

日本海溝前弧域(宮城沖)における地震学的探査—KY9905航海—

三浦 誠一^{*1} 高橋 成実^{*2} 仲西 理子^{*1}
小平 秀一^{*1} 金田 義行^{*1}

1999年7月から8月にかけて、日本海溝・宮城沖前弧域にて海底地震計(OBS)とエアガンを用いた深部構造探査を実施した。本論では探査概要と取得したデータの紹介および暫定的な解析結果について報告する。

探査測線は太平洋プレートから海岸線近傍に至る、測線長約270kmである。エアガンの総容量は12000立方インチで、発震間隔は50mである。探査には36台のOBSを使用した。記録は良好で、概ね全測線で発震したエアガン信号が確認できる。

島弧地殻は表層の堆積層2層、白亜紀堆積層、島弧上部地殻および島弧下部地殻で構成される。島弧のモホ面は海溝軸約100kmから陸側で存在し、深さ20km程度ある。マントルウェッジのP波速度は8km/sである。海洋性地殻の沈み込み角度は100km付近まで4-5度であり、それより陸側で9度と角度を増す。また海洋性地殻下部の上部マントルのP波速度は8km/s程度である。

キーワード：日本海溝, 宮城沖, 地震学的探査, エアガン, 海底地震計

Seismic experiment in the Japan Trench fore arc region (off Miyagi) -KY9905 cruise-

Seiichi MIURA^{*3} Narumi TAKAHASHI^{*4} Ayako NAKANISHI^{*3}
Shuichi KODAIRA^{*3} Yoshiyuki KAMEDA^{*3}

We carried out a seismic survey using ocean bottom seismometer (OBS) and an airgun array off Miyagi fore arc region from July to August 1999. This paper reports an outline of our survey, data examples, and a velocity model still in progress.

Our seismic line was 270-km length, which was from Pacific Plate to near coastline. Total airgun chamber size was 12000 cu. in., and shot interval was 50m. Thirty-six OBSs were used and recorded well airgun signals almost all shots.

Island arc crust is composed by five layers; two sedimentary layers, Cretaceous sediments, island arc upper crust, and island arc lower crust. Island arc Moho exists between 100-km landward from trench axis and coastline, and about 20 km below sea level. P-wave velocity of mantle wedge is 8 km/s. Dip angle of subducting oceanic crust is 4-5 degree from trench axis to 100-km landward point, and 9 degree landward. P-wave velocity of uppermost mantle below oceanic crust is about 8 km/s.

Keywords : Japan Trench, off Miyagi, seismic experiments, airgun, ocean bottom seismometer

*1 海底下深部構造フロンティア

*2 深海研究部

*3 Frontier Research Program for Subduction Dynamics

*4 Deep Sea Research Department

1. はじめに

日本海溝は東北日本弧の東方にあり、太平洋プレートが沈み込んでいる(図1)。このプレート運動に従って地震が発生しており、これらの多くは低角逆断層型の地震と考えられている¹⁾。太平洋プレートは日本海溝に沿って一様に沈み込んでいるように思われるが、日本海溝周辺での地震の起こり方は海溝軸に沿って一様ではない。

マグニチュード(M)7以上の巨大地震は日本海溝北部の三陸沖や青森沖などで多く発生している。一方、日本海溝南部の福島沖では1938年の塩屋崎沖地震(M7.0-7.5)が最大規模であり過去数百年間巨大地震は起きていないという報告²⁾もある。実際、塩屋崎沖地震の後には1982年にM7.0の地震が起きているのみで、福島沖で巨大地震が少ない。

微小地震までも含めた定常的地震活動も日本海溝に沿って一様ではない。海溝軸の海側における地震は三陸沖で見られるが福島沖では非常に少ない。海溝軸の陸側には地震活動の低調なアサシミックゾーンが提唱されているが、その幅が三陸沖では約50km³⁾⁴⁾なのに対し福島沖では約100km⁴⁾⁵⁾と大きく異なっている。震央分布は密な部分と疎な部分のように数十キロメートル規模のクラスター状になっている(図1)。

宮城沖は南北の走向をもつ日本海溝の中央部に位置し、北部と南部の走向が変化する場となっている。この海域では1978年に宮城県沖地震(M7.4)が発生し、海岸線に近接した破壊域によって、近接する仙台市などに多数の被害をもたらした。この地震も太平洋プレートの沈み込みによるプレート境界型の地震と考えられている。また1897年(M7.4, M7.7)、1936年(M7.5)にもほぼ同じ海域で地震が発生している。約40年間隔で巨大地震が繰り返し起こる場であり、この海域の深部構造を明らかにすることは興味深い。

日本海溝における構造探査は1960年代から屈折法、反射法など数多く行われてきた⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾。それらによると、陸側前弧域には不整合面が広く分布しており、この不整合面は白亜紀―第三紀不整合面に対応していること、白亜紀の層はP波速度4km/s程度であることがわかっている。また日本海溝の南北である三陸沖および福島沖で詳細な構造探査が行われ、海溝軸近傍およびプレート境界部の低速度領域の存在、プレートの沈み込み角度など、南北での違いが明らかになっている¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾。しかし宮城沖においては、プレート境界部までを明らかにする深部構造探査はこれまで実施されていない。

探査の目的は、1)1978年宮城県沖地震の破壊域を通る探査測線による、破壊域周辺の深部構造を明らかにすること、2)日本海溝に沿って非一様な分布をしている地震活動と関連する構造的特徴を明らかにすること、である。本論では探査概要と取得したデータの紹介および暫定的な解析結果について報告する。

2. 探査概要

本論で使用するデータは海洋科学技術センター(JAMSTEC)が実施した、日本海溝の宮城沖(KY9905次航海)で

の調査航海で取得したものである。調査航海に使用した船舶はJAMSTECの海洋調査船「かいよう」である。「かいよう」に搭載していた12000立方インチのエアガンアレイを制御震源とし、50m間隔で発震した。探査期間中は、海況等により探査測線を複数回にわたってエアガン発震を行った。詳細を表1に示す。

探査期間中に36台の海底地震計(OBS)を約2マイル(約3.6km)間隔で展開し、エアガン記録を収録した。投入・回収位置等の詳細を表2に示す。OBSの設置・回収方法は音響通信によって錘を切り離す自己浮上式である¹⁵⁾。また「かいよう」の音響航法装置を利用して、海底および浮上中のOBS位置をより詳細に把握することができた。各OBSには固有周波数4.5Hzのセンサー3成分とハイドロフォンを搭載している。センサーに受震した信号はサンプル周波数100Hz、16ビットでA/D変換したのち、DATテープに記録する¹⁶⁾。

またエアガン発震中には12チャンネルのハイドロフォンストリーマーを曳航し、OBS探査と同時にマルチチャンネル反射法地震探査(MCS)も実施した。その記録例を図3に示す。海底地形の複雑な起伏、沈み込む海洋性地殻などの様子が確認できる。また島弧側の海底下1-2秒下に強振幅の反射面が見られる。この反射面は三陸沖や福島沖で見られる白亜紀―第三紀不整合面と考えられる¹⁰⁾¹¹⁾。

3. データ

OBSは海溝軸に直交するMY102測線上に36台設置した。測線長は約270kmである。記録状況は良好で、概ね全測線で発震したエアガン信号が確認できる。このうち処理の進んでいる10台(OBS01, OBS05, OBS09, OBS12, OBS17, OBS21, OBS24, OBS28, OBS32, OBS36)について記録を示し、記録上の屈折波、反射波の相について記述する(図4)。

