

# 国府津—松田断層帯における反射法地震探査データの再解析

## Re-processing of Seismic Reflection Survey data across the Kouzu-Matsuda Fault Zone

横倉隆伸<sup>1\*</sup>・山口和雄<sup>1</sup>・伊藤 忍<sup>1</sup>・水野清秀<sup>1</sup>  
Takanobu Yokokura<sup>1\*</sup>, Kazuo Yamaguchi<sup>1</sup>, Shinobu Ito<sup>1</sup> and Kiyohide Mizuno<sup>1</sup>

**Abstract:** We are now carrying out geophysical surveys to reveal the subsurface structure of the Kouzu-Matsuda Fault Zone and its vicinity, Kanagawa Prefecture, Japan, under the AIST project "Investigations on Geology and Active Faults in the Coastal Zone of Japan". In the FY2015, we re-processed three old P-wave seismic reflection survey data acquired by the Geological Survey of Japan 20 years ago. This report is an interim report about the re-processing results of the old survey data called as survey lines S-1 (830 m long), S-2 (1,485 m long) and S-3 (1,725 m long). The source, receiver, and recording system used in these old seismic surveys were a drop-hitter DNS (Nihon-Chikou), L21-A with natural frequency 27 Hz (Mark Products), and the StrataView60 (Geometrics), respectively. Source and receiver intervals were 5 m and sampling interval was 1 ms. 60-ch geophone arrays were used for each recording. Data processing is still going on and some noise reduction methods are necessary to have final stacked sections. Preliminary stacked sections, however, show clear images of subsurface structure down to about 0.5 s in two-way traveltime and have good correlation with the surrounding geology. Preliminary interpretation results are as follows:

- (1) Most remarkable reflectors in the shallow part beneath the eastern Ashigara plain come from the upper surfaces of sand and gravel layers covered by the Hakone younger pyroclastic flow deposits (TP-fl), Hakone Tokyo pumice (TP), and loam.
- (2) Particularly, the most remarkable reflectors in the survey line S-2 and S-3 are correlated with the upper surfaces of sand and gravel layers (river-bed deposits), which correspond to the Misaki terrace surface (M2 surface: MIS 5a).
- (3) Deeper reflectors beneath the eastern Ashigara plain show larger eastward tilting. This may reflect cumulative thrusting activity of the Kouzu-Matsuda fault.
- (4) The most remarkable reflector in the survey line S-2 shows tilting of about 12 ~ 13 m subsidence per 1 km in horizontal distance, which is comparable with the eastward tilting observed at the Chiyo terraces.
- (5) The most remarkable reflector in the survey line S-2 is continuous beneath the western edge of the Chiyo terraces, indicating that no active fault exists at the western edge of the Chiyo terraces.

**Keywords:** Seismic reflection survey, Kouzu-Matsuda fault zone, Subsurface structure, Thrust fault, Ashigara plain, Oiso hills, Chiyo terraces, Odawara city

### 要旨

産業技術総合研究所における「沿岸域の地質・活断層調査」プロジェクトの一環として、我々は国府津—松田断層帯周辺の地下構造を反射法地震探査により明らかにするための研究に着手している。2015年度には、20年前に工業技術院地質調査所(現、産業技術総合研究所地質調査総合センター)が実施した

既存3測線のP波反射法探査データの再処理を実施した。本報告は、測線S-1(測線長830m)、S-2(同1,485m)、S-3(同1,725m)と名付けられた既存3測線のデータ再処理結果についての中間報告である。本探査で使用された震源・受振器・探鉱器はそれぞれ日本土工社製ドロップヒッターDNS、Mark Products社製L-21A(固有周波数27Hz)、Geometrics社製StrataView60である。発震点・受振点間隔はともに5mであり、

\* Correspondence

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Geology and Geoinformation)

サンプリング間隔は 1 ms, 各発震あたり 60 チャンネルの受振器アレイを使用している。データ処理はまだ進行中であり, 最終処理断面を得るためにはいくつかのノイズ除去処理が必要である。しかし現時点の重合断面でも往復走時で 0.5 s 程度までの地下構造がイメージングされており, 周辺地質と良く対応した結果が得られている。現時点での反射断面中間処理結果から得られる結論をまとめると下記ようになる。

- (1) 平野部浅部のもっとも顕著な反射面は, ボーリング結果との比較によれば, 箱根新期軽石流堆積物 (TP-f), 東京軽石層 (TP), およびローム層などに覆われた砂礫層の上面に相当すると考えられる。
- (2) 特に測線 S-2, S-3 浅部のもっとも顕著な反射面は, 三崎面相当 (M2: 酸素同位体ステージ 5a) の河成砂礫層上面に相当すると考えられる。
- (3) 平野部の反射面は深くなるほど東方への傾斜を増しており, これは国府津—松田断層帯の活動による累積的な東方への傾動を示している可能性がある。
- (4) 測線 S-2 浅部のもっとも顕著な反射面は水平距離 1 km に対して約 12 ~ 13 m の沈降に相当する東方への傾動を示す。これは千代台地上で認められている東方への傾動とほぼ同等の大きさを持つ。
- (5) 測線 S-2 浅部のもっとも顕著な反射面は千代台地西縁下で連続しており, 千代台地西縁に活断層は存在しないと考えられる。

## 1. はじめに

国府津—松田断層帯は足柄平野と大磯丘陵を画する大断層であり, 「要注意断層」の一つと目されて来た (例えば松田 (1996))。そのためか地震調査研究推進本部地震調査委員会の活断層の長期評価においても, 新たな知見が得られるごとに評価の改訂版が出されている (地震調査研究推進本部地震調査委員会, 1997, 2005, 2009, 2015)。産業技術総合研究所地質調査総合センターにおける「沿岸域の地質・活断層調査」プロジェクトの一環として, 我々はこの国府津—松田断層帯や足柄平野周辺の地下構造を反射法地震探査により明らかにするための研究に着手した。既に周辺の既存地球物理学的データの収集・整理, 新たな反

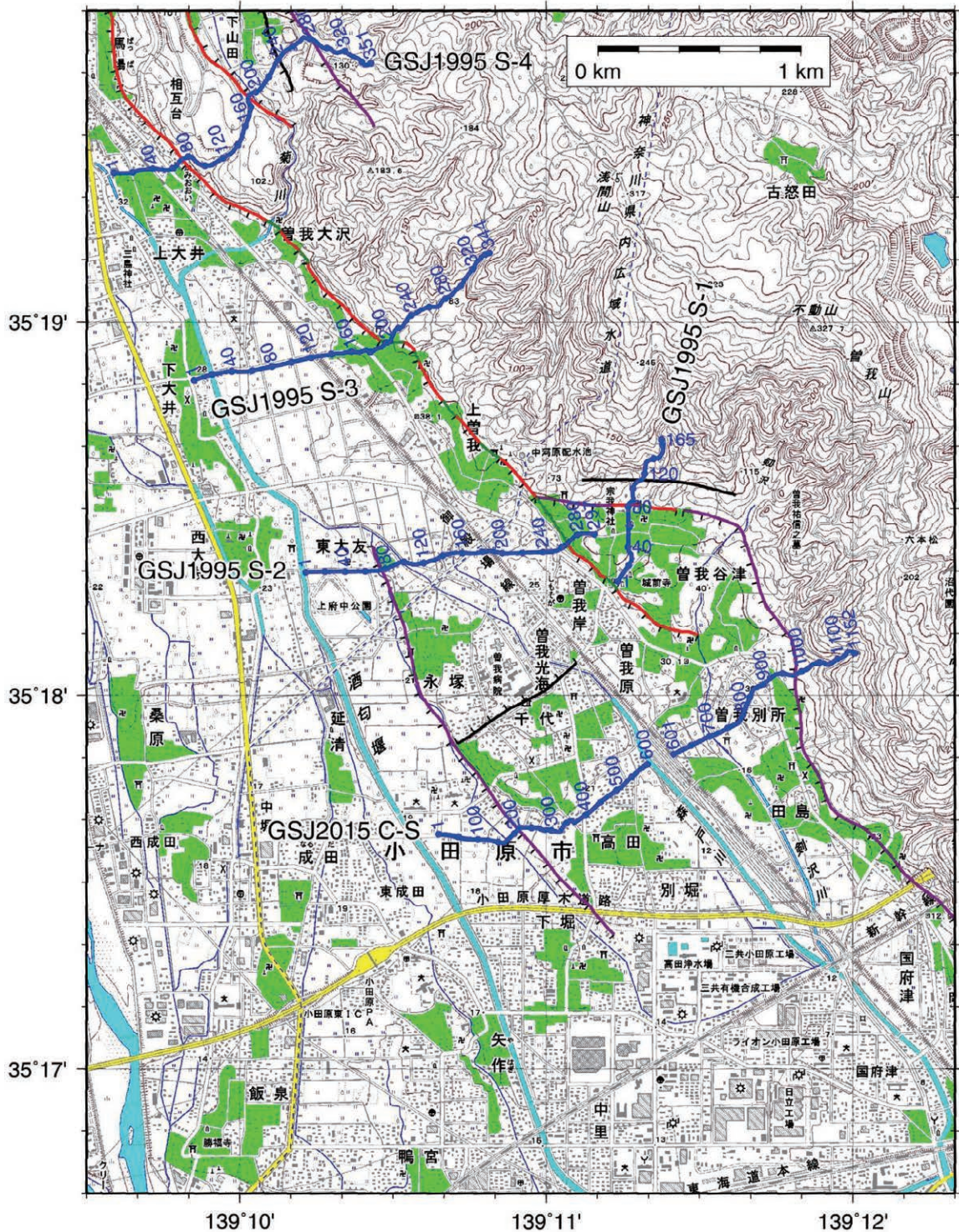
射法探査測線の選定などを行ってきており, 2015 年 12 月には小田原市東部の千代台地西方から曾我別所北東方へと到る測線長約 2.3 km の P 波反射法地震探査 (GSJ2015 千代—曾我別所測線) を新たに実施した (山口・伊藤, 2016)。これを遡る 20 年前の 1995 年に工業技術院地質調査所 (現, 産業技術総合研究所地質調査総合センター) は国府津—松田断層帯を横断する P 波反射法地震探査を 5 測線において実施していた (水野ほか, 1996a, b)。地震調査委員会が最初に発表した 1997 年の神縄・国府津—松田断層帯の評価でもこれら測線について若干の言及がなされている。しかし処理結果の反射面の連続性があまり良好ではなく, これらの反射法データは有効に活用されないままいつしかフィールド・データ等の所在が忘れ去られてしまった。最近になって本探査のデジタル・データ (8 mm カセットテープ 5 巻), オブザーバズレポート, 1/5,000 詳細測線図が残されていることが判明した。8 mm カセットテープに記録されたデータはすべて正常に読み出しが可能であり, 垂直重合後のすべてのショット記録が含まれていることが確認されたが, 処理結果のデジタル・データは残されていなかった。また発震点・受振点の座標値も残されていなかった。しかし 1/5,000 詳細測線図をデジタイズすればある程度の精度の座標値が得られるものと判断し, 本探査データの再処理を試みることにした。本報告では再処理に関する現在までの中間結果をまとめる。

