

A Model of a 3-Dimensional Geological Structure off the West Coast of the Noto Peninsula, the Sea of Japan

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2022-06-03 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: SAWADA, Akihiro, ISHIDA, Satoshi, KOBAYASHI, Wataru, NOHARA, Koji, HIRAMATSU, Yoshihiro メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24517/00066304

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.



能登半島西方海域における3次元地質構造モデル

澤田明宏^{1*}・石田聡史²・小林 航²・野原幸嗣²・平松良浩¹

2021年9月30日受付, Received 30 September 2021
2022年2月3日受理, Accepted 3 February 2022

A Model of a 3-Dimensional Geological Structure off the West Coast of the Noto Peninsula, the Sea of Japan

Akihiro SAWADA^{1*}, Satoshi ISHIDA², Wataru KOBAYASHI²,
Koji NOHARA² and Yoshihiro HIRAMATSU¹

Abstract

In the sea area off the west coast of the Noto Peninsula, there are faults and flexures that have been formed since the Tertiary Period. It is also the area in which the magnitude 6.9 Noto Hanto earthquake occurred on March 25th 2007. Many acoustic surveys have been carried out and have revealed the vertical cross-sections of subsurface sedimentary structures in this area. In this study, we compiled the boundary depths of the sedimentary structures, together with the distribution of faults and flexures, and created a three-dimensional (3D) depth distribution of the boundaries of the subsurface geological structures formed since the Tertiary Period in this area. The obtained 3D depth distribution of the boundaries illuminates the distribution of the flexure structure in the sea area off the city of Hakui at each boundary. We recognized that the boundary depths change steeply for the Quaternary Period reverse faults that lie relatively close to the coast, while little for the faults far from the coast.

Key Words: acoustic survey, active fault, depth distribution, flexure, Noto Peninsula, Quaternary Period, Tertiary Period

キーワード: 音波探査, 第四紀, 活断層, 撓曲, 深度分布

¹ 金沢大学理工研究域地球社会基盤学系 〒920-1192 石川県金沢市角間町 (Division of Geosciences and Civil Engineering, College of Science and Engineering, Kanazawa University, Kakuma-machi, Kanazawa, 920-1192 Japan)

² 北陸電力株式会社, 〒930-8686 富山県富山市牛島町15-1 (Hokuriku Electric Power Co., Ltd., 15-1 Ushijima-machi, Toyama, 930-8686 Japan)

* 連絡著者 (Author for correspondence)

I. はじめに

地下の地質構造について3次元的な情報を得ることは、地下構造の起伏から活断層や撓曲の空間的な分布を推定するための有力な資料となり、新第三紀以降の活断層活動などテクトニックな活動の歴史を知ることや将来の地震活動を予測するためにも重要である。また、対象地域で得られている重力異常などの情報と組み合わせることにより、音波探査のみで判明している地下構造よりも深い基盤構造を推定する上でも有用であると考えられる。

本研究で対象とする海域は、能登半島西方の範囲である(図1)。この海域の地質構造については井上・岡村(2010)によってまとめられており、第四紀および中新世に形成された逆断層や褶曲および撓曲の存在について示されている。また、岡村(2007a)により海底地質図が作成されており、沿岸部では鮮新世から第四紀にかけての堆積物が分布する。門前沖の西方20km以西には中新統の音響基盤が分布している。

この海域では、2007年3月25日にマグニチュード6.9の能登半島地震が発生している。この地震が発生した後に震源断層についての重点的な調査が行われ、震源断層周辺で音波探査(井上ほか, 2007)が行われている。この他に、北陸電力株式会社が能登半島西方海域において広範囲の音波探査を行っており、片川ほか(2005)によって対象海域の地質構造について示されている。より広い範囲については、能登半島周辺にて産業技術総合研究所による音波探査(岡村, 2007a)も行われている。また、能登半島地震の震源断層周辺ではこれらの他にも反射法地震探査(佐藤ほか, 2007)が行われている。

本研究では、能登半島西方海域においてこれまでに行われた音波探査から作成された地下構造断面図について数値化を行うことにより、地層境界ごとに区分された2次元速度構造の3次元化を行う。これによって得られた3次元座標値から補間処理を行うことで3次元地質構造モデルの作成を行うことにより、多数の断面図を一つの空間的なデータとして利用できるようにする。さらに、あわせて得られた3次元地質構造モデルと断層および撓曲分布との比較を行う。

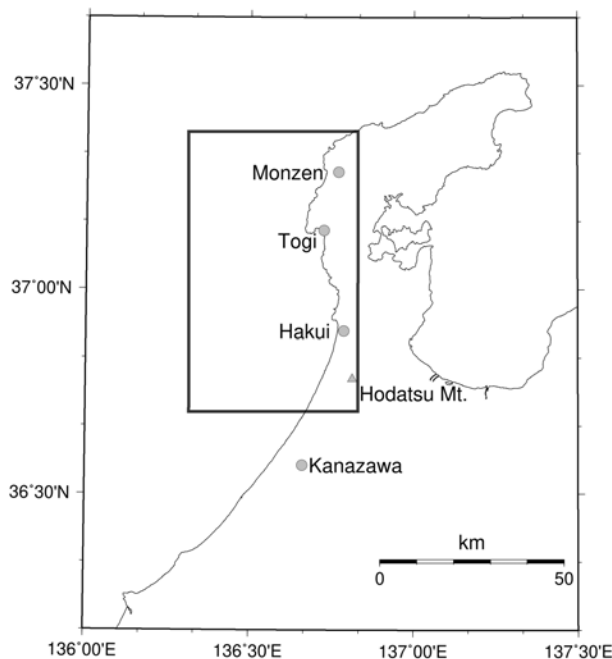


図1 能登半島地域の概要図。太線枠は調査対象地域を示す。

Fig.1 Map showing summarized geographical features of the Noto peninsula. The bold frame indicates the analysis area.

