

### 3. 1 大深度弾性波探査

#### 3. 1. 1 事業概要

##### (1) 業務の内容

(a) 業務題目： 大深度弾性波探査

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
京都大学防災研究所	教授	梅田 康弘	umeda@rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp
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
京都大学防災研究所	教授	伊藤 潔	ito@rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp
東京大学地震研究所	助教授	瀨瀬 一起	hirata@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	助手	澁谷 拓郎	shibutan@rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp
東京大学地震研究所	助教授	飯高 隆	iidaka@eri.u-tokyo.ac.jp
東京大学地震研究所	助手	蔵下 英司	ekura@eri.u-tokyo.ac.jp
京都大学防災研究所	助教授	松村 一男	kmatsu@rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp
京都大学防災研究所	助教授	渡辺 邦彦	watkun@rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp
京都大学防災研究所	助手	大見 士朗	ohmi@rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp
東京大学地震研究所	助教授	卜部 卓	urabe@eri.u-tokyo.ac.jp
東京大学地震研究所	助手	酒井 慎一	coco@eri.u-tokyo.ac.jp
東京大学地震研究所	助手	五十嵐 俊博	igarashi@eri.u-tokyo.ac.jp
東京大学地震研究所	特任研究員	河村 知徳	tkawa@eri.u-tokyo.ac.jp

##### (c) 業務の目的

首都圏および近畿圏に被害を発生させる地震の震源断層の形状・物性の解明と、強震動伝搬の媒体となる地殻の地震波速度構造を明らかにするため、制御震源および自然地震を用いた地殻構造探査を行う。本研究では地殻内の断層などの微細な構造のマッピングには現時点では唯一の手法である制御震源による地殻構造探査と、全体の三次元速度構造や制御震源では困難なより深部の地殻・マントル構造探査に最も有効な手法である自然地震による地殻構造探査を総合的に実施し、大都市圏の地殻構造を総合的に明らかにする。制御震源による反射法・屈折法探査測線は、5ヶ年で11測線を設定しており、首都圏・近畿圏における主要な地震発生源であるプレート境界型と内陸地震型の震源断層のイメージングを目的とした探査を行う。自然地震による地殻構造探査では、首都圏・近畿圏に稠密アレイを展開し、3-5年の連続観測を行う。

これらの地殻構造探査によって、内陸地震型の震源断層については、強震動予測に必要な巨視的パラメータである断層の形状について基礎となる観測データを提供することが可能になる。プレート境界型の震源断層については、境界面の形状の他に、反射波等の波形解析により境界面の物性に関するデータを提供できる。自然地震観測は既存の観測網と補完的に実施され、既存データの解析も含め3次元速度構造が得られる他、レーシーバ関数解析法などにより反射層がイメージングされる。これらの資料は、制御震源によって得られる地殻構造と相補的に、断層モデルの構築や強震動計算のために必要な地殻の速度構造モデルの基礎資料となる。

(d) 5 年間の年次実施計画

1) 平成14年度:

首都圏に大きな地震災害を発生させるフィリピン海プレート上面の震源断層や、内陸活断層の深部延長の震源断層の形状、また強震動予測にとって重要な地殻の速度構造を求めるために、房総縦断測線と相模測線において大規模な地殻構造探査を実施した。