3.1. OBS01

OBS01はMY102の西端点から約54kmに位置し、水深は1045mである(図4(a))。OBSの西側は震央距離4kmから5kmまで見かけ速度1.7 km/s、震央距離5kmから6kmまで見かけ速度2.5km/s、震央距離6kmから8kmまで見かけ速度4.1km/sの屈折波走時が初動として確認できる。また震央距離8kmから32kmまで見かけ速度6.0km/s程度の屈折波走時が初動として確認できるが、海底地形の影響と見られる連続的な見かけ速度変化がみられる。震央距離32kmから50kmまで初動と考えられる屈折波走時が見かけ速度6.8km/sから8.0km/s程度まで連続的に変化している。OBSの東側は震央距離4kmから5kmまで見かけ速度1.8km/sの屈折波走時が初動として確認できる。その後続として見かけ速度2.6km/sの屈折波走時が確認できる。また震央距離5kmから8kmまで見かけ速度4.2km/sの屈折波走時が初動として確認でき、震央距離8kmから45kmまで初動の見かけ速度5.6km/sから5.0km/sまで連続的に変化する。また震央距離45kmから90kmまで初動が下に凸の形状で見かけ速度が連続的に変化する。震央距離90kmから140kmまでは見かけ速度6.4km/s前後で連続的に変化している。震央距

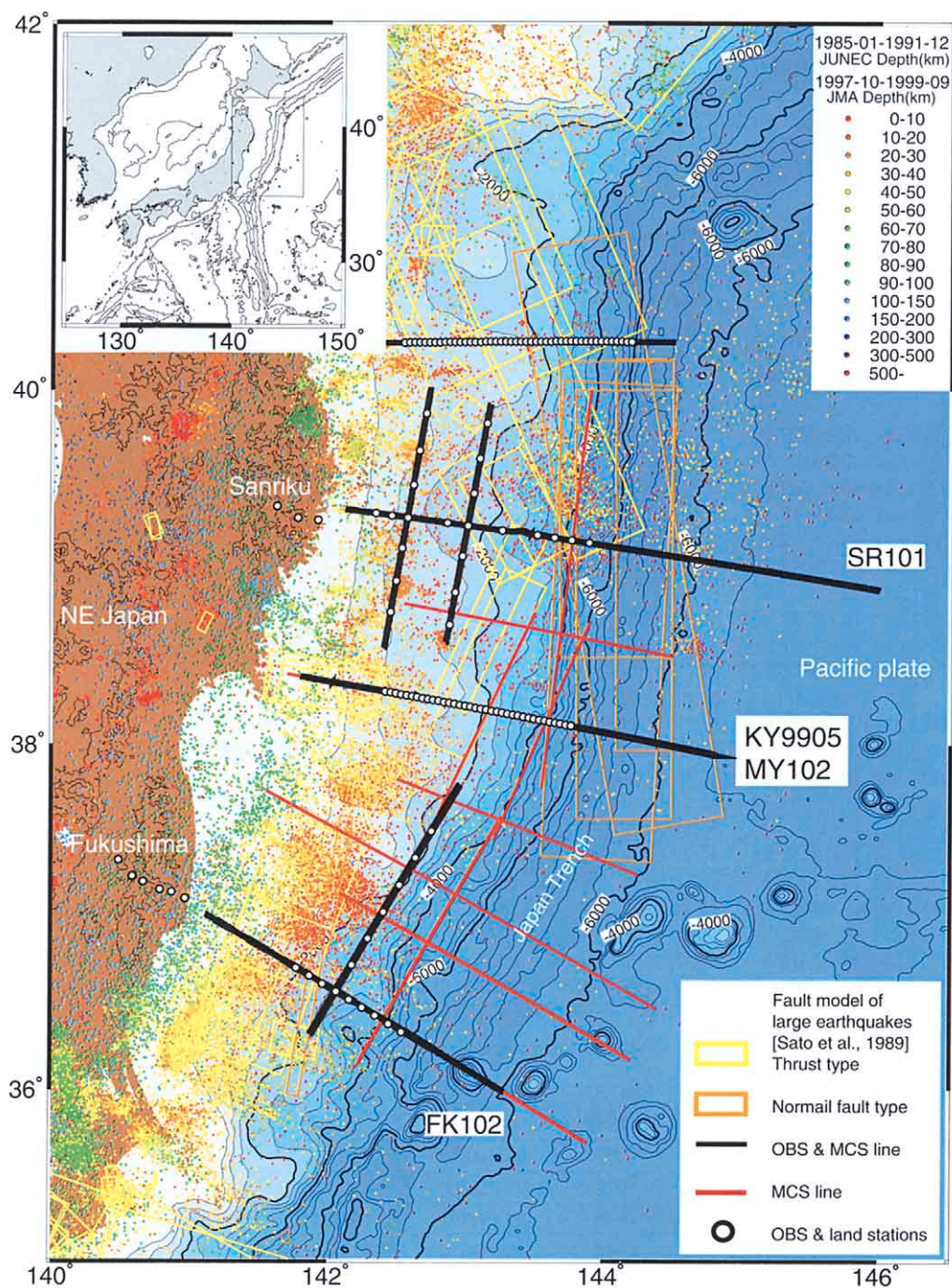


図1 東北日本周辺図

赤線はMCS測線，黒線はOBS・MCS測線，白丸はOBSおよび陸上レコーダーの設置点を示す。黄色と橙色の長方形は佐藤他[1989]による巨大地震の破壊域を示す。色つきの丸は定常的地震活動を示す。1985年から1991年の期間は国立大学観測網地震カタログ震源ファイル(JUNEC)，1997年10月から1999年9月の期間は気象庁(JMA)の震源情報を使用した。

Fig. 1 Map around NE Japan

Red lines are MCS lines, black lines are OBS and MCS lines. White circles are deployment positions of OBS and land stations. Yellow and orange rectangles are rupture zone of large earthquakes [Sato et al., 1989]. Colored circles are hypocenters determined by JUNEC (1985-1991) and JMA (Oct. 1997- Sep. 1999).

