

近畿地方北部における人工地震探査

西南日本地殻構造研究グループ

(伊藤 潔・松村 一男・飯尾 能久・梅田 康弘・
大倉 敬宏・小笠原 宏・金尾 政紀・渋谷 拓郎・
竹内 文朗・田崎 幸司・西上 欽也・渡辺 邦彦)

SEISMIC REFRACTION EXPERIMENTS IN THE NORTHERN KINKI DISTRICT, JAPAN,

By the Research Group for Crustal Structure of Southwestern Japan
(*Kiyoshi ITO, Kazuo MATSUMURA, Yoshihisa IIO, Yasuhiro UMEDA,*
Takahiro OHKURA, Hiroshi OGASAWARA, Masaki KANAOKA, Takuo, SHIBUTANI,
Fumiaki TAKEUCHI, Koji TASAKI, Kin'ya NISHIGAMI, Kunihiko WATANABE)

Synopsis

Seismic refraction experiments were conducted in November, 1989 along an NE-SW profile in the northern Kinki district by the Research Group for Explosion Seismology. Seismic signals of explosions were observed along another measuring line in E-W direction from Shot-3 across the southern part of Lake Biwa. Four shots were observed at 56 temporary observation sites about 130 km long with newly developed digital recorders. Very good records were obtained for all the shots and they clearly show the change in structure across Lake Biwa. Some records show clear wide-angle reflected waves from deep boundaries in the middle crust.

1. はじめに

第6次地震予知計画において、内陸地震予知の基礎資料を得るために、西南日本における主要活断層調査が行われることになり、京都大学では防災研究所および理学部地震予知観測地域センター（当時）を中心に種々の観測を実施してきている。その一環として、1989-1990にかけて人工地震による地殻の速度構造調査を実施した。近畿北部には琵琶湖が存在し、歴史的にも大地震が発生している。このような地域での地殻構造の精密な調査は、地震予知の基礎的な資料をもたらすとともに、他の分野の研究に対して多くの情報を与えるものと考えられる。

2. 実験の概要

1989年11月9日、爆破地震動研究グループによる人工地震探査が、岐阜県揖斐郡藤橋村から兵庫県赤穂郡上郡町にかけて実施され、4ヶ所で4発の発破が行われた。京都大学の表記のグループは、この発破を兵庫県水上郡水上町における発破点S3から東西に延びる約130 kmの測線で観測した。Fig. 1に爆破

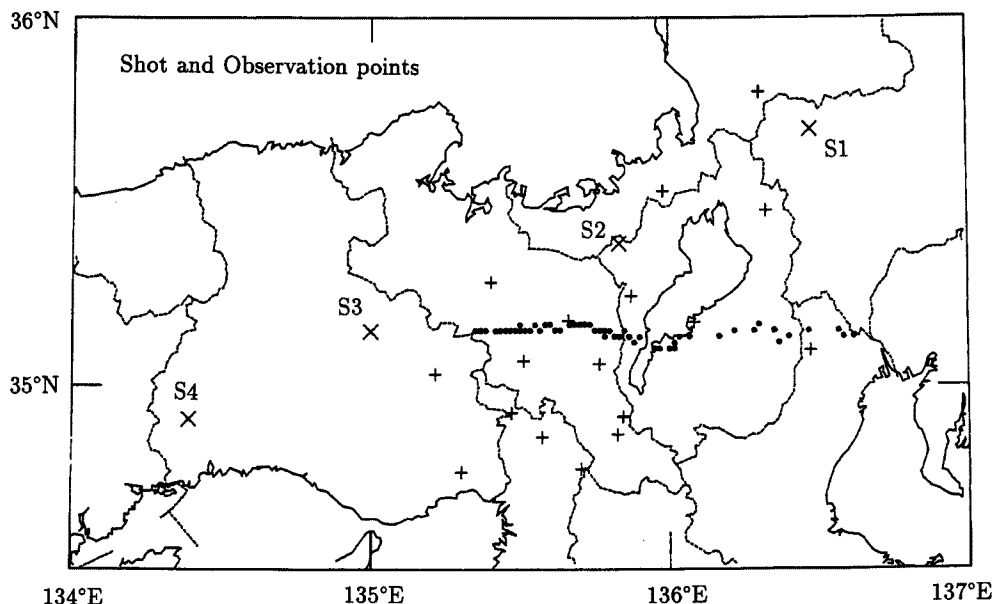


Fig. 1. Shot points (crosses, S1-S4), temporary observation stations (dots) and network stations of micro-earthquake (plus marks).

点 (×) と観測点 (●) を, **Table 1** には観測点位置と観測者を示す。爆破は, 深夜 01 時 02 分から 10 分間隔で実施され, 測線上の観測点 56 点で観測された。この測線は花折断層, 比良断層など琵琶湖西岸の断層を横切るとともに, 琵琶湖の南部を通り, いわゆる近畿 3 角帯を東西に横切っている。また, S1, S2 からの波は琵琶湖およびその周辺の地下を通過してくることになる。さらに, これらの爆破地震動は近畿北部の定常微小地震観測網 (**Fig. 1** の + 印) でも観測され, この地域の面的な構造の把握に用いられた。

近畿北部の地殻構造については, これまでに, 爆破地震動研究グループの実験があり^{5,6,7)}, 琵琶湖の南部については稲武碎石発破の観測がある^{2,3)}。Hurukawa¹⁾ は自然地震も併せて解析し, 琵琶湖の北部地域の地殻構造を解析している。また, 琵琶湖下の浅い構造については伊藤・他⁴⁾がある。今回の観測は, 上記のものより長い測線全体に渡って, 高密度に観測点を配置して実施され, 初動ばかりでなく, later phase による構造調査をも目指している。

Fig. 1 に示した観測点では FM 方式のレコーダーと新しく試作したデジタルレコーダーが設置され, 連続あるいはタイマー起動によって観測が行われた。全観測点に, 固有周波数 2 Hz の速度型上下動地震計 (L22D) が設置された。記録器の周波数特性は少なくとも 0.5-30 Hz で平坦である。デジタル記録器は, サンプリング 200 Hz で用いられた。

3. レコーダー (EDR-1000)

この実験のために新しくデジタル記録方式のレコーダーを製作した (**Photo. 1**)。この記録器は 0~70 db の範囲で 5 段階に切り替えて用いるアンプを備え, 1 チャンネルのシグナルを AD 変換し, 12 ビットで取り込む。同時にラジオからの JJY または親時計からのシグナルを入力することができ, これを 4 ビットの信号とし, 12 ビットの地震計の記録とあわせて, 16 ビット (1 ワード) としてフロッピー

