

反射法音波探査に基づく対馬及び五島列島周辺海域の地質構造に関する予察的検討

有元 純^{1,*}・石野 沙季¹・三澤 文慶¹・井上 卓彦¹

ARIMOTO Jun, ISHINO Saki, MISAWA Ayanori and INOUE Takahiko (2025) Preliminary study on geological structures in the marine area around Tsushima and Goto islands based on seismic survey data. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 76 (4/5), p. 183–206, 21 figs.

Abstract: The marine area around Tsushima and Goto islands, northwestern Kyushu, is mainly a shallow-water shelf region and is of interest in terms of disaster prevention and utilization of marine space. To compile 1:200,000 marine geology maps of the region, multichannel seismic reflection surveys with a GI gun source were conducted, and a preliminary investigation of the geological structure was undertaken. From a geophysical perspective, subsurface strata in the study area are generally divided into acoustic basement and overlying sedimentary units. The acoustic basement occurs in shelf areas as well as topographic highs around the islands. The upper surface of the acoustic basement is commonly planar as a result of erosion or is undulating as a result of folding and faulting. The area from south of Tsushima Island to west of the Goto Islands contains several large high-angle normal faults that generally strike NE–SW along zones of basement uplift and subsidence. These faults are thought to have formed local depressions through lateral displacement and influenced the distribution of sedimentary units. The influence of the Tsushima Current is observed throughout the area, including erosion of basin slopes and floors to the south of the Goto Islands, the development of channel structures and channel-fill units around submarine channels and straits, and the development of local sand waves on the seafloor. In the Gotonada Sea area, the lower part of the sedimentary units is characterized by well-stratified parallel reflective surfaces, while the upper part contains clinoform sets. The sedimentary units that fill the Gotonada sedimentary basin are inferred to have been deposited continuously in response to tectonic subsidence. Local intrusive structures, which occur mainly around the Ikishima and Goto islands, might be related to igneous activity.

Keywords: northwestern Kyushu, East China Sea, Tsushima Strait, Gotonada Sea, multi-channel seismic survey, GS23 cruise, GB23 cruise

要 旨

対馬及び五島列島周辺の九州北西海域は、大部分が陸棚上であって浅海域が卓越し、防災や海域利用の観点から注目されている。本海域において20万分の1海底地質図を作成するため、GIガンを用いたマルチチャンネル反射法音波探査を実施し、地質構造について予察的に検討した。全体として、調査海域の海底下地質体は、音響基盤ユニットとそれを覆う堆積層ユニットに区分される。音響基盤ユニットは島嶼部周辺で陸棚や地形の高まりをなしている。その上面は多くの場合侵食されて平坦化するが、褶曲や断層によって起伏をつくり、上位の堆積層ユニットの基盤をなしている。対馬南方沖から五島列島西方沖にかけて、基盤隆起帯や沈降帯の配列に伴い、

おおむね北東–南西走向の巨大な高角正断層群が複数存在している。これらは横ずれ活動を通じて局所的な沈降帯を形成し、堆積層ユニットの分布を規制していると考えられる。また、五島列島南方における海盆斜面・海盆地の侵食や、海底谷・海峡部周辺におけるチャンネル構造と充填堆積物の発達、及び海底面での局所的なサンドウェーブの発達は、海域全体として対馬海流の強い流れの影響を示唆する。五島灘海域では、堆積層ユニットの下部によく成層した平行な反射面が発達する一方、上部はクリノフォームセットにより特徴づけられることがわかった。また、五島灘堆積盆を埋積する堆積層ユニットは、沈降場において継続的に発達してきたことが示唆される。以上に加えて、壱岐周辺や五島列島周辺を中心に、局所的な音響散乱や貫入を示す構造が認められ、火成活

¹ 産業技術総合研究所 地質調査総合センター地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Geology and Geoinformation)

* Corresponding author: ARIMOTO, J., AIST Tsukuba Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. Email: j-arimoto@aist.go.jp

動に関連したものである可能性がある。

1. はじめに

九州北西海域は、日本海と東シナ海の接続部に位置し、水深 200 m 以浅の浅海部が卓越することで特徴付けられる(永野ほか, 1976)。本稿では、2023 年度に沖縄トラフ北端部周辺域での海域地質情報整備の一環として、対馬周辺及び五島列島周辺海域で実施された 2 つの調査航海 (GS23 航海: 2023 年 5 月 10 日–5 月 29 日, GB23 航海: 2023 年 10 月 18 日–11 月 27 日) の成果のうち、特に海底下構造を対象としたマルチチャネル反射法音波探査の概要について報告し、二次元断面の解釈に基づく地質構造について予察的に検討する。

本海域では、1970 年代以降に海上保安庁水路部 (現・海洋情報部) により、20 万分の 1 大陸棚の海の基本図 (永野ほか, 1976) や、5 万分の 1 沿岸の海の基本図 (海上保安庁水路部, 1978 ほか) の作成が行われてきた。また、工業技術院地質調査所 (現・産業技術総合研究所地質調査総合センター) による最初期の海域地質情報整備の取り組みとして、20 万分の 1 表層底質図 (大嶋ほか, 1975) や、100 万分の 1 広域海底地質図 (本座ほか, 1979) などが作成され、出版されてきた。

令和 4 年には地震調査研究推進本部により、日本海西南部の海域活断層の長期評価 (地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2022; 以下、地震調査委員会, 2022 と略記) が公表された。この中で、対馬東方から五島列島西方に相当する「西部区域」では、20 km 以上の長さが推定される計 9 つの断層が取り上げられ、活動評価がなされている。一方で、個別の断層の活動履歴が明らかでないことや、特に浅海域でデータが限定的であることから未知の活断層が存在する可能性など、課題も同時に示されている。また、本海域は、洋上風力発電や二酸化炭素回収・貯留 (CCS) 事業など、様々な海域利用の観点で注目されている (例えば佐藤, 2021; 渡部, 2022; 経済産業省, 2023)。以上のような社会的要請を踏まえて、九州北西海域における海域利用や防災・減災に資する系統的な地質情報の整備は重要であるといえる。しかしながら、本海域における既存の地質情報のほとんどは、1970 年代から 1990 年代の、四半世紀以前の調査に基づくものである。また産業技術総合研究所 (以下、産総研) が 1980 年代以降実施してきた、日本周辺海域における 20 万分の 1 海底地質図整備のための稠密調査は、本海域において未実施である。

2. 地域概説

2023 年度の調査海域は、日本海南端の対馬海峡周辺 (対馬西方を除く)、及び東シナ海北端部を含む五島列島周辺海域である (第 1 図)。以下、桂 (1992) などを参考にし、調査海域の地形、層序と地質構造についてレビューする。

2.1 地形

対馬海峡–五島列島周辺の海底地形については、海上保安庁が 1970 年代に実施した 20 万分の 1 測量 (永野ほか, 1976) によりその概要が明らかになり、その後、島嶼域沿岸部の 5 万分の 1 基本図測量によって、部分的に詳細が調べられてきた (桂, 1992)。本海域は主として水深百数十 m 以浅の陸棚、及び陸棚斜面からなり、海域南部には海盆が存在する (第 1 図)。陸棚上はおおむね平坦だが、小規模な海底谷を含む谷地形や、堆、海丘、海脚などの地形の高まりも多く見られる。

日本海南端部に位置する対馬海峡は、朝鮮半島南部と九州北部–山陰北西部に挟まれた海峡であり、北北東–南南西に伸びる対馬を境に西水道と東水道に分けられる。対馬海峡は朝鮮半島と日本海側の西南日本の両方に連なる大陸棚であるため、大部分が水深 120 m 以浅の比較的平坦な地形であるが、西水道には水深 200 m に達する対馬トラフ (舟状海盆)、海峡南方には東五島陸棚海底谷群 (後述) に連なる水深 140 m に達する海底チャネルが存在する。

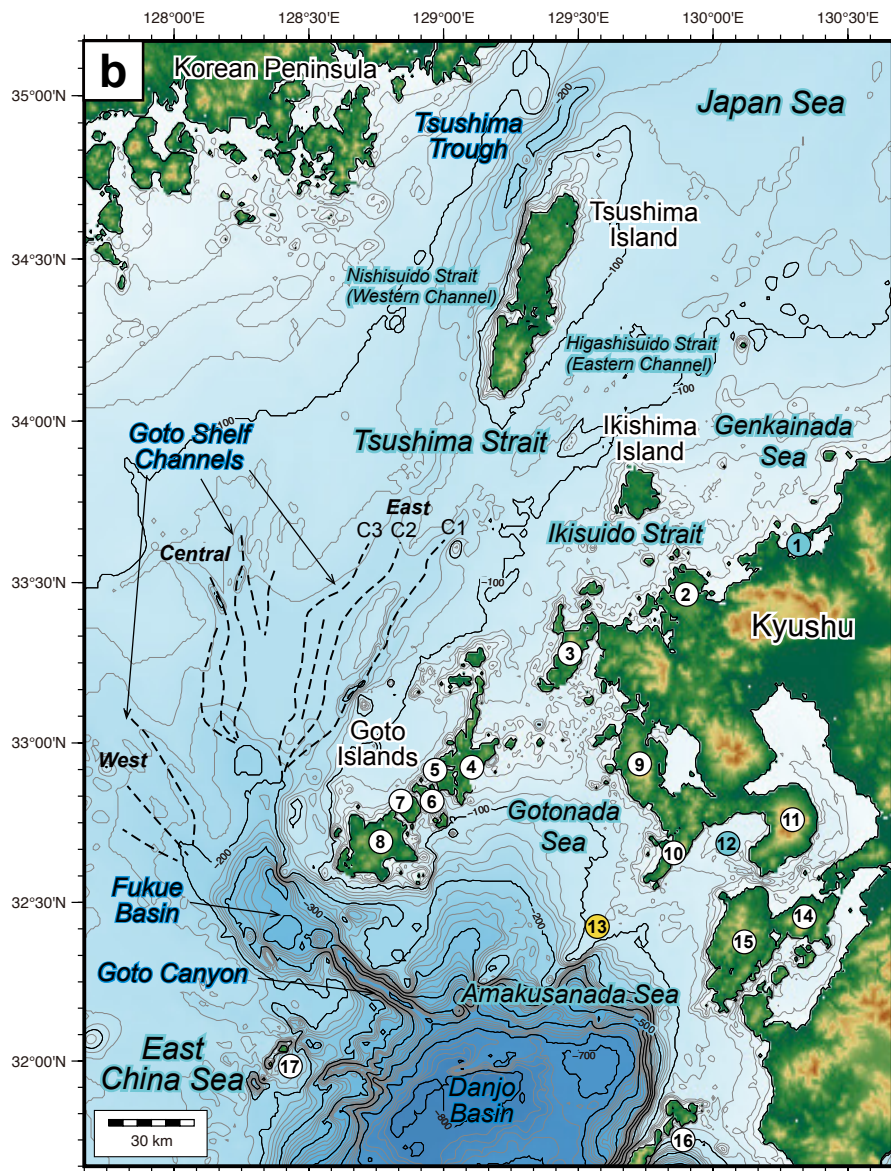
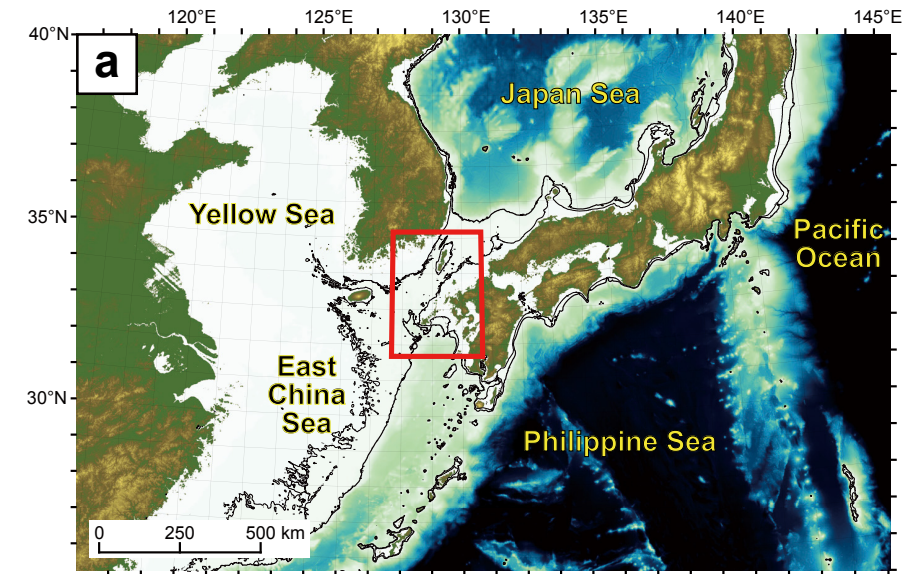
対馬海峡南部の、博多湾沖合を中心とする九州北部沖は、玄界灘とも呼ばれる沿岸海域であり、水深 100 m 以浅の陸棚が広がる (桂, 2010c)。玄界灘の南西部、東水道

(→ p. 185)

第 1 図 調査海域の広域図。 (a) 西南日本周辺の北西太平洋縁海域。赤枠は第 1 図 b の範囲を示す。 (b) 九州北西周辺海域の位置図。海域名称と顕著な海盆・海底谷の名称も併せて示す。破線は五島海底谷群 (永野ほか, 1976; 桂・永野, 1982) の谷筋を示す。海底地形データは GEBCO 2024 グリッド (GEBCO Compilation Group, 2024) を使用した。1: 博多湾, 2: 東松浦半島, 3: 平戸島, 4: 中通島, 5: 若松島, 6: 奈留島, 7: 久賀島, 8: 福江島, 9: 西彼杵半島, 10: 長崎 (野母) 半島, 11: 島原半島, 12: 橘湾, 13: 長崎 (野母) 海脚, 14–15: 天草諸島 (14: 上島, 15: 下島), 16: 甕島列島, 17: 男女群島。

Fig. 1 Broad maps of the present study area. (a) Marginal seas around southwestern Japanese Islands, in the northwestern Pacific region. A red square indicates the location of figure 1b. (b) Map around the northwestern Kyushu with names of sea areas, as well as notable topographic basins and submarine channels. Broken lines indicate channel axes of Goto Shelf Channels (Nagano *et al.*, 1976; Katsura and Nagano, 1982). Bathymetric data is based on GEBCO 2024 grid (GEBCO Compilation Group, 2024). 1: Hakata Bay, 2: Higashi-Matsuura Peninsula, 3: Hiradoshima Island, 4: Nakadorishima Island, 5: Wakamatsujima Island, 6: Narushima Island, 7: Hisakajima Island, 8: Fukuejima Island, 9: Nishi-sonogi Peninsula, 10: Nagasaki (Nomo) Peninsula, 11: Shimabara Peninsula, 12: Tachibana Bay, 13: Nagasaki (Nomo) Spur, 14–15: Amakusa Islands (14: Kamishima Island, 15: Shimoshima Island), 16: Koshikijima Islands, 17: Danjo Islands.

