

サロベツ断層帯海域延長部における活構造の分布・性状と活動性について

Spatial distribution and activity of active structure in the offshore extension of the Sarobetsu fault zone, Hokkaido, Japan

阿部信太郎¹・内田康人²・荒井良祐³・岡村行信¹

Shintaro Abe¹, Yasuhito Uchida², Ryoyu Arai³ and Yukinobu Okamura¹

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

² 北海道立総合研究機構地質研究所 (Geological Survey of Hokkaido, Hokkaido Research Organization)

³ 川崎地質株式会社 (Kawasaki Geological Engineering Co. Ltd.)

Abstract: We carried out a marine geological investigation in the offshore extension of the Sarobetsu fault zone, Hokkaido, Japan. The main purpose of this study is to clarify the total length of the fault zone and characterization of recent faulting. We conducted 16 lines of high-resolution multichannel seismic reflection survey and 7 lines of Single-channel seismic reflection survey to recognize the detailed structure of the faults and folds. The reflection profiles depict the geological structure with extremely clear images. They show that the geological structure of the offshore area is characterized by the fold zone along the eastern margin of the Rebun trough. The length of the fold zone is estimated to be more than 50 km based on our results of the survey. The shape of fold is asymmetric. It suggests that the fold is fault related folds which is deformed by east dipping blind reverse fault. The latest activity age of the blind fault is uncertain. The tilt of the erosion surface in the last glacial period (about 18,000 years ago) including the sea floor is recognized. Vertical displacement due to the tilt in the sea floor is about 4.5 m and about 21m in the erosion surface. Assuming that the vertical displacement of the sea floor was formed in one event, five events are estimated to 18,000 years ago or later. Average recurrence interval is estimated at 3600 years.

キーワード: サロベツ断層帯, 沿岸海域, 断層, 褶曲, 活構造, 高分解能反射法地震探査

Keywords: Sarobetsu fault zone, offshore, fault, fold, active structure, high-resolution seismic reflection survey

1. はじめに

これまで地震調査研究推進本部は、主として陸域に存在する110の主要活断層帯を対象として調査を実施し、その成果に基づき活断層で発生する地震の長期評価や強震動評価を公表してきた(地震調査研究推進本部, 2011, 2010)。

一方、近年、日本の沿岸海域においては、2005年福岡県西方沖の地震、2007年新潟県中越沖地震など、被害を伴う地震が発生している(地震調査研究推進本部, 2005, 2007)。前述した110の活断層帯の中には、地質構造としては海域部まで連続しているにもかかわらず、その部分における断層の分布、性状、活動性が明確になっていないものがある。このような活断層帯においては、陸域部と海域部が一体となって活動した場合、これまで想定されている地震規模よりも大きな地震が発生し、深刻な被害が生じる可能性もある。

以上のような点を踏まえ、本研究においては、文部科学省委託「沿岸海域における活断層調査」の一環として、サロベツ断層帯海域延長部の活構造につ

いて、位置、形状を把握し、全長を明らかにするとともに、その活動履歴を解明するため、ウォーターガンを音源とするシングルチャンネル音波探査、ブーマーを音源とする高分解能マルチチャンネル音波探査を実施した。また、海域部に分布する活構造と陸域に分布するサロベツ断層帯の活動履歴を比較することを目的として、チャープ方式高分解能シングルチャンネル音波探査とパイプロコアを用いた柱状採泥調査を実施した。

本論文ではこのうち、活断層・地震研究センターが主体となって実施したウォーターガンを音源とするシングルチャンネル音波探査、ブーマーを音源とする高分解能マルチチャンネル音波探査の解析結果に基づき、サロベツ断層帯海域延長部全体の活構造の分布状況とその北部における活動性について論ずる。調査海域南部において北海道立総合研究機構地質研究所が主体となって実施したチャープ方式高分解能シングルチャンネル音波探査とパイプロコアを用いた柱状採泥調査の結果に基づく、サロベツ断層帯海域延長部の陸域近傍海域における活動履歴については、内田他(2013)を参照されたい。

2. サロベツ断層帯の概要

サロベツ断層帯は、活断層研究会編(1991)、中田・今泉編(2002)等に基づけば、陸域部においては、北海道北部の宗谷丘陵西縁に分布しており、北海道天塩郡豊富町(とよとみちょう)から同郡幌延町(ほろのべちょう)を経て、同郡天塩町(てしおちょう)に至る全長約44 km、概ね北北西-南南東方向に延びる断層帯である(第1図)。仮に全体が1つの区間として活動する場合の地震規模は、マグニチュード7.6程度となる可能性がある。

地震調査研究推進本部地震調査委員会(2007)は本断層帯の長期評価において、産業技術総合研究所(2006)に基づき、断層帯の平均的な上下変位速度は0.7 m/千年以上、最新活動は不明であるが、過去の活動時期として約5,100年前以後、約4,500年前以前にあった可能性を指摘している。平均活動間隔は、平均的な隆起速度と3~4 mとされる1回の隆起量から約4,000年~8,000年と推定されている。また、既存反射法地震探査の再解析結果から、地表において認められる変位地形は、地下に伏在する東傾斜の逆断層のずれによる断層関連褶曲の成長に伴い生じたものと解釈されている。

本断層帯の延長海域には、小椋他(1992)、徳山他(2001)、池田他編(2002)、荒井(2013)等において、陸域から海域に連続する褶曲、活構造の存在が示されており(第1図)、陸域部におけるサロベツ断層帯との地質的、地形的な連続性も議論されている。

荒井(2013)は、陸域の宗谷丘陵から海域に連続した複背斜の褶曲帯である宗谷隆起帯の西縁部に伏在する断層を活構造と推定している。小椋他(1992)、徳山他(2001)は、深部反射法地震探査記録に基づき、陸域におけるサロベツ断層帯と同様、この褶曲帯も地下深部の断層運動にともなう断層関連褶曲と解釈している。

3. サロベツ断層帯海域延長部における海底活断層調査の概要

本調査における音波探査は、地質構造を分解能良く捉えて、浅層部における活構造の性状、累積的な変位、変形、最終活動時期を把握するため、ブーマーを音源とした高分解能のマルチチャンネル音波探査を主体として実施した。また、必要に応じて、やや深部(海底下400 m程度)の地質構造を確認するためにウォーターガンを音源とするシングルチャンネル音波探査を実施した。探査仕様を第1表にまとめる。

調査測線は、サロベツ断層帯の走向方向にほぼ直交するE-W方向に主たる探査測線を設定し(WK1測線~WK15測線)、それらの探査測線間の音響層序を対比するために、主たる探査測線を繋ぐ方向に測線を設けた(WK101測線、WK102測線)(第2図)。

また、地質構造の検討においては、この調査に加えて、海上保安庁水路部(現、海上保安庁海洋情報部)(1993)のスーパーカー記録、荒井(2013)の音波探査記録、石油公団(現、石油天然ガス・金属鉱物資源機構)(1989)の反射法地震探査記録も参照した。

4. 音波探査記録の音響層序区分と地質区分の対比

本探査では、ブーマーによる高分解能マルチチャンネル音波探査で海底面下およそ150~200 mまでの反射記録、シングルチャンネル音波探査で海底面下およそ350~500 mまでの反射記録が得られた。なお、反射記録の深度変換にあたっては、水中および堆積物中での弾性波伝播速度を1,500 m/secと仮定した。

本調査海域において、荒井(2013)はGIガンによる音波探査記録によって、内部の構造や層序関係等に基づいて音響基盤(Bs)、宗谷沖層群(Sy)、稚内沖層群(Wk)、抜海沖層群(Bk)に層序区分を行っている。さらに抜海沖層群(Bk)はオンラップ不整合面を境界として抜海沖層群下部層(Bk-L)、中部層(Bk-M)、上部層(Bk-U)に細分している。

また、隣接する南方海域においては、海上保安庁(1993)はソノローブおよびスーパーカーによる音波探査記録によって、I層~VII層に区分している。

本調査で取得した音波探査記録断面の地質解釈においては、調査海域が重なっている点を考慮し、基本的には荒井(2013)の層序区分に従った。

ただし、本調査における音波探査記録は浅層部の分解能が荒井(2013)で用いられているGIガンによる音波探査記録よりも高いことから、その最上位層である抜海沖層群上部層(Bk-U)の浅層部をさらに2層に細区分し、上位のものからA層、B層とした(第2表)。また、本調査の音波探査結果から明瞭に認識できるのは、荒井(2013)の抜海沖層群下部層(Bk-L)より上位の地層である。それより下位の層についても背斜軸部の削剝を受けている領域においては露出していると推察されるが、地層が急傾斜を呈しているため、層序として区分することは困難であった。したがって、反射断面図上ではそれらの層をまとめてC層とし、その分布域については、必要に応じて荒井(2013)を踏襲した。以下に各層の特徴を述べる。

【A層】調査範囲の最上位層で、層厚は最大でも15 m程度と薄く、下位層とは不整合関係にある。堆積構造が把握できたところでは水平ないしは緩く傾斜した内部構造を示すが、ブーマーを音源とする反射記録断面では内部反射面の連続性は必ずしも明瞭ではない部分も多い。

【B層】内部反射面が明瞭なところでは、A層と同様に、ほぼ水平から緩く傾斜した内部構造を示し、下位層にオンラップする。層厚はA層よりも薄い。一部、背斜構造の前翼部付近に小規模ながらプログラーションの反射パターンを呈している部分が認

められる(第3図(a), 第3図(b)).

【Bk-U層, Bk-M層, Bk-L層】利尻島および礼文島の高まりと宗谷隆起帯に挟まれた領域に発達した礼文トラフ, および宗谷隆起帯上の向斜軸を埋める堆積層である. ほぼ成層構造を呈しており, 不整合面によって3層に区分され, 上位よりBk-U層, Bk-M層, Bk-L層とした.

A層は, 顕著な侵食面を不整合で覆うことから最終氷期以降の堆積物と推定される. それ以下の地層については直接的に年代を示す資料は乏しいが, A層基底面以下のB層には, 一部にプログラデーションと類似する堆積構造が確認されることから上部更新統の地層と解釈した. Bk層については, 荒井(2013)は宗谷隆起帯上におけるグラブ採泥試料から更新世以降の堆積物としている.

5. 音波探査記録断面の地質構造解釈

本調査で実施した反射断面ならびに解釈断面を, 第4図~第25図に示し, 以下に各断面における地質構造の特徴を述べる. なお, 以下において測線名Bはブーマーによる高分解能マルチチャンネル音波探査断面, 測線名Sはシングルチャンネル音波探査断面を示す.

【WK1測線】WK1S測線において, ショットポイント(以下SPと記す)4700の深度0.8秒からSP4300の深度1.0秒にかけて東へ傾斜した強い反射面がC層内部に確認される(第4図). この反射面は, 同一位置における石油公団(1989)の記録によると深部から連続する衝上断層に相当する. その上盤側にはSP3570を軸とする背斜構造(Fo1)が認められる. この背斜はWK1B測線ではSP1450付近に認められ, その西側には変位量の0.005秒にも満たない小さな逆断層が3本存在する(第5図(a), 第5図(b)). 背斜構造の軸部は地形的な高まりを形成し, Bk-U層及びB層が削剝により欠如している. この褶曲構造の西側の翼部ではA層まで褶曲変形が及んでいる. WK1S測線の東側にもSP780付近を軸にする背斜構造(Fo2)が認められる(第4図).

【WK2測線】WK2S測線において, SP240付近とSP580付近に, 隣り合う2つの背斜構造が認められ, 箱型褶曲を形成している(第6図). この背斜構造は浅部では1本の背斜軸を有する構造(Fo1)となり, 少なくともBk-U層には褶曲変形が及んでいる(WK2B測線のSP3345付近)(第7図(a), 第7図(b)). また, WK2S測線のSP3160付近に軸を持つ背斜構造(Fo2)も認められる. この褶曲の軸部ではBk-U層及びB層が欠如しているが, 背斜構造の軸部には地形的な高まりが認められる.

【WK3測線】WK3S測線において, SP860付近に背斜構造(Fo2)が認められる(第8図). この背斜構造より西側ではほぼフラットな地質構造を呈する.

WK3B測線でみると, この背斜構造は西側の翼が東側の翼に比べて傾斜がやや急になっている非対称性を有している(第9図(a), 第9図(b)). また, 軸部は削剝されBk-U層及びB層が欠如しているものの, 西側翼部において, Bk-U層には明瞭に褶曲変形が認められる. それより上位の地層では変形構造は明瞭には認められないが, 海底地形に緩い撓みが認められる.

【WK4測線】WK4B測線ではSP1390付近に軸を持ち, 東側に比べて西側の翼の傾斜がきつい非対称な背斜構造(Fo2)が存在し, 西側翼部においては, Bk-U層に褶曲変形が認められる. それより上位の地層には変形構造は明瞭には認められないが, 海底地形に緩い撓みが認められる. この背斜構造の軸部付近には変位量の小さい6本の断層が発達している(第10図(a), 第10図(b)).

【WK5測線】WK5S測線において, SP1475付近に地層の傾斜変換点が認められる. またSP180付近にも地層の傾斜変換点が認められる(第11図). 前者はWK5B測線のSP2000付近に認められるもので, 削剝によってB層およびBk-U層が欠如しており, 変形を受けている最上位の層準は不明であるが, 海底地形に高低差が認められる(第12図(a), 第12図(b)). 後者はWK5B測線のSP400付近のものであり, B層はこの褶曲変形を受けているBk-U層以下の地層と内部構造が調和的でないが, B層以上の地層や海底地形に緩い撓みが認められる(第13図(a), 第13図(b)).

【WK6測線】WK6B測線において, 東部ではBk-M層以下の地層の傾斜が大きく, 中央から西部にかけては緩く西側に傾斜する地質構造が認められる. あまり明瞭ではないが, それらの傾斜変換点がSP580付近に認められる(第14図(a), 第14図(b)). Bk-U層以下の地層はほぼ調和的な変形構造を示しており, B層以上の地層はそれらを不整合に覆って堆積している.

【WK7測線】WK7S測線において, SP800~SP900付近に, Bk-U層以下の地層に傾斜変換点が認められる(第15図). この傾斜変換点はWK7B測線においてはSP1250付近に認められる(第16図(a), 第16図(b)). Bk-U層以下の地層はほぼ調和的な変形構造を示しており, B層以上の地層はそれらを不整合に覆って堆積している. B層以上の地層や海底地形にも緩い撓みが見られる.

【WK8測線】WK8B測線において, SP1000~SP1100を境にBk-U層以下の地層は, 東側では急傾斜, 西側ではほぼフラットな構造が認められる(第17図(a), 第17図(b)). Bk-U層以下の地層はほぼ調和的な変形構造を示しており, B層以上の地層はそれらを不整合に覆って堆積している. B層以上の地層や海底地形にも緩い撓みが見られる.

【WK9測線】WK9B測線において, SP600~SP800

を境に Bk-U 層以下の地層は、東側では急傾斜、西側ではほぼフラットな構造が認められる。急傾斜を示す Bk-U 以下の地層を不整合で覆って B 層以上の地層が堆積しているが、その不整合面より上の地層や海底地形にも撓みが見られる（第 18 図(a), 第 18 図(b)）。

【WK10 測線】WK10S 測線において、SP1000 付近に軸を持つ向斜構造 (Fo4) が認められ、その東側では C 層がやや急傾斜している。また、西側の SP1560 付近には背斜構造が確認される（第 19 図）。WK10B 測線では SP1200 より東側では Bk-M 層の傾斜がきつくと、SP1400 より西側では比較的緩い傾斜を呈しているものの、その間の SP1200～SP1300 あたりは散乱層になっており両者の関係は不明である（第 20 図(a), 第 20 図(b)）。しかし、B 層以上の地層や海底地形には撓みが見られる。

【WK11 測線】WK11S 測線において、SP1735 付近に軸を持つ背斜構造 (Fo5) が認められる。また、西側の SP670 付近には C 層に傾斜変換点が認められる。ここより西側では、C 層を含めて、地層は緩く西側に傾斜している（第 21 図）。

【WK12 測線】WK12B 測線において、SP1250 付近に地層の傾斜変換点が認められ、それより西側では地層の傾斜が緩く、東側では急傾斜を呈することより断層を想定した。この傾斜変換点において、A 層基底面の傾斜も変わっている（第 22 図(a), 第 22 図(b)）。

【WK13 測線】WK13B 測線において、SP900 付近に地層の傾斜変換点が認められ、それより西側では地層の傾斜が緩く、東側では急傾斜を呈することより断層を想定した。この傾斜変換点において、B 層内部の傾斜も変わっている（第 23 図(a), 第 23 図(b)）。

【WK14 測線】WK14B 測線において、SP1300 付近に音響基盤の盛り上がり確認される。基盤の盛り上がり周辺では、B 層や Bk-U 層の傾斜がやや急になる（第 24 図(a), 第 24 図(b)）。

【WK15 測線】WK15B 測線において、SP1000～SP1200 より西側では Bk-M 層以下の地層の傾斜が緩い。SP600 付近には急傾斜を示す C 層が確認されており、反射パターンの変わり目に断層を推定した（第 25 図(a), 第 25 図(b)）。

各反射断面において断層に伴う変位、変形と考えられる構造が認識された位置および褶曲軸の位置を既存の文献に記載された断層とともに測線図上に示す（第 26 図）。

6. サロベツ断層帯海域延長部における活構造の分布・性状

本調査の解析結果（第 26 図）および荒井（2013）により示されている地質構造を総合的に解釈し、本海域における断層の位置、形状、活構造の連続性に

ついて議論する（第 27 図）。

既存の反射地震記録断面（産業技術総合研究所、2006）等によれば、この地域の背斜構造は基本的に東傾斜の逆断層に伴う断層関連褶曲であり、変形が及んでいる層準から判断すると西側のものほどより新期の活動を反映していると解釈される。この観点において、WK14 測線（第 24 図(a), 第 24 図(b)）、WK15 測線（第 25 図(a), 第 25 図(b)）は、陸域部におけるサロベツ断層帯の断層関連褶曲のうち、最も西側にあたるペンケ背斜の前翼部に位置する（第 26 図）。反射記録断面上には、断層関連褶曲を示唆する地質構造は認識されないが、基盤の盛り上がりや地層の急傾斜帯が確認され、陸域のサロベツ断層帯の活動に伴う変形は、この領域にも及んでいる。

一方、北方海域延長部については、ユークル背斜の海域延長部となる WK11 測線（第 21 図）、WK12 測線（第 22 図(a), 第 22 図(b)）、WK13 測線（第 23 図(a), 第 23 図(b)）において、A 層基底面にも影響を与えている地層の傾斜変換点が確認され、深部における断層の存在とその新期の活動が示唆される。また、地層の傾斜変換点の東側には、褶曲構造 Fo5 が確認される。深部に推定された断層および褶曲構造は、荒井（2013）に記載されている利尻および礼文を含む基盤の高まりと、野寒布岬および宗谷岬を含む基盤の高まりに挟まれた舟状海盆である礼文トラフの東縁の推定断層と褶曲構造に位置的には連続する（第 27 図）。

礼文トラフの東縁の推定断層は、陸域の宗谷丘陵から海域に連続する複背斜の褶曲帯である宗谷隆起帯を形成する断層であり、本調査でも WK5 測線から WK10 測線（第 11 図～第 20 図(a), 第 20 図(b)）において確認された A 層にも影響を与えている地層の傾斜変換点とその東側の褶曲構造 Fo3, Fo4, Fo5 を隆起帯の縁辺部に形成しつつ、さらに北方まで連続している（第 27 図）。

