

### 3. 2. 2 海域構造調査

#### 3. 2. 2. 1 沖合構造調査

## 目 次

### (1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 8か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）
  - 1) 平成25年度
  - 2) 平成26年度
  - 3) 平成27年度
  - 4) 平成28年度
  - 5) 平成29年度
  - 6) 平成30年度
  - 7) 平成31年度
  - 8) 平成32年度
- (e) 平成29年度業務目的

### (2) 平成29年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の実施方法
- (c) 業務の成果
  - 1) マルチチャンネル反射法地震探査（沖合構造調査）
  - 2) 海底地震計を用いた地震探査（沖合構造調査）
  - 3) マルチチャンネル反射法地震探査（沿岸海域および海陸統合構造調査）
  - 4) 海底地震計を用いた地震探査（沿岸海域および海陸統合構造調査）
- (d) 結論ならびに今後の課題
- (e) 引用文献
- (f) 成果の論文発表・口頭発表等
- (g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

### (3) 平成30年度業務計画案

## (1) 業務の内容

### (a) 業務題目

#### 2.2.1 沖合構造調査

### (b) 担当者

| 所属機関                                                                                    | 役職            | 氏名    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------|
| 国立研究開発法人海洋研究開発機構<br>地震津波海域観測研究開発センター<br>同 プレート構造研究グループ<br><br>研究推進部 地震津波海域観測研究<br>開発推進課 | 研究開発センター<br>長 | 小平 秀一 |
|                                                                                         | グループリーダー      | 三浦 誠一 |
|                                                                                         | 特任技術研究員       | 佐藤 壮  |
|                                                                                         | 技術研究員         | 野 徹雄  |
|                                                                                         | 調査役・課長代理      | 下里 謙二 |
|                                                                                         | 事務主任          | 網廣 恵  |
|                                                                                         | 事務主任          | 磯野 真一 |
|                                                                                         | 事務副主任         | 平野 雅樹 |

### (c) 業務の目的

北海道北西沖～鳥取沖にかけての日本海の沿岸部から大和海盆・日本海盆に至る海域において、ストリーマーケーブルを用いたマルチチャンネル反射法地震（MCS）探査と海底地震計（OBS）を用いた地震探査を実施し、日本海の地殻構造・断層の位置と形状を明らかにする。

### (d) 8か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

#### 1) 平成25年度：

北海道西方沖や北陸～山陰沖における既存地震探査データを収集し、必要に応じて再処理を実施した。その結果を用いて、地殻変形構造の特徴の概略を把握した。

#### 2) 平成26年度：

石川沖から福井沖にかけての海域において、MCS探査及びOBSによる地震探査を実施し、地殻構造を明らかにした。特に、断層に関連した変形構造、及びそれらと地殻構造の関係を明らかにし、日本海の地殻形成過程も考慮した震源断層モデルの構築や津波波源モデル作成のための基礎資料とした。

#### 3) 平成27年度：

福井沖・京都沖～大和海盆の海域において、MCS探査及びOBSによる地震探査を実施し、地殻構造を明らかにした。特に、断層に関連した変形構造、及びそれらと地殻構造の関係を明らかにし、日本海の地殻形成過程も考慮した震源断層モデルの構築や津波波源モデル作成のための基礎資料とした。

4) 平成 28 年度 :

兵庫沖から鳥取沖にかけての沿岸部から隠岐堆・大和海盆に至る海域において、MCS 探査と OBS を用いた地震探査を実施した。調査により得られたデータから詳細な地殻構造イメージングを行い、断層・褶曲等の地殻変形構造を抽出した。

5) 平成 29 年度 :

1940 年積丹半島地震 (M<sub>J</sub>7.5) 震源域を含む北海道北西沖の沿岸部から武蔵堆・石狩海盆・武蔵海盆・日本海盆に至る海域において、震源断層モデルや津波波源モデル作成のために MCS 探査と OBS を用いた地震探査を実施した。調査により得られたデータから詳細な地殻構造イメージングを行い、断層・褶曲等の地殻変形構造を抽出した。なお、一部の測線では海陸統合探査を行い、陸域部から沖合の海域部にかけての地殻全体の構造のデータを取得した。

6) 平成 30 年度 :

1993 年北海道南西沖地震 (M<sub>J</sub>7.8) 震源域を含む北海道南西沖の沿岸部から日本海盆にかけての海域において、MCS 探査と OBS を用いた地震探査を実施する。調査により得られたデータから詳細な地殻構造イメージングを行い、断層・褶曲等の地殻変形構造を抽出する。なお、一部の測線は海陸統合探査を予定しており、陸域部から沖合の海域部にかけての地殻全体の構造を構築する。

7) 平成 31 年度 :

西津軽沖から新潟沖にかけて「ひずみ集中帯重点的調査観測・研究」で調査未完了となった海域及び平成 26 年度～30 年度の調査において調査未完了となって海域について、MCS 探査と OBS を用いた地震探査を実施する。調査により得られたデータから詳細な地殻構造イメージングを行い、断層・褶曲等の地殻変形構造を抽出する。なお、一部の測線は海陸統合探査を予定しており、陸域部から沖合の海域部にかけての地殻全体の構造を構築する。

8) 平成 32 年度 :

北海道北西沖から鳥取沖にかけての日本海の地殻構造、断層・褶曲等の地殻変形構造の形態、及びその分布をまとめ、その結果を津波波源モデル、震源断層モデル構築のための基礎資料の一部として提供する。

(e) 平成 29 年度業務目的

1940 年積丹半島地震 (M<sub>J</sub>7.5) 震源域を含む北海道北西沖の沿岸部から武蔵堆・石狩海盆・武蔵海盆・日本海盆に至る海域において、MCS 探査と OBS を用いた地震探査を実施した。調査により得られたデータから詳細な地殻構造イメージングを行い、断層・褶曲等の地殻変形構造を抽出した。なお、一部の測線は海陸統合探査を予定しており、陸域部から沖合の海域部にかけての地殻全体の構造を構築する。

## (2) 平成 29 年度の成果

### (a) 業務の要約

平成 29 年度は、北海道北西沖～日本海盆の海域で、国立研究開発法人海洋研究開発機構（JAMSTEC）の海底広域研究船「かいめい」を用いて、震源断層モデルや津波波源モデル作成のために MCS 探査と OBS を用いた地震探査を実施した（図 1）。調査海域は、1940 年積丹半島沖地震（ $M_j7.5$ ）が発生した震源域<sup>1),2)</sup>付近に位置し、過去約 90 年間の定常的な地震活動が奥尻海嶺周辺や石狩海盆周辺を中心に活発である<sup>3)</sup>。また、沿岸域から奥尻海嶺において、海嶺や海盆の縁辺に沿って、南北走向または北東南西走向の活断層が推定されている<sup>4),5)</sup>。したがって、北海道北西沖の地殻構造の詳細を明らかにすることは地殻構造と地震活動や活構造の分布との関係性を理解する上で、重要なデータとなる。

### (b) 業務の実施方法

調査は、2017 年 6 月 22 日～7 月 11 日までの期間、5 測線（SJ1705・SJ1706・SJ1707・SJ1708・SJ17IS）で MCS 探査を実施し、そのうちの 2 測線（SJ1707・SJ17IS）で OBS を用いた地震探査を行った（図 2）。調査海域はエビ・イカ・タコなど様々な漁業が行われており、調査期間中も漁船の操業や漁具の展開など漁業活動が実施されていたので、それらの動向を把握し、干渉しないよう配慮しながら実施した（図 3）。その影響の 1 つとして、SJ17IS の MCS 探査については、調査時の漁業活動との兼ね合いや調査日程の問題により、石狩湾内で実施できなかった。また、MCS 探査は、曳航したストリーマーケーブル長に応じて、図 1 に示した SJ1705・SJ1706・SJ1707・SJ1708 の白線の範囲を「沖合構造調査」、図 1 の SJ1705・SJ1706・SJ1707・SJ17IS の黒線の範囲を「沿岸海域および海陸統合構造調査」として実施した。一方、OBS を用いた地震探査は、SJ1707 を「沖合構造調査」、SJ17IS を「沿岸海域および海陸統合構造調査」として行った。SJ1707 に OBS41 台（OBS01～41）、SJ17IS に OBS20 台（OBS101～120）を用いたが、SJ1707 の OBS30 と SJ17IS の OBS104 は同一の OBS であるため、使用した OBS は 60 台である。

データ取得では「かいめい」に搭載されている地震探査システムを用いた。震源は Bolt Long Life Air Gun で構成された tuned airgun array を用いた（図 2）。震源に関する主な仕様は、Gun controller に SEAMAP GUN LINK 2500 を使い、エアガンアレイの曳航深度が 10 m、エアガン動作圧力が 2,000 psi（約 13.8 MPa）である。MCS 探査時の発震間隔は 50 m である。「沖合構造調査」として実施した測線（図 1）におけるエアガンの総容量は最大 5,300 cu.in.（22 air guns）で行った。MCS 探査用の受振ケーブルは、HTI SSCT Solid Streamer を用いた（図 2）。ストリーマーケーブルに関する主な仕様は、チャンネル間隔が 3.125 m で、本調査におけるストリーマーケーブルの曳航深度は、深度調整装置（ION DigiCOURSE streamer depth controllers）を用いて海面下 12 m で制御した。今回使用した「かいめい」は 4 つのストリーマーケーブルウィンチを搭載しているので、ケーブル長を調査航海内で海上にて変更することが可能なことである。漁業活動等の調査海域の状況で曳航するケーブル長の制約を受ける場合、調査航海の中でケーブル長を短く曳航した調査を実施することも可能である。本調査においては、「沖合構造調査」として実施した測線では 6 km 弱のストリーマーケーブル長を標準にし、「沿岸海域および海陸統合構造調査」として実施した測線では 3 km または 300 m といった短いストリーマーク

