

3. 研究報告

3. 1 活断層の活動区間を正確に把握するための詳細位置・形状等の調査及び断層活動履歴や平均変位速度の解明のための調査観測

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 活断層の活動区間を正確に把握するための詳細位置・形状等の調査及び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) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立大学法人京都大学大学院理学研究科	教授	竹村 惠二
国立大学法人京都大学大学院理学研究科	准教授	堤 浩之
立命館大学衣笠総合研究機構	客員研究員	岡田 篤正
国立大学法人広島大学大学院文学研究科	准教授	後藤 秀昭
法政大学人間環境学部	講師	杉戸 信彦
国立大学法人和歌山大学教育学部	教授	久富 邦彦
公立大学法人大阪市立大学大学院理学研究科	教授	三田村 宗樹

(c) 業務の目的

中央構造線断層帯（金剛山地東縁－和泉山脈南縁）について、変動地形学的調査や物理探査等により、地表付近での詳細な断層位置と分布形状および変位速度を明らかにする。また、ピット調査やボーリング調査により過去の活動履歴を明らかにすることを業務の目的とする。

(d) 3 ヶ年の年次実施業務の要約

1) 平成 25 年度：

中央構造線断層帯（金剛山地東縁－和泉山脈南縁）の和泉山脈南縁区間を構成する根来断層・根来南断層・五条谷断層の詳細な位置や分布を明らかにするために、既存の調査情報を整理し、空中写真判読および既存のレーザープロファイラデータから作成する数値標高モデルの解析により、詳細活断層図の予察版を作成し、地表踏査を行った。また、個々の活断層の過去複数回の活動時期を明らかにするために、古地震調査適地を選定し、ボーリング調査・ピット掘削調査を行った。あわせて関連する試料分析（テフラ分析・放射性炭素年代測定）を行った。ピット掘削地点においては、複数の第三者による確認を行った。また、各研究に関する情報交換と議論を行うために、関係者間の打ち合わせとサブテーマ会議を行った。

2) 平成 26 年度：

中央構造線断層帯（金剛山地東縁－和泉山脈南縁）の詳細な位置や分布を明らかにするために、既存の調査情報および平成 25 年度調査結果を整理し、空中写真判読および平成 25 年度作成の数値標高モデルの解析により、詳細活断層図を作成し、地表踏査を行った。地質調査用携帯型装置を導入し、広範囲にわたる地表踏査の効率化を

図った。また、断層帯を構成する個々の活断層の過去複数回の活動時期を明らかにするために、古地震調査適地を選定し、ボーリング調査・ピット掘削調査を行った。あわせて関連の試料分析（テフラ分析・年代測定等）を行った。また、各調査に関する情報交換と議論を行うために、関係者間の打ち合わせ、サブテーマ会議を行った。なお、調査にあたっては、候補となる地点について事前に情報を可能な限り入手するとともに、調査の実施方法等について十分な検討を行い、適切にスケジュール管理を行った。また、ピット掘削地点において複数の第三者による確認を行った。

3) 平成 27 年度：

中央構造線断層帯（金剛山地東縁－和泉山脈南縁）の詳細な位置や分布を明らかにするために、平成 25～26 年度の空中写真判読・数値標高モデルの解析結果と野外踏査結果を整理し、断層帯全体の詳細活断層図を完成する。平成 25～26 年度の調査で十分なデータが得られなかった断層について、調査適地を選定し、過去複数回の活動時期を明らかにするためのボーリング調査・ピット掘削調査を行う。あわせて関連の試料分析（テフラ分析・年代測定等）を行う。また、調査成果のまとめと議論を行うために、関係者間の打ち合わせ、サブテーマ会議を行う。なお、調査にあたっては、候補となる地点について事前に情報を可能な限り入手するとともに、調査の実施方法等について十分な検討を行い、適切にスケジュール管理を行う。また、ピット掘削地点において複数の第三者による確認を行う。

(2) 平成 26 年度の成果

(a) 業務の要約

中央構造線断層帯（金剛山地東縁－和泉山脈南縁）を構成する各断層の活動履歴を明らかにするために、和歌山市上野と奈良県葛城市中戸においてトレンチ掘削調査を行った（図 1）。和歌山市上野で行った根来断層のトレンチ掘削調査では、完新統を変位させる数条のほぼ鉛直な断層が露出した。地層と断層の切断・被覆関係に基づき、3 回の古地震イベントを認定した。さらに、地層中から得られた試料の放射性炭素年代測定から、最新を含む過去 3 回の古地震イベントの時期を絞り込むことができた。奈良県葛城市中戸において行った金剛断層帯山田断層のトレンチ掘削調査では明瞭な断層は出現しなかったが、完新世後期の年代を示す段丘堆積物が低下側に向かって急傾斜することが確認され、これらの地層が断層変位を受けている可能性が示唆された。

和歌山県岩出市根来では、平成 25 年度に行った群列ボーリング調査の追加調査を行った。また岩出市西安上と根来で S 波反射法地震探査を行い、根来断層と根来南断層の地下 100m 以浅における形状を明らかにした。



図1 調査地点の位置図。青丸は主な既往調査地点を、黄丸は平成25年度と26年度に本研究で行った主なトレンチ掘削調査・群列ボーリング調査地点を示す。活断層線は中田・今泉編（2002）による。

(b) 業務の成果

1) 和歌山市上野における根来断層のトレンチ掘削調査

i) トレンチの位置と調査の概要

平成25年度に、根来断層上の2地点（和歌山県岩出市原と山）でトレンチ掘削調査を行ったが、活動履歴に関する新たなデータを得ることができなかった。そこで、平成26年度には、和歌山市上野において根来断層のトレンチ掘削調査を行った。

調査は、和歌山市上野の雑木林において行った（図2）。ここでは、事前の空中写真判読により、南向きの山地斜面上に北落ちの逆向き低断層崖が判読された。東隣の墓地の造成中には、寒川・岡田（1977）により、和泉層群と未固結堆積物の境を画す北傾斜の活断層露頭が確認されている。また調査地点から約400m東の開析谷中では、旧地質調査所によって複数回のトレンチ掘削調査が行われている（水野ほか，2000）。

掘削したトレンチは、長さ約6.5m、幅約3m、深さは最深部で約2.5mである。トレンチの長軸はほぼ南北走向で、断層の走向とほぼ直交する。

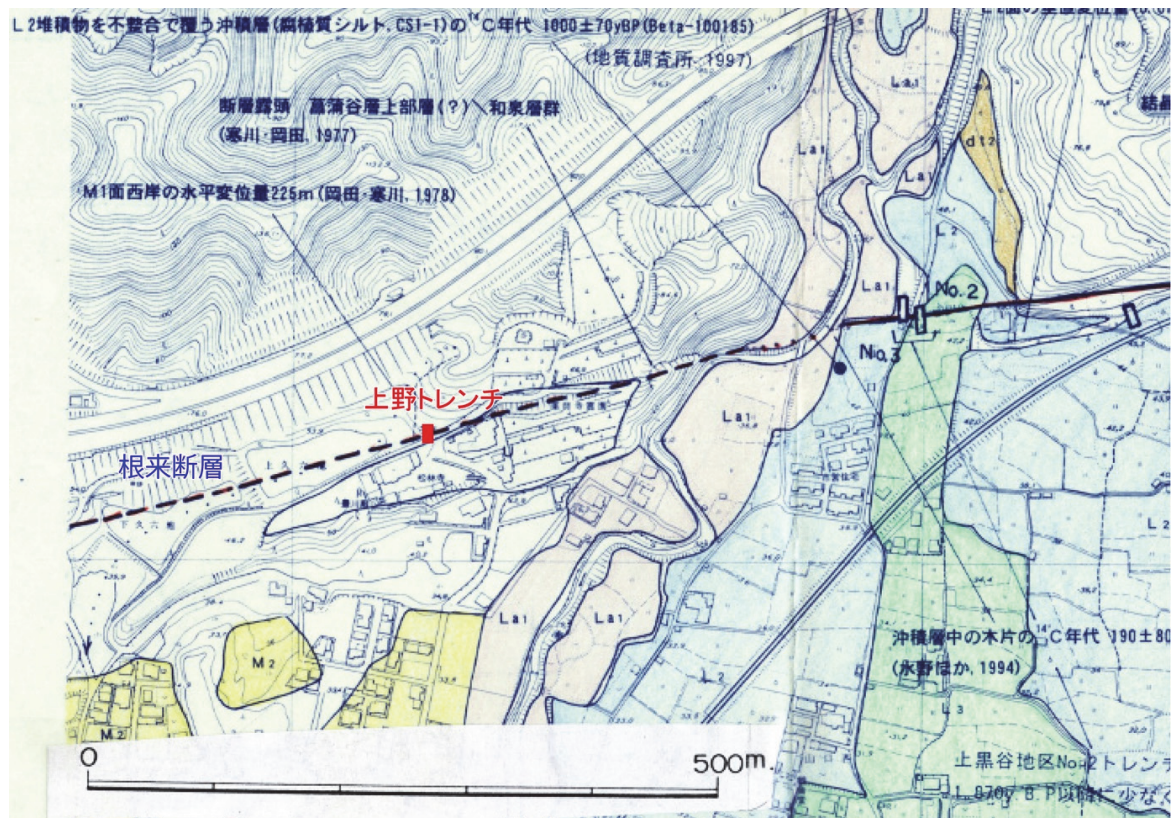


図2 和歌山市上野における根来断層のトレンチ掘削調査地点の位置。和歌山県（1999）に加筆。

ii) 層序区分と地層の記載

トレンチ壁面のスケッチと層序区分、および放射性炭素年代測定・火山灰分析結果を図3に示す。年代測定値は、 $\delta^{13}\text{C}$ 補正を施した値である。表1は放射性炭素年代測定結果の一覧である。各層の層相や堆積構造および放射性炭素年代測定値を以下に記す。

