

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

b. 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

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 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

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立大学法人東北大学理学研究科	教授	今泉 俊文
国立大学法人東京大学地震研究所	助教	石山 達也
国立大学法人千葉大学理学研究科	教授	宮内 崇裕
法政大学社会学部	教授	東郷 正美
首都大学東京都市環境学部	教授	鈴木 毅彦
国立大学法人東京大学地震研究所	教授	佐藤 比呂志
国立大学法人愛知教育大学	准教授	戸田 茂
国立大学法人山梨大学教育人間科学部	助教	加藤 一
財団法人地域地盤環境研究所	研究員	越後 智雄
財団法人地震予知研究振興会地震調査研究センター	副主任研究員	田力 正好

(c) 業務の目的

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。国府津-松田断層の海域延長部にあたる相模湾沿岸部では、高分解能音波探査、高分解能海底地形調査およびコアリングを実施し、同断層の浅部形状および完新世の活動状況の解明を行う。陸域については、変動地形調査とともにボーリング・トレンチ調査等と第四紀年代学的な手法により、第四紀後期における断層帯の平均変位速度を求める。更に、構造探査の結果等を加えて、本断層帯を主とする伊豆半島北縁部の活断層の三次元分布形態等を明らかにし、第四紀後期の塑性的な地殻ひずみ速度の推定を行う。尚、このサブテーマで得られた知見は逐次サブテーマ（3）（地震動予測の高度化）に反映させ、本調査観測全体の進展を図る。

(d) 3 ヶ年の年次実施業務の要約

1) 平成 21 年度：

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。

2) 平成 22 年度：

平成 21 年度の既存資料の収集と検討結果に基づき、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して、活断層の活動時期について解明することを目的として、トレンチ掘削・放射性炭素同位体年

代測定・火山灰分析を実施した。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して、活断層・変動地形の位置・分布・変位のセンス・平均変位速度など活動様式・活動性について解明することを目的として、ボーリング掘削調査を実施した。平成 21 年度の既存資料の収集と検討結果に基づき、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して、活断層・変動地形の位置・分布について解明することを目的として、鴨宮台地および国府津-松田断層を横断する約 6.9 km の測線（飯泉-沼代測線）において稠密発振・長大固定展開の高精度浅層反射法地震探査を実施した。

3) 平成 23 年度：

神縄・国府津－松田断層帯の西方延長部にあたる御殿場地域において、測線長約 8 km の浅層反射法地震探査を実施した。得られた地震波記録を元に CDP 重合法に基づく反射法解析を行った。平成 22 年度に実施した高精度浅層反射法地震探査・飯泉-沼代測線の地震波記録を元に CDP 重合法に基づく反射法解析を行った。また、国府津-松田断層・田島地区において断層下盤側の層序を明らかにするためのボーリング調査と、山北地区において松田北断層上盤側の河川の下刻速度を推定するためのボーリング調査を実施した。

(2) 平成 21～23 年度の成果

(a) 業務の要約

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。この結果に基づき、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して、活断層の活動時期について解明することを目的として、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。これらの結果に基づき、国府津－松田断層を挟む後期完新統の層序を明らかにし、地形・地質断面図を作成した。さらに、活断層・変動地形の位置・分布について解明することを目的として、足柄平野－大磯丘陵と神縄・国府津－松田断層帯の西方延長部にあたる御殿場地域において、高精度浅層反射法地震探査を実施した。得られた地震波記録を元に CDP 重合法に基づく反射法解析を行った。その結果、地下 1.5km 程度までの断面を得ることができた。

(b) 業務の実施方法

1) 平成21年度：

神縄・国府津－松田断層帯では、近年の調査観測によって断層帯の活動に関するデータが蓄積されてきた。一方で、地震調査研究推進本部（2009）が指摘するように、本断層帯で発生する地震と海溝型地震との関連性や、本断層帯を構成する各断層の平均変位

速度や過去の活動履歴のデータは乏しく、これらが同時に活動する範囲については引き続き検討する必要がある。このような結果を念頭に、本年度は、次年度以降の本格調査の準備段階として、本断層帯の変動地形を再検討するために、まず既存文献や断層帯周辺の大縮尺地形図など資料の収集・整理をおこなった。また、周辺地域の既存ボーリング資料（神奈川県都市整備技術センター提供の2388本および静岡県総務部危機管理局提供の柱状図集含む）の収集を行った。また、米軍1940年代撮影1万および4万分の1、国土地理院1960～70年代撮影1万・2万および4万分の1空中写真を収集し、これらを使用して空中写真判読による変動地形の再検討をおこなった。また、その結果を検討するために若干の地形・地質調査を実施した。

2) 平成22年度：

平成21年度の調査の結果、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極新期の変動地形が存在することがわかった。そこで、変動地形の再検討とこれに基づくトレンチ掘削調査を行い、堆積物の層相・分布の詳細な記載を行った。また、年代試料を抽出して加速器質量分析計による放射性炭素同位体年代測定を実施し、堆積物の形成年代を推定し、過去の地震の発生履歴を検討した。また、極新期の変動地形を考慮した活断層・変動地形の位置・分布・平均変位速度について解明することを目的として、ボーリング掘削調査を実施し、堆積物の層相・分布の詳細な記載を行った。また、年代試料を抽出して加速器質量分析計による放射性炭素同位体年代測定を実施し、国府津－松田断層および足柄平野南東部の後期完新統の層序を明らかにし、地形・地質断面図を作成した。また、足柄平野から大磯丘陵にかけて分布する活断層・変動地形の地下構造や構造的な意味を明らかにする目的で、そこで、今回、長大展開での高エネルギー発振記録を用いたトモグラフィ解析によるより良好な速度構造の把握と、稠密発振・受振による水平解像度の向上を目指した、反射法地震探査を実施した。

3) 平成23年度：

御殿場地域に国府津－松田・神縄断層帯が延伸する可能性を確認することを目的として、東京大学地震研究所所有の多チャンネル地震探査記録収録システムと小型パイプレーター震源を利用した、測線長8kmの高精度P波浅層反射法地震探査を実施した。また、断層帯内部の隆起速度を推定するために、空中写真判読により、調査地域の河成段丘の分布を把握した。その結果を基にボーリング掘削地点を選定し、ボーリング掘削を行った。取得されたボーリングコア試料の観察、テフラ分析、植物珪酸体分析を行い、その結果から段丘面の離水年代を推定し、ボーリング掘削地点の下刻速度・隆起速度を推定した。

(c) 業務の成果

1) 平成21年度：

足柄地域は鮮新～更新世にかけて伊豆弧と本州弧の衝突場とされ（例えば杉村、1972；Ito、1985；天野ほか、1986）、厚いトラフ充填堆積物である足柄層群が分布してい

る。足柄層群の地質やこれを切る断層については、天野ほか(1986)、狩野ほか(1988)、今永(1999)などの研究によって明らかにされた。特に今永(1981)や天野ほか(1984)は箱根古期外輪山を著しく変位・切断する平山断層の存在を指摘し、伊藤ほか(1982)、Ito et al. (1987)は平山断層が第四紀後期に活動したことを指摘した。また、徐(1995)は酒匂川河床にて箱根東京軽石流堆積物および上位の砂礫層に足柄層群が衝上する断層露頭を報告し、これを日向断層と命名して平山断層・松田北断層の間をつなぐ衝上断層であると推定した。このほか、津久井ほか(2006)は山北南観測井の層序を検討し、丸山・浅間山に分布する足柄層群が日向断層を介してコアの上部を占める箱根古期外輪山噴出物に衝上することを論じた。一方、当地域の変動地形については、これまで宮内ほか(2008)により酒匂川右岸と内川左岸の間に分布する段丘面群に撓曲変形が指摘されている。また、萬年ほか(2005)はテフラ層序に基づき酒匂川左岸の浅間山の頂面を構成する中位段丘面を構成する砂礫層を酒匂川左岸の段丘崖基部付近に露出する内山礫層(鈴木、1963; 町田、2001)と対比し、その上下落差が浅間山・丸山南麓部に分布する日向断層によって生じた可能性を指摘した。このように、地質学的には第四紀後期に活動的な断層の証拠が提示されているが、これまで報告された変動地形学的に認められる活断層とは必ずしも一致しない。そこで、各種空中写真の判読を行い、変動地形の再検討を試みた。その結果、平山断層・日向断層に沿って活断層の可能性のある地形が断片的に存在することが分かった。ただし、概して現在の活動性は不明確である。例えば、日向断層の両側では箱根東京軽石流堆積物の高度差は40 m程度であることから(鈴木、1963)、箱根東京軽石流堆積物の堆積以降の平均上下平均速度は0.6 mm/yr程度と見積もられる。これは萬年ほか(2005)から推定される過去8万年間の平均上下変位速度に比して明らかに小さい。また、平山断層では天野ほか(1984)が指摘した断層露頭の近傍に、高位段丘面上に比高30m程度の東向きの崖地形がある。しかし、その崖高は従来日向断層などで求められている変位速度を考慮すれば小規模なものである。Ito et al. (1986)は、平山断層の活動が最近約20000年間は衰えつつあることを指摘した。上記の観測事実は、同様に当地域の断層の活動性が衰えつつあることを意味する可能性がある。日向断層や平山断層は一般に足柄層群の層面に沿った断層であり、足柄層群の傾斜から断層面の傾斜は一般に高角であると考えられる。このような断層活動の衰微は、断層面の傾斜がlock up angleに近づきつつあることを意味するのかもしれない。

松田北断層については、宮内ほか(2008)などにより、酒匂川左岸の松田山南斜面基部に活断層の存在が推定されてきた。一方、木村ほか(2005)の反射法地震探査によって、断層の地表位置は酒匂川右岸付近に存在することが指摘された。山崎・町田(1981)は、松田山南斜面における箱根東京軽石流堆積物の分布から、松田北断層がこれを50m以上変位させるとした。松田山南斜面は木村ほか(2005)の結果から同断層の上盤に相当することは明白であり、このことから、同断層の平均上下変位速度は約0.8 mm/yr以上と推定される。神奈川県(2003、2004)による松田町河南沢でのボーリング調査では、立川ローム層に覆われる最終氷期の砂礫層が酒匂川左岸の低位段丘面下に分布することが分かっている。また、山崎(1994)、今永ほか(1990)は酒匂川左岸の松田山南斜面基部の地下に埋没段丘の存在を指摘したほか、山崎(1994)や今回収集した既存ボー

リング資料は従来の活断層の位置よりもさらに南方まで埋没段丘が南に傾き下がることを示している。

神縄・国府津－松田断層帯の変動地形について、空中写真（米軍撮影縮尺1万分の1および4万分の1、国土地理院60年代撮影1万分の1および4万分の1）・大縮尺地形図を用いて再検討を行った。その結果、国府津－松田断層に沿っては、非常に新しい時代に形成されたと考えられる比高数mの西向き変動崖が、足柄上郡大井町上大井から小田原市国府津にかけて、ほぼ連続的に分布していることが明らかになった（図1）。これには神奈川県（2003、2004）がトレンチ調査を実施した曾我原地区を含む。上大井以北では不明確である。これらの新期の変動地形は歴史時代をふく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あり、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。今後はトレンチ調査・群列ボーリング調査の可否をふくめた検討を行う必要がある。

足柄平野については、酒匂川下流域に鴨宮段丘と呼ばれる完新世後期の段丘面が分布することが知られている（山崎、1993；山崎、1994；山崎・水野、1999）。鴨宮段丘は最上部に御殿場泥流堆積物（町田、1964；約2700－2800年前；年代値は町田、2000）をはさむが、現在は酒匂川の下刻・側刻を受けている。また、足柄平野のボーリングによる沖積層の堆積曲線によれば、足柄平野では縄文海進以降にほとんど沈降が生じていないと示唆される（松島、1980；松島、1982；山崎ほか、1982；松島、1999）。山崎（1993）は、このような現象を平野が隆起を受けたことによるとし、国府津－松田断層による地震と1923年大正関東地震タイプの相模トラフで発生する地震の地殻変動の累積である可能性を指摘した。今回、航空測量により取得された5 m DTMを利用して足柄平野の地形断面図を作成した（図2）。このうちB断面によれば、鴨宮台地は上に凸の形態を示している。B断面に近い、既存のボーリングを利用した地質断面図によると、鴨宮台地の最上部はスコリア・パミスを挟む有機質シルト層・砂質シルト層とこれを覆う御殿場泥流堆積物からなり、これらは東西方向にほぼ一様な層相・厚さを示し、千代台地以南では国府津－松田断層に向かって傾き下がり、千代台地南部では台地西縁部でその高度を急に上げることがわかる。地形断面図で表現されたような上に凸の構造は、初生的にほぼ水平な堆積構造をもつこれらの地層が、堆積後の地殻変動によって背斜変形したものと考えられる。またC・D断面は、鴨宮段丘とこれを切って分布するより新期の段丘面を含むが、これらも同様に上の凸な形態を呈しており、上記のような背斜変形を受けている可能性がある。これらの完新世段丘面群の形態や位置は、相模湾岸で得られた地殻構造断面において、足柄平野の直下にみとめられる背斜構造と整合的である。このような過去2000年以降の海岸平野の多段化や背斜変形は、相模湾岸の完新世海成段丘（米倉ほか、1968；遠藤ほか、1979；熊木・市川、1981；宮内ほか、2003）と同様に、1923年大正関東地震タイプの相模トラフで発生する地震の地殻変動の累積である可能性があり、その形成時期については今後検討が必要である。

Sato et al. (2005) による相模湾岸での地殻構造断面は、国府津－松田断層は地下6 km前後でメガスラストに収れんしており、国府津－松田断層が東北日本弧の下に沈み込

むフィリピン海プレート上面のメガスラストから分岐したスラストであることを示す（図3）。このように、国府津－松田断層や足柄平野の活構造とメガスラストが密接に関係していることが具体的に明らかになりつつある。国府津－松田断層や足柄平野の活構造から過去の地震発生時期や再来間隔、地殻変動像をより正確に解明すると同時に、国府津－松田断層と足柄平野の地形・地質構造をより正確に理解し、地殻構造探査から明らかになるメガスラストの構造と結びついた地震発生様式の理解を深めることが、本断層帯の地震像を理解する上で重要であると言える。

2) 平成22年度：

(2-1) 国府津－松田断層におけるトレンチ調査

石山達也（東京大学地震研究所）・東郷正美（法政大学社会学部）・今泉俊文（東北大学理学研究科）・鈴木毅彦（首都大学東京都市環境学部）・宮内崇裕（千葉大学理学研究科）

