

## 神奈川県西部, 国府津一松田断層の活動性調査

### Late Quaternary activity of the Koze-Matsuda fault, Kanagawa Prefecture, central Japan

丸山 正<sup>1</sup>・齋藤 勝<sup>2</sup>

Tadashi Maruyama<sup>1</sup> and Masaru Saito<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 活断層研究センター (Active Fault Research Center, GSJ/AIST, tadashi-maruyama@aist.go.jp)

<sup>2</sup> 株式会社ダイヤコンサルタント (Dia Consultants Company Limited)

**Abstract:** We have conducted the geologic investigation including arrayed boring and trenching across the Koze-Matsuda fault to better assess its location, style and timing of late Quaternary near-surface deformation. The  $\geq 10$ -km-long Koze-Matsuda fault, which comprises southeastern segment of the Kannawa-Koze-Matsuda fault zone, Kanagawa Prefecture, exhibits distinct topographic boundary between the Oiso Hills on the east and the Ashigara Plain on the west. We drilled four boreholes crossing a fault strand that marks southern margin of the dissected fan at Sogahara, Odawara City. Based on stratigraphic repetition and radiocarbon ages, we infer that a reverse fault cuts through three of the four cores and displaces strata younger than 25 ka. If the faults inferred in individual cores comprise a single fault surface, the fault is a low-angle reverse fault that dips  $10^{\circ}$ - $20^{\circ}$  eastward to a depth of at least 15 m.  $^{14}\text{C}$  age of organic sediment found in the faulted strata shows that the most recent faulting postdates 8540-8390 cal yBP. The vertical slip rate of  $\approx 0.4$ - $0.6$  mm/yr was obtained from stratigraphic markers of various ages, including the alluvial fan sediments of ca. 21-25 ka that derive from the Oiso Hills, Hakone-Tokyo tephra (pumice flow deposit) of ca. 60-65 ka, and Hakone Obaradai tephra (pumice flow deposit) of ca. 80-85 ka. These rates are significantly smaller than the vertical slip rate of 2.3-3.3 mm/yr ever determined for the entire fault. Because the fault diverges to the several sub-parallel traces in and around the study area, some parts of accumulated strain in the Quaternary might be accommodated on other fault strands. Trenching on the hanging wall side of the fault reveals low-angle slip surfaces and disturbance of the strata at Sogahara. We interpret that the deformation of the strata was due to the landslide rather than primary tectonic faulting based on geometry of the slip surface and characteristics of the deformation. Multiple landslide events are inferred to have occurred since the thirteenth century AD on the basis of degree of the stratal disturbance and ages of archaeological remains that were found in the disturbed strata. At Koze, Odawara City, we drilled the 80-m- and 25-m-deep boreholes in the basal part of the western slope of the Oiso Hills where the surface trace of the main fault was inferred previously. The moderately consolidated gravel layer, which correlated with the mid-Pleistocene Koze gravel constituting the Oiso Hills, underlies to a depth of 80 m. Although bedding surfaces of the gravel layer are inclined  $60^{\circ}$ , no distinct faults were identified. From this, we interpret that the surface trace of the main fault is located west of the base of the scarp.

**キーワード:** 国府津一松田断層, 活断層, テフラ, 神奈川県

**Keywords:** Koze-Matsuda fault, active fault, tephra, Kanagawa Prefecture

#### 1. はじめに

神縄・国府津一松田断層帯は, 静岡県駿東郡小山町から神奈川県足柄上郡松田町を経て同県小田原市国府津にいたる長さ約 25 km もしくはそれ以上の逆断層帯である (地震調査研究推進本部地震調査委員会 [以下推本と略す], 2005) (第 1 図). 本断層帯を構成する断層は北西から, 塩沢断層, 神縄断層, 日向断層, 松田北断層, 松田山麓断層, 国府津一松田断層からなる (例えば, 活断層研究会, 1980 ;

1991 ; 徐, 1995 ; 神奈川県, 2002, 2003, 2004 ; 推本, 2005 など). 同断層帯の走向は, 松田町付近を境にして, 北部の西北西一東南東走向から南部の北北西一南南東走向に屈曲する (第 1 図). 推本 (2005) では, 断層の位置関係, 平面形状から断層帯全てを一つの起震断層として評価している.

本断層帯はフィリピン海プレートが沈み込む相模トラフの陸上延長部に位置し, 同プレートと陸側プレートとの境界をなす断層帯の一部と見なされている (例えば, 山崎, 1984 ; Yamazaki, 1992).

本断層帯の将来の活動については、これまでに実施された古地震調査結果から、今後30年間でM7.5程度の地震が「ほぼ0.2%~16%」の確率で発生するとされている(推本, 2005)。この値は、主として神奈川県(2003, 2004)による国府津-松田断層のトレンチ掘削調査で明らかにされた活動間隔(約800年~1300年)および最新活動時期(12世紀以後14世紀前半以前)に基づいている。しかしながら、神奈川県(2003, 2004)により実施されたトレンチ地点(曾我原地区)は、国府津-松田断層の地表トレースが複数に分岐する区間で、そのうちの1断層を対象としたものであることから、断層全体における位置づけを明確にする必要がある。また、神縄-国府津-松田断層帯を構成する断層のうち、最も高い活動度を有する国府津-松田断層の詳細な断層位置や断層形状は、一部を除いて十分検討されているとは言い難い。特に同断層南部区間における断層位置・形状に関する情報は、相模トラフ沿いのプレート境界断層との関係を議論する上で重要である。

このような点を踏まえ、平成19年度の調査では、国府津-松田断層を調査対象として、特に1)神奈川県(2003, 2004)により調査が実施された断層の形状および変位速度の解明、2)同断層南部区間における断層の位置・形状の解明、を主な目的とした。調査は、小田原市曾我原地区(ボーリング調査、トレンチ掘削調査)と同市国府津岡地区(ボーリング調査)の2地点で実施した(第1, 2図)。なお、本調査は、平成19年度文部科学省委託による基盤的調査観測対象断層帯の追加・補完調査の一環として実施したものである。

## 2. 調査結果

### 2.1 曾我原地区におけるボーリング調査

#### 2.1.1 調査地点周辺の概要

調査地点である曾我原周辺では、国府津-松田断層は並走する複数の断層から構成されている(第2, 3図)。

曾我原付近では、大磯丘陵と足柄平野との間に、丘陵を開析する剣沢川などの南流する河谷によって形成された開析扇状地面(菊原(1975)の曾我原面、太田ほか(1982)の立川期相当面(開析扇状地))が分布しており、地形学的特徴からその南縁に北東側上がり逆断層が認定されている(例えば、太田ほか, 1982; 活断層研究会, 1991; 宮内ほか, 1996; 神奈川県, 2002, 2003, 2004)(第2, 3図)。この断層については、神奈川県(2003, 2004)によりトレンチ掘削調査が実施され、完新統を変位させる逆断層が確認されるとともに、複数回の古地震イベントが認定されている。

一方、大磯丘陵南西斜面基部にも活断層が認定されている(例えば、太田ほか, 1982; 宮内ほか,

1996; 水野ほか, 1996; 神奈川県, 2002, 2003, 2004)(第2, 3図)。水野ほか(1996)、山崎・水野(1999)は、この活断層を横切るトレンチ掘削調査を行い、約6~6.5万年前の箱根東京テフラ(Hk-TP: 降下軽石、Hk-T (pfl): 火砕流堆積物; 町田・新井, 2003)が直立している状況を報告している。神奈川県(2004)によるピット調査およびボーリング調査によると、この断層は完新世にも活動している可能性が高く、その活動間隔は1.6万年以上と推定されている。なお、この断層の北東に位置する丘陵内において谷の屈曲から東西走向の右横ずれ成分を伴う活断層が推定されている(太田ほか, 1982; 宮内ほか, 1996; 神奈川県, 2002, 2004)(第2図)。

さらに曾我原西方に分布する千代台地と呼ばれる平坦面の西縁に沿って崖地形が連続している(第2図)。この崖の成因については、断層活動により形成された断層崖という見解(例えば、Kaneko, 1971; 活断層研究会, 1980, 1991; 太田ほか, 1982; 宮内ほか, 1996; 上本・上杉, 1998; 神奈川県, 2002, 2003, 2004)と断層は存在しないという見解(水野ほか, 1996; 山崎・水野, 1999)がある。

今回の調査では、これらのうち神奈川県(2003, 2004)によりトレンチ掘削調査が実施された、開析扇状地南縁付近に分布する断層崖(撓曲崖)を対象として、1)最近の活動履歴の解明、2)浅部断層形状の推定、および3)平均変位速度の解明を目的として、群列ボーリング調査およびトレンチ調査を実施した(第3~5図)。

調査を実施した曾我原周辺では、これまで深度20m~100mのボーリング調査が行われており、足柄平野下に箱根東京テフラ(Hk-TP, Hk-T (pfl))などの広域テフラが広く分布することが報告されている(山崎ほか, 1982; 水野ほか, 1996; 神奈川県, 2003)(第3図)。そこで、本調査では、断層近傍で深度80mに達するボーリングを実施し、箱根東京テフラおよびその下位の箱根小原台テフラ(Hk-OP: 約8~8.5万年前、町田・新井, 2003)の分布深度を明らかにするとともに、既存資料を用いて断層を横切る地質断面図を作成して本地域に分布する国府津-松田断層の過去数万年以前以降の活動性を検討することにした。

#### 2.1.2 ボーリングコアにみられる地質

変動地形学的に認定される南西向き断層崖(撓曲崖)の基部付近で、地層および断層の分布を把握することを目的として、北東からSG-1(深度80m)、SG-2(深度25m)、SG-3(深度80m)、SG-4(深度25m)の4地点でボーリング孔を掘削し、ボーリングコアを採取した(第3~5図、付図1~4)。その結果、各コアとも砂礫層を主体とする堆積層および軽石・スコリアを含む火山灰層が確認された。各コアにみられる地層を層相に基づき、上位から1層から7層

に区分した．さらに，各層について色調，年代値，傾斜程度の違いなどにより細分した．細分した地層は上位から a, b, ... の順にアルファベットを付した(第1表，第5図)．なお，この地層区分は後述する既存ボーリングおよびトレンチ壁面の地層区分と対応している．

### 2.1.3 $^{14}\text{C}$ 年代測定

各コアとも深度 30 m 以浅では，砂・シルト互層を主体とし，炭質物(木片，炭，種子)や腐植物が多く含まれている．層相から区分される各地層の堆積年代を把握するために，主として木片試料の  $^{14}\text{C}$  年代測定を実施した(第2表)．測定に際しては，各コアで地層に大きな違いがないことから，最も頻りに木片や腐植物を挟む SG-1 を中心に試料を採取した．なお，本調査では  $^{14}\text{C}$  年代測定は株式会社加速器分析研究所に依頼した．

3 層中に含まれる木片の  $^{14}\text{C}$  年代値は  $2,420\pm 30\sim 7,660\pm 40$  yBP ( $\delta^{13}\text{C}$  を補正した値； $2,700\sim 2,350\sim 8,540\sim 8,390$  cal yBP：暦年較正年代)を示すことから，完新世の地層である．

4 層中から採取された木片，炭，腐植質シルトの  $^{14}\text{C}$  年代値は  $19,810\pm 100\sim 29,420\pm 160$  yBP ( $21,630\sim 21,220\sim 29,750\sim 29,100$  cal yBP)を示す(第2表，第5，6図)．これらの  $^{14}\text{C}$  年代値と層相から，本層は最終氷期後期の扇状地堆積物であると判断される．

SG-1～SG-2 で採取した 4 層の  $^{14}\text{C}$  年代値と試料採取標高との関係に注目すると，いずれのコアでも概ね標高が高い試料ほど若い年代値を示すが，ある標高でこの傾向に有意な不連続が認められる(第6図)．このような 4 層中の  $^{14}\text{C}$  年代値と試料採取標高との関係は，後述するように断層による地層の繰り返しによるものと考えられる．

### 2.1.4 火山灰の対比

SG-1 および SG-3 では，深度約 34 m 以深から肉眼で観察できるテフラが複数枚認められる(第5図)．これらのテフラは，いずれも粒径数 cm 程度以下(一部粒径 10 数 cm)の軽石層で，層厚は数 10 cm～10 m 程度である．また，これらの軽石層は，粒径・色調等の層相や層厚，堆積様式，層位から SG-1 と SG-3 のボーリングコア間で容易に対比される．そこで，本調査ではテフラの同定を目的として SG-1 のボーリングコアから軽石を採取し，火山灰分析を実施した．火山灰分析では，鉱物組成に加えて火山ガラスと斜方輝石の屈折率を測定した(第7図)．なお，本調査では火山灰分析は株式会社古澤地質に依頼した．

また，今回実施した群列ボーリング調査測線の北東延長に水野ほか(1996)によるボーリング孔(B-6)があり(第3図)，そのコアの一部が独立行政法人産業技術総合研究所に保管されている．B-6 は今回実

施したボーリングに対して断層を挟んだ上盤側に位置することから，地層の対比に基づく断層変位量の推定のためにテフラ試料を採取し，火山灰分析を実施した(第7図)．B-6 コアの一部では水野ほか(1996)により火山灰分析が行われている．

SG-1 および SG-3 には，それぞれ下位に降下軽石堆積物を伴う厚さ 7～10 m の軽石流(火砕流)堆積物が 2 枚確認される(5d 層，7a 層；第5図，付図 1，3)．このうち上位の軽石流堆積物は上面高度が標高  $-20.88\sim -20.44$  m，下面高度が標高  $-31.61\sim -30.25$  m であり，層厚 1.9～2.2 m の降下軽石堆積物を伴っている．SG-1 では軽石流堆積物の最下部に明瞭なサージ堆積物を伴う．一方，下位の軽石流堆積物は上面高度が標高  $-44.86\sim -42.55$  m，下面高度が  $-51.65\sim -50.24$  m であり，層厚 2.5 m の降下軽石堆積物を伴う．これらの軽石層は鉱物組成の特徴および火山ガラス，斜方輝石の屈折率から，それぞれ箱根東京テフラ(Hk-T (pfl)：軽石流堆積物，Hk-TP：降下軽石；町田・新井，2003)，箱根小原台テフラ(Hk-OP：軽石流堆積物(pfa)および降下軽石(pfl)；町田・新井，2003)に対比される．

さらに，SG-1 の標高  $-9.25\sim -9.41$  m と SG-3 の標高  $-8.05\sim -8.15$  m に，SG-1 の標高  $-35.28\sim -35.81$  m と SG-3 の標高  $-33.44\sim -34.14$  m に，SG-1 の標高  $-36.80\sim -37.14$  m と SG-3 の標高  $-34.92\sim -35.21$  m に，それぞれ岩相の類似した降下軽石堆積物が認められる．これらは層位，層相および火山灰分析結果から，それぞれ箱根三色旗テフラ(Hk-S；町田・新井，2003)，箱根三浦テフラ(Hk-MP；町田・新井，2003)，箱根安針テフラ(Hk-AP；町田・新井，2003)に対比される．

一方，B-6 では標高  $-5.45\sim -8.80$  m 付近に降下軽石堆積物を伴う軽石流堆積物が，標高 12.94～12.36 m と標高 10.77～10.65 m にそれぞれ降下軽石堆積物(一部スコリアを含む)が認められる．層相，層位関係および火山灰分析結果からこれらのテフラはそれぞれ，Hk-OP，Hk-MP，Hk-AP に対比される．水野ほか(1996)によると，Hk-TP 相当とされる細粒白黄軽石が深度 37.49～37.85 m (標高 16.06～15.70 m)で確認されているが，それを覆う軽石流堆積物(Hk-T (pfl))は確認されない．

### 2.1.5 撓曲崖基部(SG-1～SG-4 間)の地下地質構造

SG-1～SG-4 の各コアにみられる地層を層相， $^{14}\text{C}$  年代，テフラに基づいて相互に対比し，地質断面図を作成した(第5図)．断面の測線は，調査地区周辺の断層の走向とほぼ直交する  $\text{N}45^\circ\text{E}$  に設定した．

曾我原地区の地下地質は，主として完新世の斜面堆積物(3層)，最終氷期後期の扇状地堆積物(4層)，箱根東京テフラや箱根小原台テフラなどのテフラを挟む更新世後期の扇状地堆積物・風成堆積物(5層，7層)からなる．



