

## 東南極みずほ高原における屈折法地震探査実験 —第41次夏期観測概要—

宮町宏樹<sup>1</sup>・村上寛史<sup>2</sup>・筒井智樹<sup>3</sup>・  
戸田茂<sup>4</sup>・民田利明<sup>5</sup>・柳澤盛雄<sup>6</sup>

A seismic refraction experiment in 2000 on the Mizuho Plateau,  
East Antarctica (JARE-41) —Outline of observations—

Hiroki Miyamachi<sup>1</sup>, Hiroshi Murakami<sup>2</sup>, Tomoki Tsutsui<sup>3</sup>,  
Shigeru Toda<sup>4</sup>, Toshiaki Minta<sup>5</sup> and Morio Yanagisawa<sup>6</sup>

**Abstract:** A seismic refraction experiment was successfully conducted along the S17-Z20 profile on the Mizuho route, in East Antarctica, in the austral summer season of 1999–2000 (JARE-41). One hundred sixty seismic stations were temporarily installed along the profile about 180 km long and five large shots with dynamite of about 600 kg were fired. In addition, two shots with charge sizes of 250 kg and 25 kg were arranged along the profile. The obtained seismic records show the clear onsets of the first arrivals in a distance range of less than 100 km from each large shot. In particular, seismic waves traveling through the ice sheet and the dispersed surface waves are distinctly observed. Some later phases are also detected. The first travel time data obtained show that a P-wave velocity in the ice sheet is 3.6–3.8 km/s and an apparent velocity in the rock basement just beneath the ice sheet is almost 6.2 km/s. This report describes the basic outline of the experiment and the seismic data obtained.

**要旨:** JARE-41 (1999–2000 夏期間) において、東南極のみずほルート上の S17 から Z20 にかけて、屈折法地震探査を実施した。測線長約 180 km の測線上に 160 台の地震観測点を配置し、5 カ所で薬量 600 kg 程度の大発破、他の 2 カ所でそれぞれ薬量 250 kg の中発破および薬量 25 kg の小発破を行った。大発破点からの距離が 100 km 以下では、明瞭な初動が観測された。また、氷床中を伝播して来た波、分散波および後続波(反射波)も観測された。初動走時から、氷床の地

<sup>1</sup>鹿児島大学理学部地球環境科学科, Department of Earth and Environmental Sciences, Faculty of Science, Kagoshima University, 1-21-35, Kourimoto, Kagoshima 890-0065.

<sup>2</sup>地震観測技術センター, Earthquake Observation Research Technology Center, 3-1, Tennoudai, Tsukuba 305-0006.

<sup>3</sup>秋田大学工学資源学部地球資源学科, Department of Earth Science and Technology, Faculty of Engineering and Resource Science, Akita University, 1-1, Tegata-Gakuen cho, Akita 010-8205.

<sup>4</sup>愛知教育大学教育学部地学教室, Department of Earth Sciences, Faculty of Education, Aichi University of Education, Kariya, Aichi 448-8542.

<sup>5</sup>(株) 日本油脂, Nippon Oil and Fats Co., Ltd., 61-1, Kitakomatsudani, Taketoyo-cho, Chita-gun, Aichi 470-2398.

<sup>6</sup>国立極地研究所, National Institute of Polar Research, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173-8515.

震波速度が 3.6-3.8 km/s, 氷床直下の基盤層 (岩盤) のみかけ速度がほぼ 6.2 km/s であることがわかった。本報告は、実験の概要と得られたデータについて述べる。

## 1. はじめに

昭和基地の位置するリュツォ・ホルム湾周辺は、これまで日本南極地域観測隊 (Japanese Antarctic Research Expedition, 以後, JARE と呼ぶ) を中心に地質学的調査研究が精力的になされ、東南極で最も地殻進化過程が解明されている地域である。5 億年前に広域変成作用を受けた結果、北東から南西に向かって角閃岩相, 漸移帯, グラニュライト相と表層地質片麻岩の変成度が上昇し、最高変成度を示す岩石が宗谷海岸南部に露出することが確認されている (Hiroi *et al.*, 1991)。また、地震学的データも、昭和基地をはじめとしこの地域を中心に蓄積されている。特に、地殻構造を探るため、1980-1982 年 (JARE-21, -22) に、みずほ基地-昭和基地間のおよそ 250 km の測線において屈折法による地殻構造探査 (ショット数 3, 観測点数 27) が行われ (伊神ら, 1980; 伊藤ら, 1983), モホ面までの概略的な P 波速度構造等が得られている (Ito *et al.*, 1984; Ito and Ikami, 1984a; Ikami *et al.*, 1984; Ikami and Kaminuma, 1984)。

最近では、金尾 (1999) 等の東南極リソスフェアの構造と進化研究計画 (Structure and Evolution of East Antarctic Lithosphere; 以後, SEAL 計画と呼ぶ) に基づき、東南極の地殻進化過程と現在の構造とを結びつける調査・研究が推し進められている。東南極のエンダービーランドは、39 億年前に形成されたナピア岩体を核に、それを取りまいて原生代・古生代の岩体が分布している。その西側の近接地域であるリュツォ・ホルム湾では 5 億年前の火成活動が知られており、この付近一帯の形成史が議論されている (Shiraishi *et al.*, 1994)。この SEAL 計画における人工地震探査では、最終的にエンダービーランドの東から西に向かって、ナピア岩体, レイナー岩体, 昭和基地の位置するリュツォ・ホルム岩体, さらに、やまと・ベルジカ岩体やセール・ロンダーネ山地にまたがる地質年代の異なる岩体の地殻構造の調査が目されている (金尾, 1999)。また、リュツォ・ホルム湾地域の地殻形成過程を、人工地震探査を中心とした地震学的アプローチからみた深部構造と対比して、現在までのテクトニクスに関する一つの解釈が得られている (Kanao, 1997)。

第 41 次日本南極地域観測隊 (以下, JARE-41) では、この SEAL 計画の一環として、リュツォ・ホルム岩体の大陸縁辺部における地殻構造を詳細に調査し、東南極大陸周辺における海洋性地殻への遷移層の構造を探ることを目的として、昭和基地周辺の大陸氷床 (みずほ高原) のみずほルート上に約 180 km の測線を設定し、ダイナマイト震源による屈折法地震探査を実施した。この測線は、JARE-21 および JARE-22 に実施された測線と重複しているが、ショット数および観測点数を大幅に増加させることにより、みずほ高原下の詳細な地殻構造を明らかにすることを目的としている。本論文では、この探査実験の概要と得られた観測データの報告

に主眼を置き、詳細な解析結果については、別に報告する。

## 2. 観測概要

### 2.1. 測線

図 1 に測線を、図 2 に観測点の標高分布を示す。探査測線はみずほルート上の S17 から Z20 の測線長約 180 km の区間に設定され、測線上に 160 カ所の臨時地震観測点と 7 カ所の発破点 (S-1 から S-7) が設けられた。観測点は標高 600-2000 m の範囲に分布している。また、S-1~S-2 の区間は勾配がきついが、S-3~S-6 では、勾配は小さい。観測グループは、測線上への臨時地震観測点の設置とその地点の位置測量および重力測定を行う測線班 (Observation party: 雪上

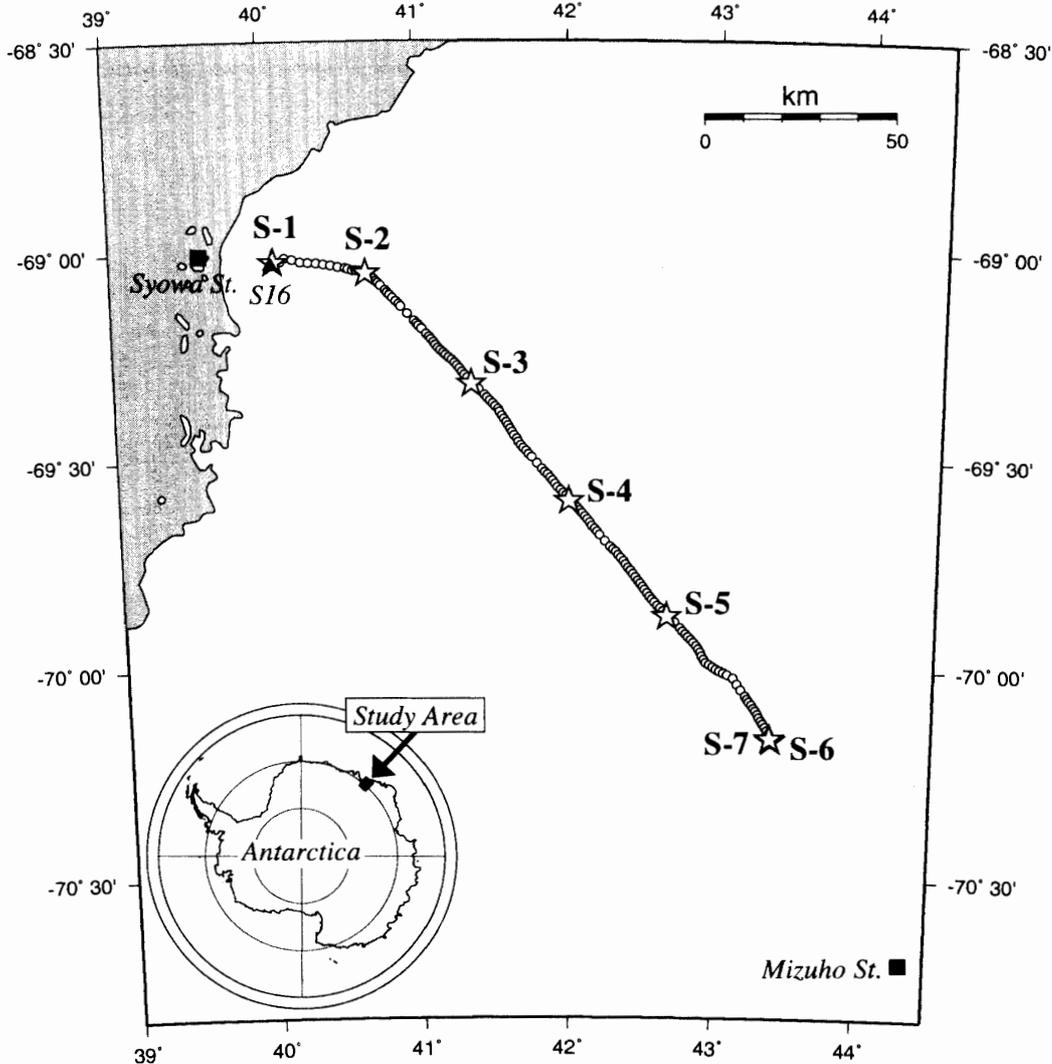


図 1 東南極みずほルート上の探査測線図。星印は発破点を、白丸は地震観測点を示す。  
 Fig. 1. A map showing the refraction profile in 2000, the Mizuho Plateau, East Antarctica. Stars and open circles indicate the shot points and the temporary seismic stations, respectively.

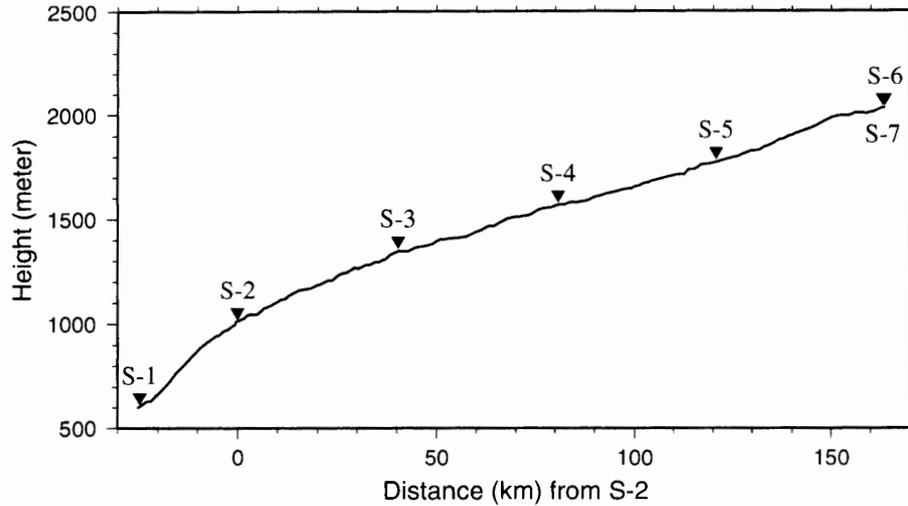


図2 測線上の観測点の標高分布。横軸は S-2 からの距離。

Fig. 2. A height distribution of the stations along the profile. The abscissa gives the distance from S-2.

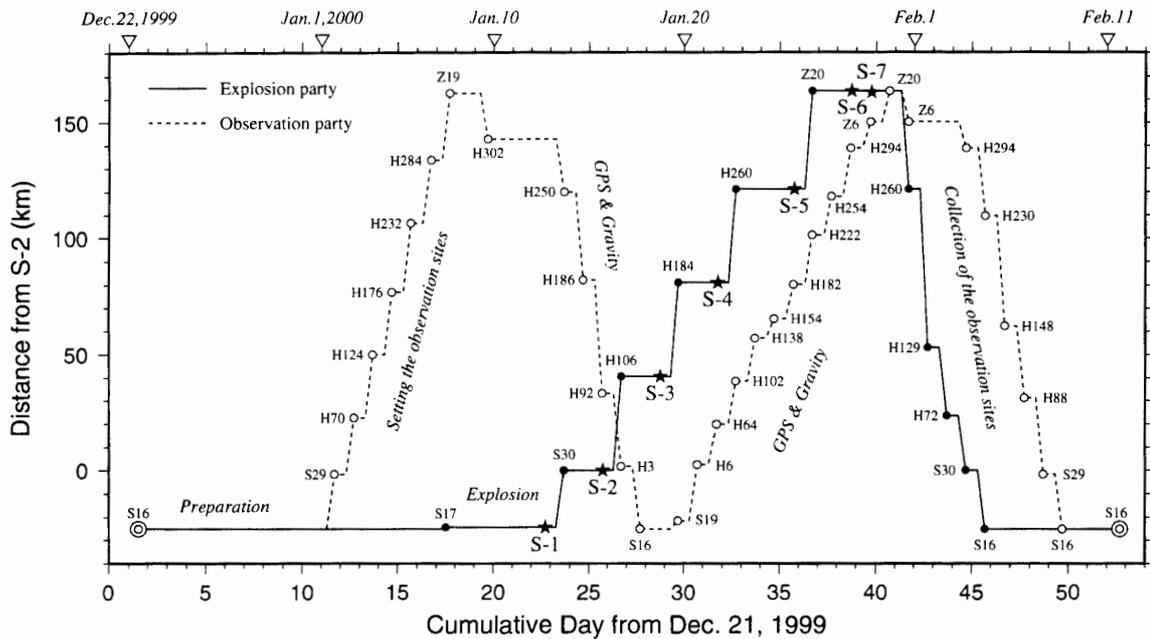


図3 内陸行動概要図。星印は発破点示す。実線および点線は、震源班、測線班の行動を示す。また、黒丸と白丸は、それぞれ、震源班、測線班のキャンプ地を示す。

Fig. 3. A diagram showing the field operation schedule of the Explosion and Observation parties. Stars show the shots. Solid and open circles indicate the camp site name for the Explosion and Observation parties, respectively. S16 is an advanced base for this operation, to which both parties flew from the icebreaker "Shirase" by helicopter.

車 SM100 型 2 台と人員 4-5 名) と、主に発破を実行する震源班 (Explosion party: 雪上車 SM100 型 2 台と人員 5-6 名) によって構成された (付録参照)。人員および物資は、1999 年 12 月 22 日に砕氷艦「しらせ」から S16 へ移動し、2000 年 2 月 11 日に砕氷艦「しらせ」に帰還した。全行動期間は 52 日間で、図 3 に行動概要を示す。

## 2.2. 観測点展開

臨時地震観測点では、米国 Mark Products 社製上下動地震計 L-22D (固有周期 2.2 Hz, コイル抵抗 2.2 k $\Omega$ ) がダンピング定数 0.7 で用いられた。また、観測波形の収録機器には、設定された観測スケジュールに従って自動観測することができる白山工業社製デジタル波形収録装置 DataMark LS-8000SH (20 MB メモリ。以下、ロガーと呼ぶ) が用いられた。これらの使用機材は、日本国内での地殻構造探査等に用いられているものである。南極地域では、ブリザードなどによる天候の悪化が予想され、それによる観測点展開および発破作業の遅れが想定される。したがって、事前に正確な発破日を確定することはできない。そこで、2000 年 1 月 9 日～2 月 5 日の 28 日間を全観測期間とし、この期間中の毎日 09 時 01 分、17 時 01 分、19 時 01 分のいずれかの時間に発破を行うこととした。この各々の発破予定時間に対応した観測時間帯を設け、各観測時間を約 4 分 20 秒 (たとえば、17 時 01 分の発破の場合、観測時間帯は 17 時 00 分 00 秒～17 時 04 分 20 秒までである) として、観測スケジュールを作成した。ロガーのチャンネル数は高倍率 (900 倍) と低倍率 (30 倍) の 2 チャンネルに固定し、波形のサンプリング周波数は 200 Hz、60 Hz のカットオフ周波数のローパスフィルターを設定した。また、ロガーの内蔵高精度時計は、毎日 08 時 30 分から 19 時 10 分の長時間にわたって動作させることによって、刻時 (水晶発信子) の安定化をはかるとともに、各観測時間帯の前後に GPS による自動刻時較正がなされた。

南極では  $-30^{\circ}\text{C}$  (今回の観測期間中に実際に記録した最低気温は  $-32^{\circ}\text{C}$ ) を越える低温が予想されたため、ロガーの電源には、低温による電圧降下に強いサイクロン電池 (6 V・16 Ah) を用いた。現地の設置作業では、地震計の底面に約 40 cm の金属スパイクが取り付けられ、雪氷に突き刺し埋設され、ロガーおよび電源も保温箱に収納した後、雪面下に埋設された。なお、保温箱はプラスチック製の中空箱で、内部には、地震計、ロガー、電源、金属スパイク、GPS アンテナが固定収納できるように型抜きされた発砲スチロールが詰まっている。JARE-20 および 21 (伊神ら, 1980; 伊藤ら, 1983) では、保温箱内にヒーターを装備していたが、今回の実験では、使用観測機材の低温性能試験の結果から、ヒーター等の装備は必要なかった。測線班は、2000 年 1 月 1 日～1 月 8 日の期間中に、みずほルート上のルート標識のある地点 (S17～Z20) の風下側に 160 カ所の臨時観測点を設置した。表 1 に観測点の座標を示す。

表 1-1

Station No.	Station Code	Latitude (S) (degree)	Longitude (E) (degree)	Height (m)	Position
1	S17	69.02656	40.07374	605	1
2	S18	69.02228	40.11895	630	1
3	S19	69.01264	40.14976	630	2
4	S20	69.01676	40.19833	671	1
5	S21	69.02277	40.25399	720	1
6	S22	69.02470	40.30373	769	2
7	S23	69.02640	40.35711	809	1
8	S24	69.02851	40.40559	849	1
9	S25	69.03193	40.45401	890	2
10	S26	69.03531	40.50125	918	2
11	S27	69.03837	40.54931	942	1
12	S27-3	69.04080	40.56886	947	2
13	S28	69.04352	40.59510	965	1
14	S28-3	69.04420	40.61827	973	1
15	S29	69.04512	40.64258	984	1
16	S29-4	69.04761	40.67158	1000	1
17	S30	69.04907	40.68955	1010	1
18	H3	69.05870	40.71595	1027	1
19	H6	69.06432	40.73125	1042	1
20	H9	69.07005	40.74657	1046	1
21	H12	69.07519	40.75971	1044	1
22	H15	69.08081	40.77543	1047	1
23	H21	69.09209	40.80563	1075	1
24	H24	69.09767	40.81992	1080	2
25	H27	69.10323	40.83491	1089	2
26	H32	69.11068	40.85396	1101	1
27	H35	69.11817	40.87462	1114	1
28	H39	69.12568	40.89410	1119	1
29	H42	69.13128	40.90836	1132	1
30	H51	69.14859	40.95283	1160	1
31	H60	69.16614	40.99583	1169	1
32	H62	69.17286	41.01246	1177	1
33	H64	69.17810	41.02453	1183	1
34	H66	69.18524	41.04244	1189	1
35	H70	69.19759	41.07239	1208	1
36	H72	69.20447	41.08884	1208	2
37	H74	69.21069	41.10284	1221	1
38	H76	69.21760	41.11839	1234	2
39	H78	69.22404	41.13203	1240	2
40	H80	69.23128	41.14732	1245	1

表 1 主測線上に展開された地震観測点リスト。各観測点の位置はGPSによる相対測位によって決められた。ただし、相対測位の基準点が異なる: 1=世界中の基準局を利用した相対測位 (autogipsy), 2=昭和基地との相対測位, 3=Mawson 基地との相対測位, 4=震源班との相対測位 (詳細は本文参照)。

Table 1. Temporary seismic stations along the profile. The number in the "Position" column in the table indicates the reference point in the relative GPS determination of the station location: 1=World wide network (autogipsy), 2=Syowa Station, 3=Mawson station, and 4=the Explosion party (see text for explanation).