対馬・五島周辺海域の地質構造（有元ほか）



と九州北部の間には壱岐島がある。壱岐島東方から南方にかけての水道は壱岐水道と呼ばれる。

五島列島は、北東-南西に配列する比較的大きな5つの島(北から中通島、若松島、奈留島、久賀島、福江島)を中心とする島嶼群である。五島列島の北西には、東水道九州側から水深120-140 m以浅の平坦な陸棚が連続して広がる。さらに北西の沖合には、水深120-200 m前後の陸棚から斜面上部にかけて多数の海底谷が認められており(永野ほか, 1976; 桂・永野, 1982), 対馬南方から北東-南西の軸をもつ東五島陸棚海底谷群, 南北の軸をもつ中央五島陸棚海底谷群, 及び北西-南東の軸をもつ西五島陸棚海底谷群に分類されている。中でも本調査範囲に分布する東五島陸棚海底谷群は、3条の谷筋が東から順にC1-C3と命名され、形態や成因が詳しく検討されている(桂・永野, 1982)。また、これらの海底谷に挟まれ、その軸方向に沿うようにおおむね北東-南西に伸びる地形的高まりが複数認められており、五島堆群(第1-第6五島堆)と命名されている(永野ほか, 1976; 桂・永野, 1982)。C1-C3海底谷は北緯33度付近で収れんし、より南方の水深200 m前後で中央五島陸棚海底谷群と合流する。

五島列島南西端の福江島南西沖には、福江海盆が存在する(桂・永野, 1976)。海盆底はほぼ平坦で北西-南東に伸び、水深は400 m以上に達する(桂, 1992)。福江海盆の北縁部は五島陸棚海底谷群の収れん部となっており、南東部では東シナ海陸棚斜面を刻む五島海底谷に連続する。五島海底谷は、水深400 m付近から、南東方の男女海盆(最大水深890 m)に注ぐ、幅10 km、流路約50 kmの直線的なU字谷である(桂, 1992)。

五島列島と九州本土の西彼杵・長崎(野母)半島に囲まれた内海は、五島灘と呼ばれる。また、天草沖-甕島北部周辺の陸棚から五島列島南方の沖合にかけての海域は天草灘と呼ばれる。五島灘及び天草灘の陸棚はおおむね水深60-120 mの間で平坦部をなし、長崎(野母)半島の海域延長として南西に伸びる長崎(野母)海脚により隔てられている。

現在の対馬海峡周辺海域は、南西から北上する黒潮の分岐流が対馬海流として日本海に流入する流路となっている(桂, 2010a)。そのため、海底地形や底質に強い底層流の影響が見られ、サンドウェーブや砂堆、露岩域などが海底に広く認められる(桂, 2010a)。ただしこれらには、氷期の海水準低下期に海峡の一部が陸化した際に形成され、その後海水準の上昇により沈水した残存地形・堆積物も含まれると考えられている(茂木, 1981; 桂, 2010a)。

2.2 層序

九州北西海域周辺の海域層序・地質構造に関する知見は、主として1970年代以降の政府機関や大学などによる

組織的・集中的研究により蓄積されてきた(桂, 2010a)。また、Emery *et al.* (1969)が東シナ海における広域地質構造の枠組みと石油資源のポテンシャルを示して以降、資源探査を目的とする海域調査が盛んに行われ、一部の研究成果が公表されてきた(南, 1979; 伊藤ほか, 1992; 岩田・亀尾, 2001 ほか)。

対馬海峡付近から五島列島周辺にかけての音響層序区分と対比は、井上(1982)や桂(1992, 2010b)、伊藤ほか(1992)などに示されている。伊藤ほか(1992)は、北部九州海域の海底下に4枚の広域反射面を認定し、音響基盤(Y層)及びこれを覆う4層の堆積層(下位よりQ層, M層, L層, D層)に区分した。さらに、孔井地質情報と周辺の陸上地質、及び山陰沖の海底層序(南, 1979)との対比に基づいて、Y層は白亜系火成岩と推定され、またQ層, M層, L層, D層はそれぞれ始新統-漸新統, 漸新統-下部中新統, 下部-上部中新統, 上部中新統以上の堆積岩類に対比されている(伊藤ほか, 1992; 伊藤, 2000)。これら各層の境界は、M層基底を除いて不整合とされる(伊藤, 2000)。五島灘では、物理探査と基礎試錐「五島灘」により地質層序が明らかとなっている(Itoh *et al.*, 1999; 岩田・亀尾, 2001)。五島灘の海底下地質体は大きく4層(下位より基盤層, B層, C層, D層)に区分され、それぞれ白亜系-古第三系?の変質火山岩類と、上部始新統, 下部漸新統, 及び鮮新統-更新統の堆積岩類に対比されている(Itoh *et al.*, 1999; 岩田・亀尾, 2001)。各層の境界はC層基底を除いて不整合とされる(岩田・亀尾, 2001)。

海上保安庁(永野ほか, 1976 ほか)や地質調査所(Kimura *et al.*, 1975; 本座ほか, 1979)によるシングルチャネル探査に基づく層序区分では、海域や探査仕様により細部は異なるものの、おおむね下位より音響基盤(E層)とそれを覆う堆積層(D層, C層, B層, A層)が認定されている(井上, 1982; 桂, 1992, 2010b)。ここで、音響基盤のE層は、伊藤ほか(1992)に示される北部九州沖のL層以下、及び岩田・亀尾(2001)に示される五島灘のC層以下に相当し、中部中新統以下に対比される。そして、伊藤ほか(1992)及び岩田・亀尾(2001)のD層に相当する堆積層(D層, C層, B層, A層)は、下位よりそれぞれ上部中新統, 鮮新統, 下部更新統, 上部更新統-完新統に対比されている(井上, 1982; 桂, 2010b)。各層の境界はいずれも不整合とされる(井上, 1982)。

2.3 地質構造

九州北西周辺海域は、ユーラシア大陸とフィリピン海プレートのプレート境界部に発達した現在の背弧域に位置し、ユーラシア大陸縁辺部の新生代テクトニクスと、フィリピン海プレートの沈み込みに伴う地質現象が記録されていると考えられる(桂, 2010a)。本調査海域に特徴的な地質構造としては、対馬、五島列島、長崎半島な

どの延びの方向に一致する北北東-南南西あるいは北東-南西方向の褶曲・断層が認められる（永野ほか，1976；桂，1992）．このセンスの構造として顕著なものは，対馬トラフ東部から対馬西岸に沿って発達する断層群からなる対馬構造線，その南方延長に追跡され，第1五島堆東縁を通り南方まで連続する五島構造線，対馬と壱岐の間を走る凹地形をなす地質的不連続である壱岐構造線，及び五島列島東部海底に分布する相ノ島断層などがある（桂・永野，1976；桂，1992）．そのほかには，平戸島沖合に想定される平戸構造線や，五島海底谷，西五島陸棚谷群などの方向に一致する北西-南東方向のものがある（永野ほか，1976；桂，1992）．松本（2013）は，福岡沿岸海域の構造探査から，鮮新統-下部更新統相当以下の地層に見られる北東-南西方向の褶曲構造と，より上位の地層を切る，陸域に連続する北西-南東方向の左横ずれ活断層群の分布を明らかにした．

対馬-五島周辺海域における中部中新統以下の基盤構造は，古第三紀末期-前期中新世の日本海拡大に伴う西南日本のリフティングや，対馬-五島構造線の右横ずれ活動，中期中新世の対馬や五島列島への火成岩貫入に伴う隆起帯形成の影響を受けて発達してきたと考えられる（伊藤ほか，1992）．また，後期中新世には，フィリピン海プレートの沈み込みに伴う西南日本のインバージョンテクトニクスの影響を受け，北東-南西方向の褶曲構造の形成（南，1979；井上，1982）とともに，対馬周辺で左横ずれ運動が起こり，D層基底の不整合が形成された（伊藤ほか，1992）．第四紀の始まり前後からは，日本海南部から対馬周辺にかけて東西方向の圧縮が強まったことにより，それ以前の構造と斜交して南北方向の隆起帯が形成され（南，1979；伊藤，2000），また顕著な左横ずれの断層が発達した（松本，2013）．一方，五島灘-天草灘海域では，中新世末以降に伸長テクトニクスの影響下で，北西-南東あるいは東西方向の正断層形成に伴う堆積盆の急速な沈降が生じたことが推定されている（Itoh *et al.*, 1999；伊藤，2000）．

3. 方法

マルチチャネル反射法音波探査によるデータ取得は，計60日間の傭船期間で，2航海にわたり行われた（井上ほか，2025）．5月に実施したGS23航海では東京海洋大学の練習船「神鷹丸」（986 t）を，10-11月に実施したGB23航海では東海大学の海洋調査研修船「望星丸」（1,777 t）をそれぞれ使用した．

調査範囲として，海上保安庁海洋情報部（旧・水路部）により作成された「大陸棚の海の基本図（縮尺20万分の1）」のうち九州北西-西方沖の4区画「対馬付近」「壱岐水道」「天草灘」「五島列島」の範囲を中心に，音波探査測線を計画した．対馬や五島列島，甌島列島などの島嶼群におおむね並行する北東-南西方向の測線，及びそれに

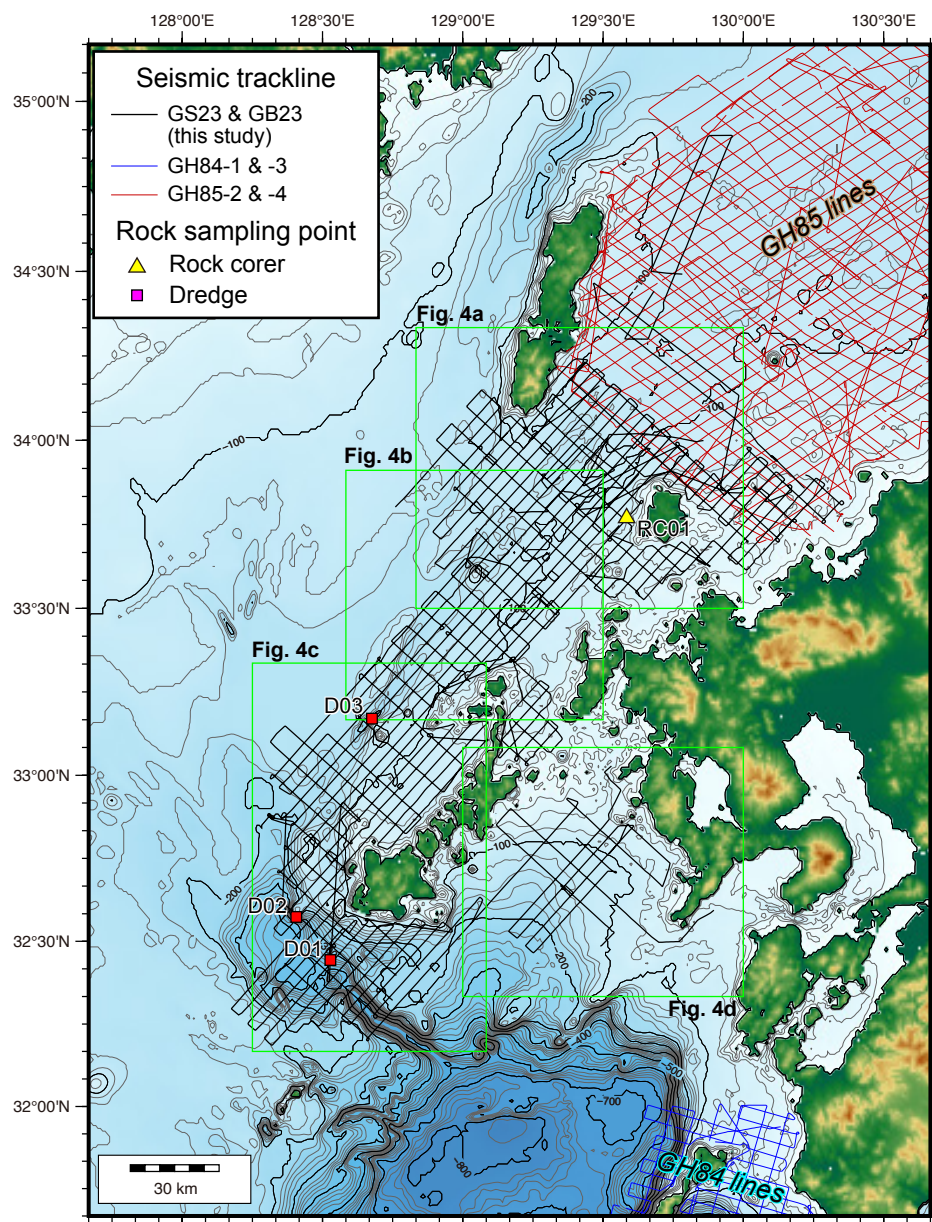
直交する北西-南東方向の測線を，それぞれ2マイル（約3.7 km）及び4マイル（約7.4 km）間隔で設定した．なお，計画測線群の一部は，公表済みの海底地質図「野間岬沖」（岡村，2022）及び「響灘」（岡村，2017）の海域と接続し，地質構造を連続的に解釈ができるように，既存測線群と一部オーバーラップさせている．

以下，GS23及びGB23航海に共通する観測仕様とデータ処理の概要を以下にまとめる．反射法音波探査の音源として，Sercel社製GIガン（GI-355型）にリデューサーを装着して，総容量150立方インチ（True GI Mode：ジェネレーター（G）容量45立方インチ，インジェクター（I）容量105立方インチ）としたものを1台，船尾から約20 m離して曳航した．GIガンの発振は6秒間隔で行い，対地船速約8ノットで航走したため，発振点間隔は約25 mである．受振部は，Geometric社製 デジタルストリーマケーブル（GeoEel Solid：チャンネル数16，チャンネル間隔12.5 m）を用いた．先頭のチャンネルは船尾から約140 m離れた位置とした．ストリーマケーブルはCNT-2探鉱機に接続し，GNSS情報を付加してSEG-D形式で収録し，収録長は5 sec，サンプリングレートは1 msecを基本とした．取得したデジタルデータは，SEG-Y形式に変換した後，Seismic Un*x（Cohen and Stockwell，2022）を用いてデータ処理を行った．データ処理を行うにあたり，共通反射点（Common Mid-point；CMP）間隔は6.25 mとし，重合数はおおむね4であった．データ処理は，ジオメトリ編集，周波数バンドパスフィルタリング（通過周波数15-500 Hz），球面発散補正によるゲイン回復，デコンボリューションフィルタリング，CMPソート，垂直動（Normal Moveout；NMO）補正，CMP重合の流れで行った．重合速度は簡易的に一定速度とし，1,600 m/sから1,800 m/sの間でパラメータテストを実施して，断面ごとに最適な表示ができるよう調整した．また，バンドパスフィルターの通過周波数は15-500 Hzとした．重合後の反射波はおおむね30-80 Hzの帯域が卓越しており，重合速度を加味するとRayleigh基準の鉛直分解能は最大でおおむね5 mとなる．

4. 反射法音波探査の結果と地質構造の予察的解釈

2023年度調査の反射法音波探査航走観測では，対馬東方沖から五島列島南方の福江海盆周辺及び東方の五島灘にかけて，測線及び測線間移動を含め合計約3,952マイル（7,319 km）にわたるデータを取得した（第2図）．航走観測機器の投入から揚収までを1回の観測とすると，GS23航海では計2回の観測を行い，航走距離の合計は約2,332マイル（4,319 km）である．また，GB23航海では計16回の観測を行い，航走距離の合計は約1,620マイル（3,000 km）である．

過去調査で取得されたデータとの比較のため，対馬南東沖（第3図a）において昭和60年度に取得されたシング



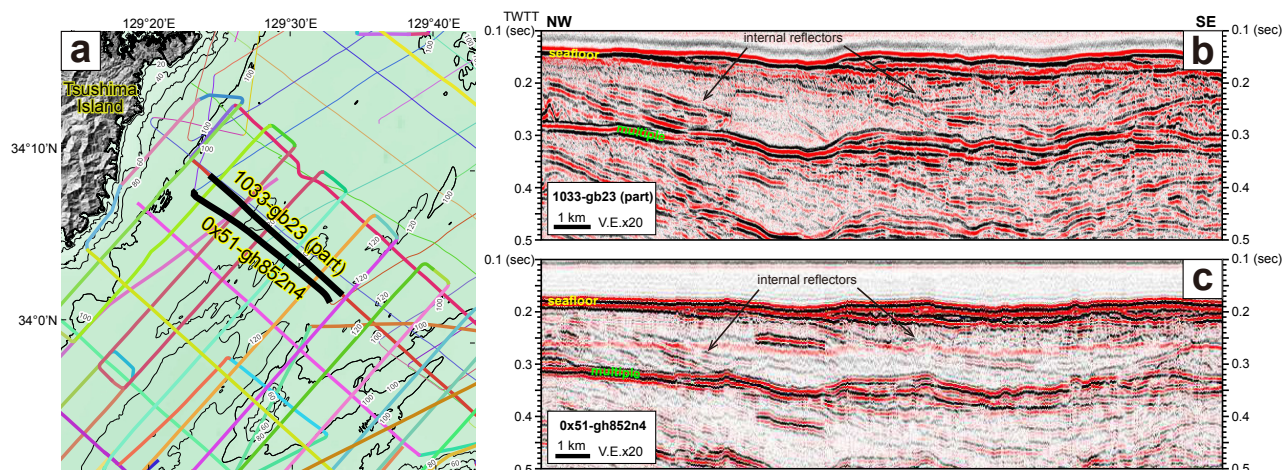
第2図 本調査の航跡図。過去調査 (GH84-1, GH84-3, GH85-2, GH85-4) の測線図, 第4図 a-d の各エリアの範囲を薄緑線で示す。及びGB23航海の岩石試料採取地点 (RC01, D01-D03) も併せて示す。

Fig. 2 Seismic tracklines of the present study. Close-up areas in figure 4a-d are indicated with light green frames. Seismic lines in the past surveys and rock sampling sites in GB23 cruise are shown together.

ルチャネル探査の断面 (第3図b) と、本調査で取得されたマルチチャネル探査の断面 (第3図c) の例を示す。これらはほぼ同一地点の断面であるが、本調査の断面では内部反射面の連続性がより認定しやすくなるなど、品質の向上が認められる (第3図b, c)。

本稿では、調査範囲を (a) 対馬海峡周辺, (b) 五島列島北方, (c) 五島列島西方-南方, 及び (d) 五島灘の各エリ

アに分けて、それぞれの海域で得られた代表的な断面を紹介する (第4図)。本稿では、断面に認められる海底下地質体を、侵食不整合面及びそれに連続する広域反射面を基準として、音響基盤ユニットと堆積層ユニットの2層に区分した。広域反射面より下位で、内部構造の大部分が音響的に不透明な箇所を、音響基盤ユニットとして認定した。また、音響基盤ユニットを覆う成層した内部



第3図 対馬南東沖断面の、隣接した過去調査断面との比較. (a) 測線位置図. (b) 2023年度調査で得られた断面(測線1033-gb23). (c) 1985年度調査で得られた断面(測線0x51-gh852n4).

