

福井県美浜町日向沖, 三方断層帯海域部 (A断層系) の更新世末期以降の活動

Latest Pleistocene-Holocene activity of the A fault system, an offshore segment of the Mikata Fault Zone, off Hiruga, Mihama Town, Fukui Prefecture, central Japan

井上卓彦¹・杉山雄一²・村上文敏²・坂本 泉³・滝野義幸³・永田高弘⁴・細矢卓志⁵・宇佐見琢哉⁶

Takahiko Inoue¹, Yuichi Sugiyama², Fumitoshi Murakami², Izumi Sakamoto³, Yoshiyuki Takino³,
Takahiro Nagata⁴, Takashi Hosoya⁵ and Takuya Usami⁶

¹ 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Institute of Geology and Geoinformation, inoue-taku@aist.go.jp)

² 活断層・火山研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Institute of Earthquake and Volcano Geology)

³ 東海大学海洋学部 (School of Marine Science and Technology, Tokai University)

⁴ 株式会社ダイヤコンサルタント (DIA CONSULTANTS CO., Ltd.)

⁵ 中央開発株式会社 (Chuo Kaihatsu Corporation)

⁶ 総合地質調査株式会社 (Sogo Geophysical Exploration Co., Ltd.)

Abstract: The Mikata Fault Zone in Fukui Prefecture is composed of three N-S-striking left-stepping segments: the A fault system in Wakasa Bay, the Hiruga fault extending from the bay to the onshore area and onshore Mikata fault. In order to reveal the Holocene faulting history of the A fault system, especially the relationship of its latest faulting event with the 1662 Kanbun earthquake, we conducted high-resolution single-channel seismic reflection profiling, 12-channel seismic profiling with a boomer source, and offshore drilling. The seismic reflection surveys identified four reflection surfaces as vertical displacement markers in the post-glacial deposits at a depth ranging from ca. 4.5 m to ca. 17 m below the sea bottom on the downthrown side. Offshore drilling on the downthrown side reached to the fine-grained sandy deposits 4 m deep, but all the further drilling was cancelled due to severe sea condition. For an obtained 4 m-long core, GS-MKO-1, ¹⁴C dating and magnetic susceptibility measurement were done as well as detailed geological observation. To estimate the age of each marker reflection surface, we reviewed recent papers on the sea level in the latest Pleistocene and early Holocene age, and also examined regional vertical crustal movement extending to both sides of the fault system. All these surveys have revealed that the A fault system was reactivated three times since the latest Pleistocene. The oldest event occurred between ca. 11.5-12 ka and ca. 9-11.5 ka, and the second and third ones occurred after ca. 7.5-11 ka. The third event might have occurred ca. 5 ka. Unfortunately, these surveys could not obtain data giving a clear conclusion on the A fault system's relationship to the 1662 Kanbun earthquake. However, these surveys have estimated the vertical slip rate, slip per event and average recurrence interval of the A fault system at ca. 0.8-1.0 m/ky, ca. 2-3 m and 2,000-3,800 years, respectively.

キーワード: 三方断層帯, A断層系, 活断層, 変位速度, 若狭湾, 音波探査, 海上ボーリング

Keywords: Mikata Fault Zone, A fault system, active fault, slip rate, Wakasa Bay, acoustic reflection profiling, offshore drilling

1. 三方断層帯の概要

1.1 断層帯の概要と研究史

三方断層帯 (地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2003) は, 福井県三方郡美浜町沖合の若狭湾から, 同県三方上中郡若狭町 (旧遠敷郡上中町) に至る一連の断層帯であり, 三方・花折断層帯の一部をなす (第1図). 三方断層帯は全体としてほぼ南北に延び, 長さは約 26 km, 断層の東側が相対的に隆起する逆断層である. 平均上下変位速度は約 0.8 m/千年, 最新活動は 1662 年 (寛文二年) の地震と推定されている

(地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2003).

2003 年の地震調査研究推進本部地震調査委員会 (以下, 地震調査委員会と呼ぶ) による本断層帯の長期評価公表前には, 多くの本断層帯陸域の変動地形的調査, 地質学的調査及び古地震学的調査が行われている. 岡田 (1984) は三方五湖低地の形成過程と地殻変動について考察し, 三方断層と熊川断層について記述すると共に, 1662 年寛文地震時の地殻変動について指摘した. 竹村ほか (1994) は三方湖などでボーリング調査を行い, 得られた沈降速度から, 三方断層の上下変位速度は北部で大きく, 南部では

小さいことを指摘した。小松原ほか(1999)は、トレンチ調査などにより三方断層の過去の活動、特に1662年寛文地震との関係を考察した。水野ほか(1999)は三方五湖で音波探査やボーリング調査を実施し、三方断層付近の地下に分布する更新統の分布と地質構造を明らかにした。金田ほか(2000)は海食洞を指標として、寛文地震時の上下変動を求めると共に、三方断層と美浜町沖の南北走向の断層(A断層系;岡田,1984)との間に日向断層を推定した。また、美浜町沖若狭湾内の海域部については、海上保安庁(1980)及び小松原ほか(2000)によって、音波探査などが実施され、陸上の三方断層に左雁行する形で、南北に延びる海底活断層の存在が明らかにされている。特に、小松原ほか(2000)は、音波探査結果に基づいて主要な反射面の形成年代を推定し、A断層系及び日向断層の上下変位速度について議論した。活断層研究会編(1991)、岡田・東郷編(2000)、池田ほか編(2002)、中江ほか(2002)、中田・今泉編(2002)は、本断層帯を構成する断層の分布・位置、変動地形、変位量などのデータを整理・図示している。

地震調査委員会(2003)による長期評価公表後の三方断層帯の研究としては、堤ほか(2005)及び岡田ほか(2012)による変動地形学的研究(都市圏活断層図「熊川」及び「三方」の刊行)、並びに石村ほか(2010,2013)、岡田ほか(2010)及びKatoh *et al.*(2013)によるボーリングコアを用いた研究がある。石村ほか(2010)をはじめとするこれら一連の研究は、三方湖東岸で採取したボーリングコアに認められる層相変化から堆積環境の変遷を復元し、これから三方断層帯の活動を推定するオフフォルト(off-fault)古地震学の手法を用いている。また、岡田(2004)及び小松原・水野(2009)は、既往の調査・研究データに基づき、三方断層帯と1662年寛文地震との関連や同断層帯周辺の地形発達・上下変動について解説している。更に、日本原子力発電株式会社(以下、日本原子力発電と呼ぶ)は、敦賀発電所原子炉設置許可申請(3号炉及び4号炉の増設)のため、三方断層帯の調査を行っている(日本原子力発電,2004)。また、2005年2月には、原子力安全・保安院より、日本原子力発電に対して、同発電所周辺の活断層の追加調査が指示され、2006年9月には「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」が改定された。これを受けて、関西電力、日本原子力発電及び日本原子力研究開発機構は、三方断層帯の再調査・再評価を行っている(関西電力,2008;日本原子力発電,2008,2010;日本原子力研究開発機構,2008)。このうち、日本原子力発電は、三方断層帯(A断層系及び日向断層)を横切る音波探査を実施している。更に上記3社は2011~2012年に、若狭湾における津波痕跡に関するデータの拡充を目的として、久々子湖・菅湖及び中山湿地(三方断層帯の沈降側)、

久々子湖東方陸域(三方断層帯の隆起側)などで津波堆積物調査を実施し、これら2地域については完新世堆積物中に津波を示唆する痕跡は認められなかったとしている(関西電力,2012など)。

1.2 地震調査委員会による長期評価の概要と残された課題

2003年に公表された地震調査委員会の長期評価によると、三方断層帯は全体としてほぼ南北方向に延びており、北側から若狭湾内のA断層系、海域から陸域に跨る日向断層、陸上の三方断層及び倉見峠断層の4つの断層から構成される(第1図)。日向断層と三方断層の北部、及び三方断層の南部と倉見峠断層は、それぞれ雁行ないし並走関係にある。地震調査委員会(2003)は、本断層帯を断層の東側が西側に対して相対的に隆起する逆断層であるとし、その全長を約26kmと評価している。同委員会は、この全長から、断層帯全体が一度に活動した場合には、マグニチュード7.2程度の地震が発生すると推定している。また同委員会は、本断層帯の最新活動を1662年(寛文二年)の地震に比定し、三方湖付近では断層の東側が相対的に隆起するずれや撓みが生じ、その量は断層両側の幅の広い範囲にわたって合計で3~5m程度に達した可能性があるとしている。過去十数万年間の平均上下変位速度は約0.8m/千年、平均活動間隔は約3,800~6,300年と推定されている。

2003年3月の長期評価公表時点では、1662年寛文地震に先立つ活動についてはデータが得られておらず、三方断層帯の平均活動間隔の信頼度は高くない。このため、過去の活動時期、平均変位速度及び1回の活動に伴う変位量をさらに精度よく求めることが課題として残されている。また、海域部(A断層系)の最新活動については、1662年寛文地震との関係が明らかになっておらず、この解明も重要な課題となっている。

2. 調査目標と調査項目

2.1 調査目標

上述の残された課題を踏まえ、本調査では三方断層帯海域部の過去の活動に関する新たなデータの取得を第一の目標とした。さらに、既往の調査データと新たなデータとを統合することによって、本断層帯の過去の活動時期、平均変位速度及び1回の活動に伴う変位量を明らかにすると共に、最新活動の年代を特定し、1662年寛文地震時の活動の有無を明らかにすることを最終的な目標とした。

2.2 調査項目と各項目の主な目標

上述の目標を達成するため、本調査では1)高分解能シングルチャンネル音波探査、2)マルチチャンネル音波探査、及び3)海上ボーリング調査を実施した。

1) 高分解能シングルチャンネル音波探査では，高分解能の探査装置を用いて音波探査を行い，詳細な断層分布・位置情報を得ると共に，完新統（沖積層）の堆積・浸食構造及び断層変位・変形構造を詳細に解明することを目標とした。

2) マルチチャンネル音波探査では，ブーマーを音源とする12チャンネルの音波探査を行い，重合処理を施すことによって，詳細な断層分布・位置情報を得ると共に，完新統及び上部更新統の断層変位・変形構造を解明することを目標とした。

3) 海上ボーリング調査では，断層両側の適切な場所でコアを採取し，肉眼観察・年代測定・火山灰分析などを行って地層の層序と年代を明らかにし，1)及び2)の音波探査結果と合わせて，断層活動の層準と時期，特に最新活動時期の解明を目標とした。

これらの調査に際しては，高分解能シングルチャンネル音波探査を東海大学が担当し，マルチチャンネル音波探査と海上ボーリング調査は産業技術総合研究所（以下，産総研と呼ぶ）が担当した。

高分解能シングルチャンネル音波探査については，海域に分布する底質が比較的粗粒であったためか，反射データを取得できた深度が10m程度と浅く，分解能もマルチチャンネル音波探査の結果と大差がなかった。このため，本報告では，これら3つの調査項目のうち，マルチチャンネル音波探査と海上ボーリング調査の結果を報告する。高分解能シングルチャンネル音波探査の結果については，産業技術総合研究所・東海大学（2014）を参照されたい。

3. マルチチャンネル音波探査

3.1 調査海域及び探査測線

3.1.1 調査海域

三方断層帯の海域部については，これまでに海上保安庁（1980）や小松原ほか（2000）がブーマーを音源とするシングルチャンネル音波探査を実施しており，断層の分布が明らかにされている。また，日本原子力発電（2010）は，ブーマーを音源とするマルチチャンネル音波探査を実施し，東側隆起の累積的な上下変位及び撓曲変形が明瞭な反射記録を得ている。

これらの既往探査結果の検討に基づき，本調査では，福井県美浜町日向沖の東西約3km（東経135°52'～135°55'），南北約4km（北緯35°37.4'～35°39.2'）を調査海域とした（第2図）。

3.1.2 探査測線

探査測線の設定に当たっては，海上ボーリング調査に適した地点の選定のため，小松原ほか（2000）及び日本原子力発電（2010）の音波探査記録，並びに先行して実施した高分解能シングルチャンネル音波探査の結果を総合的に検討した。その結果，本調

査では，高分解能シングルチャンネル探査の測線に沿って，断層直交方向に4測線（東西方向3測線，北東-南西方向1測線），南北方向に3測線，合計7測線を設定した。

三方断層帯海域部の探査は，野坂断層帯海域部の探査と合わせて，平成25年8月6日から8月8日に実施した。両海域の延べ測線長は55.7kmで，このうち三方断層帯海域部の測線長は27.25kmである。測線は，高分解能シングルチャンネル探査と同じ測線で実施し，シングルチャンネルの実施測線と区分するため，測線番号の末尾にBの文字を加えている。

探査測線の位置を第2図に，探査測線の一覧を第1表に示す。

3.2 使用機器，データ取得諸元及びデータ処理

3.2.1 音波探査

音源には公称最大送振出力300JのApplied Acoustic Engineering社製AA300型ブーマーを用い，エネルギーソース（送信器）には同社製のCSP-Pを使用した。受振には5ハイドロフォン素子/チャンネル，チャンネル間隔2.5m，チャンネル数12の総合地質調査社製ストリーマーを使用し，データの収録（デジタル変換）にはティアック社のLX110を用いた。

計7測線で行ったマルチチャンネル探査は，ブーマー音源の発振出力200J，音源深度0.3m，発振間隔約1.25m，収録時間0.6秒，サンプリング周波数10kHz，船速3～4ノットで実施した（第2表）。

探査実施中は，反射データの船上モニター用として，EPC Laboratories社製のGSP-1086-2サーマルプロッターを使用して探査記録（反射断面）の出力を行った。また，調査中の事故の回避を最優先すると共に，調査船のエンジン音のノイズレベルテストの結果を参照して，ブーマー及びストリーマーの第1チャンネルを，それぞれ船尾後方25mと30mに配置した（第3図）。

3.2.2 音響測深

音響測深には千本電気社製のPDR-1300を用い，調査船の舷側に固定し測深を行った。測深機の吃水は1mとした。測定された水深は用紙にアナログ出力すると共に，デジタルデータとしてログファイルに取り込んだ。潮位の補正には，国土交通省北陸地方整備局所管の敦賀検潮所のデータを使用し，基準面はT.P.（東京湾平均海面）とした。

3.2.3 船位測定・誘導

船位の測定はTrimble社製のDSM 232を用いて，SBAS（Satellite-Based Augmentation System）補正情報を用いたディファレンシャルGPS（DGPS）によって，計画測線上を調査船が進むように誘導を行った。船位，ブーマーなどの曳航体の位置（船位と進行方向から計算），時刻のデータはログファイルに記録し

た。また、測位座標と音波探査データとを対応させる測位点（イベント点）を100ショットごと（約125 m ごと）に記録に挿入した。

3.2.4 データ処理

収録したマルチチャンネル探査データの処理は産業技術総合研究所で行った。使用したソフトウェアはParallel GeoScience社製SPWである。デコンボリューション処理、ゲイン回復、帯域通過フィルタリング処理などを行った。速度解析を行った後、CMP重合法により12重合の反射断面を得た。また、各音響層序区分の連続性を確認する際には、Geographix社製の反射法音波探査解釈ソフトSeisVision2Dを使用した。

さらに、断層近傍の浅層部の変形の詳細を把握するため、地球科学総合研究所に依頼して、M-3.5B測線などの5測線、合計測線長5 kmの高度処理を行った。処理には、地球科学総合研究所が所有する地震探査処理ソフトウェアパッケージ「SuperX」を用いた。

3.3 調査結果

第3表に、今回のマルチチャンネル調査結果に基づいて設定した音響層序、反射面及び推定地質時代を、既往調査結果（小松原ほか、2000）と比較して示す。また、第4～14図に各測線の反射断面（音波探査記録）を示す。各反射断面の左側の縦軸は往復走時を、右側の縦軸は水中・堆積物中の音速を1,500 m/秒と仮定して変換した海面からの深度を示す。また、横軸の数値は第2図に示す測位点（イベント点）の番号に対応する。

3.3.1 音響層序

本調査海域では、南北方向の測線（第4～7図）において、特に良好な音波探査記録が得られた。本報告ではこれらの記録に基づき、下位よりVI層～I層の計6層の音響層序区分を設定した。また、調査範囲に広く認められるIV層下面（V層上面）を反射面D、後述するボーリング調査地点周辺に広く認められるIII層とI層の下面を、それぞれ反射面C、反射面Bとした（第3表）。このほか、5.で述べるように、海上ボーリング調査地点近傍のI層内部に認められる連続性の良い反射面を反射面Aとした。

以下に、下位層からそれぞれの特徴を述べる。

(1) VI層

VI層は反射断面ではA断層系の東側（隆起側）にのみ確認される。本層は、上に凸の比較的連続性の良い反射面（境界面）によって上位層と区切られ、全体的に緩やかな背斜若しくは複背斜構造を示す（第4, 5, 8図）。

VI層は反射面の分布深度及び連続性・分布の特徴から、概ね小松原ほか（2000）のk層（推定地質年代は鮮新世～更新世とされる）の下部に対比される。

(2) V層

V層はA断層系の東側（隆起側）から西側（低下側）まで、調査海域全域に広がる。上面は凹凸を示す明瞭な不整合面（反射面D）である（第4～7図）。本調査では、V層の下面は断層の東側（隆起側）でしか確認されず、その最大層厚は不明である。V層上面（反射面D）の深度は沖合方向に徐々に深くなり、調査海域の最も沖合部では往復走時で約100ミリ秒である。これは水中の音速度を1,500 m/秒とした場合、海面下深度75 mに対応する。V層内部の反射面は概して不連続であるが、一部連続的に追跡可能な反射面が認められる。M-3B測線（第10図）やM-3.5B測線（第12図）では、A断層系の東側（隆起側）に分布する本層に、IV層の背斜構造と調和的な緩やかな背斜構造が見られる。

V層は分布深度と反射面の特徴から、概ね小松原ほか（2000）のi層・j層（推定地質年代は更新世とされる）及びk層上部に対比される。

(3) IV層

IV層はA断層系の西側（低下側）に比較的厚い地層として認められる。IV層の内部反射面はほぼ水平ないし陸側に傾斜することを特徴とし、下位のV層にオンラップする（第6, 7, 11, 13図）。その上面は、海面下深度約60 mにほぼ水平な比較的強い反射面（反射面C）として認められる。調査海域内では、下位のV層の上面（反射面D）は沖合方向にその深度を増加しているため、IV層の厚さは沖合に向かって厚くなる（第6図）。A断層系の東側では、撓曲の基部から約200～300 m東方まで分布し、分布の東端では後述するI層に削剥（トランケート）されている。

IV層は小松原ほか（2000）のh層に対比される。

(4) III層

III層は下位のIV層と同様に、A断層系の西側（低下側）に比較的広く分布する。断層の東側（隆起側）では、撓曲の基部から約200 m東方まで分布し、分布の東端においてIV層と同様にI層にトランケートされている。本層は沖合方向に向かって薄くなる楔状の形状を呈し、その上面は平坦で、沖合方向に傾斜する（第6, 7図）。内部反射面はIII層上面とほぼ平行に沖合方向に傾斜し、MK-11B測線（第7図）では不明瞭ながら、プログラデーションパターンが認められる。

III層は小松原ほか（2000）のg層に対比される。

(5) II層

II層は、調査海域南部（第2図に示すA断層系南端部から日向断層の北方延長部の西方海域）の三方断層帯低下側にのみ特徴的に認められる。本層は沖合に向かって薄化する最大6 m程度の薄い堆積層であり、その内部反射面は顕著なプログラデーションパターンを示す（第7図）。

II層は小松原ほか（2000）のe層の一部に対比される。

(6) I層

I層は，A断層系の東側（隆起側）から西側（低下側）まで，調査海域全体に広く認められる最表層の堆積物であり，その上面は現在の海底面を形成する．厚さは往復走時で6～12ミリ秒（4.5～9 m）程度であり，撓曲帯の上端付近で最も薄く，ここから東・西両側（隆起側・低下側双方）へ厚くなっている．その内部には，現在の海底面と平行な比較的連続性のよい反射面が認められる．

I層は小松原ほか（2000）のa層及びe層に対比される．

3.3.2 三方断層帯海域部の変形構造

今回の調査で得られた三方断層帯海域部を横切る反射断面には，断層活動による明瞭な変形構造が認められる．以下に，東西方向の測線（M-2.5B，M-3B，M-3.5B測線）と北東-南西方向の測線（M-5B測線）に分けて，変形構造の特徴について述べる．

(1) 東西方向の測線（M-2.5B，M-3B，M-3.5Bの各測線：第8～13図）

これらの3測線は，三方断層帯海域部（A断層系）にほぼ直交する．M-2.5測線（第8，9図）では測位点62付近，M-3B測線（第10，11図）では測位点23付近，M-3.5測線（第12，13図）では測位点11付近に西側低下の撓曲状の構造が認められる．IV層の基底面（反射面D）には，M-2.5測線（第8図）の測位点60，M-3B測線（第10図）の測位点21，M-3.5測線（第11図）の測位点13付近にも西側に低下する構造が認められる．この構造については，第11図及び第13図の断層近傍拡大図に明瞭に示されているように，下位のV層及びVI層内の反射面には対応する西側低下の構造が認められないことから，断層による変形ではなく，IV層基底形成時の浸食によるものと判断される．

IV層基底面（反射面D）には，M-2.5B測線（第8図）の撓曲変形部（測位点62付近）を挟んで約11 m，M-3B測線（第11図）の撓曲変形部（測位点23付近）を挟んで約11 mの高度差が認められる．またM-3.5B測線（第13図）では撓曲変形部（測位点11付近）を挟んで約10 mの高度差が認められる．III層基底面（反射面C）の撓曲変形部を挟んだ高度差は，それぞれ約9 m（M-2.5B測線），約8 m（M-3B測線），約7 m（M-3.5B測線）である．さらにI層基底（反射面B）の撓曲部を挟んだ高度差は，それぞれ6 m以上（M-2.5B測線），約8 m（M-3B測線），約7 m（M-3.5B測線）であり，I層の内部反射面の変形は海底面に達しているように見える（第11，13図）．

(2) 北西-南東の方向測線（M-5B測線：第14図）

本測線は，陸域から連続する南北方向の日向断層が北西方向に屈曲して，沖合のA断層系へステップする場所に位置し（第2図），断層にほぼ直交する断

面である．本測線では，I層～VI層のすべてを識別することが可能である．前述のM-3B測線，M-3.5測線と比較して，全体的に緩やかではあるが，明瞭な東側上りの撓曲構造が認められる．撓曲構造を挟んで，IV層基底（反射面D）に約15 mに達する高度差が見られる．

本海域で認められるIV層は，撓曲変形部を挟んで，隆起側より低下側で厚く堆積している．これに対してIII層では，隆起側と低下側で層厚に優位な差が認められない．これらのことから，少なくともIV層堆積中に1回，III層の堆積後に1回以上の断層活動があったことが示唆される．また，上述のように，I層内部の反射面の変形は海底にまで達し，変形した反射面が海底面で切られているように見える．このことは海底若しくはその直下にまで変形が及んだ断層活動の後，I層が浸食されたことを示唆する．

4. 海上ボーリング調査

4.1 調査地点の選定

海上ボーリングを行う調査地点（掘削地点）の選定に当たっては，今回の高分解能シングルチャンネル音波探査とマルチチャンネル音波探査の結果に加えて，小松原ほか（2000）による音波探査結果及び日本原子力発電の既往音波探査結果を利用した．調査地点選定に際しての主な基準として，1) 深度15 m程度より浅い層準に認められる反射面の断層両側への連続性，2) 断層による変位・変形の明瞭さ，3) 変形ゾーン（撓曲ゾーン）の幅の広さ（狭い方が断層両側で層相対比が容易でボーリング調査に適している）を考慮した．このような基準に従って検討した結果，完新世の活動履歴解明を目的とするボーリング調査には，マルチチャンネル音波探査のM-3.5B測線（＝高分解能シングルチャンネル音波探査のM-3.5測線）上が最適と判断した．M-3.5B測線上の撓曲構造（＝三方断層帯海域部）の基部から50～100 m西側（低下側）と，撓曲構造の頂部から30～70 m東側（隆起側）を海上ボーリングの候補地域に選定した．最終的には，4.4で述べるように，台風の影響で隆起側での掘削は断念し，低下側のGS-MKO-1地点（第15図；北緯35°38'43.75"，東経135°52'38.29"，水深約51 m）のみで海上ボーリングを実施した．

4.2 海上調査の方法

4.2.1 海上ボーリング

4.2.1.1 工法及び仮設

海上ボーリングは，傾動自在型試錐工法（第16図）により実施した．この工法では，クレーン台船にボーリング檣（やぐら），試錐機，発電機などを仮設すると共に，クレーン台船の外側に，掘削ロッド，サンプラー及びケーシングパイプなどを通す鉄製の案内

管（ガイドパイプ）を独立に仮設する。掘削時には、試錐機をガイドパイプの真上に移動させて作業を行い、掘削作業休止時及び夜間の係留時には、台船が波浪で大きく動揺してもガイドパイプと台船が接触しないように、両者を適切な距離（通常 10 m 程度）に隔離することができる（第 17 図）。また、荒天で台船の係留が困難と判断された場合には、ガイドパイプを掘削地点に残置し、台船を港に避難させることができる。