表 1-2

Station No.	Station Code	Latitude (S) (degree)	Longitude (E) (degree)	Height (m)	Method of Position
41	H82	69.23735	41.16306	1255	1
42	H84	69.24328	41.18098	1269	1
43	H86	69.24910	41.19865	1265	2
44	H88	69.25417	41.21759	1273	1
45	H90	69.25966	41.23672	1282	2
46	H92	69.26657	41.25435	1282	3
47	H94	69.27379	41.27143	1293	1
48	H96	69.28125	41.28647	1294	1
49	H98	69.28849	41.30340	1303	4
50	H100	69.29556	41.32068	1310	2
51	H102	69.30280	41.33804	1329	2
52	H106	69.31642	41.37596	1346	1
53	H110	69.33016	41.41282	1345	1
54	H114	69.34355	41.44905	1363	1
55	H116	69.35060	41.46676	1368	1
56	H118	69.35751	41.48483	1370	3
57	H120	69.36425	41.50359	1375	1
58	H122	69.37085	41.52260	1380	1
59	H124	69.37796	41.53998	1394	1
60	H126	69.38553	41.55134	1402	3
61	H128	69.39363	41.56488	1402	1
62	H130	69.40166	41.57958	1405	1
63	H132	69.40957	41.59434	1408	1
64	H134	69.41755	41.60771	1407	2
65	H136	69.42560	41.62173	1413	1
66	H138	69.43373	41.63543	1415	2
67	H140	69.44199	41.64804	1421	2
68	H142	69.45031	41.66496	1432	1
69	H144	69.45764	41.67716	1439	1
70	H146	69.46534	41.69194	1446	1
71	H148	69.47279	41.70934	1458	2
72	H150	69.48001	41.72698	1467	1
73	H152	69.48725	41.74435	1466	2
74	H154	69.49442	41.76193	1478	1
75	H158	69.50949	41.79988	1501	2
76	H162	69.52326	41.83336	1509	2
77	H164	69.53035	41.85139	1509	2
78	H166	69.53664	41.87101	1514	1
79	H168	69.54386	41.88872	1517	1
80	H170	69.55152	41.90483	1523	1

表 1-3

Station No.	Station Code	Latitude (S) (degree)	Longitude (E) (degree)	Height (m)	Method of Position
81	H172	69.55920	41.91970	1534	2
82	H174	69.56680	41.93634	1546	2
83	H176	69.57372	41.95491	1553	1
84	H178	69.58033	41.97464	1555	2
85	H180	69.58617	41.99597	1557	2
86	H182	69.59310	42.01254	1564	1
87	H184	69.60077	42.02786	1569	1
88	H186	69.60815	42.04525	1569	3
89	H188	69.61549	42.06269	1578	2
90	H190	69.62284	42.07952	1582	2
91	H192	69.62969	42.09805	1579	3
92	H194	69.63706	42.11539	1583	1
93	H196	69.64429	42.13273	1585	1
94	H198	69.65220	42.14885	1592	1
95	H200	69.65980	42.16453	1602	1
96	H202	69.66702	42.18185	1610	1
97	H204	69.67424	42.19924	1614	1
98	H206	69.68178	42.21615	1621	1
99	H210	69.69622	42.25096	1631	1
100	H214	69.71014	42.28737	1641	1
101	H216	69.71621	42.30811	1645	1
102	H218	69.72267	42.32839	1645	2
103	H220	69.72993	42.34568	1655	1
104	H222	69.73743	42.36184	1660	2
105	H224	69.74436	42.38038	1670	2
106	H226	69.75248	42.39736	1674	3
107	H228	69.76047	42.41264	1683	2
108	H230	69.76763	42.42801	1688	1
109	H232	69.77550	42.44544	1693	1
110	H234	69.78317	42.46144	1699	1
111	H236	69.79079	42.47814	1704	1
112	H238	69.79810	42.49561	1708	3
113	H240	69.80549	42.51275	1713	1
114	H242	69.81263	42.52591	1714	2
115	H244	69.82037	42.54133	1714	3
116	H246	69.82785	42.55772	1738	2
117	H248	69.83510	42.57570	1739	2
118	H250	69.84223	42.59286	1744	2
119	H252	69.84939	42.61138	1762	1
120	H254	69.85578	42.63351	1764	1

表 1-4

Station No.	Station Code	Latitude (S) (degree)	Longitude (E) (degree)	Height (m)	Method of Position
121	H256	69.86154	42.65372	1766	1
122	H258	69.86817	42.67278	1770	1
123	H260	69.87512	42.69173	1774	1
124	H264	69.88841	42.73111	1787	1
125	H268	69.90267	42.76658	1797	1
126	H270	69.91037	42.78295	1802	1
127	H272	69.91750	42.80293	1812	2
128	H274	69.92370	42.82121	1819	1
129	H276	69.93059	42.84067	1827	1
130	H278	69.93714	42.85903	1830	1
131	H280	69.94455	42.87730	1831	2
132	H282	69.95279	42.89209	1844	2
133	H284	69.96076	42.90496	1851	2
134	H286	69.96931	42.91763	1859	2
135	H288	69.97777	42.93060	1869	1
136	H290	69.98617	42.94407	1881	2
137	H292	69.99036	42.96890	1885	2
138	H294	69.99560	42.99203	1895	2
139	H296	70.00069	43.01624	1902	2
140	H298	70.00573	43.03974	1909	1
141	H300	70.00999	43.06499	1916	1
142	H302	70.01371	43.09042	1922	1
143	S122	70.02138	43.12804	1933	1
144	Z2	70.03601	43.15556	1947	1
145	Z4	70.05011	43.18553	1968	1
146	Z6	70.06441	43.21501	1985	1
147	Z7	70.07182	43.22955	1991	1
148	Z8	70.07890	43.24426	1995	1
149	Z9	70.08603	43.25906	1995	1
150	Z10	70.09312	43.27392	1994	2
151	Z11	70.10061	43.28839	1999	2
152	Z12	70.10839	43.30124	2008	1
153	Z13	70.11592	43.31464	2007	1
154	Z14	70.12347	43.32851	2007	2
155	Z15	70.13065	43.34164	2005	1
156	Z16	70.13813	43.35536	2010	1
157	Z17	70.14581	43.36968	2014	1
158	Z18	70.15328	43.38193	2021	1
159	Z19	70.16107	43.39350	2031	1
160	Z20	70.16883	43.40507	2033	1

### 2.3. 発 破

測線班による全臨時観測点展開完了後、震源班はルート上を移動しながら発破作業を順次行った。この作業は、一カ所の発破に対して、通常、移動に1日、発破孔の掘削に1日、ダイナマイトの装薬および発破に1日の合計3日間を要した。発破点の発破時刻および座標を表2に示す。S-1からS-6は、測線上にほぼ均等に配置し、原則として、みずほルートから300-400m風下側の地点を選定した。S-1は薬量250kgの中発破、S-2~S-6は薬量600kg程度の大発破、S-7は薬量25kgの小発破である。S-7は、S-6のラインアップ測線に対する逆測線の走時データを得るために実施された。

大・中発破孔は、スチーム噴出式氷床掘削ドリルにより氷床に掘削された。発破孔のサイズは直径25-30cm、孔長は平均26mである。1カ所の発破孔を掘削するのに要する時間は、およそ10時間程であった。震源として用いたダイナマイトは、低温による凝固を抑えた南極専用が開発されたものである。発破孔にダイナマイトを装薬した後、発破効率を上げるために専用のポリチューブに入れられた不凍液(1発破点について、約240l)あるいは雪塊を発破孔上部に挿入(液封あるいは雪封)した。S-1、S-2、S-3は液封のみ、S-4は液封および雪封、S-5は開放状態、S-6およびS-7は雪封状態で発破を実施した。S-5の開放状態での発火は、いわゆる“鉄砲”状態となり、後述するように、発破の“きき”は悪かった。液封のみの場合、ダイナマイトの爆発威力により、液が吹き出す“鉄砲”状態となったが、開放状態よりは発破の“きき”は良く、液封の効果があった。雪封を行ったS-4およびS-6は非常に“きき”が良く、さらに、発破孔からの排出物は皆無であった。したがって、南極地域では今回のスチーム式ドリルを用いた孔で発破を行う場合、雪封が最良の方法であると判断される。また、中・大発破による発破孔周辺の雪面の変形はほとんどなかった。S-7の発破孔は、薬量が25kgと小さいことから、雪氷のコアを採集するときに用いられる手動のアイスオーガー(手動ドリル)によって掘削した。掘削深度は4.5m、孔径は14cmである。この発破では雪封を行ったが、掘削深度が浅いため、発破時には、発破孔を中心に直径6m、深さ60cm程の小規模なクレーターが形成され

表2 発破点リスト。表中のDepth1とDepth2は、それぞれ、発破孔中のダイナマイトの最下部と最上部の地表面からの深さを示している。

Table 2. Shot parameters. Depth1 and Depth2 indicate the depths of the bottom and top of the dynamites in the borehole, respectively.

Shot Code	Local Date & Time (UT + 3hours)	Charge (kg)	Latitude (S) (degree)	Longitude (E) (degree)	Height (m)	Depth1 (m)	Depth2 (m)	Tamping Type
S-1	2000.1.12 17h01m00.329s	250	69.02347	40.07265	601	25.4	21.1	Liquid
S-2	2000.1.15 19h01m00.820s	600	69.05133	40.67933	1008	24.0	18.3	Liquid
S-3	2000.1.18 19h01m01.105s	610	69.31738	41.36523	1345	25.9	13.7	Liquid
S-4	2000.1.21 17h01m01.845s	610	69.60008	42.01291	1566	27.6	14.6	Liquid & Snow
S-5	2000.1.25 17h01m00.173s	570	69.87602	42.67651	1774	26.6	12.6	Nothing
S-6	2000.1.28 17h01m02.238s	610	70.17130	43.39446	2029	26.7	15.0	Snow
S-7	2000.1.29 17h01m01.957s	25	70.16625	43.38886	2030	4.5	2.5	Snow

た。

発火作業は、発破孔から風上側に 200 m 以上離れた地点に発火器を設置し、発火器と発破孔中の親ダイの電気雷管間に発破母線が張られた。また、発破時刻を決めるため、発火器に発破母線と並列な導線を取り付け、発破時刻用の電気雷管に巻き付け、雪中に埋設した。母線による親ダイの発火操作によって、この電気雷管も爆発し、それによって導線が切断される。この切断時に、電圧が発生する装置を組み入れ、この電圧変化時刻を発破時刻とした。この測定には、臨時観測点と同じロガー (ただし、サンプリング周波数は 1 kHz) を用いた。なお、親ダイの電気雷管と発破時刻用の電気雷管それぞれの爆発時刻の差の有無を検証するため、S-4 と S-5 においては、親ダイの電気雷管と発破時刻用の電気雷管の爆発時刻をそれぞれ測定した。その結果、両方の電気雷管の爆発時刻差は 1 ミリ秒以下であることがわかり、発破時刻用の電気雷管の爆発時刻を発破時刻とすることに問題が無いと判断した。

また、震源班では、発破点近傍の水床の地震波速度を得るために、発破点近傍で 6-7 観測点から成るラインアップ観測 (観測点間隔は約 100 m) を行った。この観測に用いられた機材は、測線班による臨時観測点と同じロガーおよび地震計である。ただし、サンプリング周波数は 1 kHz、アンプ倍率は 30 倍と 2 倍の 2 チャンネルとした。ラインアップ観測点の座標等を表 3 に示す。

#### 2.4. 位置測量

臨時観測点、ラインアップ観測点および発破点の空間座標を求めるため、全地点において GPS 測定を実施した。測定時間は、2 周波の受信衛星数が 8 以上の状態で、データサンプリング周期を 30 秒とし、臨時観測点では 20 分間、ラインアップ観測点では 25-35 分間、発破点では 45-120 分間である。各測定点で記録したデータを世界中の基準局を利用した相対測位法 (autogipsy) によって、座標決定を試みた。ただし、衛星配置や測定時間不足等の要因によって決定できなかった地点については、昭和基地等の南極域の IGS 点との相対測位による方法 (ppdiff) によって、GPS 解析をおこなった。その結果、autogipsy で求めた点は、全 7 カ所の発破点、全ラインアップ観測点 (38 点)、臨時地震観測点の 103 点であり、昭和基地との相対測位で決まった点が 46 点、震源班と測線班間の相対測位による点が 1 点、MAWSON 基地との相対測位で決まった点が 8 点であった。このうち、標高が異常な値で求めた 2 点については、前後の測定点の標高から内挿した。表 1~表 3 に示されている緯度・経度・高度の値 (WGS84) は、これらの解析結果の値である。なお、全臨時観測点では GPS 測定と同時に重力測定も実施された。この結果については別に報告する。

#### 2.5. 観測点およびデータ回収

臨時観測点の回収は、測線班と震源班により別々に行われ、2000 年 2 月 1 日より開始され、

表 3

Site Code	Latitude (South) (degree)	Longitude (East) (degree)	Height (m)	Distance (m)	Azimuth (degree)	Travel Time (msec)
S-1-0	69.02333	40.07262	601	16	355.6	10
S-1-1	69.02333	40.07539	603	111	81.9	41
S-1-2	69.02332	40.07799	605	214	85.5	73
S-1-3	69.02333	40.08055	607	316	87.2	101
S-1-4	69.02333	40.08294	609	411	87.8	127
S-1-5	69.02334	40.08542	611	511	88.4	153
S-1-6	69.02334	40.08842	613	630	88.7	185
S-2-0	69.05136	40.67963	1009	12	105.6	9
S-2-1	69.05205	40.68129	1010	112	135.8	43
S-2-2	69.05274	40.68295	1011	213	137.4	74
S-2-3	69.05345	40.68467	1013	319	138.0	103
S-2-4	69.05416	40.68637	1014	422	138.3	132
S-2-5	69.05486	40.68807	1015	526	138.5	159
S-3-0	69.31745	41.36525	1345	7	171.4	7
S-3-1	69.31831	41.36535	1345	104	177.2	42
S-3-2	69.31922	41.36556	1344	205	176.3	71
S-3-3	69.32014	41.36560	1344	306	177.4	99
S-3-4	69.32103	41.36553	1344	407	178.4	126
S-3-5	69.32228	41.36521	1343	546	180.0	163
S-4-0	69.60016	42.01298	1566	10	160.8	8
S-4-1	69.60091	42.01371	1567	100	161.6	41
S-4-2	69.60176	42.01453	1567	199	161.3	71
S-4-3	69.60263	42.01537	1567	301	161.4	99
S-4-4	69.60350	42.01622	1568	403	161.4	127
S-4-5	69.60445	42.01713	1568	516	161.3	156
S-5-0	69.87609	42.67655	1774	9	167.9	6
S-5-1	69.87681	42.67702	1774	91	167.6	38
S-5-2	69.87766	42.67757	1775	188	167.4	69
S-5-3	69.87855	42.67814	1775	288	167.4	97
S-5-4	69.87946	42.67875	1775	393	167.4	126
S-5-5	69.88042	42.67937	1776	503	167.4	155
S-6-0	70.17122	43.39437	2029	9	336.4	7
S-6-1	70.17045	43.39352	2030	99	339.2	41
S-6-2	70.16958	43.39254	2030	204	339.3	73
S-6-3	70.16879	43.39169	2030	297	339.4	99
S-6-4	70.16799	43.39079	2030	394	339.5	126
S-6-5	70.16711	43.38982	2030	499	339.4	153
S-6-6	70.16631	43.38893	2030	595	339.4	178
S-7-0	70.16631	43.38893	2030	7	339.4	5
S-7-1	70.16711	43.38982	2030	103	339.4	44
S-7-2	70.16799	43.39079	2030	208	339.5	77
S-7-3	70.16879	43.39169	2030	305	339.4	104
S-7-4	70.16958	43.39254	2030	398	339.3	130
S-7-5	70.17045	43.39352	2030	502	339.2	158
S-7-6	70.17122	43.39437	2029	593	336.4	183

表 3 ラインアップ観測点の座標, 水平距離, 方位角, 初動走時のリスト。

Table 3. Temporary seismic stations along the profile near the shots. The horizontal distance between the shots and stations and the travel times are also listed.

2月5日に完了した。当初心配された低温による電圧降下が原因と考えられるロガーの動作停止は発生しなかった。ロガーに記録・保存されたデータは、内陸拠点 S16 から砕氷艦「しらせ」に帰還後、船上でパーソナルコンピュータに転送され、波形データ・時刻校正情報等のチェックを行った。その結果、地震計およびロガーの動作不良による欠測が数カ所が発生し、95%のデータ回収率であった。GPS による時刻校正は正常に動作し、サンプリング間隔 (5 ms) の時間精度は確保されている。

### 3. 観測結果

#### 3.1. ラインアップ観測

各発破点のラインアップ観測点で得られた観測波形を図 4 に示す。全記録とも明瞭な初動を示し、この波形記録から初動の読み取りを行った。得られた走時を表 3 と図 5 に示す。各発破点のごく近傍では、みかけ速度 2.5-3.0 km/s、300 m 以遠では 3.6-3.7 km/s のみかけ速度が得られた。これらの値は、氷床の浅部域が少なくとも二層構造から成り立っていることを示唆している。

#### 3.2. 主測線の観測波形

各発破の臨時観測点で得られた波形のペーストアップを図 6 に示す。S-1 では、発破直前に発生した氷震によって、距離 80 km 以遠の観測点では、S-1 の初動が不明瞭になっている。S-2 から S-6 については、全測線にわたり良好な記録が得られた。S-2 では、S 波と思われる相が見られる。S-3 から S-6 については、初動以外にも、氷床中を伝播してきたと思われる直達波が発破点から距離 60 km 程まで明瞭に現れ、また、正の分散を鮮明に示している表面波も距離 40 km 程まで記録された。S-2 同様に、S 波と思われるような相や反射波が見られる。S-7 も他のショットと同様に、初動以外に、氷床中の直達波および表面波が明瞭に観測された。

#### 3.3. 主測線の観測走時

観測波形から初動およびその極性を読み取った。その結果を表 4 に、走時図を図 7 (reduction velocity は 6.2 km/s) に示す。この走時データは、ノイズレベル、刻時精度、初動の相の立ち上がりの明瞭度を考慮し、以下のようなランク分けがなされた(読み取り誤差を  $\Delta t$  秒とする):

A ランク  $|\Delta t| \leq 0.015 \text{ s}$

B ランク  $0.015 \text{ s} < |\Delta t| \leq 0.030 \text{ s}$

C ランク  $0.030 \text{ s} < |\Delta t|$  (極性の判別可)

