

北海道東方・千島海溝周辺の地震学的探査 - KY0005航海報告 -

仲西 理子*¹ 三浦 誠一*¹ 尾鼻浩一郎*¹
小平 秀一*¹ 金田 義行*¹ 高橋 成実*²

2000年7月～8月,北海道東方・千島海溝周辺で海底地震計およびエアガンを用いた深部構造探査を実施した。この海域では,太平洋プレートの沈み込みにもなう巨大地震が繰り返し,同一の領域で規則的に起きているほか,近年ではプレート内地震も頻発している。これらの巨大地震の発生過程と深部構造の関係を明らかにするために,本調査では今まで把握されていなかった千島海溝周辺の地震発生帯の構造を取得することを目的としている。探査測線は太平洋側の千島海溝の軸周辺から北西方向にとり,北海道東方の陸上を経て,オホーツク海側に抜ける海陸横断測線を実現した。さらに,陸上では,3点で発破(薬量100kg×1,300kg×2)を実施し,これらの信号も海底地震計で記録した。取得されたデータから,総測線長約500kmの測線全体にわたって,エアガン信号,発破信号が良好に取得されていることが確認できた。

キーワード: エアガン,海底地震計,千島海溝,北海道東方,地殻構造

Wide-angle OBS survey in the Kuril Trench, the eastern Hokkaido - KY0005 cruise report -

Ayako NAKANISHI*³ Seiichi MIURA*³ Koichiro OBANA*³
Shuichi KODAIRA*³ Yoshiyuki KANEDA*³ Narumi TAKAHASHI*⁴

In July - August of 2000, we performed a deep crustal survey in the Kuril Trench, the eastern Hokkaido using forty-five ocean bottom seismographs and a 200L airgun array of R/V KAIYO. It is known that historic great earthquakes recurred along the Kuril trench with remarkable spatial regularities. These large thrust earthquakes are attributed to the subduction of the Pacific plate beneath the overriding plate. Moreover, large intraplate earthquakes occurred in recent years. To understand the relationship between the generation of these large earthquakes and deep crustal structure, we aimed to obtain structure of seismogenic zone in the Kuril Trench. An ocean-land seismic profile was selected to across the eastern Hokkaido from the trench axis (the North Pacific Ocean) to the sea of Okhotsk northwestward. Three explosions with a 100 kg and two 300 kg charges were also recorded by ocean bottom seismographs during the survey. Processed data shows that both airguns shots and explosions were recorded with good quality over a 500 km length profile.

Keywords : airgun, ocean bottom seismograph, Kuril Trench, eastern Hokkaido, crustal structure

* 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

北海道東方の千島海溝は太平洋プレート北西縁のプレート収束境界である。この地域は東北日本弧に千島島弧が衝突しているところであり、この衝突域に南東から太平洋プレートが沈み込んでいる。また、この地域では、太平洋プレートの沈み込みにともなう巨大地震が同一域で定期的に繰り返し発生している。近年では、1993年の釧路沖地震 (M=7.8) や1994年北海道東方沖地震 (Mw=8.3) のようなプレート内地震が頻発しており、あらゆるタイプの巨大地震が起きる地域である。しかしながら、これらの巨大地震発生を制御する地震発生帯までの地殻深部構造は必ずしも十分に把握されていない。

本調査の主な目的は、この北海道東方千島海溝周辺の地震発生帯の地殻深部構造を明らかにすることである。千島海溝は、1900年代に巨大地震が多く発生したため、地震学的研究によって、巨大地震の破壊過程について世界中でも良く研究されている海域である。その点で、これまで海洋科学技術センターで地震学的調査を重点的に行ってきた南海トラフに次いで、海溝域地震発生帯の地震発生メカニズムの解明のための深部構造研究に適した海域であると言える。

地殻変動や津波、余震分布から求められた震源断層モデルの研究から、北海道東方の千島海溝に沿って発生する巨大地震には空間的な規則性があることが報告されている¹⁾。

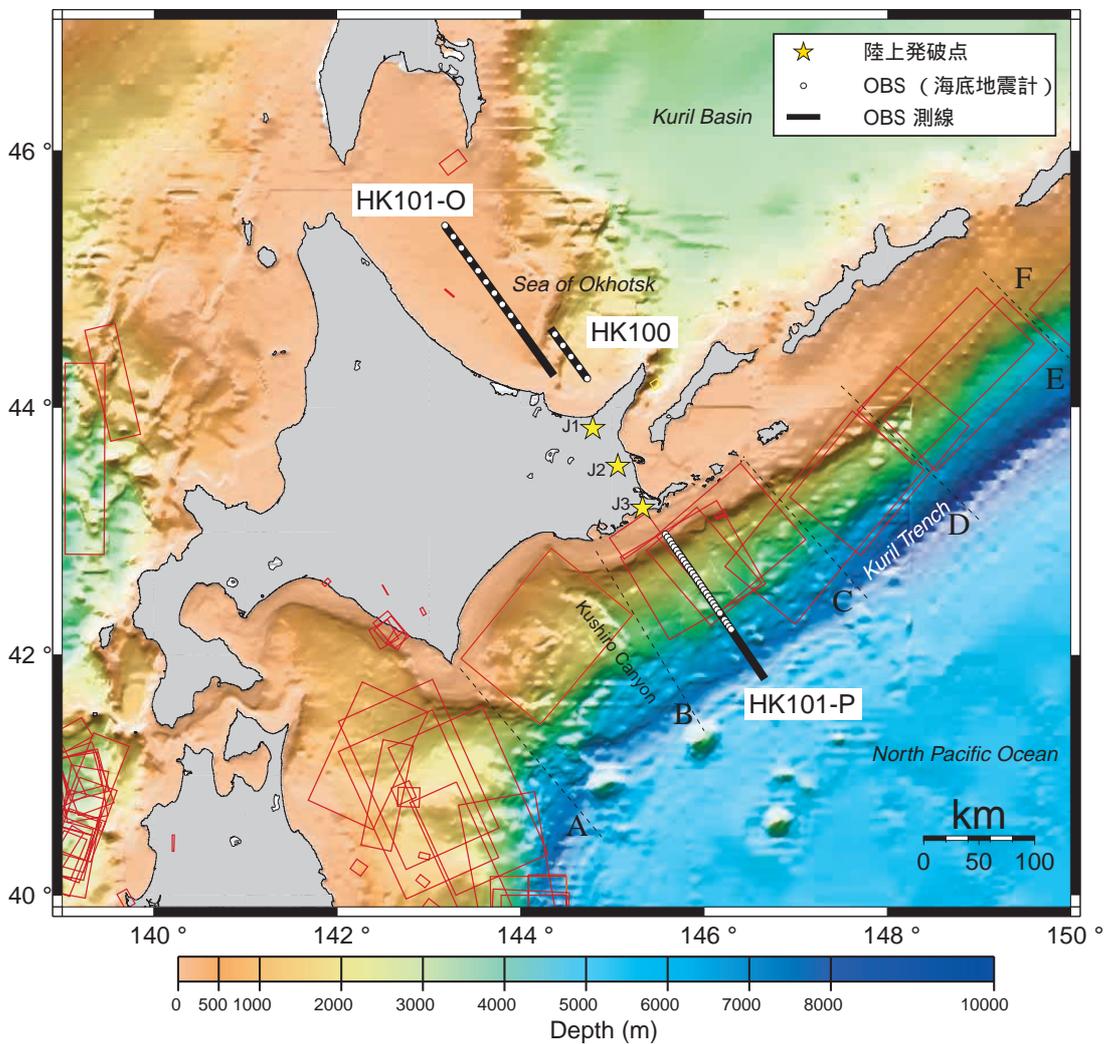


図1 北海道東方千島海溝周辺の歴史的巨大地震破壊域の空間分布
赤枠は、1498～1987年までの巨大地震破壊域を示す断層モデルを示す¹²⁾。点線は、巨大地震破壊域A～Fの境界を示す¹⁾。太線は探査測線、白丸はOBS、黄星は陸上発破の位置を示す。

Fig. 1 Map around the Kuril Trench, the eastern Hokkaido
Red rectangles indicate coseismic rupture zones estimated by fault parameters of each great earthquake occurred between 1498 and 1987¹²⁾. Broken lines indicate boundaries between rupture zones of A - F¹⁾. Thick line denotes seismic profile. Open circles indicate OBS positions. Yellow stars show explosions performed on land.

