

布田川・日奈久断層帯海域部における高分解能マルチチャンネル音波探査

High-resolution multi-channel seismic reflection imaging of the Futagawa-Hinagu Fault Zone, Yatsushiro Sea, southwest Japan

楯原京子¹・愛甲崇信²・足立幾久²・坂本 泉³・滝野義幸³・井上直人⁴・北田奈緒子⁴

Kyoko Kagohara¹, Takanobu Aiko², Ikuhisa Adachi², Izumi Sakamoto³, Yoshiyuki Takino³, Naoto Inoue⁴ and Naoko Kitada⁴

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

² 大和探査技術株式会社 (Daiwa Exploration & Consulting, Co. Ltd.)

³ 東海大学海洋学部海洋地球科学科 (Department of Marine and Earth Science, Tokai University)

⁴ 財団法人 地域地盤環境研究所 (Geo-Research Institute)

Abstract: The 100-km-long Futagawa-Hinagu Fault Zone is extending from piedmont of the Aso Volcano to the Yatsushiro Sea. We have conducted high-resolution seismic survey using boomer source and 24-channel, 3.125-m-channel-interval streamer to clarify the precise fault-trace distribution, fault deformation features and paleoseismic events of the Yatsushiro Sea Fault Group (YSF). High-resolution seismic reflection profiles (<150 m-depth penetration and approximately 1 m of vertical resolution) revealed many active faults extending roughly in an NNE-SSW to NE-SW direction in the Yatsushiro Sea. Though most of them cut and fold late Pleistocene sediments including Aso-4 pyroclastic flow deposits, active faults which deform seafloor and Holocene marine sediments tend to concentrate in the northwestern portion of the YSF. On the basis of the seismic interpretation and corresponding piston-cores on the northwestern portion of the YSF, we identified at least two paleoseismic events in Holocene period. An older event occurred after the deposition of K-Ah (7.3 ka) and before 2,660±40 yBP, and a younger event occurred between 1,680±40 yBP and 630±40 yBP. The younger event can be correlated with the AD 744 earthquake.

キーワード: 布田川・日奈久断層帯, 八代海, 高分解能マルチチャンネル音波探査データ, 横ずれ断層, 古地震

Keywords: Futagawa-Hinagu Fault Zone, Yatsushiro Sea, high-resolution multi-channel seismic data, strike-slip fault, Paleoseismicity

1. はじめに

布田川・日奈久断層帯は、阿蘇外輪山西麓から宇城市小川町を経て八代海南部に延びる長さ約 100 km の断層帯で、北より布田川断層、日奈久断層、八代海海底断層群などから構成される (第 1 図)。本断層帯は九州における数少ない横ずれ断層のひとつであると同時に西南日本外帯の帯状構造及び中央構造線の延長とされる臼杵-八代線を切る活構造である (九州活構造研究会編, 1989; 活断層研究会編, 1991; 斎藤ほか, 2010)。また、八代海周縁には布田川・日奈久断層帯の他に水俣南断層群や笠山周辺断層群がみられる。これらは八代海を取り巻くように分布することから日奈久断層の南方延長に関連する可能性があると考えられている (千田, 1979; 第 2 図)。

地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2002) はこの長大な断層帯に対して、千田 (1979)、千田ほか (1991)、原子力発電技術機構 (1996, 1997, 1998)、

熊本県 (1996, 1998)、下川・衣笠 (1999) などの調査結果に基づき、断層帯を構成する断層が大きく 3 つの区間 (北東部, 中部, 南西部) に分けられること、変位様式は主に右横ずれで、断層南西側の相対的な隆起を伴うこと、将来、3 つの区間が独立して活動すると推定されるが、中部と南西部は同時に活動する可能性があること、予測される地震規模は北東部で M7.2 程度、中部で M7.6 程度、南西部で M7.2 程度で、中部と南西部が同時に活動した場合では M7.9 程度であると評価した。長期評価で断層帯中部と南西部の将来の活動に 2 つの可能性が生じているのは、陸域と海域の古地震調査において活動履歴、特に最新活動時期が絞り込めていないことに起因する (地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2002)。

こうした背景を踏まえ、本調査では、断層活動履歴の解明に重点を置き、八代海における既存の調査データを参照しつつ、断層活動に伴う地層の変形形状を、ブーマー音源を用いたマルチチャンネル音波

探査とさらに周波数の高い機器を用いたシングルチャンネル音波探査によって検討した。そして反射断面で完新統中に断層変位が確認された箇所を対象に、断層を挟んだ両側でピストンコアを用いた堆積物採取を行い、活動時期を推定することとした。本報告はこのうちマルチチャンネル音波探査の概要とその結果について報告する。

2. 八代海の地形・地質概要

天草諸島と八代平野・九州山地に挟まれた八代海は、東西約 15 km 南北約 70 km の北北東-南南西方向の細長い内海である(第2図)。八代海北部(三角から田浦, 天草上島)には球磨川が形成する三角州が発達し、-20 m 以浅の浅海が広がる。田浦から樋島北方にかけては水深が急に深くなり -40 m に達する。これ以南では、樋島・御所浦島・獅子島の東岸に海底水道や瀬戸からの潮流による砂堆、海釜が発達するほか、御立岬から水俣沿岸にかけて水俣川や佐敷川の形成する小規模な三角州が分布する。このように八代海中部以南の東西縁はほぼ現世の堆積体の形成により、起伏に富んだ地形となっているが、それを除いては比較的平坦で、御所浦島と獅子島との境界に発達する海底水道に向かって緩やかに傾斜している。また、御所浦島南岸沖から田浦沖にかけては、活断層に沿った北西-南東方向の直線的な凹地が発達する。

3. マルチチャンネル音波探査の概要とデータ処理

マルチチャンネル音波探査は、平成 22 年 8 月 16 日～平成 22 年 9 月 9 日にかけて実施した。測線は、既存資料による音波散乱層や活断層の分布を参考に、断層の一般走向に直交する(御立岬から水俣市沖までは北北西-南南東方向、水俣市沖以南では北西-南東方向) 22 測線と、それらを対比するための断層の一般走向に沿った(御立岬から水俣市沖までは東北東-東南東方向、水俣市沖以南では北東-南西方向) 13 測線を配置した(第3図)。また、断層の変形構造や変位量を詳細に検討することを目的として、上記測線のモニター記録を参考に格子状の稠密測線を設定した(第3図中の GSY_X, GSY_Y, GSY_Z の測線群)。稠密測線は既存資料から完新統が比較的厚く、累積変位が捉えられると予想された北部セグメントに測線を集中させることとした。測線の総延長は約 388 km となった。

マルチチャンネル音波探査の音源にはブーマー(Applied Acoustic Engineering 社製 AA301 型)、受信器には 3.125 m 間隔にハイドロフォン 24 ch を組み込んだストリーマケーブル(Teledyne Technologies 社製 Mini-Streamer)を使用した。これらの機器は船尾から約 25 m 後方で曳航した。発振は 1 秒間隔であったため、発振間隔が受信点間隔(3.125 m)の約半分

となるように船速を 3 ノット(約 1.5 m/sec)程度に調整した。ストリーマケーブルで受信した受信波反射データは DAQ Link III (Seismic Source 社製)でデジタル収録すると共にグラフィックレコーダー(EPC Laboratories 社製 GSP-1086)に音波探査断面として描かせた。記録長は 400 msec, サンプル間隔 0.125 msec である。船位測定には DGPS (Trimble 社製 DSM232)を使用した。なお、発振テストにおいてストリーマケーブルの 19 ch に不具合が生じていたため 19 ch を Dead とした。第 1 表に探査仕様を示す。

取得されたデータは反射探査データ処理ソフト SPW (Parallel Geoscience 社製)を用いて、振幅補償、帯域周波数通過フィルター、デコンボリューションを含む一般的な CMP 重合法による処理を行った。なお、時間から深度への変換は、水中・堆積物中の音波伝搬速度を 1500 m/sec と仮定して行った。

4. 調査結果

4.1 音響層序

本調査では、まず取得・処理された反射断面の音響パターンに基づき 8 つのユニット(A1, A2, B1, B2, B3, D1, D2, E)に区分した。これらのユニットと、既存調査の層序区分(例えば、国土地理院, 1982 など)との比較、調査海域の海水準変動(有明海研究グループ, 1965)との照らし合わせから、調査海域における各ユニットを以下のように解釈した(第2表)。

1) A1 層

A1 層は、調査海域における最上部層であり、ほぼ全域に認められる。砂堆や三角州が分布するところでは、平行～斜交層理からなるプログラーションパターンが顕著に認められるが、それ以外では基本的に内部反射に乏しい(振幅が小さい)。また、層厚は著しく変化し、三角州の発達する御立岬～水俣沿岸においては最大で 15 m 程度の厚さが確認されるが、調査海域の中央部では下位の A2 層との区別が困難となる。これらの特徴から本層は主に現世の河川・潮流等によって形成された堆積体であると解釈される。

2) A2 層

A2 層は A1 層直下に分布する層で、平行に連続する内部反射によって特徴付けられる。田浦沖など、砂堆が発達するところでは、上位の A1 層とは不整合で接しており境界も明瞭である。本層は成層構造が発達することから、浅海域の堆積物と推定され、層厚は概して 10 m 未満である。

3) B1 層

B1 層は下位の B2 層の強反射面と A2 層に挟まれた地層で、A2 層と比較してやや連続性に欠けるものの平行な反射面を有する。本層の層厚は概して 10 m 未満であるが、断層際などで凹地が形成されやすい

場では急激に厚くなる。本層と上位の A2 層は縄文海進時堆積物と解釈した。両層に挟在する強反射面は火山灰やその再堆積層と推定される。

4) B2 層

B2 層は調査海域に広く分布し、上面は概して海面下 -40~50 m に分布する。上面は凹凸に富んだ侵食面の様相を呈する強反射面で、内部に縞状~波状の反射パターンが認められる。このことから、この強反射面が最終氷期の海面低下期の侵食面および埋没段丘面と考えられる。ピストンコアリングによる本層上面付近の放射性炭素 (^{14}C) 年代は、 $\delta^{13}\text{C}$ 補正值 (conventional age) で 11,350±50~12,960±60 yBP の年代を示しており、本層上面の侵食面の年代決定には、さらなる年代測定 (下位層を含めた連続的な試料採取) が望ましいが、本報告においては、本層上面の形成時期を最終氷期極相期 (約 1.8 万年) とみなした。

5) B3 層

B3 層は調査海域のほぼ全域に分布し、上面と基底面に強い反射面を有するが、これとは対照的に内部は白く抜ける反射パターンを示す。一部には本層中に強い反射面が発達する。本層は、内部反射が弱いことから Aso-4 火砕流堆積物 (85-90 ka; 町田・新井, 1992) に対比される。その層厚は概して 15 m 内外であるが、出水市沖合など八代海南部では 5 m 程度になり陸に向かって薄くなる。

6) D1 層

D1 層は B3 層よりも振幅が大きいものの、反射面の連続性や間隔は類似している。本層と上位の B3 層とは小起伏の強反射面によって区分される。この強反射面は断層周辺を除いて、非常に平坦であるが、獅子島周辺などでは海釜状の起伏も認められる。多重反射の影響から、下限が不明瞭であるが層厚は概ね 15 m 以下である。

7) D2 層

E 層の上位に不整合関係で累重する。上位層との境界は明瞭な反射面によって境され、上面には細かな起伏がある。内部は縞状~波状の反射パターンを示す。上位の D1 層も含めて Aso-4 火砕流堆積物以前の段丘堆積物に対比されるものと思われる。多重反射の影響から、本層の下限を定義するに足る明瞭な反射パターンの変化が捉えられておらず、層厚は不明である。

8) E 層

本層は調査海域で海底に基盤が露出する領域に分布し、傾斜する反射面を境にそれ以深で反射面がみられなくなるという特徴をもつ。上位層との境界は必ずしも明瞭ではないが、ブーマー音源に対する音響基盤とした。

4.2 マルチチャンネル音波探査の結果と地質解釈

反射断面には、深度 200 m 程度までの地質構造がイメージされている (本報告の反射断面は往復

走時 200 ms \approx 150 m までを表示)。以下では主な反射断面を用いて八代海海底断層群の分布と海底下の変形構造について詳述する。第 4 図に反射断面に捉えられた断層の位置、第 5 図~第 12 図には反射断面と音響層序に従った地質解釈断面、第 13 図には活断層分布図を示す。活断層の分布は、本調査の結果と既存の音波探査記録 (国土地理院, 1982, 1984; 九州電力, 2008) および海上保安庁海洋情報部 (未公表) の海底地形図「八代海陰影図」に基づいて推定した。また第 4 図の断層位置のマッピングの際、断層を挟んで地層が上下に食い違っている場合には、低下側にケバを付した。ただし、横ずれ断層に沿って認められる上下方向の食い違い量は、断層走向に変化しやすい (見かけや逆転もある) ことに留意されたい。

