

パレスベラ海盆メガムリオン域における精密地殻構造調査 ～2005年度第9-11次大陸棚調査 (SPr6, SPr8 及び SPr9 測線)～

田中喜年, 小澤誠志: 大陸棚調査室

宮寄進: 海洋調査課

阿部則之: 航法測地室

丸山章子: 海洋情報課

杉村哲也: 測量船「昭洋」

小山あずさ, 浜本文隆: 測量船「拓洋」

Seismic exploration in the megamullionarea, The Parece Vela Basin-H179-11th Continental Shelf Survey (Profile SPr6, SPr8 and SPr9)

Kitoshi TANAKA, Seiji OZAWA: Continental Shelf Surveys Office

Susumu MIYAZAKI: Hydrographic Survey Division

Noriyuki ABE: Geodesy and Geophysics Office

Noriko MARUYAMA: Oceanographic Data and Information Division

Tetsuya SUGIMURA: HL01 *Shoyo*

Azusa OYAMA, Fumitaka HAMAMOTO: HL02 *Takuyo*

1 序論

1990年代後半に入って、主に低速拡大海嶺の調査の進展に伴って発見された「海洋コアコンプレックス (oceanic core complex)」とは伸張場にある海底において低角の正断層 (デタッチメント断層) が発達し、断層運動に伴って地表に下部地殻やマントル物質が露出している構造であり、拡大方向に平行な畝模様 (コルゲーション) を伴うドーム状の地形の高まりを成すことから、「メガムリオン (megamullion)」と命名されている (Tucholke and Kleinrock, 1998). 海洋コアコンプレックスの発見の意義は、海底拡大系の拡大プロセスが、マグマによる海洋地殻の生成のみではなく、マグマを伴わない (マグマに乏しい) 断層運動によっても、担われていることを示すことである。

背弧海盆拡大系においては、フィリピン海のパレスベラ海盆拡大軸 (パレスベラリフト) から世界最

大規模の海洋コアコンプレックスが発見され、「ゴジラムリオン (Godzilla Mullion)」と命名されている (Ohara et al., 2001, 2003). ゴジラムリオンは、比較的高速の拡大速度で形成されたこと、規模が極めて大きいこと、極少量の部分融解しか経験していないマントルカンラン岩を産すること、などの際立った特徴を持っている (Ohara et al., 2003).

ゴジラムリオンの深部構造を明らかにし、その形成過程を理解することは、海洋リソスフェアの構造と拡大プロセスの研究、及びフィリピン海の構造発達史の解明にとって重要であり、我が国の大陸棚延伸のための基礎資料となるものである。そこで、大陸棚調査室では2005年10月から12月にかけて大型測量船「昭洋」及び「拓洋」により、パレスベラ海盆メガムリオン域 (第1図) において3航海にわたり屈折法地震探査を実施し、地震探査データの他にも、重力・海底地形データを合わせて取得した。ここでは、この地震探査の概要について報告する。

2 調査概要

2.1 調査海域

海域：パレスベラ海盆メガムリオン域

(第1図参照)

屈折法地震探査海上作業期間 (第1表)

第9次大陸棚調査 (「拓洋」2005/10/12-11/2)

第10次大陸棚調査 (「昭洋」2005/10/20-11/25)

第11次大陸棚調査 (「拓洋」2005/11/21-12/12)

探査測線 (第2図参照)

測線名 : SPr6

両端座標 : 北緯 15.00° 東経 138.70°

北緯 17.40° 東経 140.00°

測線長 : 約300 km (約162 n.m.)

座標系 : 世界測地系 (WGS84)

測線名 : SPr8

両端座標 : 北緯 16.10° 東経 140.00°

北緯 16.60° 東経 138.70°

測線長 : 約140 km (約76 n.m.)

座標系 : 世界測地系 (WGS84)