Table 1. List of observation stations and observers

	Station	Latitude	Longitude	H	Observers	
1	K01	Takabatake-1	35 09 53.1	135 21 10.7	210	Y. Umeda
2	K01D	Takabatake-2	35 09 49.1	135 22 17.2	230	Y. Umeda
3	K02	Nakadai	35 09 35.5	135 23 36.0	195	I. Saida
4	K02D	Shuchi	35 09 15.4	135 25 26.8	200	I. Saida
5	K03	Kitaueno	35 09 54.9	135 26 20.4	175	K. Ito
6	K03D	Taikotan	35 09 42.2	135 27 38.5	220	K. Ito
7	K04	Higashigumi	35 09 48.8	135 28 51.5	190	H. Yukutake
8	K04D	Shimohonoda-1	35 09 55.2	135 29 29.3	190	H. Yukutake
9	K05D	Shimohonoda-2	35 10 04.8	135 30 03.9	180	K. Okino
10	K05	Katano	35 09 51.2	135 30 52.1	170	K. Okino
11	K06	Kamikisumi	35 09 54.4	135 31 48.8	190	M. Takahara
12	K07	Shimotani	35 09 56.4	135 32 38.9	280	M. Kanao
13	K07D	Nishimakiyama	35 10 01.6	135 33 36.5	390	M. Kanao
14	K08	Higashimakiyama	35 09 50.6	135 34 14.7	360	S. Yoshioka
15	K09	Nishi	35 10 01.5	135 35 30.6	315	S. Yoshioka
16	K10	Simokumada	35 10 13.8	135 36 30.7	280	T. Asada
17	K10D	Gohonmatsu	35 09 58.5	135 37 19.2	310	T. Asada
18	K11	Shimo	35 09 58.2	135 38 49.2	260	Y. Iio
19	K12D	Nakae	35 10 01.3	135 40 11.8	270	Y. Iio
20	K13	Nogamicho	35 10 36.8	135 41 06.4	810	M. Koizumi, M. Kato
21	K14	Sofudani	35 10 36.9	135 42 24.1	410	M. Koizumi, M. Kato
22	K141	Ikenotoge	35 10 38.4	135 43 08.9	410	M. Koizumi, M. Kato
23	K142	Kohirotanibashi	35 10 22.9	135 44 47.6	485	K. Watanabe, K. Hirahara
24	K15	Seryo	35 09 24.3	135 45 26.0	645	K. Watanabe, K. Hirahara
25	K16	Kyudowakare	35 09 18.1	135 46 43.4	700	T. Ohkura
26	K17	Hanase	35 09 19.9	135 47 30.2	720	T. Ohkura
27	K18	Momoiouge	35 08 56.3	135 47 35.0	700	T. Ohkura
28	K19	Momoininami	35 09 01.8	135 48 40.7	430	N. Hirano
29	K20	Kodeshinishi	35 08 48.2	135 49 29.9	340	N. Hirano
30	K21	Kodeshi	35 08 54.9	135 50 06.8	305	N. Hirano
31	K22	Kodeshijinja	35 08 43.9	135 50 57.8	320	H. Ogasawara, S. Konishi
32	K23	Tochu	35 09 22.1	135 51 16.8	370	H. Ogasawara, S. Konishi
33	K24	Modorogijinja	35 08 21.8	135 52 04.4	340	K. Mino, T. Maeda
34	K25	Kitazaichi	35 08 43.8	135 52 27.1	190	K. Mino, T. Maeda
35	K26	Manoohno	35 07 56.3	135 53 40.9	140	S. Matsuo
36	K27	Mandarayama	35 08 08.4	135 54 52.6	80	S. Matsuo
37	K28	Yasugawa-1 (R1)	35 06 59.8	135 57 59.3	86	M. Hiasa, M. Aoi
38	K29	Yasugawa-2 (R2)	35 06 56.1	135 58 46.0	87	S. Sawada, Z. Fu
39	K30	Naeda-jinja (R3)	35 06 55.9	136 00 13.9	87	N. Matsuyama
40	K31	Nodati-1 (R4)	35 07 01.5	136 01 43.1	86	S. Kawasaki, S. Widiyantoro
41	K311	Nodati-2 (R41)	35 06 55.1	136 01 38.3	86	Y. Takaoka, H. Nakamura
42	K32	Okayama (R5)	35 08 22.7	136 02 43.0	86	T. Iguchi
43	K33	Tennmannangu (R6)	35 08 42.5	136 04 51.6	88	M. Fujita
44	K35	Gokashomati (R7)	35 08 42.5	136 10 05.7	238	Y. Shiba
45	K37	Tennichi (R8)	35 09 08.0	136 13 56.7	117	Y. Suda
46	K38	Hatakawayama	35 09 28.1	136 17 49.6	390	Y. Murai
47	K39	Ichinose	35 10 58.6	136 18 23.2	210	T. Shibutani, Y. Hashimoto
48	K39D	Inugamidamukogan	35 09 30.8	136 21 10.0	320	T. Shibutani, Y. Hashimoto
49	K40	Inugamidamuoku	35 09 52.6	136 21 52.6	360	T. Shibutani, Y. Hashimoto
50	K40D	Kimigahata-1	35 07 50.4	136 22 56.8	485	F. Takeuchi, Z. Zhao
51	K4	Kimigahata-2	35 08 28.9	136 24 12.8	500	F. Takeuchi, Z. Zhao
52	K41D	Komatabashi	35 08 45.0	136 24 46.4	520	F. Takeuchi, Z. Zhao
53	NA30	Fujiwara Kouzan	35 09 13.1	136 28 21.4	750	M. Furumoto, T. Kondo
54	NB43	Ichinohara	35 09 20.2	136 34 03.5	310	M. Furumoto, T. Kondo
55	NB44	Muranaka	35 08 16.4	136 35 02.5	140	M. Furumoto, T. Kondo
56	NB45	Tadosan	35 08 23.2	136 37 44.6	335	M. Furumoto, T. Kondo
57	ABU	Abuyama	34 51 35.9	135 34 24.7	138	Abuyama Obs.
58	MYO	Myokensan	34 55 31.5	135 28 13.7	640	Abuyama Obs.
59	TNJ	Tannan	35 01 53.2	135 12 49.1	310	Abuyama Obs.
60	YGI	Yagi	35 04 05.2	135 30 42.8	180	Abuyama Obs.
61	WTJ	Wachi	35 16 56.8	135 24 05.1	172	Abuyama Obs.
62	KHK	Keihoku	35 10 38.8	135 39 44.3	260	Abuyama Obs.
63	KGM	Kamigamo	35 03 35.2	135 45 56.7	150	Abuyama Obs.
64	BHO	Bomura	35 14 41.0	135 52 22.0	380	Abuyama Obs.
65	OHM	Ohmihachiman	35 10 25.7	136 05 00.6	120	Abuyama Obs.
66	UJI	Uji	34 51 59.8	135 49 36.7	290	Abuyama Obs.
67	KTN	Katano	34 46 17.9	135 42 18.9	250	Abuyama Obs.
68	RKO	Rokko	34 45 49.9	135 18 6.4	540	Abuyama Obs.
69	SUM	Sumiyama	34 54 53.8	135 50 44.2	240	J. Akamatsu

ディスクに記録する。時計は 10^{-6} の精度をもつ水晶を内蔵している。実際に使用したところ、1日の狂いは0.02秒以下であり、温度の急変などがなければ非常に安定していることが確かめられた。データのサンプリングは50, 100, 200, 400 Hz/ch のどれかを選択することができる。起動は手動で行えるのはもちろん、タイマー起動(10セット)およびトリガー起動も可能である。トリガー収録の場合は、3キロワードのプリメモリをもち、トリガーレベルを $T=aN+b$ の形で設定することができる。この N は200または2000ワードの信号の下位8ビットの絶対値を移動平均したものである。実際のトリガー起動は、100, 200, 400データの間 T を+-両方向に n ($n=2, 5, 10$) 回越えた時起動する。また、トリガー起動中はこの T の値を保持し、終了判定には $F=cT$ ($c=0.01, 0.1, 0.5, 0.8, 1.0, 1.5, 3.0$) を判定に用いる。すなわち、1000ポイントの信号が+-両方向に1回も F を越えないとき停止する。ただし、収録時間は最短で6kポイント、最長で24kポイントとする。また、この最長の制限は解除できる。

このレコーダーは、AC電源ばかりでなく、バッテリーでも駆動することができ、連続稼動にすると、200 Hzサンプリングで40分間の記録ができる。また、短波を受信できるラジオ、地震計と共にコンテナに収めることによって、数セットの機材を容易に運搬できる(Photo. 2)。さらに、コンテナのままシートで覆うことによって、雨天の時でも野外に設置して観測を実施することができる。

記録はMS-DOS形式(2HD, 1.2MBフォーマット)で書かれるので、この形式が読めるパソコンならどれでも読むことができる。NEC, PC-9801上では標準的な処理用のプログラム(C言語)が準備されている。また、簡単なファイル構造なので、BASIC, FORTRANでの処理も容易で、実際にはそれぞれの観測データに適した処理プログラムをつくって処理している。

必要最低限の仕様を満たせば、あとはできるだけ安価であることを第1として設計したので、多くの機能を備えているわけではないが、実用的には十分である。今後改良するおすれば、第1に12ビット/ワードを14~16ビット/ワードにし、ダイナミックレンジを拡大すること。第2に3チャンネル記録を可能にし、そして、第3に媒体を大容量記録装置に変えることなどである。