II. 使用データ

本研究で使用する音波探査データは、能登半島西方海域において北陸電力株式会社(片川ほか, 2005, および追加測定データ)、東京大学地震研究所(井上ほか, 2007)、産業技術総合研究所(井上ほか, 2007, 岡村, 2007a)によって測定されたデータを用いる。

北陸電力株式会社は、能登半島西方海域においてスパーカーおよびブーマーによる音波探査を行っている。このうち1985年から1986年にかけて行われたスパーカーによる測定については片川ほか(2005)に詳細が記載されており、対象地域一帯に探査測線が分布する(図2)。片川ほか(2005)は当時得られた音波探査結果をもとに、不整合や層理、岩相境界を表すと考えられる記録中の反射面とその連続性、反射波のパターンにより、上部から下部へA~D層の4層に区分した。さらにB層を3層、C、D層をそれぞれ2層に細区分し、全体では8層に区分した。そして、海域の音波探査結果から決定した層序区分と陸域の新第三紀~第四紀標準層序との対比を行った。彼らの音波探査による地質層序と陸域における

表 1 音波探査による地質層序の対比表.

Table 1 Correlation of stratigraphic divisions estimated from the acoustic surveys.

本研究で用いる地層区分		音響学的層序 (調査海域) (片川ほか, 2005)		陸域地質層序 (北陸地方) (片川ほか, 2005)	産業技術総合研究所エアガンから作成した北陸電力による地層区分 (未公表)	井上ほか (2007)
Q層	中期更新世～完新世	A層	完新世	沖積層	Q層	A層
		B1層	中・後期更新世	中位・低位段丘		B層
		B2層		高位段丘・高階層		C層
		B3層		埴生階 (埴生累層)		
C層	鮮新世～前期更新世	C1層	鮮新世～前期更新世	氷見階上部 (中川砂岩層)	C層	
		C2層		氷見階下部		
D1層	先第三紀～鮮新世	D1層	先第三紀～鮮新世	音川階	D1層	D層
D2層		D2層		東別所階・黒瀬谷階・別所岳安山岩・高州山安山岩・楡原階・飛騨片麻岩類	D2層	E層

地質層序との対比について表1に示す。この他に、北陸電力株式会社は2006年および2009年にブーマーによる音波探査を同海域にて追加で行っており、このときの音波探査結果でも、片川ほか (2005) と同じ基準で、海底地層の8層からなる層序区分を行っており、これらの層序区分にもとづいて音波探査測線毎に地下構造断面図を作成した。一部地域について、片川ほか (2005) および追加測定から得られた音波探査記録と層序区分結果は、北陸電力株式会社 (2021) に示される。

また、井上ほか (2007) は、2007年能登半島地震震源域の海底活断層について、東京大学地震研究所が2007年に実施したブーマーによる音波探査、および産業技術総合研究所が2007年に実施したブーマーによる音波探査の結果をもとに詳細な調査を行っており (図2)、特に富来沖から門前沖にかけての海底断層の分布について示している。さらに、音波探査結果にもとづいて、海底下の不整合や顕著な反射面をもとに地層区分を行い、堆積層を上部から下部へA層からE層に5区分するとともに、片川ほか (2005) による地層区分との対比について記載している。そ

の一方で、北陸電力株式会社は、井上ほか (2007) が記載した音波探査データを片川ほか (2005) で規定された層序区分と同じ基準を用いて地層区分の再決定を行い、片川ほか (2005) と同様な8層からなる層序区分がされた地下構造断面図を作成した (未公表)。井上ほか (2007) による音波探査記録と北陸電力株式会社が決定した層序区分との例を図3に示す。

この他に、能登半島西方海域では産業技術総合研究所によってエアガンを用いた音波探査測定が行われている (岡村, 2007a) (図2)。北陸電力株式会社は既述の音波探査結果から地層区分として上位層より順にQ, C, D1, D2の4層に区分した地下構造断面図を作成した (未公表)。エアガンによる測定の特徴として、スパーカーやブーマーによる音波探査と比較して分解能は低いがいより深部までの地層断面を見ることが出来る。そのため、特に深い領域の地層構造について片川ほか (2005) などでは得られない情報を補完するために使用した。この層序区分と片川ほか (2005) で用いられた層序区分との関係について表1に示すとおりであり、音波探査結果から

