

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研究

(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研究

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
同志社大学理工学部	教授	堤 浩之
国立研究開発法人産業技術総合研究所地質情報研究部門	主任研究員	小松原 琢
奈良大学文学部	教授	池田 安隆
法政大学人間環境学部	准教授	杉戸 信彦
一般財団法人電力中央研究所地球工学研究所	主任研究員	木村 治夫
国立大学法人東京大学史料編纂所	特任研究員	西山 昭仁
独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所	主任研究員	村田 泰輔
同志社大学理工学部	調査補助員	土井 有紀
同志社大学大学院理工学研究科	博士後期課程 2 年	Adi PATRIA
同志社大学大学院理工学研究科	博士前期課程 2 年	梶井 宇宙

(c) 業務の目的

奈良盆地東縁断層帯について、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。またトレンチ調査やボーリング調査等の地質学的調査・歴史史料の調査・考古学的調査により、過去の活動履歴を明らかにする。さらに周辺の断層帯との連続性や連動性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) 令和元年度：

奈良盆地東縁断層帯の詳細な位置や分布を明らかにするために、空中写真判読や既存の反射法地震探査断面・ボーリングデータの解析によって、縮尺 2.5 万分の 1 の活断層分布図の作成作業を行った。それを基に、断層変位地形の現地踏査や地形面の編年のためのピット掘削調査を行い、次年度以降の詳細調査候補地を選定した。奈良盆地北東部については航空レーザ測量により 0.5 m メッシュのデジタル標高データを、山科盆地東縁部については米軍や国土地理院撮影の空中写真から、大規模な人工改変前の地形の 5 m メッシュのデジタル標高データを整備した。木津川低地東部の大阪層

群基底の高度分布を明らかにするために、地表踏査を行った。奈良盆地に被害を及ぼした主な歴史地震について、史料の解析により被害状況をまとめるとともに、奈良盆地に位置する遺跡の発掘現場で確認された地震痕跡のカタログ作成作業を行った。各研究に関する情報交換と議論のために、関係者間の打合せやサブテーマ会議を行った。

2) 令和2年度：

奈良盆地東縁断層帯の詳細な位置や分布を明らかにするために、空中写真判読や既存の反射法地震探査断面・ボーリングデータの解析及び令和元年度に整備した地形データの解析により、縮尺 2.5 万分の 1 の活断層分布図の作成作業を行った。それを基に現地踏査を行い、断層変位地形や段丘堆積物の観察・記載を行った。断層帯全域において、断層帯を挟んで対比可能な複数の地層の上下変位量を明らかにし、変位量分布を議論した。断層帯の過去複数回の活動履歴、特に最新活動時期を明らかにするために、奈良市今市町と八島町、および京都市山科区大宅町において物理探査・ボーリング調査・トレンチ掘削調査・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・放射性炭素年代測定等）を行った。1185 年の元暦京都地震における奈良での建造物被害について、史料の解析により被害状況をまとめた。さらに、奈良盆地に位置する遺跡の発掘現場で確認された地震痕跡のカタログ作成作業を継続した。本調査研究で得られた奈良盆地東縁断層帯の位置・形状や活動履歴に基づいて、花折断層帯や琵琶湖西岸断層帯などの周辺の断層帯との連動性の検討を開始した。各研究に関する情報交換と議論のために、関係者間の打合せやサブテーマ会議を行った。なお活動履歴調査にあたっては、候補となる地点について事前に情報を可能な限り入手し、調査の実施方法等について十分な検討を行った。トレンチ掘削地点やボーリング掘削地点においては、複数の第三者による確認を行った。

3) 令和3年度：

奈良盆地東縁断層帯の詳細な位置や分布を明らかにするために、令和元～2年度の空中写真判読等の室内解析結果と野外踏査結果を整理して、縮尺 2.5 万分の 1 の活断層分布図を完成する。断層帯の過去複数回の活動履歴、特に最新活動時期を明らかにするために、物理探査・ボーリング調査・トレンチ掘削調査等を行う。あわせて関連の試料分析（テフラ分析・放射性炭素年代測定等）を行う。これらの成果と断層の変位量分布調査結果等を統合して、奈良盆地東縁断層帯のセグメンテーションモデルを構築する。奈良盆地や京都盆地の南部に被害をおよぼした歴史地震について、史料の解析により被害状況をまとめ、さらに奈良盆地に位置する遺跡の発掘現場で確認された地震痕跡のカタログを完成する。本調査研究で得られる奈良盆地東縁断層帯の位置・形状・活動履歴データに基づいて、花折断層帯や琵琶湖西岸断層帯などの周辺の断層帯との連続性や連動性を検討する。また他のサブグループと共同で、堆積層内における断層の形状・断層活動様式・構造発達過程に関する基礎データをまとめる。各研究に関する情報交換と議論のために、関係者間の打合せやサブテーマ会議を行う。なお活動履歴調査にあたっては、候補となる地点について事前に情報を可能な限り入手し、調査の実施方法等について十分な検討を行う。トレンチ掘削地点やボーリング掘削地点においては、複数の第三者による確認を行う。

(2) 令和 2 年度の成果

(a) 業務の要約

米軍撮影の縮尺約 1 万分の 1 の空中写真や令和元年度に整備したデジタル標高データを活用して、縮尺 2.5 万分の 1 の予察的な活断層分布図の作成と現地調査を進めた。現地踏査や既存の地質データの解析により、断層の上下変位量分布を複数の層準で明らかにした。新期の断層変位地形が保存されている奈良市今市町・八島町と京都市山科区大宅地区において、断層の活動履歴や変位速度を明らかにするための物理探査・ボーリング調査・トレンチ掘削調査・ピット掘削調査を行った。奈良に被害をおよぼした歴史地震として 1185 年の元暦京都地震を取り上げ、史料の解析により奈良での建造物被害をまとめた。奈良盆地に位置する考古遺跡に残された液状化等の地震痕跡データベースの作成作業を継続した。

(b) 業務の成果

1) 活断層図の作成

地形判読に当たっては、1947 年ごろに米軍が占領下で撮影した縮尺 1/1 万～1/1.6 万の空中写真を判読し、1960 年代に国土地理院が作成した旧版 1/2.5 万地形図と同時期の自治体の旧版都市計画図(縮尺 1/2500～1/15000)を基図として判読結果を転記することによって自然地形分類図を作成した。地形判読範囲は、東西約 5 km・南北約 55 km・面積約 275 km² の範囲である。

地形判読と地表踏査により、京都府域を対象として図 1～4 に示す地形分類図を作成した。「地理院地図」のツール機能を使用し、また令和元年度に旧版空中写真図化より得られた標高情報および旧版地図の等高線を読み取ることにより、断層を横断する地形断面図を作成した。

その結果、①山科盆地と木津川低地帯南部(上狛地域)および奈良盆地では比較的幅の狭い撓曲・断層変位が発達するが、御蔵山丘陵～城陽丘陵にかけては幅 1 km 以上の幅広い傾動が卓越する、②宇治川の段丘では 3 条の急傾斜帯による階段状の変動が認められるが、木津川の段丘では 1 条の断層(上狛断層)を除いて顕著な急傾斜帯は認められない、③従来「井手断層」と呼ばれていた断層沿いでは、第四紀後期の地形面に顕著な変形は認めがたい、ことが明らかになった。

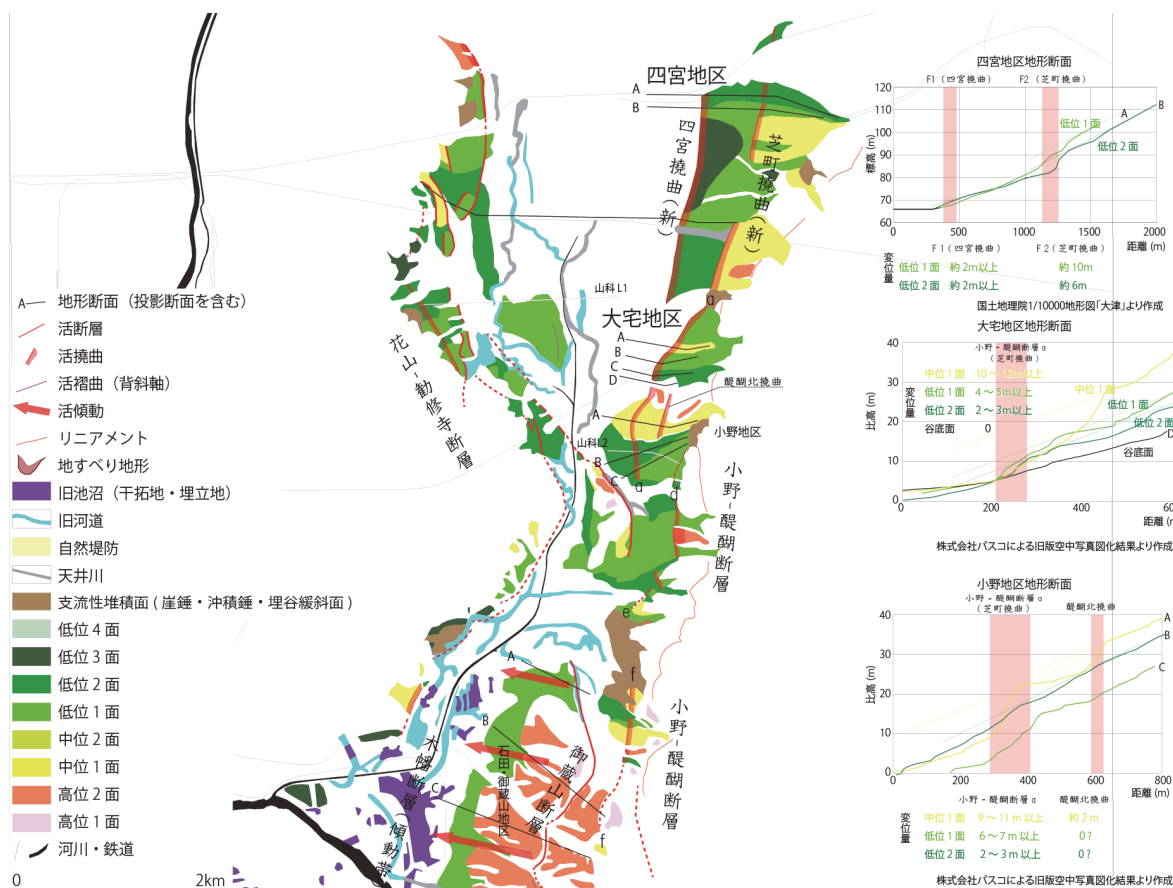


図1 1/25000 地形図「京都東南部」図幅の地形分類と変位地形

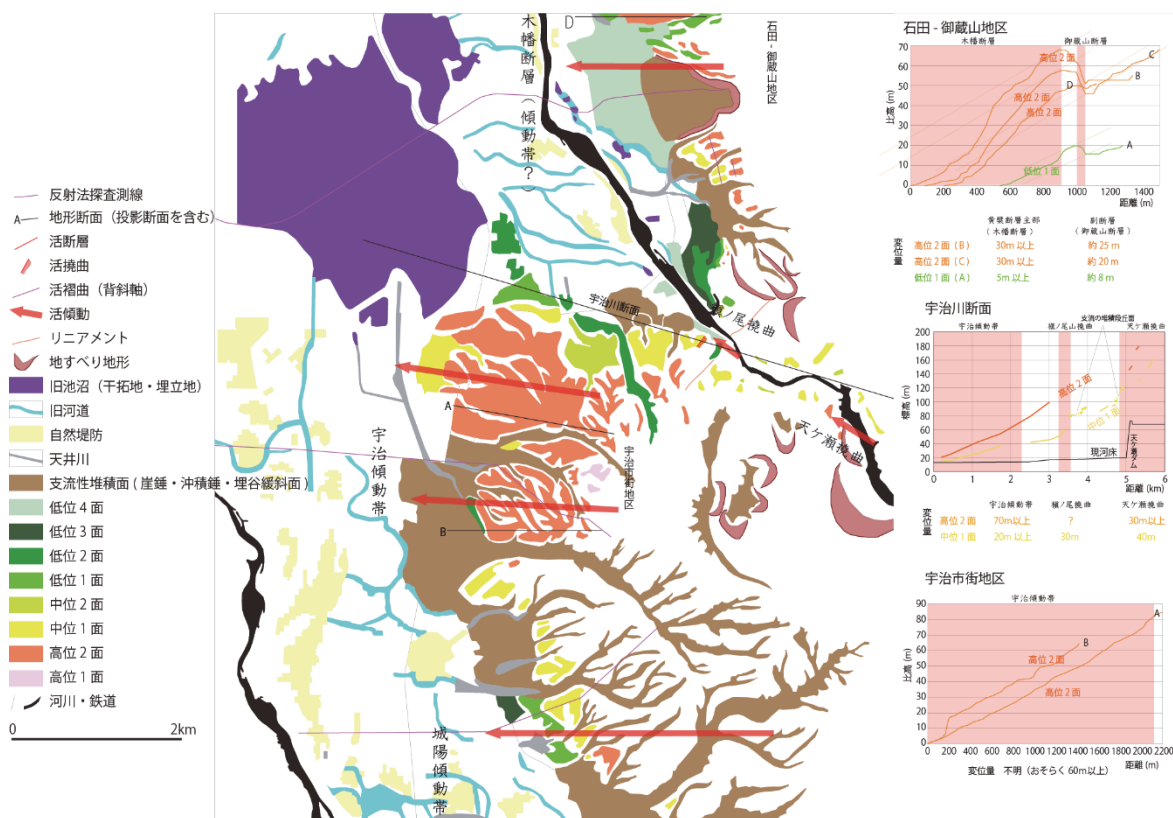
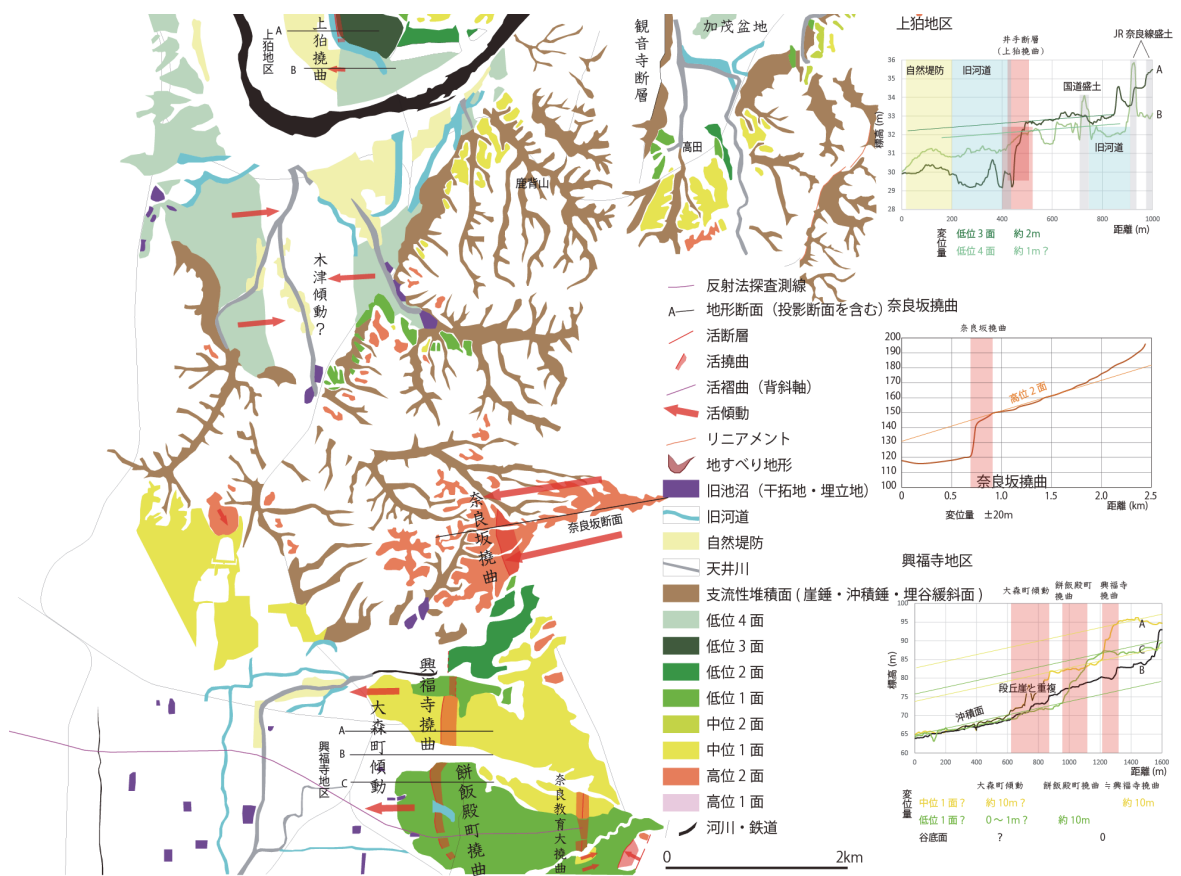
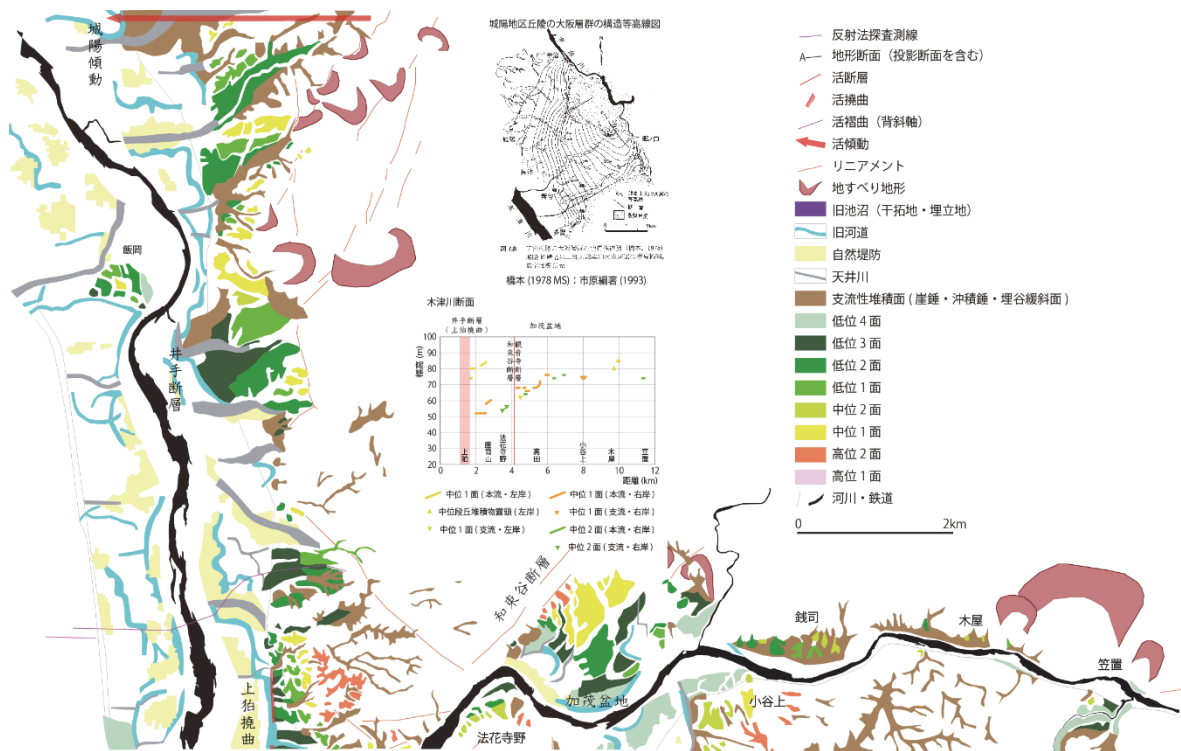


図2 1/25000 地形図「宇治」図幅の地形分類と変位地形



2) 地表踏査による断層の変位量分布の解明

地表踏査によって、奈良盆地東縁断層帯の変位量分布を明らかにした。地表踏査に当たっては、既刊地質図（信頼性の高い国土基本調査による 1/5 万表層地質図（京都府農林部耕地課，1983，1984；奈良県企画部開発調整課，1982，1984）を主に用い、そのほか多くの研究論文と産業技術総合研究所の 1/5 万地質図（尾崎・他，2000；西岡・他，2001；脇田・他，2013）を補助的に用いた。自治体発行の最近の 1/2500 都市計画図・白図（一部 1/10000 白図）により基準面の標高を確定するとともに、年代指標となるテフラや花粉化石試料を採取し、基準面の年代把握に努めた。また堆積物の堆積学的特徴と地質構造を観察・記載し、基準面の初生的形状や基準面形成（堆積）後の構造運動様式に関する資料を収集した。踏査範囲は東西約 3 km・南北約 50 km・面積約 150 km² の範囲である。

