

1. 大深度弾性波探査

1.1 事業概要

(1) 業務題目 深部反射法地震探査等の大深度弾性波探査

(2) 業務目的と概要

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、首都圏・近畿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ケ年で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。

(3) 制御震源による地殻構造探査

佐藤 比呂志 (東京大学地震研究所)
岩崎 貴哉 (東京大学地震研究所)
飯高 隆 (東京大学地震研究所)
蔵下 英司 (東京大学地震研究所)
伊藤 谷生 (千葉大学理学部)
伊藤 潔 (京都大学防災研究所)
松村 一男 (京都大学防災研究所)
澁谷 拓郎 (京都大学防災研究所)

(a) 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イメージングと、地殻上部の速度構造、伏在活断層を含めた震源断層-活断層システムの分岐形状を明らかにするために、制御震源を用いた地殻構造探査を実施する。

(b) 手法: 計画全体の測線図を図1と図2に示した。制御震源の地殻構造探査には、主として制御震源直下から反射して来る波群の解析によってイメージングする反射法地震探査と、主として屈折波を使って解析する屈折法・広角反射法を用いる探査がある。平成16年に予定している近畿圏を縦断する地殻構造探査は、主としてフィリピン海プレート上面のイメージングと、地殻の大局構造の把握に重点をおくため、後者の屈折法・広角反射法による探査となるが、残りの測線は、主として反射法地震探査による。反射法地震探査は、主としてパイプロサイス(陸上の起震車)を使用し、測線によってはエアガン・ダイナマイトを震源として使用する。受振は、通常の石油探査などで使用されるケーブル型の受振システムを使用し、受振点間隔は50mとする。この他、都市域や山岳地域など、ケーブルを十分に展開できない地域において探査を実施するために、独立型の記録装置を開発し、探査に使用する。発震点間隔は、通常2-300mであるが、こうした稠密発震は内陸断層の形状など、地殻上部の高分解能のイメージングが要請される地域で実施する。この他、山岳地域やプレート境界面や内陸活断層の深部延長などターゲットが深い場合は、コストを軽減させるために屈折法・広角反射法を実施する。屈折法・広角反射法は、通常の反射法地震探査とほぼ同様の間隔で受振するが、通常の反射法では200-300mの発震間隔であるの

に対して、低重合法では数 km の間隔で大エネルギーを投射する。基本的にはダイナマイトを使用し、地域によってパイロサイズやエアガンでの多重回発震(~ 100)によって代用する。測線図において、青い実線で示した測線が、低重合法反射法地震探査を予定している区間である。低重合法地震探査の実績としては、四国北部での中央構造線の地殻中部の深度でのイメージングの例や、東海地域での地殻全体の反射法によるイメージングの実例があり、いずれも上部マントルまでの良好な結果が得られている。通常の反射法区間についても深部イメージングが必要な区間では、低重合法仕様の実験を行うが、逆に低重合法区間では通常区間で実施するような稠密発震は行わない。

強震動予測においては、堆積平野の 3 次元的な速度構造を明らかにすることも重要であり、従来の調査で十分な資料が得られていない平野部では、反射法地震探査測線における震源を平面的に配置した受振器で観測することにより、速度構造を観測する実験を行う。

(c) 年次実施計画

平成 14 年 房総測線 (図 1A: 測線長約 112 km)

フィリピン海プレート上面の震源断層、房総半島南部の活断層とプレート境界断層との関係、関東平野東部の速度構造を明らかにする目的で実施した。測線南部では高分解能の反射法地震探査を、全測線について屈折法・広角反射法地震探査を実施した。

平成 14 年 相模測線 (図 1B: 測線長約 75 km)

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。伊豆半島の付け根を横断し、鎌倉を経て東京湾岸までいたる測線である。相模湾岸については海岸にケーブル型の受振器を展開し、震源は大きなエネルギーを投射できるエアガンを使用し、エアガンの多重回発震(~ 100)により、地殻深部のイメージングを行った。

平成 15 年 東京湾岸測線 (図 1C: 測線長約 55 km)