L ランク  $0.300 \text{ s} < |\Delta t|$  (極性の判別不可)。

また、極性は、+が地動の上向き、-が下向きを示している。図 8 に初動付近を拡大した波形の

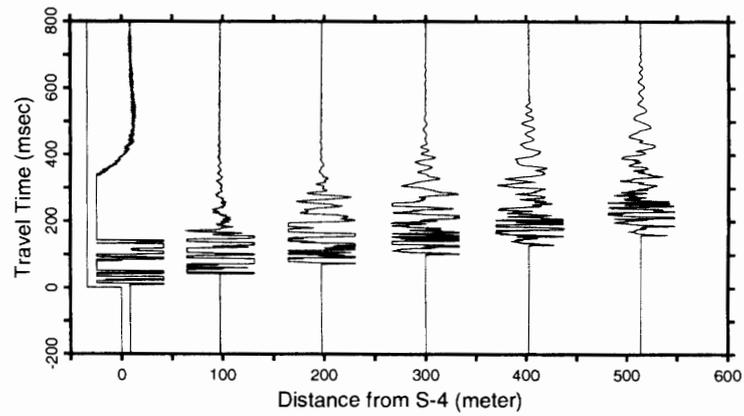
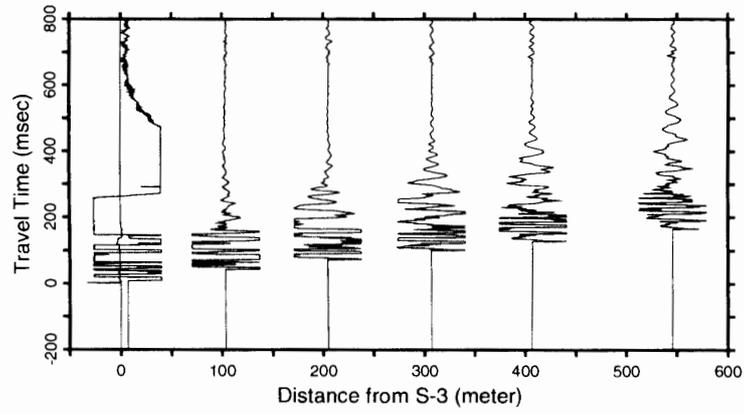
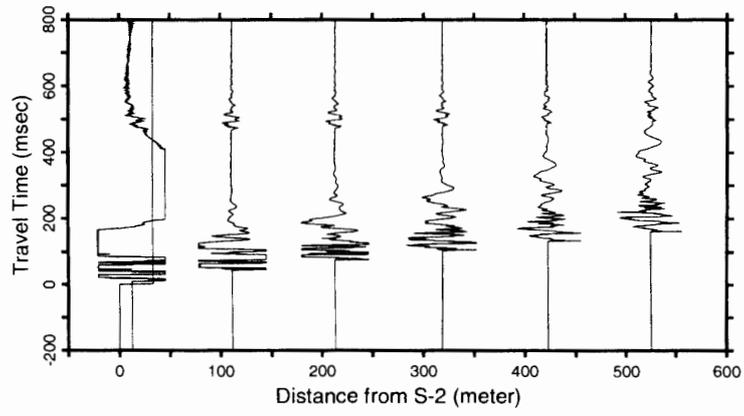
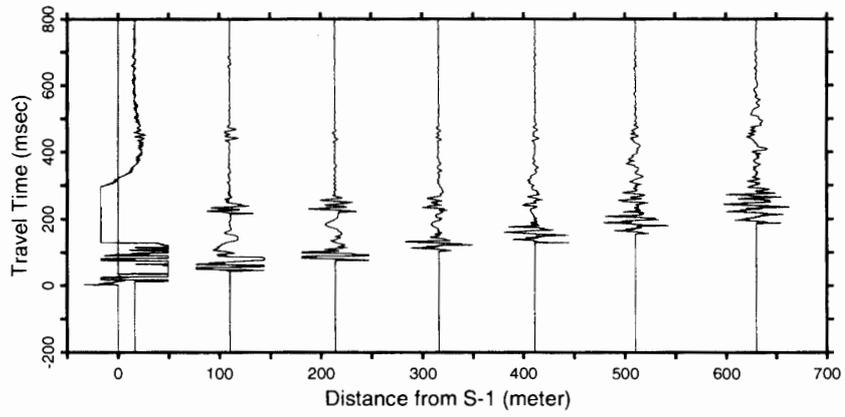


図 4

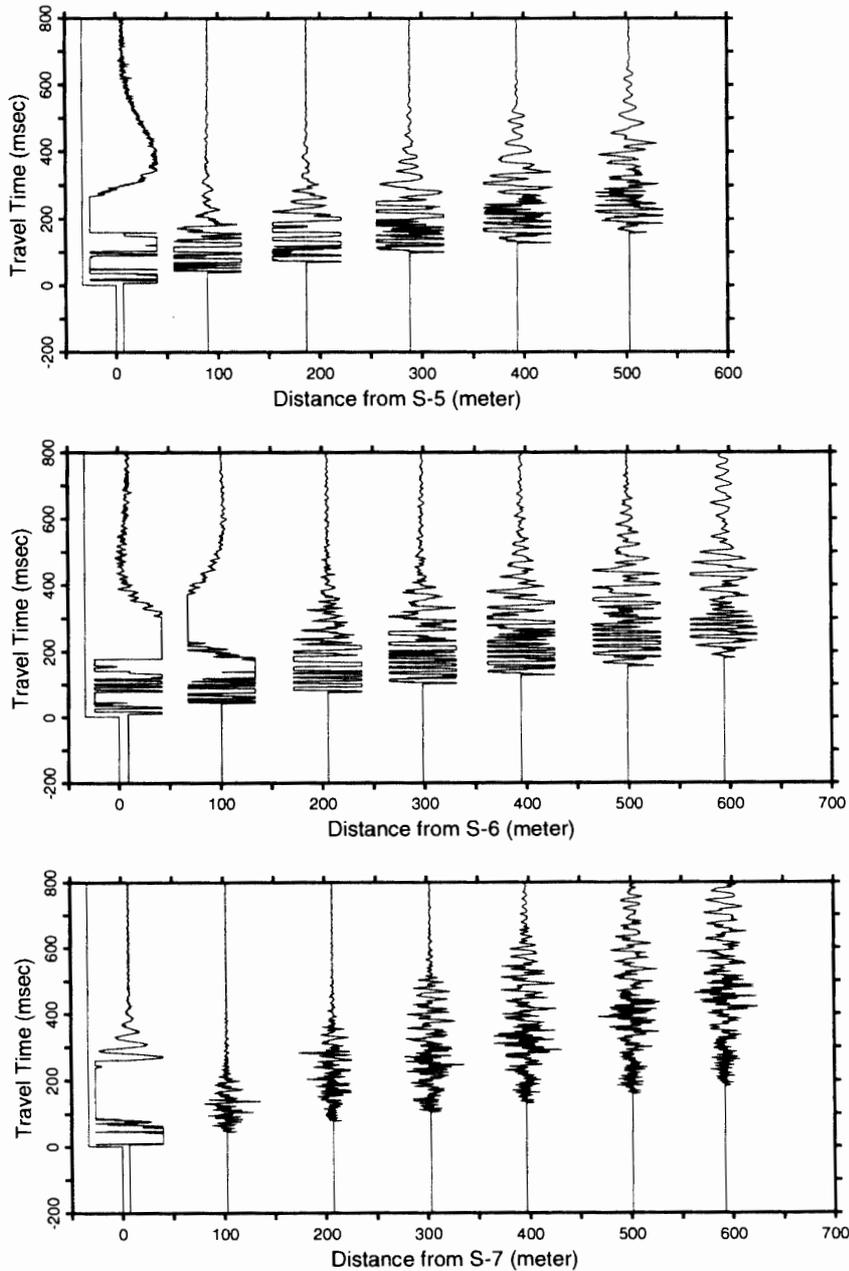


図 4 S-1, S-2, S-3, S-4, S-5, S-6, S-7 におけるラインアップ観測で記録された観測波形。横軸は発破点からの水平距離、縦軸は発破時刻からの経過時間。

Fig. 4. Seismic records obtained by the line-up observations for shots S-1, S-2, S-3, S-4, S-5, S-6 and S-7. The abscissa gives horizontal distance from the shot point, the ordinate elapsed time since the explosion.

ペーストアップを示す。

明瞭に初動が判別できた範囲は、中発破の S-1 (薬量 250 kg) では発破点から 50 km 程度までであった。また、大発破の S-2~S-6 (薬量 600 kg クラス) では、80 km-120 km の範囲であった。ただし、S-5 では 60 km 程までしか初動を明瞭に読み取れなかった。これは、S-5 の発破作

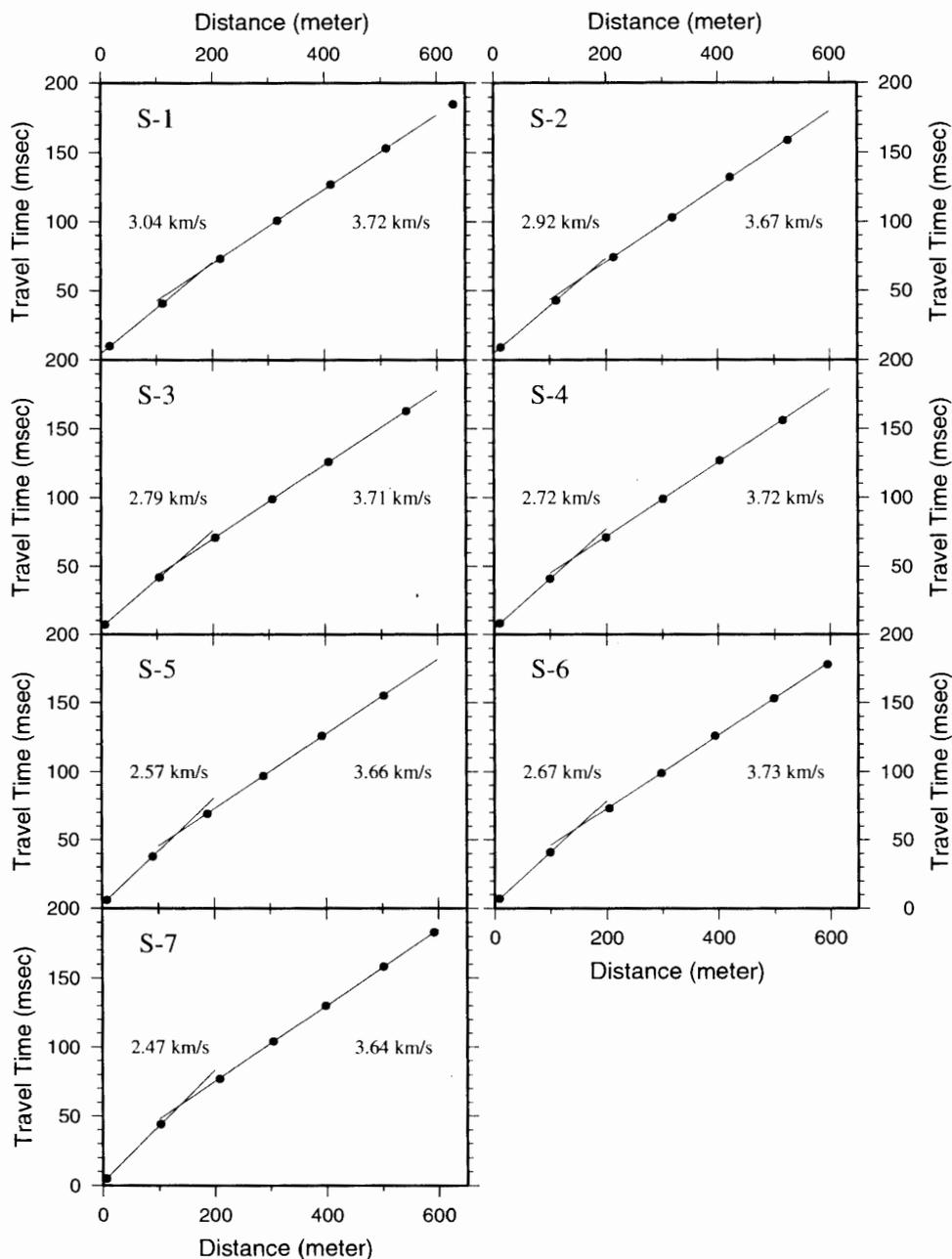


図5 各ショットのラインアップ観測で得られた走時図。図中の数値はみかけ速度 (km/s) を示す。横軸は発破点からの水平距離、縦軸は走時。

Fig. 5. Travel time diagrams for the line-up observation of each shot. Values in the figure indicate the apparent velocity in km/s. The abscissa gives horizontal distance from the shot point, the ordinate running time.

業時のトラブルから、最終的に十分な封圧をかけずにダイナマイトを爆発させたことによって、ダイナマイトの爆発力が十分に地震動に変換されなかったためと推定される。小発破の S-7 (薬量 25 kg) は、薬量が小さいわりには、距離 15 km ほどまで初動が確認できた。

走時図より、氷床直下には、全測線にわたって、みかけ速度がほぼ 6.2 km/s の層(基盤層)が

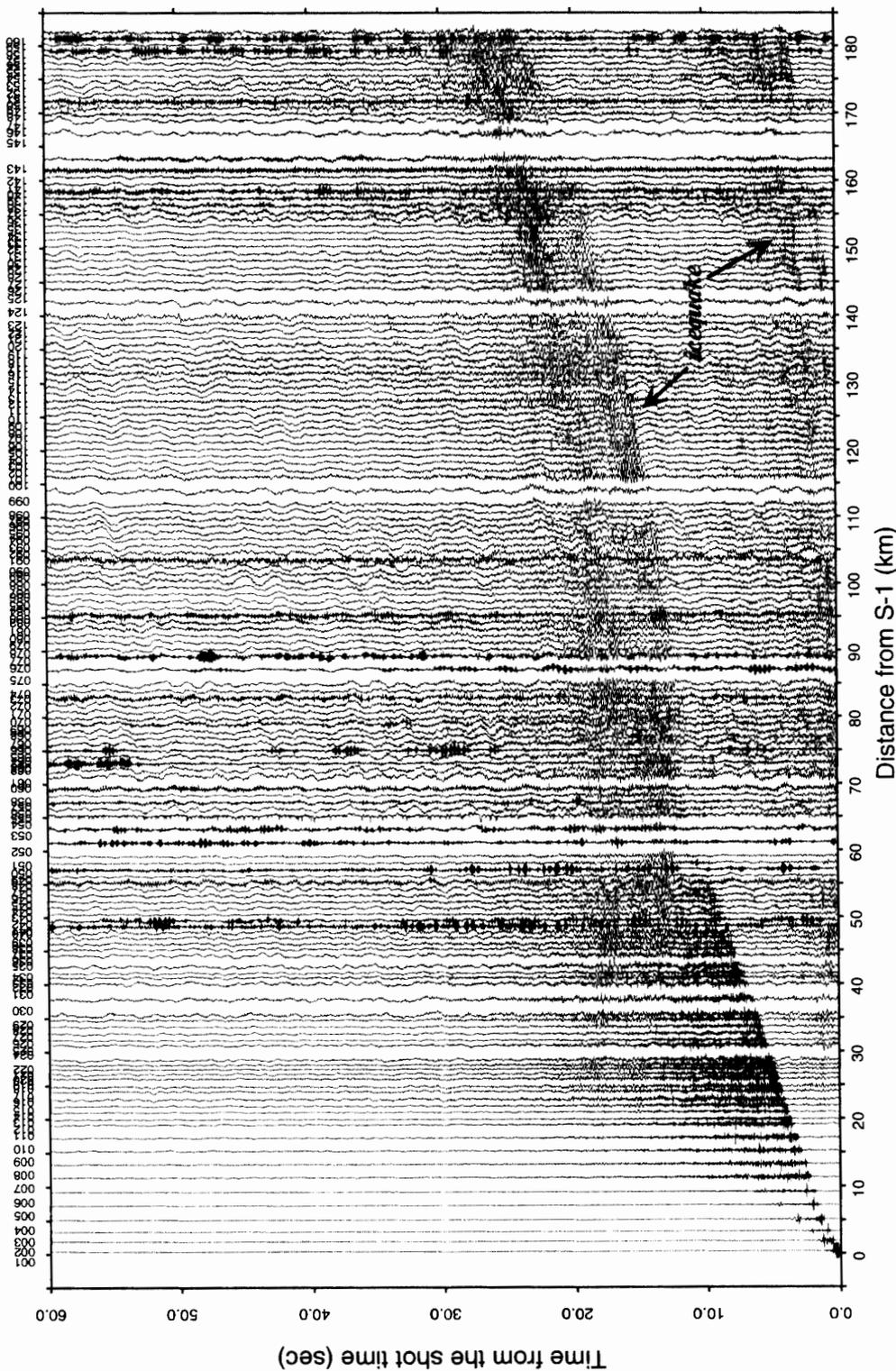


図 6-1 S-1 の観測波形。横軸は発破点からの距離、縦軸は発破時刻からの経過時間 (秒)。図中の “ice sheet wave” は、氷床中を伝播して来た直達波を示している。

Fig. 6-1. Record section for shot S-1. The abscissa gives the distances from the shot point to the observation sites. In the figure, “ice sheet wave” means a direct wave traveling through the ice sheet.

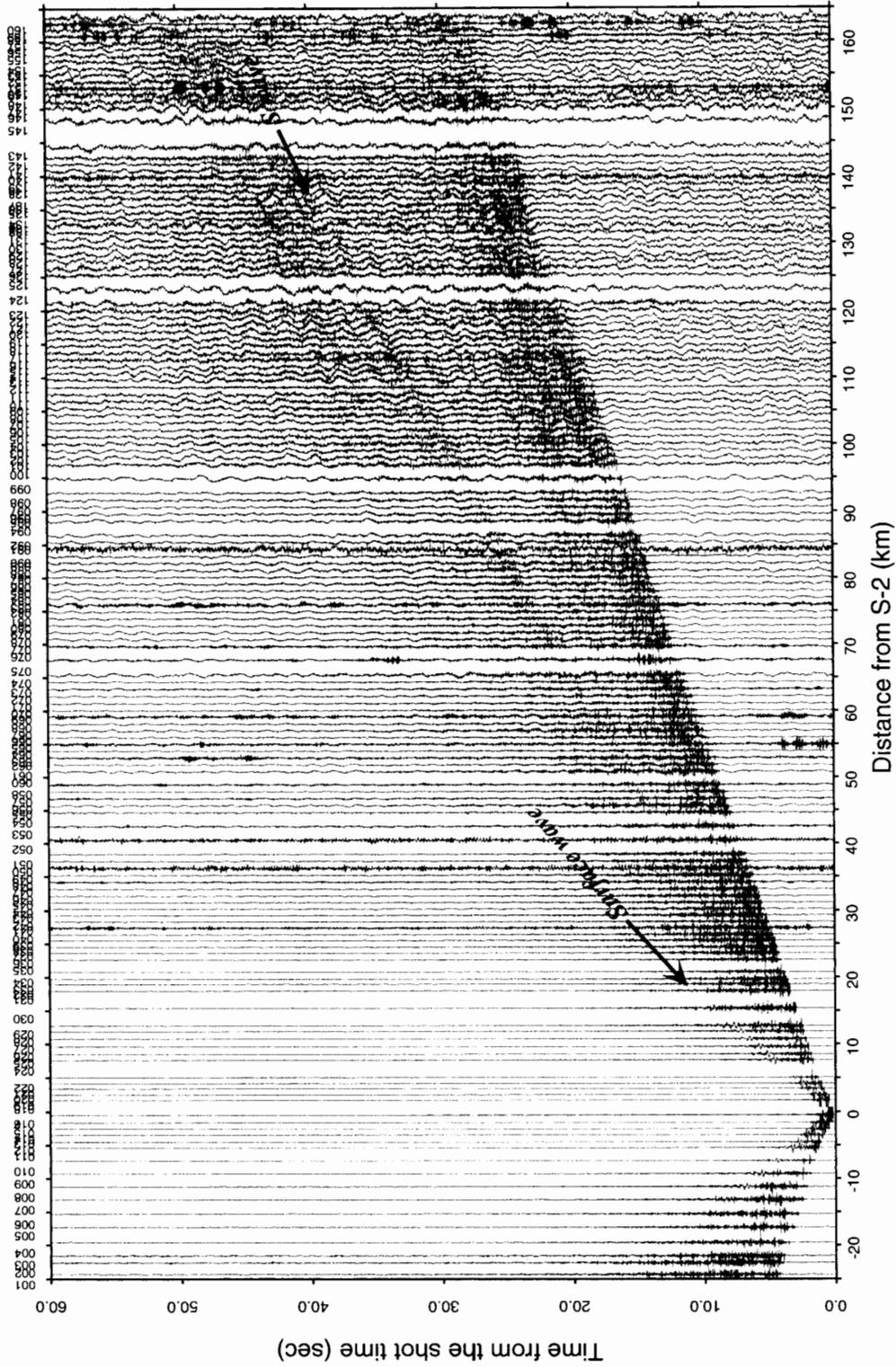


図 6-2 S-2 の観測波形

Fig. 6-2. Record section for shot S-2.

