

4. 全体成果概要

神縄・国府津—松田断層帯（以下、「本断層帯」）を取り囲む丹沢山地～富士山周辺部は、フィリピン海プレートの沈み込みに伴う多重衝突によって、いくつかの断層帯と複雑なブロック的地殻構造を形成している。このような地域に位置する本断層帯の活動性を評価して強震動予測を行うためには、まず、断層帯の全体像を明らかにするとともに、周辺地域におけるひずみ（ひずみ速度）の分配を明らかにし、その結果を踏まえて断層モデルを構築して地震動の計算を行う必要がある。本重点的調査観測では、平成 21 年度から 23 年度までの 3 年間にわたり、3 つのサブテーマ（断層帯の三次元的形状・断層帯周辺の地殻構造解明のための調査観測、断層活動履歴や平均変位速度の解明のための調査観測及び断層帯周辺における地震動予測の高度化のための研究）を有機的に連携させて実施してきた。本章では、各観測項目の成果の概要を述べることとする。

まず、断層帯の三次元的形状及び断層帯周辺の地殻構造解明のための調査観測においては、構造探査、機動的な地震観測及び電磁氣的探査を実施した。制御震源地震探査による地殻構造の解明においては、神縄・国府津—松田断層帯が単独の内陸活断層として挙動するのか、あるいは南関東下に沈み込むフィリピン海プレート上面のメガスラストからの分岐断層であるかが、この断層帯から発生する地震を予測する上で最も基本的な情報であると考へた。本プロジェクトの初年度に実施した相模トラフを横切る海陸統合地殻構造調査は、後者を示唆するものであった。この調査では、深さ 15 km までの速度構造が得られ、フィリピン海プレート上面が深さ 11 km まで追跡された。更に、国府津—松田断層の延長や相模湾断層などの相模トラフと併走する断層がメガスラストからの分岐断層であることが明らかとなったのである。この結果は、国府津—松田断層はメガスラストの活動に伴って、何回かに一度、活動する可能性の高いことを意味する。断層から発生する地震の規模や、発生する強震動を予測するために、断層の深部形状を明らかにしなければならない。二年度には、震源断層の形状モデルを作成するために、既往データに対して、統一的な手法と及び近年開発された屈折トモグラフィ法による速度構造解析・CRS (Common Reflection Surface) 法などの手法を適用した再解析を行い、更に本プロジェクトで実施している変動地形学的な情報も取り入れて、神縄・国府津—松田断層帯の震源断層の三次元形状モデル作成に資する構造情報を得た。神縄断層については、その西端は富士火山噴出物に覆われて、西方延長が不明であった。このため、最終年度には箱根火山西翼から御殿場を経て富士吉田に至る延長約 34km の測線において、屈折法・広角反射法を主体とした地殻構造探査を行い、御殿場市に伏在している本州弧と伊豆弧のプレート境界断層の位置・形状を明らかにし、本重点調査で実施された浅層反射法地震探査の結果も含めて、神縄断層とその南東に位置する伏在断層の形状モデルを作成した。更に、これまでの調査結果に対して総合的な検討を行うことによって、神縄・国府津—松田断層帯源断層の形状モデルを作成するとともに、強震動予測計算に資する基礎的情報を提供した。

自然地震観測に基づく断層周辺の広域的 3 次元構造調査においては、神縄・国府津－松田断層帯周辺域における地震活動およびやや広域の地殻構造の解明のために、オフライン機動観測点 30 点からなる観測網を整備した。この観測網は二年度目の 11 月に完成し、得られたデータはデータセンターに集められ、新たに構築された処理システムによって既存の防災科学技術研究所の高感度地震観測網のデータや神奈川県温泉地学研究所等の既存の観測網のデータとの併合処理が行われた。更に、このシステムでは、データの統合に加えて、記録波形から地震や発破などのイベント検出・自動震源決定とともに、そのイベントに該当する時間帯の記録波形を切り出してイベント波形ファイル作成処理を可能にした。本調査で得られたデータと、既存の観測網のデータにより得られた 2011 年 8 月以前の読取りデータをあわせて、地震波の P 波・S 波の到達時刻データを作成し、広域的な地震波速度構造トモグラフィ解析を実施した。このトモグラフィはこの領域では最も高精度であり、その結果として、国府津－松田断層がその南部では東傾斜の低速度域上面に対応し、北部の衝突帯では高速度な下盤と低速度な上盤を分ける位置に存在することが明らかとなった。

