

稠密展開屈折法探査による十勝構造盆地浅部構造の解明

鈴木和子¹⁾・河村知徳²⁾・越後智雄³⁾・岩崎貴哉²⁾・平田 直²⁾・
佐藤比呂志²⁾・宮内崇裕⁴⁾・伊藤谷生⁴⁾*・井川 猛⁵⁾

¹⁾ 千葉大学大学院自然科学研究科 (現)シュルンベルジェ株式会社

²⁾ 東京大学地震研究所

³⁾ 千葉大学大学院自然科学研究科

⁴⁾ 千葉大学理学部

⁵⁾ (株)地球科学総合研究所

Shallow structure of the Tokachi basin revealed by a seismic refraction experiment with dense receiver array, Hokkaido, Japan

Kazuko Suzuki¹⁾, Tomonori, Kawamura²⁾, Tomoo Iechigo³⁾, Takaya Iwasaki²⁾, Naoshi Hirata²⁾, Hiroshi Sato²⁾, Takahiro Miyauchi⁴⁾, Tanio Ito⁴⁾* and Takeshi Ikawa⁵⁾

¹⁾ Graduate School of Science and Technology, Chiba University, Present, Schlumberger K.K.

²⁾ Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

³⁾ Graduate School of Science and Technology, Chiba University

⁴⁾ Faculty of Science Chiba University

⁵⁾ Japex Geoscience Institute Inc.

Abstract

The Tokachi Basin, the second largest sedimentary basin on the Japanese islands, is located in the hinterland of the Hidaka Collision zone, Hokkaido. The eastern part of the basin is bounded by the NS trending Tokachi active fault system, which is an east-dipping reverse fault system. In 1999, an extensive seismic reflection survey was undertaken across this basin, from which important information on the shallow part of the basin structure was obtained. This paper presents the seismological structure from the refraction analysis with its preliminary geological interpretation.

Key words: seismic refraction, dense receiver array, Tokachi basin, Hidaka Collision Zone

日高衝突帯の東側には日本で2番目に大きな十勝構造盆地がひろがっている。この十勝構造盆地は日高衝突帯後背低地の性格を有し、その東縁は活構造としての十勝断層帯(越後他, 2001; 池田他, 2002)に限られる。この十勝構造盆地については、1999年8月「地震予知のための新しい観測研究計画」の一環として受振器稠密展開による十勝平野深部構造反射法地震探査(岩崎他, 2002)が行われた。その際に観測された地震波の走時解析によって、十勝構造盆地の浅部構造に関する貴重なデータ

が得られた(鈴木, 2000)のでその主要部分を報告する。

1. 探査概要

反射法地震探査測線 Hidaka99-1 は、戸蔭別川上流から十勝構造盆地をENE方向に横断して十勝川河畔豊頃に至り、その全長は60 kmに達する(Fig. 1)。戸蔭別川上流から太平に至るまでの16 km余りにわたってオフラインレコーダ(篠原他, 1997)による受振ラインを配置した。この測線(Fig. 1の点線)においては上下動地震

* e-mail : tito@earth.s.chiba-u.ac.jp (〒263-8522 千葉県千葉市弥生町 1-33)

