

足柄・丹沢地域における防災科学技術研究所反射法地震探査 90-AS, 91-TAN データの再解析

笠原敬司^{1)*}・田中 環²⁾・井川 猛³⁾・太田陽一⁴⁾・川崎慎治⁴⁾・伊藤谷生⁵⁾

¹⁾ 防災科学技術研究所

²⁾ 千葉大学大学院自然科学研究科

³⁾ 株式会社 ジオシス

⁴⁾ 株式会社 地球科学総合研究所

⁵⁾ 千葉大学理学部

New analysis of seismic reflection data 90-AS and 91-TAN (NIED), Ashigara and Tanzawa areas, central Japan

Keiji Kasahara^{1)*}, Tamaki Tanaka²⁾, Takeshi Ikawa³⁾, Yoichi Ohta⁴⁾, Shinji Kawasaki⁴⁾ and Tanio Ito⁴⁾

¹⁾ National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

²⁾ Chiba University

³⁾ GEOSYS, Inc.

⁴⁾ Japex Geoscience Institute, Inc.

⁵⁾ Chiba University

Abstract

National Institute for Earth Science and Disaster Prevention (NIED) carried out seismic reflection surveys across the Kozu-Matsuda fault in 1990 FY, and the Kannawa fault system in 1991 FY, both of which form the boundary between the Philippine Sea and the Eurasian plates. The former survey produced the 90-AS profile, and the latter 91-TAN profile. Neither original profiles provide clear images of the Kozu-Matsuda fault and the Kannawa fault system. However, the recent processing technique makes it possible to improve the imaging of 90-AS and 91-TAN profiles. New 90-AS profile reveals that five E-dipping near-surface reverse faults may be spraying from a single low-angle thrust at depth, and that the Kozu-Matsuda fault is the highest-angle fault among the near-surface faults. The new 91-TAN profile indicates that the Kannawa thrust is dipping northward down to at least several km deep.

Key words: seismic reflection, active fault, Kozu-Matsuda fault, Kannawa fault system, central Japan

1. はじめに

科学技術庁防災科学技術研究所は、1991年に国府津-松田断層を横切る全長約12kmの測線で、1992年に神縄断層を横切り丹沢山地を越える全長37kmの測線で、それぞれパイロサイズを用いた反射法地震探査を行っ

た(科学技術庁防災科学技術研究所, 1991; 1992)(Fig. 1)。前者は90-AS, 後者は91-TANと略称されている。これらの反射法地震探査データについて、その後に普及したF-Xプレディクションフィルタ等を用いて再処理を行ったところ、反射法断面に大きな改善が認められ

* e-mail: kasa@smtp.bosai.go.jp (〒305-0006 茨城県つくば市天王台)

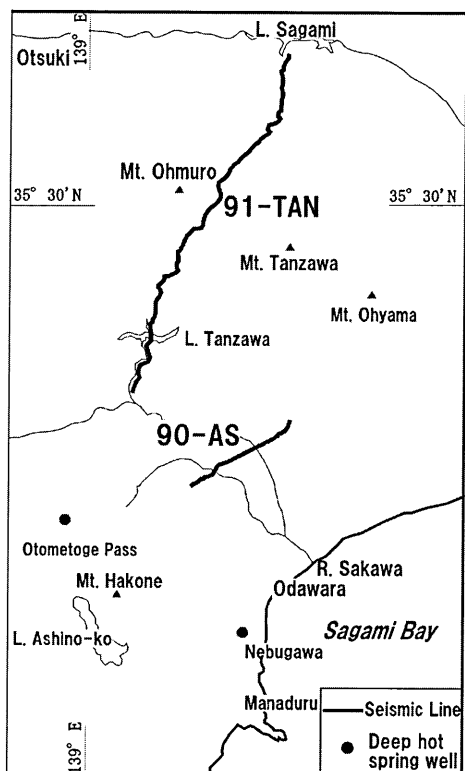


Fig. 1. Index map. Latitudes and meridians are based on the Tokyo Datum.

た。そこでその結果を報告するとともに、再解釈を試みる。なお、F-Xプレディクションフィルタとは、反射イベントに対応する反射波の振幅ならびに位相スペクトルを空間方向に予測するフィルタであり、ランダムノイズが増幅されない特徴を持つ処理である（物理探査学会、1998）。

本報告において、地表地質、地形解析は既存資料に依拠しており、またボーリング等による地下情報も測線周辺では見当たらない。従って、この解釈はもとより暫定的なものである。国府津-松田断層及び神縄断層系などフィリッピン海プレート境界断層に関する今後の研究の進捗に寄与できれば幸いである。

2. 90-AS

(1) 測線周辺の地質

測線は箱根古期外輪山山麓最乗寺（標高 320 m）から秦野市渋沢までの全長約 12 km であり（Fig. 2）、探査結果は笠原他（1991）で速報されている。測線周辺の表層地質は、「秦野」「御殿場・小田原」図幅（神奈川県教育委員会、1980）、宮内他（1996）ならびに関東第四紀研究会（1987）によれば、RP1（受振点 1）～RP90 は東におよそ 15～20 度傾斜する約 50 万年前～21 万年前の箱根古

期外輪山溶岩類（Os）、RP115～RP150 は数万年前から数千年前の下位段丘堆積物、RP150～340 は沖積層、RP 340 以東は約 40～50 万年前の多摩ローム最下部・下部相当層ならびにそれより新しい地層である。国府津-松田断層は RP340 付近を通過し（宮内他、1996）、それ以东ではおよそ海拔 180 m より下位に基盤岩類（RP340～430: 更新世足柄層群、RP430～484（東端）: 中新世丹沢層群）が存在していると考えられる。探査における主な仕様は Table 1（a）に示されている。