震源断層モデルから示される巨大地震の破壊域は、A～Fの6つの領域に区分されている¹⁾(図1)。これらの領域では、B領域で起きた十勝沖地震(1952)以降、プレート境界で起きたと考えられるM7.8以上の逆断層型巨大地震が相次いで発生した。それぞれ、1968年の十勝沖地震(A領域)、1973年の根室半島沖地震(C領域)、1969年の北海道東方沖地震(D領域)のほか、さらに北東では、1958年、1963年にエトロフ地震(E、F領域)が起きている。これらの一連の巨大地震により千島海溝内側が21年間で巨大地震破壊域で埋め尽くされたことになる。この地域は歴史的地震の資料に乏しいが、記録にあるM8クラスの巨大地震は約20年間の活動期と30-60年程度の静穏期が交互に現れるとの説もある¹⁾。

定常的な微小地震活動は、日本海溝-千島海溝接合部周辺では非常に活発であるが、その北東側では比較的活動度が低い(図2)。しかしながら、震源は、釧路海底谷の東側で10km前後のクラスター状に分布しており、この特徴は日本海溝の三陸沖の震源分布と類似している。同様のクラスター状の地震は、釧路沖で見出されており、プレート境界で起きる逆断層型の地震であることが確認され、プレートのベンディング点との位置関係からプレート形状とこの海域の地震活動が密接に関係していると解釈されている²⁾。さらにメカニズムの研究³⁾から、日本海溝で一般的に存在が確認されている二重深発面の下面に相当するプレート内部の地震面も発見されたが、上面に相当する地震面は北海道

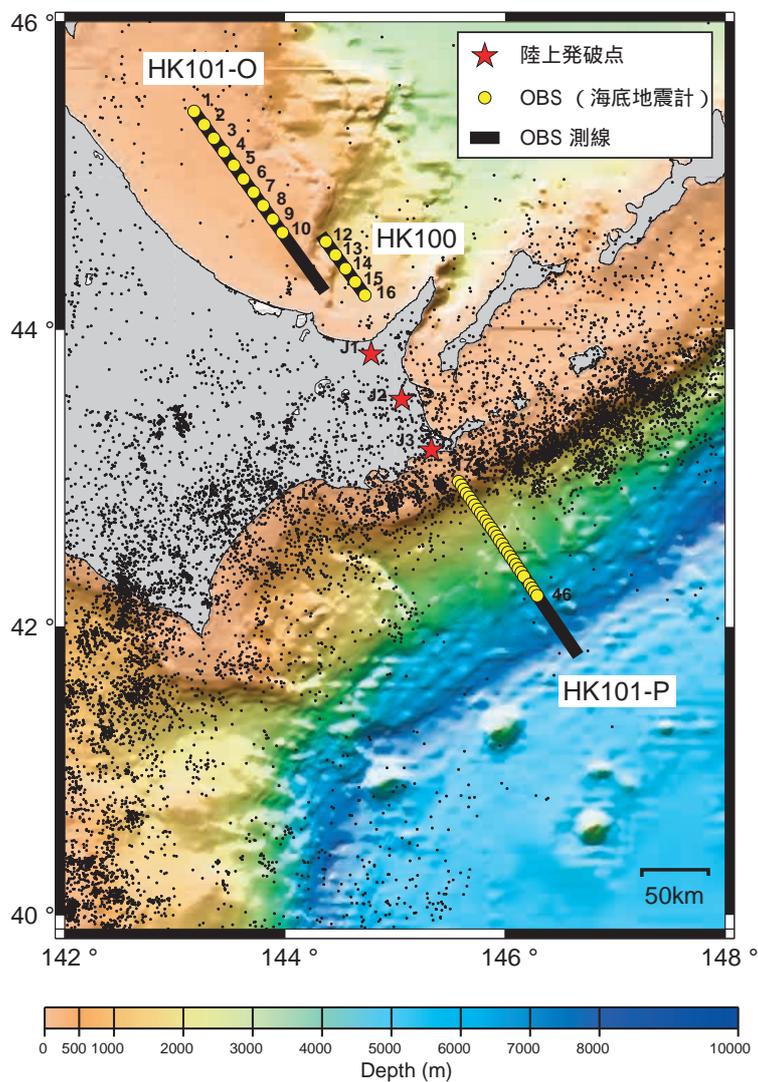


図2 KY0005次航海の探査測線、および観測点配置図と自然地震分布

震源情報は気象庁により公開されている1997年10月～1999年9月までのものである。地震探査は測線HK100、HK101-O、HK101-Pに沿って実施され、エアガンは太線にそってショットされた。黄丸はOBS、赤星は陸上発破の位置を示す。

Fig. 2 Location map of KY0005 cruise with earthquake distribution. Hypocenters are determined by Japan Meteorological Agency from October of 1997 to September of 1999. The wide-angle seismic survey was conducted along profiles HK100, HK101-O, and HK101-P. The airgun was shot along the thick line. Labeled yellow circles indicate OBS positions. Red stars show explosions performed on land.

東部では明瞭に見出されていない²⁾。しかしながら近年の微小地震観測網の整備により、震源決定精度向上が実現され、1997年10月以降の気象庁による震源分布から、この海域でも2重深発面が明瞭に認められる。さらに注目すべきこととして、千島海溝陸側(水深4000-6000m)に存在する地震空白域^{2),4)}が挙げられる。この地震の低活動度については、固着していない⁵⁾、H₂Oの存在⁶⁾など諸説あるが、1973年の根室半島沖地震の破壊域上限がより水深5000m程度の等深線まで達している事実との関係が興味深い。

千島海溝周辺での構造探査は、1960年代から実施されてきたが^{7),8)}、北海道下に沈み込む海洋プレートを明瞭に捉えたのは1980年以降のことで、釧路海底谷の南西での探査結果が初めてである^{9),10)}。その結果、釧路沖千島海溝周辺の地殻構造は、1.8km/s、3.8-6.5km/s、6.5-7.0km/s(0.075-0.01s⁻¹)の海洋性地殻第1層～第3層、大陸斜面下には2.5～5.5-5.8km/sの低速度物質と北海道側の地殻が存在することがわかった。低速度物質は南海トラフなどでも見つかっている付加堆積物と類似の速度であるが、その規模は極端に小さいことがこの海域の特徴であり、日本海溝のように堆積層がプレートと共に沈み込んでいると考えられる。また、この研究では、最上部マントルの速度は7.9 km/s(0.015-0.03 s⁻¹)であることがわかり、沈み込む海洋地殻のモホ面は深さ25km程度まで求められたが、沈み込み角度が急であるこの海域では、巨大地震の発生と地殻構造の関係を解明するためにより深部の情報が必要である。

