

沿岸海域の地質構造調査

能登半島北岸沿岸海域の高分解能音波探査

岡村行信¹・井上卓彦¹・村上文敏²・木村治夫¹

Yukinobu Okamura, Takahiko Inoue, Fumitoshi Murakami, Haruo Kimura (2009) High-resolution seismic profiling survey of the shelf along the northern coast of the Noto Peninsula.

Abstract: High-resolution multi-channel seismic profiling survey was conducted in the shallow offshore area along the northern coast of the Noto Peninsula. The acoustic source is a boomer and reflections were received by a 12 channel steamer. Forty lines perpendicular to the coast and two lines parallel to the coast were surveyed. The total length of survey lines is about 550 km. The seismic profiles showed that this area is underlain by the folded Miocene Najimi-oki formation, the Pliocene to Pleistocene Wajima-oki formation and Holocene sediments. The top of the Najimi-oki formation is a clear erosional surface, which is unconformably covered with the nearly horizontal Wajima-oki formation. The Holocene sediments cover small areas near the coast, thus Pleistocene sediments are widely exposed in the surveyed area. Several active faults that deform Holocene or seafloor are recognized along the coast.

Keywords: active fault, seismic profiling survey, Miocene, Holocene, Pleistocene, Noto Peninsula, shelf

要旨

能登半島北部沿岸海域で高分解能マルチチャンネル音波探査を実施した。音源はブーマを、反射波は 12 チャンネルのストリーマで取得した。海岸線に直交する 40 本の測線と、平行な 2 本の測線を実施し、全測線長は 550 km である。得られた反射断面は、調査域の層序が中新統南志見沖層群、鮮新統・更新統の輪島沖層群、及び完新統からなることを示している。南志見沖層群は褶曲し、上面が明瞭な浸食面で切られている。輪島沖層群は南志見沖層群を不整合で覆う、ほぼ水平な地層である。完新統は海岸に沿った小規模な分布を示し、それより沖には輪島沖層群の更新統が露出する。完新統或いは海底に変形を与える活断層がいくつか見つかった。

1 はじめに

2007 年能登半島地震と中越沖地震は沿岸海域に分布する活断層の活動によって発生した。産業技術

総合研究所が発行した地質図（岡村，2002，2007）は、それらの活断層を第四紀に活動した断層であると表現していたが、活断層であるという判断までは行っていなかった（第 1 図）。しかしながら、地震発生後に産業技術総合研究所が実施した高分解能音波探査によって、いずれの断層も約 1.8 万年前の最終氷期以降に繰り返し活動していたことが明らかになった（井上ほか，2007）。地震前に活断層を認定できなかったのは、大型の調査船を用いたエアガン音源とする音波探査であったため、調査船が海岸付近まで近づけなかったことと、音波探査の分解能が低く、活断層であるという判断ができなかったという 2 つの理由がある。

そのような従来の反射探査の限界を打ち破る装置として開発されたのが、高分解能音波探査である（村上ほか，2004；第 2 図）。この装置は 10 トン以下の漁船に搭載することができるため、海岸にかなり近づくことができる上、音源に周波数の高いブーマーを用いることから、分解能の高い記録を得ることができる

¹ 産業技術総合研究所 地質調査総合センター 活断層研究センター (AIST, Geological Survey of Japan, Active Fault Research Center)

² 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, Institute of Geology and Geoinformation)

(第 3 図). この装置で調査することによって、従来の大型の調査船を用いた反射探査では明らかにできなかった沿岸海域の活断層を明らかにすることができる可能性が高いことが、能登半島地震及び中越沖地震後の緊急調査によって明らかになった。

2 調査

調査範囲は能登半島地震を起こした活断層の北隣に当たる門前町の北西沖から、猿山岬を越え、輪島沖、曾々木海岸沖を経て禄剛崎までの長さ約 65 km の海岸線に沿った沿岸海域である (第 4 図). この海域は、能登半島西方海底地質図によって、海岸線付近に断層が示されているがその活動時期については明らかになっていなかった. その一つが 2007 年能登半島地震を起こしたことから、他の沿岸海域に分布する断層についても、活断層であるかどうかを確認する必要があった. もちろん、従来の海底地質図に残されている沿岸付近の地質情報の空白域を可能な限り少なくすることも重要な調査目的である。