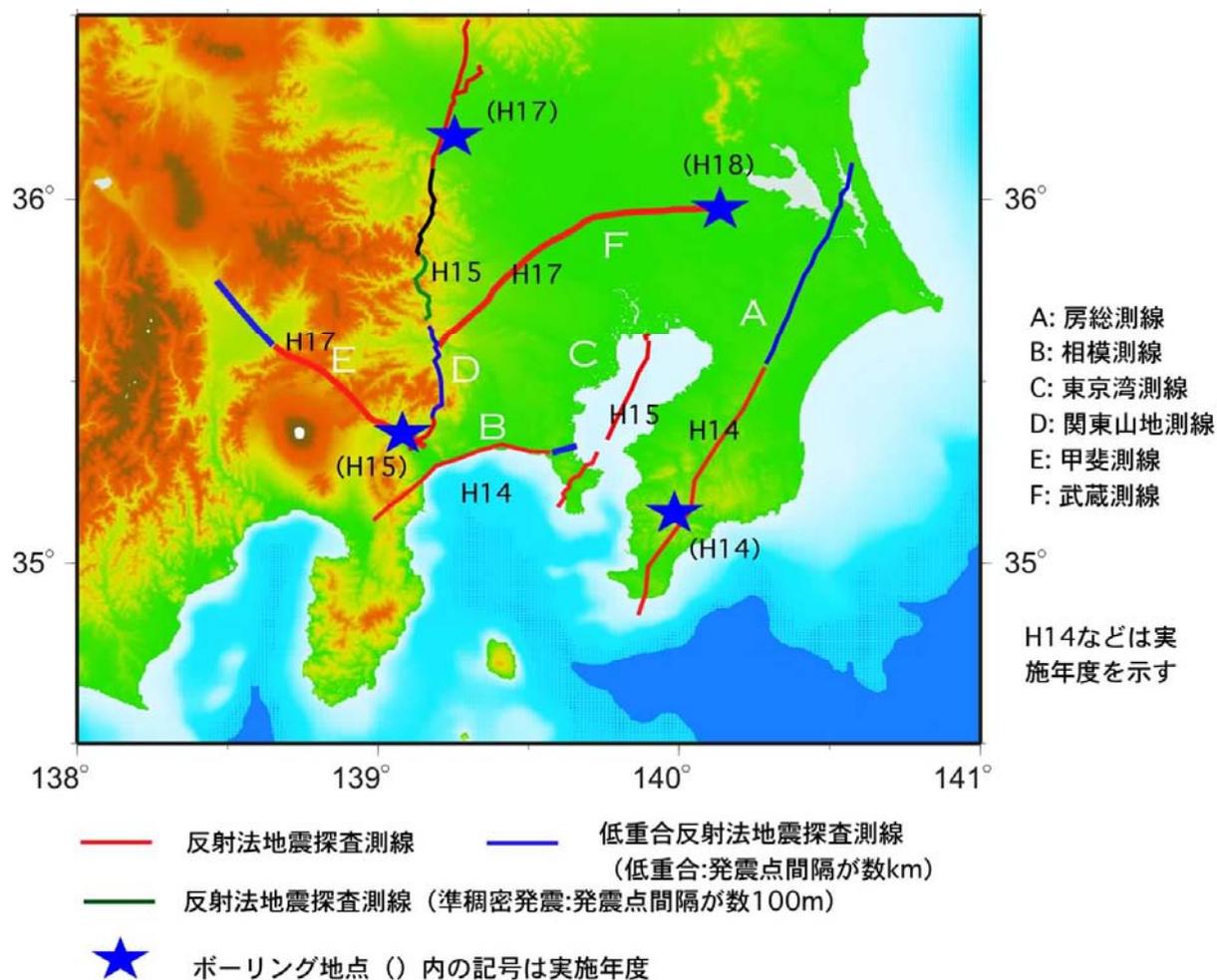


図1. 制御震源による首都圏における大都市圏大深度弾性波探査測線。予定測線も含む。

房総半島縦断地殻構造探査 (房総 2002)

探査測線は、房総半島南端の野島崎沖から房総半島を縦断し茨城県鹿嶋市に至る約 165km の区間である。測線の南半分に対応する野島崎沖の海上 10km と市原市に至る 85km 区間については、エアガンやパイロサイスを用いた稠密発震による反射法地震探査を実施した。また、測線全域についてプレート境界面などより深部を対象として、主としてダイナマイト震源を用いた屈折法・広角反射法地震探査を実施した。南半部の稠密反射法地震探査によって房総半島の付加帯からその北側に広がるかつての前弧海盆の地殻構造が明らかになった。また、屈折法により堆積平野を構成する新第三系-第四系堆積層や、その下位に位置する先新第三系基盤の速度構造が求められた。また、ダイナマイト震源を用いた反射法地震探査によって、フィリピン海プレート上面に相当する反射波群がイメージングされた。

相模湾岸地殻構造探査 (相模 2003)