WK5 測線より以北においては、これまで追跡されてきた礼文トラフ東縁の宗谷隆起帯を形成する断層の西側に新たな地層の傾斜変換点とともに褶曲構造 Fo2 が形成されており、本調査の最北測線である WK1 測線まで連続している（第 4 図～第 13 図(a), 第 13 図(b)）。

WK2 測線以北においては、そのさらに西側に褶曲構造 Fo1 が形成されており、前述の陸域と同様の発達形態をたどっていることが確認された（第 27 図）。特に WK1 測線において褶曲構造 Fo1 は、顕著な地形的な高まりを形成しつつ、背斜頂部は Bk-U 層及び B 層が欠如するほど剝削を受けている。さらに、褶曲の西翼部では A 層まで変形が及んでいることから、褶曲構造 Fo1 は地質学的には極めて新しい時代に急速に形成されたと解釈する（第 5 図(a), 第 5 図(b)）。

本調査範囲においては、褶曲構造 Fo1 が最も北側

かつ西側に位置する褶曲構造であり、この断層帯が概ね西側に向かって断層関連褶曲として、新しい褶曲構造を形成している発達過程を念頭に置くと、褶曲構造 Fo1 はサロベツ断層帯海域延長部の最新の活動が反映された地質構造と考えられる。なお、本調査においては褶曲構造 Fo1 の北端部は確認できておらず、さらに北側まで連続しているものと考えられるが、サロベツ断層帯海域延長部が礼文トラフの縁辺部に発達していることを考慮すれば、少なくともその北端部は礼文トラフの北端部付近（北緯 45 度 40 分付近）までは連続していると考えられる。

海域における本褶曲帯と陸域部におけるサロベツ断層帯との地質的、地形的な連続性については既往研究成果により議論されている（池田他編 2002 など）。本調査結果に加えて、これらの研究成果も踏まえると、サロベツ断層帯海域延長部の全長は少なくとも 53 km 以上となる。

以上のように、本調査範囲において確認されたサロベツ断層帯海域部の活構造は、(1) 陸域から延びるユークル背斜の延長部にあたる断層関連褶曲 Fo5、(2) 礼文トラフ西側縁辺部に形成された断層関連褶曲 Fo3、(3) Fo3 と並走しつつその西側に形成された断層関連褶曲 Fo2、(4) Fo2 と並走しつつその西側に形成された本調査海域における最北かつ最も西側に分布する断層関連褶曲 Fo1 からなる。

これらの各地質構造は連続的な一連の地質構造としては分布していないが、石油公団（1989）の深部反射法地震探査断面に基づけば、東側深部から西側浅部に連続する同一のデコルマ面上に形成された断層関連褶曲であるという共通の形成要因を有している。したがって、サロベツ断層帯海域延長部約 53 km 以上の区間は活動区間として一連となるポテンシャルを有する活構造となる可能性がある（第 27 図）。

7. サロベツ断層帯海域延長部に分布する活構造の活動性

本調査によって把握されたユークル背斜の海域延長部から礼文トラフの北端部付近に至る褶曲帯は断層関連褶曲であり、第四紀層である Bk-U 層は、全域にわたって変形を被っている。また、Bk-U 層以浅の地層である A 層、B 層については、背斜軸上で特に大きく剝削を受けており、全域にわたって変形の有無を判断できる層厚を有している領域は少ない。

本調査範囲の最も北側かつ西側に位置する褶曲構造 Fo1 は、背斜の頂部は大きく剝削を受けているものの、その翼部には A 層、B 層が堆積している。褶曲構造 Fo1 を横断する WK1 測線においては、翼部の海底面に褶曲の成長に伴うと解釈される傾動が確認される（第 28 図）。同様の傾動は A 層基底面にも確認され、その傾動は海底面よりも大きいことから、この傾動は累積性を有する。

堆積などの影響を考えると必ずしも海底面の高低差が 1 回の断層活動の垂直変位量を反映しているとは限らないが、WK1 測線上における褶曲構造 Fo1 翼部における海底面傾動の上下変位量は約 4.5 m であり、陸域で想定されている一回の変位量 3~4 m と同程度である。

同様に A 層基底面における傾動に伴う上下変位量は約 21 m と読み取られることから、約 18,000 年前の最終氷期最低海水準期以降、A 層堆積中に海底面の傾動をもたらした活動も含めて、5 回程度の活動があったと推定される。したがって、活動間隔は 3,600 年程度、平均変位速度は約 1.2 m/千年と見積もられる（第 28 図）。

一方、内田他（2013）は、陸域に近い稚内市抜海沖のユークル背斜の前翼部において実施されたチャープ方式高分解能シングルチャンネル音波探査とパイプロコアを用いた柱状採泥調査の結果から、約 8,000 年前と約 5,000 年前頃以降に 2 回の隆起イベントを推定し、平均変位速度は約 0.7~0.8 m/千年と見積もっている。

調査海域北部に関する本論文と調査海域南部に関する内田他（2013）の検討結果を比較すると、北部の方が平均変位速度としては高い値を示していることになる。これは前節 7. に述べたような断層関連褶曲 Fo1 から Fo5 それぞれの成長過程の違いに起因している可能性もあるが、反射法探査スペックの違いによる上下変位量の計測精度の違いや地層年代の不確定性に起因している可能性もあり、さらなる検討を要する。

8. まとめ

ウォーターガンを音源とするシングルチャンネル音波探査、ブーマーを音源とする高分解能マルチチャンネル音波探査の解析結果に基づいて検討されたサロベツ断層帯海域延長部における活構造の分布・性状と活動性について、以下にまとめる。

【平均変位速度】

調査海域北部の褶曲構造 Fo1 における A 層基底面の傾動に伴う上下変位量は約 21 m と読み取られることから、平均変位速度は約 1.2 m/千年と見積もられる。

内田他（2013）は、調査海域南部のユークル背斜前面における放射性炭素年代値による A1/A2 境界面の形成年代（約 8,000 年前）、垂直変位量（約 6 m）から平均変位速度は約 0.7~0.8 m/千年と見積もっている。

【活動時期】

調査海域北部の褶曲構造 Fo1 翼部における海底面傾動の上下変位量約 4.5 m、同様に A 層基底面における傾動に伴う上下変位量約 21 m から、約 18,000 年前の最終氷期最低海水準期以降、A 層堆積中に海

底面の傾動をもたらした活動も含めて、5回程度の活動があったと推定される。

内田他(2013)は、調査海域南部のユークル背斜前面における断層変形に伴う成長層が発達しはじめた層準(A2/A1境界)の年代値から約8,000年前に活動があったと推測している。さらに、より上位の層準であるA1層の堆積から侵食を経て、最新のA0層が堆積するに至る隆起イベントは、約5,000年前以降と推定している。

【1回の変位量】

本断層帯の1回の変位量に関する直接的資料は得られていない。調査海域北部の褶曲構造Fol1においては、陸域で想定されている1回の上下変位量3~4mと同程度の上下変位量約4.5mが翼部における海底面の傾動としてとらえられている。

内田他(2013)は、調査海域南部のユークル背斜前面における反射面(A2/A1境界、約8,000年前)の垂直変位量約6mを2回のイベントによって形成されたとして、1回の垂直変位量を約3mと推定している。

【活動間隔】

本断層帯の活動間隔に関する直接的資料は得られていない。調査海域北部の褶曲構造Fol1翼部における海底面傾動に伴う上下変位量約4.5mを1回の断層活動に伴う上下変位量と仮定し、約18,000年前の最終氷期最低海水準期の侵食面であるA層基底面の傾動に伴う上下変位量約21mを考慮すると、過去18,000年間に5回程度の活動が見積もられ、活動間隔は3,600年程度となる。

内田他(2013)は、調査海域南部のユークル背斜前面における成長層が発達しはじめた約8,000年前、さらに断層関連褶曲による背斜軸の隆起による浅海化が約5,000年前以降、以上の2回の隆起イベントから活動間隔は3,000~3,500年と見積もっている。

【活動区間】

本調査範囲において確認されたサロベツ断層帯海域部の活構造は、連続的な一連の地質構造としては分布していないが、石油公団(1989)の深部反射法地震探査断面に基づけば、東側深部から西側浅部に連続する同一のデコルマ面上に形成された断層関連褶曲であるという共通の形成要因を有している。したがって、サロベツ断層帯海域延長部約53km以上の区間は活動区間としては一連となるポテンシャルを有する活構造となる可能性がある。

謝辞 本報告は2012年度に文部科学省より委託を受けた、サロベツ断層帯海域部における活断層調査結果をまとめたものである。本研究を実施するにあたり、調査海域に隣接する自治体および漁業、港湾、船舶交通にかかわる関係各所の方々には調査の趣旨を御理解いただき、多大なる御協力をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

文 献

- 地震調査研究推進本部(2005)福岡県西方沖の地震活動. http://www.jishin.go.jp/main/chousa/major_act/act_2005.htm#a20050320
- 地震調査研究推進本部(2007)新潟県中越沖地震の地震活動. http://www.jishin.go.jp/main/chousa/major_act/act_2007.htm#a20070716
- 地震調査研究推進本部(2010)「全国地震動予測地図」の更新について. http://www.jishin.go.jp/main/chousa/10_yosokuchizu/100520yosokuchizu.pdf
- 地震調査研究推進本部(2011)主要活断層帯の長期評価による地震発生確率値. <http://www.jishin.go.jp/main/choukihyoka/kaku110101.pdf>
- 内田康人・仁科健二・阿部信太郎・荒井良祐・田村 慎・北沢俊幸(2013)稚内市抜海沖におけるサロベツ断層帯の活動履歴. 活断層・古地震研究報告, 第13号, 印刷中
- 荒井晃作(2013)宗谷岬西方海底地質図. 海洋地質図, no.78(CD), 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 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.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2007)「サロベツ断層帯の評価」. 24p.
- 海上保安庁水路部(1993)5万分の1沿岸の海の基本図 海底地形地質調査報告「利尻水道」.
- 活断層研究会編(1991)「新編日本の活断層一分布図と資料一」. 東京大学出版会, 437p.
- 中田 高・今泉俊文編(2002)「活断層デジタルマップ」. 東京大学出版会, DVD-ROM2枚・付図1葉・60p.
- 小椋信幸・掃部 満(1992)天北・羽幌地域の石油地質一深部構造特性と炭化水素ポテンシャル. 石油技術協会誌, 57, 32-44.
- 産業技術総合研究所(2006)サロベツ断層帯の活動性および活動履歴調査・「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. H17-1, 26p.
- 石油公団(1989)昭和63年度国内石油・天然ガス基礎調査海上基礎物理探査「北海道西部~北東部海域」調査報告書.
- 徳山英一・本座栄一・木村政昭・倉本真一・芦寿一郎・岡村行信・荒戸裕之・伊藤康人・徐 垣・日野亮太・野原 壮・阿部寛信・坂井眞一・向山健二郎(2001)日本海周辺海域中新世最末期以降の構造発達史. 海洋調査技術, 13, 27-53.

(受付:2013年9月8日, 受理:2013年10月24日)

第1表. 探査仕様.

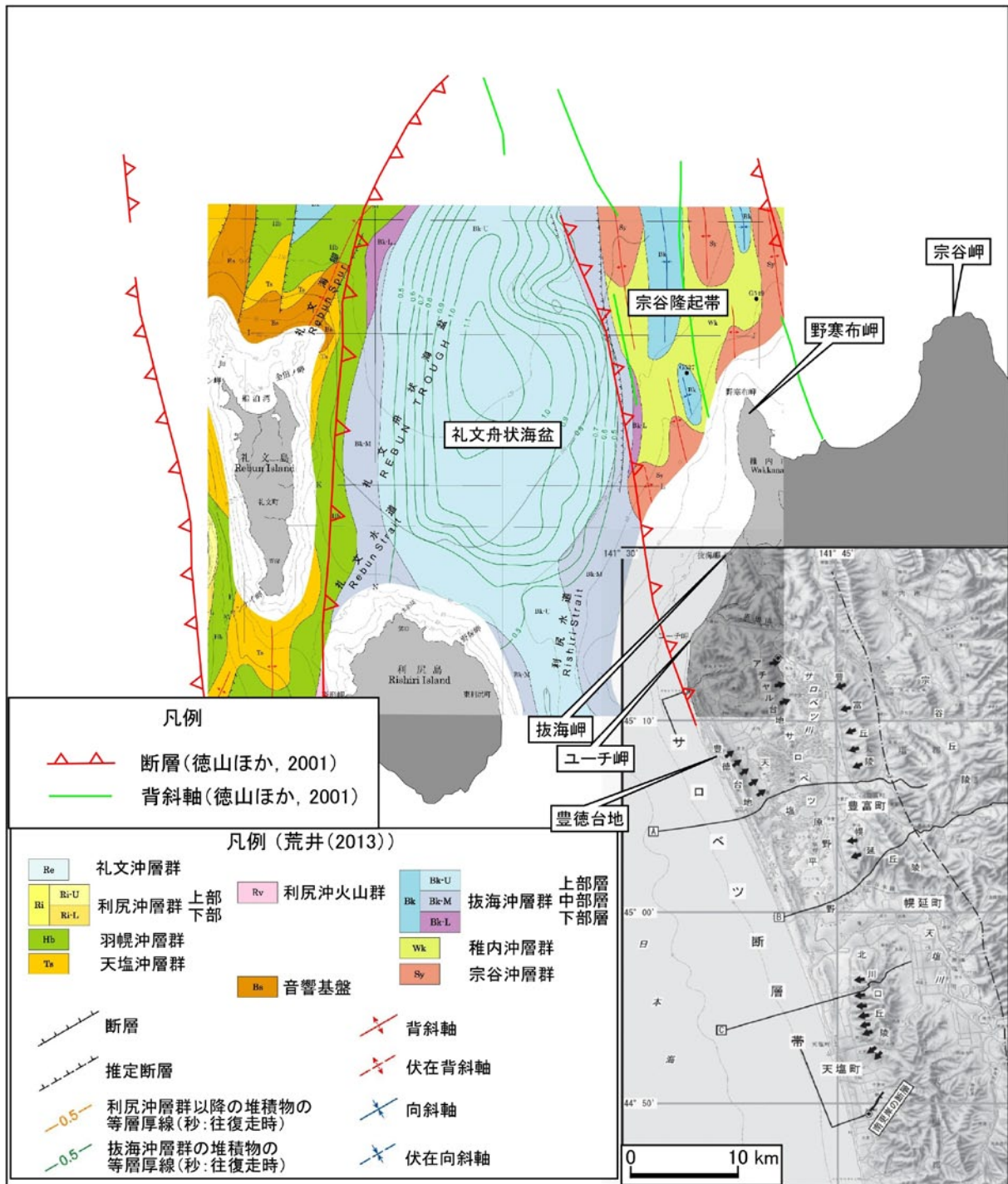
Table 1. Data acquisition parameters for seismic reflection survey of this survey.

	調査手法	高分解能マルチチャンネル 音波探査	シングルチャンネル 音波探査
送信部	音源	ブーマー(電磁誘導振動素子)	ウォーターガン (高圧水開放式) (15cu-in)
	発振エネルギー	約 200 J	約 13.2 MPa
	発振周波数	500~5,000 Hz	40~3000 Hz (中心周波数: 1,000Hz)
	音源の深度	0.3 m	2 m
	船尾と音源の距離	25 m	50 m
	発振点間隔	2.5m	約 1.5 sec. (約 3m)
受信部	受信器	圧電型振動素子 (ハイドロフォン)	圧電型振動素子 (ハイドロフォン)
	チャンネル数	12 ch	1 ch
	チャンネル間隔	2.5 m	—
	受信器の深度	0.3 m	1.0~1.5 m
	船尾とニアチャンネル の距離	30 m	60m
収録部	探鉱機	24bit (GEODE)	24bit
	記録方式	SEG-Y	SEG-Y
	重合数	6	なし
	サンプリング間隔	0.125 msec.	0.5 msec.
	記録長	0.4 sec	1.0 sec.
測点間隔(CMP 間隔)		1.25 m	約 3 m
測位		DGPS	DGPS
船速		約 3 ノット	約 3 ノット

第2表. 層序表.

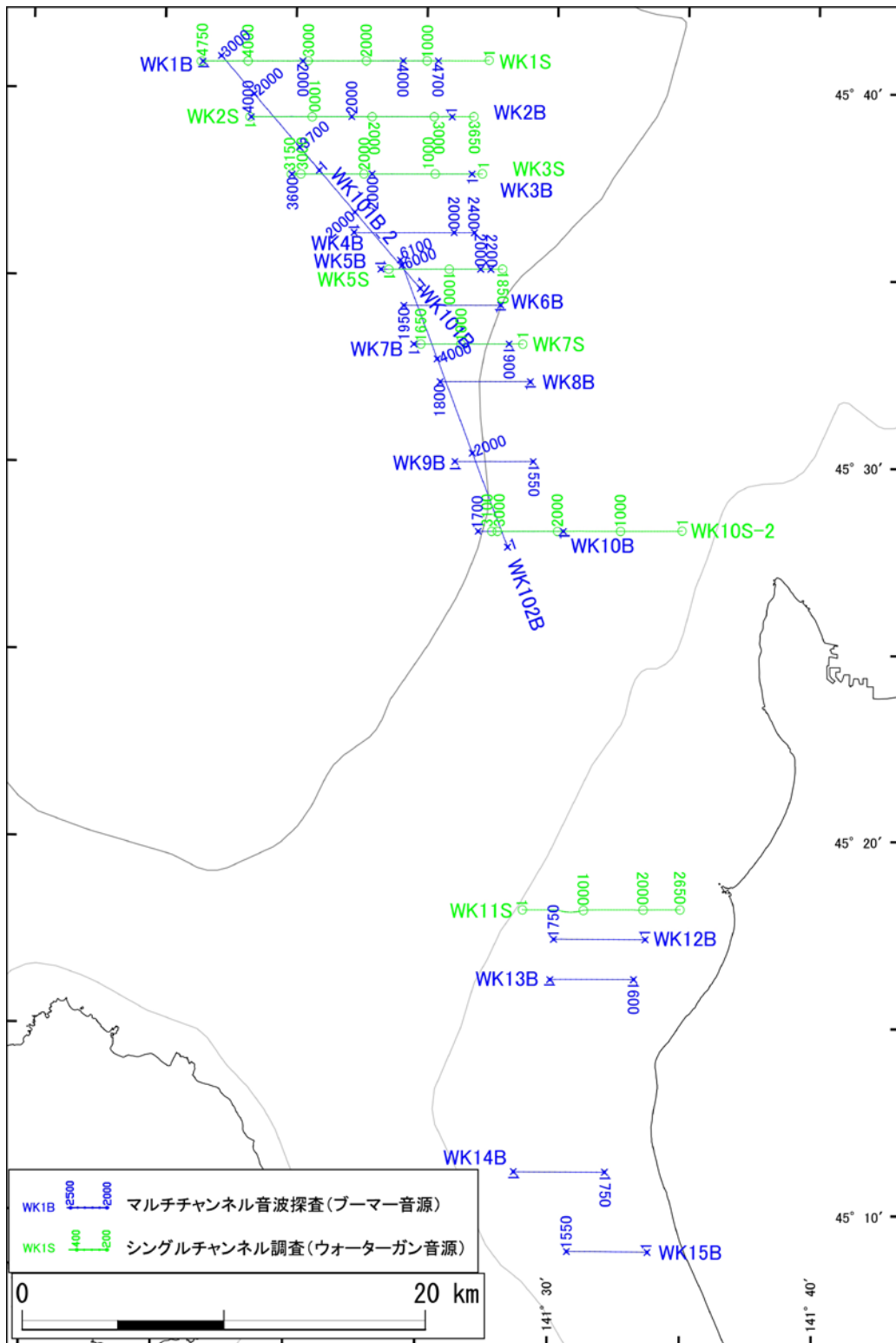
Table 2. Division and correlation of strata in and around the study area.

