

## 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查概要

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：大陸棚調査室

### Preliminary report of multi-channel and wide-angle seismic surveys across the Okinawa Rise (OKr4) and traversing the Minami Daito Basin, Daito Ridge and Kyushu-Palau Ridge (DAr4)

Naoki NODA, Tetsuo OMORI, Kazuto TANAKA, Masazumi MATSUMOTO, Kitoshi TANAKA, Nobu-aburou SHIMURA, Seiji OZAWA : 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5－7月に沖縄海膨（Urdaneta-Plateau）及び大東海嶺東部と九州・パラオ海嶺接合部域において、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）

沖縄海膨及び大東海嶺群周辺

##### (2) 海上作業期間

OBS船：2005/5/5－2005/7/2（59日間）

エアガン船：2005/5/11－2005/5/29（19日間）

##### (3) 調査測線（第2図参照）

測線番号OKr4（05001）

北東端 北緯25.9度，東経130.8度

南西端 北緯20.0度，東経127.2度

測線長 約755km

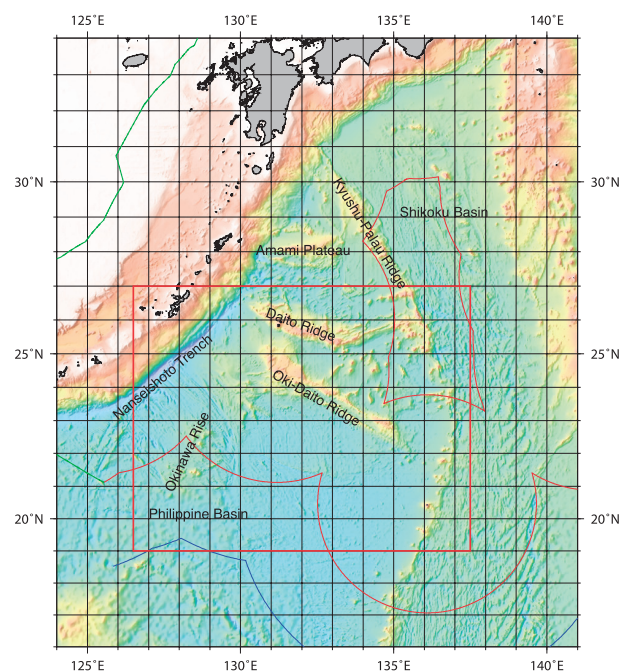
測線番号DAr4（05002）

東端 北緯26.3度，東経136.9度

西端 北緯24.9度，東経131.6度

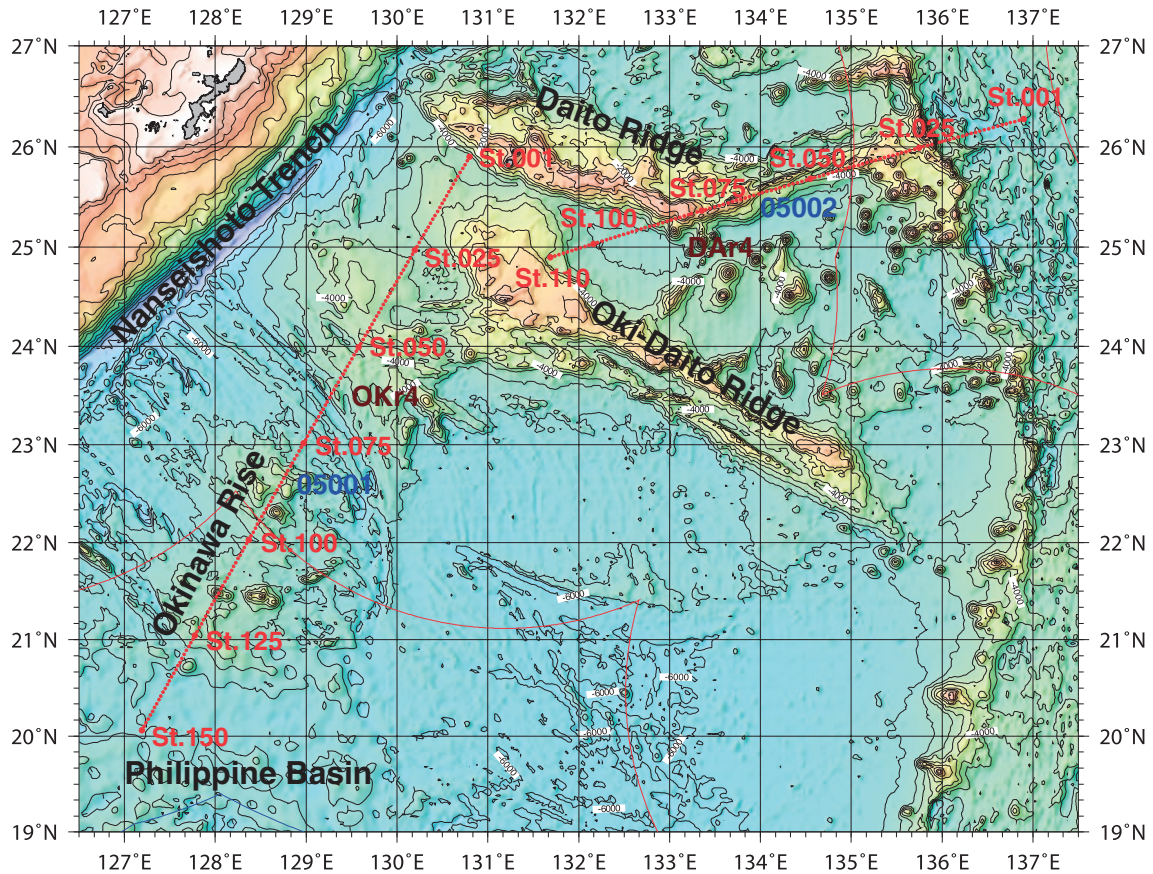
測線長 約555km

