

## 福井県美浜町菅浜沖, 野坂断層海域部の更新世末期以降の活動

### Latest Pleistocene-Holocene activity of the offshore segment of the Nosaka fault, off Sugahama, Mihama Town, Fukui Prefecture, central Japan

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

Yuichi Sugiyama<sup>1</sup>, Takahiko Inoue<sup>2</sup>, Fumitoshi Murakami<sup>1</sup>, Izumi Sakamoto<sup>3</sup>, Yoshiyuki Takino<sup>3</sup>,  
Takahiro Nagata<sup>4</sup>, Takashi Hosoya<sup>5</sup> and Takuya Usami<sup>6</sup>

<sup>1</sup> 活断層・火山研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Institute of Earthquake and Volcano Geology, sugiyama-y@aist.go.jp)

<sup>2</sup> 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Institute of Geology and Geoinformation)

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

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

<sup>5</sup> 中央開発株式会社 (Chuo Kaihatsu Corporation)

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

**Abstract:** The Nosaka Fault Zone in Fukui Prefecture is basically composed of two NW-SE-striking segments: the B fault system in Wakasa Bay and the Nosaka fault extending from the bay to the onshore area. The Nosaka fault is subdivided into the offshore and onshore segments by ca. 2 km-long coastal portion without fault evidence. In order to reveal the Holocene faulting history of the offshore segment of the Nosaka fault, especially the relationship of its last 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 survey clearly imaged cumulative monoclinical deformation in the surficial zone 0 to 15 m deep, so that it identified different faulting events. Offshore drilling extracted 27 m-long GS-NSO-1 core on the downthrown side and 12 m-long GS-NSO-2 core on the upthrown side. Detailed geologic observation, <sup>14</sup>C dating, magnetic susceptibility measurement, tephra and diatom analyses of the cores established the Holocene stratigraphy across the offshore Nosaka fault. They also revealed thickness and height of each stratigraphic unit, ranging in age from 10 to 4 ka, on both sides of the fault. Further, we minutely corrected the unit boundaries on both sides through comparison of geologic stratigraphy with seismic profiles. All these works have revealed that the offshore segment of the Nosaka fault was reactivated three times in the Holocene time. These faulting events occurred ca. 9-10.5 ka, ca. 8 ka and 4-6 ka, respectively. In addition, there is a possibility that another event occurred 7.5-8 ka. Unfortunately, these studies could not obtain data giving a conclusion on the offshore segment of the Nosaka fault's relationship with the 1662 Kanbun earthquake. However, these surveys have estimated the vertical slip rate, slip per event and average recurrence interval of the offshore Nosaka fault to be ca. 0.6 m/ky, ca. 1.5-3.5 m and 2,500-5,800 years, respectively.

**キーワード:** 野坂断層帯, 活断層, 変位速度, 若狭湾, 音波探査, 海上ボーリング

**Keywords:** Nosaka Fault Zone, active fault, slip rate, Wakasa Bay, acoustic reflection profiling, offshore drilling

#### 1. 野坂断層帯の概要

##### 1.1 断層帯の概要と研究史

野坂断層帯 (地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2003) は, 若狭湾から福井県三方郡美浜町を経て敦賀市に至る活断層帯であり, 野坂・集福寺断層帯の一部をなす (第1図). 野坂・集福寺断層帯は, 全体として北西-南東方向に延びているが, 敦賀市南部で約4 kmの不連続が認められる. この不連続部には, 北東-南西方向に湖北山地断層帯北西部 (敦賀断層) が延び, 野坂・集福寺断層帯を北西側の野

坂断層帯と南東側の集福寺断層帯に二分している. 野坂断層帯は, 敦賀平野南部から若狭湾に至る野坂断層帯と若狭湾内のB断層系 (小松原ほか, 2000) を主な構成要素とする長さ約31 kmの活断層帯であり, 左横ずれ成分と北東側隆起の逆断層成分を有する. その最新活動は, トレンチ調査結果から, 15~17世紀と推定されている (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) による長期評価公表前の本断層帯に関する主な研究としては, 山崎・多

田 (1927), 東郷 (1974), 杉山ほか (1998) などがある。山崎・多田 (1927) は, 野坂岳の北東方, 敦賀平野の南西縁に北西-南東方向に延びる断層崖の存在を示し, 黒河川断層崖と呼んだ。東郷 (1974) は, 野坂山地の変動地形から活断層の分布を示し, 黒河川断層崖を野坂断層と呼び, 集福寺断層も含めてこれらの断層が左横ずれの活断層であることを明らかにした。杉山ほか (1998) は, 野坂断層のトレンチ調査を行い, 本断層帯が 1 千年前以降に活動したことを示すデータを得ている。このほか, Huzita (1962), 伊藤・藤田 (1971), 藤田・岸本 (1972), 東郷・仲川 (1973), 村井・金子 (1975), 松田ほか (1976), 岡田 (1978), Okada (1978), 杉山 (1997), 栗本ほか (1999), 中江ほか (2002) などが本断層帯及びその近傍の活断層, 地殻変動, 地形発達, 地質構造等の調査若しくは考察, データの総括等を行っている。また, 活断層研究会編 (1991), 岡田・東郷編 (2000), 池田ほか編 (2002), 中田・今泉編 (2002) は, 本断層帯に関するデータを総括すると共に, 陸域の詳細位置情報を提供している。

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ている。小松原ほか (2000) は, 野坂断層の海域部で反射面の上下変位とその累積性を認め, 完新世に少なくとも 2 回の断層活動があった可能性を指摘している。また, 水野・島崎 (2002, 2003) は海上保安庁 (1980) 及び小松原ほか (2000) の結果を再検討し, 本断層帯海域部の完新世の活動を推定している。

地震調査委員会 (2003) による長期評価公表後の野坂断層帯の研究としては, 岡田ほか (2005, 2012) による変動地形学的研究 (都市圏活断層図「敦賀」及び「三方」の刊行) がある。また, 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, 野坂断層帯の調査を行っている (日本原子力発電, 2004)。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, 野坂断層帯の再調査・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, 関西電力と日本原子力発電は, 野坂断層帯 (若狭湾内の野坂断層及び B 断層系) を横切る音波探査を実施している。更にこれら 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, 野坂断層帯の沈降側) 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, 野坂断層帯は, 北西側から, 若狭湾内の B 断層系, 若狭湾から敦賀平野の南部に至る野坂断層, 野坂断層南東部の南側を並走する野坂南方断層の 3 つの断層から構成される (第 1 図)。B 断層系と野坂断層の海域部との間は, 約 4 km にわたって断層の存在が確認されていない。地震調査委員会 (2003) は, 本断層帯を左横ずれ成分と北東側隆起成分をもつ断層と考え, その全長を約 31 km と評価し, 全体が一度に活動した場合にはマグニチュード 7.3 程度の地震が発生すると推定している。また, 同委員会は, 旧地質調査所が平成 10 年度に敦賀市内で実施したトレンチ調査結果 (杉山ほか, 1998) から, 同断層帯の最新活動を 15~17 世紀と推定している。

2003 年 6 月の長期評価公表時点では, 15~17 世紀と推定される最新活動に先立つ活動としては, 約 2 万年前から 9 千年前の活動しか明らかにされておらず, 断層帯の活動間隔に関するデータは十分ではない。また, 野坂断層帯の海域部が陸域の最新活動と同時に活動したか否かを示すデータは得られていない。このため, 海域部において過去の活動時期, 平均変位速度及び 1 回の活動に伴う変位量などに関するデータを得ることが課題として残されている。

## 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, 野坂断層帯海域部の過去の活動時期, 平均変位速度及び 1 回の活動に伴う変位量に関するデータの取得を第一の目標とした。その上で最新活動の年代を特定し, 海域部の最新活動と 15~17 世紀とされる陸域の最新活動との同時性及び歴史地震との関係の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・火山灰分析等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。

本報告では、これら3つの調査項目のうち、更新世末期以降における野坂断層海域部の活動履歴に関する重要なデータが得られた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について報告する。高分解能シングルチャンネル音波探査については、粗い底質のために沖積層上部までの反射記録しか得られず、野坂断層海域部の活動履歴に関する重要なデータは得られなかった。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 探査海域及び探査測線

##### 3.1.1 探査海域

野坂断層帯の海域部（野坂断層海域部及びB断層系）については、これまでに、海上保安庁（1980）、小松原ほか（2000）及び日本原子力発電（2010）がユニブームを音源とする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。これらの既往探査結果の検討に基づき、本調査では、福井県美浜町菅浜沖の東西約4km（東経135°56.5′～135°58.8′）、南北約4km（北緯35°37.6′～35°39.5′）の野坂断層海域部周辺を調査海域とした（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）の音波探査記録を参考に、先行して実施したシングルチャンネル音波探査の測線に沿って、北東－南西方向に11測線、これらの測線に直交する北西－南東方向の測線を1本設定した。また、反射記録の検討から、海上ボーリング調査候補測線としたN-5B測線及びN-5.5B測線については、調査機器の設定、船速、発信間隔等を変えて、N-5B測線で5回、N-5.5B測線で4回の航走観測を実施した（第1表）。

野坂断層海域部の探査は、三方断層帯海域部と合わせて、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、このうち野坂断

層海域部の測線長は28.45kmである。調査はシングルチャンネル探査と同様の測線で実施し、シングルチャンネル探査と区別するため、同じ測線番号の後に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12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。更に、ボーリング調査候補測線としたN-5B測線及びN-5.5B測線では、表層のより詳細な記録を得るため、発振出力を50J、100J及び300Jに変えた探査を実施した。この探査では、音源深度0.3m、発振間隔約0.625mとし、収録時間0.3秒、サンプリング周波数10kHzに設定し、船速は3～4ノットとした（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ともに、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、調査船の舷側に取りつけて測深を行った。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、約100ショットごとに、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）を記録に記入した。これは 200J での調査時は約 125 m ごと、100J 及び 50J の調査時は約 62.5 m ごとに相当する。

### 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。水深が浅く、直達波と海底面が分離しづらい記録については、海底面上のミュート処理は行っていない。また、各層序の連続性を確認する際には、反射法音波探査解釈ソフト SeisVision2D (Geographix 社製) を使用した。

海上ボーリング調査地点近傍の探査データに関しては、地球科学総合研究所に依頼して、断層活動による反射面の変形に注目した高度処理を行った。処理を行ったのは N-4B, N-4.5B, N-5B, N-5B (50J 発振), N-5B (100J 発振), N-5.5B, N-6B, N-103B の 6 測線・8 断面であり、合計測線長は 8 km である。データ処理では、波浪の影響の補正、ケーブル深度補正、フィルタリング処理、振幅補償、デコンボリューション、重合速度解析、残差静補正等を行い、重合後、ポストスタックデコンボリューション及びマイグレーションを実施した。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 4～15 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。

野坂断層海域部周辺では、明瞭な連続的な反射面があまり認められない。これは海底面に分布する堆積物が比較的粗く、締まっているためと考えられる。この中で判別できる音響層序について以下に記載する。

#### 3.3.1 音響層序

本調査海域の反射断面には、海底下約 5～20 ms（深度約 4～15 m）に比較的連続性の良い反射面が認められる。それより下位の地層には一部で反射面が認められるものの、連続性は良くない。また、調査海域北東部及び北西部には露岩域が分布する。本稿ではこれらの反射断面の特徴と地層分布に基づき、野坂断層海域部周辺の地層を 3 層に区分した。以下に

下位層からそれぞれの特徴を記す。

#### (1) III 層

III 層は調査海域北東部及び南西部に分布する。両海域の III 層が同じものである確定的なデータは得られていないが、III 層内部の反射面はほとんどなく、音響基盤を形成している。III 層は上位層とは明瞭な不整合で接し、海底面に露出する III 層は北東部では比較的平坦な地形を示し、南西部では明瞭な凹凸を示す。III 層の下限は本調査では得られなかったため、両海域ともに層厚は不明である。

III 層は、小松原ほか (2000) の I 層（先新第三系）に対比される。

#### (2) II 層

II 層は調査海域全域で認められる音響層である。比較的明瞭な反射面を境界として、上位層と区分される。内部反射は不明瞭なものの、海上ボーリング調査を実施した N-5B 測線（第 9 図）では IIa, IIb 及び IIc に区分できる。II 層の上面及び内部反射面には撓曲状の変形が認められる。II 層については詳細な対比は困難であるが、概ね小松原ほか (2000) の c～k 層（完新統～鮮新統）に対比される。また、N-5B 測線では、4.5.1 で述べるように、II 層はほぼ小松原ほか (2000) の c～f 層（完新統～上部更新統）に当たり、このうち IIa 層は、その堆積体の特徴から小松原ほか (2000) の c 層に対比される。

#### (3) I 層

I 層は本調査域で認められる最表層の堆積物で、その厚さは 12 m（往復走時で 16 ミリ秒）以下である。調査海域全体に広く認められ、上面は現在の海底面である。その内部には比較的連続性のよい反射面が認められ、下位の II 層をオンラップ不整合で覆う。I 層は沖合まで広く連続的に認められることから、完新世後期から現在に至る安定した高海水準期に堆積したと考えられる。N-4.5B 及び N-5B 測線（第 8, 9 図）では、東西に堆積層が薄くなり、上に凸の形状を呈しており、底層流などの影響が推定される。

I 層は、海上ボーリング調査を実施した N-5B 測線（第 9 図）では、Ia 層と Ib 層の上下 2 層に区分される。これらはそれぞれ、概ね小松原ほか (2000) の a 層と b 層に対比されると推定される。

#### 3.3.2 野坂断層海域部の変形構造

今回の調査で得られた野坂断層海域部を横切る反射断面には、断層活動によると考えられる変形構造が認められる。以下に調査海域を北部・中部・南部に分けて、海域及び測線ごとに反射断面に認められる変形構造について述べる。

##### (1) 調査海域北部: N-2.5B～N4B 測線（第 4～7 図）

調査海域北部の断層直交方向の断面には、I～III 層が認められる。探査断面の東部及び西部には III 層が分布している。東部に分布する III 層の上面は比較的平坦で緩やかに上に凸の形状を呈する。この III 層



の西縁に西側が低下する断層（野坂断層海域部）が存在すると推定され、この位置を挟んで東側（III層中）には内部反射が認められないのに対して、西側では内部反射が認められ、I層及びII層が分布する。この断層に関しては、沖合のN2.5B（第4図）及びN-3B測線（第5図）では堆積層の変形・変位がやや不明瞭であることから、活動性が低い可能性を有する。一方、陸側（南側）のN-3.5B（第6図）及びN-4B測線（第7図）では、I層内部の反射面の変形はやや不明瞭なもの、II層の内部反射面には明瞭な西側低下の撓曲変形が認められ、下位の反射面ほど上下変位量が大きくなる。このことからII層堆積以降、複数回の断層活動があったことが示唆される。

#### (2) 調査海域中部:N-4.5B~N-6B測線(第8~12図)

本海域では、野坂断層海域部に直交する断面にI層及びII層が認められる。N-5B測線（第9図）の断面では、II層内部に特徴的な反射面が認められ、上述のようにIIa層、IIb層及びIIc層に区分できる。また、I層はIa層、Ib層の上下2層に区分される。N-6B測線（第12図）の断面では、測位点13付近のI層基底に北東側に落ち込む急斜面が認められ、この斜面基部を最深部とする南西に緩く傾斜するI層基底を、プログラデーションパターンを示す堆積物が北東側から埋積している。

野坂断層海域部の断層部に当たるN-5B-100J測線（第10図）の測位点6~7付近とN-5B-50J測線（第11図）の測位点4~5付近には、IIb層の内部反射面と基底面、さらにI層の基底面に相対的に西側が低下する明瞭な撓曲状の変形構造が認められる。N-5B-100J測線（第10図）の測位点9付近とN-5B-50J測線（第11図）の測位点7付近でもIIb層基底は西へ傾斜しているが、下位のIIc層中の緩く西へ傾斜する反射面を切っていること、IIb層中のほぼ水平な内部反射面が同層基底にオンラップしていることから、撓曲変形ではなく、浸食面と判断される。

IIb層の基底面については、沈降側の反射面が不明瞭なため、断層部を挟む上下変位量は明らかではないが、I層基底面の変位量よりも大きい。また、I層の基底面には、N-4.5B（第8図）及びN-5B測線（第9~11図）においては1~2mの上下変位が認められる。このことから、少なくともIIb層堆積中に1回、I層の堆積開始以降に1回の、計2回以上の断層活動があったことが示唆される。

#### (3) 調査海域南部:N-7B~N-9B測線(第13~15図)

調査海域南部は水深が浅いため、音源の直達波や多重反射が強く、音響層序区分は困難である。海底面は、断面中央が低い、下に凹の緩やかな地形を示す。N-7B測線（第13図）の断面では、測位点5周辺のI層基底に、上述したN-6B測線（第12図）の測位点13付近に見られる急斜面の延長と推定される北東傾斜の斜面が認められる。斜面の中央部（測位点5）付近には、北東側が沈降する断層が存在する可能性

がある。N-8B測線（第14図）及びN-9B測線（第15図）の断面では、海底直下の反射面も東方と西方へ浅くなる同様の傾向を示す。N-9B測線では、南西部（測位点No.1~2）の海底下に比高約1mの谷地形が埋積されており、北東部（測位点No.11~13）には、不明瞭ながら西側に傾斜するプログラデーションパターンを示す堆積体が確認される。今回の調査では、本海域内の海底には海底谷のような谷地形は認められず、陸からの碎屑部供給量の増加など、調査海域の堆積環境が比較的最近に変わった可能性を示唆する。

野坂断層海域部は、不明瞭ながらN-7B測線（第13図）の測位点12付近を通過する可能性がある。N-8B測線（第14図）とN-9B測線の断面（第15図）では、野坂断層海域部は確認できなかった。

## 4. 海上ボーリング調査

### 4.1 調査地点の選定

海上ボーリングを実施する調査地点（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。選定に際しての主な基準として、1) 深度15m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海上ボーリング調査には、マルチチャンネル音波探査のN-5B若しくはN-5.5B測線上が最適と判断した。最終的には、N-5B測線上の撓曲構造（＝野坂断層海域部）の西側（沈降側）のGS-NSO-1地点（第16図；北緯35°38'53.03"、東経135°57'47.06"、水深12.0m）と北東側（隆起側）のGS-NSO-2地点（第16図；北緯35°38'54.98"、東経135°57'48.83"、水深11.7m）を海上ボーリングの調査地点に選定した。

### 4.2 海上調査の方法

#### 4.2.1 海上ボーリング調査

##### 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17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槽（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 18 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て、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 19 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 20 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 3 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。

掘削呼び径は直径 86 mm（コア径直径 70 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。野坂断層帯海域部の掘削地点は水深が約 12 m と比較的浅いため、潜水士が磁気探査機（DTM-I 型磁気傾度計）を操作して、掘削予定地点を中心とする半径 5 m の範囲に危険物がないことを確認した。

#### 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・分析の方法

野坂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、断層の南西側（沈降側）で深さ 27 m のコア（以下、GS-NSO-1 コアと呼ぶ）、北東側

（隆起側）で深さ 12 m のコア（以下、GS-NSO-2 コアと呼ぶ）を採取した。両コアについて、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、<sup>14</sup>C 年代測定用試料、火山灰分析用試料、及び花粉・珪藻分析用試料を採取し、それぞれ <sup>14</sup>C 年代測定、火山灰分析、花粉・珪藻分析に供した。

#### 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 の半割塩ビ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な室内で行い、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 4 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\*）と色相（a\* 及び b\*）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・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・軽石粒等の火山起源物質、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 <sup>14</sup>C 年代測定

GS-NSO-1 コアについては、上部（後述するコア観察結果による A 層）から貝 10、植物片 1 の計 11 試料、同コア中部（C 層）から貝 3、木片・腐植など 5 の計 8 試料、同コア下部（D 層）から木片・腐植各 1 の計 2 試料、合計 21 試料を採取し、AMS 法による年代測定に供した。その結果、A 層上部については、一部に年代の逆転が見られ、スライム起源

の試料が含まれる可能性が出てきたため、貝 5 試料を追加で採取・測定した。

GS-NSO-2 コアについては、上部 (A 層及び B 層最上部) から貝 6, ウニ 1, 腐植混じり粘土 1 の計 8 試料, 下部 (B 層最下部及び C 層) から貝 1, 腐植混じり粘土 2 の計 3 試料, 合計 11 試料を採取し, AMS 法による年代測定に供した。その後, A 層最上部の年代データを補強する目的で, 同層最上部の深度 0.8 m と 1.3 m から貝片を採取し, これら 2 試料の年代測定を追加で実施した。

以上の  $^{14}\text{C}$  年代測定は, 株式会社加速器分析研究所に依頼した。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

コア観察の結果, GS-NSO-1 コア下部の礫が卓越する層準 (D 層) に挟まれるシルト層 (深度約 20.5 ~ 20.75 m) 中に, 火山ガラスが検出された。このため, まず, 深度 20.63 m, 20.69 m 及び 20.745 m から採取した試料について, 粒子組成分析, 火山ガラスの屈折率測定及び火山ガラスの主成分化学組成分析を実施した。後述するように, この火山ガラスは始良 Tn 火山灰 (AT ; 町田・新井, 2011) に対比された。このため, GS-NSO-1 コア中部の粘土卓越層 (C 層) について, 約 10,200 年前の鬱陵隠岐火山灰 (U-Ok ; 町田・新井, 2011) の検出を目的として, 10~20 cm 間隔で採取した試料の火山ガラス含有量を測定し, 代表的な火山ガラスについて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。

#### 4.3.7 花粉及び珪藻分析

コア観察の結果, C 層は河口や干潟などの汽水域に生息するヤマトシジミやアラムシロガイを多産し, 植物片や炭質物を頻りに挟むことが分かった。また,  $^{14}\text{C}$  年代測定の結果, C 層は完新世前期 (約 1 万年前 ~ 8 千年前) の堆積物であることが分かった。このため, C 層の堆積環境の変遷を明らかにすることを目的として, 同層の花粉及び珪藻分析を実施した。分析試料は GS-NSO-1 コアの C 層から 10 試料, GS-NSO-2 コアの C 層から 2 試料を採取した。また, 比較のため, GS-NSO-2 コアの B 層最下部の細~中粒砂と B 層最上部に挟まれる極細粒砂~シルト混じり粘土についても試料を採取し, 花粉と珪藻の分析を行った。花粉と珪藻の分析はパリノ・サーヴェイ株式会社に依頼した。

#### 4.4 海上調査の経緯及び結果

海上調査では, まず, GS-NSO-1 地点 (第 16 図) において, 2013 年 9 月 22 日にコアの掘削を開始した。9 月 24 日には厚さ 3 m 以上の砂礫卓越層となったため, 深さ 12 m で掘止とした。続いて, GS-NSO-2 地

点において, 9 月 28 日にコアの掘削を開始した。コアの深度約 9~11 m には, 粘土を主とする細粒堆積物が確認され, その下位 1 m は砂礫層となったため, 9 月 30 日に深度 12 m で掘止とした。GS-NSO-2 地点で採取したコアの下部に細粒堆積物が確認されたため, 沈降側における相当層を確認し, 野坂断層海域部による上下変位量を解明することを目的として, 10 月 1 日より沈降側の追加掘削を行った。掘削は, 前回の掘削とほぼ同一の地点 (北緯 35°38'52.97", 東経 135°57'46.96", 水深 11.9 m) で行い, 前回のコアと深度 3 m 分を重複させるように, 深度 9 m からコアを採取した。深度 14~19 m に粘土を主とする細粒堆積物が確認され, その後, 砂礫を主体とする堆積物となったため, 10 月 6 日に深度 27 m で掘止とした。