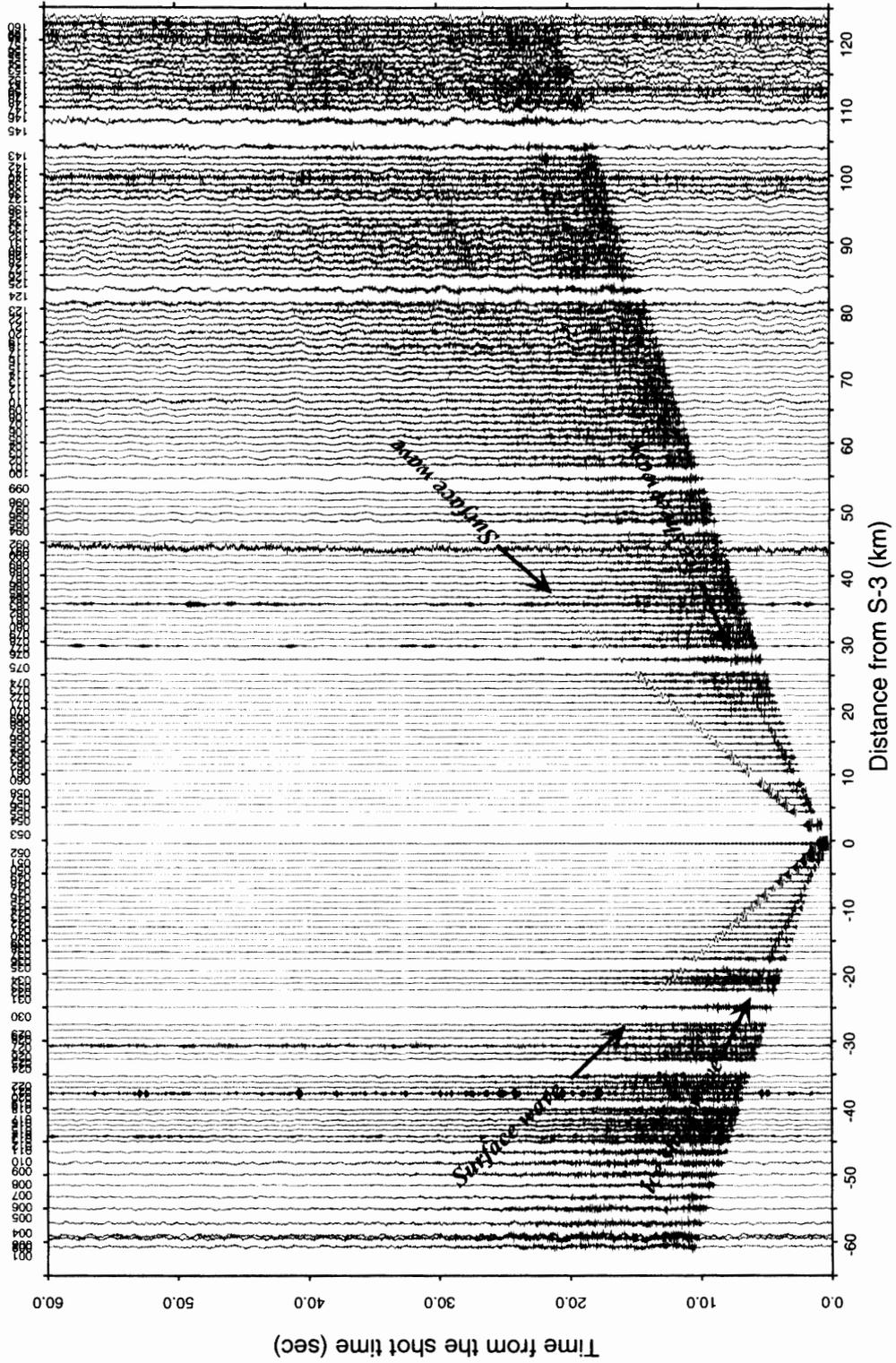


図 6-3 S-3 の観測波形  
Fig. 6-3. Record section for shot S-3.

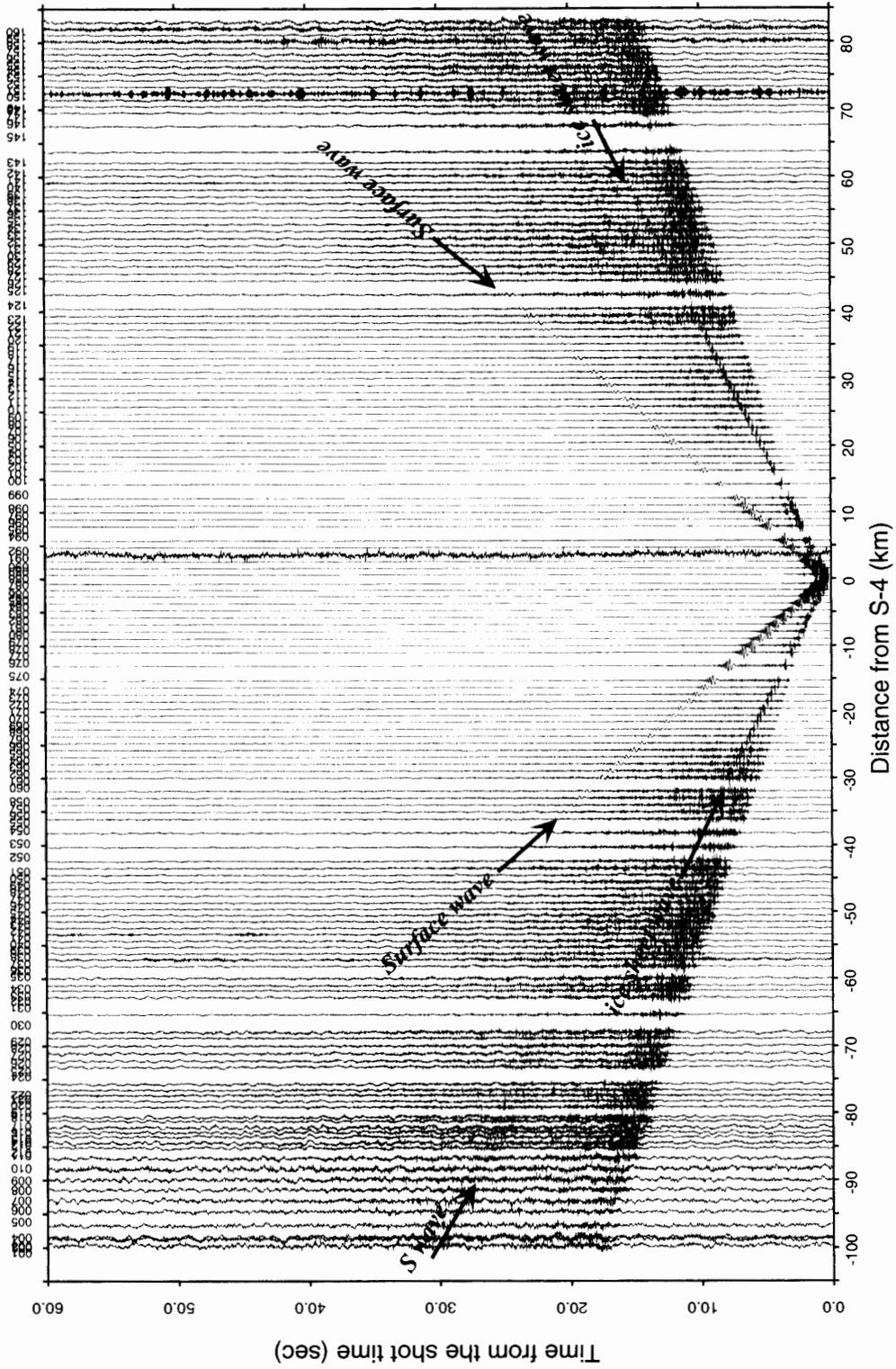


図 6-4 S-4 の観測波形  
Fig. 6-4. Record section for shot S-4.

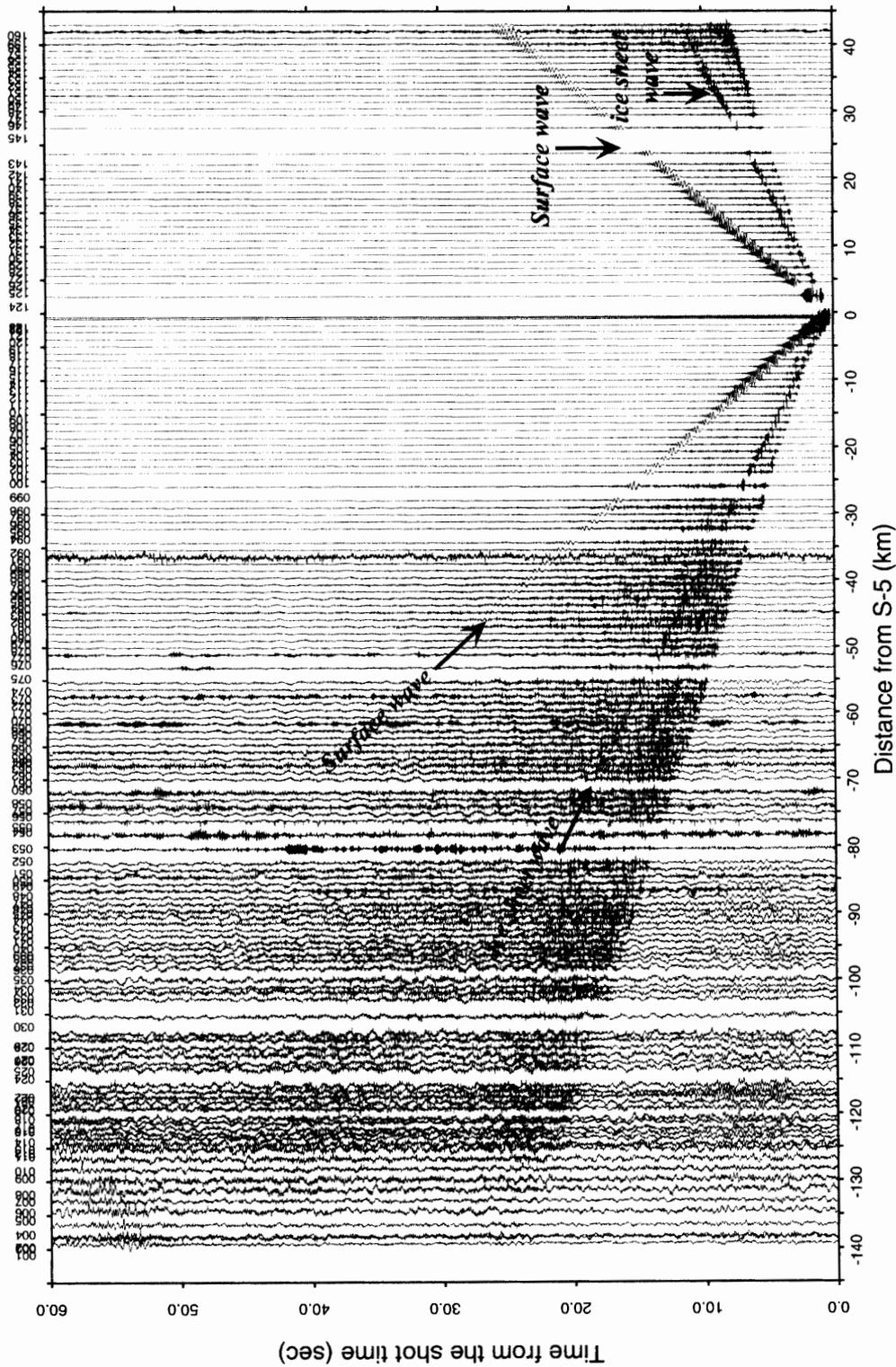


図 6-5 S-5 の観測波形  
Fig. 6-5. Record section for shot S-5.

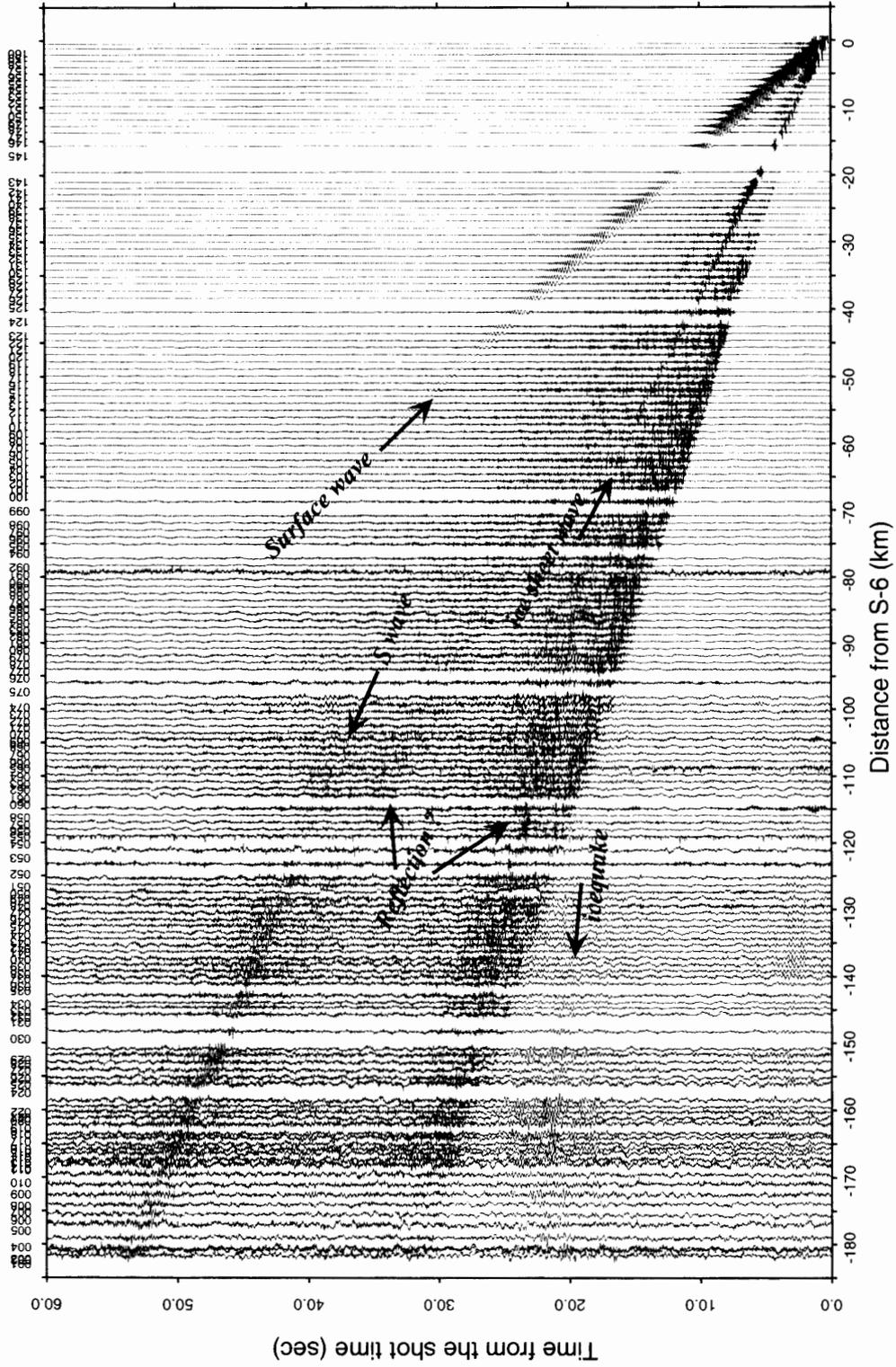


図 6-6 S-6 の観測波形  
Fig. 6-6. Record section for shot S-6.

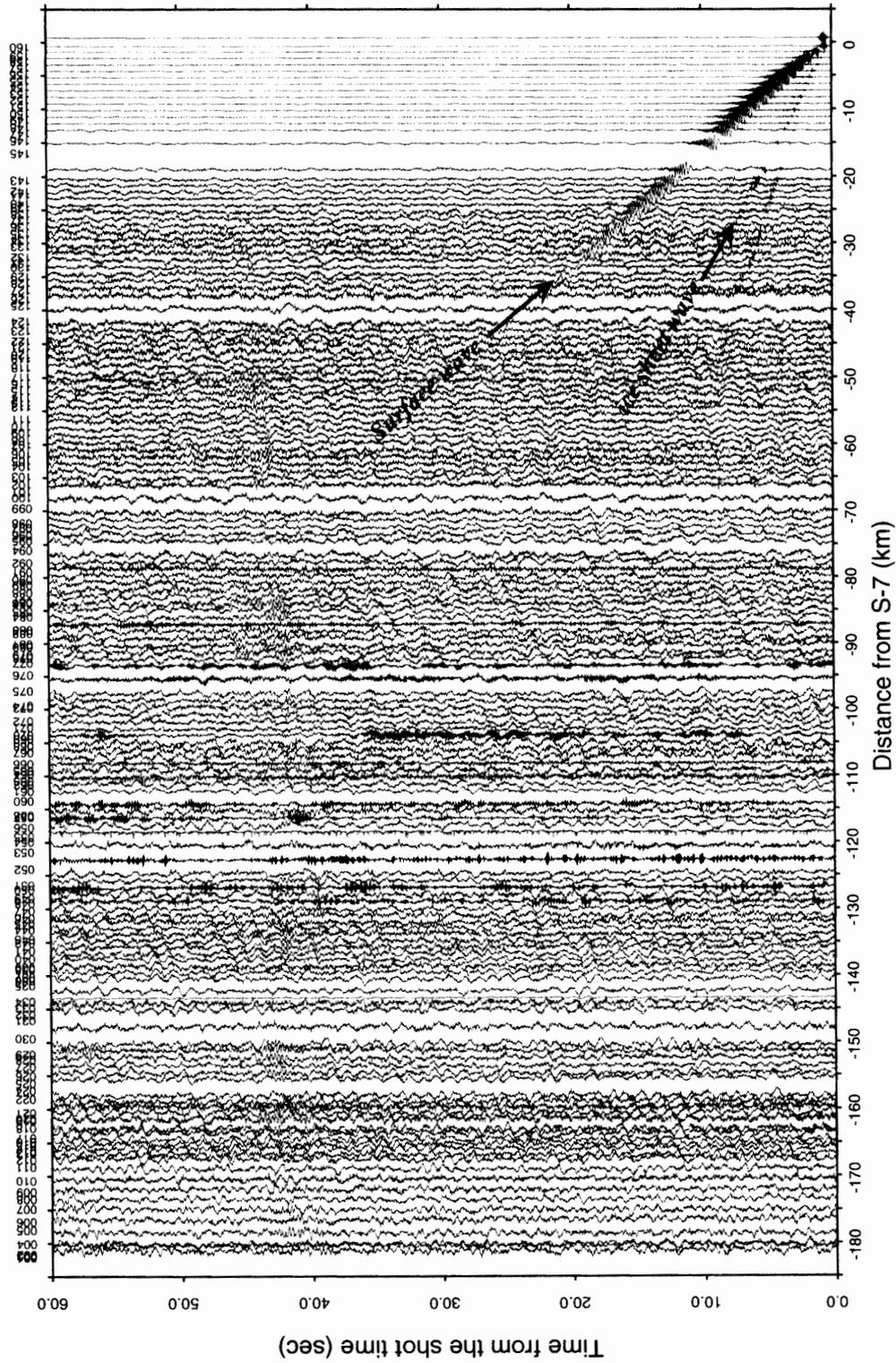


図 6-7 S-7 の観測波形  
Fig. 6-7. Record section for shot S-7.

