

3. 6 布田川断層帯（宇土半島北岸区間）の調査

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 布田川断層帯（宇土半島北岸区間）の調査

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立研究開発法人 産業技術総合研究所	主任研究員	大上 隆史
国立研究開発法人 産業技術総合研究所	研究グループ長	丸山 正

(c) 業務の目的

布田川断層帯（宇土半島北岸区間）（以下、宇土半島北岸区間とする）は、主として重力異常の急変帯の分布に基づいて、地下に伏在する活断層として推定されている。宇土半島北岸区間では、断層帯の南西端よりも南西でも重力異常の急変帯が連続するようにみえるため、断層帯はさらに南西の島原湾内に延長する可能性がある。また、宇土半島北岸区間においては、過去の活動に関する資料が得られていない。本研究では、宇土半島北岸区間が推定されている海域およびその南西側の島原湾において高分解能の音波探査や重力探査を実施することによって、活断層の正確な位置・連続性、南西端の位置に関する資料を取得する。また、新規手法である海上ボーリング調査を実施して、その結果を高分解能の音波探査で取得した探査記録断面と組み合わせることにより、宇土半島北岸区間の活動性に関する資料を取得する。

(d) 3 ヶ年の年次実施業務の要約

1) 令和4年度：

宇土半島北岸区間が推定されている海域およびその南西側の島原湾において、活断層の正確な位置・連続性、南西端の位置に関する資料を取得するため、高分解能の音波探査を70 km以上の測線において実施した。

2) 令和5年度：

宇土半島北岸区間の南西端付近およびその南西側に連続するようにみえる重力異常の急変帯を対象として、断層の連続性および南西端の位置に関する資料を取得するための物理探査を実施する。

3) 令和6年度：

宇土半島北岸区間の活動性についての資料を取得するため、海上ボーリング調査等によって海底面下の堆積物を採取して、断層近傍の層序を検討する。その結果を高分解能の音波探査で取得した探査記録断面と組み合わせることによって、宇土半島北岸区間の過去の活

動について検討する。

(2) 令和4年度の成果

(a) 業務の要約

本研究では、宇土半島北岸区間の正確な位置・連続性、南西端の位置に関する資料を取得するため、宇土半島北岸区間が推定されている海域およびその南西側の島原湾において、高分解能の音波探査を実施し、海底面下 200 m 程度までの地質構造を検討可能な高品質な音波探査記録断面を取得した。本研究で取得した音波探査記録断面にもとづいて、重力異常の急変帯に沿って宇土半島北岸区間が推定される海域（宇土半島および大矢野島の北岸）において、第四紀層を累積的に変形させる海底活断層が分布していることが確認できた。また、宇土半島北岸区間の南西端よりも南西側の島原湾においては、重力異常の急変帯が西方向および南西方向の2条に分岐している。この海域で取得した音波探査記録断面によれば、2条の重力異常の急変帯のうち西方向に分岐して延びる重力異常の急変帯に沿って海底活断層が連続している。この断層の端点は、今年度の探査範囲よりさらに西側の島原半島の方向に位置していると推察される。他方で、南西方向に分岐して延びる重力異常の急変帯においては、重力異常の急変帯に対応する地質構造は確認できなかった。

以上のことから、宇土半島北岸区間の位置・連続性、南西端の位置について、以下の知見を得た。重力異常の急変帯に沿って宇土半島北岸区間が推定された海域（宇土半島および大矢野島の北岸）に、第四紀層を累積的に変形させる海底活断層が連続的に分布している。さらに、宇土半島北岸区間に推定されていた断層の南西端付近から西方向に分岐して延びる重力異常の急変帯に沿って、海底活断層が島原半島の方向に延びている。すなわち、宇土半島北岸区間が、これまで推定されていた位置よりも西側の海域に延長している。また、断層の西端は、令和4年度の探査範囲を越えて、さらに西側に位置していると推定される。

(b) 業務の成果

1) はじめに

布田川断層帯は、熊本県阿蘇郡南阿蘇村から、上益城郡益城町木山付近および宇土半島の北岸を経て、大矢野島の北西端の沖合に至る、概ね東北東-西南西方向に延びる断層帯である（地震調査研究推進本部地震調査委員会，2013）。地震調査研究推進本部地震調査委員会（2013）によれば、布田川断層帯は、布田川区間、宇土区間、宇土半島北岸区間によって構成されている。これらのうち、宇土区間の一部と宇土半島北岸区間については、重力異常の急変帯の分布などから、地下に伏在する活断層として推定されたものである（図1、図2）。



図1 布田川断層帯宇土半島北岸区間の位置図

地震調査研究推進本部地震調査委員会（2013）の図2を編集。断層トレースのうち、重力異常の急変帯にもとづいて推定された区間（宇土半島北岸区間、宇土区間の一部）は薄い太線で示されている。

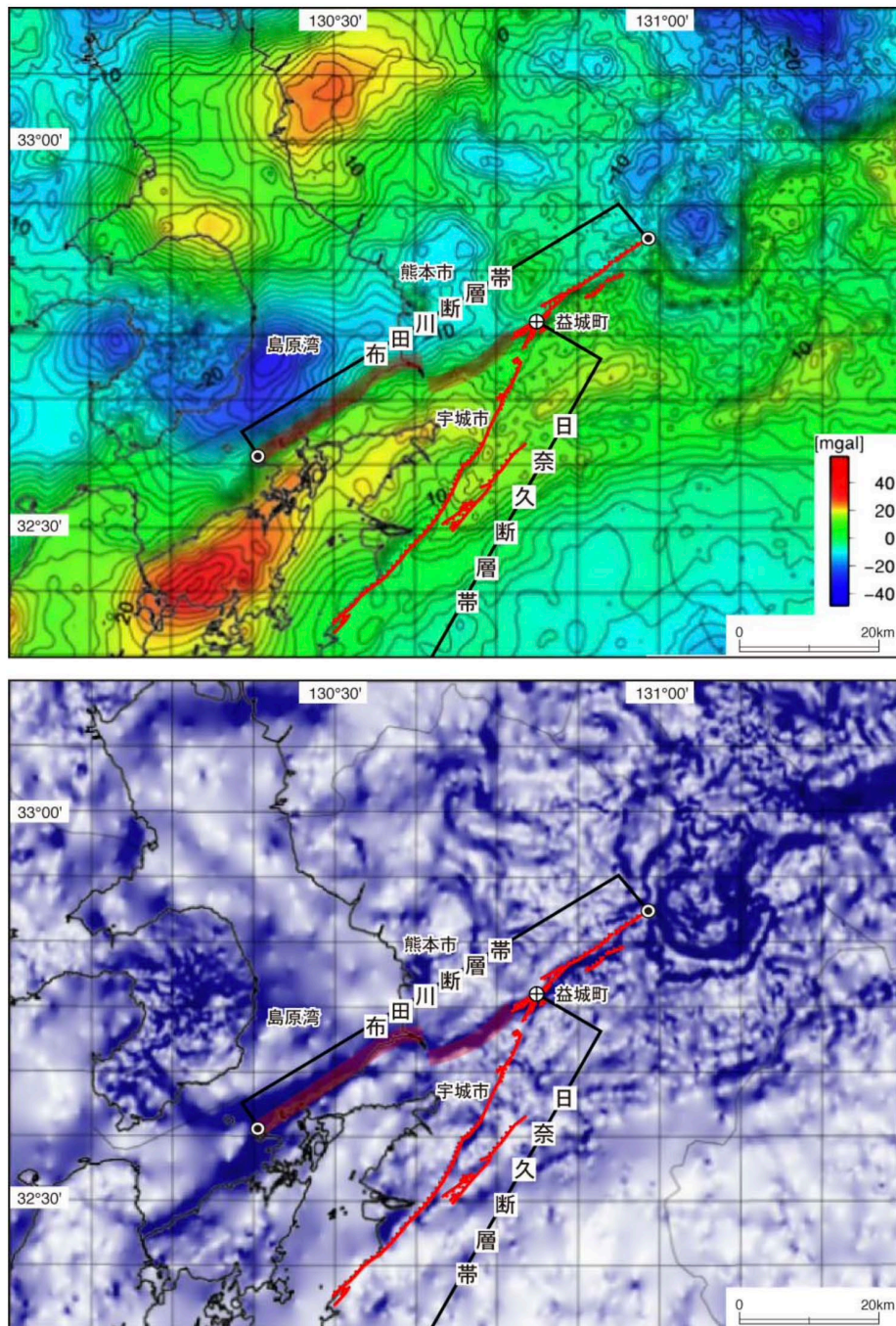


図2 布田川断層帯付近の重力異常

地震調査研究推進本部地震調査委員会（2013）の図3。布田川断層の地表トレースは赤線で、伏在活断層が推定される場所は薄い太赤線で示されている。（上）布田川断層帯周辺地域の短波長（<100 km）重力異常図。（下）布田川断層帯周辺地域の短波長（<100 km）重力異常の勾配。青色の濃い部分ほど急勾配であることを示す。

宇土半島北岸区間は、宇土市住吉町から宇土半島北岸に沿って大矢野島の北西端の沖合に至る、長さ約 27 km 以上の可能性がある断層である（図 1）。宇土半島北岸区間は、宇土半島北岸に沿って分布する宇土半島北岸断層によって構成されている。宇土半島北岸の宇城市三角町大田尾の沖合では、海底面付近までを変位が及ぶ北傾斜の正断層が報告されている（産業技術総合研究所・他，2010；杉山・他，2010）。このことから、宇土半島北岸断層は、断層を挟んで南東側が相対的に隆起する正断層成分を伴う可能性がある。この断層の横ずれ成分は不明である。宇土半島北岸区間の南西端については、宇土半島の北岸に沿って認められる顕著な 1 条の重力異常の急変帯が 2 条に分岐する手前の、大矢野島の北西端の沖合付近とされている（図 2）。ただし、重力異常の急変帯はさらに南西に続くため、宇土半島北岸区間はさらに南西に延長する可能性がある。また、宇土半島北岸区間においては、過去の活動についての資料が得られていない。

以上のように、宇土半島北岸区間は、主として重力異常の急変帯の分布にもとづいて推定された断層であり、断層の正確な位置・連続性、南西端の位置に関する資料がほとんど存在しない。また、過去の活動についての資料が得られていない。そのため、令和 4 年度には、断層が推定されている海域（宇土半島および大矢野島の北岸）において、高分解能の音波探査を高い測線密度で実施して、断層の正確な位置・連続性を検討するとともに、採泥調査のサイトサーベイを行った。また、宇土半島北岸断層帯の南西端付近から 2 条に分岐する重力異常の急変帯が分布する海域においても高分解能の音波探査を実施し、断層の南西端の位置を検討した。後述するように、従来の海底活断層調査で用いられてきた高分解能マルチチャンネル反射法音波探査では、一般に後期更新世～中期更新世の堆積物の堆積構造・変形構造の把握が困難であった。本研究では、新規手法として従来よりも高出力かつ多チャンネルの高分解能マルチチャンネル反射法音波探査を実施し、より効果的に地下構造を把握することを試みた。

2) 調査手法

前述したように、令和4年度には、宇土半島北岸区間の正確な位置・連続性、南西端の位置の検討と、令和6年に計画している採泥調査のサイトサーベイを目的として、宇土半島北岸区間が推定されている海域およびその南西側の島原湾において、高分解能の音波探査を実施した(図3、図4)。音波探査の実施期間は、2022年11月14日から2022年11月21日までの期間である。

宇土半島北岸区間が推定されている海域においては、宇土半島および大矢野島の北岸に沿って、顕著な1条の重力異常の急変帯が認められている。また、既存の音波探査記録(産業技術総合研究所・他、2010)等の資料によれば、島原湾の中央部から宇土半島の北岸に至る海域には第四紀の堆積物が広く分布している。一方で、陸域の海岸線付近には白亜紀～古第三紀の堆積岩、新第三紀(鮮新世)の堆積岩、新第三紀の火成岩等が露出している。これらのことから、宇土半島北岸の海岸線に沿って、第四紀の堆積物の南限を画する地質境界断層が分布していると推定される。また、この顕著な重力異常の急変帯は、この断層が物質境界をなしていることを強く示唆する。この地質境界断層の位置および活動性を検討するためには、可能な限り宇土半島および大矢野島の北岸の海岸線まで接近するような音波探査測線を配置する必要がある。

また、前述したように、産業技術総合研究所・他(2010)および杉山・他(2010)は、宇城市三角町大田尾の沖合において海底面付近までの第四紀の堆積物を変位させる北側傾斜の正断層を報告している。この海底活断層は宇土半島北岸区間を構成する活断層と考えられる。よって、宇土半島北岸区間の位置・連続性と、過去の断層活動を検討するためには、この断層の位置・連続性を把握できるように音波探査測線を配置する必要がある。

産業技術総合研究所・他(2010)が実施した探査では、宇土市赤瀬町より東側の領域(完新世の河川デルタの堆積体が発達している領域)は、音波散乱層のために高分解能マルチチャンネル反射法音波探査で海底面下の構造を把握することができなかった。そのため、宇土市赤瀬町より東側の音波散乱層が予想される領域においては、新たに音波探査を実施しても断層の位置・形状を把握するための資料を取得することが困難であると推察される。

産業技術総合研究所・他(2010)は、音源に出力300Jのブーマーを使用した高分解能マルチチャンネル音波探査を実施した。この調査で取得された探査記録を用いることによって、海底面下50m程度までの地下構造を対象として、高い分解能で堆積構造および変形構造を検討することができた(文部科学省研究開発局・産業技術総合研究所、2022)。しかし、それ以深の地質構造については、弾性波が十分に到達していなかったり、多重反射波の影響があったりしたことにより、地質構造を検討することが困難であった。前述のように、宇土半島北岸区間は顕著な重力異常の急変帯によって特徴づけられるが、このような重力構造は、宇土半島の北岸に沿って推定される地質境界断層が物質境界となっていることを強く示唆している。宇土半島北岸区間では、その南西端よりも南西側の領域にも重力異常の急変帯が連続しているようにみえることから、断層がさらに南西側に延びる可能性がある。その

ため断層の南西端の位置を明らかにするためには、地質境界断層の周辺においてより深部までを把握可能な探査記録を取得し、この海域における重力異常の急変帯と地質構造の関係を把握する必要がある。同時に、この断層の活動性を検討するためには、第四紀の堆積物の堆積構造・変形構造を把握するのに十分な分解能を持つ探査記録を取得するための調査が必要である。

以上を踏まえて、本研究では、図3および図4に示すように、宇土半島北岸区間が推定されている宇土半島および大矢野島の北岸においては、音波散乱層が推定される領域を避けて、推定断層を横断する方向に、可能な限り海岸線まで接近するような測線を、1～2 km 程度の間隔で配置した（西側から順に、D10、D9、D8、D7、D6、D5、D4、D3 測線）。また、宇土半島北岸区間の南西端よりも西側の海域においては、断層の南西端の位置を検討するため、大矢野島北西端付近から西方向側および南西方向に延長するようにみえる重力異常の急変帯を横断するように測線を配置した（西側から順に、D2、D1、D201 測線）。測線間の対比を目的として、これらの測線を横断する検測線を配置した（D101 測線）。また、以上の測線において、活断層の評価に必要とされる高い分解能を有しながら、従来の海底活断層調査における探査よりも深部までの地質構造を把握するため、出力 2000 J のスーパーカーを音源とした高分解能マルチチャンネル反射法音波探査を実施した。本研究で実施した高分解能マルチチャンネル反射法音波探査の仕様を表 1 に示す。各種ノイズを効果的に抑制し、深部までの構造を把握するため、受振装置にはチャンネルインターバル 2.5 m、チャンネル数 24 ch のストリーマーケーブルを使用した。音源および受振点の座標を精密に決定するため、音源装置およびテールブイにそれぞれ GNSS 装置を設置した。また、ストリーマーケーブルのたるみ補正を行うため、探査の際にはストリーマーケーブルに小型の深度ロガーを装着して、ケーブルの水深を観測した。