Fig. 3 Comparison of neighboring seismic sections offshore southeastern Tsushima Island. (a) Location of seismic lines. (b) A seismic section obtained in a FY2023 survey (Line 1033-gb23). (c) A seismic section obtained in a FY1985 survey (Line 0x51-gh852n4).

反射面をもつ地質体を、堆積層ユニットとして一括した、各断面(第5図-第21図)に見られる地質構造について記載し(4.1-4.4節)、音響基盤と堆積層の各ユニットの、既存の海域層序の枠組みとの対比について簡単に触れる(4.5節)。なお、各断面において、堆積層ユニットの内部に部分的に複数の不整合面が認められる場合があるが、これらの不整合面の広域性の認定及び断面間の追跡が現段階で十分ではないため、本稿では堆積層ユニット内の区分と既存調査との詳細な対比は行わない。

4.1 対馬海峡周辺

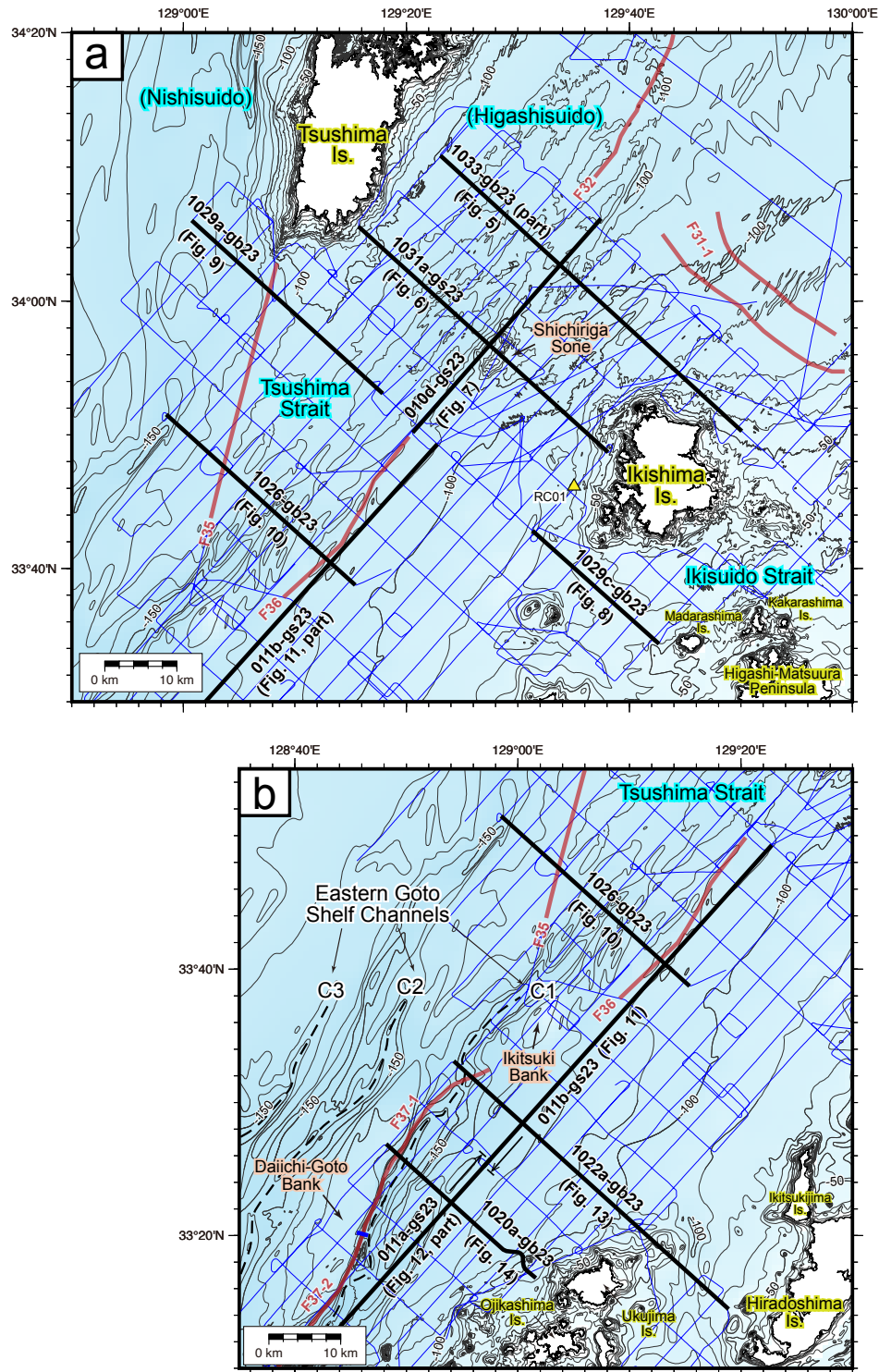
本海域では2航海にまたがり、主として対馬南方から南東にかけての対馬海峡東水道、壱岐島南方の壱岐水道から東方の博多湾沖合、及び中通島-平戸島間の海峡を含む五島列島北部周辺の、計画測線の大部分についてデータを取得した(第2図、第4図a, b)。

対馬海峡東水道の海底下に認められる音響基盤ユニットは、島嶼部縁辺で分布深度が浅く、一部海底面に露出する(第5図、第6図)。音響基盤ユニットの上面(以下、音響基盤上面;第5図、黄色線、以下同様)は見かけ上沖合に向かって傾斜しており、東水道の軸部付近では往復走時0.3秒以上深くなって、断面上で多重反射ノイズの影響により追跡できなくなる。海峡最狭部では局所的に海底に露出し、ドーム状の地形的高まり(七里ヶ曾根)をなしている(第6図、第7図)。上位の堆積層ユニットは、東水道軸部を中心とする沖合で広く音響基盤ユニットを覆い、音響基盤上面にオンラップする(第5図-第7図)。本ユニットの下限は大部分で多重反射ノイズの影響により不明であるが、七里ヶ曾根北方や西方で少なくとも約

0.2秒以上の層厚をもつ。

海峡軸に沿う北東-南西方向断面(第7図)で見られる堆積層ユニットは、比較的よく成層し連続性の良い内部反射面をもつ。下部には、波長数kmオーダーの褶曲構造が認められ、特に七里ヶ曾根の高まりの南北には、部分的に正断層による落ち込みを伴う顕著な向斜構造が見られる(第7図)。七里ヶ曾根南方では明瞭でないが、北方では向斜軸に向かって発散する(divergent; Mitchum *et al.*, 1977)内部反射面のパターンが認められる。七里ヶ曾根南西方の堆積層ユニット最上部は、約0.2秒-0.6秒程度の厚さでユニット下部及び音響基盤ユニットの一部を比較的水平に覆うが、北東方ではあまり発達せず、褶曲構造を示す堆積層ユニットの上面が海底面に侵食されている。七里ヶ曾根南西沖の堆積層の背斜部には、貫入構造の可能性のある不明瞭な構造が認められる。

一方、海峡を横切る北西-南東断面(第5図、第6図)に見られる堆積層ユニットは、概して内部反射面の連続性が悪く、直交方向に比べて内部構造はより複雑である。七里ヶ曾根東方から壱岐周辺にかけての東水道東部海底下は、音波の透過が悪いこともあり、反射面の追跡が困難である。これに対して、七里ヶ曾根西方から対馬南東沖にかけての東水道西部では、このエリアで広く追跡可能で下位層上面の侵食を伴う不整合面により、複数のユニットに細分できる可能性がある。堆積層ユニットの内部反射面は、大局的には東水道軸部に向かって傾斜しており、対馬側のユニット下部には、音響基盤上面からオフラップする内部反射面のパターンが認められる(第5図)。また、海峡軸部に分布するユニット下部には短波長の著しい変形が認められ(第5図)、七里ヶ曾根縁辺部

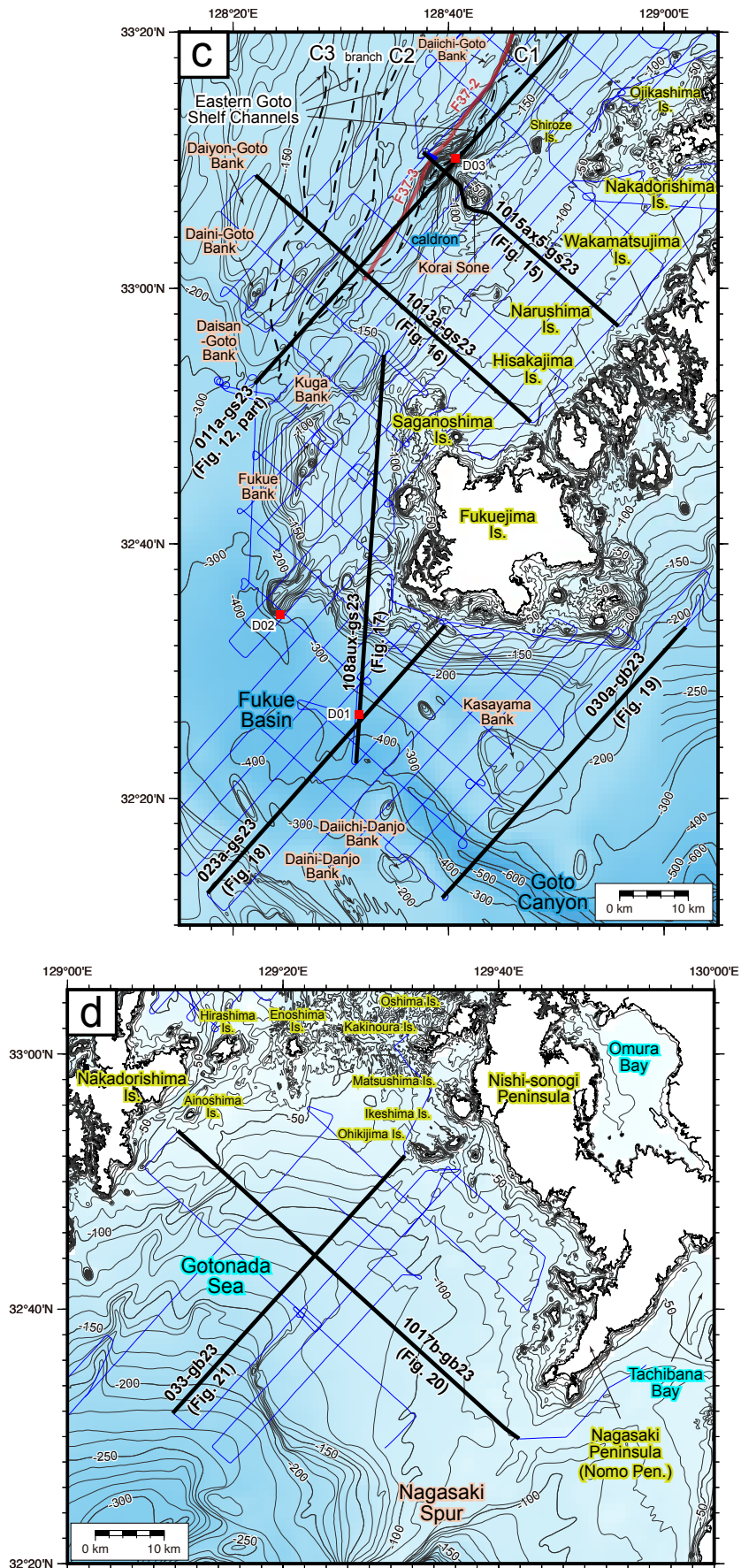


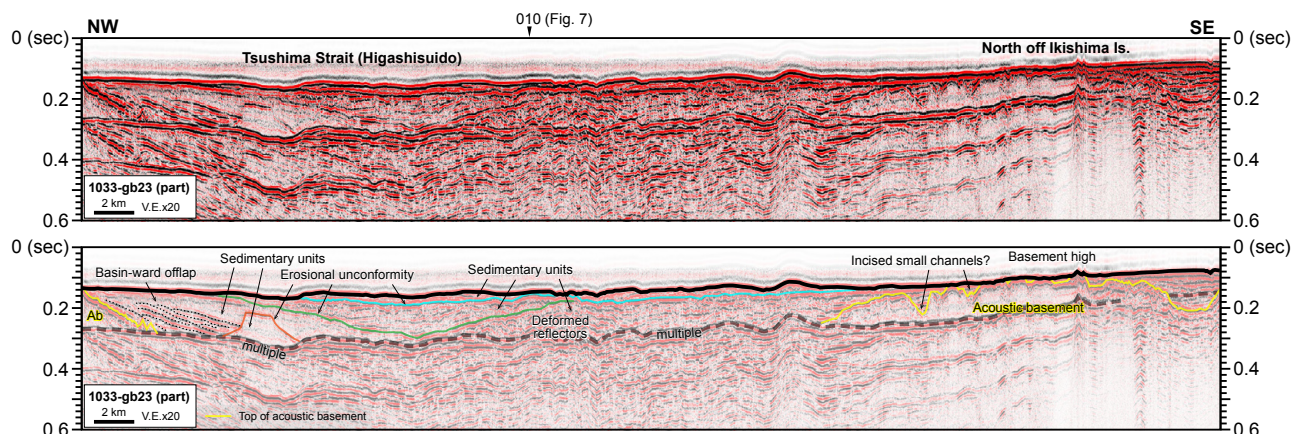
(p. 190–191)

第4図 断面図の測線位置図。(a) 対馬海峡周辺。(b) 五島列島北方。(c) 五島列島西方-南方。(d) 五島灘。等深線は日本水路協会(2009)海底地形デジタルデータM7050 Ver.1.0に基づく。東五島海底谷群のC1–C3海底谷を破線で示す(桂・永野, 1982)。地震調査委員会(2022)で評価された海域活断層の推定位置を赤線で示す。F31-1: 小呂島近海断層帯北西沖区間, F32: 対馬東水道断層, F35: 対馬南方沖断層, F36: 七里ヶ曾根断層, F37-1: 第1五島堆断層帯北部区間, F37-2: 第1五島堆断層帯中部区間, F37-3: 第1五島堆断層帯南部区間。

Fig. 4 Locality maps for seismic lines. (a) Tsushima Strait area. (b) North of Goto Islands area. (c) West to south of Goto Islands area. (d) Goto-nada Sea area. Bathymetric contour lines are based on Digital Bathymetric Chart M7000, M7050 Ver.1.0 (Japan Hydrographic Association, 2009). C1–C3 channels of East Goto Shelf Channels (Katsura and Nagano, 1976) are shown with dashed lines. Red lines indicate distribution of evaluated offshore active faults (Earthquake Research Committee, 2022).

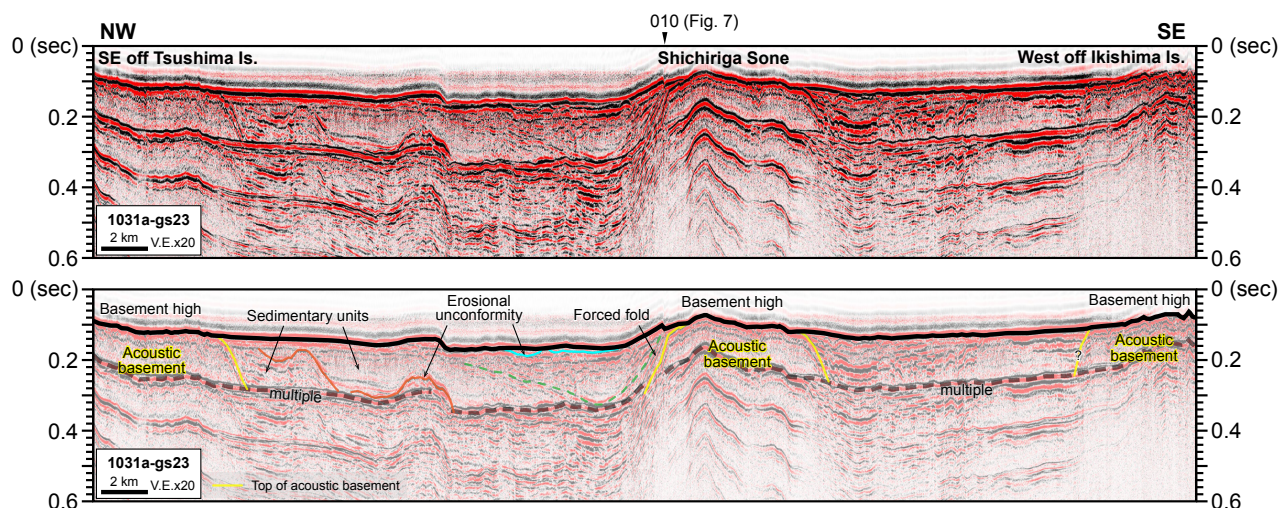
対馬・五島周辺海域の地質構造（有元ほか）





第5図 対馬沖北西-南東断面 (測線 1033-gb23 の一部). 上図が未解釈, 下図が解釈したものを示す. 音響基盤 (Acoustic basement; Ab) ユニットの上面を黄色線, その他の不整合面をそれぞれ色分けして示す (以下, 第 21 図まで同様).

