

九州・パラオ海嶺北部 (KPr4), 大東海嶺・奄美海台 (DAr2), 及び四国海盆横断測線 (SPr7) における精密地殻構造探查概要

野田直樹, 大森哲雄, 浜本文隆, 阿部則幸, 松本正純, 田中喜年: 大陸棚調査室

Preliminary report of multi-channel and wide-angle seismic surveys at the northern Kyushu-Palau Ridge (KPr4), the Daito Ridge and Amami Plateau (DAr2) and the mid Shikoku Basin (SPr7)

Naoki NODA, Tetsuo OMORI, Fumitaka HAMAMOTO, Noriyuki ABE, Masazumi MATSUMOTO, Kitoishi TANAKA: Continental Shelf Surveys Office

1 序論

海上保安庁は大陸棚調査の一環として、大陸棚の延伸に関する当海域の基本的な地殻構造モデルを確立するため、2005年5-8月に大東海嶺群及び九州・パラオ海嶺北部~四国海盆海域において海底地震計(OBS: Ocean Bottom Seismograph)を用いた屈折法地震探查及びマルチチャンネルストリーマケーブルによる反射法地震探查を実施した。

ここでは上記地殻構造探查の概要について報告する。

2 調査概要

(1) 調査海域 (第1図参照)

大東海嶺群及び九州・パラオ海嶺北部~四国海盆海域

(2) 海上作業期間

OBS船: 2005/5/29-8/2 (66日間)

エアガン船: 2005/6/12-7/11 (30日間)

(3) 調査測線 (第2図参照)

測線番号 KPr4 (05003)

北東端 北緯30.5度, 東経134.4度

南西端 北緯28.6度, 東経131.1度

測線長 約380km

測線番号 DAr2 (05004)

北端 北緯30.0度, 東経131.3度

南端 北緯24.4度, 東経132.3度

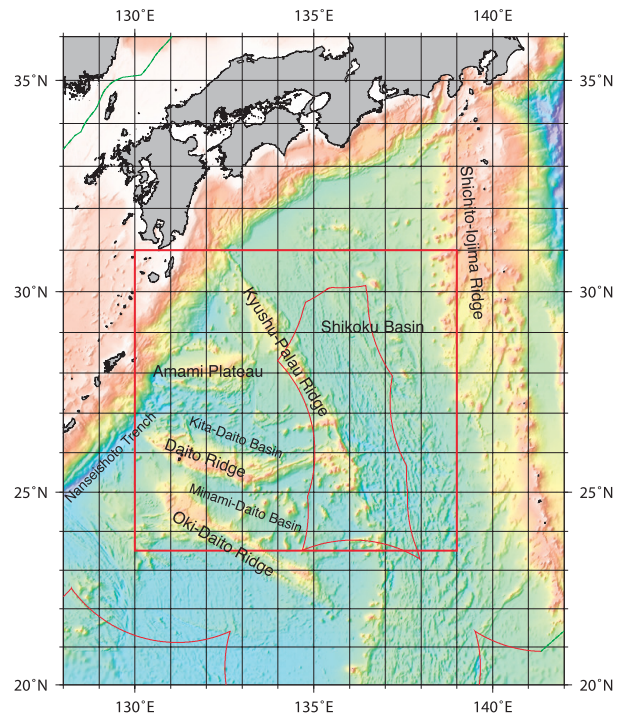
測線長 約635km

測線番号 SPr7 (05005)