静岡県三島市北東部から相模湾岸部を経て横浜市金沢区に至る約 77km の区間で地震探査を実施した。本測線では南関東におけるフィリピン海プレート上面のイメージングの他に、内陸の国府津-松田断層、

丹那断層の深部形状の他、神奈川県西部の堆積層の速度構造の解明を目的とした。三島から小田原にいたる区間では、パイプロサイスを震源とし、小田原から鎌倉にいたる区間では海上でのエアガンを震源とし、陸上に展開した受振システムで観測した。反射法地震探査断面では、足柄平野下で地下 2-3 km から茅ヶ崎で深度 10km に達する東に傾斜する反射波群がイメージングされた。この反射波群は既存の関東地震（1923 年）の断層モデルとも整合し、フィリピン海プレート上面からの反射に相当すると判断される。大規模な内陸活断層である国府津-松田断層は、高角度の東傾斜の断層であり、大磯丘陵下地下 6km 程度でフィリピン海プレート上面の反射波群に収れんすることが明らかになった。

#### 自然地震観測による地殻構造探査

制御震源では明らかにできない地殻深部の弾性波速度構造を、自然地震を用いて明らかにし、震源断層のイメージング等を行うことを目的とし、房総半島に稠密アレイを設置した（房総アレイ）。房総半島はフィリピン海プレートが浅部に位置するにも関わらず観測点密度が低く、これまで詳細な地殻構造を描き出すための十分な観測データがない。このアレイによって収集されたデータは、首都圏の強震動予測に必要な地震波伝搬経路の推定、経路上での増幅特性等のモデル化の精度向上のための基礎資料となる。

#### 2) 平成 15 年度：

南関東および首都圏西部におけるフィリピン海プレート上面の震源断層の形状、内陸活断層の深部形状、地殻上部の弾性波速度構造の解明を目的として、平成 15 年度には東京湾と関東山地東縁部において地殻構造探査を実施した。

##### 東京湾岸地殻構造探査（東京湾 2003）

三浦半島から東京湾を経て浦安にいたる 70km の区間で、反射法地震探査を実施した。目的はフィリピン海プレート上面の形状と、三浦半島に分布する活断層群の深部形状を解明すること、地殻上部の弾性波速度構造を求めることである。三浦半島・浦安など陸上区間においてはパイプロサイスを震源とし、エアガンを震源とした。海域での受振は海上では、Ocean Bottom Cable（OBC）と呼ばれるケーブルで連結された海底型受振器を使用した。得られた反射法地震探査断面では、東京湾北端部で往復走時 10 秒の北傾斜の反射波群が捉えられ、この反射イベントは断続的に三浦半島下 4-5 秒のイベントに追跡される。この反射波群は形状から判断して、フィリピン海プレート上面からの反射波に相当すると判断される。この他、関東構造盆地を埋積する堆積層が横浜南東沖で厚さ 4km に達していることが判明した。

##### 関東山地東縁地殻構造探査（関東山地東縁 2003）

小田原から北関東の桐生周辺に達する全長 140km の測線であり、フィリピン海プレート上面の浅部形状（30km 以浅）と関東平野北西縁活断層帯・国府津-松田断層の深部形状、関東平野北西部の堆積平野の形状と速度構造の解明を目的とした。関東平野北西部を縦断する 53km 区間と国府津-松田断層を横切る 10km 区間については、パイプロサイスの稠密発震による反射法地震探査を行い、相模湖周辺の藤木-愛川線周辺では、低密度発震とした。測線全域についてはダイナマイトとパイプロサイスの多重発震による屈折法・広角反射法地震探査を行った。関東平野北西部における断面では、深さ 3km に及ぶ厚い堆積層の分布と形状が判明した他、関東平野北西縁活断層系が地下 5km 程度まで、北傾斜を示すことが明らかになった。主としてダイナマイトを震源とする低重合断面では、フィリピン海プレート上面に相当する北傾斜の反射イベントが関東山地の青梅市域下、往復走時 8 秒まで追跡される他、丹沢山地は相対的に低速度の物質から構成され、本州弧にくさび型の構造をなして接合していることが判明した。国府津-松田断層の深部延長は、丹沢山地下 4-5 秒で前述したプレート境界面に収れんする。