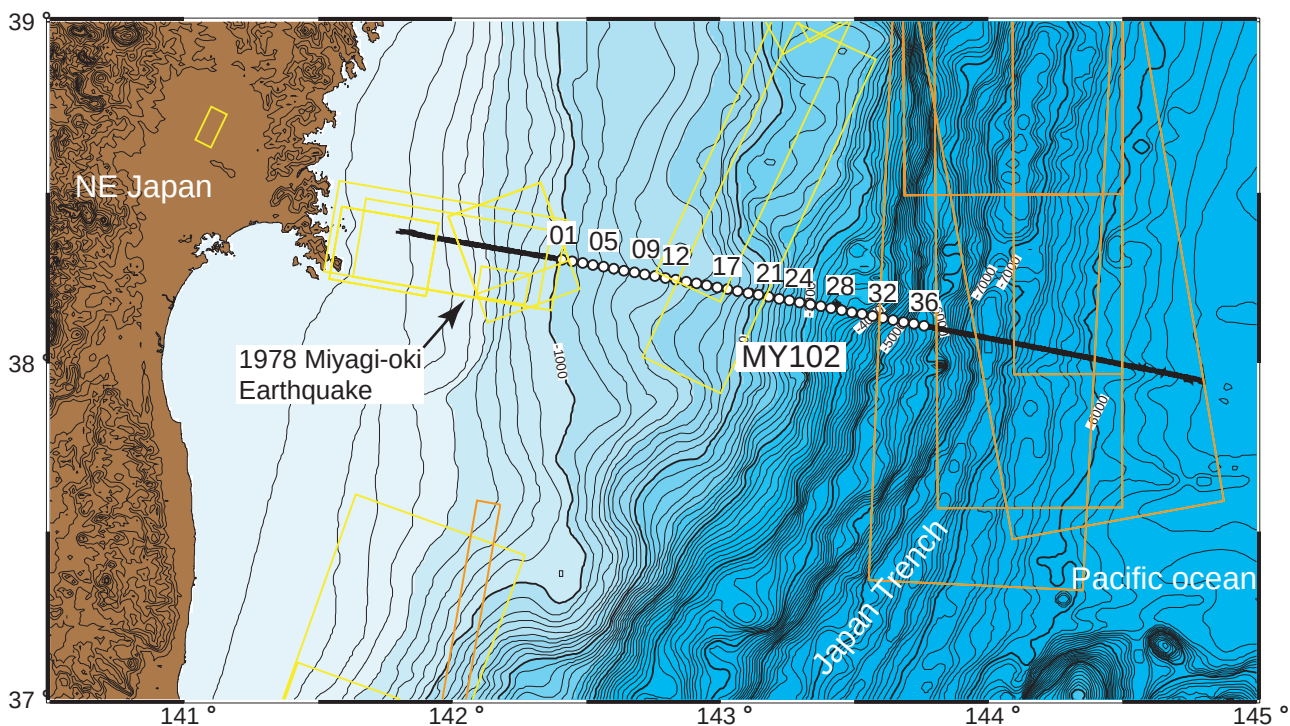


図2 MY102探査測線図

黒線はOBS・MCS測線, 白丸はOBSの設置点を示す。黄色と橙色の長方形は佐藤他 [1989]による巨大地震の破壊域を示す。

Fig. 2 Map around MY102

Black lines are OBS and MCS lines. White circles are deployment positions of OBS and land stations. Yellow and orange rectangles are rupture zone of large earthquakes [Sato et al., 1989].

表1 エアガン発震情報

Table 1 Information of airgun shooting

Line name	Start time(UTC) End time(UTC)	First SP Last SP	LAT	LON	Shot num.	Line length(m)
MY102-1	1999/08/01 21:15:08	1001	38.104397	143.793817	572	28600
	1999/08/02 08:09:45	1572	38.152008	143.473920		
MY102-2	1999/08/02 15:27:22	1553	38.151122	143.484103	2790	139500
	1999/08/05 01:14:36	4342	38.369412	141.915508		
MY102-3	1999/08/05 10:24:48	4317	38.369450	141.930122	364	18200
	1999/08/05 16:46:49	4680	38.397275	141.725563		
MY102-4	1999/08/06 14:39:47	969	37.943220	144.800297	104	5350
	1999/08/06 17:00:24	1075	37.956892	144.742242		
MY102-5	1999/08/06 20:47:14	1068	37.956167	144.746013	211	10550
	1999/08/07 04:23:26	1278	37.975087	144.629020		
MY102-6	1999/08/07 05:44:08	1303	37.977092	144.615022	1470	73500
	1999/08/08 18:53:00	2772	38.103717	143.793837		
MY102-7	1999/08/08 18:59:21	986	38.104162	143.790753	2254	112700
	1999/08/10 15:00:35	3239	38.287620	142.525942		

表2 海底地震計設置・回収情報

Table 2 Information of deployments and retrieval of OBS

OBS	Deploy time(JST)	Deploy position(LAT, LON, DEP)			Retrieve time(JST)	Retrieve position(LAT, LON, DEP)		
OBS01	1999/07/27 06:04	38.304077N	142.408828E	1045	1999/08/16 14:32	38.303850N	142.409317E	1041
OBS02	1999/07/27 06:40	38.298528N	142.447682E	1100	1999/08/16 13:32	38.297733N	142.446800E	1097
OBS03	1999/07/27 07:01	38.293653N	142.486220E	1148	1999/08/16 12:35	38.293033N	142.485250E	1146
OBS04	1999/07/27 07:20	38.287752N	142.525065E	1173	1999/08/16 11:39	38.287500N	142.523433E	1171
OBS05	1999/07/27 07:40	38.283070N	142.563903E	1198	1999/08/16 10:39	38.281800N	142.562183E	1189
OBS06	1999/07/27 07:57	38.277458N	142.602490E	1279	1999/08/16 09:39	38.276733N	142.600400E	1292
OBS07	1999/07/27 08:17	38.271782N	142.641273E	1290	1999/08/16 08:45	38.270200N	142.638933E	1296
OBS08	1999/07/27 08:36	38.266578N	142.679840E	1353	1999/08/16 07:48	38.265267N	142.676300E	1350
OBS09	1999/07/27 08:56	38.260903N	142.718452E	1396	1999/08/16 06:46	38.259133N	142.716033E	1383
OBS10	1999/07/27 09:18	38.255703N	142.756953E	1386	1999/08/16 05:51	38.253917N	142.753733E	1380
OBS11	1999/07/27 09:39	38.250223N	142.795817E	1410	1999/08/16 04:52	38.248583N	142.791767E	1410
OBS12	1999/07/27 10:00	38.244648N	142.834177E	1412	1999/08/14 18:20	38.244883N	142.830550E	1413
OBS13	1999/07/27 10:21	38.238802N	142.873103E	1460	1999/08/14 17:18	38.238700N	142.868500E	1454
OBS14	1999/07/27 10:41	38.233533N	142.911705E	1501	1999/08/14 16:10	38.233367N	142.908783E	1496
OBS15	1999/07/27 11:02	38.227583N	142.950168E	1525	1999/08/14 15:07	38.227983N	142.947683E	1516
OBS16	1999/07/27 11:23	38.222312N	142.989065E	1600	1999/08/14 13:49	38.221567N	142.989467E	1601
OBS17	1999/07/27 11:44	38.216878N	143.027582E	1671	1999/08/14 12:32	38.217467N	143.028500E	1668
OBS18	1999/07/27 13:10	38.210912N	143.065868E	1767	1999/08/14 11:21	38.211733N	143.066167E	1764
OBS19	1999/07/27 13:36	38.205490N	143.104500E	1928	1999/08/14 10:01	38.205450N	143.103883E	1925
OBS20	1999/07/27 13:56	38.200035N	143.143123E	2074	1999/08/14 08:55	38.199600N	143.142167E	2084
OBS21	1999/07/27 14:13	38.194377N	143.181873E	2280	1999/08/14 07:46	38.193550N	143.180200E	2268
OBS22	1999/07/27 14:34	38.188827N	143.220507E	2473	1999/08/14 06:23	38.187833N	143.220600E	2477
OBS23	1999/07/27 14:52	38.183243N	143.259085E	2683	1999/08/14 05:00	38.181900N	143.258833E	2680
OBS24	1999/07/27 15:15	38.177503N	143.297585E	2878	1999/08/13 21:19	38.175650N	143.298400E	2889
OBS25	1999/07/27 15:36	38.171917N	143.336127E	3058	1999/08/13 19:18	Not recorded		
OBS26	1999/07/27 15:57	38.166418N	143.374718E	3249	1999/08/13 17:42	38.164767N	143.374983E	3250
OBS27	1999/07/27 16:18	38.161038N	143.413297E	3487	1999/08/13 16:10	38.160117N	143.412550E	3482
OBS28	1999/07/27 16:36	38.155097N	143.451863E	3532	1999/08/13 14:25	38.155500N	143.452833E	3534
OBS29	1999/07/28 06:31	38.148863N	143.490367E	3526	1999/08/13 12:48	38.150817N	143.493817E	3516
OBS30	1999/07/28 06:51	38.143595N	143.529017E	3707	1999/08/13 11:06	38.147500N	143.534683E	3719
OBS31	1999/07/28 07:09	38.137482N	143.567515E	3960	1999/08/13 09:09	38.140850N	143.569450E	3933
OBS32	1999/07/28 07:32	38.131812N	143.605865E	4455	1999/08/13 07:22	38.135550N	143.608933E	4436
OBS33	1999/07/28 07:52	38.126365N	143.644602E	4648	1999/08/13 05:19	38.127050N	143.649017E	4716
OBS34	1999/07/28 08:14	38.120453N	143.682943E	5107	1999/08/12 23:36	38.125167N	143.695650E	5236
OBS35	1999/07/28 08:33	38.114793N	143.721547E	5535	1999/08/12 21:03	38.119317N	143.729700E	5563
OBS36	1999/07/28 08:55	38.109277N	143.760022E	5474	1999/08/12 18:43	38.117483N	143.769600E	5584