SG-1～SG-3間の地層の対比に基づくと、5層および7層は北東に数度傾斜している(第5図)。このうち、Hk-T (pfl) および Hk-OP (pfl) は西方の箱根火山から流下した軽石流堆積物であることから、本来北東に傾斜して堆積した可能性はあるものの、両層の間に分布する扇状地堆積物(5層および7層)は、南西に流下する剣沢川等の谷によって形成されたと考えられることから、北東傾斜は扇状地形成時の傾斜に対して逆傾斜となっている可能性がある。

断面図の上部では、SG-1～SG-3の各コアにおいて地層の繰り返しと<sup>14</sup>C年代値の逆転から、4層～3層に変位を与える断層が推定される。すなわち、SG-1では、標高14.40 m(深度13.61 m)の地層境界を境に4f～4d層が繰り返していること(第5図、付図1)、これに対応するように標高14.80 m(深度13.21 m)と標高13.34 m(深度14.67 m)との間で上位に向かってほぼ一様に若くなる<sup>14</sup>C年代値の傾向に明瞭な不連続(<sup>14</sup>C年代値の逆転)が生じていること(第6図)から、標高14.40 m(深度13.61 m)付近に断層の存在が推定される。SG-2では、標高19.14 m(深度7.72 m)付近を境に下位のスコリア質シルト層から上位の腐植質シルト層に急変する(第5図、付図2)。また、標高19.50 m(深度7.36 m)から得られた試料の年代値が21,200±90 yBPであるのに対し、標高14.90 m(深度11.96 m)では19,880±100 yBPと若く、<sup>14</sup>C年代値に逆転が生じている(第6図)。この年代値の逆転が断層変位によるとすると、地層の繰り返しから標高19.14 m(深度7.72 m)付近に断層の存在が推定される。SG-3では標高21.02 m(深度5.23 m)付近で下位の4c層が上位の3f層に衝上している(第5図、付図3)。変位を受けた3f層からは、7,660±40 yBP(8,540-8,390 cal yBP)の<sup>14</sup>C年代値が得られた。一方、SG-4では、断層を示唆する地層の繰り返しや剪断変形は確認されない。

SG-1～SG-3の3つのコアで推定・確認された断層が一連のものとする、本地区の深度約15 mまでの地下には、北東に傾斜する低角逆断層が存在することになる。隣り合うコアでの断層位置(深度)に基づくと、SG-1～SG-2間での断層面の傾斜は約22°であるのに対して、SG-3～SG-2間では約10°と浅部に向かって断層面の傾斜が緩くなる傾向が認められる。SG-1～SG-3で認定・推定された断層面を地表に延ばすと、その位置はSG-4付近あるいはそのやや南西となる(第4、5図)。

SG-1では、断層によって繰り返し出現する4f層および4e層の上面の高度差はそれぞれ約10.9 m、約10.6 mである。一方、SG-2での4e層および4d層の上面の高度差はそれぞれ約7.4 m、約8.1 mである。両コアで断層変位が認められる4e層の高度差を比較した場合、SG-2の方が小さい。断層上盤側の4d層は、SG-1～SG-3間で掘削したトレンチ壁面内で西に傾斜している(後述)ことから、この高度差の違いは、

断層近傍の撓曲(引きずり)の影響を示している可能性がある。変動地形学的特徴から、SG-1の東側でも4e、f層が西傾斜している可能性を考慮すると、SG-1で確認される4f層および4e層の高度差約11 mはこの断層の上下方向の変位量の最小値を示すとみられる。4f層および4e層から得られた<sup>14</sup>C年代値が約23,000～21,000 yBP(暦年較正すると約2.1～2.5万年前)を示すこと(第2表)から、上下方向の平均変位速度は0.4 m/千年以上と見積もられる。

### 2.1.6 撓曲崖全体(B-5～B-6間)の地下地質構造

第5図に示した曾我原地区における地質断面測線の南西延長部(B-5:深度50 m)および北東延長部(B-6:深度70 m)でそれぞれ1点ずつボーリング調査が行われている(水野ほか、1996)(第3図)。

B-5では、4層に相当する礫層・砂層互層(始良Tnテフラ(AT)、2.6～2.9万年前:町田・新井、2003、を挟在)、5b層に相当するスコリア質シルトおよび5d層(Hk-T(pfl))が分布している(水野ほか、1996)(第8図)。

一方、B-6では4層に相当する地層は確認されないが、5b層(Hk-Sを含む)、5d層(Hk-TP)、5e層(Hk-MPおよびHk-APを挟む)および7a層(Hk-OP(pfl, pfa))が分布している(水野ほか、1996)(第8図)。なお、本孔にはHk-T(pfl)は分布していない。B-6には5b層の上位に立川ローム(～武蔵野ローム)相当とみられる風成堆積物が認められる。ここでは、本調査で実施したボーリングコアにみられる地層との層位関係から、便宜的にこの風成堆積物を5a層とした。

第8図に曾我原地区を横切る測線沿いのB-5～B-6の地質断面図を示す。測線の方向は、第5図と同様N45°Eに設定した。

SG-3、SG-1およびB-6の各コアで5枚の鍵テフラ層(Hk-S、Hk-TP、Hk-MP、Hk-AP、Hk-OP)が対比されることから、鍵テフラ層間の層厚の変化を見積もることができる。それによると、5d層、7a層についてはSG-1およびSG-3の方がB-6より厚いのに対し、5b層、5e層はB-6の方が厚い(第8図)。すなわち、7a層中のHk-OP(pfl)は、断層下盤側のSG-1およびSG-3で層厚が6.8～7.7 mであるのに対し、B-6コアでは約0.7 mと極端に薄くなる。一方、5b層や5e層は、礫層を挟み、南西に向かって層厚が薄くなることから、南西方に開いた扇状地の堆積物を含むと考えられる。また、7b層は層相が5b層や5e層に類似しており、扇状地堆積物を含むものと判断される。このため、7a層中のHk-OP(pfl)は南西に緩く傾斜する扇状地面を北東に向かって遡上し、層厚を減じた可能性が高い。このためHk-OP(pfl)は扇状地面の起伏を平坦化したものと考えられる。SG-1～B-6間のHk-OP(pfl)上面の高度差は約39.4 mとなる。Hk-OPの年代(約8～8.5万年前)か

から見積もられる上下方向の平均変位速度は0.5 m / 千年である。

一方，5d層を構成するHk-T (pfl) は，断層下盤側のSG-1およびSG-3では分布が認められるが，B-6では確認されず，層位的下位のHk-TPのみがみられる（水野ほか，1996）。これは，Hk-T (pfl) が南西向きの扇状地面あるいは断層崖を埋積しきれず，B-6まで到達しなかったことによる可能性がある。B-6コア掘削地点が断層崖から北東に約200 m離れた平坦面上に位置することから，断層運動による変形の影響を受けていないとすると，SG-1とB-6との間でのHk-T (pfl) の高度差は，SG-1のHk-T (pfl) とB-6のHk-TP上面の高度差を上回ることはない。したがって，SG-1のHk-T (pfl) とB-6のHk-TP上面の高度差は，上下方向の変位量の最大値を示す。その高度差は約36.5 mとなり，Hk-T (pfl) およびHk-TPの年代（約6～6.5万年前）から見積もられる上下方向の平均変位速度の最大値は0.6 m / 千年である。

### 2.1.7 千代台地を含む範囲（B-3～B-6間）の地下地質構造

曾我原南西方に分布する千代台地周辺では，これまでに数地点でボーリング調査が実施されている（G2千代，山崎ほか（1982）；B-3，水野ほか（1996）；Td-1～Td-3，神奈川県（2002））（第3，9図）。これらの地質資料および上述したB-5～B-6間の地質状況に基づき，B-3～B-6間の地質断面図を作成した（第9図）。

G2千代では，Hk-T (pfl) の下位に風成堆積物が報告されている。今回実施した曾我原地区でのボーリングでは，この地層に明確に対比される地層が確認されない。ここでは，この風成堆積物を5f層とした。また，5f層の下位に海成の段丘砂礫層が認められ，酸素同位体ステージ（MIS）5aの三崎面の構成層とされている（山崎ほか，1982）。ここでは，曾我原地区でのボーリングでみられる地層の層位関係から，この礫層を6層とした。6層は千代台地西方のB-3でもG2千代とほぼ同高度に出現することが確認されている（山崎・水野，1999）（第9図）。一方，東方のSG-3，SG-1およびB-6では6層は認められない。

SG-3では，G2千代およびB-3の6層上面とほぼ同じ高度で7a層（Hk-OP）の下位のスコリア質シルト（7b層）が分布する。7b層中からは年代指標となるテフラは確認されなかったものの，7a層の堆積時期（8～8.5万年前）がMIS 5aにあたる（町田・新井，2003）とされることから，7b層の堆積時期は6層より古い可能性が高い。この場合，SG-3とG2千代の間には6層堆積前に段丘崖あるいは東側上りの断層運動により形成されたと推定される西向きの崖地形が存在した可能性がある。

## 2.2 曾我原地区におけるトレンチ掘削調査

トレンチは，前述したSG-1～SG-3間で実施した（第4，5図）。ボーリング調査の結果，地表付近の断層出現位置はトレンチ掘削地点よりも10 m以上南西（平野側）に位置すること（第4図）が予想されたが，用地の確保が困難なことから，今回の調査では断層上盤側の変形構造を確認することを目的とした（第10，11図）。

### 2.2.1 トレンチ壁面にみられる地質とその年代

曾我原トレンチにみられる地層は，北側壁面，南側壁面とも，上位から耕作土・人工攪乱層，黒色（一部黄色）スコリア層，砂礫混じり腐植質シルトおよびシルト混じり砂礫層からなる。それらを層相に基づき，上位から1～4層に区分した。さらに，各層について色調，年代値，変形程度の違いなどにより細分した。細分した地層は上位からa，b，…の順にアルファベットを付した（第11図）。

1層は，耕作土・人工攪乱層で，後述する2層（西暦1707年の富士宝永テフラ）を覆う，あるいは切って分布することから，西暦1707年より新しい。

2層は，黒色～黄色スコリア層で，層位・岩相から西暦1707年の富士山宝永噴火で噴出した富士宝永テフラ（F-Ho；町田・新井，2003）に対比される。北壁面のグリッドN2～N4間では下位が黄色で上位が黒色の整然と堆積した風成スコリア層の層相（2b層）を示すが，それ以外では耕作等により乱されている（2a層）。

3層は，淘汰の悪い礫混じりの腐植質シルトからなり，縄文の石鏃，弥生後期～古墳前期の土師器，13世紀～中世の陶器など様々な時代の遺物片を雑多に含む。このような層相および遺物の出土状況から，本層はトレンチ地点北側の扇状地面からもたらされた斜面堆積物あるいは地すべり堆積物と判断される。本層からは，遺物片に加えて，木片，果実種，腐植物などの<sup>14</sup>C年代試料が多数得られた。<sup>14</sup>C年代測定結果と出土遺物の鑑定結果をそれぞれ第2表および第3表に示す。なお，出土遺物の鑑定は，小田原市教育委員会生涯学習部文化財課の山口剛志氏および渡辺千尋氏に依頼した。

3e層からは弥生後期～古墳前期初頭や6世紀頃とみられる土師器が出土しているが，1,200±30 yBP（1,240-1,010 cal yBP）の<sup>14</sup>C年代値を示す種子が含まれている。このことから，本層の堆積時期は，約1200年前より新しい。3c層中からは1,460±30～1,560±30 yBP（1,530-1,380～1,400-1,300 cal yBP）の<sup>14</sup>C年代値が得られているが，同層中からは，縄文時代の石鏃から中世（13～15世紀）の陶器まで幅広い年代に含まれる多数の遺物が出土している。したがって，本層の堆積時期は13世紀以降の可能性が高い。3b層からは，5世紀後半～7世紀の<sup>14</sup>C年代値や遺物が認められるが，3c層の上位であることから，本層

の堆積時期は13世紀以降である可能性が高い。3a層中からは、 $1,290\pm 30\sim 1,380\pm 30$  yBP ( $1,350\sim 1,260\sim 1,290\sim 1,170$  cal yBP) の $^{14}\text{C}$ 年代値が得られているが、3b層同様本層より下位の3cから出土する遺物に基づくと、本層の堆積時期は13世紀以降である可能性が高い。このように3層の各層は、 $^{14}\text{C}$ 年代と遺物年代に大きな隔たりがあること、上下の地層で $^{14}\text{C}$ 年代値に逆転がみられることで特徴付けられる。こうした特徴は、後述するように、本層が地すべり堆積物からなり、地すべり移動時に下位層や地表付近の遺物を巻き込みながら現位置に定着したためと考えられる。

4層は、緑灰色のシルト、砂層、礫層からなる扇状地堆積物である。トレンチ底部に分布する砂礫層は、色調・層位から、ボーリングSG-1～SG-4にみられる4c、d層に対比される(第5図)。トレンチ壁面内の本層からは年代試料は得られなかった。

### 2.2.2 地質構造

トレンチ下部に分布する4層は層相変化が著しいものの、本層中の層理面および葉理面は、南～南西に傾斜している。南壁面で計測された地層の走向・傾斜は、 $N57^{\circ}W18^{\circ}S$ 、 $N85^{\circ}W32^{\circ}S$ である。

4層上部には円弧状の低角すべり面が多数確認でき、3層とともに斜面下方に向かって移動している(第11図)。いずれのすべり面も4a層あるいは4b層中に発達している。南側壁面のグリッドS8～S12の4b層の上面は火炎様の形状を示し、火炎が斜面下方(西方)に倒れ込むように傾斜している。

南側壁面グリッドS1～S2間の4b～4a層中には、南西に傾斜し北東側が低下する短いみかけ上の逆断層が認められる。その傾斜隔離は5 cm程度である。

### 2.2.3 トレンチ壁面の解釈

曾我原トレンチの壁面には、上位から耕作土・人工攪乱層(1層)、風成火山灰層(2層、二次堆積物を含む)、斜面堆積物・地すべり堆積物(3層)、扇状地堆積物(4層)が確認された。

このうち3層および4層上部は、断面形状が円弧状の断層を境に下位層と接している。この円弧状の断層は、西方(斜面下方)、東方(斜面上方)とも地表に向いており、その形状から地すべりのすべり面であると判断される(第10、11図)。3層からは $1,200\pm 30\sim 1,660\pm 30$  yBP ( $1,700\sim 1,420\sim 1,240\sim 1,010$  cal yBP) の $^{14}\text{C}$ 年代値が得られているが、同層中から縄文～中世(13～15世紀)の遺物が出土することから、地すべり移動時に下位層や地表付近の遺物を巻き込みながら現位置に定着したものと考えられる。すべり面上位の4d層中からも弥生後期～古墳前期初頭?の時代を示す土師器が出土するが、この遺物も周囲の4d層が乱れていることから判断すると、移動時に上位の3層から取り込まれた可能性が高い。

北壁面グリッドN4～N7間では、4d層が3b層に衝上し、それを2a層が覆っていることから、3b層堆積後で2a層形成前に地すべりイベントが発生したと解釈される。南壁面でこれに対応する変形は、グリッドS4～S7間で認められる。

また、南壁面グリッドS6～S8間では、4a層が3c層に衝上しているが、その上方延長部の3b層基底面はほぼ水平で変形は認められない。このことから3c層堆積後で3b層堆積前に地すべりイベントが発生した可能性が高い。北壁面でこれに対応する変形は、グリッドN6～N8間で認められる。

これらの地すべりイベント発生時期については、上述のように、3層中の $^{14}\text{C}$ 年代と同層から出土する遺物の時代との間に大きな隔たりがあること、 $^{14}\text{C}$ 年代値に逆転がみられることなどの問題があるが、3c層中から13～15世紀とされる陶器片が出土することを重視すると、少なくとも13世紀頃以降に2回以上の地すべりイベントが発生した可能性が高い。2a層は富士宝永テフラ(2b層)の二次堆積物であることから、その堆積年代は西暦1707年以降としか限定できない。そのため、地すべりイベント時期の上限を与えることはできない。