なお、この計器は人工地震ばかりでなく、フィリピン、西表島、鳥取県西部などにおける自然地震の観測にも用いられている。

4. 観測結果

観測はノイズレベルの下がる深夜に行われた。折悪しく前線が通過したため、爆破の実施時間に雷雨に見舞われた地域があり、一部では記録が乱された。また、S4は発破の効きが悪く、予想より地震波が小さかったため、琵琶湖より東部の人工的にノイズの高い地域ではS/N比が低かった。しかし、全体とし

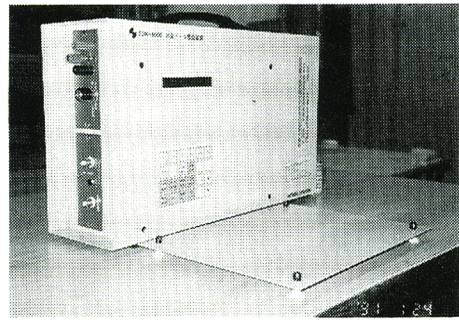


Photo. 1. Newly developed digital recorder (EDR-1000).

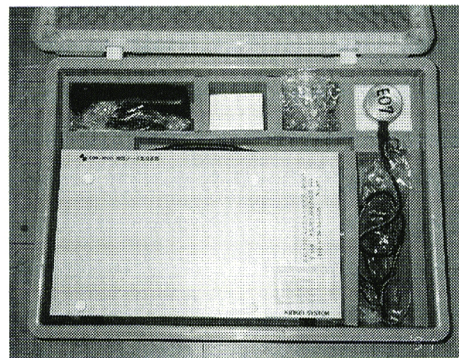


Photo. 2. A set of seismograph in a container consisting of a seismometer, a digital recorder, a radio and other accessories.

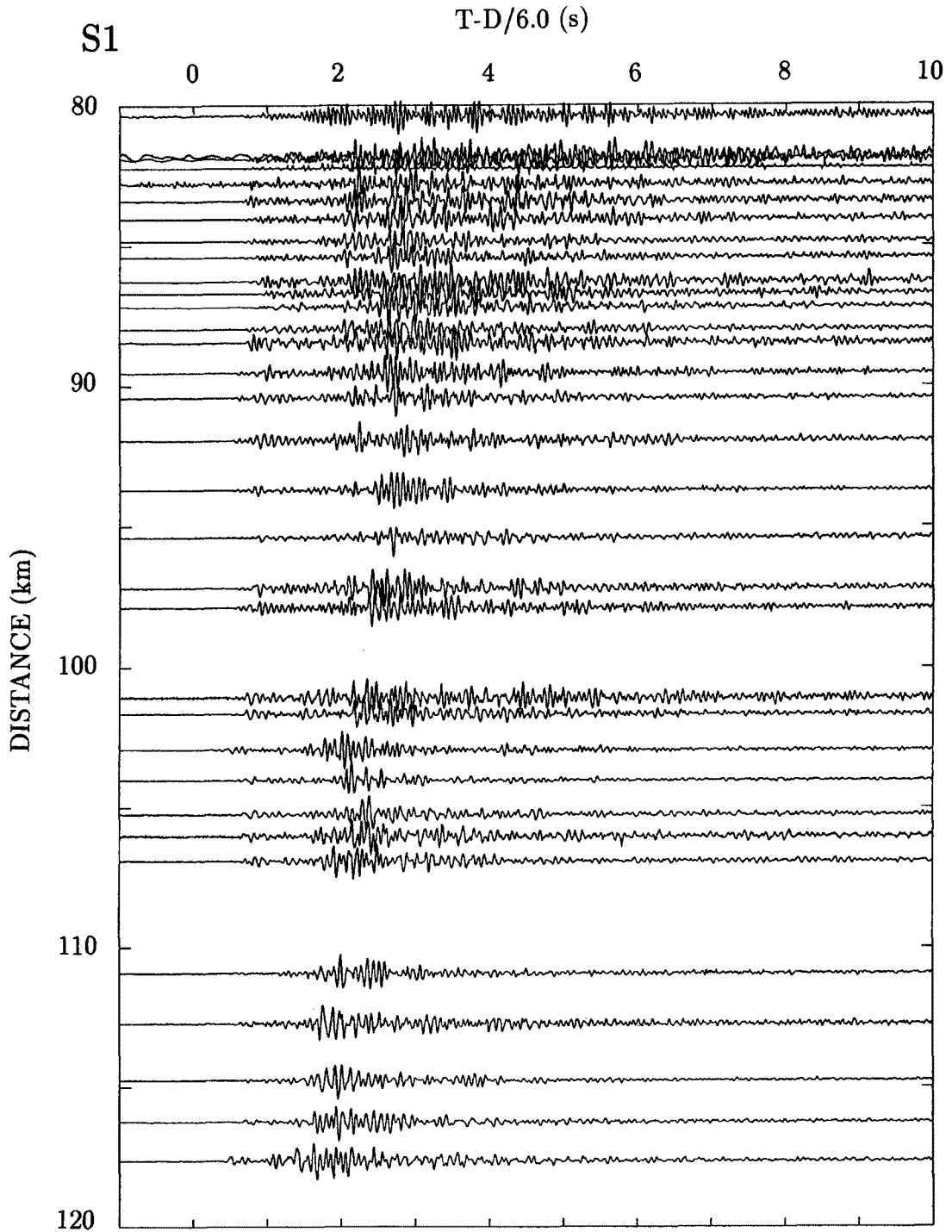


Fig. 2-1. A record section of S1. Time axis is reduced by a velocity of 6.0km/s.

ては十分解析に耐える良好な記録が多かった。

アナログ方式で得られた記録は、パーソナルコンピュータによって、12ビット/ワードでAD変換を行い、それ以後の処理が、デジタル記録と同じように行うことができるようにした。Figs. 2-1～2-

