

## 北海道北東部における爆破地震動の観測

平 貴昭<sup>1)\*</sup>・森谷武男<sup>1)</sup>・宮町宏樹<sup>3)</sup>・和田直人<sup>2)a</sup>・平野舟一郎<sup>4)</sup>・大塚 健<sup>1)</sup>・  
松原わかな<sup>1)b</sup>・丸山保洋<sup>2)c</sup>

<sup>1)</sup>北海道大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻

<sup>2)</sup>北海道大学大学院理学研究科附属地震火山研究観測センター

<sup>3)</sup>鹿児島大学理学部地球環境科学科

<sup>4)</sup>鹿児島大学理学部附属南西島弧地震火山観測所

<sup>a</sup>現在 標津町役場

<sup>b</sup>現在 アジア航測株式会社

<sup>c</sup>現在 松下システムエンジニアリング株式会社

## Seismic Refraction Experiment in the Northeastern Part of Hokkaido, Japan

Taka'aki Taira<sup>1)\*</sup>, Takeo Moriya<sup>1)</sup>, Hiroki Miyamachi<sup>3)</sup>, Naoto Wada<sup>2)a</sup>, Syuichiro Hirano<sup>4)</sup>,  
Ken Otsuka<sup>1)</sup>, Wakana Matsubara<sup>1)b</sup> and Yasuhiro Maruyama<sup>2)c</sup>

<sup>1)</sup> Division of Earth and planetary Sciences, Graduate School of Science, Hokkaido University

<sup>2)</sup> Institute of Seismology and Volcanology Graduate School of Science, Hokkaido University

<sup>3)</sup> Department of Earth and Environmental Sciences, Faculty of Science, Kagoshima University

<sup>4)</sup> Nansei-toko Observatory for Earthquakes and Volcanoes, Faculty of Science, Kagoshima University

<sup>a</sup> Present Address : Shibetsu-cho Town Office

<sup>b</sup> Present Address : Asia Air Survey Co., Ltd.

<sup>c</sup> Present Address : Matsushita Systems Engineering Co., Ltd

### Abstract

A seismic refraction experiment with 75 seismometers and 4 explosions (J-1 to J-4) was carried out in the northeastern part of the Hokkaido on July 24, 2000. A 162-km profile extended in the NNW-SSE direction. The profile was geologically located above the Tokoro belt to investigate the deep structure of the back arc of the Kurile Arc and its relation with geothermal gradient. We only measured a one-direction shot. High-quality records were obtained along the profile for J-1 and J-4 shots. The large fluctuation among the first arrivals at each station strongly suggests the existence of a very complicated sedimentary layer at the surface. We could estimate the depth of the upper surface of the lower crust and Moho discontinuity, and the surface sedimentary layer was proved to be thin (0.5 km) in the Tokoro belt.

**Key words:** explosion seismic observations, crust, Tokoro belt

### 1. はじめに

北海道は千島弧と東北日本弧の接合部に位置し、多くの地震波構造探査の結果 (例えば Okada *et al.*, 1974: Ozel *et al.*, 1996: Iwasaki *et al.*, 1998: Moriya *et al.*, 1998: Tsumura *et al.*, 1999) から、上部地殻と下部地殻の間に P 速度が 6.4 km/s 程度の中間層の存在が指摘さ

れた。中間層は活動的な島弧に存在し、構成物質から古い島弧地殻から形成されたと考えられ (Godfrey *et al.*, 2000) 大陸形成を知る手がかりの一つである。また、森谷・他 (2001) では地殻中間層の位置と震源分布や温度分布を比較し、その性質が明らかになりつつある。しかし、千島弧背弧側にあたるオホーツク海側ではこれまで

\*email:taka@momo.ep.sci.hokudai.ac.jp (〒060-0081 札幌市北区北 10 条西 8)

構造探査は行われておらず他の地域に比べて地殻の情報が極めて不足しており、その形成過程には多くの不明な点が残されている。背弧側のオホーツク海岸東部地域は、日高帯、常呂帯および根室帯が配置し（例えば 日本の地質「北海道地方」編集委員会、1990）、広帯域 MT 法により日高帯から常呂帯にいくにしたがい、特に深さ 5 km まででは、高比抵抗から低比抵抗へと比抵抗値が遷移することが示されている（小川・他、1992）。我々の観測目的は、千島弧背弧側下部地殻に中間層が存在を示す反射波が確認できるか確かめ、片測線しか用いないがおおまかな地殻構造を得ることにある。