ケーブル長で実施した。「沖合構造調査」として実施した測線（図 1 下図）におけるチャンネル数は、SJ1705 が 1848 チャンネル、SJ1706 と SJ1707 と SJ1708 が 1872 チャンネルである。「沿岸海域および海陸統合構造調査」として実施した測線（図 1 下図）におけるチャンネル数は、SJ1705 と SJ1706 と SJ1707 が 960 チャンネルで、SJ17IS が 96 チャンネルである。探鉱機は HTI NTRS2 Recording System を用い、本調査のデータはサンプリング間隔 2 ms、「沖合構造調査」として実施した測線（図 1）での記録長 14 秒で収録し、「沿岸海域および海陸統合構造調査」として実施した測線は記録長を 16 秒で収録した。測位制御システムは ORCA を用いて、探査時の位置情報は UKOOA P1/90・UKOOA P2/91 フォーマットでアスキーデータとして出力した。

他方、OBS を用いた地震探査では、漁業活動による制約のため、タイプが異なる 3 種類の OBS を使用した。1 つ目のタイプは、固有周波数 4.5 Hz、鉛直動 1 成分、水平動 2 成分、ハイドロフォン 1 成分を装備したジンバル機構付き速度型の OBS<sup>6)</sup> であり、SJ1707 に 40 台 (OBS01~33、35~41)、及び SJ17IS15 台 (OBS101~115) を用いた（図 1 上図、図 4(a)・(b)）。そのうち、水深 200 m~500 m に設置した OBS (OBS39~41、113~115) については、OBS のアンカーを通常の OBS<sup>6)</sup> アンカーとは異なる円形のものを使用した（図 1 上図、図 4(b)）。2 つ目のタイプは、上述の OBS と異なるタイプの固有周波数 4.5 Hz、鉛直動 1 成分、水平動 2 成分、ハイドロフォン 1 成分を装備したジンバル機構付き速度型の OBS<sup>7),8)</sup> である（図 1 上図、図 4(c)）。このタイプの OBS は SJ17IS の水深 100 m 以浅 (OBS116~120) に設置した。本探査では、このタイプの OBS は、探査終了後 OBS 本体だけでなくアンカーも回収するために、OBS 本体とアンカーをロープにて接続して用いた。本探査において、OBS 本体とアンカーを回収した。3 つ目のタイプは固有周波数 15 Hz、鉛直動 1 成分、水平動 2 成分、ハイドロフォン 1 成分を装備したジンバル機構付き速度型の OBN (Ocean Bottom Node)<sup>9),10)</sup> を用いた（図 4(d)）。この OBN は、ブイ、おもり、OBN をロープで連結しており、エアガン発震後にすべて回収した。OBN は SJ1707 の OBS34 に 200 m 間隔に 10 台設置し、このうち 1 台を OBS34 のデータとして解析に用いた。上述の 3 種類の OBS を SJ1707 上の海盆域では約 6 km 間隔 (OBS01~08)、日本海盆縁辺部から石狩海盆においては約 5~5.6 km 間隔 (OBS09~34)、沿岸部では約 4.5 km 間隔 (OBS35~41) で設置した（図 1 上図）。一方、SJ17IS 上では OBS を約 5 km 間隔 (OBS101~120) で設置した（図 1 上図）。OBS を用いた地震探査時のエアガンの発震間隔は、SJ1707 が 200 m、SJ17IS が 100 m である。

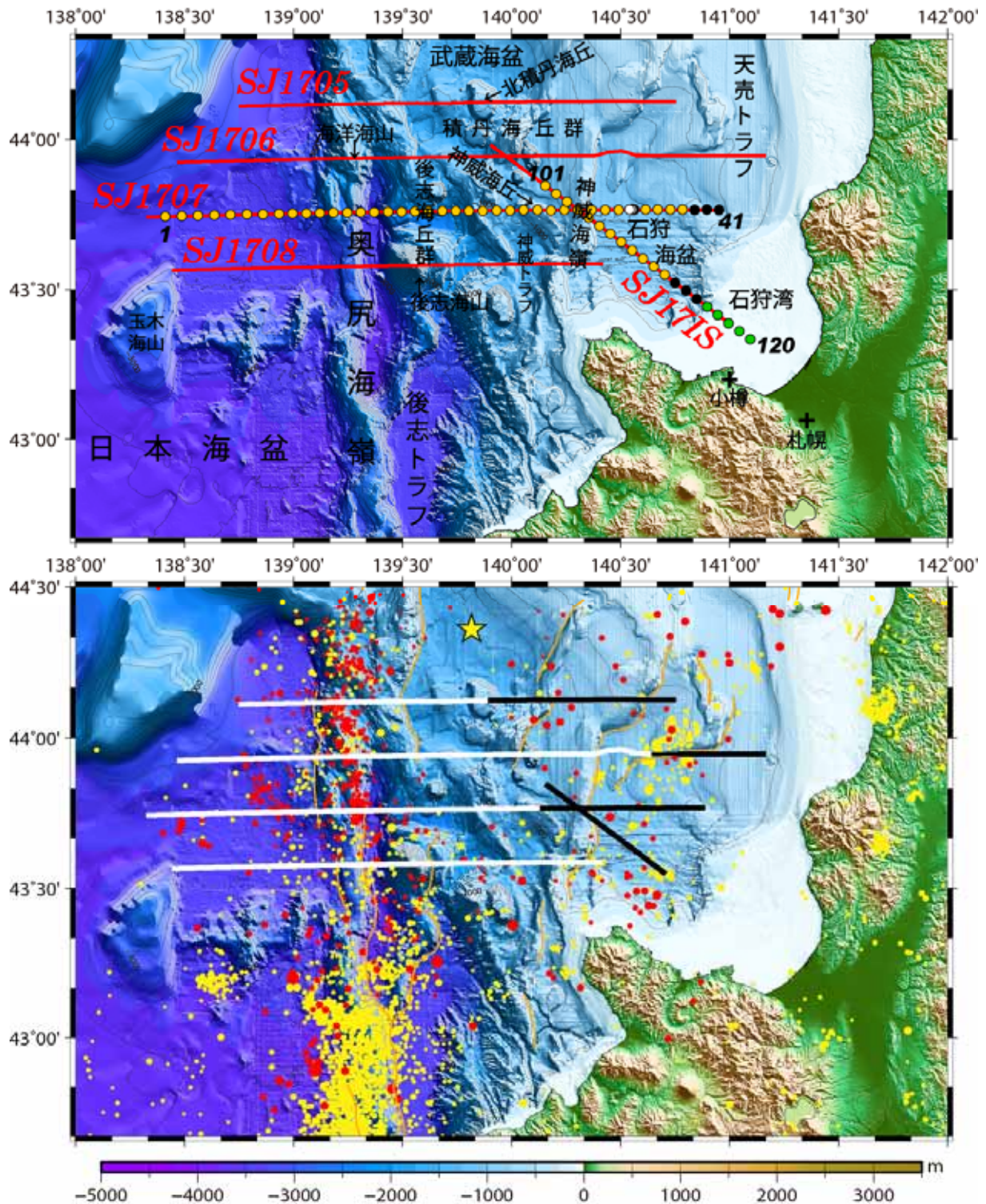


図1 〔上図〕平成29年度に実施した地震探査測線（赤線）。丸印がOBS設置点（黄色：図4(a)タイプ、黒色：図4(b)タイプ、緑色：図4(c)タイプ、白色：図4(d)）。SJ1707のOBS（1～41）は「沖合構造調査」として、SJ171SのOBS（101～120）は「沿岸海域および海陸統合構造調査」として行った。〔下図〕MCS探査の測線図。白線が「沖合構造調査」として実施した測線、黒線が「沿岸海域および海陸統合構造調査」として行った。星印が1940年積丹半島沖地震（ $M_J7.5$ ）の本震の位置<sup>3)</sup>、●が1923年～2016年の気象庁による震源分布（ $M \geq 1.0$ 、深さ $\leq 50$  km）<sup>3)</sup>。●が2008年に北海道大学

