



Title	札幌における人工地震動の観測
Author(s)	吉田, 邦一; YOSHIDA, Kunikazu; 笹谷, 努 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 66, 1-9
Issue Date	2003-03-20
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.66.1
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/14322
Type	departmental bulletin paper
File Information	66_p1-9.pdf



札幌における人工地震動の観測

吉田 邦一・笹谷 努

北海道大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻

(2002年12月27日受理)

Explosion Seismic Observation in Sapporo, Japan

Kunikazu YOSHIDA and Tsutomu SASATANI

Division of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Hokkaido University

(Received December 27, 2002)

A seismic refraction experiment was carried out in Sapporo by the municipality. The experiment aimed to investigate the basin structure. The experiment area can be divided into two areas, a deep sedimentary basin in the western part of the Ishikari depression where the urban area of Sapporo locates and mountains in the southwestern part of the city. Two explosive sources with a charge size of 50 kg were fired on 28 November 2002; one (SP-1) was fired at the southern mountain and the other (SP-2), at the junction of the Ishikari and the Toyohira River. The profile with a length of about 20 km ran along the Toyohira River.

In this paper, we show a preliminary result of the seismic observation for the two explosive sources along an additional profile. Our profile with a length of about 20 km runs in the SW direction from the SP-2 toward the mountains, crossing Higashi-ku, Kita-ku and Nishi-ku of Sapporo. Seismic data were observed at forty-four temporal stations. The apparent velocities of first arrivals for the SP-2 shot change with distance. The apparent velocity for the distance range of 1 to 5 km is about 2.3 km/s, indicating P-wave velocity of upper sedimentary layers. The apparent velocity of 3.7 km/s for the distance range of 6 to 11 km indicates P-wave velocity of lower sedimentary layers. The apparent velocity of 6.2 km/s for the distance range of 11 to 14 km suggests the basement P-wave velocity. The apparent velocity for the distance range of 14 to 20 km is abnormally high, about 10 km/s. This fact indicates that the basement becomes shallow toward the mountains. Seismic signals from the SP-1 shot are weak, but the apparent velocity for the mountain area is about 5.5 km/s.

I. はじめに

札幌市は地震防災対策の基礎資料作成のため、平成13年から3カ年計画で、札幌市の深部地下構造調査を実施している(札幌市, 2002)。平成14年度には札幌市の位置している堆積盆地構造の

解明を目的として、市内を北東方向に流れる豊平川沿いに約 20 km の測線を展開し、反射法探査と人工地震による屈折法探査を行った。火薬発破による屈折法探査に対し、我々は独自に観測網を展開し、この人工地震による地震波を取得することにした。

札幌市の都心部や住宅街は、千島弧と東北日本弧の会合部に発達した石狩低地帯の北西部に位置し、厚い新生代堆積物に覆われている。この地域の周辺部では、(現在の)札幌市東北部から石狩市および別当町にかけて石油資源探査を目的とした地下構造調査が多数行われ、基盤構造が複雑であることが明らかにされている(札幌市, 2002 など)。しかし、札幌の都心部や人口密度の高い地域ではこれらのデータは少ない。重力やいくつかの深層ボーリング、微動探査などから、札幌中部から北部では概ね北西-南東方向の盆地境界となっており、平野部の西端では西部の山地に向けて基盤が浅くなっていることが示されている(岡・他, 1991; 吉田, 1999 など)。井川・他(2002)は西区と手稲区の境界付近において、盆地境界を横切るように北東-南西の約 5 km の測線で反射法により基盤構造の推定を試みたが、詳細な基盤深度を明らかにするには至っていない。今回の観測では、井川・他(2002)の測線の南側にそれと並行するような測線を設定し、観測を行った。

本報告では、我々の行った人工地震探査の概要を述べるとともに、得られた地震波形などの基本的なデータを示す。詳細な解析結果については別に報告する予定である。

II. 観測の概要

我々は、札幌市を北東-南西に横切る約 20 km の測線を設け、全部で 44 点の観測点を展開した。発破点は札幌南部の簾舞(SP-1)と北部の篠路町福移(SP-2)である。発破点と観測点の配置を Fig. 1 に、発破点の位置、薬量、発破時刻などを Table 1 に示す。また、観測点の位置、観測者を Table 2 に示す。これらの測線は特に SP-2 による記録の取得を重視した配置とし、平野部と山地部の盆地境界を横切るように設定した。特