(2) 再処理結果

国府津-松田断層が高角な断層面を有している可能性が高いことから、再処理（主要なパラメータは Table 1（b））においては、当初の F-K マイグレーションではなく、より高角な反射面に対する精度が高いキルヒホフ時間マイグレーションを行なった。その結果得られた時間断面は Fig. 3 に示されている。重合測線は Fig. 2 の太実線である。Fig. 3 の特徴としては、第 1 に、CDP235、0.45s 付近から CDP600 の 0.8s 付近にかけて引かれた R1 を境界としてその上下で反射面群の特徴が異なる。第 2 に、境界 R1 より浅い部分を検討すると、CDP600～700 付近（挿入図参照）に典型的なように、ほぼ水平な反射面群 S1 は西方で急に西傾斜 S2 に転じ、再び水平 S3 に戻るが、S2 と S3 の間は明らかに不連続である。この不連続部を連ねると東傾斜の不連続線 F1 が描かれる。こうした反射面群間の不連続線を Fig. 3 上に東から F1～F5 として記した。第 3 に、CDP650 付近から東、およそ 0.4s 以深には反射イベントが乏しい領域 P がひろがっている。

(3) 解釈

解釈に役立てるために、Fig. 3 上に区間速度を入れたものを提示したのが Fig. 4 である。地表地質から判断すると、境界 R1 は Os 上面に対応し、R1 下の連続性のよい反射面群の広がる領域（速度: およそ 2,300～2,500 m/s）は Os とみなされる。本測線の Os の層厚は 350～500 m と計算されるが、本測線の南 13 km の小田原市根府川の温泉井（Fig. 1 参照）では 330 m と報告されており（萬年他、2002）、概ね妥当な結果であろう。ただし、古期外輪山西斜面の乙女峠では 1,000 m を越す（木宮・狩野、1987）ので、Os の層厚は古期外輪山の東西斜面で大きく異なるのであろう。

CDP630 付近を国府津-松田断層が通過していることから、F1 が国府津-松田断層であることは確実である。国府津-松田断層の上盤表層部およそ 100 m 以深には足柄層群が存在する（関東第四紀研究会、1987）。その速度は 2,500 m/s から 3,000 m/s 前後となる。この足柄層群

