

## 日高中軸帯北部における反射法地震探査

岩崎貴哉<sup>1)</sup>・佐藤比呂志<sup>1)</sup>・平田 直<sup>1)</sup>・伊藤谷生<sup>2)</sup>・森谷武男<sup>3)</sup>・蔵下英司<sup>1)</sup>・川中 卓<sup>4)</sup>・  
小澤岳史<sup>4)</sup>・一ノ瀬洋一郎<sup>1)</sup>・坂 守<sup>1)</sup>・武田哲也<sup>1)</sup>・加藤 亘<sup>1)</sup>・吉川 猛<sup>5)</sup>・在田一則<sup>3)</sup>・  
高波鉄夫<sup>3)</sup>・山本明彦<sup>3)</sup>・吉井敏尅<sup>1)</sup>・井川 猛<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> 東京大学地震研究所

<sup>2)</sup> 千葉大学理学部

<sup>3)</sup> 北海道大学理学研究科

<sup>4)</sup> 株式会社 地球科学総合研究所

<sup>5)</sup> 千葉大学自然科学研究科

## Seismic Reflection Experiment in the Northern Part of the Hidaka Collision Zone, Hokkaido, Japan

Takaia Iwasaki<sup>1)</sup>, Hiroshi Sato<sup>1)</sup>, Naoshi Hirata<sup>1)</sup>, Tanio Ito<sup>2)</sup>, Takeo Moriya<sup>3)</sup>,  
Eiji Kurashimo<sup>1)</sup>, Taku Kawanaka<sup>4)</sup>, Takeshi Kozawa<sup>4)</sup>, Yoichiro Ichinose<sup>1)</sup>,  
Mamoru Saka<sup>1)</sup>, Tetsuya Takeda<sup>1)</sup>, Wataru Kato<sup>1)</sup>, Takeshi Yoshikawa<sup>5)</sup>, Kazunori Arita<sup>3)</sup>,  
Tetsuo Takanami<sup>3)</sup>, Akihiko Yamamoto<sup>3)</sup>, Toshikatu Yoshii<sup>1)</sup> and Takeshi Ikawa<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

<sup>2)</sup> Faculty of Science, Chiba University

<sup>3)</sup> Graduate School of Science, Hokkaido University

<sup>4)</sup> Japex Geoscience Institute Inc.

<sup>5)</sup> Graduate School of Natural Science, Chiba University

### Abstract

In 1998, a seismic reflection experiment was conducted in the northern part of the Hidaka collision zone, Hokkaido, Japan. The aim of this experiment was to investigate the style of crustal deformation associated with the collision of the Kuril Forearc against the Northern Honshu Arc, which has lasted since the late Miocene. Two profiles with 21- and 10-km lengths were shot using both vibroseis and dynamite sources. In addition, we deployed 44 offline recorders to map the deeper part of the crust. These data are also used to constrain the crustal velocities from a seismic refraction approach. This paper outlines the experiment with some representative seismic wave data obtained.

**Key words:** reflection, collision, arc, deformation, Hidaka

### 1. 緒 言

北海道中軸部は、ジュラ紀後期から白亜紀にかけての付加帯の形成、新生代初期のユーラシア・オホーツク両ブロックの斜め衝突、中新世後期に始まった千島前弧の衝突という幾つかの地質学的イベントで特徴づけられた興味深い地域である（例えば Kimura, 1994）。現在、この地域は千島弧の衝突に支配された圧縮場にある。北海道中軸部で現在進行中の地殻活動を理解するためには、

上述の地殻形成・再編過程に関する詳細な理解が必要である。この地域の地質については、1980年代にその概略が明らかにされた。また、1980-90年代前半の幾つかの調査によって、大局的な地震学的構造（屈折法やトモグラフィ）及び電磁気学的構造が求められている（Miyamachi *et al.*, 1994; Ogawa *et al.*, 1994; Ozel *et al.*, 1996; Moriya *et al.*, 1998; Iwasaki *et al.*, 1998; Fig. 1a）。さらに、中軸帯南部においては、1994-97年に3回の反射

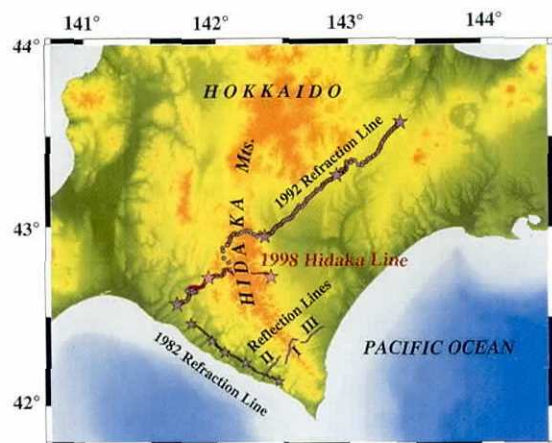


Fig. 1a. Location map of the previous seismic experiments. Seismic refraction experiments were conducted in 1984 and 1992 (Morita *et al.*, 1998, Iwasaki *et al.*, 1998). Profile lines of I-III indicate seismic reflection experiments in 1994-1997 (Arita *et al.*, 1997, Ito *et al.*, 1997 and 1998, Tsumura *et al.* (1999).

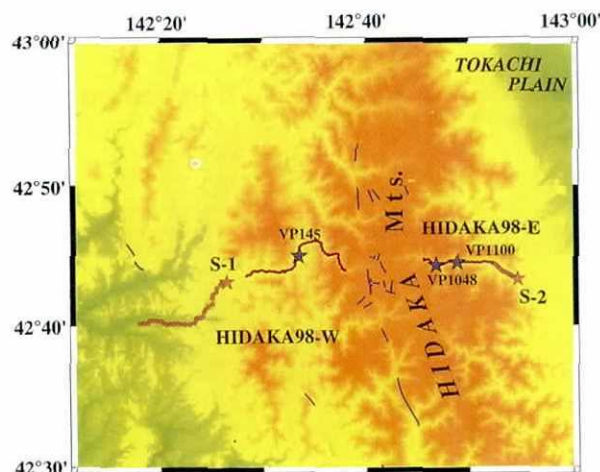


Fig. 1b. Location map of the 1998 seismic reflection experiment. Solid lines indicate two profile lines of HIDAKA98-W and E. Stars and solid circles respectively denote dynamite shot points and observation points using an offline recorder. Shot points with use of vibroseis (VP145, 1048 and 1100) are also shown.

法地震探査が行われ、地下深部断層系のイメージングや地殻内反射体の存在、地殻の剥離の実体が明らかになってきた (Arita *et al.*, 1998; Tsumura *et al.*, 1999; 伊藤他 1998, 1999; 伊藤 1999). これらの研究により、北海道中軸部は、衝突による地殻変形過程を地質学と地球物理学の両面から研究する最適のフィールドとなった。しかしながら、白亜紀から現在に至る地殻構造の変遷をモデル

Table 1. Experimental specifications of receiver lines.

	HIDAKA98-W	HIDAKA98-E
Line length	21 km	10 km
Number of R.P.	312	208
Geophone Spacing		
UM-2 (10Hz)	50-150m	50m
LRS-1033 (4.5Hz)*	-	200m
TDC-II (4.5Hz)*	-	200m
L-22D (2.2Hz)	-	200m
Recording system	GDAPS-4	GDAPS-4
Number of channels	312	400
Sampling interval	4ms	
Record length		
vibrator	20 sec	
dynamite	40 sec	
Data format	SEG-Y	

\* 3-component geophone.