測線名 : SPr9

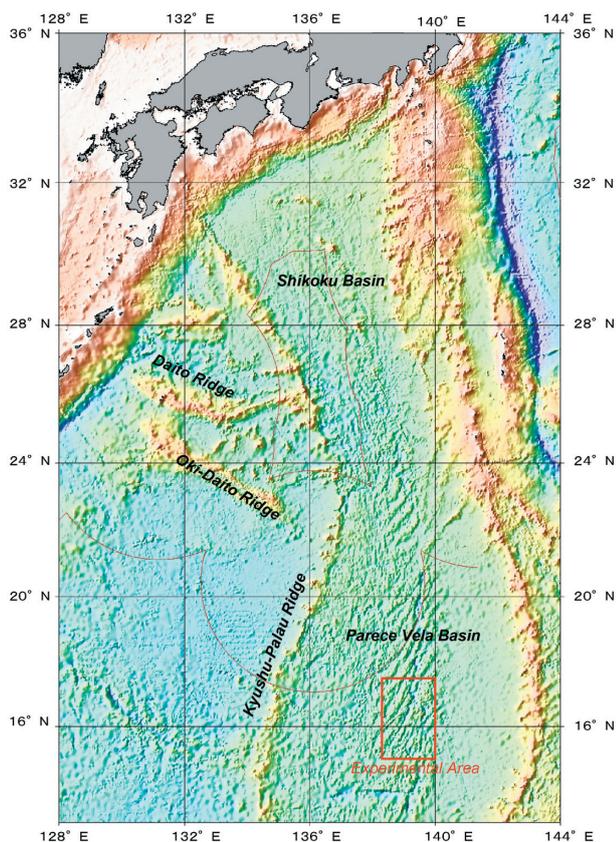
両端座標 : 北緯 15.40° 東経 139.80°

北緯 16.10° 東経 138.30°

測線長 : 約175 km (約94 n.m.)

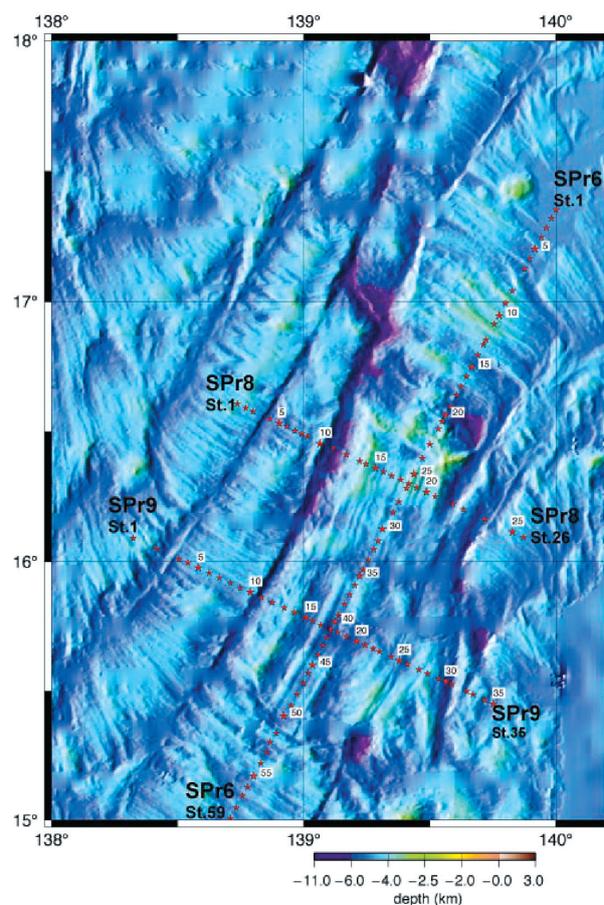
座標系 : 世界測地系 (WGS84)

今回の調査海域は、パレスベラ海盆の中央付近・拡大軸の西側に位置し、拡大方向に平行な畝を伴うゴジラムリオン (巨大なドーム状地形・メガムリオン構造) を平行・縦断する3本を設け、各測線にSPr6 (平行線), SPr8 (北側横断線), SPr9 (南側横



第1図 フィリピン海海底地形図。赤い枠が調査海域に該当する。

Fig. 1. Map of seafloor topographic features in the Philippine Sea. Red rectangle indicates experimental area.



第2図 調査海域図。赤い点は海底地震計設置点を示す。

Fig. 2. Map of experimental area. Red solid circles indicate OBS positions, respectively.

断線)と名付けた。

第10次調査では、屈折法地震探査に加えて、シングルチャンネルストリーマケーブルを用いた反射法地震探査も並行して実施した。

2.2 シングルチャンネル反射法地震探査

発震船 : S/V「昭洋」

曳航ケーブル

曳航深度 : 16 m

GPSアンテナケーブル間距離 : 197 m

震源 : non-tunedエアガンアレイ

往路

震源容量 : 6000 inch³ (98.3 ℓ)

内部圧力 : 2000 psi (13.79 MPa)

曳航深度 : 10 m

発震間隔 : 200 m (90-100 sec)

復路

震源容量 : 700 inch³ (11.5 ℓ)

内部圧力 : 2000 psi (13.79 MPa)

曳航深度 : 10 m

発震間隔 : 20 sec (約80 m)