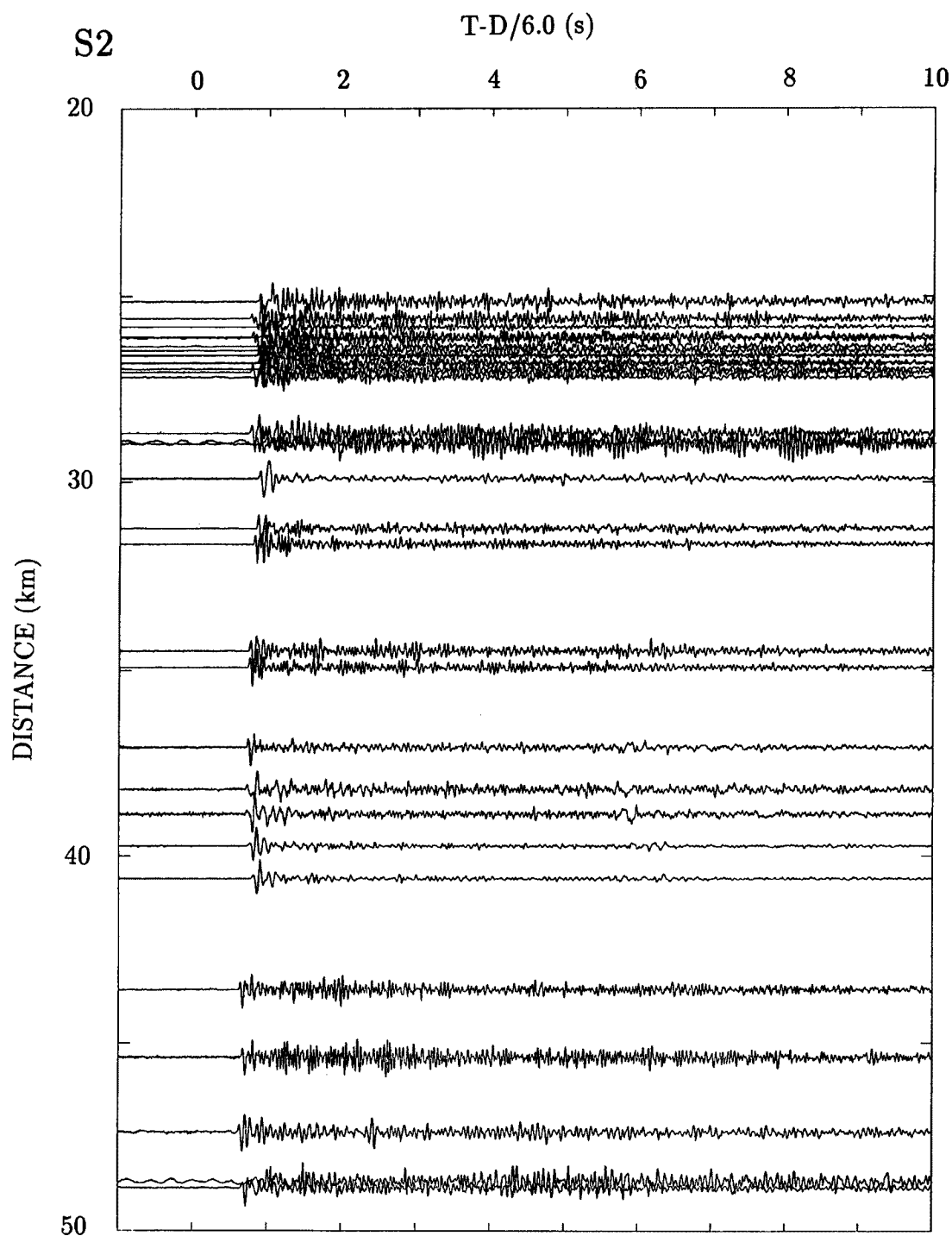


Fig. 2-2. A record section of S2. Time axis is reduced by a velocity of 6.0km/s.

4にレコードセクションの例を示す。

レコードセクションをもとに、25 mm/s送りの可視記録、またはディスプレイ上の波形を用いて、初動の読み取りを行った。Table 2に記録の読み取り結果を示す。ノイズレベル、刻時精度および相の明瞭度

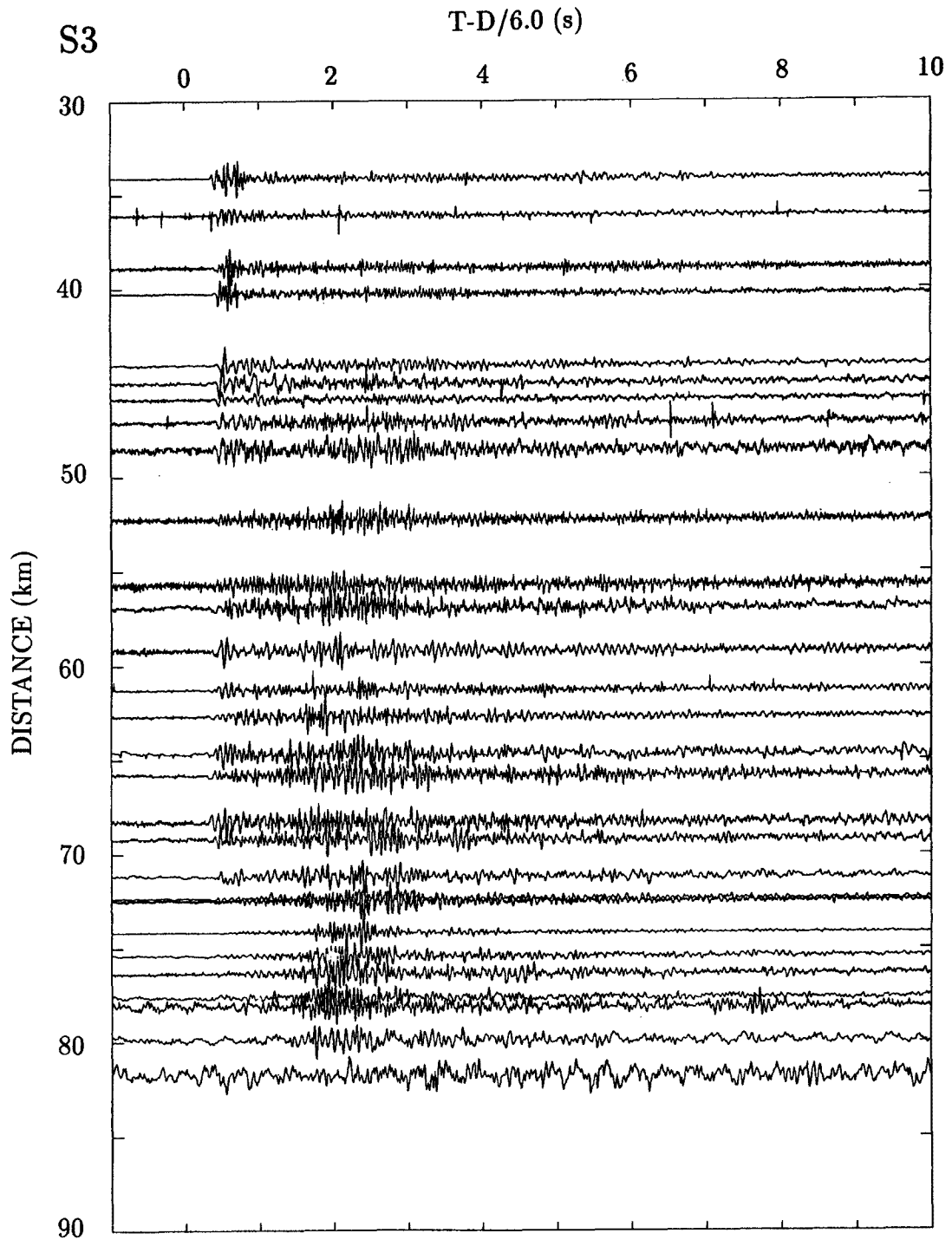


Fig. 2-3. A record section of S3. Time axis is reduced by a velocity of 6.0km/s.

を考慮して、 ± 0.01 秒、 ± 0.03 秒の精度を目安に A, B のランクをつけた。これより悪いものはランク C とし、そのほかに初動が不明瞭だが、その時刻に波動が到達していることが確実なものを D とした。また、+-は波動の方向を示し、+は上方、-は下方に動いたことを示す。Fig. 3 に初動の走時図を示