OKr4測線は総長約755kmの南西－北東に延びる測線で、北東端は大東海嶺西部裾野に接しており、北から測線に沿って沖大東海嶺西部、沖縄海膨といった海底の高まりを縦断している。地形的にはこ



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 the experimental area.



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

これらの高まりの連続性は乏しいが、その地殻構造の類似性及び連続性、特に沖大東海嶺と沖縄海膨の地殻構造の関連性を確認することが調査の目的である。DAr4測線は東端の四国海盆を発し、九州・パラオ海嶺及び大東海嶺東部を横断し、南大東海盆北西端まで延びるほぼ東西方向の測線である。この測線では大東島を有する大東海嶺と九州・パラオ海嶺との接合部における地殻構造の連続性の把握、また、九州・パラオ海嶺-四国海盆遷移域の速度構造モデルの取得を目的としている。

(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：OKr4測線 150台

(St.05001001 - St.05001150)

DAr4測線 110台

(St.05002001 - St.05002110)

人工震源：tunedエアガンアレイ

震源容量：132ℓ (8,040inch<sup>3</sup>)

内部圧力：13.79MPa (2,000psi)

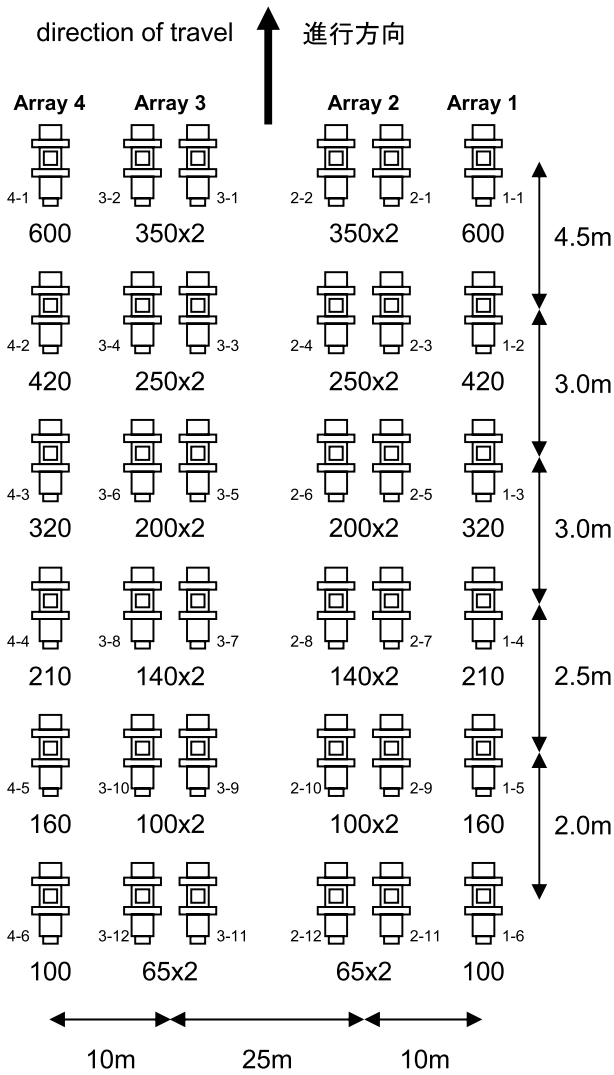
曳航深度：10m

発震間隔：200m

測位 : DGPS

人工震源は総量132ℓ (8,040inch<sup>3</sup>) のBOLT社製 Long Life Airgunアレイである。エアガンアレイ構成図を第3図に示す。エアガンアレイ・マルチチャンネルストリーマケーブル曳航図、測位システム、データ取得システム構成図は林田他(2005)と同様である。

反射法地震探査



第3図 8,040inch<sup>3</sup>エアガン構成図.  
Figure 3 Geometry for a 8,040inch<sup>3</sup> airgun array.

