

### 3. 1. 2 東京湾地殻構造探査（東京湾 2003）

#### (1) 業務の内容

(a) 業務題目：東京湾地殻構造探査（東京湾 2003）

(b) 担当者

| 所属機関            | 役職       | 氏名     | メールアドレス                     |
|-----------------|----------|--------|-----------------------------|
| 東京大学地震研究所       | 助教授      | 佐藤 比呂志 | satow@eri.u-tokyo.ac.jp     |
| 東京大学地震研究所       | 教授       | 平田 直   | hirata@eri.u-tokyo.ac.jp    |
| 東京大学地震研究所       | 教授       | 岩崎 貴哉  | iwasaki@eri.u-tokyo.ac.jp   |
| 東京大学地震研究所       | 助教授      | 瀬瀬 一起  | koketsu@eri.u-tokyo.ac.jp   |
| 千葉大学理学部         | 教授       | 伊藤 谷生  | tito@earth.s.chiba-u.ac.jp  |
| 京都大学防災研究所       | 教授       | 伊藤 潔   | ito@rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp |
| 独立行政法人防災科学技術研究所 | 主任研究員    | 笠原 敬司  | kasa@geo.bosai.go.jp        |
| 東京大学地震研究所       | 産学官連携研究員 | 河村 知徳  | tkawa@eri.u-tokyo.ac.jp     |

#### (c) 業務の目的

大都市圏において大規模な地震に伴って発生する強震動を高い精度で予測するためには、少なくとも震源断層の形態や特性、強震動伝搬経路の弾性波速度構造などが解明される必要がある。本業務では大都市圏に被害を与える震源断層の形態や特性、強震動伝搬経路の弾性波速度構造などを制御震源を用いて明らかにすることを目的とする。

(d) 5 ヶ年の年次実施計画：制御震源による地殻構造探査の年次計画について、3. 1. 1 参照。

#### (e) 平成 15 年度業務目的

首都圏南部地域にはフィリピン海プレートが沈み込み、その上面には大規模なプレート境界型の震源断層が位置している。本業務では、制御震源を用いた地殻構造探査によってこの震源断層の位置と形状を高い精度で明らかにすることを目的とする。また、三浦半島中部には、三浦半島活断層群が位置するが、この内陸活断層の深部延長の形状、とくにプレート境界断層との接合関係を明らかにする。さらに、強震動予測にとって重要な関東平野南部の堆積平野の地下構造、とくに堆積盆地の速度構造と形状を明らかにすることを目的とする。

### (2) 平成 15 年度の成果

#### (a) 業務の要約

南関東地域におけるフィリピン海プレート上面に位置する震源断層の位置と形状、堆積盆地の形状と速度構造を含む地殻の速度構造、内陸活断層の深部形状とプレート境界断層との関連を明らかにするために、三浦半島南端から東京湾北端にいたる地殻構造探査を実施した。地殻構造探査は測線は、三浦半島南西端から横須賀を経て、東京湾を北上し浦安に至る全長約 70km の区間である。陸上ではバイプロサイス、海域では海底ケーブル型の受振システムと、稠密なエアガンの発震とそれらの重合処理によって、フィリピン海プレート上面に相当する反射波群がほぼ測線全域に渡って得られた。この反射波群は三浦半島南端では往復走時 4 秒から東京湾北部では約 10 秒まで追跡される。関東構造盆地南部の地下構造については、今回の探査によって極めて明瞭になった。とくに三浦半島北方において、先新第三系上面に相当する反射層が往復走時 4 秒（地下 6km）まで低下していることは、今回の探査で初めて明らかになった事実である。また、三浦半島断層群の武山断層については、反射パターンの不連続から、地下 4km 程度まで断層の形状を追跡でき、北傾斜の形状を明らかにすることができた。

(b) 業務の成果

1) 調査地域

調査測線は、三浦半島南西沖を南端とし、三浦半島および東京湾を横断して東京湾北岸に至る全長約70kmである。以下に示すように、本調査は複数の陸域と海域をまたいで実施され、それぞれの区間で受振・発震作業を行った。

- ・三浦半島陸域 : 横須賀市新安浦港～三浦市三戸地区間の約15km
- ・三浦半島沖合海域 : 三浦半島陸域測線南端付近から南西方向に約10km
- ・東京湾内海域 : 横須賀市新安浦港～東京湾北岸（浦安市）間の約43km
- ・東京湾北岸陸域 : 浦安市内約2km

図1に受振点および発震点の分布図を示す。赤色が受振点、青色が発震点をそれぞれ表す。図中には反射法データ解析に用いた重合測線を併せて示した。また、図2、図3に本調査地域周辺の地質図<sup>1)</sup>および重力異常図（ブーゲー異常図）<sup>2)</sup>を示した。

測線周辺の基本的な地質構造は、ほぼ東西方向の走向を示し、探査測線はこの構造にほぼ直交する。測線周辺の地質構造は、三浦半島の中で葉山隆起帯の南方とその北方、三浦半島の北端部から東京湾にかけての領域に区分される。三浦半島の中部地域には、房総半島から連なる嶺岡-葉山隆起帯が西北西-東南東方向に分布する。この隆起帯は複背斜を構成し、の中軸部には主として古第三紀～中新統の葉山層群が、2列の地塁をなして分布する。泥岩・砂岩・砂岩泥岩互層などから構成され、超塩基性岩の小岩体を含む<sup>1) 3)</sup>。その上位には中部中新統～下部鮮新統の三浦層群が下位の葉山層群と不整合ない断層で境されて分布する<sup>1)</sup>。葉山隆起帯とその南方には三崎層・逗子層・初声層が分布する。三崎層は主として砂岩泥岩からなり、しばしば乱堆積相を示す海成層で、三浦層群の最下部をなし半島南部に分布する。概ね中部中新統から上部中新統下部に相当する。隆起帯南方に分布する初音層は、主としてスコリア質、軽石質の粗粒砂岩からなる浅海性の堆積物である。下位の三崎層に整合に重なるが下部は三崎層と指交関係にある。概ね上部中新統である。逗子層は葉山隆起帯周辺に分布し、主として泥岩からなる。下部は南方の初音層とは指交関係にあり、上部中新統から下部鮮新統に相当する。底生有孔虫化石からは、逗子層堆積中に浅海から中部漸深海帯までの急激な沈降運動が報告されている<sup>4)</sup>。池子層は葉山隆起帯の北翼に分布する主として凝灰質砂岩から構成される下部鮮新統で、下位の逗子層を整合に覆う。

三浦半島の地質構造は、大局的には東西方向の褶曲軸を有する短縮変形によって特徴づけられる。三浦半島南端に位置する剣崎背斜は、転倒した南翼をもつ褶曲軸面が北に傾斜した非対称褶曲である<sup>5)</sup>。葉山隆起帯の南翼は武山断層により、北側の葉山層群と南側の三浦層群が直接する<sup>4)</sup>。武山断層は北側低下の高角な断層で、第四紀後期は右横ずれセンスを有する横ずれ断層として活動している。武山断層の北方には、南側の葉山層群と北側の三浦層群を境する北武断層が西北西-東南東走向で分布する<sup>6)</sup>。地表近傍での傾斜は高角であり、第四紀後期には武山断層と同じく右横ずれ断層として活動している。葉山層群は2列の地塁をなして分布するが、北側の地塁の南縁には衣笠断層が位置し、南方の活断層群と同様に第四紀後期には右横ずれ断層として活動している<sup>6)</sup>。この地塁の北翼は三浦層群が西北西走向、30度前後北傾斜を示す等斜構造をなす。

横浜南部から東京湾にかけての関東構造盆地南部には、葉山隆起帯北翼に分布する三浦層群を不整合に覆って厚い上部鮮新統から第四系の堆積層が分布する<sup>1) 7)</sup>。葉山隆起帯北翼はブーゲー異常の急変部になっており、重力異常からも南方に向かって厚い堆積層の分布が示唆される。これらの地層は上総層群・下総層群とよばれる鮮新世中期以降の堆積物である。

