

酒田沖隆起帯における浅層音波探査

Seismic reflection profiling of the shallow structure of the Sakata-oki Uplift, Northeast Japan

堀川晴央¹・岡村行信¹・村上文敏¹

Haruo Horikawa¹, Yukinobu Okamura¹ and Fumitoshi Murakami¹

¹ 活断層・地震研究センター (AIST, Geological Survey of Japan, Active Fault and Earthquake Research Center, h.horikawa@aist.go.jp)

Abstract: The NNE-SSW trending Sakata-oki uplift belongs to the Awashima-Oga fault zone, one of the active fault zones along the eastern margin of the Sea of Japan. We conducted seismic reflection profiling for the Sakata-oki uplift to reveal the recent activity of the uplift. The seismic profiling confirms flexures along the southeastern side of the uplift. It is also found that the southwestern part of the uplift is active at present while the geological structure and gravity anomaly distribution from previous studies suggest that the northeastern part of the uplift has large deformation or vertical offset. This difference suggests that the active part of the uplift varies with time.

キーワード: 反射法地震波探査, 酒田沖隆起帯, 活断層, 日本海東縁

Keywords: seismic reflection profiling, Sakata-oki uplift, active fault, eastern margin of the Sea of Japan

1. はじめに

日本海東縁には 100 万年間の時間スケールで歪みが集中してきたゾーンがいくつか存在する (例えば, 岡村ほか, 1998). 粟島一男断層帯 (岡村ほか, 1996b, 第 1 図) は, このゾーンの一つで, 南部の粟島周辺 (粟島隆起帯) で 1964 年に新潟地震 (M=7.5) が発生した.

酒田沖隆起帯は, 粟島隆起帯の北方延長部に相当し, 北北東一南南西の走向で山形県酒田市沖に位置する (第 1 図). 本隆起帯は, 粟島隆起帯と同様に西傾斜の逆断層の上盤に形成された背斜構造 (岡村ほか, 1996a) であり, その逆断層は第四系を変位させていることから活断層と考えられるが, 活断層の変位速度や活動間隔, 最新活動については全く知られていない.

地震学的な観測, すなわち, 近代的な地震観測が整備され始めた最近約 100 年の間に, 本隆起帯を震源域とする大地震は発生していない上に, 本隆起帯と歴史地震との対応も不明である. 本隆起帯近辺が震源域と考えられている歴史地震として, 850 年 (嘉祥三年) に起こった出羽国の地震, 1804 年 (文化元年) の象潟地震, 1833 年 (天保四年) の庄内沖を震源とする大地震がある (例えば, 宇佐美, 2003). 象潟地震に関しては, Awata and Kakimi (1985) や羽鳥 (1986), 樋渡ほか (2002) が震源域や波源域を推定している. 一方, 天保の庄内沖地震に関しては, 羽鳥・片山 (1977) や相田 (1989) が, その波源域や波源断層を推定している. しかし, これらの研究において, 本研究で

対象とする酒田沖隆起帯が震源域に対応するかどうかは一切検討されていない.

そこで, 本研究では, 酒田沖隆起帯の最近の活動の一端を明らかにすることを目的に, 本隆起帯を横切る測線を複数設け, 浅層を対象とする音波探査を実施した. 本論文では, まず調査地域である酒田沖隆起帯における地質の概要を述べる. 次に, 音波探査のスペックに関してまとめる. そして, 各測線で得られた断面に関する特徴を述べ, 酒田沖隆起帯の最近の活動に関する特徴をまとめることとする.

2. 調査地域の地質概略

この章では, 岡村ほか (1996a, 1996b) での記述を元に, 酒田沖隆起帯付近の地質について述べる. 岡村ほか (1996a, 1996b) による酒田沖隆起帯付近の地質を第 2 図に示す. 音波探査の結果を元に, これらの海底地質図は第 1 表に示す層序区分を採用している. 各層は, 日本海東縁域において重要な造構運動であるテクトニック・インバージョンのステージと対応づけられている (岡村ほか, 1996a). 本隆起帯付近で存在が推定されているのは音響基盤, 平瀬層群, 両津沖層群の 3 つである.

音響基盤は, 主として先新第三系の岩石からなると考えられ, 音響的には上面に強い反射面を持ち, 内部に反射面が見えないことが多いとされている. 音響基盤の上位にあたる平瀬層群は, 日本海の拡大に伴うリフトの成長が止まり, 顕著な造構運動が見られない時期に堆積したもので, 中期中新統一鮮新

統にあたる。音響的には平行な反射面が見られる。両津沖層群は、現在まで継続しているインバージョン運動期に堆積したもので、その年代は後期更新世から第四紀と考えられている。隆起帯の周辺では薄く分布し、隆起帯上には見られない。反射面は明瞭で連続して見られることが多い。

酒田沖隆起帯は北北東－南南西の走向で長さ40 kmにわたることが確認されているが、音響散乱により地下構造のイメージングが不明瞭なため、隆起帯の北限ははっきりしない（岡村ほか、1996a）。また、酒田沖隆起帯の形成に伴う逆断層にはテクトニック・インバージョンは認められないとされている（岡村ほか、1996a）。

3. データの取得と解析

地震波探査測線の位置を第2図および第3図に示す。酒田沖隆起帯を横切る北西－南東方向に5測線を設定し、最も北側に位置する測線をS1とし、以下、南に向かってS2...S5とした。各測線の長さは16 km程度、総計80 km超であり、測線どうしの間隔は約6 kmである。

第3図には、(独)産業技術総合研究所の海洋地質データベースに収録されているシングルチャンネルの音波探査の測線も併せて示している。今回の調査は測線の密度では過去の調査には及ばないが、過去の調査よりも陸側に数 kmほど測線が伸びている。

観測は2010年9月初旬に実施した。ブーマーを音源とし、12チャンネル（チャンネル間隔2.5 m）の受波器を備えたストリーマケーブルで受振した。これらの送受振機を同一の船で曳航して調査を進めた。発振間隔は約1.25 mである。現場では次の発振までデータを取り続けたが、A/D変換後の最終的な記録は、水深により切り出し開始時刻を適宜変えつつ長さは0.6 sで揃えた。なお、A/D変換は16ビット、サンプリングレート10 kHzで行っている。船の位置はディファレンシャルGPSにより決定した。海上保安庁酒田支部を基地局とし、同局から放送される補正情報を利用して、1 sごとに測位した結果を収録した。また、音響測深機を用いた水深測量も同時に行っている。

得られた記録に対して施した処理を第4図に示す。重合処理などのマルチチャンネルによる音波探査の通常処理を行い、時間断面を得た。S4測線の南東半分に関しては波浪の影響やストリーマケーブルの水深を再検討した上でマイグレーション処理を行う形で再解析を実施した。

4. 結果

以下では、まず本調査で採用した音響層序について述べ、その後、探査結果について述べる。

4.1 層序区分

本調査ではA1, A2, B, C層の4つに分類した。この分類は、岡村ほか（1996a, 1996b）で採用された層序を元にしており、岡村ほか（1996a, 1996b）の両津沖層群に相当する層をA1, A2層の2つにわけた。B層は平瀬層群に、C層は基盤に対応する。各層の特徴は以下のとおりである。

A1層：調査地域の最上位層であり、層内の反射面はきわめて明瞭かつ連続性がよい。下位層との境界面は滑らかな場合と凹凸に富む場合とがある。境界面は浸食面と考えられ、下位の層との関係は不整合である。

A2層：反射面は明瞭なものとはそうでないものとの差が著しい。また、層内に見られる反射面は部分的にしか追跡できないことが多い。隆起している地域の近傍では、オンラップあるいはダウンラップ構造で下位層を覆い、反射面は上に向かって収束する形で放射状となる。