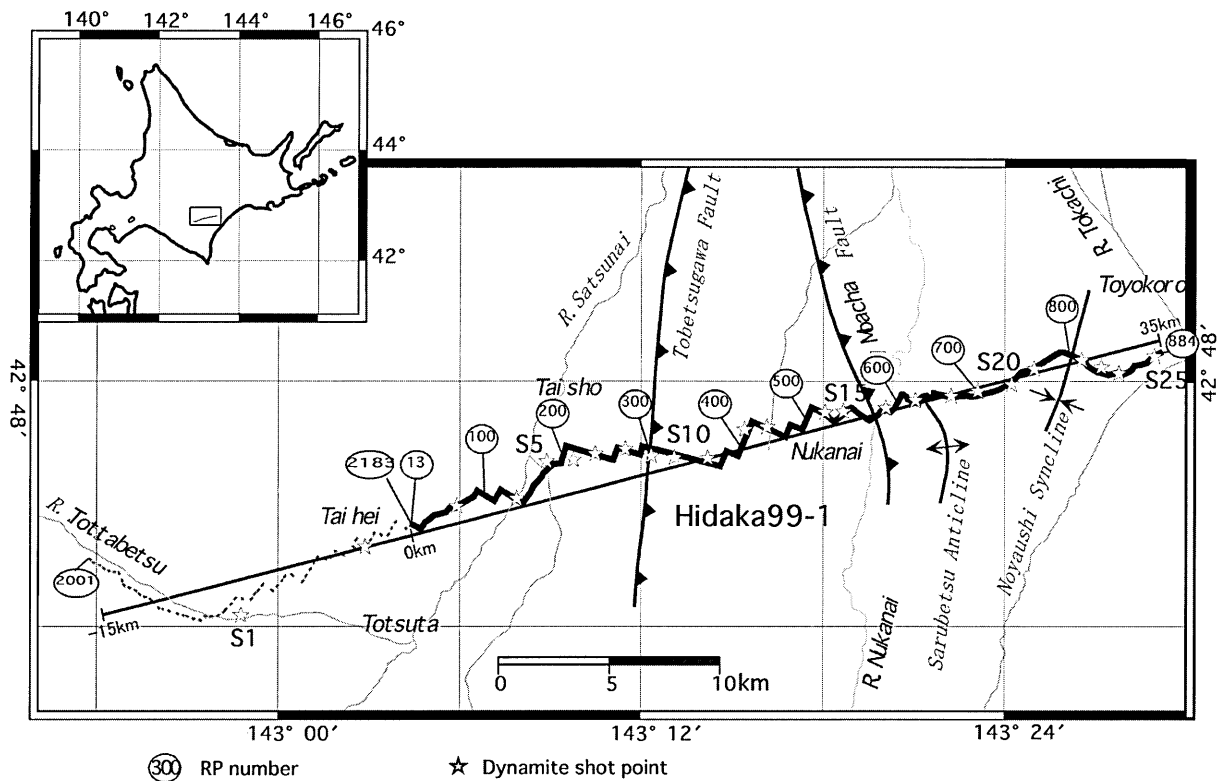


Fig. 1. Seismic line of Hidaka99-1. Solid line: Receiver line with CDP cable (Rp13 to Rp884), Dotted line: Off-line recorder array (Rp2001 to Rp2183). Star: Dynamite shot point (S1 to S25). Geological structure: after Ikeda *et al.* (2002) and Yamaguchi and Sato (1989).

計を 50 m 間隔で 3 台設置したものを 1 セットとし、隣り合うセット間の間隔を 150 m として受振点を配置した。受振点は総計 183 (Rp2001-Rp2183) である。太平洋東の 43 km 余りは CDP ケーブルによる受振ラインに 50 m 間隔で受振器を稠密展開した。この測線 (Fig.1 の太実線) に沿う受振点は総計 872 点 (Rp13-Rp884) となる。発振は 40 kg のダイナマイトを用い、発振点総数は 25 (S1-S25) である。

西端から測線近傍の地質について概説する。まず S1 までは地表に先新第三系基盤岩類 (日高層群) が露出し、S1 以東は豊頃丘陵 (S16 付近) に至るまで広く第四系に覆われている。豊頃丘陵には新第三系が分布し、その層序は中期中新世の十勝忠類層群に始まり、大川層、生花苗層、大樹層、そして鮮新世糠内層となる (山口・佐藤, 1989)。

2. 解 析

測線全体で全てのショットに対して明瞭な初動が観測された。S2 のショットでは震央距離 20 km までは見かけ速度 4000 m/s、20 km 以降は約 6000 m/s であった。この逆測線となる S22 のショットでは発振点から両側に震央距離約 3 km までは見かけ速度 2000 m/s の初動

が観測された。測線西側の震央距離 3~16.6 km での見かけ速度は 5000 m/s、それ以西では 7500 m/s となり、S2 のショットで観測された見かけ速度より速くなっている。また、豊頃丘陵付近では初動が速く到達する傾向があり、測線の東側で発振したものは豊頃丘陵の西側で初動が到達せず、後続波のみ観測された。

本探査では十勝構造盆地を充填する新第三系から第四系の速度構造を、60 km を越える測線に稠密に展開されたすべての受振器の記録を用いて求めた。解析に用いられた発振点間隔は 1~2 km である。

まず最初に CDP ラインに沿う Rp13-Rp884 間で市川他 (1987) による改良タイムターン法を用いて屈折波初動解析を行った。初動の読み取りをした際の見かけ速度は、浅い方から約 2000 m/s、3500 m/s、5000 m/s 前後でほぼ一定となったので、各層の横方向への速度変化はしないものと仮定し、地表から 3 層目までの層境界の深さおよび第 2、3 層の速度を推定した。得られた速度構造による 1 次モデルを Fig.2 に示す。一層目のタイムターン値は 200 ms~400 ms、2 層目は西側で 200 ms を示し、東側へ向かって大きくなり Rp500 付近では 1000 ms となっている。得られた第 2、第 3 層の速度はそれぞれ 3574 m/s、5037 m/s である。Rp180 付近 (S5 札内川東