クレーン台船は、各 1 トンのアンカーで 4 方向、海底での離間距離 300 m に張ったワイヤーで固定した。ガイドパイプは、同じく各 1 トンのアンカーで 4 方向、海底での離間距離 100 m に張ったワイヤーで鉛直に固定した（第 18 図）。合計 8 つのアンカー設置地点の海面には、安全対策として、灯浮標と玉ブイを設置し、ガイドパイプを残置した際には、その頂部に赤旗、標識灯及びレーダー反射板を取り付けた。

4.2.1.2 試錐機・サンプラー及び掘削コア径

海上ボーリングには、油圧駆動型のロータリー式傾動自在型試錐機 CTM-10（第 19 図）を用いた。サンプラーには、固定ピストン式シンウォールサンプラー（水圧式）、打込み式二重管サンプラー及びロータリー式二重管サンプラーの 3 種類を用意し、堆積物の硬軟・締まり具合によってこれらを使い分けた（第 4 表）。掘削時にはスライム除去と孔壁崩壊防止のため、ケーシングパイプを挿入し、必要に応じて泥水を使用した。

掘削コア径は直径 86 mm とした。

4.2.2 磁気探査

海上でのボーリング調査に先立ち、機雷や不発弾などの危険物が掘削予定の海底下に存在しないことを確認するため、磁気探査を実施した。三方断層帯海域部の掘削地点は約 50 m の大きな水深があるため、ガイドパイプから磁気センサーを海底に下ろして磁気を測定し、掘削予定地点には危険物が無いことを確認した。

4.2.3 位置測量

ボーリング掘削地点の位置測量は、誤差 1 m 以下のディファレンシャル方式 GPS 測位システムを用いて実施した。移動局をクレーン台船の舷側に設置したガイドパイプに置き、掘削地点の位置を測定した。

4.2.4 水深測量

ボーリング掘削地点の水深は、誤差約 3 cm 以下の音響測深器を用いて測定した。潮位データは国土交通省北陸地方整備局所管の敦賀検潮所のデータを用い、基準面は T.P.（東京湾平均海面）とした。

4.3 コアの観察・記載及び測定・分析方法

三方断層帯海域部の海上ボーリング調査では、4.4 で詳述するように、断層帯（撓曲構造）の西側（低下側）のみで、長さ 4 m のコア（以下、GS-MKO-1 コアと呼ぶ）を採取した。GS-MKO-1 コアについて、以下の観察・記載と各種測定・分析を実施した。作業手順は、まず帯磁率を測定し、次に色調測定を行った。その後、コアの観察・記載を行い、次いで写真撮影を行った。最後に、 ^{14}C 年代測定用試料と火山灰分析用試料を採取した。

4.3.1 帯磁率測定

帯磁率測定は、Bartington 社製 MS2 型を用いて行った。センサーには内径 90 mm のループ型センサー（Core Logging Sensor MS2C）を用い、長さ 1 m の半割した塩化ビニル管に載せたコアをループに通して、2 cm 間隔で帯磁率を測定した。測定は気温がほぼ一定の室内で行い、測定に際してはセンサーを周辺の金属から約 50 cm 以上離れた。また、測定の前に、校正用試料を用いて試験測定を行い、測定器の正常動作を確認した。補正については、diameter correction と drift correction を行った。帯磁率計の規格・性能を第 5 表に示す。

4.3.2 色調測定

色調測定は、コニカミノルタ社製の SPAD-503 型分光測色計を用いて、明度 (L^*) と色度 (a^* 【緑-赤】及び b^* 【青-黄】) を測定した。測定は、コアをラップで覆った状態で、2 cm 間隔で行った。

4.3.3 コアの観察・記載

コアの性状と堆積学的特徴を肉眼で明瞭に捉えられるように、観察に先立って、コアの表面を金属ヘラで薄く削り、霧吹きなどで表面を洗浄した。その上でコアを詳細に観察し、層相、粒度、色調、固結度、堆積構造、層厚、火山ガラス・軽石粒などの火山起源物質、植物片や貝などの動植物遺体、礫形・礫種、マトリックス、含水の程度などについて記載した。観察・記載の結果に基づき、縮尺 10 分の 1 の柱状図を作成した。

4.3.4 写真撮影

コアをコア箱に収納した状態で、室内の蛍光灯下においてデジタル一眼レフカメラで三脚を用いて撮影した。撮影に際しては色見本を同時に撮影した。

4.3.5 ^{14}C 年代測定

^{14}C 年代測定用試料として、貝、ウニ、木片、炭質物を GS-MKO-1 コアから採取した。肉眼観察及び帯磁率測定の結果から、スライムの可能性が高いと判断された深度 2.0~2.8 m の層準については、試料の採取を行わなかった。貝 12, ウニ 2, 木片 1, 炭質

物 1 の合計 16 試料を AMS 法による ^{14}C 年代測定に供した。測定は株式会社地球科学研究所に依頼した。暦年代の算出に当たっては、IntCal09 及び Marine09 (Heaton *et al.*, 2009 ; Reimer *et al.*, 2009) を用いた。

4.3.6 火山灰分析

GS-MKO-1 コアについては、上記 ^{14}C 年代測定の結果、その最下部（深度 3.5~3.8 m）から 6,000 cal yBP 前後の暦年代（校正年代）が得られた。このため、火山灰分析では、同コア下部に約 7,300 cal yBP に降下した鬼界アカホヤ火山灰（K-Ah；町田・新井，2003）に由来する火山ガラスの混入確認を目的として、深度 3.00~3.05 m, 3.20~3.25 m, 3.50~3.55 m, 3.70~3.75 m, 3.90~3.95 m の 5 試料について、火山ガラス含有量と火山ガラスの屈折率測定を実施した。これらの分析・測定は株式会社古澤地質に依頼した。

4.4 海上調査の経緯と結果

2013 年 8 月 28 日に GS-MKO-1 地点（第 15 図）において掘削を開始した。その後、台風 15 号と前線の活動の影響で波が高くなったため、8 月 29 日から 9 月 2 日の 5 日間は避難・休工した。9 月 3 日には、波がおさまったため掘削を再開したが、翌 9 月 4 日の昼前、突然波が異常に高くなり、台船を固定していたワイヤーが切断されると共に、ガイドパイプが海底へ転倒した。切断されたワイヤーと海底に転倒したガイドパイプの回収作業は、9 月 20 日までに完了した。その後、GS-MKO-1 地点での掘削再開を検討したが、気象庁の 1 か月予報などを考慮すると、水深約 50 m の海上において、海上作業と海上交通の安全を 100% 確保することは困難と判断し、9 月 4 日午前中までに得られた長さ 4 m の GS-MKO-1 コアの採取を以って、三方断層帯海域部のボーリング調査を終了した。

4.5 コア観察結果

GS-MKO-1 コアの写真を第 20 図に、柱状図を第 21 図に示す。

本コアでは、全体として、比較的淘汰がよくシルト分を含む極細粒砂～細粒砂が卓越する。後述する深度 3 m 付近を除いて、葉理などの堆積構造は不明瞭である。砂層中には、シドロ、シラスナガイ、ナミジワシラスナガイなどの貝、微細な貝片、ウニ（ブンブク）片などが散在する。

深度 2.92~3.11 m には、極細粒砂と細粒砂の細互層が認められる（第 22 図）。深度 3.11~3.09 m には、下位の細砂から漸移し、上方細粒化を示す厚さ 2 cm の極細粒砂層が認められる。この極細粒砂層の上位には、厚さ 7~8 mm の細粒砂層と厚さ約 2 mm の極細粒砂層の互層が 3 セット認められる。その上位にも、厚さ数 mm の細粒砂層と極細粒砂層の互層が深度 2.92 m まで認められる。互層をなす細粒砂層には

貝片及び炭化物片が含まれる。また、細粒砂層はシルト分が少ないが、極細粒砂層にはシルト分が多く含まれる。

本コアの深度 0.5~0.6 m, 1.0~1.4 m, 2.0~2.1 m には、酸化した鉄片が含まれることから、これらの深度の地層試料ではなく、スライムと判断した。これらの部分（層準）は、コアの継目の最上部（一度に回収される長さ 1 m~数 10 cm のコアの最上部）に当たり、掘削時にスライムが流入したと推定される。このほか、深度 2.1~2.8 m にかけての層準にも鉄片が散点的に認められ、この層準全体がスライムの可能性がある。

4.6 測定・分析結果

4.6.1 帯磁率及び色調測定結果

帯磁率と色調の測定結果を第 21 図に示す。

帯磁率は、極細粒～細粒砂からなる層準では $100 \cdot 10^{-5}\text{SI}$ 前後の値を示す。深度 3 m 前後の極細粒砂・細粒砂互層とその直下の層準では帯磁率の変動が大きく、 $100 \sim 1,000 \cdot 10^{-5}\text{SI}$ の範囲の山・谷が数 cm~10 cm 程度の間隔で認められる。肉眼によるコア観察でスライムと判断した層準では、 $1,000 \cdot 10^{-5}\text{SI}$ を超える高い値を示すところが多く、包含される鉄片の影響と推定される。

色調については、 a^* （緑-赤）に深度 3.05 m（極細粒砂・細粒砂互層部）に谷（緑が強い）が認められる以外、層相との対応は明瞭ではない。色調とスライムと判断した層準との関係も系統的ではない。例えば、深度 0.5~0.6 m のスライム層準では、 b^* （青-黄）にのみ、明瞭な山（黄が強い）が見られるが、深度 2.0~2.1 m のスライム層準では b^* に谷が認められ、明度（ L^* ）には山が見られる。

4.6.2 ^{14}C 年代測定結果

^{14}C 年代測定結果を第 6 表に、 ^{14}C 年代-深度関係を第 23 図に示す。

これらの表・図から明らかなように、得られた年代は概ね深度に比例して古くなっており、GS-MKO-1 コア基底の深度 4 m の年代は約 6,500 cal yBP と推定される。深度 0~4 m の平均堆積速度は 0.6 m/ky と見積もられる。

極細粒砂・細粒砂互層の深度 3.05~3.10 m とその直下の細粒砂の深度 3.15~3.20 m からは、全体の年代-深度関係よりも古めの年代が得られた。これらは再堆積した貝試料と推定される。また、深度 1.40~1.45 m と 1.51 m の貝試料からは、全体の年代-深度関係よりも若い年代が得られた。コア観察では深度 1.0~1.4 m をスライムと判断したが、この年代測定結果は第 21 図及び第 23 図に示す帯磁率測定結果と合わせて、深度 1.51 m までスライムが含まれる可能性を強く示唆する。

4.6.3 火山灰分析結果

火山灰分析結果を第7表に示す。コアの基底部(深度3.90~3.95 m; 推定年代は約6,500 cal yBP)の試料には、6.2/3,000の粒子出現率のバブルウォール型の火山ガラスが検出され、これより上位の層準の火山ガラス出現頻度は、より低くなっている。深度3.90~3.95 mの火山ガラスの屈折率は1.508~1.517であり、鬼界アカホヤ火山灰(K-Ah)に由来する火山ガラスと判断され、¹⁴C年代測定結果と整合する。

5. 三方断層帯の活動性と活動履歴—今回の調査結果と既存データに基づく検討

5.1 変位基準面

本調査では、三方断層帯海域部(A断層系)の低下側のみで深度4 mのGS-MKO-1コアを採取したため、三方断層帯による上下変位量の計測に用いる変位基準面をコア中に設定することはできなかった。一方、マルチチャンネル音波探査では、既述のように、三方断層帯海域部による上下変位量の見積もりに利用できる複数の顕著な反射面が認められた。本調査では、小松原ほか(2000)や日本原子力発電による既往音波探査結果も含めて、これらの音波探査記録(反射断面)に共通して認められる4つの顕著な反射面(上位から反射面A, B, C, D; 第3表)を変位基準面とする。

GS-MKO-1コアを掘削したM-3.5B測線、隣接するM-3B測線、日本原子力発電のDU10測線、小松原ほか(2000)のEW2測線(いずれも音源はブーマー; 測線位置は第24図)におけるこれら反射面の位置を第25~28図に示す。また、M-3.5B測線及びM-3B測線について、高分解能シングルチャンネル音波探査記録(産総研・東海大学, 2014)とマルチチャンネル音波探査記録を同一の縦横比(25:1)にして並べた図を第29図と第30図に示す。これらの図をはじめ、5. で示す各反射断面の縦軸は、水中及び堆積物中の音速を1,500 m/秒と仮定した場合の海面からの深度である。

反射面Dは明瞭な凹凸を有する不整合面であり、その深度は沖合に徐々に深くなり、調査海域の最も沖合部で現海面下約75 mである。このことは、約1.8万年前の最終氷期最盛期には反射面Dの層準は海面上に位置していたことを示唆する。また、反射面Dを基底とするIV層は同面にオンラップしていることから、海進期の堆積物と判断される。以上から、反射面Dは最上部更新統を含む広義の沖積層の基底に相当すると考えられる。

反射面Cを基底とするIII層とこれを覆って断層の低下側に分布するII層は、沖に向かって薄くなる楔状の形状を示し、プログラデーションパターンなどの沖側へ傾斜する反射面で特徴づけられる。この特徴から、III層及びII層は、海水準の上昇に比べて

陸からの碎屑物の供給が上回る環境で形成された地層と判断される。反射面Bを基底とするI層は沖合まで連続的に認められ、反射面Aなどの現海底面とほぼ平行な連続性のよい内部反射面で特徴づけられる。この特徴から、I層は陸からの碎屑物の供給が多い環境下で堆積した地層と判断される。以上から、反射面C, B, Aは完新世の堆積性地層境界と考えられる。

5.2 変位基準面の上下変位量と推定される断層活動層準

3. で述べたように、三方断層帯海域部は沖積層に撓曲変形を与え、撓曲変形部を挟んで、各層序区分及び反射面に明瞭な高度差が認められる。本調査では、第25~28図に示す反射断面について、各反射面の初生傾斜を考慮・仮定して、撓曲変形部を挟む各変位基準面(反射面A~D)の高度差から、三方断層帯海域部(A断層系)による上下変位量を見積もった。例えば、M-3B測線(第26図)とDU-10測線(第27図)の反射面Dについては、それぞれ、測位点24の両側各100 mの平均勾配、測位点12の両側各100 mの平均勾配から、いずれも0.6/100(約0.34°)の初生傾斜を仮定した。

第8表に、同様の方法で測線ごとに見積もった各反射面の上下変位量を示す。この表に示すように、反射面D(沖積層基底面=マルチチャンネル音波探査によるIV層下面)の上下変位量は、M-3B測線(第26図)では約11 m、M-3.5B測線(第25図)とDU10測線(第27図)では約10 m、EW2測線(第28図)では約9 mである。反射面C(III層基底)と反射面B(I層基底)の上下変位量は、M-3B測線では約8 m、M-3.5B、DU10及びEW2の各測線では約7 mであり、両反射面間に有意な変位量の差は認められない。反射面Aについては、いずれの反射断面でも、撓曲部の東側(隆起側)では対応する反射面が認定できないため、変位量は不明であるが、撓曲部において反射面を追跡できる範囲だけで4 mに達する。

以上から、3.3.2で触れたように、反射面Dとその上位の反射面Cの間、即ち、IV層中に、約2~3 mの上下変位の増大が認められ、この層準に少なくとも1回の断層活動があった可能性が指摘できる。IV層堆積中の断層活動の回数を特定するデータは得られていないが、1回だけであったと仮定した場合には、約2~3 mが単位変位量(1回変位量)となる。

反射面Cと反射面Bには上下変位量に有意な差が認められないことから、反射面C形成後、反射面B形成時までの間(III層堆積中からI層の堆積開始までの間)には、上下変位を伴う断層活動はなかったと考えられる。

M-3B、M-3.5B及びDU10の3測線では、反射面C(III層基底)と反射面B(I層基底)の上下変位量

は約7~8 mであり，反射面C~D間の変位の増大（約2~3 m）よりも3倍ほど大きい．EW2測線についても，同様の関係が認められる．このことは反射面Bの形成後（I層の堆積開始以降），三方断層帯海域部（A断層系）が2回以上の活動を行ったことを示唆する．反射面Aは4 m以上，上下に変位していることから，三方断層帯海域部の最新活動は反射面Aの形成後と判断される．

なお，5.3.3で述べるように，最終間氷期~最終氷期の堆積物の基底に対応すると推定される反射面の背斜状変形（第32図）を考慮すると，三方断層帯海域部の活動による隆起は，実際には撓曲部だけでなく，断層隆起側（東側）の1 km程度までごく緩やかに及んでいると考えられる．しかし，各反射面について，このごく緩やかな隆起を読み取ることは困難であることから，本報告では，上に述べた各変位基準面（反射面）の撓曲部を挟んだ上下変位量について，真の上下変位量の最小値に当たることを指摘するにとどめる．

5.3 変位基準面の年代の推定

4つの変位基準面（反射面A~D）は，いずれもGS-MKO-1コアの下端（海底下深度4 m）よりも深い位置にあり，直接これらの変位基準面に対応する地層若しくは地層境界の年代を知ることはできない．そこで，本調査では，まず，更新世末~完新世初期の海水準（海面高度）に関する文献をレビューして，海水準に関するデータセットを作成した．次に，これに基づいて，GS-MKO-1コア採取地点（沖積層基底面の現深度は海面下68 m，海底下深度17 m）への海の侵入時期を推定した．更に，この海侵時の深度・年代とGS-MKO-1コアの¹⁴C年代測定結果を深度-年代関係図にプロットし，深度17 mから4 m（約6,500 cal yBP）までの深度-年代関係を外挿し，各反射面の深度からその形成年代を見積もった．

コア採取地点への海の侵入時期については，まず，沖積層基底面形成後の地殻上下変動を考慮しない場合を検討し，続いて地殻上下変動を考慮した場合を検討した．

5.3.1 更新世末~完新世初期の海水準

本調査では，当該分野の専門家である活断層・火山研究部門・谷川晃一郎博士の助言に基づき，以下の文献をレビューした．世界的には，アイソスタシーの影響が比較的小さいと考えられ，氷河性海面変動をよく反映しているとされるタヒチ（ポリネシア）のサンゴ礁のデータを主とする文献として，Bard *et al.* (2010) と Deschamps *et al.* (2012) をレビューした．また，日本に近い東アジアのデータとして，黄海北部の堆積物の年代と堆積環境解析に基づく文献として，Liu *et al.* (2004) をレビューした．日本列島の更新世末~完新世初期の海水準に関しては，新潟平野

のボーリングコア解析に基づく Tanabe *et al.* (2010)，東京低地臨海部のボーリングコア解析に基づく田辺ほか (2012)，兵庫県の豊岡盆地（日本海に注ぐ円山川流域）のボーリングコア解析に基づく Tanigawa *et al.* (2013) をレビューした．

これらの文献に示された，若しくは文献中の図から読み取った9,000~15,000 cal yBPにおける海水準を第9表に示す．これによると，9,000 cal yBPでは，タヒチ・バルバドスと黄海北部・日本では10 mを超える差がある（前者の方が10 m以上，海水準が低い）．10,000 cal yBPでは，国内3か所の海水準のばらつきが9 mに達し，フォン半島・バルバドス・黄海北部の海水準はこのばらつきの範囲内に含まれる．11,000 cal yBP及び12,000 cal yBPにおける国内3か所の海水準は，タヒチ・フォン半島・バルバドスのばらつき内にほぼ含まれる．13,000~15,000 cal yBPについては，国内3か所のデータはないが，Deschamps *et al.* (2012) によるタヒチのサンゴ礁に基づく海水準と Liu *et al.* (2004) による黄海北部の堆積物データに基づく海水準に大きな差はない．

これらの値から，14,000 cal yBPには現海面下80~90 mにあった海水準は，13,000 cal yBPには現海面下68~70 m，12,000 cal yBPには同58~62 mに上昇し，11,000 cal yBPには現海面下44~52 mまで上昇したとまとめられる．

5.3.2 変位基準面の年代の推定（地殻上下変動を考慮しない場合）

第31図は，GS-MKO-1コアから得られた¹⁴C年代と試料の深度をプロットし，沖積層基底の深度（海面下68 m）に海水準が達した年代（第9表）から，掘削地点への海の侵入時期（沖積層の堆積開始時期と見なす）を13,000 cal yBPとして作成した深度-年代関係図である．これは，GS-MKO-1コア掘削地点では，海の侵入以降，地殻上下変動はなかったと見なした場合，即ち，地殻上下変動を考慮しない場合に当たる．

GS-MKO-1コアの基底（海底下深度4 m）と，沖積層基底（海底下深度17 m）の間の年代を推定するため，2つの破線を示した．上側の太い破線は，海が侵入した直後は海水準の上昇速度に近い高速で堆積が進み，その後，GS-MKO-1コア（深度0~4 m）の平均堆積速度（0.6 m/ky）まで減速したと仮定した場合である．「沿岸海域における活断層調査」において，平成23年度に実施した敦賀湾内における浦底一柳ヶ瀬山断層帯のコアリング調査では，これに類似する深度-年代曲線が得られている（杉山ほか，2012）．下側の細い破線は，海の侵入以降，一定の速度（約1.9 m/ky）で堆積が進んだ場合に当たる．実際の堆積は，これら2つの破線をほぼ最大のばらつき範囲として進行したと推定される．

このような考え方に基づいて作成した深度-年代

関係図に、M-3.5B 測線の反射断面上で読み取ったコア掘削地点における各変位基準面（反射面 A~C）の深度をプロットすることにより、それらの年代を推定した（第 31 図）。これによると、反射面 A~C の年代は、それぞれ、約 6,500~7,000 cal yBP, 約 8,000~11,500 cal yBP, 約 10,000~12,000 cal yBP と見積もられる。

5.3.3 変位基準面の年代の推定（地殻上下変動を考慮した場合）

5.3.3.1 断層活動による隆起・沈降

a) 1662 年寛文地震に伴う隆起・沈降

1662 年寛文地震時には、地変に関する史料の検討や地震後の河川改修に伴う地形の変化から、三方五湖地域において地殻上下変動があったと考えられている（岡田，1984；小松原ほか，1999 など）。小松原ほか（1999）の取りまとめによると、久々子湖周辺とその南の水月湖の北東岸~菅湖東岸は隆起し、水月湖と三方湖の西岸は沈降した。隆起に関する史料の信憑性は高く、隆起量は菅湖東岸の旧木山川の川口付近で 3~3.6 m, 水月湖北東岸で 1.5~2.4 m, 久々子湖東岸域で 2.6 m 程度と推定される（小松原ほか，1999；金田ほか，2000）。一方、沈降に関する史料の信憑性には若干の疑問が残るものの、水月湖・三方湖東岸の沈降量は 1.5 m 程度と推定され（小松原ほか，1999）、金田ほか（2000）は 1.3 m の沈降を示す沈水海食洞を報告している。このような地震時地殻変動を生起した断層は、菅湖付近で三方断層から分岐し、水月湖東部と日向湖の湖底を北上して日向沖約 1.5 km の若狭湾底まで追跡される日向断層（金田ほか，2000）である可能性が高い（金田ほか，2000；小松原ほか，2000）。

以上の既往の検討結果に基づくと、1662 年寛文地震時の三方断層帯日向断層の活動に伴う隆起量は最大 3~3.6 m, 沈降量は 1.5 m 程度であり、沈降量は最大隆起量の半分~40%程度であったと推定される。

b) 半無限弾性体における断層変位理論に基づく逆断層運動による隆起・沈降

本調査では、日本原子力発電から貸与を受けた既往音波探査記録（NDGMX2-1, NDGM10 測線などの反射断面）を用いて、最終間氷期~最終氷期の堆積物の基底面を、大陸棚外縁部から GS-MKO-1 コア掘削地点付近まで、陸側へ追跡した。その結果によると、同コア掘削地点付近を東西に縦断する DU10 測線では、最終間氷期~最終氷期の堆積物の基底は、三方断層帯海域部の撓曲構造の基部から約 1 km 東側（測位点 18~19 間）を冠（crest）とする非対称背斜状に変形している（第 32 図）。海底下 0~20 m の反射面群の傾斜方向から判断すると、背斜の東翼は約 4 km の幅があり、DU10 測線（第 24 図）の測位点 35 に及ぶ。

半無限弾性体における断層変位理論に基づく逆断

層運動による地表変位分布（例えば青柳・阿部，2007）によると、このような背斜状の変形は、断層の上縁深度が約 1 km 以浅で、鉛直投影した断層面の幅が約 5 km ないしこれよりやや狭いことを示唆する。鉛直投影断層幅 5 km, 断層上縁深度 1 km, 断層の下端はこの地域の地震発生層下端（深度約 15 km）と仮定した場合、断層面の傾斜は約 70°となる。断層面の傾斜が 70°の場合、上述した地表変位分布（青柳・阿部，2007）では、断層の上縁深度 0 km の場合の最大沈降量は最大隆起量の約半分、同深度 5 km の場合の最大沈降量は最大隆起量の約 40%となり、寛文地震時の地殻変動パターンとほぼ一致する。

以上の a) 及び b) の検討から、本研究では、GS-MKO-1 コア掘削地点付近における沖積層基底の約 11 m の上下変位を、隆起 8~7 m, 沈降 3~4 m と見なす。

