

反射法地震探査結果から見た石狩低地東縁断層帯南部周辺の地下地質構造

Subsurface geological structure revealed by seismic reflection surveys around the southern part of the Eastern Boundary Fault Zone of the Ishikari Lowland, Hokkaido, Japan

横倉隆伸¹・岡田真介²・山口和雄¹

Takanobu Yokokura¹, Shinsuke Okada² and Kazuo Yamaguchi¹

¹ 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Institute of Geology and Geoinformation)

² 東北大学災害科学国際研究所 (International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University)

Abstract: We have carried out 5 new seismic reflection surveys to reveal the subsurface structure around the southern part of the Eastern Boundary Fault Zone of the Ishikari Lowland (EBFIL), Hokkaido, Japan, under the AIST project "Investigations on Geology and Active Faults in the Coastal Zone of Japan". We have also collected and re-processed seismic reflection data of 23 survey lines: 5 land lines, 5 land-marine transition zone lines, and 13 marine lines. We have interpreted them under the same framework of formation names derived from a boring data, and have concluded as follows.

(1) In the southern part of the EBFIL, we recognize two anticlines as fault-related folding: one is the Hama-atsuma Anticline trending NW-SE and another is the Yufutsu Anticline trending N-S.

(2) The Hama-atsuma Anticline, eastern one, extends from the vicinity of Kashiwara, Tomakomai City, to Hama-atsuma on land, and continues south-southeast en echelon at sea.

(3) The Yufutsu Anticline, western one, extends from the west of the Shizukawa Plateau to the Tomakomai East Port, and continues southward en echelon along the so-called "Tomakomai Ridge" at sea.

(4) Hama-atsuma Anticline became active during deposition of the Nina Formation, late Miocene to early Pliocene, and the Yufutsu Anticline became active during deposition of the Moebetsu Formation, late Pliocene to Pleistocene.

(5) The front of the concealed low-angle thrust fault on land is situated about 6km west of active flexures observed around the western end of the Umaoi Hills. The front on shore and off shore is strongly controlled by depth of the Tomakomai Ridge, and has a westward bulge of about 5km long along the coast where there is a saddle of the ridge.

(6) The main part of the EBFIL may extend to the vicinity of Ninomiya, Mukawa town, which is located about 18km southeast of the approved south end of the main part.

(7) Vertical displacement rate of the Yufutsu Anticline is about 0.2-0.25m/ky on the basis of the high-resolution seismic section and shallow boring data.

(8) Other rough estimates on the basis of displacement along the low-angle thrust fault show displacement rate of about 1-1.5m/ky beneath the Yufutsu Anticline. The vertical displacement rate of Umaoi Hills may be estimated about 0.5-1.0m/ky assuming the fault plane dip of 10-30 degrees.

Keywords: Seismic reflection survey, Eastern Boundary Fault Zone of Ishikari Lowland, Tomakomai, Mukawa, Subsurface structure, Thrust fault, Fold, Anticline

要 旨

我々は、石狩低地東縁断層帯南部周辺の地下構造を明らかにするために、「沿岸域の地質・活断層調査研究」プロジェクトの一環として、新たに陸域5測線の

反射法地震探査を実施してきた。また23測線の既存反射法地震探査データ(陸域5測線, 陸海遷移域5測線, 海域13測線)の収集・再解析をも実施してきた。これらを同一の基準で解釈することにより、以下の結論を得た。

- (1) 石狩低地東縁断層帯南部においては、2系列の背斜構造を識別できる。一つは浜厚真背斜と名付けられたものでほぼ北西-南東走向、もう一つは勇払背斜でほぼ南北走向である。
- (2) 東側の浜厚真背斜は、陸域では苫小牧市柏原付近から浜厚真方向に延び、海域では雁行状に南南東方向へと続く。
- (3) 西側の勇払背斜は、陸域では静川台地の西方付近から苫小牧東港へとほぼ南方へ延び、海域ではいわゆる「苫小牧リッジ」に沿って雁行状に南方へと続く。
- (4) 浜厚真背斜は荷菜層堆積時（後期中新世-前期鮮新世）に活動が活発となり、勇払背斜は萌別層堆積時（後期鮮新世-更新世）に活動が活発となった。
- (5) 伏在する低角逆断層のフロントは馬追丘陵西縁に見られる撓曲から約6km西まで達している。海岸部及び海域におけるフロントは苫小牧リッジの深度に規制されており、鞍部となっている海岸部では約5km西へ張り出している。
- (6) 石狩低地東縁断層帯主部は、少なくとも、むかわ町二の宮付近まで延長している可能性があり、そこは現在認められている主部の南端よりもさらに18kmほど南東方に位置している。
- (7) 高分解能の反射法探査と浅部ボーリングに基づく、勇払背斜の上下変位速度は0.2～0.25m/ky程度となる。
- (8) 低角逆断層面に見られる変位を利用したラフな推定によると、勇払背斜下のすべり面上での平均変位速度は1～1.5m/ky程度と大きな値となる可能性がある。丘陵部における平均上下変位速度は、低角すべり面の傾斜に依存するが、10～30°を仮定すると0.5～1.0m/ky程度以下となる。

1. はじめに

石狩低地東縁断層帯は、北海道石狩低地の東縁を画するように南北に発達する活断層帯である。この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よって横ずれ運動する千島弧の前弧スリバーが東北日本弧に衝突している日高衝突帯（例えば、Kimura(1996)、伊藤ほか(1999)、伊藤(2000)、伊藤・岩崎(2002)を参照)のまさに最前面にあたり、そこでは最新の断層運動が生じている。

地震調査研究推進本部地震調査委員会(2010)の石狩低地東縁断層帯の長期評価(改訂版)によれば、石狩低地東縁断層帯は、そ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に区分されている。石狩低地東縁断層帯主部は、美唄市から岩見沢市、夕張郡栗山町、夕張郡長沼町、夕張郡由仁町、千歳市を経て、勇払郡安平町に到る断層帯であり、その長さは約66kmで、東側が西側に対して相対的に隆起する

逆断層である。平均上下変位速度は0.4m/千年以上、最新活動時期は1739年以後、1885年以前であり、平均活動間隔は1千～2千年程度である可能性があるとされている。石狩低地東縁断層帯南部は馬追丘陵の西方及び南方に見出された3条の背斜構造に基づき推定された断層帯であり、千歳市から勇払郡安平町、苫小牧市、勇払郡厚真町を経て、沙流郡日高町沖合の海域に到る分布を持つ。長さは54km以上で、同じく東側が西側に対して相対的に隆起する逆断層である。平均上下変位速度は0.2m/千年程度で、最新活動時期を含めた最近の活動履歴については不明であるとされている。

同断層帯南部に関して言えば、明瞭な断層や変動地形は存在せず、また海域を含むことから調査が進んでいない。例えば、海域において、安平川河口付近へと向かう、比高5～10mで西落ちの南東-北西方向の直線的な崖地形が認められる。茂木(1964)は陸上の浜堤列との連続性からこれを沈水した浜堤列と解釈し、勇払沖以東の沈降運動を示唆した。一方、池田ほか(1995)は海水準変動量を上回る沈降運動は認められず、この崖地形は海底地形と本海域の水理特性に規制されながら、現在の波浪によって移動している砂波帯であるとするなど、意見は分かれている。しかしこの近傍には石油公団(1996)、佐藤ほか(1998)、Kato *et al.* (2004)などにより顕著な背斜構造の存在が知られており、この崖地形が活構造である可能性も残されている。例えば地震調査研究推進本部地震調査委員会(2010)は上記崖地形を背斜に起因するものと示唆している。

我々は、この石狩低地東縁断層帯周辺の地下構造を明らかにするために、「沿岸域の地質・活断層調査研究」プロジェクトの一環として、平成22年度～24年度に、石狩低地東縁断層帯主部及び南部周辺において新たな陸域反射法地震探査(GSJ勇払測線1～5計79.3km)ならびに既存反射法地震探査データ(陸域5測線、計181km;陸-海遷移域5測線、計74km;海域13測線、計566km)の収集・再処理を実施した。また上記計28測線のうち10測線を対象に高精度イメージング処理を実施してきた。その詳細については横倉ほか(2014)、山口ほか(2014)にそれぞれまとめられている。これらの測線位置を第1図に示す。

本報告では、上記の横倉ほか(2014)、山口ほか(2014)の処理結果に統一的な解釈をほどこし、石狩低地東縁断層帯南部周辺の地下地質構造の全体像を把握することを目的とする。

2. 石狩低地東縁断層帯周辺における既往反射法地震探査

石狩低地東縁断層帯及びその周辺における既往反射法地震探査としては、横倉ほか(2014)にまとめたので、ここでは名称のみを列記する(第2図参照)。陸域では、

浅野ほか(1989)による長沼 85 測線及び苫小牧 86 測線、佃ほか(1993)による馬追測線 1、石油公団(1993)による基礎物理探査「日高地域」H91-2 測線及び H91-3 測線、加藤ほか(2002)・Kato *et al.* (2004) の馬追 2000 測線、北海道(2001)の岩見沢測線、早来測線 1、早来測線 2、泉郷測線がある。横倉ほか(2014)では触れていないが、このほかに石油開発公団(1973b)による基礎物理探査「石狩平野」測線 A, B, C1, C2, C3, C4, C5, D, E (以下 IH73-A のように略記する)がある。これは南長沼から勇払沿岸に到るほぼ南北の測線であり、本報告の反射面対比に非常に重要な測線である。海岸付近から浅海域にかけては、石油開発公団(1975)による基礎物理探査「日高南部」HN74-1-1 測線、佐藤ほか(1998)・Kato *et al.* (2004) の勇払 1997 測線、石油公団(1996)による基礎物理探査「胆振沖浅海域」SI95-1, 2, 3, 4, 5, A, B 測線がある。浅海域-海域では、佐藤ほか(2013)、佐藤(2014)が本プロジェクトの一環として実施した高分解能音波探査測線、石油開発公団(1973a)による基礎物理探査「日高-渡島」の H72-5 測線、H72-J 測線など、及び石油公団(1987)による基礎物理探査「道南-下北沖」の D86-1 測線、D86-E 測線などの勇払沖測線群がある。辻野・井上(2012)は日高舟状海盆海底地質図の作成に関連した音波探査測線の一部を当地域の東部海域で実施している。また苫小牧港西港南方において実施された二酸化炭素地中貯留の実証試験に関わる 2D 及び 3D 調査(日本 CCS 調査株式会社, 2009, 2010; 経済産業省産業技術環境局 CCS 実証試験実施に向けた専門検討会, 2011)の概略位置も第 2 図に示した(ここではそれぞれ CCS-2D 及び CCS-3D と仮称している)。その他、詳細は公表されていないが、石油探査関連の多くの測線が陸上・海上ともに存在している。北海道(2001)に平成 8 年度基礎試錐「馬追」地質検討会資料の一部として掲載された石油資源開発株式会社の馬追 95V-1 のマイグレーション時間断面と地質断面図はそのうちの公表された稀な例であり、本報告の解釈上非常に有益であった。

馬追丘陵西縁付近の地表に見られる活断層はほとんどが西側上がりの逆断層である(例えば、活断層研究会編(1991)、池田ほか編(2002)、中田・今泉編(2002))が、浅野ほか(1989)の長沼 85 測線は、地層は測線西側でほぼ水平成層を呈するものの、馬追丘陵の西縁で急激に立ち上がり、西に急傾斜する構造を示している。このことから、地表に見られる西側上がりの小規模な活断層は副次的なものであり、主たるものとして東側上がりの大逆断層が存在するとの推定がなされた。佃ほか(1993)の馬追測線 1 では、地表には達しないものの第四系を变形させている東側上がりの伏在逆断層が想定され、これを石狩低地帯東縁断層と呼んでいる。栗田・横井(2000)の地質断面図では、基盤ホルストの上に低角な逆断層が次々と東から衝上し、現在もっとも活発な低角伏在断層は馬追丘陵よりも数 km 西方の

低地下にまで達していることを示している。また丘陵西縁付近の西上がり逆断層はこの低角逆断層のバックスラストに相当するとしている(栗田・横井, 2000; 池田ほか編, 2002)。加藤ほか(2002)・Kato *et al.* (2004) の馬追 2000 測線では、馬追丘陵の西上がりの逆断層と、さらに西方の低地側に存在する顕著な撓曲構造が見出されている。この西上がり逆断層は、馬追丘陵の隆起をもたらした地下の主断層に連続するものではなく、変形に伴って生じた二次的な層面すべり断層であるとしている。

南部の勇払周辺では、浅野ほか(1989)の苫小牧 86 測線、石油開発公団(1975)の HN74-1 測線、佐藤ほか(1998)・Kato *et al.* (2004) の勇払 1997 測線、石油公団(1996)の SI95 の各測線、石油公団(1993)の H91-3 測線に、顕著な活褶曲が見られ、変形のフロントが更に西南方の地下におよんでいることを示している。H91-2 測線、H91-3 測線、SI95-A 測線に関する産業技術総合研究所(2007)の再解釈では、栗田・横井(2000)の低角逆断層構造と類似の解釈結果が出されており、伏在する背斜構造を良く説明している。また海域においても石油開発公団(1973a)の基礎物理探査「日高-渡島」及び石油公団(1987)の基礎物理探査「道南-下北沖」の勇払寄りの測線において、上記の陸上・浅海域に見られたものと同様な伏在褶曲構造が多数存在する。

3. 各測線の反射面対比の概略

3.1 対比の方法

本地域には多くの坑井があり、反射法地震探査断面の解釈に欠かすことのできないデータを提供している。しかしその地層境界の深度について異なった見解があるなど、必ずしも各坑井間で整合性がとれているとは限らない。また反射法地震探査断面の解釈や坑井柱状図で使用されている地層名はその指し示す範囲が文献毎に異なっている可能性がある。そこで本報告では第一義的には反射面の連続性に基づき、あるいは断層等で不連続がある場合には反射波の類似性に基づき、できるだけ統一した基準で各反射断面の地層境界を解釈することを目指した。

本地域では石油公団(1996)の SI95 測線群が広範囲に多くのクロスポイントを有しており、また勇払油・ガス田のいくつかの坑井データで良くコントロールされているため、反射面の対比には非常に重要なデータとなっている。しかし調査後に、従来中新統の上層として一括されてきた地層の中・下部が上部漸新統であることが示され、新たに南長沼層として定義された(栗田・横井, 2000)。そのため新たな解釈が必要とされる。また最近、当測線群の西端付近で二酸化炭素地中貯留の実証試験に関わる 3 次元反射法地震探査(上記の CCS-3D)が実施されている。CCS-3D では VSP により 3 次元領域の反射面の詳しい対比がなされ、古第

三系より上位の各地層境界が詳細に把握されている。石油公団(1996)のSI95-B測線はこの3次元領域と交差しているが、その解釈と実証実験の解釈(経済産業省産業技術環境局CCS実証試験実施に向けた専門検討会, 2011)とでは若干の相違がある。もっとも大きな相違は、SI95-Bでは西方に向かって振老層(川端層)が尖滅し、3次元領域ではもはや存在しないとしているのに対し、CCS-3DではVSP結果に基づきある程度の層厚を持った振老層が存在しているとしていることである。このほかいくつかの地層境界が若干異なっている。

そこで本報告では、CCS-3Dの解釈に用いられているCCS-1坑井における滝の上層・振老層・平取層+軽舞層・荷菜層・萌別層・鶴川層・第四系(この第四系は鶴川層より上位の第四系という意味で使用されている)を基準のものとして採用する。ここで滝の上層から荷菜層は新第三系、萌別層は第四系に区分されている。当面これはA層、B層、・・・などというものと同様に便宜的な符丁として扱うが、各地層境界をトレースする中で他測線・他坑井との比較に基づきその意味付けを行う。これらの地層名及び南長沼層を用いてSI95各測線を再解釈し、整合性のある結果が得られるかどうかをまず試みた。中・上部始新統幌内層以深については石油公団(1996)の解釈をほぼ踏襲し、あるいはそれをもとに周囲に延長した。次にSI95-3測線と交差するH91-3測線の解釈を主として産業技術総合研究所(2007)に基づいて行ったが、一部反射面トレースの追加・修正を行った。またSI95の解釈に基づき、それらと交差するHN74-1-1測線及びGSJ勇払測線3の解釈を行った。一方で、H91-3測線と交差する苫小牧86測線を、また苫小牧86測線と交差しあるいは近接しているGSJ勇払測線4, 5をそれぞれ解釈した。その後GSJ勇払測線4, 5の解釈結果をもとにGSJ勇払測線3, HN74-1-1測線とのそれぞれの交差点で整合性をチェックした。また孤立しているGSJ勇払測線1, 2及び長沼85測線を解釈するため、IH73-B, C, D測線を石油開発公団(1973b)の紙出力断面の再解釈に基づいてトレースし、勇払沿岸部データとの連結を図った。またSI95-3測線, H91-3測線及びGSJ勇払測線3の解釈をクロスチェックするためIH73-E測線の解釈も実施した。

海域の石油開発公団(1973a)の基礎物理探査「日高-渡島」H72測線群及び石油公団(1987)の基礎物理探査「道南-下北沖」D86測線群の勇払寄りの測線は、石狩低地東縁断層帯に関連する可能性のある背斜構造の海側への連続性を検討するために使用した。

なお対比にあたっては、測線毎の速度解析に必ずしも整合性がないため、深度断面ではなくマイグレーション後時間断面を利用した。主な測線については深度断面及び深度断面の解釈も提示した。SI95測線, H91-3測線, 長沼85測線, 苫小牧86測線, GSJ勇払

測線1, 2はMDRS (Multi-Dip Reflection Surfaces) 処理(Aoki *et al.*, 2010)も実施した。SI95各測線, HN74-1-1測線, H91-3測線, IH73各測線, 長沼85測線, 苫小牧86測線及びGSJ勇払各測線の解釈結果をそれぞれ第3~7図, 第8図, 第9図, 第10~13図, 第14図, 第15図, 第16~20図に示す。本pdfファイルの図は高解像度のものを使用しているため、ディスプレイ上で拡大することにより細部を見ることができるようになっている。またjpgファイルの図面を付録として本地質図集に付してあるので、こちらも適宜拡大して、参考にされたい。以下にいくつかの測線グループごとの説明や解釈上の問題点等をまとめる。

3.2 SI95 測線

使用したのはSI95-3, 4, 5, A測線のすべてとB測線の東半分である。これらは通常処理断面のほかにMDRS処理(Aoki *et al.*, 2010)も行った。そのため反射面の連続性の向上が見られ、解釈がより容易となった。SI95-B測線の東半分はCCS-3Dと交差しないため、一部に石油公団(1996)の処理結果を利用した。まずSI95-B測線(第4図)の解釈から始め、SI95-3測線(第5図), SI95-A測線(第3図), SI95-4測線(第6図), SI95-5測線(第7図)へと解釈をすすめた。そのさいに交差するHN74-1-1-測線(第8図), GSJ勇払測線3(第18図), H91-3測線(第9図), IH73-E測線(第13図)とのクロスチェックを行った。

振老層(川端層)上面は、SI95-3測線(第5図)での反射面の連続性からいうと勇払SK-2(第2図のYF-SK-2)や南勇払SK-1(第2図のMY-SK-1)坑井にも薄く存在する可能性があるが、これまでの知見と合わせ、坑井の直前で尖滅するように解釈した。また滝の上層基底(南長沼層上面)は複雑な形状をしているが、やや低周波数の特徴的な反射面となっており、比較的に同定するのが容易である。例えばSI95-3測線(第5図)では断層の下盤側の2.6~2.7s付近にあるやや低周波数の反射面が南長沼層上面に相当するが、上盤側の2.0~2.2s付近にも類似のやや低周波数の反射面が連続的に存在するため、これを南長沼層上面と解釈した。石油公団は基礎試錐「馬追」の報告の中で南勇払SK-2D(第2図のMY-SK-2D)における滝の上層と南長沼層の境界を求めているが、例えば国安・山田(2004)の記載によれば、それはおよそ深度2500m(往復走時では約2s)となっている。この深度は近傍のSI95-3測線(第5図)及び後述のH91-3測線(第9図)で推定した南長沼層上面深度と非常に良く一致している。またSI95-A測線(第3図)の解釈は産業技術総合研究所(2007)でも報告されている。今回の解釈では断層の形状はほとんど同じとしたが、地層境界の位置が異なっており、そのため断層の収斂先が振老層と滝の上層の境界付近となっている。

SI95-A, B, 5測線(第3, 4, 7図)の浅部に引かれ

た薄緑色の線はGSJ勇払測線5(第20図)に見られた顕著なonlap構造の上面を表し、萌別層中の反射面である。これについては「議論」の項でふれる。また反射法地震探査の場合、極浅部を精度良くイメージできないため、SI95-A測線の東部では鵜川層上面を、SI95-B測線の東部及びSI95-5測線では萌別層上面・鵜川層上面をそれぞれトレースできなかった。おそらく鵜川層が浅の地層が存在するものと考えられるが、ここでは記載していない。以下の各断面においても萌別層上面・鵜川層上面をトレースできなかったため、記載していない断面が多々ある。

3.3 HN74-1-1 測線とGSJ勇払3 測線

HN74-1-1 測線は震源としてダイナマイトを使用しており、反射波の連続性が深部にいたるまで非常に良いため、各地層境界のトレースは容易である(第8図)。またSI95-4測線(第6図)及びSI95-5測線(第7図)と交差しており、往復走時2.4s付近から緩やかに東方へ傾き下がる反射面が断層面と推定できる。またGSJ勇払測線4, 5(第19, 20図)とも交差しており、HN74-1-1 測線(第8図)はこれらの測線の解釈に大きな寄与をしている。GSJ勇払測線3(第18図)はHN74-1-1 測線(第8図)に比べて震源が非力であったため反射面の連続性が特に深部で良くない。ノイズに混在して反射面と思われるイベントが断続的に見られるが、このままではその反射面をトレースすることは容易ではない。しかし本測線はSI95-3, 4, 5測線(第5, 6, 7図)及びGSJ勇払測線4, 5(第19, 20図)と多数の測線と交差しており、これらをコントロールポイントとすることにより、また深部まで反射波の明瞭なHN74-1-1 測線(第8図)の反射面を考慮することにより、ノイズの中から真の反射イベントを推定することが可能となる。

3.4 H91-3 測線、苦小牧86 測線とGSJ勇払測線4, 5

H91-3 測線(第9図)では、ほぼ産業技術総合研究所(2007)の解釈を踏襲した。鵜川層・萌別層の上面はSI95-3測線(第5図)からの延長と異なるため、SI95-3測線からの延長の方を採用した。荷菜層及び平取層+軽舞層の上面はSI95-3測線からの延長と一致する。南長沼層上面は、断層の下盤側は南勇払SK-2D坑井(第2図のMY-SK-2D)からトレースできるが、上盤側については、前述と同様にやや低周波数の類似の特徴を示すCMP.3750付近の往復走時約2.5sの反射面を南長沼層上面と推定した。幌内層群以下の部分は石油公団(1996)に示されたH91-3測線の西端部分の解釈を利用し、東部に延長した。断層上盤側に関しては、石狩層群周辺が強反射面となっていることを利用して地層境界を推定した。

H91-3 測線(第9図)の解釈を利用して苦小牧86測線(第15図)の解釈をするさいに問題となるのは、静

川SK-4坑井(第2図のSZ-SK-4)との矛盾である。音響インピーダンス推定結果等を含む坑井の詳細は浅野ほか(1989)に示されている。静川SK-4坑井で解釈された「振老層」・「滝の上層」上面はH91-3測線(第9図)の解釈に比較してはるかに深くなってしまい、むしろ坑井での「振老層」上面はH91-3測線(第9図)からの滝の上層上面とほぼ一致している。同坑井で「滝の上層上面」とされるものは南長沼層上面に近いがややその下位に位置している。このことから苦小牧86測線(第15図)の地層境界のトレースはH91-3測線(第9図)での地層境界に合わせた。また低角逆断層がどの反射イベントに対応するかこのままでは定かではないが、前述のHN74-1-1 測線(第8図)で解釈されたものと矛盾しないようにGSJ勇払測線4(第19図)、GSJ勇払測線5(第20図)を通じて苦小牧86測線(第15図)の反射面を同定した。また苦小牧86測線(第15図)の通常再解析断面及びMDRS処理断面を見ると、浅野ほか(1989)によりCMP.180付近に想定されていた東上がりの逆断層は存在せず、むしろなめらかに東下がりとなると解釈できる。この解釈の方がGSJ勇払測線5(第20図)を通じてトレースした荷菜層上面等の深度に関して、GSJ勇払測線3(第18図)及びHN74-1-1 測線(第8図)と整合的になる。

GSJ勇払測線4, 5(第19, 20図)については「議論」の項で詳しく触れる。また両者の萌別層中に引かれた薄緑色の線は顕著に見られるonlap構造の上面に相当する。これについても議論の中で触れる。

3.5 IH73 測線

IH73 測線は孤立した測線の解釈に重要であるので、やや詳しく解釈の方法を述べる。本測線は紙出力断面のコピーのみを使用しており、解釈の難しい点がある。しかしHN74-1-1 測線とほぼ同等な探査仕様(横倉ほか(2014)を参照)で調査されており、かなり深部までの情報を有していると考えられる。

IH73-E(第13図)はSI95-3測線(第5図)、H91-3測線(第9図)と交差しており、またGSJ勇払測線3(第18図)に約1kmまで近接しているため、SI95測線のところで述べたように相互にクロスチェックを行うことができる。

全般的に往復走時約2sまでは反射面の連続性を追うことは容易である。苦小牧86測線(第15図)、H91-3測線(第9図)との交点から北に向かって見ていくと、IH73-D測線(第12図)のSP.460付近に軸を持つ向斜構造と、IH73-C測線(第11図)のSP.335付近に軸を持つ背斜構造が存在することが分かる。反射面の傾きは緩やかであり、IH73-B測線(第10図)の南半部までのトレースは容易である。IH73-B測線(第10図)北半部の浅部については後述する。

一方深部については議論が分かれる部分がある。IH73-D測線(第12図)の南端部往復走時約1.8sから

ゆるやかに傾き下がる顕著な反射面が存在し、これはIH91-3測線(第9図)に見られる低角逆断層に相当する反射面である。石油開発公団(1973b)はこの反射面について、IH73-D測線(第12図)北端部に存在する急傾斜イベントに続く、すなわち北に向かって急激に浅くなるという解釈をしている。しかしこの急傾斜イベントは反射波ではなく、形態的に回折波であると考えられる。むしろ北端部の2.5s付近にはほぼ水平なイベントが存在し、当該反射面は急傾斜のイベントに一部マスクされながらも素直にここに連続すると考えられる。事実このほぼ水平なイベントの延長部と思われるものがIH73-C測線(第11図)でも見られ、測線全体にわたって2.5s付近に顕著な反射面として多少の起伏を持ちながら連続している。したがってこのほぼ水平なイベントのほうが真の反射面と考えるのは妥当である。またIH73-B測線(第10図)南端部でも、2.5s付近に顕著な反射面が存在する。その反射面はSP.165付近で深度がやや浅くなって2.0~2.1s付近となり、IH73-B測線(第10図)北端部付近まで続くと解釈できる。概ねその反射面は滝の上層と南長沼層の境界付近に存在している。

更に深部についても同様に類推でき、例えばIH73-D測線(第12図)南端部の3.3s付近の顕著な反射面は、IH91-3測線(第9図)の解釈によれば幌内層と石狩層群の境界に相当する。この反射面は北端部の3.5s付近に連続し、IH73-C測線(第11図)では南端部の3.5s付近から北端部の3.3s付近の顕著な反射面に続く。またIH73-B測線(第10図)では南端部の3.3sから、やはりSP.165付近をさかいに浅くなり、3s程度となって、北端部の2.9s付近に到ると解釈できる。このように主要な反射面をまずトレースすることにより、周辺のやや弱い反射面の解釈が容易となる。

IH73-C測線(第11図)のGSJ勇払測線2(第17図)と交差するあたりからIH73-D測線(第12図)の北端まで断層が2重になっているのは、後述のGSJ勇払測線2(第17図)の解釈においてこの部分にくさび状の地質体の存在が想定されることから来ている。逆にいうと、この部分に見られる緩やかな背斜構造はこのくさび状の地質体によって生じているといえる。

IH73-B測線(第10図)北半部の浅部は、石油開発公団(1973b)が断層の存在を推定するなど、やや複雑な構造となっているが、後述の長沼85測線(第14図)の西馬追SK-1(第2図のNU-SK-1)に基づく解釈を利用し、南部からの反射面のトレースとの整合性を考慮した。荷菜層上面は、勇払沿岸付近からトレースした反射面と、西馬追SK-1坑井を使用した長沼85測線(第14図)の解釈とは矛盾する。沿岸部からトレースした荷菜層は西馬追SK-1での「荷菜層」の下部に相当する。また石油開発公団(1973b)が推定した断層が存在するかどうかは不明であるが、あったとしてもその断層で大きな変位はないと考えられ、反射面はスムーズにつ

ながる。また振老層はIH73-B測線(第10図)の南側の一部で存在しなくなるが更に北へ行くとまた存在するようになる。

この解釈で問題となるのは、馬追95V-1測線の解釈との齟齬である。馬追95V-1測線の正確な位置は不明であるが、その測線西端は恐らく交差はしないもののIH73-B測線(第10図)のSP.130~150付近に非常に近い位置にあると推定される。IH73-B測線(第10図)の解釈では荷菜層、平取層+軽舞層、滝の上層の上面がそれぞれ往復走時1.3s、1.8s、2.0s付近と解釈されているが、馬追95V-1測線の解釈では平取層+軽舞層及び振老層が存在せず、「荷菜層」と「滝の上層」が直接に約1.6s付近で接し、1.8s付近は「南長沼層」上面となっている。しかし両解釈において、第四系+荷菜層が厚く、振老層が存在せず、滝の上層が薄いという点では共通している。また馬追95V-1測線の断面を見る限り、「滝の上層」上面が西端の往復走時2s付近へと続くという解釈も成り立つ可能性がある。したがって解釈次第ではそれほど大きな違いはないかもしれない。

3.6 GSJ 勇払測線 1 と 2

GSJ 勇払測線 1 (第 16 図) は石狩低地側で IH73-D 測線と交差し、また南西端付近で SI95-3 測線 (第 5 図) に近接しているため、これらを利用して反射面の同定が可能である。尾崎・小松原 (2014) に示された断層上盤側の地層名「軽舞層 (“Ka”)」及び「萌別層 (“Mb”)」は沿岸部からトレースしてきた平取層+軽舞層及び荷菜層以浅の地層にそれぞれほぼ対応するとして解釈を行った。5 万分の 1 地質図幅「早来」(松野・石田, 1960)によれば、測線近傍で断層上盤側の「軽舞層」及び「萌別層」はそれぞれ約 45°、約 35°の北東落ちの傾斜を有することを考慮している。MDRS 断面の反射波を忠実にトレースすると、馬追丘陵下に下盤側の地層が作る背斜構造を想定せざるを得ない。全体として IH91-3 測線 (第 9 図) と同様な解釈であるが、この点が異なっている。また断面の上部に示した矢印直下は層面すべりとしての西側隆起の断層に相当する反射面と考えられる。

GSJ 勇払測線 2 (第 17 図) は IH73-C3 測線 (第 11 図) と交差している。同じく尾崎・小松原 (2014) の断層上盤側の地層名「追分層 (Ow)」「岩見沢層 (Iw)」「川端層 (Kb)」は沿岸部からトレースしてきた荷菜層、平取層+軽舞層、振老層にほぼ対応するとして解釈を行った。5 万分の 1 地質図幅「早来」(松野・石田, 1960)、5 万分の 1 地質図幅「追分」(松野・秦, 1960)ともに測線近傍で地層の傾斜データはあまり存在しない。5 万分の 1 地質図幅「早来」によれば、測線近傍で断層上盤側の「岩見沢層」が 26°の西落ち傾斜を示すデータが唯一存在するが、MDRS 反射断面上に見られる傾斜 (10 数°) の方を優先した。MDRS 断面では丘

陵下に背斜と向斜が存在すると解釈せざるを得ない反射面が存在している。これは深部のくさびに乗り上げることで生じた fault-bending fold としての背斜と、右側の断層の存在により上方へと押し上げられてきた向斜であると解釈した。これにより地表の CMP.950 付近と CMP.1250 付近に撓曲した構造が生じている。CMP.1250 付近の撓曲構造は多くの活断層図に記載されている(例えば第2図に中田・今泉編(2002)の撓曲を図示している)が、断面上ではイメージングの良くない浅部にかすかに見えている。一方 CMP.950 付近のものは活断層図に全く記載がないが、断面上では非常に良くイメージングされている。

3.7 長沼 85 測線

上述のように西馬追 SK-1 坑井を利用してひとまず長沼 85 測線の解釈を行い(第14図)、その後 IH73-B 測線(第10図)と比較を行った。西馬追 SK-1 坑井では浅部はすべて「荷菜層」に属すると解釈されている。しかし沿岸部からトレースした荷菜層上面はこの「荷菜層」内の一つの顕著な反射面に対応している。IH73 測線を見る限り沿岸部からトレースした荷菜層にはその上位の地層が onlap しており、長沼 85 測線(第14図)の「荷菜層」上部は沿岸部での萌別層以上の地層に対応すると考えられる。5 万分の 1 地質図幅「恵庭」(長尾ほか, 1959), 「追分」(松野・秦, 1960)によれば、断層上盤側の CMP.540 付近を頂部とする背斜があり、それは現在の知見で言えば南長沼層の背斜に相当する(栗田・横井, 2000)。背斜両翼の地層傾斜が約 50° と高角となっていること(第14図(c)及び(d)のピンク破線)、またその上位の地層と平行関係にあることから fault-propagation-fold が地表に露出したものと解釈した。それが更に深部のくさび状の南長沼層により隆起させられている形状を想定した。近隣の石油資源開発株式会社の馬追 95V-1 断面(北海道, 2001)の解釈と類似しているものの、少し異なった解釈となっている。なお上記背斜は馬追山背斜の北方延長に相当すると考えられる。

断面上で滝の上層と南長沼層の境界がどこに相当するか明確ではないが、IH73 測線からはその境界がすべり面付近にあること、また少し離れているが測線の北方約 10km で実施された基礎試錐「南幌」の滝の上層の層厚が 200m 強である(国安・山田, 2004)ことから、長沼 85 測線では、滝の上層上面から約 200m 下付近に存在する反射面を南長沼層上面とした。またそこはすべり面でもであると解釈した。馬追 95V-1 断面によれば、深部の往復走時 3s 付近の強反射面は、幌内層と石狩層群夾炭層、石狩層群夾炭層と石狩層群礫岩層、石狩層群礫岩層と白亜系(ここでは隈根尻層群)のそれぞれの境界に相当する。このうち石狩層群夾炭層と石狩層群礫岩層の境界が最も強い反射面となっていることから、長沼 85 測線(第14図)の往復走時 3s 付近(深

