3.2 断層活動履歴や平均変位速度の解明のための調査観測

a. 浅海域での国府津-松田断層の活動様式の解明

(1)業務の内容

(a) 業務題目 浅海域での国府津-松田断層の活動様式の解明

(b) 担当者

	所属機関	役職	氏名
独立行政法人	産業技術総合研究所	研究員	丸山 正
独立行政法人	産業技術総合研究所	センター長	岡村 行信

(c) 業務の目的

神縄・国府津-松田断層帯南部を構成する国府津-松田断層の海域延長部において、活構造 の分布および活動様式を把握するため、高分解能音波探査およびコアリングを行う。これらの 調査結果に基づき、地震活動履歴に関するデータが十分に得られていない同断層の完新世の活 動状況を解明する。さらに、本研究の成果と他のサブテーマの成果を統合することにより、地 震発生の確率評価と強震動予測のための地震シナリオの高度化を目指す。

(d) 3 ヵ年の年次実施業務の要約

1) 平成 21 年度:

平成22年度以降に実施する音波探査に備えて、相模湾沿岸部でこれまでに実施された海底 地形、音波探査、採泥などの調査資料を収集・検討した。

2) 平成 22 年度:

小田原市早川から中郡大磯にかけての相模湾北西海域に設けた 17 測線(延べ測線長約 108 km)でブーマーを音源とする高分解能マルチチャンネル音波探査を実施し、海面から往復走時 で最大約 0.4 秒までの深度における海底地質構造をイメージングした。

3) 平成 23 年度:

小田原市酒匂から中郡二宮町にかけての相模湾北西海域に設けた 10 測線(延べ測線長約 43 km)でウォーターガンを音源とする高分解能マルチチャンネル音波探査を実施し、海面から往復走時で最大約 0.9 秒までの深度における海底地質構造をイメージングした。またこれまでの3カ年にわたる調査のまとめを行った。

(2) 平成 21~23 年度の成果

(a) 業務の要約

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ブーマーおよびウォーターガンを音 源とする高分解能マルチチャンネル音波探査を実施し、浅部の地質構造を詳細にイメージング した。その結果、海岸線から約2km沖合までの測線では、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おいて、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、国府津一松田断層上盤側(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か ら、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がある。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。ただし、本探査により推定された活構造沿いには年代試 料が豊富に含まれ、かつ連続的に上部更新統〜完新統地層が堆積しているような場所は認めら れず、地層採取による後期更新世以降の活動性の定量的な評価は困難である。

(b) 業務の実施方法

1) 平成21年度:

神縄・国府津一松田断層帯の海域延長部にあたる相模湾沿岸部でこれまでに実施された海 底地形、音波探査、採泥などの調査に関する資料を収集・整理した。それらをもとに沿岸海 域での神縄・国府津一松田断層帯の分布の検討を行うとともに、平成22年度および平成23年 度に実施する高分解能音波探査の測線を設定した。

2) 平成22年度:

相模湾北西沿岸部においてブーマーを音源としたショートマルチチャンネル反射法音波 探査を実施した(図1)。探査測線の設定に際しては、陸上で認定されている国府津-松田 断層の延長部およびその西方に並走して分布する可能性が指摘されている断層(例えば,活 断層研究会編,1991;楠ほか,1991;渡辺,1993;森ほか,2010)に加えて、国府津-松田 断層東方の二宮海底谷沿いに推定されている北東-南西走向の断層(例えば,木村ほか, 1976;関東第四紀研究会,1987;伊藤ほか,1988;森ほか,2010)や大磯丘陵から大磯海脚 にかけて北北西-南南東に軸跡をもつとされる背斜構造(大河内,1990)など、相模湾北西 部でこれまでに分布の可能性が指摘されている断層や褶曲をカバーするようにした。測線の 方向は、図2に示すように、推定される断層や褶曲の走向と直交するように展開し、さらに 各測線の反射断面に認められる反射面の対比・追跡のため、これらと直交するものを設けた。 測線は合計17本、延べ測線長は約108 kmである。