## 2.3 国府津地区におけるボーリング調査

### 2.3.1 調査地点周辺の概要

東海道新幹線弁天山トンネルから国府津海岸に至る国府津～松田断層南部区間における地表の断層トレースは、これまで大磯丘陵西側斜面基部付近(丘陵斜面と沖積低地との境界あるいは丘陵を開析する谷が形成した沖積扇状地面上)に沿って認定・図示されている(例えば、宮内ほか、1996; 神奈川県、2002, 2004)(第12図)。この活断層トレース沿いの国府津岡地区で実施されたトレンチ掘削調査の結果、完新世後期に複数回の地すべりイベントが発生したことが報告されている(水野ほか、1996; 山崎・水野、1999)が、断層は確認されていない。

本調査では、活断層トレースが認定されている斜面基部の地下地質構造を明らかにすることを目的として、国府津地区(国府津字岡)において斜面基部を挟んで東側の斜面上で1孔(KZ-1: 深度25 m)、西側の沖積扇状地面上で1孔(KZ-2: 深度80 m)の計2孔のボーリング調査を実施した(第12、13図)。また、その結果に基づいて斜面基部を横切る地質断面図を作成した。(第14図)。

### 2.3.2 ボーリングコアにみられる地質

KZ-1およびKZ-2の各コアとも、厚さ30 cm前後の表土・盛土の下位に礫混じり(一部腐植質)シルトおよび砂礫層が確認された。これらを層相からI層(礫混じり腐植質シルト)、II層(礫混じりシルト)およびIII層(砂礫層)に区分した(第14図、付図5、6)。



I層は，KZ-2にのみ観察される厚さ3m弱の灰褐色礫混じり腐植質シルト層である．その層相および分布から，調査地点から西方に分布する沖積扇状地面を構成する地層と推定される．KZ-2の本層下部(深度2.55m)から採取した腐植質シルトから $2,360 \pm 30$  yBP ( $2,480-2,330$  cal yBP)の $^{14}\text{C}$ 年代値が得られた(第2表)．この $^{14}\text{C}$ 年代値に基づくと，本沖積扇状地面の形成時期は約2500年前よりも新しい．

II層は，KZ-1およびKZ-2の各コアに分布する黄褐色礫混じりシルト層である．層厚はKZ-1で約1.7m，KZ-2で約3mと西に向かってやや厚くなる．その層相から，本層は大磯丘陵からもたらされた斜面堆積物と判断される．KZ-2の本層中部(深度4.55m)から採取した腐植質シルトの $^{14}\text{C}$ 年代値は $4,850 \pm 30$  yBP ( $5,660-5,480$  cal yBP)を示す(第2表)． $^{14}\text{C}$ 年代値に基づくと，本層形成時期は約5700年前よりも新しい．

III層は，KZ-1およびKZ-2の各コアの孔底まで分布する黄褐色～青灰色砂質礫，礫質砂の互層である．地層は $60^\circ$ 程度傾斜している．本層を構成する礫種は，調査地域北方の丹沢山地周辺に広く分布する丹沢層群由来とみられる緑色を呈する安山岩，石英閃緑岩，緑色凝灰岩を主体として，砂岩，珪質頁岩，礫岩などを含む．礫の円磨度は，亜円～亜角礫が多く，円礫を含む．礫径は1～10cmであり，2～5cmのものが多い．基質は，粗粒砂～細礫である区間が多く，一部に褐色を呈すシルト質細粒砂を含む．本層からは，火山灰や化石等は見出されないため堆積年代が不明であるが，層相と地層の分布状況から，大磯丘陵南西部に分布する二宮累層国府津礫層(小沢・大木，1972; 太田ほか，1982; 矢野，1986)の国府津礫岩部層; 山崎ほか，1991)の曾我山層)に相当すると考えられる．山崎ほか(1991)およびYamazaki(1992)は，国府津礫層およびその上位の地層に挟まれるテフラの編年から，国府津礫層の堆積年代を約50～30万年前と推定している．

### 2.3.3 推定される地下地質構造

国府津地区で掘削したボーリングコアの観察結果をもとに地質断面図を作成した(第14図)．それによると，国府津地区では上位から，完新世の扇状地堆積物(I層)および斜面堆積物(II層)と中期更新世の国府津礫層とみられる砂礫層(III層)が確認される．

KZ-1とKZ-2の各コアとも，III層中で $60^\circ$ 前後地層が傾斜している状況が観察されるものの，断層を示唆する地層の繰り返しや明瞭な剪断変形は認められない．また，III層の分布上面は，KZ-1とKZ-2との間でみかけ西に約 $25^\circ$ 傾斜している．この傾斜は，KZ-1背後の丘陵西側斜面の傾斜( $\sim 30^\circ$ )にはほぼ等しい．したがって，調査地点付近において断層崖とされる斜面は，ある程度西方までI～II層下に埋没し

ている可能性が高いと考えられる．これらのことから，本地区における国府津－松田断層の主断層は，従来認定されていた斜面基部付近よりさらに西方に位置していると判断される．

## 3. 調査結果の意義と今後の課題

### 3.1 曾我原地区

今回の曾我原地区での調査では，並走する複数の断層のうち，開析扇状地末端付近に分布する断層を対象としてボーリング調査およびトレンチ掘削調査を実施した．その結果，この断層の変位様式，活動時期，平均変位速度に関する資料が得られた．

ボーリング調査の結果，同断層は地下15mまでは，北東に $10\sim 20^\circ$ 前後傾斜する北東側上がりの低角逆断層であることが明らかになった．この逆断層面の地表投影位置は，従来活断層として認定・図示されている南西向きに撓曲崖基部(神奈川県，2002，2004)よりも南西(平野側)に位置する．崖地形と断層位置が一致しない理由としては，扇状地面を開析する剣沢川やその西隣の殿沢川(第3図)による浸食の結果，断層崖が後退した可能性が考えられる．

ボーリングSG-3では，断層により変位を受けた腐植質シルト層から $7,660 \pm 40$  yBP ( $8,540-8,390$  cal yBP)の $^{14}\text{C}$ 年代値が得られたことから，断層活動時期は約8500年前以降であると考えられる(第5図)．ただし，活動履歴の詳細は解明できなかった．断層上盤側で実施したトレンチ調査の結果，13世紀頃以降複数回の地すべりイベントが認定された(第10，11図)．トレンチ調査地点が断層と近接していること，また，地すべり発生時期が神奈川県(2003，2004)による曾我原トレンチで認定された同断層の最新活動時期(西暦1100年～1350年の間)の範囲と一部重なることから，地すべりの発生が国府津－松田断層の活動と関連している可能性がある．しかしながら，断層活動以外あるいは周辺の断層活動によっても地すべりが生じること，地すべりイベントの発生回数と時期が十分絞込みできないことから，ここでは両者の関係を議論することは難しいと判断した．なお，国府津－松田断層沿いでこれまで実施されたトレンチ調査でも，地すべり性の変形が多数確認されており，国府津－松田断層の活動との関連が議論されている(山崎・水野，1999)．

断層の両側に分布する扇状地堆積物および箱根火山起源の火砕流堆積物(軽石流堆積物)の高度差から推定される過去約8万年前以降の上下方向の平均変位速度は，約 $0.4\sim 0.6$  m/千年である．この平均上下変位速度は，大磯丘陵南縁の海岸沿いに分布する完新世段丘堆積物を覆う湿地性堆積物中に挟まれるK-Ah降灰層準と断層西側のK-Ahテフラ降灰層準との高度差から見積もられる平均変位速度(約3.3 m/千年程度: 松島，1982，2003)および大磯丘陵に

分布する三崎面相当の段丘面と足柄平野下に分布する三崎面構成層上面の高度差から推定されるより平均変位速度（約 2.3 m / 千年程度：山崎，1984）に比べて有意に小さい。これは、曾我原付近で断層が複数本に分岐・並走しており、今回見積もられた平均変位速度は、そのうちの 1 本の平均変位速度であるためと考えられる（第 2, 3 図）。断層帯の長期評価の精度を高めるためには、今後分岐している他の断層の分布、性状および活動履歴を解明することが必要である。

曾我原地区に分布する扇状地堆積物には、軽石流堆積物である Hk-T (pfl), Hk-OP (pfl) が挟在している。SG-1 および SG-3 で確認された層厚はいずれも 7 m 以上であり、南西に傾斜する扇状地面（の一部）を覆い、一時期地表面を平坦化させたものと考えられる。また、Hk-S, Hk-MP, Hk-AP 等の指標テフラも挟在しており、8.5 万年前以降の地層の対比を行うことが可能である。本調査ではこれらの指標テフラの高度差に基づき、断層の変位速度（上下成分）を検討した（上述）。しかしながら、断層上盤側のボーリングが 1 地点（B-6）のみであるため、断層周辺における各地層の分布形態や断層形状に関する情報が絶対的に不足している。このため、今後 SG-1~B-6 間でボーリング調査を実施して地層の分布を把握することにより、この扇状地末端付近に分布する断層の 8.5 万年前以降の運動像がさらに明確になると考えられる。

SG-3~G2 千代間には、前述したように三崎面構成層と Hk-OP (pfl) の分布高度から、Hk-T (pfl) に埋積される西向きの崖地形の存在が推定される（第 9 図）。この崖が断層崖であるとすれば、8~8.5 万年前の地層（7a 層）を変位させ、6~6.5 万年前の地層（5d 層）で覆われる活動史をもつことになる。並走する断層の発達様式の解明のため、この崖の成因を明らかにすることが必要である。

### 3.2 国府津地区

従来断層崖と認定されていた大磯丘陵西側斜面基部でボーリング調査を実施した結果、深度 80 m のボーリングコア中に連続して分布する中期更新世の国府津礫層に対比される砂礫層（III 層）が 60° 前後傾斜していることが観察されたが、明瞭な剪断面や地層の繰り返しをもつ断層は確認されなかった。以上のことから、本地点における主断層の地表トレースは斜面基部よりも西方に位置していると判断される。

米軍 1947 年撮影縮尺約 10,000 分の 1 空中写真の予察的な判読の結果、丘陵西側斜面基部から約 100~200 m 西方で沖積低地面および沖積扇状地面に不明瞭ながら北北西-南南東方向に延びる比高 2~3 m 程度の西向きの崖地形が認定される。この低崖地形の延びの方向が丘陵西縁とほぼ平行していることと

崖が西向きであることから、この低崖地形は国府津-松田断層の完新世後期における断層運動により形成された断層崖の可能性がある。

また、国府津地区周辺には 3,000~2,000 yBP 前後の  $^{14}\text{C}$  年代を示す泥炭や腐植質シルト層など湿地性堆積物が広く分布していることが報告されている（松島，1982；山崎ほか，1982, 1991；水野ほか，1996）。今後この湿地性堆積物の分布高度を手がかりにして、上記低崖の成因、主断層の位置、落差などを解明することができると考えられる。

## 4 まとめ

神縄・国府津-松田断層帯を構成する国府津-松田断層を対象として、1) 神奈川県（2003, 2004）により確認された断層の形状および変位速度の解明を目的とした群列ボーリング調査およびトレンチ掘削調査（曾我原地区）、2) 同断層南部区間における断層の位置・形状の解明を目的としたボーリング調査（国府津地区）をそれぞれ実施した。

曾我原地区では、調査対象とした開析扇状地末端付近に分布する断層崖（撓曲崖）を横切る測線で群列ボーリング調査を実施した結果、地層の繰り返しと  $^{14}\text{C}$  年代値の逆転から約 2.5 万年前以降の地層を変位させる断層が認定・推定された。3 つのコアで推定・確認された断層が連続するものとする、深度約 15 m 以浅の断層形状は、10°~20° 北東に傾斜する低角逆断層である。断層変位を受けた地層の  $^{14}\text{C}$  年代値から 7,660±40 yBP (8,540-8,390 cal yBP) 以降に活動していることが明らかにされた。約 2.1~2.5 万年前の扇状地堆積物、約 6~6.5 万年前の箱根東京テフラ（軽石流堆積物）および約 8~8.5 万年前の箱根小原台テフラ（軽石流堆積物）を変位基準として見積もられる本断層の上下方向の平均変位速度は、いずれも 0.4~0.6 m / 千年程度であることが判明した。この値はこれまでに報告されている断層全体の平均上下変位速度に比べて有意に小さい。調査地点周辺では断層が複数に分岐していることから、他の断層でもすべりの一部を解消している可能性がある。

曾我原地区で実施したトレンチ掘削調査の結果、低角度のすべり面や地層の乱れが認められた。すべり面の形態および地層の変形の特徴から地すべりによる変形と判断された。変形を受けた地層中から出土した遺物の年代に基づき、13 世紀頃以降複数回の地すべりイベントが認定された。

国府津地区において、従来活断層トレースが認定されていた大磯丘陵西側斜面基部でボーリング調査を実施した結果、深度 80 m まで大磯丘陵を構成する中期更新世の砂礫層が分布していることが確認された。砂礫層は 60° 程度傾斜するものの明瞭な断層は確認されない。このことから、主断層の地表トレースは斜面基部よりも西方に位置すると考えられる。



**謝辞** 本調査に際し，地権者には調査の趣旨をご理解いただき，貴重な土地の利用を許可していただきました。神奈川県安全防災局災害消防課，神奈川県温泉地学研究所，小田原市防災危機管理部防災対策課，同市教育委員会，同市下水道部河川課をはじめとする地元自治体機関には，調査に際しご協力をいただきました。また，都留文科大学上杉陽教授には，曾我原トレンチの地質についてご教示いただきました。産業技術総合研究所地質情報研究部門水野清秀氏には，ボーリング試料を提供していただきました。活断層研究センター金田平太郎博士には，原稿の不備を指摘していただきました。以上の方々にお礼申し上げます。

## 文 献

- Bronk Ramsey, C. (1995) Radiocarbon calibration and analysis of stratigraphy: The OxCal program, *Radiocarbon*, 37, 425-430.
- Bronk Ramsey, C. (2001) Development of the radiocarbon calibration program OxCal, *Radiocarbon*, 43, 355-363.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2005) 「神縄・国府津－松田断層帯の長期評価の一部改訂について」, [http://www.jishin.go.jp/main/chousa/05mar\\_kannawa/index.htm](http://www.jishin.go.jp/main/chousa/05mar_kannawa/index.htm)
- 神奈川県 (2002) 平成 13 年度地震関係基礎調査交付金事業「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.
- 神奈川県 (2003) 平成 14 年度地震関係基礎調査交付金事業「神縄・国府津－松田断層帯に関する調査」成果報告書. 56p.
- 神奈川県 (2004) 平成 15 年度地震関係基礎調査交付金事業「神縄・国府津－松田断層帯に関する調査」成果報告書. 65p.
- Kaneko, S. (1971) Neotectonics of Oiso Hills and contiguous districts in South Kanto, Japan. *地質学雑誌*, 77, 348-358.
- 活断層研究会編 (1980) 「日本の活断層－分布図と資料」. 東京大学出版会, 363p.
- 活断層研究会編 (1991) 「新編日本の活断層－分布図と資料」. 東京大学出版会, 437p.
- 菊原和子 (1975) 国府津・松田断層地域についての二，三の知見. *関東の四紀*, 2, 38-43.
- 国土地理院 (2002) 発行数値地図 200,000 (地図画像) 日本-II. CD-ROM 1 枚.
- 町田 洋・新井房夫 (2003) 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.
- 松島義章 (1982) 相模湾北岸，足柄平野における沖積層の  $^{14}\text{C}$  年代とそれに関連する問題. *第四紀研究*, 20, 319-323.
- 松島義章 (2003) 小田原市羽根尾から産出した完新統下原層の貝化石について. *神奈川県自然誌試料*, 24, 13-20.
- 水野清秀・山崎晴雄・下川浩一・佐竹健治・井村隆介・吉岡敏和 (1996) 平成 7 年度活断層調査研究報告 No. 28 国府津－松田断層のボーリング，物理探査等による総合地質調査. *地質調査所研究資料集 no. 252*, 69p.
- 宮内崇裕・池田安隆・今泉俊文・佐藤比呂志・東郷正美 (1996) 1:25,000 都市圏活断層図「小田原」. *国土地理院技術資料 D・1-No. 333*.
- 太田陽子・松田時彦・小池敏夫・池田安隆・今泉俊文・奥村 清 (1982) 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, 82-173.
- 小沢 清・大木靖衛 (1972) 大磯丘陵南西部の地質. *神奈川県温泉地学研究所報告*, 3, 73-82.
- Reimer, P.J., Baillie, M.G.L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Bertrand, C.J.H., Blackwell, P.G., Buck, C.E., Burr, G.S., Cutler, K.B., Damon, P.E., Edwards, R.L., Fairbanks, R.G., Friedrich, M., Guilderson, T.P., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kromer, B., McCormac, G., Manning, S., Bronk Ramsey, C., Reimer, R.W., Remmele, S., Southon, J.R., Stuiver, M., Talamo, S., Taylor, F.W., van der Plicht, J., and Weyhenmeyer, C.E. (2004) IntCal04 terrestrial radiocarbon age calibration, 0-26 cal kyr BP. *Radiocarbon*, 46, 1029-1058.
- 徐 垣 (1995) 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.
- 上本進二・上杉 陽 (1998) 小田原市千代台地に 3 遺跡における地震跡－国府津－松田断層の最新活動時期に関する若干の資料－. *関東の四紀*, 21, 41-53.
- 山崎晴雄 (1984) 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.
- Yamazaki, H. (1992) Tectonics of a plate collision along the northern margin of Izu Peninsula, central Japan. *地質調査所月報*, 43, 603-657.
- 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 (1982) 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.
- 山崎晴雄・水野清秀 (1999) 国府津・松田断層の最新活動時期と地震テクトニクス. *第四紀研究*, 38, 447-460.
- 山崎晴雄・水野清秀・加藤 完・下川浩一 (1991) 1. 地殻構造及び地殻活動史に関する研究, 1.2 地

殻活動史に関する研究, 1.2.3 断層の活動史に関する研究. 科学技術振興調整費, 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.

