメータを以下に記す。

Operator length: 3 CMPs, Gate length: 30 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) を水平方向に平滑化し、70% のスケーリングを施したものをを用いた。

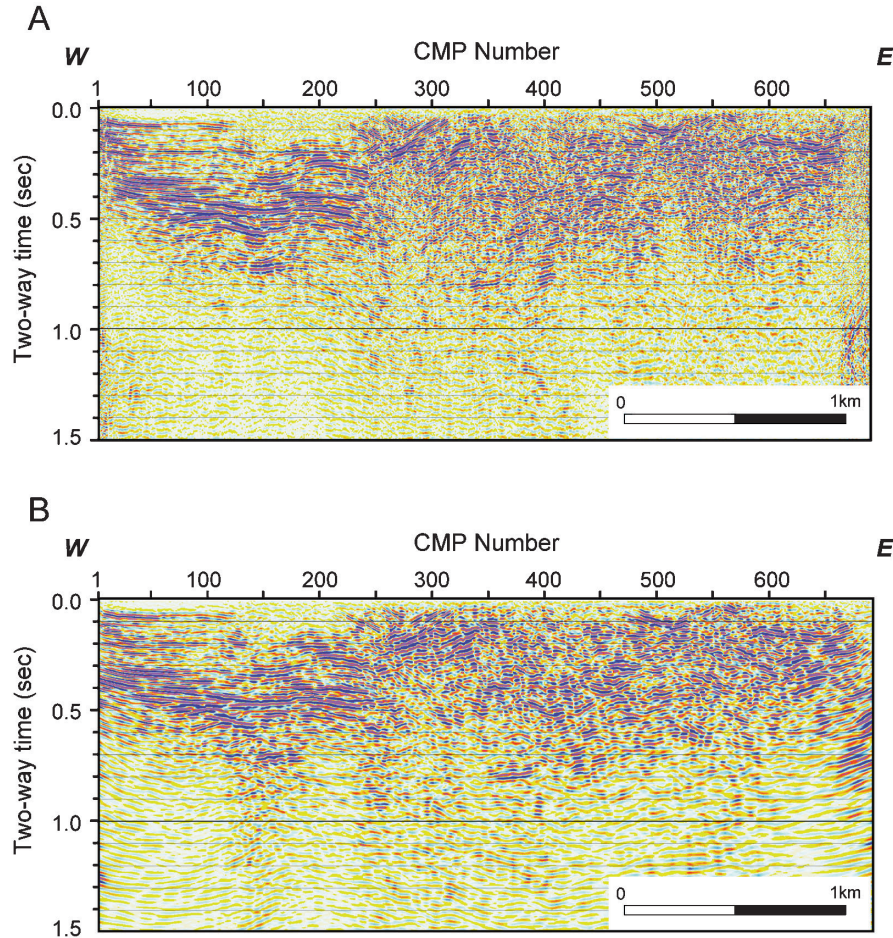


Fig. 8. Filtered stacked section (A) and post stacked, migrated time section (B).

#### (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 1.0 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 0.8 秒、深度にして約 0.7 km まで有意な反射波が得られた。この測線上にはボーリングデータがなかったため、少し離れた場所での 2 本の試錐資料（金属鉱業事業団, 1974 の WS-14 と金属鉱業事業団, 1975 の WS-20; 位置は Fig. 1 参照）を相互に対比した地質柱状図を作成し、深度変換断面図に投影した (Fig. 9)。なお、以下では、臼田ほか (1976) の地質名を用いて記述する。盆地側では深度 200 m までが千屋層、深度 200–500 m が弥勒層、深度 500 m より下位が真昼川層と推定される。

横手盆地下 (CMP1–250) では、表層から約 0.6 秒（深度 400 m）にかけて、ほぼ水平な反射面が数多く認められるが、CMP150–200 ではこれらの反射面群の一部（200 m 以浅）が撓む。これに対して、CMP350 以東（真昼山地側）では、反射面が断続的であり、盆地を充填する堆積層との違いが明瞭である。また、山地の大部分は真昼川層からなり、川口断層以西では CMP300 付近まで弥勒層が分布しており、小沼丘陵の下部を構成することがわかった。この弥勒層は CMP250–350 の範囲で西へ傾斜している様子が明瞭であり、CMP330–450 では、この弥勒層を覆うほぼ水平な反射面群が認められる。この反射面群は、盆地内を埋積する振幅の小さい反射面群の特徴に類似しており、千屋層に対比されると考えられる。

この千屋層は CMP200–330 の間（ほぼ 100 m 以浅）では、前述の弥勒層を覆って主として東へ傾斜する。千屋層の変形をもたらす断層は地表の断層崖（白岩断層; CMP 200）から、東へ 25 度の傾斜をもって CMP400 の深度 400 m 付近まで追跡される。さらに、反射断面で弥勒層