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である。東京から三浦半島にかけての測線であり、陸上は極度に市街地化しているため東京湾では海域に測線を設定している。受振系は 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、発震はエアガンで行う。ケーブル長は 6km であるので、測線外からの発震を重複して行い、均質な重合数を確保しながら計測する。必要な間隔で多重回発震を行い、深部イメージングを得る。三浦半島はパイロサイズを震源とする深部反射法地震探査を実施するが、海陸境界部では陸上と海上からの信号を陸上の受振器と海底ケーブル型の受振器で収録し、連続的な地殻断面をえることとする。

平成 15 年 関東山地東縁測線 (図 1D: 測線長約 117 km)

小田原から北関東の足利周辺に達する測線であり、フィリピン海プレート上面の浅部 (30km 以浅) と北関東の西北西-東南東に延びる活断層である深谷断層系の深部形状、北関東地域の地殻上部の速度構造を明らかにすることを目的とする。陸上部の測線であり、パイロサイズ・ダイナマイトを震源とする低重合法を含めた反射法地震探査によって、目的の達成を図る。

平成 16 年 近畿縦断測線 (図 2A: 測線長約 220 km)

本測線では、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、通常の稠密発震による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。

平成 16 年 大和測線 (図 2B: 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り、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、地表の断層交跡は名古屋地区に位置するものの、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。