記録長 : 10 sec with delay

サンプリングレート : 0.999 msec

測位 : 単独測位 GPS

本調査では、反射法探査における人工震源として、往路は屈折法地震探査と共有したため、4台のBOLT社製1,500 long life airgun (1,500 inch³, 24.6 ℓ)で構成されるnon-tunedエアガンアレイを、復路は、2台のBOLT社製350 long life airgun (350 inch³, 5.7 ℓ)で構成されるnon-tunedエアガンアレイを使用した。

ケーブルの曳航方式は金田他 [2005] と同様である。

2.3 屈折法地震探査

発震船 : S/V「昭洋」

海底地震計設置間隔 : 約4 - 8 km (SPr6)

約3 - 13 km (SPr8)

約3 - 11 km (SPr9)

海底地震計使用台数 : 59台 (SPr6)

26台 (SPr8)

35台 (SPr9)

震源 : non-tunedエアガンアレイ

震源容量 : 6000 inch³ (98.3 ℓ)

内部圧力 : 2000 psi (13.79 MPa)

曳航深度 : 10 m

発震間隔 : 200 m (90-100 sec)

測位 : 単独測位 GPS

人工震源として、4台のエアガン (1500 inch³ : 24.6 ℓ) で構成されるnon-tunedエアガンアレイ (総容量6000 inch³ : 98.3 ℓ) を用いた。

エアガン曳航方式及びデータ収録システムはこれまでの地殻構造調査 (金田他, 2005) と同じである。

2.4 使用機器仕様

シングルチャンネルストリーマケーブル

SIG製

ケーブル長 : 200 m

ハイドロフォン : SIG16

感度 : -90 ± 1 dB re 1 V / μPa

総数 : 48個

BENTHOS製

ケーブル長 : 200 m

ハイドロフォン : MESH100/200P

感度 : -194 ± 1.5 dB re 1 V / μPa

総数 : 50個

曳航ケーブルは、往路においてはSIG製アナログストリーマケーブル、復路においてはBENTHOS製アナログストリーマケーブルを使用した。途中、SIG製ケーブルにおいては反射信号が得られない状況が何度も発生し、予備のケーブルと交換した。船上でのオシロスコープによる受信テストは良好であったが、曳航を開始すると反射信号が得られなかった。

原因究明のため、2006年2月9日 (船上)、2月22日 (海上) にメーカーによる動作確認テストが実施された。詳細については、現在調査中であるが、曳航

による断線・接触不良及び海水の侵入等による電氣的な障害が生じていることが原因と推測される。

いずれのストリーマーケーブルも最前部のハイドロフォンセンサーを測量船のGPSアンテナから約200 m離して曳航した。

本調査では記録波形を随時モニターし、水深の変化に合わせてディレイタイムを0-6 secに変化させてデータ収録を行った。データ収録システムは片桐他 [2005] と同様である。

海底地震計

東京測振製 TOBS-24N 型

海底地震計の機器仕様は林田他 [2005] に詳細が記されている。

3 調査経過概要

各次の大陸棚調査日程・行動に関しては第1表にまとめておく。各行動では、上乗りとして、大陸棚調査室員3人が乗船した。

地震計投入・設置作業

海底地震計は、2005年10月16日から20日にかけて「拓洋」(第9次調査)によりSPr6に19台、SPr8に26台、SPr9に35台、合わせて80台を設置、10月23日から24日にかけて「昭洋」(第10次調査)によりSPr6に40台が設置された。

本調査における海底地震計の投入計画位置、投入位置、着底算出位置は第2表に掲げる。

海底地震計距離測定作業

海底地震計着底位置の緯度・経度は、投入地点から調査測線に対し垂直方向にはほぼ水深距離離れた海面上の異なる1点から海底地震計までの斜距離を船上支援装置(日油技研工業株式会社)を用いて測定し、地球をGRS80回転楕円体(長径6378137 m, 扁平率 $1/298.257222101$)と考えて算出したもので、算出位置誤差は50 m以内である。着底位置を算出する際に使用した緯度・経度は、トランスデューサー投入舷門直上に設置したGPSアンテナで取得された値を使用している。また、着底位置の水深は、「昭

洋」搭載のナローマルチビーム測深機SEABEAM 2112によって取得された値を採用した。

海底地震計は沈降時に海流の影響を受けて流されるため、投入位置と着底算出位置にずれが生じる。

エアガン発震作業

エアガン発震は、「昭洋」により、2005年10月26日から11月4日にかけて行われた。本探査中はエアガン等の故障は生じなかったため、エアガン発震の欠損部は生じていない。