## 2. 探査概要と観測結果

2000 年 7 月 24 日未明に海洋科学技術センターにより太平洋から北海道東部を通りオホーツク海へぬける測線での地殻構造探査が実施された（千島海溝海陸境界深部構造探査研究グループ、2000）。今回の探査では、斜里町から根室市にかけての陸上でも 4 ヶ所の爆破点（J-1-J-4）が設けられた（蔵下・他、2000）。各発破点の位置、発震時刻と薬量を Table 1 に示す。我々はこれらの測線とは別に北海道オホーツク沿岸に常呂帯を横断するような測線を設けて観測を行った（Fig. 1, Table 2）。観測点は 75 点で行い、機材については極地研究所所有のデータロガー（LS8000）および固有周期 2.2 Hz のセンサー（L22D）を借用した。観測の結果、J-1 および J-4 の爆破によって良好な記録を得た。

Fig. 2 に 5-10 Hz のバンドパスフィルターを通した J-1 と J-4 の爆破によるレコードセクションを示す。それぞれの波形記録は各トレースの最大振幅で規格化されており、震源距離が 80 km までは明瞭な初動を確認することができる。80 km から 120 km にかけては顕著な位相が見られるが、これは隣接する観測点に比べ到着時刻が 1 秒ほど遅いことから後続波と考えた。この区間では初動と思われる走時を読み取れなかった。点線で囲まれた領域には下部地殻のもしくは下部地殻内部からの反射波群の可能性があり、今回の観測点間隔は平均で 2 km であるため、反射波群が観測されても位相の相関は良くないと考えられる。

Table 3 に各観測記録から読み取った初動および後続波の走時を示してある。このデータには、ノイズレベル、相の明瞭度などを考慮して、読み取り精度が  $\pm 0.02$  以内のものは“A”， $\pm 0.05$ s 以内は“B”，それ以上の誤差を含むと考えられるものは“C”としてランクづけを行っている。また、S/N 比が悪く初動到達時刻が不明瞭なものには、明らかに地震波が到達している時刻を読み取り“L”をつけてある。ランクの後ろの+は相の極性を表し、+が地動の上向き、-が下向きを示している。Fig. 3 に読み取った初動および後続波の走時図を示す。J-1 および J-4 で得られた波形記録の特徴は、初動の走時曲線は極めて大きな起伏が見られることである。これは表層付近に不均質構造があることを示唆している。特に根室帯と常呂帯の境界では複雑な形状であると思われる。おおまかな速度構造を得るために Zelt and Smith (1992) の raytrace を使用した。今回はノイズレベルと測線の直線性を考慮して、J-1 に対する Line 1 の波形記録を用いたが、片測線のみの観測のため、一意に地殻構造を得ることは難しい。そこで、堆積層の初期構造を、日高帯（震源距離 0-60 km）、根室帯（震源距離 120-160 km）では日本の地質「北海道地方」（1990）の地質構造をもとに、日高帯で厚さ 3 km、P 波速度を 3.0 km/s、根室帯では厚さ 3 km、P 波速度を 3.5 km/s とした。常呂帯（震源距離 60-120 km）の堆積層は Ozel *et al.*

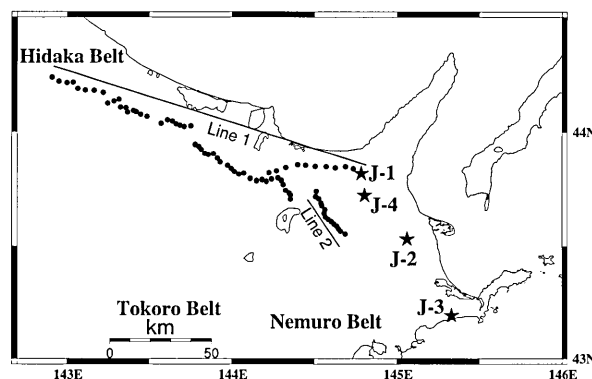


Fig. 1. Location map of the 2000 Okhotsk seismic experiment. Star and circle symbols indicate shot points and temporary stations, respectively.