度では約 5km 弱)の強反射面を石狩層群中の反射波と解釈した。これは IH73 測線を通じてトレースしてきたものと整合的な深度となっている。

4. 議論

4.1 陸域から沿岸域の背斜の連続性

勇払沿岸周辺測線には多くの背斜構造が認められるが、これらがどのように連続するかを判断するのはかなり困難であった。しかし新たな探査測線を設定し、既存測線とあわせることにより、一定の見通しを立てることができるようになった。その結果を第21図に示し、それぞれの背斜についての議論を以下に記す。なお第21図には、後述する石狩低地東縁断層帯の低角すべり面のフロント位置や、主部の南方延長、その他の背斜軸・向斜軸等についても示している。

浜厚真背斜

SI95-A 測線(第3図)の CMP.40 付近及び SI95-B 測線(第4図)東端のすぐ東側付近を通る背斜は、HN74-1-1 測線(第8図)の CMP.390 付近及び GSJ 勇払測線 3(第18図)の CMP.2850 付近にある幅の広い(長波長の)背斜をへて、さらに上述の GSJ 勇払測線 4(第19図)の CMP.2050 付近のコンパクトな(短波長の)背斜へと続く。ほぼ南東-北西のトレンドを持つ。反射断面上でこれらの背斜は見かけ上非常に異なった波長を有しているが、測線と背斜軸が大きく斜交しているかあるいはほぼ直交しているかの違いだと考えればつじつまがあう。さらに北西方向に目を転ずれば、やや離れてはいるが苫小牧 86 測線(第15図)の CMP.440 付近に幅の広い背斜、及び H91-3 測線(第9図)の CMP.4050 付近に振幅のやや小さなコンパクトな背斜が存在している。これらへと続くと考えると、測線と背斜軸の斜交の程度を考えれば、ここでも形状のつじつまがあうことになる。更に近傍の IH73-D 測線(第12図)ではほとんど背斜構造とは言えないが、その痕跡程度のものが SP.492-493 付近に見られる。その北西側延長の SI95-3 測線(第5図)、GSJ 勇払測線 1(第16図)では背斜が見られなくなる。すなわち本背斜は IH73-D 測線(第12図)のすぐ北西側で消滅するものと考えられる。南東側への延長に関して議論できる、深部までを対象とした反射法地震探査測線はないが、浅部を対象とした佐藤(2014)の高分解能音波探査により、本背斜軸はさらに南南東方向へと続くことが示されている。

勇払背斜

浜厚真背斜の西方には、SI95-5 測線(第7図)の CMP.220 付近、SI95-B 測線(第4図)の CMP.700 付近、SI95-A 測線(第3図)の CMP.700、HN74-1-1 測線(第8図)の CMP.125 付近、GSJ 勇払測線 3(第18図)の CMP.1800 付近にいずれもコンパクトな形状の(短波長の)背斜が存在する。このことから背斜軸の方向はこ

これらの測線とほぼ直交に近い、南北トレンドを持つことが分る。これは、佐藤(2014)の浅部音波探査から求めた背斜方向と整合的である。

北方への延長に関して、苫小牧 86 測線(第 15 図)の背斜へと向かうと考えるむきもあるようであるが、勇払背斜が苫小牧 86 測線(第 15 図)の背斜へと向かい、測線と背斜軸がほぼ直交するのならば、苫小牧 86 測線(第 15 図)における背斜の形はもっとコンパクトなものとなってもよさそうである。またそのあとすぐに直角に折れ曲がって H91-3 測線(第 9 図)の背斜へと続くと考えられるのもいささか不自然なように思われる。SI95-4 測線(第 6 図)北端付近に存在する背斜は勇払背斜に最も近い背斜である。この背斜は南翼しか見えていないがコンパクトな形状を呈することから、勇払背斜が SI95-4 測線(第 6 図)北端付近で西よりに少し向きを変えるとすれば十分その形状を説明でき、背斜軸の形としても不自然ではない。そのため、勇払背斜が苫小牧 86 測線(第 15 図)の背斜へと続く可能性はないと考えられる。西方へ向きを変えたその先の H91-3 測線(第 9 図)には、上記の浜厚真背斜の延長部を除き背斜が存在しないため、勇払背斜は H91-3 測線(第 9 図)に到る前に消滅するものと考えられる。

平川・越後(2002)の背斜

平川・越後(2002)によれば石狩低地南部の中央付近には彼等の称する褶曲(背斜部分に相当)A と B が北北西-南南東方向に存在する。位置的には第 22 図に示したように、褶曲 A は GSJ 勇払測線 2(第 17 図)の CMP.200 付近、IH73-D 測線(第 12 図)の SP.410 付近及び GSJ 勇払測線 1(第 16 図)の CMP.2550 付近を通り、また褶曲 B は GSJ 勇払測線 2(第 17 図)の南西約 2km 付近と GSJ 勇払測線 1(第 16 図)の CMP.3100 付近及び IH73-D 測線(第 12 図)の SP.460 ~ 480 付近を通るはずである。しかし GSJ 勇払測線 1(第 16 図)の低地部はほとんど水平成層を、また GSJ 勇払測線 2(第 17 図)では西方へ傾斜する単斜構造をそれぞれ示しており、どちらにも背斜構造は認められない。GSJ 勇払測線 2(第 17 図)の CMP.200 付近で傾斜がやや大きくなる傾向があり、この傾斜変化が南部から続く背斜の痕跡を示すものである可能性はある。また IH73-D 測線(第 12 図)の SP.410 ~ 480 は SP.455 ~ 460 付近を向斜軸とする幅の広い向斜内に存在し、背斜は認められない。以上のことから反射法探査結果から見れば、褶曲 A 及び B の南半部は存在しないし、褶曲 A が GSJ 勇払測線 2(第 17 図)を越えて北に続くこともないといえる。一方、小松原ほか(2014a)のボーリングデータにもとづいた上部第四系の層序総括及び構造解析によれば、平川・越後(2002)の褶曲構造に相当するものは認められず、その代わりに GSJ 勇払測線 2(第 17 図)の CMP.400 付近の南方約 2km から南に約 9km 続く美々背斜の存在が提唱されている(第 22 図)。したがって北半部でも、並行する 2 条の褶曲という形では存在し

ないものと考えられる。

4.2 海域への背斜の連続性

海域への延長を D86 測線及び H72 測線をもとにたどる。これら測線に見られる背斜軸付近のマイグレーション後時間断面を第 23 図に、各測線位置を第 24 図に示す。勇払背斜は、佐藤(2014)による浅部対象の音波探査測線の解釈では、ほぼ南方へと続いている。深部対象の海域測線では、D86-1 測線の CMP.1010 付近(第 23 図(b)), H72-J-1 測線の CMP.1980 付近(第 23 図(c)), H72-J-2 測線の CMP.250 付近(第 23 図(d)), H72-J-4 測線の CMP.980 付近(第 23 図(e)), H72-6-2 測線の CMP.3150 付近と CMP.3500 付近(第 23 図(g))に背斜が存在する。また D86-E-2 測線の南東端よりさらに南東側(第 23 図(f)), D86-2 測線(再処理測線には入っていない)北東端よりさらに北東側に背斜が存在してもおかしくない形状をしている。また周辺でデータ取得された辻野・井上(2012)の日高舟状海盆音波探査プロファイルのうち 1141-gh06 測線から 1151-gh06 測線(産業技術総合研究所海域地質構造データベース(<https://gbank.gsj.jp/marineseisdb>)収録)を参照すると、単純に背斜が南北に続くというよりは、第 24 図に見られるように雁行しながら南方へと続いていくという解釈の方が深部構造から見ると適切であると考えられる。

一方、浜厚真背斜は佐藤(2014)に示されたように鵜川沖 A-1 坑井(第 21 図、第 24 図の MO-A-1)付近の背斜を通り南南東へと続く。その延長上には H72-J-2 測線の CMP.1150 付近(第 23 図(d))及び H72-6-2 測線の CMP.4000 付近(第 23 図(g))から南南東へと伸びる背斜がある。これは辻野・井上(2012)の鵜川沖背斜に相当する。浜厚真背斜がこの鵜川沖背斜へと直接続くのかどうかは深部探査測線がないため不明であるが、佐藤(2014)は、高分解能音波探査測線 106 から 108 の東端に背斜の西翼部が見えていることから、浜厚真背斜が鵜川沖背斜に連続するものと解釈している。ここでは佐藤(2014)の解釈に従う。その更に南方に関しては、本プロジェクトで再処理をしなかった H72-7 測線の SP.240 付近、D86-3 測線の SP.420 付近及び上記日高舟状海盆音波探査プロファイルを参照すると、第 24 図のように鵜川沖背斜の南南東に雁行して背斜軸が続くという解釈が可能である。

以上のことから浅部構造・深部構造両面から見て、前述の、海域における南東-北西方向の直線的な崖地形(第 24 図参照)は背斜構造と関係するものではないし、その崖地形を作る活断層が存在するわけでもない。また辻野・井上(2012)は南南東方向から H72-6-2 測線の CMP.3500 付近を通り、そこから方向を変えて北西方向に H72-J-4 測線の CMP.1000 付近へと抜けていく「勇払沖背斜」というものを推定している。しかし浅部構造・深部構造両面から見て、この「勇払沖背斜」

も存在しないものと思われる。

4.3 低角逆断層のフロント

各反射断面に見られる低角逆断層のフロントがどこまで西方に達しているかを以下に議論する。北方の長沼 85 測線 (第 14 図) では CMP.150 付近に, GSJ 勇払測線 2 (第 17 図) では測線西端よりも西方に, GSJ 勇払測線 1 (第 16 図) では測線南西端付近に, H91-3 測線 (第 9 図) では CMP.4550 付近にそれぞれフロントが達している。この間に存在する IH73-B (第 10 図), C (第 11 図), D (第 12 図) 測線の解釈図では測線全体にわたってすべり面となっている反射面が存在するとしたが, そのうちの一部は単に滝の上層と南長沼層の境界となっている部分も存在するかもしれない。しかしこれらと交差している長沼 85 測線 (第 14 図), GSJ 勇払測線 1 (第 16 図), 2 (第 17 図), H91-3 測線 (第 9 図) の部分ではすべてすべり面としての反射面が存在していることから, IH73-B (第 10 図), C (第 11 図), D (第 12 図) 測線全体にわたってすべり面が存在する可能性も否定できない。更に南方では, IH73-E 測線 (第 13 図) の SP.511 ~ 512 付近, GSJ 勇払測線 3 (第 18 図) の CMP.100 付近, SI95-A 測線 (第 3 図) の CMP.1380 付近, SI95-B 測線 (第 4 図) の CMP.1380 付近, SI95-3 測線 (第 5 図) の CMP.1100 付近より北側及び CMP.220 ~ 600 間, SI95-4 測線 (第 6 図) の CMP.230 付近, SI95-5 測線 (第 7 図) のほぼ測線全域にそれぞれすべり面が存在している。SI95-5 測線 (第 7 図) のすべり面は更に南西方へと続き, 海域の H72-5 測線の CMP.300 付近に存在する向斜軸付近まで達していると考えられる (第 23 図 (a))。

また海域測線においては十分な地層境界の同定を実施していないが, 第 23 図 (a) のように背斜軸の西方にある向斜軸付近までフロントが達しているとして, 予備的な推定を行った。第 23 図に黒矢印でその位置を示した。これらの連続性を図示すると陸域-沿岸域では第 21 図, 沿岸域-海域では第 24 図のようになる。第 24 図には辻野・井上 (2012) の海底地質図記載の苫小牧リッジ東縁と山口ほか (2014) の H72 及び D86 の各測線から求めた西縁を併せて記載した。陸域-沿岸域では地表に見られる撓曲構造から 6km 程度西方にまでフロントが達していると考えられる。沿岸域-海域では, 後述の残差重力との比較から, すべり面のフロント及び背斜軸が勇払油・ガス田及び沖合の苫小牧リッジの構造に大きく規制されていることが分かる。SI95-3 測線 (第 5 図) に見られるように勇払油・ガス田では古第三系あるいは白亜系がそれぞれ往復走時 2.0s, 2.7s 程度にあり, 周囲に比して 0.7s 程度浅所にある。また苫小牧リッジでは古第三系あるいは白亜系がそれぞれ往復走時 1.5s, 2.0s 程度あるいはそれよりも浅所にある。南北に続く高まりとなっている。GSJ 勇払測線 3, SI95-A 測線, SI95-B 測線は, ちょうど古

第三系以前の地層が深まり, 鞍部となっているところに相当し, ここだけフロントが西方へと張り出している。その先端部には背斜構造 (図の楕円で示した部分) が存在するが, GSJ 勇払測線 3, SI95-A 測線, SI95-B 測線と南へ行くほどその変形の程度は小さくなる。

第 25 図に駒澤ほか (2013) の残差重力図に背斜軸等を書き込んだものを示す。この残差重力図は地下数 km 程度までの構造を反映したものであるが, 苫小牧リッジの分布が見事に示されている。陸上北部ではあまり相関がないが, すべり面のフロントは高まりとなっている勇払油・ガス田及び沖合の苫小牧リッジのへりに沿っている。また背斜も苫小牧リッジのへりに沿うように南へ南へと雁行しながら続いているように見える。

蛇足的ではあるが, 第 25 図にはひとつ奇妙なことがある。それは背斜軸がほぼ残差重力の谷に沿っているということである。これまで見てきた断面図からは背斜の下部に密度の小さい物質が存在するとは考えにくい。背斜頂部が局所的な引っ張り応力によって破碎されて密度が小さくなっているという可能性はあるかもしれない。しかし定量的な議論をするには到っていないので, その原因については今後の課題としたい。

4.4 背斜 (逆断層) の活動開始期 浜厚真背斜

GSJ 勇払測線 4, 5 (第 19, 20 図) では, 北東翼において, 平取層 + 軽舞層以下に層厚変化はほとんど見られないが, 荷菜層に onlap 構造, 北東方向への層厚の増加が見られ, これらは本背斜成長にともなう growth strata であると考えられる。また萌別層にも同様の growth strata が見られる。このことから浜厚真背斜は荷菜層堆積時から活動を開始したことが分かる。また HN74-1-1 測線 (第 8 図), GSJ 勇払測線 3 (第 18 図) では, 背斜軸と測線が斜交しており, やや不明瞭であるが, 東翼において荷菜層が東へ向かって緩やかに層厚を増しており, onlap 構造が存在する。萌別層に関しては明瞭ではないが, 少なくとも荷菜層直上の地層が東へ向かって層厚を増す傾向が見られる。SI95-A, B 測線 (第 3, 4 図) では, 背斜西翼のみが見えているだけであるが, 荷菜層・萌別層の層厚が背斜頂部に向かって薄くなること, また萌別層では明瞭な onlap 構造があることなどから, ここでも背斜の活動が荷菜層堆積時から開始したことが分かる。先に浜厚真背斜は北西方向に連続し, 苫小牧 86 測線 (第 15 図), H91-3 測線 (第 9 図) の背斜へと続くとして推定したが, このような活動時期という観点から見てみると, 両測線とも確かに, 荷菜層・萌別層が翼部へ向かって層厚を増す傾向があり, 分解能のないデータであるため growth strata は明瞭ではないものの, 同様に荷菜層堆積時から活動を開始したと考えて矛盾はない。したがって浜厚真背斜は全体として荷菜層堆積時からその活動を開始したと考

えられる。

勇払背斜

SI95-A, B 測線 (第 3, 4 図) では、荷菜層に明瞭な層厚変化は見られず、萌別層以上の地層に東翼・西翼ともに onlap 構造、層厚の大きな増加が見られ、勇払背斜は萌別層堆積時からその活動を開始したと考えられる。HN74-1-1 測線 (第 8 図)、GSJ 勇払測線 3 (第 18 図) では、やはり荷菜層以深に明瞭な層厚の変化はなく、背斜西翼の萌別層以浅に onlap 構造、層厚の増加が見られる。東翼についてはデータの質が悪くあまりはっきりしない。SI95-5 測線 (第 7 図) では、萌別層以浅については良く分からないが、少なくとも荷菜層に大きな層厚の変化はなく、荷菜層堆積時にはまだ活動を開始していない。したがって勇払背斜は萌別層堆積時からその活動を開始したと考えられる。SI95-4 測線 (第 6 図) の北端付近に存在する背斜に関しては、荷菜層に大きな層厚の変化はなく、一方で萌別層以浅に onlap 構造、大きな層厚の変化が認められ、萌別層堆積時から活動を開始したことが分かる。したがって勇払背斜と一連のものであると考えられる。先に、反射断面に現れた背斜の形状のみから、勇払背斜は苫小牧 86 測線方向へは向かわず、SI95-4 測線 (第 6 図) 北端付近の背斜へ向かうと推定したが、活動開始時期の点でもそのことが裏付けられる。

石狩低地東縁断層帯主部の南方延長部

GSJ 勇払測線 4 (第 19 図) の北東端 CMP.400 付近に逆断層が伏在している。測線の北東約 2.3km には厚真断層が、またその背後の測線から約 2.9km には軽舞背斜の北端部が存在する。CMP.400 付近の伏在断層はこの厚真断層下部から派生しつつある断層のような形態をしている。並行する H91-3 測線 (第 9 図) と比較すると、先に述べたように測線南西側に浜厚真背斜が存在することから、H91-3 測線 (第 9 図) の CMP.3700 付近の向斜が GSJ 勇払測線 4 (第 19 図) の CMP.700 付近の向斜に対応するものと考えられる。そのように見ると、H91-3 測線 (第 9 図) の CMP.3400 付近の断層 (同断層帯主部の本体の断層) は GSJ 勇払測線 4 (第 19 図) の CMP.400 付近に伏在する逆断層に相当する可能性がある。しかし両測線で断層の背後の状況は異なっている。H91-3 測線 (第 9 図) では厚真向斜という大きな向斜が存在するが、GSJ 勇払測線 4 (第 19 図) の背後には向斜が存在しない。5 万分の 1 地質図幅「早来」(松野・石田, 1960) によると本測線の CMP.10 付近に北から厚真向斜の向斜軸が通ると推定されている。しかし GSJ 勇払測線 4 (第 19 図) の CMP.1 ~ 300 には南西傾斜 (約 15°) の明瞭な反射面 (荷菜層に相当) が見えており、厚真向斜がここを通ることはない。測線と厚真断層間の「萌別層」(本報告の萌別層と荷菜層を含むものと推定される) はその傾斜を急激に増大させて、断層直近で約 80 ~ 85° というほぼ垂直な傾斜を示す。したがって CMP.10 付近あるいはその北東方に厚真向

斜が延長してくる余地は小さい。5 万分の 1 地質図幅「早来」における厚真向斜の向斜軸は地表データであり制約できていないと考えられるため、GSJ 勇払測線 1 (第 16 図) の CMP.450 付近及び H91-3 測線 (第 9 図) の CMP.2900 付近を通るという条件のもとで、向斜軸が厚真断層とほぼ並行し、また GSJ 勇払測線 4 よりも北方で消滅するものとして、第 21 図に記載した。こうすると前述の残差重力図 (第 25 図) に見られるように、向斜軸が低重力域に沿うようになり、もっともらしくなるからである。

次に CMP.400 付近の逆断層の活動開始時期について考える。ここでは堆積物の形態のみによる議論であるため、背後の厚真断層の活動も含む可能性がある。南西端の浜厚真背斜は先に述べたように荷菜層堆積時に活発な活動を開始したが、北東側の荷菜層はそれほどの層厚の変化を示さない。CMP.700 付近に向かって若干厚くなる傾向があるので、荷菜層堆積時に活動を開始した可能性があるが、その活動度は弱い。一方萌別層以浅になると南西へ向かって層厚を増し、また onlap 構造も見られることから、萌別層堆積時には活発な活動をしていたと考えられる。この反射断面で顕著なことは、横倉ほか (2014) で述べたように、CMP.400 ~ 1000 付近の荷菜層上部、萌別層、及びそれ以浅できれいな成層構造を示さず、様々な方向を向いた反射面が混在しており chaotic な様相を呈するということである。これは南西側の背斜と北東側の逆断層の成長の影響を受けながらも、特に北東側の逆断層の急激な成長の影響を強く受けて (例えば度重なる乱泥流などによって) 生じた構造を示唆している可能性がある。したがって全体として断層活動は荷菜層堆積の後半頃から活発になったと考えられる。これには、例えば荷菜層堆積時後半から厚真断層の活動が活発となり、その後萌別層堆積時以降は CMP.400 付近の断層が活発となったという時間的な差異が存在する可能性はある。

次に GSJ 勇払測線 5 (第 20 図) について考察する。測線北東側の各層は北東に向かって急激に傾斜を増していることから、イメージングされてはいないが、北東側に逆断層あるいは背斜構造の存在が推定される。事実、5 万分の 1 地質図幅「鶴川」(山口, 1960) によれば、本測線の北東端 CMP.1383 (マイグレーション後時間断面図では北東端の傾斜イベントが断面外に出してしまうため、断面を CMP.1650 まで拡張している) から北東約 1.4km に二の宮断層、約 2km に鶴川背斜が存在する。また明瞭ではないが、CMP.1400 ~ 1500 付近の振老層下部に深に反射面のギャップが存在し、GSJ 勇払測線 4 と同様に二の宮断層から派生しつつある逆断層が北東端に存在する可能性がある。また尾崎・小松原 (2014) によれば CMP.1000 付近より北東側には「萌別層」のみが露出するとなっているが、第 20 図の深度断面からみると、GSJ 勇払測線 4 の軽舞背斜におけるのと同

様に、鵜川背斜付近で平取層+軽舞層相当のものが露出していてもおかしくない形態をしている。

活動度に関して言えば、荷菜層の下部に onlap 構造が一部存在すること、明瞭ではないが CMP.1100 付近に向かってやや層厚を増すこと、萌別層が CMP.850 付近に向かって明瞭に層厚を増していくこと、また何より本来浜厚真背斜の growth strata であって北東側に傾斜していくはずの地層(第 20 図の萌別層中の薄緑色の線以下の地層)がむしろ北東上がりとなっていることなどから、北東側の背斜あるいは逆断層も荷菜層堆積時から活動を開始していること、萌別層堆積時に降にその活動が活発となったことが分かる。特に上記の浜厚真背斜の成長による onlap 構造形成以後、その活動は浜厚真背斜を凌駕していることが分かる。また CMP.950 ~ 1200 付近の荷菜層上部、CMP.700 ~ 1100 付近の萌別層が GSJ 勇払測線 4 (第 19 図)と同様に chaotic な様相を呈していることから、北東側の背斜あるいは逆断層の急激な成長が示唆される。同様にここでも全体として荷菜層堆積の後半頃から活動が活発になったと考えられる。

GSJ 勇払測線 1 (第 16 図)の CMP.1700 付近、H91-3 測線(第 9 図)の CMP.3400 付近、GSJ 勇払測線 4 (第 19 図)の CMP.400 付近を連ねてみると、二の宮断層あるいはその派生断層周辺はその素直な延長線上にあること、また GSJ 勇払測線 4 (第 19 図)の CMP.400 付近の断層と類似の活動歴を有していることから、本断層帯主部の南方延長が少なくともここまで達していると考えるのは不自然ではない。

石狩低地東縁断層帯主部

同断層帯主部を横断する測線を北から順に見ていくと、長沼 85 測線(第 14 図)では、荷菜層の層厚がほぼ変化を示さないかあるいは低地側に向かって層厚がやや増加している。萌別層になると onlap 構造及び層厚の増加がある。したがって荷菜層堆積時に若干の活動があった可能性はあるが、活動が活発になったのは萌別層堆積時に降であることが分かる。GSJ 勇払測線 2 (第 17 図)では、荷菜層堆積時にすでにかんりの活動が始まっている。GSJ 勇払測線 1 (第 16 図)及び H91-3 測線(第 9 図)ではほとんど長沼 85 測線(第 14 図)と同様な傾向がある。前述の南方延長の活動時期と合わせると、荷菜層堆積時に活動が活発化したところや活動を開始したが活動が小さいところなどがあったが、萌別層堆積時には全体として活動が活発になったと考えられる。また GSJ 勇払測線 5 (第 20 図)におけるよう最近になるほど活動が活発になることから、その活動範囲を徐々に南方へと拡大する傾向を持つ可能性がある。

荷菜層の年代

これまで年代についてはあえて議論を避けてきた。それは堆積年代の異なる地層に同じ荷菜層という地層名が使用されているからである。尾崎・小松原(2014)

によれば、地表地質による荷菜層及び相当層の堆積年代は、珪藻化石から概ね後期中新世から鮮新世前半と推定され、下位の岩見沢層及び相当層との境界と時間軸とは大きく斜交する。更に、勇払平野地下(勇払油・ガス田)の荷菜層は珪藻化石から後期鮮新世とされ(平松, 2004)ている。上記の CCS-1 坑井では、萌別層以上が第四系、荷菜層以下が新第三系とされているだけで、詳しい年代データは示されていない。地表に露出している荷菜層と勇払平野地下の荷菜層の間には石狩低地東縁断層帯が存在し、一般的にそれらを直接関係づけることは困難である。しかし今回 GSJ 勇払測線 4 及び 5 の探査を実施したことにより、本報告でトレースしてきた萌別層・荷菜層を地表地質の「萌別層」と関係づけることができるようになった。特に GSJ 勇払測線 5 は、嵯峨山ほか(1992)が珪藻化石により年代を特定している 5 万分の 1「鵜川」図幅の「萌別層」分布域に接続している。嵯峨山ほか(1992)は、試料から得られた「萌別層」の年代は 4 ~ 10Ma 程度であり、その上限は更に若く、更新世にまでわたると推定している。正確な試料採集位置は不明であるが、嵯峨山ほか(1992)の Fig.2 と「鵜川」図幅を参照すると、この年代を推定した層準は、GSJ 勇払測線 5 の解釈における荷菜層分布域とほぼ一致する層準であると考えられる。このことから、本報告の荷菜層の堆積年代はおそらく 4 ~ 10Ma 程度であり、後期中新世から前期鮮新世にわたる可能性がある。また上位の萌別層の堆積年代はおそらく後期鮮新世から、嵯峨山ほか(1992)の推定によれば更に若く更新統にまでわたる可能性がある。

この荷菜層の年代は、勇払油・ガス田のあけぼの SK-2D 及び沼ノ端 SK-3D 坑井のカッティングス試料等の珪藻化石分析に基づく、平松(2004)の後期鮮新世という推定とは異なっている。本報告の荷菜層は勇払油・ガス田では SI95-3 測線を通じて南勇払 SK-1 と勇払 SK-2 坑井に、H91-3 測線を通じて南勇払 SK-2D 坑井にそれぞれ連結されており、本報告では勇払油・ガス田の荷菜層の年代は後期中新世-前期鮮新世とせざるをえないことになる。この相違がどこに起因するのかは今のところ不明である。

4.5 背斜(逆断層)の活動性

断層の第四紀後期の活動性を議論できる情報は極めて少ない。小松原ほか(2014b)は勇払背斜の活動性を把握するため、海岸沿いの 2 地点 BT1 と YF1 (第 2 図及び第 21 図参照)で 80m の浅部ボーリングを実施し、両ボーリング間で MIS7 の層準に 31m の高度差があることを示した。われわれが実施した稠密発震の高分解能反射法地震探査(横倉ほか, 2013, 2014)の処理結果の深度断面に上記のボーリングデータを重ねたものを第 26 図に示す。深度断面には静補正処理の不備による乱れが存在するが、MIS7 層準の 31m という

高度差は反射法の結果と整合的である。深度断面では MIS7 層準よりもさらに上位まで変形がおよんでいることが読み取れることから、この低角逆断層は第四紀後期を通じて活動的である可能性がある。BT1 と測線西端で比較すると、MIS7 層準で約 47m、MIS11 層準で約 83m の高度差がそれぞれ存在する。MIS7、MIS11 のそれぞれの年代 243 ~ 191ka、424 ~ 372ka を考慮すると、勇払背斜は 0.20 ~ 0.25m/ky 程度の平均上下変位速度を持つことになる。変形がさらに西方の苫小牧西港にまでおよんでいるとすると、小松原ほか(2014a) が示したように BT1 と TMK ポーリング (近藤ほか, 1996) 間で、MIS7 及び洞爺テフラ (Toya) がそれぞれ 50 ~ 55m、30m 程度の高度差があることから、もう少し大きい 0.2 ~ 0.3m/ky 程度の平均上下変位速度となる。

また佐藤 (2014) は音波探査の解析から、勇払背斜において T3 層 (その最上部が MIS6 に相当するとしている) が 30m 程度の上下変位を示すことから、0.1m/ky オーダーの平均上下変位速度を有していると同様な結論に達している。

別の見積もりとしては、非常に粗いものではあるが、反射断面に現れたすべり面での変位を使用する方法がある。SI95-A 測線 (第 3 図)、SI95-B 測線 (第 4 図) では、低角なすべり面での南長沼層の変位はそれぞれ 4km、6km 程度となる。この低角逆断層運動がいつからどのように始まったか正確には言えないが、先に見たように勇払背斜の活動は荷菜層堆積時にはほとんど開始しておらず、萌別層堆積時に活発になったと考えられることから、約 4Ma 以降これらの変位が生じたと考えられる。もしそうだとすればこの間のすべり面に沿った平均変位速度はそれぞれ 1.0m/ky、1.5m/ky という大きなものとなる。

また GSI 勇払測線 1 (第 16 図) の丘陵頂部付近の断層はすべり面において約 1km の変位があり、ここでも 4Ma 以降この変位が生じたとすれば、すべり面上の平均変位速度は 0.25m/ky 程度、断層の傾斜が約 55° とし平均上下変位速度は 0.20m/ky 程度となる。これは苫小牧東港付近の勇払背斜の成長速度と同程度となる。ただし丘陵部の断層活動はもっと前から始まっていると考えられるので、この値は上限値である。一方丘陵部の隆起には下位の低角逆断層による寄与もあるはずである。低角のすべり面上で南長沼層・幌内層は約 6km の変位を有する。これがすべて 4Ma 以降の変位であるとする、すべり面上での平均変位速度は 1.5m/ky 程度となる。角度を 10 ~ 30° と仮定すると、上下変位速度は 0.3 ~ 0.8m/ky 程度となる。トータルでは 0.5 ~ 1.0m/ky 程度以下となり、地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2010) の 0.4m/ky と同程度から倍程度の値となる。

5. まとめ

既存反射法データ及び本プロジェクトで新たに実施した 5 測線のデータを使用し、石狩低地南部周辺の地下地質構造、特に石狩低地東縁断層帯南部の背斜の連続性、活動開始時期等を検討した。本地域には多くの坑井があるが、地層境界の深度について異なった見解があるなど、必ずしも各坑井間で整合性がとれているとは限らない。また反射法地震探査断面の解釈や坑井柱状図で使用されている地層名はその指し示す範囲が文献毎に異なっている可能性がある。そこでできるだけ統一した基準で地層境界をトレースすることを試みた。その際に、石油開発公団 (1973b) 基礎物理探査「石狩平野」が非常に役立った。その結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 陸域から沿岸域では浜厚真背斜と勇払背斜の 2 系列を明瞭に区別することができる。測線と背斜軸が直交に近いとき背斜は短波長に見え、大きく斜交しているときは長波長に見えるという単純な原理で、陸域-浅海域の反射断面に見られる各背斜の連続する方向を判断できる。
- (2) 浜厚真背斜は陸域では苫小牧市柏原付近から南東方向へ浜厚真付近まで延び、海域では鶴川沖背斜方面へ続き、さらに雁行状に南南東へと連なる。
- (3) 勇払背斜は静川台地中央西端付近から苫小牧東港へ向かってほぼ南方へ延び、海域でも苫小牧リッジに沿って雁行状に南方へ連なる。
- (4) 反射断面に見られる背斜周辺の onlap 構造などの背斜の成長を示す指標を使用して背斜の活動開始時期を検討したところ、浜厚真背斜は荷菜層堆積時に、また勇払背斜は萌別層堆積時にそれぞれ活動を開始し、両者の活動開始時期には明瞭な違いがある。
- (5) 各反射断面に見られる低角逆断層のすべり面のフロントは、陸域では地表で見られる撓曲から 6km 程度西方にまで達している。海岸付近から海域ではその分布は苫小牧リッジによって規制されており、苫小牧リッジの鞍部となっている海岸付近においては周辺に比較して 5km ほど西方へ張り出している。
- (6) 石狩低地東縁断層帯主部は少なくともむかわ町二の宮付近まで延長している可能性がある。すなわち地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2010) が示した同断層帯主部の南端よりも更に南東方へ少なくとも約 18km 延長している可能性がある。
- (7) 背斜あるいは低角逆断層の活動性についてのデータは数少ないが、層序ポーリングと高分解能反射断面を比較することにより、勇払背斜の平均上下変位速度は 0.20 ~ 0.25m/ky 程度であると推定できる。
- (8) 反射断面上に見られる変位を利用したラフな推定

では、低角すべり面上での平均変位速度は1～1.5m/ky程度と大きな値となる可能性がある。丘陵部における平均上下変位速度は、低角すべり面の傾斜に依存するが、10～30°を仮定すると0.5～1.0m/ky程度以下となる。これは地震調査研究推進本部地震調査委員会(2010)の推定値0.4m/kyと同程度から倍程度の値となる。

今回、構造と斜交する断面が多いため、解釈に当たってバランス断面法を使用していないが、バランス可能な測線については今後順次バランス断面法を実施していく予定である。また十分に展開していない海域測線の解釈についても今後継続実施していく予定である。

謝辞: 本調査の実施にあたり、安平町役場、苫小牧市役所、国土交通省北海道開発局苫小牧道路事務所、北海道胆振総合振興局苫小牧出張所、陸上自衛隊東千歳駐屯地、厚真町役場、むかわ町役場、勇払自治会、苫小牧港管理組合、北海道電力苫東厚真発電所、(株)苫東、北海道経済産業局の方々に多くのご協力をいただいた。またGSJ勇払測線の現地調査は、サンコーコンサルタント(株)に委託して実施した。本研究計画を進めるにあたり、独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構には石油・天然ガス基礎調査関連の各種資料の貸与許可、及びそれらを利用した研究成果の公表許可を頂いた。東京大学地震研究所の吉井敏尅名誉教授及び岩崎貴哉教授から「長沼85」及び「苫小牧86」の反射法地震探査データの再解析及びそれらを利用した研究成果の公表許可を頂いた。本報告で使用した処理結果の一部には(株)地球科学総合研究所との共同研究の成果が含まれている。本報告をまとめるにあたり、産業技術総合研究所地質情報研究部門尾崎正紀博士・小松原琢博士・佐藤智之博士より多くの地質情報をご教示いただいた。また同地圏資源環境研究部門横田俊之博士による査読は本報告の改善に大きく役立った。また第1, 2, 21, 22, 24図の作成にGMT mapping tools (Wessel and Smith, 1998)を使用した。上記関係諸機関・諸氏に心からの謝意を表します。

