



Title	採石爆破による日高地方の浅部地殻構造
Author(s)	藤井, 智史; 森谷, 武男
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 42, 169-190
Issue Date	1983-10-25
DOI	10.14943/gbhu.42.169
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/14109
Type	bulletin (article)
File Information	42_p169-190.pdf



[Instructions for use](#)

採石爆破による日高地方の浅部地殻構造

藤井 智史・森谷 武男

北海道大学理学部地球物理学教室

(昭和58年3月16日受理)

Upper Crustal Structure in the Hidaka District by Refraction Measurements Using the Quarry Blasts

By Satoshi FUJII and Takeo MORIYA

Department of Geophysics, Faculty of Science,

Hokkaido University

(Received March 16, 1983)

Upper crustal structures in the Hidaka mountain region along eight profiles are investigated by using quarry blasts for Takami dam construction. The seismic waves from the quarry were observed at 103 temporary and 6 routine stations. For the temporary moving observations, data recorders of direct recording with AC bias and of frequency modulation were used. The routine stations are operated by the Research Center for Earthquake Prediction, Hokkaido University. Travel times for about 90 blasts were superposed to obtain travel time curves. Along N- and S-lines the crustal structure consists of three layers with P-wave velocities of 3.6, 4.7 and 5.8km/sec.. Boundary between two layers of 4.7 and 5.8km/sec., shallows slightly toward the south. The structure along E-W line is more complicated than that deduced from N- and S-lines. The 6.1km/sec. block exists in the shallow part just beneath the summit of Hidaka mountain, and is covered by low velocity sedimentary layer (V_p 3.6km/sec.) in Tokach plain. In the western and southwestern parts of the shot point, top boundary of 5.8km/sec. layer is shallower than that deduced beneath the shot point. Surface layers of 3.6 and 4.7km/sec. thicken stepwise along the west coast of Hidaka district. In the W-line, thickness of surface layer exceeds 9km.

The upper crustal structure obtained by the present study is consistent with the gravity anomalies and can be connected reasonably to the crustal structures in near the regions deduced from previous studies.

I. はじめに

北海道は、千島弧と東北日本弧との接合部にあたり、その地殻構造は複雑であると推測される。しかし、それについての研究は少なく、爆破地震動を用いた研究は陸上については OKADA et al. (1973) が唯一であり、周辺海域では DEN et al. (1971), ASANO et al. (1979) の結果がある。

その北海道の中で、日高地方は北海道の背骨を成す日高山脈を有し、神威古潭変成帯と日高変成帯という2種の変成帯が隣接して存在している。また、重力異常の面からは高度の高い地域に正の異常があり、そのすぐ西方に大きな負の異常を持つ特異な分布をしている〔TOMODA et al. (1970), 大亀 (1972)〕。さらに、走時異常の存在〔森谷・大亀 (1972), TAKANAMI (1982)〕、活発な地震活動〔例えば森谷他 (1983)〕、があり、DEN and HOTTA (1973) はプレート境界を考えている。しかしながら、OKADA et al. (1973) による積丹半島-えりも岬測線のえりも岬沖での爆破でよい記録が得られなかったり、新冠ダム建設の際行なわれた採石爆破の観測も不完全〔森谷・大亀 (1972)〕であったりしたためこの地域での地殻構造の研究はほとんど手つかずの状態であった。

そうした状況の中で、日高地方中央部の静内町奥高見において北海道電力株式会社高見水力発電所高見ダムの建設が開始された。これはロックフィル型ダムで、その岩石採取のための大規模な採石爆破が長期間 (1980年夏~1982年夏) 行なわれた。この爆破地震動を使って地殻構造を推定するために、爆破点を中心に観測点を多数展開した。一般的な爆破地震動の観測は1爆破に対して測線上に多くの観測点が配置されて記録が得られるが、本研究では多数の爆破がほぼ同一地点で行なわれることを利用し、1爆破について数点の観測点を置き、爆破が観測されると測線上を次々と移動させていき、1測線について多数の爆破の記録を重ね合わせてその測線での記録を得るという方法を取った。また、爆破時刻は、爆破点近傍での連続観測点から得た。

II. 観 測

II-1. 爆 破

震源には、ロックフィル型ダム建設のための岩石を採取する採石爆破が利用された。爆破のかけられた原石山は、Fig. 1に示されるように日高地方中央部に位置し、静内川上流 (メナシベツ川・シュンベツ川合流点からメナシベツ川約13 km上流) で、神威古潭変成帯と日高変成帯にはさまれた地域にある。

爆破の行なわれた期間は、1980年4月から冬期間 (12月~3月) を除き1982年夏までであるが、本研究では、1980年6月~1981年11月の爆破について観測を行なった。この期間中、1980年では週2~3回、1981年では毎日1回の割合で合計約200回の爆破が行なわれた。

爆薬はアンフォが使用され、その薬量は1回に数百 kg から最高11 tonであった。本研究では、観測点で波形を明瞭に見ることのできる薬量が約1 ton以上の約90回の爆破の記録を使用した。

爆破地点の原石山は、Fig. 2に示されるように南北350 m 東西250 mの広さを持ち、高さ18 m ほどの5段のベンチに切られている。

II-2. 観 測

観測点の位置を Fig. 1 および Table 1 に示す。

臨時観測点では、磁気テープを使用した遅送りのダイレクトレコーディング装置 (DAR, 森谷,

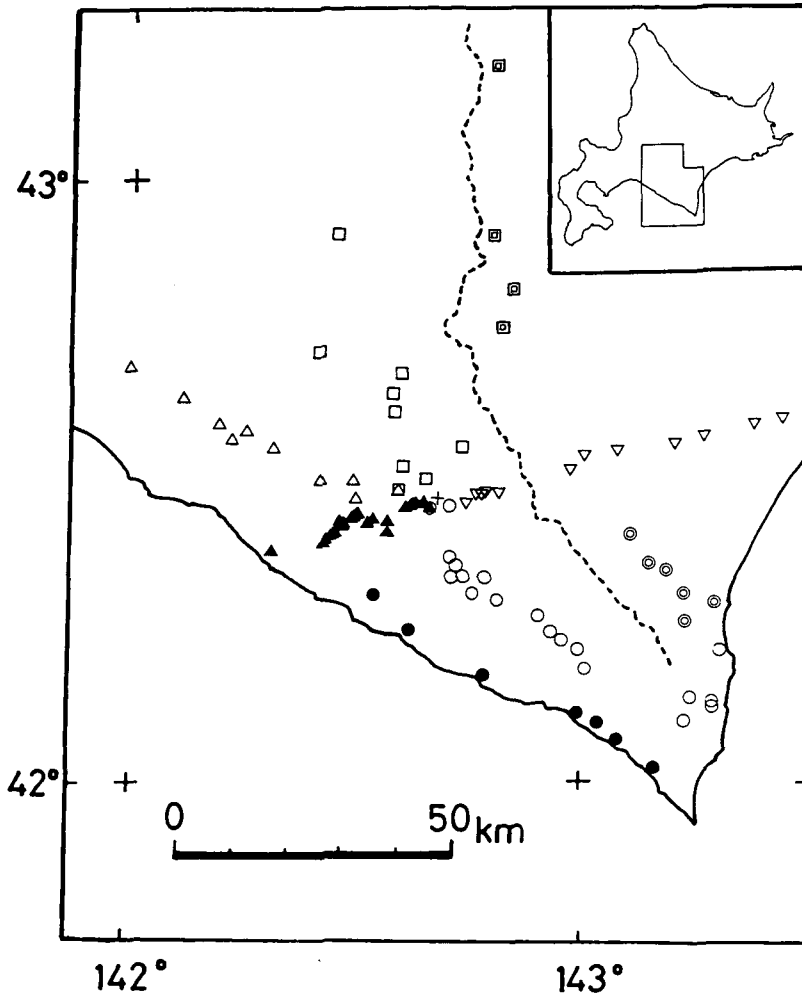


Fig. 1. Locations of shot point (+) and observation points. □, ○, ▽, ◻, ◎, ▲, △ and ● indicate the station of N-, S-, E-, TN-, TS-, W-, NW- and WC-line, respectively.

1977) と市販ステレオラジオカセットレコーダを改造した FM 方式カセットレコーダを使用した。1980 年は爆破が不定期であったことから 1~2 週間無人で記録することのできる小型 DAR (Table 1 の TO, CA) を 10 台使い、随時移動し観測した。1981 年にはほぼ毎日爆破がかかるようになったため、DAR と併用して FM 方式カセットレコーダ (Table 1 の FM) 10 台を加えて観測点を増した。これらのほかに、爆破のモニターや走時の時間変化を調べるための観測には 1 ヶ月無人で記録することのできる長時間型 DAR (Table 1 の DAR) を使用した。これらの観測点では固有周波数 2 Hz の Mark Product 社製 L-22 D 型上下動地震計を用いた。爆破点近傍ではこのほかに地震探査用 14 Hz pick-up も使用した。

このほかに北海道大学理学部地震予知観測地域センターでテレメタリングされている日高地方の 6 観測点の短周期地震計記録も使用した。

Table 1. List of observation points. The observation instruments are indicated, DAR : long time direct recording data recorder, CA-A~D and TO-1~5 : short time direct recording data recorder, FM-1~10 : cassette FM data recorder and RCEP : telemetered station of the Resrch Center for Earthquake Prediction, Hokkaido Univrsity, respectively.