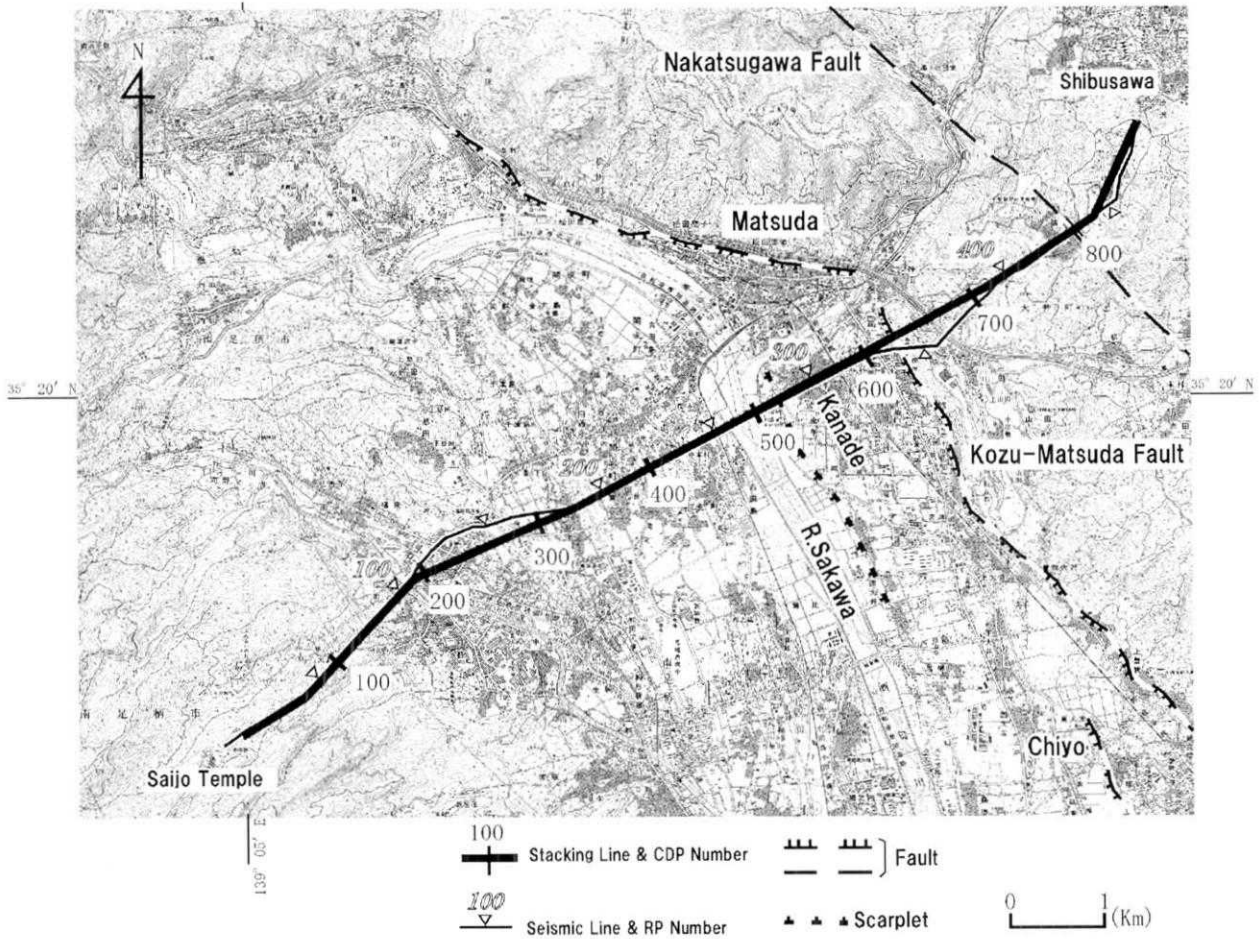


Fig. 2. Seismic and Stacking Lines of 90-AS in GSI 1: 25,000 Maps "Hadano", "Odawara-hokubu", "Sekimoto", and "Yamakita" (Tokyo Datum).

Table 1. Basic parameters for 90-AS (1) Data acquisition. (2) Processing in this paper.

Energy source	3 Vibrators		Parameter
Number of sweep	15	Gain Recovery	AGC
Sweep Length	20sec		Operator Length 600msec
Shot Interval	Standard 75 m	Deconvolution	Window Length 3000msec
Number of Channels	192		Operator Length 124msec
Geophone			Predictive Distance 4msec
Peculiar Frequency	10Hz	Statics Correction	Pre-Whitening 0.5%
Geophone Interval	Standard 25m		Time-Term Method
Sampling Interval	4msec		(V1=1000m/s,
Record Length		Velocity	Offset 200~1000m)
(Before Correlation)	26sec	Analysis	CDP100,200,300,400,450
(After Correlation)	6sec		500,600,650,700,800
Stack	Standard 30stack	MUTE	CVSK Method
			50ms
			Sliding Velocity 4500m/s
		AGC	Operator Length 600ms
		Stack	offset 50~3500m
		Band Pass Filter	Operator Length 300msec
			5~45Hz, Zero-phase
		Migration	Kirchhoff Time Migration

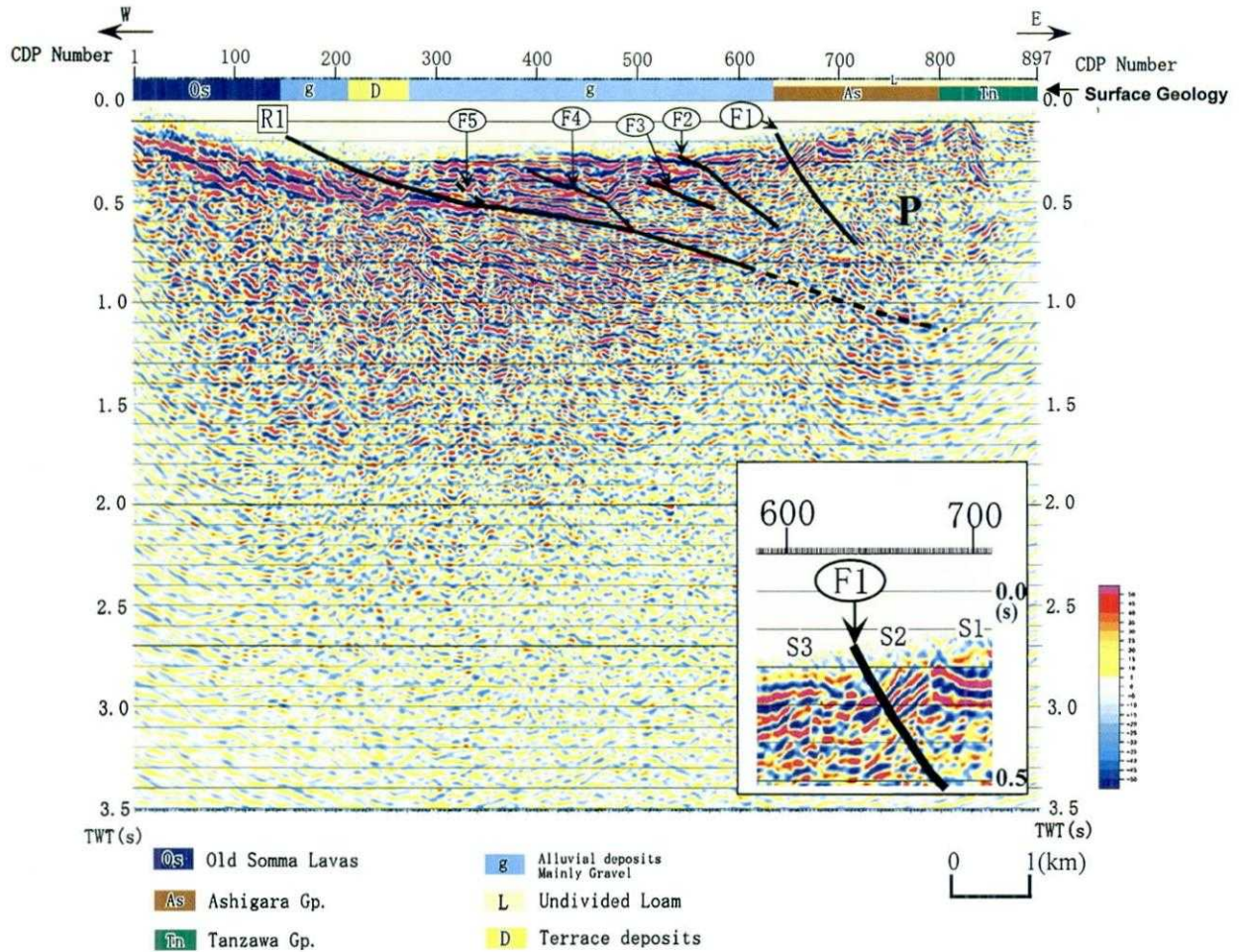


Fig. 3. Time-migrated section of 90-AS. Inserted profile is prepared for a precise explanation of F1. F1~F5, R1, and P: see text for details. $V: H=1: 1$ at $V_p=2500$ m/s.

