

三浦半島断層群海域延長部における断層分布と活動性について

Spatial distribution and activity of faults in the offshore extension of the Miura-hanto fault group

森 宏¹・阿部信太郎¹・荒井良祐²・田之口英史³・津村紀子³・青柳恭平⁴

Hiroshi Mori¹, Shintaro Abe¹, Ryoyu Arai², Hidefumi Tanoguchi³, Noriko Tsumura³ and Yasuhira Aoyagi⁴

¹ 活断層・火山研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Earthquake and Volcano Geology, mori-hiroshi@aist.go.jp)

² 川崎地質株式会社 (Kawasaki Geological Engineering Co. Ltd.)

³ 千葉大学大学院理学研究科 (Graduate School of Science, Chiba University)

⁴ 電力中央研究所 (Central Research Institute of Electric Power Industry)

Abstract: We carried out a marine geological investigation on the offshore extension of the Miura-hanto fault group. The main purpose of this study is to clarify the following points; (1) offshore continuity of the fault group; (2) the total length of the fault group; (3) division of the fault segments; and (4) characterization of recent faulting. In the present investigation, 16 lines of high-resolution multichannel seismic reflection surveys were carried out off the Kaneda-Bay (in the Tokyo Bay side) and off Hayama (in the Sagami Bay side) in both sides of the Miura Peninsula to recognize detailed structures of shallow strata. In addition, the sampling of sediments with the vibrocoreing was conducted to constrain the sedimentation age. The offshore extension of the fault group were recognized both of off the Kaneda-Bay and off Hayama in this study. Their distributions are correlated to the southern margin of the extended parts of the uplift zone traversing the Miura Peninsula.

キーワード: 三浦半島断層群, 海域, 活断層, 反射法音波探査

Keywords: Miura-hanto fault group, sea area, active fault, 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, 2010, 2011)。

一方、近年、日本の沿岸海域においては、2005 年福岡県西方沖地震、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、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、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することによって、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、三浦半島断層群の東京湾側 (金田湾沖) および相模湾側 (葉山沖) の両海域延長部における断層の分布・性状とその活動性を明らかにすることを目的として海底活断層調査を実施した (第 1 表)。

本稿においては、このうち、高分解能マルチチャンネル音波探査記録とバイプロコアラを用いた柱状採泥調査の結果に基づいて検討した三浦半島断層群海域延長部における断層の分布・性状および過去の活動性について論ずる。

2. 三浦半島断層群の概要

三浦半島断層群は、三浦半島の中・南部および浦賀水道に分布しており、神奈川県三浦郡葉山町から横須賀市を経て浦賀水道に至る主部と、三浦市に位置する南部からなり、いずれも上下変位を伴う右横ずれ断層である (地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2002)。断層帯主部は、ほぼ西北西-東南東方向に並走する北側の衣笠・北武断層帯と南側の武山断層帯に細分される (地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2002; 第 1 図)。

地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2002) は、太田ほか (1982)、今泉ほか (1987)、活断層研究会編 (1991)、渡辺ほか (1996) 等に基づき、断層帯の全長は主部の衣笠・北武断層帯で約 14 km 以上、武山断層帯 (金田湾断層を含む) で約 11 km 以上、南部で約 6 km 以上と推定している (第 1 図)。地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2002) は、海域を

含んで分布が確認されている各断層帯の長さより、1回の活動に伴う変位量を主部においては1 m程度もしくはそれ以上、南部においては0.5 m程度もしくはそれ以上と推定している。また、地震調査研究推進本部地震調査委員会(2002)は、神奈川県(1996)、神奈川県(2001)等に基づいて、最新活動時期は、衣笠・北武断層帯で6~7世紀、武山断層帯で約2,300年~1,900年前、断層帯南部で約26,000年~22,000年前、平均活動間隔は、衣笠・北武断層帯で約1,900年~4,900年、武山断層帯で約1,600年~1,900年、南部については不明としている。平均的な右横ずれ変位速度は、衣笠・北武断層帯で0.9~2.3 m/千年、武山断層帯で0.5~2.8 m/千年、南部については上下成分のみ約0.2 m/千年と評価されている(地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2002)。地震の規模は、衣笠・北武断層帯でマグニチュード6.7以上、武山断層帯で6.6以上、南部で6.1以上となる可能性が指摘されている(地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2002)。

本断層帯の海域延長部では、今泉ほか(1987)、岩淵ほか(1996)、阿部・青柳(2006)等によって反射法音波探査が行われ、陸域の断層が東京湾側と相模湾側の両海域で連続的に分布する可能性が指摘されている。阿部・青柳(2006)は、武山断層を東京湾側へ延長した位置に、基盤構造の隆起帯を形成する主断層およびそれと地下で収斂する複数本の副断層の存在を示すとともに、相模湾側の調査海域においても断層群を確認している(第1図)。また、阿部・青柳(2006)は、相模湾側の陸域に近い海域(HY4測線より東側)において、陸域と同様の走向をもつ断層帯の分布を確認する一方で、より西側での走向変化を示し(第1図)、この走向が変化する領域を三浦半島断層群の活動を規定する断層構造の西側末端部と推定している。さらに、阿部・青柳(2006)は、三浦半島断層群主部の海域延長部に分布する海底断層に伴う変位・変形は、東京湾側および相模湾側ともに最終氷期最大海退期の侵食面形成期以前に堆積した地層内に留まっており、陸上で確認されている最終氷期以降の断層活動は、海域には及んでないと推定している。

3. 調査の概要

三浦半島断層群(海域部)を対象として、相模湾側および東京湾側において、活構造の有無、分布性状、陸域部との連続性、海域端部の位置を明らかにするため、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。調査は、必要に応じて補足のための測線を追加することが可能なように、船上で地質構造を確認しつつ実施した。また、表層部をより高分解能で探査可能なSES2000により柱状採泥地点を選定し、活動履歴の把握に必要な堆積物の

年代試料を得るためにパイプロコアラを用いて柱状採泥を実施した。これらの調査項目と数量を第1表に、高分解能マルチチャンネル音波探査の測線と採泥地点を第1図に示す。

第2表に、本調査によって実施した高分解能マルチチャンネル音波探査の仕様をまとめたものを示す。探査は、断層走向にほぼ直交する方向に主たる調査測線として、金田湾沖(東京湾側)では北北東-南南西にKN1測線~KN4測線、葉山沖(相模湾側)では北北西-南南東方向にHY1測線~HY8測線を設定した(第1図)。さらに、それら調査測線間の音響層序を対比するため、各海域において主たる調査測線を繋ぐ方向に補測線としてKN101測線~KN102測線、HY101測線~HY102測線をそれぞれ設定した(第1図)。マルチチャンネル音波探査ではApplied Acoustic Engineering社製のBoomer System探査装置とGeometrics社製のMicroEel・12チャンネルのストリーマーを、調査船の船尾から曳航して発振間隔2.5 mで計画測線上を航行しながら測定した。探査データは船上モニターでデータの音響的なクォリティーと断層の有無などの地質状況を確認しつつデジタル記録を取得した。音波探査に際して、調査船の船位測定はディファレンシャルGPS(DGPS)を用いた。DGPSで使用する補正情報は海上保安庁交通部で沿岸から200 kmの範囲をカバーできるようにラジオビーコンにより発信されているものを使用した。DGPSにより1秒毎に記録させた船位データを用いて、調査船の進行方向およびGPSアンテナと受発振器の距離を考慮して音波探査の反射点位置を決定した。

音波探査記録で認められる浅層部の地層の堆積年代を把握するために、柱状採泥により堆積物を採取し、年代測定を実施した。本調査海域の海底堆積物は砂質であることが予想されたため、泥質な堆積物の採取に有効なピストンコアは用いず、パイプロコアラを使用した。柱状採泥地点の選定に際しては、まず、ブーマー音源による高分解能マルチチャンネル音波探査断面より対象とする地質構造を選定した。作業は、採取地点に調査台船をアンカーで固定して底質採取を実施した。採泥器を海中に投入してから回収するまでの作業中は、台船の位置データをDGPSにより1秒毎に記録した。採泥地点の位置は、採泥器の着底位置と離底位置の中間地点とした。採泥管内管の直径は8.8 cmである。コア試料は現地では1 m長に切断し、振動を極力避けて実験室へ運搬した。試料を半裁した後、写真撮影と観察・記載をおこない柱状図を作成した。コア試料中からは13点の放射性炭素年代測定用試料を選定し採取した。年代測定は加速器質量計を用いて計測し、Reimer *et al.* (2013)に基づいて暦年較正をおこなって、放射性炭素年代値を得た。

4. 音波探査の結果

4.1 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、海底面下およそ 100~200 m までの反射記録が得られた。反射記録の深度変換にあたっては、水中および堆積物中における弾性波の伝播速度を 1,500 m/sec と仮定した。

東京湾を挟み三浦半島、房総半島およびその周辺海域においては、鈴木ほか (1995) が既存成果を取りまとめ、海陸の地質層序の対比も含めて 10 万分の 1 の地質図を作成している。それによれば、本調査範囲および周辺海域の地質層序は、葉山層群に相当する前期中新世以前の E 層、三浦層群に相当する中期中新世~前期鮮新世の D 層、上総層群・千倉層群に相当する中期鮮新世~前期更新世の C 層、相模層群に相当する中~後期更新世の B 層、海底谷底堆積物に相当する完新世の A 層に区分されている (第 3 表)。

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、基本的には鈴木ほか (1995) に記載されている層序区分に従った。ただし、本調査における音波探査記録は、鈴木ほか (1995) で参照された音波探査記録よりも浅層部の分解能が高いことから、B 層については B1 部層および B2 部層に細分した (第 3 表)。また、鈴木ほか (1995) は、上総層群・千倉層群相当層 (C 層) を独立した地層ユニットとして解釈しているが (第 3 表)、本調査範囲の周辺陸域において上総層群・千倉層群が欠如する (e.g., 竹内ほか, 2015) とともに、本調査範囲における同層群に相当する地層の分布は、金田湾側南東縁の反射パターンが不明瞭となる東京湾海底谷付近に限られる (e.g., 木村, 1976)。そのため、本調査範囲において、上総層群・千倉層群に相当する地層は、本探査の分解能で検出可能な層厚をもっては分布しないと判断した (第 3 表)。以下に各層の音響的な特徴を述べる。

【A 層】調査範囲の最上位層で、葉山沖では層厚は最大でも 20 m 程度と薄いですが、金田湾沖では凹地を埋めるなど 30 m 程度の層厚が認められる。内部反射面は明瞭で、水平から緩く傾斜し、その基底には強い反射面を有して下位の B 層~D 層と接している。下位層内部において変形構造が発達するところでは、その構造を切る明瞭な侵食面を A 層が覆う。また、凹地においては、オンラップ不整合も認められる。葉山沖の小田和湾西方では、局所的に傾斜した内部構造を有し、基底の侵食面へのダウンラップが認められる。

【B 層】調査海域のほぼ全域に認められ、水平からやや傾斜した明瞭な内部反射面をもつ。葉山沖では層厚が 20 m 程度と薄いですが、南部では下位層に形成された谷を埋めるように厚さ 100 m 程度の層厚を示すところも認められる。下位の C 層とは一般に内部反

射面の強度差により不整合面が認識されるとともに、一部では褶曲構造の発達する C 層と、より緩やかな反射面をもつ B 層との境界に不整合面も認められる。また、B 層は内部反射が示す構造の違いから、上から B1 部層および B2 部層の 2 層に細分される。B2 部層は B1 部層と比較して、内部反射がやや不明瞭であるとともに、褶曲構造が発達している。

【C 層】調査海域のほぼ全域に認められる。本層の下限が不明なため層厚は不明である。C 層は B 層と比較して、内部反射が不明瞭であるとともに、より急傾斜を呈する褶曲構造が発達しており、明瞭な構造のギャップが認められる。

【D 層】調査海域の金田湾沖では金田湾断層近傍に、葉山沖では北縁において主に認められる。本層は下限が不明なため層厚は不明である。内部反射はほとんど認められない。

最上位層である A 層は、調査地域全域にわたって連続的に追跡される上述の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 (第 3 表)。鈴木ほか (1995) に示される各層の分布範囲に基づけば、B1 部層および B2 部層の年代は、相模層群に相当する中~後期更新世、C 層は三浦層群に相当する中期中新世~前期鮮新世 (鈴木ほか (1995) の D 層)、D 層は葉山層群に相当する前期中新世以前 (鈴木ほか (1995) の E 層) と解釈される (第 3 表)。

ただし、B 層以下の地層については、直接的に年代を示す資料は乏しく、また、探査手法に起因する可探深度と分解能の違いのため、鈴木ほか (1995) との分布域以外の特徴による比較は困難である。また、B 層内部においては変形構造が認められる一方で、それらの構造は明瞭に侵食され、ほぼ水平に堆積した A 層に覆われている。そのため、A 層-B 層境界には、より大きな時間的ギャップが存在した可能性があり、B 層の年代はさらに古くなる可能性がある。

4.2 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 2 図~第 20 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、隣接する複数の測線にまたがって追跡可能な断層については解釈断面図上に断層名を付している。

(1) 金田湾沖 (東京湾側)

【KN1 測線】KN1 測線ではショットポイント (以下 SP と記す) 760~900 付近において D 層が海底面に露出しており、その周辺では B2 部層の内部反射面の傾斜が急になる。D 層の海底面露出域の南縁部の SP970 付近では、A 層内部に南西側が低下する反射面の緩い撓みが認められるため、断層 (Fk1) を推定した。また SP1250 付近にも A 層内部に撓みが認められるため断層を推定した (第 2 図)。

【KN2 測線】KN2 測線では SP1660 付近で D 層が海底面直下に達する高まりが認められ、その北側では SP1790 付近および SP2280 付近に軸を持つ向斜構造が B 層内部に認められる (第 3 図, 第 4 図)。一方、その南側の SP1420 付近には A 層内部に北東側が上がる撓みが認められるため、断層 (Fk1) を推定した。また、SP1150 付近にも A 層内部に撓みが認められることから、断層を推定した (第 3 図)。

【KN3 測線】KN3 測線では B2 部層以下の地層に褶曲構造が認められる (第 5 図, 第 6 図)。SP680 付近では、A 層内部に撓みをもつ断層が認められる (第 6 図)。SP2540 付近に軸をもつ背斜構造が B2 部層内部に認められる。SP3260 付近には A 層～B1 部層に撓みが認められるため、断層を推定した。SP3300 付近には海底面に北向きの崖が分布するが、崖を挟む A 層の内部反射面は水平であるため、断層崖ではないと判断した (第 5 図)。

【KN4 測線】KN4 測線では SP2150 付近の谷を挟んだ両側の A 層基底面に深度差が認められることから断層を推定した。SP2460～SP2570 付近に認められる A 層基底の不整合面と SP2690～SP2990 付近に認められる A 層基底の不整合面に 7 m 程度の北側低下の深度差が認められ、SP2680 付近に断層が推定されるが、隣の KN3 測線ではこの推定断層に連続すると考えられる断層は認められない (第 7 図)。

(2) 葉山沖 (相模湾側)

【HY1 測線】HY1 測線では C 層上面の凹凸を埋めるように B2 部層が堆積している。本測線の C 層には内部反射面があまり認められず地質構造は不明であるが、B2 部層はほぼ水平な堆積構造を示している。SP1510 付近において、C 層上面に深度差が認められることから断層を推定した (第 8 図)。

【HY2 測線】HY2 測線では SP1250～SP1500 で C 層内部に褶曲構造が認められる。SP1770 付近および SP1830 付近においては、A 層内部に変位を伴う、南側隆起の断層が認められる (第 9 図)。

【HY3 測線】HY3 測線では、HY3_2 の SP240 付近に A 層内部に撓みを伴う北側隆起の断層が認められる。また、SP700 付近および SP810 付近には北側隆起の断層が認められる。さらに、SP1140, SP1270, SP1350 付近には B2 部層内部に変形構造を伴う南側隆起の断層が認められる (第 10 図)。

【HY4 測線】HY4 測線の SP1000 付近には B1 部層から A 層基底面にかけて撓みが認められるため、断層 (Fh1) を推定した。また、SP1610 付近には B1 部層内部に変形構造が認められるため、断層を推定した (第 11 図)。SP4040～SP4300 付近には、D 層が海底面に露出し、その南側には SP4770 付近に軸を持つ非対称な向斜構造が B2 部層内部に認められる。この向斜構造の北翼部の SP4660 付近には、A 層基底面に撓みが認められることから、北傾斜の断層を推

定した (第 12 図)。

【HY5 測線】HY5 測線では SP740 付近に B2 部層内部に変形構造を伴う南側隆起の断層が認められる (第 13 図)。また、SP2500 付近には C 層上面に深度差をもつ南側隆起の断層があり、SP3310 付近にも A 層基底面に深度差をもつ南側隆起の断層が存在する (第 14 図)。さらに SP4720 付近には B1 部層内部に撓みが認められることから南側隆起の断層を推定した (第 15 図)。

【HY6 測線】HY6 測線では SP120 付近に南側隆起の断層、SP380 付近に北側沈降の断層 (Fh3) が確認され、いずれも B2 部層内部に変形構造を伴う。また、SP900 付近には B2 部層基底面に深度差が認められるため、断層を推定した (第 16 図)。また、SP4100 には B1 部層内部に変形構造をもつ南側隆起の断層が認められる。さらに、SP4630 付近には海底面に深度差をもつ北側隆起の断層 (Fh2) が認められる (第 17 図)。