5.3.3.2 断層帯の両側に及ぶ広域上下変動

前項 b) で述べたように、本調査では、既往の音波探査記録を用いて、大陸棚外縁部から GS-MKO-1 コア掘削地点近傍まで、最終間氷期~最終氷期の堆積物の基底を追跡した。その結果によると、三方断層帯海域部の隆起側（東側）では、後氷期海進に伴って堆積した沖積層の下位に、最終間氷期~最終氷期に堆積したと考えられる地層（3. で述べた音響層序の V 層上部に対応）が分布する（第 32, 33 図）。この事実は、GS-MKO-1 コア掘削地点近傍では、三方断層帯海域部の活動による隆起を上回る広域沈降が起きていることを示唆する。隆起側における最終間氷期~最終氷期堆積物の厚さは 7~12 m 程度、同堆積物基底の現海底からの深さは 10~15 m 程度である。本調査では、最終間氷期の海水準と後氷期海進の海水準に大きな違いはないと仮定し、13 万年前以降、現在までの隆起側の沈降（=広域沈降-断層活動による隆起）を 10~15 m と見なす。この場合、広域沈降の速度を一定と考えると、沖積層基底形成（1.3 万年前~やや若い時代）以降の隆起側の沈降（=広域沈降-断層活動による隆起）は 1~1.5 m となる。沖積層基底形成以降の断層活動による隆起を上述のように 7~8 m とみなした場合、同期間の広域沈降は 8~9.5 m となる。

5.3.3.3 各変位基準面の年代の推定

前項での検討に基づくと、沖積層基底形成以降の三方断層帯海域部の西側（断層下盤側）の沈降量は、断層活動による沈降（3~4 m）と広域沈降（8~9.5 m）の和として、11~13.5 m となる。GS-MKO-1 コア掘削地点における沖積層基底は、現在、現海面下 68 m に位置するが、このような地殻上下変動を考慮した場合には、その形成時には 11~13.5 m 程度、現在の位置より浅かったことになる。

第 34 図は、このように考えた場合の GS-MKO-1

コア掘削地点における深度-年代関係である。この場合，コア掘削地点への海の侵入は，地殻上下変動を考慮しない場合よりも約1,000~1,500年ほど遅く，約12,000~11,500 cal yBPとなる。GS-MKO-1コアの基底と沖積層基底を結ぶ2つの破線の深度-年代曲線も幾分年代が若い方にシフトし，結果として，各変位基準面の推定年代も地殻上下変動を考慮しない場合（第31図）よりも幾分若くなる。但し，年代の変化は，最も大きな反射面D（沖積層基底）で約8~12%であり，上位の変位基準面（反射面）ほど小さくなっている。第10表には，各変位基準面の推定年代とこれから見積もられる変位速度を，地殻上下変動を考慮した場合と考慮しない場合を比較する形で示した。

5.4 三方断層帯海域部の更新世末期以降の活動

5.1~5.3における検討に基づく，GS-MKO-1コア掘削地点付近の三方断層帯海域部（A断層系）の更新世末期以降の活動は次のようにまとめられる。

5.4.1 平均変位速度

沖積層基底（IV層基底=反射面D）を基準に取ると，GS-MKO-1コア掘削地点付近の三方断層帯海域部（A断層系）の更新世末期以降の平均上下変位速度は，0.7~0.8 m/ky（地殻上下変動を考慮しない場合），若しくは0.8~1.0 m/ky（同変動を考慮した場合）と推定される。この値は，地震調査委員会（2003）が水野ほか（1999）の調査結果に基づいて推定した三方断層帯の平均上下変位速度（約0.8 m/ky），及び小松原ほか（2000）が日向断層北部（海域部）について推定した同速度（約1 m/ky）と同等である。

5.4.2 活動履歴

(1) 反射面D形成後，反射面C形成前の活動

沖積層基底（IV層基底）に当たる反射面Dとその上位の反射面C（III層基底）との上下変位量の差（約2~3 m）から，反射面D形成後，反射面C形成前（IV層堆積中）に，少なくとも1回の断層活動があった可能性が高い。活動は1回だけであったと考えた場合，1回変位量は約2~3 mであったことになる。

またその年代は，海水準変動に関する最近の文献レビュー結果とGS-MKO-1コアの¹⁴C年代測定結果によると，約13 ka以降，約10~12 ka以前（地殻上下変動を考慮しない場合），若しくは約11.5~12 ka以降，約9~11.5 ka以前（同変動を考慮した場合）と推定される。

(2) 反射面B形成後の複数回の活動

反射面C（III層基底）と反射面B（I層基底）の上下変位量は約7~8 mであることから，反射面Bの形成後（I層の堆積開始以降）に複数回の断層活動があった可能性が高い。反射面Bの形成年代は約8~11.5 ka（地殻上下変動を考慮しない場合），若し

くは約7.5~11 ka（同変動を考慮した場合）と推定され，この年代以降に複数回の断層活動があったと考えられる。

(3) 反射面A形成後の活動及び1662年寛文地震との関係

反射面Aの上下変位量は4 m以上であることから，三方断層帯海域部は約6.5~7 kaと推定される反射面Aの形成後にも活動している。

反射面A形成後の断層活動の時期及びこの活動と1662年寛文地震との関係については，確定的なデータは得られなかった。但し，第35図に示すように，M-3B測線では，断層下盤側のI層上部の内部反射面（赤点線）が撓曲変形を受けた反射面Aに対してオンラップしているように見える。更に，撓曲部の海底地形は撓曲変形した反射面より傾斜が緩く，傾斜部の幅は撓曲変形部よりも広がっている（第29, 30図）。これらは，最新活動後の撓曲崖の浸食・平滑化が進んでいることを示している。以上のことから，本調査海域の三方断層帯（A断層系）は，1662年寛文地震時には海底直下の撓曲変形を成長させるような活動を行わなかった可能性がある。

GS-MKO-1コアの詳細観察及び分析・測定では，深度2.92~3.11 mに極細粒砂と細粒砂の細互層が見られ（第21, 22図），この層準から採取した貝試料からは，全体の年代-深度関係よりも有意に古い年代が得られた（第23図）。また，この細互層からその直下の深度約3.2 mまでの層準では，帯磁率が全体的に高く，変動も大きい（第21図）。これらの調査結果から，一つの可能性として，約5 kaに三方断層帯海域部が活動し，撓曲変形部~断層帯東側（隆起側）が崩壊若しくは浸食され，水中に巻き上げられた碎屑粒子が断層帯西側（低下側）のGS-MKO-1地点周辺に堆積したことが考えられる。

このように考えた場合，三方断層帯海域部は約5 kaに最新の活動を行い，1662年寛文地震時には活動していない可能性が指摘できる。今後，撓曲崖に隣接した部分や隆起側で堆積物を採取し，詳細な観察及び分析・測定を行うなど，地質学的研究を進めると共に，海中での撓曲崖の経時変化に関する実験や数値解析などを進めることが期待される。

5.4.3 1回の活動に伴う上下変位量と平均活動間隔

反射面D形成後，反射面C形成前（IV層堆積中）の活動が1回だけであったと仮定すると，この活動によるボーリング調査地点付近の三方断層帯海域部の上下変位量は約2~3 mであったと考えられる。この約2~3 mの変位量を平均的な1回の活動に伴う変位量と見なした場合，三方断層帯海域部の平均活動間隔は，上で述べた平均変位速度から，約2,500~4,300年（地殻上下変動を考慮しない場合）若しくは約2,000~3,800年（同変動を考慮した場合）と計算される。上述したように，三方断層帯海域部では，

約 13~11.5 ka の更新世末以降、少なくとも 3 回の断層活動があったと推定され、実際の断層活動の間隔はこの計算値から大きくは外れていないと推察される。また、この計算値は、地震調査委員会 (2003) が陸域の三方断層帯について推定した平均活動間隔 (約 3,800~6,300 年) よりも短い。

5.5 陸上の三方断層帯の活動履歴との比較及び今回の調査の意義

三方断層帯については、既述のように、史料に記録された地変の解析などから、1662 年寛文地震時に最新活動が生じたと考えられている (岡田, 1984; 小松原ほか, 1999 など)。最新活動より前の活動履歴については、三方五湖沿岸域で掘削されたボーリングコア中に認められる上方粗粒化の繰り返しや堆積環境の急変などを主な論拠として、活動時期が推定されている (第 36 図; 石村ほか, 2010; 岡田ほか, 2010; Katoh *et al.*, 2013; 石村ほか, 2013)。石村ほか (2010) によると、各上方粗粒化層は粘土などの細粒堆積物に急激に覆われている。このような急激な層相の変化は、三方断層帯の活動による三方五湖地域の沈降に起因すると考えられているが、より直接的なデータによる検証が望まれる。今回の三方断層帯海域部の調査では、既往のデータも含めて、鮮明な音波探査記録上での累積上下変位量の解析から、更新世末以降、複数回 (3 回以上) の活動があった可能性を明らかにした点で意義がある。また、今回の調査によって、三方断層帯海域部 (A 断層系) の活動性は、三方五湖付近の同断層帯 (日向断層・三方断層) と同等であることが確認された。一方、1662 年寛文地震時の断層活動が日向断層 (金田ほか, 2000) から A 断層系にまで及んだか否かについては、確定的なデータが得られなかった。この問題については、三方断層帯における地震発生の切迫性と多様性 (分割放大型地震の可能性など) を明らかにするため、更なる調査・研究の実施が望まれる。

6. まとめ

三方断層帯海域部のシングルチャンネル及びマルチチャンネル音波探査とボーリング調査の結果、同断層帯の過去の活動について、以下のことが明らかになった (第 11 表)。

(1) 平均変位速度

ボーリング調査地点付近の三方断層帯海域部 (A 断層系) の更新世末以降の平均上下変位速度は、0.7~0.8 m/ky (地殻上下変動を考慮しない場合)、若しくは 0.8~1.0 m/ky (同変動を考慮した場合) と推定される。この値は、陸域の三方断層帯の平均上下変位速度 (約 0.8 m/ky) や日向断層北部 (海域部) の同速度 (約 1 m/ky) と同等である。

(2) 断層活動の層準・時期

音波探査結果から、三方断層帯海域部 (A 断層系) は、広義の沖積層が堆積を開始した更新世末以降、複数回の断層活動を行ってきたことが分かった。また、深度 4 m のボーリング調査結果と更新世末以降の海水準に関する文献のレビュー結果に基づいて見積もった年代と、それに既往音波探査データから推定される広域の上下変動も考慮して見積もった年代を用いて、断層活動の年代を推定した。推定された断層活動の層準、時期、上下変位量、回数などは以下の通りである。

1) 反射面 D-反射面 C 間 (IV 層堆積中) の活動

- ・活動時期は約 13 ka 以降、約 10~12 ka 以前 (広域の上下変動を考慮しない場合)、若しくは約 11.5~12 ka 以降、約 9~11.5 ka 以前 (同変動を考慮した場合)。

- ・上下変位量は約 2~3 m であり、1 回以上の断層活動があった可能性がある。

2) 反射面 B 形成後 (I 層堆積開始以降) の活動

- ・活動時期は約 8~11.5 ka 以降 (広域の上下変動を考慮しない場合)、若しくは約 7.5~11 ka 以降 (同変動を考慮した場合)。

- ・反射面 B は約 7~8 m の上下変位を被っており、同反射面の形成後に 2 回以上の断層活動があった可能性が高い。

- ・形成年代が約 6.5~7 ka と推定される反射面 A が 4 m 以上の上下変位を被っていることから、最新活動は反射面 A の形成後である。

- ・ボーリング調査結果から、約 5 ka に断層活動が生じた可能性がある。

(3) 1662 年寛文地震時の活動の有無

今回の調査では、1662 年寛文地震時に三方断層帯海域部 (A 断層系) が活動したか否かについては、確定的なデータが得られなかった。音波探査により明らかになった反射面の撓曲変形と海底面との関係、ボーリング調査で明らかになった各層準の層相及び堆積年代は、寛文地震時には海底直下の撓曲変形を成長させるような活動は起きなかった可能性を示唆する。

(4) 1 回変位量と平均活動間隔

反射面 D-C 間の活動が 1 回だけであったとすると、この時の三方断層帯海域部 (A 断層系) の変位量は約 2~3 m であったと考えられる。

この変位量を平均的な 1 回変位量と見なした場合、三方断層帯海域部 (A 断層系) の活動間隔は、上で述べた平均変位速度から、大雑把に 2 千~4 千年程度と推定される。この活動間隔は、陸域の三方断層帯について求められた活動間隔 (約 3.8 千~6.3 千年; 地震調査委員会, 2003) よりも短い。

貸与・開示を受けた資料

本調査に際しては，日本原子力発電株式会社から，以下の資料の貸与を受けた。

- ・福井県三方郡美浜町沖のブーマー・マルチチャンネル音波探査記録（29測線）及び測線図
- ・福井県三方郡美浜町沖のブーマー・シングルチャンネル音波探査記録（15測線）及び測線図

謝辞 本調査の実施に際しては，福井県安全環境部危機対策・防災課，同県農林水産部水産課，福井県漁業協同組合連合会，及び美浜町漁業協同組合の関係者の皆様に，本調査の計画段階からご協力・ご指導を戴いた。また，調査船及び警戒船の借り上げに際しては，美浜町漁業協同組合の関係の皆様にご協力・ご尽力を賜った。更に，日本原子力発電株式会社には，既往調査データの開示・借用について，全面的なご協力を戴いた。活断層・火山研究部門の谷川晃一朗博士には，更新世末～完新世初期の海水準変動に関する最近の研究について御教示頂いた。

ここに記して，以上の皆様に篤く御礼申し上げます。

文 献

- 青柳恭平・阿部信太郎（2007）海嶺の地形断面に基づく日本海東縁部の断層モデル—断層関連褶曲の非対称性に着目した断層パラメータ推定手法の提案—。電力中央研究所報告，N06014，21p.
- Bard, E., Hamelin, B. and Delanghe-Sabatier, D. (2010) Deglacial Meltwater Pulse 1B and Younger Dryas Sea Levels Revisited with Boreholes at Tahiti. *Science* 327, 1235-1237, doi: 10.1126/science.1180557.
- Deschamps, P., Durand, N., Bard, E., Hamelin, B., Camoin, G., Thomas, A. L., Henderson, G. M., Okuno, J. and Yokoyama, Y. (2012) Ice-sheet collapse and sea-level rise at the Bølling warming 14,600 years ago. *Nature*, 483, 559-564, doi: 10.1038/nature10902.
- Heaton, T.J., Blackwell, P.G. and Buck, C.E. (2009) A Bayesian approach to the estimation of radiocarbon calibration curves: the INTCAL09 methodology. *Radiocarbon*, 51, 1151-1164.
- 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.
- 石村大輔・加藤茂弘・岡田篤正・武村恵二（2010）三方湖東岸のボーリングコアに記録された三方断層帯の活動に伴う後期更新世の沈降イベント。地学雑誌，119, 775-793.
- 石村大輔・加藤茂弘・岡田篤正（2013）福井県，三方湖・中山低地の地下地質情報に基づく三方断層帯の活動性。日本活断層学会 2013 年度秋季学術大会講演予稿集，26-27.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会（2003）三方・花折断層帯の長期評価について。http://www.jishin.go.jp/main/chousa/03mar_mikata/index.htm
- 海上保安庁（1980）5 万分の 1 沿岸の海の基本図海底地形地質調査報告書「若狭湾東部」。33p.
- 金田平太郎・岡田篤正・小松原琢（2000）若狭湾沿岸・三方五湖周辺における 1662 年寛文地震時の地殻変動。月刊地球，号外 28，119-126.
- 関西電力株式会社（2008）美浜・高浜・大飯発電所「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果中間報告書。
- 関西電力株式会社（2012）平成 23 年東北地方太平洋沖地震の知見等を踏まえた原子力施設への地震動及び津波の影響に関する安全性評価のうち完新世に関する津波堆積物調査の結果について。265p.
- Katoh, S., Ishimura, D., Okada, A. and Takemura, K. (2013) Late Quaternary sedimentation history at the eastern coast of Lake Mikata, western Japan, relating to the Mikata fault zone activity. Abstracts of IGU2013 Kyoto Regional Conference, Poster_A, 6.
- 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.
- 小松原 琢・水野清秀（2009）琵琶湖西岸断層帯と三方—花折断層帯。日本地質学会編「日本地方地質誌 5 近畿地方」，朝倉書店，314-317.
- 小松原 琢・水野清秀・寒川 旭・山崎晴雄（1999）三方断層のトレンチ調査と寛文地震時の地殻変動に関する検討。地質調査所速報，EQ/99/3（平成 10 年度活断層・古地震研究調査概要報告書），187-195.
- 小松原 琢・杉山雄一・水野清秀（2000）若狭湾中部，三方断層および野坂断層北方延長部の音波探査。地質調査所速報，EQ/00/2（平成 11 年度活断層・古地震研究調査概要報告書），89-118.
- Liu, J.P., Milliman, J.D., Gao, S. and Cheng, P. (2004) Holocene development of the Yellow River's subaqueous delta, North Yellow Sea. *Marine Geology*, 209, 45-67. doi: 10.1016/j.margeo.2004.06.009.
- 町田 洋・新井房夫（2003）新編火山灰アトラス—日本列島とその周辺。東京大学出版会，336p.
- 水野清秀・小松原琢・山崎晴雄（1999）音波探査及びボーリングによる三方五湖低地帯の地下構造調査。地質調査所速報，EQ/00/2（平成 11 年度活断層・古地震研究調査概要報告書），187-195.
- 中江 訓・小松原 琢・内藤一樹（2002）西津地域の地質。地域地質研究報告（5 万分の 1 地質図幅），産業技術総合研究所地質調査総合センター，90p.
- 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，60p.

- 日本原子力発電株式会社 (2004) 敦賀発電所原子炉設置変更許可申請書 (3号及び4号原子炉の増設).
- 日本原子力発電株式会社 (2008) 敦賀発電所3号及び4号炉の安全審査に係る追加調査報告書.
- 日本原子力発電株式会社 (2010) 敦賀発電所原子炉設置変更許可申請書 (3号及び4号原子炉の増設) (平成21年10月一部補正, 平成22年12月一部補正).
- 日本原子力研究開発機構 (2008) 高速増殖原型炉もんじゅ「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果報告書.
- 岡田篤正 (1984) 三方五湖低地の形成過程と地殻変動. 鳥浜貝塚—縄文前期を主とする低湿地遺跡の調査4—, 福井県立若狭歴史民族博物館, 9-42.
- 岡田篤正 (2004) 若狭湾沿岸と丹後半島. 太田陽子・成瀬敏郎・田中眞吾・岡田篤正編「日本の地形6近畿・中国・四国」, 東大出版会, 179-189.
- 岡田篤正・金田平太郎・杉戸信彦・鈴木康弘・中田 高 (2012) 1:25,000 都市圏活断層図三方断層帯とその周辺「三方」. 国土地理院技術資料, D1 - No. 602.
- 岡田篤正・加藤茂弘・石村大輔・斎藤 真 (2010) 福井県, 三方湖および中山低地の地下地質と三方断層帯の活動解明. 地学雑誌, 119, 878-891.
- 岡田篤正・東郷正美編 (2000) 「近畿の活断層」. 東京大学出版会, 395p.
- Reimer, P.J., Baillie, M.G.L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C., Buck, C.E., Burr, G.S., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hajdas, I., Heaton, T.J., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kaiser, K.F., Kromer, B., McCormac, F.G., Manning, S.W., Reimer, R.W., Richards, D.A., Southon, J.R., Talamo, S., Turney, C.S.M., van der Plicht, J. and Weyhenmeyer, C.E. (2009) IntCal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0-50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, 51, 1111-1150.
- 産業技術総合研究所・東海大学 (2014) 平成25年度沿岸海域における活断層調査三方・花折断層帯 / 三方断層帯 (海域部) 成果報告書. 31p. http://www.jishin.go.jp/main/chousakenkyuu/engankaiiki/h25/h25_mikata.pdf
- 杉山雄一・坂本 泉・滝野義幸・宇佐見琢哉・永田高弘 (2012) 敦賀湾における浦底断層 (浦底—柳ヶ瀬山断層帯) の採泥調査. 活断層・古地震研究報告, No.12, 103-148.
- 竹村恵二・北川浩之・林田 明・安田喜憲 (1994) 三方湖・水月湖・黒田低地の堆積物の層相と年代—三方低地の最終間氷期以降の堆積環境—. 地学雑誌, 103, 233-242.
- Tanabe, S., Nakanishi, T. and Yasui, S. (2010) Relative sea-level change in and around the Younger Dryas inferred from late Quaternary incised-valley fills along the Japan Sea. *Quaternary Science Reviews*, 29, 3956-3971, doi: 10.1016/j.quascirev.2010.09.018.
- 田辺 晋・中島 礼・内田昌男・柴田康行 (2012) 東京低地臨海部にみられる湾口砂州の形成機構. 地質学雑誌, 118, 1-19.
- Tanigawa, K., Hyodo, M. and Sato, H. (2013) Holocene relative sea-level change and rate of sea-level rise from coastal deposits in the Toyooka Basin, western Japan. *The Holocene*, 23, 1039-1051. doi: 10.1177/0959683613479680.
- 堤 浩之・熊原康博・千田 昇・東郷正美・平川一臣・八木浩司 (2005) 1:25,000 都市圏活断層図「熊川」. 国土地理院技術資料, D・1-No. 449.

(受付: 2014年7月17日, 受理: 2014年8月13日)

第1表. マルチチャンネル音波探査測線一覧表.

Table 1. List of survey lines for multichannel seismic profiling.

	測線名	調査日	測点	方向	shot間隔 (m)	収録長 (Sec)	ブーマー (J)	LENGTH [km]	備考
三方断層帯	M-2.5B	8月6日	#1-71	E→W	1.25	0.6	200	8.75	
	M-3.5B	8月6日	#1-31	W→E	1.25	0.6	200	3.75	
	M-3B	8月6日	#1-31	E→W	1.25	0.6	200	3.75	
	M-5B	8月6日	#1-24	SW→NE	1.25	0.6	200	2.88	
	GK-7B	8月6日	#1-20	S→N	1.25	0.6	200	2.37	
	MK-10B	8月6日	#1-23	N→S	1.25	0.6	200	2.75	
	MK-11B	8月6日	#1-25	N→S	1.25	0.6	200	3.00	
野坂断層帯	N-2.5B	8月7日	#1-14	SW→NE	1.25	0.6	200	1.62	
	N-3.5B	8月7日	#1-14	NE→SW	1.25	0.6	200	1.63	
	N-3B	8月7日	#1-15	SW→NE	1.25	0.6	200	1.75	
	N-4.5B	8月7日	#1-14	SW→NE	1.25	0.6	200	1.62	
	N-4B	8月7日	#1-17	NE→SW	1.25	0.6	200	2.00	
	N-5.5B	8月7日	#1-14	SW→NE	1.25	0.6	200	1.62	
	N-5B	8月7日	#1-14	NE→SW	1.25	0.6	200	1.62	
	N-6B	8月7日	#1-15	NE→SW	1.25	0.6	200	1.75	
	N-7B	8月7日	#1-15	SW→NE	1.25	0.6	200	1.75	
	N-8B	8月7日	#1-14	NE→SW	1.25	0.6	200	1.62	
	N-9B	8月8日	#1-15	SW→NE	1.25	0.6	200	1.75	
	N-103B	8月7日	#1-25	SE→NW	1.25	0.6	200	3.00	
	N-103B-2	8月8日	#1-12	SE→NW	1.25	0.6	200	1.37	N-103Bの#1-6の0.63km重複
	N-5B-2	8月7日	#1-14	SW→NE	1.25	0.6	200	1.62	N-5Bの再測1.62km重複
	N-5B-3	8月8日	#1-8	NE→SW	0.625	0.3	100	0.87	ポーリング調査候補測線と したため、観測条件を変えて 調査を実施
	N-5B-4	8月8日	#1-8	NE→SW	0.625	0.3	50	0.87	
	N-5B-5	8月8日	#1-9	NE→SW	1.25	0.6	300	1.00	
N-5.5B-2	8月8日	#1-10	SW→NE	0.625	0.3	100	1.12		
N-5.5B-3	8月8日	#1-10	SW→NE	0.625	0.3	50	1.12		
N-5.5B-4	8月8日	#1-9	SW→NE	1.25	0.6	300	1.00		
	合計							57.95 km	
	重複部を除いた合計							55.7 km	

*赤字は重複したものを示す

第2表. マルチチャンネル音波探査観測条件一覧表.
Table 2. Data acquisition parameters for multichannel seismic profiling.

調査方式		ブーマー方式
送信部	送波器 (音源)	ブーマー 電磁誘導振動素子1個 送信電圧: 2.5-3.9kV
	発振エネルギー	200J [50J、100J、300J]※
	送波器の深度	0.3m
	発振間隔	約1.25m [約0.625m]※
受信部	受波器の型及び 素子数	圧電型振動素子5素子/ch
	チャンネル数	12
	チャンネル間隔	2.5m
	受波器の深度	0.5m
デジタル記録	収録時間	0.6sec [0.3sec]※
	A/D変換(量子化)	16bit
	サンプリング 周波数	10,000Hz
モニター記録	受信周波数	700~2,000Hz
	記録掃引時間	0.2sec [0.1sec]※
	記録深度範囲	約150m [約75m]※
	記録方式	感熱
	記録密度	100Line/inch
	有効記録幅	254mm (10in)
	測点間隔	125m (約100ショットごと)
	船の速度	3~4ノット

※ [] 海上ボーリング調査予定地点付近の測線で実施した観測条件

第3表. 本調査と小松原ほか（2000）による音響層序の比較.

