

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

Piston coring survey on the Urazoko Fault, a segment of the Urazoko-Yanagaseyama Fault Zone, in Tsuruga Bay, Fukui Prefecture, central Japan

杉山雄一¹・坂本 泉²・滝野義幸²・宇佐見琢哉³・永田高弘⁴

Yuichi Sugiyama¹, Izumi Sakamoto², Yoshiyuki Takino², Takuya Usami³ and Takahiro Nagata⁴

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

² 東海大学海洋学部 (School of Marine Science and Technology, Tokai University)

³ 総合地質調査株式会社 (Sogo Geophysical Exploration Co., Ltd.)

⁴ 株式会社ダイヤコンサルタント (Dia Consultants Co., Ltd.)

Abstract: We conducted piston coring survey across the F-39-40 fault, an SE extension of the Urazoko Fault, in Tsuruga Bay, Fukui Prefecture, in order to reveal the Holocene faulting history of the Urazoko-Yanagaseyama Fault Zone. Six cores, including the longest (6.13 m) DA-7, were subjected to indoor analysis and measurements. Four correlative stratigraphic horizons were identified by the naked-eye observation, and the cored deposits were divided into 4 stratigraphic units: unit a, b, c and d in descending order. Several additional correlative horizons were recognized through magnetic susceptibility measurement. ¹⁴C ages ranging from 10000 to 9500 cal yBP were obtained for samples from unit c, ages from 9500 to 7500 cal yBP and around 5500 cal yBP were measured for samples from units b and a, respectively. Tephra analysis has identified the 7300-yBP fall horizon of K-Ah tephra in the uppermost part of unit b on the subsided side, while the equivalent horizon on the uplifted side is lost probably due to erosion prior to the deposition of unit a. The original height difference of the K-Ah tephra horizon across the fault before its loss on the uplifted side is estimated to have been 2.1 m on the basis of sedimentation rate of unit b on the both sides of the fault.

キーワード: 浦底断層, 浦底－柳ヶ瀬山断層帯, 敦賀湾, 採泥, 活断層

Keywords: Urazoko Fault, Urazoko-Yanagaseyama Fault Zone, Tsuruga Bay, piston coring, active fault

1. 浦底－柳ヶ瀬山断層帯の概要

浦底－柳ヶ瀬山断層帯は、福井県敦賀市の立石岬付近から敦賀湾を南東方向に横切り、滋賀県長浜市余呉町柳ヶ瀬に至る一連の断層であり、柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯の一部をなす（第1図）。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）の柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯の長期評価（地震調査委員会、2004）によると、浦底－柳ヶ瀬山断層帯は全長約25 kmに達し、北西側から、浦底、ウツロギ峠、池河内、柳ヶ瀬山の4断層からなる（第1図）。このうち、最も北西側の浦底断層は、立石岬の南から敦賀湾内に達している。

その後、浦底－柳ヶ瀬山断層帯については、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、日本原子力発電株式会社（以下、日本原子力発電と呼ぶ）によって調査された（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。

これらを受けて、日本原子力発電は、海域・陸域にわたって詳細な調査を実施した。これらの調査の結果は、日本原子力発電（2008, 2010）などに取りまとめられている（第2図）。更に、原子力安全・保安院（2009a, b）は、電力事業者による調査結果のチェックを目的として、敦賀湾内と若狭湾東部の音波探査を実施している。

地震調査委員会（2004）は、本断層帯をほぼ垂直な断層面を持つ左横ずれ断層と考え、その全長（約25 km）から、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。しかし、2004年1月の長期評価公表時点では、浦底－柳ヶ瀬山断層帯の平均変位速度、過去の活動時期、1回のずれの量（単位変位量）、平均活動間隔などの過去の活動に関するデータは得られていなかった。このため、浦底－柳ヶ瀬山断層帯の過去の活動に関するデータの取得が最重要の課題として残された。

2. 浦底－柳ヶ瀬山断層帯（海域部）調査の目標

上述の残された課題を踏まえ、平成23年度「沿岸

海域における活断層調査」の一環として実施した浦底一柳ヶ瀬山断層帯（海域部）の調査では、浦底断層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、既存の調査データを再検討し、新たなデータと統合することによって、浦底一柳ヶ瀬山断層帯全体の位置・形態と過去の活動を明らかにすることを最終的な目標とした。

これらの目標を達成するため、平成 23 年度の調査では、1) 敦賀湾の高分解能音波探査（東海大学担当）、2) 敦賀湾内での浦底断層の採泥調査（産総研担当）、及び 3) 既存調査データの検討（産総研担当）を行った。本稿では、このうち、浦底断層の採泥調査について報告する。

採泥調査では、浦底断層の相対的隆起側（北東側）と沈降側（南西側）双方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を明らかにし、音波探査断面との対応付けを通じて断層変位を抽出し、断層活動時期を特定することを目標とした。

なお、高分解能音波探査については産総研・東海大学（2012）及び東海大学（2012）、既存調査データの検討については本号中の別稿（杉山ほか、2012）を参照されたい。

3. 調査海域

日本原子力発電が 2005 年に実施したソノプローブを音源とするシングルチャンネル音波探査の結果（第 3, 4 図）を参照し、F-39・40 断層（立石岬付近の浦底断層の海域延長）による上下変位もしくはこれに起因する高度差が海底にまで達する敦賀湾中央部（北緯 35° 43′ 18~28″，東経 136° 03′ 30~42″）の南北約 300 m，東西約 300 m の範囲（第 3 図）を調査計画海域に選定した。

さらに、平成 23 年度調査で実施した高分解能音波探査の結果に基づき、第 5 図に示す C-7 測線~C-12 測線において確認された F-39・40 断層の相対的隆起側（北東側）と相対的沈降側（南西側）を調査対象海域とした。

4. 調査方法

4.1 海上調査

4.1.1 採泥

採泥では、F-39・40 断層の相対的隆起側と沈降側の両側において、長さ 7 m の柱状試料（以下、コアと呼ぶ）を採取することを目指した。このため、長さ 8 m の採泥管を装着したピストン式柱状採泥器を用いて、採泥を実施した。ピストン式柱状採泥器の規格を第 1 表に、模式図を第 6 図に示す。

ピストン式柱状採泥器による採泥は、調査船から海中に投下された採泥器が海底から 2~5 m 程度の高さに達した時点で自由落下させ、海底の地層に貫入

させる方法である（第 6 図）。この際、ワイヤーロープの先端に取り付けられたピストンは海底面に固定され、採泥管のみが海底下の地層に貫入する。ピストンは採泥管に真空部を作り、試料が入りやすくすると共に、引き上げ時に試料の抜け落ちを防止する機構になっている。また、保存・運搬のため、ポリカーボネート製のインナーチューブを使用した。

4.1.2 船位測量

柱状採泥調査地点の位置測量は、静止軌道上にある 2 機の運輸多目的衛星 MTSAT の電波を使用したディファレンシャル方式 GPS (DGPS: SBAS) 法により行った。また、今回の調査では、上記の位置データのほかに、方位データも取得可能な GPS コンパスによって試料採取地点の位置を測定した。更に、調査船を固定（アンカリング）する際には、採取予定地点に目印となるブイを投入し、採取位置の精度向上に努めた。DGPS の規格・性能を第 2 表に示す。

4.1.3 水深測量

水深測量には、単素子型音響測深機を使用した。取得したデータは、デジタルデータとして GPS 測位データと共に数値データとして保存されるほか、アナログ出力によりモニター記録として感熱紙に出力される。本調査の音響測深では、各コア採取地点において、採泥器の投入から揚収まで連続してデータを取得した。なお、音波の水中伝播速度は海水の温度や塩分濃度などにより変化するため、実測水深と音響測深機が示す水深との差を求め、音速度補正を行った。また、潮位基準面は敦賀港基準（D.L.）を使用し、国土交通省港湾局がネット公開しているリアルタイムナウファス（全国港湾海洋波浪情報網）のデータから潮位補正を行った。音響測深機の規格・性能を第 3 表に示す。

4.2 コアの観察・記載及び測定・分析

柱状採泥により採取した 16 コアのうち、隆起側・沈降側それぞれにおいて長さが大きな 3 コア（隆起側の UA-5, UA-7, UA-8, 沈降側の DA-5, DA-6, DA-7）、合計 6 コアについて、観察・記載と各種測定・分析を行った。

作業手順は、まず帯磁率を測定し、次にコアを切断・半割してラップで包み、色調測定を行った。その後、ラップを取り外して写真撮影を行い、次いでコアの観察・記載を行った。最後に、¹⁴C 年代測定用試料と火山灰分析用試料を採取し、¹⁴C 年代測定と火山灰分析に供した。

4.2.1 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 4 m，外

径 80 mm のポリカーボネート製インナーチューブに収納され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 70 cm 以上離れた。また、測定の前に、較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。なお、計測値の信頼性を確かめるため、10 cm 間隔で全てのコアの再計測を行い、計測値に再現性があることを確認した。帯磁率計の規格・性能を第 4 表に示す。

4.2.2 コアの切断・半割及び色調測定

帯磁率測定が終了したコアは 1 m 毎に電動丸ノコで切断した。切断したコアは、まず小型の電動丸ノコを用いてチューブを半割し、次いでステンレスワイヤーと金属ヘラを用いてコア本体を半割した。次に、半割面を薄く金属ヘラで削り、霧吹きで表面を洗浄した後、ラップで覆った。半割コアの一方は観察・試料採取用、もう一方は保存用とした。

色調測定は、ミノルタ製の 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、半割コアをラップで覆った状態で、2 cm 間隔で行った。

4.2.3 コアの写真撮影及び観察・記載

ラップを外したコアをコア箱に入れ、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。

写真撮影を行ったコアを肉眼で詳細に観察し、粒度、色、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、各コアについて、縮尺 10 分の 1 の柱状図を作成した。

4.2.4 ^{14}C 年代測定

^{14}C 年代測定用の試料として、植物片、貝、ウニの殻を採取した。貝とウニの殻については、再堆積の可能性が低いと考えられる合弁の二枚貝、全体が保存された薄い殻の二枚貝、全体形状が保存されたウニの採取に努めた。6 コア全体の採取試料数は植物片 40、貝 27、ウニ殻 1 である。このうち、主として UA-5 コアと DA-7 コアから選択した植物片 12、貝 15、ウニ殻 1 の合計 28 試料を AMS 法による ^{14}C 年代測定に供した。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。

4.2.5 火山灰分析

火山灰分析用の試料として、UA-5 コアの全層準

から 18、DA-7 コアの上部・中部・下部より、それぞれ 9、5、6、UA-8 コアの下部から 6、DA-5 コアの下部から 1 の、合計 45 の堆積物試料を採取した。これらの試料は、堆積物中の火山ガラス含有量、火山ガラスの屈折率測定、火山ガラスの主成分化学分析などからなる火山灰分析に供した。

5. 調査結果

5.1 採泥調査結果

採泥調査では、F-39・40 断層の隆起側と沈降側の両側で長さ 7 m のコアを採取することを目標として、調査初日 (2011 年 8 月 8 日) と 2 日目の午前中には、採泥器の自由落下長を 4~5 m としてコア採取を試みた。しかし、底質等の影響により、採取できたコアの長さは隆起側で 1.50~2.94 m、沈降側で 0~3.22 m にとどまり、目標の 7 m に遠く及ばなかった。このため、調査 2 日目の午後と 3 日目 (調査最終日) には採泥器の自由落下長を 7 m に変更して、コア採取を行った。その結果、隆起側では最長 3.78 m、沈降側では最長 6.13 m のコアを採取することができた。

コアの採取地点を第 5 図に、コアの採取状況を第 5 表に示す。3 日間の調査によるコアの採取地点/本数は、隆起側で 9ヶ所/9本、沈降側で 7ヶ所/7本、合計 16ヶ所/16本 (うち 2本は採取コア長 0 m) であった。このうち、隆起側・沈降側において長さが大きな各 3 コア (隆起側の UA-5、UA-7、UA-8、沈降側の DA-5、DA-6、DA-7)、合計 6 コアを観察・記載及び測定・分析に供した。

5.2 コア観察結果

以下に各コアの観察結果を略記する。また、各コアの写真を第 7 図と第 8 図に、柱状図を第 9 図と第 10 図に示す。

5.2.1 UA-5 コア (コア長 : 378 cm)

- ・深度 0~8 cm : 細粒砂。
- ・深度 8~44.5 cm : シルト混じりの細粒砂。
- ・深度 44.5~213 cm : 細粒砂混じりのシルト。全体に暗緑黒色を帯びるが、深度 186~193 cm は褐色を呈する。
- ・深度 213~229.5 cm : 明暗の縞模様が認められるシルト混じりの粘土。
- ・深度 229.5~233 cm : オリーブ黒色を呈するシルト混じり粘土。
- ・深度 233~321 cm : シルト質細粒砂。
- ・深度 321~378 cm : やや赤褐色を帯びるシルト質粘土。

5.2.2 UA-7 コア (コア長 : 341 cm)

- ・深度 0~48.5 cm : シルト混じりの細粒砂。
- ・深度 48.5~210 cm : 細粒砂混じりのシルト。深

度 187～194 cm には褐色のシルトがまだら状に混じる。

- ・深度 210～234 cm : 明暗の縞模様が見られるシルト混じりの粘土。
- ・深度 234～238 cm : オリーブ黒色を帯びたシルト混じりの粘土。
- ・深度 238～329 cm : シルト質の細粒砂。
- ・深度 329～341 cm : シルト質粘土。

5.2.3 UA-8 コア (コア長 : 323 cm)

- ・深度 0～7.5 cm : シルト混じりの細粒砂。
- ・深度 7.5～78 cm : 細粒砂混じりのシルト。深度 65 cm には褐色のシルトが挟まれる。
- ・深度 78～91 cm : 明暗の縞模様が認められるシルト混じり粘土。
- ・深度 91～93 cm : オリーブ黒色を帯びたシルト混じり粘土。
- ・深度 93～178 cm : シルト質細粒砂。
- ・深度 178～273 cm : やや赤褐色を帯びるシルト質粘土。
- ・深度 273～323 cm : 極細粒砂混じりのシルト。コア中央部の堆積物が下方へ引き込まれるように変形している。

5.2.4 DA-5 コア (コア長 : 350 cm)

- ・深度 0～14 cm : 細粒砂。
- ・深度 14～70 cm : シルト混じりの極細粒砂。
- ・深度 70～300 cm : 細粒砂混じりのシルト。深度 275～279 cm に褐色のシルトを挟む。
- ・深度 300～315 cm : 明暗の縞模様が認められるシルト混じり粘土。
- ・深度 315～318 cm : オリーブ黒色のシルト混じり粘土。
- ・深度 318～350 cm : シルト質極細粒砂。

5.2.5 DA-6 コア (コア長 : 400 cm)

- ・深度 0～20 cm : シルト混じりの細粒砂。
- ・深度 20～56 cm : シルト混じりの極細粒砂。
- ・深度 56～273 cm : 細粒砂混じりのシルト。深度 251 cm に褐色のシルトが挟まれる。
- ・深度 273～289 cm : 明暗の縞模様が認められるシルト混じりの粘土。
- ・深度 289～291 cm : オリーブ黒色のシルト混じり粘土。
- ・深度 291～370 cm : シルト質極細粒砂。
- ・深度 370～400 cm : 極細粒砂混じりのシルト～粘土。コア中央部の堆積物が下方へ引き込まれるように変形している。

5.2.6 DA-7 コア (コア長 : 613 cm)

- ・深度 0～24 cm : シルト混じりの極細粒砂。
- ・深度 24～80 cm : シルト混じりの細粒砂。

- ・深度 80～139 cm : シルト混じりの極細粒砂。
- ・深度 139～385 cm : 細粒砂混じりのシルト。深度 361～363 cm に褐色シルトを挟む。
- ・深度 385～405 cm : 明暗の縞模様が認められるシルト混じりの粘土。
- ・深度 405～412 cm : オリーブ黒色を呈するシルト混じりの粘土。
- ・深度 412～497 cm : シルト質極細粒砂。
- ・深度 497～570 cm : 極細粒砂混じりのシルト～粘土。コア中央部の堆積物が下方へ引き込まれるように変形している。
- ・深度 570～613 cm : 軟質な極細粒砂混じりシルト。

5.3 コア間の地層対比と層序区分

上述した各コアの観察結果より、6つのコアには、次のような共通な層相とその累重関係が認められる。すなわち、最上位の砂質堆積物の下位に、隆起側では最大約 170 cm、沈降側では最大約 245 cm に達するシルト層が存在し、その下部に褐色を呈する厚さ数 cm のシルト層が挟まれる。また、シルト層の下位には、明暗の縞模様が見られる厚さ 15～20 cm 程度の粘土層が存在し、その直下には厚さ数 cm の暗い色調の粘土層が認められる。更に、暗色の粘土層の下位には、細粒ないし極細粒の砂を主体とする堆積物が存在する。

以上のような特徴的な層相とその累重関係に基づき、F-39・40 断層の隆起側と沈降側にわたる対比基準面 1～3 を設定し、6つのコアを第 11 図のように対比した。また、隆起側の 3つのコアについては、対比基準面 3 より下位の砂主体の堆積物とその下位のシルト質粘土層との境界が対比可能と判断し、この層相境界を対比基準面 4 とした。

- ・対比基準面 1 : 最上位の砂質堆積物とその下位の厚いシルト層との境界。
 - ・対比基準面 2 : 上記シルト層の下部に挟まれる褐色シルト層の下底。
 - ・対比基準面 3 : 暗色粘土層とその下位の細粒砂を主とする堆積物との境界。
 - ・対比基準面 4 : 上記細粒砂主体の堆積物とその下位のシルト質粘土層との境界。
- さらに、これらの対比基準面を用いて、今回採取された堆積物を上位から a 層～d 層に区分した(第 11 図)。
- ・a 層 : 対比基準面 1 より上位の堆積物。
 - ・b 層 : 対比基準面 1 と 3 に挟まれる堆積物。
 - ・c 層 : 対比基準面 3 と 4 に挟まれる堆積物。
 - ・d 層 : 対比基準面 4 より下位の堆積物。

5.4 各層の層相記載

5.4.1 a 層

隆起側では主としてシルト混じりの細粒砂からなり、貝片とウニ殻片を含む。沈降側ではシルト混じ

りの細粒砂及びシルト混じりの極細粒砂からなり、貝片、ウニ殻片、炭質物片を含む。b層以下の各層に比べて、水分が多く、固結度が低い。層厚は上盤側のUA-5コアとUA-7コアではそれぞれ約45 cm及び49 cm、下盤側の最も厚いDA-7コアでは139 cmに達する。

5.4.2 b層

隆起側、沈降側とも主に細粒砂混じりのシルト層からなり、最下部にシルト混じりの粘土層を伴う。シルト層の厚さは、上盤側のUA-5コアとUA-7コアでは約169 cmと162 m、下盤側のDA-5、DA-6、DA-7の3コアではそれぞれ230 cm、217 m、246 mに達する。下盤側のb層とその上位のa層との境界付近は激しい生物擾乱を受けている。シルト層中には貝、ウニ殻、炭質物片が散在し、まだら状に砂質部が認められる。シルト層の基底（粘土層との境界）から15～25 cmほど上位のシルト層下部には、5YR3/1程度の黒味を帯びた褐色のシルト層が1～7 cmの厚さで挟まれる。b層最下部のシルト混じり粘土層は15～27 cmの厚さがあり、数cm間隔の明暗の縞模様が認められる。粘土層の最下部は7.5Y3/1～5Y3/1程度のオリーブ黒色の暗色帯をなす。

5.4.3 c層

隆起側では厚さ約90 cmのシルト質の細粒砂からなり、貝、ウニ殻、炭質物片が散在する。沈降側ではシルト質の極細粒砂を主体とし、隆起側より細粒である。隆起側と同様に、貝、ウニ殻、炭質物片が散在する。DA-6コアではコアの下底まで約110 cmの厚さがあるが、最下部30 cmは極細粒砂混じりのシルト～粘土からなり、コア中央部の堆積物が下方へ引き込まれるように変形している。DA-7コアでは対比基準面3の下位158 cmまでをc層と判断した。このうち下部70 cmは、極細粒砂混じりのシルト～粘土を主体とし、コア中央部の堆積物が下方へ引き込まれる変形を被っている。

5.4.4 d層

本層は主として2.5Y3/1程度の赤みを帯びた黒褐色のシルト質粘土からなり、隆起側の3つのコアの最下部に認められる。UA-8コアでは少なくとも95 cmの厚さがある。UA-5コアでは、c層との境界から10 cmほど下位に厚さ約10 cmのシルト質の極細粒砂が挟まれる。各コアとも、貝や炭質物片の産出は上位のa、b、c各層に比べて少ない。

UA-8コアの最下部約50 cmは、10Y3/1程度の黒灰色の極細粒砂混じりのシルトからなり、コア中央部の堆積物が下方へ引き込まれるように変形している。このシルト層は、次の測定・分析結果の項で述べるように、d層構成層ではなく、採泥器を引き抜く際に取り込まれた上位層準由来の地質試料の可能性が高い。

5.4.5 UA-8、DA-6、DA-7 コア下部の変形と DA-7 コア最下部の軟質シルト層

海底下に貫入した採泥器を引き抜く際、インナーチューブ内に取り込まれた堆積物（コア）は、採泥器先端のコアキャッチャーによって外部の堆積物（地層）から切り離される。この際、堆積物の粘性が高いとコアに下方への引張力が働く。また、採泥器を調査船に揚収するまでの間に、コアキャッチャーからコアの一部が漏出・落下する場合にも、コアに下方への引張力が働く。UA-8、DA-6、DA-7の各コア下部に認められる、下方へ引き込まれるような変形は、上記のいずれかを原因として生じたと推定される。

DA-7コアでは、下方へ引き込まれる変形を被っているc層の下位に、45 cmにわたって、水分を多く含み、軟質な極細粒砂混じりのシルト層が認められる（第8図、第10図）。後述するように、このシルト層からはc層よりも若い¹⁴C年代が得られ、b層上部に挟まれる鬼界アカホヤ火山灰が検出された。従って、DA-7コア下端の軟質シルト層は、採泥器を引き抜く際に上位の層準から取り込まれた地質試料と考えられる。

5.5 帯磁率測定結果

以下に、対比基準面1～4及びa層～d層との関係に重点をおいて、帯磁率測定結果について記載する。

5.5.1 隆起側及び沈降側の帯磁率変化

各コアの測定結果を第12図及び第13図に示す。隆起側のUA-5、UA-7、UA-8の3コアでは、帯磁率の変化パターンがよく似ており、第12図に示すような山・谷の対応が推定される。対比基準面2ないしその直上の褐色シルト部は低帯磁率部（帯磁率の谷）に対応し、b層下部の粘土層は高帯磁率部（帯磁率の山）に当たる。また、対比基準面3（b層／c層境界）の直上に小さな谷が認められる。これより下位のc層では下位に向かって帯磁率が漸増し、対比基準面4（c層／d層境界）の直上からd層上部にかけては下位に向かって帯磁率が急減している。