神縄・国府津－松田断層帯の活動時期や平均再来活動間隔については、神奈川県（2003、2004）がトレンチ調査を実施した曾我原地区で推定された過去の地震の発生時期が重要な拘束条件を与えている（地震調査研究推進本部、2009）。一方で、曾我原地区のトレンチで推定された国府津－松田断層の地震時上下変位量は1.1 mであり、国府津－松田断層の平均再来活動間隔と平均上下変位速度から推定される地震時上下変位量（約3 m）に比べて有意に小さい。また、曾我原地区を含む中位・低位段丘面を変位させる低断層崖を横断するボーリング断面から推定された平均上下変位速度は0.6 mm/yrと小さく（産業技術総合研究所、2008）、地震調査研究推進本部（2009）はその理由として曾我原地区では断層が数本並走するためとしたが、断層の位置や分布については議論がある（宮内ほか、2009；山崎・水野、1999など）。このように、これまで得られた本断層の過去の活動時期や活動間隔が、断層の代表値と見なせるかどうかについては検討の余地がある。一方で、上述の通り非常に新しい国府津－松田断層の変動崖は曾我原地区のみではなく、断層トレースの大部分で認められることから、断層トレースが比較的単純な場所において本断層の過去の活動時期や活動間隔に関するデータを蓄積する必要がある。そこで、変動地形の再検討とこれに基づくトレンチ掘削調査を行い、堆積物の層相・分布の詳細な記載を行った。また、年代試料を抽出して加速器質量分析計による放射性炭素同位体年代測定を実施し、堆積物の形成年代を推定した。以下ではその結果について概要を報告する。

上曾我地区では、Hk-Tpf1（東京箱根軽石流堆積物；町田・新井、2003）およびこれより下位の中位段丘面群（太田ほか、1982）が背斜状の変形をする比高約30mの撓曲崖の前面に、より新しい低位段丘面（L3、L4）を切断する低断層崖が分布する（図4）。これら低位面の形成年代は、東方の連続する低断層崖で掘削された曾我原地区のトレンチ調査の結果（神奈川県、2003；2004）から、完新世後期と考えられる。一方、これら断層の上盤側に発達する段丘面群を開析する小河川に沿っては、小規模な扇状地面が発達している。このような河川の一部は天井川となっており、その形成時期は非常に新し

く、L3面との関係から歴史時代である可能性がある。上曾我地区では、撓曲変形する中位段丘面および前面のL3面を開析する小河川が形成した沖積扇状地(L5)には変位が認められず、L5面は本断層の最新活動の後に形成された可能性がある。したがって、L5面の掘削を行うことにより、本断層の最新活動の上限の年代を制約する資料を得ることが期待される。

このような背景から、上曾我地区においてトレンチ掘削調査を行った。調査地の土地利用は梅林であり、用地は梅の間の幅狭の空間に限られていた。また梅の枝を傷めない様に配慮する必要があった。そこで、小型の掘削重機を用い、幅3~4m、長さ20m程度の狭い細長いトレンチを掘削した。トレンチ掘削は、用地の制限から、北東側(大磯丘陵側)から南西側(平野側)に向けて掘削を行った。掘削に際しては、先ず表土を剥ぎ取り、掘削の後、壁面整形・板打ち・グリッドの作成を行い、その後に壁面観察を行った。これに基づき、地層の層相・分布について詳細に記載を行い、堆積構造を推定した。また、これらの結果を考慮し、年代測定試料の採取を行い、(株)地球科学研究所に放射性炭素同位体年代測定の実施を依頼した。

図5にトレンチ北面のスケッチ・地層区分・構造および年代値を示す。トレンチの壁面には、沖積扇状地面L5およびこれより下位の扇状地性の河成堆積物(上位よりI~IV層)と、これらの一部を切断する低角衝上断層帯が露出した。I~IV層は相互に不整合関係にあり、最上位のI層は層厚50cm前後の耕作土壌を介してL5面を直接構成する。露出した断層帯は、L5面の東西に延びる国府津-松田断層の断層線の延長線上に位置しており、IV層堆積以降の国府津-松田断層の活動によって生じたものと考えられる。トレンチ北面では、II層を見かけ上北東側を隆起させるように食い違わせている断層が認められる。II層は断層によって切断されると同時に南西向きの撓曲変形を受けている。I層・II層は傾斜不整合の関係にあり、I層は、衝上断層によって切断・撓曲変形を受けたII層を削剥してその上位に堆積しており、かつ変位を受けていない。このことはL5面に変位が認められないことと整合的である。さらに、II層・III層は同様に傾斜不整合の関係にあり、トレンチ南面では断層関係は認められないものの、南西向きに撓曲変形するIII層を削剥してその上位により緩傾斜でII層が分布するのが観察される。また、IV層を切断する断層構造をIII層が覆っているのがトレンチ下部で観察される。またIV層は複雑な構造を呈し、割れ目を充填した堆積構造なども見られることから、IV層堆積後III層堆積前には服す回の断層活動があったものと見られる。以上の観察事実は、上曾我地区における国府津-松田断層の断層活動が、IV層堆積後に少なくとも3回生じ、最新活動はII層堆積以降I層堆積前に生じたことを示している。各層の堆積年代を把握するため、採取した試料の14C年代測定を行った。現在のところ、II層の年代が約3500-3000年前、III層の年代が約3900-3500年前、IV層の年代が約5000-4000年前と推定される。この結果から、上曾我地区における国府津-松田断層の断層活動は、過去約5000年間に少なくとも3回発生したと考えられる。一回前の活動は約3900-3000年前、二回前の活動は約5000-3900年前と考えられる。

(2-2) 国府津－松田断層における群列ボーリング調査

石山達也（東京大学地震研究所東北大学理学研究科）・東郷正美（法政大学社会学部）・今泉俊文（東北大学理学研究科）・鈴木毅彦（首都大学東京都市環境学部）・宮内崇裕（千葉大学理学研究科）

前述の通り、空中写真・大縮尺地形図を用いて再検討を行った結果、国府津－松田断層に沿っては、非常に新しい時代に形成されたと考えられる比高数 m の西向き変動崖が、足柄上郡大井町上大井から小田原市国府津にかけて、ほぼ連続的に分布していることが明らかになった。小田原市国府津では、完新世後期に形成された海成段丘面（押切面）を変位させるほか、これを切って分布するより新しい河成面を変位させる比高 2m 未満程度の変動崖が認められる（図 6）。国府津地区の周辺では過去にいくつかのボーリング調査が行われており（丸山・斎藤、2008；松島、1982；水野ほか、1996）、断層崖の両側で完新統が分布し、断層の変位速度などを知るうえで良い変位基準となることが期待される。

このような成果を踏まえて、小田原市国府津の 4 箇所（K-1、2、3、4；掘削深度は 36 m、50 m、50 m、50 m）において、オールコアボーリングを掘削した（図 7）。K-1 および 2 は低断層崖の東側、K-3 および 4 は低断層崖の西側でそれぞれ掘削した。採取されたコアについて、地層の岩相・堆積構造を詳細に記載した。また、ボーリングコアの堆積物に含まれる葉、木片などの植物片を採取・洗浄し、AMS による放射性炭素同位体年代測定を行った。

いずれのコアも含む泥・砂・礫および火山碎屑物と多くの炭質物で構成される。各コアの岩相は比較的似た特徴を有している。層相・粒度・構成物の特徴・貝化石・生痕化石などより、これらは下位より最終氷期の河成砂礫層および火山灰質ローム層・チャンネル堆積物・ラグーンおよび海浜堆積物・デルタ堆積物・チャンネルおよび泥流堆積物・湿地堆積物が累重したものと解釈される。一方、得られた ^{14}C 年代値は、コアの地層のうち、河成砂礫層および火山灰質ローム層より上位の地層はいずれも過去約 1 万年間の海面上昇期に形成された完新統であることを示す。年代値は各コア内で地層の上下関係と矛盾ない値を示す。また、既存のコアの年代値とも整合的である。

各コアで得られた ^{14}C 年代値とあわせてコア間の地層を対比すると、完新統は K-4 と 3 の間でほぼ水平に分布するのに対して、K-3 と 1 の間で急激にその分布深度を東に上げることが分かる。初成的な勾配は非常に小さいと推定されるラグーン堆積物上面（約 7800 年前）およびデルタ上面（約 6000 年前）・氾濫原堆積物（約 5000 年前）の層準にはそれぞれ約 4.7 m、3.2 m および 2.5 m 程度の累積的な上下落差が認められる。いずれも K-2 と K-3 の間で急激に分布深度を西に上げること、両層準の上下落差量には累積性が認められることから、この上下落差は伏在する東傾斜の逆断層によって形成された可能性が高い。

(2-3) 国府津－松田断層における反射法地震探査（飯泉－沼代測線）

石山達也（東京大学地震研究所）・佐藤比呂志（東京大学地震研究所）・今泉俊文（東北大学理学研究科）・戸田 茂（愛知教育大学）

相模湾で行われた反射法地震探査の結果から、相模湾の陸棚斜面に発達する褶曲-衝上断層帯が相模トラフにおいて本州弧の下に沈み込むフィリピン海プレートのメガスラストから派生する分岐断層であることが明確となった（Sato et al., 2005; 佐藤ほか、2010）。このことは陸上延長にあたる国府津－松田断層帯も同様の構造的な性質を持つことを示唆する。陸上部では大磯丘陵西側斜面の基部に国府津－松田断層が存在するほか、平野内部にも活構造が存在するが、これらは分岐断層の構造を反映している可能性がある。このように、国府津－松田断層帯を含む足柄平野から大磯丘陵の分岐構造を正確に知ることは、地表で確認される変動地形や変位速度の構造的な意味を理解する上で重要である。これまで足柄平野ではいくつかの反射法地震探査が行われてきた（水野ほか、1996; 神奈川県、2001; 田中ほか、2003; 笠原ほか、2002）。しかし、当地域は都市部で非常にノイズレベルが高いことから、上記の問題を解決するに十分な高解像度の断面を得るには至っていない。そこで、今回、長大展開での高エネルギー発振記録を用いたトモグラフィ解析に基づく速度構造の把握と、稠密発振・受振による水平解像度の向上を目指した、浅層反射法地震探査（飯泉－沼代測線）を実施した（図 8）。

本実験では、独立型収録器（東京大学地震研究所所有 MS2000（株）地球科学総合研究所製）と中型バイブレーター震源 EnviroVib（IVI 社製）を併用した。測線は、神奈川県小田原市飯泉地区から同沼代地区の約 6.9 km であり、酒匂川右岸から足柄平野・千代台地南縁と国府津－松田断層を経て、国府津－松田断層の上盤側にあたる大磯丘陵西側斜面を横断するように設定した。主なデータ取得パラメータは以下の通りである：受振・発振点間隔：10 m、スイープ長：24 sec、スイープ周波数：8-80 Hz、地震計固有周波数：10 Hz、チャンネル数：694、記録長：4 sec、サンプリング間隔：2 msec、平均垂直重合数：5-7、平均水平重合数：347。

国府津－松田断層下盤側にあたる足柄平野を通過する測線区間では、小田原厚木道路などの交通や市街地に起因するランダムノイズのレベルが非常に高かった。これに対して大磯丘陵を通過する測線区間では平野部に比してノイズレベルは低く、S/N 比の高い良好な記録が得られた。これらの観測記録を編集し、Super-XC（株）地球科学総合研究所製）を使用した共通反射点重合法に基づくデータ解析を行い、反射断面を作成した。解析に使用したパラメータは以下の通りである：

- ・自動振幅調整（Automatic Gain Control; AGC）AGC operator length: 100 msec
- ・デコンボリューション（Deconvolution）Operator length: 120 msec、Gate length: 3000 msec、White noise: 5 %、Prediction length: 12 msec
- ・静補正（Static Correction）各ショット記録の初動を読み取り、受振点および発震点のタイムターム値と表層構造モデルをインバージョンによって求めた。表層低速度層の P 波速度を 400 m/sec とした。また使用したオフセットは 10-200m である。この解析には（株）地球科学総合研究所製のソフトウェア iRAS を用いた。この解析により得ら

れた値を SuperX-C に入力し、静補正を行った。

- ・ NMO 補正 (Normal Move-out Correction) と速度解析 (Velocity Analysis)

速度解析は CMP 番号 200 毎に行った。

- ・ 残差静補正 (Residual Static Correction) シフト量 2 ms
- ・ バンドパスフィルター (Band-pass Filter) 10/20 - 70/80 Hz
- ・ マイグレーション (Poststack time migration) 重合時の速度構造を 80 %とした速度を用いた。

解析の結果、酒匂川以東の足柄平野および大磯丘陵西側斜面の地下 2km までのイメージが取得できた (図 9、10)。国府津－松田断層の地表通過位置には東に急傾斜する反射面が認められ、国府津－松田断層の断層面に対応すると考えられる。この断層面は中下部更新統の二宮層 (矢野、1986) で構成される西翼を切っており、西翼基部の向斜軸面を形成するもう一枚の断層面がより構造的低位に想定される。向斜軸面沿いには反射面の不連続が認められるので、このスラストは向斜軸面を切っているものと見られる。低位のスラストは深部で低角化して、両者は深部で収斂していると考えられる。構造的低位のスラストの地表延長位置は、千代台地の東縁と大磯丘陵西麓に発達する沖積扇状地の地形境界におおよそ一致している。また、千代台地の地下には、台地西縁から東に傾斜する反射面が認められ、浅部で低角して先述の断層面に収斂すると考えられる。さらに、国府津－松田断層の下盤側の鴨宮面の地下には背斜構造が認められ、図 10 に示したようなより低角のスラストにより形成されたと考えられる。スラストは佐藤 (2011) の A 測線で推定された箱根火山噴出物の深度とほぼ一致しており、盆地を埋積する第四系と箱根火山噴出物の境界に形成されたデコルマ面であると推定される。このような構造的特徴は、再解析された反射断面の解釈結果 (佐藤ほか、2011) とも整合的であり、陸上の活構造は海域と同様に基本的にはメガスラストからの分岐断層に起因すると考えられる。

3) 平成 23 年度 :

(3-1) 御殿場地域における浅層反射法地震探査 (小山測線)

石山達也・佐藤比呂志 (東京大学地震研究所)・今泉俊文 (東北大学理学研究科)・戸田茂 (愛知教育大学地学研究室)・加藤 一 (山梨大学教育人間科学部)・越後智雄 (財団法人地域地盤環境研究所)

神縄・国府津－松田断層帯を構成する断層のうち、最も西方に位置する神縄断層 (津屋、1942 ; 松島・今永、1968 ; 杉村、1972 ; 町田ほか、1975 ; 星野・長谷、1977 ; 狩野ほか、1984 ; 狩野ほか、1988 ; Ito et al.、1989 など) は、丹沢山地の南麓に分布するほぼ東西走向・北傾斜・長さ 17 km の逆断層である (活断層研究会、1991)。神縄断層に沿っては、中新世の伊豆小笠原弧と本州の衝突とこれに伴う伊豆弧の付加・上昇による火砕岩類である中部中新統丹沢層群が、第四紀の衝突に伴うトラフ充填堆積物であ