海上ボーリング調査期間中には, 9 月 26, 27 日, 10 月 3 日, 4 日の計 4 日間は荒天のため作業を中止し, 作業と海上交通の安全の確保に努めた。

以上の海上ボーリング調査によって, 断層帯の隆起側で深度 27 m, 沈降側で深度 12 m の連続コアが得られた。

#### 4.5 コア観察結果

GS-NSO-1 コアと GS-NSO-2 コアの写真をそれぞれ第 21 図と第 22 図に示す。また, 両コアの柱状図を第 23 図に示す。

##### 4.5.1 層序区分

両コアには, 上位から下位に向かって, 大きく, 1) 砂が卓越する層準, 2) 砂礫と礫混じりの砂が卓越する層準, 3) 粘土が卓越する層準, 4) 砂礫が卓越する層準の, 4 つの層準が共通して認められた。このため, これら 4 つの層準をそれぞれ A 層, B 層, C 層, D 層とした。さらに, より詳細な層相の特徴に基づいて, A 層を上位から A1 層, A2 層, A3 層に, B 層を上位から B1 層と B2 層に細分した。第 24 図に, コア観察に基づく GS-NSO-1 コアと GS-NSO-2 コアの層序区分とコア間対比を示す。なお, 5.2 で述べるように, 第 24 図に示した層序区分と対比は, 今回及び既往の音波探査記録 (反射断面) との照らし合わせの結果に基づいて一部修正され, 最終的な層序区分とコア間対比は第 37 図となる。

海上ボーリング調査による地質層序区分とマルチチャンネル音波探査による音響層序区分, 小松原ほか (2000) による音響層序区分との対比を第 5 表に示す。A 層はマルチチャンネル音波探査による I 層に対比される。また, 海上ボーリング調査地点付近では, 小松原ほか (2000) の a 層及び b 層に対比される。B 層はマルチチャンネル探査の II 層上部 (IIa 層及び IIb 層上半部) に対比され, 概ね小松原ほか (2000) の c 層及び e 層上部に当たる。C 層は II 層中部 (IIb 層下半部) に対比され, 概ね小松原ほか (2000) の e 層下部に当たる。D 層は II 層下部 (IIc 層) に対



比され、概ね小松原ほか（2000）のf層に当たる。

#### 4.5.2 各層の記載

##### (1) A1層

A1層は主に粗粒砂と極細粒砂からなり、両者は厚さ数10cm～数cmの互層状を呈することが多い。砂層には貝及び貝片が多量に含まれ、極細粒砂で充填された生痕が多い。沈降側のGS-NSO-1コアでは、A1層は深度0～3.5mを占めるが、隆起側のGS-NSO-2コアでは深度0～2mに当たり、約1.5mの層厚の違いがある。GS-NSO-1コアでは、深度2.4～3.5mに、極細粒～細粒砂からなる偽礫が粗粒～中粒砂中に散在する層相が発達するが、GS-NSO-2コアでは深度1.75～1.9mに類似の層相が認められるに過ぎない（深度1.9～2mはコア欠落）。

##### (2) A2層

A2層は主として葉理があまり発達しない、淘汰の良くない中粒砂～極粗粒砂からなり、沈降側のGS-NSO-1コアの方が隆起側のGS-NSO-2コアよりも粒度がやや粗い。GS-NSO-1コアでは深度3.5～5mが典型的な層相（極粗粒～粗粒砂）を示すが、コア観察では中粒～粗粒砂主体の深度6.05mまでを本層に含めた。GS-NSO-2コアでは2.1m（2.0～2.1mはスライム）から3.95mをA2層とした。

##### (3) A3層

A3層は厚さ5～25cm程度の極細粒～細粒砂層と細粒～粗粒砂層の互層からなり、A2層と同じく、GS-NSO-1コアの方がGS-NSO-2コアよりも粒度がやや粗い。粗粒～極粗粒砂層（特にその下部）中には、細礫（granule）～細中礫（fine pebble）が含まれる。GS-NSO-1コアでは深度6.05mから、礫混じり砂層とその下位の砂礫層の境界に当たるコア欠落部（深度8.45～9.1m）中央までをA3層とした。GS-NSO-2コアでは深度3.95mから厚さ20cmの砂礫層の直上（深度5.62m）までをA3層とした。

##### (4) B1層

B1層は砂礫層及び砂礫混じりの粗粒～極粗粒砂層からなる。砂礫層中の礫は、細中礫サイズの頁岩及びチャートの円～亜円礫を主体とし、花崗岩や砂岩の礫を伴う。GS-NSO-1コアでは上述のコア欠落部直下から深度約11.5mまで、2m以上にわたってほぼ連続的に砂礫層が認められ、深度11mには長径63mmの円礫が含まれる。GS-NSO-2コアでは、同様の層相が深度5.62mから同6.15mに認められる。このため、厚さは0.5mと薄い、この層準をB1層とした。

##### (5) B2層

B2層は中粒～極粗粒砂層と細～粗粒砂層の互層からなり、数cm～10cm程度の間隔の上方細粒化を示す成層構造や葉理が発達する。下位層の削り込みや傾斜した層境界も認められ、粗粒砂には礫が含まれ、一部は砂礫層状を呈する。GS-NSO-1コアでは深度

約11.5mから同13.96mまで、GS-NSO-2コアでは深度6.15～9.1mをB2層とした。

##### (6) C層

C層は一部にシルト～砂、礫、腐植・炭質物を含む粘土を主体とする。GS-NSO-1コアでは、深度13.96mから同18.5mまで約4.5mの厚さがあり、粘土層には腐植や砂～シルトの含有量の違いを反映した厚さ数mm～10cm程度の互層状の構造が見られる。中部の深度15～16.5mと最下部の18～18.5mでは、シルト混じりの極細粒～細粒砂が卓越する。GS-NSO-2コアでは、深度9.1mから同10.84mまで約1.7mの厚さがあり、深度9.1～10.2mの上部は部分的に葉理が発達する粘土からなる。深度10.2～10.84mはシルト混じりの細粒～中粒砂からなり、最下部は礫混じりとなる。

##### (7) D層

D層は、GS-NSO-1コアの最下部約8m及びGS-NSO-2コアの最下部約1mを占め、主として砂礫層からなる。砂礫層の基質は極粗粒～粗粒砂からなり、礫は主に中礫サイズの頁岩、砂岩、チャート、花崗岩（強風化したものを含む）、細粒閃緑岩（ひん岩）、主にアプライト起源と推定される石英岩などの円～亜円礫と亜角礫からなる。GS-NSO-1コアでは、深度20.4～21.45mに腐植・炭質物を含むシルト層、及びシルト層と細粒～粗粒砂層の細互層（厚さ数cm）が挟まれ、深度24.1～24.5mにはシルト混じり砂層が挟まれる。

## 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それぞれ第25図と第26～28図に示す。

帯磁率に関しては、 $10 \times 10^{-5} \text{SI}$ を下回る負のピーク（谷部）はコアの欠落部に対応する。また、 $100 \times 10^{-5} \text{SI}$ を超える正のピーク（山部）の多くは、掘削記録を参照するとコアの継目（各回の掘削時のコア最上部）に当たり、スライムに含まれる鉄片の影響と推定される。これらを除くと、GS-NSO-1コアでは、深度3.5～4m付近を底とする谷部（帯磁率は約 $10 \times 10^{-5} \text{SI}$ ）が認められ、深度14～14.5m付近で、帯磁率のレベルが約 $300 \times 10^{-5} \text{SI}$ から、約 $100 \times 10^{-5} \text{SI}$ に、下位に向かって急激に低下している（第25図）。同様の変化はGS-NSO-2コアでも認められ、深度2.5m付近を底とする谷部（帯磁率は約 $10 \times 10^{-5} \text{SI}$ ）があり、深度8.8m付近において、帯磁率のレベルが $500 \times 10^{-5} \text{SI}$ 前後から $100 \times 10^{-5} \text{SI}$ 前後まで、下位に向かって急激に低下している（第25図）。

色調に関しては、GS-NSO-1コアのa\*（緑－赤）とb\*（青－黄）について、B2層下部に当たる深度13m付近で下位に向かって緑と青（青み）が強まる変化が見られる（第27,28図）。GS-NSO-2コアでは、これに対応すると考えられるa\*とb\*の変化がB2

層/C層境界に当たる深度9m付近に見られる(第27,28図)。

#### 4.6.2 $^{14}\text{C}$ 年代測定結果

$^{14}\text{C}$ 年代測定結果を第6表と第7表に、 $^{14}\text{C}$ 年代-深度関係を第24図に示す。

これらの表・図から明らかなように、GS-NSO-1、GS-NSO-2両コアから得られた年代と層序区分・対比は整合している。全体的な年代-深度関係から古い側にずれるGS-NSO-1コア1試料とGS-NSO-2コア2試料は、再堆積と判断した(第24図)。また、GS-NSO-1コアのA1層から採取した、全体の傾向より若い方に年代がずれる4試料は、いずれもコアの継目部(各回の掘削時のコア最上部)に当たることから、上位層に由来する試料がスライムとして混入した可能性が高いと考えられる(第24図)。

A1層からは、 $2\sigma$ の範囲の暦年代で、約6,000 cal yBP以降の年代が得られた。第24図を見ると、A1層上部では同層下部以下の各層に比べて堆積速度が遅いと考えられる。A2層とA3層からは、それぞれ、7,000 cal yBP前後と7,500 cal yBP前後の年代が得られた。

B層からは堆積年代を直接示す年代は得られなかった。C層からは約8,000 cal yBPから約10,500 cal yBPの年代が得られた。C層の堆積速度は1.6~1.9 m/kyと算出される。

D層の深度21m前後に挟まれるシルト質層からは、約29,000 cal yBPの年代が得られ、次に述べるように、この層準からATに由来する火山ガラスが検出されたことと整合する。

#### 4.6.3 火山灰分析結果

D層の深度21m付近から採取した試料の火山灰分析結果を第8表と第9表に示す。第8表の粒子組成分析結果に示すように、深度20.745mの試料は50粒/300粒の高い出現率でバブルウォール型の火山ガラスを含む。3試料の火山ガラスの屈折率は1.4980~1.5005であり、第9表に示す主成分化学組成と合わせて、始良Tn火山灰(AT;町田・新井,2011)起源と判断される。

GS-NSO-1コアのC層の火山灰分析の結果、深度14.35~14.40mの試料から、1.521~1.524の屈折率を示し、鬱陵隠岐火山灰(U-Okai)起源と推定される軽石型の火山ガラスが11.1粒/3,000粒の出現率で検出された。また、C層最下部の深度18.63~18.80mからは、1.658~1.666の屈折率を示すカミングトン閃石と1.497~1.501の屈折率を示す軽石型火山ガラスが検出された。これらの屈折率は、約2万年前の阪手テフラ(三瓶浮布火山灰,SUK;町田・新井,2011)のカミングトン閃石及び火山ガラスの屈折率(中村ほか,2011)と一致することから、C層最下部には阪手テフラ起源の粒子が混入していると推定さ

れる。このほか、C層のほぼ全層準から、最高202粒/3,000粒の出現率のAT起源の火山ガラスが検出された。

#### 4.6.4 花粉及び珪藻分析結果

##### 4.6.4.1 花粉分析結果

花粉分析結果を第29図に示す。この図に示すように、GS-NSO-1コアのC層及びGS-NSO-2コアのC層とB層から、試料の採取層準に拘わらず、類似した組成の花粉群集が検出された。落葉広葉樹のブナ属とコナラ亜属、針葉樹のスギ属が多少の消長はあるものの、全体的に20%前後の出現率を示す。次いで、マツ属、エノキ属-ムクノキ属、ニレ属-ケヤキ属が10~20%程度の出現率を示す。際だって優占する分類群がみられないのが特徴であり、湿地性のサワグルミ属-クルミ属、クマシデ属-アサダ属、ハンノキ属などを伴うことを考え合わせると、様々な場所から花粉が集まってくる河口付近や内湾などの環境が示唆される。また、低率ながら、常緑広葉樹のアカガシ亜属やシノキ属が検出される。このような花粉群集の特徴は、安田(1982)による三方湖のR帯Sub-zone2の上部に相当し、縄文海進最盛期に向かう温暖化期を示唆する。

##### 4.6.4.2 珪藻分析結果

珪藻の分析結果を第30図と第31図に示す。第30図に示すように、GS-NSO-1コアのC層中には、海水の影響の消長を示唆する群集の変遷が認められる。C層最下部からは珪藻を産出しない(おそらく酸化環境下で殻が溶解した)ため、その堆積環境は不明であるが、C層の下部(深度約18m)から中部(深度約16.5m)にかけては、上位に向かって海水生種、海~汽水生種、汽水生種が減少し、淡水生種が増加している。構成種の特徴から、海水の流入があった潟湖から海水の影響が弱い池沼への移り変わりが示唆される。その上位の深度15.5~14.5mでは、再び海水生種、海~汽水生種、汽水生種が優占するようになり、海水がコア掘削地点周辺に再侵入したことを示唆する。その上位の深度14.3mの試料では淡水生種が卓越し、海水の影響が弱まるが、C層最上部の深度13.95mでは再び海水生種と汽水生種が優占し、海水の影響が強くなっている。GS-NSO-2コアではC層の2層準のみから珪藻が検出されたため、環境変遷の詳細は不明であるが、GS-NSO-1コアと同様の潟湖及び池沼環境の存在が示唆される(第31図)。

#### 5. 測定・分析結果及び音波探査結果との照らし合わせによるコア観察結果の検証

##### 5.1 測定・分析結果とコア観察結果の照らし合わせ帯磁率測定結果については、GS-NSO-1コアの深

度 3.5~4 m 付近の帯磁率の谷と GS-NSO-2 コアの深度 2.5 m 付近の帯磁率の谷は、いずれも A2 層の上部に対応する (第 25 図)。また、GS-NSO-1 コアの深度 14~14.5 m 付近と GS-NSO-2 コアの深度 8.8 m 付近の帯磁率の急変 (下方への帯磁率の急減) は、両コアとも、B2 層/C 層境界若しくはその直上の B2 層最下部に当たる (第 25 図)。このような帯磁率測定結果は、コア観察に基づく A1 層/A2 層区分、B 層/C 層区分、及び両コア間でのこれら境界層準の対比と整合的である。

色調測定結果については、GS-NSO-1 コアの B2 層下部の深度 13 m 付近、GS-NSO-2 コアの B2 層/C 層境界に当たる深度 9 m 付近で、下位に向かって緑と青が強まる変化が見られる (第 27, 28 図)。このような色調変化は、粘土が卓越する C 層の還元環境を反映したものと推定され、コア観察に基づく B 層/C 層区分及び両コア間でのこの境界層準の対比と調和的である。

<sup>14</sup>C 年代測定結果については、第 24 図に示すように、A1 層~A3 層上部及び C 層から、GS-NSO-1、GS-NSO-2 両コアの層序区分及びコア間対比と整合する結果が得られた。一方、A3 層中部~B2 層からは年代値が得られておらず、年代測定結果から、この層準の層序区分及びコア間対比の妥当性を直接的に検証することはできない。

火山灰分析では、D 層中のシルト質層の挟みから、AT 起源の火山ガラスが高い出現率で検出され、約 3 万年前の <sup>14</sup>C 年代値が得られたことと合わせて、砂礫を主とする D 層が最終氷期の堆積物であることを証拠立てた。

花粉及び珪藻分析の結果は、GS-NSO-1、GS-NSO-2 両コアの C 層が同様の潟湖・池沼環境で堆積したことを示しており、<sup>14</sup>C 年代測定結果と合わせて、コア観察に基づく両コア間での C 層の対比を支持する結果と言える。

## 5.2 音波探査結果とコア観察結果との照らし合わせ

第 32 図に今回の N-5B 測線、日本原子力発電の DU11 測線 (ブーマー、シングルチャンネル探査)、小松原ほか (2000) の NE6 測線 (ブーマー、シングルチャンネル探査) の位置を示す。また、第 33 図に N-5B-50J 測線 (ブーマー 50J、発振間隔 0.625 m、受振間隔 2.5 m、12 チャンネル探査) の重合処理断面にボーリング調査結果を重ねた図を示す。第 34~36 図には、それぞれ N-5B-200J 測線 (ブーマー 200J、発振間隔 1.25 m、受振間隔 2.5 m、12 チャンネル探査)、日本原子力発電の DU11 測線、小松原ほか (2000) の NE6 測線の反射断面に、ボーリング調査結果を投影した図を示す。このうち、第 35 図に示す DU11 測線の反射断面は本稿末に示す貸与・開示を受けた資料 2 の一部である。

ボーリング調査結果の重ね合わせに際しては、水

中及び堆積物中の音速を 1,500 m/秒と仮定し、往復走時 13.33 ミリ秒が深さ 10 m に対応するものとした。また、GS-NSO-1 コアと GS-NSO-2 コアの掘削地点の深度差 (0.25 m) も考慮に入れた。

### 5.2.1 A3 層/B1 層境界の照らし合わせ

N-5B-50J 測線の反射断面 (第 33 図) では、隆起側 (北東側) の GS-NSO-2 コアの A3 層/B1 層境界 (柱状図中の厚さの薄い赤色部の上端) ないしその直上に、連続性のよい反射面 (音響層序の I 層基底面) が認められる。この反射面は A3 層下部の砂層 (柱状図の黄色部) と B1 層最上部の砂礫層 (同赤色部) との音響インピーダンスの差によるものと考えられ、GS-NSO-2 コアの A3 層/B1 層境界に相当すると推定される。この反射面は、GS-NSO-2 コア掘削位置から南西側へ 50 m ほど水平に連続した後、断層部で約 1.8 m 南西側へ撓み下がっている (第 33 図)。沈降側の GS-NSO-1 コアの掘削位置付近では、この反射面はごく緩い傾斜で北東側へ浅くなっている。GS-NSO-1 コアの柱状図との比較では、この反射面は同コアの A3 層/B1 層境界 (柱状図の橙色部・赤色部間の空白部) よりも約 2.5 m 高い位置にあり、A3 層の上部 (柱状図の黄色卓越部と橙色卓越部の境界) に重なる。

隆起側の A3 層/B1 層境界に相当すると推定される反射面 (音響層序の I 層基底面) は、N-5B-200J 測線 (第 34 図)、DU11 測線 (第 35 図) 及び NE6 測線 (第 36 図) でも認められる。いずれも、野坂断層海域部による約 1.5 m ないし 2 m の上下変位 (撓曲変形) を示し、沈降側では GS-NSO-1 コアの A3 層/B1 層境界 (柱状図の橙色部・赤色部間の空白部) よりも 2.5 m ほど高い位置にあり、A3 層の上部 (柱状図の黄色卓越部と橙色卓越部の境界) に重なる。

### 5.2.2 B1 層の照らし合わせ

コア観察では、沈降側、GS-NSO-1 コアの B 層上半の厚さ約 2.5 m の砂礫卓越部を B1 層とし、隆起側の GS-NSO-2 コアの深度 6 m 前後にある厚さ約 0.5 m の砂礫層に対比した。しかし、N-5B-50J 測線の反射断面 (第 33 図) では、GS-NSO-1 コアの B1 層 (柱状図の赤色部) に相当する深度に見られる複数の反射面は、断層部で撓み上がっているものの、隆起側では GS-NSO-2 コアの B1 層の深度よりも明らかに低く、B2 層相当の深度に対応する。このほかの音波探査記録では、測線 N-5B-200J (第 34 図) の反射断面において、やや明瞭さは落ちるが、同様の関係が窺える。

### 5.2.3 B2 層/C 層境界の照らし合わせ

N-5B-50J 測線の反射断面 (第 33 図) では、GS-NSO-2 コアの B2 層/C 層境界 (柱状図の青色部の上端) から C 層相当の深度に、南西に傾斜する反



射面（オレンジ色及び緑色で示した反射面）がみられる。これらの反射面は、GS-NSO-2 コア掘削地点付近で一旦傾斜が緩くなった後、断層の位置で大きく撓み下がっている。上位のオレンジ色の反射面の撓み下がり量は約 5.4 m、下位の緑色の反射面の撓み下がり量は約 6 m と見積もられる。これらの撓み下がり量は上述の A3 層 / B1 層境界に相当する反射面の撓み下がりより明らかに大きく、断層変位の累積を示すと共に、両コアの B2 層 / C 層境界の深度差 (5.5 m) と概ね整合する。このほかの音波探査記録では、日本原子力発電の DU11 測線 (第 35 図) において、B2 層 / C 層境界若しくは B1 層 / B2 層境界と推定される顕著な反射面が野坂断層海域部によって、5 m 程度の上下変位 (撓曲変形) を被っており、両コア間の B2 層 / C 層境界の深度差と調和的である。

### 5.3 音波探査結果との照らし合わせに基づく層境界及びコア間対比の修正

上述のコア観察結果と測定・分析結果及び音波探査結果との照らし合わせによって、A1 層 / A2 層境界と B2 層 / C 層境界の設定及び両コア間での対比については、妥当と判断される。一方、音波探査結果との照らし合わせによって、A3 層 / B1 層境界及び B1 層 / B2 層境界については、修正が必要と判断される。そこで、本調査では、縮尺 10 分の 1 のコア柱状図の見直しを行い、この結果に基づいて、上記 2 つの境界層準などを以下のように修正する。この修正に基づく GS-NSO-1 コアと GS-NSO-2 コアの対比を第 37 図に示す。

A3 層 / B1 層境界については、断層隆起側の GS-NSO-2 コアにおける位置をそのままとし、沈降側の GS-NSO-1 コアにおける位置を深度 6.9 m の細粒砂層 (上位) と礫混じり粗粒砂層 (下位) との境界に変更する (第 37 図)。これによって、沈降側の A3 層 / B1 層境界はコア観察単独による深度よりも約 2 m 上方に移動する。

A3 層 / B1 層境界 (A3 層基底) を上述のように修正し、A3 層の上限 (A2 層 / A3 層境界) を変更しない場合には、沈降側の A3 層の厚さは約 0.9 m と極めて薄くなる。このため、本研究では A2 層 / A3 層境界についても、コア柱状図の見直しによって修正を検討したが、単一の深度・層準に絞り込むことはできなかった。このため、本報告では、沈降側の A2 層 / A3 層境界を、GS-NSO-1 コアの深度 6.05 m から深度 5.1 m ~ 5.7 m に、幅を持たせて変更する (第 37 図)。

B1 層 / B2 層境界については、B1 層の層相上の特徴をより強く有する沈降側の GS-NSO-1 コアにおける位置をそのままとし、隆起側の GS-NSO-2 コアにおける位置を深度 8.3 m の含礫率 10 ~ 15% の礫混じり粗粒砂層 (上位) と細粒 ~ 中粒砂層 (下位) との境界に変更する (第 37 図)。これによって、隆起側

の B1 層 / B2 層境界はコア観察単独による深度よりも約 2 m 下方に移動する。

## 6. 野坂断層海域部の更新世末期以降の活動

ここでは、前章までの調査結果の総合的な検討により得られた、野坂断層海域部を挟んだ各層の層厚変化及び各層基底の高度差 (≒ 上下変位量) の変化を指標として、同断層の更新世末期以降の活動について考察する。考察に当たっては、適宜、コア観察結果、測定・分析結果及び音波探査結果に立ち戻って検討する。

第 10 表に、野坂断層海域部を挟んだ各層の層厚及びその上下方向への変化と各層基底の高度差及びその上下方向への変化を示す。同表には、<sup>14</sup>C 年代測定結果から推定された各層の年代を合わせて示す。なお、C 層については、<sup>14</sup>C 年代測定結果に基づき、9,000 cal yBP の年代と推定される層準を境界として、上部と下部に二分した。