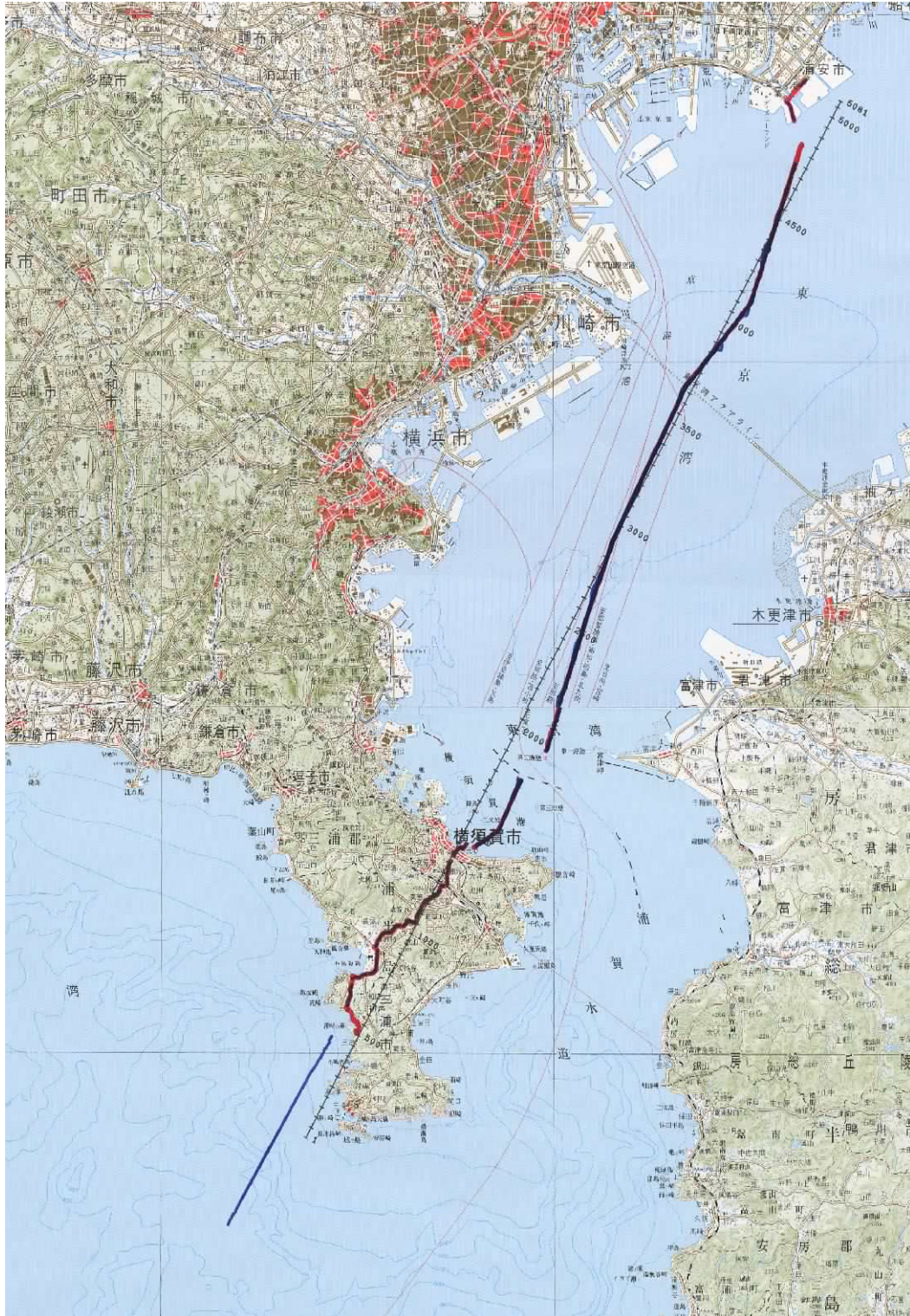


図1 重合測線（国土地理院発行 1/200,000 地勢図に加筆）



図2 調査測線地質図（地質調査所発行 特殊地質図20「東京湾とその周辺地域の地質」<sup>1)</sup>に加筆）

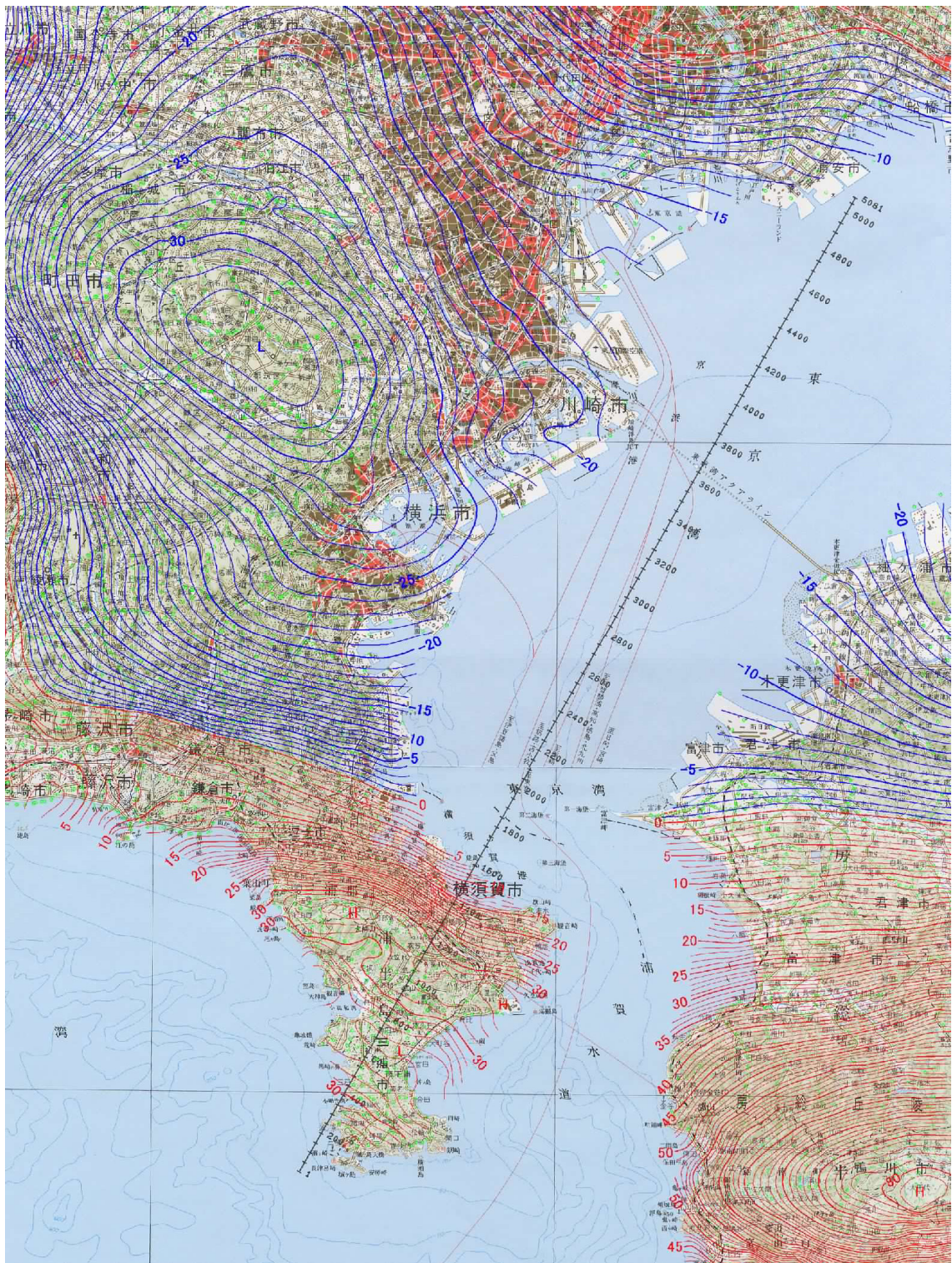


図3 広域重力異常図（国土地理院発行 1/200,000 地勢図、地質調査所発行 特殊地質図 24「関東地域重力図」<sup>2)</sup>に加筆）

## 2) 調査期間

本調査は、平成 15 年 4 月から開始された現地調査および地元交渉を経て、同年 7 月 4 日から計測作業が開始された。三浦半島陸域から東京湾の順で計測作業を実施し、8 月 16 日に終了した。

## 3) データ取得

### a) 調査測線

反射法および屈折法探査の調査測線概略図を図 4 に示す。受振測線は、三浦半島南西沖から東京湾北岸に至る全長約 70km の調査測線のうち、三浦半島陸上、東京湾内海底、および東京湾北岸陸上に設定した。東京湾内海底受振測線については湾内における受振測線位置毎に展開を 12 分割している（図 4）。各受振測線では以下の方式で発震記録を収録した。

三浦半島陸上部　：GDAPS-4A による有線テレメトリー方式

東京湾内海底　　：OBC (Ocean Bottom Cable) および GDAPS-OBC による有線テレメトリー方式

東京湾北岸陸上部：MS2000D による独立型観測点方式

これらの各受振測線に対して、三浦半島南西沖海上、三浦半島陸上、東京湾内海上、および東京湾北岸陸上で発震を行った。また、陸上受振測線については、図 5 に測線の詳細図を示した。

さらに本調査では、上記の 2 次元反射法および屈折法地震探査記録の取得に加えて、三浦半島の全域（51 地点）で独立型レコーダ（DAT）を用いた 3 成分受振器による連続観測を実施し、調査期間中の全発震記録および自然地震記録を収録した。これらの観測点の配置図を図 6 に示した。



図4 調査測線概略図(国土地理院発行 1/200,000 地勢図に加筆)

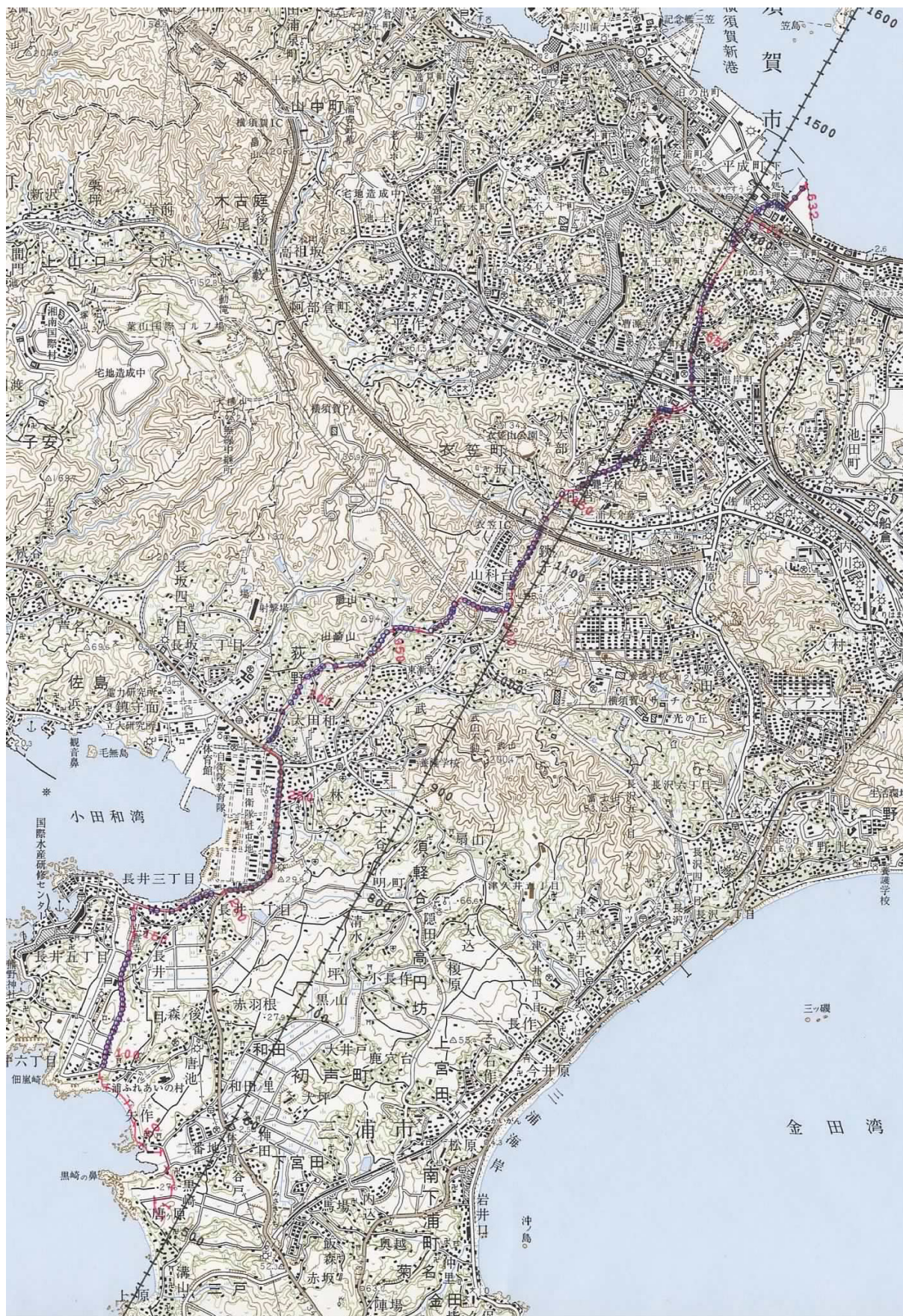


図5 調査測線詳細図・三浦半島陸上受振測線（国土地理院発行 1/50,000 地形図に加筆）



図6 調査測線詳細図・三浦半島独立受振点(国土地理院発行 1/50,000 地形図に加筆)

## b) データ取得作業概要

前節に述べたように、本調査では陸域および海域に複数設定した受振測線に対して、それぞれ陸上発震、海上発震のいずれか一方、あるいは両方の発震を行い、反射法および屈折法記録を取得した。これらのうち、反射法探査については、受振測線と発震測線の組み合わせに対して、便宜的に以下のように区分して記述する。

- ・パターン1：三浦半島陸域反射法
- ・パターン2：三浦半島～東京湾での海陸反射法
- ・パターン3：東京湾内での海域反射法
- ・パターン4：東京湾北岸での海陸反射法

### i) 三浦半島陸域反射法地震探査（パターン1）

三浦半島陸域部において、バイブロサイズ震源による二次元反射法地震探査を実施した。測線上（道路の路肩）に、受振点と発震点を示す木杭を25m間隔で設置した。各受振点において、木杭を中心に、それぞれ9個の受振器（固有周波数10Hzのジオフォン）を1～2m間隔で展開した。データ収録システムには、GDAPS-4A有線テレメトリーシステムを使用し、6受振点（150m）ごとにデータ収録装置（RSU）を設置すると共に、データ伝送用の本線ケーブルを測線に沿って敷設した。

測定作業は、大型バイブロサイズ車4台（標準）を使用し、標準50m間隔で発震を行った（写真1）。各発震点では、標準20回の発震を行い、住宅の多い場所などでは、振動を考慮して、台数や発震回数の調整を行った。測線中央部の住宅密集地（大型タイプの発震困難）では、小型バイブロサイズ車1台を使用し、発震点の欠落を回避した（写真2）。受振（写真3、4）は固定展開として、各発震に対して陸域の全区間（608受振点）で観測を行った。