化する上で決定的に重要な衝突帯深部の構造やその前縁部の詳細な形状・構造に関しては、まだ多くの不明の点が残されている。また、上記のような中軸帯南端部で見られた地殻変形様式が、中軸帯北部～中部でも進行しているかどうか、この衝突帯のテクトニクスの全貌を明らかにする上で重要であろう。

1998年11月3-23日、日高衝突帯の北部の地殻構造解明を目的とした反射法地震探査が行われた (Fig. 1b)。日本のような複雑・急峻な地形における反射法地震探査では、観測・データ通信等に特別の配慮が必要である。本実験は、日高山脈という険しい地形下における実験システム開発という副次的な目的を持つ。本論文では、その実験の概要と得られた地震波形記録、走時データなどの基本的なデータを示す。

## 2. 実験の概要

### 2.1 測線及び受振系システム

本探査では、日高山脈の急峻な地形のために測線を東西に2分割した (HIDAKA98-W 及び HIDAKA98-E, Fig. 1b)。前者は、日高山脈西麓の沙流郡豊糠地域 (額平川沿い) の全長 21 km の測線である。後者は、帯広市南西部の戸蔭別地域 (戸蔭別川沿い) の全長 10 km の測線である。HIDAKA98-W 測線の周辺の地質は、西から石清水層、蝦夷累層群、空知層群、日高層群に相当するのに対し、HIDAKA98-E 測線は主に日高変成岩類分布域に対応する。

両方の測線の受振系のパラメータを、Table 1 にまとめた。HIDAKA98-W 測線の総チャンネル数は 312 であ

る。測線が屈曲しているために、その主方向である東西方向部分では 50 m 間隔、直交する南北方向部分では 150 m 間隔に受振点を設置した。HIDAKA98-E 測線の受振点間隔は 50 m である。この測線では 3 種類の受振器を用いており、UM-2 (固有周波数 10 Hz 上下動) を 50 m 間隔で、L-22D (2 Hz 上下動) 及び LRS-1033 または TDC-II (4.5 Hz 3 成分) を 200 m 間隔で配置した。特性の異なる受振器を併用した目的は、深部地殻構造マッピングに適切な周波数帯域を調べ、今後の研究に役立てるためである。また、水平動の観測は、衝突帯の S 波速度構造とともにその物性・組成に対する情報を得ることを目指すものである。このような観測形態のため、HIDAKA98-E の総チャンネル数は 400 となった。

## 2.2 発振系システム

制御震源として、震源車 (バイプロサイス) 及びダイ

Table 2a. Experimental specifications for vibrator shots.

	HIDAKA98-W	HIDAKA98-E
Number of shots	50	24
Shot interval	200-300m	
Vibrator	BW/MK4+Y2400 4units	
Sweep freq.	6-30 Hz	
Sweep length	16 sec	
Sweep mode	Linear up sweep	
Stack	20-30	

ナマイトを用いた。ダイナマイト発振点は、HIDAKA 98-W 測線の西側および HIDAKA98-E 測線の東側にそれぞれ 1 点設けた (Fig. 1b の S-1 および S-2)。薬量は、それぞれ 100 kg である。発振系のパラメータを、Table 2 にまとめた。

通常の反射法地震探査においては、発振時刻に発生させる TB 信号を受けてデータ取得が開始される。従って受振器で取得された時刻は、発振時刻からの相対時刻となり、直達波および反射波などの走時から、見かけ速度および RMS 速度情報の抽出が可能である。このように、震源と受振器が直結したデータ取得システムを用いる場合には、正確な発振時刻は必要ではない。しかしながら、後述のオフラインレコーダを用いた単点観測では、各々のショットに対するデータを“切り出す”為に絶対時刻情報が必須である。今回の観測では、探鉱器および各オフラインレコーダ受振器に GPS (Global Positioning System) 時計を配置し、探鉱器が取得したすべての TB 時刻を記録した (Table 2b)。

## 2.3 二測線間の通信システム (master-slave operation)

本実験では、HIDAKA98-W 測線 (312 チャンネル) および HIDAKA98-E 測線 (400 チャンネル) に展開した受振器で同時観測を行った。しかしながら、両測線は標高 2,000 m を越える日高山脈に阻まれており、受振器設置はもとより測線ケーブル敷設も困難である。これは、単一システムによる二測線全体のデータ取得が不可能で

Table 2b. Experimental specification of dynamite shots.

Shot	Latitude (deg.-min.-sec.)	Longitude (deg.-min.-sec.)	Height(m)	Date	Shot Time(JST)	Charge(kg)
S-1	42-43-12.27N	142-26-32.29E	247.6	1998.11.17	16:15:02.191	100
S-2	42-43-22.18	142-54-43.06	397.0	1998.11.17	10:30:02.303	100

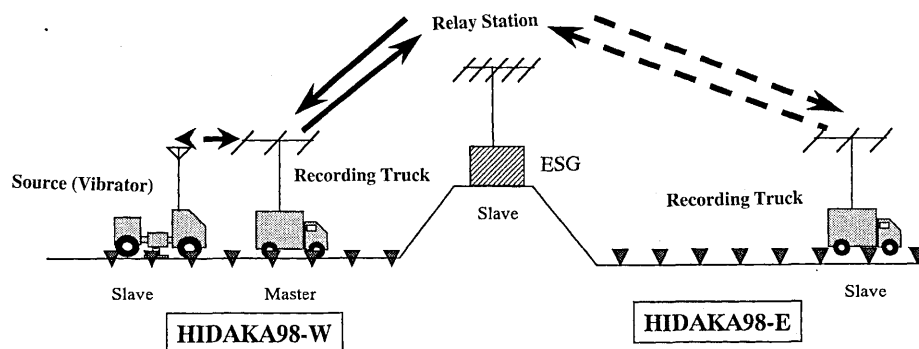


Fig. 2. A block diagram for a communication system between HIDAKA98-W and E profile lines. ESG: Encode Sweep Generator.

あることを意味する。そこで、両測線に G-DAPS4 探鉱器システムを一セットずつ構築し、master-slave operation によって二つの収録システムを同期させて同時データ取得を行った。また、両観測車間の通信状況が必ずしも良好でなかったため、平取町岩知志に、中継用の encoder を設置し、観測車間の発振制御信号および無線 (talk) の中継を行った。Fig. 2 には、master-slave system を用いたバイブロサイス発振時のデータ取得概念図を示した。本実験のバイブレーター震源を用いたデータ取得には、Pelton 社製の encode sweep generator ADVANCE II (ESG) を用いており、この ESG で master および slave の設定を行った。ESG にはあらかじめ同一のスweepコードを入力してあり、slave となった ESG は master からの信号により、自動的に master と同一のスweepコードを選択する。この図は HIDA KA 98-W の探鉱器を用いてバイブレータ発振をコントロールした場合の例である。slave である HIDA KA 98-E の探鉱器は、HIDA KA 98-W 側の発振信号 (TB) を受けてデータ取得を開始することになる。