#### 自然地震による地殻構造探査

平成 15 年度に引き続き房総アレイにおける観測点の設置を行い、稠密地震観測点のアレイを完成させた。地殻構造に必要な地震観測データを継続して収集している。近畿圏については、平成 16 年度から設置を予定している紀伊半島中南部の稠密アレイ観測の予備観測として、3 箇所地震計を設置した。

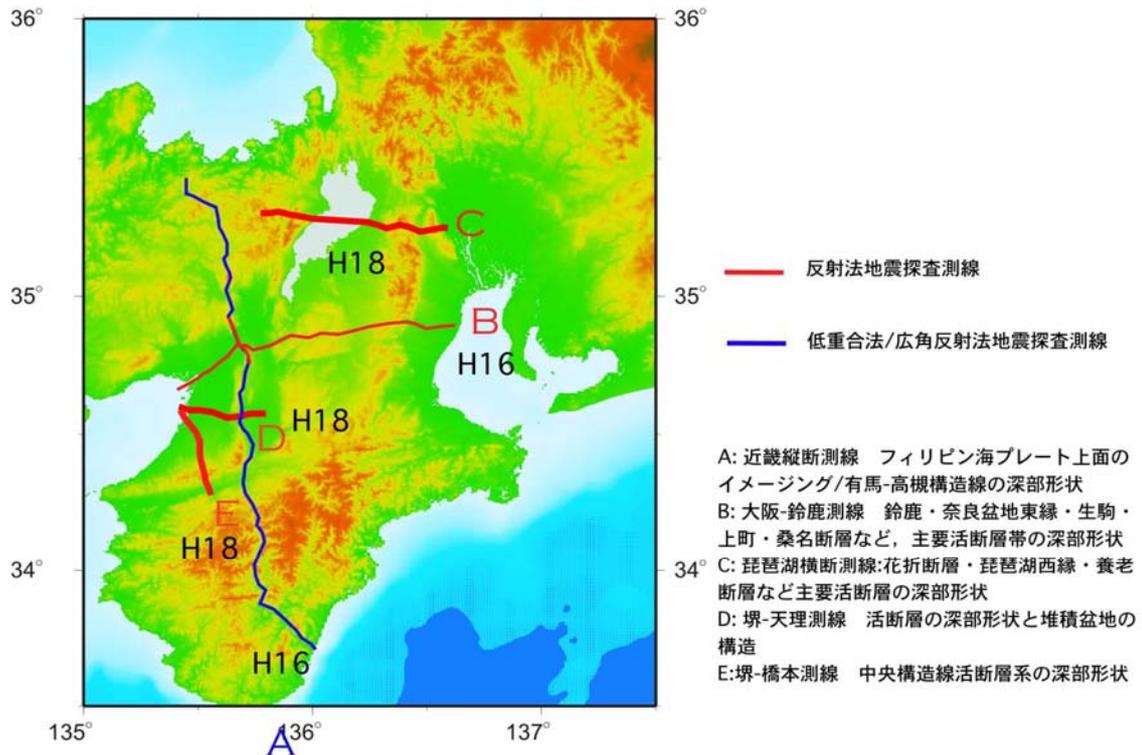


図2 制御震源による近畿圏における大都市圏大深度弾性波探査予定測線。

### 3) 平成 16 年度:

#### 近畿縦断測線 (図 3A: 測線長約 220 km)

近畿圏の一つ重要な被害地震のソースであるプレート境界によって発生する震源断層のイメージングと、大きなスケールで強震動伝搬の際に問題になる基本的な地殻構造を明らかにするために、屈折法・広角反射法を中心とした地震探査を行う。測線上にあるほぼ東西方向の活断層である有馬-高槻構造線については、通常の大深度反射法地震探査を行い、活断層の深部形状を明らかにする。1995 年兵庫県南部地震の際に見いだされた丹波高原下の中部地殻中の S 波反射層と有馬-高槻構造線の関係についても、地震の発生メカニズムの理解に貢献する可能性があり留意して実験を行う。