神縄・国府津－松田断層帯北縁部（箱根火山－丹沢山地）の地震活動と構造不均質の調査においては、初年度及び二年度に、高精度な震源位置決定を行うため、本断層帯北縁部周辺の一次元速度構造を、採石発破記録を用いて表層構造を求めた。さらに、周辺で発生した自然地震データを用いて、1 次元速度構造の改良を行うとともに、各観測点の観測点補正值を決定した。本調査観測による臨時地震観測データに対してこの 1 次元速度構造、観測点補正值を用い、本断層帯周辺で発生した地震の震源分布ならびにメカニズム解を高精度に推定することができた。その結果、本断層帯周辺で発生する地震活動のほとんどは、フィリピン海プレート境界付近やその内部で発生していることがわかった。更に、本断層帯上で発生していると思われる地震活動はみられず、国府津・松田断層がフィリピン海プレートに収束していると考えられている領域においても地震活動は存在しないことが分かった。メカニズム解はフィリピン海プレートの沈み込みに関連する逆断層型が多い。しかし、局所的は P 軸方向が変化する領域が存在しており、こうしたメカニズム解分布の不均質性は、沈み込むフィリピン海プレート内部の応力場の不均質を反映している可能性が考えられる。

比抵抗構造探査では、神縄断層西延長上の箱根カルデラ南東縁から河口湖にいたる長さ 45km の測線上で、広帯域 MT 法観測を実施し、富士山の火山性堆積物に覆われている地域において、神縄断層の延長部の比抵抗構造を、深度 4km まで求めることができた。この測線は、上述の地殻構造調査測線に近接するものである。その結果、丹沢山地の高比抵抗ブロックが顕著であり、その東側では低比抵抗層が南東に向かって徐々に厚く分布することがわかった。この低比抵抗層は比較的厚く（4 km 程度）、神縄断層の延長部はこの低比抵抗層の北西端付近に対応する。更に、またこの低比抵抗層の中に、北西方向の不連続が見出せる。この構造は、0.5Ma の伊豆ブロックの衝突までトラフが存在して足柄層が厚く堆積したこと、さらにその後の伊豆の衝突で変形していることを反映していると考えられる。箱根

カルデラでは地表付近1-2kmに顕著な低比抵抗層が存在するが、これは地熱系で変質を受けた粘土鉱物を含む地層を表している。カルデラの外縁ではこの低比抵抗層は失われていると考えられる。

断層活動履歴や平均変位速度の解明のための調査観測は、変動地形学的アプローチから、本断層帯の活動履歴や平均変位速度の解明を図るものである。浅海域での国府津-松田断層およびその周辺の活構造の分布と変形様式を把握するため、小田原市早川から中郡大磯までの相模湾北西海域において高分解能マルチチャンネル音波探査を実施し、浅部の地質構造について詳細なイメージングを図った。その結果、海岸線から約2km沖合までの沿岸部では、陸域で認定されている大磯丘陵西縁を限る国府津-松田断層主断層の走向延長部に、同断層の存在を示唆する反射面群の不連続が認められた。ただし、より南の二宮海底谷を横切る測線では同断層は不明瞭になる。一方、国府津-松田断層上盤側（東側）に分布する二宮海底谷および大磯海脚北西部では、北東-南西-東北東-西南西方向に軸をもつ褶曲群が認められ、その一部では最終氷期に形成されたとみられる海脚頂部の海食台にも変形が及んでいる可能性がある。酒匂川左岸から国府津間には、明瞭な断層の存在を示唆する反射面の不連続は認められない。こうした活構造の分布は、複数のセグメントからなる神縄・国府津-松田断層帯のうち、大磯丘陵西縁を限る国府津-松田断層のセグメント境界が二宮海底谷付近に位置している可能性を与えるものである。相模湾北部の地殻浅部では、本州弧に対する伊豆弧の北-北西進による衝突・斜め沈み込みに伴う歪みが国府津-松田断層などの相模トラフ軸に平行な構造だけでなく、トラフ軸方向と直交する構造によっても解消されている可能性がある。

地質学的手法に基づく神縄・国府津-松田断層帯北縁部の活断層に関する調査研究においては、浅間山南東麓の内川断層を挟んで上盤下盤側、丸山断層の下盤側の合計5ヶ所においてボーリング調査を実施し、テフラ分析による年代測定を行った。その結果、丸山断層の断層崖が新たに明らかとなり、断層の位置を厳しく制約することが出来た。また、浅間山の結果から、城山と浅間山の間には活断層等の地質構造の違いが認められ、中満ほか(2007)が指摘している城山断層や浅間山断層の存在が示唆される結果を得た。更に矢倉沢面の基底礫層は酒匂川由来の内山礫層に対比される可能性が高い。その離水年代を約50Kaと仮定すると、現在の酒匂川河床に分布する内山礫層との比高が約100mあることから、両者の間には上下方向に約2.0m/k.y.の平均変位速度をもつ活断層の存在が示唆される。南足柄市壺下(22MMB-1)の結果からは、深度約80m(海拔-40m)に箱根東京軽石(Hk-OP)が認められることから、少なくともHk-OPが堆積後に、足柄平野側が40m以上沈降していることが推定される。ぐみの木公園におけるボーリング調査の結果から、山北面と酒匂平野面における御殿場泥流堆積物の分布高度に前縁断層の存在の可能性を示唆する食い違いが認められたが、堆積当時の地形傾斜が未知であることから、前縁断層そのものの有無を含めて、その変位速度の定量的な評価は今後の課題として残された。