表 4-1 S-1, S-2, S-3 の初動走時表  
 Table 4-1. Travel times from shots S-1, S-2 and S-3.  
 表 4-1-1

Station No.	S-1			S-2			S-3		
	Distance (km)	T (sec)	Rank & Polarity	Distance (km)	T (sec)	Rank & Polarity	Distance (km)	T (sec)	Rank & Polarity
1	0.35	0.11	A+	-24.34	4.28	A+	-60.67	10.18	C+
2	1.86	0.47	A+	-22.62	4.03	A+	-59.43	10.01	C+
3	3.31	0.78	A+	-21.59	3.94	A+	-59.03	9.96	C+
4	5.08	1.17	A+	-19.60	3.55	A+	-57.19	9.71	C+
5	7.25	1.49	A+	-17.29	3.10	A+	-55.01	9.34	C+
6	9.24	1.81	A+	-15.29	2.83	A+	-53.31	9.07	C+
7	11.37	2.15	A+	-13.17	2.48	A+	-51.53	8.77	C+
8	13.32	2.45	A+	-11.23	2.17	A+	-49.89	8.52	C+
9	15.27	2.78	A+	-9.26	1.86	A+	-48.19	8.24	C+
10	17.18	3.08	A+	-7.33	1.58	A+	-46.54	7.95	C+
11	19.12	3.39	A+	-5.39	1.27	A+	-44.91	7.72	C+
12	19.92	3.53	C+	-4.56	1.13	A+	-44.17	7.62	C+
13	20.99	3.74	B+	-3.47	0.94	A+	-43.21	7.45	C+
14	21.92	3.91	C+	-2.56	0.70	A+	-42.51	7.34	C+
15	22.90	4.05	C+	-1.62	0.45	A+	-41.77	7.23	C+
16	24.08	4.24	C+	-0.52	0.16	A+	-40.78	7.07	A+
17	24.81	4.34	C+	-0.48	0.15	A+	-40.18	6.94	C+
18	25.99	4.55	C+	1.68	0.46	A+	-38.68	6.71	C+
19	26.69	4.67	C+	2.53	0.69	A+	-37.80	6.65	L
20	27.40	4.80	A+	3.40	0.92	A+	-36.92	6.41	C+
21	28.03	4.91	A+	4.17	1.11	A+	-36.14	6.31	C+
22	28.77	5.03	A+	5.05	1.27	A+	-35.26	6.20	A+
23	30.24			6.79			-33.52		
24	30.94	5.33	A+	7.63	1.65	A+	-32.68	5.79	A+
25	31.69	5.46	C+	8.49	1.81	A+	-31.82	5.65	A+
26	32.65	5.65	A+	9.61	2.00	A+	-30.69	5.45	A+
27	33.68	5.79	C+	10.78	2.18	A+	-29.52	5.26	B+
28	34.68	5.94	C+	11.92	2.37	A+	-28.38	5.07	A+
29	35.42	6.06	A+	12.76	2.50	A+	-27.54	4.99	A+
30	37.75	6.47	C+	15.37	2.93	A+	-24.92	4.56	A+
31	40.07	6.77	C+	17.97	3.37	A+	-22.32	4.14	A+
32	40.98	6.91	C+	18.96	3.52	A+	-21.32	3.96	A+
33	41.65	7.11	C+	19.72	3.64	A+	-20.57	3.83	A+
34	42.63	7.24	C+	20.78	3.81	A+	-19.50	3.66	A+
35	44.29	7.55	C+	22.60	4.11	A+	-17.68	3.37	A+
36	45.21	7.76	C+	23.60	4.28	B+	-16.68	3.17	C+
37	46.01	7.91	C+	24.49	4.42	A+	-15.79	3.04	A+
38	46.91	8.08	C+	25.47	4.55	A+	-14.80	2.91	A+
39	47.72	8.12	L	26.37	4.71	C+	-13.91	2.78	A+
40	48.63			27.37	4.88	C+	-12.90	2.62	A+

表 4-1-2

Station No.	S-1			S-2			S-3		
	Distance (km)	T (sec)	Rank & Polarity	Distance (km)	T (sec)	Rank & Polarity	Distance (km)	T (sec)	Rank & Polarity
41	49.50			28.29	5.04	A+	-11.98	2.48	A+
42	50.44	8.49	L	29.26	5.20	A+	-11.01	2.32	A+
43	51.36	8.67	L	30.21	5.36	A+	-10.07	2.16	A+
44	52.29	8.85	L	31.13	5.55	B+	-9.15	2.01	A+
45	53.25	8.92	L	32.10	5.71	A+	-8.20	1.84	A+
46	54.23	9.07	L	33.14	5.87	A+	-7.16	1.67	A+
47	55.22			34.19	6.10	C+	-6.11	1.48	A+
48	56.15	9.34	L	35.20	6.18	A+	-5.09	1.28	A+
49	57.14			36.25	6.36	C+	-4.04	1.08	A+
50	58.12	9.89	L	37.29	6.52	A+	-3.00	0.81	A+
51	59.13	10.04	L	38.35	6.68	B+	-1.95	0.53	A+
52	61.20			40.48	6.94	L	-0.44	0.14	A+
53	63.24			42.59	7.37	L	2.36	0.64	A+
54	65.25	11.14	L	44.66	7.69	C+	4.41	1.18	A+
55	66.26	11.34	L	45.71	7.88	C+	5.45	1.44	A+
56	67.27			46.75	8.02	L	6.50	1.63	B+
57	68.30	11.64	L	47.81	8.27	C+	7.55	1.81	A+
58	69.33			48.86	8.40	C+	8.60	1.97	A+
59	70.34			49.90			9.65		
60	71.18	11.68	L	50.82	8.73	C+	10.56	2.27	B+
61	72.13	12.23	L	51.85	8.90	B+	11.58	2.45	B+
62	73.11	12.48	L	52.90	9.07	C+	12.63	2.63	A+
63	74.09	12.49	L	53.94	9.23	A+	13.68	2.78	A+
64	75.03			54.95	9.44	C+	14.69	2.98	A+
65	75.99			55.98	9.56	A+	15.73	3.14	A+
66	76.96			57.02	9.70	A+	16.77	3.30	A+
67	77.90			58.03	9.85	B+	17.80	3.43	A+
68	78.98			59.17	10.00	L	18.94	3.66	A+
69	79.85			60.10	10.30	C+	19.88	3.77	A+
70	80.83			61.12	10.40	L	20.91	3.95	A+
71	81.88			62.20	10.58	C+	21.99	4.14	A+
72	82.91			63.26	10.81	C+	23.05	4.34	C+
73	83.94			64.31	10.98	C+	24.10	4.49	B+
74	84.97			65.37	11.09	C+	25.15	4.65	A+
75	87.17			67.61	11.52	C+	27.39	5.06	A+
76	89.15			69.63	11.88	B+	29.41	5.41	C+
77	90.19			70.69	12.09	C+	30.47	5.56	C+
78	91.23			71.72	12.22	C+	31.50	5.73	C+
79	92.27			72.78	12.39	B+	32.56	5.90	C+
80	93.29			73.84	12.53	C+	33.62	6.07	A+

表 4-1-3

Station No.	S-1			S-2			S-3		
	Distance (km)	T (sec)	Rank & Polarity	Distance (km)	T (sec)	Rank & Polarity	Distance (km)	T (sec)	Rank & Polarity
81	94.28			74.86	12.68	C+	34.65	6.22	C+
82	95.31			75.93	12.86	L	35.71	6.39	C+
83	96.36			76.98	13.04	B+	36.77	6.55	B+
84	97.42			78.05	13.22	B+	37.83	6.74	C+
85	98.48			79.09	13.38	B+	38.86	6.95	C+
86	99.46			80.09	13.60	B+	39.87	7.09	C+
87	100.46			81.13	13.81	C+	40.91	7.33	C+
88	101.51			82.19	13.99	B+	41.97	7.52	C+
89	102.55			83.25	14.23	C+	43.03	7.72	C+
90	103.58			84.30			44.08		
91	104.62			85.35	14.48	B+	45.13	8.05	C+
92	105.66			86.41	14.69	B+	46.19	8.22	B+
93	106.69			87.46			47.25		
94	107.74			88.54	14.84	B+	48.32	8.64	B+
95	108.75			89.58	15.14	B+	49.36	8.71	C+
96	109.78			90.63	15.31	C+	50.41	8.83	C+
97	110.81			91.68	15.48	B+	51.46	8.98	C+
98	111.86			92.74	15.65	B+	52.53	9.17	C+
99	113.93			94.84	16.04	C+	54.63	9.56	C+
100	116.00			96.94	16.44	C+	56.73	9.91	C+
101	117.06			97.98	16.66	B+	57.76	10.15	C+
102	118.12			99.04	16.80	C+	58.82	10.33	C+
103	119.15			100.09	16.99	C+	59.87	10.55	C+
104	120.17			101.13	17.23	B+	60.91	10.71	C+
105	121.22			102.18	17.35	C+	61.96	10.91	C+
106	122.31			103.30	17.53	B+	63.08	11.01	C+
107	123.33			104.36	17.70	C+	64.14	11.19	C+
108	124.31			105.35	17.84	B+	65.14	11.38	C+
109	125.39			106.45	18.03	C+	66.24	11.61	C+
110	126.42			107.50	18.15	C+	67.29	11.76	C+
111	127.46			108.56	18.31	C+	68.36	11.87	C+
112	128.50			109.62	18.45	C+	69.42	12.07	C+
113	129.54			110.68	18.60	C+	70.47	12.23	A+
114	130.45			111.61	18.73	C+	71.41	12.35	A+
115	131.47			112.65	18.87	C+	72.45	12.54	C+
116	132.49			113.69	18.97	C+	73.50	12.67	A+
117	133.55			114.76			74.56	12.85	B+
118	134.57			115.79	19.34	C+	75.60	13.01	C+
119	135.63			116.86	19.51	L	76.67	13.17	C+
120	136.74			117.96	19.66	L	77.76	13.31	C+

表 4-1-4

Station No.	S-1			S-2			S-3		
	Distance (km)	T (sec)	Rank & Polarity	Distance (km)	T (sec)	Rank & Polarity	Distance (km)	T (sec)	Rank & Polarity
121	137.75			118.96	19.81	L	78.75	13.48	L
122	138.79			119.99	20.06	L	79.79	13.62	L
123	139.85			121.06	20.27	L	80.85	13.79	L
124	141.96			123.17	20.40	L	82.96	14.14	L
125	144.04			125.26	20.69	L	85.05	14.52	L
126	145.08			126.32	20.84	L	86.11	14.69	L
127	146.18			127.43			87.22	14.81	L
128	147.16			128.41			88.20	14.96	L
129	148.23			129.48			89.27	15.09	L
130	149.24			130.49			90.28	15.27	L
131	150.31			131.58			91.36	15.42	C+
132	151.35			132.64			92.43	15.56	L
133	152.31			133.63			93.42	15.68	L
134	153.31			134.66			94.46	15.87	L
135	154.31			135.70			95.50	16.01	L
136	155.32			136.74			96.55	16.14	L
137	156.34			137.72			97.52	16.27	L
138	157.38			138.75			98.54	16.42	L
139	158.45			139.78			99.57		
140	159.49			140.80			100.59	16.74	L
141	160.53			141.80			101.58	16.86	L
142	161.53			142.76			102.53	17.01	L
143	163.17			144.36			104.13	17.70	L
144	165.04			146.27			106.04		
145	166.94			148.21			107.98		
146	168.84			150.14			109.92		
147	169.80			151.12			110.90		
148	170.75			152.09			111.86		
149	171.70			153.05			112.83		
150	172.65			154.02			113.80		
151	173.62			155.01			114.79		
152	174.56			155.98			115.76		
153	175.50			156.94			116.73		
154	176.46			157.92			117.71		
155	177.37			158.85			118.64		
156	178.32			159.82			119.61		
157	179.30			160.82			120.62		
158	180.21			161.75			121.55		
159	181.12			162.69			122.50		
160	182.03			163.63			123.44		

表 4-2 S-4, S-5, S-6 の初動走時表  
 Table 4-2. Travel times from shots S-4, S-5 and S-6  
 表 4-2-1

Station No.	S-4			S-5			S-6		
	Distance (km)	T (sec)	Rank & Polarity	Distance (km)	T (sec)	Rank & Polarity	Distance (km)	T (sec)	Rank & Polarity
1	-99.70	16.38	L	-139.20			-181.64		
2	-98.66	16.34	L	-138.25			-180.75		
3	-98.47	16.32	L	-138.14			-180.69		
4	-96.73	15.96	L	-136.45			-179.04		
5	-94.66	15.70	L	-134.42			-177.04		
6	-93.08	15.42	L	-132.90			-175.55		
7	-91.43	15.32	L	-131.30			-173.99		
8	-89.90	14.81	L	-129.82			-172.54		
9	-88.29	14.72	L	-128.24			-170.99		
10	-86.73	14.48	L	-126.71			-169.48		
11	-85.18	14.36	L	-125.20			-167.98		
12	-84.46	14.30	L	-124.48			-167.27		
13	-83.54	14.13	C+	-123.57			-166.37		
14	-82.87	14.00	L	-122.92			-165.72		
15	-82.16	13.92	L	-122.21			-165.03		
16	-81.20	13.77	C+	-121.26			-164.08		
17	-80.62	13.68	L	-120.68			-163.51		
18	-79.12	13.46	C+	-119.18			-162.01		
19	-78.24	13.34	L	-118.31			-161.14		
20	-77.36	13.26	L	-117.43			-160.26		
21	-76.59	13.03	C+	-116.66			-159.48		
22	-75.70	12.89	C+	-115.77			-158.60		
23	-73.97			-114.04			-156.87		
24	-73.13	12.50	C+	-113.20			-156.02		
25	-72.27	12.40	C+	-112.34			-155.17		
26	-71.14	12.15	C+	-111.22			-154.04		
27	-69.98	11.98	C+	-110.05			-152.88		
28	-68.84	11.79	C+	-108.91			-151.74		
29	-68.00	11.66	A+	-108.07			-150.90		
30	-65.38	11.18	C+	-105.45			-148.29		
31	-62.78	10.74	C+	-102.86			-145.69		
32	-61.79	10.60	C+	-101.86			-144.69		
33	-61.03	10.47	C+	-101.10			-143.94		
34	-59.96	10.20	C+	-100.04			-142.87		
35	-58.15	10.01	C+	-98.22			-141.05		
36	-57.14	9.91	L	-97.21			-140.05		
37	-56.25	9.76	C+	-96.32			-139.16		
38	-55.26	9.58	C+	-95.34			-138.17		
39	-54.37	9.49	C+	-94.44			-137.27		
40	-53.36	9.37	A+	-93.43			-136.26		

表 4-2-2

Station No.	S-4			S-5			S-6		
	Distance (km)	T (sec)	Rank & Polarity	Distance (km)	T (sec)	Rank & Polarity	Distance (km)	T (sec)	Rank & Polarity
41	-52.44	9.23	C+	-92.51			-135.35		
42	-51.48	8.99	A+	-91.55			-134.39		
43	-50.53	8.86	C+	-90.61			-133.44		
44	-49.62	8.70	C+	-89.70			-132.53		
45	-48.67	8.52	C+	-88.75			-131.58		
46	-47.64	8.36	C+	-87.71			-130.55		
47	-46.59	8.19	C+	-86.66			-129.50		
48	-45.57	8.01	C+	-85.64	14.65	L	-128.48		
49	-44.52	7.82	C+	-84.59			-127.43		
50	-43.48	7.68	C+	-83.55	14.28	L	-126.39		
51	-42.42	7.49	C+	-82.49	14.14	L	-125.33		
52	-40.30	7.12	B+	-80.37			-123.21		
53	-38.20	6.82	C+	-78.27			-121.10		
54	-36.14	6.54	C+	-76.21	13.25	L	-119.05		
55	-35.09	6.38	A+	-75.16	12.83	L	-118.00	19.91	L
56	-34.05	6.21	A+	-74.11			-116.95	19.78	L
57	-33.01	6.04	C+	-73.07	12.62	L	-115.91	19.62	C+
58	-31.97	5.87	A+	-72.03	12.33	L	-114.86	19.53	C+
59	-30.92			-70.98			-113.82		
60	-29.98	5.55	A+	-70.04	12.00	L	-112.88	18.72	C+
61	-28.94	5.39	A+	-69.00	11.78	L	-111.84	18.45	C+
62	-27.88	5.20	B+	-67.94	11.58	L	-110.78	18.46	C+
63	-26.82	5.03	B+	-66.89	11.39	L	-109.73	18.07	C+
64	-25.80	4.88	A+	-65.87	11.40	L	-108.70		
65	-24.75	4.71	A+	-64.82	11.05	C+	-107.66	17.95	C+
66	-23.70	4.54	A+	-63.78	10.94	C+	-106.61	17.82	C+
67	-22.68	4.37	A+	-62.75	10.80	A+	-105.59	17.65	C+
68	-21.54	4.17	B+	-61.61	10.55	L	-104.45	17.50	C+
69	-20.60	4.03	B+	-60.67	10.47	A+	-103.51	17.33	C+
70	-19.57	3.89	A+	-59.64	10.33	A+	-102.48	17.19	C+
71	-18.49	3.71	A+	-58.57	10.16	A+	-101.40	17.01	C+
72	-17.43	3.53	A+	-57.51	9.99	C+	-100.34	16.83	C+
73	-16.38	3.37	A+	-56.45	9.82	A+	-99.29	16.54	C+
74	-15.32	3.21	A+	-55.40	9.66	A+	-98.23	16.53	C+
75	-13.08	2.86	A+	-53.16	9.35	C+	-95.99	16.21	L
76	-11.07	2.53	A+	-51.14	9.05	C+	-93.98	15.90	C+
77	-10.01	2.35	A+	-50.08	8.87	C+	-92.92	15.71	C+
78	-8.98	2.17	A+	-49.05	8.62	A+	-91.89	15.55	C+
79	-7.92	2.00	A+	-47.99	8.49	B+	-90.83	15.23	C+
80	-6.86	1.82	A+	-46.93	8.37	C+	-89.77	15.23	C+

表 4-2-3

Station No.	S-4			S-5			S-6		
	Distance (km)	T (sec)	Rank & Polarity	Distance (km)	T (sec)	Rank & Polarity	Distance (km)	T (sec)	Rank & Polarity
81	-5.83	1.55	A+	-45.90	8.17	C+	-88.74	14.97	C+
82	-4.76	1.27	A+	-44.84	8.03	C+	-87.67	14.74	C+
83	-3.71	0.99	A+	-43.78	7.91	C+	-86.62	14.57	C+
84	-2.66	0.72	A+	-42.72	7.78	A+	-85.56	14.46	C+
85	-1.69	0.47	A+	-41.69	7.66	A+	-84.53	14.38	C+
86	-0.78	0.23	A+	-40.69	7.42	C+	-83.53	14.22	C+
87	0.59	0.18	A+	-39.65	7.30	C+	-82.48	14.06	C+
88	1.55	0.43	A+	-38.58	7.14	A+	-81.42	13.92	C+
89	2.59	0.70	A+	-37.52	6.96	C+	-80.36	13.68	C+
90	3.63			-36.47			-79.31		
91	4.68	1.25	A+	-35.42	6.58	A+	-78.26	13.38	C+
92	5.74	1.52	A+	-34.36	6.41	A+	-77.20	13.27	A+
93	6.78			-33.31			-76.15		
94	7.86	2.08	A+	-32.23	6.05	A+	-75.07	12.80	C+
95	8.89	2.32	A+	-31.19	5.85	C+	-74.02	12.69	C+
96	9.94	2.50	A+	-30.14	5.53	A+	-72.98	12.59	A+
97	10.99	2.65	A+	-29.09	5.38	A+	-71.93	12.38	A+
98	12.06	2.82	B+	-28.02	5.23	A+	-70.86	12.02	C+
99	14.16	3.16	A+	-25.92	4.94	A+	-68.76	11.67	A+
100	16.26	3.49	A+	-23.83	4.61	C+	-66.66	11.33	C+
101	17.30	3.66	A+	-22.80	4.44	B+	-65.63	11.21	A+
102	18.36	3.84	A+	-21.74	4.27	B+	-64.58	11.01	C+
103	19.40	4.01	A+	-20.69	4.11	A+	-63.53	10.86	A+
104	20.45	4.17	A+	-19.65	3.95	A+	-62.49	10.70	A+
105	21.50	4.34	C+	-18.60	3.78	A+	-61.43	10.56	A+
106	22.61	4.60	A+	-17.48	3.59	A+	-60.32	10.38	B+
107	23.67	4.70	C+	-16.42	3.42	A+	-59.25	10.20	A+
108	24.66	4.90	C+	-15.42	3.25	A+	-58.26	10.03	C+
109	25.77	5.06	C+	-14.32	3.06	A+	-57.15	9.84	B+
110	26.82	5.22	C+	-13.26	2.88	A+	-56.10	9.67	C+
111	27.88	5.41	A+	-12.20	2.71	A+	-55.03	9.51	B+
112	28.94	5.56	A+	-11.14	2.54	A+	-53.97	9.28	C+
113	30.00	5.70	C+	-10.08	2.36	A+	-52.92	9.16	A+
114	30.93	5.85	A+	-9.14	2.18	A+	-51.98	8.97	C+
115	31.98	6.02	A+	-8.10	2.00	B+	-50.94	8.82	B+
116	33.02	6.15	C+	-7.05	1.86	A+	-49.89	8.68	C+
117	34.09			-5.99	1.59	A+	-48.83	8.45	C+
118	35.12	6.48	A+	-4.96	1.32	A+	-47.79	8.42	C+
119	36.19	6.66	A+	-3.89	1.04	A+	-46.72	8.26	B+
120	37.28	6.88	C+	-2.80	0.76	A+	-45.63	8.09	A+