離140km付近が海溝軸にあたる。震央距離140kmより遠方では見かけ速度が10km/sを超える。これは海洋性地殻下部の上部マントルの速度と、沈み込みに伴う傾斜の影響のため大きな値となっていると考えられる。

3.2. OBS05

OBS05はMY102の西端点から約69kmに位置し、水深は1100mである(図4(b))。OBSの西側は見かけ速度1.9km/sの屈折波走時が後続波として見られる。また震央距離4kmから8kmまで見かけ速度4.4km/s、震央距離8kmから19kmまで見かけ速度5.2km/s、震央距離19kmから50kmまで見かけ速度6.2km/s、震央距離50kmから65kmまで見かけ速度8.0km/sよりも大きくなっている。OBSの東側は見かけ速度1.8km/sの屈折波走時が後続波として見られる。震央距離4kmから11kmまで見かけ速度4.4km/s、震央距離11kmから30kmまで見かけ速度4.8km/s前後で連続的に変化している。また震央距離30kmから70kmまで見かけ速度5.8km/s前

後で連続的に変化している。震央距離50kmから80kmまで比較的振幅の強い後続波が見られる。海溝軸は震央距離約130kmだが、海溝軸近傍および海洋性地殻の構造を示すような走時は確認できない。

3.3. OBS09

OBS09はMY102の西端点から約82kmに位置し、水深は1396mである(図4(c))。OBSの西側は震央距離4kmから5kmまで見かけ速度1.8km/sが初動としてみられ、その後続波として見かけ速度2.4km/sの屈折波走時が見られる。震央距離5kmから25kmまで見かけ速度5.2km/s、震央距離25kmから32kmまで見かけ速度5.8km/s、震央距離32kmから50kmまで見かけ速度6.4km/s、震央距離50kmから70kmまで見かけ速度6.8km/s、震央距離70kmから82kmまで見かけ速度10km/sを超える屈折波走時が初動として確認できる。OBSの東側は震央距離4kmから5kmまで見かけ速度1.8km/s、震央距離5kmから6kmまで見かけ速度2.5km/s、震

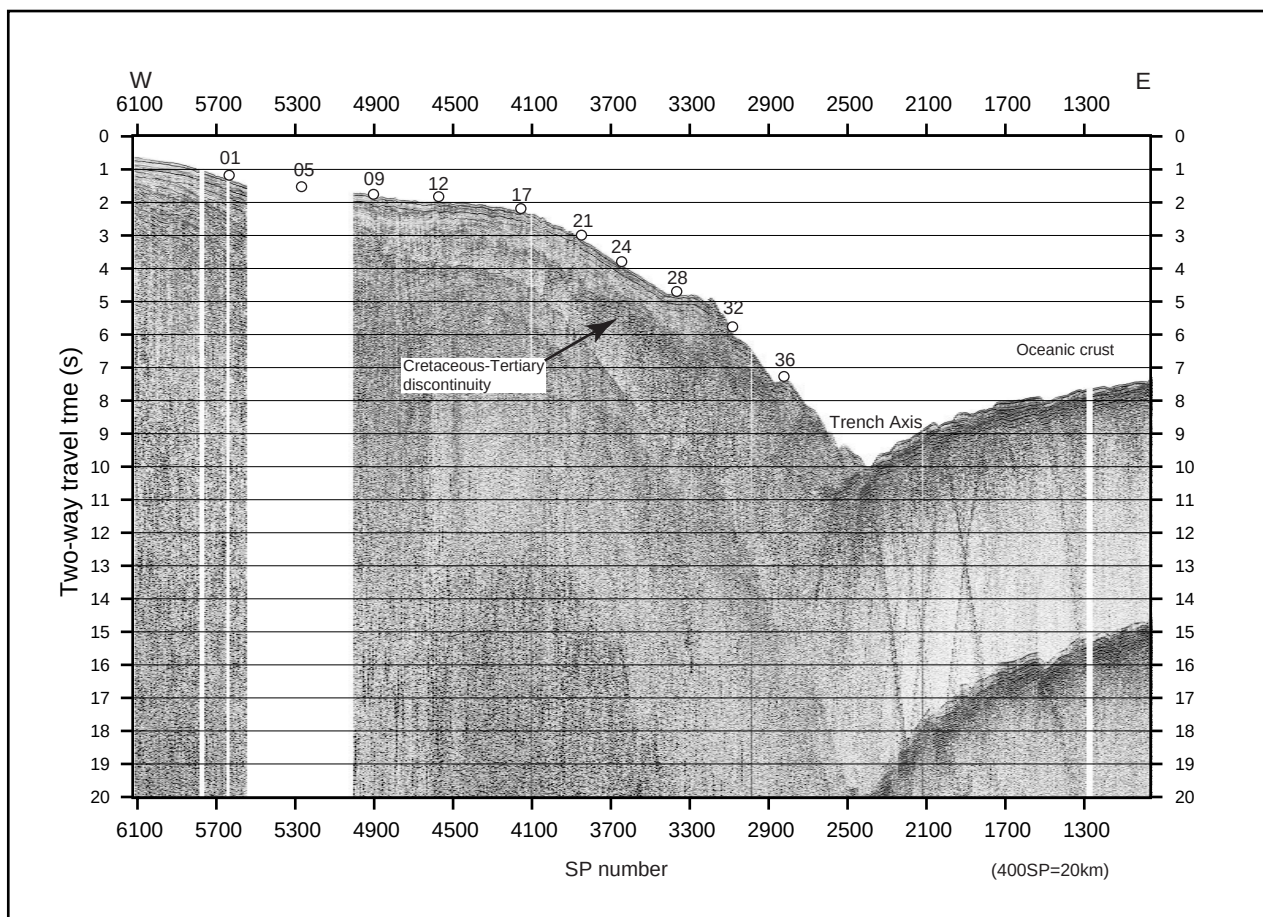


図3 反射断面図

縦軸は往復走時(秒), 横軸はショットポイント(SP)で, 400SPは20kmに相当する。白丸はOBSの設置点を示す。

Fig. 3 MCS profiles

Vertical axis is two-way travel time (s), and horizontal axis is shot point number (SP); 400SP=20km. White circles are OBS deployment positions.

中央距離6kmから23kmまで見かけ速度4.4km/s,震央距離25kmから30kmまで見かけ速度5.6km/sの屈折波走時が初動として確認できる。また,震央距離30kmから100kmまで見かけ速度5.0km/sと小さくなり,海底地形の海溝軸に向かう落ち込みの影響と考えられる。また震央距離30-50kmおよび50-80kmに振幅の比較強い後続波反射波がみられる。海溝軸は震央距離約110kmである。震央距離110kmから187kmまで見かけ速度8.0km/sを超える初動が見られ,海洋性地殻下部の構造を反映すると考えられる。

3.4. OBS12

OBS12はMY102の西端点から約92kmに位置し,水深は1412mである(図4(d))。OBSの西側は震央距離5kmから5.5kmまで見かけ速度1.9km/s,震央距離5.5kmから9kmまで見かけ速度3.5km/s,震央距離9kmから25kmまで見かけ速度6.0km/sの屈折波走時が初動として確認できる。震央距離25kmから40kmまでは初動走時が下に凸の形状となり,見かけ速度は連続的に変化する。震央距離40kmから

55kmまで見かけ速度6.2km/s,震央距離55kmから77kmまで見かけ速度6.8km/s,震央距離77kmから92kmまで見かけ速度8.0km/sを超える初動が確認できる。OBSの東側は見かけ速度1.9km/sの屈折波走時が後続波として確認できる。また震央距離5kmから10kmまで見かけ速度3.2km/s,震央距離10kmから16kmまで見かけ速度4.6km/s,震央距離16kmから22kmまで見かけ速度6.0km/sの屈折波走時が初動となっている。震央距離22kmから70kmまでは見かけ速度5.0km/s前後となっているが,震央距離30-40kmと50-70kmにそれぞれ後続の反射波が確認できる。震央距離70kmから95kmまで見かけ速度は連続的に変化している。また海洋性地殻下部の上部マントルの速度構造を反映すると考えられる屈折波走時が震央距離95kmから177kmまで見かけ速度10km/s程度で確認できる。