#### 2.4 オフラインレコーダによるダイナマイトショットの観測

本実験では、反射測線の延長上にオフラインレコーダを展開し、より地下深部の情報を得るとともに、測線下の速度構造を屈折・広角反射法的に推定することを目指した。反射法探査測線上の速度構造をより精度よく求めることは、地下深部反射体のマッピングにとって必要不可欠な条件である。

本実験では、Fig. 1 b 及び Table 3 に示される位置に合計 44 台のオフラインレコーダを設置し、ダイナマイトショットの観測を行った。すべての点とも白山工業社製 LS8000SH のデジタル型レコーダを用いた上下動 1 成分観測である。使用した地震計は Mark Products 社製の L-22D 型地震計 (固有周波数 2.2 Hz) で、ダンピング定数を 0.7 に設定した。各レコーダのサンプリング周期は、5 ms である。レコーダの内部クロックは GPS 信号によって補正されており、その刻時精度は、設定したサンプリング周期に比べて十分高い。

### 3. データ処理

#### 3.1 記録の特徴

反射法測線上のバイブレータによるショットの記録 (shot gather) を Fig. 3 に示す。初動については、両測線とも全体に渡って追跡できる。一方、反射波は、両測線とも往復走時で 3-4 sec 前後に確認できる。ダイナマイト震源による記録を Fig. 4 に示した。二つのショット

とも、広角反射が明瞭に記録されていることがわかる。Fig. 5 は、HIDA KA 98-E 測線上の 3 種類の受振器の記録を比較したものである。全ての記録とも良好で、卓越波長については極端な差が無く、例えば往復走時 2-3 sec 前後のイベントには良い対応関係が見られる。しかし、総じて UM-2 (10 Hz) の記録の S/N が高い。これは、UM-2 が 9 個の受振器をグルーピングしているのに対し、他は単体で使用しているためであろう。いずれにせよ、これらのデータは深部構造探査にどのような帯域の地震波が有効かを知る上で重要であり、更に詳細な解析が必要である。

反射測線延長上に展開したオフラインレコーダの記録を Fig. 6 に示した。両ショットとも、日高山脈の越えた反対側の観測点における広角反射波が必ずしも明瞭でない。しかし、反射記録と合わせたセクションを作成することによって、広角反射波が震央距離で 40-45 km まで達していることが確認できる (Fig. 7)。

#### 3.2 反射法データ処理

本実験の受振測線は、日高山脈の挟んで二測線 (HIDA KA 98-W および HIDA KA 98-E) に分割せざるを得なかったが、2.3 で述べたように master-slave operation によって、可能な限り全ての発振記録を両測線で同時に取得した。これによって、反射点が受振測線の展開できなかった日高山脈直下にも分布することになり、日高山脈直下の深部構造のマッピングが可能となった。そこで、重合測線は東西方向の 1 本として、以下の処理を進めた。

まず屈折初動解析を行い、各受振点及び発振点のタイムタム、表層基底速度を求め、更に初動ミュート、最小位相変換、振幅補償、速度フィルター及びデコンボリューションの各プロセスを経て、CDP 編集を行った。その後、静補正、速度解析、NMO 補正、ミュート、共通反射点重合、各トレースの振幅補正、フィルタリング、マイグレーションの順に処理を行った。

#### 3.3 オフラインレコーダのデータ処理

本実験で行われた二発のダイナマイトショットは、反射法測線上の探鉱器及びオフラインレコーダの両方で観測されている。観測地域全体の速度構造の推定のためにこれらのデータを統合を行った。得られたレコードセクションは、すでに Fig. 7 に示してある。両方のデータの初動及び反射波の連続性は良好で、これらを屈折法的に処理することによってより信頼性の高い構造モデルが得られると期待される。

### 4. 結 果

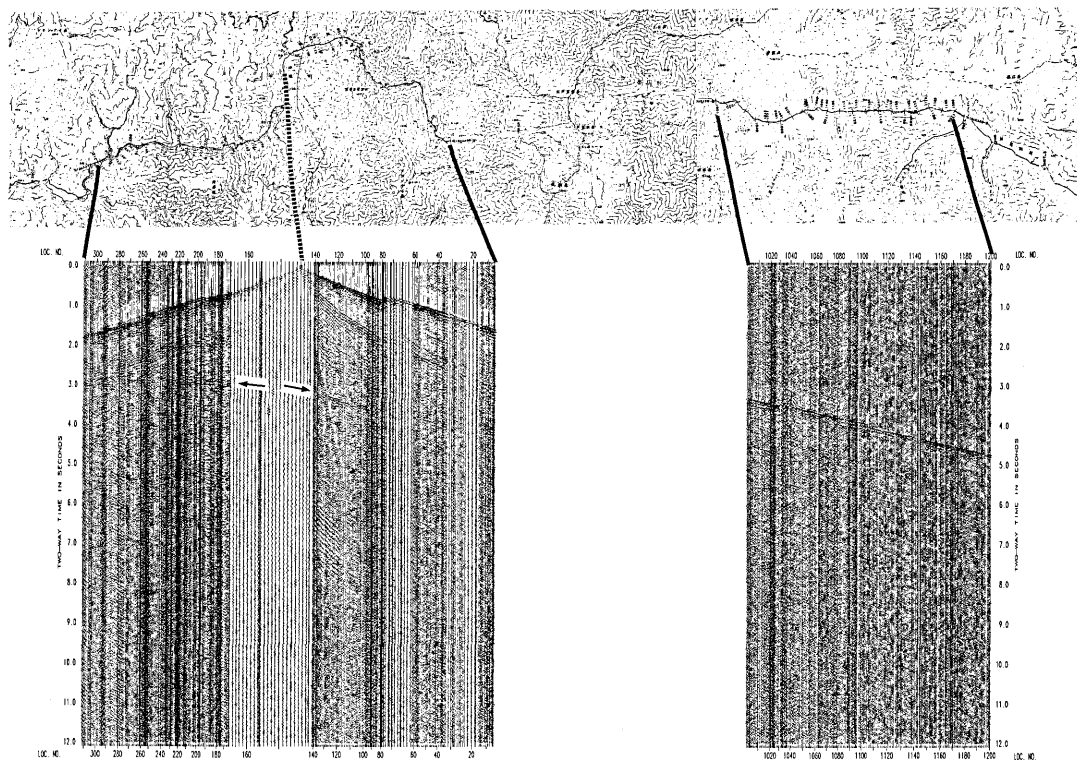
Table 3. Locations of offline recorders.