文 献

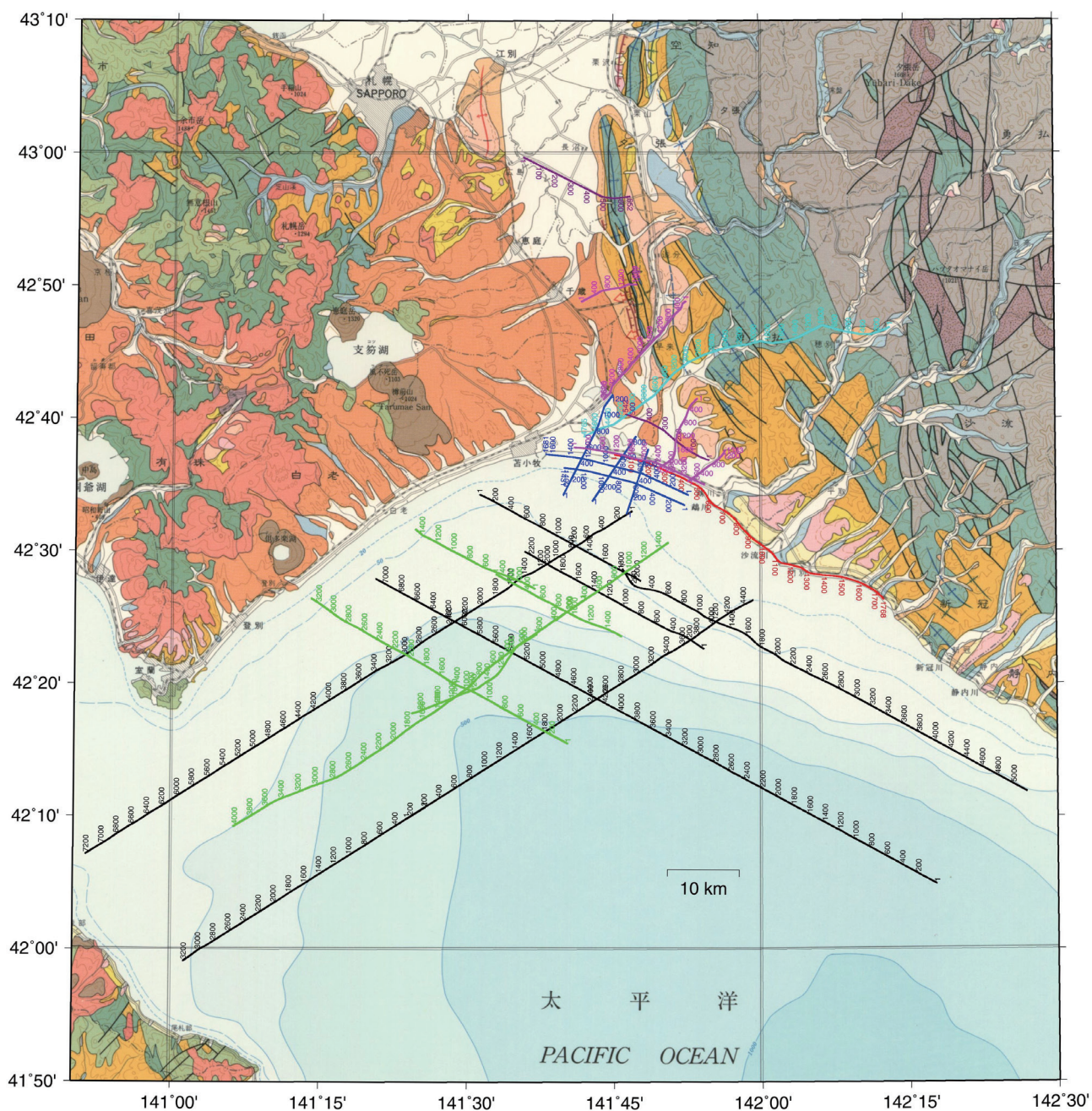
- Aoki, N., Narahara, S., Takahashi, A., and Nishiki, T. (2010) Imaging of conflicting dipping events by the multi-dip reflection surfaces method. SEG Expanded Abstract. 浅野周三・嶋悦三・松田時彦・吉井敏尅・斎藤正徳・岡田 広・小林啓美・瀬尾和夫・入倉孝次郎・鳥羽武文・朝倉夏夫・田村八洲夫・井川 猛・高橋明久・森谷武男・笹谷 努・松島 健・梅戸在明・岩田知孝(1989)地震動予測精密化のための地下深部構造の研究. 文部省科学研究費自然災害特別研究 研究成果, No.A-63-3, 163p.
- 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, no.22, 63-66.
- 平松 力(2004)勇払油・ガス田における上部中新統～鮮新統の珪藻化石層序. 石油技術協会誌, 69, 291-299.
- 北海道(2001)「石狩低地東縁断層帯 活断層図とその解説」. 北海道活断層図 No.3, 157p.
- 池田国昭・羽坂俊一・村瀬 正(1995)北海道勇払平野の完新統分布と地形発達. 地質調査所報告, 46, 283-300.
- 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, 254p.
- 伊藤谷生・森谷武男・井川秀雅・井川 崇・在田一則・津村紀子・篠原雅尚・宮内崇裕・木村 学・奥池司郎・清水信之・井川 猛(1999)日高衝突帯におけるデラミネーションウェッジ構造. 月刊地球, 21, 130-136.
- 伊藤谷生(2000)日高衝突帯-前縁褶曲・衝上断層帯の地殻構造. 石油技術協会誌, 65, 103-109.
- 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)」. 34p.
- 加藤直子・佐藤比呂志・松多信尚・平川一臣・越谷 信・宮内崇裕・戸田 茂・加藤 一・蔵下英司・越後智雄・三縄岳大・永井 悟・荻野スミ子・鑑 顕正・川中 卓・井川 猛(2002)日高衝上断層系前縁部・馬追丘陵西縁を横切る反射法地震探査. 東京大学地震研究所彙報, 77, 111-121.
- Kato, N., Sato, H., Orito, M., Hirakawa, K., Ikeda, Y. and Ito, T. (2004) Has the plate boundary shifted from central Hokkaido to the eastern part of the Sea of Japan?, Tectonophysics, 388, 75-84.
- 活断層研究会編(1991)「新編日本の活断層-分布図と資料」. 東京大学出版会, 437p, 4sheets.
- 経済産業省産業技術環境局 CCS 実証試験実施に向けた専門検討会(2011)苫小牧地点における「貯留層総合評価」及び「実証試験計画(案)」に係る評価. 参考資料1 苫小牧地点における貯留層総合評価. 平成23年12月. http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/sangi/ccs/report_001.html
- Kimura, G. (1996) Collision orogeny at arc-arc junctions in the Japanese Islands. *Island Arc*, 5, 262-275.
- 小松原 琢・康 義英・小松原純子(2014a)勇払平野と支笏火砕流台地地下の地下地質と活構造. 海陸シームレス地質情報集, 「石狩低地帯南部沿岸域」, 海陸シームレス地質図 S-4 (DVD), 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 小松原 琢・小松原純子・田辺 晋・本郷美佐緒・植

- 木岳雪・中島 礼・石原武志 (2014b) 勇払平野と支笏火砕流台地地下の上部第四系層序ボーリング. 海陸シームレス地質情報集, 「石狩低地帯南部沿岸域」, 海陸シームレス地質図 S-4 (DVD), 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 駒澤正夫・大熊茂雄・押田 淳 (2013) 苫小牧沿岸域における海底重力調査. 平成 24 年度沿岸域の地質・活断層調査研究報告, 産業技術総合研究所地質調査総合センター速報, no.62, 91-96.
- 近藤 努・五十嵐八枝子・吉田充夫・井上俊和・平信行・山崎正道・岡村 聡・前田寿嗣・嵯峨山積・菅原 眞・国分公貴・安井 賢 (1996) 石狩低地帯最南部地下の第四系-特に最終間氷期の相対的海水順変化の検討. 地質学雑誌, **102**, 312-329.
- 国安 稔・山田泰広 (2004) 中央北海道南部地域の深部構造. 石油技術協会誌, **69**, 131-144.
- 栗田裕司・横井 悟 (2000) 中央北海道南部における新生代テクトニクスの変遷と油田構造形成. 石油技術協会誌, **65**, 58-70.
- 松野久也・秦 光男 (1960) 追分 (札幌-第 32 号). 5 万分の 1 地質図幅説明書, 北海道開発庁, 34p, 英文要旨 6p.
- 松野久也・石田正夫 (1960) 早来 (札幌-第 43 号). 5 万分の 1 地質図幅説明書, 北海道開発庁, 35p, 英文要旨 5p.
- 茂木昭夫 (1964) 北海道勇払原野沖海底の沈水地形. 第四紀研究, **3**, 141-152.
- 長尾捨一・小山内 熙・石山昭三 (1959) 恵庭 (札幌-第 31 号). 5 万分の 1 地質図幅説明書, 北海道開発庁, 31p.
- 中田 高・今泉俊文編 (2002) 「活断層詳細デジタルマップ」. 東京大学出版会, DVD-ROM 2 枚, 60p. 付図 1 葉.
- 日本 CCS 調査株式会社 (2009) 苫小牧沖 3 次元弾性波探査による CCS 可能性調査について. News Release, 平成 21 年 7 月 6 日.
- 日本 CCS 調査株式会社 (2010) 苫小牧地点での追加 3 次元弾性波探査の実施について. News Release, 平成 22 年 7 月 3 日.
- 尾崎正紀・小松原 琢 (2014) 石狩低地帯及び周辺地域の 20 万分の 1 地質図及び説明書. 海陸シームレス地質情報集, 「石狩低地帯南部沿岸域」, 海陸シームレス地質図 S-4 (DVD), 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 嵯峨山積・保柳康一・宮坂省吾 (1992) 中央北海道日高海岸地域の第三系珪藻生層序と粗粒堆積の形成期. 地質学雑誌, **98**, 309-321.
- 佐藤比呂志・平川一臣・池田安隆・折戸雅幸・井川猛 (1998) 苫小牧市勇払の伏在活断層. 平成 10 年度石油技術協会春季講演会個人講演要旨, 石油技術協会誌, **63**, 323-324.
- 佐藤智之 (2014) 勇払平野沿岸域 20 万分の 1 海底地質図説明書. 海陸シームレス地質情報集, 「石狩低地帯南部沿岸域」, 海陸シームレス地質図 S-4 (DVD), 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 佐藤智之・内田康人・輿水健一・片山 肇・池原 研 (2013) 石狩低地帯東縁断層帯の海域への延長. 活断層研究, no. 39, 17-28.
- 寒川 旭・衣笠善博・垣見俊弘 (1984) 1:500,000 活構造図 図幅第 4 号「札幌」. 地質調査所. 産業技術総合研究所 (2007) 石狩低地帯東縁断層帯の活動性及び活動履歴調査「基盤的調査観測対象断層帯の追加・補完調査」成果報告書 No.H18-8, 35p.
- 石油開発公団 (1973a) 昭和 47 年度大陸棚石油・天然ガス基礎調査基礎物理探査「日高-渡島」調査報告書. 18p.
- 石油開発公団 (1973b) 昭和 48 年度石油・天然ガス基礎調査基礎物理探査「石狩平野」調査報告書. 12p.
- 石油開発公団 (1975) 昭和 49 年度石油・天然ガス基礎調査基礎物理探査「日高南部」調査報告書. 19p.
- 石油公団 (1987) 昭和 61 年度国内石油・天然ガス基礎調査海上基礎物理探査「道南-下北沖」調査報告書. 36p.
- 石油公団 (1993) 平成 3 年度国内石油・天然ガス基礎調査陸上基礎物理探査「日高地域」調査報告書. 25p.
- 石油公団 (1996) 平成 7 年度国内石油・天然ガス基礎調査海上基礎物理探査「胆振沖浅海域」調査報告書. 35p.
- 辻野 匠・井上卓彦 (2012) 日高舟状海盆海底地質図. 海洋地質図, 77 (CD), 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 佃 栄吉・下川浩一・杉山雄一・横倉隆伸・阿蘇弘生 (1993) 北海道馬追丘陵下のブラインドスラストの評価. 日本地質学会第 100 年学術大会講演要旨集, 505.
- Wessel, P. and Smith, W. H. F. (1998) New, improved version of generic mapping tools released. *EOS Trans. AGU*, **79**, 579.
- 山口和雄・横倉隆伸・岡田真介・阿部 進 (2014) 勇払周辺の反射法地震探査データ再解析. 海陸シームレス地質情報集, 「石狩低地帯南部沿岸域」, 海陸シームレス地質図 S-4 (DVD), 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 山口昇一 (1960) 鶴川 (札幌-第 54 号). 5 万分の 1 地質図幅説明書, 地質調査所, 29p, 英文要旨 5p.
- 横倉隆伸・山口和雄・岡田真介 (2013) 石狩低地帯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-. 平成 24 年度沿岸域の地質・活断層調査研究報告, 産業技術総合研究所地質調査総合センター速報,

no.62, 47-61.

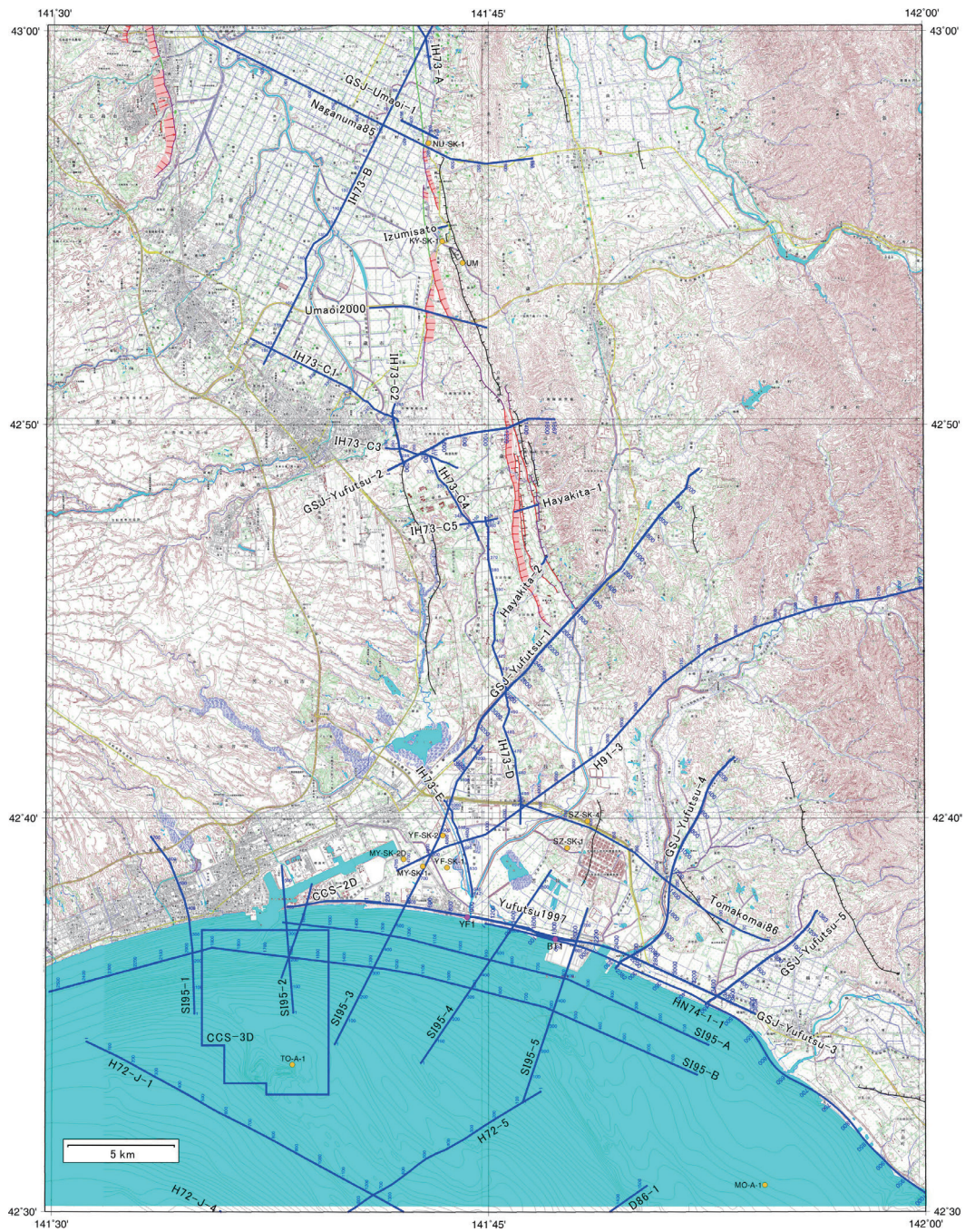
横倉隆伸・山口和雄・岡田真介 (2014) 勇払周辺の新たな反射法地震探査データの解析. 海陸シームレス地質情報集, 「石狩低地帯南部沿岸域」, 海陸シームレス地質図 S-4 (DVD), 産業技術総合研究所地質調査総合センター.

(受付 : 2014 年 4 月 8 日 ; 受理 : 2014 年 5 月 21 日)



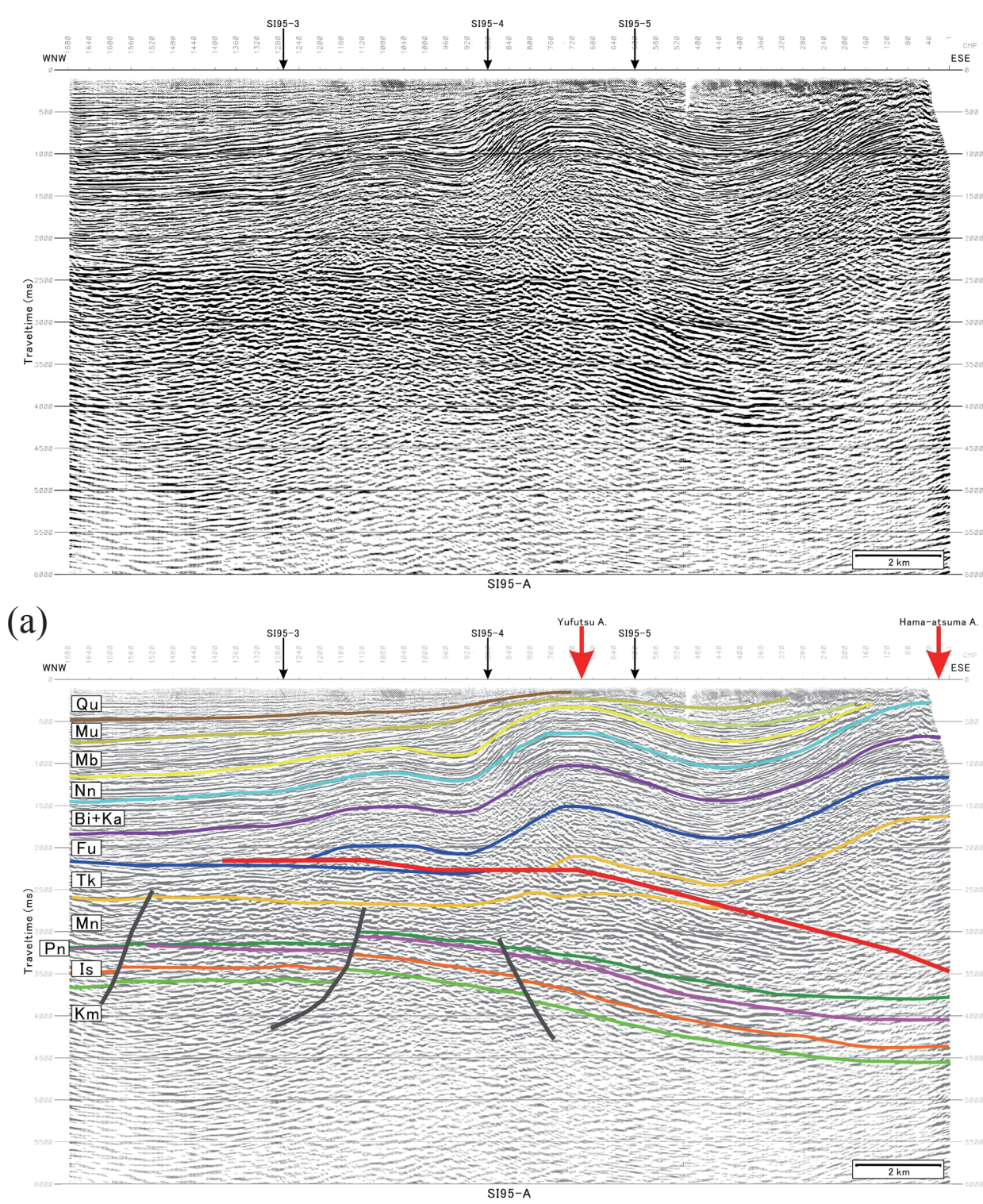
第1図 探査測線及び再処理測線の全体図. マゼンタ色線：本プロジェクトで実施した新たな探査測線.
 その他の色：再処理対象測線. 基図：1:500,000 活構造図「札幌」(寒川ほか, 1984).

Fig.1 Index map of the newly surveyed and re-processed seismic reflection lines. Magenta lines: newly surveyed seismic lines, conducted under this project. Other colors: re-processed ones. Base map: 1:500,000 Neo-tectonic map "Sapporo" (Sangawa *et al.*, 1984).



第2図 石狩低地南部周辺の反射法地震探査測線。青線：既存反射法地震探査測線。マゼンタ色丸：小松原ほか(2014b)の浅部ボーリングBT1, YF1の位置。濃黄色丸：深部ボーリング概略位置。活断層データ：中田・今泉編(2002)による。海底地形：日本水路協会発行海底地形デジタルデータ M7006「津軽海峡東部」。基図：国土地理院数値地図 50,000「苫小牧」、「鶴川」、「千歳」、「早来」、「恵庭」、「追分」。

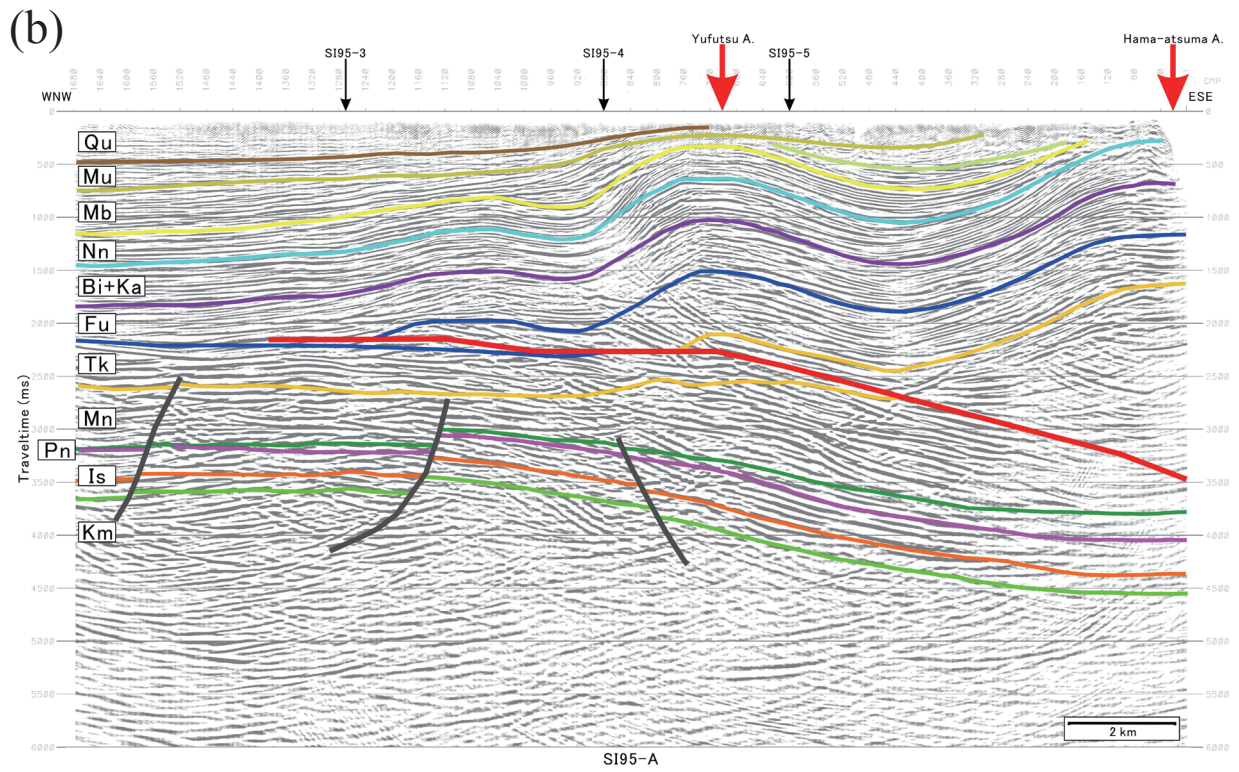
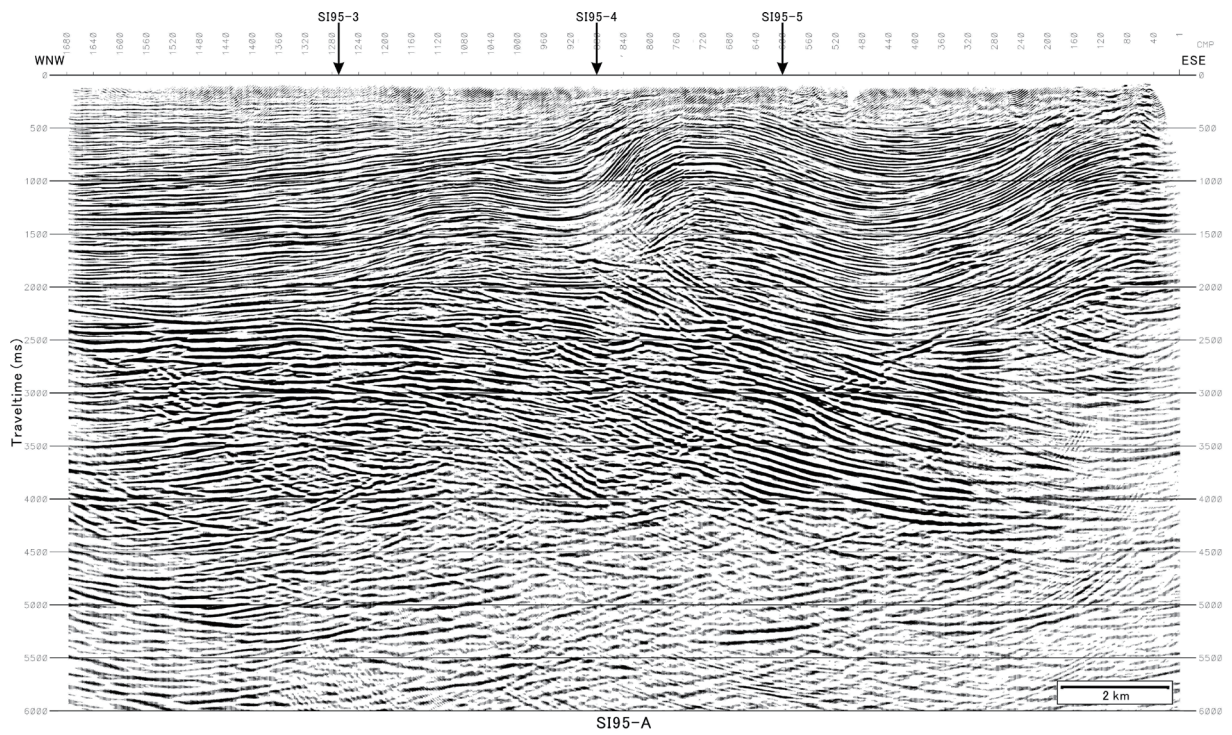
Fig.2 Seismic reflection survey lines around the southern part of the Ishikari lowland. Blue lines: seismic reflection survey lines. Magenta circles: BT1 and YF1 shallow boring sites by Komatsubara *et al.* (2014b). Dark yellow circles: approximate locations of nearby deep boring sites. Active fault data: after Nakata and Imaizumi, ed. (2002). Bathymetry: M7006 “East part of Tsugaru kaikyo”, M7000 Digital Bathymetric Chart, Japan Hydrographic Association. Base map: Tomakomai, Mukawa, Chitose, Hayakita, Eniwa and Oiwake, Digital Map 50,000 (Map Image), Geographical Survey Institute.



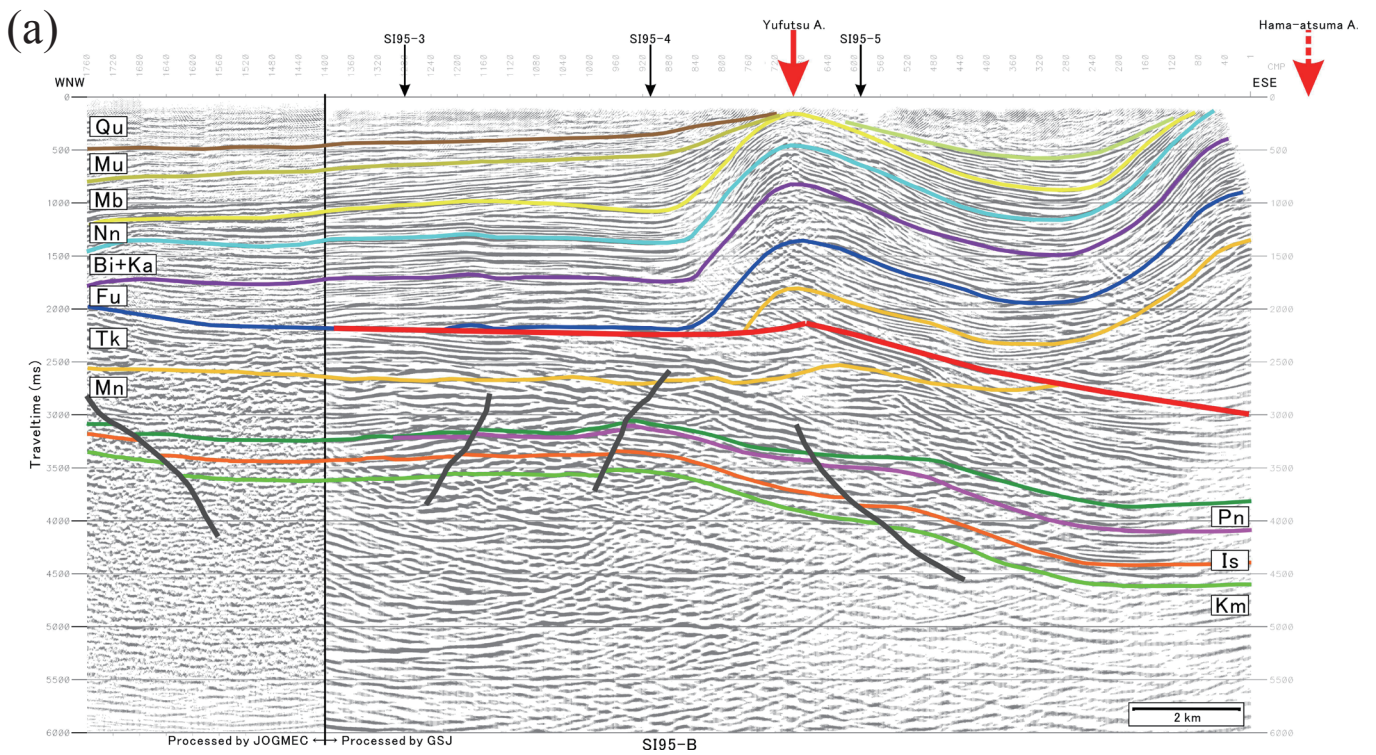
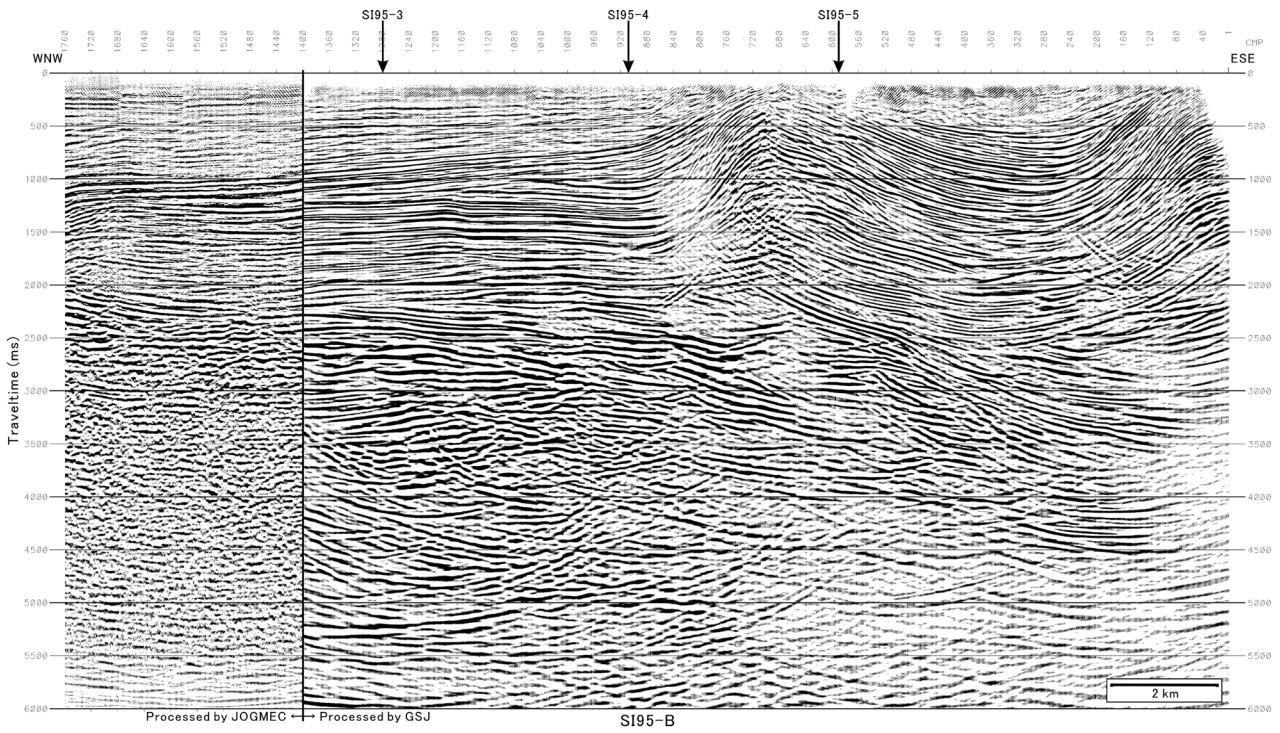
第3図 SI95-A 測線の解釈図 (a)通常処理マイグレーション後時間断面。(b)MDRS 処理マイグレーション後時間断面。上段：元の断面。下段：解釈断面。地層名の略号は以下の各解釈図ですべて共通であり、以下の通りとなっている。Qu：第四系，Mu：鶴川層，Mb：萌別層，Nn：荷菜層，Bi：平取層，Ka：軽舞層，Fu：振迫層，Kb：川端層，Tk：滝の上層，Mn：南長沼層，Pn：幌内層，Is：石狩層群，Km：隈根尻層群。赤太線：活断層。黒太線：滝の上層堆積時以前に活動した正断層。赤矢印：背斜軸。

Fig.3 Interpreted seismic sections of SI95-A. (a) Conventional migrated time section. (b) MDRS migrated time section. Top : original section. Bottom: interpreted section. Abbreviations are commonly used in the all interpreted sections, and are as follows. Qu: Quaternary, Mu: Mukawa Formation, Mb: Moebetsu Formation, Nn: Nina Formation, Bi: Biratori Formation, Ka: Karumai Formation, Fu: Fureoi Formation, Kb: Kawabata Formation, Tk: Takinoue Formation, Mn: Minami-Naganuma Formation, Pn: Poronai Formation, Is: Ishikari Group, and Km: Kumaneshiri Group. Red bold line: active thrust fault. Black bold lines: normal faults that was active before deposition of the Takinoue Formation. Red arrows: anticlinal axes.