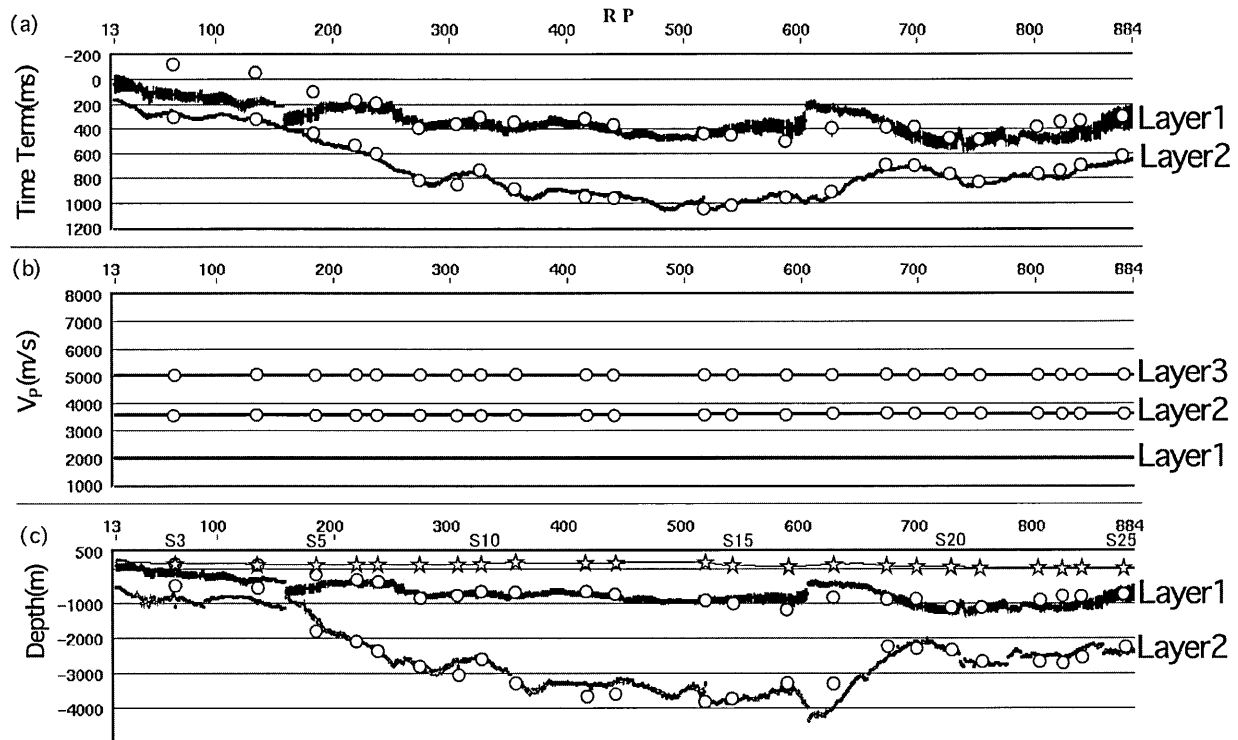


Fig. 2. Shallow structure determined by a time-term method (Ichikawa *et al.*, 1987). (a) Time-terms. A solid line indicates time-terms at receiver points. Time-terms at shot points are shown by open circles. (b) velocities of 1st to 3rd layers. (c) Layer geometry. Stars : shot points.

岸)とRp700 (S19 豊頃丘陵内)付近で第2層の層厚が大きく変化していることがわかる。

次に本探査では、同じ程度の測線長を持つ従来の屈折法探査の場合に比べて受振点の間隔が密であることを利用し、より詳細な速度構造をレイトレーシングを行って求めることを試みた。そのためにすでに求めたタイムターム値と速度を使い、速度構造の1次モデルを作成した。その1次モデルを出発点に、岩崎(1988)の方法を用いて観測走時に合うようにモデルを試行錯誤的に改良した。この際、屈曲した測線の代わりに発振点S2, S11, S22が直線上にのる仮想測線を考え、その測線に対する2次元速度構造を求めた。CDPラインの西端(Rp13)を仮想測線の距離上の原点(0)に設定した(Fig. 1)。最終的に最適となったモデルにおけるレイトレーシングの実例(S2, S11, S22)をFig. 3に示す。最終速度モデルでは理論走時と観測走時の差が一番大きかった豊頃丘陵の部分の走時が良く合うように速度を決めた。

全体的に理論走時と計算走時の走時差は0.1s以内に収まっており、とりわけオフセット距離が小さい部分や豊頃丘陵付近では、その差は0.03s以下と非常に走時差

が小さくなっている。またどのショットにおいても震央距離約10 kmまではよく走時が合っているが、震央距離25 km以上になると走時が大きすぎて、走時差は最大で0.2~0.3sとなる。これは3層よりさらに下の層からの屈折波が初動として到達したためと考えられる。

3. 結果と議論

Fig. 4に最適断面を示す。この断面に関して次の2点で検討を加える。

第1に、層序を検討する。本測線北方をNW-SEに走り糠内西方S15近傍で交差する石油公団(1982) Line7の結果と比較して地層の対比を考察する。まず、糠内付近では第1層(1.8-2.0 km/s)は糠内層+大樹層に、第2層(3.0-3.6 km/s)は生花苗層+大川層に、第3層の上面は十勝忠類層群上面に相当する解釈され、反射法による地層境界や区間速度とも概ね整合的である。しかし、前述のように戸蔭別川沿いには札内川に合流する地点まで先新第三系基盤岩類(日高層群)が地表に露出しており(山口他, 1975)、少なくともS2より西では直下に基盤岩類が存在することは疑いない。従って、得られた速度