	Station	Instrument	Latitude	Longitude	Height
S-line					
1	TK2 TAKAMI MINAMI FM	DAR	42°27' 14".2 ^N	142°39' 46".6 ^E	240 ^m
2	KKF KONKURIKOTSUZAI FUTAMATA	CA-A	42 26 56.8	142 42 14.6	260
3	MKB MIKAWA BAT NO MORI	TO-5	42 22 6.2	142 42 49.3	250
4	MMK MIKAWA MOMOKARI GAWA	TO-1	42 21 32.3	142 43 38.7	100
5	KWK KAWAKAMI MITSUISHI	DAR	42 19 0.0	142 43 7.3	80
6	TKT TAKATSU GAWA KIYOSE	TO-2	42 19 25.8	142 44 59.9	90
7	KMI KAMUI BASHI NOBUKA	TO-3	42 20 17.0	142 47 51.8	100
8	KNB NOBUKA-KAWAKAMI TIGE	TO-2	42 18 31.2	142 45 48.8	200
9	NAI NAI GAWA NOBUKA	TO-1	42 17 54.8	142 49 55.2	180
10	HRB HIDAKA-HOROBETSU GAWA	CA-C	42 16 17.2	142 55 5.2	100
11	SMN SHIMAN GAWA URAKAWA	CA-A	42 14 53.0	142 56 23.6	70
12	KMU KAMIKINEUSU URAKAWA	RCEP	42 14 12.8	142 58 1.1	185
13	TKN TAKINAI SAMANI	CA-A	42 13 0.3	142 59 58.3	190
14	MNS MENASHIESANBETSU GAWA	CA-C	42 10 3.9	143 0 41.7	130
15	MGN MEGURO NOBORIKAWA	CA-C	42 8 47.6	143 14 32.6	170
16	OSB OSHIRABETSU HIROO	CA-C	42 12 31.1	143 19 8.5	50
17	MGS MEGURO SARUGAWA	CA-C	42 6 0.8	143 14 30.9	132
18	MGJ MEGURO JOSUIJO	CA-D	42 7 49.2	143 18 33.8	40
19	MGR MEGURO SHOGAKKO	DAR	42 7 43.9	143 19 1.0	40
N-line					
1	PPB PON PANBETSU ZAWA	CA-C	42 29 44.6	142 39 26.4	230
2	SBT SHU BETSU POWER ST.	TO-3	42 29 4.0	142 34 51.0	170
3	LAB SHIMO ABUKASANBE	CA-D	42 30 48.5	142 36 29.7	300
4	KBZ KOIBOKU KEISEIBASHI	TO-2	42 32 53.5	142 44 28.5	480
5	SRK SHURERUKASHUBE ZAWA	TO-4	42 36 50.1	142 35 2.0	400
6	STZ SATSUNAI ZAWA NIIKAPPU	CA-C	42 38 13.2	142 35 9.7	400
7	ONK OKUNIIKAPPU POWER ST.	CA-C	42 40 35.0	142 35 40.0	420
8	TNK TOYONUKA BIRATORI	DAR	42 42 26.0	142 25 6.4	190
9	HIC HIDAKA CHO	RCEP	42 53 28.3	142 27 26.3	330
E-line					
1	HKB HOROKAN BASHI	CA-A	42 27 31.8	142 43 42.4	270
2	PMG PIRIGAI MENASHIBETSU	CA-B	42 27 11.4	142 45 10.2	300
3	KBK KOIBOKU BASHI 1KM JORYU	CA-B	42 28 10.4	142 46 5.3	360
4	BNG BENIGARU BASHI	CA-C	42 28 26.3	142 46 58.2	350
5	BNG2 BENIGARU BASHI 1KM JORYU	CA-C	42 28 33.4	142 47 37.5	370
6	PTG PETEGARI SANZO	DAR	42 28 32.0	142 49 6.6	410
7	PMY PONYAOROMAPPU	TO-1	42 31 38.6	142 59 30.9	350
8	PMY2 PONYAOROMAPPU-2	TO-1	42 32 32.1	143 2 28.6	300
9	SKS SAKASHITA	CA-B	42 33 20.4	143 5 25.0	240
10	ODA ODA-KAMISARABETSU SAKAI	TO-2	42 34 15.4	143 12 44.8	210
11	CRI CHURUI ASAHI	CA-B	42 34 52.9	143 16 14.6	140
12	MEW MEIWA-OIKAMANAE PASS	CA-A	42 35 55.0	143 23 16.3	50
13	OIK OIKAMANAE KYUDO	TO-1	42 36 25.8	143 27 36.3	40

Table 1. (continued)

	Station	Instrument	Latitude	Longitude	Height
TN-line					
1	IWN IWANAI OBIHIRO	RCEP	42° 40' 14".6 ^N	143° 2' 45".6 ^E	225 ^m
2	PPY PIPAIRO ZAWA SHIKANOHASHI	CA-A	42 48 22.6	142 51 8.6	370
3	MMG MEMURO GAWA JORYU	CA-B	42 53 56.6	142 48 12.8	590
4	KNN KITANIINAI	CA-A	43 11 13.7	142 49 27.3	345
TS-line					
1	TYN TOYONI PANKE AIANZAWA	CA-A	42 24 30.1	143 7 50.1	250
2	STN SHMOTOYONI	CA-A	42 21 39.9	143 8 52.0	260
3	NZK NOZUKA GAWA	CA-D	42 20 58.1	143 11 25.7	200
4	RKK SATSURAKKO RAKKOGAWA	CA-D	42 18 48.2	143 13 28.7	140
5	NHO NISHI HIROOGAWA JORYU	CA-A	42 15 27.0	143 12 12.2	240
6	MYR MOYORI	RCEP	42 17 24.5	143 17 0.3	90
W-line					
1	TKM TAKAMI TEITEN	DAR	42 27 40.1	142 40 41.8	230
2	TK2 TAKAMI MINAMI FM	DAR	42 27 14.2	142 39 46.6	240
3	PBZ PANBETSU ZAWA	TO-5	42 27 47.5	142 39 37.8	150
4	FTK3 TAKAMI FM 3	FM	42 27 48.6	142 39 12.0	130
5	FTK4 TAKAMI FM 4	FM	42 27 22.2	142 38 16.1	200
6	FTK5 TAKAMI FM 5	FM	42 27 23.0	142 38 9.4	200
7	FTK6 TAKAMI FM 6	FM	42 27 20.8	142 37 34.4	220
8	FTK7 TAKAMI FM 7	FM	42 27 29.0	142 37 26.6	240
9	HOS HOSUIRO DOSHASUTEBA	CA-D	42 26 37.9	142 36 57.4	160
10	STC SHIZUNAI DAM CHOSEI IKE	CA-C	42 25 44.7	142 35 17.9	120
11	PYP SHIZUNAI DAM POYOPPUZAWA	CA-A	42 24 24.4	142 34 10.6	70
12	MSN FUTAGAWA MISONO SHIZUNAI	RCEP	42 25 26.4	142 32 24.0	110
13	NOY NOYA	FM- 9	42 25 14.4	142 31 28.8	80
14	FAI BOKUJO OKU 1	FM- 1	42 25 19.6	142 29 39.4	110
15	FA2 BOKUJO OKU 2	FM- 2	42 25 16.0	142 29 32.2	105
16	FA3 BOKUJO OKU 3	FM- 3	42 25 12.1	142 29 25.0	105
17	FA4 BOKUJO OKU 4	FM- 4	42 25 8.4	142 29 18.2	105
18	FA5 BOKUJO OKU 5	FM- 5	42 25 4.5	142 29 10.7	105
19	FA6 BOKUJO OKU 6	FM- 6	42 25 1.0	142 29 3.7	95
20	FA7 BOKUJO OKU 7	FM- 7	42 24 57.3	142 28 56.5	95
21	FA8 BOKUJO OKU 8	FM- 8	42 24 53.4	142 28 49.3	95
22	FB1 MISONO HANSHA 1	FM- 8	42 24 23.8	142 27 55.9	75
23	FB2 MISONO HANSHA 2	FM- 2	42 24 19.8	142 27 49.5	75
24	FB3 MISONO HANSHA 3	FM- 3	42 24 15.7	142 27 42.4	70
25	FB4 MISONO HANSHA 4	FM- 4	42 24 11.7	142 27 35.7	70
26	FB5 MISONO HANSHA 5	FM- 5	42 24 7.6	142 27 29.0	70
27	FB6 MISONO HANSHA 6	FM- 6	42 24 3.4	142 27 21.8	70
28	FB7 MISONO HANSHA 7	FM- 7	42 24 59.4	142 27 15.2	65
29	FB8 MISONO HANSHA 8	FM- 1	42 23 55.3	142 27 8.1	65
30	FB9 MISONO HANSHA 9	FM- 9	42 23 51.2	142 27 1.1	65
31	FB10 MISONO HANSHA 10	FM-10	42 23 47.3	142 26 55.1	65
32	FB11 MISONO HANSHA 11	FM- 1	42 23 23.0	142 26 15.4	55
33	FB12 MISONO HANSHA 12	FM- 2	42 23 19.1	142 26 8.5	55
34	FB13 MISONO HANSHA 13	FM- 3	42 23 15.1	142 26 1.8	55
35	FB14 MISONO HANSHA 14	FM- 4	42 23 11.0	142 25 54.5	50

Table 1. (continued)