本調査では、これまで地震発生帯全体について把握されていなかった北海道東方千島海溝沿いの巨大地震破壊域のうち、C領域を横断する地殻深部構造を決定し、求められた地殻構造と巨大地震発生の関係を明らかにすることを目的としている。具体的には1973年の根室半島沖地震の破壊域を完全にカバーする海陸境界の地殻構造を求め、巨大地震破壊域と破壊域外での構造の違いを検討する。さらに、オホーツク海側まで延長した測線上で得られた記録から、オホーツク海側までの島弧の地殻構造、破壊域の下限より深部まで存在する沈み込む太平洋プレートの形状をイメージングすることを目指す。

2. 調査

本調査は、2000年7月～8月、海洋科学技術センターの海洋調査船「かいよう」によるKY0005次航海により実施され

た、海底地震計(OBS)を用いた屈折法・広角反射法地震探査である。探査測線は、千島海溝の軸から太平洋側(HK101-P)、北海道東方の陸上を経てオホーツク海側(HK101-O)に抜ける海陸横断測線と、オホーツク海側やや東方の測線(HK100)である(図2)。測線の詳細位置を表1に示す。制御震源として「かいよう」のエアガンアレイ(容量12,000立方インチ)を使用し、圧力14MPaで、150m間隔ショットを実施した。総ショット数は2404ショット(うちミスショット7ショット)である。このエアガン信号は同時に曳航した12チャンネルのハイドロフォン・ストリーマーでも記録した。本調査でのエアガンの位置は、「かいよう」船尾より96m後方(「かいよう」GPSアンテナより128.17m後方)、深さ10mで曳航した。

探査に使用したOBSは計45台で、HK101-P上に3.6km間隔に30台、HK101-O上に12km間隔に10台、HK100上に12km間隔に5台設置した。設置位置等の詳細情報を表2に示す。OBSの設置位置は「かいよう」の音響航法装置を用いて決定した。また、OBSは音響通信により錘を切り離す自己浮上式であるが、浅海域では今回初めて、「かいよう」搭載のハイパードルフィンにより、アンカーを回収した。本調査ではSite 42を除くすべてのOBSを回収することができた。各OBSにはセンサーとして固有周波数4.5Hzの速度型センサー3成分とハイドロフォンを搭載している。センサーが受振した信号はサンプリング周波数100Hz、16bitでA/D変換した後、DATテープに圧縮して記録される仕組みである¹¹⁾。

さらに、HK101-O、HK101-P測線の間の北海道東方の陸上では、東京大学地震研究所の協力により臨時に陸上観測点74点を設置し、海上でショットしたエアガン信号を受振した。また、陸上発破も3点で実施し(図2)、海陸のOBS、陸上観測点で発破信号を受信した。陸上発破の位置、発破時刻等の情報を表3に示す。

3. データ処理

OBSは回収後、1日間時刻較正のためのキャリブレーションを行った後、直ちに「かいよう」船上で分解され、DATテープのコピーを作成した。さらに、そのコピーテープからデータ処理専用のパソコンを用いてデータのディスク・イメージを作成する作業を船上で、一部行った。

調査終了後、上記のデータのディスク・イメージから、あるいはコピーテープから直接、各ショット毎のデータの切り

表1 測線の位置情報

Table 1 Information of seismic profiles

Line name	Start		END			
	Time (GMT)	Lat. (North)	Lon. (East)	Time (GMT)	Lat. (North)	Lon. (East)
HK100	00/7/24 20:52:48.253	44.622462	144.327126	00/7/25 04:10:38.399	44.220625	144.731483
HK101-O	00/7/25 08:03:00.115	44.250439	144.361518	00/7/25 23:58:57.473	45.083324	143.525317
HK101-P	00/7/26 00:00:12.917	44.250440	143.524368	00/7/29 20:52:29.756	42.879765	145.678302

表2 海底地震計の投入・回収情報

Table 2 Information of the deployment and retrieval of OBSs.

Site No.	Deployed position			Dep. (m)	Retrive Time(GMT)	Determined position			Dep. (m)
	Time(GMT)	Lat. (North)	Lon. (East)			Lat. (North)	Lon. (East)		
1	00/07/20 20:56	45.423300	143.175193	123	00/08/06 23:07	45.423783	143.174800	116	
2	00/07/20 21:38	45.336143	143.265683	135	00/08/07 01:28	45.336483	143.265467	128	
3	00/07/20 22:21	45.248938	143.355868	145	00/08/07 05:22	45.249283	143.355300	139	
4	00/07/20 23:03	45.161488	143.445562	150	00/08/07 07:56	45.161750	143.444833	143	
5	00/07/20 23:45	45.074125	143.535483	158	00/08/07 22:43	45.074583	143.535367	152	
6	00/07/21 00:29	44.986598	143.624853	166	00/08/08 01:49	44.986067	143.624650	159	
7	00/07/21 01:12	44.899010	143.713823	167	00/08/08 04:08	44.899317	143.713550	160	
8	00/07/21 01:58	44.811445	143.802927	166	00/08/08 06:10	44.811783	143.802867	159	
9	00/07/21 02:42	44.723673	143.891308	172	00/08/06 08:02	44.724033	143.890883	165	
10	00/07/21 03:27	44.635975	143.979557	185	00/08/06 05:26	44.636300	143.979000	177	
11		未設置							
12	00/07/21 05:03	44.576912	144.374207	1262	00/08/06 00:51	44.576833	144.373517	1234.8	
13	00/07/21 05:44	44.489188	144.462533	1304	00/08/05 23:26	44.488750	144.461933	1276.5	
14	00/07/21 06:22	44.401413	144.550723	1315	00/08/05 22:06	44.400300	144.550700	1289	
15	00/07/21 06:58	44.313498	144.638393	1134	00/08/05 20:45	44.313250	144.639183	1112.1	
16	00/07/21 07:36	44.225742	144.726168	921	00/08/05 19:27	44.225833	144.726967	878.6	
17	00/07/17 23:00	42.984222	145.580532	111	00/08/02 00:23	42.983750	145.579583	106	
18	00/07/17 23:27	42.957802	145.605373	145	00/08/02 02:46	42.957617	145.604517	136	
19	00/07/17 23:55	42.931320	145.630898	386	00/08/02 05:44	42.930767	145.628450	369	
20	00/07/18 00:21	42.904450	145.655522	781	00/08/02 08:25	42.903367	145.652250	787	
21	00/07/18 00:48	42.877833	145.680458	1214	00/08/03 00:02	42.877083	145.677767	1201	
22	00/07/18 01:14	42.850932	145.705228	1679	00/08/01 14:22	42.850317	145.702333	1658.5	
23	00/07/18 01:35	42.824208	145.730473	1927	00/08/01 15:35	42.824150	145.728417	1909.8	
24	00/07/18 01:55	42.797625	145.755117	2097	00/08/01 17:48	42.797547	145.753635	2063.6	
25	00/07/18 02:15	42.770675	145.780008	2150	00/07/30 01:01	42.771333	145.778600	2194.9	
26	00/07/18 02:36	42.743900	145.804947	2264	00/08/01 11:39	42.744967	145.804633	2239.1	
27	00/07/18 02:57	42.717277	145.829638	2425	00/08/01 12:16	42.718633	145.828867	2391	
28	00/07/18 03:19	42.690777	145.854693	2565	00/07/30 03:12	42.693017	145.853983	2546.6	
29	00/07/18 03:40	42.663842	145.879435	2661	00/07/30 04:45	42.666650	145.877233	2639.9	
30	00/07/18 04:00	42.636810	145.904175	2739	00/07/30 06:38	42.639767	145.903833	2701.3	
31	00/07/18 04:19	42.610093	145.928830	2769	00/07/30 07:35	42.612917	145.928033	2735	
32	00/07/18 04:36	42.583218	145.953575	2822	00/07/30 09:07	42.585650	145.952767	2775	
33	00/07/18 04:56	42.556538	145.978328	2972	00/07/30 10:38	42.559500	145.978183	2944.4	
34	00/07/18 05:14	42.529592	146.002782	3126	00/08/01 09:42	42.531017	146.002050	3075.1	
35	00/07/18 05:31	42.502877	146.027407	3270	00/08/01 08:06	42.504800	146.027017	3226.3	
36	00/07/18 05:48	42.476063	146.052212	3308	00/08/01 06:29	42.477350	146.051267	3267.3	
37	00/07/18 06:06	42.449218	146.076968	3300	00/08/01 04:53	42.450167	146.075883	3275.9	
38	00/07/18 06:22	42.422335	146.101298	3371	00/08/01 03:21	42.422883	146.099067	3024.4	
39	00/07/18 06:39	42.395365	146.126148	3379	00/08/01 01:53	42.395600	146.123317	3343.4	
40	00/07/18 06:55	42.368565	146.150300	3710	00/08/01 00:01	42.368300	146.147617	3648.5	
41	00/07/18 07:10	42.341722	146.175020	3979	00/07/31 22:22	42.342117	146.173033	3947.2	
42	00/07/18 07:26	42.315103	146.199640	4241			未回収		
43	00/07/18 07:42	42.288280	146.224095	4415	00/07/31 18:29	42.288633	146.223833	4380.6	
44	00/07/18 07:59	42.261322	146.248423	4851	00/07/31 16:30	42.261725	146.247217	4904.4	
45	00/07/18 08:16	42.234517	146.272802	5112	00/07/31 14:20	42.235183	146.272483	5124.1	
46	00/07/18 08:33	42.207702	146.297343	5299	00/07/31 11:45	42.210200	146.294933	5302.5	