Stn. Number	Code	Latitude (deg.-min.-sec.)	Longitude (deg.-min.-sec.)	Height(m)
001	hkd01	42-43-10.5N	142-26-06.5E	240
002	hkd02	42-43-02.1	142-25-55.0	210
003	hkd03	42-42-46.7	142-25-33.2	200
004	hkd04	42-42-30.5	142-25-29.6	190
005	hkd05	42-42-19.3	142-25-10.1	190
006	hkd06	42-42-04.2	142-25-07.4	182
007	hkd07	42-41-41.1	142-25-08.2	180
008	hkd08	42-41-29.0	142-24-44.0	160
009	hkd09	42-41-15.0	142-24-25.1	200
010	hkd10	42-41-00.3	142-24-16.1	195
011	hkd11	42-40-40.4	142-24-07.9	180
012	hkd12	42-40-33.1	142-23-54.2	150
013	hkd13	42-40-34.9	142-23-33.0	185
014	hkd14	42-40-11.6	142-23-18.3	180
015	hkd15	42-40-06.6	142-22-52.6	185
016	hkd16	42-40-06.2	142-22-25.5	173
017	hkd17	42-40-08.0	142-22-03.7	168
018	hkd18	42-40-09.1	142-21-42.1	166
019	hkd19	42-40-09.5	142-21-20.0	160
020	hkd20	42-40-08.1	142-20-58.2	162
021	hkd21	42-40-06.5	142-20-36.3	165
022	hkd22	42-40-13.5	142-20-18.6	160
023	hkd23	42-40-21.2	142-20-04.4	150
024	hkd24	42-40-23.0	142-19-42.2	148
025	hkd25	42-40-24.2	142-19-21.3	143
026	hkd26	42-40-24.0	142-19-00.6	135
027	hkd27	42-40-13.0	142-18-47.9	148
028	hkd28	42-40-12.9	142-18-25.5	142
029	hkd29	42-40-11.9	142-18-03.2	135
030	hkd30	42-40-21.9	142-23-27.5	187
031	eri01	42-44-30.3	142-52-21.3	465
032	eri02	42-44-25.9	142-52-33.7	465
033	eri03	42-44-19.1	142-52-44.8	457
034	eri04	42-44-12.4	142-52-52.3	453
035	eri05	42-44-05.5	142-53-01.6	445
036	eri06	42-43-58.0	142-53-13.8	440
037	eri07	42-43-53.5	142-53-21.8	440
038	eri08	42-43-49.3	142-53-35.8	425
039	eri09	42-43-45.5	142-53-48.5	420
040	eri10	42-43-39.4	142-53-56.9	415
041	eri11	42-43-36.2	142-54-06.8	410
042	eri12	42-43-31.2	142-54-17.7	403
043	eri13	42-43-27.5	142-54-27.4	400
044	eri14	42-43-24.9	142-54-41.9	394

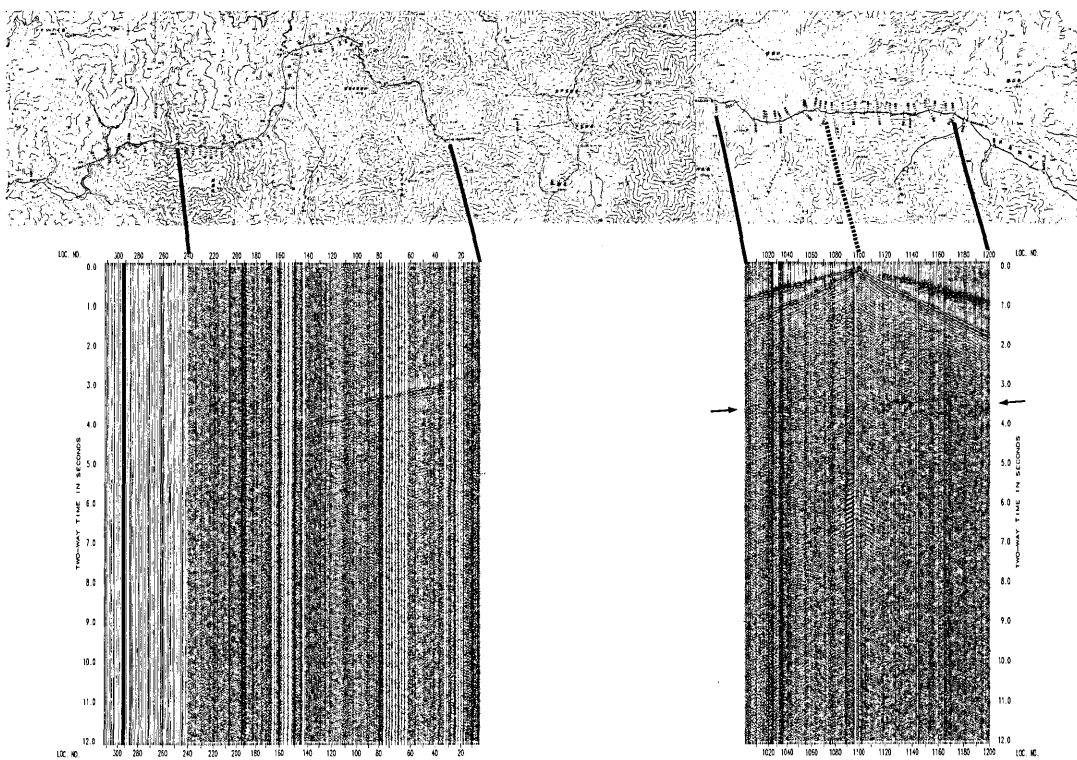
3.3 で述べた屈折法解析によれば, HIDA KA98-E 測線では, その東端部を除いて表層 (堆積層) は極めて薄く, 6 km/s の P 波速度を持つ物質が地表近くまで露出して

いる. 東端部の表層の P 波速度は, 4.0-4.3 km/s, その厚さは 200-300 m である. この結果は, 北海道を北東-南西方向に横断する屈折法測線の結果と調和的である



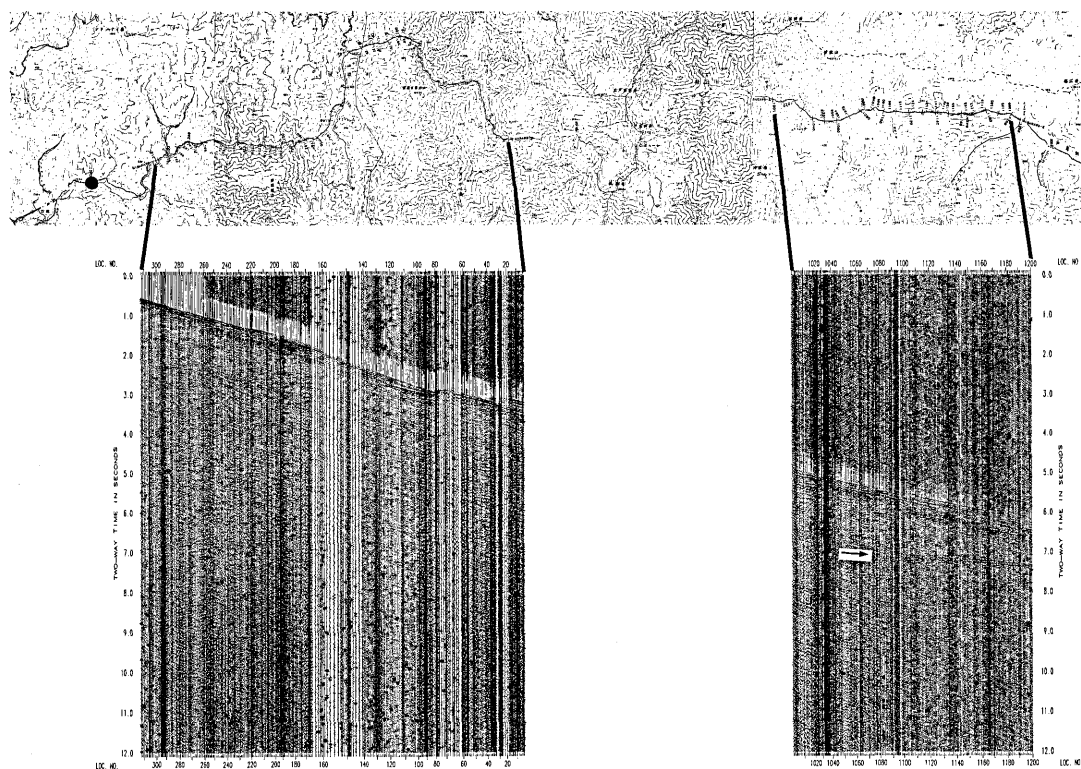


a. VP145 on HIDAKA98-W.