人工震源：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

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（受信器間隔12.5m, 480ch）を使用した。エアガンアレイを50m間隔で発震することにより反射記録を取得した。

### 3 調査機器

調査機器については林田他（2005）に詳しく述べられている。本調査では一部の地震計にNOVATECH製ビーコン（RF-700A 3ST）及びフラッシャー（ST-

400A）を採用した。また、林田他（2005）の調査では hidroフォンで収録した信号の振幅が小さかったため、本調査では hidroフォンのプリアンプゲインを20dBから40dBへと変更した。

探査記録の収録フロー等も林田他（2005）と同様である。反射法地震探査において、収録開始時刻はエアガン発震予定時刻100msec前、収録記録長は12 secと設定した。

### 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は第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14m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船の後部甲板にテントに覆われた格納台に保管され、外気の上昇に伴うトランスポンダからの油漏れを防ぐためスポンジとウェスを巻き付け、定期的に散水していたが、それでも十数台は油漏れを起こした。油漏れを起こした海底地震

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	OKr4 (05001)	DAr4 (05002)
2005/05/05	05002測線	OBS投入作業開始
2005/05/07	05002測線	OBS投入作業終了
2005/05/08	05001測線	OBS投入作業開始
2005/05/16	05001測線	OBS投入作業終了
2005/06/02	05002測線	OBS揚収作業開始
2005/06/13	05001測線	OBS揚収作業開始
2005/06/24	05001測線	OBS揚収作業終了
2005/07/02	05002測線	OBS揚収作業終了
エアガン船 「大陸棚」		
2005/05/11	05002測線	屈折法地震探査開始
2005/05/13	05002測線	終了、同測線反射法地震探査開始
2005/05/19	05002測線	終了
2005/05/20	05001測線	屈折法地震探査開始
2005/05/24	05001測線	終了、同測線反射法地震探査開始
2005/05/29	05001測線	終了

第 2 表 a OK4 測線海底地震計投入位置・着底位置表。  
Table 2a Information of OBS positions for OK4 survey.

Table with 10 columns: 観測点番号 (Observation Point Number), OBS, 投入予定位置 (Planned Position), 投入位置 (Actual Position), 着底位置 (Bottom Position), and 回収 (Recovery). Each column contains detailed data for 100 observation points, including coordinates and depth measurements.



第 2 表b DA14 測線海底地震計投入位置・着底位置表. Table 2b Information of OBS positions for DA14 survey.

Table with columns: 観測点番号 (Observation Point Number), 投入予定位置 (Planned Position), 投入位置 (Actual Position), 水深 (Water Depth), 着底位置 (Bottom Position), 回収 (Recovery). Each position is defined by latitude and longitude coordinates.

Table with columns: 観測点番号 (Observation Point Number), 投入予定位置 (Planned Position), 投入位置 (Actual Position), 水深 (Water Depth), 着底位置 (Bottom Position), 回収 (Recovery). This table contains a much larger number of data points than the first table, covering a wider area.

計のうち、音割れする6台については予備器と交換した。また、投入前のチェックで260台中9台の不備が発見された。これらを大別すると3種類に分けられる。1つはパラメータ設定後にLamp & Diskエラーとなったのが1台、HDDの再フォーマットができず予備器と交換した。2つ目はディスクエラーが6台、この場合はHDDの再フォーマットで復旧した。3つ目は内部気圧の上昇である。整備時は860~900hPa程度に設定してあるが、ガラス球の密閉不備や観測海域の高い気温により上昇したものと思われる。出荷時と投入時の温度差から気圧の変化量を計算し許容範囲内のもはそのまま投入したが、範囲外の2台は予備器と交換して投入した。

#### 着底位置決定作業

海中に投入された地震計は海流の影響を受けて流されるため、着底位置を算出する必要がある。本調査では、測線を挟んで対称となる2点及び隣接するOBSの回収点の計3点においてOBS船から海底地震計までの測距を実施し、日油技研工業製リリーサーポジショナーNRP-MCを用いて海底地震計の一次着底位置を算出した。この計算に適用した平均水中音速度は、投下式塩分水温測定装置(XCTD: Expendable Conductivity Temperature Depth profiling system)の測定値と日本海洋データセンター(JODC: Japan Oceanographic Data Center)の統計値を併用して決定した。海底地震計の最終着底位置は、海底地震計で検出されたエアガン直達波の到達時間を用い、インバージョンによって決定される。投入位置と着底位置のずれは、平均約164m、最大341mであった。海底地震計の最終算出着底位置を第2表に示す。