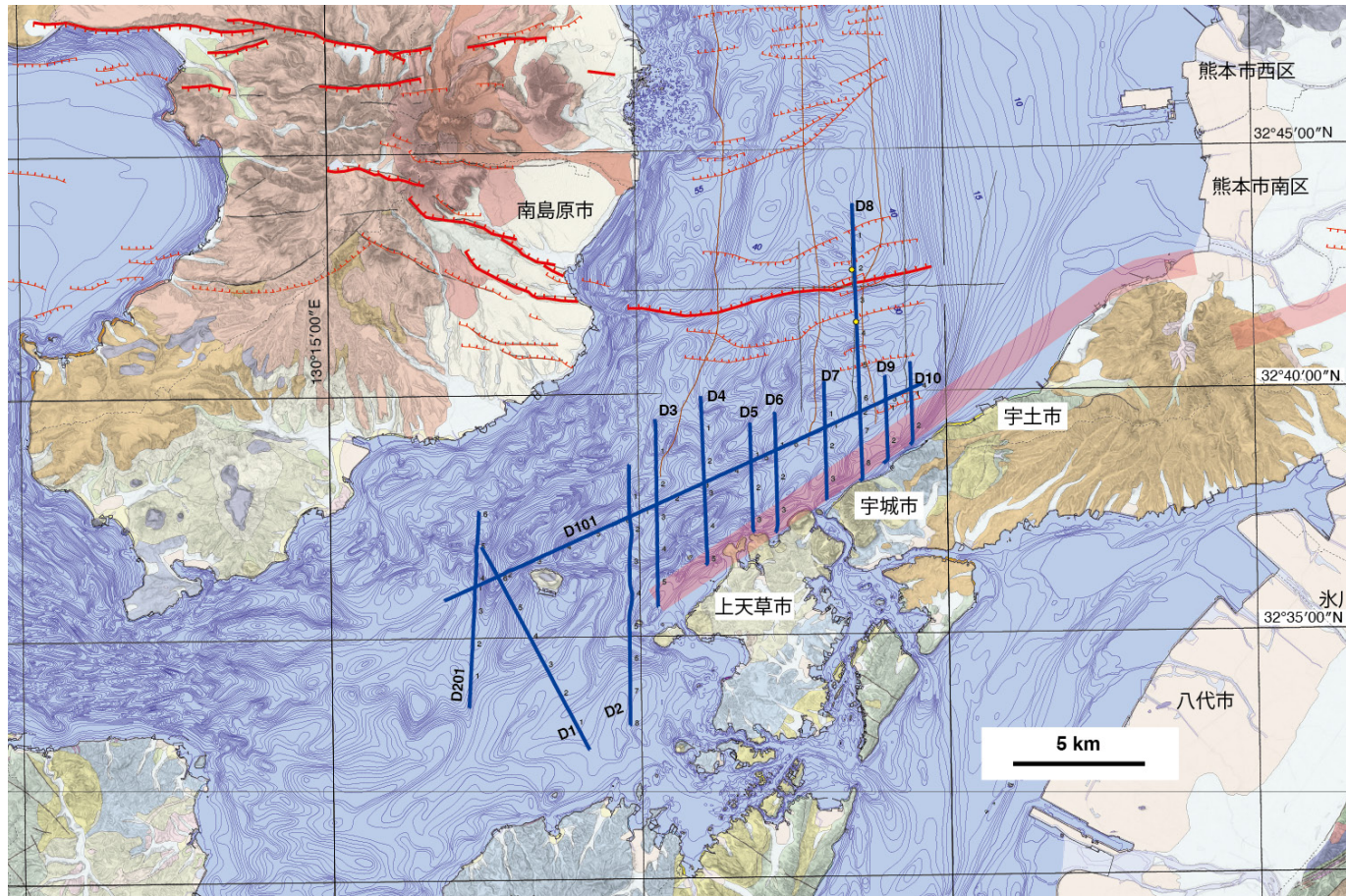


図3 令和4年度の音波探査における測線配置図

薄い赤の太線で、布田川断層帯宇土半島北岸区間および宇土区間の一部（重力異常の急変帯にもとづいて推定された区間）の地表トレースを示す（地震調査研究推進本部地震調査委員会，2013）。基図は20万分の1日本シームレス地質図V2（産総研地質調査総合センター，2022）、国土地理院が公開している国土基盤情報のDEM、海底地形デジタルデータM7000シリーズ（日本水路協会）から作成。

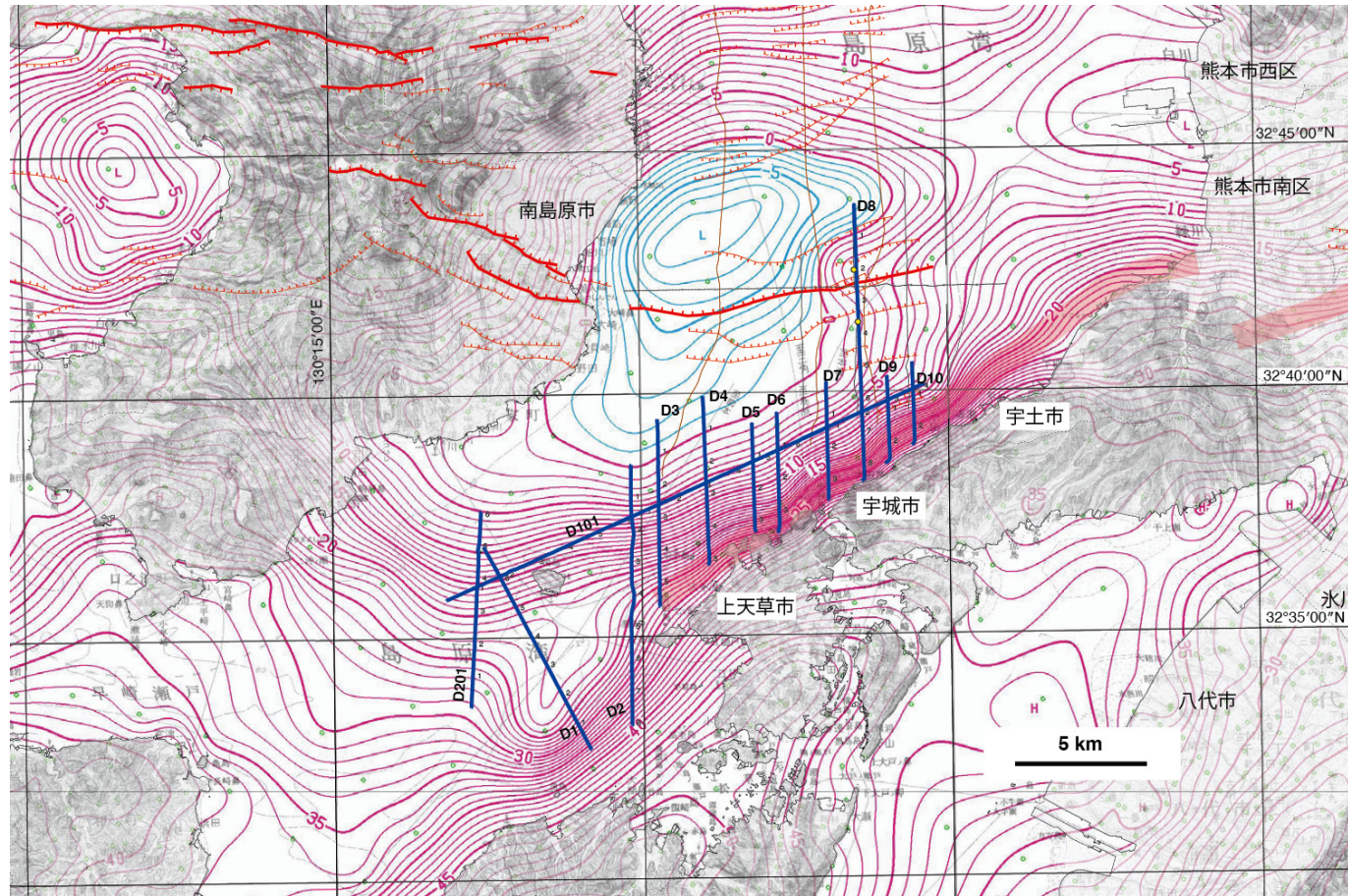


図4 令和4年度の音波探査における測線配置図

薄い赤の太線で、布田川断層帯宇土半島北岸区間および宇土区間の一部（重力異常の急変帯にもとづいて推定された区間）の地表トレースを示す（地震調査研究推進本部地震調査委員会，2013）。基図には20万分の1重力図（森尻・他，2001；村田・他，2004）を使用した。

表1 本研究における高分解能マルチチャンネル反射法音波探査の仕様

項目	スペック
音源	Dura-Spark UHD (AAE)
エネルギーソース	CSP-Nv2400 (AAE)
受振ケーブル	Sealink solid streamer (SeaMap)
チャンネル数	24
チャンネル間隔	2.5 m
探鉱機	NTRS recording system (SeaMap)
サンプリング間隔	0.125 ms
収録長	512 ms
深度ロガー	DST-centi (Star Oddi)
深度ロガー位置	1, 6, 12, 18, 24 ch (合計5ヶ所)
音響測深機	PDR-1200 (千本電機)
GNSS	A100 (Hemisphere GNSS)

音波探査で取得した探査記録については、船上でニアトレースギャザーおよび簡易重合断面を作成した後、測位記録にもとづいて各種ノイズ抑制処理、速度解析、マイグレーション処理、重合処理を行って、マイグレーション断面（時間断面および深度断面）を作成した。図5に本調査における処理フローを示す。

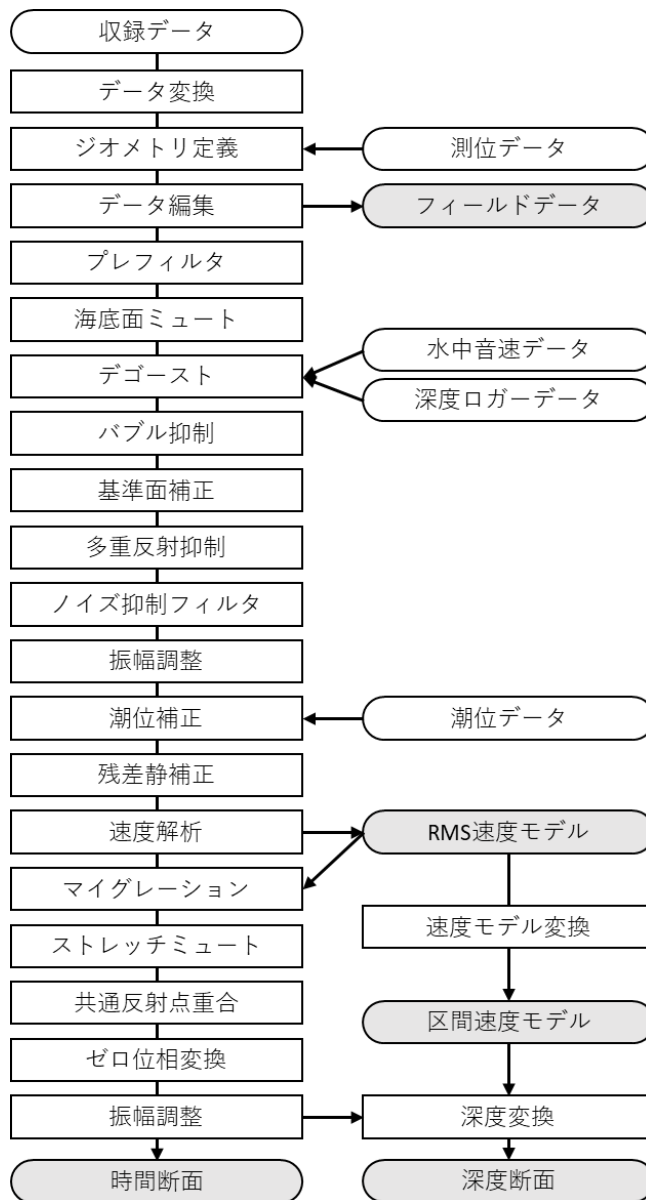


図5 音波探査記録の解析フロー

3) 調査結果

本調査で実施した高分解能マルチチャンネル反射法音波探査によって、海底面下 200 m 程度までの地下構造を検討可能なマイグレーション断面が得られた。調査海域における音響層序について、マイグレーション断面および速度解析結果にもとづき、既存の調査研究を参考に整理した。本報告書では、マイグレーション断面については時間断面として表示し、深度については水中および堆積物中の P 波速度を 1,500 m/s と仮定して概算した。

a) 層序区分

調査海域の周辺の陸域における層序について、長尾 (1922)、大塚 (1966, 1970)、長谷・岩内 (1993)、大塚ほか (1995) をはじめとする調査研究が行われており、7 万 5 千分の 1 地質図幅「口之津」(赤木, 1936) および 20 万分の 1 地質図幅「八代及び野母崎の一部」(斎藤・他, 2010) が取りまとめられている。海域(島原湾)においては、松石・松本 (1969)、松岡・岡村 (2000)、産業技術総合研究所・他 (2010)、文部科学省研究開発局・産業技術総合研究所 (2020, 2021, 2022) をはじめとする調査研究が行われている。これらによれば、海域においては島原湾の中央部から南縁付近まで、後期更新世以降の堆積物を含む第四紀層が分布していると考えられる。また、陸域における地質については、最近の地質図類(斎藤・他, 2010; 産総研地質調査総合センター, 2022) を参考にすると、陸域に分布する主な地層として、堆積岩類としては、教良木層(古第三紀始新世)および口之津層群(鮮新世～更新世)が、火山岩類としては、三角火山岩類(鮮新世)、大岳火山(前期更新世)、上原溶岩(更新世)が分布している(図 6)。

本研究では、斎藤・他 (2010) を参考に、陸域に分布する堆積岩類について、古第三系の教良木層 (Ky)、新第三系の口ノ津層群下部 (Kn1)、更新統の口之津層群上部 (Knu) に区分した(図 6, 7)。口ノ津層群上部を覆う上原(うわはる)溶岩 (Knb) については、斎藤・他 (2010) に倣って、口之津層群を構成する地層として整理した(図 6, 7)。火山岩類については鮮新統の三角火山岩類 (Mv) および下部更新統の大岳火山 (0v) に区分した(図 6, 7)。また、主として海域に分布する第四系の地層を第四紀期層 (Q) とした。本調査で取得したマイグレーション断面においては、基本的には陸域と同様に層序区分を行った。ただし、口之津層群下部および上部については、一括して口之津層群 (Kn) とした。また、大岳火山 (0v) および上原溶岩 (Knb) は調査対象海域では確認できなかった。第四紀層 (Q) については、不整合面等にもとづいてサブユニットに細分することができるが、本報告書では一括して記述する。