沈降側のDA-5、DA-6、DA-7の3コアの測定結果を比べると、対比基準面1付近からその下位約150 cm付近までのb層上～中部の帯磁率の変化パターンはよく似ており、第13図に示すような帯磁率の山・谷の対応が推定される。b層下部では、DA-5コアとDA-7コアに、隆起側のコアと同様に、褐色シルト部に谷、粘土層に山、対比基準面3（b層／c層境界）直上に小さな谷が認められる。しかし、DA-6コアではこのような山・谷は認められず、b層下部全体が顕著な低帯磁率帯（大きな谷）となっている。各コアとも、c層上部では下位に向かって帯磁率が徐々に高くなっているが、DA-6コアとDA-7コアの変形部に至ると帯磁率が低下している。

5.5.2 対比基準面 Z, A, B, 及び Y の設定

コア観察に基づく対比基準面と対応する帯磁率の変化以外で、隆起側と沈降側に跨って認められる帯磁率変化パターンとして、b層中の帯磁率の谷 (Z) と急変部 (A), c層中の山 (B) が挙げられる (第12, 13図)。本調査では、これらを帯磁率変化に基づく対比基準面 Z, A, B と呼び、コア観察に基づく対比基準面 1~4 と同様に、隆起側と沈降側のコアの対比に用いる。また、沈降側の3つのコアでは、コア観察に基づく対比基準面 1 の約 25 cm 下に、対比可能な帯磁率の山が認められる。本調査では、これを対比基準面 Y と呼ぶ。

5.6 色調測定結果

各コアの測定結果を第14~16図に示す。

L* (明度) については、各コアとも、a層においてb層以下の各層準に比べて相対的に低い値を示す特徴が認められる (第14図)。

a* については、全体として帯磁率と逆相関の関係が見られ、いずれのコアでも、対比基準面 2 ないしその直上の褐色シルト部に鋭いピーク (緑に対して赤が強い部分) が認められる (第15図)。

b* については同様に、いずれのコアでも、対比基準面 2 ないしその直上の褐色シルト部にピーク (青に対して黄が強い部分) が認められる (第16図)。また、DA-6 コアを除いて、b層最下部の粘土層に対応して、深さ方向に幅のある b* の山が認められる。

色調測定結果については、対比基準面の設定は行わなかった。

5.7 ¹⁴C 年代測定結果

測定結果を第6表に示す。

a層からは、DA-7 コアと同層中部と下部からそれぞれ産出した貝の暦年代 (2σ; 海洋リザーバー効果を考慮) として、3880~3710 cal yBP と 5560~5430 cal yBP の値が得られた。

隆起側のb層からは、UA-5 コアと同層上部、中部、下部より産出した貝について、それぞれ、9390~9190 cal yBP, 9420~9240 cal yBP, 9510~9400 cal yBP の暦年代が得られた。また、UA-5 コアと同層最上部、中部 (2試料)、下部より採取した植物片からは、それぞれ、9010~8650 cal yBP, 9400~9030 cal yBP と 9550~9480 cal yBP, 9550~9500 cal yBP の年代が得られた。

沈降側のb層からは、DA-7 コアと同層最上部から産出した貝の暦年代として、7670~7550 cal yBP の値が得られた。また、同コアのb層中部からは、9000~8650 cal yBP から 9450~9280 cal yBP にわたる5つ (貝3, 植物片2) の年代が得られ、b層下部より採取した植物片からは 9250~9010 cal yBP の年代が得られた。更に、DA-5 コアのb層中部と下部から産出した貝からは、それぞれ 9420~9240 cal yBP と

9440~9260 cal yBP の年代が得られた。

隆起側のc層からは、UA-5 コアと同層上部と下部から採取した植物片の年代として、層位と逆転した 10160~9700 cal yBP, 9770~9550 cal yBP の値がそれぞれ得られた。また、同コアのc層中部より産出した貝からは、9620~9480 cal yBP の年代が得られた。

沈降側の DA-7 コアのc層からは、変形を被っていないコア長約 90 cm 区間の中央部から産出したウニ殻と最下部から採取した植物片の年代として、それぞれ 9620~9450 cal yBP, 9660~9530 cal yBP の値が得られた。また、その下位の変形を被った部分から採取した植物片からは、10190~9900 cal yBP の年代が得られた。

隆起側にのみ認定されたd層のシルト質粘土からは、¹⁴C 年代測定に適した試料が採取できず、年代データは得られていない。一方、UA-8 コア最下部の変形を被ったシルト層より産出した貝からは、9510~9390 cal yBP の値が得られた。この年代は、隆起側・沈降側双方のc層から得られたいずれの年代よりも若く、貝を産したシルト層がc層以上の層準に由来する可能性を強く示唆する。

DA-7 コア最下部の軟質シルト層からは、貝の年代として 9000~8780 cal yBP と 9080~8940 cal yBP, 植物片の年代として 9400~9020 cal yBP の、いずれもc層より若い値が得られた。

5.8 火山灰分析結果

分析結果を第7, 8表及び第17図に示す。

火山灰分析の結果、沈降側のb層最上部に鬼界アカホヤ火山灰 (K-Ah) の降下層準が確認された。また、d層中に鬱陵隠岐火山灰 (U-Ok) の二次堆積層準が検出された。更に、沈降側では DA-7 コアの最下部に至るまで鬱陵隠岐火山灰に由来する火山ガラスは検出されず、同コア最下部の軟質シルト層からは K-Ah に由来する火山ガラスが検出された。

5.8.1 鬼界アカホヤ火山灰 (K-Ah) の降下層準

沈降側の DA-7 コアのa層から採取した4試料からは、堆積物を構成する3000粒子に対する個数比で、上位より 0.5/3000, 12/3000, 25/3000, 51/3000 のバブルウォール型火山ガラスが検出された (第8表)。さらにその下位のb層最上部の試料 (DA-7-140-145) からは、314/3000 の極めて高い含有量のバブルウォール型火山ガラスと 12/3000 の含有量のパミス型火山ガラスが検出された。その下位の試料 (DA-7-150-165) では、バブルウォール型及びパミス型火山ガラスの含有量はそれぞれ 33/3000, 0/3000 と急減し、さらにその下位のb層上部から採取した3試料からは、0~0.5/3000 の極めて微量の火山ガラスしか検出されなかった。

DA-7-100-110 から DA-7-150-165 までの5試料の屈折率測定を行った結果、いずれの試料でも、火山

ガラスの95%以上がK-Ahの屈折率レンジに含まれる1.509~1.516を示した。以上の分析結果から、沈降側のb層最上部がK-Ahの降下層準に当たると判断される。

隆起側のUA-5コアのb層からは、2.2/3000の含有量を超える火山ガラスは検出されず、極めて微量に含まれる火山ガラスの大部分も、その屈折率から始良丹沢火山灰(AT)起源である可能性が高いことがわかった。同コアのb層最上部試料(UA-5-46)では、火山ガラスの含有量は1/3000であり、屈折率測定を行った9個の火山ガラスのうち、8個の屈折率はATの屈折率レンジに含まれる。一方、UA-5コアのa層下部試料(UA-5-30-40)からは、2.7/3000の含有量の火山ガラスが検出され(第7表)、屈折率測定を行った13個の火山ガラスのうち、10個の屈折率はK-Ahの屈折率レンジに含まれる。以上の分析結果から、断層隆起側では、K-Ah降下層準は欠如していると判断される。

5.8.2 鬱陵隠岐火山灰(U-Ok)の二次堆積層準

隆起側のUA-5コア最下部のd層から採取した3試料のうち、下位の2試料(UA-5-360及びUA-5-376)から、それぞれ2.1/3000、1.2/3000の含有量のパミス型火山ガラスが検出された。また、UA-8コアの下部から採取した6試料のうち、d層(シルト質粘土)から採取した3試料から、それぞれ5.8/3000、1.8/3000、6.1/3000の含有量のパミス型火山ガラスが検出された。これらのパミス型火山ガラスは1.520~1.525程度の高い屈折率を示し、アルカリ(Na₂O及びK₂O)に富む粗面岩質の化学組成を有する(第9、10表)。この屈折率と化学組成は、約10700 cal yBPに噴出・降下した鬱陵隠岐火山灰(U-Ok)(福沢, 1995; 町田・新井, 2003)の屈折率・化学組成と一致する。従って、パミス型火山ガラスはU-Okに由来し、d層中に同火山灰の二次堆積層準があると判断される。

一方、シルト質粘土層の下位の、変形を被った極細粒砂混じりのシルト層からは、パミス型火山ガラスは全く検出されなかった。この火山灰分析結果も、同シルト層が上位層に由来する可能性を示唆する。

5.8.3 DA-7コアのc層下部及び軟質シルト層から検出された火山灰

沈降側のDA-7コアのc層下部(変形を被っている部分)より採取した4試料からは、2/3000~5/3000の含有量のバブルウォール型火山ガラスが検出された。パミス型の火山ガラスは全く検出されなかった。火山ガラスの屈折率測定の結果から、バブルウォール型の火山ガラスはAT起源であることが分かった。

その下位に分布する軟質シルト層については2試料の火山灰分析を行い、上位の試料から6/3000、下位の試料から3/3000の含有量のバブルウォール型の

火山ガラスを検出した。上位の試料からは、1/3000の含有量のパミス型火山ガラスも検出された。上位の試料の火山ガラスについて屈折率測定を行った結果、パミス型火山ガラスも含めて、約66%がK-Ah起源、約33%がAT起源であることが判明した。

6. 考察

6.1 各層・各対比基準面の年代

¹⁴C年代測定と火山灰分析の結果に基づき作成した隆起側と沈降側の深度-年代関係を第18図と第19図にそれぞれ示す。UA-8コア最下部の極細粒砂混じりのシルト層とDA-7コア最下部の軟質シルト層は、両層から得られた¹⁴C年代が全体的な深度-年代関係から大きく外れることから、既述のように、上位層由来の地質試料と判断される。それ以外の¹⁴C年代データについては、UA-5コアのc層から得られた10160~9700 cal yBPを除いて、各試料の採取深度の堆積年代を大まかに示すと考えられる。この深度-年代関係から、a~d層及び各対比基準面の年代は次のように推定される。

6.1.1 a層

a層からは隆起側、沈降側とも、二次堆積のK-Ahが検出されたことから、a層は約7300 cal yBPの同火山灰降下後の堆積物と考えられる。沈降側のDA-7コアから得られた¹⁴C年代(第19図)もこの結論と整合する。

6.1.2 b層最上部と対比基準面1

隆起側のb層最上部からはK-Ahが検出されず、9010~8650 cal yBPの¹⁴C年代が得られている。また、対比基準面Zよりも上位のb層の厚さは、隆起側で有意に(約40 cm)薄い。従って、隆起側では、K-Ah降下層準を含む、沈降側のb層最上部に相当する層準が欠如していると考えられる。隆起側のこの層準は、堆積後に侵食・剝削された可能性が高い。この場合、隆起側の対比基準面1は侵食面と考えられ、2000年程度以上の時間間隙が存在する可能性がある(第18図)。

一方、沈降側のDA-7コアのb層最上部には、約7300 cal yBPのK-Ahの降下層準がある。降下層準の直下からは7670~7550 cal yBPの年代が得られており、火山灰分析の結果と極めてよく対応する。更に、5.8.1で述べたa層下部の火山灰分析結果と第19図の深度-年代関係から、沈降側のa層/b層境界での侵食・堆積中断は無いが、ごく小さいと推定される。従って、本調査では、沈降側の対比基準面1(a層/b層境界)の年代をK-Ah降下年代(約7300 cal yBP)と見なす。

6.1.3 b層と対比基準面 Z, A, 2, 3

b層から得られた¹⁴C年代は、隆起側・沈降側とも概ね下位のものほど古く、逆転は少ない。しかし、第18図及び第19図から推定される各対比基準面の年代は、対比基準面Zについては隆起側の約9300 cal yBPに対して沈降側では約8900 cal yBP、以下同様に、対比基準面A：約9400 cal yBP／約9100 cal yBP、対比基準面2：約9500 cal yBP／9300 cal yBP、対比基準面3：約9500 cal yBP／9400 cal yBPと、いずれも隆起側の方が古く、上位の対比基準面ほど年代差が大きい。これは、隆起側では、¹⁴C年代測定に供した貝や植物片の中に、二次的に堆積したものが多く存在することを示唆する。従って、本調査では、b層の年代については沈降側のデータセットを重視し、b層の堆積開始年代（対比基準面3の年代）を約9400 cal yBPとする。また、対比基準面Z, A, 2の年代をそれぞれ約8900 cal yBP, 約9100 cal yBP, 約9300 cal yBPとする（第20図）。

6.1.4 c層及びd層と対比基準面4, B

c層からは、隆起側・沈降側とも、 2σ の範囲で、おおよそ9500 cal yBPから10200 cal yBPにわたる年代が得られており、沈降側では逆転も見られない。一方、d層からは、5.7で述べたように¹⁴C年代データは得られていないが、約10700 cal yBPの鬱陵隠岐火山灰(U-OkI)の二次堆積層準が認められる。また、DA-7コアのc層下部(10190～9900 cal yBPの年代が得られ、変形を被っている部分)は、シルト～粘土質の層相と隆起側のc層の厚さから、d層に対比される可能性も考えられるが、d層に含まれているU-OkI起源の火山ガラスは全く検出されない。

以上から、本調査では、沈降側におけるc層の堆積開始時期（対比基準面4の年代）を、約10700 cal yBPのU-OkI降下後の約10200 cal yBPとする（第20図）。隆起側の対比基準面4(c層／d層境界)には、堆積間隙が存在する可能性があるが、データが十分ではないため、詳細は不明である。c層中の対比基準面Bの年代は、沈降側の年代データによれば、約9600 cal yBPとなる。d層が堆積を始めた時期は、U-OkIの降下期に遡る可能性がある。

6.2 地質層序と音響層序の対応付け

採泥調査結果に基づく地質層序と高分解音波探査に基づく音響層序（産総研・東海大学、2012）との対応を検討するため、C-10測線の近傍で採取されたUA-5コアとDA-7コアの地質層序をC-10測線の音響断面に垂直に投影した（第21図）。その結果、浦底断層の隆起側(UA-5コア)及び沈降側(DA-7コア)とも、b層／c層境界(対比基準面3：粘土層／砂層境界)は、音響層序におけるI層／II層境界の反射面③に対応することが判明した。また、対比基準面2(褐色シルト層基底)は、隆起側・沈降側とも、上

記の反射面③の上位に認められる反射面②とほぼ同じ深度に位置する。更に、隆起側(UA-5コア)では、c層／d層境界(対比基準面4：砂層／粘土層境界)は、反射面③の約1 m下位にある反射面④とほぼ同じ深度に位置する。対比基準面2, 3, 4と反射面②, ③, ④との対応は、C-8測線の音響断面へのUA-7コアの投影でも認められる（第22図）。

以上から、地質層序と音響層序は、第23図のように対応付けられる。

6.3 コア採取深度の補正

UA-8コアはUA-7コアから1 m程度以内の距離で採取されたにも拘わらず、その対比基準面2, 3, 4の位置は、第11図に示すように、UA-7コアのそれよりも各々129 cm, 145 cm, 151 cm高い。また、近接するC-8測線の音響断面の反射面②, ③, ④の海底面からの深度よりも約136 cm, 約142 cm, 約158 cm, それぞれ浅い。これは、作業の安全確保のために行った採泥器のワイヤー長の調整や海底直下の極軟質堆積物の影響等で、採泥管内への試料の収納が採泥器の海底への着底時ではなく、採泥管が海底下130～140 cm程度にまで貫入した時点で始まったためと推定される。UA-8コアの厳密な試料収納開始深度は不明なため、最も顕著な反射面③とこれに対応する対比基準面3との深度の差約142 cmを試料収納開始深度と見なす。

沈降側のDA-5コアとDA-6コアについても、対比基準面2と3の深度（第11図）は、近接するC-12及びC-11測線の音響断面(第24図及び第25図)の反射面②と③の海底面からの深度よりも有意に浅い。これら両コアでも、UA-8コアと同様に海底直下における試料が収納されなかったと推定される。

以上の検討に基づき、採取深度の補正を行ったコア対比図（第26図）では、UA-8コアの上端を海底から142 cm下方へシフトさせた。また、DA-5コアとDA-6コアの上端については、近接する音波探査測線の反射面③と対比基準面3との深度差に基づき、それぞれ海底から76 cm及び100 cm下方へシフトさせた。

6.4 各反射面・対比基準面の断層を挟んだ高度差

6.4.1 各反射面の断層を挟んだ高度差

測線間隔約20 mの稠密高分解能音波探査（第27図）で得られた反射断面から読み取った、F-39・40, F-44, F-N4, F-N6各断層を挟んだ反射面の高度差を第28図と第29図に示す。各反射面の高度差の読み取りに当たっては、断層の隆起側・沈降側ともに局所的な凹凸を避け、できるだけ平坦な部分を基準とした。また、緩やかな撓みとして表現される断層に関しては、広域に観察してその高度差を求めた。

第28図は、横軸に測線、縦軸に高度差を取り、各反射面の高度差の断層走向方向への変化（空間変化）

を示している。横軸の左側が北西、右側が南東である。F-39・40断層、F-N4断層、F-N6断層では、高度差が南東に向かって減少する傾向が見られる。これは、断層両側の反射面の高度差が減少することを示している。F-39・40断層ではC-10測線付近、F-N4断層ではC-11測線付近、F-N6断層ではCA-26測線付近で高度差が最も大きく、断層の活動性の場所による変化を示唆している。

第29図は、横軸に反射面（深さ・年代に対応）、縦軸に高度差を取り、反射面の高度差の深さ方向への変化を示している。F-39・40断層では、反射面⑤で約2.6～1.5m（平均2.0m）、反射面④で約2.4～1.0m（平均1.8m）、反射面③で約2.3～0.8m（平均1.7m）、反射面②で約2.2～0.8m（平均1.6m）、反射面Aで約1.9～0.6m（平均1.4m）である。反射面①については、計測測線数は4と少ないが、約1.5～1m（平均1.3m）の高度差が計測された。

F-44断層では反射面⑥で約1.6～0.7m（平均1.0m）、反射面⑤で約1.4～0.1m（平均0.9m）、反射面④で約1.4～0.2m（平均0.8m）、反射面③で約1.4～0.6m（平均1.0m）、反射面②で約1.6～0.6m（平均1.0m）、反射面Aは認められず、反射面①で約1.0～0.1m（平均0.6m）の高度差が計測された。

F-N4断層では、反射面⑥で約0.8～0.04m（平均0.4m）、反射面⑤で約0.6～0.04m（平均0.2m）、反射面④で約0.5～0.04m（平均0.2m）、反射面③で約0.4～0.04m（平均0.1m）、反射面②で約0.3～0.04m（平均0.1m）、反射面Aでは約0.3～0.08m（平均0.1m）の高度差が計測された。反射面①は確認できなかった。

F-N6断層では、反射面⑤で約1.2～0.2m（平均0.9m）、反射面④で約1.0～0.3m（平均0.7m）、反射面③で約0.6～0.2m（平均0.4m）、反射面②で約0.3～0.04m（平均0.1m）の高度差が計測された。反射面A及び反射面①、⑥は確認できなかった。F-N8断層では検出数が少ないが、反射面⑤で約1.0～0.4m（平均0.7m）、反射面④で約0.8～0.2m（平均0.5m）、反射面③で約0.6～0.2m（平均0.4m）、反射面②で約0.6～0.2m（平均0.4m）の高度差が計測された。反射面A及び反射面①、⑥は確認できなかった。

以上から、全体として、上位の反射面ほど高度差が小さくなる傾向が認められる。このような傾向の原因については、6.6で検討する。

6.4.2 コアの対比基準面のF-39・40断層を挟んだ高度差

隆起側のUA-5コアと沈降側のDA-7コアにおける各対比基準面の海面からの深度と両コア間での高度差を第11表に示す。各対比基準面の両コア間での高度差は、反射面③に対応する対比基準面3で2.7m、反射面②にはほぼ対応する対比基準面2で2.6m、反射面Aにはほぼ対応する対比基準面Aで2.4m、反射面

①に概ね対応する対比基準面1で1.9mである。

両コア間の対比基準面の高度差は、反射断面上で求めた反射面の高度差の最大値に比べて、0.4～0.5mほど大きくなっている。これは、両コアの採取地点が第28図に示すように最も高度差が大きいC-10測線沿いにあることに加えて、DA-7コアが第21図に示すように、断層前縁のグラーベン状部に位置するため、各対比基準面の深度が対応する反射面の深度（グラーベン状部の外側の深度で代表）よりも大きいことが原因と推定される。

6.5 反射面の高度差と反射断面から推定される断層活動の層準

第29図に示す測線ごとの各反射面の高度差の変化を見ると、F-44断層の反射面①と②の間を除いて、上下に隣り合う2つの反射面間で、多くの測線に共通して高度差が急変する状況は認められない。これは、反射面の高度差の違い（全体としては、上位の反射面ほど高度差が小さくなる）が断層変位の累積によるものではないことを示唆している。一方、反射面③、②、Aは、これらより下位の反射面と共に、断層変位を被っている。また、各測線の断面をみると、F-39・40、F-44、F-N6、F-N8の各断層の位置において各反射面間の厚さが急変する状況は認められない。

以上から、これらの断層は、反射面⑥の形成後、反射面Aの形成までは上下変位を伴う活動を行わず、反射面Aの形成後に上下変位を伴う活動を行ったと判断される。上位の反射面及び対比基準面ほど、高度差が小さくなっているのは、第30図に模式的に示すように、隆起側に比べて、沈降側の堆積速度が大きいためと考えられる。

6.6 コア解析結果に基づくK-Ah降下層準の高度差

5.8及び6.1で述べたように、採泥調査を行った敦賀市手沖のF-39・40断層（浦底断層）の隆起側では、K-Ah降下層準は欠如している。断層隆起側においても、K-Ah降下層準を含むb層最上部までが一旦堆積し、その後、b層上部が底層流などにより海底侵食された可能性がある。隆起側と沈降側におけるb層上部の堆積速度を、帯磁率測定結果に基づく対比基準面AとZの間の層厚を基準として比較すると、隆起側の堆積速度は沈降側の堆積速度の約80%である。隆起側においても、この堆積速度の比率で、K-Ah降下層準までb層が堆積したとすると、隆起側におけるK-Ah降下層準の海面からの深度は36.5mと見積もられる。このように考えた場合、隆起側と沈降側におけるK-Ah降下層準の高度差は約2.1mとなる。

