

石狩低地東縁断層帯における反射法地震探査 —厚真測線およびむかわ測線—

Seismic reflection survey across the Eastern Boundary Fault Zone of the Ishikari Lowland, Hokkaido, Japan; Atsuma and Mukawa seismic lines

岡田真介^{1,2*}・山口和雄¹・横倉隆伸¹

Shinsuke Okada^{1,2*}, Kazuo Yamaguchi¹ and Takanobu Yokokura¹

Abstract: There are several collision tectonics associated with plate subduction around the Japan arc. The Eastern Boundary Fault Zone of Ishikari Lowland and Umaoi Hills, which are located in the forefront of the Hidaka Collision Zone, show Quaternary active faulting and folding, respectively. The Headquarters for Earthquake Research Promotion divide this fault zone into two strands based on the surface distribution of faults; main strand (continued from Bibai city to Abira town, 66 km) and southern part (continued from Chitose city to Tomakomai and its seaward extension, more than 54 km). To reveal subsurface structure and its tectonic evolution of the Eastern Boundary Fault Zone of Ishikari Lowland and Umaoi Hills, we have carried out seismic reflection and gravity surveys across the fault zone since 2010. Although, concealed main thrust and several concealed anticlines were revealed from analysis of these seismic and gravity surveys, we need more consideration for the relationship between main strand and southern part of this fault zone, and seaward extension of southern part of this fault zone. To reveal these considerations, we carried out two lines of new seismic reflection survey in FY2012; GSJ-Yufutsu-4 (Atsuma seismic line) and GSJ-Yufutsu-5 (Mukawa seismic line). On the basis of these seismic reflection surveys, we revealed that southern part of this fault zone (concealed anticline) continues to seaward across the southwest part of GSJ-Yufutsu-4 seismic line, and continuity of Umaoi-yama anticline through the northeast part of both GSJ-Yufutsu-4 and GSJ-Yufutsu-5 seismic lines.

Keywords: Seismic reflection survey, Eastern Boundary Fault Zone of the Ishikari Lowland, Subsurface structure, Concealed thrust, Concealed anticline

1. はじめに

本研究の対象である石狩低地東縁断層帯は、太平洋プレートの斜め沈み込みに伴った千島弧の前弧スリバーが東北日本弧とぶつかっている日高衝突帯(例えば, Kimura, 1996; 伊藤ほか, 1999; 伊藤・岩崎, 2002 など)の最前面に位置しており, そこでは大きな短縮変形を伴った最新の断層運動および地質構造を見ることができる。石狩低地東縁断層帯は, 地震調査推進本部地震調査委員会(2010)によると, 活断層の分布形態から, 石狩低地東縁断層帯主部と石狩低地東縁断層帯南部とに区別されている。石狩低地東縁断層帯主部は, 美唄市から勇払郡安平町に至る約 66km の断層

帯であり, その平均的な上下変位速度は, 0.4mm/yr 以上とされている。石狩低地東縁断層帯南部は, 千歳市から南東方向に発達する活褶曲とその海域延長部の 54km 以上であり, 平均的な上下変位速度は 0.2mm/yr 程度とされている。また, 石狩低地東縁断層帯主部における反射法地震探査の結果から, 馬追丘陵は地下深部の低角な逆断層運動に伴った背斜であると解釈されている(地震調査推進本部地震調査委員会, 2010; Kato et al., 2004)。また, 同断層帯南部の 2 条の活褶曲は, 平川・越後(2002)および池田ほか(2002)によって報告されており, 約 4 万年前の支笏火砕流によって形成された地形面が変形を受けていることを根拠として, 馬追丘陵よりも西方に, 伏在した断層の

* Correspondence

¹ 産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地質情報研究部門 (AIST Geological Survey of Japan, Institute of Geology and Geoinformation)

² 現所属: 東北大学災害科学国際研究所 (IRIDeS, Tohoku University)

存在が推定されている。

産業技術総合研究所では、平成 22 年度より「沿岸域の地質・活断層調査」の一環として、同断層帯主部において、GSJ 勇払測線 1, GSJ 勇払測線 2 を設定し、反射法地震探査および重力探査を実施した（横倉ほか, 2011; 岡田ほか, 2011), また同断層帯南部およびその海域延長を明らかにするために、平成 23 年度に沿岸部に沿って GSJ 勇払測線 3 を実施し（横倉ほか, 2012; 横倉ほか, 2013), さらに、既存反射法地震探査の再解析も同時に行ってきた（山口ほか, 2011, 2012, 2013; 横倉ほか, 2012). これらの調査・解析により、対象地域に複数の伏在背斜構造が明らかになってきたが、なお、石狩低地東縁断層帯主部と同断層帯南部との関係、同断層帯南部の海域延長部への連続性に関して検討の余地が残された。そこで本研究では、石狩低地東縁断層帯主部・南部の連続性を明らかにするために、勇払平野南東部において 2 つの測線において反射法地震探査を実施した。本報告では、反射法地震探査について述べ、重力探査については、本報告の岡田ほか（2013）において報告する。