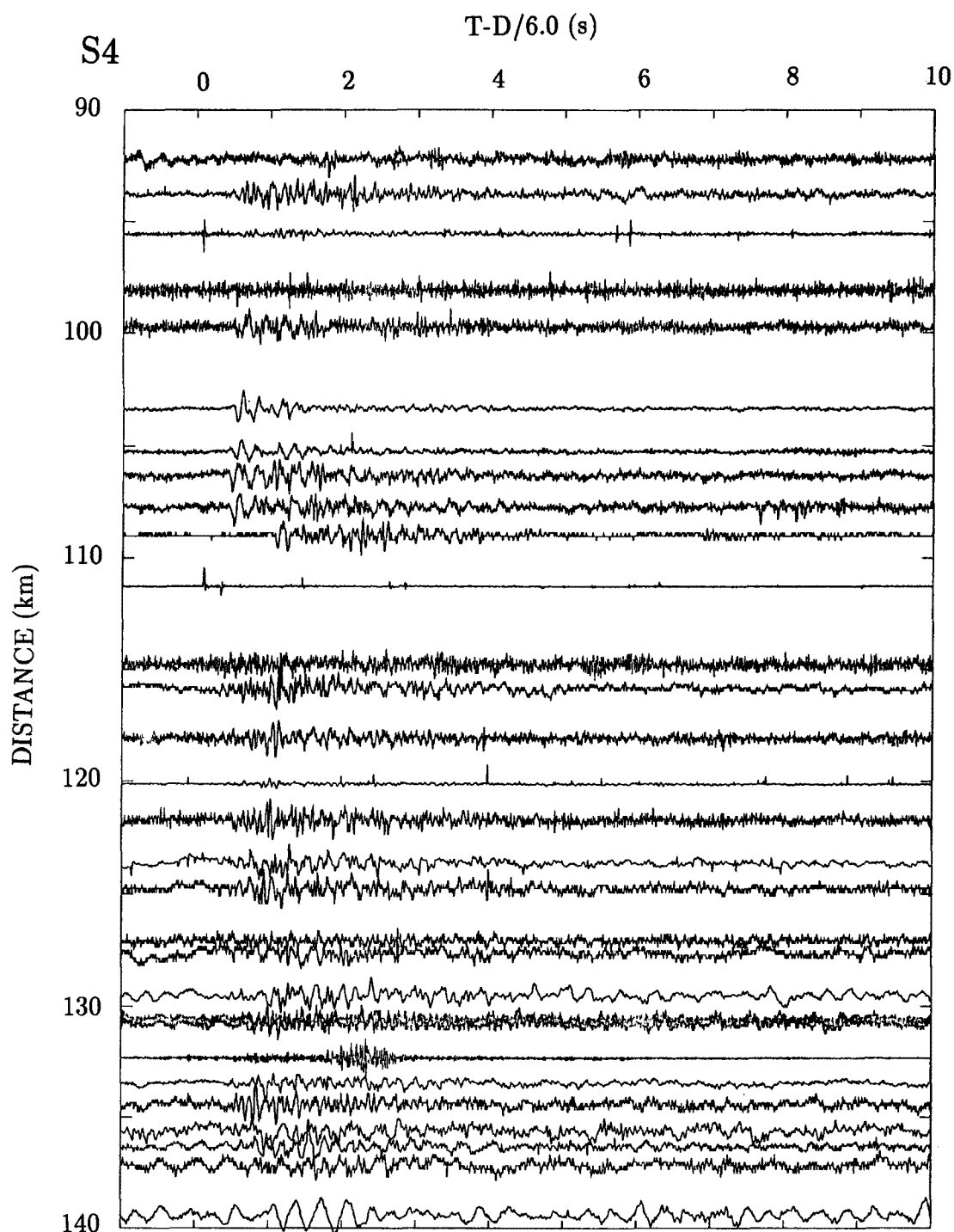


Fig. 2-4. A record section of S4. Time axis is reduced by a velocity of 6.0km/s.

す。また、Fig. 4にはS3から東西に延びる測線上での走時残差を見るため、S3からの距離を用いて走時を示した。Fig. 3, 4いずれも速度6 km/sの reduced travel timeである。

走時図およびレコードセクションに見られる特徴は次の通りである。全体的に約6 km/sの上部地殻が

Table 2. Travel-time data. D and AZM indicate a distance from the shot and an azimuth from the shot to stations, respectively. T and RT respectively indicate travel times and their reduced ones by a velocity of 6km/s. A, B and C indicate accuracy of readings as "very good", "good" and "fairly good", respectively. D indicates that a signal which may not be a first arrival, can be recognized at least at the time. Plus and minus indicates upward and downward motions of the picked phases, respectively.

S1	Station	D	AZM	T	RT
	Shot-1				
	1989-11-09 01:02				
2	K01D Takabatake-2	116.27	239.4	20.31 + A	0.66
3	K02 Nakadai	114.78	238.7	20.05 + C	0.65
4	K02D Shuchi	112.73	237.7	19.52 + C	0.46
5	K03 Kitaueno	110.93	237.9	19.28 + C	0.52
8	K04D Shimohonoda-1	106.93	236.5	18.72 + C	0.63
9	K05D Shimohonoda-2	106.03	236.4	18.56 + C	0.62
10	K05 Katano	105.26	235.8	18.40 + C	0.59
11	K06 Kamikisumi	104.02	235.4	18.14 + C	0.53
12	K07 Shimotani	102.95	235.0	17.88 + C	0.45
13	K07D Nishimakiyama	101.67	234.7	17.72 + B	0.50
14	K08 Higashimakiyama	101.09	234.2	17.59 + C	0.47
16	K10 Simokumada	97.89	233.3	17.11 - C	0.52
17	K10D Gohonmatsu	97.20	232.7	17.01 + C	0.54
18	K11 Shimo	95.40	231.9	16.70 C	0.53
19	K12D Nakae	93.72	231.1	16.39 + B	0.50
20	K13 Nogamicho	91.96	231.1	16.09 + B	0.49
21	K14 Sofudani	90.44	230.3	15.84 + B	0.50
22	K141 Ikenootoge	89.54	229.9	15.73 + B	0.54
23	K142 Kohirotanibashi	87.97	228.6	15.61 + B	0.68
24	K15 Seryo	88.47	227.3	15.70 + A	0.69
25	K16 Kyudowakare	87.17	226.4	15.62 - C	0.82
26	K17 Hanase	86.28	225.8	15.36 + B	0.71
27	K18 Momoitoge	86.71	225.4	15.47 + D	0.75
28	K19 Momoiminami	85.41	224.7	15.11 + C	0.60
29	K20 Kodeshinishi	84.85	224.0	15.03 + C	0.62
30	K21 Kodeshi	84.05	223.6	14.88 + C	0.60
31	K22 Kodeshijinja	83.42	222.8	14.77 + B	0.60
32	K23 Tochu	82.23	223.1	14.60 + D	0.62
34	K25 Kitazaichi	81.91	221.6	14.61 + C	0.69
35	K26 Manoohno	81.80	220.0	14.69 + C	0.79
38	K29 Yasugawa-2 (R2)	78.60	214.8	14.38 + A	1.01
39	K30 Naeda-jinja (R3)	77.36	213.5	14.08 + B	0.92
40	K31 Nodati-1 (R4)	76.00	212.1	13.66 + B	0.72
41	K311 Nodati-2 (R41)	76.23	212.1	13.74 - A	0.76
42	K32 Okayama (R5)	73.07	212.2	13.04 + B	0.59
43	K33 Tennmanngu (R6)	70.87	210.2	12.64 + B	0.56
44	K35 Gokashomati (R7)	67.24	204.3	12.06 + A	0.58
45	K37 Tennichi (R8)	64.31	199.9	11.94 + B	0.95
46	K38 Hatakawayama	61.96	195.0	11.29 + C	0.69
47	K39 Ichinose	59.05	194.9	10.74 + B	0.63
48	K39D Inugamidamukogan	60.77	190.4	11.02 + B	0.62
49	K40 Inugamidamuoku	59.92	189.5	10.92 + B	0.66
51	K41 Kimigahata-2	62.00	185.9	11.45 + B	0.85
52	K41D Komatabashi	61.43	185.1	11.32 + C	0.81
53	NA30 Fujiwara Kouzan	60.32	180.1	11.22 + C	0.90
54	NB43 Ichinohara	60.70	171.9	11.15 + B	0.76
55	NB44 Muranaka	62.87	170.8	11.37 + B	0.62
56	NB45 Tadosan	63.45	167.1	11.82 + C	0.98
57	ABU Abuyama	123.82	221.4	22.00 + D	1.09
58	MYO Myokensan	125.10	226.8	22.34 + D	1.22
59	TNJ Tannan	136.25	237.2	24.02 + D	1.04
60	YGI Yagi	111.82	231.4	19.58 + D	0.67
61	WTJ Wachi	107.61	244.7	18.62 + C	0.42
62	KHK Keihoku	93.54	231.9	16.42 + D	0.56
63	KGM Kamigamo	95.59	222.3	16.88 + D	0.68
64	BHO Bomura	74.12	227.4	13.26 + C	0.64
65	OHM Ohmi-Hachiman	68.02	211.4	12.20 + B	0.59
66	UJI Uji	109.33	212.5	19.17 + C	0.68
67	KTN Katano	124.23	214.3	22.04 + D	1.06
68	RKO Rokko	148.65	225.8	25.85 + D	0.81

Table 2. (Continued)