K-Ah降下層準の約2.1mの高度差がF-39・40断層の運動によるものなのか、断層崖部の埋積の過程を示しているのかは、今回・既往の音波探査とも、同断層近傍ではこの層準の反射面を殆ど捉えていな

いため、F-39・40 断層近傍の探査データのみでは断定できない。この問題については、本研究報告内の別稿（杉山ほか，2012）において、K-Ah 降下層準以下の各層準と F-41 断層（第 3 図）との関係に基づいて考察する。

7. まとめ

本調査の主な結果は、以下のようにまとめられる。

- (1) 敦賀湾内の F-39・40 断層（浦底断層の海域延長）を対象として、採泥調査を行った結果、同断層の隆起側で最長 3.78 m、沈降側で最長 6.13 m のコアを採取することができた。
- (2) コアの肉眼観察により、複数のコアに跨って追跡できる 4 つの対比基準面を見出し、これらを境界として、今回採取した堆積物を上位から a 層～d 層に区分した。また、帯磁率測定結果に基づき、複数の対比基準面を設定した。
- (3) 各層から採取した植物片や貝の ^{14}C 年代測定の結果、c 層からは約 1 万年前から約 9500 年前、b 層からは約 9500 年前から約 7500 年前、a 層からは約 5500 年前の年代データが得られた。
- (4) 火山灰分析の結果、沈降側の b 層最上部に鬼界アカホヤ火山灰（K-Ah）の降下層準が見出された。一方、隆起側では K-Ah の降下層準は検出されず、隆起側と沈降側における b 層中の複数の対比基準面間の厚さから、隆起側では K-Ah の降下層準を含む b 層上部は海底において侵食されたと推定される。
- (5) 火山灰分析の結果、隆起側の d 層下部からは、約 10700 年前に降下した鬱陵隠岐火山灰（U-Oki）に由来する火山ガラスが検出され、d 層は同火山灰の降下直後に堆積した可能性が高いことが判明した。一方、沈降側のコアからは、同火山灰に由来する火山ガラスは検出されなかった。
- (6) 採泥調査と並行して実施した高分解能音波探査による音響層序（反射面）と地質層序（対比基準面）を比較した結果、両者は極めて良好に対応することが確認された。この対応結果に基づき、一部のコアの採取深度を補正し、F-39・40 断層両側のコア対比図を完成させた。
- (7) 各反射面と対比基準面の隆起側と沈降側での高度差を検討した結果、上位の反射面・対比基準面ほど高度差が小さくなる傾向が見られた。しかし、K-Ah 降下前に堆積した b 層中部以深については、断層の活動を示唆する特定の反射面・対比基準面間での高度差の急変は認められなかった。
- (8) F-39・40 断層の隆起側においても、K-Ah 降下期まで、隆起側と沈降側における b 層上部の堆積速度の比率で同層の堆積が継続したと仮定すると、断層両側における K-Ah 降下層準の高

度差は約 2.1 m と見積もられる。この高度差が断層運動によるものなのか、断層崖部の埋積過程を反映しているのかについては、杉山ほか（2012）で検討する。

謝辞 本調査に際して、福井県安全環境部危機対策・防災課及び原子力安全対策課、同県農林水産部水産課、敦賀市の市民生活部市民防災課及び企画政策部原子力安全対策課、並びに福井県漁業協同組合連合会の関係者の皆様には、本調査の計画段階からご協力・ご指導を戴いた。また、調査船の借り上げに際しては、敦賀市漁業協同組合のご関係の皆様にご協力戴いた。更に、日本原子力発電株式会社には、本稿に引用したソノプローブ・シングルチャンネル探査の測線図と記録断面をはじめとして、既存調査データの開示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る。

文 献

- 福沢仁之（1995）天然の「時計」・「環境変動検出計」としての湖沼の年縞堆積物。第四紀研究，34，135-149。
- 原子力安全・保安院（2009a）敦賀湾における海上音波探査について。総合資源エネルギー調査会原子力安全保安部会耐震・構造設計小委員会地震・津波、地質・地盤合同ワーキンググループ C サブグループ第 11 回会合資料，合同 C11-3-1-1。
- 原子力安全・保安院（2009b）若狭湾東部海域における海上音波探査について。総合資源エネルギー調査会原子力安全保安部会耐震・構造設計小委員会地震・津波、地質・地盤合同ワーキンググループ C サブグループ第 15 回会合資料，合同 C15-2-1。
- Heaton, T.J., Blackwell, P.G., Buck, C.E. (2009) A Bayesian approach to the estimation of radiocarbon calibration curves: the INTCAL09 methodology. *Radiocarbon*, 51, 1151-1164.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会（2004）柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯の長期評価について。http://www.jishin.go.jp/main/chousa/04jan_yanagase/index.htm
- 町田 洋・新井房夫（2003）新編 火山灰アトラスー日本列島とその周辺。東京大学出版会，336p。
- 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（2009）敦賀発電所3，4号機原子炉設置変更許可申請書に係る補正書の提出について。（http://www.japc.co.jp/news/press/2009/pdf/211016.pdf#search= 日本原子力発

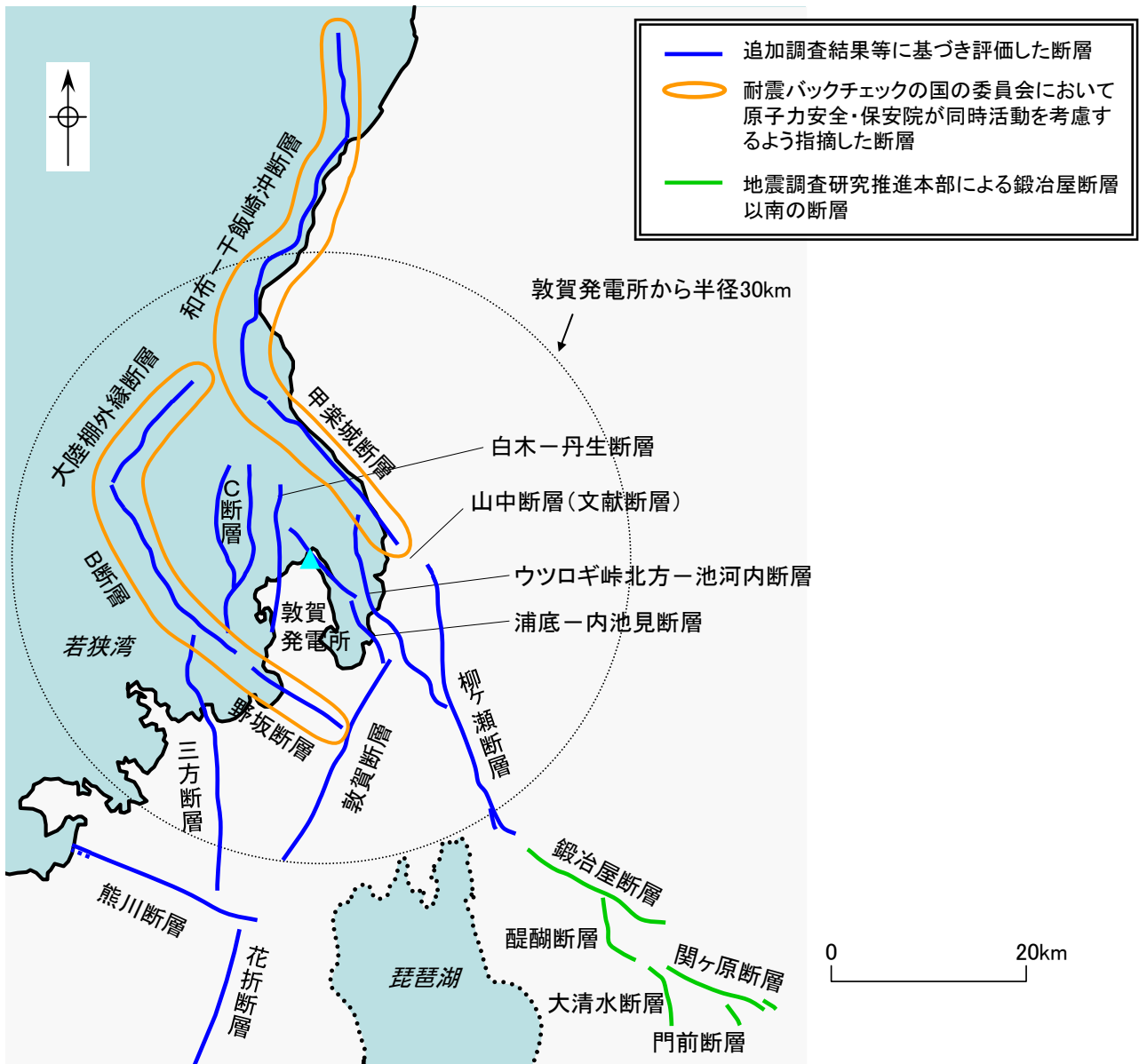
- 電 補正書概要'), 2012年3月5日参照.
- 日本原子力発電株式会社(2010)敦賀発電所原子炉設置変更許可申請書(3号及び4号原子炉の増設)(平成21年10月一部補正,平成22年12月一部補正).
- Reimer, P. J., Baillie, M. G. L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J. W., Blackwell, P. G., Bronk Ramsey, C., Buck, C. E., Burr, G. S., Edwards, R. L., Friedrich, M., Grootes, P. M., Guilderson, T. 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., 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(2012)平成23年度沿岸海域における活断層調査 柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯／浦底－柳ヶ瀬山断層帯(海域部)成果報告書. 文部科学省研究開発局地震・防災研究課, 本文 39p., 図表 88p.
- 杉山雄一・坂本 泉・滝野義幸・宇佐見琢哉・岸本弘樹・永田高弘(2012)浦底－柳ヶ瀬山断層帯の形状・規模と過去の活動に関する検討. 活断層・古地震研究報告, No.12, 149-193.
- 東海大学(2012)平成23年度 沿岸海域における活断層調査 浦底－柳ヶ瀬山断層帯(海域部)報告書. 301p.

(受付:2012年7月20日, 受理:2012年9月27日)



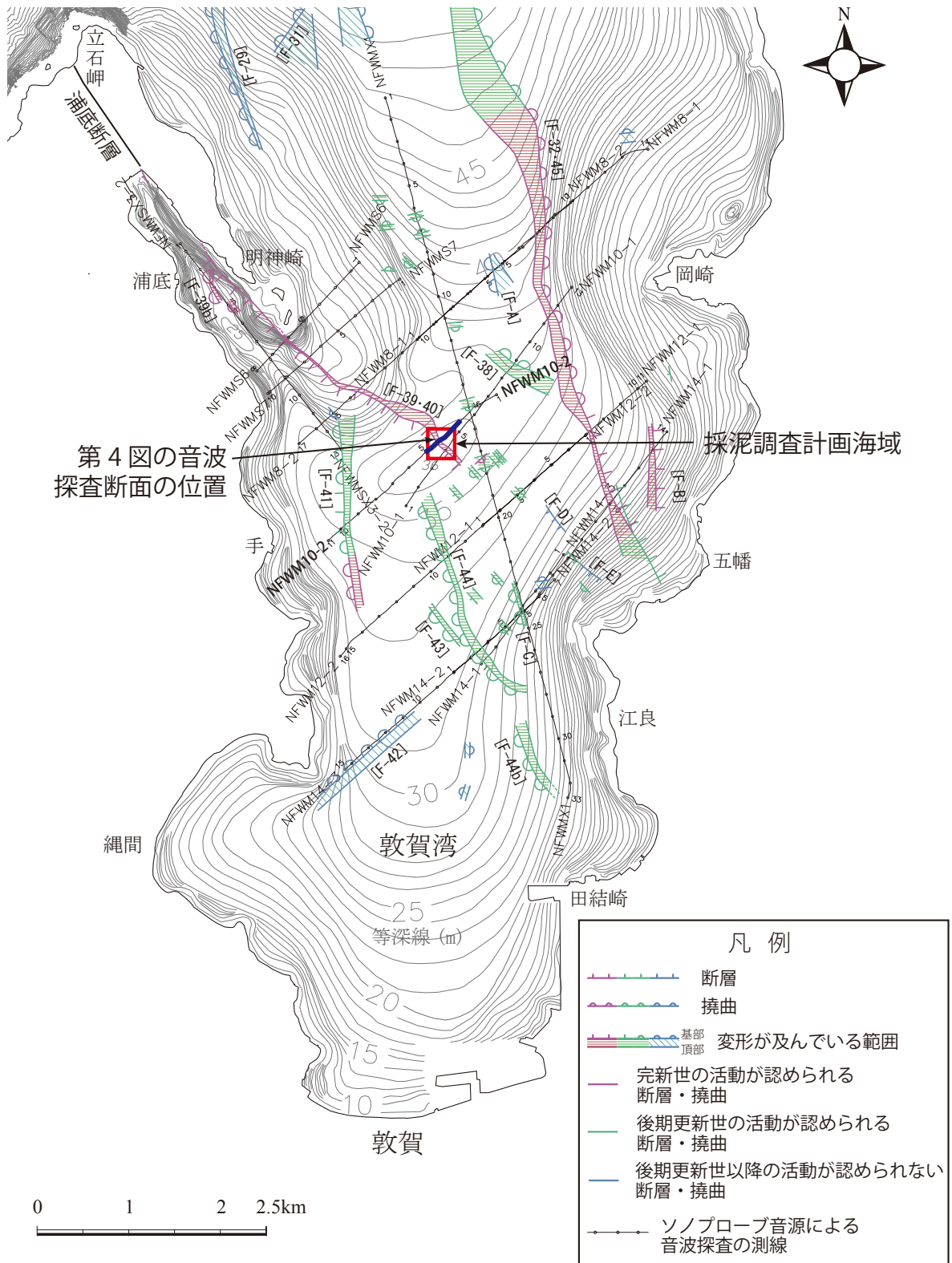
第1図. 柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯と浦底-柳ヶ瀬山断層帯の位置と構成断層. 1: 清水洞地点, 2: 椿坂峠地点, 3: 椿坂地点, 4: 雁ヶ谷地点, 5: 丸山地点, 6: 秋葉地点. ◎: 断層帯の両端と屈曲点, ⊙: 断層帯の北部・中部・南部の境界. 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2004).

Fig. 1. Location and constituent faults of the Yanagase-Sekigahara and Urazoko-Yanagaseyama Fault Zones. After the Earthquake Research Committee, Headquarters for Earthquake Research Promotion (ERC/HERP, 2004).



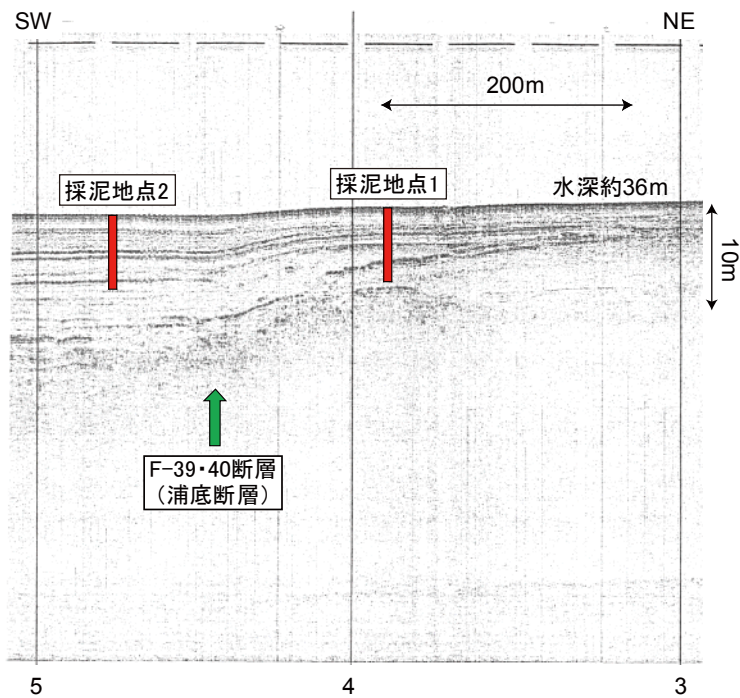
第2図. 地震調査委員会(2004)による柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯の長期評価公表後に、日本原子力発電によって行われた活断層の調査・評価の主要結果. 日本原子力発電(2009)による.

Fig. 2. Main results on the active fault survey and evaluation conducted by the Japan Atomic Power Company (JAPC), after the publication of long-term evaluation of the Yanagase・Sekigahara Fault Zone (ERC/HERP, 2004). After JAPC (2009).

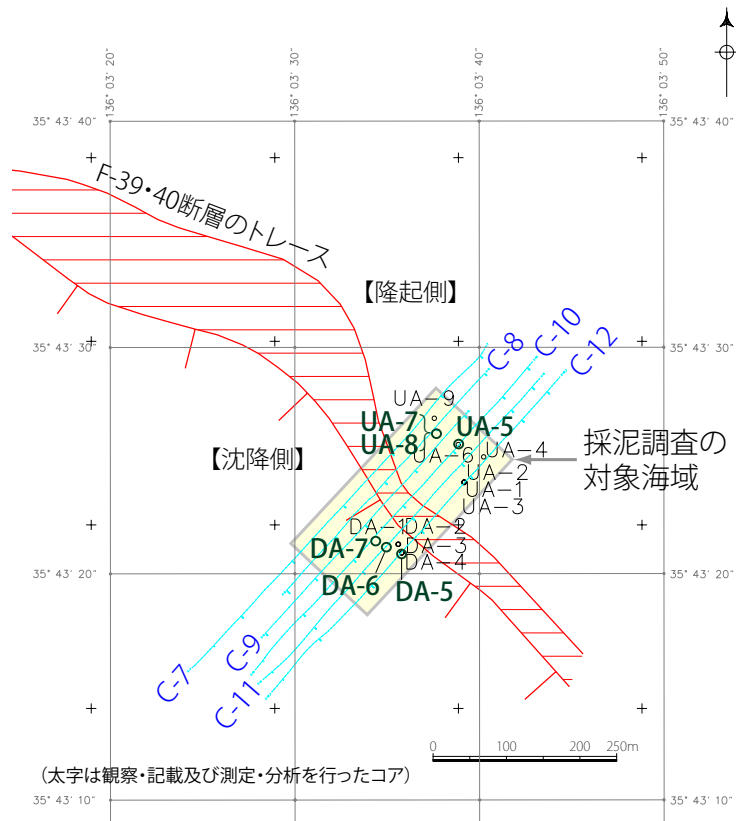


第3図. 採泥調査の計画海域. 日本原子力発電によるソノプローブ音波探査測線及び断層・撓曲分布図を基図として用い、採泥調査計画海域、第4図の音響断面の位置、立石岬付近における浦底断層のトレースを加筆.

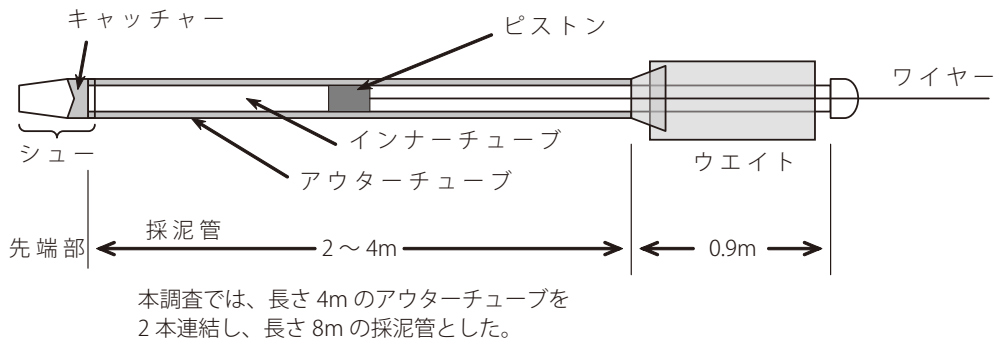
Fig. 3. Planned area for the coring survey. "Sonoprobe sonic survey lines and fault/monocline distribution in Tsuruga Bay" after JAPC is used for the base map. The planned coring survey area, the location of the sonic profile in Fig. 4 and the onshore trace of the Urazoko Fault are added to the map.



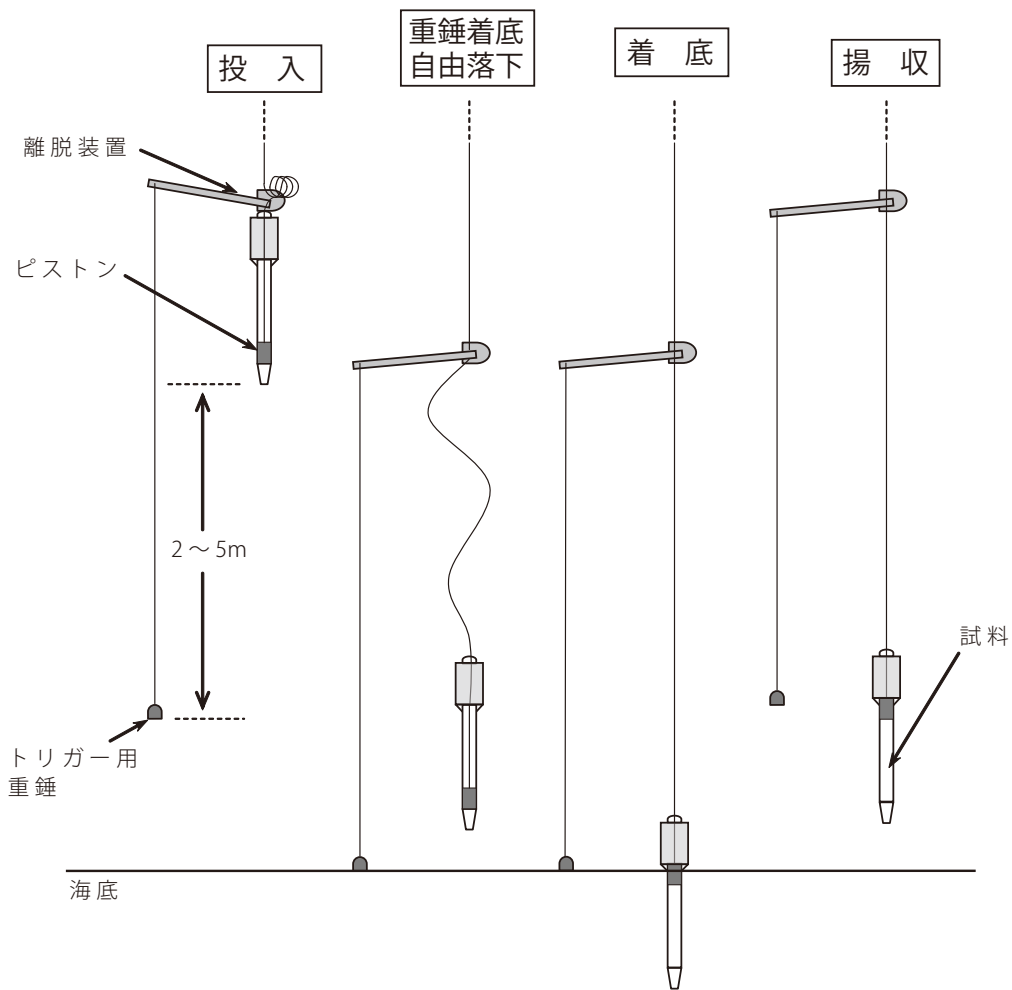
第4図. 採泥調査計画海域の既存音波探査断面と採泥調査計画地点. 基図は日本原子力発電によるNFWM10-2測線のソノプローブ音波探査記録の一部.
 Fig. 4. A Sonic profile in the planned survey area and supposed coring spots. The profile is part of NFWM10-2 sonoprobe profile by JAPC.