る下部更新統足柄層群に衝上する（高橋、2008）。神縄断層の最近の活動に関しては、その西部において最終間氷期の河川成砂礫層である駿河礫層およびこれを覆う風成火山灰層を切る逆断層が確認されている（町田ほか、1975）。一方、これ以西についての断層の位置や活動については不明である。佐藤ほか（2010）は、ブーゲー重力異常の急勾配部が丹沢山地南麓部から富士火山東麓部に掛けて南北に延びることを認め、中新統・更新統を境する断層が神縄断層から更に延びて御殿場地域に伏在する可能性を指摘した。富士火山東麓部は新期富士火山噴出物が厚く累重し、御殿場岩屑なだれ堆積物（約2900年前；宮地ほか、2004）および御殿場泥流堆積物（約2700-2600年前；宮地ほか、2004；町田、2002）によって広く覆われている。これまでの研究では、これらの新期の堆積物を変位させる断層変位地形は、ごく一部を除いてこれまで見出されていない（中田・今泉編、2002）。

そこで、御殿場地域に国府津－松田・神縄断層帯が延伸する可能性を確認することを第一の目的として、高精度P波浅層反射法地震探査（小山測線）を実施した（図11）。本実験では、東京大学地震研究所所有の多チャンネル地震探査記録収録システムGDaps4（（株）地球科学総合研究所製）と小型バイブレーター震源MiniVib（IVI社製）を利用した、測線は静岡県駿東郡小山町吉久保を始点、御殿場市柴怒田を終点とする約8kmの区間である。主なデータ取得パラメータは以下の通りである：受振・発振点間隔：10m、スイープ長：24sec、スイープ周波数：10-100Hz、地震計固有周波数：10Hz、チャンネル数：200、記録長：4sec、サンプリング間隔：2msec、平均垂直重合数：5-7、平均水平重合数：100。

探査の結果、測線周辺のノイズレベルは測線始点側の国道・県道周辺では高かったものの、それ以外の区間では概して低かった。結果として、全般としてはS/N比の高い良好な地震波記録が得られた（図12）。発振記録では、ほぼ全トレースにわたって初動の読み取りが可能である。さらに、往復走時2秒までの間にいくつかの明瞭な反射面が認められる。これらの記録を反射法処理ソフトウェアで適切な処理を行うことにより、国府津－松田断層の地下構造について有益なデータが得られると期待される。これらの観測記録を編集し、Super-XC（（株）地球科学総合研究所製）を使用した共通反射点重合法に基づくデータ解析を行い、反射断面を作成した。データ処理は（株）地球科学総合研究所製作の反射法データ処理システムSuper X-Cを使用した。以下に主な処理に用いたパラメータを示す。

- ・自動振幅調整（Automatic Gain Control; AGC）AGC operator length: 300 msec
- ・デコンボリューション（Deconvolution）Operator length: 150 msec、Gate length: 2000 msec、White noise: 5 %、Prediction length: 8 msec
- ・静補正（Static Correction）各ショット記録の初動を読み取り、受振点および発震点のタイムターム値と表層構造モデルをインバージョンによって求めた。表層低速度層のP波速度を400 m/secとした。また使用したオフセットは30-1000mである。この解析には（株）地球科学総合研究所製のソフトウェアiRASを用いた。この解析により得られた値をSuperX-Cに入力し、静補正を行った。
- ・NMO補正（Normal Move-out Correction）と速度解析（Velocity Analysis）

速度解析は CMP 番号 200 毎に行った。

- ・残差静補正 (Residual Static Correction)
- ・バンドパスフィルター (Band-pass Filter) 10/20 - 70/80 Hz
- ・マイグレーション (Poststack time migration) 重合時の速度構造を 80 %とした速度を用いた。

データ解析を行った結果、富士火山北東麓部の地下 1.5 km までのイメージが得られた。重合測線を図 13 に、重合断面を図 14 に、時間マイグレーション断面を図 15 に、深度断面を図 16 にそれぞれ示す。共通反射点の間隔は 5m である。CDP1-450 付近の区間では、ほぼ水平ないしは緩やかに西に傾斜する反射面群が地表から -1 km 程度まで確認される。この部分では、この深度に相当する往復走時 0.8 秒までの区間速度は 1.5-2.7 km/sec の範囲である。一方、これ以深では反射波に乏しく、区間速度は 3 km/sec を超える。今年度実施された深部構造探査 (箱根-富士吉田測線; 佐藤ほか、本報告) の結果、過去に足柄平野・丹沢山地周辺で行われた屈折・反射法地震探査の再解析結果 (佐藤ほか、2010) および深井戸の速度検層の結果 (林ほか、2007) を考慮すると、区間速度 3 km/sec 以上の反射波は下部更新統足柄層群に、区間速度 3 km/sec 未満の反射波は中上部更新統に相当すると考えられる。

箱根-富士吉田測線 (佐藤ほか、本報告) や以上の背景に基づき、深度断面図に暫定的な解釈を加えたのが図 17 である。足柄山地南西麓部を構成する中新統の足柄層群は、平野下に伏在する中下部更新統・足柄層群に衝上すると考えられる。衝上断層構造のうち、最も西側に位置する断層は新期の堆積物に覆われてこれを変位させないことから、現在は不活発であると考えられる。一方、より東側には足柄層群を切断する低角な衝上断層が 2 条認められ、これらは上盤側に足柄層群の背斜構造をともなっている。反射断面から判断する限り、これら前縁地側の 2 条の衝上断層は地表下約 25 m に分布する反射面まで変位させている。したがって、前述のように断層変位地形はこれまで確認されていないものの、これらの衝上断層は少なくとも上部更新統を変位させている可能性が高い。さらに東側では、足柄層群がより新期の堆積物に衝上している。この富士火山北東麓部の地下に伏在する新期堆積物は、具体的な層序・年代については不明であるが、足柄層群の層序とより西側に新しくなる地質構造 (高橋、2008) を考慮すると、中上部更新統および完新統と考えられる。これらの新期堆積物は、断層上盤側において足柄層群が構成する背斜構造の東翼部にオンラップしており、両者の間には傾斜不整合が認められる。断層上盤側の足柄層群よりも緩傾斜で東に傾く新期堆積物は、西に急傾斜する向斜軸より東側でほぼ水平となる。また、新期堆積物東翼部の傾斜は上位ほど緩やかとなり、新期堆積物内部でも傾斜不整合が認められる。これらの構造的な特徴から、新期堆積物は衝上断層の活動中に堆積したと考えられる。衝上断層の先端は地表まで延びておらず、地下に伏在している。新期堆積物中の向斜軸は少なくとも地表下 150m まで延びることから、この伏在衝上断層もまた少なくとも上部更新統を変位させている可能性が高い。また、新期堆積物は CDP300 よりも東側の箱根火山西側外側斜面で緩く西傾斜を呈するが、ここでは古期富士火山噴出物で構成される地形的な高まりが認められ、地

形面が西側に傾斜する構造が認められる。

(3-3) 御殿場地域における浅層反射法地震探査

田力正好（地震予知総合研究振興会）・石山達也（東京大学地震研究所）・今泉俊文（東北大学理学研究科）

1) 空中写真判読による段丘面の分布把握の結果

空中写真判読により、丹沢山地内の河内川沿いの河成段丘をマッピングした。その結果、丹沢山地内の河内川沿いには小規模で連続性は悪いが、断続的に多数の河成段丘が分布していることが明らかとなった（図 18）。河成段丘の比高と年代から、河川の下刻速度が算出できるが、河床縦断形が段丘面離水以降変化していないと仮定すれば、ほぼ下刻速度＝隆起速度とみなすことができる（Hovius、2000；田力、2005；田力ほか、2009 など）。河内川沿いに分布する段丘のうち、下刻速度算出のための条件（比高が大きい、本流性、崖錐に覆われていない、人工改変が少ない）を考慮して山北町宮原付近の段丘面上にボーリング掘削地点を設定した（図 18b、図 19）。

2) 山北-1 地点におけるボーリング調査の結果

神奈川県足柄上郡山北町宮原付近において、深度 10.1m のボーリング掘削を行った（図 19）。今回のボーリング掘削で得られたコア試料の層相記載を以下に示す（図 20）。

0.0～0.7 m：盛土（人工堆積物）

0.7～1.3 m：表土（土壌層）。

1.3～6.75 m：風成ローム層。風成の砂層にテフラ（軽石、スコリア）や隣接する斜面・小支流に由来する角～亜角礫が混入する。

6.75～7.2 m：フラッドローム層。水成の砂～シルト層。テフラが混入する。段丘面の離水時期を示す層準と考えられる。

7.2～10.1 m：段丘堆積物（砂礫層）。粒径 5 cm 程度の新鮮な亜角～亜円礫を含む砂礫層と砂層の互層。

得られたコア試料から、テフラ分析用の試料を 16 試料（T-1～16）、植物珪酸体分析用の試料を 10 試料（P-1～10）採取した。

3) テフラ分析、植物珪酸体分析の結果

テフラ分析の結果、採取された試料はほとんどが非テフラの岩屑および風化が進み起源が特定できない粒子からなり、一部の試料（T-6、T-13）からのみテフラ起源の粒子が多数検出された（図 20）。T-6 は低発泡火山ガラスを多数含み、その主成分化学組成から富士山起源のテフラの可能性が高いと推定されたが特定のテフラに明確に対比することはできなかった。

植物珪酸体分析の結果、P-1～3 を除く全ての試料からタケ亜科の植物珪酸体が検出された。タケ亜科のうち、メダケ属は温暖、ササ属は寒冷の指標とされており、メダケ率（両者の推定生産量の比率）の変遷は、地球規模の氷期-間氷期サイクルの変動と一致することが知られている（杉山、2001）。今回の調査で得られた試料のメダケ率から、P-5～

10 で温暖、P-4 で冷涼（多雪）と推定された。P-4 よりも下位では植物珪酸体が検出されずメダケ率が得られていないため確実ではないが、P-4 層準付近が最終氷期から後氷期へ移行する時期を示している可能性がある。

4) 段丘面の離水年代および隆起速度、断層の変位速度の推定

段丘面の開析がほとんど進んでいないこと、段丘崖の地形がシャープであること、段丘堆積物（砂礫層）の風化が進んでおらず新鮮であること、植物珪酸体分析から段丘堆積物を覆う風成堆積物の最下部付近が最終氷期～後氷期の移行期と推定されたことから、山北 1 地点の段丘の離水年代は更新世末期～完新世初期の可能性が高いと考えられる。明確な離水年代は不明であるが、仮に 2 万年前～1 万年前とすると、段丘面と現河床との比高 80m から、下刻速度は 4～8mm/yr と算出され、本断層帯の上盤側の隆起速度も同程度である可能性がある。ただし、最終氷期末期～現在にかけての下刻速度は一般的に隆起速度よりやや大きくなる傾向がある（吉山・柳田、1995；高木ほか、2000 など）ため、これは最大値である。

(d) 結論ならびに今後の課題

平成21年度は足柄平野縁辺および酒匂川流域の活構造を対象にして既存資料を収集するとともに、地形・地質調査および空中写真判読を主体とする変動地形学的な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。また、本断層帯と伊豆弧・東北日本弧間の収束境界の地殻構造との関連性については、Sato et al. (2004)や平成21年度本報告で得られた相模トラフの収束境界の地殻構造断面とあわせた検討が必要である。平成22年度に実施した国府津－松田断層・上曾我地区の結果、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オールコアボーリング調査の結果、国府津地区では、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ることがわかった。また、千代台地西縁部では、御殿場泥流および直下の氾濫原堆積物の層厚と高度が西に向かって急激に変化する可能性があることが分かった。また、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、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。

平成23年度に実施した御殿場地域における浅層反射法地震探査では、富士火山北東麓部の地下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。一方

で、富士火山東麓部は厚い火山噴出物に覆われており、断層の詳細位置が不明である。この断層が地震を起こす場合、地震動が富士火山東麓斜面の崩壊や火山泥流を引き起こす可能性があり、より甚大な被害を周辺地域に引き起こす危険性がある。今後は、これら伏在断層を含めた神縄断層の位置や平均変位速度、過去の活動などに関するデータを蓄積する必要がある。また、丹沢山地内を流れる河内川沿いにおいて空中写真判読による地形解析を行い、段丘面の分布が明らかになった。山北1地点においてボーリング調査を行い、段丘堆積物～フラッドローム～風成ローム～表土のコア試料を採取した。コア試料からはテフラ分析用の試料を16試料、植物珪酸体分析用の試料を10試料採取し、それぞれ分析を行った。段丘面の形態、段丘堆積物の層相、植物珪酸体分析結果から、段丘面の離水年代はおおよそ更新世末期～完新世初期であると推定された。段丘面と現河床との比高と段丘面の離水年代から、この地点の隆起速度は4～8 mm/yr程度もしくはそれ以下である可能性がある。今回の調査では、テフラの同定、およびコア下部の植物珪酸体分析による堆積環境推定ができなかったため、段丘面の離水年代が確実に明らかにされておらず、求められた隆起速度の信頼性は高いとは言えない。今後はさらに詳細なテフラ分析・植物珪酸体分析を行い、より信頼性の高い段丘面の離水年代を決定する必要がある。また、断層帯内部の変形を明らかにするためには、さらに複数地点において今回と同様な調査を行い、断層上盤側の変形を明らかにする必要がある。

謝辞

産業技術総合研究所の丸山 正氏と水野清秀氏には既存文献収集にあたりご協力を頂いた。神奈川県小田原土木事務所には5 m DTMの使用の許可を頂いた。財団法人神奈川県都市整備技術センターおよび静岡県総務部危機管理局危機情報室は既存ボーリング資料の使用について許可を頂いた。本調査を実施するにあたり、小田原市・御殿場市および小山町役場の関係各位には、調査の計画段階からご協力、ご指導を賜った。帝京平成大学の伊藤谷生教授には足柄・箱根地域の地質構造について終始ご助言を頂いた。ここに記して御礼申し上げます。

(e) 引用文献

- 1) 天野一男・高橋治之・立川孝志・横山健治・横田千秋・菊池 純，足柄層群の地質-伊豆微小大陸の衝突テクトニクス-，北村信教授退官記念地質学論文集，7-29，1986.
- 2) 天野一男・横山健治・立川孝志，箱根古期外輪山を切る平山断層，地質学雑誌，vol. 90，11，849-852，1984.
- 3) Ando, M., A Fault-Origin Model of the Great Kanto Earthquake of 1923 as Deduced from Geodetic Data. Bull. Earthq. Res. Inst., 49, 19-32, 1971.
- 4) Ando, M., Seismo-tectonics of the 1923 Kanto earthquake. J. Phys. Earth, 22, 263-277, 1974.
- 5) 遠藤邦彦・関本勝久・辻誠一郎，大磯丘陵西南部，中村川下流域の完新世の層序と古環