	Station	Instrument	Latitude	Longitude	Height
W-line	MISONO HANSHA 16				
36 FB16	MISONO HANSHA 16	FM- 6	42°23' 3'.1 ^N	142°26' 41'.1 ^E	50 ^m
37 FB17	MISONO HANSHA 17	FM- 7	42 22 59.0	142 25 34.2	50
38 FB18	MISONO HANSHA 18	FM- 8	42 22 55.1	142 25 27.4	50
39 FB19	MISONO HANSHA 19	FM- 9	42 22 51.2	142 25 20.6	50
40 FB20	MISONO HANSHA 20	FM-10	42 22 47.2	142 25 13.8	50
41 FAX	KUMA NO KANBAN MISONO	FM-11	42 24 15.2	142 27 16.4	70
42 FAZ	BOCHE MISONO	FM-12	42 22 31.7	142 24 59.3	40
43 SPP	SEPPU SHIZUNAI	DAR	42 23 0.4	142 17 26.8	40
NW-line					
1 SBT	SHUNBETSU POWER ST.	TO-3	42 29 4.0	142 34 51.0	170
2 SSY	SASAYAMA GATE SHIZUNAI	TO-6	42 26 41.6	142 29 4.8	170
3 IWS	IWASHIMIZU RINDO	TO-4	42 30 21.1	142 30 27.2	250
4 TIY	TAIYO MONBETSU	TO-4	42 29 43.8	142 24 50.7	240
5 SWA	SEIWA MONBETSU	TO-4	42 33 15.9	142 19 0.0	100
6 HTN	HATONAI MONBETSU 81	TO-1	42 34 37.7	142 15 26.4	120
7 HRT	HIROTOMI MONBETSU	DAR	42 34 20.7	142 13 11.5	80
8 ABT	ABETSU ZAWA BIRATORI 81	TO-5	42 36 2.6	142 11 37.4	70
9 YNS	YUNOSAWA GAWA MUKAWA	TO-4	42 37 56.7	142 6 23.1	70
10 NW2	NIWAN PASS AZUMA 81	TO-6	42 40 20.9	142 59 32.4	200
WC-line					
1 KWI	KAWAI SHIZUNAI	CA-B	42 19 16.9	142 31 41.9	100
2 HOE	HOEI MITSUISHI	FM-10	42 15 45.7	142 36 41.0	10
3 IKD	IKANDAI URAKAWA	DAR	42 11 9.6	142 45 14.4	175
4 FYS	APOI YUHODO	CA-C	42 6 51.5	142 59 45.7	120
5 HMN	HOROMAN GAWA	FM- 5	42 5 28.6	143 2 40.7	70
6 NKB	NIKANBETSU GAWA ERIMO	FM-10	42 3 50.4	143 4 47.6	10
7 ERM	ERIMO	RCEP	42 0 51.3	143 9 28.9	40

以上の観測点の総数は 109 点で、その内わけは下記の通りである。

短期間型 DAR (TO, CA) ……56 点

長期間型 DAR (DAR) ……………9 点

FM カセットレコーダ (FM) ……38 点

地震予知センター (RCEP) ……6 点

各観測装置の時間精度は、DAR では記録をビジュグラフ上で 10 mm/sec. で再生し、内部水晶時計の精度も含めて ±0.04 秒以内、FM カセットレコーダの記録には JJY も同時に録音されており、それを 50 mm/sec. のペンレコーダで再生し ±0.01 秒以内である。一方、地震予知センターのテレメータの観測点ではそのサンプリングレイトから ±0.02 秒以内が確保されている。

II-3. 爆破点近傍での観測

爆破時刻は工事の関係から、発火器から直接得ることはできなかった。そこで、これを推定するために爆破の行なわれている原石山から西方 550 m 離れた観測点 TKM (Fig. 2 の○) で爆破開

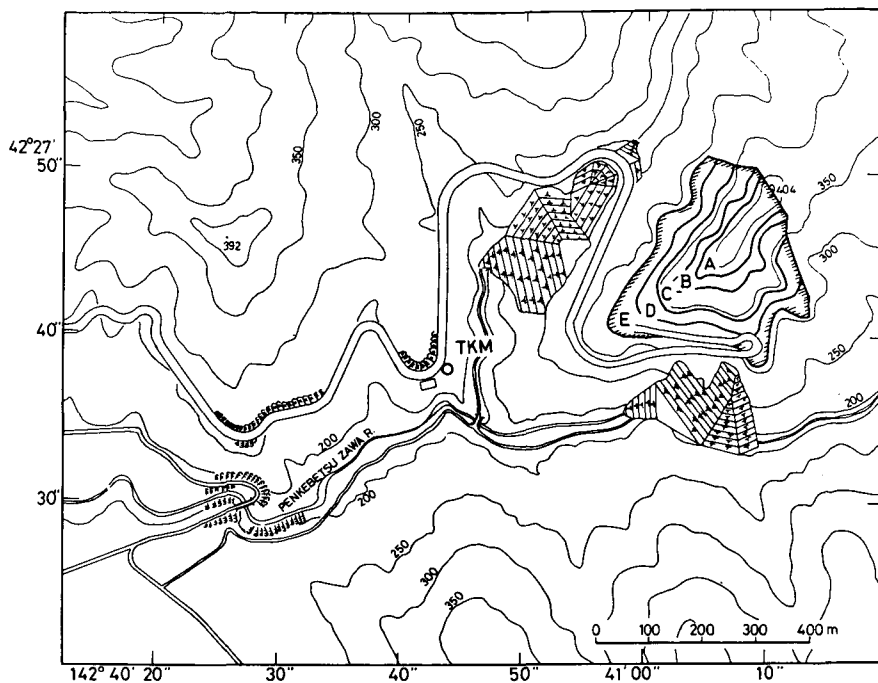


Fig. 2. Map of the area of the Takami Gensekiyama quarry. A~E indicate quarry benches.

始の初期から長時間型 DAR により連続観測をし、その読み取り値に補正して爆破時刻とすることにした。

この補正量を得るためには表層速度を求めねばならない。爆破点から見て TKM の方向に臨時の観測点を配置し原石山中央での爆破を観測した。それらの観測点と TKM との走時差を Fig. 3 に示す。この観測から 3.55 km/s の見掛け速度が得られた。この値は増田・北野 (1956) がこの高見ダム建設予定地で基礎岩盤弾性波速度測定をして得た表層の速度

3.3~3.7 km/s の範囲内にある。このことから爆破点近傍の表層速度を 3.6 km/s と推定した。

原石山と TKM との距離は 550 m であることから原石山内での爆破点の移動を考慮すると TKM の初動読み取りから 0.15 ± 0.03 秒前が爆破時刻である。

観測が長期間にわたっているため、その間に地殻内で地震波速度変化があると、観測点を移動させながらとった記録を 1 爆破の記録として重ね合わせるということができない。しかし、藤井他 (1983) によると、この爆破の走時時間変化は測定誤差内におさまっている。

以上のことから各観測点の記録を 1 爆破の記録として重ねることが可能となった。その初動走

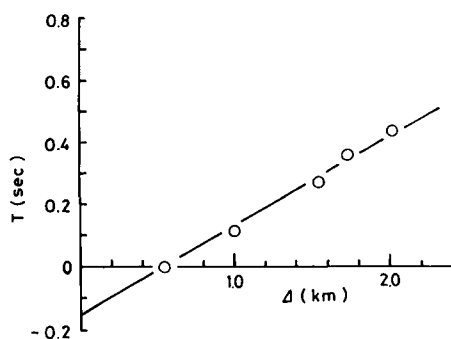


Fig. 3. Travel time plots near the shot point.

時は Table 2 に示す。なお、爆破点の座標は原石山中央の北緯 42 度 27 分 44.1 秒，東経 142 度 41 分 5.6 秒，標高 300 m である。

Table 2. Travel time data. 1) Distance from the shot point.
2) Azimuth from the shot to stations taken clockwise from the north.

Station	Dist. ¹⁾ (Δ ;km)	$\Delta/6.0$ (sec.)	Azim. ²⁾ (deg.)	T (sec.)	T- $\Delta/6.0$ (sec.)
S-line					
1 TK2	2.03	0.34	242.9	0.58	0.24
2 KKF	2.15	0.36	132.8	0.66	0.30
3 MKB	10.69	1.78	167.2	2.44	0.66
4 MMK	11.99	2.00	163.0	2.82	0.82
5 TKT	16.28	2.71	170.2	3.59	0.88
6 KWK	16.41	2.74	160.8	3.58	0.85
7 KMI	16.63	2.77	146.0	3.62	0.85
8 KNB	18.25	3.04	159.2	4.19	1.15
9 NAI	21.85	3.64	146.3	4.62	0.98
10 HRB	28.60	4.77	137.7	5.67	0.90
11 SMN	31.74	5.29	138.5	6.18	0.89
12 KMU	34.16	5.69	137.0	6.58	0.89
13 TKN	37.63	6.27	136.3	7.29	1.02
14 MNS	42.37	7.06	140.4	8.00	0.94
15 MGN	57.81	9.64	127.3	10.69	1.06
16 OSB	59.36	9.89	118.1	10.69	0.80
17 MGS	61.05	10.18	131.0	11.29	1.12
18 MGJ	63.33	10.56	125.4	11.53	0.98
19 MGR	63.93	10.66	125.2	11.70	1.05
N-line					
1 PPB	4.35	0.73	328.7	1.19	0.47
2 LAB	8.49	1.42	286.1	1.95	0.54
3 SBT	8.90	1.48	312.1	1.94	0.46
4 KBZ	10.61	1.77	25.9	2.41	0.64
5 SRK	18.78	3.13	333.8	4.29	1.16
6 STZ	21.04	3.51	337.3	4.70	1.19
7 ONK	24.92	4.15	342.7	5.04	0.89
8 TKN	34.91	5.82	321.3	7.11	1.29
9 HIC	51.17	8.53	338.7	10.24	1.71
E-line					
1 HKB	3.60	0.60	96.0	0.77	0.17
2 PMG	5.68	0.95	100.2	1.27	0.32
3 KBK	6.89	1.15	83.2	1.40	0.25
4 BNG	8.16	1.36	80.8	1.85	0.49
5 BNG2	9.08	1.51	80.3	1.94	0.43
6 PTG	11.09	1.85	82.3	2.37	0.52
7 PMY	26.25	4.38	73.9	4.71	0.34
8 PMY2	30.61	5.10	73.0	5.49	0.39
9 SKS	34.89	5.82	72.6	6.24	0.43
10 ODA	45.00	7.50	74.3	8.68	1.18
11 CRI	49.92	8.32	74.4	9.84	1.52
12 MEW	59.70	9.95	75.1	10.87	0.92
13 OIK	65.68	10.95	75.6	12.26	1.31