## 2. GSJ1995 国府津—松田測線の概要

### 2.1 測線位置

本探査は 1995 年 10 ~ 11 月に, 測線 S-1 ~ S-5 と名付けられた 5 測線で実施された (ここでの S は S 波探査という意味ではなく seismic の S を意味する)。このうち S-1 (測線長 830 m), S-2 (同 1,485 m), S-3 (同 1,725 m) の 3 測線の再処理を今回実施した。前述のように本探査では測線の座標値が失われているため, 1/5,000 詳細測線図をデジタイズすることにより受振点座標を再構成した。一般的には同一番号の受振点と発震点は全く同じ位置ではなく若干ずれているものと思われるが, そのようなオフセットに関する情報も失われているため, ここでは発震点・受振点の番号が同じであれば同一の座標値を使用した。もっとも問題となるのが各点の標高値である。標高値





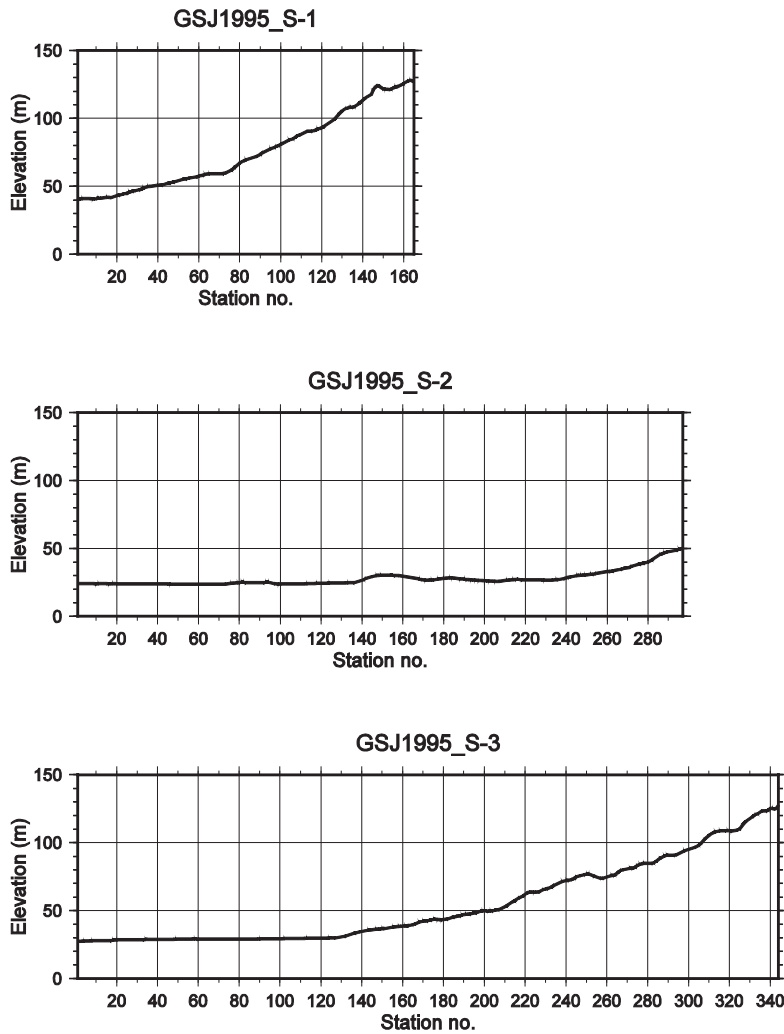
第1図 GSJ1995 国府津—松田測線 S-1, S-2, S-3 の測線図。青線：反射法地震探査測線 (受振点位置)。青数字：受振点番号。参考のため測線 S-4 (GSJ1995 S-4) および千代—曾我別所測線 (GSJ2015 C-S) も図示した。基図：国土地理院数値地図 25,000 「小田原北部」。活断層分布は中田・今泉編 (2002) による。

Fig.1 Seismic survey map of the GSJ1995 Kouzu-Matsuda survey lines S-1, S-2 and S-3. Blue lines: seismic reflection survey lines (receiver stations). Blue numerals: receiver station number. The survey line S-4 (GSJ1995 S-4) and the Chiyo-Sogabessyo survey line (GSJ2015 C-S) are also shown for reference purpose. Base map: Odawara-hokubu, Digital Map 25,000 (Map Image), Geospatial Information Authority of Japan. Active faults: after Nakata and Imaizumi eds. (2002).

は 1/5,000 詳細測線図だけでは再構成することは困難であった。そこで国土地理院が作製した 10 m DEM (FG-JPS-5239-71-dem10b-20090201.xml) から、デ

ジタイズした座標値に沿って対応する標高を切り出すことにより決定した。このようにして再構成した座標値に基づく測線図および標高図をそれぞれ第1図,





第 2 図 GSJ1995 国府津—松田測線 S-1, S-2 および S-3 の標高図。  
Fig.2 Elevation maps along the GSJ1995 Kouzu-Matsuda survey lines S-1, S-2 and S-3.

第 2 図に示す。

## 2.2 探査仕様

探査仕様は 3 測線とも同一である。震源として日本地工社製ドロップヒッター DNS を 1 台使用し、50 kg の重錘を 1.2 m の高さから落下させることにより起震している。受振器には Mark Products 社製 L-21A (固有周波数 27 Hz) を使用し、各受振点あたり 9 個の受振器を 0.6 m 間隔で並べている。発震点間隔および受振点間隔はともに 5 m である。探査器は Geometrics 社製 StrataView60 を使用し、各発震あたり 60 チャンネルでデータを収録している。展開としては、震源の後方に 10 m のオフセットをとって 24 ch を、また震源の前方に 10 m のオフセットをとって 36 ch を配置するようなスプリット・スプレッド展開を採用している。サンプリング間隔は 1 ms、記

録長は 1.024 s である。探査仕様の詳細を第 1 表に示す。

## 2.3 データの質

第 3 図～第 5 図に測線 S-1, S-2, S-3 それぞれの 40 発震点 (200 m 間隔) おきの発震記録を示す。全般的に表面波が非常に卓越したデータであり、また人工的なノイズレベルの高いデータとなっている。一部に水道本管を伝わったと思われる大振幅のチューブ波が発生している例もある。これらノイズのため初動すら十分に判別できない発震記録が多々含まれている。しかし平野部の工場・人家等の少ない地域では浅部に明瞭な反射波を認めることができ、一部では 0.5 s を超える深度まで反射波が認められている。一方、丘陵部ではあまり顕著な反射波は認められない。

## 3. データ処理

### 3.1 処理方法

上記発震記録に対し、CMP 間隔 2.5 m の CMP 編集を行った。標準の CMP 重合数は 30 である。測線 S-1, S-2, S-3 の CMP 重合測線を、周辺の既存測

線神奈川県 2001-A, B, C 測線 (神奈川県, 2002a, 2002b), 小田原 2002 測線 (田中ほか, 2002, 2003; 宮内ほか, 2003), 飯泉—沼代 2010 測線 (今泉ほか, 2012), 測線 S-4, 千代—曽我別所測線の概略位置、および主要ボーリング位置 (水野ほか, 1996a, b; 山崎・水野, 1999) とともに第 6 図に示す。

現在、データ処理は周波数解析、デコンボリューション、初動解析、静補正、第 1 次速度解析、残留静補正などが終わった程度であり、まだ十分なノイズ抑制ができていない。すべての測線において、初動読み取りのみならず、ランダムノイズの除去、表面波の除去、初動付近のミュート、などに関して改善の余地がある。今後これら表面波の影響の除去や、正確な速度構造の解析、残留静補正の複数回適用など、処理作業をさらに進める必要がある。

現時点での測線 S-1, S-2, S-3 の重合後時間断面を

第1表 GSJ1995 国府津—松田反射法地震探査測線の探査諸元.  
Table.1 Field parameters of the GSJ1995 Kouzu-Matsuda seismic reflection surveys.