反射法地震探査結果から見た石狩低地東縁断層帯南部周辺の地下地質構造



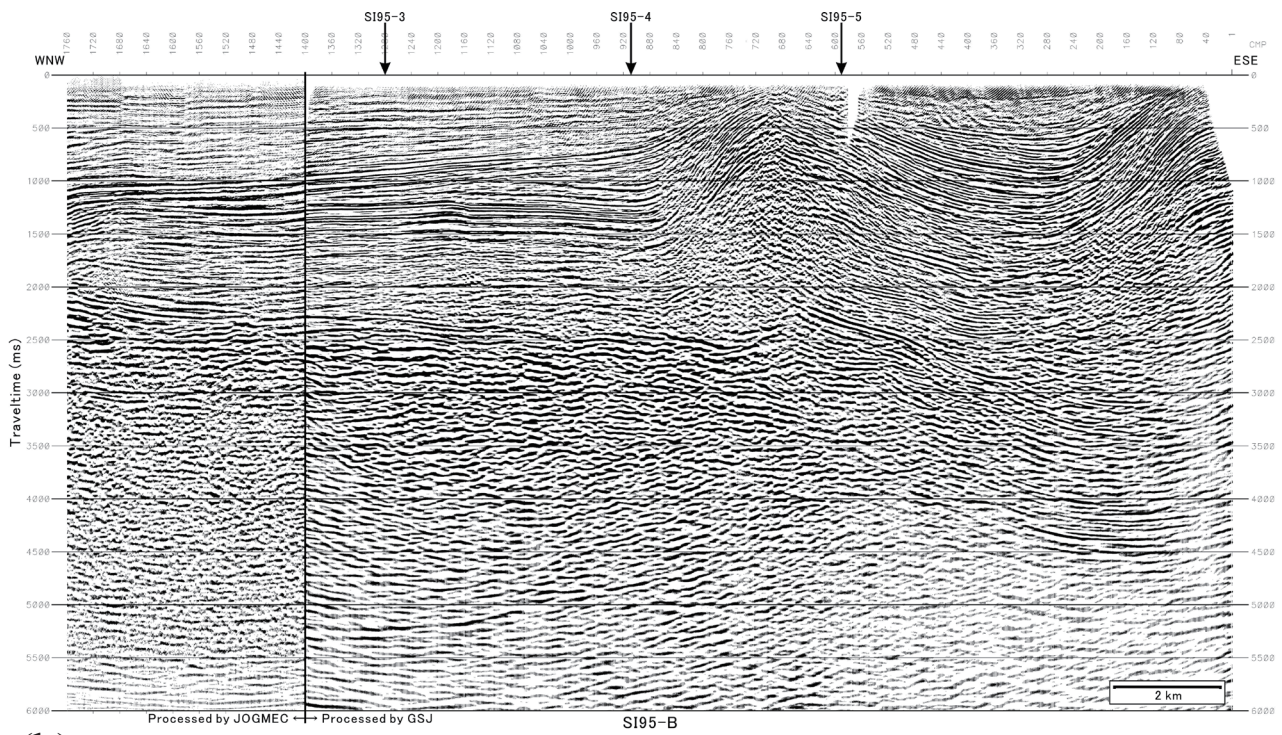
第3図 (続き)
Fig.3 (continued)



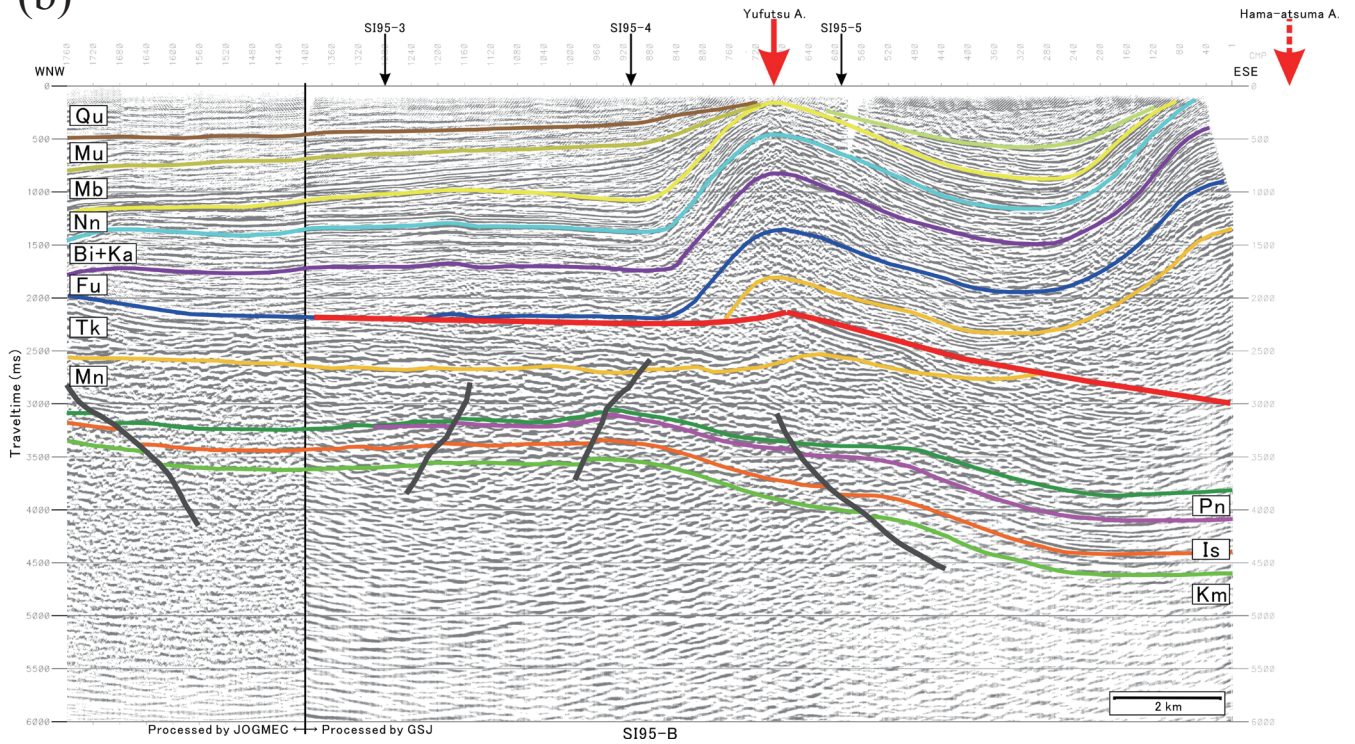
第4図 SI95-B 測線の解釈図 (a) 通常処理マイグレーション後時間断面. (b)MDRS 処理マイグレーション後時間断面. 上段：元の断面. 下段：解釈断面. 地層名の略号については第3図参照.

Fig.4 Interpreted seismic sections of SI95-B. (a) Conventional migrated time section. (b) MDRS migrated time section. Top : original section. Bottom: interpreted section. For abbreviations, see Fig.3.

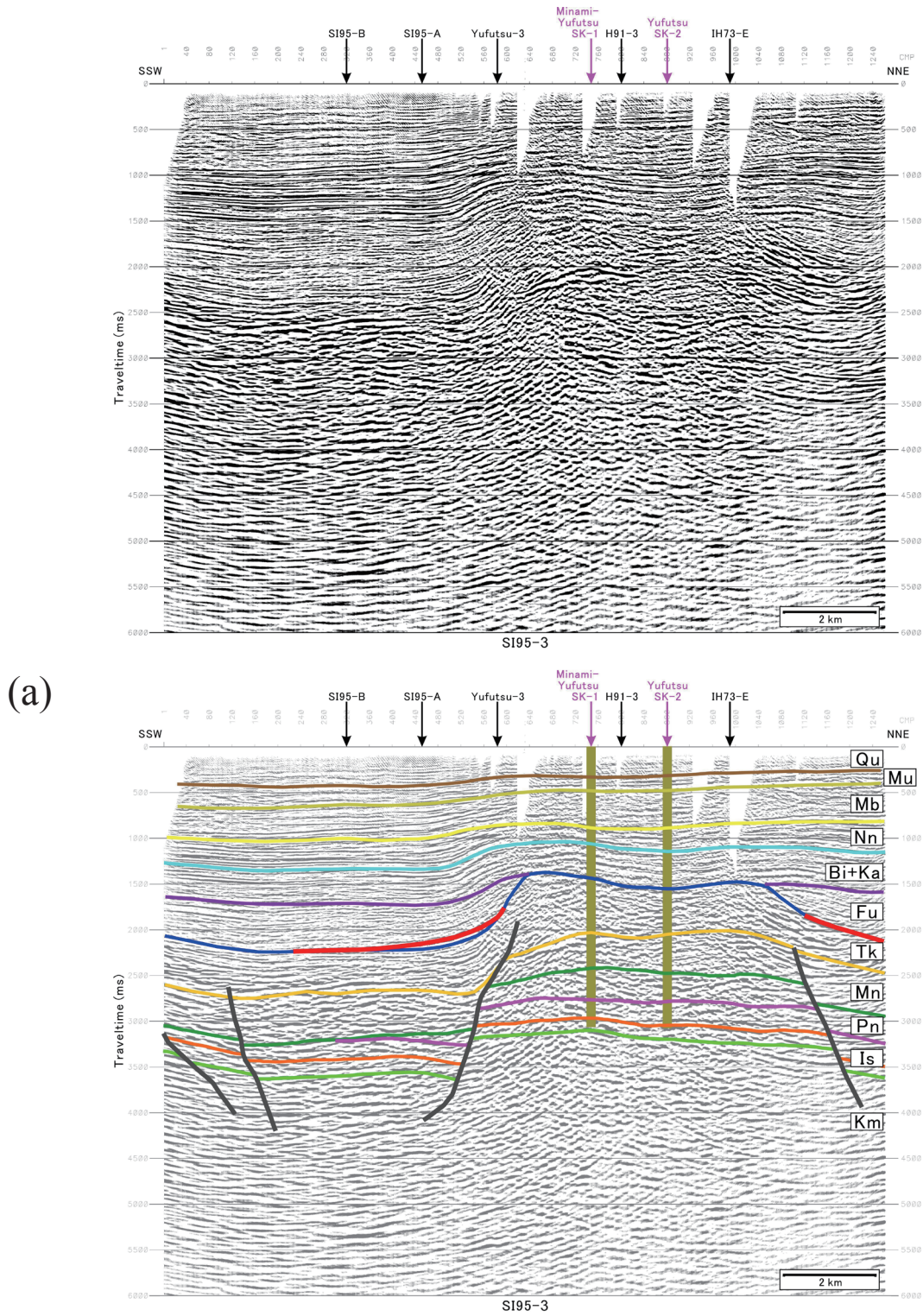
反射法地震探査結果から見た石狩低地東縁断層帯南部周辺の地下地質構造



(b)



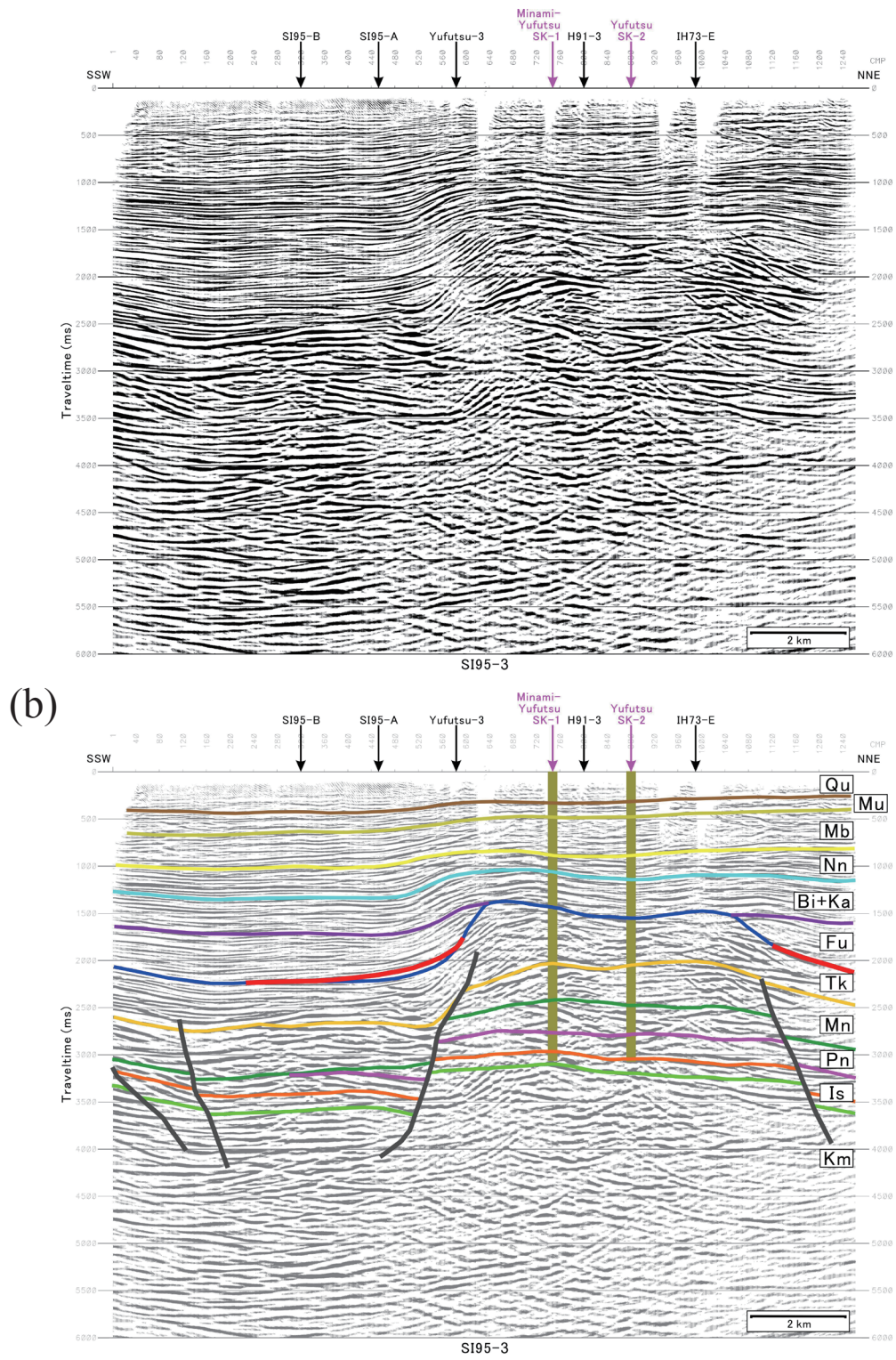
第4図 (続き)
Fig.4 (continued)



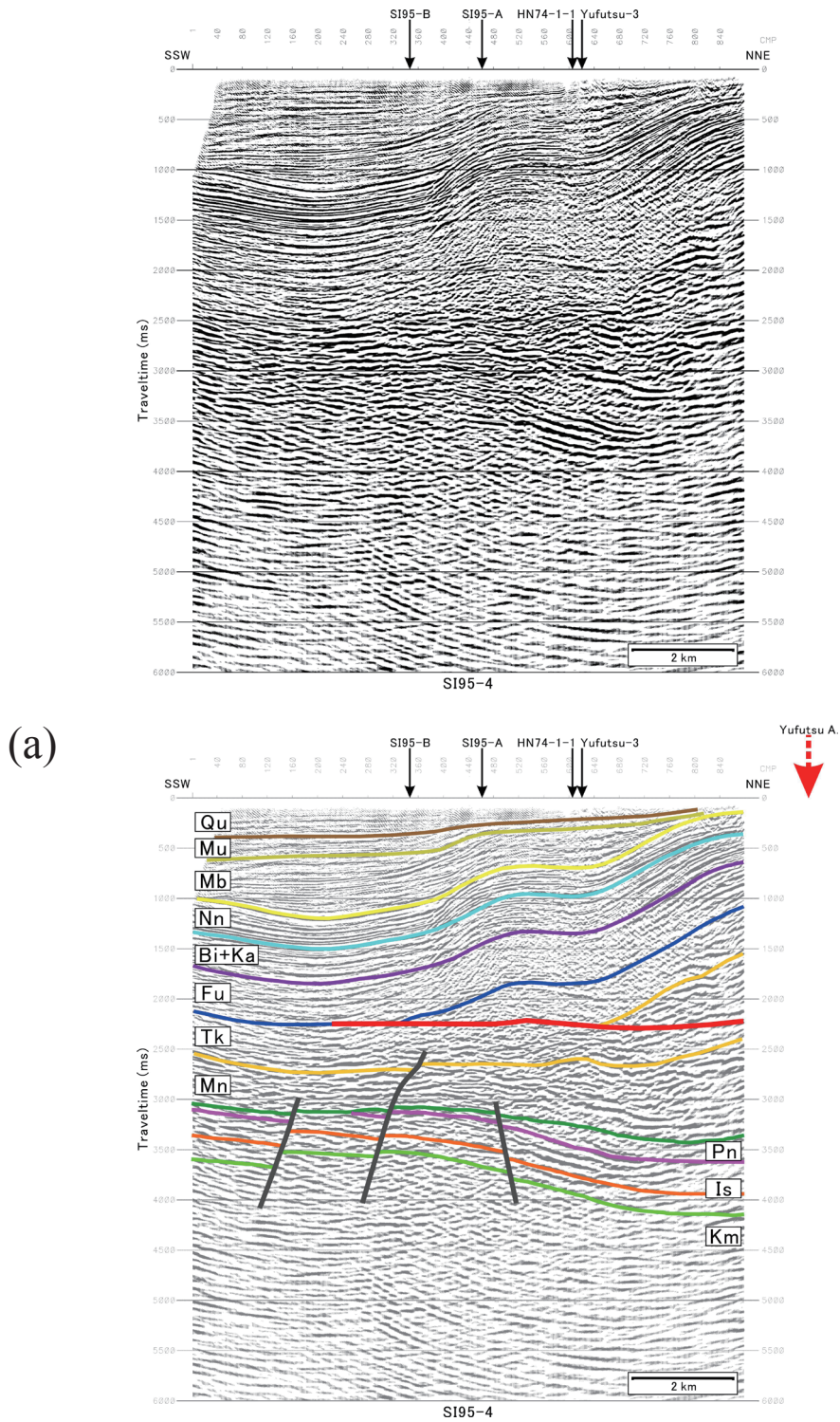
第 5 図 SI95-3 測線の解釈図 (a) 通常処理マイグレーション後時間断面。(b)MDRS 処理マイグレーション後時間断面。上段：元の断面。下段：解釈断面。地層名の略号については第 3 図参照。

Fig.5 Interpreted seismic sections of SI95-3. (a) Conventional migrated time section. (b) MDRS migrated time section. Top : original section. Bottom: interpreted section. For abbreviations, see Fig.3.

反射法地震探査結果から見た石狩低地東縁断層帯南部周辺の地下地質構造



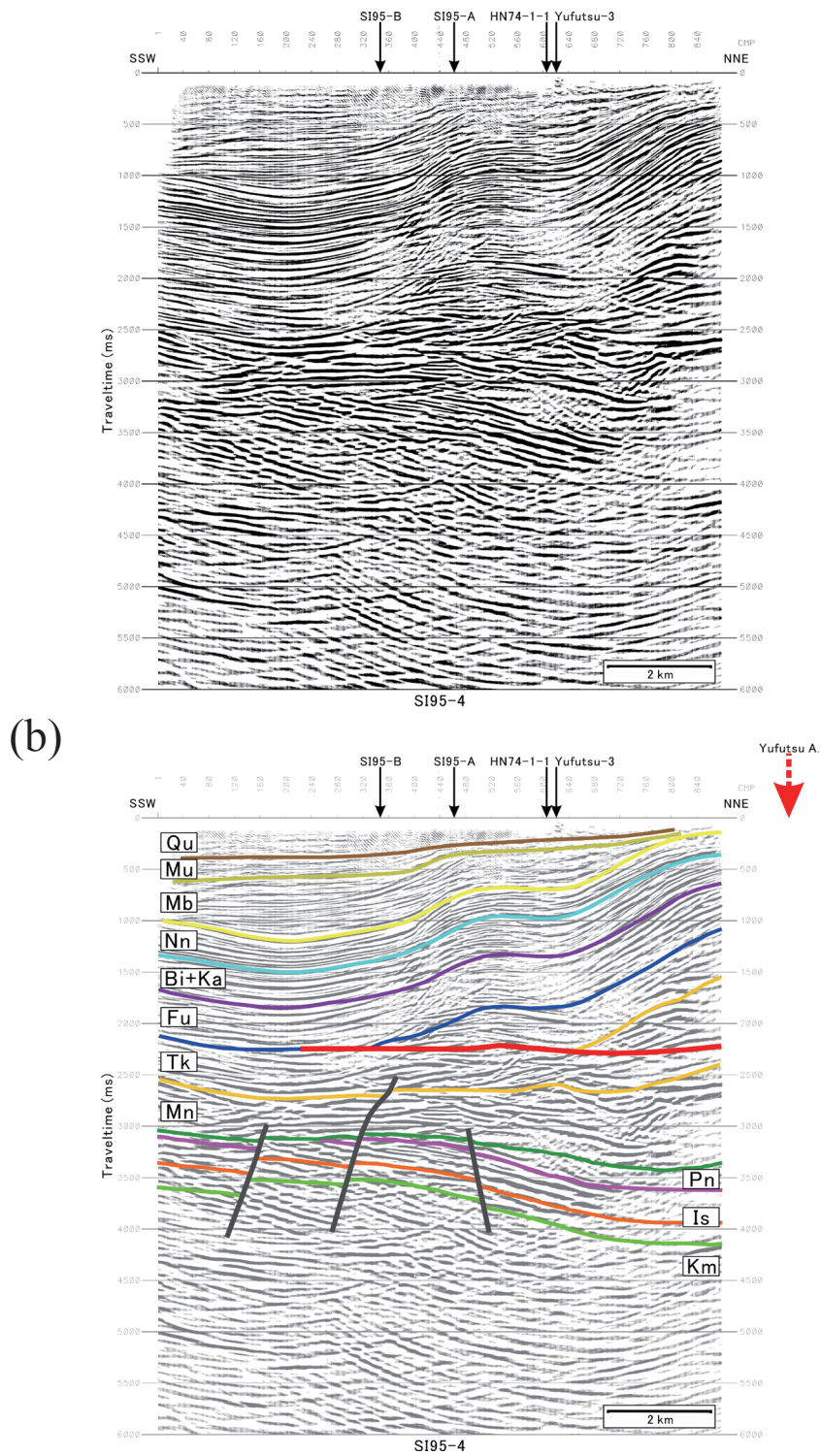
第5図 (続き)
Fig.5 (continued)



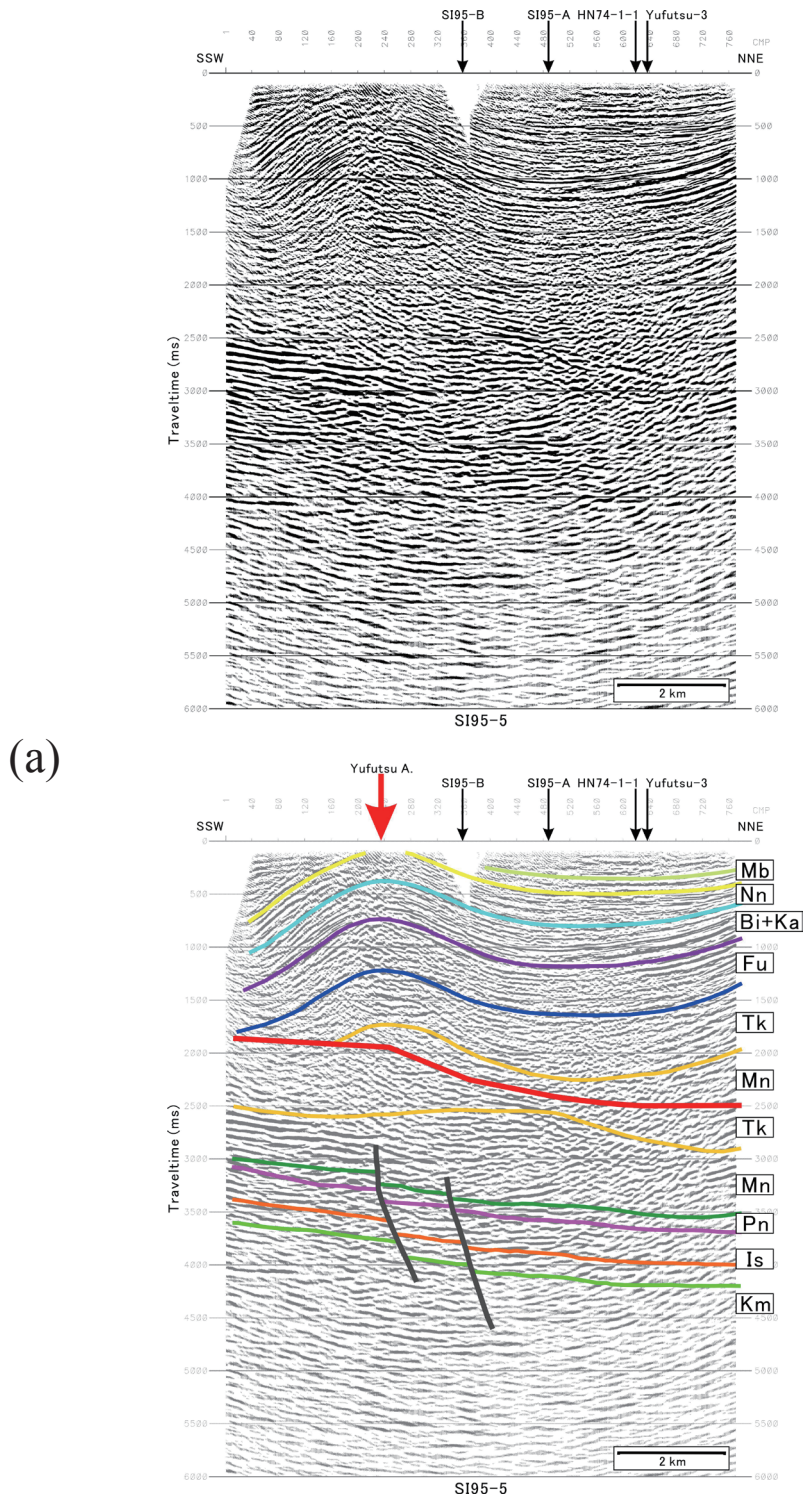
第 6 図 SI95-4 測線の解釈図 (a) 通常処理マイグレーション後時間断面. (b)MDRS 処理マイグレーション後時間断面. 上段：元の断面. 下段：解釈断面. 地層名の略号については第 3 図参照.

Fig.6 Interpreted seismic sections of SI95-4. (a) Conventional migrated time section. (b) MDRS migrated time section. Top : original section. Bottom: interpreted section. For abbreviations, see Fig.3.

反射法地震探査結果から見た石狩低地東縁断層帯南部周辺の地下地質構造



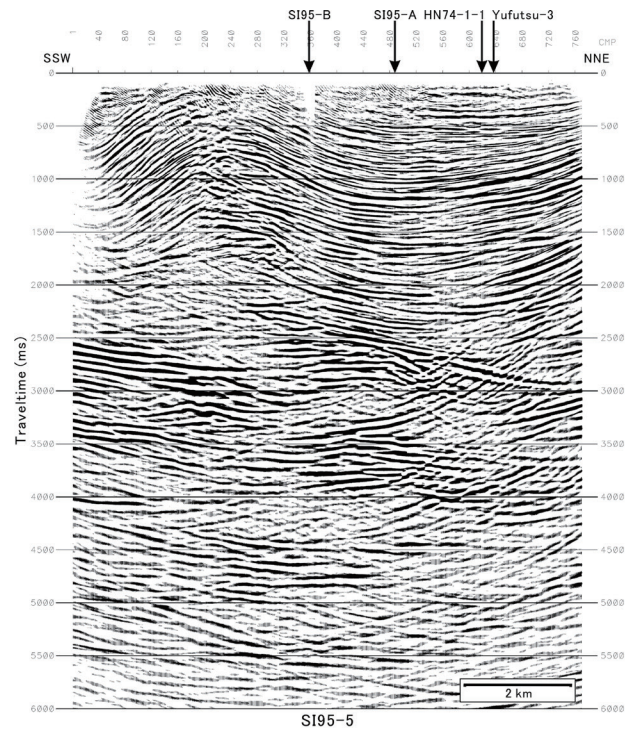
第 6 図 (続き)
Fig.6 (continued)



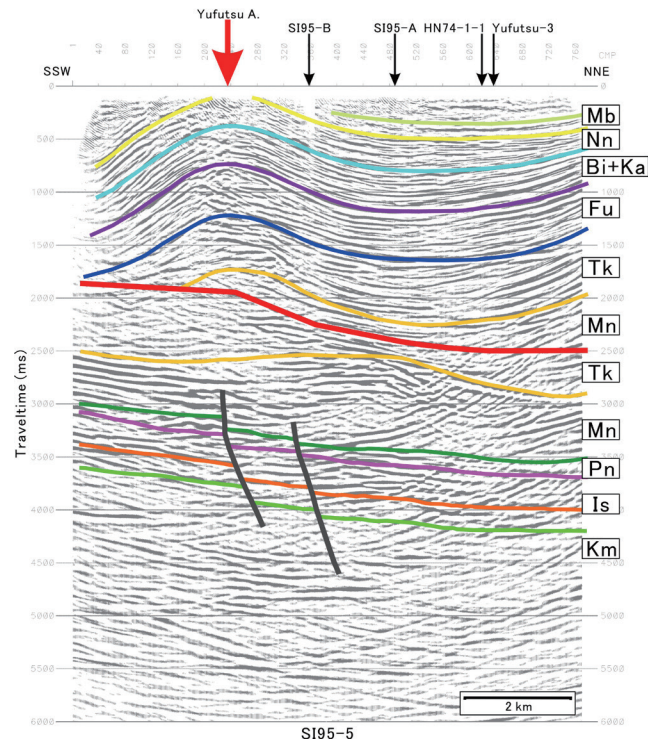
第7図 SI95-5 測線の解釈図 (a) 通常処理マイグレーション後時間断面. (b)MDRS 処理マイグレーション後時間断面. 上段：元の断面. 下段：解釈断面. 地層名の略号については第3図参照.

Fig.7 Interpreted seismic sections of SI95-5. (a) Conventional migrated time section. (b) MDRS migrated time section. Top : original section. Bottom: interpreted section. For abbreviations, see Fig.3.