時代		石油公団(1989)	荒井(2013)	本研究
第四紀		沼川層 ワンコノ沢層 丸山層 更別層 勇知層	Bakkai-oki Group Bk-U Bk-M Bk-L	A B Bk-U Bk-M Bk-L
新第三紀	鮮新世	声問層	Wakkanai-oki Group (Wk)	C
	中新世	稚内層 増幌層 鬼志別層 宗谷挾炭層	----- Soya-oki Group (Sy)	
先新第三紀		幌内層相当層 石狩層群相当層 函淵層群 エゾ層群	Acoustic Basement (Bs)	

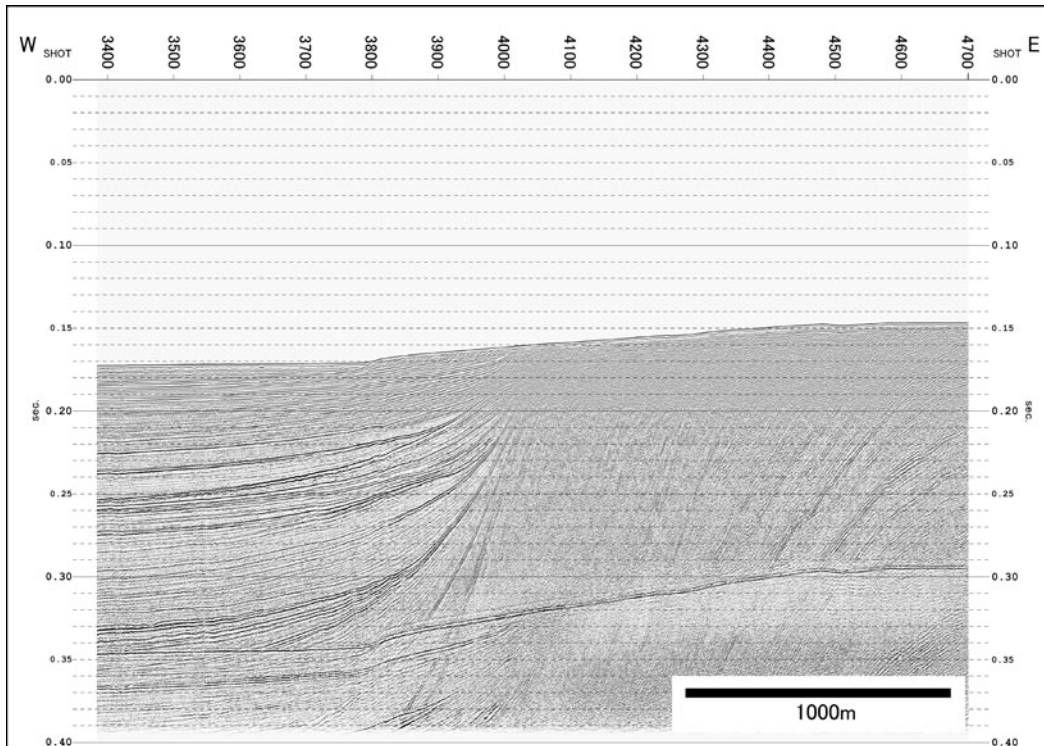


第1図. サロベツ断層帯の概要. 荒井(2013)に地震調査研究推進本部地震調査委員会(2007),徳山他(2001)の断層, 褶曲を重ねた. 赤および緑の線は, 徳山他(2001)の逆断層と背斜.

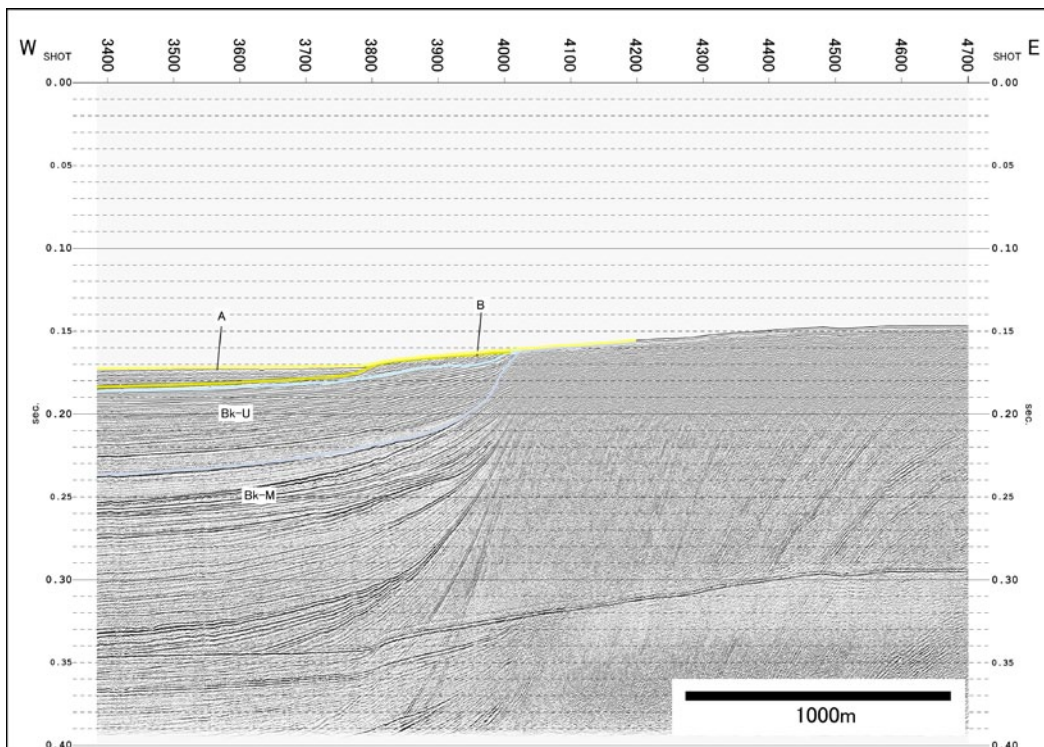
Fig. 1. Index map of Sarobetsu fault zone which combine the Earthquake Research Committee, Headquarters for Earthquake Research Promotion (2007) and Tokuyama *et al.* (2001) based on Arai (2013). Red line and green line indicate reverse fault and anticline based on Tokuyama *et al.* (2001) respectively.



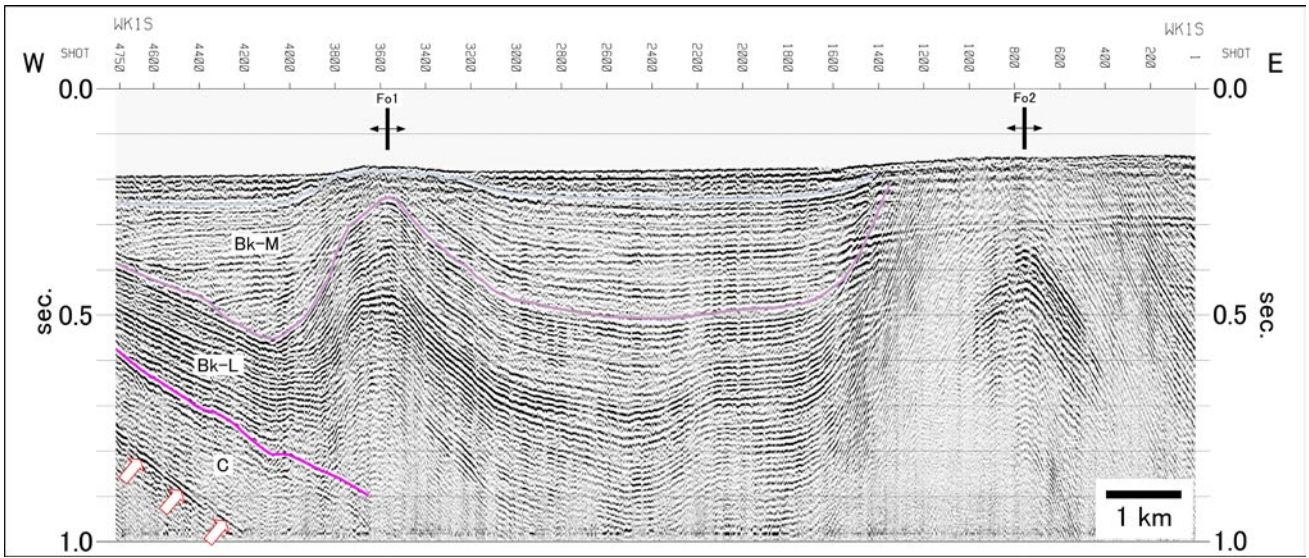
第2図. 調査測線図.
Fig. 2. Location map of this survey.



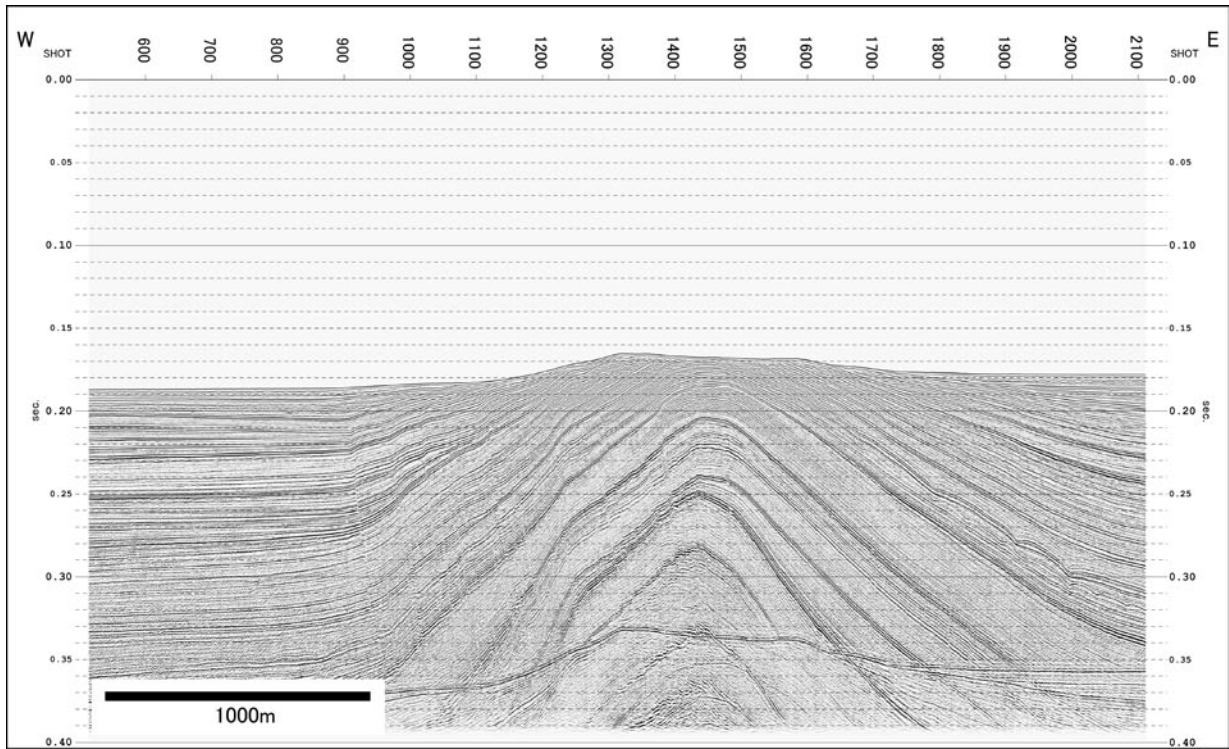
第3図(a). マルチチャンネル音波探査記録断面 (WK1B 測線 SP3400-4700).
Fig. 3(a). Multichannel seismic reflection profile, time section. (Line WK1B SP3400-4700).



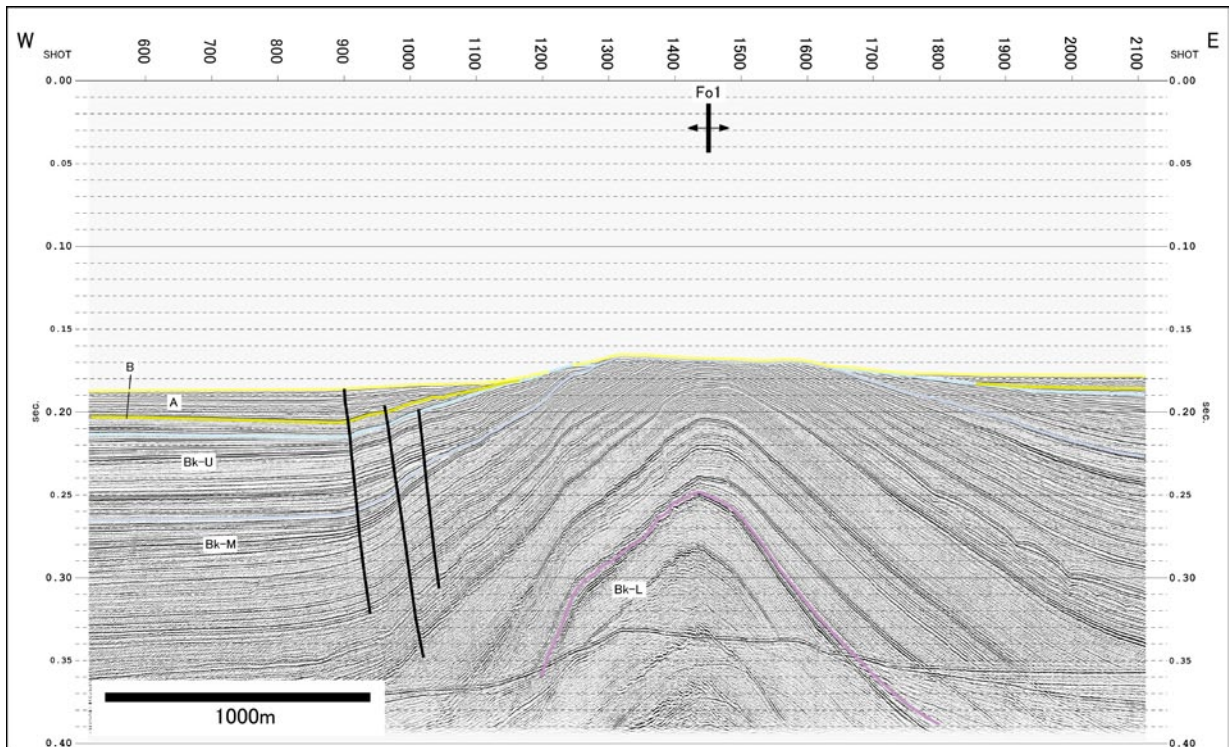
第3図(b). マルチチャンネル音波探査解釈断面 (WK1B 測線 SP3400-4700).
Fig. 3(b). Multichannel seismic reflection profile, geological interpretation.(Line WK1B SP3400-4700).



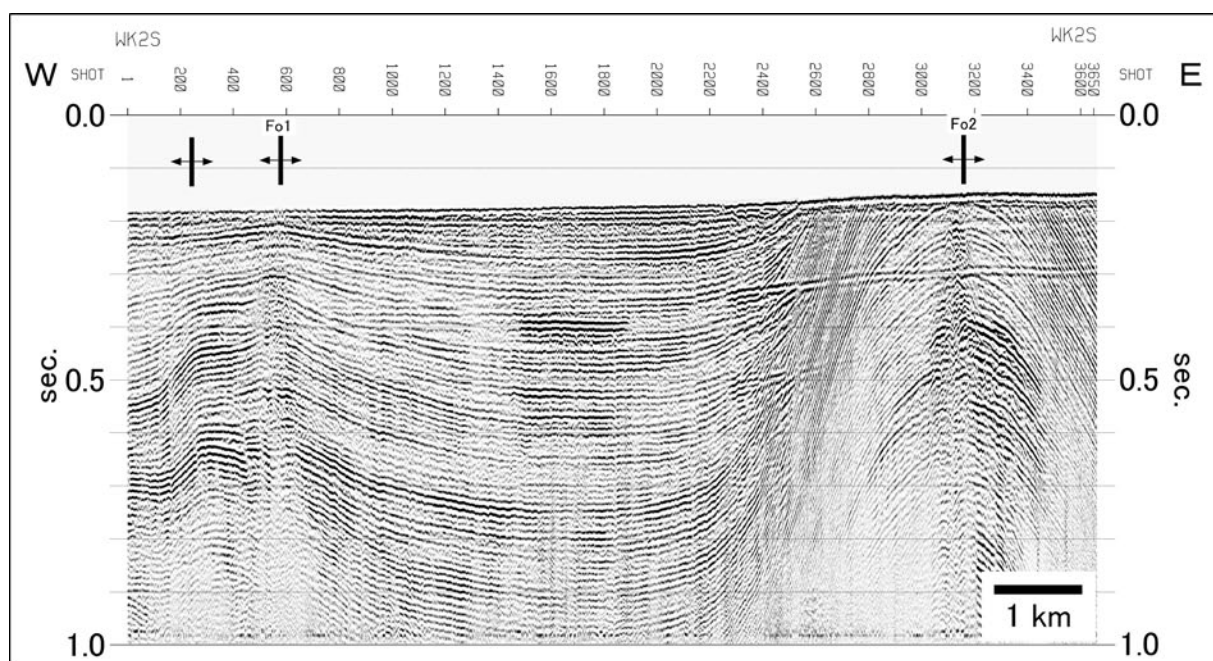
第4図. シングルチャンネル音波探査解釈断面 (WK1S 測線).
Fig. 4. Single channel seismic reflection profile, geological interpretation. (Line WK1S).



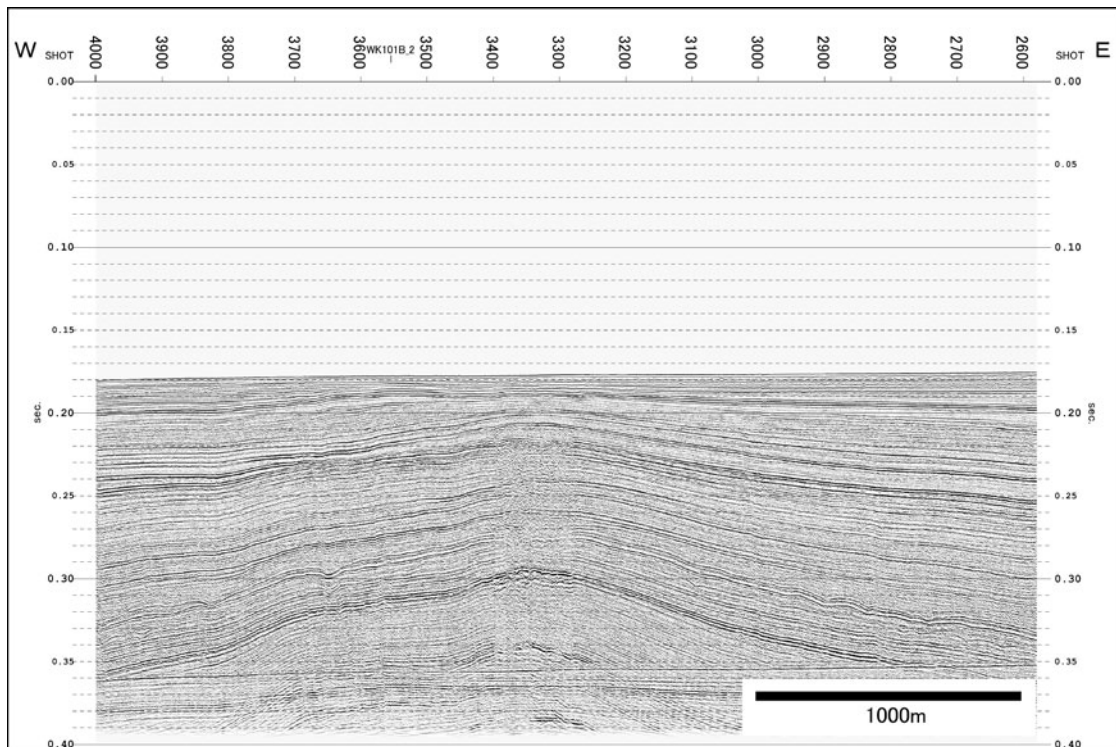
第5図(a). マルチチャンネル音波探査記録断面 (WK1B 測線 SP520-2100).
Fig. 5(a). Multichannel seismic reflection profile, time section. (Line WK1B SP3400-4700).