測線名	GSJ1995 国府津- 松田測線 S-1	GSJ1995 国府津- 松田測線 S-2	GSJ1995 国府津- 松田測線 S-3
測線長	830 m	1,485 m	1,725 m
探査地域	小田原市曾我谷津	小田原市曾我岸	小田原市上曾我
探査方向	SSW→NNE	WSW→ENE	SW→NE
震源	ドロップヒッターDNS (日本土工社製)		
台数	1台 (重錘 50kg, 落下高 1.2m)		
発震点間隔	5 m		
垂直重合数	5~16	5~20	14~32
総発震点数	161	292	340
受振器	L-21A (Mark Products 社製)		
固有周波数	27 Hz		
アレイ	0.6m x 9個/点		
受振点間隔	5 m		
発震展開	スプリット・スプレッド (24ch+36ch)		
総受振点数	165	297	344
探鉱器	StrataView60 (Geometrics 社製)		
チャンネル数	60 ch		
サンプリング間隔	1 ms		
記録長	1.024 s		
CMP 重合数	30 (標準)		
CMP 間隔	2.5 m		
CMP 数	300	581	662
CMP 重合測線長	747.5 m	1,450.0 m	1,652.5 m

それぞれ第7図～第9図上段に示す。すべて各CMPギャザーの平均標高を基準面として処理を実施し、図のプロットにさいしては replacement velocity を 1.6 km/s とし、海拔 160 m を往復走時 0 s の原点としている。比較のため当探査データの当時のオリジナルな処理結果 (紙出力のみ残されている) を同一縮尺 (ただし往復走時は 0.6 s まで) でそれぞれ第7図～第9図下段に示した。

### 3.2 処理結果

マイグレーションや深度変換を行った後でないと詳細な構造の議論は意味がないため、以下では時間断面に見られる見かけの状況を概観するととどめる。オリジナルな処理結果に比べて今回の処理結果の方が反射面の連続性が全体としてかなり向上していることが分かる。この結果から推定すると、当時の処理では静補正のうち、標高補正はなされているが、風化層補正がなされていないものと考えられる。その違いが浅部の反射面の連続性の良し悪し・出現時間の若干のずれな

どに反映しているものと考えられる。とはいうものの、本報告の静補正処理でもノイズ混入により初動読み取りの困難な部分があり、まだ十分な補正効果の得られていない部分もある。

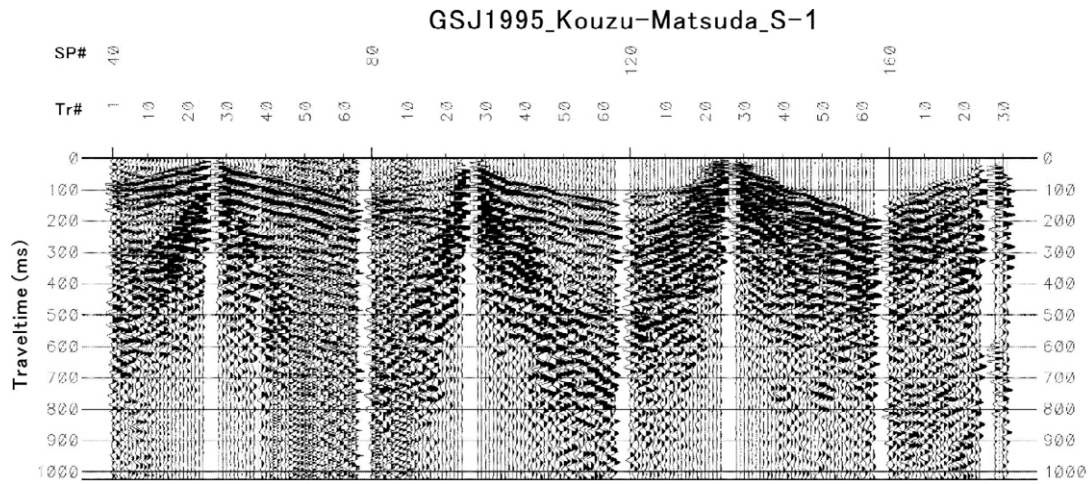
#### 測線 S-1

CMP.160 付近を境に南南西側では往復走時 0.7 ~ 0.8 s 付近まで反射波らしきものが認められるが、北北東側では明瞭な反射面が認められない。南南西側に見られる反射面のうち浅部のものは北北東向き傾斜 (本報告ではすべて見かけの傾斜方向を扱っている) を示しているが、深部はほぼ水平な構造を呈する。従って浅部の北北東向き傾斜の反射面直下は傾斜不整合あるいは断層となっていると想定される。本測線上では、例えば中田・今泉編 (2002) によれば CMP.150 付近、CMP.210 付近および測線のやや南方に断層が想定される。