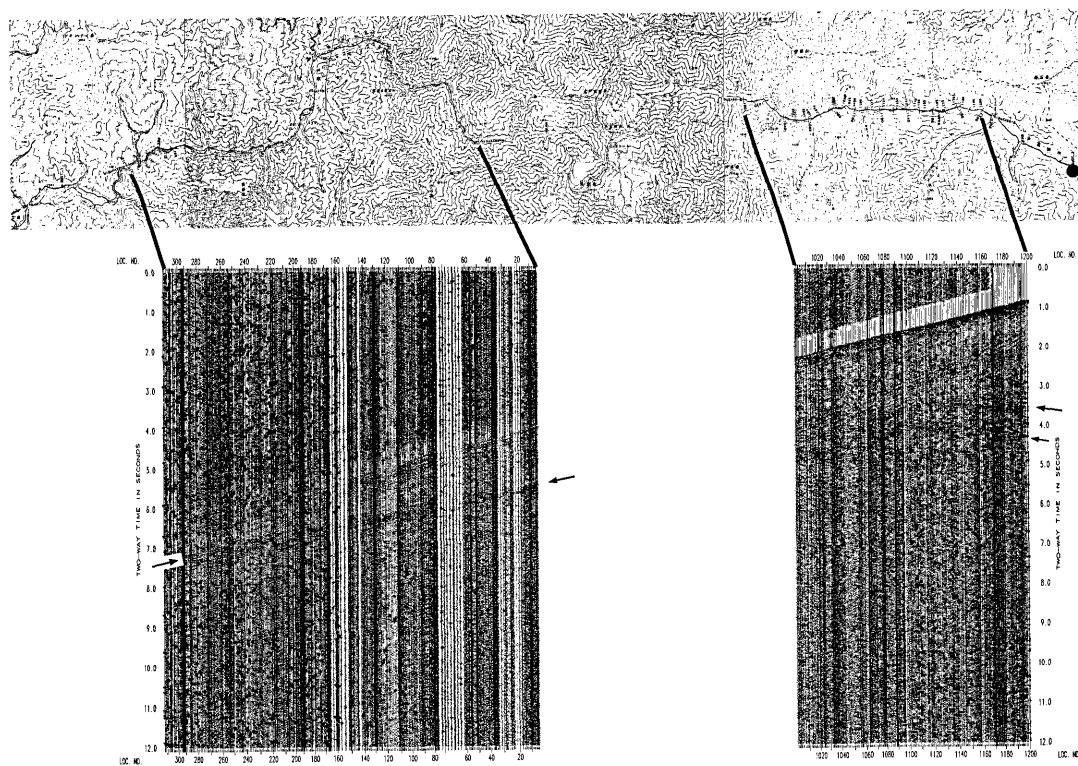


b. VP1100 on HIDAKA98-E.

Fig. 3. Examples of seismic records from shots at VP145 and VP1100 (see Fig. 1 b).



a. S-1 on HIDA98-W.



b. S-2 on HIDA98-E.

Fig. 4. Examples of seismic records from dynamite shots.

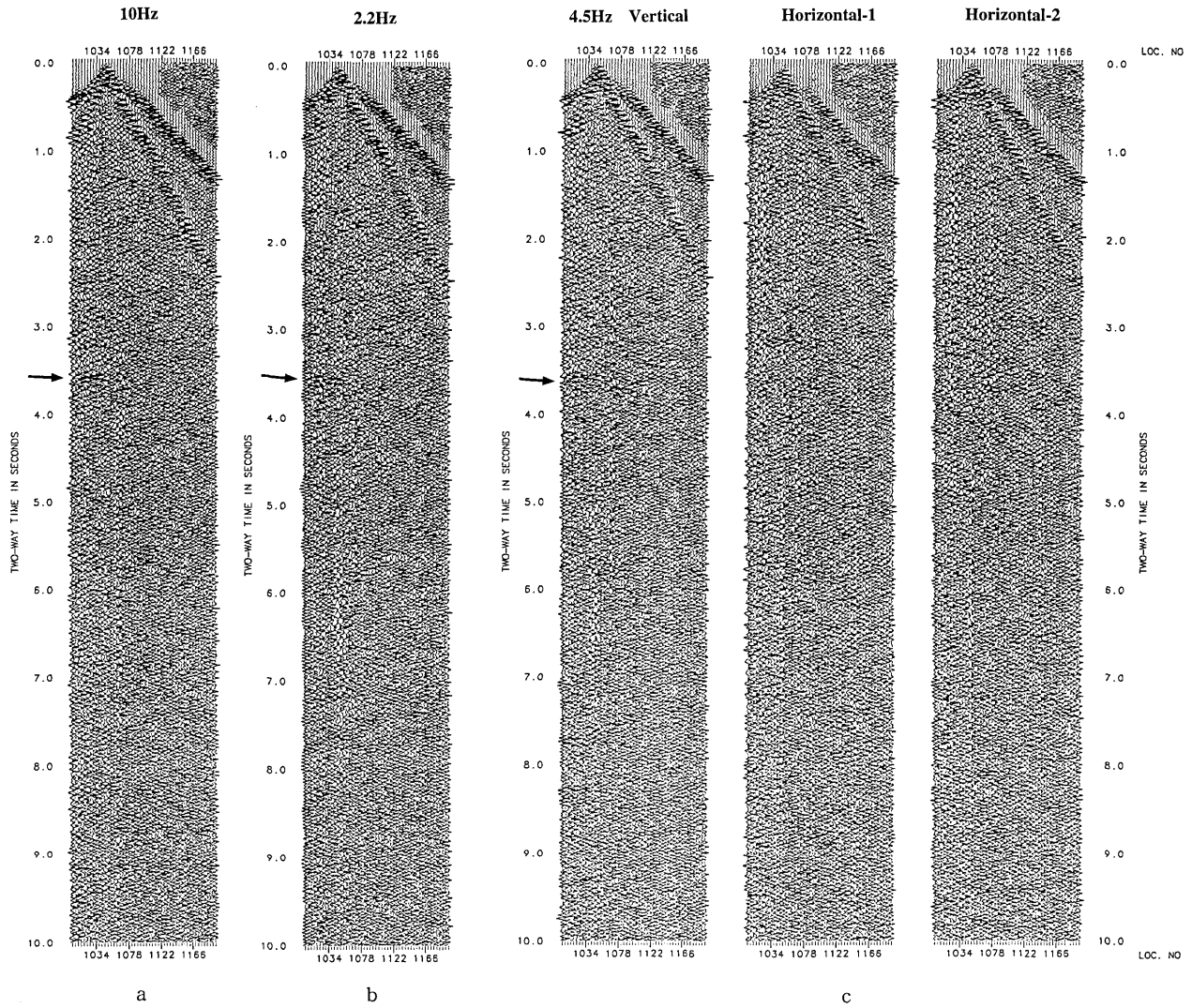
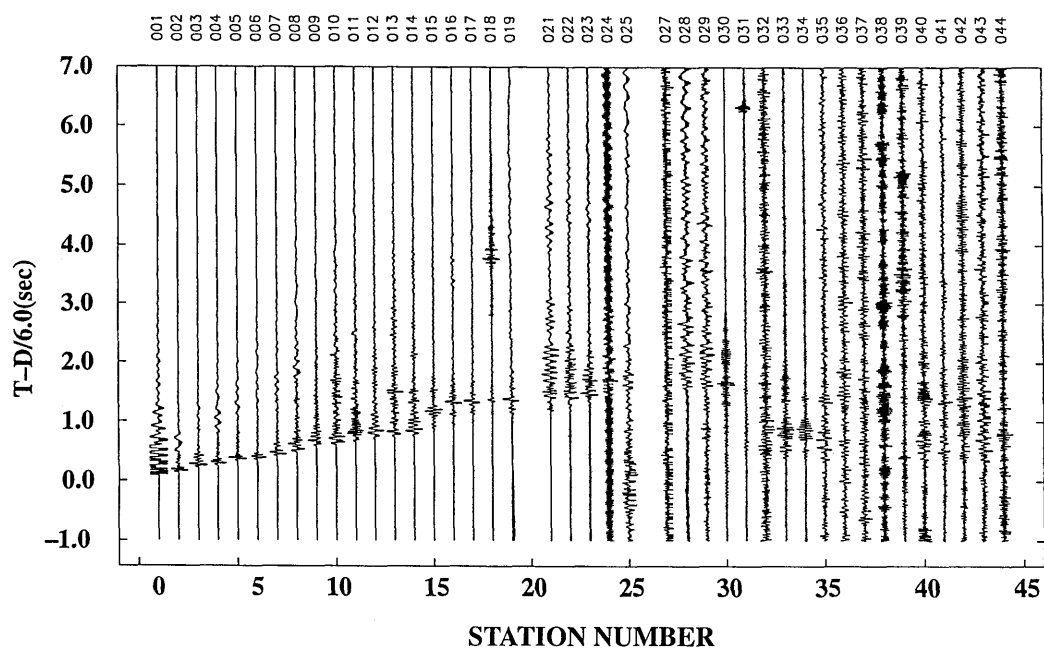