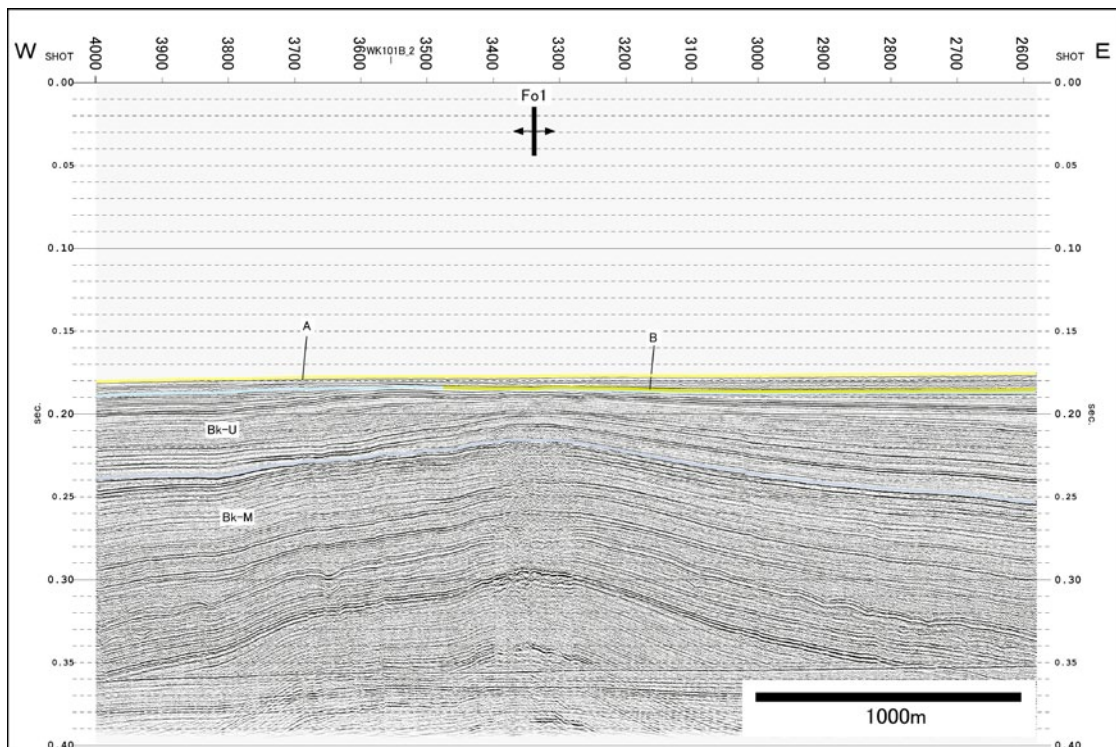
第5図(b). マルチチャンネル音波探査解釈断面 (WK1B 測線 SP520-2100).
Fig. 5(b). Multichannel seismic reflection profile, geological interpretation. (Line WK1B SP3400-4700).



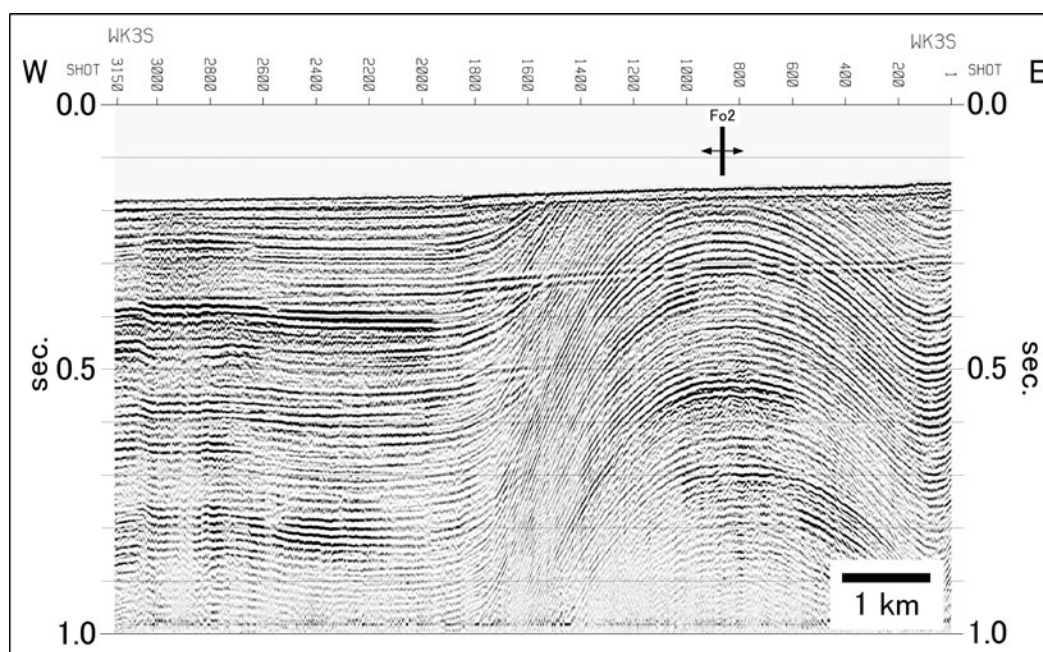
第6図. シングルチャンネル音波探査記録断面 (WK2S 測線).
Fig. 6. Single channel seismic reflection profile, time section. (Line WK2S).



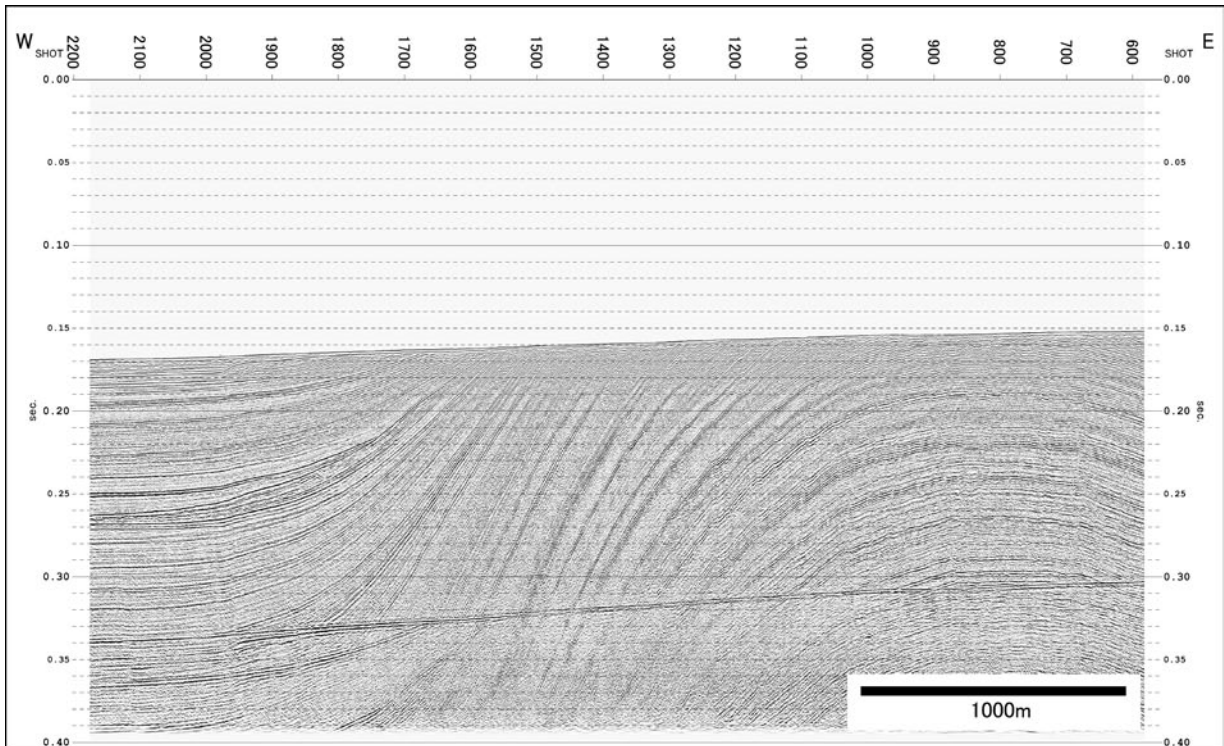
第7図(a). マルチチャンネル音波探査記録断面 (WK2B 測線 SP2600-4000).
Fig. 7(a). Multichannel seismic reflection profile, time section. (Line WK2B SP2600-4000).



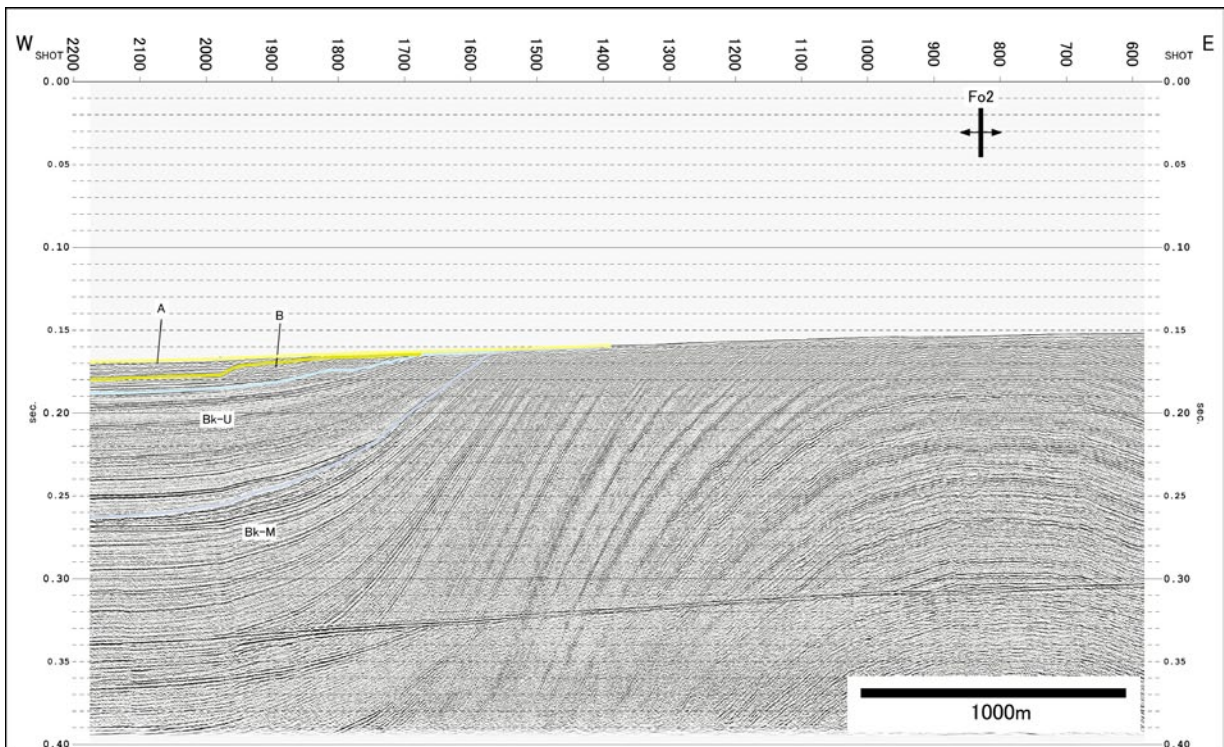
第7図(b). マルチチャンネル音波探査解釈断面 (WK2B 測線 SP2600-4000).
Fig. 7(b). Multichannel seismic reflection profile, geological interpretation. (Line WK2B SP2600-4000).



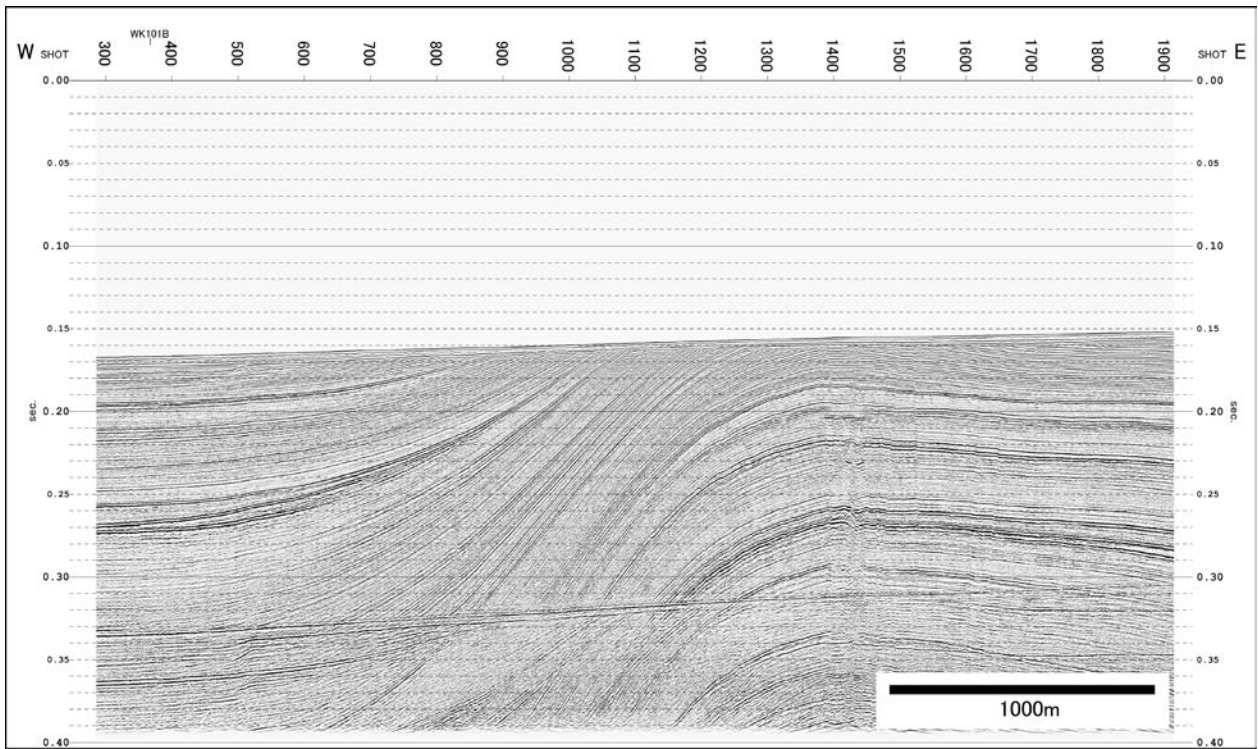
第 8 図. シングルチャンネル音波探査記録断面 (WK3S 測線).
Fig. 8. Single channel seismic reflection profile, time section. (Line WK3S).



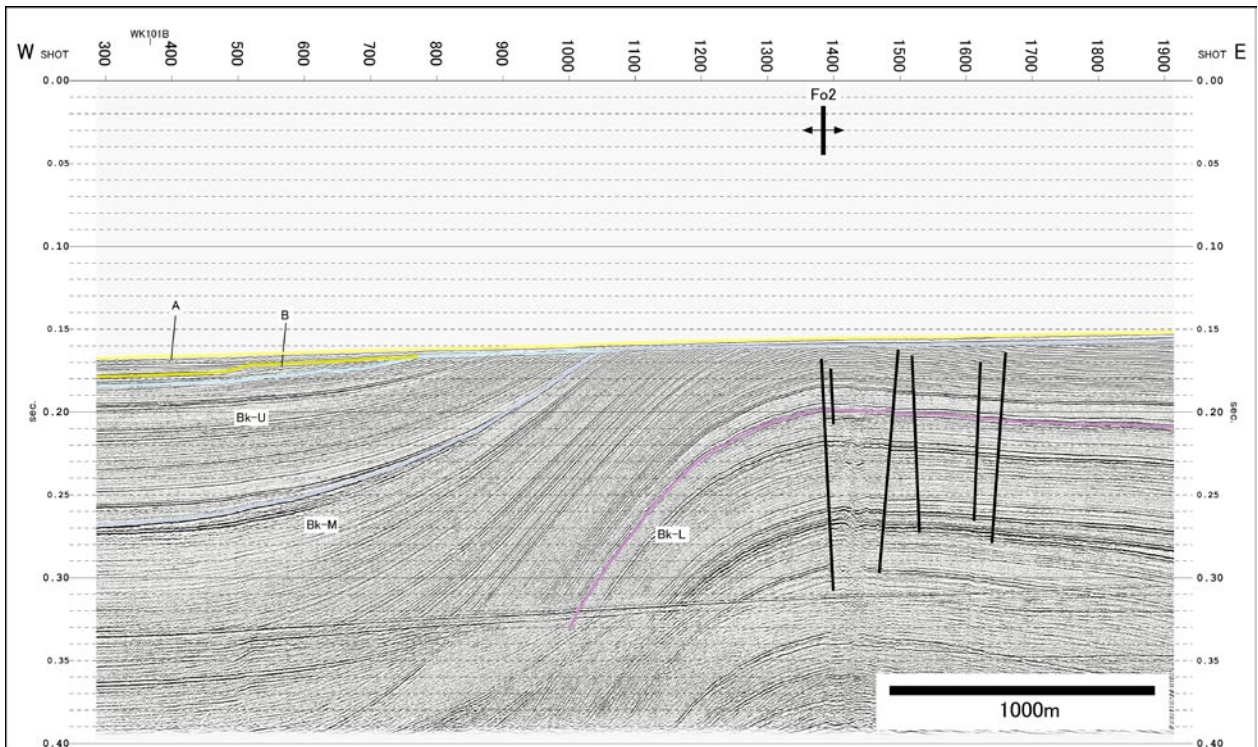
第9図(a). マルチチャンネル音波探査記録断面 (WK3B 測線 SP600-2180).
Fig. 9(a). Multichannel seismic reflection profile, time section. (Line WK3B SP600-2180).