写真1 バイブレイタ発震。三浦半島陸域（横須賀市平成町）。



写真2 ミニバイブレータ発震 三浦半島陸域。  
住宅密集地や細い道路では、小型バイブロサイズ車を震源として使用した。



写真3 受振点。 三浦半島陸域での受振器・本線ケーブル。



写真4 RSU (GDAPS-4A System) 観測データのA/D変換、データ収録部への伝送を行う。右側は、バッテリーユニット。

ii) 三浦半島～東京湾での海陸反射法地震探査（パターン2）

神奈川県横須賀市新浦安港の岸壁付近から、約 5km の海域区間（展開-1）に OBC を敷設し、陸上の受振ラインとの海陸同時観測を実施した。OBC での受振点間隔は 25m（陸域と同じ）として、受振器にはハイドロフォンを使用した（写真 5-7）。

測定作業は、三浦半島部の陸域での全受振点（約 15km）と海域での OBC 展開-1 (5km) の受振区間に対して、

- ・海陸境界部（陸域）でのパイプレータ発震（7 点）
- ・東京湾内でのエアガン発震（約 12km の区間）
- ・三浦半島沖合（南西海域）でのエアガン発震（約 10km の区間）

の組合せにより反射法データを取得した。

観測データの収録については、陸上に配置した観測車と OBC の先端部に配置した観測船において、それぞれ陸域と海域のデータを収録した。

iii) 東京湾内での海域反射法地震探査（パターン3：写真7）

調査測線概略図（図 4）に示すように、東京湾の展開-2 から展開-10 の計 9 展開については、観測日毎に各展開の OBC 受振測線を設置した（1 展開/観測日）。これらの内、展開-2 から展開-10 の測線区間において、エアガン発震と OBC 受振の組合せにより反射法データを取得した。各展開において、ケーブル敷設船により長さ約 3km の OBC を敷設し、OBC 敷設地点を中心に約 18km（標準）の区間でエアガン発震による反射法データを取得した（図 5）。受振点間隔は 25m として、受振器にはハイドロフォンを使用した。

エアガン（写真 8-11）は、発震船から深度 10m で曳航し、容量 1500cu. in、圧力 2000psi を標準として、50m 間隔（原則）で発震した。観測データの収録には、観測船（写真 12）に搭載したデータ収録シ

システム（GDAPS-OBC）を用いた。1日の観測が終了すると、ケーブル敷設船にOBCを揚収した。

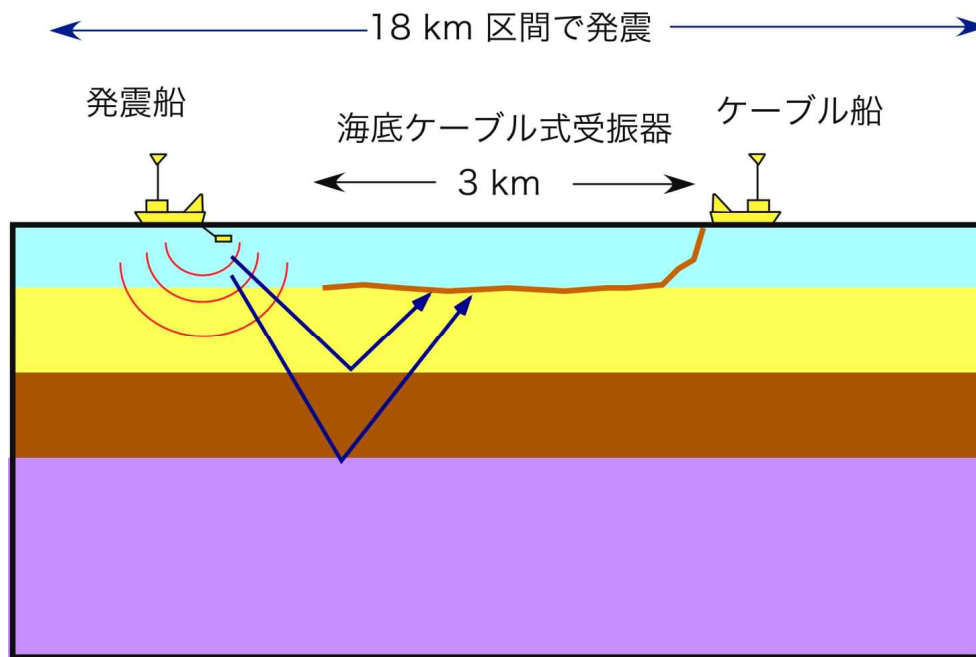


図7 東京湾岸探査概念図（パターン3）

iv) 東京湾北岸での海陸反射法（パターン4）

東京湾内の展開-11（約3km）、展開-12（約6km）では、東京湾北岸（陸域）の約2.5kmの測線との海陸同時受振による反射法データを取得した。陸域には、25m間隔で受振点を設定し、3成分受振器（10Hz）と高精度独立型レコーダ（MS-2000D）を配置して、連続観測を行った。震源には大型バイブロサイス車4台を用いて、50～100m間隔で発震した。一方、海域では、OBCを敷設して、ハイドロフォンにより受振した。震源にはエアガンを使用し、50m間隔で発震した。

v) 屈折法

三浦半島陸域（約15km）と東京湾内の展開-1（約5km）の受振区間（パターン2と同一）に対して

- ・三浦半島陸上でのバイブレータ集中発震（V-1、V-2、V-3の3点）
- ・三浦半島沖合でのエアガン集中発震（A-3-1、A-4、A-5、A-6の4点）
- ・東京湾内での集中発震（4区間 A-1-1、A-7、A-8、A-9）

による海陸同時観測を実施して、屈折法・広角反射法データを取得した。海域での集中発震では、発震点を中心に発震船を測線と直交方向に約500mの区間において5往復程度の発震を繰り返す（10発震 x 5往復）ことで、集中発震とした。但し、東京湾内では、発震船の航行が制限される可能性があるため、測線に沿った集中発震区間（約500mの区間）を4箇所を設定した。観測データの収録については、反射法と同様に陸上に配置した観測車とOBCの先端部に配置した観測船において、海陸データを同時に収録した。

vi) 独立型レコーダ (DAT) による観測 (写真 13)

三浦半島陸域に、51 箇所の独立観測点を設け (図 6)、各観測点に DAT と 3 成分受振器(4.5 Hz)を配置した。測定のはほぼ全期間において、エアガン及びバイブレータによる発震記録および自然地震記録を取得した。



写真5 ケーブル船。 OBCの敷設・回収、Acoustic Positioningを実施。



写真6 海底ケーブル型受振器 Ocean Bottom Cable (OBC)。



写真7 Ocean Bottom Cable (OBC)、A/D変換・データ伝送部。



写真8 エアガン発震作業。エアガンを曳航する発震船「はくほう」。



写真9 エアガン発震。 圧縮空気を海中に放出。



写真10 エアガン。 Bolt 1500LL Tri-Gun。

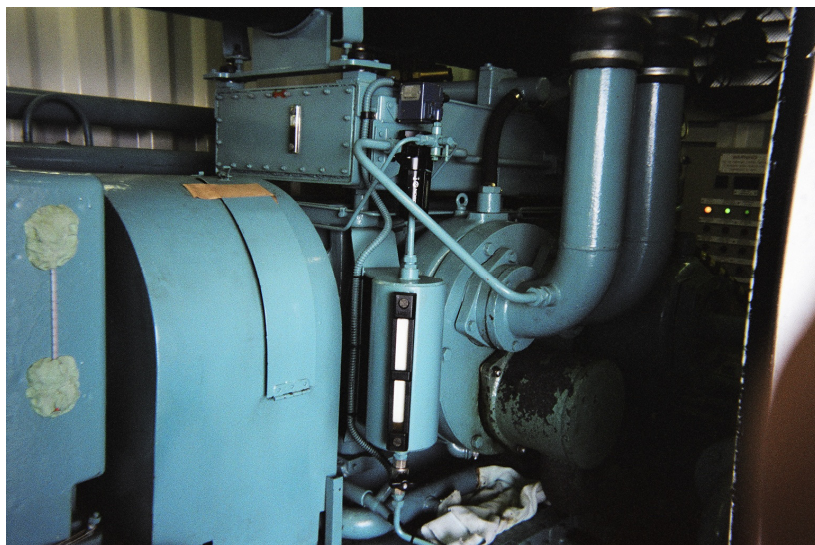


写真11 コンプレッサー Hamworthy 425D  
圧縮空気を作り、エアガンに供給する。



写真 12 観測船「えびす」。 観測作業中。



写真 13 独立型レコーダー (DAT) の設置作業。観測点は、ノイズの少ない場所を選定して設置された。

#### c) データ取得仕様

調査計画およびフィールドパラメータテスト結果に基づきデータ取得仕様を決定した。以下に各測定系（震源系、受振系、記録系）におけるパラメータおよび測点点数（実績値）を観測パターン毎に列記する。

##### i) 三浦半島での陸域反射法（パターン 1）

###### < 陸域震源系 >

|         |                                        |
|---------|----------------------------------------|
| 震源      | : 大型バイブロサイス車 4 台（標準）<br>小型バイブロサイス車 1 台 |
| スイープ回数  | : 20 回（標準）                             |
| スイープ長   | : 20 sec                               |
| スイープ周波数 | : 6~30 Hz（大型）<br>6~40 Hz（小型）           |
| テーパー長   | : 300msec                              |
| 発震点間隔   | : 50 m（標準）                             |
| 発震点数    | : 183 点                                |

###### < 受振系 >

|       |                               |
|-------|-------------------------------|
| 受振点間隔 | : 25 m                        |
| 受振器   | : ジオフォン ( $f_0=10\text{Hz}$ ) |
| 受振器展開 | : 2.8m 間隔 × 9 個               |

展開長 : 約 15 km (固定展開)

受振点数 : 632 点

<記録>

記録装置 : GDAPS-4A

チャンネル数 : 632 点

サンプルレート : 4 msec

記録長 (相互相関後) : 16 sec

Low Cut Filter : off

プリアンプゲイン : 30dB

ノイズエディット : Window 長 36sec. Power = 3.0

または

Window 長 9sec. (OverLap=1sec.) Power = 3.0

コリレーション : スタック後

Decimation Filter : minimum phase

Minimum Phase Corr. : on

ii) 三浦半島～東京湾での海陸反射法 (パターン 2)

<陸域震源系>

震源 : 大型バイプロサイス車 4 台 (標準)

スイープ回数 : 20 回 (標準)

スイープ長 : 20 sec

スイープ周波数 : 6～30 Hz

テーパー長 : 300msec

発震点間隔 : 50 m (標準)

発震点数 : 7 点

<海域震源系>

震源 : エアガン

容量 : 1500 cu. in.