探査には音源としてブーマー(公称エネルギー約300Jの電磁誘導型音源)を用いた。受 振装置にはチャンネル間隔2.5 mの12 チャンネルのストリーマーケーブルを使用し、発振 を1.25 m間隔にすることで最大12 チャンネル分の共通反射点をもつ重合断面が得られた。 表1に探査の仕様を示し、主要な探査装置および探査状況を図3に示す。船位測量はディフ ァレンシャル GPSにより行い、水深測量には音響測深器を用いた。これらの各調査データの デジタル収録と合わせて、探査船に最も近い第1チャンネル(船尾後方約25 m、音源の後方 約10 m)の往復走時0.2秒間のデータをモニター記録としてアナログ出力し、現場で地質状 況を把握した。これらの現場作業は2010年10月19日~10月24日に実施した。 収録した音波探査データはSEG-Yファイルで保存した。このデジタルデータに対して米国P arallel Geoscience Corporation社製のマルチチャンネルサイスミックデータ処理ソフト ウエアSeismic Processing Workshop (SPW)を用いて以下の処理を行った。まず、得られた データセットに対してジオメトリ設定をした後、海面から海底面までのノイズ信号の除去 (ミュート処理)を行った。さらにバンドパスフィルタを適用してノイズを抑制し波形処理 を行ったうえで速度解析を行い、それに基づいたNMO補正を行った。最後に共通反射点毎に 編集を行い作成した重合反射断面に対してマイグレーション処理を施し最終断面図とした。 SPWを用いた重合断面で活構造の可能性を示す構造が認められた測線を中心に、株式会社地 球科学総合研究所に依頼し、図4の処理フローに示すようにストリーマーケーブル深度補正、 波浪補正、重合速度解析などについてより高度なデータ処理を行い、より重合度が高い断面 を得た。

3) 平成23年度:

平成22年度実施したブーマーを音源とするショートマルチチャンネル音波探査により、国 府津-松田断層延長部の可能性がある浅層部の変形構造および大磯海脚や二宮海底谷に北 東-南西〜東北東-西南西走向に軸跡をもつ褶曲構造が新たに認められた。ただし、使用し た音源のエネルギーが弱いため、これらの変形構造の実体に関して不明な点が残された。そ こで、より深い部分の地質構造を明らかにするため、ブーマーよりも発振エネルギーの大き いウォーターガンを音源とするショートマルチチャンネル音波探査を実施した。測線は図2 に示す合計10本、延べ測線長約43 kmである。測線の一部は、異なる音源による地質構造の イメージング能力を検討するため、平成22年度の測線とほぼ一致するように配置した。

音源には発振容量が15立方インチのウォーターガンを使用し、受振装置は12チャンネルの ストリーマーケーブルを用いた。発振・収録ともに2.5 m間隔で探査を行うことで、最大6チ ャンネル分の共通反射点をもつ重合反射断面が得られた。表2に探査仕様を示し、主要な探 査装置を図5に示す。船位測量はディファレンシャルGPSにより行い、水深測量には音響測 深器を用いた。測定は、発振毎に各チャンネルで受振した波形をディスプレイ上で確認しな がら実施し、また船上モニター記録として、調査船に最も近い第12チャンネル(船尾後方約 25 m、音源の後方約5 m)のデータをアナログ出力し、現場で地質状況や収録状況を把握し た。これらの現場作業は2011年11月18日〜11月24日に実施した。

収録した音波探査データは、平成22年度と同じくSPWを用いて重合断面を作成した。SPWを 用いた重合断面のうち、連続性のよい反射面が認められるものの国府津-松田断層の延長部 付近での反射面の変形の有無が不鮮明な測線については、多重反射の抑制や海底地形の傾斜 による反射点位置の補正などに関する高度なデータ処理を川崎地質株式会社に依頼し、より 重合度の高い断面を得た。図6に処理フローを示す。

(c) 業務の成果

1) 平成21年度:

平成22年度以降に実施する音波探査の仕様や測線を決定するため、相模湾沿岸部でこれまでに実施された海底地形、音波探査、採泥などの調査資料の収集・検討を行った。

神奈川県小田原土木事務所から、同所が平成19年度、20年度に小田原~二宮間で実施した

沿岸海域の詳細海底地形測量データ(DEMデータ)の提供を受けた。データから作成した等 高線図、陰影図、地形断面図などの判読の結果、大磯丘陵西斜面の基部に位置する国府津-松田断層主断層の海域延長部においても狭小な陸棚の西縁を限る比高100 m以上に達する西 向きの急斜面が認められ、陸上の主断層トレースが沿岸海域まで連続する可能性が高いこと が示された(図7)。ただし、崖の断面形態は逆断層に特徴的な上に凸の形態を示していな い(図8)。このことから、現在の崖基部は森戸川あるいはその東方の谷による侵食あるい はそれらから供給された土砂の堆積による影響を受けて、実際の断層崖の位置から後退ある いは前進しているとみられる。国府津東方において陸棚を開析して南南東方向に流下する海 底谷の谷壁斜面上に北北西-南南東走向に延びる比高5m以下の低崖が数条検出された(図 9)。これらの低崖の陸上延長部には活断層が認定されておらず、データ範囲が限定されて いるためそれらの南への連続が確認できないうえ、谷壁斜面から河道に向かって生じた地す べりの可能性も否定できないものの、国府津-松田断層主断層とほぼ平行することから、同 断層の分岐断層あるいは副次的な断層に伴う変動地形の可能性を指摘した。