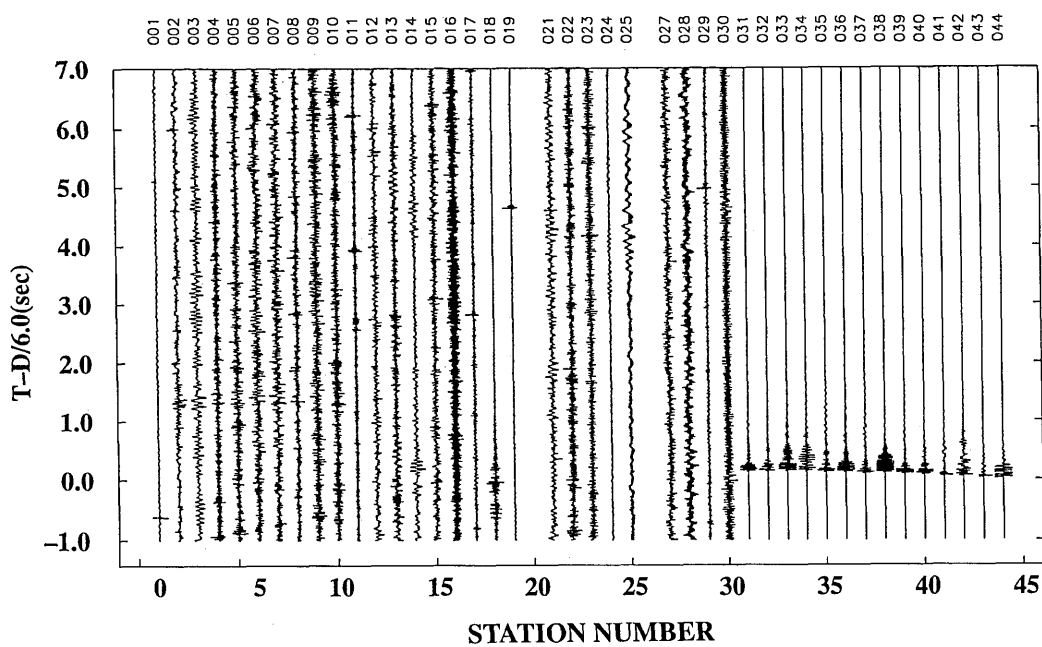
Fig. 5. Comparison of seismic records from a vibrator shot at VP1048 (HIDAKA98-E, see Fig. 1 b) observed by different geophones.

- a. LRS-1033 (4.5 Hz, 3-component).
- b. UM-2 (10 Hz, vertical).
- c. L-22D (2.2 Hz, vertical).



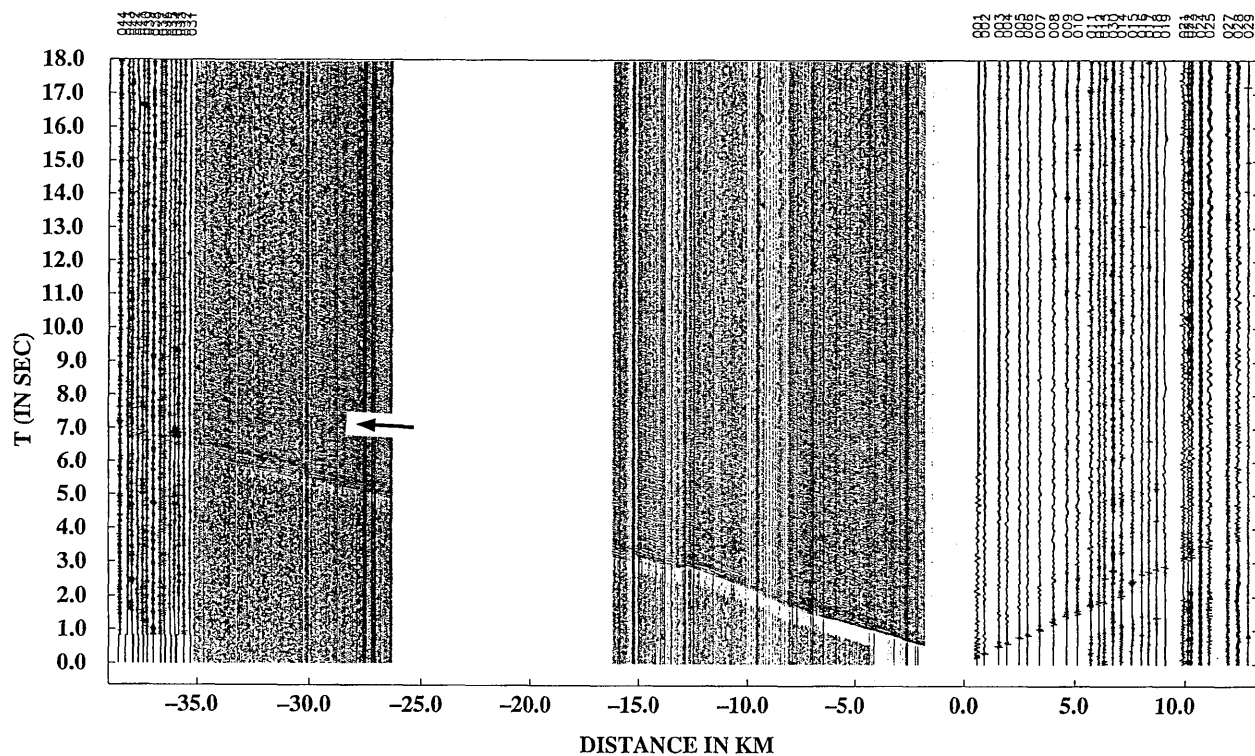


a. S-1 on HIDA98-W.