### 6.1 平均変位速度

第 10 表から、野坂断層海域部を挟んだ B2 層、C 層上部、C 層下部の基底の高度差は、それぞれ、5.0 m、5.5 m、8.2 m である。第 33 図に示す音波探査記録を参照すると、B2 層及び C 層上部の野坂断層海域部を挟んだ基底高度差は、同断層海域部の累積上下変位量と見なして大きな問題はないと考えられる。C 層下部の基底については、音波探査記録上では対応する深度の反射面の連続性が良くないため、基底高度差をそのまま上下変位量と見なしてよいか、幾分疑問が残る。即ち、沖積層堆積開始時の基底面に初生的な傾斜や凸凹があった可能性を完全には否定できない。

これら 3 層の基底の高度差を野坂断層海域部の累積上下変位量と見なした場合、各層の堆積年代から、平均上下変位速度は、それぞれ、約 0.6 m/ky (B2 層基底)、約 0.6 m/ky (C 層上部基底)、約 0.8 m/ky (C 層下部基底) となる。上述のように、C 層下部基底については、音波探査記録による初生水平性の裏付けが十分ではない。したがって、本報告では、野坂断層帯海域部の完新世における平均上下変位速度を約 0.6 m/ky (約 0.8 m/ky に達する可能性もあるが、信頼度がやや落ち、今後の検証が必要) とする。横ずれ方向の変位速度については、直接的なデータは得られなかった。北西 - 南東の走向から、陸上の野坂断層帯と同様に、上下成分を上回る左横ずれ方向の変位速度を有する可能性がある。

### 6.2 活動履歴

#### 6.2.1 活動イベントの認定

第 10 表に示すように、A1 層下部、B2 層及び C 層下部では、隆起側 (野坂断層海域部の北東側) の

層厚が沈降側（南西側）の層厚に比べて著しく小さくなっており、これら3層の堆積中～それぞれの被覆層の堆積以前に断層活動があったことが示唆される。本稿では、これら3つの活動を、新しい方から、活動1、活動2、活動3と呼ぶ。このうち、活動3については、6.1で述べたように、C層下部の隆起側・沈降側間の層厚の違いは、C層下部基底（沖積層基底）の初生傾斜・凹凸に起因する可能性がある。

また、断層を挟んだ各層基底の高度差の変化からは、上記3層準に加えて、B1層の堆積中～A3層堆積以前にも、断層活動が生じた可能性が示唆される。本稿では、この活動を活動2'と呼ぶ。B2層堆積中～B1層堆積以前に活動2'が起き、B1層堆積中～A3層堆積以前に活動2'が生じたとすると、各層の推定年代から、約500年以内に2回の活動があったことになる。A3層～B2層の基底高度差については、活動2'を想定するほかに、活動2に伴う上下変位量が後述するように約3.5mと大きく、B2層だけでは活動2によって形成された高度差を埋め切れなかった可能性がある。著者らはこの可能性の方がより高いと考えるが、活動2'の存否の検証は今後の課題である。

### 6.2.2 活動時期及び活動間隔

第10表に示す各層の推定年代から、活動1、活動2、活動3の発生時期は、それぞれ約4,000～6,000 cal yBP、約8,000 cal yBP、約9,000～10,500 cal yBPと見積もられる。また、活動2'の発生時期は約7,500～8,000 cal yBPと推定される。

野坂断層海域部の活動間隔は、活動3が発生し、活動2'は発生しなかったとした場合、3回の活動の間隔は最短約1,000年、最長約4,000年、平均の活動間隔は約1,500～3,300年となる。活動2'も発生したとした場合、4回の活動の間隔は最短約0～500年、最長約4,000年、平均の活動間隔は約1,000～2,200年となる。また、活動1と活動2の2回の活動だけに絞った場合には、活動の間隔は約2,000～4,000年である。

### 6.2.3 1回の活動に伴う上下変位量

A1層基底の初生傾斜をほぼゼロと考えた場合、活動1に伴う上下変位量は、最大で約1.7mであったと考えられる。また、B2層基底（B層/C層境界）の初生傾斜もほぼゼロと見なし、活動2'は発生しなかったと仮定した場合、活動2に伴う上下変位量は3.3～3.5m程度であったと考えられる。一方、活動2'も発生したと考えた場合には、活動2と活動2'に伴う上下変位量はいずれも1.7m前後であったと推定される。更に、C層下部基底（沖積層基底）の初生傾斜もほぼゼロと仮定した場合、活動3に伴う上下変位量は最大で約3.2mであったと考えられる。

### 6.2.4 15～17世紀の活動の有無

今回の調査では、野坂断層海域部が陸域部と共に、15～17世紀に活動したか否かについて、確定的なデータを得ることはできなかった。断層を挟んだA1層上部の基底高度の差は0.8mであることから、約4,000年前以降（活動1以降）に、0.8m程度の上下変位を伴う断層活動が生じた可能性がある。

### 6.3 陸上の野坂断層の活動履歴との比較及び今回の調査の意義

陸上の野坂断層については、敦賀市長谷地区におけるトレンチ調査（杉山ほか、1998）によって、15～17世紀の最新活動が明らかにされている（地震調査委員会、2003）。しかし、最新活動に先立つ完新世の活動については、情報が全く得られていなかった（第38図）。今回の海域部の調査は、この情報空白期間を埋める情報が得られた点で大きな意義がある。今回の調査結果によると、野坂断層帯全体の活動性と活動頻度は、地震調査委員会（2003）の評価を上回る可能性があり、1回の活動に伴う変位量も従来の推定よりも大きい可能性がある。一方、15～17世紀の活動とされ（地震調査委員会、2003）、1662年寛文地震に対応する可能性も指摘されている最新活動（杉山ほか、1998）については、前項でも触れたように、この活動が海域まで及んだか否かについて、明確なデータは得られなかった。これについては、野坂断層帯における地震発生の切迫性と多様性（分割放型地震の可能性など）を明らかにするため、更なる調査の実施が望まれる。

## 7. まとめ

野坂断層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野坂断層海域部の完新世における平均上下変位速度は、8～9kaの層準の累積上下変位量から、約0.6m/kyと算出される。約10kaの沖積層基底の断層帯を挟んだ高度差からは約0.8m/kyと算出されるが、現時点では同層基底の初生水平性の検証が十分ではない。横ずれ方向の変位速度については、上下成分を上回る変位速度を有する可能性が高いが、直接的なデータは得られなかった。

### (2) 断層活動の層準・時期

断層を挟んだ各層の層厚変化から、A1層下部堆積中～A1層上部堆積前（活動1）、B2層堆積中～B1層堆積前（活動2）、C層下部堆積中～C層上部堆積前（活動3）の、3回の断層活動が推定される。但し、活動3については、C層下部の層厚の違いは沖積層

基底の初生傾斜・凹凸に起因する可能性があり、確度が落ちる。このほか、断層帯を挟んだ各層基底の高度差の変化から、B1層堆積中-A3層堆積前にも、断層活動（活動2'）が生じた可能性がある。

得られた年代データから、各活動の時期は、活動1：約4,000～6,000 cal yBP、活動2：約8,000 cal yBP、活動3：約9,000～10,500 cal yBPと見積もられる。また、活動2'の発生時期は約7,500～8,000 cal yBPと推定される。

### (3) 15～17世紀の活動の有無

今回の調査では、野坂断層海域部が陸域部と共に、15～17世紀に活動したか否かについて、確定的なデータを得ることはできなかった。断層を挟んだA1層上部の基底高度の差は0.8 mであることから、約4,000年前以降（活動1以降）に、0.8 m程度の上下変位を伴う断層活動が生じた可能性が残る。

### (4) 1回変位量と平均活動間隔

各層基底の初生傾斜をほぼゼロと考えた場合、活動1に伴う上下変位量は最大約1.7 m、活動3に伴う上下変位量は最大で約3.2 mであったと考えられる。また、活動2'は発生しなかったと仮定した場合、活動2に伴う上下変位量は3.3～3.5 m程度と考えられる。一方、活動2'も発生したと考えた場合には、活動2と活動2'に伴う上下変位量は各1.7 m前後であったと推定される。

活動間隔については、活動2'は発生しなかったとした場合、3回の活動の間隔は最短約1,000年、最長約4,000年、平均の活動間隔は約1,500～3,300年となる。活動2'も発生したとした場合、4回の活動の間隔は最短約0～500年、最長約4,000年、平均の活動間隔は約1,000～2,200年となる。活動1と活動2の2回の活動だけに絞った場合には、活動の間隔は約2,000～4,000年である。上述の平均上下変位速度と1回の上下変位量（約1.5～3.5 m）からは、平均上下変位速度を0.6 m/kyとした場合には平均活動間隔は約2,500～5,800年、0.8 m/kyとした場合には約1,900～4,400年と計算される。

### 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。

1. 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
2. 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。

ここに記して、以上の皆様に篤く御礼申し上げます。

### 文 献

- 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.
- Huzita, K. (1962) Tectonic development of the Median Zone (Setouti) of Southwest Japan, since Miocene. *Jour. Geosci. Osaka City Univ.*, 6, 103-144.
- 藤田和夫・岸本兆方 (1972) 近畿のネオテクトニクスと地震活動. *科学*, 42, 422-430.
- 池田安隆・今泉俊文・東郷正美・平川一臣・宮内崇裕・佐藤比呂志編 (2002) 「第四紀逆断層アトラス」. 東京大学出版会, 254p.
- 伊藤英文・藤田和夫 (1971) 西南日本の第四紀地殻変動から導かれた地殻の流動. *材料*. 209, 190-196.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2003) 野坂・集福寺断層帯の長期評価について. [http://www.jishin.go.jp/main/chousa/03jun\\_nosaka/index.htm](http://www.jishin.go.jp/main/chousa/03jun_nosaka/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.
- 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.
- 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.



- 栗本史雄・内藤一樹・杉山雄一・中江 訓 (1999) 敦賀地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 73p.
- 町田 洋・新井房夫 (2011) 新編 火山灰アトラスー 日本列島とその周辺 (第 2 版). 東京大学出版会, 336p.
- 松田時彦・岡田篤正・藤田和夫 (1976) 日本の活断層分布図およびカタログ. 地質学論集, no. 12, 185-198 及び付図.
- 水野篤行・島崎哲也 (2002) 若狭湾東部の海底活断層. 第 12 回環境地質学シンポジウム講演論文集, 219-224.
- 水野篤行・島崎哲也 (2003) 若狭湾東部の海底活断層. 「沿岸海域活断層調査」研究成果報告書. 地震予知総合研究振興会, 20p. 及び付図等.
- 村井 勇・金子史朗 (1975) 琵琶湖周辺の活断層系. 地震研究所彙報, 50, 93-108.
- 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.
- 中村千怜・安江健一・石丸恒存・梅田浩司・古澤明 (2011) 緑色普通角閃石中のガラス包有物の主成分化学組成を用いた広域テフラの対比ー阪手テフラを例としてー. 地質学雑誌, 117, 495-507.
- 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 (1978) 若狭湾岸地域における主に最終氷期以降の海水準変動と地形発達. 地理学評論, 51, 131-146.
- Okada, A. (1978) Structure of the waste-filled valley and associated crustal movements at the eastern part of the Tsuruga Plain, north of Lake Biwa. Paleolimnology of Lake Biwa and the Japanese Pleistocene, 6, 6-80.
- 岡田篤正・今泉俊文・熊原康博・千田 昇・東郷正美・中田 高 (2005) 1: 25,000 都市圏活断層図「敦賀」. 国土地理院技術資料, D・1 - No. 449.
- 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・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 野坂・集福寺断層帯/野坂断層帯 (海域部) 成果報告書. 30p. [http://www.jishin.go.jp/main/chousakenkyuu/engankaiiki/h25/h25\\_nosaka.pdf](http://www.jishin.go.jp/main/chousakenkyuu/engankaiiki/h25/h25_nosaka.pdf)
- 杉山雄一 (1997) 敦賀断層系の活動性調査. 地質調査所研究資料集 No.303 (平成 8 年度活断層研究調査概要報告書), 1-11.
- 杉山雄一・寒川 旭・吉岡敏和・佐竹健治 (1998) 野坂断層の活動履歴調査. 地質調査所速報, EQ/98/1 (平成 9 年度活断層・古地震研究調査概要報告書), 113-124.
- 東郷正美 (1974) 琵琶湖北岸・野坂山地の変動地形. 地理学評論, 47, 669-683.
- 東郷正美・仲川信一 (1973) 湖北における河川争奪. 法政大学地理学集報, 2, 9-19.
- 山崎直方・多田文男 (1927) 琵琶湖附近の地形とその地體構造につきて. 地震研究所彙報, 2, 85-108.
- 安田喜憲 (1982) 福井県三方湖の泥土の花粉分析的研究ー最終氷期以降の日本海側の乾湿の変動を中心としてー. 第四紀研究, 21, 255-271.

(受付: 2014 年 7 月 17 日, 受理: 2014 年 8 月 8 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	ボ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. 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 3. 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4表. 帯磁率計の規格・性能.  
Table 4. 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： $2 \times 10^{-7}$ CGS 精度：5% ドリフト誘発温度： $1 \times 10^{-6}$ 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5表. ボーリング調査による地質層序と音波探査による音響層序の対比.  
 Table 5. Correlation of core-based geologic stratigraphy with acoustic stratigraphy.

本 調 査					小松原ほか (2000)
地質時代	年代 (ka)	ボーリング調査 地質層序	シングル チャンネル探査 音響層序*1	マルチチャンネル探査 音響層序	シングル チャンネル探査 音響層序*2
完新世	~7.5	A層	An層 反射面 Bn	I層	a層
		B層		IIa層	c層
	~8.0	C層	II層	IIb層	e層
~9-10.5		IIc層		f層	
更新世	AT (~30)	D層			
先新第三紀				III層	I層

\*1 産総研・東海  
大学 (2014)

\*2 NE6 測線断層帯西側  
(沈降側) の層序

第6表. GS-NSO-1 コア及びGS-NSO-2 コアのA層の<sup>14</sup>C年代測定結果.  
Table 6. List of <sup>14</sup>C dating samples and results for unit A of cores GS-NSO-1 and GS-NSO-2.

試料番号	深度 (m)	層準	層相	種類*	測定機関 ID (JAAA-)	未補正 14C年代 (yBP)	δ 13C (‰)	同位体分別補正 14C年代	暦年代 (2σ ; cal yBP)	摘要
NSO-1-A1-1	0.74	A1	粗粒砂	マツヤマワスレ	131711	360 ± 20	-1.26	750 ± 20	455 to 308	
NSO-1-A1-2	1.58-1.59	A1	粗粒砂	マツヤマワスレ	131712	1,820 ± 20	-0.08	2,230 ± 30	1910 to 1735	
NSO-1-A1-3	2.00-2.05	A1	粗粒砂	マツヤマワスレ	131713	1,380 ± 20	+1.08	1,810 ± 20	1409 to 1282	上位層混入?
NSO-1-A1-3.5	2.10-2.15	A1	粗粒砂	マツヤマワスレ	132889	330 ± 20	+1.09	750 ± 20	456 to 315	上位層混入?
NSO-1-A1-4	2.15-2.20	A1	粗粒砂	マツヤマワスレ	131714	2,910 ± 30	+1.67	3,340 ± 30	3312 to 3096	
NSO-1-A1-4.5	2.25-2.30	A1	中粒砂	マツヤマワスレ	132890	3,510 ± 20	+1.94	3,940 ± 20	4034 to 4028, 4022 to 3837	
NSO-1-A1-5	2.35-2.40	A1	中粒砂	マツヤマワスレ	131715	5,050 ± 30	-1.0	5,440 ± 30	5894 to 5725	再堆積
NSO-1-A1-5.51	2.61-2.62	A1	細粒砂	マツヤマワスレ	132891	1,150 ± 20	+1.67	1,580 ± 20	1219 to 1062	上位層混入?
NSO-1-A1-5.52	2.8	A1	細粒砂	コンロガイ	132892	4,860 ± 20	+5.26	5,360 ± 20	5830 to 5635	
NSO-1-A1-6	3.00-3.05	A1	粗粒砂	マツヤマワスレ	131716	1,600 ± 30	+1.78	2,030 ± 30	1685 to 1525	上位層混入?
NSO-1-A1-7	3.07	A1	粗粒砂	フネガイ	132893	4,960 ± 20	+1.21	5,390 ± 20	5860 to 5669	
NSO-1-A2-1	4.08	A2	粗粒砂	トマヤガイ	131717	6,050 ± 30	+0.49	6,470 ± 30	7087 to 6860	
NSO-1-A2-2	4.08	A2	粗粒砂	糖物片	131718	6,370 ± 30	-28.8	6,310 ± 30	7293 to 7166	
NSO-1-A2-3	5.80-5.85	A2/A3	粗粒砂	二枚貝片	131719	5,890 ± 30	+3.11	6,350 ± 30	6916 to 6721	
NSO-1-A3-1	6.30-6.40	A3	中砂・粗砂互層	エガイ	131720	6,470 ± 30	+4.61	6,950 ± 30	7539 to 7400	
NSO-1-A3-2	7.13	A3/B1	中～粗粒砂	ヤマトジミ	131721	7,910 ± 30	-8.34	8,180 ± 30	8841 to 8822, 8811 to 8555	再堆積
NSO-2-A1-0	0.8	A1	細粒砂	ヒメカノアサリ	132894	110 ± 20	-0.40	510 ± 20	245 to 54, 12 to post 1950	
NSO-2-A1-0.5	1.30-1.34	A1	粗粒砂	二枚貝片	132895	590 ± 20	+3.87	1,060 ± 20	668 to 562	
NSO-2-A1-1	1.65-1.66	A1	粗粒砂	マツヤマワスレ	131722	2,830 ± 30	+1.62	3,260 ± 30	3185 to 2984	
NSO-2-A1-2	1.85-1.90	A1	粗粒砂	ブンブク片	131723	5,330 ± 30	+1.91	5,760 ± 30	6270 to 6103	
NSO-2-A2-1	2.30-2.35	A2	粗粒砂	ヘビガイ	131724	5,790 ± 30	-0.47	6,190 ± 30	6726 to 6532	
NSO-2-A2-2	2.75-2.80	A2	粗粒砂	トマヤガイ	131725	6,080 ± 30	+2.6	6,530 ± 30	7148 to 6949	
NSO-2-A2-3	3.50-3.55	A2	粗粒砂	マツヤマワスレ	131726	6,070 ± 30	+0.88	6,490 ± 30	7113 to 6889	
NSO-2-A3-1	4.00-4.05	A3	粗粒砂	シドロ	131727	6,600 ± 30	+0.12	7,010 ± 30	7560 to 7430	
NSO-2-A3-2	5.12	A3	細粒砂	ヒメカノアサリ	131728	6,750 ± 30	+2.04	7,190 ± 30	7735 to 7577	

\*貝類の鑑定は柚原備也氏による。



第7表. GS-NSO-1 コア及びGS-NSO-2 コアのB層, C層, D層の<sup>14</sup>C年代測定結果.  
Table 7. List of <sup>14</sup>C dating samples and results for units B, C and D of cores GS-NSO-1 and GS-NSO-2.

試料番号	深度(m)	層準	層相	種類*	測定機関 ID (IAAA-)	未補正 14C年代 (yBP)	δ 13C (‰)	同位体分別補正 14C年代(yBP)	暦年代(2σ; cal yBP)	摘要
NSO-1-C-1	14.18	C	腐植混じり粘土	木片	131773	7,300 ± 30	-23.5	7,320 ± 30	8186 to 8032	
NSO-1-C-2	15.08	C	粘土混り中粒砂	ヤマトシジミ	131774	7,960 ± 30	-7.24	8,250 ± 30	8942 to 8639	
NSO-1-C-3	15.39	C	粘土・中粒砂互層	木片	131775	8,000 ± 30	-25	8,000 ± 30	9007 to 8755, 8732 to 8729	
NSO-1-C-4	15.58	C	中粒砂	ヤマトシジミ	131776	8,020 ± 30	-6.25	8,320 ± 30	8995 to 8755	
NSO-1-C-5	15.86	C	腐植混じり粘土	植物片	131777	8,230 ± 30	-29.3	8,160 ± 30	9251 to 9168, 9144 to 9013	
NSO-1-C-6	16.98	C	腐植混じり粘土	腐植質粘土	131778	8,690 ± 40	-24.2	8,700 ± 40	9762 to 9547	
NSO-1-C-7	18.05-07	C	シルト質極細粒砂	ヤマトシジミ	131779	8,820 ± 30	-4.9	9,150 ± 30	10104 to 9762	
NSO-1-C-8	18.21	C	腐植混じり細粒砂	腐植	131780	9,180 ± 30	-20.9	9,250 ± 30	10543 to 10537, 10521 to 10276	
NSO-1-D1-1	20.47	D	シルト・中粒砂互層	木片	131781	24,950 ± 90	-27	24,920 ± 90	29256 to 28672	
NSO-1-D1-2	21.37-45	D	腐植質シルト	腐植	131782	25,450 ± 90	-27	25,420 ± 90	29810 to 29190	
NSO-2-B1-1	5.83	B1	腐植混じり粘土	腐植まじり粘土	131783	9,400 ± 30	-24.6	9,400 ± 30	10727 to 10557	再堆積
NSO-2-B2-1	8.81	B2	砂質粘土	腐植まじり粘土	131784	8,630 ± 30	-25.7	8,620 ± 30	9662 to 9641, 9636 to 9528	再堆積
NSO-2-C-1	9.33	C	腐植混じり粘土	腐植まじり粘土	131785	7,600 ± 30	-26.9	7,570 ± 30	8416 to 8347	
NSO-2-C-2	10.40-41	C	シルト質細粒砂	二枚貝片	131786	8,050 ± 30	-1.66	8,430 ± 30	9137 to 8950	

\*貝類の鑑定は柚原備也氏による。

第8表. D層深度21m付近から採取した火山灰試料の粒子組成分析結果.  
Table 8. Results of volcanic glass and mineral composition analysis of three samples  
picked from unit D at depths of 20.63-20.745 m of core GS-NSO-1.