が行った海底地震観測による震源分布<sup>11)</sup>。橙線が岡村（2013）による海底活断層<sup>4)</sup>。



図2 本報告で使用した海底広域研究船「かいめい」の地震探査システムの概要。

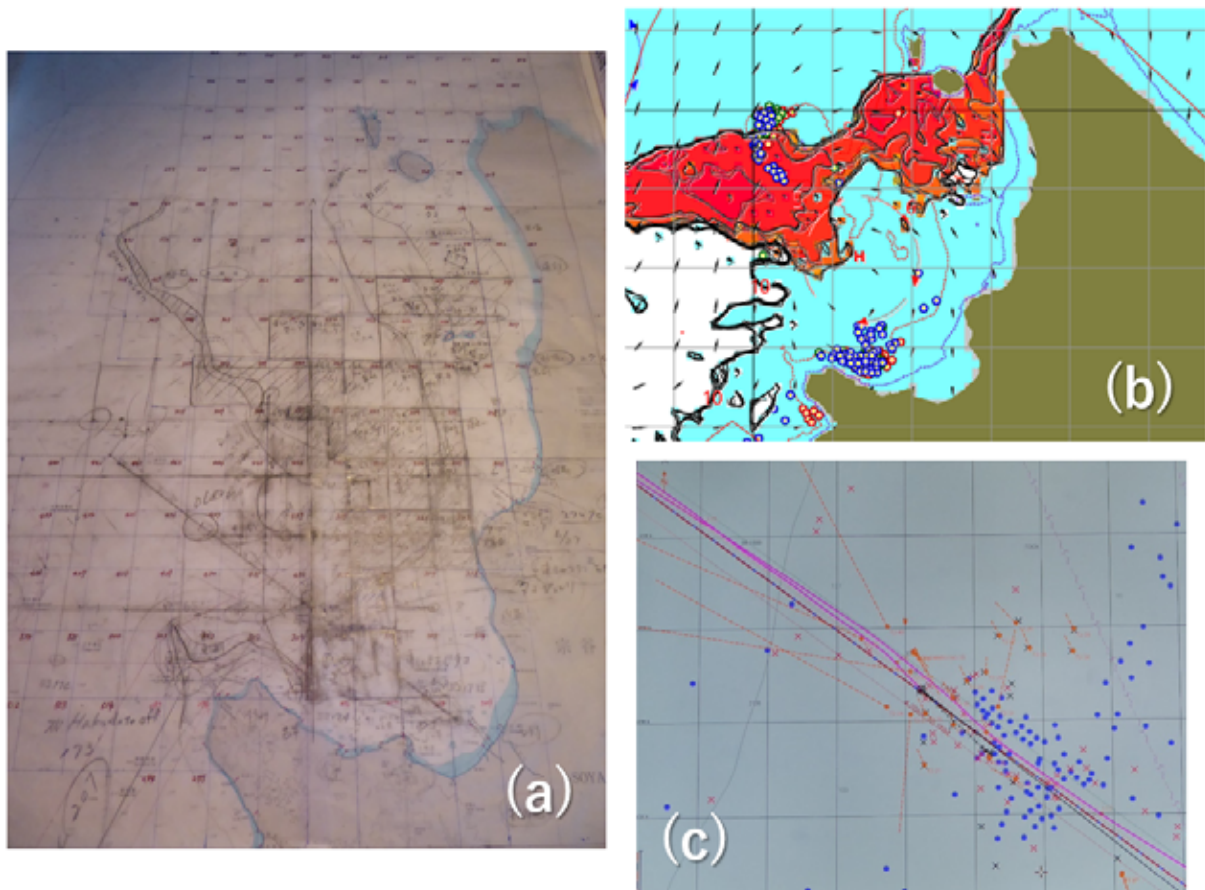


図3 調査実施時期における北海道北西沖の漁業活動。(a)「かいめい」船橋に広げていた海図<sup>12)</sup>に書き込まれている漁業活動の例。事前・調査実施中に入手した漁業情報やワッチで確認された漁具・漁船を書き込んでいる。特に、エビ・イカ・タコ・ホッケ・ナマコ等多くの漁業活動がある状況であった。(b) 漁業情報サービスセンター「エビスくん」<sup>13)</sup>による人工衛星からの観測で得られたイカ釣り漁船の漁火と見られるプロット(丸印：2017/7/4～6)。(c)「かいめい」船橋のモニターにプロットした石狩湾内の漁具やイカ釣り漁船(青印・橙印)。

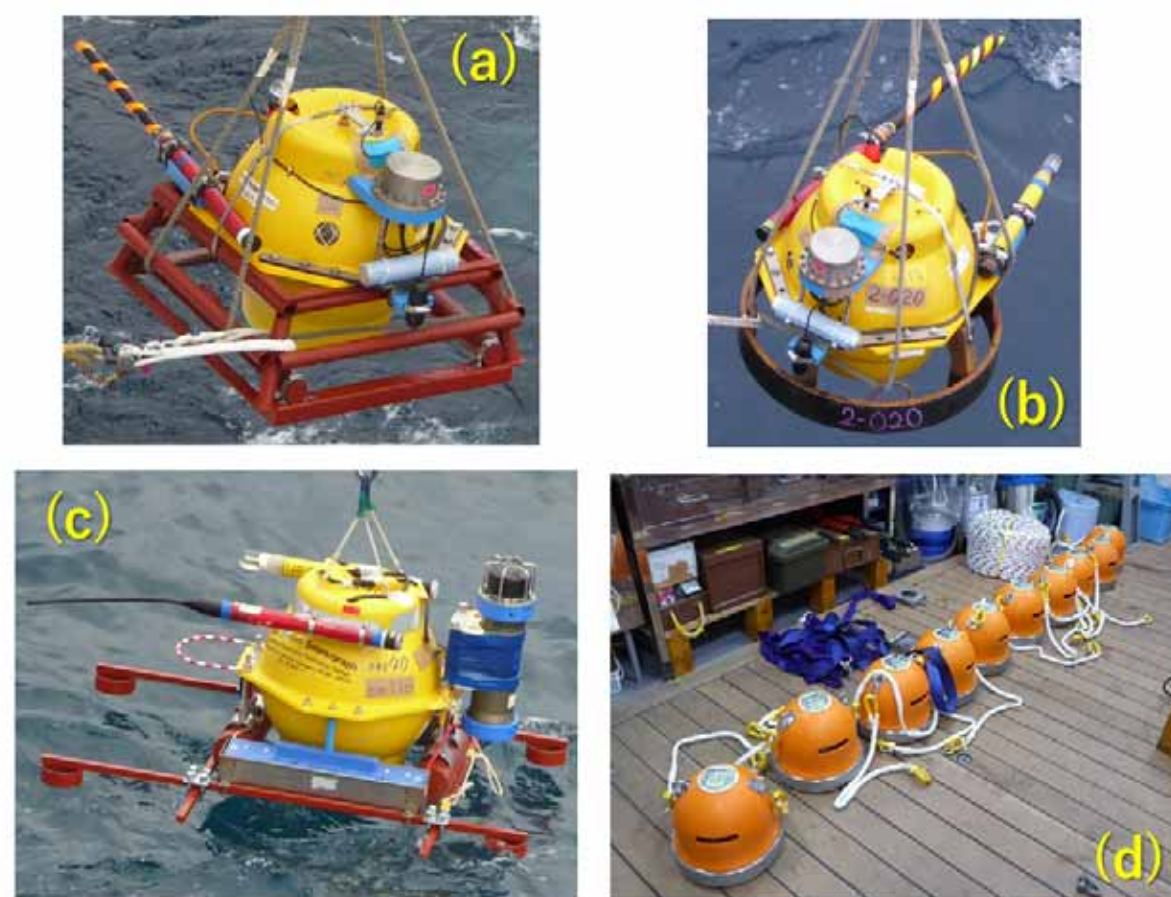


図4 本調査で使用した OBS のタイプ。(a) 多くの観測点で用いたタイプ(図1の黄丸印)。(b) 底曳き漁に考慮するために、角張った部分を取り、できるだけ丸形にしたアンカーを用いたタイプ(図1の黒丸印)。(c) アンカーと OBS 本体をロープでつなげて、OBS を引き揚げた後、ロープを巻き取ってアンカーを回収するタイプ(図1の緑丸印)。ロープの長さの都合により、水深 100 m 以浅の観測点のみに用いた。(d) 1 観測点のみで使用した OBN (Ocean Bottom Node) タイプ(図1の白丸印)。

#### (c) 業務の成果

##### 1) マルチチャンネル反射法地震探査（沖合構造調査）

本探査では、堆積層や基盤形状だけではなく、モホ面までの地殻構造全体を可能な限りイメージングでき、各年度の結果を可能な限り同等に比較できるようにするために、ストリーマーケーブルやエアガンの曳航深度は昨年度と同様のデータ取得仕様で実施した。今回使用した「かいめい」に搭載されている反射法地震探査システムは、多くの反射法地震探査と比較すると、受振点間隔が狭いため、空間エイリアシングが相対的に抑制され、空間方向の波形処理は非常に効果的に作用することが期待される。その点を考慮しながら、調査測線の探査終了後、多重反射抑制処理等のノイズ抑制処理を重点的に検討して、標準的なデータ解析<sup>14)</sup>を行った。

「沖合構造調査」として実施した測線(図1)である SJ1705・SJ1706・SJ1707・SJ1708 の現段階の暫定的な解析結果(時間マイグレーション断面)の一例を図5と6に示す。得

られた結果の概略を以下に記す。

測線の西側には日本海盆が位置している。調査海域の中で水深が最も深く、3,000 m を超える。海底面は平坦であり、堆積層の層厚は4測線とも大きな差がなく、往復走時(TWT)最大1.5秒程度である。一方、基盤形状は北側のSJ1705とSJ1706で比較的起伏に富み、南側のSJ1707とSJ1708は相対的に平坦である。また、基盤下のイメージは、モホ面と見られる反射面がSJ1708でTWT8~9秒に明瞭にイメージされ、SJ1706でも同様な反射面が確認できる。しかし、SJ1705とSJ1707ではイメージされない。この違いが、モホ面を境とした上盤側または下盤側の構造上の影響かデータ処理上の問題かを現時点で確定できていないので、今後検討を進める。

日本海盆の東側には奥尻海嶺(図5・6のOR)が形成されている。北側のSJ1705とSJ1706は海洋海山を横切っているため、南側のSJ1707やSJ1708と比較すると、比高が高い。基盤形状や堆積層のイメージから、奥尻海嶺の西縁に東傾斜の逆断層の作用が示唆させる結果になっているが、SJ1707については短波長の複数の背斜がイメージされている。活構造か否については今後検討を進めるが、地震活動(図1)と比較すると活構造である可能性が高い。