調査測線は海岸線にほぼ直交する方向の約 2 km 間隔の測線 40 本とそれらの測線と交わる海岸線に平行な測線 2 本を実施した. 測線長は全体で約 550 km で、海岸から沖合に向かって 7 ~ 15 km の範囲をカバーしている (第 4 図). 音波探査装置はブーマーを音源とし、12 チャンネルのストリーマで受信した. チャンネル間隔は 2.5 m で、ブーマーの発信間隔は 1.25 m とした. 調査は 7 月 9 日に開始し、8 月 4 日に終了した. 7 月 13 日までは珠洲市漁協所属の大伸丸を、7 月 16 日以降は輪島支所所属の仙東丸を用いた.

反射音はデジタル収録し、SEG-Y 形式に変換後、波形処理、速度解析等を行い 1.25 m 間隔の共通反射点位置に編集し、12 重合の断面を作成した. 得られた反射断面は、条件がよければ海底下約 0.2 秒 (往復走時; 水中深度で 150 m) 付近までの構造を観察できるが、海岸線に近い領域では海底下の構造がほとんど見えない部分もある。

3 調査結果

3.1 層序

能登半島北岸沖の海底地質層序は、下位から音響基盤、南志見沖層群、輪島沖層群に区分されている (岡村, 2002, 2007). 南志見沖層群は後期中新世以前の堆積層からなりほぼ東西方向の軸を持つ褶曲が発達する. その上面には浸食面が広く発達し、後期中新世に

は褶曲の成長と広域的な隆起が生じたことを示している. 輪島沖層群は褶曲した南志見沖層群を不整合で覆う鮮新世から更新世の地層である.

能登半島の陸域には後期中新世以前の地層が露出し、それらを不整合で覆う段丘堆積物が分布するが、鮮新統は知られていない. このことから、後期中新世に広域的な短縮変形と隆起運動が起こったと考えられている. また更新世の段丘面が発達することから、第四紀には半島北部では南に傾動しつつ隆起する変動が生じていたと考えられるが、陸域には顕著な活断層は知られていない.

高分解能音波探査によって得られた反射断面でも、褶曲した南志見沖層群と、それを覆う輪島沖層群との不整合は明瞭に観察できる. 不整合より下位では、傾斜した地層が明瞭に観察できる場所と、反射面がほとんど観察できない場所がある. その境界ははっきりしないことから、必ずしも明瞭な岩相の違いを示しているわけではなく、地層の傾斜が大きいために反射面が見えない場合もあると考えられる. 輪島沖層群の中にはいくつかの海水準低下を示す浸食面やプログラデーションパターンが観察できるが、いつの時代に形成されたのかは明らかでない. 海岸に近い部分では完新世堆積物が楔状に認められることがある. しかしながら、大部分の海底は完新世堆積物がほとんど分布せず、更新統が露出していると考えられる. また、構造的な高まりでは浸食面が発達する.

3.2 構造

能登半島北岸沖の地質構造は、海岸線に平行な隆起帯と沈降帯によって特徴付けられる. 隆起帯は断層・褶曲によって変形した南志見沖層群が発達し、沈降帯はほぼ水平な輪島沖層群が広がる (第 6 図).

陸側の隆起帯は海岸線に沿って発達し、隆起帯の北縁に沿って南側 (陸側) が隆起する逆断層が断続的に連続する. 逆断層には活動を停止したと考えられる部分と、活断層と考えられる部分がある. 調査域西部の猿山岬周辺では海岸線から約 1 - 3 km 沖に完新統に変形を与える活断層が連続する (第 7 図). 輪島市大沢町の北方沖で完新統が分布しなくなるが、断層に沿って海底地形に高度差が認められるため、活断層であると考えられる (第 6 図). そのような断層は輪島市の鶴入町の北方沖まで続く. 輪島の北方沖で、海岸からやや離れて海底地形に変位を与える逆断層が東に連続する (第 8 図). 断層は海岸線の走向より東西に近