3.5. OBS17

OBS17はMY102の西端点から約109kmに位置し,水深は1671mである(図4(e))。OBSの西側には見かけ速度

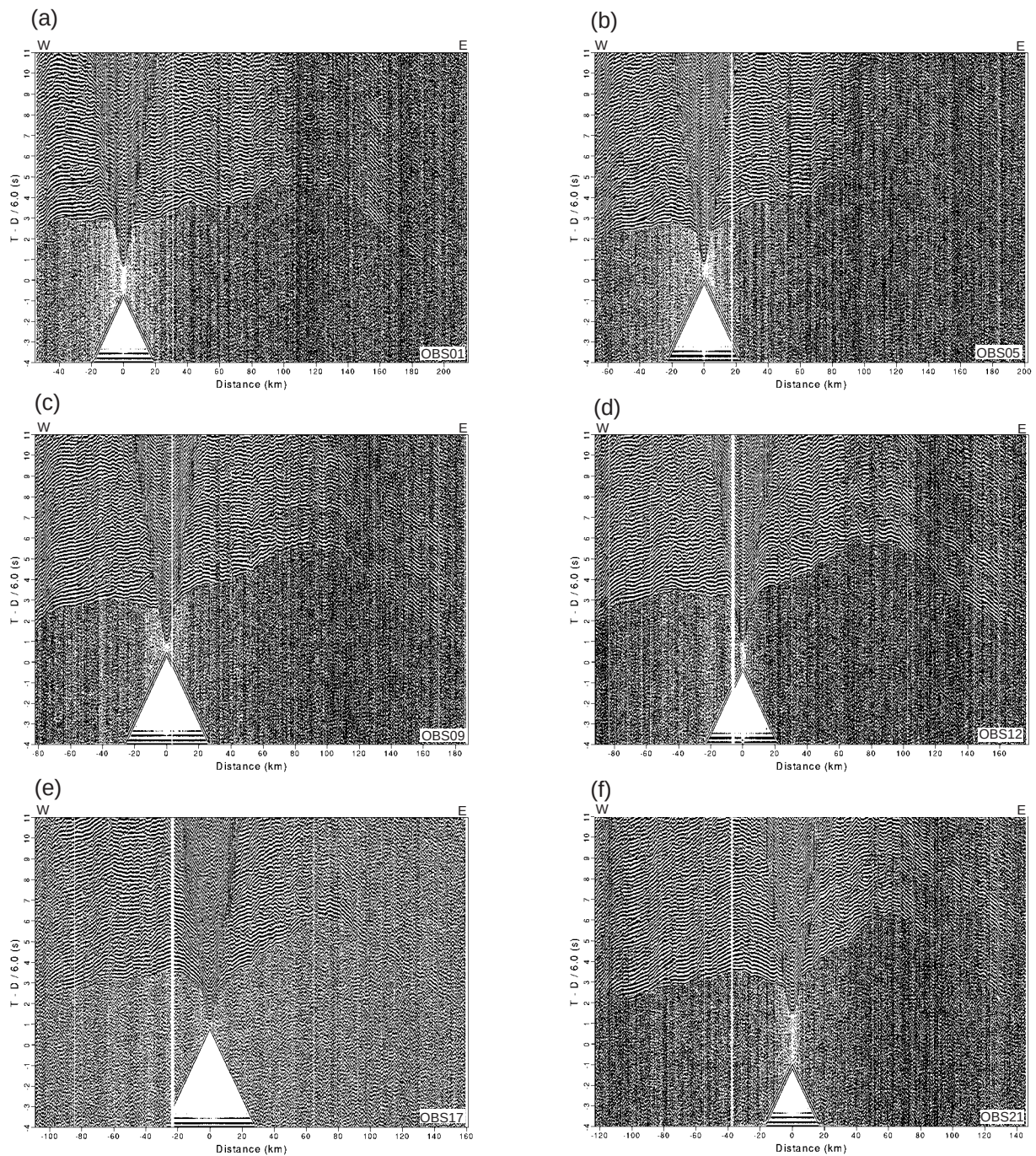


図4 OBS距離時間軸断面図

(a)OBS01, (b)OBS05, (c)OBS09, (d)OBS12, (e)OBS17, (f)OBS21, (g)OBS24, (h)OBS28, (i)OBS32, (j)OBS36.

それぞれ横軸が震央距離(km), 縦軸が6 km/s でリデュースした走時(秒)である。上下動成分で5-15Hzのバンドパスフィルターを施している。

Fig. 4 Record sections of OBSs

(a)OBS01, (b)OBS05, (c)OBS09, (d)OBS12, (e)OBS17, (f)OBS21, (g)OBS24, (h)OBS28, (i)OBS32, (j)OBS36.

In every record section, horizontal axis is offset distance from OBS and vertical axis is travel time reduced by 6 km/s. And each trace is band-pass filtered between 5 and 15 Hz.

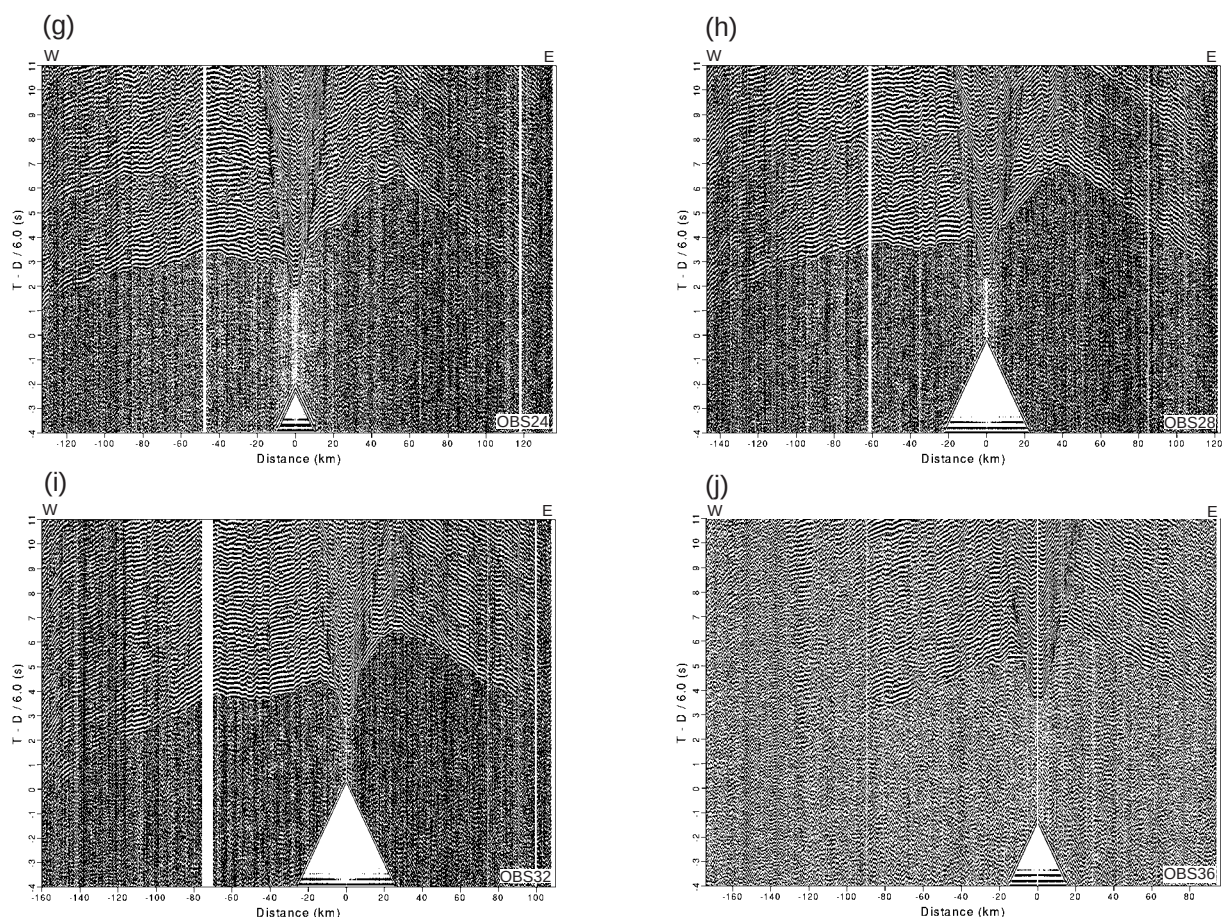


図4 (つづき)
Fig. 4 (continued)