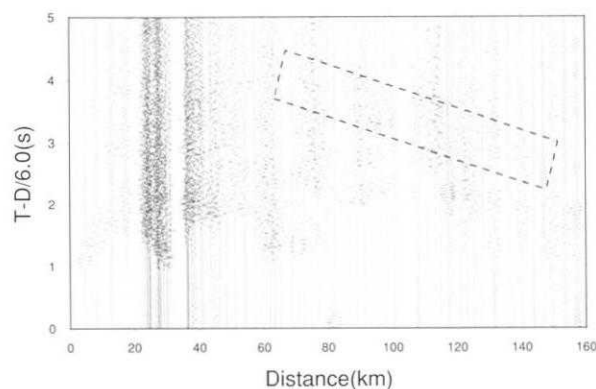
Table 1. Shot times, locations, and charge size of four explosions in the 2000 seismic experiment（千島海溝海陸境界深部構造探査研究グループ 2000）

Shot No	Date	Shot Time (JST)	Latitude (N)	Longitude (E)	Altitude (m)	Charge (kg)
J-1	2000, Jul, 24	01:02:10:002	43.8184	144.7843	207.5	300
J-2	2000, Jul, 24	01:32:10:000	43.5311	145.0614	44.6	100
J-3	2000, Jul, 24	02:02:10:000	43.1922	145.3311	60.3	300
J-4	2000, Jul, 24	03:32:10:002	43.7238	144.8037	342.2	100

Table 2. Location of temporary stations.

Number	Station Name	Latitude (N)	Longitude (E)	Altitude (m)
1	HKD7-01	43.8407	144.7355	100
2	HKD7-02	43.8500	144.6904	50
3	HKD7-03	43.8444	144.6273	50
4	HKD7-04	43.8493	144.5728	40
5	HKD7-05	43.8506	144.5061	60
6	HKD7-06	43.8552	144.4485	80
7	HKD7-07	43.8576	144.4002	90
8	HKD7-08	43.8452	144.3285	90
9	HKD7-09	43.8300	144.2717	70
10	HKD7-10	43.8219	144.2265	90
11	HKD7-11	43.5539	144.6872	240
12	HKD7-12	43.5655	144.6586	260
13	HKD7-13	43.5764	144.6470	340
14	HKD7-14	43.5886	144.6363	360
15	HKD7-15	43.5980	144.6195	400
16	HKD7-16	43.6093	144.6043	430
17	HKD7-17	43.6184	144.5842	390
18	HKD7-18	43.6288	144.5667	340
19	HKD7-19	43.6438	144.5595	300
20	HKD7-20	43.6602	144.5640	240
21	HKD7-21	43.6777	144.5463	210
22	HKD7-22	43.6911	144.5399	180
23	HKD7-23	43.7092	144.5281	160
24	HKD7-24	43.7187	144.5090	120
25	HKD7-25	43.7409	144.5133	100
26	HKD7-26	44.0264	143.7508	90
27	HKD7-27	44.0231	143.7108	110
28	HKD7-28	44.0292	143.6853	135
29	HKD7-29	44.0347	143.6628	75
30	HKD7-30	44.0472	143.6403	80
31	HKD7-31	44.0522	143.6103	90
32	HKD7-32	44.0369	143.5714	230
33	HKD7-33	44.0672	143.4861	110
34	HKD7-34	44.0772	143.4475	170
35	HKD7-35	44.0883	143.4211	170
36	HKD7-36	44.0928	143.4047	220
37	HKD7-37	44.0872	143.3689	460
38	HKD7-38	44.1056	143.3583	315
39	HKD7-39	44.1086	143.3272	215
40	HKD7-40	44.1431	143.3164	195
41	HKD7-41	44.1347	143.2847	314
42	HKD7-42	44.1261	143.2464	200
43	HKD7-43	44.1725	143.2189	125
44	HKD7-44	44.1814	143.1636	120
45	HKD7-45	44.1825	143.1103	150
46	HKD7-46	44.1892	143.0653	150
47	HKD7-47	44.2169	143.0369	160
48	HKD7-48	44.2150	143.0000	210
49	HKD7-49	44.2208	142.9511	255
50	HKD7-50	44.2381	142.9108	342
51	L126	43.7081	144.3568	605
52	L127	43.7247	144.3566	465
53	L128	43.7338	144.3483	398
54	L129	43.7467	144.3266	260
55	L130	43.7722	144.3125	165
56	L131	43.7897	144.3017	100
57	L132	43.8002	144.2799	120
58	L133	43.7956	144.2428	120
59	L134	43.7856	144.2103	84
60	L135	43.7925	144.1830	65
61	L136	43.7883	144.1498	55
62	L137	43.7972	144.1108	60
63	L138	43.8199	144.0714	87
64	L139	43.8161	144.0419	180
65	L140	43.8267	144.0150	110
66	L141	43.8407	143.9966	75
67	L142	43.8547	143.9738	50
68	L143	43.8698	143.9292	100
69	L144	43.8864	143.9116	110
70	L145	43.9055	143.8878	110
71	L146	43.9016	143.8577	85
72	L147	43.9066	143.8361	110
73	L148	43.9239	143.8141	135
74	L149	43.9364	143.8013	200
75	L150	43.9453	143.7777	280