矢野 享(1986) 大磯丘陵南部地域の層序とその年代および堆積環境. 静岡大学地球科学研究報告, 12, 191-208.

(受付:2008年8月29日, 受理:2008年11月19日)

第1表. 曾我原地区ボーリングコアにみられる地層.

Table 1. Descriptions of strata exposed in the boreholes and trench at Sogahara.

Unit	Inferred depositional environment	Lithofacies	Subunit	Descriptions	Tephra*
1	Cultivated soil, artificially disturbed layer	Sandy silt with gravel	1a	Brown soil with abundant plant rootlets.	
			1b	Brown sandy silt that fills man-made ditch.	
			1c	Brown sandy silt that fills man-made ditch.	
			1d	Dark brown soil.	
2	Volcanic product (air fall deposit) and its reworked deposit	Scoria	2a	Black-dark brown massive scoria (reworked F-Ho due to cultivation).	
			2b	Stratified scoria. <i>Upper part</i> : black, <i>lower part</i> : yellow. Total thickness: $\approx$ 18 cm.	F-Ho (AD1707)
3	Landslide deposit, slope deposit and back marsh deposit	Humic silt, gravel and sand	3a	Dark brown massive humic silt with gravel, containing archaeological remnants (Haji ware; <i>Hajiki</i> ).	
			3b	Brown humic silt containing archaeological remnants with various ages ranging from early Kofun to Kamakura-Muromachi periods.	
			3c	Dark brown humic silt containing seeds and archaeological remnants with various ages ranging from Jomon to modern.	
			3d	Greenish gray sandy silt with gravel	
			3e	Brown massive sandy silt with gravel, containing seeds, wood fragments and archaeological remains (Haji wares). Distinct flame structure developed in the trench.	
			3f	Dark gray humic silt.	
			3g	Dark gray to dark yellow scoriaceous silt, humic silt, and silty sand with abundant wood fragments.	
4	Alluvial fan deposit intercalated with air fall volcanic product	Gravel, silt, sand and humic sand	4a	Light gray well-stratified silt and fine- to medium sand.	
			4b	Gray, partly humic massive silt and sand.	
			4c	Light greenish gray scoriaceous sandy silt with gravel. Andesite and scoria with $\phi$ 0.2-0.7 cm scattered.	
			4d	Greenish gray to dark gray gravel (mainly andesite and basalt clasts with $\phi$ 1-8-cm and scoriaceous and pumiceous sandy matrix) intercalated with scoriaceous silt and wood fragments.	
			4e	Dark gray to greenish gray scoriaceous silt with sandy gravel and wood fragments.	
			4f	Dark gray well-stratified silty sand, fine sand, humic silt and gravelly sand containing abundant wood fragments.	
			4g	Dark gray to dark yellow scoriaceous silt, humic silt, and silty sand with abundant wood fragments.	
			4h	Dark gray to dark yellow scoriaceous silt, humic silt, and silty sand with abundant wood fragments.	
5	Volcanic product (air fall and pyroclastic deposits) and alluvial fan deposit	Scoriaceous silt, sand, gravel, pumice and loam	5a	Loam**	
			5b	Dark gray to yellowish gray scoriaceous sand and silt containing pumice ( $\phi$ 0.3-1 cm) and scoria ( $\phi$ 0.1-0.3 cm) layers. Thickness of this subunit between Hk-S and Hk-T (TP) decreases toward the west.	Hk-S
			5d	Light gray to light yellow pumice layers. <i>Upper part</i> : matrix-supported pumice (pumice flow deposit). Pumice: $\phi$ 0.5-20 cm. <i>Lower part</i> : clast-supported pumice containing andesite rock fragments (pumice fall deposit).	Hk-T and Hk-TP (60-65 ka) (MIS 4)
			5e	Brown to dark gray scoriaceous and pumiceous sandy silt intercalated with yellowish gray to light yellow pumice fall deposits. Thickness decreases toward the west. Scoria: $\phi$ 0.1-0.5 cm, white pumice: $\phi$ 0.5-2 cm, andesite clast: $\phi \approx$ 1 cm.	Hk-MP and Hk-AP (MIS 4/5a)
			5f	Dark brown loam.***	
6	Marine terrace deposit***	Gravel	—	Gravel containing shells.***	Misaki Surface (MIS 5a)
7	Volcanic product (pumice fall and flow deposits)	Pumice and scoria	7a	Greyish white to light gray pumice layers. <i>Upper part</i> : matrix-supported pumice layer containing andesitic rock fragments (pumice flow deposit). Thickness decreases toward the east (6.8-7.7 m in SG-1, -3 cores but 0.7 m in B-6 core). <i>Lower part</i> : clast-supported pumice layer (pumice fall deposit).	Hk-OP (80-85 ka) (MIS 5a)
			7b	Scoria and pumiceous sandy silt.	

\* Machida and Arai (2003), \*\* Mizuno *et al.* (1996), \*\*\* Yamazaki *et al.* (1982)



第2表. 本調査で実施した<sup>14</sup>C年代測定結果.  
Table 2. Results of radiocarbon dating.

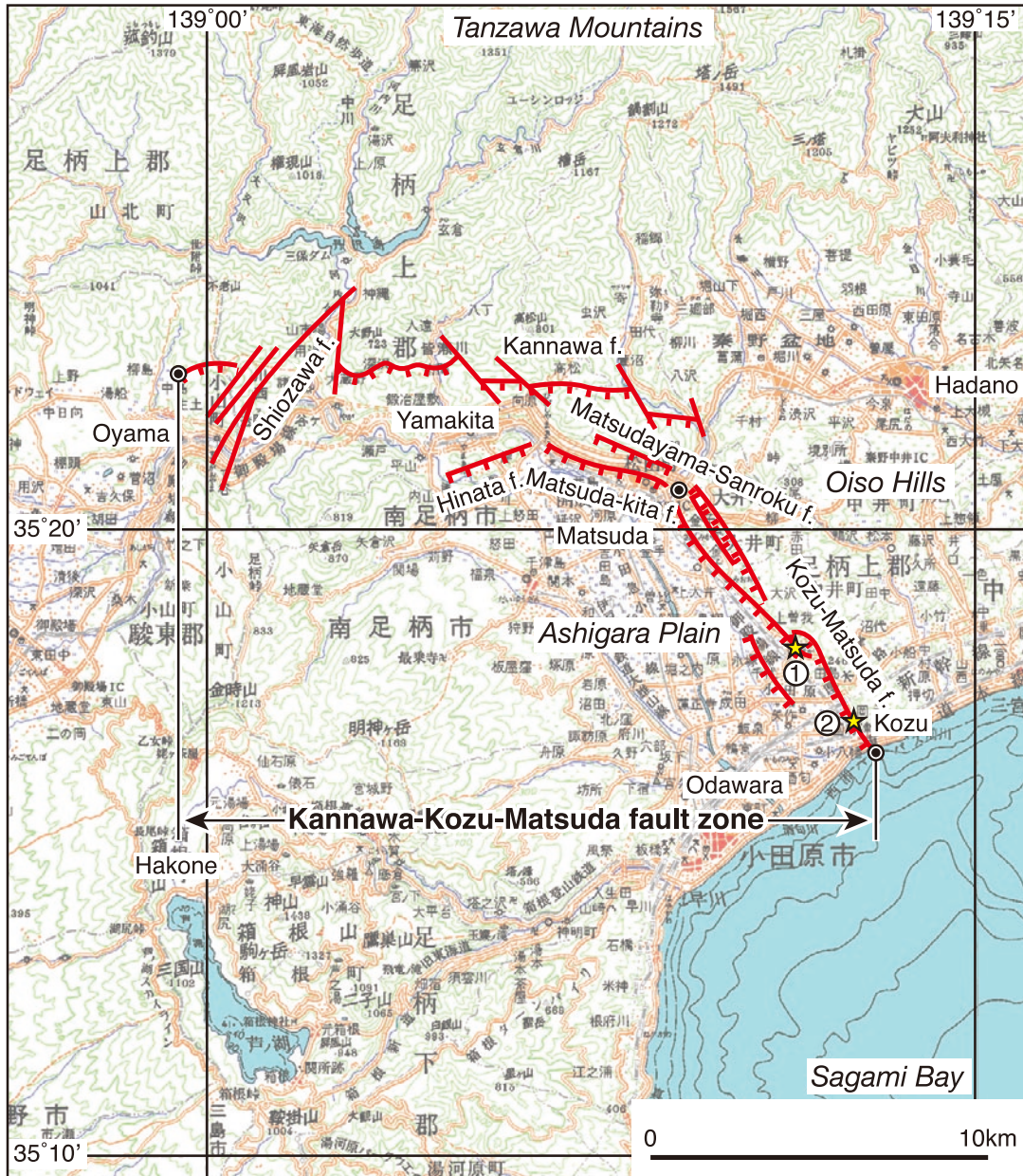
Sample No. <sup>1</sup>	Lab. No	Unit	Material	Method	Measured <sup>14</sup> C age (yBP, ±1σ)	δ <sup>13</sup> C (‰)	Conventional <sup>14</sup> C age <sup>2</sup> (yBP, ±1σ)	Calibrated age ranges <sup>3</sup> (cal yBP, ±2σ)
<b>SOGAHARA BORING</b>								
CSG-1 (5.90)	IAAA-72687	4e	wood	AMS	21,510 ± 100	-26.42	21,490 ± 100	21,710-21,300
CSG-1 (7.34)	IAAA-72688	4f	wood	AMS	21,920 ± 100	-29.19	21,850 ± 100	22,050-21,650
CSG-1 (8.59)	IAAA-72689	4f	charcoal	AMS	21,560 ± 100	-33.17	21,430 ± 100	21,650-21,240
CSG-1 (9.90)	IAAA-72690	4f	wood	AMS	22,060 ± 110	-30.49	21,970 ± 110	22,190-21,750
CSG-1 (10.66)	IAAA-72691	4f	wood	AMS	22,580 ± 100	-27.03	22,540 ± 100	22,740-22,340
CSG-1 (13.21)	IAAA-72692	4f	wood	AMS	23,770 ± 100	-27.24	23,740 ± 100	23,950-23,540
CSG-1 (14.67)	IAAA-72693	4e	wood	AMS	21,060 ± 100	-22.25	21,110 ± 100	_____ -24,990
CSG-1 (16.23)	IAAA-72694	4e	wood	AMS	21,430 ± 90	-26.04	21,410 ± 90	21,610-21,230
CSG-1 (17.70)	IAAA-72695	4f	wood	AMS	21,350 ± 100	-21.52	21,410 ± 100	21,630-21,220
CSG-1 (19.93)	IAAA-72696	4f	wood	AMS	22,040 ± 100	-22.14	22,080 ± 100	22,280-21,880
CSG-1 (20.20)	IAAA-72697	4f	wood	AMS	21,940 ± 100	-29.11	21,870 ± 100	22,070-21,670
CSG-1 (23.18)	IAAA-72698	4f	wood	AMS	22,120 ± 90	-27.24	22,080 ± 90	22,260-21,900
CSG-1 (24.24)	IAAA-72699	4f	wood	AMS	22,020 ± 90	-26.60	21,990 ± 90	22,170-21,810
CSG-1 (25.50)	IAAA-72700	4f	wood	AMS	23,890 ± 100	-21.80	23,940 ± 100	24,140-23,740
CSG-1 (27.10)	IAAA-72701	4g	wood	AMS	26,480 ± 120	-27.85	26,430 ± 120	26,680-26,190
CSG-1 (28.45)	IAAA-72702	4g	wood	AMS	29,230 ± 140	-24.05	29,240 ± 140	29,530-28,960
CSG-1 (29.41)	IAAA-72703	4g	humic silt	AMS	29,450 ± 160	-26.96	29,420 ± 160	29,750-29,100
CSG-2 (7.36)	IAAA-72704	4e	humic silt	AMS	21,230 ± 90	-26.39	21,200 ± 90	_____ -25,400
CSG-2 (11.96)	IAAA-72705	4d	wood	AMS	19,910 ± 100	-26.74	19,880 ± 100	24,150-23,470
CSG-2 (14.33)	IAAA-72706	4e	humic silt	AMS	21,670 ± 90	-25.42	21,660 ± 90	21,850-21,490
CSG-2 (16.34)	IAAA-72707	4f	humic silt	AMS	22,720 ± 100	-29.72	22,640 ± 100	22,840-22,440
CSG-2 (18.14)	IAAA-72708	4f	wood	AMS	22,470 ± 100	-31.32	22,360 ± 100	22,570-22,160
CSG-3 (5.40)	IAAA-73137	3f	humic silt	AMS	7,510 ± 30	-15.97	7,660 ± 40	8,540-8,390
CSG-3 (11.77)	IAAA-72717	4d	wood	AMS	19,980 ± 90	-27.07	19,940 ± 90	24,220-23,580
CSG-3 (12.31)	IAAA-72716	4d	wood	AMS	19,860 ± 100	-27.78	19,810 ± 100	24,080-23,390
CSG-3 (16.30)	IAAA-72715	4f	wood	AMS	22,110 ± 110	-26.27	22,090 ± 110	22,310-21,870
CSG-3 (19.21)	IAAA-72714	4f	wood	AMS	22,900 ± 90	-25.02	22,900 ± 90	23,090-22,720
CSG-4 (5.18)	IAAA-73138	3e	wood	AMS	2,430 ± 30	-25.33	2,420 ± 30	2,700-2,350
CSG-4 (5.40)	IAAA-73139	3e	wood	AMS	2,620 ± 30	-30.89	2,520 ± 30	2,750-2,480
CSG-4 (7.50)	IAAA-73140	3f	wood	AMS	7,010 ± 40	-18.16	7,120 ± 40	8,020-7,850
CSG-4 (23.25)	IAAA-73141	4g	wood	AMS	23,160 ± 100	-29.05	23,090 ± 100	23,290-22,890
<b>SOGAHARA TRENCH</b>								
SGSC-4	IAAA-72684	3a	humic silt	AMS	1,230 ± 30	-21.08	1,290 ± 30	1,290-1,170
SGNC-2	IAAA72679	3a	humic silt	AMS	1,300 ± 30	-19.97	1,380 ± 30	1,350-1,260
SGNC-5	IAAA-72680	3b	humic silt	AMS	1,400 ± 30	-22.97	1,440 ± 30	1,390-1,290
SGNC-18	IAAA-72682	3c	seed	AMS	1,250 ± 30	-22.41	1,300 ± 30	1,290-1,170
SGNC-13	IAAA-72681	3c	humic silt	AMS	1,390 ± 30	-21.24	1,460 ± 30	1,400-1,300
SGSC-14	IAAA-72685	3c	humic silt	AMS	1,460 ± 30	-19.29	1,560 ± 30	1,530-1,380
SGNC-21	IAAA-72683	3e	seed	AMS	1,220 ± 30	-25.81	1,200 ± 30	1,240-1,010
SGSC-17	IAAA-72686	3e	wood	AMS	1,540 ± 30	-19.37	1,660 ± 30	1,700-1,420
<b>KOZU BORING</b>								
CKZ-2 (2.55)	IAAA-73142	1a	humic silt	AMS	2,180 ± 30	-14.36	2,360 ± 30	2,480-2,330
CKZ-2 (4.55)	IAAA73143	1b	humic silt	AMS	4,790 ± 30	-21.79	4,850 ± 30	5,660-5,480

<sup>1</sup> Numerals in parenthesis denote sampling depth (in meters) from the ground surface.<sup>2</sup> Conventional <sup>14</sup>C ages were corrected by δ<sup>13</sup>C and calculated using the Libby half-life of 5568 years.<sup>3</sup> Calibration was carried out using a program "OxCal 4.0 (<https://c14.arch.ox.ac.uk/oxcal/OxCalPlot.html>; Bronk Ramsey, 1995, 2001)" with data set of IntCal 04 (Reimer *et al.*, 2004). The calibrated ages are rounded to nearest decade.