S2

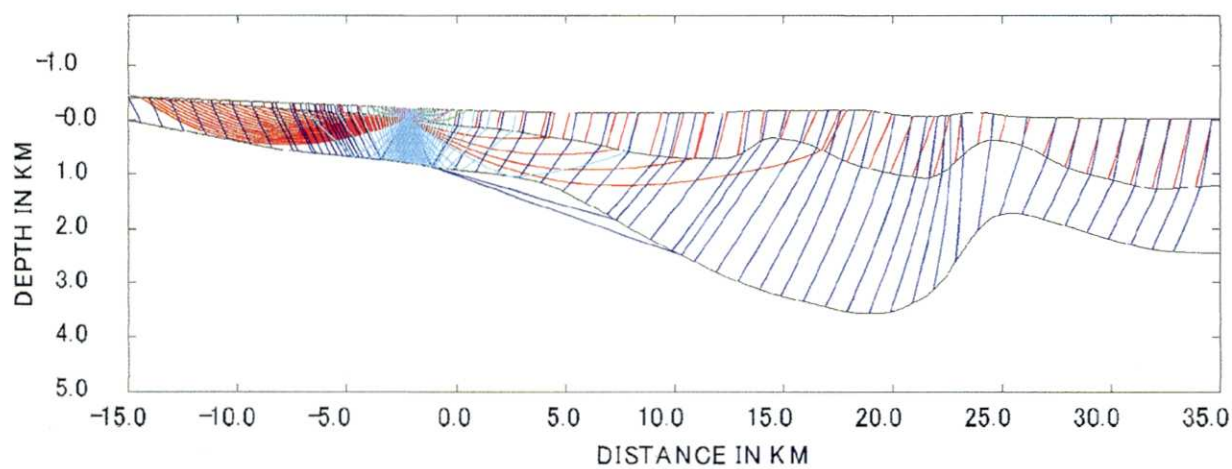
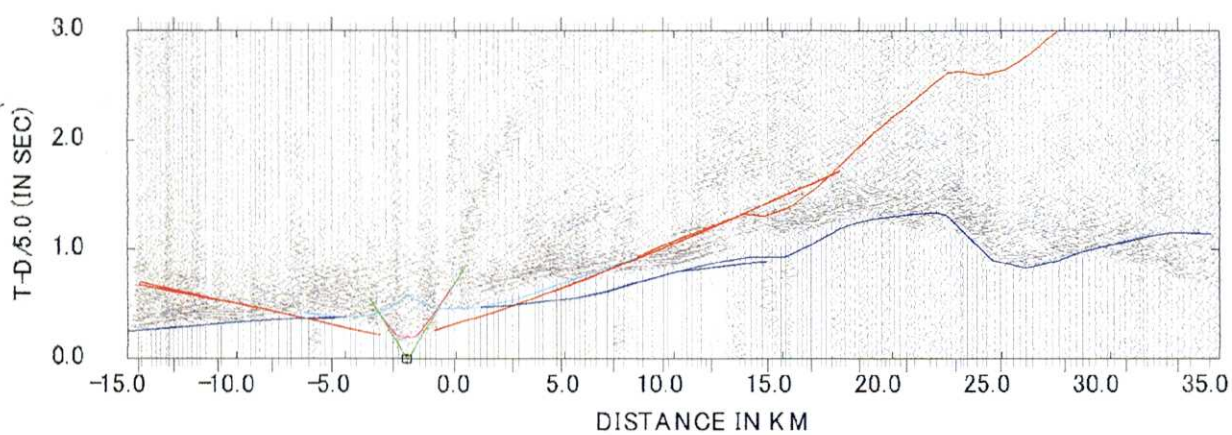
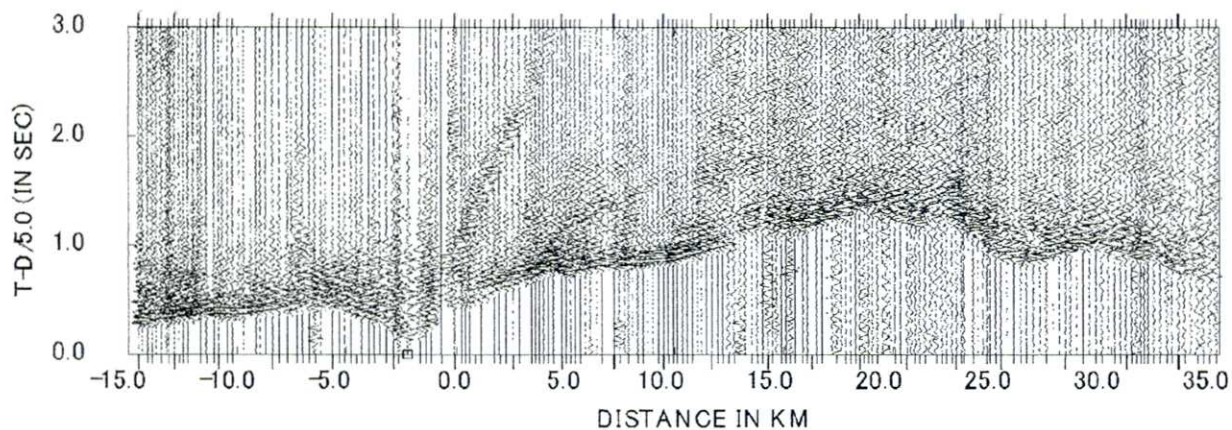