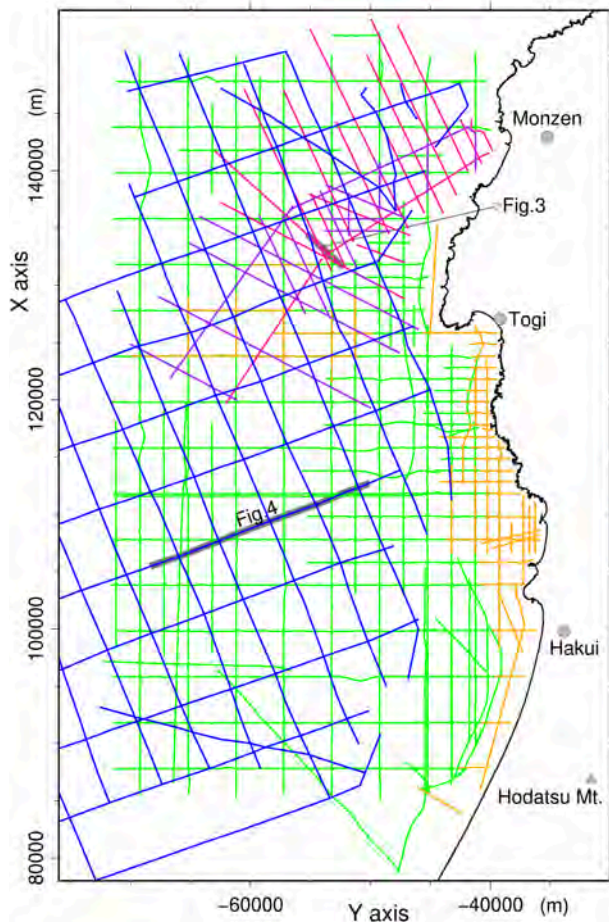


図2 音波探査測線分布図（緑：北陸電力株式会社スパーカー，オレンジ：北陸電力株式会社ブーマー，赤：東京大学地震研究所ブーマー，紫：産業技術総合研究所ブーマー，青：産業技術総合研究所エアガン，灰色：図3,4で示される断面の位置）

Fig.2 Distribution of acoustic survey lines. Green: sparker conducted by Hokuriku Electric Power Co., Ltd. (HEPC), Orange: boomer conducted by HEPC, Red: boomer conducted by Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, Purple: boomer conducted by the National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Blue: air-gun conducted by AIST, Gray: location of the profiles in figure 3 and 4.

片川ほか（2005）と同様の反射波の特徴を基準として4層に区分した。ここで作成された地層区分の堆積年代として、Q層は中期更新世～完新世，C層は鮮新世～前期更新世，D1およびD2層は先第三紀～鮮新世に相当する。岡村（2007a）による音波探査記録と北陸電力株式会社が決定した層序区分との例を図4に示す。

上で記したそれぞれの音波探査結果から決定され

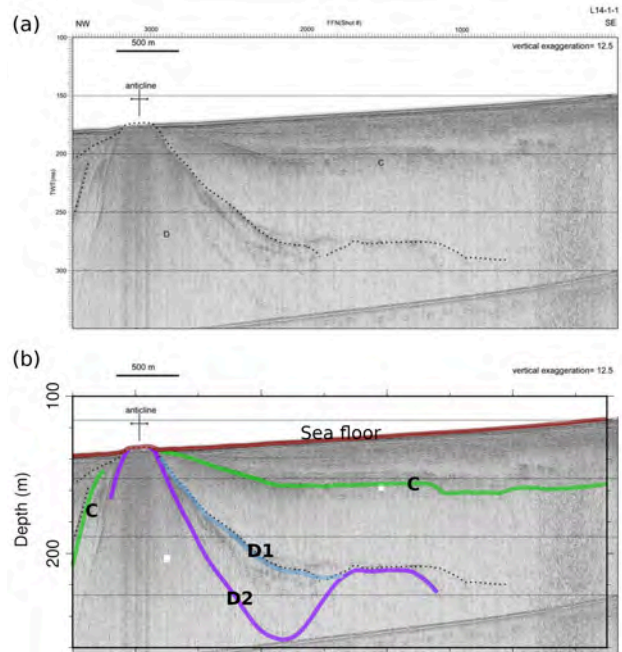


図3 (a) 音波探査断面（井上ほか，2007のFig.7）の例。(b) 層序区分結果の例，図の太線はそれぞれ本研究で決定した茶：海底面，緑：C層上面，青：D1層上面，紫：D2層の上面を示す。

Fig.3 (a) Example of the acoustic survey profile (Fig.7 of Inoue et al., 2007). (b) Example of the boundaries of the geological structure, the thick lines indicate the following location of upper boundary determined in this study, Brown: sea floor, Green: C layer, Blue: D1 layer, Purple: D2 layer.

た地下構造断面図には、各測線毎に地層を示す記号と地質境界線が記載されており、これと付随して、各断面図の両端部または断面図上に記載されるマーカーと地図上の平面座標値との対応表が作成されている。

地下構造断面図により決定された断面図上の断層および撓曲から、解析範囲における断層および撓曲の分布図（図5）を以下のように作成した。音波探査結果からの断層判定基準は、活断層研究会（1991）、岡村（2000）を参考にした。また撓曲の位置判定については、基本的に地層の平坦部が傾斜し始める箇所を撓曲線の位置と設定した。複数の断面図上で見られる断層、撓曲や地質境界深度の分布から、地下構造を考慮して連続したものであると判断される断層や撓曲の位置を直線で連結させることによって、断層や撓曲の分布図を作成している。また、決定された断層や撓曲の両端については、断層の延長部に位置する地下構造断面に断層または撓曲が確認され