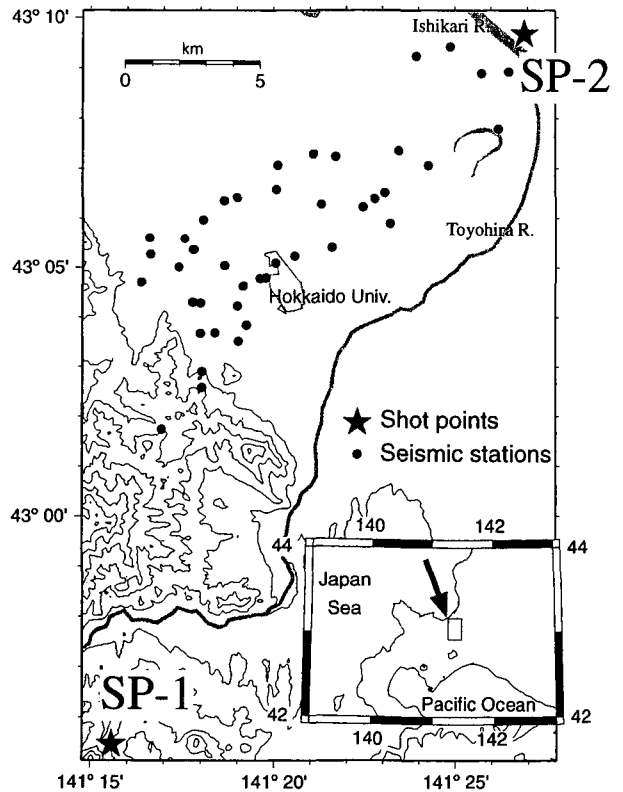


Fig. 1. A map showing positions of shots and temporary observation sites of the profile. Topographic contours at 100 m intervals have also been plotted. Star marks and circles indicate shots and observations sites, respectively. The inset shows the geographic location of the experimental area.

Table 1. Shot times, locations (in JGD 2000) and charge sizes of two explosions in the 2002 Sapporo experiment (after JGI, Inc.).

Shot	Date, Time	Latitude	Longitude	Height	Charge
2002 Nov. 28					
SP-1	01 : 30 : 10.568	42° 55' 36.97"	141° 15' 21.67"	295.7 m	50 kg
SP-2	02 : 00 : 10.030	43° 09' 48.98"	141° 26' 40.89"	2.7 m	50 kg

Table 2. Locations of temporary observation sites (in JGD 2000) and observers.