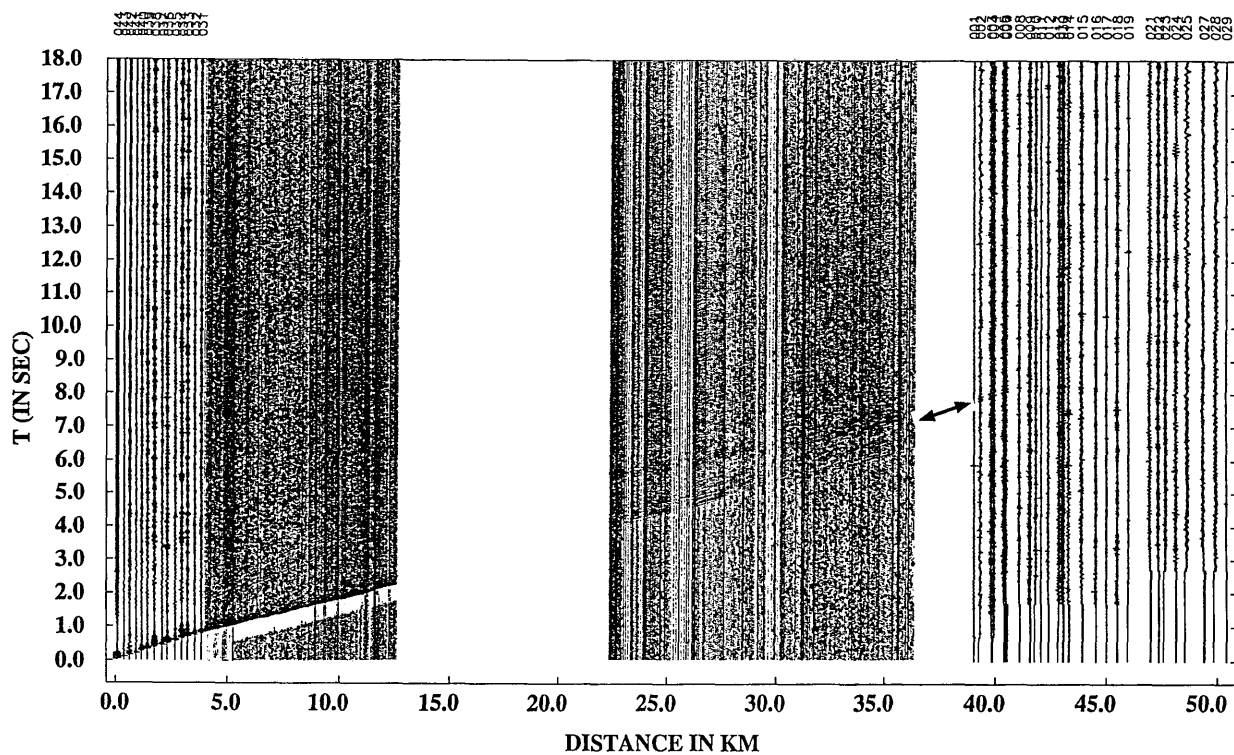


b. S-2 on HIDA98-E.

Fig. 6. Seismic records of dynamite shots from offline recorders.



a. S-1 on HIDAKA98-W.



b. S-2 on HIDAKA98-E.

Fig. 7 Composite seismic records for dynamite shots. CDP line data and offline data are combined.

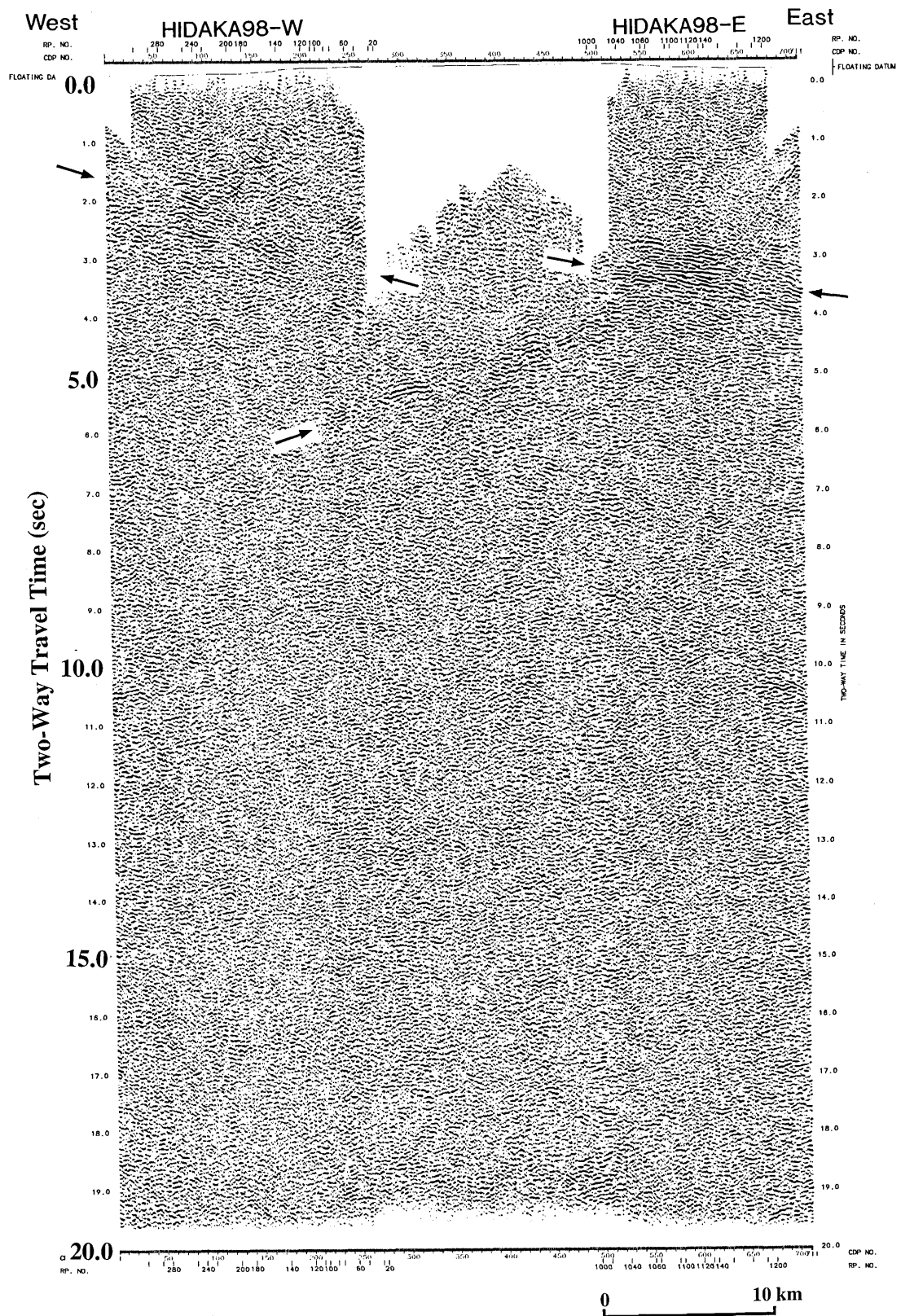


Fig. 8. Time section of reflection data. Two eastward dipping events are seen at 1.5-4 sec in t.w.t. In the eastern and central parts, a westward dipping event is recognized in the range of 3-7.5 sec.