Table 2. (continued)

Station	Dist. (Δ ;km)	$\Delta/6.0$ (sec.)	Azim. (deg.)	T (sec.)	T - $\Delta/6.0$ (sec.)
TN-line					
1 IWN	37.62	6.27	51.9	6.82	0.55
2 PPY	40.61	6.77	19.7	7.23	0.46
3 MMG	49.48	8.25	11.3	8.65	0.40
4 KNN	81.32	13.55	8.0	14.40	0.85
TS-line					
1 TYN	37.15	6.19	99.1	6.84	0.65
2 STN	39.72	6.62	106.3	7.23	0.61
3 NZK	43.46	7.24	106.6	7.90	0.66
4 RKK	47.42	7.90	110.2	8.54	0.64
5 NHO	48.39	8.07	117.9	8.71	0.65
6 MYR	52.87	8.81	111.0	9.59	0.78
W-line					
1 TKM	0.55	0.09	257.2	0.15	0.06
2 TK2	2.03	0.34	242.9	0.58	0.24
3 PBZ	2.01	0.34	273.0	0.50	0.17
4 FTK3	2.60	0.43	273.1	0.70	0.27
5 FTK4	3.93	0.66	260.1	1.00	0.35
6 FTK5	4.08	0.68	260.8	1.03	0.35
7 FTK6	4.88	0.81	261.6	1.21	0.40
8 FTK7	5.03	0.84	264.7	1.25	0.41
9 HOS	6.03	1.01	250.2	1.45	0.45
10 STC	8.76	1.46	245.2	1.98	0.52
11 PYP	11.31	1.89	237.0	2.48	0.60
12 MSN	12.65	2.11	250.4	2.69	0.58
13 NOY	13.97	2.33	250.7	2.92	0.59
14 FAI	16.30	2.72	254.2	3.69	0.97
15 FA2	16.49	2.75	254.0	3.75	1.00
16 FA3	16.68	2.78	253.7	3.81	1.03
17 FA4	16.86	2.81	253.5	3.85	1.04
18 FA5	17.06	2.84	253.3	3.92	1.08
19 FA6	17.25	2.88	253.1	3.97	1.10
20 FA7	17.44	2.91	252.9	4.04	1.13
21 FA8	17.63	2.94	252.7	4.08	1.14
22 FB1	19.08	3.18	251.2	4.45	1.27
23 FB2	19.26	3.21	251.0	4.55	1.34
24 FB3	19.45	3.24	250.8	4.61	1.37
25 FB4	19.64	3.27	250.6	4.71	1.44
26 FB5	19.82	3.30	250.4	4.78	1.48
27 FB6	20.02	3.34	250.2	4.79	1.45
28 FB7	20.21	3.37	250.0	4.86	1.49
29 FB8	20.40	3.40	249.8	4.89	1.49
30 FB9	20.60	3.43	249.7	4.97	1.54
31 FB10	20.77	3.46	249.5	4.99	1.53
32 FB11	21.88	3.65	248.5	5.27	1.62
33 FB12	22.08	3.68	248.4	5.31	1.63
34 FB13	22.26	3.71	248.2	5.34	1.63
35 FB14	22.47	3.75	248.1	5.41	1.67

Table 2. (continued)

Station	Dist. (Δ ;km)	$\Delta/6.0$ (sec.)	Azim. (deg.)	T (sec.)	T- $\Delta/6.0$ (sec.)
W-line					
36 FB16	22.84	3.81	247.8	5.47	1.66
37 FB17	23.04	3.84	247.6	5.54	1.70
38 FB18	23.23	3.87	247.5	5.61	1.74
39 FB19	23.42	3.90	247.4	5.67	1.77
40 FB20	23.61	3.94	247.3	5.77	1.84
41 FAY	20.02	3.34	251.3	4.78	1.44
42 FA2	24.10	4.02	246.5	5.76	1.74
43 SPP	33.59	5.60	255.0	8.19	2.59
NW-line					
1 SBT	8.90	1.48	286.1	1.94	0.46
2 IWS	15.36	2.56	263.4	3.30	0.74
3 SSY	16.58	2.76	288.4	3.64	0.88
4 TIY	22.57	3.76	279.5	5.32	1.56
5 SWA	31.95	5.33	288.8	7.55	2.23
6 HTN	37.38	6.23	290.1	8.75	2.52
7 HRT	40.12	6.69	287.9	9.23	2.54
8 ABT	43.18	7.20	291.0	9.40	2.20
9 YNS	51.13	8.52	291.9	11.35	2.83
10 NW2	61.47	10.24	292.6	13.82	3.58
WC-line					
1 KWI	20.28	3.38	219.5	4.10	0.72
2 HOE	22.98	3.83	195.3	4.01	0.18
3 IKD	31.21	5.20	169.5	7.27	2.07
4 FYS	46.39	7.73	146.3	9.16	1.43
5 HMN	50.78	8.46	144.1	9.76	1.30
6 NKB	54.94	9.16	143.5	10.75	1.59
7 ERM	63.25	10.54	141.7	13.00	2.46

III. 解 析

III-1. N-line, S-line

各測線とも測線の片側にしか爆破点のない片測線であるが、爆破点から見て互いに反対の方向に延びる2測線を split-line と考えて爆破点下の地下構造を傾斜構造として求めることができる。ここでは JOHNSON(1976)の方法を用いて N-line と S-line をつなげて Split-line として傾斜構造を求める。

N-line, S-line の爆破点からの距離が 40 km 以内の観測点の初動走時から Fig. 4(a)のように各々三本の直線を引くことができ、それらは次のような式で表わすことができる。

N-line

$$T_1^N = \Delta/3.55$$

$$T_2^N = 0.17 + \Delta/4.70$$

$$T_3^N = 0.92 + \Delta/5.70$$

S-line

$$T_1^S = \Delta/3.55$$

$$T_2^S = 0.17 + \Delta/4.70$$

$$T_3^S = 0.92 + \Delta/5.98$$

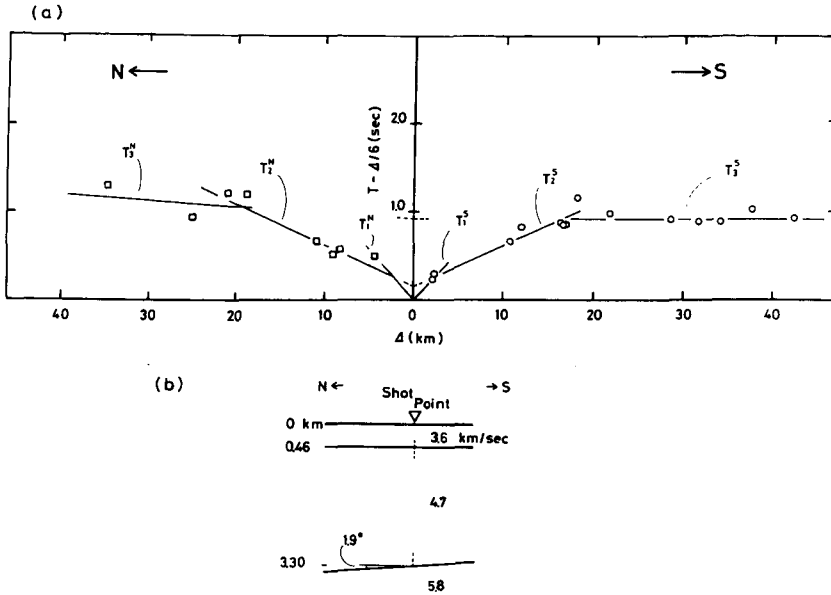


Fig. 4. (a) Reduced travel time plots of N-line (□) and S-line (○).
(b) Structure beneath the shot point.