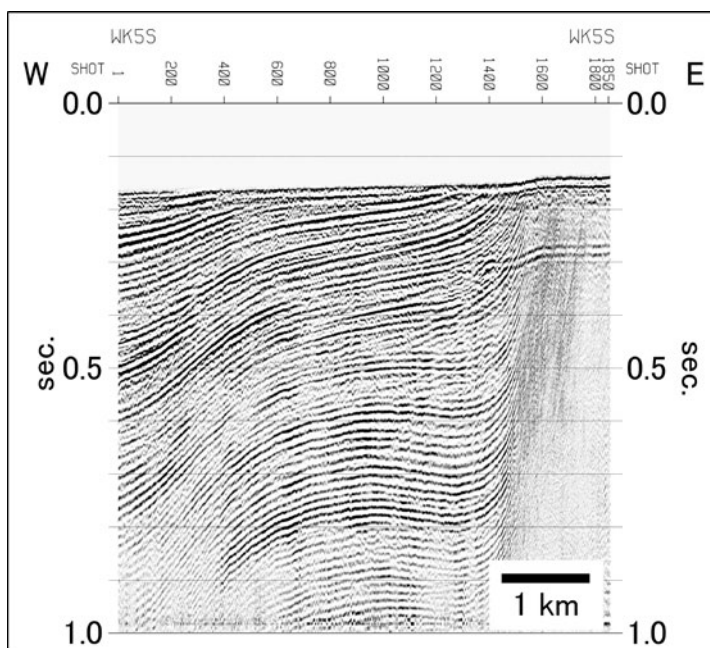
第9図(b). マルチチャンネル音波探査解釈断面 (WK3B 測線 SP600-2180).
Fig. 9(b). Multichannel seismic reflection profile, geological interpretation. (Line WK3B SP600-2180).



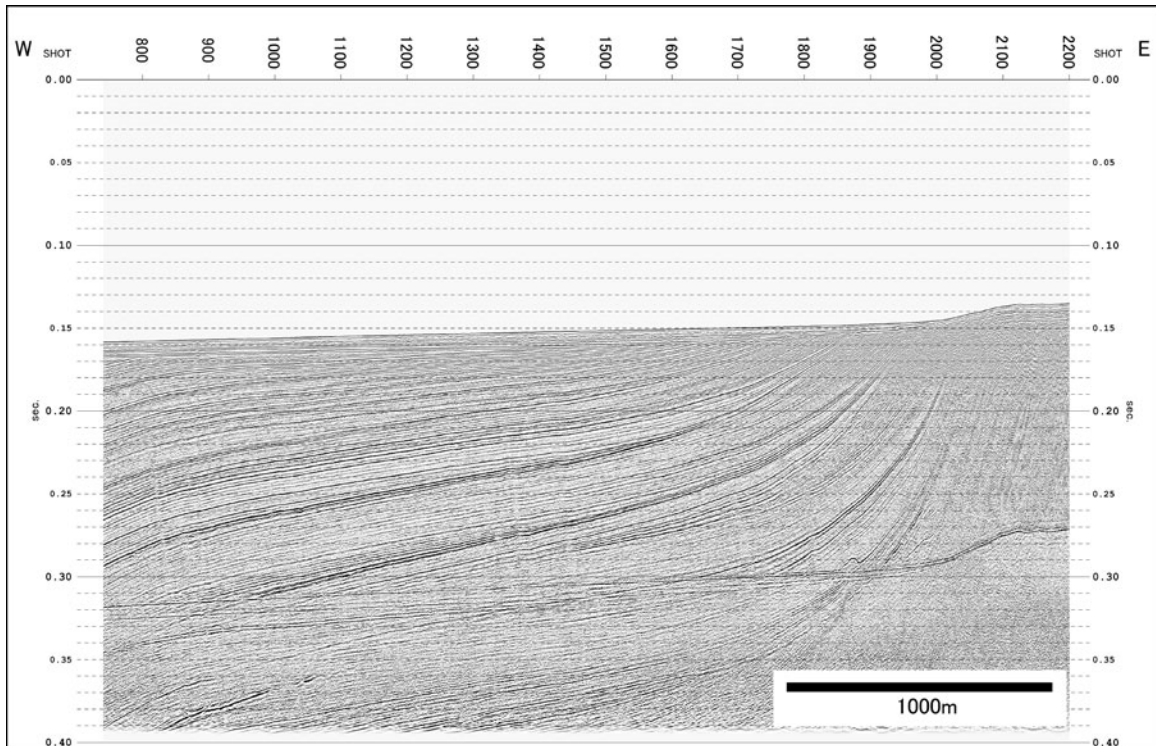
第 10 図 (a). マルチチャンネル音波探査記録断面 (WK4B 測線 SP300-1900).
Fig. 10(a). Multichannel seismic reflection profile, time section. (Line WK4B SP300-1900).



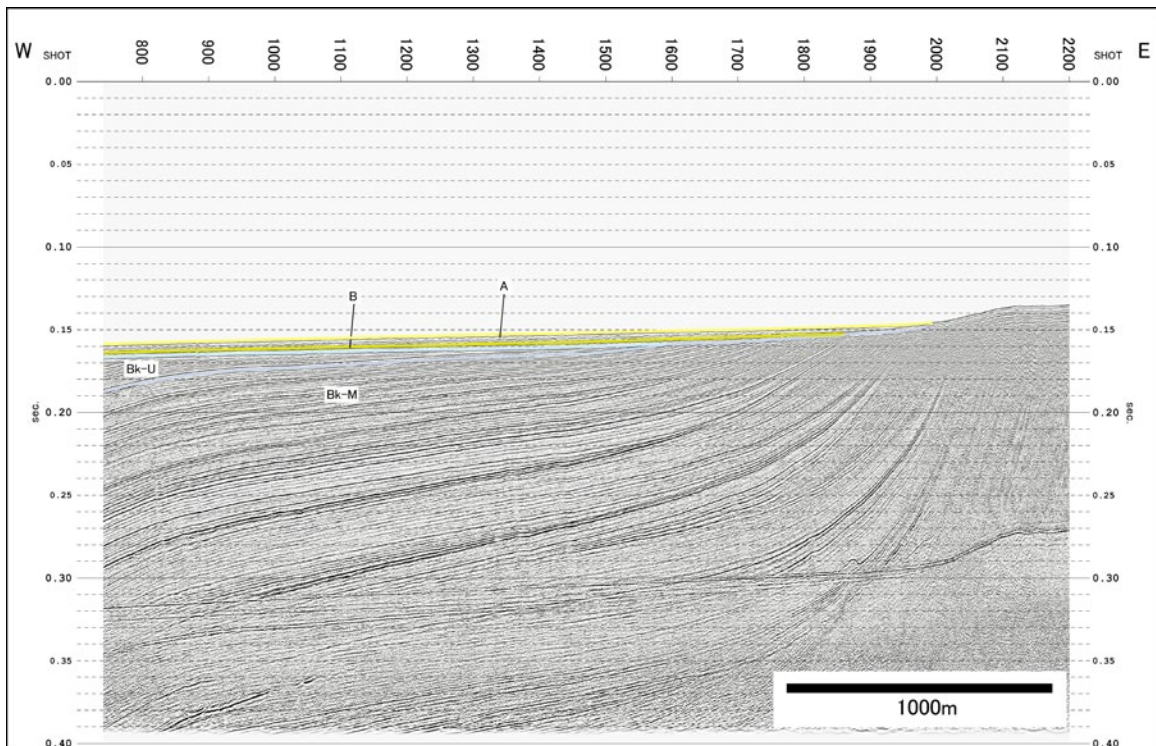
第 10 図 (b). マルチチャンネル音波探査解釈断面 (WK4B 測線 SP300-1900).
Fig. 10(b). Multichannel seismic reflection profile, geological interpretation. (Line WK4B SP300-1900).



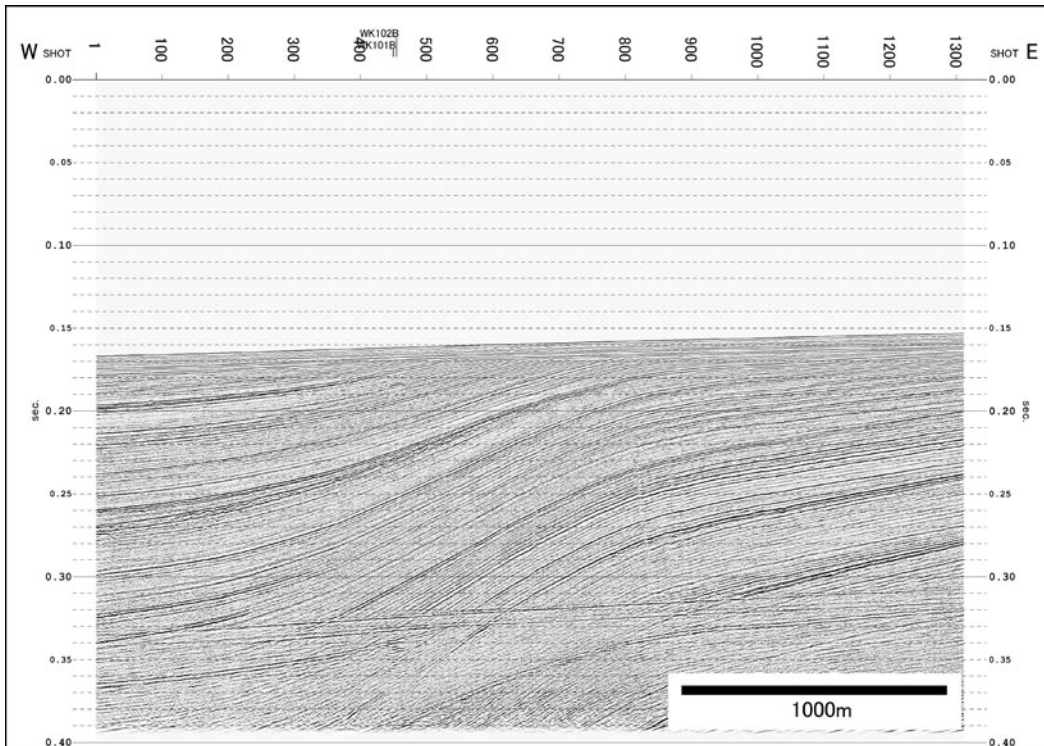
第 11 図. シングルチャンネル音波探査記録断面 (WK5S 測線).
Fig. 11. Single channel seismic reflection profile, time section. (Line WK5S).



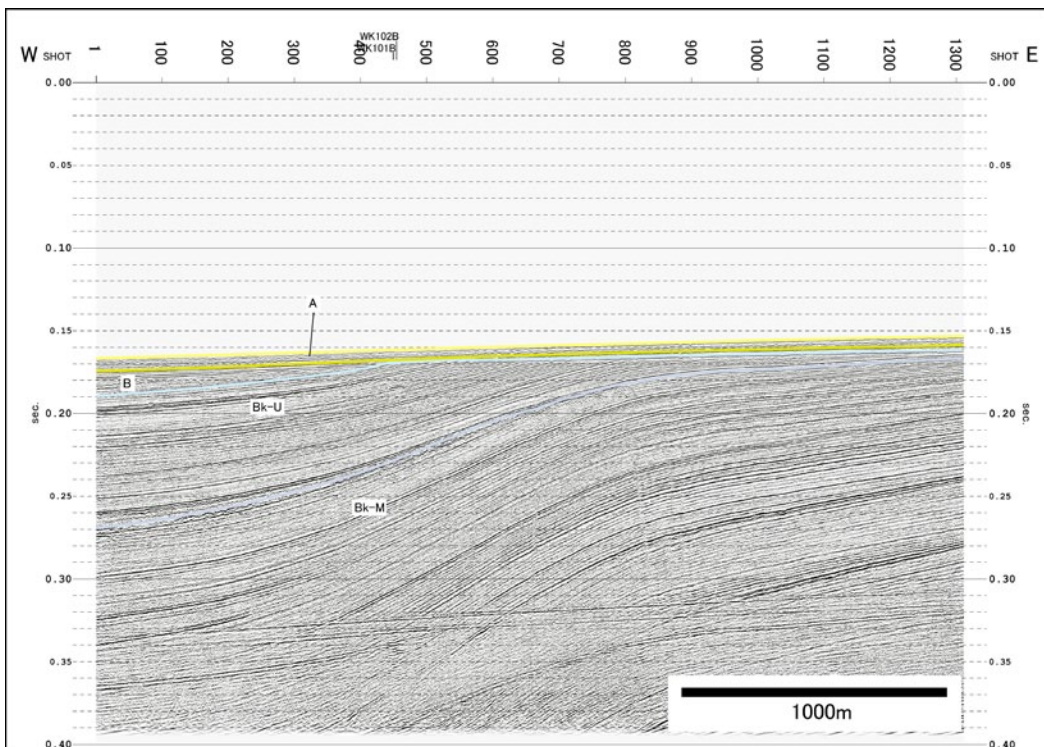
第 12 図 (a). マルチチャンネル音波探査記録断面 (WK5B 測線 SP750-2200).
Fig. 12(a). Multichannel seismic reflection profile, time section. (Line WK5B SP750-2200).



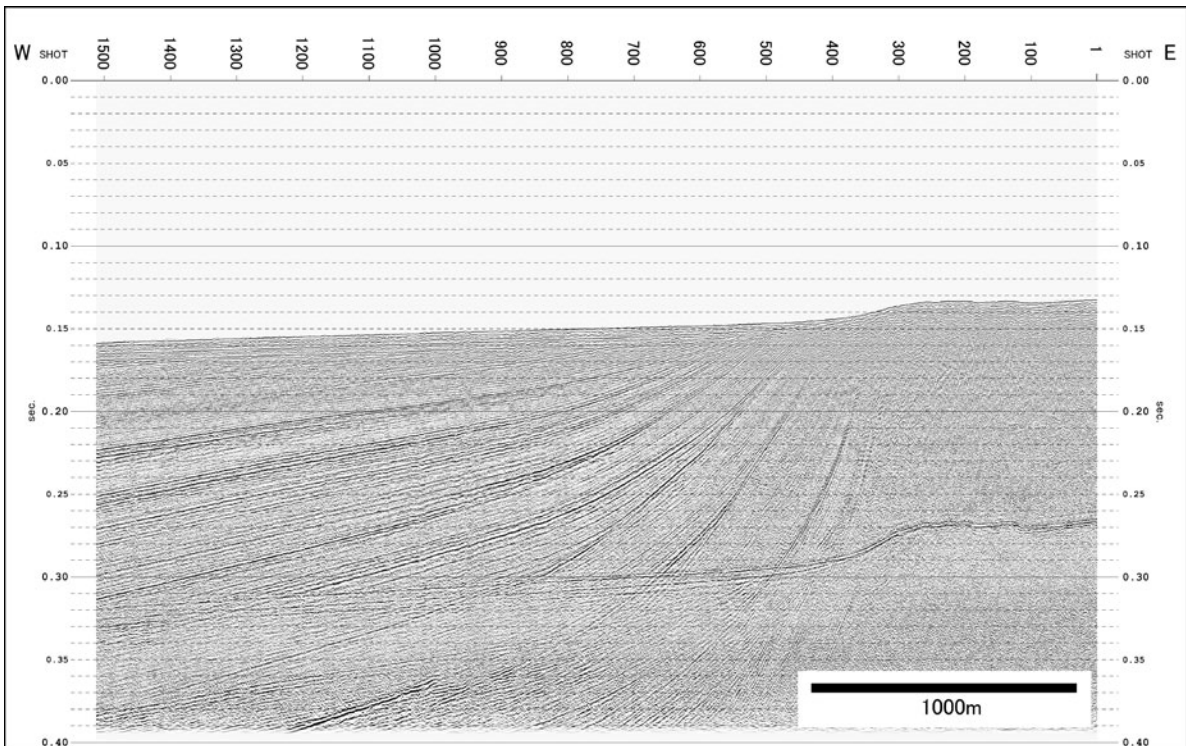
第 12 図 (b). マルチチャンネル音波探査解釈断面 (WK5B 測線 SP750-2200).
Fig. 12(b). Multichannel seismic reflection profile, geological interpretation. (Line WK5B SP750-2200).



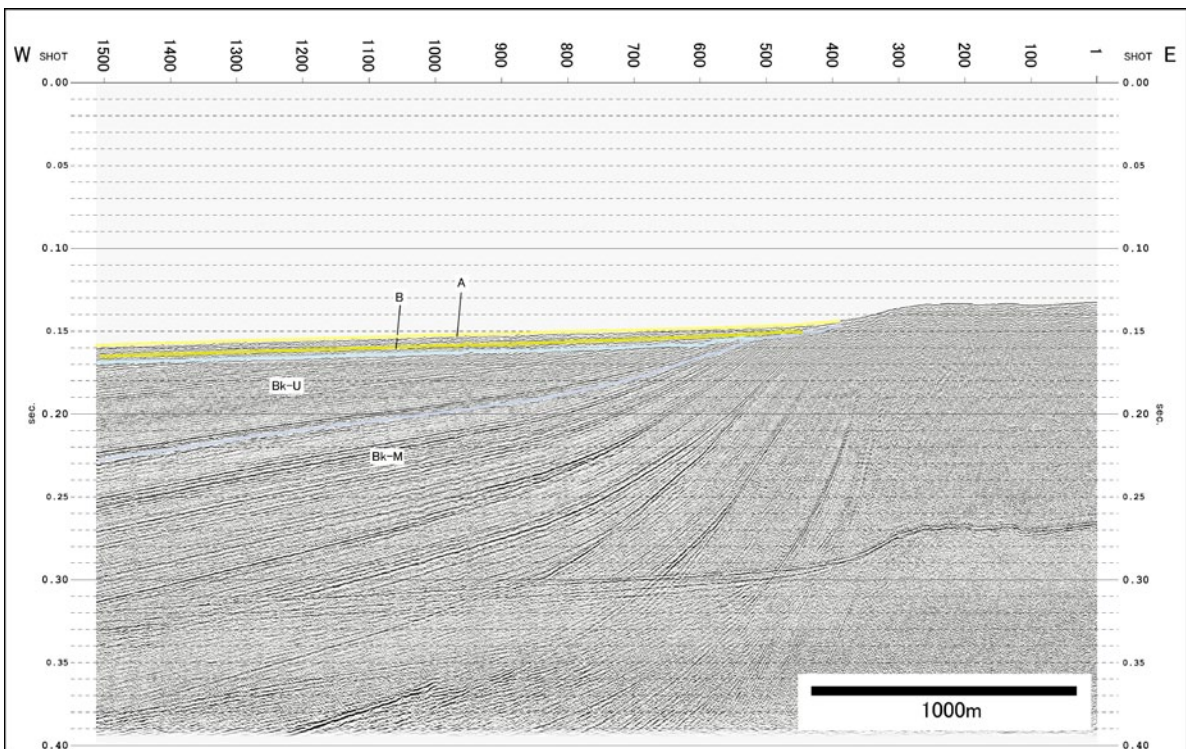
第 13 図 (a). マルチチャンネル音波探査記録断面 (WK5B 測線 SP1-1300).
Fig. 13(a). Multichannel seismic reflection profile, time section. (Line WK5B SP1-1300).