- 境, 日本大学文理学部自然科学研究紀要, 14, 9-28, 1979.
- 6) 林 広樹・伊藤谷生・上杉 陽・小山田浩子・笠原敬司・関口涉次・高橋雅紀・田中裕一郎・津久井雅志・松井智之・松本拓己・山崎 優・山田隆二・山水史生・柳沢幸夫・渡辺真人, 神奈川県西部山北南高感度地震観測井の掘削および孔内検層, 防災科学技術研究所研究資料, 298, 1-32, 2006.
 - 7) 星野一男・長谷紘和, 神縄断層を切る南北性断層について. 地質学雑誌, 83, 62-64, 1977.
 - 8) Hovius, N., Macroscale process systems of mountain belt erosion, Summerfield, M. A. (ed): *Geomorphology and Global Tectonics*, John Wiley and Sons, New York, pp. 77-105, 2000.
 - 9) 今永 勇, 箱根火山北麓地蔵堂の地質, 神奈川県立博物館研究報告自然科学, 9, 77-84, 1976.
 - 10) 今永 勇, 山北町東電山北発電所対岸の逆断層, 神奈川自然誌資料, 2, 66, 1981.
 - 11) 今永 勇, 足柄層群の構造, 神奈川県立博物館調査研究報告(自然科学), 9, 1-56, 1999.
 - 12) Imanaga, I., Stratigraphy and tectonics of the Ashigara Group in the Izu collision zone, central Japan. *Bull. Kanagawa Pref. Mus. Nat. Sci.*, 28, 73-106, 1999.
 - 13) 今永 勇・山下浩之・高橋隆之, 神奈川県松田町のボーリングデータ, 神奈川自然誌資料, 11, 9-11, 1990.
 - 14) Ito, M., The Ashigara Group, A regressive submarine fan-fan delta sequence in a Quaternary collision boundary, north of Izu peninsula, central Honshu, Japan, *Sedimentary Geology*, 45, 261-292, 1985.
 - 15) Ito, T., Uesugi, Y., Yonezawa, H., Kano, K., Someno, M., Chiba, T. and Kimura, T., Analytical method for evaluating superficial fault displacements in volcanic air fall deposits: case of the Hirayama fault, south of Tanzawa Mountains, central Japan, since 21,500 years B.P., *Journal of Geophysical Research*, 92, 10683-10695, 1989.
 - 16) 伊藤谷生・上杉 陽・米沢 宏・狩野謙一・染野 誠・森 慎一・原田昌一・千葉達朗・木村敏雄, 平山断層(神奈川県山北町)の最近 20,000 年間における非線形的な変位累積過程, 日本第四紀学会講演要旨集, 12, 72-73, 1982.
 - 17) Ito, T., Kano, K., Uesugi, Y., Kosaka, K. and Chiba, T., Tectonic evolution along the northernmost border of the Philippine Sea plate since about 1 Ma, *Tectonophysics*, 160, 305-326, 1987.
 - 18) 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 「神縄・国府津-松田断層帯の評価(一部改訂)」, 35p, 2009.
 - 19) 貝塚爽平, 関東の第四紀地殻変動, 地学雑誌, 96, 223-240, 1987.
 - 20) 神奈川県「神奈川県地震災害対策資料、三浦半島及び国府津-松田地域の活断層に関する調査報告書」, 82-195, 1982.

- 21) 神奈川県, 「平成 13 年度神奈川県活断層 (神縄・国府津－松田断層帯) 調査事業成果報告書」, 127p, 2002.
- 22) 神奈川県, 「平成 14 年度神奈川県活断層 (神縄・国府津－松田断層帯) 調査事業成果報告書」, 78p, 2003.
- 23) 神奈川県, 「平成 15 年度 地震関係基礎調査交付金 神縄・国府津－松田断層帯に関する調査」, 76p, 2004.
- 24) Kaneko, S., Neotectonics of Oiso Hills and contiguous districts in South Kanto, Japan, 地質学雑誌, 77, 345-358, 1971.
- 25) 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.
- 26) 狩野謙一・伊藤谷生・上杉 陽, 神縄逆断層を切る塩沢断層系の性格と変位量, 第 16 回自然災害科学総合シンポジウム講演論文集, 315-318, 1979.
- 27) 狩野謙一・染野 誠・上杉 陽・伊藤谷生, 足柄地域北西部における中期更新世以降の断層活動-プレート力学境界表層部での変形過程の例-, 静岡大学地球科学研究報告, 14, 57-83, 1988.
- 28) 狩野謙一・上杉 陽・伊藤谷生・千葉達郎・米澤 宏・染野 誠, 丹沢南部・大磯丘陵周辺における中期更新世以降の断層運動, 第四紀研究, 23, 137-143, 1984.
- 29) 関東四紀研究会, 大磯丘陵の層序と構造, 関東の四紀, 13, 3-46, 1987.
- 30) 笠原敬司・山水史生・井川 猛・清水祥四郎, 足柄平野～国府津－松田断層を横切る地震波反射断面, 地震学会講演予稿集, 324, 1991.
- 31) 加藤 茂・岩淵 洋・浅田 昭・加藤幸弘・菊池真一・穀田昇一・楠勝 治・渡辺一樹, 相模湾の地殻構造と変動地形, 地学雑誌, 102, 399-406, 1993.
- 32) 活断層研究会編, 「日本の活断層-分布図と資料-」, 東京大学出版会, 363p, 1980.
- 33) 活断層研究会編, 「新編日本の活断層-分布図と資料-」, 東京大学出版会, 437p, 1991.
- 34) 木村治夫・佐藤比呂志・伊藤谷生・宮内崇裕・松多信尚・河村知徳・石山達也・岡田真介・加藤直子・荻野スミ子・楳原京子・小田 晋・野田克也・井川 猛, 国府津－松田断層帯松田北断層における浅層反射法地震探査, 活断層研究, 25, 85-92, 2005.
- 35) 岸本清行, 海陸を合わせた日本周辺のメッシュ地形データの作成: Japan250m. grd, 地質調査所研究資料集 (CD-ROM), 353, 1CD-ROM, 地質調査所, 2000.
- 36) 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.
- 37) 小池一之・町田 洋編, 「日本の海成段丘アトラス」, 東京大学出版会, CD-ROM3 枚・付図 2 葉・129p, 2001.
- 38) 熊木洋太・市川清次, 大磯丘陵南縁部の中村原面・前川面の変位について, 国土地理院時報, 55, 24-28, 1981.
- 39) Kuno, H., Geology of Hakone volcano and adjacent areas, part II, 7, 351-402, 1951.

- 40) 町田 洋, Tephrochronology による富士火山とその周辺地域の発達史, 地学雑誌, 73, 293-308, 337-350, 1964.
- 41) 町田 洋, 南関東における第四紀中・後期の編年と海成面の変動, 地学雑誌, 82, 53-76, 1973.
- 42) 町田 洋, 建設と崩壊を繰り返してきた富士山-とくに縄文時代末の大崩壊-, 地球, 22, 507-511, 2000.
- 43) 町田 洋, 山北町の地形地質の特徴と生い立ち, 山北町史別編・山北町の自然, 山北町教育委員会, 296-315, 2001.
- 44) 町田 洋・新井房夫, 「新編 火山灰アトラス-日本列島とその周辺」, 東京大学出版会, 336p, 2003.
- 45) 町田 洋・新井房夫・村田明美・袴田和夫, 南関東における第四紀中期のテフラの対比とそれに基づく編年, 地学雑誌, 83, 302-338, 1974.
- 46) 町田 洋・松島義章・今永 勇, 富士山東麓駿河小山付近の第四系-とくに古地理の変遷と神縄断層の変動について-, 第四紀研究, 14, 77-89, 1975.
- 47) 町田 洋・森山昭雄, 大磯丘陵の Tephrochronology とそれにもとづく富士及び箱根火山の活動史, 地理学評論, 41, 241-256, 1968.
- 48) 萬年一剛・小林 淳・山下浩之・古澤 明, 神奈川県山北町・浅間山の隆起開始年代-伊豆弧北東端のアクティブテクトニクスに対するひとつの制約, 地質学雑誌, 111, 111-114, 2005.
- 49) 松田時彦, 南部フォッサマグナの湾曲構造と伊豆の衝突, 第四紀研究, 23, 151-154, 1984.
- 50) 松田時彦, 大磯型地震について, 月刊地球, 7, 472-477, 1985.
- 51) 松田時彦, 丹沢山地南部の構造と生いたち-5つの時期-, 月刊地球, 8, 626-629, 1986.
- 52) 松田時彦, 南部フォッサマグナ多重衝突説の吟味, 月刊地球, 11, 522-525, 1989.
- 53) 松田時彦, 相模湾北西部地域の地震テクトニクス, 地学雑誌, 102, 354-364, 1993.
- 54) 松田時彦, 「要注意断層」の再検討, 活断層研究, 14, 1-8, 1996.
- 55) 松田時彦・太田陽子・安藤雅孝・米倉伸之, 元禄関東地震 (1703年) の地学的研究, 「関東地方の地震と地殻変動」, ラティス, 175-192, 1974.
- 56) Matsuda, T., Ota, Y., Ando, M. and Yonekura, N., Fault mechanism and recurrence time of major earthquakes in southern Kanto district, Japan, as deduced from coastal terrace data, Geol. Soc. Am. Bull., 89, 1610-1618, 1978.
- 57) 松島義章, 南関東における縄文海進に伴う貝類群集の変遷, 第四紀研究, 17, 243-265, 1979.
- 58) 松島義章, 南関東における貝類群衆からみた縄文海進と地殻変動, 月刊地球, 2, 52-65, 1980.
- 59) 松島義章, 相模湾北岸, 足柄平野における沖積層の 14C 年代とそれに関連する問題, 第四紀研究, 20, 319-323, 1982.
- 60) 松島義章, 完新世段丘からみた相模湾・駿河湾沿岸地域のネオテクトニクス, 第

- 四紀研究, 23, 165-174, 1984.
- 61) 松島義章, 完新世海成堆積物からみた相模湾沿岸地域の地形変動, 第四紀研究, 38, 503-514, 1999.
 - 62) 松島義章・今永 勇, 神縄逆断層について, 神奈川県立博物館研究報告, 1, 65-73, 1968.
 - 63) Matsu'ura, M. and Iwasaki, T., Study on coseismic and postseismic crustal movements associated with the 1923 Kanto earthquake, Tectonophysics, 97, 201-215, 1983.
 - 64) Matsu'ura, M., Iwasaki, T., Suzuki, Y. and Sato, R., Statical and dynamical study on faulting mechanism of the 1923 Kanto earthquake, J. Phys. Earth, 28, 119-143, 1980.
 - 65) 宮内崇裕・池田安隆・今泉俊文・佐藤比呂志・東郷正美, 1:25,000 都市圏活断層図「秦野第2版」, 国土地理院技術資料 D・1-No. 502, 2008.
 - 66) 宮内崇裕・池田安隆・今泉俊文・佐藤比呂志・東郷正美, 1:25,000 都市圏活断層図「小田原第2版」, 国土地理院技術資料 D・1-No. 524, 2009.
 - 67) 宮内崇裕・田中 環・伊藤谷生・佐藤比呂志・川村知徳・石山達也・加藤 一・井川 猛, 反射法地震探査からみた神縄国府津松田断層システムの前進過程とアクティブテクトニクス, 地球惑星科学関連学会2003年合同大会予稿集, J027-P009, 2003.
 - 68) 水野清秀・山崎晴雄・下川浩一・佐竹健治・井村隆介・吉岡敏和, 国府津-松田断層の活動履歴及び活動性調査, 平成7年度活断層研究調査概要報告書, 工業技術院地質調査所, 81-88, 1996.
 - 69) 水野清秀・山崎晴雄, 国府津-松田断層のトレンチ掘削調査(補備調査), 平成8年度活断層研究調査概要報告書, 工業技術院地質調査所, 125-128, 1997.
 - 70) 宮地直道・富樫茂子・千葉達朗, 富士火山東斜面で2900年前に発生した山体崩壊, 火山, 49, 237-248, 2004.
 - 71) 文部科学省研究開発局・東京大学地震研究所・京都大学防災研究所・独立行政法人防災科学技術研究所, 大都市大震災軽減化特別プロジェクト I 地震動(強い揺れ)の予測「大都市圏地殻構造調査研究」(平成14年度)成果報告書, 593p, 2003.
 - 72) 文部科学省研究開発局・東京大学地震研究所・京都大学防災研究所・独立行政法人防災科学技術研究所, 大都市大震災軽減化特別プロジェクト I 地震動(強い揺れ)の予測「大都市圏地殻構造調査研究」(平成15年度)成果報告書, 833p, 2004.
 - 73) 文部科学省研究開発局・東京大学地震研究所・京都大学防災研究所・独立行政法人防災科学技術研究所, 大都市大震災軽減化特別プロジェクト I 地震動(強い揺れ)の予測「大都市圏地殻構造調査研究」(平成17年度)成果報告書, 754p, 2006.
 - 74) 中満隆博・林 広樹・小田原啓・上杉陽・佐藤比呂志・伊藤谷生・関口渉次・笠原敬司, 神奈川県山北町南部の地質:特に活断層について, 日本地球惑星科学連合大会予稿集, G119-P002, 2007.
 - 75) 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 DVD-ROM 2枚・付図1葉・60p, 2002.

