

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密
又は防護上の観点から公開できません。

敦賀発電所2号炉

敷地の地形，地質・地質構造

敷地内のD-1トレンチ内に認められるK断層の活動性

令和5年10月6日
日本原子力発電株式会社

余白

敦賀発電所2号炉 敷地の地形、地質・地質構造に関する主要な論点

No.	主要な論点(平成28年2月4日 第326回審査会合)
3	浦底断層の活動に伴う、敷地内破碎帯の変位等に関する調査・評価結果を説明すること。
4	敷地内破碎帯について、評価対象としている破碎帯(D-1破碎帯, D-5破碎帯, D-6破碎帯, H-3a破碎帯, D-14破碎帯)に関わる調査・評価のデータのみならず、その代表性が適切であることを判断するため、破碎帯の全ての調査・評価結果を説明すること。
5	敷地内のD-1トレンチ内に認められるK断層の活動性及び原子炉建屋直下を通過する破碎帯との連続性等の調査・評価結果を従前の説明に加えて申請時の最新知見に照らして説明すること。

敦賀発電所2号炉 敷地の地形, 地質・地質構造に関するコメント【本日説明分】

No.	日付	回次	コメント内容	回答骨子	該当頁
19	平成30年 11月30日	第657回 審査会合	C.パスキエ, R.トゥロウ(1999)の文献については, 原文を確認するとともに, 事業者が加筆した箇所が分かる表記とすること。	原文を再度確認し断層岩の記述(定義)について表現を見直した。 また, 当社が加筆した箇所が分かる表記とした。 さらに, 引用文献を改訂版であるPasschier and Trouw(2005)に変更した。 (本日説明)	1-22～ 1-24, 1-88
25	令和元年 8月23日	第758回 審査会合	K断層の連続性評価及び活動性評価は追加調査結果を待たずに議論できる部分であることから, 記載の不備を適正化した上で優先的に説明すること。	第783回審査会合に説明した記載の不備を踏まえ, 改めてK断層がD-1トレンチの南方に連続するか否かについて検討した。 検討に用いるデータについては, 第833回審査会合までに追加観察又は追加データの取得を行った。 (第833回審査会合においてご説明, 今回再説明) 敷地内のD-1トレンチ内に認められるK断層の活動性(以下, K断層の活動性)について, D-1トレンチ北西法面, 原電道路ピット東向き法面及びふげん道路ピット東側法面の3か所において, 上載地層法によって, 後期更新世以降の活動がないことが確認でき, 将来活動する可能性のある断層等ではないと判断した。 (本日説明)	2-98～ 2-127

敦賀発電所2号炉 敷地の地形、地質・地質構造に関するコメント【本日説明分】

No.	日付	回次	コメント内容	回答骨子	当該頁
49	令和5年 2月10日	第1113回 審査会合	スケッチの作成日について、いつの露頭の状態を観察した結果なのか重要な情報なので、それを明確にしたうえで、再度確認した日を記載するなど適正化すること。また、スケッチを修正している内容が分かるように記載すること。さらに、今後の審査において、旧版のスケッチも含めて、スケッチの変遷が分かるように整理して示すこと。	<p>① スケッチの作成日については、露頭の状態を観察した現場確認の時期を記載した。</p> <p>② スケッチの修正については、修正箇所及び内容を明記した。</p> <p>③ スケッチについては、設置変更許可申請（H27年11月）以降、新たな観察、作成を行っていない。今後、新たな観察、スケッチ作成を行った際には、変遷が分かるように示す。 (本日説明)</p>	<p>① 2-46～ 2-79</p> <p>② コメント 回答資料 1</p> <p>③-</p>
54	令和5年 9月22日	第1187回 審査会合	K断層の活動性・連続性に関し、次回以降の審査会合で、まずはK断層の活動性について議論し、その後、原子炉建屋直下を通過する破砕帯とK断層の連続性を議論すること。	<p>敷地内のD-1トレンチ内に認められるK断層の活動性（以下、K断層の活動性）について、D-1トレンチ北西法面、原電道路ピット東向き法面及びふげん道路ピット東側法面の3か所において、上載地層法によって、後期更新世以降の活動がないことが確認でき、将来活動する可能性のある断層等ではないと判断した。 (本日説明)</p>	2-98～ 2-127
56	令和5年 9月22日	第1187回 審査会合	K断層は、D-1トレンチ内において、屈曲して走向を変え、数条に分岐し、平面的に連続していないことから、K断層がD-1トレンチ北西法面からふげん道路ピットの中央付近まで連続していると事業者が判断した考え方と根拠を整理して説明すること。（資料1-1別紙2）	<p>K断層は、D-1トレンチ北西法面からふげん道路ピットに至る区間において連続して認められる断層である。</p> <p>D-1トレンチ内において、屈曲して走向を変え、数条に分岐し、平面的に連続していないように見える箇所について説明する。 (本日説明)</p>	2-46～ 2-79

目次

1. 敷地の地形, 地質・地質構造	.....1- 1	2.2 K断層の分布及び性状	.....2- 43
1.1 敷地の地形	.....1- 3	2.2.1 K断層に関する調査内容	.....2- 45
1.2 敷地の地質	.....1- 9	2.2.2 北西法面	.....2- 47
1.2.1 地質の分布	.....1- 11	2.2.3 Lカットピット	.....2- 49
1.2.2 地質層序	.....1- 19	2.2.4 2-1ピット	.....2- 53
1.3 敷地の地質構造	.....1- 79	2.2.5 西側ピット	.....2- 59
1.3.1 破碎帯	.....1- 81	2.2.6 1-1ピット	.....2- 61
1.3.1.1 破碎部の断層岩区分	.....1- 83	2.2.7 擁壁撤去法面	.....2- 71
2. K断層の活動性評価	.....2- 1	2.2.8 原電道路ピット～ふげん道路ピット	.....2- 73
2.1 D-1トレンチの地層層序	.....2- 3	2.2.9 まとめ	.....2- 81
2.1.1 地層の層相及び分布	.....2- 5	2.3 K断層の活動性評価	.....2- 85
2.1.2 地層の堆積年代	.....2- 15	2.3.1 活動性評価(北西法面)	.....2- 87
		2.3.2 活動性評価(原電道路ピット)	.....2- 115
		2.3.3 活動性評価(ふげん道路ピット)	.....2- 125
		2.3.4 まとめ	.....2- 129
		2.4 まとめ	.....2- 131
		3. 参考文献	.....3- 1
		4. コメント一覧	.....4- 1

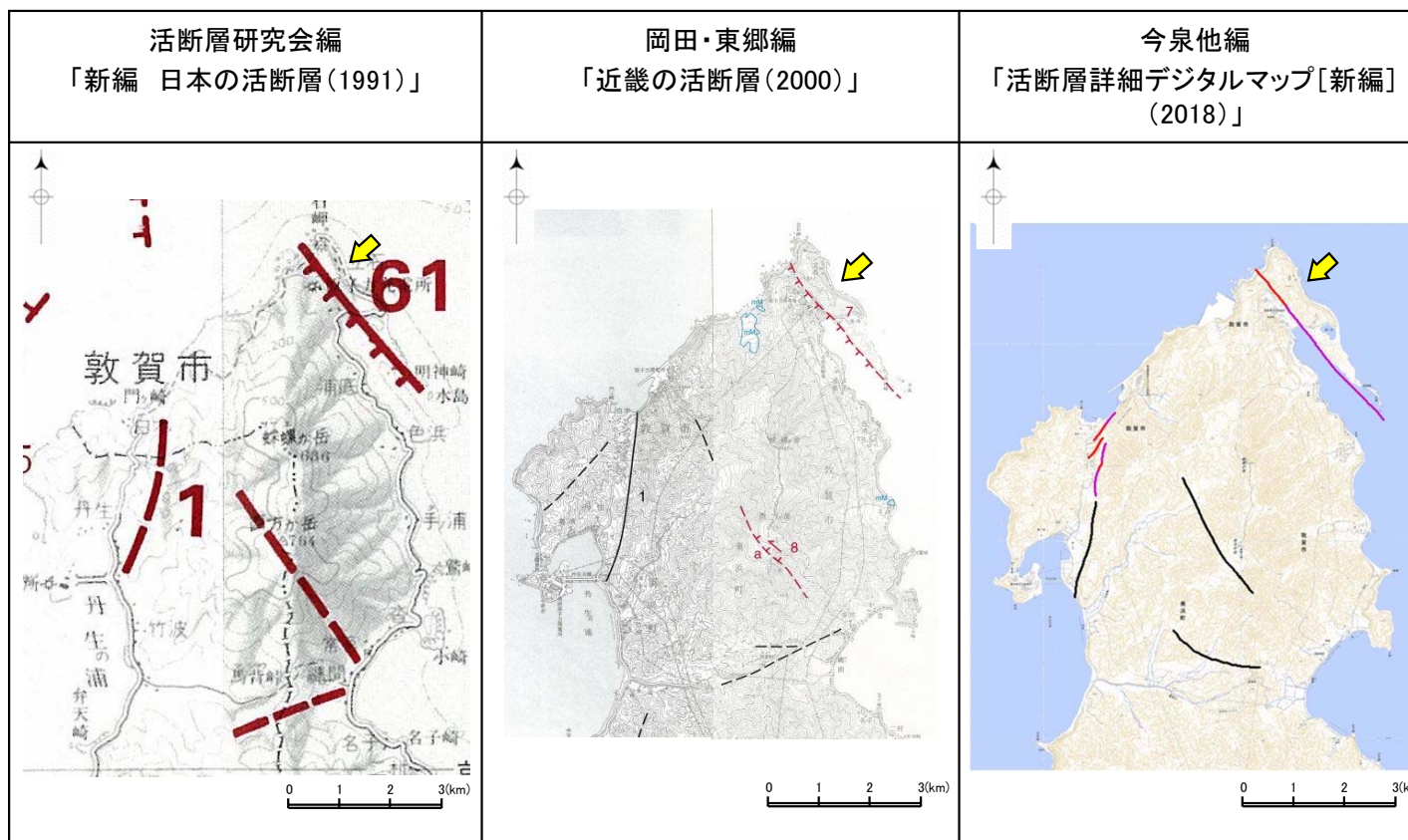
1. 敷地の地形, 地質・地質構造

余白

1.1 敷地の地形

1.1 敷地の地形(文献調査)

- 浦底断層については、活断層研究会編(1991)、岡田・東郷編(2000)及び今泉他編(2018)によれば、立石岬から猪ヶ池の西方を経て明神崎沖の水島に至る約3km～約3.5km区間の山地の西縁部に、NW-SE方向で、北東側隆起の活断層又は推定断層として図示されている。



断層名	61浦底断層
長さ	3km
確実度	I
変位の向き	北東隆起

確実度 I : 活断層であることが確実なもの
 確実度 II : 活断層であると推定されるもの
 確実度 III : 活断層の疑いがあるリニアメント

断層名	7浦底断層
長さ	3.5km
確実度	II
変位の向き	北東隆起

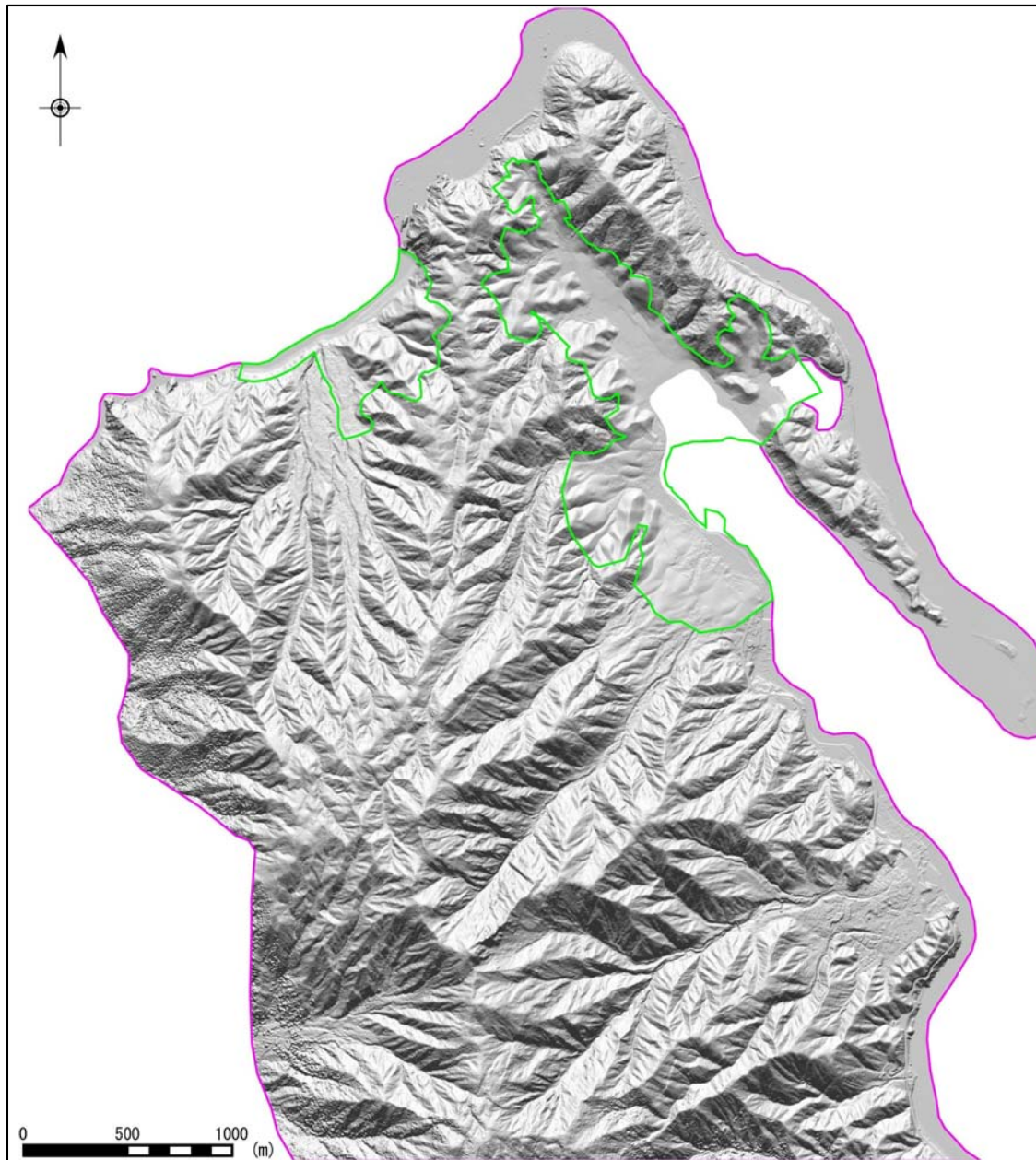
確実度 I : 活断層であることが確実なもの
 確実度 II : 活断層であると推定されるもの

断層名	浦底断層
長さ	約3.5km(図読)
確実度	活断層
変位の向き	北東隆起

活断層: 過去に繰り返し動いてきた跡が地形に現れ、今後も活動を繰り返すと考えられる断層
 推定活断層: 地形的な特徴により活断層の存在が推定されるが、現時点では明確には特定できないもの

1.1 敷地の地形（敷地の変動地形調査結果 航空レーザー測量）

- 航空レーザー測量に基づき地形図を作成した。航空レーザー測量の範囲及び計測仕様について下記に示す。
- 航空レーザー測量を実施した2012年時点において地形の改変が著しい範囲は、地形改変の前に撮影した国土地理院の20,000分の1の空中写真(1963年)を使用して地形図を作成した。



1mメッシュDEM 陰影図

航空レーザー測量の計測仕様

項目	設定値
対地高度	2,000feet(約600m)
対地速度	100km/h
スキャン角	±30°
スキャン周波数	39Hz
ビーム拡散度	0.5mrad
レーザー発射数	50,000Hz
コース数	17コース
コース間隔	280m
コース重複率	60.0%
計測密度 (重複なし)	2点/m ²
計測密度 (重複あり)	6点/m ²

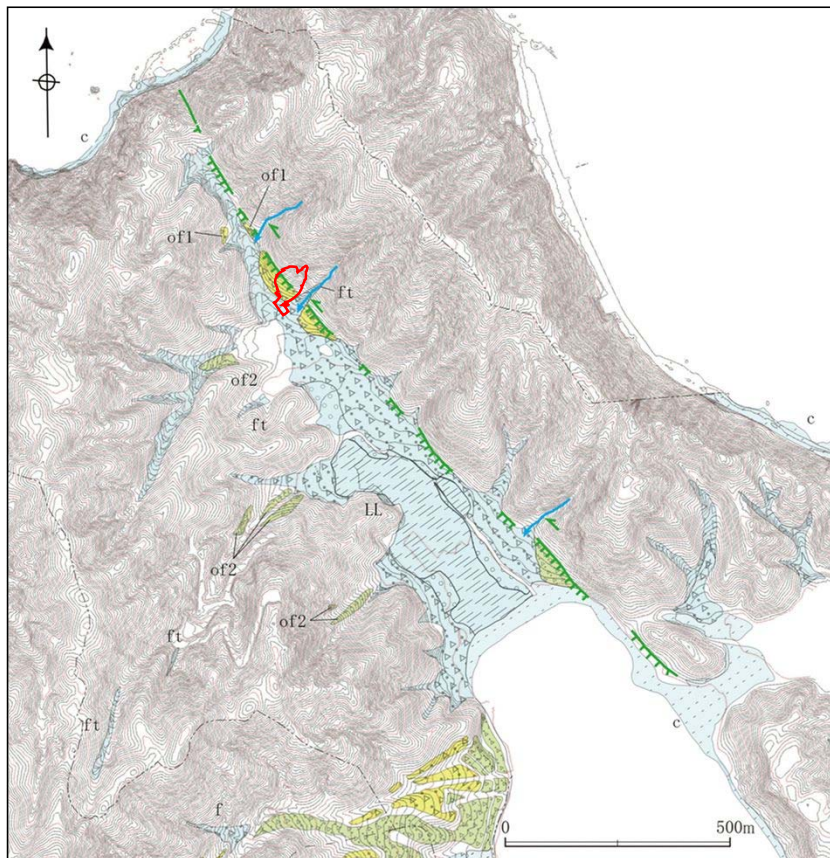
凡例

- 航空レーザー測量範囲※
- 空中写真から作成した範囲

※敷地の地形図は測量範囲内で作成

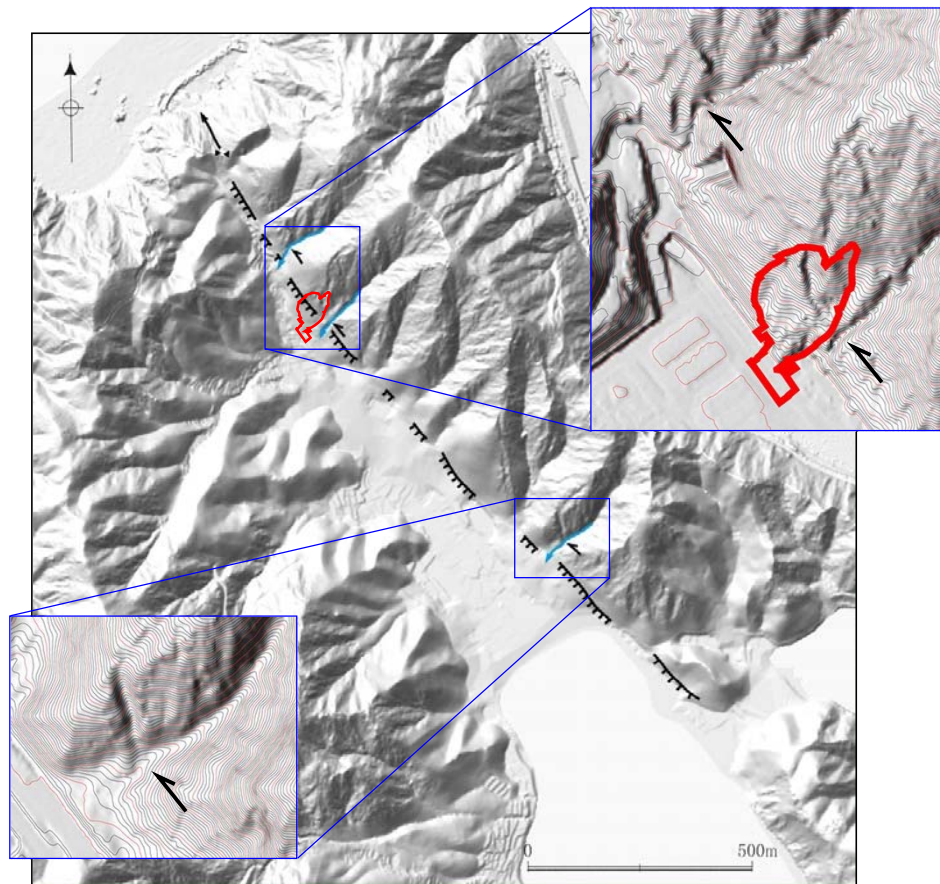
1.1 敷地の地形（敷地の変動地形調査結果 リニアメント判読）

- 空中写真判読及び航空レーザー測量の結果に基づく変動地形調査によると、敷地には文献で示される浦底断層に対応して、立石岬から猪ヶ池西方に至る区間に山地と低地との境界を通り、直線谷、鞍部、河谷の屈曲及び急崖からなるNW-SE方向のリニアメントが判読される。
- 敷地には文献で示される浦底断層に対応するリニアメント以外には、変動地形の可能性のある地形は判読されない。



リニアメント判読結果

凡例	
	海岸低地面(c)
	沖積低地面(a)
	現河床・崖面(ft)
	新期扇状地面(f)
	最低位段丘面(LL)
	低位段丘面(L)
	古期扇状地面2(of2)
	古期扇状地面1(of1)
	D-1トレンチ
	リニアメント (Cランク)
	河谷の屈曲
	敷地境界 (2号が)

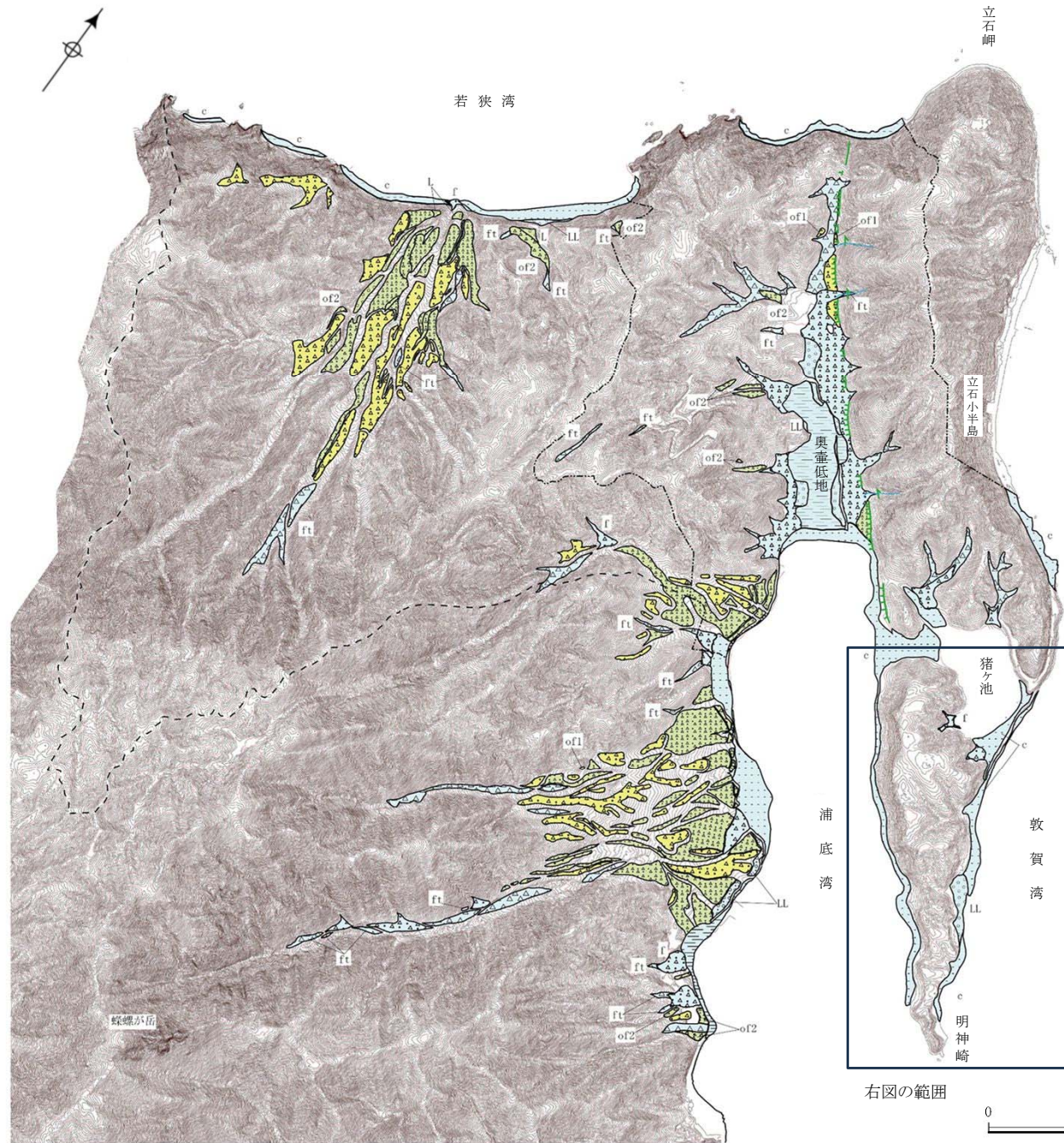


1mメッシュDEM 陰影図

* 発電所建設による地形改変の前に撮影した国土院の20,000分の1の空中写真(1963年)及び航空レーザー測量(2012年)から作成したDEM

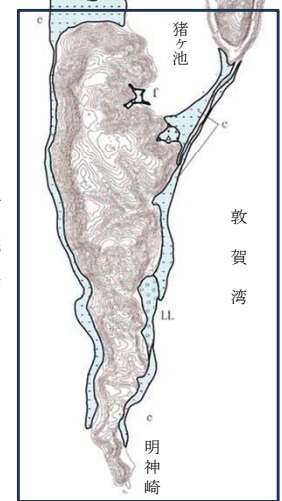
凡例	
	急崖
	河川屈曲
	鞍部
	直線谷
	D-1トレンチ

1.1 敷地の地形（まとめ）

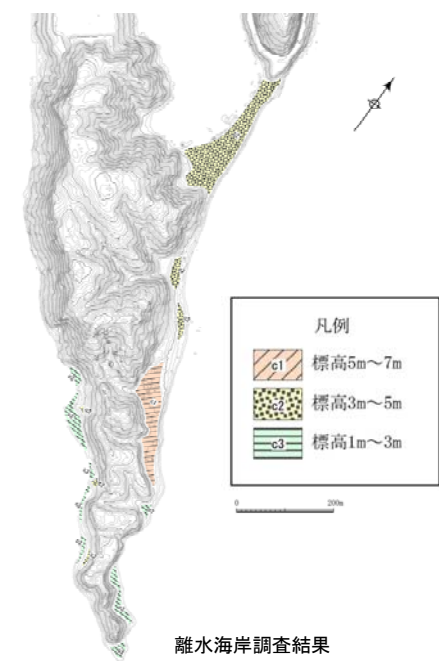


- ・敷地は、敦賀半島の北端に位置し、若狭湾、敦賀湾及び浦底湾に面している。
- ・敷地の地形は主として山地からなり、山地を刻む河谷の中流から下流には扇状地が、浦底湾の北西及び海岸沿いには低地が分布している。また、海岸沿いの一部には段丘が分布している。
- ・山地は、敷地南方の鱒螺が岳（標高686m）に連なる尾根から、若狭湾及び浦底湾に向かって高度を減じている。また、奥壺低地の北東側の立石小半島は、最高点を標高161mとし立石岬から明神崎に至る区間でNW-SE方向に連なっている。立石小半島の中央付近には猪ヶ池がある。
- ・浦底湾の西岸及び若狭湾に面した比較的規模の大きな河谷には、開析の進んだ扇状地が分布しており、浦底湾北西の低地の周囲にも小規模な扇状地が分布している。
- ・低地は、浦底湾の北西に沖積低地が分布するほか、海岸沿いに海浜及び浜堤からなる細長い海岸低地が分布する。
- ・段丘は、浦底湾北西の低地、浦底湾東岸、若狭湾に面した海岸及び河谷沿い等にも小規模に分布している。また、海岸線に沿って最低位段丘面が分布しており、浦底断層を挟んで隆起側には複数の離水海岸地形が認められる。
- ・敷地には文献で示される浦底断層に対応するリニアメント以外には、**変動地形の可能性のある地形は判読されない。また、地すべり地形の可能性のある地形は認められない。**

* 左図は発電所建設による地形変化の前に撮影した国土地理院の20,000分の1の空中写真(1963年)及び航空レーザー測量(2012年)から作成



凡例	
	海岸低地面 (c)
	沖積低地面 (a)
	現河床・崖面 (ft)
	新期扇状地面 (f)
	最低位段丘面 (LL)
	低位段丘面 (L)
	古期扇状地面2 (of2)
	古期扇状地面1 (of1)
	リニアメント 距離は地形的に低い側を示し、矢印は尾根・谷の屈曲方向を示す
	河谷の屈曲
	敷地境界 (2号が)
	敷地境界 (3号及び4号が)