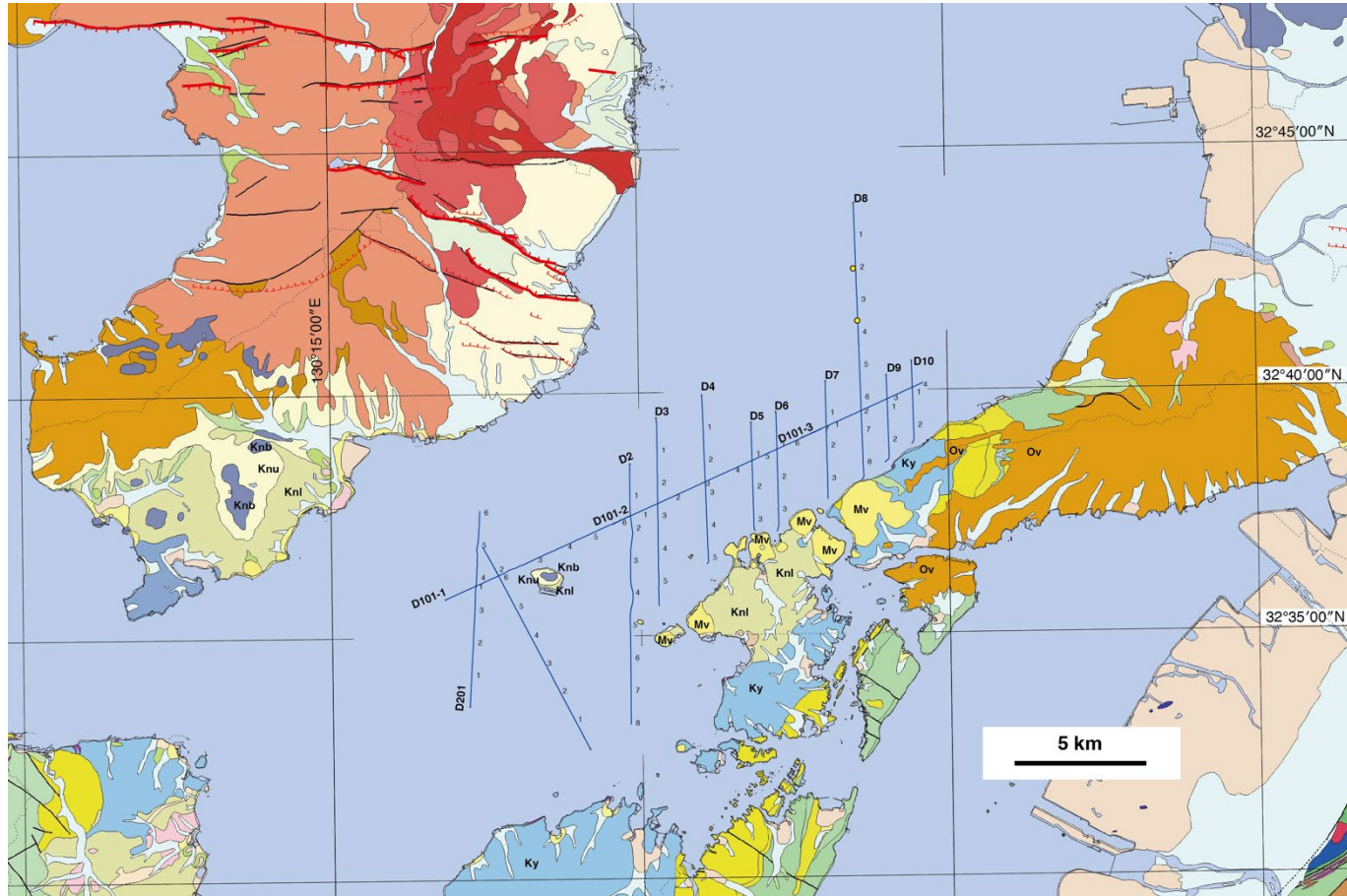


図6 調査対象海域の周辺における陸域の地質

産総研地質調査総合センター（2022）にもとづいて作成。Ky：教良木層。Mv：三角火山岩類。Ov：大岳火山。Knb：上原溶岩。Knl：口之津層群下部。Knu：口之津層群上部。

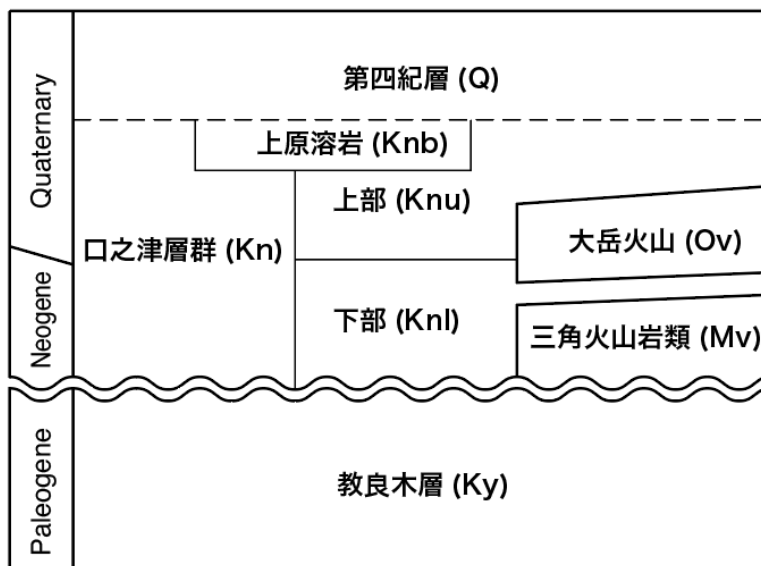


図7 調査対象海域およびその周辺における層序区分

本研究で実施した高分解能音波探査探査測線の位置図を図8に、取得したマイグレーション断面を図9～21に示した。各測線の解釈の詳細については次節で述べるが、以下には、本研究で取得したマイグレーション断面における各ユニットの特徴について述べる。

【教良木層 (Ky)】本研究で実施した音波探査では、陸域における地質を参考にと、D10 (図9) 測線、D9 測線 (図10)、D7 測線 (図12) における宇土半島・大矢野島側 (断層の隆起側) に分布していると推定される。本研究で取得したマイグレーション断面には、その内部構造を把握できない。

【三角火山岩類 (Mv)】本研究で実施した音波探査では、陸域における地質を参考にと、D8 測線 (図11)、D6 測線 (図13)、D5 測線 (図14) における宇土半島・大矢野島側 (断層の隆起側) およびD2 測線 (図17) における共通反射点 (以下、「CMP」とする。) 5000 付近の (黒島の西方沖) に分布していると推定される。三角火山岩類は、教良木層および口之津層群に貫入して分布していると考えられる。本研究で取得したマイグレーション断面では、その内部構造を把握できない。

【口之津層群 (Kn)】本研究で実施した音波探査では、D4 測線 (図15)、D3 測線 (図16)、D2 測線 (図17)、D1 測線 (図18)、D201 (図19) における大矢野島および天草上島側 (断層の隆起側) に分布している。内部反射面は明瞭で、反射面の反射強度は概ね均質である。層理面は概ね互いに平行に発達している。調査海域においては断層構造、褶曲構造、南側への単斜構造を確認できる。

【第四紀層 (Q)】本研究で実施した音波探査では、全ての測線において測線の北側 (断層の沈降側) に分布している。D2 測線 (図17)、D1 測線 (図18)、D201 測線 (図19) においては、断層の隆起側においても層厚 20 m 程度で断片的に分布していることを確認できる。内部反射面が明瞭で、反射強度が強い層準と弱い層準が交互に発達している。また、斜交層理や侵食面を伴う堆積構造、海釜あるいは潮汐チャネルを充填する地層などの発達が認められる。こうした特徴は、第四紀の後期における海水準変動のサイクルに対応した堆積環境の変化を反映したものと推察される。後述するように、研究対象海域に分布する断層によって、第四紀層が変形や変位を受けていることを確認できる。

b) 地質構造

本調査における高分解能マルチチャンネル反射法音波探査の測線配置図を図8に、取得したマイグレーション断面ならびに解釈断面を図9～21に示す。以下には、調査海域の東側（D10 測線）から西側（D201）の順番に、断層を横断するように南北方向に配置した各測線（図9～19）における地質構造の特徴を述べる。また、東西方向の検測線のうち、断層を横断する部分（D101-1 および D101-2）の特徴についても述べる（図20、21）。解釈断面には、第四紀層を变形させていることが確認できた断層を赤実線で、第四紀層を变形させていることが確認できない断層を黒実線で示した。また、これらの断層のうち、やや不明瞭なものや推定断層については破線で示した。断面および本文には、水中および堆積物中のP波速度を1,500 m/sと仮定して深度を記入した。

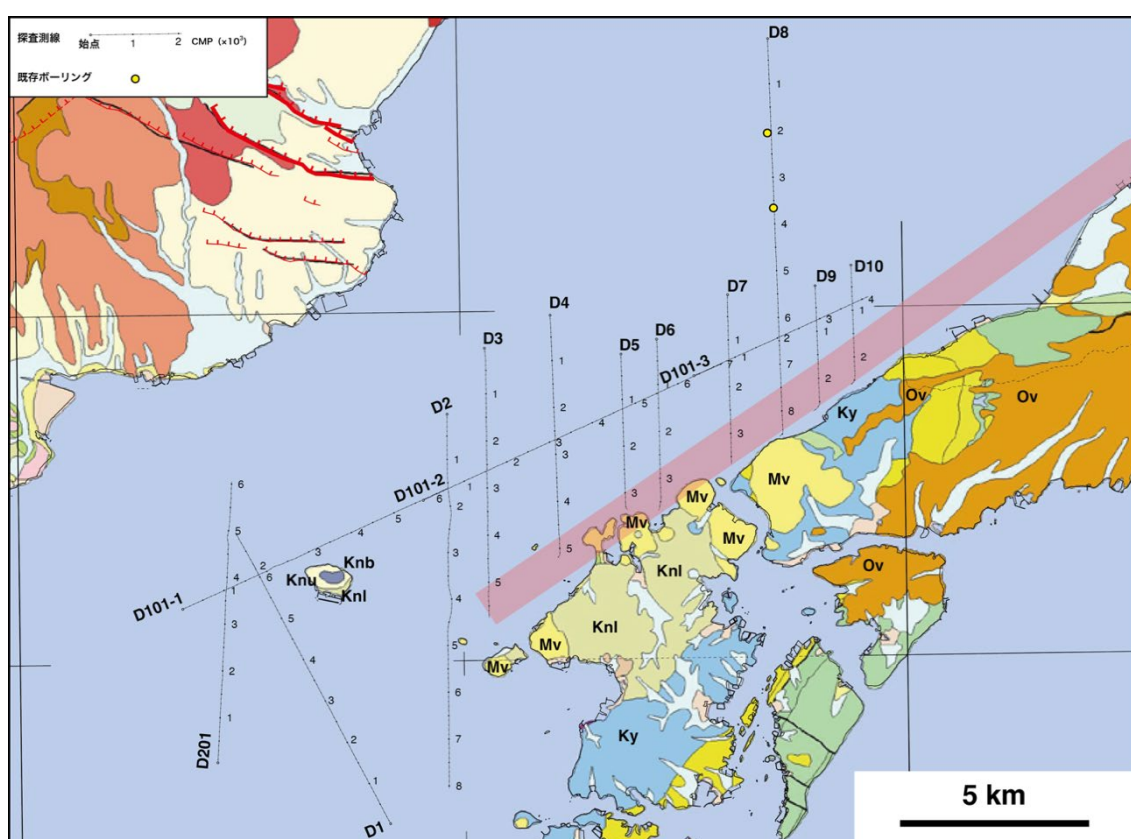


図8 令和4年度に実施した音波探査の測線配置図（詳細図）

薄い赤の太線は地震調査研究推進本部地震調査委員会（2013）による重力異常の急変帯から推定された宇土半島北岸区間のトレース。陸域の地質は産総研地質調査総合センター（2022）にもとづく（地質に関する凡例については図6を参照）。

【D10 測線】 D10 測線では、CMP2200 付近に、地層境界をなす北傾斜の断層 (F1) が認められる (図9)。この断層の北側は第四紀層、南側は教良木層であると解釈される。往復走時 0.1 秒 (海水面下約 75 m) よりも浅い領域では、この断層による地層の変形は確認できない。一方で、0.1 秒 (海水面下約 75 m) よりも深い領域では、この断層は複数条に枝分かれして、CMP2000~2200 の範囲の第四紀層を引きずり上げるように累積的に変形させている。また、CMP1600 付近、CMP1400 付近、CMP1200 付近には、第四紀層を累積的に変位させている北傾斜の正断層群 (F2) が認められる。CMP950 付近および CMP1000 付近には、第四紀層を累積的に変位させている南傾斜の正断層が認められる。

【D9 測線】 D9 測線では、CMP2450 付近に地質境界をなす北傾斜の断層 (F1) が認められる (図10)。この断層の北側は第四紀層、南側は教良木層であると解釈される。この断層は CMP2250-2400 の範囲に分岐断層を発達させており、CMP2000~2450 の範囲で第四紀層を累積的に引きずり上げるように変形させている。CMP1500 付近、CMP1200 付近、CMP1000 付近には第四紀層を累積的に変位させている南傾斜の正断層群 (F2) が認められる。CMP700 付近には第四紀層を累積的に変位させている北傾斜の正断層が認められる。CMP600 付近には第四紀層を累積的に変位させている南傾斜の正断層が認められる。

【D8 測線】 D8 測線では、CMP8400 付近に地質境界をなす北傾斜の断層 (F1) が認められる (図11)。この断層の北側は第四紀層、南側の表層 (往復走時 0.05 秒 (海水面下約 37.5 m) 付近まで) は第四紀層の可能性のある地層、深部は三角火山岩類であると解釈される。断層は CMP8250~8400 の範囲で複数条に分岐しており、第四紀層を累積的に引きずり上げるように変形させている。CMP7100 付近には第四紀層を累積的に変位させている北傾斜の正断層 (F2) が認められる。CMP5200 付近には第四紀層を累積的に変位させている高角の北側低下の断層が、CMP4400 付近には第四紀層を変位させている南傾斜の正断層が認められる。CMP2300~3300 の範囲には雲仙断層群南東部を構成する南傾斜および北傾斜の正断層群が認められる。

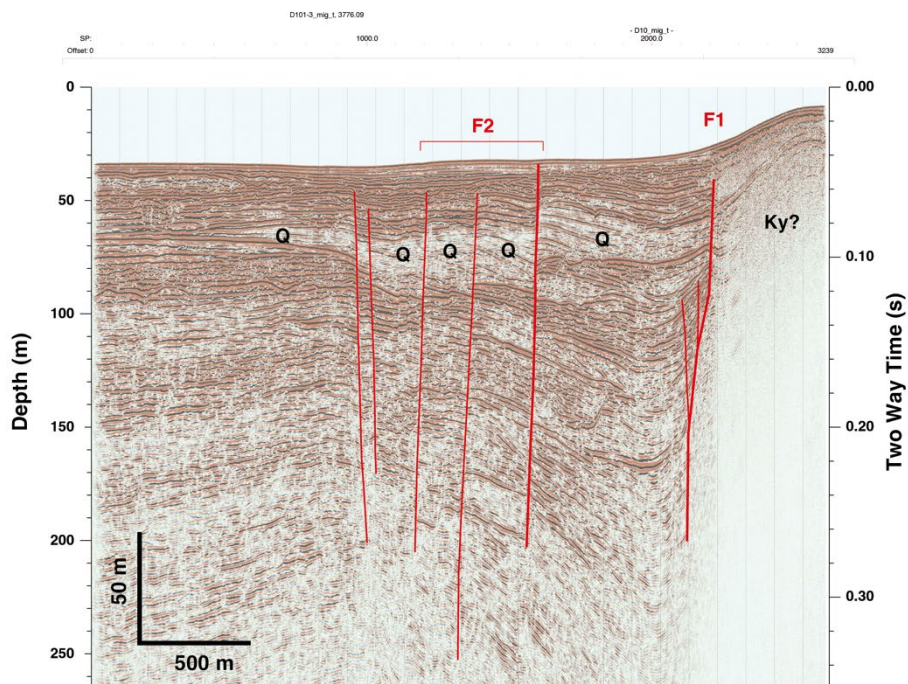
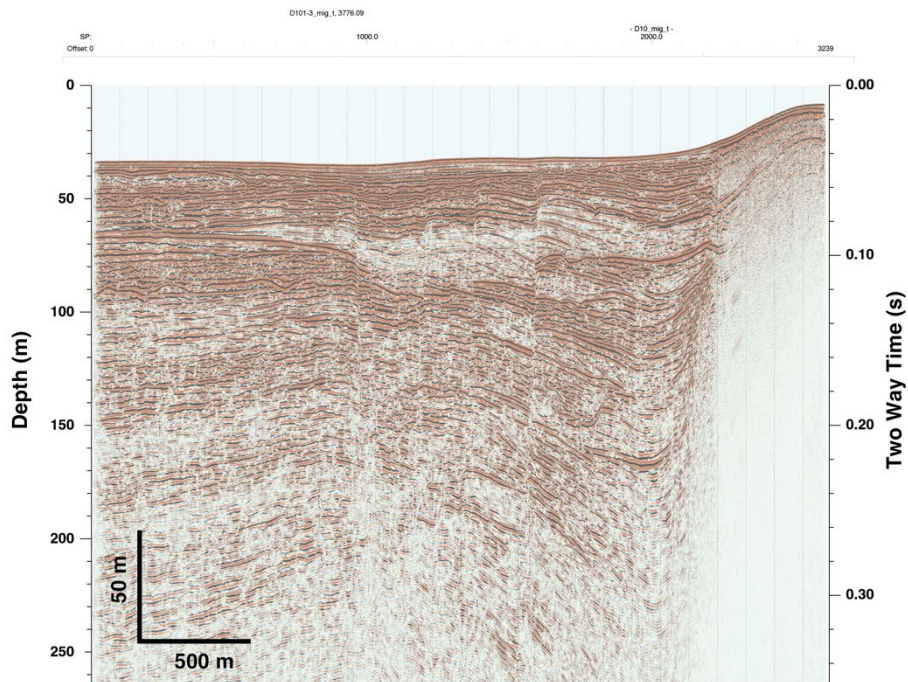