奥尻海嶺から石狩海盆にかけての領域は、後志海丘群や積丹海丘群を横切っており、横切っている海丘のいくつかについて、堆積層や基盤形状のイメージから逆断層を伴った非対称な背斜による凸状の構造であるとみられる(図5・6の赤矢印)。これらの逆断層についても活構造か否かの検討は今後の課題であるが、多くの断層は既存研究で推定されている海底活断層や震源断層モデルに対応している<sup>2),3)</sup>。また、石狩海盆の西側に接している神威海嶺(図5・6のKR)は、西傾斜の逆断層が伴って形成された非対称な背斜としてイメージされている。奥尻海嶺から西側のイメージでは、基盤下にモホ面等の深部反射面は現時点での処理結果からは確認できない。

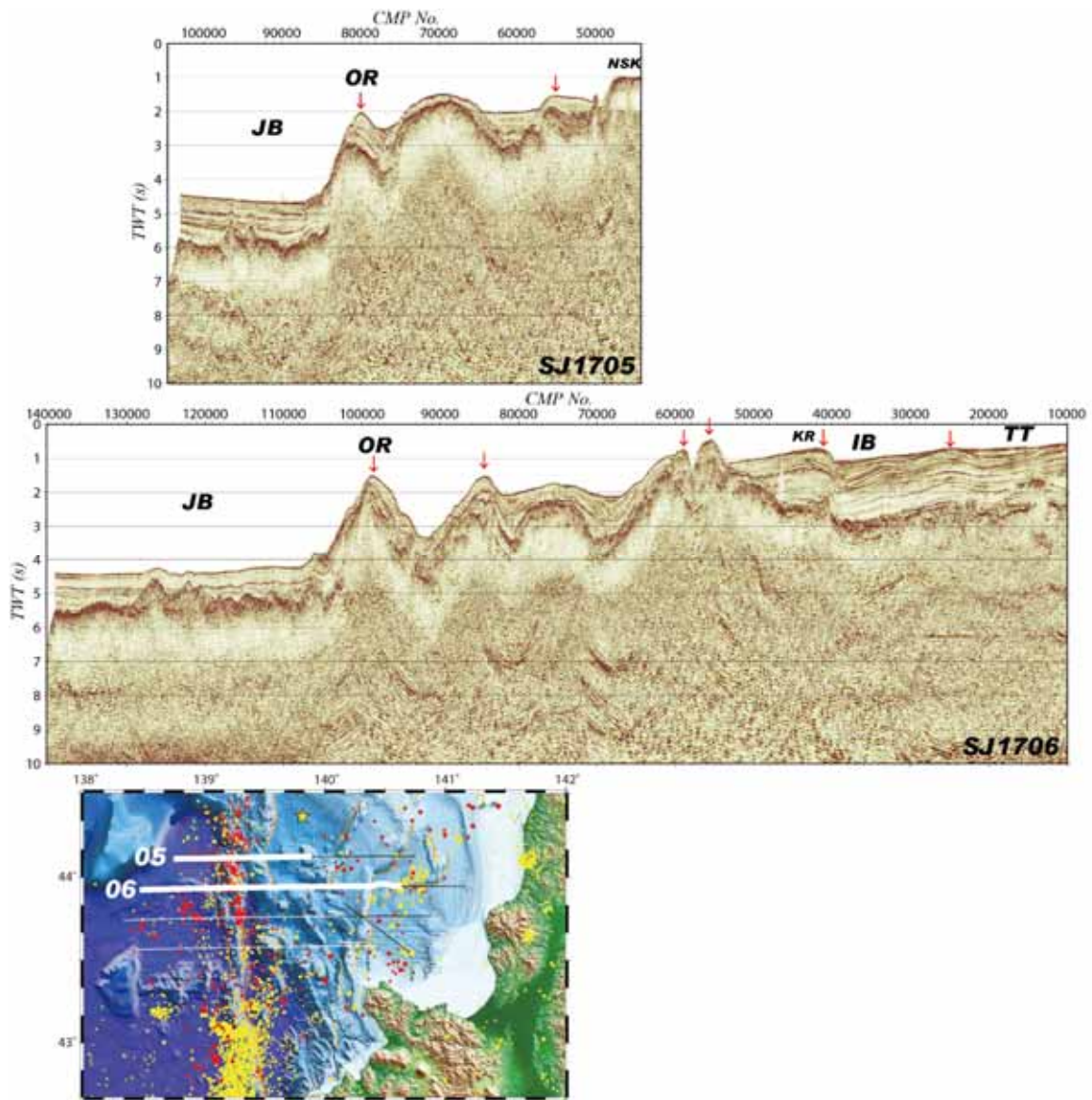


図 5 「沖合構造調査」として実施した MCS 探査の暫定的な解析結果による時間マイグレーション断面。上図が SJ1705、下図が SJ1706 の結果である。10000 CMP (Common Mid Point) = 15.625 km。OR : 奥尻海嶺、NSK : 北積丹海丘、JB : 日本海盆、KR : 神威海嶺、IB : 石狩海盆、TT : 天売トラフ。赤矢印が背斜の位置を示す。

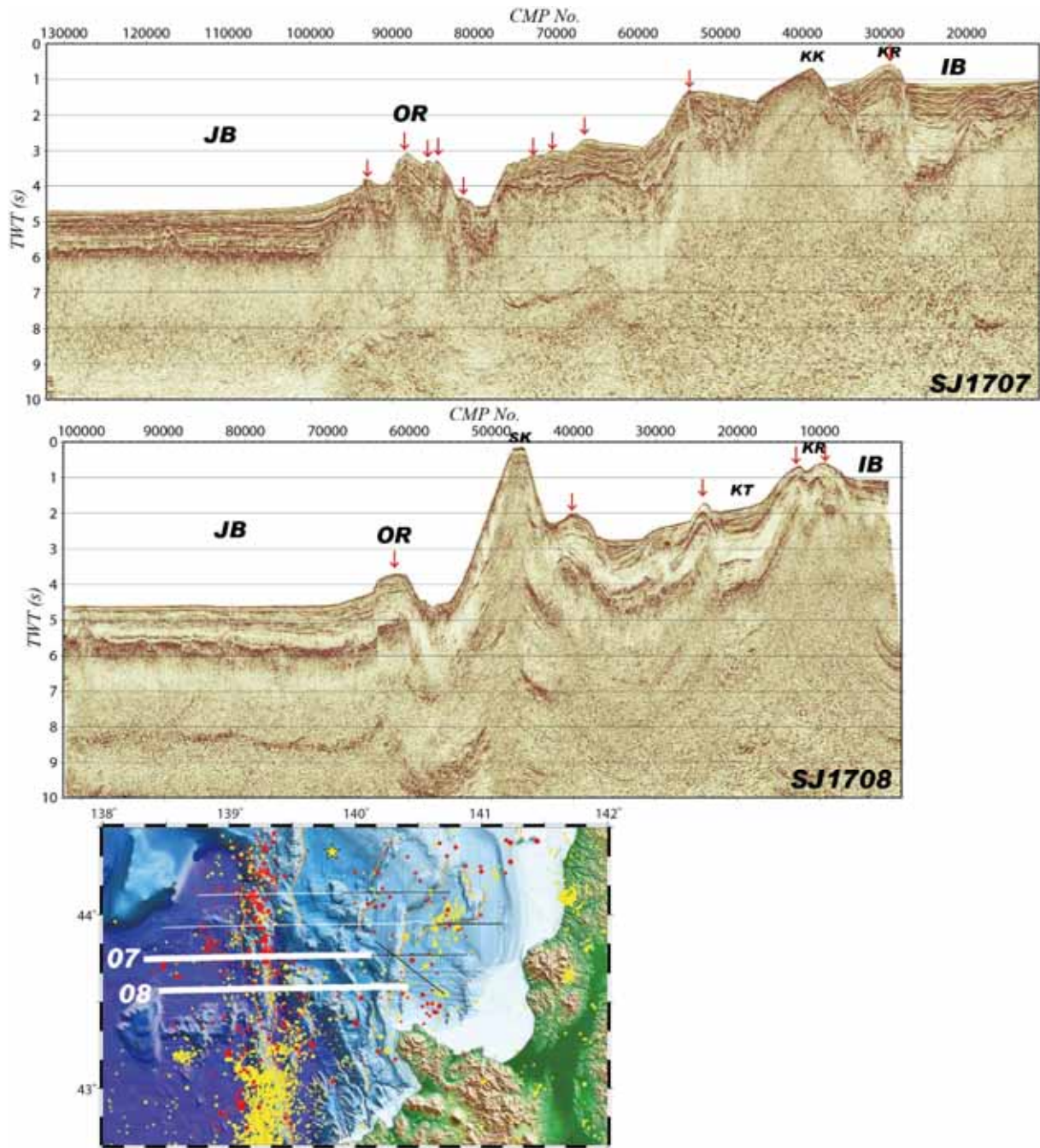


図 6 「沖合構造調査」として実施した MCS 探査の暫定的な解析結果による時間マイグレーション断面。上図が SJ1707、下図が SJ1708 の結果である。10000 CMP=15.625 km。OR：奥尻海嶺、KK：神威海丘、JB：日本海盆、KR：神威海嶺、IB：石狩海盆、KT：神威トラフ、SK：後志海丘。赤矢印が背斜の位置を示す。