変動地形調査結果

離水海岸調査結果

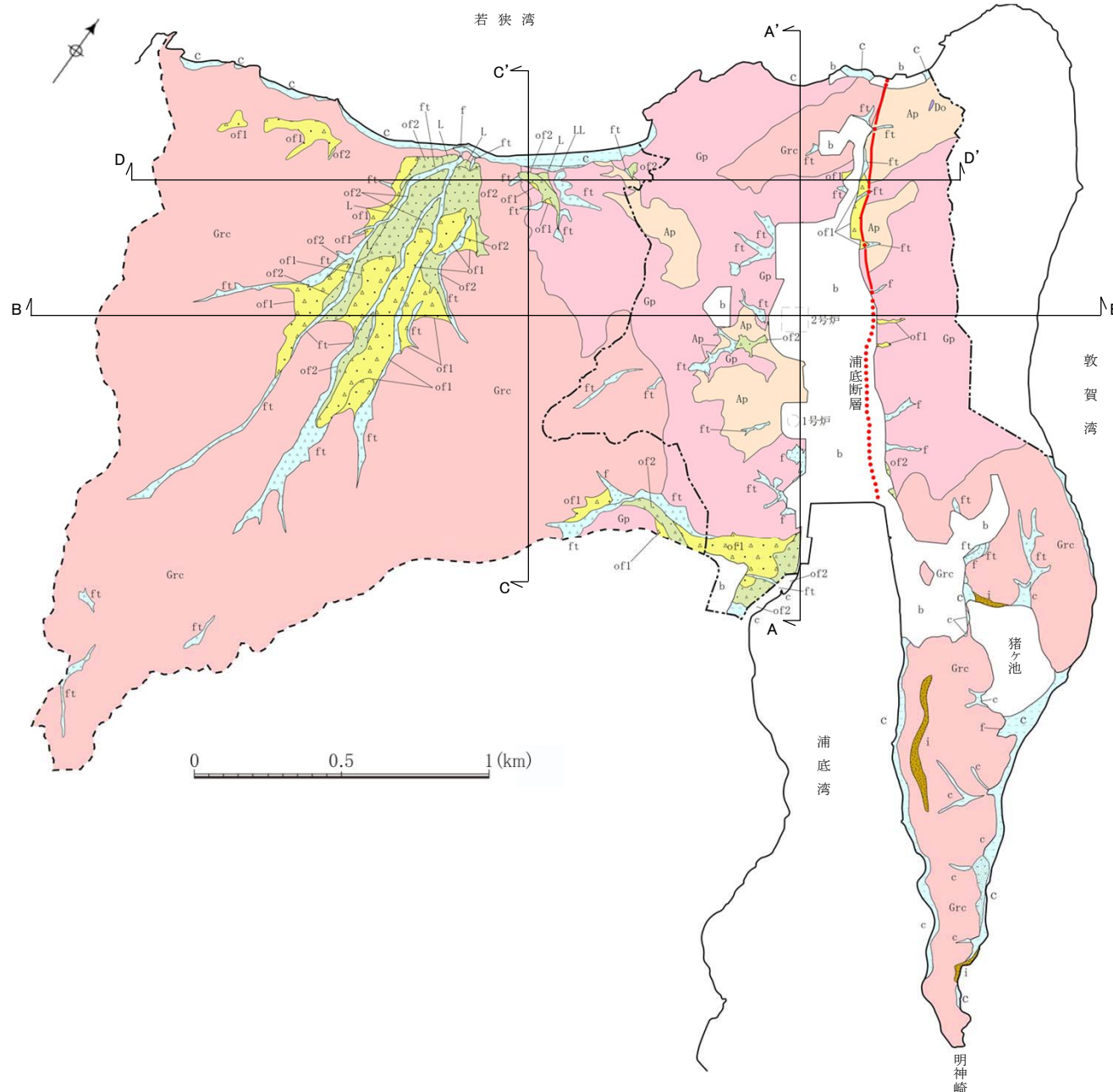
余白

1.2 敷地の地質

余白

1.2.1 地質の分布

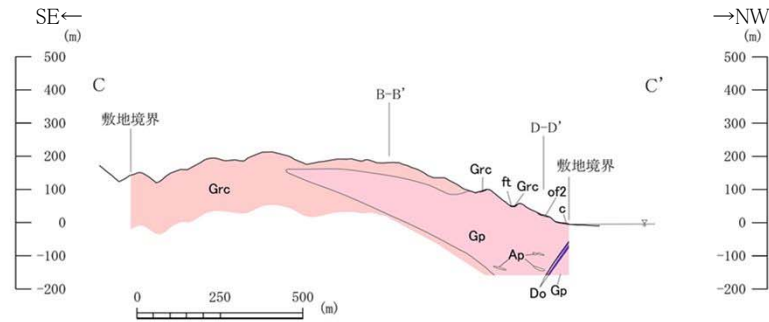
1.2.1 地質の分布（地質平面図）



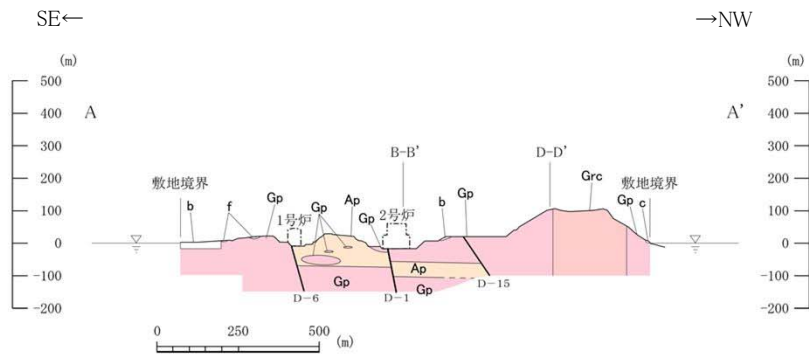
- 敷地の地質は、**江若花崗岩とこれに貫入するドレライト及びこれらを覆って分布する第四系から構成される。**
- 江若花崗岩中には**熱水変質作用を伴った破碎帯が分布する。**
- 江若花崗岩は、黒雲母花崗岩、花崗斑岩、アプライト等からなり、主に山地の尾根部の地表付近では風化が認められる。
- 黒雲母花崗岩は、主として敷地の西部及び猪ヶ池付近に広く分布している。花崗斑岩は、浦底湾北西の低地周辺の山地に分布している。アプライトは、花崗斑岩の分布域に小規模に分布している。
- 次頁に敷地の地質断面図を示す。

		凡 例	
第 四 紀	完 新 世	盛土・埋土 (b)	礫・砂・シルト・腐植物 (c)
	新 世	海岸低地堆積物 (c)	礫・砂 (ft)
		現河床堆積物・崖錐堆積物 (ft)	礫・砂 (f)
		新期扇状地堆積物 (f)	礫・砂 (LL)
中 期 更 新 世	最低位段丘堆積物 (LL)	礫・砂 (L)	
	後期更新世	低位段丘堆積物 (L)	礫・砂・シルト (of2)
	古期扇状地堆積物2 (of2)	礫・砂・シルト (of1)	
	古期扇状地堆積物1 (of1)	礫・砂 (i)	
新 第 三 紀	中 新 世	猪ヶ池層 (i)	ドレライト (Do)
	中新世	ドレライト (Do)	
後 期 白 亜 紀 ～ 古 第 三 紀	江若花崗岩	アプライト (Ap)	花崗斑岩 (Gp)
		花崗斑岩 (Gp)	黒雲母花崗岩 (Grc)
		黒雲母花崗岩 (Grc)	
断層		— (実在) — (伏在) —	
		----- 敷地境界 (2号切)	----- 敷地境界 (3号及び4号切)
		A A' 地質断面位置	

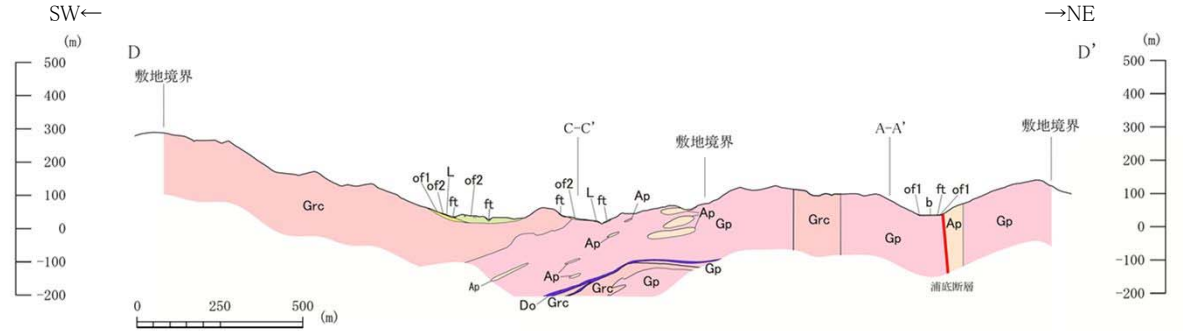
1.2.1 地質の分布（地質断面図 その1）



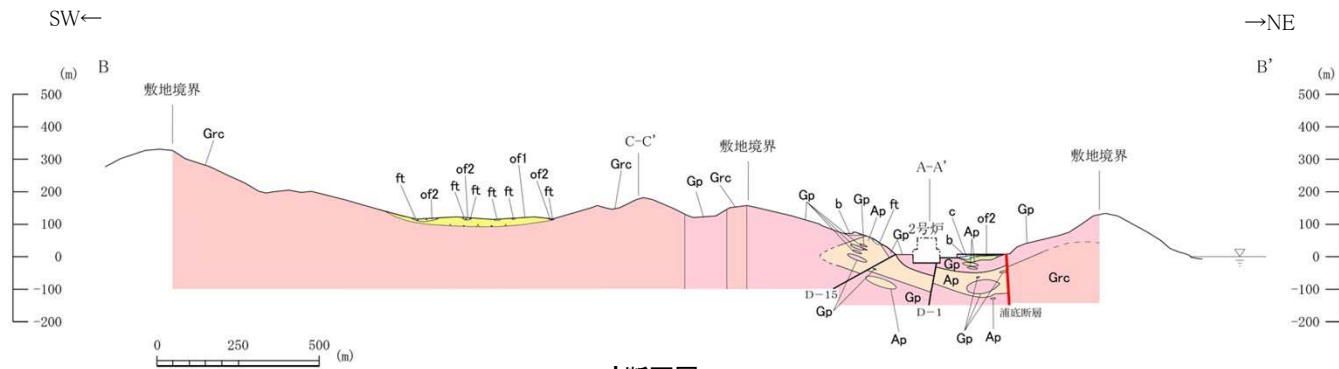
C-C' 断面図



A-A' 断面図



D-D' 断面図



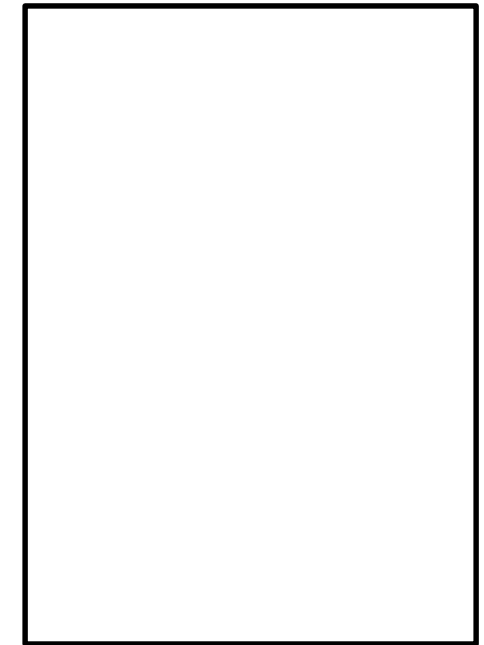
B-B' 断面図

凡例	記号	地層名	地質時代
		盛土・埋土 (h)	
		海岸低地堆積物 (c)	第四紀
		現河床堆積物・崖線堆積物 (h)	
		新期扇状地堆積物 (f)	
		最低位段丘堆積物 (LL)	
		低位段丘堆積物 (L)	後期更新世
		古期扇状地堆積物2 (of2)	
		古期扇状地堆積物1 (of1)	新第三紀期中新世
		ドレライト (Do)	
		アプライト (Ap)	江若花崗岩
		花崗斑岩 (Gp)	
		黒雲母花崗岩 (Grc)	古第三紀
		破砕帯	
		断面交差位置	

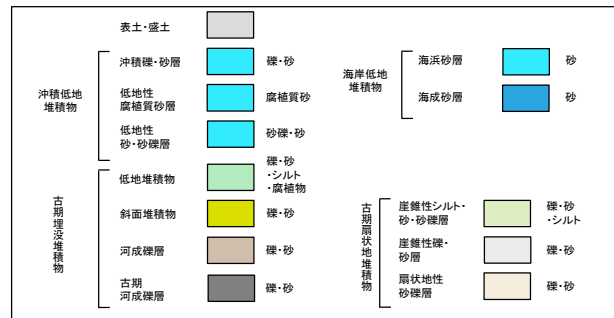
V.E. = 1 : 1

1.2.1 地質の分布 (地質断面図 その2)

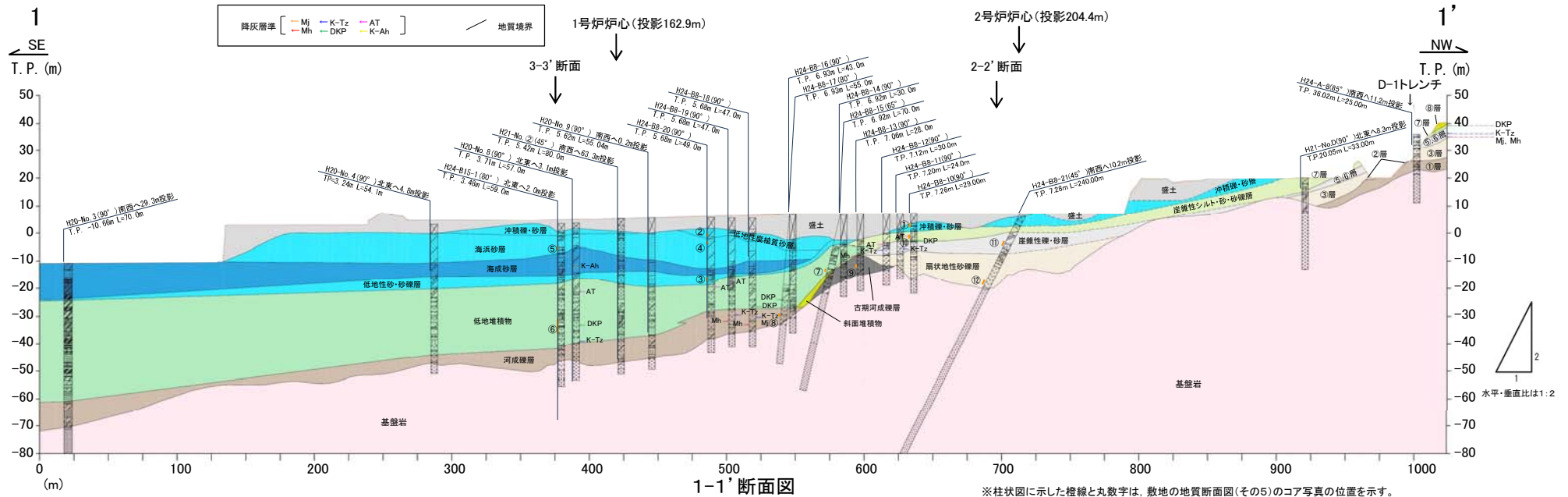
- 奥壺低地の地質縦断面図を以下に示す。



断面位置図

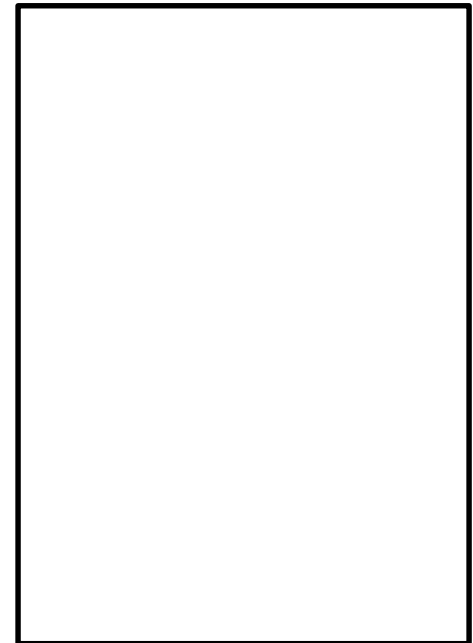
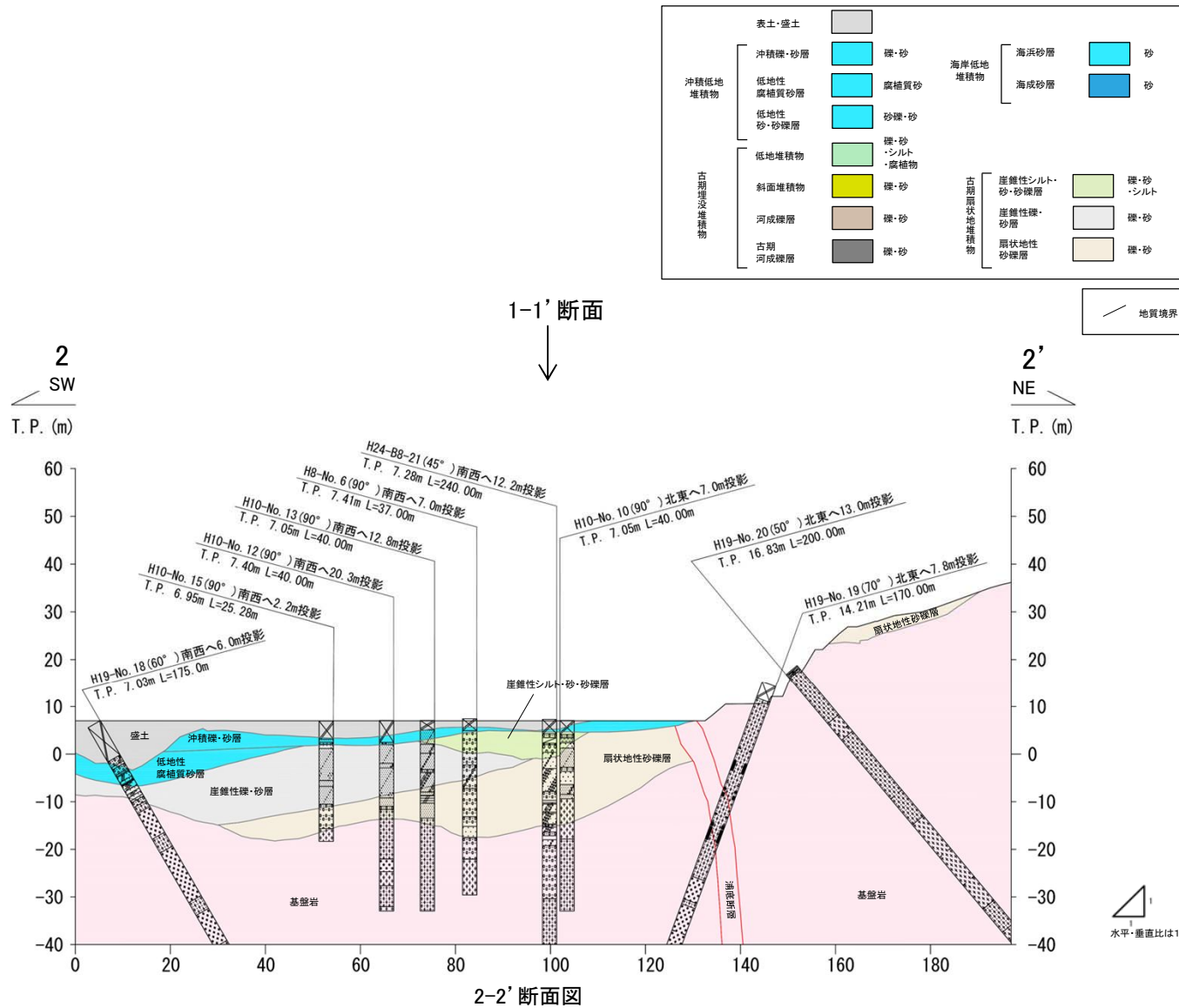


OSL年代分析結果
 DKP層準: 57±4ka
 K-Tz層準(⑤)層上部: 109±3ka
 Mh層準: 126±5ka
 D-1トレンチ③層D3層: 133±9kaより古い



1.2.1 地質の分布（地質断面図 その3）

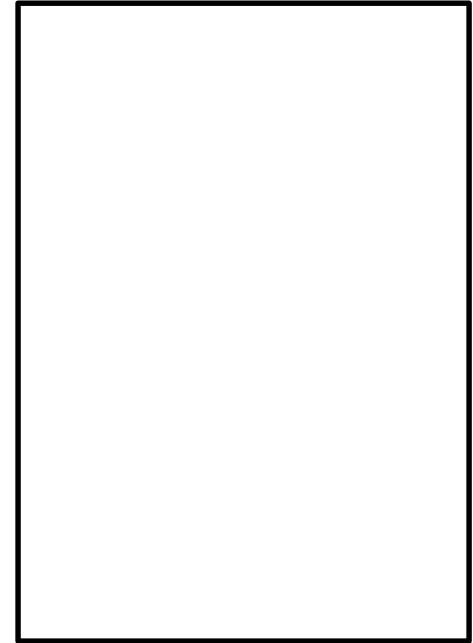
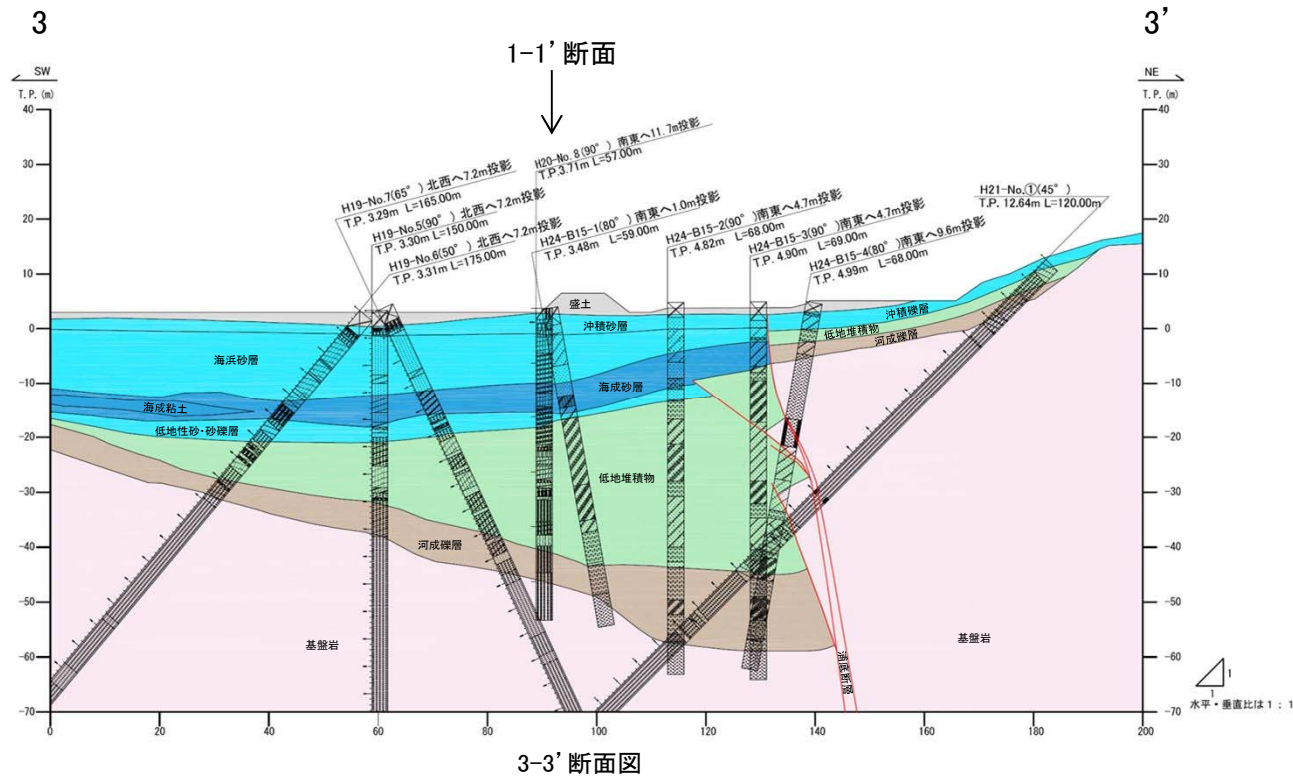
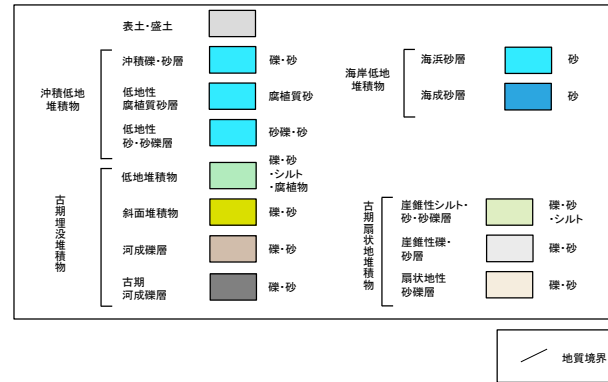
- 敷地の2号炉付近の地質横断面図を以下に示す。



断面位置図

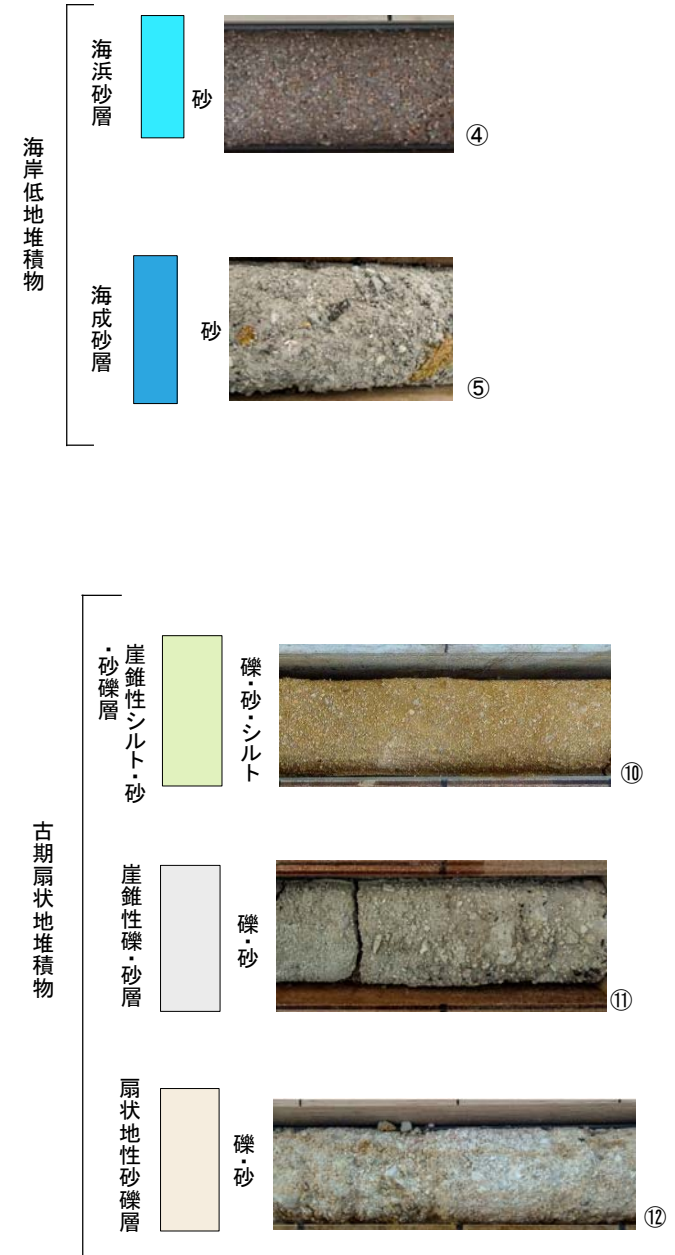
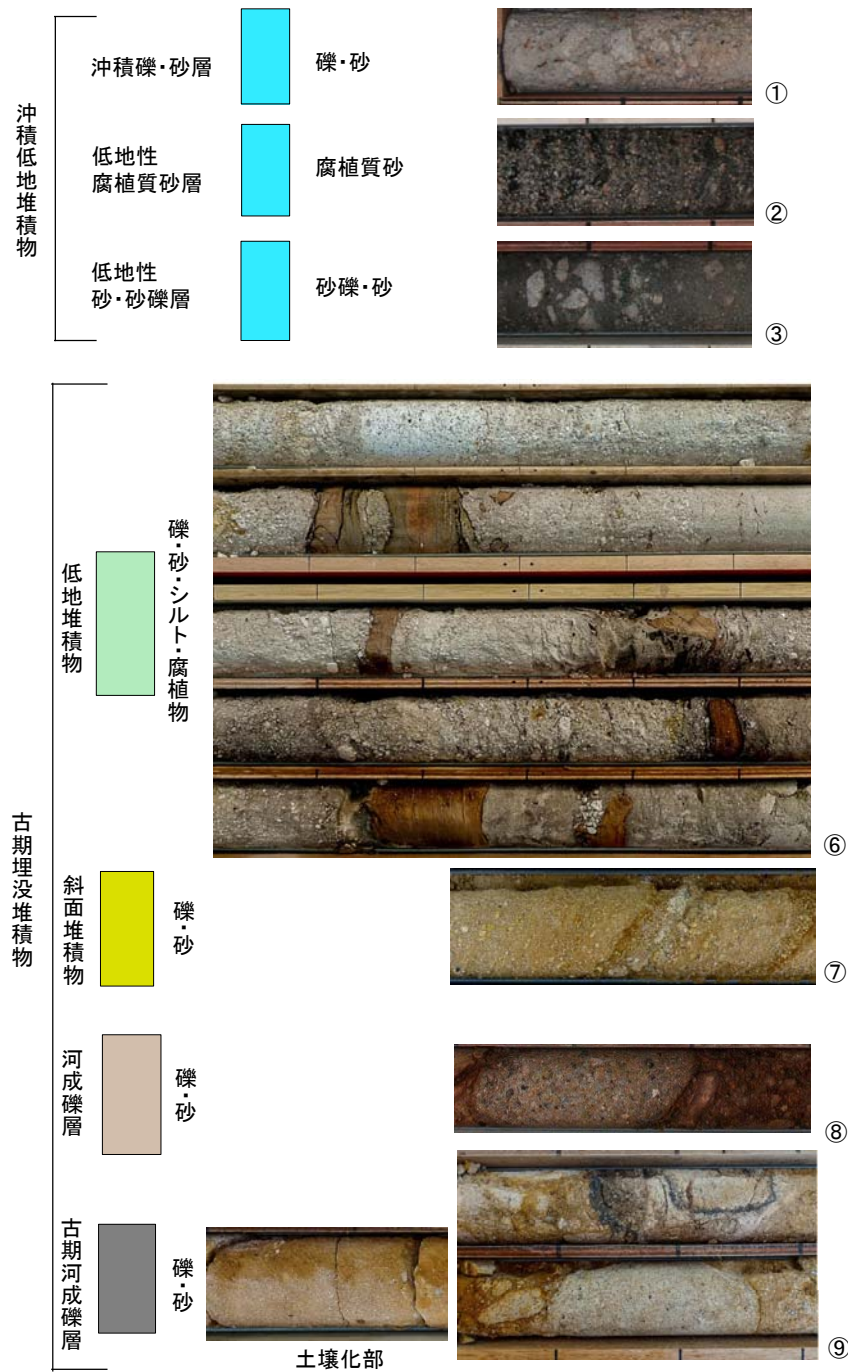
1.2.1 地質の分布（地質断面図 その4）