【HY7 測線】HY7 測線では SP1060 付近に海底面に深度差をもつ北側隆起の断層 (Fh2) が認められる。また、SP1770 付近には B1 部層内部に撓みをもつ北側隆起の断層が認められる。SP2210 付近には C 層上面に深度差をもつ南側沈降の断層が確認される (第 18 図)。SP5400 付近にも C 層上面に深度差が認められ、ここに北側沈降の断層 (Fh3) を推定した (第 19 図)。

【HY8 測線】HY8 測線では、SP1900 より南側では水深が深くデータがほとんど取得されていないため、SP1900 以下の区間における地質構造は不明である。SP4680 付近には A 層内部に撓みをもつ北側隆起の断層 (Fh2) が認められる。また SP4820 付近に A 層内部に撓みが認められることから北側隆起の断層を推定した。SP5230 付近では、内部パターンが大きく変わる (B2 部層 / C 層境界) ことから南側隆起の断層を推定した (第 20 図)。

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 21 図)。

5. 底質採取調査の結果

本調査における底質採取では、バイプロコアラを使用したため、機器の仕様上の制約として、水深 40 m 以浅の海底が対象となった。底質採取は、葉山沖 (相模湾側) において、最上位で最新の堆積物からなる A 層に関する情報が得られることが期待される、Fh1 断層を挟む 2 地点において実施した (第 1 図, 第 10 図)。

5.1 コア試料観察および年代

2 地点で採取したコア試料は中粒砂を主体とし、貝殻や礫の混入が見られる。2 本のコアで相互に対

比できる鍵層は存在しなかった。得られた試料の柱状図を第 22 図に示す。以下に各柱状試料について、その特徴を述べる。

【HYB1-2】HYB1-2 コアは HY3_2 測線上の水深 41 m 付近にて採取し、コア長は 338 cm である。堆積物はおもに中粒砂で構成される。上端から 129～229 cm では泥質分を含んでいる。本コアの上端から 40 cm, 103 cm, 150 cm, 186 cm, 263 cm, 308 cm のところから採取した貝殻片を用いて測定した放射性炭素年代（炭素同位体分別補正後の年代）はそれぞれ 580±30 yBP, 6070±30 yBP, 2550±30 yBP, 2320±30 yBP, 2610±30 yBP, 3470±30 yBP である（第 4 表, 第 22 図）。

【HYB2】HYB2 コアは HY3_2 測線上の水深約 39 m 付近にて採取し、コア長は 298.5 cm である。中粒砂から構成され、貝殻細片を含む。上端から 269～275 cm には礫が密集している。本コアの上端から 31 cm, 61 cm, 108 cm, 155 cm, 169 cm, 198 cm, 278 cm のところから採取した貝殻片を用いて測定した放射性炭素年代はそれぞれ 4160±30 yBP, 980±30 yBP, 1160±30 yBP, 2490±30 yBP, 3950±30 yBP, 4620±30 yBP, 9200±30 yBP である（第 4 表, 第 22 図）。

5.2 年代測定結果と A 層の基底面深度からみた A 層の堆積環境

各コアから得られた年代測定結果によると、年代値の逆転が見られることから（第 4 表, 第 22 図）、年代を測定した試料には再堆積したものが多数含まれている可能性が高い。ただし、最も古いもので 9,200±30 yBP の値を示していることから、A 層は最終氷期の最大海退期以降の堆積物であると考えられる。高分解能反射法音波探査記録から読み取れるコア採取地点における A 層基底の不整合面の深度は、Fh1 断層の下盤側で往復走時 0.68～0.75 sec. であり、音波速度を 1500 m/sec. と仮定すると、水深 51～56 m になる（第 23 図）。遠藤ほか（2013）による関東平野中央部における過去 1.5 万年間の相対的海水準変動曲線によると、現在の海面下 51～56 m に位置する不整合面に A 層が堆積し始めたのは、おおよそ 1.23～1.35 万年前と推察される（第 23 図）。

6. 考察およびまとめ

以上の結果に基づき、本断層帯の断層の性状および過去の活動について考察を加え、まとめとする。

6.1 三浦半島断層群海域延長部の分布・形状

本調査の結果、金田湾沖（東京湾側）および葉山沖（相模湾側）の両海域において、陸域の三浦半島断層群（地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2002）の走向方向の延長部に断層が確認された（第

21 図, 第 24 図）。これらの分布範囲は大局的には、第 24 図に示す三浦半島断層群主部延長部の葉山沖北部エリアおよび金田湾沖エリアと、三浦半島断層群南部延長部の葉山沖南部エリアに分けられ、陸域延長部にあたる 2 列の断層帯として捉えられる。いずれのエリアにおいても、各断層の連続性は乏しく、断層分布としては散在している（第 21 図, 第 24 図）。

金田湾沖エリアの断層群は、久里浜東方海域の断層（KN3 測線 SP680 付近）を北縁として、金田湾断層付近まで分布する（第 21 図, 第 24 図）。本エリアの断層群は南側では北傾斜を呈し、北側隆起と北側沈降の断層が混在する。一方、北側の 2 つの断層（KN3 測線 SP680 付近, KN4 測線 SP2680 付近）は南傾斜を呈している。また、隣接する測線をまたいで連続的に追跡可能な Fk1 断層（KN1 測線～KN2 測線）は、北東側隆起の断層であり、近傍の金田湾断層とほぼ平行な北西-南東走向を呈す。金田湾沖エリアの断層群は、一部の断層を除いて、A 層内部において変形構造を伴っている。

葉山沖北部エリアの断層群は、武山断層の延長部付近までを南縁として分布する（第 24 図）。本エリアの北側では、連続性をもった西北西-東南東走向の Fh1 断層（HY3 測線～HY4 測線）と西南西-東北東走向の Fh2 断層（HY6 測線～HY8 測線）が分布する。Fh1 断層および Fh2 断層はいずれも北側隆起の断層であり、基盤（D 層）の高まりに沿って（e.g., HY4 測線 SP1000 付近, HY6 測線 SP4630 付近）並走している（第 24 図）。また、Fh1 断層, Fh2 断層の南には、連続性をもたない断層が散在するとともに、断層形態としても北傾斜と南傾斜が混在する。葉山沖北部エリアの断層群は、A 層内部もしくは海底面まで変形構造を伴っている。

また、葉山沖南部エリアの断層群は、概ね陸域の三浦半島断層群南部の延長部に西南西-東北東走向の Fh3 断層と、複数の小断層からなる。本エリアにおいても、形態として北傾斜と南傾斜の断層が混在する。一方、断層に伴う変形構造は B 層もしくは C 層内部にとどまり、A 層基底から海底面にかけては変形構造が認められない。

金田湾沖エリアおよび葉山沖北部エリアの断層群はいずれも陸域の三浦半島断層群主部の海域延長部に位置するとともに、分布範囲としても南北方向に陸域と同程度の幅をもつ。また、各断層の連続性は悪く、散在するとともに、横ずれ成分主体であることを示唆する傾斜方向の異なる断層の混在した分布が認められ、陸域の三浦半島断層群主部との形態的な類似性を示す。これら位置的關係と形態的類似性に加えて、金田湾沖エリアおよび葉山沖北部エリアの断層群は、最上位層である A 層内部に変形構造をともなっている。阿部・青柳（2006）においても、金田湾沖エリアの Fk1 断層に対応する位置に断層が確認されるとともに、その北では基盤の隆起帯が深

部において捉えられている(第25図)。以上のことより、金田湾沖エリアおよび葉山沖北部エリアの断層群は、幅を持った断層帯として陸域の三浦半島断層群主部の海域延長部にあたるとともに、陸域の葉山・嶺岡隆起帯の海域延長部における南縁を規定する活構造と考えられる。一方、葉山沖南部エリアの断層群は、位置的關係より、幅を持った断層帯としては、陸域の三浦半島断層群南部の海域延長部と考えられる。

金田湾沖については、三浦半島断層群主部の延長部の海岸線から断層が推定された東端部(KN4測線)までの全長は約4.4 km、葉山沖については、海岸線から西端部(HY8測線)までの全長は約8.2 kmとなる。ただし、本調査では金田湾沖および葉山沖の両海域において断層の終端部は確認されていないため、実際の長さは上記以上となる。金田湾沖から陸域を通り葉山沖までの断層を一連のものとする、陸域部も含めた断層帯の全長は約22.1 km以上となる。上述した通り、本調査範囲において確認された三浦半島断層群主部の海域延長部の各地質構造は、陸域の葉山・嶺岡隆起帯の海域延長部における南縁を規定する一連の地質構造として解釈できる。したがって、この区間に分布するこれらの活構造は、全体が一つの活動区間となる可能性がある。

6.2 三浦半島断層群海域延長部の過去の活動性

三浦半島断層群主部の海域延長部に位置する葉山沖では、Fh1断層を覆って薄くA層が堆積している。Fh1断層を横断するHY3_2測線においては、A層内部に撓曲変形が確認される(第23図、第26図)。また、このA層内部反射面の傾斜は浅部から深部に向かって累積的に増加しており、この撓曲は活動的な変形構造と考えられる。音波速度を1500 m/sec.と仮定して、断層によるA層基底面の上下変位量を計測すると約10.5 mとなる(第26図)。この地点におけるA層基底面の深度は海面下51~56 m程度であり、最終氷期以降の関東平野中央部における海水準変動(遠藤ほか, 2013)を考慮すると、現在の海面下51~56 mに位置する不整合面にA層が堆積し始めたのはおおよそ1.23万年前~1.35万年前と推察される。A層堆積開始以前にこの場が侵食域であったとすれば、それ以降の1.23万年間~1.35万年間に、累積的にA層基底面に10.5 mの上下変位をもたらした活動があったと推察される。

一方で、本断層帯が東京湾側から相模湾側まで連続しているものと仮定すると、三浦半島断層群主部の長さは22.1 km以上となる。この断層長から、松田(1975)の経験式(1)、(2)

$$\log L = 0.6 M - 2.9 \quad (1)$$

$$\log D = 0.6 M - 4.0 \quad (2)$$

を用いると、断層全体における1回の活動に伴う上

下変位量は1.7 m以上と計算される。ここでLは1回の地震で活動する断層の長さ(km)、Mはその時のマグニチュード、Dは1回の活動に伴う変位量(m)である。また、松田ほか(1980)の経験式(3)

$$D = 0.1L \quad (3)$$

を用いると、断層全体における1回の活動に伴う変位量は2.2 m以上と計算される。一方、1.23万年前~1.35万年前に形成されたA層基底面の上下変位量は約10.5 mであるが、本断層帯の活動に横ずれ成分があることを考慮すると、断層の変位量は少なくとも10.5 mはあることとなる。従って、1回の断層活動に伴う上下変位量を松田(1975)の経験式より算出された1.7 m以上とした場合、過去1.23万年~1.35万年間に6回以上の活動があったこととなり、活動間隔は2,050~2,250年以下、平均変位速度は約0.78~0.85 m/千年以上と見積もられる。

6.3 今後の課題・展望

本調査によって、陸域の三浦半島断層群主部の海域延長部では、金田湾沖および葉山沖の両海域において、陸域から連続する活断層の存在が示された。一方で、陸域の三浦半島断層群は横ずれ成分主体であり、海域においても横ずれ成分を考慮した評価を行うことが、今後の課題である。また、本調査の反射法音波探査は浅層部を主な対象として実施したため、本調査によって認識された断層と震源断層との関係性は不明である。本海域においては、本調査によって得られた音波探査記録以外にも、今回の海底活断層調査において実施されたSES2000による浅層探査、より深部を対象としたウォーターガンを音源とする反射法音波探査(阿部・青柳, 2006)等のデータが取得済である。今後、これらの探査記録を組み合わせて検討するとともに、三次元的解析を行うことで、震源断層を含む断層の全体像の解明や横ずれ成分を考慮した評価が可能になると期待される。

謝辞 本報告は2014年度に文部科学省より委託を受けた、三浦半島断層群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。また、査読者である丸山正氏、編集担当者である岡村行信氏には、原稿の細部にわたり有益な助言を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

文 献

阿部信太郎・青柳恭平(2006)日本列島沿岸海域における海底活断層調査の現状と課題—海底活断層評価の信頼度向上にむけて—。電力中央研究所報告, N05047。

- 遠藤邦彦・石綿しげ子・堀伸三郎・中尾有利子 (2013) 東京低地と沖積層—軟弱地盤の形成と縄文海進—. 地学雑誌, 112, 968-991.
- 今泉俊文・島崎邦彦・宮武 隆・中田 高・岡村 真・千田 昇・貝塚爽平・岩田孝行・神谷真一郎・畑中雄樹・橋田俊彦 (1987) 三浦半島南東部沖金田湾における海底活断層の発見. 活断層研究, 4, 28-36.
- 岩淵 洋・雪松隆雄・田賀 傑 (1996) 東京湾の活断層調査. 「首都圏直下の地震の予知手法の高度化に関する総合研究」(第Ⅱ期平成6~7年度) 成果報告書, 58-65.
- 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>.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2002) 「三浦半島断層群の長期評価について」. 33p. http://www.jishin.go.jp/main/chousa/katsudansou_pdf/37_miura-hanto.pdf.
- 神奈川県 (1996) 「平成7年度地震調査研究交付金北武断層に関する調査 成果報告書」. 129p.
- 神奈川県 (2001) 「平成12年度地震関係基礎調査交付金 神奈川県地域活断層(三浦半島断層群)調査事業 成果報告書」. 91p.
- 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.
- 木村政昭・村上文敏・石原丈実 (1976) 相模湾及付近海底地質図及び同説明書. 海洋地質図, no.3, 地質調査所.
- 松田時彦 (1975) : 活断層から発生する地震の規模と周期について. 地震, 第2輯, 28, 269-283
- 松田時彦・山崎晴雄・中田 高・今泉俊文 (1980) 1986年陸羽地震の地震断層. 東大地震研彙報, 55, 795-855.
- 太田陽子・松田時彦・池田安隆・渡辺憲司・Williams, D. N.・小池敏夫・見上敬三 (1982) 三浦半島及び国府津・松田地域の活断層に関する調査報告書. 神奈川県, 15-80.
- Reimer, P.J., Bard, E., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C. Buck, C. E., Cheng, H., Edwards, R. L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T. P., Haffidason, H., Hajdas, I., Hatté, C., Heaton, T.J., Hoffmann, D. L., Hughen, K. A., Kaiser, K. F., Kromer, B., Manning, S. W., Niu, M., Reimer, R. W., Richards, D. A., Scott, E. M., Southon, J. R., Staff, R. A., Turney, C. S. M., van der Plicht, J., Hogg, A. (2013) IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves, 0-50,000 years cal BP. Radiocarbon, 55, 1869-1887.
- 鈴木尉元・小玉喜三郎・三梨 昂・岡 重文・卜部厚志・遠藤 毅・堀口万吉・江藤哲人・菊地隆男・山内靖喜・中嶋輝允・徳橋秀一・楡井 久・原 雄・中山俊雄・奈須紀幸・加賀美英雄・木村政昭・本座栄一 (1995) 10万分の1東京湾とその周辺地域の地質(第2版)説明書. 特殊地質図(20), 地質調査所.
- 竹内圭史・及川輝樹・斉藤 眞・石塚 治・実松健造・駒澤正夫 (2015) 20万分の1地質図幅「横須賀」(第2版). 産業技術総合研究所 地質調査総合センター.
- 渡辺満久・宮内崇裕・八木浩司・今泉俊文 (1996) 1:25,000都市圏活断層図「横須賀・三崎」. 国土地理院技術資料, D.1-333.

(受付: 2015年7月31日, 受理: 2015年9月30日)

第1表. 三浦半島断層群海域延長部の調査項目および数量.

Table 1. Survey items and volume in the offshore extension of the Miura-hanto fault group.

調査項目		手法など	数量
音波探査	マルチチャンネル音波探査	ブーマー音源 12チャンネル	金田湾：39.8km 葉山沖：99.8km 合計 139.6km
	浅層探査	SES2000	金田湾：81km 葉山沖：188km 合計 269km
柱状採泥		パイプロコアラー	2地点
年代測定		¹⁴ C放射性同位体年代測定	13試料

第2表. マルチチャンネル音波探査仕様.

Table 2. Data acquisition parameters for seismic profiling survey.

	調査手法	高分解能マルチ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)
	発振エネルギー	約 200 J
	発振周波数	500~5,000 Hz
	音源の深度	0.3 m
	船尾と音源の距離	30 m
	発振点間隔	2.5m
受信部	受信器	圧電型振動素子 (ハイドロフォン)
	チャンネル数	12 ch
	チャンネル間隔	2.5 m
	受信器の深度	0.3 m
	船尾とニアチャンネルの距離	35 m
収録部	探鉱機	24bit (GEODE)
	記録方式	SEG-Y
	重合数	6
	サンプリング間隔	0.125 msec.
	記録長	0.5~0.6 sec
測点間隔(CMP 間隔)		1.25 m
測位		DGPS
船速		約 3 ノット

第3表. 層序対比表.