Table 3. Acoustic stratigraphy comparison between this survey and Komatsubara *et al.* (2000).

本 調 査				小松原ほか (2000)		
推定 地質時代	反射面	シングル チャンネル探査 音響層序*	マルチチャンネル探査 音響層序	音響層序	推定 地質時代	
完新世	反射面 A	A 層	沖積層 (広義)	I 層	a 層	中～後期 完新世
	反射面 B			II 層	e 層	更新世末～ 完新世初頭
後期 更新世	反射面 C	III 層		g 層	h 層	後期更新世 の後期
	反射面 D			IV 層		
前～中期 更新世			V 層	i 層・j 層	更新世	
				k 層	鮮新世 ～更新世	
鮮新世			VI 層			

* 産総研・東海大学 (2014) による.

第4表. 海上ボーリングに使用したサンプラーと主な対象堆積物.
Table 4. Samplers used for offshore drilling and major applicable deposits.

サンプラー	主な対象堆積物	備 考
固定ピストン式 シンウォールサンプラー	柔らかい粘土～シルト層	水圧式
打込み式 二重管サンプラー	硬い粘土～シルト層 緩い砂層・砂礫層	スリーブ内蔵
ロータリー式 二重管サンプラー	硬い粘土～シルト層 締まった砂層・砂礫層	スリーブ内蔵

第5表. 帯磁率計の規格・性能.
Table 5. Specifications of magnetic susceptibility measurement apparatus.

型 式	規 格 ・ 性 能
Bartington 社製 MS2C	材質：白色ポリアセタール 重量：2.0～2.7kg（ローブの直径により変化） 寸法：290×200×160mm コイル直径 D：センサー孔の通常直径+8mm 作動周波数：0.565kHz 最大分解能： 2×10^{-7} CGS 精度：5% ドリフト誘発温度： 1×10^{-6} CGS/時 測定間隔：×1レンジ CGS で 0.9 秒 空間分解能：20mm 磁場強度：80A/m rms

第6表. GS-MKO-1 コアの ¹⁴C 年代測定結果.

Table 6. List of ¹⁴C dating samples and results for core GS-MKO-1.

試料番号	深度(m)	層相	種類*	測定機関 ID (Beta-)	未補正 ¹⁴ C 年代 (yBP)	δ ¹³ C (‰)	同位体分別 補正 ¹⁴ C年 代(yBP)	暦年較正年代 (2σ; cal yBP)	摘要
MK-1	0.15-0.20	細粒砂	ナミジワシラスナガイ	364863	40 ± 30	+3.2	500 ± 30	240 to post 1950	
MK-2	0.30-0.35	細粒砂	シドロ	364864	210 ± 30	+0.1	620 ± 30	300 to 240	
MK-3	0.40-0.45	細粒砂	シラスナガイ	364865	10 ± 30	+2.4	460 ± 30	130 to post 1950	スライム?
MK-4	0.79-0.80	細粒砂	木片	364866	1660 ± 30	-25.1	1660 ± 30	1690 to 1680, 1620 to 1520	
MK-5	0.82	細粒砂	ナミジワシラスナガイ	364867	1890 ± 30	+4.1	2370 ± 30	2070 to 1910	
MK-6	1.40-1.45	細粒砂	ナミジワシラスナガイ	364868	420 ± 30	+2.4	870 ± 30	520 to 450	スライム
MK-7	1.51	細粒砂	シドロ	364869	830 ± 30	+0.9	1250 ± 30	870 to 720	スライム
MK-8	1.56	細粒砂	炭質物	364870	3180 ± 30	-28.0	3130 ± 30	3400 to 3330, 3280 to 3270	
MK-9	1.55-1.60	細粒砂	巻貝片	364871	3080 ± 30	+2.3	3530 ± 30	3460 to 3350	
MK-10	1.60-1.65	細粒砂	貝片	364872	2510 ± 30	+0.4	2930 ± 30	2740 to 2680	
MK-11	3.05-3.10	極細砂/細砂互層	ヒメキリガイダマシ	364873	6560 ± 30	+3.6	7030 ± 30	7560 to 7460	再堆積
MK-12	3.15-3.20	細粒砂	貝片	364874	5160 ± 30	+0.8	5580 ± 30	6080 to 5890	
MK-13	3.50-3.55	細粒砂	チゴトリガイ	364875	4900 ± 30	+1.6	5340 ± 30	5740 to 5620	
MK-14	3.50-3.55	細粒砂	ウニ(ブンブク)	364876	4650 ± 30	-0.7	5050 ± 30	5460 to 5300	
MK-15	3.75-3.80	細粒砂	ウニ(ブンブク)	364877	5270 ± 30	+1.5	5700 ± 30	6180 to 6010	
MK-16	3.75-3.80	細粒砂	シラスナガイ	364878	5440 ± 30	+2.8	5900 ± 30	6380 to 6260	

*貝類の鑑定は柚原備也氏による。

第7表. GS-MKO-1 コアの火山灰分析結果.

Table 7. Results of tephra analysis of core GS-MKO-1.

深度(m)	火山ガラスの形態別含有量(/3000粒子)			重鉱物の含有量(/3000粒子)			β石英 (/3000粒子)	特記鉱物	火山ガラスの屈折率	テフラ名
	Bw	Pm	O	Opx	Gho	Cum				
3.00-3.05	0.2	0.0	0.0	0.2	0.3	0.0	0.0			
3.20-3.25	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	石英付着ガラス含む		
3.50-3.55	1.3	0.0	0.0	0.2	0.4	0.0	0.0			
3.70-3.75	1.2	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0	0.0			
3.90-3.95	6.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		1.508-1.517	K-Ah混在

Bw: バブルウォールタイプ
Pm: パミスタイプ
O: 低発泡タイプ

Opx: 斜方輝石
Gho: 緑色普通角閃石
Cum: カミングトン閃石

第8表. 各測線における反射面A~Dの上下変位量.

Table 8. Vertical displacement of reflection surfaces A-D along each seismic profiling line.

	M-3B測線での 上下変位量	M-3.5B測線での 上下変位量	DU10測線での 上下変位量	EW2測線での 上下変位量
反射面A	4m以上	4m以上	3m以上	—
反射面B	約8m	約7m	約7m	約7m
反射面C	約8m	約7m	約7m	約7m
反射面D (沖積層基底)	約11m	約10m	約10m	約9m

第9表. 更新世末~完新世初期の海水準に関する文献レビュー結果.

Table 9. A review of recent papers on the sea level in the latest Pleistocene and early Holocene time.

年代 (cal yBP)	Deschamps et al. (2012)	Bard et al. (2010)	Liu et al. (2004)	Tanabe et al. (2010)	田辺ほか (2012)	Tanigawa et al. (2013)	主な範囲
9,000		28,28 (T,B)	13(黄海北部)		17(東京)	17(豊岡盆地)	17~28
10,000		40,35,36 (T,H,B)	35(黄海北部)	38(新潟)	29(東京)	30(豊岡盆地)	30~40
11,000		51,52,45 (T,H,B)	39(黄海北部)	51(新潟)	47(東京)	44(豊岡盆地)	44~52
12,000	60,58,61 (T,H,B)	61,56,62 (T,H,B)	65(黄海北部)	61(新潟)			58~62
13,000	70,69,69 (T,H,B)	70,68,68 (T,H,B)	68(黄海北部)				68~70
14,000	83,90 (T,B)	83 (T)	80(黄海北部)				80~90
15,000	108 (T)		100(黄海北部)				100~108

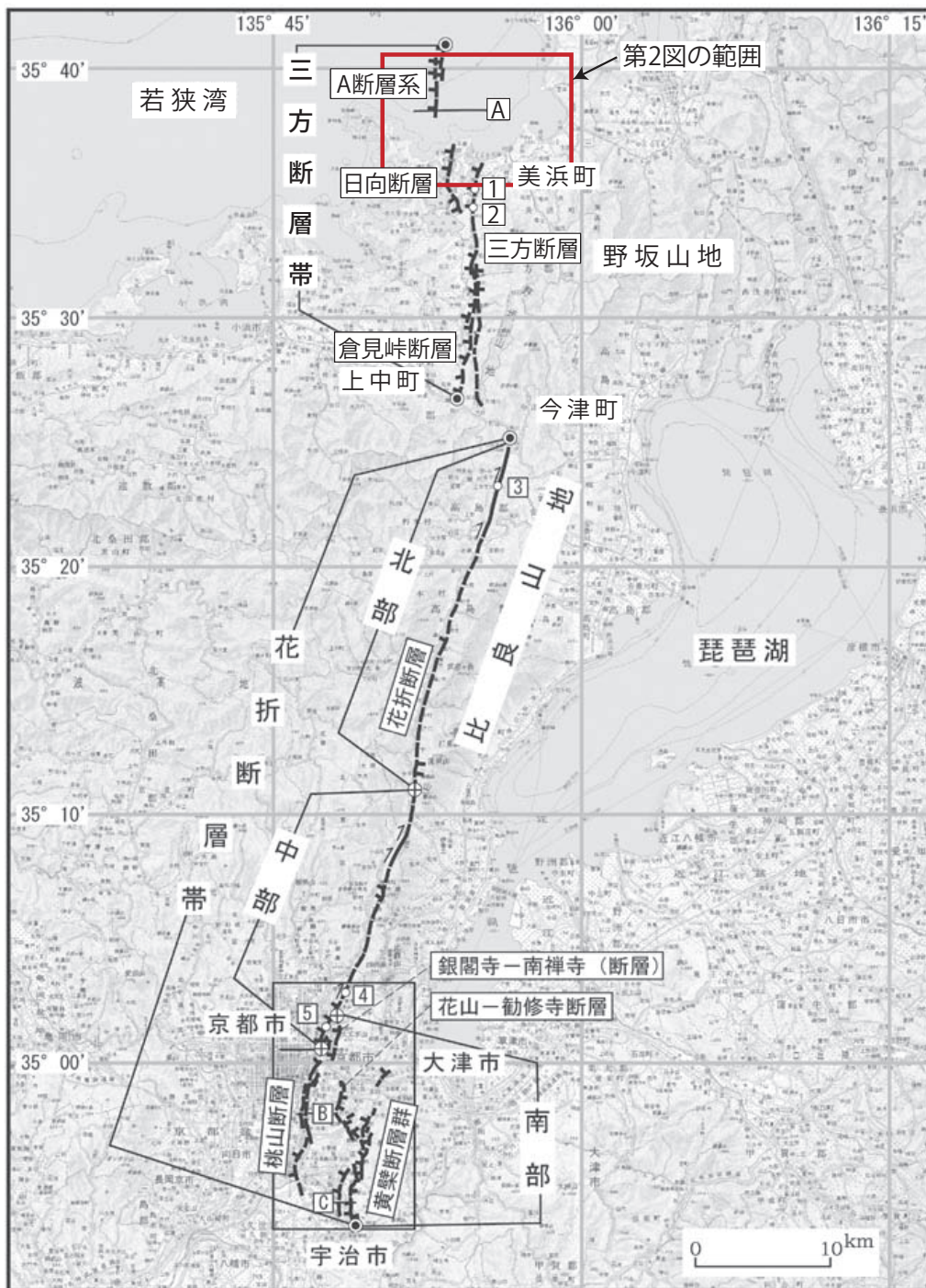
海水準は現海面下の深度(m). T:タヒチ、H:フォン半島(ニューギニア)、B:バルバドス(ベネズエラ沖).

第10表. 各反射面の上下変位量・推定年代とこれらに基づく上下変位速度及び断層活動.
Table 10. Vertical displacement and estimated age of each reflection surface, and resultant vertical slip rate and faulting events.

	各測線における上下変位量				推定年代	上下変位速度	推定年代	上下変位速度	断層活動
	M-3B測線	M-3.5B測線	DU10測線	EW2測線	(地殻上下変動を考慮しない場合)	(地殻上下変動を考慮した場合)	(地殻上下変動を考慮した場合)		
反射面A	4m以上	4m以上	3m以上	—	6.5~7ka		6.5~7ka		これ以降に少なくとも1回活動
反射面B	約8m	約7m	約7m	約7m	8~11.5ka	(0.6~1.0m/ky)	7.5~11ka	(0.6~1.1m/ky)	これ以降に少なくとも2回活動
反射面C	約8m	約7m	約7m	約7m	10~12ka	0.6~0.8m/ky	9~11.5ka	0.6~0.9m/ky	反射面B~C間には活動なし
反射面D (沖積層基底)	約11m	約10m	約10m	約9m	~13ka	0.7~0.8m/ky	11.5~12ka	0.8~1.0m/ky	反射面C~D間に1回活動

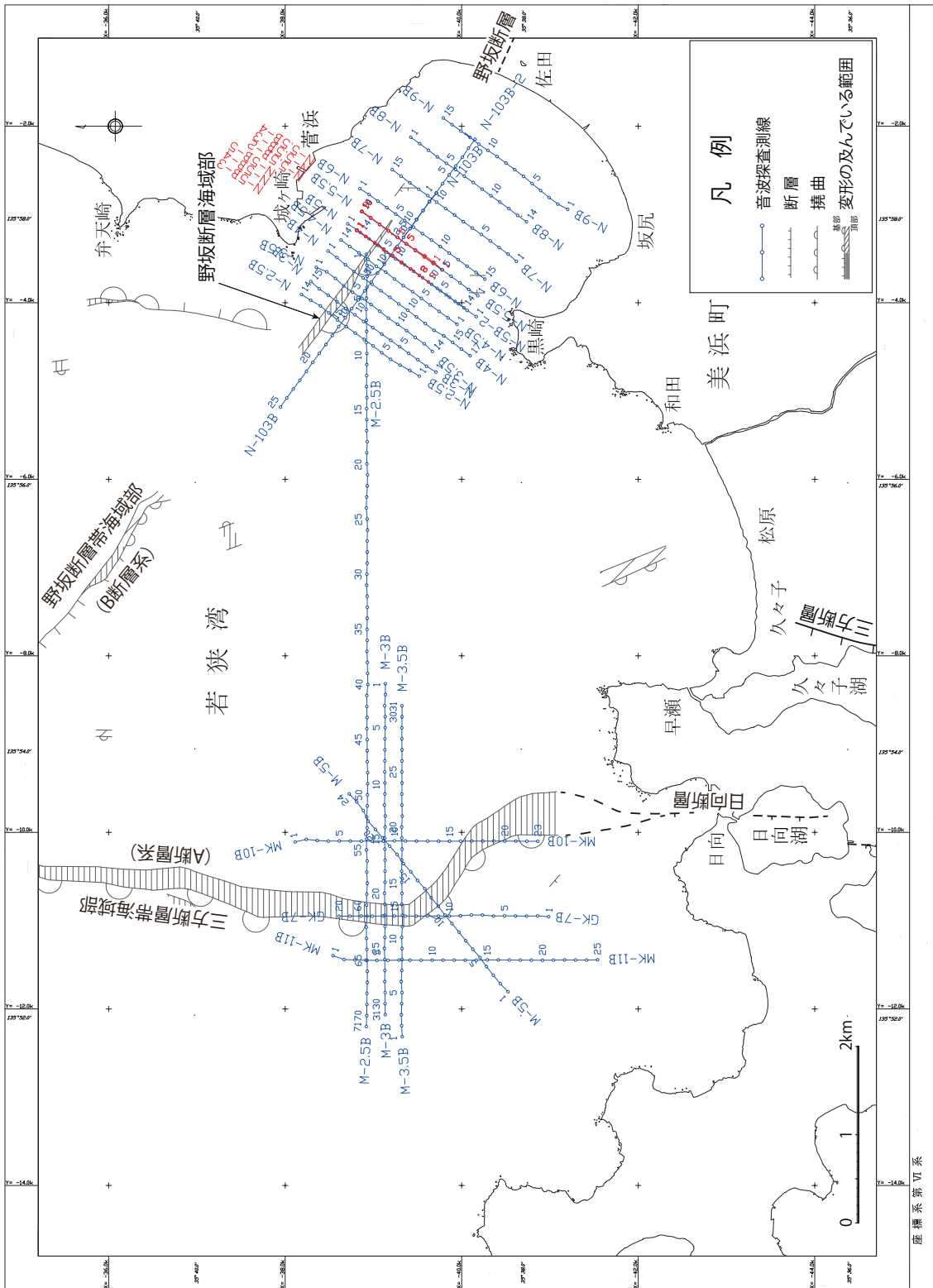
第11表. 三方断層帯の更新世末期以降の活動.
Table 11. Post-glacial faulting activity on the Mikata Fault Zone.

	従来評価	本調査の結果(海域部:A断層系)
(1) 平均変位速度	三方五湖付近の断層帯全体 約0.8m/千年(上下成分) 日向断層北部(海域部) 約1m/千年(上下成分)* *小松原ほか(2000)	約0.7~0.8m/千年 (地殻上下変動を考慮しない場合) 約0.8~1.0m/千年 (同変動を考慮した場合)
(2) 過去の活動時期	1662年(寛文二年)の地震 それ以前の活動時期は不明	<ul style="list-style-type: none"> 反射面D-反射面C間の活動 約13ka以降、約10~12ka以前 (広域の上下変動を考慮しない場合) 約11.5~12ka以降、約9~11.5ka以前 (同変動を考慮した場合) 反射面B形成後の活動(2回以上) 約8~11.5ka以降 (広域の上下変動を考慮しない場合) 約7.5~11ka以降 (同変動を考慮した場合) 最新活動は約6.5~7ka以降で、約5kaに活動した可能性 1662年の地震時の活動の有無は不明
(3) 1回の変位量	3~5m程度(上下成分)	約2~3m(上下成分) (反射面D-C間の活動が1回だけであったとした場合)
(4) 平均活動間隔	約3800~6300年	約2500~4300年 (地殻上下変動を考慮しない場合) 約2000~3800年 (同変動を考慮した場合) (上記平均変位速度と1回のずれの量から計算)

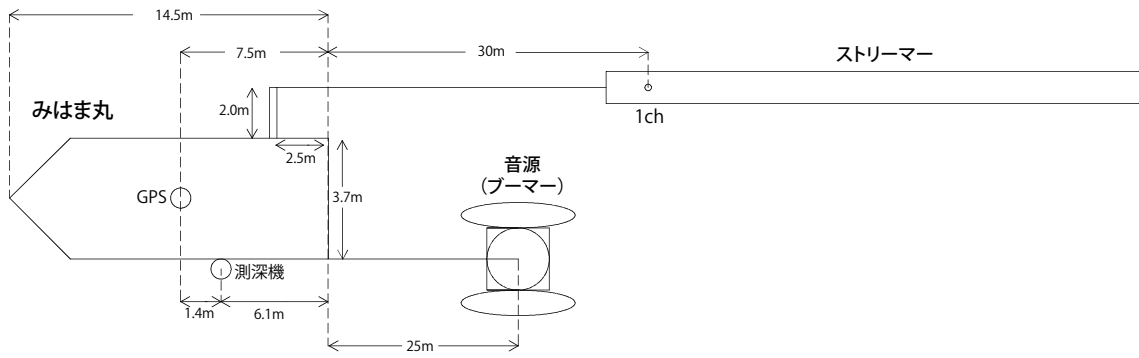


第1図. 三方・花折断層帯の位置と構成断層. 1~5: 主なトレンチ調査地点, A~C: 主な反射法地震探査測線. ⊙: 断層帯の北端と南端, ⊕: 花折断層帯の北部・中部・南部の境界. 基図には国土地理院発行数値地図200000「岐阜」, 「名古屋」, 「宮津」及び「京都及大阪」を使用. 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2003).

Fig. 1. Location and constituent faults of the Mikata-Hanaore Fault Zone. 1-5: Main trench survey points, A-C: Main seismic reflection survey lines. ⊙: Northern and southern terminations of the fault zone, ⊕: boundaries between the northern, central and southern segments of the Hanaore Fault Zone. Digital Map 200000 Gifu, Nagoya, Miyazu, and Kyoto & Osaka by Geospatial Information Authority of Japan (GSI) are used for the base map. After the Earthquake Research Committee, Headquarters for Earthquake Research Promotion (2003).

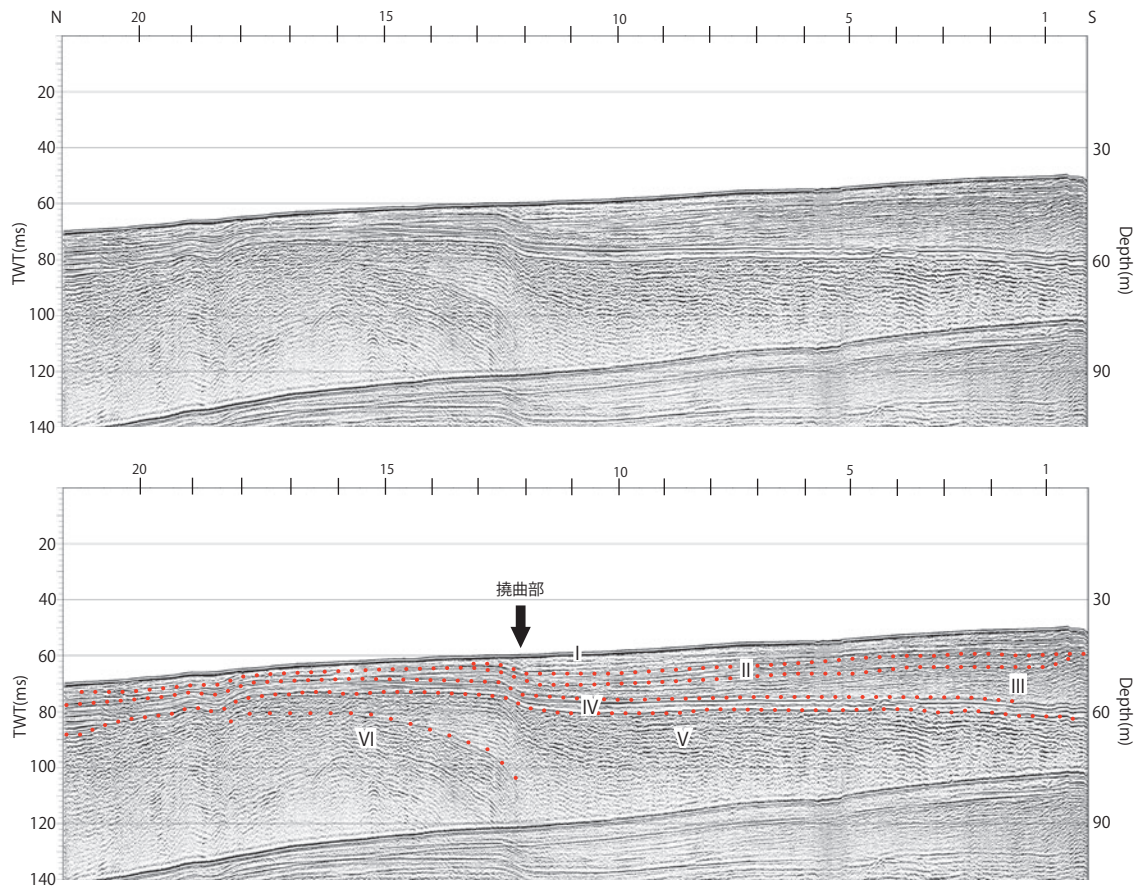


第2図. マルチチャネル音波探査の調査海域及び測線位置図. 海域の断層・撓曲の位置は日本原子力発電 (2004) による. 日向断層と三方断層の位置は小松原ほか (1999, 2000) 及び金田ほか (2000) による.
 Fig. 2. Map showing the survey area in Wakasa Bay off Mihama Town, Fukui Prefecture, and multichannel seismic profiling lines. Location of offshore faults and monoclinical structures is after Japan Atomic Power Company (2004). Location of the Hiruga and Mikata faults is after Komatsubara *et al.* (1999, 2000) and Kaneda *et al.* (2000).