1.8km/s, 3.3km/sの屈折波走時が後続波として確認できる。震央距離5kmから15kmまで見かけ速度4.2km/s,震央距離15kmから25kmまで見かけ速度5.4km/s,震央距離25kmから40kmまで見かけ速度7.0km/sの屈折波走時が初動として確認できる。震央距離40kmから50kmまでは初動が確認できない。震央距離50kmから80kmまで見かけ速度6.2km/s,震央距離80kmから90kmまで見かけ速度7.2km/s,震央距離90kmから100kmまで見かけ速度8.2km/s,震央距離100km以遠では見かけ速度が8km/sを大きく超える。OBSの東側では見かけ速度1.7km/sの屈折波走時が後続波として確認できる。震央距離5kmから10kmまで4.0km/s,震央距離10kmから25kmまで見かけ速度4.8km/s,震央距離25kmから40kmまで見かけ速度5.0km/s前後の屈折波走時が初動として確認できる。また震央距離10kmから30kmまでと、25kmから50kmまでにそれぞれ後続の反射波が見られる。震央距離50kmから80kmまでは海溝軸近傍の海底地形の影響と思われる連続的に変化した見かけ速度を持つ初動が見られる。海溝軸は85km付近である。震央距離85kmから160kmまで海洋性地殻下部の上部マントルからの屈折波と考えられる見かけ速度9.0km/sを超える相が確認できる。

3.6. OBS21

OBS21はMY102の西端点から約123kmに位置し、水深は2280mである(図4(f))。OBSの西側では見かけ速度1.9km/sの屈折波走時が後続波として確認できる。震央距離5kmから30kmまで見かけ速度5.0km/s,震央距離30kmから40kmまで見かけ速度6.2km/s,震央距離40kmから55kmまで見かけ速度8.0km/sの屈折波走時が初動として確認できる。震央距離60kmから80kmまで見かけ速度が8.0km/sから6.2km/sまで連続的に変化している。他のOBSデータで見られた下に凸の初動形状と同じ構造を表すと期待される。震央距離80kmから110kmまで見かけ速度8.2km/sの屈折波走時が初動として確認できる。震央距離110km以遠では見かけ速度8.0km/sを超える相が後続波として見られるが、ノイズの影響からか初動は確認が困難である。OBSの東側では見かけ速度1.8km/sの屈折波走時が後続波として確認でき、震央距離4kmから45kmまで見かけ速度4.4km/s,震央距離45kmから60kmまでは海溝軸部近傍の海底地形の影響からか見かけ速度が連続的に変化している。震央距離60kmから68kmまで見かけ速度6.9km/s,震央距離68kmから146kmまで見かけ速度8.6km/sの屈折波走時が初動として確認できる。海溝軸は震央距離約70kmである。

3.7. OBS24

OBS24はMY102の西端点から約133kmに位置し、水深は2878mである(図4(g))。OBSの西側には見かけ速度2.1km/sの後続波、震央距離5kmから37kmまで見かけ速度5.0km/s前後の初動である屈折波が確認できる。震央距離37kmから50kmまで見かけ速度6.0km/s、震央距離50kmから68kmまで見かけ速度6.4km/s、震央距離70kmから100kmまで見かけ速度7.0km/s前後の屈折波走時が初動として確認できる。また震央距離30kmから50kmまで、震央距離60kmから75kmまで、震央距離90kmから100kmまで後続の反射波が確認できる。震央距離100km以遠では見かけ速度が8.0km/sを大きく超える。OBSの東側では震央距離5kmから43kmまで見かけ速度4.0km/sの屈折波走時が初動として確認できる。震央距離43kmから53kmまで強振幅で下に凸の走時が見られる。震央距離55kmから135kmまで見かけ速度8.4km/sの屈折波走時が初動として確認できる。

3.8. OBS28

OBS28はMY102の西端点から約147kmに位置し、水深は3532mである(図4(h))。OBSの西側では見かけ速度2.4km/sの屈折波走時が後続波として確認できる。震央距離6kmから60kmまで初動の屈折波走時が見かけ速度6.4km/s前後で連続的に変化している。震央距離60kmから85kmまで見かけ速度7.0km/s、震央距離85kmから110kmまで見かけ速度8.0km/s、震央距離110km以遠では見かけ速度10km/sを超える屈折波走時が初動として確認できる。OBSの東側では見かけ速度2.3km/sの屈折波走時が後続波として確認できる。また震央距離7kmから30kmまで見かけ速度4.0km/sの屈折波走時が初動として確認できる。海溝軸は震央距離約45kmである。震央距離45kmから120kmまで見かけ速度8.2km/sの屈折波走時が初動として確認できる。

3.9. OBS32

OBS32はMY102の西端点から約161kmに位置し、水深は4455mである(図4(i))。OBSの西側では見かけ速度2.3km/sの屈折波走時が後続波として確認できる。震央距離6kmから13kmまで見かけ速度4.4km/s、震央距離13kmから70kmまで初動である屈折波走時が見かけ速度6.4km/s前後で連続的に変化していることが確認できる。震央距離70kmから100kmまで見かけ速度8.4km/s、震央距離100kmから120kmまで見かけ速度7.2km/s、震央距離120kmから160kmまで見かけ速度8.0km/sを超える屈折波走時が初動として確認できる。OBSの東側は震央距離8kmから23kmまで見かけ速度3.5km/s、震央距離23kmから30kmまで見かけ速度5.2km/s、震央距離30kmから108kmまで見かけ速度8.1km/sの屈折波走時が初動として確認できる。

3.10. OBS36

OBS36はMY102の西端点から約174kmに位置し、水深は5474mである(図4(j))。海溝軸に最も近接しているOBSである。OBSの西側では震央距離8kmから15kmまで見かけ

速度5.0km/sの屈折波走時が初動として確認でき、震央距離15kmから25kmまで見かけ速度が連続的に変化している。震央距離25kmから100kmまで見かけ速度8.0km/s前後の屈折波走時が初動として確認できる。また震央距離40kmから60kmまで、震央距離60kmから80kmまで後続の反射波が確認できる。震央距離100km以遠では初動を確認することが困難となる。OBSの東側では見かけ速度2.2km/sの屈折波走時が後続波として確認できる。震央距離10kmから16kmまで見かけ速度6.4km/s、震央距離16kmから93kmまで見かけ速度8.0km/sの屈折波走時が初動として確認できる。

4. 解析手法および結果

解析は、図4で示したOBS記録による距離-時間軸断面図(TD)を作成する。TDから屈折波および反射波の相を読み取り、各OBS直下の1次元速度構造を求め、2次元波線追跡法を行う。その際、浅部の構造は「かいよう」によるMCS反射断面図(図3)を参考にした。特に白亜紀-第三紀不整合面と考えられる海底下の強振幅反射面の起伏を参考にした。2次元波線追跡法¹⁷⁾¹⁸⁾によって観測走時を説明する速度構造モデルを求めた。使用したOBSのうち、3-4台ごとに先行して処理を行いMY102測線の大まかな構造を決定した。図5に読み取った観測走時および2次元波線追跡法による理論走時を示す。深部を示す震央距離の大きい部分ではまだ拘束できていないが、島弧地殻内程度までの速度構造は概ね拘束できている。また沈み込む海洋性地殻内部の速度は三陸沖の速度構造¹³⁾を使用した。