・ 0層：盛土

黄灰色のシルトからなる盛土。層厚は最大で約 60cm で、トレンチの南端に分布する。コンクリート片などが含まれる。

・ 10層：表土

暗褐色～暗灰色の表土。トレンチの全壁面の最上部に層厚 30～40cm で分布している。現成の植物根を多く含む。

・ 20層：有機質シルト

淡黒色～暗灰色の有機質シルトで、細礫サイズの垂角礫が混じる。層厚は 10～20cm である。北側にいくほど分布が不明瞭となり、せん滅する。また東西両面のグリッド 0.8 より南側には分布しない。20層からは 810±30yBP（試料 1）と 1130±30yBP（試料 12）の年代値が得られた。

・ 30層：礫質シルト

暗灰色のシルトで、径 2～3 cm の角一垂角礫を多く含む。層厚は 15～30cm である。下位の礫混じりシルト（35層）とは、含まれる礫の含有量に基づいて細分される。東面のグリッド 2.8 付近では、下面高度が不連続であり、層厚が変化する。西面では、グリッド 1.8 付近で下位の地層中にくさび状に落ち込む構造がみられる。

・ 35層：礫混じりシルト

暗褐色のシルトで、層厚 20～40cm 程度でトレンチの全壁面に分布する。最大径約 7 cm の礫を含むが、多くは径 2cm 程度の垂角礫である。西面では、30層の落ち込み構造により分布が途切れる。下位のシルト層との境界はあまり明瞭ではなく、特にグリッド 3.0～4.0 付近で最も不明瞭となる。35層の最上部から 1560±30yBP（試料 17）と 1590±30yBP（試料 19）、また最下部からは 6010±30yBP（試料 3）の年代値が得られた。また東面の 35層から採取した土壌試料を分析したところ、火山ガラスが 11% 含まれ、屈折率が 1.510 付近に集中したため、鬼界アカホヤ火山灰（K-Ah）に対比した。

・ 40層：有機質シルト

黒色の有機質シルト。層厚は最大 85cm で、北へ向かって徐々に薄くなりせん滅する。南へは断層により分布を絶たれる。東面では、グリッド 2.6～2.8 付近に分布高度の不連続があり、上位に堆積するシルト層（35層）を下位にくさび状に取り込んでいる。壁面に露出する地層の中では際だって有機質であり、また断層の低下側のみ分布することから、小規模な湿地に堆積した地層であると考えられる。40層の最上部からは 6930±30yBP（試料 32）、下部からは 7980±30yBP（試料 30）の年代値が得られた。

・ 50層：シルト

褐色～黄褐色のシルトで、最大径 12cm、平均 2～4cm の角一垂角礫を含む。層厚 20～40cm 程度で分布する。乾燥によるクラックが発達し、灰色シルトが脈状に多く入るのが特徴的である。下位の 55層との境界は漸移的で不明瞭である。上位の礫混じりシルト（35層）との境界も明瞭ではない。グリッド 5.0 から南にいくにしたがって分布が不鮮明になりせん滅する。50層は、下位の礫混じり有機質シルト（55層）が脱色したものと思われる。

・ 55層：礫混じり有機質シルト

黒褐色～暗灰色の有機質シルトを主体とし、最大径 12cm、平均 2～4 cm の角一垂角礫を含む。礫は下部付近に多く分布する。層厚は 50～80cm である。トレンチの北半部では、乾

湿によるクラックがよく発達し、上位のシルト層（50層）がそれらを充てんしている。グリッド4.5付近から南では、上位に有機質シルト（40層）が載るが、両者の境界はあまり明瞭ではない。グリッド1.8～2.5付近で分布が断たれ、上下方向に不連続が生じている。55層からは、断層帯の北側の最上部から8820±30yBP（試料29）の年代値が得られた。断層帯中の55層の最上部からは7040±30yBP（試料28）の年代値が得られた。この年代値は40層の最上部から得られた年代値とほぼ同じであるため、西面の断層帯中の55層は40層に対比される可能性もある。

・60層：シルト

断層帯中に分布する黒色～暗褐色のシルト。グリッド1.3～2.6付近に分布し、両側の地層とは断層を隔てて接している。礫の含有量や固結度に基づき細分される可能性もあるが、ここでは60層として一括した。この層のトレンチ底付近から採取した試料からは、10160±40yBP（試料20）の年代値が得られた。

・65層：シルト

黒色～暗褐色のシルトで、東面の断層帯中に分布する。60層に比べて、やや礫がちである。

・70層：礫

黄褐色の最大径10cm、平均2～4cmの角一亜角礫。層厚40～50cm程度で分布する。上位の55層との境界に、上下方向の不連続がある。断層に向かって撓みこむ構造が認められる。この層からは7780±30yBP（試料15）の年代値が得られた。

・80層：礫

淡黒～暗褐～黄褐色の礫層。トレンチ底まで分布し下面は確認できないが、層厚は70cm以上である。風化した、細礫サイズの角一亜角礫を多く含む。黒色化したシルトをマトリクスとして含む部分がある。無層理・無淘汰で、北側の斜面から供給された崖錐性の堆積物である。東面ではグリッド2.8付近、西面ではグリッド2.2付近で断層により分布を断たれる。

・90層：礫混じりシルト

黄褐色～灰色のシルト。細礫サイズの角一亜角礫を含む。非常に固結している。層厚は110cm以上である。

iii) 断層構造と古地震イベント

東面と西面の南半部に、高角度で傾斜する断層が確認された。東面で5条（fe1～fe5）、西面で3条（fw1～fw3）の断層がトレンチ底で確認され、それらの中には上方へ分岐するものもある。これらの断層は、トレンチ底での幅が1m程度の断層帯を形成している。断層帯はその南縁をfe1とfw1に、その北縁をfe5とfw3に限られている。これらの断層の上方延長は異なる層準までのびており、異なった時期に活動したことが読み取れる。以下に、断層と地層の切断・被覆関係に基づいて判読できる3回の古地震イベントについて、最新活動から順に記載する。

イベント1

fe4は上方へ2条に分岐するが、北側の分岐断層は30層の下面を変位させ、20層に覆われる。また西壁面では、fw3によって楔状の割れ目が形成され、そこに30層が落ち込んで

いる。これらから、30層の堆積中あるいは堆積後で、20層の堆積前にイベント1（最新イベント）があったことがわかる。イベント1の際には、fe2の最も南側の分岐断層も活動した可能性がある。イベント1の際に活動した断層に切られた地層(35層)から 1560 ± 30 yBP（試料17）・ 1590 ± 30 yBP（試料19）が得られており、覆う地層（20層）から 1130 ± 30 yBP（試料12）・ 810 ± 30 yBP（試料1）が得られているので、イベント1の年代は 1560 ± 30 yBP以降で 1130 ± 30 yBP以前（暦年補正するとAD420～780年）となる。

イベント2

fe3の上方延長（あるいはfe2の北側の分岐断層）によって、55層と35層の境界は南上がりに変位しているが、その上方の35層中のシルトは変位しておらず、断層が35層中でせん滅する。Fe4の南側の分岐断層も同様に35層中でせん滅するように見える。このことから、35層の堆積中にイベント2があった可能性がある。35層の最下部から 6010 ± 30 yBP（試料3）、最上部から 1560 ± 30 yBP（試料17）が得られているので、イベント2の年代はこれらの年代に挟まれた時期（BC4990～AD570）となる。

イベント3

fe5は80層と55層を切断し、40層に覆われる。またfe1やfw2などの数条の断層が55層までを変位させ、その上位の35層に覆われる。さらに、40層は断層帯の低下側のみに堆積しており、この地層が堆積した際には断層に沿う局地的な窪みがあったと考えられる。これらから、55層の堆積後で40層の堆積前に、イベント3の断層活動があったことがわかる。55層からは 8820 ± 30 yBP（試料29）、40層からは 7980 ± 30 yBP（試料30）の年代値が得られているので、イベント3の年代はこれらの年代値に挟まれた期間（BC8170～6765）となる。

根来断層の最新活動時期については、地域地盤環境研究所（2008）が枇杷谷BトレンチにおいてAD635～750と求めており、本調査で得られたAD420～780という時期はこれと調和的である（図4）。本調査で得られたデータによって、根来断層の最新活動時期についてはさらに信頼性が高まったと考えられる。イベント2については、水野ほか（2000）は上黒谷No.4トレンチでイベント2の年代を6310yBP～1950yBPと求めており、今回求められたイベントの時期はこれと矛盾しない。根来断層のイベント3の年代は本調査で初めて求められた。これらのデータに基づいて根来断層の平均活動間隔を求めると、3590～4475年となる。