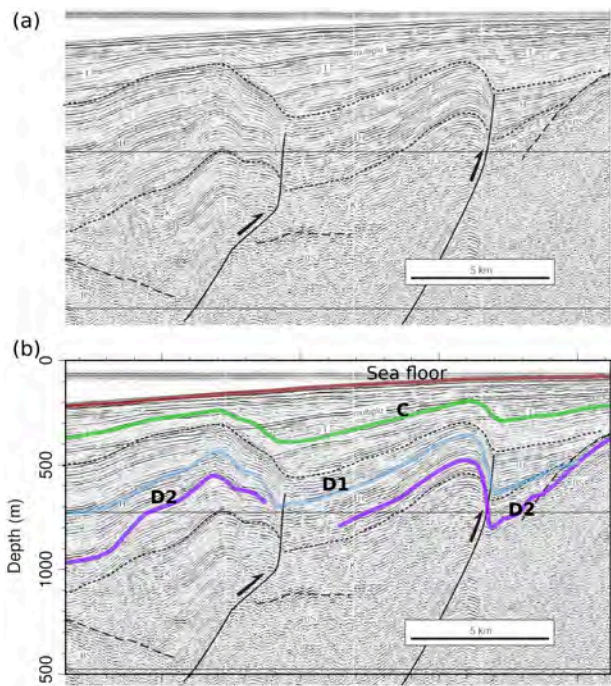


図4 (a) 音波探査断面 (岡村, 2007a の Fig. 15) の例。
(b) 層序区分結果の例, 図の太線はそれぞれ本研究で決定した茶: 海底面, 緑: C層上面, 青: D1層上面, 紫: D2層の上面を示す。

Fig.4 (a) Example of the acoustic survey profile (Fig. 15 of Okamura, 2007a). (b) Example of the boundaries of the geological structure, the thick lines indicate the following location of upper boundary determined in this study, Brown: sea floor, Green: C layer, Blue: D1 layer, Purple: D2 layer.

なかった場合について, 断層または撓曲が確認された地下構造断面の位置と, それらの延長方向に位置する断層や撓曲が確認されなかった地下構造断面の位置との中間点まで断層や撓曲が延長しているものと仮定した。ある地下構造にみられる断層が他のどの地下構造断面にも連続していないと判断される場合には, 単独断層として図5では短い断層線として示している。

III. データ処理

1) 断面データの数値化

本研究にて3次元地下構造モデルを作成する際に, 既述の音波探査による地下構造断面図の他に, 海底の水深データとして海底地形デジタルデータM7000シリーズ若狭湾 (日本水路協会, 2012), 陸域の地質分布として20万分の1日本シームレス地質図 (産

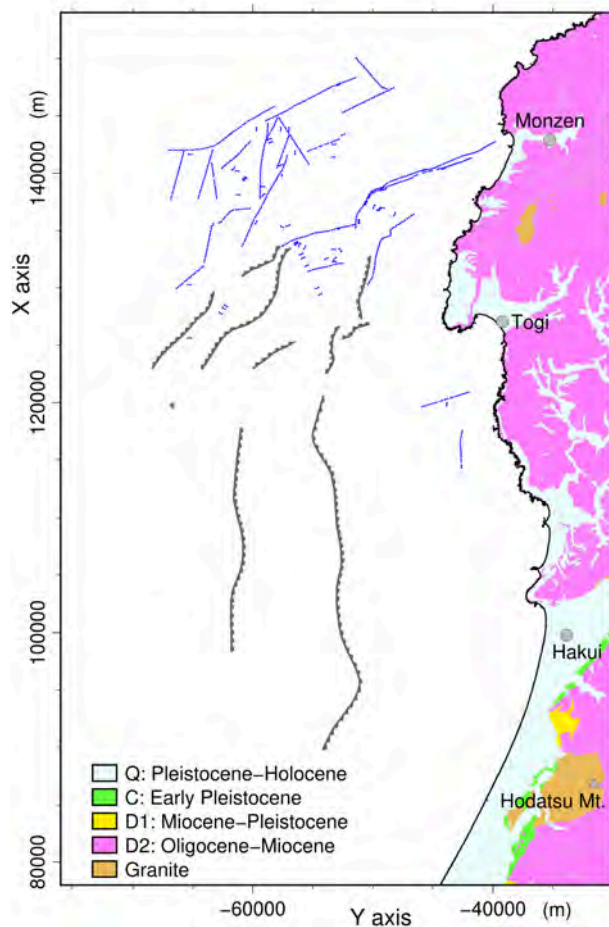


図5 能登半島西方海域における音波探査情報から推定した断層および撓曲分布および陸域の地質分布図。青線は断層, 灰色線は撓曲と傾斜方向 (円弧) を示す。地質分布図は産業技術総合研究所地質調査総合センター (編), (2015) を改変して作成した。

Fig.5 Distribution of faults and flexures estimated from the acoustic surveys in the sea area to the west of the Noto Peninsula and geological map on land area. Blue and gray lines indicate faults and flexures and dip direction (arc symbol), respectively. The geological map was created by modifying AIST (2015).