圧力 : 2000 psi (標準)

エアガン深度 : 10 m (東京湾内)  
14 m (三浦半島南西海域)

発震数/発震点 : 1 回

発震点間隔 : 50 m (標準)

発震点数

東京湾内 : 243 点

三浦半島沖合 : 236 点

<受振系>

受振点間隔 : 25 m

受振点数

陸域 : 632 点 (15.175km)

|     |                                 |
|-----|---------------------------------|
| 海域  | 189 点 (展開-1 4.7km)              |
| 展開長 | : 19.875 km (固定展開)              |
| 受振器 |                                 |
| 陸域  | : ジオフォン ( $f_0=10\text{Hz}$ )   |
|     | 2.8m 間隔 $\times$ 9 個            |
| 海域  | : ハイドロフォン ( $f_0=10\text{Hz}$ ) |

<記録系>

|                     |                                              |
|---------------------|----------------------------------------------|
| 記録装置                | : GDAPS-4A/OBC                               |
| チャンネル数              | : 821 (海陸合計)                                 |
| サンプルレート             | : 4 msec                                     |
| 記録長(相互相関後)          | : 16 sec                                     |
| Low Cut Filter      | : off                                        |
| (以下、バインブレータ発震時)     |                                              |
| プリアンプゲイン            | : 30dB                                       |
| ノイズエディット            | : Window 長 9sec. (OverLap=1sec.) Power = 3.0 |
| コリレーション             | : スタック後                                      |
| Decimation Filter   | : minimum phase                              |
| Minimum Phase Corr. | : on                                         |
| (以下、エアガン発震時)        |                                              |
| プリアンプゲイン            | : 30dB または 18dB                              |
| Decimation Filter   | : minimum phase                              |

iii) 東京湾内での海域反射法 (パターン 3)

<海域震源系>

|         |                 |
|---------|-----------------|
| 震源      | : エアガン          |
| 容量      | : 1500 cu. in.  |
| 圧力      | : 2000 psi (標準) |
| エアガン深度  | : 10 m          |
| 発震数/発震点 | : 1 回           |
| 発震点間隔   | : 50 m (標準)     |
| 発震点数/展開 | : 360 点 (標準)    |
| 総発震点数   | : 3239 点        |

<海域受振系>

|         |                                 |
|---------|---------------------------------|
| 受振点間隔   | : 25 m                          |
| 展開区間    | : 9 区間 (展開-2～展開-10 27km)        |
| 展開長     | : 3 km                          |
| 受振点数/展開 | : 120 点                         |
| 総受振点数   | : 1080 点                        |
| 受振器     | : ハイドロフォン ( $f_0=10\text{Hz}$ ) |

<記録系>

|                   |                 |
|-------------------|-----------------|
| 記録装置              | : GDAPS-OBC     |
| チャンネル数            | : 120           |
| サンプルレート           | : 4 msec        |
| 記録長               | : 16 sec        |
| プリアンプゲイン          | : 30dB または 18dB |
| Low Cut Filter    | : off           |
| Decimation Filter | : minimum phase |

iv) 東京湾北岸での海陸反射法 (パターン 4)

<陸域震源系>

|         |                       |
|---------|-----------------------|
| 震源      | : 大型バイブロサイス車 4 台 (標準) |
| スイープ回数  | : 20 回 (標準)           |
| スイープ長   | : 20 sec              |
| スイープ周波数 | : 6~30 Hz             |
| テーパー長   | : 300msec             |
| 発震点間隔   | : 50~100 m            |
| 発震点数    | : 21 点                |

<海域震源系>

|         |                 |
|---------|-----------------|
| 震源      | : エアガン          |
| 容量      | : 1500 cu. in.  |
| 圧力      | : 2000 psi (標準) |
| エアガン深度  | : 6~10 m        |
| 発震数/発震点 | : 1 回           |
| 発震点間隔   | : 50 m (標準)     |
| 発震点数    | : 560 点         |

<受振系>

|       |                             |
|-------|-----------------------------|
| 受振点間隔 | : 25 m                      |
| 受振点数  |                             |
| 陸域    | : 100 点 (東京湾北岸 2.5km)       |
| 海域    | 123 点 (展開-11)               |
|       | 240 点 (展開-12)               |
| 展開長   | : 5.55 km (展開-11 + 陸上 固定展開) |
|       | 8.5 km (展開-12 + 陸上 固定展開)    |

受振器

|    |                                       |
|----|---------------------------------------|
| 陸域 | : ジオフォン 3 成分受振器 ( $f_0=10\text{Hz}$ ) |
|    | 3 個組 × バンチング                          |
| 海域 | : ハイドロフォン ( $f_0=10\text{Hz}$ )       |

<記録系>

|      |                   |
|------|-------------------|
| 記録装置 |                   |
| 陸域   | : MS-2000 独立型観測装置 |

|                   |                      |
|-------------------|----------------------|
| 海域                | : GDAPS-OBC          |
| チャンネル数            |                      |
| 陸域                | : 300 (100 点 x 3 成分) |
| 海域                | : 123 (展開-11)        |
|                   | 240 (展開-12)          |
| サンプルレート           | : 4 msec             |
| 記録長(相互相関後)        |                      |
| 海域                | : 16 sec             |
| 陸域                | : 連続観測               |
| プリアンプゲイン          |                      |
| 海域                | : 30dB または 18dB      |
| 陸域                | : 31dB               |
| Low Cut Filter    | : off                |
| Decimation Filter | : minimum phase      |

v) 屈折法 (パターン 2)

<陸域震源系>

|         |                  |
|---------|------------------|
| 震源      | : 大型バイプロサイス車 4 台 |
| スイープ回数  | : 100 回 ~ 200 回  |
| スイープ長   | : 20 sec         |
| スイープ周波数 | : 6~30 Hz        |
| テーパー長   | : 300msec        |
| 発震点数    | : 3 点            |

<海域震源系>

|            |                    |
|------------|--------------------|
| 震源         | : エアガン             |
| 容量         | : 1500 cu. in.     |
| 圧力         | : 2000 psi (標準)    |
| 集中発震点数     | : 6 点 (三浦半島沖合)     |
| 集中発震区間     | : 4 区間 (各区間 500m)  |
| 発震数/集中発震点  | : 30~35 回 (三浦半島沖合) |
| 発震数/集中発震区間 | : 3~5 往復           |
| 発震点間隔      | : 50 m             |

<受振系>

|       |                               |
|-------|-------------------------------|
| 受振点間隔 | : 25 m                        |
| 受振点数  |                               |
| 陸域    | : 608 (三浦半島部 15.175km)        |
| 海域    | : 189 (展開-1 4.7 km)           |
| 展開長   | : 19.875 km (固定展開)            |
| 受振器   |                               |
| 陸域    | : ジオフォン ( $f_0=10\text{Hz}$ ) |

|                     |                                              |
|---------------------|----------------------------------------------|
|                     | 2.8m 間隔 × 9 個                                |
| 海域                  | : ハイドロフォン ( $f_0=10\text{Hz}$ )              |
| <記録系>               |                                              |
| 記録装置                | : GDAPS-4A/OBC                               |
| チャンネル数              | : 821 (海陸合計)                                 |
| サンプルレート             | : 4 msec                                     |
| 記録長(相互相関後)          | : 20 sec                                     |
| (以下、バイブレータ発震時)      |                                              |
| プリアンプゲイン            | : 30dB                                       |
| Low Cut Filter      | : off                                        |
| ノイズエディット            | : Window 長 9sec. (OverLap=1sec.) Power = 3.0 |
| コリレーション             | : スタック後                                      |
| Decimation Filter   | : minimum phase                              |
| Minimum Phase Corr. | : on                                         |
| (以下、エアガン発震時)        |                                              |
| プリアンプゲイン            | : 30dB または 18dB                              |
| Decimation Filter   | : minimum phase                              |

#### vi) DAT 観測

|         |                                    |
|---------|------------------------------------|
| 観測点数    | : 51 点                             |
| 観測装置    | : DAT                              |
| サンプルレート | : 4 msec/10 msec                   |
| 受振器     | : 3 成分ジオフォン ( $f_0=4.5\text{Hz}$ ) |
| 記録長     | : 連続観測                             |

#### d) 測量作業概要

陸上測線では多角測量および間接水準測量、海上測線ではディファレンシャル GPS 測位、独立観測点 (DAT 観測点) では地形図上の読み取りを行い、各受振点、発震点位置を求めた。以下、各測量作業について概要を記述する。

##### i) 陸上測量作業

- 測線測量: 予定測線上に 25m 毎に杭打ちを実施し、受振及び発震点を木杭で表示した。
- RTK 測量: 国家三角点を与点として、測線近傍に基準点を設置した。
- 多角測量: 国家三角点、公共基準点、RTK 測量で設置した基準点を与点として、測線付近に多角測量及び細部測量を実施した。
- 水準測量: 各多角点を与点として、間接水準測量により受振点・発震点の平面直角座標値及び標高値を決定した。
- 使用基準点

本作業で使用した国家三角点及び基準点を以下に示す。各点の状況は測定作業期間を通じて良好であった。

三浦半島

| 点 名    | 等 級         | 1／5 万地形図名 |
|--------|-------------|-----------|
| IV黒崎   | 四等三角点       | 横須賀       |
| No. 38 | 横須賀市 3 級基準点 | 〃         |
| No. 44 | 〃           | 〃         |
| No. 46 | 〃           | 〃         |
| No. 57 | 〃           | 〃         |
| No. 60 | 〃           | 〃         |
| No. 71 | 〃           | 〃         |

#### 東京湾北岸

| 点 名   |           | 1／5 万地形図名 |
|-------|-----------|-----------|
| C     | 横須賀市公共基準点 | 東京東南部     |
| No. 7 | 〃         | 〃         |
| U-9   | 千葉県精密水準点  | 〃         |
| U-10  | 〃         | 〃         |

#### -座標系およびパラメータ

以下の測地システムを用いて処理を行い、平面座標を算出した。

| 準拠楕円体   | GRS80          |
|---------|----------------|
| 長半径     | 6,378,137.000m |
| 短半径     | 6,356,752.314m |
| 投影法     | UTM 図法 54 系    |
| 座標原点 緯度 | 0-00-00 N      |
| 〃 経度    | 141-00-00 E    |
| 縮尺係数    | 0.9996         |
| 北方加数    | 0.0 m          |
| 東方加数    | 500000.0 m     |

#### ii) 海上測量作業

以下に海上エアガン発震点測量および OBC 受振点位置測量における作業の概要を記述する。

- 海上測量準備作業：エアガン発震船の発震制御は震源位置を基準としたため、予め調査船 GPS アンテナから震源位置までのオフセット距離を算出し、この値を小型航法システム CHiPS2 に設定して観測作業を行った。また、計画予定測線の水深を測定することによって、エアガン発震深度、発震測線位置および受振測線位置を決定した。
- 発震点位置測量：海上測量作業は Differential GPS を利用して行われた。リファレンス局として海上保安庁が運営する DGPS 基準局（中波ビーコン局）を利用した。DGPS 基準局から送信される DGPS 補正信号をビーコン受信機で毎秒受信し、受信した補正データを GPS 受信機に送り発震点位置を決定した。また発震時刻も併せて収録した。なお、DGPS の利用に際しては、以下の測位基準を考慮した。

利用する衛星数..... 5 個以上

HDOP 及び VDOP (観測位置データの誤差) .....4 以下

- 発震船の誘導:エアガン発震における船舶位置の誘導は、小型航法システム CHiPS2 によって行われ、予定発震位置に到達次第発震を行った。同航法システムでは、GPS 受信機から出力される緯度・経度・高度、並びに時刻・衛星情報等(NMEA における GGA フォーマット)と共に、調査船において測定されるジャイロコンパスからの方位、測深器からの水深データを集約し、調査測線における船舶の誘導を補助することができる。
- 受振ケーブル投下位置決定:小型航法システム CHiPS2 により調査船(ケーブル船)を誘導し、予定位置に OBC ケーブルを投下した。
- 受振点位置測量:OBC 受振ケーブル敷設後、音響測位システムにより受振点位置の測量を行った。同測位システムは、OBC ケーブルに一定間隔に取り付けられたトランスポンダに対して、調査測線に沿って航行する調査船から信号を発し、これに対する応答を測定することにより位置を測定するものである。本調査では OBC ケーブルの各ユニット(計 6ch.) に対して 2ch. 目および 5ch. 目の受振器位置にトランスポンダを取り付けた。各受振点の位置はこれらのトランスポンダ位置の内挿計算によって算出した。

なお、音響測位システムでは調査海域における海中音波速度を与える必要がある。本調査では調査海域で測定した海水温度、塩分濃度および水深測定結果に基づき、音波速度を 1525m/s とした。

・使用ビーコン局

以下の中波ビーコン局を使用した。

| 局名 | 送信局<br>ID | 周波数<br>(kHz) | 所在地     | 送信空中線位置  |           |
|----|-----------|--------------|---------|----------|-----------|
|    |           |              |         | 北緯       | 東経        |
| 剣崎 | 643       | 309.0        | 神奈川県三浦市 | 35-08-29 | 139-40-28 |