いため、東に向かって徐々に海岸に近づく。曾々木海岸の北方沖では反射断面で断層が見えなくなるが、南志見沖層群の上面深度が急変している場所に断層が伏在している可能性がある。その場所は東側でさらに海岸に近づくが、反射断面上で断層が確認できない。さらに東側の珠洲市高屋町の北方沖で断層が明瞭に認められるようになる(第9図)。その東側では断層は北東に海岸から離れる方向に伸びるが、禄剛崎の北方より東側では、隆起帯の北縁は断層ではなく撓曲帯になる(第10図)。この断層の南側には南志見沖層群が広範囲に海底に露出している。南志見沖層群中には波長5 km以下の褶曲が発達している。

沖側の隆起帯は曾々木海岸北方沖より西側に発達し、輪島の北方沖から西側では南志見沖層群が広範囲に露出する。隆起帯の北縁に沿って断層が認められるが、輪島沖層群の上部には変形が認められないことから、活断層ではないと判断される(第6, 7図)。隆起帯は褶曲した南志見沖層群と反射面が見られない音響基盤からなる。音響基盤は海底に高まりを形成することが多く、火成岩からなっている可能性が高い。

2つの隆起帯の間は、ほとんど変形していない輪島沖層群に覆われ、南志見沖層群の上面は深度が大きい。そのため、ほとんど見えない。輪島沖層群の厚さは0.15秒以上に達し、その中に海水準低下を示す浸食面や堆積構造が認められる(第8図)。

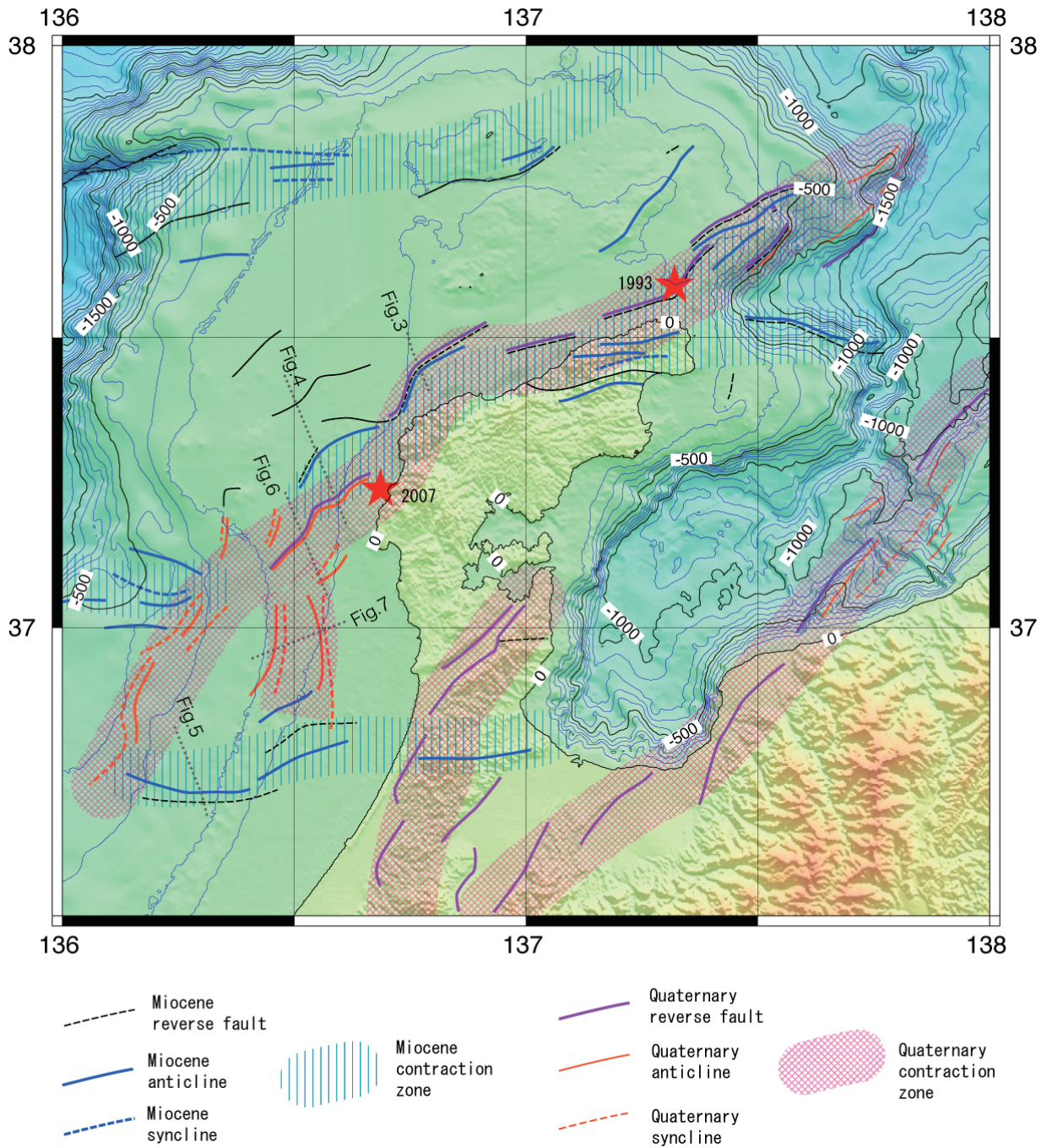
完新統は海岸線に沿って小規模な分布域が4カ所で認められる。いずれも主要な河川の沖合で、地形的にもやや凹んだ場所に当たる。それらの場所を除くと、完新統はほとんど分布せず、更新統が広く露出している。