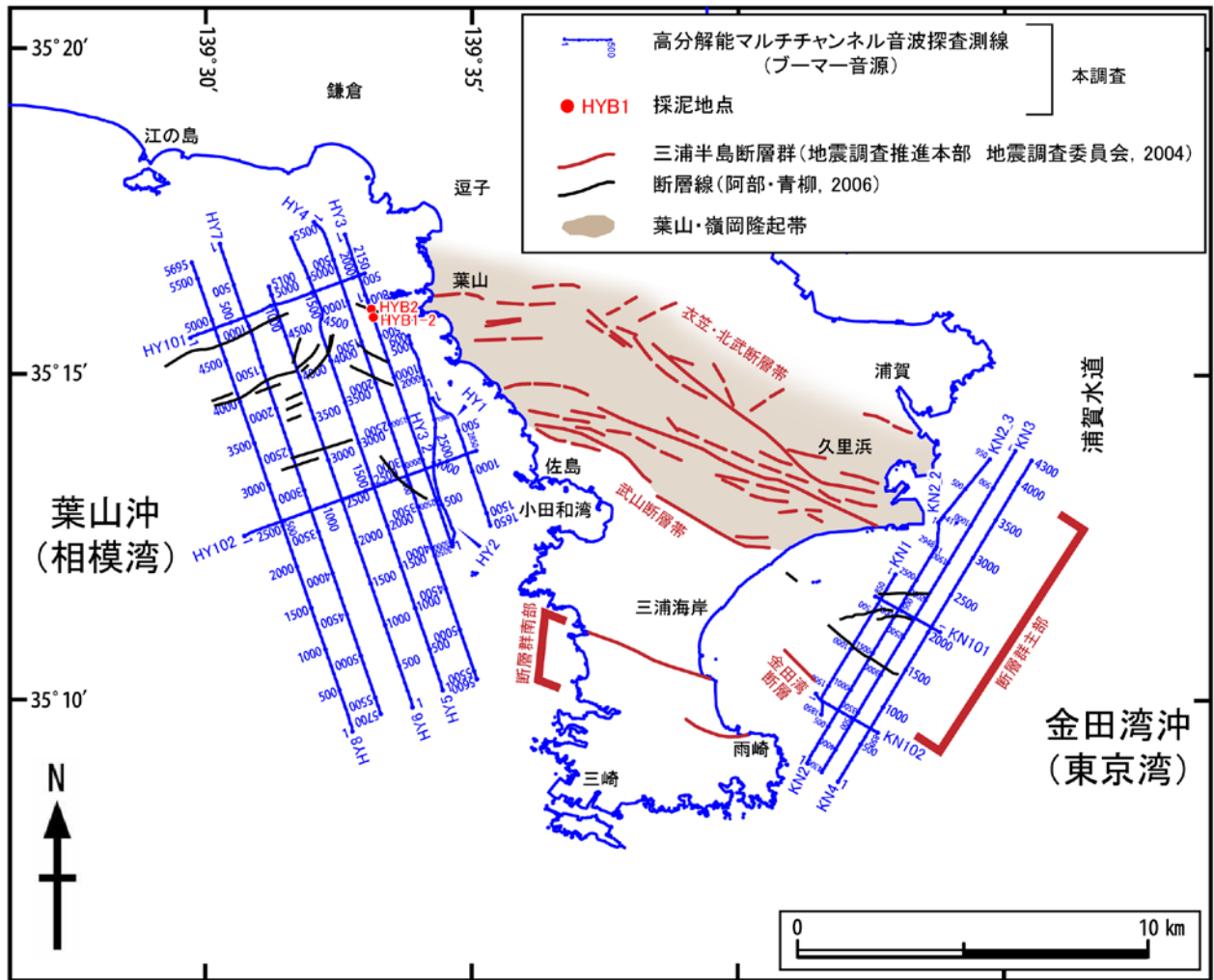
Table 3. Division and correlation of strata in and around the study area.

		海域層序(本研究)		海域層序 (鈴木ほか, 1995)	陸域層序 (鈴木ほか, 1995)
		金田湾沖	葉山沖		
第四紀	完新世	A	A	A	海底谷底堆積物
	更新世	B1	B1	B	相模層群
		B2	B2		
新第三紀	鮮新世			C	上総層群・千倉層群
	中新世	C	C	D	三浦層群
		D	D	E	葉山層群
古第三紀					

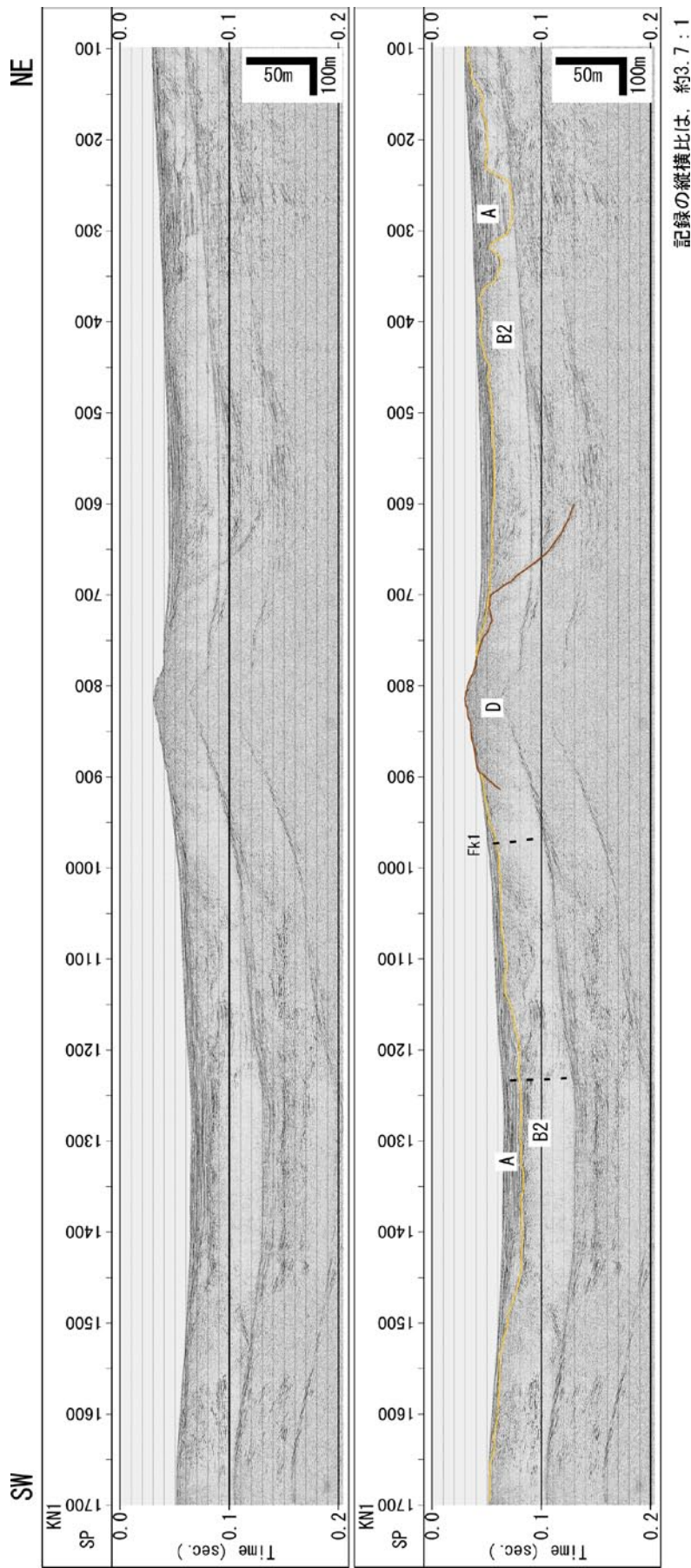
第4表. ¹⁴C年代測定結果.

Table 4. ¹⁴C dating results.

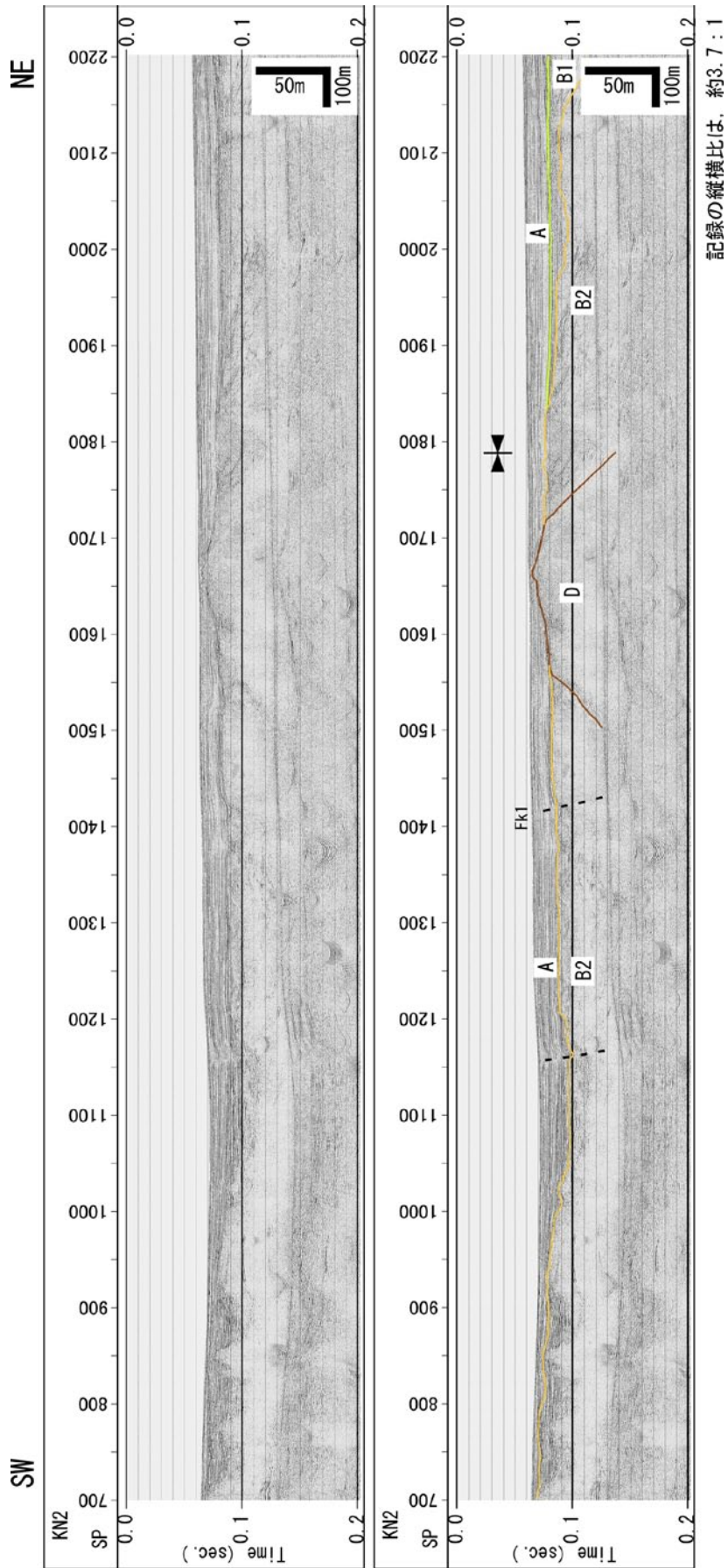
試料 No.	深度 (cm) (海底面下)	試料の 種類	測定 No.	測定方法	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	未補正 ¹⁴ C年代 (yBP)	¹⁴ C年代 (yBP)	暦年代 (Cal yBC)
HYB1-2_40	40	貝殻片	Beta-400484	AMS	+2.0	140±30	530±30	AD 1,670 - 1,815
HYB1-2_103	103	貝殻片	Beta-400485	AMS	+1.4	5,640±30	6,070±30	4,610 - 4,465
HYB1-2_150	150	貝殻片	Beta-400486	AMS	-3.4	2,200±30	2,550±30	355 - 190
HYB1-2_186	186	貝殻片	Beta-400487	AMS	+1.1	1,890±30	2,320±30	45 - AD 85
HYB1-2_263	263	貝殻片	Beta-400488	AMS	-2.1	2,230±30	2,610±30	390 - 315
HYB1-2_308	308	貝殻片	Beta-400489	AMS	+0.7	3,050±30	3,470±30	1,460 - 1,355
HYE2_31	31	貝殻片	Beta-400490	AMS	+1.4	3,730±30	4,160±30	2,390 - 2,190
HYE2_61	61	貝殻片	Beta-400491	AMS	+1.5	550±30	930±30	AD 1,320 - 1,430
HYB2_108	108	貝殻片	Beta-400492	AMS	0.0	750±30	1,160±30	AD 1,195 - 1,295
HYB2_155	155	貝殻片	Beta-400493	AMS	+1.2	2,060±30	2,490±30	315 - 130
HYB2_169	169	貝殻片	Beta-400494	AMS	+0.2	3,540±30	3,950±30	2,065 - 1,905
HYB2_198	198	貝殻片	Beta-400495	AMS	+1.7	4,180±30	4,620±30	2,920 - 2,850
HYB2_278	278	貝殻片	Beta-400496	AMS	+0.2	8,790±30	9,200±30	8,180 - 7,945



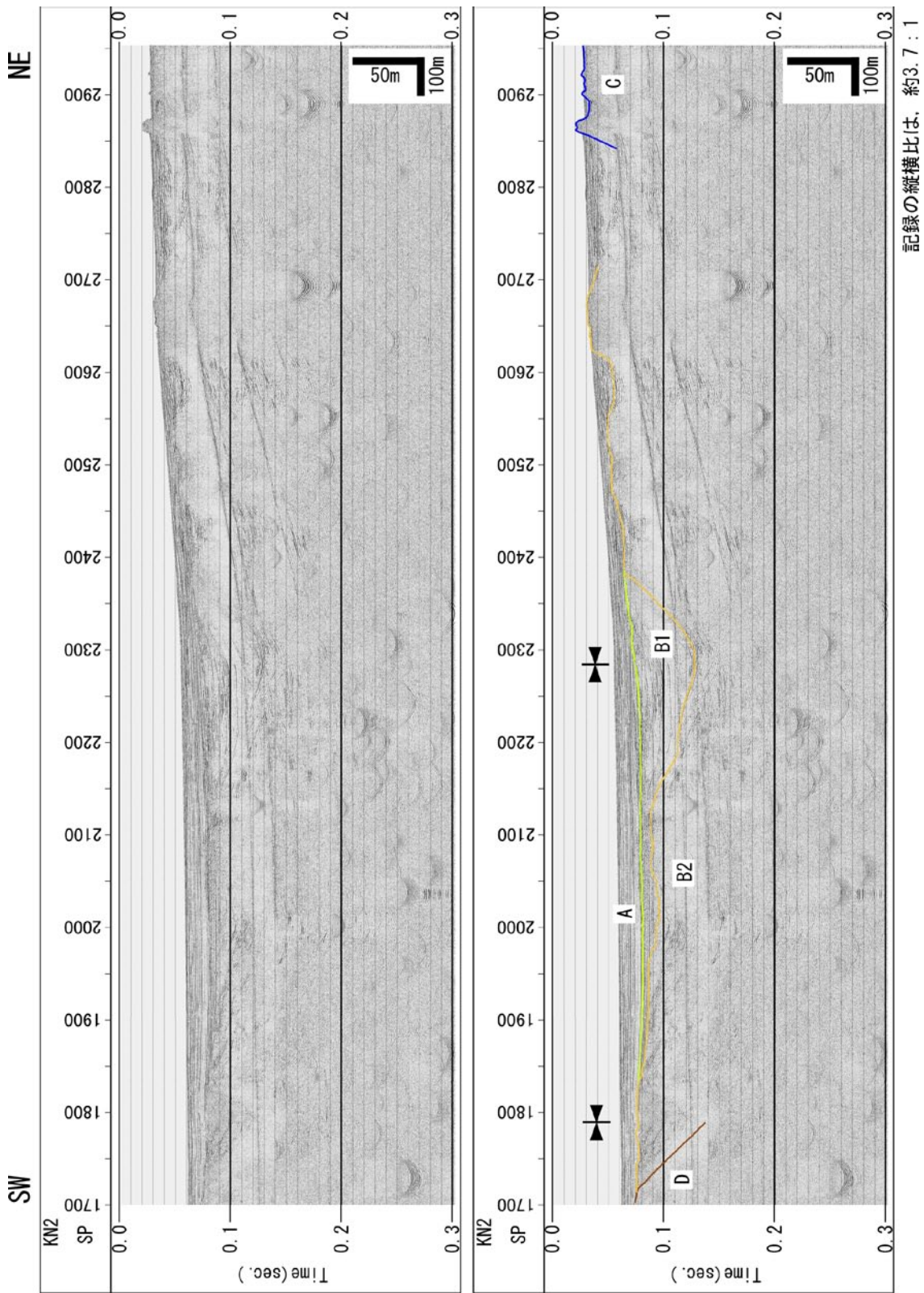
第 1 図. 調査位置図
Fig. 1. Location map of this survey.