この中で表層の走時である T_1^N と T_1^S は爆破点近傍で得られた値を用いた。これらの式から Fig. 4(b)に示されているような三層構造が得られる。表層 3.6 km/s 層と第II層である 4.7 km/s 層との境界面は水平で爆破点で深さ 460 m にある。また、この 4.7 km/s 層と第III層 5.8 km/s 層との境界面は爆破点下で深さ 3.3 km にあり、水平から 1.9 度南上がりの傾斜を持っている。

さらに、この構造から爆破点下の第II層第III層境界面のタイムタームを求め、それを使って各観測点下のタイムタームから境界面の形状を決める。タイムターム法によって地下構造を推定するためには各層間の境界面の形状がなめらかでなければならないが、日高地方の構造は南北の方向性を持っており、また、走時からも急な変化は見ることができないことから、この方法が適応できる。爆破点下のタイムタームは、その境界面が傾いていることから正確には北へ行く波と南へ行く波とは違う。しかし、傾斜が 1.9 度と小さく、地表から第III層上面に至るまでの時間の北へ行く波と南へ行く波との差は 0.01 秒である。このことと、測定精度からタイムタームについて観測点の方向を考える必要はない。そこで、爆破点下の構造を水平三層構造としたときの爆破点でのタイムターム 0.40 秒を用いて N-line・S-line で第III層を伝わってきたと思われる走時を示す観測点でのタイムタームを算出し、爆破点下の速度構造が続いているとして第III層上面の深さを求め地下構造モデルを作ったのが Fig. 5 である。このモデルにおいても Fig. 4(b)に見られるような 5.8 km/s 層上面の南上がりの傾向を見ることができる。

III-2. E-line, TN-line, TS-line

E-line と W-line も爆破点から見ると split-line になっているが走時を見るとインタセプトタ

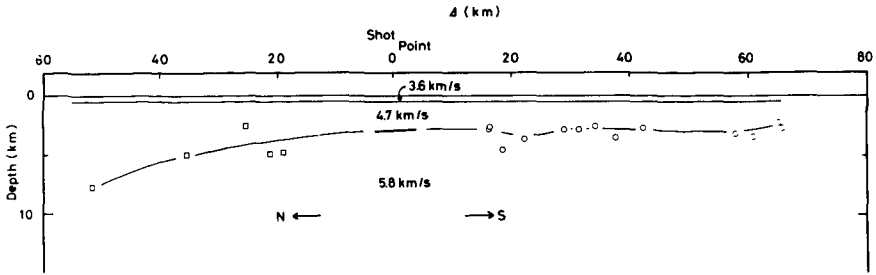


Fig. 5. Structure in N- and S-line profile.

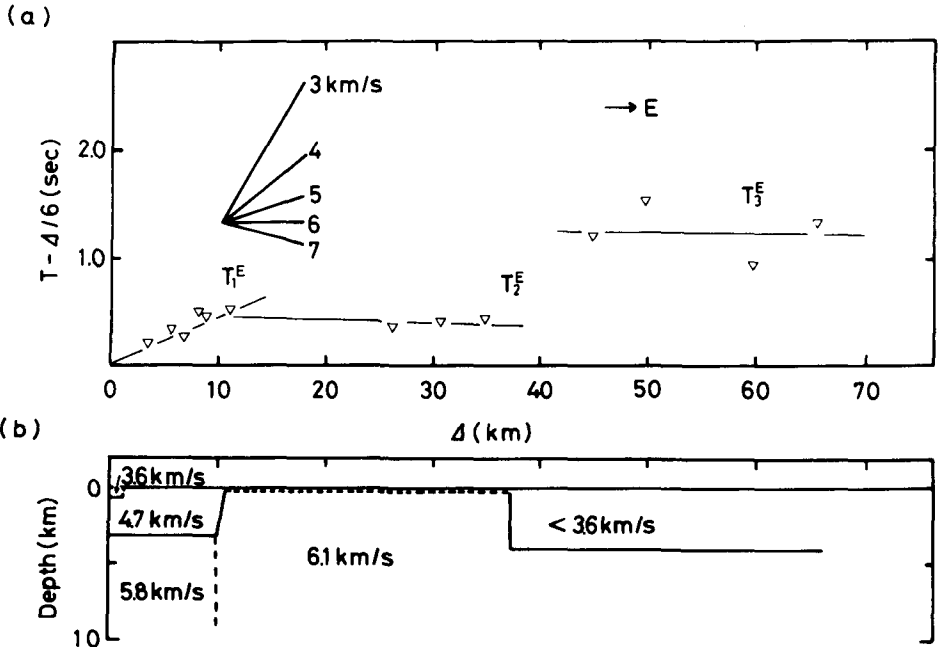


Fig. 6. (a) Reduced travel time plots of E-line. (b) Structure in E-line.

イムが両側で等しくならないため split-line として解析することができない。また、E-line に見られる走時の階段状の飛びや W-line の負のインターセプトタイムを持つ走時から、E-line, W-line 下では構造が複雑であると推察される。そこで、爆破点から見て東の観測点 (E-line, TN-line, TS-line) と西の観測点 (W-line, NW-line) とを分けて解析する。

E-line は爆破点からほぼ真東に日高山脈を越えて十勝平野南部を横断している。この測線での初動走時図は Fig. 6 に示す。その特徴は、日高山脈東麓から十勝平野にはいったところで走時が階段状に不連続となることである。これについては後に述べる。爆破点から 10 km 以内で走時に合う直線は、

$$T_1^E = 0.01 + \Delta / 4.65$$

となり、インターセプトタイムはほとんどなくなり見掛け速度は N-line・S-line から得られた第 II 層の速度と同じである。このことから爆破点の東側では 4.7 km/s 層がほぼ地表にあらわれて

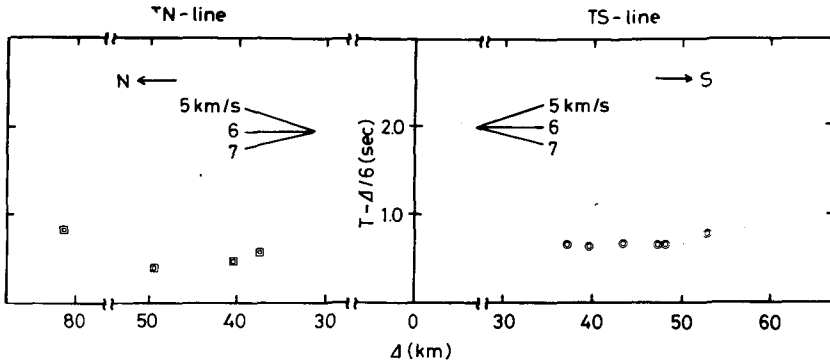


Fig. 7. Reduced travel time plots of TN-line (□) and TS-line(○).

いると考えられる。距離 10 km 以上のところでは

$$T_2^E = 0.50 + \Delta/6.13$$

$$T_3^E = 1.32 + \Delta/6.06$$

という式で走時を表わすことができる。つまり、6.1 km/s の見掛け速度は階段状に走時が飛んだ後もばらつきは大きくなるが保たれているのである。T₂^Eにおいて、見掛け速度 6.1 km/s だけならば N-line・S-line で得られた 5.8 km/s 層上面の東上りの傾斜によって得ることができるが、インターセプトタイムの大きな違いは説明できない。そこで、水平方向に速度が変化していると考え、この測線では爆破点から 10 km 以上のところに 6.1 km/s の速度を持つブロックがごく浅く存在するという構造を考える。このブロックの上を 4.7 km/s 層がおおっていてもよいが、そのブロックの上にある観測点のタイムタームから、あってもごく薄いと考えられる。これは、日高山脈の中心部にその西側より速度の大きいものが浅いところにあるという構造を示唆している。この構造は日高山脈東側に南北におかれた TN-line, TS-line での見掛け速度も Fig. 7 に見られるように 6.0~6.1 km/s であることから妥当であると言える。

十勝平野にはいったところで走時が不連続となる。このようなことがおこる構造としては、降り階段構造と低速度のはさみ層が考えられる。逆測線がないため一意には決められないが、走時の不連続の前後で見掛け速度がほとんど等しいことと、不連続である範囲が 8 km 以内と小さいことから降り階段構造を考える。階段構造の走時については、田治米(1977), 吉田(1976)に詳しく述べられている。ここでは Fig. 8 に示

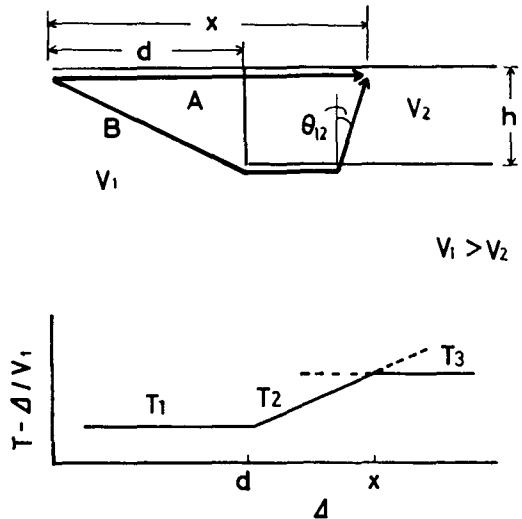


Fig. 8. Underground structure model similar to steps and reduced travel time curve.