4 まとめ

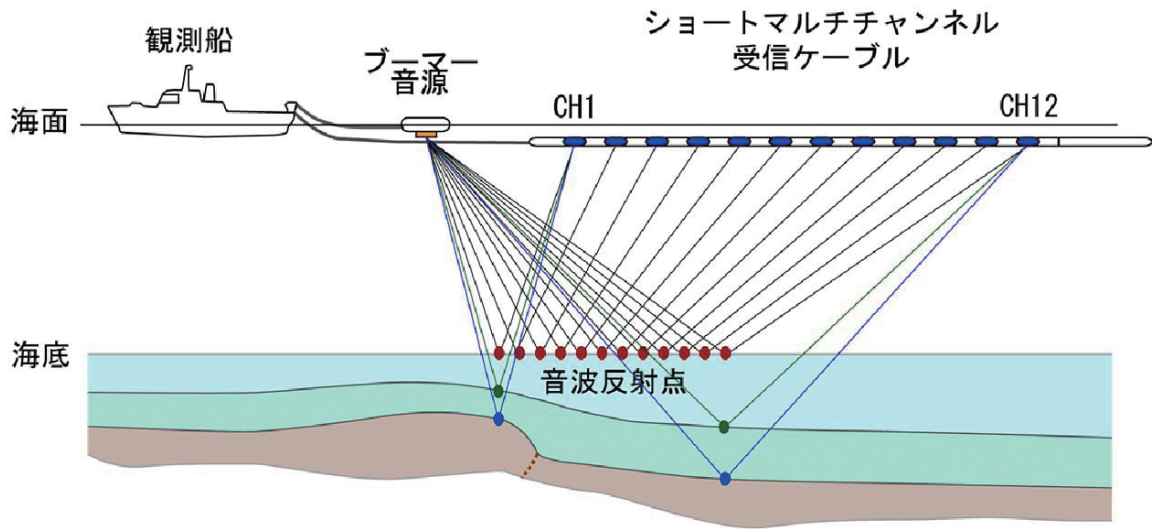
能登半島沖で実施した高分解能音波探査によって、従来は地質情報の空白域であった沿岸海域の情報を取得することができた。また、空白域の沖合でも高分解能の音波探査を実施することにより、従来明らかになっていなかった断層の活動時期を明らかにすることにより、活断層とそうでない断層とを区別することができた。今後、さらに詳細な反射断面の解析や、一部断面の再処理を行うことによって、活断層の正確な分布や活動度を明らかにできる可能性がある。