試料番号	火山ガラス			石英 長石	重鉱物						岩片	合計	備考
	Bw	Pm	O		Opq	Cpx	Gho	Bi	Opq	Oth			
NSO-1 20.63m	11	0	0	188	0	0	0	0	0	0	101	300	Bwガラスを107/300含む
NSO-1 20.69m	13	0	0	203	0	0	0	0	0	0	84	300	Bwガラスを126/300含む
NSO-1 20.745m	50	0	0	127	0	0	0	0	0	0	124	300	Bwガラスを507/300含む

Bw:バブルウォールタイプ Opq:斜方輝石 Cpx:単斜輝石 Gho:緑色普通角閃石  
Pm:パミスタイプ Bi:黒雲母 Opq:不透明鉱物 Oth:その他  
O:低発泡タイプ

第9表. D層深度21m付近から採取したバブルウォール型火山ガラスの主成分化学組成分析結果.  
Table 9. Major element composition of bubble wall type volcanic glasses picked from unit D at a depth of  
20.745 m of core GS-NSO-1.

glass 採取地点 NSO-1 20.745m																平均値	標準偏差	
point No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15			
SiO <sub>2</sub>	74.35	75.57	75.09	75.29	74.80	74.98	73.31	73.31	73.73	72.96	75.11	74.54	72.96	72.65	73.32	SiO <sub>2</sub>	74.13	0.99
TiO <sub>2</sub>	0.24	0.11	0.00	0.06	0.13	0.06	0.15	0.08	0.05	0.07	0.13	0.21	0.10	0.09	0.20	TiO <sub>2</sub>	0.11	0.07
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.77	11.81	11.71	11.92	11.72	11.58	11.64	11.37	11.54	11.52	11.63	11.89	11.26	11.58	11.31	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.62	0.20
FeO	1.11	1.07	1.10	1.16	1.18	0.98	1.25	1.10	1.01	1.18	1.17	1.23	1.19	1.17	0.98	FeO	1.13	0.09
MnO	0.00	0.09	0.01	0.13	0.00	0.00	0.08	0.06	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.04	0.03	MnO	0.04	0.04
MgO	0.14	0.12	0.10	0.15	0.11	0.11	0.10	0.10	0.16	0.08	0.09	0.08	0.13	0.22	0.06	MgO	0.12	0.04
CaO	1.17	1.08	1.15	1.15	1.19	1.11	1.09	1.10	1.08	1.05	1.01	1.10	1.07	1.02	1.01	CaO	1.09	0.06
Na <sub>2</sub> O	3.39	3.68	3.46	3.29	3.43	3.33	3.43	3.31	3.31	3.36	3.30	3.47	3.21	3.42	3.24	Na <sub>2</sub> O	3.38	0.12
K <sub>2</sub> O	3.43	3.39	3.32	3.59	3.24	3.41	3.29	3.15	3.11	3.42	3.36	3.34	3.16	3.13	3.23	K <sub>2</sub> O	3.30	0.14
Total	95.60	96.92	95.94	96.74	95.80	95.56	94.34	93.58	93.99	93.64	95.80	95.95	93.08	93.32	93.38		94.91	

point No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	平均値	標準偏差	
SiO <sub>2</sub>	77.77	77.97	78.27	77.83	78.08	78.46	77.71	78.34	78.44	77.92	78.40	77.69	78.38	77.85	78.52	SiO <sub>2</sub>	78.11	0.31
TiO <sub>2</sub>	0.25	0.11	0.00	0.06	0.14	0.06	0.16	0.09	0.05	0.07	0.14	0.22	0.11	0.10	0.21	TiO <sub>2</sub>	0.12	0.07
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.31	12.19	12.21	12.32	12.23	12.12	12.34	12.15	12.28	12.30	12.14	12.39	12.10	12.41	12.11	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.24	0.10
FeO	1.16	1.10	1.15	1.20	1.23	1.03	1.32	1.18	1.07	1.26	1.22	1.28	1.28	1.25	1.05	FeO	1.19	0.09
MnO	0.00	0.09	0.01	0.13	0.00	0.00	0.08	0.06	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.04	0.03	MnO	0.04	0.05
MgO	0.15	0.12	0.10	0.16	0.11	0.12	0.11	0.11	0.17	0.09	0.09	0.08	0.14	0.24	0.06	MgO	0.12	0.04
CaO	1.22	1.11	1.20	1.19	1.24	1.16	1.16	1.18	1.15	1.12	1.05	1.15	1.15	1.09	1.08	CaO	1.15	0.05
Na <sub>2</sub> O	3.55	3.80	3.61	3.40	3.58	3.48	3.64	3.54	3.52	3.59	3.44	3.62	3.45	3.66	3.47	Na <sub>2</sub> O	3.56	0.10
K <sub>2</sub> O	3.59	3.50	3.46	3.71	3.38	3.57	3.49	3.37	3.31	3.65	3.51	3.48	3.39	3.35	3.46	K <sub>2</sub> O	3.48	0.11
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00		100.00	

第10表. 野坂断層海域部を挟んだ各層の層厚変化及び各層基底の高度差変化とこれらから推定される断層活動.  
 Table 10. Thickness change of each geologic unit and height-difference change of each unit base between both sides of the offshore portion of the Nosaka fault zone, and resultant faulting events.

	沈降側の層厚	隆起側の層厚	隆起側の層厚減少率	基底の高度差 #1	高度差の増分	高度差の増加率 #2	推定年代	断層活動
A1層上部	2.4m	1.8m	25%	0.8m	0.9m	113%	0~4ka	陸上で確認された15~17世紀の活動の存否は不明 <b>活動1 (4~6ka)</b> 上下変位量は最大約1.7m  <b>活動2' (7.5~8ka) ?</b> <b>活動2 (~8ka)</b> 上下変位量は3.3~3.5m程度 過去8千年間の平均上下変位速度は約0.6m/ky <b>活動3 (9~10.5ka) ?</b> 上下変位量は最大約3.2m
A1層下部	1.1m	0.2m	82%	1.7m				
A2層	1.3~2.0m	2m	0%~-54%	1.3~1.9m	0.2~-0.4m	12~-24%	5.5~6ka	
A3層	1.8~1.2m	1.6m	11%~-33%	1.5m	0.2~-0.4m	15~-31%	6~7.3ka	
B1層	4.5m	2.7m	40%	3.3m	1.8m	120%	7.3~7.5ka	
B2層	2.5m	0.8m	68%	5.0m	1.7m	52%	7.5~8ka	
C層上部*	1.8m	1.3m	28%	5.5m	0.5m	10%	8ka	
C層下部*	3.1m	0.4m	87%	8.2m	2.7m	49%	8~9ka	
							9~10.5ka	

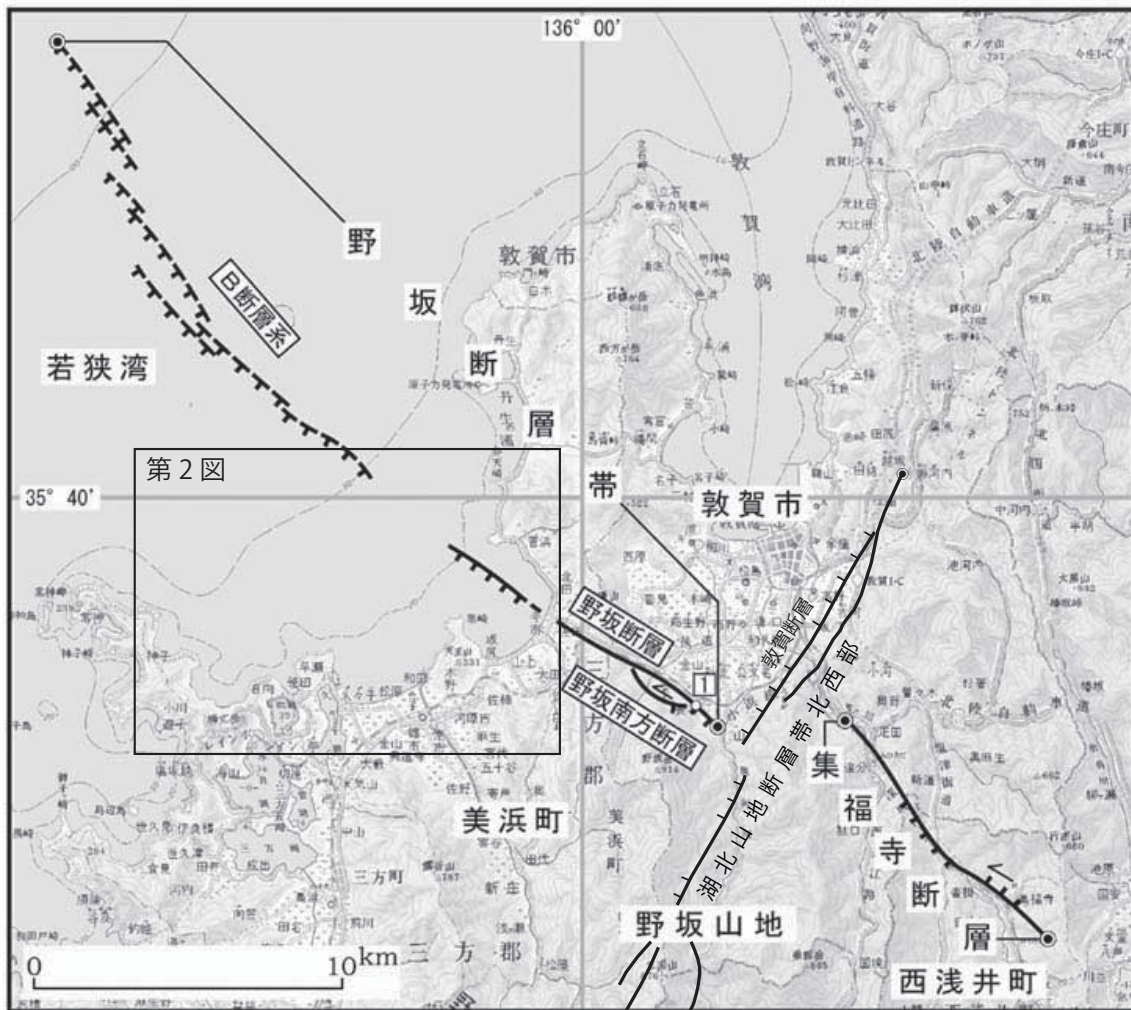
\* C層上部・下部境界は9.0 cal yBPの層準. #1 高度差には掘削地点の現海底面の高度差(0.2m)を含む. #2 高度差の増分/上位層の基底高度差.



第 11 表. 野坂断層帯の過去の活動.

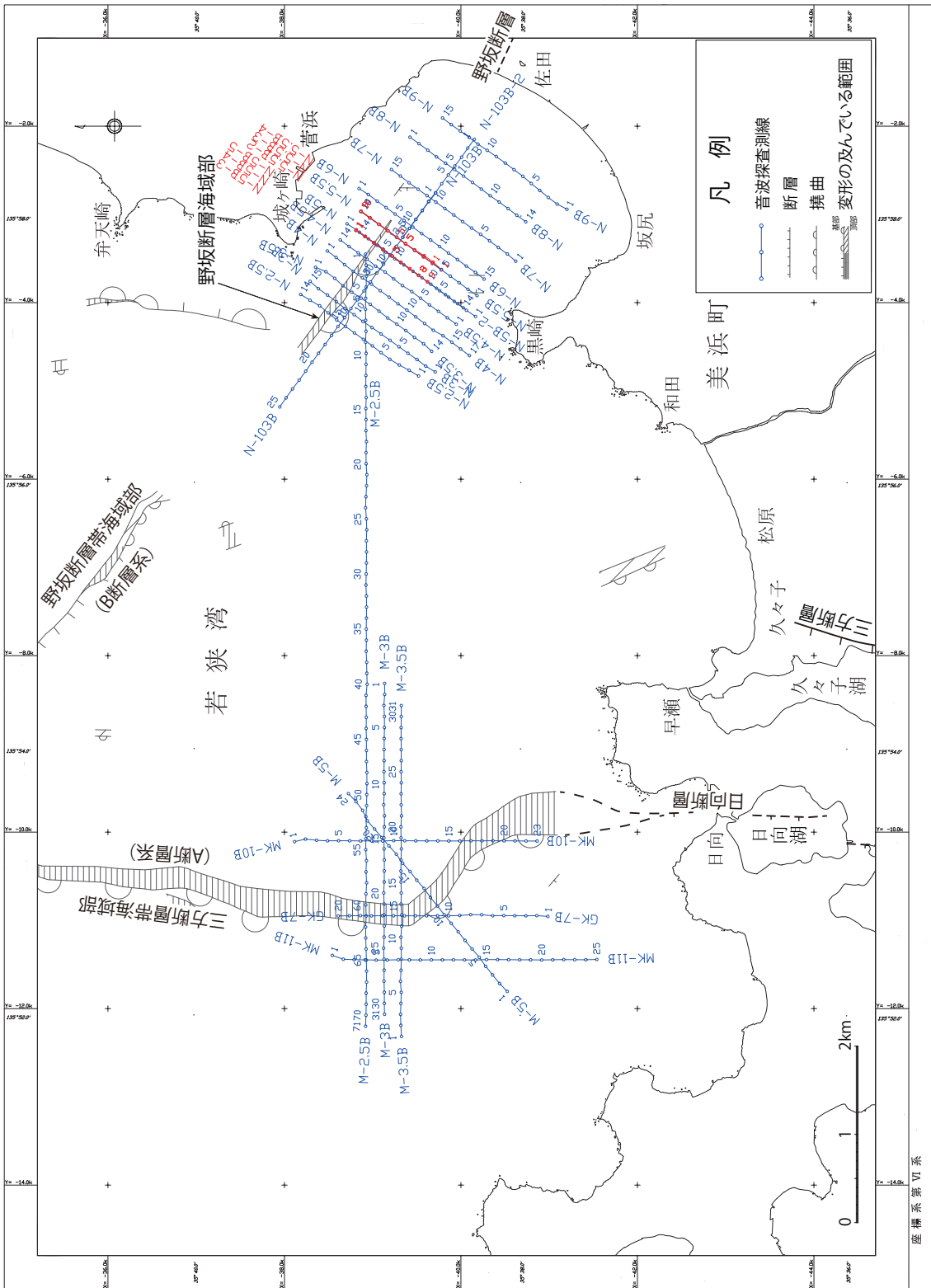
Table 11. Post-glacial faulting activity on the Nosaka Fault Zone.

	従来評価	本調査の結果(野坂断層海域部)
(1) 平均変位速度	陸域 0.2~0.3m/千年(上下成分) 海域 0.8m/千年(上下成分;信頼度は低い)	約0.6m/千年 (8~9千年前の層準の変位量に基づく値) 約0.8m/千年 (沖積層基底の高度差に基づく値で、信頼度は落ちる)
(2) 過去の活動時期	15~17世紀(最新活動)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・活動1 A1層下部堆積中-A1層上部堆積前 約4千~6千年前</li> <li>・活動2 B2層堆積中-B1層堆積前 約8千年前</li> <li>・活動3(信頼度は落ちる) C層下部堆積中-C層上部堆積前 約9千~1万5百年前</li> <li>・このほかに、B1層堆積中-A3層堆積前 (約7千5百~8千年前)にも断層活動 (活動2')が生じた可能性がある。</li> <li>・15~17世紀の活動の有無は不明。</li> </ul>
(3) 1回の変位量	約0.5mもしくはそれ以下 (上下成分)  約2~3m (左横ずれ成分)	活動1の上下変位量:最大約1.7m 活動2の上下変位量:3.3~3.5m程度 (活動2'は発生しなかったと仮定した場合) 活動3の上下変位量:最大約3.2m  活動2'も発生したと考えた場合には、活動2と活動2'の上下変位量はともに約1.7m
(4) 平均活動間隔	約5千6百~7千6百年もしくはこれよりも短い間隔	実際に発生した断層活動からは 約1500年~3300年 (活動2'は発生しなかったとした場合) 約1000~2200年 (活動2'も発生したとした場合)  平均変位速度と1回のずれの量(約1.5~3.5m)からは 約2500~5800年 (平均変位速度を0.6m/kyとした場合) 約1900~4400年 (平均変位速度を0.8m/kyとした場合)



第1図. 野坂・集福寺断層帯の位置と構成断層. 1: トレンチ調査地点 (敦賀市長谷), ◎: 断層帯の北西端と南東端. 基図には国土地理院発行数値地図 200000 「岐阜」及び「宮津」を使用. 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2003) に加筆.

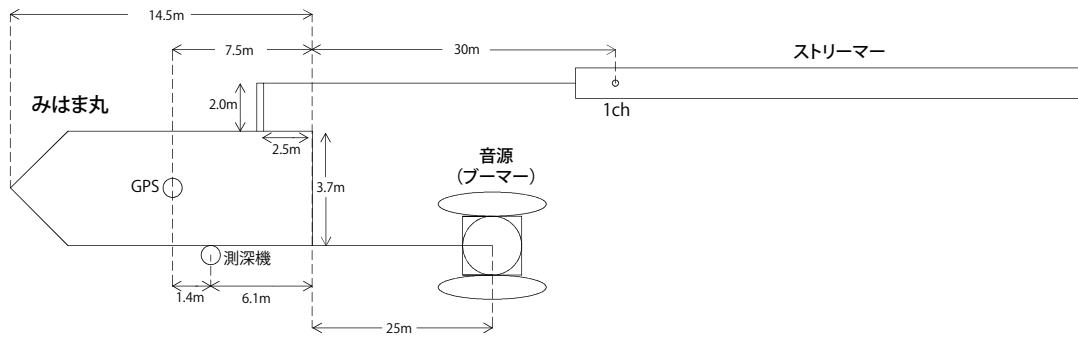
Fig. 1. Location and constituent faults of the Nosaka-Shufukuji Fault Zone. 1: trench survey site (Nagatani, Tsurugai City), ◎: NW and SE terminations of the fault zone. Digital Map 200000 Gifu and Miyazu by Geospatial Information Authority of Japan (GSI) are used for the base map. Retouched after the 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.

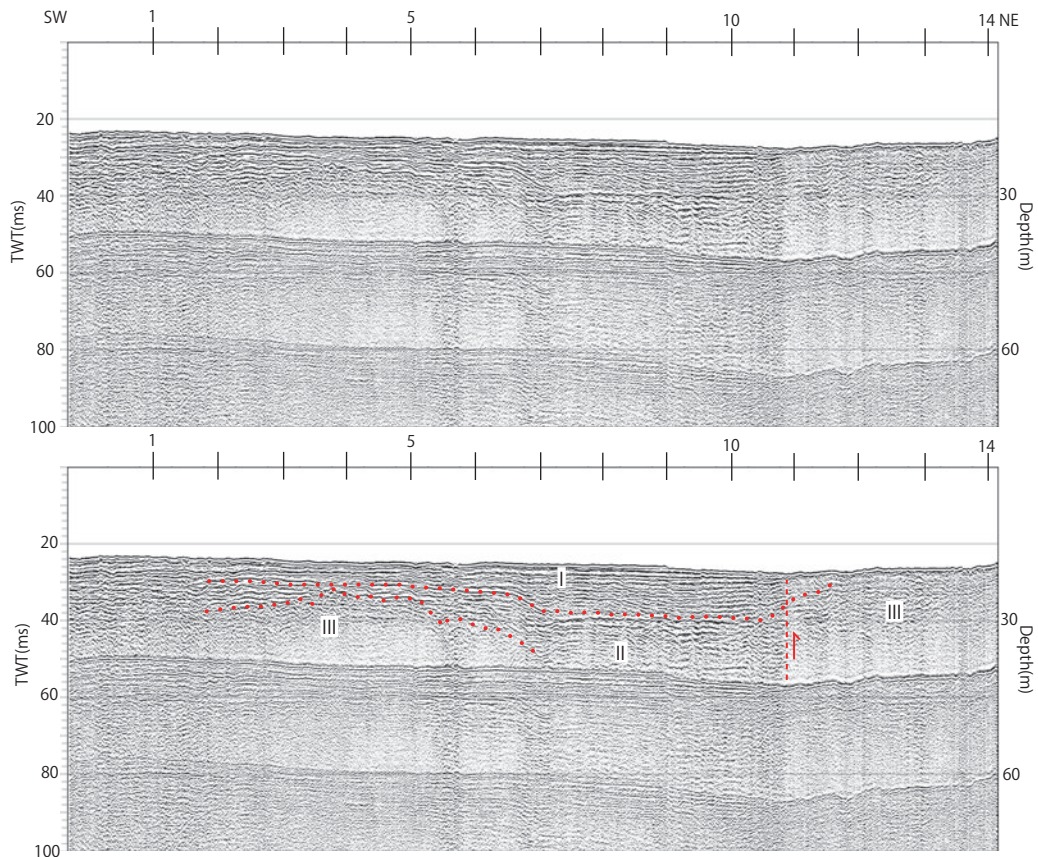
Fig. 2. Map showing the survey area in Wakasa Bay off Mihama Town, Fukui Prefecture, and multichannel seismic profiling lines. Location of offshore faults and monoclinical structures is after Japan Atomic Power Company (2004). Location of the Hiruga and Mikata faults is after Komatsubara *et al.* (1999, 2000) and Kaneda *et al.* (2000).





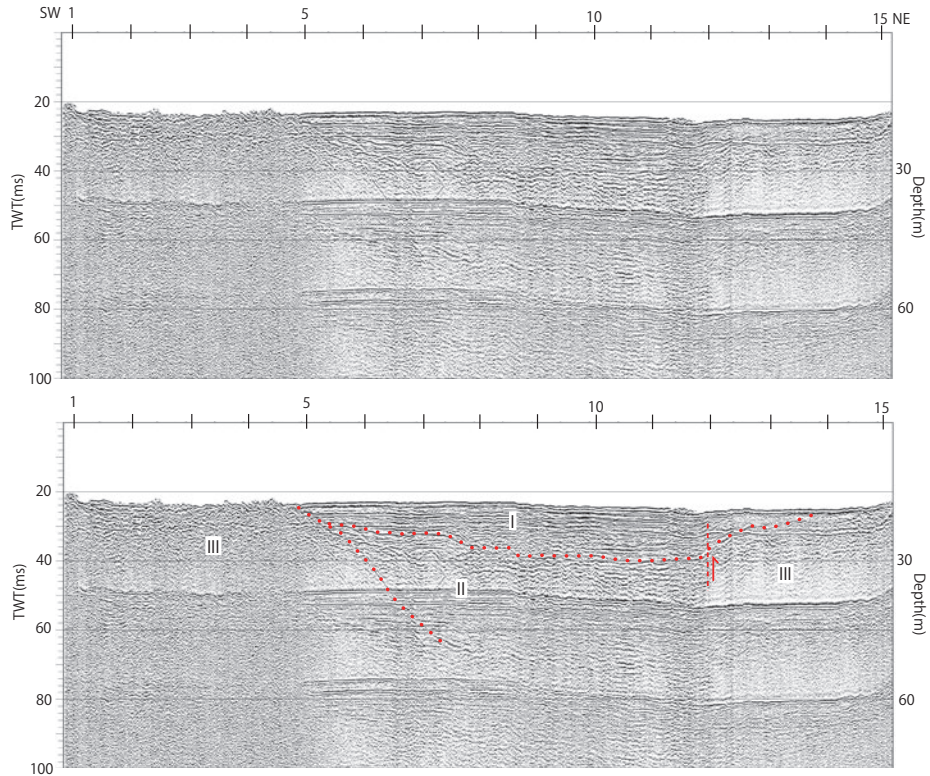
第3図. 音源及びストリーマー配置図.

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

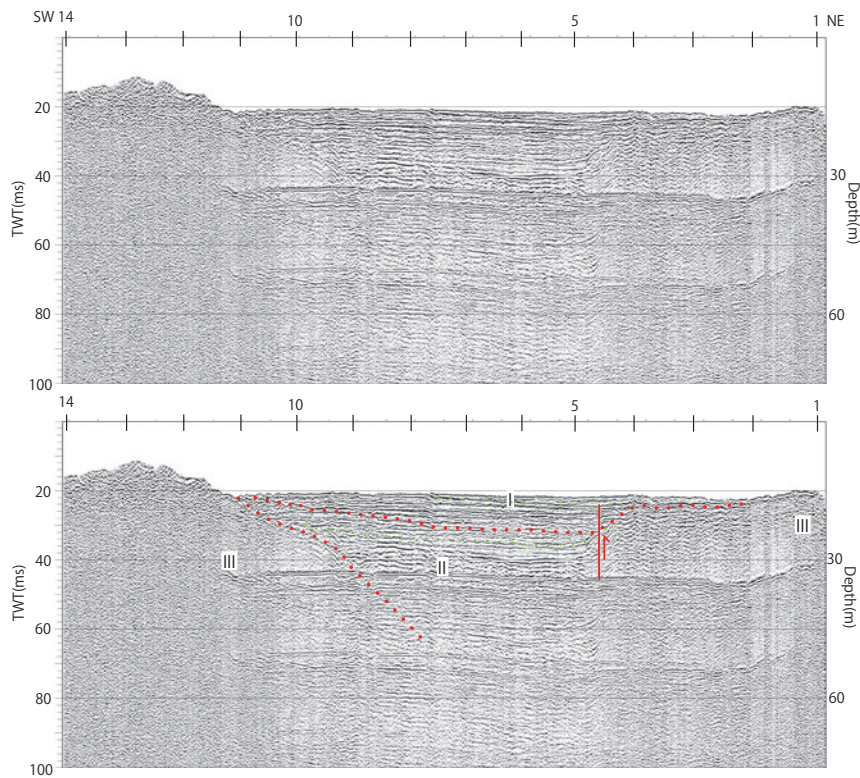


第4図. N-2.5B 測線の音波探査断面 (上: 原記録, 下: 解釈付記録).