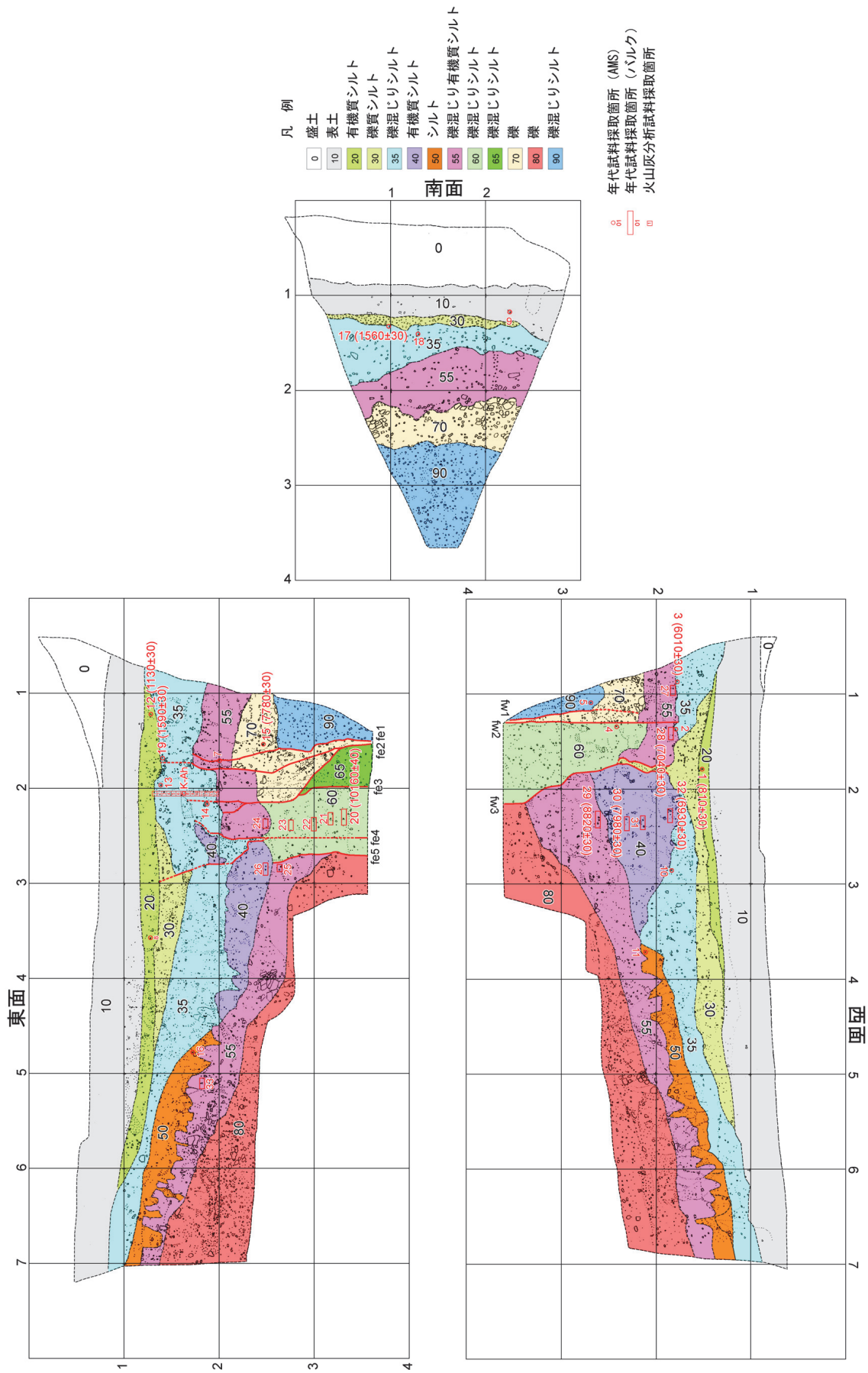


図3 上野トレンチの壁面のスケッチと層序区分・放射性炭素年代測定結果・火山灰分析結果

表 1 上野トレンチで得られた試料の放射性炭素年代測定結果

Beta ID	Sample name	Type of material	Measured radiocarbon age	conventional radiocarbon age	Calendar age	13C	Dating method	Pretreatment
404251	Shorinji-1	charred material	810±30	810±30	AD 1165-1270	-24.8	AMS-Standard	acid/alkali/acid
404252	Shorinji-3	charred material	NA(CO2量が少なく同位体マスによる13Cの測定不能)	6010±30	BC 4990-4830, BC 4815-4805	NA	AMS-Standard	acid/alkali/acid
405845	Shorinji-17	charred material	1590±30	1560±30	AD 420-570	-26.8	AMS-Standard	acid/alkali/acid
405846	Shorinji-19	charred material	1590±30	1590±30	AD 400-545	-24.8	AMS-Standard	acid/alkali/acid
405847	Shorinji-20	organic sediment	10130±30	10160±40	BC 10055-9750, BC 9720-9695	-23.4	AMS-Standard	acid washes
405848	Shorinji-28	organic sediment	7060±30	7040±30	BC 5990-5880	-26.5	AMS-Standard	acid washes
405849	Shorinji-29	organic sediment	8840±30	8820±30	BC 8170-8115, BC 8055-8045, BC 7980-7780, BC 7770-7755	-26.1	AMS-Standard	acid washes
405850	Shorinji-30	organic sediment	8020±30	7980±30	BC 7045-6765	-27.2	AMS-Standard	acid washes
405851	Shorinji-32	organic sediment	6960±30	6930±30	BC 5885-5735	-26.9	AMS-Standard	acid washes
406750	Shorinji-12	charred material	1200±30	1130±30	AD 780-790, AD 870-985	-29.0	AMS-Standard	acid/alkali/acid
406751	Shorinji-15	organic sediment	7790±30	7780±30	BC 6650-6570, BC 6540-6530	-25.5	AMS-Standard	acid washes

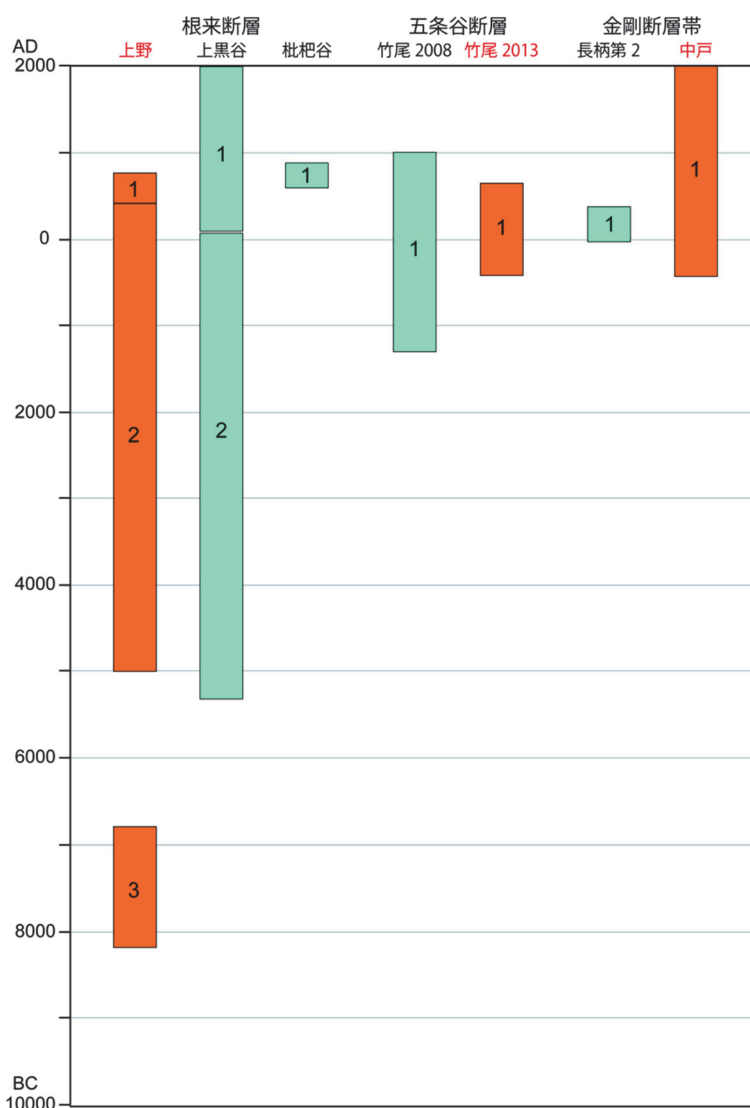


図 4 中央構造線断層帯（金剛山地東縁－和泉山脈南縁）の古地震イベントの時期。水色の枠は既存調査結果を、茶色の枠は本重点調査観測で得られた結果を示す。上黒谷地区は水野ほか（2000）、枇杷谷地区と竹尾地区 2008 年調査は地域地盤環境研究所（2008）、長柄地区第 2 トレンチ調査は佐竹ほか（1999）による。