- 敷地の1号炉付近の地質横断面図を以下に示す。



断面位置図

1.2.1 地質の分布（主要構成地質のコア写真）



敷地の第四系の主要構成地質のコア写真を示す。

1.2.1 地質の分布（敷地の岩種）

・ 敦賀発電所敷地内に分布する江若花崗岩及びドレライトの特徴を下記に示す。

敦賀発電所敷地内に分布する岩種

岩種名 地質記号	写真	特徴
黒雲母 花崗岩 Gr	 H19-No.1孔 134.88～135.00m	<ul style="list-style-type: none"> ・ 新鮮部では灰白色及び淡橙色，風化部では褐色を帯びた色調を呈する。 ・ 完晶質等粒状組織 ・ 鉱物の粒径は約2mm～約10mm ・ 主たる鉱物組成は，石英・カリ長石・斜長石・黒雲母 ・ 形成年代は，カリウム・アルゴン法年代測定値が約66.6Maを示すことから，後期白亜紀～古第三紀と判断した。
江若 花崗岩 Gp	 H19-No.1孔 140.60～140.72m	<ul style="list-style-type: none"> ・ 新鮮部では灰白色，風化部では褐色を帯びた色調を呈する。 ・ 完晶質斑状組織 ・ 斑晶の粒径は約2mm～約10mm ・ 主たる鉱物組成は，石英・カリ長石・斜長石であり，黒雲母は少量 ・ 形成年代は，カリウム・アルゴン法年代測定値が約66.3Maを示すことから，後期白亜紀～古第三紀と判断した。
アプライト Ap	 H19-No.2孔 38.22～38.33m	<ul style="list-style-type: none"> ・ 主に灰白色を呈する。 ・ 完晶質等粒状組織 ・ 鉱物の粒径は約2mm ・ 主たる鉱物組成は，石英・カリ長石・斜長石であり，黒雲母は微量 ・ 形成年代は，カリウム・アルゴン法年代測定値が約64.2Maを示すことから，後期白亜紀～古第三紀と判断した。
ドレライト Do	 L-14孔 175.22～175.34m	<ul style="list-style-type: none"> ・ 主に暗緑色及び緑灰色を呈する。 ・ 填間状組織 ・ 粒径は約2mm以下 ・ 主たる鉱物組成は，斜長石・輝石であり，不透明鉱物を伴う。 ・ 形成年代は，カリウム・アルゴン法年代測定値が約21.1Maを示すことから，新第三紀中新世と判断した。

1.2.2 地質層序

1.2.2 地質層序（敷地の地質層序表）

- 敷地の地質は、江若花崗岩とこれに貫入するドレライト及びこれらを覆って分布する第四系から構成される。
- 敷地の第四系は、更新統の猪ヶ池層、古期扇状地堆積物、古期埋没堆積物及び低位段丘堆積物、並びに完新統の最低位段丘堆積物、新期扇状地堆積物、現河床堆積物・崖錐堆積物、海岸低地堆積物及び沖積低地堆積物からなる。

地質時代		地層名				主要構成地質					
新生代	第四紀	完新世		沖積低地堆積物	海岸低地堆積物	崖錐堆積物 現河床堆積物	新期扇状地堆積物	礫・砂・シルト・腐植物	礫・砂・シルト・腐植物	礫・砂	礫・砂
				最低位段丘堆積物				礫・砂		礫・砂	
				低位段丘堆積物				礫・砂			
				古期埋没堆積物	低地堆積物	古期扇状地堆積物	古期扇状地堆積物2	礫・砂・シルト・腐植物		礫・砂・シルト	
					斜面堆積物		古期扇状地堆積物1	礫・砂		礫・砂・シルト	
			河成礫層		礫・砂			礫・砂			
			古期河成礫層		礫・砂		礫・砂				
			猪ヶ池層				強風化して固結した礫・砂				
	新第三紀	中新世		岩脈				ドレライト			
			古第三紀		江若花崗岩				アプライト 花崗斑岩 黒雲母花崗岩		
中生代	後期白亜紀										

1.2.2 地質層序（粘土鉱物に関する検討）

- 敷地の江若花崗岩や破碎部には粘土鉱物が認められるため、以下の2点を総合的に検討した。
- ① 粘土鉱物が風化変質でなく熱水変質作用により生成したこと（粘土鉱物の成因の検討）
- ② 最新の変質作用の時期が敷地周辺の地史と矛盾しないこと（最新の変質作用の時期の検討）

粘土鉱物に関する検討項目と検討内容

検討項目		検討内容	関連ページ
①	露頭観察	文献における熱水変質作用を被った花崗岩の露頭観察結果を参考に、敷地における破碎部とその周辺の変質の性状などを観察する。	○
	XRD分析	破碎部の断層ガウジ、風化した花崗斑岩及び新鮮な花崗斑岩の構成鉱物を同定し、破碎部の断層ガウジの粘土鉱物が風化ではなく熱水によって生成されたものであることを確認する。	
	長石類のEPMA分析	変質区分に応じた曹長石化の程度を比較し、破碎部における熱水の影響を確認する。	
②	粘土鉱物のK-Ar年代測定	粘土鉱物の生成年代を測定し、敷地周辺の地史より推定される熱水活動時期と比較する。	

1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 花崗岩類地域における熱水変質作用について 文献調査1)

- 敷地の江若花崗岩や破碎帯には熱水変質作用を受けている状況が認められることから、熱水変質作用を被った岩盤や断層の特徴を示した文献について調査した。
- 北川(1999)は、花崗岩類地域を対象に、熱水変質の有無は粘土細脈の存在で明らかにすることができ、粘土細脈は一般に1mm程度から数cm程度の脈巾でほぼ垂直、あるいは高角度で脈状に見られ、互いに網目のようにつながって連続しているとしている。
- 井上他(2002)は、やや変質した花崗岩中の断層では熱水変質により軟質化し半固結状を呈するとしている。
- 宮下他(2011)は、花崗岩中の変質帯が網目状の粘土を多く含むことを示している。

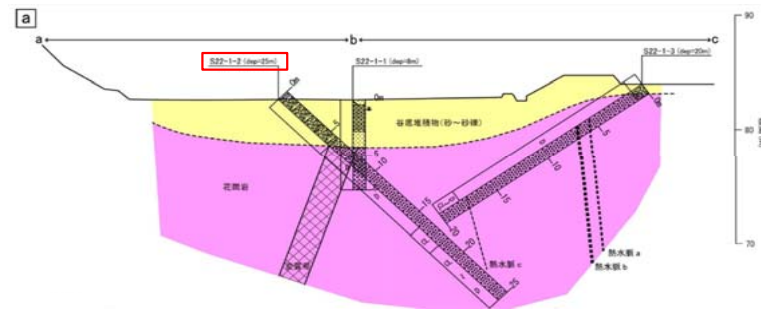
熱水変質の有無は粘土細脈の存在によって明らかにすることができる³⁰⁾。ここでは特に花崗岩に由来する熱水変質と粘土細脈について記す。

我国の「マサ」化の著しい花崗岩類地域には、しばしば小断層や割れ目を埋めて粘土鉱物が生成している。これらをここでは粘土細脈と呼ぶ。粘土細脈は一般に1mm程度から数cm程度の脈巾でほぼ垂直、あるいは高角度で脈状に見られる。脈を埋めている粘土鉱物は、薄青緑色～暗緑色、白色を呈している。また色により主とする構成粘土鉱物種が異なっており、青緑色はイライト(雲母粘土鉱物)⁴⁴⁾、暗緑色はスメクタイトあるいは緑泥石、白色はカオリナイト、ハロイサイトである^{30,45)}。

粘土細脈は花崗岩中にどのように貫入しているのだろうか。あるダムサイトでの調査で確認できた脈から推定した。ダムサイト全体的には脈の走向に主方向があるが、互いに網目のようにつながって連続している⁴⁶⁾。さらに広島県東広島市高屋地域での広域調査では、10km以上にわたり互いにつながりながら編目状に連続して分布している²⁹⁾。

これらのことから粘土細脈は花崗岩類中に網目状のように、いたる所に存在していることがわかる。

北川(1999) ※赤色の下線を加筆した



※赤枠を加筆した

ボーリングコアから推定される地質断面図
宮下他(2011)

金山リニアメント沿いでは、金山集落から鎌倉山林道へ至る道路脇(Loc. 2)、金山奥集落南東沢出口(Loc. 3)および鎌倉山北東稜線部(Loc. 4)の3箇所断層が確認された。Loc. 2では、断層はやや変質した花崗岩中に認められる。断層面はN38°W、82°SWの走向傾斜を示し、幅30cm程度の破碎部を伴う。破碎部は灰白色および褐色を呈する鏡肌を伴う鱗片状部からなり、花崗岩を礫状に取り込む。褐色部と灰白色部が層状に分布し、熱水変質により軟質化し半固結状を呈する。破碎部東端には、ほぼ水平な条線を伴う幅1cmの灰色を呈する軟質な細粒物質が認められ、破碎を受けていない花崗岩とは直線的な面で境されている。

井上他(2002) ※赤色の下線を加筆した



S22-1-2孔の深度6.1m～8.3m付近 花崗岩中に網目状の粘土を多く含む変質帯

※上の図の赤枠のボーリング孔

宮下他(2011)

1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 花崗岩類地域における熱水変質作用について 文献調査2)

- 日本応用地質学会中国四国支部(2019)は、花崗岩の熱水変質帯は地中深くでも軟質であり亀裂沿いが劣化しており、幅1cm程度の粘土細脈が網目状に発達している場合があり、花崗岩の岩体形成時のものであるとしている。
- また、花崗岩中の断層破碎帯が熱水変質によって一部が粘土化したりするとしている。



写真-1 花崗岩中の熱水変質脈 (広島県広島市)

花崗岩中の熱水変質脈

日本応用地質学会中国四国支部(2019)

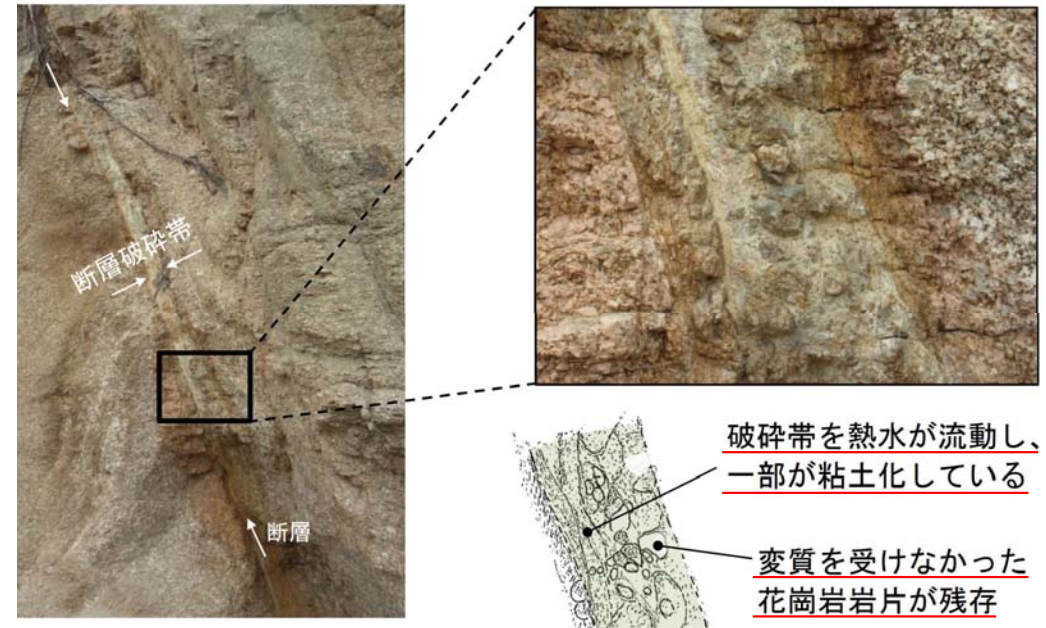


写真-4 断層とその部分の熱水変質 (広島県広島市)

花崗岩中の断層とその部分の熱水変質

日本応用地質学会中国四国支部(2019)

※赤色の下線を加筆した

1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 花崗岩類地域における熱水変質作用について 文献調査3)

- 中村(2008)は、熱水変質作用を被った花崗岩中の断層では粘土鉱物を生じて岩盤が軟弱化している状況を示している。



写真-1.5 中・古生代の緑色岩中のシーム(節理や小規模な断層沿いに熱水変質を受けて、幅 1cm 程度以下の多数の粘土化した脆弱なシームが複雑に発達して擾乱帯の様相を呈する)



写真-1.13 中・古生代の砂岩中の断層に沿う熱水変質(断層沿いに熱水変質が選択的に進行して白色の粘土鉱物を生じ、掘削による応力開放と地下水の影響によって軟弱化している)



写真-1.14 白亜紀の花崗岩中の低角度断層に沿う熱水変質(低角度断層沿いに熱水変質を受けて白色の粘土鉱物を生じて軟弱化しているため、堤体の安定性に大きな影響を与える)



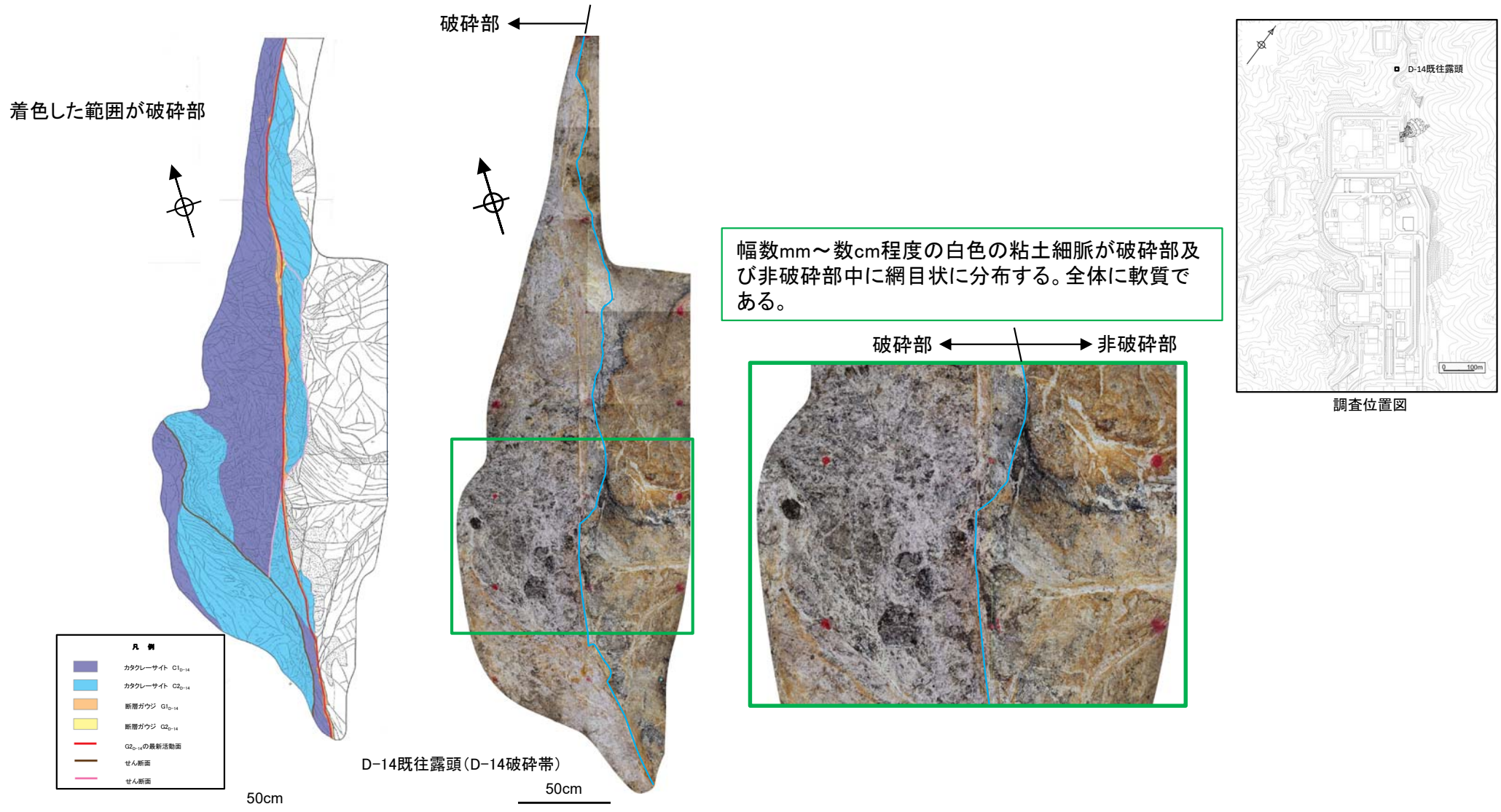
写真-2.7 中・古生代の緑色岩の熱水変質(多数の不規則な節理沿いに熱水変質を受けて網目状に白色の粘土脈が分布しており、強度は粘土脈の分布しない部分に比較して1ランク以上劣る)

中村(2008)

※赤色の下線を加筆した

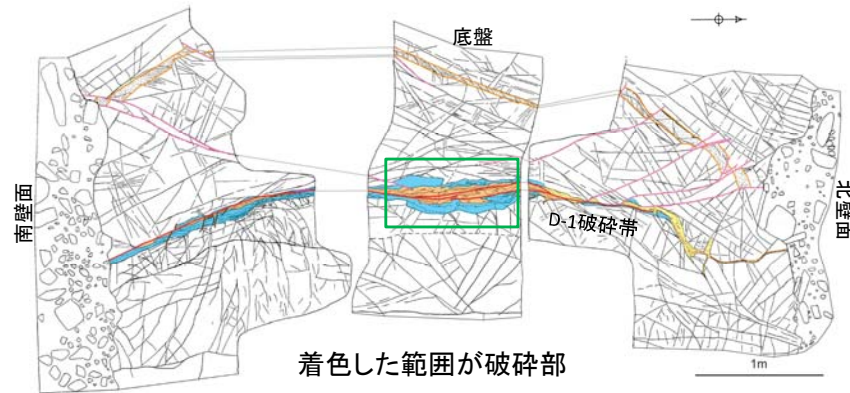
1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 露頭観察結果 D-14既往露頭)

- D-14破碎帯が分布するD-14既往露頭では、主に水色の線の西側にカタクレーサイトが分布し、全体に軟質で、幅数mm～数cm程度の白色の粘土細脈が網目状に発達する。
- 水色の線の東側の非破碎部の岩盤中にも幅数mm～数cm程度の白色の粘土細脈が分布する。
- 文献の熱水変質作用の特徴と同様に、幅数mm～数cm程度の白色の粘土細脈が網目状に分布し、全体的に軟質化している状況が認められることから、**熱水変質作用の影響で軟質化したものと考えられる。**

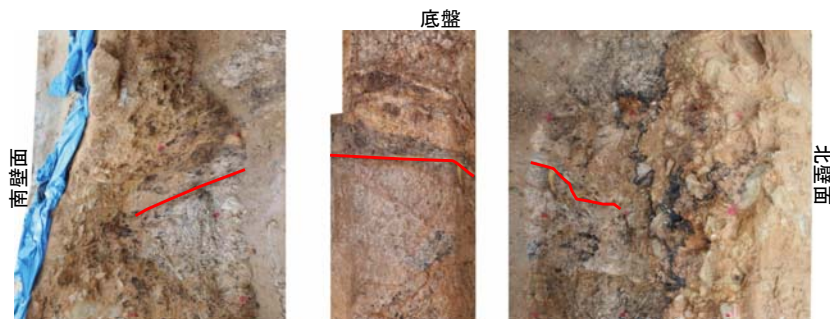


1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 露頭観察結果 D-1トレンチ北側ピット)

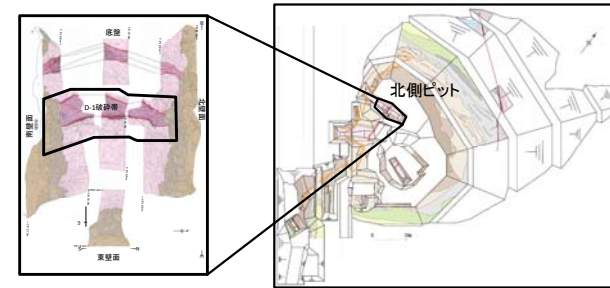
- D-1破碎帯が分布するD-1トレンチ北側ピットでは、断層ガウジ(赤枠)に沿った両側にカタクレーサイトが分布し、カタクレーサイト周辺の非破碎部の岩盤中に幅数mm程度の白色の粘土細脈が網目状に分布する。全体に軟質である。
- 文献の熱水変質作用の特徴と同様に、破碎帯周辺の非破碎部の岩盤中に幅数mm程度の白色の粘土細脈が網目状に分布し、全体的に軟質化している状況が認められることから、**熱水変質作用の影響で軟質化したものと考えられる。**



凡例	
■	カタクレーサイト C1 _{D-1}
■	カタクレーサイト C2 _{D-1}
■	断層ガウジ G1 _{D-1}
■	断層ガウジ G2 _{D-1}
—	R1面 (G2 _{D-1} に対応)
—	断層ガウジ G3 _{D-1} 及びG3 _{D-1} の最新活動面
—	R1面 (G3 _{D-1} に対応)



断層ガウジ(赤線)の両側に変質した非破碎部が分布する。



D-1トレンチ北側ピット位置図



調査位置図

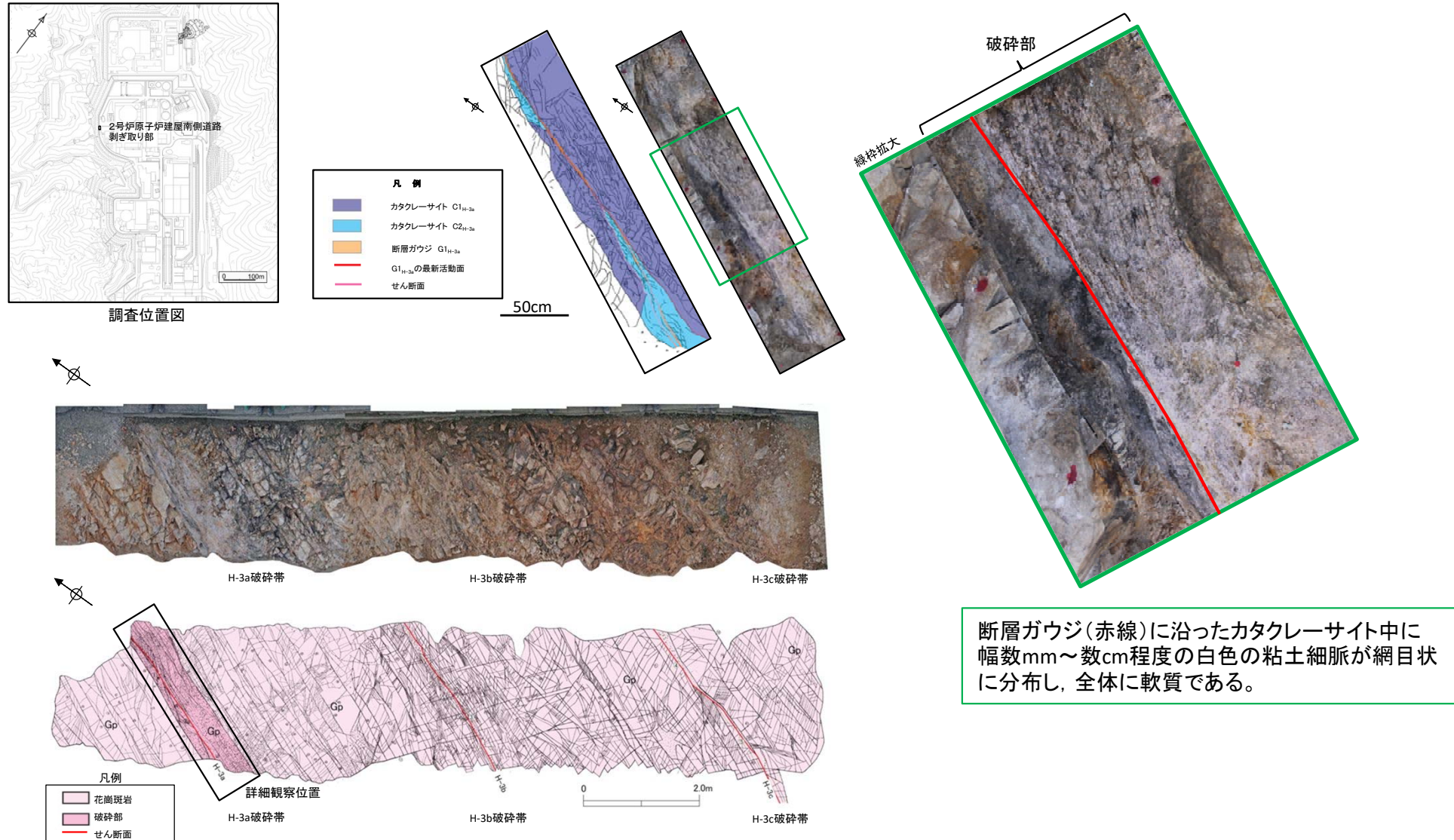
緑枠部写真



断層ガウジ(赤枠)に沿った両側にカタクレーサイトが分布し、カタクレーサイト周辺の非破碎部の岩盤中に幅数mmの白色の粘土細脈が網目状に分布する。全体に軟質である。

1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 露頭観察結果 2号炉原子炉建屋南側道路剥ぎ取り部)

- H-3a破碎帯が分布する2号炉原子炉建屋南側道路剥ぎ取り部では、断層ガウジに沿った両側にカタクレーサイトが分布し、全体に軟質で、カタクレーサイト中に幅数mm～数cm程度の白色の粘土細脈が網目状に分布する。
- 文献の熱水変質作用の特徴と同様に、破碎部中に幅数mm～数cm程度の白色の粘土細脈が網目状に分布し、全体的に軟質化している状況が認められることから、**熱水変質作用の影響で軟質化したものと考えられる。**



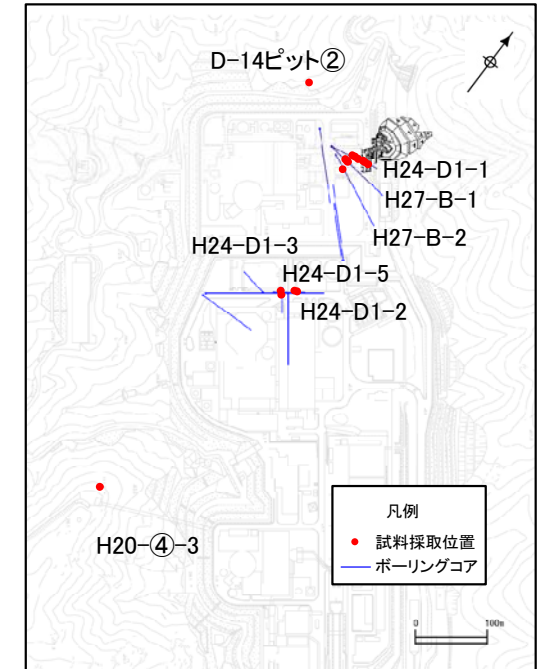
2号炉原子炉建屋南側道路剥ぎ取り部 スケッチ及び写真

1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 破碎部の断層ガウジ及び花崗斑岩のX線回折分析結果)

- ・ 網目状に発達した粘土細脈の成因について把握するため、破碎部の断層ガウジ、風化した花崗斑岩及び新鮮な花崗斑岩についてX線回折分析を行った。
- ・ その結果、破碎部の断層ガウジにはスメクタイト、雲母粘土鉱物、カオリナイトの生成も認められたが、花崗斑岩の風化部及び強風化部にはスメクタイトが含まれていない。また、破碎部の断層ガウジは新鮮な花崗斑岩と比較して斜長石やカリ長石の割合が少なくなっている。
- ・ 以上のことから、**破碎部は熱水変質を受けている**と判断した。

X線回折分析結果

試料採取位置	スメクタイト	雲母粘土鉱物	カオリナイト	緑泥石	石英	斜長石	カリ長石
	面指数 (0 0 1)	面指数 (0 0 2)	面指数 (0 0 1)	面指数 (0 0 2)	面指数 (1 0 1)	面指数 (0 0 2)	面指数 (0 0 2)
破碎部 断層ガウジ 孔名の後の数字は 最新活動面の深度 を示す。	H24-D1-1 45.94m	(・)		((・))		◎	△
	H24-D1-1 46.45m	・	(・)			◎	△
	H24-D1-1 59.16m※1	△		△		◎	(・)
	H24-D1-1 59.16m	△		・		◎	・
	H24-D1-1 60.15m(D-1破碎帯)	△		△		◎	(・)
	H24-D1-1 68.93m	(・)	(・)	(・)		◎	・
	H24-D1-1 79.19m	△		・		◎	○
	H24-D1-1 89.95m(D-33破碎帯)	△		((・))		◎	・
	H27-B-1 44.31m	・				◎	・
	H27-B-1 47.40m	・	(・)	・		◎	△
	H27-B-1 53.17m	△		(・)		◎	
	H27-B-2 34.37m	(・)		(・)		◎	△
	H24-D1-3 14.47m(H-4'破碎帯)	△	・			◎	・
	H24-D1-3 52.13m	△		((・))		◎	△
	H24-D1-2 31.46m	△	((・))	(・)		◎	・
H24-D1-5 10.21m(H-3d破碎帯)	・	(・)	((・))		◎	(・)	
花崗斑岩 強風化部	D-14ピット②(強風化)		(・)	・		◎	・
花崗斑岩 風化部	D-14ピット②(風化)		・	・		◎	△
花崗斑岩 新鮮部	H20-④-3 66.90~66.92m		((・))		((・))	◎	◎



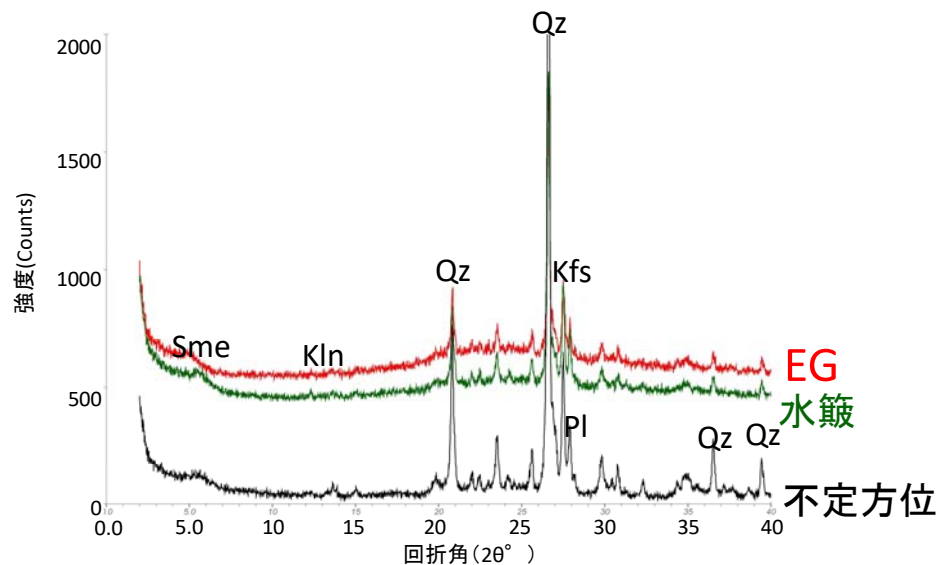
試料採取位置図

凡例	
◎	: 多量(カウント数 $I \geq 1300$)
○	: 中量($1300 > I \geq 650$)
△	: 少量($650 > I \geq 130$)
・	: 微量($130 > I \geq 65$)
(・)	: 極微量($65 > I$)
((・))	: 極微量で定方位測定時のみピークを確認