しかし、現行の「昭洋」の発震システムでは座標(緯度・経度)による発震点指定はできず、今回往路は一定の走航距離で発震するシステムを採用したため、潮流・風等の影響を受けて発震点間隔の標準偏差は20 m程度になっている。エアガン発震位置の詳細は第2表にまとめておく。「昭洋」に設置したGPSは単独測位であることに加え、エアガンが海流の影響を強く受けて位置が変化するため、第3表に記した発震位置は20 m程度の誤差を含んでいるものと推測される。

海底地震計揚収作業

海底地震計は、2005年11月4日から5日、11月14日から21日にかけて「昭洋」(第10次調査)により63台、2005年11月25日から12月4日にかけて「拓洋」(第11次調査)により57台揚収され、計120台全て揚収することができた。

海底地震計の切り離しは地震計投入位置近辺で実施した。海底地震計が切り離し信号を受信してから電蝕により切り離されるまでの平均時間は約2分、海底地震計の平均浮上速度は約45 m/minであった。

海底地震計の浮上確認は、測量船搭載の方向探知機及び小型受信機にて行い、ほとんどの場合、ビーコン信号を受信してから数分以内に海底地震計を発見している。発見から甲板に揚収するまでの平均時間は約12分で、海底地震計揚収作業は順調に実施された。

第1表 2005年第9-11次大陸棚調査行動表
Table 1 Ship operation in the 9-11th Continental Shelf Survey 2005.

日付	行動
第9次大陸棚調査「拓洋」 2005/10/12 - 2005/11/2	
10/16	OBS投入 (SPr8 St.15 - St.26)
10/17	OBS投入 (SPr8 St.1 - St.14)
10/18	OBS投入 (SPr9 St.1 - St.19)
10/19	OBS投入 (SPr9 St.20 - St.35, SPr6 St.41 - St.44)
10/20	OBS投入 (SPr6 St.45 - St.59) OBS位置測定 (SPr6 St.59 - St.55)
10/21	OBS位置測定 (SPr6 St.54 - St.41, SPr9 St.13 - St.17)
10/22	OBS位置測定 (SPr9 St.18 - St.35)
10/23	OBS位置測定 (SPr9 St.1 - St.8, SPr8 St.1 - St.5)
10/24	OBS位置測定 (SPr9 St.6 - St.26)
第10次大陸棚調査「昭洋」 2005/10/20 - 2005/11/25	
10/23	OBS投入 (SPr6 St.1 - St.24)
10/24	OBS投入 (SPr6 St.25 - St.40), OBS位置測定 (SPr6 St.28 - St.40)
10/25	OBS位置測定 (SPr6 St.1 - St.27)
10/26	エアガン・シングルチャンネルハイドログラフストリーマー投入, SPr6 往路入線 (N→S)
10/27	SPr6 測量中
10/28	SPr6 往路出線, SPr9 往路入線 (E→W)
10/29	SPr9 往路出線
10/30	SPr8 往路入線 (W→E)
10/31	SPr8 測量中
11/1	SPr8 往路出線, エアガン・シングルチャンネルハイドログラフストリーマー交換, SPr8 復路入線・出線 (W→E)
11/2	SPr9 復路入線 (E→W)・出線
11/3	SPr6 復路入線 (S→N)・出線
11/4	エアガン・シングルチャンネルハイドログラフストリーマー揚収, OBS揚収 (SPr6 St.1 - St.5)
11/5	OBS揚収 (SPr6 St.7 - St.11)
11/14	OBS揚収 (SPr6 St.55 - St.59)
11/15	OBS揚収 (SPr6 St.49 - St.54)
11/16	OBS揚収 (SPr6 St.41 - St.48)
11/17	OBS揚収 (SPr6 St.33 - St.40)
11/18	OBS揚収 (SPr6 St.25 - St.32)
11/19	OBS揚収 (SPr6 St.17 - St.24)
11/20	OBS揚収 (SPr6 St.6, SPr6 St.12 - St.16)
11/21	OBS揚収 (SPr8 St.23 - St.26)
第11次大陸棚調査「拓洋」 2005/11/21 - 2005/12/12	
11/25	OBS揚収 (SPr8 St.1 - St.6)
11/26	OBS揚収 (SPr8 St.7 - St.12)
11/27	OBS揚収 (SPr8 St.13 - St.18)
11/28	OBS揚収 (SPr8 St.19 - St.22)
11/29	OBS揚収 (SPr9 St.30 - St.35)
11/30	OBS揚収 (SPr9 St.24 - St.29)
12/1	OBS揚収 (SPr9 St.18 - St.23)
12/2	OBS揚収 (SPr9 St.12 - St.17)
12/3	OBS揚収 (SPr9 St.6 - St.11)
12/4	OBS揚収 (SPr9 St.1 - St.5)