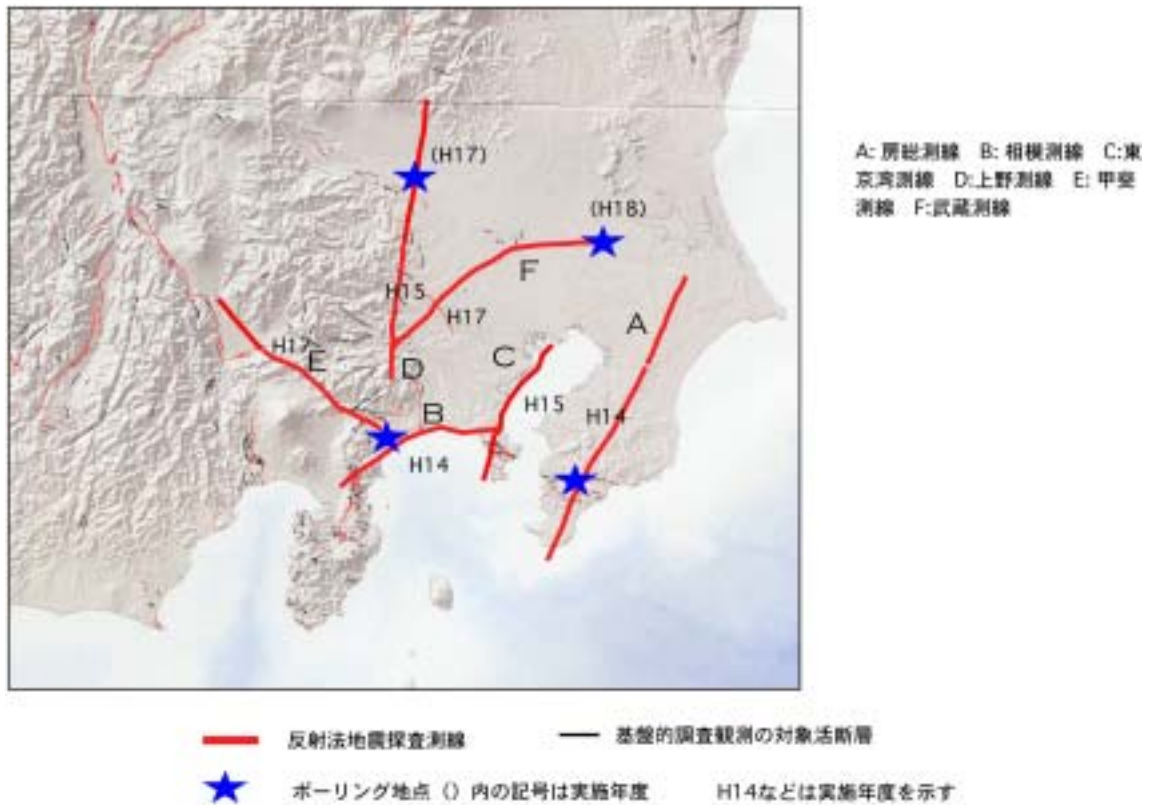


図1 大都市圏地殻構造探査測線図（首都圏）

平成17年 甲斐測線（図1。E：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理解する上で、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首根丘陵断層帯や、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。このような観点から、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、活断層の周辺ではパイプロサイスの稠密発震による通常の深部反射法地震探査となる。

平成 17 年 武蔵測線 (図 1F: 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、いくつかのブーゲ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プロサイスを使用し、夜間の多重回集中発震 (~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。

平成 18 年 近江測線 (図 2.C: 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 50 km 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。湖底部分には海底ケーブル型受振器 (OBC) を展開し、エアガンとパイプロサイスによる発震信号を、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。

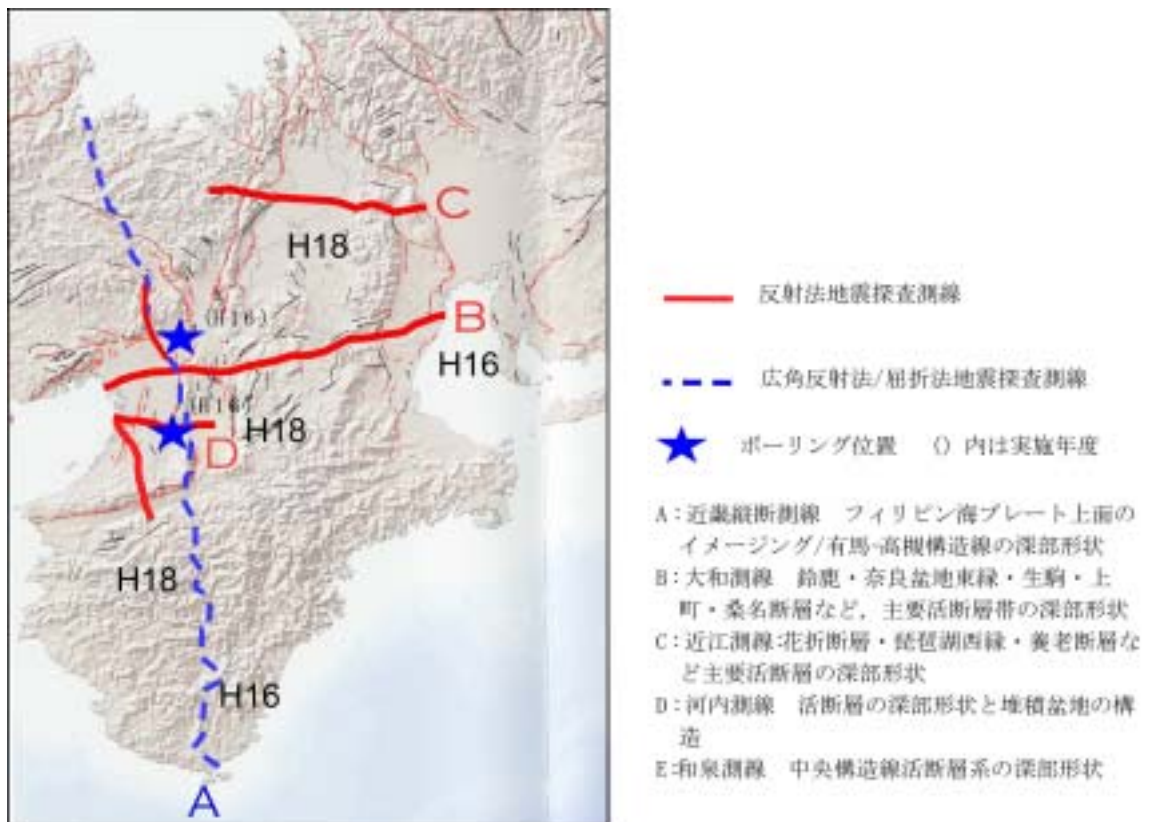


図 2 近畿圏の地殻構造探査予定測線図

平成 18 年 和泉測線 (図 2、E: 測線長約 50 km)