断層を挟んだ主要変位基準面の高度と比高から、基準面形成後の変位量分布を概算した。断層東側（隆起側）の変位基準の層位や年代を明らかにするため、7 試料のテフラ分析（表 1～3）および 17 試料の花粉分析（表 4(a)～4(c)）を行った。断層西側（沈降側）の基準面の年代と標高は、サブテーマ 3 によって令和元年度に収集された深層ボーリングデータ（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，2020）および過去のボーリングや反射法地震探査などの地下地質データ（京都市，2002，2003；京都府，2006；岡田・他，2019 など）を用いた。それらを総合して主要基準面の標高分布図（図 5）、およびそれを南北断面に投影した変位量分布図（図 6）を作成した。

中新世から更新世に至る多くの時間面を対象として断層東側における標高を求め、断層西側の地下地質資料に示された同時時間面の標高と比較して変位量と変位過程の概要を明らかにするための基礎データを得た。その結果、①井手断層周辺では大阪層群最下部基底の変位量が 150～200 m 程度と極小となり、その南北で変位量が大きい双峰型の変位量分布を示す、②井手断層より南では中新統基底が最大約 1000 m 変位するが、大阪層群下部基底（約 1.7 Ma の福田テフラ層準）の変位量は 300 m 以下と小さい、③井手断層以北では大阪層群下部基底の変位量が最大約 1000 m あり、カラブリアン階以降に限ってみると変位量・変位速度とも北部は南部よりも大きい、ことが明らかになった。

表 1 テフラ分析結果（屈折率測定）

	試料名	火山ガラスの屈折率
1	2020-2-2-13-1	1.4991～1.5043 (1.501～1.503)
2	2020-2-2-13-2	1.4988～1.5047 (1.502～1.504)
3	2020-6-17-15-2	1.4957～1.5017 (1.497～1.499), 1.5092～1.5148 (ピークなし)
4	2020-6-28-01-3	1.4975～1.5039 (1.497～1.500)
5	2020-6-28-01-4	1.4977～1.5041 (1.499-1.500, 1.503-1.504)
6	2020-6-28-01-5	1.4995～1.5023 (1.501～1.502)
7	2020-6-28-02-3	1.4971～1.5006 (1.498～1.500)

表2 テフラ分析結果（火山ガラスの主成分化学組成分析）

試料名	2020-2-2-13-1			2020-2-2-13-2			2020-6-28-1-3			2020-6-28-01-4			2020-6-28-01-5			2020-6-28-02-3		
glass	平均値	標準偏差		平均値	標準偏差		平均値	標準偏差		平均値	標準偏差		平均値	標準偏差		平均値	標準偏差	
SiO ₂	76.57	0.15		75.67	0.64		76.62	0.99		75.52	0.18		76.67	0.17		77.22	0.17	
TiO ₂	0.15	0.07		0.11	0.04		0.13	0.07		0.13	0.06		0.14	0.04		0.10	0.05	
Al ₂ O ₃	12.81	0.07		13.33	0.22		13.02	0.28		13.35	0.11		12.72	0.11		12.77	0.09	
FeO	1.38	0.10		1.53	0.24		1.00	0.45		1.63	0.07		1.43	0.07		1.07	0.11	
MnO	0.10	0.08		0.07	0.07		0.08	0.07		0.11	0.08		0.08	0.06		0.06	0.06	
MgO	0.05	0.03		0.06	0.04		0.05	0.04		0.04	0.03		0.06	0.03		0.09	0.03	
CaO	0.96	0.05		0.96	0.05		0.91	0.09		1.00	0.06		0.97	0.05		0.88	0.04	
Na ₂ O	3.55	0.08		3.89	0.24		3.28	0.30		4.03	0.14		3.54	0.11		3.28	0.08	
K ₂ O	4.42	0.11		4.37	0.23		4.91	0.34		4.19	0.16		4.37	0.18		4.53	0.13	
Total	100.00			100.00			100.00			100.00			100.00			100.00		

表3 テフラ分析結果（火山ガラスの微量成分化学組成分析）。数値はサンプルの元測定値のみを示し、校正用標準サンプルの測定値等は記載していない。赤字は負の値を示す。

試料名	2020-2-2-13-1	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Cs	Ba	La	Ce
	平均	6.87	0.17	(0.69)	0.29	0.81	1.69	48.54	19.41	138.87	103.37	26.39	150.27	12.29	8.34	814.86	37.83	66.88
	標準偏差	1.29	0.09	0.65	0.08	2.25	0.90	4.66	1.78	13.65	6.51	1.61	13.10	0.88	0.69	26.92	4.16	2.91
試料名	2020-2-2-13-2																	
	平均	9.04	0.77	0.10	0.74	(0.20)	3.69	79.87	22.39	133.27	88.86	33.22	199.31	17.29	5.62	691.58	41.92	77.61
	標準偏差	0.55	0.23	0.44	0.13	2.30	1.06	3.24	2.14	7.48	8.72	3.61	13.02	1.02	0.49	33.48	3.43	3.38
試料名	2020-6-28-01-3																	
	平均	3.13	0.88	0.44	0.40	0.08	0.34	29.29	14.31	131.40	80.23	23.65	105.39	13.50	7.51	697.75	36.28	65.10
	標準偏差	0.63	0.32	0.34	0.07	2.52	0.61	4.10	1.12	8.72	6.52	2.24	8.33	0.67	0.69	18.28	2.91	5.21
試料名	2020-6-28-01-4																	
	平均	8.66	0.19	(0.44)	0.17	0.32	1.62	61.31	25.91	126.01	88.71	34.08	191.95	16.68	5.20	740.91	40.33	83.64
	標準偏差	1.50	0.10	0.65	0.04	3.32	1.13	7.32	2.37	14.71	8.59	2.49	9.98	0.85	0.45	28.01	3.21	3.89
試料名	2020-6-28-01-5																	
	平均	6.58	0.33	0.21	0.32	(2.71)	1.63	57.26	19.70	149.08	97.19	24.41	131.76	12.04	7.17	726.34	33.44	68.67
	標準偏差	0.78	0.08	0.62	0.07	2.47	0.50	4.14	1.25	9.63	6.71	1.26	5.23	0.75	0.42	32.19	2.07	3.39
試料名	2020-6-28-02-3																	
	平均	5.20	0.82	(0.66)	0.38	(1.56)	1.07	41.06	18.61	126.33	84.67	21.03	105.86	13.46	8.15	690.11	33.61	63.35
	標準偏差	0.95	0.28	1.19	0.15	4.43	1.30	4.25	1.47	4.42	4.43	2.12	5.67	1.02	0.96	23.06	2.24	3.67
試料名	2020-2-2-13-1	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	Pb	Th	U
	平均	7.12	27.21	4.64	0.73	4.90	0.69	4.54	0.94	2.53	0.44	3.04	0.52	4.34	0.82	19.82	14.25	3.02
	標準偏差	0.32	0.91	0.25	0.07	0.31	0.04	0.37	0.10	0.13	0.02	0.19	0.04	0.17	0.10	0.65	0.55	0.12
試料名	2020-2-2-13-2																	
	平均	8.01	29.65	5.60	0.80	5.57	0.75	5.27	1.21	3.01	0.47	3.90	0.63	5.52	1.00	21.98	12.84	2.86
	標準偏差	0.45	1.42	0.44	0.12	0.33	0.06	0.34	0.07	0.18	0.05	0.27	0.08	0.41	0.08	1.08	0.49	0.13
試料名	2020-6-28-01-3																	
	平均	7.02	25.28	4.63	0.50	4.20	0.56	4.02	0.92	2.66	0.40	3.19	0.53	3.27	1.22	19.51	14.66	2.93
	標準偏差	0.56	1.58	0.45	0.09	0.42	0.08	0.38	0.11	0.16	0.05	0.22	0.06	0.22	0.14	1.19	0.42	0.12
試料名	2020-6-28-01-4																	
	平均	8.98	33.29	6.11	1.01	6.39	0.84	6.01	1.36	3.59	0.56	4.25	0.63	6.67	1.14	20.90	13.97	3.04
	標準偏差	0.39	2.00	0.61	0.10	0.42	0.04	0.40	0.06	0.24	0.08	0.33	0.06	0.32	0.15	1.15	0.55	0.15
試料名	2020-6-28-01-5																	
	平均	6.40	24.39	4.41	0.68	4.48	0.57	4.06	0.93	2.56	0.39	3.13	0.50	4.64	1.12	23.99	14.79	3.35
	標準偏差	0.40	0.77	0.49	0.08	0.28	0.06	0.20	0.07	0.25	0.04	0.27	0.05	0.29	0.11	0.72	0.69	0.10
試料名	2020-6-28-02-3																	
	平均	6.51	22.54	3.69	0.58	3.59	0.57	3.64	0.73	2.13	0.33	2.84	0.41	3.44	1.18	24.65	16.10	3.41
	標準偏差	0.47	1.12	0.36	0.12	0.34	0.06	0.26	0.07	0.22	0.06	0.20	0.06	0.27	0.19	0.76	0.71	0.14

表 4 (a) 花粉分析結果 1

分類コード			1	1	1	1							1	1							1	2	2	2	2	2	2				2											
試料番号・層	分類群		Ginkgo	Dacrydium	Podocarpus	Pinaceae	Abies	Cathaya	Picea	Tsuga	Pinus	P. (Subgen. Haploxyton)	P. (Subgen. Diploxyton)	Pseudotsuga	Sciadopitys	Taxodiaceae	Taxodium	Glyptostrobus	Metasequoia	Sequoia / Cryptomeria	Cryptomeria	Cupressaceae	Myrica	Juglandaceae	Juglans / Pterocarya	Carpinus / Ostrya	Betula	Alnus	A. (Subgen. Alnus)	A. (Subgen. Alnus)	Fagus	F. crenata type	F. japonica type	F. other type-S	Quercus	Q. (Subgen. Lepidobalanus)	Q. (Subgen. Cyclobalanopsis)					
		*	*				*								*			*	*	*																						
17	2020/6/17/05	低位段丘堆積物			1		+		1	18	41	1	65		17		*	*		*		1												1				2				
16	2020/6/17/11	低位段丘相当層			1						7		22					*				10	2	1		2	1												142	2		
15	2020/6/17/12	中位段丘?			1						5		7			1						5																	4	1		
14	2020/6/18/05	中位段丘?			1				1		61	3	48									36	10				+						1						34	2		
13	2020/6/27/01	中位段丘?	1							1	2	1	11			2				3	2		36	3	1					1										43	7	
12	2020/6/29/02-1	高位段丘(虚空蔵山礫層)									3											5																		7		
11	2020/6/29/03	高位段丘(虚空蔵山礫層)			1		1				9	1	17			3		3	25	+		54	53				2													52	3	
10	2020/2/2/4	大阪層群下部?									2					1			3			5	1																		1	
9	2020/6/28/04	大阪層群下部									2		1	1		2		1				6																			7	6
8	2020/6/21/13-1	大阪層群下部 (2020/6/20/12-4より上位だ ろう)											2		1				1																						24	1
7	2020/6/20/12-4	大阪層群下部(福田火山灰よ り上位?)					6			14	72	8			17				1			2				1				7			2								7	
6	2020/1/29/05	大阪層群最下部(福田火山 灰より下位)			1		1				6		6							5		6																			17	
4	2020/1/29/24-3	大阪層群最下部(虫生野火 山灰?の直上)									2		7	1					1			4																			4	1
5	2020/6/28/01-1	大阪層群基底(福田火山灰よ り下位・もしかしたら虫生野火 山灰の下位?)	1	1									1			1			1			3			1	2		1								1				30	1	
3	2020/6/24/02	大阪層群最下部?(虫生野 火山灰より下位?)									2			1					2																						8	
2	2020/6/24/07	大阪層群下部?(もしかした ら鮮新統)									7		7	1	1	1			7	2		2	7			1	2	1													19	2
1	2020/6/25/04	中新統地獄谷層				3	3	5			18		3	1	1	6	1	5	45	15	21	11	9			1	3	1													31	9

+ : 200粒の計数外で産出

* : 現在は日本に自生していない分類群(新第三紀型植物の分類群)

分類コード 1: 木本植物(針葉樹類); 2: 木本植物(広葉樹類); 3: 草本植物; 4: シダ植物; 5: コケ植物; 6: 不明花粉・胞子。

表 4 (b) 花粉分析結果 2

分類コード			2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3			
分類群 試料番号・層準			<i>Ulmus / Zelkova</i>	<i>Cedrus / Aphananthe</i>	<i>Corylopsis</i>	<i>Liquidambar</i>	Rosaceae	Rutaceae	<i>Malvaceae</i>	<i>Rhus</i>	<i>Ilex</i>	<i>Parthenocissus</i>	<i>Tilia</i>	<i>Camellia</i>	◆ <i>et Sonneratia</i>	Anilicaceae	Ericaceae	<i>Diospyros</i>	<i>Syrax</i>	<i>Ligustrum</i>	<i>Fraxinus</i>	<i>Polygonum</i>	<i>P. (Sect.Pericaria / Echinacaulon)</i>	<i>P. (Sect.Reynoutria)</i>	Chenopodiaceae	Caryophyllaceae	Ranunculaceae	<i>Ranunculus</i>	<i>Gazanium</i>	<i>Epilobium</i>	<i>Halenia</i>	Solanaceae	<i>Plantago</i>	Cardioidae	<i>Astragalus</i>	Cichorioidae
17	2020/6/17/05	低位段丘堆積物	1								3				◆		53			2		3	1		1		10							5		5
16	2020/6/17/11	低位段丘相当崖錘	1	+					1		2			14						1					+									2		1
15	2020/6/17/12	中位段丘?							1		5							4				1		2		1								3		1
14	2020/6/18/05	中位段丘?	2	12			+			1		1				1									2										1	9
13	2020/6/27/01	中位段丘?	2	4					2		1					1	1						3										3	3		
12	2020/6/29/02-1	高位段丘(虚空蔵山礫層)																																		
11	2020/6/29/03	高位段丘(虚空蔵山礫層)		1					1		+						1						+													
10	2020/2/2/4	大阪層群下部?																																		
9	2020/6/28/04	大阪層群下部							8		1						2																			
8	2020/6/21/13-3	大阪層群下部 (2020/6/20/12-4より上位だろう)																					6													
7	2020/6/20/12-4	大阪層群下部(福田火山灰より上位?)	1			1							2				3		1			1363				15		6	+					121	2	
6	2020/1/29/05	大阪層群最下部(福田火山灰より下位)		1	1											1			1																	
4	2020/1/29/24-3	大阪層群最下部(虫生野火山灰?の直上)																							1											
5	2020/6/28/01-1	大阪層群基底(福田火山灰より下位・もしかしたら虫生野火山灰の下位?)	1	2	1				1			1												3	2								2	3		5
3	2020/6/24/02	大阪層群最下部?(虫生野火山灰より下位?)																																		
2	2020/6/24/07	大阪層群下部?(もしかしたら鮮新統)						1	1	2	3						5																			
1	2020/6/25/04	中新統地獄谷層	3						1		2			1	1	1	2			1		44					2							16		

+:200粒の計数外で産出

*: 現在は日本に自生していない分類群(新第三紀型植物の分類群) ◆: マングローブ植物の可能性のある分類群

分類コード 1: 木本植物(針葉樹類); 2: 木本植物(広葉樹類); 3: 草本植物; 4: シダ植物; 5: コケ植物; 6: 不明花粉・孢子.

表 4 (c) 花粉分析結果 3

分類コード			3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	5	6	
分類群			Typha	Sparganium	Sagittaria	Gramineae	Cyperaceae	Liliaceae	Lycopodium	L. (Subgen. Urostachys)	L. (Subgen. Lycopodium)	Osmunda	Davallia	Polypodiaceae	monolete type spores	trilete type spores	Bryophyta	unknown pollen and spores
試料番号・層準																		
17	2020/6/17/05	低位段丘堆積物				43	2	+			7	26	134	4	57	105		12
16	2020/6/17/11	低位段丘相当崖錘				17										3		7
15	2020/6/17/12	中位段丘？				3				2	1	6	9		176	58	3	10
14	2020/6/18/05	中位段丘？				19	4				1	4			530	158	16	12
13	2020/6/27/01	中位段丘？				5						2				2		10
12	2020/6/29/02-1	高位段丘(虚空蔵山礫層)													5			2
11	2020/6/29/03	高位段丘(虚空蔵山礫層)												1	2	1		20
10	2020/2/2/4	大阪層群下部？	1			5									2			6
9	2020/6/28/04	大阪層群下部				3									1			11
8	2020/6/21/13-1	大阪層群下部 (2020/6/20/12-4より上位だろう)													1			0
7	2020/6/20/12-4	大阪層群下部(福田火山灰より上位？)				121	6						2	23	121	18	3	29
6	2020/1/29/05	大阪層群最下部(福田火山灰より下位)				2	1								8	4		3
4	2020/1/29/24-3	大阪層群最下部(虫生野火山灰？の直上)													2	3	1	2
5	2020/6/28/01-1	大阪層群基底(福田火山灰より下位・もしかしたら虫生野火山灰の下位？)		1	1	67	5					1			37	15		7
3	2020/6/24/02	大阪層群最下部？(虫生野火山灰より下位？)				2												1
2	2020/6/24/07	大阪層群下部？(もしかしたら鮮新統)				2									43	6	1	9
1	2020/6/25/04	中新統地獄谷層				25	1								16	5		116

小 計				
1.2	3	4.5	6	
木本植物花粉数	草本植物花粉数	シダ植物胞子数	不明花粉・胞子数	花粉・胞子数 合計
207	70	333	12	622
209	20	3	7	239
34	12	255	10	311
214	35	709	12	970
125	14	4	10	153
15	0	5	2	22
227	0	4	20	251
13	6	2	6	27
37	3	1	11	52
29	6	1	0	36
145	1634	167	29	1975
46	3	12	3	64
20	1	6	2	29
50	89	53	7	199
13	2	0	1	16
72	2	50	9	133
204	88	21	116	429

+:200粒の計数外で産出.

分類コード 1: 木本植物(針葉樹類); 2: 木本植物(広葉樹類); 3: 草本植物; 4: シダ植物; 5: コケ植物; 6: 不明花粉・胞子.