## 2) 海底地震計を用いた地震探査（沖合構造調査）

沖合構造調査として実施した OBS を用いた地震探査では、SJ1707 上の地震波速度構造イメージを求めるために、以下の解析を行った。OBS は船上から自由落下にて海底に設置するため、OBS の着底位置が不明である。そこで、「かいめい」搭載の Super Short Baseline (SSBL) 音響測位システムのデータを初期値として、OBS 近傍（震央距離 3 km 以内）のエアガン発震に関する水中直達波の走時データを最小二乗法により OBS の着底設置を

求めた。しかしながら、OBS 直上にてエアガン発震を行っていない OBS41 及び SJ1707 と SJ17IS の交点に設置した OBS30 については、船と OBS 間の音響通信による測距のデータをグリッドサーチによって OBS の着底設置を求めた。

着底位置を求めた後の OBS データの例として、SJ1707 上の奥尻海嶺に設置した OBS13、石狩海盆に設置した OBS38 を図 7 に示す。

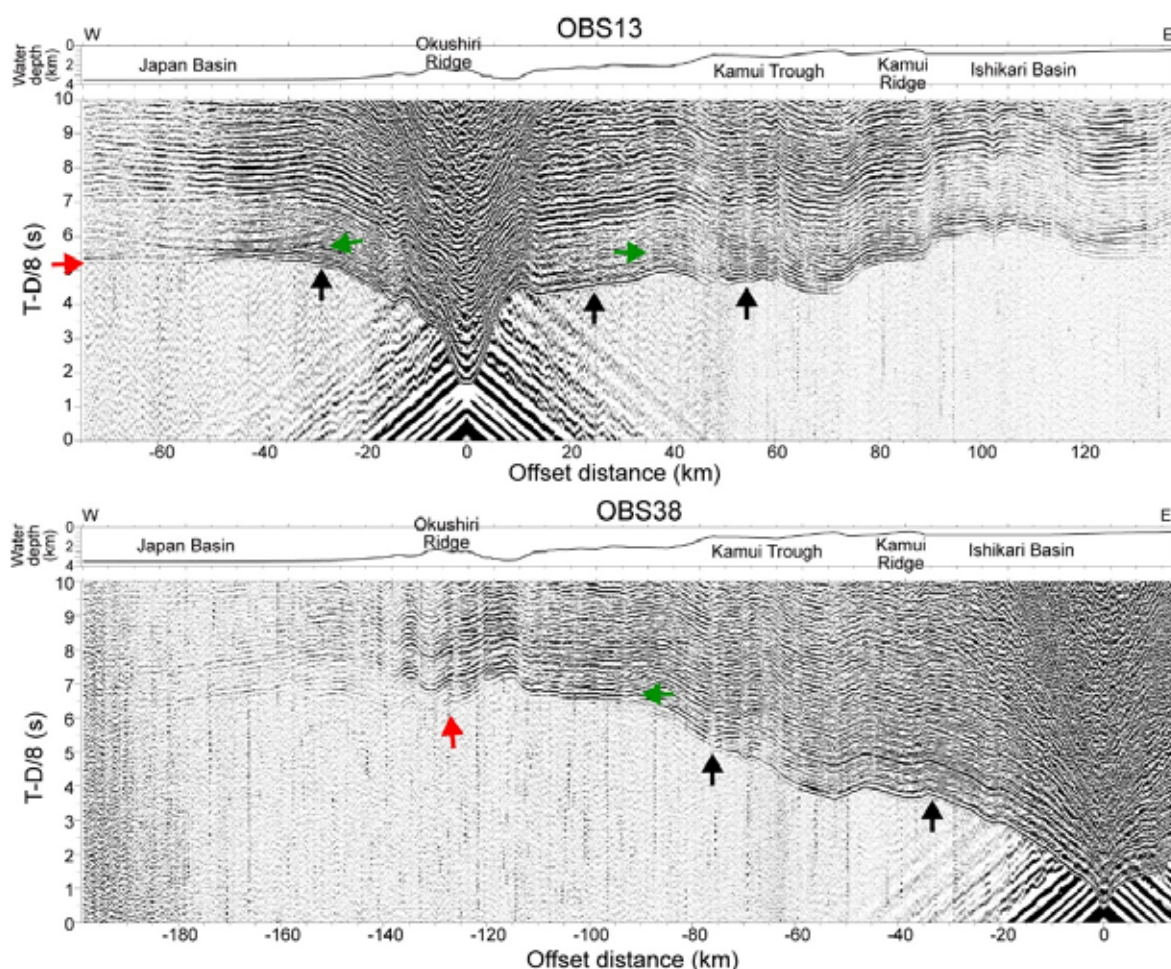


図 7 奥尻海嶺に設置した OBS13 (上)、石狩海盆に設置した OBS38 (下) の OBS データ。横軸は OBS からの震央距離、縦軸は 8 km/s で補正した走時を示す。黒、赤、緑矢印は、地殻内を通過した屈折波 (Pg)、最上部マントルを通過した屈折波 (Pn)、モホ面からの反射波 (PmP) をそれぞれ示している。

図 7 に示した SJ1707 上の奥尻海嶺、石狩海盆に設置した OBS のデータでは、堆積層や地殻内を通過した屈折波 (Pg) だけでなく、地殻とマントルの境界面であるモホ面からの反射波 (PmP) や最上部マントルを通過した屈折波 (Pn) も確認できる。奥尻海嶺に設置した OBS13 の西側の初動は測線の西端、東側の初動は震央距離約 90 km まで確認でき、震央距離約 40 km からは海底地形に対応するように変化に富んでいる (図 7 上図)。この OBS の西側では、震央距離約 30 km から PmP、震央距離約 40 km からは Pn、が確認で

きる。東側では、震央距離約 40 km から PmP と思われるやや振幅の強い相が確認できるが、Pn については確認できていない。石狩海盆に設置した OBS38 では、西側の初動は海底地形に対応するように変化に富み、震央距離約 130 km まで追跡が可能である（図 7 下図）。震央距離約 90 km からは PmP と思われるやや振幅の強い相が確認でき、震央距離約 110 km から振幅が弱い Pn と考えられる相が確認できる。（図 7 下図）。

次に、SJ1707 に設置した OBS の初動走時及びモホ面からの反射波（PmP）、SJ17IS に設置した OBS の初動走時を読み取り、読み取った走時を用いて、トモグラフィックインバージョン<sup>15)</sup>を行った。トモグラフィックインバージョン実施時の初期モデルは以前に日本海盆南縁部～沿岸部で行われた地震探査で得られている地震波速度構造<sup>16)</sup>を参考にし、堆積層と基盤の形状のみ前述の MCS 探査の結果を組み込んで作成した。

暫定的に得られた SJ1707 の P 波速度構造イメージを図 8 に示す。日本海盆地から奥尻海嶺、神威海丘、石狩海盆にいくにしたがい、地殻は厚くなっている。特に奥尻海嶺から神威海丘の間で、地殻の厚さ変化が大きい。地域ごとにみていくと、日本海盆地では、地殻が測線内で一番薄く、P 波速度分布や地殻の厚さは海洋性地殻<sup>17),18)</sup>に類似している。奥尻海嶺では、地殻は日本海盆地に比べて厚くなっているが、P 波速度分布は海盆地に類似している。既存の MCS 探査、潜航調査の結果や地質構造より、奥尻海嶺北部では海洋性地殻<sup>19),20)</sup>の存在が推測されており、本探査で得られている奥尻海嶺下の地殻構造の特徴と調和的である。奥尻海嶺と神威海丘間（x:80-110 km）にある海底地形の平坦面の領域では、P 波速度分布は海盆地や奥尻海嶺の分布と類似しているようにみえる。しかしながら、この平坦面の領域より陸側の神威海丘の P 波速度分布は、海盆地、奥尻海嶺の速度分布とは異なり、朝鮮半島の大陸性上部地殻に対応する P 波速度 5.4～6.2 km/s の部分<sup>21)</sup>が厚く分布している。神威海丘から石狩海盆にかけての領域では、速度分布は大きく変化し、特に海面下深さ約 15 km 程度までの速度分布は不均質に富んでいる。これらの領域の地殻の厚さは約 20 km 以上と推測されることより、大陸地殻の特徴を持っていることが示唆される。この領域内において MCS 探査で確認できている圧縮変形を示す部分では、深さ約 10 km までの速度分布が周りに比べて変化しているように見える。