※1 最新活動面が59.16mの断層ガウジの上端から上方2cmの位置にあるカタクレーサイトから試料を採取した。

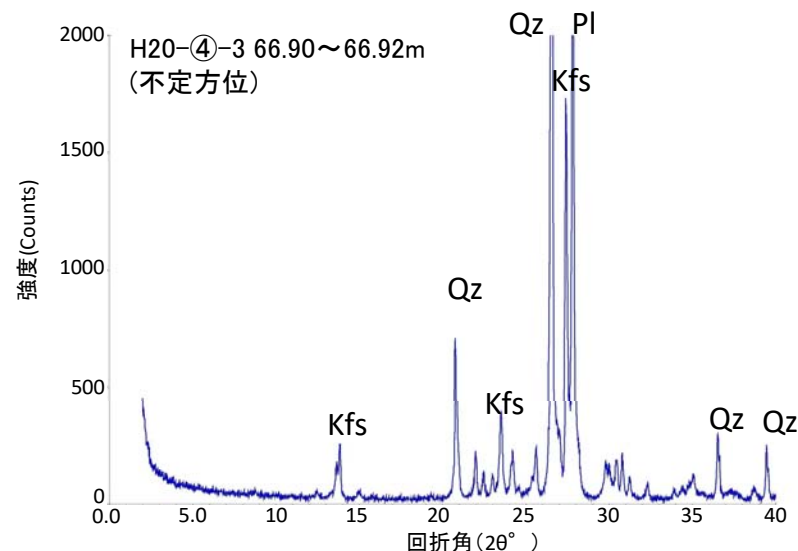
1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 XRD分析 H24-D1-1 45.94m)

- H24-D1-1孔 深度45.94mを最新活動面とする破砕部の断層ガウジから採取した試料と新鮮な花崗斑岩の鉱物組成を比較した。
- H24-D1-1孔 深度45.94mの破砕部は新鮮な花崗斑岩に比べ斜長石やカリ長石の割合が小さくなっている。一方、わずかにスメクタイトとカオリナイトが認められる。
- 井上(2003)によれば、H24-D1-1孔 深度45.94mの破砕部は熱水変質作用を受けていると推定される。



H24-D1-1孔 45.94mのチャート

水簸及びEG処理を施した試料の回折パターンは見やすくするため不定方位の回折パターンの上方にずらして表示した。



新鮮な花崗斑岩のチャート

X線粉末回折結果(基本は不定方位分析の回折強度を使用)

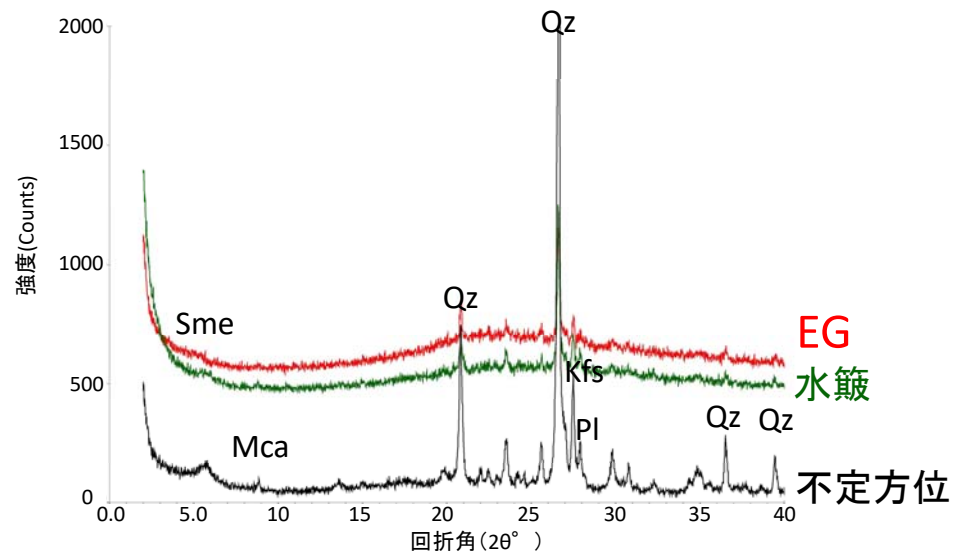
試料採取位置		スメクタイト	雲母粘土鉱物	カオリナイト	緑泥石	石英	斜長石	カリ長石
花崗斑岩 新鮮部	H20-④-3 66.90~66.92m		((・))		((・))	◎	◎	◎
破砕部 断層ガウジ	H24-D1-1 45.94m	(・)		((・))		◎	△	△

記号凡例	
Sme	: スメクタイト
Kln	: カオリナイト
Qz	: 石英
Pl	: 斜長石
Kfs	: カリ長石

凡例 ◎:多量 ○:中量 △:少量 ・:微量 (・):極微量 ((・)):極微量で、定方位測定時のみピークを確認

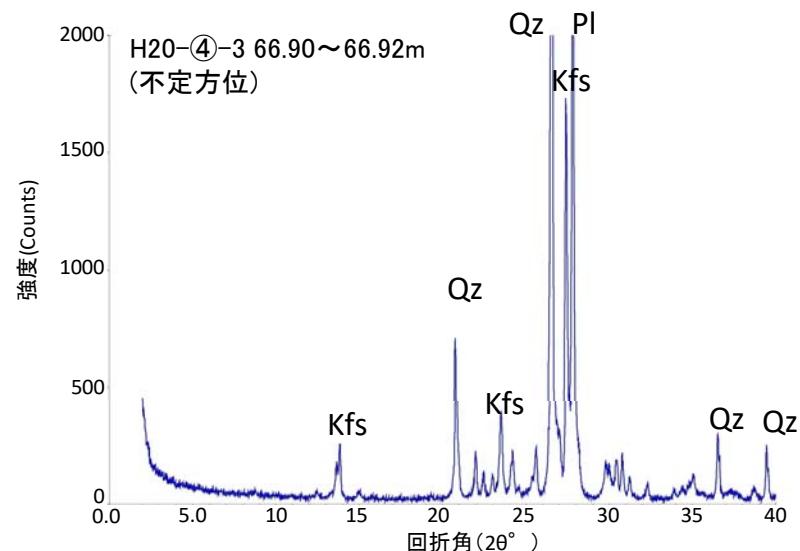
1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 XRD分析 H24-D1-1 46.45m)

- H24-D1-1孔 深度46.45mを最新活動面とする破碎部の断層ガウジから採取した試料と新鮮な花崗斑岩の鉱物組成を比較した。
- H24-D1-1孔 深度46.45mの破碎部は新鮮な花崗斑岩に比べ斜長石やカリ長石の割合が小さくなっている。一方、わずかにスメクタイトと雲母粘土鉱物が認められる。
- 井上(2003)によれば、H24-D1-1孔 深度46.45mの破碎部は熱水変質作用を受けていると推定される。



H24-D1-1 46.45mのチャート

水簸及びEG処理を施した試料の回折パターンは見やすくするため不定方位の回折パターンの上方にずらして表示した。



新鮮な花崗斑岩のチャート

X線粉末回折結果(基本は不定方位分析の回折強度を使用)

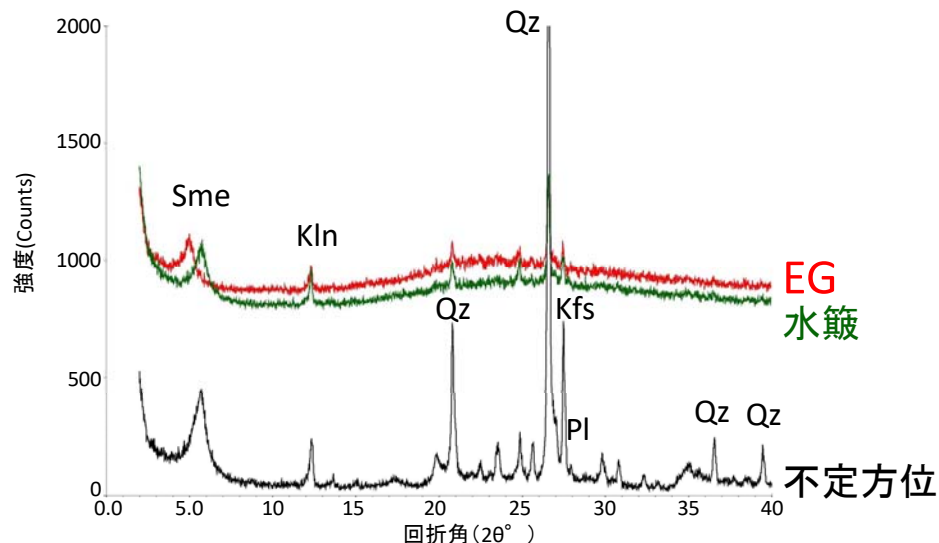
試料採取位置		スメクタイト	雲母粘土鉱物	カオリナイト	緑泥石	石英	斜長石	カリ長石
花崗斑岩 新鮮部	H20-④-3 66.90~66.92m		((・))		((・))	◎	◎	◎
破碎部 断層ガウジ	H24-D1-1 46.45m	・	(・)			◎	△	△

記号凡例	
Sme	: スメクタイト
Mca	: 雲母粘土鉱物
Qz	: 石英
Pl	: 斜長石
Kfs	: カリ長石

凡例 ◎:多量 ○:中量 △:少量 ・:微量 (・):極微量 ((・)):極微量で、定方位測定時のみピークを確認

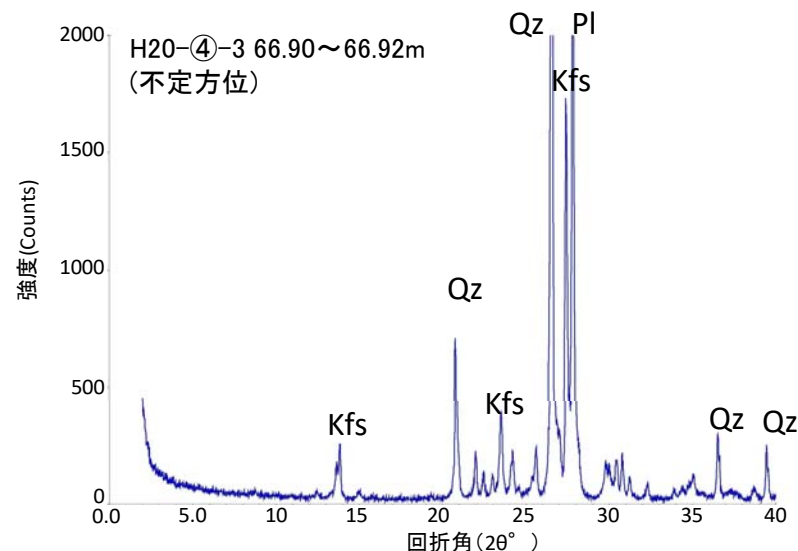
1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 XRD分析 H24-D1-1 59.16m その1)

- H24-D1-1孔 深度59.16mを最新活動面とする破砕部の断層ガウジから上方2cmの位置にあるカタクレーサイトから採取した破砕部の脈部と新鮮な花崗斑岩の鉱物組成を比較した。
- H24-D1-1孔 深度59.16mの破砕部の脈部は新鮮な花崗斑岩に比べ斜長石やカリ長石の割合が小さくなっている。一方、スメクタイトとカオリナイトが認められる。
- 井上(2003)によれば、H24-D1-1孔 深度59.16mの破砕部の脈部は熱水変質作用を受けていると推定される。



H24-D1-1孔 59.16m(脈部)のチャート

水簸及びEG処理を施した試料の回折パターンは見やすくするため不定方位の回折パターンの上方にずらして表示した。



新鮮な花崗斑岩のチャート

X線粉末回折結果(基本は不定方位分析の回折強度を使用)

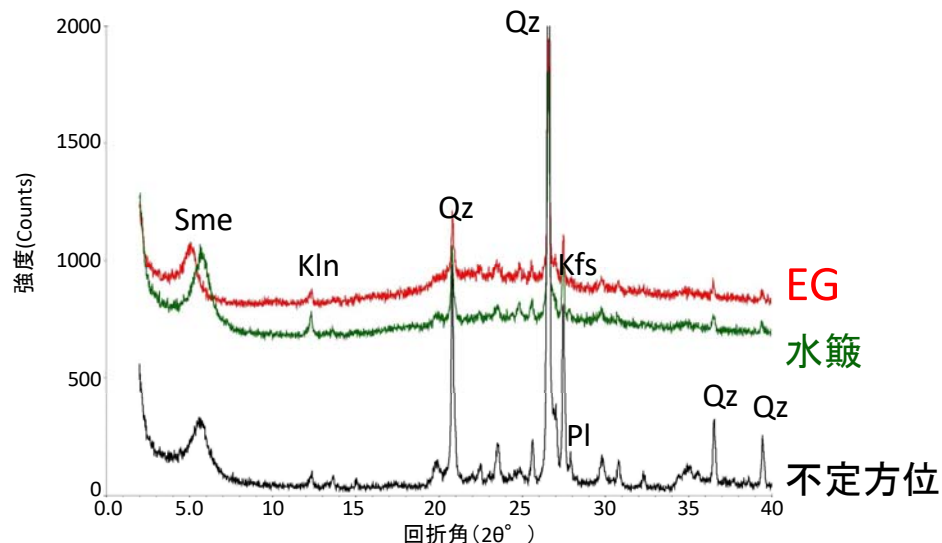
試料採取位置		スメクタイト	雲母粘土鉱物	カオリナイト	緑泥石	石英	斜長石	カリ長石
花崗斑岩 新鮮部	H20-④-3 66.90~66.92m		((・))		((・))	◎	◎	◎
破砕部 断層ガウジ	H24-D1-1 59.16m(脈部)	△		△		◎	(・)	○

記号凡例	
Sme	: スメクタイト
Kln	: カオリナイト
Qz	: 石英
Pl	: 斜長石
Kfs	: カリ長石

凡例 ◎:多量 ○:中量 △:少量 ・:微量 (・):極微量 ((・)):極微量で、定方位測定時のみピークを確認

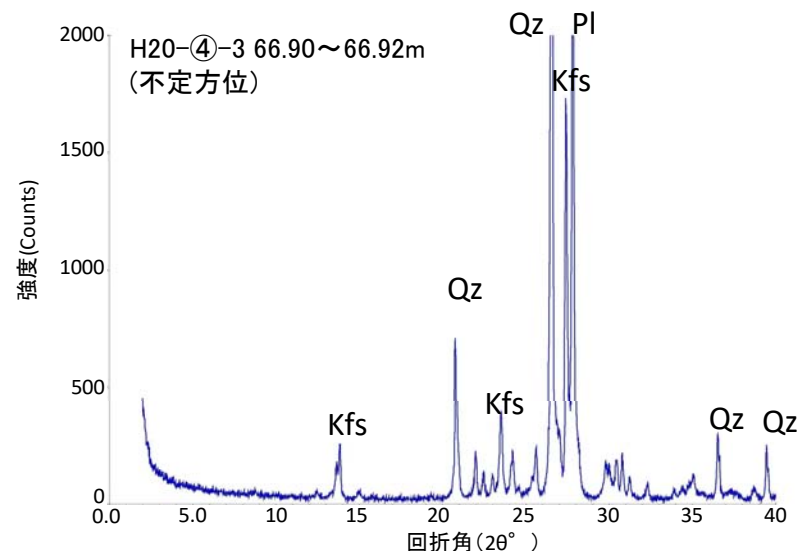
1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 XRD分析 H24-D1-1 59.16m その2)

- H24-D1-1孔 深度59.16mから採取した破碎部のガウジ部と新鮮な花崗斑岩の鉱物組成を比較した。
- H24-D1-1孔 深度59.16mの破碎部のガウジ部は新鮮な花崗斑岩に比べ斜長石やカリ長石の割合が小さくなっている。一方、スメクタイトとわずかにカオリナイトが認められる。
- 井上(2003)によれば、H24-D1-1孔 深度59.16mの破碎部の断層ガウジは**熱水変質作用を受けている**と推定される。



H24-D1-1孔 59.16m(断層ガウジ)のチャート

水簸及びEG処理を施した試料の回折パターンは見やすくするため不定方位の回折パターンの上方にずらして表示した。



新鮮な花崗斑岩のチャート

X線粉末回折結果(基本は不定方位分析の回折強度を使用)

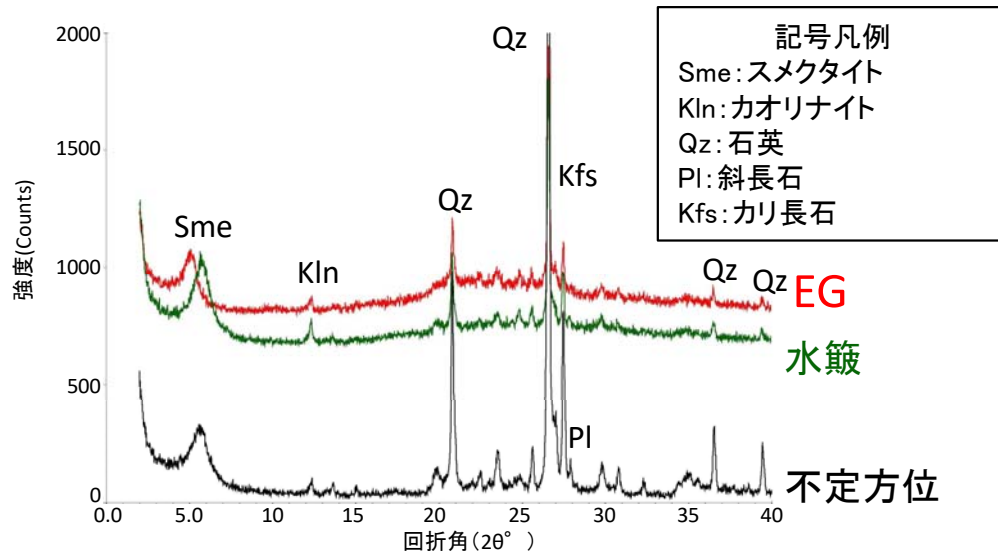
試料採取位置		スメクタイト	雲母粘土鉱物	カオリナイト	緑泥石	石英	斜長石	カリ長石
花崗斑岩 新鮮部	H20-④-3 66.90~66.92m		((・))		((・))	◎	◎	◎
破碎部 断層ガウジ	H24-D1-1 59.16m	△		・		◎	・	○

記号凡例	
Sme	: スメクタイト
Kln	: カオリナイト
Qz	: 石英
PI	: 斜長石
Kfs	: カリ長石

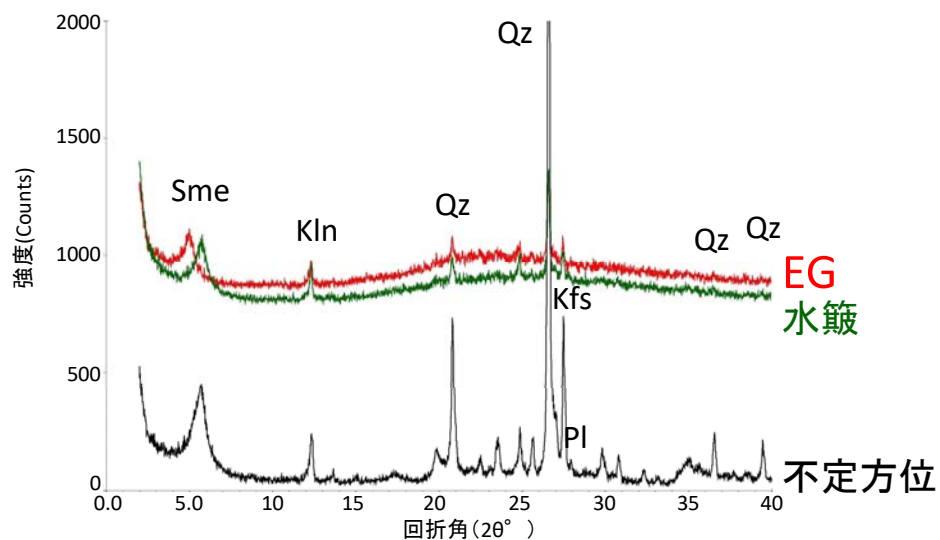
凡例 ◎:多量 ○:中量 △:少量 ・:微量 (・):極微量 ((・)):極微量で、定方位測定時のみピークを確認

1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 XRD分析 H24-D1-1 59.16m その3)

- H24-D1-1孔 深度59.16mの破碎部から採取した断層ガウジ部と脈部の鉱物組成を比較した。
- 含まれる鉱物は同じだが、断層ガウジ部は脈部に比べて、石英、カリ長石の相対比が大きい。一方、スメクタイト、カオリナイトの相対比が少ない。
- 脈部の方が造岩鉱物の含有率が低く、スメクタイトの含有率が高いことから、断層ガウジ部よりも熱水変質の影響を強く受けていると考えられ、**熱水変質は断層ガウジの外から及んだ可能性がある。**



H24-D1-1孔 59.16m(断層ガウジ)のチャート



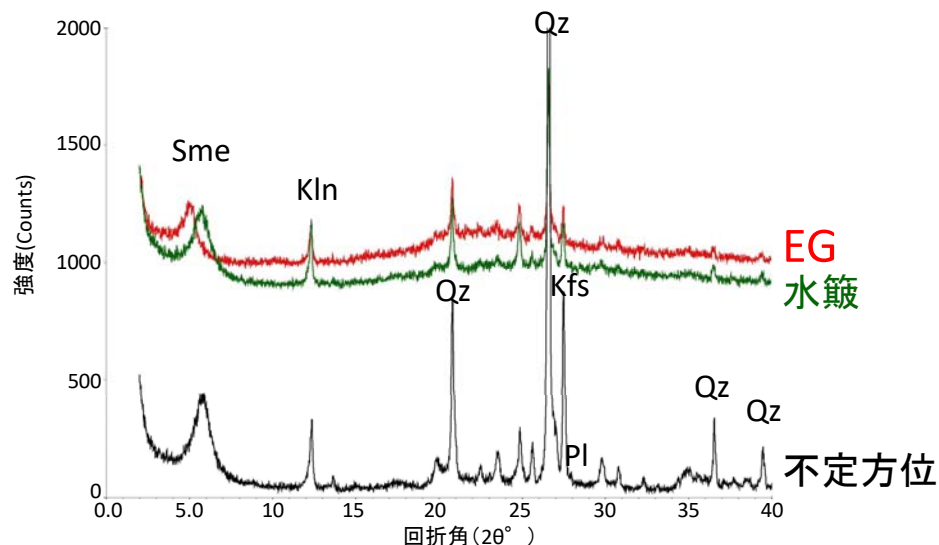
H24-D1-1孔 59.16m(脈部)のチャート



試料採取位置

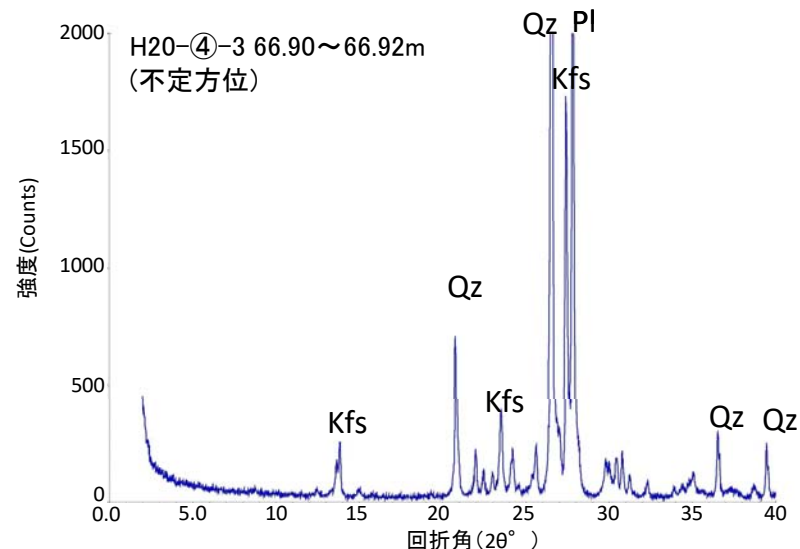
1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 XRD分析 H24-D1-1 60.15m)

- H24-D1-1孔 深度60.15mを最新活動面とする破砕部(D-1破砕帯)の断層ガウジから採取した試料と新鮮な花崗斑岩の鉱物組成を比較した。
- H24-D1-1孔 深度60.15mの破砕部は新鮮な花崗斑岩に比べ斜長石やカリ長石の割合が小さくなっている。一方、スメクタイトとカオリナイトが認められる。
- 井上(2003)によれば、H24-D1-1孔 深度60.15mは熱水変質作用を受けていると推定される。



H24-D1-1孔 60.15m (D-1破砕帯) のチャート

水簸及びEG処理を施した試料の回折パターンは見やすくするため不定方位の回折パターンの上方にずらして表示した。



新鮮な花崗斑岩のチャート

X線粉末回折結果(基本は不定方位分析の回折強度を使用)

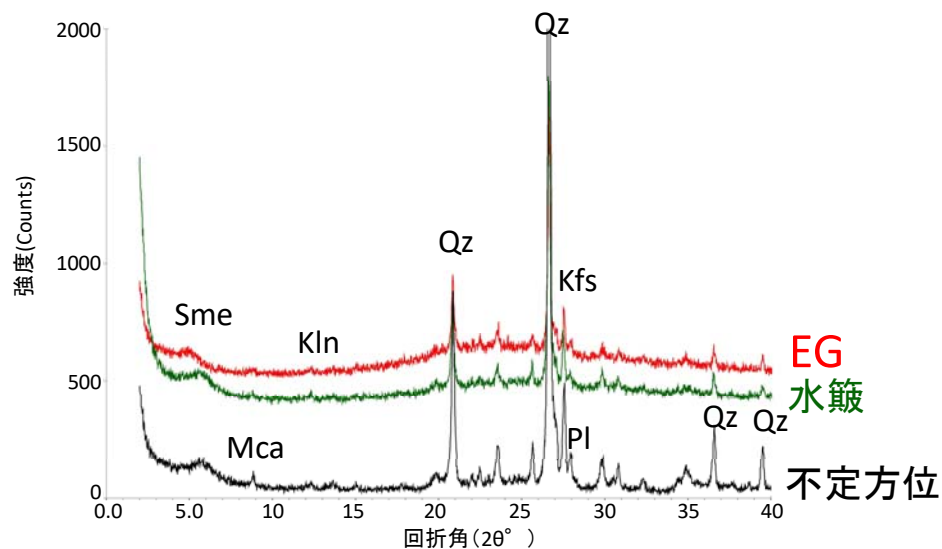
試料採取位置		スメクタイト	雲母粘土鉱物	カオリナイト	緑泥石	石英	斜長石	カリ長石
花崗斑岩 新鮮部	H20-④-3 66.90~66.92m		((・))		((・))	◎	◎	◎
破砕部 断層ガウジ	H24-D1-1 60.15m	△		△		◎	(・)	○

記号凡例	
Sme	: スメクタイト
Kln	: カオリナイト
Qz	: 石英
Pl	: 斜長石
Kfs	: カリ長石

凡例 ◎:多量 ○:中量 △:少量 ・:微量 (・):極微量 ((・)):極微量で、定方位測定時のみピークを確認

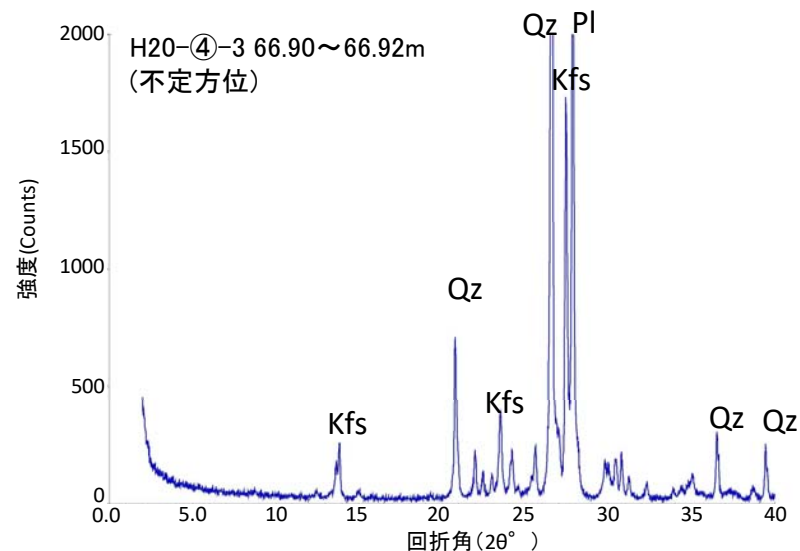
1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 XRD分析 H24-D1-1 68.93m)

- H24-D1-1孔 深度68.93mを最新活動面とする破砕部の断層ガウジから採取した試料と新鮮な花崗斑岩の鉱物組成を比較した。
- H24-D1-1孔 深度68.93mの破砕部は新鮮な花崗斑岩に比べ斜長石やカリ長石の割合が小さくなっている。一方、わずかにスメクタイト、雲母粘土鉱物、カオリナイトが認められる。
- 井上(2003)によれば、H24-D1-1孔 深度68.93mの破砕部は**熱水変質作用を受けている**と推定される。



H24-D1-1孔 68.93mのチャート

水簸及びEG処理を施した試料の回折パターンは見やすくするため不定方位の回折パターンの上方にずらして表示した。



新鮮な花崗斑岩のチャート

X線粉末回折結果(基本は不定方位分析の回折強度を使用)

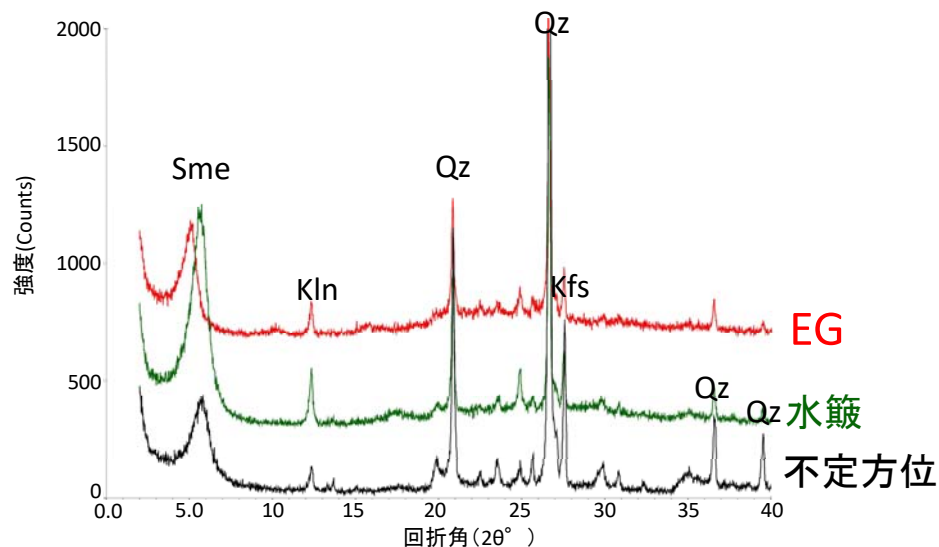
試料採取位置		スメクタイト	雲母粘土鉱物	カオリナイト	緑泥石	石英	斜長石	カリ長石
花崗斑岩 新鮮部	H20-④-3 66.90~66.92m		((・))		((・))	◎	◎	◎
破砕部 断層ガウジ	H24-D1-1 68.93m	(・)	(・)	(・)		◎	・	△