第5図. 採泥調査の対象海域とコアの採取地点. C-7~C-12は高分解音波探査の測線（産総研・東海大学, 2012; 東海大学, 2012). F-39・40断層のトレースは日本原子力発電貸与資料による.
 Fig. 5. Actual coring survey area and location of the 6 cores used for indoor precise observation and measurements. C-7 to C-12 are lines of high-resolution sonic profiling (AIST and Tokai Univ., 2012; Tokai Univ., 2012). The trace of F-39・40 fault is after JAPC.

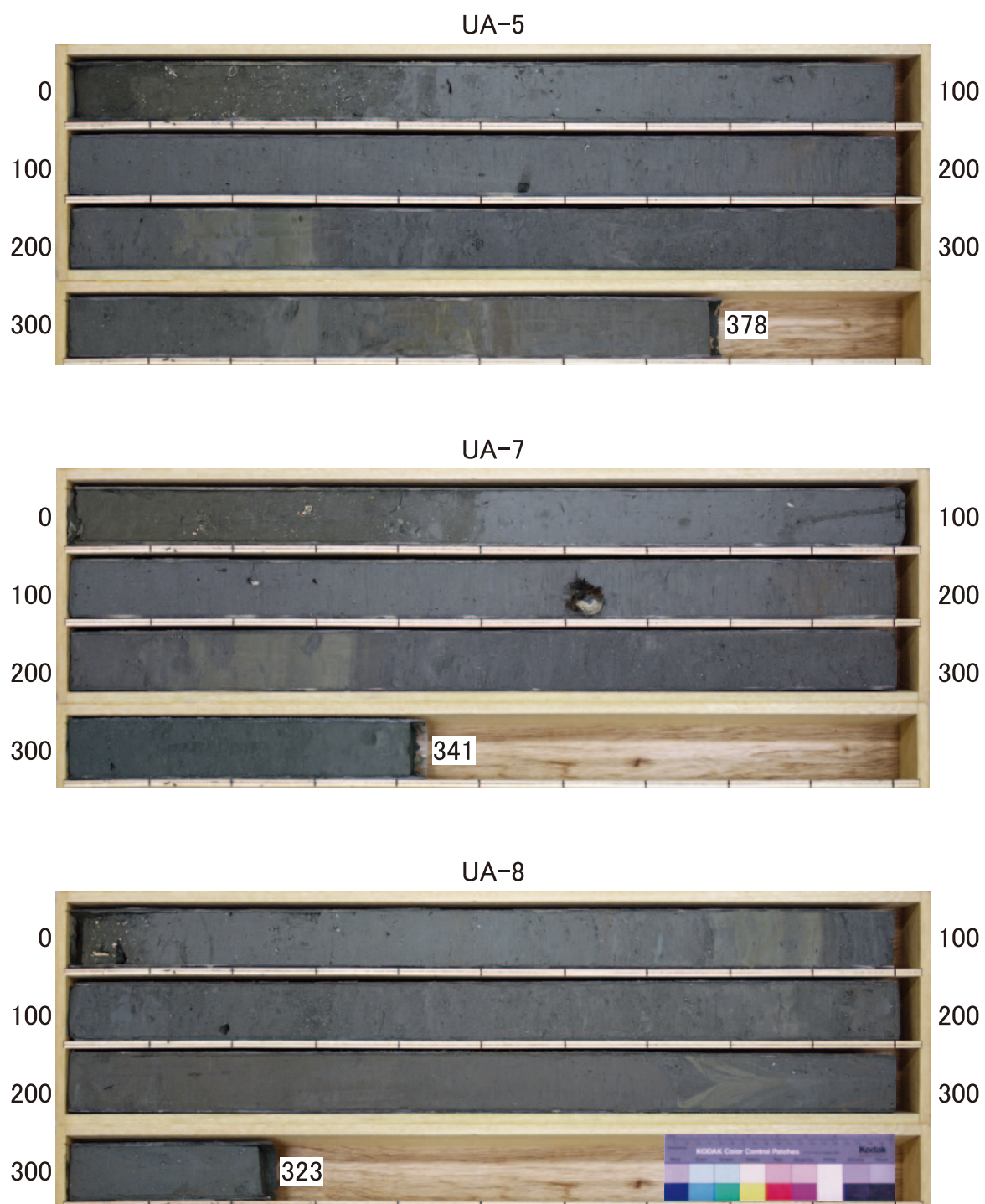


【ピストン式柱状採泥器の模式図】

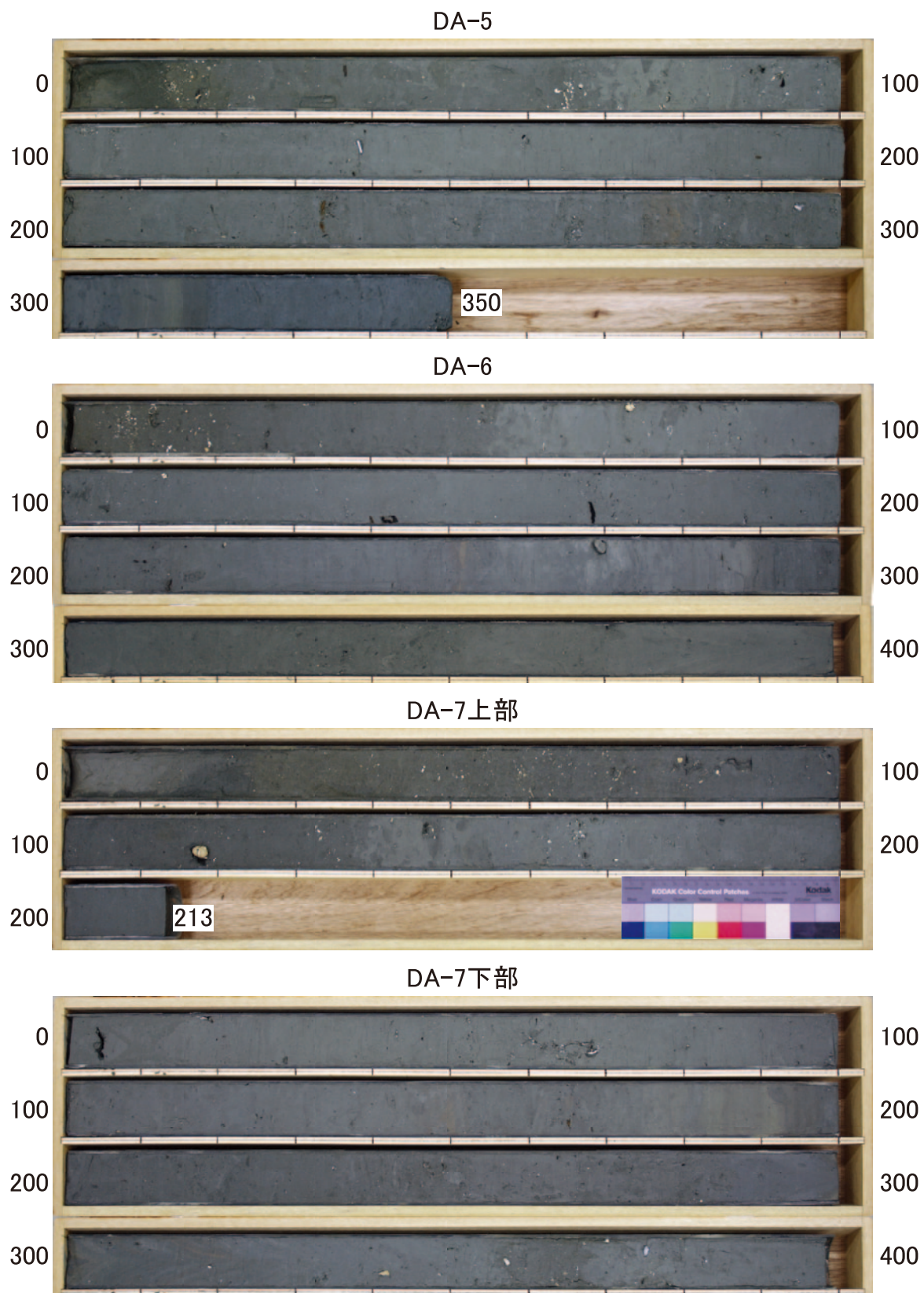


【ピストン式柱状採泥器による試料採取概念図】

第6図. ピストン式柱状採泥器の模式図と試料採取概念図.
Fig. 6. Illustrations of piston corer and coring survey.

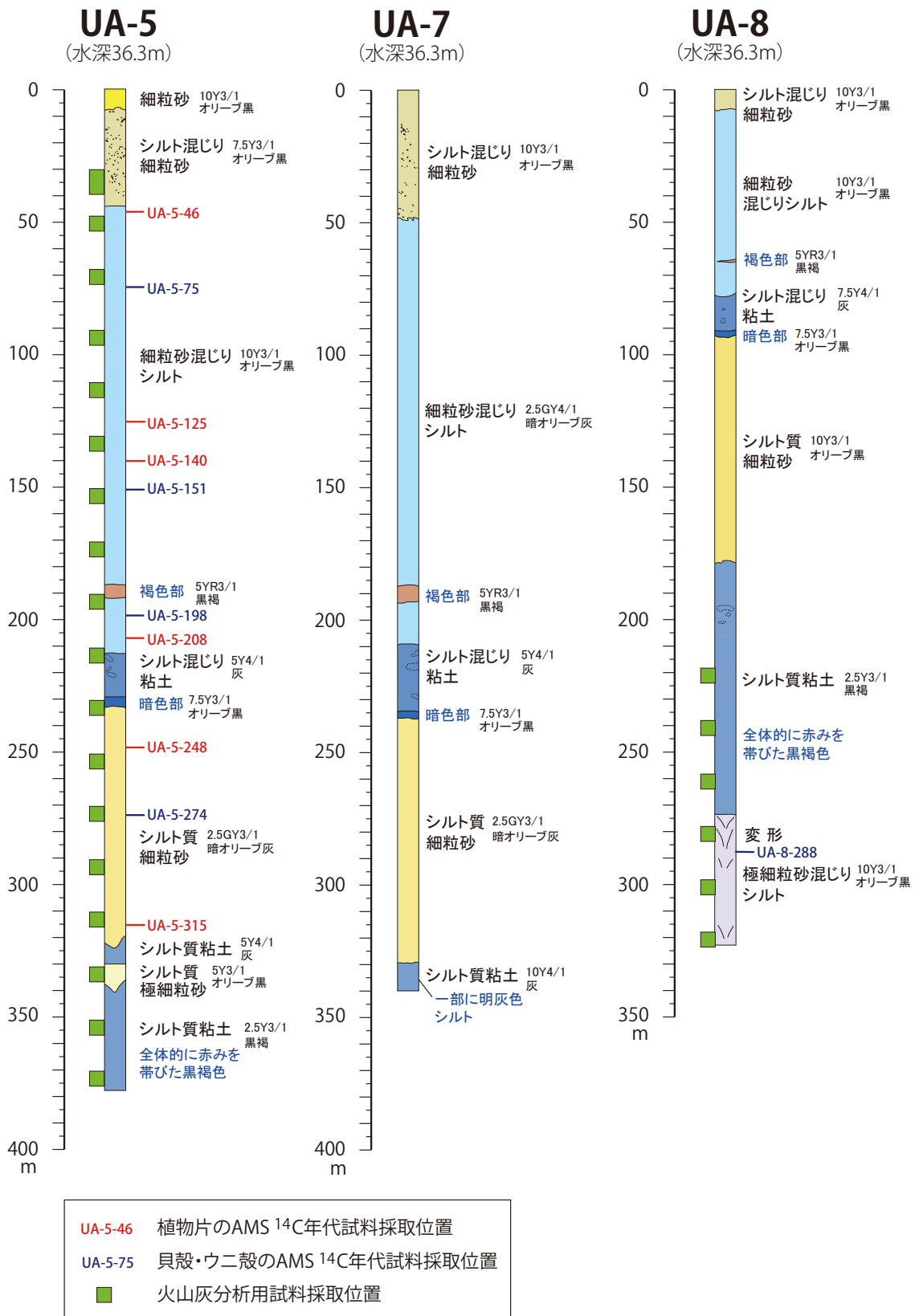


第7図. 断層の隆起側（北東側）で採取された UA-5, UA-7, UA-8 コアの写真.
Fig. 7. Photographs of cores UA-5, UA-7 and UA-8 extracted on the uplifted (northeastern) side of the F-39・40 fault.

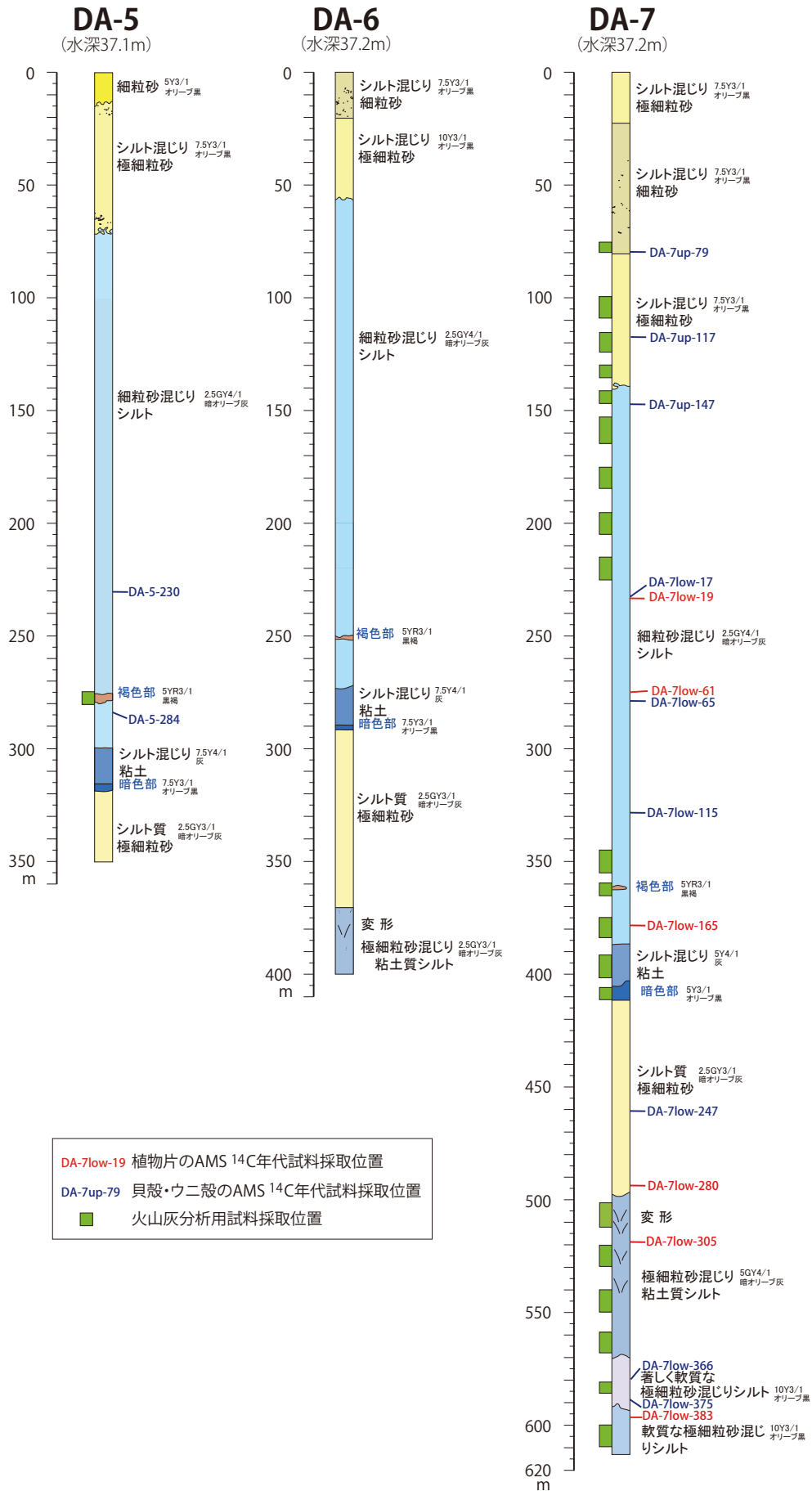


第 8 図. 断層の沈降側 (南西側) で採取された DA-5, DA-6, DA-7 コアの写真.

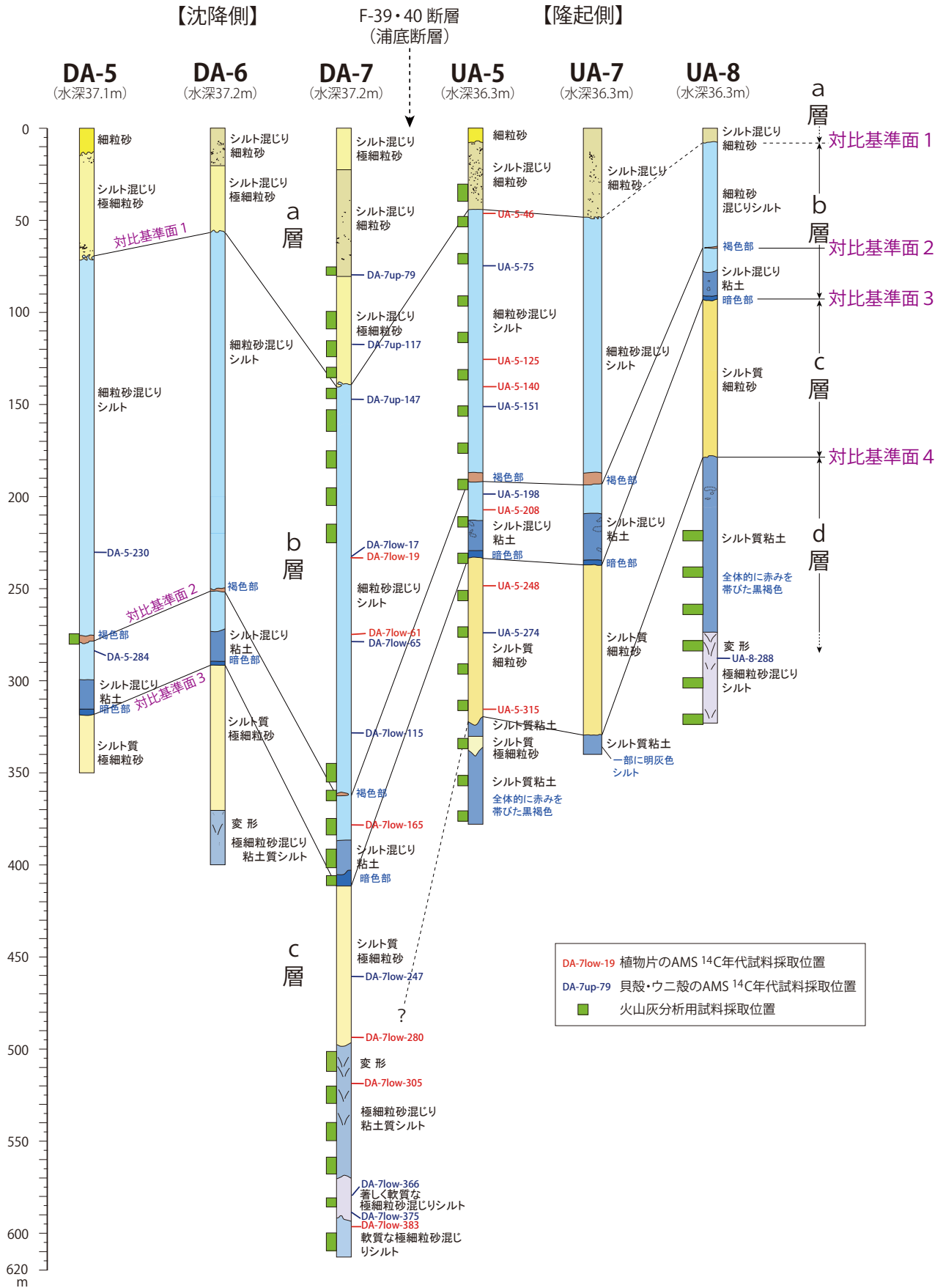
Fig. 8. Photographs of cores DA-5, DA-6 and DA-7 extracted on the subsided (southwestern) side of the F-39·40 fault.



第9図. UA-5, UA-7 及び UA-8 コアの柱状図.
Fig. 9. Columnar sections of cores UA-5, UA-7 and UA-8.