2) 奈良県葛城市中戸における金剛断層帯山田断層のトレンチ掘削調査

i) トレンチの位置と調査の概要

金剛断層帯については、佐竹ほか（1999）により最新活動時期が明らかにされている。しかし、それ以前の活動履歴については全く情報が得られておらず、活動間隔などは不明である。そこで、金剛断層帯の北端部に位置する山田断層を対象に、奈良県葛城市中戸においてトレンチ掘削調査を行った（図5）。調査地域の周辺では、数条の南北走向の断層が並走するが、山田断層は最も盆地側に位置し変位地形が最も明瞭であるため、金剛断層帯の第四紀後期の活動履歴を代表すると考えた。トレンチは、都市圏活断層図「五條」図幅（岡田ほか，1996）の低位段丘面を変位させる南北方向の変動崖を横切って掘削された。掘削したトレンチは、長さ約14m、幅約3m、深さは最深部で約2mである。トレンチの長軸はN70°Eの方向に延び、断層の走向とほぼ直交する。

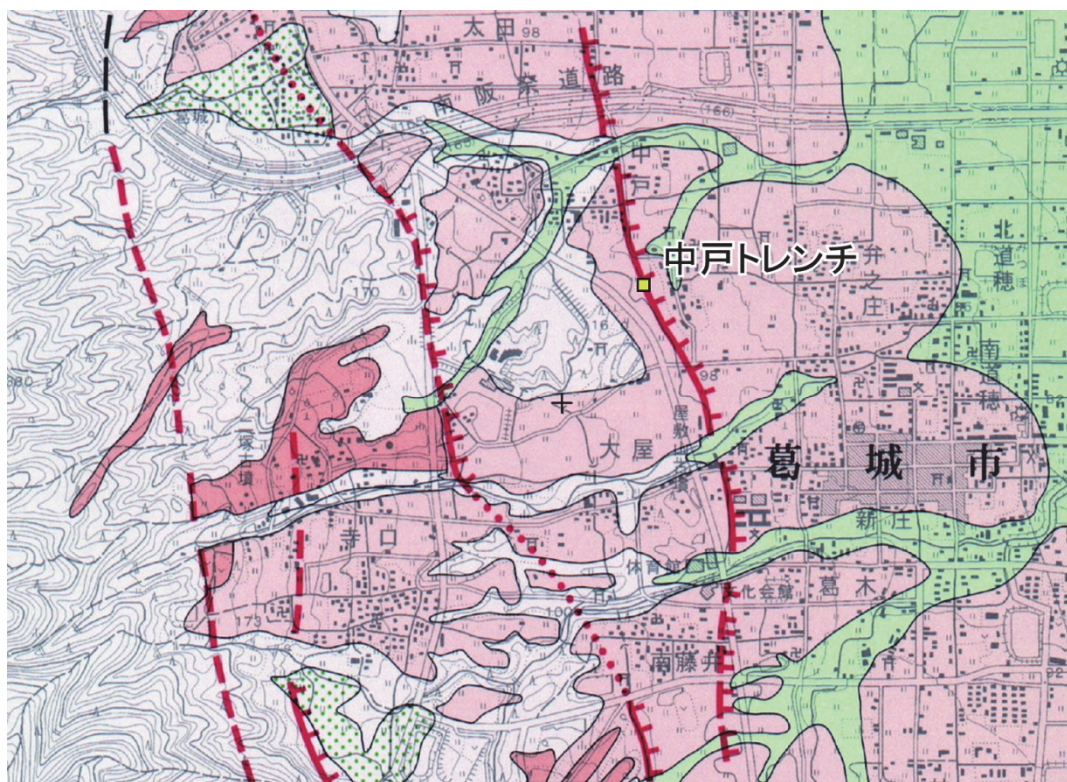


図5 葛城市中戸におけるトレンチ掘削調査地点の位置。基図は都市圏活断層図「五條」（岡田ほか，1996）。

ii) 層序区分と地層の記載

トレンチ壁面のスケッチと層序区分、および放射性炭素年代測定結果を図6に示す。年代測定値は、 $\delta^{13}\text{C}$ 補正を施した値である。表2は放射性炭素年代測定結果の一覧である。各層の層相や堆積構造および放射性炭素年代測定値を以下に記す。

・0層：耕作土・埋土

暗褐色～暗黄褐色の耕作土・埋土。トレンチ全壁面の最上部に、層厚20～170cmで分布する。3枚程度の埋土が識別できる。グリッド11.0から14.0付近では、下位の地層をけ

ずりこんだチャンネル状の構造が認められる。ここで認められる黒色化した地層はいくつかに細分されるが、境界部は漸移的で不明瞭である。人工改変の影響が大きく、地層区分は困難であることから、ここでは耕作土・埋土として一括した。

・10層：シルト～砂

暗灰色～暗褐色からなるシルトと粗砂の互層。トレンチの東部では層厚 20cm 程度、西部では 50cm 程度で分布している。人工改変により削られているため、北面のグリッド 5 以東には分布しない。しまりが悪く、触るとぼろぼろと崩れる。

・20層：シルト

暗灰色～暗褐色のシルト。上部はシルト質細砂から粗砂で、下部はシルトである。やや有機質である。ほぼ同じ厚さ（10～20cm）を保ちながら東へ傾斜している。南面では、下位の有機質シルトの上位に広く分布するが、グリッド 4.5～7.5 や北面では人工的に削られているため分布しない。

・30層：有機質シルト

淡黒色～灰色の有機質シルトで、粗砂が混じる。ほぼ同じ厚さ（40～50cm）でトレンチ全体に広く分布する。北面のグリッド 10～11 では、地すべりによって斜面下方へ滑り落ちている。グリッド 7～9 にかけては上に凸状の形状を示す。

・35層：砂混じりシルト

暗青灰色の細砂混じりシルト。層厚 15～20cm 程度で、上位の有機質シルト（30層）の下位に断片的に分布する。

・40層：砂

暗灰色～暗褐色の細砂と粗砂の互層。層厚は 30～50cm である。下位の地層を削り込んだチャンネル堆積物と考えられる。全体的に東傾斜を示し、特に南面のグリッド 10 付近では細砂が急傾斜している。

・45層：砂

暗灰～黄褐～褐色の細～中砂と粗砂の互層。層厚は 30～40cm である。下部に細砂やシルトなどの細粒堆積物が分布する。上位の砂層と同様に、下部の地層を削り込むチャンネル構造が発達する。北面のグリッド 6.5～8.0 や南面のグリッド 6.0～7.5 では、下位のシルト層との境界に不規則な削り込みがみられる。全体的に東へ傾斜しているが、グリッド 11.0～12.0 より東側ではほぼ水平になる。

・50層：有機質シルト

淡黒色～暗青灰色の有機質シルト。材や炭化物に富む。層厚は最大 50cm で、東側へ向かって厚くなる傾向がある。南面のグリッド 8～9 付近では、粗砂をレンズ状にはさむ。北面のグリッド 7～8 では、砂や有機質シルトが堆積後に再移動・流動化しているような構造がみられ、液状化の痕跡である可能性がある（図 7）。

・55層：砂

暗青灰色～黄褐色の、粗砂主体で細砂を数枚はさむややルーズな砂。下位の地層をチャンネル状に削り込んで堆積している。層厚は最大で約 50cm である。細粒部に材を含む。全体的にゆるやかに東傾斜するが、グリッド 11.0 より東側ではほぼ水平に堆積している。北面のグリッド 7.2 付近では、下位の有機質シルト（60層）を不自然に削り込むような構造が見られる。

・60層：有機質シルト

黒色～茶色の有機質シルト。層厚 10～20cm 程度で分布する。北面のグリッド 6.7～7.2 付近では、茶色で粘性の高いシルトが分布し、その下位では粗砂が混じる。同様な粘性の高いシルトは、南面では認められない。南面のグリッド 5～6 付近では東へ向かって急傾斜しているが、それより東側でほぼ水平になることから、もともとあった斜面にはりつくように堆積したものと考えられる。

・72層：砂質シルト

淡黒色～暗灰色の砂質シルト。層厚 20～40cm で分布する。細砂を主体とし、下位の地層との境界は漸移的で不明瞭である。グリッド 4.0 から西側ではやや有機質になる。

・74層：砂混じりシルト

淡黒色～暗灰色の粗砂混じりの黒色化したシルト。よく締まっており、層厚は約 40cm である。北面のグリッド 6～7 では、黒色化の程度が著しく、下位の地層を母材とした古土壌である可能性がある。上下の地層との境界は漸移的で不明瞭である。グリッド 6.7～7.2 付近では、有機質シルト層にとりこまれるように分布しており、これは堆積後に侵食され、崩壊して再移動したためと考えられる。

・76層：シルト質砂

暗灰色のシルト質砂。層厚は 30～50cm である。上下の地層より細粒であるが、その境界は漸移的で不明瞭である。

・78層：砂

淡黒色～暗灰色の細砂と粗砂の互層。上部は粗砂主体で比較的締まっているが、下部の細砂はややルーズである。層厚 30cm 程度で分布する。

iii) 断層構造と古地震イベント

トレンチの壁面には断層は露出しなかった。変動崖と判断した崖（グリッド 5.2 以西）の直下でも地層はスムーズに連続するため、崖そのものは人工改変によるものだと判断される。