(a) Observed seismograms (J-1)



(b) Observed seismograms (J-4)

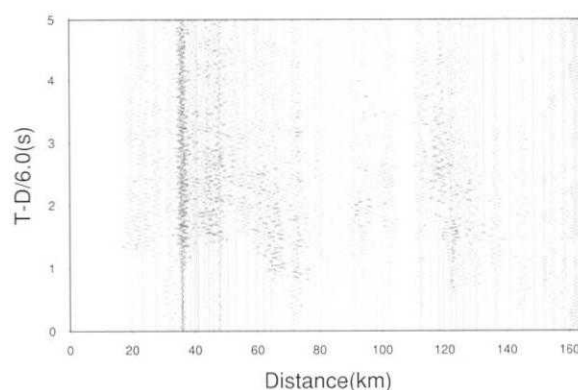


Fig. 2. Observed seismograms for (a) J-1 and (b) J-4. The horizontal axis represents a source-station offset. Waveforms are passed through 5-20 Hz band-pass filter. Each trace is normalized by its maximum amplitude. The reduction velocity is 6 km/s.

(1996) をもとに、厚さ 1 km、P 波速度を 5.0 km/s とした。堆積層よりも深部の地殻構造については Iwasaki *et al.* (1998) をもとに、上部地殻は厚さ 14 km、P 波速度を 6.00 km/s とし、下部地殻においては厚さ 8 km、P 波速度 6.60 km/s、モホ面の深さ 30 km、P 波速度を 7.80 km/s とした。常呂帯のみ Ozel *et al.* (1996) の結果から堆積層が薄いので、周囲に比べて比較的浅いところにも基盤岩が存在すると考え上部地殻の P 波速度を 6.20 km/s とした。また、80 km から 120 km の読み取った後続波は、下部地殻上面からの屈折波とし、120 km 以上の初動は震源距離を考慮して、モホ面からの屈折波と解釈し構造を求めた。また、Fig. 4 の上段にレイダイアグラムを、下段に観測走時と計算走時の比較を示す。Table 4 には走時残差を示し、Fig. 5 に得られた速度構造を示す。今回の観測されたデータでは、水平方向の速度変化

Table 3. Travel time data. T1 and T2 are travel time first arrivals and later arrivals, respectively. Ranks A, B, C and L indicate "very good", "good", "fairly good" and "later arrivals", respectively. Rank L indicates that a signal can be recognized at the corresponding travel time. "+" or "-" attached to a rank indicates whether the direction of arrival is upward or downward.