業技術総合研究所地質調査総合センター編, 2015) を合わせて使用した。このうち, 海底の水深データは最上位層の上面深度として使用した。また, 海岸線データおよび陸域の地質分布 (図5) は陸域における地層境界データとして使用した。

北陸電力株式会社によって作成された地下構造断面図に記載される各地層境界線を3次元データとしてそれぞれ利用できるようにするために, 以下に示す前処理を行った。

- (1) 音波探査によって決定された地下構造断面図から, A層からD2層までの8層, またはQ, C,

D1, D2の4層に区分されている地層を区切る地層境界線を数値化したCADデータを作成した。この地下構造断面図上に線として描かれたそれぞれの地層境界線について、どの地層区分の上面境界線に相当するのかについては、それぞれ属性を付随させる作業を行った(図6a)。また、地下構造断面図に記載された水平位置との対応を示すマーカーをあわせて追加した。

- (2) 地下構造断面図では、深い部分や音波の反射データが見えない部分は空白として表現されている。しかし、これは地層境界が存在しないのか見えないのかの区別をする上で問題となる。そこで、本作業では地層境界面および音波反射面が記載されていない領域を区別するために、データの存在する仮想上の下限位置を断面データに付加した(図6b)。

上記の作業結果として地下構造断面図を示したCADデータを作成した。

この手順で作成したCADデータに記された地層境界深度データから、平面座標成分を付加した3次元データに変換した。この処理には、地下構造断面図に記載された既知の水平位置を示すマーカーと観測機器座標データを合わせて用いた。ここで、元データに水平座標として記録されている座標値は全て旧日本測地系が用いられているため、日本測地系2000の平面直角座標系(Ⅶ系, ユニバーサル横メルカトル図法にて原点は東経137度10分, 北緯36度)に変換した。

この手順としては、地下構造断面図上に記された観測機器の位置情報を、それぞれ観測機器座標データファイルに記載されている平面座標の標高0mに存在する点として扱い、その直下の地層境界位置についても同じ平面座標で標高が地層境界の深度に相当する3次元座標で表現した。各観測機器座標点の間は直線であると仮定し、その間の座標も直線上で補間した座標値を用いた。ここで、各観測機器間の距離は地層境界として記されている多線分データのノード数と比較して離れているため、データ作成作業では断面図の左端から水平距離50m間隔の仮想点を作成し、各地層境界位置情報も水平距離で50mおきに補間値を作成したものを出力結果とした。また、本研究ではすべての地下構造断面図において地層区分を統一するために、表1による地層区分に従って

Q, C, D1, D2の4層区分へと単純化を行った(図6c)。処理結果は各断面上の各地層上面境界が平面距離で50m間隔ごとに3次元座標値をもつ点情報として得られた。

2) 3次元地層境界面データの作成

3次元地層境界面データの作成は、測線上に並ぶ地層境界座標のデータから補間計算によって解析領域にて地層境界深度を格子状に分布させることにより行った。補間計算にはGMTソフトウェア(The Generic Mapping Tools, Wessel and Smith (1991))に含まれるツールであるsurfaceを用いた。このソフトウェアsurfaceはランダムに分布する(x, y, z)の3次元データから(x, y)の2次元格子上におけるz(x, y)について補間計算を行うツールである。張力ファクターとして0.5を用いた。

補間計算を行う際に、まず音波探査断面から得られる地層境界深度の値から各層の厚さを計算し、各断面上の座標における地層の厚さを平面格子状に補間計算した。その後、それぞれの厚さ分布を海の水深を含めた上位層から加算することによって、各地層境界の深度分布を計算した。

このGMTを用いた手法による空間補間では、滑らかな地形や地層境界の補間は一般的に上手く計算できる。しかし、元となる地層境界データは測線上にのみ50m間隔と多く位置しているものの、各測線間には全く存在しないため、特に能登半島西方海域に見られる断層構造のような鉛直方向に急変を伴う構造については、測定点の存在する断面から離れるにつれて局所的な地層境界の急変を再現できない。

この問題を解消するために、元となる各速度構造断面図に記載されている断層データの位置を調べ、記載されている断層が2つの速度構造断面図から同一の断層と判断できるものについては、これらの断層の間で連続的な地層境界急変データを追加する処理を行った。修正の手順は以下の通りである。

まず隣接する速度構造断面図において、連続すると考えられる断層構造を抽出した。連続性を判断する基準として、

- ・ これまでに作成した3次元速度構造モデルの地層境界深度の形状が、断層構造に伴って地層境界深度が変化する形状と調和するもの。
- ・ これまでに報告されている海底断層の位置およ

び走向と調和的なもの。

- ・地下構造断面図に記載されている断層の傾斜の向きが一致するもの。

を設定した。

2つの地下構造断面図において連続する断層構造と判断されたものについて、3次元速度構造モデルを作成するために行う補間計算で使用する補足情報を作成した。追加する補足情報の作成手順を以下に示す。

- ・オリジナルの地下構造断面図の境界深度を示す直線を、水平距離50m間隔の点で構成された3次元座標に変換する。
- ・これらの座標データから、断層構造に起因すると考えられる地層境界深度の急変部について、急変が開始する位置および終了する位置付近を示す点の座標を抽出する。
- ・隣接する地下構造断面上で共通の断層構造による地層境界深度急変部を抽出し、それぞれの急変開始点および急変終了点を結ぶ3次元線分を設定する。設定した線分上で水平距離50m間隔で3次元座標を持つ点を設定する。これらの点は地下構造断面図から決定される速度境界と同様に扱う。

3) 3次元速度構造モデルでのCross Over Error修正

交差する2つの地下構造断面について、地層境界深度が交差点で一致していない場合、補間によって得られる3次元速度構造モデルの地層境界面深度はいびつな形状となる。このような同一層境界深度のずれ(Cross Over Error, COE)は、元データとして使用した地下構造断面図においては、ブーマーまたはスパーカーによる音波探査結果と産業技術総合研究所によって実施されたエアガンによって得られた音波探査結果との間にみられる。