(Iwasaki *et al.*, 1998, Fig. 1a). 一方, HIDA98-W の両端においては, 堆積層が厚い. 即ち, P 波速度 2.6–2.8 km/s, 厚さ 0.1–0.2 km/s の最表層の下に, 速度が 3.0–3.9 km/s の層がおおよそ 2 km の厚さで存在する. また, 堆積層の下に基盤 P 波速度は, 5.8–6.1 km/s と求められた. 一方, Fig. 7 において顕著な後続波に対応する反射面は, 深さがおおよそ 12 km に求められた.

Fig. 8 に, 反射法データ処理の結果例 (タイムセクション) を示した. この結果によれば, 測線の東側及び西側に西上がりのイベントが見られる (往復走時 1.5–4 sec). 1999 年には, 地震予知研究計画の一環として HIDA98-E 測線の東側で大規模な反射法探査が実施されている (Iwasaki *et al.*, 2000). その結果によれば, やはり顕著な東下がりの反射面が確認されており, 本測線の結果との関連性が注目される. おそらくこれらの反射体群は, 日高山脈に向かって衝上する千島弧側の中部・下部地殻に対応するものであろう. また, 測線中央部では, 東上がりのイベントが見られ, その地質学的解釈は, 今後の検討課題となろう. 更に, 往復走時 10–11 sec 前後にもイベントが見られるが, その信頼性等についても十分な検討が必要であろう.

## 5. まとめ

1998 年 11 月, 北海道中軸部, 日高衝突帯北部の地殻変形様式の解明を目指した反射法地震探査を行った. 観測地域の急峻な地形のため, 日高山脈の西麓と東麓それぞれ測線を設け, 両者の間の通信システムを展開することによって, 各ショットの記録を両方の測線で同時に記録した. 西側測線の全長は 21 km, 東側測線の全長は 10 km である. 更に, より深部からの情報を獲得し, また, 測線下の速度構造決定の信頼性の向上させることを目的として, 両測線の延長上に合計 44 台のオフラインレコーダを展開した.

これまでの結果によれば, 日高山脈東麓では, 表層 (堆積層) は極めて薄く, 6 km/s の P 波速度を持つ物質が地表近くまで露出している. 一方, 日高山脈の西麓では, P 波速度 2.6–3.9 km/s の堆積物が厚さ 2 km にわたって存在している. また, 反射法断面では, 千島弧側地殻の衝上を示唆するイベントが, 往復走時で 3–4 sec の部分に確認された.

## 謝 辞

本実験の日高山脈西側測線 (HIDA98-W) の実験・観測及び日高山脈東側測線 (HIDA98-E) の観測については, 文部省科学研究費基盤 (A) (2) (課題番号

10304033) によって実施された. 更に HIDA98-E のバイブレータ発振作業については, (株)地球科学総合研究所の費用負担 (自社研究) によって実施した. 本実験の実施にあたり, 株式会社地球科学総合研究所の方々に大変お世話になった. ここに厚く謝意を表する. また, 本稿に対し貴重なご意見を下さった岐阜大学教育学部佐々木嘉三教授及び東京大学地震研究所篠原雅尚助教授に感謝の意を表する.

## 参考文献

- Arita, T., T. Ikawa, T. Ito, A. Yamamoto, M. Saito, Y. Nishida, H. Sato, G. Kimura, T. Watanabe, T. Ikawa and T. Kuroda, 1998, Crustal structure and tectonics of the Hidaka collision zone Hokkaido (Japan), revealed by vibroseis seismic reflection and gravity surveys, *Tectonophysics*, **290**, 197–210.
- Kimura, G., 1994, The latest Cretaceous-early Paleogene rapid growth of accretionary complex and exhumation of high pressure series metamorphic rocks in north-western Pacific margin, *J. Geophys. Res.*, **99**, 22147–22164.
- 伊藤谷生, 1999, 北海道におけるアクティブテクトニクスの特徴はいつ始まったのか, 月刊地球, **21**, 608–613.
- 伊藤谷生・在田一則・井川 崇, 1998, 日高山脈に島弧の衝突をみる一反射法地震探査で島弧深部構造に挑む, 科学, **68**, 72–78.
- 伊藤谷生・森谷武男・井川秀雄・井川 崇・在田一則・津村紀子・篠原雅尚・宮内崇祐・木村 学・奥池司郎・清水信之・井川 猛, 1999, 日高衝突帯におけるデラミネーション・ウェッジ構造, 月刊地球, **21**, 130–136.
- Iwasaki, T., O. Ozel, T. Moriya, S. Suzuki, G. Aoki, T. Maeda and T. Iidaka, 1998, Lateral structural variation across a collision zone in central Hokkaido, Japan, as revealed by wide-angle seismic experiments, *Geophys. J. Int.*, **132**, 435–457.
- Iwasaki, T., K. Arita, N. Hirata, H. Sato, E. Kurashimo, T. Ito, K. Kozawa, T. Kawanaka and T. Ikawa, 2000, Crustal section of arc-arc collision zone, Hokkaido, Japan, from seismic reflection profiling, Programs and Abstracts in 9-th international symposium on deep seismic profiling of the continents and their margins, 25.
- Miyamachi, H., M. Kasahara, S. Suzuki, K. Tanaka and T. Hasegawa, 1994, Seismic velocity structure in the crust and upper mantle beneath northern Japan, *J. Phys. Earth*, **42**, 145–154.
- Moriya, T., H. Okada, T. Matsushima, S. Asano, T. Yoshii and T. Iakami, 1996, Collision structure in the upper crust beneath the southwestern foot of the Hidaka Mountains, Hokkaido Japan, as derived from explosion seismic observations, *Tectonophysics*.
- Ogawa, T., Y. Nishida and M. Makino, 1994, A collision boundary imaged by magnetotellurics, Hidaka Mountains, Central Hokkaido, Japan, *J. Geophys. Res.*, **99**, 22373–22388.
- Ozel, O., T. Moriya, T. Iwasaki, T. Iidaka, S. Sakai, G. Aoki and S. Suzuki, 1996, Crustal structure in the Central Hokkaido, Japan, from a seismic refraction experiment, *J. Fac. Sci., Hokkaido University, Ser. VII (Geophysics)*, **10**, 31–52.

Tsumura, N., H. Ikawa, T. Ikawa, M. Shinohara, T. Ito, K. Arita, T. Moriya, G. Kimura and T. Ikawa, 1999. Delamination-wedge structure beneath the Hidaka collision zone, Central Hokkaido, Japan inferred from seismic

reflection profiling, *Gephys. Res. Lett.*, **26**, 1057-1060.

(Received October 10, 2000)

(Accepted January 26, 2001)