2. 探査概要

石狩低地東縁断層帯主部および南部は、安平川より南東側では地形学的に明瞭な地表変形を伴わないが（池田ほか, 2002), その構造は南東方向に伏在する可能性が示唆される。そこで石狩低地東縁断層帯主部および南部の南東延長の地下構造を明らかにするために、本研究では GSJ 勇払測線 4 および 5 を以下に述べる位置に設定し、反射法地震探査を実施した。それぞれの測線の概要について下記に述べる。

2.1 測線位置

平成 24 年度に勇払平野において 2 本の測線（GSJ 勇払測線 4 および GSJ 勇払測線 5）において反射法地震探査を実施した。反射法地震探査測線の位置図を第 1 図に示す。

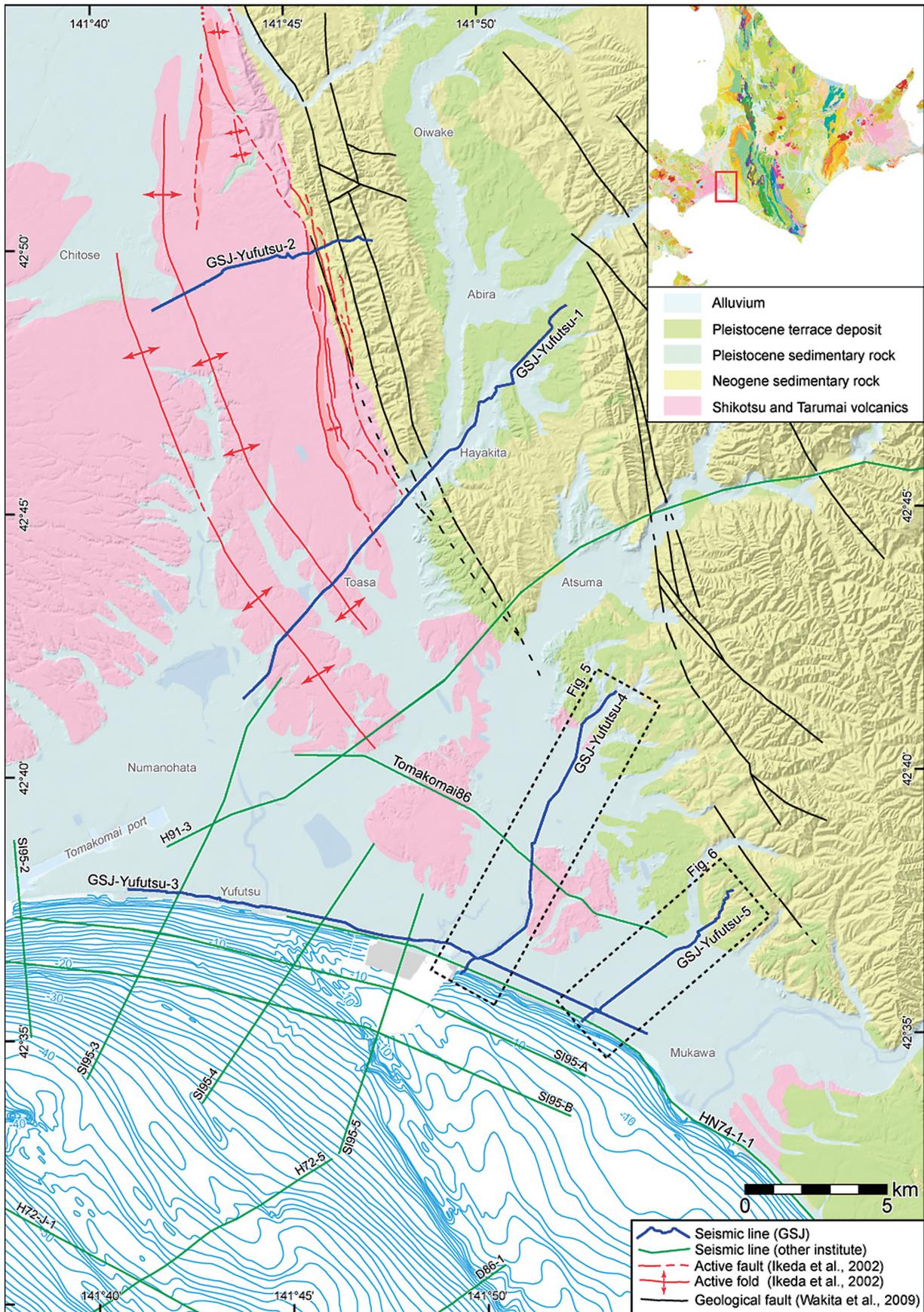
GSJ 勇払測線 4（厚真測線）は、2010 年実施の GSJ 勇払測線 1（横倉ほか, 2011）の南東約 10km に位置し、北海道勇払郡厚真町豊沢付近から浜厚真に至るまでの約 12.5km の測線である（第 1 図）。本測線は北東側を探査の始点とし、南西に向かって探査を進めた。測線始点（北東側）から当麻内川とうまないがわに沿って町道豊沢 - 富野線を通り、道道 924 号線、道道 287 号線