B層：層内には短周期の反射波が卓越することが多い。層の内部構造が見える場合と見えない場合がある。内部構造が見える反射面は互いに平行で、隆起している領域では平行な反射面がトランケートする様子が見られる。また、この層の浸食面は滑らかである。

C層：本調査で認められる最下層である。上面は凹凸に富むことが多い。内部構造は不明瞭である。

4.2 探査結果

S1からS5の各測線の時間断面を第5図から第9図に示す。第10図には、本研究で見出された断層活動に関連すると思われる構造の位置を岡村ほか（1996a, 1996b）に重ねた。以下の小節では、各測線で見出された結果について述べる。

(1) S1 測線

S1測線の時間断面を第5図に示す。隆起帯の主部である背斜の内部構造が明瞭である。この背斜構造は非対称で、南東翼が急傾斜で北西翼が緩傾斜となっている。

隆起帯の主部の北西側、測点番号105から120にかけて非対称な褶曲構造が認められる。測点番号112付近に冠が見られる背斜構造は、南東翼が急傾斜で北西翼は緩傾斜である。測点番号109付近に底が見られる向斜構造は、北西翼の方が南東翼よりも傾斜が急な形で非対称構造をなしている。冠と底との間の水平距離は500 m程度である。この褶曲構造を不整合に覆うA1層中に褶曲の成長を示す変形は認められない。

隆起帯主部の南東側の堆積層では、堆積様式の変化が明瞭に読み取れる。堆積層は、明瞭な浸食面を境に下位のB層と上位のA2層に区分できる。A2層

のうち、下位の層では隆起帯主部から後退しているのに対して、上位の層では隆起帯主部に向かって前進している。

隆起帯主部の南東側に6 kmほどのところ(測点番号50付近)のA2層内には背斜状の構造が認められる。この構造の南東側(測点番号45付近)には、下方への撓みを示唆する反射面群が認められる。しかし、海底面での変形は不明瞭である。岡村ほか(1996a, 1996b)によると、隆起帯の主部から南東に4 kmほどのところに向斜軸(あるいは伏在断層)が記載されている。本測線では、測点番号60付近が該当するが、この周辺のA1層には顕著な変形構造は認められない。

酒田沖隆起帯とは別に、この測線の南東(陸)側の測線端近くに背斜状の構造が認められる(第5図(b))。北西翼に着目すると、A1層との境界直下のA2沿うには放射状の反射パターンが見られ、この部分では層厚が背斜軸に向かって減ずることから、活動的な背斜構造と判断される。

(2) S2 測線

S2 測線の時間断面を第6図に示す。隆起帯主部にあたる背斜は内部構造が不明瞭なことからC層と判断した。この隆起帯の北西部(測点番号45付近)では急傾斜の反射面が認められ、それを境に、北西側ではA2層およびB層の変形が詳しく読み取れる。

隆起帯主部の北西側では褶曲構造が複数認められる。最も北西側のものは、測点番号10付近で折れ、ここから北西へ単調に傾き下がっている。その南東側にあたる測点番号20から25の辺りでは、背斜と向斜が組になっている。この褶曲構造の冠と底との間の水平距離は、S1測線で見出された褶曲構造と同程度である。褶曲の振幅は下層のものほど大きい。この南東側(測点番号35と40の間)には顕著な背斜構造が認められる。

測線の北西端から測点番号30までの海底面下20 ms付近に明瞭な浸食面が認められ、その浸食面をA1層が不整合で覆っている。

隆起帯主部の南東側では、測点番号86, 93および95付近に屈曲構造が認められる(第6図(b))。測点番号86から95にかけて、ベンチ状をなす明瞭な反射面(浸食面と考えられる)が2枚認められる。このうち、下位の反射面をA2層とB層との境界とした。B層内には、測点番号93の屈曲構造が南東翼が急で北西翼が緩い非対称な背斜であることを示唆する反射面が分布する。ベンチ状を呈する2つの反射面の間には、測点番号93の屈曲構造に向かって薄化尖滅する形で北西、南東の両側から堆積層を覆う様子が認められる。上側のベンチ状の反射面の上位では、A2層が屈曲点の位置で途切れることなく連続して覆っている。測点番号93と95の間に認められる複数の傾斜した反射面は、下位のものほど傾斜が

増している様子は認められない。

S1 測線と同様に、本測線の南東端近く(測点番号115付近)においても背斜状の構造が認められる。しかし、S1 測線で認められた背斜構造のようにA2層の層厚変化を観察することは困難で、埋没した砂丘など他の構造との区別は難しい。

(3) S3 測線

S3 測線の時間断面を第7図に示す。S2 測線と同様に内部構造が不明瞭なことから、隆起帯の主部にあたる背斜はC層からなると判断した。隆起帯主部の北西側では起伏に富んだ面が伏在している様子が明瞭である。この面の北西側では層内の構造が読み取れるようになることから、この起伏に富んだ面を地層境界とした。更に、隆起帯主部の南東側においても、同様の細かな起伏が見られる面が連続性よく認められ、この面を地層境界とした。C層に関しては、海底面に露出している部分でも波長の短い起伏に富んでいる。海底面における特徴は、S2 測線において隆起帯主部をなす背斜の特徴と一致する。

S2 測線と同様、隆起帯主部の北西側に背斜と向斜が組となった褶曲構造が測点番号110から115の辺りに認められる。測点番号115付近に軸面を持つ背斜構造は、南東翼は急で、北西翼は比較的緩く、非対称である。

隆起帯主部の北西側のほぼ全域にわたって、海底面下20 ms前後の深さに浸食面が認められる。この浸食面は隆起帯に向かって基本的に浅くなっているが、測点115付近に位置する背斜のところは例外で、背斜側から向斜側に向かって浸食面が深くなっている。

隆起帯主部の南東側においても、北西側と同じぐらいの深さでA2層を削剥した浸食面を、測線の南東端から測点番号50付近まで追跡できる。この浸食面をA1層が不整合で覆い、その厚さは北西に向かって薄くなる。第7図では、測点番号10から40の間の海底面を直線で近似した線(赤破線)をこの浸食面に重ねた。測点番号25辺りから南東では海底面とほとんど平行なのに対して、この点より北西では逆傾斜を呈していることがわかる。

隆起帯主部の南東側に認められる主な変形構造は、測点番号50付近の屈曲構造と同44付近の背斜構造である。背斜構造を覆う堆積層の下部のものは、背斜の冠に向かって薄化尖滅しているが、上位の層は冠の浅部延長を跨いで背斜構造全体を覆っている。S1およびS2 測線では測線の南東端近くに背斜状の構造が認められたが、本測線及びこれより南西側の測線ではこのような構造は認められない。

(4) S4 測線

S4 測線の時間断面を第8図に示す。隆起帯の主部である背斜の内部構造が明瞭であることから、隆起

帯の主部を構成する地層は S1 測線と同じ B 層と考えられる。S1 測線で見られる隆起帯主部の背斜構造と比べると翼は開いている。

隆起帯主部の北西側には、S1 から S3 測線と同じように、背斜構造（冠は測点番号 32 付近）と向斜構造（底は測点番号 37 付近）の組が認められる。冠と底との水平距離は 700 m 程度である。

隆起帯主部の南東約 3 km（測点番号 92 から 95 の間）の海底面は、北西（沖）に向かって浅くなる逆傾斜を示す（第 8 図 (b)）。測点番号 90 付近の海底面を直線で近似して南東（陸）側に外挿し、この逆傾斜に伴う高さの差を求めると、往復走時で 4 ms（伝播速度を 1500 m/s と仮定すると 3 m）に達する。この地下に認められる反射面群は、南東に向かって深くなるセンスで傾斜し、また、深いものほど傾斜が増している。これらの構造は現在も活動的である断層に伴い形成されたと考えられる。他の測線で見られた海底面の変形と比較すると、本測線で認められた変形が最も明瞭である。