これまでに実施された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。

平成 18 年 河内測線 (図 2、D: 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。

(4) 自然地震による地殻構造探査

梅田 康弘 (京都大学防災研究所)
渡辺 邦彦 (京都大学防災研究所)
大見 士朗 (京都大学防災研究所)
平田 直 (東京大学地震研究所)
卜部 卓 (東京大学地震研究所)
酒井慎一 (東京大学地震研究所)
五十嵐俊博 (東京大学地震研究所)

(a) 目的: 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、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イメージング等を行うことを目的とする。自然地震観測によって、面的、3 次元的構造を明らかにする。P および S 波の速度構造、減衰構造、顕著な反射面、変換面の分布を詳細に求める。さらに、震源断層面およびプレート境界面の物理的特性把握のために反射点と反射強度の空間分布を求める。さらに、地震分布、発震機構解を併用して、震源断層および地震波伝播に関する、総合的なモデル構築のためのデータを取得する。

(b) 手法: 稠密アレイ観測点を、東京大学地震研究所が首都圏に、京都大学防災研究所が近畿圏に設置して、既存の観測網データも併用した自然地震の観測を行う。稠密アレイ観測によって、個別の観測点では認定しにくい微弱な反射波・変換波を観測し、プレート境界や断層面の位置・形状・境界近傍の微細構造を明らかにする。アレイ観測では、観測点の配列による指向性(アレイ特性)が重要であるので、目的とする深度・方向に最適なアレイ配置を設計する。3 から 5 年間の観測を実施して、連続波形データを取得する。データ伝送は、有線回線・地上波無線回線・衛星回線等を利用し、さらに、インターネットを用いた伝送を複合した最適な方法を用いて、東京大学地震研究所・京都大学防災研究所に集める。このデータは、衛星回線・インターネットを用いて全国の研究者の共同利用に供する。データ解析には、既存の手法のほか、稠密アレイ観測点に最適な新しい重合法・フィルターを開発して、多チャンネルデータ解析による自然地震解析を行い、新しい自然地震を用いた構造探査技術を確立する。

(c) 年次計画

平成 14-16 年度は、首都圏で、房総半島を中心とした稠密アレイ観測を実施して、フィリピン海プレートと関東地方を形成するプレートとの境界近傍の構造を明らかにする。この研究によって 1923 年関東地震等の震源断層の詳細が解明される。特に、関東地方の下に存在する北へ沈み込むフィリピン海プレートの北限が明らかになる。また、構造盆地である関東平野の地下での形態が、3 次元的な速度解析によって明らかになる。制御震源地震探査によって得られる深部地殻構造を補うデータが、自然地震観測から得られるため、深部構造のイメージングの信頼度が向上する。関東地方の 3 次元的構造が明らかになり、首都圏の強震動評価に必要な、地震波伝播経路の推定、経路上での増幅特性等のモデル化の精

度が向上する。

平成 16-18 年度は近畿圏において稠密アレイ観測が実施され、フィリピン海プレートおよび近畿圏に多数発達している活断層、例えば、有馬 高槻構造線の深部構造が明らかになる。さらに、南北走向の生駒山地ではその両側に 10km 程度離れて逆断層が存在し、その深部形状がどのようになっているか不明であるが、本計画によって解明される。山地の西側の生駒山地西縁断層群が優勢になるのか、山地の東部に発達した奈良盆地西縁断層群が優勢になるか問題である。同様な例は琵琶湖の西縁断層群と花折断層にも、鈴鹿山地の東西断層群にも当てはまる。このような断層の形状を決定し、断層システムとして全体像を理解することができるようになる。その結果、地震の規模の評価方法が高度化し、規模予測の精度が向上する。