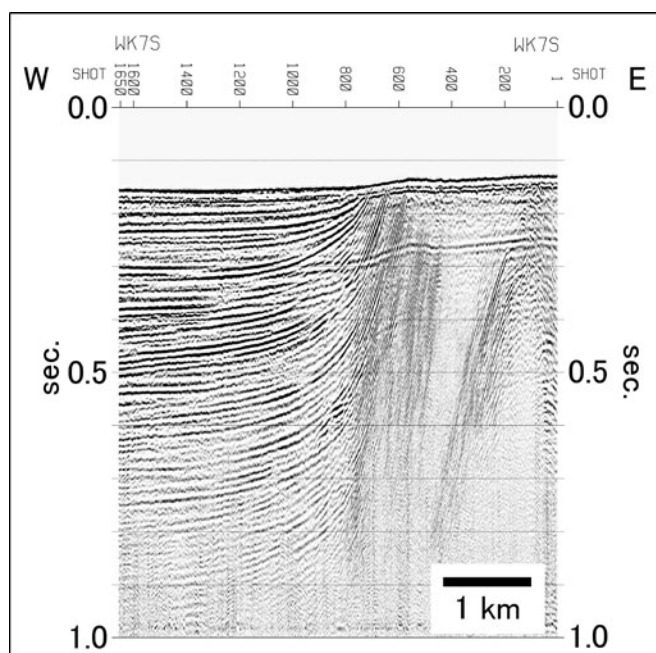
第 13 図 (b). マルチチャンネル音波探査解釈断面 (WK5B 測線 SP1-1300).
Fig. 13(b). Multichannel seismic reflection profile, geological interpretation. (Line WK5B SP1-1300).



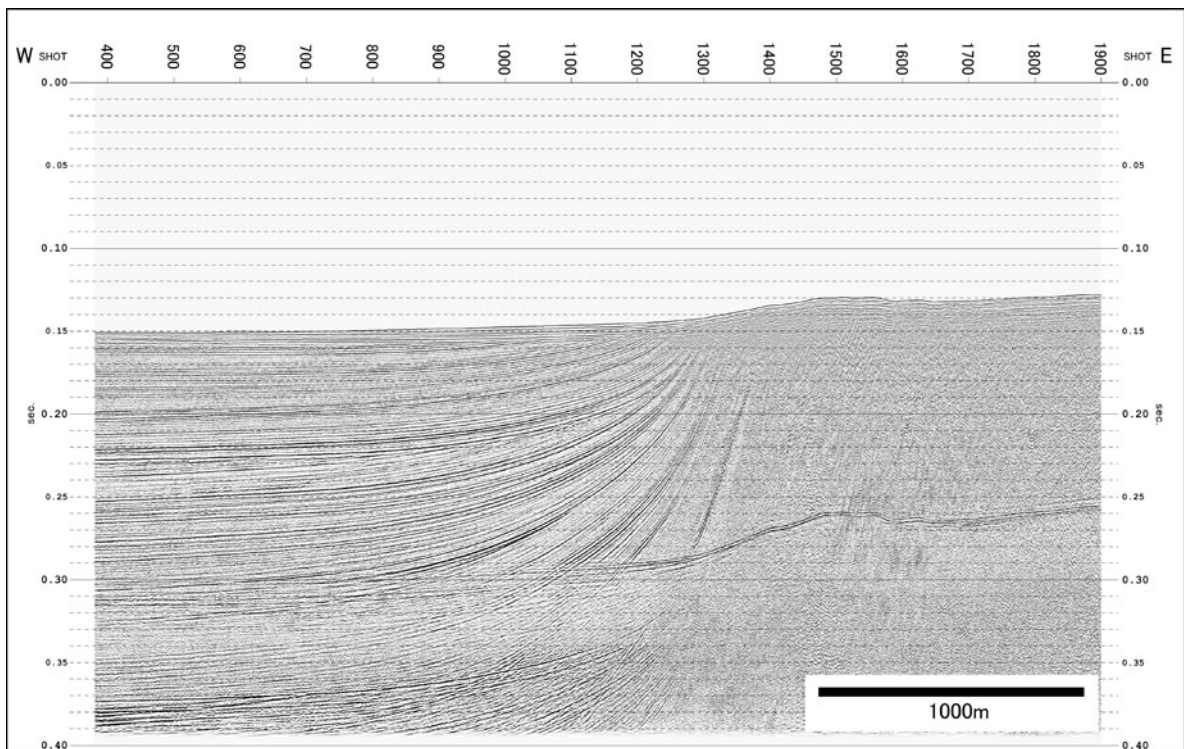
第 14 図(a). マルチチャンネル音波探査記録断面 (WK6B 測線 SP1-1500).
Fig. 14(a). Multichannel seismic reflection profile, time section. (Line WK6B SP1-1500).



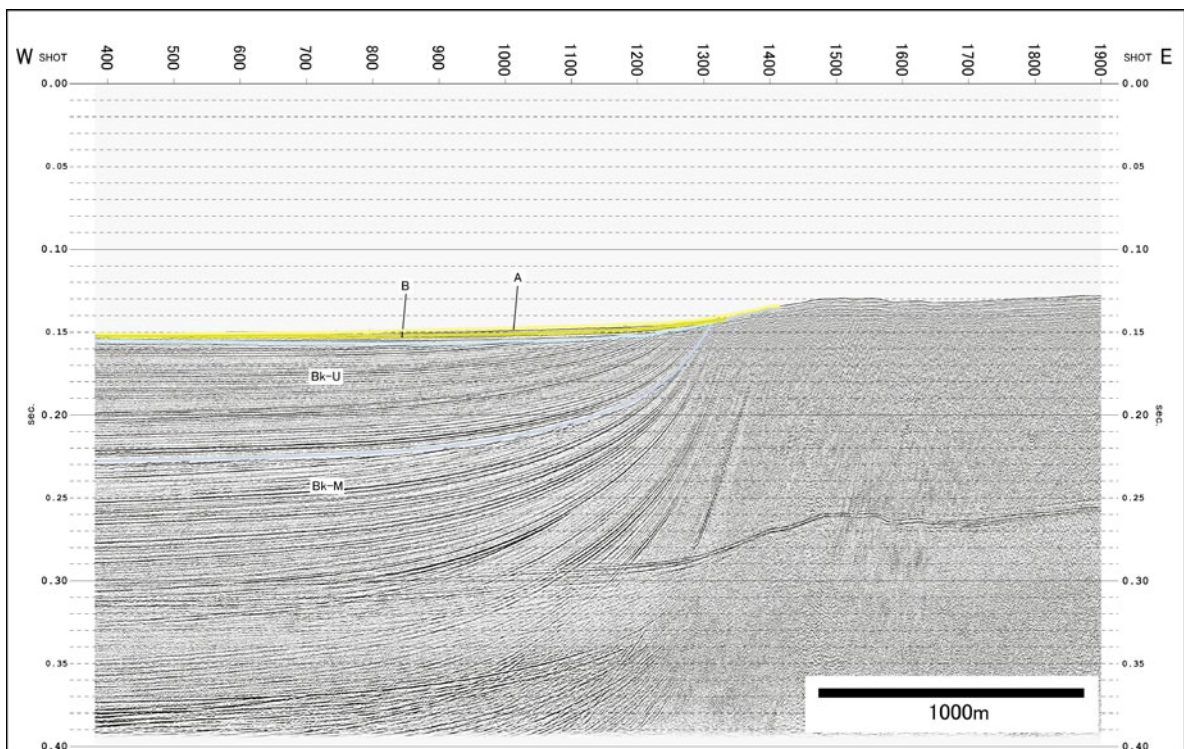
第 14 図(b). マルチチャンネル音波探査解釈断面 (WK6B 測線 SP1-1500).
Fig. 14(b). Multichannel seismic reflection profile, geological interpretation. (Line WK6B SP1-1500).



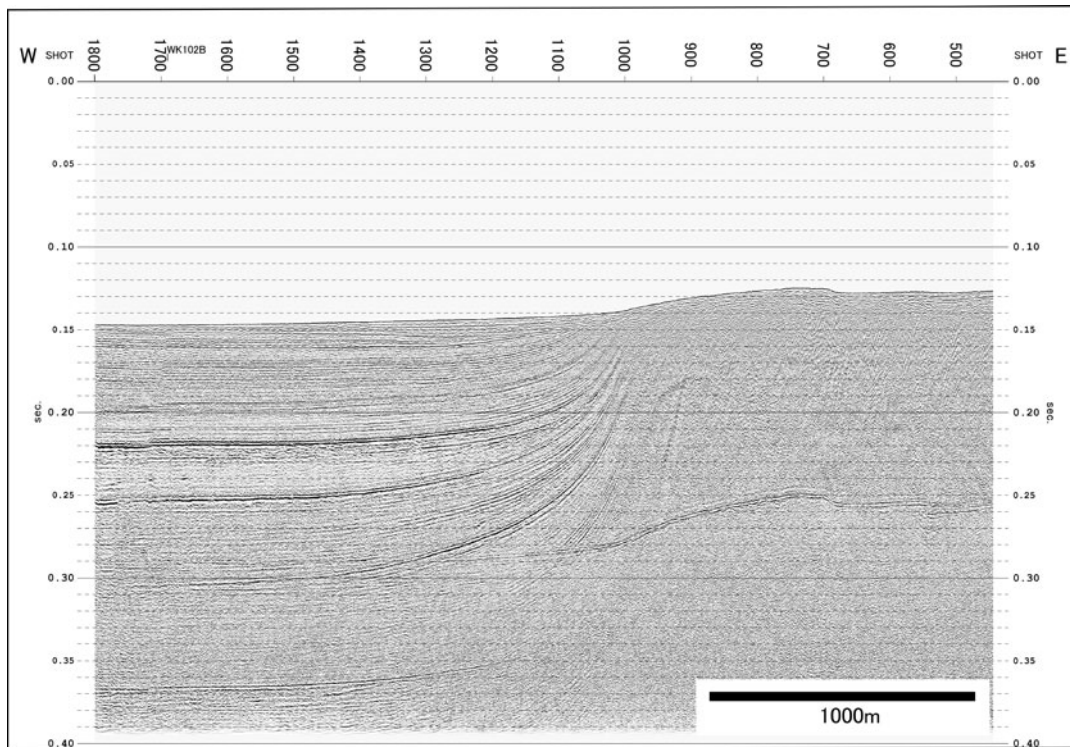
第 15 図. シングルチャンネル音波探査記録断面 (WK7S 測線).
Fig. 15. Single channel seismic reflection profile, time section. (Line WK7S).



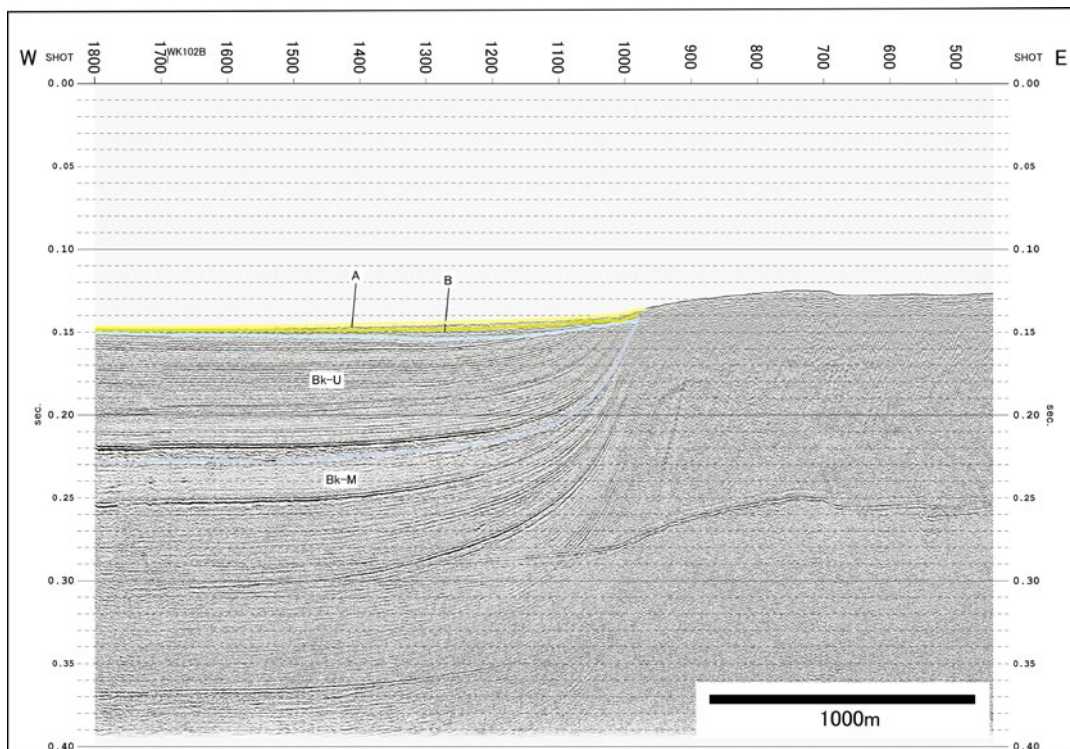
第 16 図(a). マルチチャンネル音波探査記録断面 (WK7B 測線 SP400-1900).
Fig. 16(a). Multichannel seismic reflection profile, time section. (Line WK7B SP400-1900).



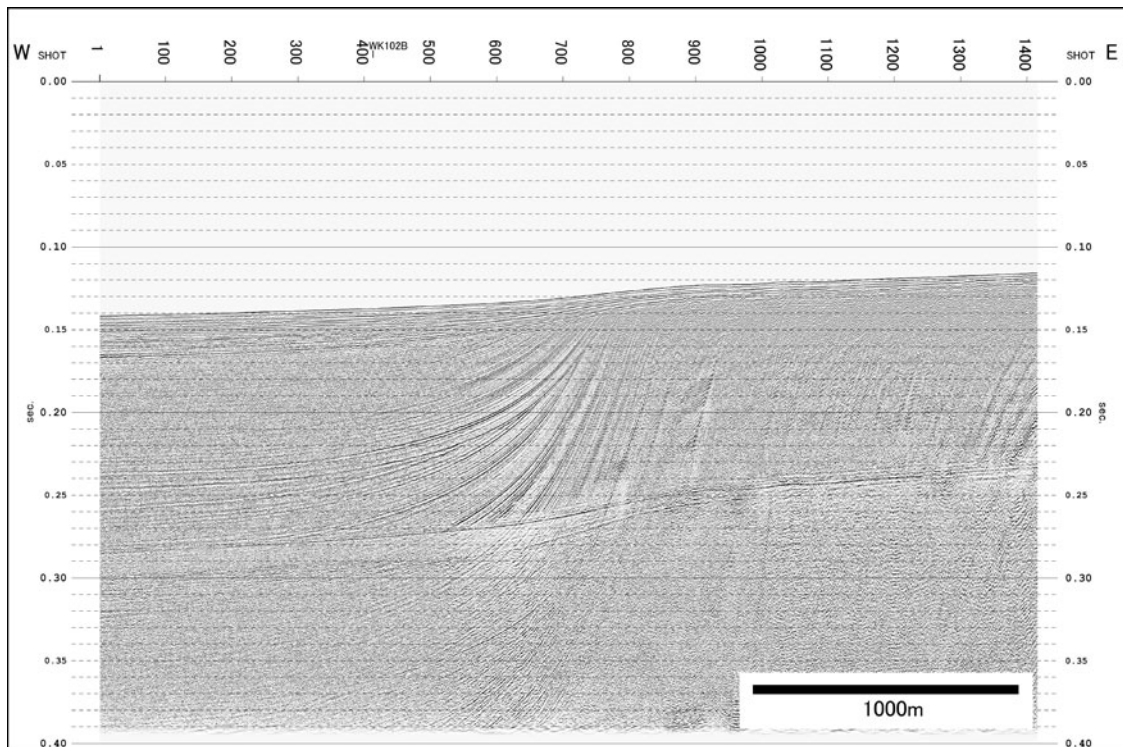
第 16 図(b). マルチチャンネル音波探査解釈断面 (WK7B 測線 SP400-1900).
Fig. 16(b). Multichannel seismic reflection profile, geological interpretation. (Line WK7B SP400-1900).



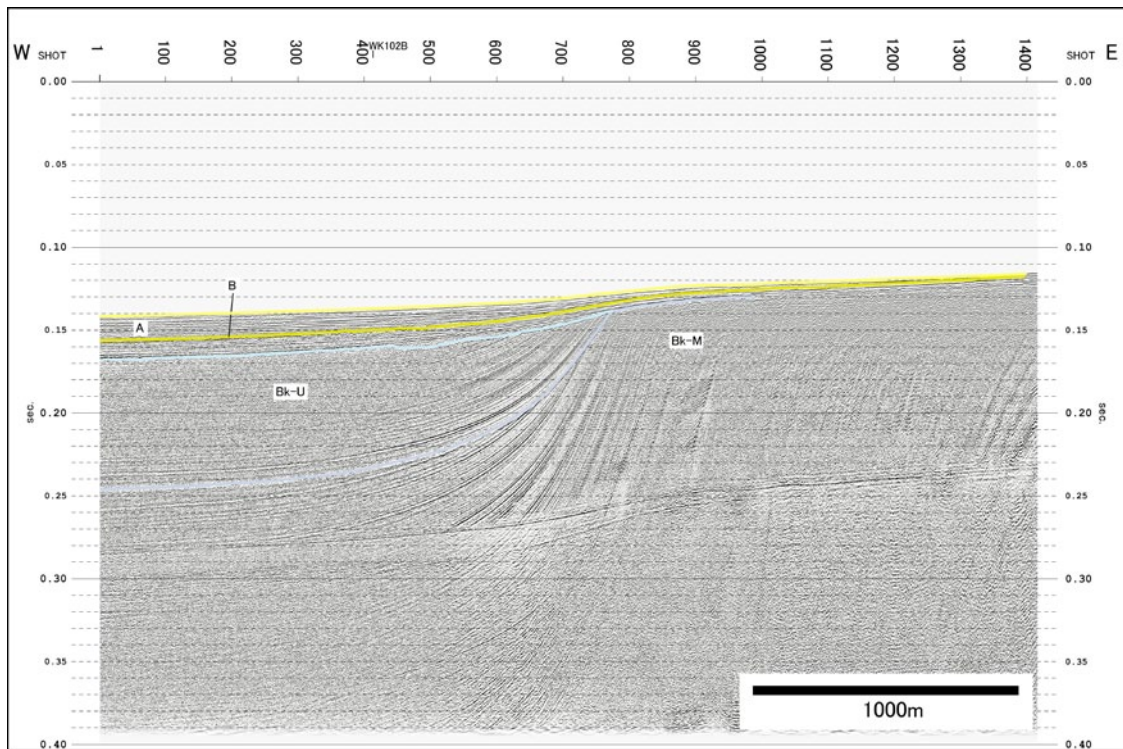
第 17 図 (a). マルチチャンネル音波探査記録断面 (WK8B 測線 SP450-1800).
Fig. 17(a). Multichannel seismic reflection profile, time section. (Line WK8B SP450-1800).