一方、壁面に露出した地層は全体的に東傾斜しており、これは西側の山地から供給された扇状地性段丘堆積物の初生的な傾斜を反映している。しかしながら、地形面の東への傾斜が約 1 度であるのに対して、10～30層の傾斜は最大で約 10 度と著しく大きい。またこれらの地層は上に凸の形状を示し、地下に伏在する西傾斜の逆断層の運動による撓曲変形の可能性がある。なお、40～55層の東傾斜が上位の地層よりも緩やかなのは、これらの地層は北流したチャネルの堆積物であるため、初生的な傾斜が東傾斜ではなかったためと解釈される。また 50層中には、液状化の痕跡と考えられる堆積構造の乱れが観察され（図 7）、この層の堆積以降に調査地周辺が強い震動を経験したことを示唆する。このような観察結果から、壁面に露出する地層は山田断層の活動による東下がりの撓曲変形を被っており、山田断層の最新活動がこれらの地層の堆積以後にあったと解釈した。30層の最上部から得られた試料の放射性炭素年代は 2350 ± 30 yBP (BC415～385) であり、山田断層の最新活動がそれ以降にあった可能性がある。金剛断層帯の最新活動年代は BC40～AD380 と求められており（佐竹ほか、1999）、山田断層の最新活動がこれに対比される可能性もある。

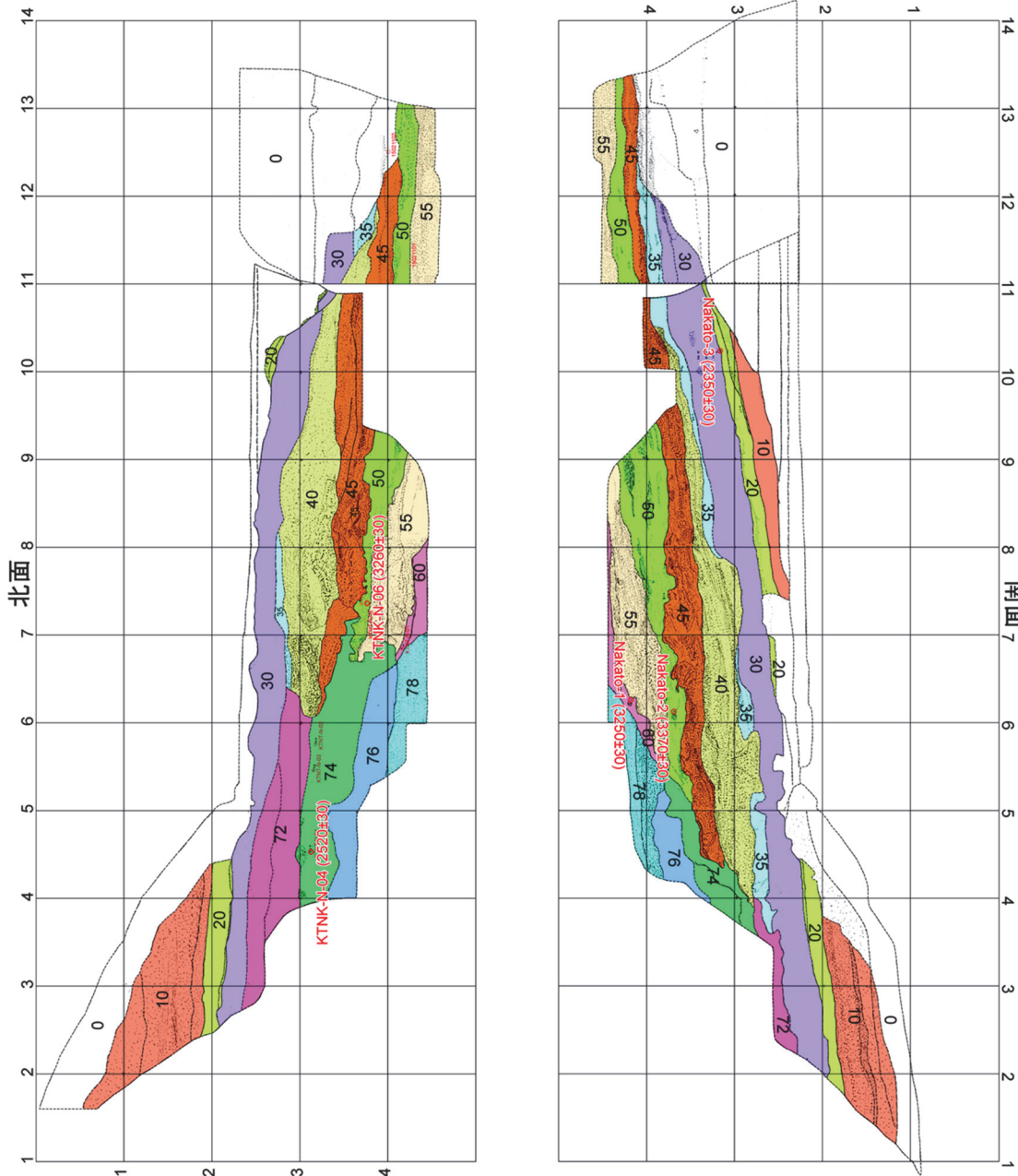


図 6 中戸トレンチの壁面のスケッチと層序区分・放射性炭素年代測定結果

表 2 中戸トレンチで得られた試料の放射性炭素年代測定結果

Beta ID	Sample name	Type of material	Measured radiocarbon age	conventional radiocarbon age	Calendar age	13C	Dating method	Pretreatment
401871	Nakato-1	plant material	3020±30	3250±30	BC 1610-1450	-11.1	AMS-Standard	acid/alkali/acid
401872	Nakato-2	plant material	3460±30	3370±30	BC 1740-1710, BC 1700-1610	-30.2	AMS-Standard	acid/alkali/acid
401873	Nakato-3	charred material	2380±30	2350±30	BC 415-385	-26.8	AMS-Standard	acid/alkali/acid
404249	KTNK-N-04	wood	2610±30	2520±30	BC 790-730, BC 690-660, BC 650-540	-30.3	AMS-Standard	acid/alkali/acid
404250	KTNK-N-06	plant material	3330±30	3260±30	BC 1615-1495, BC 1480-1455	-29.3	AMS-Standard	acid/alkali/acid

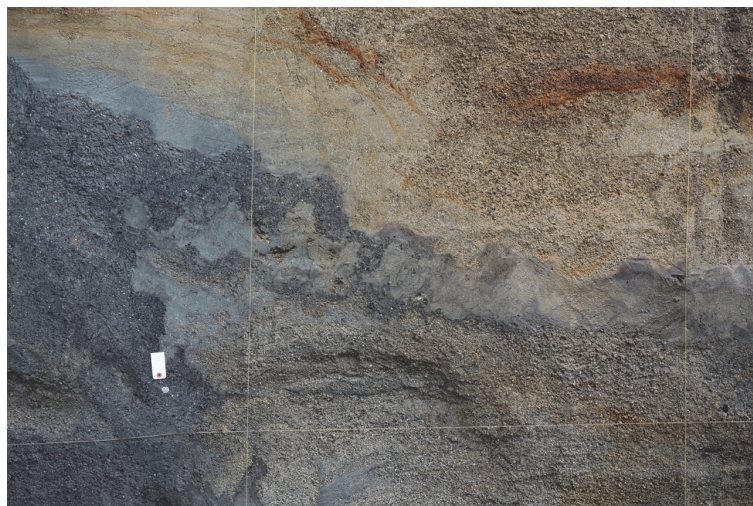


図 7 中戸トレンチ北壁面の50層中に見られた、液状化跡の可能性のある構造。水系の間隔は1 m。

3) 和歌山県岩出市根来における根来南断層の群列ボーリング調査

根来南断層は、北側の和泉層群と南側の菖蒲谷層や段丘堆積物の地質境界断層である。断層トレースに沿っては、地形面の南への撓みが連続的に認められるため、北側隆起の逆断層成分の卓越した断層であると考えられる。この断層の活動履歴を明らかにするため、平成25年度に岩出市根来で4孔のボーリング（B00、B20、B30、B50）を掘削した（図8）。B20が深度3.78mで和泉層群の砂岩に着岩したのに対し、B30では掘削深度9mでも着岩せず、それらのボーリング孔の間で基盤の上面高度が大きく異なることが明らかとなった。しかし、ボーリング孔の間隔が広く、基盤上面の形状や断層の有無については不明であったため、平成26年度に追加のボーリングを3孔掘削した（B17、B23、B26.5）。掘削深度は、B17が13m、B23が7m、B26.5が12mであり、B17と23は南へ約45度で傾斜する。B17は深度5.29～11.75mで砂岩を貫き、それ以深で黒灰色礫層に達する。B23とB26.5は砂岩に着岩しなかった。B26.5は深度7.20m以深で暗緑灰色礫層を貫き、これはB17で見られた礫層に対比される。砂岩を貫いたのがB17のみであるため、砂岩と堆積物の境界の形状を明らかにすることはできなかった。しかしながら、B17で貫かれた砂岩には複数の破碎帯が見られ、かなりの変形を被っている。図8には、得られたデータに基づくひとつの解釈（砂岩と礫層が断層関係で接しており、その上位をシルト層や砂質シルト層によって不整合に覆われる）を予察的に示す。今後ボーリングコアの観察と地層の対比・放射性炭素年代測定を進める予定である。またこの地点については、物理探査も併用して地層の分布や断層変位の有無を検討する予定である。