2次元波線追跡法によるMY102の暫定的な速度構造モデルを図6に示す。約100km北側で行った探査の結果¹⁰⁾¹²⁾¹³⁾と似た特徴を持つ。島弧地殻側は5層構造となっている。表層にP波速度1.7km/s程度および2km/s台の層があり、新生代の堆積層と考えられる。その下、海底下2-3km付近にP波速度4km/s台の層が厚さ約5kmある。これは三陸沖や福島沖で見られる白亜紀の堆積層と考えられる。その下にはP波速度6km/s前後の層および6.7km/s程度の層があり、それぞれ島弧上部地殻および島弧下部地殻と考えられる。島弧のモホ面は海溝軸約100kmから陸側で存在し、深さ20km程度である。マントルウェッジの速度は8km/sである。海洋性地殻の沈み込み角度は海溝軸から100km付近まで4-5度であり、それより陸側で9度と角度を増す。また海洋性地殻下部の上部マントルのP波速度は8km/s程度である。

5. まとめ

1999年7月から8月にかけて、日本海溝・宮城沖前弧域において深部構造探査を行った。用いたOBSのうち10台の記録を用いて探査域のP波速度構造を求めた。暫定的な結果ではあるが、以下に特徴をまとめる。

島弧地殻は表層の堆積層2層、白亜紀堆積層、島弧上部地殻および島弧下部地殻で構成される。島弧のモホ面は海溝軸約100kmから陸側で存在し、深さ20km程度ある。マントルウェッジのP波速度は8km/sである。海洋性地殻の沈み込み角度は100km付近まで4-5度であり、それより陸側

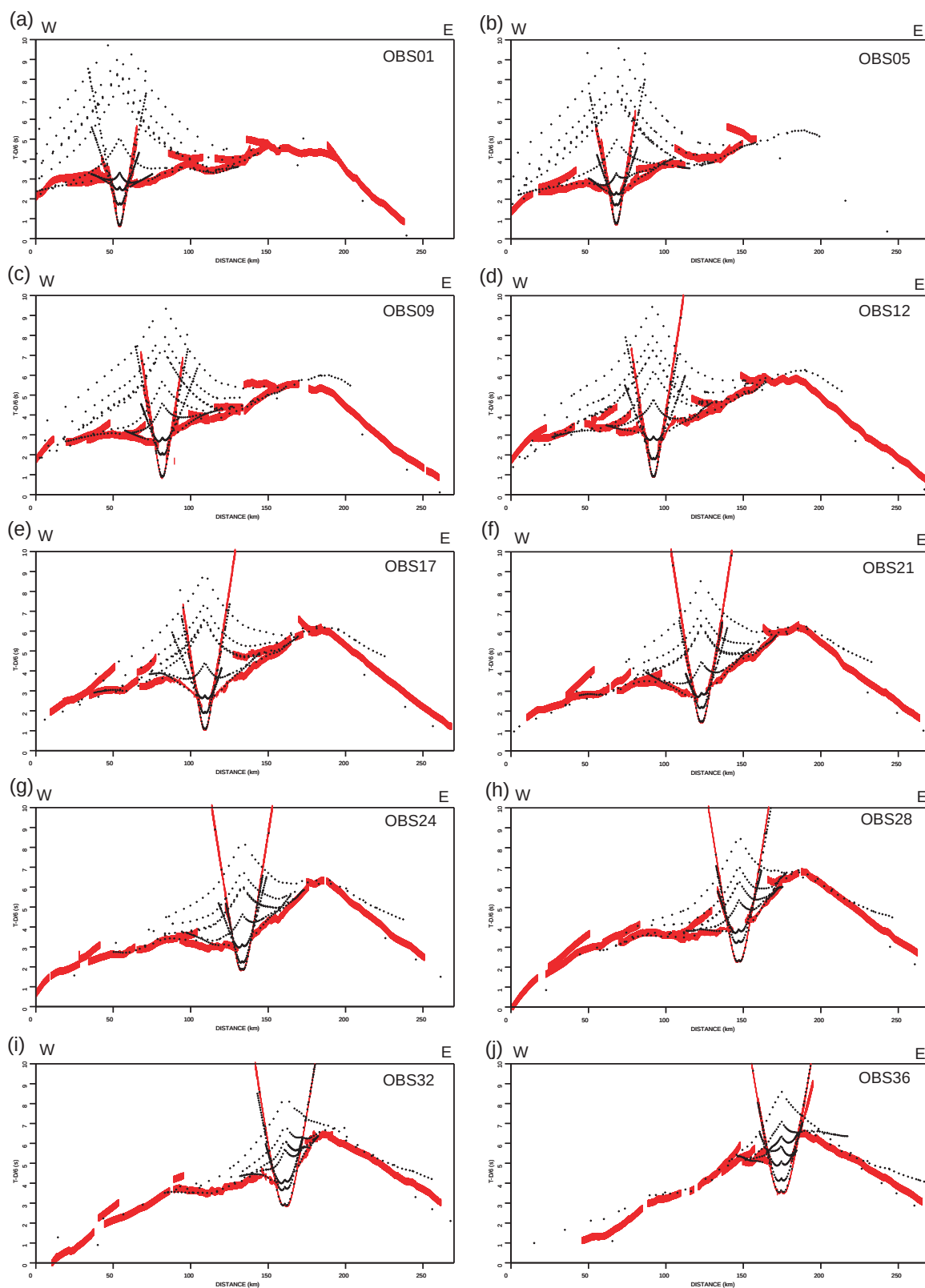


図5 観測走時と2次元波線追跡法による理論走時図

(a)OBS01, (b)OBS05, (c)OBS09, (d)OBS12, (e)OBS17, (f)OBS21, (g)OBS24, (h)OBS28, (i)OBS32, (j)OBS36.

赤線が観測走時, 黒点が理論走時を示す。横軸がMY102測線西端からの距離 (km), 縦軸が6 km/s でリデュースした走時 (秒) である。

Fig. 5 Observed and synthetic traveltimes of FK201

(a)OBS01, (b)OBS05, (c)OBS09, (d)OBS12, (e)OBS17, (f)OBS21, (g)OBS24, (h)OBS28, (i)OBS32, (j)OBS36.

Red lines are observed travel times, and black dots are calculated travel times. In every figure, horizontal axis is distance from western end point of MY102 and vertical axis is travel time reduced by 6 km/s.