このような2つの交差する断面間にみられるCOEの修正方針は以下の通りである。

エアガンによる音波探査はブーマーやスパーカーと比較して深くまで判別が可能であるが解像度は落ちるという特性がある。それゆえ、エアガンによって得られた地下構造断面とそれ以外の手法によって得られた断面の結果に食い違いがある場合、エアガンによる結果が誤差を含んでいると判断し修正対象とした。

一般的な場合として、このような修正対象となる地下構造断面上の境界線について、修正の必要がない断面交差点 $P_0 (X_0, Z_0)$ における深度修正量を dZ_0 とし(ここで X は水平軸、 Z は鉛直軸とする)、修正が必要となる断面交差点 $P_a (X_a, Z_a)$ における深度修正量を dZ_a とする場合、点 P_0 と P_a の間に位置する点 $P_n (X_n, Z_n)$ における深度修正量 dZ_n は P_0 からの距離に比例させた。計算式は $dZ_n = dZ_a \times (X_n - X_0) / (X_a - X_0)$ となる。

断面の両端付近の場合など修正が必要となる断面交差点 $P_a (X_a, Z_a)$ の隣に修正の必要がない断面交差点がない場合、深度修正量 dZ_a が断面端まで一定に連続するものとした。

上記の修正アルゴリズムによる修正で、より不自然になると判断される場合は、適時調整を行った。

これらの方法に従い、COEの修正を行った。なお、COE修正を行ってもなお不自然な地層境界形状の原因となる地層境界データについては、必要最小限と判断した範囲で目視による削除を行った。

IV. 能登半島西方海域の3次元地下構造モデル

これまでに示した手法を用いて、能登半島西方海域の3次元地下構造モデルを作成した。このモデルはC層、D1層、D2層上面の地層境界深度を格子間隔100 mのグリッドデータとして扱う。作成されたC層、D1層、D2層上面の地層境界深度分布図をそれぞれ図7から9に示す。

能登半島西方海域の断層および撓曲の分布については、本研究で用いた音波探査結果から決定される(図5)。

井上・岡村(2010)によれば、能登半島西方沖については、北側の門前沖では2007年に能登半島地震が発生した逆断層を含めて第四紀の北東-南西方向の走向を示す逆断層が多く分布する。一方、同南部では、宝達山から西への延長となる $X=80000 \sim 90000$ 付近の海域に東西に延びる隆起がみられ(岡村, 2007a), 岡村(2007b)はこれを中新世背斜軸と記載している。また、これらの間の羽咋沖には、岡村(2007a)で示される南北に延びる背斜構造が2列存在しており、いずれも東翼が急傾斜、西翼が緩傾斜の背斜構造、東翼の基部に逆断層の伏在が推定されており、岡村(2007b)ではこれらの逆断層は

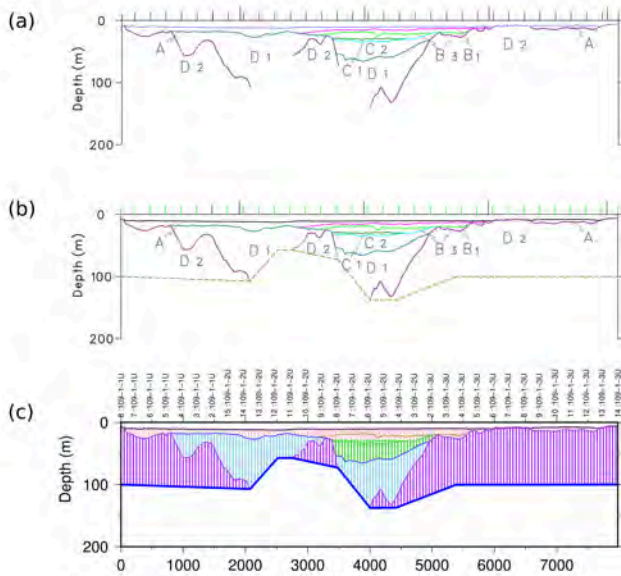


図6 地下構造断面データの処理例。(a)地質構造断面図に記載される地層境界線に層の属性を付加したCADデータ図。(b)地層境界線が記載されていない深部に仮の下限データ(暗黄色の破線)を付加したCADデータ図。(c)50mごとの水平距離で算出した地層境界線の補間値と水平座標を示すマーカー(上枠の上にあるマーカーネーム)を示した図。

Fig.6 An example of processing of cross-section data of subsurface structure. (a) CAD data diagram in which layer information is added to geological boundary lines. (b) CAD data diagram in which tentative lower limit boundary lines are added in the deeper parts with no boundary lines (dark yellow dashed lines). (c) Diagram with interpolated values of the stratum boundary lines calculated at horizontal distances of every 50 m and markers that indicate horizontal coordinates (name above the upper frame).