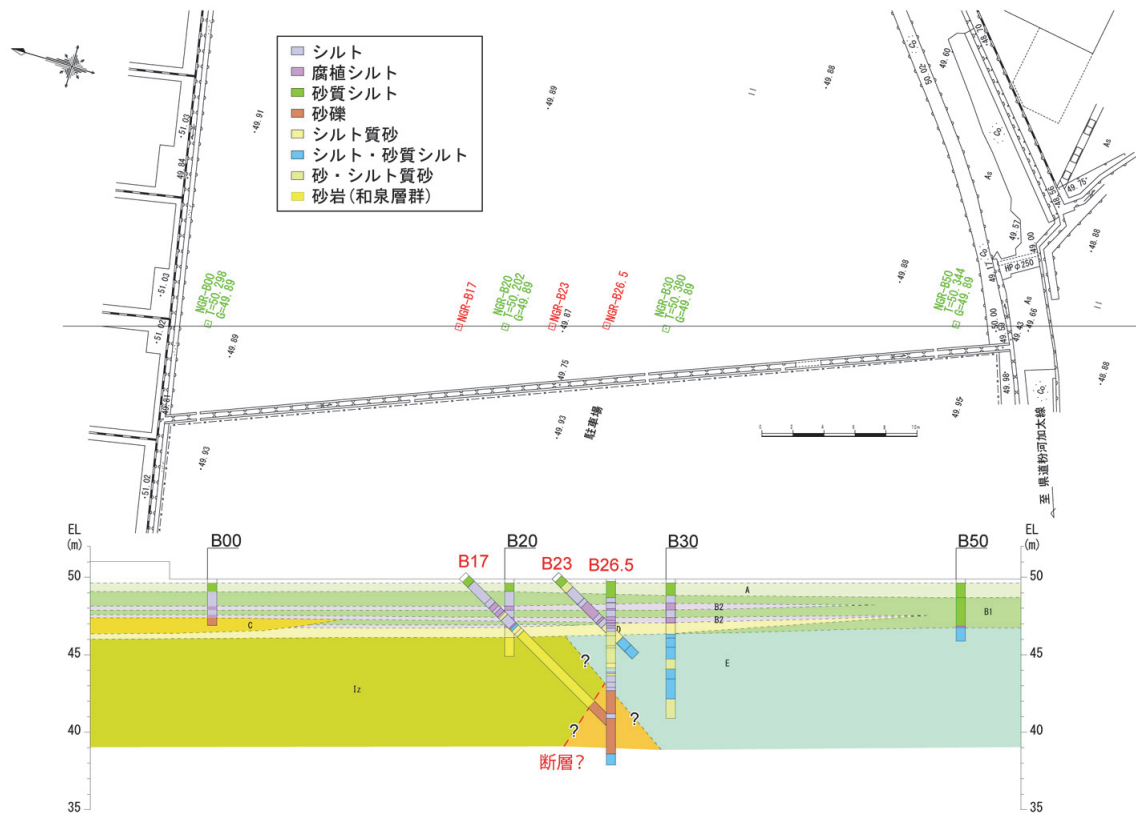


図8 岩出市根来における根来南断層の群列ボーリング調査による推定地質断面図

4) 和歌山県岩出市西安上と根来におけるS波反射法地震探査

i) 調査測線の位置

根来断層や根来南断層の地下約1 kmまでの構造については、平成25年度の岩出測線（文部科学省研究開発局・国立大学法人京都大学防災研究所，2014）をはじめとする複数の探査が行われている。ただしこれらの探査では、和泉層群中での地震波の散乱が著しく、根来断層の構造を十分には解明できていない。

根来断層と根来南断層の地下構造を、地形や地表地質調査の結果と併せて解釈するために、探査深度約100mのS波反射法地震探査を行った。探査測線の位置を図9に示す。第1測線は延長474mで、根来断層および根来南断層の西方延長を横切る測線である。第2測線は延長248mで、上記の根来南断層の群列ボーリング調査地点の約100m西に位置する。この測線は、根来南断層の撓曲崖を横切る。

ii) 探査と解析の仕様

現地での作業は2014年10月23日～31日に行った。探査仕様と使用機器を表3に示す。収録記録のデータ処理と解析は、一般的な共通中間点（Common Midpoint: CMP）重合法に基づいた。SN比（シグナルとノイズの比）を高めた時間断面を作成した後に、速度解析結果等に基づきマイグレーション処理を施し、時間断面中の反射面を正しい位置に戻した。さらに深度変換により、時間断面を深度断面に変換した。データ処理に使用した主なパラメータを表4に示す。

iii) 探査結果の地質学的解釈

調査地周辺の既存地質情報も踏まえて、探査結果の地質学的解釈を以下に記す。

・第1測線

第1測線の深度断面図と地質解釈図を図10に示す。第1測線は紀泉台住宅地東部を通る長さ約470mの南北方向の測線である。図9に示すように、CMP400付近で根来断層の地表トレースを横切る。

図10の深度断面に見られる反射面の特徴は、大きく3つに分けることができる。ひとつはCMP800付近より南側で、表層から深部まで明瞭な反射面が見られる部分である。平成25年度岩出測線や吉川ほか(1992)などの既存の反射法地震探査結果より、菖蒲谷層では反射面が明瞭に発達することが知られている。よってCMP800付近以南には菖蒲谷層が分布すると考えられる。菖蒲谷層はほぼ水平もしくは若干南傾斜する。

これに対してCMP800～500付近では、連続する明瞭な反射面がほとんど見られない。南側の菖蒲谷層との境界には、図10に示すように、約50度で北傾斜する断層が推定される。この断層は、地表で確認される根来南断層の西方延長線上に位置し、根来南断層が第1測線まで延長していることを示す。根来南断層の北側には和泉層群が分布するので(牧本ほか, 2004)、第1測線のCMP800以北には和泉層群が分布すると考えられる。平成25年度に実施された岩出市原のピット調査(測線の約200m西方)では、菖蒲谷層と考えられる著しく変形して直立する砂質シルトが観察されたが、反射断面では菖蒲谷層に対応するような明瞭な反射面は認められない。

CMP500以北は、比較的周波数の低い反射面が見られるが連続性は良くない。牧本ほか(2004)によると、ここには和泉層群に属する堆積岩が分布する。表層付近の反射パターンの違いに基づき、CMP480付近に根来断層を認定することができる。根来断層の傾斜は根来南断層に比べてやや急で、60度程度と考えられる。

CMP300～450付近の深さ30～40mには、南に傾斜する反射面が認められる。これは和泉層群の堆積構造を反映した反射面の可能性がある。牧本ほか(2004)によれば、紀泉台付近に見られる和泉層群は北東-南西走向で南に40～50度で傾斜する。この走向と探査断面の斜交角度を考慮すると、反射面が示す見かけの傾斜約30度は和泉層群の傾斜と調和的である。

・第2測線

第2測線の深度断面図と地質解釈図を図11に示す。第2測線は、第1測線の約600m東側に位置する長さ約250mの南北測線である。図9に示すように、CMP300付近で根来南断層の地表トレースを横切る。

図11の深度断面図に見られるように、CMP300付近を境に、南側では反射面が比較的明瞭で、ゆるく南に傾斜する。反射面のパターンから、この部分は菖蒲谷層と考えられる。それに対して、それより北では、連続した反射面がほとんど認められない。その境界に約50度で北傾斜する根来南断層が推定される。この断層の地表での位置は、地形学的に認定された根来南断層の地表トレースの位置とよく一致する。

表3 岩出市におけるS波反射法地震探査の探査仕様と使用機器

項目	内容	備考
探査手法	S波反射法地震探査	
波動種別	S波	
測線数	2	
測線名	第1測線 第2測線	
調査測線長	474m (第1測線) 248m (第2測線)	測点間隔から算出
解析測線長	470m (第1測線) 245m (第2測線)	CMP間隔の総延長
探査対象深度	地表付近から深度100m程度まで	
標準発震点間隔	1.0m	施設管理者の許可条件、交通状況、隣接家屋等の状況に応じて、発震をカット
発震点数	469 (第1測線) 249 (第2測線)	
標準受振点間隔	1.0m	障害物がある場合は受振器設置位置をずらして設置する
受振点数	470 (第1測線) 249 (第2測線)	
受振器配置	グルーピング	
同時収録チャンネル数	100チャンネル以上	各発震点に対する標準受振点数
最大受振距離	100m以上	
標準展開方法	インラインシューティング	測線終端部を除き前方100ch以上を確保、後方は展開状況に応じて調整。
標準水平重合数	50以上	
標準垂直重合数	10回以上	収録状況により調整
収録記録長	2秒	
サンプリング間隔	1 msec	
ファイルフォーマット	SEG-Y	
震源	油圧式S波震源	㈱阪神コンサルタンツ製作
受振器	速度型地震計 (固有周波数: 15Hz、1受振点につき3個をグルーピングしたもの)	OMNI2400 (GeoSpace社製)
収録装置	デジタル・テレメトリ型地震探査機 (24ビットA/D変換)	G・DAPS4A ㈱地球科学総合研究所製