#### エアガン発震作業

OKr4の往路(北東から南西)でエアガン発震は順調であったが、反転後の復路(南西から北東)の反射法地震探査発震において5月25日に1台のエアガン(250inch<sup>3</sup>)からエア漏れが生じた。修理・投入を行い、観測を再開したが、再度、再々度エア漏れが生じ12台(合計容量2,210inch<sup>3</sup>)が発震不能となっ

た。エア漏れが全てArray3(第3図)のエアガンであることからArray3-3及び3-4のエアガンのエア供給部を閉じたところ、他の10台のエアガンが復旧したため、翌5月26日の15時06分からは34台7,540inch<sup>3</sup>の発震で調査を実施することになった。

#### 海底地震計揚収作業

海底地震計の切り離し信号の送信は、一次着底算出位置の直上付近で実施した。信号受信後60~80sec程度で電触により地震計切離し装置の拘束ブロックが外れ、海底地震計が浮上開始する。海底地震計の平均浮上速度は約45m/minであったが、一部NOVATECH製の新型ビーコン、フラシャーを使用した海底地震計の平均浮上速度は約46~47m/minであった。

本調査の地震計揚収作業では、台風4号の影響も一時的に受けたが、両測線合計260台の海底地震計を全て揚収することができた。揚収した地震計を船上で確認したところ、明らかに浸水している地震計が1台あった。浸水した量は約1ℓあったものの浮上速度は他の地震計と変わりなかったことから表面近くで一気に浸水したと推測される。ガラス球面には3pin・10pin水中コネクタ、ペネトレーター、バキュームポートが取り付けられており、これらのいずれかの締付けが弱かった可能性がある。コネクタ類の隙間からガラス球内へ少しずつ海水が浸入しているところに船上より浮上信号が送られ、浮上途中浸水した海水がリチウム電池に触れて同電池が爆発した結果、内部の圧力が急激に高まり上半球、下半球のガラス面の締め付けが緩んでガラス球合せ面から多量の海水が浸入したと思われる。

## 5 調査記録

#### 屈折法地震探査

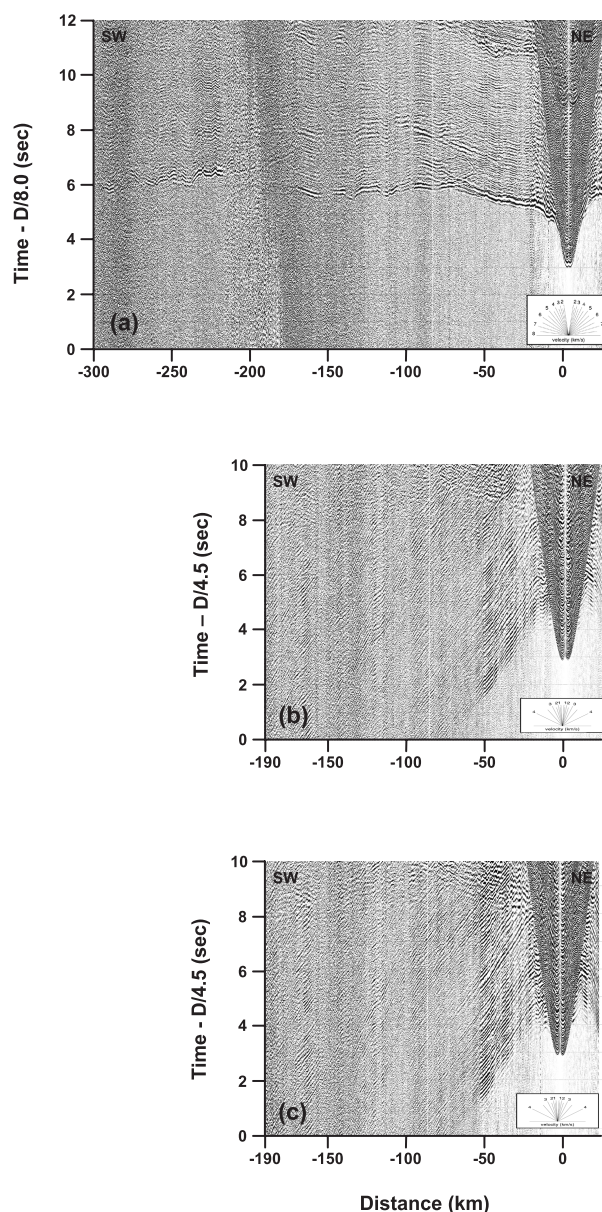
東京測振製の海底地震計は、ガラス球を開封することなく、10pin水中コネクタを介して、取得したデータをPCに転送・保存することができる。回収した海底地震計全260台のうち取得データに何らかの異常が認められたものが23台あり、解析作業に与える影響の程度に基づき3つのレベルに分類すると