STATION	LATITUDE	LONGITUDE	OBSERVERS
S 1	43 9 4.1	141 26 14.9	N. TAKAI, K. YOSHIDA
S 91	43 9 2.5	141 25 30.7	N. TAKAI, K. YOSHIDA
S 2	43 7 56.2	141 25 58.7	N. TAKAI, K. YOSHIDA
S 3	43 9 34.3	141 24 39.2	N. TAKAI, K. YOSHIDA
S 4	43 9 22.8	141 23 42.8	N. TAKAI, K. YOSHIDA
A 1	43 7 12.6	141 24 3.2	N. TAKAI, K. YOSHIDA
A 91	43 7 30.1	141 23 13.9	N. TAKAI, K. YOSHIDA
A 92	43 6 39.7	141 22 50.7	H. NAGUMO, S. NOGUCHI, O. OZEL
A 4	43 6 32.4	141 22 33.0	H. NAGUMO, S. NOGUCHI, O. OZEL
A 5	43 6 2.2	141 22 58.4	N. TAKAI, K. YOSHIDA
A 6	43 6 22.3	141 22 13.0	H. NAGUMO, S. NOGUCHI, O. OZEL
A 7	43 6 20.2	141 21 52.6	H. NAGUMO, S. NOGUCHI, O. OZEL
A 8	43 6 25.9	141 21 4.5	H. NAGUMO, S. NOGUCHI, O. OZEL
A 9	43 6 3.9	141 21 10.7	H. NAGUMO, S. NOGUCHI, O. OZEL
A 10	43 5 33.1	141 21 22.3	M. SAKAUE, T. SASATANI, Y. YAMAYA, H. TAKAHASHI
A 11	43 5 23.0	141 20 20.7	M. SAKAUE, T. SASATANI, Y. YAMAYA, H. TAKAHASHI
A 12	43 5 14.4	141 19 49.0	H. NAGUMO, S. NOGUCHI, O. OZEL
A 51	43 4 56.5	141 19 32.5	M. ICHIYANAGI, M. MIYAHARA
A 13	43 4 55.6	141 19 23.2	M. ICHIYANAGI, M. MIYAHARA
A 14	43 4 46.6	141 18 56.7	M. SAKAUE, T. SASATANI, Y. YAMAYA, H. TAKAHASHI
A 15	43 4 22.4	141 18 47.5	M. SAKAUE, T. SASATANI, Y. YAMAYA, H. TAKAHASHI
A 16	43 3 59.3	141 19 2.0	M. SAKAUE, T. SASATANI, Y. YAMAYA, H. TAKAHASHI
A 17	43 3 39.7	141 18 48.6	M. SAKAUE, T. SASATANI, Y. YAMAYA, H. TAKAHASHI
A 18	43 3 49.9	141 18 10.4	M. ICHIYANAGI, M. MIYAHARA
A 93	43 5 11.2	141 18 25.5	M. TAKADA, T. MAEDA, T. GOTO
A 19	43 4 27.0	141 17 34.7	M. SAKAUE, T. SASATANI, Y. YAMAYA, H. TAKAHASHI
A 20	43 3 49.3	141 17 46.6	M. ICHIYANAGI, M. MIYAHARA
A 21	43 3 25.9	141 17 46.5	M. ICHIYANAGI, M. MIYAHARA
A 22	43 3 2.9	141 17 49.0	M. ICHIYANAGI, M. MIYAHARA
A 23	43 2 43.7	141 17 48.9	M. ICHIYANAGI, M. MIYAHARA
A 24	43 1 53.3	141 16 42.6	M. ICHIYANAGI, M. MIYAHARA
B 1	43 7 23.0	141 21 29.3	H. NAGUMO, S. NOGUCHI, O. OZEL
B 2	43 7 26.4	141 20 52.3	H. NAGUMO, S. NOGUCHI, O. OZEL
B 3	43 7 13.0	141 19 53.6	M. TAKADA, T. MAEDA, T. GOTO
B 4	43 6 43.5	141 19 51.2	M. TAKADA, T. MAEDA, T. GOTO
B 5	43 6 33.9	141 18 46.7	M. ICHIYANAGI
B 6	43 6 30.1	141 18 24.9	K. YOSHIDA
B 7	43 6 6.9	141 17 50.3	M. TAKADA, T. MAEDA, T. GOTO
B 8	43 5 44.3	141 17 20.1	H. NAGUMO, S. NOGUCHI, O. OZEL
B 9	43 5 30.6	141 17 35.1	M. TAKADA, T. MAEDA, T. GOTO
B 10	43 5 9.7	141 17 10.0	M. TAKADA, T. MAEDA, T. GOTO
B 11	43 5 45.0	141 16 21.8	M. TAKADA, T. MAEDA, T. GOTO
B 12	43 5 25.2	141 16 23.1	M. TAKADA, T. MAEDA, T. GOTO
B 13	43 4 51.4	141 16 8.4	M. TAKADA, T. MAEDA, T. GOTO

に、盆地端部付近では構造が複雑だと考えられたので、その付近には重点的に観測点を展開した。

臨時観測点では、全点で Mark Products 社製の L-22 D 型地震計(固有周波数 2.2 Hz, コイル抵抗約 2.2 k Ω)をダンピング定数約 0.7 で用いた。記録計には白山工業 LS-8000 SH を用い、サンプリング周波数 200 Hz で波形データを記録した。各記録計の時計は各データ収録の前後において GPS による内部時刻の較正を行い、較正に失敗した 1 点を除いた他の点で 0.005 秒の精度を確保した。

観測点の展開は、発破前日の 11 月 27 日の日中から夜間にかけて行った。データ収録は発破予定時刻の 28 日 01 時 30 分と 02 時 00 分の 1 分前から、予備発破時刻を含むように約 20 分間づつ行った。その後、観測装置の回収は 28 日の日中に行った。

III. 観 測 結 果

Fig. 2 に 2 つの発破による観測記録を示す。各記録はその最大振幅で規格化してある。SP-1 (Fig. 2 a) の発破では、震央距離 15 km までの山地部では明瞭な初動が見られるが、震央距離 15 km 以上の平野部になると、一部で初動と思われるものが認められるものの、全体に初動は極めて不明瞭である。一方、SP-2 (Fig. 2 b) の発破では、測線の端に至るまで明瞭な初動が見られる。