図9 D10 測線のマイグレーション断面 (上) および解釈図 (下)

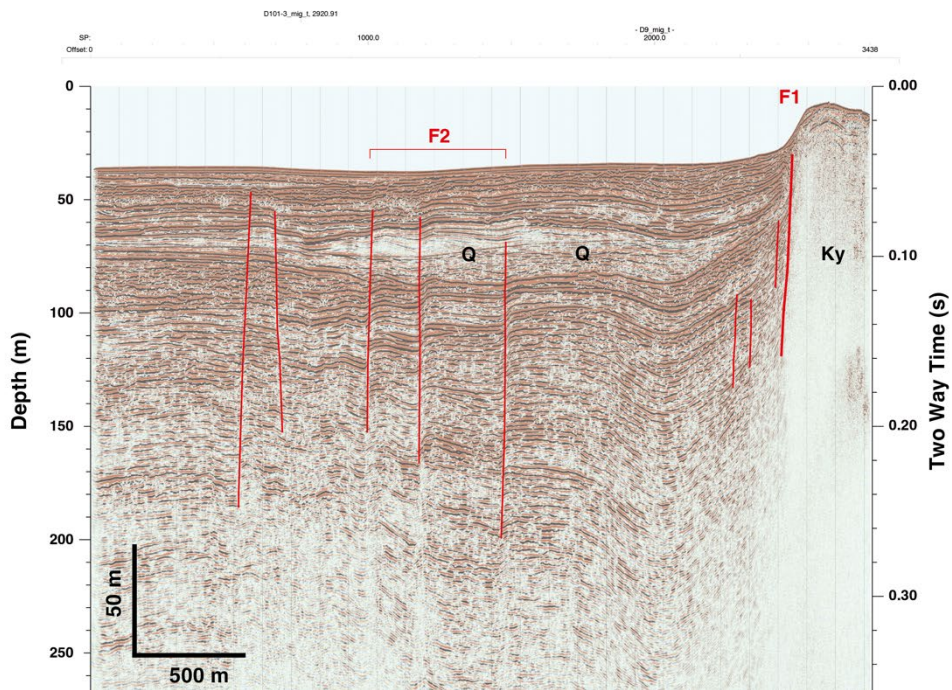
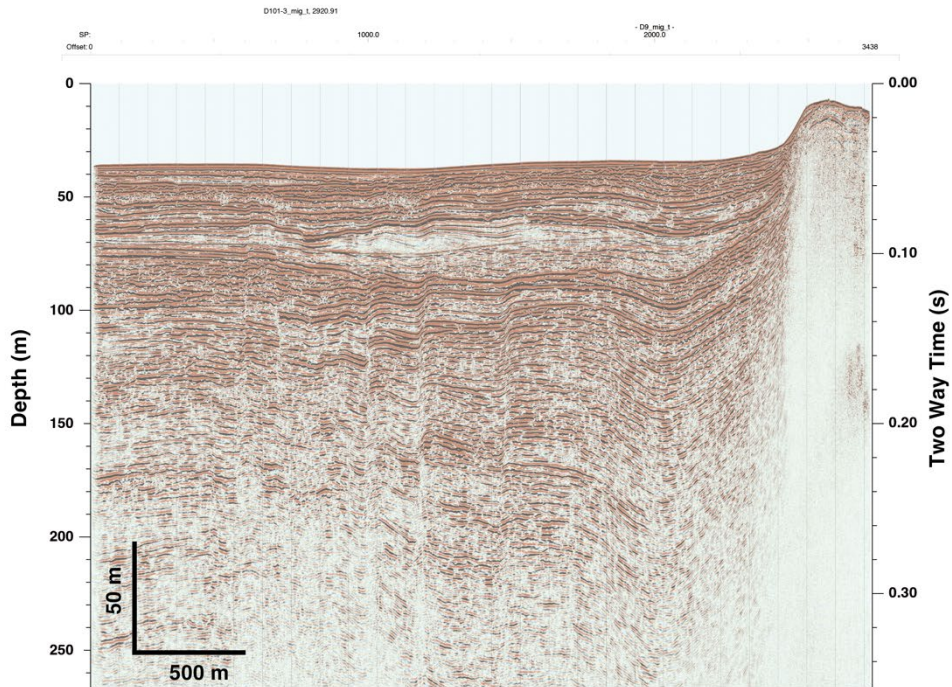


図 10 D9 測線のマイグレーション断面 (上) および解釈図 (下)

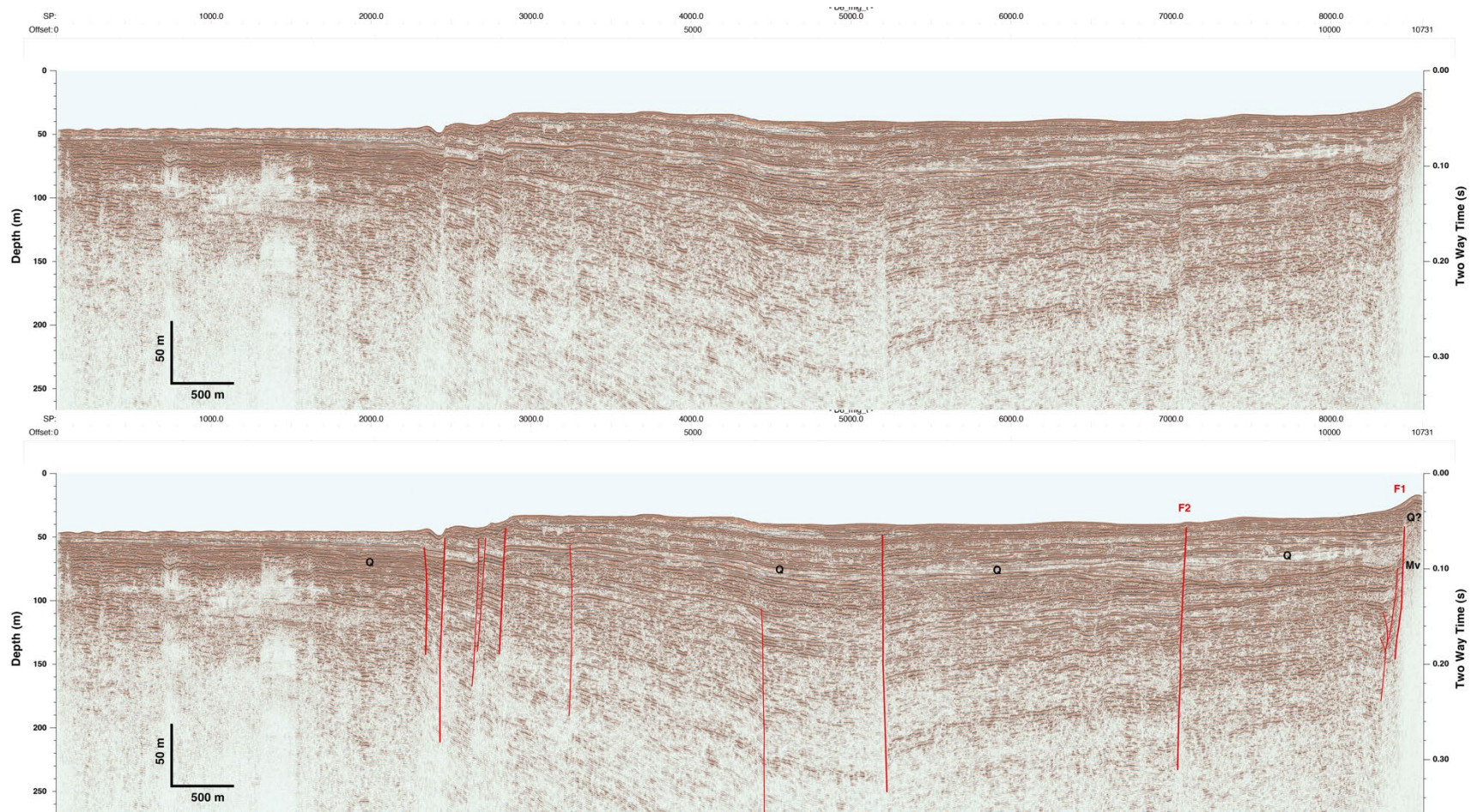


図 11 D8 測線のマイグレーション断面（上）および解釈図（下）

【D7 測線】 D7 測線では、CMP3320 付近に地質境界をなす北傾斜の断層 (F1) が認められる (図 12)。この断層の北側は第四紀層、南側の表層 (往復走時 0.08 秒付近 (海水面下約 60 m) まで) は第四紀層の可能性のある地層が分布し、深部は教良木層であると解釈される。F1 断層の北側では、CMP3280~3320 の領域で第四紀層が F1 断層によって累積的に引きずり下げられるように変形を受けており、その北端付近 (CMP3270 付近) には第四紀層を変形させる南傾斜の正断層が認められる。F1 断層の南側では、CMP3320~3420 には北傾斜の正断層群が推定され、この断層は深部で F1 断層に収斂していると解釈される。CMP2700 付近および CMP2450 付近には第四紀層を累積的に変位させている北傾斜の正断層群 (F2) が認められる。

【D6 測線】 D6 測線では、CMP3400 付近に地質境界をなす北傾斜の断層 (F1) が認められる (図 13)。この断層の北側は第四紀層、南側の表層 (往復走時 0.07 秒 (海水面下約 52.5 m) 付近まで) は第四紀層の可能性のある地層が分布し、深部は三角火山岩類が分布していると解釈される。やや不明瞭であるが、F1 断層の南側では、CMP3450 付近、CMP3520 付近に北傾斜の断層が認められる。これらの断層は、深部で F1 断層に収斂している可能性がある。やや不明瞭であるが、これらの北傾斜の断層は、往復走時 0.07 秒 (海水面下約 52.5 m) 付近よりも浅い領域で、第四紀層の可能性のある地層を変位させ、断層の北側を相対的に沈降させている。CMP2700 付近には第四紀層を変位させる南傾斜の正断層が認められる。

【D5 測線】 D5 測線では、CMP3270 付近に地質境界をなす北傾斜の断層 (F1) が認められる (図 14)。断層の北側は第四紀層、南側の表層 (往復走時 0.11 秒 (海水面下 82.5 m) 付近まで) は第四紀層の可能性のある地層が分布し、深部は三角火山岩類が分布していると解釈される。やや不明瞭であるが、CMP3200~3270 の間は第四紀層が累積的に引きずり上げられるような変形を受けている。

【D4 測線】 D4 測線では、CMP4800 付近に地質境界をなす北傾斜の断層 (F1) が認められる (図 15)。断層の北側には第四紀層が、南側には口之津層群が分布していると解釈される。F1 断層の海底面への延長部では、断層の北側が低下する崖地形が認められる。F1 断層の南側においては、やや不明瞭だが F1 断層が断層の下盤側に分岐し、CMP4850 付近においては口之津層群を切っている。CMP4500~4250 には、第四紀層を累積的に変位させている北傾斜の正断層群 (F3) が認められる。CMP4150 付近には、第四紀層を累積的に変位させている南傾斜の正断層が認められる。CMP3900 付近には、第四紀層を累積的に変位させている北傾斜の正断層 (F4) が認められる。