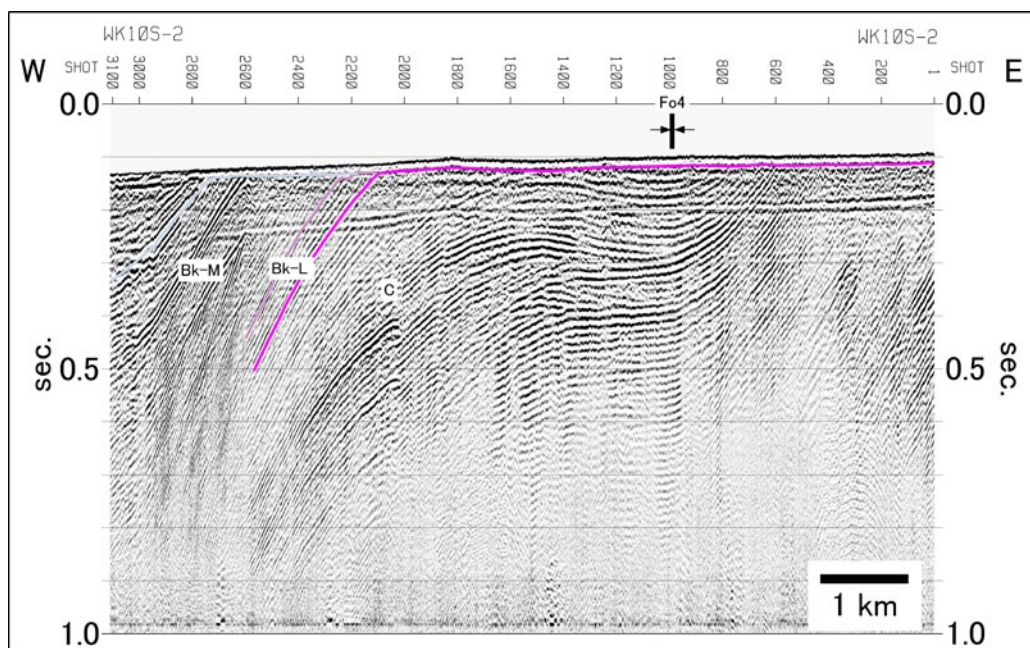
第 17 図 (b). マルチチャンネル音波探査解釈断面 (WK8B 測線 SP450-1800).
Fig. 17(b). Multichannel seismic reflection profile, geological interpretation. (Line WK8B SP450-1800).



第 18 図(a). マルチチャンネル音波探査記録断面 (WK9B 測線 SP1-1400).
Fig. 18(a). Multichannel seismic reflection profile, time section. (Line WK9B SP1-1400).

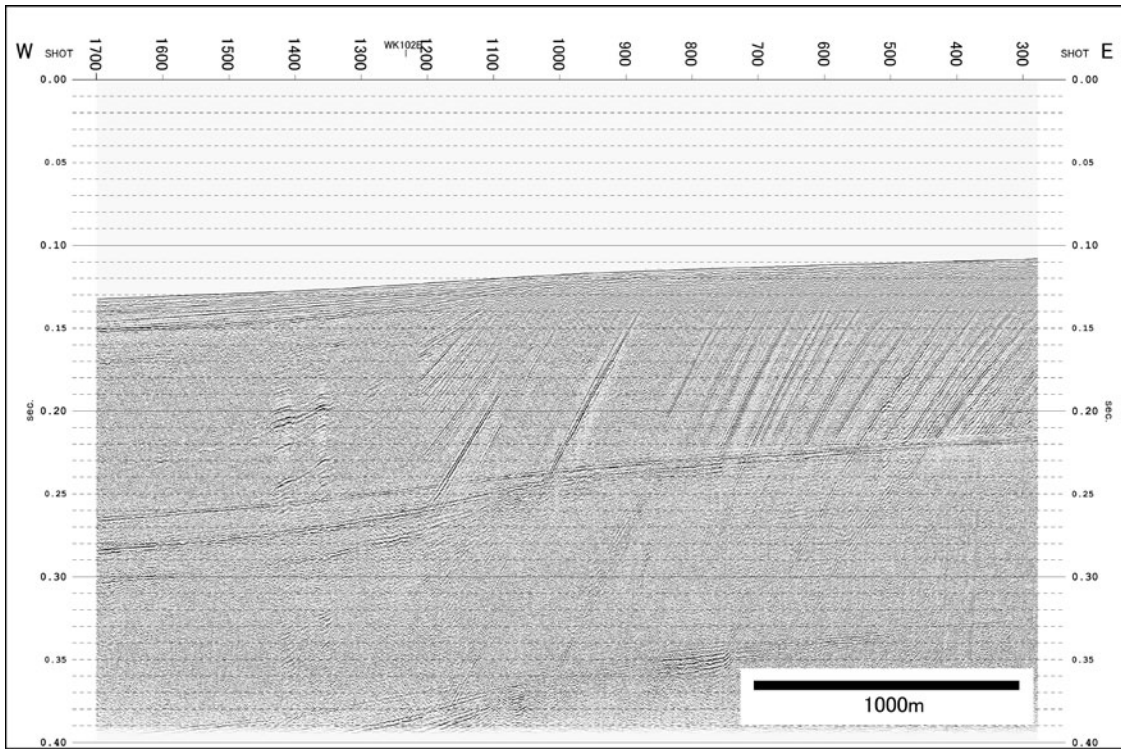


第 18 図(b). マルチチャンネル音波探査解釈断面 (WK9B 測線 SP1-1400).
Fig. 18(b). Multichannel seismic reflection profile, geological interpretation. (Line WK9B SP1-1400).

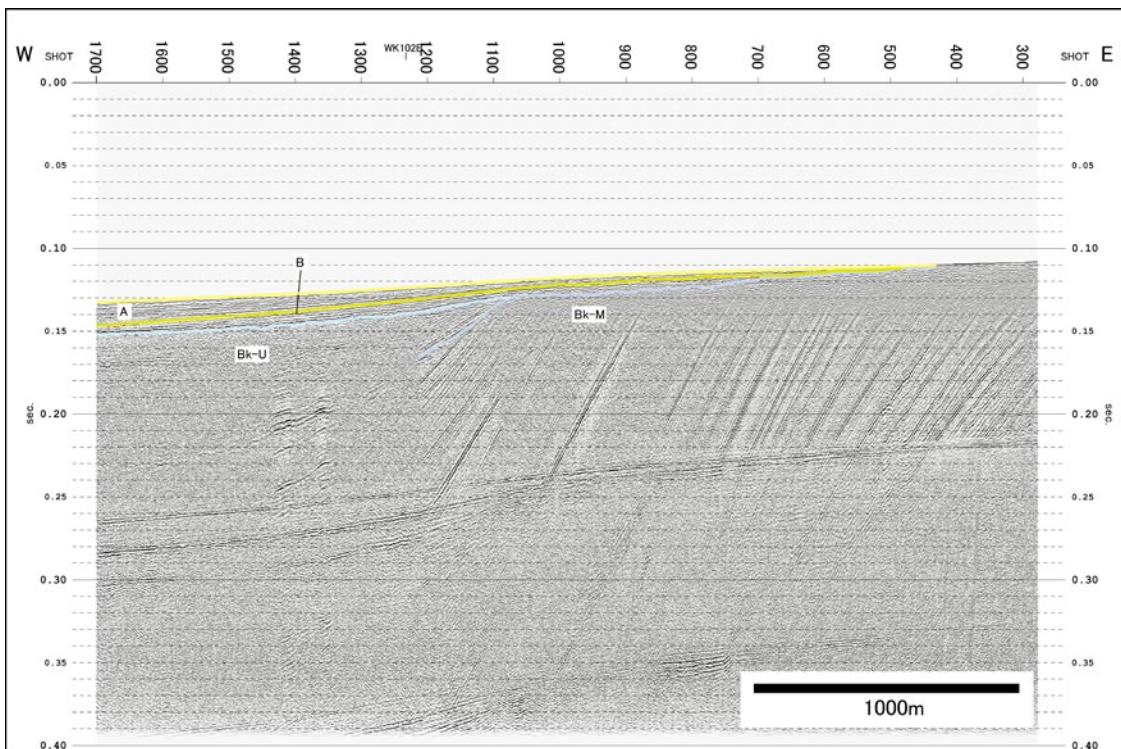


第 19 図. シングルチャンネル音波探査解釈断面 (WK10S 測線).

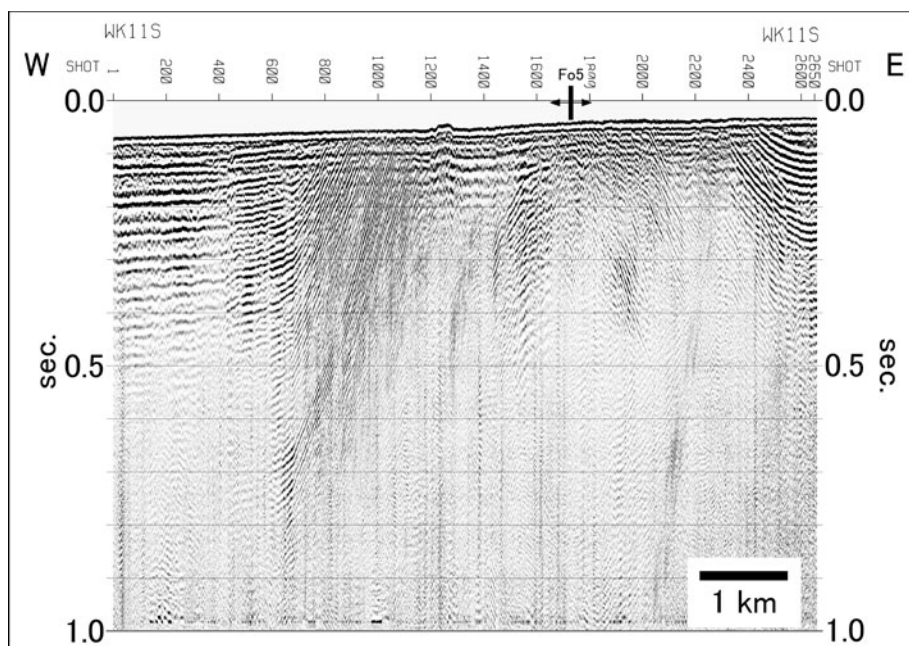
Fig. 19. Single channel seismic reflection profile, geological interpretation. (Line WK10S).



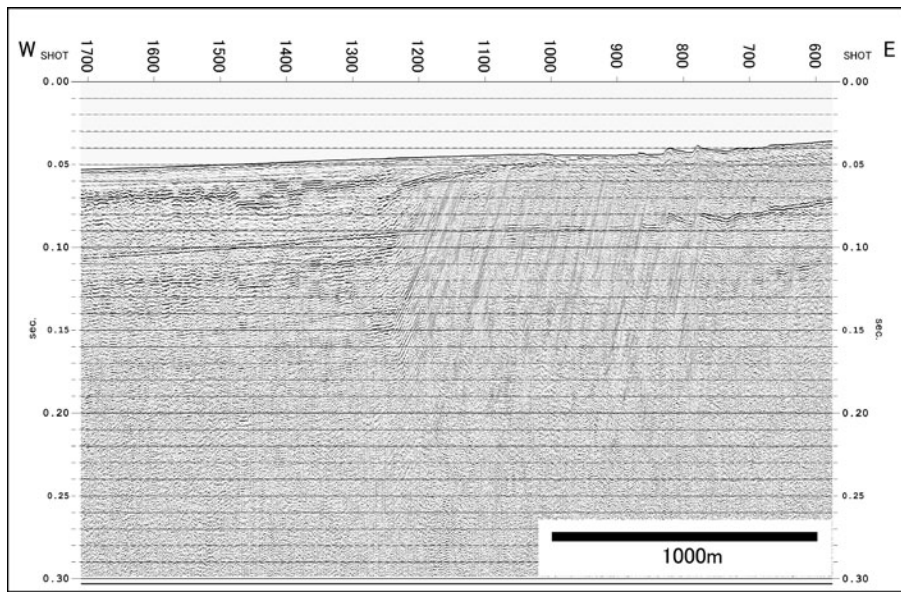
第 20 図 (a). マルチチャンネル音波探査記録断面 (WK10B 測線 SP300-1700).
Fig. 20(a). Multichannel seismic reflection profile, time section. (Line WK10B SP300-1700).



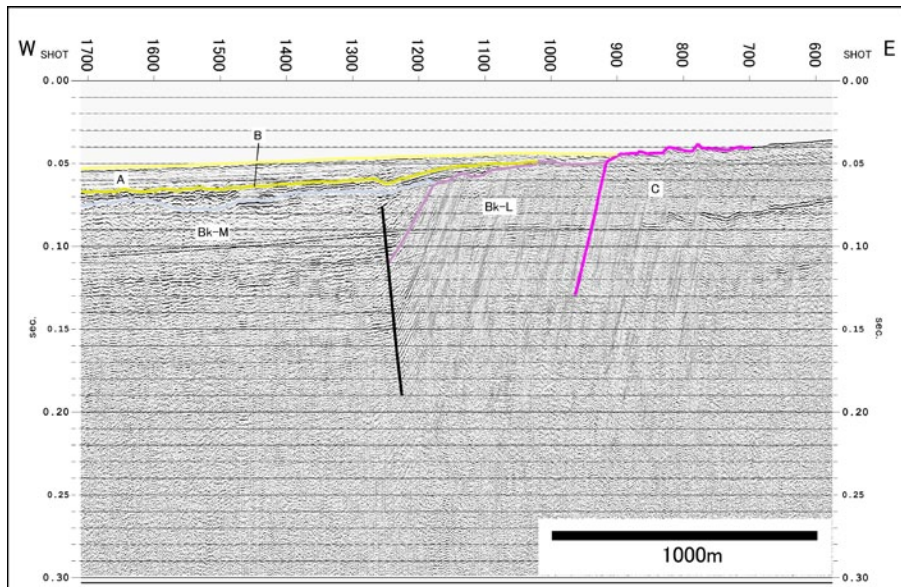
第 20 図 (b). マルチチャンネル音波探査解釈断面 (WK10B 測線 SP300-1700).
Fig. 20(b). Multichannel seismic reflection profile, geological interpretation. (Line WK10B SP300-1700).



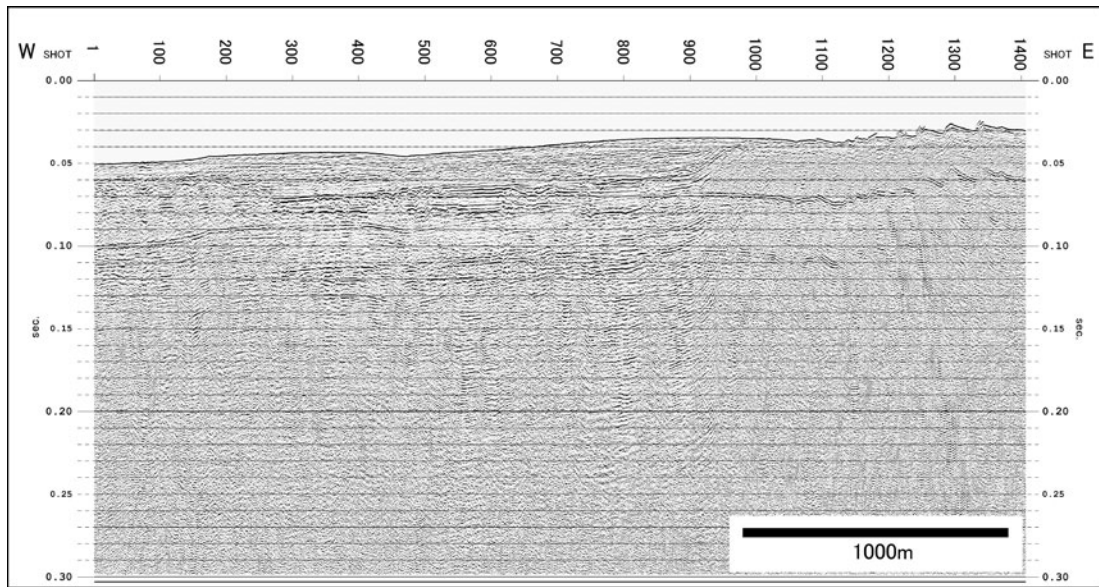
第 21 図. シングルチャンネル音波探査記録断面 (WK11S 測線).
Fig. 21. Single channel seismic reflection profile, time section. (Line WK11S).



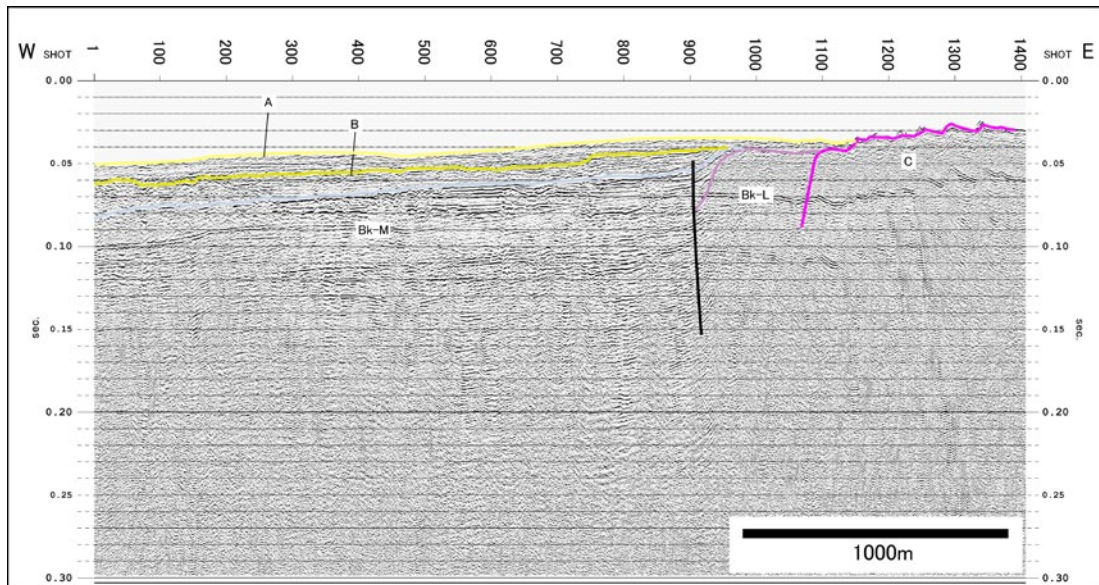
第 22 図 (a). マルチチャンネル音波探査記録断面 (WK12B 測線 SP600-1700).
Fig. 22(a). Multichannel seismic reflection profile, time section. (Line WK12B SP600-1700).



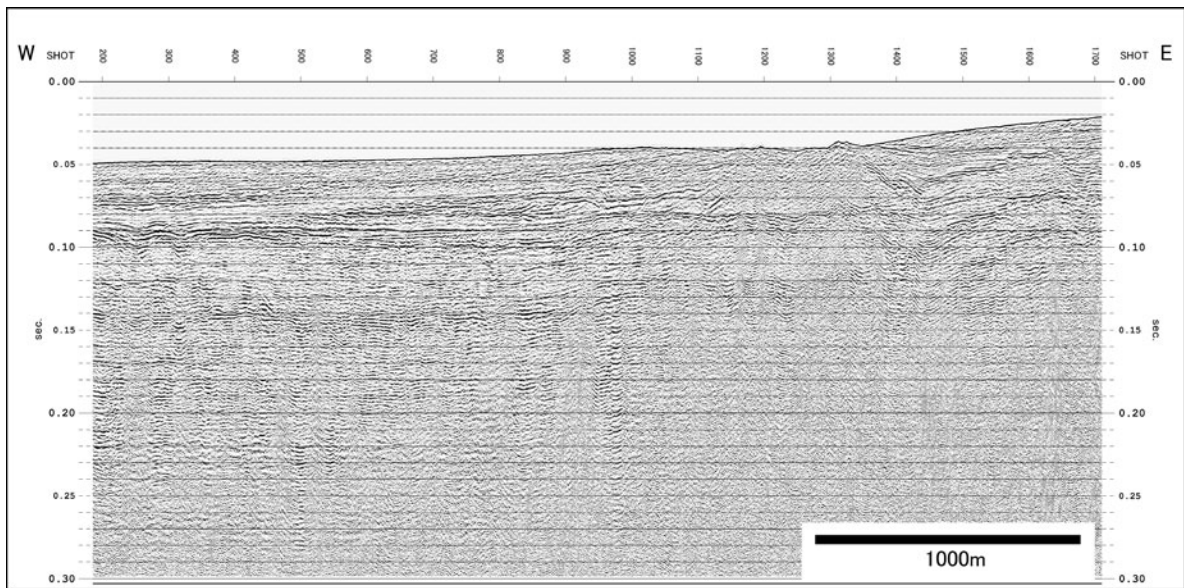
第 22 図 (b). マルチチャンネル音波探査解釈断面 (WK12B 測線 SP600-1700).
Fig. 22(b). Multichannel seismic reflection profile, geological interpretation. (Line WK12B SP600-1700).