- 76) 中村一明・島崎邦彦, 相模・駿河トラフとプレートの沈み込み, 科学, 490-498, 1981.
- 77) Nakamura, K., Shimazaki, K. and Yonekura, N., Subduction, bending and education; present and Quaternary tectonics of the northern border of the Philippine Sea plate, Bull. Soc. Geol. France, 2, 221-243, 1984.
- 78) 日本第四紀学会第四紀露頭集編集委員会編, 「第四紀露頭集-日本のテフラ」, 日本第四紀学会, 352p, 1986.
- 79) 西澤あずさ・金澤敏彦・岩崎貴哉・島村英紀, 海底地震探査による相模湾地域の上部地殻構造 (2), 地震学会講演予稿集, (2), 217, 1991.
- 80) 岡山俊雄, 日本の地形構造と地質構造の関係, 辻村太郎先生古希記念地理学論文集, 古今書院, 50-68, 1961.
- 81) 奥村 清, 神奈川県山北町, 尾崎遺跡の遺物を包含する降下火砕層について, 神奈川県文化財調査報告, 13, 359-362, 1977.
- 82) 大磯団体研究グループ, 国府津-松田断層地域の第四系 (その3), 関東の四紀, 14, 3-22, 1988.
- 83) 大河内直彦, 相模湾の活構造とテクトニクス, 地学雑誌, 99, 38-50, 1991.
- 84) 大村 齊, 関東大地震ニ伴ヘル陸地水準変更調査, 震災予防調査會報告, 第百号乙, 55-59, 1925.
- 85) 太田陽子・松田時彦・小池敏夫・池田安隆・今泉俊文・奥村 清, 国府津・松田断層に関する調査報告. 神奈川県地震災害対策資料 三浦半島および国府津・松田地域の活断層に関する調査報告書, 神奈川県, 82-195, 1982.
- 86) 大塚弥之助, 大磯地塊を中心とする地域の層序に就いて (其一、其二), 地質学雑誌, 36, 435-436. 479-497, 1929.
- 87) 大塚弥之助, 大磯地塊を中心とした地域の最新地質時代の地史, 地理学評論, 6, 113-143, 1930.
- 88) 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-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.
- 89) 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.
- 90) Sato, H., Hirata, N., Koketsu, K., Okaya, D., Abe, S., Kobayashi, R., Matsubara, M., Iwasaki, T., Ito, T., Ikawa, T., Kawanaka, T., Kasahara, K., and S. Harder, Earthquake source fault beneath Tokyo, Science, 309, 462-464, 2005.
- 91) 産業技術総合研究所, 神縄・国府津-松田断層帯の活動性および活動履歴調査「活断層の追加・補完調査」成果報告書, No. H19-2. 39p, 2008.
- 92) Scholz, C. H. and Kato, T., The behavior of a convergent plate boundary: crustal deformation in the south Kanto district, Japan, Journal of Geophysical Research, 83, 783-797, 1978.
- 93) 徐 垣, 足柄層群南縁の衝上断層 (日向断層) とその地震テクトニクス上の意義,

- 地質学雑誌, 101, 295-303, 1995.
- 94) 杉村 新, 日本付近におけるプレートの境界, 科学, 42, 192-202, 1972.
- 95) 杉村 新, 関東地震と活断層, 「関東地方の地震と地殻変動」, ラティス, 157-174, 1974.
- 96) Sugimura, A. and Naruse, Y., Changes in the sea level, seismic upheavals, and coastal terraces in the southern Kanto Region, Japan (I) (II), Jap. Geol. Geography, XXIV, XXVI, 101-113, 165-176, 1954.
- 97) 杉山真二, テフラと植物珪酸体分析, 月刊地球, 23, 645-650, 2001.
- 98) 鈴木隆介, 箱根火山北東部における軽石流の堆積とそれに伴った地形変化について, 地理学評論, 36, 24-41, 1963.
- 99) 多田 堯, 神奈川県西部地方の地殻変動とその地学的意味, 地学雑誌, 102, 418-426, 1993.
- 100) Tada, T. and Sakata, S., On a fault model of the 1923 great Kanto earthquake and its geotectonic implication, Bull. Geogr. Sur. Inst., 22, 103-121, 1977.
- 101) Taira, A., Tokuyama, H. and Won, S., Accretion tectonics and evolution of Japan, in Ben-Avraham ed. "The evolution of the Pacific Ocean margins", Oxford Univ. Press, 100-123, 1989.
- 102) 高木俊男・柳田 誠・藤原 治・小沢昭男, 海岸段丘から推定した河床高度変化の歴史, 地学雑誌, 109, 366-382, 2000.
- 103) 田力正好, 河成段丘を用いて推定される内陸部の広域的地殻変動—現状と課題, 地理科学, 60, 143-148, 2005.
- 104) 田力正好・池田安隆・野原 壯, 河成段丘の高度分布から推定された, 岩手・宮城内陸地震の震源断層, 地震, 62, 1-11, 2009.
- 105) 寺田寅彦, 相模湾海底変化ノ意義並ニ大地震ノ原因ニ関スル地球物理學的考察, 震災予防調査會報告, 第百号乙, 63-72, 1925.
- 106) 津久井雅志・山崎 優・松井智之・小山田浩子・上杉 陽・林 広樹・柳沢幸夫・笠原 敬司, 伊豆弧北端の火山岩類と地殻構造—山北南大深度観測井の箱根火山, 先箱根火山岩類から—, 地質調査研究報告, 57, 197-215, 2006.
- 107) 津屋弘達, 神縄衝上断層の西翼について, 地震研究所彙報, 20, 322-336, 1942.
- 108) 津屋弘達 (1968) 富士火山地質図. 特殊地質図 12. 1:50000 および Geology of volcano Mt., Fuji, 地質調査所, 1968.
- 109) 内田虎三郎, 関東大地震ニ因ル相模湾底及附近地形ノ変化調査報告, 震災予防調査會報告, 第百号乙, 61p, 1925.
- 110) 上本進二・上杉 陽, 小田原市千代台地の3遺跡における地震跡—国府津—松田断層の最新活動期に関する若干の資料—, 関東の四紀, 21, 41-53, 1998.
- 111) 上本進二・上杉 陽, 相模湾周辺の遺跡から検出された地震跡, 第四紀研究, 38, 533-542, 1999.
- 112) 上杉 陽・千葉達朗・米澤 宏, いわゆる国府津—松田断層について—その研究史と実態—, 関東の四紀, 9, 21-32, 1982.

- 113) 上杉 陽・米澤 宏, 伊豆半島北縁平山断層の活動期, 地震第2輯, 40, 122-124, 1987.
- 114) 上杉 陽・米澤 宏・千葉達朗・狩野謙一, 川音川横すべり断層-大磯丘陵北西縁の活断層-, 第四紀研究, 20, 35-42, 1981.
- 115) 上杉 陽・米澤 宏・千葉達朗・宮地直道・森 慎一, テフラからみた関東平野, アーバンクボタ, 2-17, 1983.
- 116) 宇佐美龍夫, 関東地方の古い地震々央位置の範囲, 関東大地震五十周年論文集, 1-12, 1973.
- 117) 宇佐美龍夫, 最新版 日本被害地震総覧 [416] -2001, 東京大学出版会, 605p, 2003.
- 118) Wald, D. J., and P. G. Somerville, Variable-slip rupture model of the great 1923 Kanto, Japan, Earthquake: geodetic and body-wave form analysis, Bull. Seis. Soc. Am., 85, 159-177, 1995.
- 119) 山崎晴雄, 活断層からみた南部フォッサマグナ地域のネオテクトニクス, 第四紀研究, 23, 129-136, 1984.
- 120) 山崎晴雄, 足柄平野の地質と地殻変動, 月刊地球, 7, 466-472, 1985.
- 121) Yamazaki, H., Tectonics of a plate collision along the northern margin of Izu Peninsula, Central Japan, 地質調査所月報, 43, 603-657, 1992.
- 122) 山崎晴雄, 南関東の地震テクトニクスと国府津-松田断層の活動, 地学雑誌, 102, 365-373, 1993.
- 123) 山崎晴雄, 開成町とその周辺の地形と地質, 開成町史自然編, 2-100, 1994.
- 124) 山崎晴雄・垣見俊弘・加藤 完・池田喜代治・高橋誠・永田松三・伊藤吉助, プレート北端部の造構運動の調査研究, 「フィリピン海プレート北端部の地震テクトニクスに関する特定総合研究中間報告書」, 科学技術庁研究調整局, 368-393, 1982.
- 125) 山崎晴雄・水野清秀・加藤完・下川浩一, 地殻構造及び地殻活動史に関する研究, 「マグニチュード7級の内陸地震の予知に関する研究(第I期昭和62~平成元年度)成果報告書」, 科学技術庁研究開発局, 79-92, 1991.
- 126) 山崎晴雄・町田 洋, 足柄平野北縁の活断層と地形発達, 日本第四紀学会講演要旨集, 11, 96-97, 1981.
- 127) 山崎晴雄・水野清秀, 国府津・松田断層の最新活動史と地震テクトニクス, 第四紀研究, 38, 447-460, 1999.
- 128) 山崎稲雄, 山北から洒水の滝へ. 「神奈川県地学のガイド」, コロナ社, 67-72, 1971.
- 129) 山崎直方, 関東地震ノ地形學的考察. 震災予防調査會報告, 第百号乙, 11-54, 1925.
- 130) 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・福田正巳, 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.
- 131) 米澤まどか, 御殿場泥流と御殿場盆地の地質、関東の四紀, 12, 21-31, 1986.
- 132) 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.

133) 吉山 昭・柳田 誠, 河成地形面の比高分布からみた地殻変動, 地学雑誌, 104, 809-826, 1995.

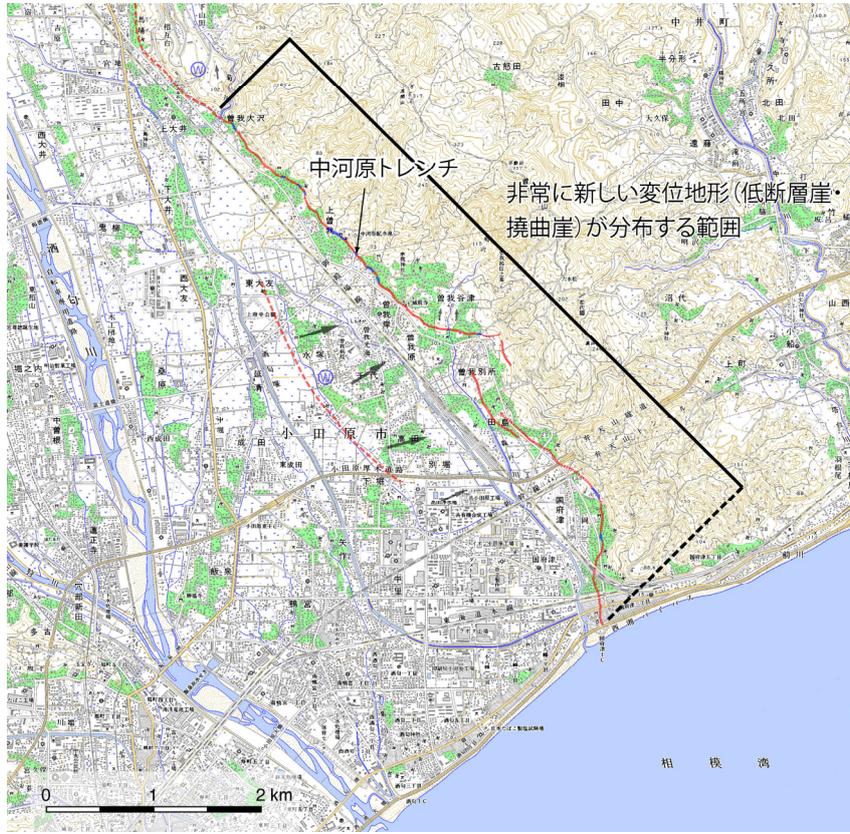


図1 国府津-松田断層の極新时期変位地形の分布。基図は国土地理院発行の1/25000地形『小田原南部』を使用。

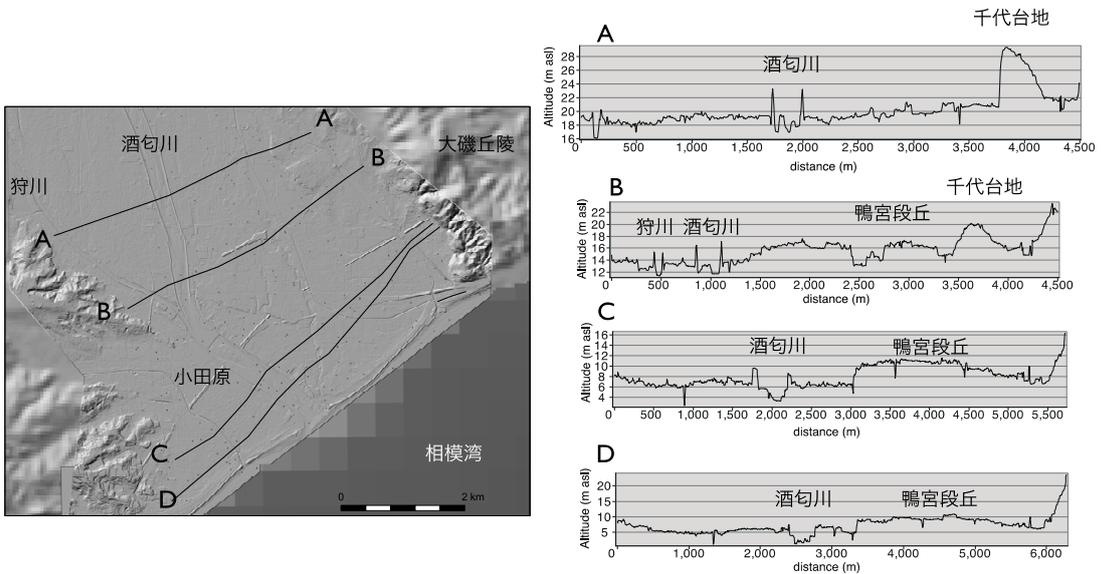


図2 5 m DTMによる足柄平野南部の地形断面図。神奈川県小田原土木事務所作成の5 m グリッド DTM を使用した。

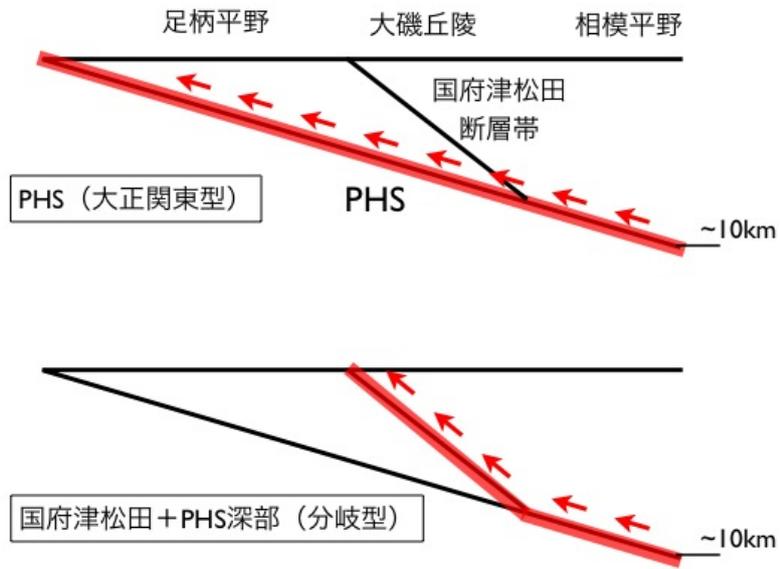


図3 相模トラフから足柄平野周辺で発生する大地震の発生様式の概念図。Sato et al. (2005) の地殻構造探査断面を参考にした。

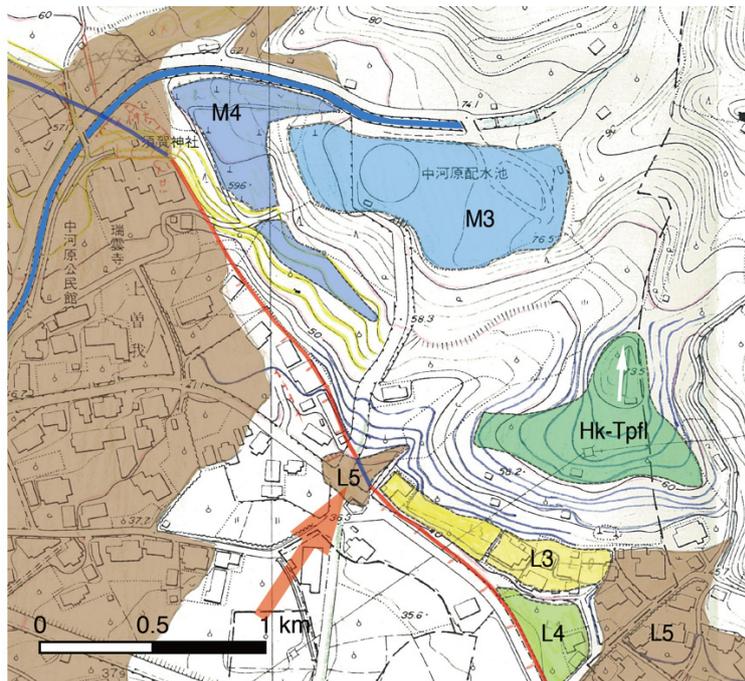
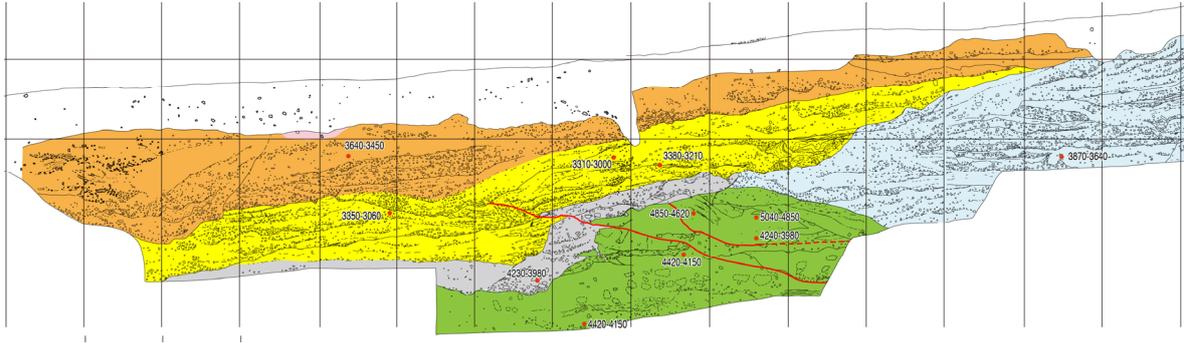