第2表 エアガンショット記録
Table 2 Air-gun shot log

Shot No.	SPr6 6000 inch ³		air-gun array		Depth(m)
	Latitude(N)	Longitude(E)	Latitude(N)	Longitude(E)	
6	17°	23.6859'	140°	1.4761'	4,856
201	17°	5.0619'	139°	51.0128'	4,138
400	16°	45.975'	139°	40.4358'	5,099
599	16°	26.8473'	139°	29.9279'	4,175
805	16°	7.0707'	139°	19.0411'	4,437
1005	15°	47.8746'	139°	8.5081'	4,939
1203	15°	28.8543'	138°	58.0891'	4,665
1403	15°	9.6218'	138°	47.6485'	5,108
1525	14°	57.9076'	138°	41.2383'	5,170

Shot No.	SPr6 700 inch ³		air-gun array		Depth(m)
	Latitude(N)	Longitude(E)	Latitude(N)	Longitude(E)	
11	15°	1.0316'	138°	39.366'	4,713
461	15°	11.8168'	138°	48.8929'	4,690
1001	15°	32.9387'	139°	0.4304'	4,934
1540	15°	54.3898'	139°	12.1435'	4,399
2080	16°	16.0821'	139°	24.0408'	3,971
2440	16°	30.6165'	139°	32.0669'	4,217
2980	16°	52.1834'	139°	43.9747'	4,093
3520	17°	13.5238'	139°	55.7938'	4,751
3771	17°	23.5428'	140°	1.3932'	4,857

Shot No.	SPr8_1 6000 inch ³		air-gun array		Depth(m)
	Latitude(N)	Longitude(E)	Latitude(N)	Longitude(E)	
8	16°	37.5492'	138°	41.5405'	4,390
201	16°	28.6688'	139°	1.3503'	4,860
407	16°	19.1702'	139°	22.4682'	4,060
605	16°	9.9773'	139°	42.7084'	5,705
730	16°	4.1'	139°	55.4'	4,971

Shot No.	SPr8_2 6000 inch ³		air-gun array		Depth(m)
	Latitude(N)	Longitude(E)	Latitude(N)	Longitude(E)	
63	16°	3.713'	139°	55.6032'	4,977
202	16°	10.3906'	139°	41.7874'	5,696
404	16°	19.7803'	139°	21.126'	4,326
602	16°	28.9097'	139°	0.8267'	4,800
790	16°	37.4997'	138°	41.5181'	4,352

