

新庄盆地東部活褶曲群を横切る反射法地震探査

佐藤比呂志^{1)*}・八木浩司²⁾・池田安隆³⁾・今泉俊文⁴⁾・荻野スミ子¹⁾・宮内崇裕⁵⁾・戸田 茂⁶⁾・平野信一⁷⁾・松多信尚⁸⁾・越後智雄⁹⁾・田力正好¹⁰⁾・井川 猛¹¹⁾・酒井隆太郎¹²⁾・新庄97反射法地震探査グループ

¹⁾ 東京大学地震研究所, ²⁾ 山形大学教育学部, ³⁾ 東京大学大学院理学系研究科, ⁴⁾ 山梨大学教育人間科学部 (現在: 東北大学大学院理学系研究科), ⁵⁾ 千葉大学理学部, ⁶⁾ 愛知教育大学, ⁷⁾ 東北大学大学院理学研究科, ⁸⁾ 東京大学大学院理学系研究科 (現在: 国立台湾大学), ⁹⁾ 千葉大学大学院理学系研究科 (現在: (財)地域地盤環境研究所), ¹⁰⁾ 東京大学大学院理学系研究科 (現在: (独)日本原子力研究開発機構), ¹¹⁾ (株)地球科学総合研究所, ¹²⁾ 動力炉・核燃料開発事業団・東濃地球科学センター (現在: ダイヤコンサルタント(株))

Seismic reflection profiling across active folds in the eastern Shinjo basin, NE Japan

Hiroshi Sato^{1)*}, Hiroshi Yagi²⁾, Yasutaka Ikeda³⁾, Toshifumi Imaizumi⁴⁾, Sumiko Ogino¹⁾, Takahiro Miyauchi⁵⁾, Shigeru Toda⁶⁾, Shinichi Hirano⁷⁾, Nobuhisa Matsuta⁸⁾, Tomo-o Echigo⁹⁾, Masayoshi Tajikara¹⁰⁾, Takeshi Ikawa¹¹⁾, Ryutaro Sakai¹²⁾ and Shinjo 97 Seismic profiling group

¹⁾ Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, ²⁾ Faculty of Education, Yamagata University, ³⁾ Graduate School of Science, The University of Tokyo, ⁴⁾ Faculty of Education and Human Sciences, Yamanashi University (Now at Graduate School of Science, Tohoku University), ⁵⁾ Department of Earth Science, Chiba University, ⁶⁾ Aichi University of Education, ⁷⁾ Graduate School of Science, Tohoku University, ⁸⁾ Graduate School of Science, The University of Tokyo (Now at National Taiwan University), ⁹⁾ Graduate School of Science and Technology, Chiba University (Now at Geo-Research Institute), ¹⁰⁾ Graduate School of Science, The University of Tokyo (Now at Japan Atomic Energy Agency), ¹¹⁾ JGI Inc., ¹²⁾ Tono Geoscience Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation (Now at Dia Consultants Co. Ltd.)

Abstract

Late Quaternary, active folds are well developed in the eastern part of the Shinjo Basin, central northern Honshu, Japan. To reveal the geometry of the folds, seismic reflection profiling was undertaken across the NS-trending folds in the eastern Shinjo Basin. The total length of the seismic line is about 14 km. The seismic source was a mini-vibrator truck with 30 seconds of 10-80 Hz signals at 30 m intervals. The signal was recorded on 120 and 180 channels by a 15-m group interval of 10-Hz geophones. The seismic reflection profiles portray the style of folds down to 1.5 km in depth. The Neogene basin fill forms asymmetrical fault-related folds associated with an east dipping reverse fault on their western flanks. The range boundary fault (Kyodanbara fault) is demonstrated in the seismic section as an east dipping reverse fault at about 40°. Based on the fold geometry and prevailing bedding slip, it is interpreted that the Tominami anticline was formed by flexural-slip folding, and the competent layer was a Pliocene sandstone unit. No obvious growth strata are recognized in the seismic sections, suggesting that the main phase of folding and faulting occurred after deposition of the Dokuzawa Formation.

Key words: seismic reflection profiling, active fold, Shinjo basin, NE Japan

* e-mail: satow@eri.u-tokyo.ac.jp (〒113-0032 東京都文京区弥生 1-1-1)

1. はじめに

東北日本中部に位置する内陸盆地である新庄盆地には、南北方向の逆断層を伴う褶曲した新第三系が分布する (Fig. 1)。盆地中央部を流れる小国川沿いでは、河岸段丘の変形から大塚 (1942) によって国内では初めて活褶曲が報告され、変動地形学的に多数の研究がおこなわれている (杉村, 1952; Sugimura, 1967; 中川ほか, 1971; Kumaki, 1983)。これらは西翼急傾斜の非対称褶曲で、翼部に逆断層を伴う。主要な逆断層は奥羽脊梁山脈と新庄盆地の東縁を限る経壇原 (きょうだんばら) 断層と、その東側に位置する舟形断層、堀内断層である (Taguchi, 1962)。これらの断層は、第四紀後期に活動域を順次盆地側 (西方) に移動させてきたことが、従来の地質学的・変動地形学的研究を通じて明らかにされている (佐藤, 1986; 鈴木, 1988; Sato and Amano, 1991)。褶曲-衝上断層帯の地下構造を明らかにすることは、逆断層や褶曲の盆地側への移動のメカニズムを明らかにする上で、また活断層の深部延長で発生する地震像を予測する上で重要である。ここでは、1997年に大学の合同チームで実施した小国川沿いの活褶曲を横切る総延長 14 km での反射法地震探査のデータ取得と解析結果について報告する。

2. 地質概説

新庄盆地は出羽丘陵と奥羽脊梁山脈の間に形成された内陸盆地であり、盆地内には褶曲した厚い新第三系が分布する。これらの新第三系は南北方向の逆断層や褶曲によって短縮変形を被り、現在は盆地堆積物が丘陵地形をなして地表に露出している (Fig. 1)。

新庄盆地東方の奥羽脊梁山脈にはグリータフと呼ばれる新第三系の火山砕屑岩類が広く分布する。これらの新第三系は下位より、瀬見層・大穴沢層・長尾層・銀山層・中島層・南沢層に区分される (佐藤, 1986)。瀬見層は主として変質安山岩と同質の火山砕屑岩より構成され、白亜系の花崗岩類を不整合に被って分布する。上位には、主として珪長質の火山岩や同質の火山砕屑岩から構成される大穴沢層が整合で重なる。その上位には日本海拡大時の海進を代表する中部中新統長尾層が重なる。半深海性の泥岩の卓越によって特徴づけられる地層で、バイモーダルな海底火山噴出物を挟む。その上位には珪長質火山砕屑岩と安山岩質火山岩・火山砕屑岩からなる銀山層が重なる。これは新庄盆地西方の出羽丘陵に分布する草薙層に対比される地層である。この上位に重なる中島層は、盆地西部の古口層に対比される地層で、黒色泥岩からなる。鮮新統の南沢層は盆地西部の野口層と中