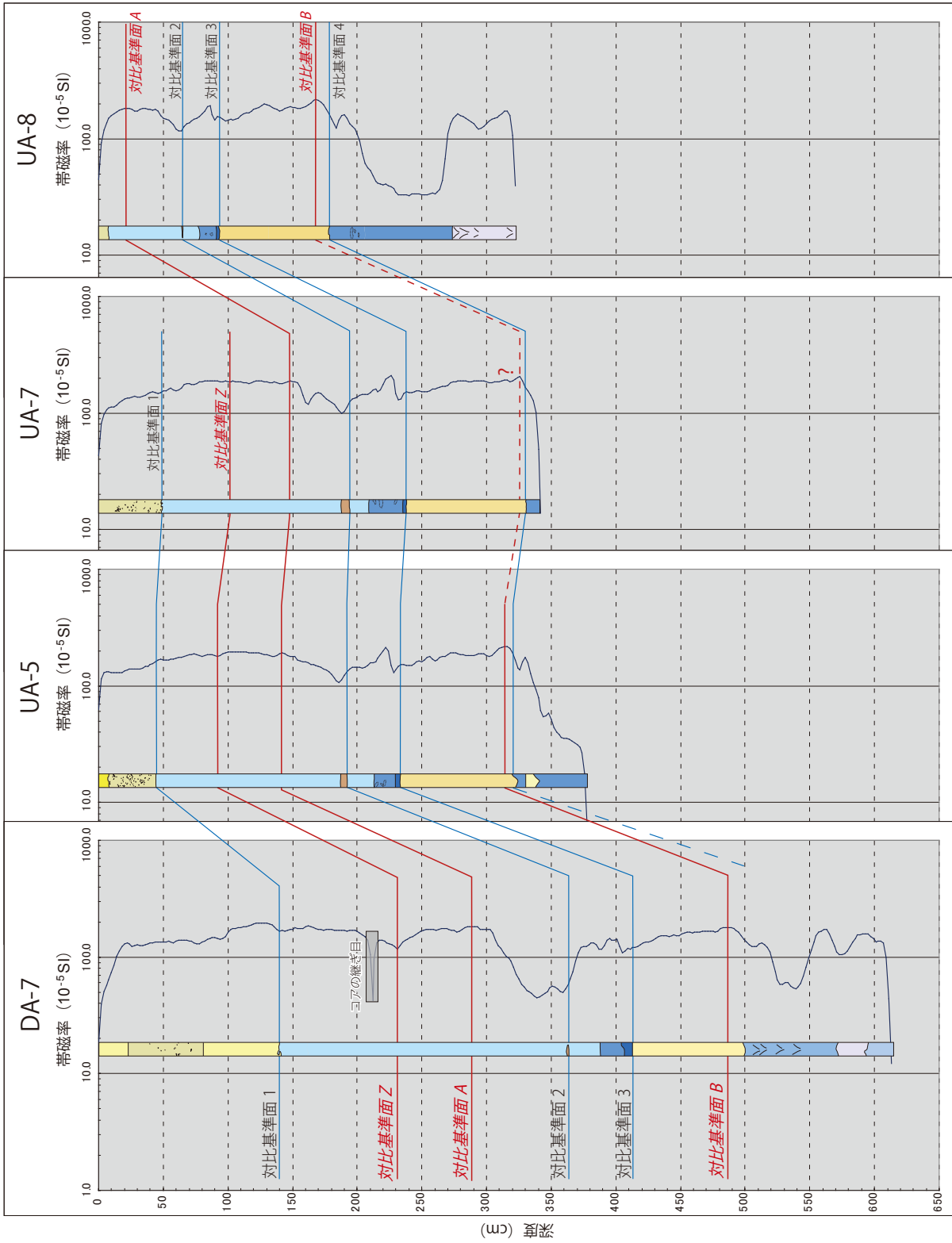


第10図. DA-5, DA-6及びDA-7コアの柱状図.
Fig. 10. Columnar sections of cores DA-5, DA-6 and DA-7.

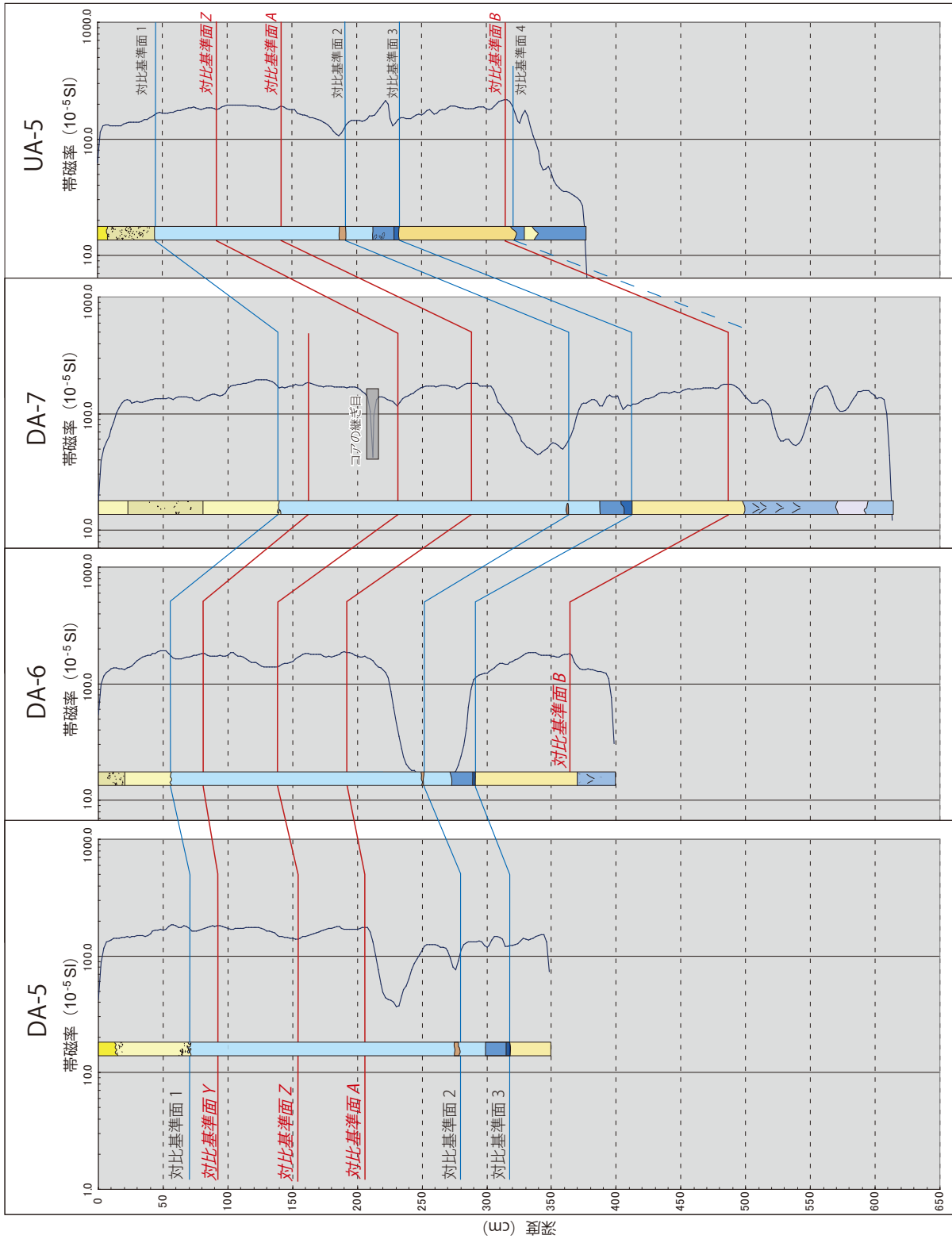


第 11 図. 肉眼観察の結果に基づく 6 つのコアの対比.

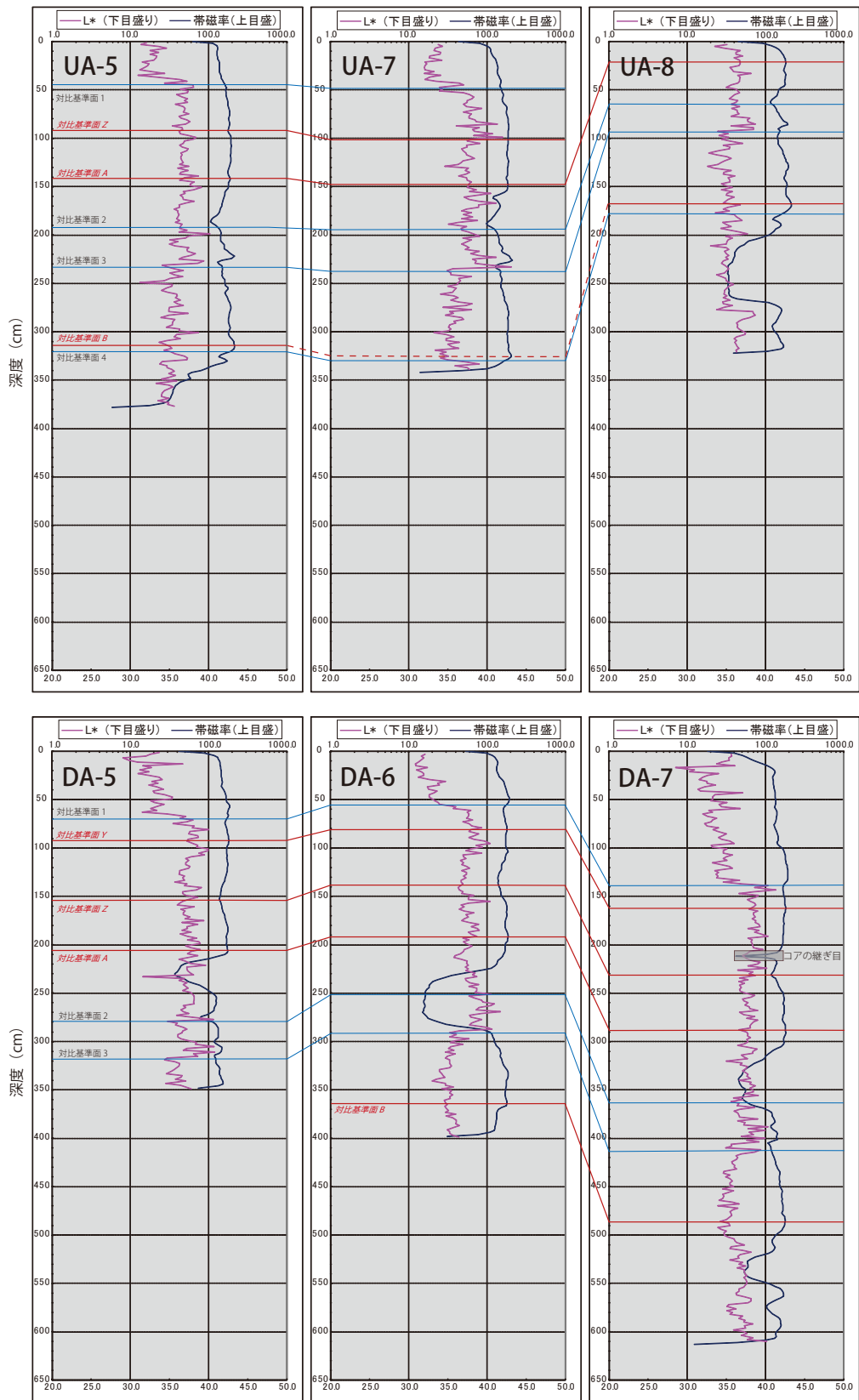
Fig. 11. Correlation of the 6 cores on the basis of naked-eye observation.



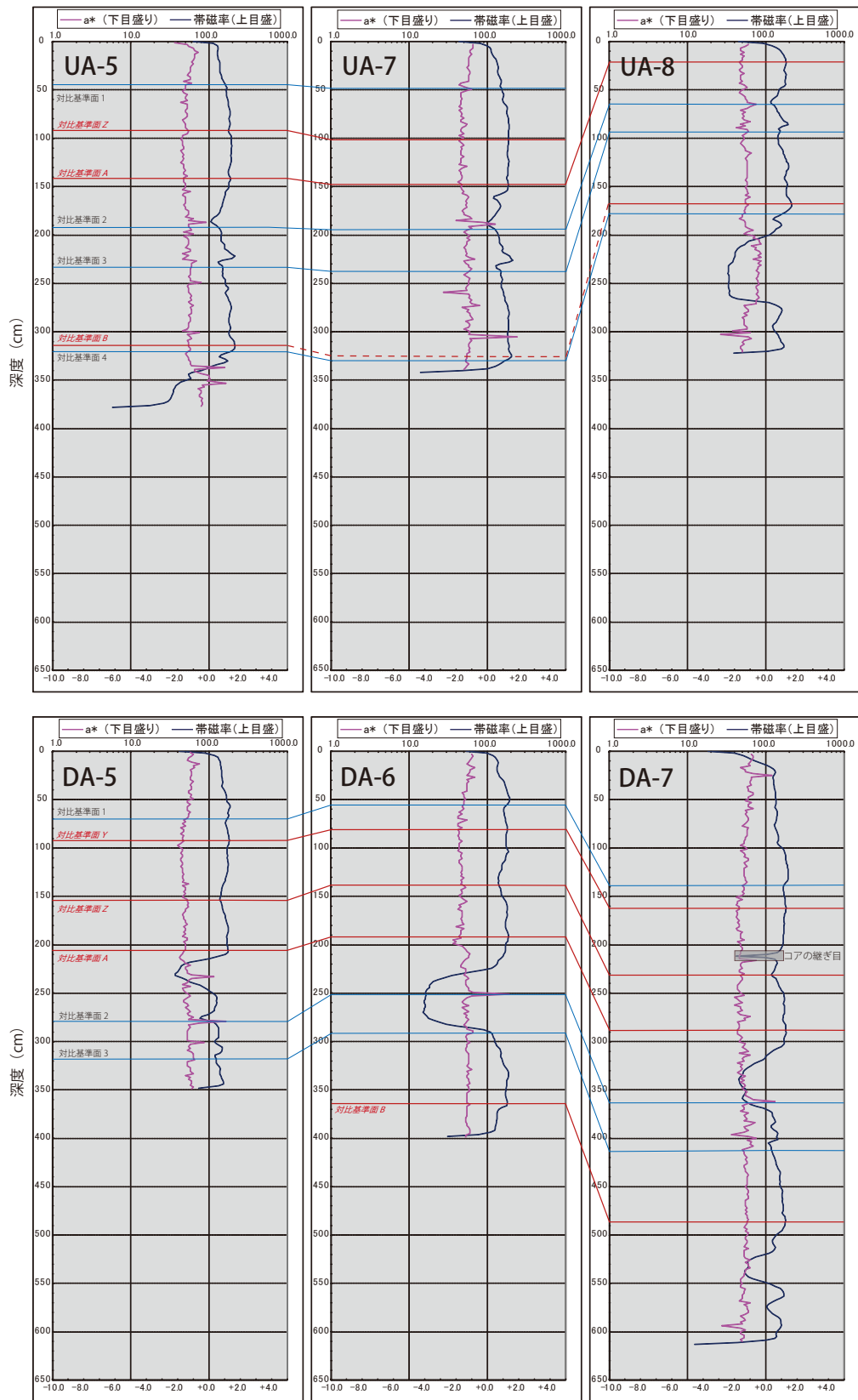
第 12 図. 隆起側の 3 コアの帯磁率測定結果. 沈降側の DA-7 コアの結果を併せて示す.
Fig. 12. Magnetic susceptibility measurement results of cores DA-7, UA-5, UA-7 and UA-8.



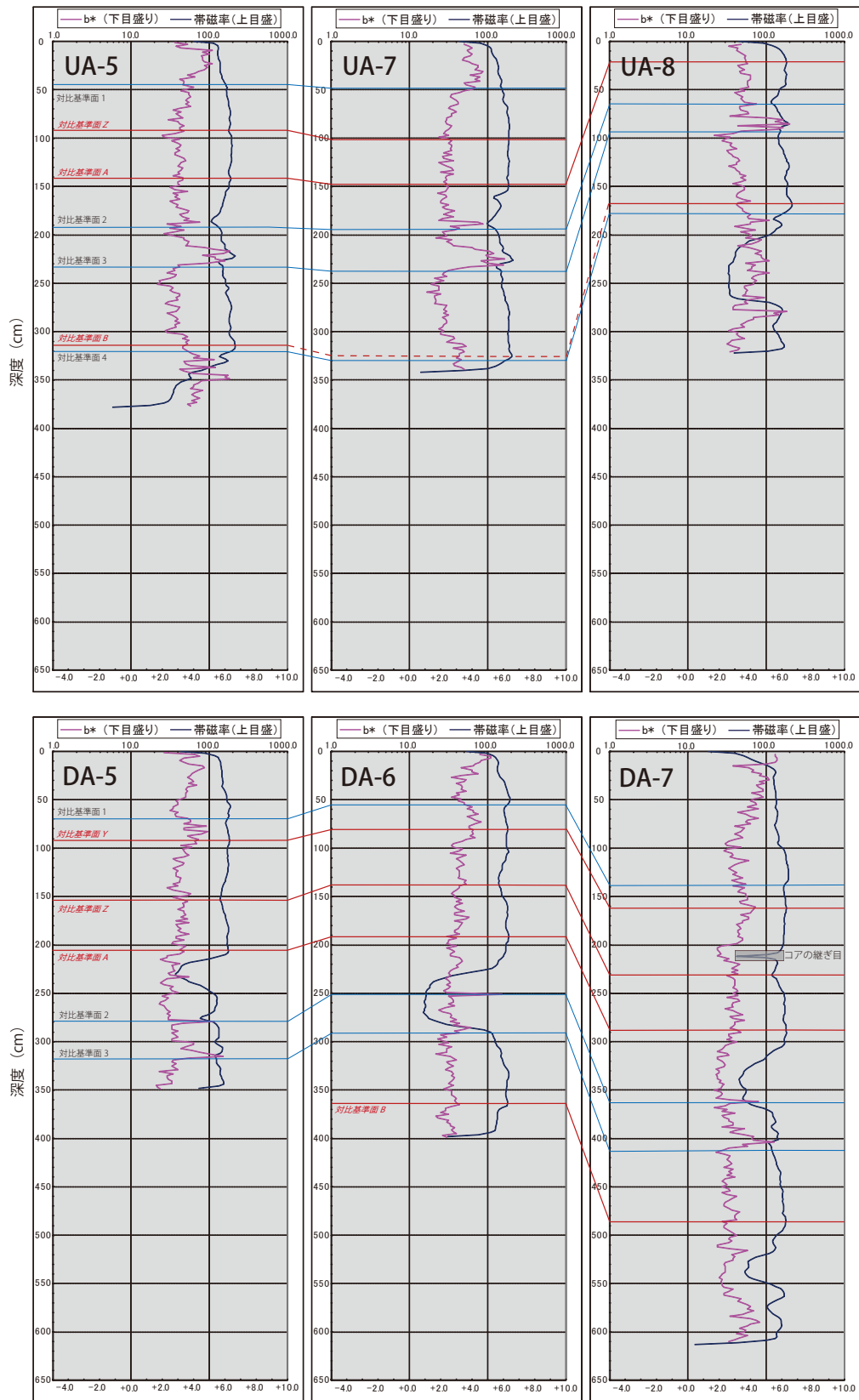
第13図. 沈降側の3コアの帯磁率測定結果. 隆起側のUA-5コアの結果を併せて示す.
 Fig. 13. Magnetic susceptibility measurement results of cores DA-5, DA-6, DA-7 and UA-5.



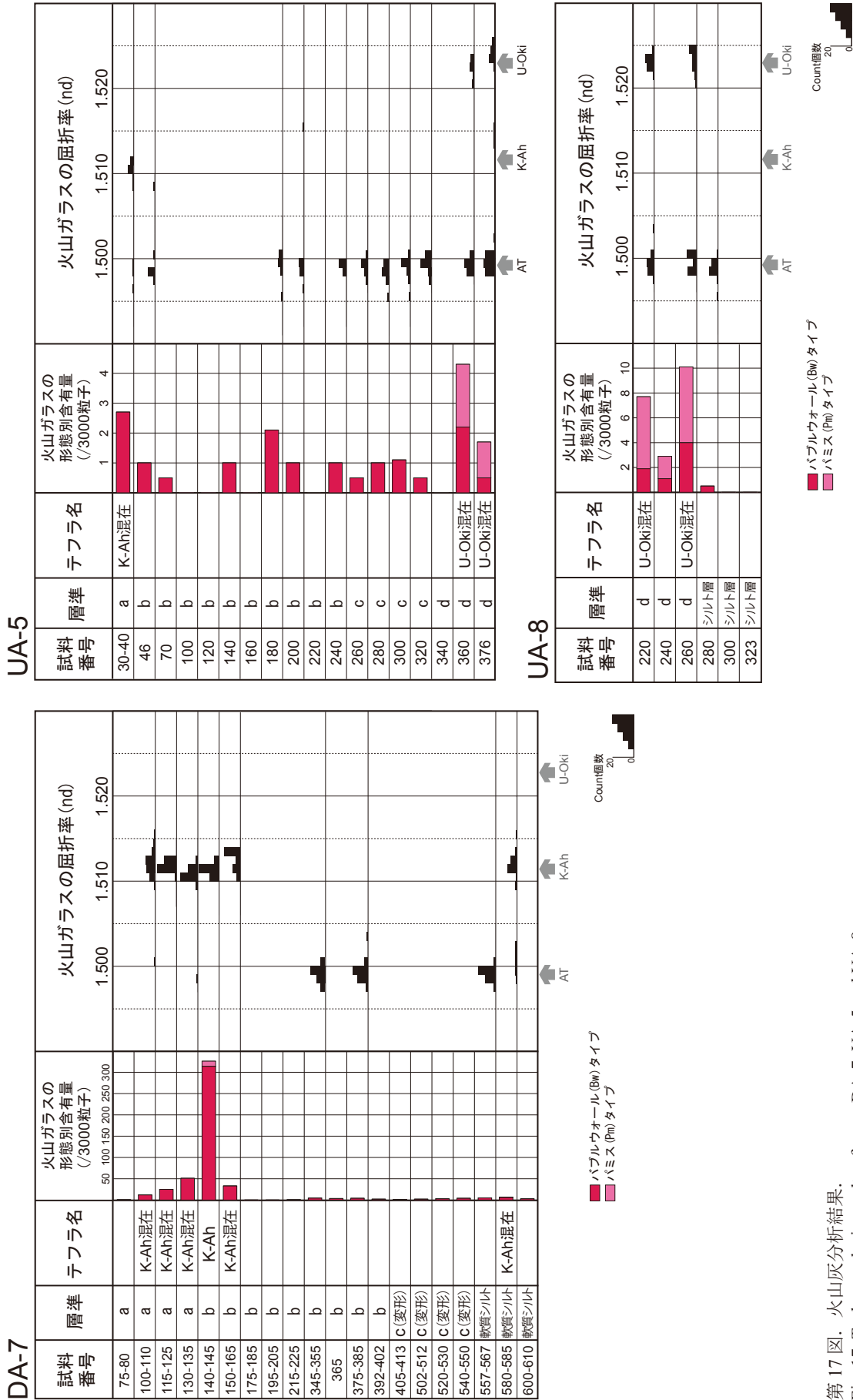
第 14 図. 色調測定結果 (その 1) : 明度 (L*).
 Fig. 14. Color measurement results (1): brightness (L*).