図4 小田原市上曾我地区、国府津-松田断層の極新时期変位地形。矢印がトレンチ調査の概略位置を示す。

(a)



(b)

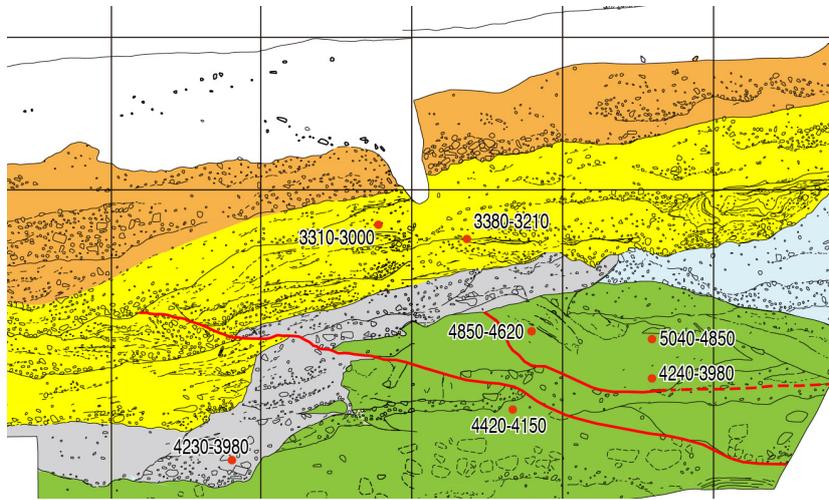


図5 (a) 上曾我トレンチ壁面北面の解釈図。赤線は断層を、数値は放射性炭素同位体年代測定の結果(2 σ 、暦年補正後)を示す。地層の区分は以下の通り：白色部：耕作土、橙色：I層、黄色：II層、青色：III層、緑色：IV層。(b) 断層近傍の拡大図。

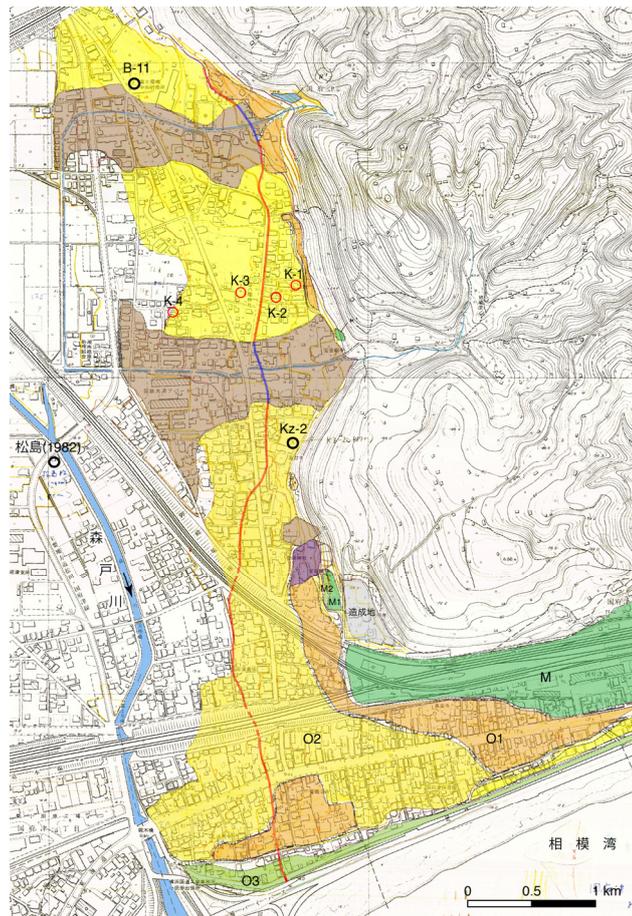


図6 小田原市国府津地区、国府津-松田断層の極新时期変位地形。M:前川面、O1:押切1面、O2:押切2面、O3:押切3面。赤線:低断層崖の位置(明瞭)、赤破線:低断層崖の位置(不明瞭)、青線:断層伏在部。