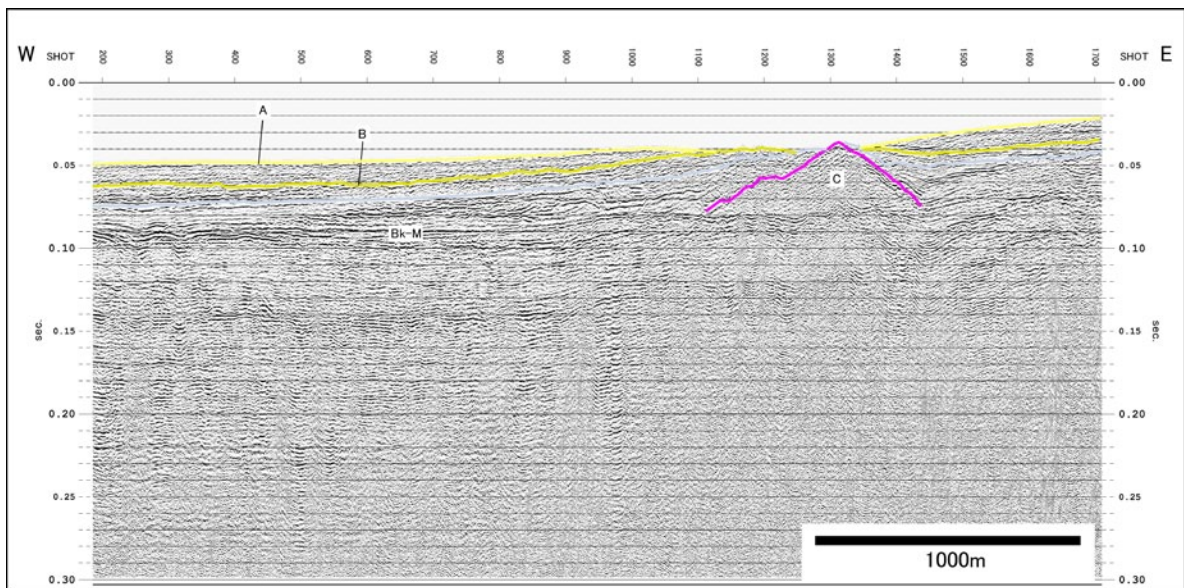
第 23 図 (a). マルチチャンネル音波探査記録断面 (WK13B 測線 SP1-1400).
Fig. 23(a). Multichannel seismic reflection profile, time section. (Line WK13B SP1-1400).



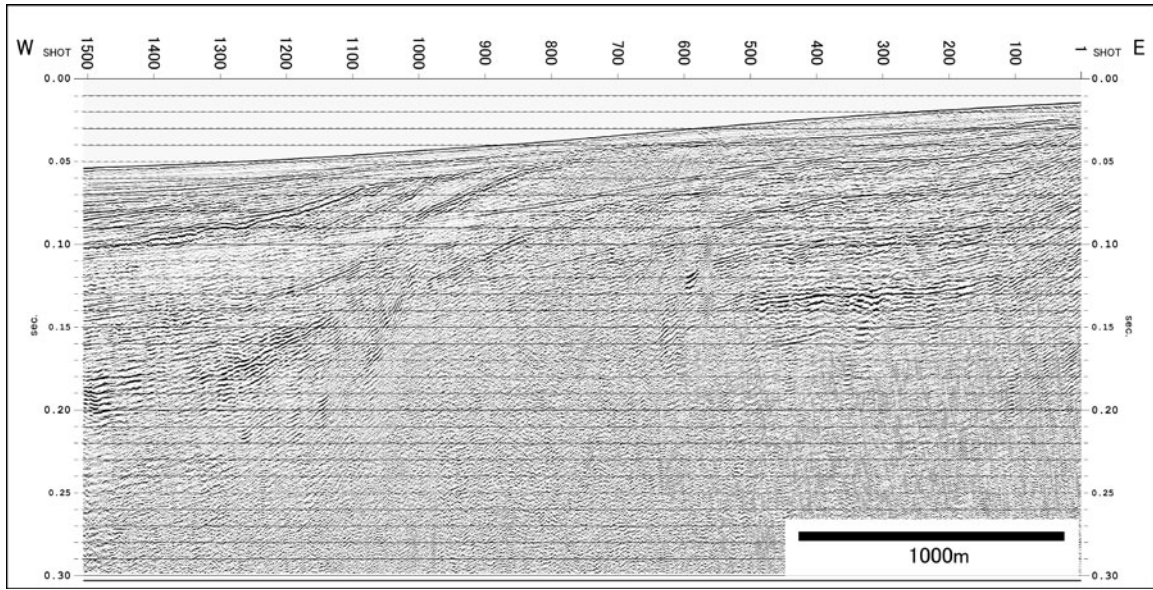
第 23 図 (b). マルチチャンネル音波探査解釈断面 (WK13B 測線 SP1-1400).
Fig. 23(b). Multichannel seismic reflection profile, geological interpretation. (Line WK13B SP1-1400).



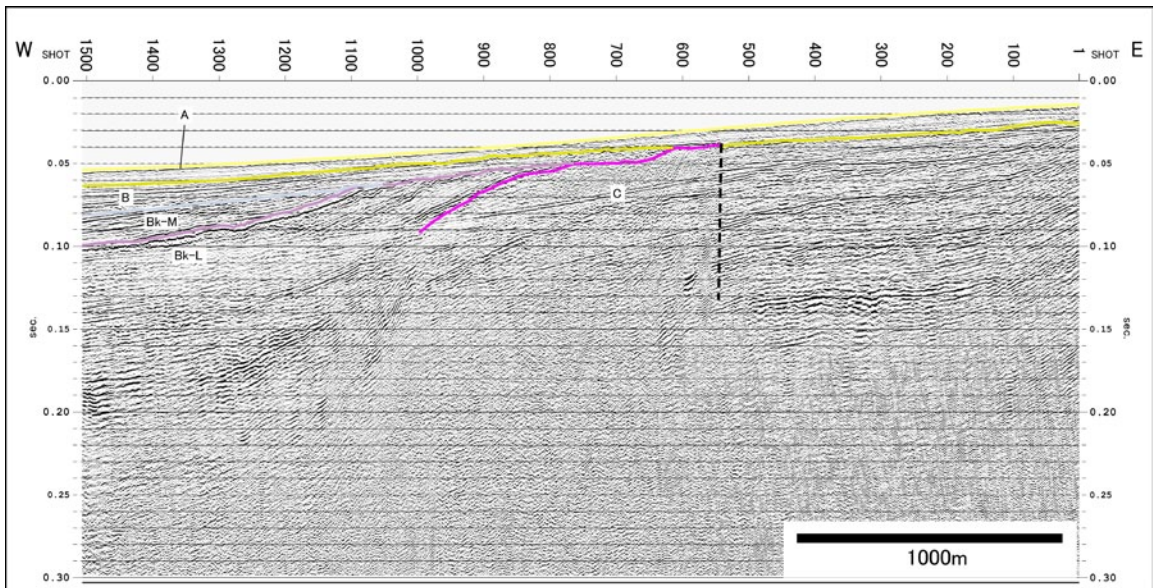
第 24 図(a). マルチチャンネル音波探査記録断面 (WK14B 測線 SP200-1700).
Fig. 24(a). Multichannel seismic reflection profile, time section. (Line WK14B SP200-1700).



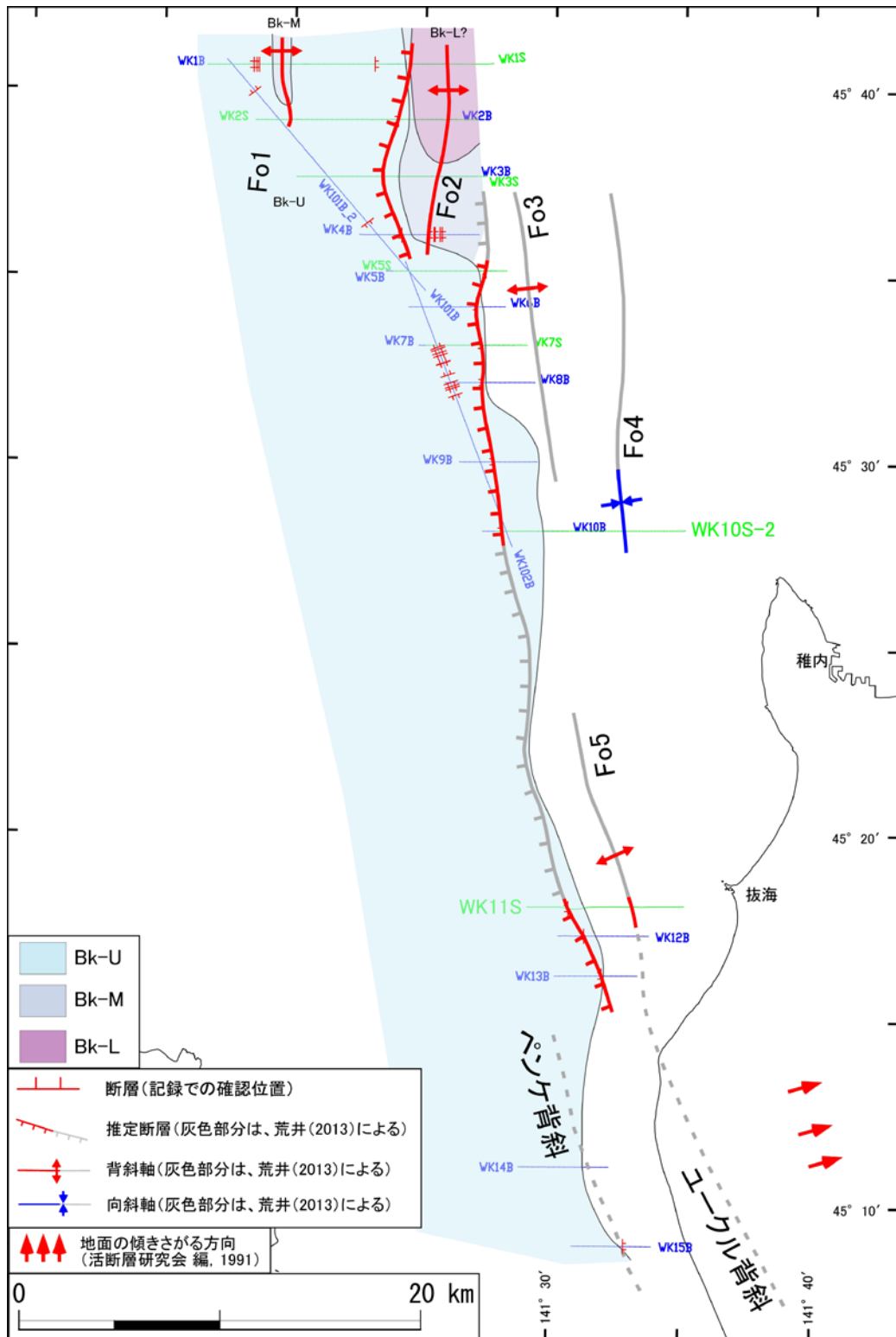
第 24 図(b). マルチチャンネル音波探査解釈断面 (WK14B 測線 SP200-1700).
Fig. 24(b). Multichannel seismic reflection profile, geological interpretation. (Line WK14B SP200-1700).



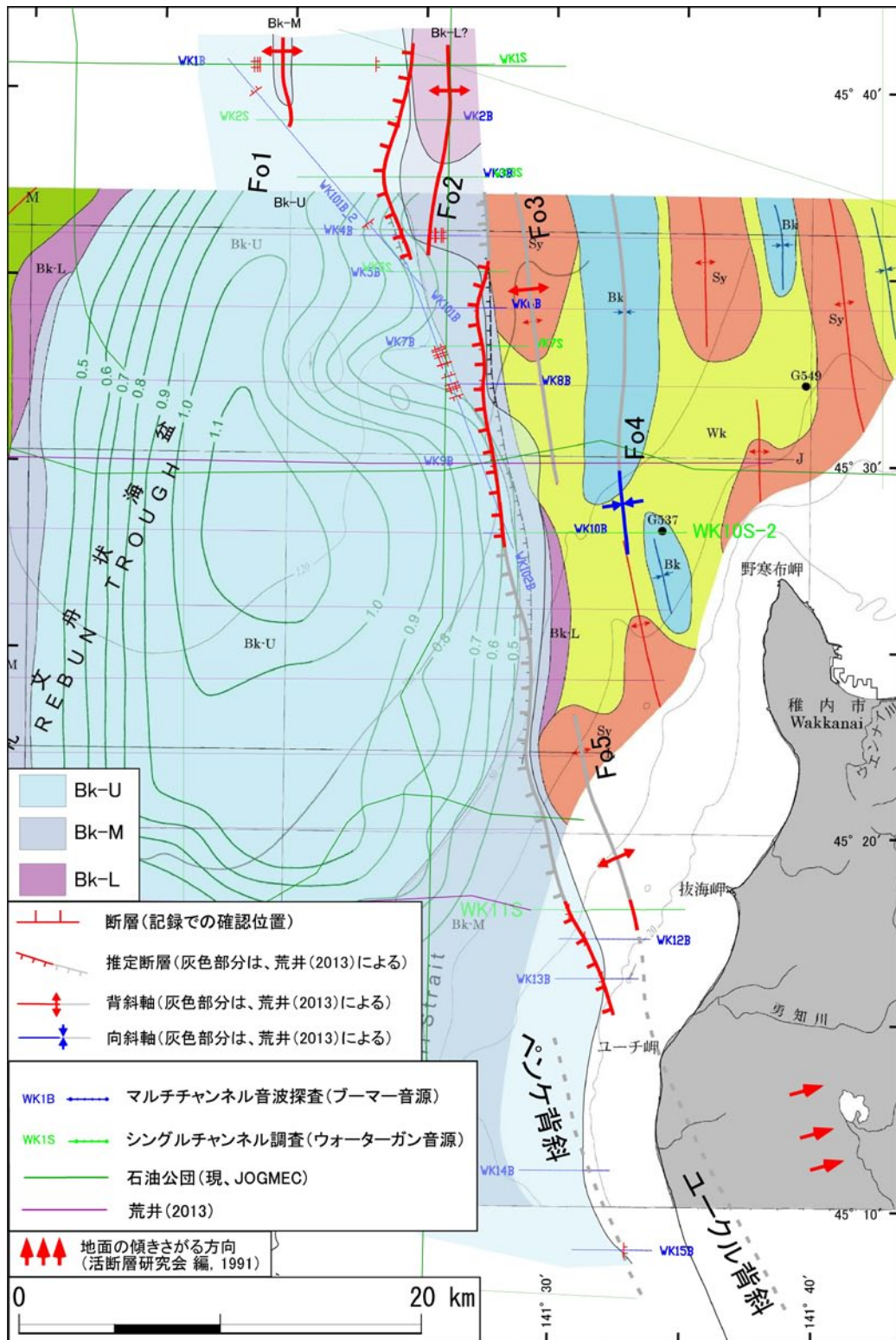
第 25 図(a). マルチチャンネル音波探査記録断面 (WK15B 測線 SP1-1500).
Fig. 25(a). Multichannel seismic reflection profile, time section. (Line WK15B SP1-1500).



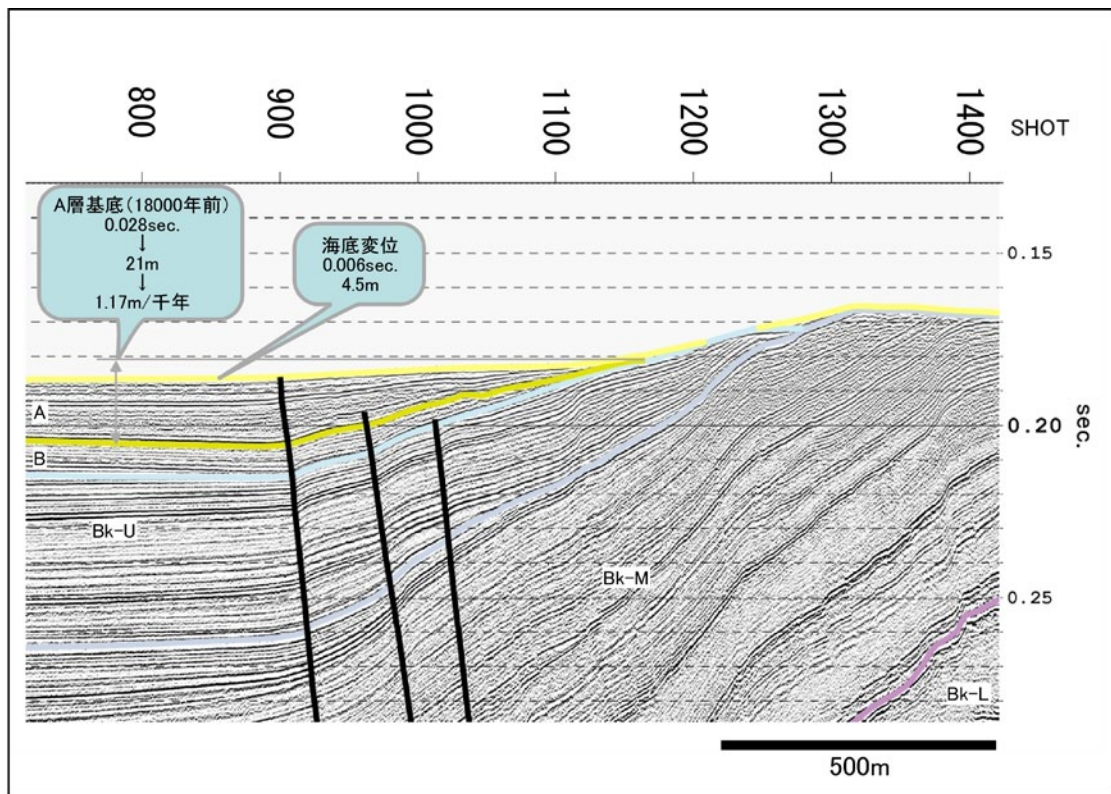
第 25 図(b). マルチチャンネル音波探査解釈断面 (WK15B 測線 SP1-1500).
Fig. 25(b). Multichannel seismic reflection profile, geological interpretation. (Line WK15B SP1-1500).



第 26 図. 本調査結果に基づくサロベツ断層帯海域延長部の断層, 褶曲分布.
 Fig. 26. Spatial distribution of faults and folds in the offshore extension of the Sarobetsu fault zone based on the results of this survey.



第 27 図. 本調査結果を荒井(2013)に統合したサロベツ断層帯海域延長部の地質構造図.
 Fig. 27. Geological structure map in the offshore extension of the Sarobetsu fault zone which integrated the results of this survey with Arai (2013).



第28図. WK1測線上の褶曲構造F01におけるサロベツ断層帯の活動性. 測線及び褶曲の位置は第2図及び第26図を参照.

Fig. 28. An estimate of the activity of the Sarobetsu fault zone in fold structure F01 on Line WK1. The position of line and the fold is shown in fig. 2 and fig. 26 respectively.