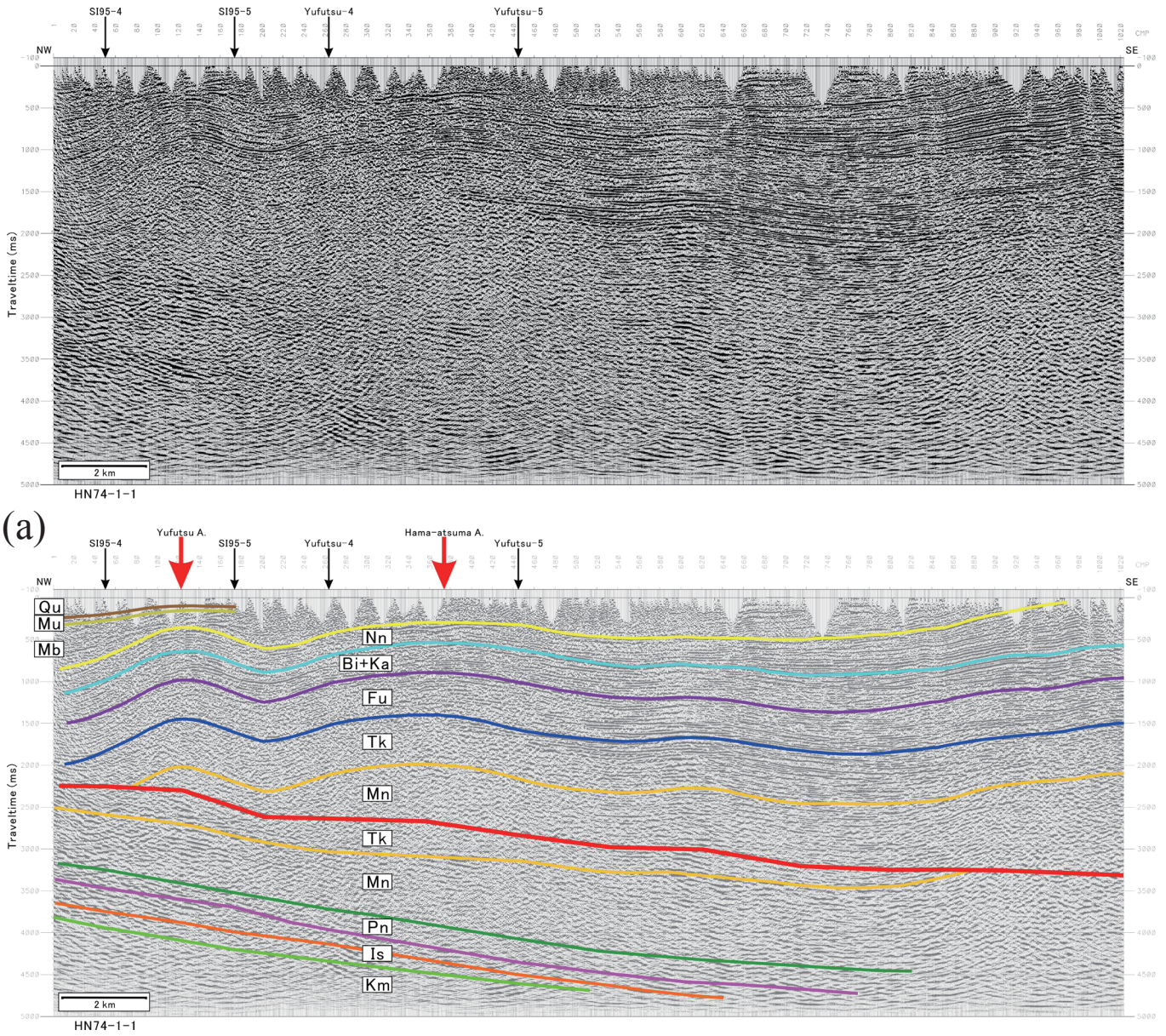
反射法地震探査結果から見た石狩低地東縁断層帯南部周辺の地下地質構造



(b)

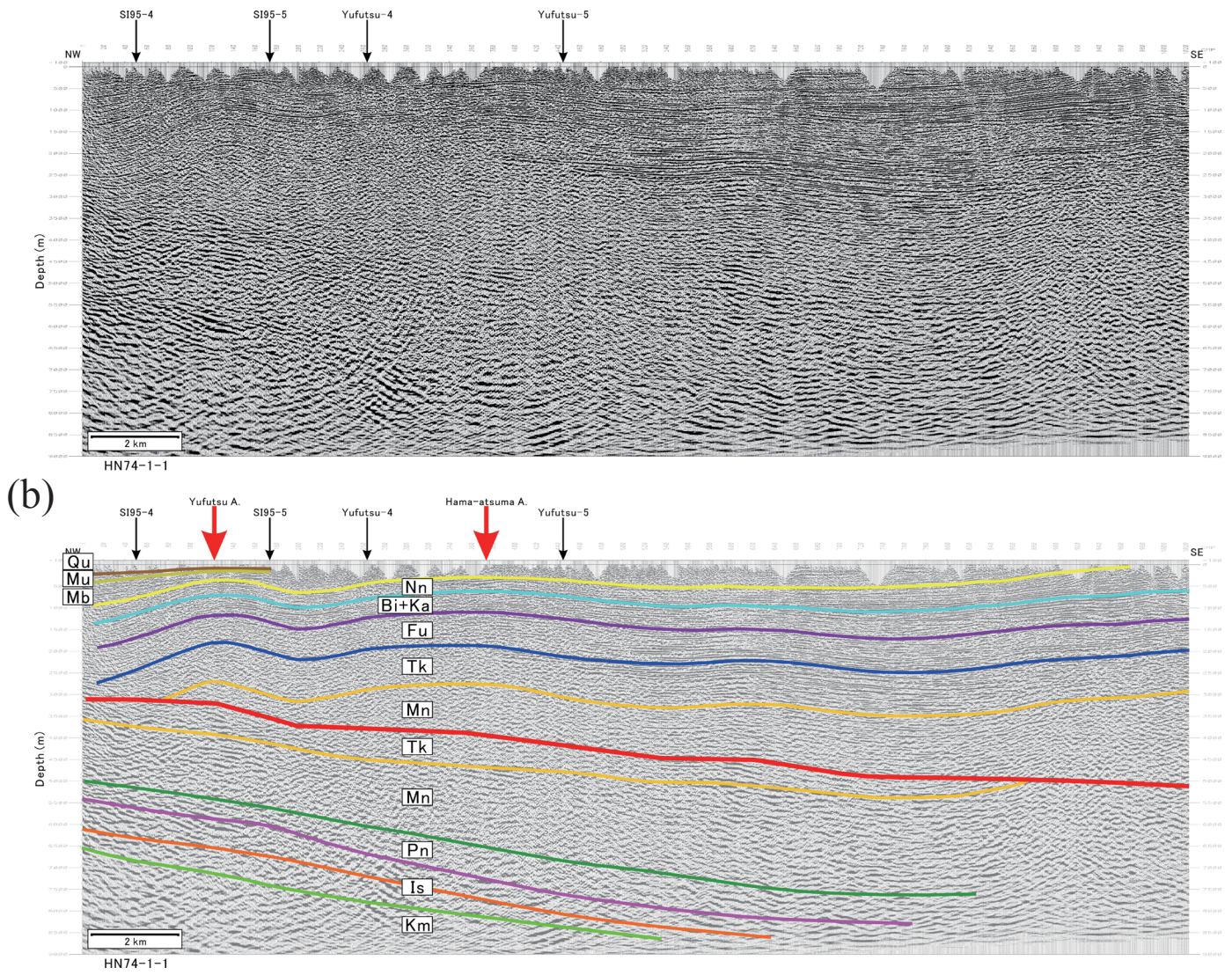


第7図 (続き)
Fig.7 (continued)

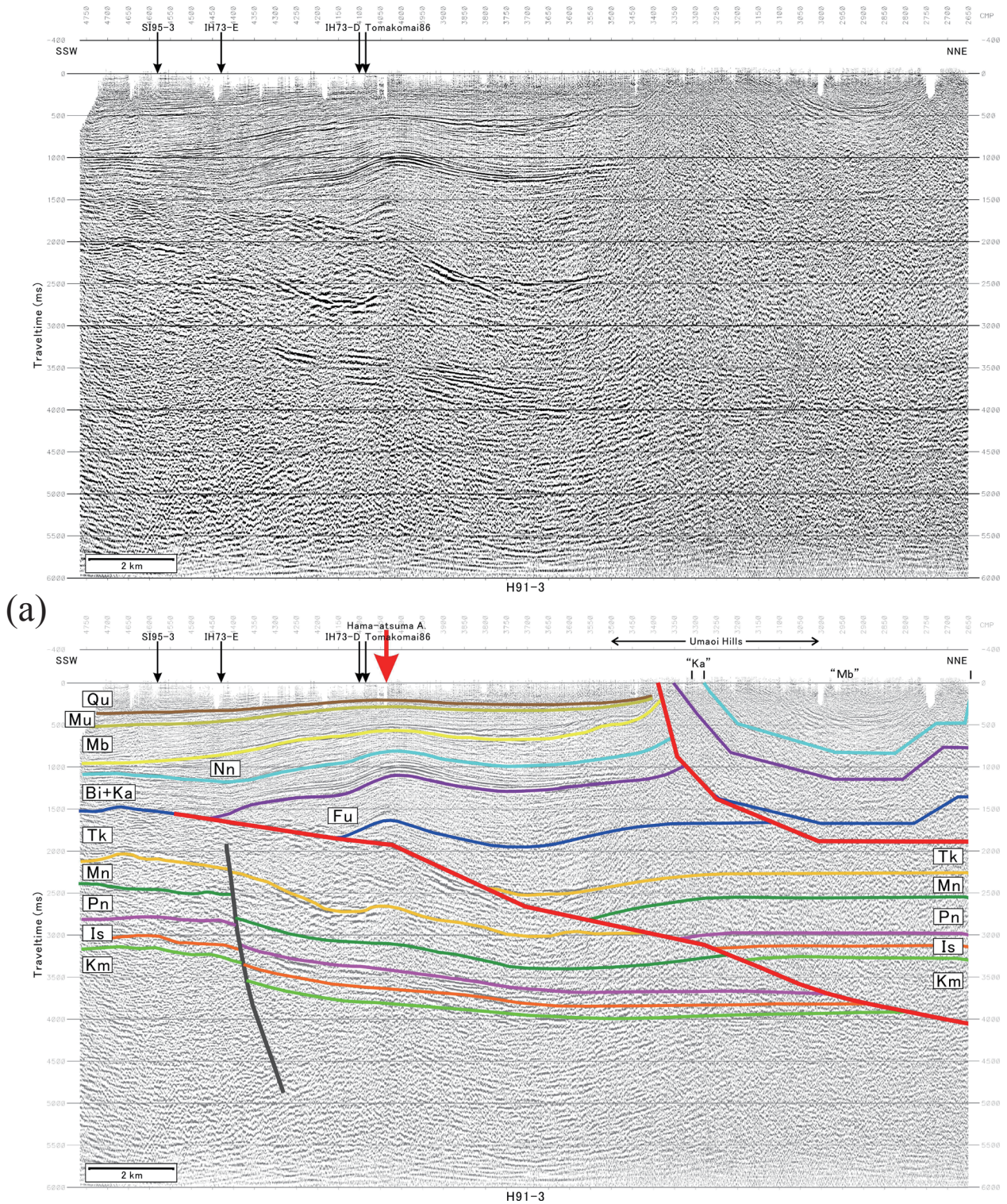


第 8 図 HN74-1-1 測線西部の解釈図 (a) 通常処理マイグレーション後時間断面. (b) 通常処理深度断面.
 上段：元の断面. 下段：解釈断面. 地層名の略号については第 3 図参照.
 Fig.8 Interpreted seismic section of western part of HN74-1-1. (a) Conventional migrated time section.
 (b) Conventional depth section. Top : original section. Bottom: interpreted section. For abbreviations, see Fig.3.

反射法地震探査結果から見た石狩低地東縁断層帯南部周辺の地下地質構造



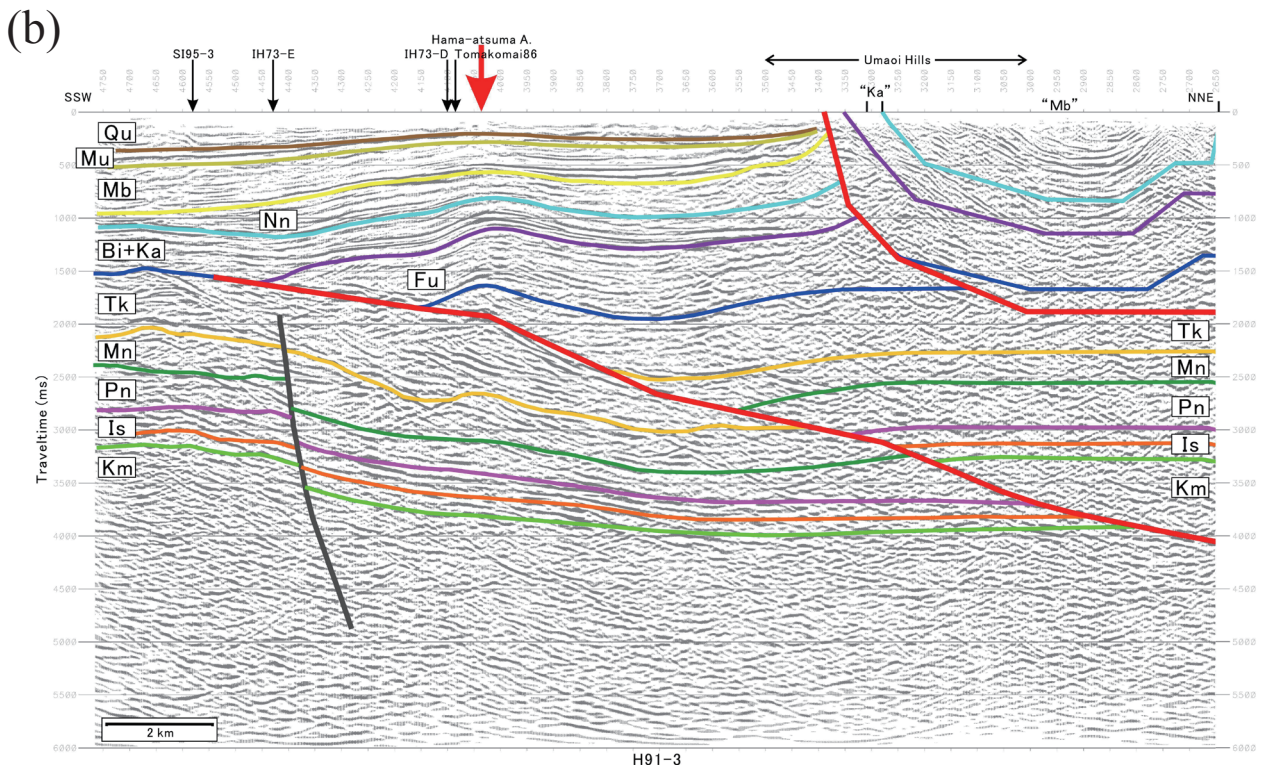
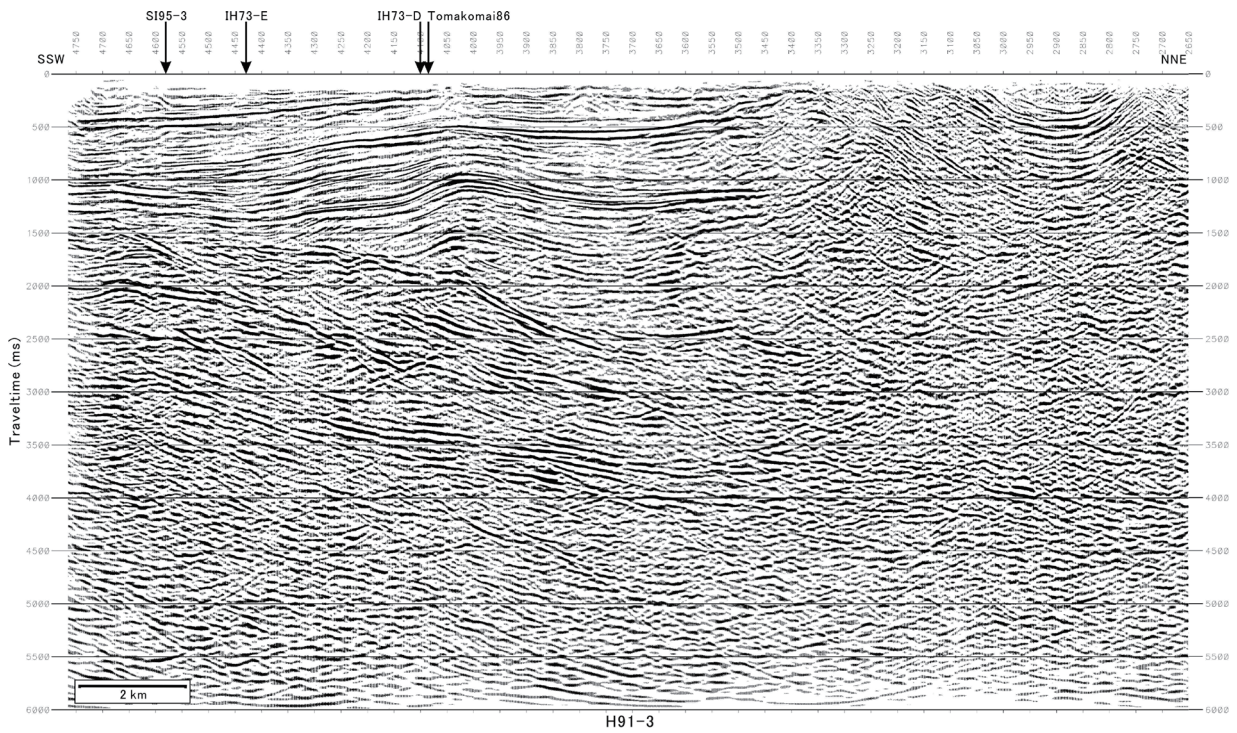
第 8 図 (続き)
Fig.8 (continued)



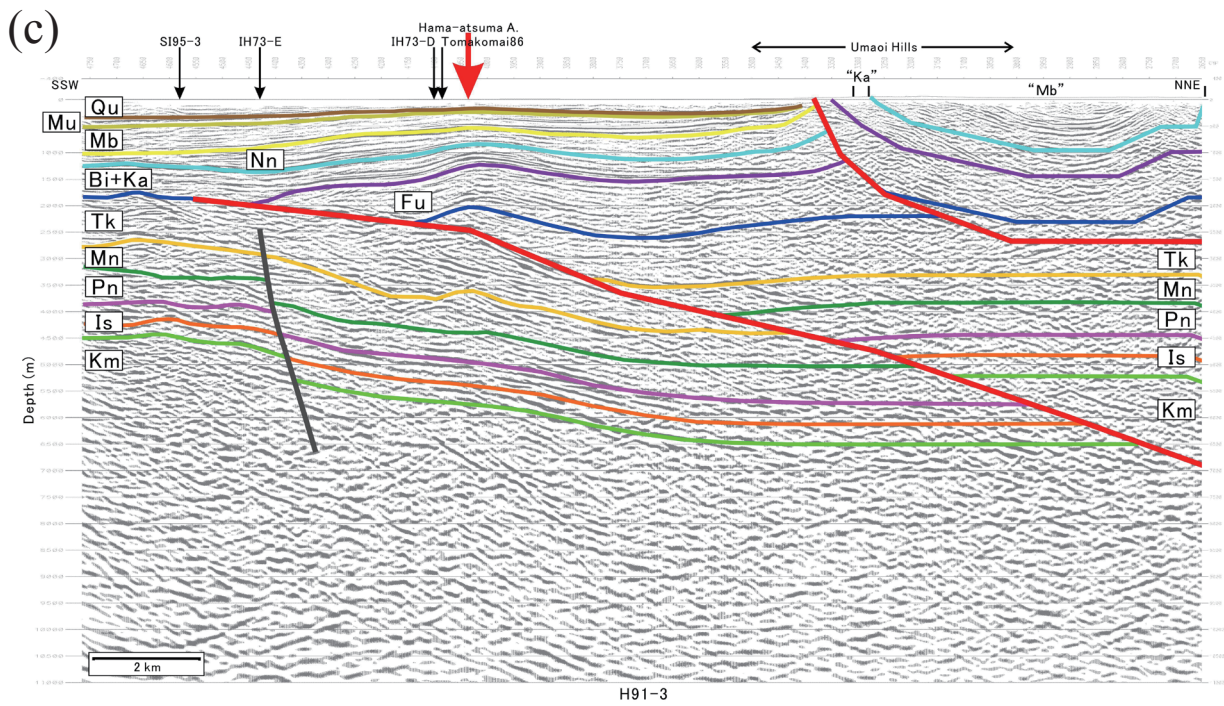
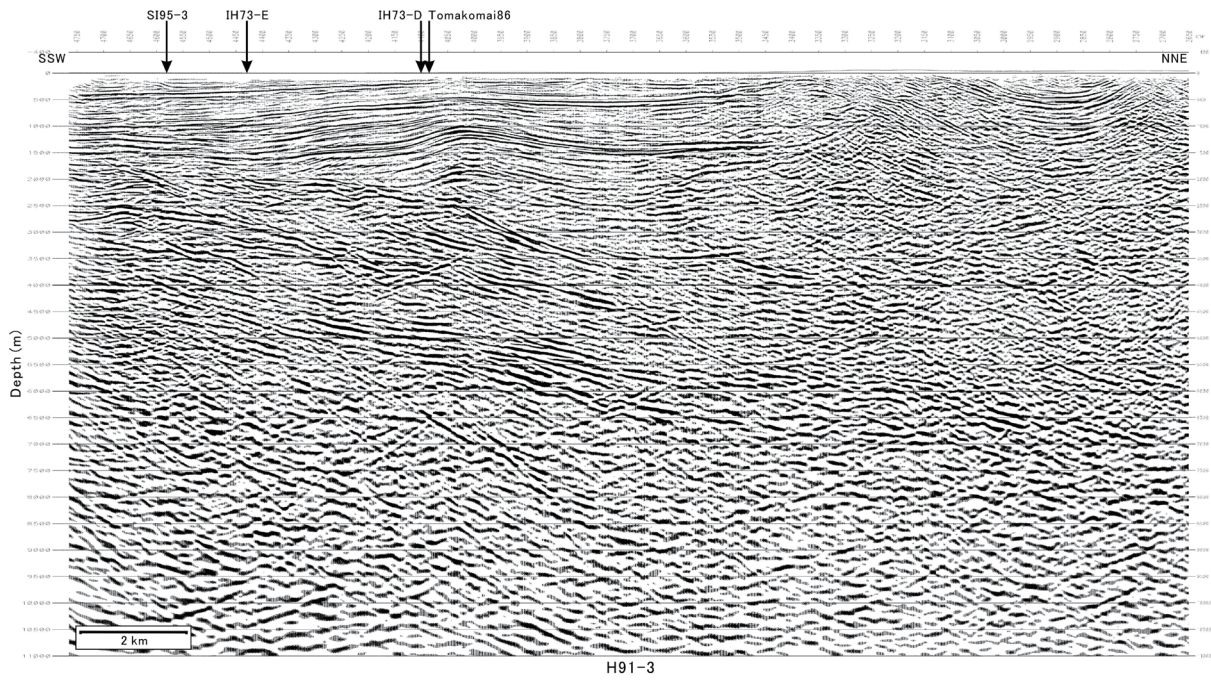
第9図 H91-3 測線西部の解釈図 (a) 通常処理マイグレーション後時間断面. (b)MDRS 処理マイグレーション後時間断面. (c)MDRS 処理深度断面. 上段：元の断面. 下段：解釈断面. 地層名の略号については第3図参照.

Fig.9 Interpreted seismic sections of western part of H91-3. (a) Conventional migrated time section. (b) MDRS migrated time section. (c) MDRS depth section. Top : original section. Bottom: interpreted section. For abbreviations, see Fig.3.

反射法地震探査結果から見た石狩低地東縁断層帯南部周辺の地下地質構造

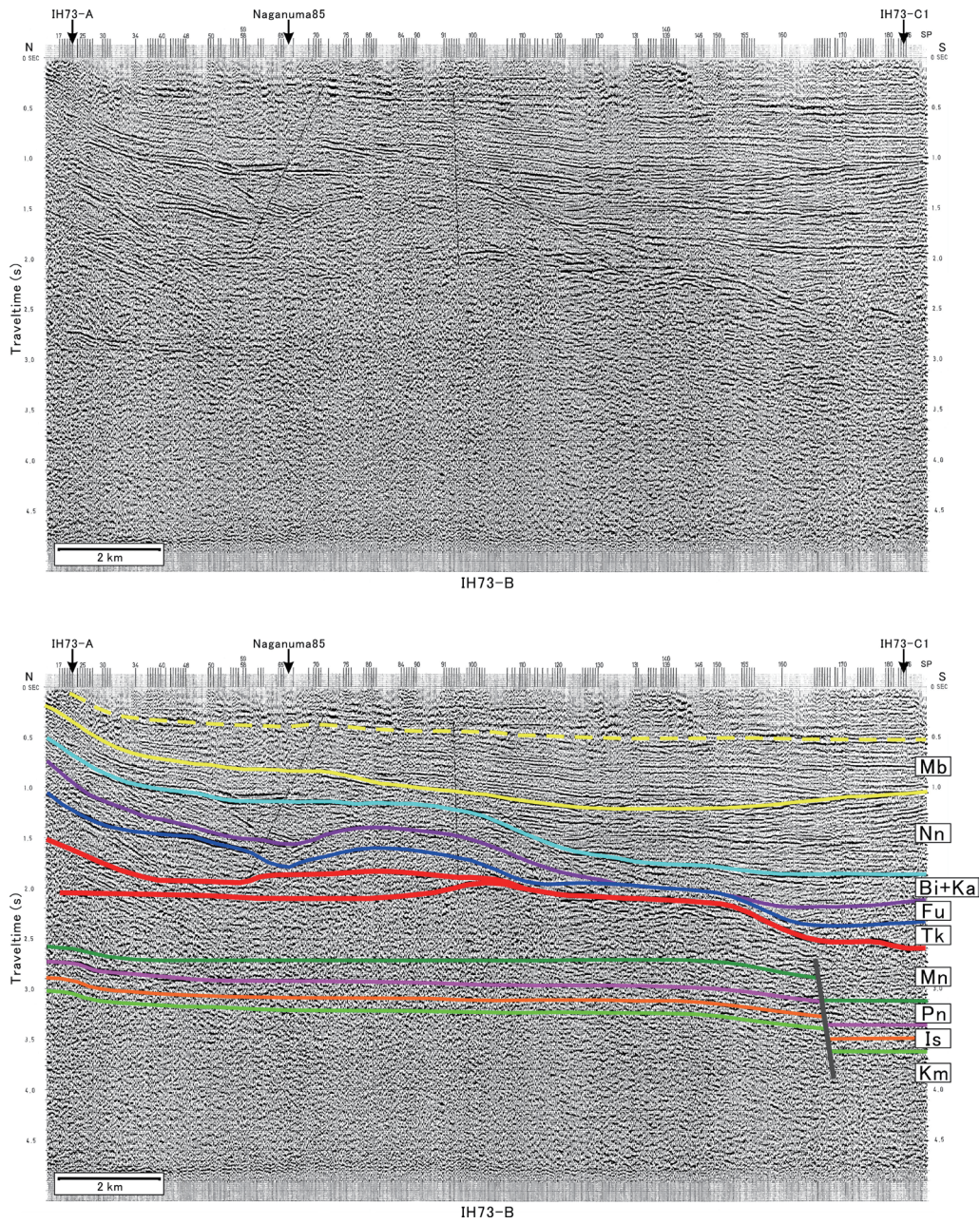


第9図 (続き)
Fig.9 (continued)

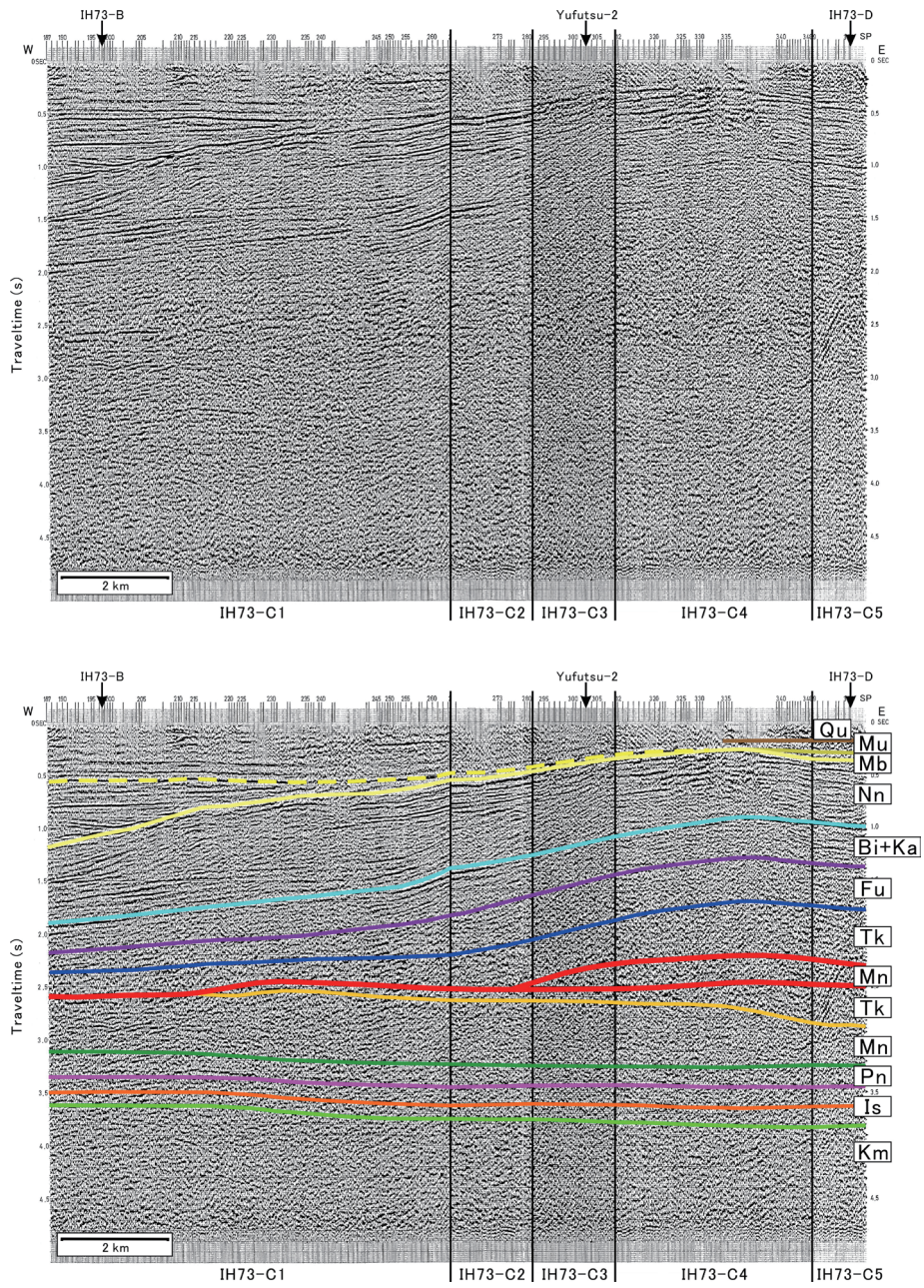


第9図 (続き)
Fig.9 (continued)

反射法地震探査結果から見た石狩低地東縁断層帯南部周辺の地下地質構造

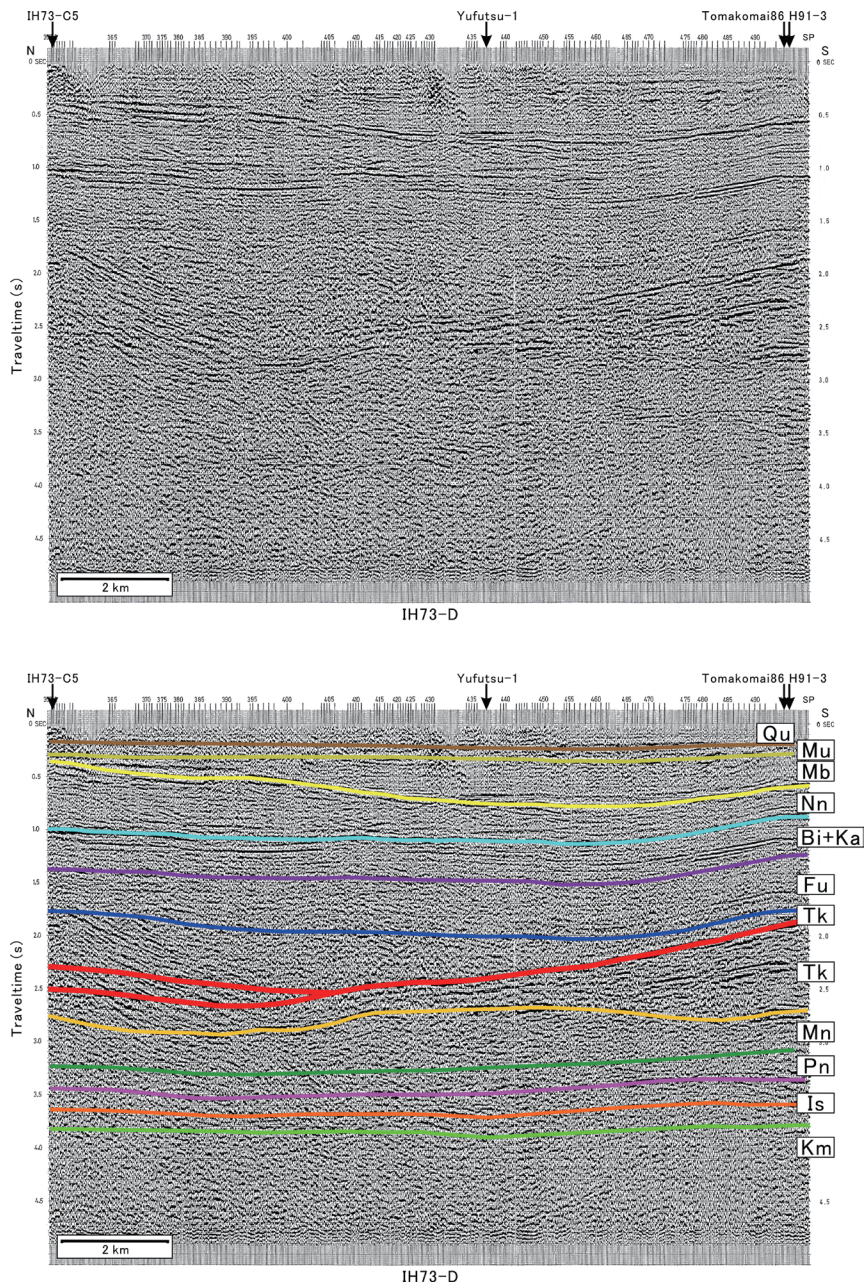


第 10 図 IH73-B 測線の解釈図 上段:元の時間断面. 下段:解釈時間断面. 地層名の略号については第 3 図参照.
 Fig.10 Interpreted seismic section of IH73-B. Top : original time section. Bottom: interpreted time section.
 For abbreviations, see Fig.3.

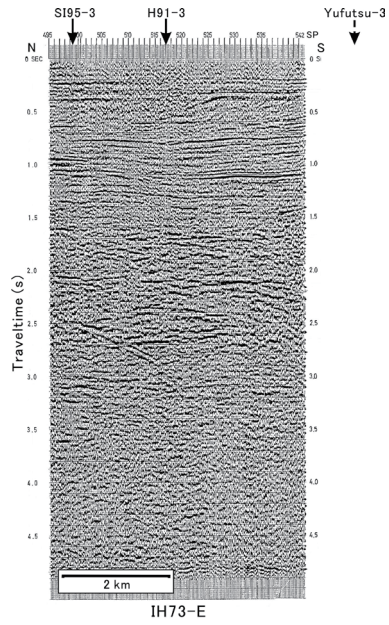


第 11 図 IH73-C 測線の解釈図 上段：元の時間断面．下段：解釈時間断面．地層名の略号については第 3 図参照．
 Fig.11 Interpreted seismic section of IH73-C. Top : original time section. Bottom: interpreted time section.
 For abbreviations, see Fig.3.

反射法地震探査結果から見た石狩低地東縁断層帯南部周辺の地下地質構造



第 12 図 IH73-D 測線の解釈図 上段：元の時間断面．下段：解釈時間断面．地層名の略号については第 3 図参照．
 Fig.12 Interpreted seismic section of IH73-D. Top : original time section. Bottom: interpreted time section.
 For abbreviations, see Fig.3.