以下ようになる。レベル1：データ回収が不可能なもので計2台，1台は前記のとおり浸水したものであり，他の1台は原因調査中。レベル2：サンプリング周波数が50Hzで記録され，取得データ量が通常の1/4しかなかったもので計12台。これは，A/D変換器のコマンド周りの不備によりサンプリング周波数が初期化された（デフォルト値が50Hz）ためと考えられ，プログラムを修正するとともに，記録時にサンプリング数をカウントした実測値とサンプリング周波数の設定値とを照合し，不整合であればA/D変換器を再起動して再チェックを行うよう地震計のファームウェアを改良することで対処する。レベル3：地震計からのデータの転送前・転送中に突然電源が落ち，船上でデータの回収が行えなかったもので計9台。これらのデータは全て陸上で正常に回収できた。整備会社で電源ノイズ試験等を実施してみたが電源落ちを再現できず，プロトコルを多重化して誤動作を防ぐようファームウェアを改善する方法で対処する。

以下に取得データ記録例として，OKr4測線からはSt.05001005（沖大東海嶺西端部），St.05001122（沖縄海膨南部），DAr4測線からはSt.05002008（南大東海盆），St.05002098（沖ノ鳥島（パレスベラ）海盆），計4台のレコードセクション（上下動，水平動2成分）を示す。

(1) OKr4 (05001) 測線

OKr4測線における多くの海底地震計ではレコードセクション上に遠距離 (>200km) からの明瞭な信号が確認され，この測線では上部マントルの精度良い速度構造モデルの取得も期待される。沖大東海嶺西端部に設置した海底地震計St.05001005の記録（第4図）もオフセット300km付近まで信号が確認される。南方55km付近から7 km/sの見かけ速度を持つPnが初動として見え始める。さらに75km付近では別の経路を伝播してきたと考えられるPnと交差しており，付近のモホ面深度の変化が大きいことを示している。オフセット180kmの付近でPnが次第に見えなくなっていくが，オフセット200-300kmの範囲で新たな信号が見え始める。この新たな信号

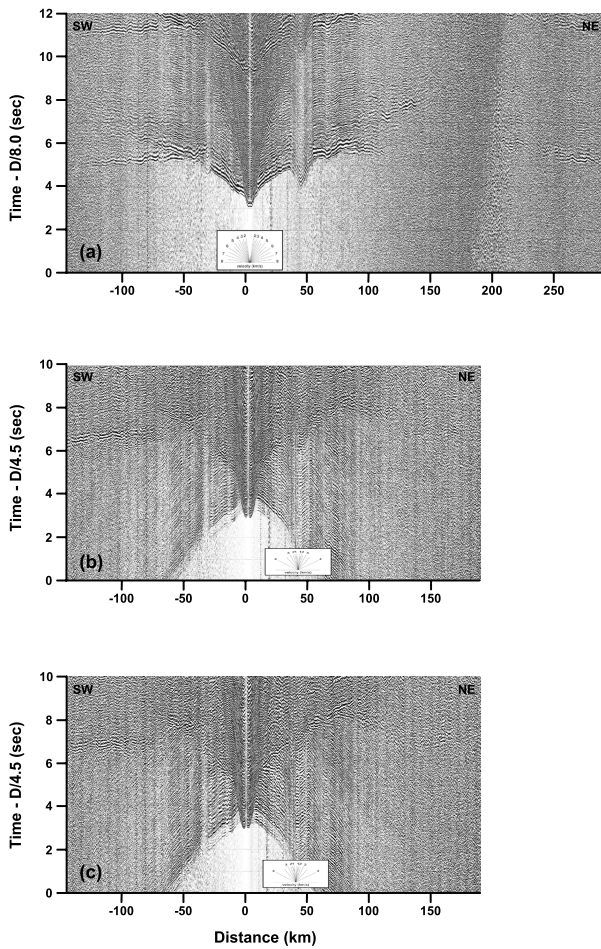


第4図 沖大東海嶺西端部の海底地震計St.05001005のレコードセクション。(a) 上下動記録。(b) および (c) 水平動記録。上下動および水平動記録に対する reduction velocity はそれぞれ 8 km/s および 4.5 km/s である。

Figure 4 Record sections for OBS St.05001005 on the west of the Oki 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.