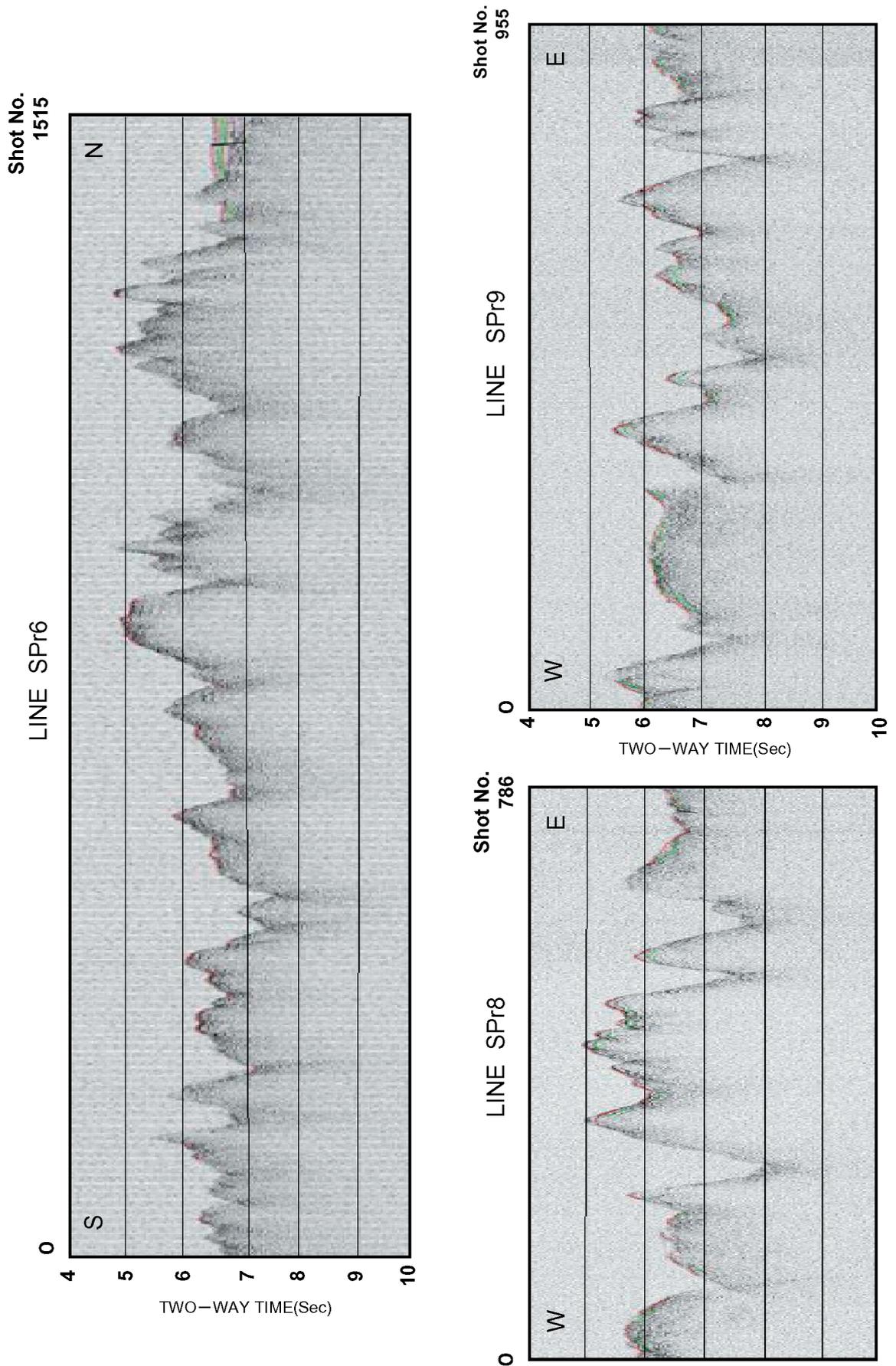
Shot No.	SPr8 700 inch ³		air-gun array		Depth(m)
	Latitude(N)	Longitude(E)	Latitude(N)	Longitude(E)	
339	16°	37.5227'	138°	41.6052'	4388
557	16°	33.3852'	138°	50.8114'	5384
1008	16°	24.7423'	139°	10.0555'	5617
1457	16°	16.2783'	139°	28.8024'	4213
2066	16°	4.4925'	139°	54.8973'	4908

Shot No.	SPr9 6000 inch ³		air-gun array		Depth(m)
	Latitude(N)	Longitude(E)	Latitude(N)	Longitude(E)	
12	15°	24.7071'	139°	51.8977'	4,626
207	15°	32.9899'	139°	31.7359'	4,735
404	15°	42.0497'	139°	11.9231'	5,624
604	15°	51.1902'	138°	51.1412'	5,129
802	16°	0.2399'	138°	30.8547'	5,041
939	16°	6.5221'	138°	16.8172'	4,606

Shot No.	Spr9 700 inch ³		air-gun array		Depth(m)
	Latitude(N)	Longitude(E)	Latitude(N)	Longitude(E)	
144	15°	25.7651'	139°	47.7152'	4,763
621	15°	34.7441'	139°	27.8374'	4,589
1161	15°	44.9996'	139°	5.1191'	5,129
1521	15°	51.9898'	138°	49.4635'	5,364
2061	16°	2.3544'	138°	26.2287'	5,203
2282	16°	6.5617'	138°	16.854'	4,657

第3表 海底地震計位置座標表
Table 3 Information of OBS position.

Table with 10 columns: OBS, 観測点番号, 投入予定位置 (緯度, 経度, 水深), 投入位置 (緯度, 経度, 水深), 海底位置 (緯度, 経度, 水深), 回収, 観測点番号, OBS, 投入予定位置 (緯度, 経度, 水深), 投入位置 (緯度, 経度, 水深), 海底位置 (緯度, 経度, 水深), 回収.



第3図 シングルチャンネル反射記録断面図.
Fig. 3. Single channel seismic profiles.