を利用した。軽舞川を越えるあたりでは道道 1046 号線を通り、さらに南側へは、町道富野 - 浜厚真線を利用した。終点は厚真川左岸の河口付近の砂浜を利用し、波打ち際の測線展開可能な地点までとした。本測線は、浅野ほか（1989）の苫小牧 86 測線、GSJ 勇払測線 3（苫小牧 - むかわ測線；横倉ほか, 2012), さらに石油開発公団（1975）の HN74-1-1 測線と交差する。

GSJ 勇払測線 5（むかわ測線）は、GSJ 勇払測線 4 のさらに南東 6km 程度に位置し、勇払郡むかわ町二宮から厚真町鹿沼に至るまでの約 7.2km の測線である。本測線は、南西側を始点とし、北東側に向かって探査を進めた。測線の南西端では、入鹿別川いりしかべつがわの右岸堤防上の管理道路を利用し、道路南端の測線展開可能な地点を始点とした。国道 235 号線に沿って入鹿別川の左岸に渡り、JR 日高本線を越え、町道田浦一線を利用して北東方向に探査を進めた。測線北東側では、道道 10 号を一部利用し、北東端では町道二宮一線を通して、農地内の畦道終点までを測線とした。本測線は、苫小牧 86 測線の始点から南東側に約 850m に位置する。さらに、GSJ 勇払測線 3（苫小牧 - むかわ測線；横倉ほか, 2012), 石油開発公団（1975）の HN74-1-1 測線と交差する。

2.2 探査仕様

震源には IVI 社製の HEMI-50（第 2 図 a および b）を用い、発震点間隔および受振点間隔は共に 10m とした。発震周波数は、10 ~ 100Hz とした。受振器には固有周波数 10Hz の Sercel 社製 SG-10 を使用し、6 個の受振器を 1 グループとして 1 受振点に設置した。また、その配置はバンチングとした（第 2 図 c）。レコーディングシステムは、サンコーコンサルタント（株）製の分散型地震探査システム DSS-12（第 2 図 d）を使用し、サンプリング間隔は 2msec とした。スイープ長は 16sec とし、リスニング長の 4sec と合わせて、コリレーション前の記録長は 20sec である。データ QC 実施以外は、探査現場でのコリレーションは行わず、各発震点での波形を記録した。コリレーション実施後の記録長は 4sec である。測線進行方向に対して前方に 240ch の受振器を展開し、各発震点でのデータ収録を行った。測線終端部では、240ch 分の受振器を固定展開として、発震・データ収録を行った。探査仕様の詳細は第 1 表に示す。発震点数および受振点数とそれらに関わる諸元および探査の進行方向以外は、2 測線における探査仕様は同じである。



第1図 勇払平野周辺の反射法地震探査測線。

背景には20万分の1日本シームレス地質図(脇田ほか, 2009)を使用した。海底地形図には、日本水路協会発行の海底地形デジタルデータM7006「津軽海峡東部」を用いた。測線位置は横倉ほか(2012)による。

Fig. 1. Seismic reflection survey lines around Yufutsu Plain.

Seamless geological map of Japan at a scale of 1:200,000 (Wakita et al., 2009) was used in background. Bathymetry, M7006 "East part of Tsugaru strait", M7000 Digital Bathymetric Chart, Japan Hydrographic Association. Seismic lines are after Yokokura et al. (2012).



第 2 図 反射法地震探査の使用機材。

(a) バイブレーター (HEMI-50, IVI 社製), (b) バイブレーター起震部, (c) DSS-12 遠隔記録ユニット (橙色) とバッテリー (黄色), (d) 受振器 (SG-10, Sercel 社製)。

Fig.2 Field equipment. (a) Vibrator (HEMI-50, IVI inc.), (b) Vibrating apparatus, (c) DSS-12 remote station unit (orange box) and battery unit (yellow box) (d) Geophones (SG-10, Sercel).

GSJ 勇払測線 5 の測線終端 (北東端) において, 測定点 723 ~ 784 は, バイブレーターの進入が不可能であったため, 受振点のみの配置となった。現場作業は, GSJ 勇払測線 4 では, 2012 年 5 月 7 ~ 16 日, GSJ 勇払測線 5 では, 2012 年 5 月 16 ~ 22 日の合計 16 日間で発震およびデータ収録作業を行った。

2.3 データ品質

GSJ 勇払測線 4 においては, 起点から測点 1000 付近までは, 概ね低ノイズ環境でデータを取得することができた。上厚真大橋 (測点 660) 周辺では, 車両によるノイズの混入が認められた。町道富野 - 浜厚真線 (測点 710 ~ 1060) は大型車両の通行が多く, ノイズが混入したが, 垂直重合によりノイズを低減することができた。日高自動車道と交差する測点 990 周辺 (厚真川橋) および国道 235 号線と交差する測点 1070 周辺 (浜厚真橋) でも車両によるノイズが一部混入している。測点 1000 以降では, 北海道電力苫東厚真発電所が原因と思われるノイズが混入している。また, 終点 (海側) に向かうにつれ, 風雨が強くなり, 全体にノイズの影響を与えた。

GSJ 勇払測線 5 は全展開にわたって概ね低ノイズ

環境でデータ取得することができたが, 測点 550 ~ 560 の区間で車両や農作業用重機によるノイズの混入が認められた。測定中には数回自然地震が起きたため, データを確認して再測定を行った。