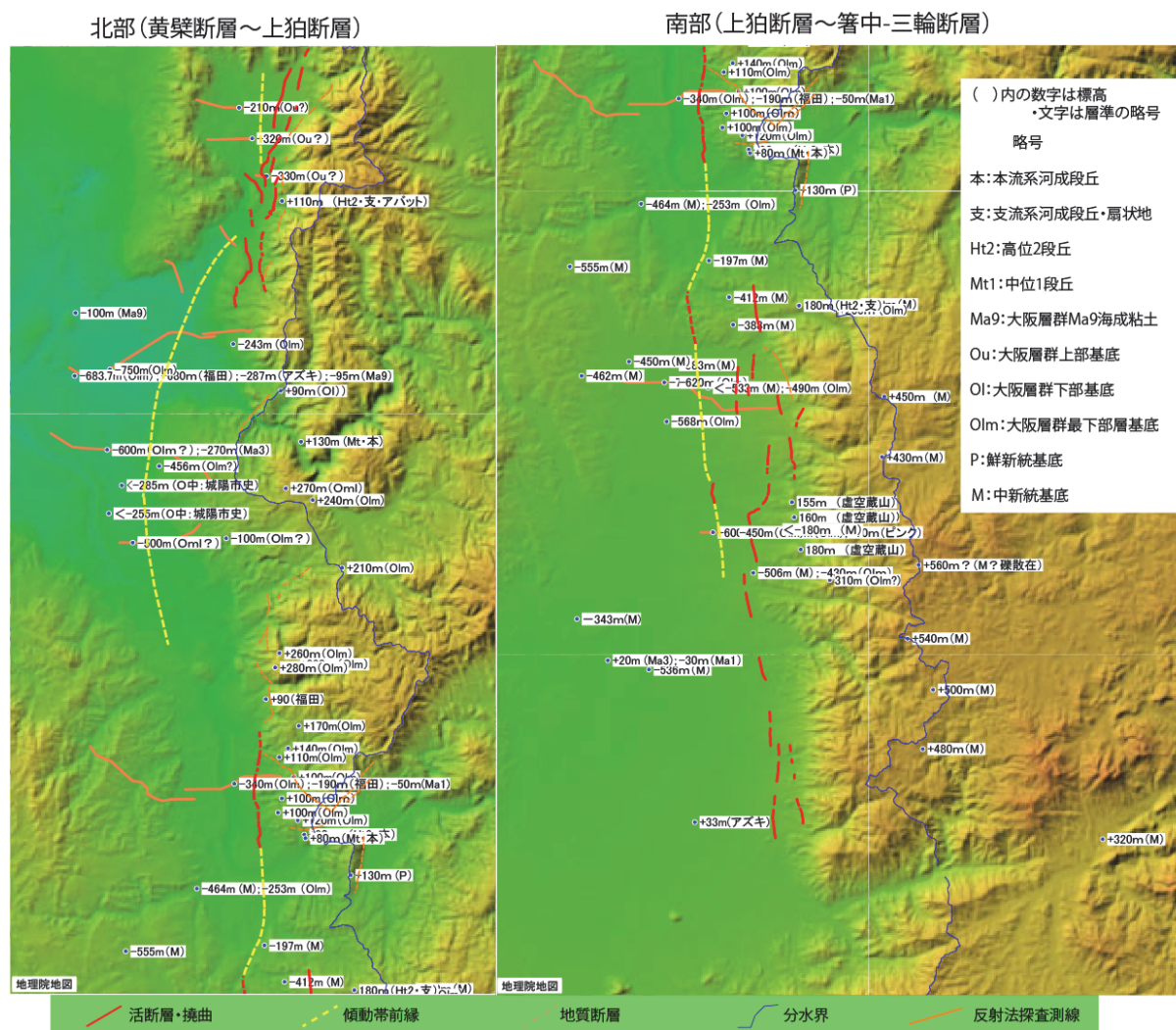


図5 主要基準面の標高分布。地理院地図に加筆。

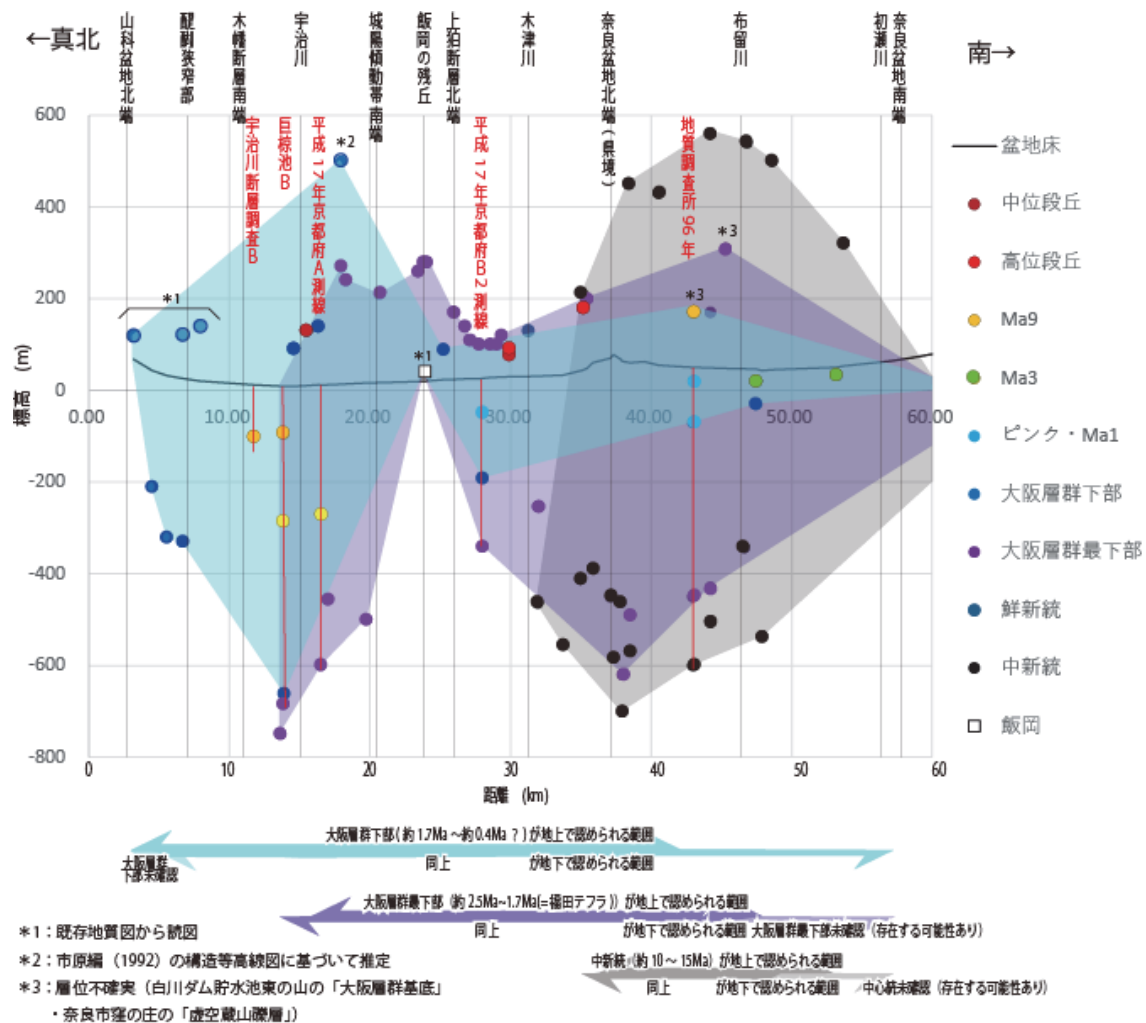


図6 主要基準面の変位量分布図（南北投影図）。灰色に塗色した範囲が中新統基底の変位量、紫色に塗色した範囲が大阪層群最下部基底の変位量、空色に塗色した範囲が大阪層群下部基底の変位量を示す。

3) 奈良市今市町における帯解断層の活動履歴調査

a) 調査地域と調査の概要

令和元年度に、奈良盆地東縁断層帯帯解断層の活動履歴調査候補地として、奈良市今市町の広大寺池の西の開析谷中を選定した（図7）。この地点において、2020年4月に地中レーダ探査の現地データ取得し、その後探査データを解析した。その結果を基に、トレンチ掘削調査地点や群列ボーリングの掘削位置を決定し、2020年12月に現地調査を行った。その後、現地調査で得られたコア試料の観察や放射性炭素年代測定等の分析を行った。現時点で分析・解析が進行中であるため、以下にはこれまでに得られたデータを記載する。

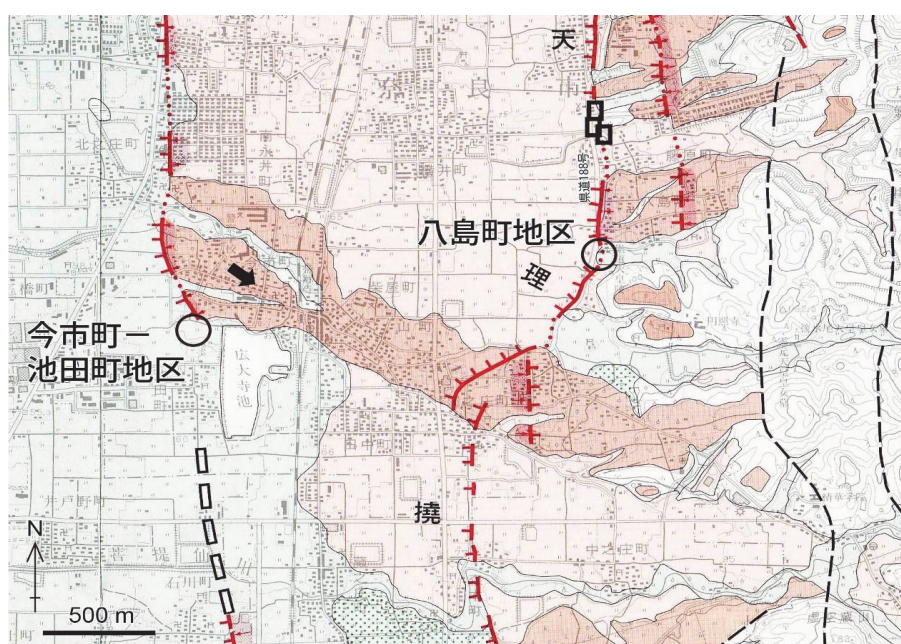


図7 奈良盆地における奈良盆地東縁断層帯の活動履歴調査地の位置。基図は1:25,000都市圏活断層図「桜井」（相馬・他，1998）。

b) 地中レーダ探査

2020年4月23日と24日に、奈良市今市町において地中レーダ探査を実施した（図8）。中位段丘面の西縁を限る帯解断層の撓曲崖（相馬・他，1998）の南に位置する沖積面上に、長さ約70mの低崖地形があり、これが変動崖である可能性が示唆された。この低崖地形を東西方向に横切るように、長さ128mの測線（NIM-01）を設定し探査を行った。探査は、地下断面を得るプロファイル測定と地中電磁波速度を推定するためのワイドアングル測定からなる一般的な方法（物理探査学会，2016）で行った。探査のパラメータを表5に示す。

探査で得られたデータについて、韓国地質資源研究所開発の解析ソフトウェアRADPROを用いて、図9に示す手順で処理を行い、深度変換断面を得た。NIM-01測線の深度変換断面図を図10(a)に、解釈を図10(b)に示す。

断面図には、深度約2mまで連続性の良い反射面がイメージングされている。低崖地形の東側に位置する84m地点の深度1.4m付近から93m地点の深度0.3m付近にかけて、西へ急傾斜する反射面が見られた（図10(b)の紫線）。これらの反射面は低崖地形の近傍に位置し、またチャンネル構造の場合に見られるはずの対応する東傾斜の反射面が確認できな

いことから、帯解断層の断層活動に伴う撓曲変形を示す可能性があると解釈した。

断面の東端に当たる 120 m 地点の深度 0.6 m 付近から 128 m 地点の深度 1.5 m 付近では、地表の傾斜とは逆の東傾斜の反射面が確認された（図 10(b)の青線）。この構造は、西落ちの撓曲変形と合わせて非対称背斜構造の一部である可能性がある。

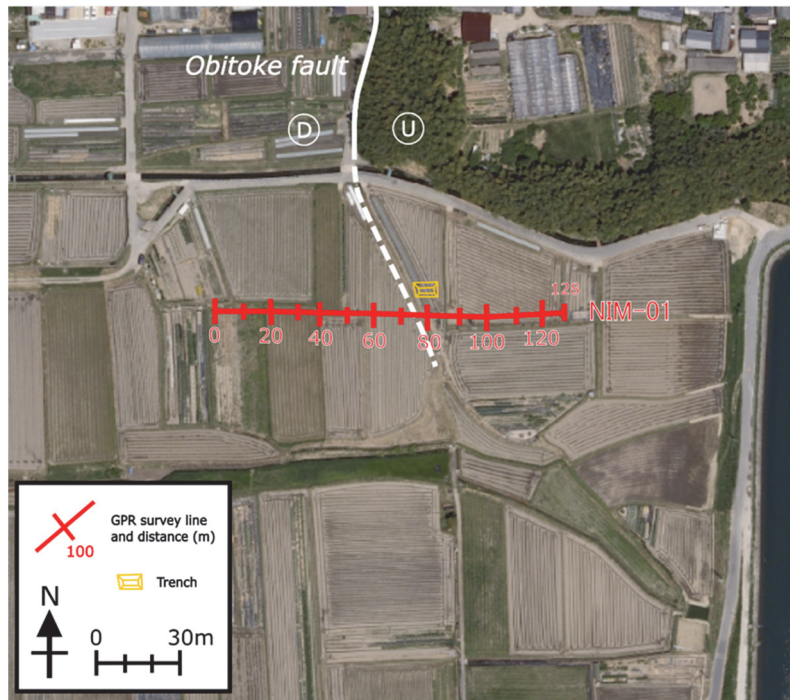


図8 地中レーダ探査測線（NIM-01）の位置。白破線は変動崖の可能性のある低崖地形を示し、UとDは断層の隆起側と低下側を示す。トレンチ調査の位置を黄色線で示す。基図は地理院地図。

表5 地中レーダ探査のパラメータ

項目	内容
測線長	128 m
探鉱器	pulseEKKO PRO（Sensors & Software 社製）
アンテナ周波数	50 MHz
移動	手持ちハンドル
CMP	25 m 地点，65 m 地点，120 m 地点
スキャンポイント数	321（プロファイル測定） 99（ワイドアングル測定）
アンテナ間隔	1.00 m（プロファイル測定） 0.2～10.0 m（ワイドアングル測定）
ステップ	0.40 m（プロファイル測定） 0.10 m（ワイドアングル測定）
スタック数	64
記録長	400 ns
サンプリング間隔	1.6 ns
測量	VRS-GNSS
測量機材	Trimble R10（Trimble 社製）

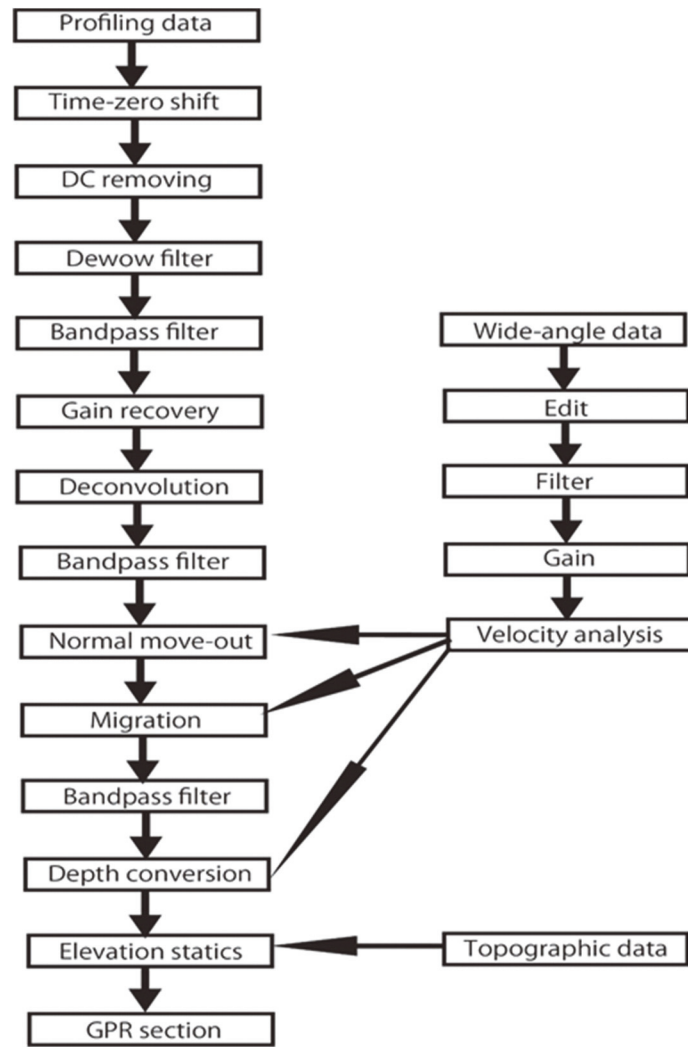


図9 地中レーダ探査のデータ処理の手順

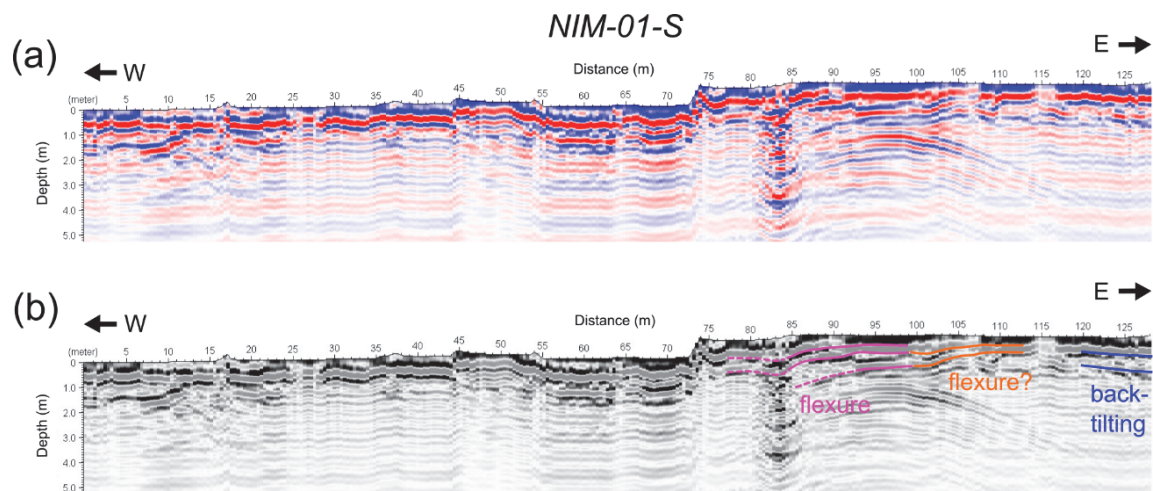


図10 NIM-01 測線の深度変換断面図 (a) と解釈 (b)

c) トレンチ掘削調査

i) 調査の概要

地中レーダ探査で地層の西への急傾斜が見られた箇所をトレンチ掘削候補地として選定し、地権者から調査許可を得た上でトレンチ掘削調査を行った（図 8）。2020 年 12 月 2 日に掘削を開始し、2021 年 1 月 7 日に埋め戻しを終了した。掘削したトレンチは長さ約 8 m（東西方向）・幅約 5 m（南北方向）・深さ約 2 m で、壁面の傾斜は約 60° である。トレンチの長軸の方向は N85° E 程度であり、低崖の方向とはやや斜交する（図 11、12）。

掘削は重機を用いて行った。掘削前に、掘削予定の 8 m×5 m の範囲について、約 20 cm の厚さの耕作土（表土）を剥ぎ取り保管した。掘削したトレンチの壁面は、地層の観察のために人力で平滑に整形した。整形した壁面には、観察およびスケッチの座標として 1 m 間隔で水糸を用いたグリッドを設置した。トレンチの全壁面について、デジタルカメラで写真撮影を行い、画像処理ソフトウェアを使用して壁面モザイク写真を作成した（図 13）。さらにトレンチの全壁面について、縮尺 20 分の 1 のスケッチを作成した（図 14）。壁面からは、放射性炭素年代測定用試料（木片・炭化物・泥炭・有機物等）および火山灰分析用試料を採取した。得られた年代測定値を表 6 に示す。トレンチの位置は、トータルステーションを用いた測量によって周辺の地形と共に図化した。