第3表. 曾我原トレンチから出土した遺物.

Table 3. Archaeological remnants exposed in the Sogahara trench.

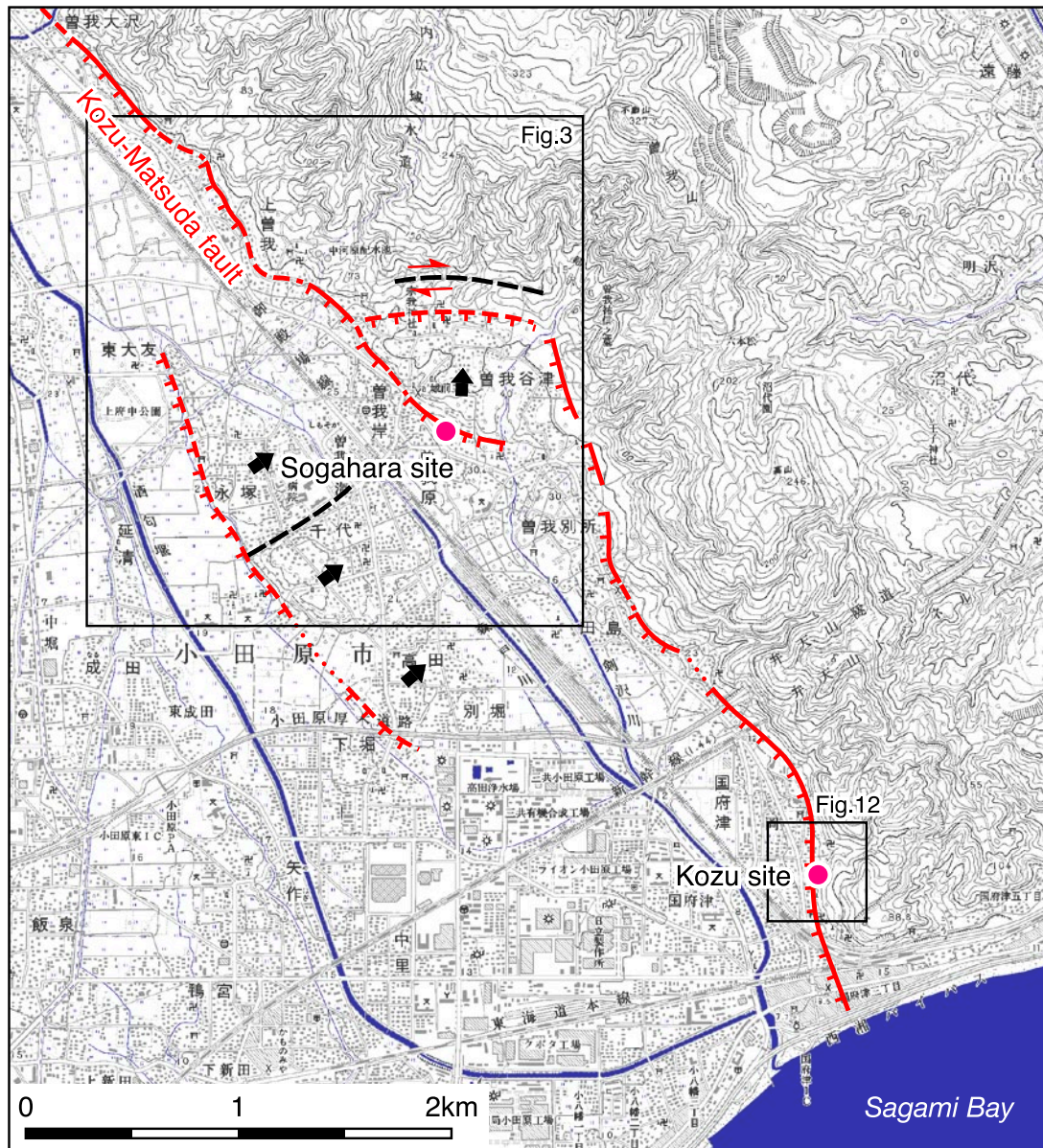
Sample No.	Unit	type and shape	Ages	Remarks
SGNPo-12	1d	Ceramic	Modern times (ca. 18th century AD)	
SGSPo-1	3a	Hajiki (Haji ware)	Later half of 5th century AD to 7th century AD	
SGSPo-2	3a	Hajiki (Haji ware)	Later half of 5th century AD to 7th century AD	
SGNPo-4	3b	Hajiki (Haji ware)	Later half of 5th century AD to 7th century AD	
SGNPo-6	3b	Hajiki (Haji ware)	Later half of 5th century AD to 7th century AD	
SGNPo-9	3b	Hajiki (Haji ware)	Later half of 5th century AD to 7th century AD	
SGNPo-11	3b	Hajiki (Haji ware)	Later half of 5th century AD to 7th century AD	
SGNPo-7	3b	Hajiki (Haji ware)	Late Yayoi to early Kofun periods	
SGSPo-6	3b	Hajiki (Haji ware)	Late Yayoi to early Kofun periods	
SGSPo-7	3c	Ceramic	13 century AD to 15 century AD	Chinese celadon
SGNPo-5	3c	Hajiki (Haji ware)	Later half of 5th century AD to 7th century AD	
SGNPo-8	3c	Hajiki (Haji ware)	Later half of 5th century AD to 7th century AD	
SGSPo-4	3c	Sueki (Sue ware)	Later half of 5th century AD (to 7th century AD?)	
SGSPo-5	3c	Sueki (Sue ware)	Later half of 5th century AD( to 7th century AD?)	
SGNPo-3	3c	Hajiki (Haji ware), earthenware pot	Late Yayoi to early Kofun periods	
SGSPo-13	3c	Hajiki (Haji ware)	Late Yayoi to early Kofun periods	
SGSPo-14	3c	Hajiki (Haji ware)	Late Yayoi to early Kofun periods	
SGSPo-15	3c	Hajiki (Haji ware)	Jomon period	
SGSPo-16	3c	Obsidian	Jomon period	
SGSPo-17	3c	Obsidian, stone arrowhead	Jomon period	
SGSPo-8	3c	Hajiki (Haji ware)	—	
SGNPo-10	7a	Obsidian	Jomon period	
SGNPo-13	3e	Hajiki (Haji ware), Tsuki (a kind of bowl)	6 century AD	
SGNPo-14	3e	Hajiki (Haji ware)	Later half of 5th century AD to 7th century AD	
SGNPo-15	3e	Hajiki (Haji ware)	Later half of 5th century AD to 7th century AD	
SGSPo-3	3e	Sueki (Sue ware)	Later half of 5th century AD (to 7th century AD?)	
SGSPo-9	3e	Hajiki (Haji ware)	Late Yayoi to early Kofun periods	
SGSPo-10	3e	Hajiki (Haji ware)	—	
SGSPo-11	3e	Hajiki (Haji ware)	—	
SGSPo-12	3e	Hajiki (Haji ware)	—	
SGNPo-1	4d	Hajiki (Haji ware)	Late Yayoi to early Kofun (?) periods	
SGNPo-2	4d	Hajiki (Haji ware)	Late Yayoi to early Kofun periods	



第1図. 神縄・国府津—松田断層帯の分布. 調査地点を黄色の☆で示す. 1: 曾我原地区, 2: 国府津地区. 基図は, 国土地理院 (2002) 発行数値地図 200,000 (地図画像) 日本 -II「東京 (5339)」, 「甲府 (5238)」, 「横須賀 (5239)」, 「静岡 (5238)」を使用. 活断層の分布は地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2005) に基づく.

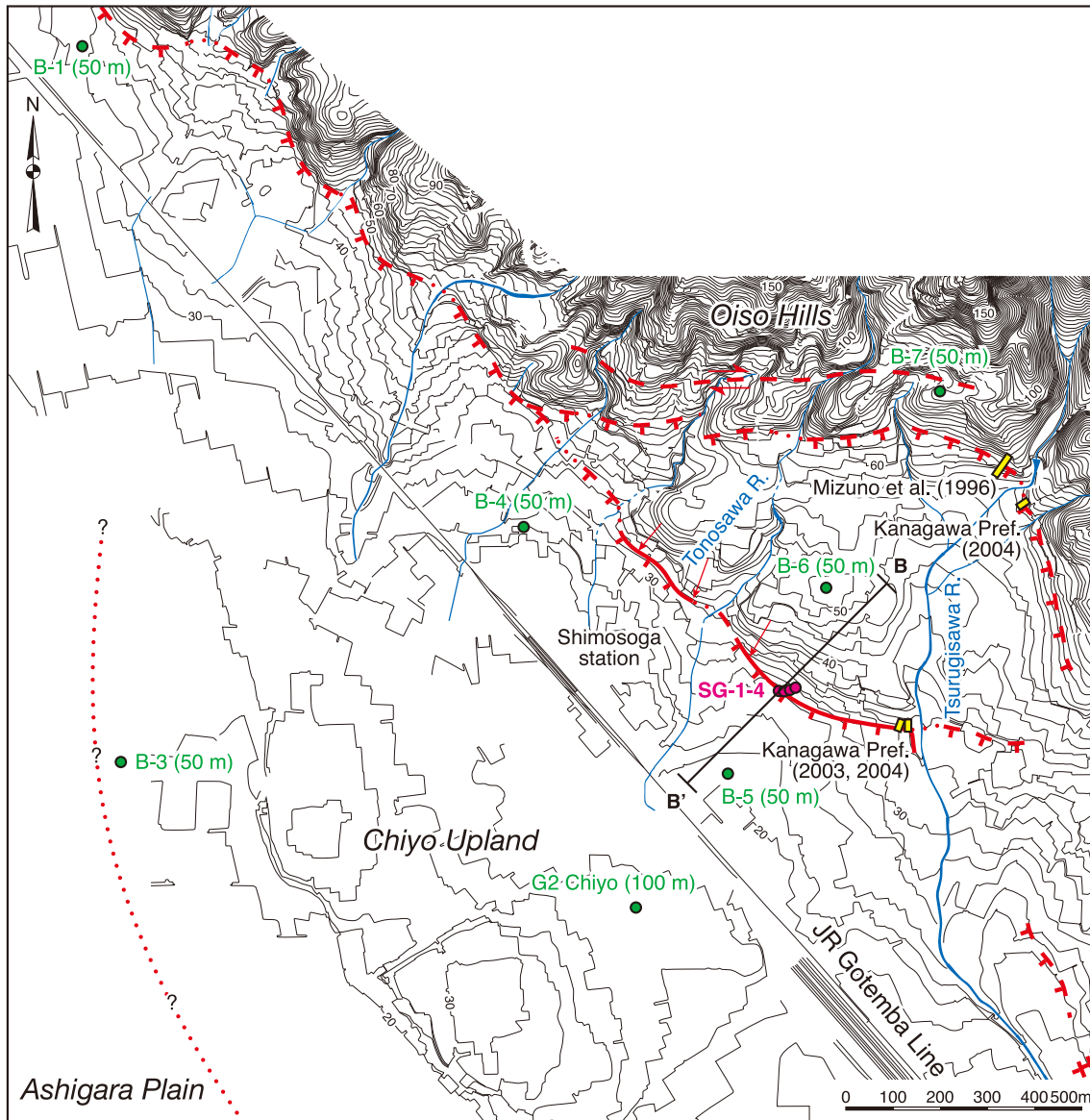
Fig. 1. Map showing the Kannawa-Kozu-Matsuda fault zone. Study sites are shown by yellow stars. 1: Sogahara site, 2: Kozu site. Digital Map 200000 (Map Image) Nippon-II, “Tokyo (5339)”, “Kofu (5238)”, “Yokosuka (5239)” and “Shizuoka (5238)”, published by Geographical Survey Institute (2002), is used as a base map. Active fault traces are after the Headquarters for Earthquake Research Promotion (2005).





第2図. 国府津－松田断層の分布と調査地点(基図は，数値地図25000(地図画像)横須賀(523971)を使用. 活断層トレースは，宮内ほか(1996)に基づく).

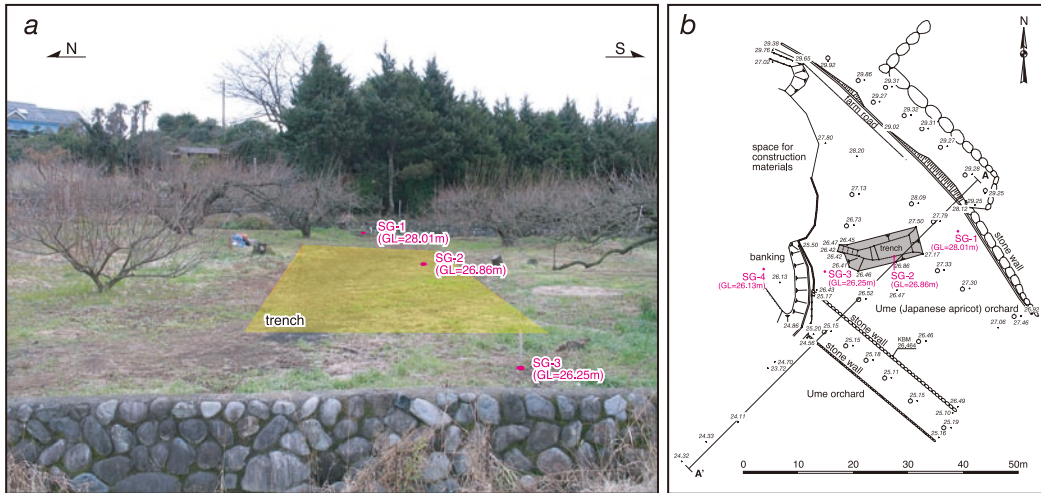
Fig. 2. Map showing distribution of the Kozu-Matsuda fault and study sites. Digital Map 25000 (Map Image), "Yokosuka (523971)", published by Geographical Survey Institute (2003) is used as a base map. Fault traces are after Miyauchi *et al.* (1996a).