3. 予備的データ処理

現場での生記録にパイプロサイズ・コリレーションを施し, 同一発震点で収録した複数のショット記録をダイバーシティスタックすることによって, 1 発震点のショット記録とした。コリレーション後の記録長は 4 秒である。GSJ 勇払測線 4 の約 1.5km 毎のショット記録を第 3 図に, GSJ 勇払測線 5 の約 2km 毎のショット記録を第 4 図に示す。

データ処理は, 標準的な CMP 重合法に沿って行った。振幅回復では CMP ギャザーに対して時間の 1.2 乗に比例する回復を行った。デコンボリューションは予測距離 2msec のプレディクティブタイプを用いた。静補正は, (株) 地球科学総合研究所製作のソフトウェア iRAS を用いて行った。初動走時の分布を踏まえて, オフセット距離 250 ~ 750m の初動データを用い, 第 1 層の速度を 500m/sec と仮定して, 改良タ

第1表 GSJ 勇払測線4 (厚真測線) とGSJ 勇払測線5 (むかわ測線) の反射法地震探査諸元.
Table 1 Seismic field parameters of GSJ-Yufutsu-4 and GSJ-Yuftsu-5.

		GSJ 勇払測線 4	GSJ 勇払測線 5
Seismic lines	測線名	厚真測線	むかわ測線
	測線長	12.47 km	7.83 km
	探査方向	NE→SW	SW→NE
Source parameters	震源	HEMI-50 (IVI 社)	
	台数	1 台	
	発震点間隔	10 m (標準)	
	スイープ周波数	10~100 Hz	
	スイープ長	16 s	
	垂直重合数	4 (標準)	
	総発震点数	1,248	722
Receiver parameters	受振器	SG-10 (Sercel 社)	
	固有周波数	10 Hz	
	アレイ	6 個バンチング	
	受振点間隔	10 m (標準)	
	展開	エンドオン (測線終端部は固定展開)	
	総受振点数	1,248	784
Recording parameters	中央記録ユニット	Latitude E5500 (Dell 社)	
	遠隔記録ユニット	DSS-12 (サンコーコンサルタント社)	
	チャンネル数	240 ch	
	サンプリング間隔	2 ms	
	記録長	20 sec (コリレーション前) 4 sec (コリレーション後)	
Processing parameters	CMP 重合数	120 (標準)	
	CMP 間隔	5 m	
	CMP 数	2,382	1,430
	CMP 重合測線長	11,905 m	7,145 m

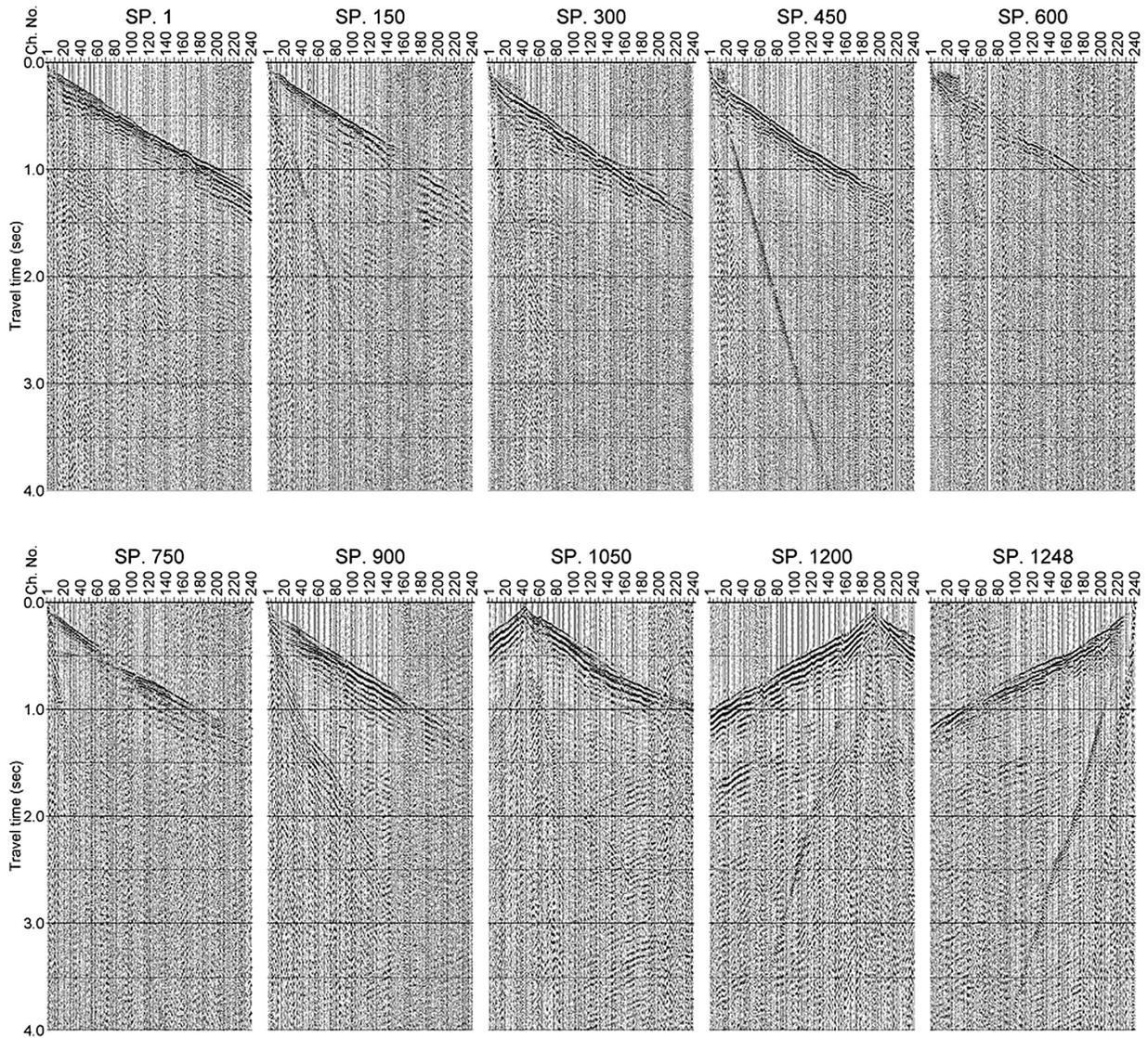
イムターム法により表層構造を求めた。CMP ソートは、CMP 間隔を5mとして編集しているため、平均CMP 重合数は120となる。NMO 補正の際に用いる速度は、定速度重合法によって速度分布を求めた。ただし、予備的な解析のため、測線のほぼ中央であるGSJ 勇払測線4ではCMP1100で読み取った速度値を、GSJ 勇払測線5ではCMP700で読み取った速度値を、それぞれの測線全体に適用した。これらの処理は処理段階途中であり、ノイズ抑制および速度決定などに多くの改善点を残しているが、予備的な重合断面として第5図および第6図に示す。