・座標系およびパラメータ

以下の測地システムを用いて処理を行い、平面座標を算出した。

|         |                |
|---------|----------------|
| 準拠楕円体   | WGS80          |
| 長半径     | 6,378,137.000m |
| 短半径     | 6,356,752.314m |
| 投影法     | UTM 図法 54 系    |
| 座標原点 緯度 | 0-00-00 N      |
| 〃 経度    | 141-00-00 E    |
| 縮尺係数    | 0.9996         |
| 北方加数    | 0.0 m          |
| 東方加数    | 500000.0 m     |

・独立観測点(DAT 観測点)測量作業

受振器設置位置を地形図上にプロットし、緯度経度および標高を読み取った。以下の測地システムを用いて処理を行い、平面座標を算出した。

|       |                |
|-------|----------------|
| 準拠楕円体 | WGS80          |
| 長半径   | 6,378,137.000m |
| 短半径   | 6,356,752.314m |

|         |             |
|---------|-------------|
| 投影法     | UTM 図法 54 系 |
| 座標原点 緯度 | 0-00-00 N   |
| 〃 経度    | 141-00-00 E |
| 縮尺係数    | 0.9996      |
| 北方加数    | 0.0 m       |
| 東方加数    | 500000.0 m  |

e) フィールドテスト

三浦半島陸上発震作業開始に先立って、バイブレータ発震パラメータおよび相互相関処理パラメータに関するフィールドテストを実施した（テスト発震点位置：VP105）。調査計画およびフィールドテスト結果に基づき、実際のパラメータを決定した。相互相関処理パラメータに関しては、観測期間中に再度テストを実施し、以降の発震では一部パラメータを変更した。以下、テスト項目毎に内容および結果を記す。

i) スイープ周波数

End 周波数を 30, 35, 40Hz に設定したテストを実施した。なお、Start 周波数は 6Hz に固定した。これは 10Hz 前後の低周波数帯域のエネルギーを確保するためである。

End 周波数の上昇に伴う分解能の改善は目視では認め難い。これに対してオフセット距離が大きい領域では End 周波数が低いほど初動付近の S/N 比が向上している。以上の結果から End 周波数を 30Hz として低周波数帯のスweep時間を長めに確保することとした。

ii) ノイズエディット及び相互相関処理

本観測開始前のテストでは、ノイズエディットの冪乗数、および相互相関と垂直重合の順序に関してテストを実施した。ノイズエディット冪乗数は 1.0、2.0、3.0 についてテストを行った。また、本観測開始後、発震記録上で車両通行によるものと思われる一過性のノイズが顕著に現れたため、ノイズエディット・ウインドウ長についてテストを実施した。

冪乗数の増加に伴い、オフセット距離の大きい領域において S/N 比が向上していることが確認できる。一過性のノイズに関しては再現性が保証されないためフィールドテストによる判断は難しいが、過去の大都市圏地殻構造調査における実績を考慮して冪乗数を 3.0 とした。相互相関と垂直重合の順序に関しては顕著な差は認められない。RSU (Remote Station Unit) における計算効率を考慮して、重合後に相互相関を計算する方式 (CAS : Correlation After Stack) とした。

本観測中の再テスト（テスト発震点位置：VP139）では、ノイズエディット・ウインドウを 4 分割（ウインドウ長=9s、オーバーラップ=1s）した場合と、ウインドウを分割しない場合とを比較した。ウインドウ分割による一過性ノイズの抑制が有効に働いていることが確認できた。一般に、ウインドウ分割は波形の歪の原因となり得るが、本調査ではスweep回数が比較的多い（原則 20 回）ため、ウインドウ分割による悪影響は大きくないと判断し、以降の発震ではウインドウを 4 分割することとした。

iii) スイープ回数

スweep回数の増加に伴う S/N 比改善の度合いを確認するため、5~20 回まで計 4 種類の垂直重合テストを逐次加算法によって実施した。

スweep回数の増加に伴い S/N 比が改善していることが確認できるものの、往復走時 2 秒以降の深部反射波はいずれの記録においても認め難い。本調査では調査計画当初から、一点における S/N 比の向上よりも発震点数の確保による水平重合効果による S/N 比向上を目指す方針だったため、原則的に 20 回を

超える発震はおこなわないこととした。

#### (f) 観測記録

反射法、屈折法、独立観測点記録（DAT 観測記録）それぞれについて、取得されたデータの品質を記述する。反射法については発震測線毎に記述する。

##### i) 屈折法

パイロサイズによる屈折発震記録（図 8）については、ノイズレベルの高い陸上の一部受振区間を除いて受振測線全域で初動の追跡が可能である。ただし、初動みかけ速度に顕著な変化は認められず、データ取得範囲内では明瞭な速度コントラストが存在しない可能性がある。

海上屈折発震点のうち、A1、A7、A8、A9（図 4）については、測線に沿う 500m の範囲で集中発震をおこなっている。これらについては、集中発震範囲の中心点から半径 100m 以内の発震記録を垂直重合した。東京湾内海上発震（図 9、10）については、三浦半島寄りの A1 および A7 では、ノイズレベルの高い陸上の一部受振区間を除いて受振測線全域で初動の追跡が可能である。これより北側の A8 および A9 では陸上受振点の初動追跡は北側の一部を除いて困難である。A7～A9 では、三浦半島と東京湾との境界域付近において初動みかけ速度に明瞭な変化が認められる。

三浦半島南西沖海上発震については、三浦半島寄りの A3～A4 では受振展開のほぼ全域で初動追跡が可能であるが、これより南側の A4.5～A6 については全体的に初動の追跡が困難である。初動みかけ速度については、陸上発震の場合と同様に明瞭な変化を認めることはできない。

##### ii) 反射法 - 三浦半島陸上発震

図 11 に陸上発震の観測記録例を示す。VP135（図 11）について見ると、発震点より南側でリングングが目立つのに対して、北側では同様のものは認められない。発震点付近で表層地質の変化があると推定される。VP345 では、発震の効きは良好で受振測線のほぼ全域で初動の確認が可能である。小型パイブレータによる記録では、オフセット距離 2km 程度までは初動の追跡が可能であり、調査測線のノイズレベルを考慮すると比較的良好な記録である。陸上測線北端に近い区間では全体に S/N 比が低い、これは震源の出力が低い（40%）ことと重合回数が少ない（5 回）ことが主な原因と思われる。なお、これより北側の屈折発震点では良好な記録が得られている。

##### iii) 反射法 - 東京湾北岸陸上発震

図 12 に東京湾北岸陸上でのパイブレータ発震記録を示す。展開は東京湾北岸陸上受振点および東京湾内 OBC 受振点（展開 12）である。OBC 受振点と陸上受振点の S/N 比の差が顕著に現れている。約 2～3 秒に基盤と思われる反射イベントが認められる。

##### iv) 反射法 - 東京湾内海上発震海底受振

図 13～17 に東京湾内海上発震記録を示す。ただし、東京湾内の観測では受振測線よりも発震測線のほうが長いため、同図では共通発震点記録ではなく、共通受振点記録を表示している。全体的に記録の質は極めて良好である。基盤と思われる反射イベントは全域で確認可能である。これより深部については断片的にイベントが認められるものの、記録上で解釈可能なほど明瞭なものは確認できない。

##### v) 独立観測点（DAT 観測点）記録

図 18 に独立観測点で取得された 3 成分記録のうち、上下動成分による共通受振点記録を示した。観測点設置場所のノイズレベルの違いが顕著である。ノイズレベルの低い三島半島中央部の D48 観測点（図 6）では、オフセット約 30km までイベントが認められる。