Fig. 3. Results by the ray-tracing method (Iwasaki, 1988). Observed sections and ray-diagrams are shown with travel-times predicted by the method. (1) S2 (2) S11 (3) S22

S11

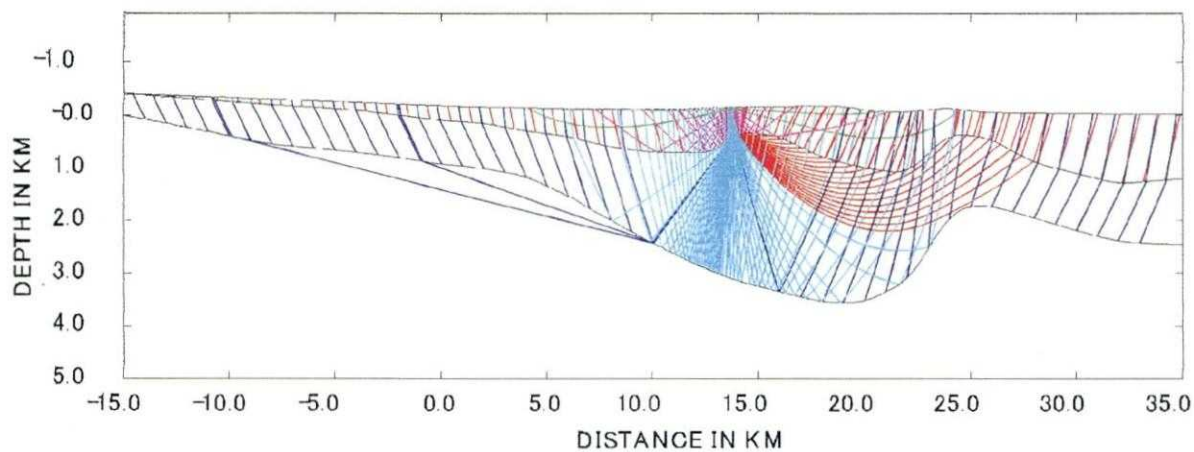
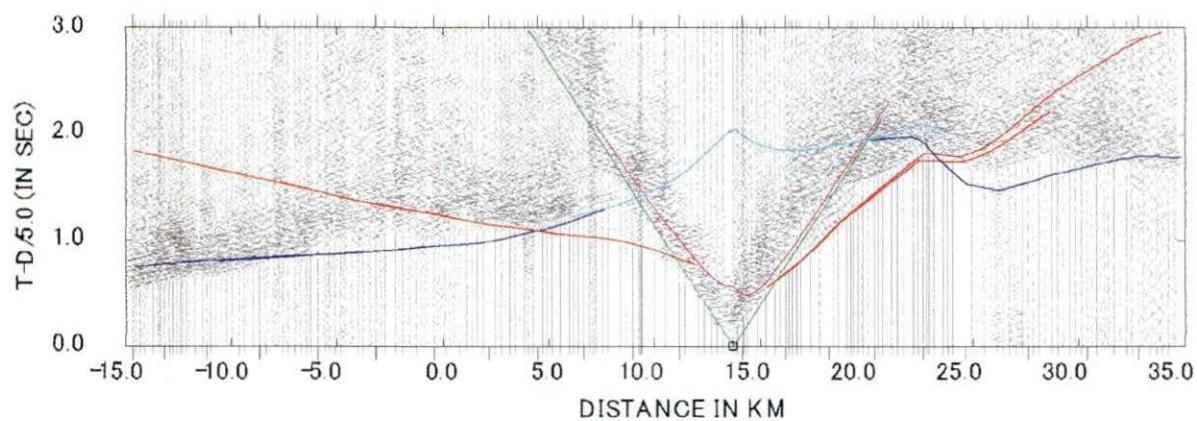
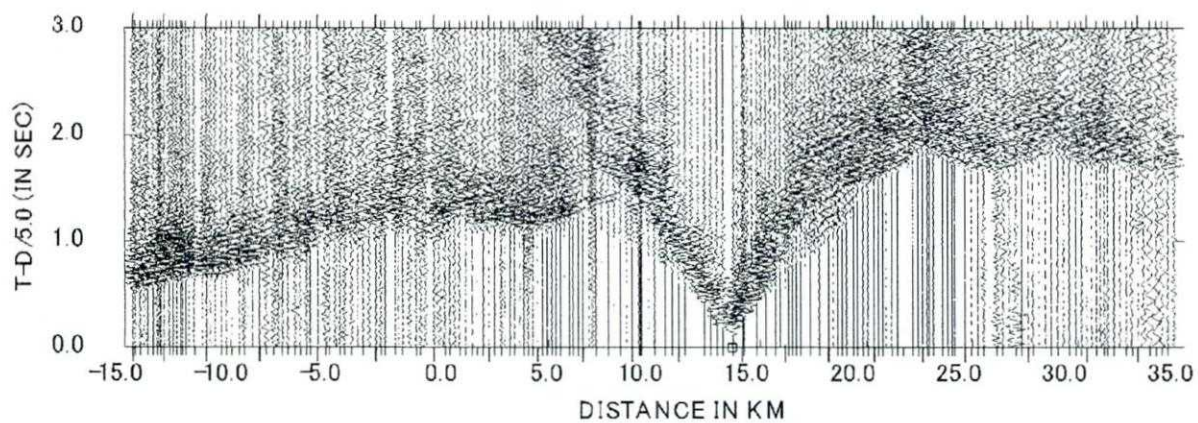