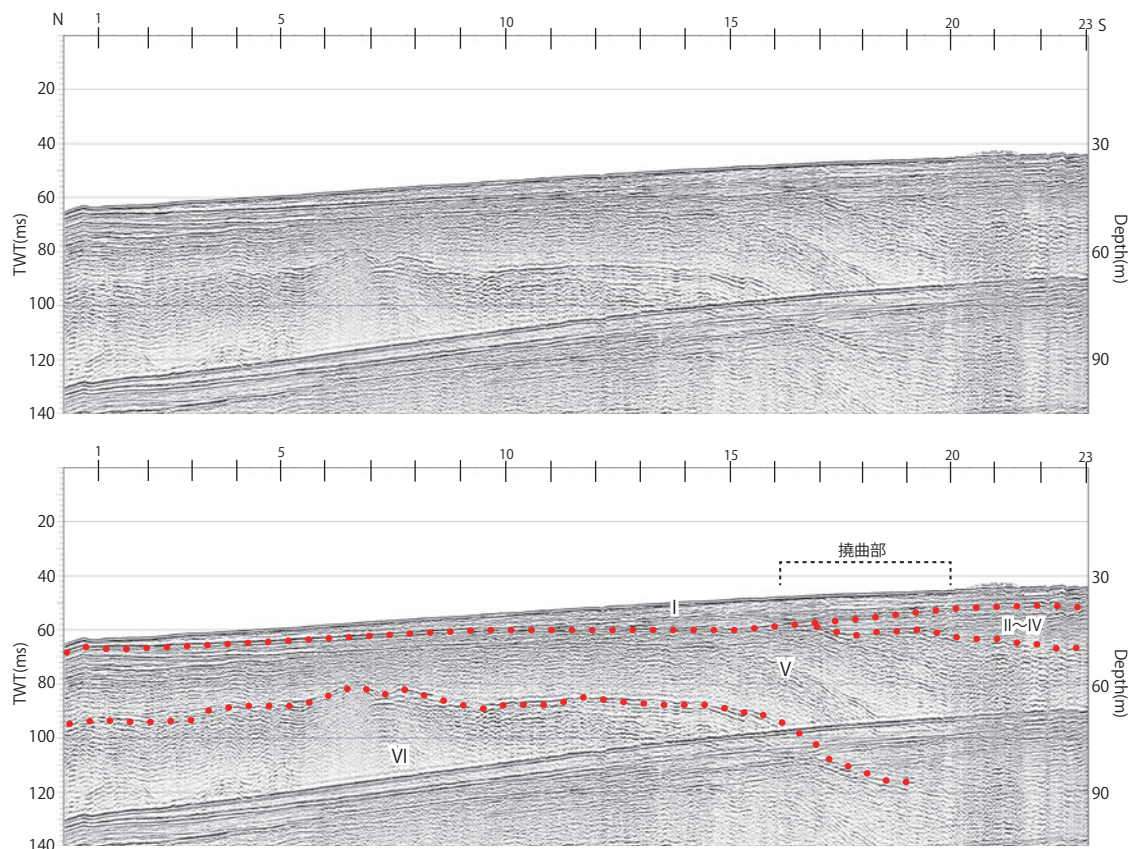
第3図. 音源及びブストリーマー配置図.

Fig. 3. Configuration of survey vessel, seismic source (boomer) and receiver (streamer cable).

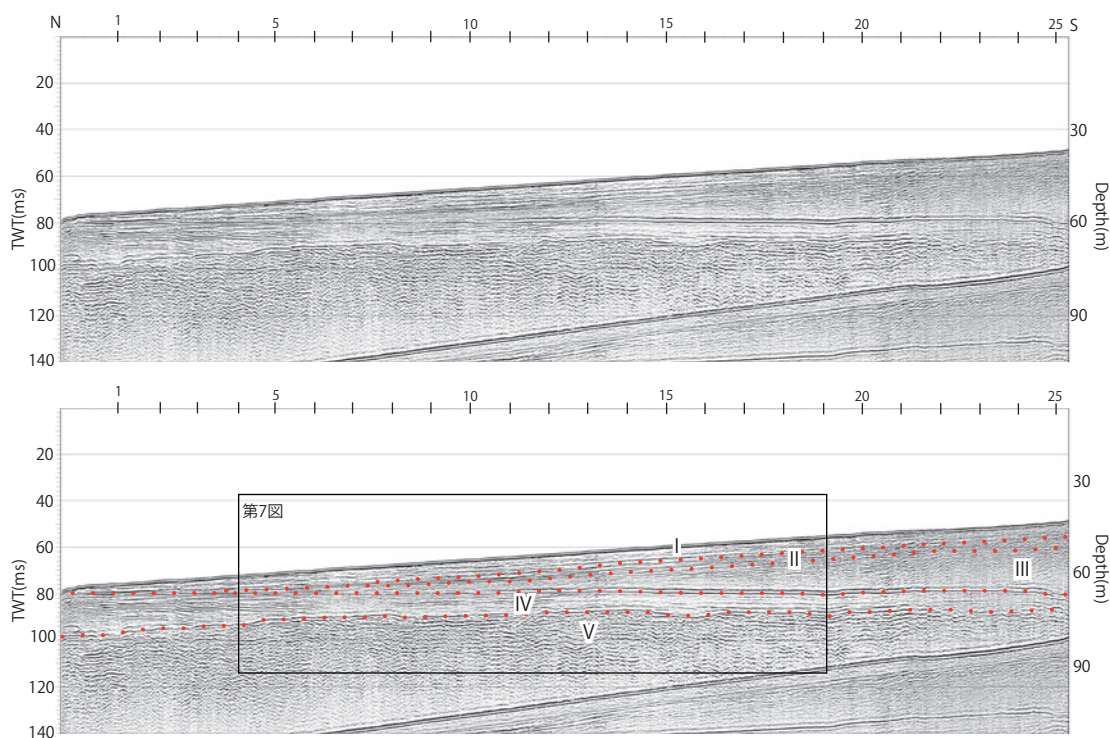


第4図. GK-7B 測線の音波探査断面 (上: 原記録, 下: 解釈付記録).

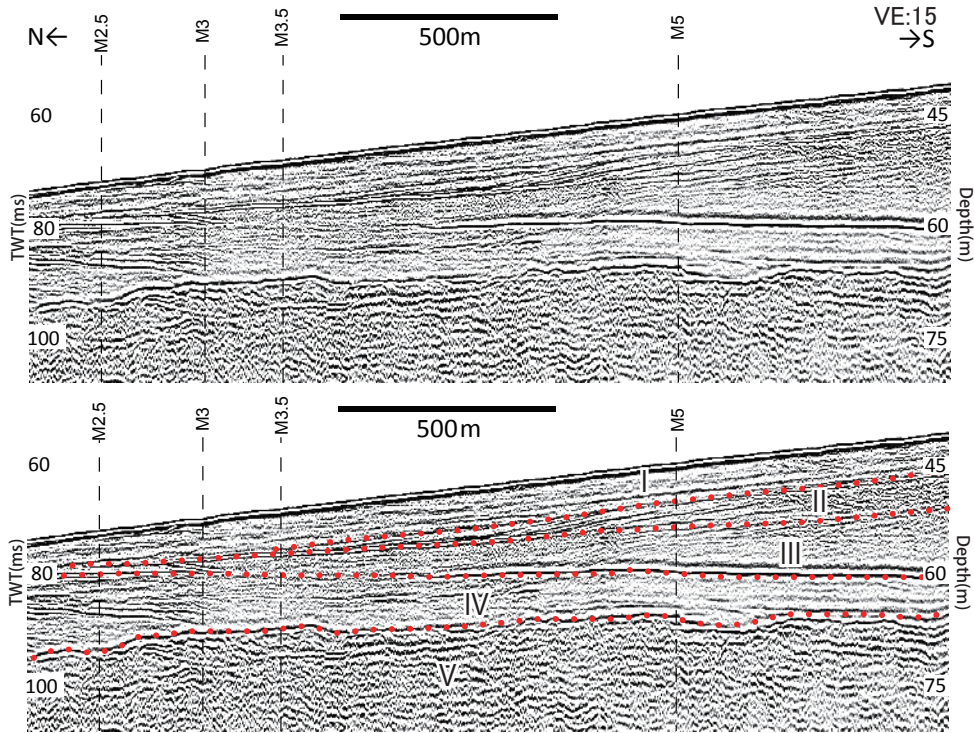
Fig. 4. Seismic profile of line GK-7B (top: original section, bottom: geologically interpreted section).



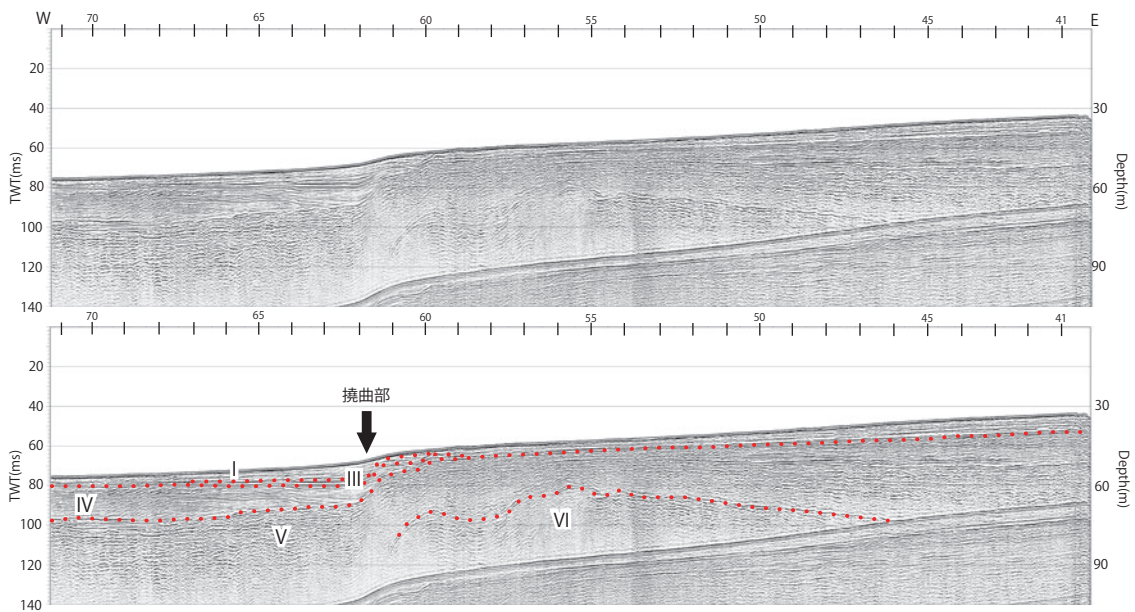
第5図. MK-10B 測線の音波探査断面（上：原記録，下：解釈付記録）.
 Fig. 5. Seismic profile of line MK-10B (top: original section, bottom: geologically interpreted section).



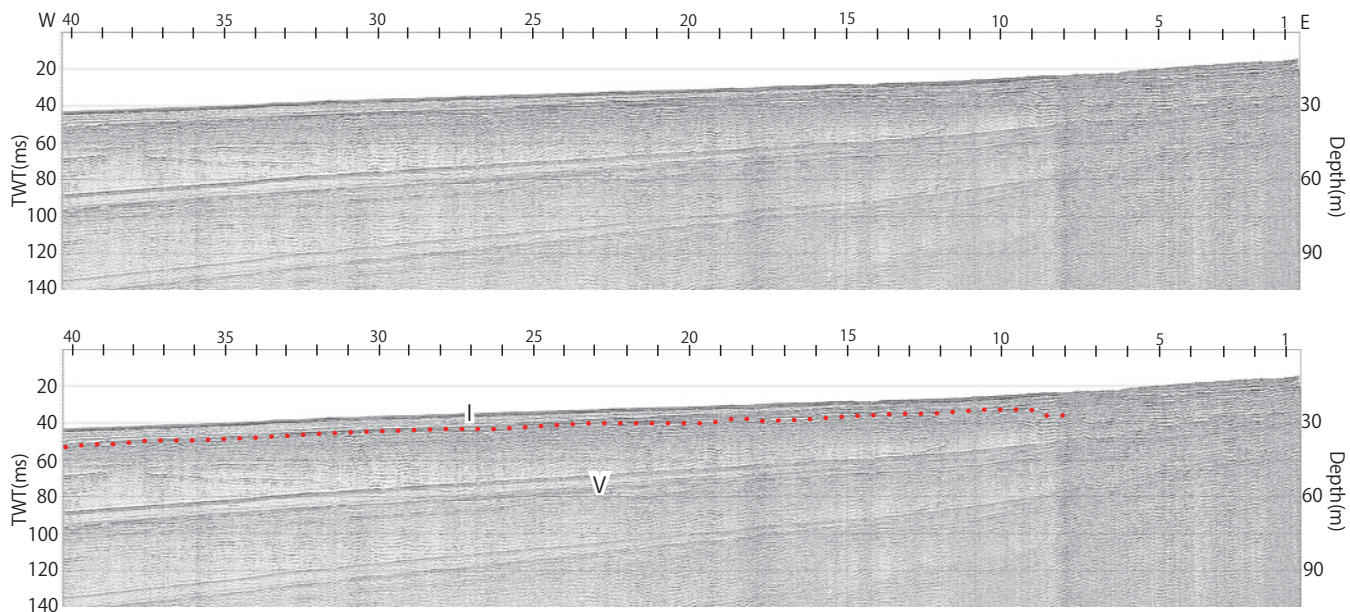
第6図. MK-11B 測線の音波探査断面（上：原記録，下：解釈付記録）.
 Fig. 6. Seismic profile of line MK-11B (top: original section, bottom: geologically interpreted section).



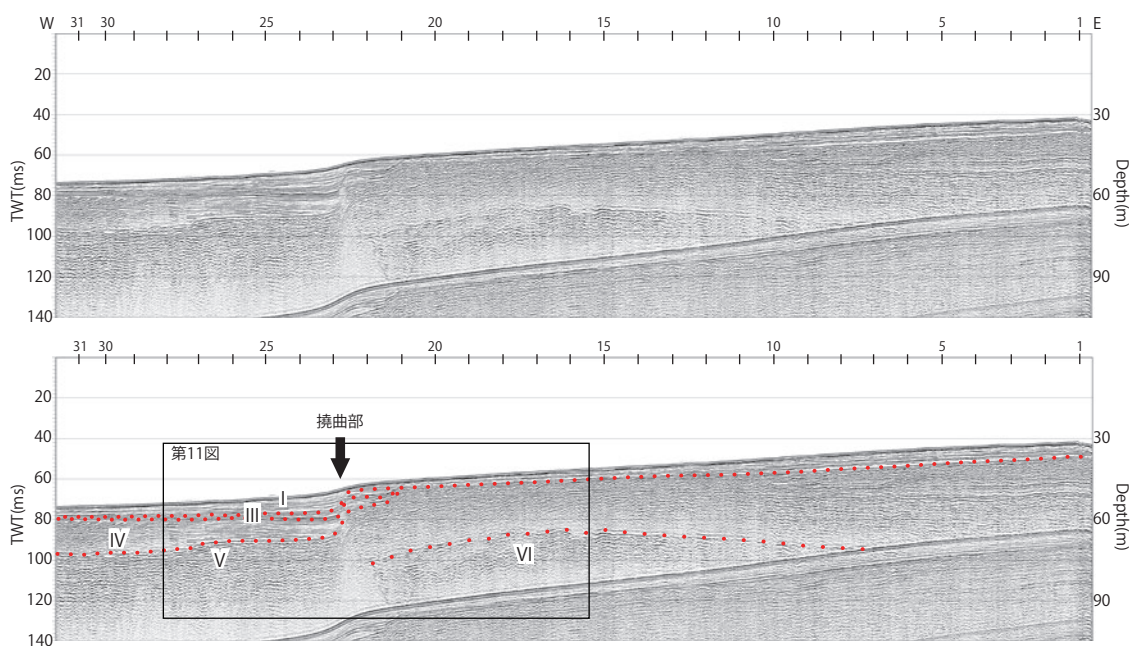
第7図. MK-11B 測線の部分拡大図 (上: 原記録, 下: 解釈付記録).
 Fig. 7. Partial close-up of line MK-11B (top: original section, bottom: geologically interpreted section).



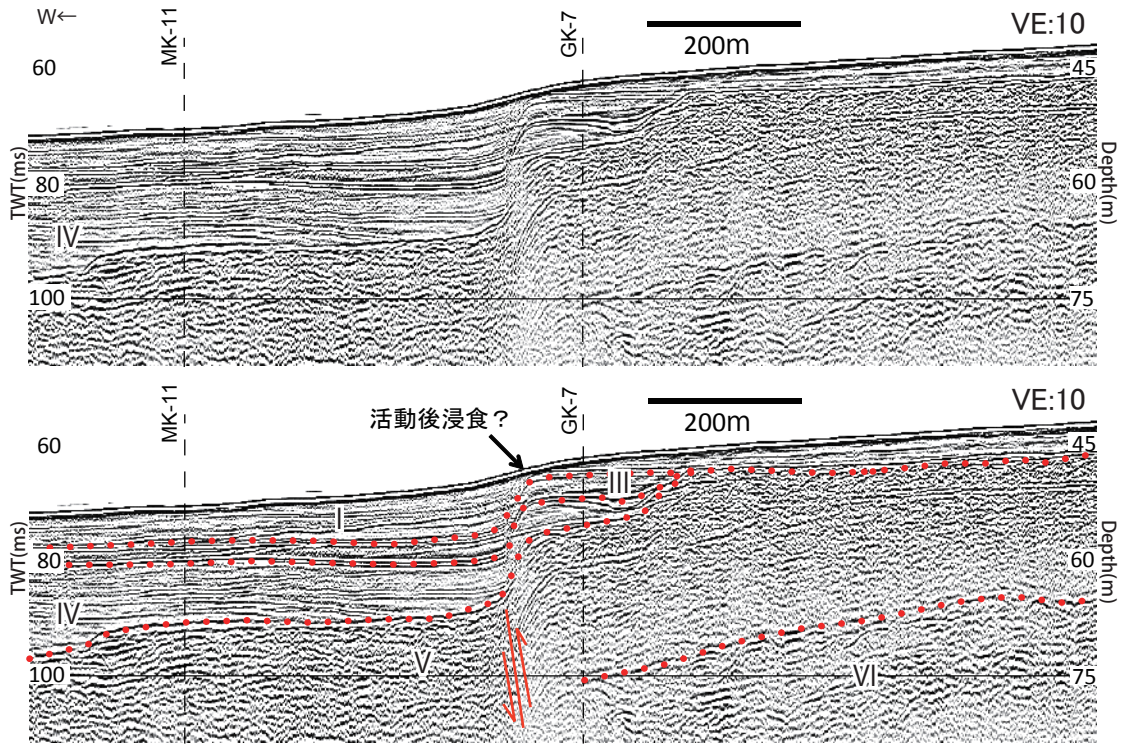
第8図. M-2.5B 測線西部の音波探査断面 (上: 原記録, 下: 解釈付記録).
 Fig. 8. Seismic profile of line M-2.5B (western part, top: original section, bottom: geologically interpreted section).



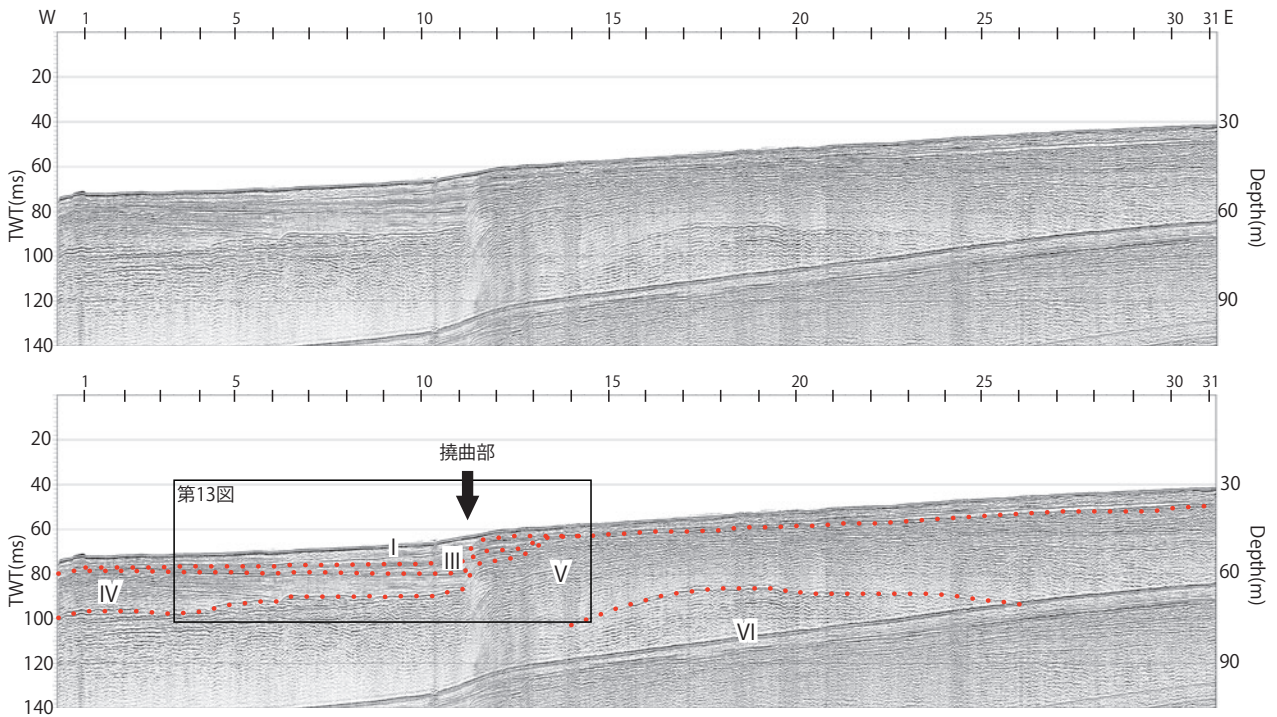
第9図. M-2.5B 測線東部の音波探査断面（上：原記録，下：解釈付記録）.
 Fig. 9. Seismic profile of line M-2.5B (eastern part, top: original section, bottom: geologically interpreted section).



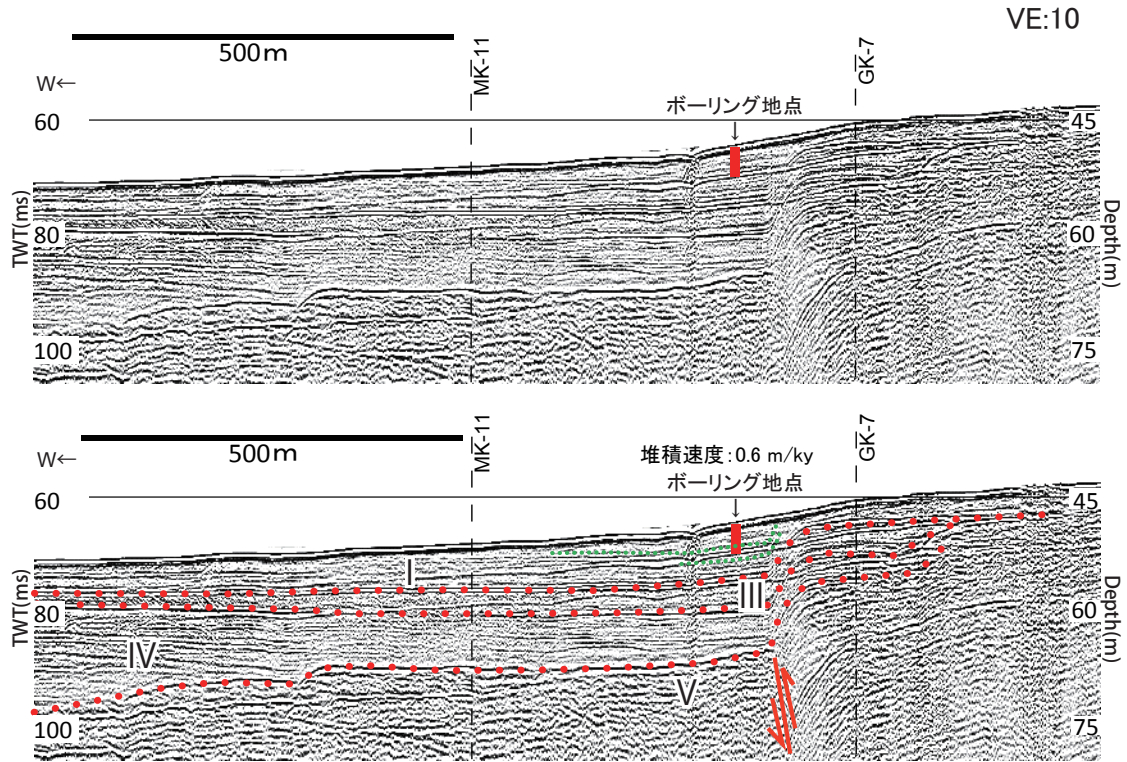
第10図. M-3B 測線の音波探査断面（上：原記録，下：解釈付記録）.
 Fig. 10. Seismic profile of line M-3B (top: original section, bottom: geologically interpreted section).