往復走時で 150 ms 辺りより下位の反射面を対象に、上述の断層運動によると考えられる変形構造の沖側と陸側とを繋ぐ形で反射面を追跡することは困難である。この原因の一つとして、断層運動による変位により A2 層が著しく変形していることが考えられる。

この構造から北西約 700 m（測点番号 85 付近）に屈曲構造が認められる。その北西側は浸食され、屈曲構造全体は A2 層に不整合で覆われている。屈曲構造を覆う A2 層には変形が認められないことから、この屈曲構造は最近活動的ではないと考えられる。

隆起帯主部の南東側で測点番号 65 から 75 辺りで見られる褶曲構造は他の測線では認められない。測点番号 73 付近の背斜構造は、海底面での局所的な高まりと対応しているように見える。

隆起帯主部の南東側、測点番号 85 から南東端までの A1 層に含まれる反射面は、海底面に斜行する様子を明瞭に追跡できる。基本的に、上位の反射面ほど隆起帯の主部から後退している。

A1 層と A2 層との境界面は途中で傾斜が変わっているように見える。第 8 図には、測点番号 100 から 130 までの海底面を直線で近似したものを赤い点線で示し、境界面と重ねている。測線の南東端から測点番号 104 付近にかけては基本的に海底面と平行であるのに対し、測点番号 104 から北西では沖（北西）に向かって浅くなる逆傾斜であることがわかる。

(5) S5 測線

S5 測線の時間断面を第 9 図に示す。全体に反射面の連続性が悪く、構造を認定するのが難しいが、測点番号 35 と 57 付近で背斜構造が認められる。このうち、測線番号 57 付近にある背斜構造は、南東翼が急で北西翼が緩い形で非対称である。

第 10 図を参照すると、岡村ほか（1996a, 1996b）で見出された 2 条の伏在断層に関連した変形と考えられる。他の測線に比べると、背斜を構成する翼は開いており、活動度は低いと考えられる。また、いずれの背斜に対しても、断層に起因する変形は海底面近くで認められない。以上から、本隆起帯の活動期間を通じて、また、最近に絞っても、これらの背斜構造の活動は低いと判断される。

測線番号 57 付近の背斜構造を挟んだ両側で、海底面下 20 から 40 ms に浸食面が認められる。この浸食面を A1 層が不整合で覆い、隆起帯側でオンラップしている。このほか、測線の北西側の斜面（測点番号 100 から 115）には、えぐられたような形状を示す反射面が認められる。この反射面は S 字状の反射パターンを示す A1 層に覆われ、海底面では不明瞭になっている。

5. 議論とまとめ

最近の断層活動に関する情報が乏しい酒田沖隆起帯を対象に浅層音波探査を実施した。その結果、南側の S4 測線において最近の断層活動に伴う変形構造が明瞭に認められた。海底地質図（岡村ほか、1996a, 1996b）によると、酒田沖隆起帯の北部では、背斜軸を中心に古い地層が海底下に露出し（第 2 図）、酒田沖隆起帯が活動を開始してからの累積変位量は北側で大きいことが推定される。また、この隆起帯を含む領域で作成されたブーグ重力異常分布図（森尻、1996）においても、隆起帯の北側で異常値が大きく、基盤が浅いことが示唆される。これらのことから、酒田沖隆起帯の北部において断層の累積変位が大きく、地層の短縮が進んでいると考えられる。これは、隆起帯の南側で最近の変形が明瞭であることと対照的で、変形が活発な地域が時間変化した可能性がある。この可能性を検証するには、反射面の年代を測定し、走向方向での最近の変形量や変位速度の違いを明らかにすることが課題である。

今回の調査による新たな知見の一つは、測線の最も陸側のところで背斜状構造が認められたことである。前述のとおり、S1 測線で見出された背斜構造は活動的と判断され、陸に近い分、社会に与える影響が大きく、この背斜状構造の性質をより詳しく調べ、長期的な活動や最新の活動を明らかにすることは、日本海東縁の地震活動に関する長期評価を行う上での課題と考えられる。

S1 および S2 測線の陸側で新たに見出された背斜状構造は、S3 測線およびさらに南側の測線では対応すると考えられる構造は認められなかった。よって、この背斜状構造が更に連続するならば、S1 測線の北方と考えられる。そして、この北方に延長した先には 1804 年（文化元年）象潟地震の震源域が想定されている（樋渡ほか、2002）。したがって、この背斜状

構造の延長様式を明らかにし、象潟地震との関連を検討することも課題である。

謝辞 本研究における調査遂行にあたって、酒田海上保安部、山形県漁業協同組合に便宜をはかっていた。調査では第八飛竜丸を使用させていただいた。データの取得では、丸山かおる氏、武田信勝氏ほかの総合地質株式会社の方々に協力いただいた。S4 測線の再解析は(株)地球科学総合研究所に依頼した。本論文で使用した海底地質図のデジタルデータは、地質調査総合センターの宮崎純一氏より提供いただいた。海洋地質データベースに収録されているシングルチャンネルの音波探査の測線位置に関するデータは、(独)産業技術総合研究所地質情報研究部門の井上卓彦博士、佐藤智之博士より提供いただいた。断面の解釈では、木村治夫博士、楮原京子博士にご教示いただいた。本調査は「ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究」により進められた。図は Generic Mapping Tools (Wessel and Smith, 1998) を使って描くとともに、国土数値情報に収録されている海岸線データを用いた。以上記して感謝いたします。

文 献

相田 勇 (1989) 天保四年の庄内沖地震による津波に関する数値実験. 萩原尊禮編, 続古地震—実像と虚像, 東京大学出版会, 204-214.
 Awata, Y. and Kakimi, T. (1985) Quaternary tectonics and damaging earthquakes in Northeast Honshu, Japan, *Earthquake Prediction Research*, 3, 231-251.
 (独) 産業技術総合研究所地質調査総合センター (2011) 海域地質構造データベース <<http://riodb02.ibase.aist.go.jp/db085/RIO-DB-SEISMIC/index.html>> (2011-10-23 確認).