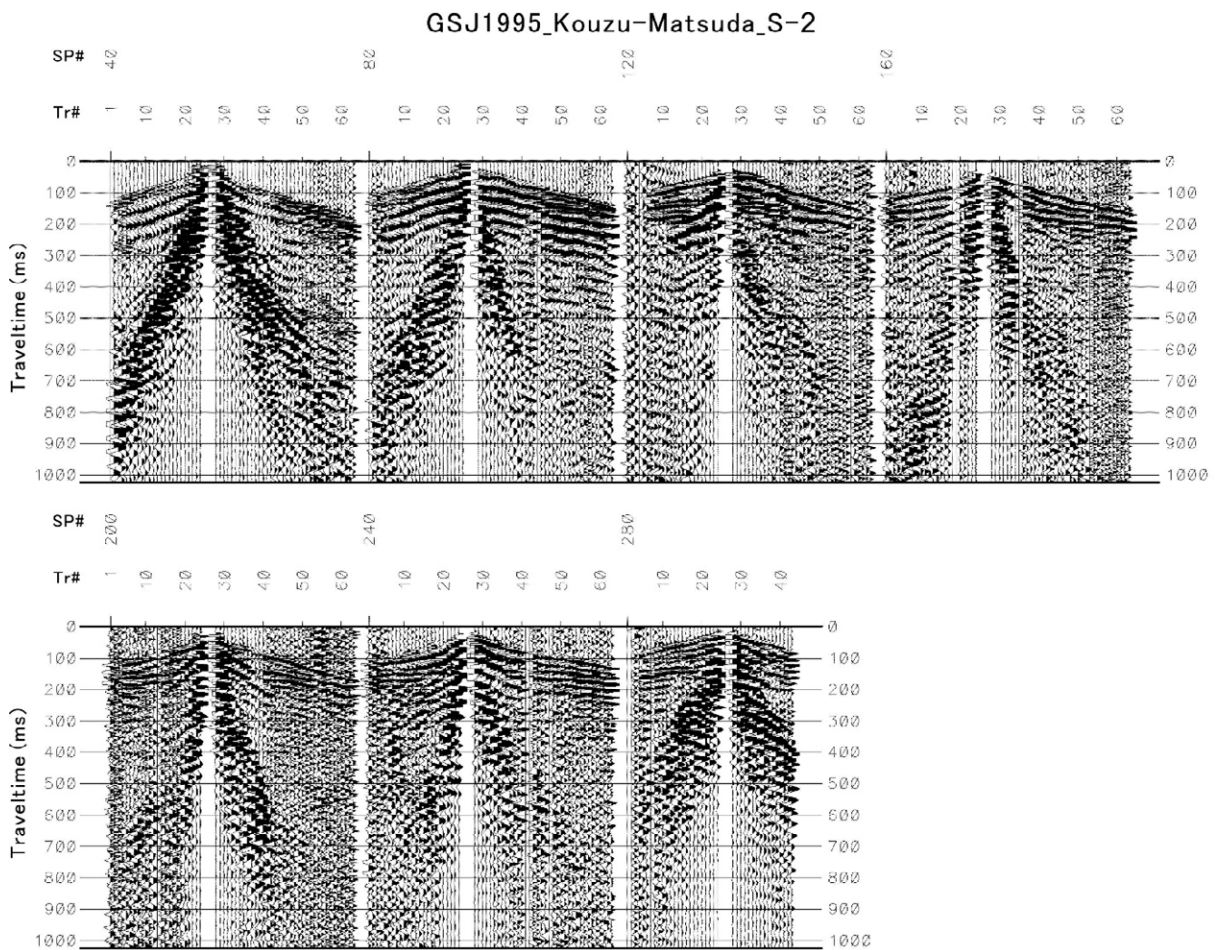
#### 測線 S-2

測線のほぼ全体にわたって連続する明瞭な反射面が往復走時 0.5 s 近くまで認められる。またおよそ 0.7 s 付近まで弱い反射面が存在している。これら反射面のうち、往復走時 0.25 s 付近の反射面はもっとも顕著である。この顕著な反射面は軽微な東方への傾斜を示す。その下位の反射面は深くなるほどその東方への傾斜が増していく傾向にあり、国府津—松田断層の活動にともなう累積的な傾動を示している可能性がある。また 0.25 s 付近の反射面は下位の反射面と緩やかな傾斜不整合をなしているように見える。本測線上では、例えば中田・今泉編 (2002) によれば CMP.520 付近を断層 (本体) が、また CMP.150 付近に千代台地西縁を画する断層 (分岐断層) が通るとされている。なお、測線西端の CMP.1 ~ CMP.120 付近では水道本管の影響と思われるチューブ波が発震記録上に現れていたため、静補正の際の初動読み取りが非常に困難であった。この部分で反射面の連続性が悪くなっているのはそのためである。しかし上記のもっとも顕著な反射面は少なくとも CMP.30 付近まで西方に連続している。





第 3 図 GSJ1995 国府津—松田測線 S-1 の発震記録例。  
Fig.3 Some shot records of the GSJ1995 Kouzu-Matsuda survey line S-1.



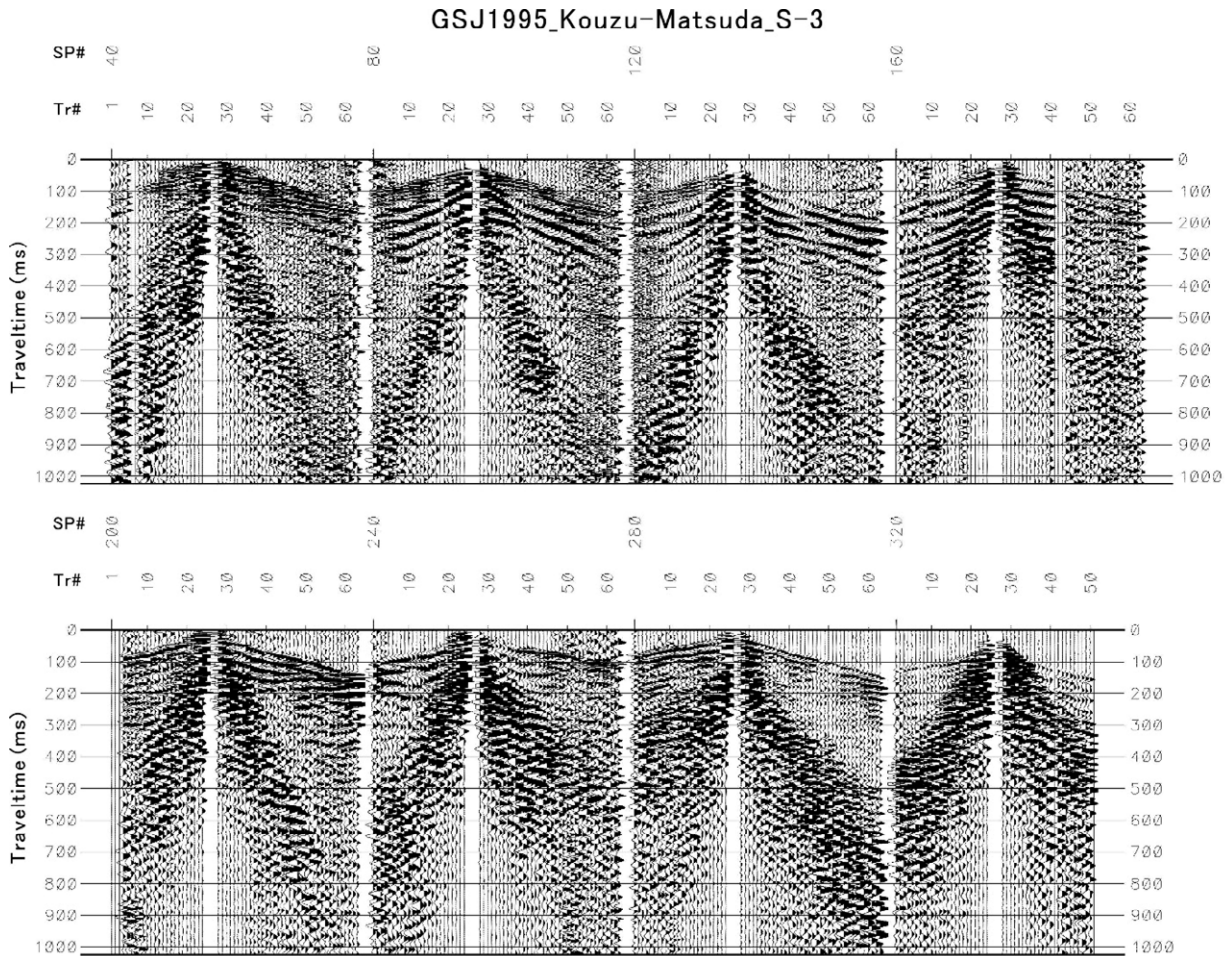
第 4 図 GSJ1995 国府津—松田測線 S-2 の発震記録例。  
Fig.4 Some shot records of the GSJ1995 Kouzu-Matsuda survey line S-2.

### 測線 S-3

CMP.400 付近を境に西側 (平野側) ではほぼ水平ないし緩やかに東方へ傾斜する明瞭な反射面群が往復走時 0.5 s を超える深度まで認められる。特に往復走時 0.3 s 付近のものが顕著である。さらにその下位にも断続的に 0.7 s 付近まで反射面らしきものが認められ

る。一方 CMP.400 より東側 (丘陵側) では西方へ大きく傾斜する反射面群が認められる。丘陵側の深部には明瞭な反射波は認められない。本測線上では、例えば中田・今泉編 (2002) によれば CMP.380 付近に断層が想定される。なお、CMP.240 ~ CMP.400 付近 (御殿場線付近—丘陵西端付近) の浅部で反射波が乱れて





第5図 GSJ1995 国府津—松田測線 S-3 の発震記録例。  
Fig.5 Some shot records of the GSJ1995 Kouzu-Matsuda survey line S-3.