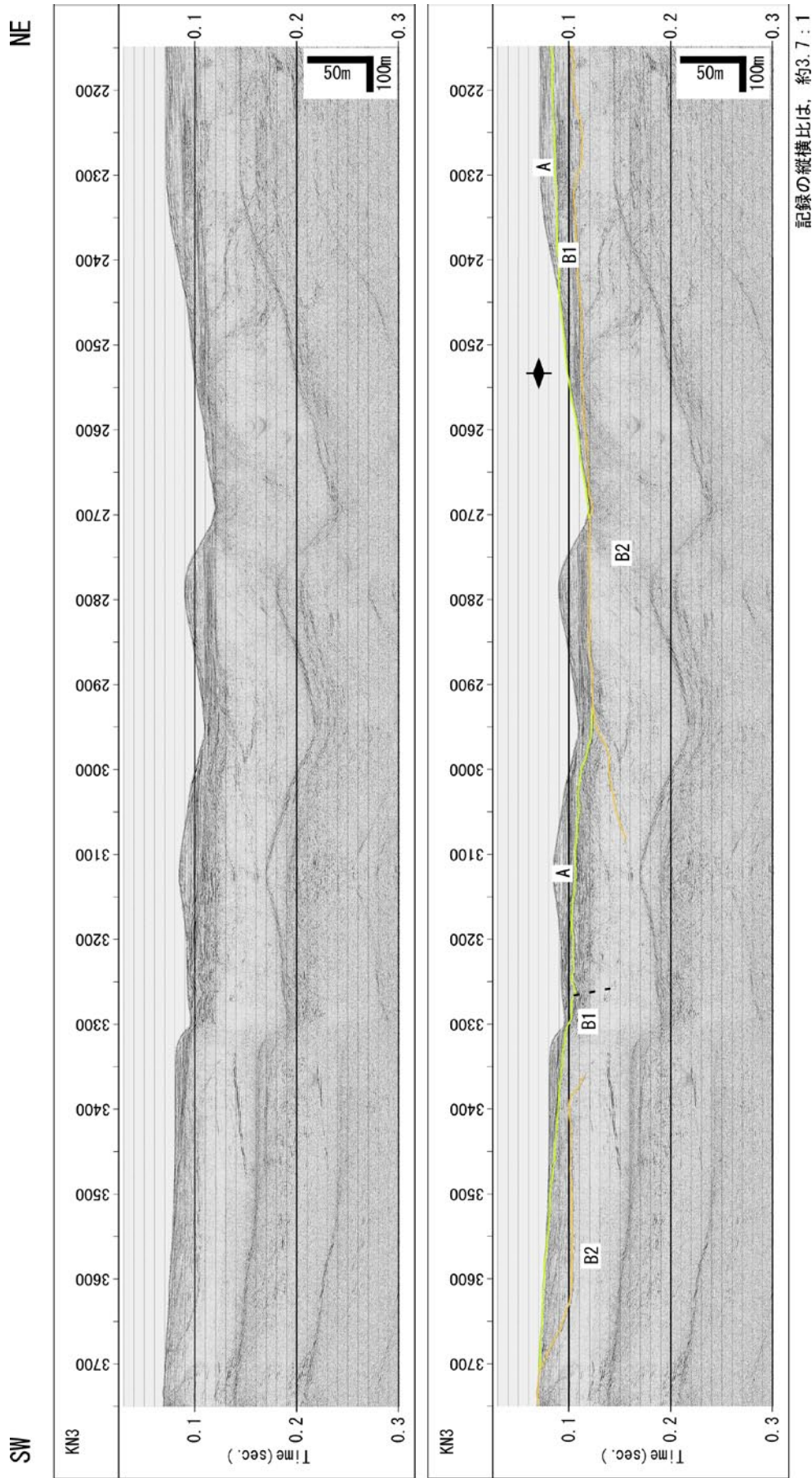
第2図. マルチチャンネル音波探査記録 (KN1 測線 SP100-1700). 上段: 反射断面, 下段: 解釈断面.
 Fig. 2. Multichannel seismic reflection profile (Line KN1 SP100-1700). Top: Time section, Bottom: Geological interpretation.



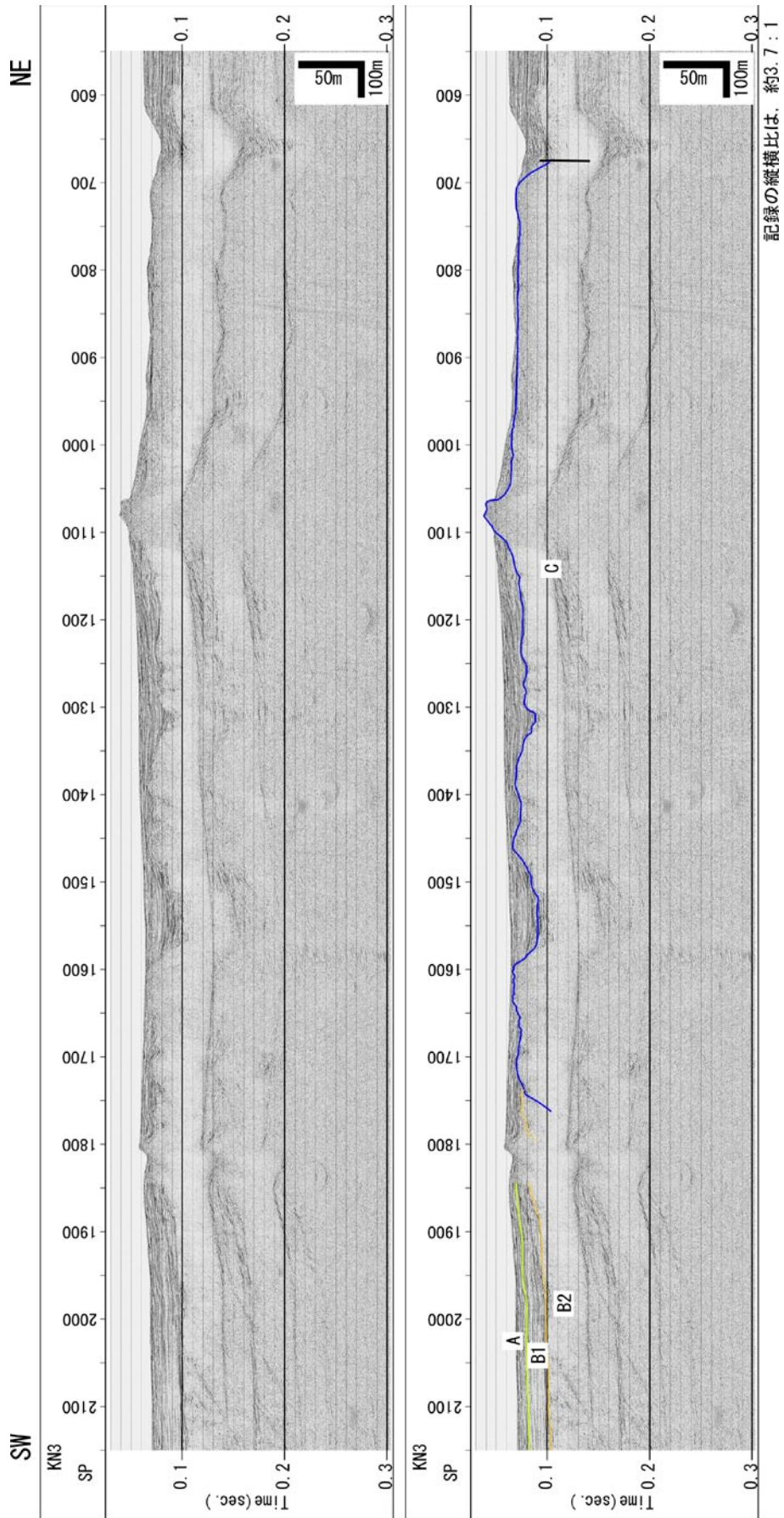
第3図. マルチチャネル音波探査記録 (KN2 測線 SP700-2200). 上段: 反射断面, 下段: 解釈断面.
 Fig. 3. Multichannel seismic reflection profile (Line KN2 SP700-2200). Top: Time section, Bottom: Geological interpretation.



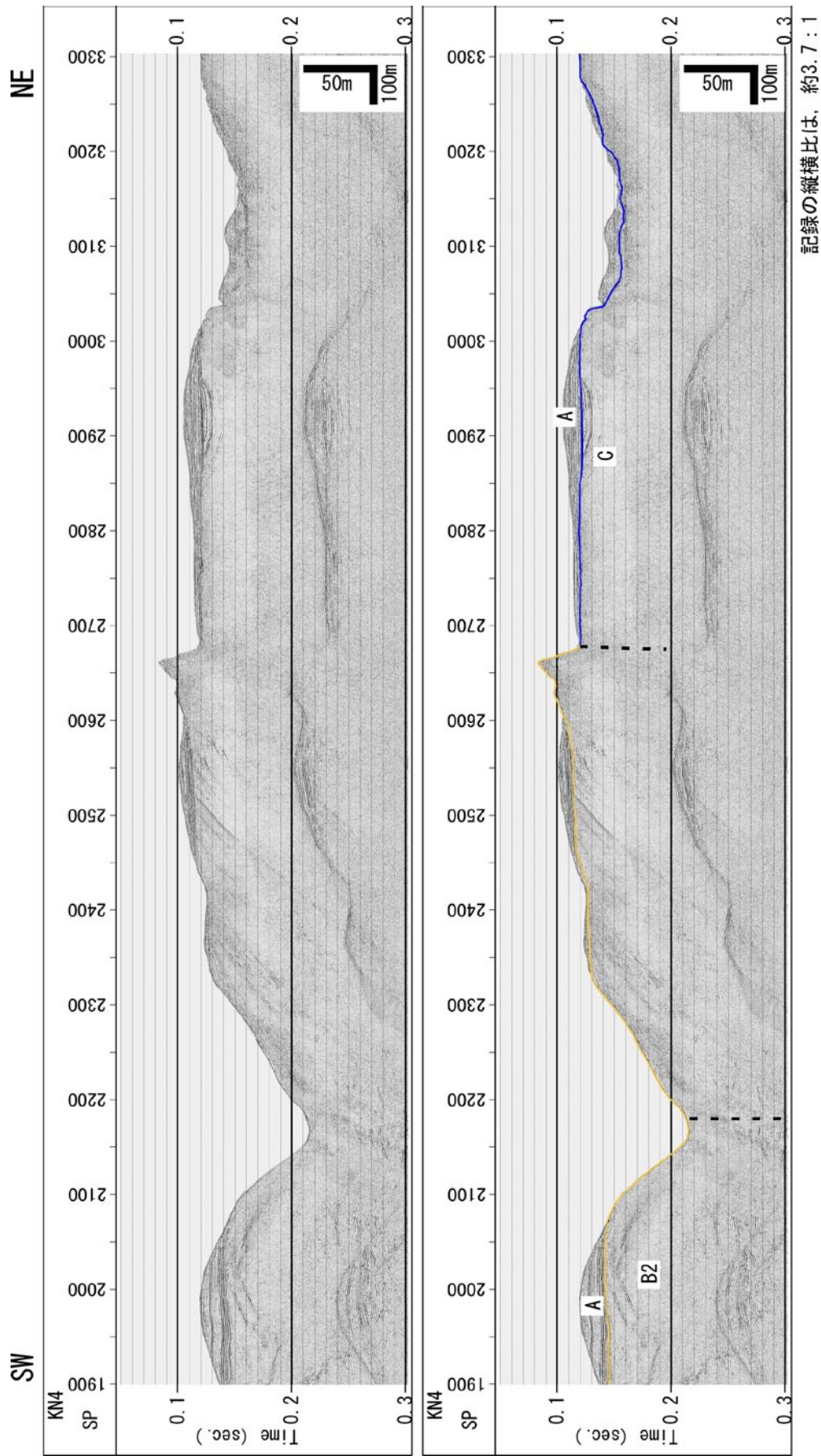
第4図. マルチチャンネルネル音波探査記録 (KN2 測線 SP1700-2950). 上段: 反射断面, 下段: 解釈断面.
 Fig. 4. Multichannel seismic reflection profile (Line KN2 SP1700-2950). Top: Time section, Bottom: Geological interpretation.



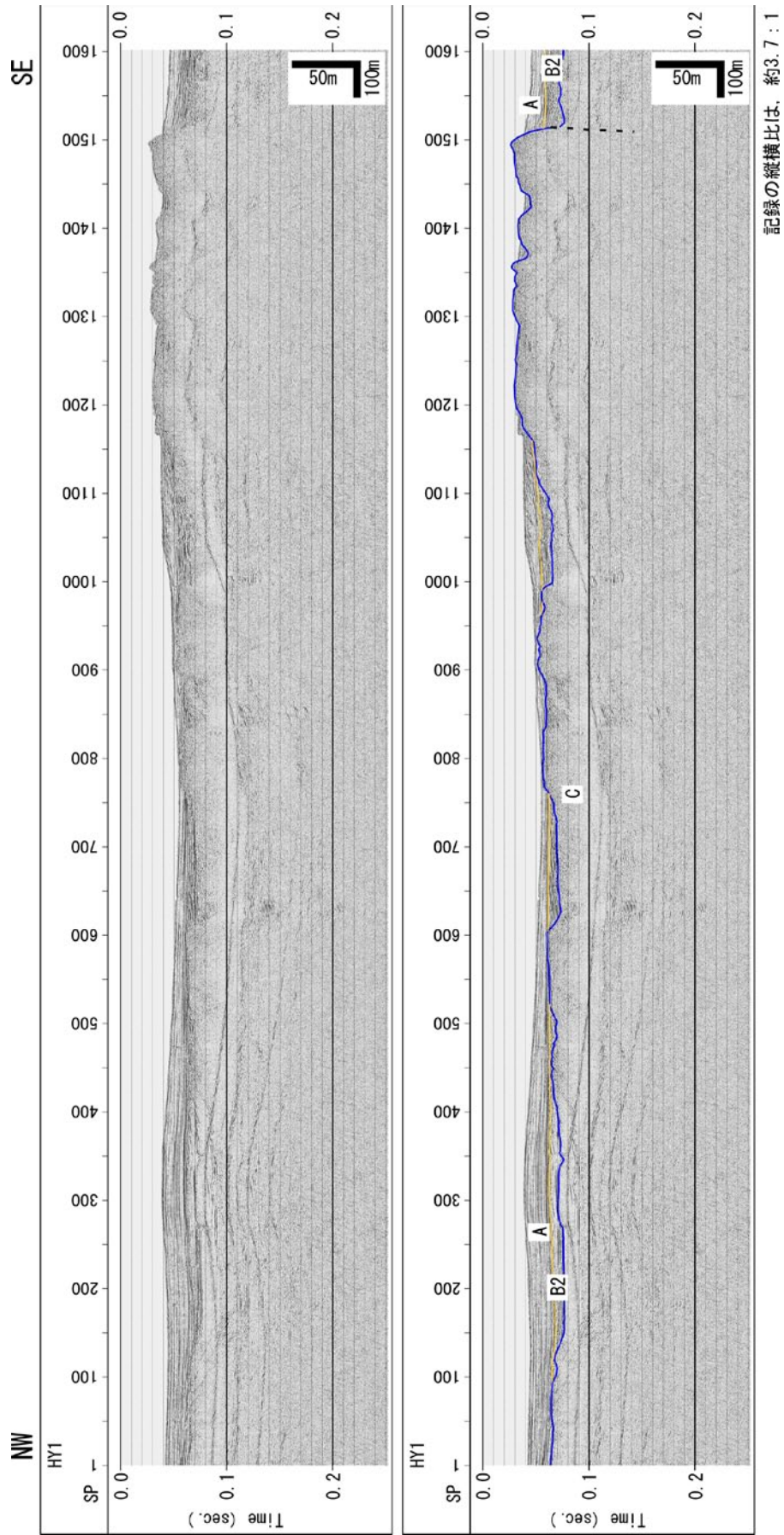
第5図. マルチチャンネル音波探査記録 (KN3 測線 SP2150-3750). 上段: 反射断面, 下段: 解釈断面.
 Fig. 5. Multichannel seismic reflection profile (Line KN3 SP2150-3750). Top: Time section, Bottom: Geological interpretation.



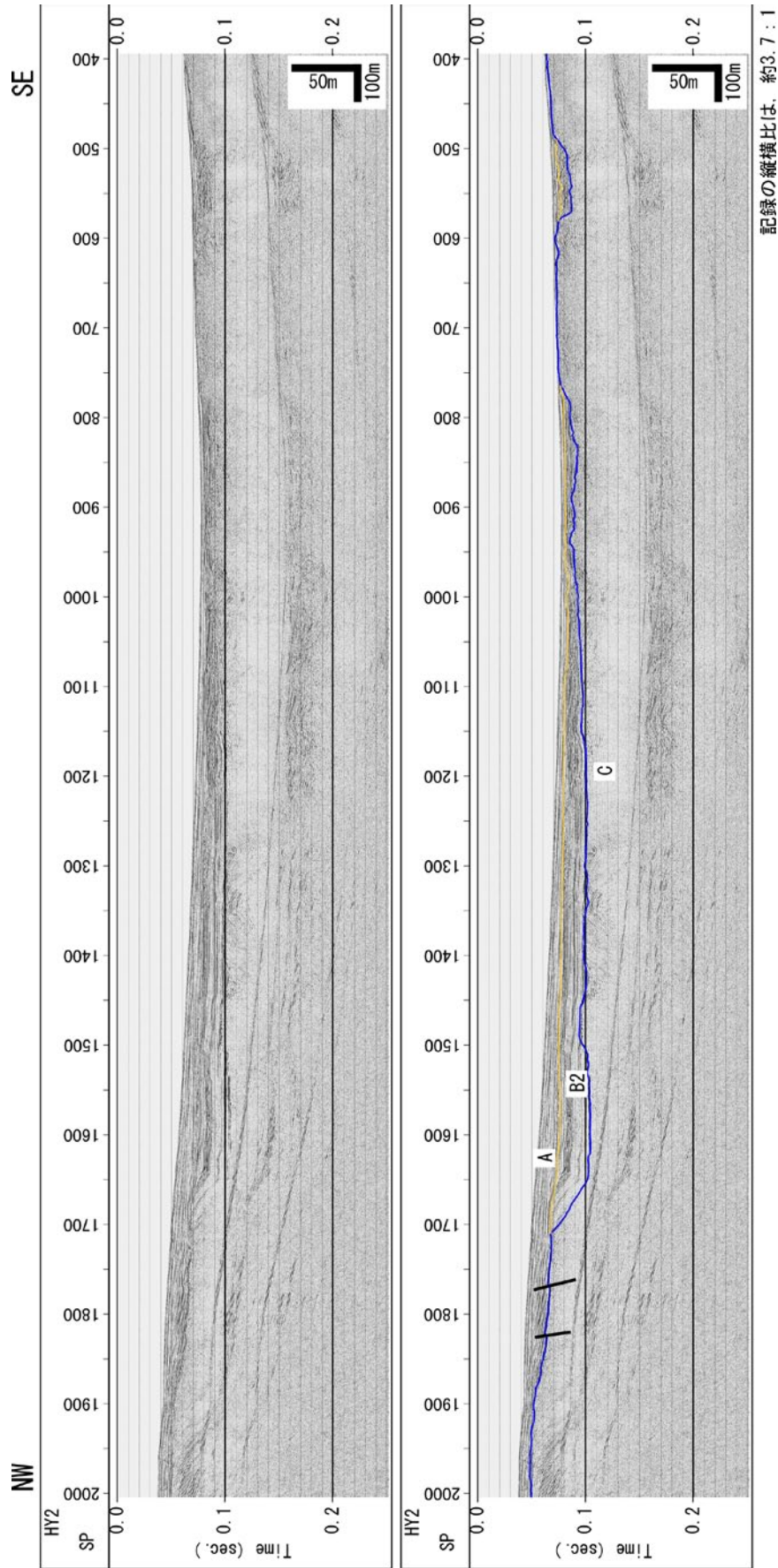
第6図. マルチチャンネル音波探査記録 (KN3 測線 SP500-2150). 上段: 反射断面, 下段: 解釈断面.
 Fig. 6. Multichannel seismic reflection profile (Line KN3 SP500-2150). Top: Time section, Bottom: Geological interpretation.