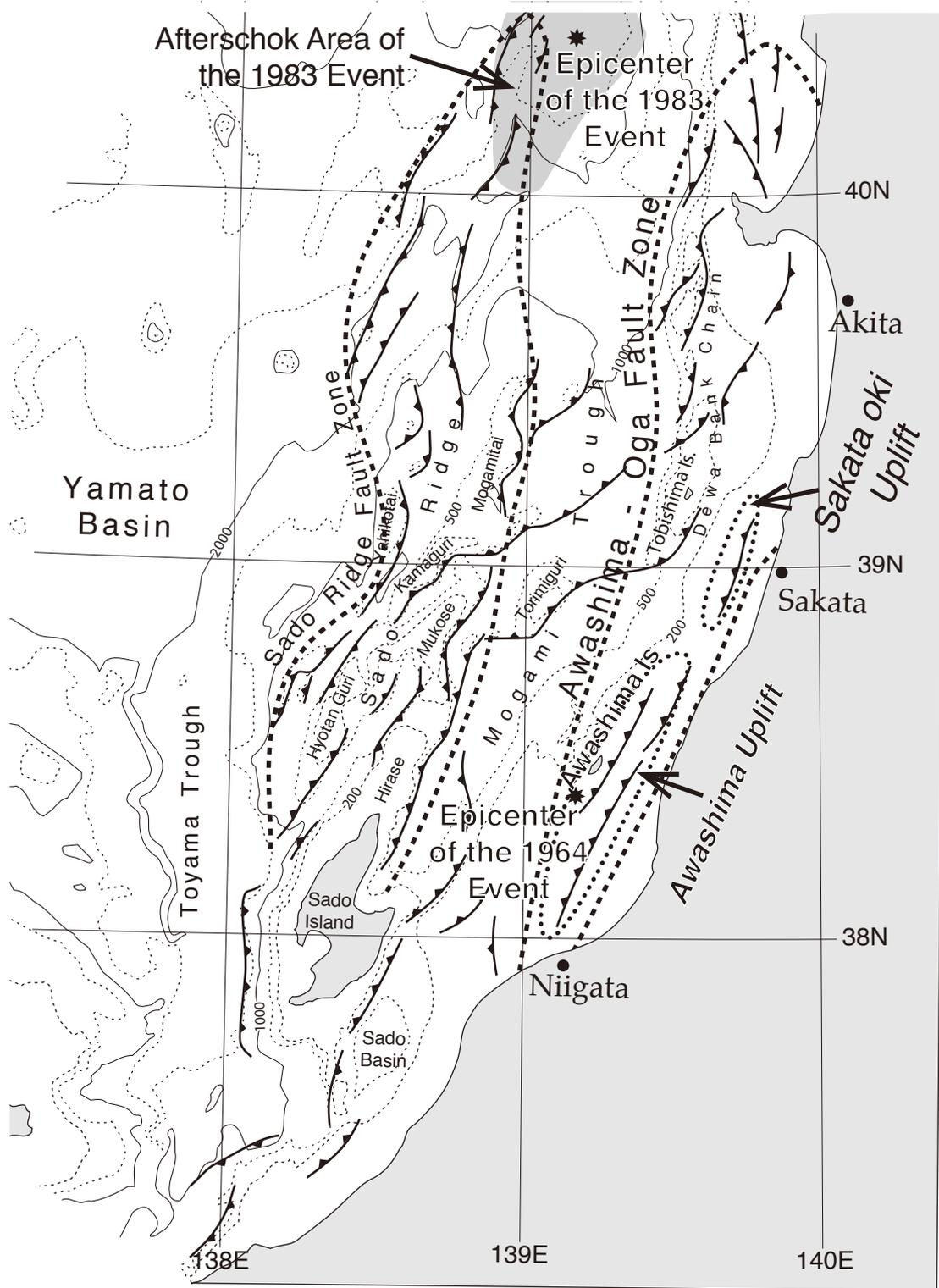
羽鳥徳太郎 (1986) 文化元年 (1804 年) 象潟地震の震度および津波調査, *地震研究所彙報*, 61, 143-157.
 羽鳥徳太郎・片山通子 (1977) 日本海沿岸における歴史津波の挙動と波源域, *地震研究所彙報*, 52, 49-79.
 森尻理恵 (1996) 重力異常から見た東北日本沖日本海東縁部の堆積盆地構造, *地震第 2 輯*, 49, 403-416.
 樋渡康子・佐藤魂夫・今村文彦 (2002) 日本海沿岸に発生する地震に伴う津波の波源と伝播—1704 年岩館地震, 1793 年鯨ヶ沢地震, および 1804 年象潟地震による津波—, *地震第 2 輯*, 54, 431-440.
 岡村行信・森尻理恵・佐藤幹夫 (1996a) 秋田西方海底地質図及び同説明書, *海底地質図*, no.48, 地質調査所, 36p.
 岡村行信・森尻理恵・土谷信之・佐藤幹夫 (1996b) 粟島周辺海底地質図及び同説明書, *海底地質図*, no.47, 地質調査所, 34p.
 岡村行信・倉本真一・佐藤幹夫 (1998) 日本海東縁海域の活構造及びその地震との関係, *地質調査所月報*, 49, 1-18.
 宇佐美龍夫 (2003) 最新版日本被害地震総覧 [416]-2001, 東京大学出版会, 605p.
 Wessel, P., and W. H. F. Smith (1998) New, improved version of Generic Mapping Tools released, *Eos*, 79, 579.

(受付: 2011 年 11 月 7 日, 受理: 2011 年 11 月 28 日)

第 1 表. 本研究において採用した地質区分. () 内の文字は本研究で行った音波探査の解釈断面上で用いた記号.

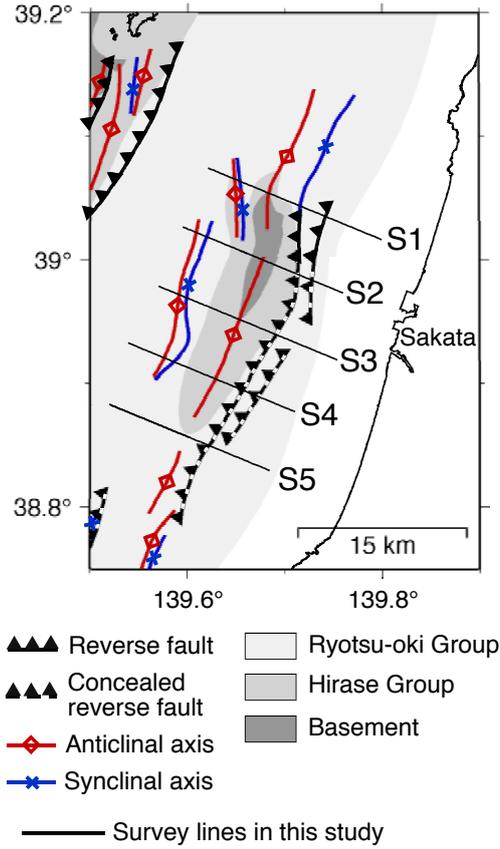
Table 1. Geological units adopted in this study. These units are based on Okamura *et al.* (1996a, 1996b). Characters with parenthesis are the labels used in the interpretation of seismic profiles (Fig. 5 to 9). A1 and A2 stand for the upper and the lower part of the Ryotsu-oki Group, respectively.

Geological Age		Geological Units
Quaternary		Ryotsu-oki Group (A1, A2)
Pliocene		Hirase Group (B)
Miocene	Late	
	Middle	
Early	Mukose Group	
Oligocene		Basement (C)

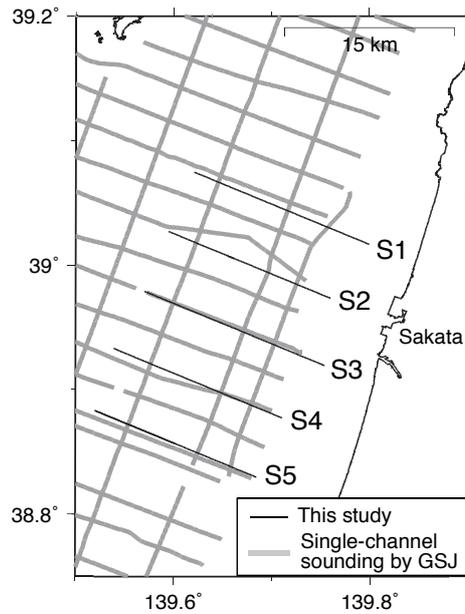


第1図. 酒田沖隆起帯の位置. 岡村ほか (1998) に加筆.