北東端 北緯29.5度, 東経138.6度

南西端 北緯27.1度, 東経134.3度

測線長 約505km



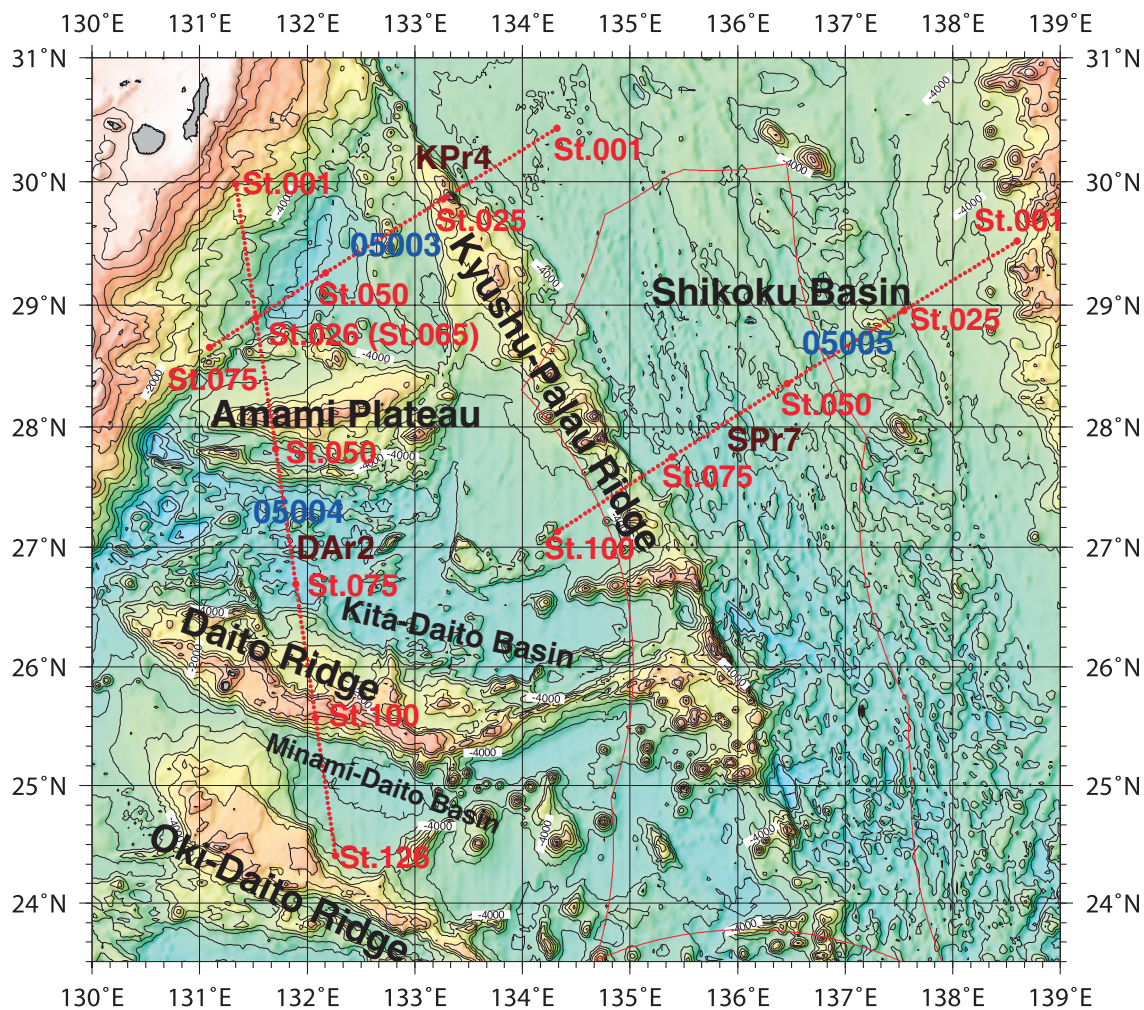
第1図 北西太平洋海底地形図。赤い枠が調査海域に該当する。

Figure 1 Map of Submarine topographic features in the Northwest Pacific Ocean. Red rectangle indicates experimental area.

KPr4測線は四国海盆から九州・パラオ海嶺の北部を横断し喜界海盆にいたる測線であり、九州・パラオ海嶺上の駒橋第2海山を通過する。駒橋第2海山ではトーナライトが採取され、K-Ar法による年代測定の結果、 37.5 ± 1.9 Maといった値が得られている (Shibata et al. [1977])。この測線の南方10 kmの付近では篠原他 [1999] が九州・パラオ海嶺下にP波速度およそ6 km/sの中部地殻の存在を示しており、速度構造の類似性から過去に一体であったとされている伊豆・小笠原島弧との連続性を示唆している。一方、市川 [1997] が実施した日向灘周辺の地殻構造探査における九州・パラオ海嶺北端部の測線結果は 四国海盆西縁でOceanic layer3がなくなり、海嶺下で島弧の上部/中部地殻 (6.2km/s)

と下部地殻 (7.1-7.3km/s) が存在するように見える。しかしながら、いずれの調査からも6 km/s層が検出されているのは測線の一部であり、この領域の下部地殻から上部マントルまでの構造が十分に解明されているとはいえない。KPr4測線では、九州・パラオ海嶺北部の地殻及び上部マントル構造の把握、また、東部では九州・パラオ海嶺から四国海盆への遷移域、西部では喜界海盆から南西諸島海溝への沈み込み域の地殻構造の解明を目的とする。

DAr2測線は喜界海盆から奄美海台～北大東海盆～大東海嶺を横断し沖大東海嶺の裾野まで延びるほぼ南北走向の測線である。奄美海台東部ではNishizawa et al. [1983] によるP波速度構造探査の結果からその起源が古島弧であることが示唆されているが、地殻全体の構造はまだ不明である。この測線で



第2図 調査海域図。赤い点は海底地震計設置点を示す。
Figure 2 Map of experimental area. Red solid circles indicate OBS locations.

は大東海嶺群を構成する奄美海台から大東海嶺下の地震波速度分布を求めることにより、大東海嶺群の成因解明への寄与を目指す。

SPr7測線は、東から西方へ、七島・硫黄島海嶺裾野から四国海盆～九州・パラオ海嶺を横断する測線である。四国海盆では紀南海底崖，紀南海山列上の古座海山など特徴的な海底地形を横断しているが、この測線上の紀南海底崖は比高が小さいため明瞭ではなく、地殻構造との関連性を調べるのが調査目的の一つである。また、当測線は、九州・パラオ海嶺の中でも四国海盆との水深の差が小さいところを横断するため、遷移域の地震波速度構造にその影響がどのように及んでいるかを検証する。

KPr4, DAr2測線は（北緯28.9東経131.5付近）で交差しており、各々の測線で取得された地殻構造モデルを比較・評価することができる。

(4) 調査船団

OBS 船：「新潮丸」, 「かいこう」, 「あせあん丸」
エアガン船：「大陸棚」

(5) 調査方法

屈折法地震探査

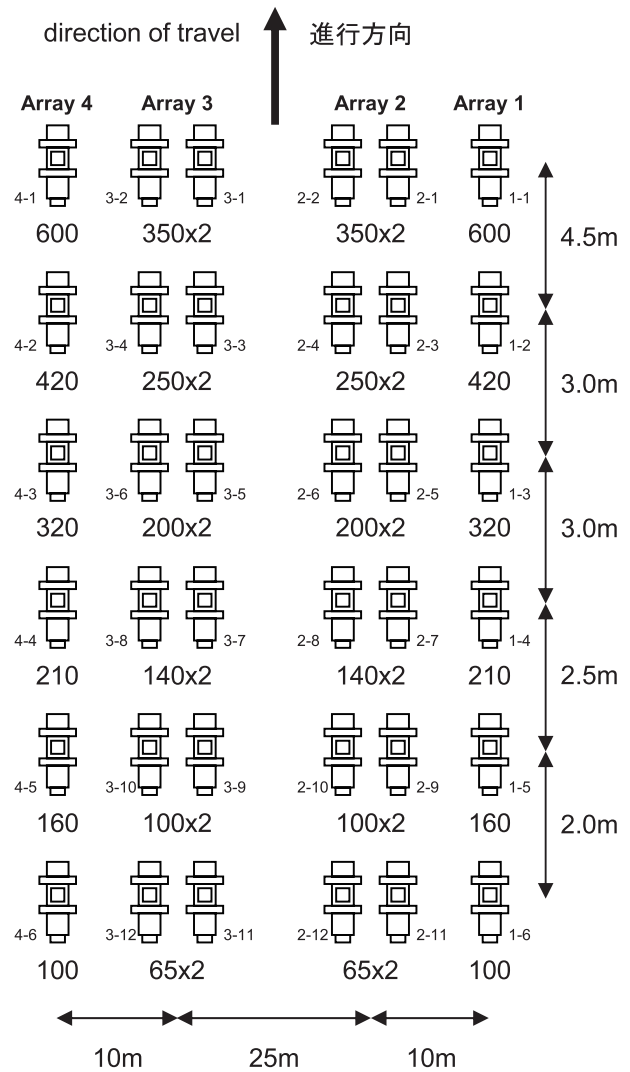
- OBS 設置間隔：5 km
- OBS 使用台数：KPr4 75台
(St.05003001 - 05003075)
- DAr2 126台
(St.05004001 - 05004126)
- SPr7 100台
(St.05005001 - 05005100)