#### 大阪-四日市測線 (図 3B: 測線長約 130 km)

大坂平野の淀川河口から四日市に至る測線で、南北方向の大規模な活断層システムを構成している上町・生駒・奈良盆地東縁・布引山地東縁活断層・鈴鹿山地東縁・養老-四日市断層帯などの深部形状と大坂・奈良盆地などの堆積平野の速度構造を明らかにする目的で、反射法地震探査を行う。上町・生駒・奈良盆地東縁の活断層系は東傾斜であり、布引山山地東縁活断層・鈴鹿山地東縁・養老-四日市断層帯は西傾斜である。これらは地殻中部で互いに近接もしくは交差し、全体として一つのシステムを構成している。これらの活断層は、断層の延長距離から判断して、マグニチュード 7 を越える規模の地震を発生させる可能性があり、とくに評価結果が公表されている養老断層帯については、マグニチュード 8 に達する。こうした規模の地震は推定される震源断層が西傾斜であることを考慮すれば、地表の断層交跡は濃尾平野西縁に位置するものの、近畿圏にも少なからぬ被害を発生させる。東傾斜の震源断層の地震発生層下限までのイメージングは、すでに名古屋地区からのびる震源断層との接合部までのイメージングを意味しており、名古屋地区までの震源断層のイメージングを含め一括して行うことは、構造探査の上から極めて効率的であり、かつ反射断面の解釈精度を向上させる。

#### 自然地震による地殻構造探査

近畿圏においては、紀伊半島中-南部の近畿縦断測線とほぼ重複して 10 点に地震観測点を設置し、稠

密アレイによる観測を開始する。首都圏においては、房総アレイによる観測を継続する。収集されたアレイ観測によるデータと既設の観測点のデータに基づいて、地殻および上部マントル構造を明らかにするための解析を行う。

#### 4) 平成 17 年度:

##### 甲斐測線 (図 2E: 測線長約 70 km)

この測線とほぼ平行する伊豆半島の付け根から北西方向に伸びるゾーンでは、地震活動によってもフィリピン海プレート上面位置の特定が困難である。このような観測事実をもとに、この部分のフィリピン海プレートは存在せず、フィリピン海プレートのスラブは北東側と南西側の二つに分かれて沈み込んでいるという学説も提示されている。この地域でのスラブの存否を含め、複雑なフィリピン海プレートと本州側プレートの接合状態を明らかにすることは、首都圏地域のテクトニックな枠組みを決定する上で、極めて重要な問題であり、要請される震源断層モデルの構築にとっても大きな影響を及ぼす。首都圏下のプレート上面の形状を理解することは、力学システムとして地震発生を捉える場合、極めて基本的である。また、本測線沿いには、甲府盆地南縁を画する活断層である曾根丘陵断層帯や、足柄平野北縁の活断層である神縄断層が位置し、甲府盆地や神奈川県西部の強震動予測にとって重要である。このような目的から、丹沢-甲府地域に対して、フィリピン海プレート上面のイメージングと、前述した活断層群の深部形状の解明を目的とした反射法地震探査を行う。山岳地域であり、この部分ではダイナマイトを震源とした低重合法による反射法地震探査となる。

##### 武蔵測線 (図 2F: 測線長約 114 km)

本測線の主要ターゲットは、立川断層などに代表される北西-南東方向の活断層の深部形状と平野下深部の速度構造である。首都圏北部にはこれまでの反射法地震探査によって、下部新第三系とみられる厚い VP4km/sec の層が不規則に厚く分布することが判明しているが、これらの分布や実態については不明瞭な点が多い。強震動予測には、これらの速度構造を求めることが重要であり、いくつかのブーグ異常急変帯を横断する測線で反射法地震探査を実施する。人口が密集した市街地であるが、震源には主としてパイロサイズを使用し、夜間の多重回発震 (〜100) を適切な間隔で行い、深部のイメージングを向上させる。測線周辺では対象深度は異なるものの、防災科学技術研究所が実施した調査などの実績があり、探査可能性については問題ない。