第 13 図 IH73-E 測線の解釈図 上段：元の時間断面、
下段：解釈時間断面。地層名の略号については第 3 図参照。

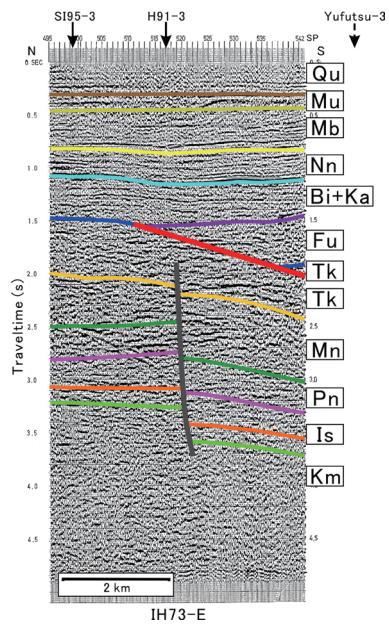
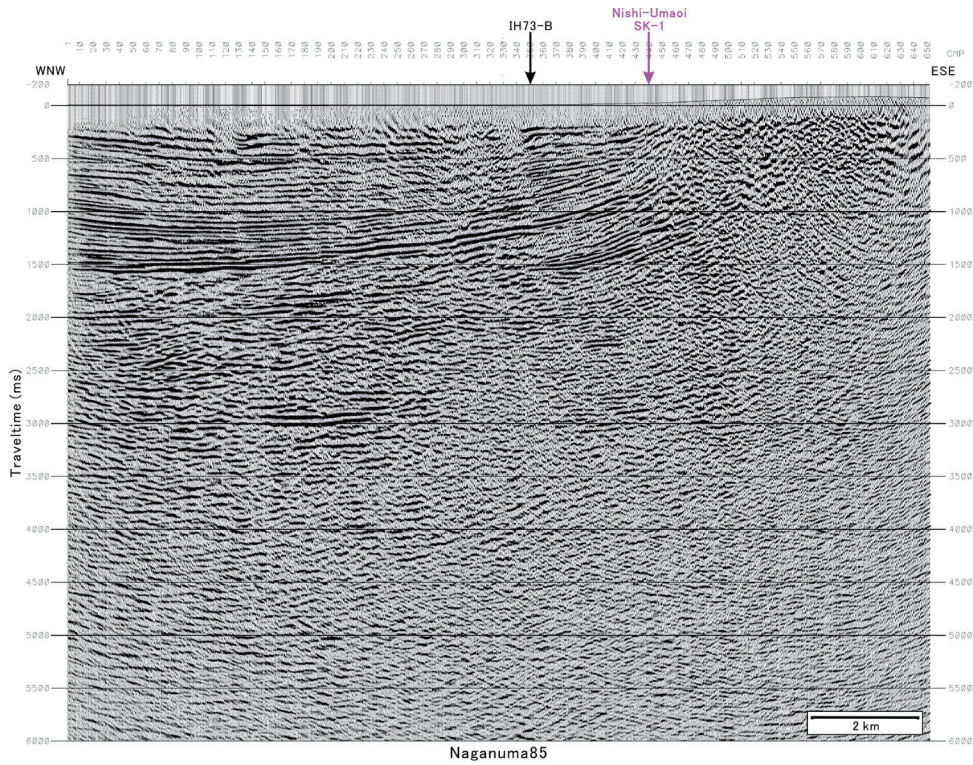
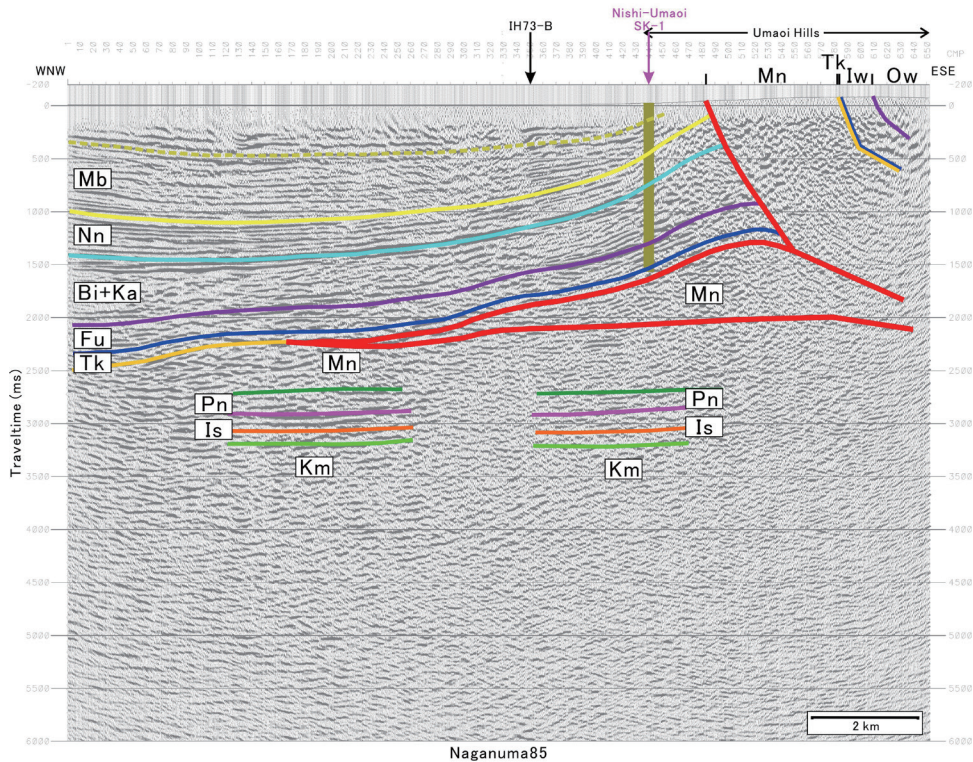


Fig.13 Interpreted seismic section of IH73-E.
Top : original time section. Bottom: interpreted
time section. For abbreviations, see Fig.3.

反射法地震探査結果から見た石狩低地東縁断層帯南部周辺の地下地質構造

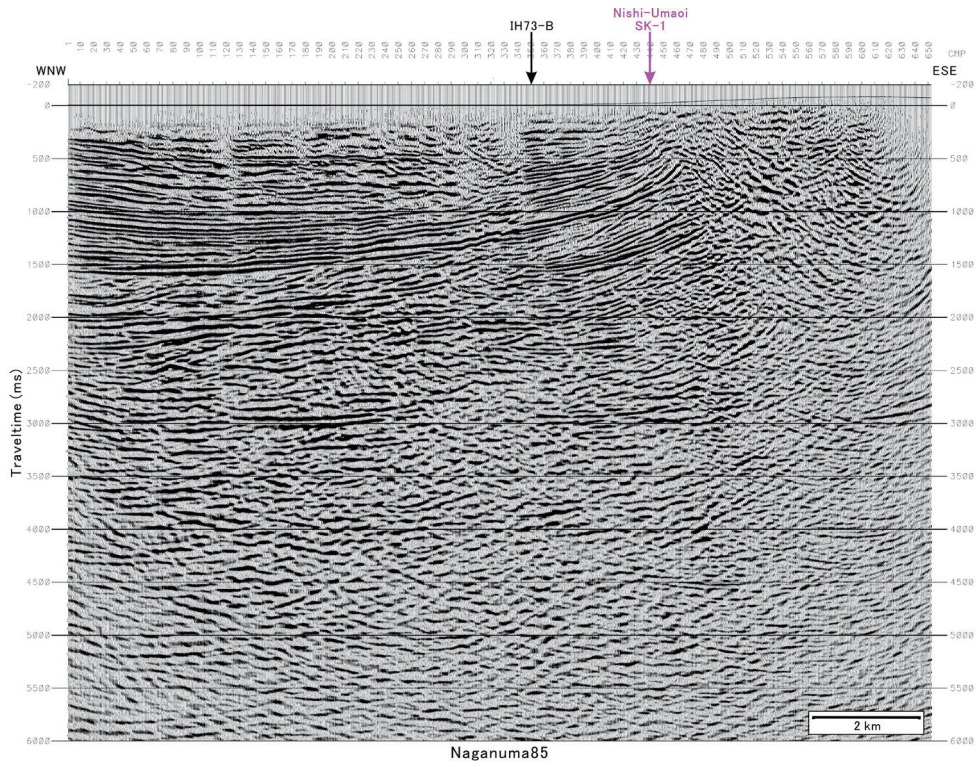


(a)

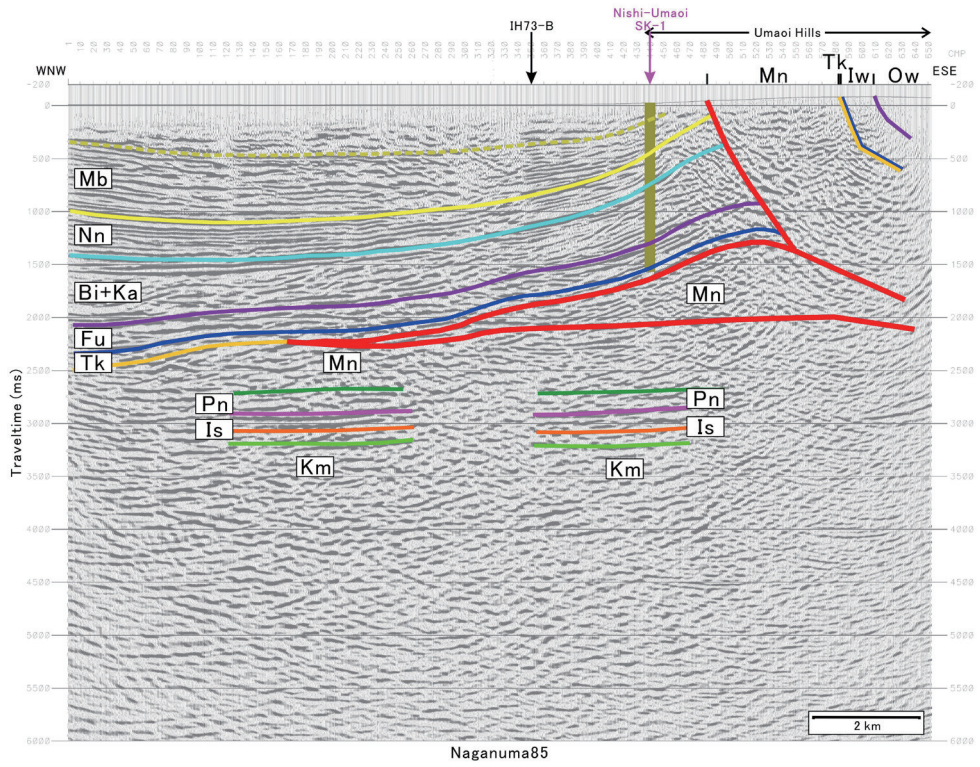


第14図 長沼85測線の解釈図 (a)通常処理マイグレーション後時間断面。(b)MDRS処理マイグレーション後時間断面。(c)通常処理深度断面。(d)MDRS処理深度断面。上段：元の断面。下段：解釈断面。地層名の略号については第3図参照。

Fig.14 Interpreted seismic sections of Naganuma85. (a) Conventional migrated time section. (b) MDRS migrated time section. (c) Conventional depth section. (d) MDRS depth section. Top : original section. Bottom: interpreted section. For abbreviations, see Fig.3.

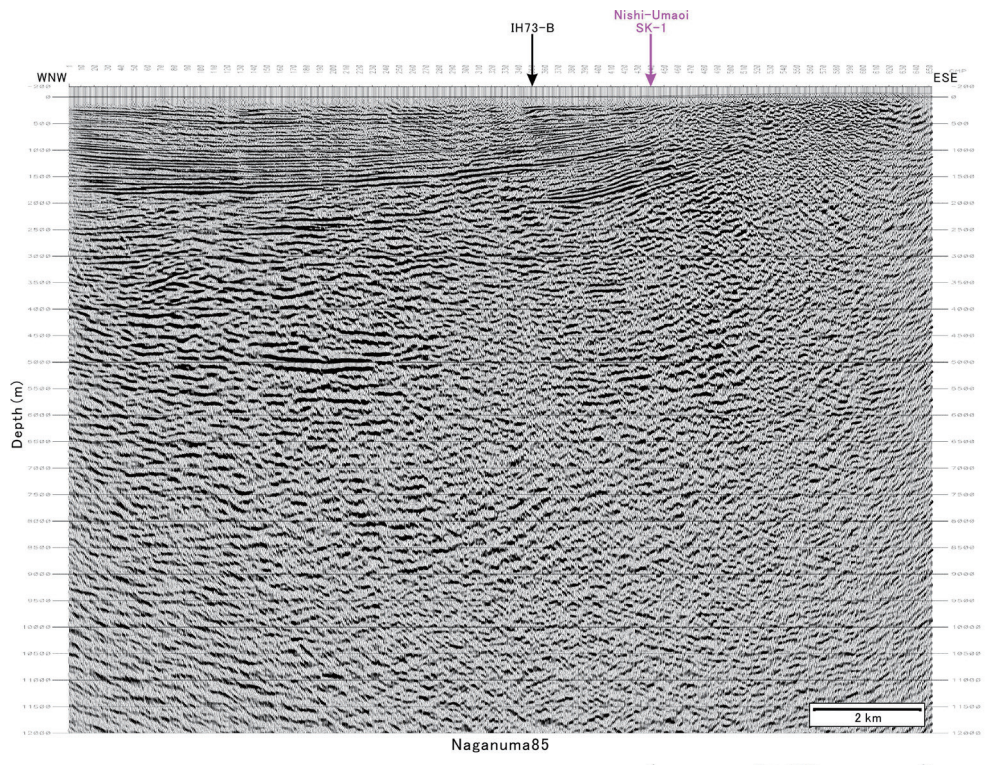


(b)

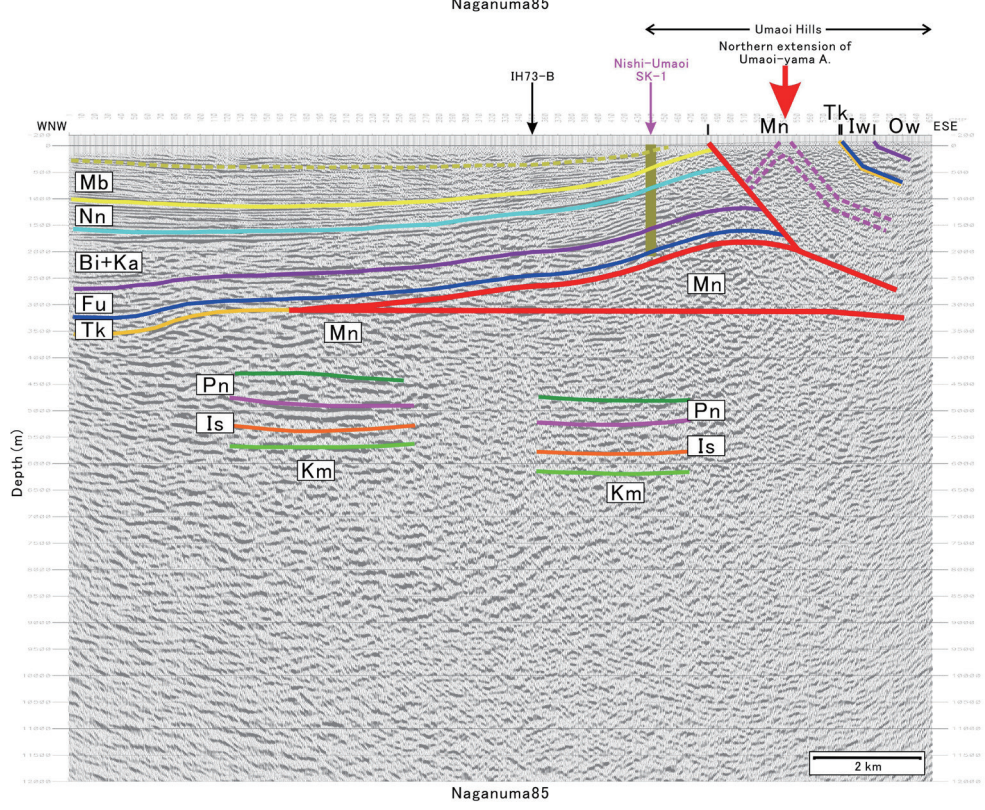


第 14 図 (続き)
Fig.14 (continued)

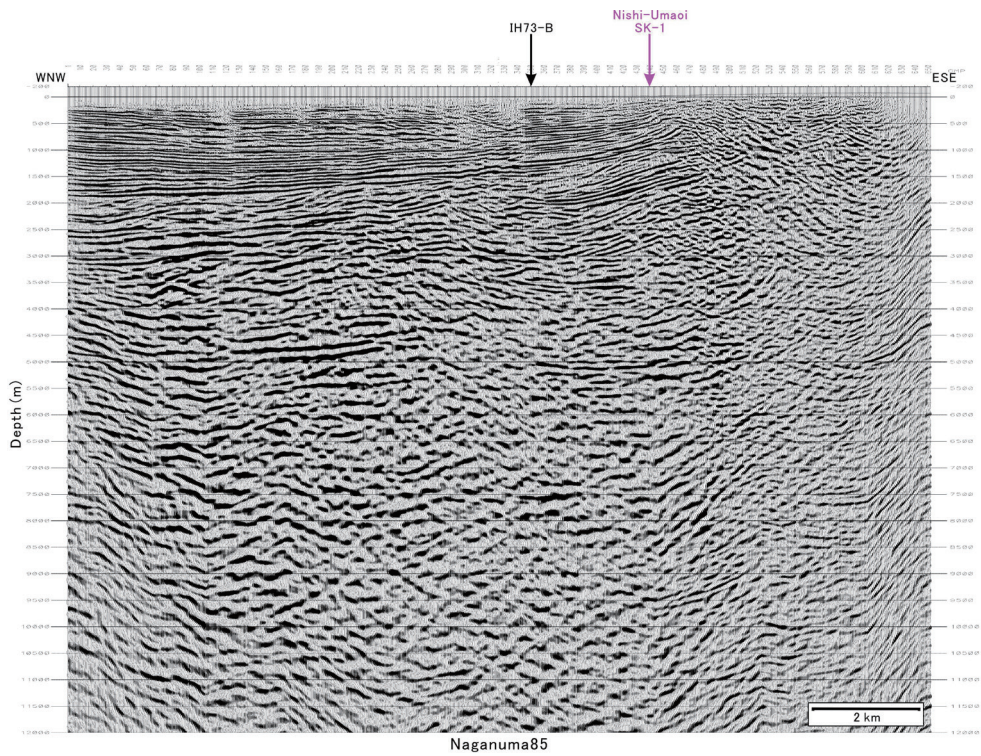
反射法地震探査結果から見た石狩低地東縁断層帯南部周辺の地下地質構造



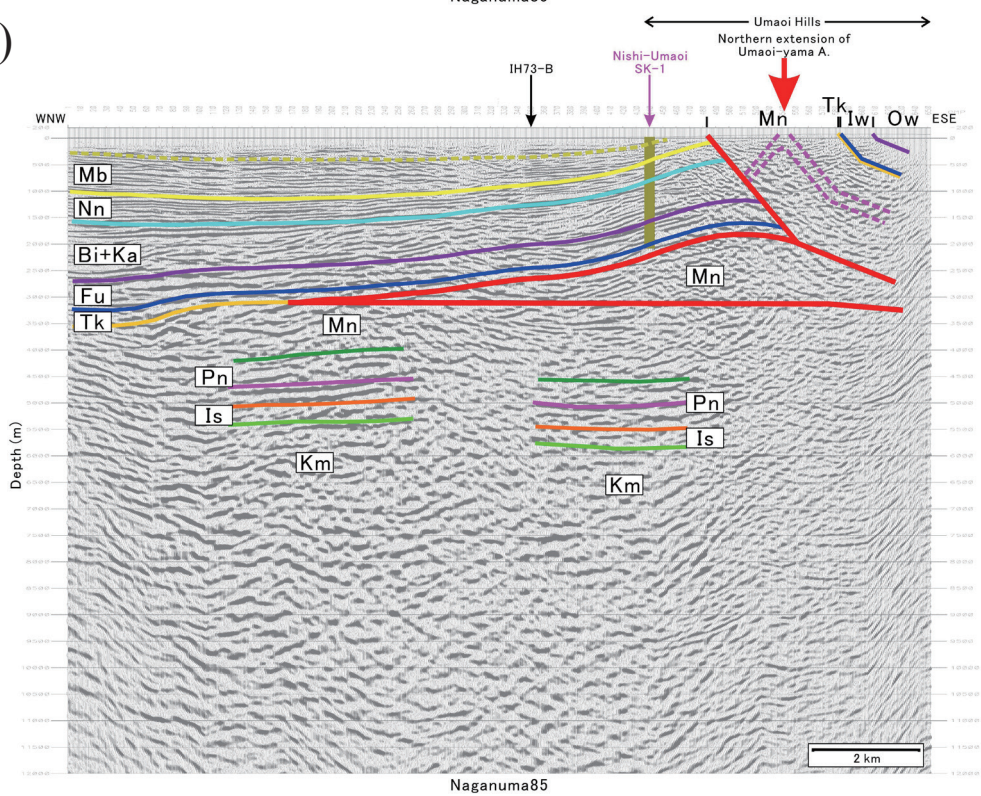
(c)



第14図 (続き)
Fig.14 (continued)

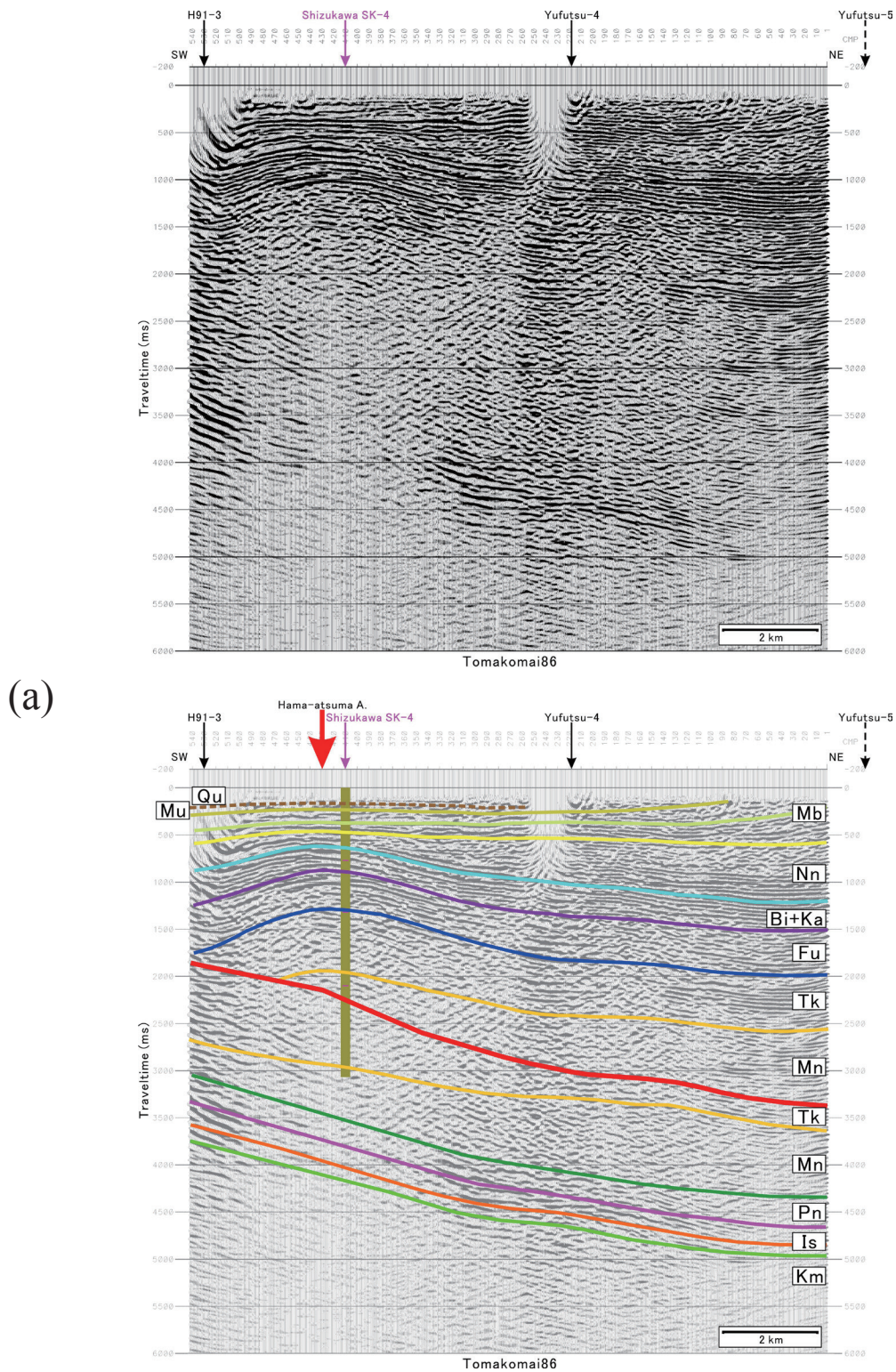


(d)

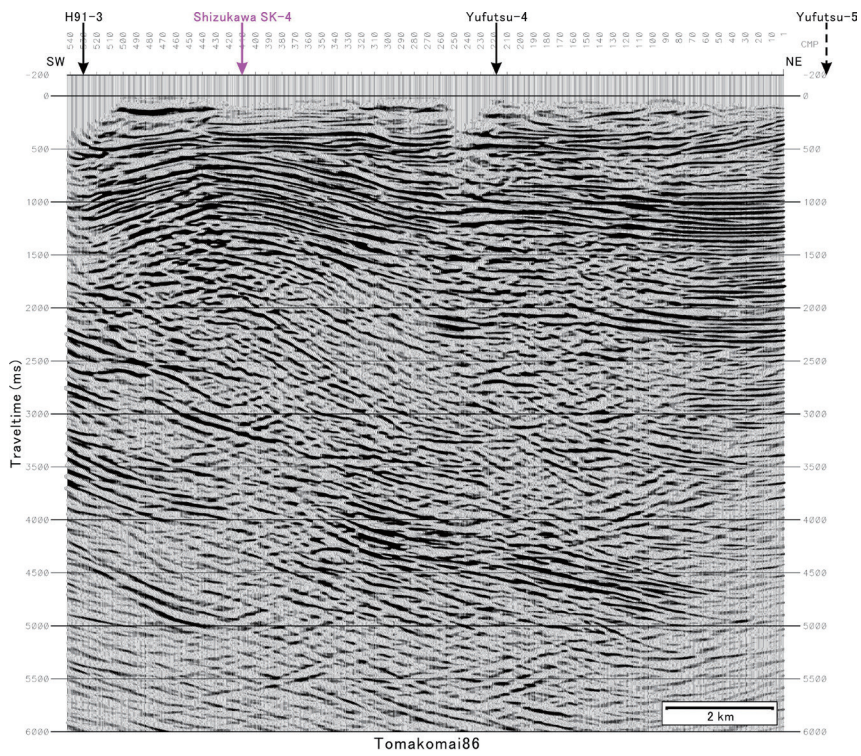


第 14 図 (続き)
Fig.14 (continued)

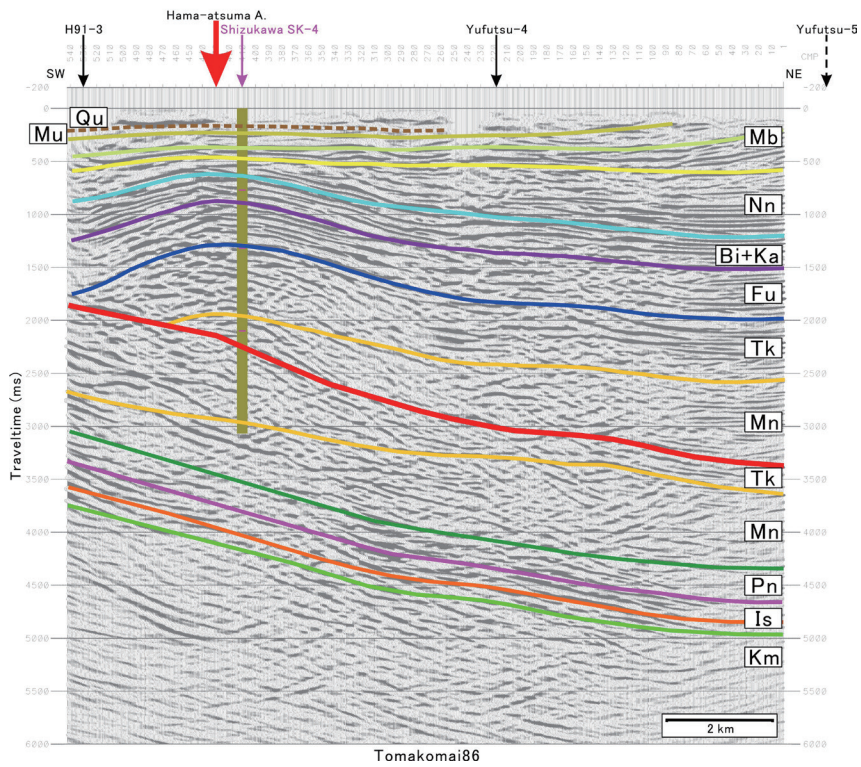
反射法地震探査結果から見た石狩低地東縁断層帯南部周辺の地下地質構造



第 15 図 苫小牧 86 測線の解釈図 (a) 通常処理マイグレーション後時間断面. (b)MDRS 処理マイグレーション後時間断面. (c)通常処理深度断面. (d)MDRS 処理深度断面. 上段:元の断面. 下段:解釈断面. 地層名の略号については第3図参照.
 Fig.15 Interpreted seismic sections of Tomakomai86. (a) Conventional migrated time section. (b) MDRS migrated time section. (c) Conventional depth section. (d) MDRS depth section. Top : original section. Bottom: interpreted section. For abbreviations, see Fig.3.



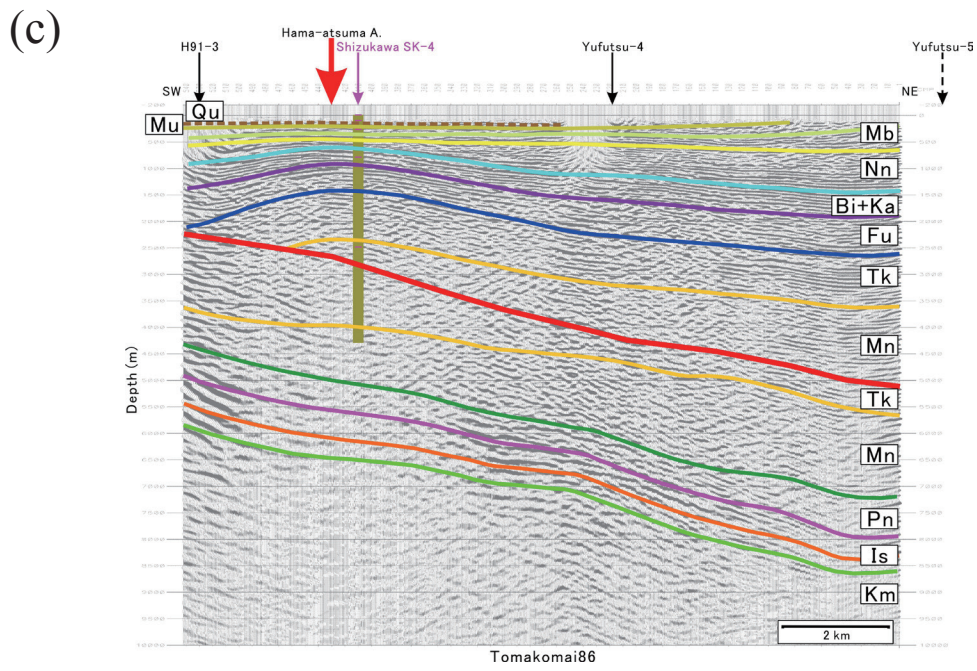
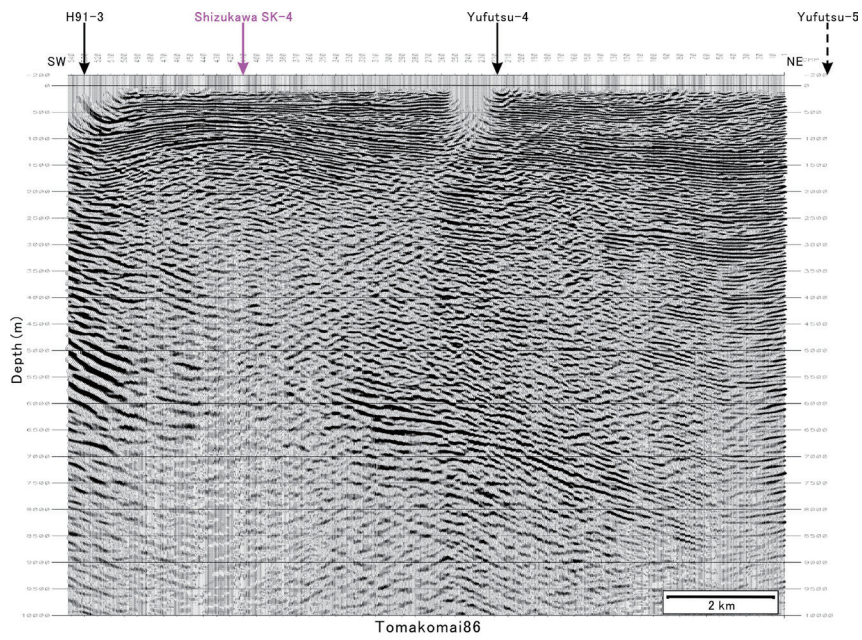
(b)



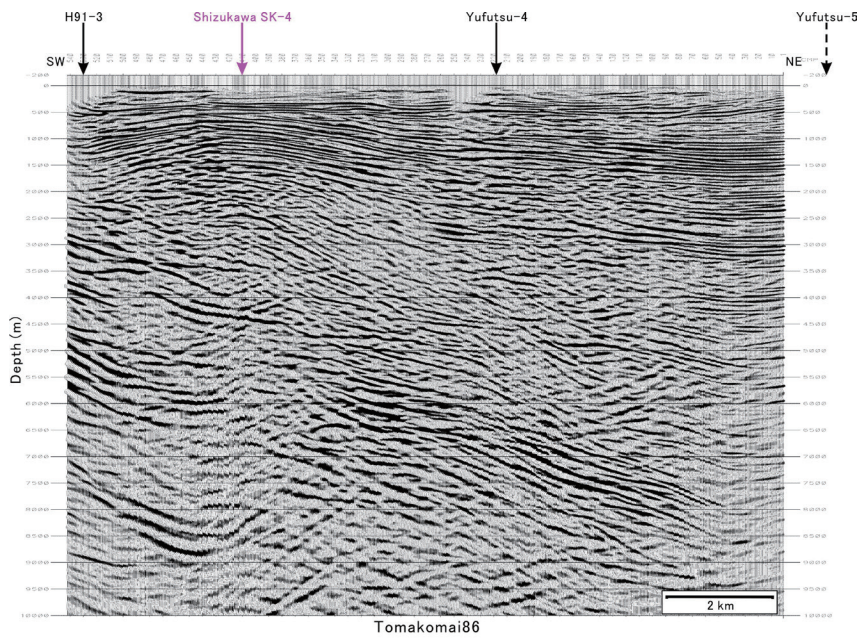
第 15 図 (続き)

Fig.15 (continued)

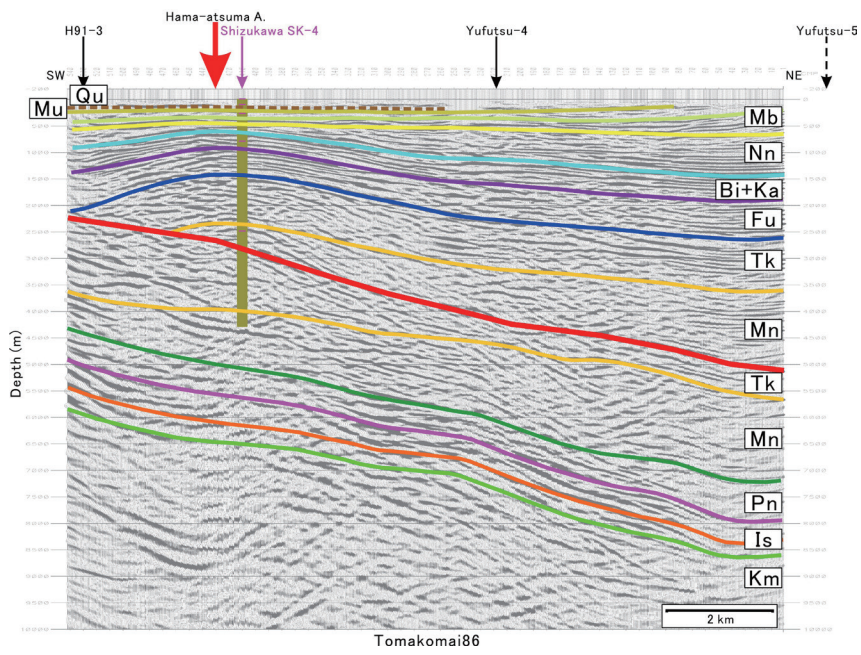
反射法地震探査結果から見た石狩低地東縁断層帯南部周辺の地下地質構造



第15図 (続き)
Fig.15 (continued)