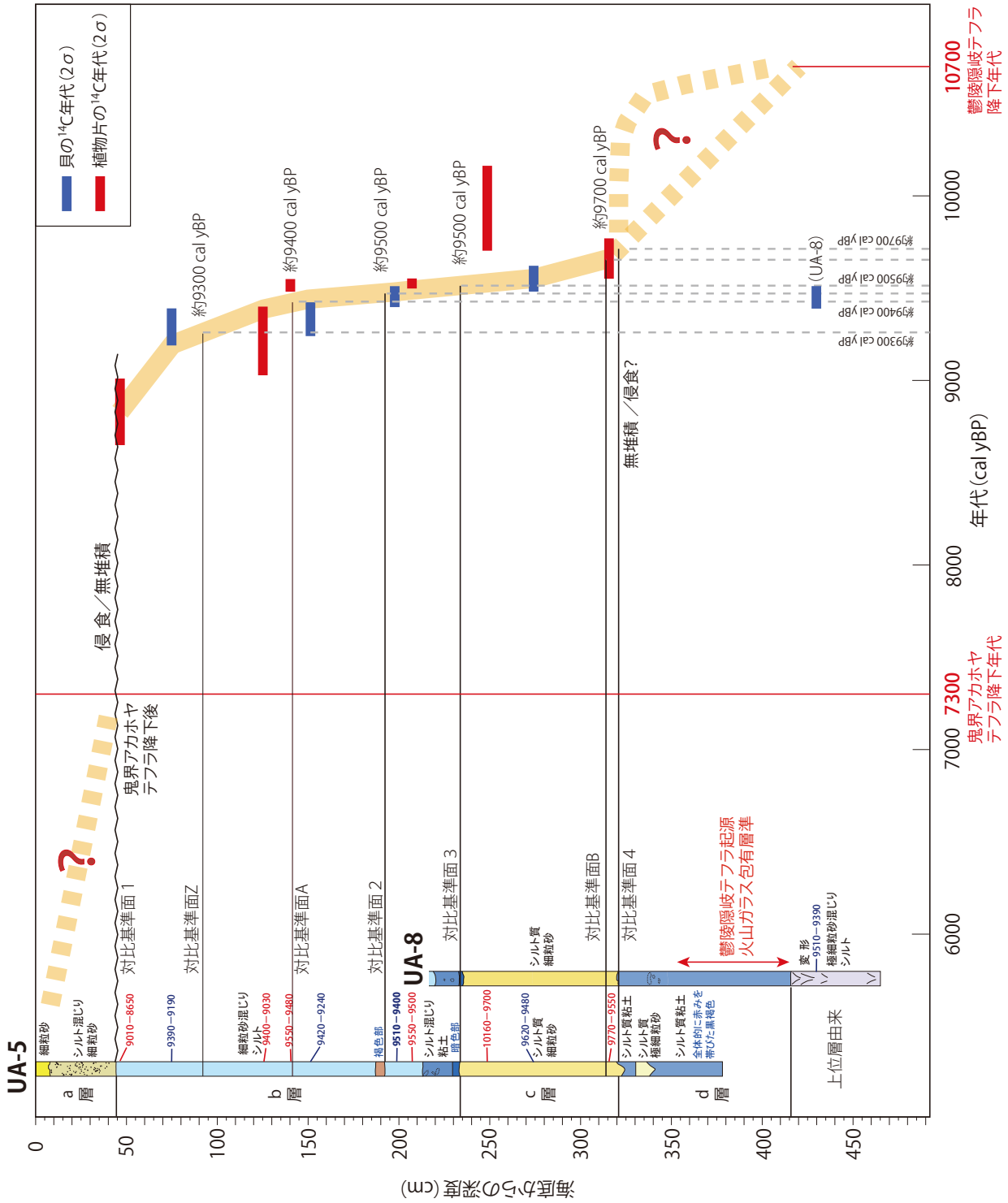
第 15 図. 色調測定結果 (その 2) : 色相 (緑-赤) (a^*).
 Fig. 15. Color measurement results (2): hue (a^*).



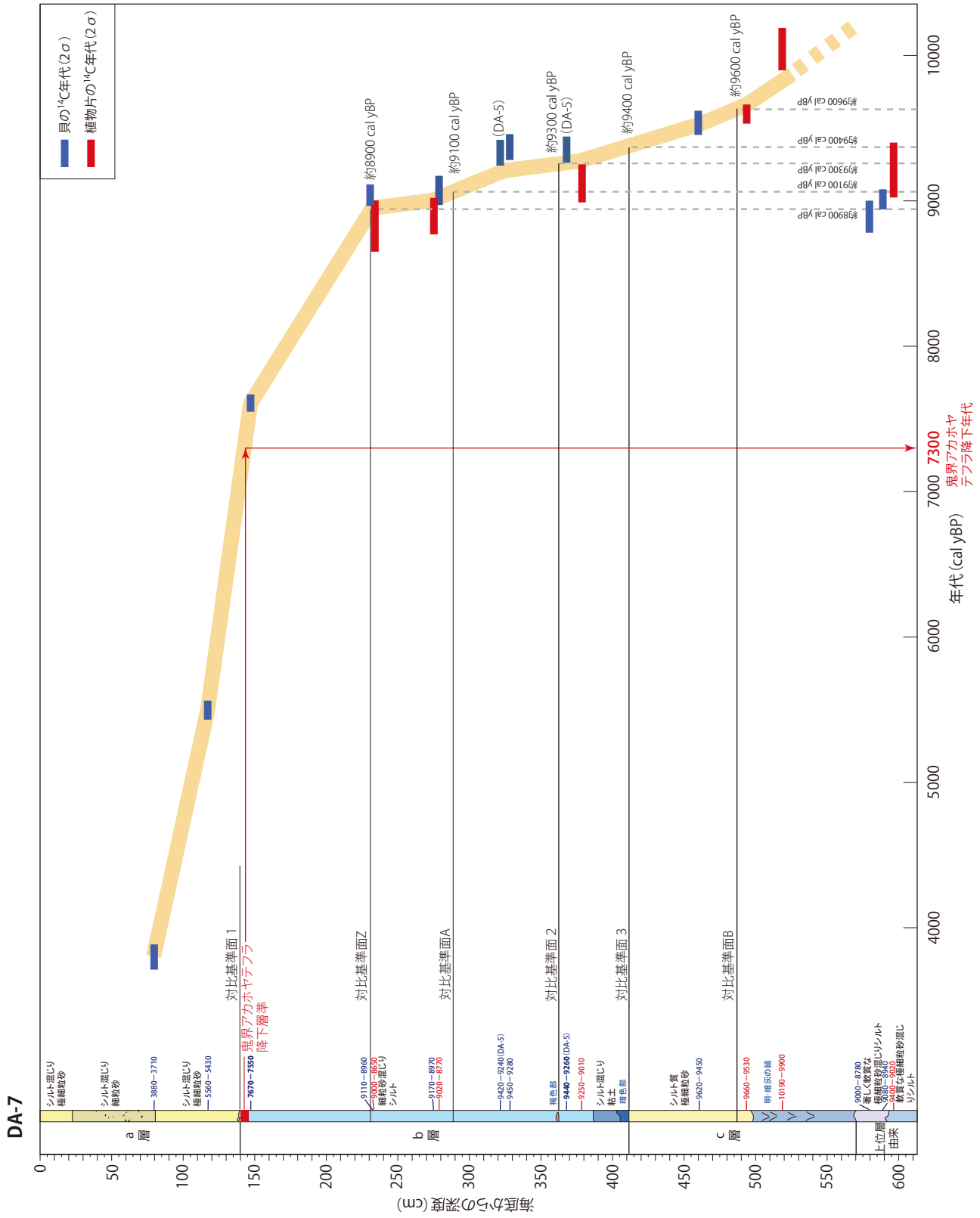
第 16 図. 色調測定結果 (その 3) : 色相 (青-黄) (b^*).
 Fig. 16. Color measurement results (3): hue (b^*).



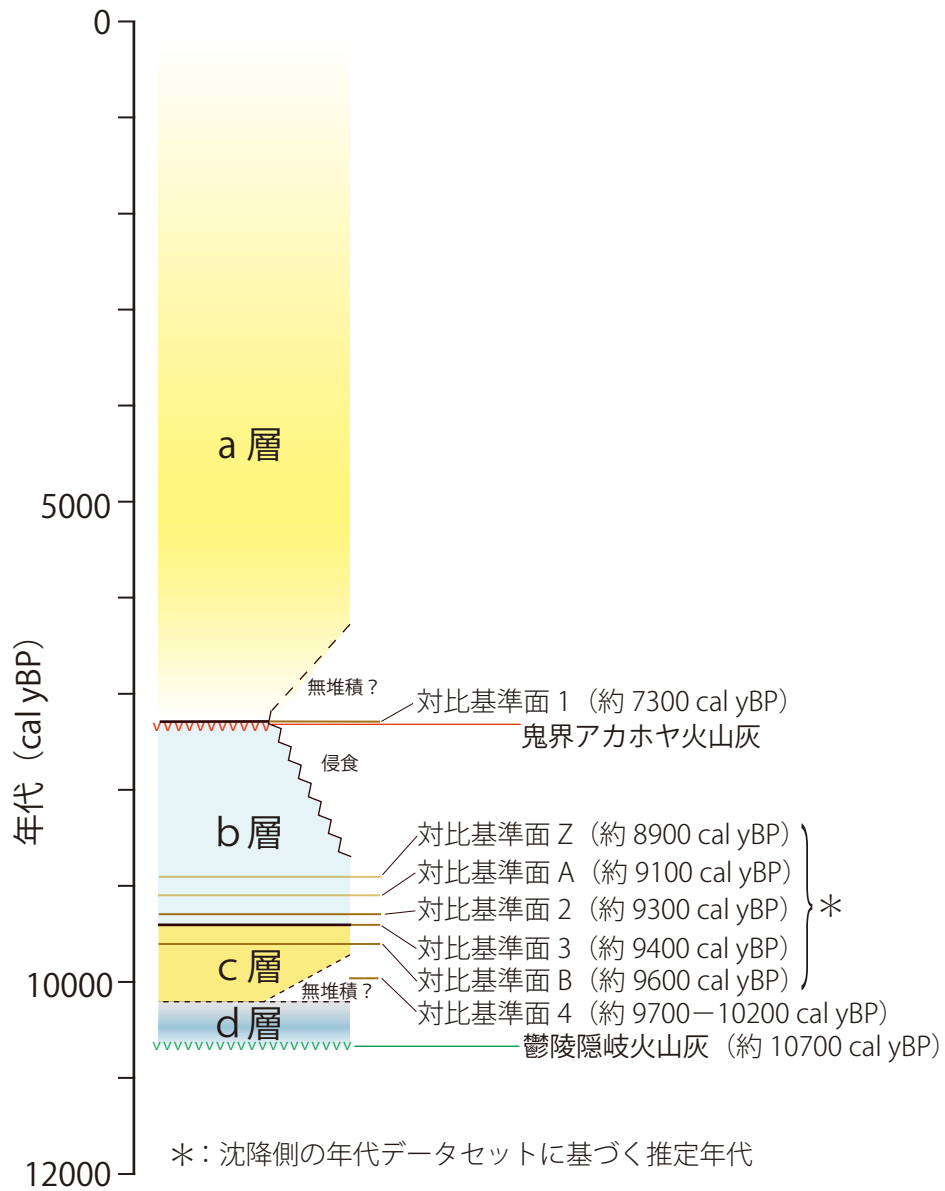
第17図. 火山灰分析結果.
 Fig. 17. Tephra analysis results of cores DA-7, UA-5 and UA-8.



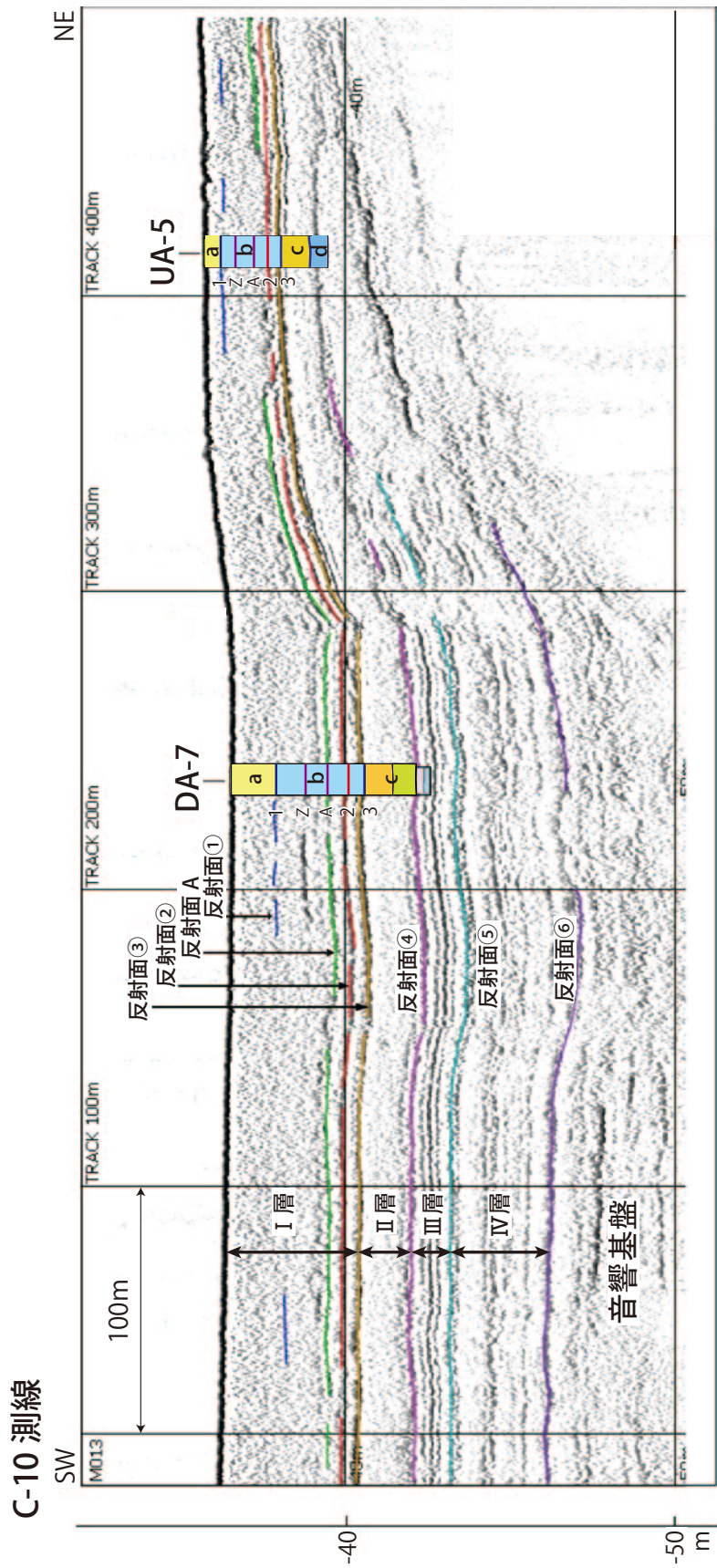
第 18 図. 隆起側の深度-年代関係.
Fig. 18. Depth-age relationship of the uplifted side of F-39-40 fault.



第19図. 沈降側の深度-年代関係.
 Fig. 19. Depth-age relationship of the subsided side of F-39-40 fault.



第 20 図. 各層・各对比基準面の推定年代.
 Fig. 20. Estimated age of each stratigraphic unit and correlative horizon.

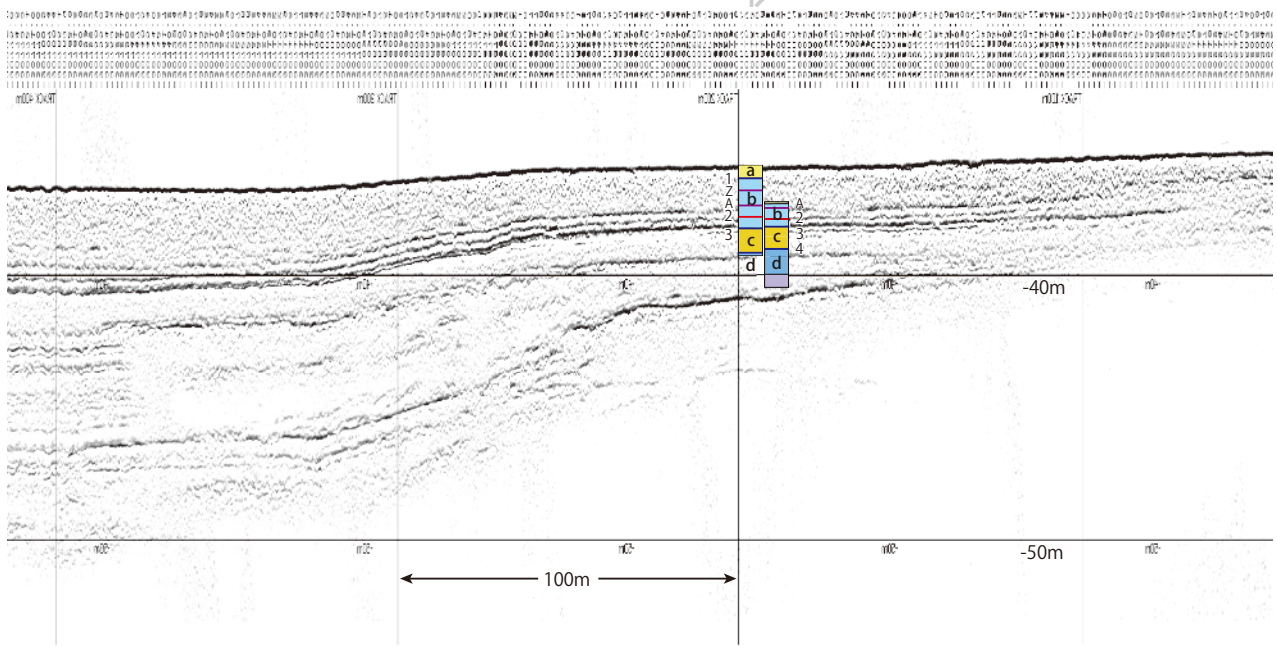


第21図. UA-5コア及びDA-7コアの地質層序とC-10測線の音響断面との対応。
 Fig. 21. Correlation of stratigraphic sequences of cores UA-5 and DA-7 with high-resolution acoustic profile of line C-10.

東海大学
C-8測線
SW

UA-7 UA-8

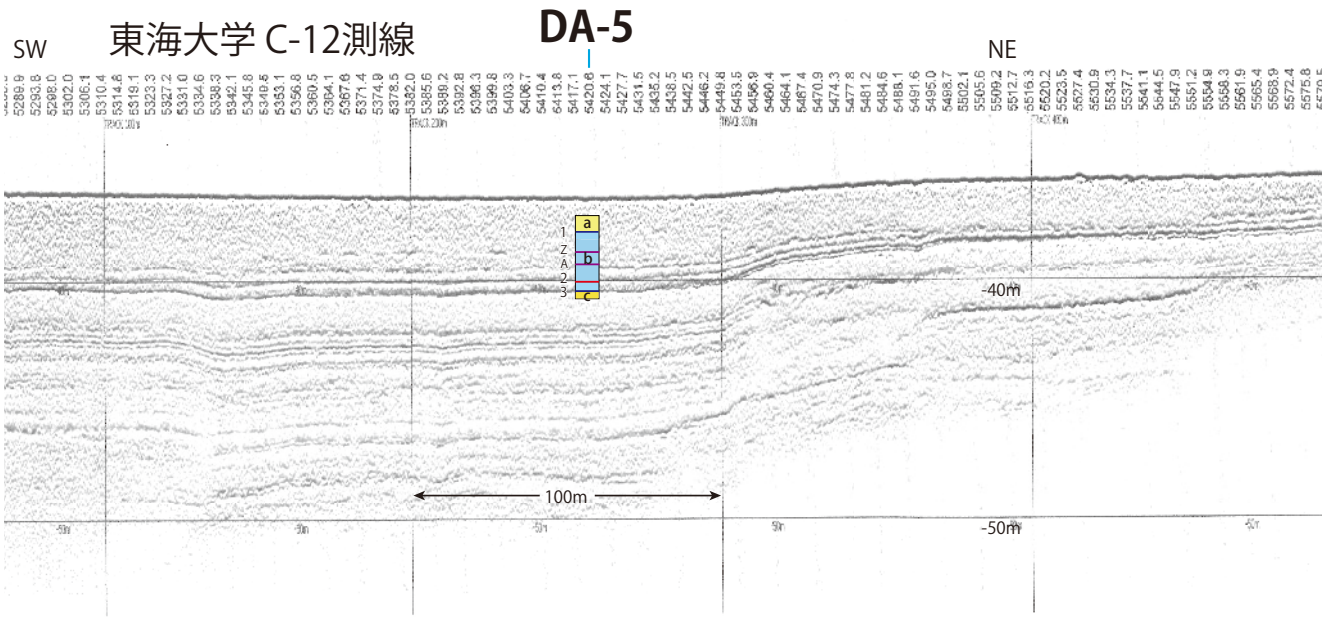
NE



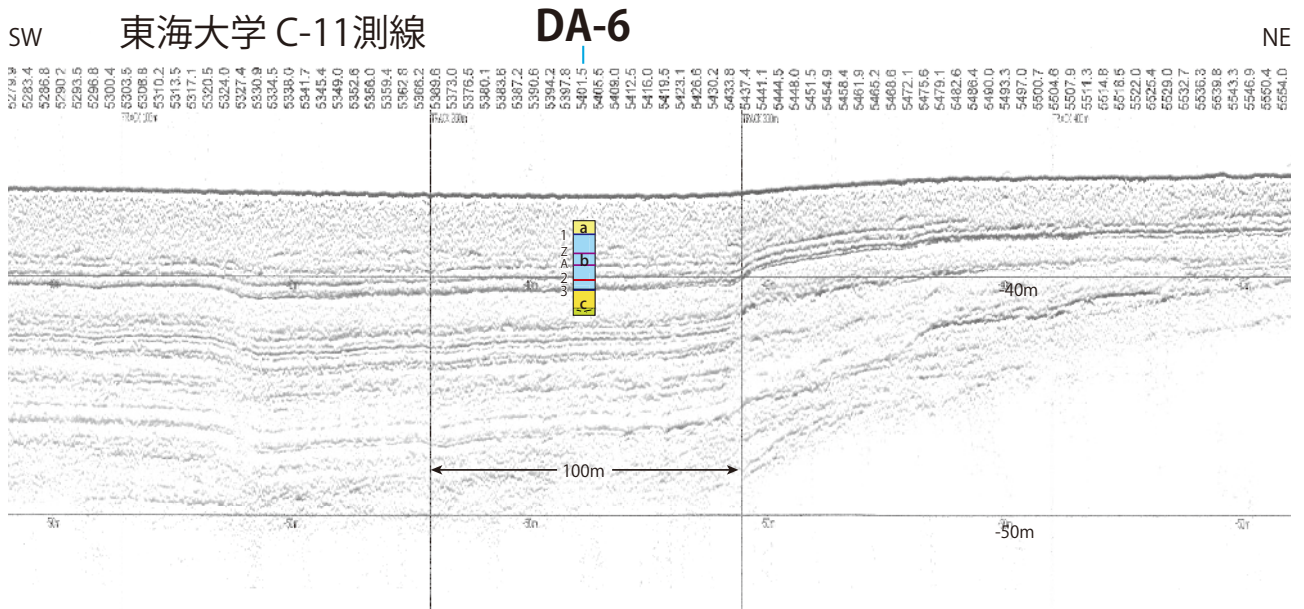
第 22 図. UA-7 コア及び UA-8 コアの地質層序と C-8 測線の音波探査断面との対応。
Fig. 22. Correlation of stratigraphic sequences of cores UA-7 and UA-8 with high-resolution acoustic profile of line C-8.