を反射波と捉えるとマントル中に速度ギャップを持つ反射面をおく必要が生じ，現実的ではないため，この信号は前述した2種のPnと違う経路を伝播してきたPnであろうと推測される。次に沖縄海膨南部に設置した海底地震計St.05001122のレコードセ





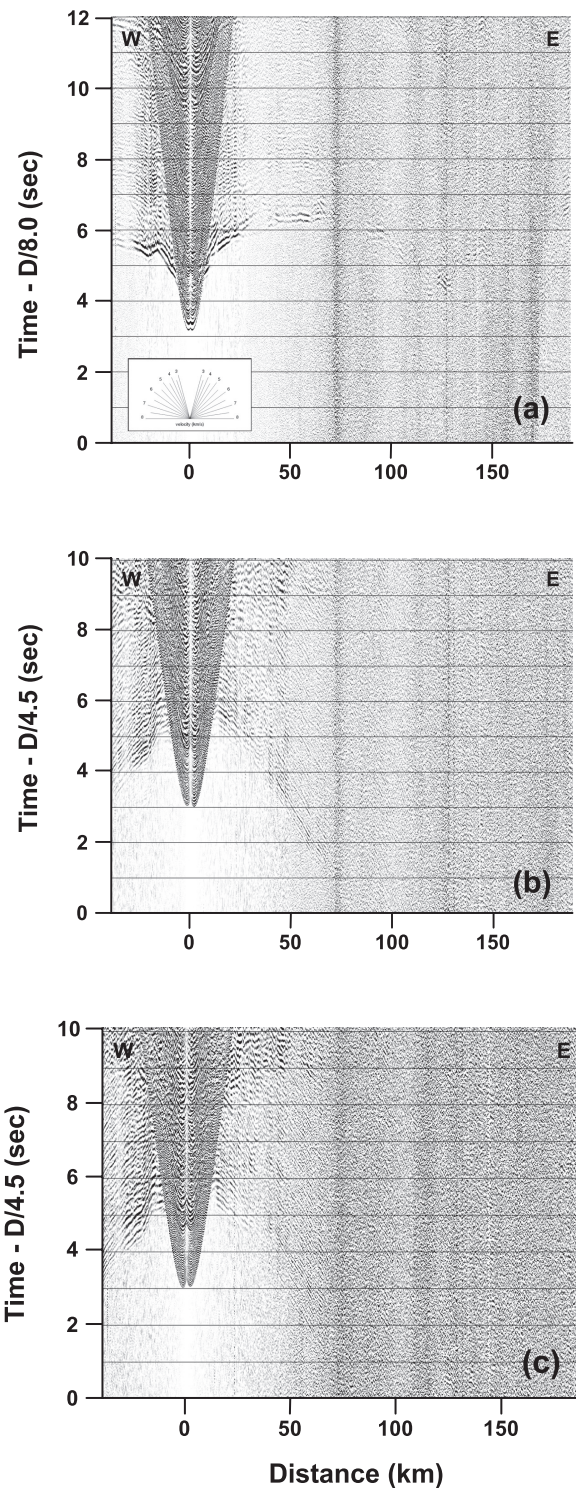
第5図 沖縄海膨南部の海底地震計St.05001122のレコードセクション。(a) 上下動記録。(b) および (c) 水平動記録。上下動および水平動記録に対する reduction velocity はそれぞれ 8 km/s および 4.5km/s である。

Figure 5 Record sections for OBS St.05001122 on the south of the Okinawa Rise. (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.

クッションを示す (第5図)。Pnは北方ではオフセット70km 廻りから、南方では50km 廻りから確認され、沖縄海膨南方では北方と比較して地殻が薄くなっており、8 km 程度の厚さと推測される。北方オフセット200km 以上で強振幅の信号が現れており、これも Pn であろうと予想される。