震源：tunedエアガンアレイ

- 震源容量 : 132 l (8,040inch³)
- 内部圧力 : 13.79MPa (2,000psi)
- 曳航深度 : 10m
- 発震間隔 : 200m

測位 : DGPS

測線 KPr4, DAr2の交点には海底地震計を設置しており、それぞれの測線のデータを収録する。そのため、両測線における海底地震計の総数は200台だが、KPr4測線は75台分、DAr2測線は126台分の地震



第3図 8,040inch³. エアガン構成図.
Figure 3 Geometry for a 8,040inch³ airgun array.

計を使用していることになる。

今回使用した人工震源は総量132 l (8,040inch³)のBOLT社製Long Life Airgunアレイで、その構成図を第3図に示す。曳航深度は約10m, 発震間隔は200mとした。エアガンアレイ及びマルチチャンネルストリーマケーブル曳航方式、測位システム、データ取得システム構成は林田他 [2005] と同様である。

反射法地震探査

- 震源構成 : 屈折法探査と共通
- 曳航ケーブル : マルチチャンネル
ストリーマケーブル
- 曳航深度 : 8 m

第1表 調査船団作業工程.

Table 1 Ship operations for the seismic experiments.

| OBS船 「新潮丸」「かいこう」「あせあん丸」 | |
|-------------------------|--|
| 測線番号 | KPr4 (05003) DAr2 (05004) SPr7 (05005) |
| 2005/05/29 | 05004測線 OBS投入作業開始 |
| 2005/06/01 | 05004測線 OBS投入作業終了 |
| 2005/06/04 | 05003測線 OBS投入作業開始 |
| 2005/06/05 | 05003測線 OBS投入作業終了 |
| 2005/06/21 | 05005測線 OBS投入作業開始 |
| 2005/06/24 | 05005測線 OBS投入作業終了 |
| 2005/07/01 | 05004測線 OBS揚収作業開始 |
| 2005/07/13 | 05004測線 OBS揚収作業終了 |
| 2005/07/13 | 05003測線 OBS揚収作業開始 |
| 2005/07/18 | 05005測線 OBS揚収作業開始 |
| 2005/07/21 | 05003測線 OBS揚収作業終了 |
| 2005/08/02 | 05005測線 OBS揚収作業終了 |
| エアガン船 「大陸棚」 | |
| 2005/06/12 | 05004測線 反射法地震探査開始 |
| 2005/06/20 | 05004測線 中断、同線屈折法地震探査開始 |
| 2005/06/24 | 05004測線 終了 |
| 2005/06/25 | 05003測線 屈折法地震探査開始 |
| 2005/06/27 | 05003測線 終了 |
| 2005/06/28 | 05004測線 反射法地震探査再開 |
| 2005/06/29 | 05004測線 終了 |
| 2005/06/30 | 05003測線 反射法地震探査開始 |
| 2005/07/03 | 05003測線 終了 |
| 2005/07/04 | 05005測線 屈折法地震探査開始 |
| 2005/07/07 | 05005測線 終了 |
| 2005/07/08 | 05005測線 反射法地震探査開始 |
| 2005/07/11 | 05005測線 終了 |

曳航ケーブルは6,000mのマルチチャンネルストリーマケーブル(受振器間隔12.5m, 480ch)を使用した。震源は屈折法探査と共有し、発震間隔50mで反射波記録を取得した。

3 調査機器

調査機器については野田他(2006)に述べているとおりである。

4 経過概要

本調査におけるOBS船及びエアガン船の全体的な作業工程を第1表に掲げる。以下に、屈折法地震探査及び反射法地震探査における各作業経過について記す。

海底地震計投入作業

海底地震計投入作業はOBS船3隻により実施した。投入予定位置及び投入位置は第2表に示す。投入予定点と実際の投入位置の差は平均約13m程度で、的確な海底地震計投入作業であったことを示している。

海底地震計はOBS船後部甲板上のテントに覆わ

れた格納台に保管され、時々散水が行われていたが、6月29日～7月11日にかけての投入前チェックでOBS十数台の内部気圧の上昇(出荷時は860～900hPaに減圧したが900～950hPaまで上昇)が認められた。原因は抜気した時の気温(23～24度)と、投入する海域の気温(約36～37度)差によるものがほとんどであり、気圧の上昇度合が気温差の影響内にあるものはそのまま投入し、それ以外の2台は予備器と交換した。以後の調査からは、ガラス球の密閉度を判断するにあたり、気圧が930hPa(高度約700m)以下であれば良しとした。

7月6日～7月7日にかけて「あせあん丸」で3台のトランスポンダから油漏れが発見された。トランスポンダは水圧により海水の浸入を抑える構造になっており、少量の油漏れは支障ないが、発信音が割れたり鈍かったりした場合には応答ができなくなる可能性があるため、発信音に異常が無いことを確認して投入した。

着底位置決定作業

着底位置決定作業内容については野田他[2006]に述べているとおりである。投入位置と着底位置のずれは、平均約247m、最大は729mで、700m以上ずれたのが6測点あった。いずれもDAR2測線の北端近くであり、海流(黒潮)の影響で流されたものと思われる。海底地震計の最終算出着底点の位置を第2表に示す。

エアガン発震作業

DAR2の往路(北から南)における反射法地震探査中6月14日未明から昼にかけてArray3-9, 2-3, 2-4, 4-1(図3参照)の4台のエアガン(計1,200inch³)の発震が不調となり、発震容量が全体の9割を下回ったため揚収して修理した。原因はファイヤリングラインの断線であった。6月16日には同測線において延縄用のボンデンを発見し、付近に多くの延縄が設置されていたことから、曳航物を一旦揚収し、北緯28度付近まで南下して測線に入り直すことにした。本調査については事前に官報、日本水路通報・航行警報、管轄する海域の管区水路通報で周知

第 2 表b DAf2測線海底地震計投入位置・着底位置表. Table 2b Information of OBS positions for DAf2 survey.