| 地質層序 | | 音響層序 | |
|------|-----------|------|---------------|
| 層序 | 対比基準面 | 反射面 | 層序 |
| a層 | 1 | ① | I層 |
| b層 | K-Ah 火山灰 | | |
| | Z | | |
| | A | A | |
| c層 | 2 | ② | II層 |
| | 3 | ③ | |
| d層 | B | | III層 |
| | 4 | ④ | |
| | U-Oki 火山灰 | ⑤ | IV層 |
| | | ⑥ | 音響基盤 (更新統) |

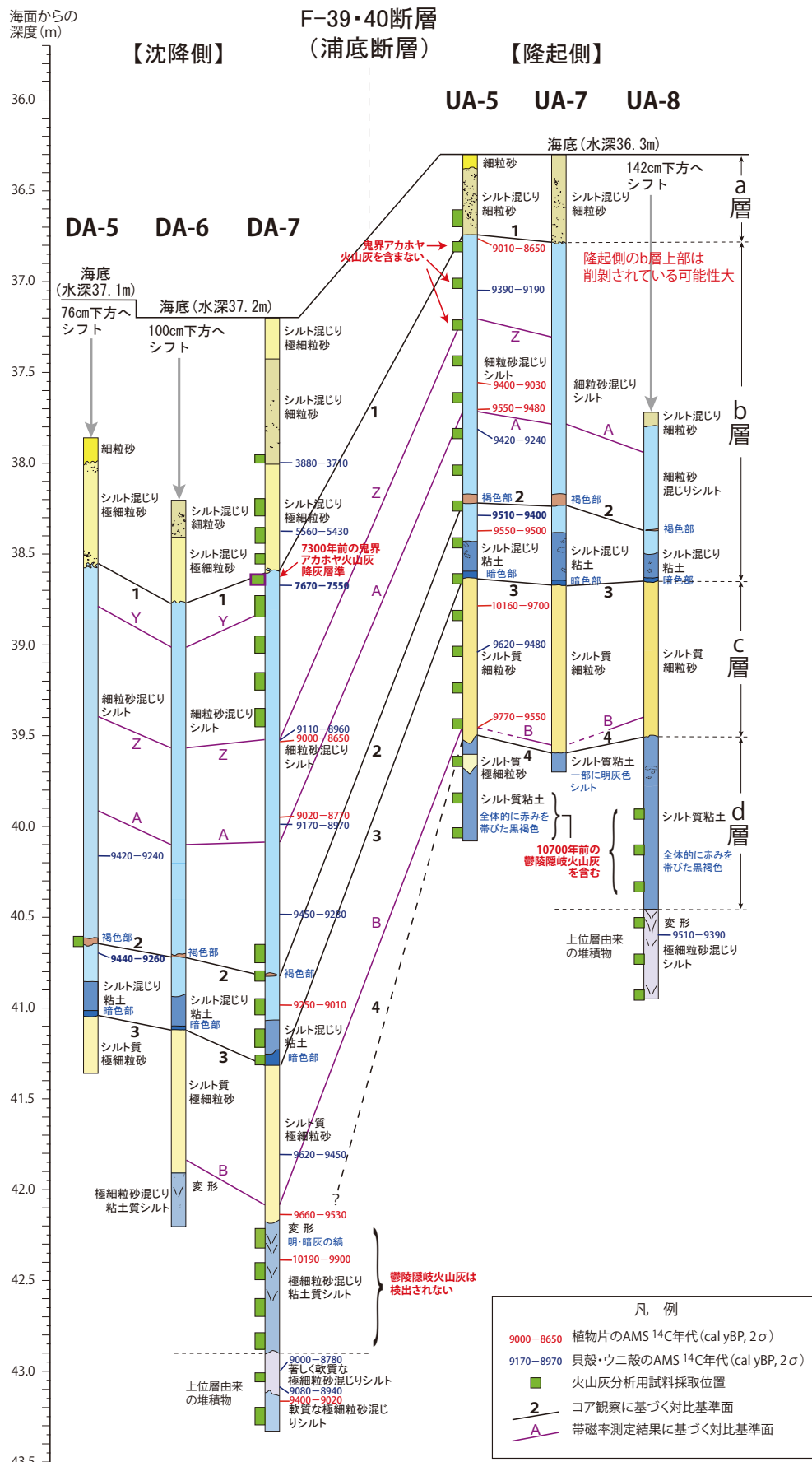
第 23 図. 地質層序と音響層序との対応。
Fig. 23. Correlation of acoustic stratigraphy with the geological stratigraphy.



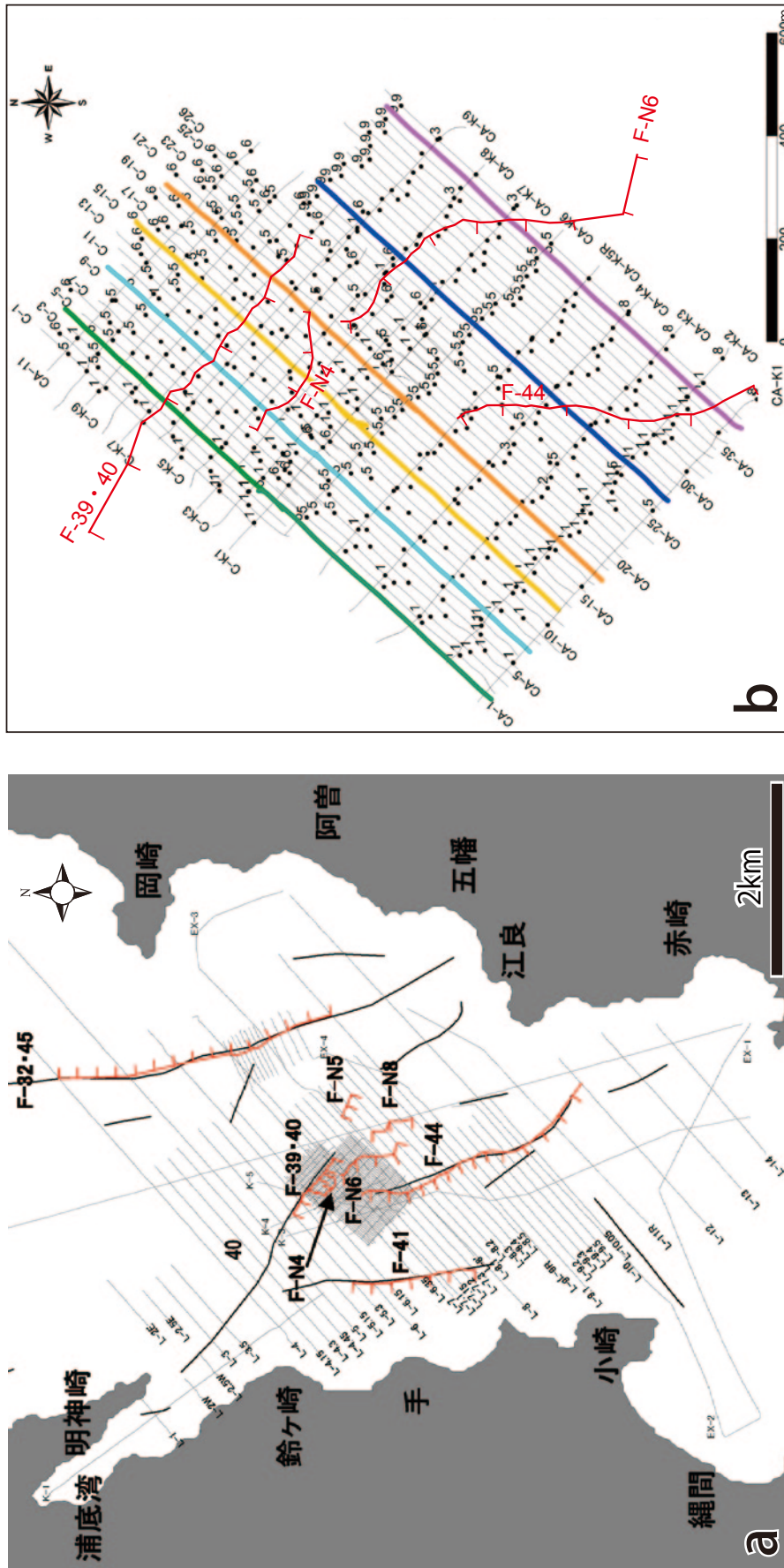
第 24 図. DA-5 コアの地質層序と C-12 測線の音波探査断面との対応.
 Fig. 24. Correlation of stratigraphic sequences of core DA-5 with high-resolution acoustic profile of line C-12.



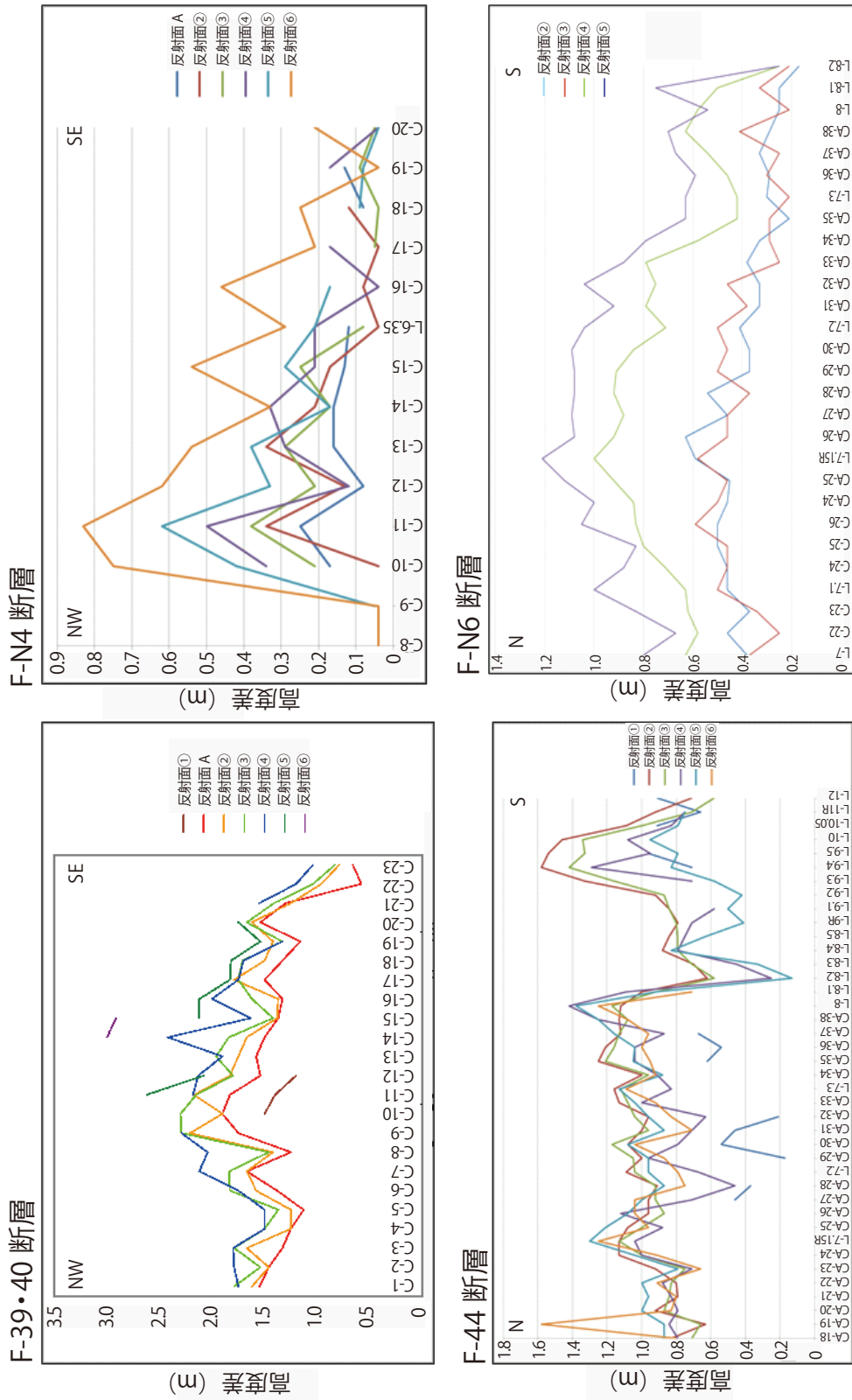
第 25 図. DA-6 コアの地質層序と C-11 測線の音波探査断面との対応.
 Fig. 25. Correlation of stratigraphic sequences of core DA-6 with high-resolution acoustic profile of line C-11.



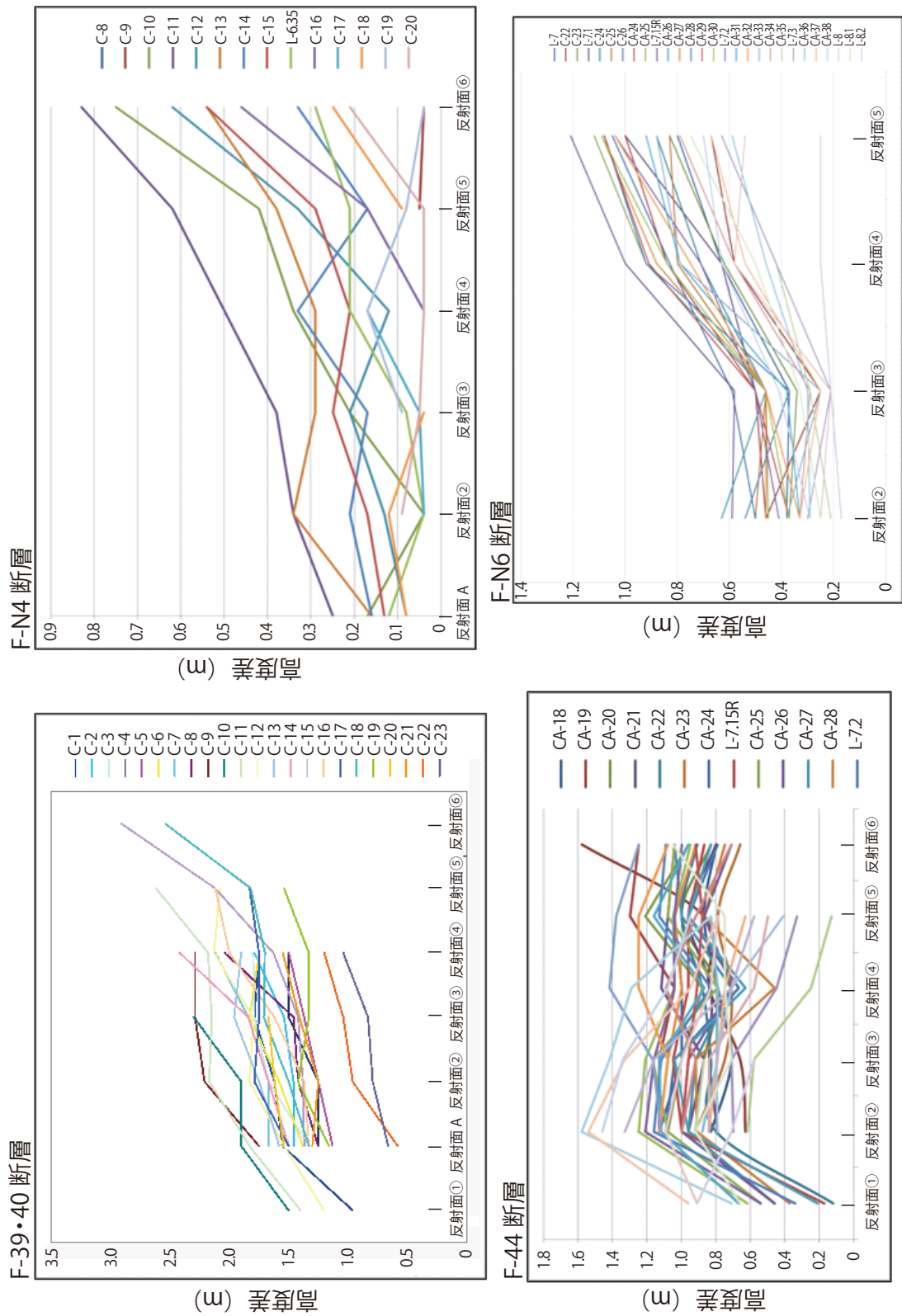
第 26 図. 採取深度の補正を行った最終的なコア対比図.
Fig. 26. Final correlation of the 6 cores through the depth correction of each core.



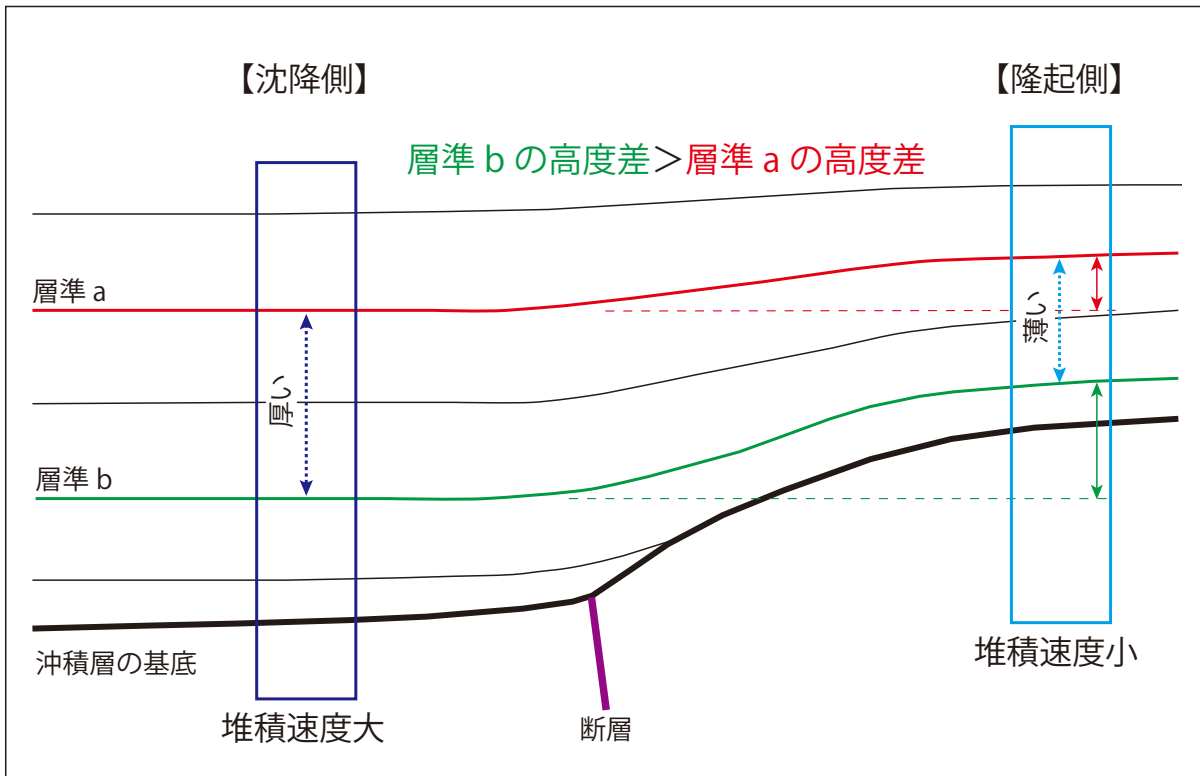
第27図. a: 敦賀湾で実施した高分解能音波探査の測線配置と確認された断層（赤色線、ケバは沈降側を示す）、黒色線は日本原子力発電による断層トレース（第3図参照）。b: 敦賀湾中央部で実施した稠密高分解能音波探査の測線配置と確認された断層（赤色線配置と確認された断層、産総研・東海大学（2012）に加筆）。
 Fig. 27. a: Survey lines of high-resolution seismic profiling and traces of identified faults (red lines with ticks indicating the subsided side). Black solid lines are fault traces after JAPC (Fig. 3). b: Survey line arrangement of closely spaced high-resolution seismic profiling and traces of identified faults. Retouched after AIST and Tokai Univ. (2012).



第28図. 各反射面の断層を挟んだ高度差の断層走向方向への変化. 各断層及び測線の位置は第27図を参照. 産総研・東海大学 (2012) を一部修正.
 Fig. 28. Along-the-fault-strike change in height difference of each seismic reflector across the fault. See Fig. 27 for the location of each fault and seismic profile.
 Partly modified after AIST and Tokai Univ. (2012).



第29図. 各反射面の断層を挟んだ高度差. 測線ごとに表示. 各断層及び測線の位置は第27図を参照. 産総研・東海大学 (2012) を一部修正.
 Fig. 29. Height difference of each reflector across the fault on respective seismic profiles. See Fig. 27 for the location of each fault and seismic profile.
 Partly modified after AIST and Tokai Univ. (2012).



第 30 図. 隆起側と沈降側における堆積速度の違いに起因する同一層準の高度差の変化 (模式図).
Fig. 30. Schematic illustration of upward decrease in height difference of the stratigraphic horizons across a fault due to the difference of depositional rate on the both sides of the fault.

第1表. 柱状採泥器の規格.

Table 1. Specifications of columnar corer apparatus.

| 名 称 | | 規 格 |
|--------------------------|---|--|
| 採泥器 本体 (型式 PC8) | ウェイト部 | 重 錘 外径φ260mm×長さ0.9m 重量600kg (鉛製) |
| | 採泥管 | アウターチューブ 外径φ89.1mm×内径φ81.1mm×長さ4.0m (ステンレス製) 2本連結使用 |
| | | インナーチューブ 外径φ80.0mm×内径φ75.0mm×長さ4.0m (ポリカーボネート製) 2本連結使用 |
| | ピストン 外径φ74mm×長さ200mm オリング付重量8kg (強化プラスチック製) | |
| | 先端部 | シュー 外径φ94mm×内径φ90mm×長さ200mm (ステンレス製) |
| | | コアキャッチャー 外径φ80mm×内径φ75mm 星式 (真鍮製) |
| | 総重量 約700kg | |
| 離脱装置 | トリガーアーム 撥上げ式 重量7kg | |
| | トリガー用重錘 重量20kg | |

第2表. DGPS の規格・性能.