表 4-2-4

Station No.	S-4			S-5			S-6		
	Distance (km)	T (sec)	Rank & Polarity	Distance (km)	T (sec)	Rank & Polarity	Distance (km)	T (sec)	Rank & Polarity
121	38.28	7.08	A+	-1.84	0.51	A+	-44.64	7.90	B+
122	39.32	7.25	A+	-0.89	0.26	A+	-43.61	7.77	C+
123	40.38	7.41	A+	-0.59	0.18	A+	-42.55	7.59	A+
124	42.49	7.68	C+	2.51	0.68	A+	-40.45	7.24	B+
125	44.58	8.04	A+	4.56	1.22	A+	-38.35	6.88	B+
126	45.64	8.20	C+	5.60	1.49	A+	-37.29	6.71	A+
127	46.75	8.38	C+	6.70	1.77	A+	-36.19	6.54	A+
128	47.73	8.50	C+	7.69	1.95	A+	-35.21	6.38	A+
129	48.80	8.64	B+	8.76	2.12	A+	-34.15	6.21	C+
130	49.81	8.84	A+	9.77	2.30	A+	-33.14	6.04	A+
131	50.89	9.02	A+	10.85	2.47	B+	-32.06	5.86	A+
132	51.96	9.18	C+	11.90	2.64	A+	-30.99	5.68	B+
133	52.95	9.30	C+	12.89	2.80	A+	-29.98	5.54	A+
134	53.99	9.50	C+	13.92	2.98	A+	-28.93	5.34	C+
135	55.03	9.68	A+	14.96	3.17	A+	-27.89	5.13	A+
136	56.08	9.81	C+	16.00	3.27	A+	-26.84	4.98	A+
137	57.05	10.01	C+	16.98	3.43	C+	-25.88	4.88	A+
138	58.07	10.18	C+	18.00	3.64	C+	-24.87	4.74	A+
139	59.10	10.40	C+	19.05	3.81	B+	-23.86	4.56	A+
140	60.12	10.46	C+	20.07	3.96	A+	-22.87	4.38	A+
141	61.12	10.62	C+	21.09	4.14	A+	-21.93	4.22	A+
142	62.08	10.79	C+	22.07	4.29	A+	-21.04	4.06	A+
143	63.68	11.10	C+	23.70	4.54	B+	-19.55	3.80	A+
144	65.59			25.59			-17.61		
145	67.52	11.62	C+	27.50	5.11	A+	-15.68	3.16	B+
146	69.46	11.90	C+	29.42	5.44	A+	-13.73	2.87	C+
147	70.44	12.11	C+	30.40	5.61	C+	-12.74	2.72	A+
148	71.40	12.21	C+	31.36	5.77	C+	-11.78	2.58	A+
149	72.37			32.32	5.87	C+	-10.81	2.42	A+
150	73.33	12.62	A+	33.28	6.00	C+	-9.85	2.27	A+
151	74.32	12.74	A+	34.27	6.15	C+	-8.85	2.14	A+
152	75.30	12.94	C+	35.24	6.39	A+	-7.86	1.97	A+
153	76.26	13.09	C+	36.20	6.54	A+	-6.88	1.77	C+
154	77.24	13.29	C+	37.18	6.68	B+	-5.89	1.56	A+
155	78.17	13.38	C+	38.10	6.81	A+	-4.96	1.32	A+
156	79.14	13.56	C+	39.07	6.97	C+	-3.99	1.06	A+
157	80.14	13.80	L	40.07	7.11	C+	-3.00	0.80	A+
158	81.08	13.91	C+	41.00	7.21	C+	-2.07	0.56	A+
159	82.02	13.98	L	41.95	7.44	A+	-1.14	0.32	A+
160	82.96	14.26	C+	42.89	7.59	A+	-0.49	0.15	A+

表 4-3 S-7 の初動走時表  
 Table 4-3. Travel times from shot S-7.  
 表 4-3-1

Station No.	S-7			Station No.	S-7		
	Distance (km)	T (sec)	Rank & Polarity		Distance (km)	T (sec)	Rank & Polarity
1	-181.11			41	-134.78		
2	-180.20			42	-133.82		
3	-180.15			43	-132.88		
4	-178.49			44	-131.97		
5	-176.49			45	-131.02		
6	-175.00			46	-129.98		
7	-173.44			47	-128.93		
8	-171.99			48	-127.91		
9	-170.43			49	-126.86		
10	-168.92			50	-125.82		
11	-167.42			51	-124.76		
12	-166.71			52	-122.64		
13	-165.81			53	-120.54		
14	-165.16			54	-118.48		
15	-164.47			55	-117.43		
16	-163.52			56	-116.38		
17	-162.94			57	-115.34		
18	-161.45			58	-114.30		
19	-160.57			59	-113.25		
20	-159.69			60	-112.31		
21	-158.92			61	-111.27		
22	-158.04			62	-110.21		
23	-156.30			63	-109.16		
24	-155.46			64	-108.14		
25	-154.60			65	-107.09		
26	-153.48			66	-106.05		
27	-152.31			67	-105.02		
28	-151.18			68	-103.88		
29	-150.33			69	-102.94		
30	-147.72			70	-101.91		
31	-145.13			71	-100.84		
32	-144.13			72	-99.78		
33	-143.37			73	-98.72		
34	-142.31			74	-97.67		
35	-140.49			75	-95.43		
36	-139.48			76	-93.41		
37	-138.59			77	-92.35		
38	-137.61			78	-91.32		
39	-136.71			79	-90.26		
40	-135.70			80	-89.20		

表 4-3-2

		S-7					S-7		
Station No.	Distance (km)	T (sec)	Rank & Polarity	Station No.	Distance (km)	T (sec)	Rank & Polarity		
81	-88.17			121	-44.07				
82	-87.11			122	-43.04				
83	-86.05			123	-41.98				
84	-84.99			124	-39.87				
85	-83.96			125	-37.78				
86	-82.96			126	-36.72				
87	-81.92			127	-35.62				
88	-80.85			128	-34.64				
89	-79.79			129	-33.58				
90	-78.74			130	-32.57				
91	-77.69			131	-31.49				
92	-76.63			132	-30.41				
93	-75.58			133	-29.41				
94	-74.50			134	-28.36				
95	-73.46			135	-27.32				
96	-72.41			136	-26.27				
97	-71.36			137	-25.30				
98	-70.29			138	-24.30	4.64	L		
99	-68.19			139	-23.28	4.47	L		
100	-66.10			140	-22.29	4.29	L		
101	-65.06			141	-21.34	4.13	L		
102	-64.01			142	-20.45	3.94	L		
103	-62.96			143	-18.96	3.69	L		
104	-61.92			144	-17.02				
105	-60.86			145	-15.09	3.07	C+		
106	-59.75			146	-13.14	2.79	C+		
107	-58.68			147	-12.15	2.65	A+		
108	-57.69			148	-11.19	2.51	C+		
109	-56.58			149	-10.22	2.38	A+		
110	-55.53			150	-9.25	2.34	A+		
111	-54.46			151	-8.26	2.09	A+		
112	-53.41			152	-7.26	1.92	A+		
113	-52.35			153	-6.28	1.66	A+		
114	-51.41			154	-5.29	1.41	A+		
115	-50.37			155	-4.36	1.17	A+		
116	-49.32			156	-3.38	0.91	A+		
117	-48.26			157	-2.39	0.65	A+		
118	-47.23			158	-1.47	0.41	A+		
119	-46.16			159	-0.60	0.18	A+		
120	-45.06			160	0.68	0.20	A+		

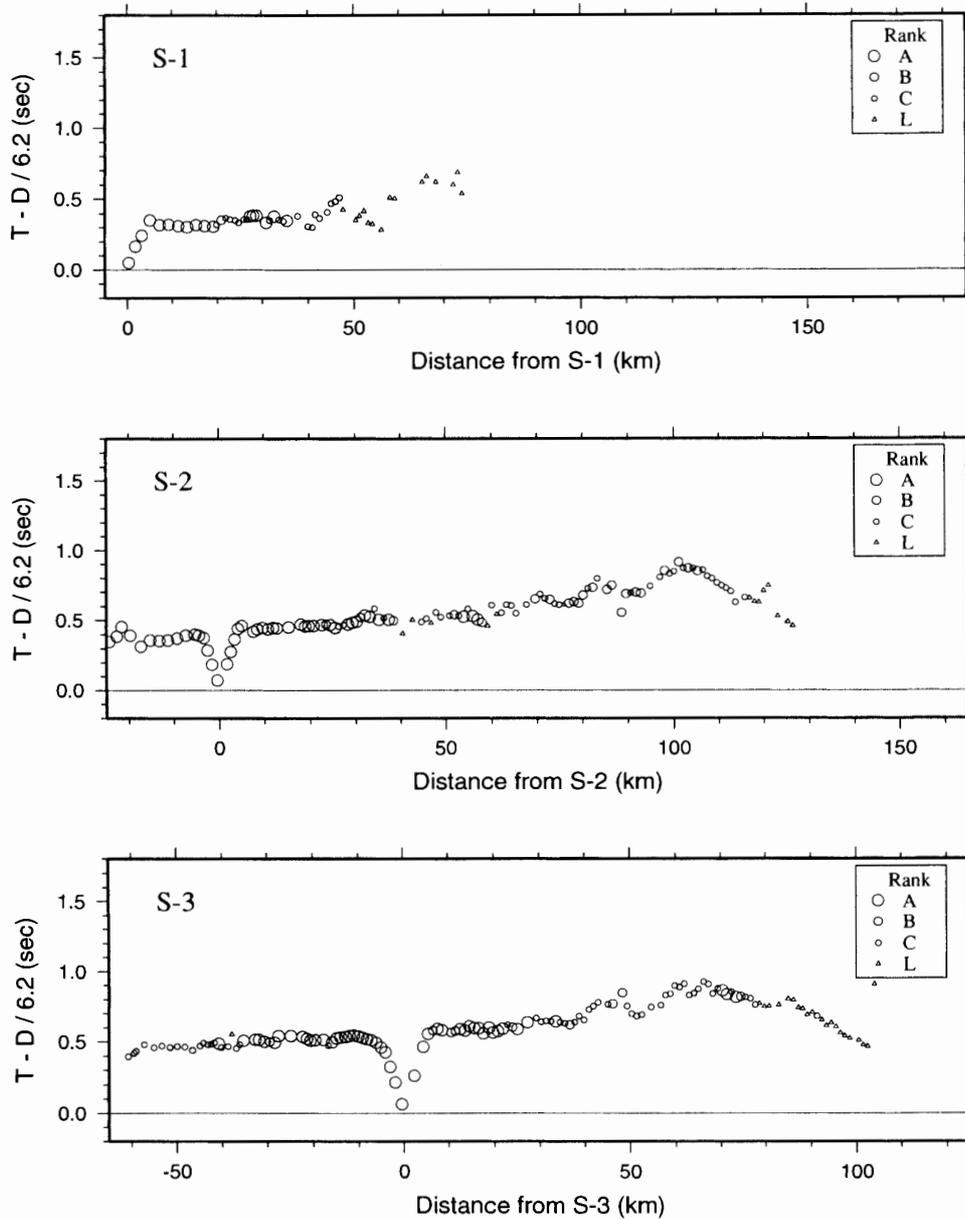


図 7-1 S-1, S-2, S-3 の走時図。横軸は発破点からの距離、縦軸は 6.2 km/s でレデューズした走時。初動の明瞭度によってランク分け (A, B, C, L) されている (本文参照)。

Fig. 7-1. Travel time plots for shots S-1, S-2 and S-3. The reduced velocity is 6.2 km/s. The abscissa gives the distances from the shot point to the observation sites. The quality of the travel time data is shown with different symbols (see text for explanation).

存在していることがわかる。また、この層のインターセプトタイムを各ショット間で比較すると、標高の低い S-1 では 0.3-0.4 秒であったものが、内陸部に向かうにつれ、そのインターセプトタイムは大きくなり、S-3 では 0.5-0.6 秒、測線の最内陸部の S-6 では 0.7 秒程度となっている。これは、氷床が内陸部に向かうにつれて厚くなっている事を示唆している。また、S-4 で

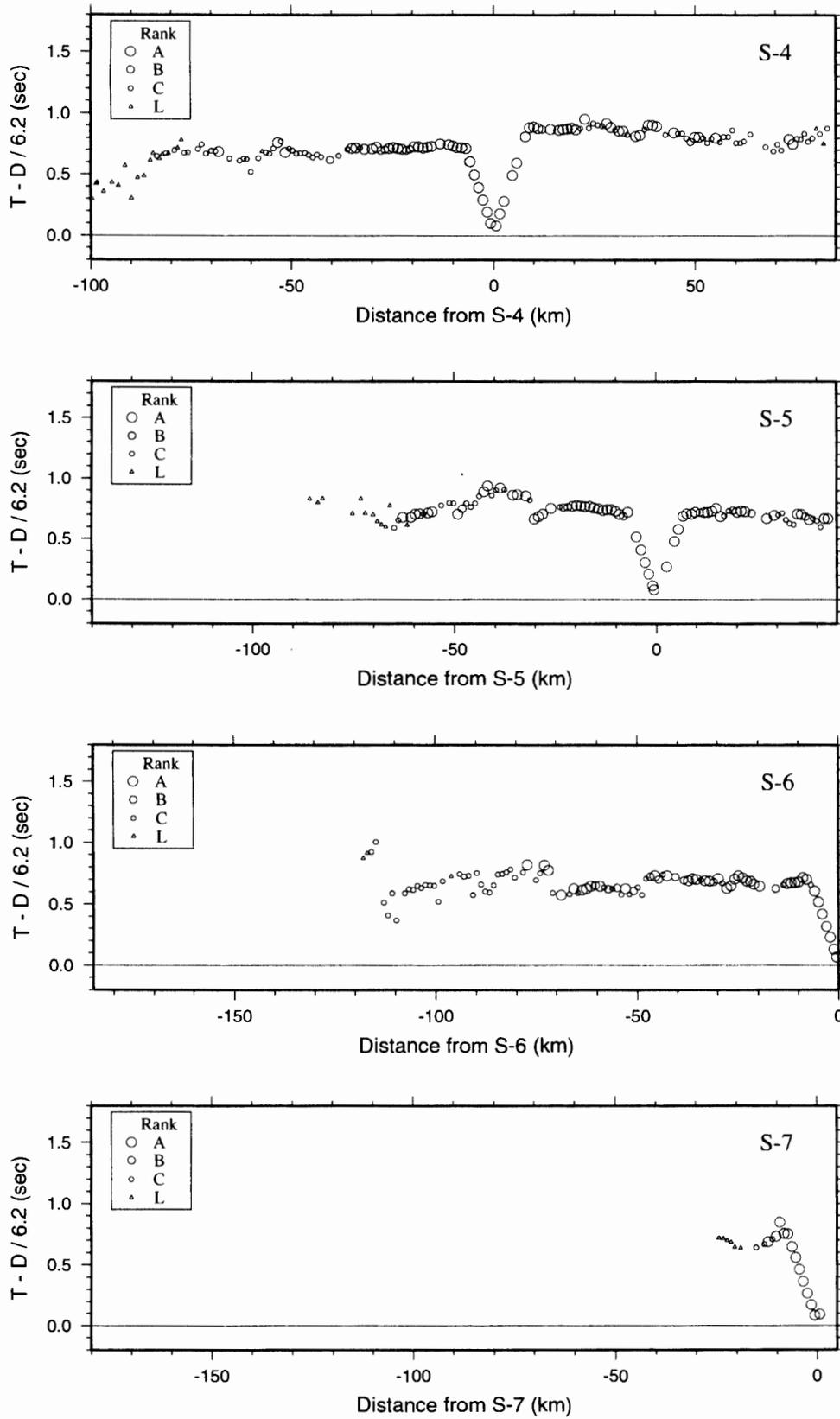


図 7-2 S-4, S-5, S-6, S-7 の走時図

Fig. 7-2. Travel time plots for shots S-4, S-5, S-6 and S-7.

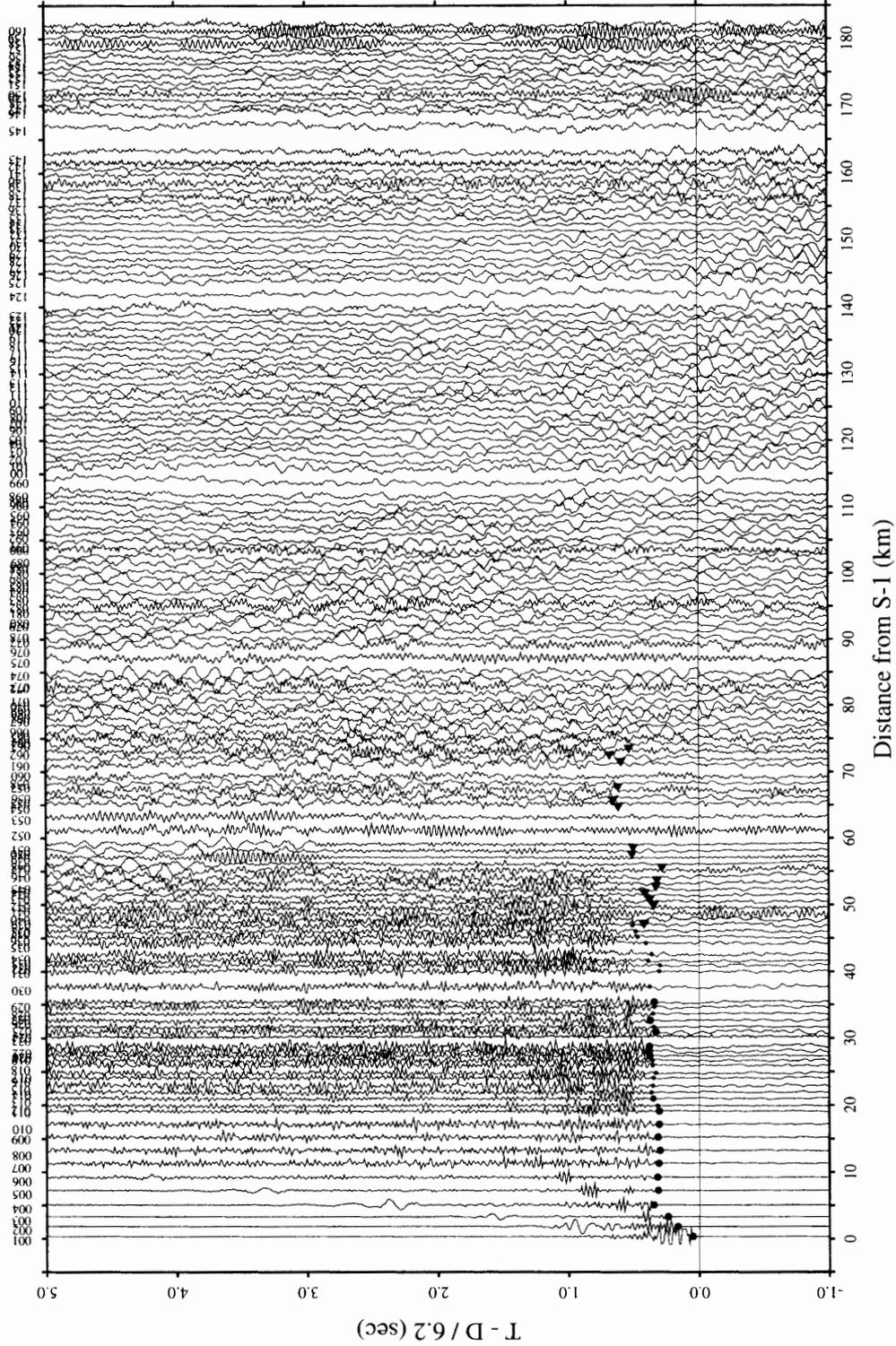


図 8-1 S-1 の初動付近の観測波形。横軸は発破点からの距離、縦軸は 6.2 km/s でレデュースされた時間。黒丸と黒三角は、表 4 に示されている初動と後続波の読み取り箇所を示している。

Fig. 8-1. Record section near the first onsets at the observation sites for shot S-1. The reduced velocity is 6.2 km/s. The abscissa gives the distance from the shot point to the observation sites. The first onsets are indicated by dots.