第3図. 曾我原地区周辺の活断層図. 活断層トレースは、宮内ほか (1996)、神奈川県 (2002, 2004) および本調査に基づく。これまで実施されたトレンチ掘削調査地点 (水野ほか, 1996; 神奈川県, 2003, 2004) およびボーリング調査地点 (山崎ほか, 1982; 水野ほか, 1996; 神奈川県, 2003) をそれぞれ黄色の□ および緑色の○で示す。基図は、小田原市発行 1:2,500 都市計画図 IX-MC 54-2「下大井」、IX-MC 55-1「上曾我」、IX-MC 55-3「曾我光海」および IX-MC 55-4「曾我別所」をトレースしたものを使用。

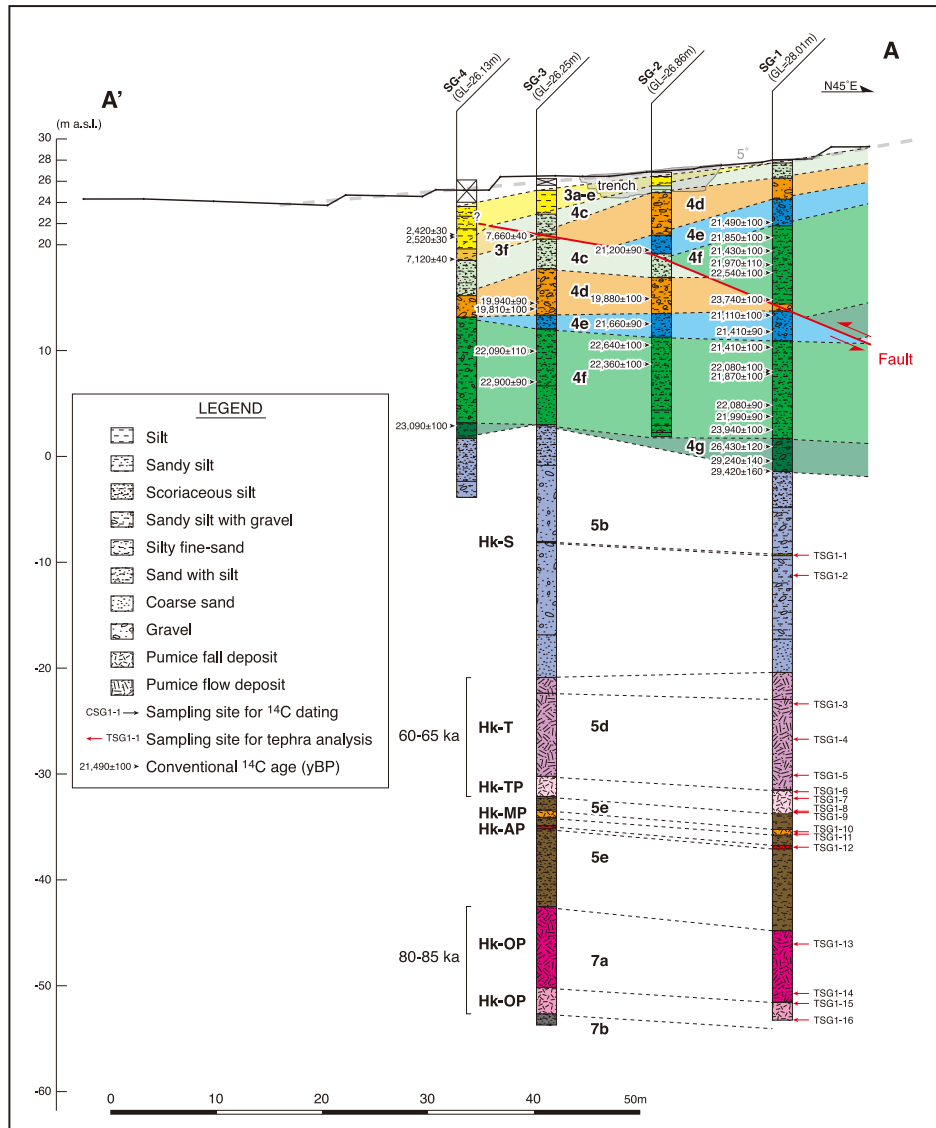
Fig. 3. Topographic features along the Kozu-Matsuda fault around Sogahara site. Fault traces are after Miyauchi *et al.* (1996), Kanagawa Prefecture (2002, 2004), and this study. Sites of previously conducted trenching (Mizuno *et al.*, 1996, Kanagawa Prefecture, 2003, 2004) and boring (Yamazaki *et al.*, 1982; Mizuno *et al.*, 1996; Kanagawa Prefecture, 2003) are shown by yellow rectangles and green circles, respectively. Topographic contours are based on 1:2,500 topographic maps published by Odawara City.





第 4 図. 曽我原地区で実施したボーリング・トレンチ調査地点の a) 写真 (西から東に向かって撮影) および b) 平面図.

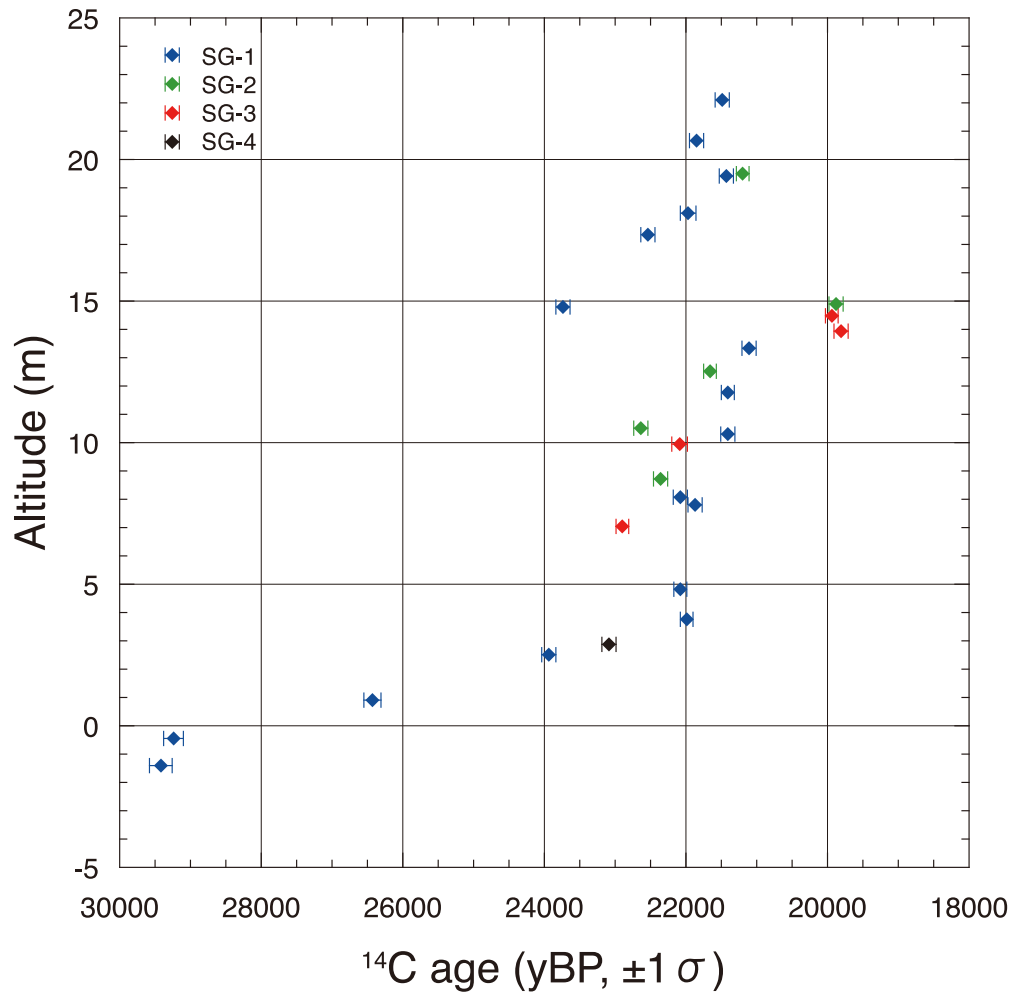
Fig. 4. a) Photograph (looking to the east) and b) map showing locations of arrayed boring and trenching conducted at Sogahara.



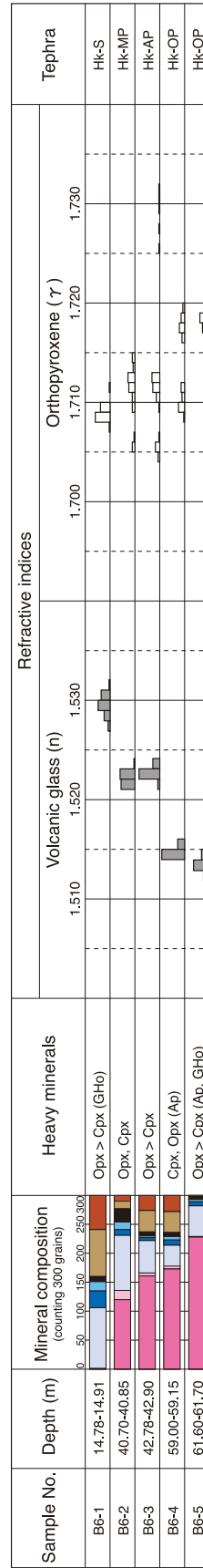
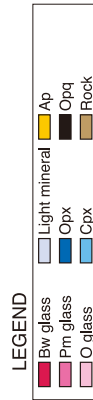
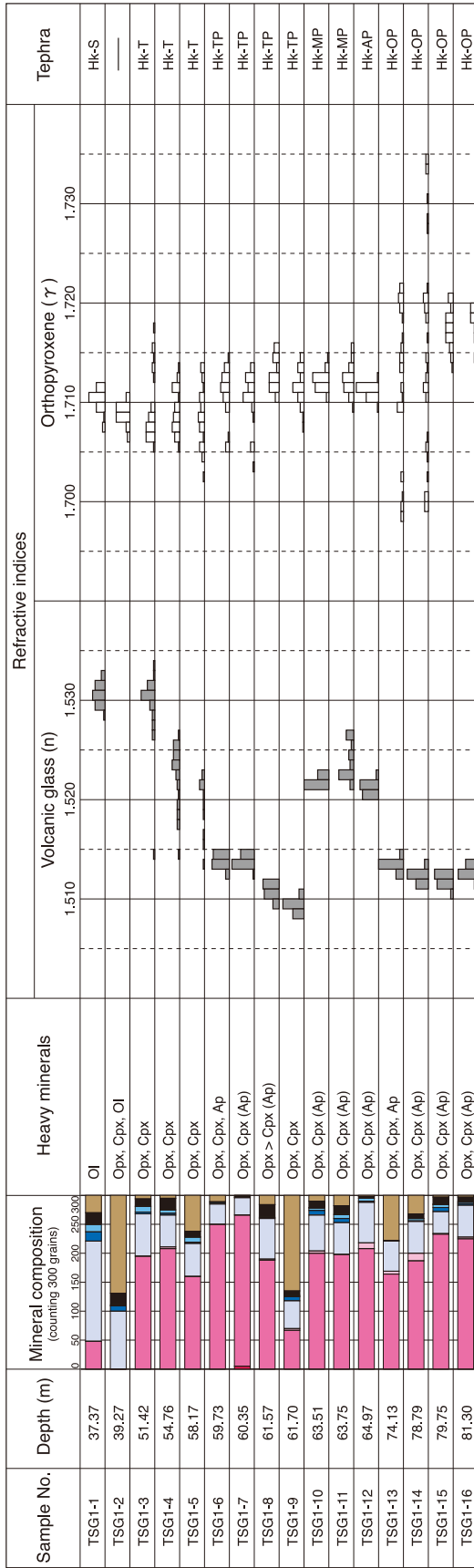
第 5 図. ボーリング調査に基づく曽我原トレンチ地点の地下地質構造. 断面の位置は第 4 図に示す.

Fig. 5. Subsurface geologic structure at Sogahara inferred from the arrayed boreholes. For location of the section see Fig. 4.

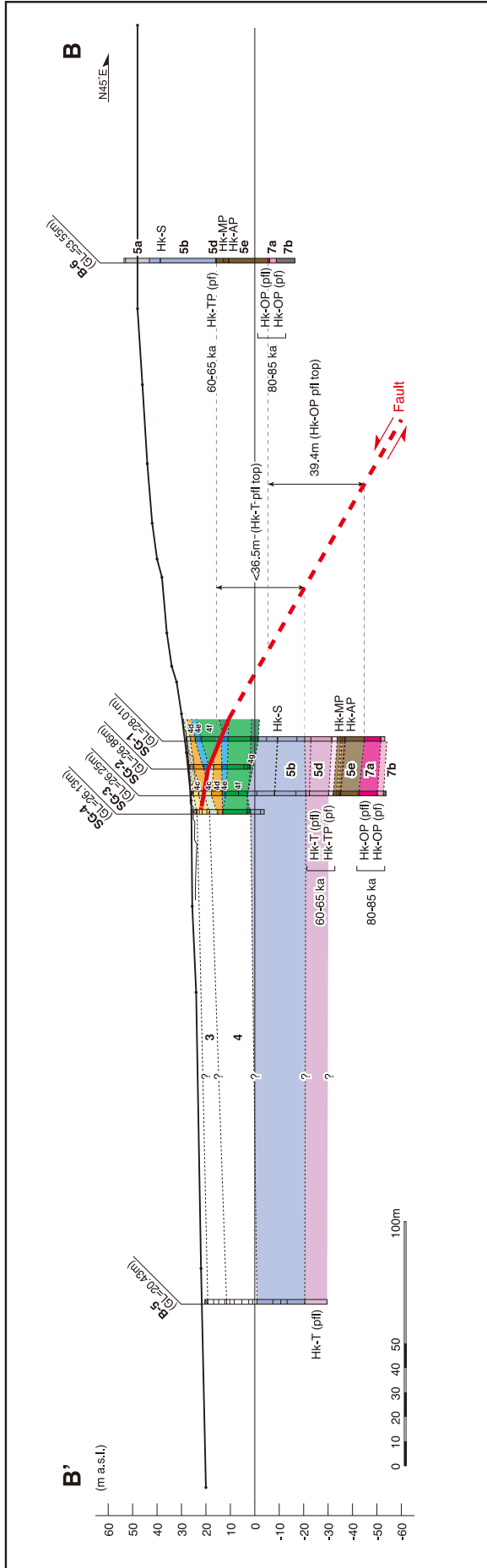




第6図. SG-1～SG-4 コア中の4層から採取された<sup>14</sup>C年代試料の年代値と標高との関係.  
Fig. 6. Diagram showing the relationship between ages and altitude of the <sup>14</sup>C samples taken from unit 4 in SG-1 to SG-4 cores.



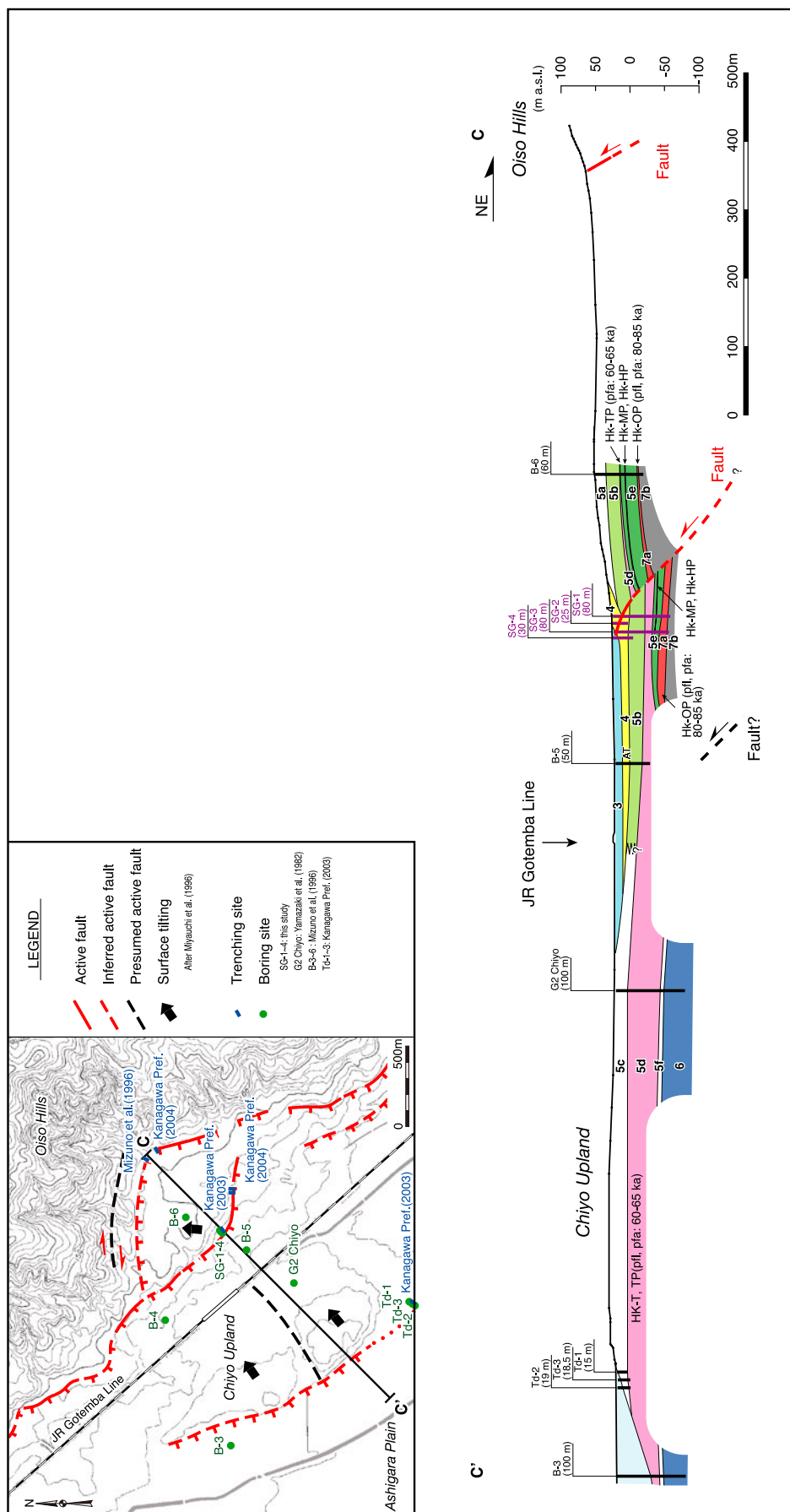
第7図. a) SG-1 および b) 既存ボーリングコア (B-6: 水野ほか, 1996) から採取したテフラ (軽石) の鉱物組成, 火山ガラスおよび斜方輝石の屈折率.  
Fig. 7. Diagram showing mineral composition and refractive indices of volcanic glass (n) and orthopyroxene ( $\gamma$ ) of tephra (pumice) taken from a) SG-1 core and b) B-6 core (Mizuno *et al.*, 1996).