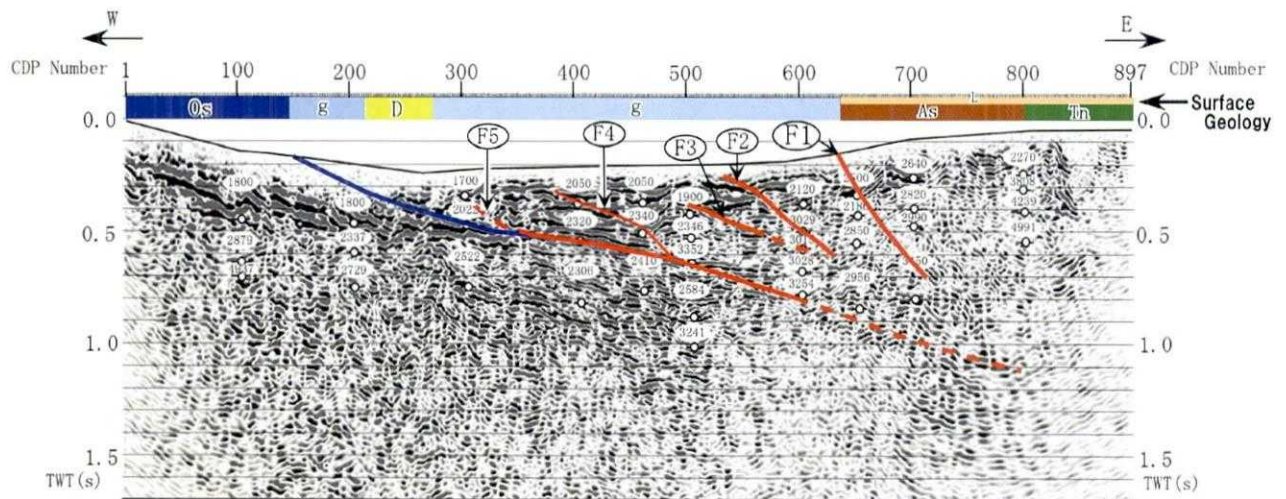


Fig. 4. Interval velocities in the time-migrated section of 90-AS. Symbols of surface geology are the same as those in Fig. 2. Red line: Fault. Blue line: Upper surface of Os. $V: H=1: 1$ at $V_p=2,500$ m/s.

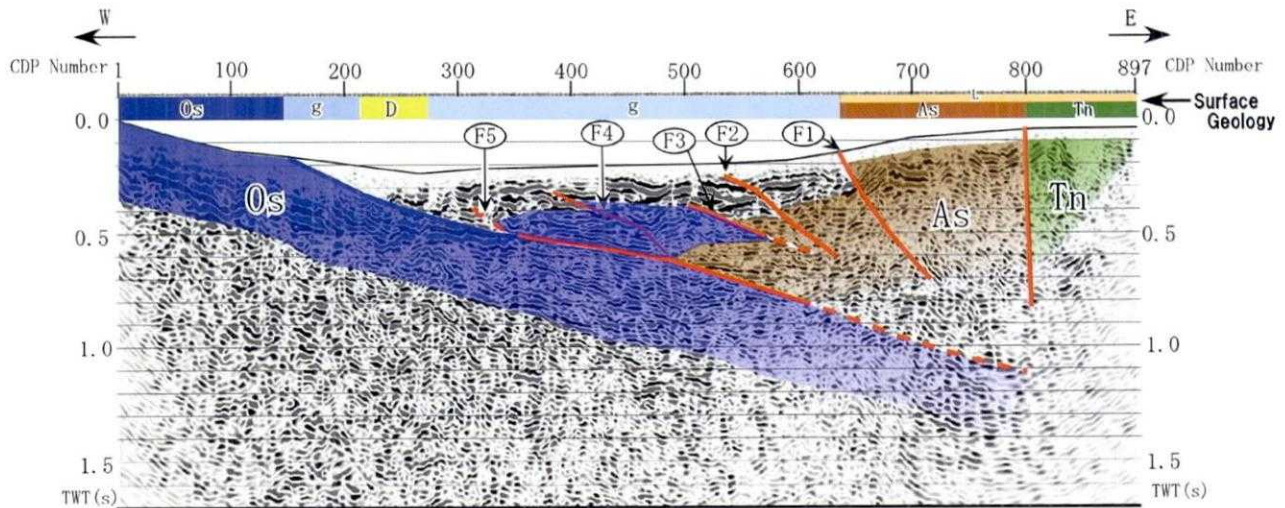


Fig. 5. Interpretation of 90 AS. Symbols of surface geology are the same as those in Fig. 2. Red line: Fault. Blue line: Upper surface of Os. V: H=1: 1 at $V_p=2,500$ m/s.