Fig. 5 A NW-SE section offshore Tsushima Island (part of Line 1033-gb23). Upper and lower panels are uninterpreted and interpreted sections, respectively. Yellow and other multicolored lines represent the upper boundary of acoustic basement (Ab) unit and other unconformities, respectively (Same for the following figures 6-21 as above).



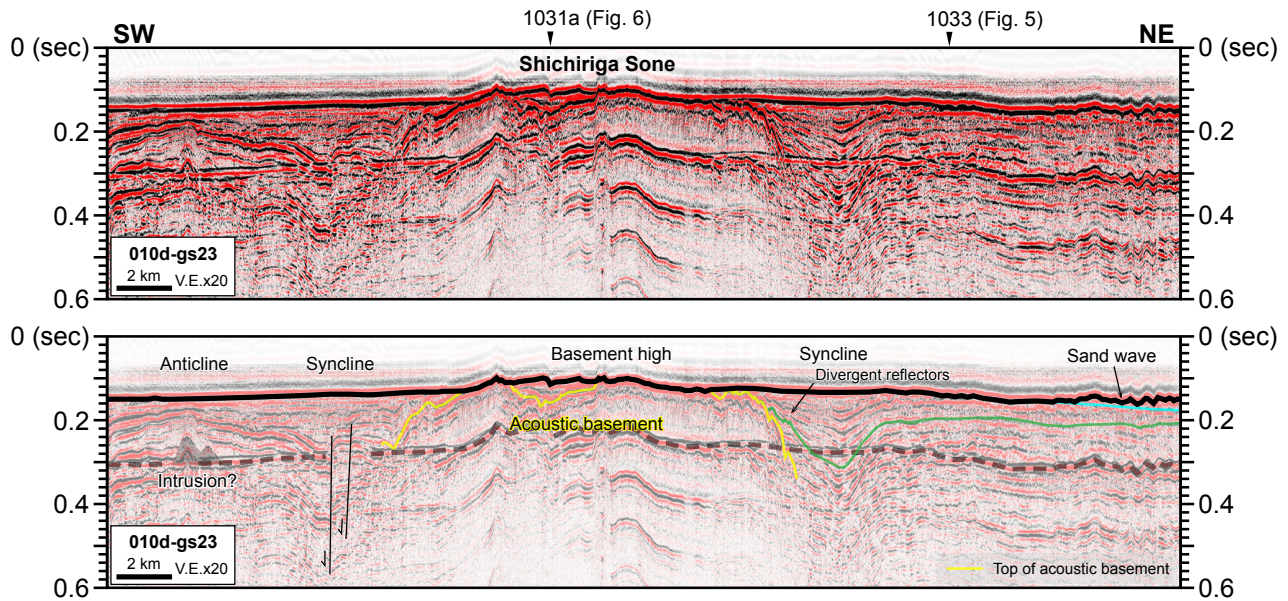
第6図 対馬-壱岐間の北西-南東断面 (測線 1031a-gs23).

Fig. 6 A NW-SE section between Tsushima and Ikishima islands (Line 1031a-gs23).

では南北と同様に基盤上面の形状に規制された著しい褶曲が認められる (第6図). 七里ヶ曾根西方には, 堆積層ユニット内部に幅 10 km 未満の凹地をなす不整合面 (第5図, 緑線) があり, それにオンラップして埋積するように斜交層理あるいは乱雑なパターンを示す内部反射面をもつ堆積層ユニット上部が分布する. 堆積層ユニット最上部には, さらにチャンネル状あるいは平坦な不整合面 (第5図, 第6図, 水色線) を境界として厚さ約 0.03 秒以下のユニットが識別されるが, 分布は沖合に限られ, 局所的である.

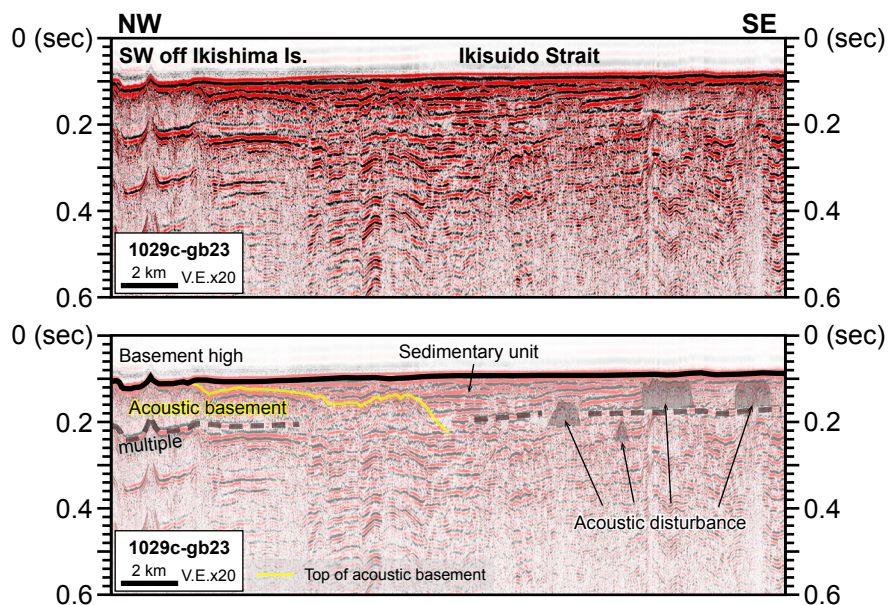
壱岐水道南部の北西-南東方向断面 (第8図) には, 壱岐島南西沖で海底面に露出する音響基盤ユニットと, それをオンラップで覆い, 水道中央部で最大約 0.12 秒以上の厚さをもつ堆積層ユニットが認められる. この断面上では, 特に南東側の東松浦半島沖合の堆積層ユニット中に, 様々な深度で局所的に音響散乱する部分が複数認められる (第8図, Acoustic disturbance). この音響散乱部は, 島嶼域周辺の音響基盤と異なり, 空間的連続性に乏しい特徴がある.

本調査では, 地震調査委員会 (2022) によって対馬海峡



第7図 対馬海峡東水道中央部の北東-南西断面（測線010d-gs23）。

Fig. 7 A NE-SW section in the central part of Higashisuido Strait (Line 010d-gs23).



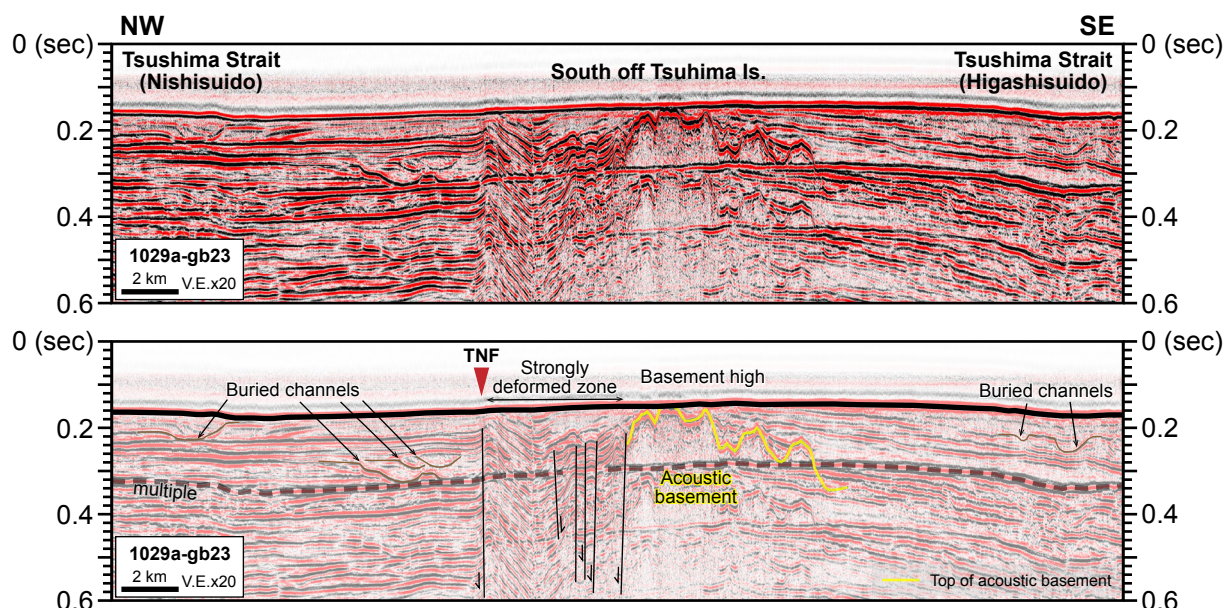
第8図 壱岐水道南部の北西-南東断面（測線1029c-gb23）。

Fig. 8 A NW-SE section across the southern part of Ikisuido Strait (Line 1029c-gb23).

周辺海域に認定・評価された海域活断層のうち、いくつかの断層に関して複数測線で地質構造を確認できた（第4図a）。例として、対馬海峡南方に分布する2条の断層である対馬南方沖断層及び七里ヶ曾根断層を横切る北西-南東方向の断面を示す（第9図、第10図）。

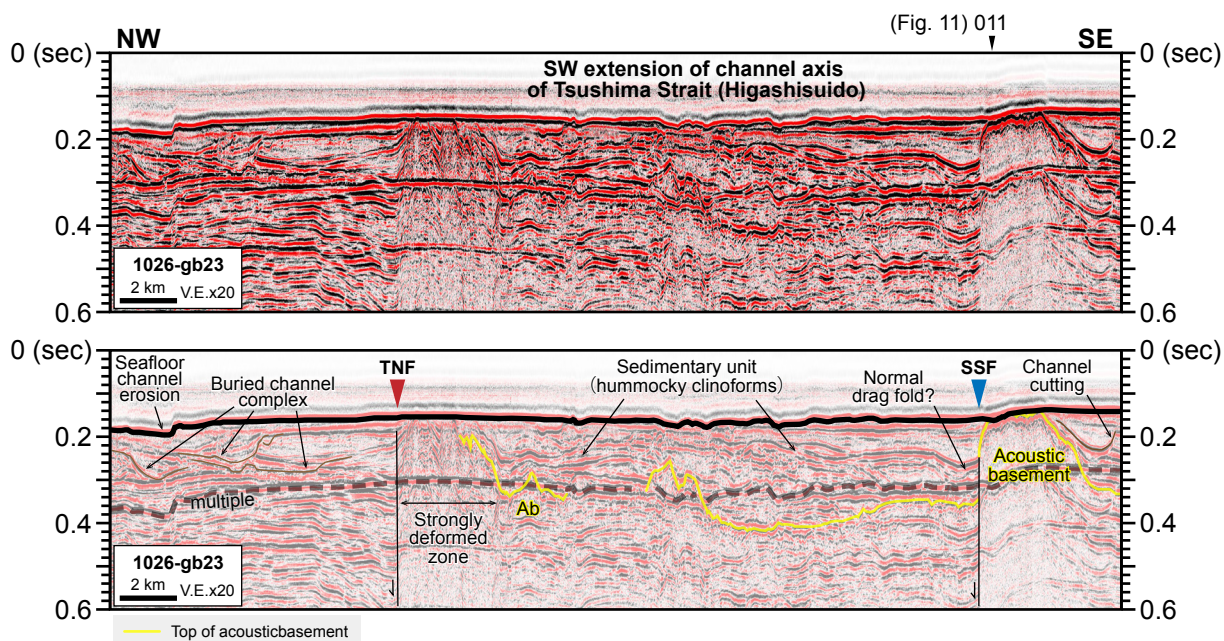
対馬南方沖の断面（第9図）では、島嶼部の延長と考えられる音響基盤の高まりと、厚いところで約0.4秒以上

の堆積層ユニットが認められる。海底面はおおむね平坦であるが基盤の高まりと整合して対馬南方で緩やかに高まりをつくっている。堆積層ユニットの内部反射面は比較的連続性が良く、基盤の高まりを軸とする長波長の背斜構造が明瞭に認められる。また、下に凸の形状で下位の反射面の侵食を伴う、幅1-2 km程度の埋積された小規模なチャネル構造が複数認められる。一方、より南方



第9図 対馬南方沖の北西-南東断面 (測線 1029a-gb23). TNF: 対馬南方沖断層 (地震調査委員会, 2022).

Fig. 9 A NW-SE section across southern offshore Tsushima Island (Line 1029a-gb23). TNF: Tshushima Nanpo Fault (Earthquake Research Committee, 2022).



第10図 対馬海峡南部の北西-南東断面 (測線 1026-gb23). TNF: 対馬南方沖断層, SSF: 七里ヶ曾根断層 (地震調査委員会, 2022).

Fig 10 A NW-SE section across the southern part of Tsushima Strait (Line 1029a-gb23). TNF: Tshushima Nanpo Fault, SSF: Shichiriga Sone Fault (Earthquake Research Committee, 2022).

の断面 (第10図) で認められる堆積層ユニットは、東水道の南方延長部で最大約0.24秒の厚さをもち、断面西側では北方と同様に約0.4秒以上の厚さをもつと考えられる。埋没チャネル構造についても同様に認められるほか、海底面にもチャネル侵食地形が認められる。断面中央部

の内部反射面はハンモック状クリノフォーム (Mitchum *et al.*, 1977) パターンを示す。

対馬南方沖の断面 (第9図) では、音響基盤ユニットの高まりの西方に、幅5 km程度の著しく褶曲変形が卓越する強変形帯 (第9図, Strongly deformed zone) を挟んで、

顕著な構造境界となる断層が認められる（第9図、TNF）。この部分が地震調査委員会（2022）の対馬南方沖断層に相当すると考えられる。強変形帯は正断層系を伴っており、深部で主断層が分岐し上方でブロック状の落ち込みを伴う密集した正断層群となる負のフラワー構造（Woodcock and Fischer, 1986）の、上端の現れである可能性がある。この解釈は対馬南東沖断層が右横ずれ断層の性質をもつとされる（地震調査委員会、2022）ことと矛盾せず、引張横ずれ応力場の影響下で活動した可能性を示唆する。基盤の高まり、及び本断層とそれに伴う強変形帯の構造は、南西に少なくとも約22 km以上追跡される（第10図）。一方、南方の断面（第10図）の南東部にも音響基盤の局所的な高まりが認められ、その西縁は北西落ちの高角正断層によって切られる。この断層は、地震調査委員会（2022）の七里ヶ曾根断層に対比されると考えられる。断層に沿った音響基盤上面の変位は、反射波の回折により見づらくなっているものの、少なくとも約0.1秒以上と見積もられる。堆積層ユニットの内部反射面は、七里ヶ曾根断層付近で下に凸の形状を示し、正断層活動に伴う引きずり褶曲を表す可能性があるが、反射面の形状だけでは周辺海域に特徴的な埋没チャネル構造との区別が付きにくく、サブボトムプロファイラーにより得られた浅層地質構造データを併用するなどして、慎重に解釈する必要がある。

4.2 五島列島北方

本海域では、主として五島列島北西に位置する第1五島堆から東方においてデータを取得した（第4図b）。本海域には東五島陸棚谷群（第4図b、C1-C3：永野ほか、1976；桂・永野、1982）の谷頭部が分布している。

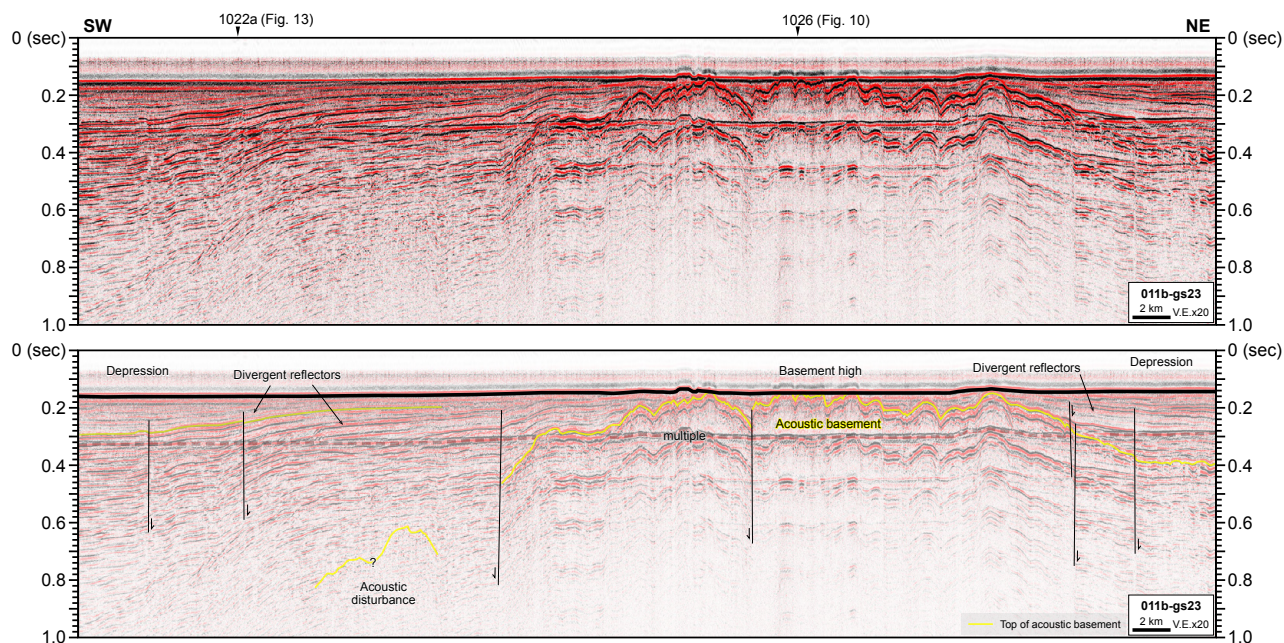
五島列島北方から西方にかけての北東-南西方向の断面を、第11図及び第12図に示す。五島列島北方（第11図の北東側）には、北東-南西方向に約30 km近くの広がりをもつ、顕著な音響基盤の高まりが認められる。これと比べて、直交する北西-南東方向の断面（第10図）では約3 km程度とかなり幅が狭く、対馬海峡の七里ヶ曾根と大まかな形状が類似する。上面は起伏に富んでいるが、頂部の一部が侵食される一方で、凹地は堆積層ユニットに埋められ、全体として平坦な海底面をなしている。音響的に不透明のため内部構造は不明瞭だが、上面の急落や上位の堆積層ユニット内部の変形などから、正断層系の発達を示唆される。