1) 八代海海底断層群北部

本調査における最北端の測線である GSY_1 測線 (第 5 図 a) では、B2 層および B3 層反射面の不連続と撓み下がる地質構造から、CMP1750-1800 付近に断層 (FA1) が認定される。この FA1 断層は、GSY_2 断面 (第 5 図 b)、GSY_A 断面、GSY_B 断面にも認められ、交差する各断面の比較から FA1 断層が北北東-南南西方向に伸びていると推定される。GSY_1 断面 (第 5 図 b) では FA-1 断層による変位が、A2 層の内部反射面に撓みとして表現されていることから、A2 層堆積中に断層活動が起きたことを示唆する。また、内部反射面は下位ほど撓み込みが大きく、その程度の違いから A2 層堆積中に 2 回の断層活動が推定される。これより南方の田浦沖になると FA1 断層に向かって D2 層以上の地層が撓み下がる様子が顕著となり、変形を受けた地層を剪断するほぼ垂直な断層が形成されている (GSY_18a 断面; 第 5 図 c)。FA1 断層の変位は A2 層・A1 層にもおよぶ。ここでの上下変位量は B2 層上面で 5 m、B3 層上面で 8 m である。

GSY_18a 断面や GSY_X 断面 (稠密測線)、GSY_3 断面の比較から、田浦沖より南方では活断層 (群) のトレースが北北東-南南西から北東-南西方向に変化していると判断される。また、それに応じるかのように、断層の配列や地層の変形構造も、1 つの断層に変位が集中するものから地溝状の構造を伴う断層群 (FA3 断層と FA5 断層との間に発達) へと変化している。その違いは GSY_18a 断面と GSY_3 断面 (第 6 図 a) の比較からもみてとれる。

GSY_3 断面 (第 6 図 a) では、CMP2000-1800 において D1 層以上に対比される反射面が下方への引きずり込まれており、変形を伴う 2 条の活断層 (FA3、FA4 断層) と両者に随伴する変位の小さな断層が認められる。この活構造はこれまで国土地理院 (1982) や活断層研究会編 (1991)、九州電力株式会社 (2008) で報告されてきた地溝状の構造を伴う活断層にほぼ一致する。FA3 断層と FA4 断層の間の B1 層以下の

地層は、FA4 断層に向かって落ち込んでいるが、これらを不整合に覆う A2 層に認められる断層変位は FA4 断層よりも FA3 断層の方が顕著である。B1 層上面における FA3 断層の上下変位量（断層を挟んだ B1 層上面の比高を上下変位とみなした）はおおよそ 2 m である。GSY_3 断面で確認された地溝状の変形構造は、これらを構成する断層が移り変わっているものの北東-南西方向に直線的に延びる。特に地溝は海底地形に現れていることから、GSY_3 測線から GSY_7 測線までは容易に追跡できる。

GSY_4 断面（第 6 図 b）では、大局的には、D1 層以上に対比される反射面が断面中央に向かって撓み下がりっており、最も落ち込んでいる CMP2300-2400 では FA3 断層と FA5 断層の間に地溝状の構造が形成されている。これより南東側には FA2, FA6~FA8 断層によってブロック化された地層が断層際でのロート状の落ち込みを伴いながら上下にずれている。また、これらのブロックが背斜状に盛り上がる構造も確認される。これらの断層による変位は A2 層（部分的に A1 層）にも達し、海底面に断層変位を反映した起伏（崖や凹み）が現れている。また GSY_4 断面で示された地下構造は、ずれや変形の程度は南に向かって小さくなるものの GSY_5 断面（第 7 図 a）や GSY_6 断面（第 7 図 b）でも確認できる。

GSY_7 断面（第 8 図 a）には CMP4050-4700 と CMP2250-2550 に密に発達する断層によって、明瞭な地溝構造が形成されている様子が捉えられている。これらの断層は B2 層を切っており、一部には上位の A2 層まで切る断層も存在する。また、海底面には変位と調和的な起伏が認められる。CMP4050-4700 は GSY_3 断面から連続して確認される地溝を伴う断層群（FA3 断層と FA5 断層）の南西延長、CMP2250-2550（第 8 図 b の FA10 断層）は GSY_4 断面等で確認された地層をブロック化させる断層（FA2, FA6~8 断層）の南西延長にあたる。ここでの上下変位量は FA7 断層で最も大きく、D1 層上面で約 14 m である。

GSY_8 測線（第 8 図 b）、GSY_9 測線（第 9 図 a）では、ロート状の引きずり変形や系統的な反射面の不連続から認定されるほぼ垂直な断層が複数認められる。特に FA11 断層は反射面の垂直方向のずれとして認定され海底近くまで変位が及ぶものである。しかし、D1 層の形状からも明らかなように、垂直方向のずれや背斜状の変形等はこれまでの反射断面と比較して軽微であり、断層構造端部あるいは断層構造が移り変わる様子を捉えているのではないかと考えられる。

2) 八代海海底断層群南部

GSY_10 断面（第 9 図 b）の CMP4100 付近には B2 層を変位させる断層（FA11）が認められる。この断層はやや南東へ傾斜し、GSY_8 測線付近から連続す

る断層である。CMP3000-2000 には 5 条ほど、B2 層以下の反射面系統的に引きずり下がる不連続面がある。不連続面を挟んだ反射面には顕著な縦ずれは認められないが、反射面の系統的な引きずりは断層活動に伴うロート状の引きずり変形が累積した構造であると判断される。このうち CMP2800, 2350 付近の断層では A2 層にも変位がおよんでいる。また、この断面では CMP1200, 300 にも断層が認められる。これらの断層の上下変位はわずかであるが、断層が密に分布する CMP3000-1200 にかけては、地層の背斜状の盛り上がりが形成されている。この北東隣の断面である GSY_9 断面（第 9 図 a）の CMP2750-4200 で捉えられている反射面の乱れはこの構造の末端部を捉えた構造であると推定される。

この GSY_10 断面の地質構造は八代海海底断層群南部にはほぼ共通する特徴である。すなわち、第 10 図から第 12 図 a に示した GSY_12 測線から GSY_16 測線の各断面の北西側には D1 層および B3 層を切るほぼ垂直な断層が判読できる。それに伴う地層の変形構造は、わずかにロート状の落ち込みが形成される程度で、顕著な褶曲を伴わないのが特徴である。そして、これとは対照的に各断面の中央~南東側には、GSY_10 断面の CMP3000-2000 で見られるような密な断層の発達とその変位の累積によって地層が背斜状に盛り上がる変形構造や、断層が疎らであっても褶曲を伴うなど起伏に富んだ地質構造が卓越する。また、GSY_15 断面の CMP5200-6600, GSY_16 断面の CMP0-3100 では、ほぼ垂直な断層によって上部更新統以下の地層が階段状に落ち込むという特異な構造が発達している。これらの断層は更新統中の変位の累積が明瞭な活断層で、その上下変位量は D1 層上面では 2~5 m, B3 層上面では 1~3 m 程度である。しかし、これらの断層の完新世における活動は、完新統の発達が悪いために判読できない。

本調査最南端に位置する GSY_17 測線（第 12 図 b）では、複数の断層によって地層が背斜状あるいは階段状に変形する地質構造が判読出来ず、反射面の不連続、撓みなどから判断される断層が 5 条認められる。これらは中部~上部更新統を変位させる断層で黒ノ瀬戸方向へ延びる。なお、この付近では、海底地形図からも明らかなように、海底に基盤岩類が露出し、完新統を欠いている所も少なくない。そのため、完新世の活動を示す層準を特定することは困難である。

5. 八代海海底断層群の断層形状

マルチチャンネル音波探査の結果、八代海に非常に多くの断層が存在することが再確認された（第 13 図）。その大部分は Aso-4 火砕流堆積物相当の B3 層を変位させるものであり、完新統を変位させる活断

層は調査海域の北部に多いことが分かった(第4図)。また、海底下の地質構造も走向方向に多様に変化し、断層によってブロック化された地層が背斜状の盛り上がりを形成したり、地溝を形成している。それは複数の断層が関連し合っただけでなく、更新統一完新統の変形に対して関連し合っていると推定される断層同士とその連続を追跡することによって、調査海域の活断層は、いくつかの断層群に整理される。

本章では更新統一完新統の変形構造から調査海域の活断層を田浦一津奈木断層群、獅子島東方断層群、水俣断層群、出水断層群の断層群に区分し(第13図)、以下に特徴を記述する。ただし、佐敷から津奈木の沖に分布する活断層、黒之瀬戸に向かって分布する活断層については、連続性に乏しく近接する断層や変形構造とのつながりが不明なため、どの断層群に属するのかが今後の課題とする。

1) 田浦一津奈木断層群の分布形状

田浦一津奈木断層群は、陸域の日奈久断層の海域延長に位置する断層群で、主に、御立岬沖から海底地形にみられる直線的な凹地に沿って延びる断層(地溝を形成する断層群)とこれより南東側へ弧を描くように延びる断層、これらの間に形成される複数本の断層から構成される。これらの断層の多くは正断層で、明瞭な上下変位を伴う断層は、獅子島南岸の沖合付近まで追跡される。断層群の延長は約20 kmにおよぶ。また、FA3とFA5断層の南端やFA10断層では、並走する断層との間に地層が落ち込むような変形構造(ネガティブフラワー構造)を形成している。フラワー構造を形成する断層群は、地下深部で収束すると推定される。また、FA3断層とFA2断層の間では地層が背斜状に高まっており、このような地質構造を説明する上で、これらの断層が構造的に連結していると考えるのが妥当と判断する。すなわち、背斜状の盛り上がりは、活断層の幾何学的形状に支配されたポジティブフラワー構造を表現しており、同時に本断層群が右横ずれを主体とする断層であると示唆される。なお、本断層群の最北端では音波散乱層の影響で不確かな点があるが、FA1断層の存在が確認されることから、従来、八代海海底断層群と呼ばれた断層群の北端は、日奈久断層の南西端に当たる御立岬ではなく、これ以北に延長される。

2) 獅子島東方断層群の分布形状

獅子島東方断層群は、田浦一津奈木断層群の南西延長に位置する断層群で、主に、北北東一南南西走向の断層からなる。南西に向かって広がる分布を示し、断層群の長さは約18 km、断層群を構成する断層はほぼ垂直な断層面を有し、北西落ちが卓越

する。また、断層面近傍の地層はロート状に変位するものが多い。

3) 水俣断層群の分布形状

水俣断層群は、水俣市の北西3~5 km沖合から出水市の北8 km沖合にかけて分布する断層群で、断層長5 km程度の並走する断層からなる。この断層群は田浦一津奈木断層群以南から獅子島東方断層群と出水断層群との間に位置する。主に北東一南西走向を示し、特に断層が密に集中するところでは、断層変位によって背斜状の盛り上がり形成されている。断層面は高角で北西側に分布する断層は南東傾斜、南東側に分布する断層は北西へ傾斜する傾向にある。

4) 出水断層群の分布形状

出水断層群は、出水市の北5~8 km沖合に分布する主に東北東一西南西走向の多数の断層からなる。断層は北西側へ撓む地層をほぼ垂直に剪断しており、南東落ちを示し、全体として沖合(北西側)へ階段状に下がる地質構造を形成する。すなわち、地層の撓み下がる方向と逆方向の落ちを示すことで特徴付けられるアンティセティック断層が発達していると理解される。この断層は陸域の水俣断層群・笠山周辺断層群とよく似た特徴を有し、その海域延長にあたるものと推定される。

調査海域の活断層に対して、以上のグループを提示したが、田浦一津奈木断層群と獅子島東方断層群の境界には、不明瞭ながら、反射面の系統的な屈曲として表現される短い断層が存在する。そのため、構造的に全く連続していないとも判断できない。田浦一津奈木断層群と獅子島東方断層群をあわせた活動区間の長さは約35 kmとなり、地震調査研究推進本部地震調査委員会(2002)の長期評価(約27 km)よりもやや長くなる。

6. 八代海海底断層群の活動履歴

田浦一津奈木断層群では完新世に繰り返し活動があったことを示す反射断面がいくつか得られている。以下ではピストンコアと反射断面の比較に基づき、田浦一津奈木断層群の北部と分岐断層の発達する同断層群中部における活動履歴について考察する。また、以下で用いる¹⁴C年代は $\delta^{13}\text{C}$ 補正值(conventional age)とした。ピストンコアリングの詳細は井上ほか(2011, 本報告)を参照されたい。