4. 議論とまとめ

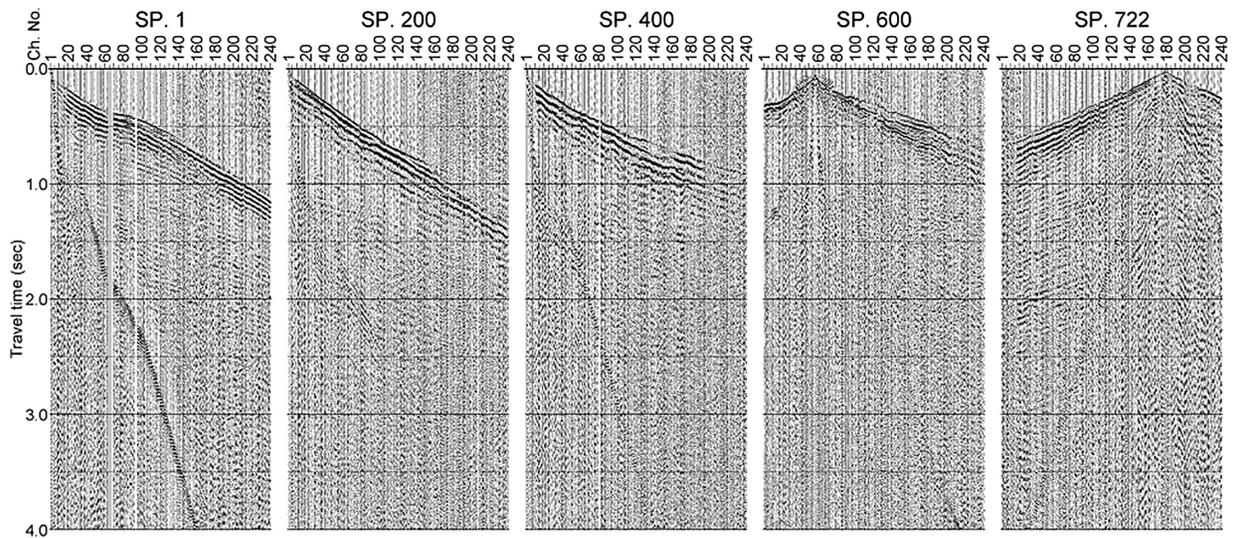
上記に述べたように反射法地震探査断面の解析処理はまだ不十分であるが、現段階で明らかになっている