		Station	D	AZM	T	RT
69	SUM	Sumiyama	103.89	213.3	18.25 + B	0.66
S2	Shot-2	1989-11-09 01:12				
2	K01D	Takabatake-2	48.86	239.3	8.72 + A	0.63
3	K02	Nakadai	47.38	237.7	8.39 + A	0.54
4	K02D	Shuchi	45.39	235.1	8.14 + A	0.63
5	K03	Kitaueno	43.58	235.4	7.82 + A	0.61
7	K04	Higashigumi	40.61	232.1	7.48 + A	0.76
8	K04D	Shimohonoda-1	39.74	231.5	7.26 + B	0.69
9	K05D	Shimohonoda-2	38.87	231.1	7.11 + A	0.68
10	K05	Katano	38.20	229.4	7.01 + A	0.69
11	K06	Kamikisumi	37.06	228.1	6.82 + A	0.69
12	K07	Shimotani	36.08	226.8	6.66 + A	0.70
13	K07D	Nishimakiyama	34.92	225.4	6.48 + A	0.71
14	K08	Higashimakiyama	34.49	223.9	6.42 + A	0.72
16	K10	Simokumada	31.65	220.3	6.00 + A	0.77
17	K10D	Gohonmatsu	31.24	218.0	5.98 + A	0.82
18	K11	Shimo	29.90	214.5	5.78 + A	0.85
19	K12D	Nakae	28.69	211.2	5.44 + A	0.71
20	K13	Nogamicho	27.05	209.9	5.20 + A	0.74
21	K14	Sofudani	26.12	206.2	5.01 + A	0.71
22	K141	Ikenotoge	25.60	204.0	4.93 + A	0.71
23	K142	Kohirotanibashi	25.15	198.3	4.97 + A	0.83
24	K15	Seryo	26.60	195.1	5.20 + A	0.82
25	K16	Kyudowakare	26.34	190.9	5.19 + A	0.85
26	K17	Hanase	26.09	188.4	5.16 + B	0.86
27	K18	Momoitoge	26.79	187.9	5.35 + A	0.93
28	K19	Momominami	26.45	184.4	5.22 + A	0.86
29	K20	Kodeshinishi	26.80	181.6	5.24 + A	0.82
30	K21	Kodeshi	26.58	179.6	5.20 + A	0.82
31	K22	Kodeshijinja	26.96	176.9	5.28 + A	0.84
32	K23	Tochu	25.82	175.7	5.08 + A	0.83
34	K25	Kitazaichi	27.18	172.2	5.32 + B	0.84
35	K26	Manoohno	28.93	168.9	5.71 + A	0.94
38	K29	Yasugawa-2 (R2)	33.04	156.3	6.38 - C	0.92
39	K30	Naeda-jinja (R3)	34.00	152.9	6.53 - B	0.91
42	K32	Okayama (R5)	33.65	145.0	6.20 + A	0.64
43	K33	Tennmangu (R6)	35.14	140.1	6.43 + A	0.62
44	K35	Gokashomati (R7)	40.68	131.5	7.29 + C	0.56
45	K37	Tennichi (R8)	44.76	125.8	8.18 + A	0.77
46	K38	Hatakawayama	49.32	121.2	8.85 + B	0.68
47	K39	Ichinose	48.68	117.9	8.86 + C	0.80
48	K39D	Inugamidamukogan	53.68	118.3	9.56 + A	0.66
49	K40	Inugamidamuoku	54.32	117.2	9.71 + A	0.71
51	K41	Kimigahata-2	58.66	117.8	10.42 + B	0.69
52	K41D	Komatabashi	59.18	117.0	10.46 + B	0.65
53	NA30	Fujiwara Kouzan	63.71	114.1	11.30 C	0.73
54	NB43	Ichinohara	71.61	111.1	12.57 C	0.69
55	NB44	Muranaka	73.72	112.1	12.91 C	0.67
56	NB45	Tadosan	77.46	110.8	13.55 C	0.69
57	ABU	Abuyama	63.21	202.0	11.62 D	1.14
58	MYO	Myokensan	61.07	212.8	11.16 D	1.03
59	TNJ	Tannan	68.92	235.0	12.20 + C	0.76
60	YGI	Yagi	46.02	219.5	8.43 + B	0.81
61	WTJ	Wachi	40.99	253.4	7.62 + A	0.84
62	KHK	Keihoku	28.09	213.6	5.39 + A	0.76
63	KGM	Kamigamo	36.95	189.6	7.09 + A	0.98
64	BHO	Bomura	16.32	167.3	3.31 + A	0.64
65	OHM	Ohmi-Hachiman	32.91	136.3	6.14 + B	0.70
66	UJI	Uji	57.87	180.6	10.59 + C	1.00
67	KTN	Katano	69.39	189.7	12.10 D	0.59
68	RKO	Rokko	84.54	215.0	15.50 D	1.46
69	SUM	Sumiyama	52.51	178.8	9.62 A	0.92
S3	Shot-3	1989-11-09 01:22				
2	K01D	Takabatake-2	34.11	87.2	12.41 + A	0.32
3	K02	Nakadai	36.08	88.0	12.83 + B	0.41
4	K02D	Shuchi	38.87	89.1	13.25 - B	0.36
5	K03	Kitaueno	40.26	87.4	13.48 + A	0.36
7	K04	Higashigumi	44.07	87.8	14.11 + B	0.35

Table 2. (Continued)

	Station	D	AZM	T	RT	
8	K04D	Shimohonoda-1	45.04	87.6	14.31 + C	0.39
9	K05D	Shimohonoda-2	45.92	87.3	14.41 + C	0.35
10	K05	Katano	47.13	87.9	14.60 + C	0.34
11	K06	Kamikisumi	48.56	87.8	14.88 + A	0.38
12	K07	Shimotani	49.83	87.8	15.05 + B	0.33
14	K08	Higashimakiyama	52.25	88.1	15.46 + B	0.34
16	K10	Simokumada	55.71	87.5	16.03 - B	0.33
17	K10D	Gohonmatsu	56.92	88.0	16.20 - B	0.30
18	K11	Shimo	59.21	88.1	16.63 - B	0.35
19	K12D	Nakae	61.29	88.1	16.98 + C	0.35
20	K13	Nogamicho	62.71	87.1	17.14 + B	0.28
21	K14	Sofudani	64.68	87.2	17.56 + B	0.37
22	K141	Ikenotoge	65.81	87.2	17.65 - B	0.27
23	K142	Kohirotanibashi	68.29	87.7	18.07 + A	0.28
24	K15	Seryo	69.22	89.3	18.28 + B	0.33
25	K16	Kyudowakare	71.18	89.4	18.68 + B	0.41
26	K17	Hanase	72.36	89.4	18.86 + B	0.39
27	K18	Momoitouge	72.48	90.0	19.18 - B	0.69
28	K19	Momoininami	74.14	89.8	19.20 + C	0.43
29	K20	Kodeshinishi	75.39	90.2	19.38 + C	0.40
30	K21	Kodeshi	76.32	90.0	19.53 + D	0.40
32	K23	Tochu	78.10	89.4	20.43 D	1.00
34	K25	Kitazaichi	79.88	90.2	20.52 D	0.80
35	K26	Manoohno	81.77	91.3	20.28 D	0.24
36	K27	Mandarayama	83.58	91.0	21.22 C	0.88
39	K30	Naeda-jinja (R3)	91.78	92.3	22.31 + C	0.60
42	K32	Okayama (R5)	95.47	90.6	22.84 - C	0.52
43	K33	Tennmannagu (R6)	98.72	90.2	23.25 - C	0.39
44	K35	Gokashomati (R7)	106.67	90.2	24.67 + C	0.48
47	K39	Ichinose	119.29	88.2	26.96 + C	0.67
49	K40	Inugamidamuoku	124.56	89.2	27.69 + A	0.52
58	MYO	Myokensan	49.75	119.8	15.24 + C	0.54
59	TNJ	Tannan	23.61	123.4	10.75 + A	0.41
61	WTJ	Wachi	39.65	68.0	13.50 + C	0.48
62	KHK	Keihoku	60.64	87.0	17.04 + C	0.52
66	UJI	Uji	81.90	112.5	20.40 + C	0.34
S4	Shot-4	1989-11-09 01:32				
2	K01D	Takabatake-2	93.79	72.5	16.21 + B	0.44
3	K02	Nakadai	95.58	73.1	16.55 + C	0.48
4	K02D	Shuchi	98.10	73.9	17.10 + B	0.61
5	K03	Kitaueno	99.74	73.4	17.29 + C	0.53
7	K04	Higashigumi	103.36	74.1	17.82 + C	0.45
9	K05D	Shimohonoda-2	105.26	74.1	18.07 + C	0.39
10	K05	Katano	106.33	74.5	18.22 + C	0.36
11	K06	Kamikisumi	107.74	74.7	18.52 - B	0.42
12	K07	Shimotani	108.98	74.8	18.72 - B	0.42
14	K08	Higashimakiyama	111.28	75.3	19.13 + C	0.44
16	K10	Shimokumada	114.79	75.3	19.72 + C	0.45
17	K10D	Gohonmatsu	115.86	75.7	19.75 - C	0.30
18	K11	Shimo	118.08	76.0	20.12 + B	0.30
19	K12D	Nakae	120.13	76.2	20.52 - B	0.36
20	K13	Nogamicho	121.73	75.9	20.88 + C	0.45
21	K14	Sofudani	123.64	76.1	21.02 + C	0.27
22	K141	Ikenootouge	124.75	76.2	21.39 - C	0.46
24	K15	Seryou	127.63	77.6	21.65 + C	0.24
25	K16	Kyuudouwakare	129.51	77.8	22.16 + C	0.44
27	K18	Momoitouge	130.65	78.2	22.53 + C	0.61
29	K20	Kodeshinishi	133.46	78.6	22.81 + C	0.43
30	K21	Kodeshi	134.41	78.6	23.04 + C	0.50
32	K23	Tochuu	136.31	78.4	23.44 + C	0.58
48	K39D	Inugamidamukogan	181.10	81.2	30.59 + D	0.27
49	K40	Inugamidamuoku	182.26	81.0	30.80 + C	0.28