対照的に、基盤の高まりの北東及び南西には、音響基盤上面をオンラップで覆う堆積層ユニットが比較的厚く発達する（第11図）。北東方の堆積層ユニットの厚さは、約0.26秒程度が確認できる。南西方の堆積層ユニットは、南方で下限が不明となるが、五島列島北部に位置する宇久島の北西付近に向けて厚さを増して厚さ0.6秒以上に達する可能性がある（第11図の南西部）。さらに南方で

は、小値賀島の北西沖で再び音響基盤の高まりに沿って約0.2秒程度まで厚さを減じる（第12図の北東部）。内部反射面はよく成層して連続性が良く、基盤の高まりの縁辺から堆積中心に向かって発散するパターンを示す。小値賀島北西付近（第12図、測線1020aとのクロス付近）の最上部約0.1秒程度は、やや乱れた反射面のパターンを示す。

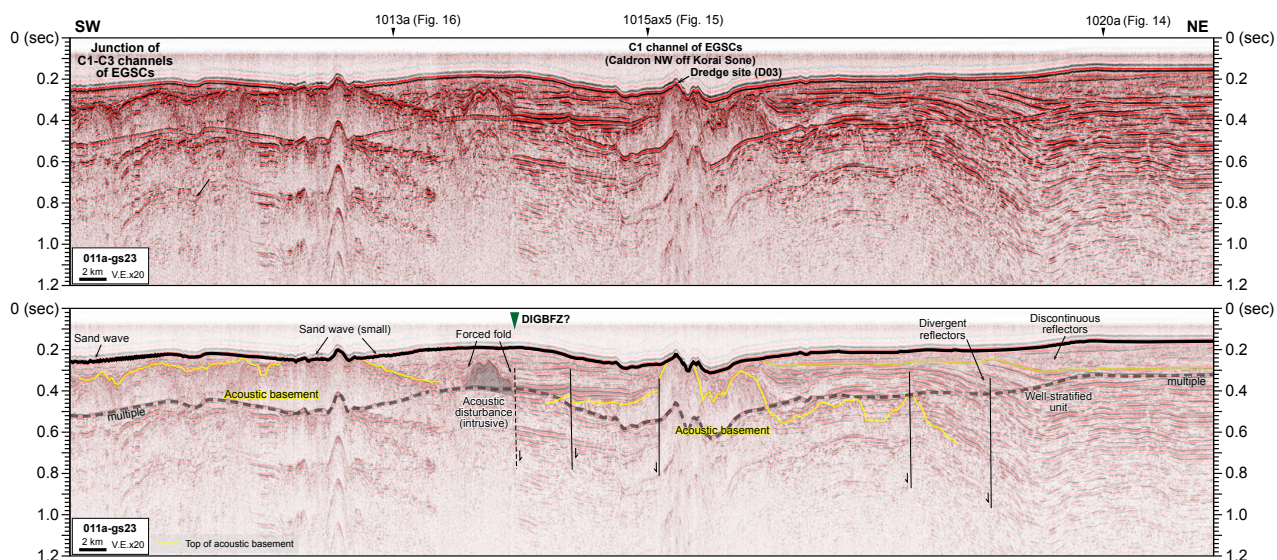
五島列島北西の堆積盆について、北西-南東方向に切る2つの断面を第13図と第14図に示す。北側の断面（第13図）は、東五島陸棚谷群C1海底谷から宇久島北方沖を横切り、平戸島西方沖に至る海底下地質構造を示す。平戸島西方沖では、上部を侵食された音響基盤ユニットが海底に露出し、北西に向かって上面深度を増して、往復走時0.25秒付近で追跡が困難になる。堆積層ユニットは、平戸島沖で音響基盤ユニットをオンラップで覆い、宇久島北方付近から北西に向けて傾斜する内部反射面を伴って厚さを増す。北西部のC1海底谷付近には、海底面に達すると見られる高角の南東落ち正断層が認められるが、その東側で堆積層ユニットの内部反射面は顕著に落ち込み、最も厚くなっていると考えられる。この正断層の西側にも、幅3 km程度の範囲に、同様の高角正断層群によるステップ状の反射面の落ち込みが認められる。同様の地質構造は、南側の断面（第14図）にも認められる。本断面では、C1海底谷西縁が比較的急崖をなしており、おおむねその直下に北側断面から連続する高角正断層によると思われる地質境界が認められる。東側の上盤は、五島列島北西の堆積盆を埋める、よく成層した堆積層ユニットであるが、C1海底谷軸部から東方に10 km程度の最上部約0.1秒には、侵食不整合面の上位に連続性の悪い反射面の卓越する部分が認められる。西側の下盤は第1五島帯の高まりをなす音響基盤ユニットであり、頂部は水深110-120 m付近で平坦に侵食されて海底に露出している。音波の透過は悪く、下限は不明であるが、著しく褶曲した内部反射面が認められる。上面は東縁の急崖部で上位の堆積層ユニットにオンラップで覆われ、反射波の回折により不明瞭だが正断層に沿って著しく落ち込んでいるものと考えられる。本断面では上面の鉛直変位量は不明である。この激しく変形した音響基盤ユニットは、北側の断面（第13図）の西端の海底下0.09秒以下に連続する。

宇久島北東方におおむね水深70 m以浅で宇久島から連続する海底地形の高まり（第13図）や、宇久島西方沖（第14図）の海底下には、成層した内部反射面がかろうじて見えるものの、局所的な音響散乱が卓越する部分が認められる。これらは山体状の形状を示し、部分的に頂部が海底に露出する。その周縁部の傾斜した上面は堆積層ユニット最上部でオンラップされるが、音響散乱部自体は側方に厚さを減じ、成層した反射面に漸移するように見える。



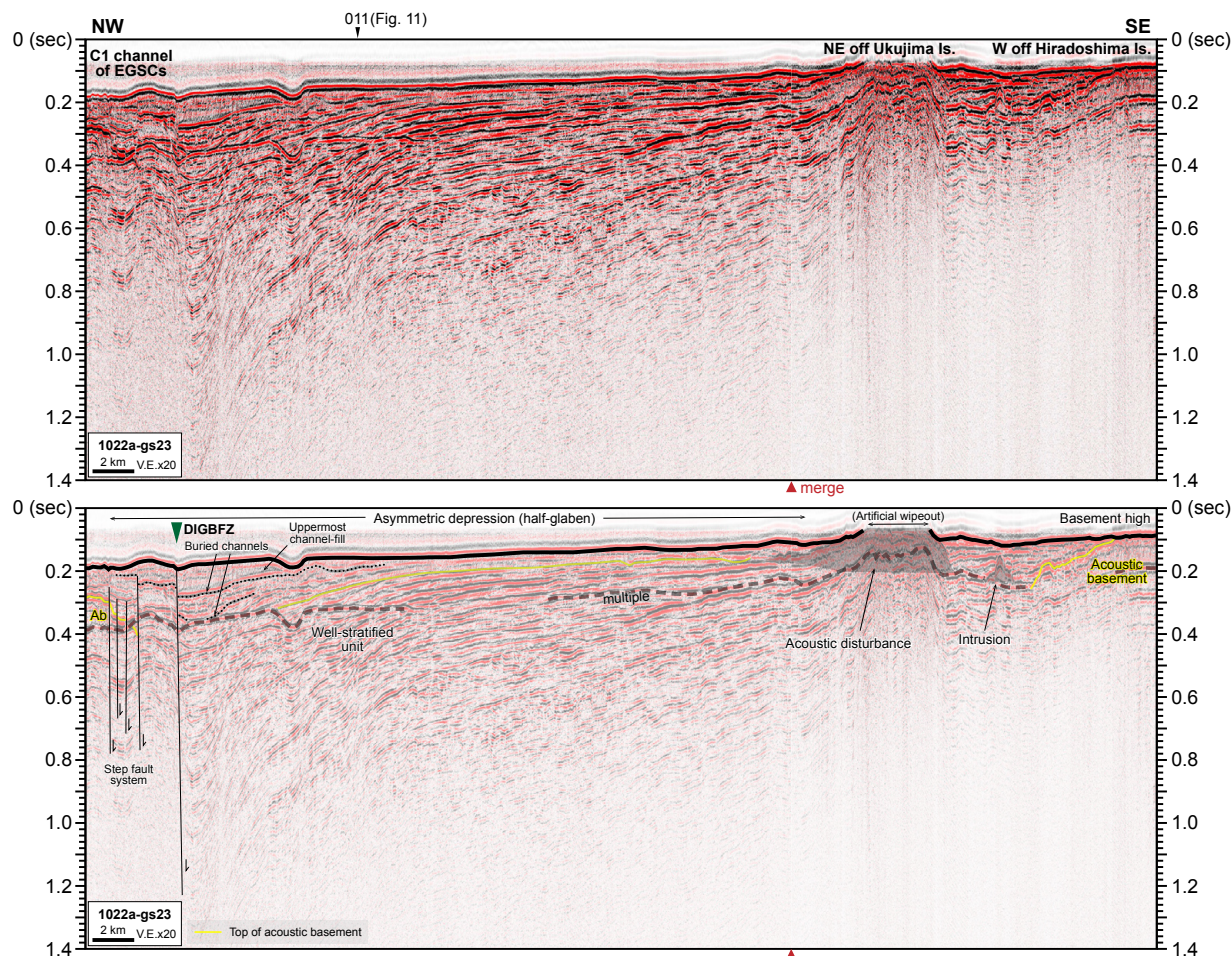
第 11 図 対馬海峡南部から五島列島北方沖にかけての北東-南西断面 (測線 011b-gs23). 断面南西端は、第 12 図の断面北東端とわずかにオーバーラップする。

Fig. 11 A NE-SW section from the southern part of Tsushima Strait to northern offshore of Goto Islands (Line 011b-gs23). The SW end of section overlaps with the NE end of that of figure 12.



第 12 図 五島列島北西沖の北東-南西断面 (測線 011a-gs23). 断面北東端は、第 11 図の断面南西端とわずかにオーバーラップする。EGSCs (East Goto Shelf Channels): 東五島海底谷群 (永野ほか, 1976; 桂・永野, 1982). DIGBFZ (Daiichi-Goto Bank Fault Zone): 第 1 五島堆断層帯 (地震調査委員会, 2022). 略語は以下第 16 図まで同様。

Fig. 12 A NE-SW section northwestern offshore of Goto Islands (Line 011a-gs23). The NE end of section overlaps with the SW end of that of figure 11. EGSCs: East Goto Shelf Channels (Nagano *et al.*, 1976; Katsura and Nagano, 1982). DIGBFZ: Daiichi-Goto Bank Fault Zone (Earthquake Research Committee, 2022). Abbreviations are the same for the following figures 13-16 as above.



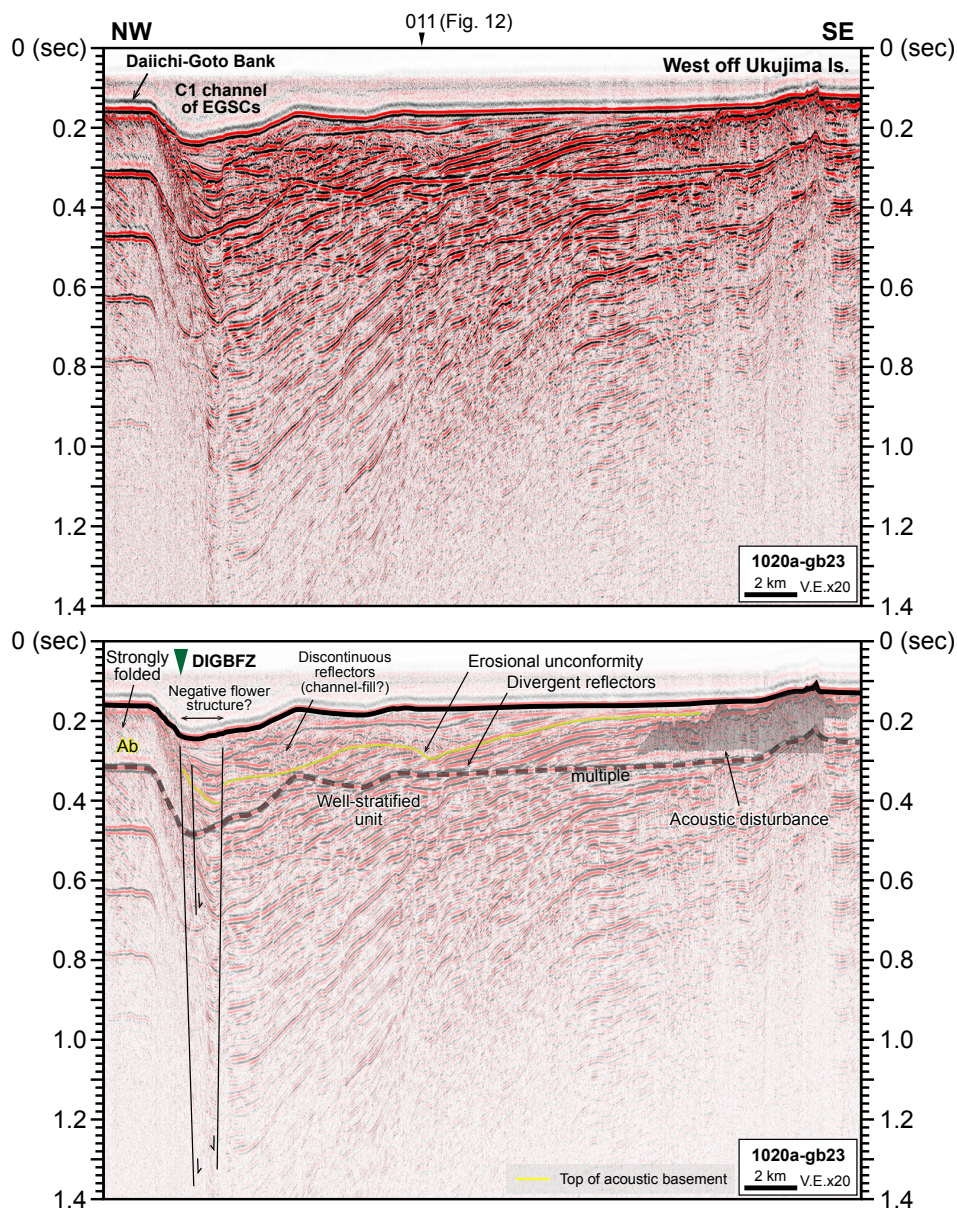
第13図 五島列島北方沖から平戸島沖合の北西-南東断面（測線1022a-gs23）。断面下方枠外の赤三角は、2回に分けて取得した断面の接合部を示す。

Fig. 13 A NW-SE section from northern offshore of Goto Islands to offshore Hiradoshima Island (Line 1020a-gs23). The red triangles under the lower ends of each panel indicate the merged position of two separate sections.