すように上段の 6.1 km/s 層上面極めて浅く、下段の上にある層の速度 V_2 と段差 h が未知の階段構造である。 T_2^F と T_3^F のインターセプトタイムの差 0.82 秒という制限からは V_2 と h の関係が求まるだけである。そこで Fig. 8 において A の経路の走時と B の経路の走時が同じなる地点 x 、つまり再び見掛け速度が V_1 になりはじめる地点を考える。 A 、 B の走時 T_A 、 T_B は、

$$T_A = (x - d) / V_2 + d / V_1$$

$$T_B = \sqrt{d^2 + h^2} / V_1 + (x - d) / V_1 + h \cdot \cos \theta_{12} / V_2$$

$$\theta_{12} = \sin^{-1}(V_1 / V_2)$$

である。いま $T_A = T_B$ から

$$(x - d) = \frac{d \cdot V_2}{V_1 - V_2} \cdot [\sqrt{d^2 + h^2} - 1] + \frac{V_1}{V_1 - V_2} \cdot h \cdot \cos \theta_{12}$$

となる。インターセプトタイムの差からの制限だけでは V_2 が大きくなると h も大きくなるという関係しか得られなかったが、上式から h が大きくなると $T_A = T_B$ となる点 x が震源から遠のき $(x - d)$ は大きくなるという関係が得られる。ここで、

$$(x - d) < 8.0 \text{ km}$$

の制限があるため、

$$V_2 < 3.6 \text{ km/s}$$

$$h < 4.0 \text{ km}$$

という範囲をおさえることができる。

以上のことから得られた構造を Fig. 6(b) に示す。

III-3. W-line, NW-line

この 2 測線の特徴は、Fig. 9 に見られるように、距離 15 km を越えるところで見掛け速度が急激に小さくなりインターセプトタイムが負になる走時が現われることである。そして NW-line では 30 km をすぎると再び見掛け速度が大きくなる。

まず、距離 15 km 以内の部分について解析する。この部分で走時は次の三式で表わすことができる。

$$T_1^W = \Delta / 3.55$$

$$T_2^W = 0.17 + \Delta / 4.70$$

$$T_3^W = 0.49 + \Delta / 5.83$$

T_1^N 、 T_2^W は N-line、 S-line での $T_1^{N,S}$ 、 $T_2^{N,S}$ と同じである。 T_3^W については見掛け速度は N-line・S-line で得られた第 III 層の速度 5.8 km/s と合致する。しかし、インターセプトタイムが小さいことからここでは 5.8 km/s 層上面が爆破点下での深さ 3.3 km から 2 km 西方で深さ 1.6 km になっていると考えることにする。この部分に他の速度層を置いたり、構造を複雑にしたりしても走時を満たすことができるが、逆測線がなく一意性がないため N-line、 S-line の結果を考慮し、

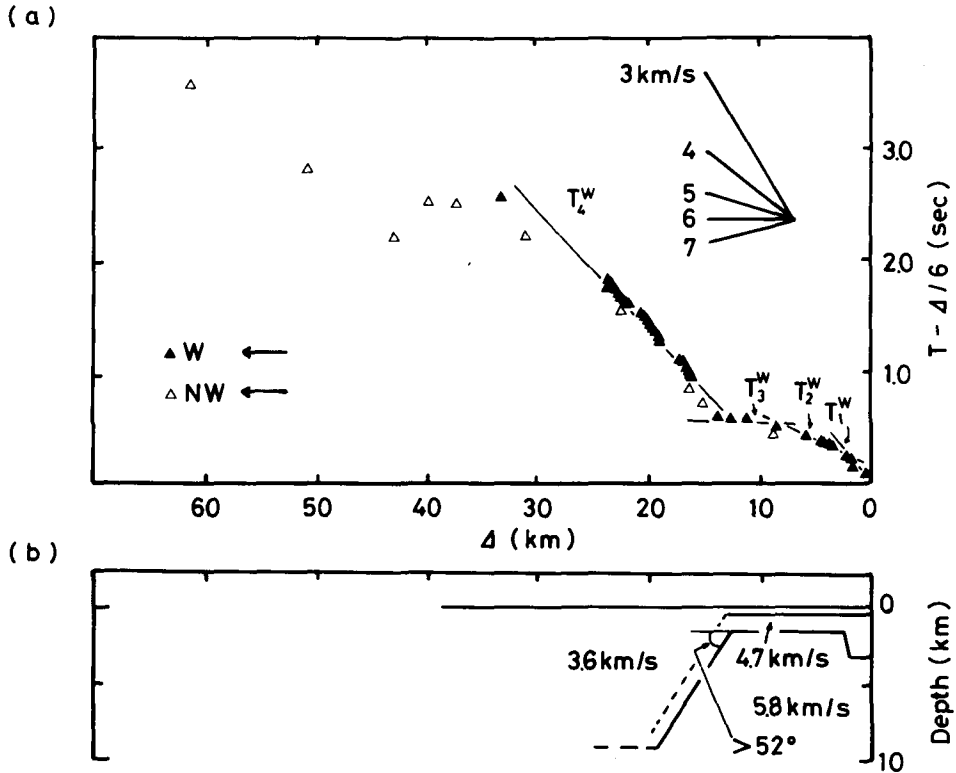


Fig. 9. a) Reduced travel time plots of W-line (▲) and NW-line (△).
 (b) Structure in W-line.

できるだけ簡単な構造を採用した。

距離 15 km を越えたところで見掛け速度が急に小さくなるが、ここは W-line では静内川が山あいから両側によく発達した河岸段丘を持つ平地に出たところである。NW-line では新冠川流域のそれにあたる。W-line では直線の道路を利用し、観測点 30 点を 200 m 間隔に配置して Fig. 10 の記録を得た。その走時は、

$$T_4^W = -0.80 + \Delta/3.61$$

となる。この見掛け速度は、ここまで 5.8 km/s 層を伝ってきた波が境界面が傾斜していることによってできたとすると、5.8 km/s 層と 4.7 km/s 層との境界面の傾斜では得られず、表層 3.6 km/s 層の速度を直接見ていると考えられる。つまり、ほとんど階段状に急傾斜で 3.6 km/s 層が厚くなる構造を考えることになる。

W-line は海岸が近いので距離 35 km 以上の観測点がないが、少なくともそれまでには 3.6 km/s より大きい見掛け速度は見られない。そこで、E-line と同じ解析法を用いると、Fig. 9 のように 3.6 km/s 層下面の傾斜が水平から 52 度以上下段の深さ 9.0 km 以上の構造を考えると走時を満たせる。このような地下の階段構造を考えると、その階段の角を二次震源として走時曲線が二次曲線となる部分ができるが、Fig. 9 のように走時はほとんど直線になっている。このことは、

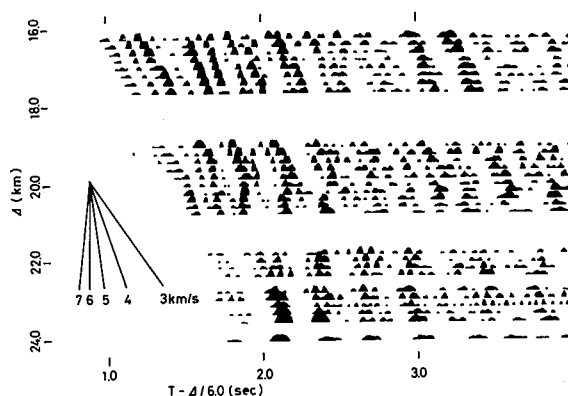


Fig. 10. Half-shaded records observed by closed spaced FM data recorders along the straight road in W-line.

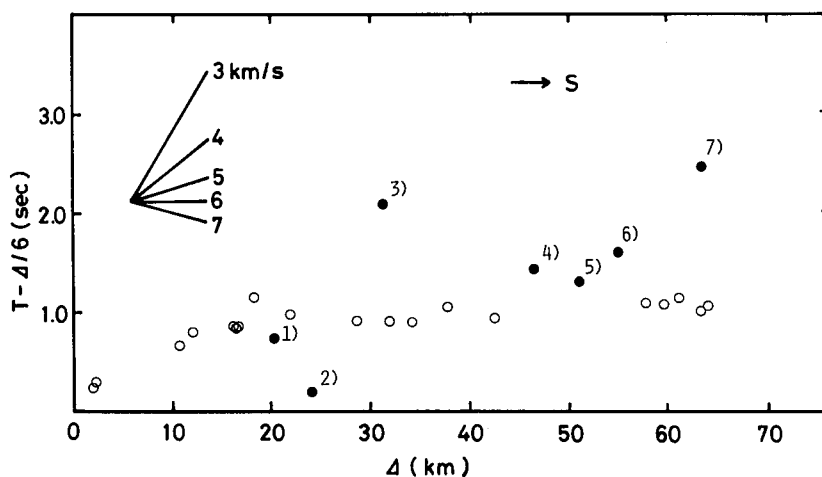


Fig. 11. Reduced travel time plots of WC-line (●) and S-line (○). The observation points in WC-line ; 1) KWI, 2) HOE, 3) IKD, 4) FYS, 5) HMN, 6) NKB and 7) ERM.