田浦一津奈木断層群北部を代表するGSY_18a断面から、イベント解釈のために各層の内部反射とR1~R4の不整合面を抽出した(第14図a)。R1は音響層序B1層上面に当たり、FA1断層を挟んで上下に5 m程度の落差が生じ、北西側の地層には引きずり変形が認められる。R2はR1より上位の堆積層を切

る侵食面で、音響層序の A2 層上面にあたる。R2 はピストンコアのおおよそ 3,000~1,000 yBP を示す砂層にほぼ一致することから弥生の小海退（有明海研究グループ、1965）に対応した侵食面であると解釈される。R2 は R1 直上の地層のような引きずり変形は軽微であるものの、断層を挟んで 2 m 程度の落差が生じている。R3 は R2 後の堆積層を切る侵食面で、断層より南東側の堆積層が断層に向かって撓み込んでいるようにもみえるが、本音波探査の分解能が 1 m 程度であることを考慮すると、これらが変位であると認定するのは困難である。R4 は R2・R3 を切る侵食面で、断層による変位・変形は認められない。したがって、この断面から推定される断層の活動として、1) R1 以後-R2 以前 (Event I)、2) R2 以後-R3 以前 (Event II)、があげられる。それぞれの不整合面とピストンコアとの対比 (第 14 図 b) から、イベントの時期はそれぞれ Event I : 10,810±40 yBP 以後、2,660±40 yBP 以前、Event II : 1,680±40 yBP 以後、630±40 yBP 以前と推定される。

田浦一津奈木沖断層群中部の分岐断層を代表する GSY_5 断面からは、前述の GSY_18a 断面と同様にイベント解釈のために各層の内部反射面と R6~R9 の強反射面を抽出した (第 15 図 a)。R6 は音響層序 (第 2 表) の B1 層上面、R7 は A2 層中の強反射面で R6 と同程度の変位・変形を有する。R8 は A2 層上面で断面全体にわたって追跡可能で、FA3 断層、FA5 断層、FA6 断層によるロート状の変形が認められ、FA5 断層を挟んで上下に 2 m 弱の落差も生じている。しかし、R8-R7 間の累積変位は断面からは判断できない。R9 は海底面直下をなぞったものであるが、断層による変位は認められず、FA5 断層周辺では、やや下位層を侵食しているように見える。

したがって、FA5 断層の活動履歴で確かなことは R8 以後-R9 以前に活動があったことである。また、F6 断層についても同様に R8 以後-R9 以前の活動が推定される。R8 の形成時期はピストンコアとの対比から、9,900±50~1,920±40 yBP と幅を持った推定しかできないが、HG_1 において R8 より下位に K-Ah (7.3 ka; 町田・新井、1992) が産出していることから、R8 形成時期は K-Ah 降下後、1,920±40 yBP 以前に絞られる。また、R9 は 1,920±40 yBP 以後と推定される。したがって、断層の活動時期として、K-Ah 降下後、1,920±40 yBP 以前 (Event III) が推定される。

北部と中部で推定されたイベントは、必ずしも一致しておらず、時間分解能が低いためにイベントの時期も絞り込めていない。また、FA1 断層と FA5 断層は海底下 200 m 程度において一つの断層面として追跡される訳ではない。しかし、活断層の分布 (第 13 図) は、ほぼ一直線上に並んでおり、これらが共通の震源断層から派生した断層群である可能性が高い。その場合、北部の Event I は中部の Event III に対比されよう。一方、中部において Event II が検出さ

れなかった要因としては、中部は北部に比べて堆積速度が遅く、また R9 が侵食面であることから、地層中にその痕跡が残らなかった可能性が考えられる。

したがって、北部の Event I が中部の Event III に対比された場合、田浦一津奈木沖断層群は少なくとも完新世に 2 回活動したと推定される。活動間隔は両者の時間差から 7,000 年未満と推定される。なお、R1 から R2 の時間間隔 (約 8,000 年) は R2-R3 (約 1,000 年) と比較しても長く、この間に活動があったことは否定できないため、活動間隔が短くなる可能性がある。また、反射面の解釈から獅子島東方沖断層群は少なくとも完新世に、水俣沖断層群、出水沖断層群については、後期更新世 (最終氷期極相期以後) に活動したと推定される。しかし、反射面と直接的な年代指標との対比がなされていないため、信頼性は低い。

歴史記録である『続日本紀』には、西暦 744 年に肥後国の八代・天草・芦北に被害をもたらす地震あったと記録されている (宇佐美、2003)。そしてこの際、1520 人あまりの人が水をかぶって漂没したとの記述がある。これが高潮や山崩れに起因する洪水である可能性もあるが、津波による被害とも読み取れる。この西暦 744 年は上記の Event II の時期 (1,680±40 yBP 以後、630±40 yBP 以前、暦年校正後の年代は AD 250~430 年以後、同 1680~1900 年以前) にあたることから、この地震は八代海海底断層、特に海底面に崖が残る田浦一津奈木沖断層群が活動した可能性が高い。

7. まとめと今後の課題

本調査では、布田川・日奈久断層帯南西部にあたる八代海海底断層群の分布形状や変位様式、活動履歴を明らかにすることを目的に、芦北町 (御立岬) 沖から出水市沖にかけて高分解能マルチチャンネル音波探査を行った。成果を以下にまとめる。

- 1) 八代海には上部更新統に変位を与える北北東-南南西走向~北東-南西走向の多数の活断層が存在することが再確認された。このうち完新統に明らかな変位をもたらす活断層は北部に集中する。
- 2) 海底下の上部更新統-完新統の変形構造に基づき、八代海に分布する活断層を大きく 4 つのグループ (北より田浦一津奈木沖断層群、獅子島東方沖断層群、水俣沖断層群、出水沖断層群) に分けた。活断層の平面形態と上部更新統の変形構造から、少なくとも八代海海底断層群の北半部 (田浦一津奈木沖断層群) は右横ずれ断層と判断される。
- 3) 反射断面とピストンコアとの照らしあわせから、田浦沖一津奈木断層群において完新世に少なく

とも2回の活動が推定される。ひとつはK-Ah降下(7.3 ka)以後, 2,660±40 yBP以前, もうひとつは1,680±40 yBP以後, 630±40 yBP以前である。このうち後者の活動は『続日本紀』に書かれている西暦744年肥後国の地震(宇佐美, 2003)に対応する可能性が高い。

調査地域の重要な課題である陸域活断層と海域活断層が同時に活動するか否かについては, それぞれのさらなる情報をえて検討すべきである。特に, 本調査海域に関しては, 海底下の堆積層の年代データが乏しいため, 取得された反射断面のイベント解釈の精度を向上させるためにも, 本海域の音響層序がどのような地層と年代に対応するのかを明らかにすることが求められる。また, 今回の調査では, 稠密測線を設けてデータを取得したが, 断層の横ずれ量を計測するは至らなかった。しかし, 調査海域は静穏で音波探査を実施するには恵まれた海域である。またB3層やB2層など広範囲に追跡される堆積層も存在している。このことから本海域における3D音波探査の適用が横ずれ断層の変形様式の解明に資するものと期待される。

謝辞 本論は文部科学省「沿岸海域における活断層調査」の一環として行った成果の一部である。現地調査と一部データの再処理は大和探査技術株式会社に委託した。熊本県および鹿児島県の関連機関らびに, 熊本県漁業協同組合連合会の第四部会, 第五・第六部会, 鹿児島県北さつま漁業協同組合, 同県東町漁業協同組合には, ご理解とご協力を賜った。熊本県漁業協同組合連合会(第四部会)・水俣漁業協同組合からは調査船をお借りした。以上のみなさまに深謝いたします。

文 献

有明海研究グループ(1965)有明・不知火海の第四系, 地学団体研究会専報11号, 86p.
 千田 昇(1979)日奈久断層の第四紀後期における断層運動. 東北地理, 31, 172-179.
 千田 昇・岡村 眞・小川光明(1991)八代海海底活断層について. 活断層研究, 9, 93-97
 原子力発電技術機構(1996)平成7年度原子力発電立地確認調査に関する報告書(1), 159p.
 原子力発電技術機構(1997)平成8年度原子力発電立地確認調査に関する報告書(1), 153p.

原子力発電技術機構(1998)平成9年度原子力発電立地確認調査に関する報告書(1), 136p.
 井上直人・北田奈緒子・越後智雄・久保尚大・一井直宏・林田 明・坂本 泉・滝野義幸・楳原京子(2011)布田川・日奈久断層帯海域部におけるピストンコア調査. 活断層・古地震研究報告, No.11, 295-308.
 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2002)布田川・日奈久断層帯の評価, 地震調査研究推進本部HPホームページ(http://www.jishin.go.jp/main/chousa/02may_futagawa/index.htm)
 活断層研究会編(1991)新編日本の活断層—分布図と資料—, 東京大学出版会, 437p.
 国土地理院(1982)沿岸海域基礎調査報告書(水俣地区), 国土地理院技術資料, D・3-No.39, 119p.
 国土地理院(1984)沿岸海域基礎調査報告書(出水地区), 国土地理院技術資料, D・3-No.50, 97pp.
 熊本県(1996)布田川断層・立田山断層に関する調査 成果報告書. 293p.
 熊本県(1998)平成9年度地震調査研究交付金 日奈久断層に関する調査 成果報告書. 180p.
 九州活構造研究会編(1989)九州の活構造. 東京大学出版会, 553p.
 九州電力株式会社(2008)原子力安全委員会 地震・地震動評価委員会及び施設健全性評価委員会資料「WG3第40-5号 川内原子力発電所 敷地周辺・敷地近傍の地質・地質構造(補足説明: その2)」
http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/taishin_godo_WG3/taishin_godo_WG3_40/taishin_godo_WG3_40.htm
 町田 洋・新井房夫(1992)火山灰アトラス—日本列島とその周辺, 東京大学出版会, 276p.
 斎藤 眞・宝田晋治・利光誠一・水野清秀・宮崎一博・星住英夫・濱崎聡志・阪口圭一・大野哲二・村田泰章(2010)1:200,000地質図「八代及び野母崎の一部」.
 下川浩一・衣笠善博(1999)日奈久断層系の活動履歴及び活動性調査. 地質調査所速報, 平成10年度活断層・古地震研究調査概要報告書, 253-262.
 宇佐美龍夫(2003)最新版 日本被害地震総覧 [416]-2001. 東京大学出版会, 605p.

(受付:2011年10月28日, 受理:2011年11月7日)

第1表. 高分解能マルチチャンネル音波探査のデータ取得仕様.

Table 1. Data acquisition parameters for the high-resolution multi-channel seismic profiles.