(2) DAr4 (05002) 測線

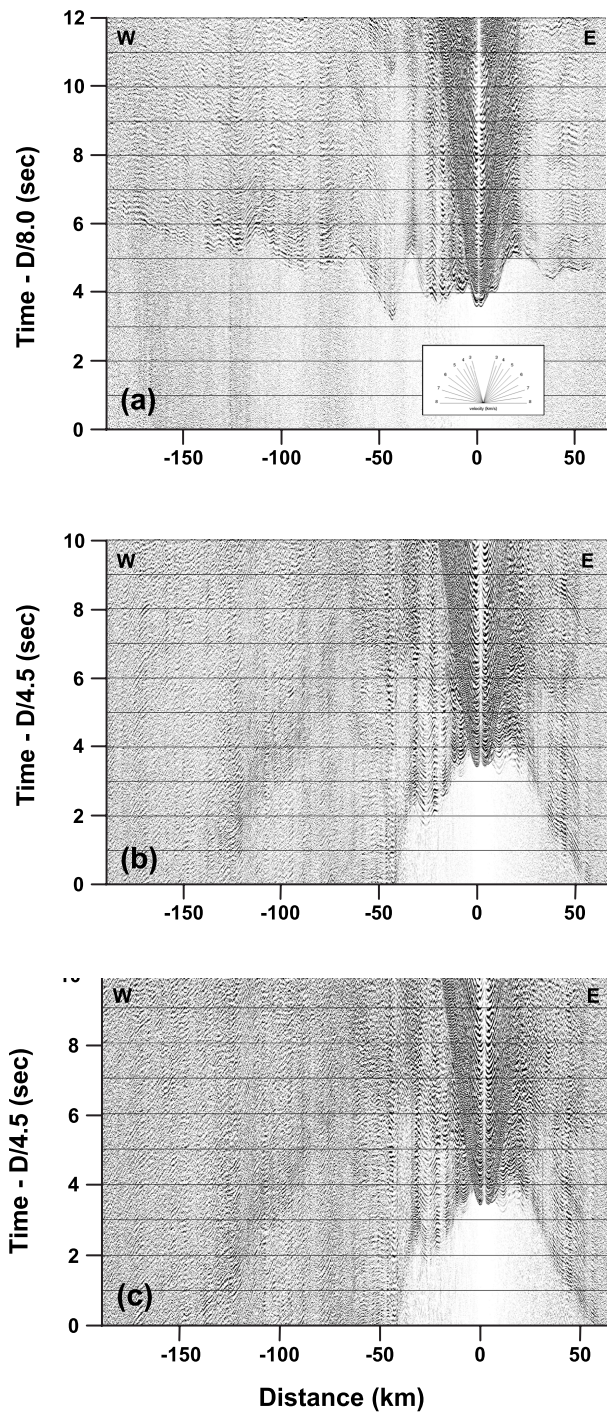
DAr4測線は測線に沿って海底地形が大きく変化するため、得られたレコードセクションも地震計の



第6図 南大東海盆上の海底地震計St.05002008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 sections for OBS St.05002008 on the Minami Daito 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.





第7図 沖ノ鳥島（パレスベラ）海盆上の海底地震計 St.05002098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. 05002098 on the Oki-no-Tori Shima (Parece Vela) Basin. (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.

位置によってそれぞれ異なる特徴を持つ。南大東海盆上で得られた St.05002008 の記録（第6図）の特徴は、オフセット 20 km 以内に見かけ速度およそ 5 km/s の信号の走時にジャンプがみられることである。これは、上部地殻内に速度逆転層が存在することを示唆する。また、東端の沖ノ鳥島（パレスベラ）海盆上の海底地震計 St.05002098 の記録（第7図）は、地震計のごく近傍から見かけ速度 8 km/s を示す屈折波がみられ、地殻の厚さが薄いことが推定される。この記録は S/N がよく、西方はオフセット 200 km まで信号が追跡できる。一方、堆積層下で P から S 波に変換した信号は東側オフセット 20 km、6 sec 近傍に存在するように見えるが、地形の凹凸のため位相が連続しておらず検出が困難である。この PS 変換波は、さらに東側の地震計でより明瞭に認めることができる。