渡層を合わせたものに相当する地層で、塊状砂岩からなる浅海性層である。

新庄盆地中央部には、厚い鮮新-更新統が分布し、鮭川層・八向層・毒沢層・山屋層に区分される (佐藤, 1986)。鮭川層は砂岩からなる浅海性層で、盆地東部に向かって薄化する。その上位の八向層は、砂岩・泥岩・亜炭などから構成される三角州から河川性の堆積物で、東部ではしばしば珪長質凝灰岩を伴う。整合で、毒沢層が重なる。基底部には K4 と呼ばれる連続性のよい珪長質凝灰岩が分布する。砂浜から後背湿地の堆積物で、西部では河口～河川性堆積物で亜炭を頻々に挟む川口挟炭層部層、砂浜堆積物を主体とする叶口砂岩部層・後背湿地の堆積物を主体とする泉川シルト岩部層からなる。新庄盆地の沈降運動を示す堆積層で、盆地中央部では層厚変化に乏しい。その上位には、礫層を主体とする山屋層が分布する。下部は網状河川性の礫・砂・シルト互層からなる。中部に発達する浮石質凝灰岩より上位は、主として・扇状地性の礫岩と珪長質凝灰岩が分布する。盆地中央部では下位層と整合であるが、周辺部や背斜部では不整合となる。分布域も褶曲に規制されており、断層・褶曲形成期に堆積した地層である。

3. 地表地質にもとづく新庄盆地東部の地質構造

盆地中央部の小国川沿いでは南北方向の軸跡を有する西側急傾斜、東側緩傾斜の非対称褶曲が分布し、それらの翼部には逆断層が分布する。新庄盆地の東縁を画するのが、経壇原 (きょうだんばら) 断層 (Taguchi, 1962; Fig. 1) で、南北方向に 25 km に渡って追跡される。小国川沿いでは断層の上盤側に、幅 1 km に渡り地層がほぼ直立した大規模な急傾斜帯を伴う。この断層を覆う高位段丘面には、断層に伴う変位はなく、第四紀後期に活動した証拠はない (佐藤, 1986)。

経壇原断層の西側には東翼緩傾斜、西翼急傾斜の非対称褶曲である舟形背斜 (Taguchi, 1962) が位置する。舟形背斜の上に分布する河岸段丘の高位面と中位面はこの褶曲と調和的な変形を示す (佐藤, 1986; 鈴木, 1988; 澤ほか, 2001)。西翼は背斜軸と平行な舟形断層 (Taguchi, 1962) により断たれる。舟形断層を覆う河岸段丘には、断層に沿った変位は認められない。この断層の西側には、南北方向の軌跡をもつ富並背斜が位置する。西翼は 30~60° までの急傾斜を示すが、東翼は 20~30° の緩傾斜を示す非対称褶曲である。西翼は背斜軸跡と平行な堀内断層により断たれる。断層面は直接観察できないが、長者原東方・堀内周辺で低位段丘面の変位が観察される (鈴木, 1988; 佐藤, 1986; 澤ほか, 2001)。また、富並背

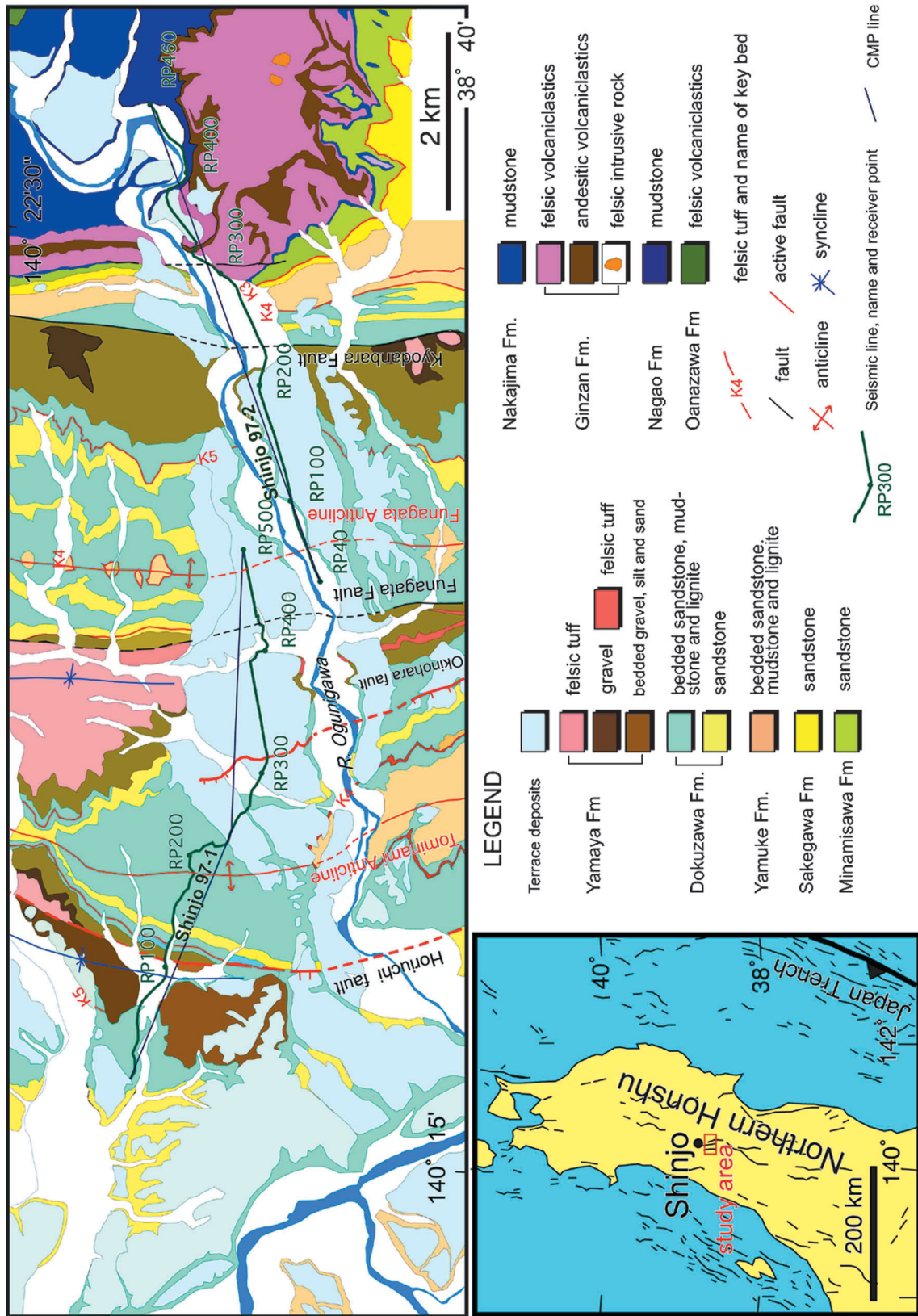


Fig. 1. Geological map showing the seismic line "Shinjo 97-1 and 2".
Geologic map is after Sato (1986).