図 11 奈良市今市町で掘削したトレンチの空撮写真



図 12 奈良市今市町で掘削したトレンチ。北東角から南西に向かって撮影。

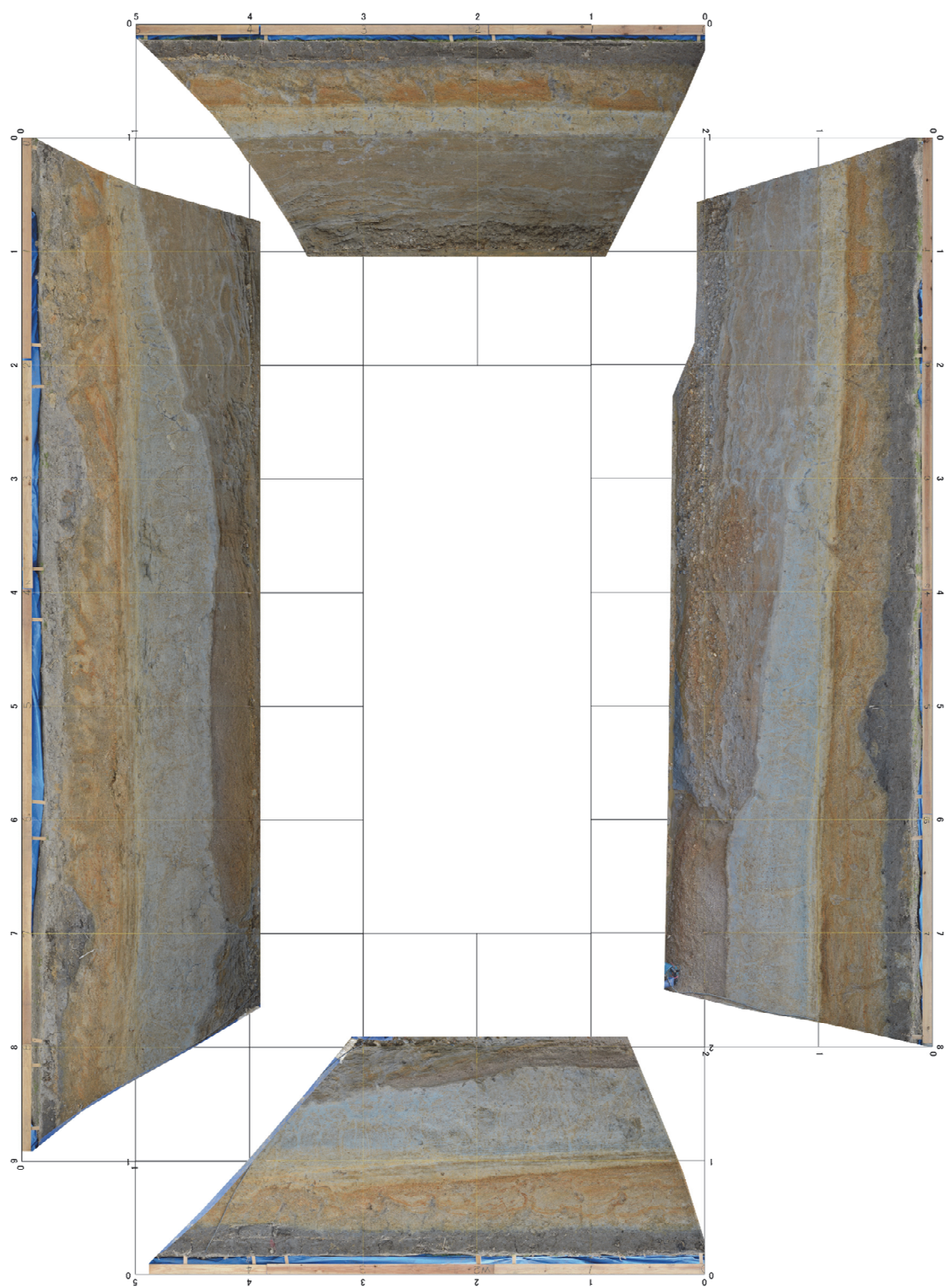


図 13 トレンチ壁面のモザイク写真。上：東壁面、下：西壁面、左：北壁面、右：南壁面。

表6 今市町トレンチ壁面から採取された試料の放射性炭素年代測定値

Sample No.	Coordinate	Beta ID	Material type	Measured age (yBP)	Conventional age (yBP)	Calendar age	13C	Pretreatment
1	S0.95, 1.44	578199	charred material	24150±80	24120±80	95.4% probability (95.4%) 26492 - 25926 cal BC (28441 - 27875 cal BP)	-26.97	acid/alkali/acid
4	E1.35, 0.36	582004	charred material	130±30	130±30	95.4% probability (64%) 1798 - 1942 cal AD (152 - 8 cal BP) (26.8%) 1674 - 1744 cal AD (276 - 206 cal BP) (4.1%) 1750 - 1765 cal AD (200 - 185 cal BP) (0.5%) 1774 - 1776 cal AD (176 - 174 cal BP)	-24.73	acid/alkali/acid
19	S0.63, 0.73	586069	organic sediment	3120±30	3120±30	95.4% probability (93.9%) 1450 - 1291 cal BC (3399 - 3240 cal BP) (1.5%) 1492 - 1482 cal BC (3441 - 3431 cal BP)	-24.86	acid washes
21	S1.41, 0.72	582006	organic sediment	4060±30	4010±30	95.4% probability (94%) 2581 - 2465 cal BC (4530 - 4414 cal BP) (1.4%) 2619 - 2609 cal BC (4568 - 4558 cal BP)	-27.99	acid washes
25	S4.4, 0.71	582007	organic sediment	7900±30	7900±30	95.4% probability (80.1%) 6833 - 6647 cal BC (8782 - 8596 cal BP) (7.8%) 7028 - 6967 cal BC (8977 - 8916 cal BP) (6.3%) 6914 - 6881 cal BC (8863 - 8830 cal BP) (1.2%) 6945 - 6934 cal BC (8894 - 8883 cal BP)	-25.24	acid washes
28	S5.70, 2.29	582008	wood	24890±90	24820±90	95.4% probability (95.4%) 27256 - 26875 cal BC (29205 - 28824 cal BP)	-29.37	acid/alkali/acid
30	S6.09-6.15, 1.23-1.27	582009	plant material	2380±30	2310±30	95.4% probability (78.1%) 412 - 354 cal BC (2361 - 2303 cal BP) (17.3%) 284 - 229 cal BC (2233 - 2178 cal BP)	-29.25	acid/alkali/acid
33	S6.28-6.36, 1.73-1.77	582010	organic sediment	22000±80	21980±80	95.4% probability (95.4%) 24451 - 24018 cal BC (26400 - 25967 cal BP)	-26.4	acid washes
34	N3.45-3.57, 1.62-1.66	582011	organic sediment	17880±60	17840±60	95.4% probability (95.4%) 19971 - 19467 cal BC (21920 - 21416 cal BP)	-27.12	acid washes

ii) 地層区分と放射性炭素年代測定値

トレンチ壁面で観察された地層を、粒径や色調や基質の違いから、上位から1層・5層・10層・20層群・30層群に区分した(図14)。以下に各層について記載する。なお壁面上の位置については、水平位置は各壁面に設定した水平方向のグリッドに基づき、垂直位置は地表からの深度等に基づいて記載する。

・1層：耕作土

厚さ20 cm程度の暗黒灰色シルト。トレンチ壁面最上部に分布する現耕作土。

・5層：人工的な埋土

暗褐色シルト。厚さ10 cm程度で、北壁面のグリッド3.0とグリッド7.0付近、南壁面のグリッド5.0付近では下位の10層の上面のへこみを埋めるように厚く堆積している。ビニール紐が混じる人工の埋土。

・10層：シルト・極細粒～細粒砂

厚さ30～60 cm程度の橙～灰色の堆積物。橙色部分は極細粒～細粒砂を主体とし、西へ傾斜するフォアセット構造をなす。灰色部分はシルト質で、細粒分が多いことによる透水性の違いで周辺部が酸化している。トレンチの南西角へ近づくほど層厚を増す。東壁面で採取された炭(試料4)から130±30 yBP、南壁面で採取された腐植質堆積物(試料25)から7900±30 yBPの年代値が得られた。

・21層：シルト・極細粒砂混じりシルト

厚さ5～20 cm程度で青灰～橙褐色の縞状を呈する。青灰色部分はシルト、橙褐色部分は極細粒砂混じりシルトである。一部腐植質である。一見すると、縞状に連続して分布するように見えるが、極細粒砂混じりシルトの分布は断続的である。上部ほど極細粒砂が混じる層準の挟みが多くなる。南壁面と東壁面では下位の23層と区別できるが、北壁面・西壁面では壁面全体にわたって区別することが困難であるため、下位層との境界が確認できるところにのみ境界線を示した。南壁面で採取された腐植質堆積物(試料19・21)から、そ

れぞれ 3120 ± 30 yBP と 4010 ± 30 yBP の年代値が得られた。

・23 層：シルト

厚さ 30～40 cm 程度で分布する青灰色シルト。極細粒砂の挟みが少ない。トレンチの西側へ行くほど層厚を増す。上下の地層との境界は全体的に不明瞭であるが、南壁面では比較的明瞭に認識できる。北壁面と西壁面では下位の 25 層との境界が不明瞭であるため、確認できるところにのみ部分的に境界線を示した。北壁面のグリッド 1.75～1.85 付近など、植物根が鉛直方向に入り込むのが数箇所で見られる。南壁面から得られた植物片（試料 30）から、 2310 ± 30 yBP の年代値が得られた。

・25 層：シルト

厚さ 10～40 cm 程度で分布する青灰色シルト。最上位に白色の極細粒砂を挟む。西壁面のグリッド 0.0～2.0 や南壁面のグリッド 2.4 から西側で明瞭に識別できる。北壁面ではグリッド 3.5～4.5 付近でのみ識別できる。最上位の砂層が明瞭ではないところでは、上位の 23 層との区分は困難である。南壁面では壁面全体で区分できるが、北壁面・西壁面では上位層との境界が不明瞭であるため、境界が確認できるところにのみ境界線を示した。部分的に極細粒砂混じりの層を挟むが、連続性は乏しい。

・27 層：腐植質シルト

厚さ 10～15 cm 程度で分布する暗灰色の腐植質シルト。南壁面ではグリッド 5.8 付近から西側、西壁面ではグリッド 2.0 付近から南側で下位層の上面を平坦に埋めるように堆積している。一方、北壁面では連続性に乏しく、分布は断片的である。

・29 層：シルト質極細粒砂

青灰色シルト質極細粒砂。層厚は 5～10 cm 程度で下位層の上面にほぼ同じ厚さで薄く分布する。細かい炭化物を多く含み、特に北壁面のグリッド 3.5 付近に多い。南壁面と北壁面の腐植質堆積物（試料 33・34）から、それぞれ 21980 ± 80 yBP と 17840 ± 60 yBP の年代値が得られた。21 層から 29 層は、静水域の堆積物と考えられる。

・31 層：細粒～粗粒砂

厚さ 15～50 cm 程度の細粒～粗粒砂。下位層をけずり込んで堆積したチャネル堆積物。分布から見て、北東から南西へ流下した河川の堆積物と考えられる。上部は灰～褐色の細粒～粗粒砂で、まれに細礫を含む。灰色シルト質極細粒砂を挟み、これはラミナとして確認できる。下部は橙褐色で礫混じりの中粒～粗粒砂。礫径は 10～20 mm、礫種はチャートを主体とし、花崗岩・斑レイ岩・シルトの偽礫（大阪層群起源と考えられる）をまれに含む。偽礫は礫径 40～50 mm。上部と下部は細分できるが、その境界が漸移的であるため、同一の地層として区分した。

・35 層：シルト質極細粒砂・中粒砂・細～中礫

130 cm 程度の厚さで、青灰色シルト質極細粒砂と褐色中粒砂を主体とするやや粗粒な砂層が、複雑な堆積構造を呈している。北壁面のグリッド 2.0～3.0 より西側では互層の構造がかなり乱れる。部分的には細礫から礫径 50 mm の礫を含む。礫種は、チャートを主体とし、斑れい岩・変成岩（黒雲母片麻岩）・花崗岩・シルトの偽礫からなる。北壁面のグリッド 7.0～7.6 付近にはシルトのブロックを含み、南壁面のグリッド 3.80～5.70 では、黒灰色のやや砂質なシルトが分布する。南壁面の炭（試料 1）から 24120 ± 80 yBP、木片（試料 28）から 24820 ± 90 yBP の年代値が得られた。

iii) 変形構造と古地震イベント

トレンチ壁面には断層は露出しなかったが、断層運動や強震動に関連すると考えられる地層の変形構造が観察された。以下にそれらについて記述する。

- ① 湿地性堆積物である 21 層の上面高度に、40 cm の差（トレンチの北東角や北西角で高く、南西角で低い）がある（図 14）。21 層は静水域で地形的な低所を埋めるように堆積した地層であり、堆積上面は初生的にはほぼ水平であったと考えられる。さらに 21 層はトレンチの北西角で厚いので、堆積時点ではそこが地形的な低所であったはずであるが、現在は上面高度が最も高い。21 層の堆積後に南西低下の撓曲変形があった可能性がある。
- ② 南壁面のグリッド 3.6 付近に、10 層が 23 層に落ち込む開口亀裂が認められる（図 15）。壁面を 10 cm 掘り込んでも開口亀裂は確認できるので、植物根の上方からの成長等によるものではない。
- ③ 南壁面のグリッド 7.0 周辺で、21 層が厚さを変えずに波状に変形した構造が見られる（図 15）。

これらのことから、21 層の堆積以降にトレンチ壁面に露出する地層を南西低下に撓曲変形させる断層活動があったと考えられる。21 層からは、 3120 ± 30 yBP と 4010 ± 30 yBP の年代値が得られているが、10 層や 23 層から得られた年代値とは整合的ではないので、断層活動の時期については、追加の年代測定も含めて令和 3 年度に引き続き検討する。

- ④ 21～29 層がトレンチの南西側で厚く堆積している。特に 27 層や 25 層は、31 層や 35 層上面の地形的な低所をオンラップに覆って堆積しており、これらの地層が堆積した時にはトレンチの南西角が地形的に低かったことがわかる。トレンチの南西側の標高が低かったことは、21 層の堆積以降に起こった撓曲変形と類似しており、31 層や 35 層の堆積以降に、撓曲変形があった可能性がある。
- ⑤ 35 層と 20 層群の境界には、35 層が液状化して 20 層群に入り込んだ構造が見られる（図 15）。20 層群の下部が堆積後に、この地域が強震動を受けたことは確実である。

これらのことから、35 層の堆積以降の断層活動の可能性が指摘できる。しかし、このイベントの根拠となるトレンチの南西角の地形的な低所は、31 層のチャネル堆積物の分布から明らかなように初生的な地形の低所である可能性もあり、イベントの確度は前述のイベントと比べて低いと判断される。

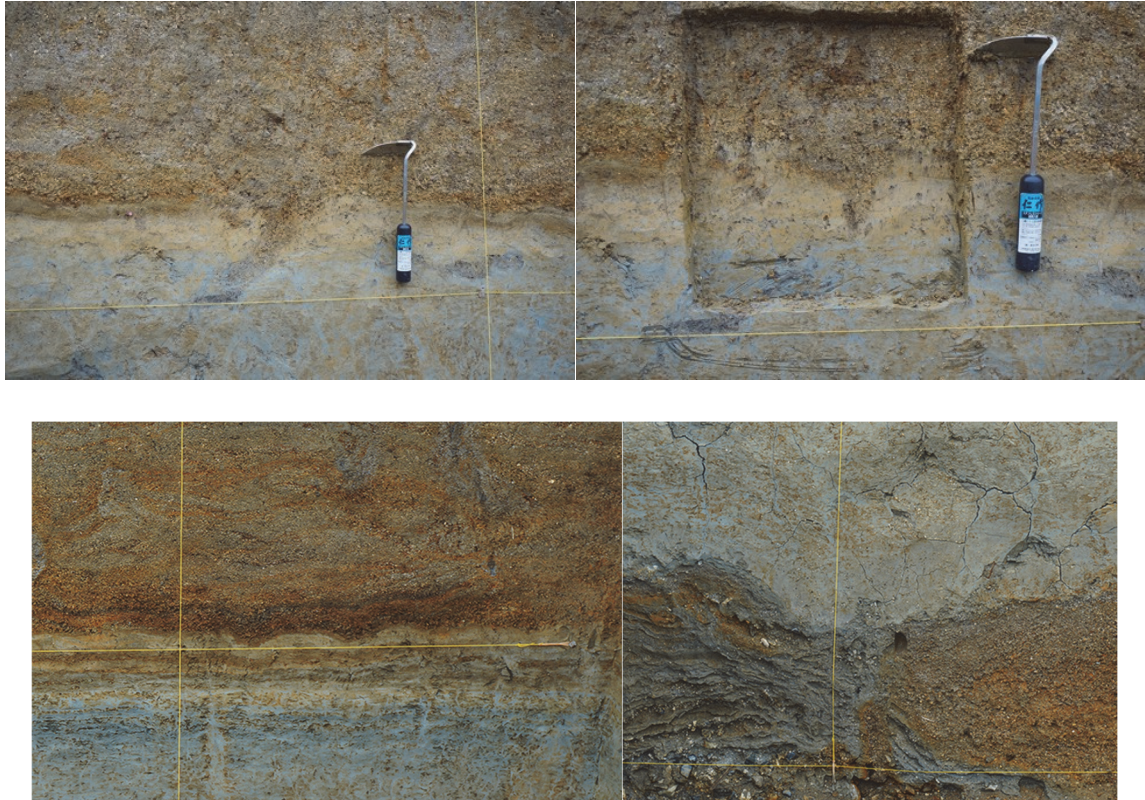


図 15 トレンチ壁面で観察される地層の変形構造。(左上) 南壁面のグリッド 3.6 付近で見られる開口亀裂。(右上) 壁面を 10 cm 掘り込み、開口亀裂の水平方向への連続を確認した写真。(左下) 南壁面のグリッド 7.0 付近で見られる 21 層の波状変形。(右下) 北壁面のグリッド 7.0 付近で見られる 35 層の液状化跡。

d) 群列ボーリング調査

トレンチ掘削調査と合わせて、帯解断層による変形構造を明らかにする目的で、今市町の 4 地点でボーリング調査を行った(図 16)。トレンチよりも東側で掘削された No. 1 孔と No. 2 孔は掘削深度 10 m、西側で掘削された No. 3 孔と No. 4 孔は掘削深度 15 m である。掘削方法は孔径 86 mm の鉛直掘で、表層から全ての試料を連続的に採取するオールコアボーリングとした。各孔の掘削終了時には検尺を実施した。

採取されたボーリングコアをコア箱に収納後、半割し、縮尺 1/20 で層序記載を行った。観察する際には、岩相・層厚・色・固結度・粒度・層相変化・火山灰や化石の有無・含水の有無などについて記載した。深度は掘進長で記入し、コアの縮小によって実長と掘進長が一致しない場合には掘進長で記載した。さらにコア箱ごとにカラー写真を撮影した。またコア試料から、放射性炭素年代測定用試料・火山灰分析用試料・花粉分析用試料等を採取した。

各ボーリング孔の柱状図とコア写真を図 17～20 に、放射性炭素年代測定値を表 7 に示す。なおコア試料の観察や試料の分析は現在進行中であり、それらも踏まえた解釈等は令和 3 年度の報告書で記載する。