表3 陸上発破の位置・時刻情報

Table 3 Information of explosions performed on land

explosion	Time (GMT)	Lat. (North)	Lon.(East)	Hight above sea level (m)
J1	00/7/23 16:02:10.002	43.818447	144.784303	207.5
J2	00/7/23 16:32:10.000	43.531111	145.061389	44.6
J3	00/7/23 17:02:11.929	43.192222	145.331111	60.3

(予定では 17:02:10.000)

出し作業を行った。今回、探査測線が500km弱で長距離であり、データ量が膨大になることを避けるために、切り出しの先頭時刻はオフセット距離に従って8km/sで遅らせることとし、データ長は各ショット60sとした。このとき、同時に陸上発破と調査期間中に発生したサハリン地震(Mw=6.7: USGSによる)に対応するデータも切り出した。さらに、今後実施予定のOBSデータへの反射法処理の適用のために、ミスショット7ショット分について150m間隔になるようなショット位置と時刻を計算し、それらに対応する部分のデータも切り出した。以上により、回収した42台のOBSで良好な記録が取得されていることを確認できた。上記以外の2台(Site19, 43)のデータには300~400ショット分の解読不能の部分があった。

以上の処理により、切り出されたデータのうち、上下動成分についてのレコード・セクションをオホーツク海側のHK100, HK101-O, 太平洋側HK101-Pの順に以下に説明する。さらに各OBSで取得された陸上発破の記録を並べたセクション(shot gather), サハリン地震の記録も示す。

4. データ

4.1. オホーツク海側

4.1.1. HK100

HK100はオホーツク海側の千島海盆の南西縁に位置し、北見大和堆南東側から網走海底谷を経て南東へ延びる距離60kmの測線である。この測線に沿ってOBSはsite 12~16の5台が12km間隔で設置された。エアガンの総ショット数は368ショットである。

記録の例として、図3にsite12, 15の記録を示す。記録の特徴としては、5~6km/sの見かけ速度を持つ初動が測線のほぼ全域に広範囲にわたって見られることが全OBSについての共通点である。地殻浅部構造については、震央距離約10km以内の範囲において、site13で見かけ速度4km/s, site14~16で2~4km/sの初動がそれぞれ確認できるが、唯一、網走海底谷の北西に位置するsite12の記録では初動として確認できない。このことから、網走海底谷より北東では、2~4km/sの堆積物に相当する層が非常に薄く、5~6km/sの地殻が北東に向かって盛り上がっていることが予想される。さらに、明瞭な後続波として、site12の震央距離約10kmから南東方向に見かけ速度4km/s, 6km/s, 震央距離約17kmから南東方向に見かけ速度3.5km/sのphaseが確認できる。これらの後続波はいずれも水平動2成分の記録に顕著にあらわれ、ハイドロフォンの記録では確認できないことから、地殻内部の任意の境界面でS波に変換した波であると考えられる。同様の後続波は測線上のほぼ全点で確認できる。

4.1.2. HK101-O

HK101-Oは北海道北東沿岸のオホーツク海の平均水深150mの距離170kmの測線である。この測線に沿ってOBSはsite 1~10の10台が12km間隔で設置された。エアガンの総ショット数は1071ショットである。

記録の例として、図4にsite 2, 6, 10の記録を示す。

HK100測線で見られた記録と同様に、見かけ速度5~6km/sの初動が震央距離約20~90km程度までの広範囲にわたって見られることがHK101-O測線上のすべてのOBSで確認できる。震央距離20km以下の地殻浅部構造に関する記録については、site1からsite 4までは見かけ速度3~5km/s, site 5からsite 10まででは4~5km/sの初動が見られ、最上部の堆積層の速度が南東にむかって若干速くなっていることが示唆される。また、site 6では、震央距離5km以下から見かけ速度4km/sの初動が現れはじめており、site4周辺では4km/sの速度の物質が厚く存在していることが推定される。また、ほぼ測線全体に、震央距離60km前後で振幅が強くあらわれる後続波が共通してみられる。この後続波が地殻下面のモホ面からの反射であるとなると、オホーツク海側の地殻の厚さは約20km程度であると考えられる。さらにsite1からsite 5については、上記の後続波のあとにも震央距離100km前後に強い信号が確認できる。

4.2. HK101-P

HK101-Pは北海道南東沖の太平洋側の距離150kmの測線である。この測線に沿ってOBSはsite 17~46の30台が3.6km間隔で設置された。エアガンの総ショット数は965ショットである。

記録例としてsite 17, 25, 34, 39, 44の記録を図5に示す。site35~site46までの海側の記録は、見かけ速度3.5km/s, 5~6km/s, 7km/s, 8km/s以上の初動からなると見られる。ただし、北西方向の陸側に向かって、3.5km/sの初動の出現範囲は増大し、海側のsite46周辺で約10kmであるのに対し、site35周辺では約35kmにまで及び、見かけ速度も4km/s程度にまで達する。このことは、地殻上部の3.5~4km/sの物質が陸側に向かって厚くなっていることを示唆する。さらにsite33, 34の記録では、4km/sと5~6km/sの初動の間に走時の飛びが認められる。これは、4km/sと5~6km/sの物質の層の間に低速度層が存在している可能性があると考えられる。この走時の飛びは、site32の記録でははっきりと確認できない。しかし、site31の記録では約6km/sの初動が出現しているように見え、さらに陸側のOBSの記録では明瞭な走時の飛びは確認できない。また、明瞭な後続波である海洋地殻のモホ面からの反射、あるいは海洋地殻内部からの反射と考えられる後続波も見られる。例えば、site44ではモホ面からの反射が震央距離20km前後から、site39では30km前後から確認できる。さらに、site35からsite43では震央距離20~50km周辺に海洋地殻内部からの反射と考えられる明瞭な後続波が認められる。これらの後続波は陸側に向かって出現範囲がOBSから海側へ遠ざかり、走時も遅くなることから、その反射面の位置が深くなっていることを示していると考えられる。Site34から陸側でも上記と類似の明瞭な後続波がみられるが、これらの反射波がどこから発生したのか興味深い。陸側に近づくにつれて、これらの後続波はモホ面からの反射のみの1種類になるように見られ、site25では震央距離50km, site17では70kmから現れる。