構造解釈について以下に述べる。

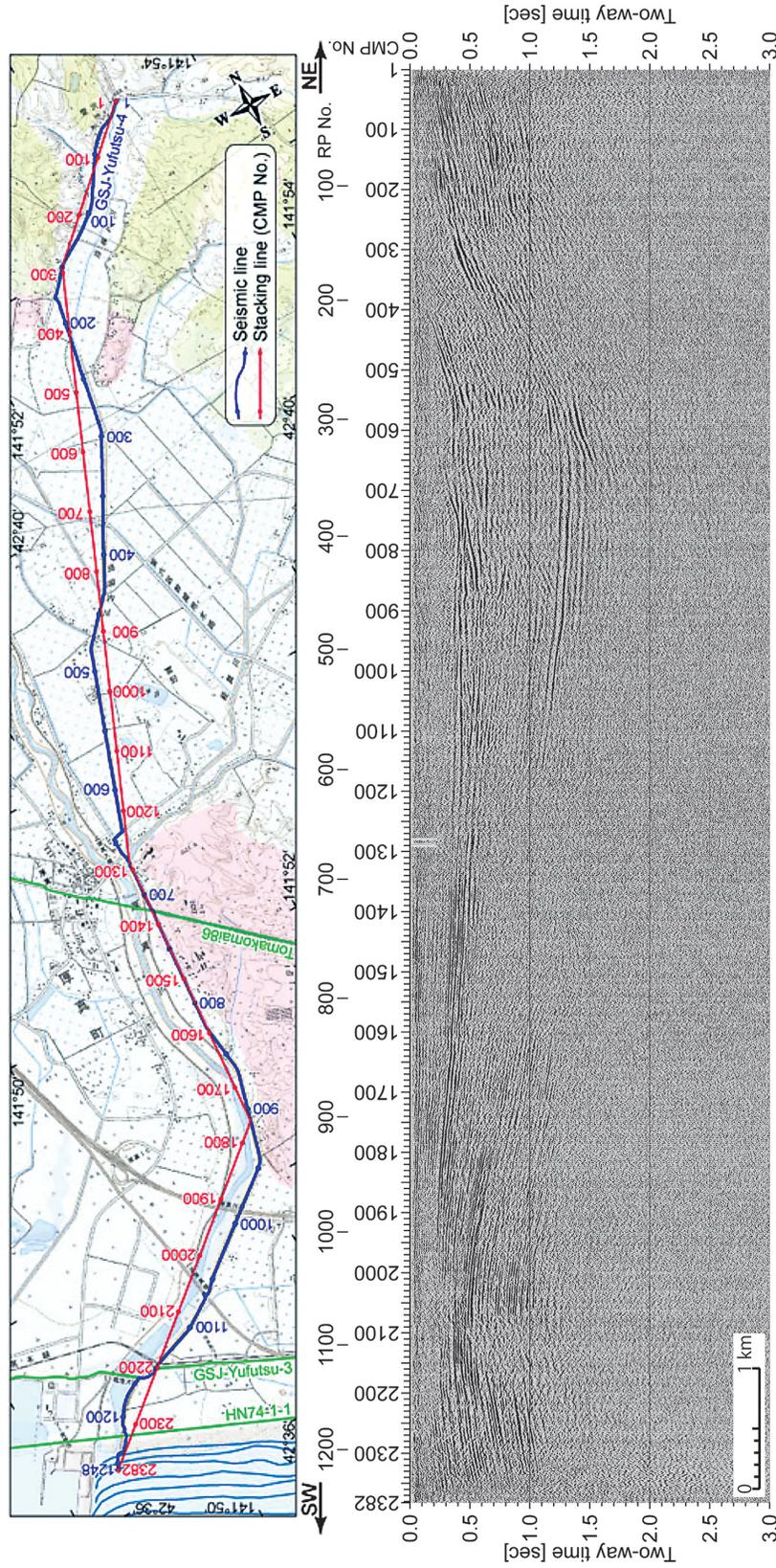
GSJ 勇払測線4では、2つの背斜構造がイメージングされている。1つは、測線の北東端付近もしくはその東側に背斜軸を持つものであり、第5図にはその前翼部分がイメージングされている。もう1つは、CMP2100付近に背斜軸を持つ幅4km以上の背斜構造である。北東側の背斜構造では、CMP300の0.4秒付近に南西下がりに見える強反射面がCMP600、1.3秒付近に連続する。CMP400、0.1秒付近から南西側に下がる連続性の良い反射面は、CMP600付近では、0.4秒付近に連続する。両反射面に挟まれる部分はCMP600に向かって層厚が増している。この構造は測線北東端に軸を持つ背斜構造の成長に伴ったgrowth strataであるといえる。また、CMP600、0.4秒よりも浅部についても、おそらく南西が厚くなるgrowth strataであると考えられるが、これは今後の



第 3 図 GSJ 勇払測線 4 の発震記録例。
Fig.3 Example of shot gather of GSJ-Yufutsu-4.



第 4 図 GSJ 勇払測線 5 の発震記録例。
Fig.4 Example of shot gather of GSJ-Yufutsu-5.