表4 データ処理に使用した主なパラメータ

処理名	パラメータ	設 定 値		備考
		第1測線	第2測線	
プレフィルタ	バンドパスフィルタ帯域	10~60Hz	10~60Hz	
振幅回復	幾何学的発散補正 ウィンドウ幅	30msec		
	自動振幅調整 (AGC)	200msec		
デコンボリューション	自己相関演算用 ゲート長	1000msec		タイムバリアントスペクトラルホワイトニング等
	フィルタ長	100msec		
	ホワイトノイズ	3%		
残差静補正	最大許容時間シフト量 (1回当)	8 msec		
	繰り返し算出回数	1		
速度フィルタ	$\tau - p$	約 200m/s 以下を抑制		
タイムバリアントフィルタ		0~250msec : 20~60Hz 250msec~ : 10~40Hz	0~300msec : 16~60Hz 300msec~ : 10~40Hz	

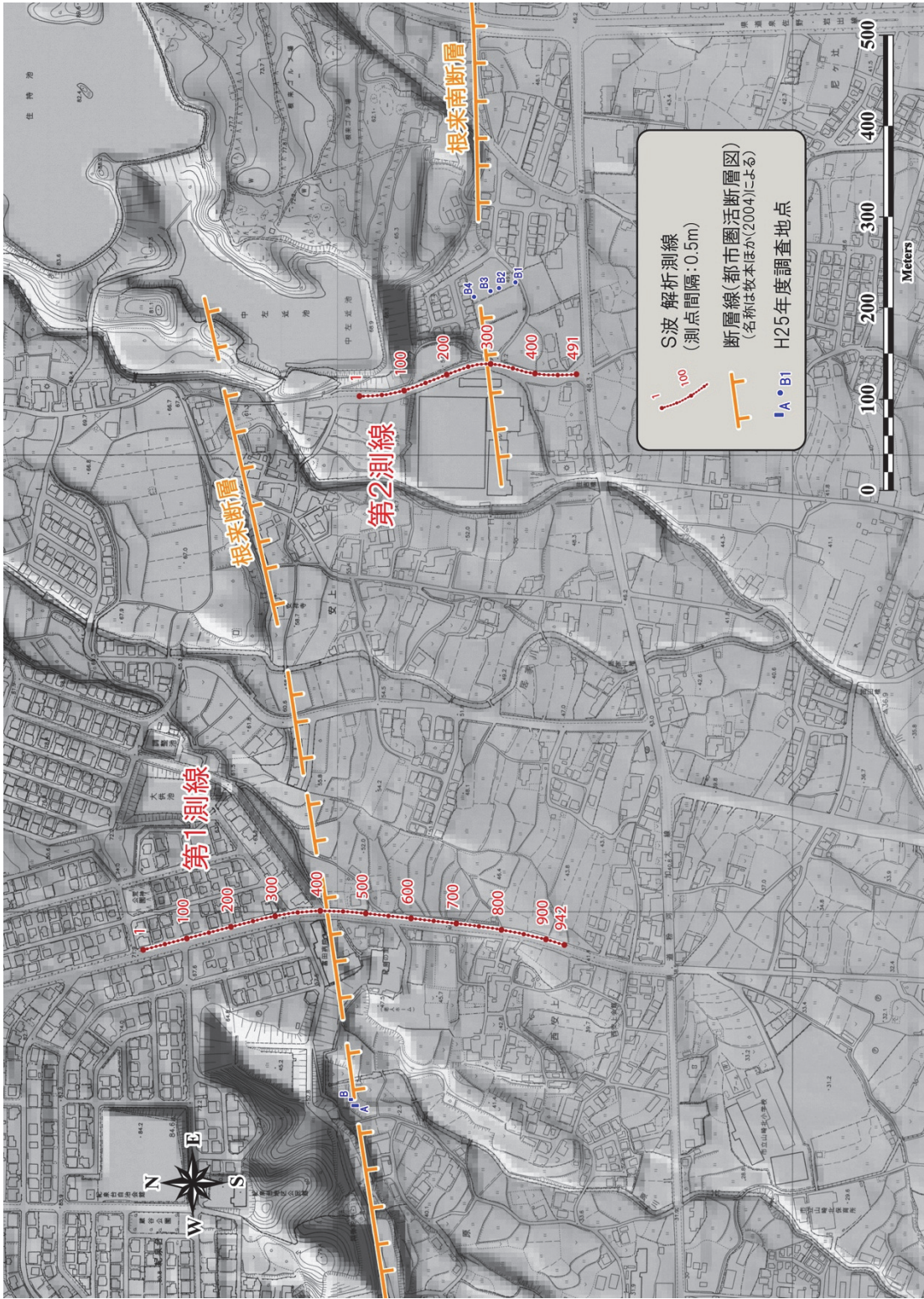


図9 岩出市西安上と根来におけるS波反射法地震探査測線の位置。基図は縮尺1:2500都市計画図と国土地理院5 mDEMを使って作成。

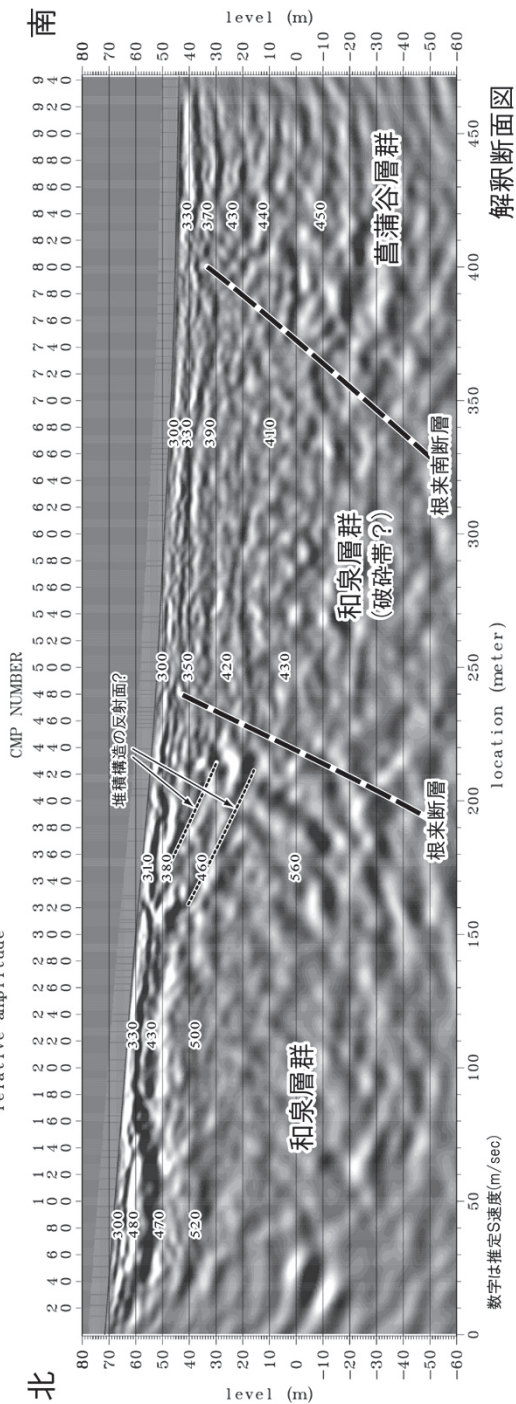
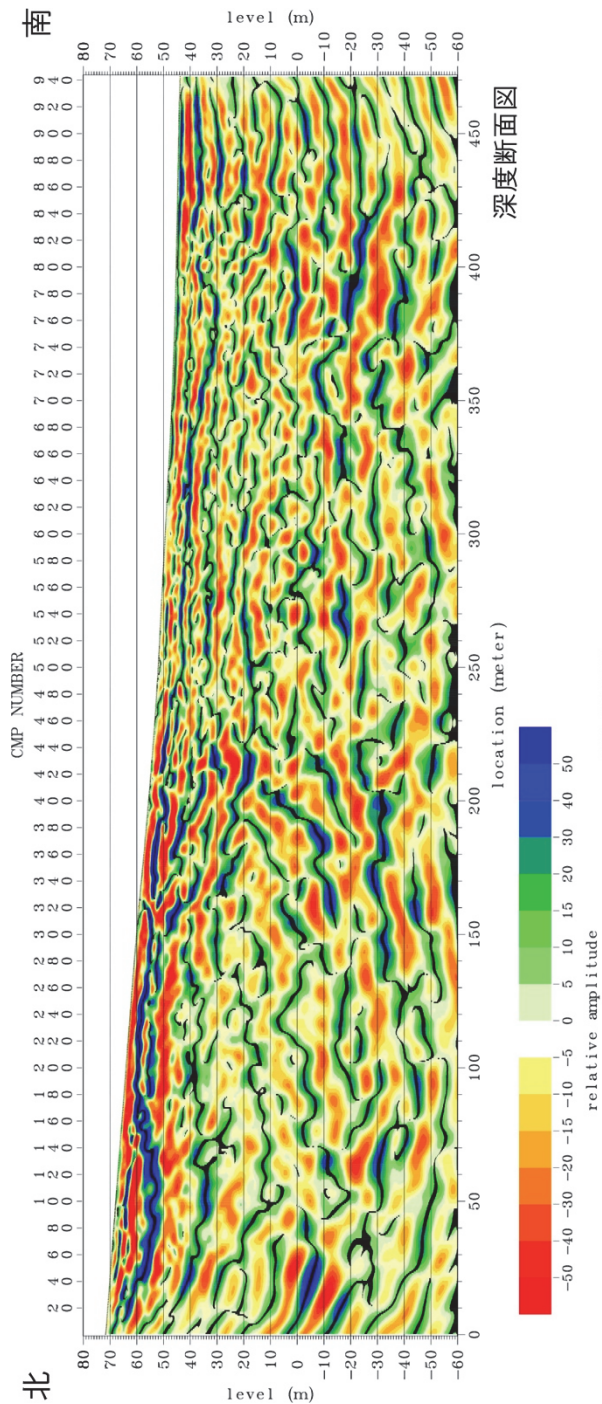