site44~site46の陸側の記録は、見かけ速度5km/sと

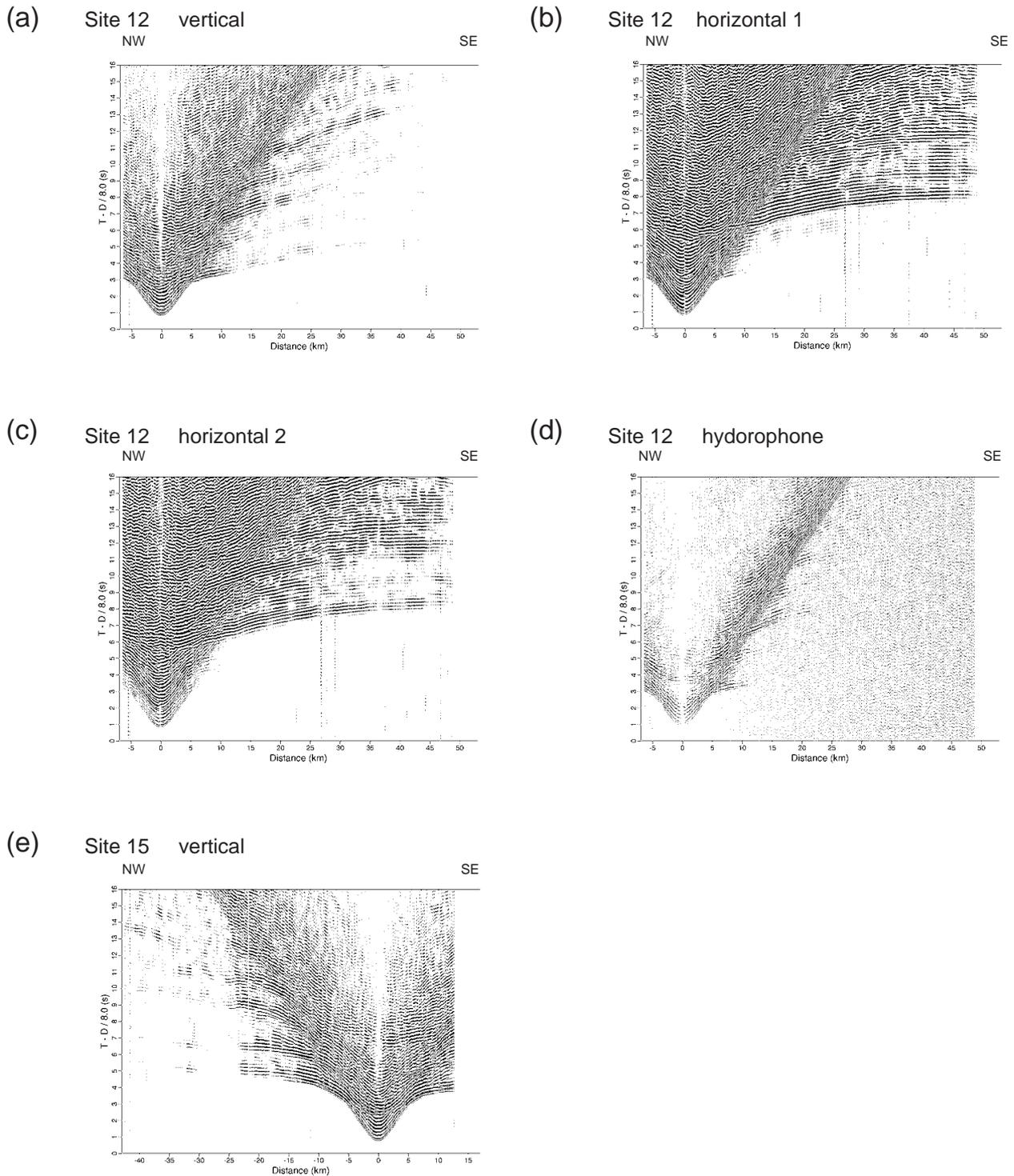


図3 HK100測線上のOBS(site12 , 15)で得られた地震探査記録。5-15Hzのバンドパス・フィルターをかけ ,見かけ速度8km/s が水平になるよう処理をかけたものである。振幅はオフセット距離の1/2乗に比例する係数で補正した。

(a) site 12の上下動成分 (b) site12の水平動成分1 (c) site12の水平動成分2 (d) site12のハイドロフォン (e) site15の上下動成分。ハイドロフォンの記録に見られる複数の後続波は多重反射であると考えられる。

Fig. 3 Observed seismograms at OBSs(site12 and 15) on HK100 have been digitally band-pass filtered(5 to 15 Hz). Reduction velocity is 8 km/s. Trace amplitudes are scaled by the square root of the offset distance.

(a) vertical component recorded at site12, (b) horizontal component 1 recorded at site 12, (c) horizontal component 2 recorded at site 12, (d) hydrophone data of site 12, and (e) vertical component recorded at site 15. Later phases recognized in the record section of hydrophone are considered as multiples.