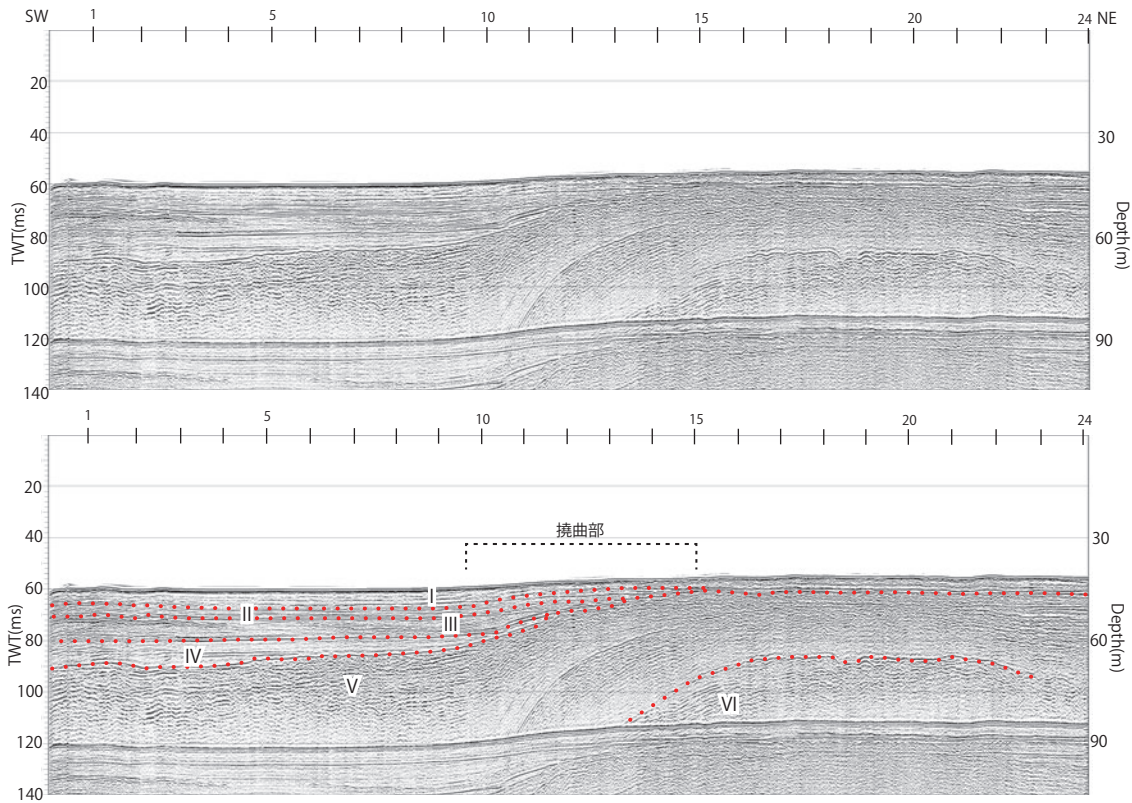
第 11 図. M-3B 測線の断層近傍拡大図 (上: 原記録, 下: 解釈付記録).
 Fig. 11. Partial close-up of line M-3B (top: original section, bottom: geologically interpreted section).



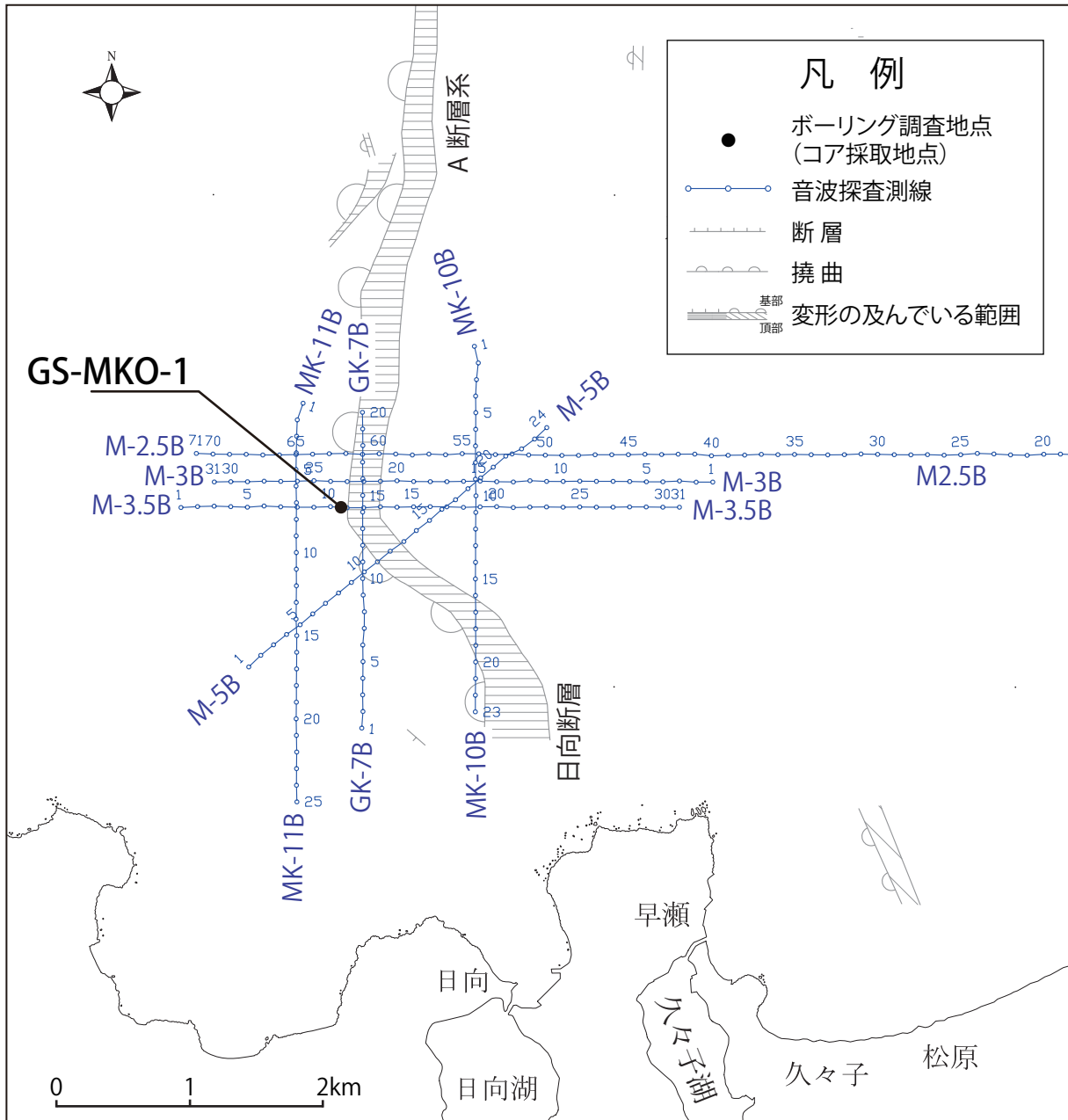
第 12 図. M-3.5B 測線の音波探査断面 (上: 原記録, 下: 解釈付記録).
 Fig. 12. Seismic profile of line M-3.5B (top: original section, bottom: geologically interpreted section).



第 13 図. M-3.5B 測線の断層近傍拡大図 (上: 原記録, 下: 解釈付記録).
 Fig. 13. Partial close-up of line M-3.5B (top: original section, bottom: geologically interpreted section).



第 14 図. M-5B 測線の音波探査断面 (上: 原記録, 下: 解釈付記録).
 Fig. 14. Seismic profile of line M-5B (top: original section, bottom: geologically interpreted section).



第15図. 海上ボーリング調査地点(コア採取地点)位置図. 断層及び撓曲の分布は日本原子力発電(2004)による.
 Fig. 15. Location of offshore drilling survey spot (GS-MKO-1). Location of offshore faults and monoclinical structures is after Japan Atomic Power Company (2004).



第 16 図. 傾動自在型試錐工法. この工法では，クレーン台船にボーリング檣，試錐機，発電機などを仮設し，クレーン台船の外側に，掘削ロッド・サンプラーなどを通すガイドパイプを独立に仮設する.

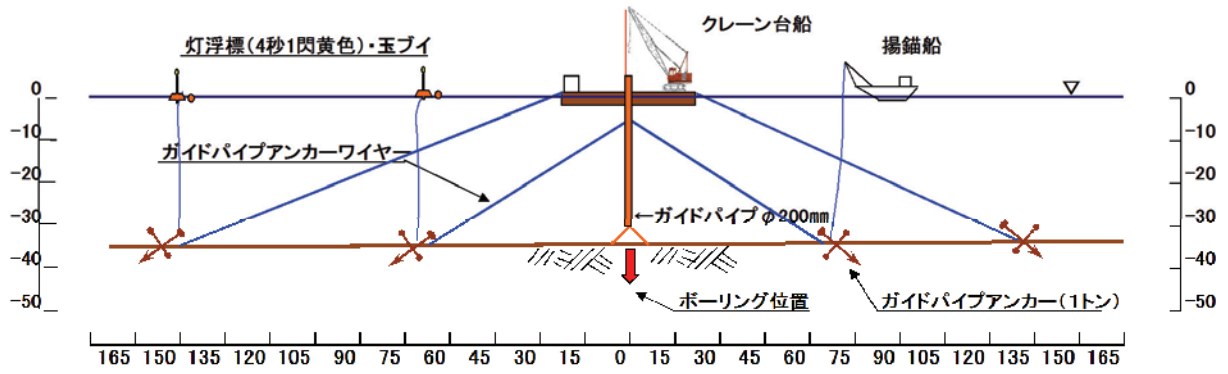
Fig. 16. Flexible inclination drilling system. In this drilling system, a “guide pipe” guiding drilling rods and a core sampler to the sea bottom is installed independently of the pontoon survey ship on which many drilling devices such as drilling tower, hydraulic system and generator are installed.



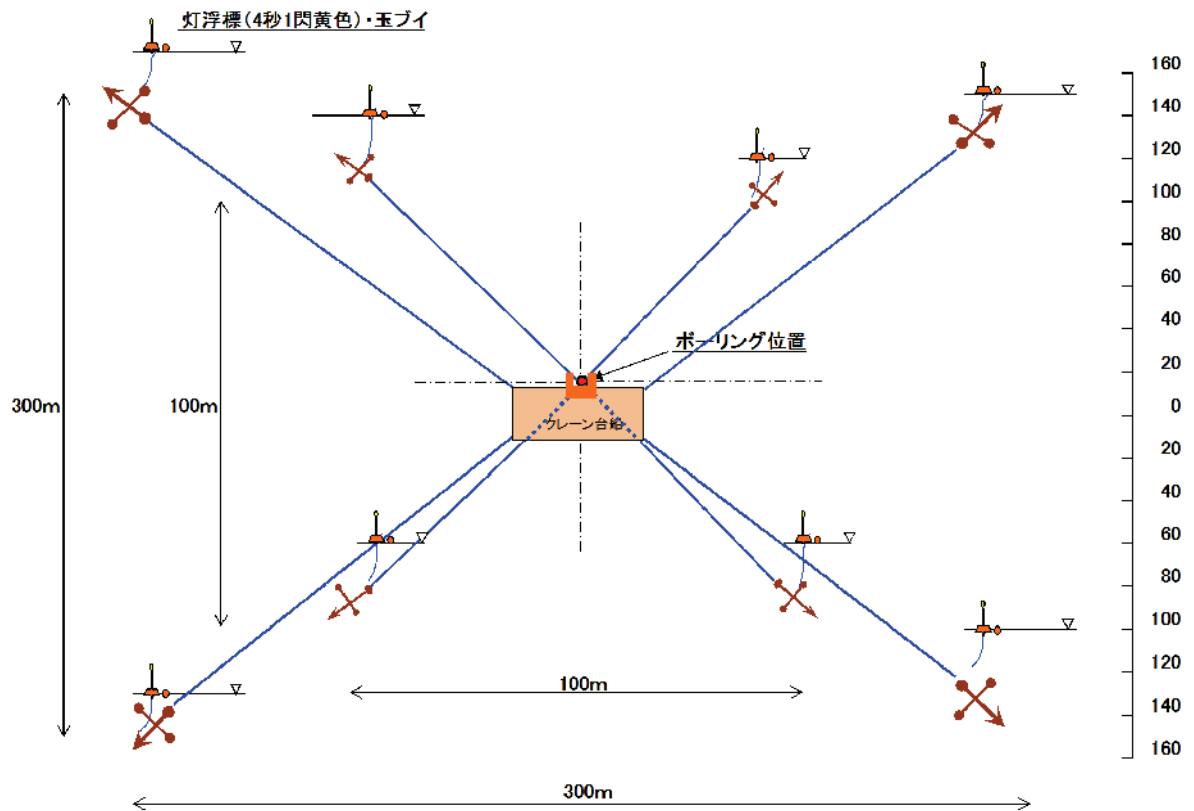
第 17 図. ガイドパイプを台船から隔離した様子. 掘削作業休止時及び夜間の係留時には，台船が波浪で大きく動揺してもガイドパイプと台船が接触しないように，両者を適切な距離に隔離することができる.

Fig. 17. A guide pipe being separated from the pontoon survey ship. This drilling system keeps the guide pipe off the pontoon survey ship in order not to contact each other even in stormy condition.

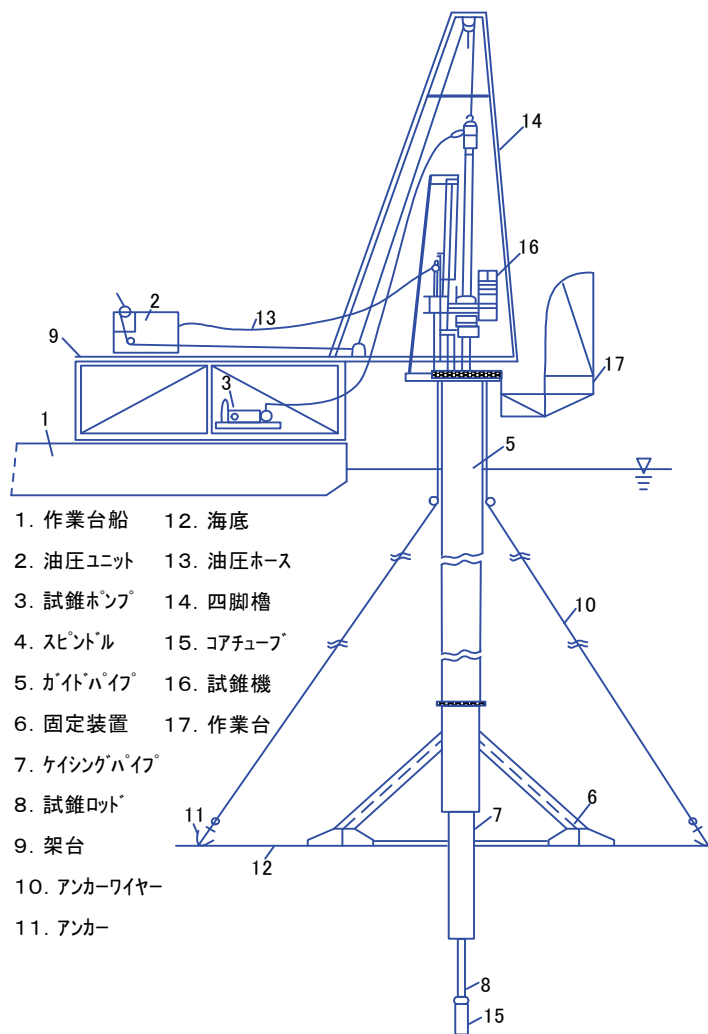
側面図



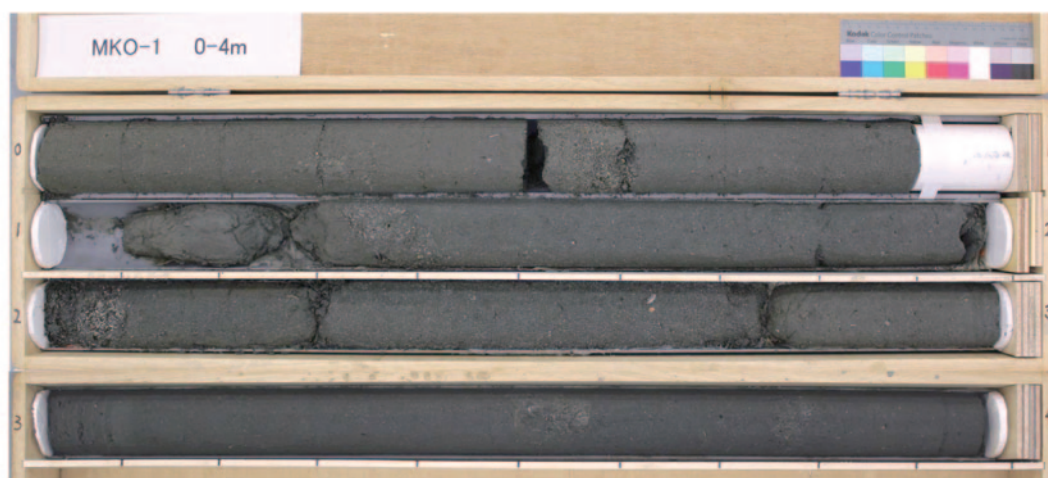
平面図



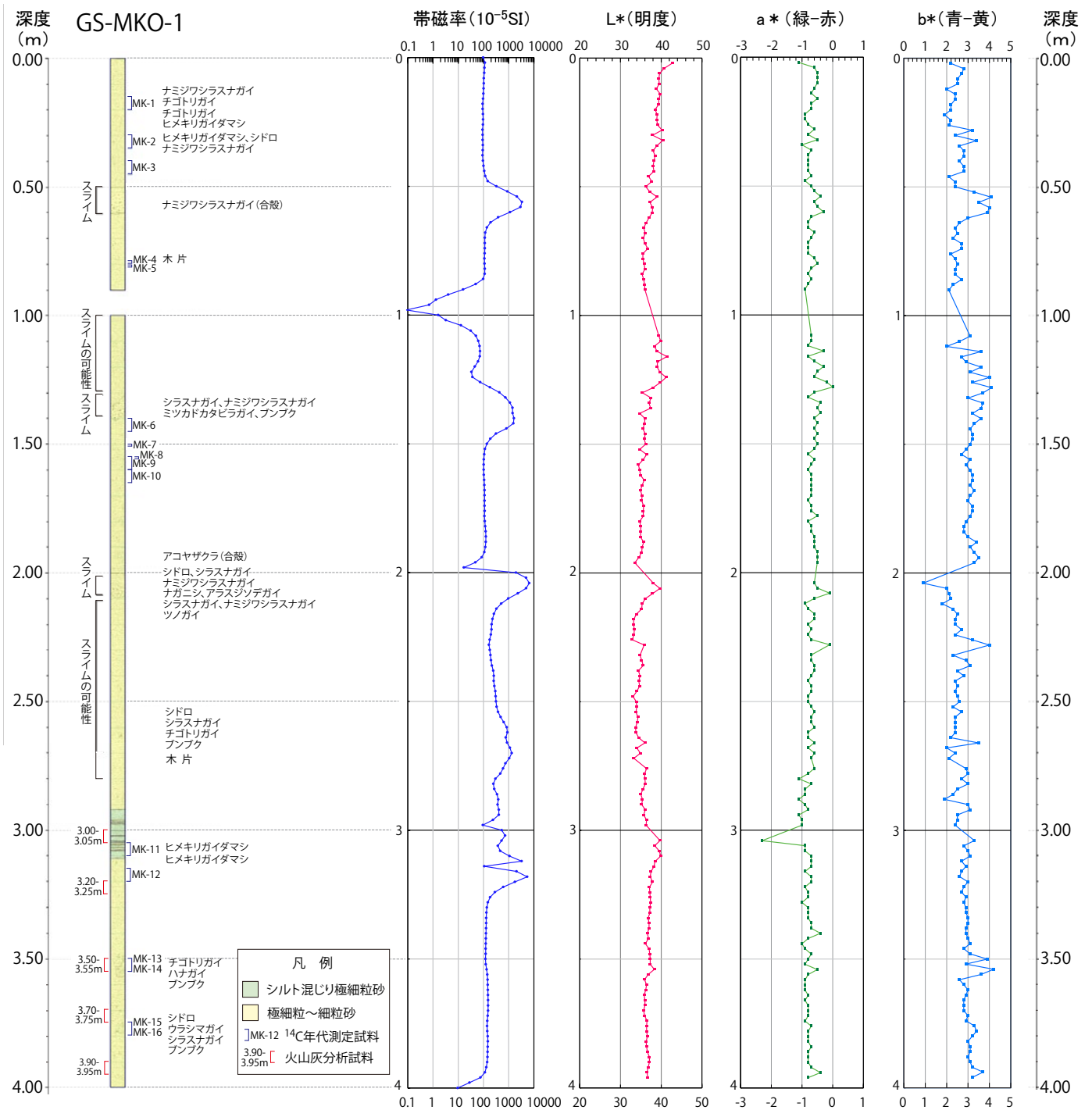
第 18 図. 台船及びガイドパイプの固定方法 (アンカリング).
 Fig. 18. Anchoring method of a pontoon survey ship and a guide pipe.



第 19 図. 油圧駆動型のロータリー式傾動自在型試錐機 (CTM-10) の概要.
 Fig. 19. Outline of hydraulically-operated flexible inclination drilling system (CTM-10).

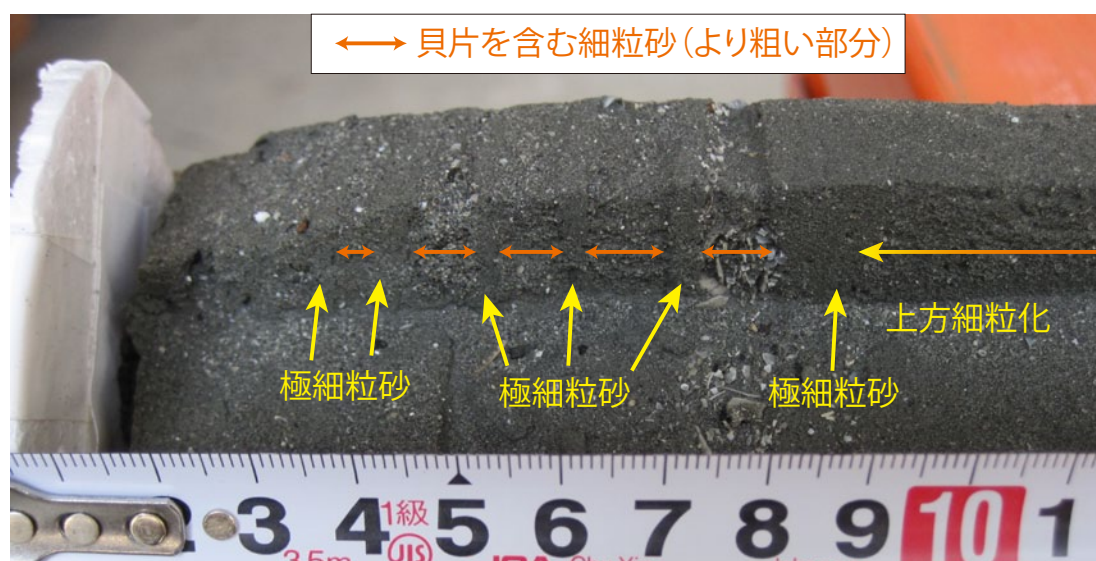


第 20 図. GS-MKO-1 コアの写真.
 Fig. 20. A photograph of core GS-MKO-1 (4m-long core extracted at spot GS-MKO-1 in Fig. 15).

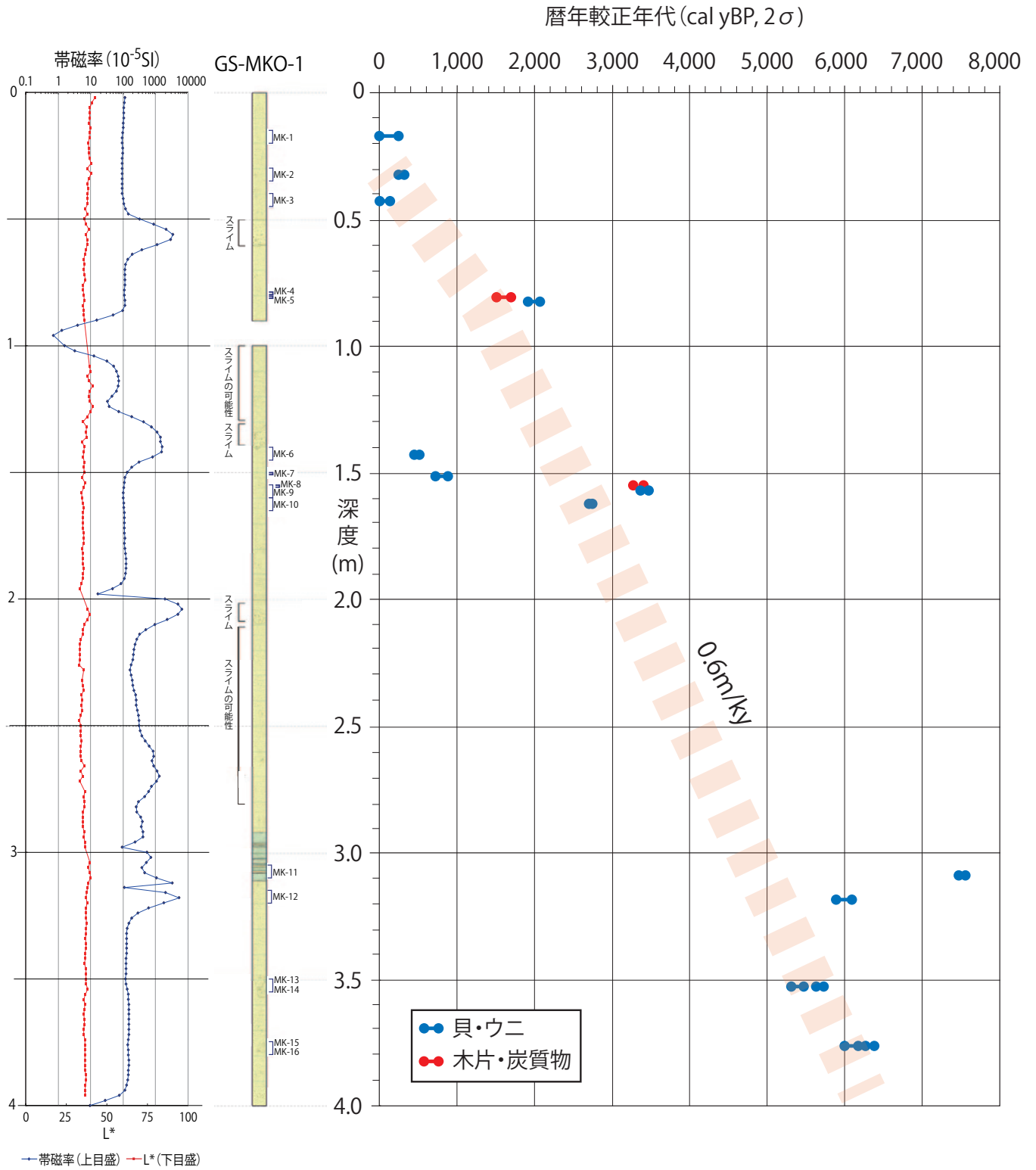


第 21 図. GS-MKO-1 コアの柱状図，並びに帯磁率及び色調測定結果.