##### 自然地震による地殻構造探査

近畿圏・首都圏ともに、稠密アレイによる観測を継続する。収集されたアレイ観測によるデータと既設の観測点のデータに基づいて、地殻および上部マントル構造を明らかにするための解析を行う。

#### 5) 平成 18 年度:

##### 近江測線 (図 3C: 測線長約 100 km)

花折断層や琵琶湖西岸活断層系および養老断層系の深部形状の解明を目的として設定した測線である。これらの活断層系は、地表の延長距離が 50km を越える大規模なものであり、いずれもマグニチュード 7 を越える地震を発生させるポテンシャルを有している。とくに養老断層系はこの中でも大規模なもので、前述したようにマグニチュード 8 におよぶ地震を発生させるポテンシャルを有すると評価されている。人口密度の高い京都盆地は、これらの活断層から発生する地震の大きな影響を被るが、京都盆地周辺の花折断層や琵琶湖西岸活断層系は断層の末端部に位置している。これら活断層系の震源断層の形状を明らかにするためには、断層主体部でかつ地表のノイズ条件が最もよい場所で観測することが、もっとも有効である。このため、本計画では京都や大阪の人口密集地からははずれるが、対象とする断層の主体部でかつノイズレベルの小さい琵琶湖を横断する測線を設定した。湖底部分には OBC を展開し、エアガンとパイロサイズによる発震信号を、湖底と陸上で連続的に記録することにより、湖底から山地までの連続した反射断面を得る。この測線上の探査によって、近接してほぼ平行に分布する花折断層や琵琶湖西岸の断層系の地震発生層における接合関係や、養老断層系の深部形状が明らかになる。

##### 和泉測線 (図 3E: 測線長約 50 km)

これまでの反射法地震探査によって、紀伊半島の中央構造線活断層系は地下 1-2km では北に緩やかに傾斜する形状を示していることが明らかにされている。こうした構造が地震発生層まで連続する場合に

は、大坂南部が震源断層の直上に位置することになるため、この震源断層の深部形状を明らかにすることは重要である。反射法地震探査によって、この断層の深部形状と大坂南部堆積盆地の速度構造を明らかにする。

河内測線（図 3D：測線長約 50 km）

大坂南部の堆積平野の地下構造と上町断層の深部形状の解明を目的とした反射法地震探査を実施する。和泉測線と本測線での反射法地震探査の震源を利用して、平面的に受振点を配置し、三次元的な速度構造の解明を目的とした観測を平行して行う。

自然地震による地殻構造探査

近畿圏・首都圏ともに、稠密アレイによる観測を継続する。収集されたアレイ観測によるデータと既設の観測点のデータに基づいて、地殻および上部マントル構造についての解析結果を取りまとめる。

(e) 平成 15 年度業務目的

首都圏近傍の強震動予測精度を向上させるためには、少なくとも強震動を発生させる震源断層の位置・形状、強震動の伝達経路となる堆積盆地の形状や速度構造を含む地殻の速度構造等を求める必要がある。1923 年の関東地震など首都圏に致命的な被害をもたらしたフィリピン海プレート上面に位置する震源断層の形状や地殻の速度構造などについても、制御震源を用いた直接的な手法によって計測されていない。このため本業務では平成 14 年に実施した房総半島縦断地殻構造探査、相模湾岸地殻構造探査に引き続いて、三浦半島から東京湾北端にいたる東京湾地殻構造探査と小田原から桐生にいたる関東山地東縁地殻構造探査を行う。これらの構造探査の目的は、1) フィリピン海プレート上面の制御震源により位置と形状を明らかにすること、2) 内陸活断層の深部形状・接合関係を明らかにすること、3) 強震動の伝達経路である地殻上部の弾性波速度構造を明らかにすること、である。内陸活断層の深部形状について、東京湾測線ではとくに三浦半島断層群の形状と接合関係、関東山地東縁測線では国府津-松田断層、関東平野北西縁断層帯の深部形状の解明を目的とした。

自然地震による地殻構造探査においては、首都圏地域における房総地域の稠密アレイを構築することを一義的な目的とした。