文献

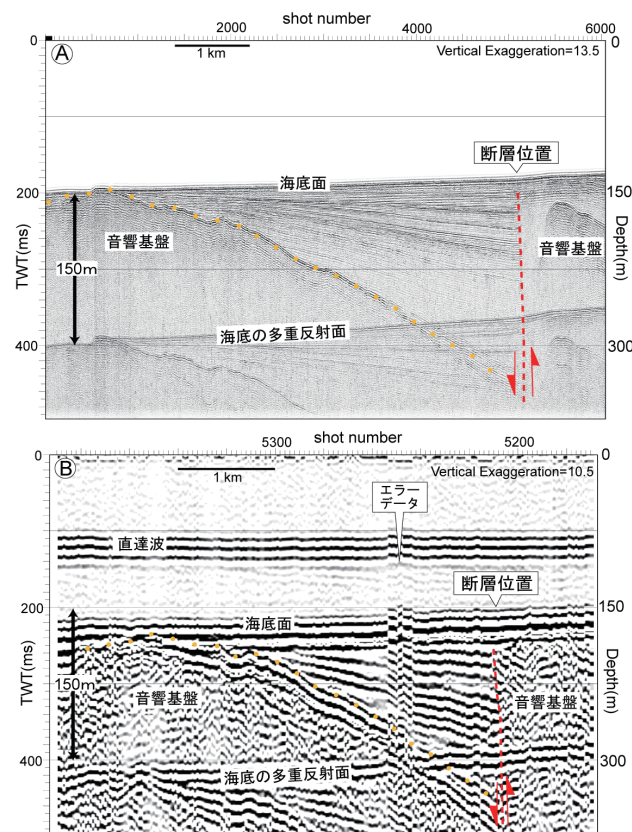
- 井上卓彦・村上文敏・岡村行信・池原 研(2007) 2007年能登半島地震震源域の海底活断層, 東京大学地震研究所彙報, 82, 301-312
- 片川秀基・浜田昌明・吉田 進・廉澤 宏・三橋 明・河野芳輝・衣笠善博, 2005, 能登半島西方海域の新第三紀~第四紀地質構造形成. 地学雑, 114, 791-810.
- 村上文敏・西村清和・松岡弘和・古谷昌明・丸山かおる・半場康弘・立石雅昭, 2004, 浅海域音波探査用12チャンネル受信ケーブルの作成と海域実験, 海洋調査技術学会第16回研究成果発表会講演要旨集, 45-46
- 岡村行信, 2002, 能登半島東方海底地質図及び同説明書. 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, 2007a, 能登半島西方海底地質図及び同説明書. 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, no.7, 197-207.



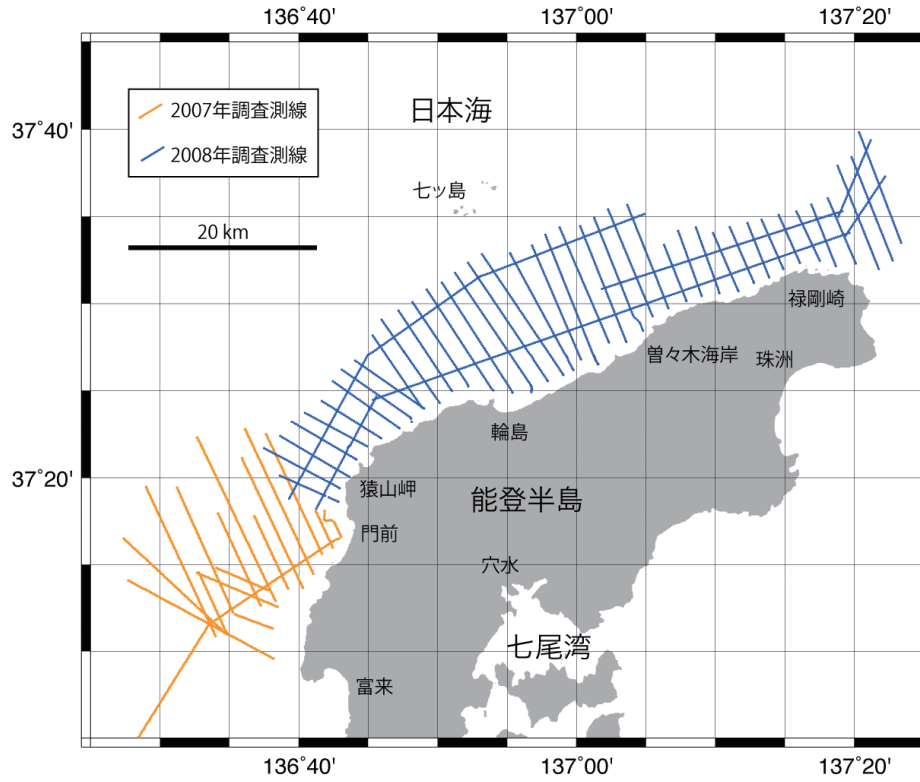
第 1 図 能登半島とその周辺の構造図 (岡村, 2007b).