Shot J-1 2000/7/24 01:02:10.002					Shot J-4 2000/7/24 03:32:10.002				
Station	Distance (km)	Azimuth (deg.)	T1	T2	Station	Distance (km)	Azimuth (deg.)	T1	T2
HKD7-01	4.63	302.2	1.63A+		HKD7-01	14.10	337.1		
HKD7-02	8.33	294.9	2.51A+		HKD7-02	16.73	327.0		
HKD7-03	12.95	282.9	3.50A+		HKD7-03	19.52	313.4	4.38A-	
HKD7-04	17.35	281.5	4.28A+		HKD7-04	23.24	307.0	5.01A-	
HKD7-05	22.66	279.2	5.11B+		HKD7-05	27.80	300.6	5.74B+	
HKD7-06	27.31	278.7	6.25B+		HKD7-06	32.10	297.2		
HKD7-07	31.19	278.1	6.77B-		HKD7-07	35.72	294.7	7.32A+	
HKD7-08	36.78	274.8	7.72B+		HKD7-08	40.56	289.6	8.05A+	
HKD7-09	41.25	272.0	8.28B+		HKD7-09	44.43	285.6	8.73B+	
HKD7-10	44.87	270.7	8.94C+		HKD7-10	47.73	283.4	9.15B+	
HKD7-11	30.42	195.0	6.06A+		HKD7-11	21.13	213.7	4.19A+	
HKD7-12	29.87	199.9	5.80A+		HKD7-12				
HKD7-13	29.08	202.4	5.82A+		HKD7-13	20.70	217.7	4.12A+	
HKD7-14	28.18	205.1	5.54A+		HKD7-14	20.20	222.0	4.04A+	
HKD7-15	27.86	209.5	5.61B-		HKD7-15	20.40	226.8	4.10A+	
HKD7-16					HKD7-16				
HKD7-17	27.45	216.0	5.46A+		HKD7-17	21.23	236.6	4.20B+	
HKD7-18	27.41	220.0	5.57A+		HKD7-18	21.84	241.2	4.38B+	
HKD7-19	26.54	223.1	5.49B+		HKD7-19	21.61	245.8	4.44C+	
HKD7-20	24.98	225.3	5.20B+		HKD7-20	20.58	250.0	4.17C+	
HKD7-21	24.74	230.9	5.29B-		HKD7-21	21.37	256.2		
HKD7-22	24.24	234.4	5.31B+		HKD7-22				
HKD7-23	23.93	239.6	5.25B+		HKD7-23	22.27	265.9		
HKD7-24	24.78	243.5	5.36B-		HKD7-24	23.76	268.7	4.98C+	
HKD7-25	23.45	248.5	5.16B+		HKD7-25	23.47	274.8	4.88C+	
HKD7-26	86.14	285.9		15.89C+	HKD7-26	91.06	292.9		
HKD7-27	89.15	285.1		16.39C+	HKD7-27	93.93	291.1		
HKD7-28	91.30	285.2		16.62C+	HKD7-28	96.08	291.1		17.12B+
HKD7-29	93.20	285.9		17.62C+	HKD7-29	97.99	291.0		17.70C+
HKD7-30	95.30	285.9		17.62C+	HKD7-30	100.16	291.4		18.08C+
HKD7-31	97.77	285.8		18.02C+	HKD7-31	102.61	291.2		18.63C+
HKD7-32	100.37	284.4		18.33C+	HKD7-32	104.97	289.8		
HKD7-33	107.80	285.3		19.51L	HKD7-33	112.53	290.3		
HKD7-34	111.08	285.5		20.14C+	HKD7-34	115.82	290.3	20.59C+	
HKD7-35	113.44	285.8	20.97C+		HKD7-35	118.22	290.5	21.37C+	
HKD7-36	114.83	285.9	21.00C+		HKD7-36	119.63	290.5	21.56C+	
HKD7-37	117.45	285.2	20.54C+		HKD7-37	122.13	289.8	20.95C+	
HKD7-38	118.79	286.1	20.58C+		HKD7-38	123.60	290.6	21.05C+	
HKD7-39	121.29	286.0	21.15C+		HKD7-39	126.06	290.3	21.73C+	
HKD7-40	123.16	287.5	21.50C+		HKD7-40	128.19	291.8	22.04C+	
HKD7-41	125.33	286.8	21.83C+		HKD7-41	130.24	291.0	22.35C+	
HKD7-42	128.03	286.0	22.63C+		HKD7-42	132.81	290.2	22.78C+	
HKD7-43	131.57	288.0	22.75C+		HKD7-43	136.64	291.9	23.28C+	
HKD7-44	136.08	287.8	23.33C+		HKD7-44	141.13	291.7	23.92C+	
HKD7-45	140.21	287.3	24.08C+		HKD7-45	145.17	291.1	24.73C+	
HKD7-46	143.86	287.2	24.59C-		HKD7-46	148.81	290.9	25.30C+	
HKD7-47	146.91	288.1	25.63C+		HKD7-47	152.00	291.7	25.82C+	
HKD7-48	149.67	287.7	25.26C+		HKD7-48	154.69	291.3		
HKD7-49	153.61	287.6			HKD7-49	158.584	291.0		
HKD7-50	157.24	287.9			HKD7-50	162.261	291.3		
L126	36.54	250.5	7.33B+		L126	36.6	267.4	6.97C+	
L127	35.97	253.3	7.34B+		L127	36.03	270.3	7.19C+	
L128	36.33	255.2	7.45B+		L128	36.71	271.9	7.38C+	
L129	37.70	258.0	7.69C+		L129	38.53	274.0	7.59A+	
L130	38.31	262.5	7.97C+		L130	39.93	277.9	8.12B+	
L131	38.96	265.5	8.02C+		L131	41.09	280.4	8.10B+	
L132	40.63	267.3	8.36C-		L132	43.03	281.6	8.42A+	
L133	43.64	266.8	8.85B+		L133	45.87	280.2	8.97B+	
L134	46.33	265.7	9.34C+		L134	48.28	278.4	9.43B+	
L135	48.47	266.8	9.75B-		L135	50.57	278.9	9.83B+	
L136	51.17	266.5	10.30B-		L136	53.15	278.0	10.25B+	
L137	54.24	267.7	10.67B-		L137	56.39	278.6	10.79B+	
L138	57.34	270.4	11.05B+		L138	59.92	280.5	11.21B+	
L139	59.72	270.0	11.11B+		L139	62.19	279.8	11.27B+	
L140	61.89	271.1	11.25B-		L140	64.52	280.5	11.42C+	
L141	63.40	272.5	11.47B+		L141	66.26	281.6	11.70B+	
L142	65.31	273.8	12.14B+		L142	68.37	282.6	12.25B+	
L143	68.99	275.0	12.48C+		L143	72.23	283.3		
L144	70.56	276.4	12.75A+		L144	74.03	284.4	12.87B+	
L145	72.71	278.0	13.27B+	13.720L	L145	76.41	285.6	13.56C+	
L146	75.06	277.4	13.58L	13.833L	L146	78.64	284.9	15.16C+	
L147	76.84	277.6	13.76L	14.330L	L147	80.46	285.0		15.75C+
L148	78.85	278.9	14.03D+	14.576C+	L148	82.66	285.9		
L149	80.08	279.8	14.14B+	14.925C+	L149	84.02	286.7		15.78C+
L150	82.11	280.2			L150	86.12	287.0	14.98B+	