ここで、五島列島北西沖に認められる堆積盆の性質について簡単に考察する。音響基盤の上面形状と上位の堆積層ユニットの分布から考えて、本堆積盆は北東-南西方向に約40 km、北西-南東方向に20 km前後の空間的広がりを持つと推定される。長軸方向である北東-南西方向には、北側の傾斜がやや緩いものの、比較的対称な形態を示し、両縁辺部は基盤の高まりに沿うように薄くなる（第11図、第12図）。これに対して、短軸方向の北西-南東方向には著しく非対称な形態を示し（第13図、第14図）、東縁では五島列島から平戸島にかけての基盤の高まりに沿って堆積層ユニットが緩やかにせん滅する一方、西方では第1五島堆東縁のC1海底谷付近で最も厚くなり、高角正断層系に沿う基盤（褶曲の卓越するユニット）の急傾斜によって西縁を境される。すなわちこの堆積盆は、全体として北西落ちのハーフグラaben（半地溝）構造であると考えられる。地震調査委員会（2022）は、第1五島

堆の東縁を通りおおむねC1海底谷に沿う顕著な断層帯として、第1五島堆断層帯を認定している。本調査で認められたハーフグラabenの西縁をなす境界断層は、その分布域から考えて、およそ北緯33度20分以北の第1五島堆断層帯北部区間に相当すると考えられる。第1五島堆断層帯は右横ずれの性質をもつとされており、堆積盆の境界をなす正断層系（第13図、第14図）は、対馬南方沖断層のアナロジーとして、負のフラワー構造の上端の表れの可能性がある。ハーフグラabenを埋める堆積層ユニットの内部反射面は、縁辺付近で堆積中心に向かって発散するパターンにより特徴づけられ、対馬南方海域と同様の横ずれ引張応力場のもとで、第1五島堆断層帯の右横ずれ活動に伴い、継続的に沈降帯として発達してきたことを示唆している。

東五島陸棚谷群の中でもC1海底谷は、第1五島堆断層帯（五島構造線あるいは対馬-五島構造線：永野ほか、



第14図 五島列島宇久島北西沖の北西-南東断面 (測線1020a-gb23)。

Fig. 14 A NW-SE section northwestern offshore of Ukujima Island, Goto Islands (Line 1020a-gb23).

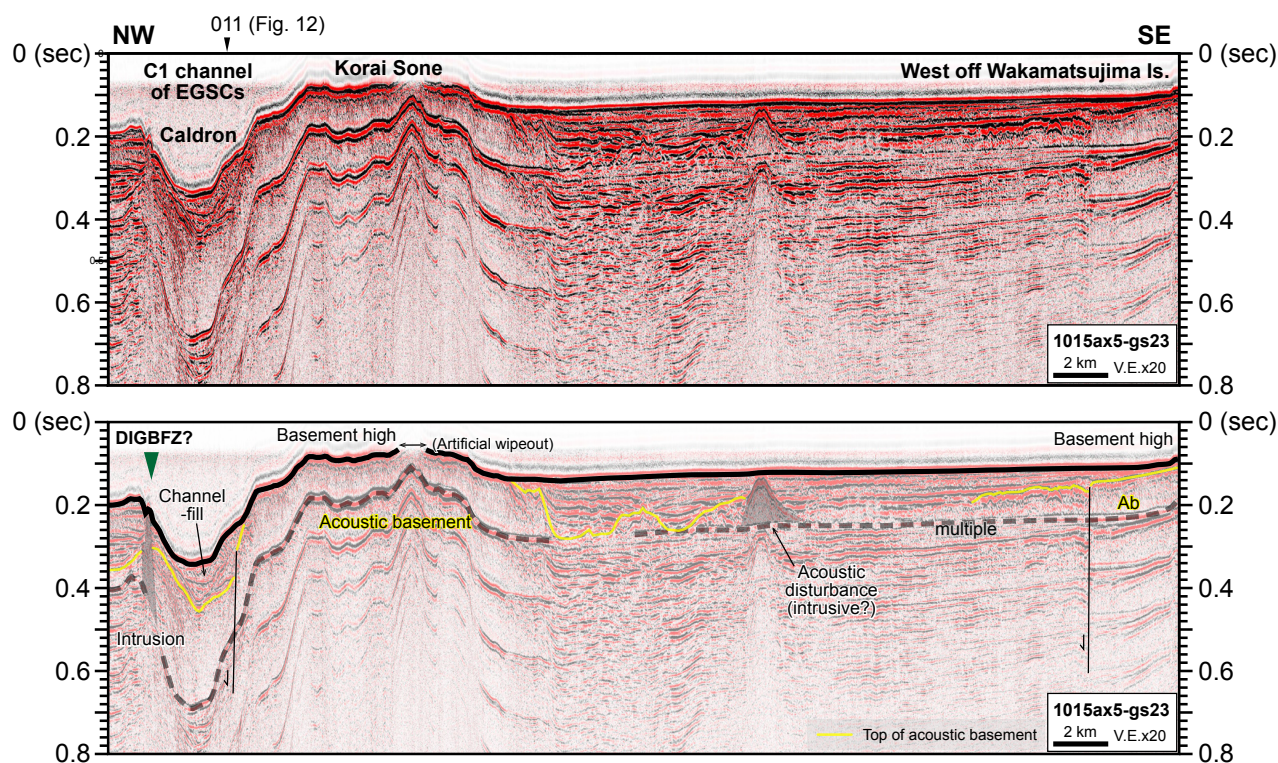
1976)に規制され、対馬海流の強い流れの影響下で発達した構造谷であることは古くから指摘されてきた(桂・永野, 1982)。本調査でも五島列島北西沖のC1海底谷下には、部分的に下位層の侵食を伴う下に凸のチャネル状構造を埋めて、堆積層ユニット最上部が分布する(第13図, 第14図)。これはおそらくチャネル充填堆積物に位置付けられると考えられるが、第1五島堆断層帯の正断層系により切られている(第13図, 第14図)。

4.3 五島列島西方-南方

本調査では、主としてGS23航海において、東経128

度20分以東の第2-第4五島堆の分布域、東五島海底海底谷群の南方収れん部、中通島から久賀島の西方のおおむね水深80-110 mに広がる陸棚、及び福江島西方の水深100-150 mに広がる平坦部をカバーする五島列島西方海域でデータを取得した(第4図c)。また、福江島南方の福江海盆の南東半部から五島海底谷上流部にかけての海域において、主として北東-南西方向のデータを密に取得することができた(第4図c)。

第12図に示す測線011の中通島北西沖以南の部分は、おおむねC1海底谷付近の軸に沿った断面を示している(第4図c)。北東方の沈降帯(ハーフグラーベン)南縁付



第15図 五島列島若松島北西沖の北西-南東断面（測線1015ax5-gs23）。

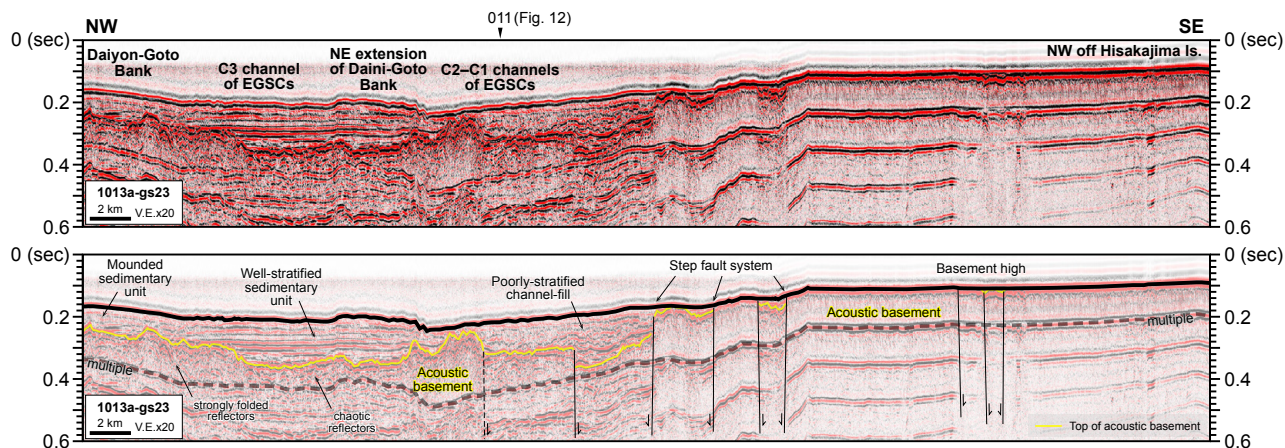
Fig. 15 A NW-SE section northwestern offshore of Wakamatsujima Island, Goto Islands (Line 1015ax5-gs23).

近から南方に、上面が凹凸に富む音響基盤ユニットが海底下約0.22–0.32秒以深に認められる（第12図）。若松島北西沖には顕著な地形的高まりである高麗曾根が存在し、その北西には対照的に水深200 mを超える海釜地形が発達する（茂木，1981）。この海釜地形の海底下では音響基盤の分布がより浅くなり、海釜中央部で斜面部海底に露出する。この部分ではGB23航海でドレッジ（D03地点）が実施され、堆積岩・火成岩が得られた（有元ほか，2025）。この北東側では音響基盤上面の起伏に合わせて、それをオンラップで覆う堆積層ユニット下部の著しい褶曲が認められる。これに対して海釜南西部以南では、音響基盤ユニットの起伏はあるものの、上位の堆積層ユニット内部に北東-南西方向の褶曲変形はほとんど認められない。五島列島北方で認められる連続性が良く成層した堆積層ユニットの内部反射面は、海釜地形の南東部海底下まではほぼ連続して認められるが、第1五島堆断層帯（南部区間）と断面が交差すると予想される奈留島北西沖以南では、連続性の悪い内部反射面が卓越する音響的層相となる。第1五島堆断層帯の構造は、断層の走向と断面（第12図）の方向に近いこともあり、また貫入構造の影響により不明瞭となっている。

若松島沖合の北西-南東方向の断面（第15図）では、第1五島堆南方延長部から海釜中央部を横切り、高麗曾根を経て列島沿岸に連続する陸棚の海底下地質構造を示

している。第1五島堆の地形的高まりをなす音響基盤ユニットは、断面北西部で成層した堆積層ユニットに覆われる。直交方向の断面（第12図）でも認められたように上面深度は比較的浅く、海釜を挟んで高麗曾根及び東方の陸棚海底下まで連続する。音響基盤ユニットの内部構造は、音波の透過が悪く、本断面ではほとんど認められない。高麗曾根以東の陸棚海底下では、堆積層ユニットが約0.14秒以下の厚さで分布し、平坦な海底面をなす。また音響基盤ユニットに伴って局所的な山体状の音響散乱部も認められるが、上位は堆積層ユニットに水平にオンラップされ、上面形状に調和的な変形は認められない。第1五島堆断層帯の分布が予想される海釜西縁には貫入構造が認められ、断層による変位は確認が困難である。

久賀島沖合の北西-南東方向の断面（第16図）では、久賀島に連続する陸棚の海底下において堆積層ユニットは欠如するか、本探査仕様で認識できない程度に薄く音響基盤ユニットを覆っていると考えられる。音響基盤上面は、高麗曾根-久賀堆間付近で正断層系により北西に落ち込んで、最大層厚約0.18秒程度の堆積層ユニットにオンラップで覆われるが、沖合にも連続的に認められる。沖合では音響基盤ユニット内部にも、強い褶曲変形や、乱雑で連続性が非常に悪い内部反射面が確認できる。堆積層ユニットの内部反射面は、北西の第4五島帯からC3海底谷を経て第2五島堆南方延長部の海底下では連続性



第 16 図 五島列島久賀島北西沖の北西-南東断面 (測線 1013a-gs23)。

Fig. 16 A NW-SE section northwestern offshore of Hisakajima Island, Goto Islands (Line 1013a-gs23).

が良いが、測線 011 とのクロス部分を含む C1 及び C2 海底谷合流部の海底下では、北東-南西方向断面 (第 12 図) で認められたものと同様の、連続性の悪い内部反射面が卓越する。

C1 海底谷付近に沿って分布する、連続性の悪い内部反射面をもつ堆積層ユニットは、基盤ユニットの上面に発達した正断層系による凹地を埋めるように発達している。これは、北方のハーフグラベン上部から海釜 (第 15 図) を経て連続的あるいは断続的に分布する、チャネル充填堆積物と解釈できる。海底面に分布するサンドウェーブ地形 (第 12 図南西部) は、局所的に強い流れの影響下にあることを示唆する。

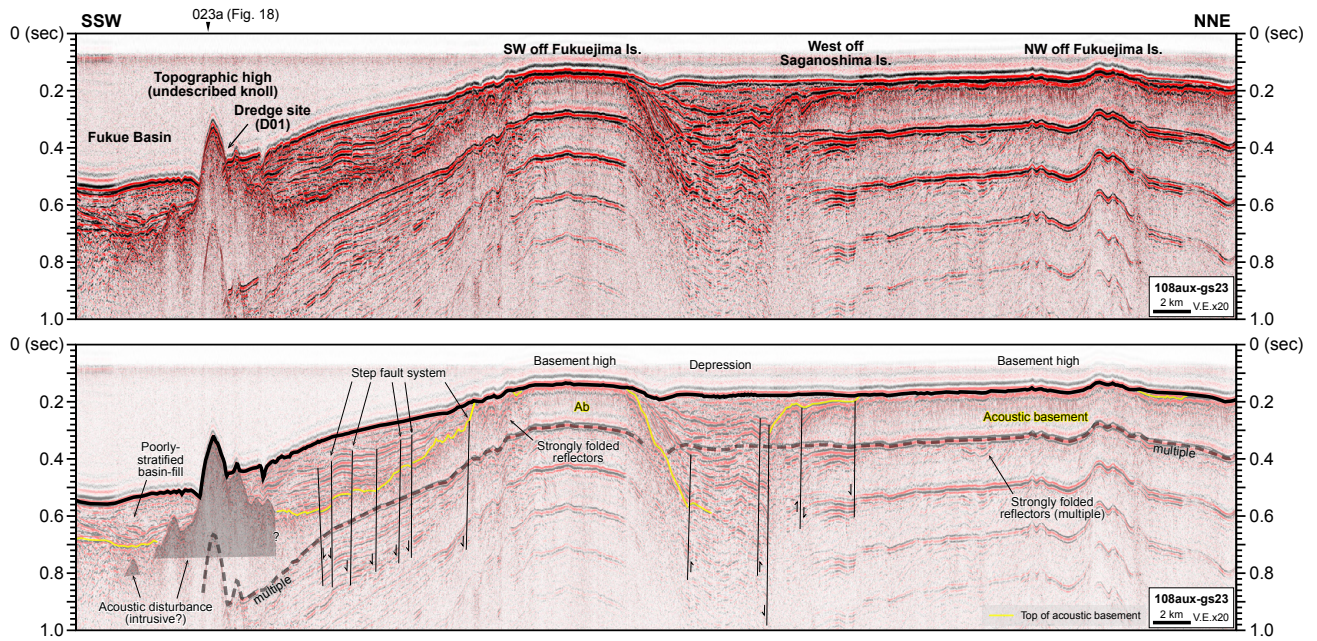
地震調査委員会 (2022) の示した第 1 五島堆断層帯の分布域は、本調査の測線 1013a 断面 (第 16 図) との交差付近が南限とみなされている (第 4 図 c)。C1 海底谷付近の海底下に東落ちの正断層系による基盤の落ち込みは認められるが、どのように連続性が追跡されるかについては、前後の断面も合わせて慎重な解釈が必要である。

福江島西方から南方にかけての断面 (第 17 図) の北側には、福江島西方の水深 100–150 m に広がる平坦部をなす、上面を平坦に侵食された著しく褶曲した音響基盤ユニットが認められる。嵯峨ノ島南西沖には、音響基盤上面を大きく変位させる断層を伴う、南北に 7 km 程度の幅をもつ局所的な沈降帯が認められる。福江海盆の北縁をなす斜面部の海底下 (第 17 図) は、福江島西方沖から連続し、海盆方向に傾斜する基盤ユニットと、それを最大 0.25 秒程度の厚さで覆う成層した堆積層ユニットにより特徴づけられる。堆積層ユニットの下部は連続性の良い内部反射面をもつ一方、上部では連続性が比較的悪い。基盤ユニット及び堆積層ユニットの下半部には、ステップ状に海盆方向に落ち込む正断層系が発達しているが、これらは堆積層ユニットの上部には達していない。

福江島南方の海盆斜面の下部には、海底地形の区分上は海丘に相当する、未記載の顕著な地形的高まりが断面上に認められる (第 17 図, 第 18 図)。この高まりの北東斜面では、GB23 航海でドレッジを実施 (地点 D01) し、岩石試料は回収されなかったものの、海底映像データを取得した (有元ほか, 2025)。この高まり及び周縁部に埋没する音響散乱部は、上面が著しく起伏に富み、局所的に貫入構造を示す。