ところで、相模湾北部海域でこれまでに実施された音波探査はいずれも地下数km程度の地 質構造の把握を目的としたものである(例えば、加藤ほか,1983;沖野ほか,1994;Kinosh ita et al., 2005, 2006)。使用された音源は高分解能探査には適さないエアガンであるた め、反射記録をもとに活構造の判断基準となる海底近傍の地質構造を把握することは困難で ある。

2) 平成22年度:

探査海域は、陸棚が殆ど分布せず、水深が沖に向かって急激に深くなっている(図1)。 また、足柄平野南端から海底谷に向かう南に開いた急傾斜の斜面には、ガリーが多数生じて おり、ガリー間には堆積物の再移動・再堆積によるとみられる比高数m一数10mの高まりが 発達している(図7)。こうした海底地形をもつ本調査海域では、本探査で使用した音源の エネルギーが弱く、海面からの往復走時約0.4秒以深の反射記録は得られなかった。また、 谷地形と高まり地形が繰り返す海底谷部では、発振した音波が複雑に散乱・回折し、良好な 反射記録が得られなかった。結果的に本年度の調査で明瞭な反射記録が取得できた部分は、 陸棚部や海脚部といった水深が約150m以浅の平坦地に限定された。平成21年度の予察的 な地形解析により断層の可能性が示された国府津東方の低崖(図9)についても著しい回折 波のため地質構造は不明である。このような理由により、本調査で実施した測線のうち明瞭 な反射記録が得られていない区間に断層や褶曲などの地質構造が存在する可能性は否定で きない。

地質構造が明瞭にイメージングできた測線の重合断面と解釈断面の一部を図 10、図 11 お よび図 13〜図 15 に示す。それらの測線区間を図 2 に太線で示す。各断面図の縦軸には往復 走時と深度を併記した。深度は、水中および堆積物中の音速を 1,500 m/秒と仮定して求めた。 以下、海岸から沖に向かって、イメージングされた地質構造について報告する。なお、反射 断面から認定される地層は、分布や内部構造に基づいて地質層序区分が可能な測線もあるが、 探査海域での地下地質(特に浅部の地質層序)に関する情報が乏しく、地層の編年や対比が 困難なことから、ここでは地質層序区分は行わない。断層および褶曲構造は、明瞭な反射面 をトレースし、その反射パターンの不連続や変形に基づき認定した。 海岸線に平行に設定した測線 1〜測線 5 は、大磯丘陵と足柄低地との地形境界に沿って認 定されている国府津-松田断層の走向延長部を横切る(図2)。そのうち、最も陸側に位置 する測線 1 では、足柄平野の海域延長にあたる足柄海底谷の東端付近の CDP 番号 2500 付近 で、東傾斜の逆断層に特徴的な反射パターンが認められた(図 10,図 11)。すなわち、足柄 海底谷では東に向かって傾斜する反射面が、CDP 番号 2500 付近を境にその東で傾斜を西に変 え、さらに西傾斜区間に注目すると、CDP 番号 2500~2700 間では反射パターンが上に凸を呈 する。こうした反射パターンは、東傾斜の逆断層のその上盤側に発達する撓曲構造の存在で 説明できる。反射断面から推定された東傾斜の断層面は、陸上で確認されている国府津一松 田断層の傾斜と調和的である。ただし、反射記録からは、推定された断層の上端は不明であ る。なお、反射パターンから認定された国府津一松田断層の位置は、国府津以東に狭く分布 する陸棚の西側斜面基部よりもやや西寄りに位置している(図 10)。これは、上述したよう に現在の崖基部が森戸川あるいはその東方の谷による侵食によって実際の断層崖の位置よ りも後退しているためとみられる。

測線1で認定された断層の南への連続は、水深が増す沖側の測線に向かって不明瞭になる ものの、少なくとも測線2および測線3では測線1と同様の反射パターンが認められた。

測線1〜測線3で認定された国府津-松田断層の海域延長部をさらに南方沖に追跡する と、大磯海脚西側斜面基部にほぼ一致するようにみえる(図1、図2)。こうした地形配置 から、国府津-松田断層は、大磯海脚西側斜面基部付近に連続すると指摘されていた(例え ば、大河内、1990;楠ほか、1991;渡辺、1993;森ほか、2010)。この海脚西側斜面基部付 近に推定されている国府津-松田断層を確認するため、測線10〜測線13の4測線を設けて 探査を試みた。しかし、海脚西斜面の基部の水深が600m以深と深く、今回の探査仕様では 反射記録が得られなかった。