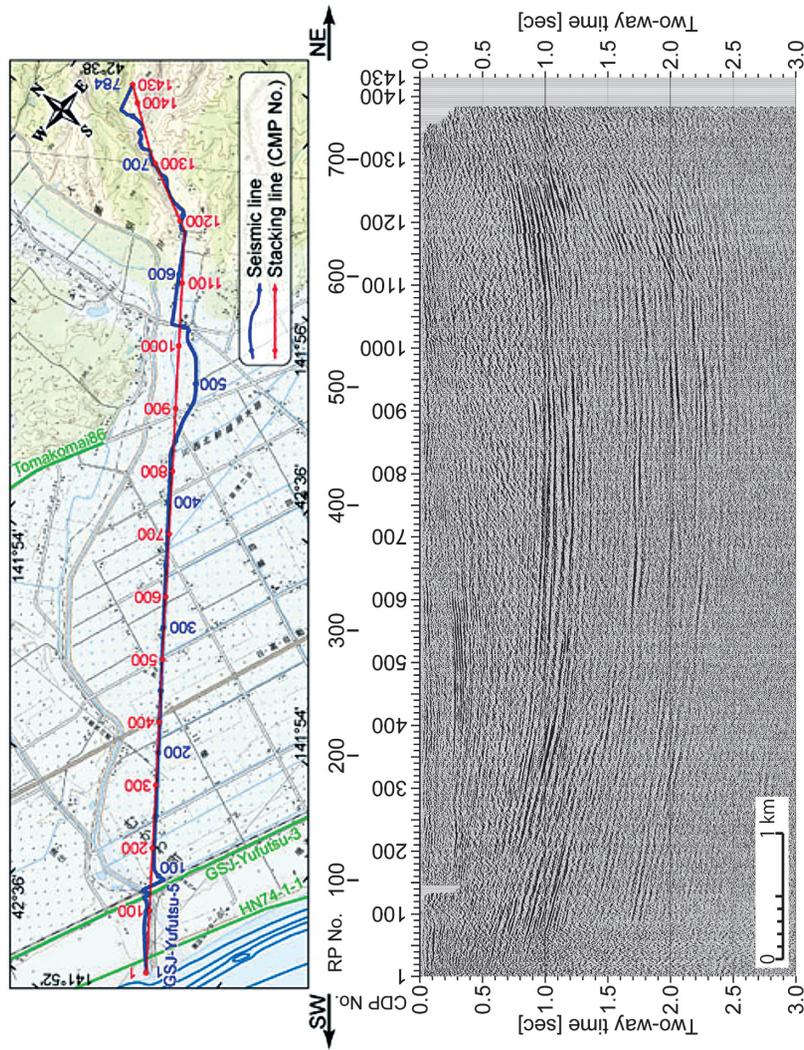


第5図 GSJ勇払測線4の予備的重合断面。

測線位置の背景には20万分の1日本シームレス地質図(脇田ほか, 2009)のほか, 国土地理院発行の数値地図(画像)「上厚真」・「軽舞」・「遠浅」・「厚真」を用いた。海底地形図には, 日本水路協会発行の海底地形デジタルデータM7006「津軽海峡東部」を用いた。GSJ勇払3測線の位置は, 横倉ほか(2012)による。

Fig.5 Preliminary stacked time section of GSJ-Yufutsu-4.

Geological map, Seamless geological map of Japan at a scale of 1:200,000 (Wakita et al., 2009); Topographic map, Kami-atsuma, Karumai, Toasa, and Atsuma, 1:25,000 Digital map (Map Image) of Geospatial Information Authority of Japan; Bathymetry, M7006 “East part of Tsugaru strait”, M7000 Digital Bathymetric Chart, Japan Hydrographic Association. GSJ-Yufutsu-3 seismic line is after Yokokura (2012).



第 6 図 GSI 勇払測線 5 の予備的重合断面。

測線位置の背景には 20 万分の 1 日本シームレス地質図 (脇田ほか, 2009) のほか, 国土地理院発行の数値地図 (画像)「鶴川」・「上厚真」・「軽舞」を用いた。海底地形図には, 日本水路協会発行の海底地形デジタルデータ M7006「津軽海峡東部」を用いた。GSI 勇払 3 測線の位置は, 横倉ほか (2012) による。

Fig. 6.

Preliminary stacked time section of GSI-Yufutsu-5.
Geological map, Seamless geological map of Japan at a scale of 1:200,000 (Wakita et al., 2009); Topographic map, Mukawa, Kami-atsuma, and Karumai, 1:25,000 Digital map (Map Image) of Geospatial Information Authority of Japan; Bathymetry, M7006 “East part of Tsugaru strait”, M7000 Digital Bathymetric Chart, Japan Hydrographic Association. GSI-Yufutsu-3 seismic line is after Yokokura (2012).

反射断面の各種処理の改善によって明瞭にイメージングされることが期待される。この背斜構造は、馬追山背斜の南東延長部であることおよび北東側の新第三紀層の分布から考えても、横倉ほか(2011)で報告されたH91-3測線のCMP3250を中心とした背斜構造およびGSJ勇払測線1, CMP1450の背斜構造に連続すると考えられる。GSJ勇払測線4の南西側の背斜構造においても、CMP2100, 0.5秒から北東側に連続する反射面群はCMP1600では0.9秒付近に連続し、CMP2100, 0.2秒から北東側に連続する反射面群はCMP1600, 0.35秒付近に連続することからも、growth strataを示しており、CMP2100に軸を持つ背斜構造の成長に伴ったものであると解釈できる。また、CMP1350, 0.5秒からCMP1700, 0.25秒にかけては、この背斜構造の成長によって下位の層準にonlapしている。このCMP2100を中心とした背斜構造は、構造の幅や変形量から対比して、横倉ほか(2011)で報告されているH91-3測線のCMP4000付近に伏在する背斜構造に連続するものと考えられる。