凡例
Sme: スメクタイト
Mca: 雲母粘土鉱物
Kln: カオリナイト
Qz: 石英
Pl: 斜長石
Kfs: カリ長石

凡例 ◎:多量 ○:中量 △:少量 ・:微量 (・):極微量 ((・)):極微量で、定方位測定時のみピークを確認

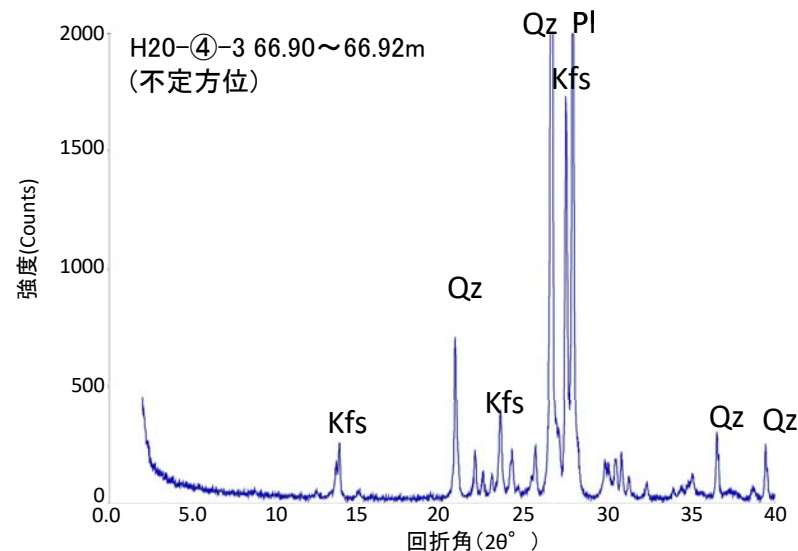
1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 XRD分析 H24-D1-1 79.19m)

- H24-D1-1孔 深度79.19mを最新活動面とする破砕部の断層ガウジから採取した試料と新鮮な花崗斑岩の鉱物組成を比較した。
- H24-D1-1孔 深度79.19mの破砕部は新鮮な花崗斑岩に比べ斜長石やカリ長石の割合が小さくなっている。一方、スメクタイトとわずかにカオリナイトが認められる。
- 井上(2003)によれば、H24-D1-1孔 深度79.19mの破砕部は熱水変質作用を受けていると推定される。



H24-D1-1孔 79.19mのチャート

水簸及びEG処理を施した試料の回折パターンは見やすくするため不定方位の回折パターンの上方にずらして表示した。



新鮮な花崗斑岩のチャート

X線粉末回折結果(基本は不定方位分析の回折強度を使用)

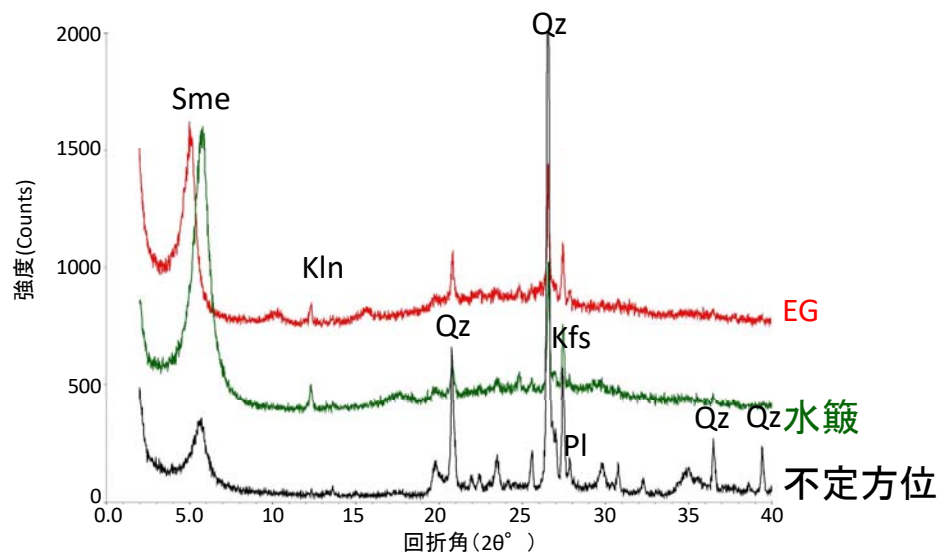
試料採取位置		スメクタイト	雲母粘土鉱物	カオリナイト	緑泥石	石英	斜長石	カリ長石
花崗斑岩 新鮮部	H20-④-3 66.90~66.92m		((・))		((・))	◎	◎	◎
破砕部 断層ガウジ	H24-D1-1 79.19m	△		・		◎		○

凡例
Sme: スメクタイト
Kln: カオリナイト
Qz: 石英
Pl: 斜長石
Kfs: カリ長石

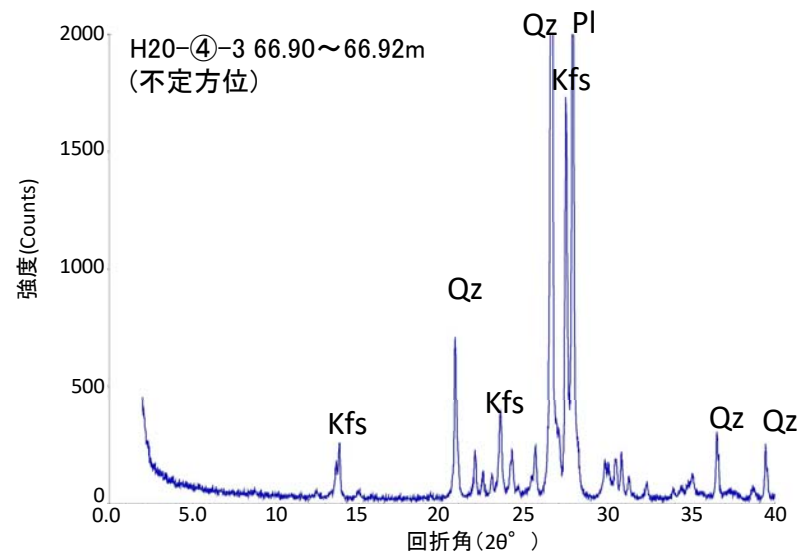
凡例 ◎:多量 ○:中量 △:少量 ・:微量 (・):極微量 ((・)):極微量で、定方位測定時のみピークを確認

1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 XRD分析 H24-D1-1 89.95m)

- H24-D1-1孔 深度89.95mを最新活動面とする破砕部(D-33破砕帯)の断層ガウジから採取した試料と新鮮な花崗斑岩の鉱物組成を比較した。
- H24-D1-1孔 深度89.95mの破砕部は新鮮な花崗斑岩に比べ斜長石やカリ長石の割合が小さくなっている。一方、スメクタイトとわずかにカオリナイトが認められる。
- 井上(2003)によれば、H24-D1-1孔 深度89.95mの破砕部は熱水変質作用を受けていると推定される。



H24-D1-1孔 89.95m(D-33破砕帯)のチャート
水簸及びEG処理を施した試料の回折パターンは見やすくするため不定方位の回折パターンの上方にずらして表示した。



新鮮な花崗斑岩のチャート

X線粉末回折結果(基本は不定方位分析の回折強度を使用)

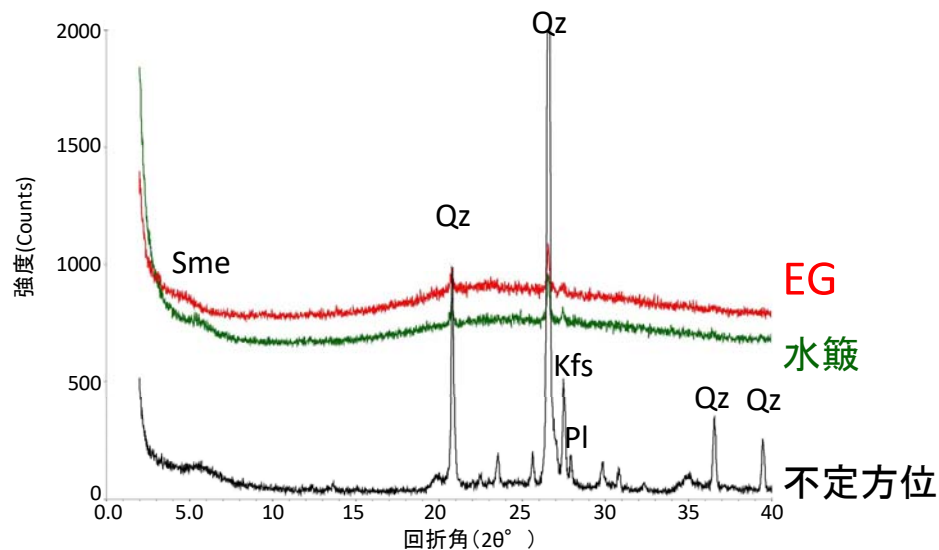
試料採取位置		スメクタイト	雲母粘土鉱物	カオリナイト	緑泥石	石英	斜長石	カリ長石
花崗斑岩 新鮮部	H20-④-3 66.90~66.92m		((・))	((・))	◎	◎	◎	
破砕部 断層ガウジ	H24-D1-1 89.95m(D-33破砕帯)	△		((・))	◎	・	△	

凡例
Sme: スメクタイト
Kln: カオリナイト
Qz: 石英
Pl: 斜長石
Kfs: カリ長石

凡例 ◎:多量 ○:中量 △:少量 ・:微量 (・):極微量 ((・)):極微量で、定方位測定時のみピークを確認

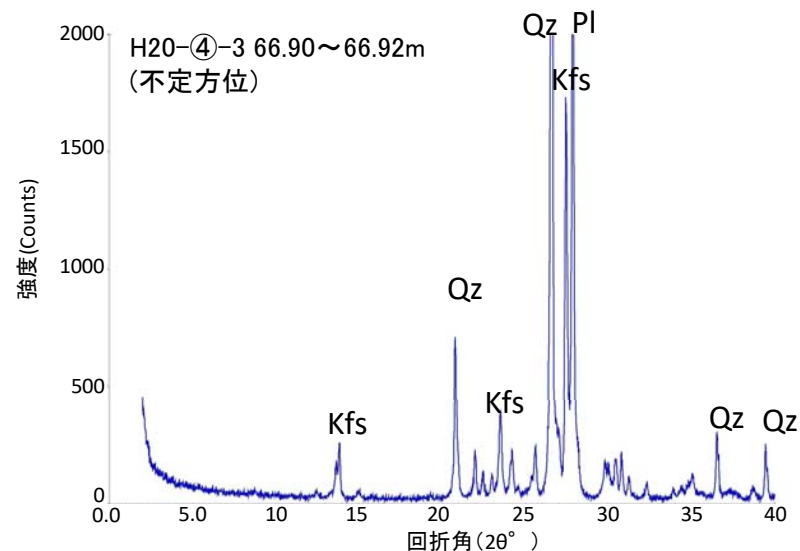
1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 XRD分析 H27-B-1孔 44.31m)

- H27-B-1孔 深度44.31mを最新活動面とする破砕部の断層ガウジから採取した試料と新鮮な花崗斑岩の鉱物組成を比較した。
- H27-B-1孔 深度44.31mの破砕部は新鮮な花崗斑岩に比べ斜長石やカリ長石の割合が小さくなっている。一方、わずかにスメクタイトが認められる。
- 井上(2003)によれば、H27-B-1孔 深度44.31mの破砕部は熱水変質作用を受けていると推定される。



H27-B-1孔 44.31mのチャート

水簸及びEG処理を施した試料の回折パターンは見やすくするため不定方位の回折パターンの上方にずらして表示した。



新鮮な花崗斑岩のチャート

X線粉末回折結果(基本は不定方位分析の回折強度を使用)

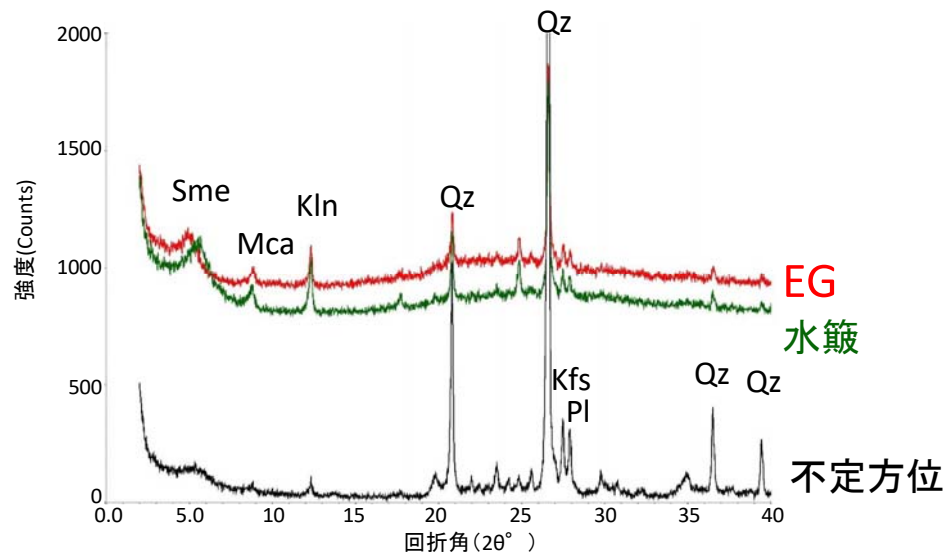
試料採取位置		スメクタイト	雲母粘土鉱物	カオリナイト	緑泥石	石英	斜長石	カリ長石
花崗斑岩 新鮮部	H20-④-3 66.90~66.92m		((・))		((・))	◎	◎	◎
破砕部 断層ガウジ	H27-B-1 44.31m	・				◎	・	△

凡例	
Sme	:スメクタイト
Qz	:石英
Pl	:斜長石
Kfs	:カリ長石

凡例 ◎:多量 ○:中量 △:少量 ・:微量 (・):極微量 ((・)):極微量で、定方位測定時のみピークを確認

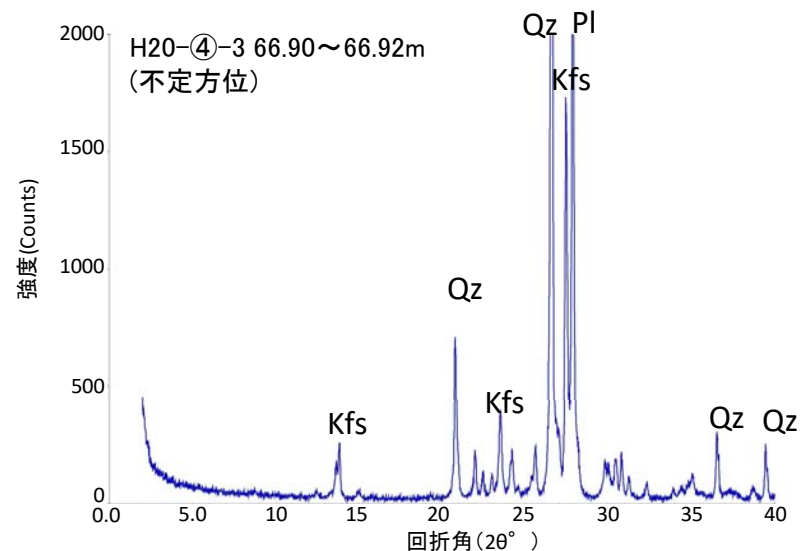
1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 XRD分析 H27-B-1孔 47.40m)

- H27-B-1孔 深度47.40mを最新活動面とする破砕部の断層ガウジから採取した試料と新鮮な花崗斑岩の鉱物組成を比較した。
- H27-B-1孔 深度47.40mの破砕部は新鮮な花崗斑岩に比べ斜長石やカリ長石の割合が小さくなっている。一方、わずかにスメクタイト、雲母粘土鉱物、カオリナイトが認められる。
- 井上(2003)によれば、H27-B-1孔 深度47.40mの破砕部は熱水変質作用を受けていると推定される。



H27-B-1孔 47.40mのチャート

水簸及びEG処理を施した試料の回折パターンは見やすくするため不定方位の回折パターンの上方にずらして表示した。



新鮮な花崗斑岩のチャート

X線粉末回折結果(基本は不定方位分析の回折強度を使用)

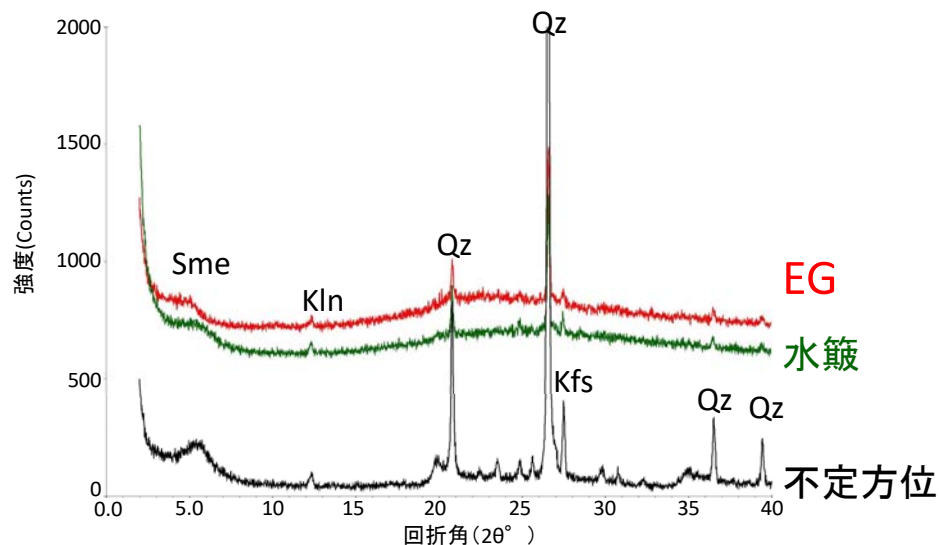
試料採取位置		スメクタイト	雲母粘土鉱物	カオリナイト	緑泥石	石英	斜長石	カリ長石
花崗斑岩 新鮮部	H20-④-3 66.90~66.92m		((○))		((○))	◎	◎	◎
破砕部 断層ガウジ	H27-B-1 47.40m	・	(・)	・		◎	△	△

凡例	
Sme	: スメクタイト
Mca	: 雲母粘土鉱物
Kln	: カオリナイト
Qz	: 石英
Pl	: 斜長石
Kfs	: カリ長石

凡例 ◎:多量 ○:中量 △:少量 ・:微量 (・):極微量 ((・)):極微量で、定方位測定時のみピークを確認

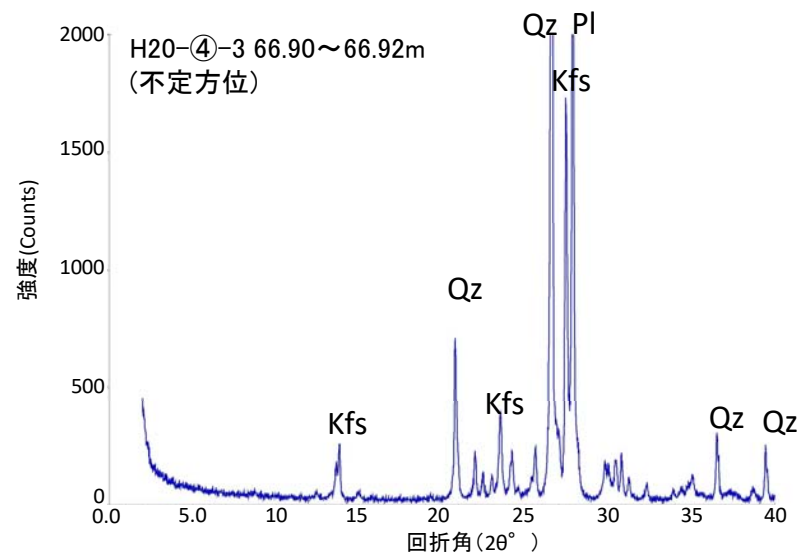
1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 XRD分析 H27-B-1孔 53.17m)

- H27-B-1孔 深度53.17mを最新活動面とする破砕部の断層ガウジから採取した試料と新鮮な花崗斑岩の鉱物組成を比較した。
- H27-B-1孔 深度53.17mの破砕部は新鮮な花崗斑岩に比べ斜長石やカリ長石の割合が小さくなっている。一方、スメクタイトとわずかにカオリナイトが認められる。
- 井上(2003)によれば、H27-B-1孔 深度53.17mの破砕部は**熱水変質作用を受けている**と推定される。



H27-B-1孔 53.17mのチャート

水簾及びEG処理を施した試料の回折パターンは見やすくするため不定方位の回折パターンの上方にずらして表示した。



新鮮な花崗斑岩のチャート

X線粉末回折結果(基本は不定方位分析の回折強度を使用)

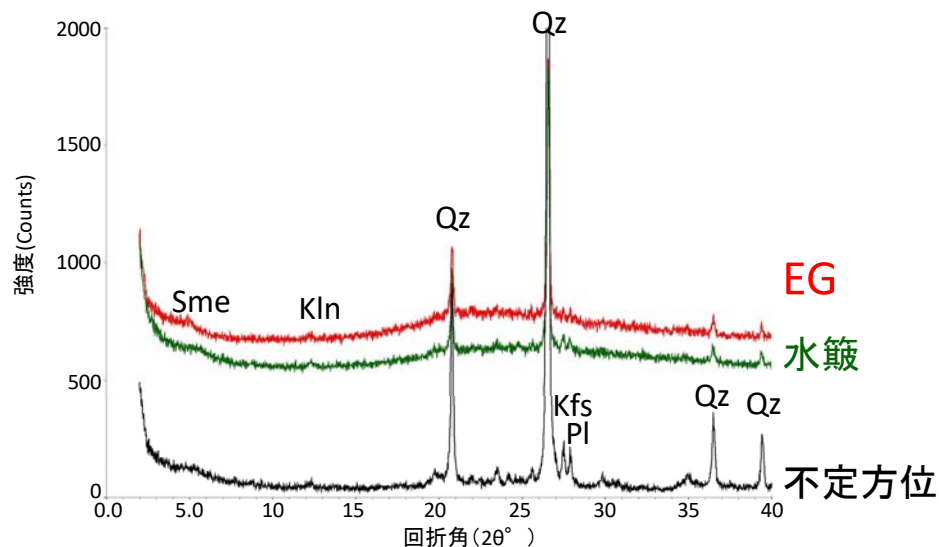
試料採取位置		スメクタイト	雲母粘土鉱物	カオリナイト	緑泥石	石英	斜長石	カリ長石
花崗斑岩 新鮮部	H20-④-3 66.90~66.92m		((・))		((・))	◎	◎	◎
破砕部 断層ガウジ	H27-B-1 53.17m	△		(・)		◎		△

凡例	
Sme:	スメクタイト
Kln:	カオリナイト
Qz:	石英
Pl:	斜長石
Kfs:	カリ長石

凡例 ◎:多量 ○:中量 △:少量 ・:微量 (・):極微量 ((・)):極微量で、定方位測定時のみピークを確認

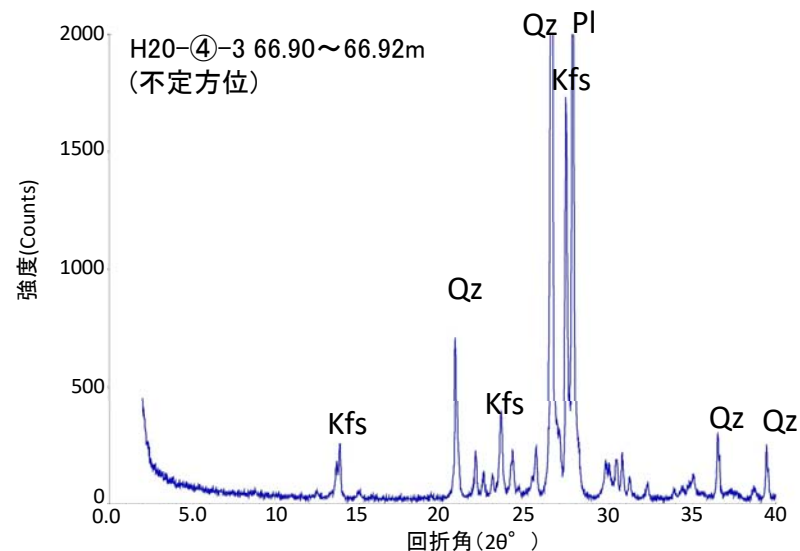
1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 XRD分析 H27-B-2孔 34.37m)

- H27-B-2孔 深度34.37mを最新活動面とする破砕部の断層ガウジから採取した試料と新鮮な花崗斑岩の鉱物組成を比較した。
- H27-B-2孔 深度34.37mの破砕部は新鮮な花崗斑岩に比べ斜長石やカリ長石の割合が小さくなっている。一方、わずかにスメクタイトとカオリナイトが認められる。
- 井上(2003)によれば、H27-B-2孔 深度34.37mの破砕部は**熱水変質作用を受けている**と推定される。



H27-B-2孔 34.37mのチャート

水簾及びEG処理を施した試料の回折パターンは見やすくするため不定方位の回折パターンの上方にずらして表示した。



新鮮な花崗斑岩のチャート

X線粉末回折結果(基本は不定方位分析の回折強度を使用)

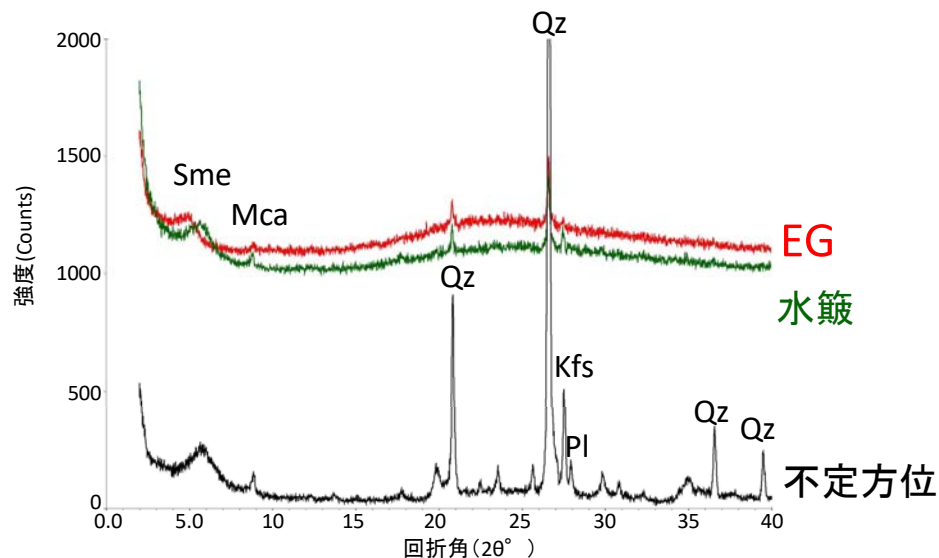
試料採取位置		スメクタイト	雲母粘土鉱物	カオリナイト	緑泥石	石英	斜長石	カリ長石
花崗斑岩 新鮮部	H20-④-3 66.90~66.92m		((・))		((・))	◎	◎	◎
破砕部 断層ガウジ	H27-B-2 34.37m	(・)		(・)		◎	△	△

凡例
Sme: スメクタイト
Kln: カオリナイト
Qz: 石英
Pl: 斜長石
Kfs: カリ長石

凡例 ◎:多量 ○:中量 △:少量 ・:微量 (・):極微量 ((・)):極微量で、定方位測定時のみピークを確認

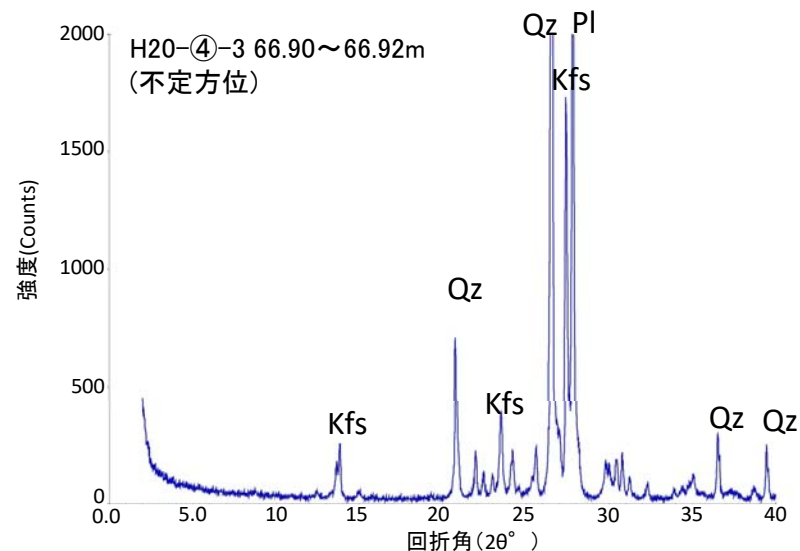
1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 XRD分析 H24-D1-3孔 14.47m)

- H24-D1-3孔 深度14.47mを最新活動面とする破砕部(H-4' 破砕帯)の断層ガウジから採取した試料と新鮮な花崗斑岩の鉱物組成を比較した。
- H24-D1-3孔 深度14.47mの破砕部は新鮮な花崗斑岩に比べ斜長石やカリ長石の割合が小さくなっている。一方、スメクタイトとわずかに雲母粘土鉱物も認められる。
- 井上(2003)によれば、H24-D1-3孔 深度14.47mの破砕部は熱水変質作用を受けていると推定される。



H24-D1-3孔 14.47m(H-4' 破砕帯)のチャート

水簸及びEG処理を施した試料の回折パターンは見やすくするため不定方位の回折パターンの上方にずらして表示した。



新鮮な花崗斑岩のチャート

X線粉末回折結果(基本は不定方位分析の回折強度を使用)