いるのは発震記録上でノイズレベルが高かったため  
で、おそらく人家が密集していることによると思われ  
る。

#### 4. 議論

ここでは、反射法処理断面と周辺で実施されたボー  
リング・データとの対比、および千代台地西縁に想定  
される“活断層”についての簡単な議論のみを行う。

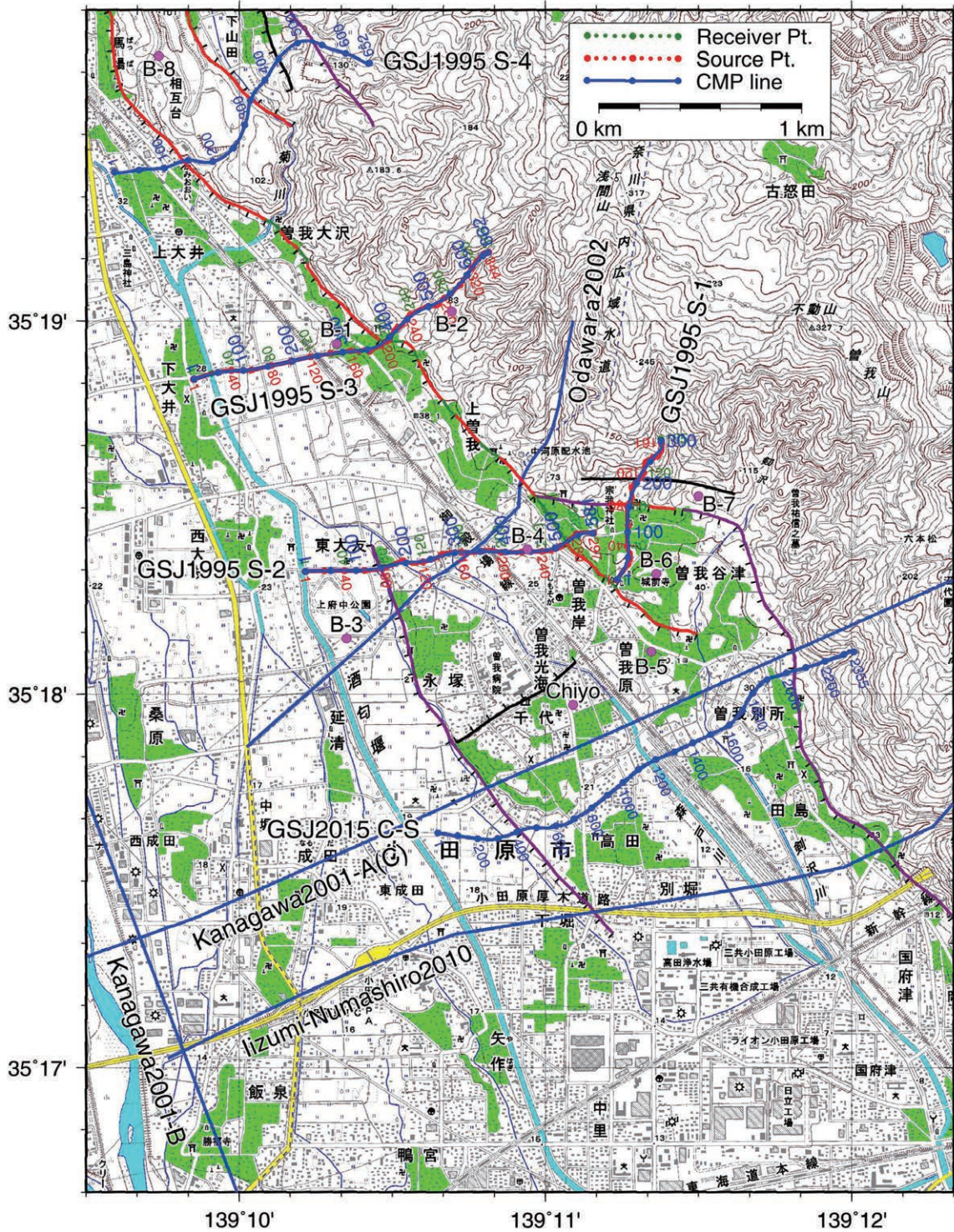
##### 4.1 ボーリング・データとの対比

水野ほか(1996a, b)は本報告で扱っている反射法  
地震探査に加えて 11 地点でのボーリング調査 (B-1  
～ B-11) を実施した。第 6 図にはこのうち近隣の B-1  
～ B-8 ボーリングを示した。また同じく地質調査所  
の実施した千代ボーリング (水野ほか, 1996a, b; 山崎・  
水野, 1999) も併せて示している。以下ではこれらボー  
リング・データと反射法処理結果との対比を行うが、  
議論の都合上測線 S-2, S-3, S-1 の順で述べる。

##### 測線 S-2

CMP.80 付近の約 350 m 南方に B-3 ボーリング (孔  
口標高 22.23 m, 掘削深度 100.00 m) があり、そこ  
では箱根新期軽石流堆積物 (TP-fl) 直下の東京軽石層  
(TP) 基底が標高 -40.01 m に、また若干のローム層を  
介して三崎面相当 (M2: 酸素同位体ステージ 5a) の河  
床砂礫層が標高 -44.38 m にそれぞれ認められたとい  
う (水野ほか, 1996a, b; 山崎・水野, 1999)。顕  
著な反射面となりうるのは、速度や密度が大きく異な  
る境界面であるから、本測線では TP-fl・TP・ローム層  
などその下位にある河床砂礫との境界が顕著な反射  
面になると想定される。こころみにこの顕著な反射面  
の標高を次に概算してみる。CMP.80 (平均標高 23.9  
m) では平均標高から顕著な反射面までの往復走時は  
約 85 ms であるから、速度解析による平均速度約 1.60  
km/s を使用して、この反射面の標高は式 [(平均標高)  
- (平均標高からの往復走時) × (平均速度) / 2] に  
よって -44.1 m となる。これは、やや離れているもの  
の B-3 ボーリングでの河床砂礫の標高値とほぼ同じ値

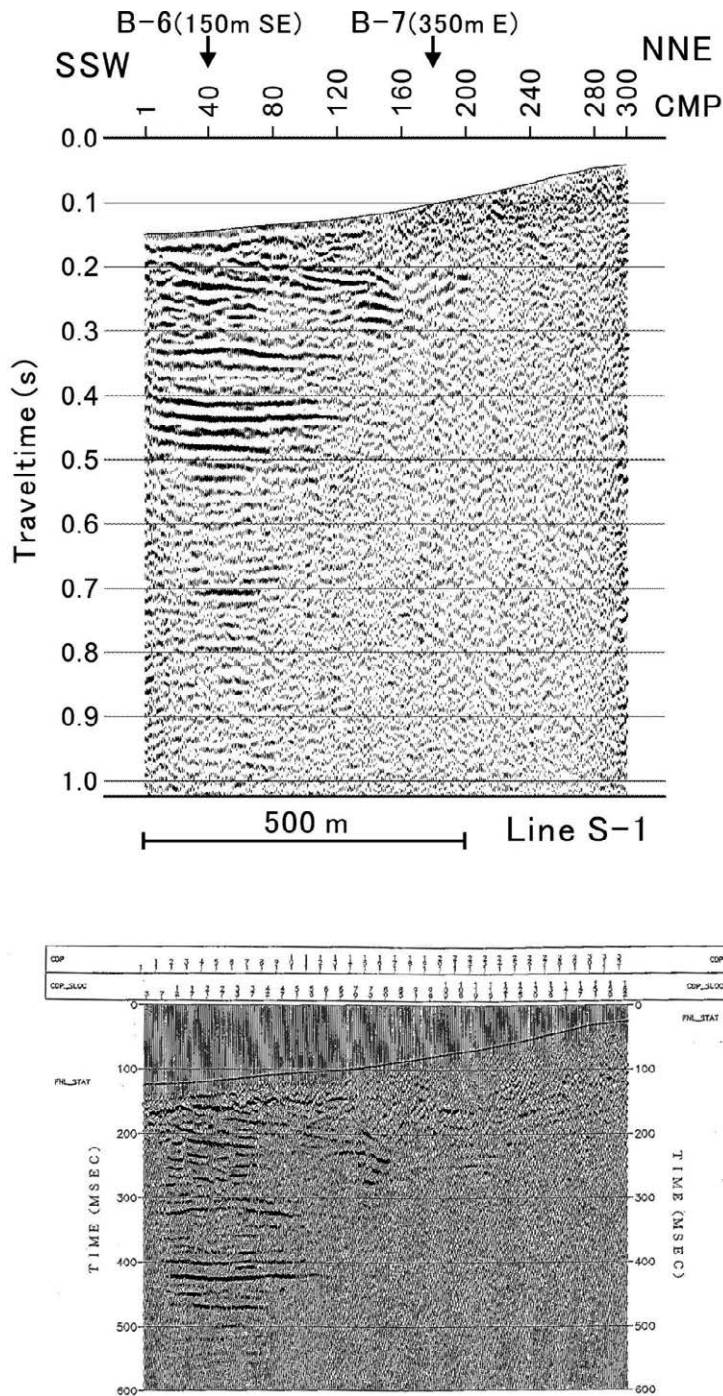




第 6 図 GSJ1995 国府津—松田測線 S-1, S-2, S-3 の CMP 重合測線図。参考のため、周辺の反射法測線 (神奈川県 2001-A, B, C, 小田原 2002, 飯泉—沼代 2010, GSJ1995 S-4, GSJ2015 C-S) の概略位置およびボーリング位置 (B-1, B-2, …, B-8, 千代) も示す。青線: CMP 重合測線。マゼンタ丸印: ボーリング位置。基図: 国土地理院数値地図 25,000 「小田原北部」。活断層分布は中田・今泉編 (2002) による。

Fig.6 CMP stacking lines of the GSJ1995 Kouzu-Matsuda survey lines S-1, S-2 and S-3. Approximate locations of reflection survey lines (Kanagawa2001-A, B and C, Odawara2002, Iizumi-Numashiro2010, GSJ1995 S-4, and GSJ2015 C-S) and boring sites (B-1, B-2, …, B-8 and Chiyori) around this area are also shown for reference purpose. Blue lines: CMP stacking lines. Magenta circles: boring sites. Base map: Odawara-hokubu, Digital Map 25,000 (Map Image), Geospatial Information Authority of Japan. Active faults: after Nakata and Imaizumi eds. (2002).





第7図 G SJ1995 国府津—松田測線 S-1 の時間断面。上段：本報告の解析結果。下段：オリジナル解析結果。

Fig.7 Stacked time section of the G SJ1995 Kouzu-Matsuda survey line S-1. Top: processing result by present study. Bottom: original processing result.