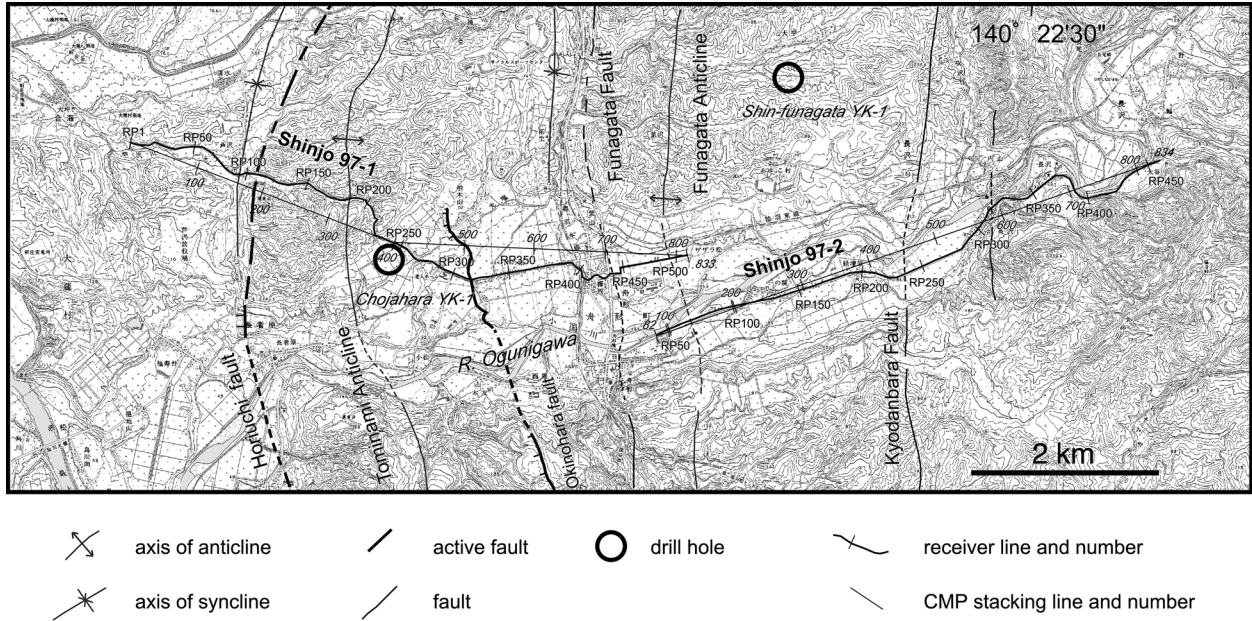


Fig. 2. Location of seismic lines. Base map is after Geographical Survey Institute.

Table 1 Data acquisition parameters for the Shinjo 97-1 and 2 seismic surveys.

Seismic line	Shinjo 97-1	Shinjo 97-2
Length of seismic line	7 km	6.7 km
Source parameters		
Source	Mini-vibrator (IVI, T-15000)	
Sweep frequency	10 - 80 Hz	10 - 80 Hz (western half), 10 - 60 Hz (eastern half)
Sweep length	30 s	15 or 30 s
No. of sweeps	5	5 partly 10
No. of shot points	250	199
Shot interval	30 m	30 m
Receiver parameters		
Natural frequency	10 Hz	10 Hz
Receiver interval	15 m (9 strings)	15 m (6 strings)
No. of channels	120	180
Recording parameters		
Instruments	JGI, Gdaps-4	
Sampling interval	4 ms	4 ms
Recording length	3 sec	3 sec
Standard CMP fold	40	40

斜の東翼には中位段丘面に西側低下の変位を与える沖の原断層（澤ほか，2001）が分布する。

4. 反射法地震探査「新庄 97」

反射法地震探査測線は，新庄盆地東部に分布する主要な断層の走向・褶曲軸跡に直交し，かつ河岸段丘の発達が良い小国川沿いに設定した (Fig. 1, 2). 測線は道路状況から，2つの測線に分けて探査をおこなった。「新庄 97-1」測線は新庄市の芦沢から，舟形町沖の原を通り，奥羽本線・国道 13 号を横切り，舟形町ザザラ松にいたる 7 km の区間である。「新庄 97-2」測線は，県道を舟形町舟

形から，同野にいたる 6.7 km の区間である。

新庄盆地には鮮新統の砂岩が厚く分布し褶曲を構成しているため，デタッチメントが存在する場合でも，1 km を越えることが予想された。このためより深い地下構造を明らかにするために，長い展開長を確保した (Table 1). 10 Hz の固有周波数を有する 9 個組の受振器を使用し，受振点間隔は 15 m とした。反射法地震探査では，地球科学総合研究所(株) の G-daps 4 から構成される地震研究所の反射法地震探査システム (佐藤，1996) を使用した。

震源は東京大学地震研究所の所有する IVI 社 (Indus-

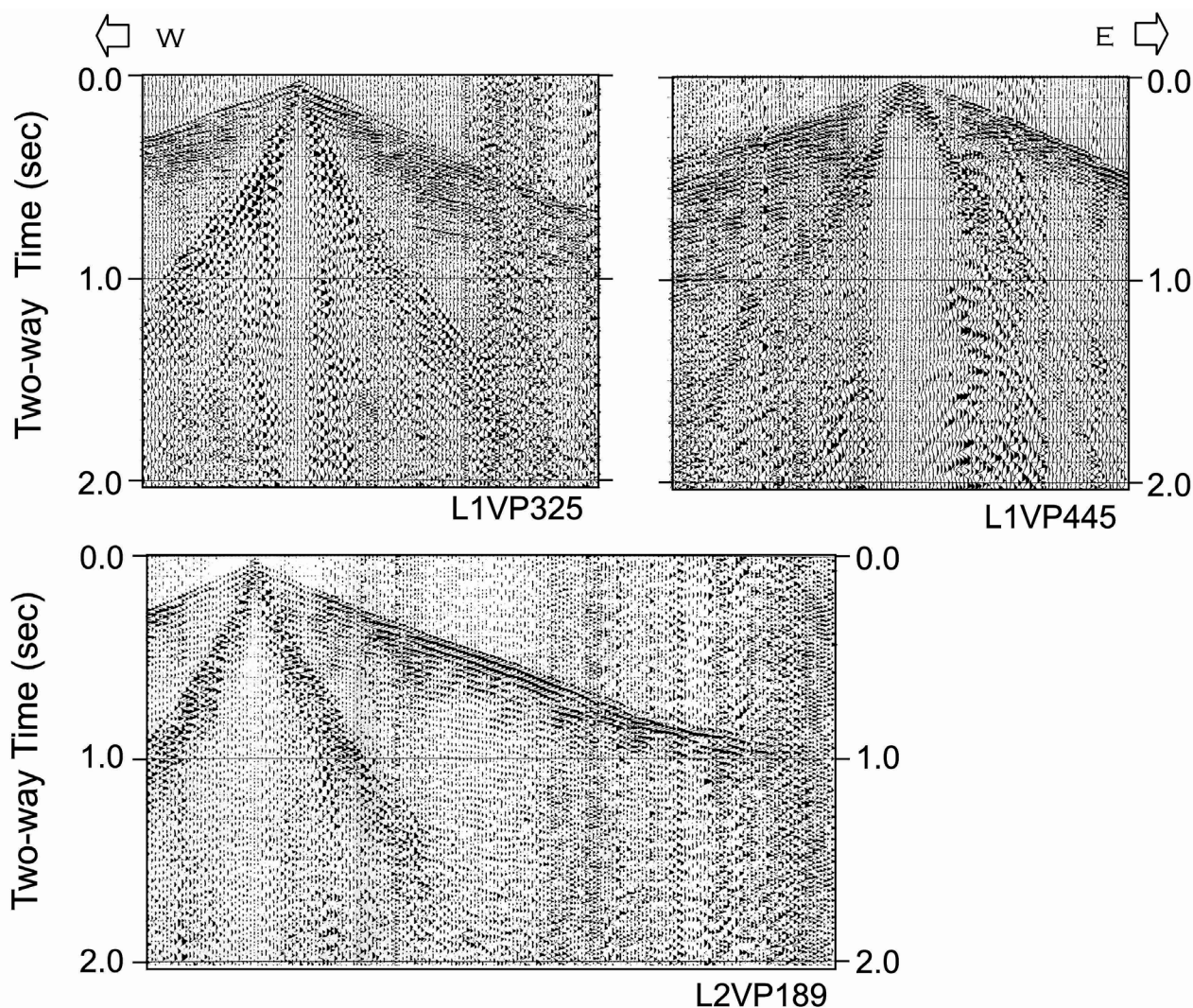


Fig. 3. Examples of shot gather. L1: Shinjo 97-1 seismic line, L2: Shinjo 97-2 seismic line, VP: shot point, the number is equal to the number of receiver point.