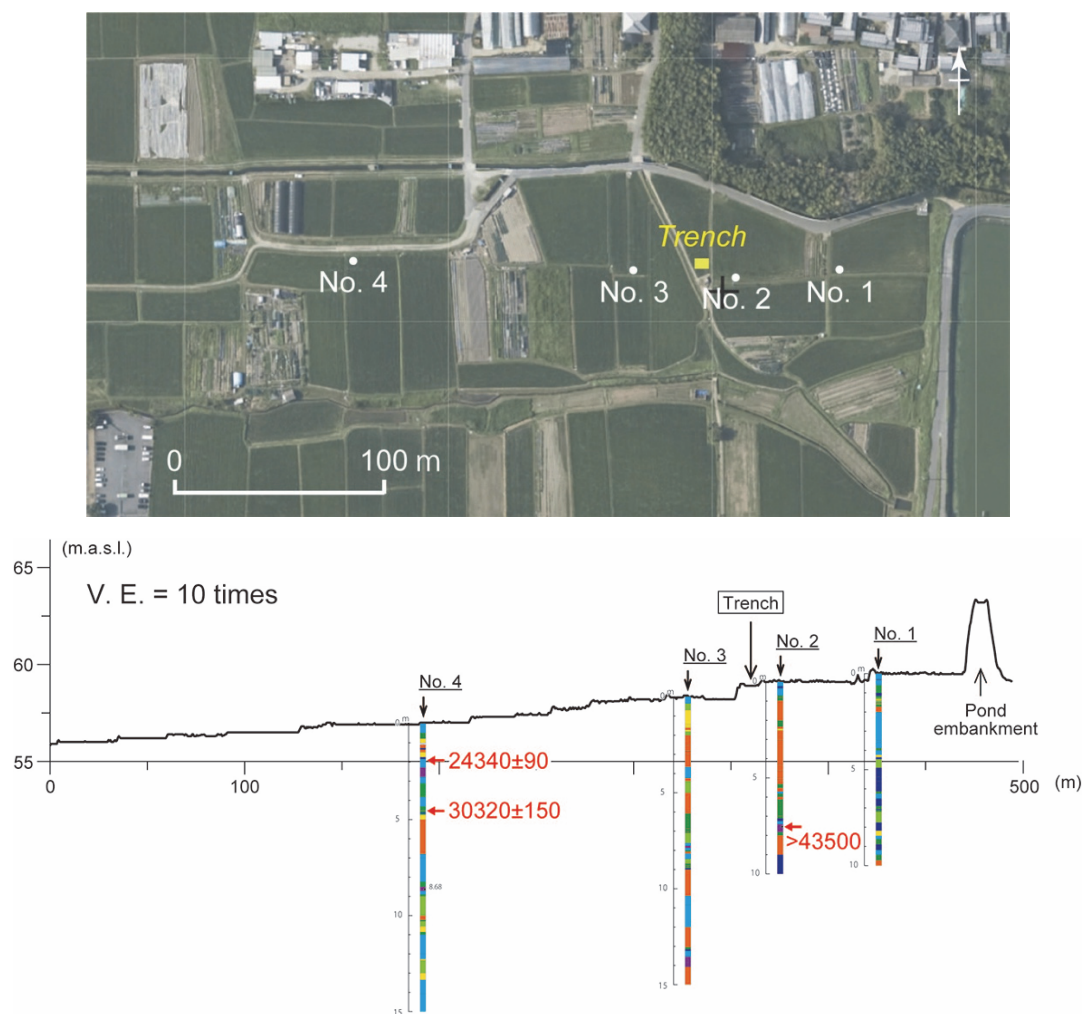


図 16 奈良市今市町における群列ボーリングの位置（基図は地理院地図）（上）と地形地質断面図（下）

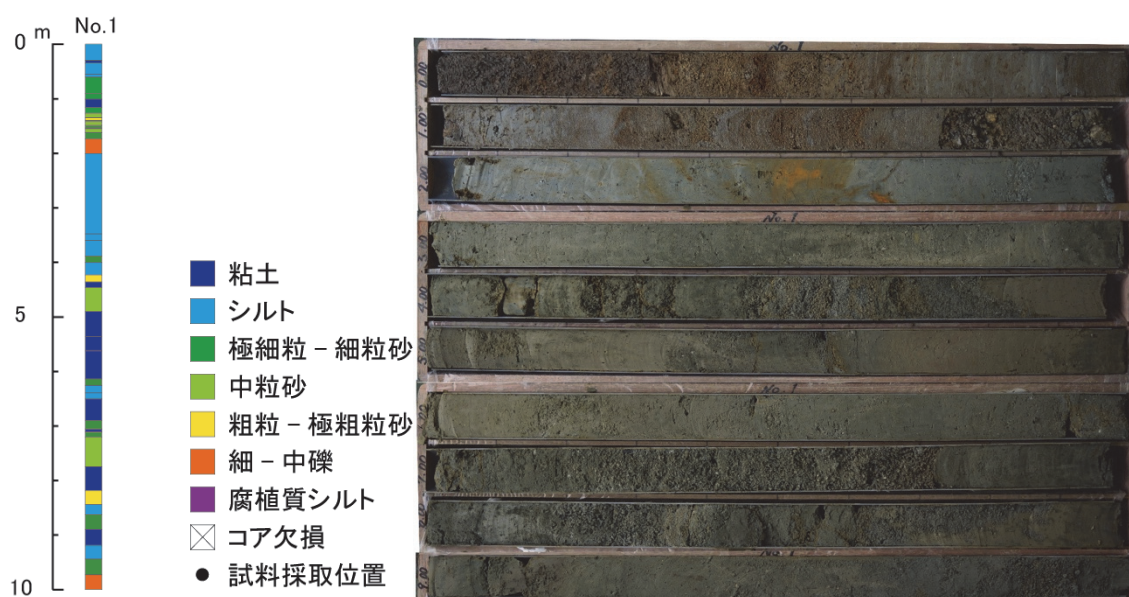


図 17 今市町 No. 1 孔の柱状図とコア写真。コアは 1 m ごとに分割されており、コア写真の左上が深度 0 m で右下が深度 10 m である。

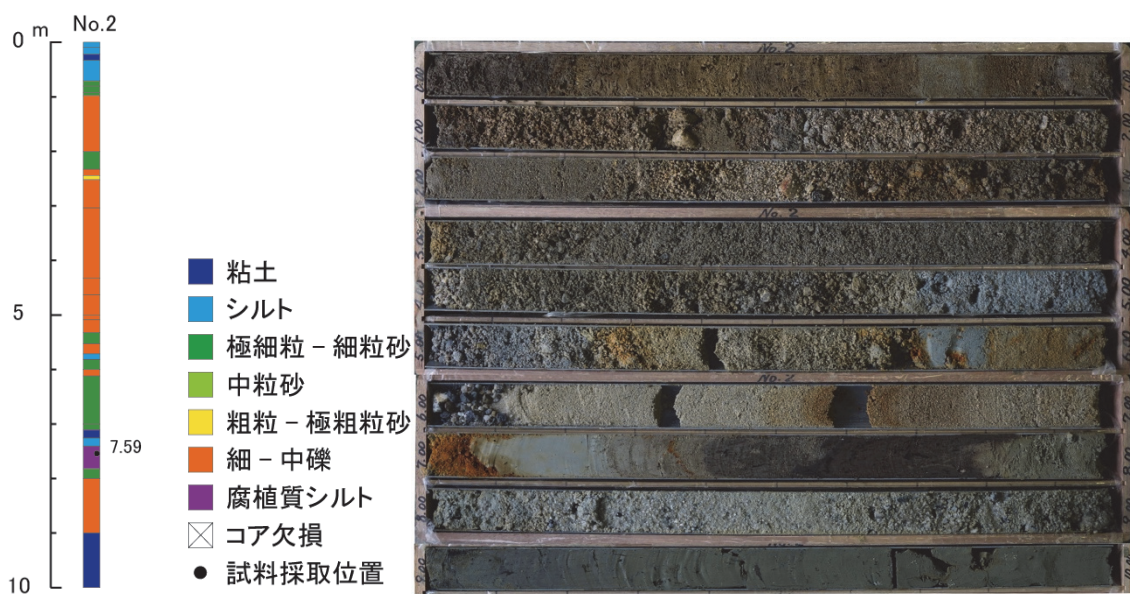


図 18 今市町 No. 2 孔の柱状図とコア写真。コアは 1 m ごとに分割されており、コア写真の左上が深度 0 m で右下が深度 10 m である。

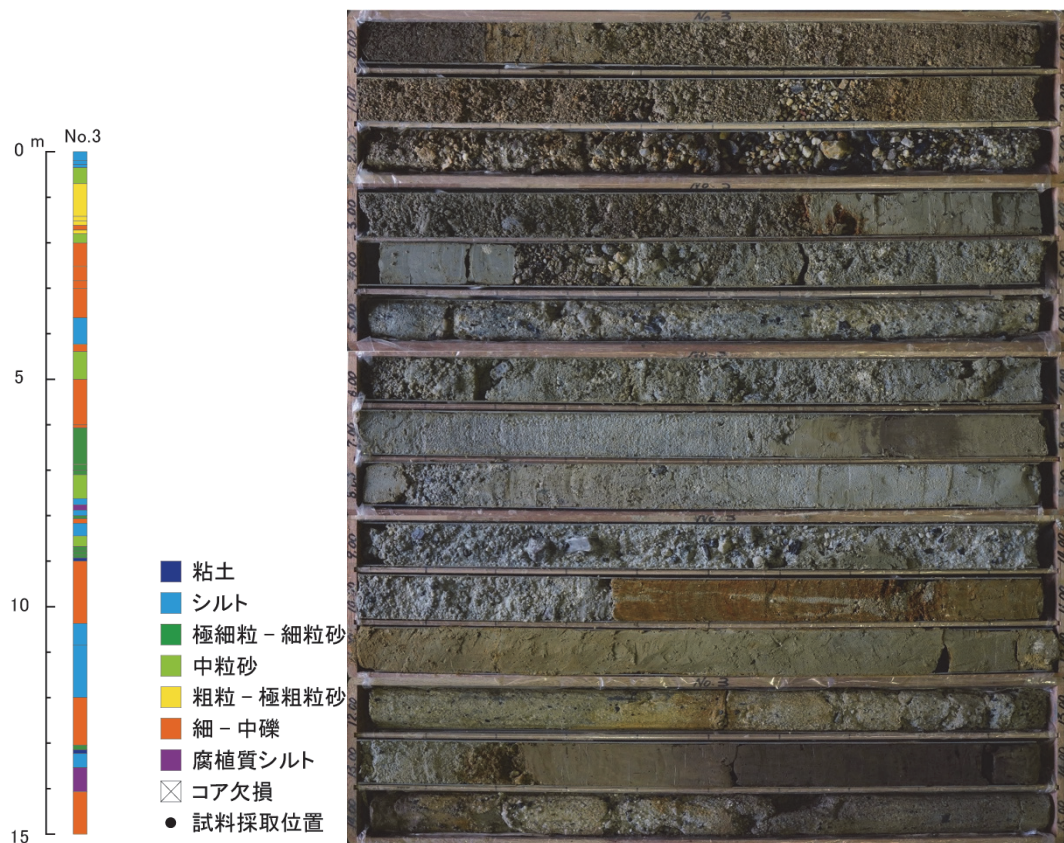


図 19 今市町 No. 3 孔の柱状図とコア写真。コアは 1 m ごとに分割されており、コア写真の左上が深度 0 m で右下が深度 15 m である。

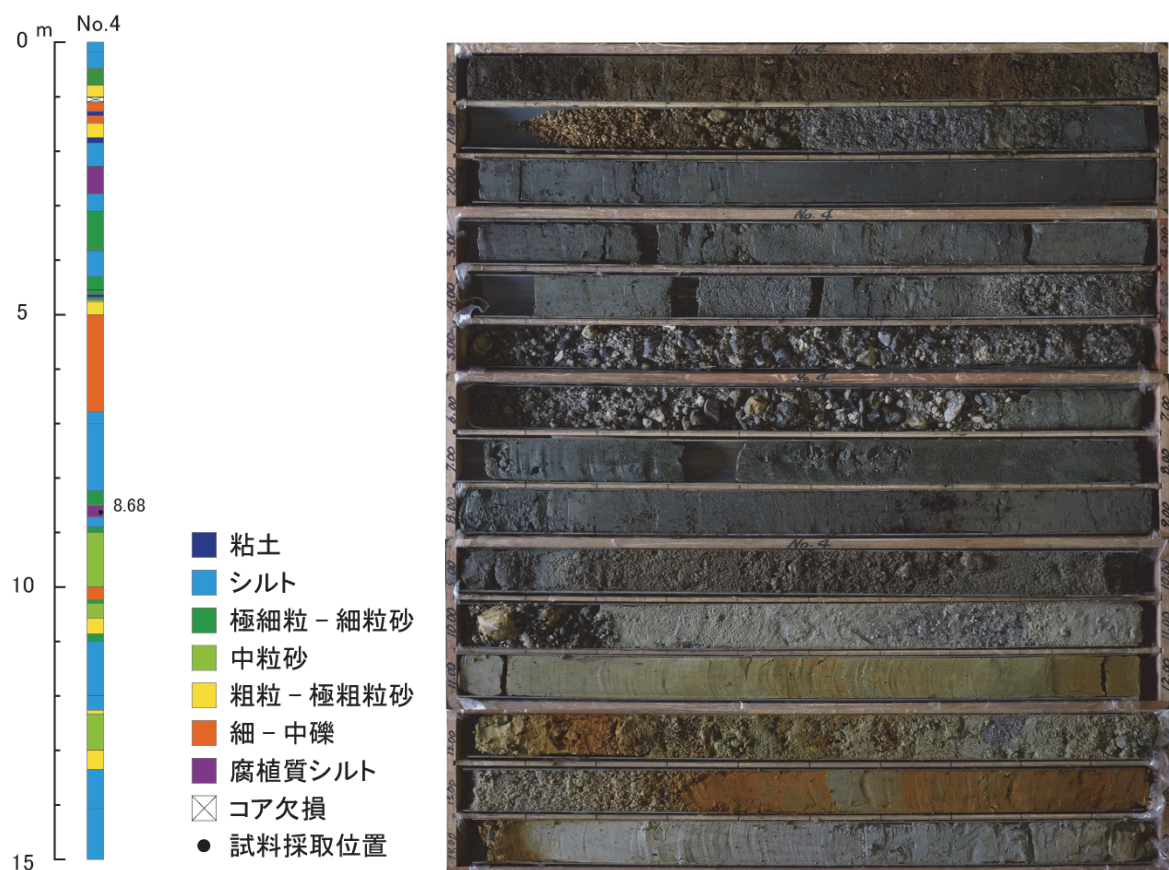


図 20 今市町 No. 4 孔の柱状図とコア写真。コアは 1 m ごとに分割されており、コア写真の左上が深度 0 m で右下が深度 15 m である。

表 7 今市町群列ボーリングコアから採取された試料の放射性炭素年代測定値

Sample No.	Borehole No., depth	Beta ID	Material type	Measured age (yBP)	Conventional age (yBP)	Calendar age	13C	Pretreatment
IMA_2_7.59	2, 7.59 m	583645	plant material	NA	>43500	NA	-27.65	acid/alkali/acid
IMA_4_1.95	4, 1.95-2.00 m	586070	organic sediment	24290±90	24340±90	95.4% probability[(95.4%) 26856 - 26331 cal BC (28805 - 28280 cal BP)	-21.99	acid washes
IMA_4_4.60	4, 4.60 m	586071	plant material	30370±150	30320±150	95.4% probability[(95.4%) 33226 - 32460 cal BC (35175 - 34409 cal BP)	-27.72	acid/alkali/acid

4) 奈良市八島町における天理撓曲の活動履歴調査

a) 調査地域と調査の概要

令和元年度に、奈良盆地東縁断層帯天理撓曲の活動履歴調査候補地として、奈良市八島町の開析谷中を選定した(図 7)。ここでは東から西へ流下する河川に沿って谷底面が発達しているが、東西方向に連続する段丘崖を境にして谷底面の北半部が南半部より高く、沖積段丘面となっている(図 21)。この沖積段丘面の西縁は天理撓曲によって限られており、天理撓曲の活動によって離水したものと考えられる。この段丘面の離水時期を知るために、2020 年 3 月にピット掘削調査を行い、その結果を令和元年度の報告書に記載した(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, 2020)。しかしその調査では、段丘礫層の上面までしか露出させることができず、段丘の離水年代を明らかにできる放射性炭素年代測定試料を採取することができなかった。2020 年 12 月に、この段丘面上で再度ピッ

ト掘削調査を行うとともに（図 21 の 202012 N pit）、南側の離水していない地形面上でもピット掘削調査を行った（図 21 の 202012 S pit）。

掘削は人力にて行った。掘削範囲の土壌（表土）を剥ぎ取り、掘削土砂と混じり合わないよう管理した。掘削したピットの出入り口として使用する面以外を、地層の観察ができるように人力で平滑に整形した。整形したピット壁面には、観察およびスケッチの座標として 50 cm 間隔で水糸を用いたグリッドを設置した。各壁面は 20 分の 1 の縮尺でスケッチをし、デジタルカメラで写真を撮影しモザイク写真を作成した。壁面からは放射性炭素年代測定試料や火山灰分析試料を採取した。



図 21 奈良市八島町で掘削したピットの位置図。基図は地理院地図。

b) 各ピットで観察される地層と年代

i) 北ピット（図 22・23）

・耕作土（地表下深度 0.00～0.20 m）

黒褐色の極細粒砂。草本混じり。礫径 5 mm 程度の亜角礫を一部に含む。

・極細粒砂（地表下深度 0.20～0.30 m）

褐色の極細粒砂。ややシルト質。最大礫径 20 mm、平均礫径 5 mm の亜角礫を一部に含む。

・シルト（地表下深度 0.20～0.50 m）

暗褐～灰褐色のシルト。礫径 5 mm 程度の礫を一部に含む。固結している。

・シルト質細粒砂（地表下深度 0.40～0.50 m）

灰褐色のシルト質細粒砂。礫径 2 mm 程度の礫を含む。

・シルト（地表下深度 0.50～0.95 m）

灰色のシルト。塊状でやや緩い。まれに礫径 2～10 mm 程度の礫が混じる。

・礫混じり細粒砂（地表下深度 0.80～1.05 m）

明褐色の礫混じり細粒砂。

・ 腐植質シルト（地表下深度 0.95～1.10 m）

灰色の弱腐植質シルト。まれに礫径 2～10 mm 程度の礫が混じる。この層から、炭 (YS_N_1) を採取したが、十分な量の炭素が得られず年代値を得ることができなかった。

・ 礫（地表下深度 0.95～1.55 m）

最大礫径 100 mm、平均礫径 20 mm の亜角～亜円礫。基質はシルトで基質支持。

・ 塊状粘土（地表下深度 1.45～2.00 m）

灰色の塊状粘土。粘性が高い。ピット周辺の基盤をなす大阪層群であると判断される。ピットの規模・形状および底面付近からの湧水のため、深度 2 m までの地質記載・壁面写真撮影はできなかったが、掘削時に同層が連続していることを確認した。

ii) 南ピット（図 24・25）

・ 耕作土（地表下深度 0.00～0.20 m）

黒褐色の極細粒砂。草本混じり。礫径 5 mm 程度の亜角礫を一部に含む。

・ シルト（地表下深度 0.14～0.62 m）

灰褐色のシルト。最大礫径 20 mm、平均礫径 5 mm の亜角礫を一部に含む。

・ 礫混じり細粒砂（地表下深度 0.34～0.58 m）

灰褐色の礫混じり細粒砂。レンズ状に分布する。最大礫径 5 mm 程度の亜角礫を含む。

・ 礫混じり細粒砂（地表下深度 0.52～0.72 m）

褐～暗灰色の礫混じり細粒砂。礫径 2 mm 程度の亜角礫を含む。

・ 礫混じり細粒砂（地表下深度 0.62～0.90 m）

灰褐色の礫混じり細粒砂。礫径 2～3 mm 程度の亜角礫が混じる。上位より礫が少ない。

・ 礫（地表下深度 0.80～1.24 m）

灰褐色の礫。礫径 10～100 mm の亜角～亜円礫。基質はシルトで礫支持。この層から得られた 2 つの炭 (YS_S_1、YS_S_3) から、それぞれ 1030 ± 30 yBP と 980 ± 30 yBP の年代値が得られた（表 8）。

・ 塊状粘土～シルト（地表下深度 1.12～2.00 m）

赤褐色の塊状粘土～シルト。未固結で礫混じり。ピット周辺の基盤をなす大阪層群であると判断される。ピットの規模・形状および底面付近からの湧水のため、深度 2 m までの地質記載・壁面写真撮影はできなかったが、掘削時に同層が連続していることを確認した。

c) 地形面の年代と天理撓曲の活動時期

南ピットで得られた 2 つの年代値は、この沖積面を構成する礫層中から得られたものであり、沖積面の形成時期が約 1000 yBP であることを示す。この地形面は天理撓曲によって変位していないため、天理撓曲の最新活動時期がその年代以前であることは確実である。変位を受けている段丘面からは年代測定が可能な試料を得ることができず、地形面の形成年代は不明である。