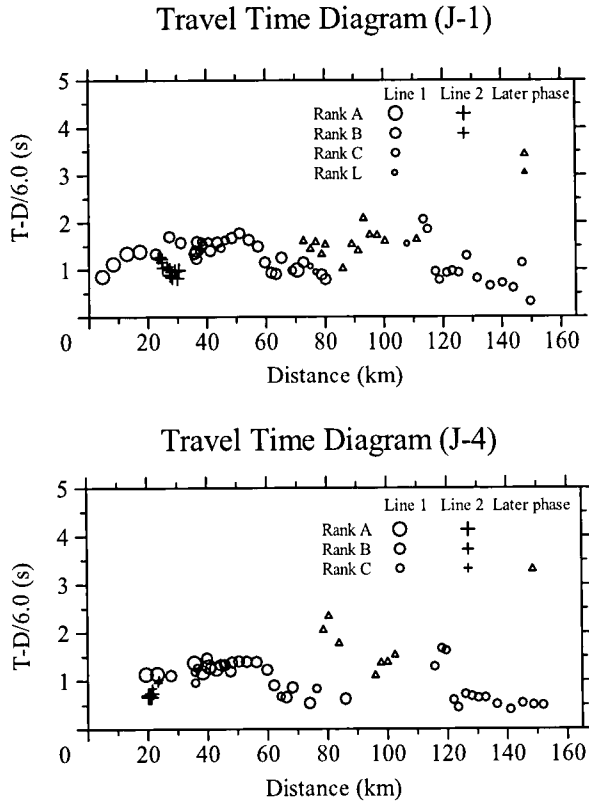


Fig. 3. Travel-time diagrams for J-1 (upper) and J-4 (bottom). The reduction velocity is 6.0 km/s. Circles and crosses denote initial P for the stations of Line 1 and Line 2, respectively. Triangles denote the later phase. The size of each symbol indicates the rank of its reading precision: A for large symbols, B for medium-sized symbols and C or L for the small symbols.