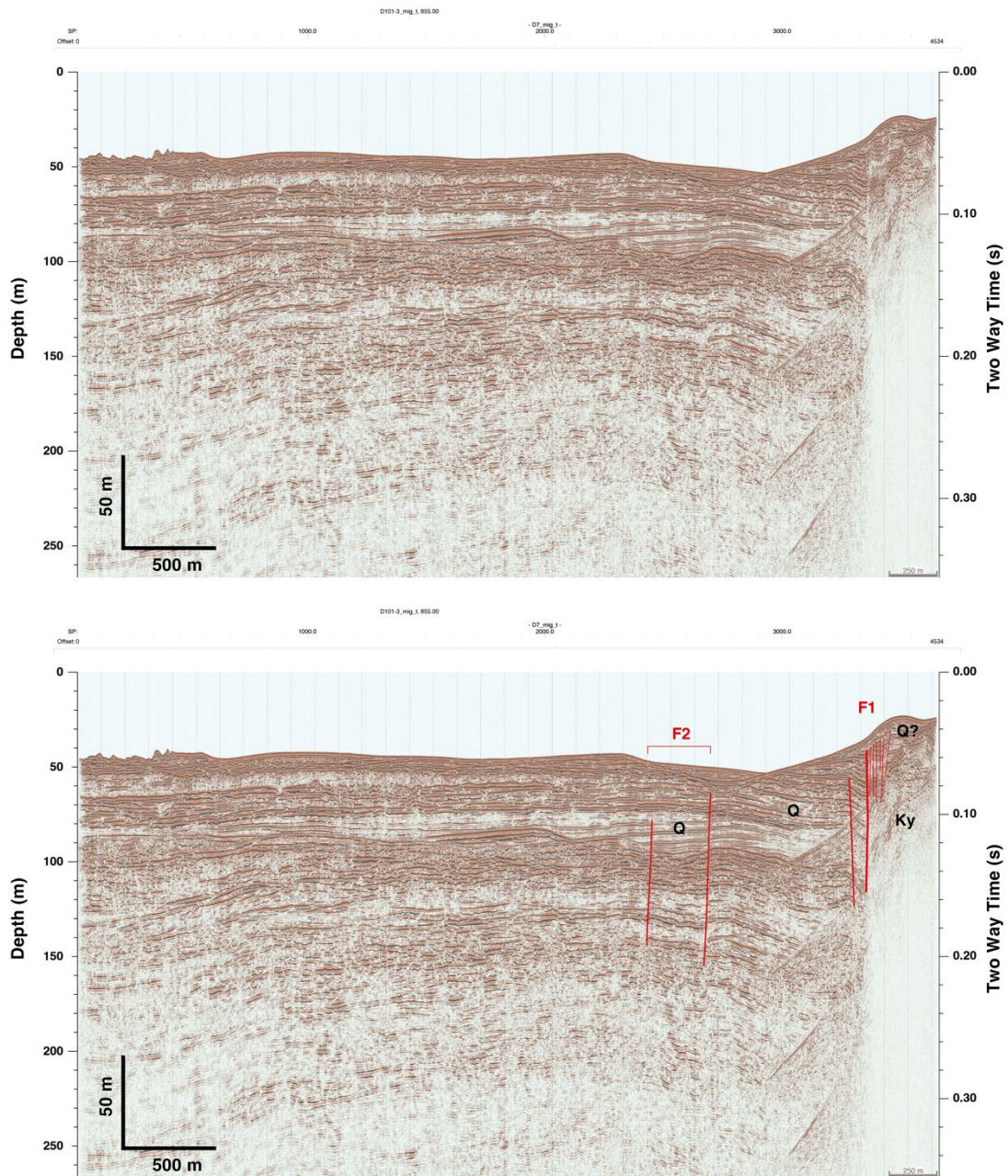


図12 D7測線のマイグレーション断面（上）および解釈図（下）

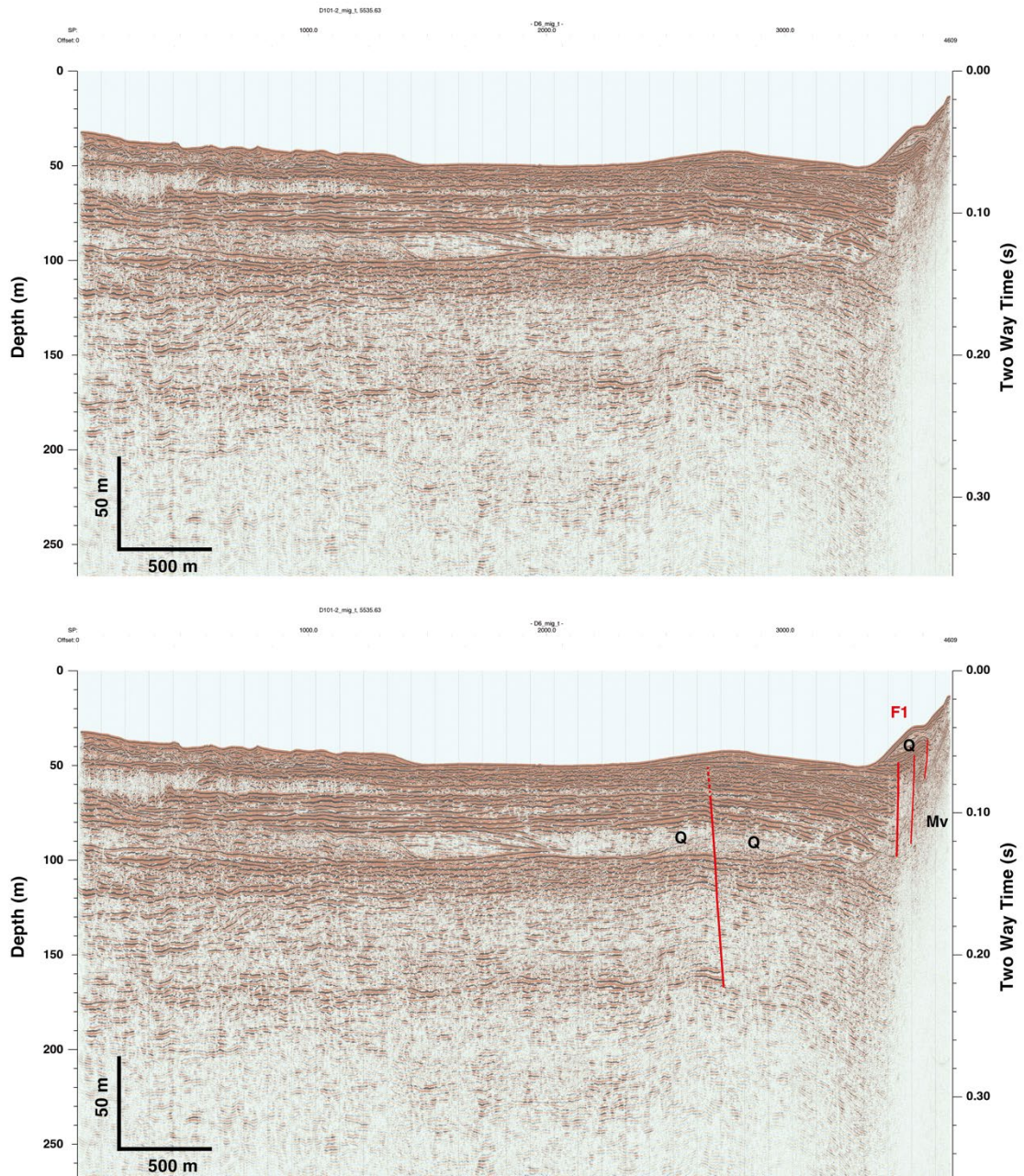


図 13 D6 測線のマイグレーション断面（上）および解釈図（下）

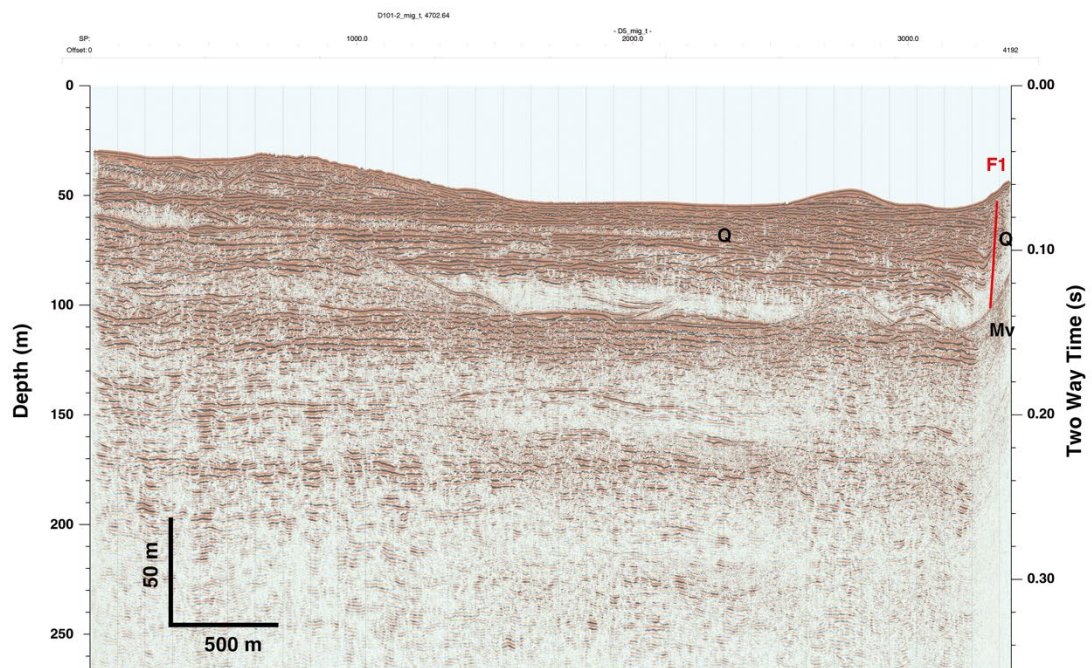
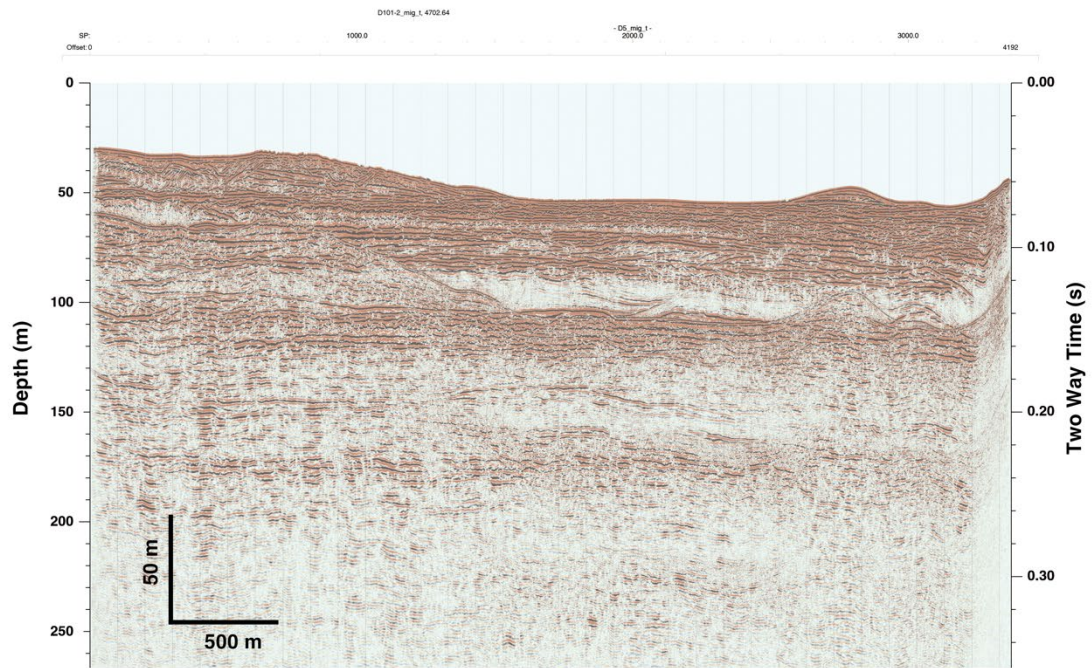


図 14 D5測線のマイグレーション断面（上）および解釈図（下）

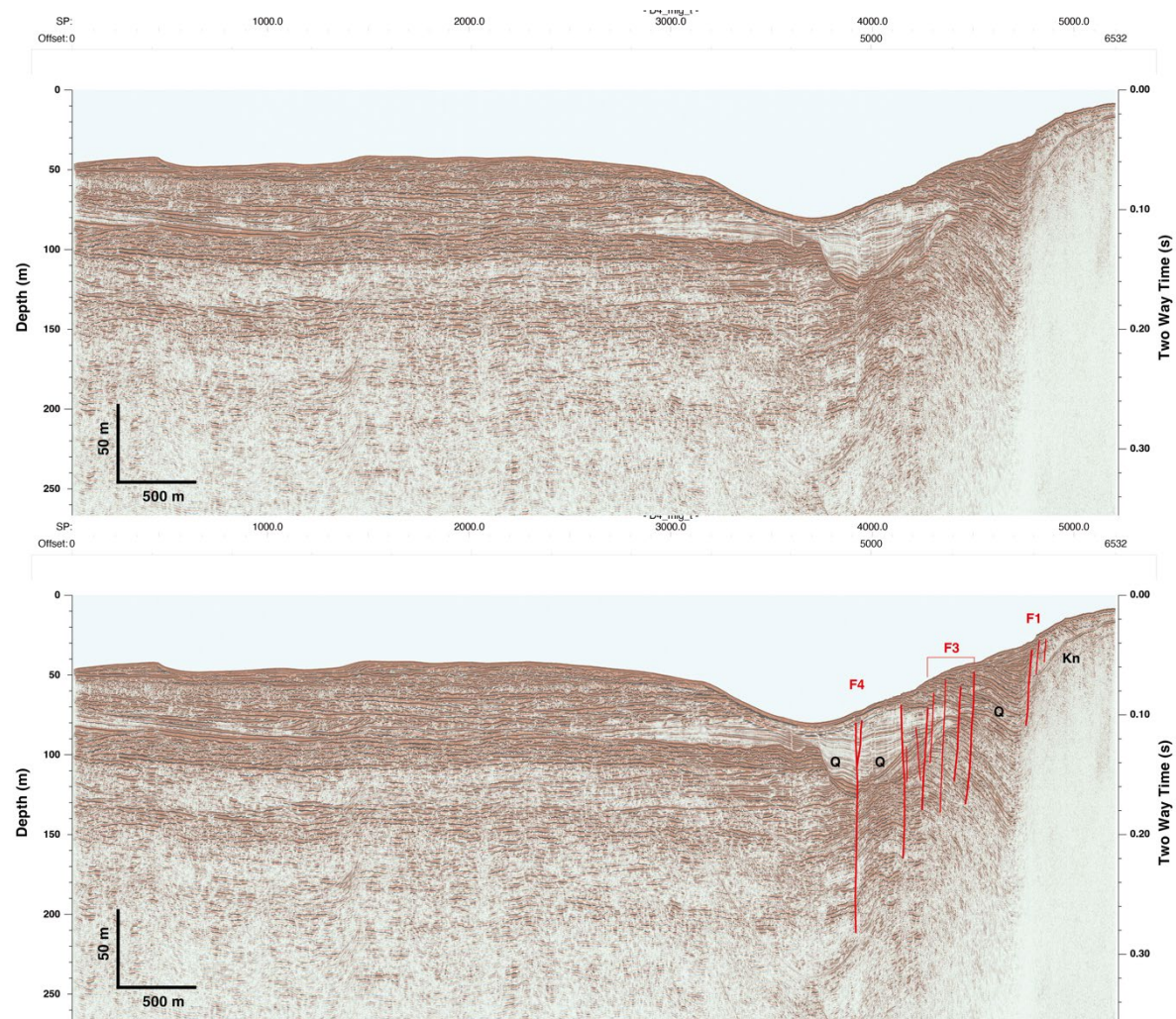


図 15 D4 測線のマイグレーション断面（上）および解釈図（下）

【D3 測線】 D3 測線では、CMP4450 付近に地質境界をなす北傾斜の断層 (F1) が認められる (図 16)。断層の北側には第四紀層が、南側には口之津層群が分布していると解釈される。CMP4250~4450 の間では、第四紀層が累積的に F1 断層によって引きずり下げられるような変形を受けており、この変形帯には北傾斜の正断層が発達している。また、F1 断層の海底延長部には北側が南側に対して相対的に低下する段差が認められることから、この断層が海底面までを変位させている可能性がある。F1 断層の南側の領域では、F1 断層が断層の下盤側に分岐し、口之津層群を切っている。ただし、この分岐した断層が活断層である根拠は確認できない。CMP2650 付近には、第四紀層を累積的に変位させる北側低下の高角の断層 (F4) が認められる。F4 断層の海底面への延長部には砂堆が分布しているが、この砂堆は F4 断層による変位を受けていない。CMP1700 付近には、第四紀層を変位させる南傾斜の正断層 (F5) が認められる。F5 断層による変形は往復走時 0.12 秒 (海水面下約 90 m) よりも浅部においては不明瞭である。口之津層群を変形させる構造として、CMP5600 付近に軸を持つ向斜 (Sc1) が認められる。

【D2 測線】 D2 測線では、CMP2920 付近に地質境界をなす北傾斜の断層 (F1) が認められる (図 17)。断層の北側には第四紀層が、南側には口之津層群が分布していると解釈される。CMP2800~2920 の間では、第四紀層が F1 断層によって累積的に引きずり下げられるような変形を受けている。F1 断層の海底延長部には北側が南側に対して低下する段差が認められることから、この断層が海底面までを変位させている可能性がある。CMP3000 付近には口之津層群を切る北傾斜の正断層が認められるが、これが活断層である根拠は確認できない。CMP3200 付近には口之津層群を変位させる南フェルゲンツの向斜軸が認められ、その向斜軸面に北傾斜の正断層が推定される。この推定断層が活断層である根拠は確認できない。口之津層群を変位させる構造として、CMP4200 付近に軸を持つ向斜 (Sc1)、CMP4600 付近に軸を持つ背斜 (Ac1) が認められる。やや不明瞭であるが、CMP4700~5300 の領域では口ノ津層群に三角火山岩類が貫入していると解釈される。

【D1 測線】 D1 測線では、D1-2 測線の CMP450 付近に地質境界をなす高角の断層 (F1) が認められる (図 18)。断層の北側には第四紀層が、南側には口ノ津層群が分布していると解釈される。D1-2 測線の CMP550~450 の間は、第四紀層が累積的に引きずり上げられるような変形を受けている。D1-1 測線の CMP5700 付近および CMP5600 付近には北傾斜の正断層が認められる。これらが第四紀層を変位させている断層かどうか確認できない。口之津層群中には、CMP3650 付近および CMP3150 付近に、断層の北側が南側に対して相対的に沈降する断層が発達している。また、CMP3850 付近に軸を持つ向斜 (Sc1)、CMP3300 付近に軸を持つ背斜 (Ac1) が認められる。