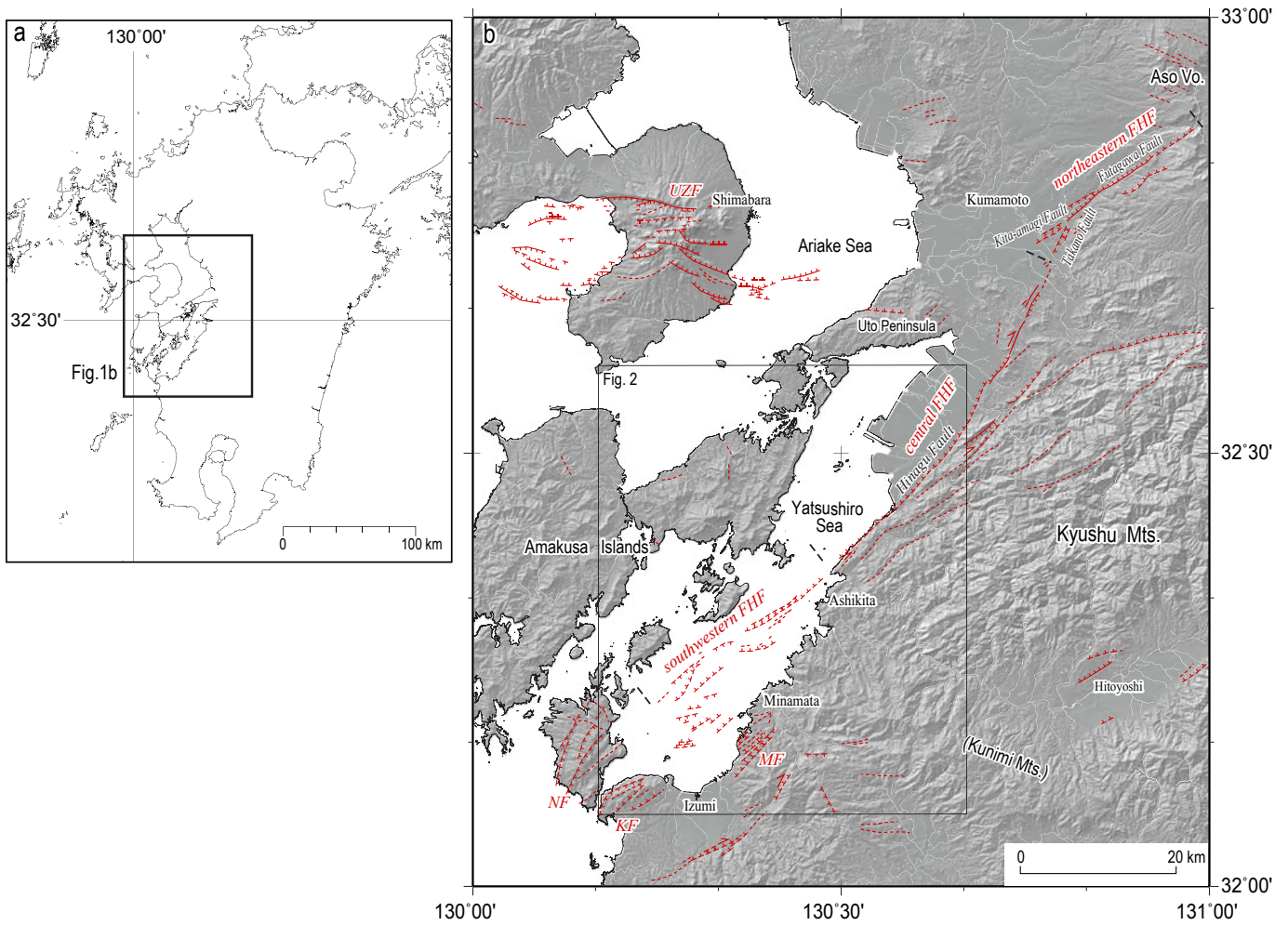
Source	
Source type	Boomer AA301 (Applied Acoustic Engineering)
Energy	300 J
Frequency	300-3800 Hz
Shot interval	1sec (approx. 1.5 m)
Receiver	
Receiver type	Mini-streamer (Teledyne Technologies)
Active Ch.	23 ch (19th ch. = dead)
Receiver interval	3.125 m
Recording	
Instruments	DAQ Link III (Seismic Source)
Sampling freq.	8000 Hz (0.125 msec)
Recording length	0.4 sec
Navigation system	DGPS (Trimble DSM232)

第2表. 調査海域の音響層序.

Table 2. Acoustic stratigraphy of the study area.

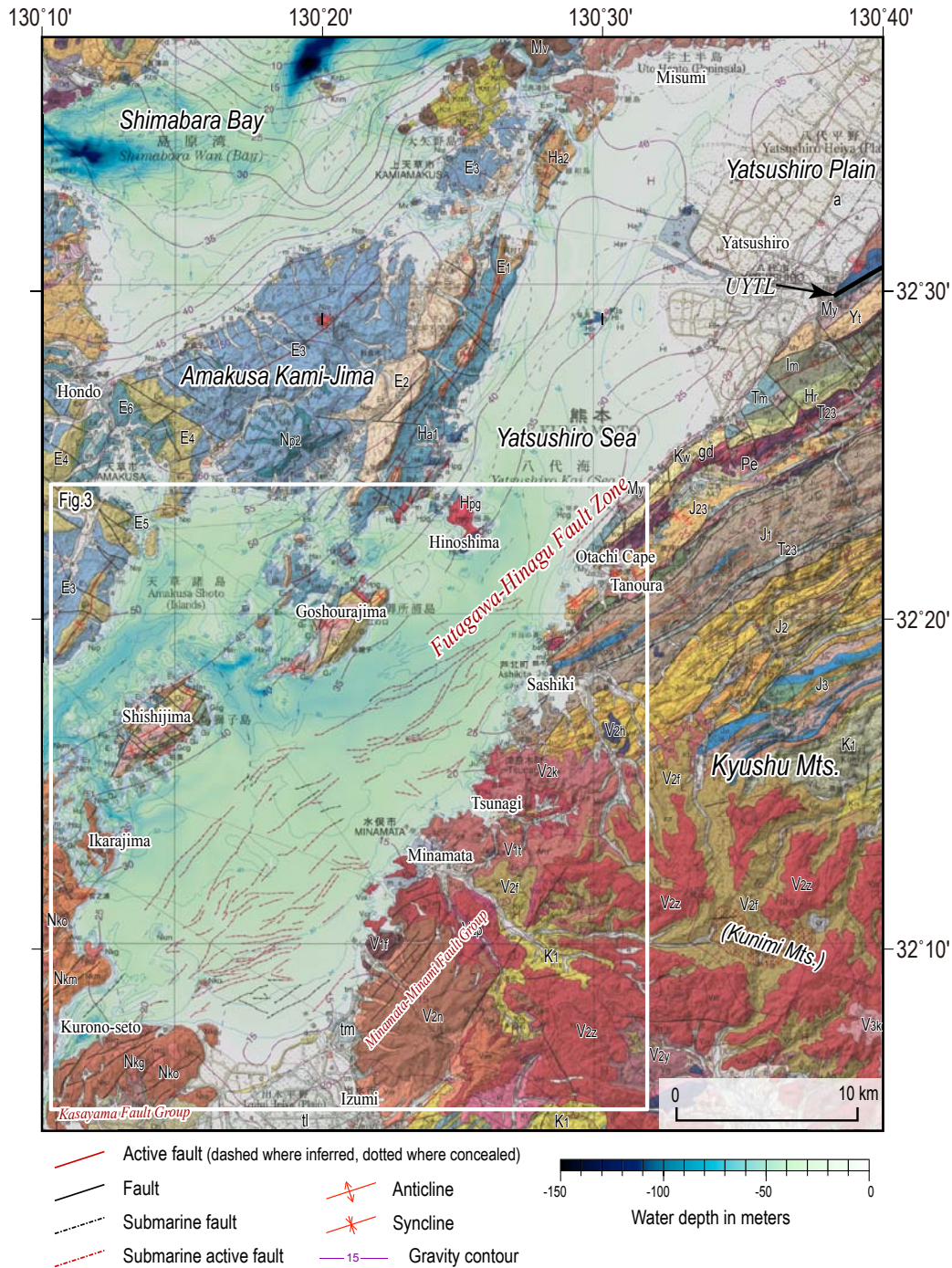
Unit	seismic texture attributes	interpretation	
A1	continuous, moderate to low amplitude high to moderate frequency sigmoid-oblique	delta, dune, bar	Holocene
A2	continuous, moderate amplitude high to moderate frequency agradational, parallel	RSE?	
B1	continuous, high amplitude moderate frequency agradational, parallel	RSE?	late Pleistocene
		Alluvium transgressive deposits	
		LGM erosional surface	
B2	discontinuous, high amplitude moderate to low frequency subparallel, chaotic	~MIS2 terrace deposits	
B3	mostly transparent layer (low to moderate continuity low-amplitude, low frequency)	Aso-4 volcanic sediments	
D1			late Pleistocene
D2	moderate continuity, low to moderate amplitude, low to moderate frequency	~ MIS6 terrace deposits	
E	acoustic basement	basement rock etc.	

RSE: regressive surface of erosion, LGM: last glacial maximum



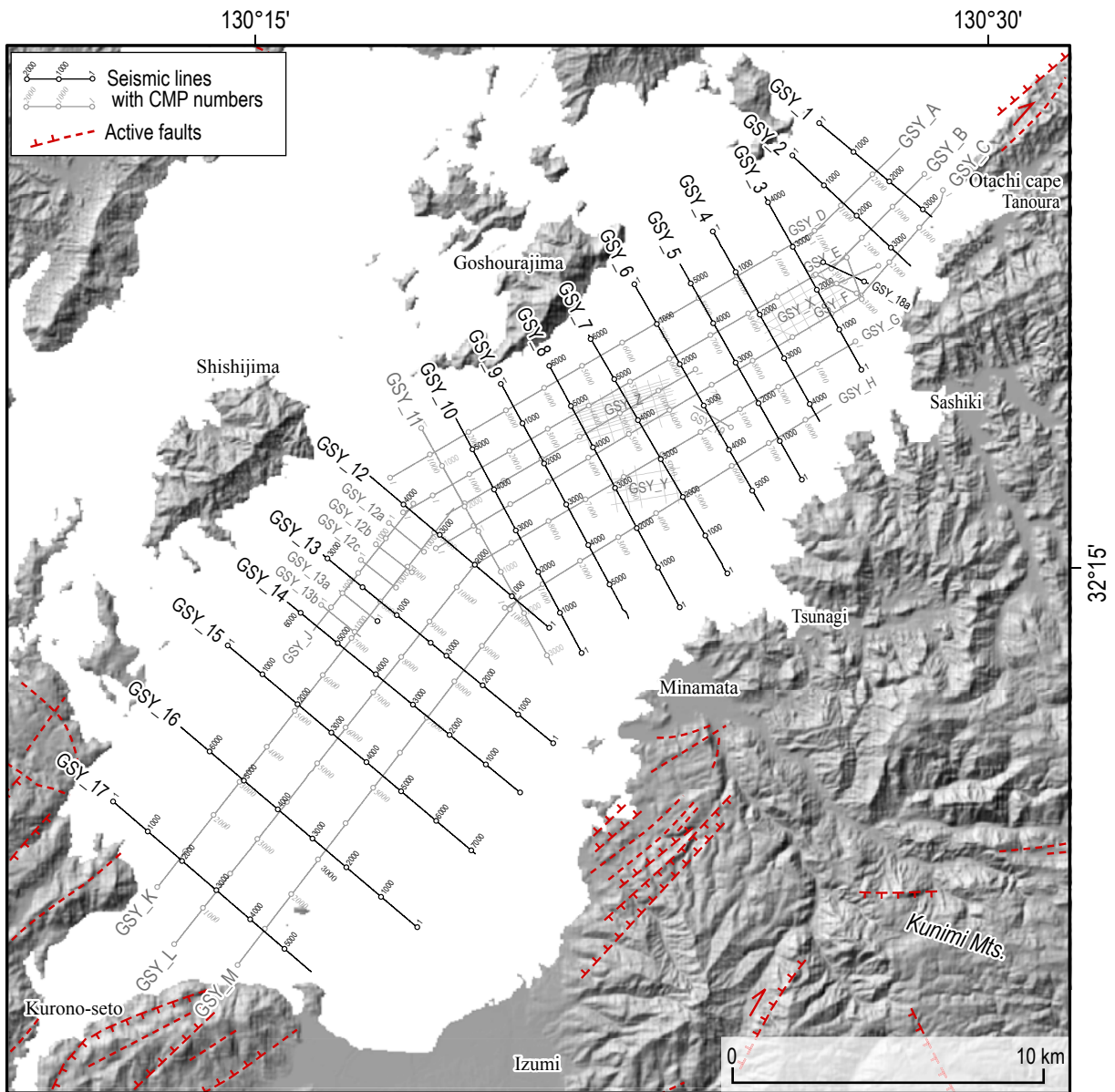
第1図. 八代海および周辺地域の活断層分布. 活断層は活断層研究会編(1991)による. 陰影図は国土地理院発行数値地図標高50mメッシュデータを使用. UZF: 雲仙断層群, FHF: 布田川・日奈久断層帯, MF: 水俣南断層群, KF: 笠山周辺断層群, NF: 長島断層. 黒破線は布田川・日奈久断層帯の北東部・中部・南西部の境界を示す.

Fig. 1. Active fault map of the Yatsushiro Sea and its surroundings. Active fault traces are from the Research Group for Active Faults of Japan (1991). Shaded relief map is based on 50-m mesh DEM of Geospatial Information Authority of Japan. Fault abbreviations: UZF; Unzen Fault Group, FHF; Futagawa-Hinagu Fault Zone, MF; Minamata-minami Fault Group, KF; Kasayama Fault Group, NF; Nagashima Fault. Black dashed lines represent approximately boundaries between the northeastern, central, and southwestern Futagawa-Hinagu Fault Zone.