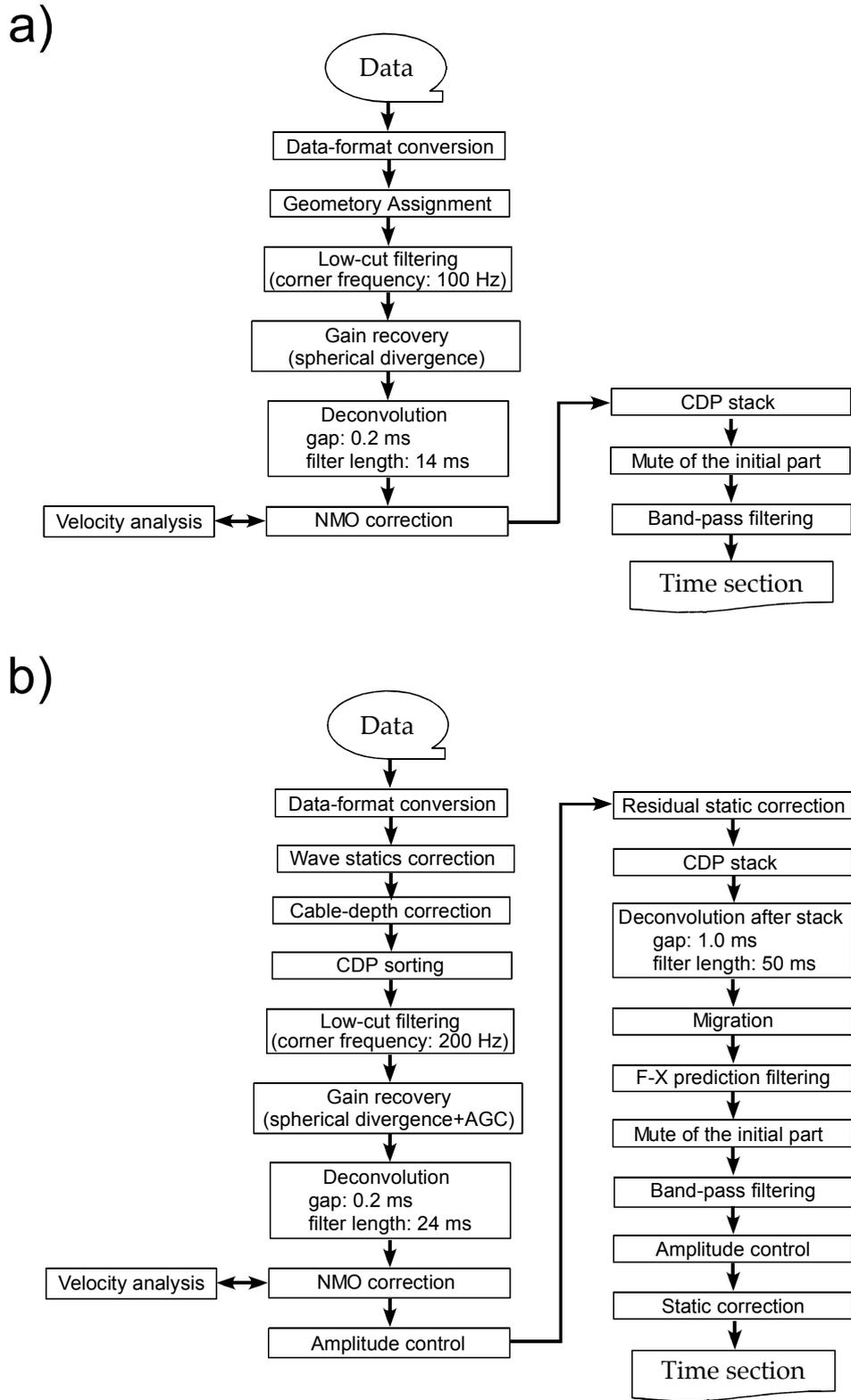
Fig. 1. Map showing the location of the Sakata-oki Uplift. Modified from Okamura *et al.* (1998).



第2図. 調査地域の地質構造. 岡村ほか (1996a, 1996b) によるものをまとめた. 黒の実線は本研究での調査測線.
 Fig. 2. Geological structure in the survey area (Okamura *et al.*, 1996a; 1996b). Black solid lines stand for survey lines of this study.

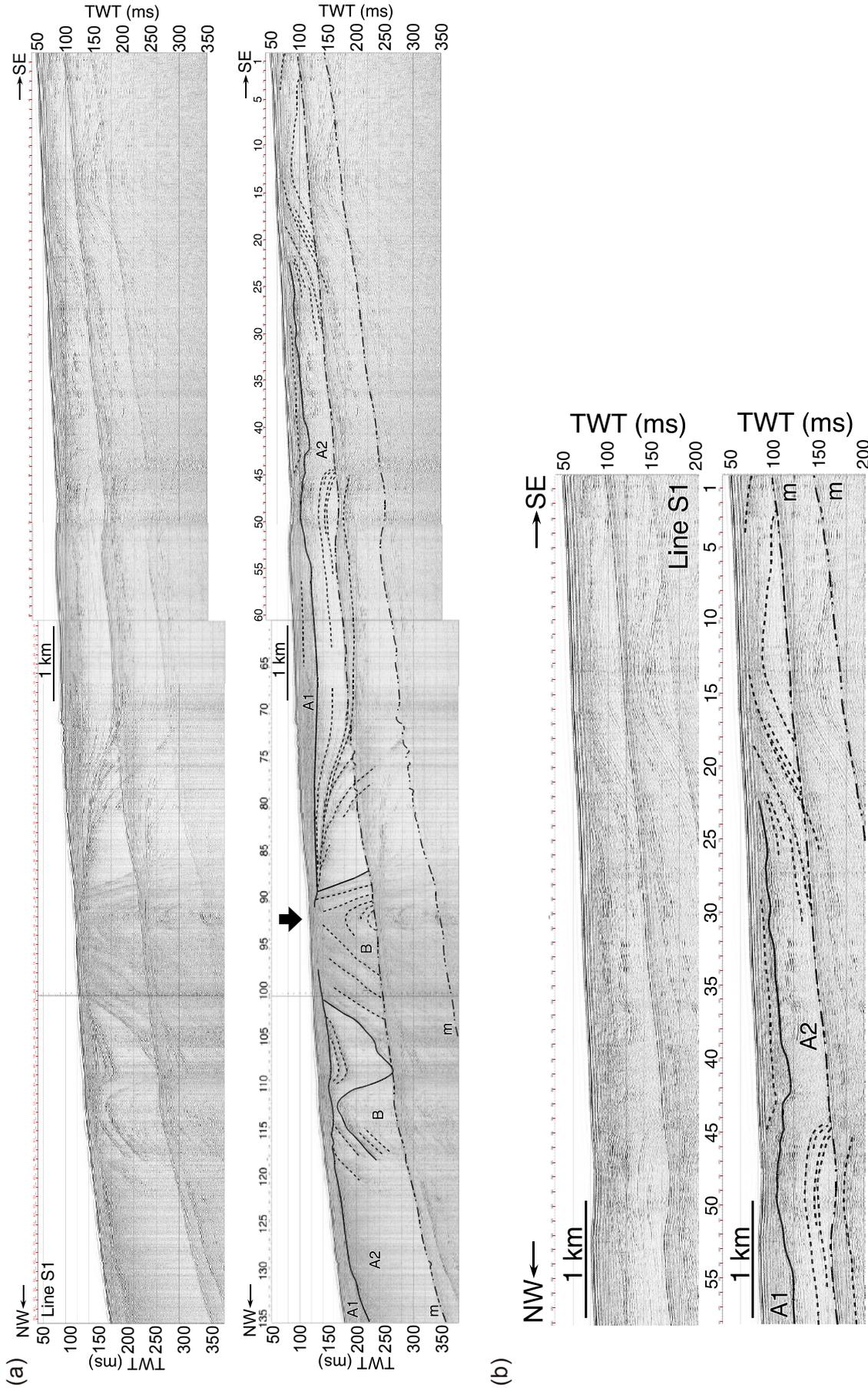


第3図. 本研究で実施した浅層音波探査の測線位置 (黒) と (独) 産業総合研究所地質調査総合センターの海域地質構造データベースに収録されているシングルチャンネル音波探査の測線 (灰色).
 Fig. 3. Map showing the locations of the survey lines of this study (black lines) and those of single-channel soundings conducted by the Geological Survey of Japan, AIST (gray lines).