第 8 図. 本調査で実施したボーリング (SG-1~SG-4) および既存ボーリング資料 (B-5, B-6: 水野ほか, 1996) に基づく普我原地区の地下地質構造。断面の位置は第 3 図に示す。

Fig. 8. Subsurface geologic structure across the entire fold scarp inferred from boring data from this study (SG-1 to SG-4) and Mizuno *et al.* (1996) (B-5 and B-6). For location of the section see Fig. 3.



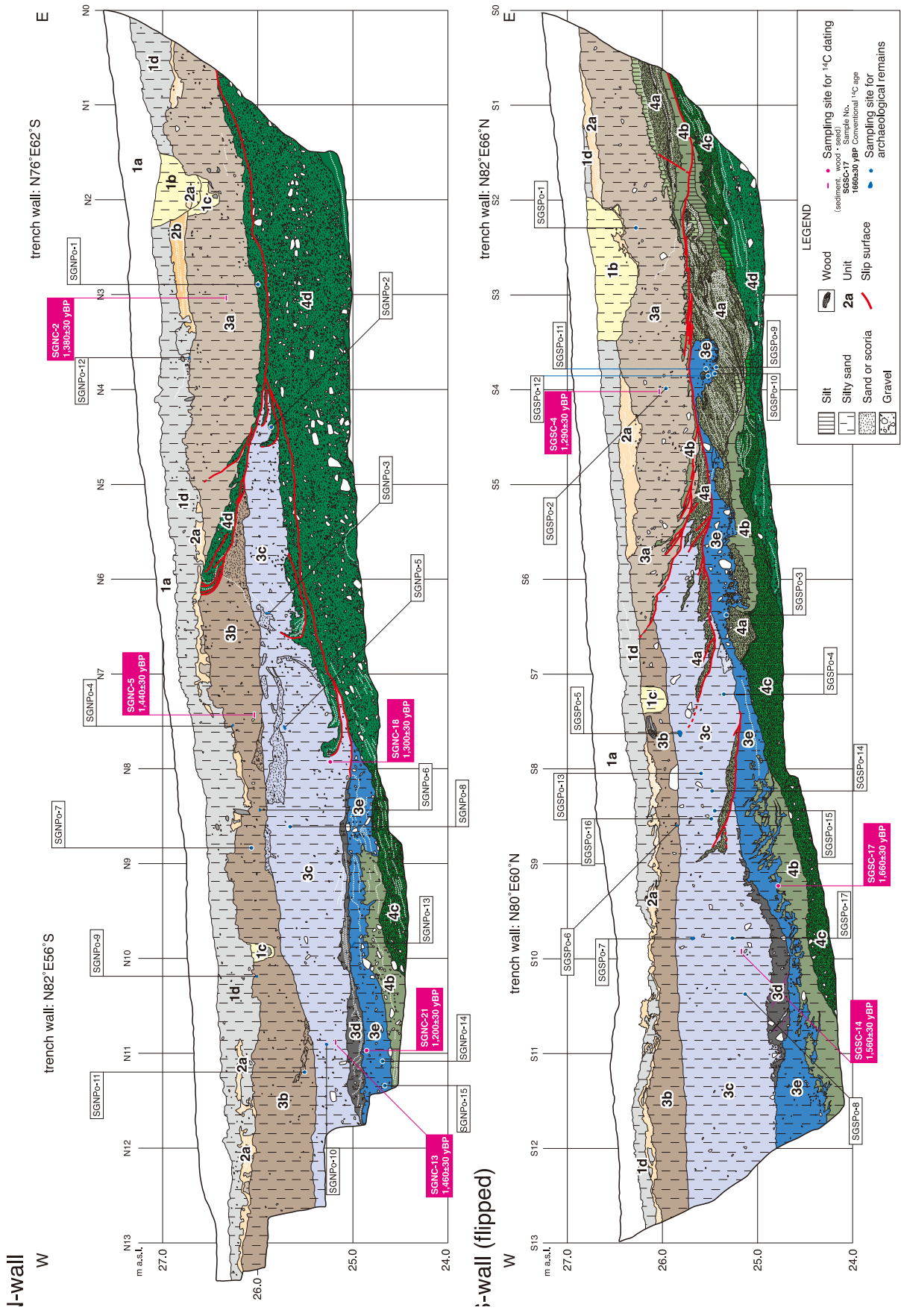


第9図. 本調査で実施したボーリング (SG-1~SG-4) および既存ボーリング資料 (G2 千代: 山崎ほか, 1982; B-3~B-6: 水野ほか, 1996; Td-1, Td-2: 神奈川県, 2002) から推定される千代台地西方~普我原間の地下地質構造。  
 Fig. 9. Subsurface geologic structure from west of the Chiyu Upland to western margin of the Oiso Hills inferred from boring data from this study (SG-1 to SG-4) and previous studies (G2 Chiyu: Yamazaki et al., 1982; B-3 to B-6: Mizuno et al., 1996; Td-1 and Td-2: Kanagawa Prefecture, 2002).



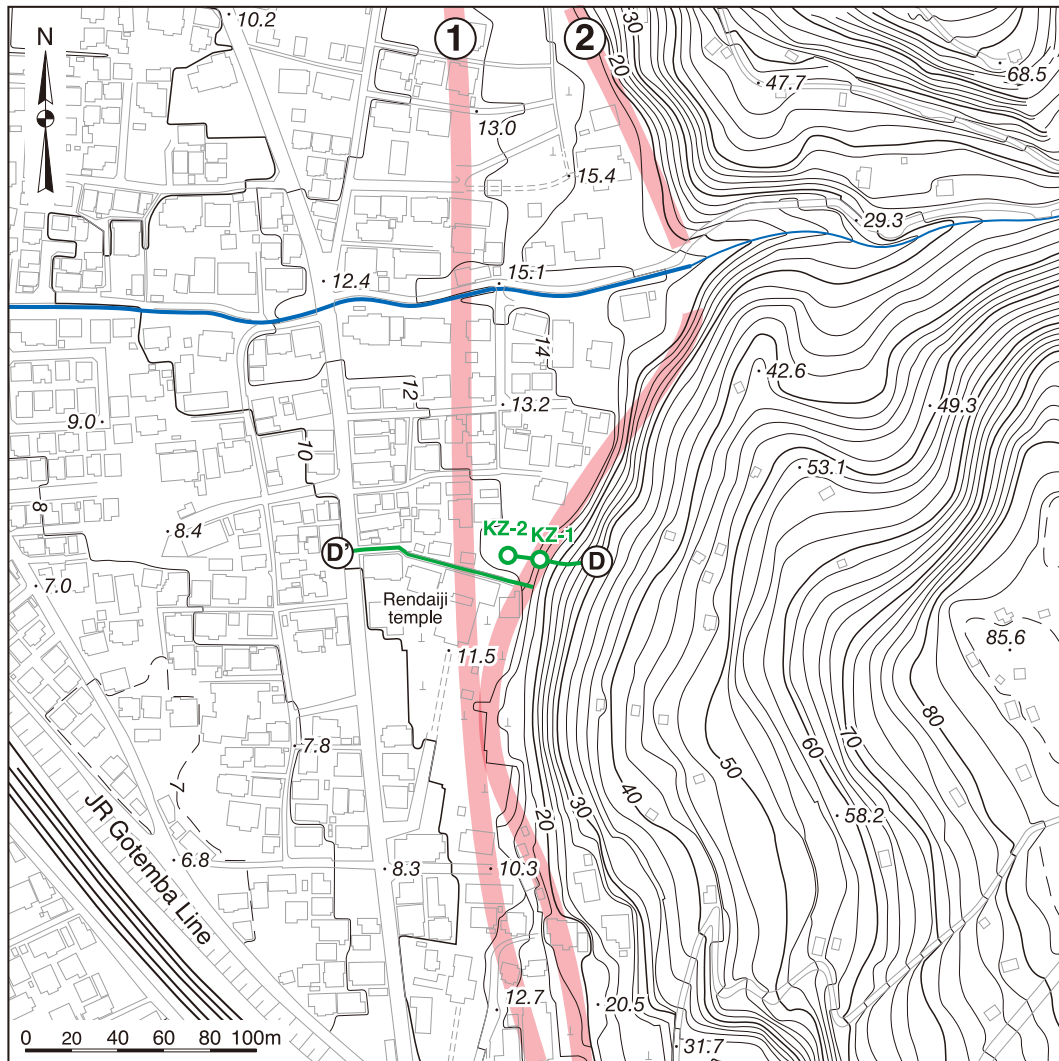
第10図. 善我原トレンチ南北壁面写真. *a* : 北壁面, *b* : 南壁面.  
Fig. 10. Photographs of the Sogahara trench exposure. *a*) North wall and *b*) south wall.





第 11 図. 曽我原トレンチ南北壁面スケッチ. a : 北壁面, b : 南壁面.  
Fig. 11. Log of the Sogahara trench exposure. a) North wall and b) south wall.





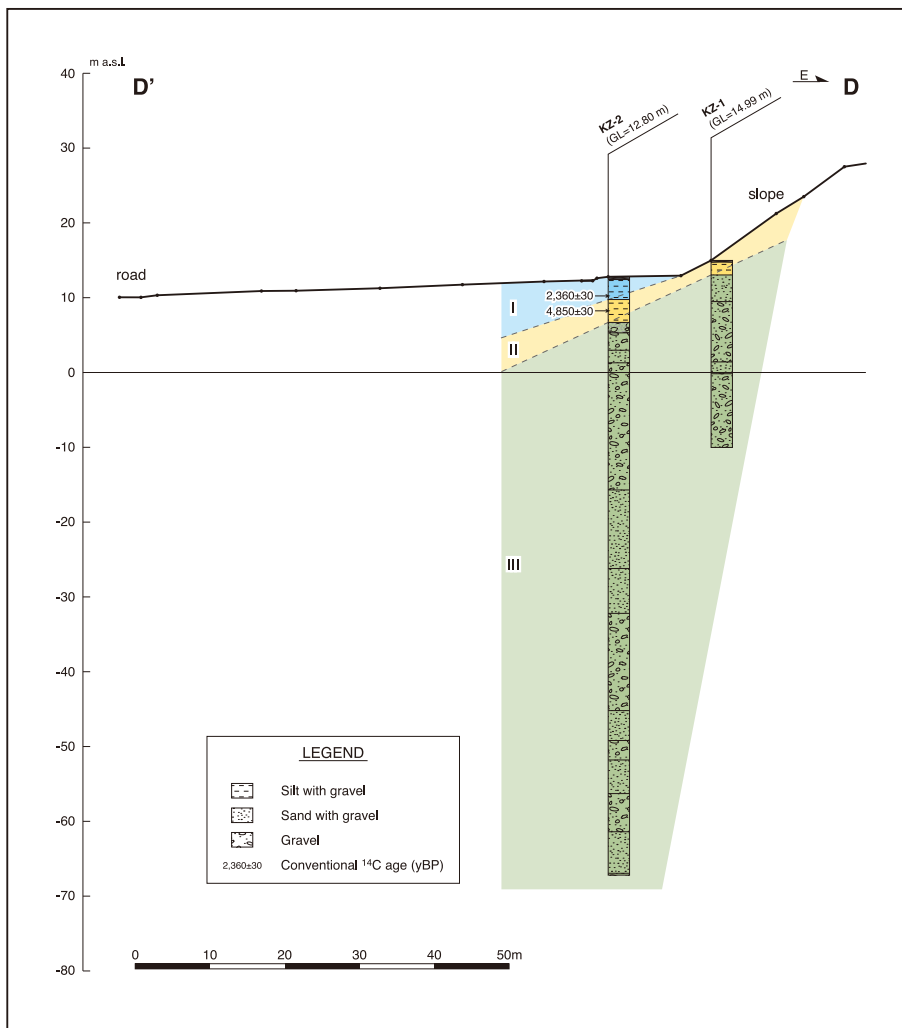
第12図. 国府津ボーリング地点周辺の地形 (基図は、小田原市発行1:2,500都市計画図IX-MC65-2「田島」およびIX-MC65-4「国府津」をトレースしたもの). 活断層トレース1は宮内ほか(1996), 2は神奈川県(2002, 2004)による。

Fig. 12. Topographic features along the Kozu-Matsuda fault around the Kozu boring site. Topographic contours and structures are based on 1:2,500 topographic maps published by Odawara City. Fault trace 1: Miyauchi *et al.* (1996), fault trace 2: Kanagawa Prefecture (2002, 2004).



第 13 図. 国府津地区で実施したボーリング調査地点の写真 (南南西から北北東に向かって撮影).

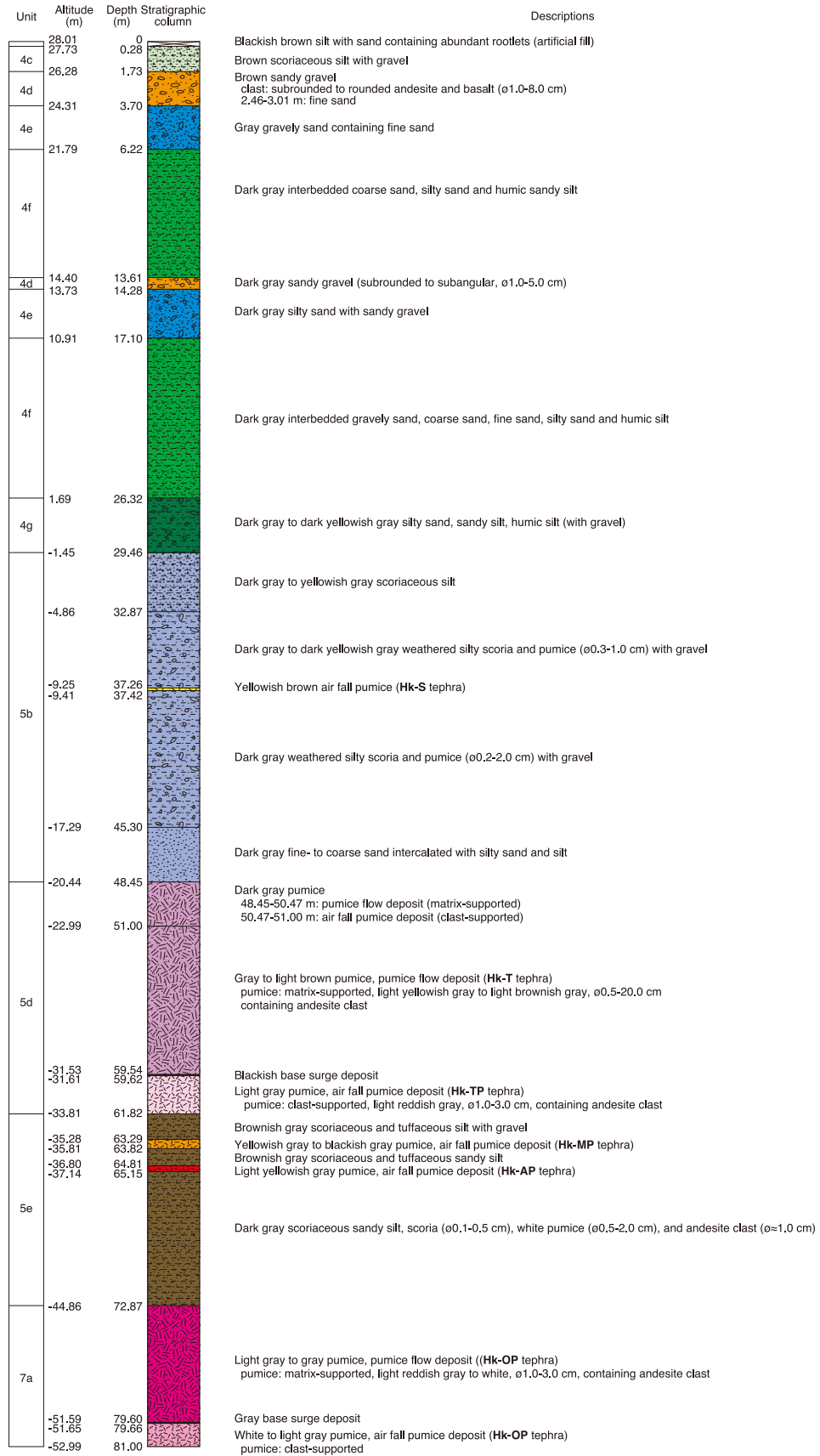
Fig. 13. Photograph showing locations of boreholes at Kozu (looking to the north-northeast).