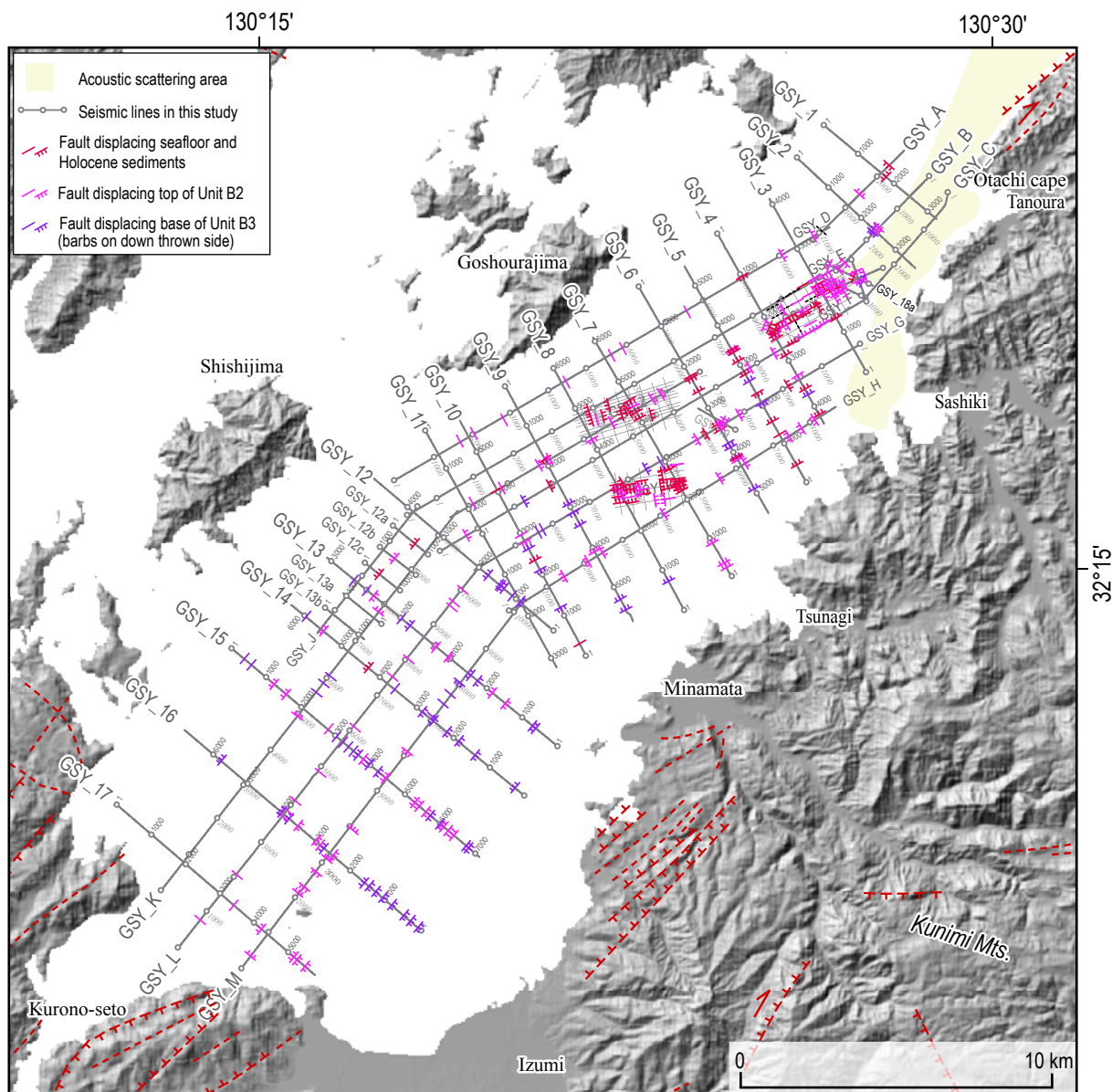
第2図. 八代海および周辺地域の地質 (斎藤ほか, 2010). 水深図には (財) 日本水路協会発行・海底地形デジタルデータ「M5016 八代海」を使用. ジュラ紀から古第三紀の付加帯堆積物 (J1, J2, J23, J3, K1, K2, Pgx*) は九州山地北部を構成し, 天草諸島を含む臼杵-八代構造線 (UYTL) より北西側には, ジュラ紀から古第三紀の正常堆積物 (My, Tm, Kw, Im, Yt, Hr, Hax*, Hbx*, Ex*) が分布する. 国見山地およびその周辺ではこれらを中中新世~前期更新世の火山岩類 (V1x*, V2x*, V3x*: 肥薩火山岩類, Nkx*, Ngx*: 長島火山岩類, Mv, Ov) が覆う. 沖積層 (a) や段丘堆積物 (tl, tm) は八代海周辺の平野や盆地に分布する. *x や xx は細分コードを示す. 詳細は斎藤ほか (2010) を参照.

Fig. 2. Geological map of the Yatsushiro Sea and its surroundings (from Saito *et al.*, 2010). Bathymetry map is based on bathy-topography digital data [M5016 Yatsushiro Kai] published by Japan Hydrographic Association. The Jurassic and Paleogene accretionary complexes (J1, J2, J23, J3, K1, K2, Pgx*) comprise the northern Kyushu Mountains. The Cretaceous to Paleogene coherent strata (My, Tm, Kw, Im, Yt, Hr, Hax*, Hbx*, Ex*) are distributed in the northwest side of the Usuki-Yatsushiro Tectonic Line (UYTL), including Amakusa Islands. The late Miocene to early Pleistocene volcanic rocks; Hisatsu Volcanic Rocks (V1x*, V2x*, V3x*), Nagashima Volcanic Rocks (Nkx*, Ngx*) and others (Mv, Ov), unconformably overlie the Jurassic to Paleogene strata in Kunimi Mountains and its surroundings. Alluvial deposit (a) and terraces deposits (tl and tm) are distributed in coastal plains and inland basins. *x and xx indicate subdivision code; refer to Saito *et al.* (2010) for details.



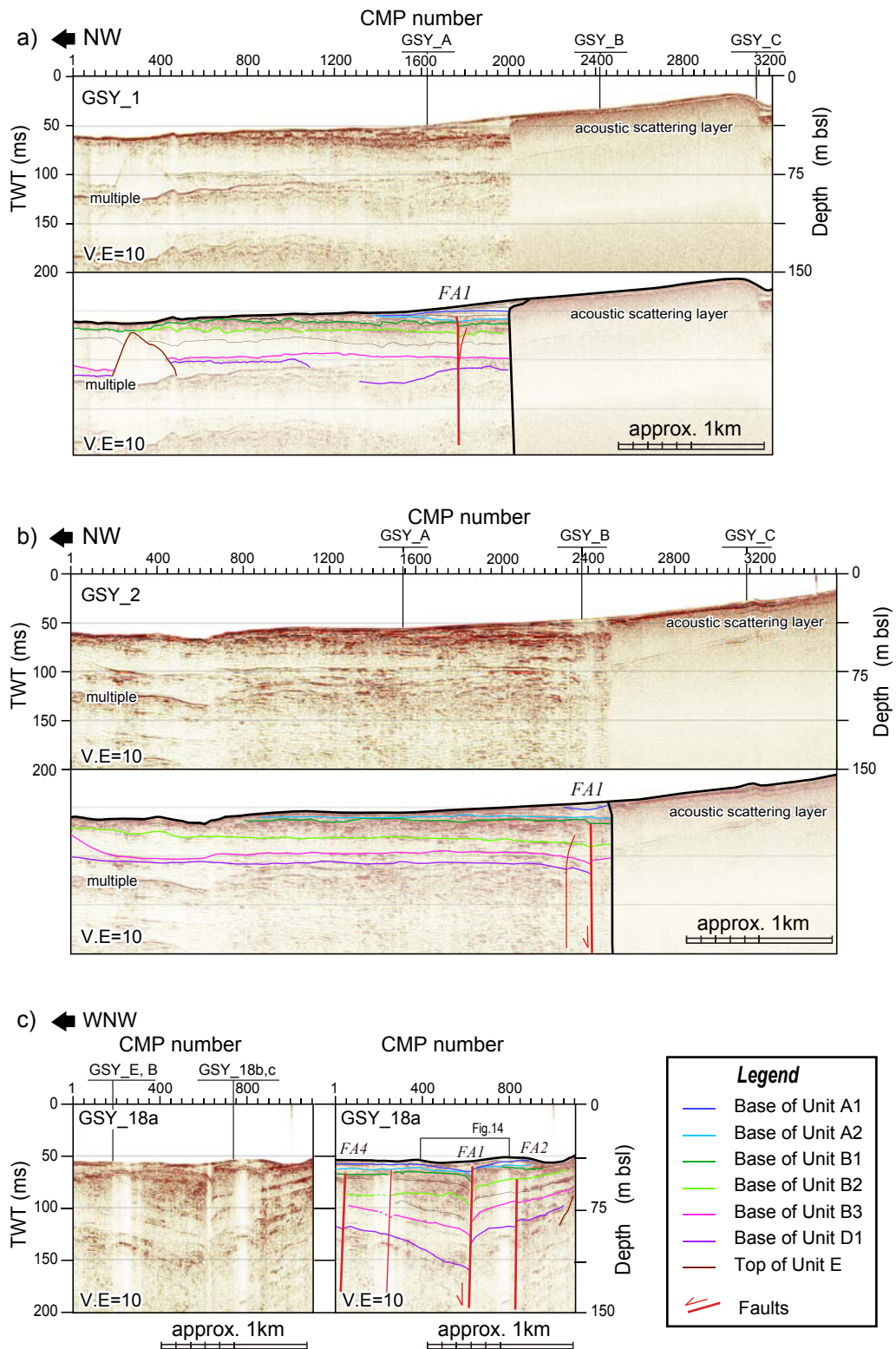
第3図. 高分解能マルチチャンネル音波探査測線の位置図. 本報告に用いた測線を太線で示す. 陸上の活断層は活断層研究会編 (1991).

Fig. 3. Location of high-resolution multi-channel seismic profiles. Seismic reflection profiles presented in this paper are marked by thick lines. Onshore active faults are from the Research Group for Active Faults of Japan (1991).



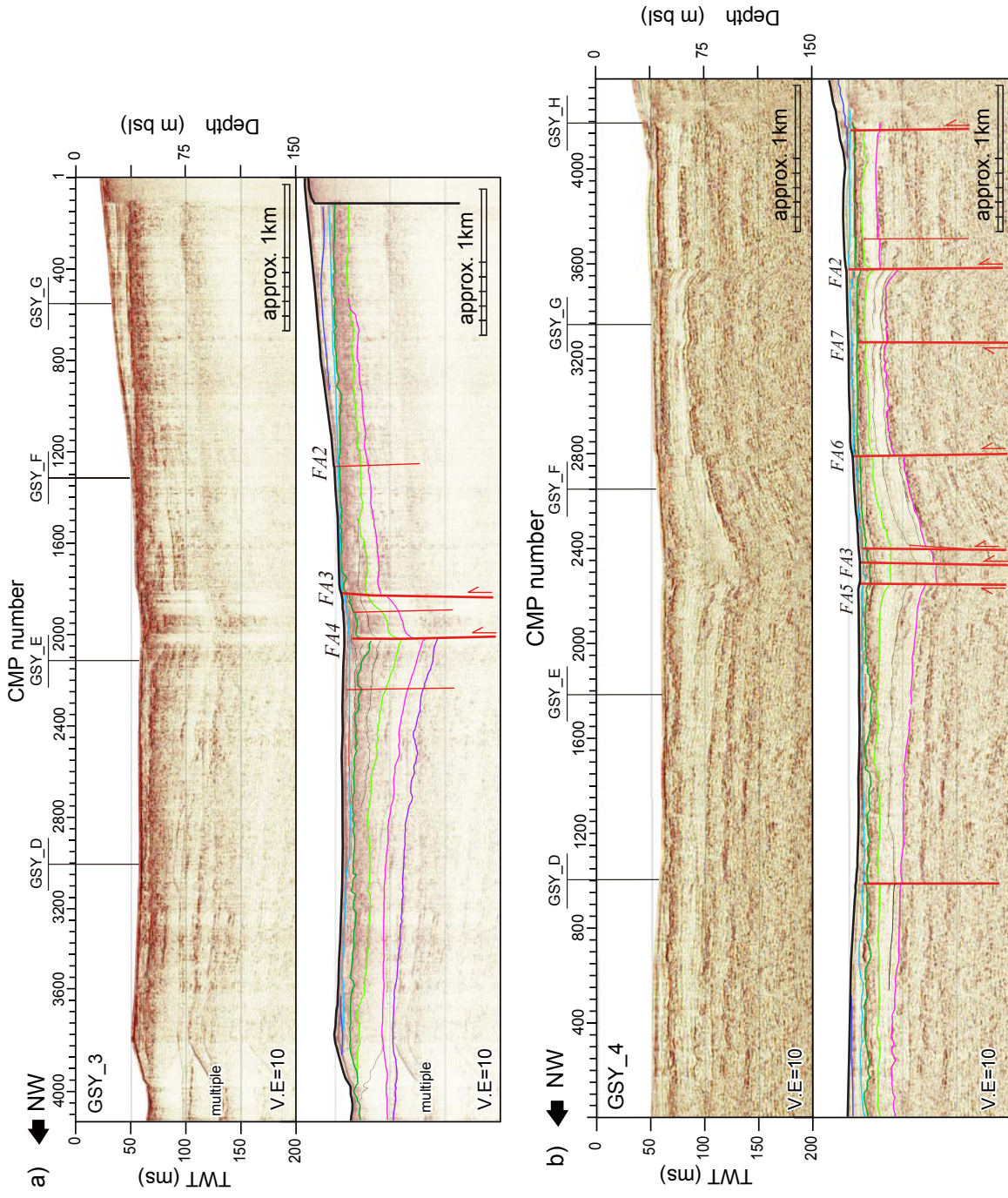
第4図. 反射断面に認められた断層構造の分布.