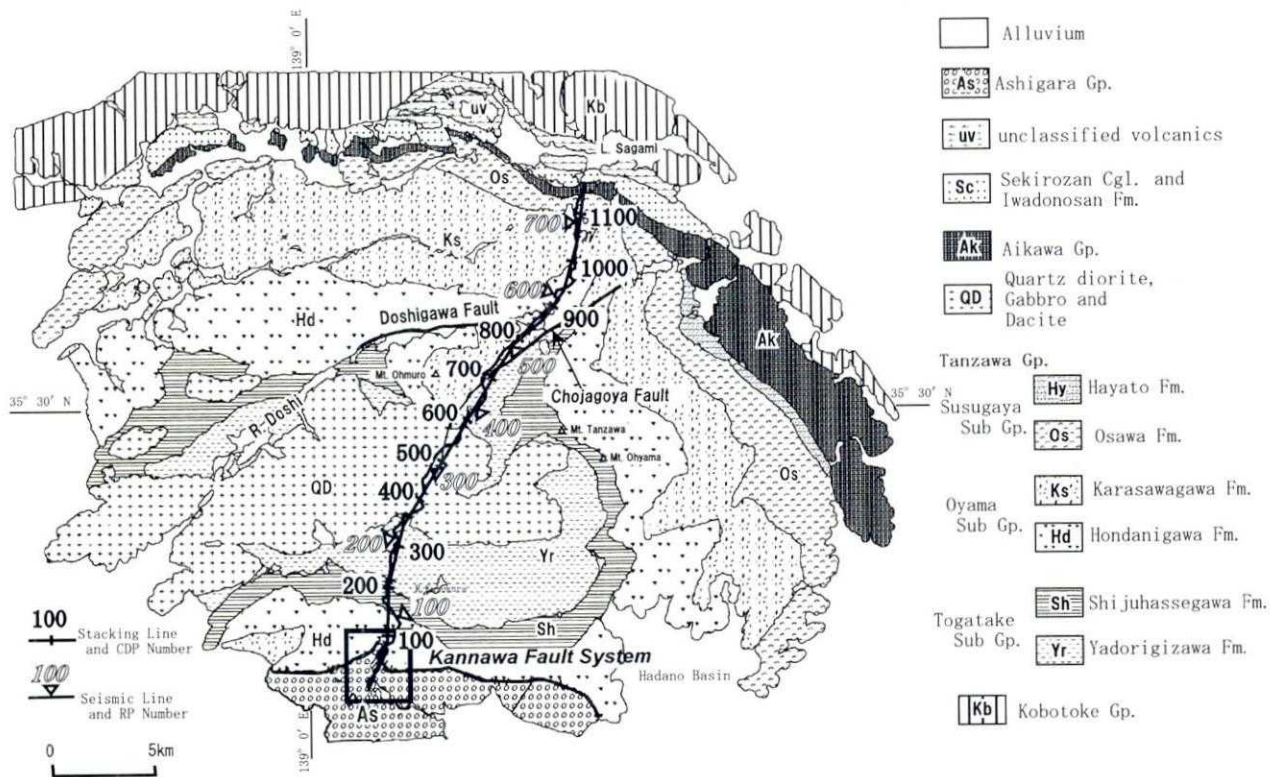


Fig. 6. Seismic and Stacking Lines of 91-TAN in the geologic map (simplified mainly after Sugiyama (1976)). Solid rectangle corresponds to Fig. 9. Latitudes and meridians are based on the Tokyo Datum.

の領域は、Fig. 3でPとした反射面の乏しい領域と一致する。これらのことから、反射面が乏しく、速度が3,000 m/s前後となる部分は足柄層群と解釈される。CDP800 以東は丹沢層群であり、その速度は3,000 m/sを越え

4,000 m/sに達する。足柄層群と丹沢層群の境界は中津川断層系の高角右横ずれ断層である(佐藤, 1976)。

CDP200付近からCDP630までの地表は、礫層を主体とする沖積層に広く覆われている。F1, F2, F4, F5に

Table 2. Basic parameters for 91-TAN (1) Data acquisition. (2) Processing in this paper.

Energy source	2 Vibrators	Parameter	
Number of Sweep	30	Gain Recovery	AGC Operator Length 800msec
Sweep Length	20sec	Deconvolution	Window Length 2000msec Operator Length 300msec
Source Interval	Standard 200 m	Static Correciton	Time-Term Method (V1=1500m/s, Offset 150~1100m)
Number of Channels	192	Velocity Analysis	100~1100, every 100CDP CVSK Method
Geophone		MUTE	50ms Sliding Velocity 7500m/s
Peculiar Frequency	8Hz	Stack	Offset 50m~
Geophone Interval	Standard 50m	Band Pass Filter	Operator Length 300msec 5~20Hz Zero-phase
Sampling Interval	4msec	Velocity Filter	Fan-Filter, Band Pass -2000m/s~2000m/s
Record Length (Before Correlation)	20sec	Migration	Finite difference method Time Migration
Record Length (After Correlation)	8sec		
Stack	Standard 24stack		