Table with columns for OBS, 投入予定位置 (投入位置, 水深, 緯度, 経度), 着底位置 (水深, 緯度, 経度), 投入位置 (投入位置, 水深, 緯度, 経度), 観測点番号, and 回収. The table lists detailed coordinates and depths for 100 observation points.

第2表c SP17測線海底地震計投入位置・着底位置表。
Table 2c Information of OBS positions for SP17 survey.

Table with 4 main sections: 観測点番号/OBS, 投入位置 (水深, 緯度, 経度), 投入位置 (水深, 緯度, 経度), 投入位置 (水深, 緯度, 経度), and 回収. It lists 50 observation points with their respective coordinates and depths.

しているが、漁具を切断するという事故が発生したことから、以後エアガン船の日々の位置情報及び予定を太平洋側の複数の漁業無線局を通じて操業中の漁船に周知してもらうこととした。なお、全国近海かつおまぐろ漁業協会にもその旨連絡した。

DAr2測線における反射法地震探査時（北から南）、6月14日～6月20日及び6月28日にかけて南西から強い海流の影響を受けてストリーマケーブルが流され、フェザリング・アングル（測線からのケーブルの角度）が最大21度になった。船速も4.5 kt (2.3×10^{-3} km/s) を維持するように努めたが、3.5～4 ktでの調査になってしまった。7月2日～7月3日にはKPr4測線における反射法探査（東から西）でも同様にストリーマケーブルが流された

海底地震計揚収作業

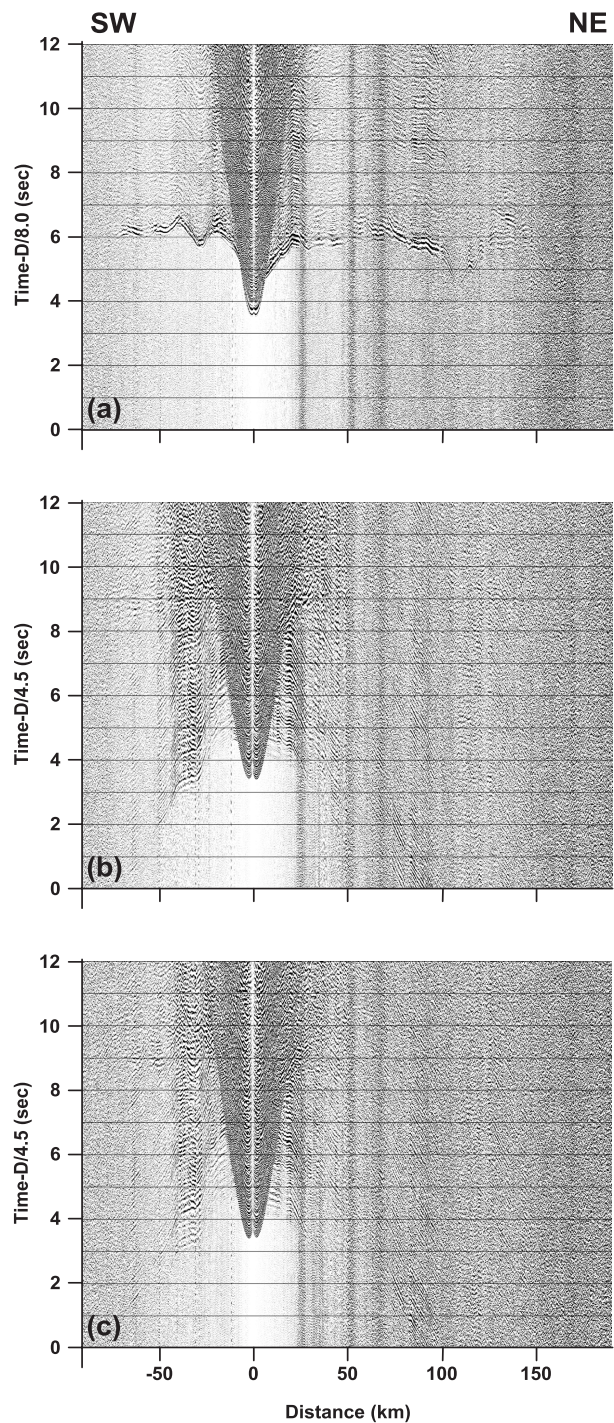
本調査の地震計揚収作業では、台風7号の影響も一時的に受けたが、3測線合計300台の海底地震計を全て揚収することができた。揚収した地震計から船上でデータを転送する際に判明した主なトラブルは次のとおりであった。ケーブルを接続したところHDDを認識せずDisk Errと表示されたのが3台。これはIEEE1394インターフェイスと水中コネクタ間の不整合が原因と考えられるため、次回の調査からはノイズを吸収するフェライトクランプを10pinケーブルに取り付けることで改善することとした。19台の地震計ではファイル数の異常が見つかった。これは整備時のHDDフォーマット方法（初期化）のミスであり、前回の調査データが残っていたもので解析に支障はなかった。