Fig. 3. (continued)

S22

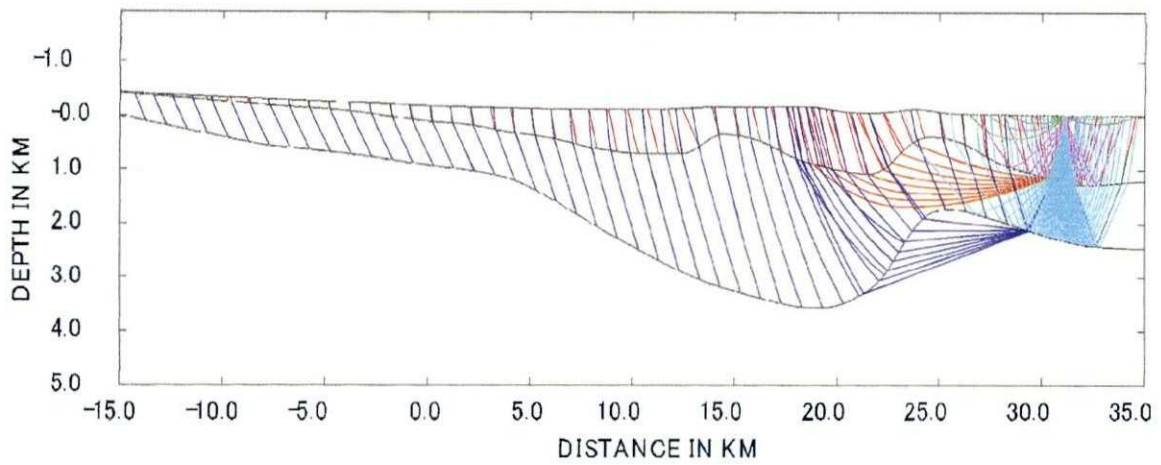
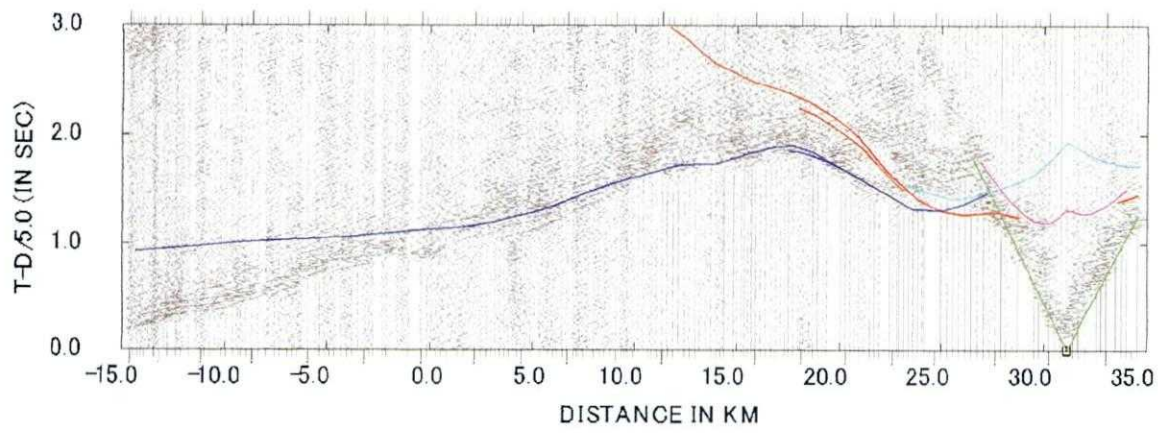
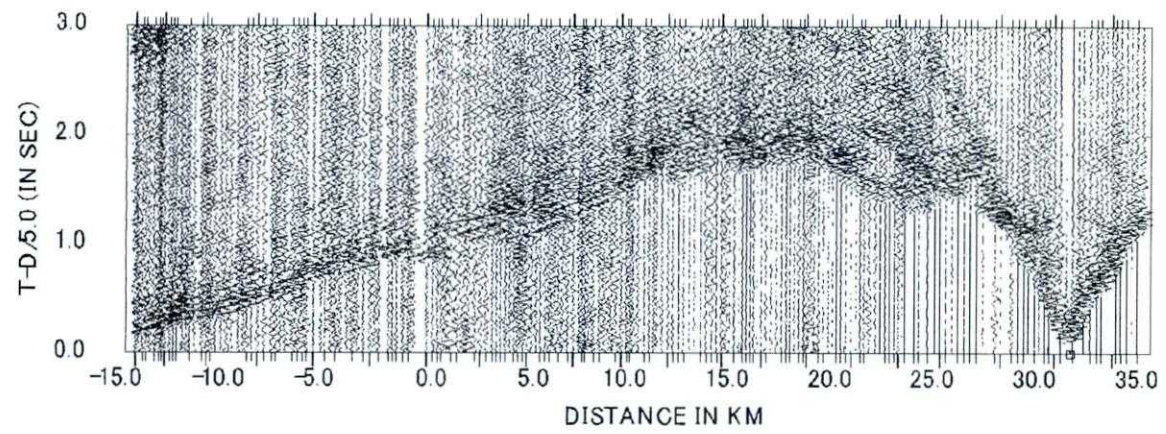