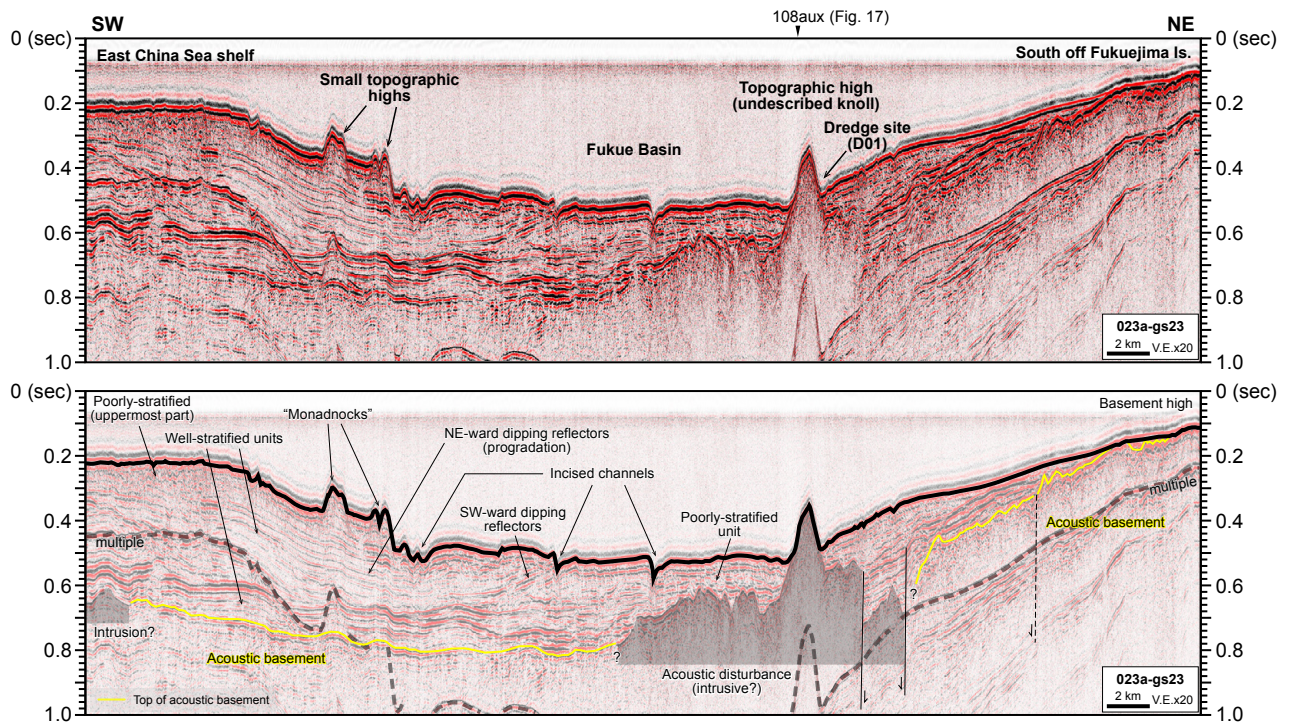
福江海盆では、北側の斜面から海盆底にかけての部分で、連続性の悪い反射面をもつ堆積層ユニットが発達する (第 17 図) が、より南西側の海盆底から東シナ海陸棚域にかけての海底下 (第 18 図の南西側) では、基盤ユニットの上面を厚さ約 0.2 秒でよく成層したユニットがほぼ水平に覆い、さらに上位にプログラデーションパターンを示す最大厚さ約 0.3 秒程度の堆積層ユニットが覆う構造が認められる。このプログラデーションを示す堆積層ユニットは東方の笠山帯付近にも認められ (第 19 図)、福江海盆から五島海底谷周辺の陸棚-斜面部に広域に分布すると予想される。福江海盆内では、プログラデーション堆積層ユニットの内部反射面の傾斜方向は、見かけ上南西方向と北東方向の 2 系統が認められる (第 18 図)。また、東シナ海陸棚上平坦面の表層付近には、乱雑な反射面が卓越する部分がある (第 18 図)。福江海盆の南西斜面にも、小規模な地形の高まりが複数存在するが、これらは断層や貫入構造を伴わず、プログラデーション堆積体ユニットの侵食による“残丘”地形であると考えられる (第 18 図, “Monadnocks”)。これらの“残丘”地形の存在に加え、海盆底に見られる複数の埋積されていない小規模な侵食谷 (第 18 図) など、福江海盆の海盆地付近には侵食地形が卓越している。

五島海底谷上流部を横切る北西-南東方向の断面 (第 19 図) には、カオティックな内部反射面の卓越により特



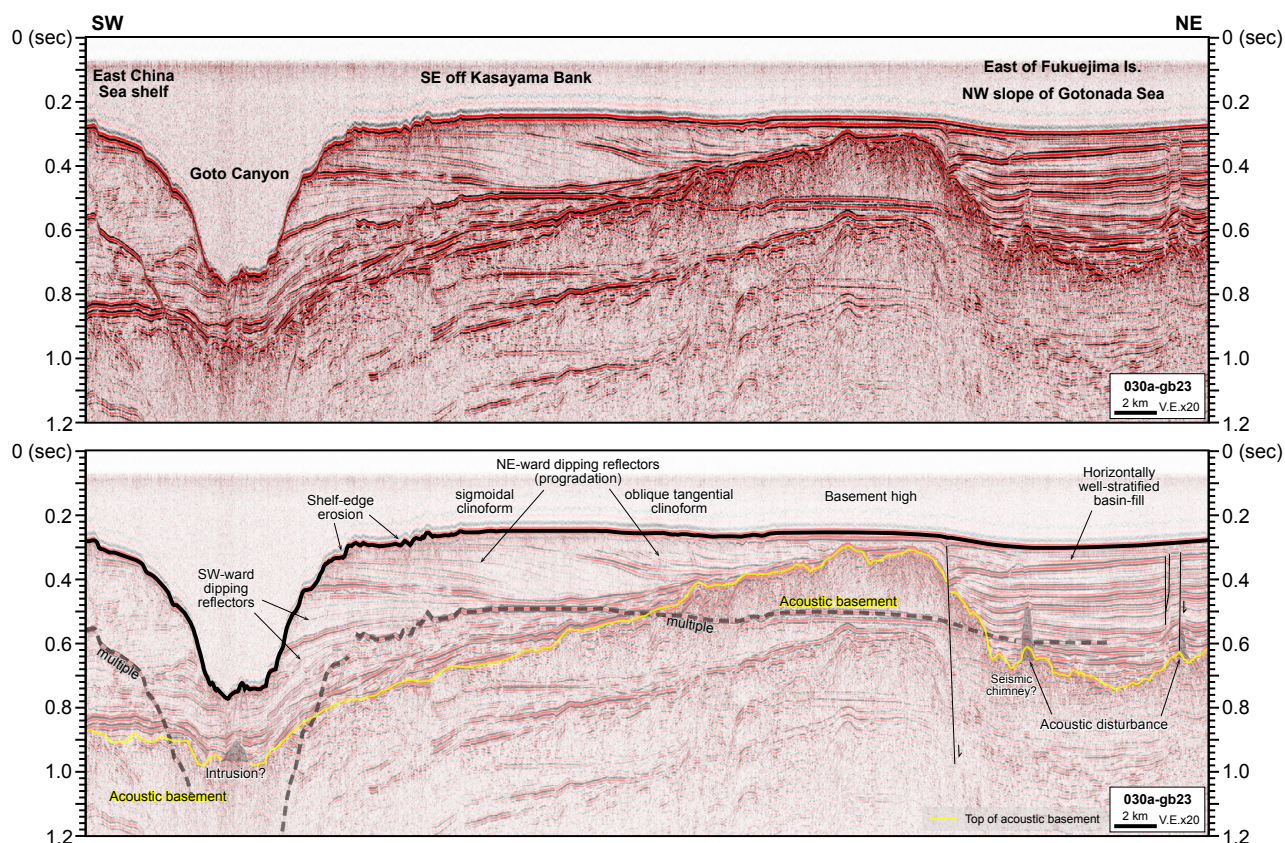
第17図 五島列島福江島西方沖の北北東-南南西断面 (測線 108aux-gs23) .

Fig. 17 A NNE-SSW section western offshore of Fukuejima Island, Goto Islands (Line 108aux-gs23).



第18図 五島列島福江島南方沖の北東-南西断面 (測線 023a-gs23) .

Fig. 18 A NE-SW section southern offshore of Fukuejima Island, Goto Islands (Line 023a-gs23).



第19図 五島列島福江島南東沖-南方沖の北東-南西断面 (測線030a-gb23)。

Fid. 19 A NE-SW section from southeastern to southern offshore of Fukuejima Island, Goto Islands (Line 030b-gs23).

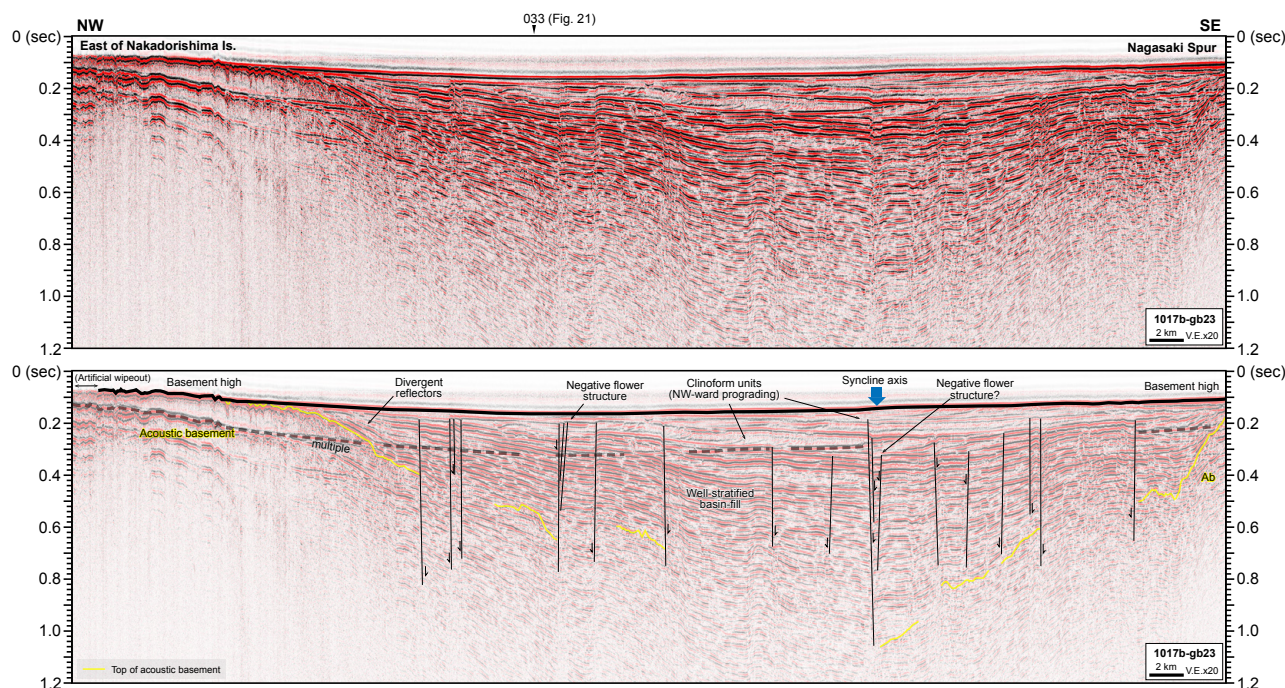
微づけられる音響基盤ユニットが連続的に認められる。音響基盤上面は、五島海底谷直下で比深約0.1秒程度の凹地をつくるが、北東方に向かって緩やかに浅くなり、福江島南東沖で顕著な高まりをなしている。堆積層ユニットは断面上で広く音響基盤ユニットを覆い、また基盤の高まりを境に内部反射面のパターンが大きく異なる。南西方はプログラデーション堆積層ユニットからなり、最大厚さ約0.6秒近くに達するが、海底谷により著しく侵食される。このプログラデーション堆積体は、福江島沖の陸棚の分布域では、海底谷壁に露出する下半部は見かけ南西傾斜である一方、上半部は見かけ北東傾斜となる。さらに上部の下部はsigmoidalクリノフォーム、上部の上部はoblique tangentialクリノフォームと異なるパターンの形状を示すなど、多様な累重パターンにより特徴づけられる。このプログラデーション堆積層ユニットは基盤にオンラップしつつせん滅し、高まり上では0.04秒程度と薄く水平に成層した堆積層ユニットが基盤を覆う。その北東方の、福江島東方沖陸棚斜面域では、北東-南西方向に水平なよく成層した堆積層ユニットが、最大厚さ0.4秒程度で発達する。また堆積層ユニット下部には、音響基盤上面から細く立ち上るような形状の局所的な音

響散乱 (第19図) が認められる。これはLuo *et al.* (2022) などに示されるseismic chimney構造や、三澤ほか(2011)のwipe-out構造の事例に類似している。

4.4 五島灘 (五島列島東方)

本海域については、GB23航海の後半で部分的に調査を行い、五島列島中通島東方沖から長崎半島周辺に至る北西-南東系測線、及び西彼杵半島沖から水深240 m以浅の陸棚斜面上部に至る北東-南西系測線のデータを得た (第4図d)。

中通島東方沖の北西-南東方向断面 (第20図) では、全体として五島灘中央に向かって音響基盤上面と堆積層の内部反射面が傾斜する、顕著な向斜構造が認められる。音響基盤上面は、中通島南東の沖合約10 km程度まで頂部を侵食されて海底面に露出し、さらに沖合約4 km程度まで、ごく薄い堆積層ユニットに覆われて海底下浅部に分布する。より沖合では上位の堆積層とともに南東方向に傾斜し、向斜軸付近では追跡が難しくなるものの、海底面から約0.92秒付近まで深度を増す。東方の長崎海脚西縁部では、海底下0.08秒付近まで再び浅くなる。堆積層ユニットの下部はよく成層して連続性の良い内部反射



第20図 五島列島中通島東方沖から長崎海脚にかけての北西-南東断面（測線 1017b-gb23）。

Fig. 20 A NW-SE section from eastern offshore of Nakadorishima Island, Goto Islands, to Nagasaki Spur (Line 1017b-gb23).

面をもち、厚さは断面上で最大0.75秒に達する。これに対して、堆積層ユニットの上部は、くさび状の外形でクリノフォームを示す内部反射面をもつ堆積体が分布域を変えながら複数セット累重する特徴的な構造を示す。クリノフォームの傾斜方向は、本断面上では北西方向である。堆積層下部には広く高角の正断層系が発達し、一部の断層は上部のクリノフォームセットの内部に達するが、海底面に達するものは認められない。堆積盆をなす向斜の翼部や軸付近には、主断層から上方で分岐する、小規模な負のフラワー構造が認められる。

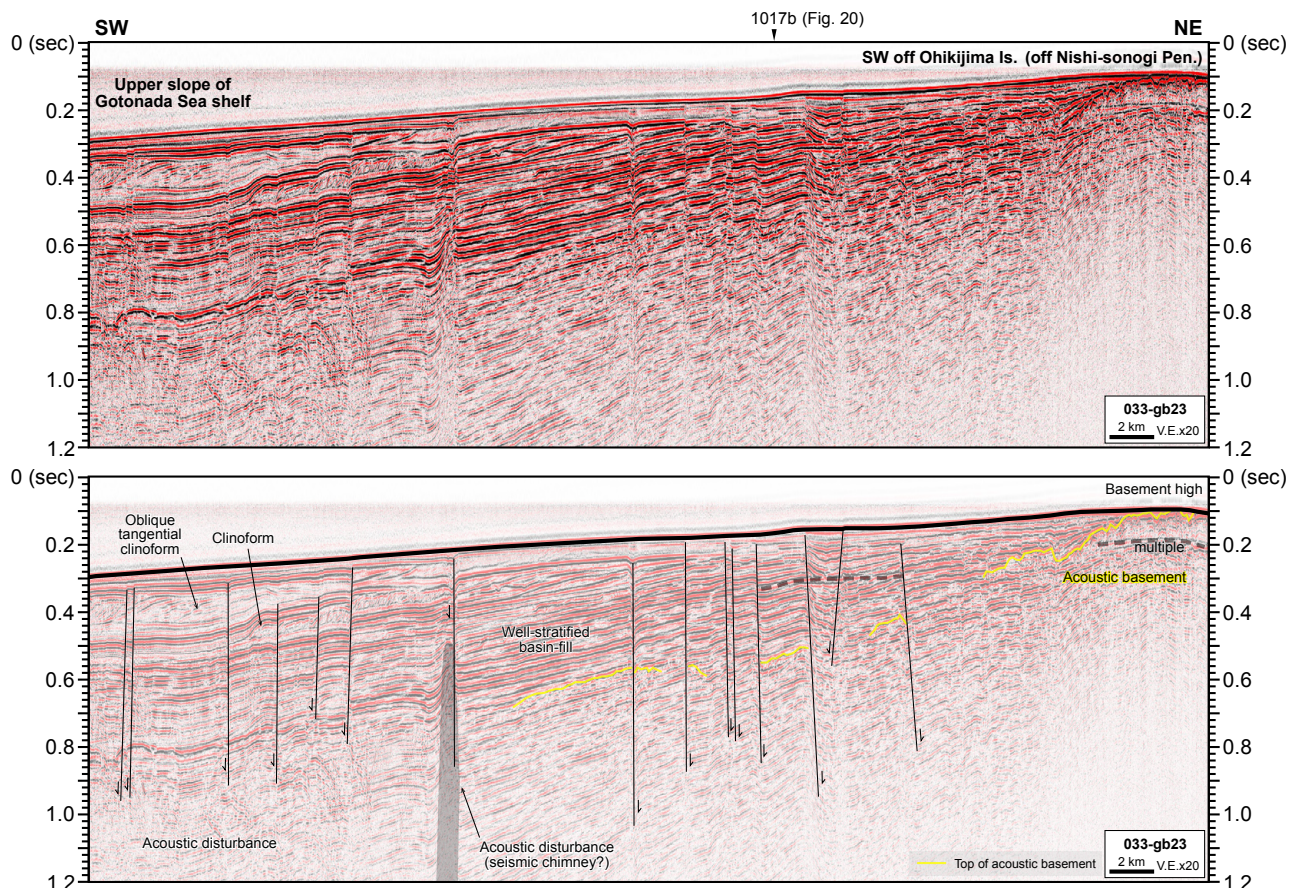
一方、北東-南西方向の断面（第21図）では、西彼杵半島沖の^{おおひきしま}大曇島沖合から五島灘陸棚斜面上部海底下に向かって、音響基盤上面及び堆積層内部反射面が一様に傾斜する同斜構造をなす。音響基盤の上面は、往復走時約0.7秒以深で追跡が困難になり、より沖合の深部では、周囲との境界面が明確でなく上に凸の形状を示す音響擾乱のパターンが認められる。本断面にも高角の正断層系が発達し、ごく一部は海底面あるいは海底面付近まで達する。断面中央より南西側沖合の海底下には、見かけ上南西方向に傾斜する内部反射面を持つクリノフォームセットが発達する。単一のクリノフォーム堆積体は、最大で厚さ0.1秒程度と見積もられる。また断面方向の水平的な広がり、10 km程度から、大きいものでは20 km以上に達すると見積もられる。クリノフォーム前縁はくさび状に薄くなり、平行に成層した反射面に連続する。これらのクリノフォームセットは正断層系に切られ、ス