神縄・国府津-松田断層帯の変動地形と活動様式・活動性の解明では、初年度に足

柄平野縁辺および酒匂川流域の活構造を対象にして、文献・ボーリング既存資料を収集するとともに、空中写真判読を主体とする変動地形学・地質調査観測を実施した。その結果、足柄平野東縁部から北縁部にかけて、活断層・変動地形の位置・分布がほぼ連続的に追跡できることや、これまで認定されていなかった新期の変動地形が存在することがわかった。これらの変動地形のうちのいくつかは歴史時代を含む完新世後期に本断層帯で発生した地震によって形成された可能性が高く、トレンチ調査や群列ボーリング調査などの掘削調査によって本断層帯の過去の活動時期をより正確に把握する手がかりになる可能性がある。この結果に基づき、二年度目には、神縄・国府津－松田断層帯およびその延長部を含む、足柄平野周辺および酒匂川流域の活構造を対象に活断層の活動時期の解明を目的として、トレンチ掘削・ボーリング掘削・放射性炭素同位体年代測定・火山灰分析を実施した。国府津－松田断層・上曾我地区においては、河成堆積物とこれを切断する衝上断層の構造が観察された。地層の年代測定結果から、過去約5000年間の国府津－松田断層の活動が少なくとも3回発生したことを示唆する。また、国府津－松田断層・国府津地区および千代台地周辺においては、東傾斜の逆断層によって形成されたと考えられる東側隆起の累積的な変形構造が完新統に認められ、更に、国府津－松田断層を横断する測線で実施した高精度反射法地震探査の結果からは、国府津－松田断層を含む複数条の分岐スラスト構造が存在することが明らかになった。最終年度には、御殿場地域において浅層反射法地震探査を実施し、富士山北東麓部の地下1.5 kmまでのイメージが得られた。既存の地質や反射法データを考慮すると、当地域には神縄断層およびこれから分岐すると思われる伏在逆断層が分布していることが分かった。これらの一部は新期の堆積物を変位させる活断層である可能性が高い。これらの断層は深部構造探査データや重力異常を見る限り、更に南方まで延びる可能性がある。

断層帯周辺における地震動予測の高度化のための研究においては、震源モデルおよび地下構造モデルを構築し、強震動計算を実施した。震源断層モデルの構築においては、初年度から実施している本断層帯周辺域の地下構造に関する文献収集に加え、震源に関する文献調査を実施した。更に、既往の研究成果及び本調査観測で得られた成果を断層モデルに的確に反映させる必要がある。そこで、平成23年度から3回にわたり、本調査観測の実施者・関係者による検討会を実施し、断層としてどのようなモデルが想定され、また妥当であるか等についての議論を行った。その議論を踏まえ、国府津－松田断層と関東地震の震源断層の分岐断層として振る舞い、断層破壊が関東地震の断層面の東側から始まり、国府津－松田断層に乗り移って進展する地震シナリオを作成することとした。具体的な震源断層モデルでは、関東地震部分でSato et al. (2005) の結果に基づき、国府津－松田断層のためには北部セグメントと南部セグメントから成る活断層のための特性化震源モデルを仮定している。一方、地下構造モデルは、対象地域の三次元地下構造に関する既存資料の収集とその整理、中小地震に対する

地震動シミュレーションを行い、局所的なモデル修正の必要性について検討した。加えて、既存の強震観測点で得られた地震動の面的分布を調査することにより、対象地域の地震動の地域性の把握に努めた。

以上の構築された震源断層モデルと地下構造モデルに基づき、関東地震の震源断層の東側と国府津－松田断層の同時破壊、関東地震の震源断層の東側のみ、国府津－松田断層のみをシナリオ地震とした広帯域地震動予測を行った。その結果、同時破壊の予測結果では、小田原から横浜にかけて高震度域が生じており、小田原周辺、三浦半島、館山付近で特に震度が高い結果となった。ただし、地表震度の計算は、非線形効果が含まれていないため、大きな誤差を含む可能性がある。関東地震の東側部分では、アスペリティ直上における揺れが大きい結果となったが、国府津－松田断層部分は、破壊が北西に進行する地震シナリオを反映して、破壊進行方向で揺れが大きくなる結果となった。また、時刻歴波形より、主に関東地震の断層面からの寄与と考えられる長周期地震動が関東平野内で有意に励起されることが確認された。