Fig. 3. (continued)

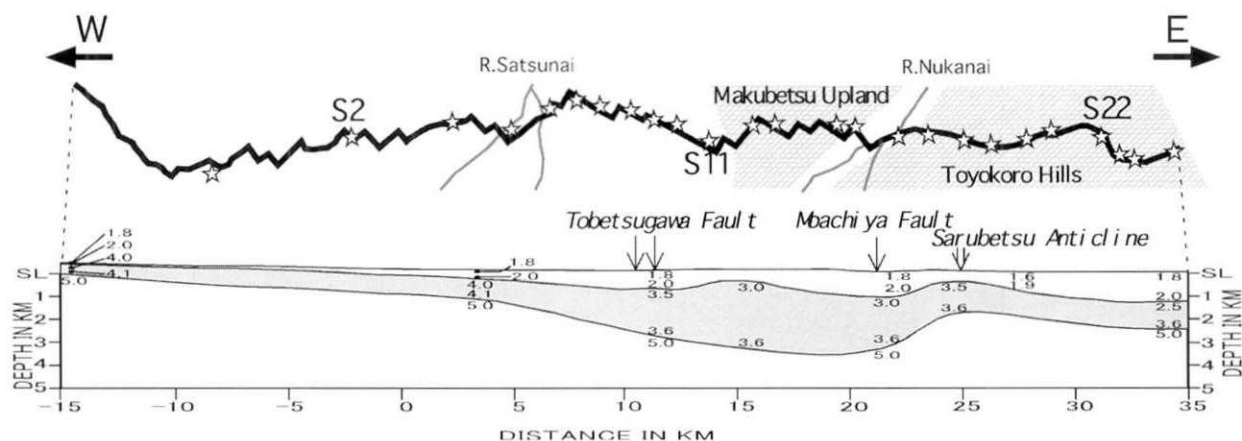


Fig. 4. Final structure model by the ray-tracing method.

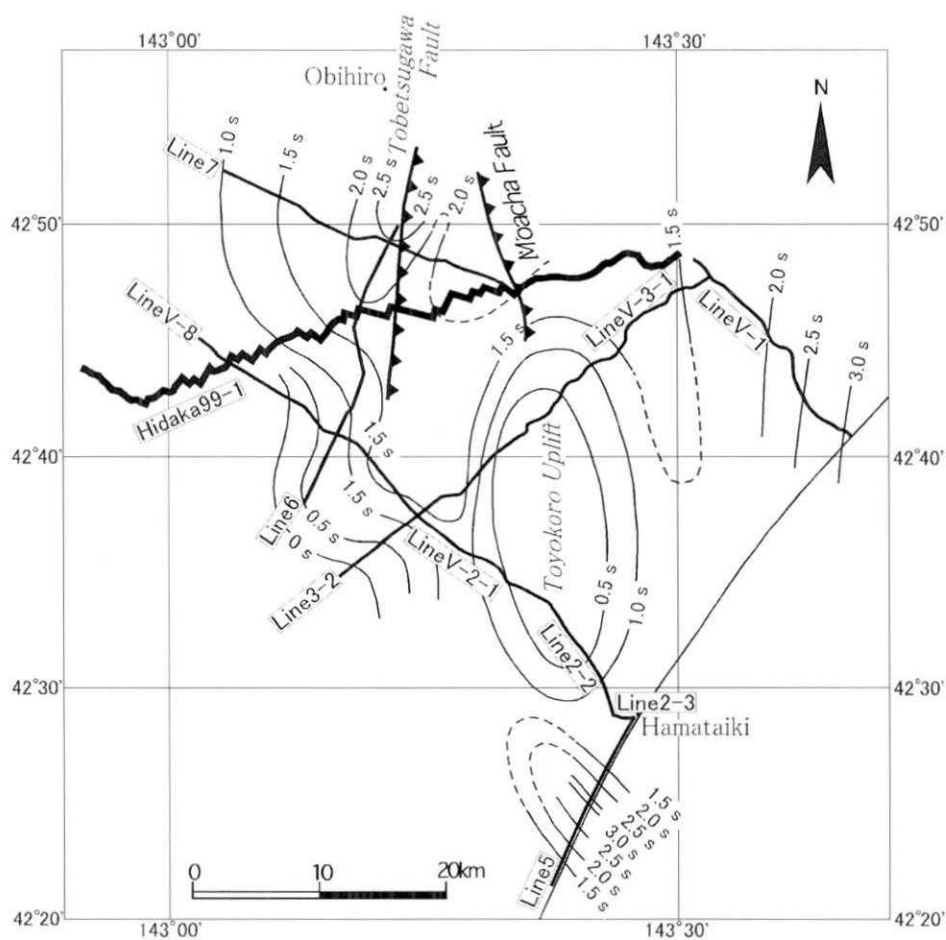


Fig. 5. Time-contour map of the upper surface of Toberi formation (TWT in sec.). Lines except those for Hidaka 99-1 are from JNOC (1982).