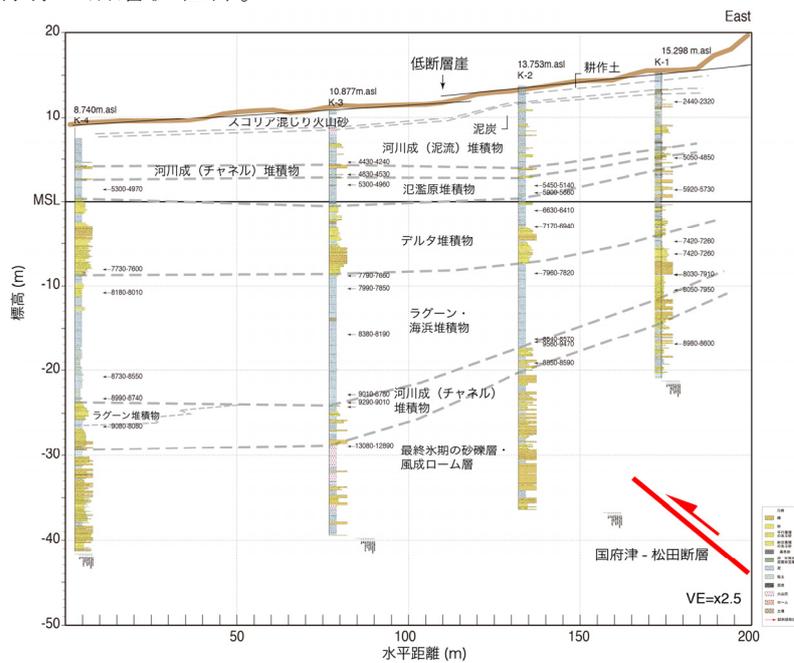


図7 国府津地区のボーリング断面図。断面図の位置は図6に示す。柱状図右の数値は14C年代測定値(暦年補正済み、 2σ)を示す。

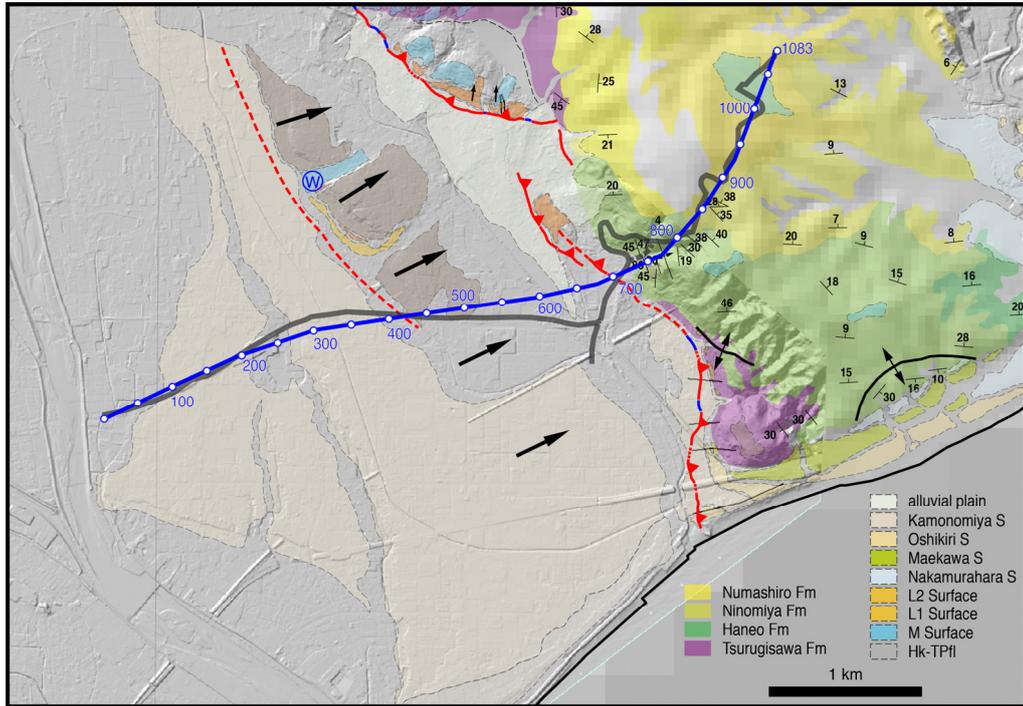


図8 国府津-松田断層帯の反射法地震探査（飯泉-沼代測線）の測線位置（灰色の線）。青線と番号は重合測線と CDP 番号と示す。地質図は矢野（1986）を使用。

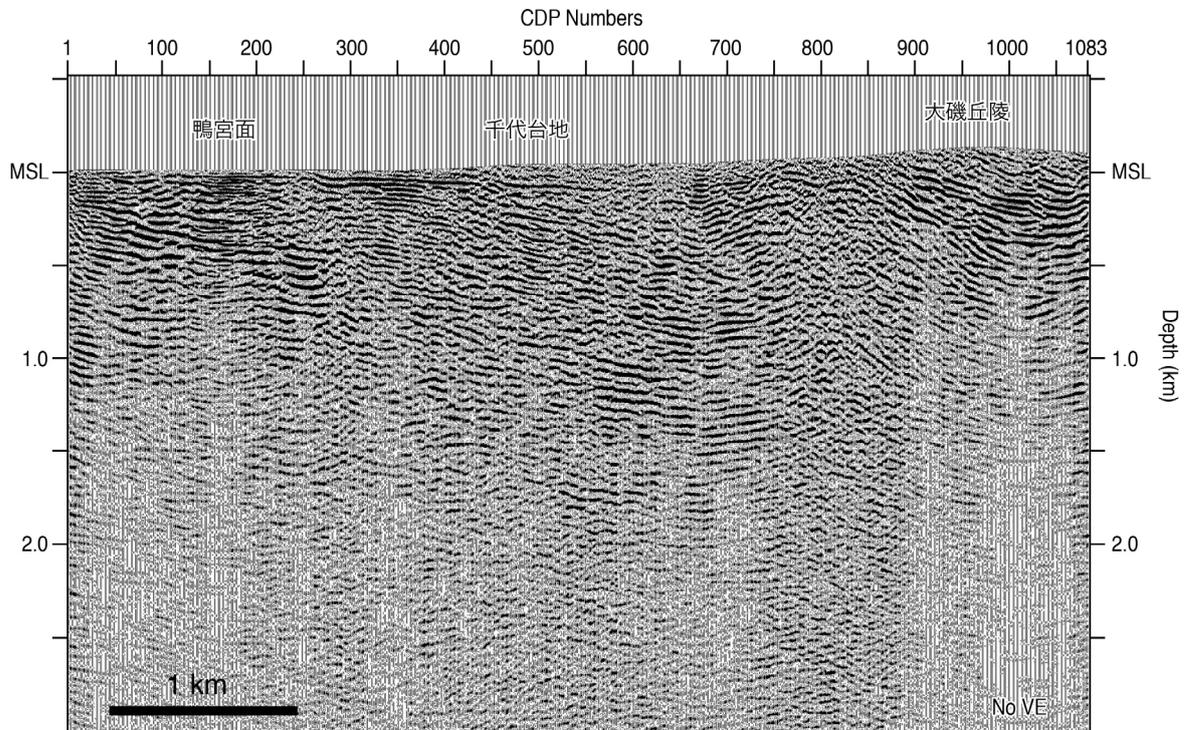


図9 国府津-松田断層帯の反射法地震探査（飯泉-沼代測線）の深度断面図。

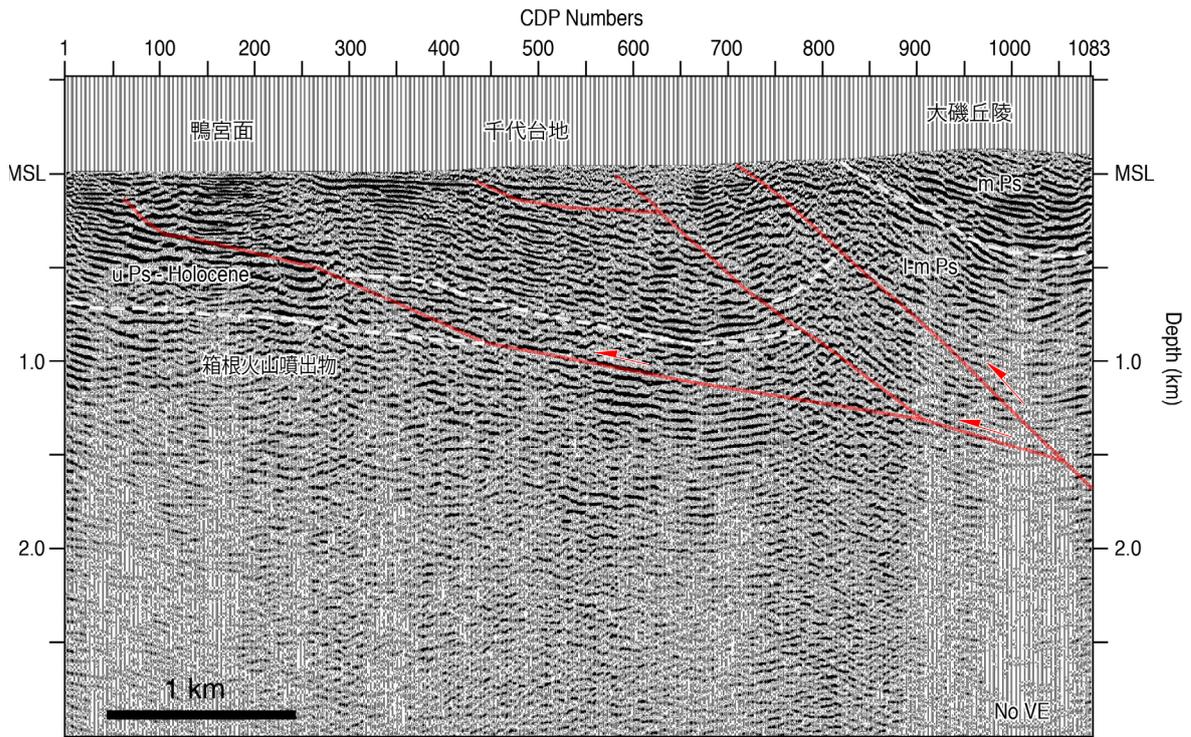
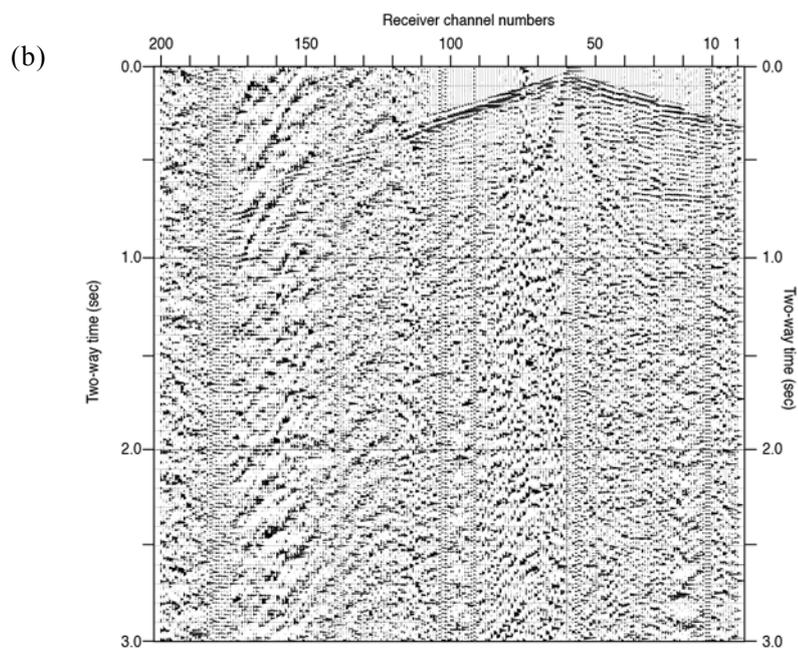
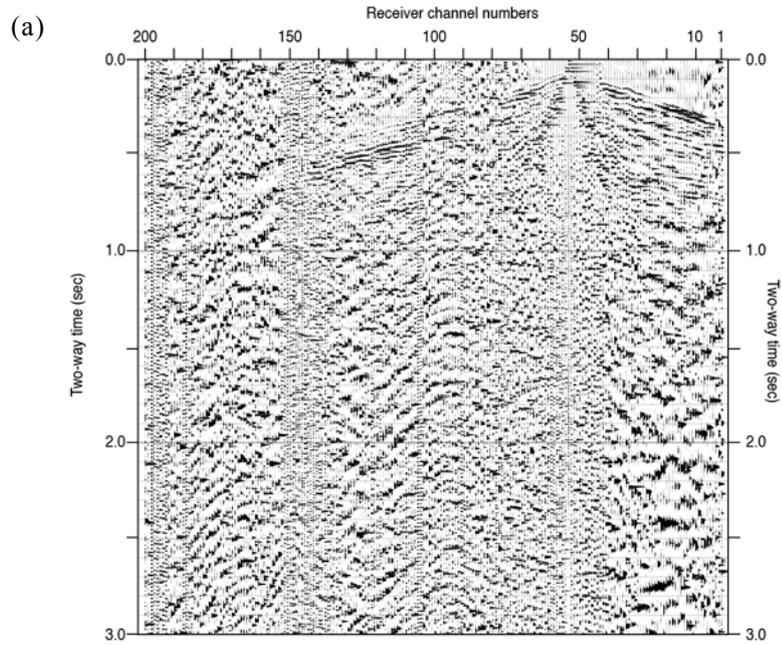
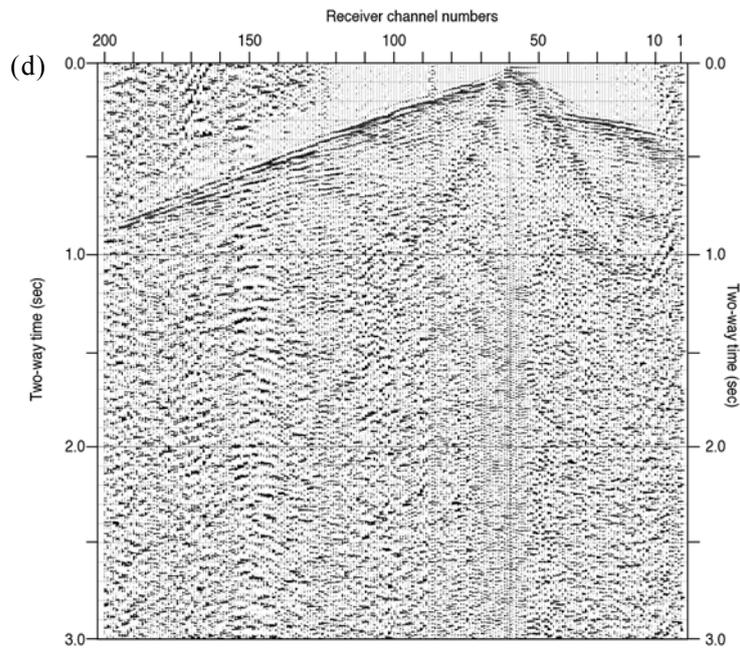
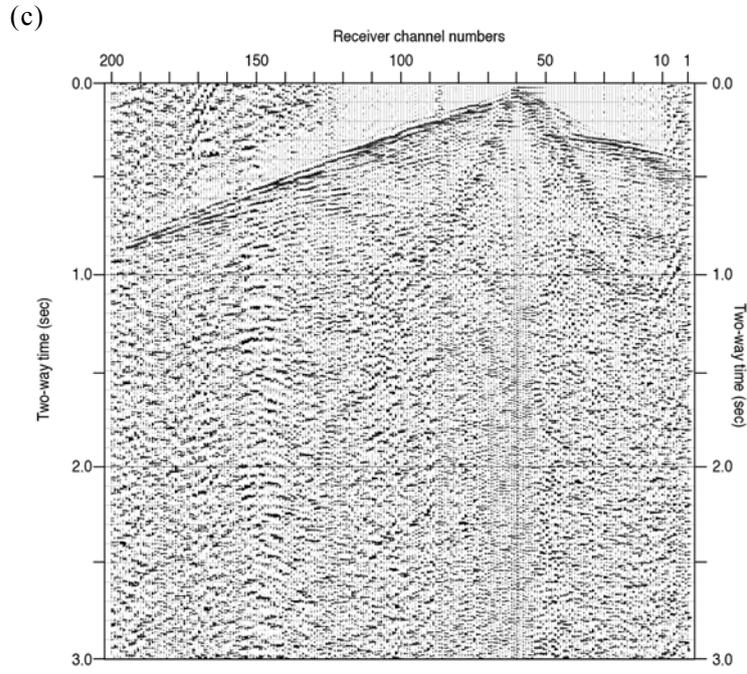


図 10 国府津-松田断層帯の反射法地震探査（飯泉-沼代測線）の解釈深度断面図。



図 11 御殿場地域の反射法地震探査（小山測線）の測線。水色のマークは図 12 の発振点に対応する。





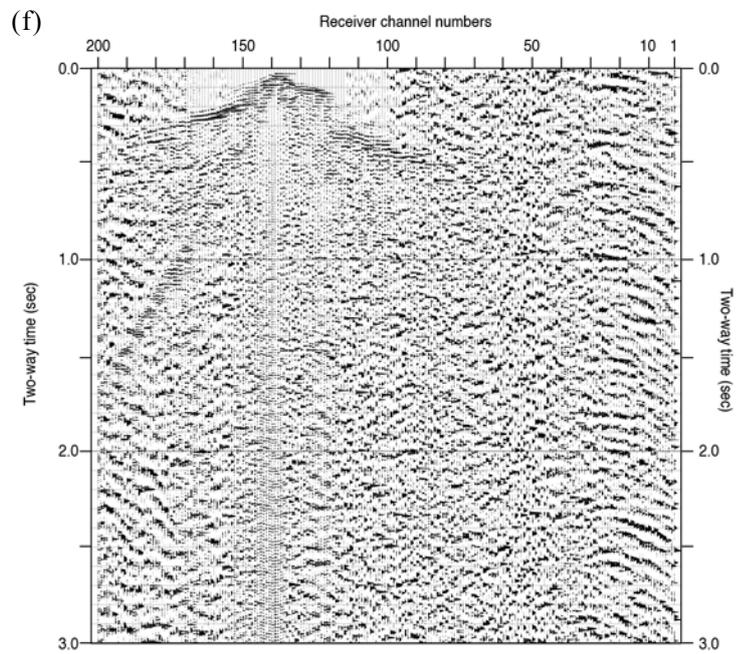
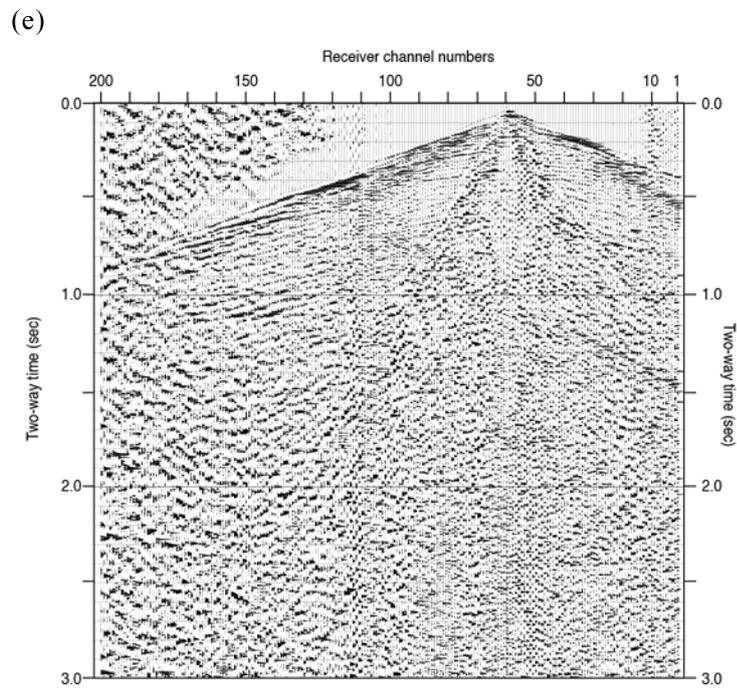


図 12 本実験で得られた主な走時記録。(a) SP1054、(b) SP1154、(c) SP1305、(d) SP1399、
(e) SP1493、(f) SP1784。