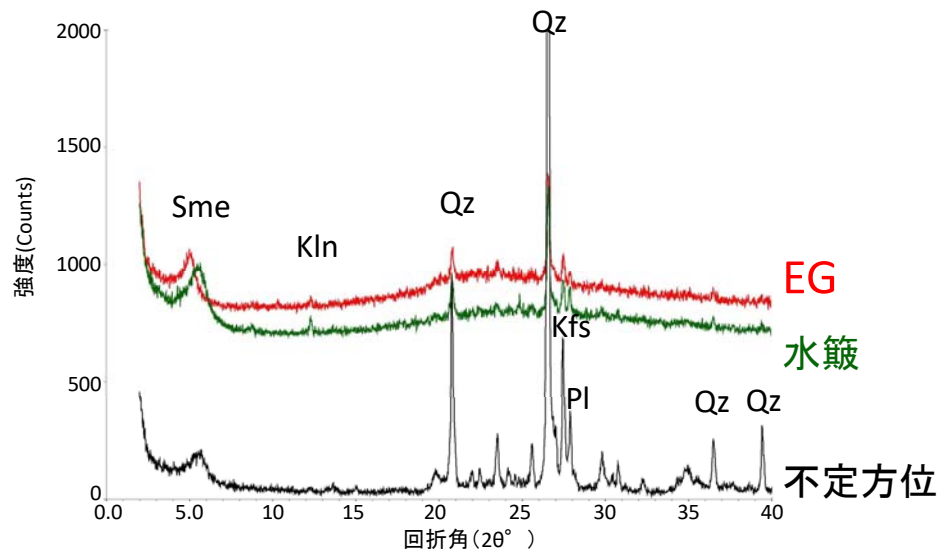
試料採取位置		スメクタイト	雲母粘土鉱物	カオリナイト	緑泥石	石英	斜長石	カリ長石
花崗斑岩 新鮮部	H20-④-3 66.90~66.92m		((・))		((・))	◎	◎	◎
破砕部 断層ガウジ	H24-D1-3 14.47m(H-4'破砕帯)	△	・			◎	・	△

凡例	
Sme	:スメクタイト
Mca	:雲母粘土鉱物
Qz	:石英
Pl	:斜長石
Kfs	:カリ長石

凡例 ◎:多量 ○:中量 △:少量 ・:微量 (・):極微量 ((・)):極微量で、定方位測定時のみピークを確認

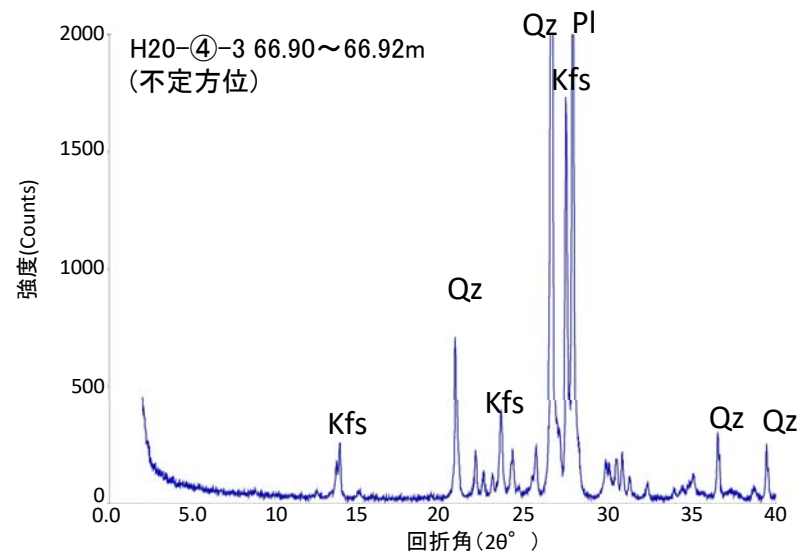
1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 XRD分析 H24-D1-3孔 52.13m)

- H24-D1-3孔 深度52.13mを最新活動面とする破砕部の断層ガウジから採取した試料と新鮮な花崗斑岩の鉱物組成を比較した。
- H24-D1-3孔 深度52.13mの破砕部は新鮮な花崗斑岩に比べ斜長石やカリ長石の割合が小さくなっている。一方、スメクタイトとわずかにカオリナイトが認められる。
- 井上(2003)によれば、H24-D1-3孔 深度52.13mの破砕部は熱水変質作用を受けていると推定される。



H24-D1-3孔 52.13mのチャート

水簸及びEG処理を施した試料の回折パターンは見やすくするため不定方位の回折パターンの上方にずらして表示した。



新鮮な花崗斑岩のチャート

X線粉末回折結果(基本は不定方位分析の回折強度を使用)

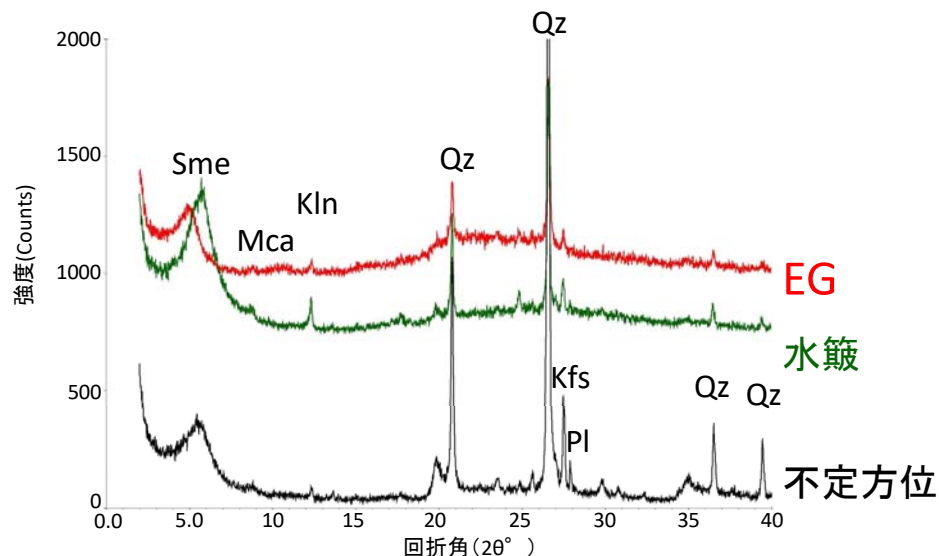
試料採取位置		スメクタイト	雲母粘土鉱物	カオリナイト	緑泥石	石英	斜長石	カリ長石
花崗斑岩 新鮮部	H20-④-3 66.90~66.92m		((・))		((・))	◎	◎	◎
破砕部 断層ガウジ	H24-D1-3 52.13m	△		((・))		◎	△	△

凡例
Sme: スメクタイト
Kln: カオリナイト
Qz: 石英
Pl: 斜長石
Kfs: カリ長石

凡例 ◎:多量 ○:中量 △:少量 ・:微量 (・):極微量 ((・)):極微量で、定方位測定時のみピークを確認

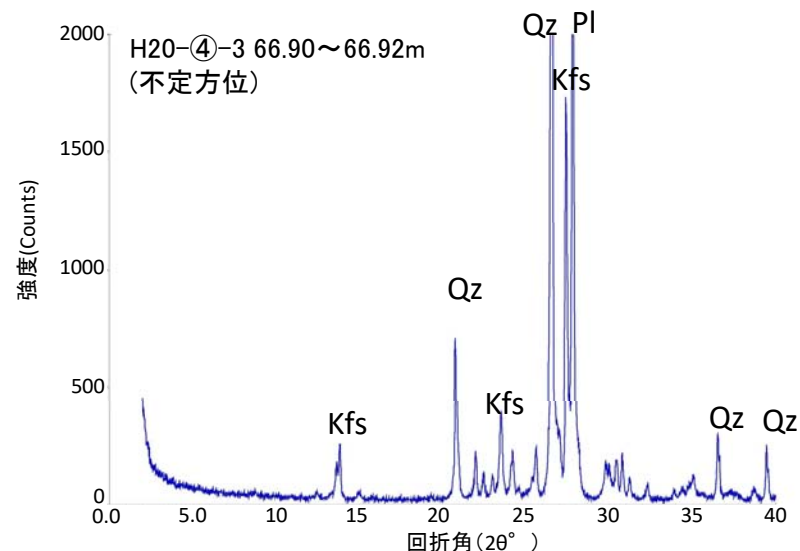
1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 XRD分析 H24-D1-2孔 31.46m)

- H24-D1-2孔 深度31.46mを最新活動面とする破砕部の断層ガウジから採取した試料と新鮮な花崗斑岩の鉱物組成を比較した。
- H24-D1-2孔 深度31.46mの破砕部は新鮮な花崗斑岩に比べ斜長石やカリ長石の割合が小さくなっている。一方、スメクタイトとわずかに雲母粘土鉱物とカオリナイトが認められる。
- 井上(2003)によれば、H24-D1-2孔 深度31.46mの破砕部は**熱水変質作用を受けている**と推定される。



H24-D1-2孔 31.46mのチャート

水簸及びEG処理を施した試料の回折パターンは見やすくするため不定方位の回折パターンの上方にずらして表示した。



新鮮な花崗斑岩のチャート

X線粉末回折結果(基本は不定方位分析の回折強度を使用)

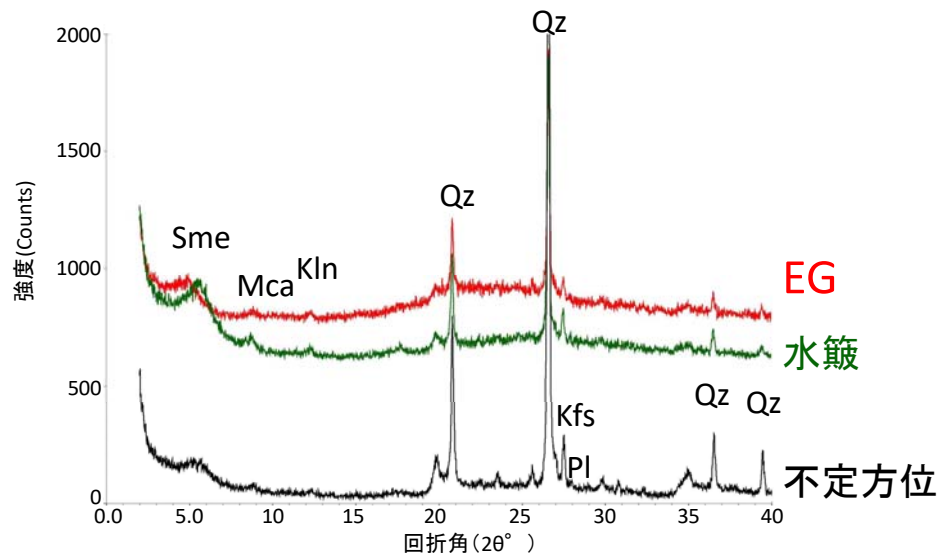
試料採取位置		スメクタイト	雲母粘土鉱物	カオリナイト	緑泥石	石英	斜長石	カリ長石
花崗斑岩 新鮮部	H20-④-3 66.90~66.92m		((○))		((○))	◎	◎	◎
破砕部 断層ガウジ	H24-D1-2 31.46m	△	((○))	(○)		◎	・	△

凡例	
Sme	: スメクタイト
Mca	: 雲母粘土鉱物
Kln	: カオリナイト
Qz	: 石英
Pl	: 斜長石
Kfs	: カリ長石

凡例 ◎:多量 ○:中量 △:少量 ・:微量 (○):極微量 ((○)):極微量で、定方位測定時のみピークを確認

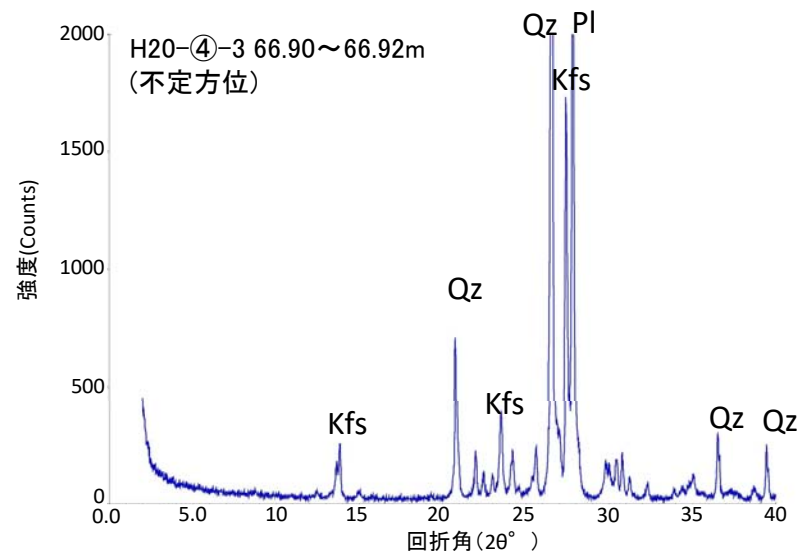
1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 XRD分析 H24-D1-2孔 10.21m)

- H24-D1-5孔 深度10.21mを最新活動面とする破碎部(H-3d破碎帯)の断層ガウジから採取した試料と新鮮な花崗斑岩の鉱物組成を比較した。
- H24-D1-5孔 深度10.21mの破碎部は新鮮な花崗斑岩に比べ斜長石やカリ長石の割合が小さくなっている。一方、わずかにスメクタイト、雲母粘土鉱物、カオリナイトが認められる。
- 井上(2003)によれば、H24-D1-5孔 深度10.21mの破碎部は熱水変質作用を受けていると推定される。



H24-D1-5孔 10.21m(H-3d破碎帯)のチャート

水簸及びEG処理を施した試料の回折パターンは見やすくするため不定方位の回折パターンの上方にずらして表示した。



新鮮な花崗斑岩のチャート

X線粉末回折結果(基本は不定方位分析の回折強度を使用)

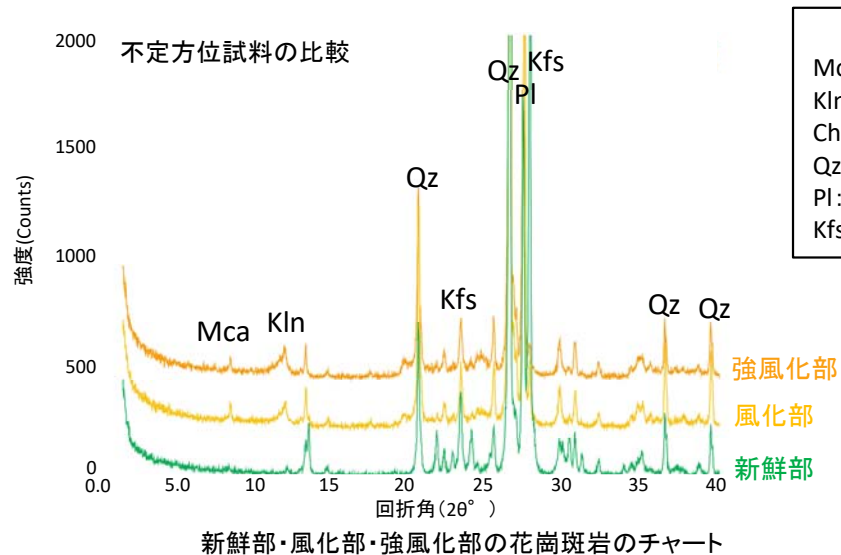
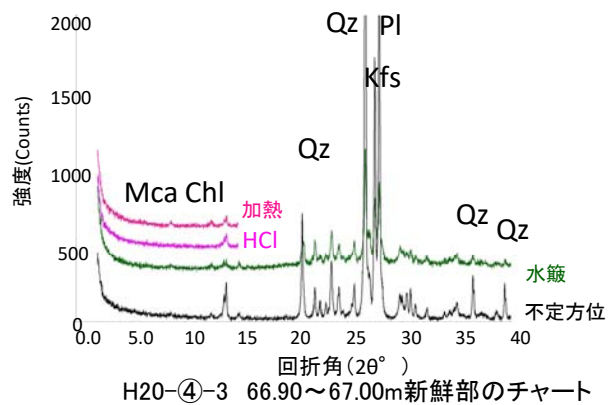
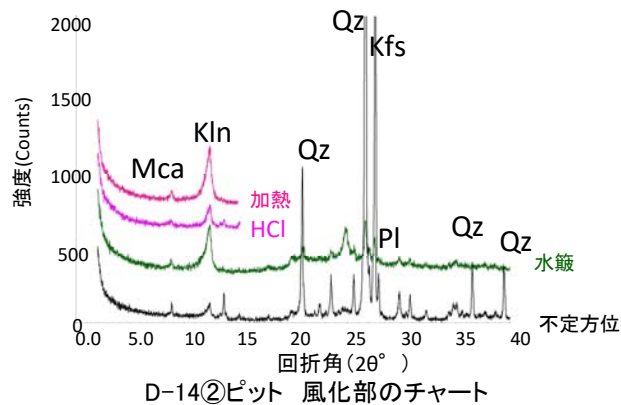
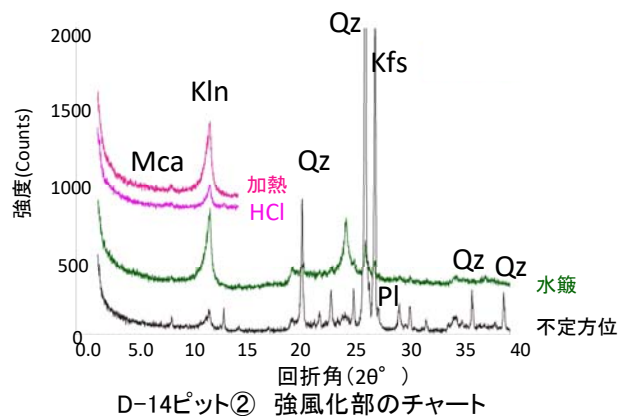
試料採取位置		スメクタイト	雲母粘土鉱物	カオリナイト	緑泥石	石英	斜長石	カリ長石
花崗斑岩 新鮮部	H20-④-3 66.90~66.92m		((・))		((・))	◎	◎	◎
破碎部 断層ガウジ	H24-D1-5 10.21m(H-3d破碎帯)	・	(・)	((・))		◎	(・)	△

凡例	
Sme:	スメクタイト
Mca:	雲母粘土鉱物
Kln:	カオリナイト
Qz:	石英
Pl:	斜長石
Kfs:	カリ長石

凡例 ◎:多量 ○:中量 △:少量 ・:微量 (・):極微量 ((・)):極微量で、定方位測定時のみピークを確認

1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 XRD分析 強風化部, 風化部, 新鮮部)

- 風化による鉱物組成変化を確かめるため、風化度の異なる花崗斑岩3試料のXRD分析を実施した。
- 風化部および強風化部はD-14②ピットから、新鮮部はH20-④-3孔の深度69.90~67.00mから試料を採取した。
- いずれの試料においてもスメクタイトは含まれない。
- 石英とカリ長石は風化の程度に関係なく多量に含まれている一方、斜長石は風化の程度が大きいほど割合が少なくなっている。



凡例

Mca: 雲母粘土鉱物
 Kln: カオリナイト
 Chl: 緑泥石
 Qz: 石英
 Pl: 斜長石
 Kfs: カリ長石

X線粉末回折結果(基本は不定方位分析の回折強度を使用)



風化区分	試料採取位置	スメクタイト	雲母粘土鉱物	カオリナイト	緑泥石	石英	斜長石	カリ長石
強風化部	D-14ピット②		(・)	・		◎	・	◎
風化部	D-14ピット②		・	・		◎	△	◎
新鮮部	H20-④-3 66.90~67.00m		((・))		((・))	◎	◎	◎

凡例 ◎:多量 ○:中量 △:少量 ・:微量 (・):極微量 ((・)):極微量で、定方位測定時のみピークを確認

1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 熱水による変質区分)

- ・ 敷地における熱水変質の状況については、一般財団法人日本建設情報総合センター(1999)の変質区分を参考に**変質作用の程度に応じて4つに区分した。**

熱水による変質区分

変質区分	敦賀発電所における変質区分	コア写真	(参考)一般財団法人日本建設情報総合センター(1999)の変質区分
変質1	肉眼的に変質鉱物の存在が認められないもの。	 H19-No.1孔 深度129.50~129.70m	非変質 肉眼的に変質鉱物の存在が認められないもの。
変質2	原岩組織を完全に残し、変質程度(脱色)が低いもの。あるいは非変質部の割合が高いもの(肉眼で50%以上)。	 H27-B-4孔 深度100.40~100.60m	弱変質 原岩組織を完全に残し、変質程度(脱色)が低いもの。あるいは非変質部の割合が高いもの(肉眼で50%以上)。
変質3	肉眼で変質が進んでいると判定できるが、原岩組織を明らかに残し、原岩判定が容易なもの。又は非変質部を残すもの及び網目状変質部。	 H24-B14-2孔 深度48.70~48.90m	中変質 肉眼で変質が進んでいると判定できるが、原岩組織を明らかに残し、原岩判定が容易なもの。または非変質部を残すものおよび網目状変質部。
変質4	構成鉱物、岩片等が変質鉱物で完全に置換され、原岩組織を全く~殆ど残さないもの。	 H27-B-4孔 深度64.15~64.35m	強変質 構成鉱物、岩片等が変質鉱物で完全に置換され、原岩組織を全く~殆ど残さないもの。

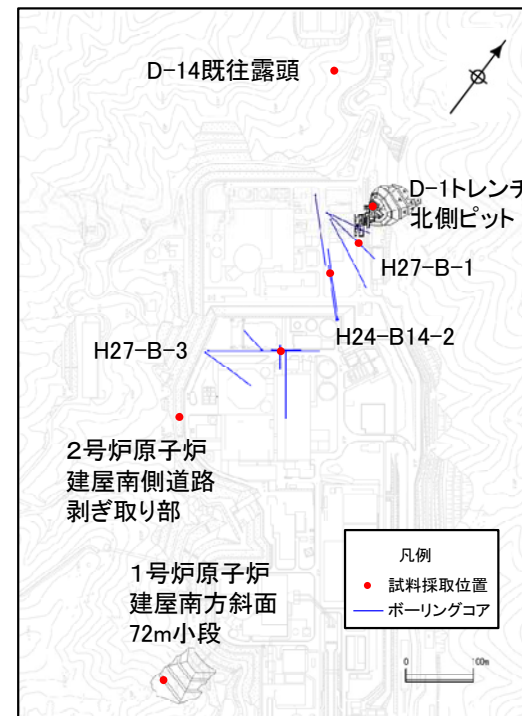
弱い
↑
変質
↓
強い

1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 長石類のEPMA分析 試料採取位置)

- 敷地は全体的に熱水変質作用を被っており、破碎帯の付近で変質の程度が大きい傾向にある。
- 変質区分に応じた曹長石化の程度を比較するために電子線プローブ・マイクロアナライザーによる分析(以下「EPMA分析」という。)を行った結果、変質の程度が大きいものほどアルバイト率が高いことから、熱水変質作用によって曹長石化したものと判断した。
- なお、熱水変質作用を強く受け変質区分4に区分される破碎部の断層ガウジは新鮮な花崗斑岩と比較して斜長石が減少している。(破碎部の断層ガウジ及び花崗斑岩のX線回折分析結果)参照)

EPMA分析位置

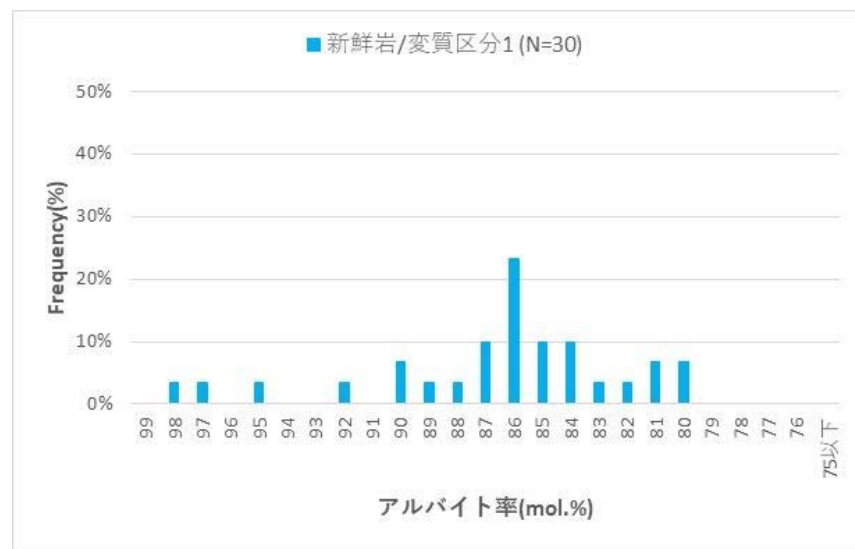
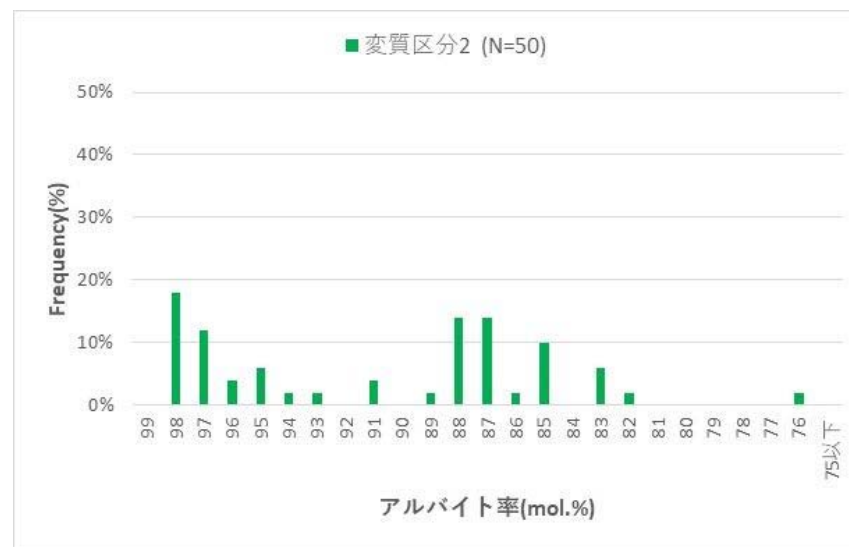
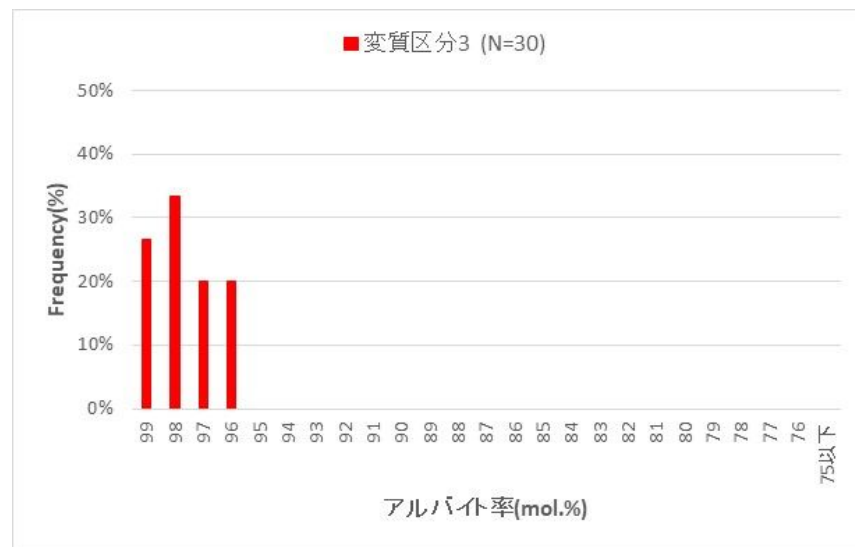
試料番号	試料採取位置	採取した対象の変質区分	EPMA斜長石測点数
①	D-14既往露頭	変質区分3	10
②	D-14既往露頭	変質区分3	10
③	D-1トレンチ 北側ピット	変質区分2	10
④	D-1トレンチ 北側ピット	変質区分2	10
⑤	H27-B-1 103.40~103.44m	変質区分1(新鮮岩)	10
⑥	H24-B14-2 97.23~97.27m	変質区分1(新鮮岩)	10
⑦	H27-B-3 147.36~147.40m	変質区分1(新鮮岩)	10
⑧	2号炉原子炉建屋南側道路剥ぎ取り部	変質区分2	10
⑨	2号炉原子炉建屋南側道路剥ぎ取り部	変質区分2	10
⑩	1号炉原子炉建屋南方斜面72m小段	変質区分3	10
⑪	1号炉原子炉建屋南方斜面72m小段	変質区分2	10



試料採取位置図

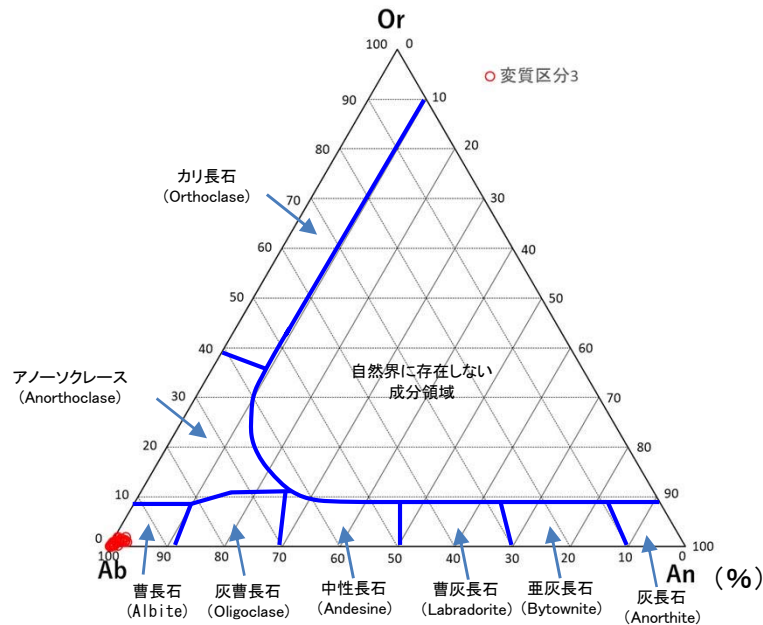
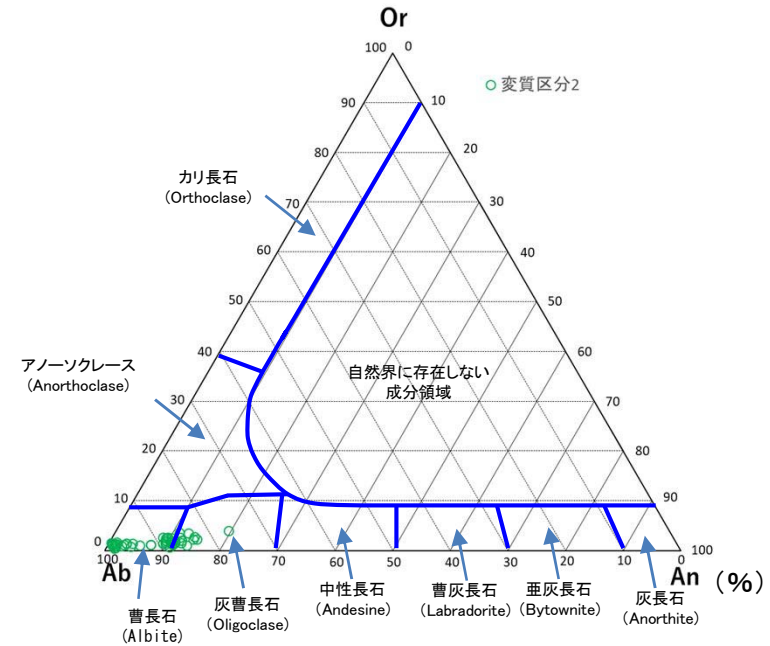
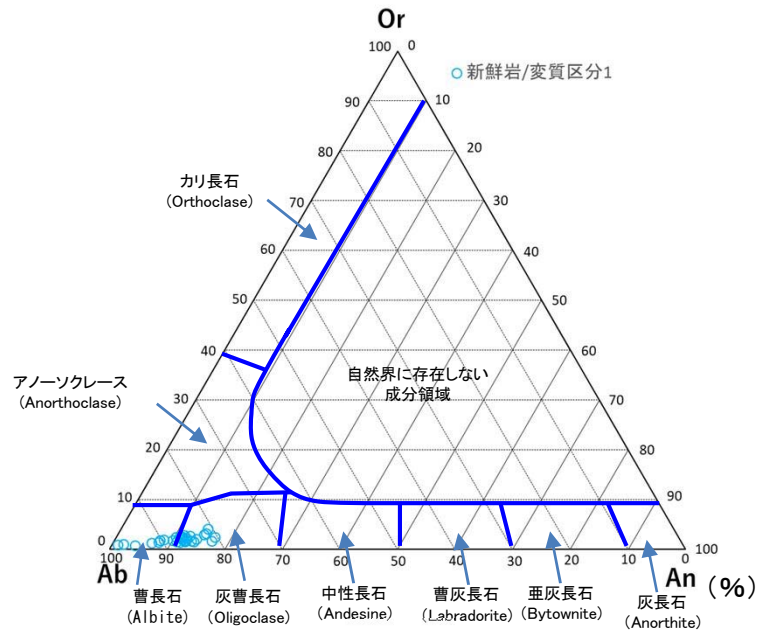
1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 長石類のEPMA分析 変質区分とアルバイト率の関係)