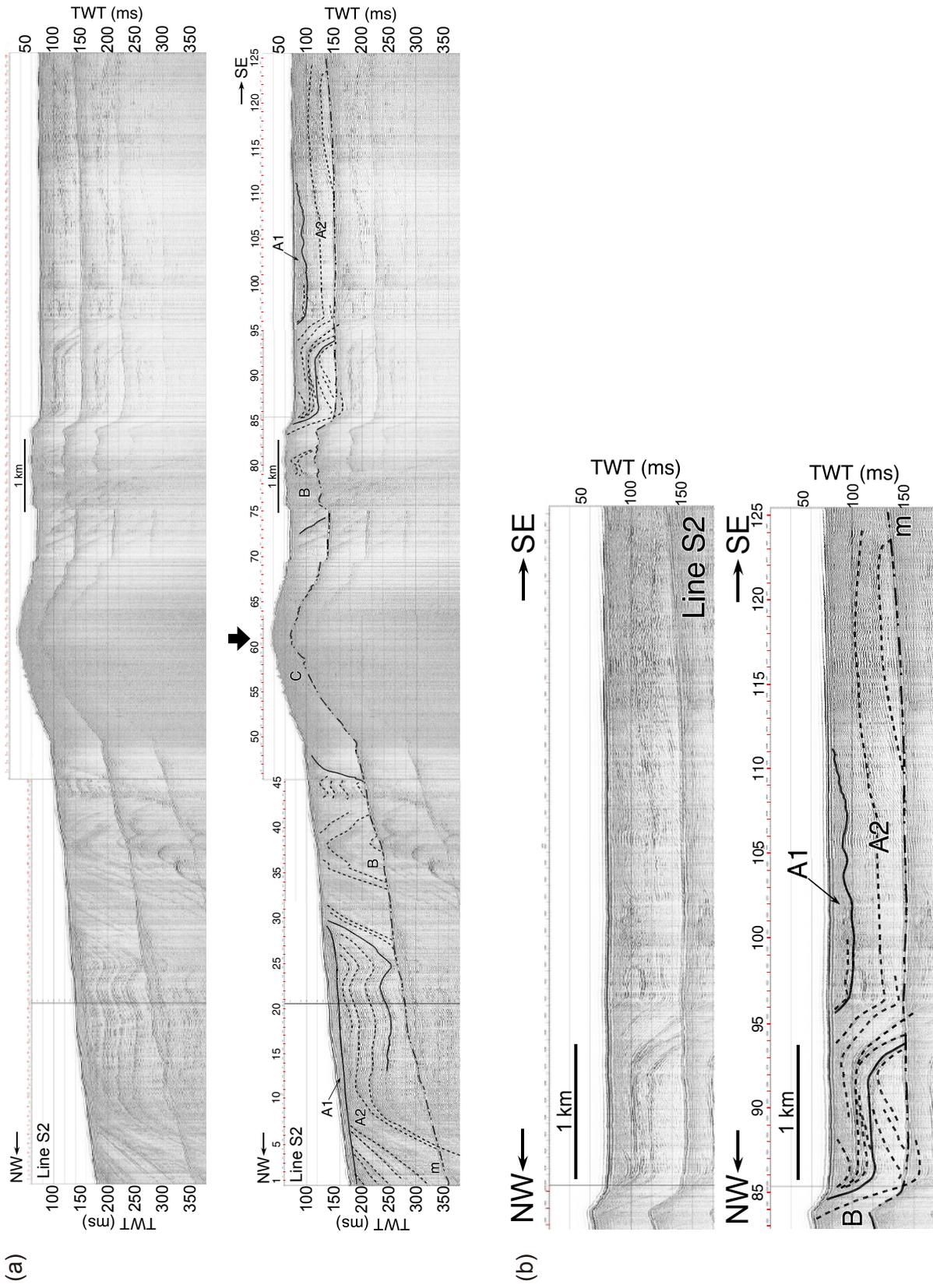
第4図. 本研究におけるデータ処理の流れ. (a) 全ての測線に対して行った処理の流れ.
(b) S4 測線のみを対象とした再解析処理の流れ.

Fig. 4. Flowcharts of data processing adopted in this study. (a) Processing flow applied to the all data, (b) reprocessing flow applied only to the seismic line S4.

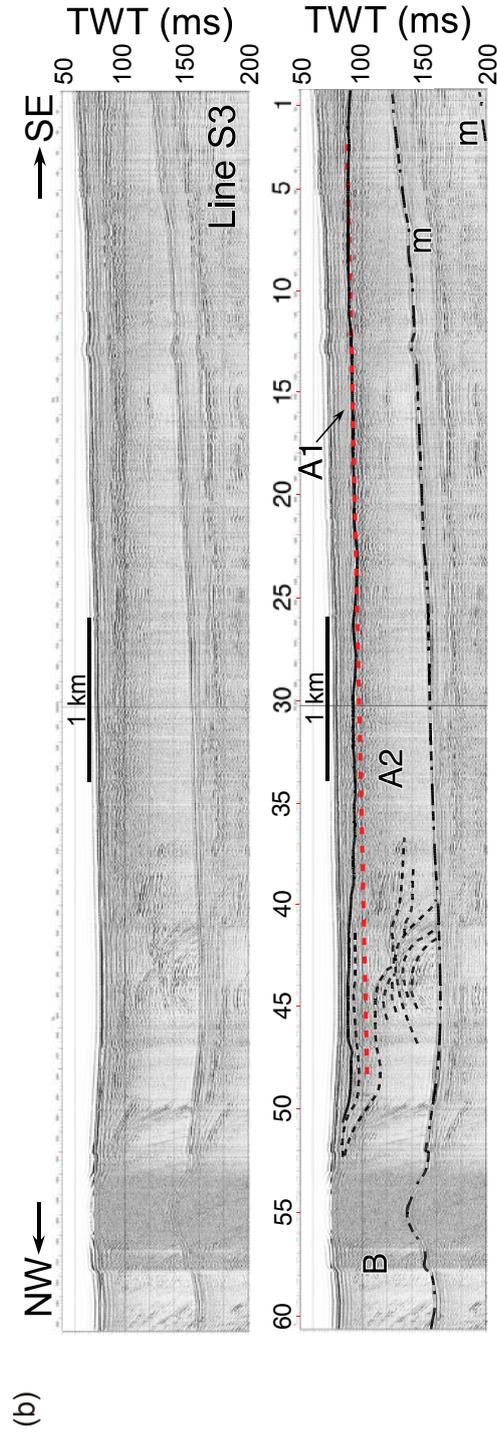
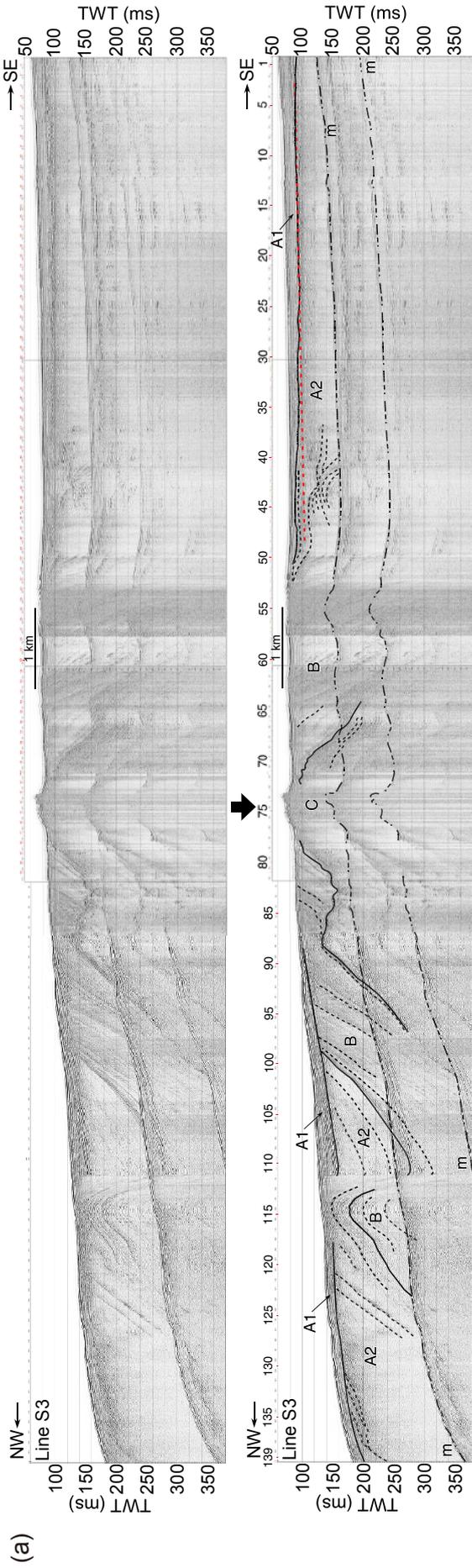