5 調査記録

屈折法地震探査

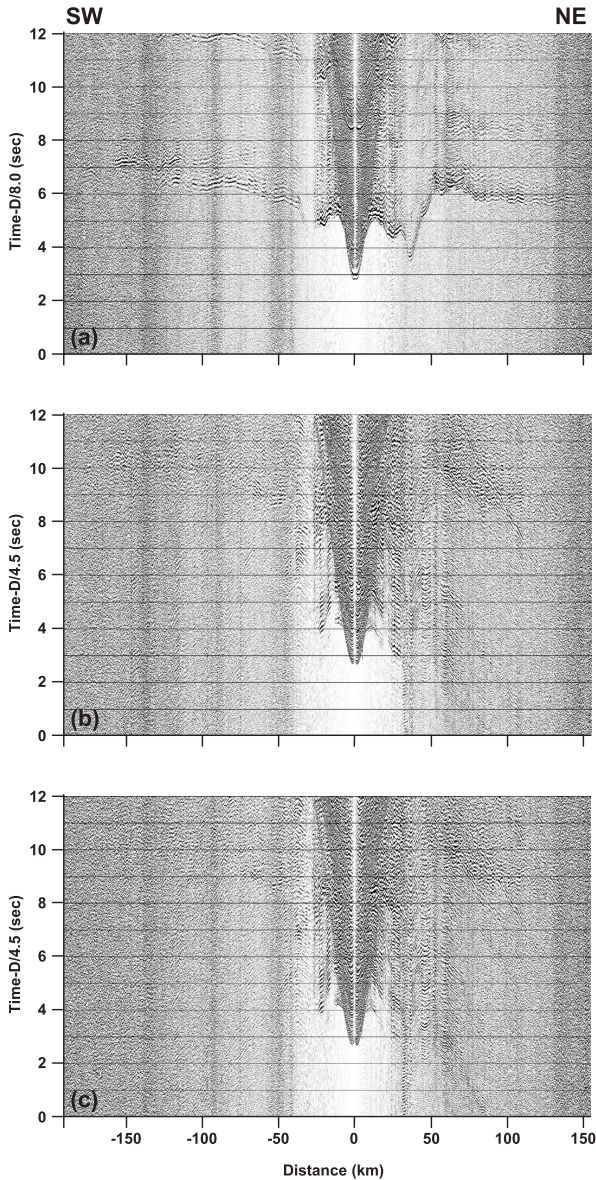
回収した海底地震計全300台のうち、取得データ量が通常の1/4しかないものが7台あった。これは50Hzのサンプリング周波数で観測が行われていたためで、事象の詳細は野田他 [2006] に記してある。

以下取得データ記録例として、各測線のレコードセクション（上下動、水平動2成分）を示す。



第4図 南西諸島（琉球）海溝陸側斜面上の海底地震計St.05003018のレコードセクション。(a) 上下動記録。(b) および(c) 水平動記録。上下動および水平動記録に対するreduction velocityはそれぞれ8 km/sおよび4.5 km/sである。

Figure 4 Record sections for OBS St.05003018 on the landward slope of the Nanseishoto (Ryukyu) Trench. (a) vertical component. (b) and (c) horizontal components. The reduction velocities for the vertical and horizontal record sections are 8 km/s and 4.5 km/s, respectively.

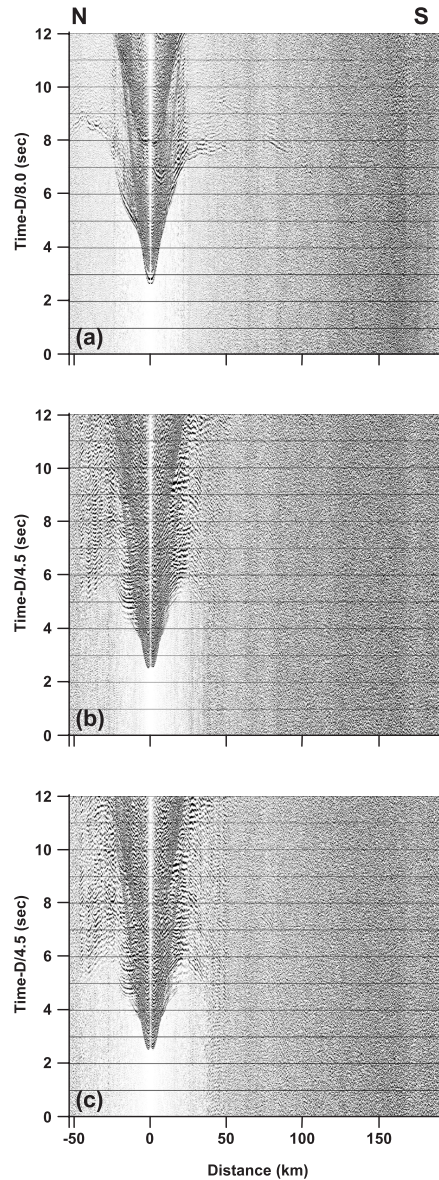


第5図 喜界海盆上の海底地震計St.05003045のレコードセクション。(a) 上下動記録。(b) および (c) 水平動記録。上下動および水平動記録に対する reduction velocity はそれぞれ 8 km/s および 4.5km/s である。

Figure 5 Record sections for OBS St.05003045 on the Kikai Basin. (a) vertical component. (b) and (c) horizontal components. The reduction velocities for the vertical and horizontal record sections are 8km/s and 4.5km/s, respectively.

(1) KPr4 (05003) 測線

第4図に南西諸島(琉球)海溝陸側斜面上の海底地震計St.05003018で得られた記録を示す。地震計の西側ではオフセット150km近傍まで信号を追跡することができる。70-100kmの振幅の大きな信号