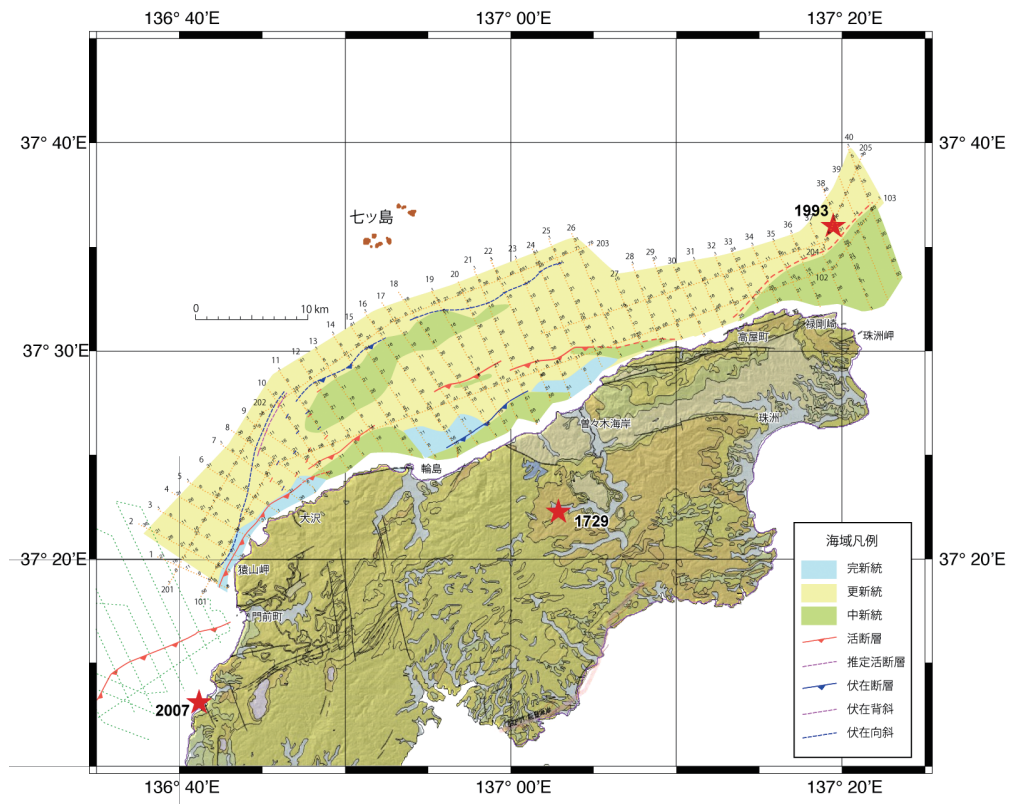
第2図 高分解能マルチチャンネル音波探査システムの模式図。



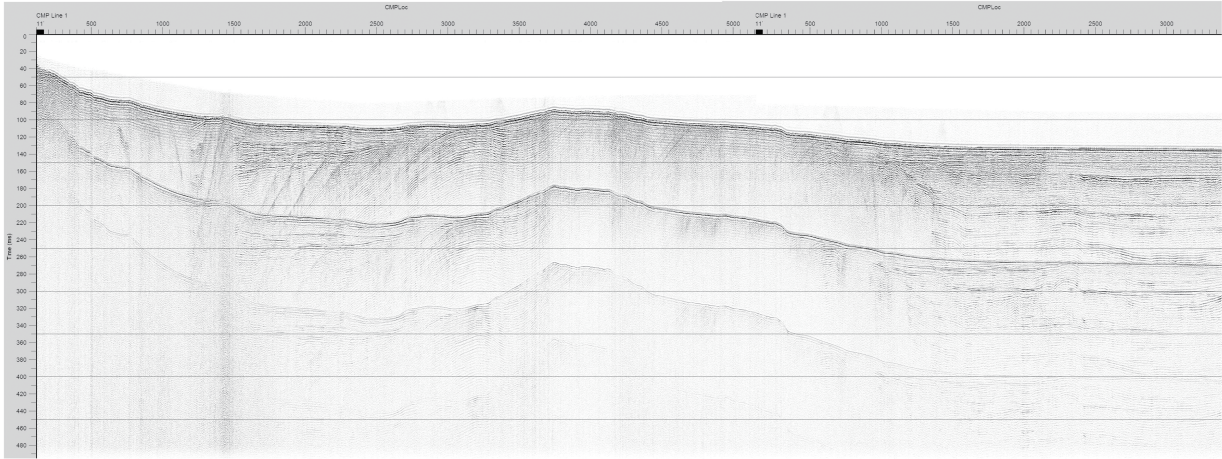
第3図 エアガンとブーマーを音源とする反射断面の分解能比較。能登半島西方沖のほぼ同じ場所の断面。