第6図のGSJ勇払測線5においては、背斜軸そのものはイメージングされなかったが、GSJ勇払測線4と対比すると、測線4のCMP400～CMP1800付近の南東延長部のみがGSJ勇払測線5にイメージングされたと解釈できる。背斜軸部がイメージングされていないため明瞭ではないが、CMP700付近での層厚が測線両端での層厚よりも厚くなっていることからgrowth strataを形成していると言える。また、GSJ勇払測線4のCMP1350～1700に対応するonlap構造が、GSJ勇払測線5では、CMP300, 0.25秒～CMP600, 0.35秒にかけて顕著である。しかしこのonlap構造は、測線4のそれと比較して、構造全体が西に緩く傾斜しているように見える。GSJ勇払測線4の南西側の背斜軸部は、GSJ勇払測線5の測線位置より南西側の海域部を通りに南に連続すると考えられる。また、同様に、北東側の背斜構造もGSJ勇払測線5より北東側を通ると考えられる。

上記に述べたように平成22年度からGSJ勇払測線1, 2, 3(横倉ほか, 2011; 横倉ほか, 2012)と既存反射法地震探査の再解析(山口ほか, 2011; 山口ほか, 2012)を実施しており、本報告でさらに2つの反射法地震探査断面が追加された。本報告では、H91-3測線(横倉ほか, 2011 参照)からGSJ勇払測線4の南西部を通り、海域に延長する伏在背斜の連続性と馬

追山背斜の連続性が明らかになってきた。また、これらの構造の成長に伴ったgrowth strataが明瞭に確認できた。しかし、勇払地域にはこれらの活構造よりもさらに西側に伏在背斜構造が陸海域に存在しており、これらの連続性については、今後、既存の反射法地震探査データおよび重力データなどを総合的に解釈する必要がある。

謝辞

本調査は、厚真町役場、むかわ町役場、北海道経済産業局、北海道胆振総合振興局の方々に御協力をいただき実施することができました。ここに記し感謝いたします。また現地調査は、サンコーコンサルタント(株)に委託して実施した。

文献

- 浅野周三・嶋悦三・松田時彦・吉井敏尅・齊藤正徳・岡田 広・小林啓美・瀬尾和夫・入倉孝次郎・鳥羽武史・朝倉夏夫・田村八州夫・井川 猛・高橋明久・森谷武男・笹谷 努・松島 健・梅戸在明・岩田知孝(1989), 地震動予測精密化のための地下深部構造の研究, 文部省科学研究費自然災害特別研究成果, No.A-63-3, 163pp.
- 平川一臣・越後智雄(2002), 石狩低地南部・馬追丘陵西縁の伏在活構造に関わる地形の変形, 活断層研究, 22, 63-66.
- 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(2002), 第四紀逆断層アトラス, 東京大学出版会, 254pp.
- 伊藤谷生・井川秀雄・在田一則・篠原雅尚・木村学・清水信之・森谷武男・井川 崇・津村紀子・宮内崇裕・奥池司郎・井川 猛(1999), 日高衝突帯におけるデラミネーションーウェッジ構造, 月刊地球, 21, 130-136.
- 伊藤谷生・岩崎貴哉(2002), 島弧衝突研究の新展開, 東京大学地震研究所彙報, 77, 87-96.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2010), 石狩低地東縁断層帯の評価(一部改訂), 34pp.
- Kato N., Sato H., Orito M., Hirakawa K., Ikeda Y. and T. Ito (2004), Has the plate boundary shifted from central Hokkaido to the eastern part of the Sea of Japan?, Tectonophysics, 388, 75-84.

- Kimura G. (1996), Collision orogeny at arc-arc junctions in the Japanese Islands, Island Arc, 5, 262-275.
- 岡田真介・住田達哉・牧野雅彦・山口和雄・横倉隆伸 (2011), 石狩低地東縁断層帯における重力探査, 地質調査総合センター速報, 56, 85-92.
- 岡田真介・住田達哉・山口和雄・横倉隆伸 (2013), 石狩低地東縁断層帯南部における重力探査, 本報告書.
- 石油開発公団 (1975), 昭和 47 年度大陸棚石油・天然ガス基礎調査物理探査「日高南部」調査報告書, 19pp.
- 脇田浩二・井川敏恵・宝田晋治 (編) (2009), 20 万分の 1 日本シームレス地質図 DVD 版, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 山口和雄・阿部 進・横倉隆伸・岡田真介 (2012), MDRS 法による苫小牧 86 測線反射法地震探査データの再解析, 地質調査総合センター速報, 59, 75-87.
- 山口和雄・阿部 進・横倉隆伸・岡田真介 (2013), 馬追丘陵周辺の反射法データ解析, 地質調査総合センター速報 (本報告).
- 山口和雄・横倉隆伸・岡田真介 (2011), 苫小牧周辺の反射法地震探査データ再処理, 地質調査総合センター速報, 56, 93-111.
- 横倉隆伸・山口和雄・岡田真介 (2011), 石狩低地東縁断層帯における反射法地震探査, 地質調査総合センター速報, 56, 71-84.
- 横倉隆伸・山口和雄・岡田真介 (2012), 石狩低地東縁断層帯南部における反射法地震探査, 地質調査総合センター速報, 59, 59-74.
- 横倉隆伸・山口和雄・岡田真介 (2013), 石狩低地東縁断層帯南部における反射法地震探査—苫小牧 - むかわ測線西部における稠密発震データの解析—, 地質調査総合センター速報 (本報告).