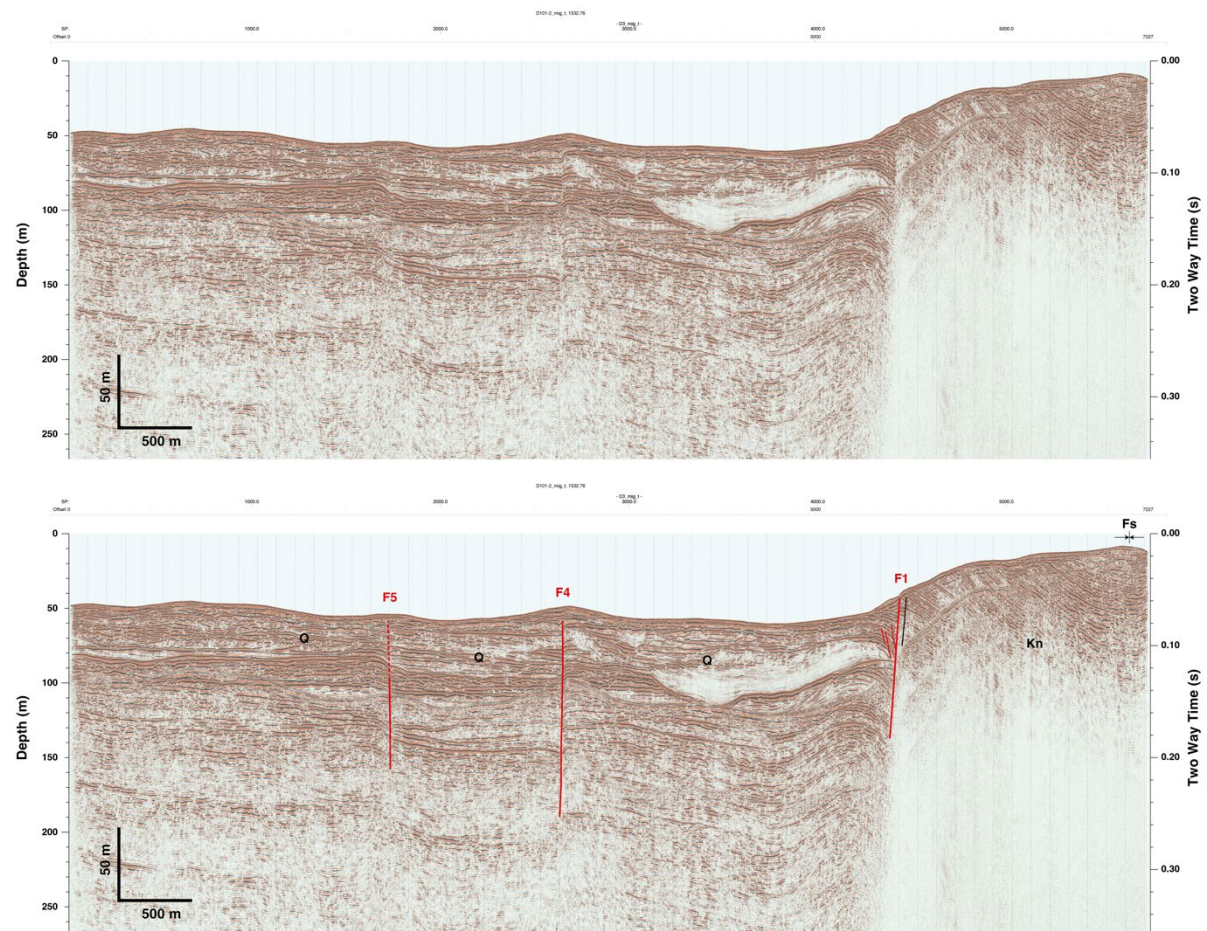


図 16 D3測線のマイグレーション断面（上）および解釈図（下）

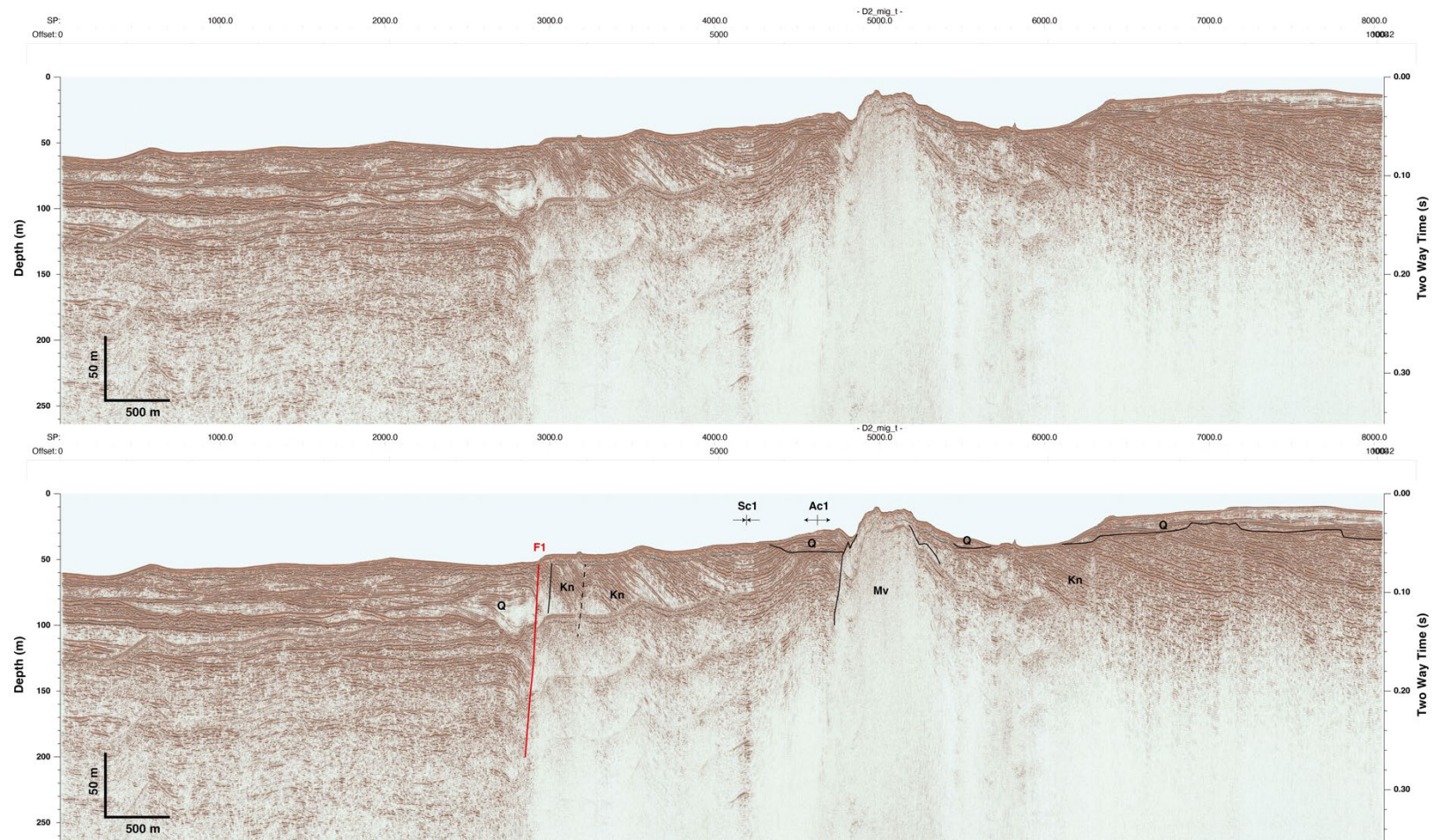


図 17 D2測線のマイグレーション断面（上）および解釈図（下）

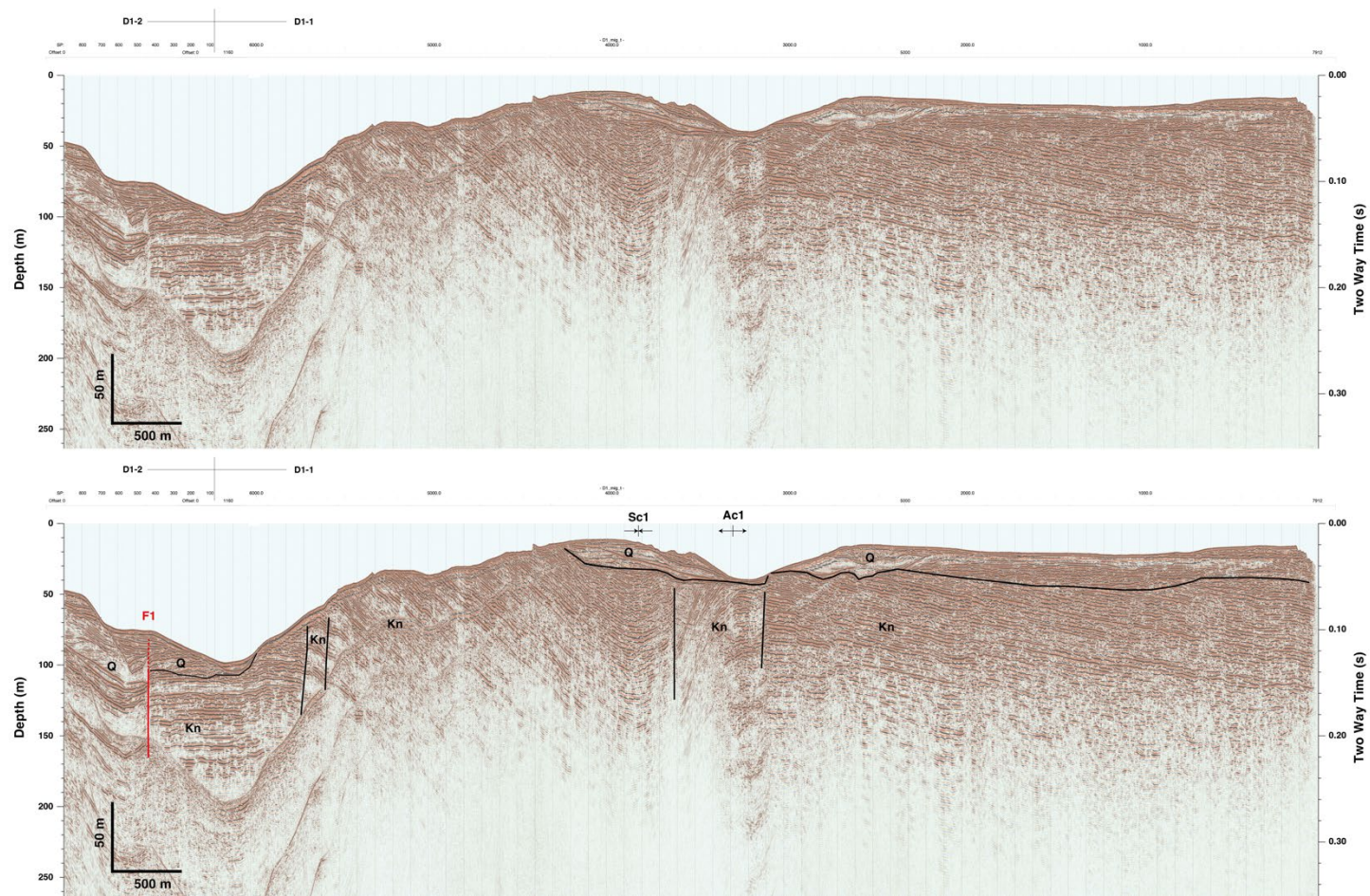


図18 D1測線のマイグレーション断面（上）および解釈図（下）

【D201 測線】 D201 測線では、CMP4700 付近に地質境界をなす高角の断層 (F1) が認められる (図 19)。F1 断層の北側には第四紀層が、南側には口之津層群が分布していると解釈される。CMP4700～4600 の間には、口之津層群が F1 断層によって引きずり下げられるような変形が認められる。CMP5200～4700 の間には、やや不明瞭であるが、第四紀層が F1 断層によって引きずり下げられるような変形が認められる。CMP5150 付近、CMP5500 付近、CMP5650 付近には、第四紀層を累積的に変位させる北傾斜の正断層群 (F6) が認められる。口之津層群には、CMP3950～3400 の間および CMP600～300 の間に断層が発達している。これらの断層による第四紀層の変形は確認できない。

【D101-1 測線】 D101-1 測線では、やや不明瞭であるが、CMP3300 付近に地質境界をなす F1 断層が分布していると推定される (図 20)。やや不明瞭だが、F1 断層は第四紀層を変位させていると推定される。D101-1 測線のマイグレーション断面において F1 断層が不明瞭なのは、断層近傍の地質構造が複雑であることに加えて、推定される断層トレースと測線が低角で交差しているためである可能性がある。この測線における F1 断層は不明瞭であるが、内部反射面の特徴から、少なくとも CMP3300 より東側には第四紀層が、少なくとも CMP2850 よりも西側には口之津層群が分布していると解釈される。CMP3950 付近、CMP4050 付近、CMP4200 付近には、第四紀層を累積的に変位させる西傾斜の正断層群が認められる。CMP4300 付近には、第四紀層を累積的に変位させる東傾斜の正断層 (F6) が認められる。

【D101-2 測線】 D101-2 測線では、CMP1500 付近に第四紀層を累積的に変位させる東傾斜の正断層 (F4) が認められる (図 21)。CMP2270 付近に第四紀層を累積的に変位させる西傾斜の正断層 (F5) が認められる。

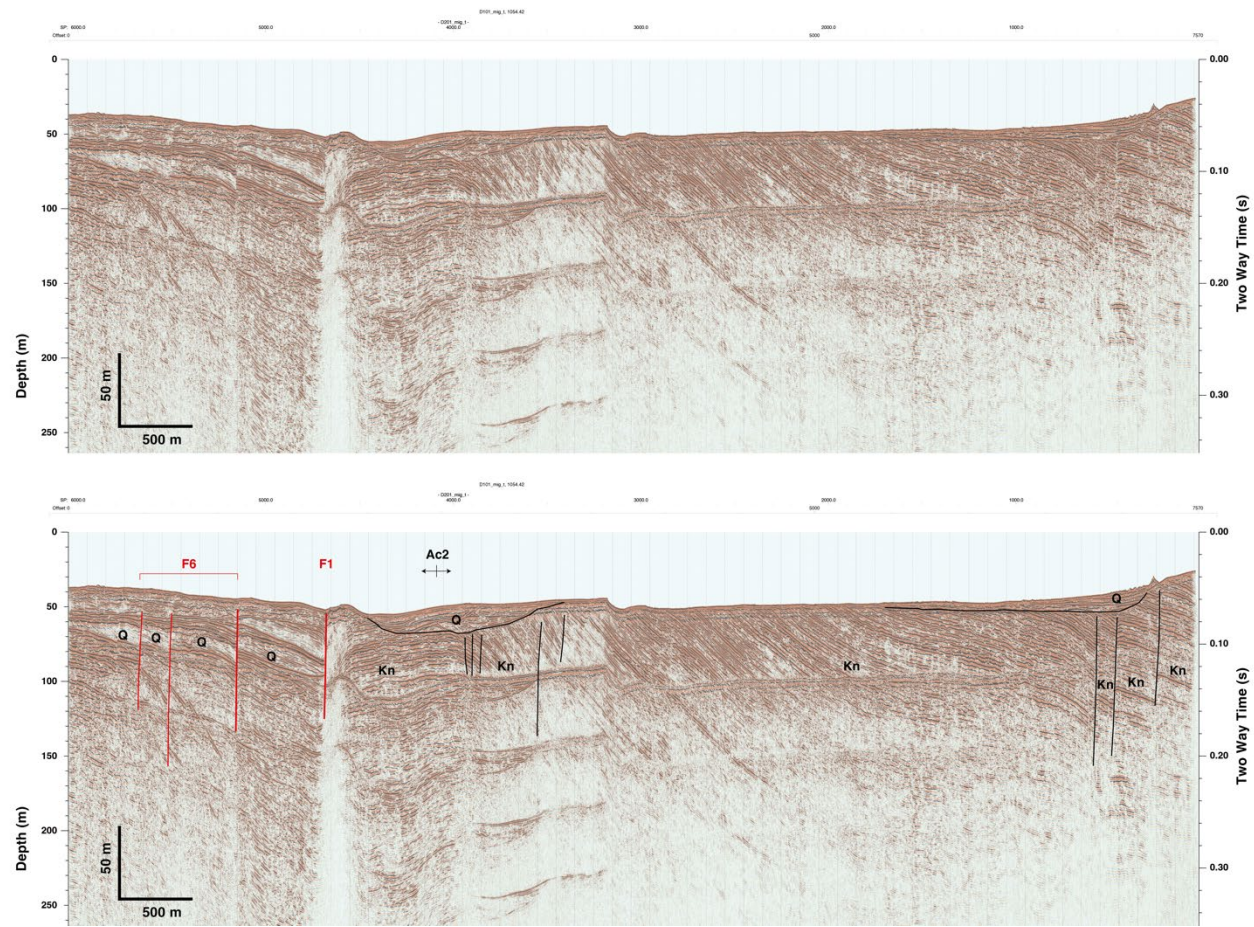


図 19 D201 測線のマイグレーション断面 (上) および解釈図 (下)