4 取得データ

4.1 シングルチャンネル反射法地震探査

第3図に、反射法探査により得られた記録断面図を示す。

取得されたシングルチャンネルプロファイルでは、SPr6北端の大洋底部の堆積層の存在は確認できるが、ゴジラムリオン上の堆積層の構造は鮮明ではない。また、基盤岩と堆積層との境界面からの信号も起伏が激しいため、ほとんど確認できない。凹部にわずかに堆積物が見られる。

4.2 海底地震計

投入した海底地震計は120台すべて揚収したが、SPr6のSt.2, St.26, St.53, St.59及びSPr8のSt.26の5点については、PCヘデータを転送している最中に地震計本体の電源が落ちたため、地震計内部時計のずれの計測が必要数3回のうち、揚収直後の1回しか出来なかった。

SPr6のSt.19, St.22, St.24及びSt.25の4台については、全データにおいて、収録間隔（サンプリングレート）が200Hzから50Hzに変更されており、4分の1程度のデータ数しか採れなかった。また、SPr8のSt.26においては、一部データに異なった収録間隔（サンプリングレート）が存在し、データの切り出しに手間がかかった。

これらについては、メーカーによる原因究明がなされたが、収録間隔が変更されるというエラーの再現が出来なかったため、はっきりした原因は不明である。しかし、それらを自動的にチェックする機能を加えたことにより、今後発生しないものと思われる。

海底地震計で取得された記録の例として、各測線1台ずつの記録セクション（上下動、水平動2成分）を示す（第4図）。

(1) SPr6 測線

SPr6測線は、ゴジラムリオンを北北東-南南西方向に縦断する測線である。St.23 - St.51がマリオン上に設置された地震計である。ほぼ中央部、マリオン内のやや高まった領域に設置された地震計St.27

で得られた記録セクションを第4図（左）に示した。上下動記録において、初動は海底地形の起伏を反映して、顕著な凹凸を示す。地震計の南西側オフセット15 - 30kmではモホ面からの反射波PmPと推測される後続波が見られる。水平動記録ch2の同オフセット付近では、最上部マントルを伝播した屈折波Snを検出することができる。

(2) SPr8 測線

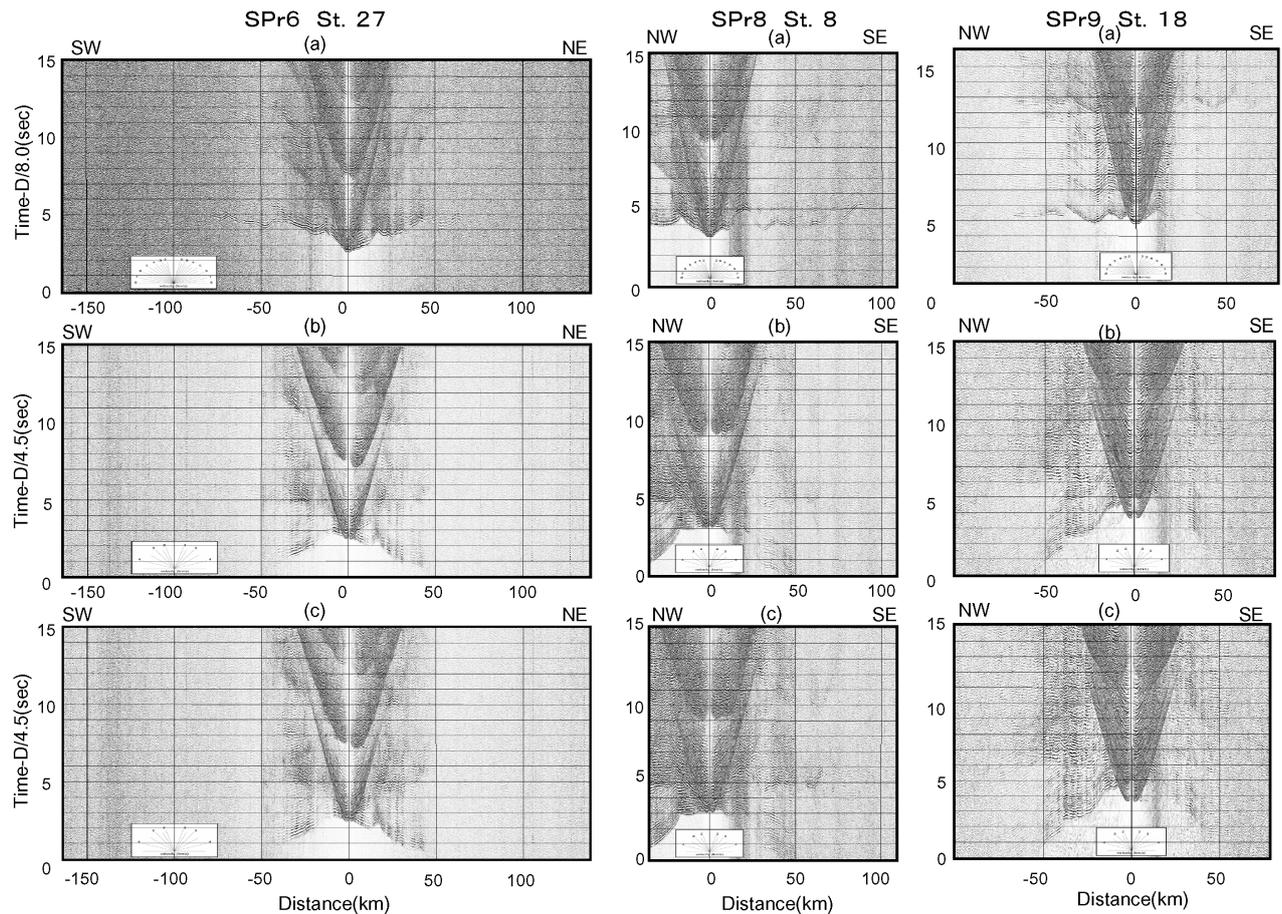
SPr8測線は、ゴジラムリオンの水深の浅い領域をほぼ東西方向に横断している。St.12 - St.22がマリオン上に設置された地震計である。SPr6測線とはSt.18で交差している。マリオンの東側の海盆底St.8で得られた記録セクションを第4図（中央）に示す。上下動記録では、南西側オフセット40kmで初動の振幅が急減することが特徴的である。マリオン下を伝播した屈折波が初動としてオフセット80km近傍まで追跡できる。また、水平動記録では、地殻および最上部マントル内を伝播したS波が明瞭に観測されている。