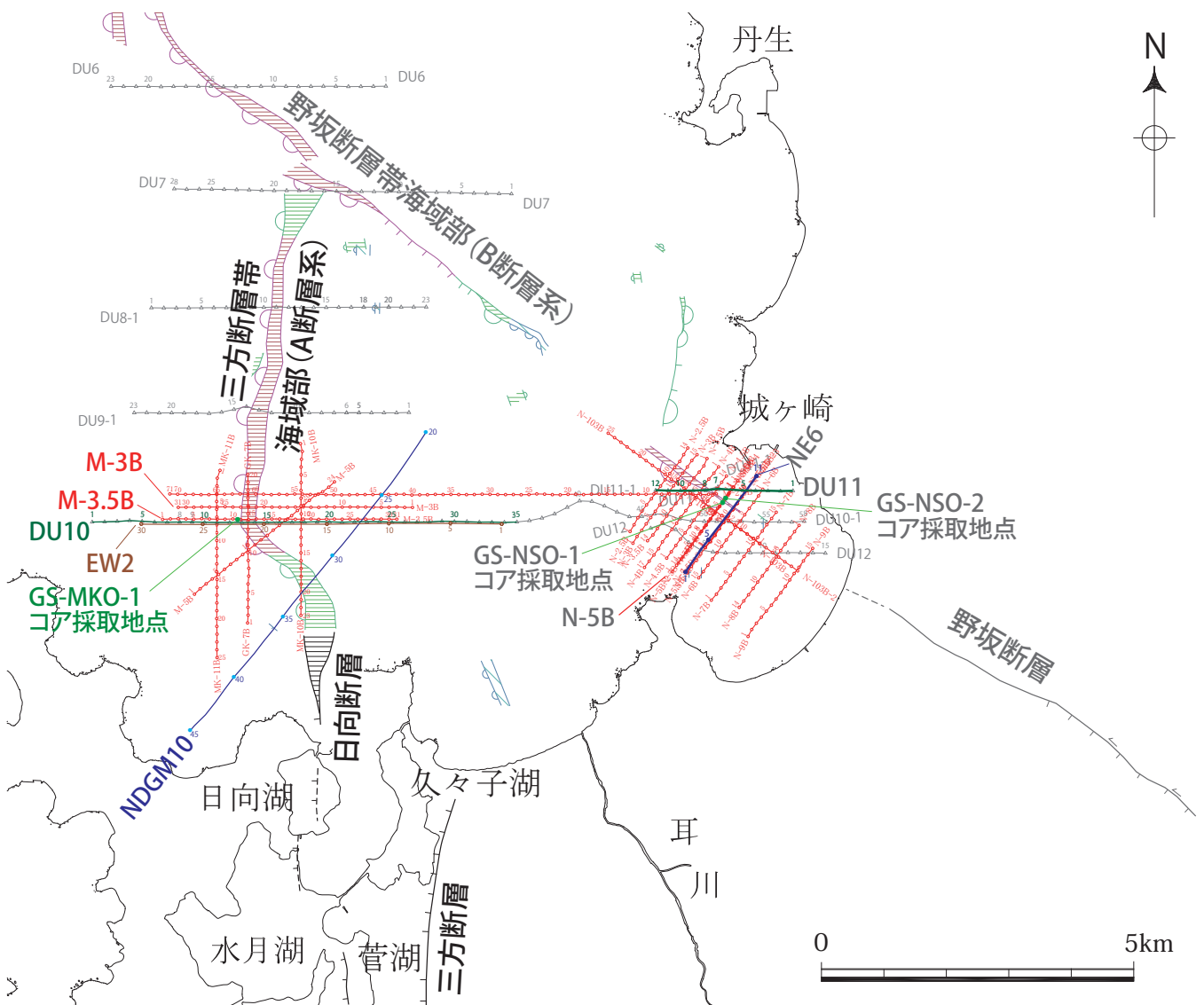
Fig. 21. Geological column (left) and results of magnetic susceptibility and color measurements (right) of core GS-MKO-1.



第 22 図. GS-MKO-1 コアの深度 3.0~3.1m 付近に見られる細粒砂・極細粒砂互層.
Fig. 22. Alternating beds of fine-grained sand containing shell fragments and very-fine-grained well-sorted sand at a depth of 3.0 - 3.1m of core GS-MKO-1.

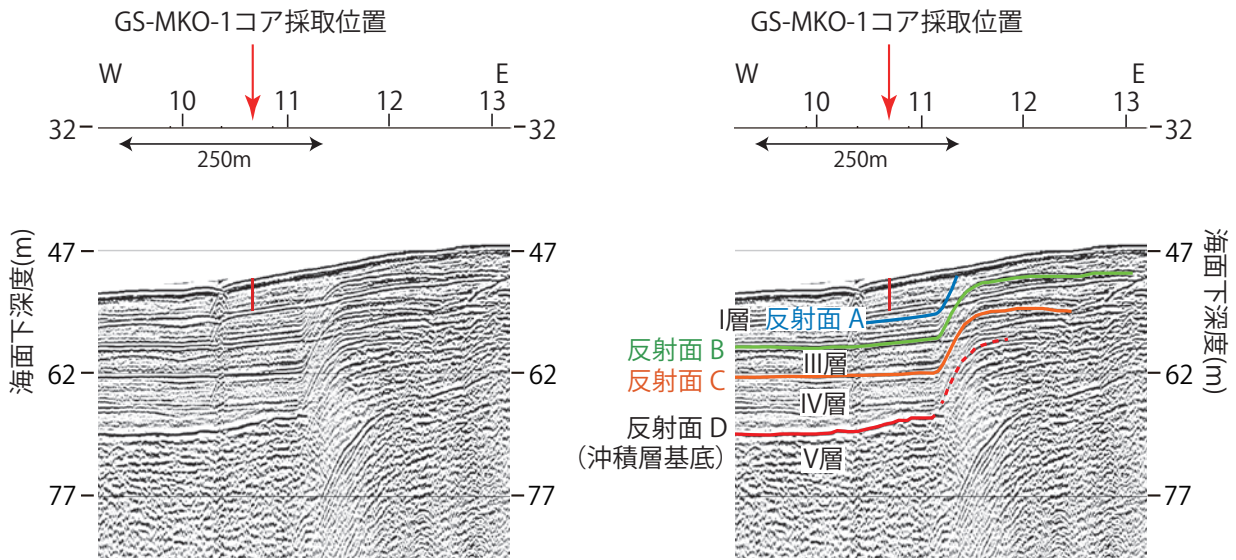


第 23 図. GS-MKO-1 コアの ^{14}C 年代-深度関係.
 Fig. 23. ^{14}C age-depth relationship of core GS-MKO-1.

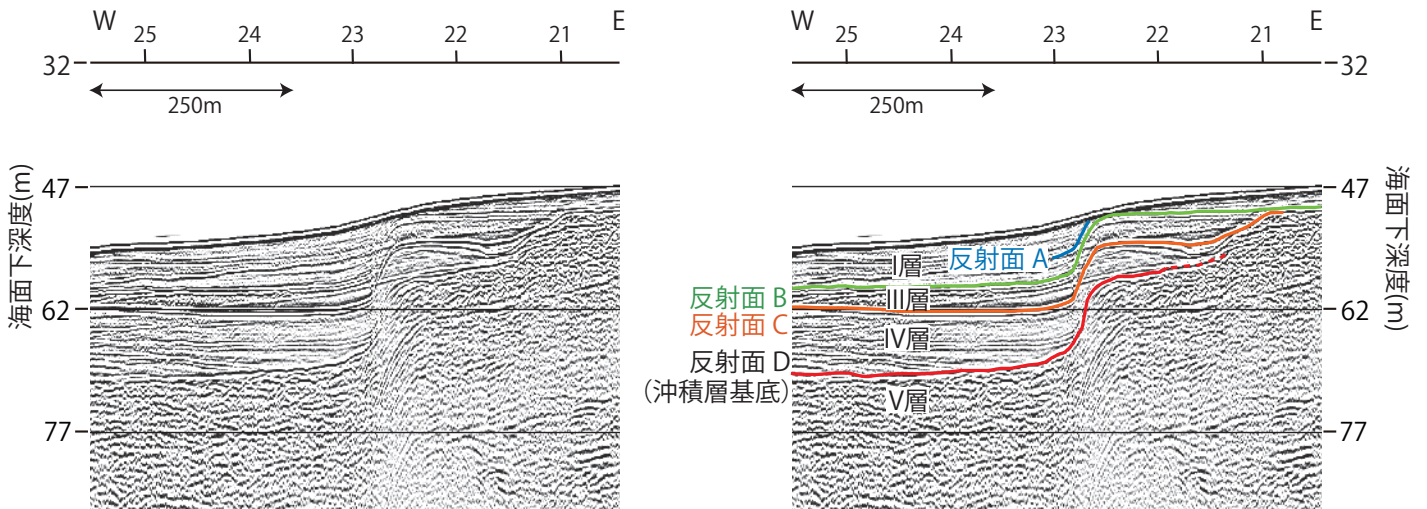


第 24 図. M-3B 及び M-3.5B 測線，日本原子力発電の DU10 測線・NDGM10 測線，小松原ほか（2000）の EW2 測線，及び GS-MKO-1 コア採取地点の位置図。海域の断層・撓曲及び既往探査測線の位置は日本原子力発電（2004）による。日向断層と三方断層の位置は小松原ほか（1999, 2000）と金田ほか（2000）による。野坂断層の位置は日本原子力発電（2004）と杉山の未公表資料による。

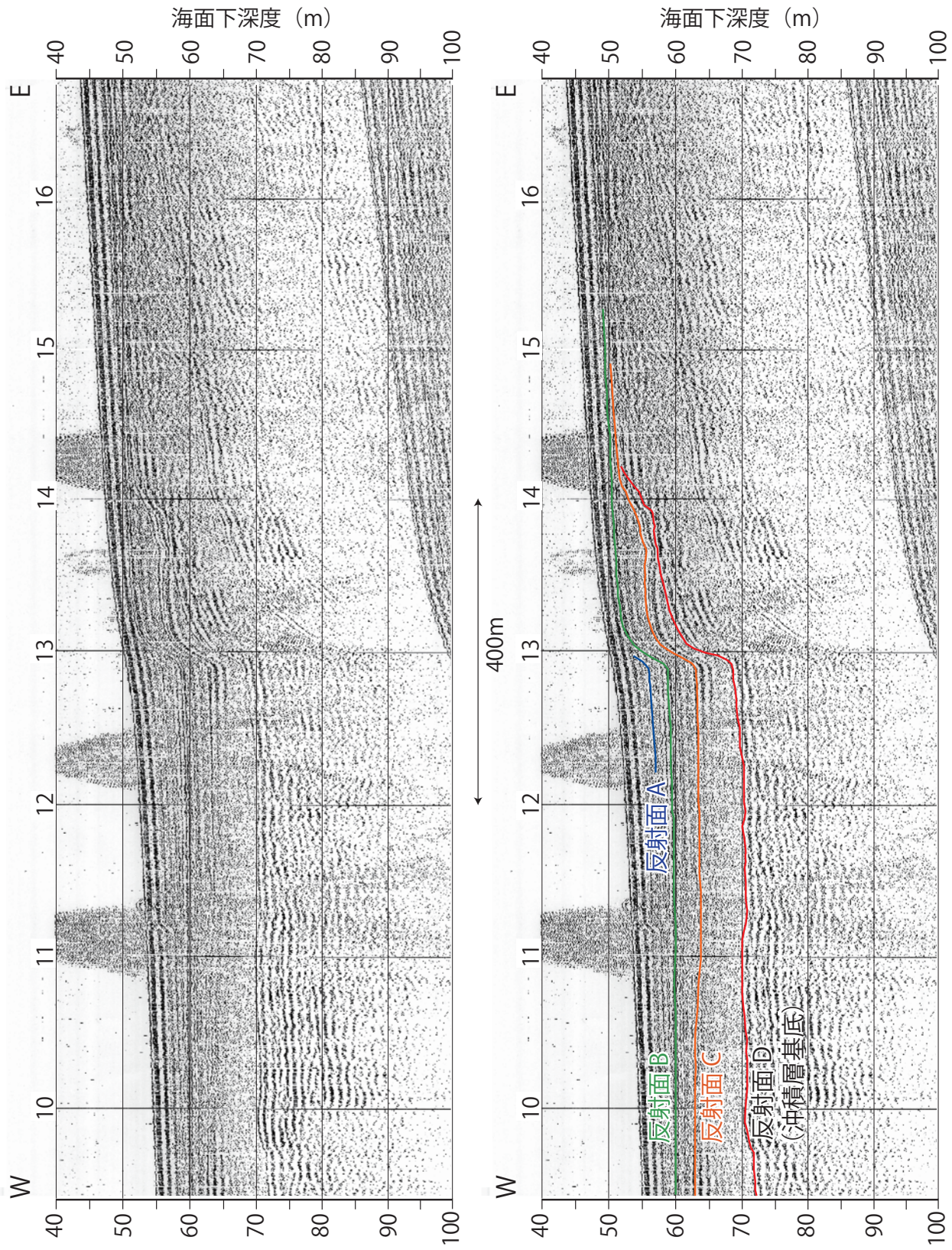
Fig. 24. Map showing the location of lines M-3B and M-3.5B (this survey), lines DU10 and NDGM10 (Japan Atomic Power Company), line EW2 (Komatsubara *et al.*, 2000), and spot GS-MKO-1. Location of offshore faults and monoclinal structures is after Japan Atomic Power Company (2004). Location of the Hiruga and Mikata faults is after Komatsubara *et al.* (1999, 2000) and Kaneda *et al.* (2000). The onshore trace of the Nosaka fault is after Japan Atomic Power Company (2004) and unpublished data by Y. Sugiyama.



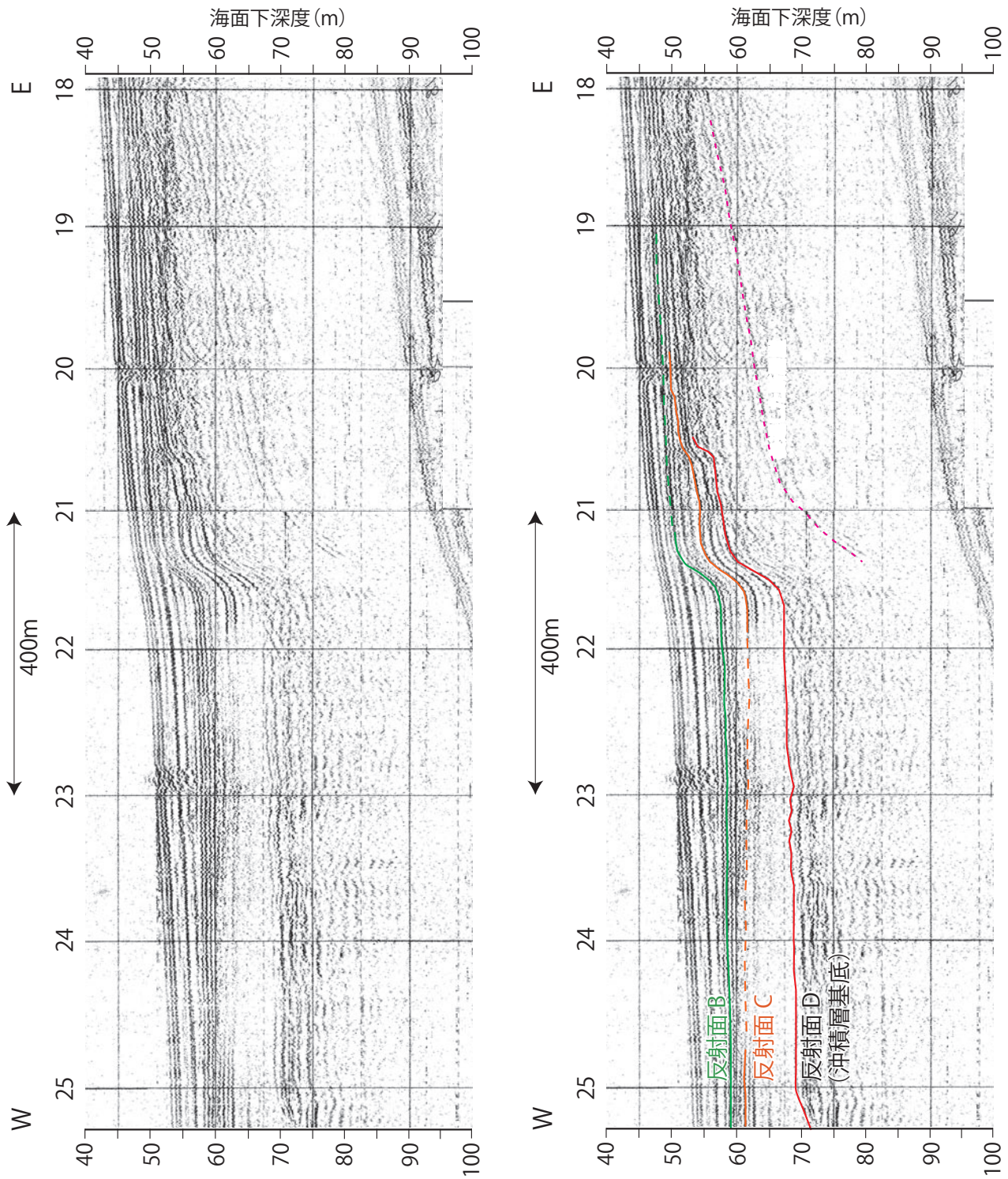
第 25 図. M-3.5B 測線の音波探査記録（左）と反射面 A~D の認定（右）.
 Fig. 25. Across-the-fault seismic profile of M-3.5B (left) and identification of reflection surfaces A - D as fault displacement markers (right).



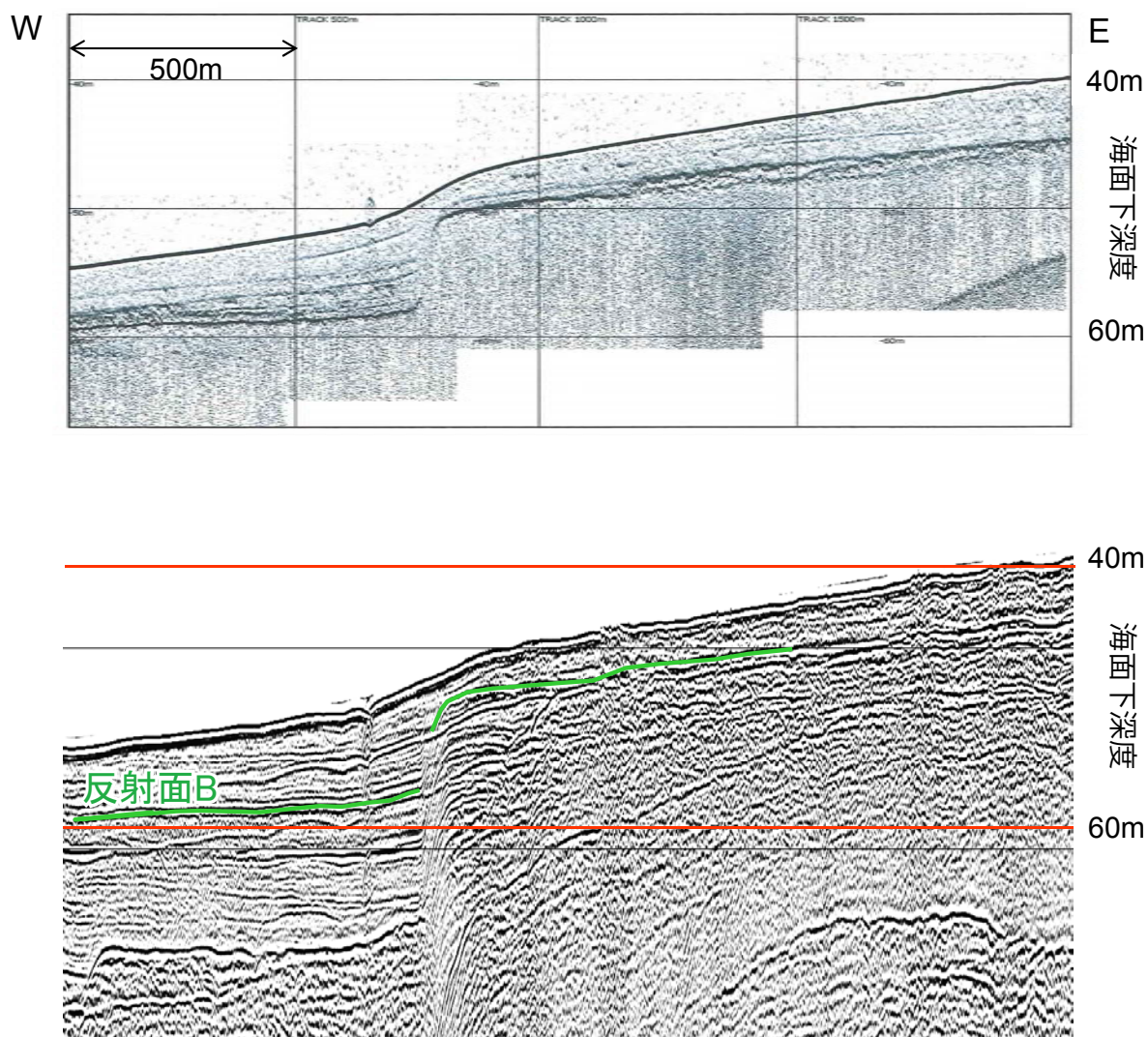
第 26 図. M-3B 測線の音波探査記録（左）と反射面 A~D の認定（右）.
 Fig. 26. Across-the-fault seismic profile of M-3B (left) and identification of reflection surfaces A - D as fault displacement markers (right).



第27図. 日本原子力発電のDU10測線の音波探査記録（上）と反射面A～Dの認定（下）.
 Fig. 27. Across-the-fault seismic profile of DU10 (top) and identification of reflection surfaces A - D as fault displacement markers (bottom).

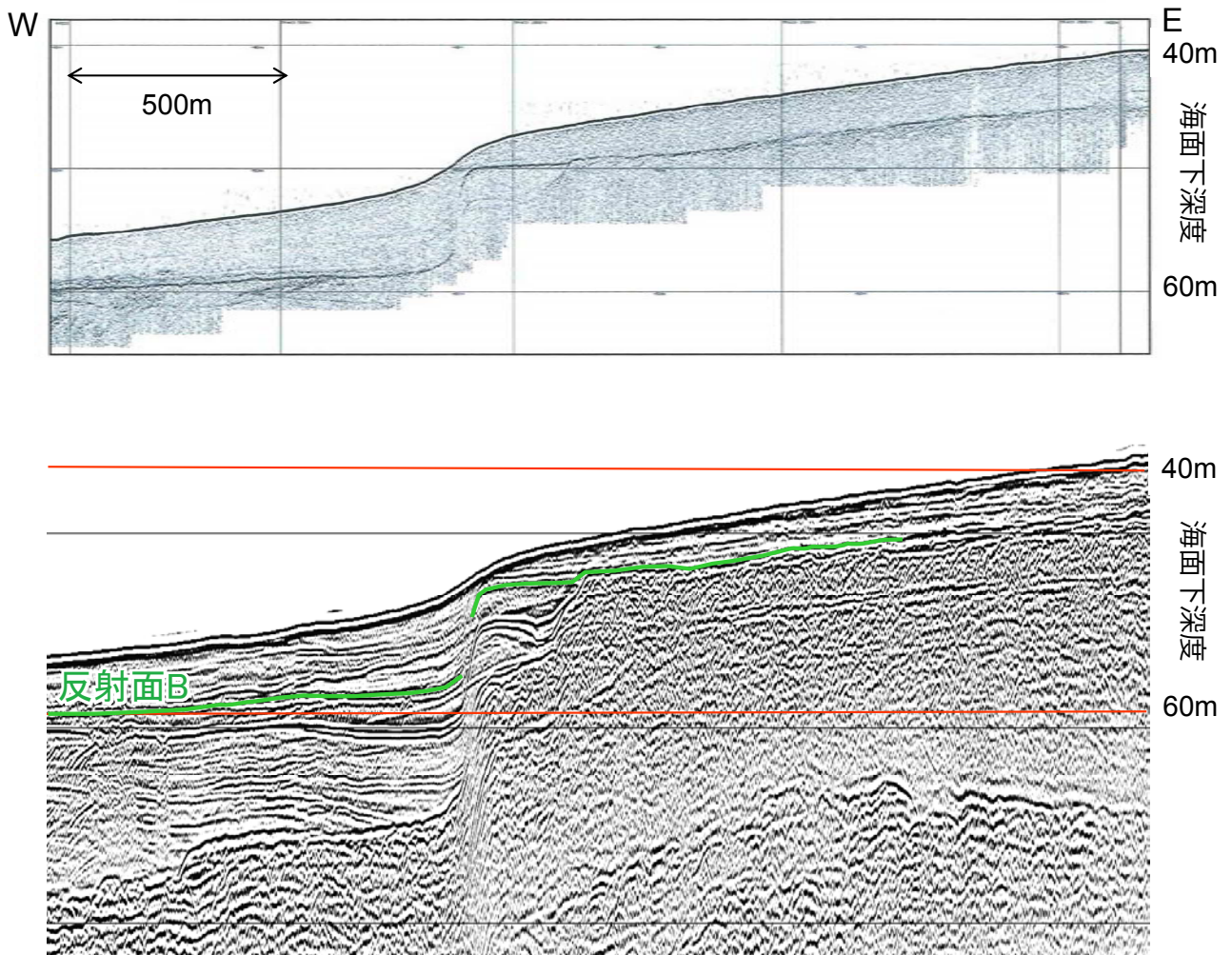


第 28 図. 小松原ほか (2000) の EW2 測線の音波探査記録 (上) と反射面の対比 (下).
 Fig. 28. Across-the-fault seismic profile of EW2 (top) and identification of reflection surfaces B-D as fault displacement markers (bottom).