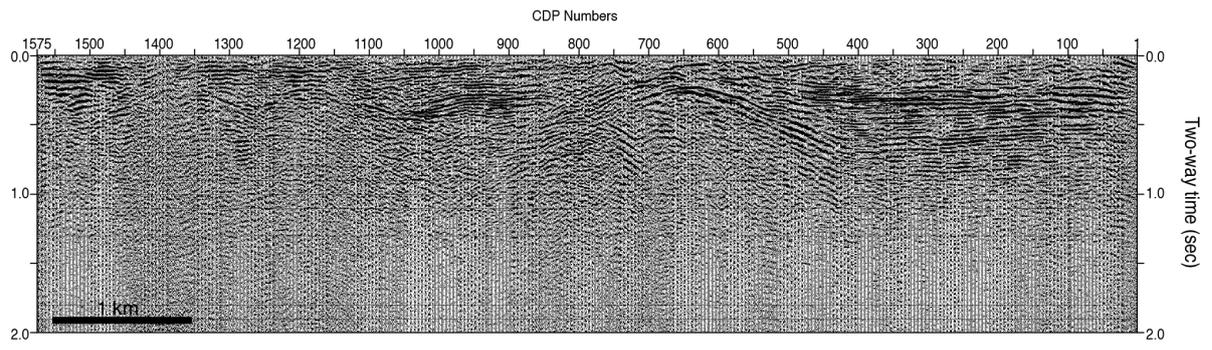


図 14 重合時間断面図。

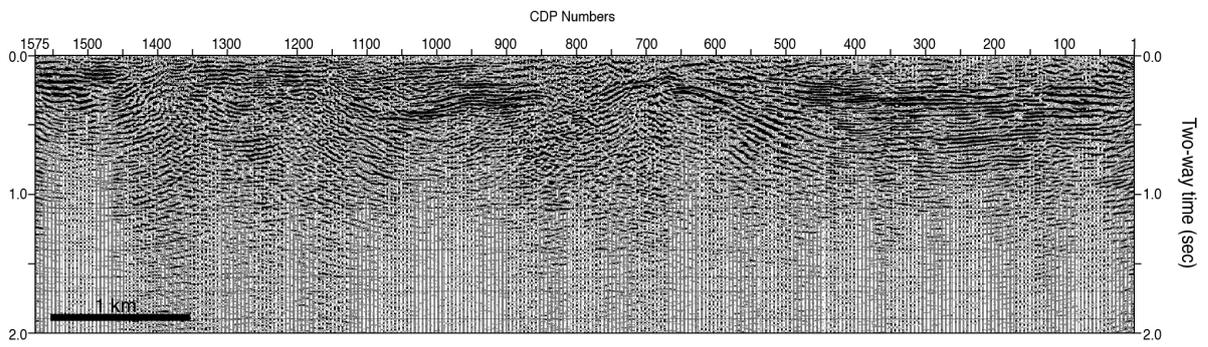


図 15 マイグレーション後時間断面図。

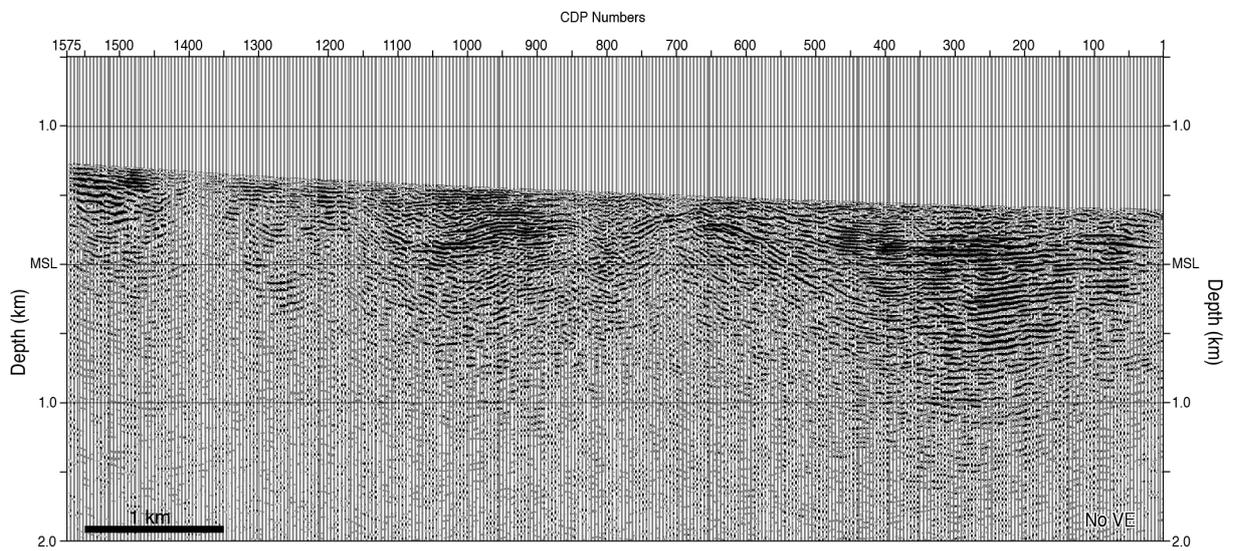


図 16 深度断面図。

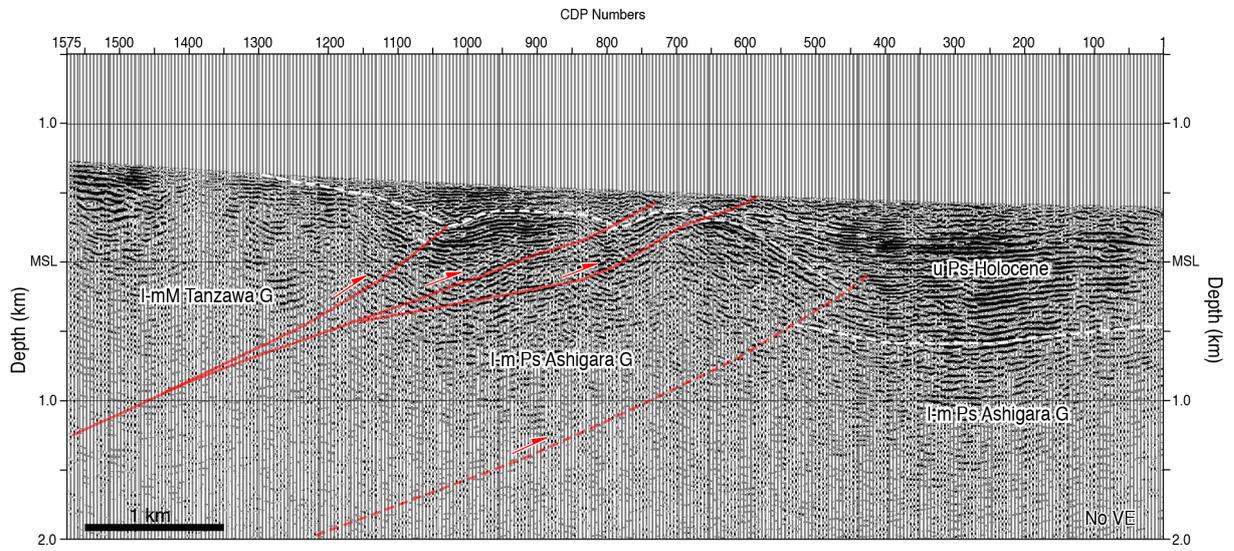


図 17 解釈深度断面図。

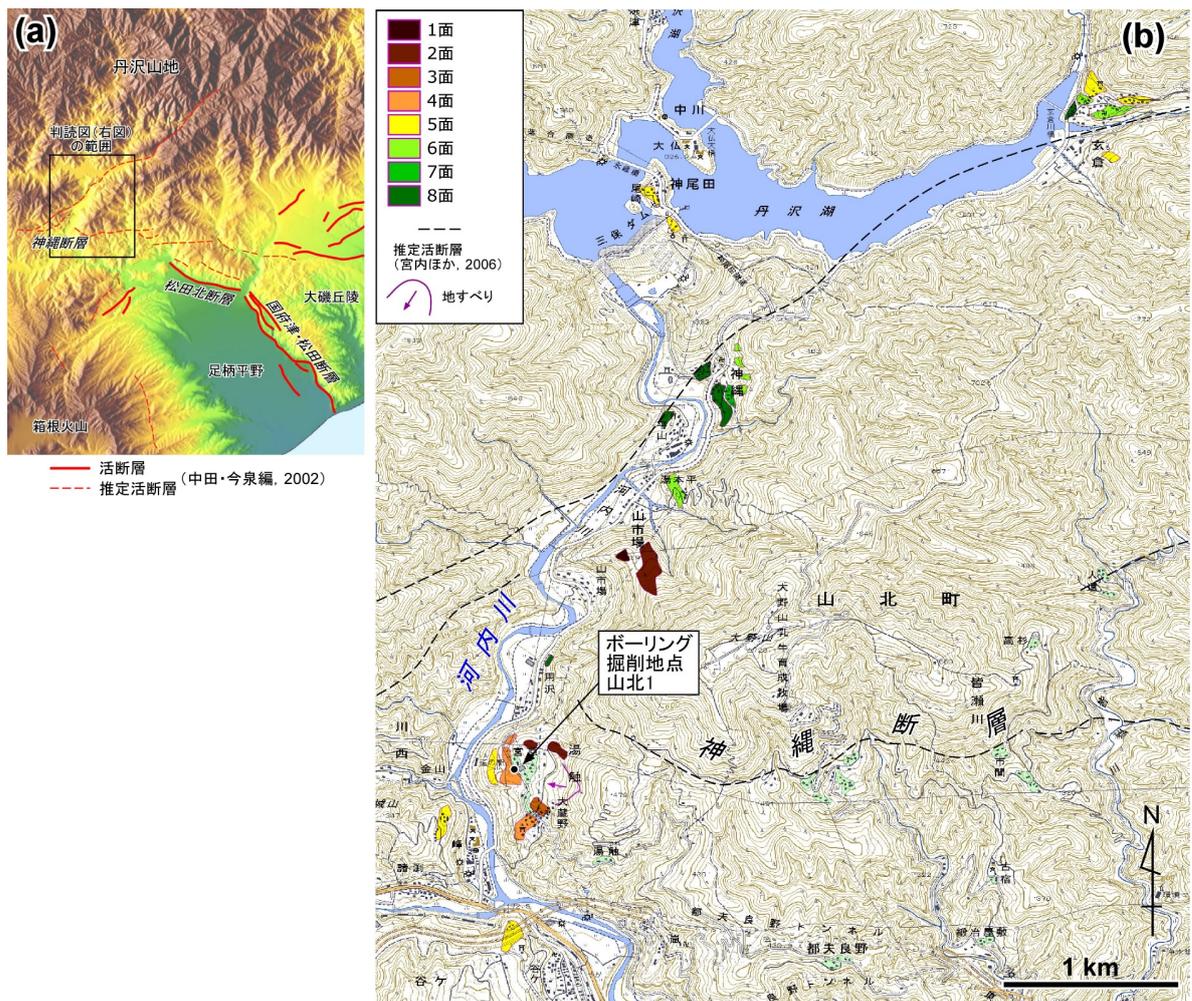


図 18 調査地域周辺の地形 (a) と河内川沿いの河成段丘分布図 (b)。

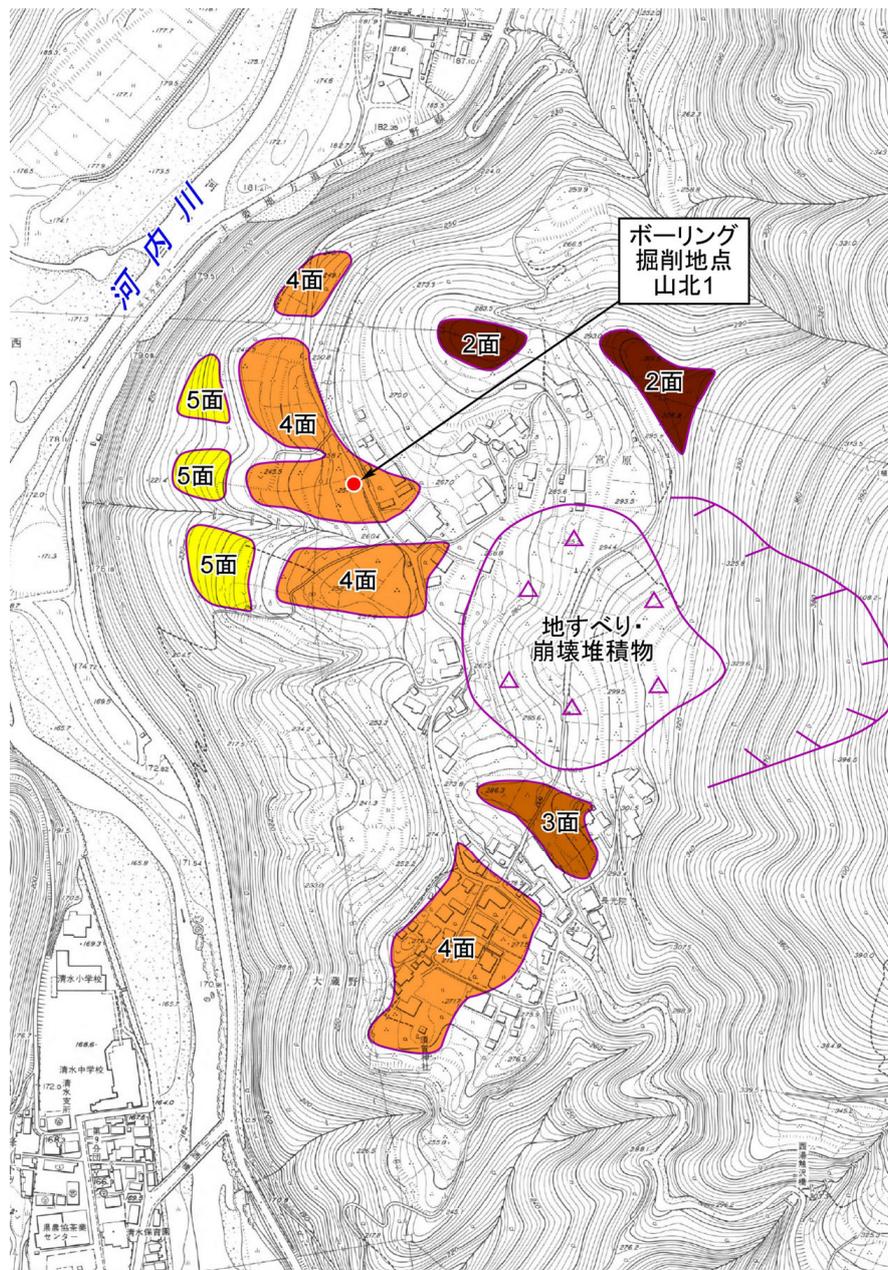


図 19 ボーリング掘削地点位置詳細図。位置図には山北町都市計画図 13 を使用。

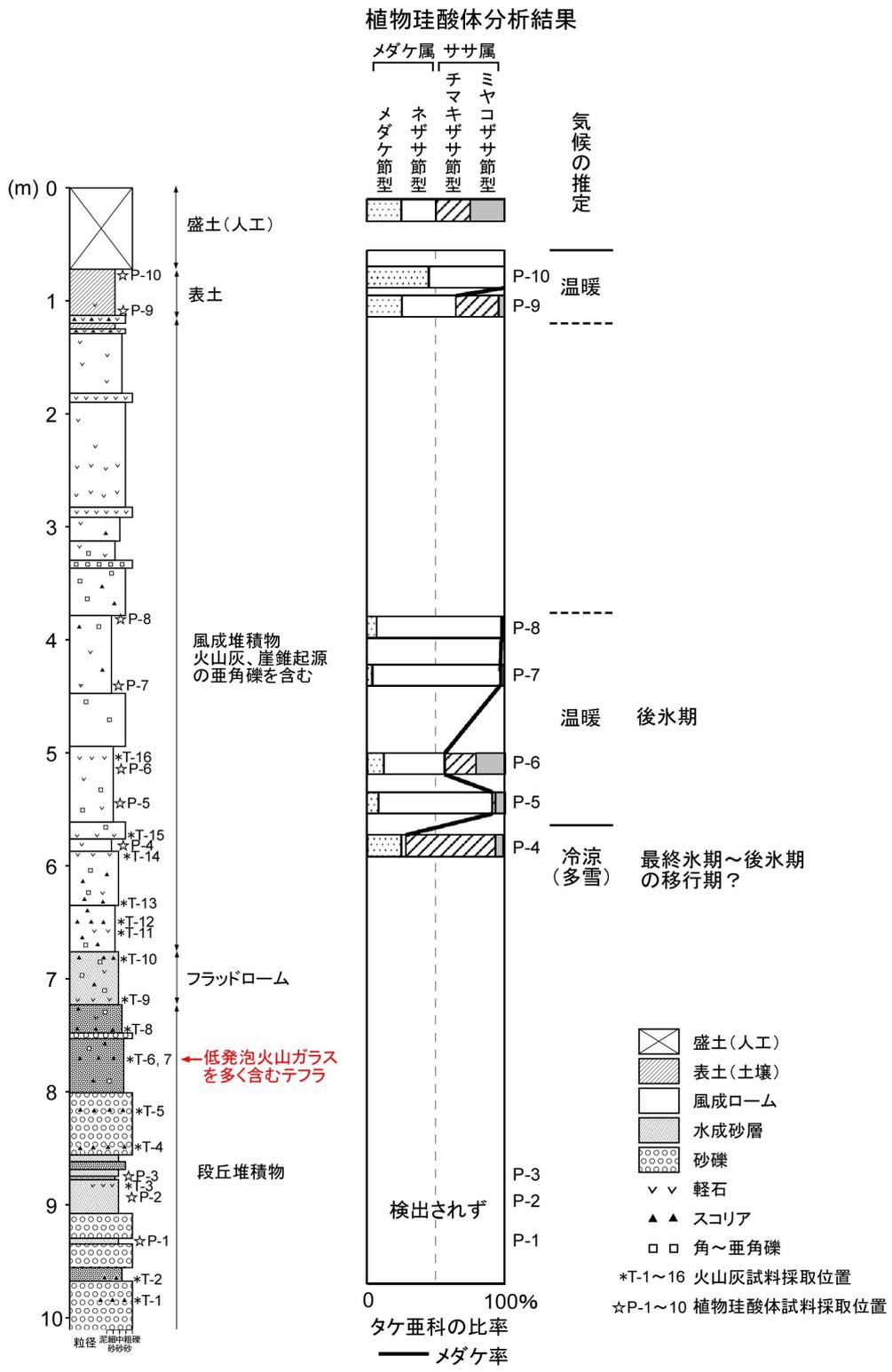


図 20 ボーリングコア柱状図およびテフラ分析結果・植物珪酸体分析結果