(3) SPr9 測線

SPr9測線は、ゴジラムリオンの水深の深い領域をほぼ東西方向に横断している。St.12 - St.25がマリオン上に設置されている地震計である。マリオンの中心付近であり、かつSPr6測線との交点であるSt.18で得られた記録セクションを第4図（右）に示す。上下動記録においては、オフセット40km以内のマリオン内の範囲では初動の起状が大きい、北西側のマリオン外の見かけ速度は8 km/s程度と見積もることができる。また、水平動記録では、地震計の北西側で最上部マントル内を伝播した屈折波S波が明瞭に観測されている。

5 総論

屈折法地震探査は3測線を通じて良好なデータを取得することができた。これによって、ゴジラムリオンの深部構造を明らかにし、その形成過程を理解することにより、大陸棚延伸のための基礎資料を構築するという当初の目的は十分達成可能であると思われる。



第 4 図 SPr6 測線 St.27, SPr8 測線 St.8 および SPr9 測線 St.18 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。
 Fig. 4. Record sections for OBS St.27 on profile SPr6 (left), OBS St.8 on profile SPr8 (center) and OBS St.18 on profile SPr9 (right). (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.

謝辞

本探査を通じて多大な御援助・御支援をして下さった測量船「昭洋」・「拓洋」の船長及び乗組員の方々に深く感謝の意を表します。また、当探査計画に携わり、多くのご助言・提言下さった大陸棚調査室及び海洋研究室の方々に御礼申し上げます。

参 考 文 献

金田謙太郎, 下村広樹, 志岐俊郎, 小山あずさ, 伊藤清寿, 林田政和, 池田耕作, 瀬田英憲, 佐伯充敏, 谷口克伸: 南鳥島周辺海域屈折法地震探査, 海洋情報部技報, 23, 8-22, (2005)

片桐康孝, 阿部則幸, 浜本文隆, 小澤誠志, 志岐俊郎, 下村広樹, 小山あずさ, 松本正純: 九州・パラオ海嶺北部における精密地殻構造調査 (予報), 海洋情報部技報, 23, 23-32, (2005)
 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)
 Ohara Y., Yoshida T., Kato Y. and Kasuga S.: Giant megamullionin the Parece Vela backarc basin, Marine Geophysical Researches, 22, 47-61, (2001)
 Ohara Y., Fujioka K., Ishii T. and Yurimoto H.: Peridotites and gabbros from the Parece Vela

backarc basin : unique tectonic window in an extinct backarc spreading ridge, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 4 (7), 8611, DOI: 10.1029/2002GC000469, (2003)

Tucholke B., Lin J. and Kleinrock M. : Megamullions and mullion structure defining oceanic metamorphic core complexes on the Mid-Atlantic Ridge, *Journal of Geophysical Research*, 103, 9857-9866, (1998)