第5図. S1 測線の音波探査プロファイル。(a) 測線全体、(b) 南東部分の拡大。上段が時間断面で下段がその解釈。下段の図の上部に示した番号は測点番号。太い矢印は酒田沖隆起帯にあたる背斜軸を示す。実線と破線は読み取った反射面を意味し、実線は層境界としたものを示す。mの文字が付された破線は海底面の多重反射と解釈された反射面を示す。地質分類は第1表を、測線の位置は第3図を参照。

Fig. 5. Seismic profiles of the line S1 (a) The whole part of the survey line. (b) The southeastern part is enlarged. The upper panel and the lower panel stand for time section and its interpretation. Numbers attached to the top of the lower panel stand for event numbers. A bold arrow shows the location of the Sakata-oki uplift. Solid curves and dashed curves represent reflection surfaces; in particular, the solid ones mean layer boundaries. A dash-dotted line with the letter of 'm' is interpreted as multiple reflections from the sea bottom. Geological units are given in Table 1. See Fig. 3 for the location of the line.

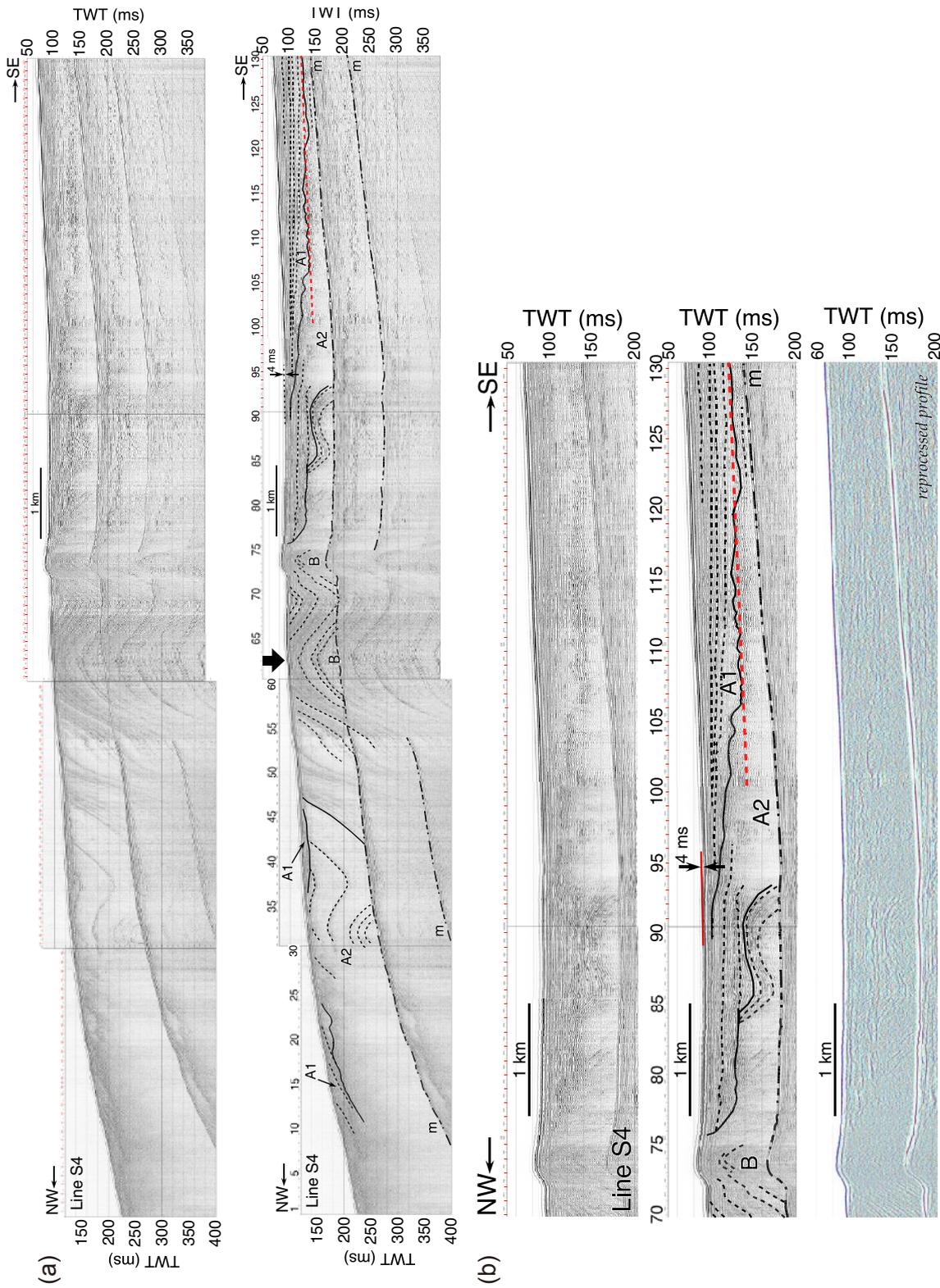


第6図. S2測線の音波探査プロフィール. (a) 測線全体, (b) 南東部分の拡大. 図中の諸記号等は第5図のキャプションを参照のこと.
 Fig. 6. Seismic profiles of the line S2 (a) The whole part of the survey line. (b) The southeastern part is enlarged. The upper panel and the lower panel stand for time section and its interpretation, respectively.