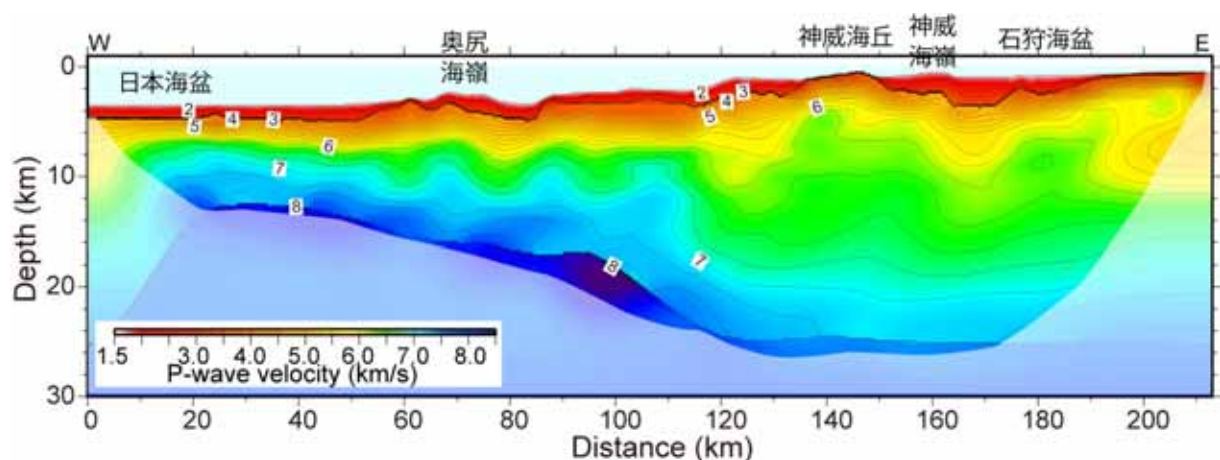


図 8 OBS データで得られた日本海盆から奥尻海嶺、神威海丘、神威海嶺、石狩海盆、北海道北西沖沿岸部に至る SJ1707 の暫定的な P 波速度構造イメージ。

### 3) マルチチャンネル反射法地震探査（沿岸海域および海陸統合構造調査）

沿岸海域および海陸統合構造調査においても、反射法地震探査のデータ処理方法は「1) 沖合構造調査」と同じである。ただし、SJ17IS は、ケーブル長が 300 m であるため、速度解析や多重反射抑制処理などの空間方向の波形処理の精度は大きく落ちる。

「沿岸海域および海陸統合構造調査」として実施した測線（図 1）である SJ1705・SJ1706・SJ17IS の現段階の暫定的な解析結果（時間マイグレーション断面）の一例を図 9 と 10 に示す。得られた結果の概略を以下に記す。

実施した測線は、石狩海盆と天売トラフを横切っている。堆積層は TWT 最大 1.5 秒程度に達するが、基盤形状に応じて、堆積層の層厚が変化し、褶曲した構造も確認できる（図 9・10 の赤矢印）。また、4 測線の中では、SJ1706 付近の地震活動が相対的に顕著に認められる（図 1）が、他の測線と比較して特に堆積層内の变形が顕著に発達しているようには見えない。一方、海陸統合探査測線でもある SJ17IS は図 5・6 と同様に、石狩海盆の東側に接している神威海嶺が西傾斜の逆断層を伴って形成された非対称な背斜としてイメージされている。SJ17IS における石狩海盆の基盤面はケーブル長の影響により、多重反射抑制処理が十分に効果的に作用せず、確認できない。

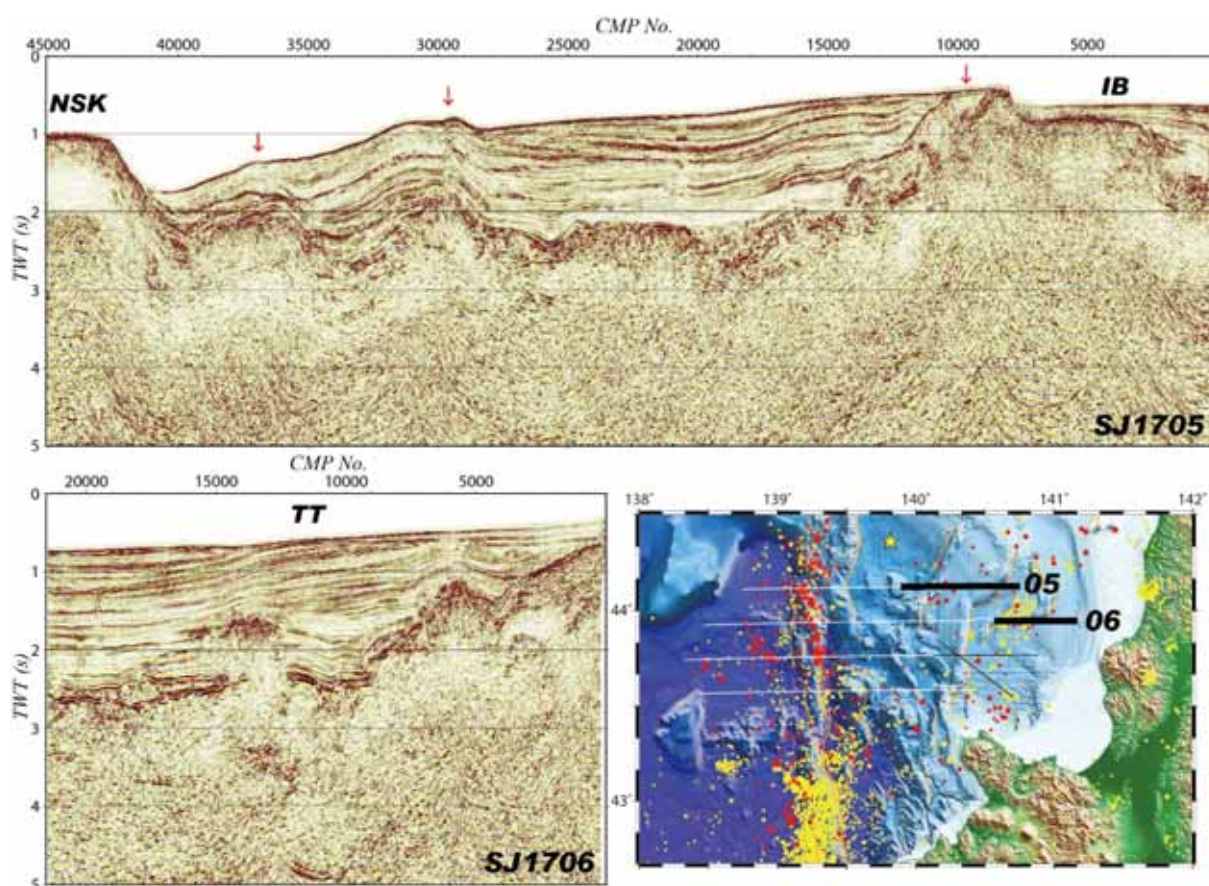


図 9 「沿岸海域および海陸統合構造調査」として実施した MCS 探査の暫定的な解析結果による時間マイグレーション断面。上図が SJ1705、下図が SJ1706 の結果である。10000 CMP=15.625 km。NSK：北積丹海丘、IB：石狩海盆、TT：天売トラフ。赤矢印が背斜の位置を示す。

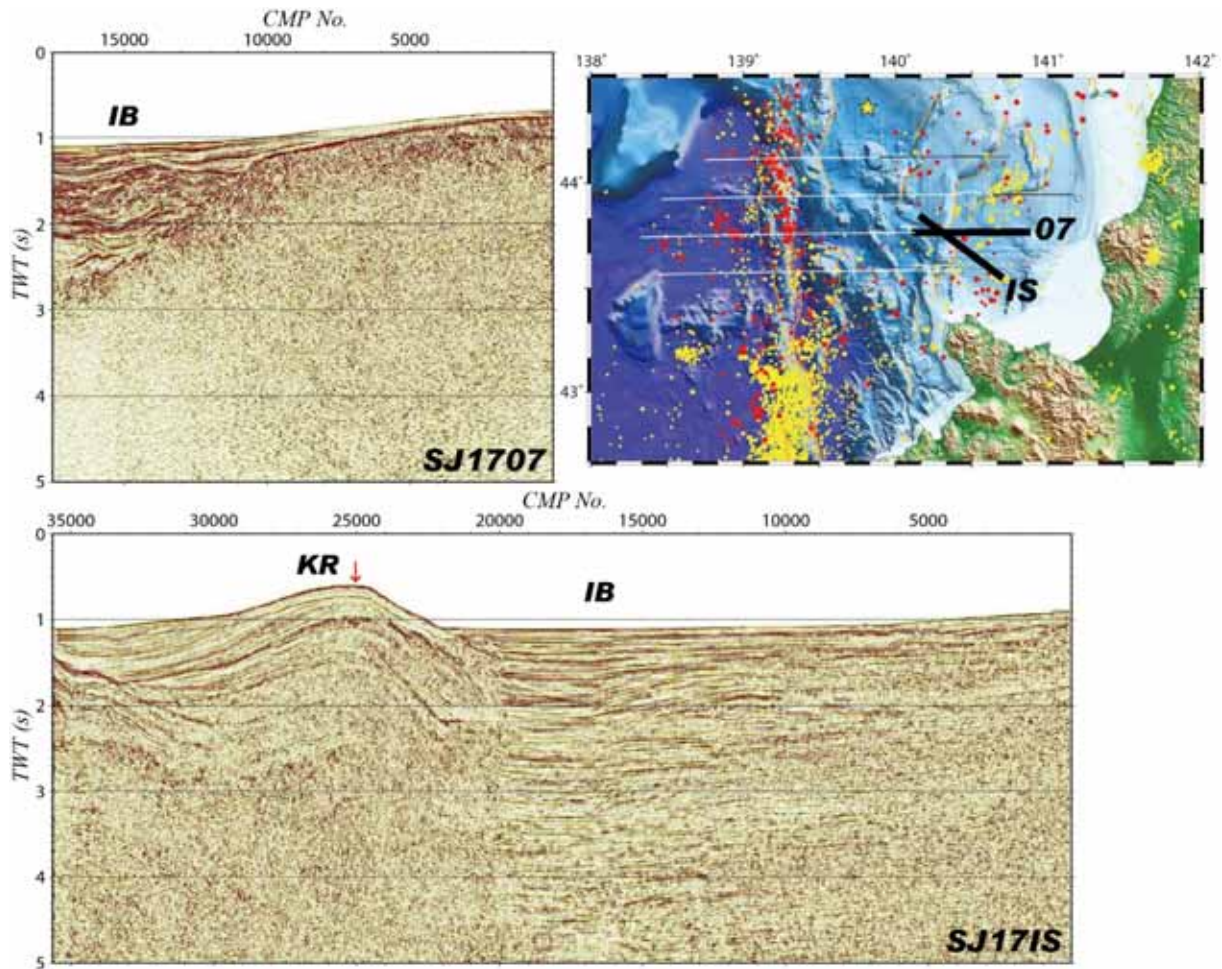


図 10 「沿岸海域および海陸統合構造調査」として実施した MCS 探査の暫定的な解析結果による時間マイグレーション断面。上図が SJ1707、下図が SJ17IS の結果である。10000 CMP=15.625 km。IB：石狩海盆、KR：神威海嶺。赤矢印が背斜の位置を示す。