try Vehicle International) 製の minivib T15000 を用いた。スイープ周波数は 10 から 80 Hz, 線形の up sweep で, スイープ長は 30 秒とした。基本的には 5 回スタックで発震し, 新庄 97-2 測線ではノイズ状況に応じて 10 回スタックを交えた。発震点間隔は両ラインともに 30 m である。反射データは記録長 3 秒, サンプル間隔 4 msec で記録した。新庄 97-1 測線については, 120 ch のロールの振り分け展開で記録した。新庄 97-2 測線については 180 チャンネルを展開し, 発震点が 60 チャンネル地点に達した時点で, 60 チャンネルを前方に繰り出し, 再び固定展開でショットするというやや変則的な展開方法をとった。平均的な重合数は約 40 である (Fig. 5)。

観測は 1997 年 7 月 27 日から 8 月 6 日まで実施した。得られたショット記録例を Fig. 3 に示す。新庄 97-1 の

富並背斜東翼 (RP325) でのショット記録 (L1VP325) では, 往復走時 0.8 秒程度まで東傾斜の連続性のよい反射波が多数観測されている。舟形背斜西翼でのショット記録 (L1VP445) では西傾斜の反射面からの反射波群が多数観測された。新庄 97-2 測線での舟形背斜東翼でのショット記録では, やや東に傾斜した反射面からの多数の反射波が観測される他, 受振器展開区間の東端部では屈折初動の傾きが緩くなっており, 奥羽脊梁山脈に分布する弾性波速度の大きい火山岩類の影響が見られる。観測期間中に実施した総ショット数は 449 であった。

新庄 97-1 測線の西部においては, ノイズレベルが小さく良好な記録が得られたが, 東部では国道 13 号線・自動車工場 (RP450) からの低周波のノイズが顕著であった。新庄 97-2 測線は新庄と古川市を結ぶ旧国道 49 号線

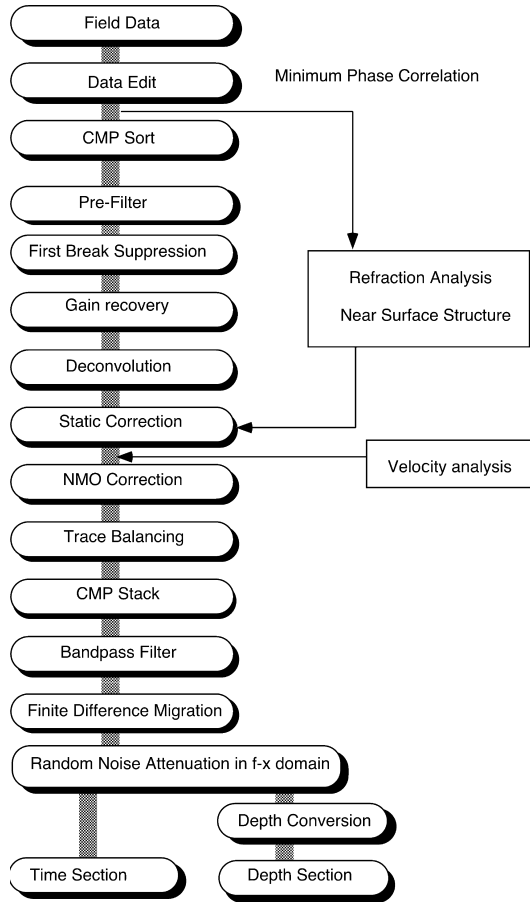


Fig. 4. Flow chart showing the processing steps.

に位置し、交通量は頻繁で雑音の多い環境にあった。また、経壇原の採石場（RP200 付近）はほとんどの時間帯で低周波のノイズ源となった。

データ解析は Mercury International Technology (MIT) 社の反射法地震探査データ解析用ソフトウェア iXL (ver. 4.2) を使用して、地震研究所で行った。静補正については、Green Mountain Geophysics 社製の Refraction Statics Analysis module を用いた。データ解析のフローは Fig. 4 に、また使用したパラメータは Table 2 に示した。両測線ともほぼ同様の解析を行った。得られた重合断面・重合後マイグレーション時間断面・深度変換断面を、Fig. 6~9 に示した。

5. 新庄 97 反射法地震探査断面の地質学的解釈

反射断面の地質学的解釈を行うにあたって地表地質データの他に、ボーリングデータが強い制約を与える。測線近傍では 2 箇所 80 年代に 3,000 m 級の大深度ボーリングが掘削されている（天然ガス鉱業会・大陸棚石油開発協会, 1992）。長者原 YK-1（掘止深度 3,510 m）と新舟形 YK-1（掘止深度 2,814 m）である。これらは資源探査を目的としたもので、その詳細については公表されていない。ここでは「改訂版 日本の石油・天然ガス」（天然ガス鉱業会・大陸棚石油開発協会, 1992）に記載されているボーリングの位置と地層区分が表現された柱状図をもとに解釈する。長者原 YK-1 は測線沿いに位置し、直接反射断面と対比可能である。一方、測線の 2.3 km 北方に位置する新舟形 YK-1 については、地表地質

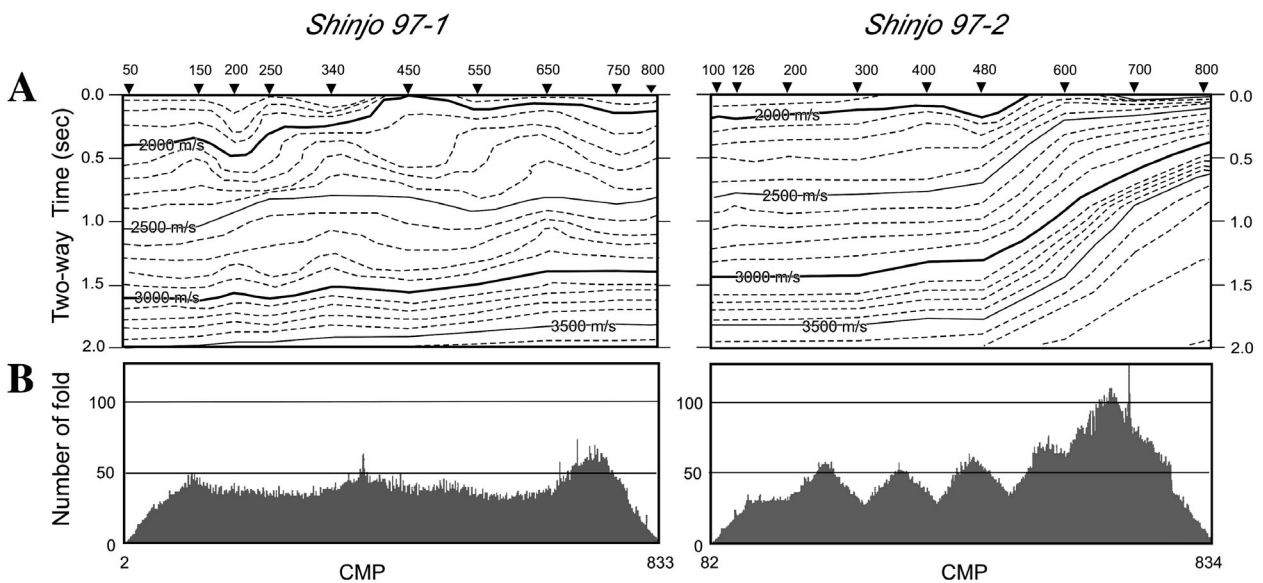


Fig. 5. Optimum stacking velocities determined by velocity analysis and distribution of number of folds along the CMP stacking line of Shinjo 97-1 and 2.