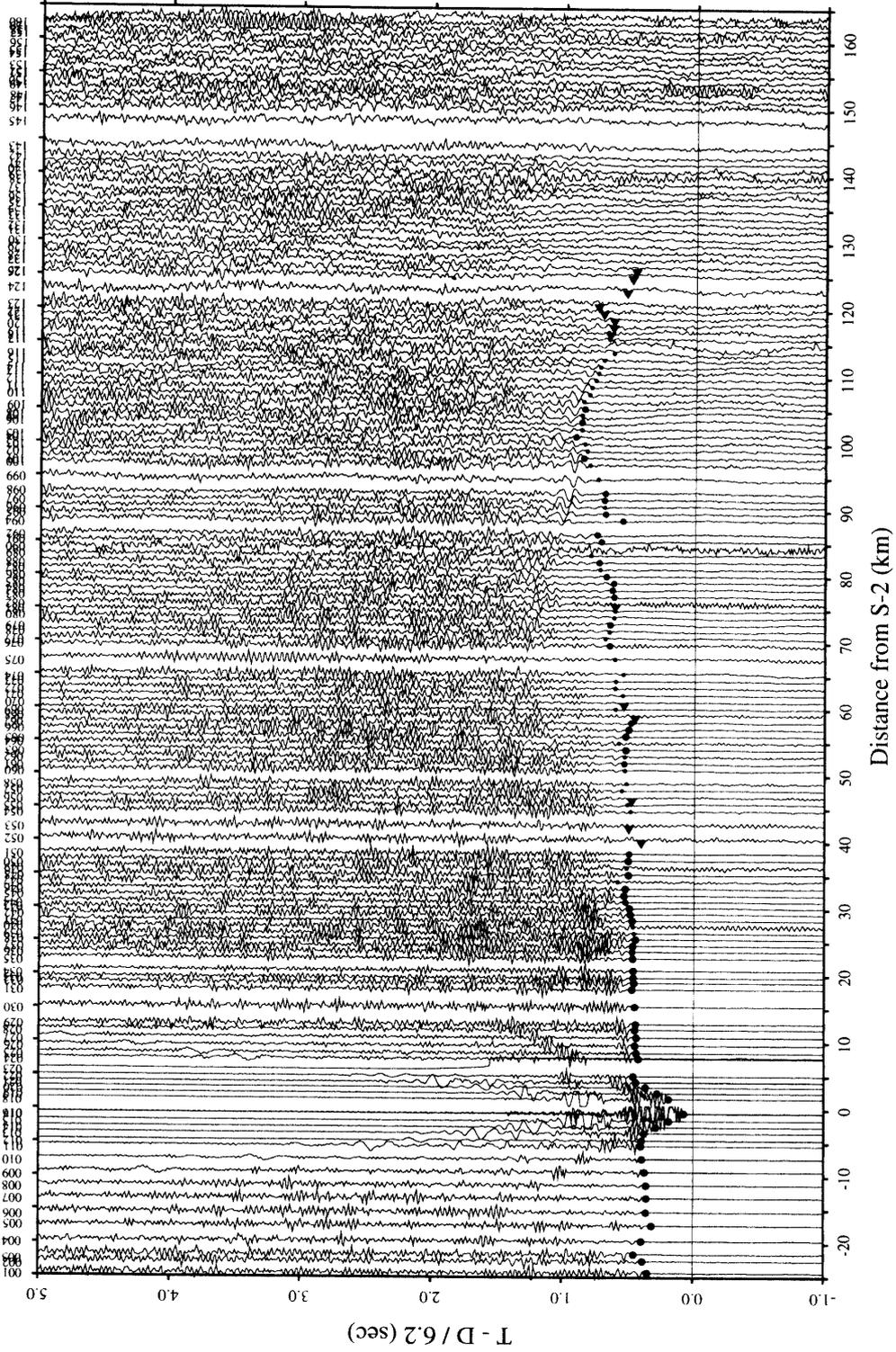


図 8-2 S-2 の初動付近の観測波形  
Fig. 8-2. Record section near the first onsets at the observation sites for shot S-2.

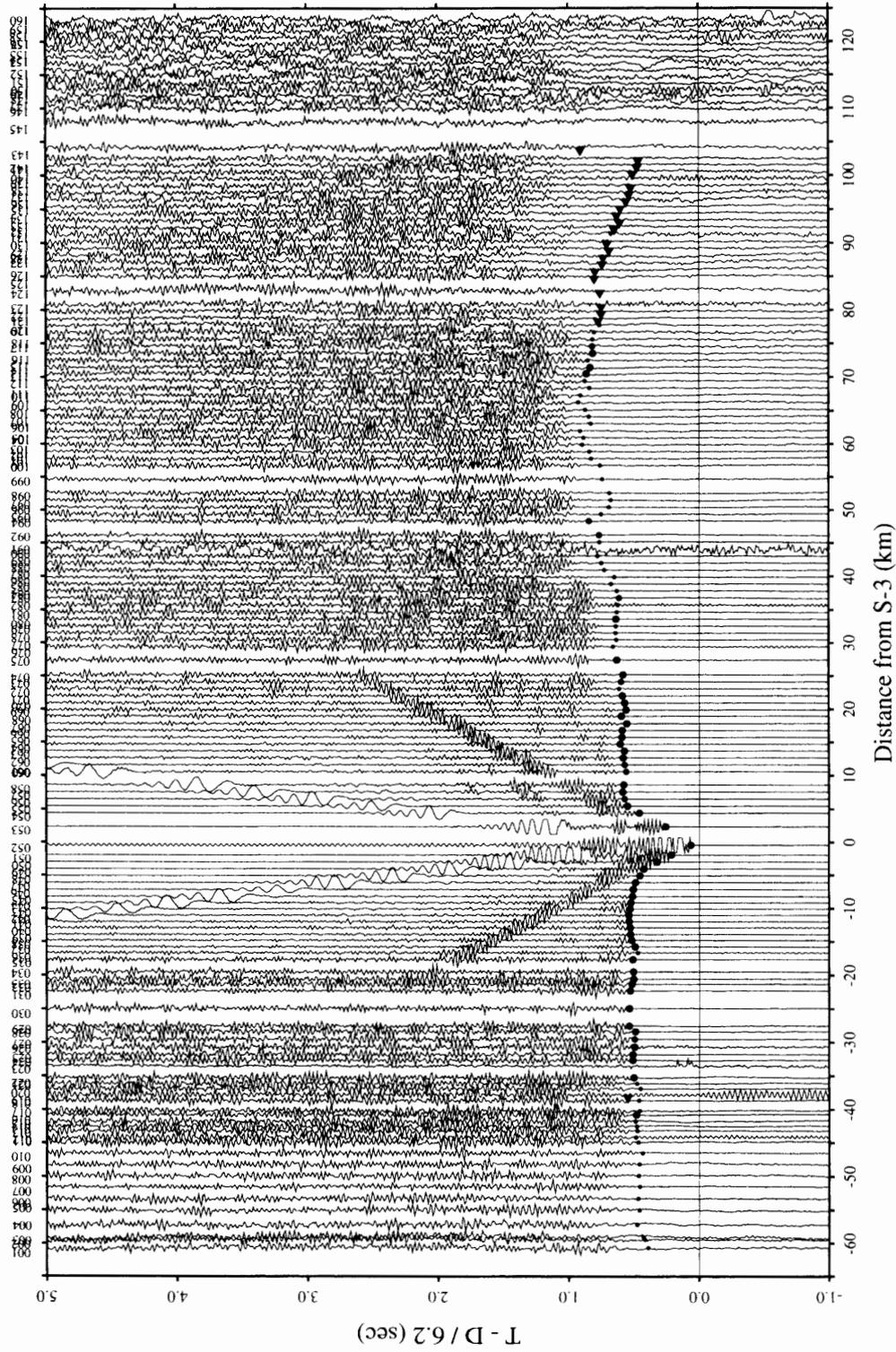


図 8-3 S-3 の初動付近の観測波形  
 Fig. 8-3. Record section near the first onsets at the observation sites for shot S-3.

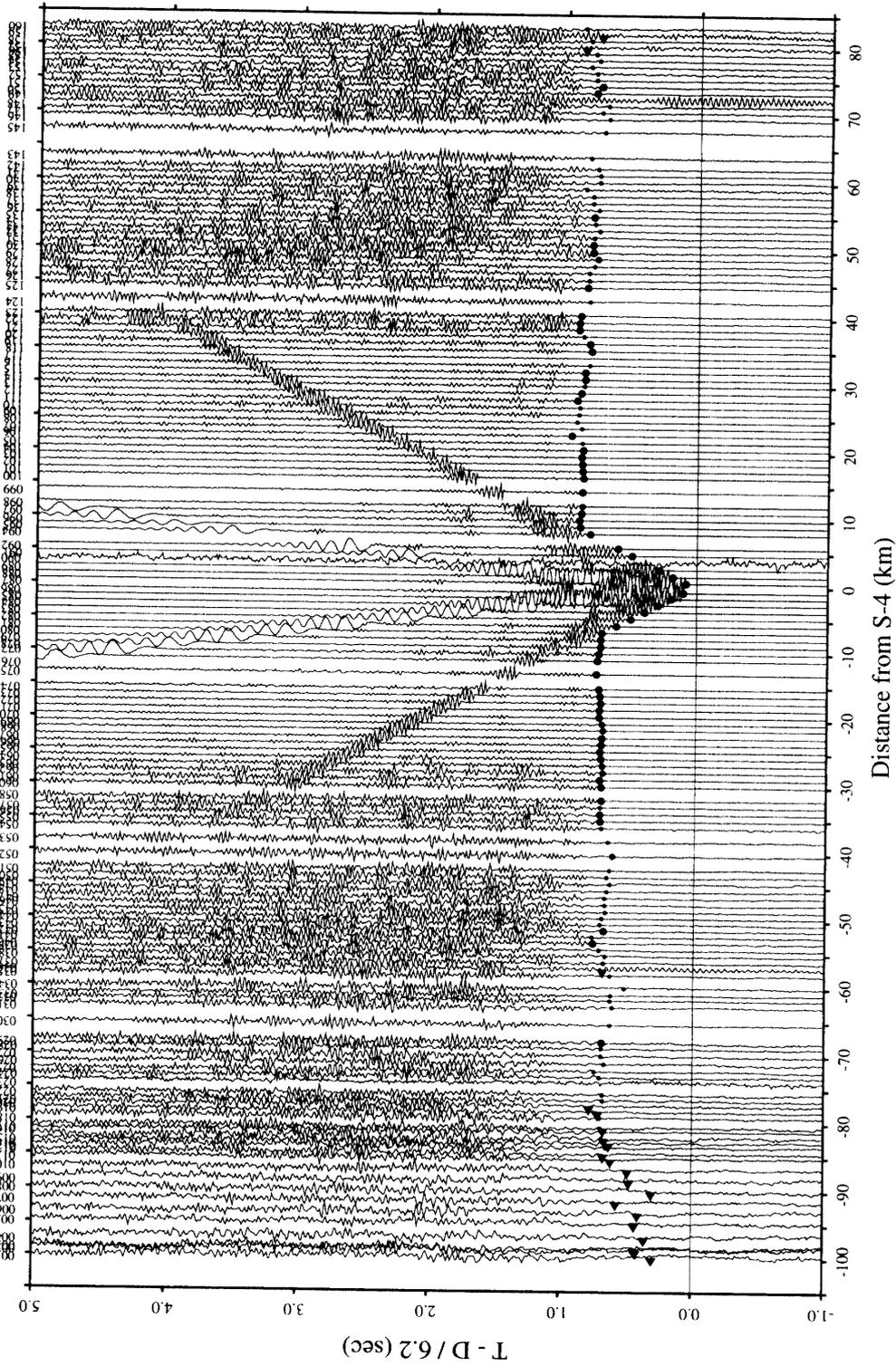


図 8-4 S-4 の初動付近の観測波形  
Fig. 8-4. Record section near the first onsets at the observation sites for shot S-4.

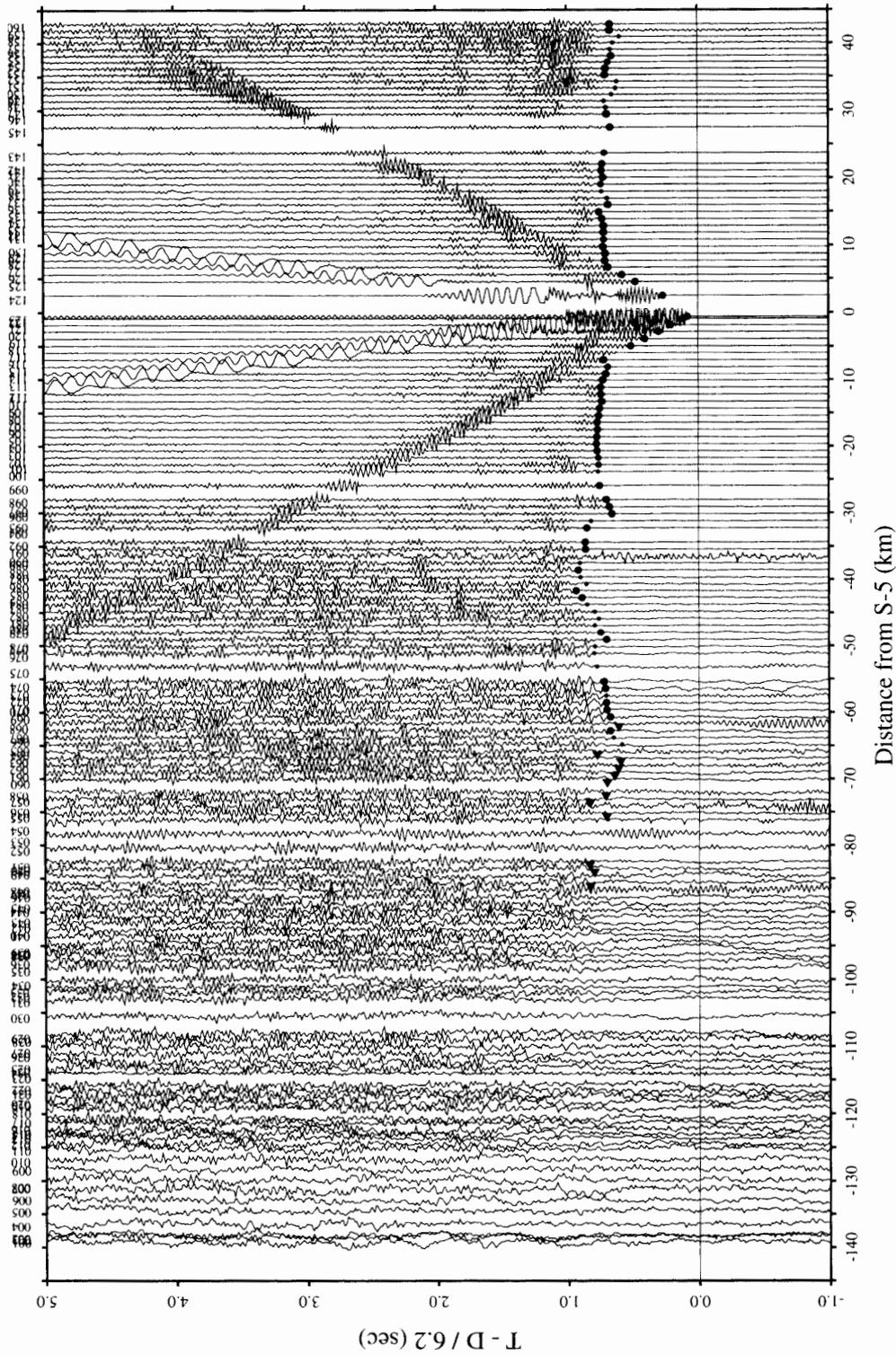


図 8-5 S-5 の初動付近の観測波形  
 Fig. 8-5. Record section near the first onsets at the observation sites for shot S-5.

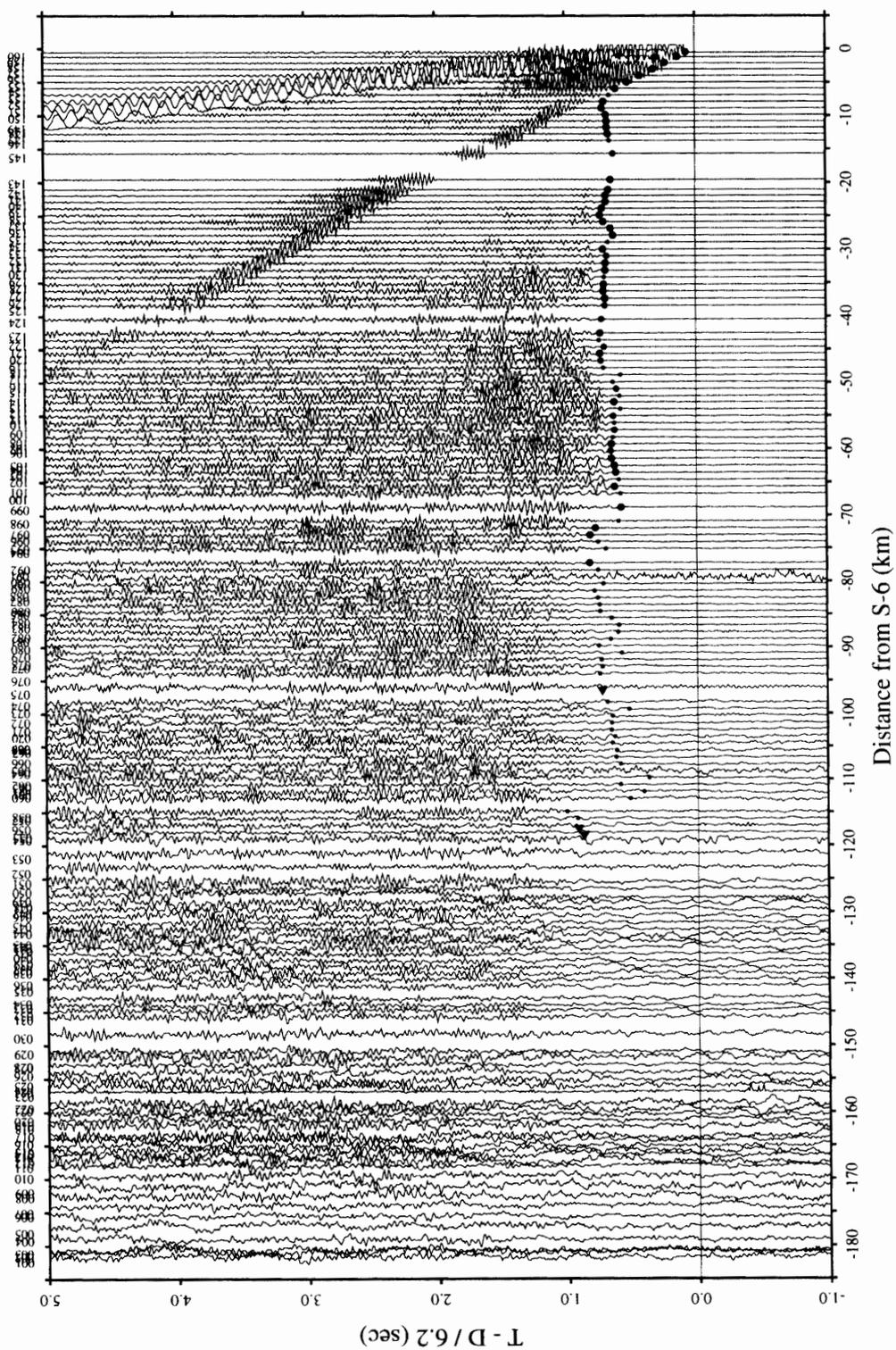


図 8-6 S-6 の初動付近の観測波形

Fig. 8-6. Record section near the first onsets at the observation sites for shot S-6.