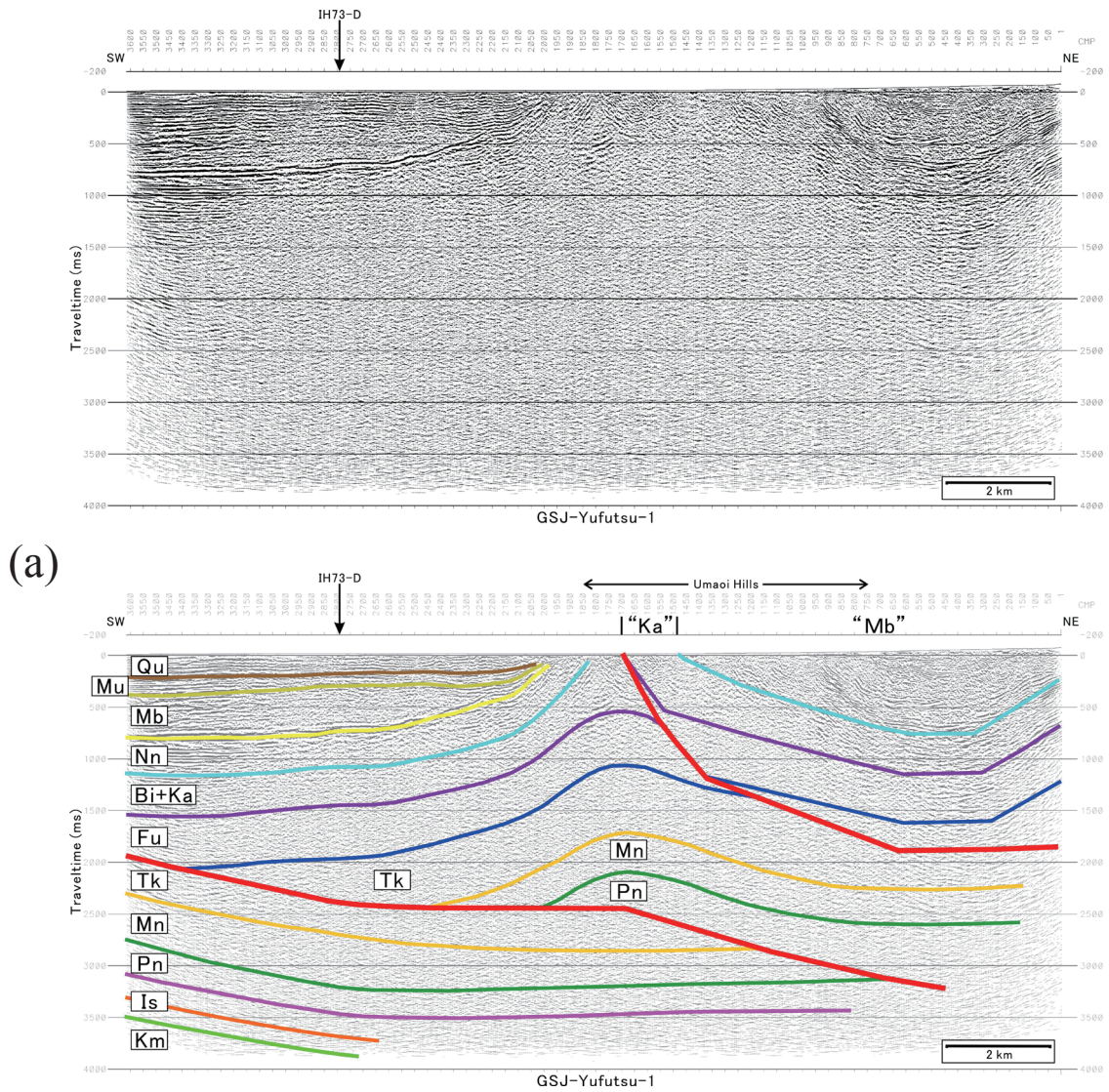


(d)

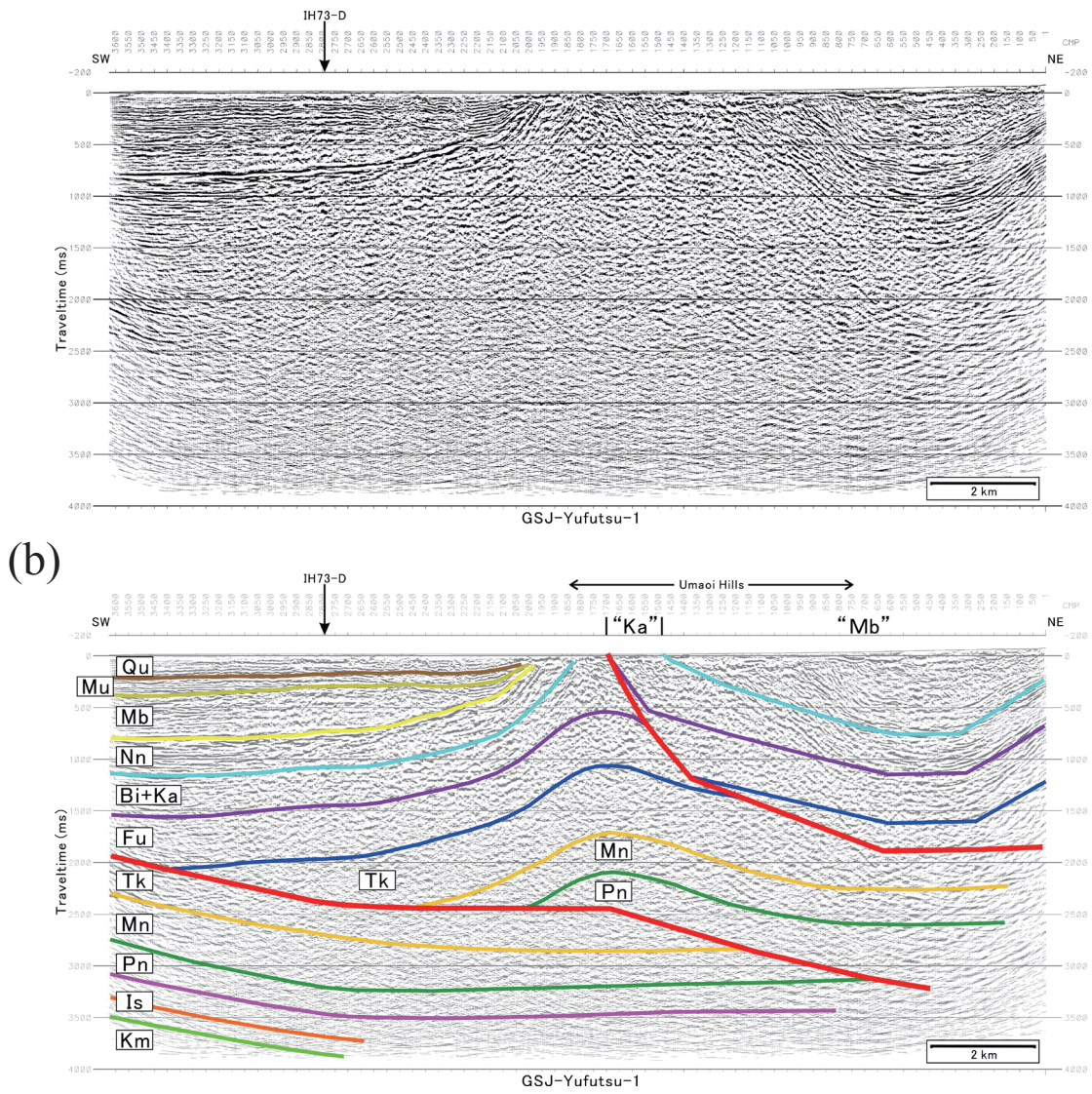


第 15 図 (続き)
Fig.15 (continued)

反射法地震探査結果から見た石狩低地東縁断層帯南部周辺の地下地質構造

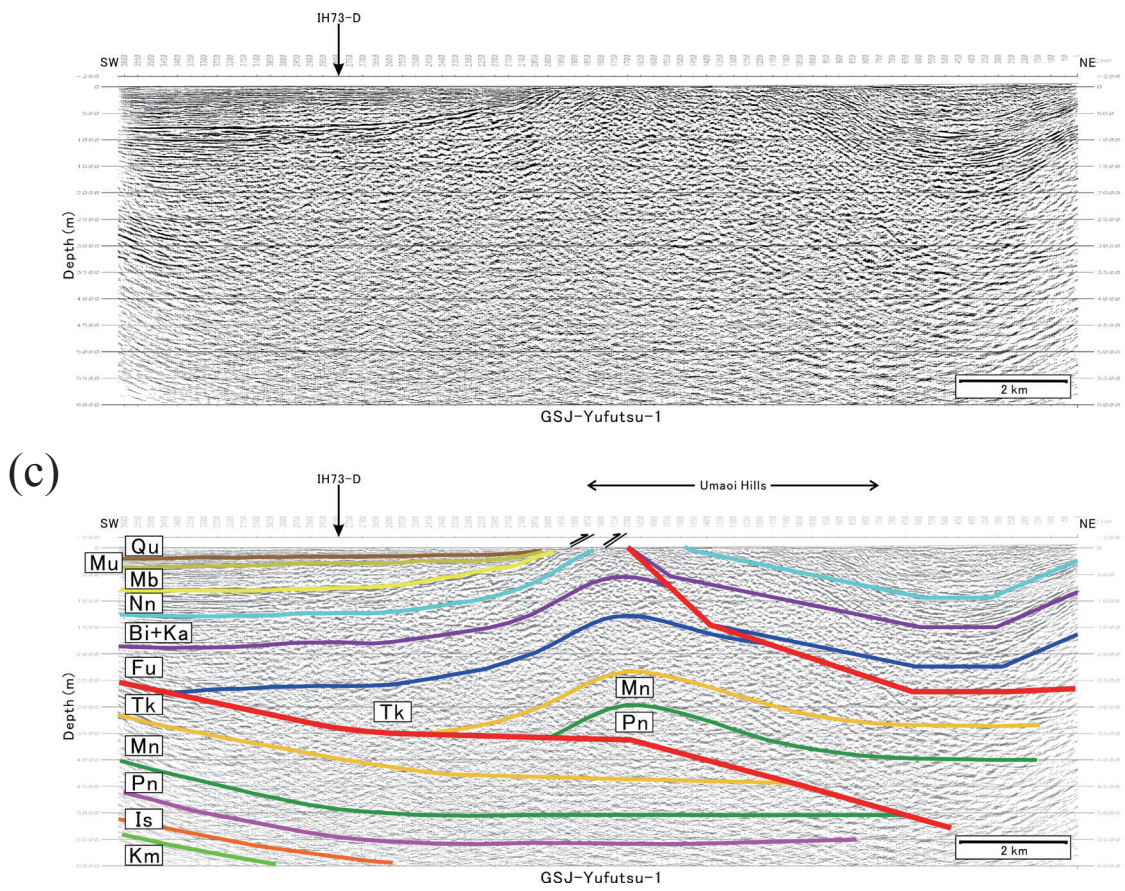


第 16 図 GSJ 勇払測線 1 の解釈図 (a) 通常処理マイグレーション後時間断面. (b) MDRS 処理マイグレーション後時間断面. (c) MDRS 処理深度断面. 上段：元の断面. 下段：解釈断面. 地層名の略号については第 3 図参照.
 Fig.16 Interpreted seismic sections of GSJ-Yufutsu-1. (a) Conventional migrated time section. (b) MDRS migrated time section. (c) MDRS depth section. Top : original section. Bottom: interpreted section. For abbreviations, see Fig.3.

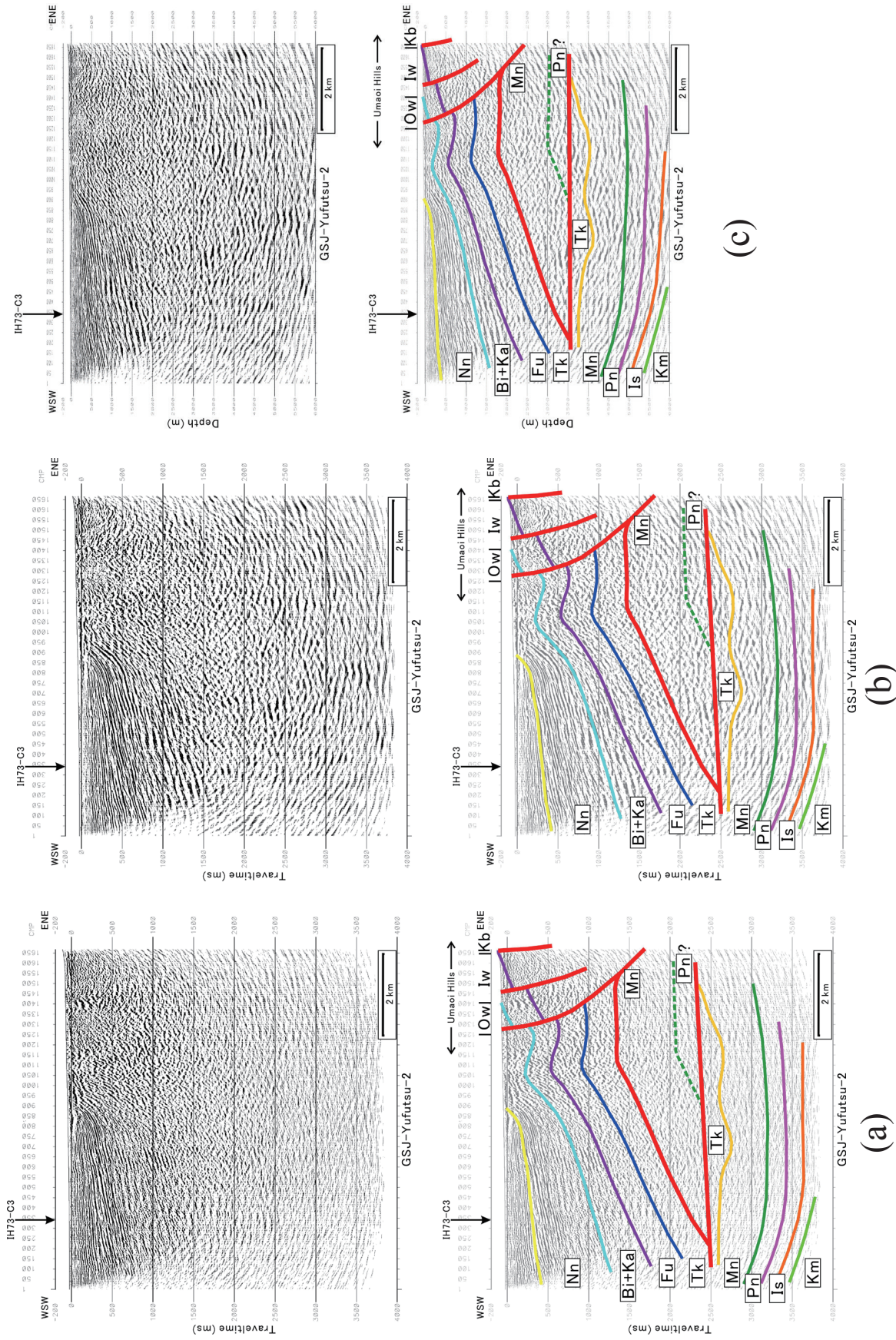


第16図 (続き)
Fig.16 (continued)

反射法地震探査結果から見た石狩低地東縁断層帯南部周辺の地下地質構造



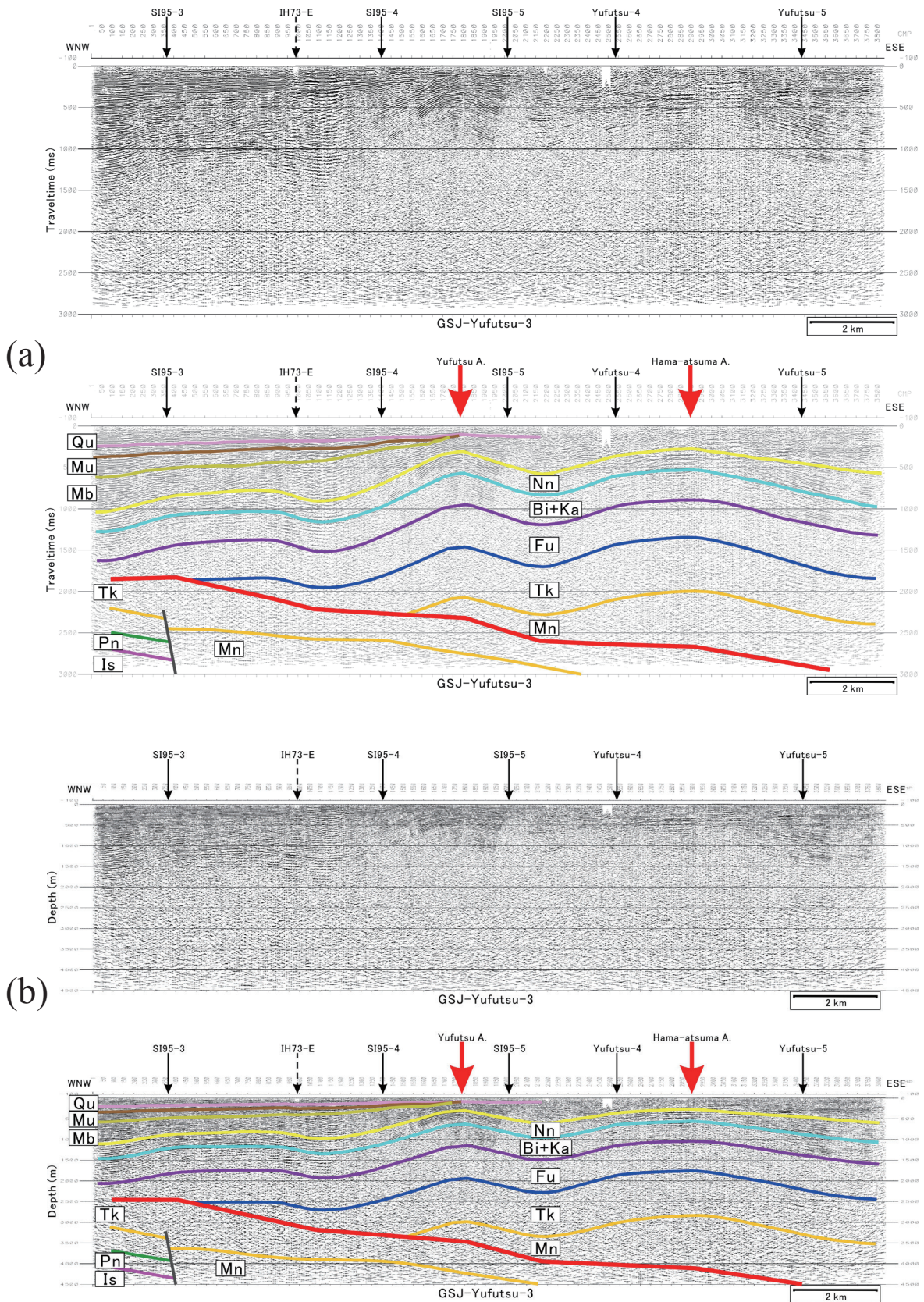
第 16 図 (続き)
Fig.16 (continued)



第17図 GSJ勇払測線2の解釈図 (a)通常処理マイグレーション後時間断面、(b)MDRS処理マイグレーション後時間断面、(c)MDRS処理深度断面。上段：元の断面。下段：解釈断面。地層名の略号については第3図参照。

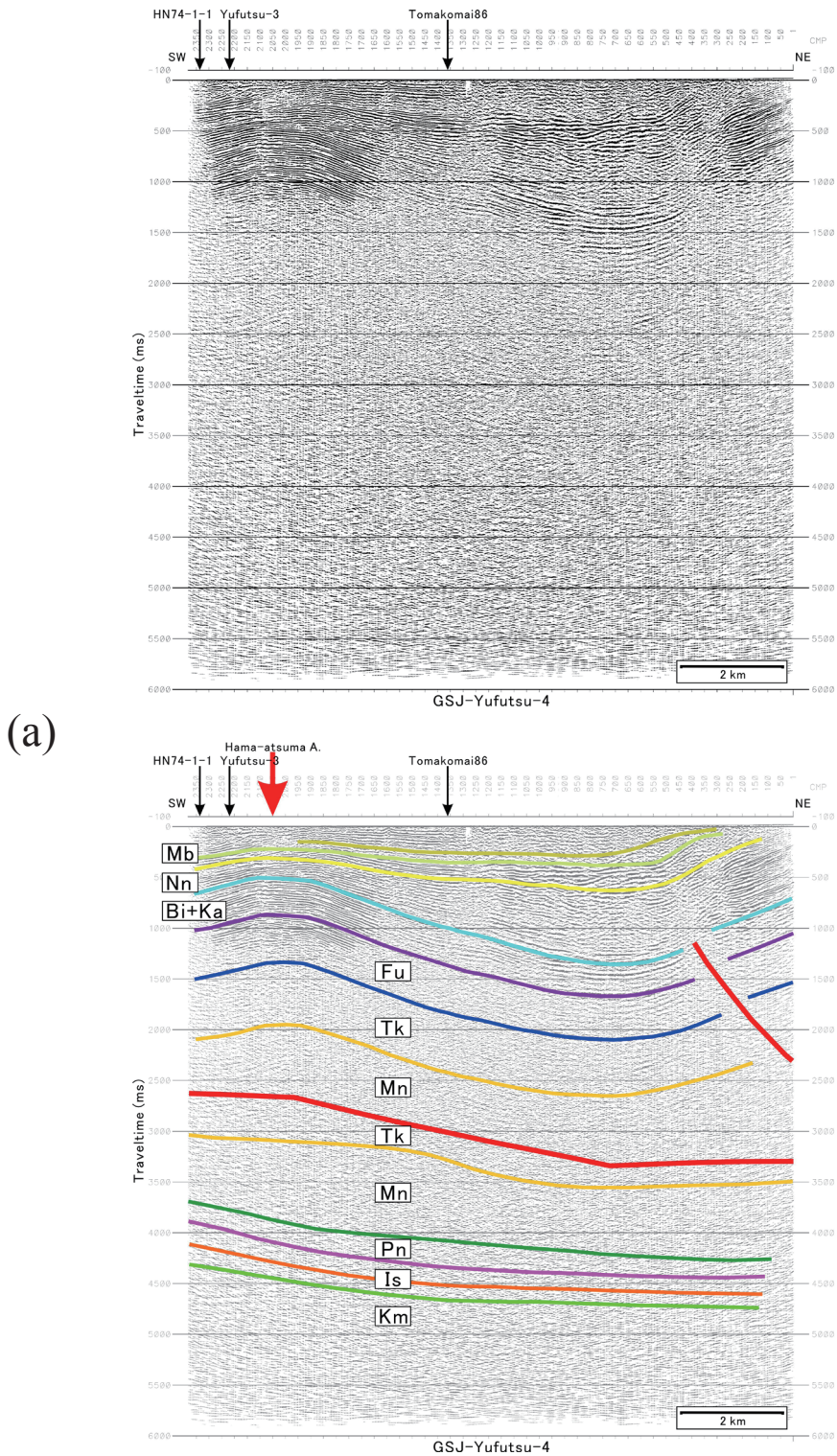
Fig.17 Interpreted seismic sections of GSJ-Yufutsu-2. (a) Conventional migrate time section. (b) MDRS migrate time section. (c) MDRS depth section. Top : original section. Bottom : interpreted section. For abbreviations, see Fig.3.

反射法地震探査結果から見た石狩低地東縁断層帯南部周辺の地下地質構造



第18図 GSJ勇払測線3の解釈図 (a) 通常処理マイグレーション後時間断面。(b) 通常処理深度断面。上段：元の断面。下段：解釈断面。地層名の略号については第3図参照。

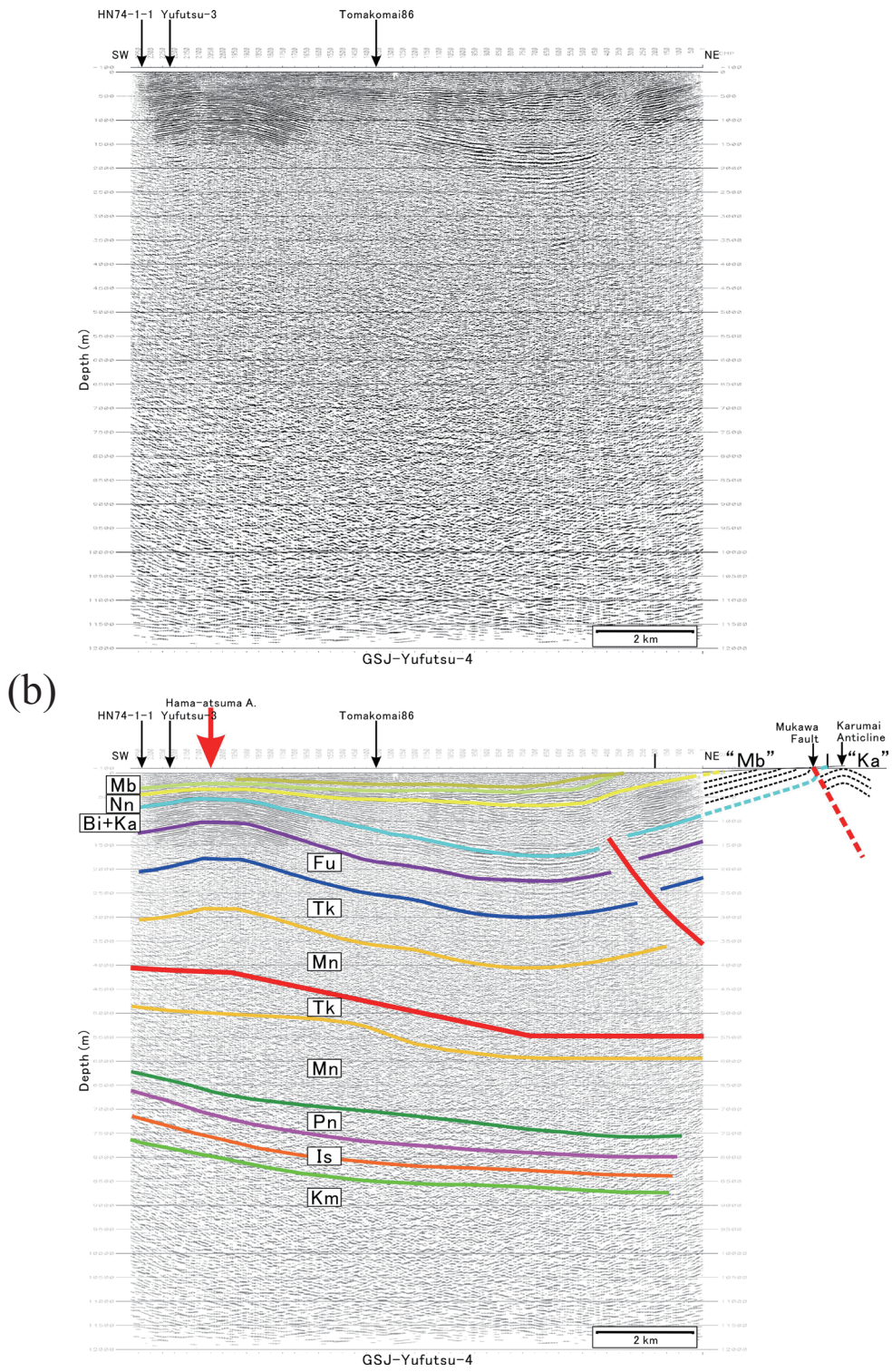
Fig.18 Interpreted seismic section of GSJ-Yufutsu-3. (a) Conventional migrated time section. (b) Conventional depth section. Top : original section. Bottom: interpreted section. For abbreviations, see Fig.3.



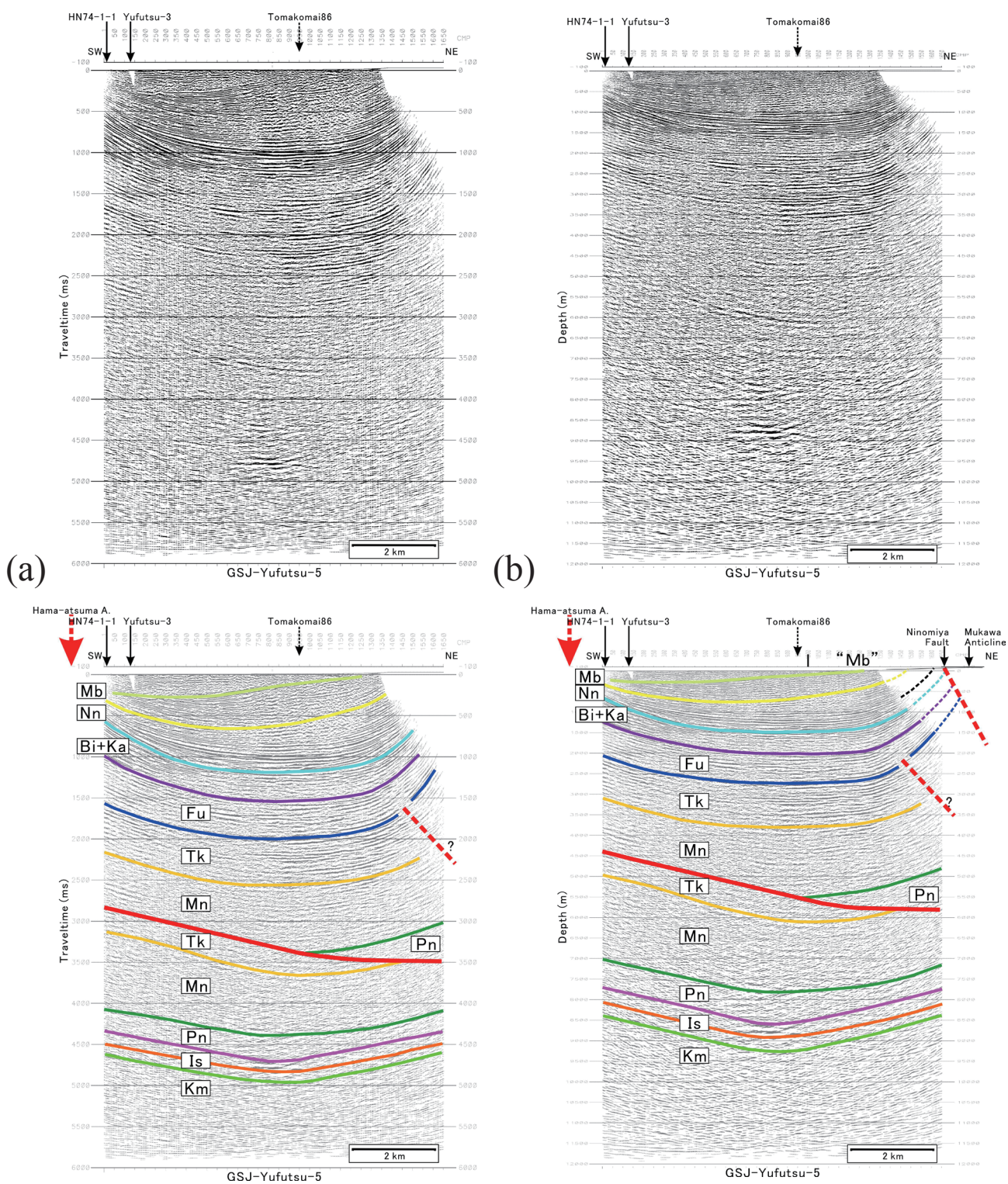
第 19 図 GSJ 勇払測線 4 の解釈図 (a) 通常処理マイグレーション後時間断面. (b) 通常処理深度断面. 上段: 元の断面. 下段: 解釈断面. 地層名の略号については第 3 図参照.

Fig.19 Interpreted seismic section of GSJ-Yufutsu-4. (a) Conventional migrated time section. (b) Conventional depth section. Top : original section. Bottom: interpreted section. For abbreviations, see Fig.3.