Table 2. Specifications of DGPS devices.

| 名 称 | 型 式 | 規 格 ・ 性 能 |
|------------|----------------------|--|
| G P S コンパス | Hemisphere VS110S | 受信機タイプ:L1, C/Aコード, 搬送波スムージング デифференシャルモード: SBAS(MSAS, WAAS, EGNOS), BEACON 水平精度: <0.6m(95%) (DGPSモード) <2.5m(95%) (単独測位) 方位精度: <0.25°rms: ANT間隔0.5m <0.15°rms: ANT間隔1.0m <0.10°rms: ANT間隔2.0m |
| 誘導用パソコン | DOS/V パソコン | CPU: PentiumIII 600MHz メモリ: 64MB HDD: 12GB |

第3表. 音響測深器の規格・性能.
Table 3. Specifications of sounding apparatus.

| 型 式 | 名 称 | 規 格 ・ 性 能 |
|-----------------------|-------|---|
| 千本電機(株)製 PDR-1300型 | 記 録 器 | 最大可測深度：浅=125m, 深=250m 精度：±(0.03+水深×1/1,000)m シフト：浅=15m, 深=30m×8段 記録縮尺：浅=1/100, 深=1/200 発振回数：浅=5回/秒 深=2.5回/秒 紙送り：40, 60, 80, 120mm/分 *デジタル出力有り |
| | 送受波器 | 周波数：200kHz 指向角：半減全角6° |

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 (ロープの直径により変化) 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5表. コアの採取状況一覧. (表下) 黄色に網掛けした6コアについて観察・記載及び測定・記録・分析を行った.
 Table 5. Summary of coring surveys. (Bottom of the table) 6 highlighted cores were selected for geological description, measurements and analyses.

| 試料番号 | 調査日 | 時刻 | 着底 X座標 | 着底 Y座標 | 着底位置 緯度 | 着底位置 経度 | 採泥器 | 水深(m)\D.L. | 貫入深度 | 試料長 (m) | 備 考 |
|------|-------|-------|-----------|---------|----------------|----------------|-----|------------|------|---------|---------------------------------------|
| UA-1 | 8月8日 | 12:44 | -30,691.7 | 5,507.9 | 35° 43' 24.05" | 136° 3' 39.17" | PC8 | 36.2 | 3.0 | 1.52 | 落下長4.0m, ピストンOリングを3つ使用 |
| UA-2 | 8月8日 | 14:19 | -30,691.6 | 5,508.0 | 35° 43' 24.05" | 136° 3' 39.18" | PC8 | 36.3 | 3.2 | 1.50 | 落下長4.0m, ピストンOリングを3つ使用 |
| UA-3 | 8月8日 | 15:34 | -30,692.6 | 5,507.5 | 35° 43' 24.02" | 136° 3' 39.16" | PC8 | 36.2 | 4.1 | 2.81 | 落下長5.0m, ピストンOリングを3つ使用 |
| UA-4 | 8月8日 | 16:42 | -30,657.4 | 5,534.4 | 35° 43' 25.16" | 136° 3' 40.23" | PC8 | 36.2 | 3.6 | 2.94 | 落下長5.0m, ピストンOリングを3つ使用 |
| UA-5 | 8月10日 | 10:04 | -30,639.6 | 5,501.0 | 35° 43' 25.74" | 136° 3' 38.90" | PC8 | 36.3 | 3.8 | 3.78 | 落下長7.0m, ピストンOリングを5つ使用 |
| UA-6 | 8月10日 | 11:28 | -30,640.6 | 5,499.9 | 35° 43' 25.71" | 136° 3' 38.86" | PC8 | 36.3 | 3.4 | 2.90 | 落下長7.0m, ピストンOリングを5つ使用 |
| UA-7 | 8月10日 | 13:00 | -30,625.8 | 5,470.4 | 35° 43' 26.19" | 136° 3' 37.68" | PC8 | 36.3 | 3.4 | 3.41 | 落下長7.0m, ピストンOリングを5つ使用 |
| UA-8 | 8月10日 | 14:08 | -30,626.2 | 5,470.0 | 35° 43' 26.18" | 136° 3' 37.67" | PC8 | 36.3 | 4.2 | 3.23 | 落下長7.0m, ピストンOリングを5つ使用 |
| UA-9 | 8月10日 | 15:22 | -30,604.9 | 5,467.2 | 35° 43' 26.87" | 136° 3' 37.56" | PC8 | 36.4 | 3.2 | 2.65 | 落下長7.0m, ピストンOリングを5つ使用 |
| DA-1 | 8月9日 | 9:49 | -30,776.5 | 5,417.6 | 35° 43' 21.30" | 136° 3' 35.58" | GC8 | 37.1 | 4.9 | 2.10 | 落下長5.0m, ピストンなし |
| DA-2 | 8月9日 | 10:51 | -30,776.2 | 5,418.5 | 35° 43' 21.31" | 136° 3' 35.62" | GC8 | 37.1 | 4.9 | なし | 落下長5.0m, ピストンなし |
| DA-3 | 8月9日 | 11:53 | -30,787.6 | 5,423.7 | 35° 43' 20.94" | 136° 3' 35.82" | PC8 | 37.0 | 4.7 | 3.22 | 落下長5.0m, ピストンOリングを3つ使用 |
| DA-4 | 8月9日 | 13:41 | -30,788.7 | 5,422.6 | 35° 43' 20.90" | 136° 3' 35.78" | PC8 | 37.0 | 4.7 | 水面で落下 | 落下長7.0m, ピストンOリングを5つ使用 |
| DA-5 | 8月9日 | 14:48 | -30,789.8 | 5,422.8 | 35° 43' 20.87" | 136° 3' 35.79" | PC8 | 37.1 | 4.9 | 3.50 | 落下長7.0m, ピストンOリングを5つ使用 硬めのキャッチャー使用 |
| DA-6 | 8月9日 | 16:21 | -30,780.5 | 5,401.9 | 35° 43' 21.17" | 136° 3' 34.96" | PC8 | 37.2 | 4.5 | 4.00 | 落下長7.0m, ピストンOリングを5つ使用 硬めのキャッチャー使用 |
| DA-7 | 8月9日 | 17:18 | -30,772.5 | 5,387.6 | 35° 43' 21.43" | 136° 3' 34.38" | PC8 | 37.2 | 4.7 | 6.13 | 落下長7.0m, ピストンOリングを5つ使用 硬めのキャッチャー使用 |

第 6 表, ^{14}C 年代測定試料及び測定結果,
Table 6. List of ^{14}C dating samples and results.

| Sample No. | Horizon | Material | Lab. No. (Beta-) | Measured ^{14}C age (yBP) | $\delta^{13}\text{C}$ (‰) | Conventional ^{14}C age (yBP) | Calibrated calendar age (1σ : cal yBP) | Calibrated calendar age (2σ : cal yBP) |
|-------------|---------------|------------|---------------------|---------------------------------------|---------------------------|---|---|---|
| UA-5-46 | b | wood | 305983 | 8020 ± 40 | -26.8 | 7990 ± 40 | 9000-8770 | 9010-8700 8670-8650 |
| UA-5-75 | b | shell | 307708 | 8210 ± 40 | +0.3 | 8620 ± 40 | 9360-9240 | 9390-9190 9400-9380 9370-9360 9300-9070 9060-9030 |
| UA-5-125 | b | wood | 305985 | 8250 ± 40 | -26.1 | 8230 ± 40 | 9280-9130 | |
| UA-5-140 | b | wood | 305986 | 8570 ± 40 | -26.8 | 8540 ± 40 | 9540-9520 | 9550-9480 |
| UA-5-151 | b | shell | 307709 | 8230 ± 40 | +1.1 | 8660 ± 40 | 9390-9280 | 9420-9240 |
| UA-5-198 | b | shell | 307710 | 8390 ± 40 | -0.7 | 8790 ± 40 | 9490-9430 | 9510-9400 |
| UA-5-208 | b | wood | 305987 | 8460 ± 40 | -18.2 | 8570 ± 40 | 9540-9530 | 9550-9520 9510-9500 |
| UA-5-248 | c | wood | 305988 | 8850 ± 40 | -25.7 | 8840 ± 40 | 10120-10000 9930-9790 | 10160-9730 9720-9700 |
| UA-5-274 | c | shell | 307711 | 8490 ± 40 | +0.3 | 8900 ± 40 | 9550-9510 | 9620-9480 |
| UA-5-315 | c | wood | 305990 | 8720 ± 40 | -25.7 | 8710 ± 40 | 9700-9560 | 9770-9550 |
| UA-8-288 | d? (deformed) | shell | 307712 | 8270 ± 40 | -0.1 | 8780 ± 40 | 9480-9420 | 9510-9390 |
| DA-7up-79 | a | shell | 307698 | 3460 ± 30 | -1.5 | 3850 ± 30 | 3840-3790 | 3880-3710 |
| DA-7up-117 | a | shell | 307699 | 4700 ± 30 | +0.4 | 5120 ± 30 | 5540-5450 | 5560-5430 |
| DA-7up-147 | b | shell | 307700 | 6730 ± 40 | +0.9 | 7150 ± 40 | 7650-7570 | 7670-7550 |
| DA-7low-17 | b | shell | 307701 | 8010 ± 40 | 0.0 | 8420 ± 40 | 9060-8980 | 9110-8960 |
| DA-7low-19 | b | wood | 305976 | 8010 ± 40 | -26.6 | 7980 ± 40 | 8990-8770 | 9000-8650 |
| DA-7low-61 | b | wood | 305978 | 8040 ± 40 | -25.8 | 8030 ± 40 | 9010-8980 8880-8870 8820-8810 | 9020-8770 |
| DA-7low-65 | b | shell | 307702 | 8020 ± 40 | +1.1 | 8450 ± 40 | 9100-9000 | 9170-8970 |
| DA-5-230 | b | shell | 307713 | | -1.2 | 8660 ± 40 | 9390-9280 | 9420-9240 |
| DA-7low-115 | b | shell | 307703 | 8280 ± 40 | +0.4 | 8700 ± 40 | 9420-9360 | 9450-9280 |
| DA-5-284 | b | shell | 307707 | 8280 ± 40 | -0.6 | 8680 ± 40 | 9410-9300 | 9440-9260 |
| DA-7low-165 | b | wood | 305979 | 8220 ± 40 | -28.9 | 8160 ± 40 | 9130-9020 | 9250-9160 9150-9010 |
| DA-7low-247 | c | sea urchin | 307704 | 8510 ± 50 | -2.3 | 8880 ± 50 | 9540-9490 | 9620-9450 |
| DA-7low-280 | c | wood | 305980 | 8640 ± 40 | -26.1 | 8620 ± 40 | 9560-9540 | 9660-9650 9630-9530 |
| DA-7low-305 | c (deformed) | wood | 305981 | 8930 ± 40 | -26.7 | 8900 ± 40 | 10170-10110 10100-9920 | 10190-9900 |
| DA-7low-366 | soft silt | shell | 307705 | 7900 ± 40 | +1.6 | 8340 ± 40 | 9980-8900 | 9000-8780 |
| DA-7low-375 | soft silt | shell | 307706 | 7990 ± 40 | +0.2 | 8400 ± 40 | 9010-8970 | 9080-8940 9400-9380 9370-9360 9300-9020 |
| DA-7low383 | soft silt | wood | 305982 | 8230 ± 50 | -26.0 | 8210 ± 50 | 9270-9090 9050-9030 | |

第7表. UA-5 及び UA-8 コア（隆起側）の火山灰分析結果,
Table 7. Results of tephra analysis of UA-5 and UA-8 cores.

| 試料番号 | 層準 | 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) | 火山ガラスの屈折率 | テフラ名 |
|------------|----------|-----------------------|------------|---|------------|-----------------|-----|---|---------------------------------------|-----------|------|
| | | Bw | Pm | O | Opx | GHo | Cum | | | | |
| UA-5-30-40 | a | 2.7 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1.508-1.512 10/13(1.496-1.500 3/13混在) | K-Ah主に混在 | |
| 46 | b | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.497-1.499(1.508 1/9混在) | AT主に混在 | |
| 70 | b | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | | | |
| 100 | b | +(2/20000) | 0 | 0 | +(2/20000) | +(3/20000) | 0 | 0 | | | |
| 120 | b | +(1/20000) | 0 | 0 | +(1/20000) | +(3/20000) | 0 | 0 | | | |
| 140 | b | 1 | 0 | 0 | +(2/20000) | +(2/20000) | 0 | 0 | | | |
| 160 | b | +(3/20000) | 0 | 0 | +(2/20000) | 0 | 0 | 0 | | | |
| 180 | b | 2.1 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | | | |
| 200 | b | 1 | 0 | 0 | +(3/20000) | 0.5 | 0 | 0 | | | |
| 220 | b | +(3/20000) | +(1/20000) | 0 | +(1/20000) | +(3/20000) | 0 | 0 | | | |
| 240 | b | 1 | 0 | 0 | +(1/20000) | 0.5 | 0 | 0 | | | |
| 260 | c | 0.5 | 0 | 0 | 0 | +(2/20000) | 0 | 0 | | | |
| 280 | c | 1 | 0 | 0 | +(1/20000) | +(1/20000) | 0 | 0 | | | |
| 300 | c | 1.1 | 0 | 0 | 0 | +(3/20000) | 0 | 0 | | | |
| 320 | c | 0.5 | 0 | 0 | 0.5 | 0.5 | 0 | 0 | | | |
| 340 | d | +(2/20000) | +(2/20000) | 0 | 1 | 0.6 | 0 | 0 | | U-Oki混在 | |
| 360 | d | 2.2 | 2.1 | 0 | 0.5 | +(2/20000) | 0 | 0 | | U-Oki混在 | |
| 376 | d | 0.5 | 1.2 | 0 | +(1/20000) | 0.6 | 0 | 0 | | U-Oki混在 | |
| UA-8-220 | d | 1.9 | 5.8 | 0 | 1.6 | 0.7 | 0 | 0 | | U-Oki混在 | |
| 240 | d | 1.1 | 1.8 | 0 | +(2/20000) | 0.5 | 0 | 0 | | | |
| 260 | d | 4 | 6.1 | 0 | 1 | 0.5 | 0 | 0 | | U-Oki混在 | |
| 280 | シルト層(変形) | 0.5 | 0 | 0 | +(2/20000) | +(3/20000) | 0 | 0 | | | |
| 300 | シルト層(変形) | +(2/20000) | 0 | 0 | +(2/20000) | +(4/20000) | 0 | 0 | | | |
| 323 | シルト層(変形) | +(3/20000) | 0 | 0 | +(2/20000) | +(3/20000) | 0 | 0 | | | |

Bw:バブルウォールタイプ

Pm:パミスタタイプ

O:低発泡タイプ

第 8 表, DA-7 コア (沈降側) の火山灰分析結果,
Table 8. Results of tephra analysis of DA-7 core.

| 試料番号 | 層準 | 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) | 火山ガラスの屈折率 | テフラ名 |
|------------|-------|----------------------|----|---|-----|-----|-----|-----------------|---|---|---------------------------------|-------------|------|
| | | Bw | Pm | O | Opx | GHo | Cum | | | | | | |
| DA-7-75-80 | a | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | |
| 100-110 | a | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.509-1.516 | K-Ah混在 | |
| 115-125 | a | 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 1.510-1.513 | K-Ah混在 | |
| 130-135 | a | 51 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 1.509-1.513(1.499 1/30混在) | K-Ah混在 | |
| 140-145 | b | 314 | 12 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.510-1.513 | K-Ah | |
| 150-165 | b | 33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1.510-1.514 | K-Ah混在 | |
| 175-185 | b | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | | | |
| 195-205 | b | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | | | |
| 215-225 | b | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | | | |
| 345-355 | b | 4.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 1.497-1.5005 | AT混在 | |
| 365 | b | 3.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | | | |
| 375-385 | b | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.5 | 0 | 0 | 0 | 1.497-1.5005 | AT混在 | |
| 392-402 | b | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | | | |
| 405-413 | b | 1.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | | | |
| 502-512 | c(変形) | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | |
| 520-530 | c(変形) | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | |
| 540-550 | c(変形) | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | |
| 557-567 | c(変形) | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.497-1.5005 | AT混在 | |
| 580-585 | 軟質シルト | 6 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.509-1.516(1.498-1.503 9/30混在) | K-Ah混在 | |
| 600-610 | 軟質シルト | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | |
| DA-5-280 | b | 2.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1.497-1.499 | AT混在 | |

Bw:バブルウォールタイプ

Pm:バミスタイプ

O:低発泡タイプ

第9表. UA-5 コアの d 層中に含まれるパミス型火山ガラスの主成分分析結果.
 上段：分析値，下段：水を除いた再計算値.

Table 9. Major element compositions of pumice-type volcanic glasses included in the stratigraphic unit d in UA-5 core. Top: measured values, bottom: recalculated values excluding H₂O.

| 採取地点 UA-5 360 | | | | |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| point No. | 1 | 2 | 3 | 4 |
| SiO ₂ | 59.32 | 58.91 | 59.15 | 58.94 |
| TiO ₂ | 0.40 | 0.52 | 0.57 | 0.46 |
| Al ₂ O ₃ | 18.37 | 18.09 | 18.11 | 18.23 |
| FeO | 2.84 | 2.89 | 3.13 | 2.71 |
| MnO | 0.13 | 0.30 | 0.23 | 0.03 |
| MgO | 0.22 | 0.16 | 0.30 | 0.13 |
| CaO | 1.57 | 1.57 | 1.65 | 1.36 |
| Na ₂ O | 6.40 | 6.05 | 5.92 | 6.62 |
| K ₂ O | 7.08 | 7.38 | 7.75 | 7.00 |
| Total | 96.33 | 95.87 | 96.81 | 95.48 |

| point No. | 1 | 2 | 3 | 4 | 平均値 | 標準偏差 | |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------------------------------|--------|------|
| SiO ₂ | 61.58 | 61.45 | 61.10 | 61.73 | SiO ₂ | 61.46 | 0.27 |
| TiO ₂ | 0.42 | 0.54 | 0.59 | 0.48 | TiO ₂ | 0.51 | 0.08 |
| Al ₂ O ₃ | 19.07 | 18.87 | 18.71 | 19.09 | Al ₂ O ₃ | 18.93 | 0.18 |
| FeO | 2.95 | 3.01 | 3.23 | 2.84 | FeO | 3.01 | 0.17 |
| MnO | 0.13 | 0.31 | 0.24 | 0.03 | MnO | 0.18 | 0.12 |
| MgO | 0.23 | 0.17 | 0.31 | 0.14 | MgO | 0.21 | 0.08 |
| CaO | 1.63 | 1.64 | 1.70 | 1.42 | CaO | 1.60 | 0.12 |
| Na ₂ O | 6.64 | 6.31 | 6.12 | 6.93 | Na ₂ O | 6.50 | 0.36 |
| K ₂ O | 7.35 | 7.70 | 8.01 | 7.33 | K ₂ O | 7.60 | 0.32 |
| Total | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | | 100.00 | |

第10表. UA-8 コアの d 層中に含まれるパミス型火山ガラスの主成分分析結果. 上段：分析値,
 下段：水を除いた再計算値.

Table 10. Major element compositions of pumice-type volcanic glasses included in the stratigraphic unit d in UA-8 core. Top: measured values, bottom: recalculated values excluding H₂O.

| 採取地点 UA-8 260 | | | | | | | |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| point No. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| SiO ₂ | 59.40 | 59.33 | 58.23 | 59.63 | 58.24 | 59.78 | 60.43 |
| TiO ₂ | 0.49 | 0.50 | 0.20 | 0.46 | 0.34 | 0.52 | 0.41 |
| Al ₂ O ₃ | 18.43 | 18.25 | 19.09 | 18.37 | 17.93 | 18.26 | 18.33 |
| FeO | 3.02 | 2.98 | 2.77 | 2.93 | 3.05 | 2.90 | 3.06 |
| MnO | 0.09 | 0.00 | 0.36 | 0.07 | 0.20 | 0.18 | 0.09 |
| MgO | 0.24 | 0.22 | 0.00 | 0.15 | 0.10 | 0.24 | 0.11 |
| CaO | 1.54 | 1.48 | 1.06 | 1.52 | 1.31 | 1.52 | 1.40 |
| Na ₂ O | 6.27 | 6.45 | 8.81 | 5.45 | 6.44 | 6.42 | 7.00 |
| K ₂ O | 7.10 | 7.22 | 5.77 | 7.38 | 7.49 | 7.07 | 6.90 |
| Total | 96.58 | 96.43 | 96.29 | 95.96 | 95.10 | 96.89 | 97.73 |

| point No. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 平均値 | 標準偏差 | |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------------------------|--------|------|
| SiO ₂ | 61.50 | 61.53 | 60.47 | 62.14 | 61.24 | 61.70 | 61.83 | SiO ₂ | 61.49 | 0.53 |
| TiO ₂ | 0.51 | 0.52 | 0.21 | 0.48 | 0.36 | 0.54 | 0.42 | TiO ₂ | 0.43 | 0.12 |
| Al ₂ O ₃ | 19.08 | 18.93 | 19.83 | 19.14 | 18.85 | 18.85 | 18.76 | Al ₂ O ₃ | 19.06 | 0.36 |
| FeO | 3.13 | 3.09 | 2.88 | 3.05 | 3.21 | 2.99 | 3.13 | FeO | 3.07 | 0.11 |
| MnO | 0.09 | 0.00 | 0.37 | 0.07 | 0.21 | 0.19 | 0.09 | MnO | 0.15 | 0.12 |
| MgO | 0.25 | 0.23 | 0.00 | 0.16 | 0.11 | 0.25 | 0.11 | MgO | 0.16 | 0.09 |
| CaO | 1.59 | 1.53 | 1.10 | 1.58 | 1.38 | 1.57 | 1.43 | CaO | 1.46 | 0.18 |
| Na ₂ O | 6.49 | 6.69 | 9.15 | 5.68 | 6.77 | 6.63 | 7.16 | Na ₂ O | 6.94 | 1.07 |
| K ₂ O | 7.35 | 7.49 | 5.99 | 7.69 | 7.88 | 7.30 | 7.06 | K ₂ O | 7.25 | 0.62 |
| Total | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | | 100.00 | |

第11表. DA-7コア（沈降側）及びUA-5コア（隆起側）採取地点における各対比基準面の海面からの深度と両地点間の高度差.

Table 11. Correlative horizons, their estimated ages, depths, and height differences between the both sides of F-39・40 fault.

| 対比基準面 | 層序区分 | DA-7コアのデータに基づく推定暦年代 | 沈降側DA-7コアにおける海面からの深度(m) | 隆起側UA-5コアにおける海面からの深度(m) | 両コア間での高度差(m) |
|--------------|------|---------------------|-------------------------|-------------------------|----------------|
| 1 K-Ah火山灰 | a | 7300 | 38.6 | 36.7(侵食面) | 1.9 |
| | b | 7300 | 38.6 | 36.5(推定) | 2.1(推定) |
| Z | | 8900 | 39.5 | 37.2 | 2.3 |
| A | | 9100 | 40.1 | 37.7 | 2.4 |
| 2 | | 9300 | 40.8 | 38.2 | 2.6 |
| 3 | | 9400 | 41.3 | 38.6 | 2.7 |
| B | c | 9600 | 42.1 | 39.5 | 2.6 |
| 4 | d | 10200 | ≥42.9 | 39.5 | ≥3.4 |