を検出することは難しいが、常呂帯のみ上部地殻上面のP波速度を6.1 km/sと周囲に比べ速度を速くしたP波速度構造のほうが、残差が小さくなったのでこのモデルを採用した。現在は詳細な議論はできないが、常呂帯では表層が周囲より1kmほど薄く、5.0 km/sのP波速度をもつ物質が地表付近まで露出している。一方根室帯および日高帯にはP波速度が2.0-3.5 km/sの堆積物が厚さ1.5kmにわたって存在している。しかし今回の観測は片測線なので今後逆側線となる観測を行い詳細な地殻構造モデルを構築したい。

3. まとめ

今回の観測は、常呂帯を北北西-南南東方向に横切る約162 kmの測線上で行われた。この地域は島弧-海溝系の付加過程により形成されたと考えられている。得られた走時曲線から判断して複雑な地質構造が予想される。これまでの解析結果では、地表付近のP波速度は水平方向

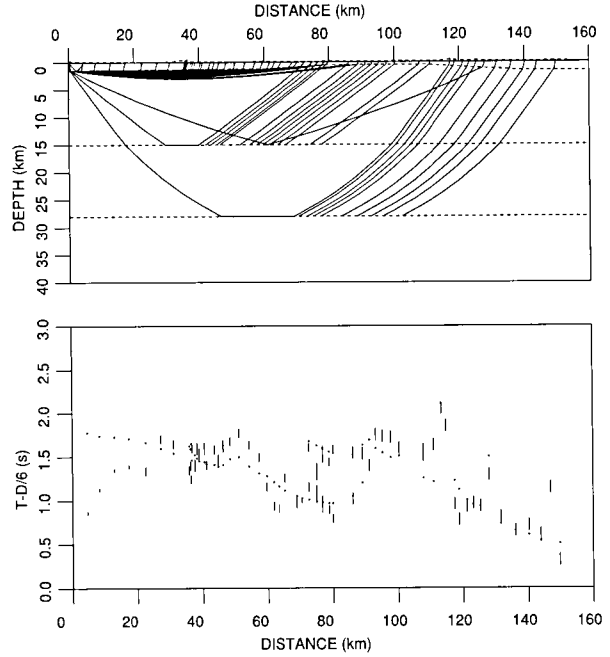


Fig. 4. A ray diagram (upper) and calculated travel-time curve (bottom). The distance on horizontal axis is measured from the location of J-1.

Table 4. Ray trace results of the initial P and later phase.

	Number of picks	Number of picks used	Travel time residual (s)	Chi-square
shot 1	63	61	0.240	71.390

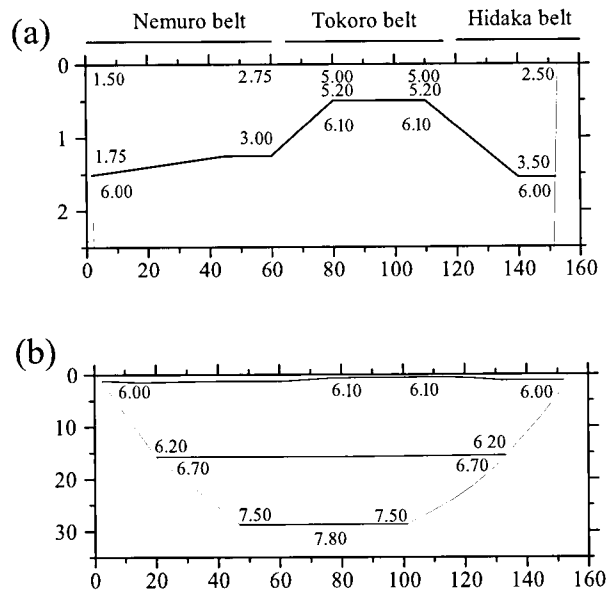


Fig. 5. A tentative P-wave velocity model at depth ranges of (a) 0-2.5 km and (b) 0-35 km for J-1. Numerals are P-wave velocities in km/s.