Table 2. Processing parameters for the Shinjo 97-1 and 2 seismic data.

CMP Sorting	CMP interval: 7.5 m
Bandpass Filter	Passband: 10/20-70/80 Hz, 200 ms
AGC trace scaling	600 ms
Predictive deconvolution	Gate length: 2000 ms, Operator length: 150 ms, White noise: 5%, Prediction length: 4 ms
Static Correction by Refraction Analysis	Two layers model (800 m/s, and higher velocity layer), Time-term method
AGC trace scaling	100 ms
Velocity Analysis	Velocity scan at every 100 CMP (1500m)
Normal moveout correction	
Time domain stacking	Velocity scaling (100%)
Residual statics	Maximum allowed static shift: 5 ms
Bandpass Filter	Passband: 10/20-70/80 Hz, 200 ms
FX deconvolution	
Time to depth conversion	

から作製した走向線図(佐藤, 1986)をもとに, 反射断面に投影し地質学的な解釈を行った(Fig. 8, 9).

ボーリングの岩相は, 秋田堆積盆地の標準層序区分によって記載されているため, 新庄盆地地域の層序に読み換える必要がある. 女川層は新庄盆地の草薙層に, 船川層は古口層に岩相から, 容易に対比可能である. しかしながら, 下部天徳寺層中や笹岡層の基底などの層準については, 岩相の詳細や対比の根拠が公表されていないため評価が難しい. ここでは女川/船川層境界, 船川層/天徳寺層境界を測線全域に渡る対比可能な層準として解釈に用いた.

新庄 97-1 測線では 1.5 km 程度までの有意な反射面が認められる(Fig. 8). CMP250 から 500 までの富並背斜の軸部ではイメージングが低下し, 連続性のよい反射面が見られるのは地下 1 km までである. この区間ではとくに屈折初動の到達距離に他の区間と差がなく, 連続性のよい反射面が認められないのは, 岩相・構造などの地質学的な要因である可能性が高い. 最も顕著な構造は, 西翼急傾斜・東翼緩傾斜の富並背斜である. 断面に現れている反射面の地表近傍での傾斜は, 地層の走向傾斜(佐藤, 1986)と良好な一致を示す. 褶曲軸面が東に傾斜した非対称褶曲である.

この断面では, 地質学・変動地形学的な情報も考慮して, F1 から F5 までの断層を解釈した(Fig. 8). 断層 F1 は, 富並背斜西翼の急傾斜部に発達する断層である. 地表で堀内断層として, 低位段丘を変位させている西側低下の断層で, 反射面の不連続として深度 900 m 付近まで追跡できる. それ以深の形状については, 断層東翼の安定した傾斜とほぼ同様の傾斜を推定した. 断層面そのものによる変位はごく僅かである. 断層 F2 は, 富並背斜西翼部の西傾斜の急傾斜部と東傾斜の緩傾斜部の構造急変部に推定した. 断層による変位はごく僅かである.

沖の原断層(澤ほか, 2001)は, 変動地形学的に認識できる富並背斜の西翼に位置する西側低下の断層である. 反射断面では地表地質と同様, 連続性の良好な東傾斜の反射面が卓越する. 地表での沖の原断層の重合測線への投影点(CMP500)から東に傾斜した反射面に沿って, その上位と下位に軽微な不連続的な構造が見られる. とくに地表地質・情報を重視して, この不連続部に断層 F3 を推定した. 向斜の形成に伴い, 層理面に沿った flexural slip によって向斜軸部から翼部に移動することによって生じた断層と判断される. フレクシュラルスリップ断層(flexural-slip fault, eg. Yeats *et al.*, 1997)や, out of the syncline thrust (McClay, 1992)に相当する. 新庄盆地西部では松浦(2003)によって, 同様のフレクシュラルスリップ断層が報告されている.

断層 F4 は, 地表地質とボーリングと反射断面による層準の隔離, CMP670-750 の深さ 300 m 付近の西傾斜と東傾斜の反射波の不連続的な接合関係から推定した. 東側隆起の逆断層であり, 断層を隔てた毒沢層基底部(K4 層準)の鉛直隔離は約 350 m となる.

断層 F5 は反射面の不連続から推定したもので, 地表の舟形断層に延長される. 反射パターンから断層 F5 は西傾斜で, 断層 F4 に地表下 300 m ほどで接合するものと判断される. すなわち, 東傾斜の断層 F4 は西傾斜の断層 F5 とともに浅部では楔型の逆断層システムを構成していることになる. 舟形断層は直接的には断層 F5 に対する名称であるが, 舟形背斜の形成に寄与した断層という観点では, 伏在する東傾斜の断層 F4 が主体であり, この断層 F4 についても舟形断層と呼ぶ. 沖の原断層(F3)の深部延長は, 舟形断層(F4)と地下で接合している可能性がある.