境界を同一地層境界として遠方まで追うことは危険であろう。

第2に、構造を検討する。25km付近の第2層上面と第3層上面に認められる背斜構造は、石油公団（1982）

line 7や越後他（2001）の結果ともよく符合する。猿別背斜と呼ばれるこの背斜構造及び15 km付近の第2層上面のみを变形させる背斜構造は、それぞれ茂発谷断層および途別川断層の運動によって形成されたものと考えら

れている(池田他, 2002)。

測線が札内川を通過する付近では, 第2層の速度が4.0-4.1 km/s と糠内付近に比して相当程度速くなり, かつまた層厚が1/3程度になる。この付近の地下には, 本調査地域南東方における基盤岩類と新第三系の境界断層(広尾断層, 松下他(1979))の延長が通過していると推定され, それより以西の第2層は基盤岩類の風化層, 第3層以下は新鮮な基盤岩類と考えてよい。

以上のように受振点間隔が通常の反射法同様に稠密であるならば, 発振点が粗であっても屈折法解析によって得られた結果を褶曲等の地質構造と対応づけて議論することが可能であることを示している。最後に, 基礎物理探査「十勝地域」(石油公団, 1982) データとあわせて十勝構造盆地の地下構造を定量的に示すために十勝忠類層群上面としての第2層/第3層境往復走時コンター図作成を試みた(Fig. 5)。この図から読みとれる主要な点を紹介すると, 第1に, 豊頃丘陵が大きな南北性の背斜構造と対応していること, 第2に, 十勝構造盆地の西縁を限る広尾断層の延長は第四紀層に覆われてはいるが, 地下での位置を追跡することができることである。なお, Fig. 5中のLine7を横切るコンター配置は、『第四紀逆断層アトラス』(池田他, 2002)による基礎物理探査「十勝地域」Line7の解釈(図1.1.6 P22)に関しては再検討する必要があることを示している。

謝 辞

千葉大学理学部津村紀子博士には草稿を読んでもいただき, 有意義な議論とコメントを与えて下さった。

石油公団には基礎物理探査「十勝地域」調査報告書の閲覧と引用の許可をいただいた。査読者である北海道大学大学院環境科学研究科平川一臣教授ならびに匿名査読者には本論を改善する上で多くの貴重なご指摘をいただいた。これらの方々に深く感謝する。

文 献

- 越後智雄・宮内崇裕・河村知徳・佐藤比呂志・蔵下英司・加藤一・井川 猛・川中 卓・折戸雅幸・長谷川貴史・伊藤谷生, 2001, 反射法地震探査による十勝活断層帯中部の浅層構造, 東京大学地震研究所彙報, **76**, 129-134.
- 市川健士・太田陽一・熊井基・内田真人, 1987, 改良タイム-ターム法を用いた会話型静補正処理システム, 物理探査学会第77回学術講演会論文集, 129.
- 池田安隆・今泉俊文・東郷正美・平川一臣・宮内崇裕・佐藤比呂志, 2002, 第四紀逆断層アトラス, 東京大学出版会, 254.
- 岩崎貴哉, 1988, 海底地震探査に基づく地下速度構造研究のための波線追跡プログラム, 地震, **41**, 263-266.
- 岩崎貴哉・1999-2000年北海道日高衝突帯構造探査グループ, 2002, 北海道日高衝突帯における制御震源探査, 月刊地球, **24**, 475-480.
- 松下勝秀・小坂利幸・紺谷吉弘・宮坂省吾, 1979, 5万分の1地質図幅「上札内」及び同説明書, 北海道立地下資源調査所, **47**.
- 石油公団, 1982, 国内石油・天然ガス基礎調査 基礎物理探査「十勝地域」調査報告書, 19.
- 篠原雅尚・平田 直・松田滋夫, 1997, GPS 時計付き地震観測用大容量デジタルレコーダ, 地震, **50**, 119-124.
- 鈴木和子, 2000, 十勝平野における高密度屈折法データの解析, 千葉大学理学部卒業論文(MS) 山口昇一・対馬坤六・佐藤博之, 1975, 50 万分の1地質図幅「釧路」, 地質調査所 山口昇一・佐藤博之, 1989, 糠内地域の地質, 地域地質研究報告(5 万分の1地質図幅), 地質調査所, 78.

(Received June 1, 2002)

(Accepted September 18, 2002)