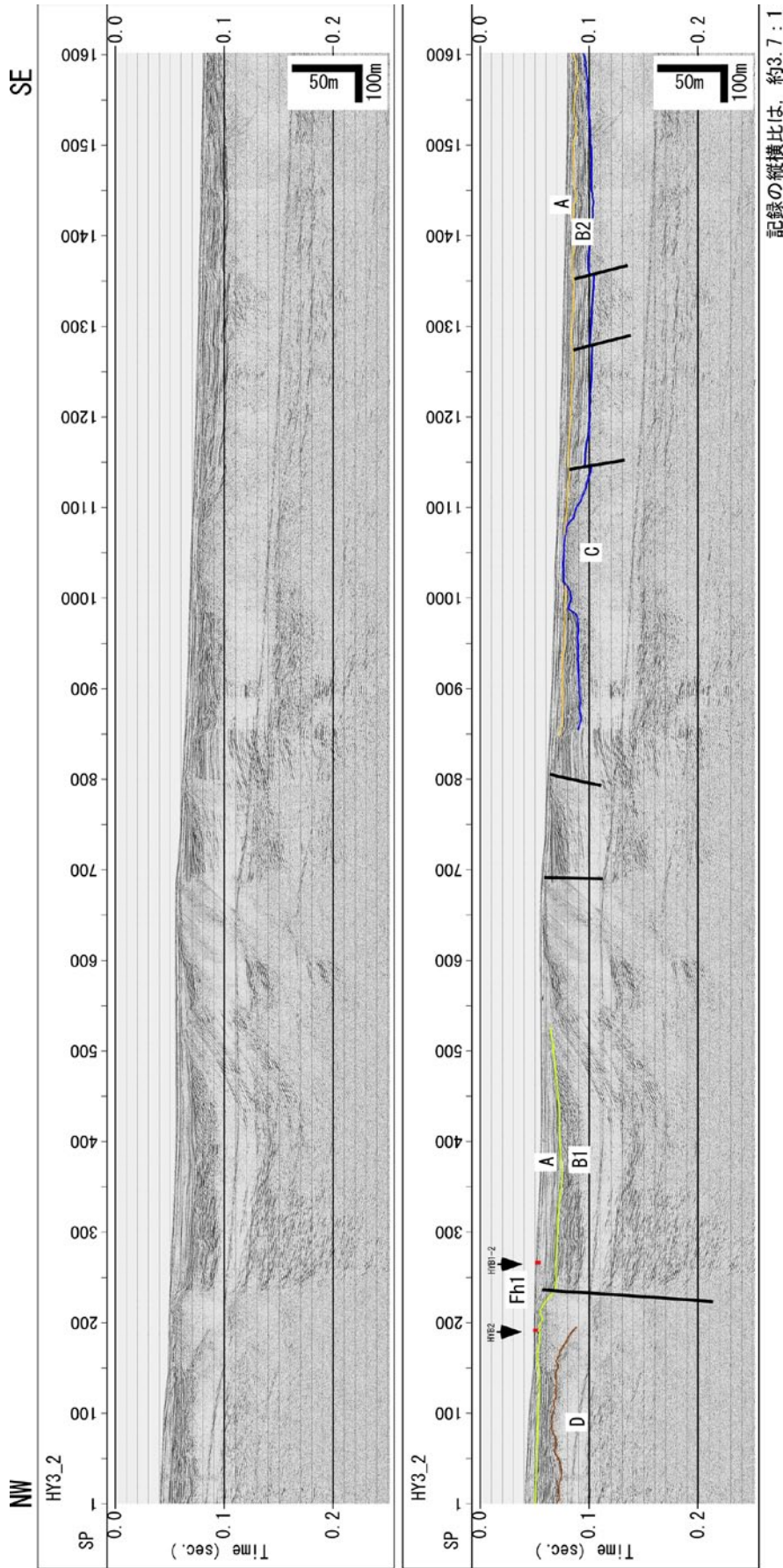
第7図. マルチチャネル音波探査記録 (KN4 測線 SP1900-3300). 上段: 反射断面, 下段: 解釈断面.
 Fig. 7. Multichannel seismic reflection profile (Line KN4 SP1900-3300). Top: Time section, Bottom: Geological interpretation.



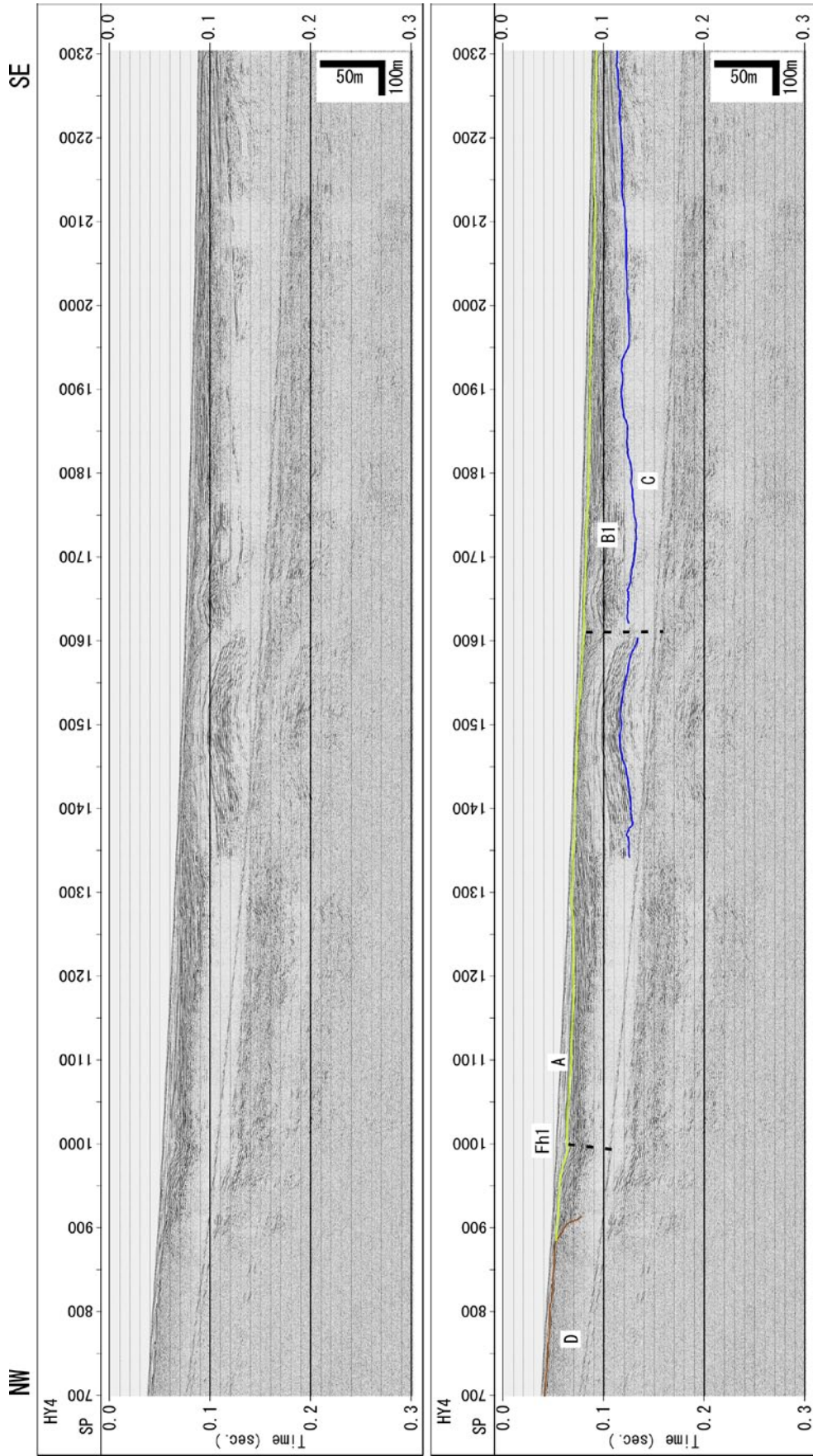
第8図. マルチチャンネル音波探査記録 (HY1 測線 SP1-1600). 上段: 反射断面, 下段: 解釈断面.
 Fig. 8. Multichannel seismic reflection profile (Line HY1 SP1-1600). Top: Time section, Bottom: Geological interpretation.



第9図. マルチチャンネル音波探査記録 (HY2 測線 SP400-2000). 上段: 反射断面, 下段: 解釈断面.
 Fig. 9. Multichannel seismic reflection profile (Line HY2 SP400-2000). Top: Time section, Bottom: Geological interpretation.

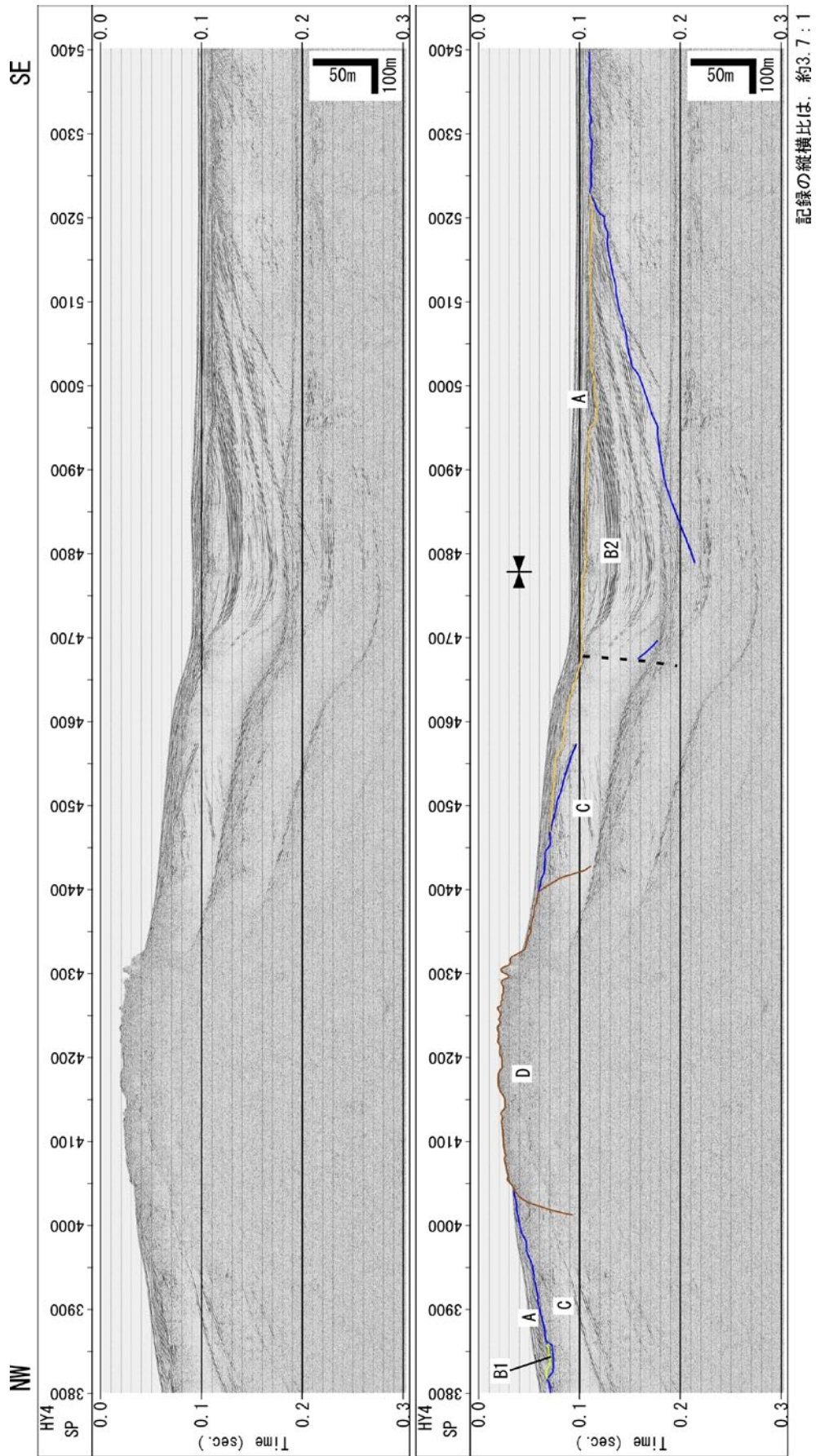


第10図. マルチチャネル音波探査記録 (HY3_2 測線 SP1-1600). 上段: 反射断面, 下段: 解釈断面.
 Fig. 10. Multichannel seismic reflection profile (Line HY3_2 SP1-1600). Top: Time section, Bottom: Geological interpretation.

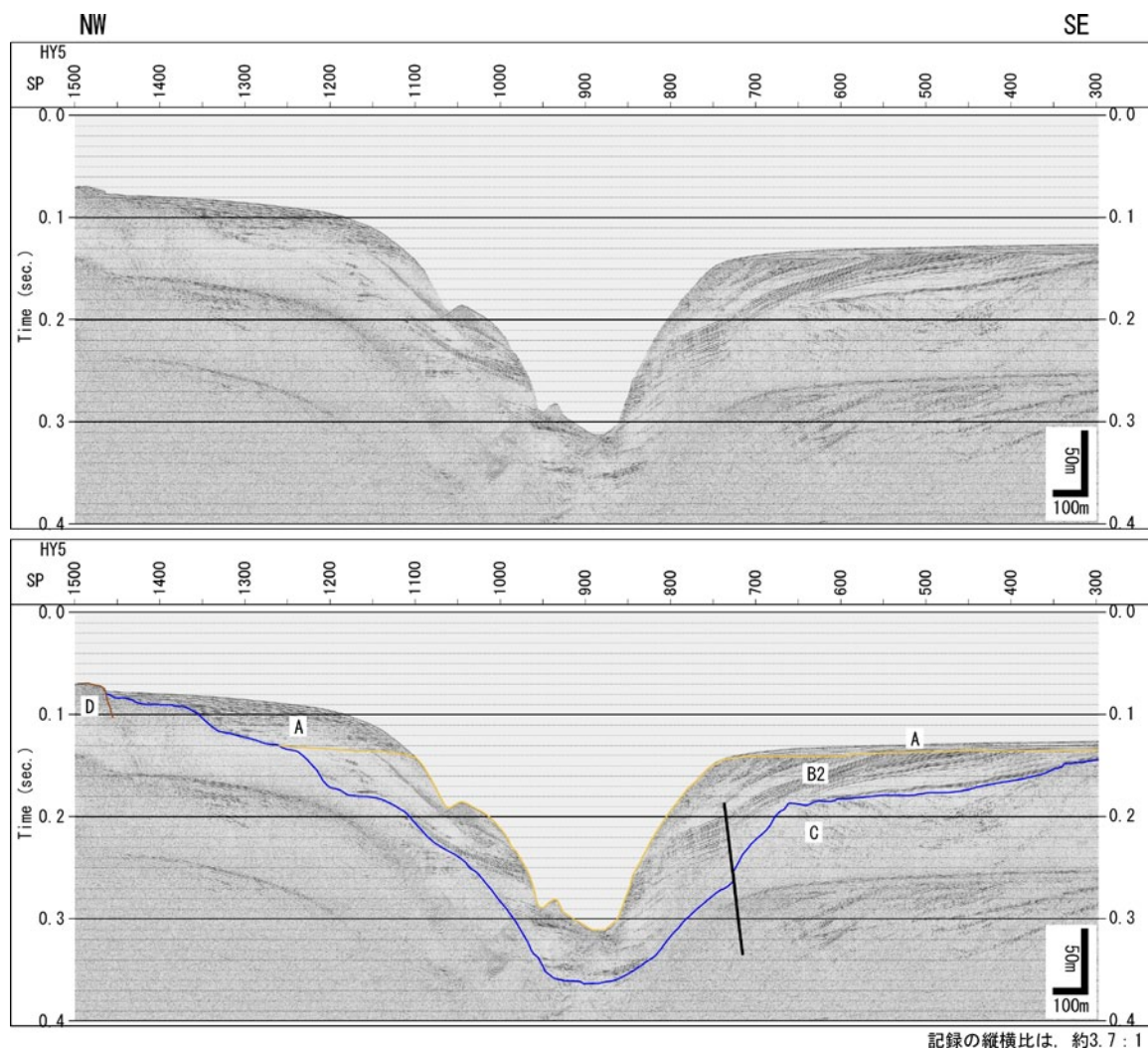


記録の縦横比は、約3.7 : 1

第11図. マルチチャンネル音波探査記録 (HY4 測線 SP700-2300). 上段: 反射断面, 下段: 解釈断面.
 Fig. 11. Multichannel seismic reflection profile (Line HY4 SP700-2300). Top: Time section, Bottom: Geological interpretation.