新庄 97-2 測線の深度変換断面(Fig. 9)では, CMP450 を境として西側には連続性のよい反射面が卓越するのに

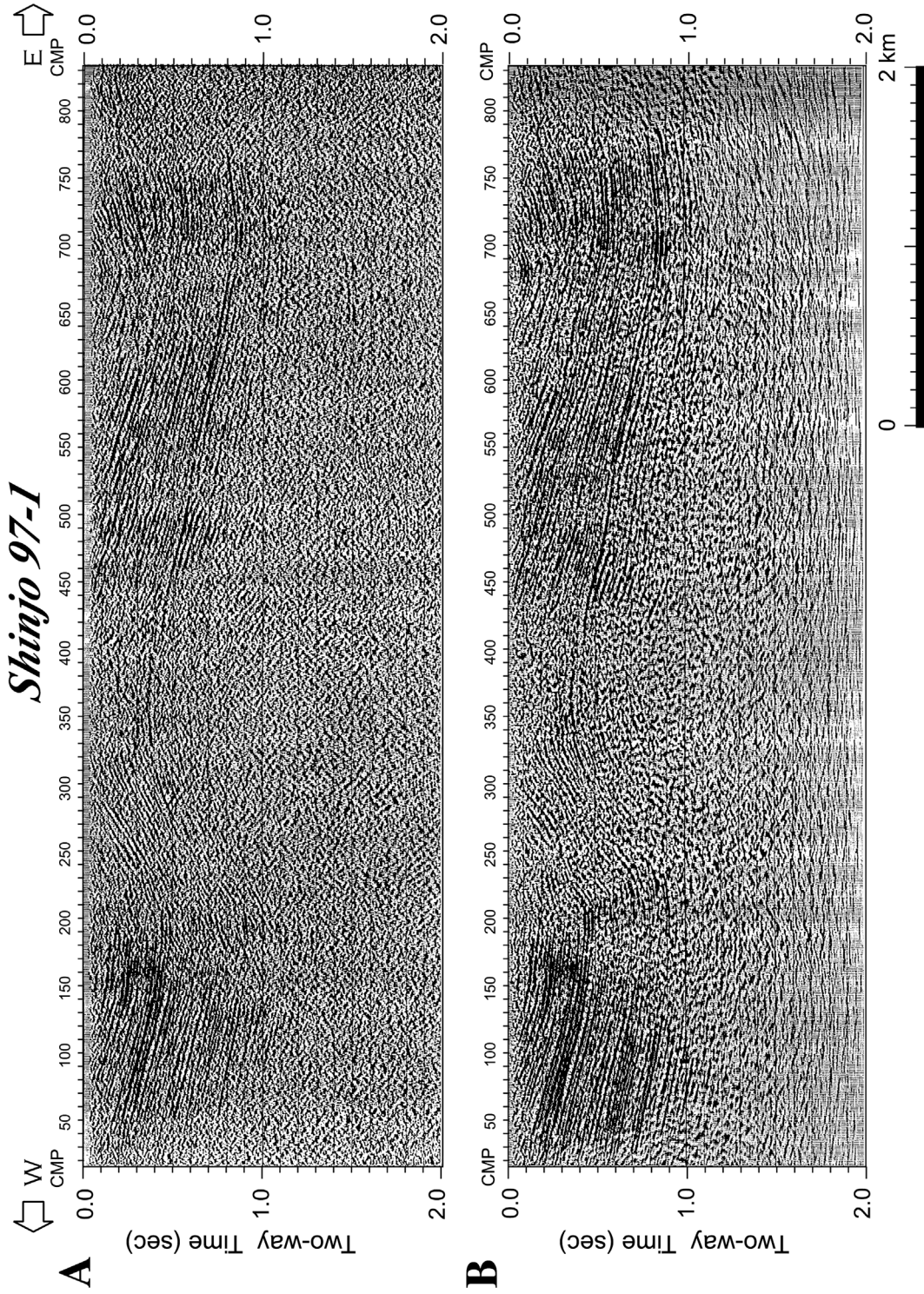


Fig. 6. Filtered stacked section (A) and post stacked, migrated time section (B) of the Shinjo 97-1 seismic line.

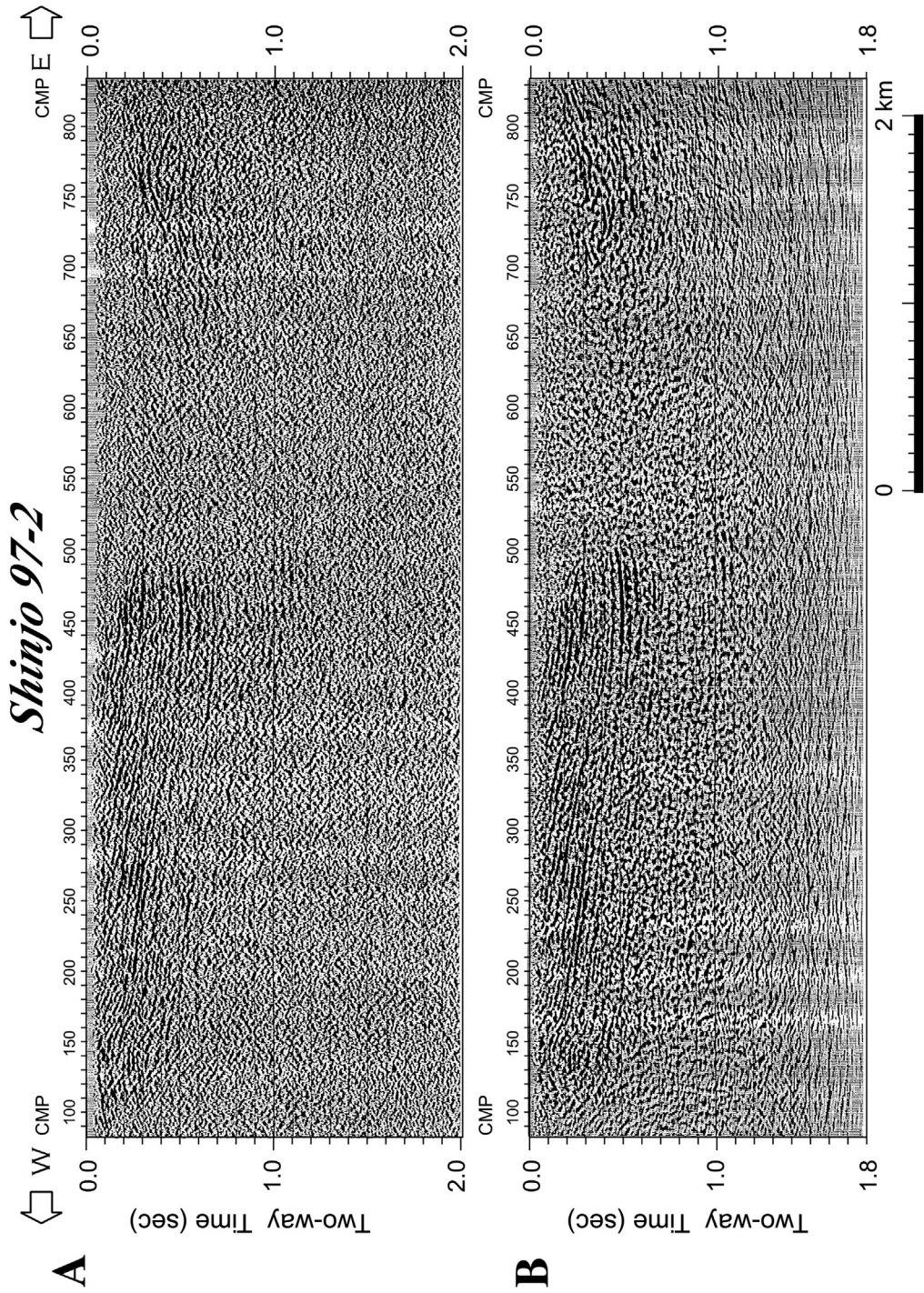


Fig. 7. Filtered stacked section (A) and post stacked, migrated time section (B) of the Shinjo 97-2 seismic line.