各観測記録から初動と思われる位相を読み取ったものの走時を Table 3 に示す。読み取りには、S/N 比や相の明瞭さなどを考慮して A, B のランクをつけた。これらは読み取り精度がそれぞれ概ね ± 0.01 秒以内、及びそれ以上に相当する。なお、B ランクの読み取り結果は、S/N 比が悪いものが多いため、初動ではなく後続波や発破以外の原因による波の位相を読んでいる可能性もある。そのため、結果は暫定的なものにとどまる。この読み取り値をもとに作成した初動(付近)の走時図を Fig. 3 に示す。

SP-2 の初動見かけ走時は、震央距離 5 km までは約 2.3 km/s, 5~11 km では 3.7 km/s, 11~14 km では約 6.2 km/s で、それぞれ浅部堆積層、深部堆積層、基盤に対応していると考えられる。また、震央距離約 14 km 以遠の南西側山地部では見かけ速度が非常に速く、10 km/s 近くにもなる。一方、SP-1 の震央距離 11~15 km の山地部の 3 点では初動は明瞭で、その見かけ速度は約 5.5 km/s である。Okada et al. (1973) は、今回の調査対象からやや北に離れているが、手稲地区の山中で碎石発破の観測を行い、比較的浅いところの速度として 5.0~6.0 km/s を得ている。これと今回の結果を比較すると、SP-1 での山側の速度は調和的であるが、SP-2 の見かけ速度は明らかに速い。これらのことは、基盤構造の急激な変化を示唆していると考えられる。また、SP-1 と SP-2 の震央距離 11~14 km では、どちらも見かけ速度が 5.5~6.2 km/s で、おおむね基盤の速度をあらわしていると推定されるが、原点走時は SP-1 で 0.5 秒程度なのに対し、SP-2 で 2 秒程度であり、これは基盤の深さの違いを反映していると考えられる。

SP-2 では山地と平野の境界付近でも初動走時がなだらかに変化していくのに対し、SP-1 では山地と平野の境界付近の 15~20 km では初動走時が大きく乱れる。相が不明瞭なため読み間違い