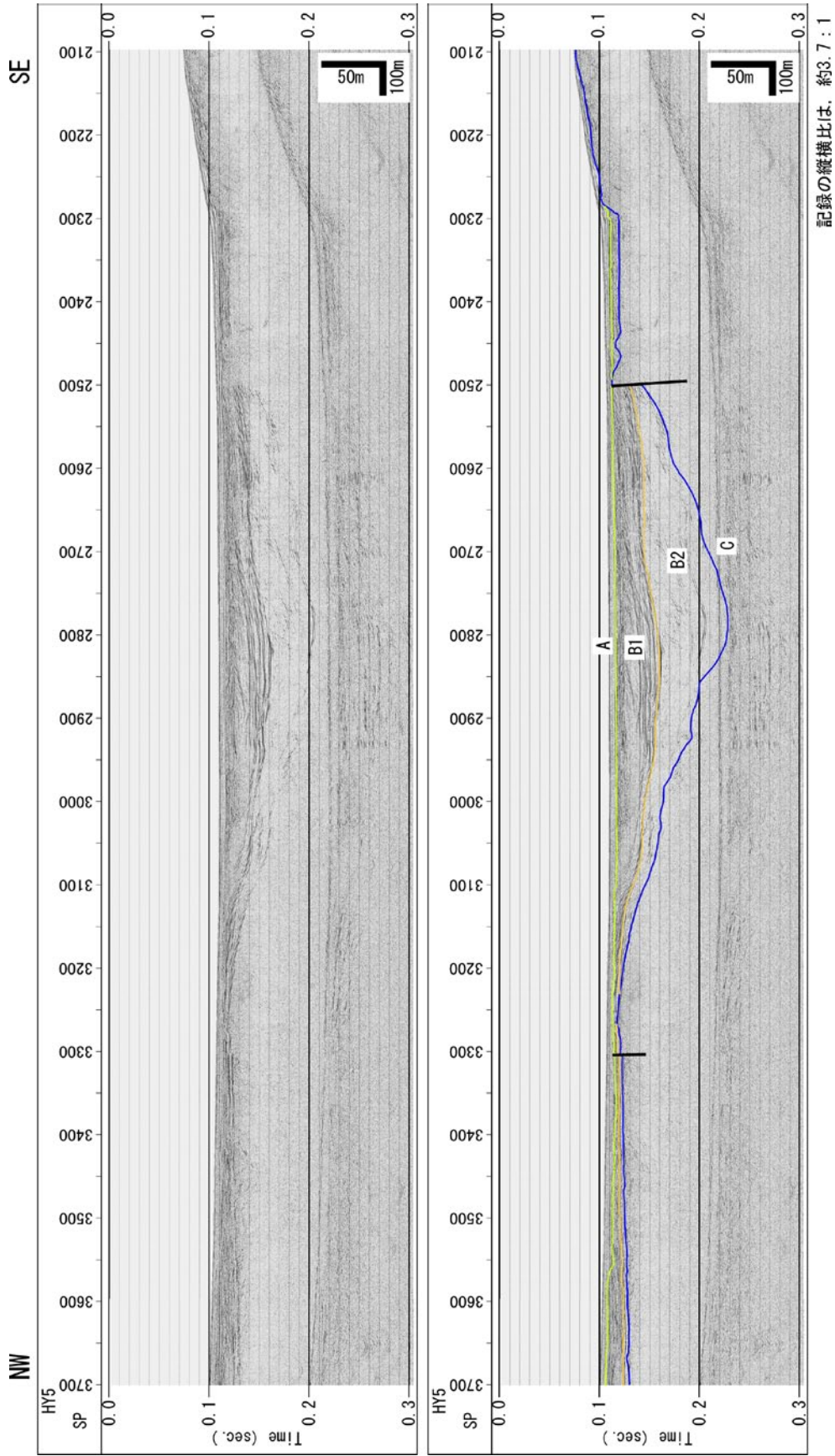


第12図. マルチチャネル音波探査記録 (HY4 測線 SP3800-5400). 上段: 反射断面, 下段: 解釈断面.
 Fig. 12. Multichannel seismic reflection profile (Line HY4 SP3800-5400). Top: Time section, Bottom: Geological interpretation.

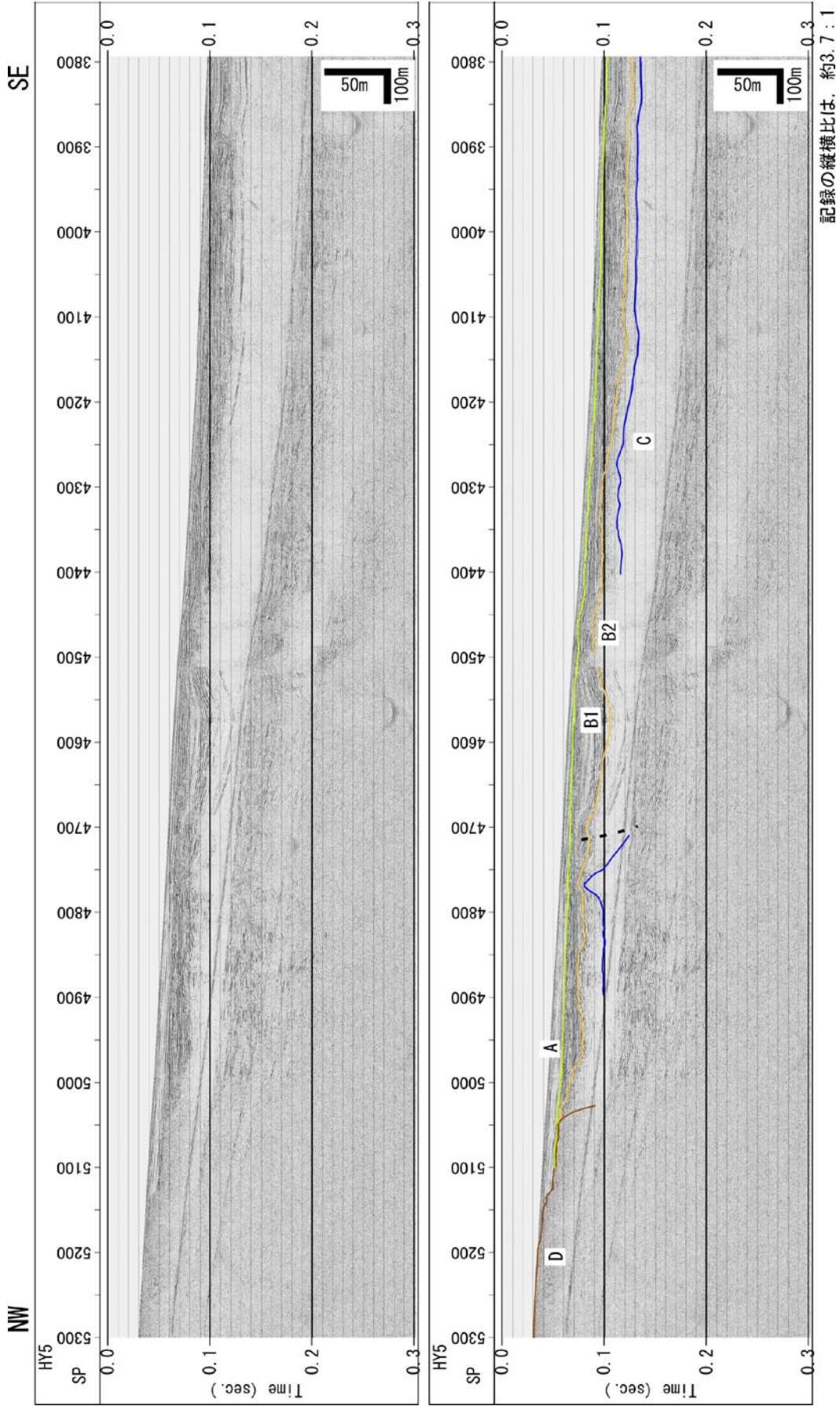


記録の縦横比は、約3.7 : 1

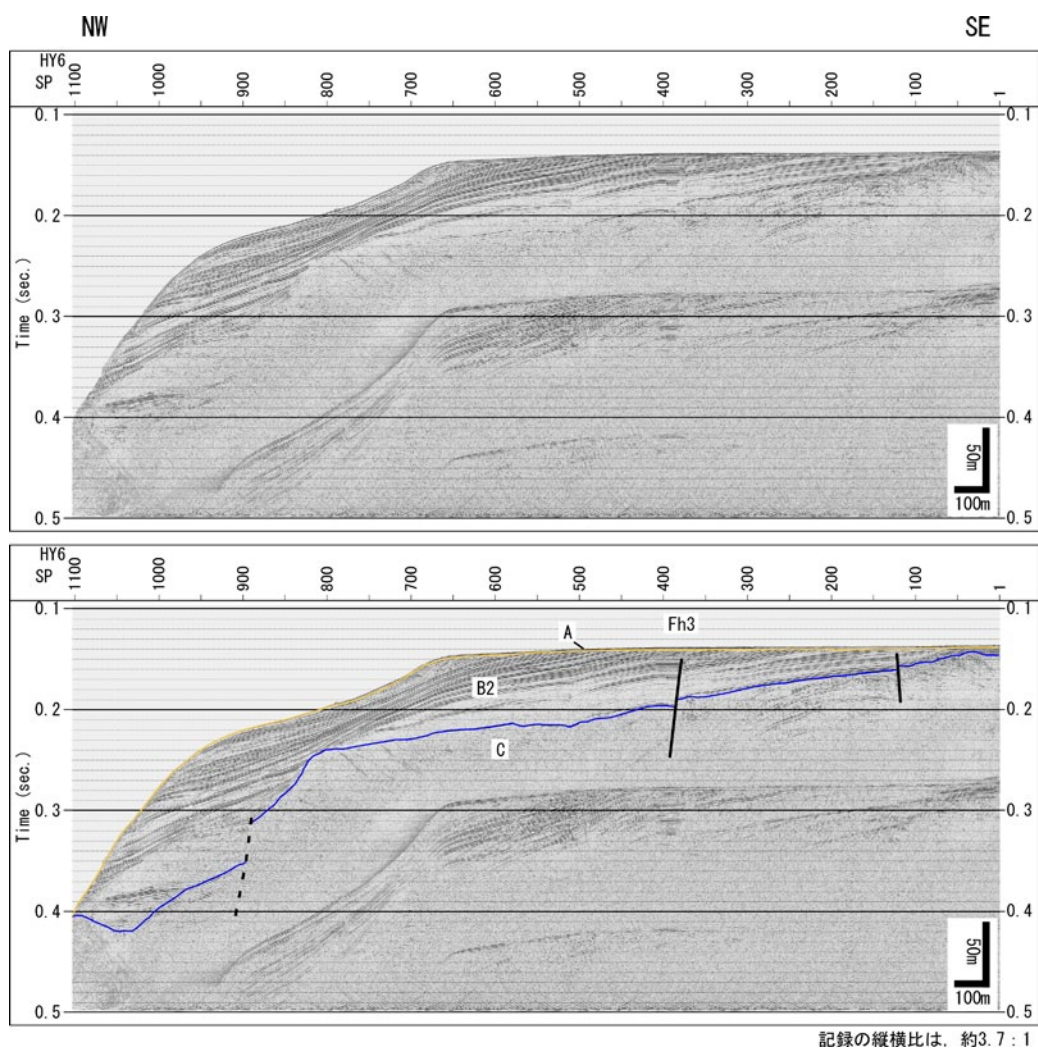
第 13 図. マルチチャンネル音波探査記録 (HY5 測線 SP300-1500). 上段 : 反射断面, 下段 : 解釈断面.
 Fig. 13. Multichannel seismic reflection profile (Line HY5 SP300-1500). Top: Time section, Bottom: Geological interpretation.



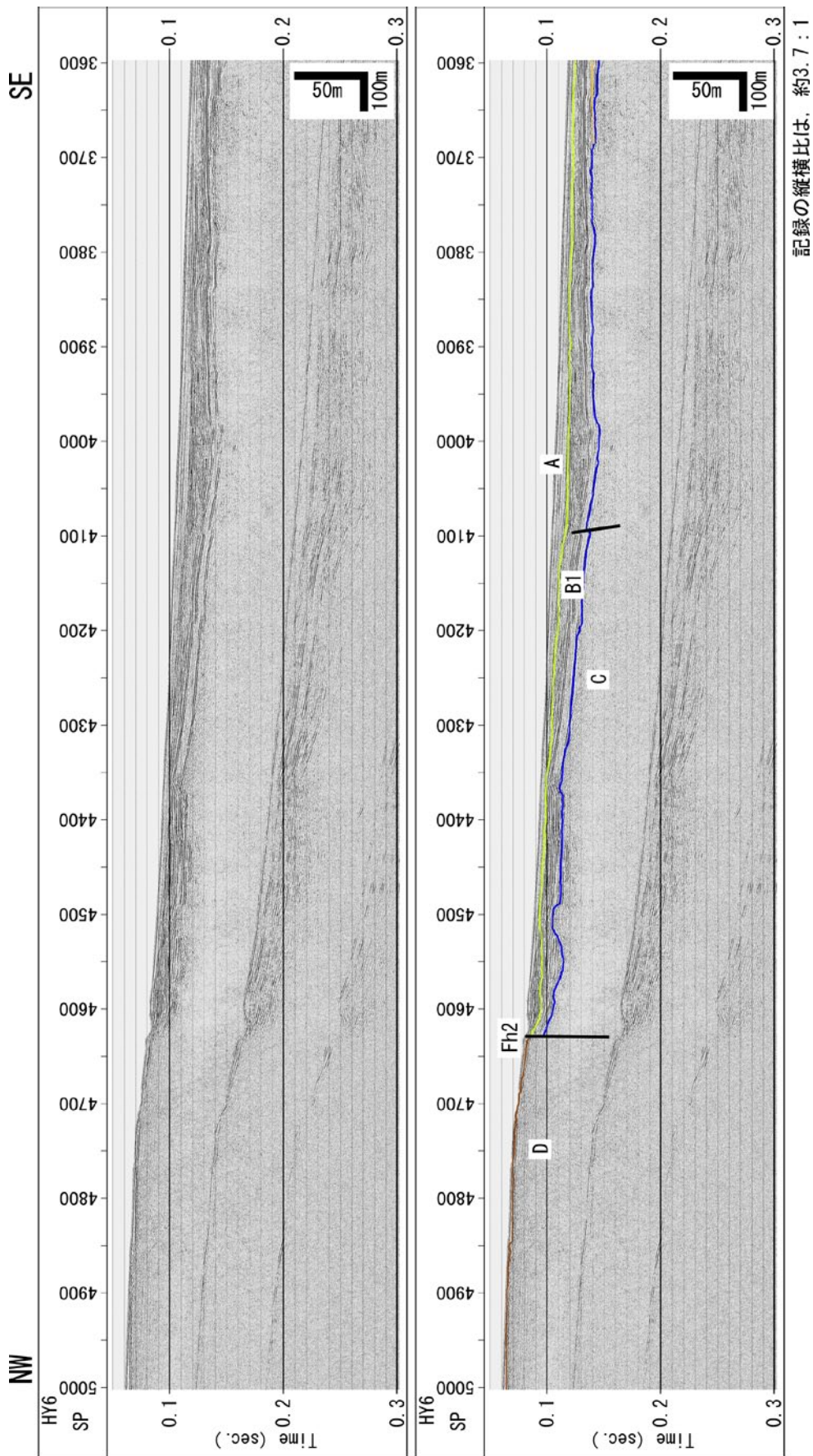
第14図. マルチチャンネル音波探査記録 (HY5 測線 SP2100-3700). 上段: 反射断面, 下段: 解釈断面.
 Fig. 14. Multichannel seismic reflection profile (Line HY5 SP2100-3700). Top: Time section, Bottom: Geological interpretation.