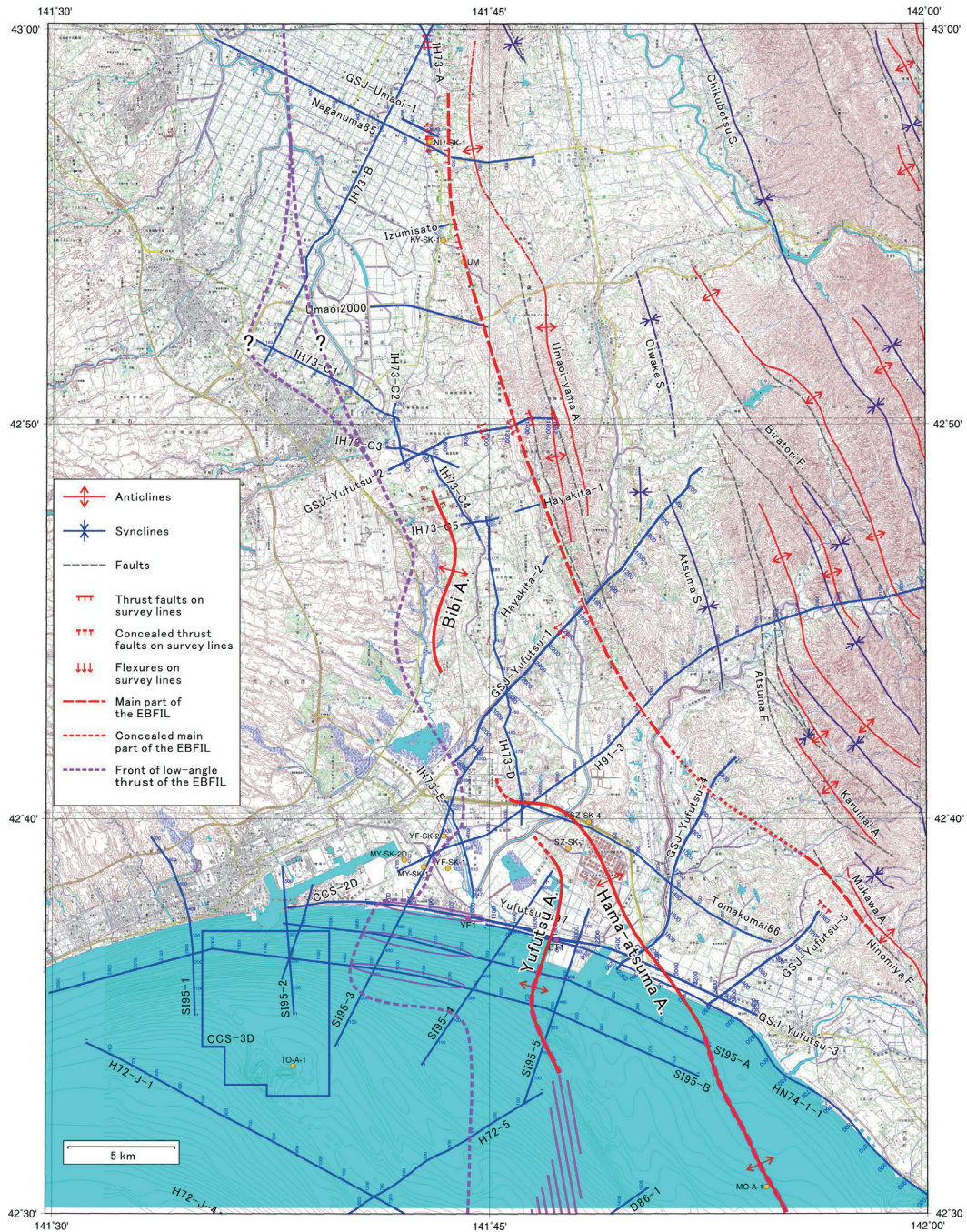
反射法地震探査結果から見た石狩低地東縁断層帯南部周辺の地下地質構造



第 19 図 (続き)
Fig.19 (continued)

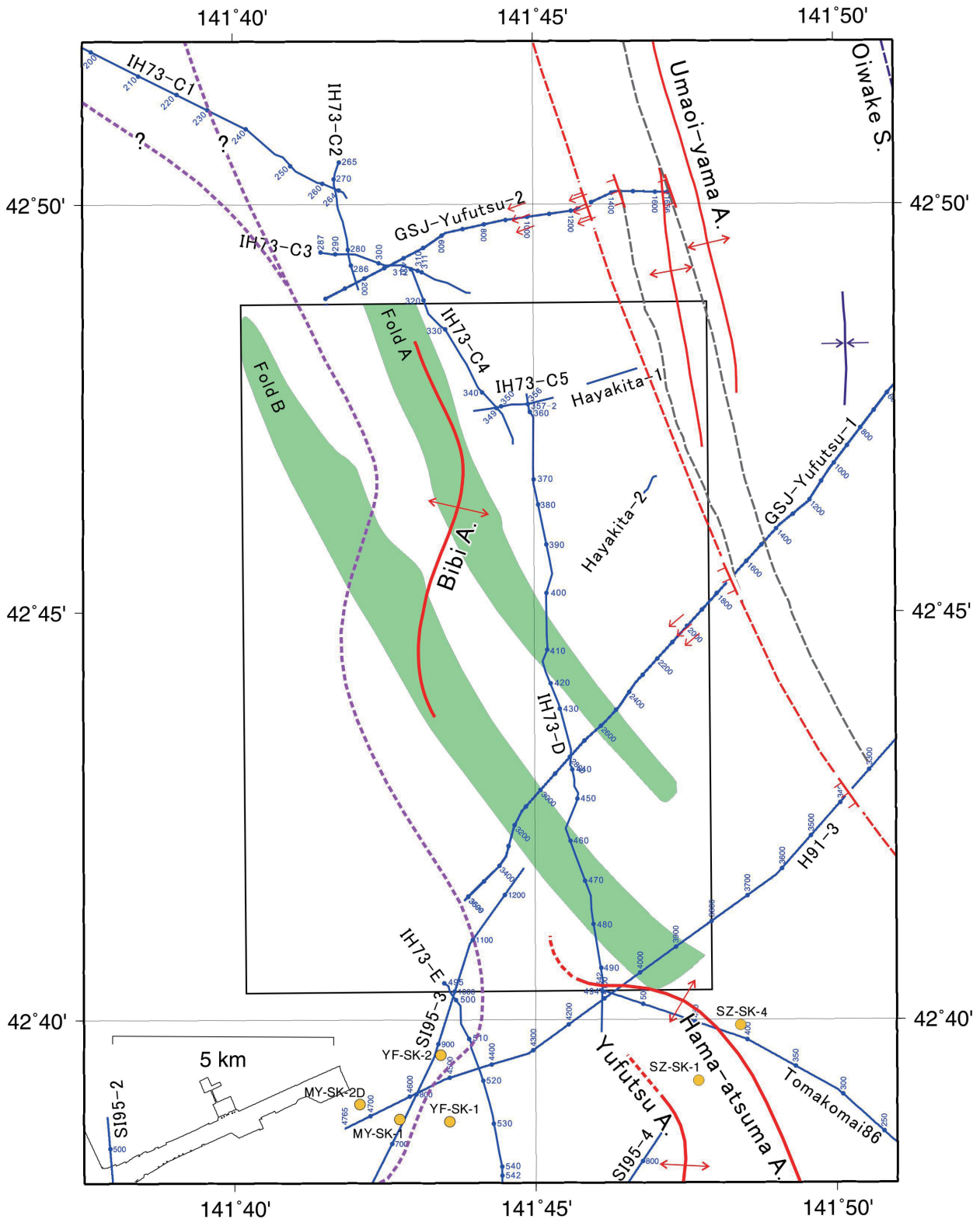


第 20 図 GSJ 勇払測線 5 の解釈図 (a) 通常処理マイグレーション後時間断面. (b) 通常処理深度断面. 上段: 元の断面. 下段: 解釈断面. 地層名の略号については第 3 図参照.
 Fig.20 Interpreted seismic section of GSJ-Yufutsu-5. (a) Conventional migrated time section. (b) Conventional depth section. Top : original section. Bottom: interpreted section. For abbreviations, see Fig.3.



第 21 図 陸域から浅海域における背斜の連続性と低角逆断層のフロント 赤太線：背斜軸。浜厚真背斜・勇払背斜は本報告に、美々背斜は小松原ほか (2014a) による。マゼンタ太波線：佐藤 (2014) による背斜軸。マゼンタ斜線域：佐藤 (2014) による背斜軸存在領域。紫太波線：低角逆断層のフロント。北東部の背斜・向斜・断層は尾崎・小松原 (2014) による。ただし厚真向斜と馬追山背斜の北部は本報告の結果に基づき若干修正した。その他の説明は第 2 図参照。

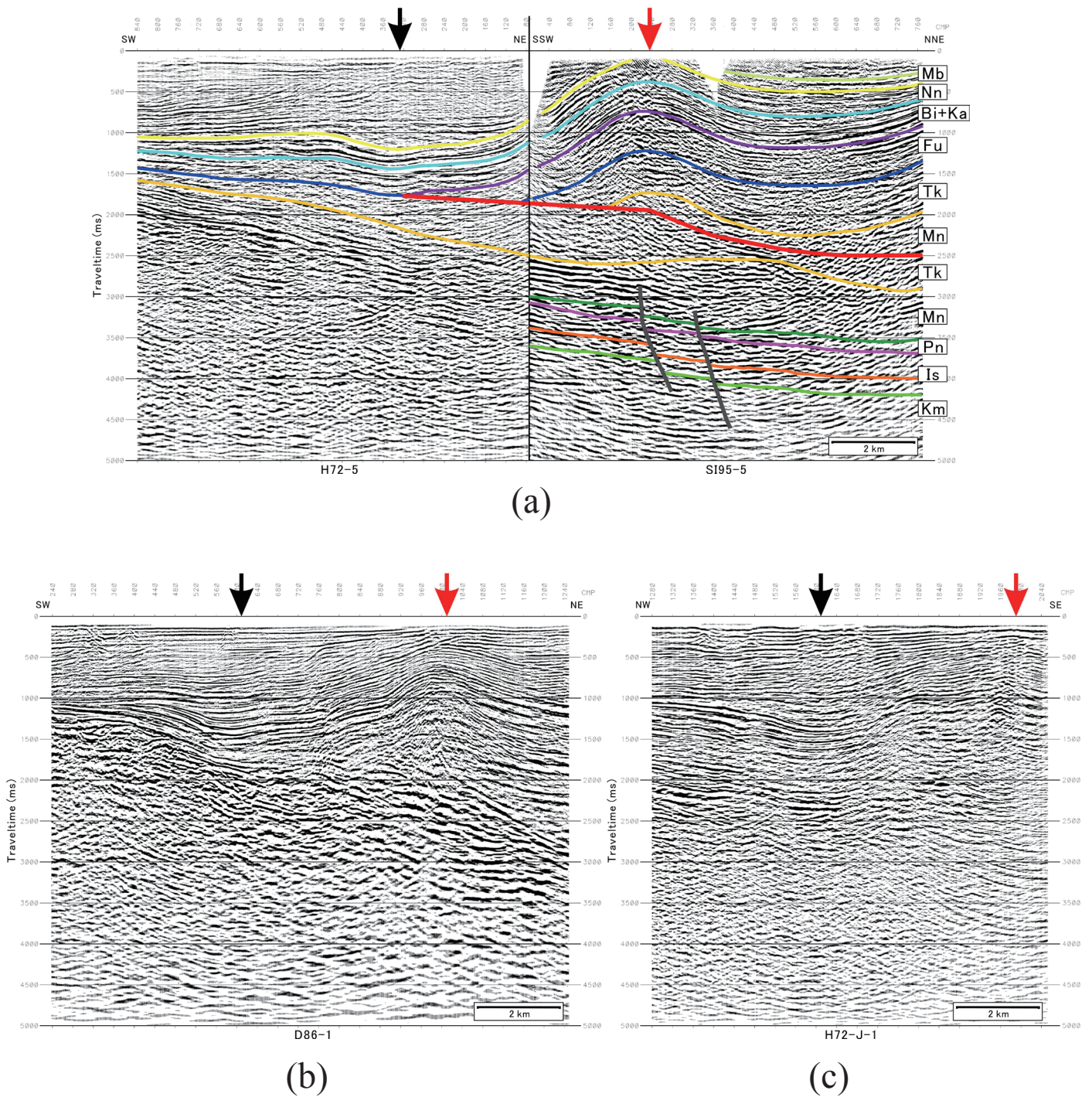
Fig.21 Continuities of anticlinal axes and front of low-angle thrust fault on land and at shallow water. Red bold line: anticlinal axes. The Hamatsuma and Yufutsu anticlines are after this study, and the Bibi anticline after Komatsubara *et al.* (2014a). Magenta dashed line: anticlines after Sato (2014). Magenta oblique line area: area where there may exist anticlinal axes. Purple dashed bold line: front of the low-angle thrust fault. Anticlines, synclines and faults in the northwestern part are after Ozaki and Komatsubara (2014), except the Atsuma syncline and the northern part of the Umaoi-yama anticline, which were slightly modified after results of this study. For other captions, see Fig.2.



第22図 石狩低地南部の背斜軸 緑色領域は平川・越後(2002)の第2図の背斜部を、矩形は第2図の範囲を示す。その他の説明は第21図参照。

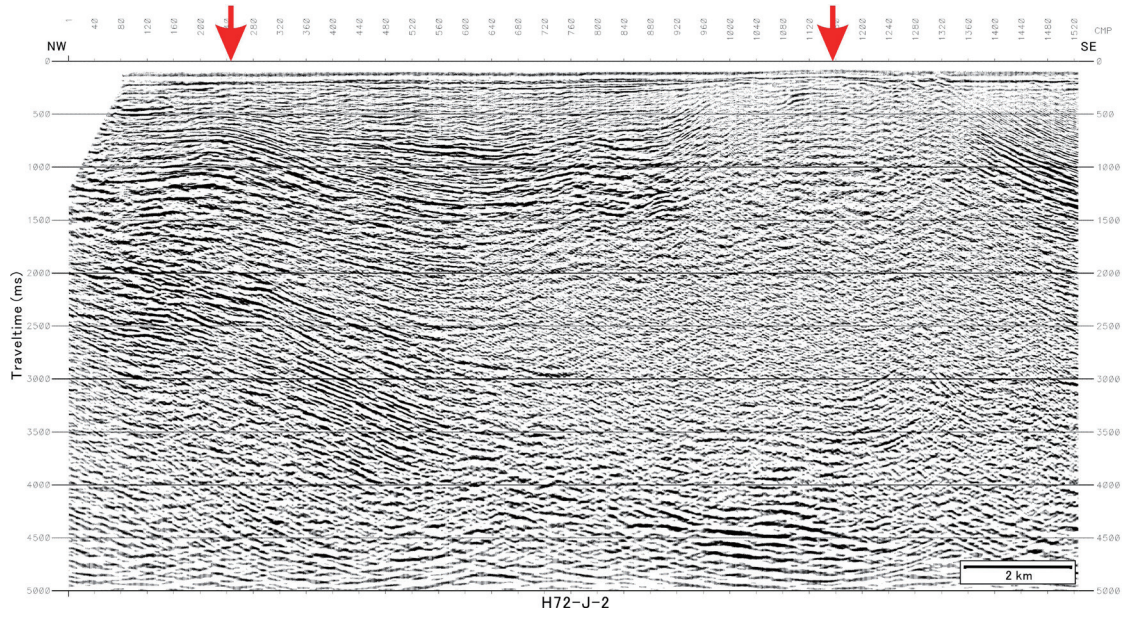
Fig.22 Anticlinal axes in the southern part of the Ishikari Lowland. The green areas correspond to the anticlines in Fig.2 of Hirakawa and Echigo (2002), and the rectangle shows an extent of the figure. For other captions, see Fig.21.

反射法地震探査結果から見た石狩低地東縁断層帯南部周辺の地下地質構造

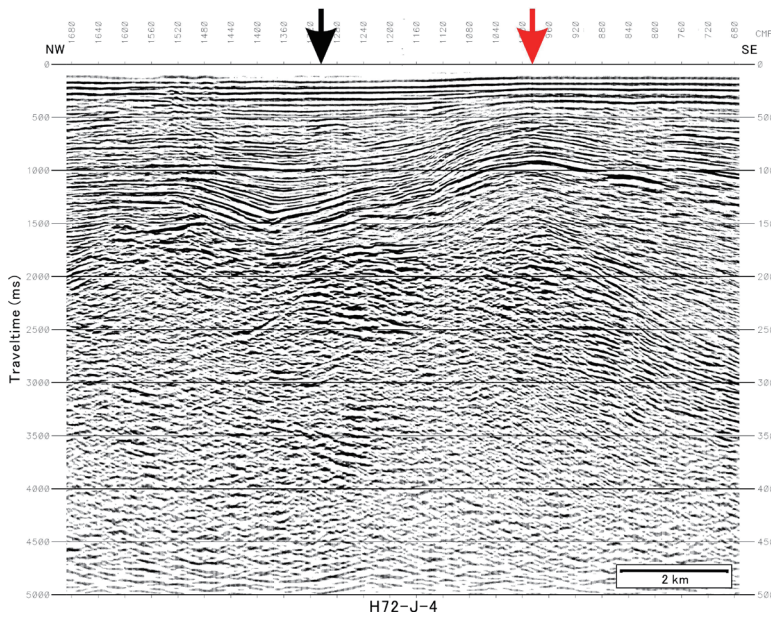


第 23 図 海域測線に見られる背斜軸及び低角逆断層のフロント 赤矢印：背斜軸。黒矢印：低角逆断層のフロント。(a)H72-5 測線と SI95-5 測線。(b)D86-1 測線。(c)H72-J-1 測線。(d)H72-J-2 測線。(e)H72-J-4 測線。(f)D86-E-2 測線。(g)H72-6-2 測線。(h)H72-H-1 測線 (CMP.3500 周辺)。(i)H72-H-1 測線 (CMP.2100 周辺)。いずれもマイグレーション後時間断面を使用。測線位置は第 24 図参照。

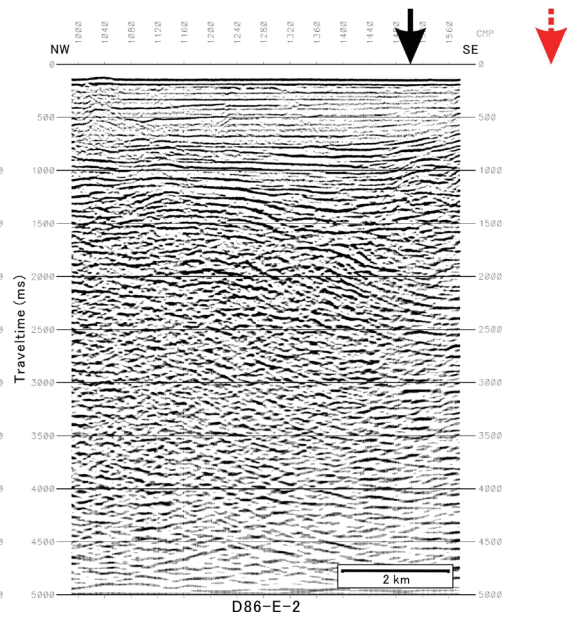
Fig.23 Anticlinal axes and front of low-angle thrust fault seen in the deep-sea seismic lines. Red arrows: anticlinal axes. Black arrows: front of low-angle thrust fault. (a) H72-5 and SI95-5 survey lines. (b) D86-1 survey line. (c) H72-J-1 survey line. (d)H72-J-2 survey line. (e) H72-J-4 survey line. (f) D86-E-2 survey line. (g) H72-6-2 survey line. (h) H72-H-1 survey line (around CMP.3500). (i) H72-H-1 survey line (around CMP.2100). Migrated time sections are used in these figures. For locations of survey lines, see Fig.24.



(d)



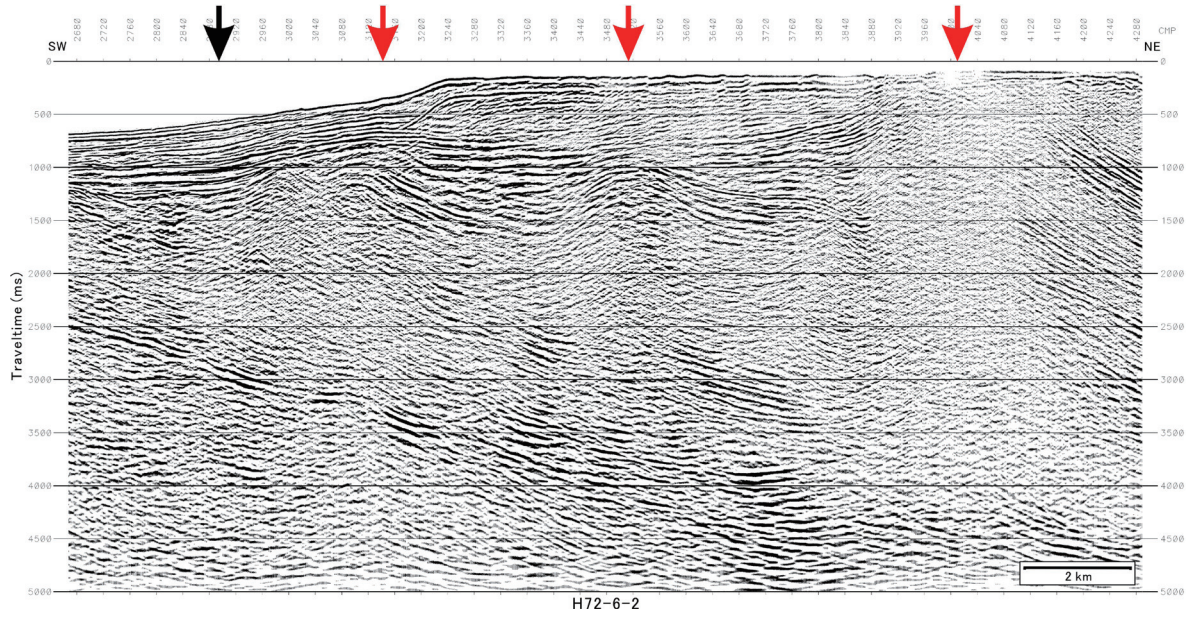
(e)



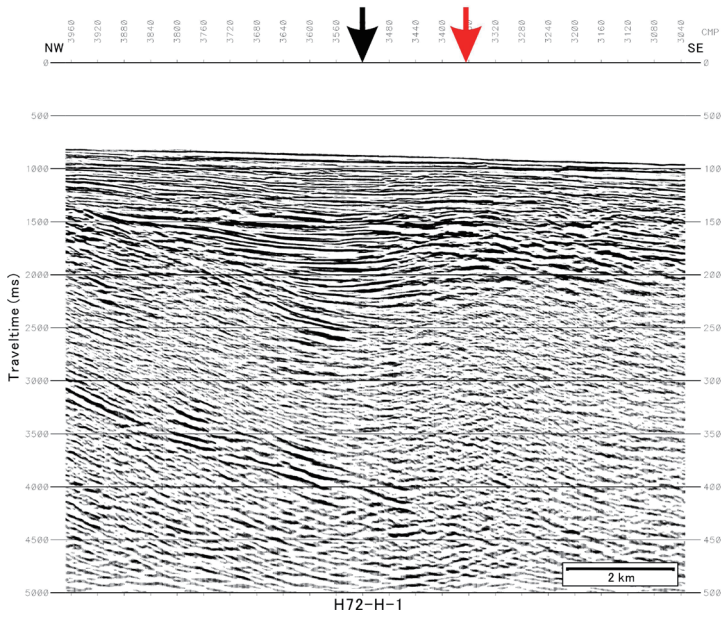
(f)

第 23 図 (続き)
Fig.23 (continued)

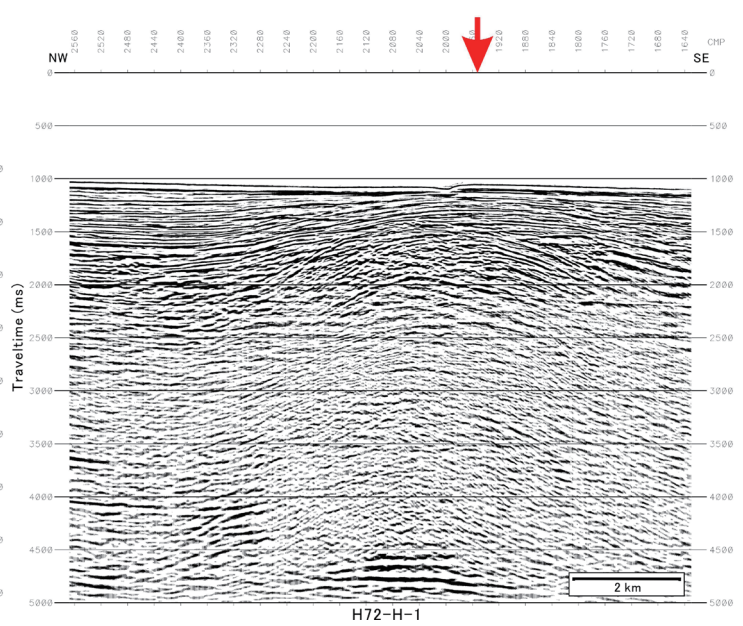
反射法地震探査結果から見た石狩低地東縁断層帯南部周辺の地下地質構造



(g)

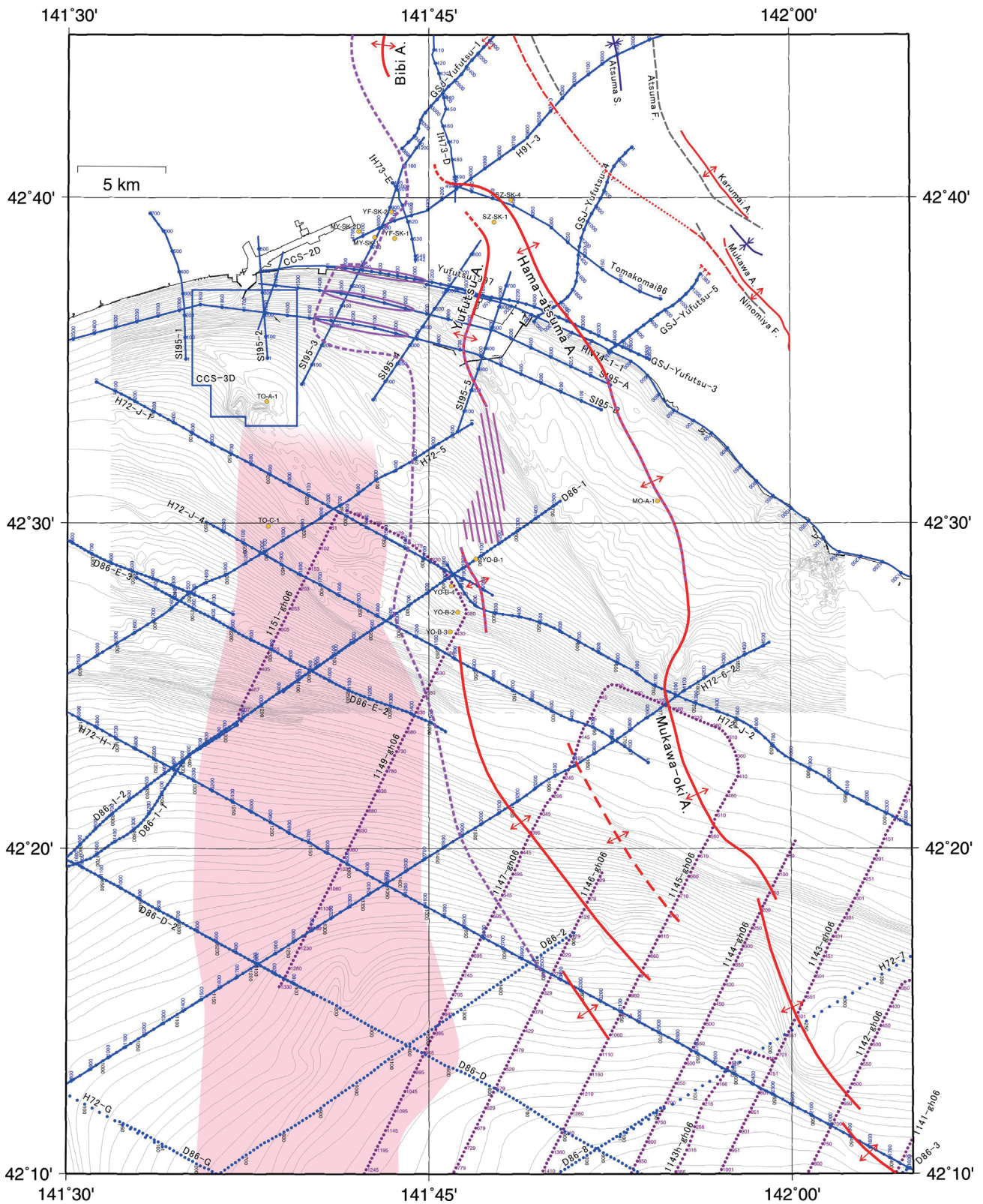


(h)



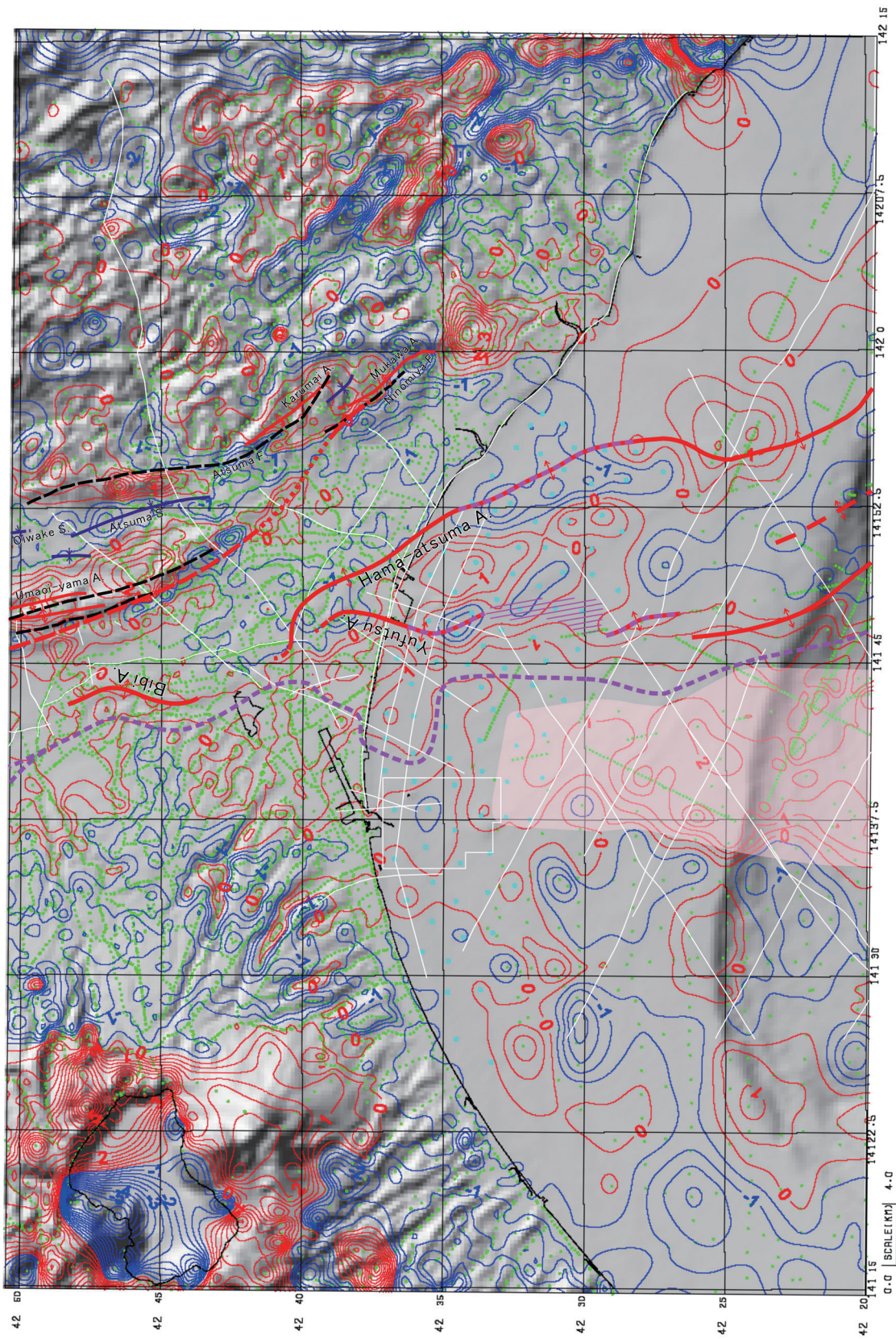
(i)

第 23 図 (続き)
Fig.23 (continued)



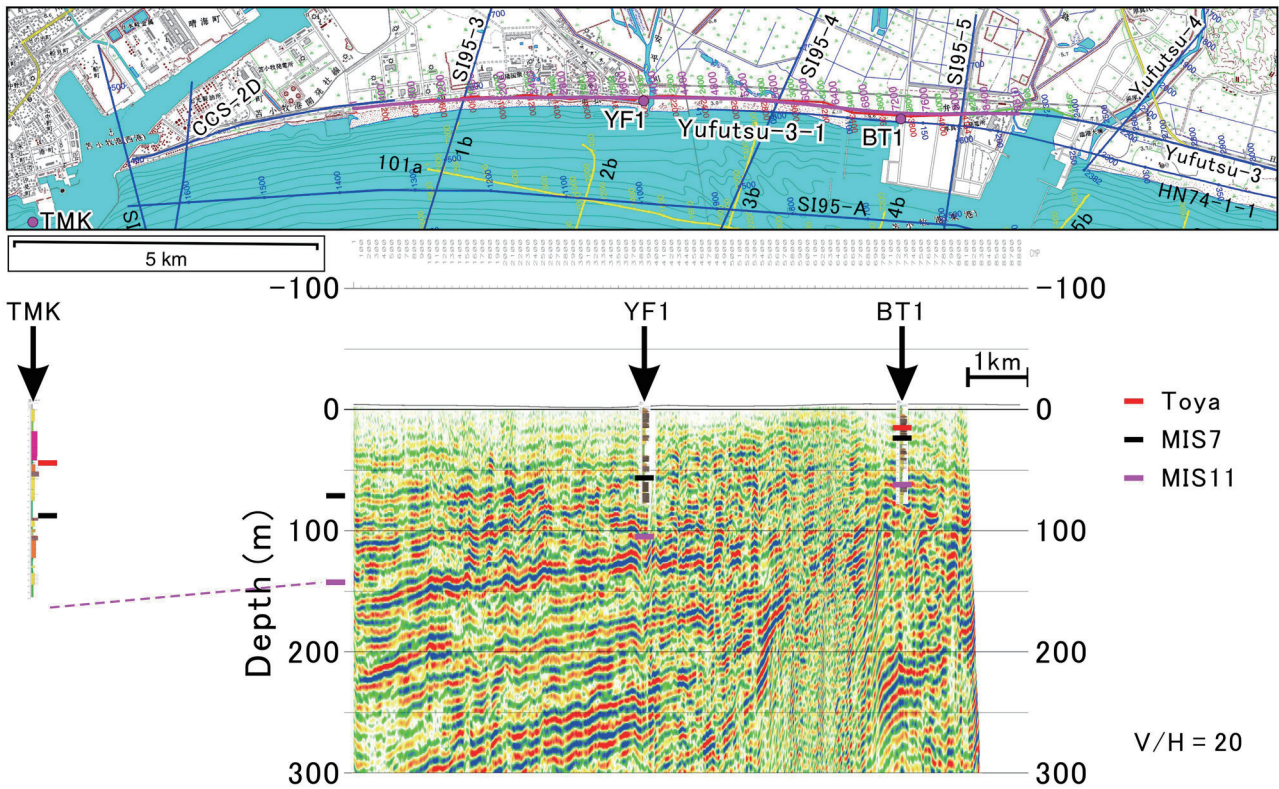
第 24 図 浅海域から海域の背斜の連続性と低角逆断層のフロント 青点：H72 測線及び D86 測線のうち本プロジェクトで再処理していないもの。濃紫色点：辻野・井上 (2012) の反射法測線。薄ピンク領域：古第三系及び白亜系からなる地塁部 (いわゆる苫小牧リッジ)。その他の説明は第 21 図参照。

Fig.24 Continuities of anticlinal axes and front of low-angle thrust fault at shallow water and deep sea. Blue dots: H72 and D86 seismic lines that were not re-processed in this study. Dark violet dots: seismic lines of Tsujino and Inoue (2012). Pale pink area: horst area composed of Paleogene and Carboniferous (so-called Tomakomai ridge). For other captions, see Fig.21.



第 25 図 残差重力図にプロットした背斜軸及び低角逆断層のプロント 白線：反射法地震探査測線、薄ピンク領域：苫小牧リッジ。
残差重力図は駒澤ほか(2013)による。その他の説明は第 21 図参照。

Fig.25 Anticlinal axes and front of low-angle thrust fault plotted on residual Bouguer gravity anomaly map. White lines: survey lines of seismic reflection profiling. Pale pink area: Tomakomai ridge. Residual gravity map: after Komazawa *et al.* (2013). For other captions, see Fig.21.



第 26 図 GSJ 勇払測線 3-1 深度断面と浅部ボーリングの対比. 上段: 測線図. 下段: 深度断面. 縦横比は 20:1. 赤, 黒, マゼンタ色の線はそれぞれ Toya, MIS7, MIS11 層準を示す (小松原ほか, 2014a).

Fig.26 Comparison between the GSJ-Yufutsu-3-1 depth section and shallow boring data. Top: Survey line map. Bottom: Depth section. Vertical exaggeration is 20. Red, black and magenta bold lines corresponds to Toya tephra, MIS7, MIS11 horizons, respectively (Komatsubara *et al.*, 2014a).