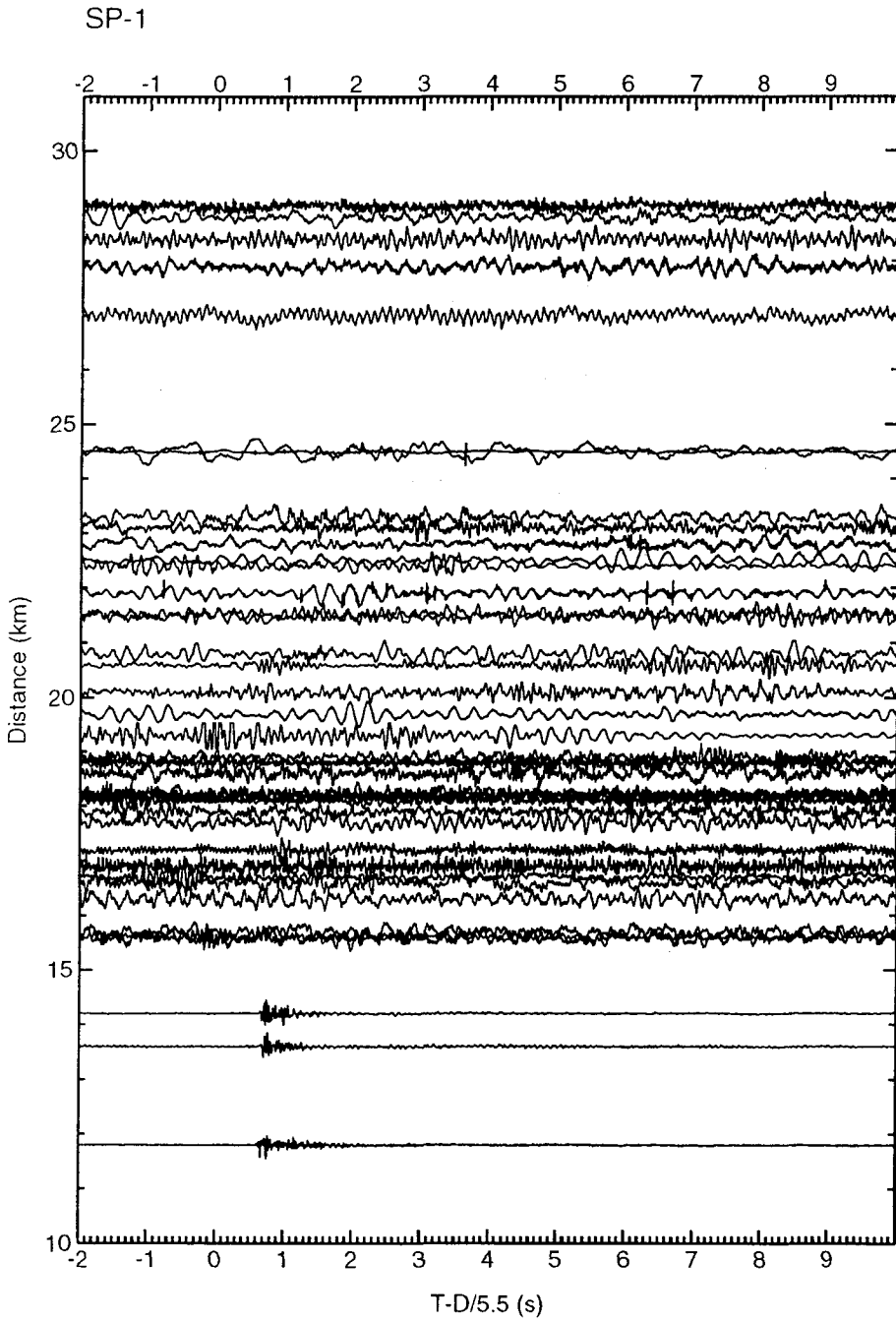


Fig. 2-a. A record section of shot SP-1. Reduction velocity is 5.5 km/s.