Fig. 4. Seismic profile of line N-2.5B (top: original section, bottom: geologically interpreted section).

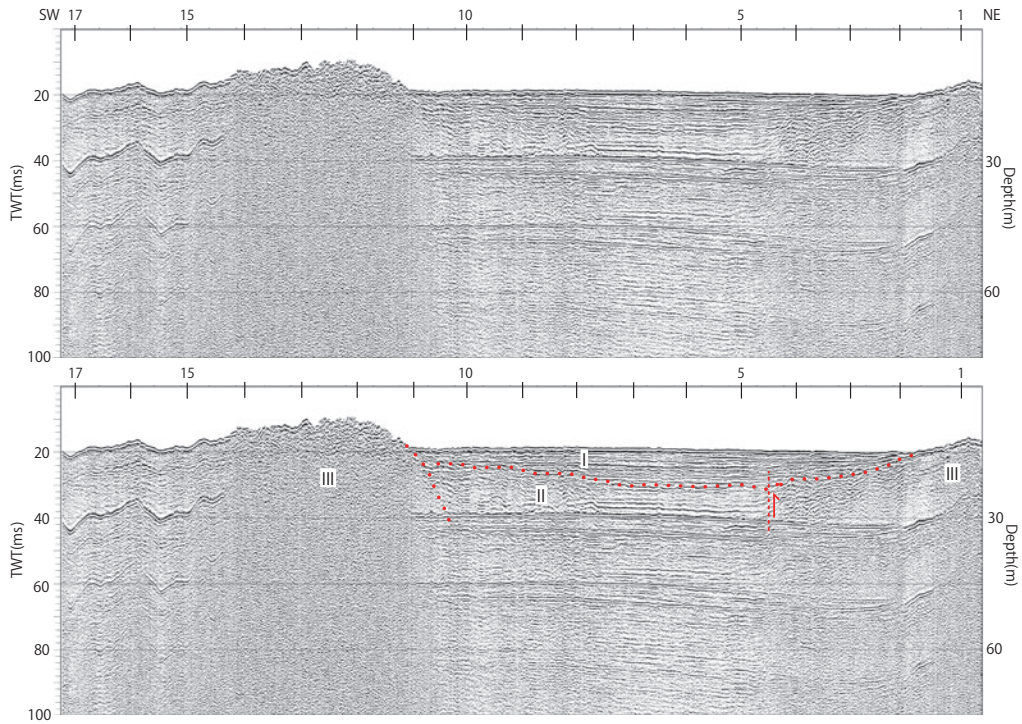


第 5 図. N-3B 測線の音波探査断面 (上: 原記録, 下: 解釈付記録).  
Fig. 5. Seismic profile of line N-3B (top: original section, bottom: geologically interpreted section).

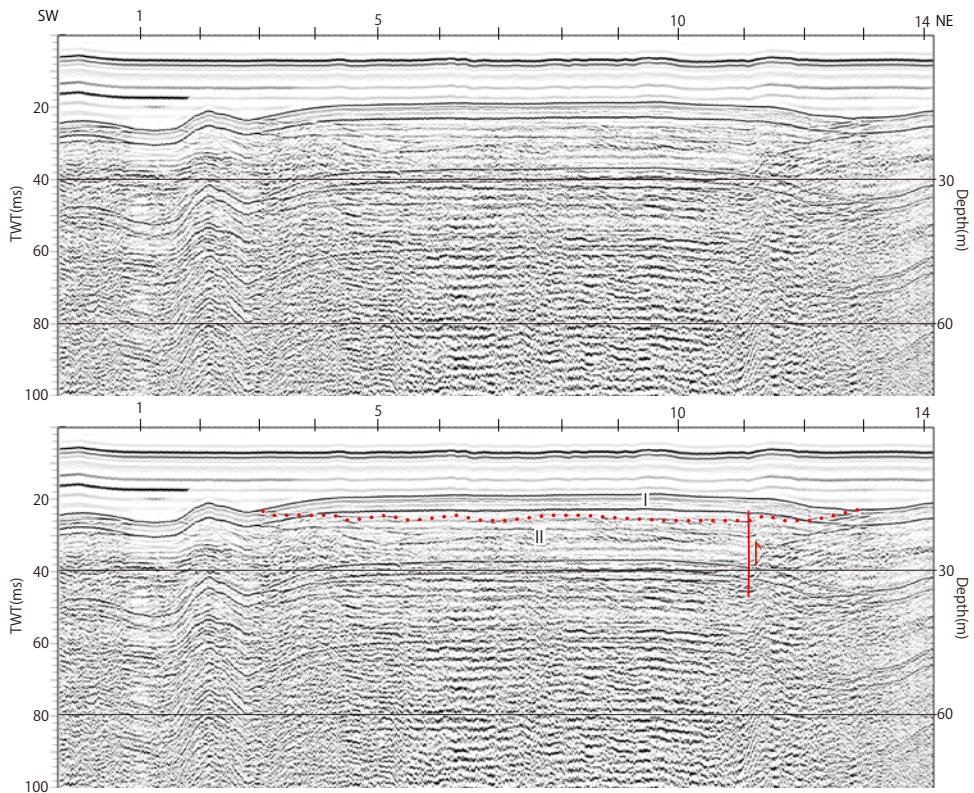


第 6 図. N-3.5B 測線の音波探査断面 (上: 原記録, 下: 解釈付記録).  
Fig. 6. Seismic profile of line N-3.5B (top: original section, bottom: geologically interpreted section).



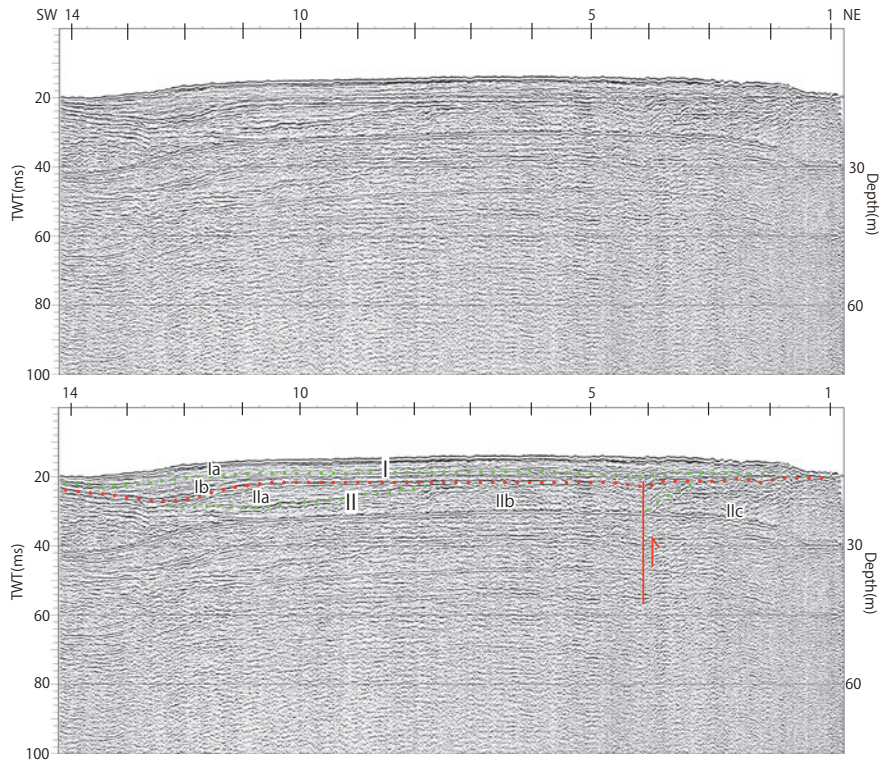


第7図. N-4B 測線の音波探査断面 (上: 原記録, 下: 解釈付記録).  
Fig. 7. Seismic profile of line N-4B (top: original section, bottom: geologically interpreted section).

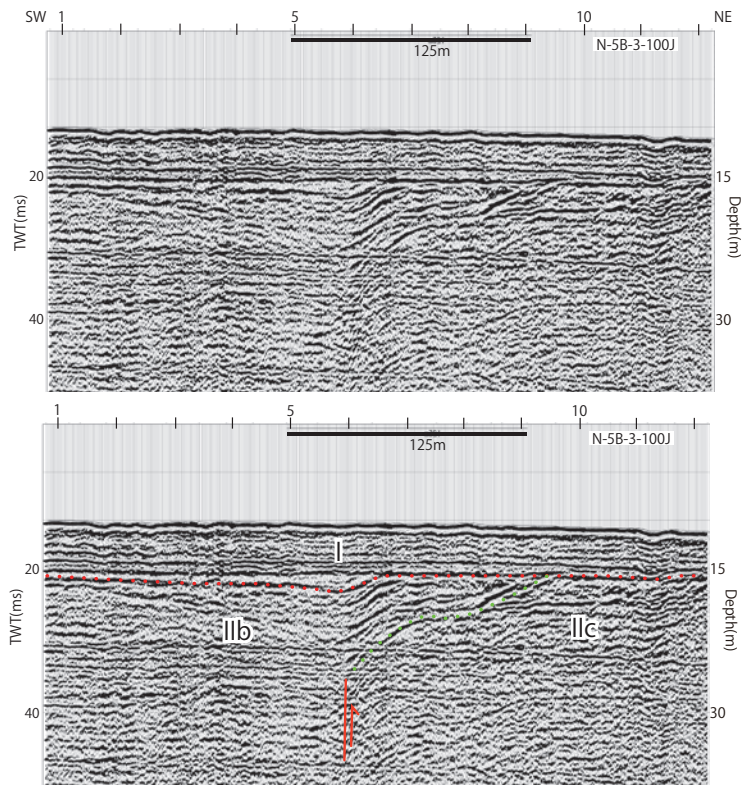


第8図. N-4.5B 測線の音波探査断面 (上: 原記録, 下: 解釈付記録).  
Fig. 8. Seismic profile of line N-4.5B (top: original section, bottom: geologically interpreted section).



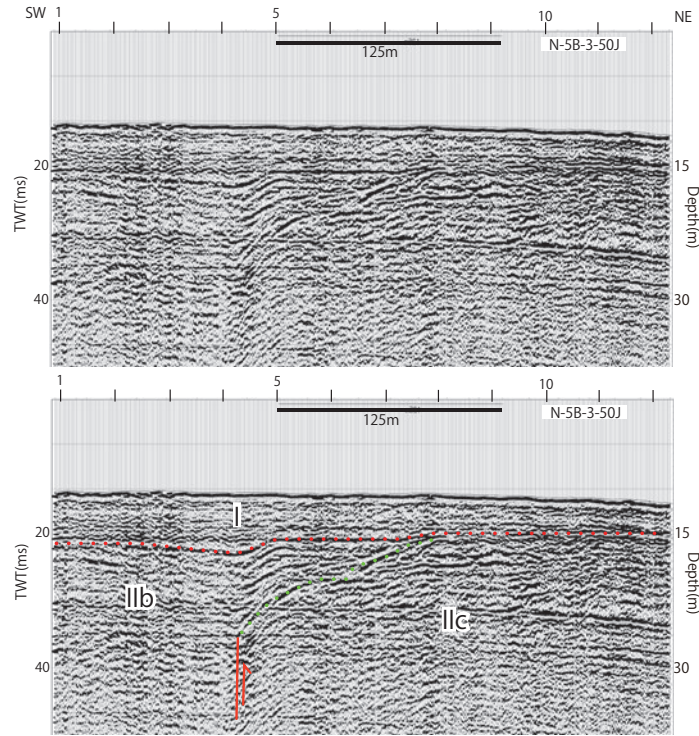


第9図. N-5B 測線の音波探査断面（上：原記録，下：解釈付記録）.  
 Fig. 9. Seismic profile of line N-5B (top: original section, bottom: geologically interpreted section).

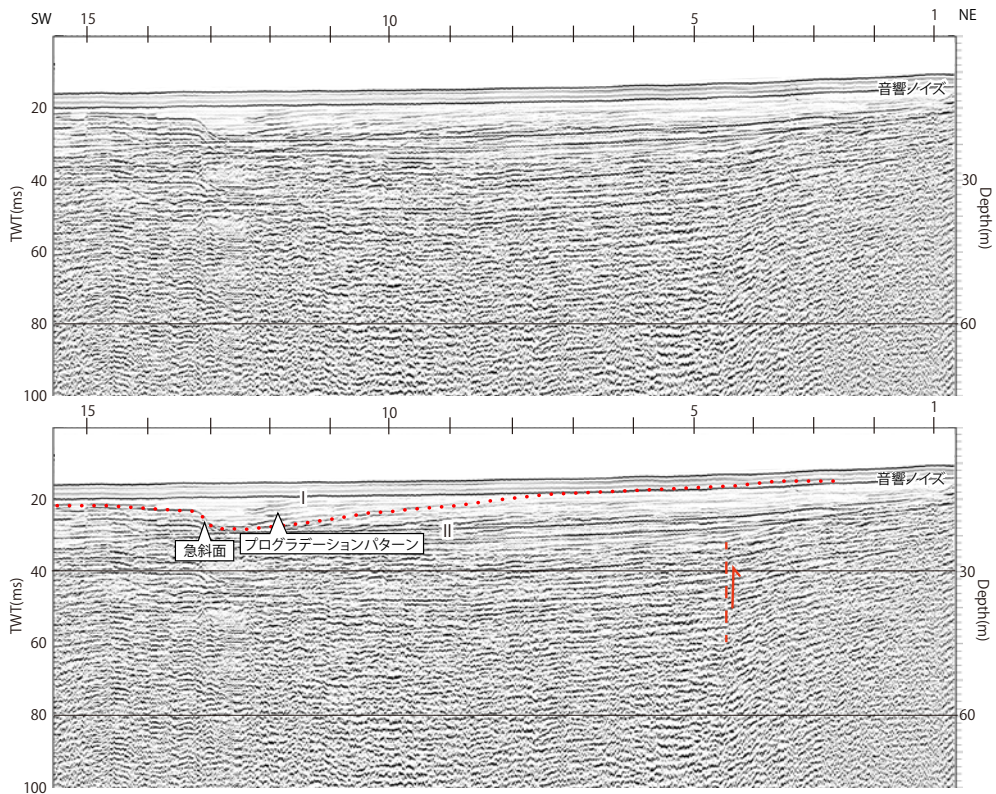


第10図. N-5B-100J 測線の音波探査断面（上：原記録，下：解釈付記録）.  
 Fig. 10. Seismic profile of line N-5B-100J (top: original section, bottom: geologically interpreted section).

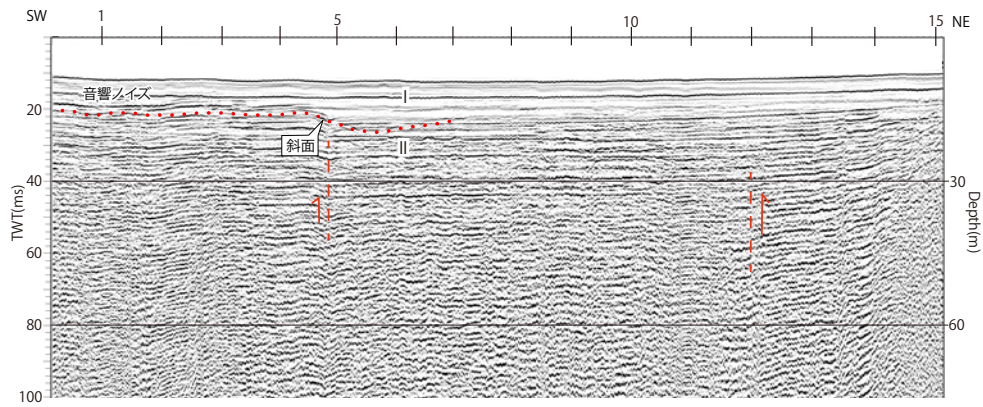




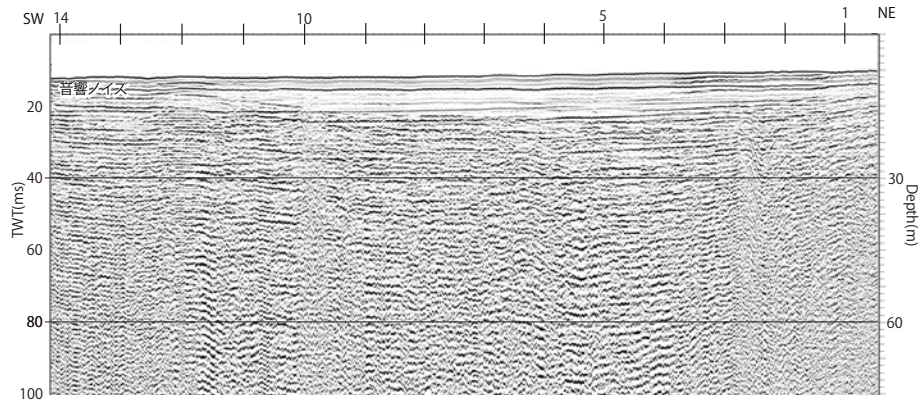
第 11 図. N-5B-50J 測線の音波探査断面 (上: 原記録, 下: 解釈付記録).  
 Fig. 11. Seismic profile of line N-5B-50J (top: original section, bottom: geologically interpreted section).



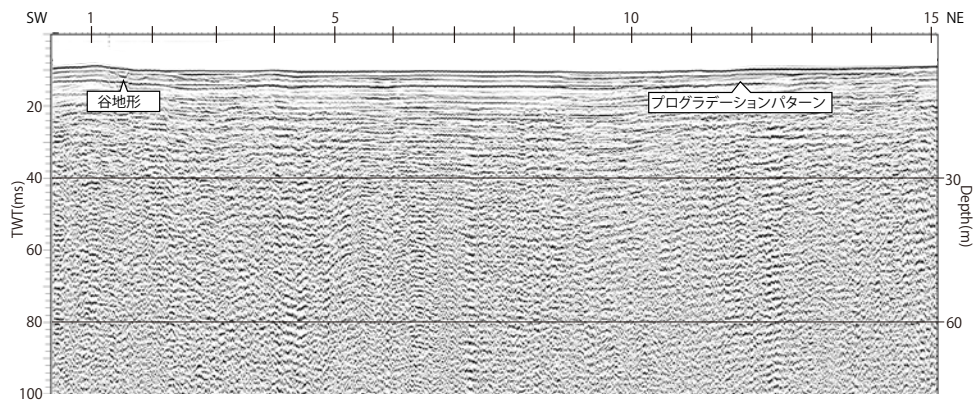
第 12 図. N-6B 測線の音波探査断面 (上: 原記録, 下: 解釈付記録).  
 Fig. 12. Seismic profile of line N-6B (top: original section, bottom: geologically interpreted section).



第 13 図. N-7B 測線の音波探査断面.  
Fig. 13. Seismic profile of line N-7B.

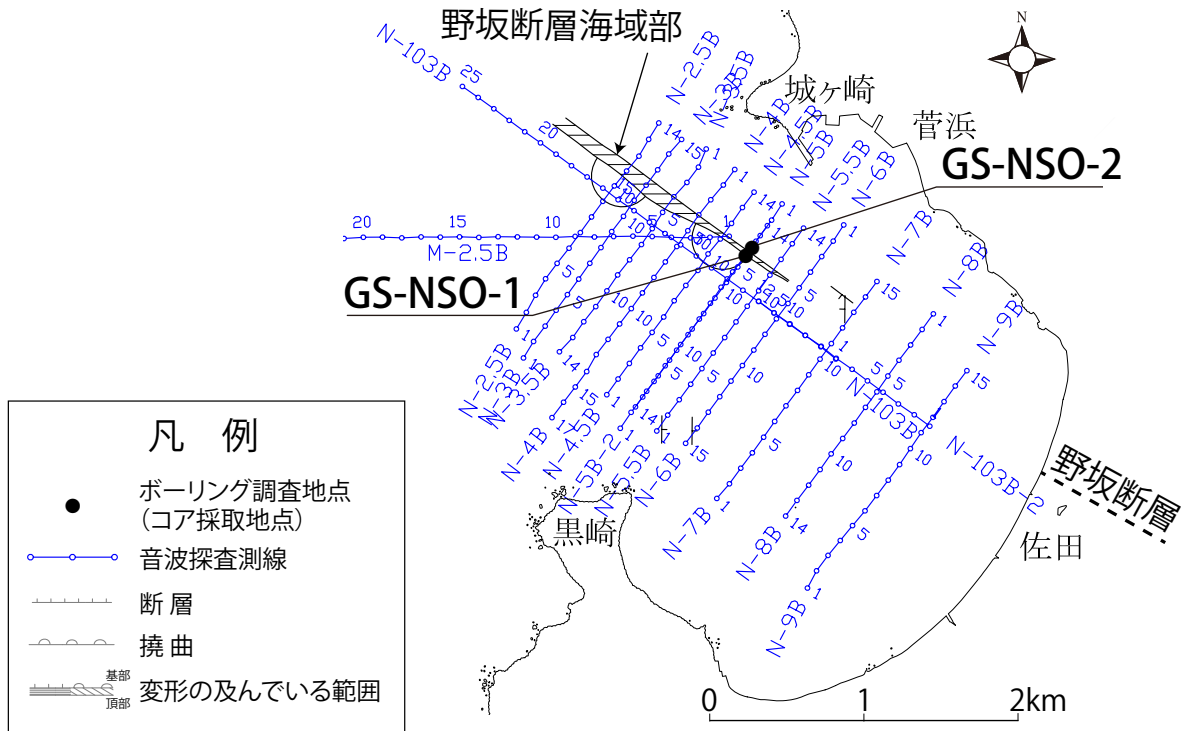


第 14 図. N-8B 測線の音波探査断面.  
Fig. 14. Seismic profile of line N-8B.