Fig. 4. Distribution of active faults identified by high-resolution seismic reflection profiles.

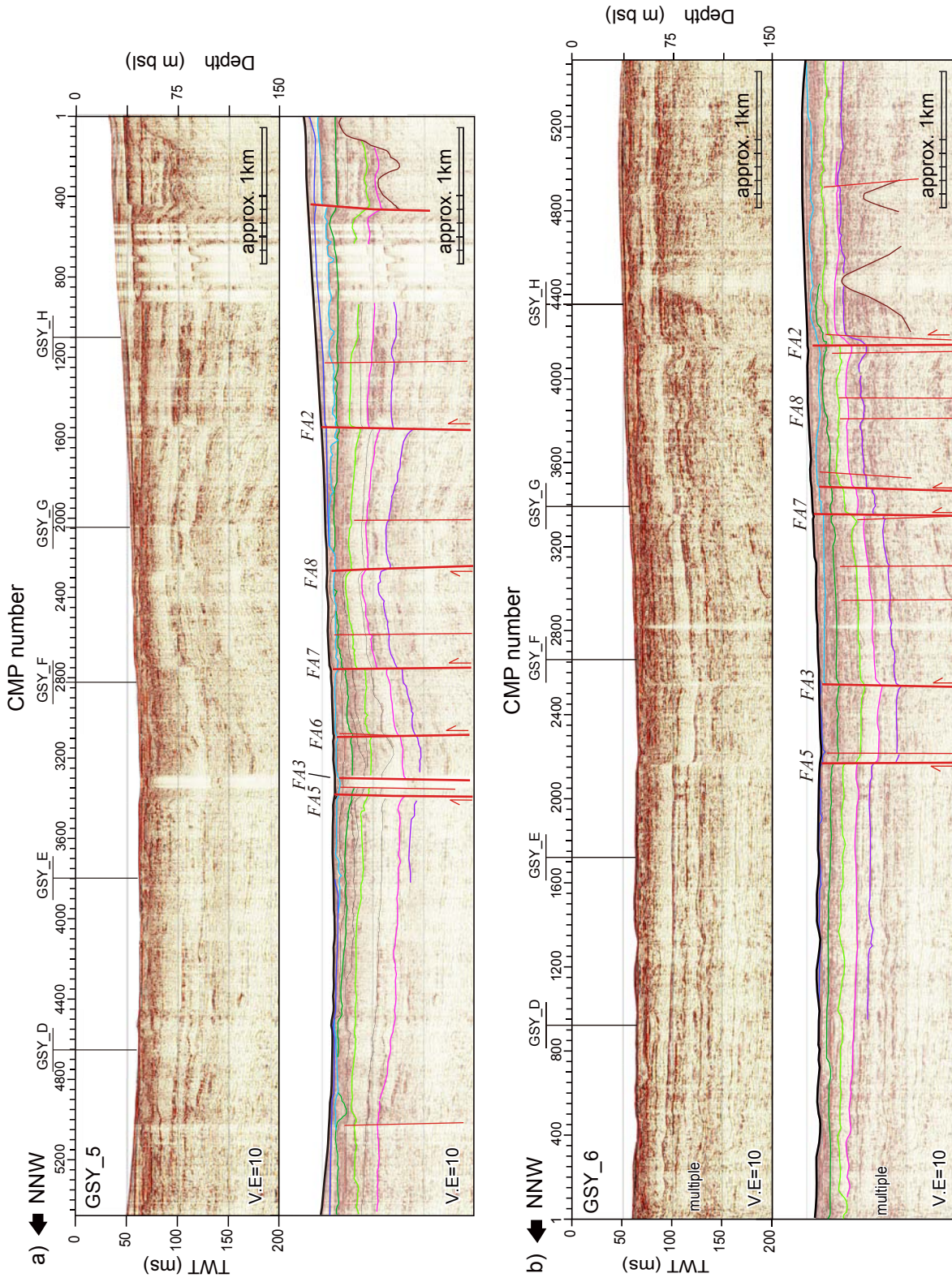


第 5 図. GSY_1 測線・GSY_2 測線の反射断面図.

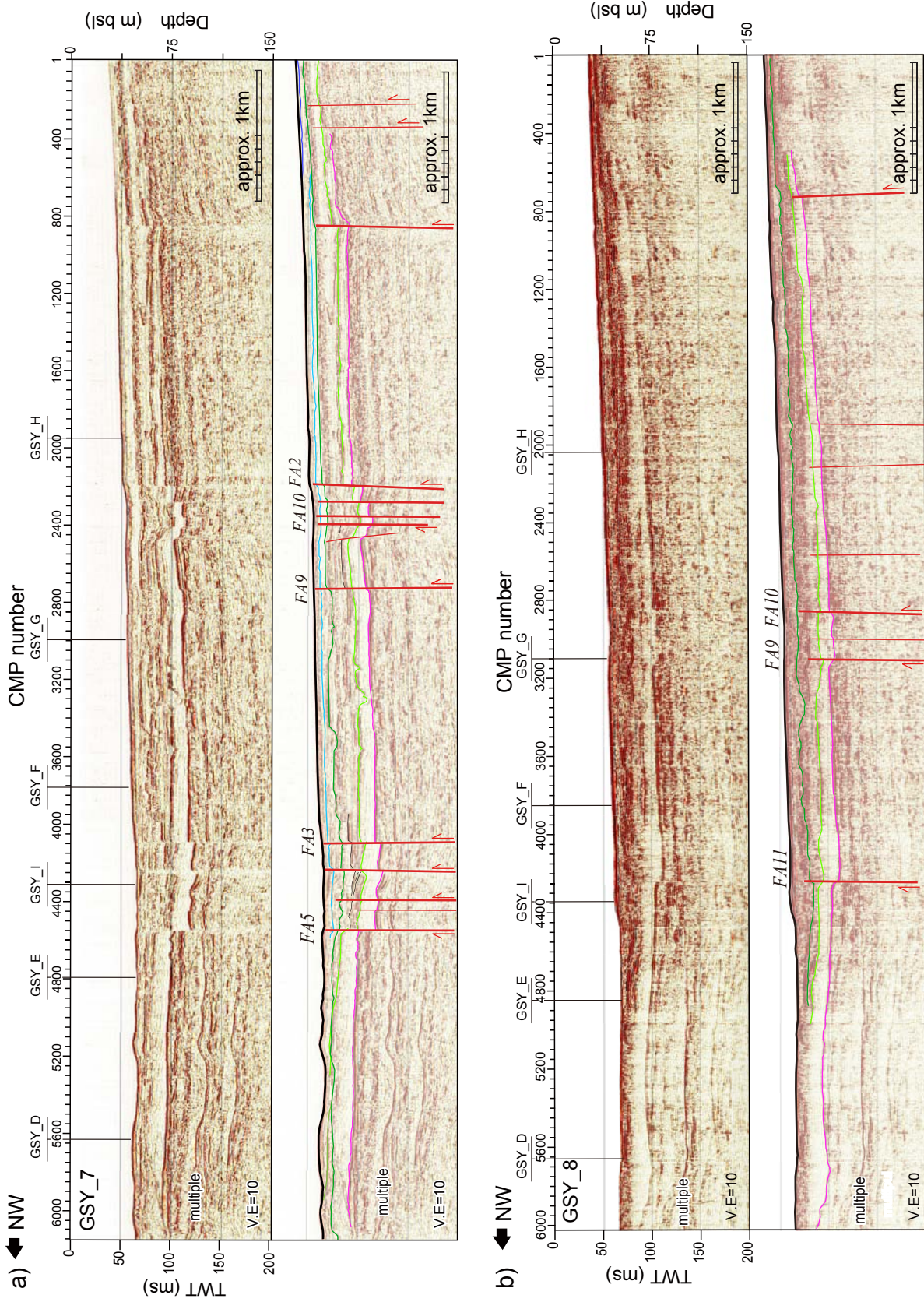
Fig. 5. High resolution seismic reflection profiles, GSY_1 and GSY_2, showing acoustic stratigraphies and faults. Red and black lines are active faults and faults, respectively. See Fig. 3 for locations.



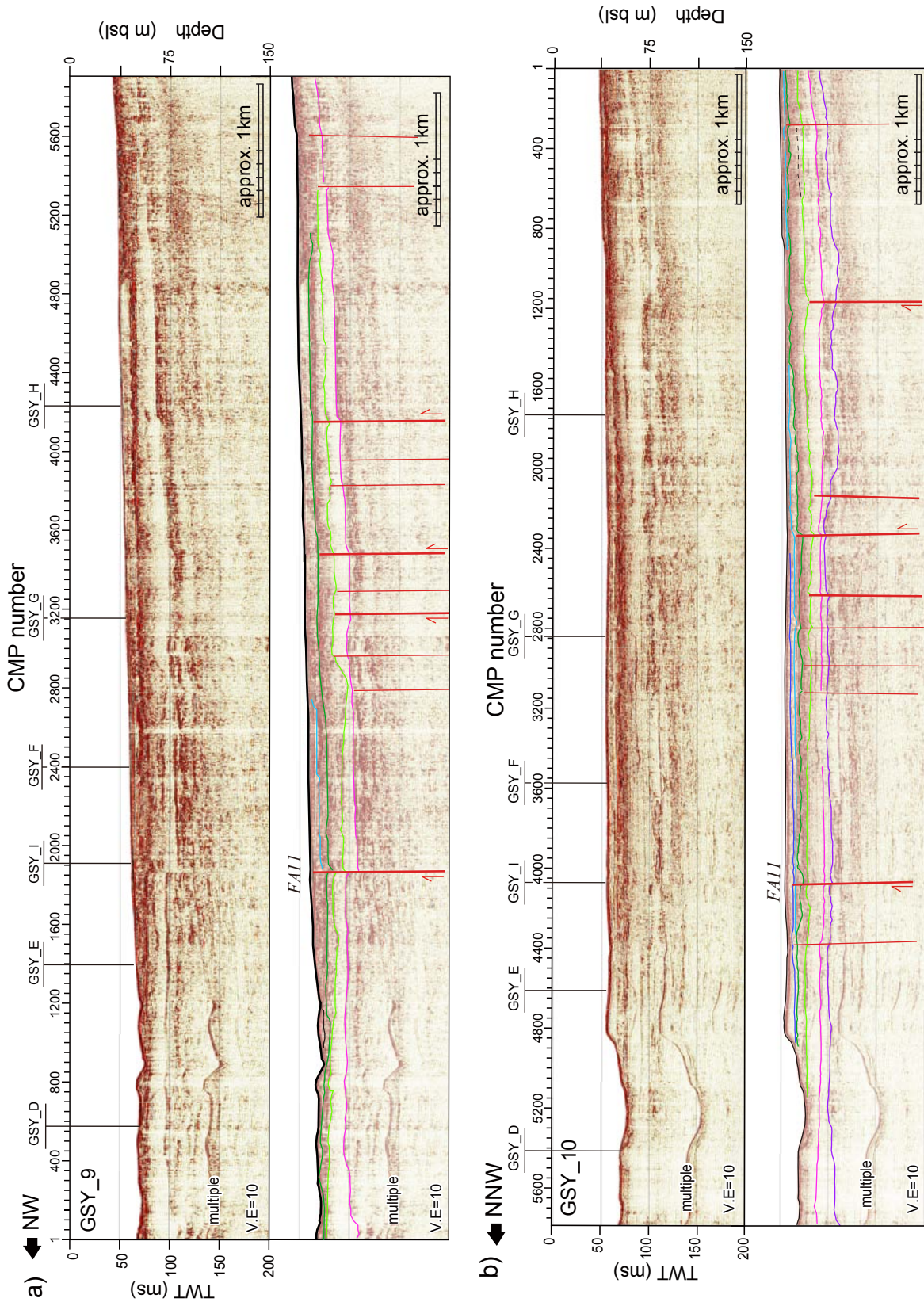
第6図. GSY_3 測線・GSY_4 測線の反射断面図。
 Fig. 6. High-resolution seismic reflection profiles, GSY_3 and GSY_4, showing acoustic stratigraphies and faults.
 See Fig.3 for locations, Fig.5 for legends.