ところで、海底地形図には、大磯海脚西斜面中腹に西側低下の崖が北北西-南南東方向に 延び、傾斜変換点をなしている(図 12)。反射断面には、その崖に一致する地点で、高角傾 斜で西側が低下するセンスをもつ断層が2条認定された(図 13)。これらの断層の傾斜方向 は不明であるが、分布位置や東に凸の円弧状の平面形状から判断すると、斜面基部に推定さ れている東傾斜の逆断層の上盤側に発達する副次的な正断層あるいは地すべりの可能性が ある。

大磯海脚を東北東-西南西方向(測線10~13)および北西-南東方向(測線105、X-1~X -3)に横切る測線で取得された反射記録からは、同海脚は、i)中〜南東部に分布する火 山岩類とみられる反射面に乏しい地層とそれをアバットするように覆う明瞭な反射面で特 徴付けられる堆積岩が海脚西〜北西部に分布すること、ii)それらが褶曲変形を受けている こと、iii)最終氷期の低海面期にそれらを切って平坦面(波食棚)が形成されたことが明 らかになった(図14)。

大磯海脚に分布する褶曲構造については、1970年前後に海上保安庁水路部が取得したシン グルチャンネルの音波探査記録の再検討を行った大河内(1990)によると、北北西-南南東 方向に軸を持つ背斜構造が認定されていたが今回取得した反射断面によると、褶曲群の軸跡 は北東-南西-東北東-西南西方向に延びることが明らかになった。この褶曲軸の延びの走 向は、二宮海底谷の延びの方向や同海底谷の陸上延長部で確認されている生沢断層系(伊藤 ほか,1988;森ほか,2010)の走向と一致し、国府津-松田断層の走向と大きく斜交してい る。

大磯海脚を構成する地層に発達する北東-南西〜東北東-西南西方向に軸跡をもつ褶曲 群の大部分は最終氷期に形成されたとみられる侵食面に変形を及ぼしていない。しかしなが ら、測線 X-2の反射記録には、褶曲群のうち最も北西側の背斜の直上にあたる CDP 番号 2300 ~2400 付近で、侵食面およびそれを覆う陸棚堆積物に比高約 0.064 秒(約 4.8 m)のバルジ 状の高まりが生じている(図 15)。こうした高まりが初生的な侵食および堆積構造である可 能性は否定することはできないものの、高まりの位置と形状が侵食面下に認定される背斜と 一致していることから、褶曲の一部は、最終氷期以降にも成長した可能性がある

大磯海脚と大磯丘陵を境するように南西に流下する二宮海底谷に沿って、陸上延長部で認 定されている生沢断層系が連続すると指摘されてきた(例えば,関東第四紀研究会,1987; 伊藤ほか,1988;森ほか,2010)(図2)。二宮海底谷を横切る測線(測線 X-1~X-3)の 反射断面には、断層の存在を示唆する反射面の不連続は認められない(図14)。むしろいず れの測線とも海底谷に一致するところで反射面が下に凸状のパターンを呈している。こうし た反射パターンから海底谷下に向斜構造が発達している可能性がある。ところで、大磯丘陵 南縁には海岸沿いに縄文海進期に形成された海成段丘面(酸素同位体ステージ1)が広く分 布している(例えば,米倉ほか,1968;小池・町田編,2001)。小池・町田編(2001)によ る内縁高度分布(旧汀線の高度)は、二宮海底谷の陸上延長部で周囲に比べてやや低い(図 2)。こうした段丘の高度分布と反射記録から推定された二宮海底谷沿いの向斜構造は、位 置、形態ともに調和的である。

以上のように、平成 22 年度のブーマーを音源としたショートマルチチャンネル音波探査 により、国府津-松田断層の走向延長部の沿岸海域において、同断層の連続を示唆する反射 パターンが認められた。また、その上盤側にあたる大磯海脚や二宮海底谷では、国府津-松 田断層の走向と大きく斜交する方向に軸跡をもつ褶曲構造が認められ、その一部は最終氷期 以降にも活動している可能性が示された。しかしながら、音源のエネルギーが弱いため、反 射記録が必ずしも良好とはいえず、変形構造の実体に関して不明な点が残された。また、こ れらの構造の活動性を定量的に評価するためには、地層の年代に関する情報が必要であるが、 今回取得した探査記録からは、年代試料が豊富に含まれ、かつ連続的に地層が堆積している 場所は認められなかった。

3) 平成 23 年度:

音源にウォーターガンを用いた結果、最大で海面から往復走時約0.9秒(約675 m)まで の地質構造をイメージングすることができた。いくつかの測線では連続性のよい反射面が捉 えられ、それらを変位指標として地質構造の分布や変形形態を把握することができた。地質 構造が明瞭にイメージングできた測線の重合断面と解釈断面の一部を図16〜図19に示す。 それらの測線位置を図2に太線で示す。以下、国府津一松田断層沿いの測線とその東側の大 磯海脚北西部に発達する北東-南西〜東北東-西南西走向に軸跡を持つ褶曲構造の特徴を 記載する。

国府津-松田断層の延長部を横断するように国府津付近から鴨宮を経て酒匂川に至る海 岸線から約2 km 離れた測線4では、2つの連続性のよい反射面を含む明瞭な反射面群が往 復走時0.8 秒付近まで認められる(図16)。同様の特徴をもつ反射面群は測線3でも認めら れ(図 17)、反射面のパターンと分布から主として酒匂川流域から供給された後期更新世以 降の砂礫質堆積物と考えられる。反射断面の西端からショット番号 650 付近まで一様に東に 緩く傾斜するこれらの反射面群は、ショット番号650付近を境にその東で様相を急変させる。 すなわち、往復走時 0.5〜0.6 秒以深では明瞭な反射面が認められなくなり、また往復走時 0.5 秒以浅に認められる反射面群は傾斜を西に変える。明瞭な反射面が認められない部分の 地質は、陸上の地質分布(例えば、矢野, 1986;蟹江ほか, 1999)から火砕岩を主体とする 上部中新統剣沢層に対比される可能性があるが、ここでは音響基盤としておく。反射面群が 西傾斜する区間に注目すると、ショット番号 600〜450 間では、反射パターンが上に凸を呈 する。こうした反射パターンは、東傾斜の逆断層を介して西側の上部更新統とみられる堆積 層と東側の音響基盤が接し、上盤側の音響基盤を覆う堆積層(上部更新統)中では西向きの 撓曲構造が発達していることで説明できる。こうした上盤側で撓曲構造を示す反射パターン は、陸域における反射法地震探査でイメージングされた国府津一松田断層の変形パターンと 類似している(例えば、神奈川県,2002;笠原ほか,2002)。同様の断層構造を示す反射パ ターンは測線4の約1 km 北の測線3でも認められる(図 17)。なお、こうした東傾斜の逆 断層を示す反射パターンはブーマーマルチチャンネル音波探査でもイメージングされたも のの、発振エネルギーの大きいウォーターガンを音源に使用したことで、より深部までのイ メージングが可能になるとともに多数の反射面が認定されたことで、断層の位置や形態をよ り詳細に把握することができた。

測線3および4で推定された国府津-松田断層は南方の測線5で不明瞭になる(図18)。 二宮海底谷の軸部に沿うように東北東-西南西方向に設置した測線5では、測線3および4 で推定された断層位置と南方の大磯海脚西側斜面基部付近に断層が位置すると推定した場 合、それらの位置関係からショット番号 600~700 の間に断層の出現が予想される。しかし ながら、ショット番号 600~700 の間に認められる反射面群には断層の存在を示唆する不連 続や撓みなどは認められない。一方、ショット番号 450 付近に反射面に乱れが生じているが 測線3および4で見られたような顕著な反射面の傾斜変化や撓曲は認められない。断層測線 5にみられる反射面の傾斜が測線3および4の断層西側(下盤側)の傾斜に比べて有意に緩 いことからみても、陸上から連続する国府津-松田断層の活動性は二宮海底谷付近に向かっ て低下しているのかもしれない。

ところで、上述のように測線4の反射断面には、推定される国府津一松田断層の位置より も西方において2枚の明瞭な反射面が発達する(図 16)。それらは現酒匂川河道の海域延長 付近にあたる測線西端までほぼ連続しており、その間にそれらに明瞭に変形を与える断層や 撓曲構造は認められない。

図19は大磯海脚から二宮海底谷を横切り二宮付近の陸棚に至る北西-南東方向の測線の反 射断面である。その位置は図14に示すブーマー測線X-2に近接しており、ほぼ同様の地質 構造が認められた。ただし、ブーマー探査断面では堆積層中の反射面は連続性に乏しく、ま たごく浅層部のみ確認できたのに対し、ウォーターガン探査断面では、海底近傍の解像度は 低いものの、連続的かつ海底からの往復走時0.1~0.15秒の範囲でほぼ連続的に反射面が確 認できた。なお、大磯海脚の南部はブーマー探査断面だけでなくウォーターガン探査断面で も、反射面に乏しいという特徴をもつ。こうした特徴からみて、同地域の地質は大磯丘陵南 東部に分布する火砕岩を主体とする高麗山層群(例えば、蟹江ほか,1999 など)に対比され る可能性がある。