距離 15 km 以下で 5.8 km/s 層上面が浅い構造の妥当性を示している。

NW-line では距離 30 km 以上で再び見掛け速度が大きくなるが、これは E-line の場合と同様に階段構造の下段から下層を伝わった波が初動として現われた場合や、測線上に速度の大きいブロックが存在しその速度を見ている場合、N-line で得られた 5.8 km/s 層上面の深さがこの測線より浅いためそれを伝えてきた波がこの部分で初動として現われ見掛け速度を大きくする場合などが考えられる。しかし、ここではどれが適当か判断することはできない。

III-4. WC-line

日高地方西海岸沿いの観測点 WC-line の走時を S-line と共に Fig. 11 に示す。WC-line は爆破

点から見るとファン・シューティングになるため直接構造を求めることはできないが隣接する S-line の結果から推察することはできる。

KWI, HOE では S-line に比べ早い走時を示す。特に HOE では N-line, S-line や W-line から得られる爆破点下のタイムタームを用いて HOE のタイムタームを求めると -0.18 秒と負の値になる。このことから爆破点から南西方向では 5.8 km/s 層上面は S-line や E-line よりも浅く、かつ上り傾斜になっていると考えることができる。一方、これらの観測点より南にある観測点では逆に S-line に比べて遅い走時を示す。これは、W-line で見られたように表層が階段状に厚くなっているためと考えることができる。

IV. 考 察

IV-1. 他の測定・研究との比較検討

1) 弾性波探査

日高地方には水力発電用の大規模なダムが多い。それらの建設前の調査として基礎岩盤の弾性波速度測定が行なわれている〔増田 (1956), 増田他 (1959), 鍋岡他 (1959), 田治米他 (1960), 早川他 (1961), 田治米・岡田 (1964)〕。これらに共通する結果は、表層は $3.0\sim 4.0$ km/s が多くごく浅いところに 4.5 km/s より速度の大きい岩体が存在することである。これは、日高山脈西側の測線から得られた第 I 層第 II 層の速度と調和的である。

2) 重力異常

日高地方においては大亀 (1972) の詳しい調査がある。Fig. 12 にその結果と本研究の観測点をあわせて示す。

N-line, S-line については、重力異常がこの方向には大きく変化していないので Fig. 5 に示されるような水平方向には急激に変化しない構造は妥当である。

E-line・W-line は、十勝平野南部から、幌尻岳北東にある正の重力異常のすぐ南側を通り、静内沖の負の重力異常に向っており、最もコンターの密な部分に位置している。地殻の平均密度を 2.69 g/cm³ とし HORTA (1970) による標準的 P 波速度と密度の関係から E-line, W-line で推定された速度構造の各ブロックに Fig. 13(b) のように密度を仮定して計算した重力異常の値と、E-line, W-line に沿う実測値とを比較したのが Fig. 13(a) である。これを見ると、 6.1 km/s のブロックは正の重力異常によく対応し、 3.5 km/s 層が西方で厚くなることと重力異常が負の中心へ向う様子が一致している。また、爆破点東側で 4.7 km/s 層が地表に出ている構造や西側で 5.8 km/s 層上面が浅くなっている構造が、正の重力異常量が減じていく際の小さな起伏とよく合っているように見える。

NW-line では、W-line より負の重力異常の最大値は小さく徐々に 0 に戻っていく。このことは、この測線で見掛け速度が再び大きくなる原因としてあげたものの内、測線上での速度の大きいブロックの存在の可能性が小さいことを意味する。

WC-line において KWI, HOE の方向に 5.8 km/s 層の上り傾斜構造は、この三石町付近で正の

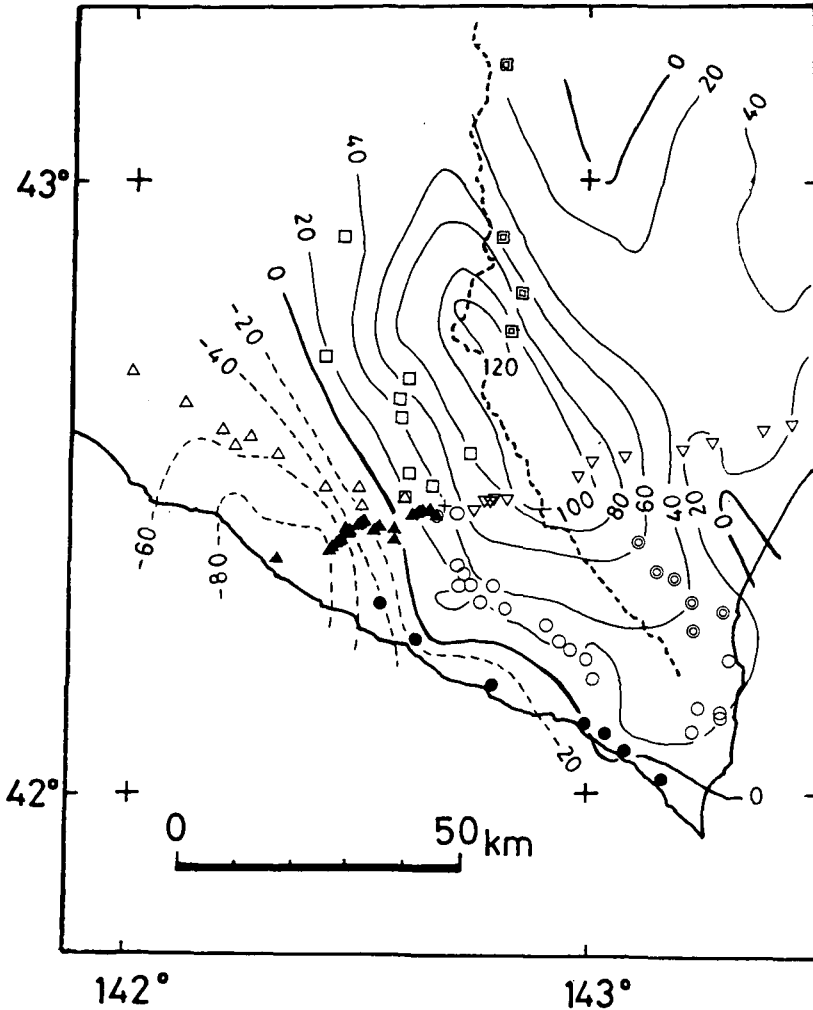


Fig. 12. Map of Bouguer anomaly in the Hidaka district [after OOKAME (1972)] and the locations of the observation points.

重力異常の出っばりが存在するのと調和的である。また、これより南の観測点で S-line より走時が遅れているのは、W-line と同様に海岸沿いにおける負の重力異常の存在と対応する。大亀 (1972) は幌満付近でのカンラン岩の進入と正の重力異常の海への局所的な張り出しとの関係を述べている。これは、IKD や ERM に比べ幌満付近の FYS, HMN, NKB で走時が比較的早いことと関連していると考えられる。

3) 日高地方周辺の地殻構造の研究

W-line は、その西方延長線上に ASANO et al. (1979) の日高沖測線北端がある。その構造モデルの 4.2 km/s の速度を持つ厚い層と W-line の海岸付近で厚くなる 3.6 km/s 層が同一のものであるかどうかは明らかではないが、W-line での 5.8 km/s 層の上面が負の重力異常の値に対応して静内沖に向かって深くなっていくと仮定すると、ASANO et al. (1979) における 6.2 km/s 層

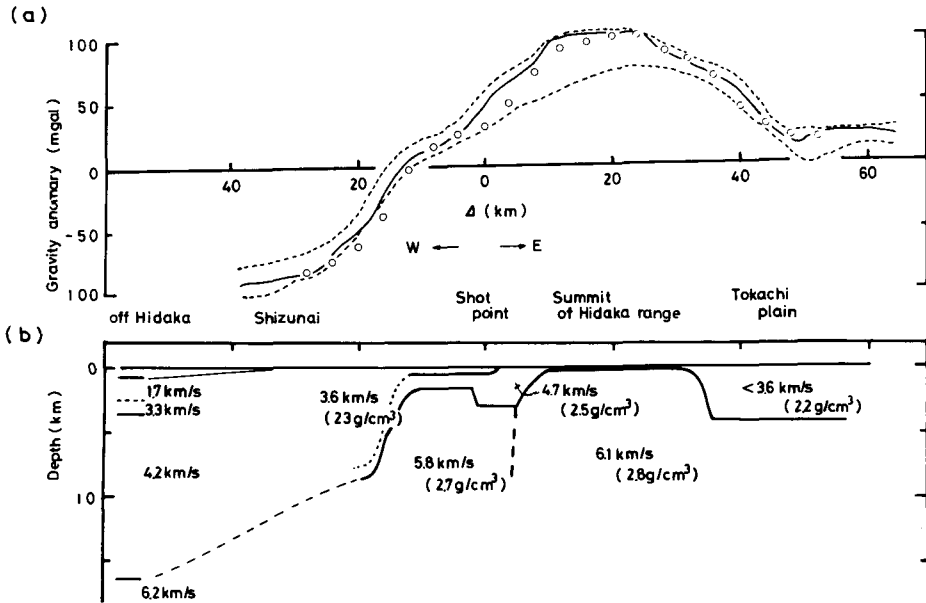


Fig. 13. (a) Bouguer anomalies in the zone with a width of 10km on both sides of profile. Dotted lines represent the maximum and minimum gravity anomalies in its zone. Open circles are gravity anomalies calculated from the structure. (b) Crustal structures in E- and W-line profile and off Hidaka [after ASANO et al. (1979)].