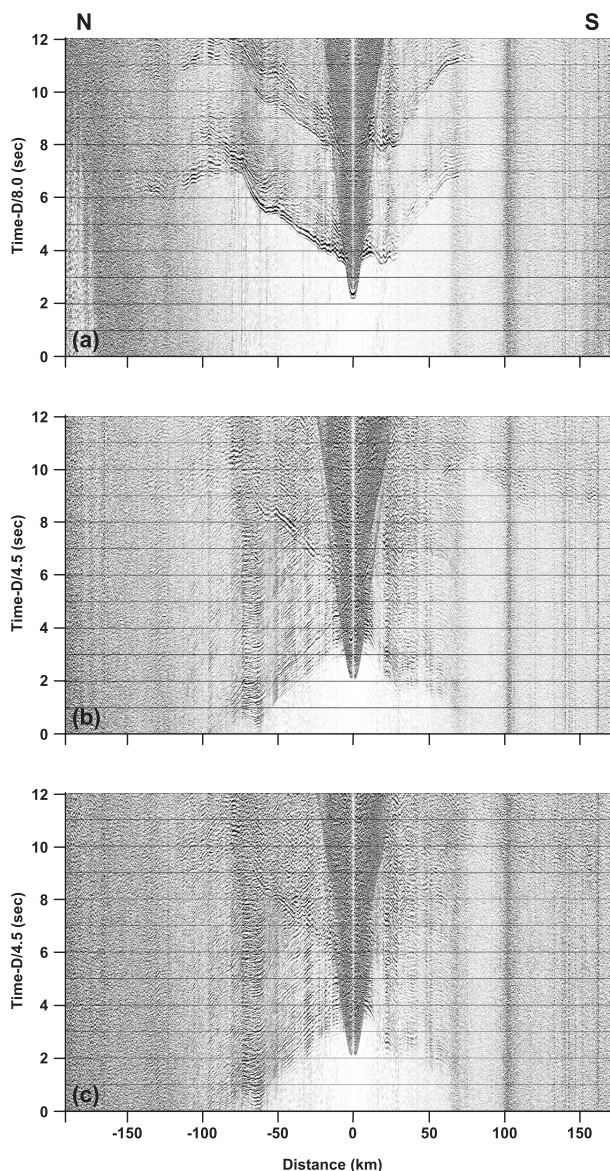


第6図 南西諸島(琉球)海溝陸側斜面上の海底地震計St.05004011のレコードセクション。(a) 上下動記録。(b) および (c) 水平動記録。上下動および水平動記録に対する reduction velocity はそれぞれ 8 km/s および 4.5km/s である。

Figure 6 Record sections for OBS St.05004011 on the landward slope of the Nanseishoto (Ryukyu) Trench. (a) vertical component. (b) and (c) horizontal components. The reduction velocities for the vertical and horizontal record sections are 8 km/s and 4.5km/s, respectively.

はPmPと推定される。130-150kmにも振幅の大きい後続相がある。

喜界海盆上の海底地震計St.05003045のレコードセクション(第5図)では、地震計の両側遠方まで



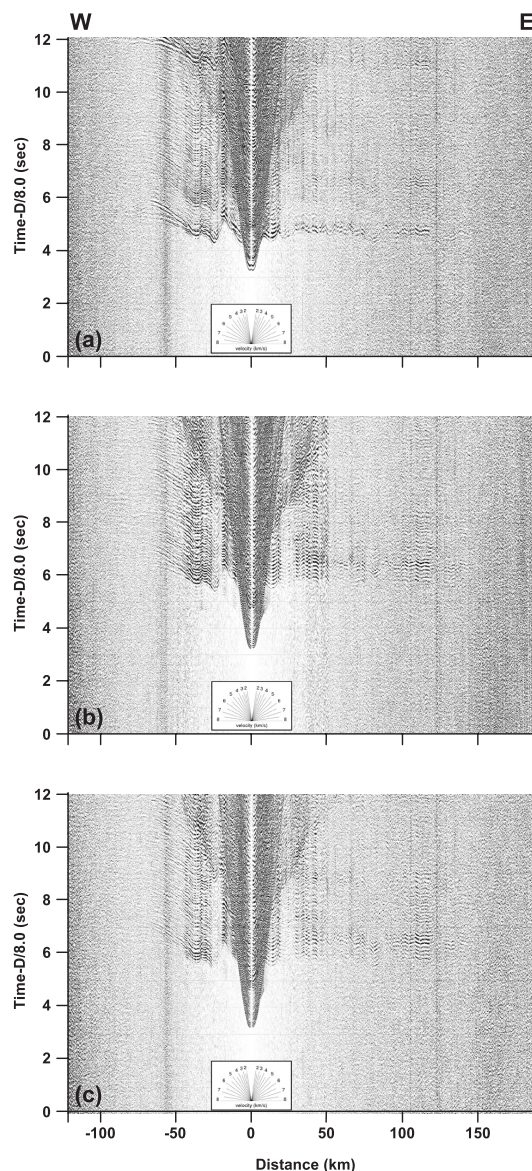
第7図 大東海嶺上の海底地震計St.05004093のレコードセクション。(a) 上下動記録。(b) および (c) 水平動記録。上下動および水平動記録に対する reduction velocity はそれぞれ 8 km/s および 4.5 km/s である。

Figure 7 Record sections for OBS St.05004093 on the Daito Ridge. (a) vertical component. (b) and (c) horizontal components. The reduction velocities for the vertical and horizontal record sections are 8km/s and 4.5km/s, respectively.

明瞭に信号を観測できた。西側では、オフセット60-150kmに連続した後続波が見られることが特徴的である。また水平動の記録ではオフセット60-80 km, 8.5sec以降にS波と解釈される信号が見える。

(2) DAr2 (05004) 測線

南西諸島(琉球)海溝陸側斜面上の海底地震計St.