に、2.0 km/s-5.0 km/s まで大きく変化し地表付近の速度構造が複雑なことを示している。また、位相の相関は高くないが J-1 で得られ観測記録においては震源距離が 70 km から 140 km にかけて後続波が見られ、下部地殻内部からの反射波かもしれない。今後は後続波走時や振幅データによる解析を行うことが重要である、また、逆測線の観測を行って解析を行い、重力異常や地殻熱流量のデータと照合させることにより、千島弧背弧側の深部構造およびテクトニクスに関して重要な情報が得られると考えられる。

### 謝 辞

観測に使用した機材（データロガー LS8000、およびセンサー L22D）は国立極地研究所および北海道大学大学院理学研究科附属地震火山観測センターから借用した。地殻構造探査の実験を行う際には海洋科学技術センターより詳しい情報を頂いた。東京大学地震研究所の岩崎貴哉氏と酒井慎一氏には適切なコメントを頂き、本稿の内容を改善する上で非常に有益でした。ここに記して感謝いたします。

### 参考文献

- Godfrey, N.J., D.A. Okaya and G.S. Fuis, 2000, Lower-Crustal deformation beneath the Los Angeles region, southern California: results from LARSE LINES 1 and 2, *Abstract of 9th International Symposium on Deep Seismic Profiling of the Continents and their margins*, Ulvik, Norway, 18-23 June, 103.
- Iwasaki, T., O. Ozel, T. Moriya, S. Sakai, S. Suzuki, G. Aoki, T. Maeda and T. Iidaka, 1998, Lateral structure variation across a collision zone in central Hokkaido, Japan, as revealed by wide-angle seismic experiments, *Geophys. J. Int.*, **132**, 435-457.
- 蔵下英司・岩崎貴哉・平田 直・金田義行・大西正純・井川武, 2000, 北海道東部における深部地殻構造探査, 日本地震学会 2000 年秋季大会, A24.
- Moriya, T., H. Okada, T. Matsushima, S. Asano, T. Yoshii and A. Ikami, 1998, Collision structure in the upper crust beneath the southwestern foot of the Hidaka Mountains, Hokkaido, Japan, as derived from explosion seismic observations, *Tectonophysics*, **290**, 181-196.
- 森谷武男・岩崎貴哉・オウズ オゼル・酒井慎一・武田哲也・大塚 健・吉井敏克・伊藤 潔・伊東明彦・田中明子・大久保邦泰, 2001, 屈折法地震探査によって見いだされた地殻中間層—地震学的性質と温度分布—, 地震研究所彙報, **76**, 105-114.
- 日本の地質「北海道地方」編集委員会, 1990, 「日本の地質 1 北海道地方」, 共立出版, 337 pp.
- 小川康雄・西田泰典・上嶋 誠・光畑祐司・牧野雅彦・仲山洋, 1992, 広帯域 MT 法から見た北海道の深部地殻構造, 月刊地球, **14**, 545-550.
- Ozel, O., T. Moriya, T. Iwasaki, T. Iidaka, S. Sakai, G. Aoki and S. Suzuki, 1996, Crustal Structure in the Central Hokkaido, Japan, from a Seismic Refraction Experiment, *Jour. Fac. Sci., Hokkaido Univ., Ser. VII (Geophysics)*, **10**, 31-52.
- Okada, H., S. Suzuki, T. Moriya and S. Asano, 1974, Crustal structure in the profile across the southern part of Hokkaido, Japan, as derived from explosion seismic observation, *J. Phys. Earth*, **21**, 329-354.
- Tsumura, N., H. Ikawa, T. Ikawa, M. Shinohara, T. Ito, K. Arita, T. Moriya, G. Kimura and T. Ikawa, 1999, Delamination-wedge structure beneath the Hidaka Collision Zone, Central Hokkaido, Japan inferred from seismic reflection profiling, *Geophys. Res. Lett.*, **26**, 1057-1060.
- 千島海溝海陸境界深部構造探査研究グループ, 2000, 地震発生帯深部構造高精度イメージング—2000 年千島海溝深部構造探査, 日本地震学会 2000 年秋季大会, A23.
- Zelt, C. A. and R. B. Smith, 1992, Seismic travelttime inversion for 2-D crustal velocity structure, *Geophys. J. Int.*, **108**, 16-34.

(Received March 8, 2002)  
(Accepted October 7, 2002)