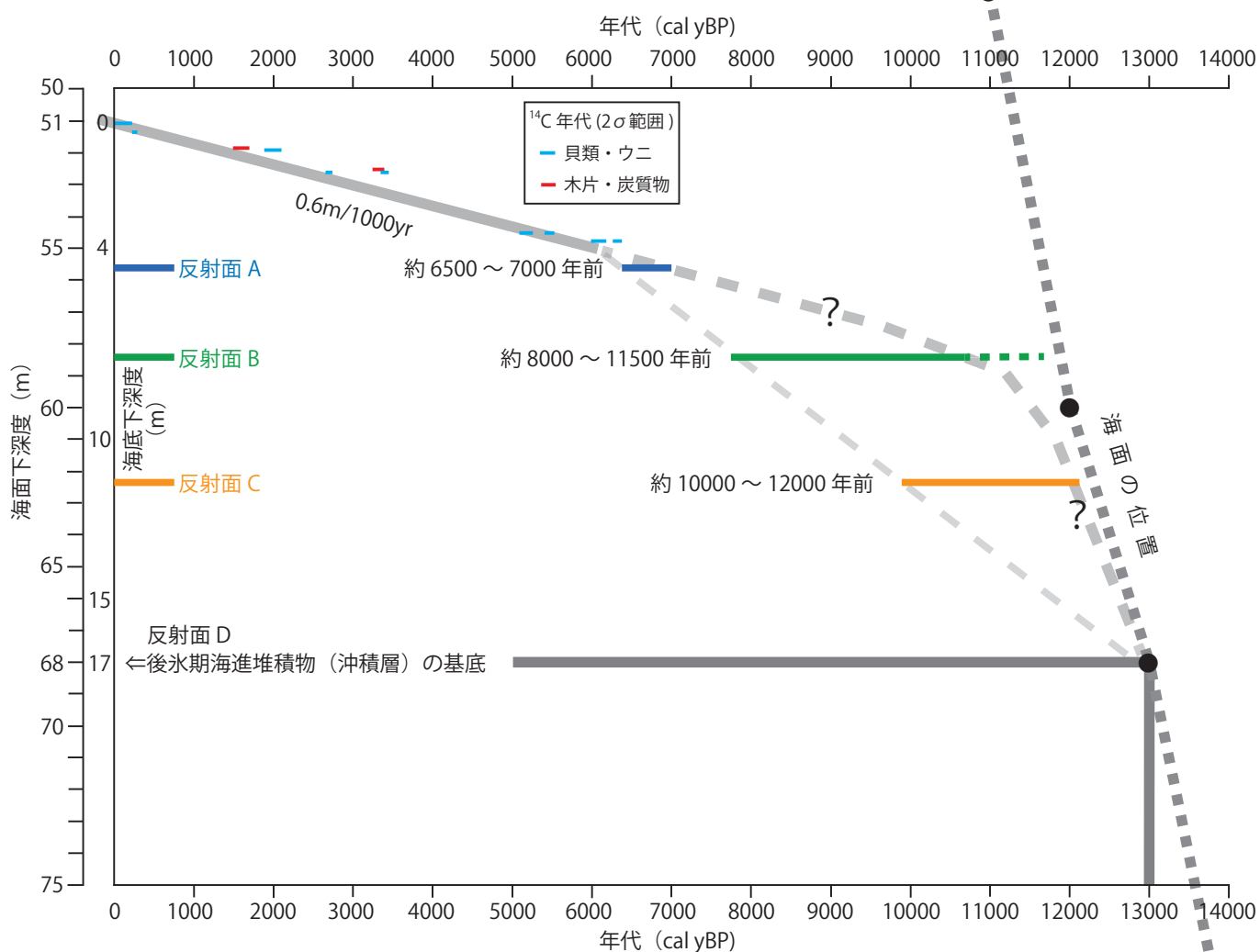
第 29 図. M-3.5B 測線における高分解能シングルチャンネル音波探査記録（上）とマルチチャンネル音波探査記録（下）の比較（縦横誇張はいずれも 25 倍）.

Fig. 29. Comparison of across-the-fault seismic profiles along line M-3.5B by high-resolution single-channel seismic profiling (top) and by multichannel seismic profiling (bottom). Vertical exaggeration is 25 times.



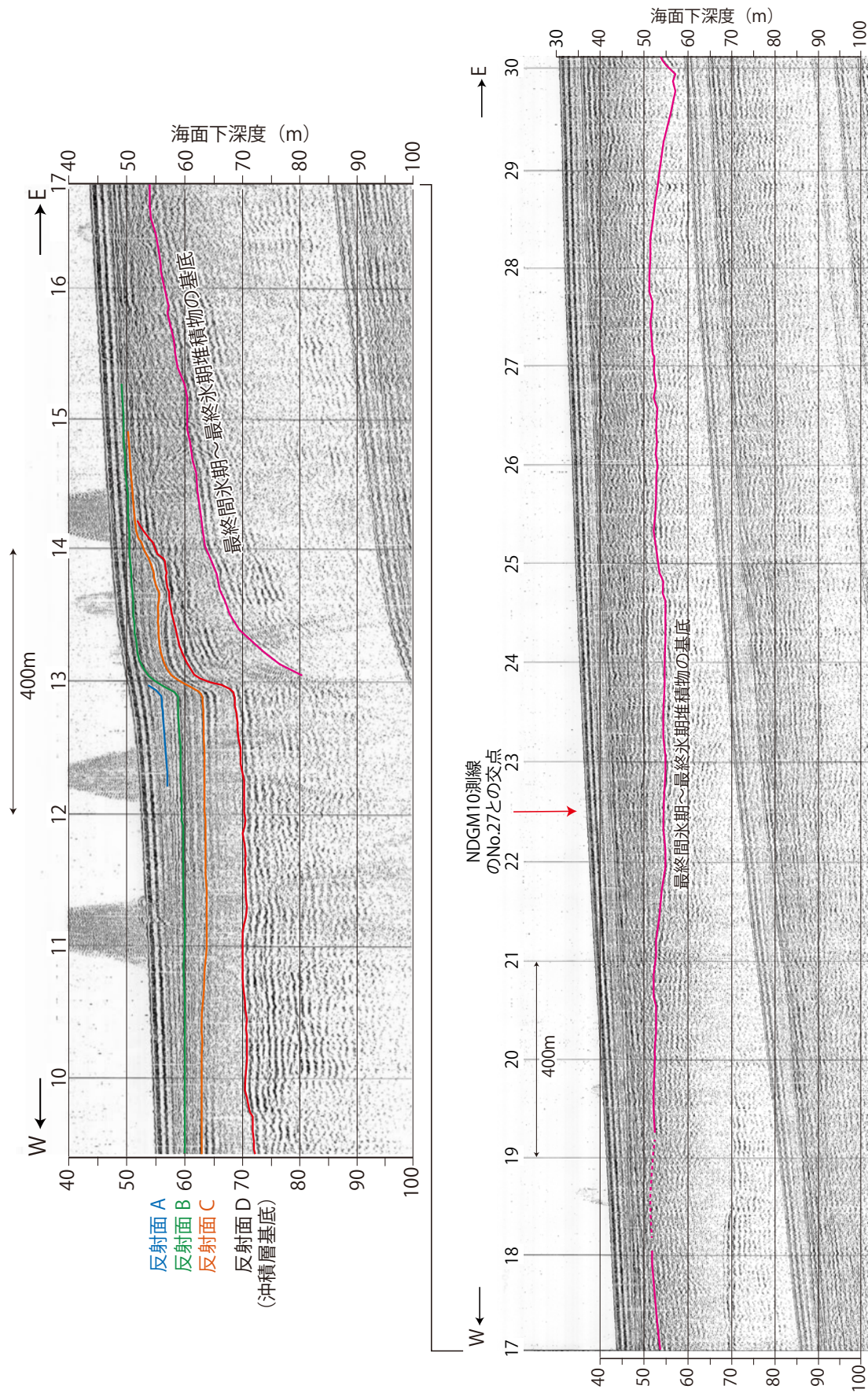
第30図. M-3B測線における高分解能シングルチャンネル音波探査記録(上)とマルチチャンネル音波探査記録(下)の比較(鉛直誇張はいずれも25倍).

Fig. 30. Comparison of across-the-fault seismic profiles along line M-3B by high-resolution single-channel seismic profiling (top) and by multichannel seismic profiling (bottom). Vertical exaggeration is 25 times.

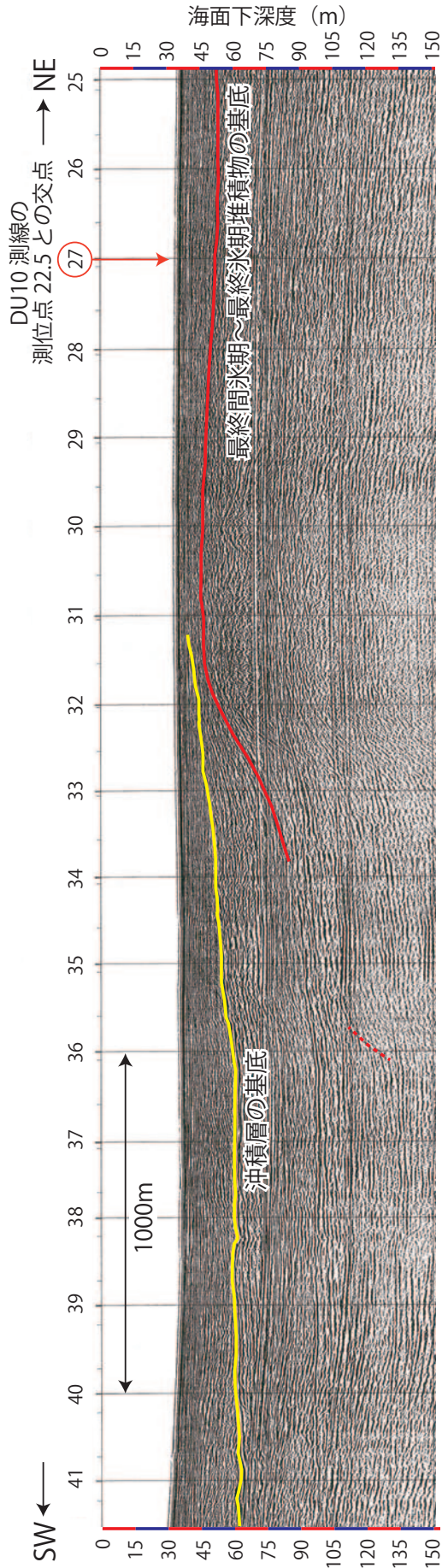


第 31 図. GS-MKO-1 コア掘削地点の深度一年代関係図. 沖積層基底の深度（海面下 68m）を第 9 表にそのまま当てはめ、掘削地点への海の侵入時期（沖積層の堆積開始時期）を 13,000 cal yBP として作成した図. 海の侵入以降、地殻上下変動はなかったと見なした場合に相当する.

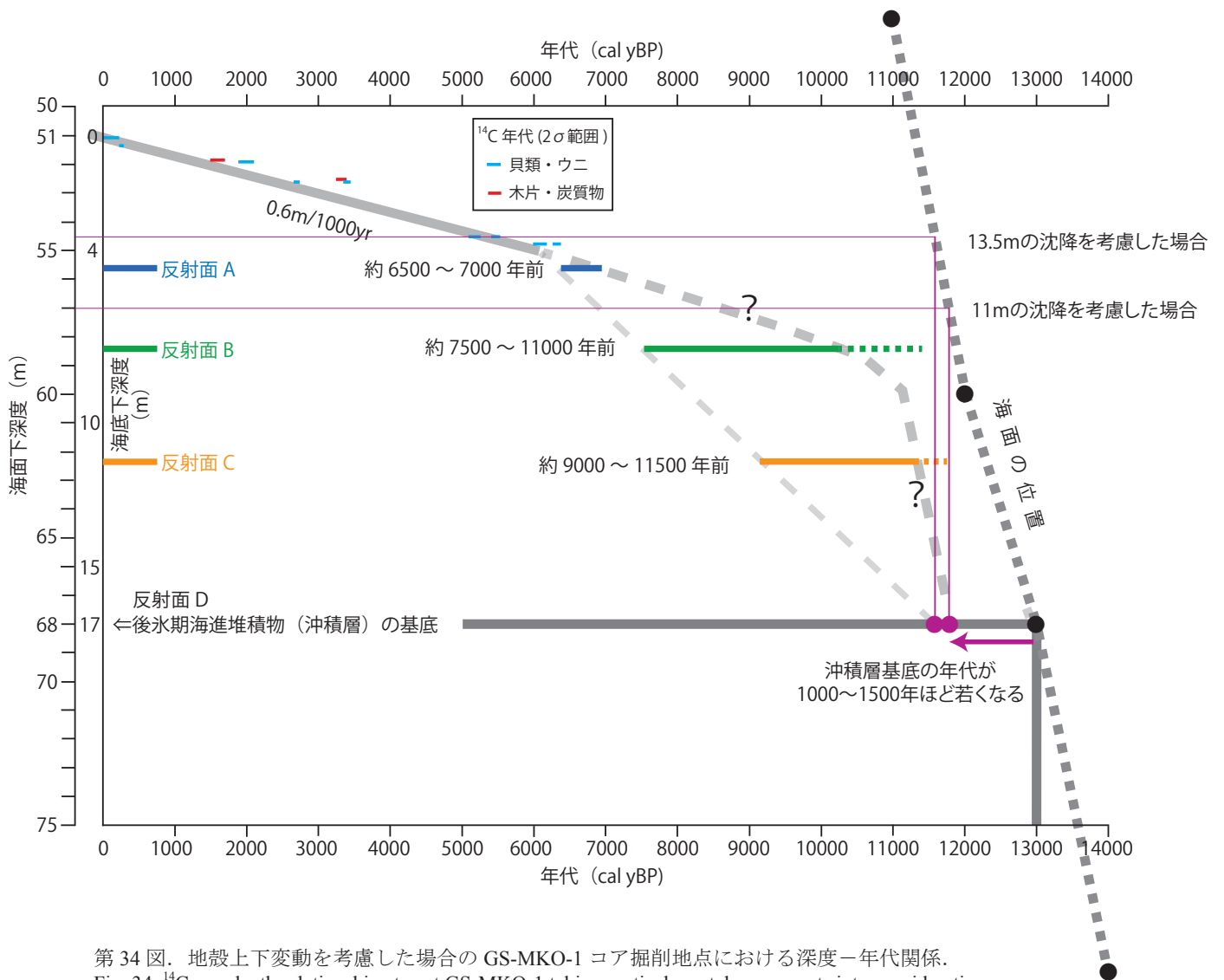
Fig. 31. ¹⁴C age-depth relationship at spot GS-MKO-1. This illustration is based on the following process. The basal depth of the post-glacial deposits (68 m) is directly applied to the age - sea level relationship shown in Table 9; as a result, transgression to (≡ start of sedimentation at) spot GS-MKO-1 is estimated at 13,000 cal yBP. This age-depth relationship corresponds to a case of no vertical crustal movement since the transgression.



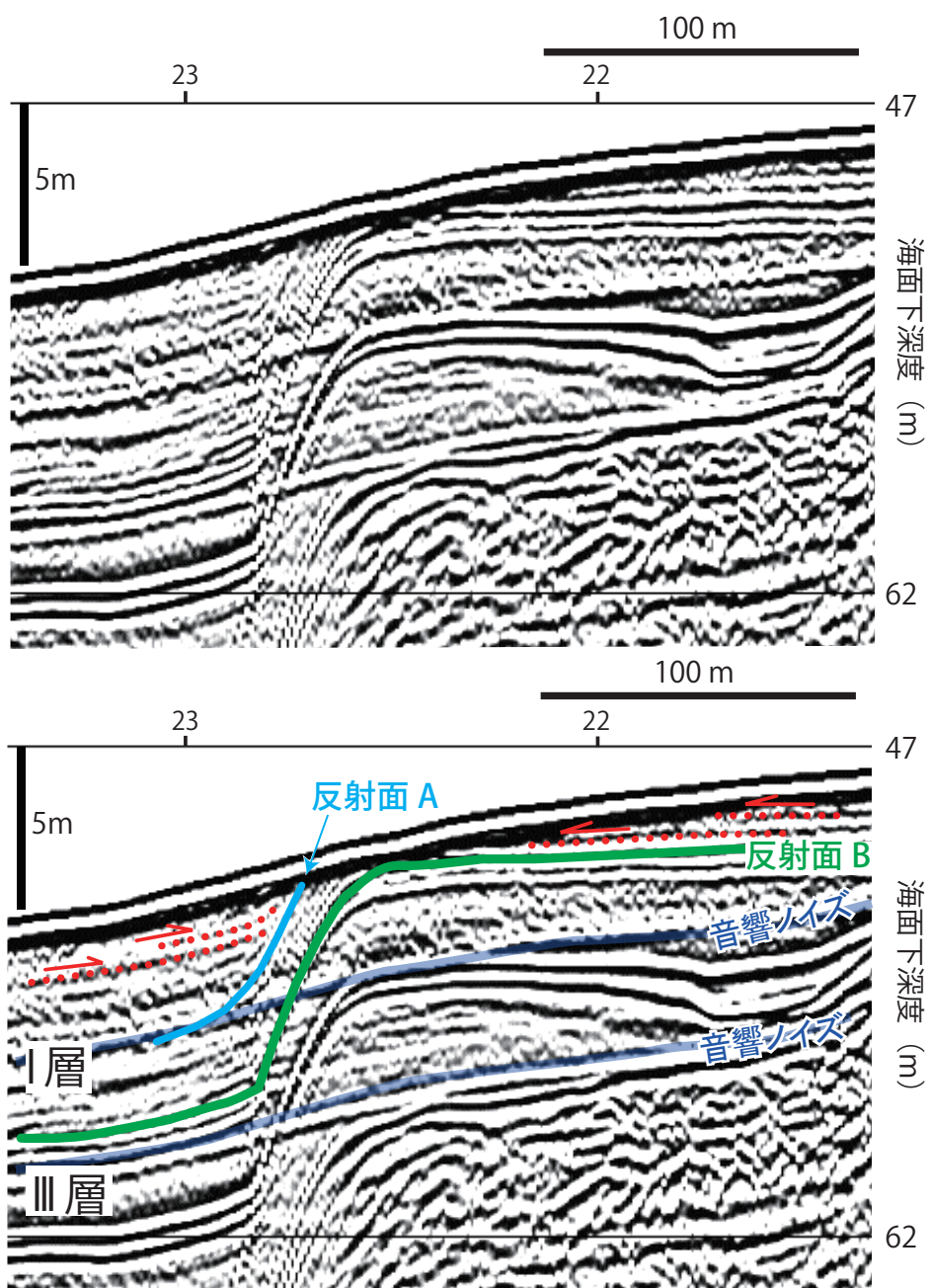
第 32 図. 日本原子力発電 DU10 測線の反射記録.
 Fig. 32. Seismic profiles of line DU10 (Japan Atomic Power Company) with geological interpretation.



第 33 図. 日本原子力発電 NDGM10 測線の反射記録.
Fig. 33. Seismic profile of line NDGM10 (Japan Atomic Power Company) with geological interpretation.

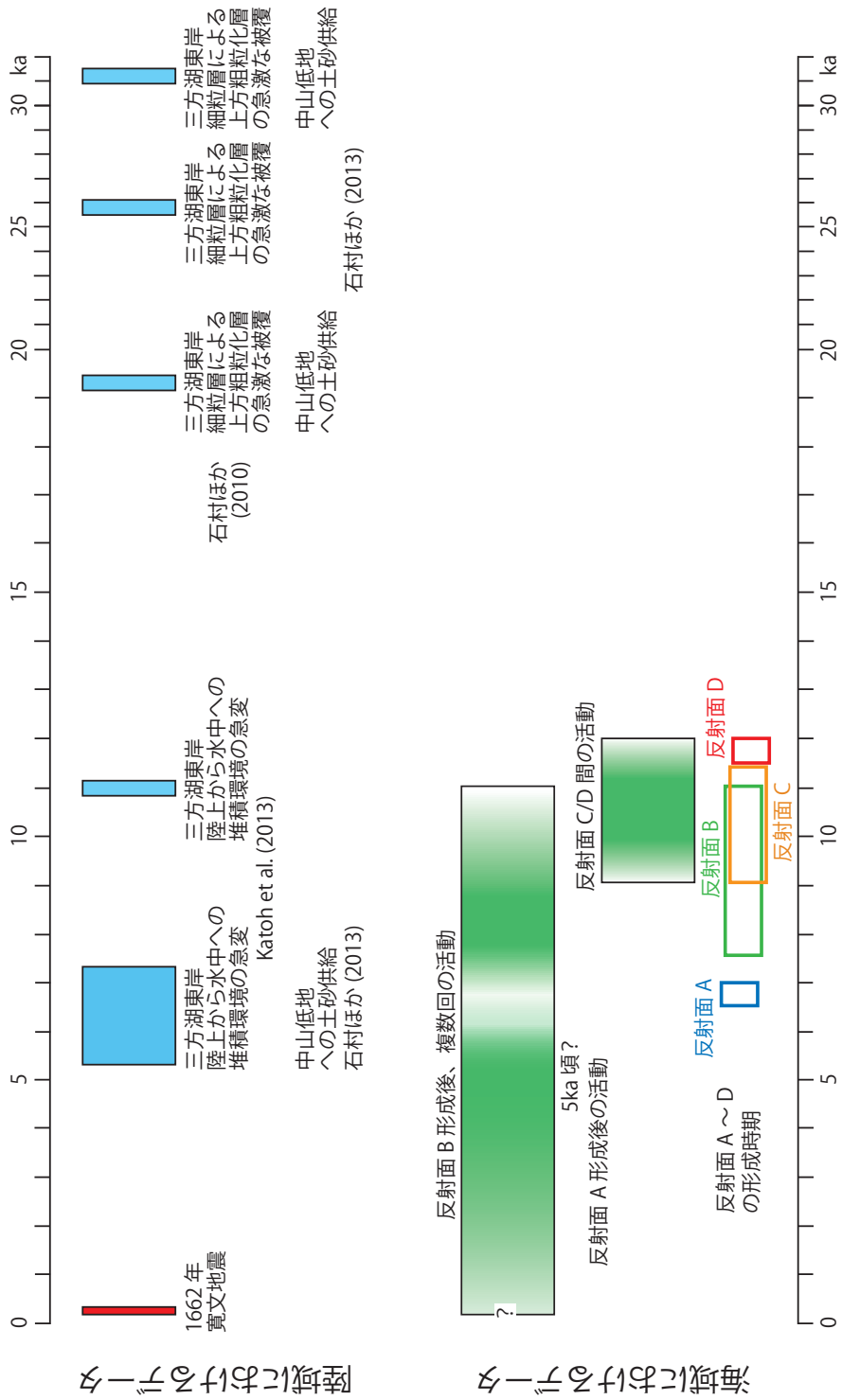


第 34 図. 地殻上下変動を考慮した場合の GS-MKO-1 コア掘削地点における深度-年代関係。
 Fig. 34. ^{14}C age-depth relationship at spot GS-MKO-1 taking vertical crustal movements into consideration.



第 35 図. M-3B 測線の断層部浅部の拡大図.

Fig. 35. Across-the-fault close-up of line M-3B profile with geological interpretation.



第 36 図. 三方断層帯の陸域及び海域の活動履歴データ総括図. 海域における断層活動時期を示す緑色の濃淡は, 推定される可能性の高低を示す. 反射面 A~D の形成年代は, 地殻上下変動を考慮した場合の推定年代を示す.

Fig. 36. Summary of onshore and offshore faulting history on the Mikata Fault Zone. The shade of green indicating the time range of offshore faulting events is proportional to inferred possibility. For inferred ages of reflection surfaces A-D in this figure, vertical crustal movements are taken into consideration.