平成22年度と23年度で取得した反射断面の解釈に基づく地質構造図を図20に示す。国 府津付近から約2km沖合にかけての測線で反射面群の傾斜の急変や撓曲状の反射パターン から推定される国府津-松田断層は二宮海底谷付近では不明瞭になる。一方、二宮海底谷か らその南東の大磯海脚の北西部には北東-南西〜東北東-西南西走向の複数の褶曲群が発 達し、その一部は最終氷期以降の活動の可能性を示している。プレート境界断層や長大な内 陸活断層では、断層が複数のセグメントからなり、セグメント境界部には主断層の走向に対 して大きく斜交あるいは直交する断層や褶曲が発達している場合があることが報告されて いる(例えば、杉山,1989;Sugiyama,2007;Plafker and Thatcher,2008)。こうした特 徴を参考にすると、本調査で認められた地質構造の分布および活動性から、走向方向にいく つかのセグメントを構成する国府津-松田断層(佐藤ほか,2010a,2010b)のうち、陸域か ら連続するトレースのセグメントの境界が二宮海底谷付近に位置していることを示してい る可能性がある。相模湾北部では、本州弧に対する伊豆弧の北〜北西進に伴う衝突・斜め沈 み込みによる歪みが国府津-松田断層などの相模トラフ軸に平行な構造とトラフ軸方向と 直交する構造で分配して解消している可能性がある。

(d) 結論ならびに今後の課題

相模湾北部沿岸海域におけるブーマーおよびウォーターガンを音源とするショートマルチ反 射法音波探査により、神縄・国府津-松田断層帯の南部を構成する国府津-松田断層の海域延 長部における連続性や変形様式を明らかにした。また、同断層の上盤側(東側)に分布する大 磯海脚や二宮海底谷には北東-南西〜東北東-西南西走向の軸跡をもつ褶曲構造が発達し、そ れらの一部は最終氷期の侵食面に変形を与えている可能性が示された。相模湾北部の地殻浅部 では、本州弧に対する伊豆弧の北〜北西進による伴う歪みが国府津-松田断層などの海溝軸に 平行する構造だけでなく、こうした同断層と直交する胴切り構造によっても解消されている可 能性がある。相模湾北部のテクトニクスにおけるこれらの地質構造の意義を議論するためには、 年代軸を入れた活動性の定量的評価が必要である。しかしながら、今回取得した探査記録をみ る限り、年代試料が豊富に含まれ、かつ連続的に地層が堆積しているような場所は認められな かった。

謝辞

本調査を実施するにあたり、神奈川県安全防災局危機管理部災害対策課、同環境農政局 水・緑部水産課、同県土整備局河川下水道部砂防海岸課、同温泉地学研究所、神奈川県行業 協同組合連合会、小田原市漁業協同組合、二宮町漁業協同組合、大磯町漁業協同組合、海上 保安庁第三管区海上保安本部交通部安全課のご関係の皆様には、調査の計画段階からご協力、 ご指導を賜りました。調査船の借り上げと調査の実施に際しては、小田原市漁業協同組合に ご協力いただきました。反射記録の処理は産業技術総合研究所の村上文敏氏に行っていただ きました。音波探査データの解析および反射記録の解釈について産業技術総合研究所の楮原 京子氏から多くのご教示をいただきました。以上の皆様に厚く御礼申し上げます。 (e) 引用文献