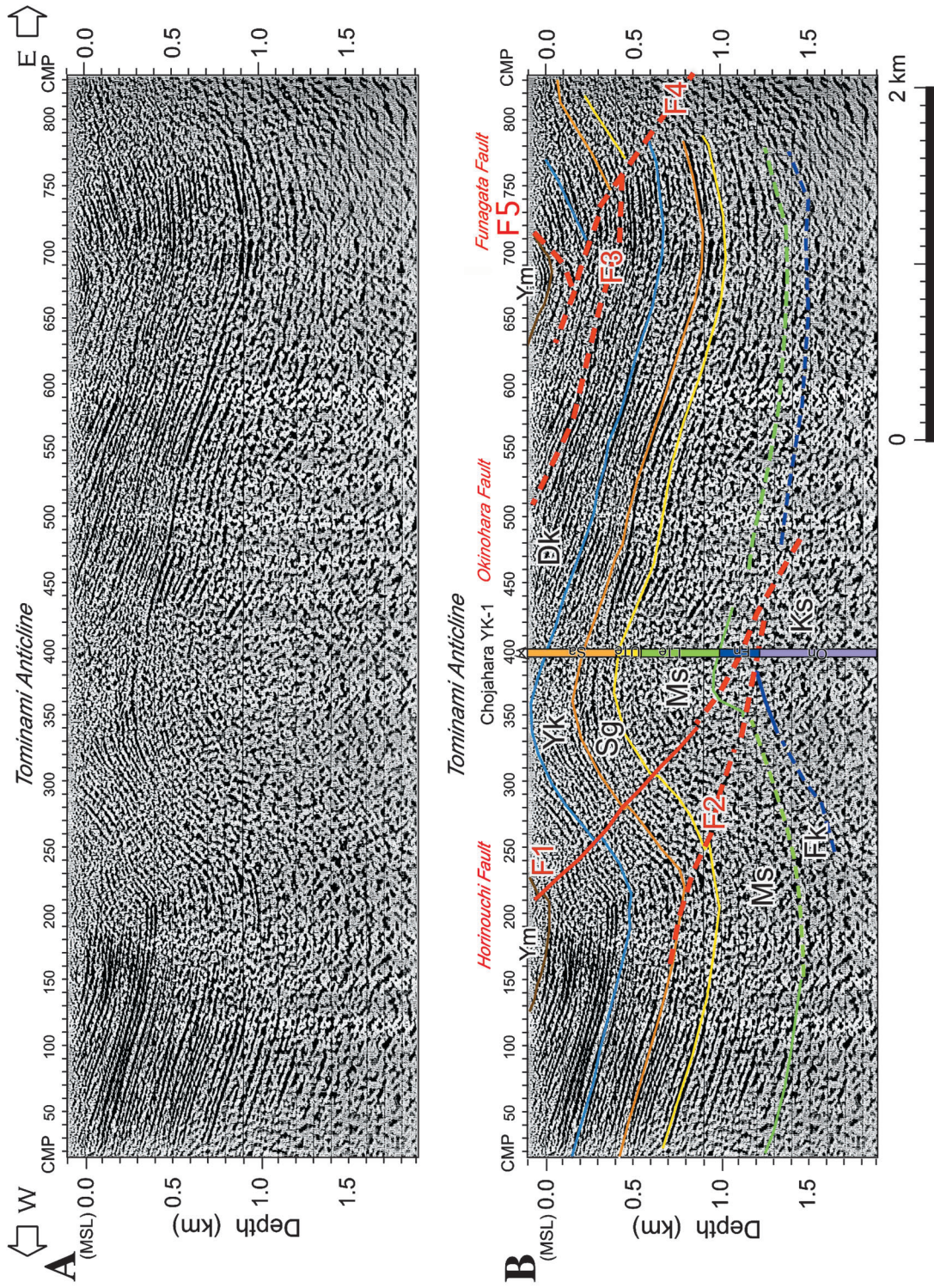


Fig. 8. Depth converted seismic section and geologic interpretation of the Shinjo 97-1 seismic line. Ks: Kusanagi Formation, Fk: Furukuchi Formation, Ms: Minamisawa Formation, Sg: Sakegawa Formation, Yk: Yamuke Formation, Dk: Dokuzawa Formation, Ym: Yamaya Formation, F1-F4: faults. Stratigraphy in the Chojahara YK-1 drill hole is as follows, On: Onnagawa Formation, Fu: Funakawa Formation, L: Lower Tentokuji Formation, U: Te: Upper Tentokuji Formation, Sa: Sasaoka Formation in ascending order. MSL: mean sea level.

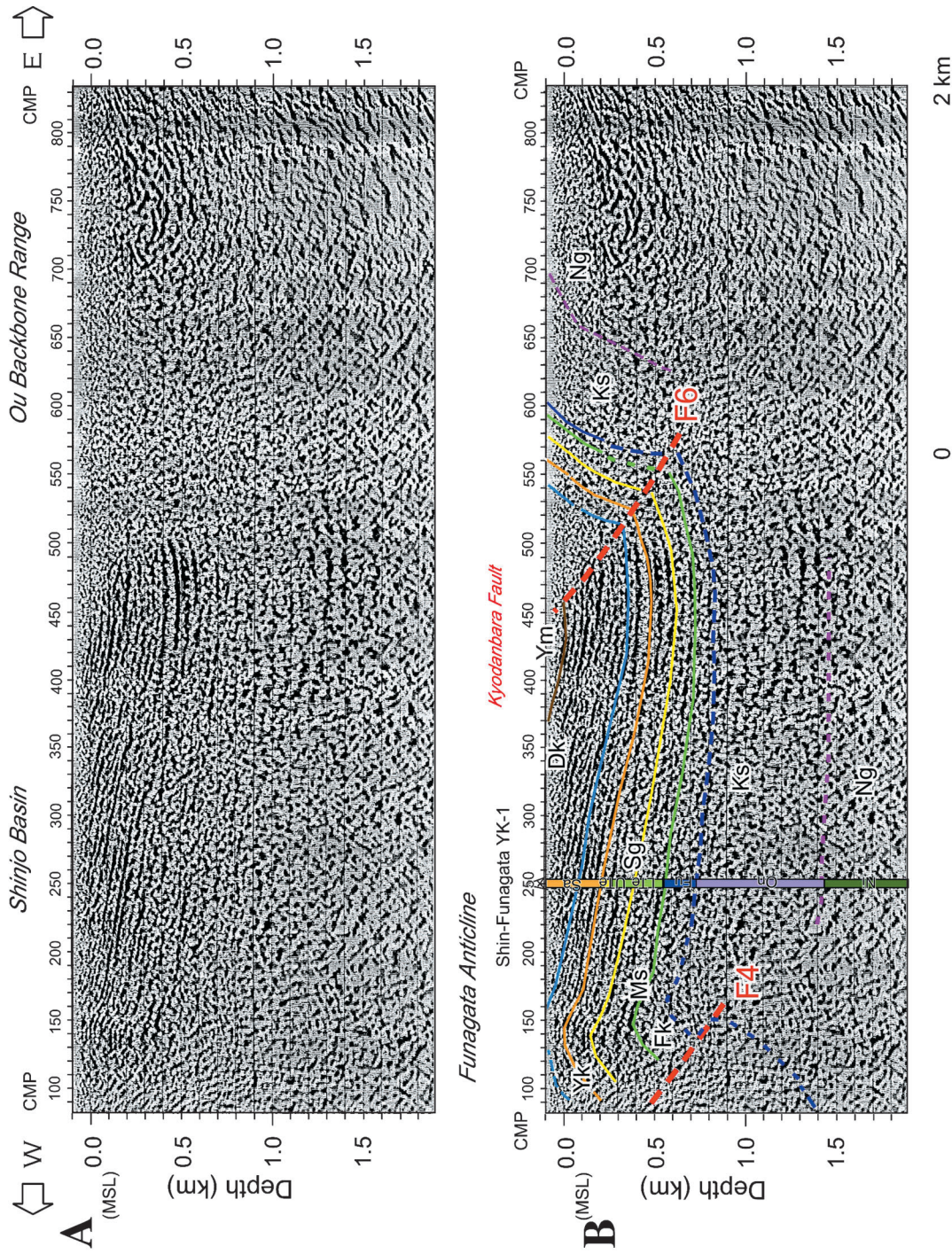


Fig. 9. Depth converted seismic section and geologic interpretation of the Shinjo 97-2 seismic line. Ng: Nagao Formation, Ks: Kusanagi/Ginza Formation, Fk: Furukuchi/Nagajima Formation, Ms: Minamisawa Formation, Sg: Sakegawa Formation, Yk: Yamake Formation, Dk: Dokuzawa Formation, Ym: Yamaya Formation, F1-F4: faults. Stratigraphy in the Shin-Funagata YK-1 drill hole is as follows, Ni: Nishikurosawa Formation, On: Onnagawa Formation, Fu: Funakawa Formation, L, Te: Lower Tentokuji Formation, U, Te: Upper Tentokuji Formation, Sa: Sasaoka Formation in ascending order. MSL: mean sea level.