である。また測線 S-2 の CMP.440 (CMP.80 の 900 m 東方) 付近に B-4 ボーリング ( 孔口標高 25.65 m, 掘削深度 50.00 m ) があるが, 50 m 掘削しても TP-fl まではか達していない ( 水野ほか, 1996a )。ちなみに, CMP.440 ( 平均標高 27.0 m ) での上記顕著な反射面の往復走時は約 100 ms, 平均速度は約 1.65 km/s であるから, 上記同様にその標高は -55.5 m となる。この

ことはこの顕著な反射面が東方へ緩やかに傾動 ( 水平距離 1 km に対して約 12 ~ 13 m の沈降に相当 ) していることを示しており, 千代台地上で見出されている傾動 ( 太田ほか, 1982 ) に対応するものであると考えられる。

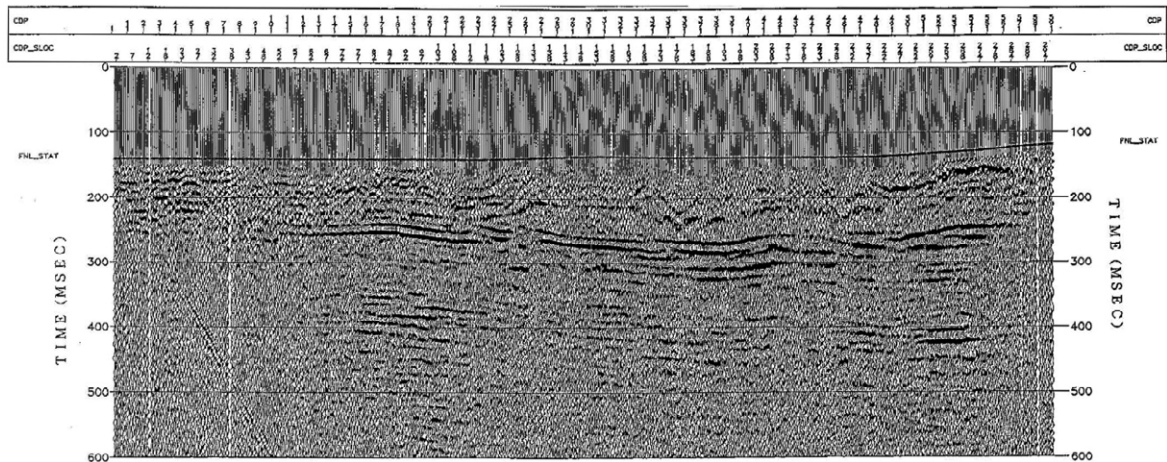
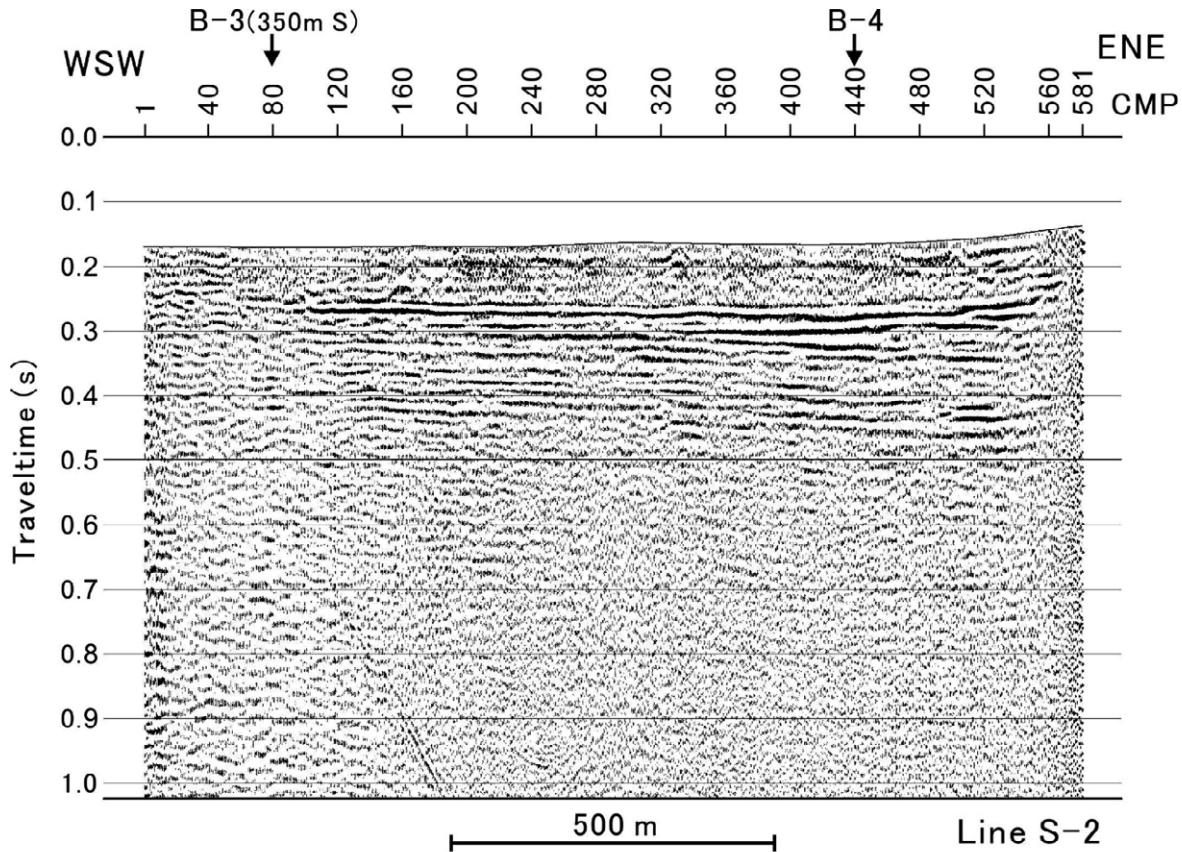
### 測線 S-3

CMP.290 付近の約 40 m 北方に B-1 ボーリング ( 孔口標高 35.47 m, 掘削深度 150.00 m ) があり, ここでは TP 基底が標高 -87.28 m に, またローム層を介して河成砂礫層が標高 -92.63 m に認められている ( 水野ほか, 1996a )。山崎・水野 (1999) は B-1 ボーリングの TP 基底の「下位はテフラを介さず直接河成礫層が存在するので, この礫層は M2 面構成層には対比できない」としているが, 実際には B-3 ボーリングと全く同様な構成で「テフラを介」して砂礫層が存在している ( 水野ほか, 1996a )。従ってこの砂礫層も M2 面構成層で, 同層準であると考えられる。CMP.290 ( 平均標高 35.9 m ) では顕著な反射面の平均標高からの往復走時は約 150 ms, この付近の平均速度は 1.73 km/s であるから, 上記同様に顕著な反射面の標高は -93.9 m となる。これは B-1 ボーリングにおける河成砂礫の標高と調和的である。一方丘陵側の CMP.530 付近の約 70 m 南東に B-2 ボーリング ( 孔口標高 82.54 m, 掘削深度 30.00 m ) があり, ここではすべて曾我山礫層が分布している ( 水野ほか, 1996a )。従って測線 S-3 の東端浅部における西傾斜の反射面は曾我山礫層中の反射面と想定されるが, その実体は不明である。

### 測線 S-1

CMP.40 付近の約 150 m 南東に B-6 ボーリング ( 孔口標高 53.55 m, 掘削深度 70.00 m ) があり, ここでは TP 基底が標高 15.70 m に認められている。このボーリングで顕著な反射面となる可能性があるのは, TP の下位にあるローム層とその下位の礫混じり砂層の境界 ( 標高 7.80 m ) であると思われる。CMP.40 ( 平均標高 44.6 m ) において顕著に見られる東傾斜の反射面は二つあり, それぞれ往復走時で約