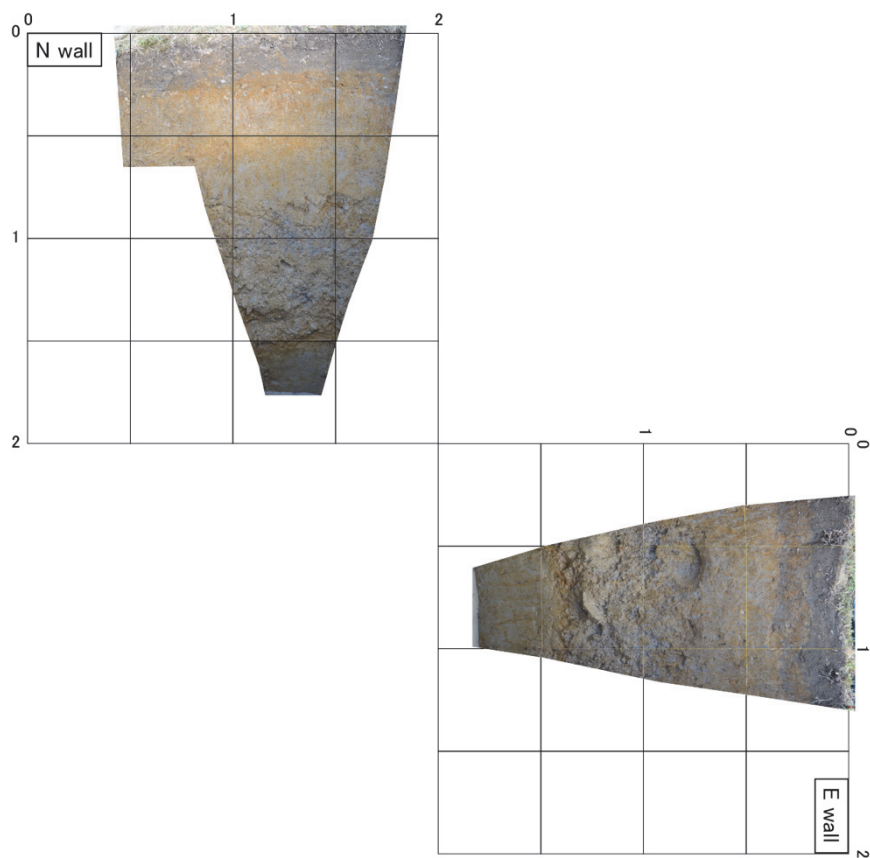


図 22 北ピットの壁面写真

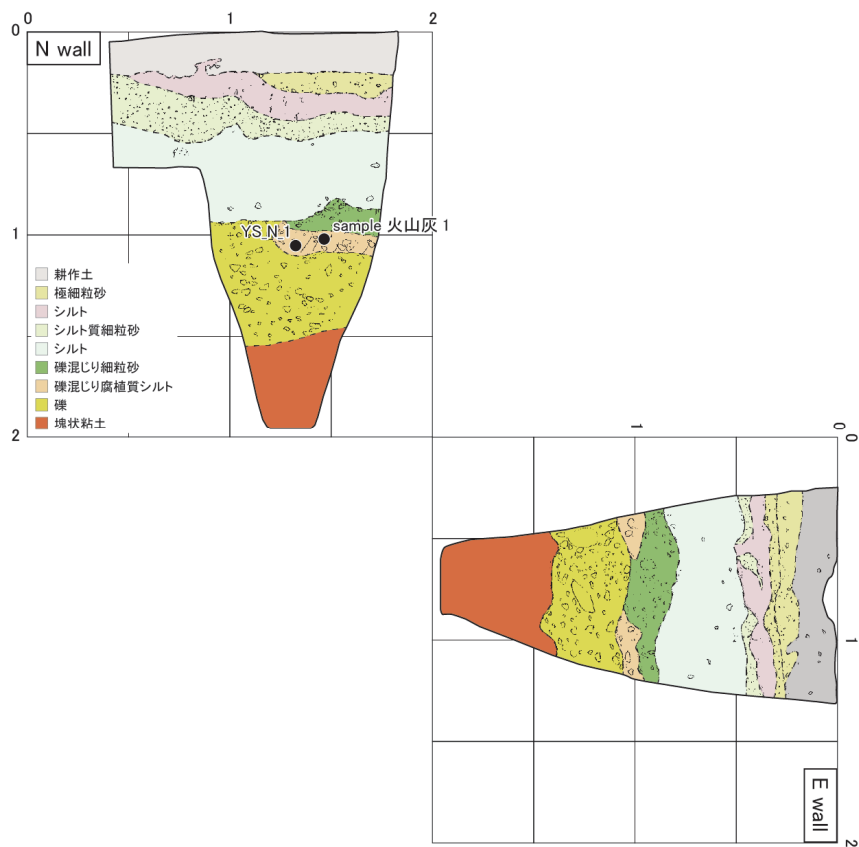


図 23 北ピットの壁面のスケッチと試料採取位置

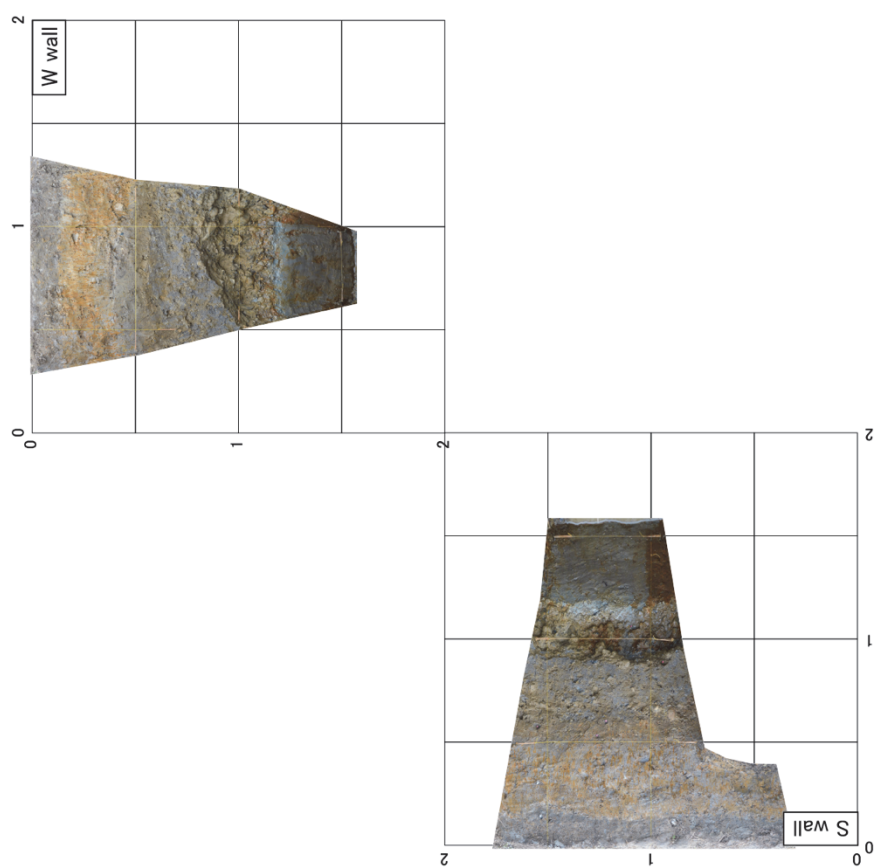


図 24 南ピットの壁面写真

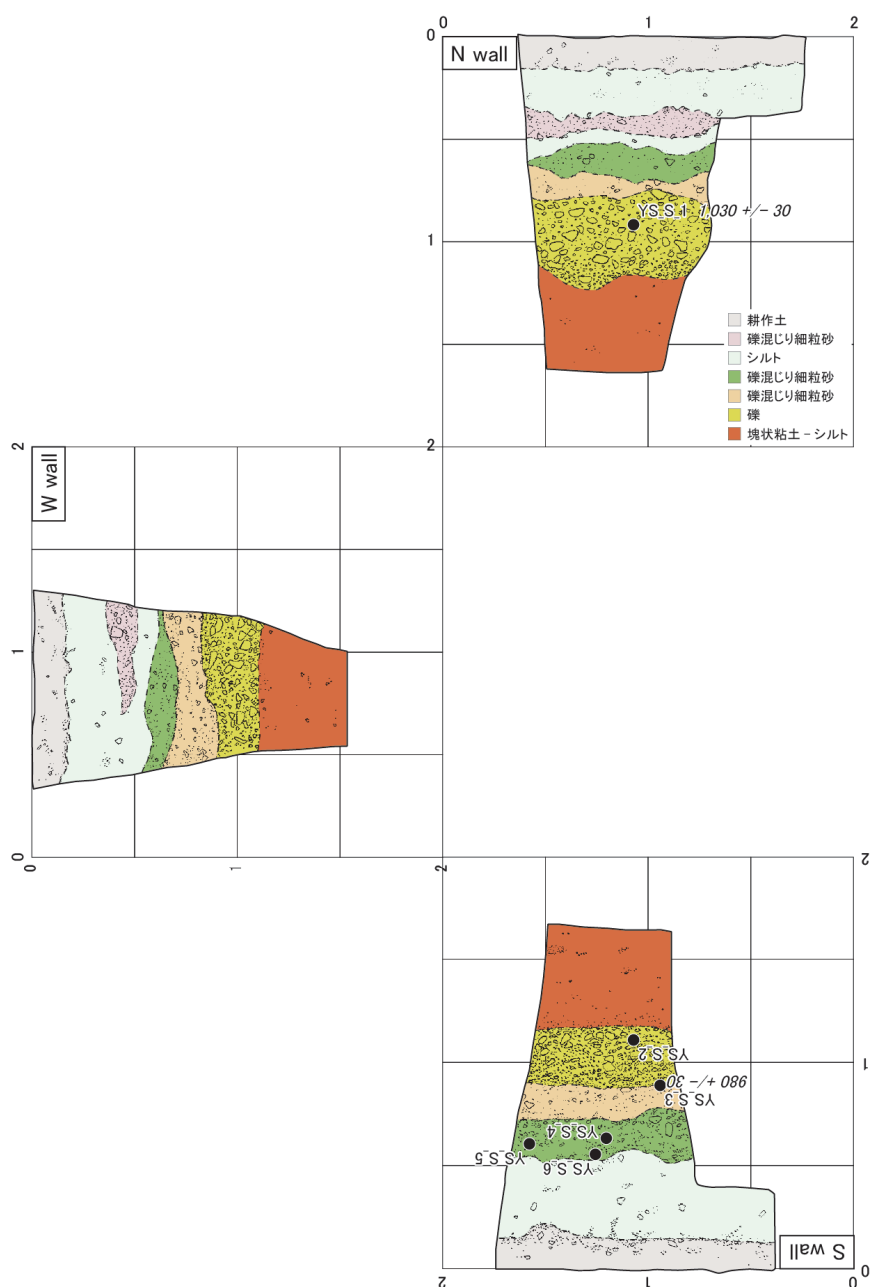


図 25 南ピットの壁面のスケッチと試料採取位置

表 8 八島町ピット壁面から採取された試料の放射性炭素年代測定値

Sample No.	Pit, wall, depth	Beta ID	Material type	Measured age (yBP)	Conventional age (yBP)	Calendar age	13C	Pretreatment
YS_S_1	S pit, N wall, 0.97 m	579063	charred material	1030±30	1030±30	95.4% probability (91.8%) 962 - 1041 cal AD (988 - 909 cal BP) (2.8%) 901 - 920 cal AD (1049 - 1030 cal BP) (0.8%) 1108 - 1116 cal AD (842 - 834 cal BP)	-25.07	acid/alkali/acid
YS_S_3	S pit, S wall, 0.95 m	579064	charred material	1010±30	980±30	95.4% probability (49.6%) 1070 - 1154 cal AD (880 - 796 cal BP) (45.8%) 994 - 1058 cal AD (956 - 892 cal BP)	-26.54	acid/alkali/acid

5) ボーリングデータベースの解析による帯解断層の地下構造と上下変位速度

a) ボーリングデータベースの概要

「関西圏地盤情報データベース」は、関西圏のボーリング柱状図をパソコン上で閲覧・解析することのできるデータベースである。KG-NET・関西圏地盤研究会（2018）が奈良盆地を対象に検討を行った際にデータベースが拡充され、奈良県域で 15360 本のボーリングデータベースが構築された。2020 年度には、大和郡山市や天理市のボーリングデータが追加され、奈良盆地東縁のほぼ全域で詳細な地下地質解析が可能となった。

ボーリングデータの多くは道路や建築物の工事に伴い得られたため、分布は幹線道路や市街地に集中している。また、深度 10 m 以上のものは少ない。奈良盆地東縁地域では、盆地内を通過する帯解断層周辺には多数のボーリングが分布するが、より山側に位置する天理撓曲の東側にはボーリングが少なく、十分な解析を行うことができなかった。

b) 柱状断面図の作成

「関西圏地盤情報データベース」のボーリングデータ検索・閲覧ソフトである「Win-DIG」を用いて、奈良市三条本町から天理市御経野町にかけて、帯解断層と直交するように東西方向の柱状断面図を 23 本作成した。またこれらの東西測線と交差するように、南北方向の柱状断面図を 3 本作成した（図 26）。東西方向の断面図の作成に当たっては、「Win-DIG」の「ボーリング検索」で「マウス座標」の機能を使い、各ボーリング地点の緯度と経度を記録した。次に、ボーリング地点の緯度の平均に引いた東西測線に各ボーリング地点を投影した。

調査地域には、低位段丘礫層が広く分布し、断層変位の良い指標となる。ボーリング柱状図に現れる礫層のうち、泥層（シルト層・粘土層）の N 値がその上下で大きく変化しており（上位は 10 以下、下位は 10 以上を目安とした）、側方への連続性が良いものを低位段丘礫層と認定した。

c) 帯解断層の変位速度

図 27 の南北断面図に示されるように、帯解断層の西側では低位段丘礫層が標高 50 m 程度を連続性良く分布する。この礫層は、産業技術総合研究所（2014）が奈良市今市町で行った群列ボーリング調査で確認された段丘堆積物相当層に対比される。そこからは 24360 ± 130 yBP と 28060 ± 160 yBP の放射性炭素年代測定値が得られている。図 28 は大和郡山市石川町付近の東西柱状断面図であり、帯解断層を挟んで低位段丘礫層が連続性良く追跡できる。この礫層が、帯解断層によって上下方向に約 11 m 変位している。低位段丘の年代を 25000～30000 年前とすると、上下変位速度は 0.35～0.45 mm/yr と求められる。撓曲帯の幅は約 500 m と見積もられる。

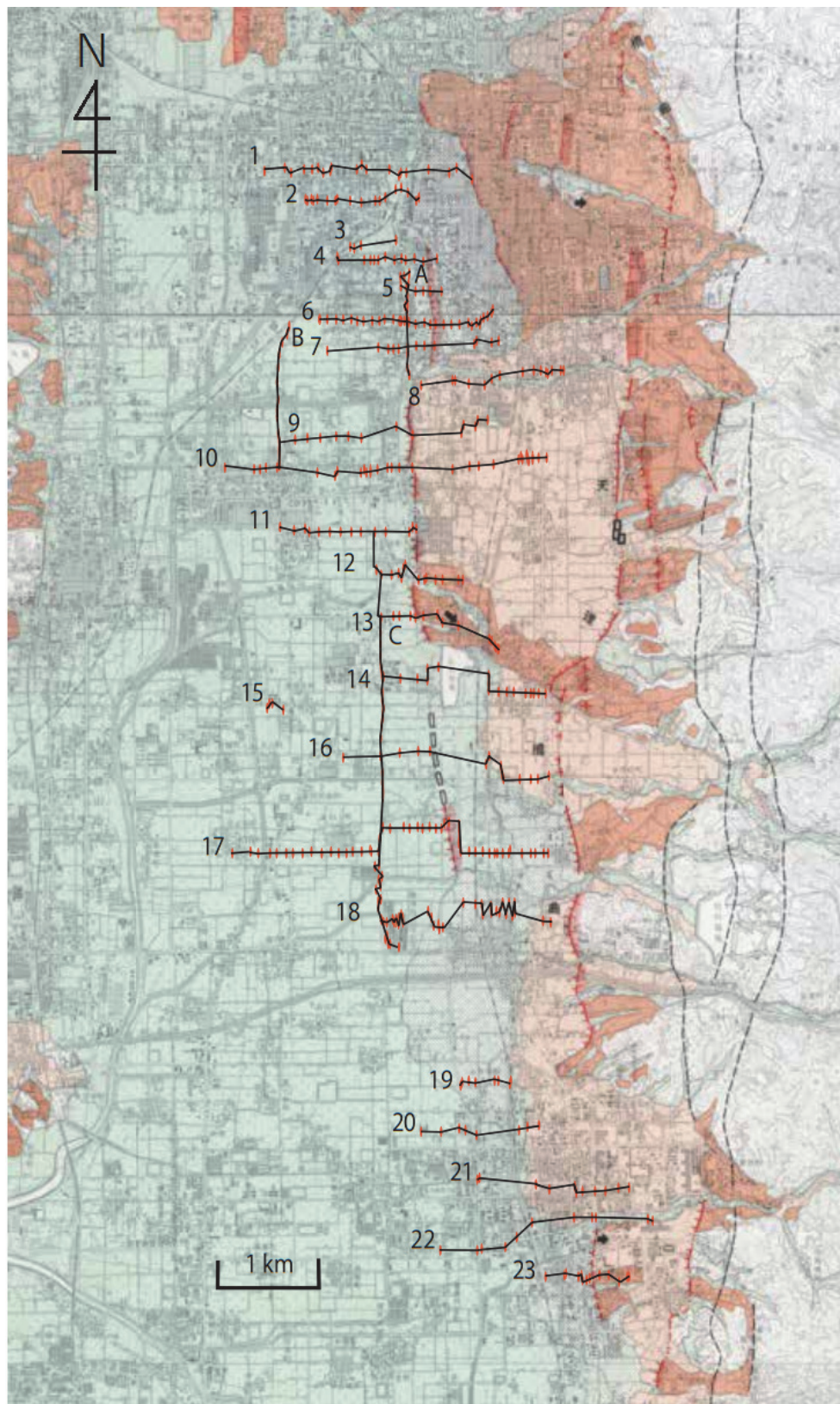


図 26 「関西圏地盤情報データベース」を基に作成した柱状断面図の位置。基図は都市圏活断層図（八木・他，1998；相馬・他，1998）。

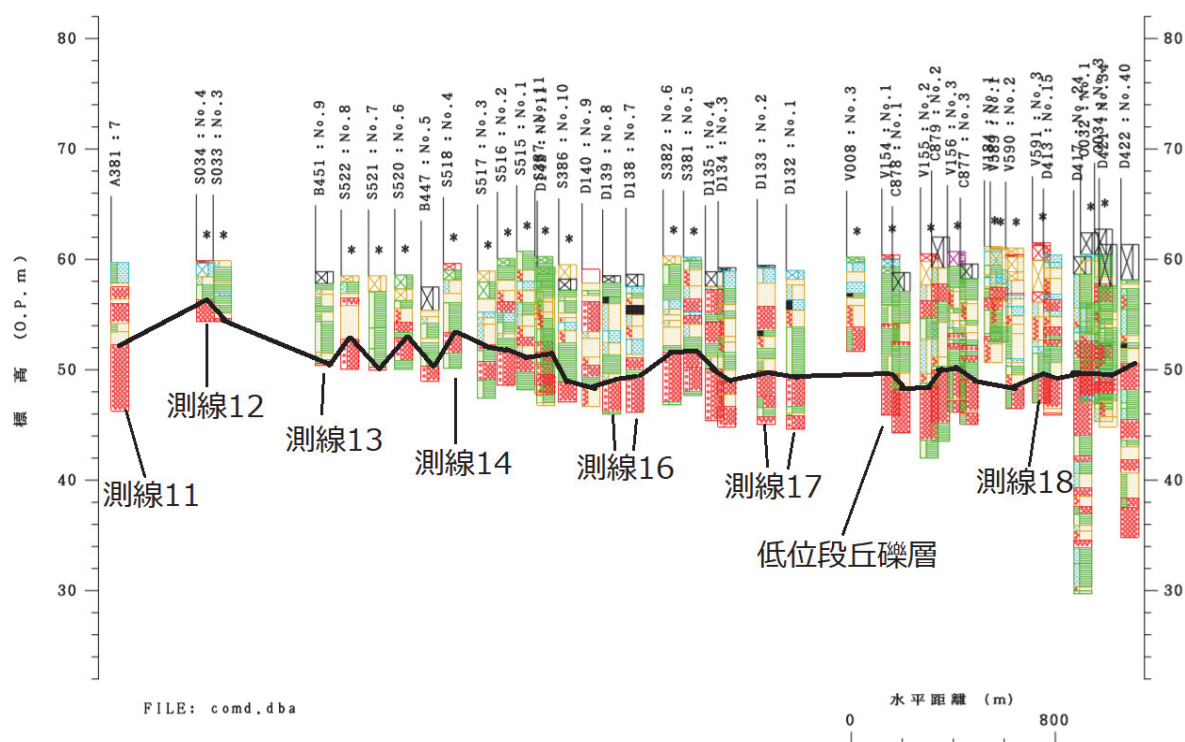
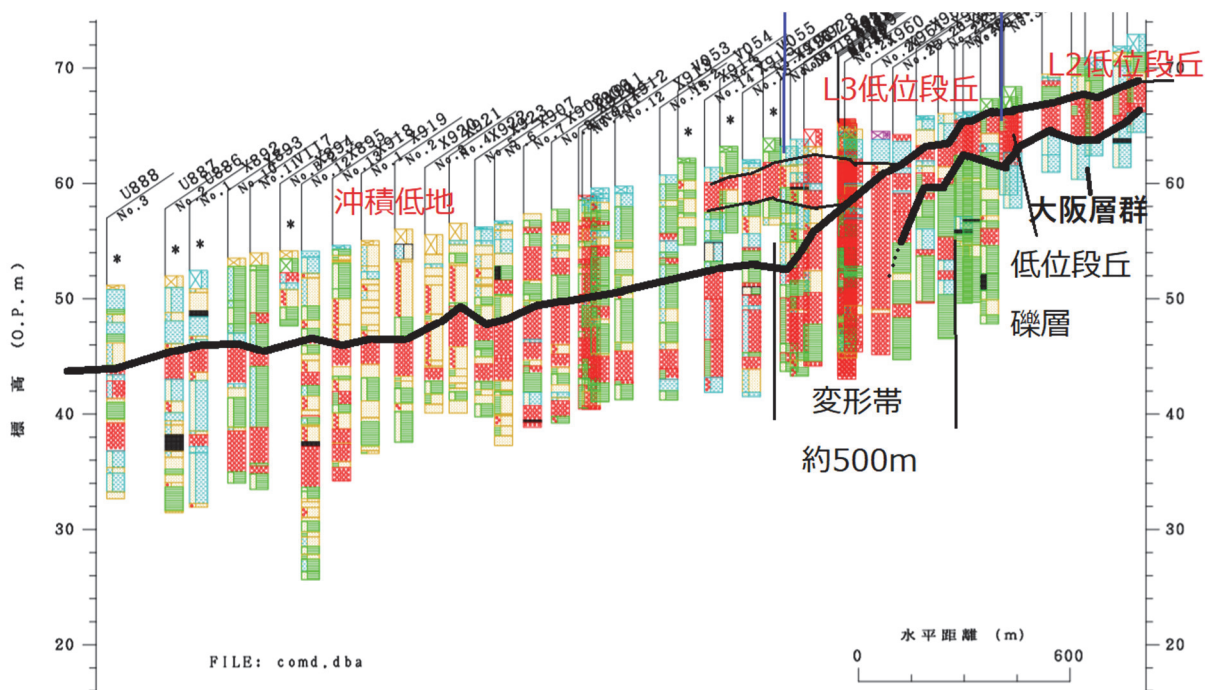


図 27 南北柱状断面図 C (断面図の位置は図 26 参照)



6) 京都市山科区大宅地区における黄檗断層のボーリング調査

黄檗断層の変位速度や活動履歴を解明するために、京都市山科区大宅地区の4ヶ所で層序ボーリングを行った(図29)。黄檗断層東側の谷底面で深度8 m、低位段丘面で5 m、断層西側の沖積面の2ヶ所で深度9 mと12 mのオールコアボーリング試料を採取した。10 試料について、放射性炭素年代測定を行った(表9)。これとコア観察結果を基に、図29に示す地形・地質断面図を作成した。

その結果、①地形的に活断層が想定されていた奈良街道近傍の谷底面で、約4万年以前の粘性土中に顕著な傾斜不整合が認められた。②従来「低位段丘」とされていた、黄檗断層東で谷底面との比高約10 mの段丘で、堆積物最上部に褐色土層が認められた。③黄檗断層西側の沖積低地の2本のボーリングの深度5.73 mおよび7.85 mに、約2.9万年前に降下した始良 Tn テフラの可能性が高い純層テフラが認められた。