- 1) 伊藤谷生・上杉 陽・千葉達朗・関東第四紀研究会,大磯丘陵南東部,生沢断層系の第 四紀後期活動史,日本地質学会学術大会講演要旨,95,446,1988.
- 2) 神奈川県, 神奈川県活断層(神縄・国府津-松田断層帯) 調査事業成果報告所, 127 p, 2002。
- 3) 笠原敬司・田中 環・井川 猛・太田陽一・川崎慎治・伊藤谷生,足柄・丹沢地域における防災科学技 術研究所反射地震探査 90-AS,91-TAN データの再解析,地震研究所彙報,77,267-275,2002.
- 4) 関東第四紀研究会,大磯丘陵の層序と構造,関東の四紀,13,3-46,1987.
- 5)加藤 茂・佐藤任弘・桜井 操,南海・駿河・相模トラフのマルチチャンネル反射法音 波探査,水路部研究報告,18,1-23,1983.
- 6)活断層研究会編,「新編日本の活断層―分布と資料―」,東京大学出版会,437p,1991.
- 7) 木村政昭・村上文敏・石原丈実,相模灘及付近海底地質図および説明書 1:200,000,海 洋地質図,3,地質調査所,1976.
- 8) 蟹江康光・平田大二・今永 勇,大磯丘陵と相模湾,沖ノ山堆列の地質と微化石年代, 神奈川県博調査報告(自然),9,95-110,1999.
- 9) Kinoshita, M., Yamashita, M., Okano, T., Nakasone, T., Yamamoto, F. and Shimizu, S., High quality multi-frequency seismic profiles obtained during KY06-01 cruise in the Sagami Bay, JAMSTEC Report of Research Development, 4, 41-54, 2006.
- 10) Kinoshita, M., Yamashita, M., Okano, T., Shimizu, S., Hashimito, Y., Kasaya, T. and KY05-06 Leg2 Shipboard Scientific Party, High density single-channel seismic profiles obtained during KY05-06 cruise in the Sagami Bay, JAMSTEC Report of Research Development, 2, 41-56, 2005.
- 11) 楠 勝浩・菊池真一・穀田昇一・深江邦一,相模湾北西海域における変動地形調査,水 路部研究報告, 27, 113-131, 1991.
- 12) 小池一之・町田 洋編,日本の海成段丘アトラス,105p,CD-ROM3枚・付図2葉,2001.
- 13)森 慎一・藤岡換太郎・有馬 眞,相模トラフ北部の海底地形と断層系の形成-5系統の断層発達史-,地学雑誌,119,585-614,2010.
- 14) 日本水路協会, 海底地形デジタルデータ M7001 Ver. 2.1 関東南部, 2009.
- 15) 中田 高·今泉俊文編,活断層詳細デジタルマップ,東京大学出版会,60p,DVD-ROM2枚・ 付図1葉,2002.
- 16) 大河内直彦,相模湾の活構造とテクトニクス,地学雑誌, 99, 458-470, 1990.
- 17)沖野響子・西澤あずさ・浅田 昭,相模湾北部の地殻構造探査,水路部研究報告,30, 384-393,1994.
- 18) Plafker, G. and Thatcher, W., Geological and geophysical evaluation of the mechanisms of the Great 1899 Yakutat Bay Earthquakes, in Freymueller, J. T., Haeussler, P. J., Wesson, R. L. and Ekström, G. Eds., Active Tectonics and Seismic Potential of Alaska, AGU Geophysical Monograph Series, 179, 215-236, 2008.
- 19) 佐藤比呂志・岩崎貴哉・飯高 隆・蔵下英司,制御震源地震探査による地殻構造の解明, 神縄・国府津一松田断層帯における重点的な調査観測,平成 21 年度成果報告書, 5-47, 2010a.
- 20) 佐藤比呂志・岩崎貴哉・石山達也、プレート境界から分岐した活断層の長期評価―相模

トラフ横断地殻構造探査,科学,80,825-831,2010b.

- 21) 杉山雄一,島弧における帯状構造の屈曲とプレート斜め沈み込み 第1部一西南日本外 帯沖の屈曲構造とプレート境界地震一,地質調査所月報,40,533-541,1989.
- 22) Sugiyama, Y., Segmentation of the western Taiwan active fault zone inferred from its structural analogy to the Nankai trough region, southwest Japan, Journal of Asian Earth Sciences, 31, 197-203, 2007.
- 23) 渡辺一樹,相模湾西部の海底微地形,水路部研究報告,29,33-50,1993.
- 24) 矢野 享,大磯丘陵南部地域の層序とその地質年代および堆積環境,静岡大学地球科学 研究報告,12,191-208,1986.
- 25)米倉伸之・鈴木郁夫・長谷川太洋・上杉 陽・遠藤邦彦・岡田篤正・河名俊男・石川佳 代・福田正己,相模湾北岸の沖積段丘、とくに下原貝層の C-14 年代について、第四紀研 究, 7, 49-55, 1968.



図1 相模湾北西部およびその周辺地域の地形と探査範囲。活構造の分布は、 中田・今泉編(2002)による。地形データは、国土地理院基盤地図情報 数値標高モデル10m標高および日本水路協会(2009)を使用。ショー トマルチチャンネル音波探査範囲を黄色の破線で囲む。



図2 平成22年度および平成23年度に実施した相模湾北部沿岸海域のショー トマルチチャンネル音波探査の調査測線。実線は平成23年度実施のウ ォーターガンによるショートマルチ音波探査測線、破線は平成22年度 実施のブーマーによるショートマルチ音波探査測線を示す。太線で示し た範囲の反射断面図を図10〜図19に示す。陸域の活構造は中田・今泉 編(2002)、海域および大磯丘陵内の地質構造は森ほか(2010)に基づ く。海岸沿いの青丸と数字は、小池・町田編(2001)による酸素同位体 ステージ1の旧汀線位置とその標高値(単位はm)。