比べ、東側では不明瞭になる。この境界に断層 F6 を推定した。この断層の地表延長は、経壇原断層の地表トレースに一致する。西側では概して深度 800 m 付近まで良好に東に緩く傾く連続性のよい反射面がイメージングされており、とくに CMP400 から 550 にかけては深度 1.5 km まで反射面が認識できる。断層 F6 は西側の緩く東に傾斜する反射面と、より東側の反射面が不明瞭な領域の境界として深さ 300 m まで明瞭に追跡され、40 度の東傾斜となる (F7; Fig. 9)。地表では CMP450 から 580 までは西傾斜 70 度前後で地層が急傾斜しており、上盤側での明瞭な反射面の欠如はこうした地質構造に起因するものと推定される。経壇原断層に起因する変形による銀山層・草薙層の基底層準の鉛直隔離は約 1.5 km となる。

ボーリング新舟形 YK-1 のデータより、草薙層/古口層境界、古口層・中島層/南沢層境界の深度は解釈に利用した (Fig. 9)。Fig. 9 に示したそれより上位の層準の解釈は、地表地質と反射パターンによってトレースした。舟形背斜は東側緩傾斜、西側急傾斜の東に軸面が傾斜した非対称褶曲としてイメージングされる。F4 として図示した断層は、新庄 97-1 測線の舟形断層に対応する東傾斜の逆断層である。測線の西端に位置し、重合数の低下のため反射断面から独立には認識できない。新庄 97-1 測線の東部の CMP700 付近では深度 1.5 km に位置する古口層の基底が、新庄 97-2 測線では CMP250 付近で深度 700 m まで浅くなっている。この 800 m の鉛直隔離を解消するためには、さらに断層などの構造が必要であるが、800 m 以深からは明瞭な反射面が認められない。

富並背斜の形状は軸部と翼部で層厚の変化が少ない平行褶曲であり、砂岩勝ちの中波層 (南沢層上部)・鮭川層・八向層などをコンピテント層としてフレクシュラスリップによって形成されていた褶曲と判断される。

反射断面に現れている層厚変化のパターンは、地表地質からも推定されていたように、古口層から八向層までは東に向かって薄化し、毒沢層はほぼ様な層厚を示す。毒沢層以下の新第三系には顕著な、断層・褶曲に伴う成長層は認められない。とくに盆地東縁の経壇原断層を隔てた顕著な層厚変化はなく、主要な断層・褶曲運動が毒沢層堆積時以降であることを示している。

6. まとめ

新庄盆地東部に分布する南北方向に伸びる主要な断層と褶曲を横切って、総延長約 14 km の区間で反射法地震探査を実施した。その結果、地下 1.5 km までの詳細な地下構造が明らかになった。本研究で明らかになった諸点

を以下に述べる。

1. 新庄盆地東縁を画する経壇原断層は、約 1.5 km の西側低下の鉛直隔離を示し、地表下 300 m までは 40 度の東傾斜を示す。
2. 経壇原断層の東に連なる南北方向の軸跡を示す舟形背斜・富並背斜は、いずれも西翼急傾斜、東翼緩傾斜の非対称褶曲で、その西翼に東傾斜の逆断層を伴う断層関連褶曲である。
3. 富並背斜は、軸部と翼部で層厚の変化が少ない平行褶曲であり、フレクシュラスリップが卓越した褶曲作用によって形成された。形態から鮮新統の砂岩がコンピテント層を構成する。
4. 毒沢層以下の新第三系には顕著な、断層・褶曲に伴う成長層は見られず、主要な断層・褶曲運動は、毒沢層堆積時以降となる。

謝 辞

本探査には第 7 次地震予知計画事業費を使用し、動力炉・核燃料開発事業団 (当時)・東濃地科学センターおよびダイヤコンサルタント (株) には多大なご支援を頂いた。また舟形町教育委員会にはデータ取得に当たって便宜を図っていただいた。尚、東京大学地震研究所酒井慎一助教授からは、査読者として有益な御助言を頂いた。本研究は、東京大学地震研究所共同研究プログラムの援助をうけました。

新庄 97 反射法地震探査グループ

責任者: 佐藤比呂志 (東京大学地震研究所)

原稿執筆責任者: 佐藤比呂志 (東京大学地震研究所)

グループ構成員名: 佐藤比呂志・荻野スミ子・一ノ瀬洋一郎・坂 守・加藤 亘 (東京大学地震研究所), 池田安隆・松多信尚・田力正好 (東京大学大学院理学系研究科)・戸田 茂 (愛知教育大学), 八木浩司・佐々木健雄・平賀正和・山田聡志・中村美江子・館岡真依子・手塚博子・佐藤暢枝・大類千恵子・斉藤史子・北林久美子・金野 崇・吉田重成・佐々木克憲 (山形大学教育学部), 今泉俊文・浅川一郎 (山梨大学教育人間科学部), 平野信一・松浦旅人 (東北大学大学院理学系研究科), 宮内崇裕・伊藤谷生・平柳幸彦・石和直樹・武田大典・鈴木啓文・折戸雅幸 (千葉大学理学部), 越後智雄・副田宜男 (千葉大学大学院自然科学研究科), ハスパートル (富山大学教育学部), 柳 博美 (北海道大学大学院環境科学研究科), 井川 猛 ((株)地球科学総合研究所), 酒井隆太郎 (東濃地球科学センター), ※所属は研究当時。

文献

- Kumaki, Y., 1983, Geomorphic development and Quaternary tectonic movement in the Shinjo basin, Tohoku district, Japan. *Bull. Geographical survey institute*, **28**, 73-93.
- 松浦旅人, 2003, 山形県新庄盆地西部に分布する Flexural-slip 断層とその活動時期, *活断層研究*, **23**, 29-36.
- McClay, K.R., 1992, Glossary of thrust tectonics terms, In K. R. McClay ed, *Thrust tectonics*, Chapman and Hall, pp. 419-433.
- 中川久夫・石田琢二・大池昭二・小野寺信吾・竹内貞子・七崎修・松岡 力, 1971, 新庄盆地の第四紀地殻変動, *東北大地質古生物邦報*, **71**, 13-29.
- 大塚弥之助, 1942, 活動している褶曲構造, *地震*, **14**, 46-63.
- 佐藤比呂志, 1986, 東北地方中部地域(酒田-古川間)の新生代地質構造発達史(第I部・第II部), *東北大地質古生物邦報*, no. 88, no. 89, p. 1-32, p. 1-45.
- 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.
- Sato, H. and K. Amano, 1991, Relationship between tectonics, volcanism, sedimentation and basin development, Late Cenozoic, central part of Northern Honshu, Japan, *Sediment. Geology*, **74**, 323-343.
- 沢 祥・宮内崇裕・佐藤比呂志・八木浩司・松多信尚・越後智雄・丹羽俊二, 2001, 都市圏活断層図「新庄」, 都市圏活断層図 1: 25,000, 国土地理院技術資料 D.1-No. 388.
- 杉村 新, 1952, 褶曲運動による地表の変形について, *地震研報*, **30**, 163-178.
- Sugimura, A., 1967, Uniform rates and duration period Quaternary earth movements in Japan, *Osaka City Univ. Jour. Geosci.*, **10**, 25-35.
- 鈴木康弘, 1988, 新庄盆地・山形盆地の活構造と盆地発達過程, *地理学評論*, **61A**, 332-349.
- Taguchi, K., 1962, Basin architecture and its relation to the petroleum source rocks development in the region bordering Akita and Yamagata prefectures and the adjoining areas, with the special reference to the depositional environment of petroleum source rocks in Japan, *Tohoku Univ., Sci. Rep., 3rd ser., (Min., Petrol. and Econ. Geol.)*, **7**, 293-42.
- 天然ガス鉱業会・大陸棚石油開発協会, 1992, 改訂版 日本の石油・天然ガス資源, 天然ガス鉱業会・大陸棚石油開発協会, 520 p.
- Yeats, R.S., Sieh, K. and Allen, C.R., 1997, *The geology of earthquakes*, Oxford University Press, 568 p.

(Received December 11, 2006)

(Accepted January 12, 2007)