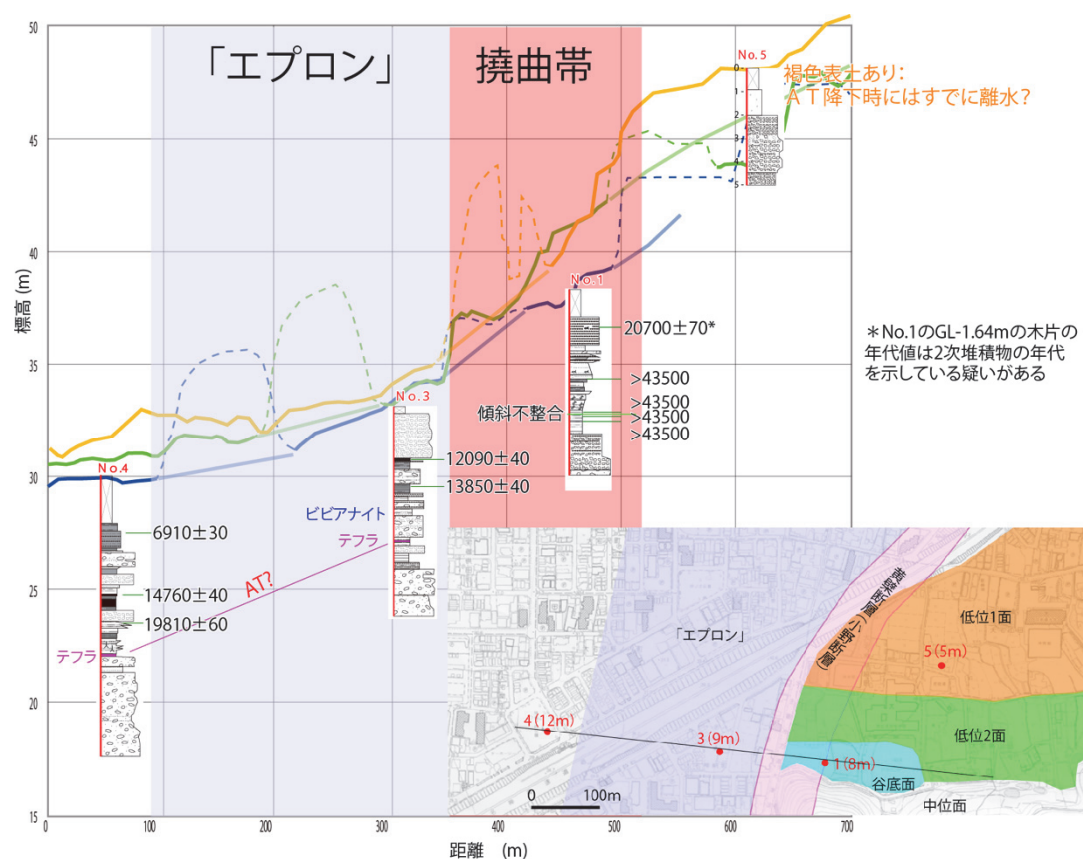


図29 大宅地区の地形地質断面図とボーリングの位置・層序。右下の図の基図は縮尺1万分の1京都市基本図。

表 9 大宅地区ボーリングコアから採取された試料の放射性炭素年代測定結果

sample	type of material	Measured Radiocarbon Age		Conventional Radiocarbon Age		cal	13C	Technique Delivery	Pretreatment
No.1-164	wood	20730	70	20700	70	95.4% probability (95.4%) 25174 - 24687 cal BP	-26.66	AMS-Standard	acid/alkali/ acid
No.1-392	wood	NA		> 43500		NA	-32.76	AMS-Standard	acid/alkali/ acid
No.1-515	wood	NA		> 43500		NA	-28.68	AMS-Standard	acid/alkali/ acid
No.1-539	wood	NA		> 43500		NA	-28.34	AMS-Standard	acid/alkali/ acid
No.1-568	wood	NA		> 43500		NA	-28.88	AMS-Standard	acid/alkali/ acid
No.3-236	organic sediment	12090	40	12090	40	95.4% probability (53.8%) 13956 - 13809 cal BP (41.6%) 14070 - 13966 cal BP	-24.99	AMS-Standard	acid washes
No.3-347	organic sediment	13900	40	13850	40	95.4% probability (95.4%) 16998 - 16636 cal BP	-27.96	AMS-Standard	acid washes
No.4-250	organic sediment	6910	30	6910	30	95.4% probability (91.4%) 7794 - 7673 cal BP (4%) 7829 - 7813 cal BP	-24.95	AMS-Standard	acid washes
No.4-510	organic sediment	14800	40	14760	40	95.4% probability (95.4%) 18224 - 17934 cal BP	-27.67	AMS-Standard	acid washes
No.4-637	wood	19790	60	19810	60	95.4% probability (95.4%) 23987 - 23735 cal BP	-23.88	AMS-Standard	acid/alkali/ acid

7) 1185 年の元暦京都地震における奈良での建造物被害

前近代を通じて多数の人々が集住していた奈良には、古代以来の史料や建造物が多数現存しており、それらには前近代に発生した地震の記録や地震被害の痕跡が残されている。奈良に被害を及ぼした歴史地震には、奈良盆地近傍の内陸活断層に起因すると想定される大地震だけでなく、紀伊半島沖で発生した南海トラフ巨大地震（東海地震・南海地震）も含まれてくる。本年度は、史料に記された地震被害の記録に基づき、1185 年の元暦京都地震における奈良での地震被害を事例として、地震による建造物の被害実態について検討した。

元暦京都地震は、1185 年 8 月 6 日（ユリウス暦：元暦 2 年 7 月 9 日）の午前 11 時～午後 1 時頃（午刻）に発生し、当時の京都市街地を構成していた京都盆地北東部の左京・白河・東山の各所で、数多くの建造物に大きな被害が生じた内陸地震であり、近江国（現、滋賀県）南西部の坂本や延暦寺でも被害が大きかった。また、山科盆地南部の醍醐寺や勸修寺でも建造物が倒壊し、京都盆地中央部では宇治橋が崩落しており、さらに南方の大和国（現、奈良県）の奈良においても被害が生じていた（西山，2000）。

地震が発生した平安時代末期の奈良には、奈良盆地北東部に位置する興福寺や東大寺といった大寺院の伽藍を中心に市街地が形成されていた。地震発生時の約 5 年前の 1181 年 1 月 15 日（治承 4 年 12 月 28 日）に、平重衡の南都焼き討ちによってこの 2 つの大寺院は堂塔伽藍のほとんどが焼失し、壊滅的な被害を蒙っていた。その後、両寺院では藤原氏一門や後白河法皇の援助を受けて早期に再建が開始され、地震発生時の 1185 年 8 月時点で幾つかの建造物は完成していた。ここでは興福寺と東大寺に加えて、唐招提寺での地震被害の実態について検討する。

興福寺関係の史料によると、所々で数多くの建造物が倒壊したとあり〔興福寺略年代記〕、興福寺境内でも何らかの建造物が倒壊したように思える。しかし、1185 年 8 月の地震発生時点で興福寺境内に存在した建造物は、再建された東金堂・西金堂と再建途上にあった講堂・食堂・南円堂の 5 棟のみであった。これらの堂宇が今回の地震によって倒壊して、再度再建された状況は史料記述からは確認できない。そのため、興福寺境内での建造物の被害は部分的な破損程度、あるいはほとんど皆無であったと想定する。

興福寺の東隣に位置した東大寺では、地震発生時点で大仏本体は再建工事がほぼ完了しており、地震発生から約 1 ヶ月半後の 1185 年 9 月 23 日（文治元年 8 月 28 日）には開眼供養が行われていた〔玉葉〕。一方、大仏殿を含む堂宇や堂舎の再建は 1190～1204 年（建久～建仁年間）にかけて実施されており、地震発生時点では再建に未着手の状態であったと考えられる。地震発生時の東大寺境内において、被害を受けるような建造物が大仏のみであった状況から考えると、境内の他の場所で何らかの被害が発生していた可能性は低いと想定できる。

奈良盆地の北西寄りに位置する唐招提寺では、地震によって中門が倒壊し、金堂に安置されていた千手観音立像（千手観音菩薩立像）が倒れている〔唐招提寺千手観音足柄銘〕。しかし、境内の金堂や講堂など他の建造物の被害について、史料記述からは確認できない（図 30）。中門については今回の地震による倒壊後は再建されず、現存していないために検討は困難である。千手観音立像は現存しており、金堂の須弥壇西の間に安置され、像高約 5.3 m、台座高約 0.5 m の木心乾漆造（檜材数本を根幹とし、砥粉入りの漆と麻布とを

交互に重ね合わせた工法)の仏像である。像の後ろに 953 本の手を備えており、重心が高く不安定な状態であるため、像と一体化した長さ約 130 cm、約 50 cm 四方の檜材の角柄(ホゾ)を須弥壇に固定して像を支えている。現状の像本体の保存状態は良く、地震で大きく倒れて破損し、その後に大規模に修理された形跡は確認できない(奈良六大寺大観刊行会編, 1972)。このことから千手観音立像は、地震によって完全に横倒しになったのではなく、像を支えていた須弥壇内部の角柄が中程で折損し、像が傾いた程度であったと想定する。

今後は、奈良盆地に被害を及ぼした個々の歴史地震について、被害状況と被害分布を詳細に調査し、奈良盆地での建造物被害の特徴について検討していく。また、歴史地震における被災歴に基づいて、将来、奈良盆地東縁断層や近傍の活断層が活動した際に、どのような被害が生じるかについても可能な限り想定を試みたい。

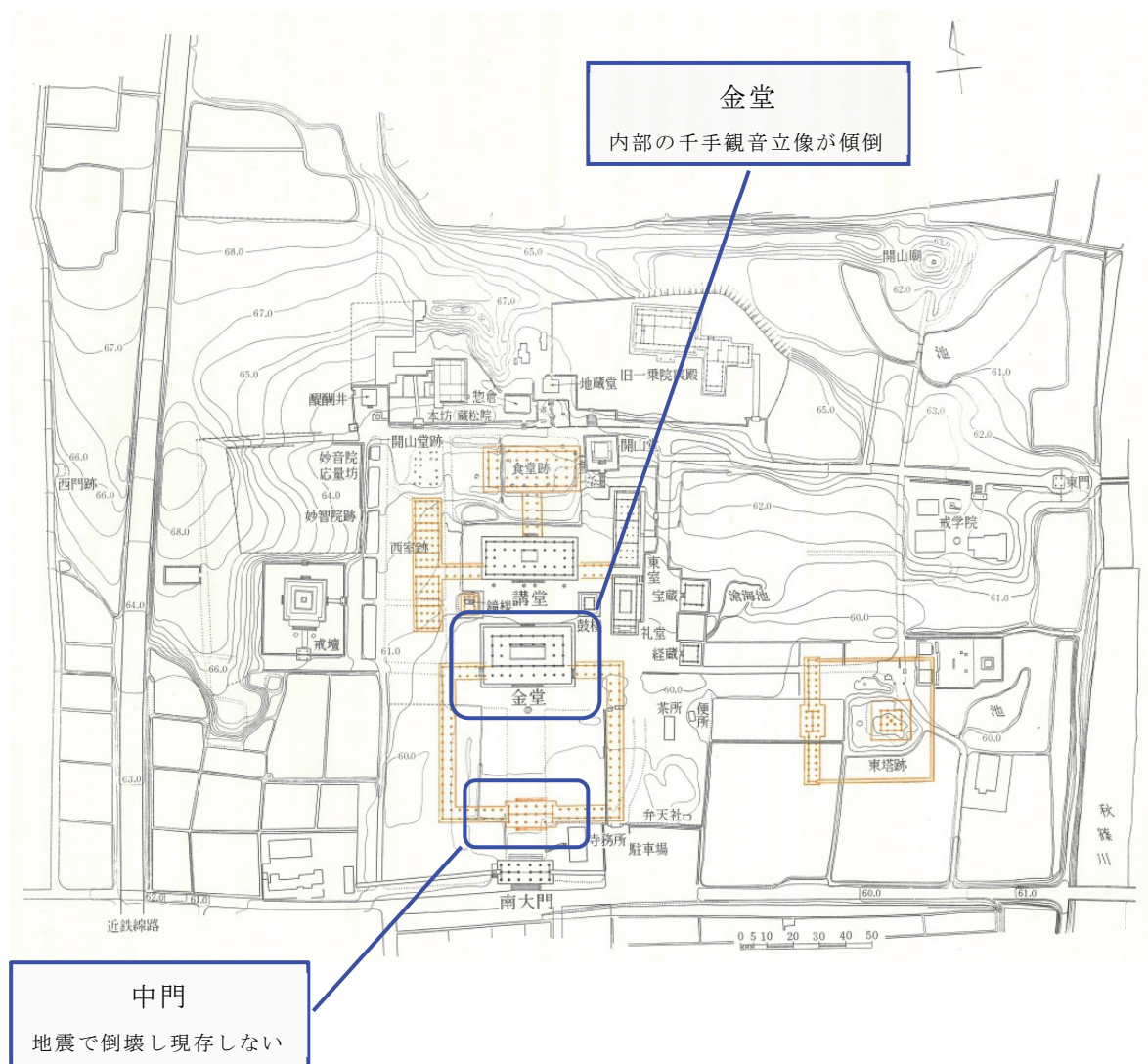


図 30 唐招提寺の伽藍配置(橙色が当時の伽藍配置)と 1185 年の元暦京都地震での被害発生場所。奈良六大寺大観刊行会編(1969)の p. 13「2 境内地図」に加筆。

8) 考古遺跡の地震痕跡データベースの作成

a) データベースの概要

奈良盆地全域における発掘調査成果から、地震によって発生したと考えられる災害痕跡情報の集成により、「いつ」「どこで」「どのような」災害が発生したかをデータベース化し、GIS 型検索データベースの作成を進めた。

発掘調査で観察される過去の地震痕跡は、液状化に伴う砂脈・噴砂・地割れ・地すべり・断層などがあげられる。これらの痕跡について、①既出の発掘調査報告書に記載された層相記載や掲載された図面・写真の読み取りと精査、②現在進行する発掘調査の現場での直接的な調査、という 2 通りのアプローチによって、データベースの基盤となる地震災害情報を集成した（図 31）。ただし、地震による災害現出は前述の事象に限らない。現代の地震災害シナリオをみても、「地すべりが河川をせき止め、その結果洪水が発生する」という複合現出のシナリオを辿ることも決して珍しいことではない。そこで情報の集成は、地震災害・水害・火災などの「人為性災害」まで範囲を広げて取り扱いデータベース化したのち、それらの事象の因果性を検討することとした。さらに、被災地域を明確化するため、災害痕跡のない地点情報もデータベースに搭載する。これにより、災害発生メカニズムの検証のための基盤情報となることが期待される。

データベース化にあたっては、発掘調査区（地点）ごとの位置情報と層序情報を基軸に災害痕跡情報を記載することとした。この層序情報は、地質層序と考古層序を併用した基本層序区分を使用する。それにより、地質層序よりも遥かに詳細な考古層序による年代観を得ることができ、その中で災害の発生時期の特定を進めることができると期待される。

GIS 検索型データベースの構築にあたっては、①WEB 上で提示する GIS データベースと、②QGIS による独立型検索システムの構築を目指す。①はすでに地震・火山噴火予知研究協議会からの受託研究と科学研究費によって継続開発を進めているデータベースであり、今後も継続的に活用が可能なものである。一方、②は本課題研究独自のデータベースである。

b) 調査成果

i) 災害痕跡データベースの拡充

- ・地理院地図上に「都市圏活断層図」と「奈良県遺跡地図」を表示できる表示レイヤーの追加（図 32、33）。

- ・災害痕跡情報の拡充

データ集成：10,024 地点（令和元年度）⇒41,077 地点（令和 2 年度）

データ入力件数：3,754 件（令和元年度）⇒37,005 地点（令和 2 年度）

- ・QGIS へのデータ搭載と表示テストの開始（図 34）

ii) 発掘調査現場での地震痕跡調査

- ・平城宮・京跡での調査

平城宮第 1 次大極殿朝堂院南東（平城第 612 次調査）、法華寺阿弥陀堂南東縁辺部（平城第 613 次調査）をはじめとする 17 地点で、災害痕跡に関わる堆積構造調査を行った（図 35、36）。その結果、平城宮造営前、第 1 次平城宮廃絶後（8 世紀後半）～平安時代（9 世紀半ば）までに、震度 5 弱以上の地震があったことが明らかとなってきた。

・藤原宮・京跡での調査

大官大寺跡（藤原第 203 次調査）において、液状化した砂層とそれに伴う砂脈が発見された。地震発生時期を特定する要素となる噴砂については、地質切取試料を採取し、軟 X 線解析・X 線 CT 解析等を用いて調査を継続している。

・明日香村古墳群での調査

8 世紀初頭築造と推定される中尾山古墳の墳丘に、地すべり痕跡を発見した（図 37）。明日香村古墳群には、この中尾山古墳をはじめ都塚古墳・高松塚古墳・キトラ古墳など多くの遺跡で地震痕跡が発見されている。これらの情報を改めて整理し、データベース化を進めている。

令和 2 年度の調査結果として、表 10 のように地震による遺跡の被災時期に複数のステージが存在する傾向が確認された。さらに東縁断層の推定分布地付近には、地すべりや地割れの痕跡が遺跡の中から多く発見され、断層分布域の前面、すなわち盆地の低湿地側において多くの液状化痕跡が遺跡内から発見されている。さらに、断層推定分布域外となる橿原市、桜井市さらに御所市周辺でも同様の傾向がみられ、今後の調査方針にも関わってくる所見が得られてきている。

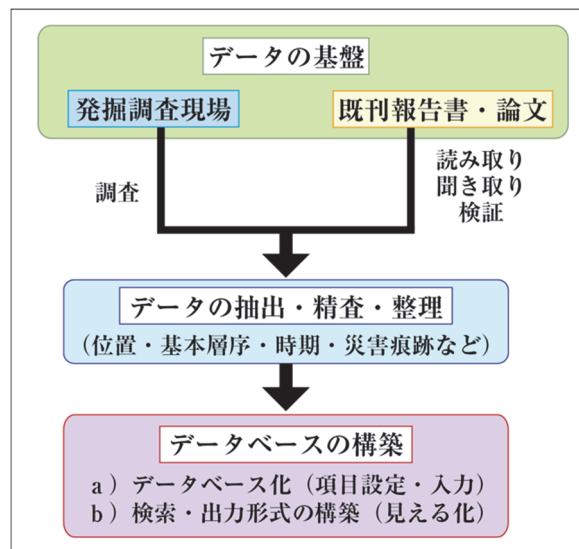


図 31 データベース構築の工程イメージ

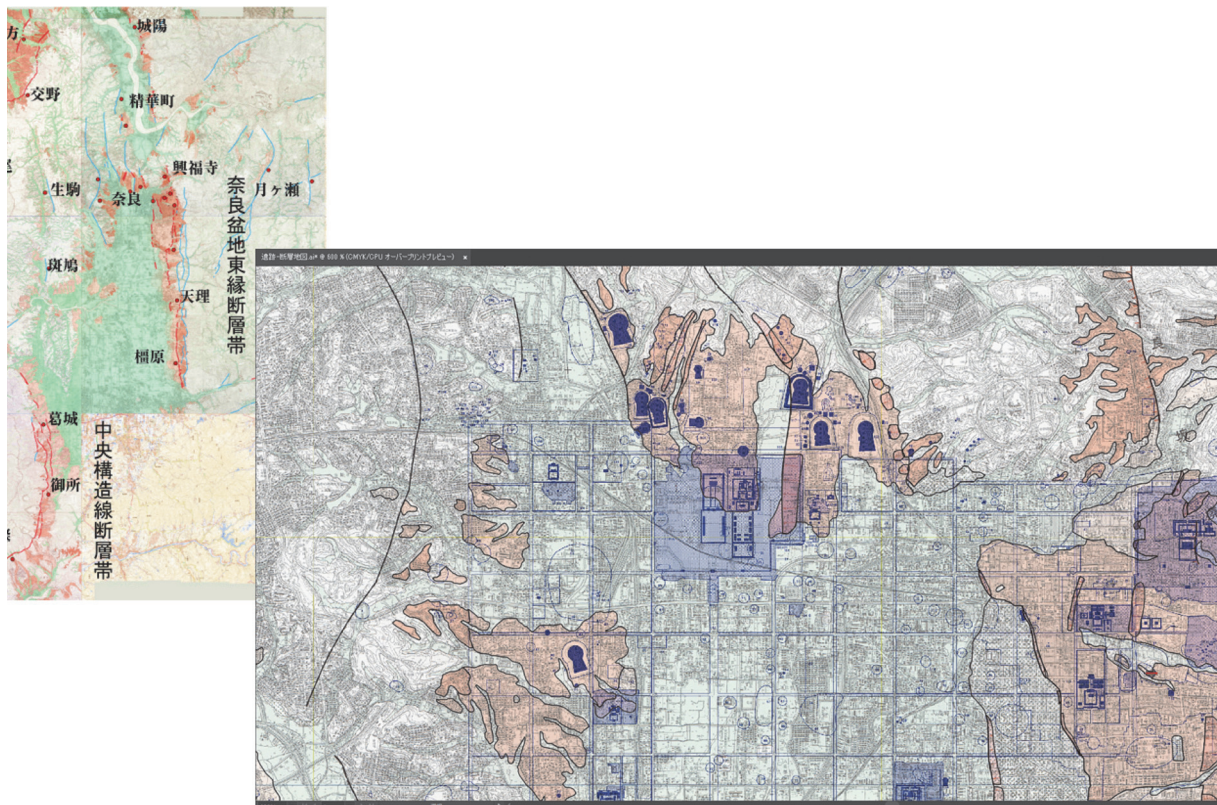
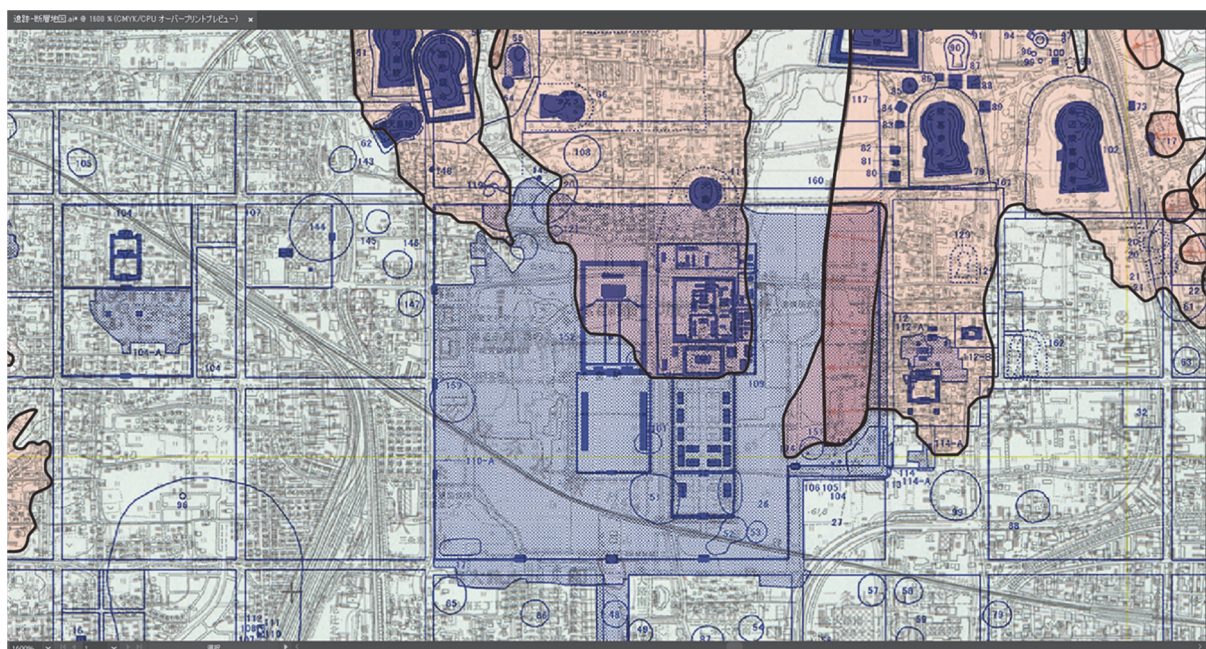