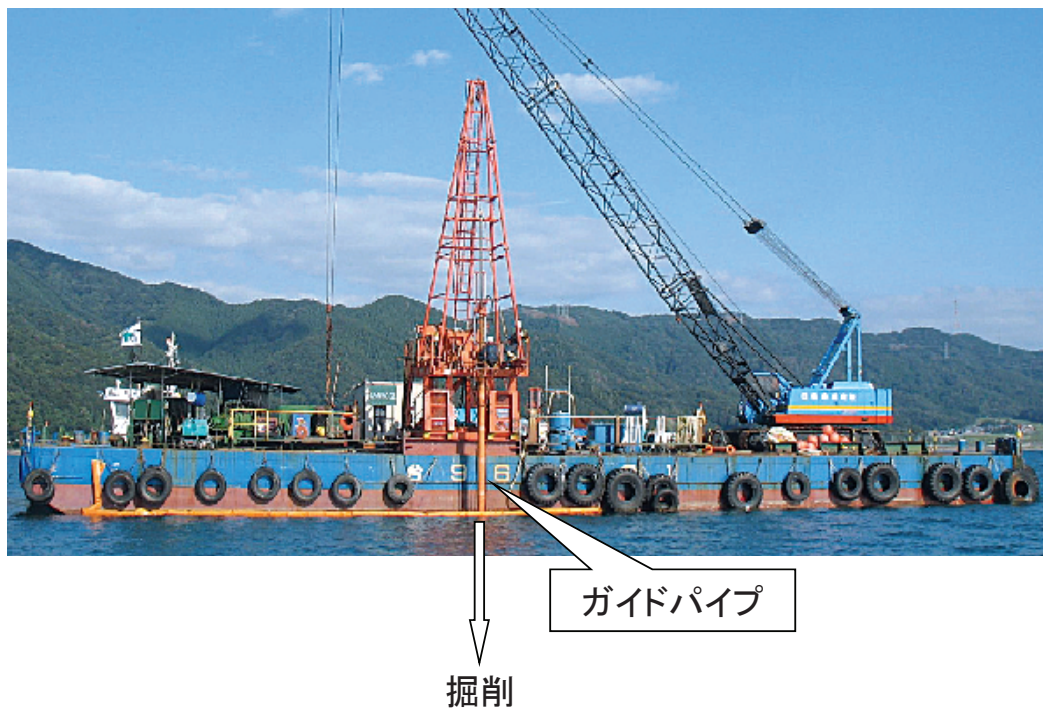


第 15 図. N-9B 測線の音波探査断面.  
Fig. 15. Seismic profile of line N-9B.





第 16 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. 16. Location of offshore drilling survey spots (GS-NSO-1 and GS-NSO-2). Location of offshore faults and monoclinical structures is after Japan Atomic Power Company (2004).

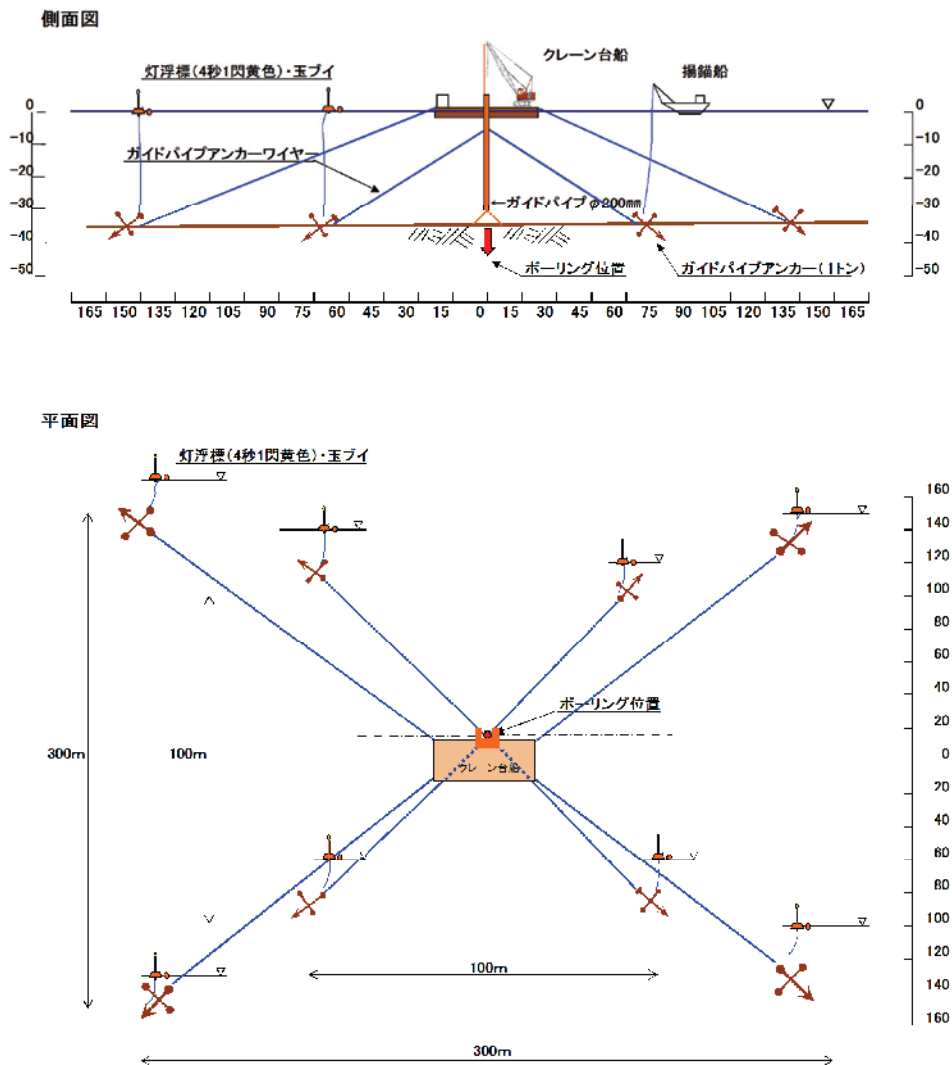


第 17 図. 傾動自在型試錐工法. この工法では, クレーン台船にボーリング檣, 試錐機, 発電機などを仮設し, クレーン台船の外側に, 掘削ロッド・サンプラーなどを通すガイドパイプを独立に仮設する.  
 Fig. 17. KEIDO-JIZAI Drilling Method (the free standing guide pipe method). This drilling method installs a guide pipe guiding drilling rods and a core sampler to the sea bottom independently of the pontoon survey ship, on which many drilling devices such as drilling tower, hydraulic system and generator are installed.

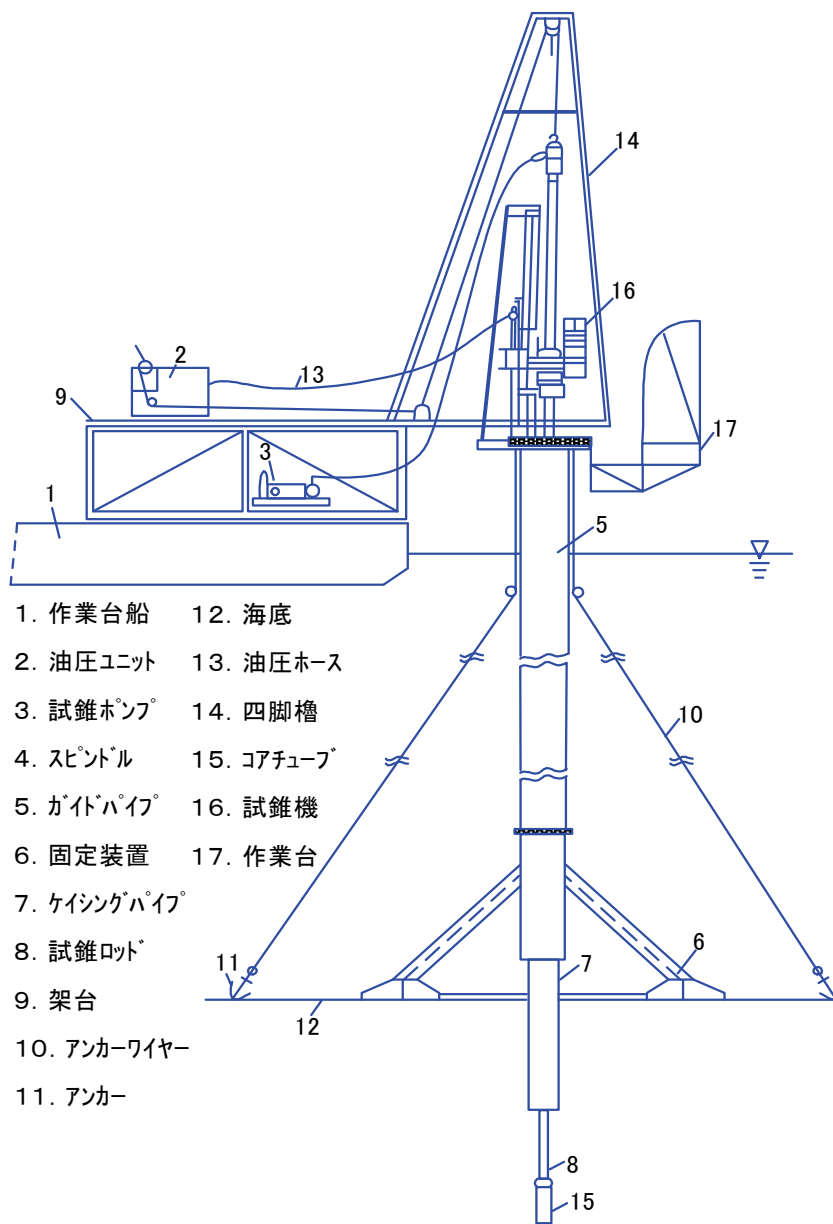




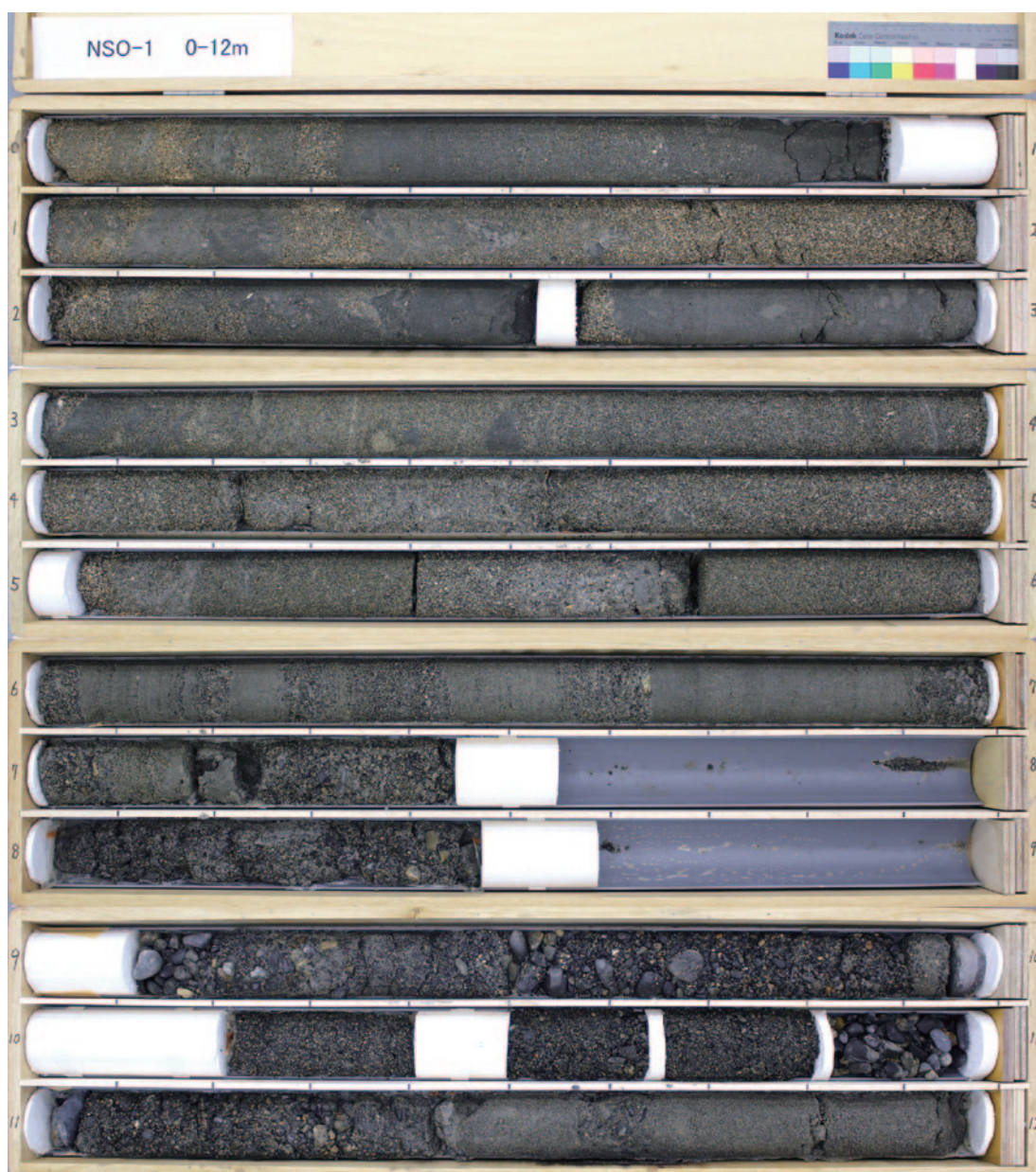
第 18 図. ガイドパイプを台船から隔離した様子. 掘削作業休止時及び夜間の係留時には, 台船が波浪で大きく動揺してもガイドパイプと台船が接触しないように, 両者を適切な距離に隔離することができる.  
 Fig. 18. A guide pipe being separated from the pontoon survey ship. This drilling method keeps the guide pipe off the pontoon survey ship in order not to contact each other even in stormy condition.



第 19 図. 台船及びガイドパイプの固定方法 (アンカリング).  
 Fig. 19. Anchoring method of a pontoon survey ship and a guide pipe.



第 20 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. 20. Outline of hydraulically-operated KEIDO-JIZAI Drilling Method (CTM-10).



第 21 図 (その 1). GS-NSO-1 コアの写真 (深度 0~12 m).

Fig. 21 (1). Core GS-NSO-1 (0-12 m; upper part of 27 m-long core extracted at spot GS-NSO-1 in Fig. 16).





第 21 図 (その 2). GS-NSO-1 コアの写真 (深度 8~27 m).

Fig. 21 (2). Core GS-NSO-1 (8-27 m; lower part of 27 m-long core extracted at spot GS-NSO-1 in Fig. 16).

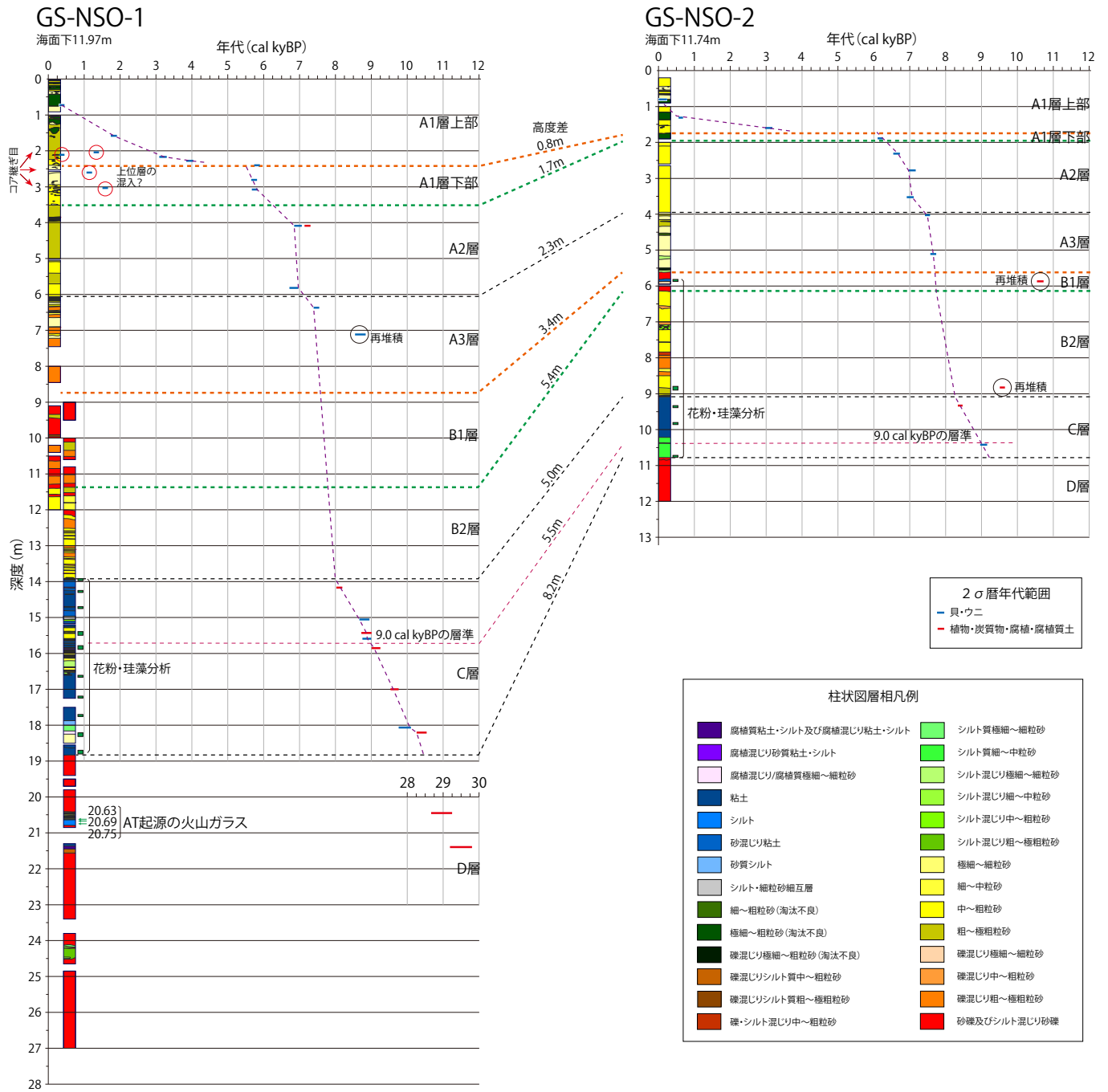




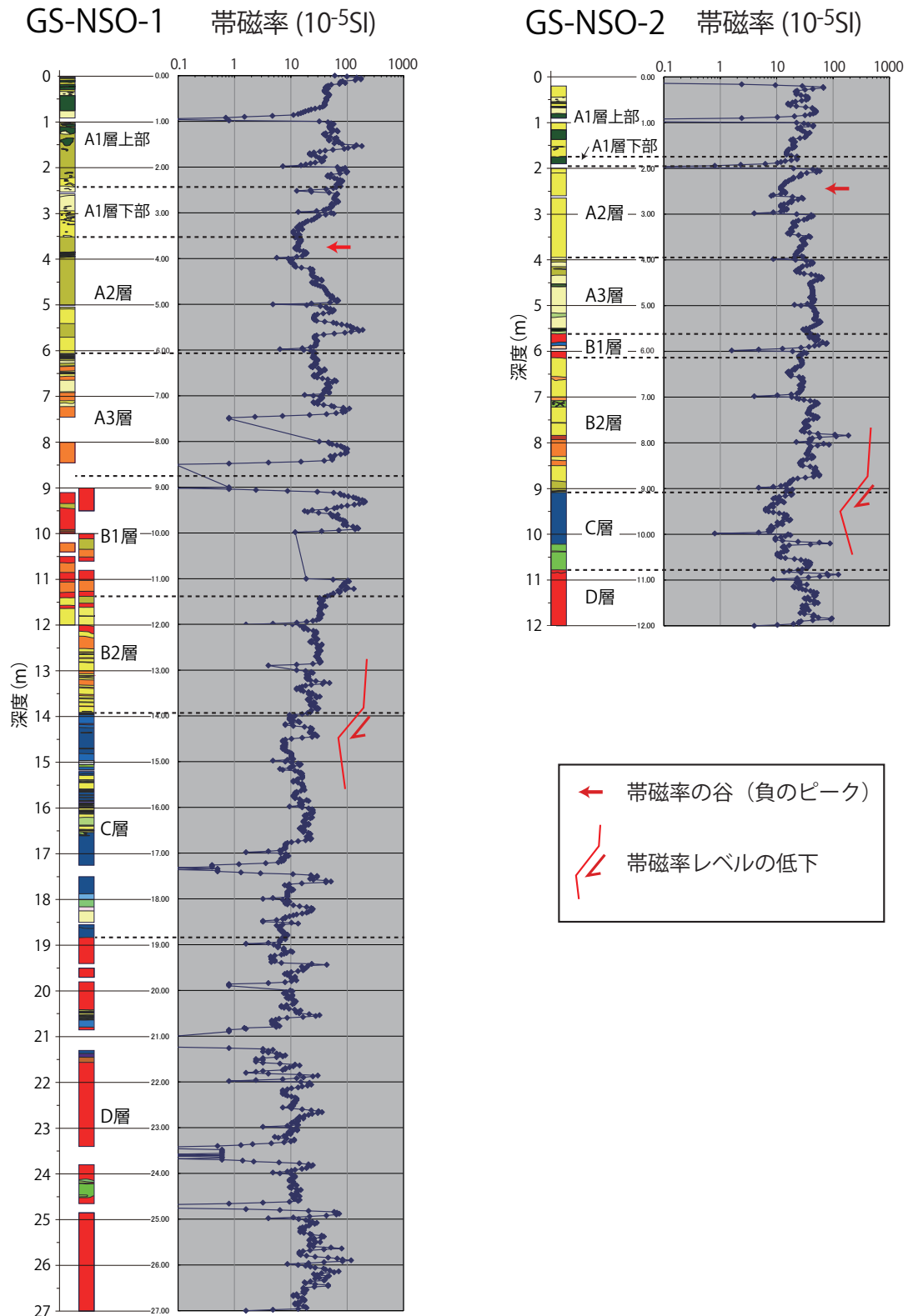
第 22 図．GS-NSO-2 コアの写真．

Fig. 22. Core GS-NSO-2 (12 m-long core extracted at spot GS-NSO-2 in Fig. 16).



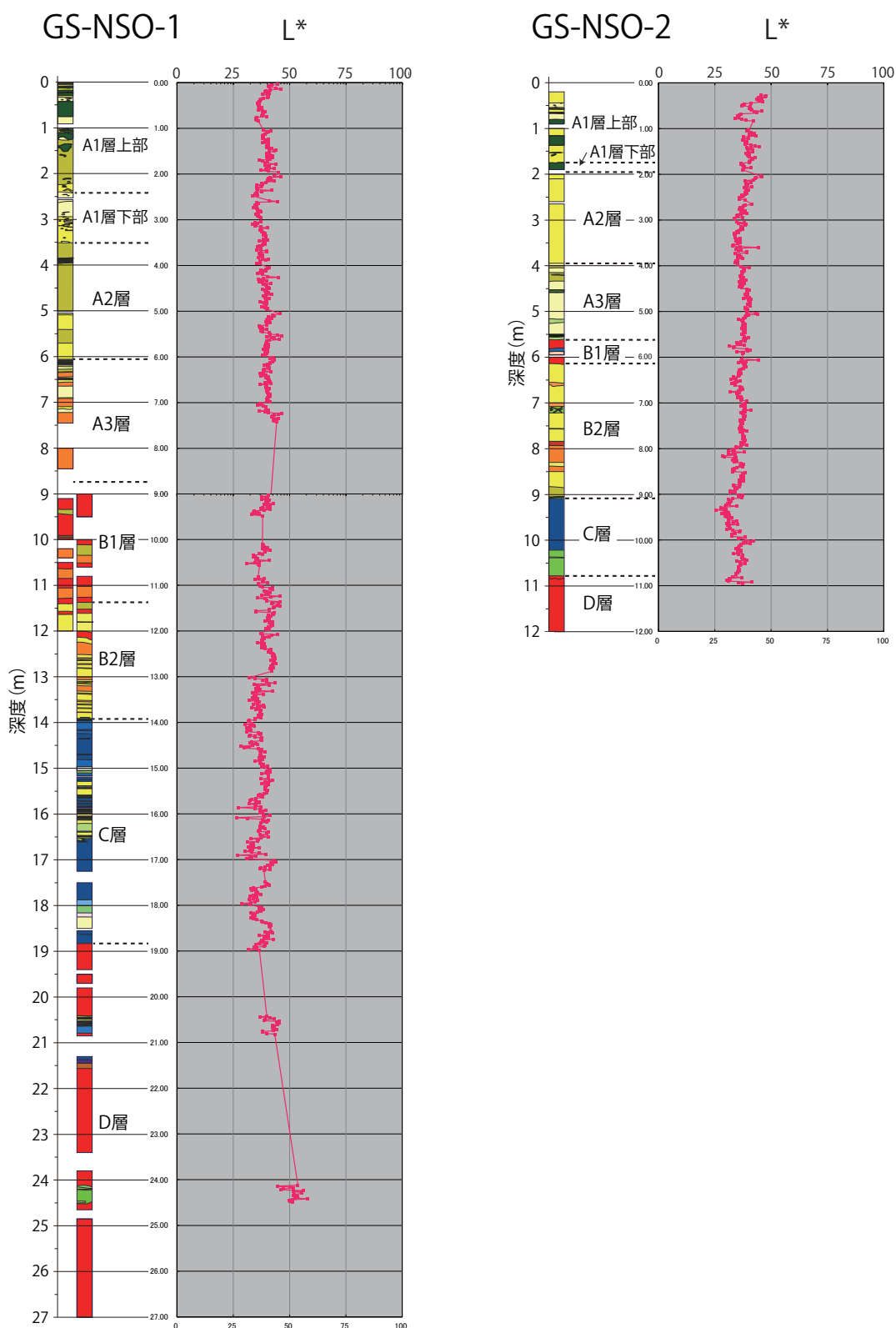


第 24 図. コア観察に基づく GS-NSO-1 コアと GS-NSO-2 コアの層序区分・コア間対比と <sup>14</sup>C 年代-深度関係。  
Fig. 24. Stratigraphic division, correlation and age - depth relationship of cores GS-NSO-1 and GS-NSO-2.