第 14 図. ボーリング調査に基づく国府津地区の地下地質構造. 断面の位置は第 12 図に示す.

Fig. 14. Subsurface geologic structure across the base of the southwestern marginal scarp of the Oiso Hills inferred from the present boring study. For location of the section see Fig. 12.

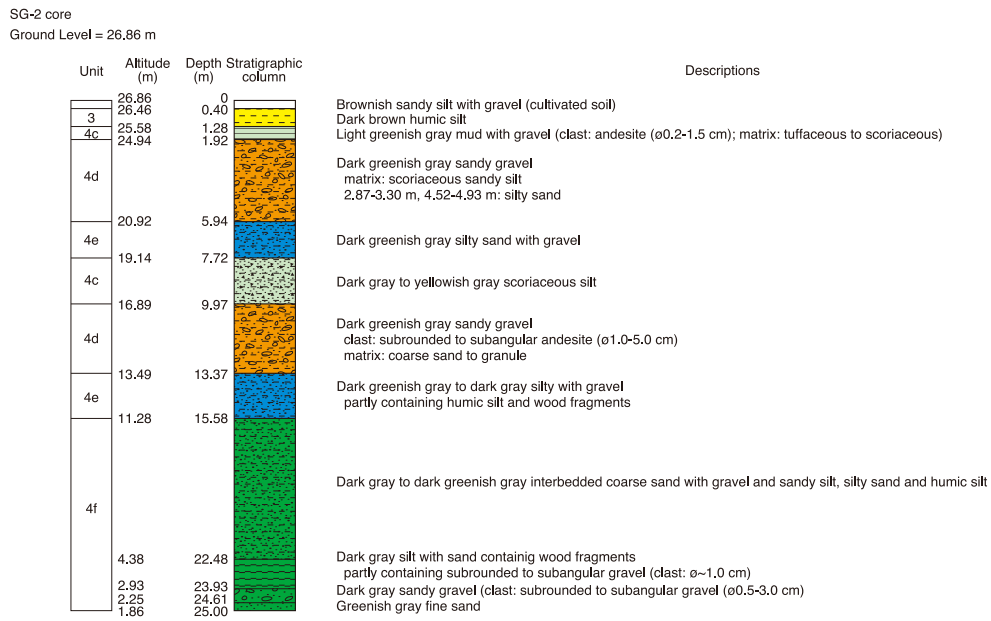
SG-1 core  
Ground Level = 28.01 m



付図 1. SG-1 ボーリングコアの柱状図。

Appended figure 1. Stratigraphic column of SG-1 core.

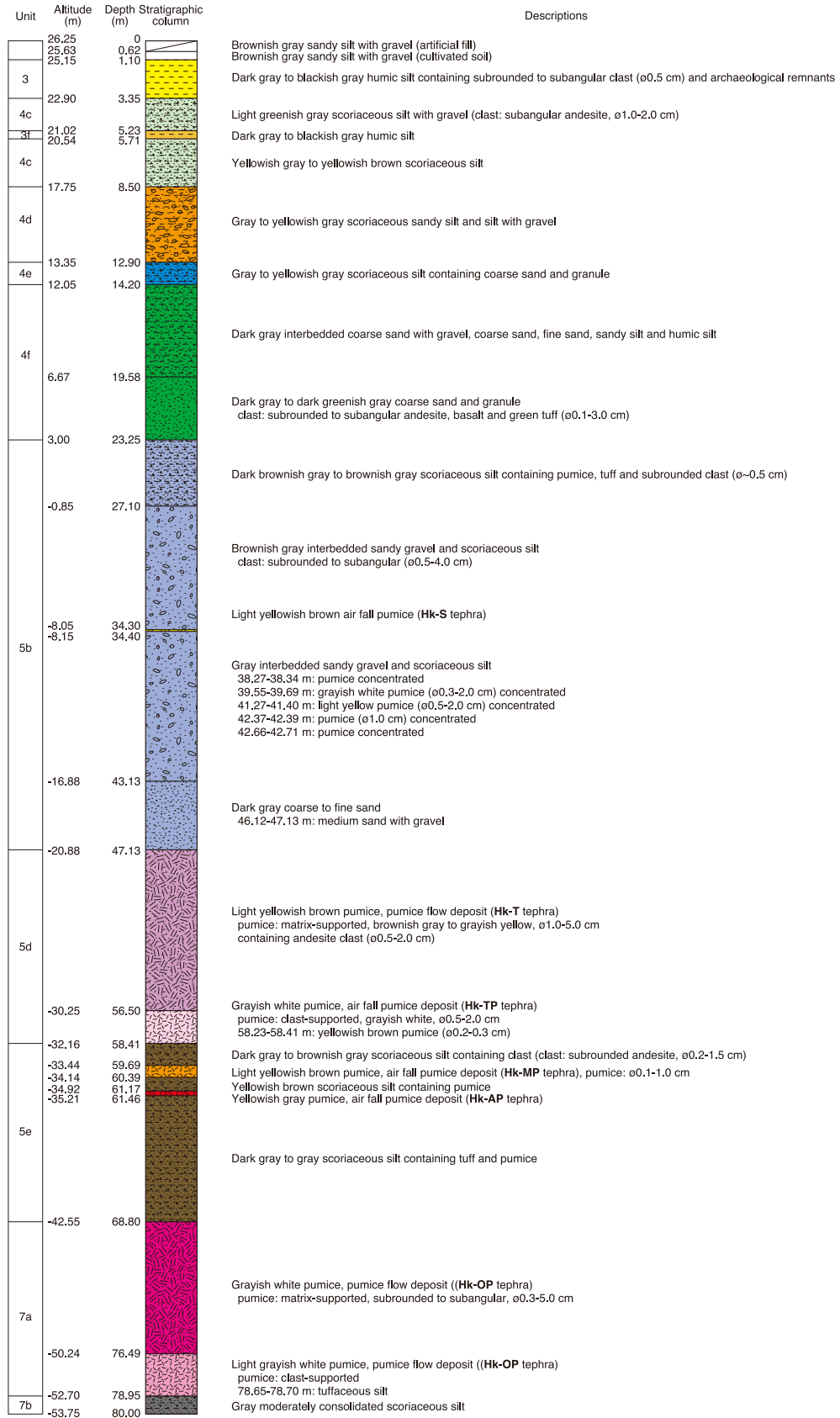
神奈川県西部，国府津－松田断層の活動性調査



付図 2. SG-2 ボーリングコアの柱状図.  
Appended figure 2. Stratigraphic column of SG-2 core.



SG-3 core  
Ground Level = 26.25 m

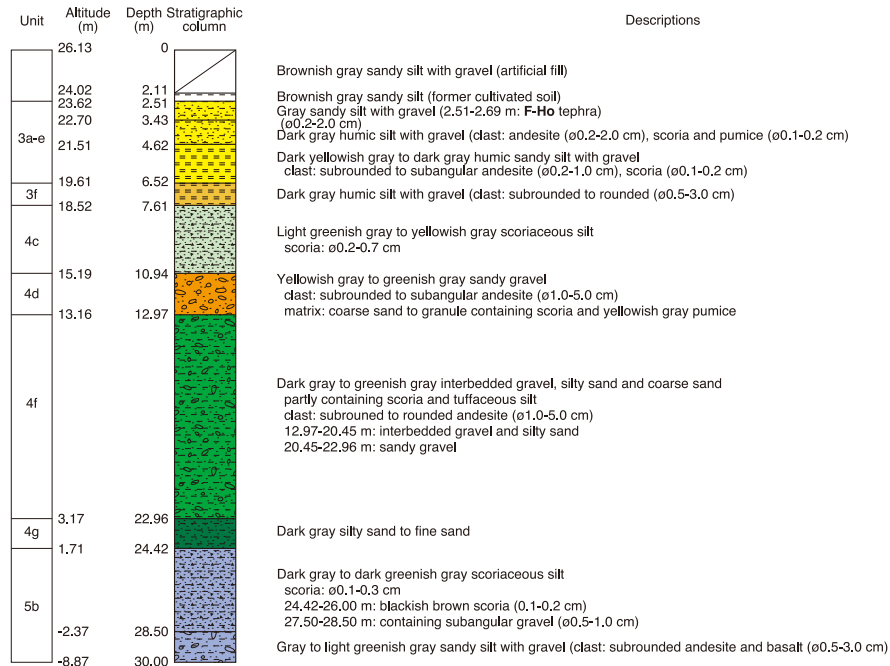


付図 3. SG-3 ボーリングコアの柱状図.

Appended figure 3. Stratigraphic column of SG-3 core.

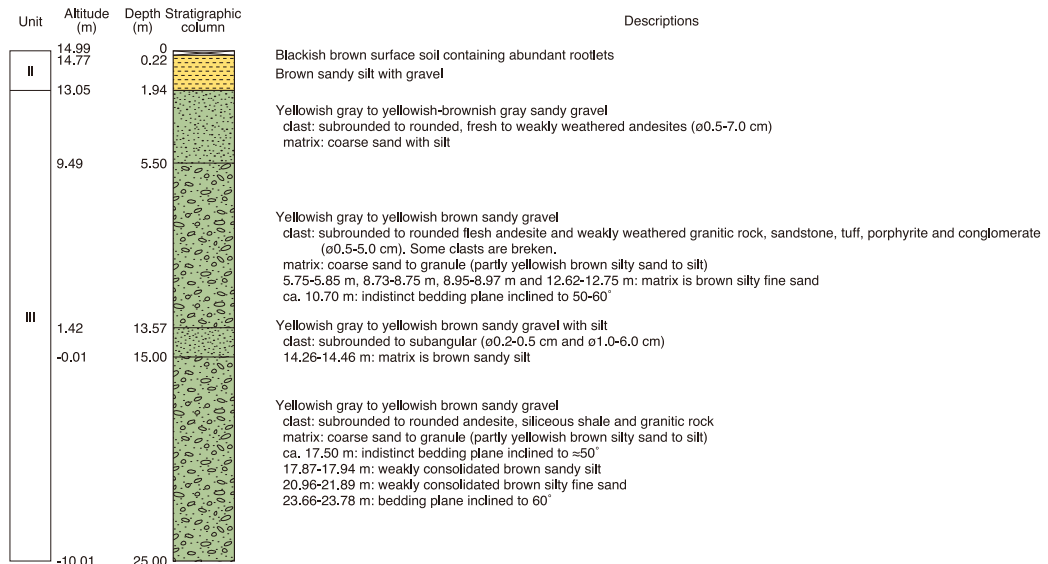
神奈川県西部, 国府津-松田断層の活動性調査

SG-4 core  
Ground Level = 26.13 m



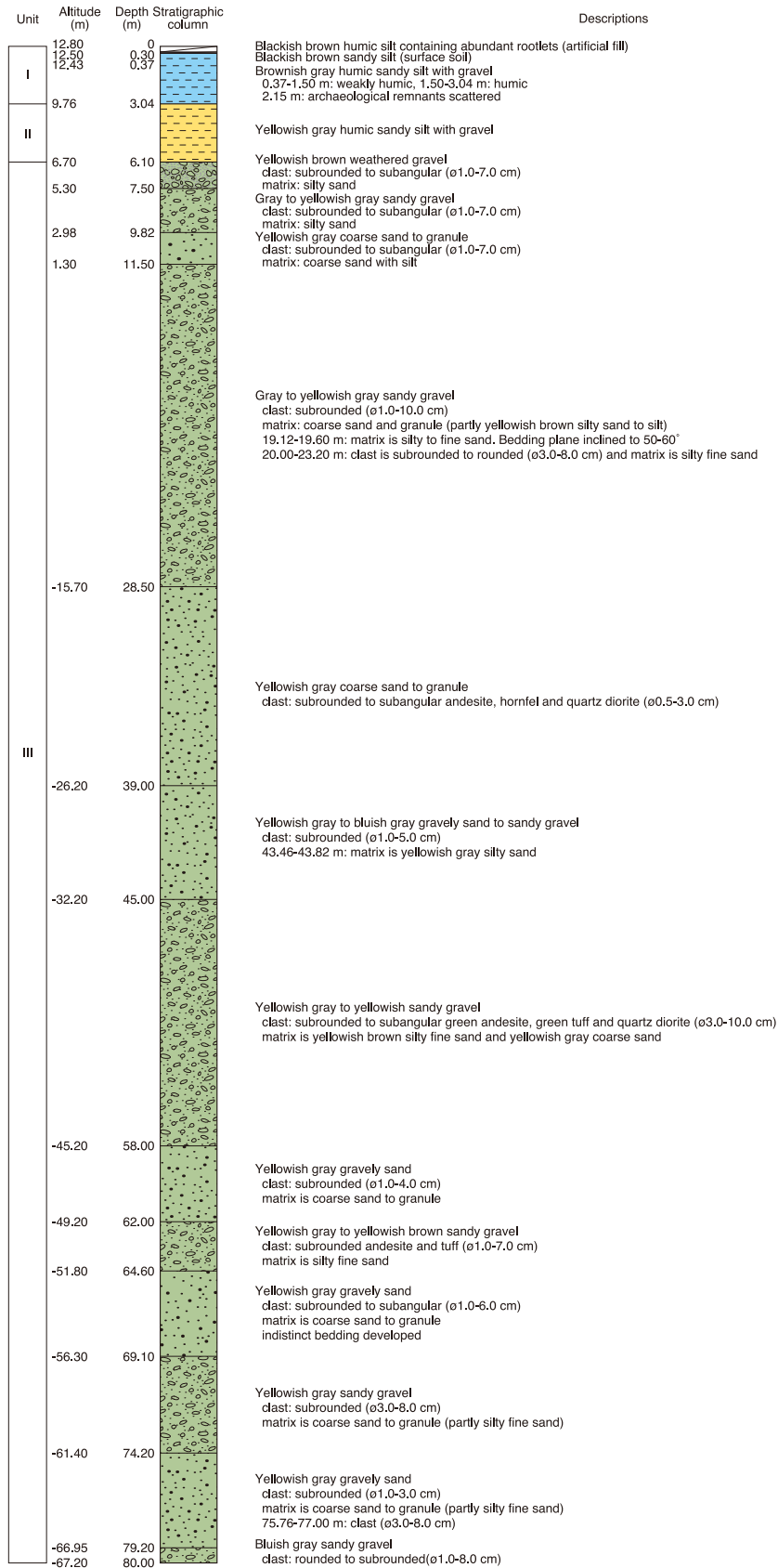
付図 4. SG-4 ボーリングコアの柱状図.  
Appended figure 4. Stratigraphic column of SG-4 core.

KZ-1 core  
Ground Level = 14.99 m



付図 5. SG-5 ボーリングコアの柱状図.  
Appended figure 5. Stratigraphic column of SG-5 core.

KZ-2 core  
Ground Level = 12.80 m



付図 6. SG-6 ボーリングコアの柱状図.

Appended figure 6. Stratigraphic column of SG-6 core.