#### 4) 海底地震計を用いた地震探査（沿岸海域および海陸統合構造調査）

SJ17IS 上の地震波速度構造イメージに関しても、SJ1707 と同様な方法で解析を行った。はじめに、SJ17IS に設置した OBS の着底位置を求めた。水深 100 m 以浅に設置した OBS116～120、及び 2 測線間の交点 OBS104 は、「かいめい」と OBS 間の音響通信による測距データを、グリッドサーチ (OBS104、116～118) 及び最小二乗法 (OBS119、120) により着底位置を求めた。上記以外の OBS については、「かいめい」搭載の Super Short Baseline (SSBL) 音響測位システムのデータを初期値として、OBS 近傍（震央距離 3 km 以内）のエアガン発震に関する水中直達波の走時データを用い、最小二乗法により OBS の着底設置を求めた。

着底位置を求めた後の OBS データの例として、SJ17IS 上の神威海嶺付近に設置した OBS102、及び石狩湾に設置した OBS117 のデータを図 11 に示す。

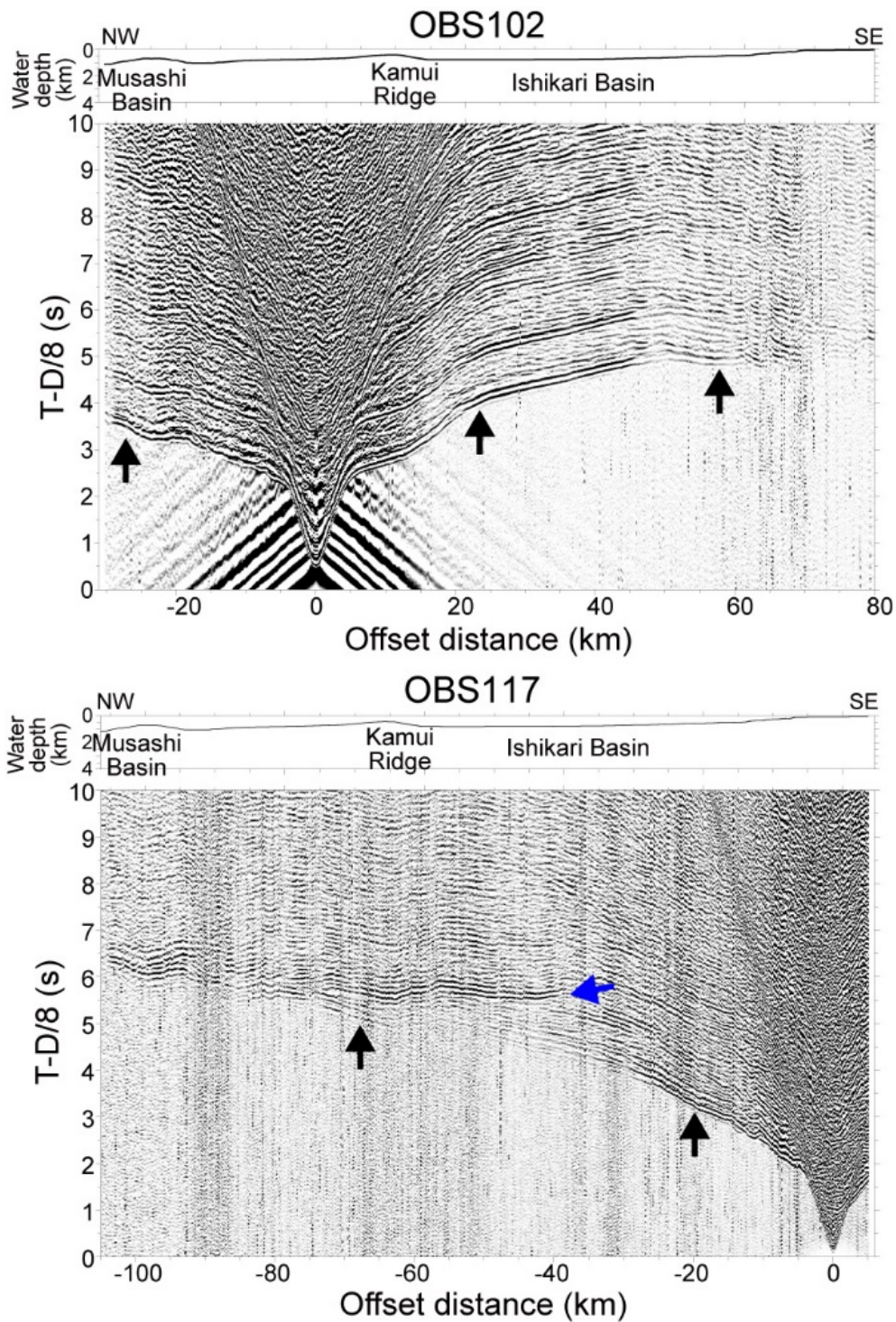


図 11 神威海嶺付近に設置した OBS102 (上)、石狩湾に設置した OBS117 (下) の OBS データ。横軸は OBS からの震央距離、縦軸は 8 km/s で補正した走時を示す。黒、青矢印は、地殻内を通過した屈折波 (Pg)、地殻内の反射面からの反射波と考えられる波をそれぞれ示している。

図 11 に示した SJ17IS 上の神威海嶺付近、石狩湾に設置した OBS のデータでは、堆積層や地殻内を通過した屈折波 (Pg) は確認できるが、PmP や Pn について確認することができない。石狩湾に設置した OBS117 では、震央距離約 40 km から地殻内の反射面からの反射波と考えられる波が確認できる (図 11 下図)。このような波は OBS116~120 でも確認できる。

暫定的に得られた SJ17IS の P 波速度構造イメージを図 12 に示す。測線長が短く、波線が地殻深部まで到達していないため、深さ約 10 km 以深についてはよく求まっていない。求まっている深さ約 10 km 以浅の地殻構造の特徴をみると、石狩海盆内の堆積層は厚く、基盤直下の P 波速度は周りに比べて遅い。また地殻浅部の速度は不均質に分布している。

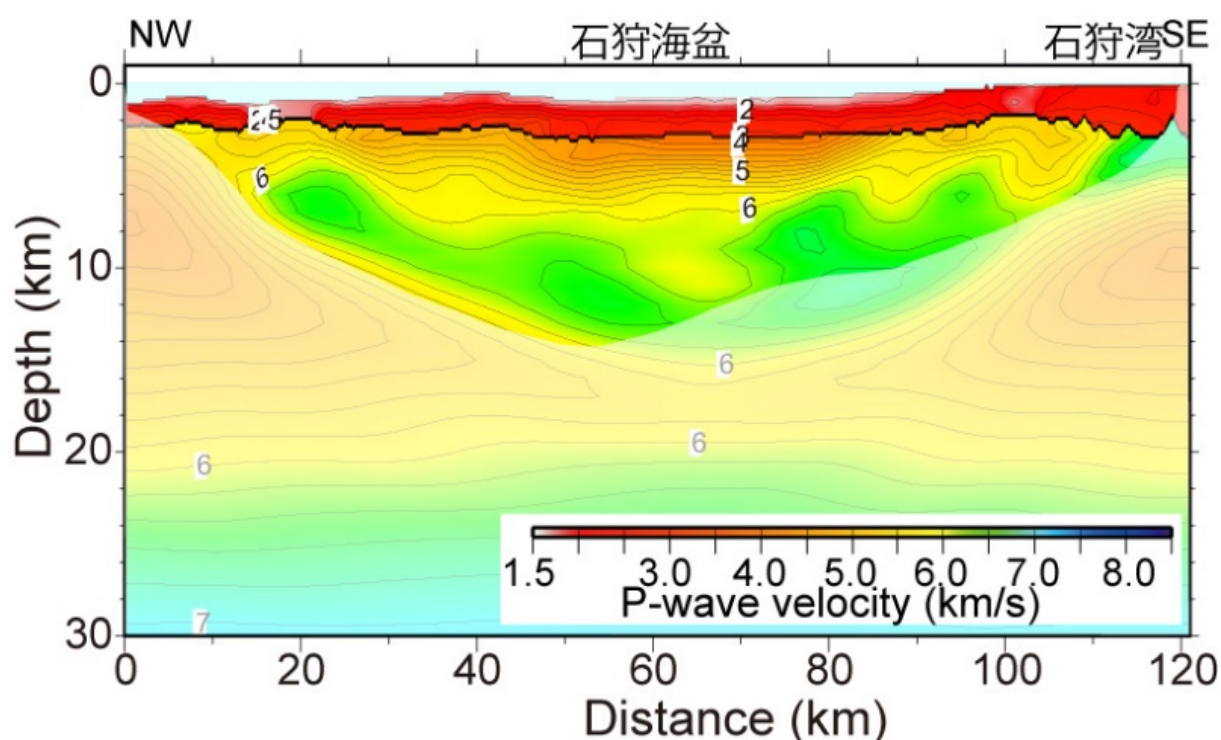


図 12 OBS データで得られた神威海嶺から石狩海盆、石狩湾に至る SJ17IS の暫定的な P 波速度構造イメージ。

#### (d) 結論ならびに今後の課題

- ・調査海域は漁業活動が非常に活発であったため、使用した海底広域研究船「かいめい」の特長を生かし、「沖合構造調査」と「沿岸海域および海陸統合構造調査」で MCS のストリーマケーブルの長さを調整しながら調査を行い、また OBS のタイプを使い分けながら調査を実施した。