テップ状に変位している。また、福江島東方沖（第19図）に認められた音響散乱と同様のseismic chimneyに類似するパターンが、本断面の断層に沿って認められる。

本稿で検討した断面はわずかであるため、詳細な堆積盆の形態や断層の分布は現状不明であるが、堆積盆はおおむね鮮新世以降のテクトニクスを反映し(Itoh *et al.*, 1999; 伊藤, 2000)、高角正断層を伴い継続的に沈降しながら発達してきたことが、堆積層ユニット内の発散する反射面のパターン（第20図、第21図）から推定される。北東-南西方向の断面に見られる同斜構造から、沈降の中心はおそらく五島灘陸棚の南方沖合にあると考えられる。

4.5 対比

本調査海域で識別された音響基盤ユニットは、井上(1982)及び桂(1992, 2010b)により総括された層序区分のE層に対比されることが考えられる。音響基盤ユニットをなす地質体の帰属については、周辺の陸上地質との連続性から海域により異なるとされており(永野ほか, 1976)、岩石試料採取(有元ほか, 2025)の結果等を考慮しつつ検討する必要がある。また、壱岐水道南部(第8図)や五島列島周辺(第13図ほか)に認められた局所的な音響散乱や貫入構造については、九州北西地域に広く認められる新第三紀後期-第四紀アルカリ火成活動(棚山, 2010)を背景とした、火山体や貫入火成岩の分布を示す可能性がある。また五島灘海底下に認められたseismic chimney



第 21 図 西彼杵半島沖合の北東-南西断面 (測線 033-gb23)。

Fig. 21 A NE-SW section western offshore of Nishi-sonogi Peninsula (Line 033-gb23).

あるいはwipe-out構造に類似する音響散乱 (第 19 図, 第 21 図) については, 低密度物質の存在を示唆する可能性がある (例えば三澤ほか, 2011)。一方, 堆積層ユニットと解釈した地質体は, 全体として伊藤 (2000) や岩田・亀尾 (2001) に示された D 層, 及び井上 (1982) 及び桂 (1992, 2010b) の A-D 層に対比されると考えられる。今後, 堆積層ユニット内部の広域不整合面を認定し, 既存の層序区分との詳細な対比を行うことにより, 九州北西海域における後期新生代の地質構造発達史の解明につながる事が期待される。

5. まとめ

対馬及び五島列島周辺の九州北西海域における, 20 万分の 1 海底地質図の作成を目的として, 2023 年度に GS23 及び GB23 の 2 航海でマルチチャンネル反射法音波探査を実施した。対馬海峡周辺, 及び五島列島周辺海域にかけて, 測線及び測線間移動の合計約 3,952 マイル (7,319 km) にわたるデータを取得した。調査海域の地質構造について予察的に検討した結果は, 以下のようにまとめられる。

- (1) 対馬海峡 (東水道) 周辺海域は, 島嶼部沿岸及び海峡軸部に分布する音響基盤ユニットと, 海峡軸部を中心に沖合で広くそれを覆う堆積層ユニットからなる。堆積層ユニットの内部反射面は北東-南西方向に連続性が良い一方, 北西-南東方向にはより複雑で短波長の構造が見られる。海峡軸部には, 音響基盤の高まりとそれに伴う堆積層下部の褶曲が見られる。壱岐水道南部には局所的な音響散乱部が認められる。
- (2) 対馬海峡南部の堆積層ユニットには, 埋没チャネルがよく発達する。また, 対馬南方沖の南西方向に 22 km 以上連続する, 強変形帯と負のフラワー構造を伴う顕著な断層や, その東方の北西落ち高角断層などは, それぞれ地震調査委員会 (2022) の対馬南方沖断層及び七里ヶ曽根断層に対比され, 横ずれ引張応力場での活動が示唆される。
- (3) 五島列島北方には, 対馬海峡南部から南西方向に約 30 km 近く伸びる顕著な隆起帯と, さらに五島列島北西沖にかけて南西方向に約 40 km 広がる沈降帯が配列する。沈降帯は北西-南東方向に非対称な褶曲をなし, 北西縁を第 1 五島堆断層帯の正断層系により境され

るハーフグラベンである。第1五島堆断層帯は負のフラワー構造を伴い、横ずれ引張応力場での発達を示唆する。第1五島堆断層帯は東五島陸棚海底谷C1海底谷に分布する堆積層ユニット最上部のチャンネル充填堆積物を変位させている。

- (4) 五島列島西方では、C1海底谷以東で堆積層ユニットがあまり発達していない。C1海底谷付近にはしばしば貫入構造が見られ、断層など構造の連続性が確認しづらい。音響基盤ユニットには正断層系が発達する一方、堆積層ユニットは五島列島北方などと異なり、変形はほとんど認められない。
- (5) C1海底谷内には、正断層系による凹地を埋める、連続性の悪い内部反射面により特徴付けられるチャンネル充填堆積物が、海釜など強侵食域を除いて広域に分布する。海底面に発達するサンドウェーブは局所的な強い流れの影響を示唆する。
- (6) 福江島西方では、頂部を侵食された基盤ユニットが広く海底面をなすか、ごく薄い堆積層ユニットに覆われるほか、部分的に断層に規制された小規模な沈降帯が見られる。音響基盤ユニットはさらに南方の福江海盆斜面下に連続し、海盆底まで追跡される。
- (7) 福江海盆には、音響基盤ユニットと、それを覆うよく成層した反射面をもつ堆積層ユニットや、内部構造が不明瞭な堆積層ユニットが分布する。また、貫入構造を示す音響散乱の卓越するユニットが地形的高まりをなす。福江海盆から五島海底谷付近にかけて、大規模なプログラデーションパターンを示す特徴的な堆積層ユニットが分布する。このユニットは海盆の縁辺部で侵食され、局所的に“残丘”地形を形成している。
- (8) 五島灘海域の海底下に分布する音響基盤上面及び堆積層ユニットは、北東-南西方向に軸を持つ大規模な向斜構造をなす。また陸棚-斜面上部海底下の反射面は、南西方向に向かって同斜構造を示し、南西沖に沈降中心が想定される。堆積層ユニットの下部はよく成層した平行な反射面により特徴づけられるが、上部は北西あるいは南西に傾斜する内部反射面をもつクリノフォームが累重する。これらの堆積層ユニットは、多数の高角の小断層群により切られているが、海底面に達する断層は陸棚上では少ない。
- (9) 本調査海域で認められた音響基盤ユニットは主として海上保安庁調査に基づくE層に対比され、堆積層ユニットはA-D層に対比される。また、壱岐水道や五島列島周辺では、火成活動に関連する可能性がある音響散乱卓越部や貫入構造などが認められた。

謝辞：本稿の地形図は、QGIS 3.28 (QGIS Development Team, 2024) 及びGMT 6 (Wessel *et al.*, 2019) を用いて作図した。GS23航海の実施に際し、宮崎唯史船長をはじめ

とする神鷹丸船員の皆様、サイスガジェット株式会社の乗船職員の皆様、東京海洋大学の野田 明教授、古山精史郎助教（現 准教授）及び乗船学生の皆様にご多大なご協力をいただいた。GB23航海の実施にあたっては、上河内信義船長をはじめとする望星丸船員の皆様、玉井隆章観測技術員、海洋技術開発株式会社の乗船職員の皆様、乗船者研究者の皆様、及び乗船学生の皆様にご多大なご協力を頂いた。匿名の査読者のご指摘により、本稿は改善された。以上の方々に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 有元 純・鈴木克明・石塚 治・宇都宮正志 (2025) 九州北西沖GB23航海における海底岩石試料採取の概要と石灰質ナノ化石に基づく堆積岩の地質年代。地質調査研究報告, **76**, 241–257.
- Cohen, J. K. and Stockwell, Jr. J. W. (2022) CWP/SU: Seismic Un*x Release No. 44R23: an open source software package for seismic research and processing, Center for Wave Phenomena, Colorado School of Mines.
- Emery, K. O., Hayashi, Y., Hilde, T. W. C., Kobayashi, K., Koo, J. H., Meng, C. Y., Niino, H., Osterhagen, J. H., Reynolds, L. M., Wageman, J. M., Wang, C. S. and Yang, S. J. (1969) Geological structure and some water characteristics of the East China Sea and the Yellow Sea. *CCOP Technical Bulletin*, **2**, 3–43.
- GEBSCO Compilation Group (2024) GEBSCO 2024 Grid. <https://www.gebco.net/data-products/gridded-bathymetry-data> (Accessed: 2024-08-27)
- 本座栄一・玉木賢策・湯浅真人・村上文敏・上嶋正人 (1979) 日本海南部および対馬海峡周辺広域海底地質図 (1:1,000,000)。海洋地質図, no. 13, 地質調査所。
- 井上英二 (1982) 対馬海峡をめぐる白亜系・古第三系の地質学的問題—その2—海域の地質と総括。地質ニュース, no. 340, 46–61.
- 井上卓彦・板木拓也・天野敦子 (2025) 巻頭言：九州北西方沖の海洋地質調査 —2023年度調査航海結果—。地質調査研究報告, **76**, 163–167.
- 伊藤康人 (2000) 日本海南部～九州周辺の新生代後期テクトニクス。石油技術協会誌, **65**, 48–57.
- 伊藤康人・長崎康彦・石井義朗 (1992) 北陸～山陰～北九州海域の石油地質 —山陰～北九州海域の地震探鉱による地史解釈—。石油技術協会誌, **57**, 53–58.
- Itoh, Y., Matsuoka, K. and Takemura, K. (1999) Paleogene and Plio - Pleistocene basin formation around northwestern Kyushu, Japan. *Island Arc*, **8**, 56–65.
- 岩田尊夫・亀尾浩司 (2001) 北西九州の含炭堆積盆地におけるシーケンス層序と堆積過程。石油技術協会誌, **66**, 278–291.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2022) 日本海

- 南西部の海域活断層の長期評価 (第一版) —九州地域・中国地域北方沖—. https://www.jishin.go.jp/main/chousa/22mar_sw_sea_of_japan/sw_sea_of_japan_honbun.pdf (閲覧日: 2025 年 4 月 24 日)
- 海上保安庁水路部 (1978) 5 万分の 1 沿岸の海の基本図「壱岐北部」及び同海底地形・地質調査報告. 1–31.
- 桂 忠彦 (1992) 対馬～五島列島周辺海域の海底地質. 水路部研究報告, no. 28, 55–138.
- 桂 忠彦 (2010a) 海洋地質 8.1 概説. 日本地質学会編, 日本地方地質誌 8 九州・沖縄地方, 朝倉書店, 東京, 379–385.
- 桂 忠彦 (2010b) 海洋地質 8.2 背弧海域. 日本地質学会編, 日本地方地質誌 8 九州・沖縄地方, 朝倉書店, 東京, 385–401.
- 桂 忠彦 (2010c) 海洋地質 8.4.1 玄界灘. 日本地質学会編, 日本地方地質誌 8 九州・沖縄地方, 朝倉書店, 東京, 412–415.
- 桂 忠彦・永野真男 (1976) 九州北西海域の海底地形と地質構造運動. 日本海洋学会誌, **32**, 139–150.
- 桂 忠彦・永野真男 (1982) 五島陸棚谷群の形態. 水路部研究報告, no. 17, 71–92.
- 経済産業省 (2023) CCS 政策について. https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shigen_nenryo/carbon_management/pdf/001_06_00.pdf (閲覧日: 2025 年 4 月 24 日)
- Kimura, M., Hiroshima, T. and Okuda, Y. (1975) Undersea beds and geological structure. In Inoue, E., ed., *Gotonada Sea and Tsushima Strait Investigations, Northwestern Kyushu, 1972–1973*, Cruise Report, no. 2, Geological Survey of Japan, 31–34.
- Luo, D., Cai, F., Li, Q., Yan, G., Sun, Y., Li, A. and Dong, G. (2022) Geophysical evidence for submarine methane seepage on the Western slope of Okinawa Trough. *Frontiers in Earth Science*, **10**, 985597.
- 松本 弾 (2013) 福岡沿岸域 20 万分の 1 海底地質図及び同説明図. 海陸シームレス地質情報集「福岡沿岸域」, 数値地質図 S-3, 産総研地質調査総合センター.
- 南 明 (1979) 山陰・対馬沖の堆積盆地の分布と性格. 石油技術協会誌, **44**, 321–328.
- 三澤文慶・木下正高・山下幹也・佐柳敬造・三澤良文 (2011) 相模湾西部・初島沖の浅部海底下構造. *JAMSTEC Report of Research and Development*, **13**, 1–15.
- Mitchum, R. M., Vail, P. R. and Sangree, J. B. (1977) Seismic stratigraphy and global changes in sea level, part 6: stratigraphic interpretations of seismic reflection patterns in depositional sequences. In Payton, C. E., ed., *Seismic Stratigraphy — Applications to Hydrocarbon Exploration*, American Association of Petroleum Geologists, AAPG Memoir, **26**, 117–133.
- 茂木昭夫 (1981) 対馬海峡大陸棚の地形発達 — 対馬陸橋に関連して —. 第四紀研究, **20**, 243–256.
- 永野真男・桜井 操・桂 忠彦・中村啓美・北原祥二・小野寺健英 (1976) 九州西岸沖の海底地質. 水路部研究報告, no. 11, 1–38.
- 日本水路協会 (2009) 海底地形デジタルデータ M7000 シリーズ, M7050 Ver. 1.0 近畿. CD 版.
- 岡村行信 (2017) 響灘海底地質図. 海洋地質図, no. 89 (CD), 産総研地質調査総合センター.
- 岡村行信 (2022) 野間岬沖海底地質図. 海洋地質図, no. 93, 産総研地質調査総合センター.
- 大嶋和雄・湯浅真人・黒田 敬・満塩博美・小野寺公児 (1975) 対馬～五島海域表層底質図 (1:200,000). 海洋地質図, no. 2, 地質調査所.
- QGIS Development Team (2024) QGIS 3.28 Geographic Information System. QGIS Association. <http://www.qgis.org> (Accessed: 2024-10-08)
- 柵山徹也 (2010) 新生代北部九州のテクトニクス史と火山活動史—背弧火山岩区研究における重要性—. 地学雑誌, **119**, 224–234.
- 佐藤 郁 (2021) ハイブリッドスパー型浮体式洋上風力発電 — 五島市沖における実用化と量産化について —. 日本船舶海洋工学会誌 KANRIN (咸臨), **96**, 48–53.
- 渡部克哉 (2022) 二酸化炭素貯留適地調査事業の概要と現況について. 石油技術協会誌, **87**, 117–126.
- Wessel, P., Luis, J. F., Uieda, L., Scharroo, R., Wobbe, F., Smith, W. H. F. and Tian, D. (2019) The Generic Mapping Tools Version 6. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, **20**, 5556–5564.
- Woodcock, N. H. and Fischer, M. (1986) Strike-slip duplexes. *Journal of Structural Geology*, **8**, 725–735.

(受 付 : 2024 年 10 月 9 日 ; 受 理 : 2025 年 9 月 26 日)