第四紀になって活動し始めたと推定している。本研究で決定した断層および褶曲の分布は岡村(2007a)および井上・岡村(2010)による分布と比較して、いくつかの小さな断層が新しく決定された。

作成された3次元地下構造モデルが示す地層境界分布図を見ると、第四紀逆断層については、音波探査測線で確認された各断面上の断層をそれぞれ連続させるようにモデル作成を行ったことにより、沿岸に比較的近い断層については各地層境界の境界深度が第四紀逆断層の位置で急変している。一方、沿岸から遠い西側の第四紀逆断層については、音波探査によって顕著な断層構造による地層境界深度の変化が表れていなかったこともあり、地層境界深度分布

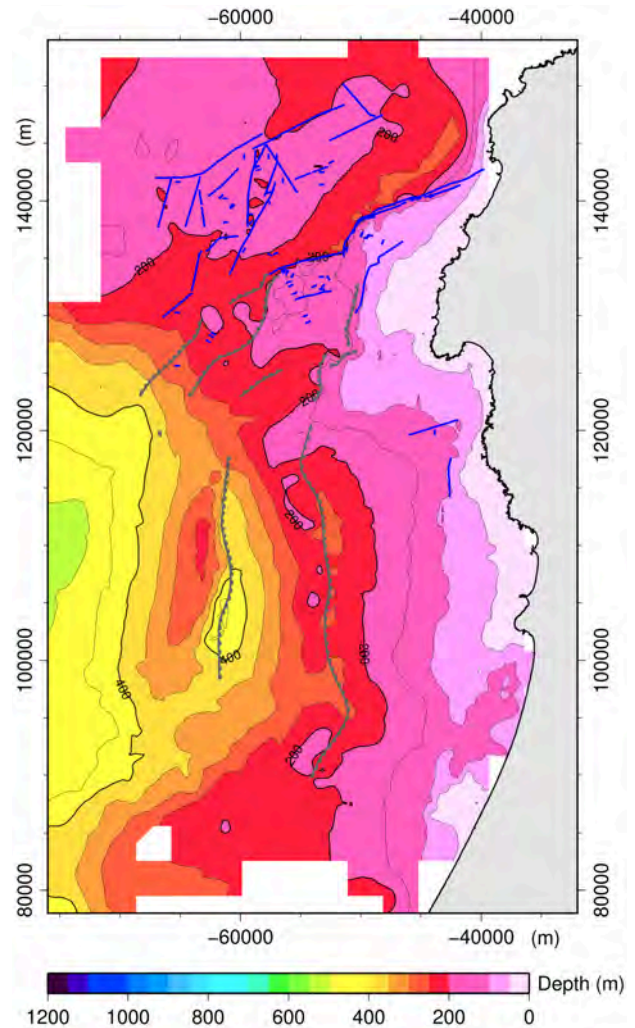


図7 C層上面深度分布図。等深線間隔は50m。青線は断層、灰色線は撓曲を示す。

Fig.7 Distribution map of the C layer top surface depth. Blue and gray lines indicate faults and flexures, respectively.

図から見て地層境界深度に大きな変化は表れていない。

解析範囲中央西側(Y=-65000~-60000)にみられるC層上面地層境界深度分布の南北方向に延びる大きな撓曲(図5)は、岡村(2007a)で示される羽咋沖で南北方向に延びる背斜構造に対応する。この地質構造は今回の解析範囲で最も大きなものであり、岡村(2007b)はこの領域で確認できる南北方向の西傾斜逆断層はかつての正断層が逆断層として再活動した可能性が高いことを示唆している。その過程で形成されたと考えられる撓曲軸に沿ってのA層からD1層の比較的厚い堆積層が地層境界深度分布にもみられる。

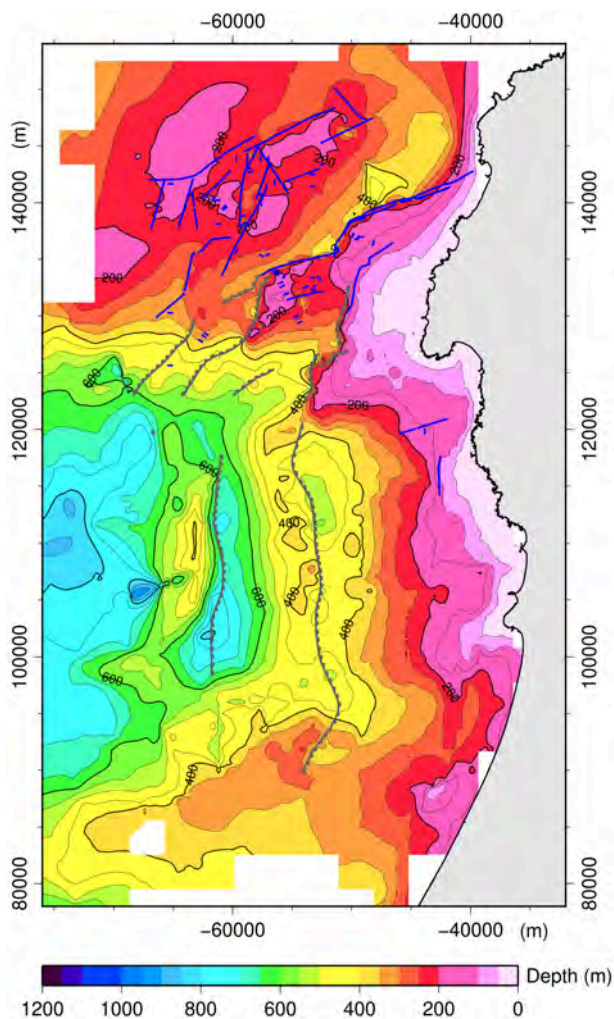


図8 D1層上面深度分布図。等深線間隔は50m。青線は断層、灰色線は撓曲を示す。
Fig.8 Distribution map of the D1 layer top surface depth. Blue and gray lines indicate faults and flexures, respectively.