- ・MCS 探査の結果、奥尻海嶺より東側では、堆積層や基盤形状のイメージから逆断層を伴った非対称な背斜がイメージされた。これらの逆断層についても活構造か否かの検討は今後の課題であるが、多くの断層は地震活動や既存研究で推定されている海底活断層や震源断層モデルに対応している。

- ・日本海盆の MCS 探査の結果においては、モホ面のイメージの明瞭さが測線によって大

大きく異なっている。

・今後、調査海域の海底活断層の把握や震源断層モデルの構築へ向けて、MCS データの解析をさらに進展させて、イメージングの最適化を進める。

・OBS を用いた地震探査の結果、地殻は日本海盆地から奥尻海嶺、神威海丘、石狩海盆にいくにしたがい厚くなり、特に奥尻海嶺から神威海丘の間では厚さの変化が大きいことが分かった。日本海盆地は海洋地殻的な構造で、神威海丘より東側では大陸地殻に近い構造を示している。

・今後、OBS を用いた地震探査データについて、初動走時だけでなく、モホ面から反射した PmP の走時も加えて走時トモグラフィックインバージョン等を行い、より詳細な速度構造イメージを求める。特に SJ17IS に関しては、今後陸上の探査データを統合した解析を行い、石狩海盆～石狩湾～陸域の速度構造イメージを求める。

#### (e) 引用文献

- 1) Satake, K.: Re-examination of the 1940 Shakotan-oki earthquake and the fault parameters of the earthquakes along the eastern margin of the Japan Sea, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 43, 137–147, 1986.
- 2) Okamura, Y., K. Satake, K. Ikehara, A. Takeuchi, and K. Arai: Paleoseismology of deep-sea faults based on marine surveys of northern Okushiri ridge in the Japan Sea, *J. Geophys. Res.*, 110, B09105, doi:10.1029/2004JB003135, 2005.
- 3) 気象庁: 地震月報 ( カタログ編 ),   
<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/bulletin/>, (参照 2018-3-31), 2018.
- 4) 岡村行信: 日本海の地形・地質調査から分かる活断層, 地震予知連会報, 90, 530-536, 2013.
- 5) 日本海における大規模地震に関する調査検討会: 日本海における大規模地震に関する調査検討会報告書, 国土交通省, 470pp., 2014.
- 6) 林田政和, 浜本文隆, 田中喜年, 松本正純: 大東海嶺群における精密地殻構造調査, 海洋情報部技報, 23, 33-45, 2005.
- 7) 篠原雅尚, 末広潔, 松田滋夫, 小沢和夫: DAT レコーダーを用いたデジタル大容量海底地震計, 海洋調査技術, 5, 21-31, 1993.
- 8) 金沢敏彦, 塩原肇: 多点・高密度観測に適した海底地震計の開発, 地球惑星科学関連学会 1994 年合同大会予稿集, 2, 240, I11-282, 1994.
- 9) Shimizu, S., T. Kimura, I. Terada, Y. Watanabe, M. Ito, K. Hatakeyama, and N. Takahashi: A new generation of ocean bottom seismometer for 3D-grid extensive observation, *OCEANS 2012–Yeosu*, doi:10.1109/OCEANS-Yeosu.2012.6263592, 2012.
- 10) 渡邊佳孝, 清水賢: 大規模展開を見据えた次世代型海底地震計「OBS2G」の開発, 工業材料, 61, 7, 71-73, 2013.
- 11) 一條和宏, 村井芳夫, 高波鐵夫, 三浦亮, 町田裕弥, 西村裕一, 中村有吾: 海底地震観測によって得られた 1940 年積丹半島沖地震震源域付近における地震活動, 平成 22 年度東京大学地震研究所共同利用研究集会「リソスフェアの短波長不均質性のイメージ

- ングとモニタリングに関する研究の高度化－地震発生帯の構造の時空間変化の解明に向けて－」,
- [http://www.eic.eri.u-tokyo.ac.jp/viewdoc/scat2010/25Ichijo\\_et\\_al2010.pdf](http://www.eic.eri.u-tokyo.ac.jp/viewdoc/scat2010/25Ichijo_et_al2010.pdf),  
(参照 2018-3-31), 2010.
- 12) 海上保安庁：宗谷岬至小樽港，航海用海図，W41，2015.
  - 13) 漁業情報サービスセンター：漁業向け海況・気象情報サービス 海洋ナビゲータ「エビスくん」，[http://www.jafic.or.jp/images/ebisukun\\_panf.pdf](http://www.jafic.or.jp/images/ebisukun_panf.pdf), (参照 2018-3-31), 2018.
  - 14) 物理探査学会：反射法地震探査，物理探査学会（編），物理探査ハンドブック増補改訂版，1-141，2016.
  - 15) Fujie, G., S. Kodaira, M. Yamashita, T. Sato, T. Takahashi, and N. Takahashi: Systematic changes in the incoming plate structure at the Kuril trench, *Geophys. Res. Lett.*, 40, 88-93, 10.1029/2012GL054340, 2013.
  - 16) No, T., T. Sato, S. Kodaira, T. Ishiyama, H. Sato, N. Takahashi, and Y. Kaneda: The source fault of the 1983 Nihonkai-Chubu earthquake revealed by seismic imaging, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 400, 14-25, 2014.
  - 17) White, R.S., D. McKenzie, and R.K. O'Nions: Oceanic crustal thickness from seismic measurements and rare earth element inversions, *J. Geophys. Res.*, 97, 19683-19715, 1992.
  - 18) Hirata, N., B. Karp, T. Yamaguchi, T. Kanazawa, K. Suyehiro, J. Kasahara, H. Shiobara, M. Shinohara, and H. Kinoshita: Oceanic crust in the Japan Basin of the Japan Sea by the 1990 Japan-USSR expedition, *Geophys. Res. Lett.*, 19, 2027-2030, 1992.
  - 19) 倉本真一：背弧オフィオライトの形成モデル－奥尻海嶺（日本海）の例－，*地学雑誌*，98, 81-91, 1989.
  - 20) Tokuyama, H., S. Kuramoto, W. Soh, S. Miyashita, T. Byrne, and T. Tanaka: Initiation of ophiolite emplacement: a modern example from Okushiri Ridge, Northeast Japan Arc, *Mar. Geol.*, 103, 323-334, 1992.
  - 21) Cho, H.-M., C.-E. Baag, J.M. Lee, W.M. Moon, H. Jung, K.Y. Kim, and I. Asudeh: Crustal velocity structure across the southern Korean Peninsula from seismic refraction survey, *Geophys. Res. Lett.*, 33, doi:10.1029/2005GL025145, 2006.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

| 著者                                                      | 題名                                                                                                                                 | 発表先                       | 発表年月日             |
|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------|
| 佐藤壮, 野徹雄, 小平秀一, 三浦誠一                                    | 地震探査による兵庫～鳥取沖・日本海大和海盆南縁の島弧・背弧海盆地の地殻構造<br>(口頭発表)                                                                                    | 日本地球惑星科学連合 2017 年大会 (千葉市) | 平成 29 年 5 月 24 日  |
| 佐藤壮, 野徹雄, 三浦誠一, 小平秀一                                    | 地震探査による日本海南西部・隠岐トラフ～大和海盆縁辺部の地殻構造<br>(口頭発表)                                                                                         | 日本地震学会 2017 年度秋季大会 (鹿児島市) | 平成 29 年 10 月 27 日 |
| 野徹雄, 佐藤壮, 小平秀一, 三浦誠一, 石山達也, 佐藤比呂志                       | 北海道西方沖での地殻構造探査 (ポスター発表)                                                                                                            | 日本地震学会 2017 年度秋季大会 (鹿児島市) | 平成 29 年 10 月 27 日 |
| 佐藤壮, 野徹雄, 三浦誠一, 小平秀一                                    | 「日本海地震・津波調査プロジェクト」による北海道北西沖～石狩湾の地殻構造調査 (ポスター発表)                                                                                    | ブルーアースサイエンス・テク 2018 (横浜市) | 平成 30 年 1 月 17 日  |
| Takeshi Sato, Tetsuo No, Seiichi Miura, Shuichi Kodaira | Crustal characteristic variation in the central Yamato Basin, Japan Sea back-arc basin, deduced from seismic survey results (論文発表) | Tectonophysics            | 平成 30 年 2 月 15 日  |

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成 30 年度業務計画案

1993 年北海道南西沖地震 (M<sub>J</sub>7.8) 震源域を含む北海道南西沖の沿岸部から日本海盆に至る海域において、マルチチャンネル反射法地震 (MCS) 探査及び海底地震計 (OBS) による地震探査を実施し、地殻構造を明らかにする。特に、断層に関連した変形構造、及び

それらと地殻構造の関係を明らかにし、日本海の地殻形成過程も考慮した震源断層モデルや津波波源モデル作成のための基礎資料とする。