- 変質区分に応じた曹長石化の程度を比較するためにEPMA分析を行った結果、変質区分の程度が大きいものほどアルバイト率が大きいことから、熱水変質作用によって曹長石化したものと判断した。



1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 長石類のEPMA分析 三角ダイアグラム)

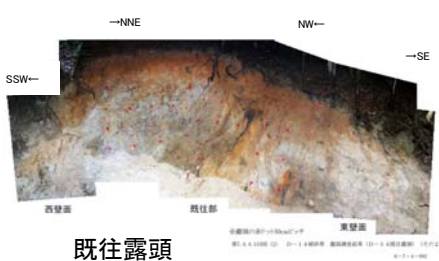
- 変質区分に応じた曹長石化の程度を比較するためにEPMA分析を行った結果、変質区分の程度が大きいものほどアルバイト率が高いことから、熱水変質作用によって曹長石化したものと判断した。
- 新鮮な花崗斑岩の斜長石は灰曹長石から曹長石に分類されるが、変質区分3の斜長石はすべて曹長石に分類される。



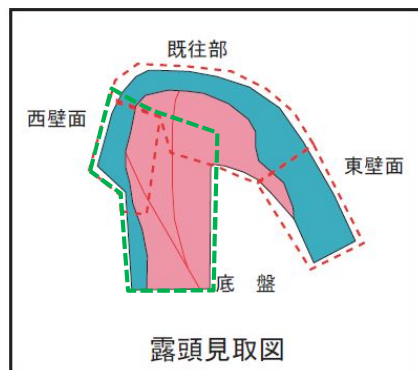
1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 長石類のEPMA分析)

試料採取位置 D-14既往露頭

- D-14既往露頭のD-14破碎帯付近で変質区分3の試料を採取しEPMA分析を行った。

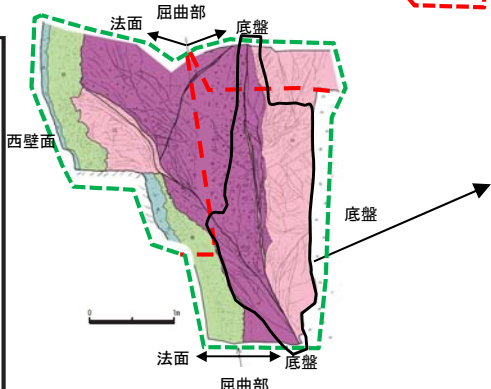
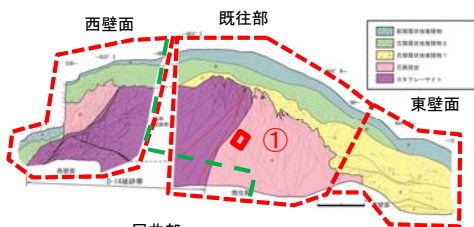


既往露頭

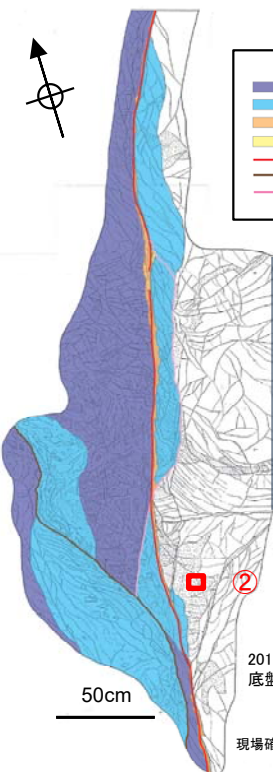


露頭見取図

D-14既往露頭



現場確認: 2013年10月



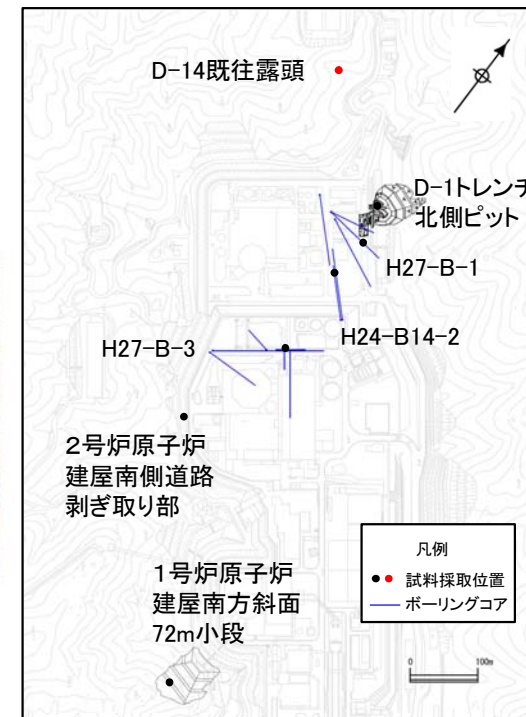
2013年10月初より露頭の底盤は下がった状態である。

現場確認: 2019年2月

50cm
撮影: 2019年2月



既往露頭底盤部



試料採取位置図

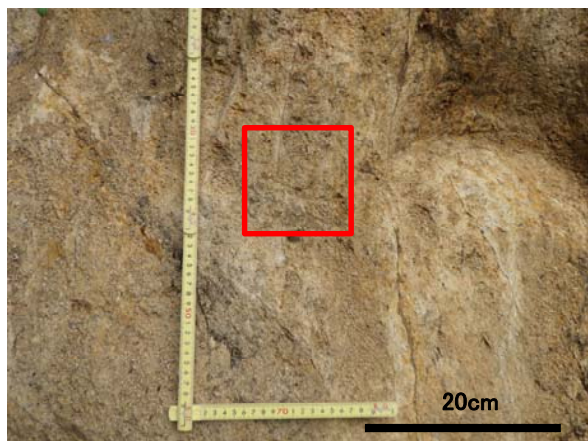


写真1. ①D-14破碎帯付近の試料採取位置(変質区分3)

幅数mm程度の褐灰色の粘土細脈が網目状に分布する。原岩組織は残る。全体に軟質である。変質区分は3である。

赤枠は試料採取位置

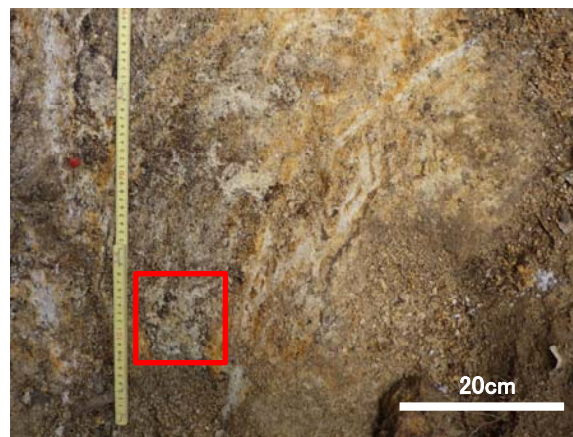


写真2. ②D-14破碎帯付近の試料採取位置(変質区分3)

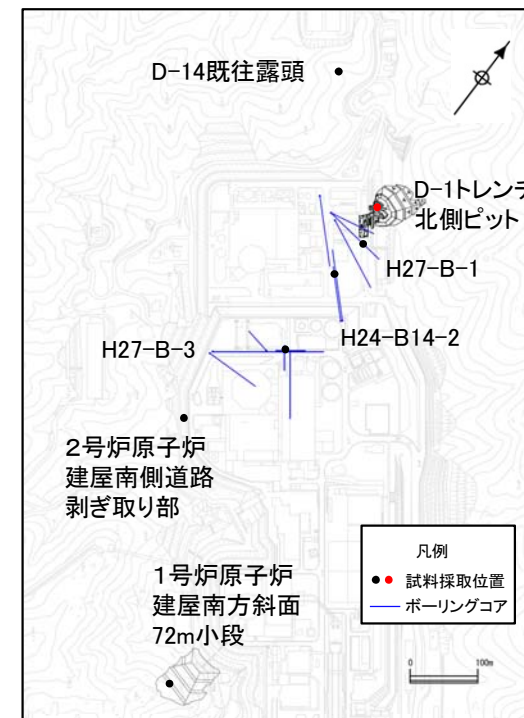
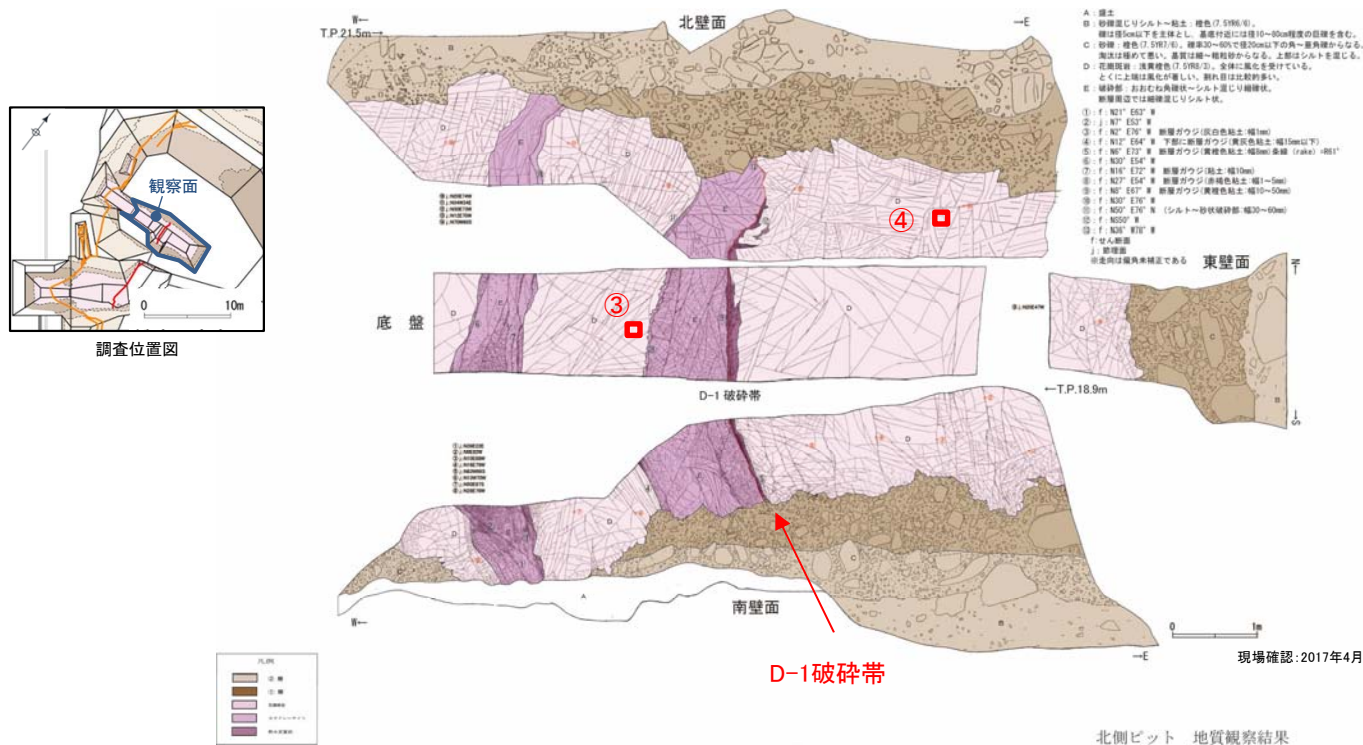
幅数mm～数cm程度の白色の粘土細脈が網目状に分布する。原岩組織は残る。全体に軟質である。変質区分は3である。

赤枠は試料採取位置

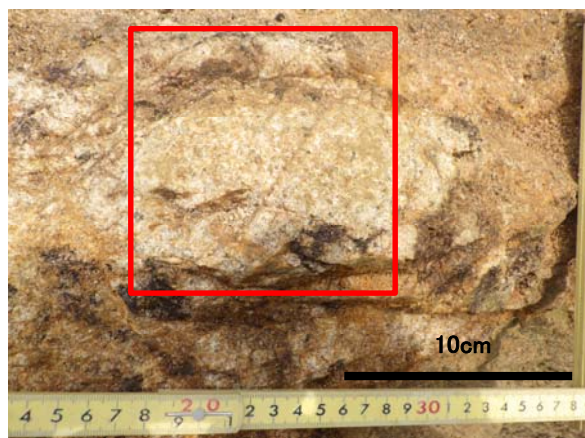
1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 長石類のEPMA分析)

試料採取位置 D-1トレンチ北側ピット

- D-1トレンチ北側ピットのD-1破砕帯付近で変質区分2の試料を採取しEPMA分析を行った。



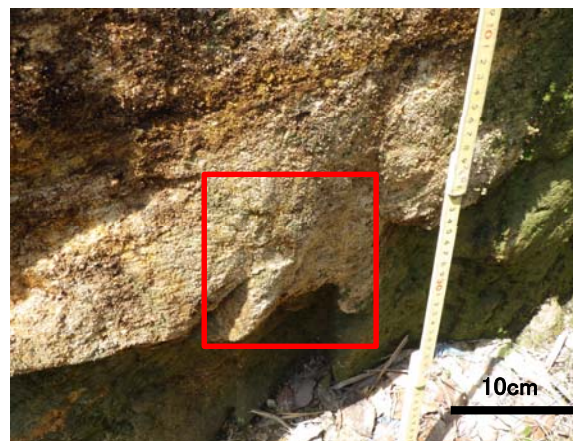
試料採取位置図



脱色が見られるが原岩組織は完全に残る。粘土細脈は見られない。変質区分は2である。

赤枠は試料採取位置

写真1. ③D-1破砕帯付近の試料採取位置(変質区分2)



脱色が見られるが原岩組織は完全に残る。粘土細脈は見られない。変質区分は2である。

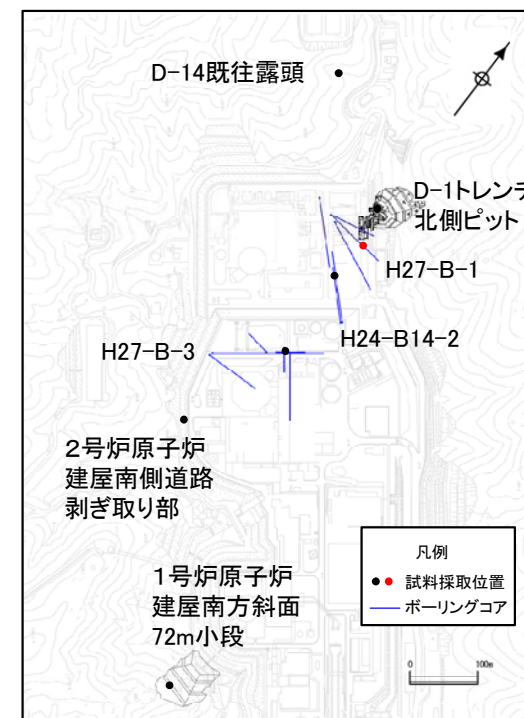
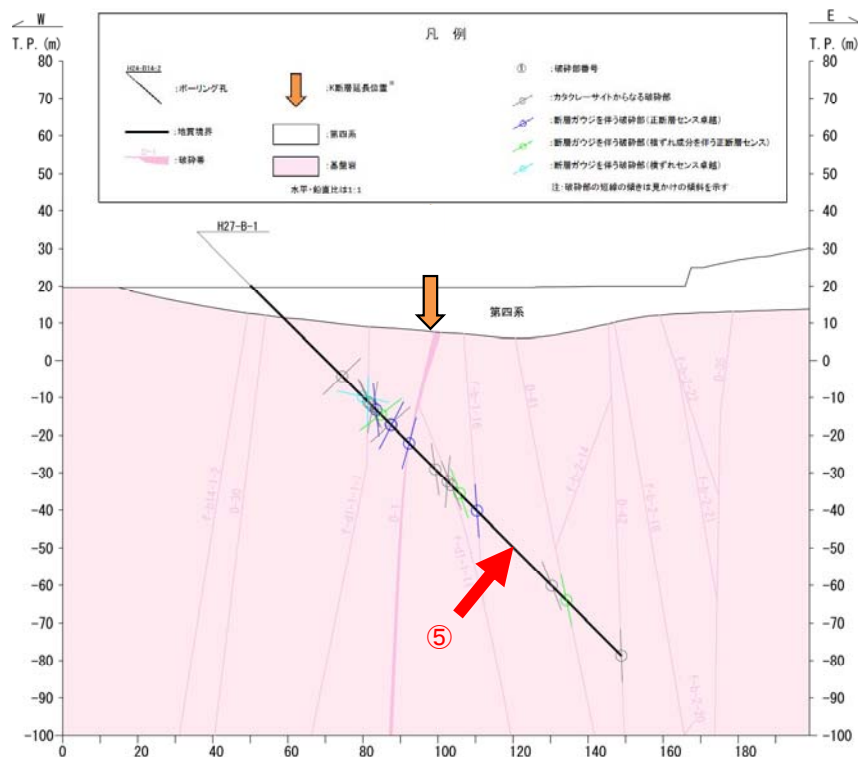
赤枠は試料採取位置

写真2. ④D-1破砕帯付近の試料採取位置(変質区分2)

1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 長石類のEPMA分析)

試料採取位置 H27-B-1 103.40~103.44m

- H27-B-1 103.40~103.44mのボーリングコアから新鮮部の試料を採取しEPMA分析を行った。



試料採取位置図



コア写真拡大範囲

⑤ H27-B-1 103.40~103.44m の新鮮岩/変質区分1(花崗斑岩)

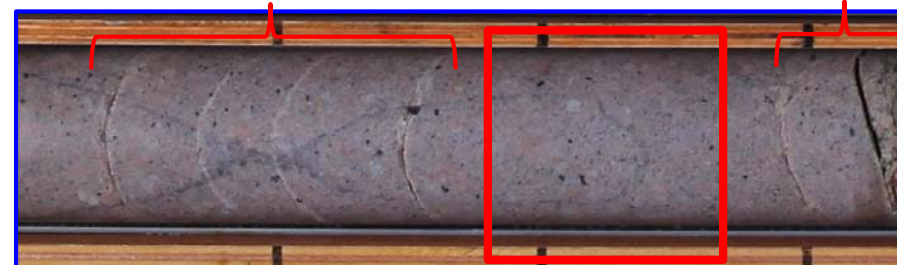
深度103.39~103.48m(赤枠範囲)

変質が見られないため変質区分1である。このうち深度103.40~103.44mで試料を採取した。

当該箇所は、柱状図の変質の記載では変質区分2となっている。コア長が10cm以下のため、柱状図の変質区分を分けていない。

割れ目沿いに白色化がみられる。
一部砂状部を挟在する。

割れ目沿いに
薄く砂状化がみられる。

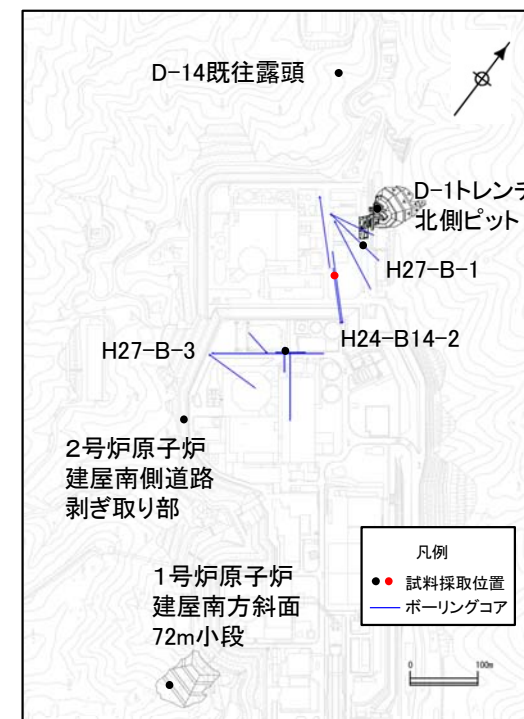
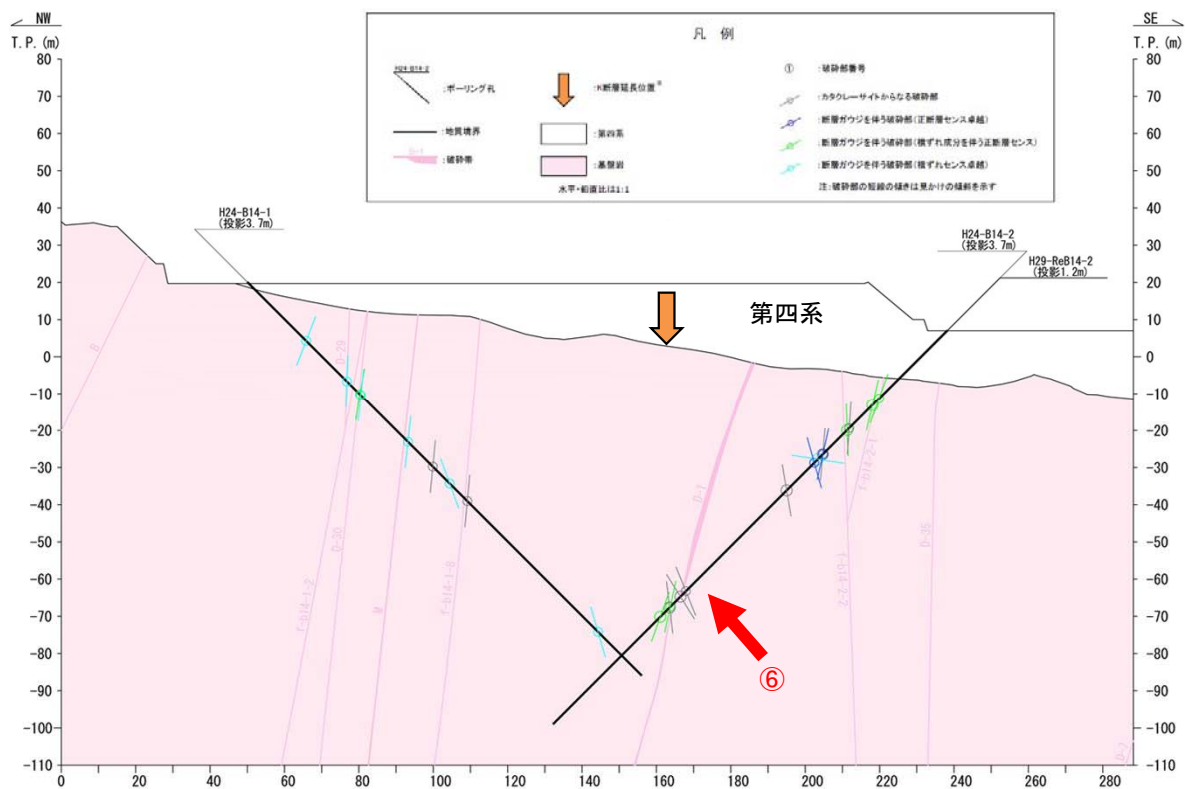


コア写真(拡大)

1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 長石類のEPMA分析)

試料採取位置 H24-B14-2 97.23~97.27m

- H24-B14-2 97.23~97.27mのボーリングコアから新鮮部の試料を採取しEPMA分析を行った。



試料採取位置図



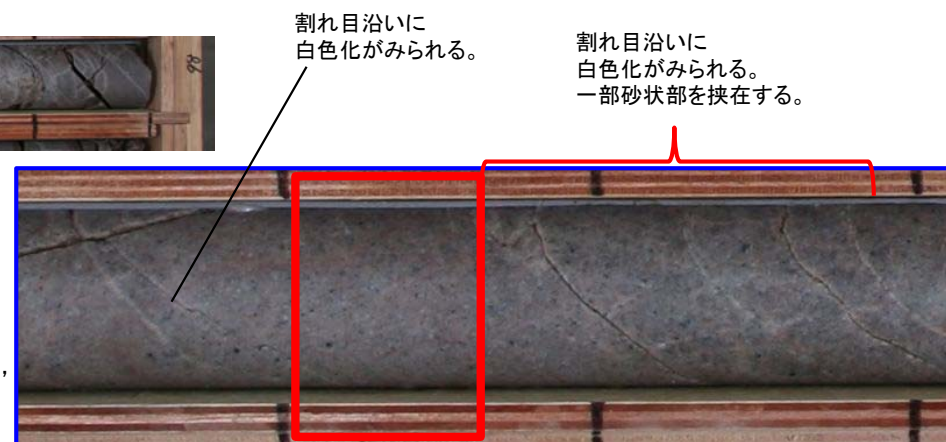
コア写真拡大範囲

⑥ H24-B14-2 97.23~97.27m の新鮮岩/変質区分1 (アプライト)

深度97.20~97.27m(赤枠範囲)

変質が見られないため変質区分1である。このうち深度97.23~97.27mで試料を採取した。当該箇所は、柱状図の変質の記載では変質区分2となっている。コア長が10cm以下のため、柱状図の変質区分を分けていない。

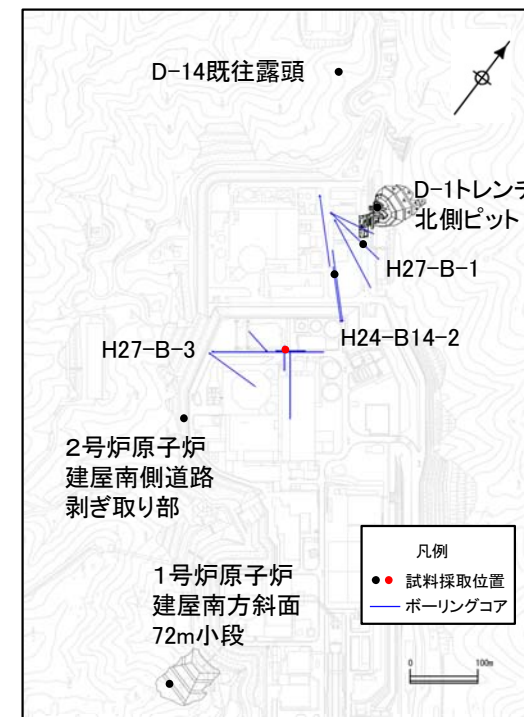
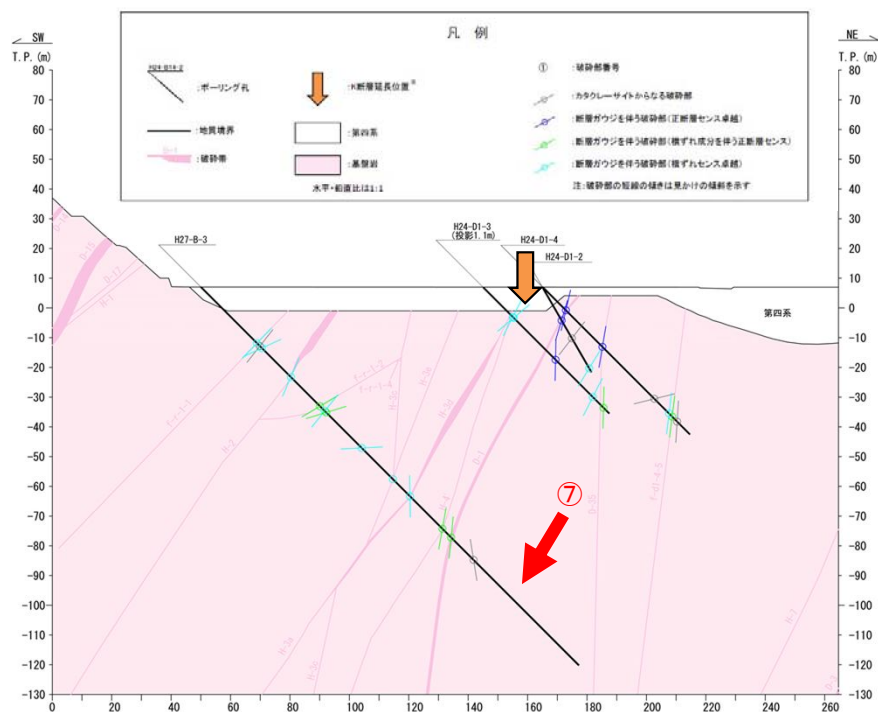
コア写真(拡大)



1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 長石類のEPMA分析)