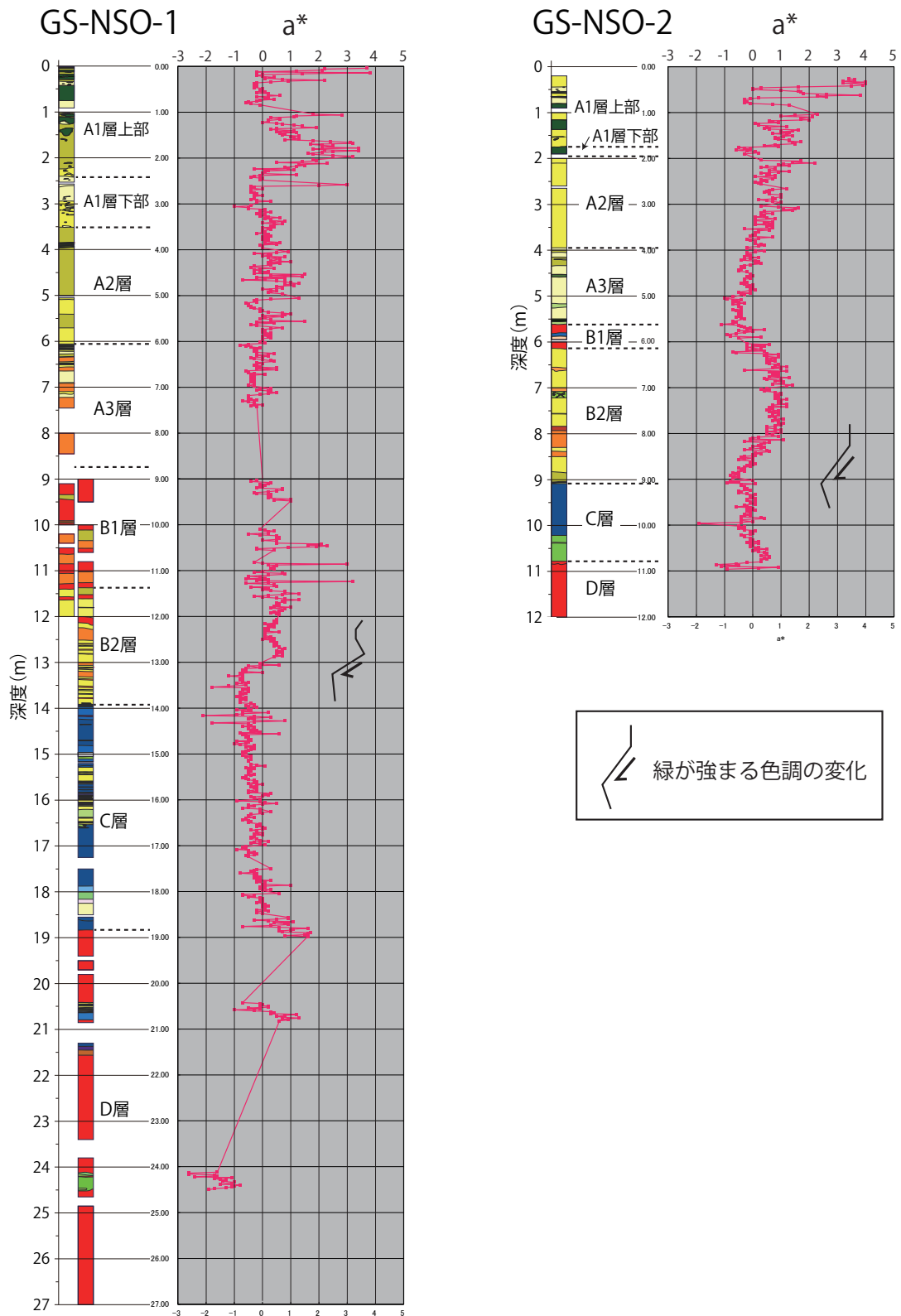


第 25 図. GS-NSO-1 コアと GS-NSO-2 コアの帯磁率測定結果.  
 Fig. 25. Magnetic susceptibility measurement results of cores GS-NSO-1 and GS-NSO-2.

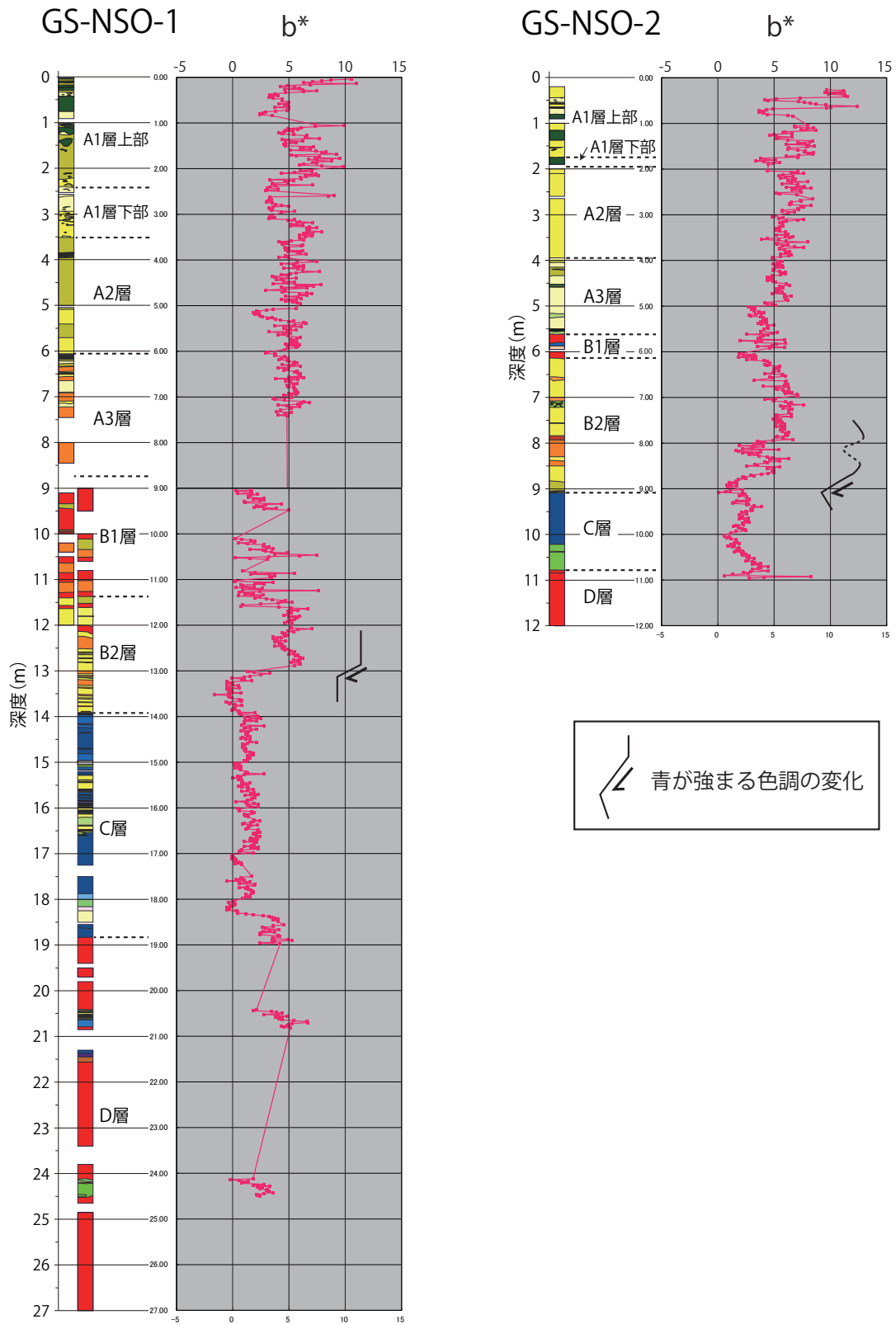




第 26 図. GS-NSO-1 コアと GS-NSO-2 コアの色調測定結果 (L\* : 明度).  
 Fig. 26. Color measurement results (L\*: brightness) of cores GS-NSO-1 and GS-NSO-2.

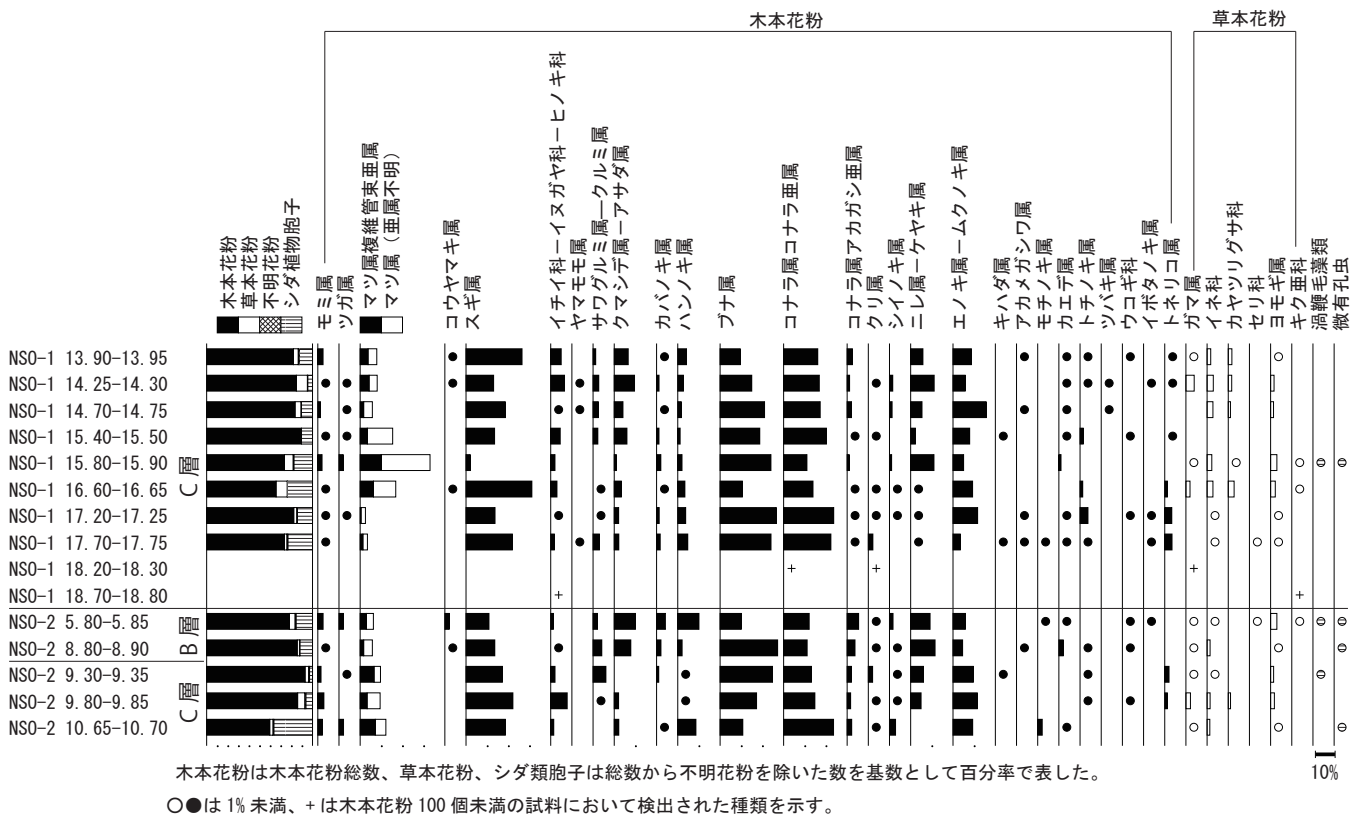


第 27 図. GS-NSO-1 コアと GS-NSO-2 コアの色調測定結果 (a\*: 緑-赤).  
 Fig. 27. Color measurement results (a\*: green-red) of cores GS-NSO-1 and GS-NSO-2.



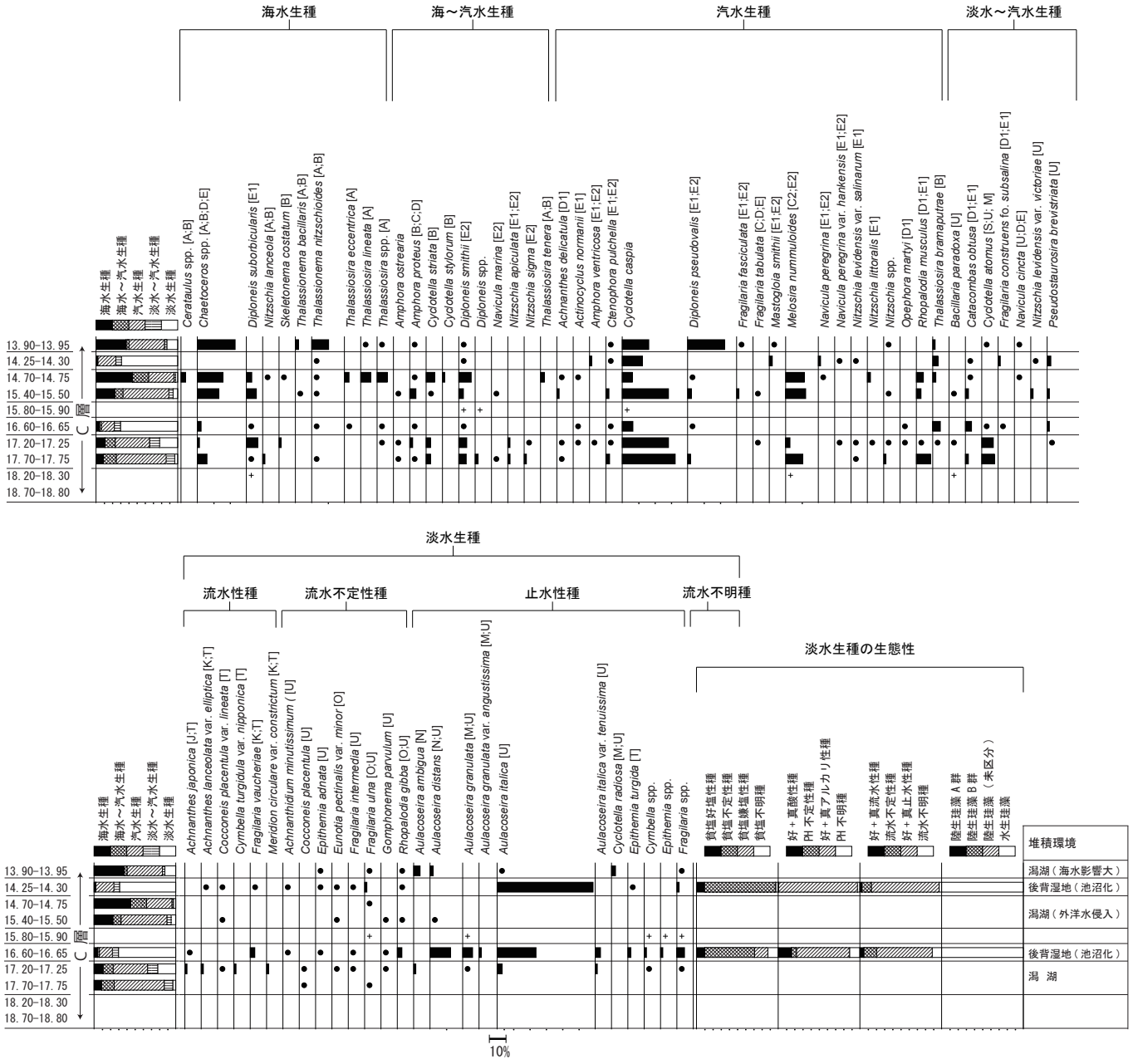
第 28 図. GS-NSO-1 コアと GS-NSO-2 コアの色調測定結果 (b\* : 青-黄).  
 Fig. 28. Color measurement results (b\*: blue-yellow) of cores GS-NSO-1 and GS-NSO-2.



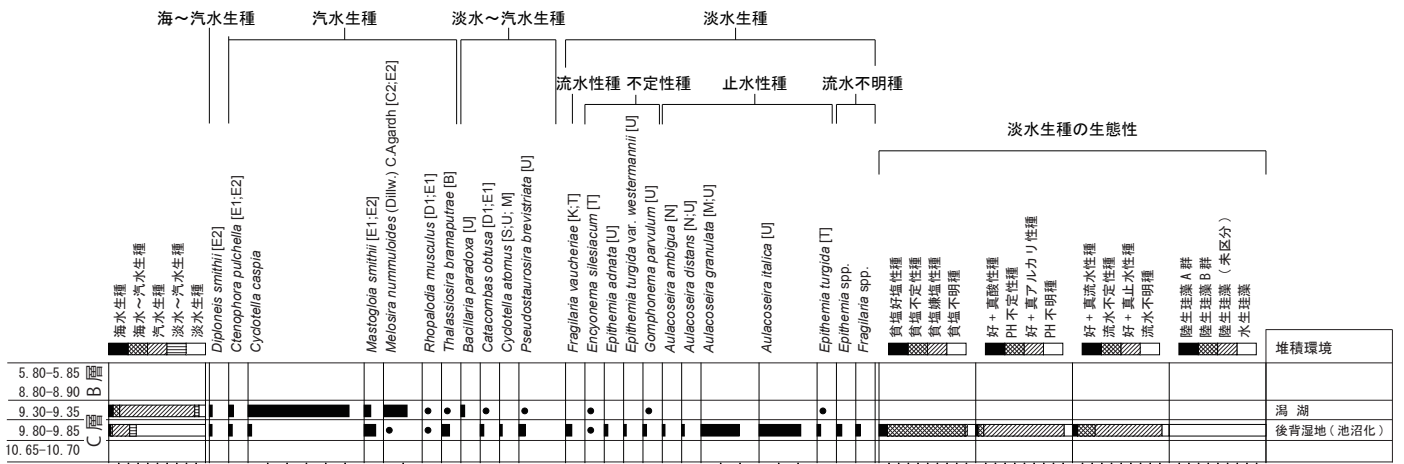


第29図. GS-NSO-1 コアと GS-NSO-2 コアの花粉分析結果.  
 Fig. 29. Pollen analysis results of cores GS-NSO-1 and GS-NSO-2.

福井県美浜町菅浜沖、野坂断層海域部の更新世末期以降の活動



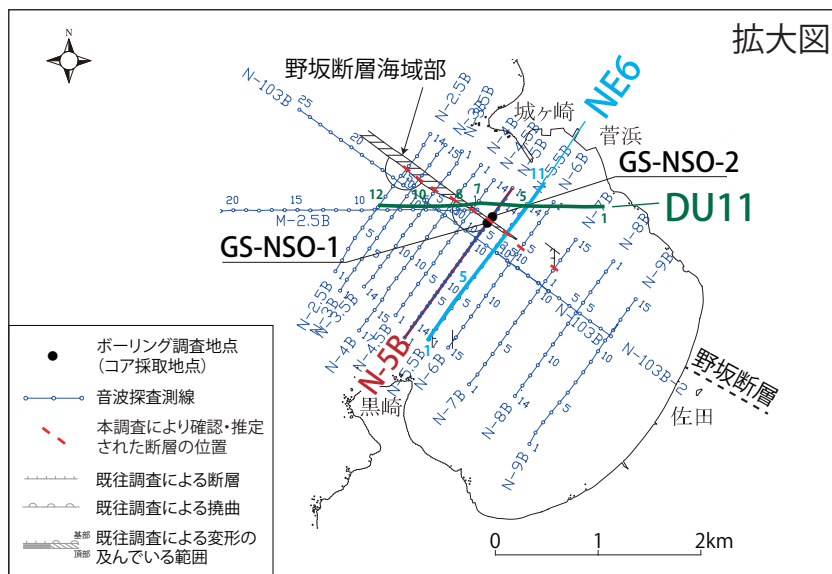
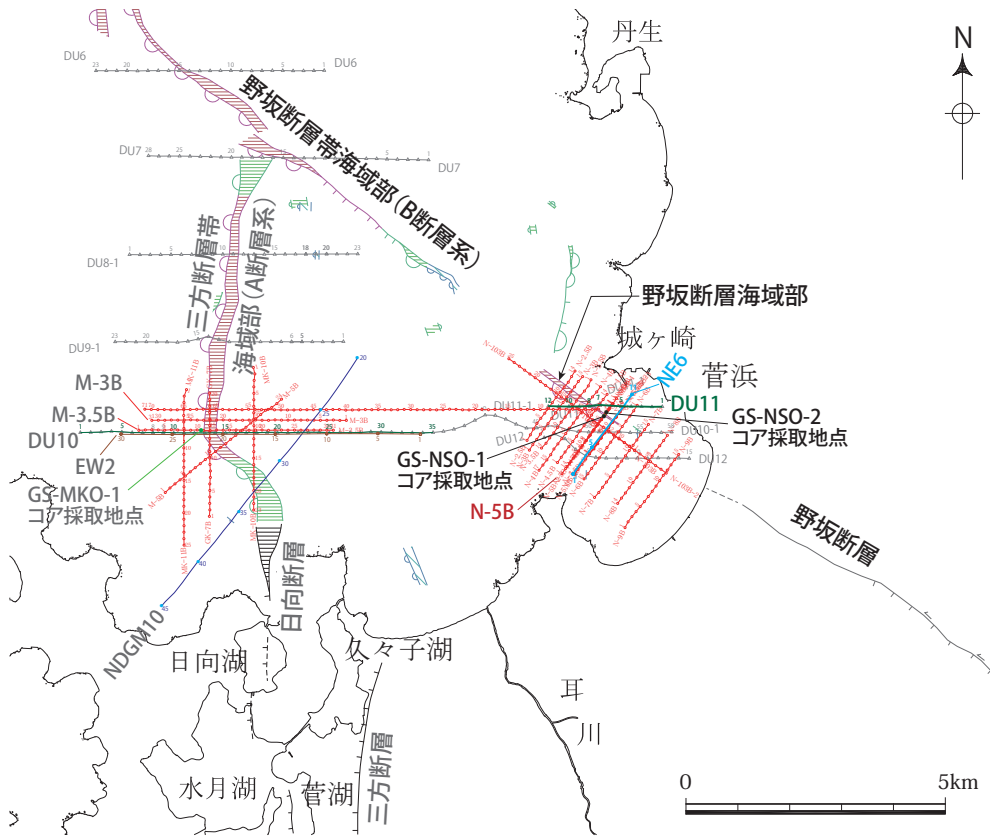
第 30 図. GS-NSO-1 コアの珪藻分析結果.  
 Fig. 30. Diatom analysis result of core GS-NSO-1.