 図3 ブーマーショートマルチ音波探査装置。(a) 探査船(小田原市漁協所属 春真丸、4.8トン)、(b) 発振装置(英国 Applied Acoustic 社製ブーマ ーシステム)、(c) 受振装置(12 チャンネルストリーマーケーブル)、(d) 発振装置曳航風景(背後は大磯丘陵)。



図4 平成22年度ブーマーショートマルチチ ャンネル音波探査データ処理フロー図。



 図5 ウォーターガンショートマルチ音波探査装置。(a) 探査船(VERNY-III、 19トン)、(b) コンプレッサー、(c) 発振装置(米国 Sercel 社製 S-15 型ウォーターガン)、(d) 受振装置(12 チャンネルストリーマーケーブ ル)。



図6 平成23年度ウォーターガンマルチチャンネル音波探査データ処理フロー図。



図7 相模湾北部沿岸海域の詳細地形図。カラーの範囲(神奈川県小田原土木 事務所から提供を受けた海底地形データ範囲)の等深線の間隔は10m、 モノクロ範囲の等深線間隔は100m。活断層の分布は中田・今泉編(2002) による。図8の範囲を細長い四角で、図9の範囲を黒い多角形で示す。



図8 相模湾北部沿岸海域のスワス地形断面(スワス幅は 50 m)。鉛直誇張10倍。断面の位置は図7に示す。



図 9 国府津東方沿岸海域で認められた小崖(赤矢印)。0.5m コンター等深線 図(左)と地形断面図(右)(神奈川県小田原土木事務所の2mグリッ ド測深データを使用)。図7に位置を示す。



図 10 ブーマー測線1の重合断面(上)および解釈断面(下)。KMF: 国府津 - 松田断層。明瞭な反射面を赤で示す(以下の図の解釈断面も同様)。 測線の位置を図2に示す。



図 12 大磯海脚を横切るスワス地形断面 (スワス幅は 500 m)。 鉛直誇張 10 倍。断面の位置は図 1 に示す。



図 13 ブーマー測線10の重合断面(上)および解釈断面(下)。測線の位置 を図2に示す。



図 14 ブーマー測線 X-2の重合断面(上)および解釈断面(下)。測線の位置を図 2 に示す。



図 15 ブーマー測線 X-2 のうち二宮海底谷付近の拡大断面図。範囲を図 14 に示す。



図16 ウォーターガン測線4の重合断面(上)および解釈断面(下)。緑は連 続性のよい反射面。測線の位置を図2に示す。



図17 ウォーターガン測線3の重合断面(上)および解釈断面(下)。測線の 位置を図2に示す。



図 18 ウォーターガン測線5の重合断面(上)および解釈断面(下)。測線の 位置を図2に示す。



図 19 ウォーターガン測線 103 の重合断面(上)および解釈断面(下)。測線 の位置を図 2 に示す。



図 20 平成 22 年度と 23 年度の探査で取得した反射断面の解釈に基づく地質 構造図。

発振	音源	ブーマー
		電磁誘導振動素子1個
		送信電圧:3.55 kV
	発振エネルギー	約 300 Ј
	発振器の曳航深度	0.3 m
	発振間隔	約1.25 mまたは2.5 m (水深200 m以
受振	受振機の型および素	圧電型振動素子 5素子/ch
	チャンネル数	12 ch
	チャンネル間隔	2.5 m
	受振器の曳航深度	0.5 m
	収録時間	1.25 m 発振:0.6 秒または 0.8 秒
デジタル記		2.5 m 発振:1.2 秒
録	A/D 変換(量子化)	16 bit
	サンプリング周波数	10,000 Hz
	受信周波数	500~2,000 Hz
	記録掃引時間	0.4秒
モニター記	記録深度範囲	300 m
録	記録方式	感熱
	記録密度	100 line/inch
	有効記録幅	254 mm (10 inch)
測点間隔		125 m(約 100 または 50 ショット毎)
船速		$3 \sim 4 / \gamma$

表1 平成22年度探査の仕様

表2 平成23年度探査の仕様

発振	音源	ウォーターガン
	発振容量	15 cu-inch
	発振器の曳航深度	2 m
	発振間隔	2.5 m
受振	チャンネル数	12 ch
	チャンネル間隔	2.5 m
	受振器の曳航深度	1.5 m
	サンプリングレート	0.5 msec
	プレトリガー	0 sec, 0.05 sec
	収録長	0.6~0.8 sec
	ディレイ	0∽0.5 sec
船速		3~4 ノット