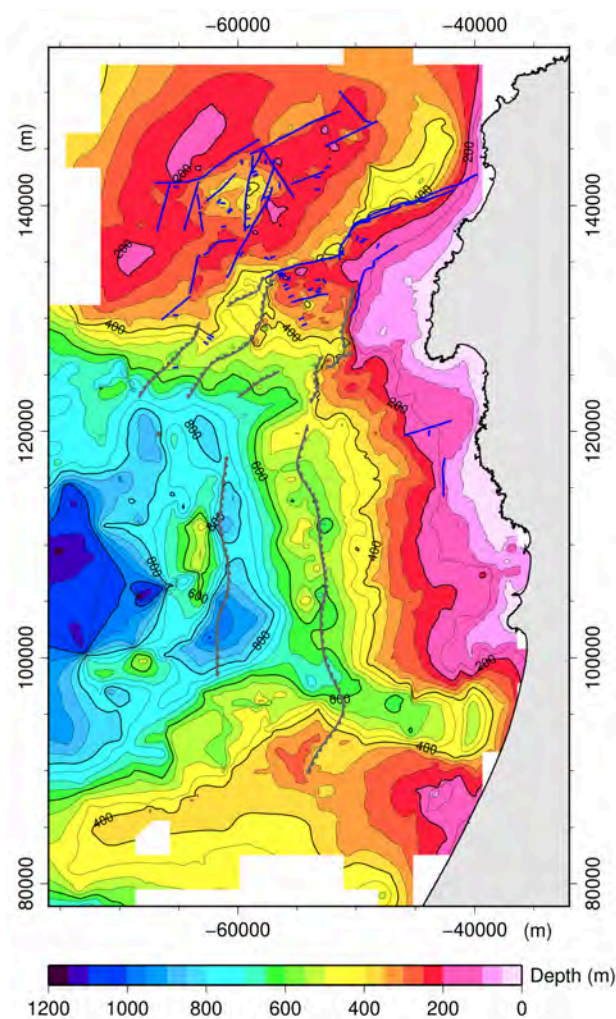


図9 D2層上面深度分布図。等深線間隔は50m。青線は断層、灰色線は撓曲を示す。
Fig.9 Distribution map of the D2 layer top surface depth. Blue and gray lines indicate faults and flexures, respectively.

能登半島西方沖南部では、図7から図9のX=80000～90000にあたる領域にて沿岸から西方へと各地層境界深度が浅い領域が延長しているのが確認できる。この結果は岡村（2007a）で示される中新世の褶曲に対応している。この領域を東の陸域へ延長すると、図5の地質分布図に示される花崗岩が地表に露出している宝達山付近まで連続しており、D2層以深の花崗岩からなる基盤が宝達山から連続して比較的浅く存在することが予想される。また、この北側のX=95000付近において、図8および図9に示されるD1層およびD2層上面深度が南北と比較して深くなる領域が陸域の羽咋付近の海岸近くから東西に延長する分布がみられる。

謝辞：産業技術総合研究所、東京大学地震研究所測定 of 音波探査結果を使用した。北陸電力株式会社作成の地下構造断面図と音波探査結果を使用した。匿名査読者には様々な助言をいただいた。ここに記して感謝の意を表す。

文献

北陸電力株式会社，2021：志賀原子力発電所2号炉 敷地周辺の地質・地質構造について データ集2（音波探査記録）。原子力規制委員会ホームページ，https://www2.nsr.go.jp/disclosure/committee/yuushikisya/tekigousei/power_plants/200000372.html。

- 井上卓彦・村上文敏・岡村行信・池原 研, 2007: 2007年能登半島地震震源域の海底活断層. 地震研究所彙報, **82**, 301-312.
- 井上卓彦・岡村行信, 2010: 能登半島北部周辺20万分の1海域地質図説明書. 海陸シームレス地質情報集, 能登半島北部, 数値地質図S-1, 産業技術総合研究所.
- 片川秀基・浜田昌明・吉田 進・廉沢 宏・三橋 明・河野芳輝・衣笠善博, 2005: 能登半島西方海域の新第三紀～第四紀地質構造形成. 地学雑誌, **114**, 791-810.
- 活断層研究会編, 1991: [新編] 日本の活断層図-分布と資料. 東京大学出版会, 東京, 474p.
- 日本水路協会, 2012: 海底地形デジタルデータ M7012 Ver. 2.0若狭湾. 日本水路協会, 東京.
- 岡村行信, 2000: 音波探査プロフィールに基づいた海底活断層の認定 -fault related fold, growth strata及びgrowth triangleの適用-. 地質調査所月報, **51**, 59-77.
- 岡村行信, 2007a: 能登半島西方海底地質図. 海洋地質図, no.61 (CD), 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 岡村行信, 2007b: 能登半島及びその周辺海域の地質構造発達史と活構造. 活断層・古地震研究報告, **7**, 197-207.
- 佐藤比呂志・岩崎貴哉・金沢敏彦・宮崎真一・加藤直子・酒井慎一・山田知朗・宮内崇裕・伊藤谷生・平田 直, 2007: 反射法地震探査・余震観測・地殻変動から見た2007年能登半島地震の特徴について. 地震研究所彙報, **82**, 369-379.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター (編), 2015: 20万分の1日本シームレス地質図 2015年5月29日版. 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- Wessel, P. and Smith, W. H. F., 1991: Free software helps map and display data. Eos, Transactions, American Geophysical Union, **72**, 441.