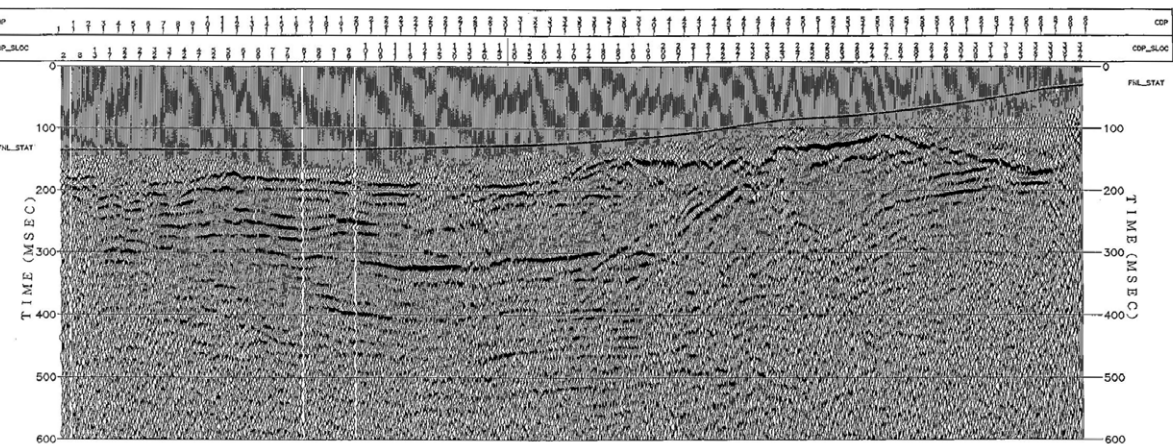
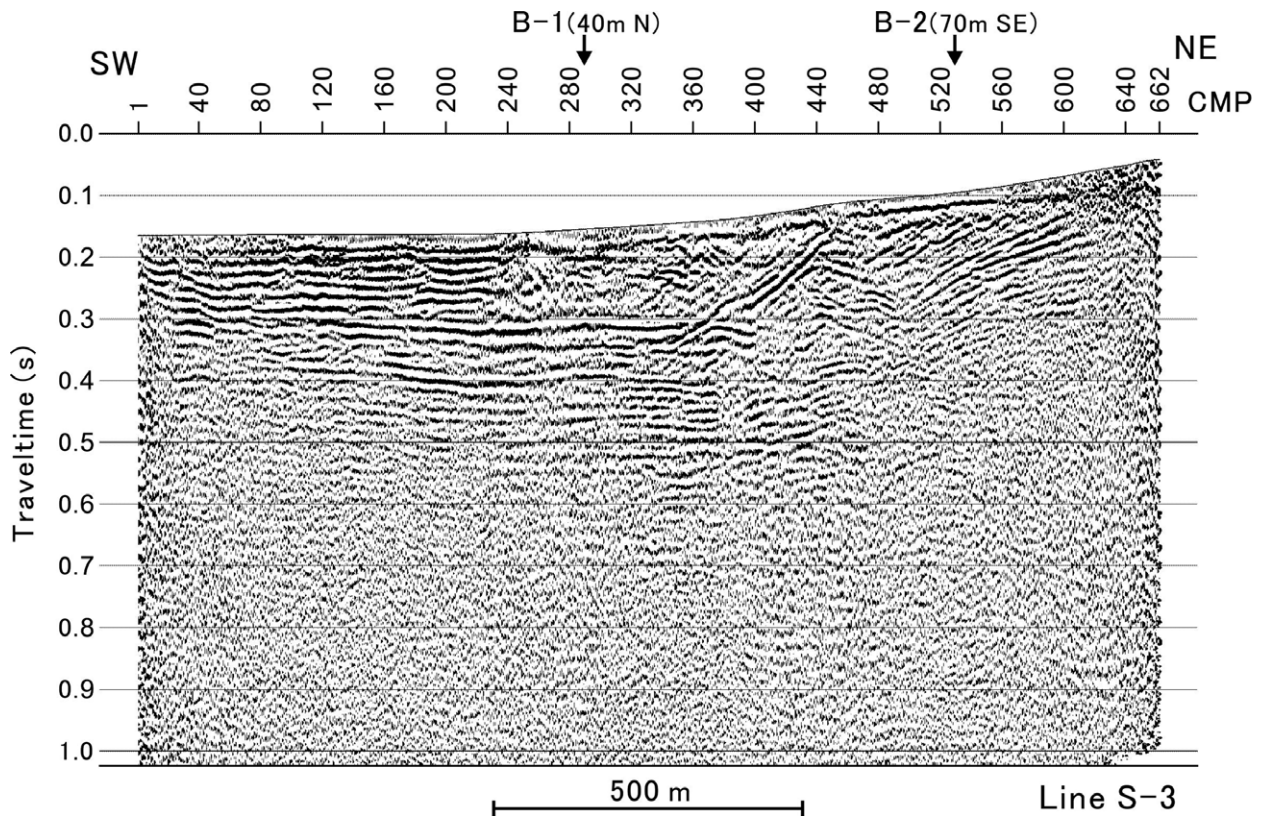
第 8 図 GSJ1995 国府津—松田測線 S-2 の時間断面. 上段：本報告の解析結果. 下段：オリジナル解析結果.  
 Fig.8 Stacked time section of the GSJ1995 Kouzu-Matsuda survey line S-2. Top: processing result by present study.  
 Bottom: original processing result.

45 ms, 75 ms に相当する. それぞれの平均速度 1.62 km/s, 1.69 km/s を使用すると, 同様に標高はそれぞれ 8.2 m, -18.8 m と求められる. 前者は上記のローム層と砂層との境界にほぼ一致しており, 後者は掘削深度より深いところにある反射面ということになる. 測線 S-1 の丘陵部 CMP.180 付近の約 350 m 東方に B-7 ボーリング (孔口標高 87.90 m, 掘削深度 40.00 m) があり, ここでは標高 73.40 m に TP 基底が認められ

ているが, 40 m 掘削しても吉沢ローム層 (下末吉相当) 内にとどまっており (水野ほか, 1996a), 反射面となりうるものの情報は無い.

今後, 速度の見積もりが少し変更される可能性があり, ここで概算した各測線の反射面標高に若干の修正が必要となるかもしれないが, 顕著な反射面の推定標高とボーリング・データから想定される反射境界の標高とは非常に良く一致していると言える.





第9図 GSJ1995 国府津—松田測線 S-3 の時間断面. 上段：本報告の解析結果. 下段：オリジナル解析結果.  
 Fig.9 Stacked time section of the GSJ1995 Kouzu-Matsuda survey line S-3. Top: processing result by present study.  
 Bottom: original processing result.

#### 4.2 千代台地西縁の“活断層”

千代台地西縁に“活断層”が存在することを最初に指摘したのはおそらく Kaneko(1970)であろう。Kaneko(1970)は“a tilted fault block standing above the graven floor”として千代台地に言及し、その西縁に活断層を想定している。また1923年関東地震のさいにその西縁の崖に沿って若干の地変(沈下)が生じたとしている。これ以降、例えば Kaneko(1971), 活断層研究会編(1980), 太田ほか(1982), 上杉ほか

(1982), 活断層研究会編(1991), 宮内ほか(1996), 中田・今泉編(2002)などが千代台地西縁に活断層を想定している。いずれも、上下変位10m以上、東側隆起の断層であり、千代台地が東方へ傾動することから東傾斜の逆断層としている。一方、水野ほか(1996a, c), 山崎・水野(1999)はおもに千代台地西方酒匂川氾濫原上のB-3ボーリング(TP基底標高-40.01m, M2砂礫層上面標高-44.38m)と千代台地上の千代ボーリング(TP基底標高-42.1m, M2砂礫層上面標

高 -45.4 m) との比較をもとに、一部測線 S-2 のオリジナルな反射法処理結果 (第 8 図下段) を参照して、キーとなる TP 基底や M2 砂礫層上面の標高にほとんど差が認められないことから千代台地西縁に断層は存在しないと結論した。

本報告では中間処理結果をもとに議論しているが、現時点でも、千代台地西縁に断層はやはり存在しないと結論できる。測線 S-2 の CMP.150 付近が千代台地の西縁にあたるが、ここでは往復走時約 0.25 s の M2 面は連続性が良く、明瞭な変位は存在しない (第 8 図上段)。水野ほか (1996a, c)、山崎・水野 (1999) の参照した測線 S-2 のオリジナルな反射法処理断面 (第 8 図下段) は連続性が悪く、断層の有無や形状の議論にあまり耐えうる断面ではなかったが、少なくとも千代台地の西縁に断層変位を認めることは当時であっても困難であった。

ほかの既存反射法断面を参照しても同様に明瞭な変位を認めることはできない。例えば、神奈川県 (2002b) は地震関係基礎調査交付金による神縄・国府津—松田断層帯調査のさい、千代台地のほぼ中央部を東北東—西南西方向に横断している神奈川県 2001-C 測線 (神奈川県 2001-A 測線の一部で稠密発震を行った測線) で反射法探査を実施した。その深度断面図 (<http://www.hp1039.jishin.go.jp/danso/Kanagawa6/figures/f3-15-2.jpg> で公表されている) には、人工的ノイズのためか断面全体にわたって連続する反射面は得られていないが、千代台地を含む CMP.1340 ~ 1100 付近の標高約 -50 m に連続する顕著な反射面 (近隣の千代ボーリングを参照するとこれも M2 面相当と考えられる) が存在する。千代台地中央部から JR 御殿場線付近にかけて一部で反射面が乱れているが、少なくとも千代台地西縁 (CMP.1290 付近) 周辺でこの反射面は非常に良く連続しており、やはり台地西縁に断層を想定することは困難である。

今泉ほか (2012) の飯泉—沼代 2010 測線の深度断面図およびその解釈図 (これらは [http://jishin.go.jp/main/chousakenkyuu/kannawa\\_juten/h23/chap3\\_2\\_b.pdf](http://jishin.go.jp/main/chousakenkyuu/kannawa_juten/h23/chap3_2_b.pdf) に公表されている) には、CMP.270 ~ 580 付近のごく浅部に東へやや傾斜する顕著な反射面が認められる。この反射面には千代台地西縁 (CMP.430 付近) 周辺で反射波の乱れが存在し、今泉ほか (2012) は国府津—松田断層から続く分岐断層の一つがそこを通過していると解釈した。しかしこの顕著な反射面は“断

層”と解釈された部分をはさんで東西でほとんど上下変位は認められず、ノイズのため一部反射波の乱れはあるものの全体として一直線状に滑らかに繋がっている、との解釈も成り立つ。すなわちこれは、測線 S-2 や神奈川県 2001-C 測線に認められたように、東方へ緩やかに傾動する一連の反射面 (これもおそらく M2 面相当) である可能性がある。