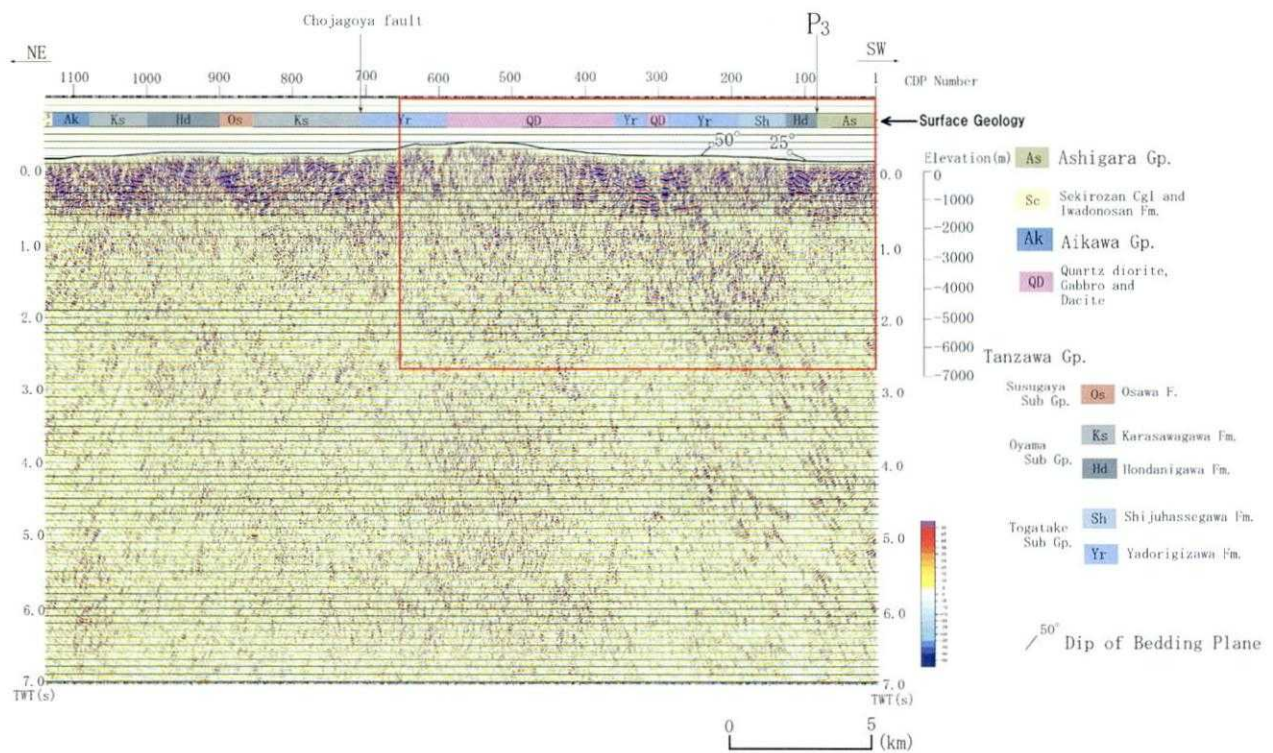


Fig. 7. Time-migrated section of 91-TAN. P3: High-angle lateral fault in the Kannawa fault system (Kano *et al.*, 1988). Red rectangle corresponds to Fig. 8. V: H=1: 1 at $V_p=5,000$ m/s.

沿っては上盤側の速度が下盤よりも大きい箇所があり、
ずれも逆断層成分を有すると考えられる。

以上を踏まえて、解釈断面を Fig. 5 に示す。国府津～
松田断層の西方に逆断層が存在することは、本測線南東
方 5 km の千代台地西縁で知られていた（例えば上杉他、

1982; 宮内他, 1996)。Fig. 5 の F2 はこの千代台地西縁
と同様の逆断層である。実際、F2 上盤には金手の低い台
地があり、その西縁には比高数 m の小崖がある（Fig.
2, 金手西方の破線）。さらに西方には F3, F4, F5 の低角
な逆断層が推定される。これらの断層が地表に到達して