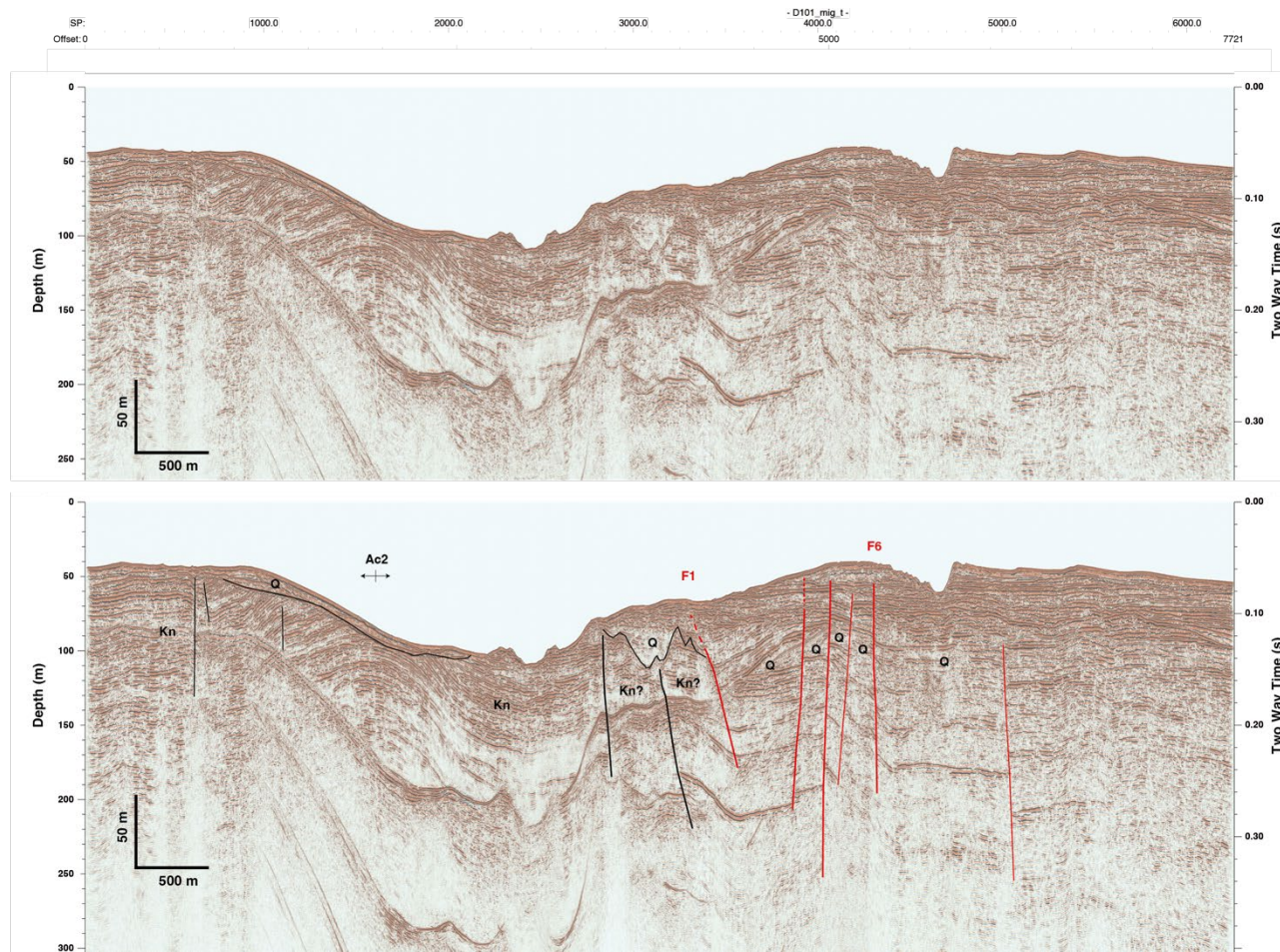


図 20 D101-1 測線のマイグレーション断面 (上) および解釈図 (下)

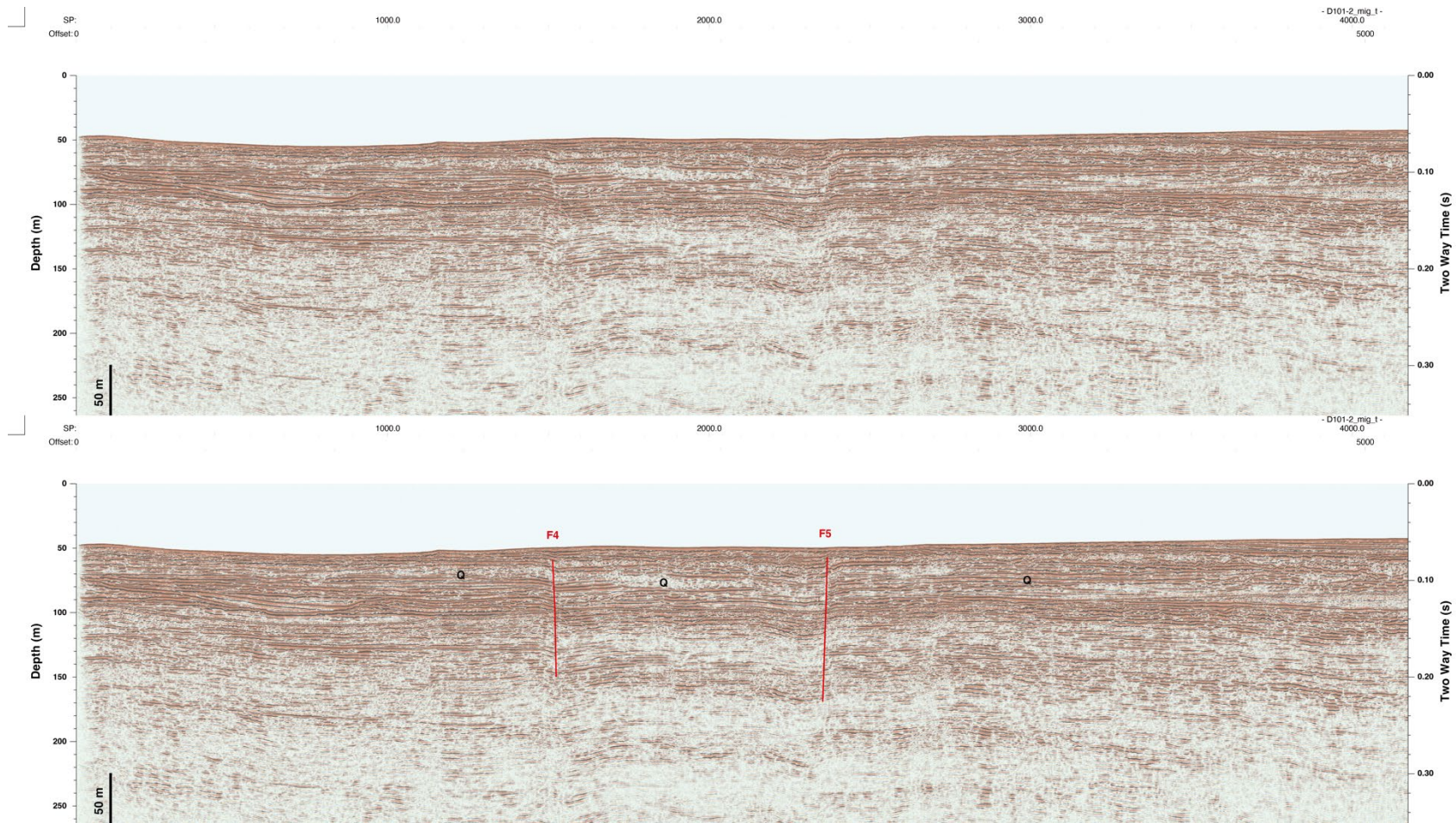


図 21 D101-2 測線のマイグレーション断面（上）および解釈図（下）

c) 地質構造の空間分布、活動様式、活動性

本調査で取得したマイグレーション断面の解釈にもとづいて、測線間で追跡可能な断層および背斜・向斜軸をつなげて地質構造図を作成した（図 22、図 23）。

地質境界をなす F1 断層は、宇土半島の北岸に沿って、D10 測線の南端付近（宇城市三角町太田尾の沖合）から、三角ノ瀬戸を超えて、大矢野島の北岸に沿って D3 測線の CMP4450 付近（上天草市大矢野町上、野釜島の約 2.5 km 北方の沖合）まで概ね北東-南西走向に延びる。F1 断層は、D3 測線から走向を東西に転じて、湯島（上天草市大矢野町湯島）の北岸を通過して、少なくとも D201 測線の CMP4700 付近（湯島の約 1.0 km 西方の沖合）まで連続しているとみられる。D10 測線から D3 測線に至る海域においては、F1 断層は宇土半島北岸区間が推定された領域（地震調査研究推進本部地震調査委員会，2013）に沿って認められた（図 22）。地震調査研究推進本部地震調査委員会（2013）は、顕著な重力異常の急変帯が 2 条に分岐する手前（本調査における D3 測線付近）を宇土半島北岸区間の南西端とした。重力異常の急変帯は、宇土半島北岸区間の南西端付近から、東西方向および北東-南西方向に分岐して延びているようにみえる（図 22）。本調査の結果によれば、これらの 2 条に分岐した重力異常の急変帯のうち、東西方向に延びる重力異常の急変帯に沿って、F1 断層が分布している。一方で、分岐して北東-南西方向に延びる重力異常の急変帯においては、その重力異常の急変に対応する地質構造は本研究では確認できなかった。

F1 断層は北傾斜の断層で、断層の北側には第四紀層が、断層の南側には教良木層、口之津層群、三角火山岩類を主体とする基盤岩が分布している。F1 断層は、断層の北側が相対的に低下する正断層成分を有していると判断されるが、断層の下盤側（隆起側）における第四紀層の分布が限定的であるため、F1 断層の活動性を定量的に検討することは困難であると考えられる。他方で、F1 断層は、断層近傍の第四紀層を累積的に引きずり上げたり、引きずり下げたりするように変形させている。このことは、F1 断層が第四紀において繰り返し活動してきた活断層であることを示している。また、このような第四紀層の変形様式は、F1 断層が横ずれ成分を有していることを強く示唆している。

F1 断層の低下側（北側）には、第四紀層を累積的に変位させる複数条の活断層が F1 断層に並走して発達している。これらの活断層は、全体としては F1 断層と同様に断層の北側を低下させる正断層（F2 断層、F3 断層、F4 断層、F6 断層）を主体とするが、断層の南側を低下させる正断層（F5 断層）も分布している。マイグレーション断面では、これらの断層の横ずれ成分を示す構造は確認できない。断層の断面形状にもとづけば、第四紀層を変位させるこれらの活断層は、深部で F1 断層に収斂していると考えられる。前述のように、F1 断層の過去の活動を直接的に検討することは困難であると考えられるが、F2～F5 断層を対象とした調査を実施することによって、宇土半島北岸区間の過去の地震活動を評価できる可能性が高い。

F1 断層の隆起側（南側）には、基盤岩（主に口之津層群）を変位させる断層および褶曲が発達している。特に、D3 測線から D201 測線の範囲においては、F1 断層の南側の領域に

分布する口之津層群が褶曲または南に単斜していることを確認できる。Sc 1 向斜は、D 3 測線から D 2 測線を経て、D 1 測線に連続し、D201 測線では確認できなくなる向斜であり、口之津層群を変形させている。その向斜軸は東西～東北東-西南西方向に伸びており、7 万 5 千分の 1 地質図「口之津」(赤城, 1936) を参考にすれば、Sc 1 向斜の東側延長部は大矢野島に連続し、陸域に分布する口ノ津層群相当層を変形させていると推察される。Ac 1 背斜は、Sc 1 向斜に並走し、D 2 測線から D 1 測線に伸びて、D201 測線では背斜としては認識できなくなる向斜であり、口之津層群を変形させている。D 1 測線においては Ac 1 背斜の北西翼が南東翼よりも急傾斜となっており、北東翼の基部には断層が発達している。D 2 測線においては、背斜の南翼を構成する口ノ津層群に三角火山岩類が貫入している (図 17)。Ac 2 背斜は、D 1 測線から D101-1 測線を経て D201 測線に連続する背斜であり、口ノ津層群を変形させている。Ac 2 背斜の南西翼には断層が発達している。D 1 測線および D201 測線においては、背斜の北東翼が F 1 断層に切断されている。D 2 測線においても F 1 断層の近傍に背斜が形成されており (図 17)、Ac 2 背斜は湯島付近を経て D 2 測線における F 1 断層近傍の背斜にまで連続する可能性がある。ただし、D 1 測線から D 2 測線間の海域の測線密度が低いために、構造が連続することを判断することは困難である。また、これらの構造 (Sc 1 向斜、Ac 1 背斜、Ac 2 背斜) が活構造であることを示す資料は得られていない。