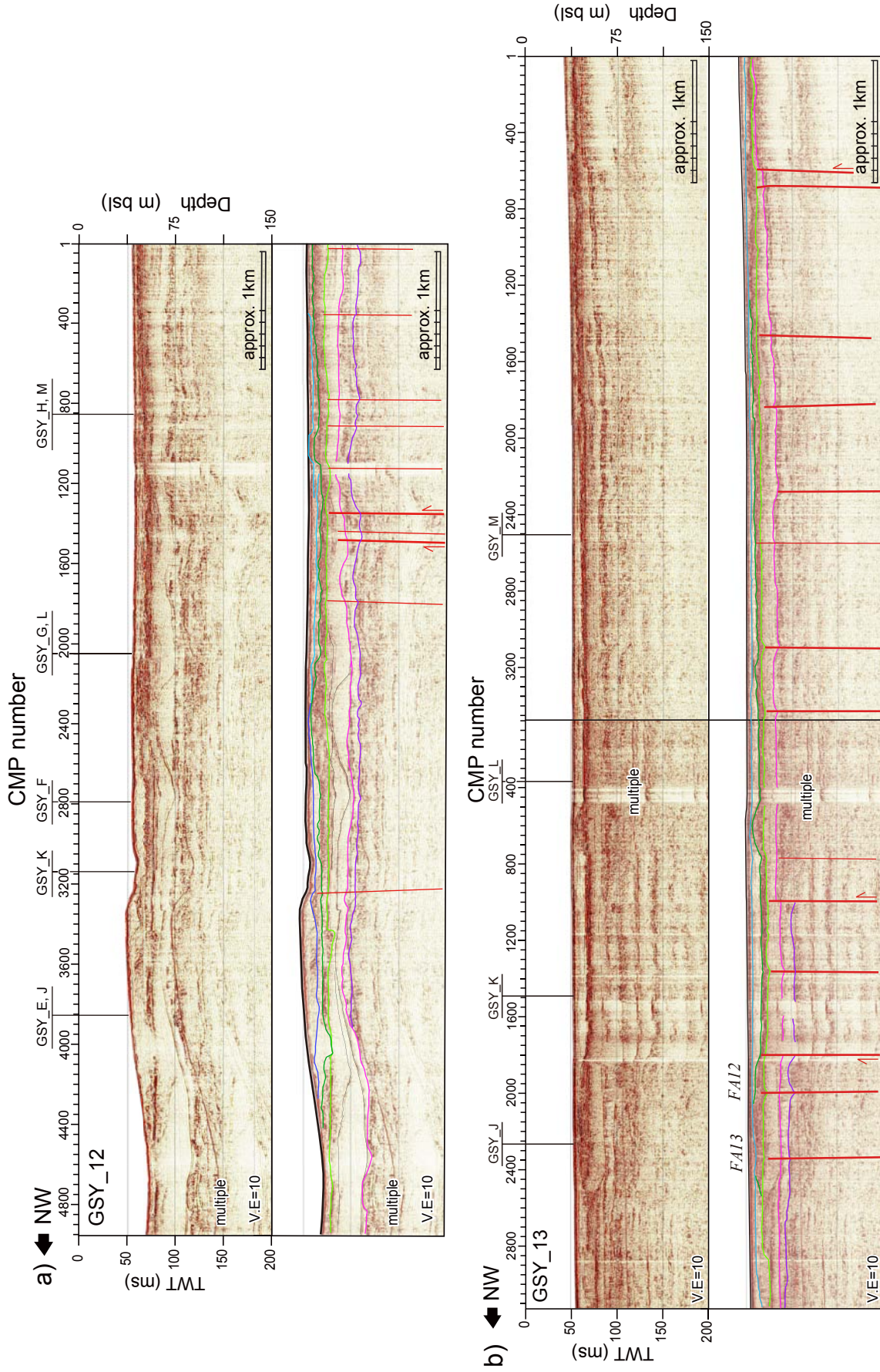
第7図. GSY_5 測線・GSY_6 測線の反射断面図。
 Fig. 7. High-resolution seismic reflection profiles, GSY_5 and GSY_6, showing acoustic stratigraphies and faults.
 See Fig.3 for locations, Fig.5 for legends.



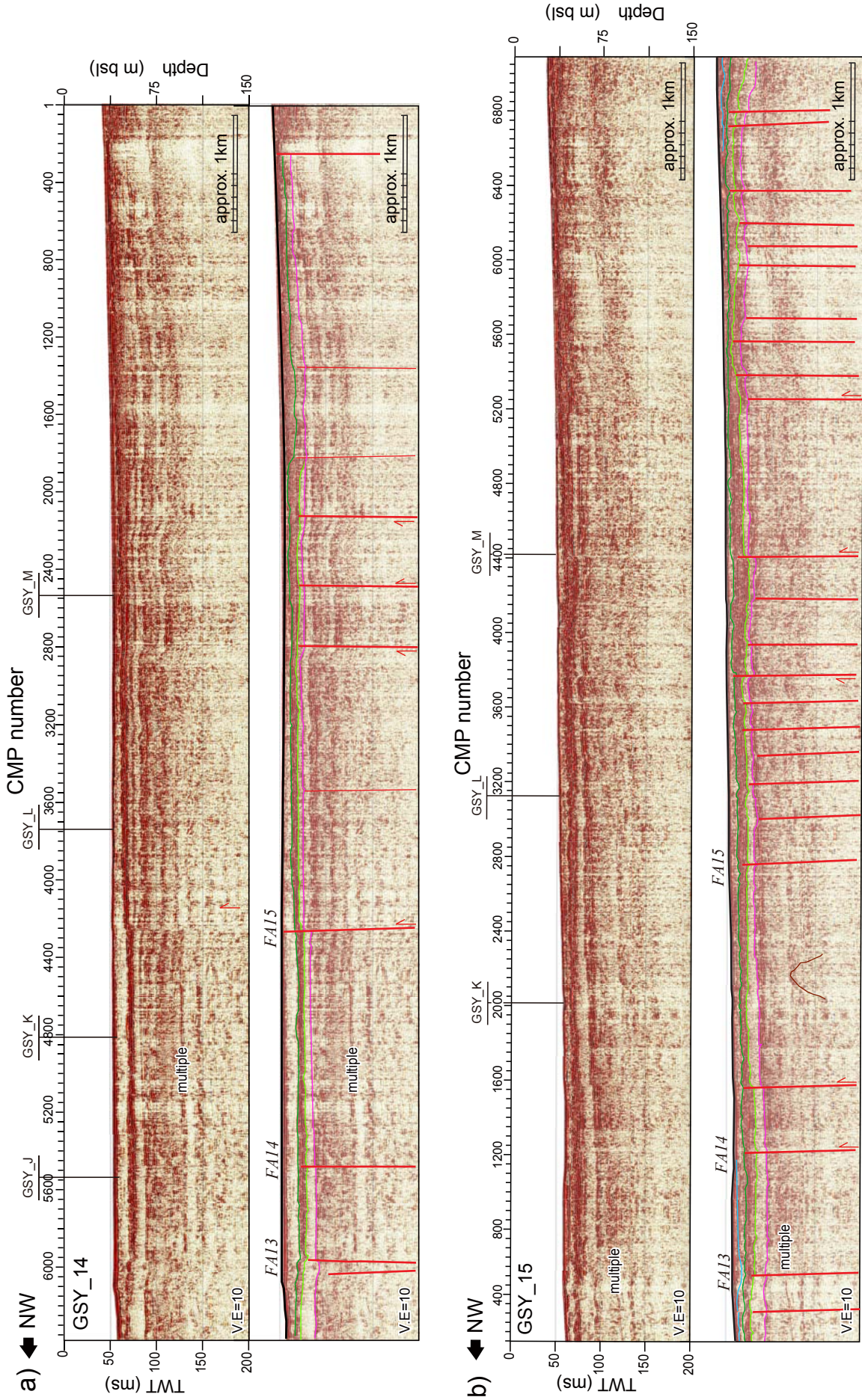
第 8 図. GSY_7 測線・GSY_8 測線の反射断面図。
 Fig. 8. High-resolution seismic reflection profiles, GSY_7 and GSY_8, showing acoustic stratigraphies and faults.
 See Fig.3 for locations, Fig.5 for legends.



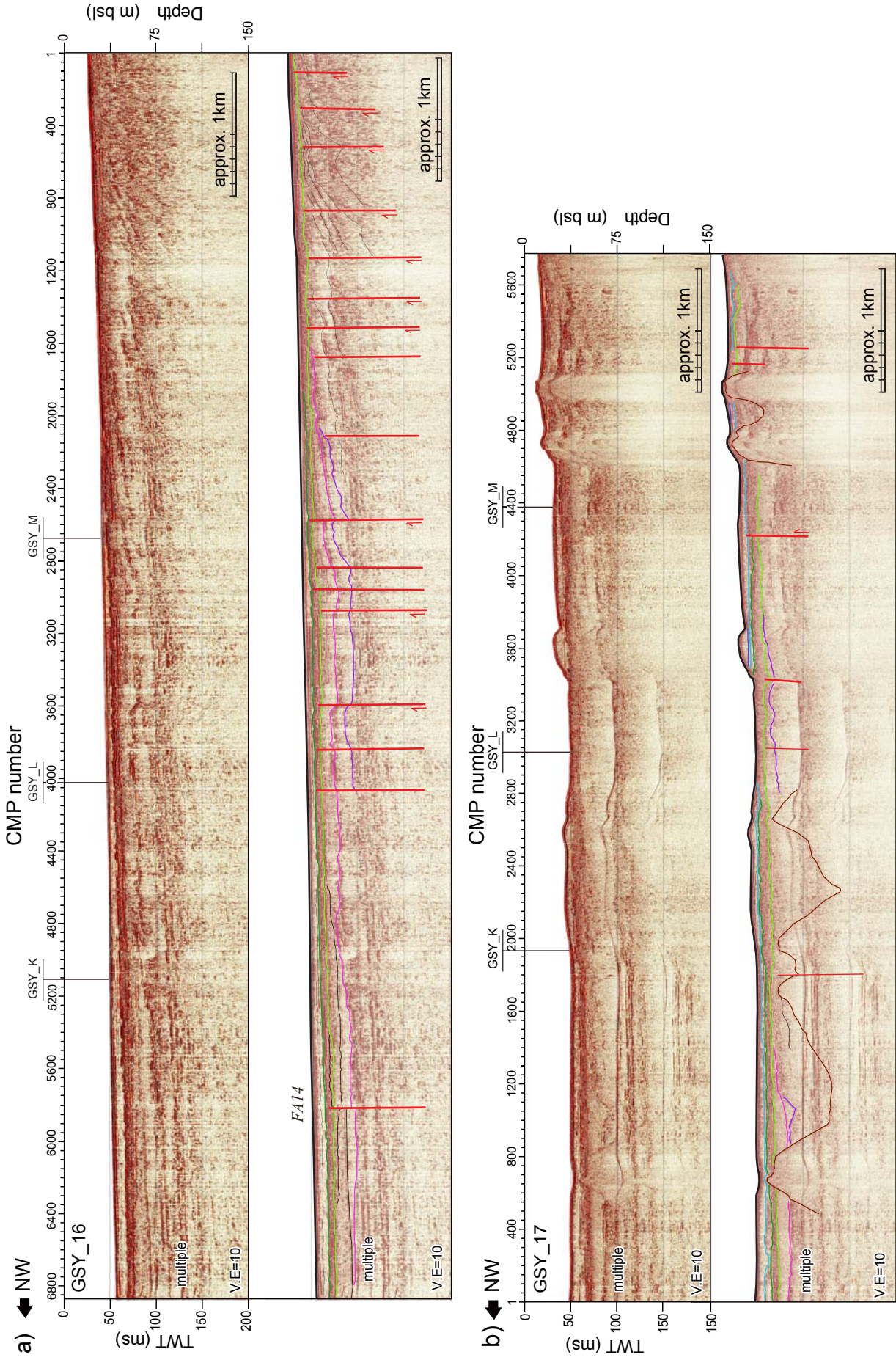
第9図. GSY_9 測線・GSY_10 測線の反射断面図。
 Fig. 9. High-resolution seismic reflection profiles, GSY_9 and GSY_10, showing acoustic stratigraphies and faults.
 See Fig.3 for locations, Fig.5 for legends.