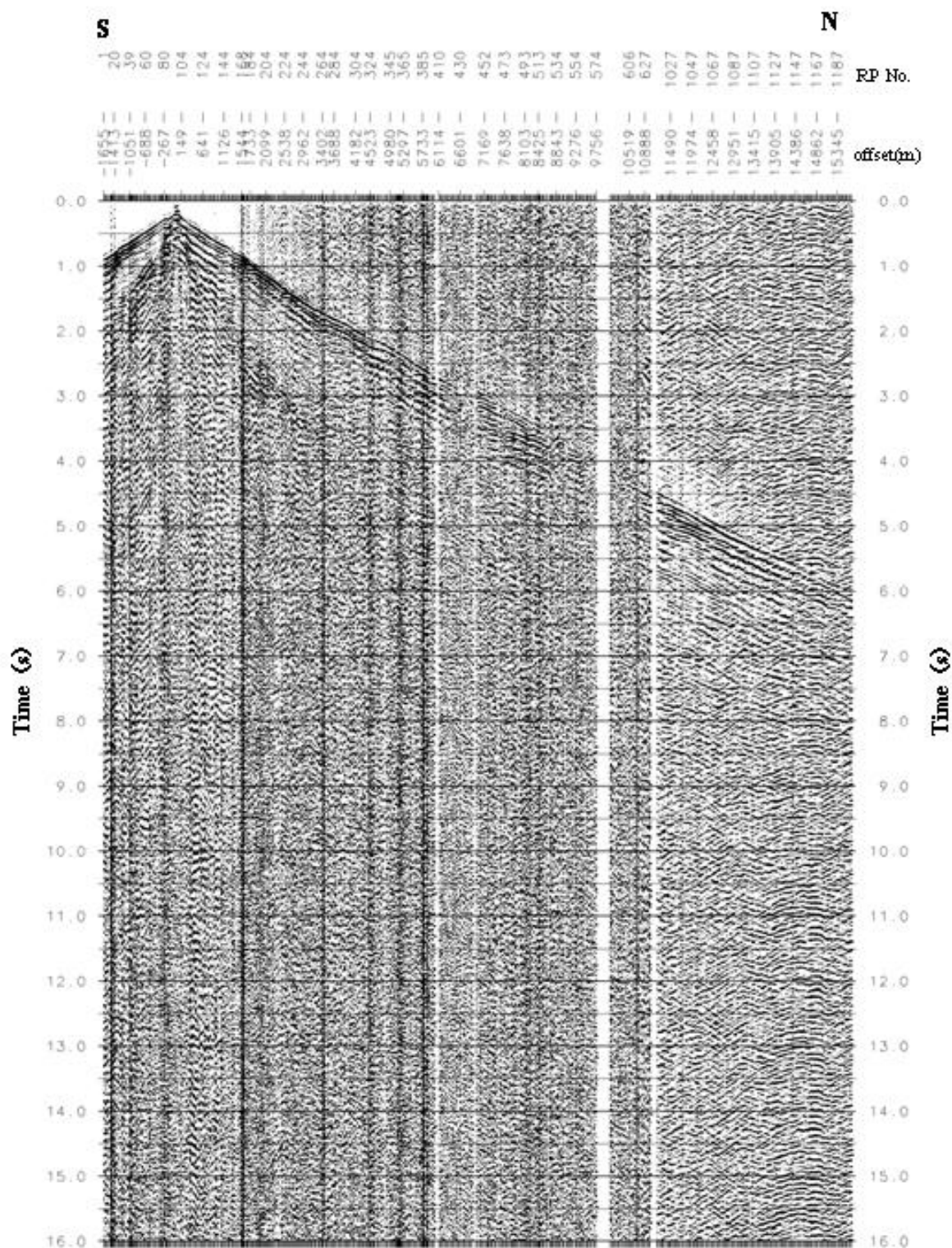


図8 屈折法発震記録例。 V3 地点 (バイブレータ発震)。

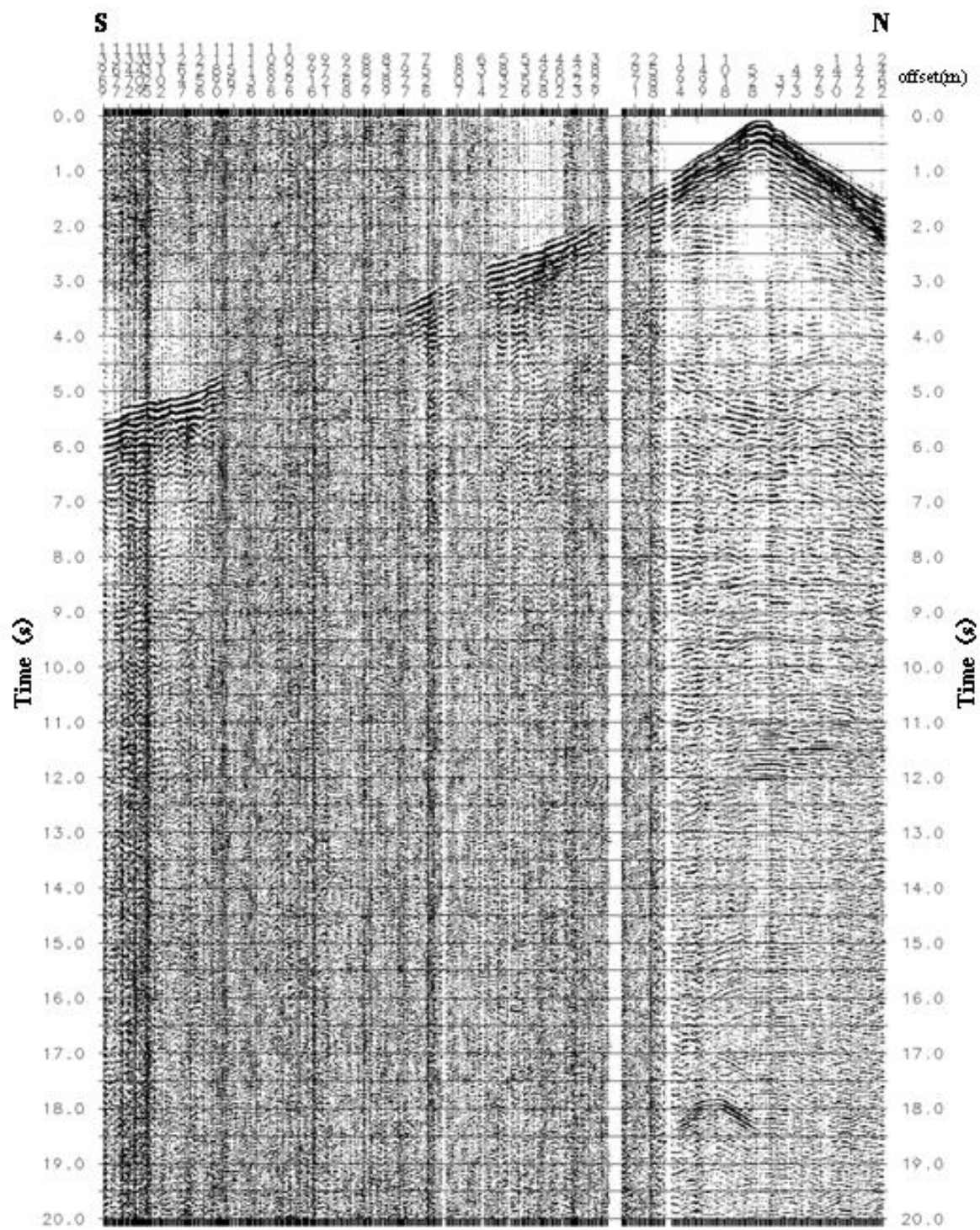


図9 屈折法発震記録例。A1 地点（エアガン発震）。

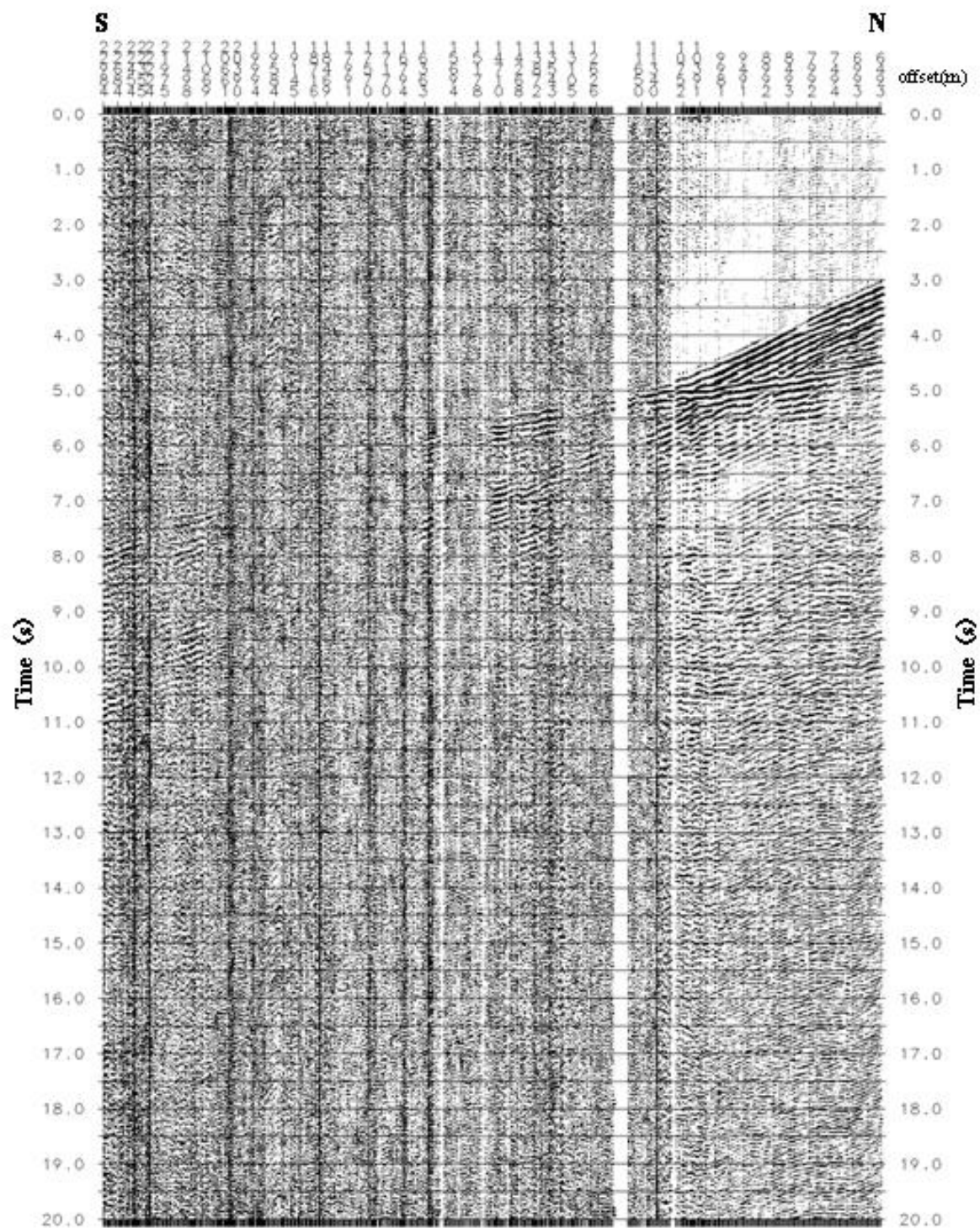


図 10 屈折法発震記録例。A8 地点（エアガン発震）。

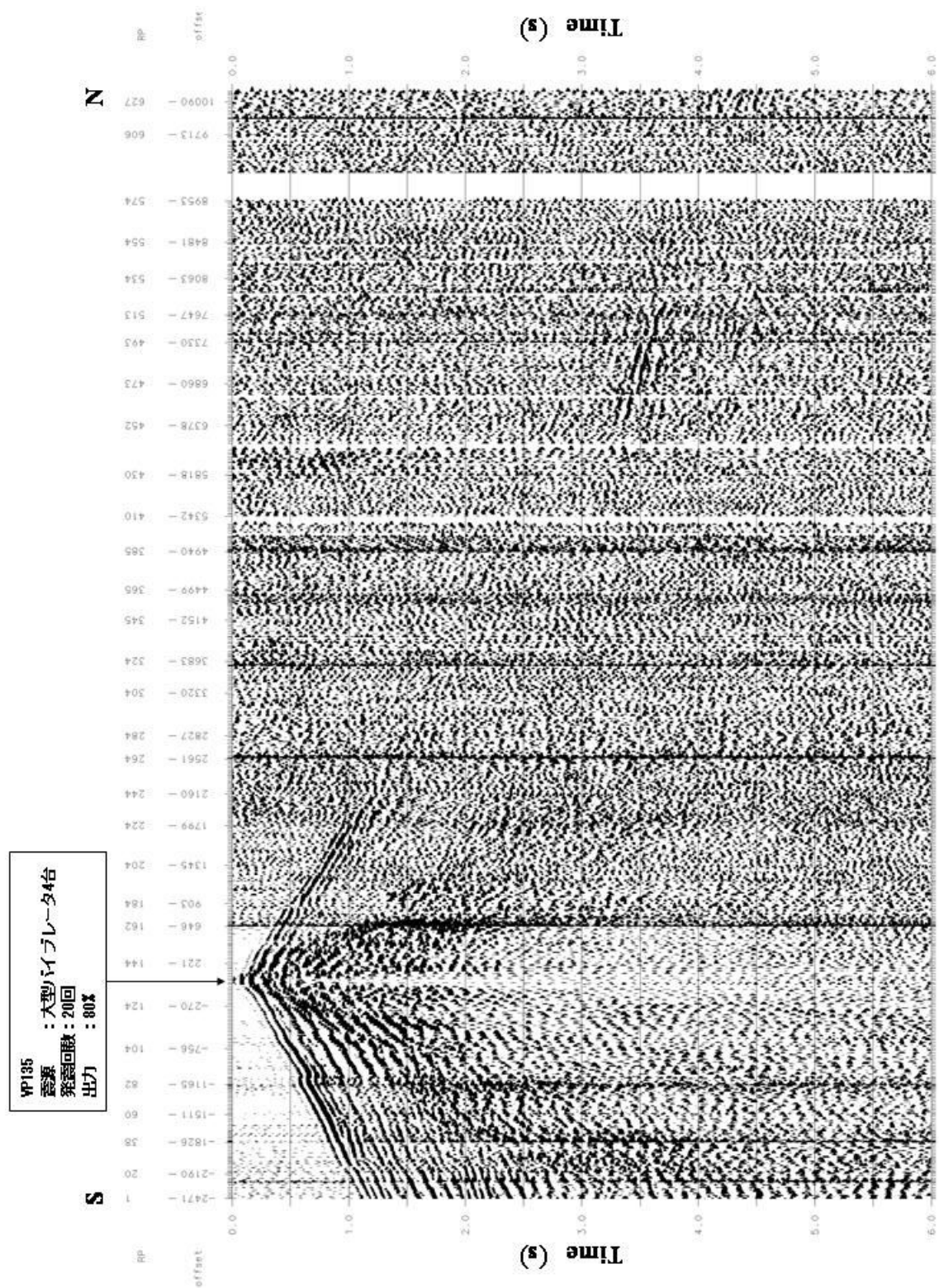


図 11 パイプレータによる反射法発震記録例（三浦半島陸上測線）。VP135 地点。

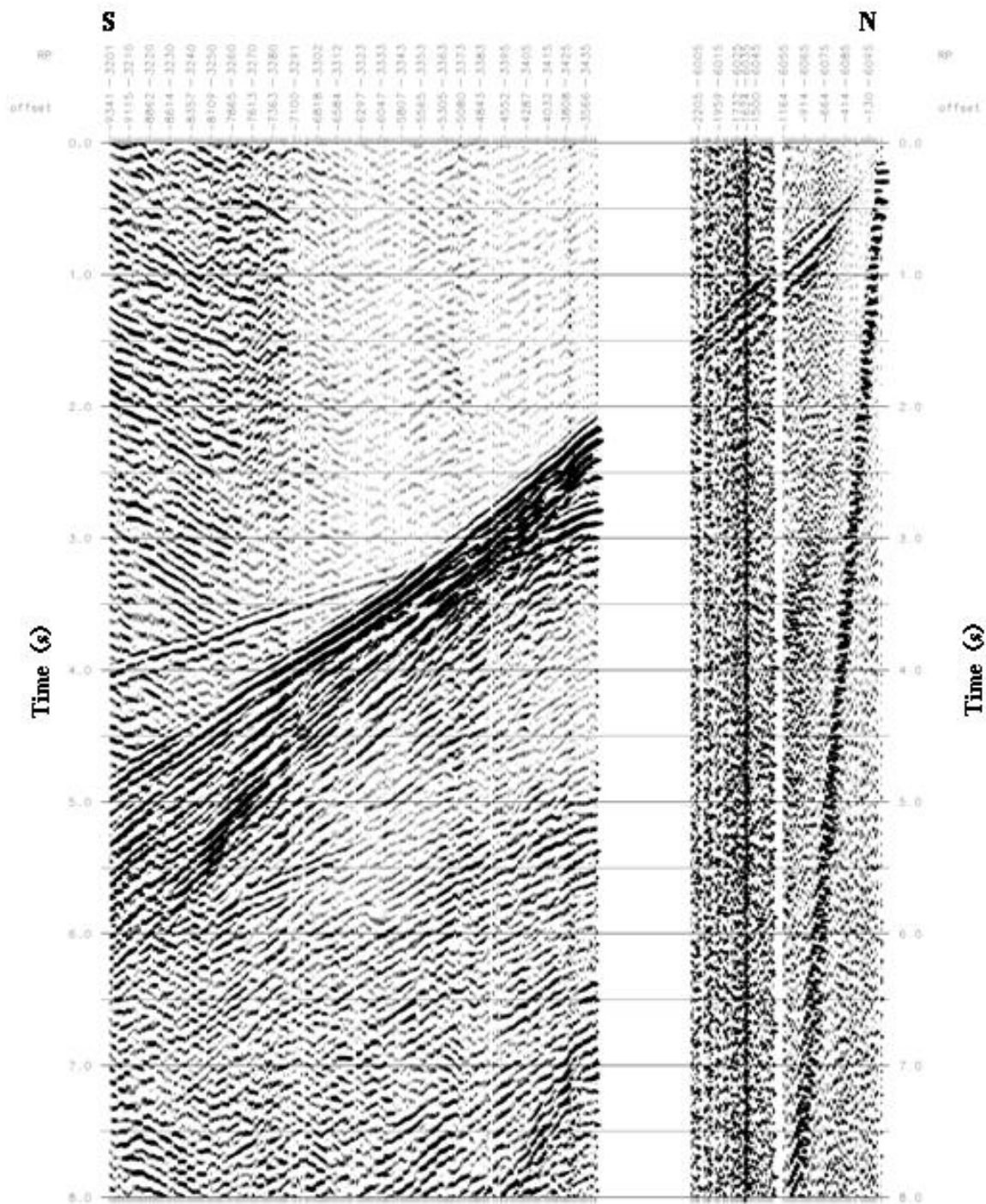


図 12 バイブレータによる反射法発震記録例。VP6100 地点。

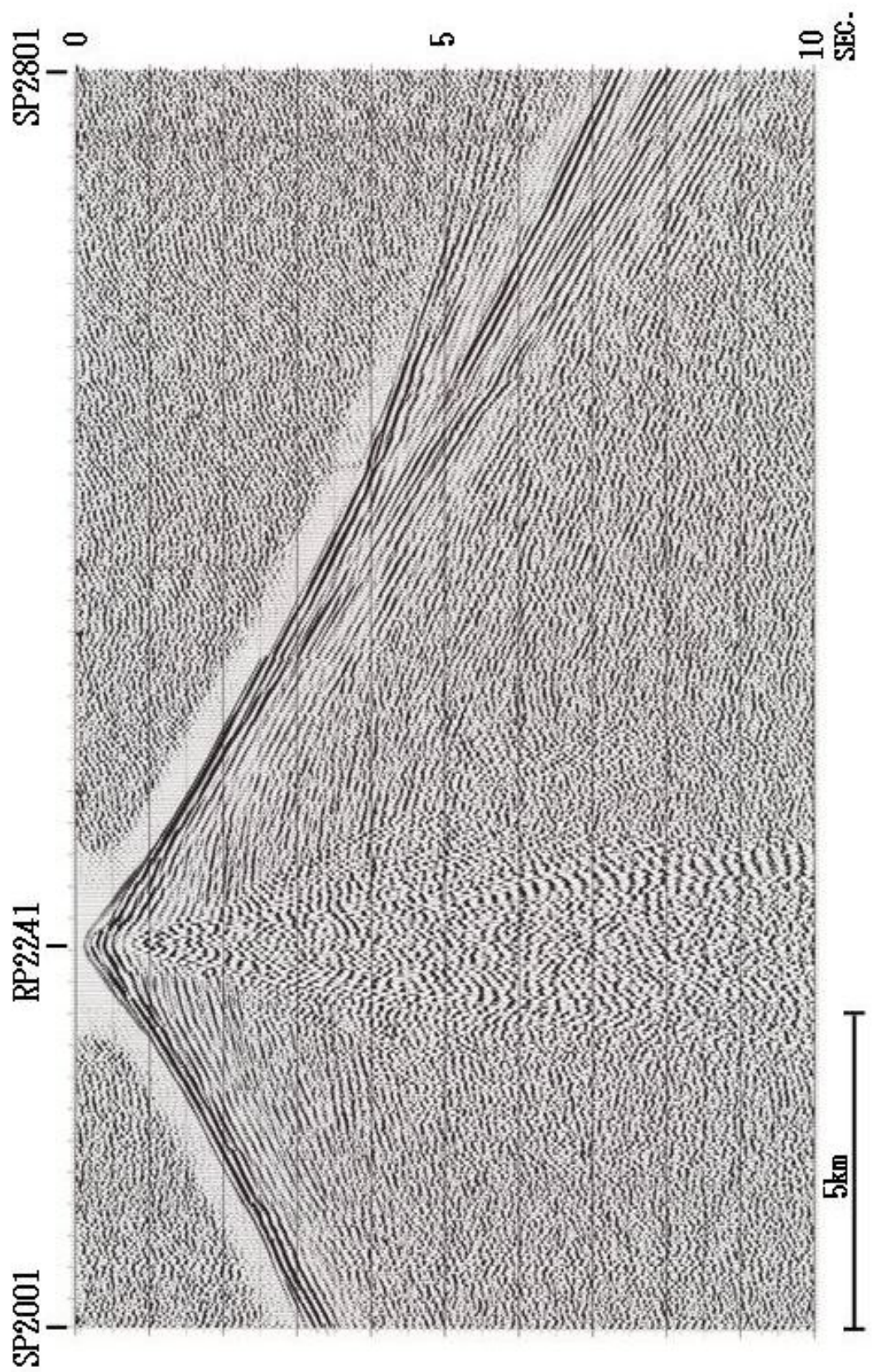


図13 エアガンによる反射法記録例（OBC受振点による共通受振点記録）。RP2241地点 / 展開4

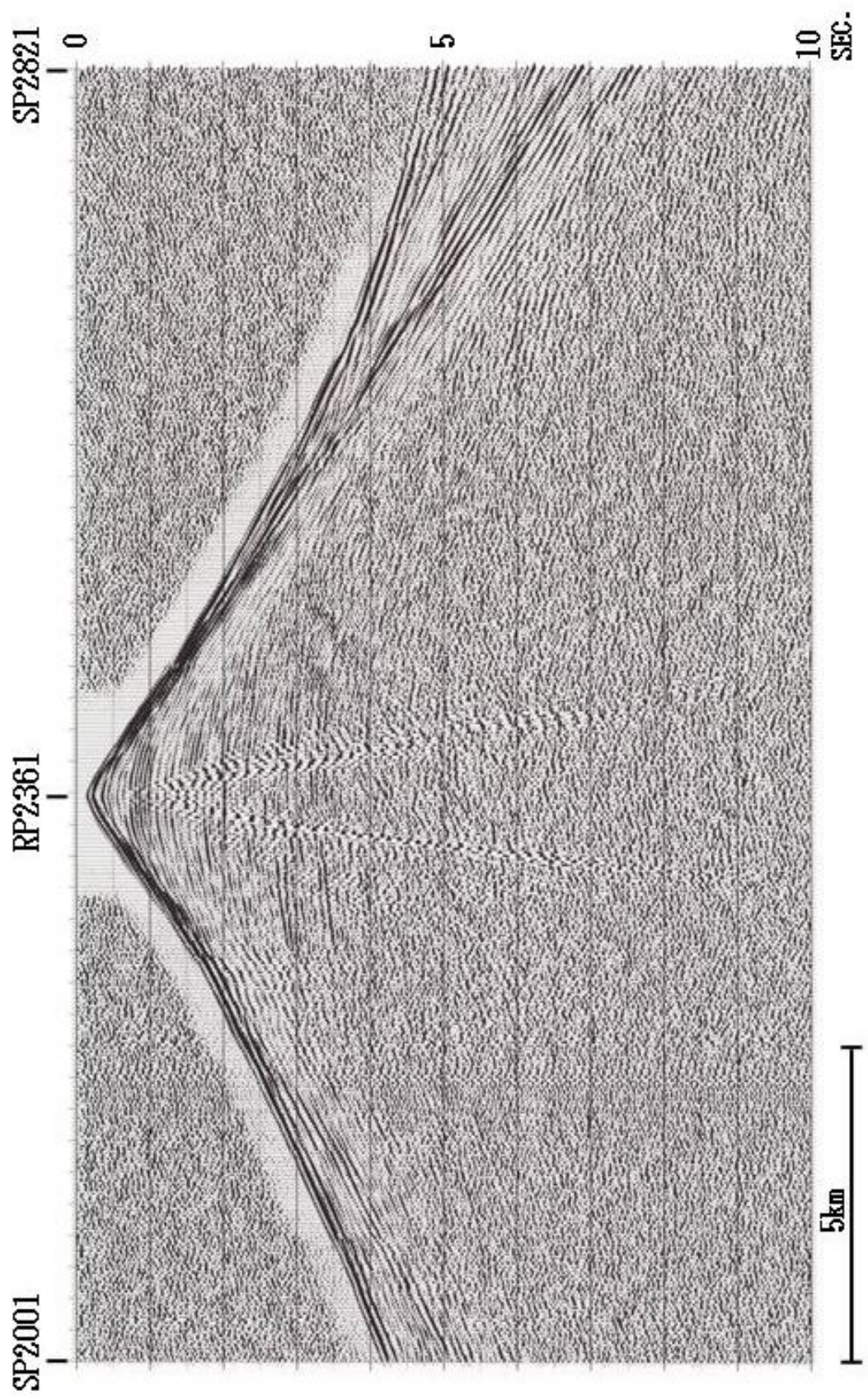