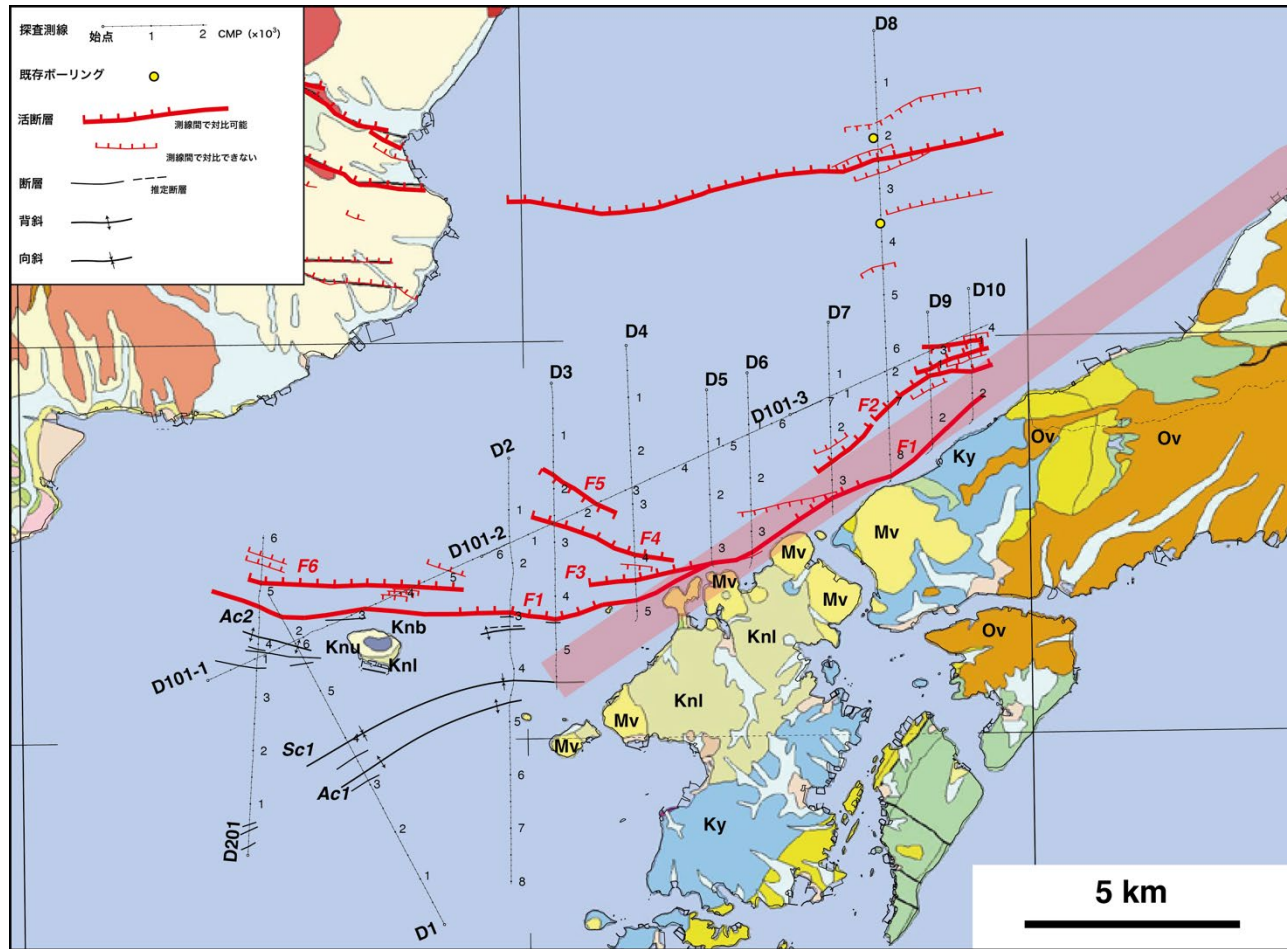


図 22 宇土半島北岸区間およびその周辺の地質構造図

薄い赤の太線は地震調査研究推進本部地震調査委員会（2013）による宇土半島北岸区間。陸域の地質は産総研地質調査総合センター（2022）にもとづく（地質に関する凡例の説明は図 6 を参照）。

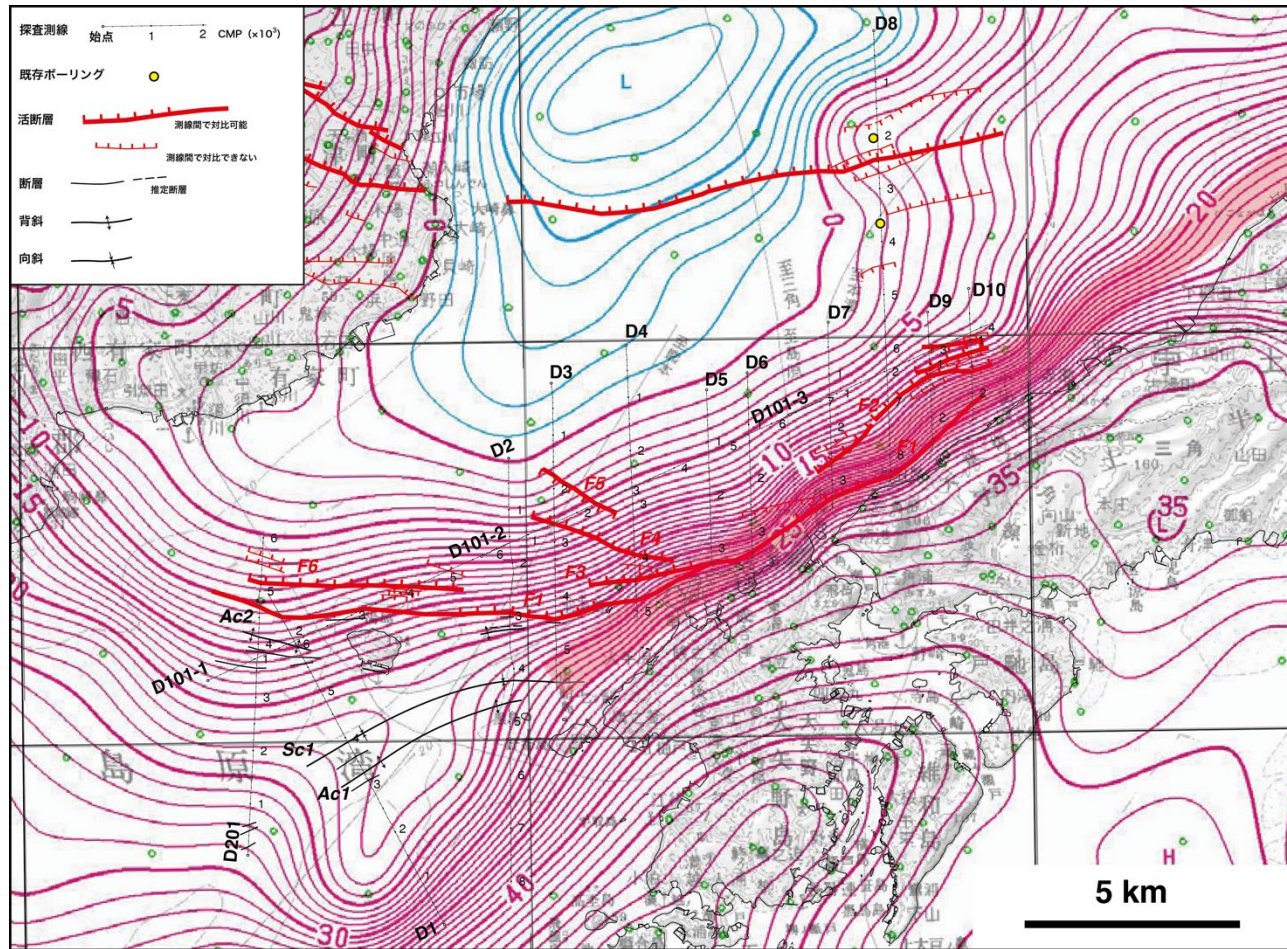


図 23 宇土半島北岸区間およびその周辺の地質構造図

薄い赤の太線は地震調査研究推進本部地震調査委員会（2013）による宇土半島北岸区間。基図には 20 万分の 1 重力図（森尻・他，2001；村田・他，2004）を使用した。

d) 宇土半島北岸区間の連続性、端点の位置

宇土半島北岸区間は、宇土半島および大矢野島の北岸に沿って分布する顕著な1条の重力異常の急変帯に沿って推定されたものである。本調査で実施した高分解能マルチチャンネル反射法音波探査によって得られたマイグレーション断面によれば、宇土半島および大矢野島の北岸に推定された宇土半島北岸区間のトレースに沿って、地質境界をなすF1断層が連続的に分布している(図22)。前述のように、F1断層は第四紀層を累積的に変形させているため、活断層であると判断される。重力異常の急変帯は大矢野島の北西端の沖合で2条に分岐するが、F1断層は東西方向に分岐して延びる重力異常の急変帯に沿って分布していると判断される(図23)。F1断層は、湯島の北岸を通過し、少なくとも湯島の約1.0 km西方の沖合までは連続していると考えられる(図22、23)。F1断層の端点位置は、本調査で最も西側で配置した探査測線(D201 測線)よりも西側であると判断されるため、本調査で取得した探査記録からは断層の西端位置をこれ以上絞り込めない。一方で、断層の北東側の端点については、本研究で最も東側に配置した測線(D10 測線、宇城市三角町太田尾の沖合)まではF1断層が連続的に捉えられている。前述のように、それよりも東側の領域では音波散乱層が想定されたため、本研究では探査を実施していない。

F1断層の北側の海域には、F1層と並走して、第四紀層を累積的に変位させる複数条の海底活断層(F2断層、F3断層、F4断層、F5断層、F6断層)が確認できる。これらの断層の分布は断続的であり、D2測線およびD5測線を配置した海域においては確認できない。断層の断面形状によれば、これらの断層は深部でF1断層に収斂していると考えられる。すなわち、これらの活断層およびF1断層は一連の断層帯(宇土半島北岸区間)を構成していると判断させる。

以上をまとめると、宇土半島北岸区間は、第四紀層の南縁を限るF1断層と、F1断層の下盤側(北側)の海域に断続的に分布する海底活断層群によって構成されている。これらの断層は、宇城市三角町太田尾の沖合から、宇土半島および大矢野島に沿って北東-南西方向に延び、野釜島の約2.5 km北方の沖合(D3測線付近)から走向を東西方向に転じて、湯島の北岸を経て、少なくとも湯島の約1.0 km西方の沖合まで連続する。宇土半島北岸区間の西端については、地震調査研究推進本部地震調査委員会(2013)によれば、大矢野島の北西端の沖合の海域とされていた。本調査によって、宇土半島北岸区間はさらに西側に少なくとも約7 km延びていることが示された。断層はさらに西方(島原半島の方向)に延びている可能性がある。宇土半島北岸区間の東端については、本研究で音波探査を実施した範囲に断層が分布しており、少なくとも宇城市三角町太田尾の沖合まで連続していることが示された。

4) まとめ

宇土半島北岸区間の正確な位置・連続性、南西端の位置に関する資料を取得するため、宇土半島北岸区間が推定されている海域およびその南西側の島原湾において、高分解能の音波探査を実施し、海底面下 200 m 程度までの地質構造を検討可能な高品質な音波探査記録断面を取得した。

本研究で取得したマイグレーション断面によれば、重力異常の急変帯に沿って宇土半島北岸区間が推定されている海域（宇土半島および大矢野島の北岸）において、第四紀層の分布の南限を画する F1 断層が連続的に分布し、この断層によって第四紀層が累積的に変形を受けていることが初めて確認できた。また、F1 断層に深部で収斂していると考えられる複数条の海底活断層が存在することを確認できた。地震調査研究推進本部地震調査委員会（2013）によって宇土半島北岸区間が推定された領域よりも南西側の島原湾においては、重力異常の急変帯が西方向および南西方向の 2 条に分岐している。宇土半島北岸区間の西側延長部の海域で取得したマイグレーション断面によれば、西方向に分岐して延びる重力異常の急変帯に沿って断層が連続しており、断層は湯島の北岸を経て、少なくとも湯島の約 1.0 km 西方の沖合まで連続している。また、断層の西端は、今年度の探査範囲よりさらに西側に位置していると判断される。他方で、南西方向に分岐して延びる重力異常の急変帯については、重力異常の急変帯に対応する断層等の地質構造は、本研究では確認できなかった。

本研究では、沿岸海域における海底活断層調査で一般的な音波探査よりも、高い出力を持つ音源装置、多チャンネルかつ深度ロガーを取り付けた受振器を用いて、高分解能マルチチャンネル反射法音波探査を実施した。また、探査の際には、音源およびテールブイにおいて GNSS 測位を行うことによって、音源および受振点の座標を精密に決定した。これによって、海底活断層調査に必要な分解能を維持しながら、深部（海底面下 200 m 程度）までの地質構造を検討可能な、S/N 比の高いマイグレーション断面を取得できることを示した。こうして得られた探査記録を用いることによって、宇土半島北岸区間を構成する断層の分布・性状、連続性および活動性について、信頼性の高い資料を取得できることを実証した。今後の海底活断層調査においては、ターゲットとする地質構造や調査海域に応じて、本調査と同様の仕様による高分解能マルチチャンネル反射法音波探査が、調査手法の有力な選択肢の 1 つに加わることになると考えられる。

令和 5 年度・令和 6 年度においては、宇土半島北岸区間の西端の位置をさらに絞り込むための物理探査を行うとともに、断層の活動性を評価するための海上ボーリング調査を実施する予定である。

(d) 結論ならびに今後の課題

宇土半島北岸区間が推定されている海域と、その南西側の島原湾において実施した高分解能の音波探査によって、宇土半島北岸区間を構成する海底活断層が実在していること、その正確な位置・連続性がわかった。宇土半島北岸区間を構成する断層は、地震調査研究推進本部地震調査委員会（2013）が示した断層の端点から西側の海域に延びており、湯島の北岸を経て、少なくとも湯島の約 1.0 km 西方の海域まで連続していることがわかった。断層はさらに島原半島の方向に延びていると推察されるため、断層の正確な位置と長さを明らかにするために、断層の西端の位置を絞り込むことが課題である。また、宇土半島北岸区間の過去の活動についての資料が得られていないため、海上ボーリング調査等を行って宇土半島北岸区間の活動性を評価するための資料を取得することが課題である。よって、令和 5 年度・令和 6 年度においては、宇土半島北岸区間の西端の位置を絞り込むための物理探査を行うとともに、断層の活動性を評価するための海上ボーリング調査を実施する予定である。

(謝辞)

現地調査にあたっては漁業関係者、港湾施設関係者、自治体ならびに海上保安部の方々に調査の趣旨をご理解いただき、多大なご協力をいただきました。ここに記して感謝いたします。

(e) 引用文献

- 赤木 健, 7 万 5 千分の 1 地質図幅「口之津」, 地質調査所 (現 産総研地質調査総合センター), 1936.
- 長谷義隆・岩内明子, 内陸堆積層の分布高度から求めた中部九州地溝内沈降域の変位, 地質学論集, 41, p. 53-72. 1993.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 「布田川断層帯・日奈久断層帯の評価 (一部改定)」, 66p, 2013.
- 松石秀之・松本達郎, 南部有明海の海底沖積層-有明海の海底沖積層 [その 2] 一, 九州大学理学部研究報告, 地質学, 10, p. 91-121, 1969.
- 松岡裕美・岡村 眞, 中央構造線系海底活断層の分布形態とその特徴, 月刊地球号外, 31, p. 110-116, 2000.
- 文部科学省研究開発局・産業技術総合研究所, 「活断層評価の高度化・効率化のための調査」令和元年度 成果報告書, 2020.
- 文部科学省研究開発局・産業技術総合研究所, 「活断層評価の高度化・効率化のための調査」令和 2 年度 成果報告書, 2021.
- 文部科学省研究開発局・産業技術総合研究所, 「活断層評価の高度化・効率化のための調査」令和 3 年度 成果報告書, 2022.
- 森尻理恵・広島俊男・駒澤正夫・牧野雅彦・村田泰章・名和一成・西島 潤・茂木 透, 20

- 万分の1重力図「福岡地域重力異常図（ブーゲー異常）」，産総研地質調査総合センター，2001.
- 村田泰章・名和一成・駒澤正夫・森尻理恵・広島俊男・牧野雅彦・山崎俊嗣・西村 清和・大熊茂雄・志知龍一，20万分の1重力図「鹿児島地域重力図（ブーゲー異常）」，産総研地質調査総合センター，2004.
- 長尾 巧，天草の地質略報（一），地質学雑誌，29，p.41-56，1922.
- 大塚裕之，口之津層群の層序および堆積物-口之津層群の地史学的研究 その1-，地質学雑誌，72，p.371-384，1966.
- 大塚裕之，北西部九州有明海南部地域の更新-最新統の層序学的，堆積学的研究，鹿児島大学理学部紀要（地学・生物学），3，p.35-65，1970.
- 大塚裕之・外間喜春・田中利明・後村信幸・竹之内貴裕・上野宏共，島原半島南部の地質の再検討，鹿児島大学理学部紀要（地学・生物学），28，p.181-241，1995.
- 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，20万分の1地質図幅「八代及び野母崎の一部」，産総研地質調査総合センター，2010.
- 産総研地質調査総合センター，20万分の1日本シームレス地質図 V2，2022.
<https://gbank.gsj.jp/seamless>（閲覧日：2023年3月3日）.
- 産業技術総合研究所・千葉大学理学部・東海大学海洋学部・地域地盤環境研究所，沿岸海域における活断層調査「雲仙断層群北部（海域）及び雲仙断層群南東部（海域）」成果報告書，本文49p，図表134p，2010.
- 杉山雄一・岡村行信・武田伸勝・丸山かおる，九州中部，島原湾と橘湾における雲仙断層群の音波探査，活断層・古地震研究報告，11，p.149-194，2010.