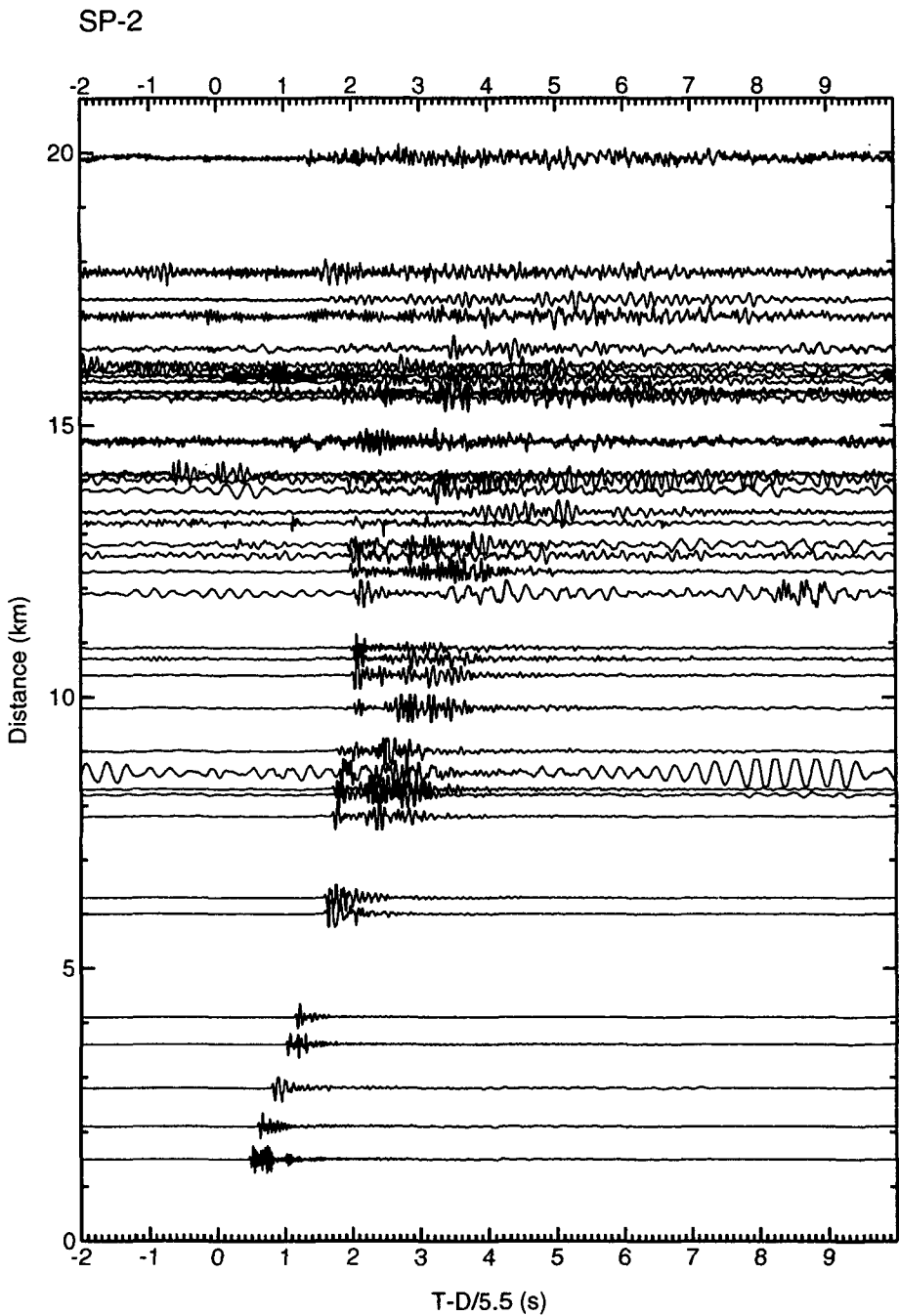


Fig. 2-b. A record section of shot SP-2. Reduction velocity is 5.5 km/s.

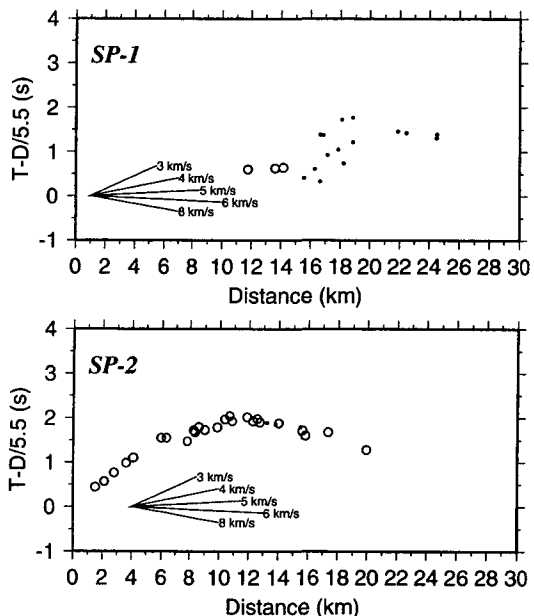


Fig. 3. Preliminary travel-time diagrams around first arrivals of the two shots. Reduction velocity is 5.5 km/s. Ranks of travel-time readings are indicated by sizes of circles.

Table 3. Preliminary travel-time data. D indicates shot distance in km. T 1 is travel time of first arrival in second. Ranks A and B indicate “good” and “fairly good” arrivals, respectively.

SP-1				SP-2			
ORIGIN TIME = 2002/11/28 01:30:10.568				ORIGIN TIME = 2002/11/28 02:00:10.010			
STATION	D	AZM	T 1	STATION	D	AZM	T 1
A 01	24.5	28.8	5.848 B	A 01	6.0	216.3	2.641 A
A 04	22.5	25.7	5.512 B	A 04	8.2	222.6	3.222 A
A 05	21.9	28.2	5.438 B	A 05	8.6	215.6	3.360 A
A 12	18.8	18.7	5.187 B	A 08	9.8	230.4	3.580 A
A 13	18.1	17.6	5.012 B	A 10	10.7	222.2	3.989 A
A 15	16.9	16.0	4.445 B	A 11	11.9	226.2	4.173 A
A 16	16.3	17.8	3.574 B	A 12	12.6	227.6	4.260 A
A 19	16.6	10.4	4.409 B	A 14	14.0	228.2	4.435 A
A 20	15.6	12.2	3.236 B	A 17	15.6	223.0	4.551 A
A 21	16.7	11.3	3.361 B	A 19	15.8	231.0	4.476 A
A 22	14.2	13.6	3.219 A	A 22	17.4	223.7	4.838 A
A 23	13.6	14.2	3.103 A	A 24	19.9	222.5	4.905 A
A 24	11.8	8.9	2.748 A	A 51	13.2	226.9	4.292 B
A 91	24.5	25.9	5.758 B	A 91	6.3	227.4	2.702 A
B 10	17.9	7.9	4.287 B	A 92	7.8	221.6	2.896 A
B 11	18.8	4.1	4.635 B	B 01	8.3	237.3	3.196 A
B 12	18.2	4.4	4.054 B	B 02	9.0	240.7	3.370 A
B 13	17.1	3.5	4.041 B	B 03	10.4	242.3	3.854 A
				B 04	10.9	238.2	3.902 A
				B 05	12.3	240.6	4.160 A
				B 06	12.8	241.2	4.218 A
				B 07	13.8	240.1	4.363 B
				B 10	15.5	236.1	4.613 B
				S 01	1.5	202.9	0.715 A
				S 02	3.6	195.3	1.641 A
				S 03	2.8	260.6	1.267 A
				S 04	4.1	258.6	1.851 A
				S 91	2.1	227.8	0.960 A