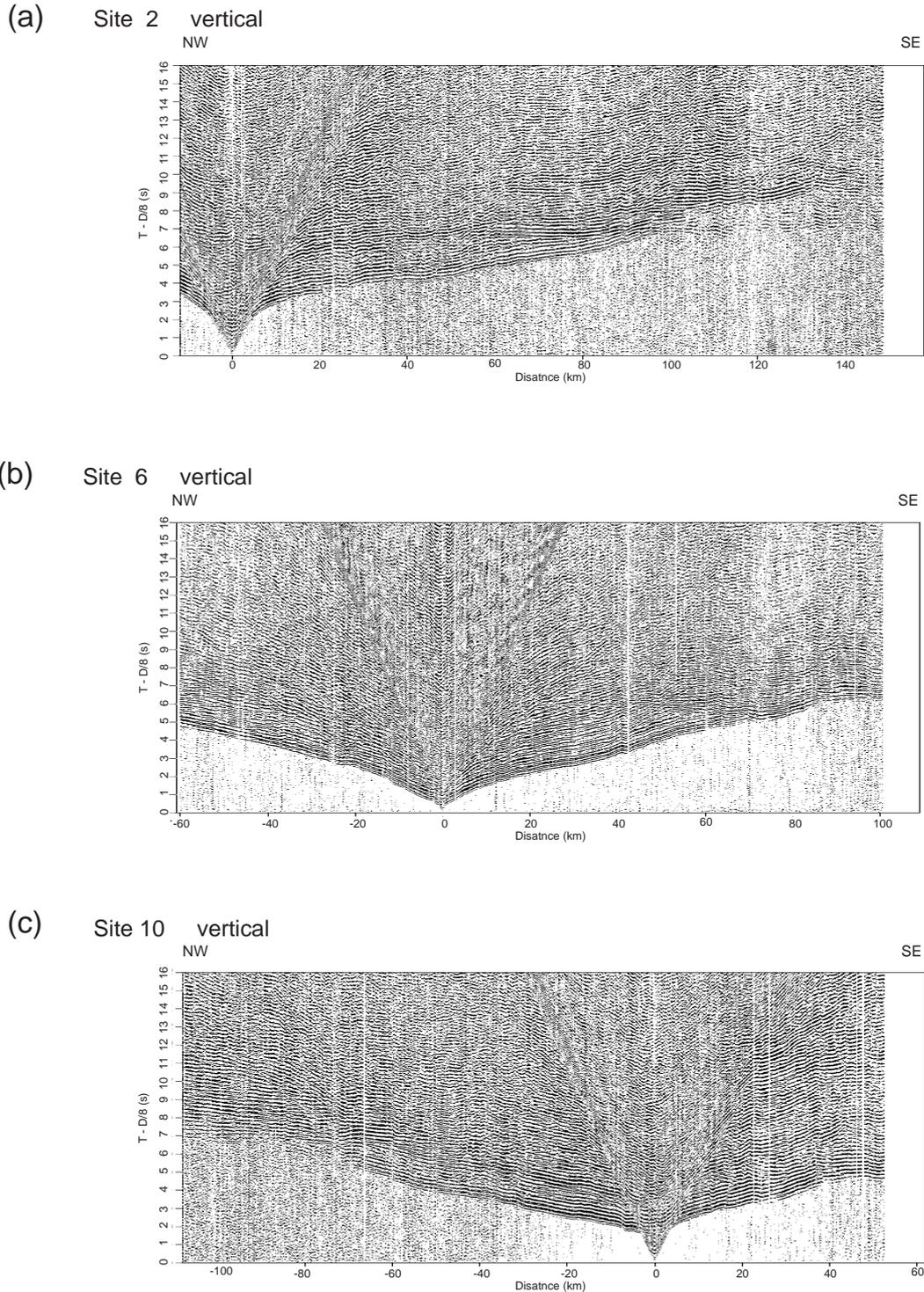


図4 HK101-O測線上のOBS(site 2 , 6 , 10)で得られた地震探査記録(上下動成分)。表示方法は図3と同じ。
(a) site 2 (b) site 6 (c) site 10の上下動成分。全OBSの設置水深が浅いため、全ての記録について多重反射が複数存在する。

Fig. 4 Observed seismograms at OBSs(site 2, 6, and 10) on HK101-O. Method of digital processing is same as Fig. 3.
(a) vertical component recorded at site 2, (b) vertical component recorded at site 6, and (c) vertical recorded at site 10. Several multiples are recognized because of shallow water.

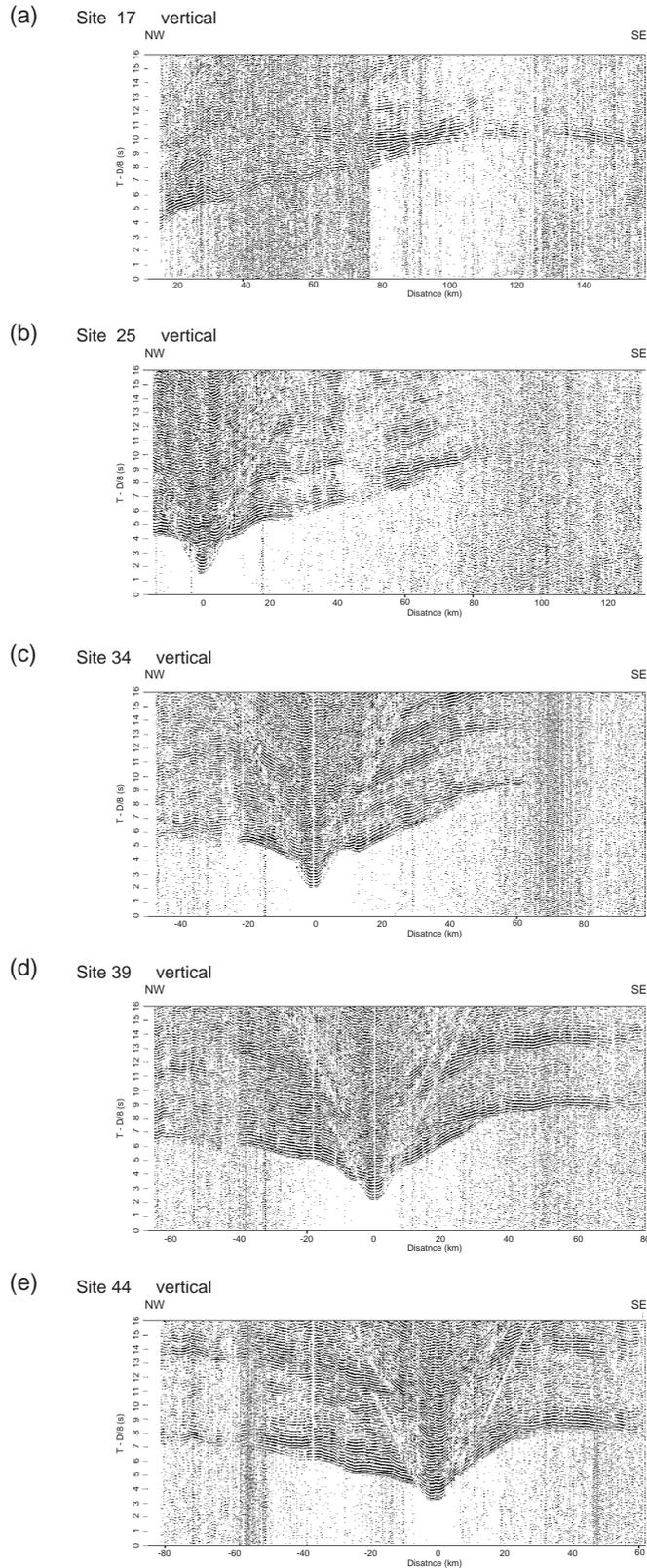


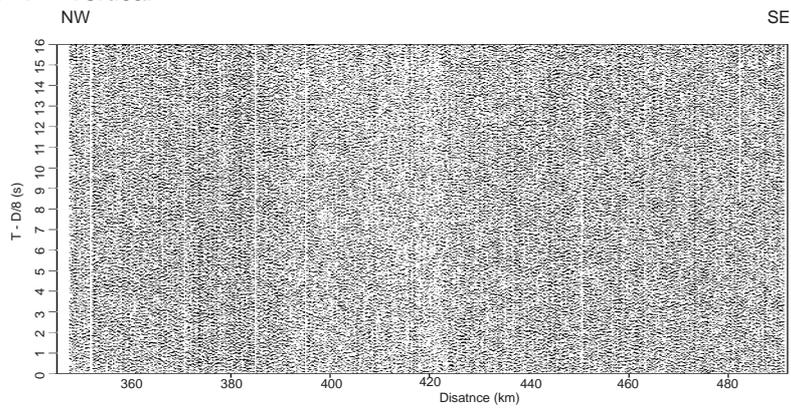
図5 HK101-P測線上のOBS(site 17 ,25 ,34 ,39 ,44)の地震探査記録(上下動成分)。表示方法は図3と同じ。

(a)site17 (b)site25 (c)site34 (d)site39 (e)site44の上下動成分。

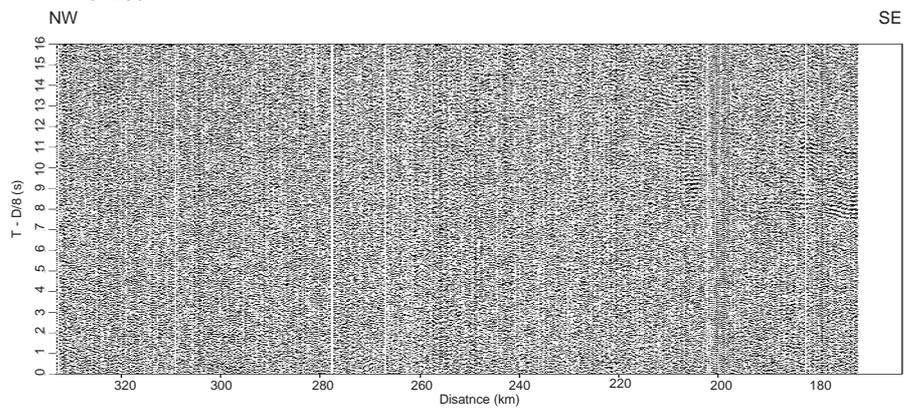
Fig. 5 Observed seismograms at OBSs(site 17, 25, 34, 39, and 44) on HK101-P. Method of digital processing is same as Fig. 3.