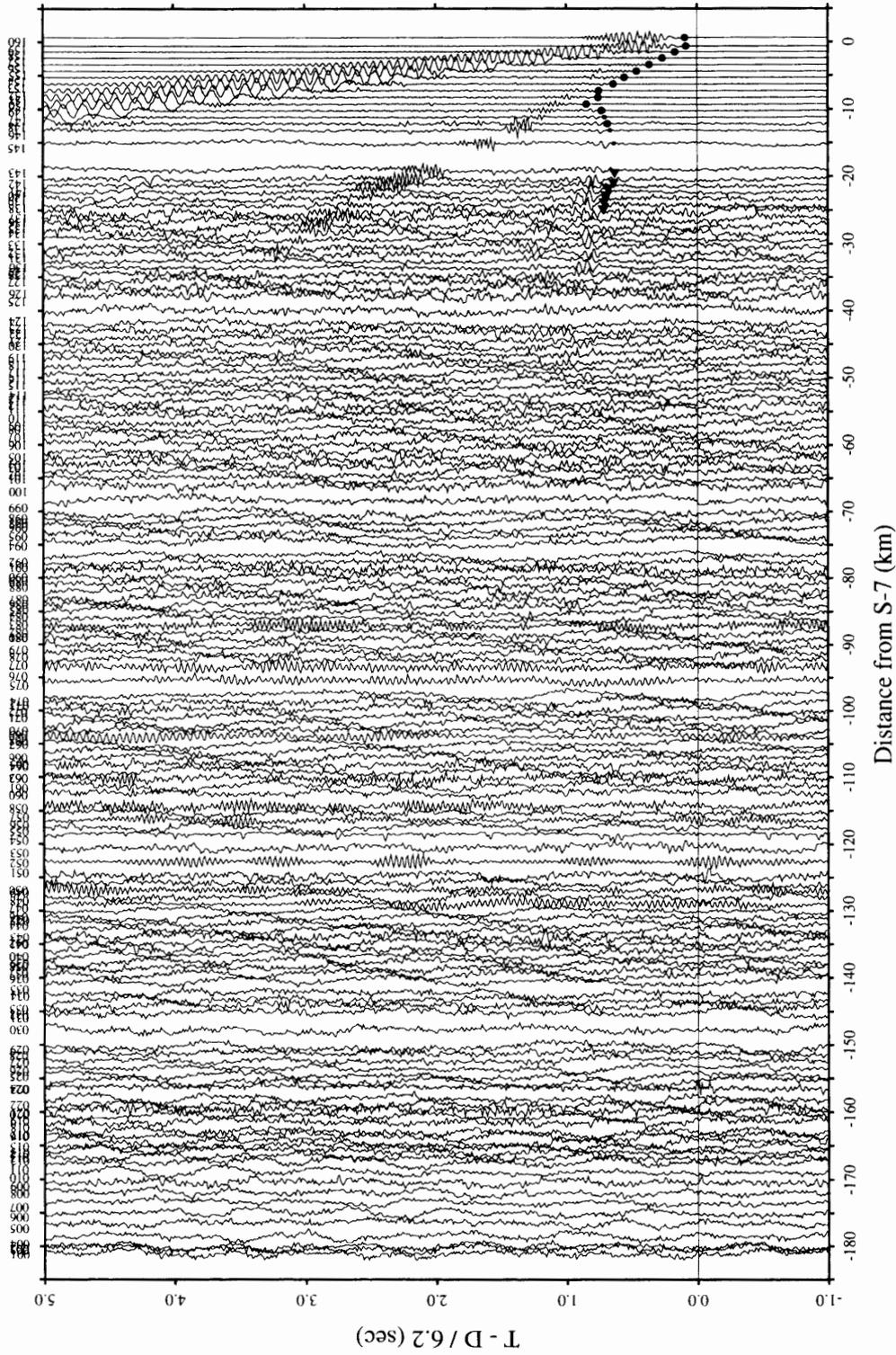


図 8-7 S-7 の初動付近の観測波形  
Fig. 8-7. Record section near the first onsets at the observation sites for shot S-7.

は、インターセプトタイムが測線の前後で大きな食い違いを見せている。これは、S-4 の周辺直下で基盤層の上部境界面がステップ上に変化していることを示唆している。この地域の観測点で得られた他の発破の走時にも、この傾向は現れている。

S-2 (図 8-2) の距離 70 km 付近において、初動から 0.4 秒程遅れて顕著な相 (後続波) が見えはじめ、100 km 以遠では初動となって現れている。この相のみかけ速度は 6.9 km/s であり、6.2 km/s 層の下の層を伝播した波が現れていると考えられる。この相は、S-3 や S-6 にも現れている。

### 3.4. 氷床の地震波速度

氷床の地震波速度を求めるため、ラインアップ観測点のデータと主測線のデータを合わせた走時図を図 9 (reduction velocity は 5.0 km/s) に示す。S-2 から S-7 のデータを検討すると、図 5 および図 9 より、みかけ速度が 2.5-3.0 km/s の非常に薄い上部層があり、その下のみかけ速度 3.6-3.8 km/s の下部層が、みかけ速度 6.2 km/s の基盤層まで続いていることが推定される。特に、この下部層の地震波速度は 3.6 km/s から 3.8 km/s に徐々に増大している傾向があり、これは氷床の圧密効果による影響であると推定される。また、内陸部 (S-6) から沿岸部 (S-1) に向かうにつれ、各発破点で得られた上部層のみかけ速度が速くなる傾向が見られる。これは、氷床の長年の移動に伴う圧縮効果の影響による可能性と、夏季においては、沿岸部の表層の積雪層が溶融・昇華し、相対的に深部に分布していた圧密化された積雪層が雪面付近にまで現れた可能性が考えられるであろう。図 9-1 で示されているように、S-1 の発破点近傍の走時データは他のショットとは異なる分布を示している。特に、みかけ速度が 4.7 km/s の層が何を意味しているのかは、今後の詳細な解析によって明らかにされるであろう。

## 4. 今後の課題

震源班で使用したスチームドリル等の機材やダイナマイトに関連した事項については、別に報告される予定なので、本報告では、得られたデータに基づいた問題点を述べる。

本探査測線は、JARE-21 および JARE-22 における測線と重複しているが、当時では困難であった高密度観測を実現し、地下構造に関する精度の良い詳細なデータを得ることができた。しかしながら、発破孔深度が 25 m 程しかないため、ダイナマイトの“きき”が悪く、明瞭な初動を観測できる範囲が約 100 km 以下であった。より深部の地下構造を明らかにするためには、(1)発破孔深度を深くする、(2)薬量の増加、(3)測線長の延長が考えられる。発破孔深度については、Ito and Ikami (1984b) によると、少なくとも氷床浅部のフィルン層を超える深度 (約 50 m) にまで達すると発破の“きき”が良くなるようである。ただし、本実験で用いたスチームドリルによって孔長 50 m もの発破孔を掘削することは困難である。薬量の増大は最も簡単な方法ではあるが、同時に、人力による装薬方法も検討する必要があるであろう。本実験では、

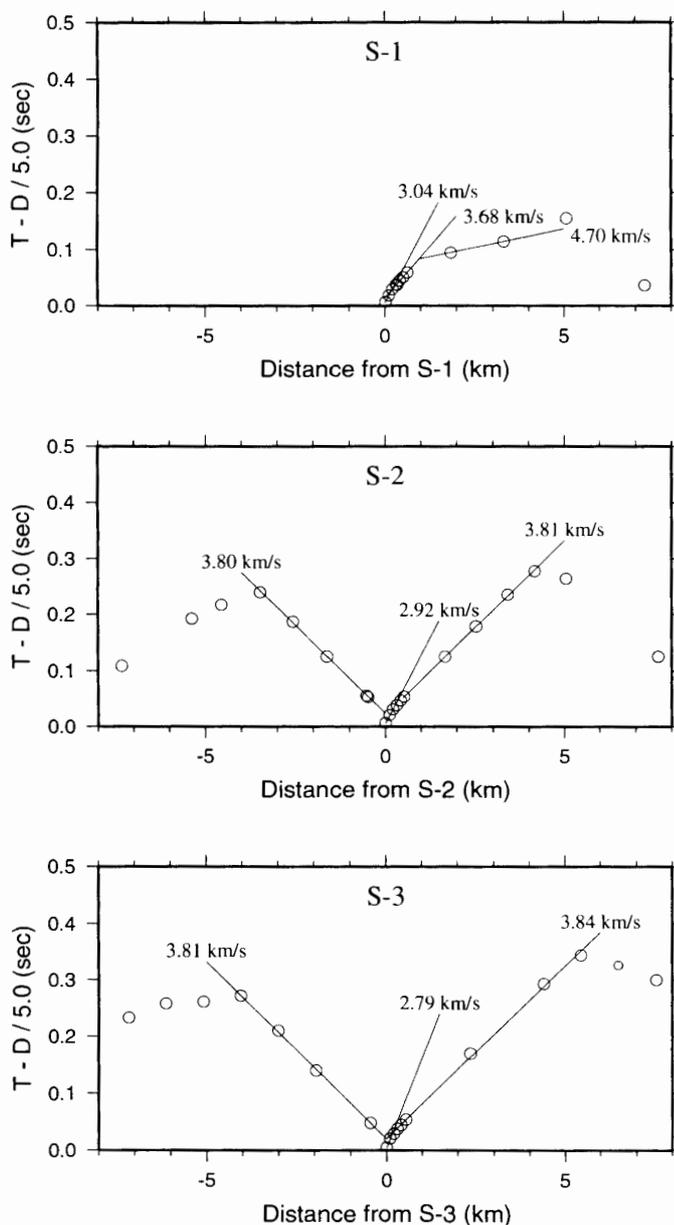


図 9-1 S-1, S-2, S-3 の発破点周辺の観測点の走時図。横軸は発破点からの距離、縦軸は 5.0 km/s でレデューズした走時。図中の数値は、みかけ速度を示す。

Fig. 9-1. Travel time plots near the shot points for shots S-1, S-2 and S-3. The reduced velocity is 5.0 km/s. The abscissa gives the distances from the shot point to the observation sites. Values in the figure indicate the apparent velocities in km/s

測線長約 180 km 上に 160 カ所の観測点を配置させたので、観測点の平均間隔は約 1.1 km である。反射波などの後続波の検出を考えると、観測点間隔をこれ以上広げることにはできない。したがって、探査測線長を延ばすには、観測点数の増加が必要である。あるいは、この観測点数増加が可能であれば、屈折法測線の一部に反射法を主体とした測線展開も可能となり、地下深部からの反射波を積極的に狙うような観測計画も考えられるであろう。

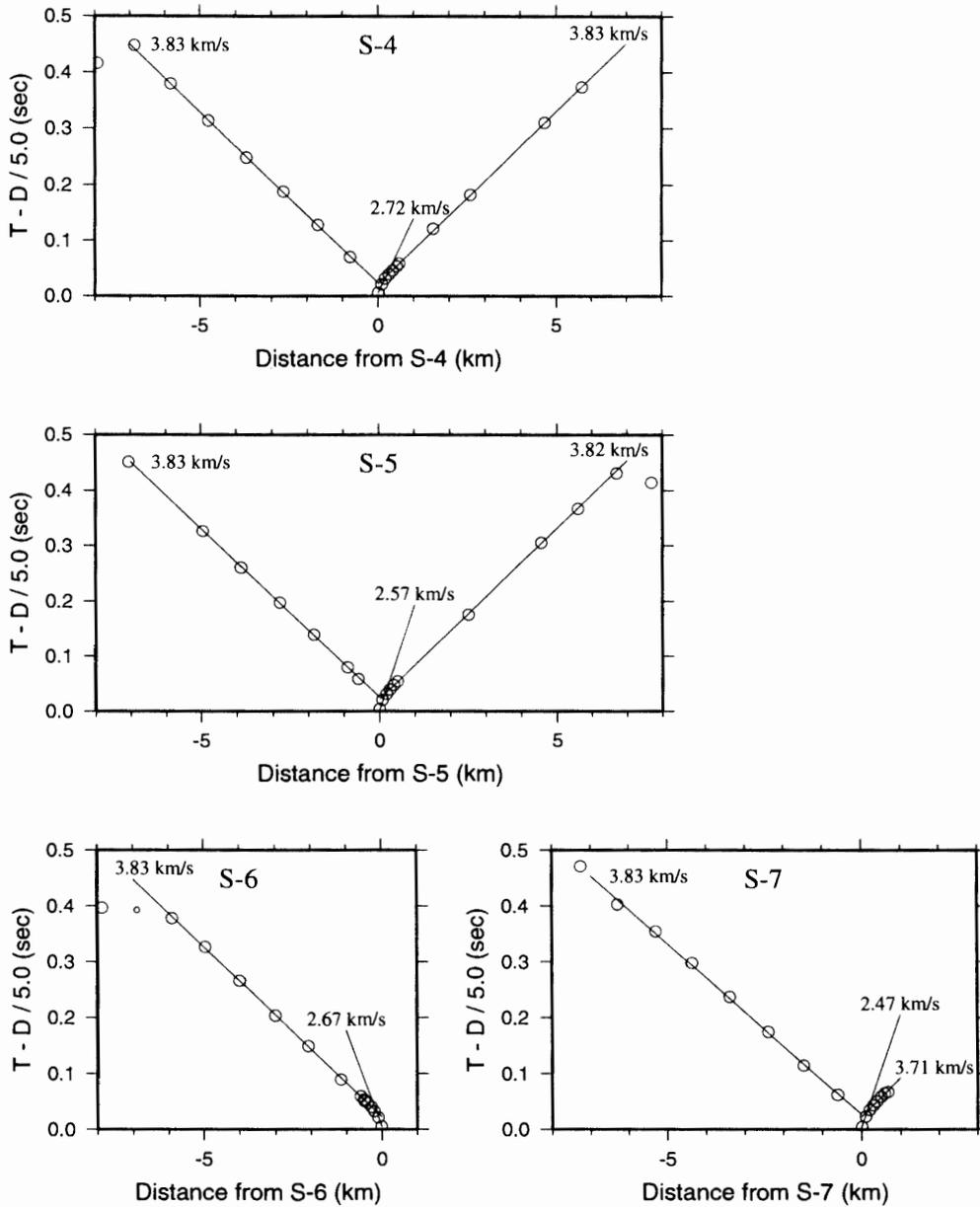


図 9-2 S-4, S-5, S-6, S-7 の発破点周辺の観測点の走時図

Fig. 9-2. Travel time plots near the shot points for shots S-4, S-5, S-6 and S-7.

図 9-1 に示したように、S-1 近傍のみで得られたみかけ速度 4.7 km/s の層を明らかにするためには、S-7 で行ったような薬量 25 kg 程度の小発破を大発破間で行う必要がある。1 カ所の大発破を行うには、移動を含めて 3 日を要するが、小発破は 1 日で実施可能なので、全行動期間の日程に余裕がある場合には、小発破を積極的に活用すべきである。

S-1 と S-6 において、発破前後に氷震が発生し、氷震の優勢な振動によって一部の観測点では初動を読み取ることができなかった。このような状況を避けるには、震源班と測線班が発破時に振動モニターを行い、氷震の発生状況を確認しながら発破するしか方法はないであろう。た

だし、地震波形の収録に用いる観測機材の能力から、限られた時間帯に発破を実施する必要があるので、観測スケジュールを設定する段階で発破時間の配分を検討する必要がある。

測線上の観測点等の位置決定に GPS 測量を採用したが、測定時間や衛星数およびその配置等の関係で、一部の観測点では、当初の予定通りに、座標を求めることができなかった。最近、GPS の単独測位による精度が向上したが、標高値については、特に、重力測定が行われる場合、その精度は十分とは言えない。したがって、衛星配置を十分に考慮し、測定時間を 30 分程度に延ばし、原則として、干渉測位による位置決定を行う必要がある。

## 5. ま と め

JARE-41 (夏隊) の人工地震観測グループにより、JARE-21 および JARE-22 から 20 年ぶりに南極地域で地殻構造の探査が行われた。また、最新の観測技術および機材を用いることにより、日本国内で実施されている人工地震観測と同等の観測を自然環境の厳しい南極地域で行うことができた。国内における観測では、人工的なノイズを避けるため、観測点の設置場所や発破点の選定に苦勞するが、周囲がすべて氷の世界なので、自然環境を除けば、南極域における観測そのものは容易であった。

得られた走時データは比較的単純な分布を示し、初動走時データによって、地殻上部の詳細な速度構造が得られるであろう。より深部の構造を得るには、後続波を用いる必要がある。S-2 においては、後続波が顕著に現れているが、他の発破の波形データもフィルター等の波形処理を適用することによる後続波の明瞭な検出を試みる必要があるであろう。

## 謝 辞

今回のみずほルート上での人工地震探査の実現に向けて、多くの方々からの支援をいただいた。国内での実験準備等においては、金尾政紀博士・神沼克伊教授・渋谷和雄教授 (国立極地研究所)、現地においては、JARE-41 (鮎川 勝隊長・渡辺研太郎越冬隊長) および JARE-40 (宮岡 宏越冬隊長) の隊員の方々の協力に心からお礼申し上げます。また、この探査関連の物資約 35 トンの輸送を全面的に支援して下さった砕氷艦「しらせ」(茂原清二艦長) の乗員の方々に厚く感謝します。最後に、この探査計画を当初から支援していただいた国立極地研究所 (平澤威男所長) の職員の方々に謝意を表します。

## 文 献

- Hiroi, Y., Shiraishi, K. and Motoyoshi, Y. (1991): Late Proterozoic paired metamorphic complexes in East Antarctica, with special reference to the tectonic significance of ultramafic rocks. *Geological Evolution of Antarctica*, ed. by M.R.A. Thomson *et al.* Cambridge, Cambridge Univ. Press, 83-87.
- Ikami, A., Ito, K., Shibuya, K. and Kaminuma, K. (1984): Deep crustal structure along the profile

- between Syowa and Mizuho Stations, East Antarctica. Mem. Natl Inst. Polar Res., Ser. C (Earth Sci.), **15**, 19-34.
- Ikami, A. and Kaminuma, K. (1984): Velocity distribution on ice sheet in Prince Olav Coast, East Antarctica. Mem. Natl Inst. Polar Res., Ser. C (Earth Sci.), **15**, 29-35.
- 伊神 輝・一ノ瀬洋一郎・原田道昭・神沼克伊 (1980): 南極における人工地震観測の概要. 南極資料, **70**, 158-182.
- Ito, K., Ikami, A., Shibuya, K. and Kaminuma, K. (1984): Upper crustal structure beneath the Ongul Islands, East Antarctica. Mem. Natl Inst. Polar Res., Ser. C (Earth Sci.), **15**, 3-12.
- Ito, K. and Ikami, A. (1984a): Upper crustal structure of the Prince Olav Coast, East Antarctica. Mem. Natl Inst. Polar Res., Ser. C (Earth Sci.), **15**, 13-18.
- Ito, K. and Ikami, A. (1984b): Amplitude of seismic waves on ice sheet in East Antarctica. Mem. Natl Inst. Polar Res., Ser. C (Earth Sci.), **15**, 36-42.
- 伊藤 潔・伊神 輝・渋谷和雄・神沼克伊・片岡信一 (1983): 南極における人工地震観測の概要 (続). 南極資料, **79**, 107-133.
- 金尾政紀 (1999): 「エンダービーランドの地学調査の展望」に関する研究小集会報告. 南極資料, **43**, 211-220.
- Kanao, M. (1997): Variations in the crust structure of the Lützow-Holm Bay region, East Antarctica using shear wave velocity. Tectonophysics, **270**, 43-72.
- Shiraishi, K., Ellis, D. J., Hiroi, Y., Fanning, C. M., Motoyoshi, Y. and Nakai, Y. (1994): Cambrian orogenic belt in East Antarctica and Sri Lanka: Implications for Gondwana assembly. J. Geol., **102**, 47-65.

(2000 年 11 月 25 日受付; 2000 年 12 月 18 日改訂稿受理)

付録 JARE-41 人工地震観測グループの構成と主な分担  
(所属は, 1999 年 11 月 14 日時点)

*Appendix. List of members, and the main work done by the explosion group in JARE-41.*

統括責任者	村上寛史 (国立極地研究所: (有) 地震観測技術センター)
観測責任者	筒井智樹 (秋田大学)
発破孔掘削	村上寛史
火薬・発破作業	民田利明 (国立極地研究所: 日本油脂 (株))
地震観測	筒井智樹・戸田 茂 (愛知教育大学)・宮町宏樹 (鹿児島大学)
GPS・重力測定	戸田 茂・宮町宏樹
野外支援	柳澤盛雄 (国立極地研究所)・今栄直也 (国立極地研究所)・ 下田泰義 (国立極地研究所: 有明中学校)
雪上車整備	野本新太郎 (国立極地研究所: (株) 大原鉄工所) 山下秀則 (国立極地研究所: いすゞ自動車 (株)) 松永重年 (国立極地研究所 (JARE-40): (株) 関電工)
震源班メンバー	村上・民田・宮町・下田・野本・柳澤 (測線班から中途異動)
測線班メンバー	筒井・戸田・今栄・柳澤・松永・山下 (松永と途中交代)