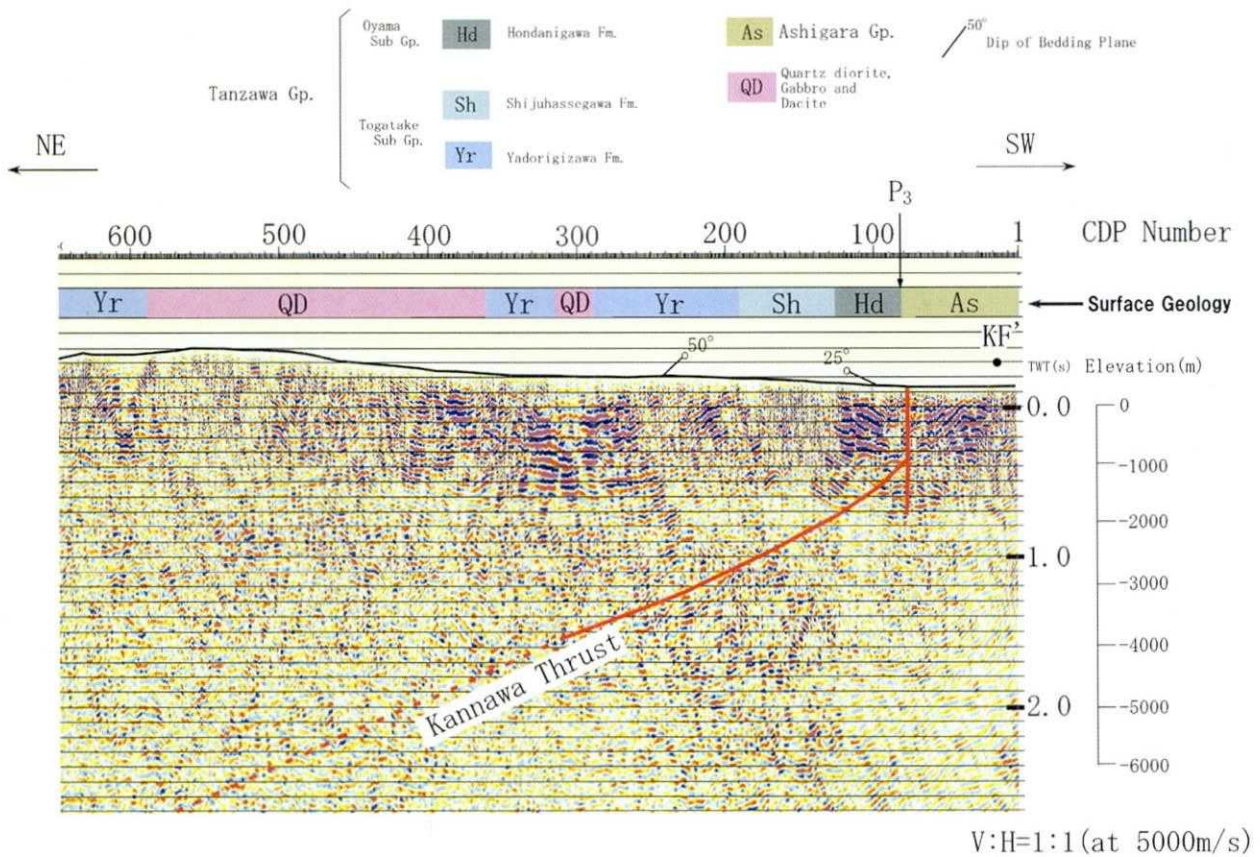


Fig. 8. Interpretation of 91-TAN between CDP1 and 650. KF': Projected point of KF in Fig. 9. V: H=1: 1 at $V_p=5000$ m/s.

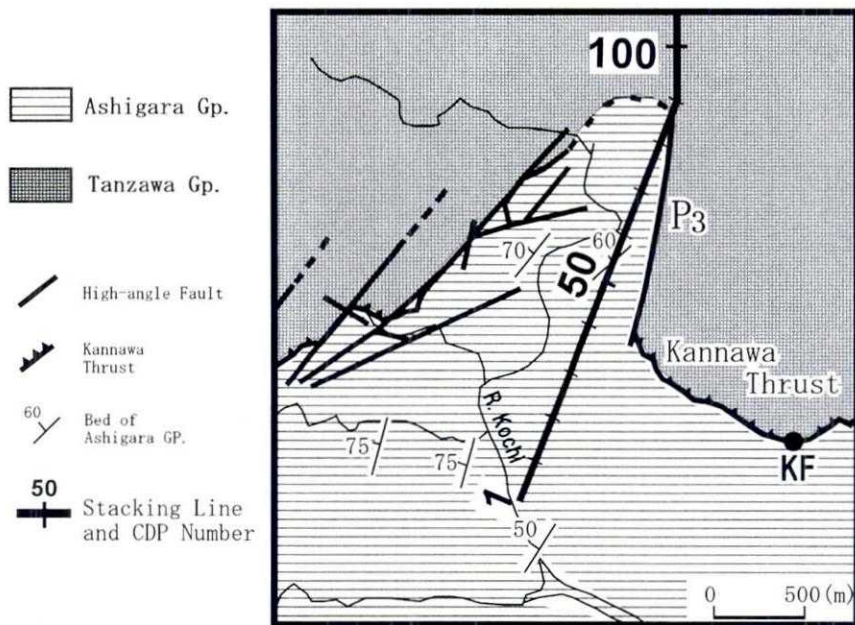


Fig. 9. Stacking line between 1 and 105 on the precise geologic map (Kano *et al.*, 1988). KF: Southernmost point of the surface trace of the Kannawa thrust.

いるかどうかはこの探査では不明である。さらに CDP 500 付近の速度構造をみると 0.65s 付近で速度の逆転があり、足柄層群の下に Os が位置することになる。このことはここでの Os 上限が低角に東傾斜する逆断層であることを意味している。従って、F5 の下方延長がこの Os 上限へと繋がると考えられる。F4, F5 の上盤には速度が 2,300 m/s を越し、連続性の良い反射面群を有する領域が存在する。これらは Os と考えられる。

F1~F4 の逆断層群は低角な逆断層 F5 から分岐していると考えられるが、具体的な形状については、この探査では解明できない。いずれにしても、再解釈の結果は、国府津~松田断層に関しては地形的に明瞭な F1 のみに注目するのではなく、既に上杉他 (1982) が強調しているように、東傾斜の右横ずれ逆断層としての深部断層、被覆層断層群、浅部断層群全体を複合断層系=国府津-松田断層としてとらえることの重要性を示している。

3. 91-TAN

(1) 測線周辺の地質

測線は山北町川西から犬越路トンネルを越えて藤野町日連までの 37 km である (Fig. 6)。探査の主な仕様を Table 2 (a) に示す。測線周辺の表層地質は、「秦野」「上野原」図幅 (神奈川県教育委員会, 1980), 杉山 (1976) ならびに日本の地質『関東地方』編集委員会 (1986) によれば、RP1 (受振点 1)~RP45 は更新世足柄層群 (As), RP45~720 は中新世丹沢層群となる。丹沢層群分布地域については、RP45~80 は大山亜層群, RP80~170 は塔ヶ岳亜層群, RP170~185 及び RP210~350 は石英閃緑岩貫入岩体, RP350~430 で再び塔ヶ岳亜層群になり, RP430~510 は大山亜層群, RP510~540 は煤ヶ谷亜層群, RP540~690 は大山亜層群, RP690~720 は煤ヶ谷亜層群, RP720 から北は愛川層群になっている。