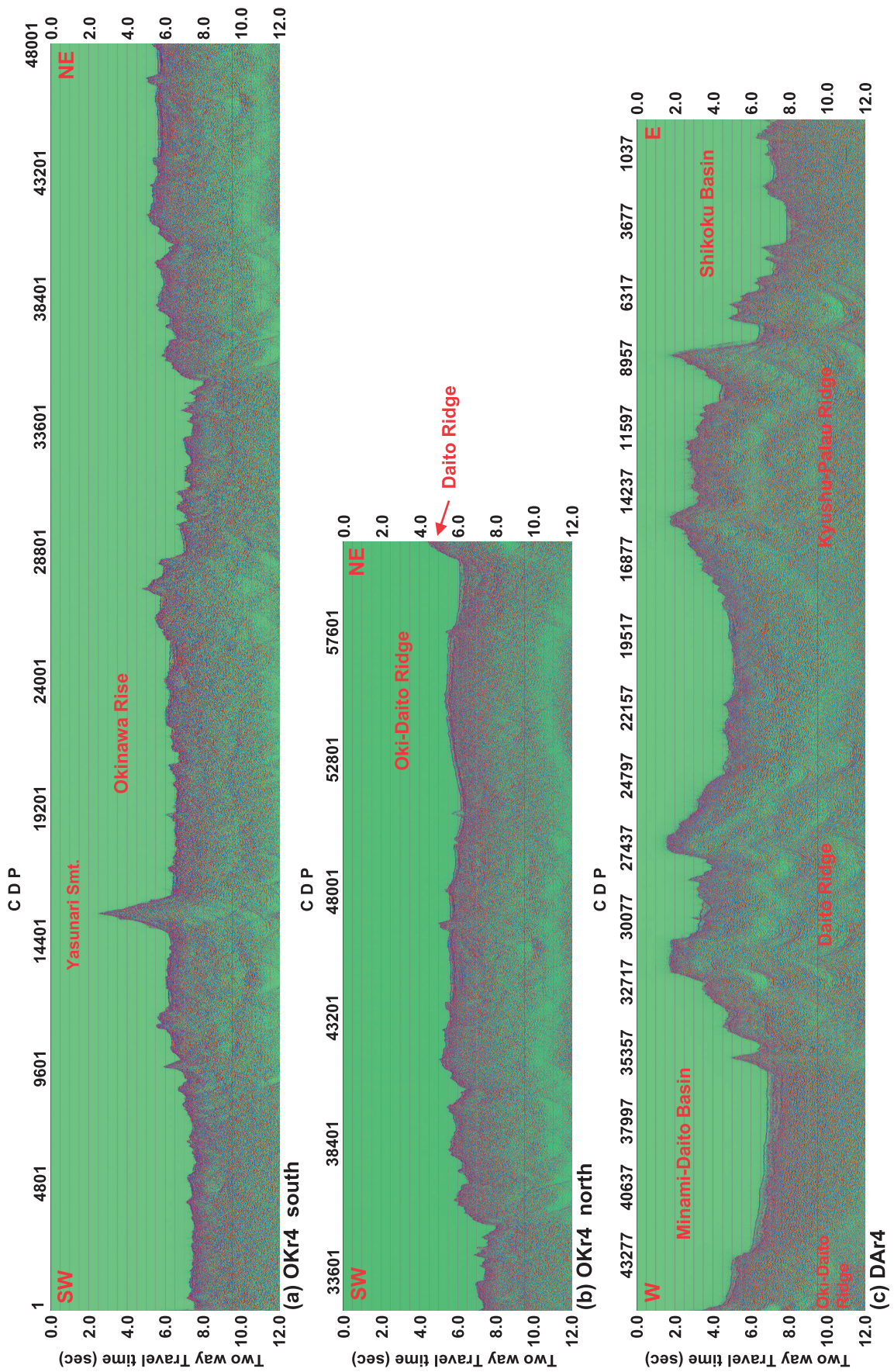
#### 反射法地震探査

第8図 (a, b) は OKr4 測線の time migration 図である。大東海嶺脚部を除き、全体的に堆積層は薄く、0.2 sec 程度である。海面下 10-11 sec の付近にモホ面らしきものが断続的に随所に見受けられる。沖縄海膨及び海膨北方の溝には、海底地形図からも確認されるように北西-南東方向に連なる断層が数多く存在するのが確認される。これらの断層により堆積層が寸断されており、また、溝の部分と海膨の堆積層厚がほぼ同程度のことから、沖縄海膨形成時には既に溝部が存在しており、海盆の拡大方向が変化する際に、断層が形成されたと推測される。

DAr4 測線の MCS 記録（第8図 (c)）では、四国海盆と九州パラオ海嶺の遷移域において堆積層が厚く発達しており、海底面下約 0.3 sec に記録されている強い反射面によって大きく 2 つのユニットに分けることができる。下位のユニット中では、四国海盆の拡大に伴い傾斜した堆積層とブロック構造を読み取ることができる。大東海嶺上では、gyot の浅部構造がイメージされており、海底面下約 1 sec 付近の反射面が基盤に相当すると考えられる。gyot の頂部の水深は約 2 sec であることから大東海嶺が約 1,500 m 沈降したことがわかる。南大東海盆で



第8図 マルチチャンネル反射法記録断面Time Migration図 (a) OKr4測線南部. (b) OKr4測線北部. (c) DAR4測線.  
Figure 8 MCS profiles. (a) Southern part of OKr4. (b) Northern part of OKr4. (c) DAR4.



は、0.5-1.0secの厚さをもつ堆積層がイメージされている。堆積層は沖大東海嶺側より大東海嶺側で厚く、強い反射面もより多い。大東海嶺側には海底面下約1secに特徴的な反射面を水平に読み取ることができる。

## 6 まとめ

今回、調査期間中1つの台風が来襲したが5～6月の穏やかな時期の作業であり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年目の調査であり、測線の一部が米軍の演習区域に入っていたので、事前に防衛庁、在日米軍の各関係基地へ直接赴き、詳細な説明を行い、協力を得て、円滑に調査を実施することができた。調査中エアガン、海底地震計等調査機器のトラブルが生じたが、これら諸問題に対応し、調査計画、技術的指導に携わってくだ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260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
- 平尾昌義, 沖野郷子, 山内明彦, 木村信介, 登崎隆志, 林田政和, 篠美幸, 池田清 (1992) : 「沖大東海嶺」の大陸棚調査速報, 水路部技報, 10, 67-73