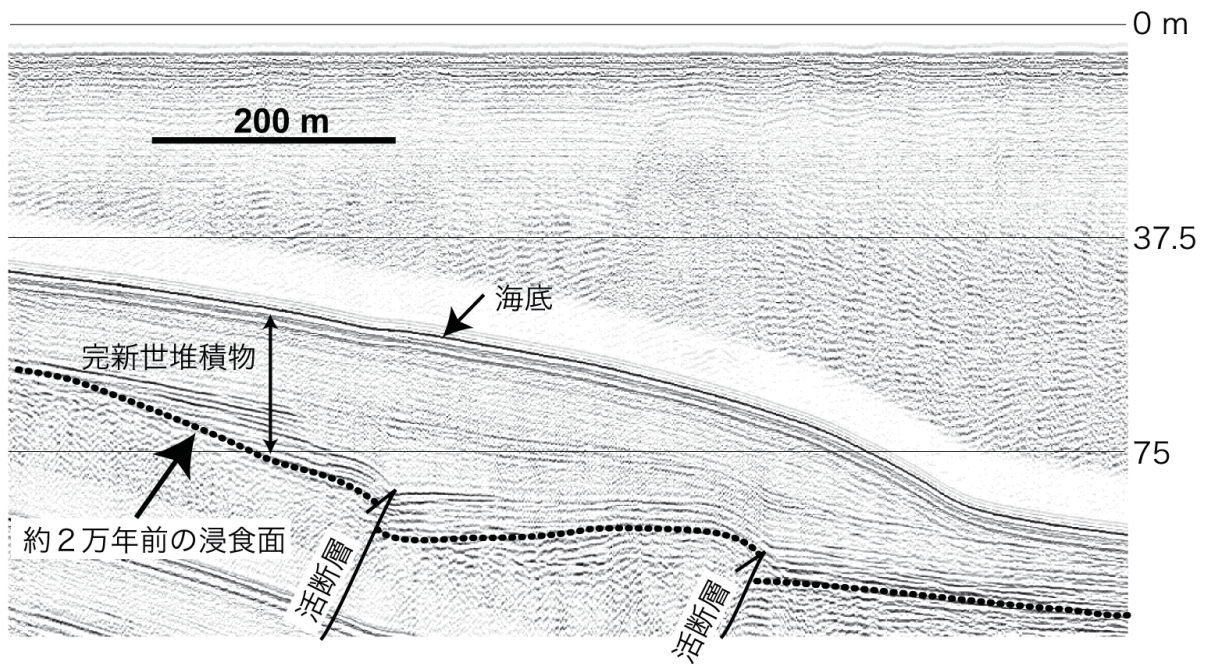
第 4 図 2007 年と 2008 年に能登半島周辺海域で実施した高分解能音波探査測線。