存在し、その上の表層は地域によって異なる。花折断層などの付近で走時、波形が変化する。また、S1とS3には、初動の1.5秒後から数秒にわたって、地殻の中部付近で反射されたと思われる振幅の大きな反射波が見られる。このことは近畿北部においては、かなり広範囲に地殻中部の反射面が存在しているこ

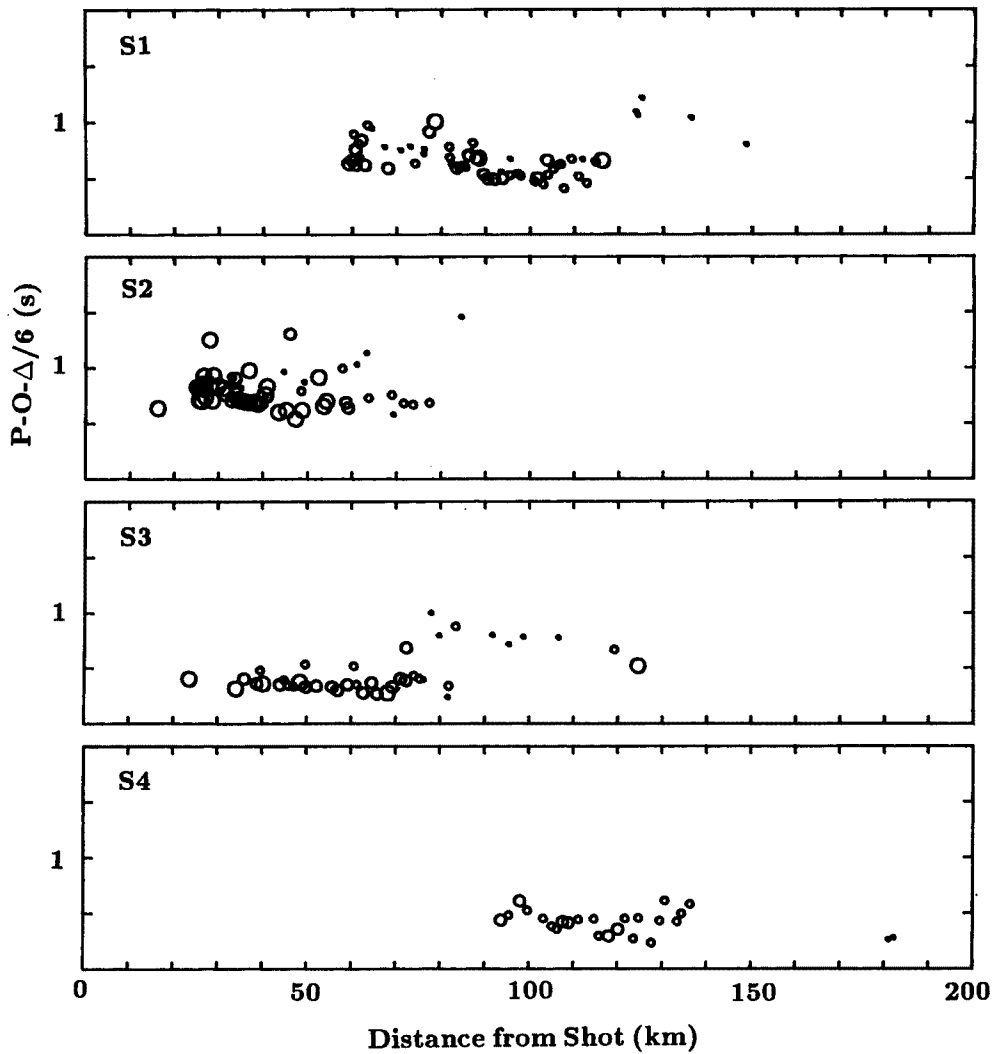


Fig. 3. Travel-time diagrams for four explosions. Time axes are reduced by a velocity of 6.0km/s. Accuracy of readings is indicated by sizes of circles; A($\pm 0.01s$), large circles, B($\pm 0.03s$), middle-sized circles and C and D, small circles.

とを示している。この波はS2の記録には見られない。これは観測点と爆破点の距離が小さいためであると思われる。また、S4の記録に見られない理由は、はっきりしないが、距離が遠く、爆破の効きが悪かったためかも知れない。

5. おわりに

琵琶湖の南部を横切る測線での人工地震探査が実施され、その地域の走時が得られた。また、近畿北部の面的な測線での走時も得られた。さらに、地殻中部からの顕著な反射波が観測され、重力、地震活動など他の情報との関連も興味ある課題になってきた。