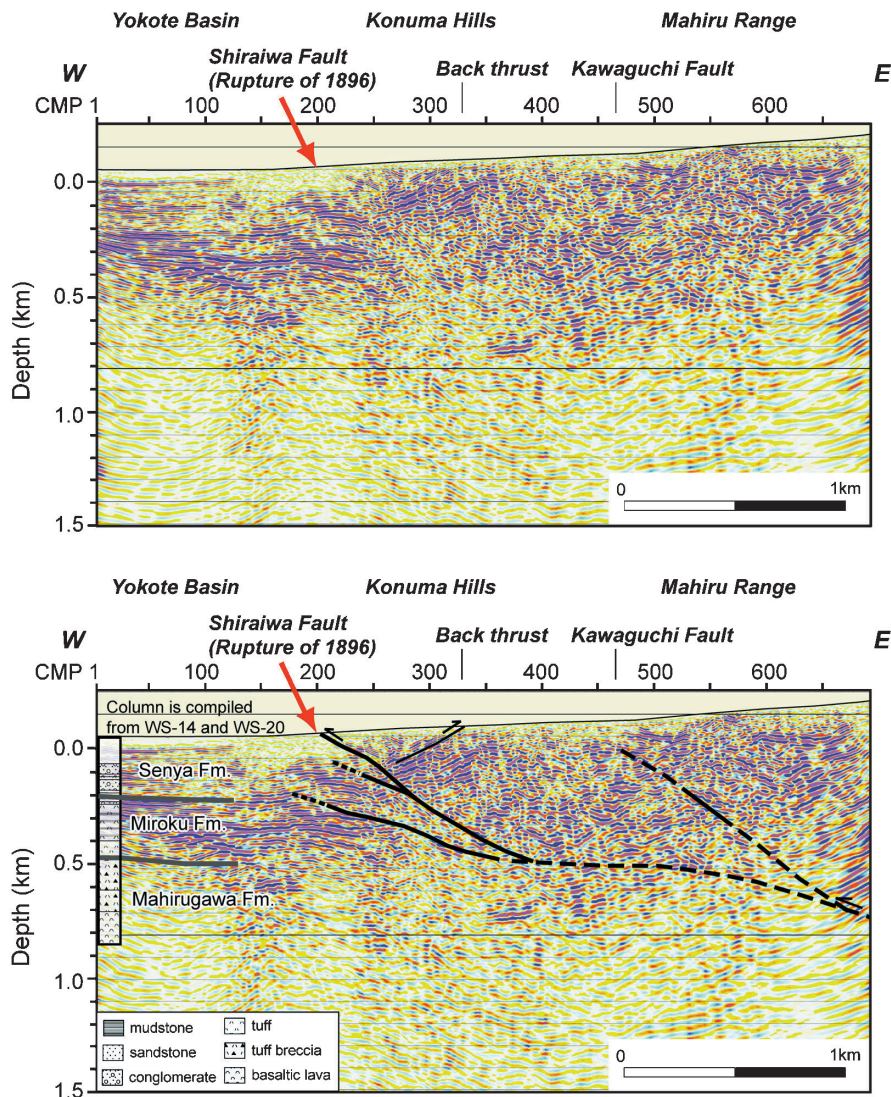


Fig. 9. Depth converted seismic section (above) and its geologic interpretation (bottom). Black, heavy lines and thin lines indicate main faults and subsidiary faults, respectively. The lines are dashed where inferred.

の上位に認められる西傾斜の小さな断層 (CMP340 付近) は、地表での逆向き断層崖に連続する (Fig. 2)。また、前述の CMP150-200 の深度 100-200 m 付近に見られる地層 (弥勒層) の西側への撓みは、CMP150 の深度 200 m 付近から CMP350 の深度 500 m へと低角に延びる断層に起因するものと考えられる。さらに、CMP500-600 の深度 200-400 m には、反射面の斜交構造 (上半部が東傾斜、下半部が西傾斜) が認められ、このことから東傾斜の断層が推定され、その地表延長は川口断層付近に位置する。

## 5. まとめ

活断層の断層構造の走行方向への変化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白岩断

層を横断する 3.8 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、深度断面を作成した。白岩断層では、分岐を伴う低角逆断層が、その主たる構造であると推定される。本稿で提示した断面に関する詳細な地質学的解釈や、千屋断層・太田断層を横切る断面 (佐藤・平田, 1998; 佐藤ほか, 2007; 楮原ほか, 2007a, 2007b) との比較については別誌で論じる予定である。

## 謝 辞

本研究を行うにあたり、大仙市 (旧中仙町) 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。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。探査測線および周辺地形の測量では、広島工業大学・中田 高先生、広島大学・奥村晃史先生、福島大学・後藤秀昭先生に、ご協力をいただいた。査読者である京都大学・堤 浩之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](http://www.jishin.go.jp/main/chousa/05mar_yokote/index.htm).
- 楮原京子・今泉俊文・佐藤比呂志・宮内崇裕・越後智雄・松多信尚・石山達也・越谷 信・野田 賢・加藤 一・内田拓馬・宇野知樹・森泉俊行・小田 晋・神田聡史・森下信人・水本匡起・梅津洋輔・小林 勉・氷高草多・野田克也・井川 猛, 2007a, 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, 地震研彙報, **81**, 119-128.
- 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, 2007b, 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.
- 金属鉱業事業団, 1975, 昭和 48 年度精密調査報告書, 和賀雄物地域, 100 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・駒澤正夫・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)