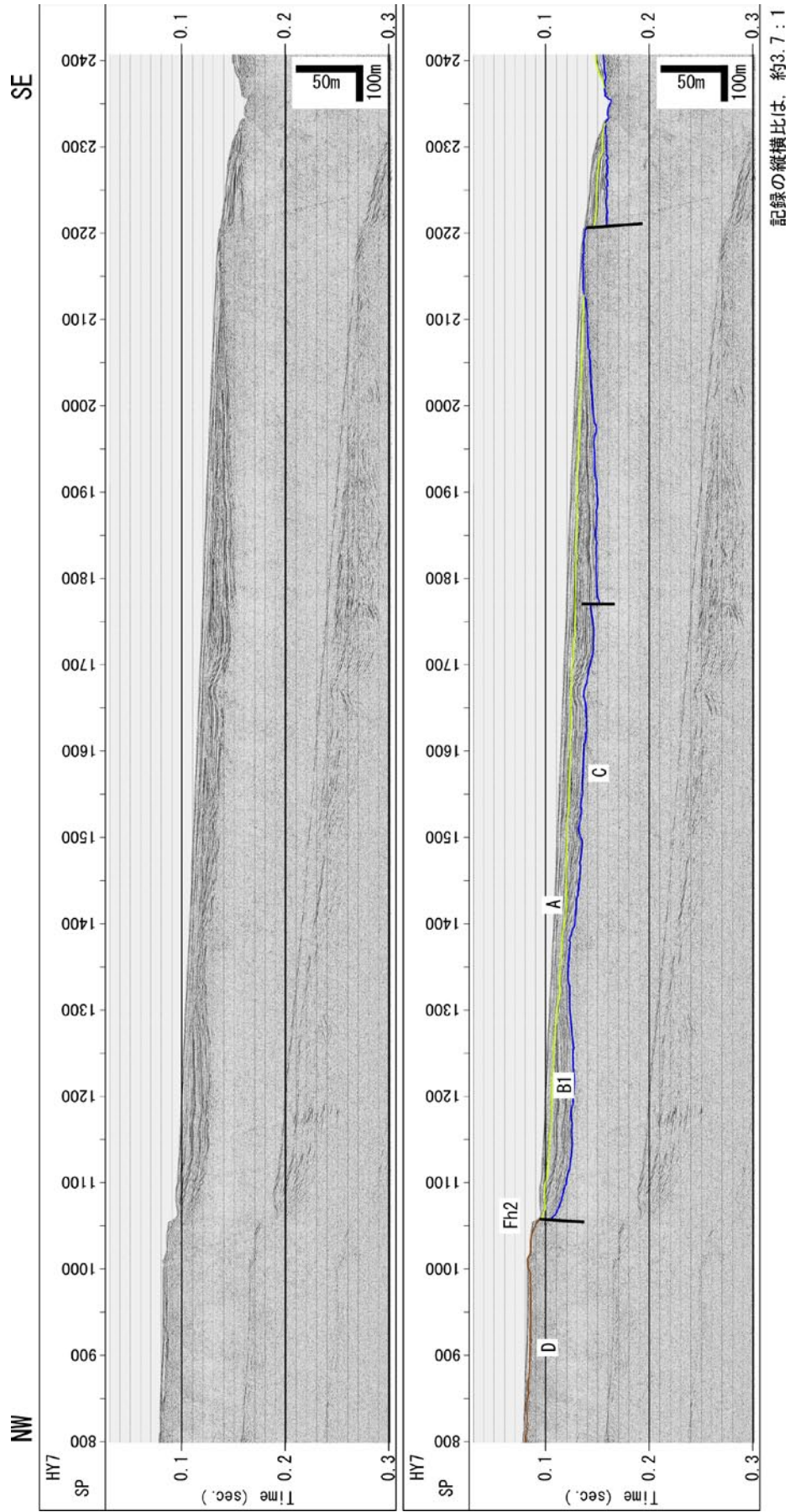
第15図. マルチチャネル音波探査記録 (HY5 測線 SP3800-5300). 上段: 反射断面, 下段: 解釈断面.
 Fig. 15. Multichannel seismic reflection profile (Line HY5 SP3800-5300). Top: Time section, Bottom: Geological interpretation.



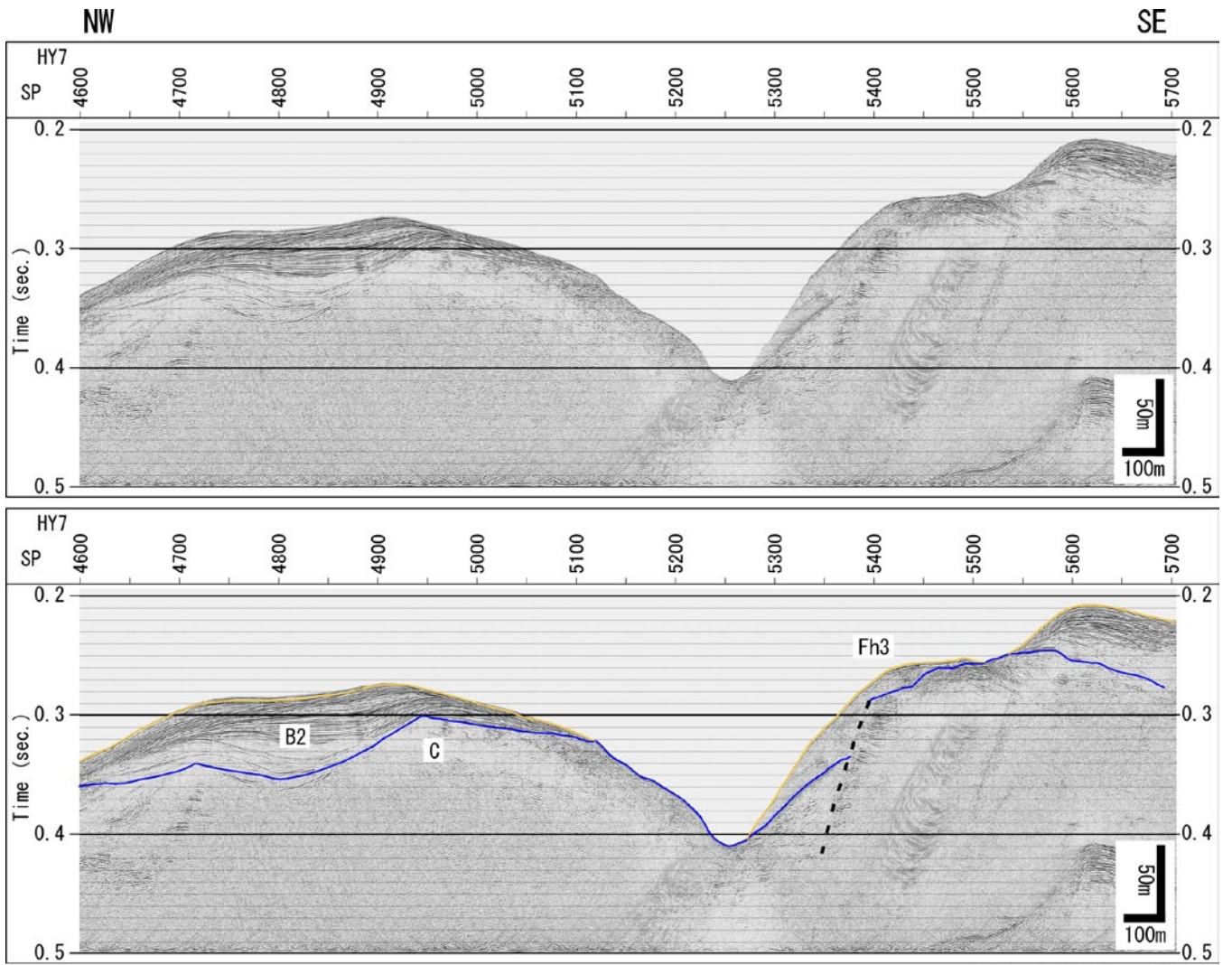
第 16 図. マルチチャンネル音波探査記録 (HY6 測線 SP1-1100). 上段: 反射断面, 下段: 解釈断面.
 Fig. 16. Multichannel seismic reflection profile (Line HY6 SP1-1100). Top: Time section, Bottom: Geological interpretation.



第17図. マルチチャンネル音波探査記録 (HY6 測線 SP3600-5000). 上段: 反射断面, 下段: 解釈断面.
 Fig. 17. Multichannel seismic reflection profile (Line HY6 SP3600-5000). Top: Time section, Bottom: Geological interpretation.

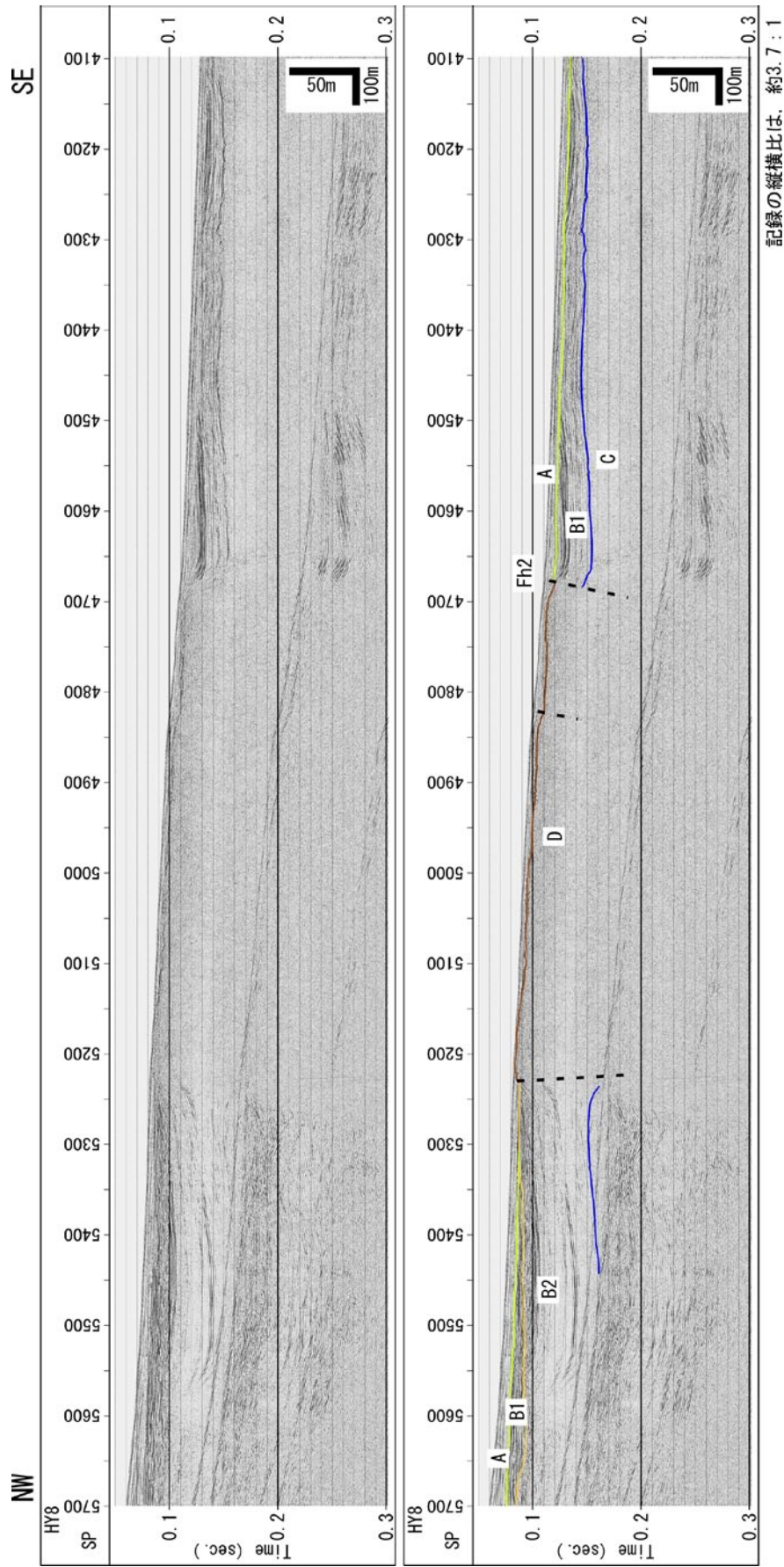


第18図. マルチチャンネル音波探査記録 (HY7 測線 SP800-2400). 上段: 反射断面, 下段: 解釈断面.
 Fig. 18. Multichannel seismic reflection profile (Line HY7 SP800-2400). Top: Time section, Bottom: Geological interpretation.

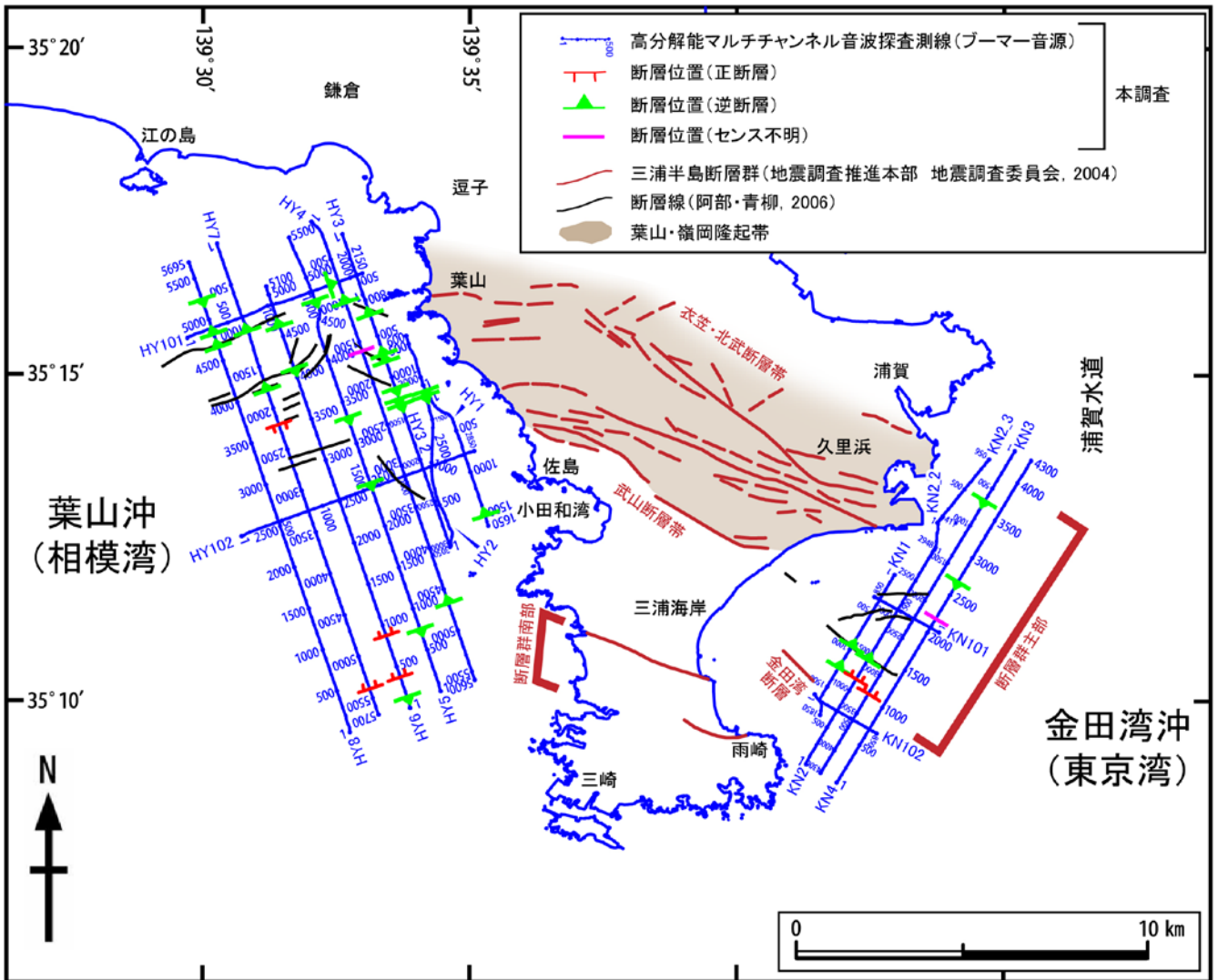


記録の縦横比は、約3.7 : 1

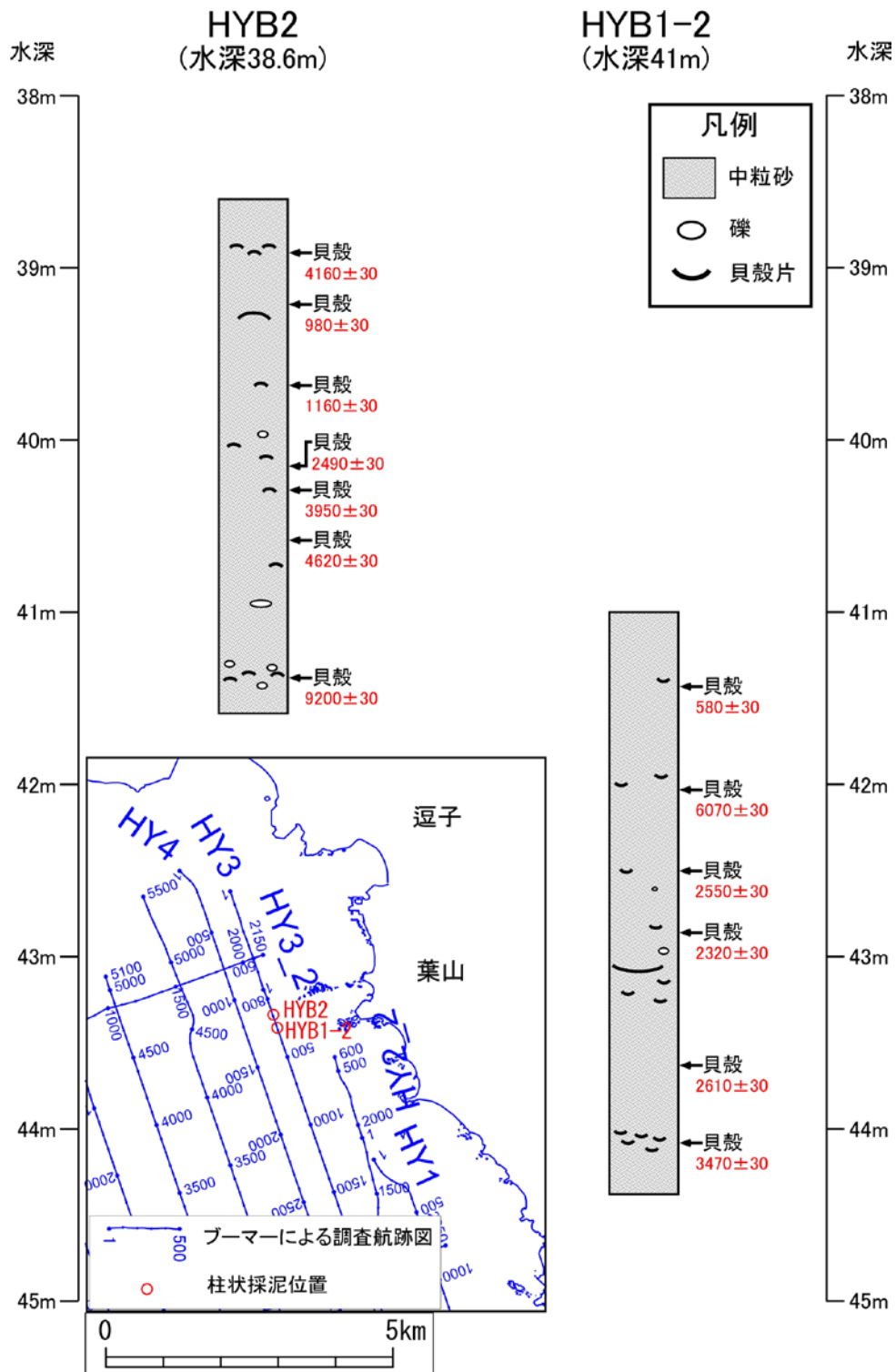
第 19 図. マルチチャンネル音波探査記録 (HY7 測線 SP4600-5700). 上段: 反射断面, 下段: 解釈断面.
Fig. 19. Multichannel seismic reflection profile (Line HY7 SP4600-5700). Top: Time section, Bottom: Geological interpretation.