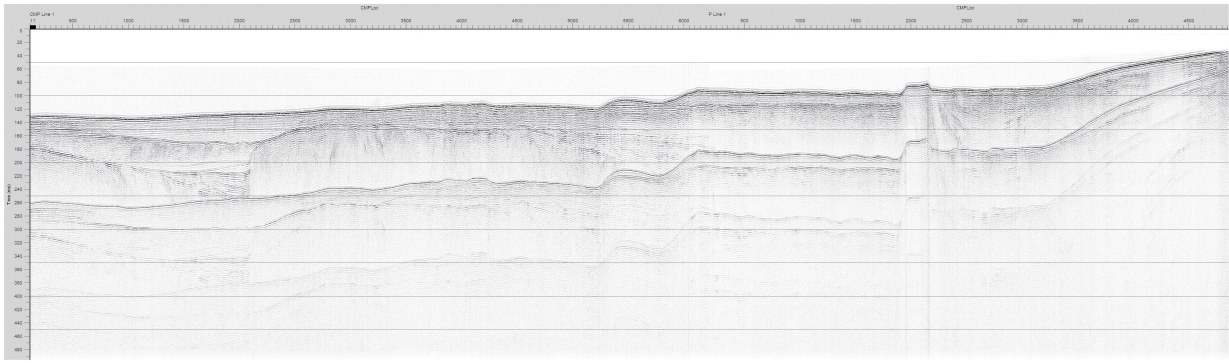
第 5 図 2008 年の高分解能音波探査断面の解釈に基づいた地質図。



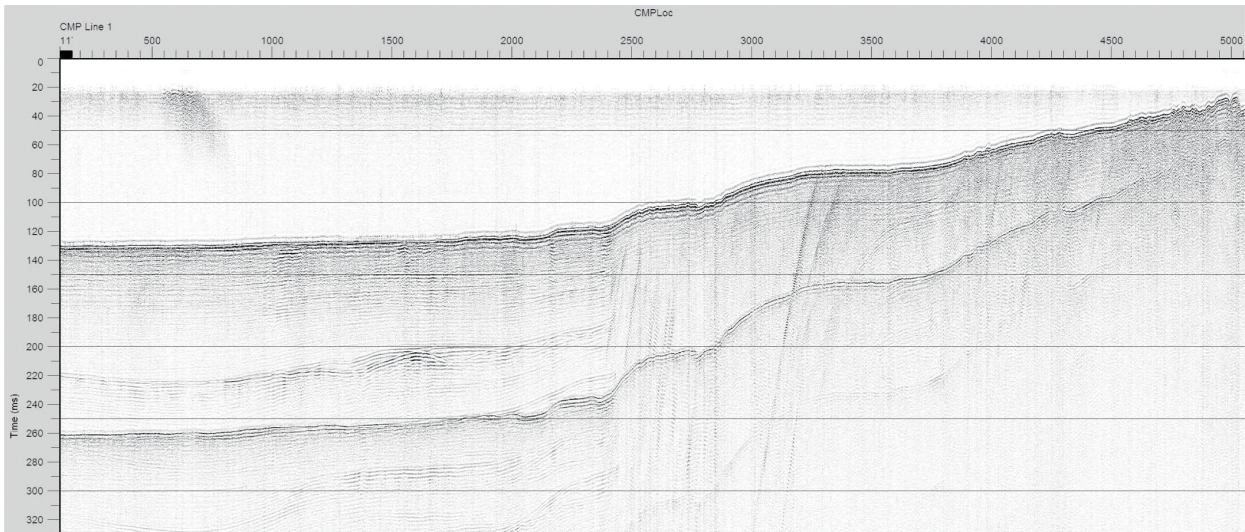
第6図 輪島北西沖 (L12) の反射断面.



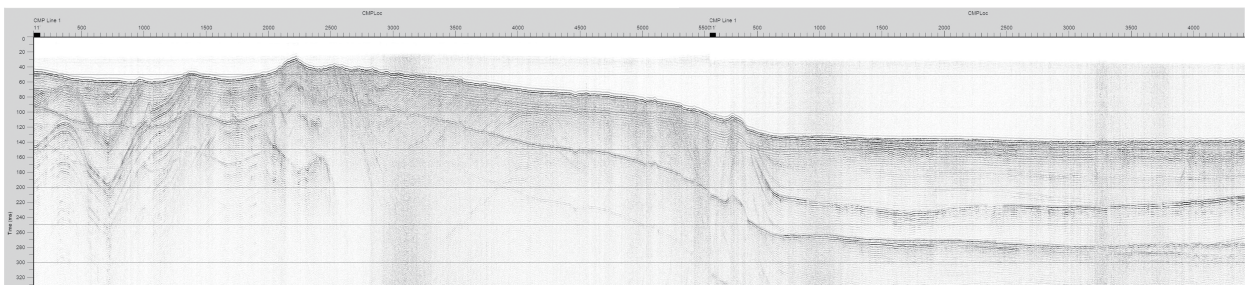
第7図 猿山岬沖 (L4) の反射断面.



第 8 図 輪島北東沖 (L23) の反射断面.



第 9 図 高屋沖 (L35) の反射断面.



第 10 図 緑剛崎沖 (L 38) の反射断面.