(a) vertical component recorded at site 17, (b) vertical component recorded at site 25, (c) vertical component recorded at site 34, (d) vertical component recorded at site 39, and (e) vertical component recorded at site 44.

(a) Site 1 vertical



(b) Site 17 vertical



(c) Site 46 vertical

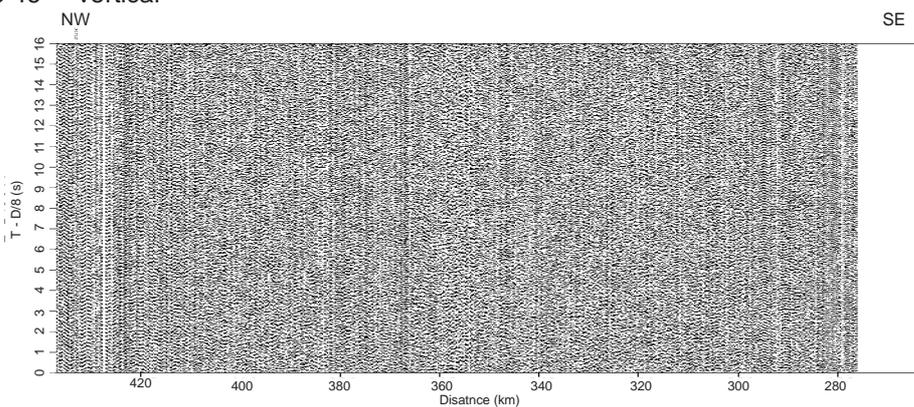


図6 HK101長距離測線の記録。表示方法は図3と同じ。

(a) site1 (b) site17 (c) site46の上下動成分。

Fig. 6 Observed seismograms at OBSs (site 1, 17, and 46) on HK101 with the long offset distance. All seismograms show vertical component. Method of digital processing is same as Fig. 3.

(a) airgun shots of North Pacific Ocean recorded at site1, (b) airgun shots of the sea of Okhotsk recorded at site 17, and (c) site46.

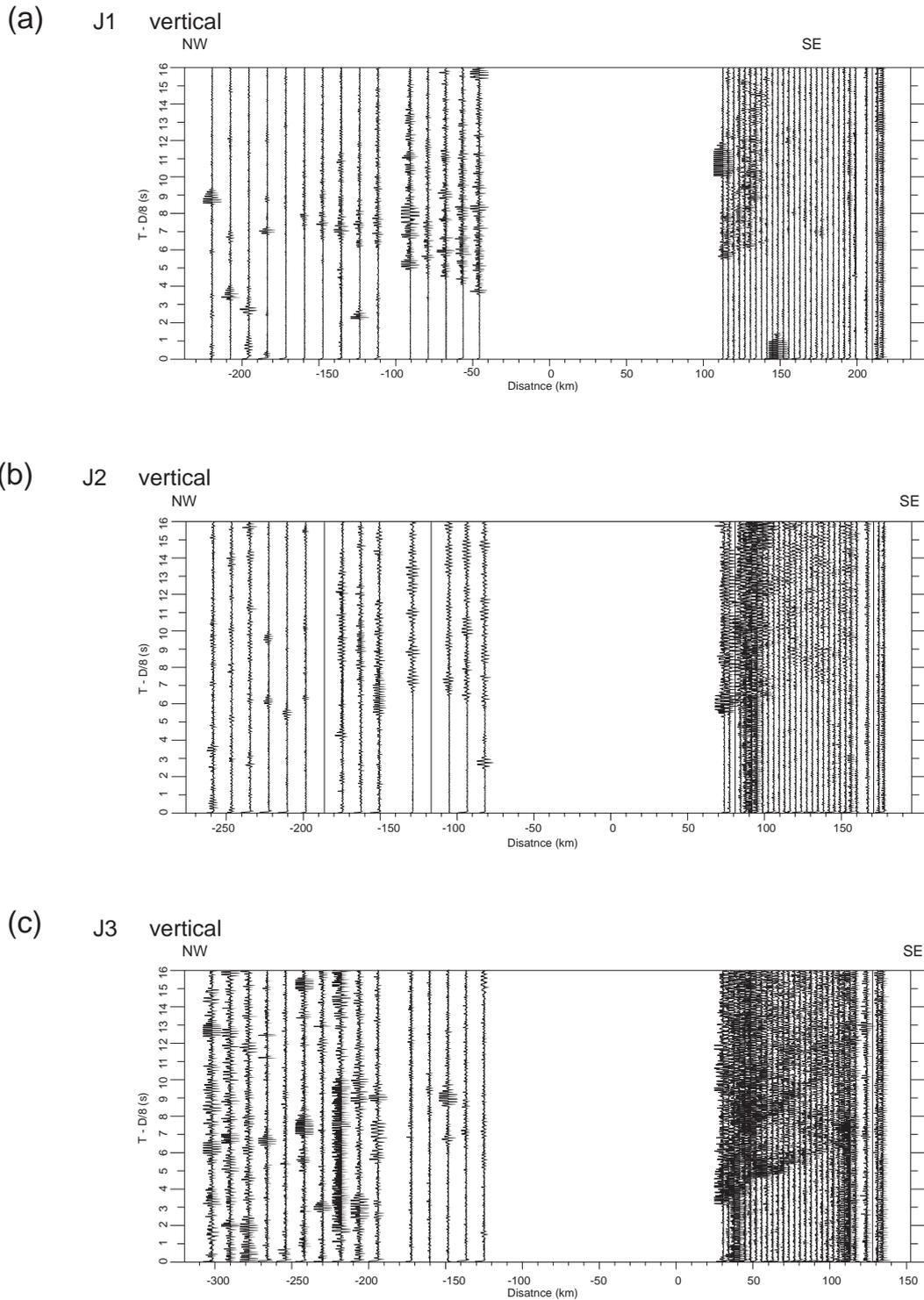


図7 陸上発破J1～J3について全OBSを並べた記録(上下動成分)。表示方法は図3と同じ。但し、大振幅はクリップした。

(a) J1 (b) J2 (c) J3の上下動成分。

Fig. 7 Observed seismograms recorded at all OBSs for explosions on land J1, J2, and J3. Method of digital processing is same as Fig. 3. Huge amplitudes were clipped.

(a) vertical component recorded at all OBSs for J1, (b) J2, and (c) J3.

8km/sの初動からなるが、site37～site43では見かけ速度5km/sの初動に先立って4km/s以下の初動が確認できる。しかしながら、この4km/sの初動はsite36から陸側では完全に後続波となっている。明瞭な後続波としては、モホ面からの反射と考えられる波が、site43～site46までは確認できる。この後続波は出現範囲が陸側に向かってOBSから遠くなり、site46では震央距離15kmで現れているのに対し、site43、site44では30kmにまで遠ざかることがわかる。

4.3. HK101長距離測線

次に、オホーツク海側HK101-O測線上でのショットを太平洋側のOBSで取得した記録と、太平洋側HK101-P測線上でのショットをオホーツク海側で取得した記録について説明する。