図 32 地形分類図・都市圏活断層図と奈良県遺跡地図 Web の重ね合わせによる合成図



平城宮跡周辺の拡大図(遺構群、遺跡包蔵地まで明確に確認できる)

図 33 地理院地図 (1:25000) と地形分類図、都市圏活断層図、奈良県遺跡地図 Web のレイヤー重ね合わせによる合成図 (平城宮跡周辺)

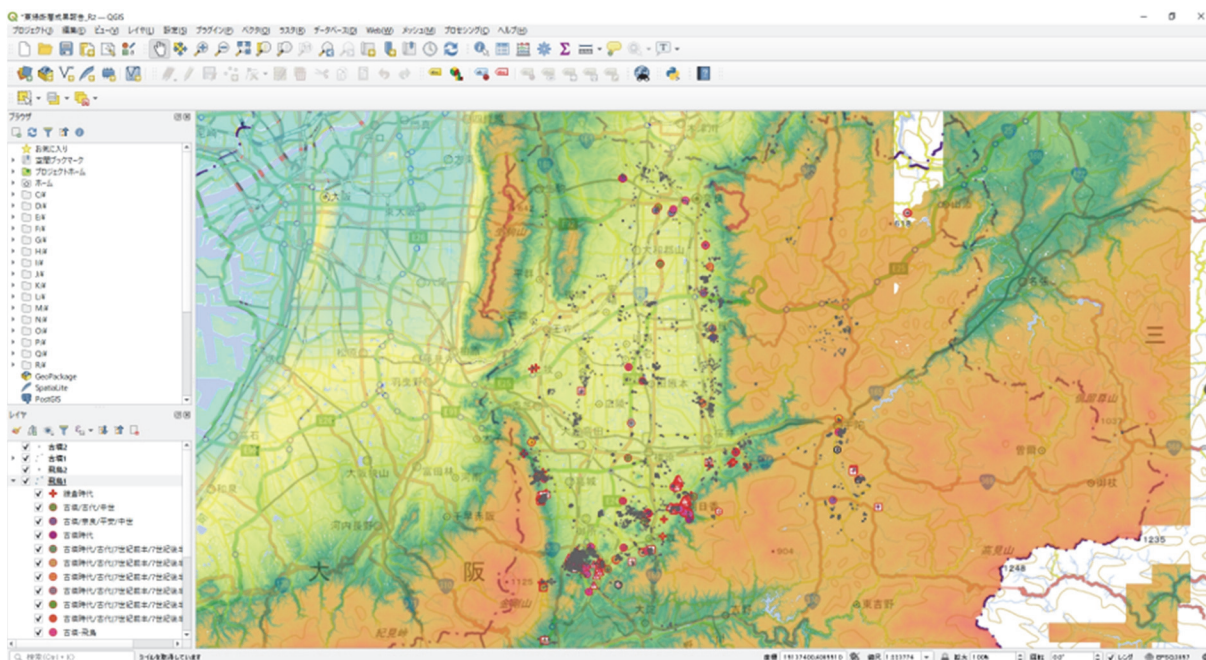
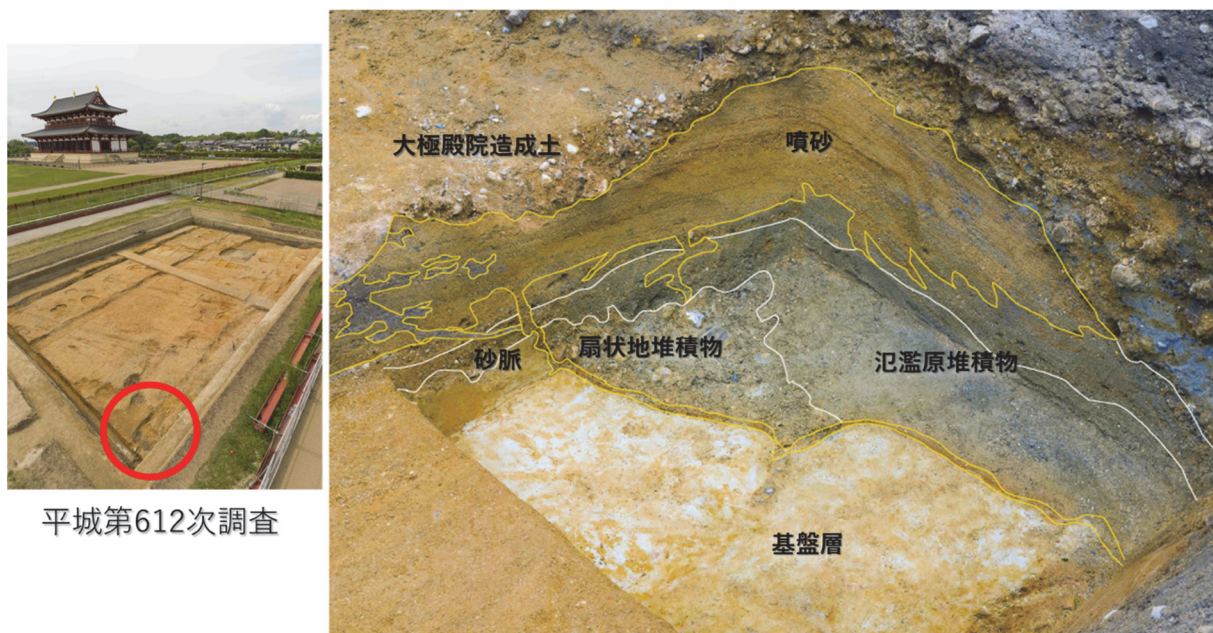


図 34 QGIS への遺跡データの搭載と表示試験。奈良県内で災害痕跡が確認された遺跡 (5 世紀～7 世紀)。



平城第612次調査

図 35 平城宮第 1 次大極殿朝堂院南東（平城第 612 次調査）で発見された地震痕跡

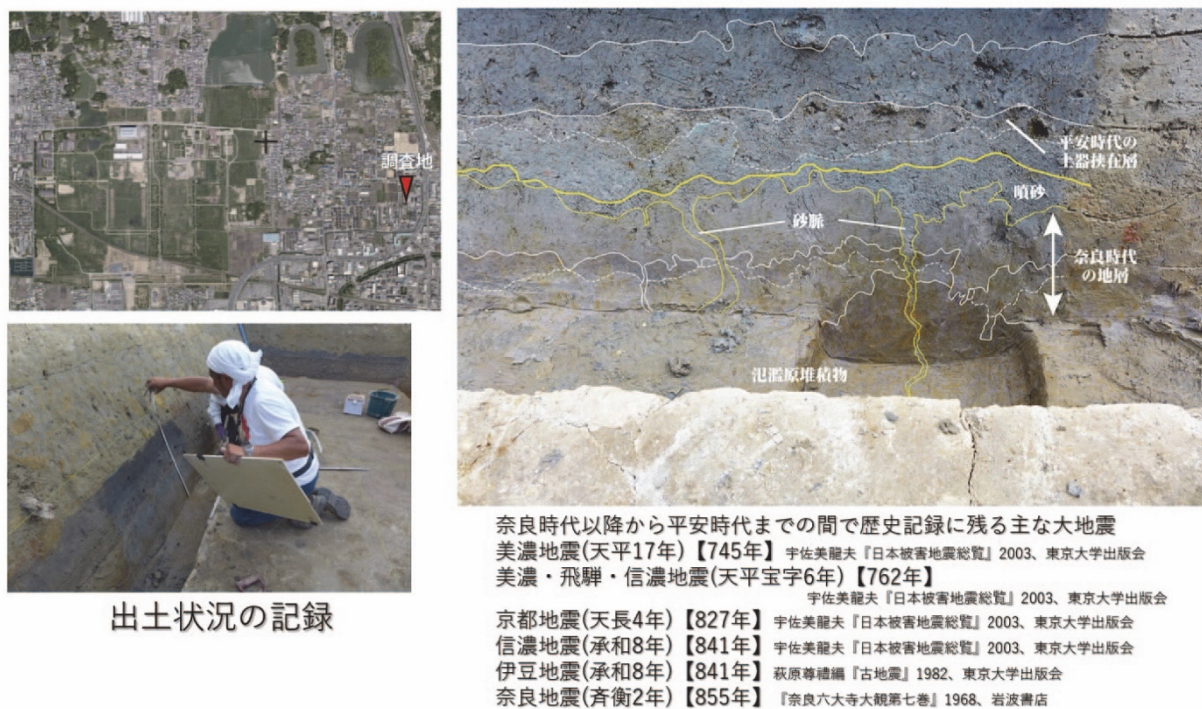


図 36 法華寺阿弥陀堂南東縁辺部（平城第 613 次調査）で発見された地震痕跡

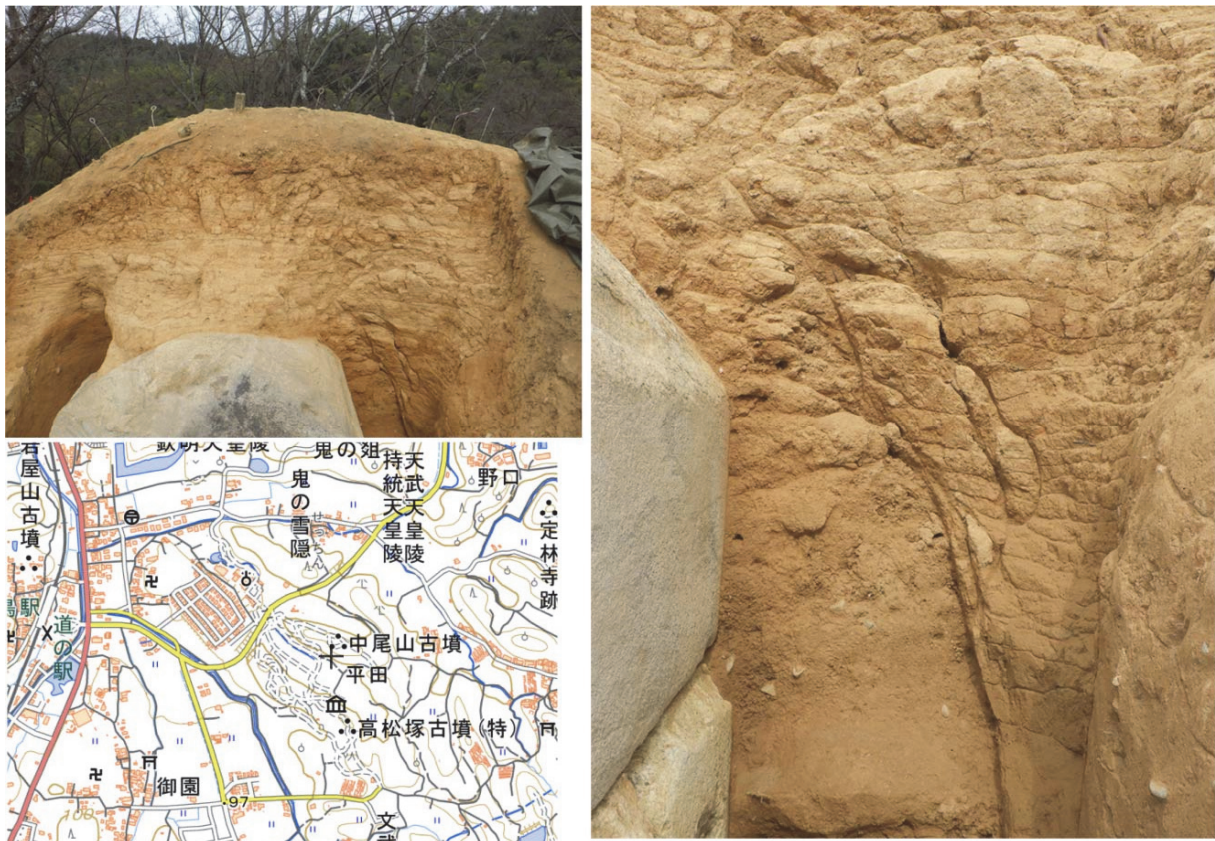


図 37 明日香村中尾山古墳で発見された墳丘の地すべり構造。位置図は地理院地図。

表 10 遺跡から発見された災害痕跡にもとづく被災ステージの傾向

ステージ	遺跡時期区分		対応推定地震	対応推定火山噴火
1	-30000～1	紀元前	不明	始良Tn火山灰
2	201～400	3C-4C	不明	
3	401～600	5C-6C	不明	
4	601～750	7C	白鳳南海：684（日本書紀）	
5	801～900	9C	五畿七道：887（日本三代実録）	
6	901～1000	10C	不明（938:貞信公記/976:日本紀略）	
7	1001～1100	11C	畿内東海道：1096 （後二条師通記，中右記）	
8	1201～1350	13C-14C半	洪水	
9	1301～1400	14C	正平南海：1361（後愚昧記，嘉元記）	
10	1701～1800	18C	宝永：1707（三綱所日記）	
11	1801～1900	19C	伊賀上野:1854/安政東南海:1854 （公文所日記嘉永七年）	

(c) 結論ならびに今後の課題

奈良盆地東縁断層帯の詳細な位置や分布、及び活動履歴を明らかにすることを目的とした調査を行った。京都府域において、米軍撮影の縮尺約 1 万分の 1 の空中写真や現地調査に基づいて、縮尺 2.5 万分の 1 の活断層分布図・地形分類図を作成した。また現地踏査や既存の地質データに基づいて、断層帯の上下変位量分布を複数の層準について明らかにし、断層活動の時期や量の走向方向への変化を検討した。山科盆地の黄檗断層や奈良盆地の帯解断層・天理撓曲の変位速度や活動履歴に関するデータを収集するために、物理探査・ボーリング調査・トレンチ掘削調査・ピット掘削調査を行った。現地調査で得られた火山灰試料や放射性炭素年代測定試料の分析を進めた。奈良に被害をおよぼした歴史地震として 1185 年の元暦京都地震をとりあげ、奈良での建造物被害について検討した。奈良盆地に位置する考古遺跡に残された液状化等の地震痕跡データベースの作成作業を継続した。

従来の研究では、変位地形が不明瞭なことを根拠として、奈良盆地東縁断層帯は宇治市～城陽市付近で途切れており、ここを境に南北のセグメントに区分できると考えられていた。本研究では、地表踏査とボーリングデータの解析より得た主要基準面の変位量分布図および変位地形・地質構造調査により、宇治市～城陽市付近には幅 1 km 以上の幅広い第四紀傾動帯が存在し、その南の井手町～京田辺市飯岡地区の「井手断層」付近で総変位量が極小となっており、かつその南北で主要な断層活動時期が異なることから、従来のセグメント境界の数 km 南の「井手断層」付近にセグメント境界が存在する可能性が高いことが明らかとなった。

令和 3 年度は、活動履歴や変位速度の解明に適した地点でボーリング調査や古地震学的調査を行う。過去 2 年間に調査を行ってきた京都市山科区大宅地区や奈良盆地東縁地域で追加の調査を行うと共に、木津川市山城町上狛で新たに調査を行う。また断層帯全域における活断層分布図・地形分類図を作成し、第四紀地殻変動像（変位速度分布・構造発達過程の解明・セグメント区分・最新活動年代等）を取りまとめる。考古遺跡の地震痕跡については、データベースの件数を拡充し、災害痕跡データベース検索システム（Web GIS 型）の拡充とベータ版テストを開始する。さらに QGIS 搭載型データベースの更新・拡充とベータ版テストを開始する。

令和 2 年度に行った京都市山科区大宅地区、奈良市今市町、奈良市八島町での物理探査・ボーリング調査・トレンチ掘削調査・ピット掘削調査にあたっては、多くの地権者の方々に土地の使用許可を頂いた。また自治会長の方々には、地元への調査の周知等でご協力いただいた。京都府・京都市・奈良県・奈良市の危機管理担当部署には、現地調査の実施にあたり種々ご協力いただいた。上記の皆様・機関に厚く御礼申し上げます。

(d) 引用文献

物理探査学会，「物理探査ハンドブック増補改訂版」，1045p，2016.

KG-NET・関西圏地盤研究会・一般社団法人関西地質調査業協会，「新関西地盤－奈良盆地－」，253p，2018.

京都府，平成 17 年度京都府地震被害想定基礎調査業務報告書，2006.

京都府農林部耕地課，土地分類基本調査「大阪東北部・奈良・上野」，90p，1983.

京都府農林部耕地課，土地分類基本調査「京都東北部・京都東南部・水口」，200p，1984.

京都市，平成 13 年度地震関係基礎調査交付金「宇治川断層に関する調査成果報告書」（概要編），2002.

京都市，平成 14 年度地震関係基礎調査交付金「京都盆地の地下構造に関する調査成果報告書」（概要版），2003.

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，奈良盆地東縁断層帯における重点的な調査観測令和元年度成果報告書，198p，2020.

奈良県企画部開発調整課，土地分類基本調査「桜井」，52p，1982.

奈良県企画部開発調整課，土地分類基本調査「奈良・大阪東北部・大阪東南部（いずれも奈良県域）」，52p，1984.

奈良六大寺大観刊行会編「奈良六大寺大観 第十二巻 唐招提寺一」，岩波書店，341p，1969.

奈良六大寺大観刊行会編「奈良六大寺大観 第十三巻 唐招提寺二」，岩波書店，374p，1972.

西岡芳晴・尾崎正紀・寒川 旭・山元孝広・宮地良典，「桜井地域の地質」，地域地質研究報告（5 万分の 1 地質図幅），141p，2001.

西山昭仁，元暦二年（1185）京都地震における京都周辺地域の被害実態，歴史地震，16，163-184，2000.

岡田篤正・檜山公洋・松川耕治・末廣匡基，新名神高速道路（京都府城陽地区）における反射法探査，日本活断層学会 2019 年度秋季大会講演要旨集，28-29，2019.

尾崎正紀・寒川 旭・宮崎一博・西岡芳晴・宮地良典・竹内圭史・田口雄作，「奈良地域の地質」，地域地質研究報告（5 万分の 1 地質図幅），162p，2000.

産業技術総合研究所，平成 25 年度「活断層の補完調査」成果報告書 奈良盆地東縁断層帯，2014.

相馬秀廣・八木浩司・岡田篤正・中田 高・池田安隆，1:25000 都市圏活断層図「桜井」，国土地理院技術資料 D1-No. 350，1998.

脇田浩二・竹内圭史・水野清秀・小松原 琢・中野聰志・竹村恵二・田口雄作，「京都東南部地域の地質」，地域地質研究報告（5 万分の 1 地質図幅），124p，2013.

八木浩司・相馬秀廣・岡田篤正・中田 高・池田安隆，1:25000 都市圏活断層図「奈良」，国土地理院技術資料 D1-No. 350，1998.