狩野他 (1988) が指摘するように足柄層群と丹沢層群を境する神縄断層系は東西走向北傾斜 45 度程度の神縄衝上断層と高角横ずれ断層によって構成される複合系である。本測線は RP45 付近で神縄断層系を通過し、さらに長者舎断層を RP440 で、道志川断層を RP550 で横切る。

(2) 再処理結果とその解釈

再処理 (主要なパラメータは Table 2 (b)) にあたっては、1) 神縄断層系を構成する神縄衝上断層は地表データから 45 度以下と推定されること、2) 測線は上記のように岩質・時代とも大きく異なる地層のなかを通過しているため水平方向の速度が大きく変化すると推定されることを考慮し、再処理においては、当初の F-K マイグ

レーションではなく、水平方向に大きな速度変化を与えられる差分法時間マイグレーションを行なった。その結果得られた時間断面は、Fig. 7 に示されている。重合測線は Fig. 6 の太実線である。Fig. 7 の赤枠の部分を拡大した Fig. 8 では、丹沢層群中の寄木沢層、四十八瀬川層は地表での傾斜と図上の反射面傾斜とはほぼ対応するが、その他の構造については明瞭ではない。その理由として、本測線は随所で屈曲しており高度差も全体で 755 m に及ぶため、共通反射点が分散していることが考えられる。しかし、時間断面で CDP85, 往復走時 0.3s から北傾斜およそ 25 度で少なくとも CDP300, 1.5s までは確実に続くイベントが読み取れる。このイベントは CDP85 で絶たれているが、北傾斜であることと連続性がよいことからみて神縄衝上断層の地下延長である可能性が高い。この可能性は、測線と神縄断層系が交差する付近の拡大地質図 (Fig. 9) の考察によってもさらに高まる。CDP85 付近では高角右横ずれ断層 P3 (狩野他, 1988) が神縄衝上断層を切断しているが、これと北傾斜イベントが CDP85 で途切れることとはよく対応する。さらに、東西走向神縄衝上断層上の KF 点 (Fig. 9) を Fig. 7 の重合測線上に投影して Fig. 7 上に KF' 点を作成すると、CDP85 で切断された北傾斜のイベントの上方への滑らかな延長は KF' を通過する。このことは、Fig. 6 の北傾斜イベントは P3 以東において地上で確認できる神縄衝上断層の地下への延長であることを強く示唆する。即ち、神縄衝上断層の地下構造が初めてイメージングされた可能性が極めて高いのである。

4. まとめ

90-AS 及び 91-TAN との再処理の結果、国府津-松田断層及び神縄衝上断層の地下形状のイメージングが大きく前進した。国府津-松田断層の場合、変動地形から従来想定されていた位置よりもさらに西方に、地下から分岐した衝上成分を有する低角断層の存在が強く示唆される。神縄衝上断層については、地下での傾斜が 25 度程度で少なくとも数千メートルまで追跡された。これらの成果は、今後、より本格的な構造探査によって地下構造をさらに明らかにする展望を与えるものである。

謝 辞

査読者である静岡大学理学部狩野謙一教授、東京大学地震研究所佐藤比呂志助教授には草稿に対しての批判的コメントと、本論を改善する上での詳細かつ的確なご助言を頂きました。特に記して、深い感謝の意を表します。

参考文献

- 物理探査学会, 1998, 物理探査ハンドブック, 1336 p.
- 科学技術庁防災科学技術研究所, 1991, 1990 年度足柄平野バイ
ブロサイス '90 地殻構造探査現場作業報告書.
- 科学技術庁防災科学技術研究所, 1992, 1991 年度丹沢地域地震
波反射法地殻構造調査データ処理報告書.
- 神奈川県教育委員会, 1980, 神奈川県地質図 1: 50,000 「秦野」,
「御殿場・小田原」, 「上野原」.
- 狩野謙一・染野 誠・上杉 陽・伊藤谷生, 1988, 足柄地域北
西部における中期更新世以降の断層活動—プレート力学境
界表層部での変形過程の例—, 静岡大学地球科学研究報
告, No. 14, 57-83.
- 関東第四紀研究会, 1987, 大磯丘陵の層序と構造, 関東の四紀,
13, 3-46.
- 笠原敬司・山水史生・井川 猛・清水祥四郎, 1991, 足柄平野
～国府津・松田断層を横切る地震波反射断面, 地震学会講
演予稿集, No. 2, 324.
- 木宮一邦・狩野謙一, 1987, 箱根火山北西麓でのボーリング結
果とそのテクトニックな意義, 地震学会講演予稿集, 1, 98.
- 萬年一剛・山下浩之・平田大二・田口公則・川手新一・谷口英
嗣・蛭子貞二, 2002, 小田原市根府川で掘削された深さ
1500 m の温泉井の地質, 神奈川県温泉地学研究所報告,
33, 11-24.
- 宮内崇裕・池田安隆・今泉俊文・佐藤比呂志・東郷正美,
1996, 1: 25000 都市圏活断層図「秦野」, 「小田原」, 国土地
理院.
- 日本の地質『関東地方』編集委員会, 1986, 関東地方, 日本の地
質 3, 共立出版株式会社, p. 332.
- 佐藤 正, 1976, 中津川右横すべり断層 (新称), 地質学雑誌,
82, 617-623.
- 杉山 明, 1976, 丹沢山地の構造発達史 (I) 層序および構造,
地質学雑誌, 82, 699-712.
- 上杉 陽・千葉達朗・米澤 宏, 1982, いわゆる国府津・松田
断層について—その研究史と実態—, 関東の四紀, 9, 21-
32.

(Received June 1, 2002)

(Accepted July 15, 2002)