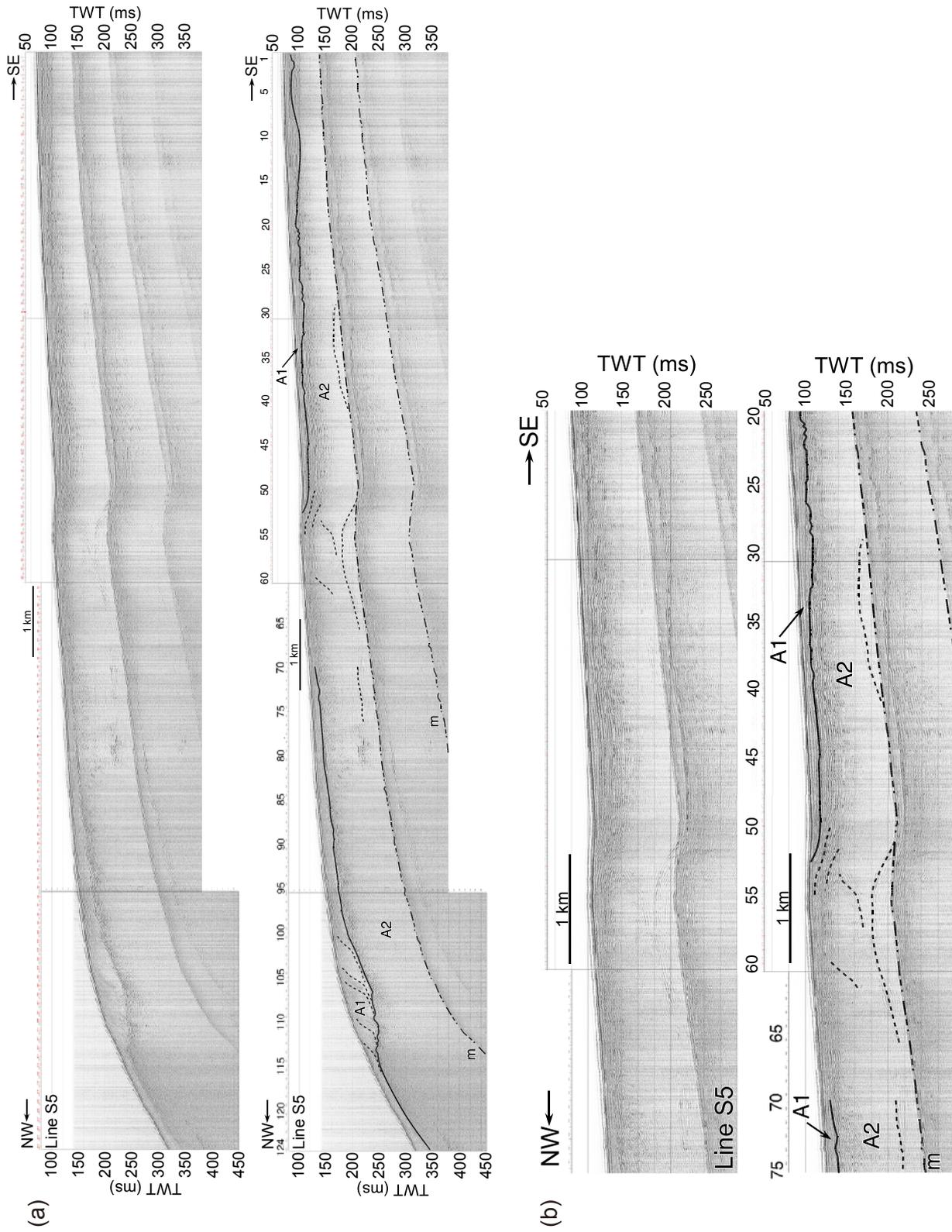
第7図. S3 測線の音波探査プロフィール. (a) 測線全体, (b) 南東部分の拡大. 赤い破線は測点番号 10 から 40 の間の海底面を直線で近似したもの. その他の図中の記号等は第5図のキャプションを参照のこと.

Fig. 7. Seismic profiles of the line S2 (a) The whole part of the survey line. (b) The southeastern part is enlarged. The sea bottom between the event No. 10 and No. 40 is approximated with a red broken line. This red line is attached to clarify the change in the trend of the layer boundary between A1 and A2. The other symbols are the same as those of Fig. 5.



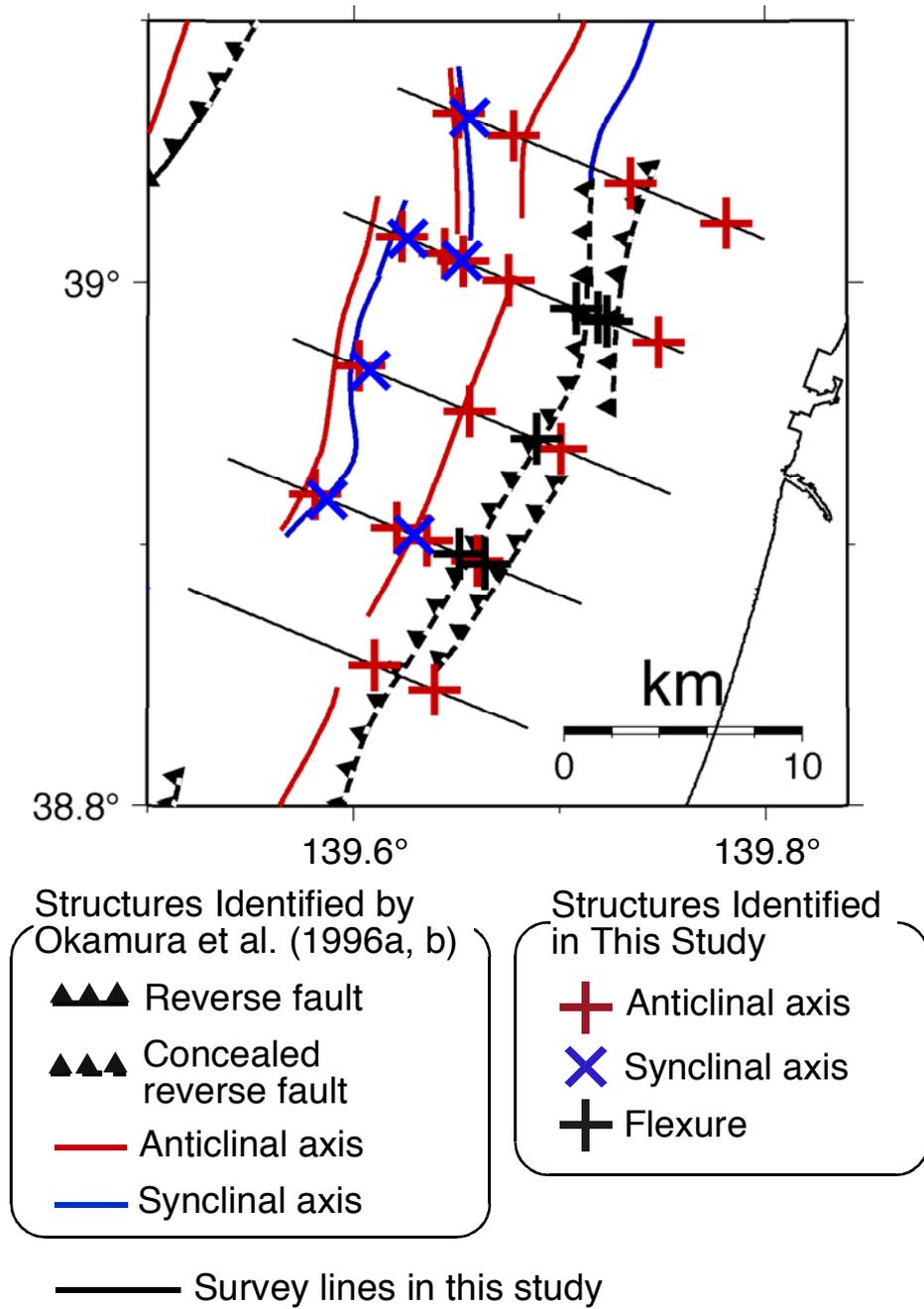
第 8 図. S4 測線の音波探査プロフィール. (a) 測線全体を示したものの. 上段が時間断面で, 下段がその解釈. (b) 南東部分の拡大したもの. 上段は元の解析結果の時間断面, 中絶がその解釈, 下段は再解析結果を示す. (a), (b) の両方にある赤い破線は測点番号 100 から 130 の間の海底面を直線で近似したもの. その他の図中の記号等は第 5 図のキャプションを参照のこと.

Fig. 8. Seismic profiles of the line S4 (a) The whole part of the survey line. The upper panel and the lower panel stand for time section and its interpretation, respectively. (b) The southeastern part is enlarged. The upper panel and the middle panel are time section of the original processing and its interpretation, respectively. The lower panel stands for the reprocessed time section. The sea bottom between the event No. 100 and No. 130 is approximated with a red broken line. This red line is attached to clarify the change in the trend of the layer boundary between A1 and A2. The other symbols are the same as those of Fig. 5.



第9図. S5 測線の音波探査プロファイル. (a) 測線全体, (b) 南東部分の拡大. 上段に時間断面, 下段にその解釈を示す. 図中の諸記号等は第5図のキャプションを参照のこと.

Fig. 9. Same as Fig. 5 but for the seismic line S5.



第 10 図. 本研究で認められた構造. 岡村ほか (1996a, 1996b) による構造図も併せて表示している.
 Fig. 10. Tectonic structure on the basis of survey results of this study. Active tectonic structure described by Okamura *et al.* (1996a, 1996b) is also shown.