上面の深さにはほぼ一致する。

NW-lineの延長上にはOKADA et al. (1973)による積丹沖爆破の結果の南東端がある。そこで仮定している厚くなっていく4.0 km/s層と5.8 km/s層は、NW-lineの北西端の3.6 km/s層と5.8 km/s層と同一のものと考えてよいだろう。

IV-2. 水平方向の速度構造

日高山脈東麓のTN-line・TS-lineと西麓のS-line, N-lineとを比較した場合、TN-line, TS-lineでは6.0~6.1 km/sの速度が現われるのに対しS-line, N-lineではそれを見ることができない。このことは、前節で述べたように6.1 km/sのブロックが正の重力異常を与えていると考えられるので、正の重力異常の中心が日高山脈の東側にその尾根と平行に南北に伸びていることから、6.1 km/sのブロックの浅くなっているところがFig. 14のAに示すように日高山脈東側に中心を持ち南北に広がっていることを示している。

5.8 km/s層の上面が爆破点の西及び南西でN-line, S-lineのそれよりも浅くなっている影響がN-line, S-lineに見られないのは、Fig. 14のBのように限られた部分で浅くなっていると考えられる。この地域に浅発微小地震が多発していることが森谷(1982)により報告されている。また、この沖で1982年3月に浦河沖地震がおり、その余震域がこの地域では浅くなっている〔森谷他(1983)〕。これらのことは、この構造がこの地域のテクトニクスと関連していることを示唆

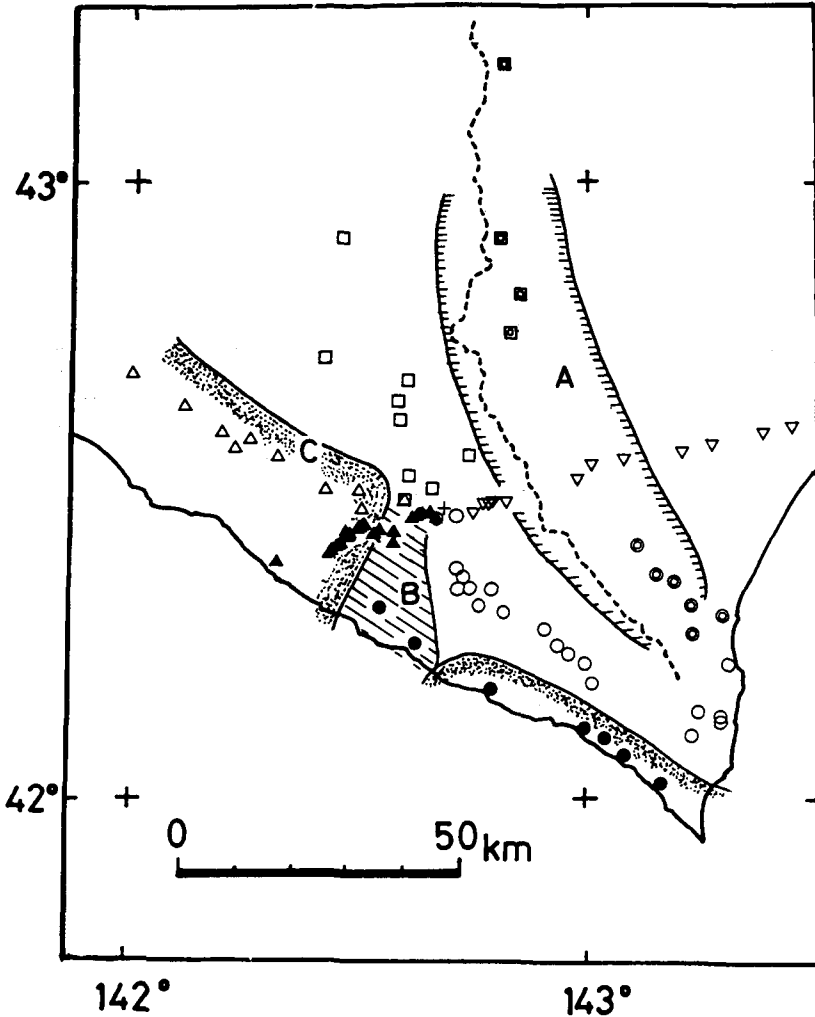


Fig. 14. Horizontal distribution of velocity anomalies. A : The 6.1 km/s block exists in the shallow part beneath the Hidaka range. B : Depth to the 5.8 km/s layer in this region is less than 1.6 km. C : The surface layer thickens stepwise along the west coast.

している。

W-line, NW-line, WC-line で 3.6 km/s 層が厚くなっている地域を Fig. 14 の C で表わす。これは、海岸沿いに存在する第三紀中期以降の堆積岩層が卓越する地域とよく対応する〔北海道立地下資源調査所 (1980)〕。

V. ま と め

日高地方中央部で行なわれた採石爆破を震源とした走時解析から下記のような浅部地殻地震波速度構造を推定した。

(1) 南北の測線の解析から、3.6 km/s, 4.7 km/s, 5.8 km/s の三層構造が得られ、5.8 km/s 層

上面はやや南上がりに傾斜している。

(2) 東西方向には南北方向より複雑な構造である。日高山脈下には尾根に平行し中心が尾根のやや東側にある 6.1 km/s のブロックがかなり浅く存在し、十勝平野ではその上に 3.6 km/s より小さい速度を持つ層がおおっている。爆破点下で 5.8 km/s 層上面の深さは 3.3 km であるが、西側では深さ 1.6 km、南西ではそれよりも浅くなっている。

(3) 日高地方の西海岸沿いでは表層 3.6 km/s 層が急に厚くなっている。

これらは、あくまでも片測線から得られたものであり将来これらの逆測線となる爆破が行なわれることが望まれる。また、本研究では初動走時の解析しか行なっていないが、より深部の情報を得るためには測線長が大きくとれないことから、後続波の解析がこの地方の爆破地震動による地殻構造の研究には欠かせないであろう。

謝辞 本研究を進めるにあたり、北海道電力株式会社静内川水力発電所建設所の方々には地図等の資料の提供や観測の便宜を図っていただいた。地震予知センターではデータの読み取りをさせていただいた。観測の手伝いや有益な議論・助言をいただいた当教室並びに地震予知センターの教官及び学生各位に深く感謝する。

文 献

- ASANO, S., N. DEN, H. HOTTA, T. YOSHII, Y. ICHINOSE, N. SAKAJIRI and T. SASATANI, 1979, Seismic refraction and reflection measurements around Hokkaido. part 2. Crustal structure of the continental slope off Hidaka, *J. Phys. Earth*, **27**, 497-509.
- DEN, N. and H. HOTTA, 1973, Seismic refraction and reflection evidence supporting plate tectonics in Hokkaido, *Pap. Meteorol. Geophys.*, **24**, 13-54.
- DEN, N., H. HOTTA, S. ASANO, N. SAKAJIRI, Y. ICHINOSE, M. MOTOYAMA, K. KAKIICHI, A. F. BERESNEV and A. A. SAGALEVITCH, 1971, Seismic refraction and reflection measurements around Hokkaido. part 1. Crustal structure of the continental slope off Tokachi, *J. Phys. Earth*, **19**, 329-345.
- 藤井智史・森谷武男・鈴木貞臣, 1983, 1982年浦河沖地震前後における採石爆破を用いた地震波速度変化の観測, 北海道大学地球物理学研究報告, **42**, 295-302.
- 早川福利・神 禄郎・田治米鏡二・河田 英, 1962, 静内川中流地点に於ける基盤地質の物理探査, 北海道大学地球物理学研究報告, **9**, 111-121.
- 北海道立地下資源調査所, 1980, 北海道の地質 60 万分の 1 北海道地質図, 北海道の地質と資源 I.
- HOTTA, H., 1970, Stability of the crustal-mantle structure and tectonics of the island arc and trench system, *J. Phys. Earth*, **18**, 79-113.
- JOHNSON, S. H., 1976, Interpretation of split-spread refraction data in terms of planedipping layers, *Geophys.*, **41**, 418-424.
- 増田秀夫・北野昭彦, 1956, 奥高見堰堤地点における岩盤の動弾性係数について, 電力中央研究所電力技術研究所報告, 56018.
- 増田秀夫・鍋岡昭三・中野辰裕・佐藤考雄, 1959, 新冠ダム地点における岩盤弾性係数について, 電力中央研究所電力技術研究所依頼調査報告書, II地 5903.
- 森谷武男, 1970, 地震観測用長時間データ・レコーダの試作, 北海道大学地球物理学研究報告, **23**, 91-97.
- 森谷武男・藤井智史・宮町宏樹・加藤 進, 1982, 北海道日高地方の地震活動とテクトニクス(2)——日高山脈西部の浅発地震——, 地震学会予稿集 No. 1, 33.
- 森谷武男・宮町宏樹・加藤 進, 1983, 1982年3月21日浦河沖地震の前震・本震および余震の空間分布とそ

- これらのメカニズム解, 北海道大学地球物理学研究報告, **42**, 191-213.
- 森谷武男・大亀 学, 1972, 日高・神威古潭帯の構造, 地震学会予稿集 No. 2, 91.
- 鍋岡昭三・中野辰裕・佐藤考雄, 1959, 奥新冠ダムサイトにおける岩盤弾性係数について, 電力中央研究所電力技術研究所依頼調査報告書, II地 5923.
- OKADA, H., S. SUZUKI, T. MORIYA and S. ASANO, 1973, Crustal structure in the profile across the southern part of Hokkaido, Japan, as derived from explosion seismic observation, *J. Phys. Earth*, **21**, 329-354.
- 大亀 学, 1972, 日高・大雪地域の重力異常, 北海道大学理学研究科修士論文.
- 田治米鏡二, 1977, 土木技術者のための弾性波による地盤調査法, 横書店.
- 田治米鏡二・岡田 広, 1965, 双川ダム予定地で行なった弾性波探査, 北海道大学地球物理学研究報告, **13**, 155-164.
- 田治米鏡二・岡田 広・浜田和郎・窪田 将, 1961, 静内ダム及び下静内ダム予定地での弾性波探査, 北海道大学地球物理学研究報告, **8**, 11-35.
- TAKANAMI, T., 1982, Three-dimensional seismic structure of the crust and upper mantle beneath the orogenic belts in southern Hokkaido Japan, *J. Phys. Earth*, **30**, 87-104.
- TOMODA, Y., J. SEGAWA and A. TOKUHIRO, 1970, Free air gravity anomalies at sea around Japan measured by Tokyo Surface Ship Gravity Meter (1961-1969), *Proc. Japan Acad.*, **46**, 1006-1010.
- 吉田寿寿, 1976, 不規則な地下構造の解析法についての研究, 地質工学, **10**, 76-177.