「かいよう」搭載の大容量エアガンのショットにより、北海道をはさんだ両海域で反対側の海のショットを複数の観測点で捉えることに成功した。例としてsite1, 17, 46の記録を図6に示す。site1で取得した太平洋側HK101-P測線上のショットによる信号は、微弱ながらHK101-O測線全体にわたって追跡できる。もっとも明瞭に確認できるphaseは図に示す走時7～9sの間に確認でき、そのほかにも後続波と見られるphaseが震央距離440kmから南東に9～10s, 11～12sに平行に現れているように見える。類似の記録の特徴はsite2～10でも確認できるが、部分的にはS/Nが悪く確認できないphaseもある。site17で記録したオホーツク海側HK101-O測線上でのショットは、震央距離が比較的近い170～210km程度までは初動が明瞭に確認できる。さらに離れると信号は急激に弱くなり、明瞭なphaseは確認できないが、震央距離250～290kmの走時7s前後など部分的に信号の強い領域も存在する。site46の記録では、見かけ速度8km/s以上のphaseが測線の北西端まで追跡できる。このphaseの2s後ろにも平行にphaseが見える。また、見かけ速度8km/sの後続波と考えられる信号が震央距離340～360km、および390～410kmに強く現れているように見える。

4.4. 陸上発破

各OBSは調査期間中に、陸上で実施した発破の信号も記録している。これらの陸上発破についてOBSの記録を並べたレコード・セクションを図7に示す。陸上発破J1～J3についての記録は、いずれも北海道がのっている千島島弧の地殻構造に関する情報を与えてくれるものである。J1の記録では、オホーツク海側に見かけ速度5km/sの初動が震央距離200km程度まで追跡できる。太平洋側でも見かけ速度5km/sの初動が見られ、震央距離150kmまで追跡できる。類似の記録の特徴はJ2の発破の記録でも認められるが、J2は薬量がほかに比べて小さいため、信号の到達距離が短い。震央距離100km前後まで初動が確認できる。J3の発破はオホーツク海側ではほとんど確認できなかった。この発破は、予定の発破時刻に部分的にしか火薬が爆破されず、結果的には残りの部分が若干遅れて爆破されたことになったため、発破そのものが2段階になり、薬量に見合った

エネルギーが放出されなかったと考えられる。太平洋側では震央距離50kmまで見掛け速度3km/s、110kmまで5km/sの初動が明瞭に確認できた。

4.5. サハリンの地震

調査期間中の2000年8月4日21時13分2.7秒(GMT)にサハリン近海(北緯48度47.1分, 東経142度14.7分)で深さ約10km, Mw6.7(USGS発表)の地震が発生した。この記録は、その際、設置中だったsite1～site16で記録されていた。この地震についてsite1～site16までの記録を並べたレコード・セクションを図8に示す。初動の見掛け速度がほぼ8km/sであることから、最上部マントルを伝播してきた屈折波であると考えられる。

5. まとめ

2000年7月～8月、北海道東方・千島海溝周辺でKY0005次航海により、エアガン、OBSを用いた屈折法・広角反射法地震探査を海陸を横断する測線をとって実施した。本観測により、総測線長約500kmにわたる測線上に設置したOBSにより測線全体にわたるエアガン信号を記録することに成功した。この調査によって、今まで明らかにならなかった、北海道・千島島弧の地殻構造、その下に沈み込む海洋性プレートの形状、構造などの情報が得られるとともに、この海域で過去に繰り返し発生している巨大地震のメカニズムについても新たな知見が得られることが期待される。

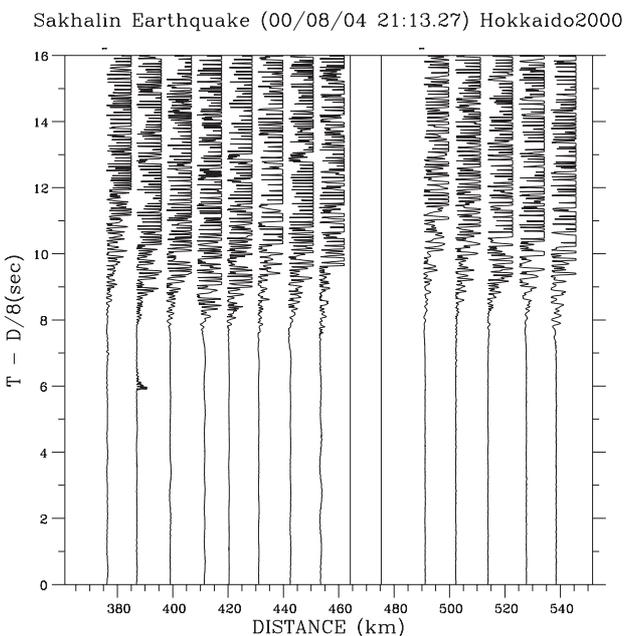


図8 サハリン地震についてsite1～site16の記録を並べた記録(上下動成分)。実振幅を表示したが、大振幅はクリップした。

Fig. 8 Observed seismograms (vertical component) recorded at site1～16 for Sakhalin earthquake (Mw=6.7) occurred on 2000/08/04. True amplitudes were plotted. Huge amplitudes were clipped.

謝辞

KY0005次調査航海の際,海洋調査船「かいよう」の斉藤船長をはじめとする乗船員,観測技術員の方々に大変お世話になりました。ここに記して深く感謝いたします。

引用文献

- 1) 宇津徳治,地震学(共立全書,東京,1985)。
- 2) Iwasaki T., N. Hirata, T. Kanazawa, T. Urabe, Y. Motoya, and H. Shimamura, "Earthquake distribution in the subduction zone off eastern Hokkaido, Japan, deduced from ocean bottom seismographic and land observations", *Geophys. J. Int.*, **105**, 693-711(1991)。
- 3) 鈴木貞信,本谷義信,海野徳仁,長谷川昭,亀谷悟,田中和夫,“千島弧・東北日本弧会合部付近の浅発地震活動と重ね合せ発震機構 - 広域の験震データの併合処理 - ”,地震 第2輯, **36**, 3, 407-422 (1983)。
- 4) Hirata, N., T. Kanazawa, K. Suyehiro, T. Iwasaki, and H. Shimamura, "Observation of microseismicity in the Southern Kuril Trench area by arrays of ocean bottom seismometers", *Geophys. J. Int.*, **98**, 55-68(1989)。
- 5) Shimazaki, K., "Nemuro-Oki earthquake of July 17, 1973: A lithospheric rebound at the upper half of the interface", *Phys. Earth planet. Inter.*, **9**, 314-327(1974)。
- 6) Shimamoto, T., "The origin of large of great thrust-type earthquakes along subducting plate boundaries", *Tectonophysics*, **119**, 37-65(1985)。
- 7) Den, N., H. Hotta, S. Asano, T. Yoshii, N. Sakajiri, Y. Ichinose, M. Motoyama, K. Kakiichi, A. F. Beresnev, and A. A. Sagalevitch, "Seismic refraction and reflection measurements around Hokkaido. Part 1. Crustal structure of the continental slope off Tokachi", *J. Phys. Earth*, **19**, 329-345(1971)。
- 8) Asano, S., N. Den, H. Hotta, T. Yoshii, Y. Ichinose, N. Sakajiri, and T. Sasatani, "Seismic refraction and reflection measurements around Hokkaido Part 2. Crustal structure of the continental slope off Hidaka", *J. Phys. Earth*, **27**, 497-509(1979)。
- 9) Nishizawa, A., and K. Suyehiro, "Crustal structure across the Kurile Trench off south-eastern Hokkaido by airgun-OBS profiling", *Geophys. J. R. astr. Soc.*, **86**, 371-397(1986)。
- 10) Iwasaki, T., H. Shiobara, A. Nishizawa, T. Kanazawa, K. Suyehiro, N. Hirata, T. Urabe, and H. Shimamura, "A detailed subduction structure in the Kuril Trench deduced from ocean bottom seismographic refraction studies", *Tectonophysics*, **165**, 315-336(1989)。
- 11) 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。
- 12) 佐藤良輔(編著),日本の地震断層パラメーター・ハンドブック 鹿島出版会,東京,1997)。

(原稿受理:2001年1月25日)