海水～汽水～淡水生種産出率・各種産出率・完形類産出率は全体基数、淡水生種の生態性の比率は淡水生種の合計を基数として百分率で算出した。いずれも100個体以上検出された試料について示す。なお、●は1%未満、+は100個体未満の試料について検出した種類を示す。

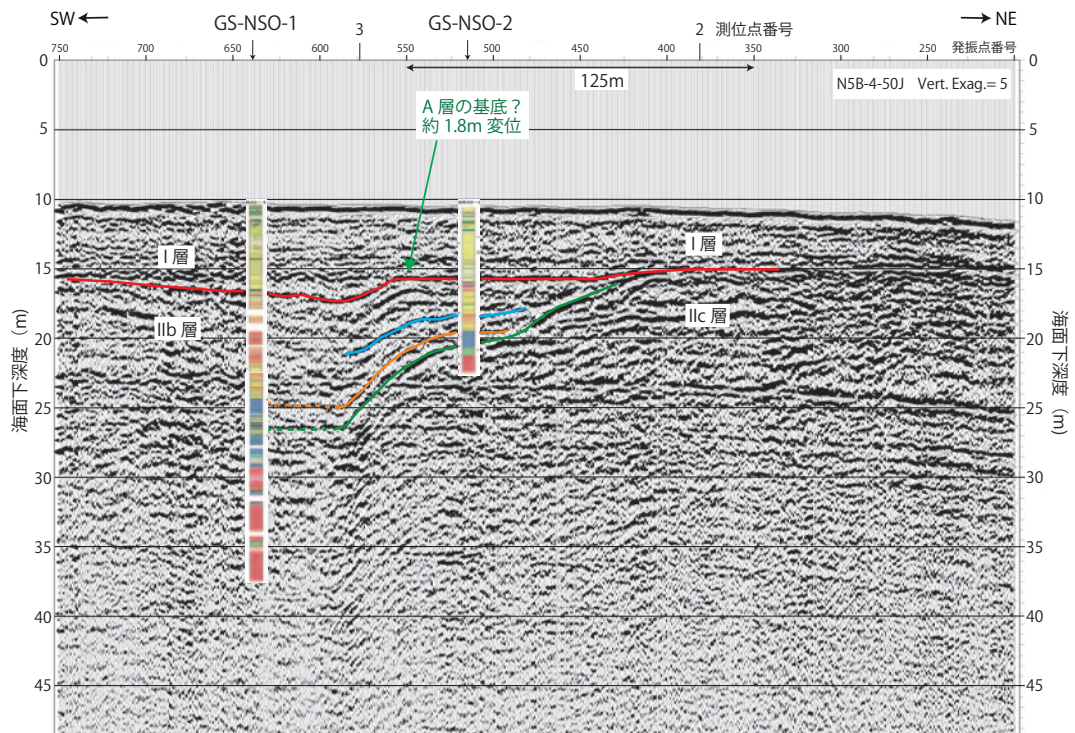
第 31 図. GS-NSO-2 コアの珪藻分析結果.  
Fig. 31. Diatom analysis result of core GS-NSO-2.





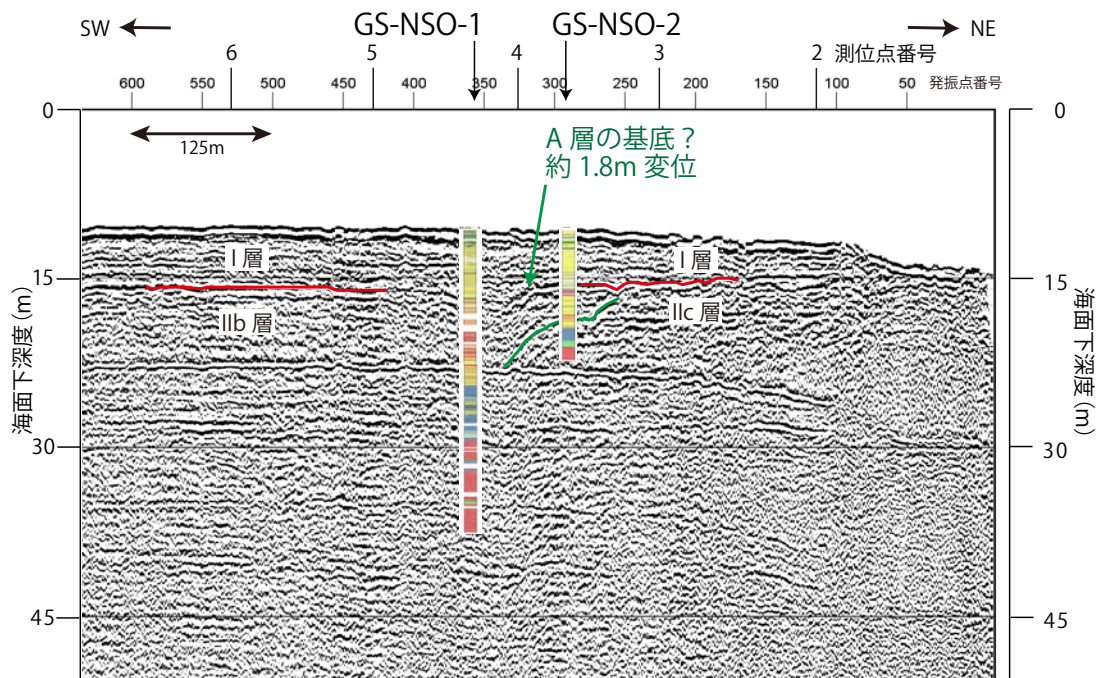
第 32 図. N-5B 測線，日本原子力発電の DU11 測線，小松原ほか (2000) の NE6 測線及び GS-NSO-1・GS-NSO-2 コア採取地点の位置図。海域の断層・撓曲及び既往探査測線の位置は日本原子力発電 (2004) による。野坂断層の位置は日本原子力発電 (2004) 及び杉山の未公表資料による。日向断層と三方断層の位置は小松原ほか (1999, 2000) と金田ほか (2000) による。

Fig. 32. Map showing the location of line N-5B (this survey), line DU11 (Japan Atomic Power Company), line NE6 (Komatsubara *et al.*, 2000) and core spots GS-NSO-1 and GS-NSO-2. Location of offshore faults and monoclinal structures is after Japan Atomic Power Company (2004). The onshore trace of the Nosaka fault is after Japan Atomic Power Company (2004) and unpublished data by Y. Sugiyama. Location of the Hiruga and Mikata faults is after Komatsubara *et al.* (1999, 2000) and Kaneda *et al.* (2000).



第 33 図. N-5B-50J 測線 (ブーマー 50J, 発振間隔 0.625 m, 受振間隔 2.5 m, 12 チャンネル探索) の重合処理時間断面にボーリング調査結果を重ねた図.

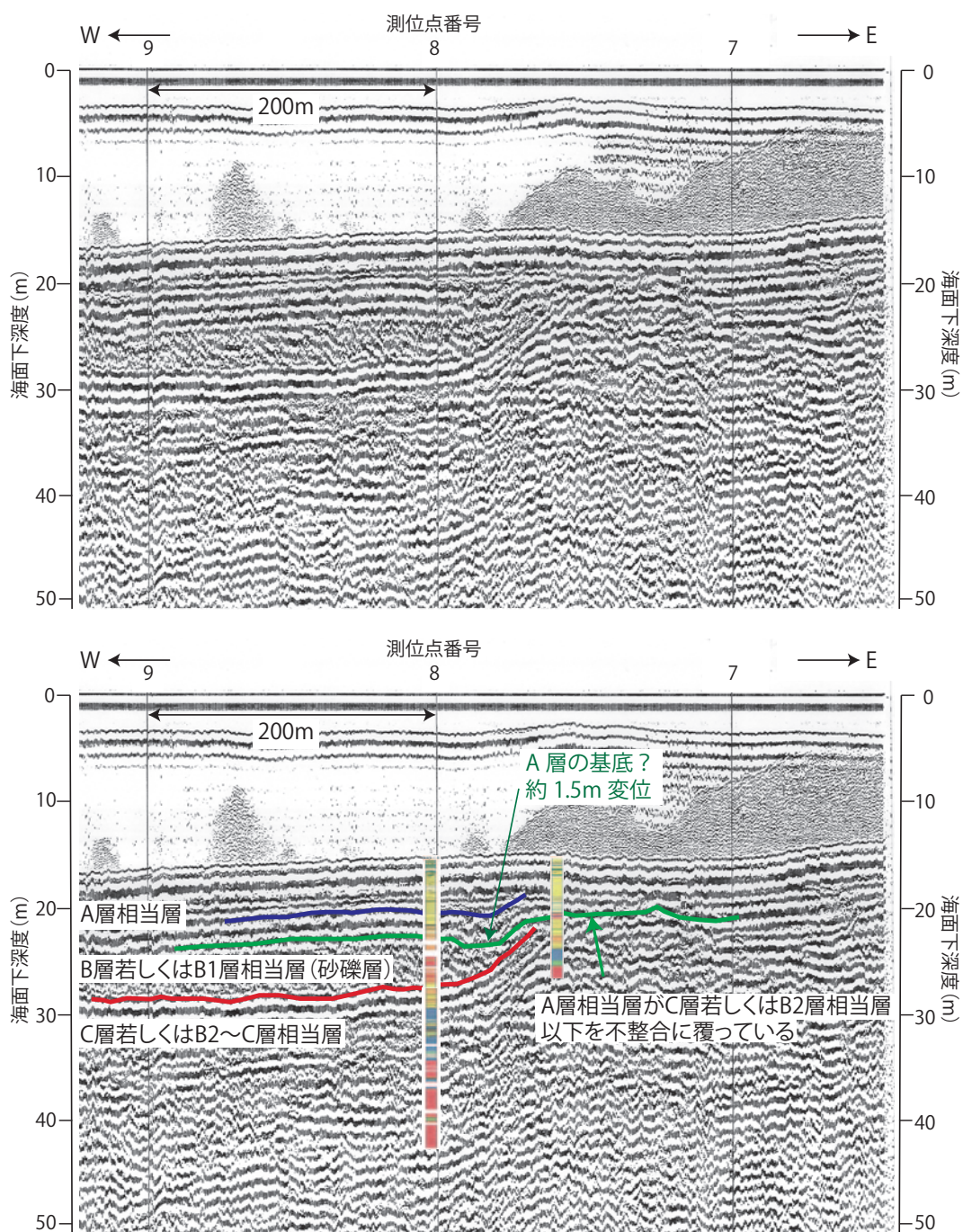
Fig. 33. Seismic profile of line N-5B-50J (50J boomer source, 0.625m shot interval, 2.5m receiver interval and 12 channel survey) overlaid with geological columns of GS-NSO-1 and GS-NSO-2.



第 34 図. N-5B-200J 測線 (ブーマー 200J, 発振間隔 1.25 m, 受振間隔 2.5 m, 12 チャンネル探索) の重合処理時間断面にボーリング調査結果を重ねた図.

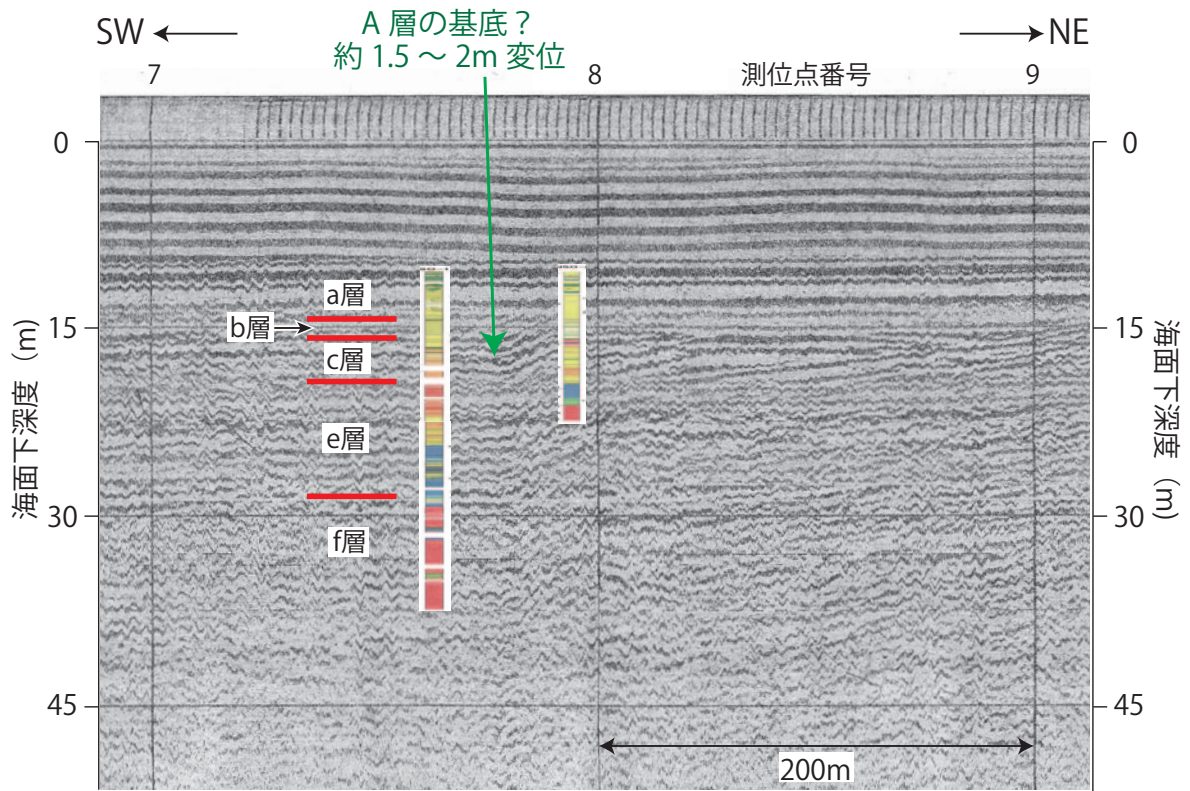
Fig. 34. Seismic profile of line N-5B-200J (200J boomer source, 1.25 m shot interval, 2.5 m receiver interval and 12 channel survey) overlaid with geological columns of GS-NSO-1 and GS-NSO-2.



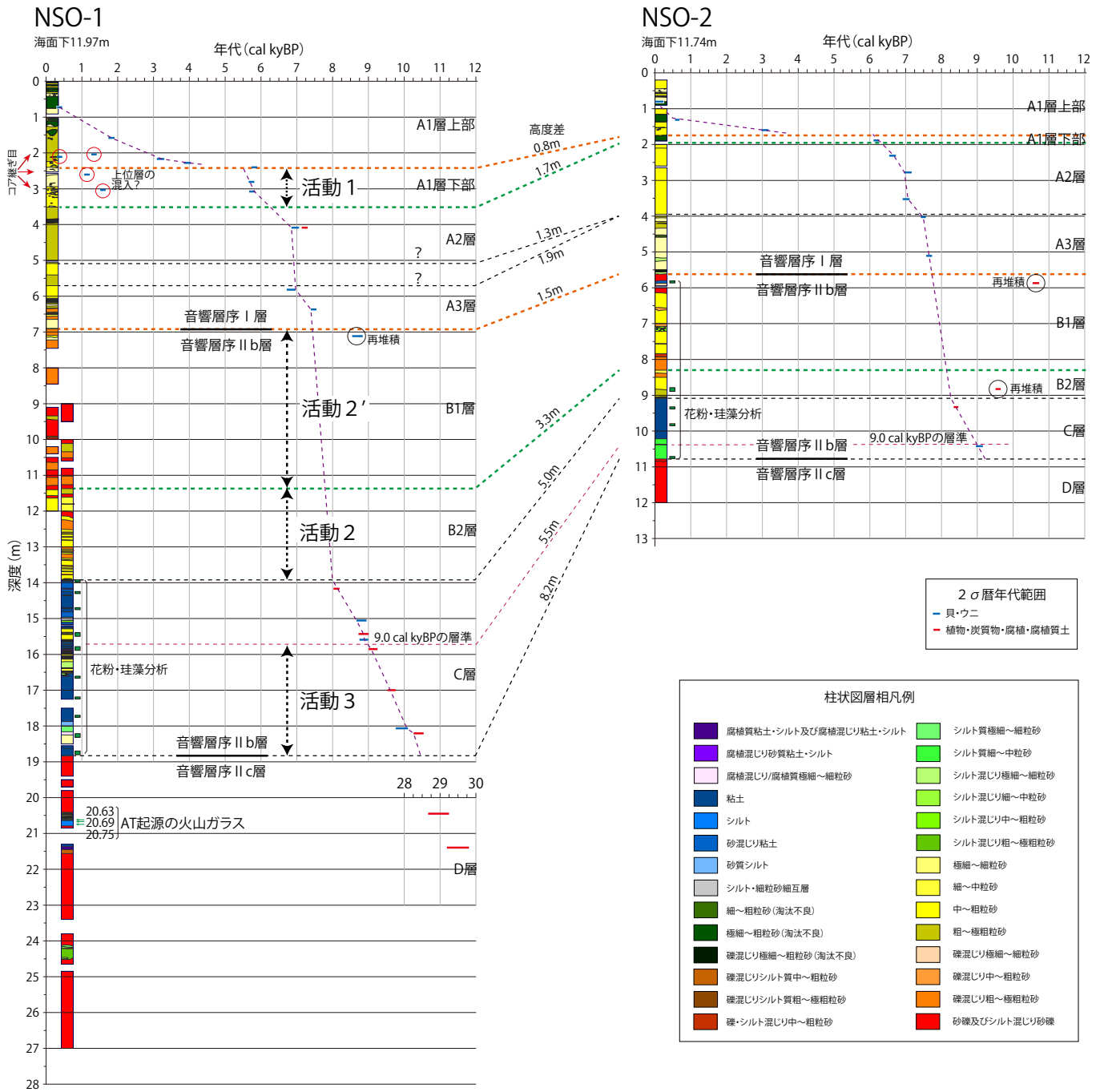


第 35 図. 日本原子力発電の DU11 測線 (ブーマー, シングルチャンネル探査) の反射断面 (上; 貸与・開示を受けた資料 2) とその解釈断面にボーリング調査結果を投影した図 (下).  
 Fig. 35. Seismic profile of line DU11 (top; materials no. 2 borrowed from Japan Atomic Power Company; boomer source, single-channel survey) and its geologic interpretation with projected geological columns of GS-NSO-1 and GS-NSO-2 (bottom).

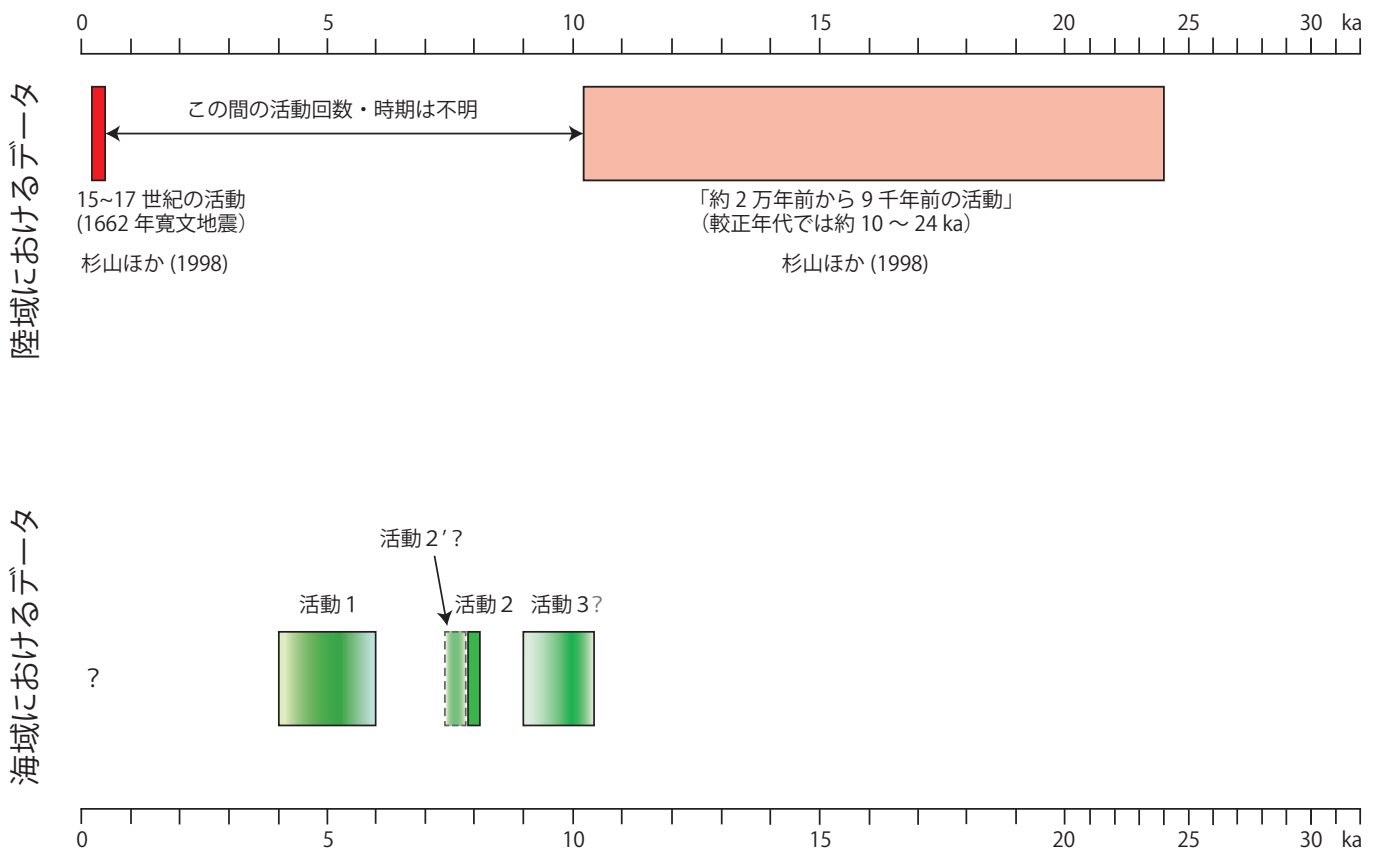




第 36 図. 小松原ほか (2000) の NE6 測線 (ブーマー, シングルチャンネル探査) の反射断面にボーリング調査結果を投影した図.  
Fig. 36. Seismic profile of line NE6 (Komatsubara *et al.*, 2000; boomer source, single-channel survey) with projected geological columns of GS-NSO-1 and GS-NSO-2.



第 37 図. 音波探査結果との照らし合わせに基づき修正した GS-NSO-1 コアと GS-NSO-2 コアの対比.  
Fig. 37. Stratigraphic division, correlation and age - depth relationship of cores GS-NSO-1 and GS-NSO-2, modified through comparison with seismic profiling results.



第38図. 野坂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.

Fig. 38. Summary of onshore and offshore faulting history on the Nosaka Fault Zone. The shade of green indicating the time range of offshore faulting events is proportional to inferred possibility.