図14 エアガンによる反射法記録例（OBC受振点による共通受振点記録）。RP2361地点 / 展開5

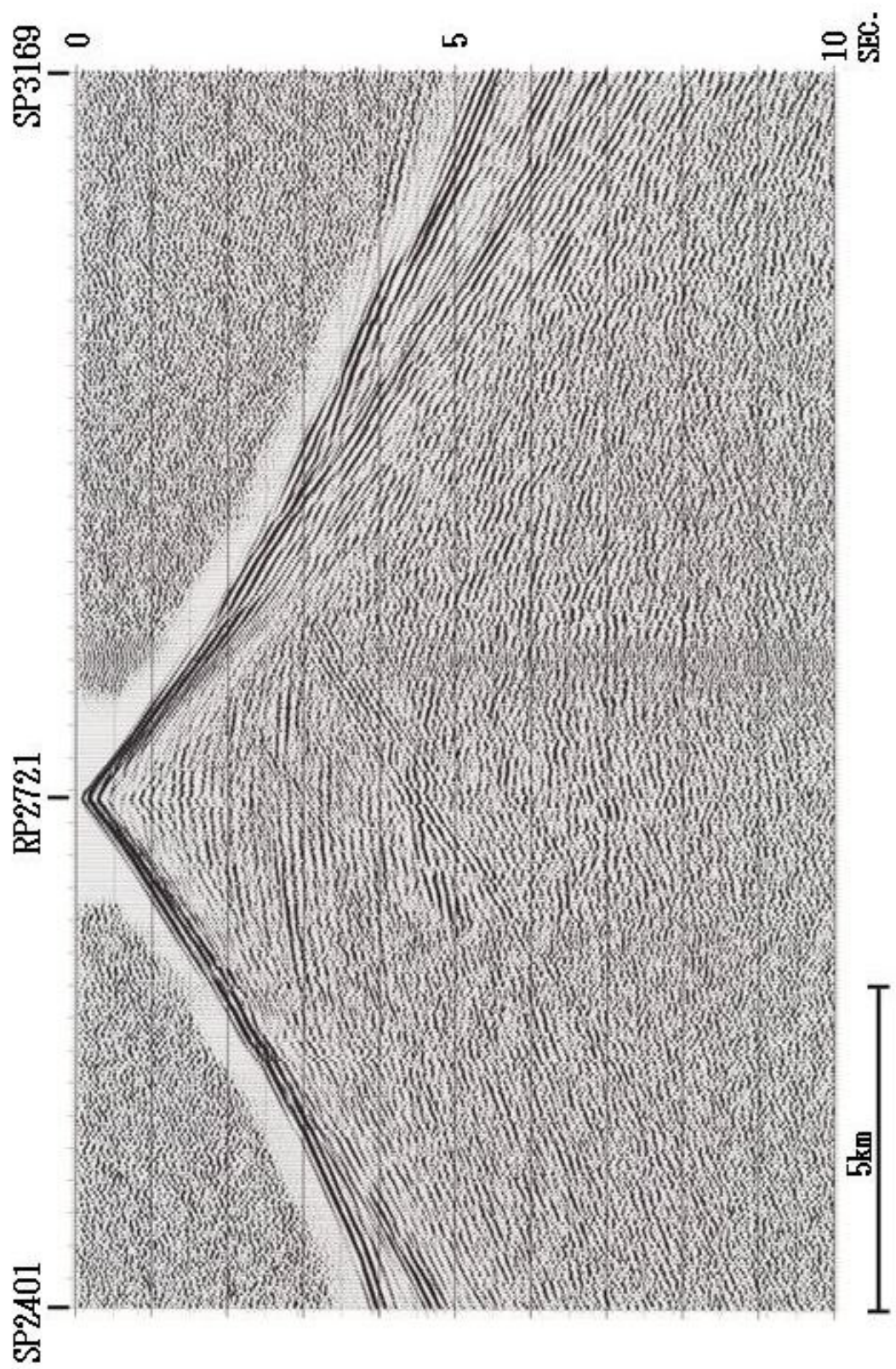


図15 エアガンによる反射法記録例（OBC受振点による共通受振点記録）。RP2721地点 / 展開8

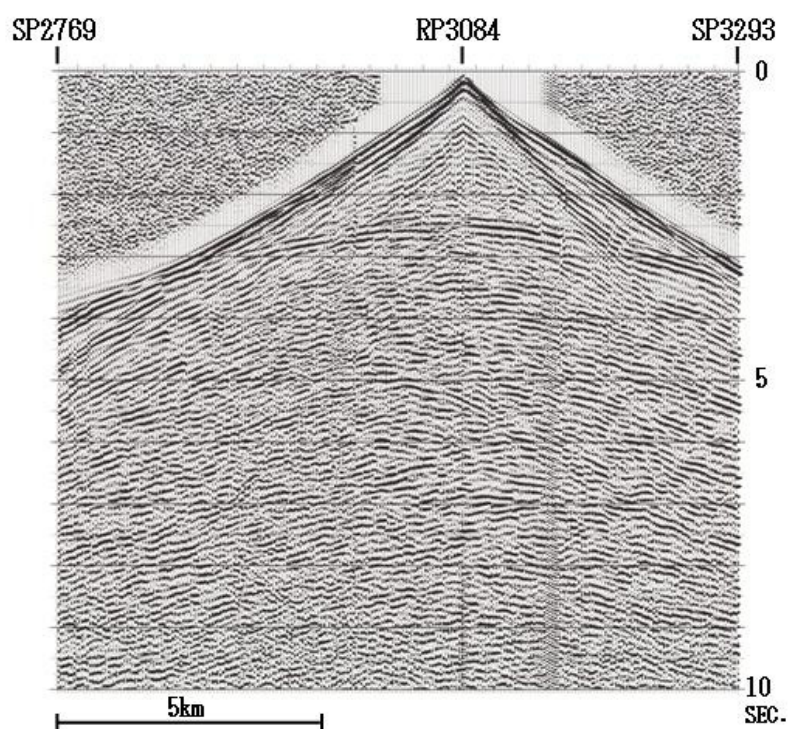


図 16 エアガンによる反射法記録例（OBC 受振点による共通受振点記録）。RP3084 地点/ 展開 11。

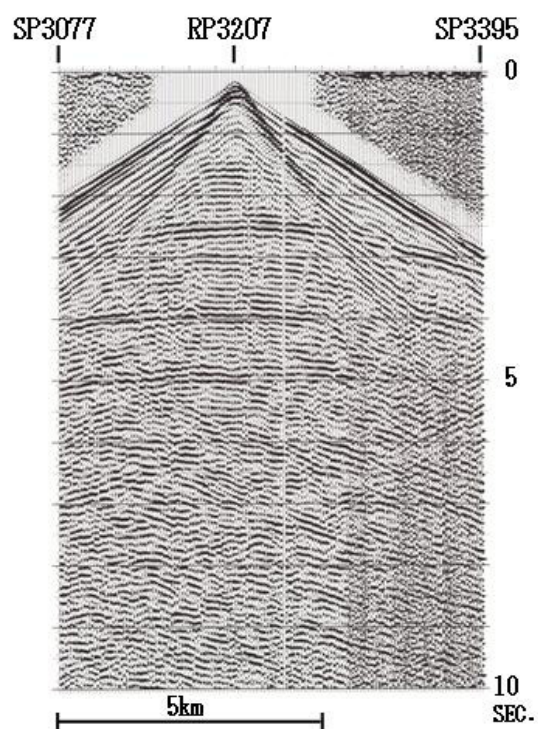


図 17 エアガンによる反射法記録例（OBC 受振点による共通受振点記録）。RP3207 地点 / 展開 12。

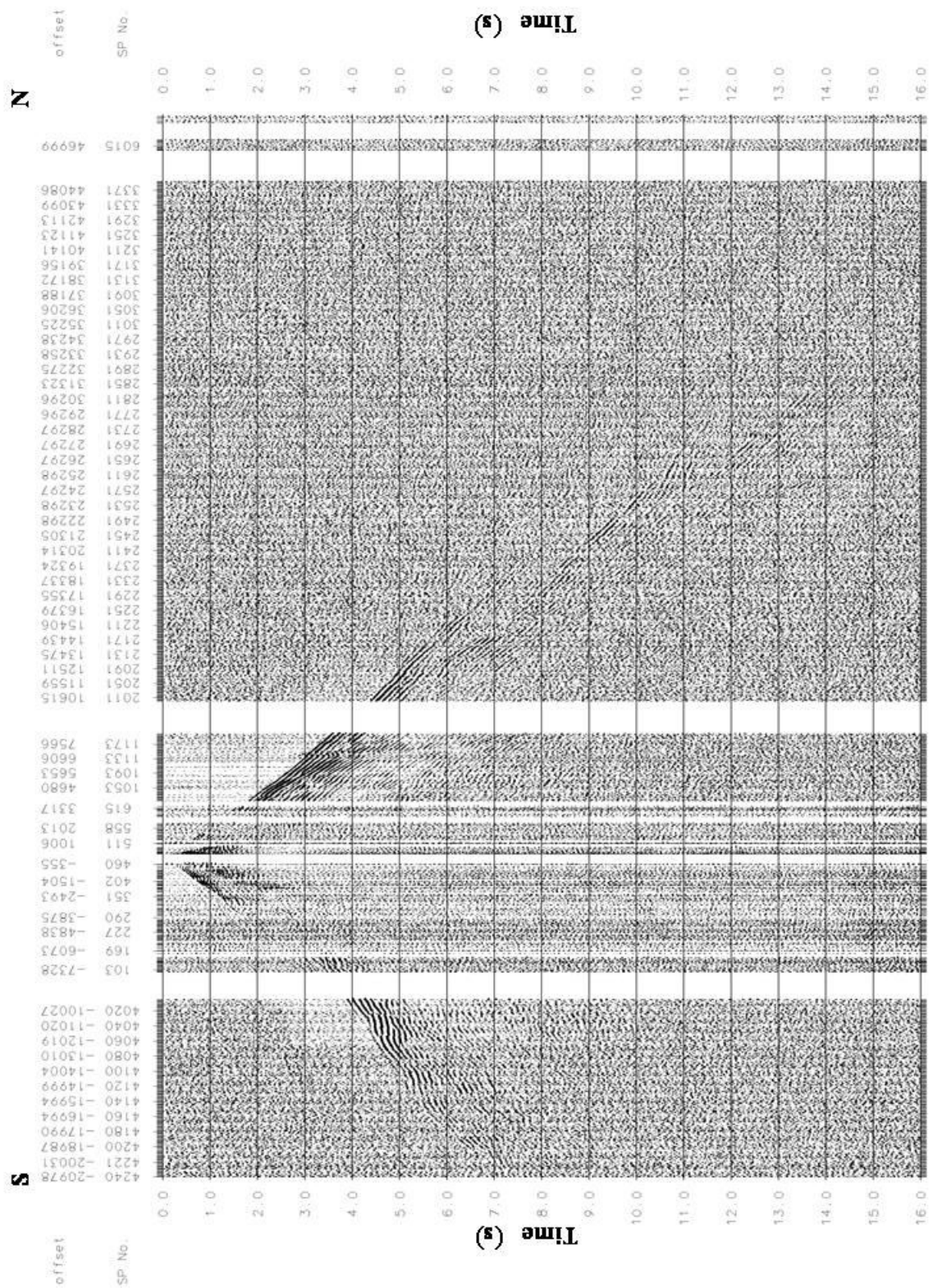


図18 独立受振点による共通受振記録例。D48地点。

(g) 使用主要機器

i) 反射法・屈折法

<陸域>

- ・震源 : IVI 社 MK4/Y2400 バイブロサイス車  
IVI 社 HEMI-50 バイブロサイス車 計 4 台
- ・受振器 : SM-7 (固有周波数 10Hz 9 個/組)  
4.5 Hz 受振器 (DAT 用)
- ・データ収録システム : GDAPS-4A デジタルテレメトリーシステム  
MS-2000D 高精度独立型レコーダー  
DAT 独立型観測システム

<海域>

- ・震源 : エアガン Bolt 1500LL Tri-Gun  
コンプレッサー Hamworthy 425D
- ・受振器 : ハイドロフォン ( $f_0=10\text{Hz}$ )
- ・データ収録システム : GDAPS-OBC デジタルテレメトリーシステム
- ・船舶 : 「さちなみ」 111 トン (OBC 敷設船)  
「はくほう」 65 トン (エアガン発震船)  
「えびす」 110 トン (観測船)

ii) 測量

<陸域>

- ・RTK 用 GPS 受信機 (TOPCON LEGACY-E)
- ・トータルステーション (TOPCON CS-101)
- ・データコレクター (TOPCON FC-7)

<海域>

- ・GPS 受信機 (G-12 SENSOR)
- ・ビーコン受信機 (MBX-3)
- ・小型航法システム (ChiPS2)
- ・測深器 (PDR-120D / PDR-130D)
- ・音響測位システム (Sonardyne)