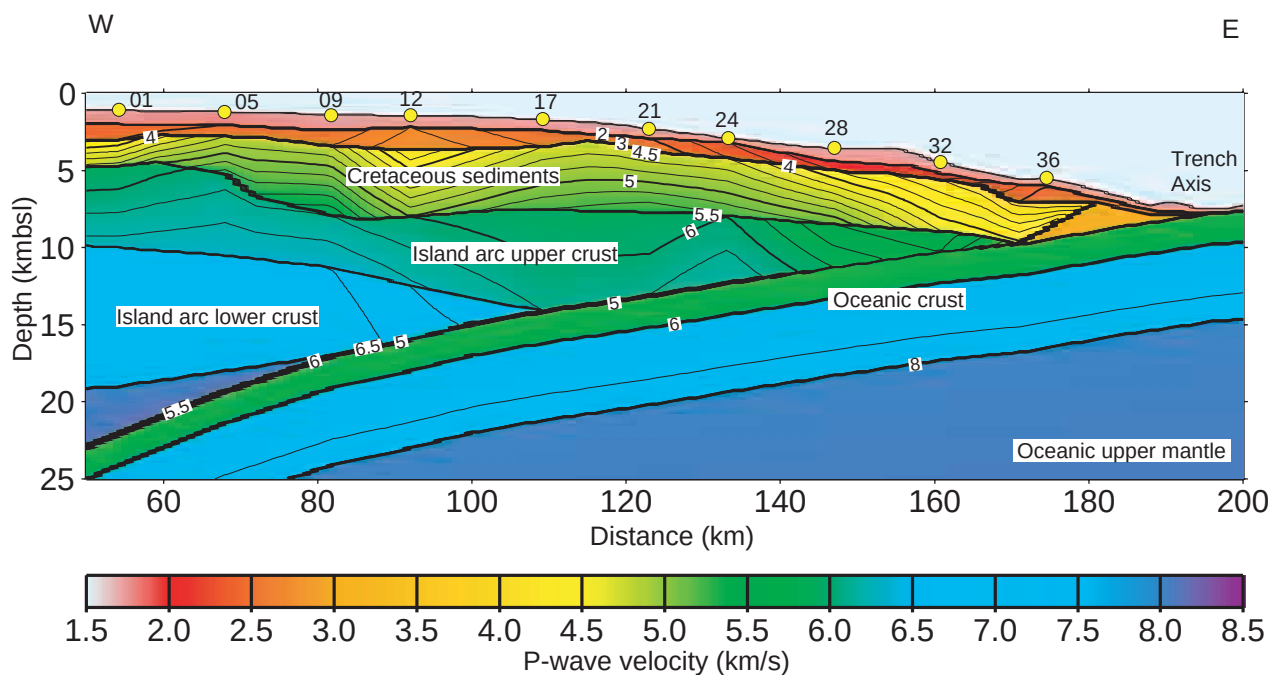


図6 2次元波線追跡法によるMY102の速度構造モデル

縦軸は海面からの深さ(km), 横軸はエアガン発振点の西端からの距離(km), P波速度を図下の色見本および等速度線(0.1km/s間隔)で表す。海溝軸は196km付近である。

Fig. 6 Velocity model of MY102 by 2D ray tracing

Vertical axis is depth below sea level (km), and horizontal axis is distance from western end point of MY102 (km).

P-wave velocity is shown by a color bar and contour lines (0.1 km/s interval). Trench axis is about 196 km.

で9度と角度を増す。また海洋性地殻下部の上部マントルのP波速度は8km/s程度である。

今後は2次元波線追跡法によって、より深部の構造まで拘束すること、より陸側での海洋性地殻の沈み込み角度を拘束すること、また1978年宮城県沖地震の破壊域との関連について考察していく予定である。

謝 辞

深海調査船「かいよう」の船長をはじめとする乗船員および日本海洋事業(株)の皆様には航海中大変お世話になりました。MCS反射断面作成の際には、海底下深部構造フロンティアの鶴哲郎博士および地球科学総合研究所の林努氏にご助力をいただきました。図表作成にはGeneric Mapping Tools (GMT)¹⁹⁾を利用しました。図中の巨大地震破壊域は佐藤他[1989]²⁰⁾を用いました。ここに記して感謝の意を表します。

引用文献

- 1) T. Yoshii, "A detailed cross section of the deep seismic zone beneath northeastern Honshu, Japan", *Tectonophysics*, **55**, 349-360 (1979).
- 2) K. Abe, "Tectonic implications of the large Shioya-oki earthquakes of 1938", *Tectonophysics*, **41**, 269-289 (1977).
- 3) N. Hirata, T. Yamada, H. Shimamura, H. Inatani, and K. Suyehiro, "Spatial distribution of microearthquakes beneath the Japan Trench from ocean bottom seismographic observations", *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, **73**, 653-670 (1983).
- 4) A. Nishizawa, T. Kanazawa, T. Iwasaki, and H. Shimamura, "Spatial distribution of earthquakes associated with the Pacific plate subduction off northeastern Japan revealed by ocean bottom and land observation", *Phys. Earth Planet. Int.*, **75**, 165-175 (1992).
- 5) 吉沢隆史, 日野亮太, 篠原雅尚, 青柳恭平, 西野実, 末広潔, "海底地震観測による福島沖プレート境界域の微小地震活動", 地球惑星関連学会合同大会 (1999).
- 6) W. J. Ludwig, J. I. Ewing, M. Ewing, S. Murauchi, N. Den, S. Asano, H. Hotta, M. Hayakawa, T. Asanuma, K. Ichikawa, and I. Noguchi, "Sediments and structure of the Japan Trench", *J. Geophys. Res.*, **71**, 2121-2137 (1966).
- 7) S. Asano, T. Yamada, K. Suyehiro, T. Yoshii, Y. Misawa, and S. Izuka, "Crustal structure in a profile off the Pacific coast of northeastern Japan by the refraction method with ocean bottom seismometers", *J. Phys. Earth*, **29**, 267-281 (1981).
- 8) K. Suyehiro, and A. Nishizawa, "Crustal structure and seismicity beneath the forearc off northeastern Japan", *J.*

- Geophys. Res.*, **99**, 22331-22347 (1994).
- 9) R. von Huene, D. Klaeschen, and B. Cropp, "Tectonic structure across the accretionary and erosional parts of the Japan Trench margin", *J. Geophys. Res.*, **99**, 22349-22361 (1994).
 - 10) T. Tsuru, J.O. Park, N. Takahashi, S. Kodaira, Y. Kido, Y. Kaneda, and Y. Kono, "Tectonic features of Japan Trench convergent margin off Sanriku, northeastern Japan, revealed by multichannel seismic reflection data", *J. Geophys. Res.*, **105**, 16403-16413 (2000a).
 - 11) 鶴哲郎, 朴進午, 三浦誠一, 高橋成実, 小平秀一, 東方外志彦, 木戸ゆかり, 金田義行, "日本海溝沈み込み帯における地震活動と下底浸食作用に関する考察", *物理探鉱*, 投稿中 (2000b).
 - 12) N. Takahashi, S. Kodaira, T. Tsuru, J. O. Park, Y. Kaneda, H. Kinoshita, S. Abe, M. Nishino, and R. Hino, "Detailed plate boundary structure off northeast Japan coast", *Geophys. Res. Lett.*, **27**, 1977-1980 (2000a).
 - 13) 高橋成実, 三浦誠一, 鶴哲郎, 小平秀一, 仲西理子, 金田義行, 朴進午, 阿部信太郎, 西野実, 日野亮太, "東北日本弧前弧域の地震波速度構造", 地球惑星関連学会合同大会 (2000b).
 - 14) 三浦誠一, 小平秀一, 仲西理子, 鶴哲郎, 高橋成実, 金田義行, "エアガンー海底地震計データによる日本海溝・福島沖前弧域の地震波速度構造", *JAMSTEC深海研究*, **16**, 87-100 (2000).
 - 15) 金澤敏彦, "7成分記録・低消費電力の超音波切離式海底地震計", 地震学会講演予稿集, **2**, 240 (1986).
 - 16) 篠原雅尚, 末広潔, 松田滋夫, 小沢和男, "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).
 - 17) Zelt, C. A. and R. M. Ellis, "Practical and efficient ray tracing in two-dimensional media for rapid traveltimes and amplitude forward modelling", *Can. J. expl. Geophys.*, **24**, 16-31 (1988).
 - 18) Zelt, C. A., and R. B. Smith, "Seismic traveltimes inversion for 2-D crustal velocity structure", *Geophys. J. Int.*, **108**, 16-34 (1992).
 - 19) Wessel, P., and W. H. F. Smith, "Free software helps map and display data", *Eos Trans. AGU*, **72**, 441, 445-446 (1991).
 - 20) 佐藤良輔, 阿部勝征, 岡田義光, 島崎邦彦, 鈴木保典, "日本の地震断層パラメーター・ハンドブック", 鹿島出版会, pp390 (1989).

(原稿受理：2001年1月25日)