第20図. マルチチャンネル音波探査記録 (HY8 測線 SP4100-5700). 上段: 反射断面, 下段: 解釈断面.
 Fig. 20. Multichannel seismic reflection profile (Line HY8 SP4100-5700). Top: Time section, Bottom: Geological interpretation.

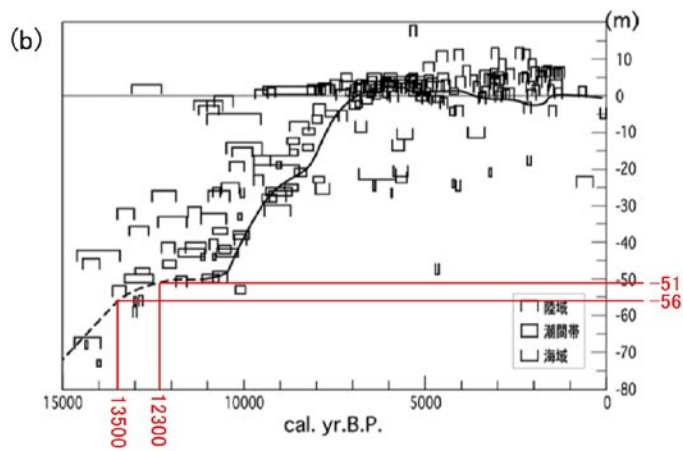
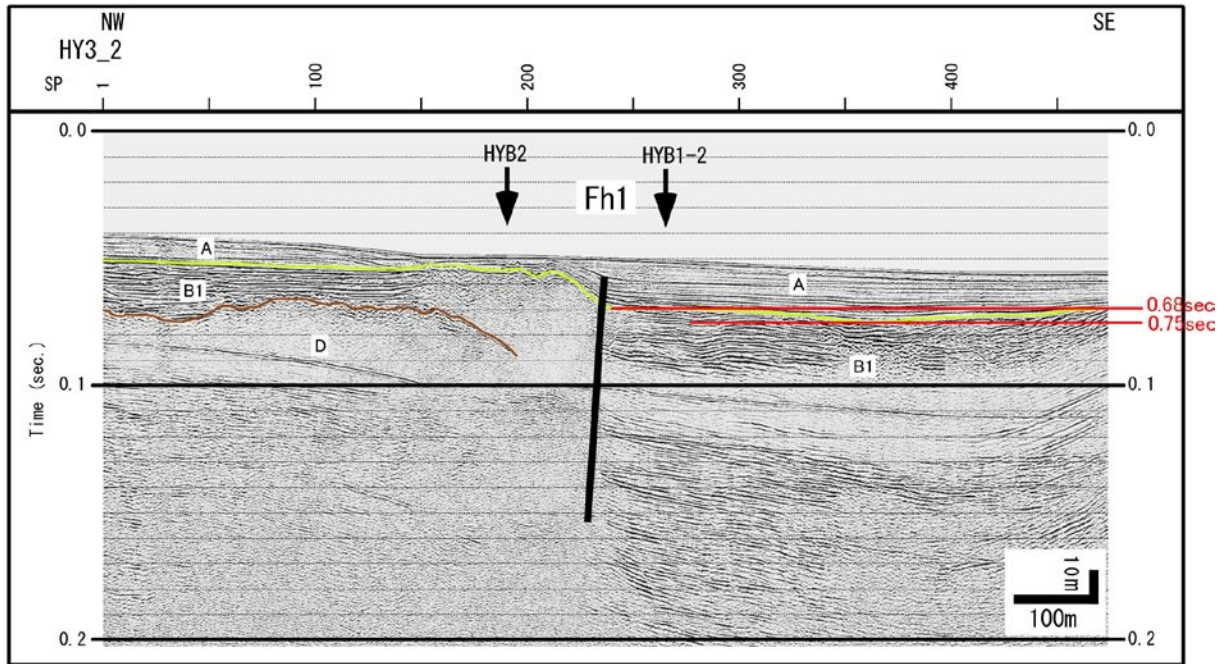


第 21 図. 断層位置図.
Fig. 21. Fault location map.



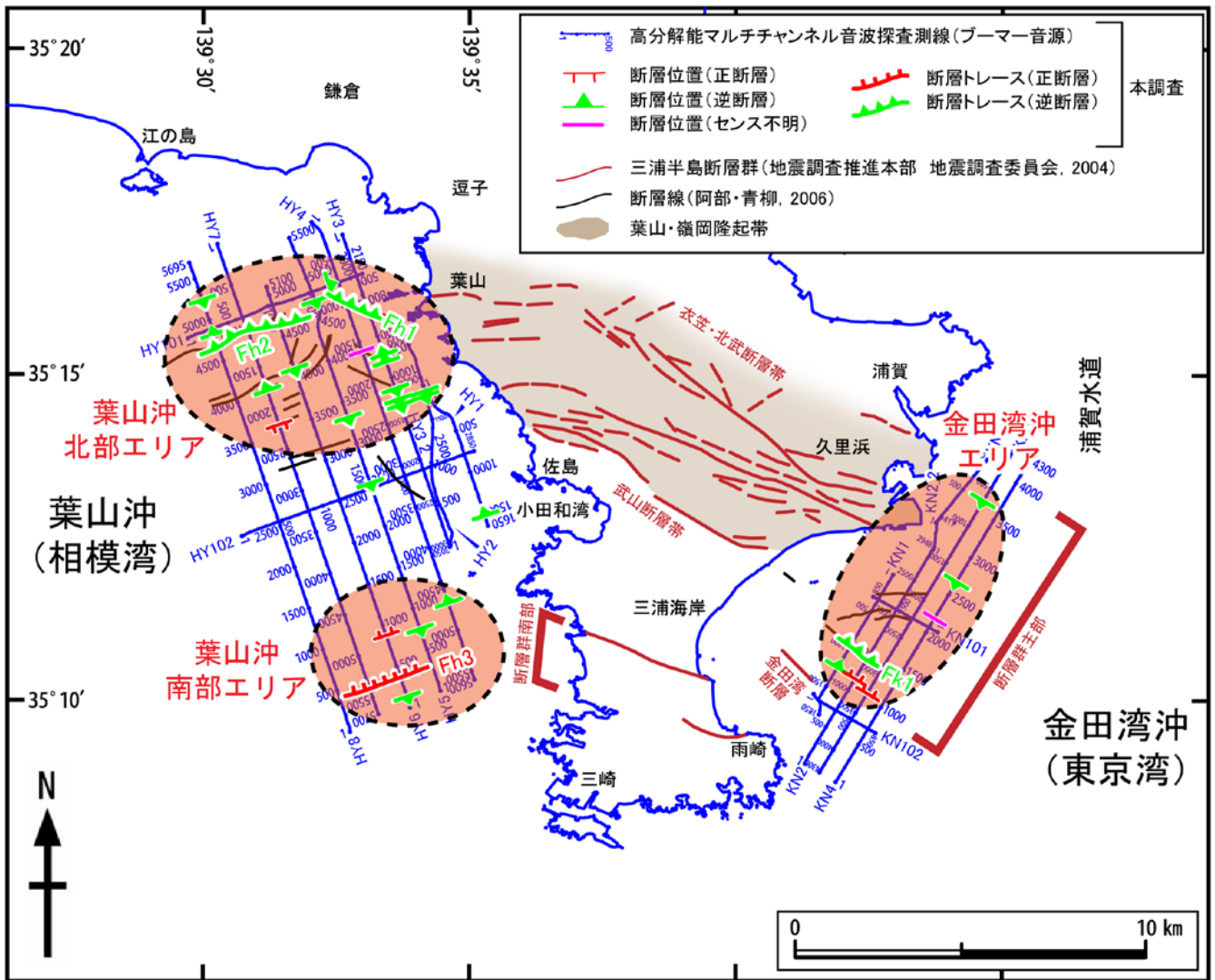
第 22 図. 底質採取コアの柱状図.
Fig. 22. Geologic columns of the sampling cores.

(a)

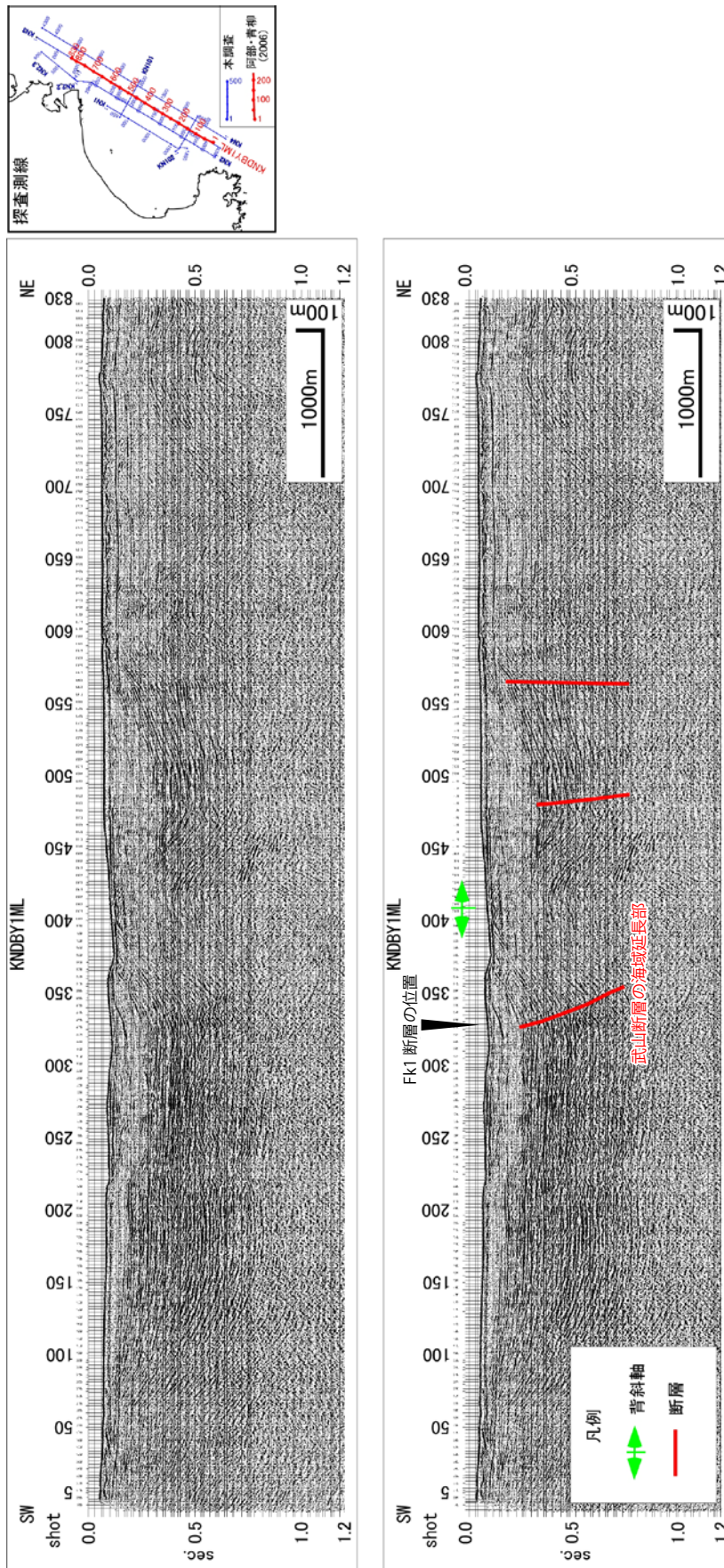


第 23 図. (a) HY3_2 測線における採泥地点および Fh1 断層の位置. 赤線は Fh1 断層の南東における A 層基底不整合面の最大 (0.75 sec.) および最小 (0.68 sec.) 深度. (b) 関東平野中央部における過去 1.5 万年間の相対的海水準変動曲線 (遠藤ほか, 2013). (a) より求めた A 層基底不整合面の深度と海水準変動曲線の交点から不整合面形成年代を算出 (赤線).

Fig. 23. (a) Sampling points of the bottom sediment and location of Fh1 fault in the Line HY3_2. Red lines show the maximum (0.75 sec.) and minimum (0.68 sec.) depths of the unconformity which is correlated to the base of the layer A on the southeastern side of Fh1 fault. (b) Relative sea-level change curve in the central Kanto Plain during the last 15,000 years (Endo *et al.*, 2013). The formation ages of the unconformity are calculated from points at the intersection of the traces of depths of the unconformity—which are determined from (a)—with the sea-level change curve (red lines).

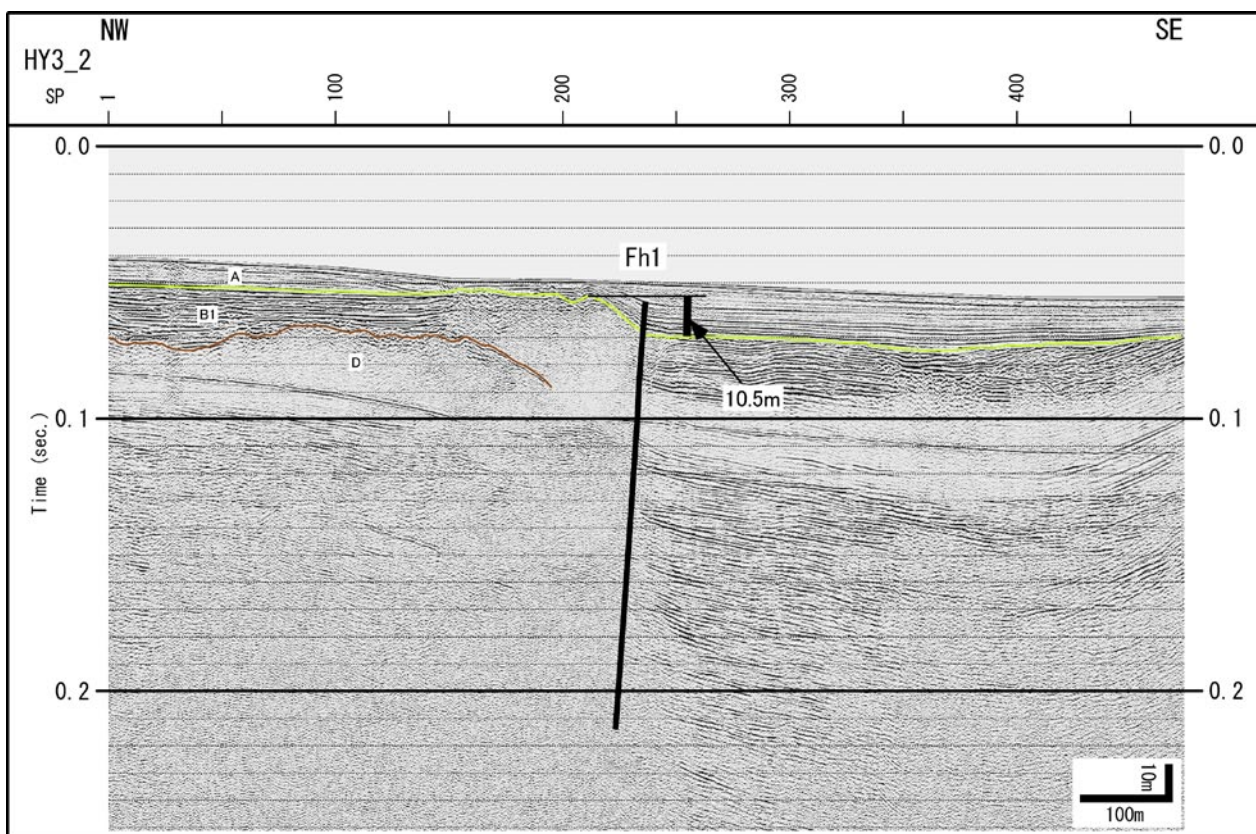


第 24 図. 地質構造図.
Fig. 24. Geological structure map.



第 25 図. 三浦半島東方海域 (東京湾側) の深部構造を示すマルチチャンネル音波探査記録 (KNDBY1ML 測線; 阿部・青柳 (2006) を一部改変).
 上段: 反射断面, 下段: 解釈断面.

Fig. 25. Multichannel seismic reflection profile showing deep geological structures in the eastern offshore region (Tokyo Bay side area) of the Miura Peninsula (Line KNDBY1ML; modified after Abe and Aoyagi, 2006). Top: Time section, Bottom: Geological interpretation.



記録の縦横比は、約3.7 : 1

第 26 図. HY3_2 測線における Fh1 断層の変位と変形状況. 深度は音波速度を 1500 m/sec. と仮定して算出.

Fig. 26. Displacement of Fh1 and the related deformation structures in the Line HY3_2. A velocity of 1500 m/sec. was used for time-to-depth conversion.