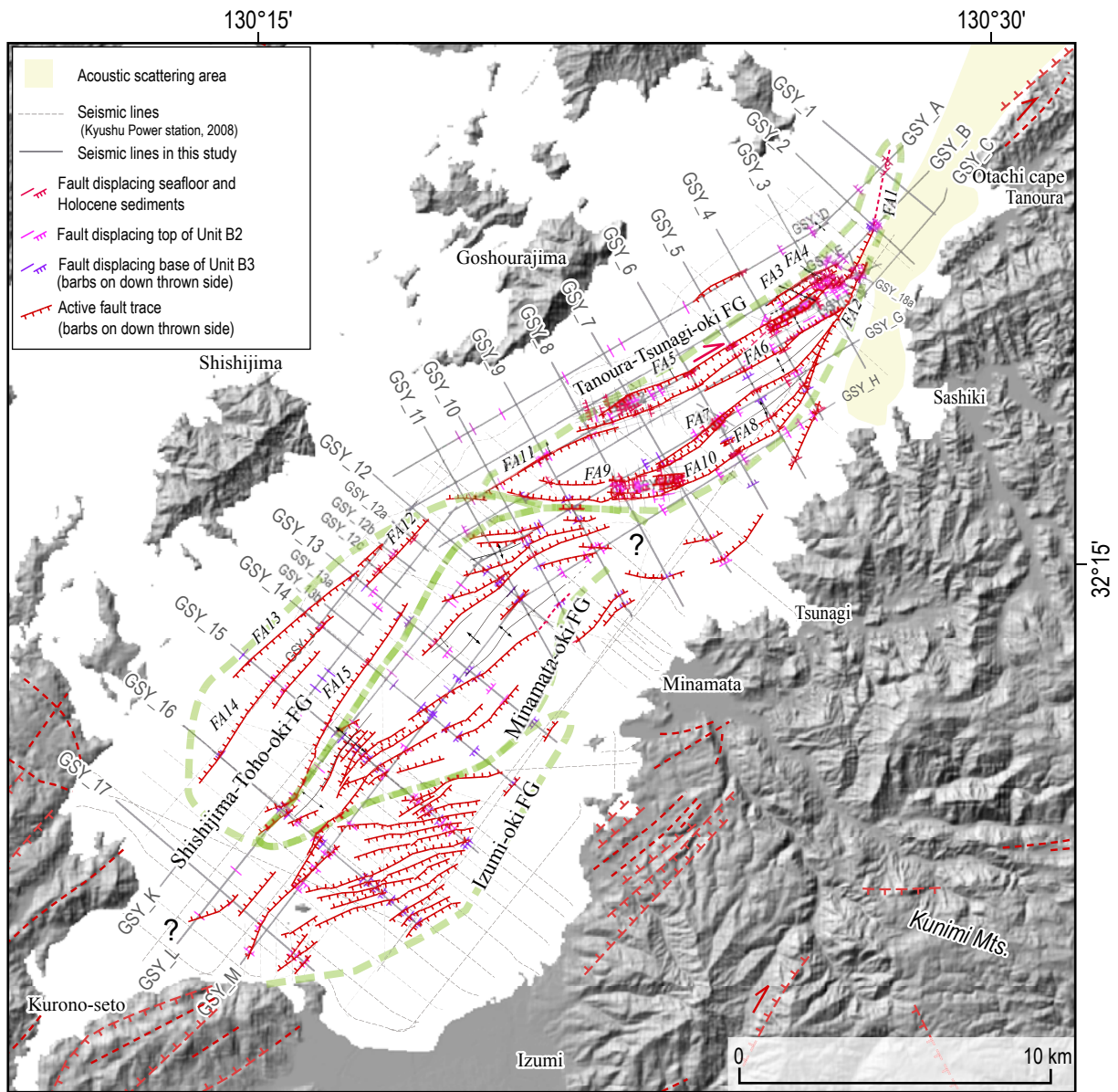
第10図. GSY_12 測線・GSY_13 測線の反射断面図。
 Fig.10 High-resolution seismic reflection profiles, GSY_12 and GSY_13, showing acoustic stratigraphies and faults.
 See Fig.3 for locations, Fig.4 for legends.



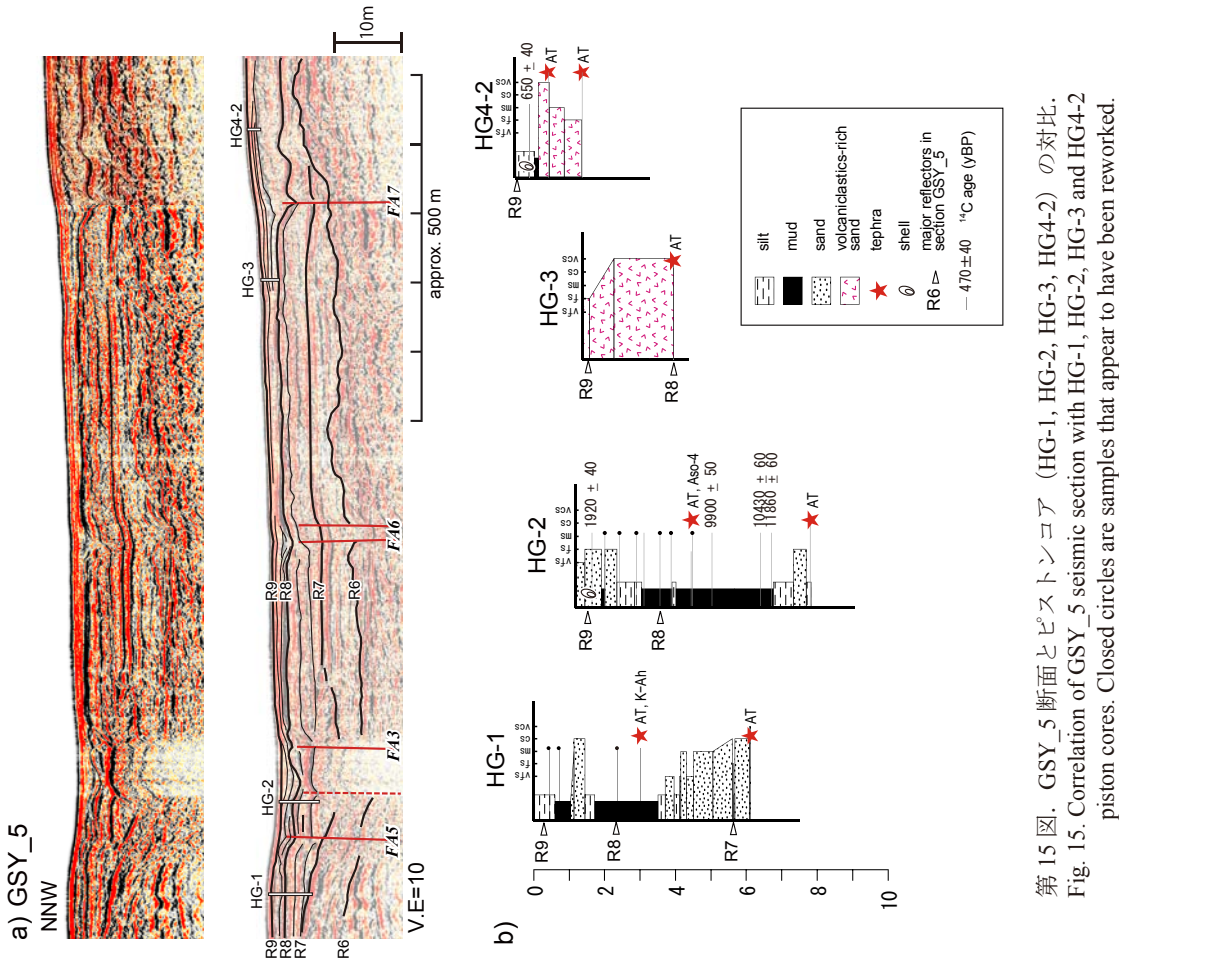
第11図. GSY_14測線・GSY_15測線の反射断面図。
 Fig.11 High-resolution seismic reflection profiles, GSY_14 and GSY_15, showing acoustic stratigraphies and faults.
 See Fig.3 for locations, Fig.4 for legends.



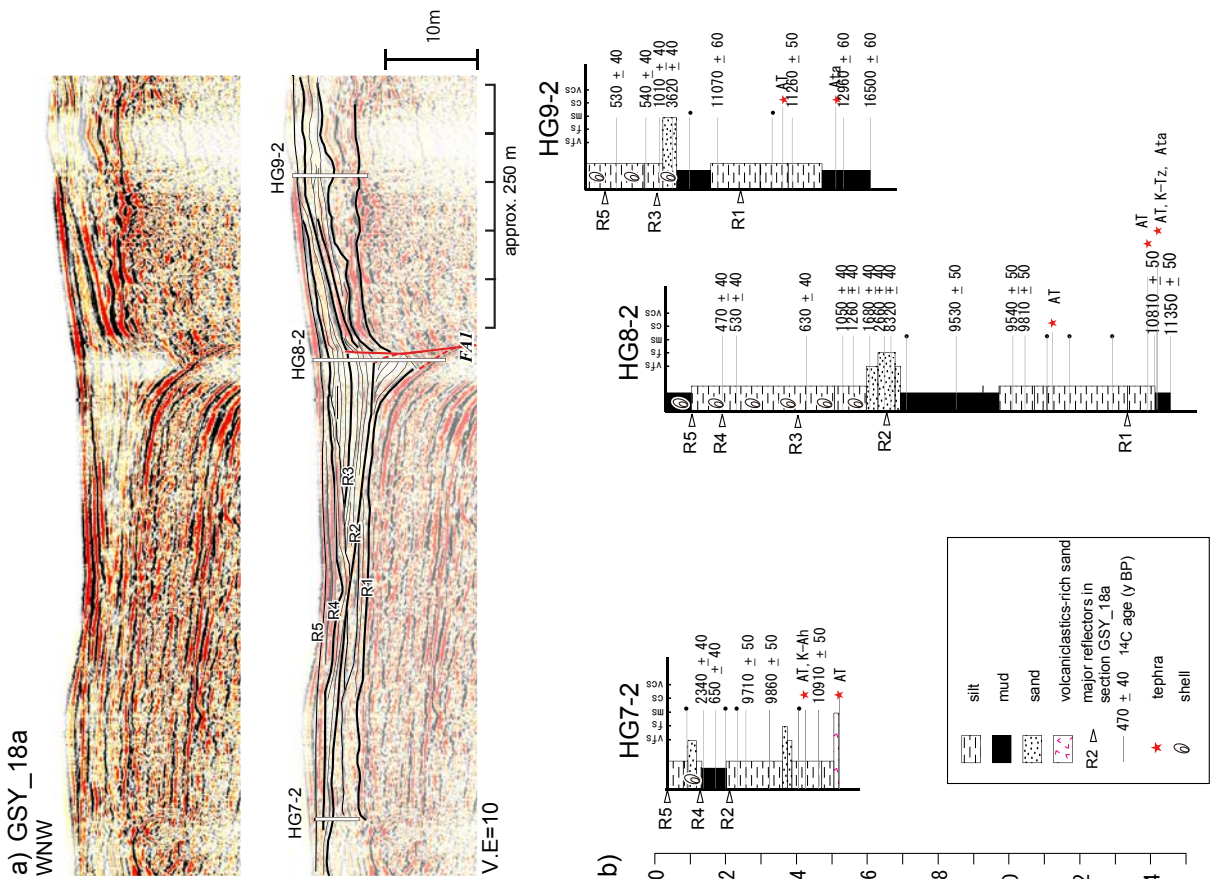
第 12 図. GSY_16 測線・GSY_17 測線の反射断面図。
 Fig.12 High-resolution seismic reflection profiles, GSY_16 and GSY_17, showing acoustic stratigraphies and faults.
 See Fig.3 for locations, Fig.4 for legends.



第13図. 反射断面と海底地形に基づく八代海の活断層分布.
 Fig. 13. Active fault map shows structural segments based on seismic interpretation and bathymetric features in the Yatsushiro Sea.



第 15 図. GSY_5 断面とピストンコア (HG-1, HG-2, HG-3, HG-4-2) の対比.
 Fig. 15. Correlation of GSY_5 seismic section with HG-1, HG-2, HG-3 and HG-4-2 piston cores. Closed circles are samples that appear to have been reworked.



第 14 図. GSY_18a 断面とピストンコア (HG7-2, HG8-2, HG9-2) の対比.
 Fig. 14. Correlation of GSY_18a seismic section with HG7-2, HG8-2, and HG9-2 piston cores. Closed circles are samples that appear to have been reworked.