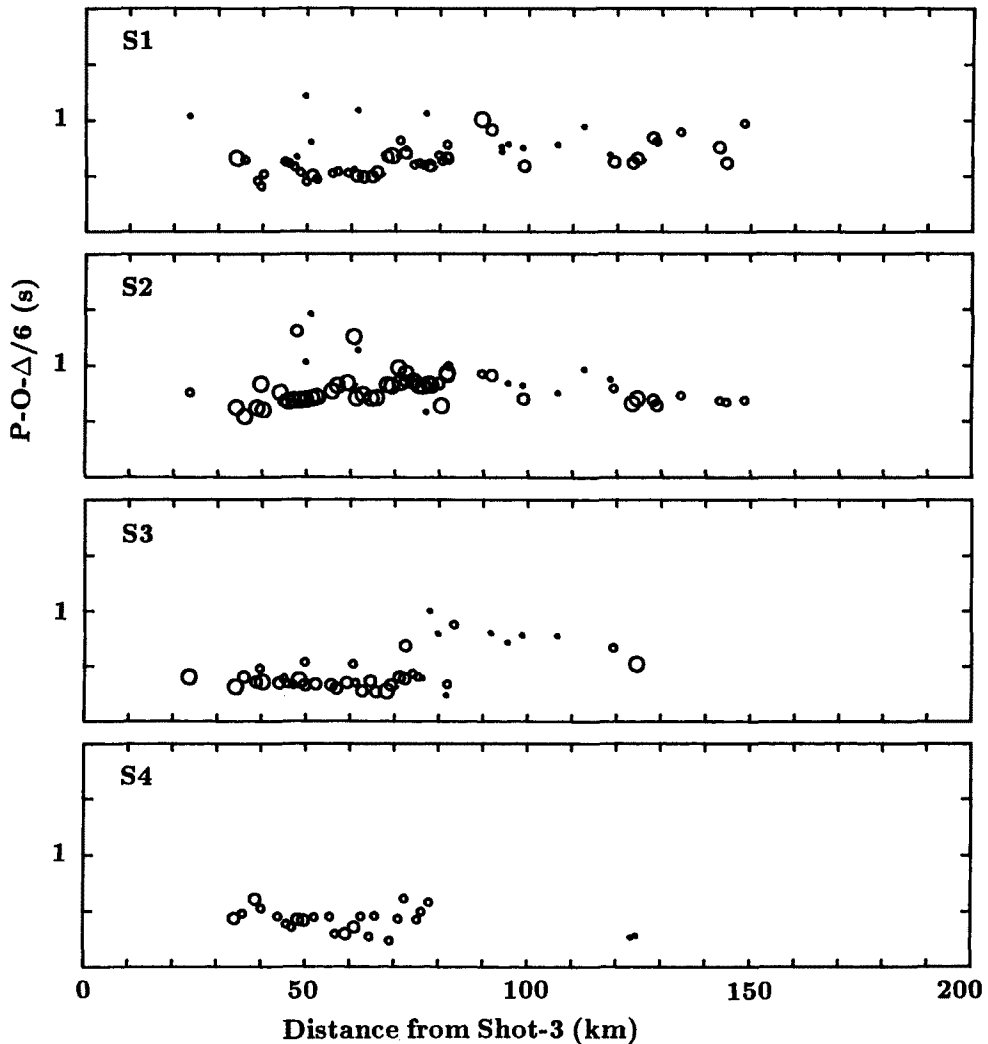


Fig. 4. Travel-times of four explosions plotted against distances measured from S3. Time axes are reduced by a velocity of 6.0km/s. See Fig.3 for the accuracy of arrivals.

琵琶湖の南部を東西に横切る測線の東の端には、大規模な碎石発破を行っている三重県の藤原鉦山がある。この爆破を利用して逆測観測が実施された。これらのデータを含めて、解析される構造については別に報告される予定である。

謝 辞

この実験は黒磯章夫氏（当時京大理学部，現在気象庁）が中心になって企画したものであり，計画の立案等，黒磯氏の努力に負うところが大きい。実施に当たっては，爆破地震動研究グループから，爆破点位置，爆破時刻のデータを提供していただいたばかりでなく，種々の便宜を計っていただいた。吉井敏剋氏をはじめグループ員の方にお礼申し上げます。さらに，観測の際には東京大学地震研究所，および北海道大学理学部から，観測機材を借用しました。東京大学の中村正夫氏，一ノ瀬洋一郎氏，

坂守氏および北海道大学の森谷武男氏はじめ関係者の方にお礼申し上げます。また、この観測は下記のとおり、多くの方の参加で実施することができました。赤松純平氏からは炭山の記録をいただいた。EDRの開発のためには全国の多くの方からご意見をいただきました。上記の方々に深く感謝致します。

この実験には地震予知特別事業費、「西南日本における主要活断層の調査」の費用の一部が使用された。

なお、この実験の参加者および主な任務分担は、次の通りである。所属は観測実施当時のものである。

企 画: 伊藤 潔・黒磯章夫・筒井智樹・松村一男・渡辺邦彦

EDR-1000 製作企画: 飯尾能久・伊藤 潔・大倉敬宏・黒磯章夫・竹内文朗・西上欽也・渡辺邦彦

EDR-1000 製作協力: 大井田徹・山崎文人 (以上名古屋大学), 長谷川昭・堀内茂木・松澤 暢 (以上東北大学), 石桁征夫・三浦勝美 (以上東京大学), 鈴木貞臣 (北海道大学), 田中和夫 (弘前大学), 清水 洋 (九州大学)

EDR-1000 製作: 高島一徳・井上宜久・内田 淳・玉田誠二 (以上ハードウェア, 近計システムKK), 大見土朗 (ソフトウェア, 九州大学)

観測点予備調査: 飯尾能久・伊藤 潔・梅田康弘・大倉敬宏・金尾政紀・小泉 誠・澁谷拓郎・竹内文朗・田崎幸司・橋本 靖・松尾成光・松村一男・吉岡克平・渡辺邦彦

観 測: 岩田知孝・大倉敬宏・沖野郷子・加藤 護・小泉 誠・澁谷拓郎・高原元昭・竹内文朗・田崎幸司・趙 志新・中尾節郎・西上欽也・橋本 靖・平野憲男・平原和朗・松尾成光・松井一郎・松波孝治・松村一男・吉岡祥一・山田浩二・渡辺邦彦 (以上京都大学防災研究所), 浅田照之・飯尾能久・伊藤勝祥・伊藤 潔・梅田康弘・笈 楽磨・金尾政紀・斉田市三・中川 渥・中村佳重郎・吉岡克平・行竹英雄 (以上理学部地震予知観測地域センター), 青井真・井口智長・川崎慎治・芝 良明・須田佳之, スリ・ウィディヤントロ, 高岡雄司・筒井智樹・中村浩之・日朝めぐみ・藤田雅之・村井芳夫 (以上京都大学理学部地球物理), 小笠原宏・小西茂夫・前田隆志・見野和夫 (以上立命館大), 香川敬生・沢田純男・扶 長生・松山紀子 (以上大阪土質試験所), 大井田徹・近藤 忠・古本宗充・山崎文人 (以上名古屋大学理学部), 黒川 泰・田辺浩和・西田良平・松山和也 (以上鳥取大), 有田 健・岡本拓夫・蔵本守功・前澤広道 (以上福井高専), 古川信雄 (建築研)

AD変換・波形記録整理: 松村一男・田崎幸司・金尾政紀

解 析: 伊藤 潔・梅田康弘・小笠原宏・金尾政紀・田崎幸司・松村一男・渡辺邦彦

本報告執筆: 伊藤 潔・松村一男

参 考 文 献

- 1) Hurukawa, N.: Pn Velocity and Moho-offset at the west of Lake Biwa, in the Kinki district, J. Phys. Earth, Vol.29, 1981, pp.519-535.
- 2) Ikami, A., I. Yamada, H. Murakami, N. Hurukawa and F. Takeuchi: Crustal structure in central Japan as derived from the Inabu quarry blast observations, Bull. Disat. Prev. Res. Inst., Kyot Univ., Vol.27, 1977, pp.23-46.
- 3) Ito, K. and H. Murakami: Crustal structure in the northern part of the Kinki district, Paleolimnology of Lake Biwa and the Japanese Pleistocene, Vol.7, 1979, pp.153-172.
- 4) 伊藤 潔・村上寛史・吉井敏剋・堀江正治・佐々木嘉三・浅野周三・武内俊昭・原 徹夫: 爆破

地震動観測による琵琶湖底の地下構造, 地震, 第35巻, 1982, pp.353-366.

- 5) The Research Group for Explosion Seismology: Crustal structure in the western part of Japan derived from the observation of the first and second Kurayoshi and the Hangbusa explosions, Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. of Tokyo, Vol.44, 1966, pp.89-107.
- 6) The Research Group for Explosion Seismology: Crustal structure in the western part of Japan derived from the observation of the first and second Kurayoshi and the Hanabusa explosions (continued), Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. of Tokyo, Vol.48, 1970, pp.1121-1127.
- 7) Yoshii, T., Y. Sasaki, T. Tada, H. Okada, S. Asano, I. Muramatu, M. Hashizume, and T. Moriya: The third Kurayoshi Explosion and the crustal structure in the western part of Japan, J. Phys. Earth, Vol.22, 1974, pp.197-121.