による可能性もありうるが、SP-1では波線が山地と盆地の境界を斜めに横切るため、走時を距離に対してプロットすると、観測点ごとに堆積層の影響が異なることを反映したものと考えられる。

SP-2での記録(Fig. 2 b)を観察すると、後続波が認められる。震央距離約7 km以遠では初動から0.5~3.5秒遅れの、初動よりも見かけ速度のやや遅い波が認められる。その他にも後続波と思われる相が認められるが不明瞭である。

IV. お わ り に

今回の実験は札幌市を北東-南西に横切る約20 kmの測線で行われた。この地域は、東部の石狩低地帯と西部の山地帯の接合部に相当し、その境界構造に特に注目して観測を行った。その結果、特にSP-2では測線の端部まで初動を確認できる記録が得られた。

本実験では逆測線の発破を行うことができなかったため、今回得られたデータだけでは地下構造の決定を行うことができないが、他のデータとの統合解析によってこれが明らかにされることが期待される。

謝辞 この実験の実施に際し、有珠火山観測所から観測機材を借用しました。札幌市当局および地球科学総合研究所には発破時刻の情報など便宜をはかっていただきました。さらに、下記の札幌市の機関や個人には施設や土地の一部を観測点として利用させていただきました。ここに記して深く感謝いたします(敬称略、順不同)。

福移小中学校、中沼小学校、あいの里東中学校、丘珠中学校、栄南小学校、栄南中学校、栄町小学校、栄西小学校、栄緑小学校、北小学校、北園小学校、白楊小学校、八軒東中学校、二十四軒小学校、日新小学校、向陵中学校、山の手南小学校、三角山小学校、大倉山小学校、宮の森小学校、宮の森中学校、盤溪小学校、太平南小学校、新琴似小学校、新琴似北小学校、発寒小学校、発寒東小学校、発寒西小学校、西小学校、宮の丘中学校、篠路清掃工場、札幌市東清掃事務所、札幌市消防航空隊、石川春義、岡山宗夫、巢山志津香、加藤幸司、齋藤誠治、宮城洋介。

最後に、著者らとともに観測に参加された以下の方に感謝します。

前田 宜浩・宮原 昌一・オウズ オゼル・野口 科子・山谷 祐介・高田 真秀・一柳 昌義・後藤 友宏・高橋 浩晃(以上、北海道大学大学院理学研究科)、高井 伸雄(北海道大学大学院工学研究科)、南雲 秀樹(名古屋大学大学院工学研究科)、坂上 実(東京大学地震研究所)

文 献

- 井川猛・笹谷努・岡田廣・太田陽一・清水信之・東中基倫, 2002, 石狩平野北西縁におけるパイロサイス反射法調査の試み, 日本地震学会講演予稿集 2002 年度秋季大会, P 061.
- 岡孝雄・興水達司・高橋功二・秋葉文雄, 1991, 札幌市街下と西野地域の小樽内川層および西野層の時代と対比, 地質学雑誌, 97, 25-38.

- 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 observations, *J. Phys. Earth*, **21**, 329–354.
- 札幌市, 2002. 平成 13 年度石狩平野北部地下構造調査業務成果報告書, 202 pp.
- 吉田邦一, 1999. 堆積盆地構造が地震動に与える影響: 札幌都市圏において, 北海道大学大学院理学研究科修士論文, 71 pp.