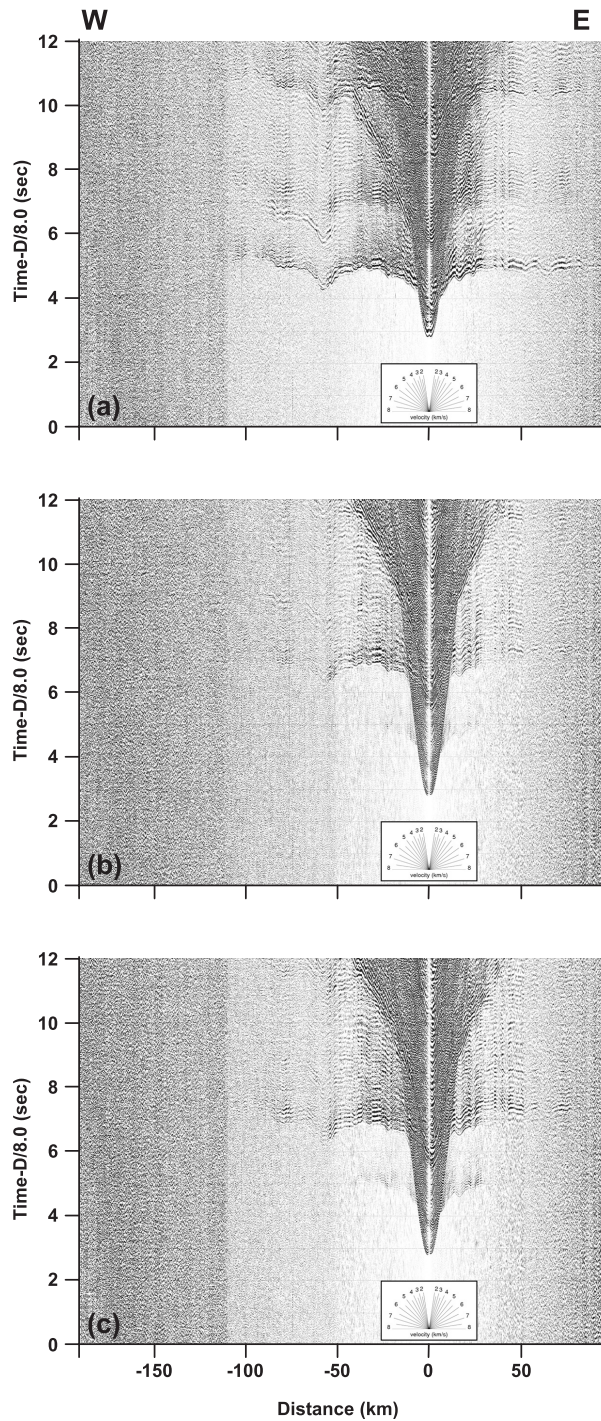


第8図 四国海盆西端部の海底地震計St.05005024のレコードセクション。(a) 上下動記録。(b) および (c) 水平動記録。上下動および水平動記録に対する reduction velocity はそれぞれ 8 km/s である。

Figure 8 Record sections for OBS St.05005024 on the western end of the Shikoku Basin. (a) vertical component. (b) and (c) horizontal components. The reduction velocity for the record sections is 8km/s.

05004011のレコードセクションを第6図に示す。この記録では、地震計の南側オフセット約10km, 6.5 secの後続相内であるにもかかわらず明瞭な反射波が見られる。これは沈み込むプレート面上のデコルマからの反射信号であると推定される。

第7図には、大東海嶺上の海底地震計St.05004093



第9図 四国海盆東部の海底地震計 St. 05005082 のレコードセクション。(a) 上下動記録。(b) および (c) 水平動記録。上下動および水平動記録に対する reduction velocity はそれぞれ 8 km/s である。

Figure 9 Record sections for OBS St. 05005082 on the eastern end of the Shikoku Basin. (a) vertical component. (b) and (c) horizontal components. The reduction velocity for the record sections is 8 km/s.

の記録を示す。地震計の北側では初動と考えられる信号はオフセット130kmを越えて観測できた。また、30-120kmの範囲ではいくつかの顕著な後続相が見られる。南側はオフセット70kmを越えると信号の振幅は非常に小さくなるが、近傍の地震計の記録との比較から、およそ6-7 secの間に初動信号があると推定される。水平動の記録では北側オフセット10-70kmに見かけ速度約3.5km/secの遅い非常に明瞭な後続相がみられることが特徴的である。この相はS波であると考えられる。