ほかに千代台地を横断する反射法測線として田中ほか (2002, 2003)、宮内ほか (2003) の小田原 2002 測線が存在するが、処理結果が公開されていない。第 6 図に示したように小田原 2002 測線は測線 S-2 の中央部を斜めに横切り、B-3 ボーリングの近傍へと向かう測線である。上述のように、近傍の測線 S-2 で断層変位が見られないこと、また近傍の B-3 ボーリングと千代ボーリング間で TP 基底や M2 面の標高にほとんど差がないことから、おそらく小田原 2002 測線でも千代台地西縁に断層は存在しないものと推定される。本プロジェクトで実施した GSJ2015 千代—曾我別所測線の処理はまだあまり進んでおらず、また千代台地西縁周辺では震源の効きが非常に悪くノイズの大きいデータとなっているため、西縁に断層変位が存在するかどうかはまだ議論できない状態である (山口・伊藤, 2016)。しかし上記の反射法探査結果から見たときに、千代台地西縁に活断層が存在することを支持する積極的な証拠は今のところないと考えられる。また先に述べたように、千代台地に認められる傾動はもっと広い範囲におよぶ傾動の一部がたまたま地表で見えているに過ぎないと考えられるため、千代台地西縁に逆断層を想定する必然性もない。以上のことから、千代台地西縁に活断層は存在せず、西縁の崖はおそらく侵食崖であると考えられる。

千代台地西縁に活断層が存在しないという上記の結論は、宮内ほか (2003) あるいは今泉ほか (2012) が示した足柄平野下への国府津—松田断層の分岐前進過程が存在しないということを主張している訳ではない。少なくとも千代台地の西縁に達する分岐断層は存在していないということであり、ここより西方に分岐断層が存在する可能性は残されている。しかし、現状のいずれの反射法探査結果も都市部特有の高ノイズ環境のため反射波が乱されており、積極的に断層がどこを通過するかを示すことは今のところ困難であると思われる。



## 5. まとめ

工業技術院地質調査所(現,産業技術総合研究所地質調査総合センター)が1995年に実施した国府津—松田断層帯調査におけるP波反射法地震探査のデジタル発震記録等の所在が判明したため,同反射法データの再処理を実施した。1/5,000詳細測線図は存在するものの,位置座標が失われていたため,この詳細測線図をデジタル化して水平座標を決定した。標高値を測線図から決定することは困難であったため,国土地理院の10 m DEMから測線に沿った標高を切り出して決定した。処理はまだ途中段階にあり,今後種々のノイズ除去処理の適用など,詳細な処理を進めていく予定である。現時点での中間処理結果に関する結論をまとめると下記のようなになる。

平野部浅部に見られるもっとも顕著な反射面は,ボーリング結果との比較によれば,TP-fl・TP・ローム層などに覆われた砂礫層の上面に相当すると考えられる。特に測線S-2, S-3浅部のもっとも顕著な反射面は三崎面相当(M2:酸素同位体ステージ5a)の河成砂礫層上面に相当すると考えられる。

平野部の反射面は深くなるほど東方への傾斜を増しており,このことは国府津—松田断層帯の逆断層活動による累積的な東方への傾動を示している可能性がある。特に測線S-2浅部のもっとも顕著な反射面は水平距離1 kmに対して約12~13 mの沈降に相当する東方への傾動を示す。これは千代台地で認められている東方への傾動とほぼ同等の大きさを持つ。

測線S-2では,千代台地西縁を含むほぼ断面全体にわたって浅部のもっとも顕著な反射面が連続している。既存の反射法探査結果を概観しても,もっとも顕著な反射面は千代台地西縁下で連続していると解釈できる。従って千代台地西縁付近に活断層は存在せず,西縁の崖はおそらく侵食崖であると考えられる。

## 謝辞

反射法データ処理にあたり,発震点・受振点の標高値を再構成するために国土地理院作製の10 m DEM (FG-JPS-5239-71-dem10b-20090201.xml)を使用した。第1図,第2図,第6図を作成するにあたり,GMT mapping tools (Wessel and Smith, 1998)を使用した。ここに記して感謝の意を表す。

## 文献

- 今泉俊文・石山達也・宮内崇裕・東郷正美・鈴木毅彦・佐藤比呂志・戸田 茂・加藤 一・越後智雄・田力正好(2012) 神縄・国府津—松田断層帯の変動地形と活動様式・活動性の解明。「神縄・国府津—松田断層帯における重点的な調査観測 平成21~23年度成果報告書」。文部科学省研究開発局・国立大学法人東京大学地震研究所, 148-184。
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会(1997)「神縄・国府津—松田断層帯の調査結果と評価について」。20p。
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2005)「神縄・国府津—松田断層帯の長期評価の一部改訂について」。30p。
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2009)「神縄・国府津—松田断層帯の評価(一部改訂)」。35p。
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2015)「塩沢断層帯・平山—松田北断層帯・国府津—松田断層帯(神縄・国府津—松田断層帯)の長期評価(第二版)」。55p。
- 神奈川県(2002a)「平成13年度地震関係基礎調査交付金神奈川県地下構造調査成果報告書」。
- 神奈川県(2002b)「平成13年度神奈川県活断層(神縄・国府津—松田断層帯)調査事業成果報告書」。127p。
- Kaneko, S.(1970) Deformation of Hakone volcano, south-west of Tokyo, Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **76**, 247-257。
- Kaneko, S.(1971) Neotectonics of Oiso hills and contiguous districts in south Kanto, Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **77**, 345-358。
- 活断層研究会編(1980)「日本の活断層—分布図と資料—」。東京大学出版会, 363p。
- 活断層研究会編(1991)「新編日本の活断層—分布図と資料—」。東京大学出版会, 437p。
- 松田時彦(1996)「要注意断層」の再検討。活断層研究, **14**, 1-8。
- 宮内崇裕・池田安隆・今泉俊文・佐藤比呂志・東郷正美(1996) 1:25,000都市圏活断層図「小田原」。国土地理院。
- 宮内崇裕・田中 環・伊藤谷生・佐藤比呂志・川村知徳・

- 石山達也・加藤 一・井川 猛 (2003) 反射法地震探査からみた神縄国府津松田断層システムの前進過程とアクティブテクトニクス. 地球惑星科学関連学会 2003 年合同大会予稿集, J027-P009.
- 水野清秀・山崎晴雄・下川浩一・佐竹健治・井村隆介・吉岡敏和 (1996a) 平成 7 年度活断層調査研究報告 No.28 国府津－松田断層のボーリング, 物理探査等による総合地質調査. 地質調査所研究資料集, 252, 69p.
- 水野清秀・山崎晴雄・下川浩一・佐竹健治・井村隆介・吉岡敏和 (1996b) 国府津－松田断層の活動履歴及び活動性調査. 平成 7 年度活断層研究調査概要報告書, 地質調査所研究資料集, 259, 81-88.
- 水野清秀・佐野正明・林 雅一・山崎晴雄 (1996c) 国府津－松田断層の地質構造及び活動性調査. 日本地質学会第 103 年学術大会講演要旨, 363.
- 中田 高・今泉俊文編 (2002) 「活断層詳細デジタルマップ」. 東京大学出版会, DVD-ROM 2 枚・付図 1 葉・60p.
- 太田陽子・松田時彦・小池敏夫・池田安隆・今泉俊文・奥村 清 (1982) 国府津・松田断層に関する調査報告. 神奈川県地震災害対策資料「三浦半島および国府津・松田地域の活断層に関する調査報告書」, 神奈川県, 82-195.
- 田中 環・佐藤比呂志・宮内崇裕・伊藤谷生・加藤 一・河村知徳・石山達也・菊池伸輔・児島悠司・笠原敬司・太田陽一・川崎慎治・井川 猛 (2002) 小田原東部 国府津－松田断層の反射法地震探査による浅部地下構造. 日本地質学会第 109 年学術大会講演要旨, 285.
- 田中 環・宮内崇裕・佐藤比呂志・伊藤谷生・越後智雄・加藤 一・河村知徳・石山達也・菊池伸輔・児島悠司・笠原敬司・太田陽一・川崎慎治・井川 猛 (2003) 反射法地震探査による国府津－松田断層及び足柄平野の地下構造の解明. 日本地質学会第 110 年学術大会講演要旨, 263.
- 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.
- Wessel, P. and Smith, W. H. F. (1998) New, improved version of generic mapping tools released. EOS Trans. American Geophysical Union, 79, 579.
- 山口和雄・伊藤 忍 (2016) 足柄平野における浅部地下構造調査－データ取得－. 平成 27 年度沿岸域の地質・活断層調査研究報告, 産業技術総合研究所地質調査総合センター速報, 本報告書.
- 山崎晴雄・水野清秀 (1999) 国府津・松田断層の最新活動史と地震テクトニクス. 第四紀研究, 38, 447-460.