図10 第1測線の深度断面図と地質解釈図。垂直誇張はなし。

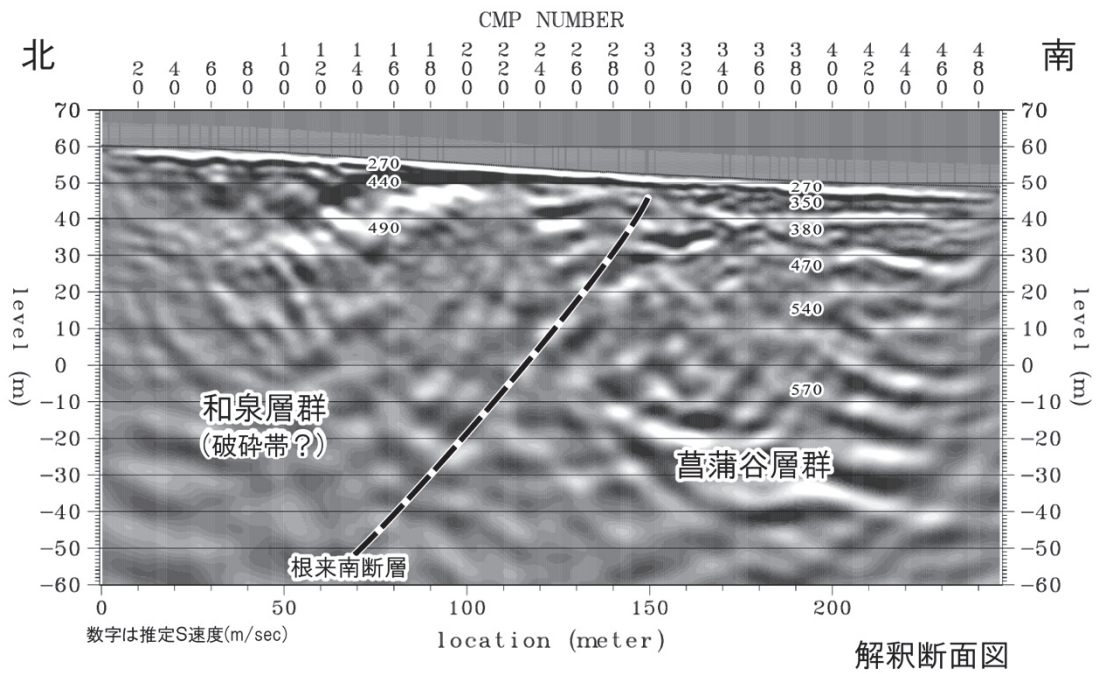
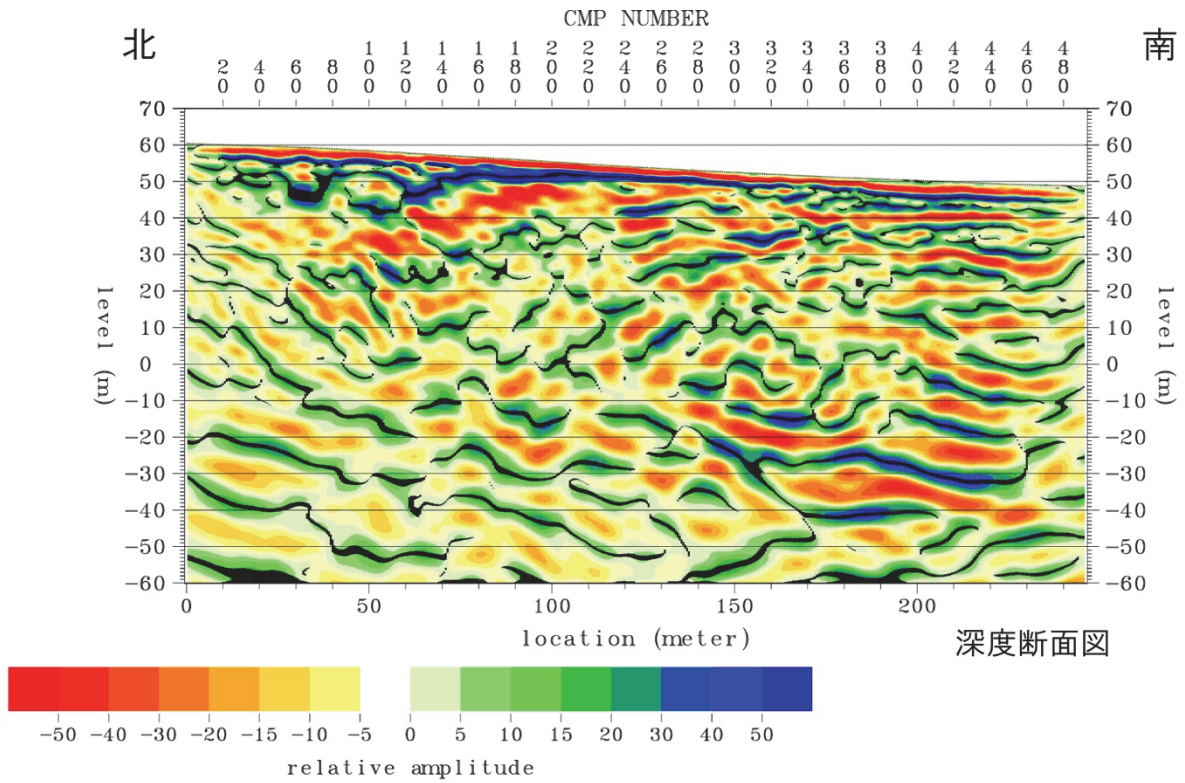


図11 第2測線の深度断面図と地質解釈図。垂直誇張はなし。

(c) 結論ならびに今後の課題

中央構造線断層帯（金剛山地東縁－和泉山脈南縁）を構成する各断層の位置・形状・活動履歴を明らかにするために、平成26年度は以下のような調査を行った。和歌山市上野と奈良県葛城市中戸ではトレンチ掘削調査を行った。和歌山市上野で行った根来断層のトレンチ掘削調査では、地層と断層の切断・被覆関係に基づき、3回の古地震イベントの痕跡を確認した。地層中から得られた試料の放射性炭素年代測定から、最新を含む過去3回の古地震イベントの時期を絞り込んだ。奈良県葛城市中戸において行った金剛断層帯山田断層のトレンチ掘削調査では明瞭な断層は出現しなかったが、完新世後期の段丘堆積物が断層変位を受けている可能性が示唆された。和歌山県岩出市根来では、平成25年度に行った群列ボーリング調査の追加調査を行った。また岩出市西安上と根来でS波反射法地震探査を行い、根来断層と根来南断層の地下100m以浅における形状を明らかにした。

平成25年度と26年度の調査で、根来断層や五条谷断層については活動履歴に関するデータを従来よりも拡充することができたが、金剛断層帯や根来南断層については活動履歴に関するデータが未だ不十分である。平成27年度は、データが不備な断層帯を中心に調査を進める予定である。また断層の変位速度や単位変位量についてのデータ収集を進める必要がある。

(d) 引用文献

- 牧本 博・宮田隆夫・水野清秀・寒川 旭，粉河地域の地質，地域地質研究報告（5万分の1地質図幅），産総研地質調査総合センター，89p，2004.
- 水野清秀・寒川 旭・佃 栄吉，中央構造線活断層系・根来断層の活動履歴に関する補備調査－上黒谷 No. 4 トレンチ調査，地質調査所速報，no. EQ/00/2（平成11年度活断層・古地震研究調査概要報告書），207-220，2000.
- 文部科学省研究開発局・国立大学法人京都大学防災研究所，中央構造線断層帯（金剛山地東縁－和泉山脈南縁）における重点的な調査観測 平成25年度成果報告書，129p，2014.
- 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 2枚＋解説書 68p，2002.
- 岡田篤正・千田 昇・中田 高，1:25,000 都市圏活断層図「五條」，国土地理院技術資料，D・1-No. 333，1996.
- 寒川 旭・岡田篤正，紀伊半島西部の中央構造線の新时期活動に関する断層露頭について，MTL，No. 2，51-60，1977.
- 佐竹健治・須貝俊彦・寒川 旭・柳田 誠・横田 裕・岩崎孝明・小俣雅志・石川 玲，奈良県金剛断層系の構造と最新活動時期，地震第2輯，52，65-79，1999.
- 地域地盤環境研究所，中央構造線断層帯（和泉山脈南縁－金剛山地東縁）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. 19-5，50p，2008.
- 和歌山県，平成10年度地震関係基礎調査交付金 中央構造線断層帯（和泉山脈南縁－金剛山地東縁）に関する調査成果報告書，121p，1999.
- 吉川宗治・岩崎好規・井川 猛・横田 裕，反射法地震探査による和歌山県西部の中央構造線の地質構造，地質学論集，40，177-186，1992.