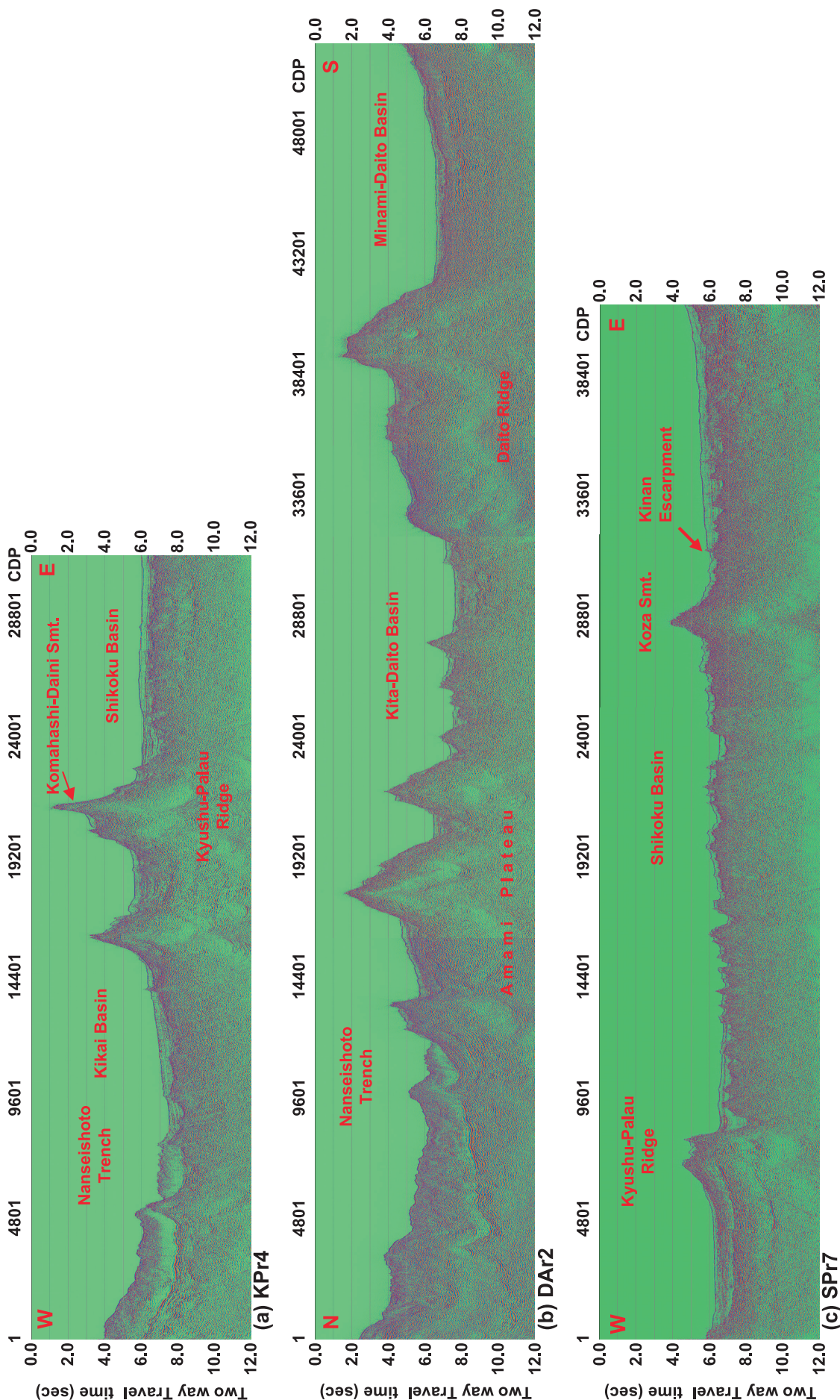
(3) SPr7 (05005) 測線

SPr7測線の大部分を占める四国海盆は地形の起伏が激しいためか、海底地震計に記録されたデータのS/Nが低く、オフセット100km程度までしか信号が観測されない。第8図には四国海盆西端部に設置した海底地震計 St.05005024 の記録を示す。西方には九州・パラオ海嶺が控えているが、オフセット40km付近でPnが出始めるため、四国海盆西端の地殻の厚さは極めて薄く、九州・パラオ海嶺の地殻もそれほど厚くはないと推測できる。東方は四国海盆の凹凸による回折波が卓越しており、S/Nの悪い記録になっている。オフセット20km付近でPnが出始め、地殻の厚さが4-5 km程度と推測される。次に四国海盆東部に設置した海底地震計 St.05005082 の記録を示す(第9図)。Pnが東方では25km付近から確認されるのに対し、西方では40km付近から確認できる。西方オフセット60kmには古座海山が位置しており、海山付近では周辺域と比較して地殻が厚くなっていることが推測される。

反射法地震探査

KPr4測線の time migration 図を第10図 (a) に示す。この記録で最も顕著な特徴の一つは、測線西端の南西諸島海溝下へのプレートの沈み込みである。顕著なデコルマ面からの反射信号の極性は逆転している。SP5600-7500の範囲では最上部堆積層が大きく変形しているが、それより西側では堆積層はほぼ層構造をなしている。四国海盆においては、海面下8-9 secにモホ面からの反射波と考えられる信号

第10図 マルチチャネル反射法記録断面Time Migration 図 (a) KPr4測線, (b) DAR2測線, (c) SPPr7測線.
 Figure 10 MCS profiles. (a) KPr4, (b) DAR2, (c) SPPr7.



が断続的に見られる

DAr2測線の記録(第10図(b))も北端部においてKPr4測線と同様にプレート沈み込み最上部に顕著なデコルマ面が検出された。また、沈み込むプレート上面の凹凸があり、これらの特徴がこの地域の地震活動のアスペリティ分布に関連している可能性がある。北大東海盆域では、基盤の凹地を埋めるように堆積物が分布している。SP28600-30800の範囲では海面下およそ9 secに2つの顕著な反射面が見られる。また、大東海嶺や南大東海盆南部の沖大東海嶺近傍において、音響基盤下にいくつかの反射相が検出できる。

四国海盆を横断するSPr7測線の記録を第10図(c)に示す。九州・パラオ海嶺の西側では、平坦な海底地形にはほぼ平行な堆積層構造や音響基盤が見られ、海面下およそ9.5 secにはモホ面が断続的に検出できる。それとは対照的に紀南海山列の西側の四国海盆下では凹凸の激しい基盤上に堆積層が0.3 sec程度の厚さで存在し、モホ面は見えない。また、九州パラオ海嶺の四国海盆の境界域には基盤の凹地があり、そこでは堆積層厚は1秒を越える。紀南海山列の東側の四国海盆では基盤の形状は西側と同様に不規則ではあるが、伊豆・小笠原島弧から供給された堆積物のため堆積層厚がより厚くなっている。紀南海底崖に対応するような明瞭な構造の変化は検出されなかった。

6 まとめ

今回、OBS船「かいこう」は機関故障及び台風7号の影響で当初の予定22日間を7日延伸して8月3日までの29日間と長期の作業であった。全般的には天候に恵まれたことから良好な記録を取得することができた。今後これらの記録を解析し、当海域の地殻構造モデルが確立されることが期待できる。

謝辞

今回の地殻構造探査は民間船を導入した2年目の調査である。今回の調査測線がマグロ延縄漁業の漁場と重複することから毎日の位置情報を放送していただいた各漁業無線局の方々及び放送を受信して調

査海域を快く開放して下さった漁船の方々にお礼を申しあげると共に、調査中エアガン、海底地震計等調査機器のトラブルに際し、これら諸問題に対応し、調査計画、技術的指導に携わって下さった大陸棚調査室及び海洋研究室の方々に感謝の意を表します。また、今回作業に従事した調査員・船舶職員(日本大陸棚調査株式会社他)・(株)東京測振の高い技術能力により設置した海底地震計300台全てを回収できたことに深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 林田政和, 浜本文隆, 田中喜年, 松本正純 (2005): 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.
- 市川岳 (1997): 海底地震計を使った日向灘周辺の地殻構造研究, 北海道修士論文, 56
- Nishizawa, A., Suyehiro, K. and Shimizu, H. (1983): Seismic refraction experiment at the Amami Plateau, *J. Phys. Earth*, 31, 159-171.
- 野田直樹, 大森哲雄, 田中和人, 松本正純, 田中喜年, 志村信三郎, 小澤誠志 (2006): 沖縄海膨(OKr4)及び南大東海盆-大東海嶺-九州・パラオ海嶺横断測線(DAr4)における精密地殻構造探査概要, 海洋情報部技報, 24, 53-63.
- Shibata, K., Mizuno, A., Yuasa, M., Uchiumi, S. and Nakagawa, T. (1977): Further K-Ar Dating of Tonalite Dredged from the Komahashidaini Seamount, *Bull. Geol. Surv. Jpn.*, 28 (8), 503-506.
- 篠原雅尚, 高橋成実, 李健亮, 末広潔, 平朝彦 (1999): 制御震源探査による北部伊豆小笠原島弧・九州パラオ海嶺の地殻構造, 月刊地球号外 大陸形成~地球の物質分化. 循環過程の解明~, 23, 67-78.