試料採取位置 H27-B-3 147.36~147.40m

- H27-B-3 147.36~147.40mのボーリングコアから新鮮部の試料を採取しEPMA分析を行った。



試料採取位置図



コア写真拡大範囲

長石の白色化がみられる。

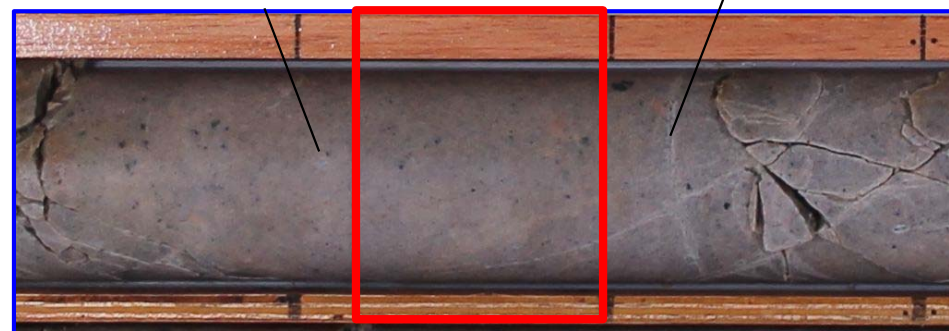
割れ目沿いがわずかに白色化している。

⑦ H27-B-3 147.36~147.40m の新鮮岩/変質区分1 (花崗斑岩)

深度147.31~147.40m(赤枠範囲)

変質が見られないため変質区分1である。このうち深度147.36~147.40mで試料を採取した。

当該箇所は、柱状図の変質の記載では変質区分2となっている。コア長が10cm以下のため、柱状図の変質区分を分けていない。

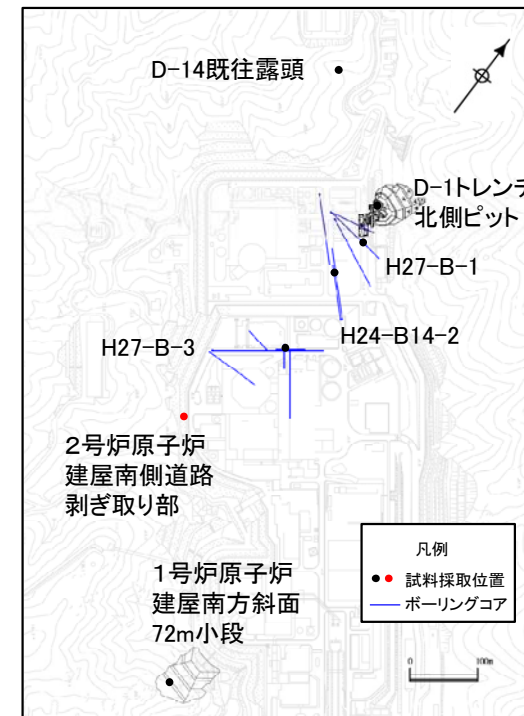


コア写真(拡大)

1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 長石類のEPMA分析)

試料採取位置 2号炉原子炉建屋南側道路剥ぎ取り部

- 2号炉原子炉建屋南側道路剥ぎ取り部のH-3a破碎帯付近で変質区分2の試料を採取しEPMA分析を行った。



試料採取位置図



原岩組織は完全に残る。
長石に白色化がみられるが、50%以上は非変質である。
粘土細脈は見られない。
変質区分は2である。

赤枠は試料採取位置

写真1. ⑧H-3a破碎帯付近の試料採取位置(変質区分2)



原岩組織は完全に残る。
一部の長石に白色化が見られるが全体には非変質である。
粘土細脈は見られない。
変質区分は2である。

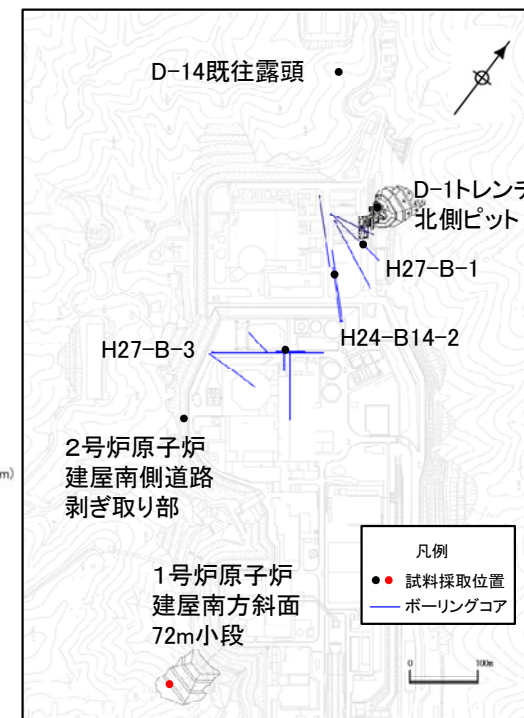
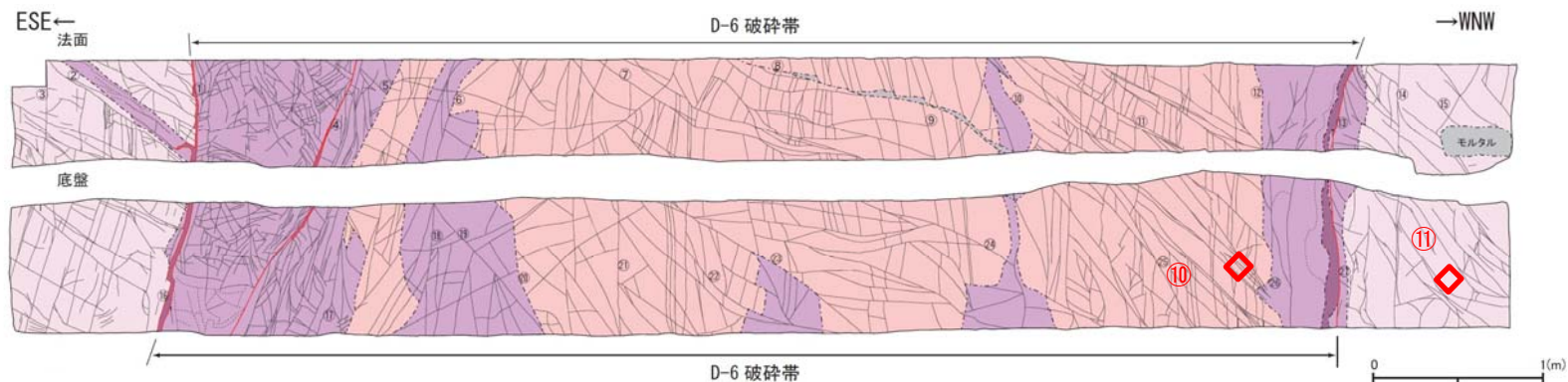
赤枠は試料採取位置

写真2. ⑨H-3a破碎帯付近の試料採取位置(変質区分2)

1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 長石類のEPMA分析)

試料採取位置 1号炉原子炉建屋南方斜面72m小段

- 1号炉原子炉建屋南方斜面72m小段のD-6破碎帯付近の変質区分3, 変質区分2で試料を採取しEPMA分析を行った。



試料採取位置図

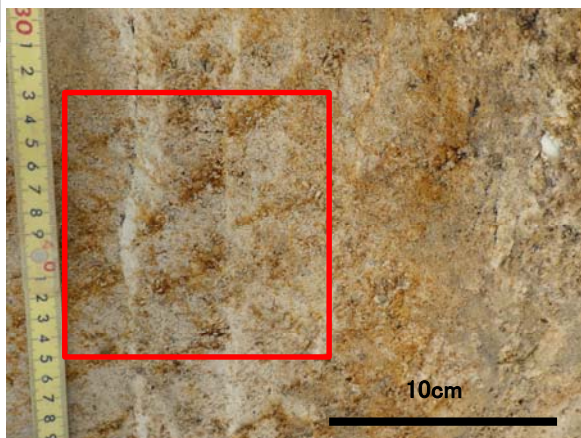


写真1. ⑩D-6破碎帯付近の試料採取位置(変質区分3)

幅数mm～数cm程度の白色の粘土細脈が網目状に分布する。原岩組織は残る。全体に軟質である。変質区分は3である。

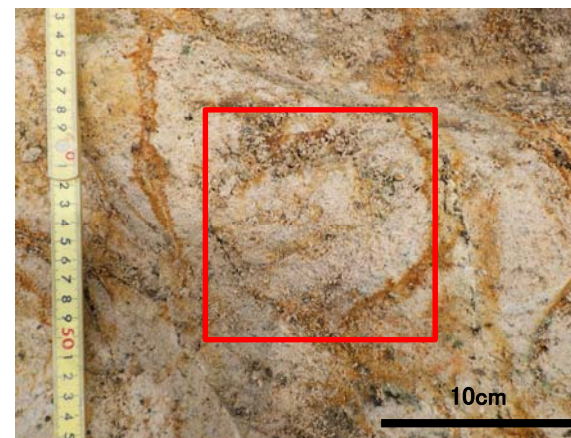


写真2. ⑪D-6破碎帯付近の試料採取位置(変質区分2)

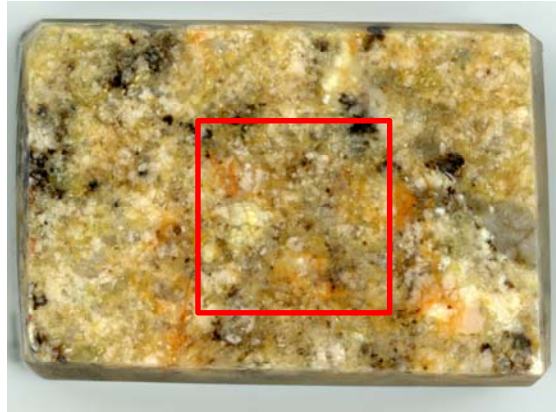
脱色が見られるが原岩組織は完全に残る。粘土細脈は見られない。変質区分は2である。

赤枠は試料採取位置

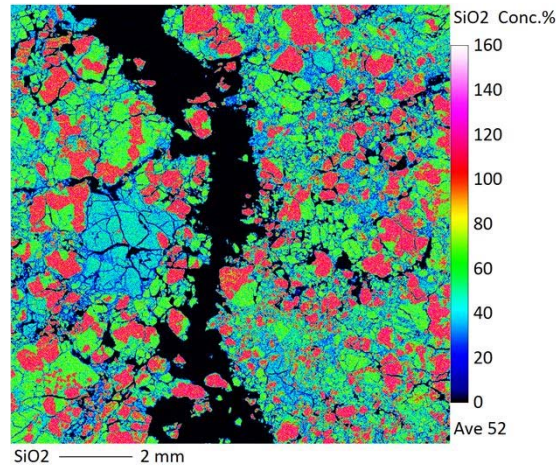
1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 長石類のEPMA分析)

EPMAマッピング ①D-14既往露頭 変質区分3

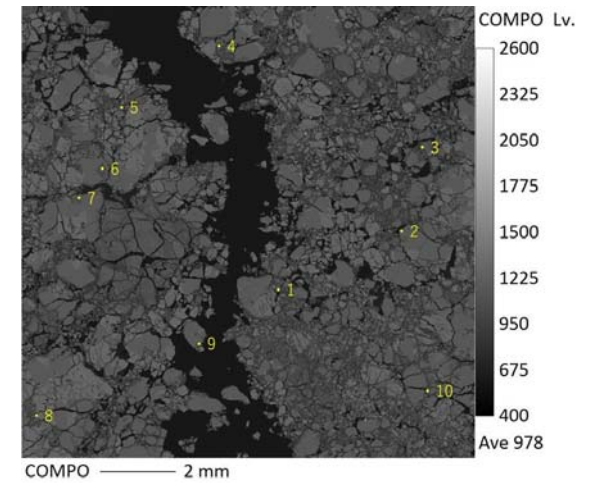
- Siに富む石英, Naに富む曹長石, Kに富むカリ長石に区分できる。
- マッピング範囲の斜長石で測定を行った。



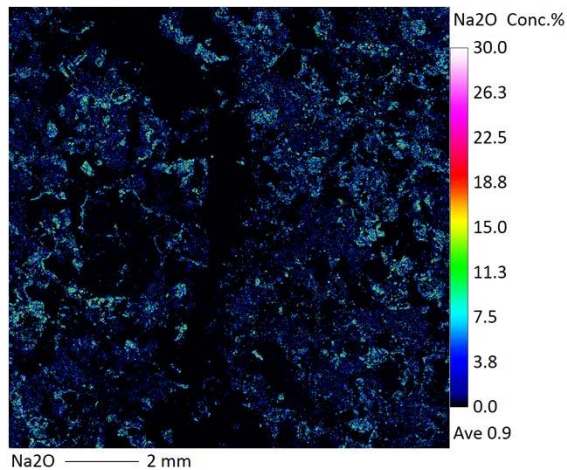
EPMAマッピング用試料
赤色枠内をマッピング



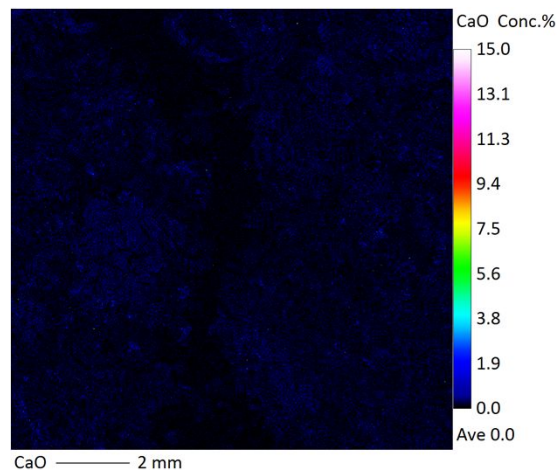
EPMAマッピング (Si)



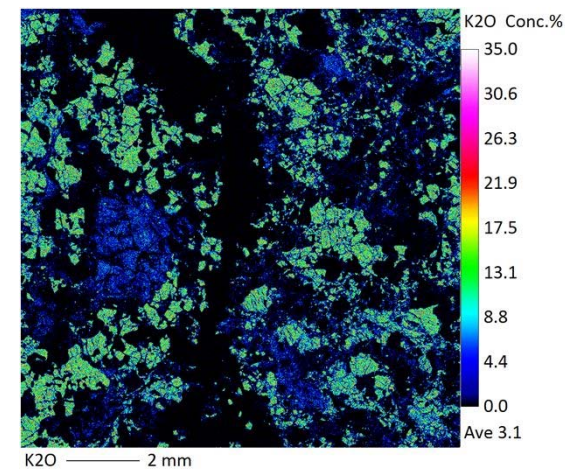
EPMAマッピング (COMPO像) 黄色
点は測定箇所



EPMAマッピング (Na)



EPMAマッピング (Ca)



EPMAマッピング (K)

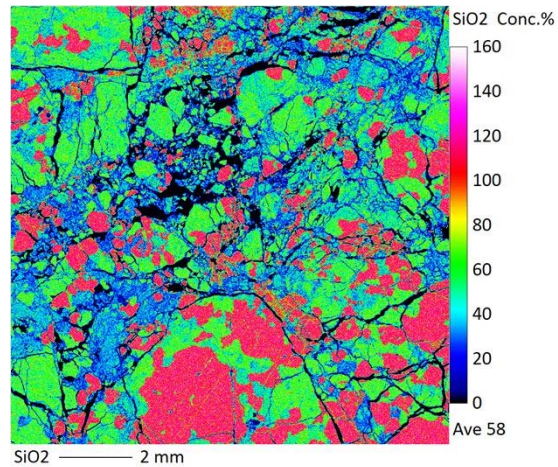
1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 長石類のEPMA分析)

EPMAマッピング ②D-14既往露頭 変質区分3

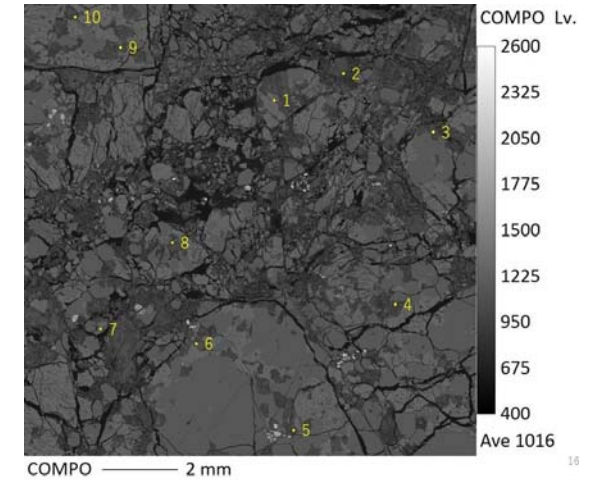
- Siに富む石英, Naに富む曹長石, Kに富むカリ長石に区分できる。
- マッピング範囲の斜長石で測定を行った。



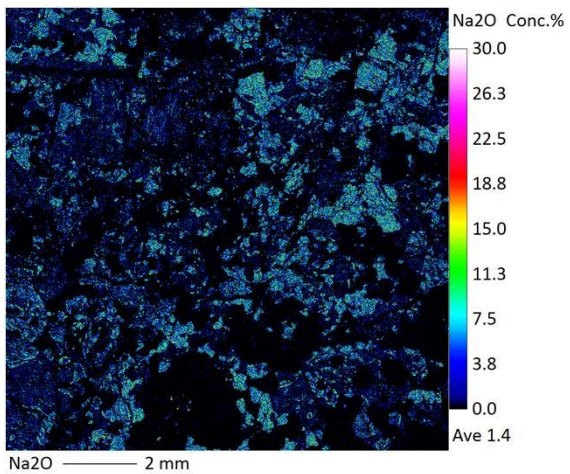
EPMAマッピング用試料
赤色枠内をマッピング



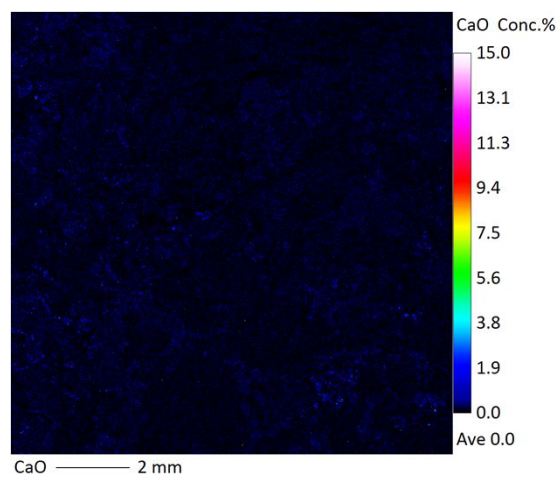
EPMAマッピング (Si)



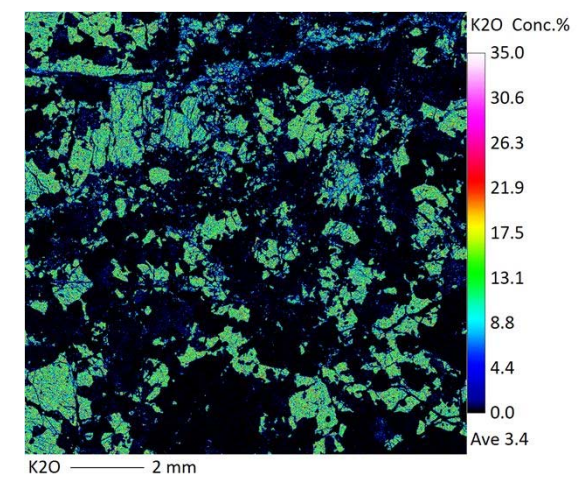
EPMAマッピング (COMPO像) 黄色
点は測定箇所



EPMAマッピング (Na)



EPMAマッピング (Ca)



EPMAマッピング (K)

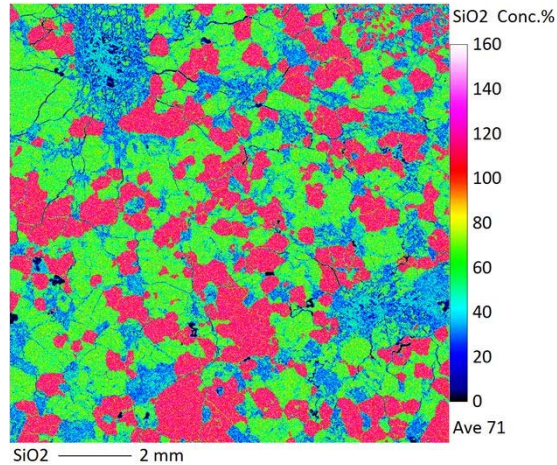
1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 長石類のEPMA分析)

EPMAマッピング ③D-1トレンチ北側ピット 変質区分2

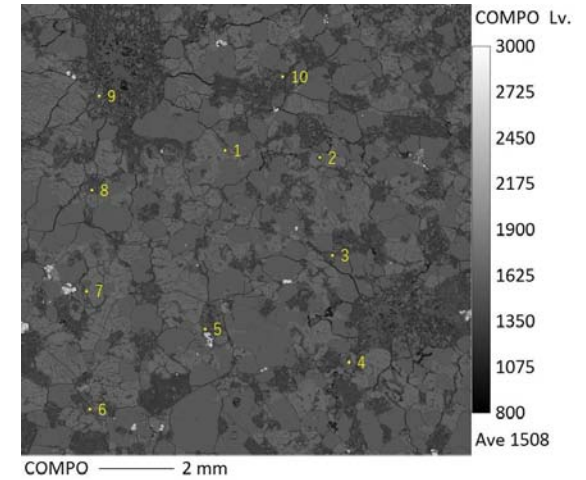
- Siに富む石英, Naに富む曹長石, Kに富むカリ長石に区分できる。
- マッピング範囲の斜長石で測定を行った。



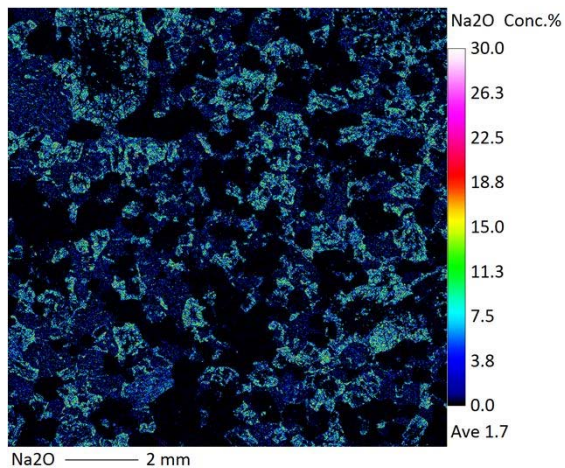
EPMAマッピング用試料
赤色枠内をマッピング



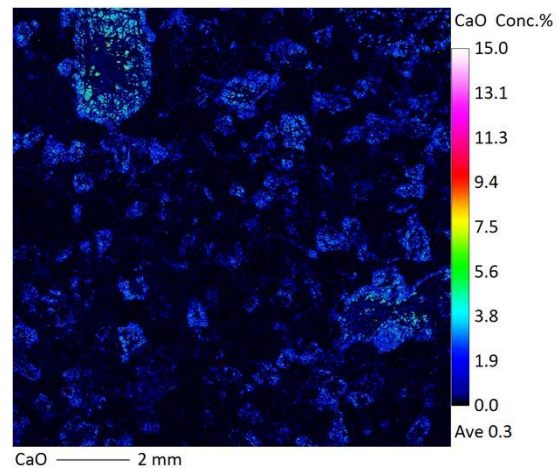
EPMAマッピング (Si)



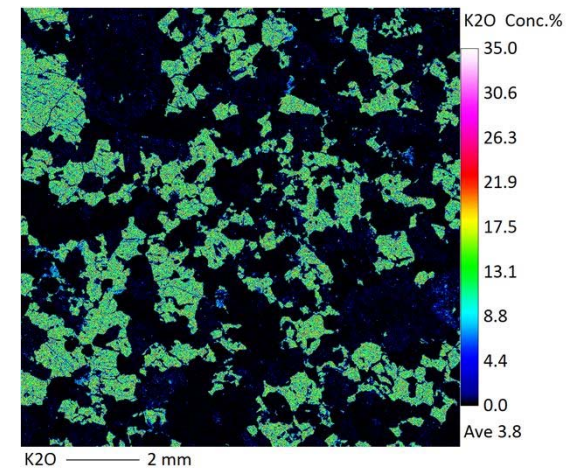
EPMAマッピング (COMPO像) 黄色
点は測定箇所



EPMAマッピング (Na)



EPMAマッピング (Ca)



EPMAマッピング (K)

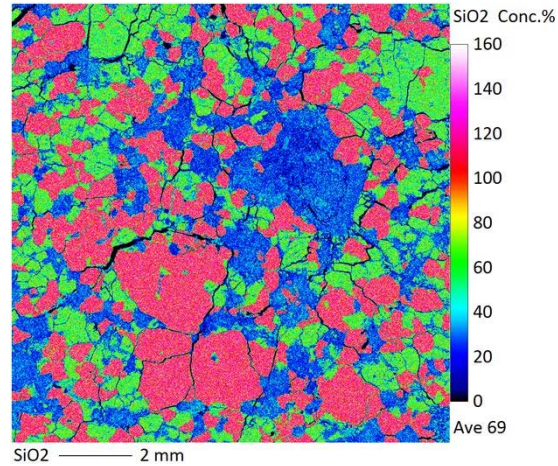
1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 長石類のEPMA分析)

EPMAマッピング ④D-1トレンチ北側ピット 変質区分2

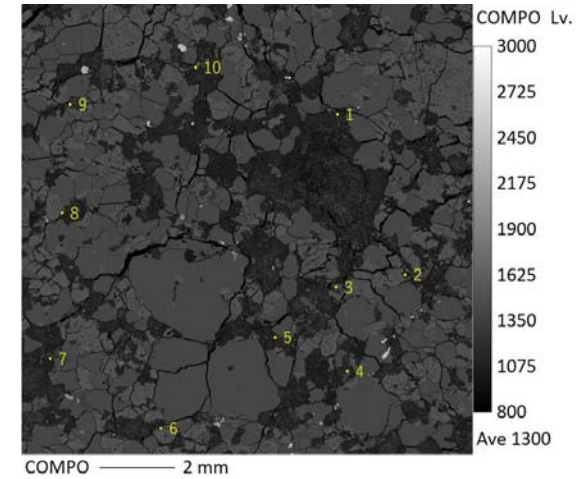
- Siに富む石英, Naに富む曹長石, Kに富むカリ長石に区分できる。
- マッピング範囲の斜長石で測定を行った。



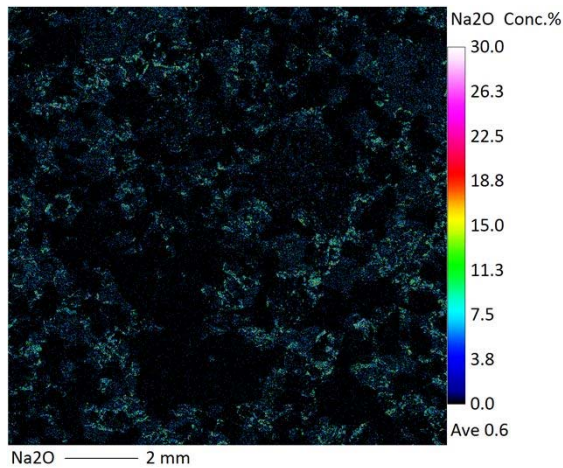
EPMAマッピング用試料
赤色枠内をマッピング



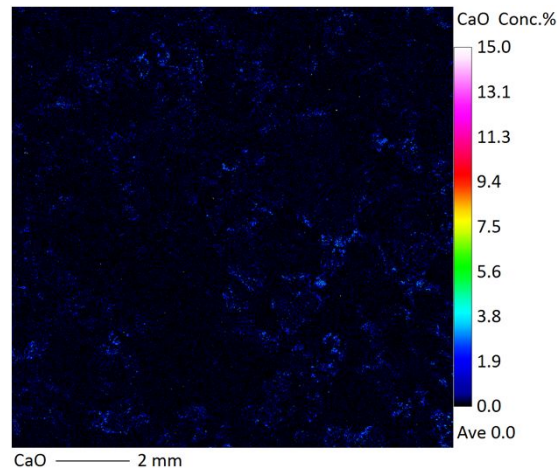
EPMAマッピング (Si)



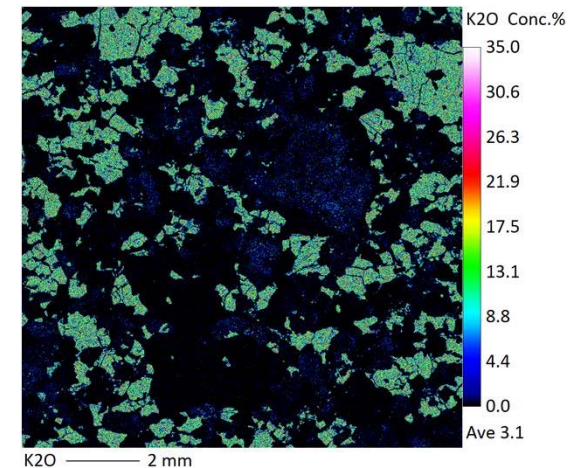
EPMAマッピング (COMPO像) 黄色
点は測定箇所



EPMAマッピング (Na)



EPMAマッピング (Ca)



EPMAマッピング (K)

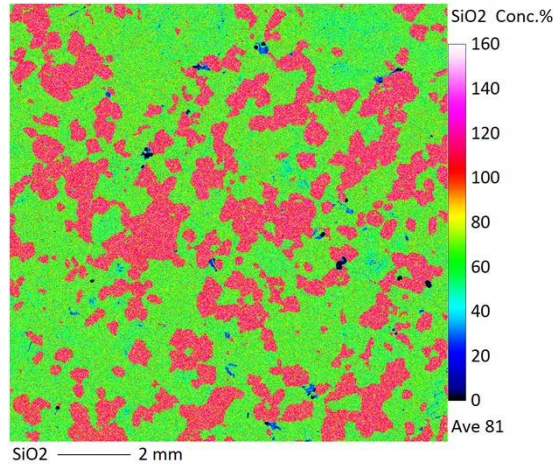
1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討:長石類のEPMA分析)

EPMAマッピング ⑤H27-B-1 103.40~103.44m 変質区分1

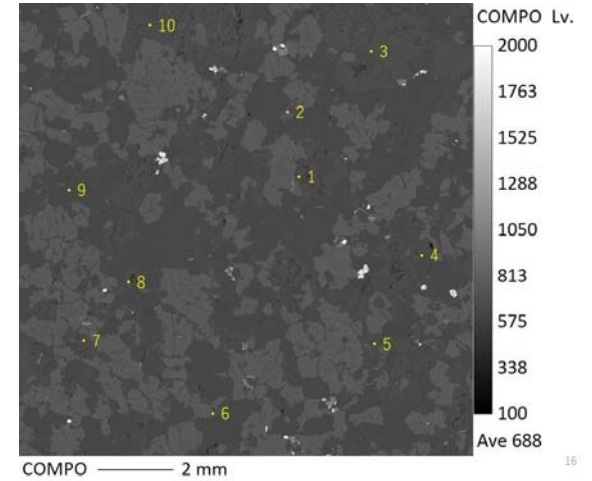
- Siに富む石英, Naに富む曹長石, Kに富むカリ長石に区分できる。
- マッピング範囲の斜長石で測定を行った。



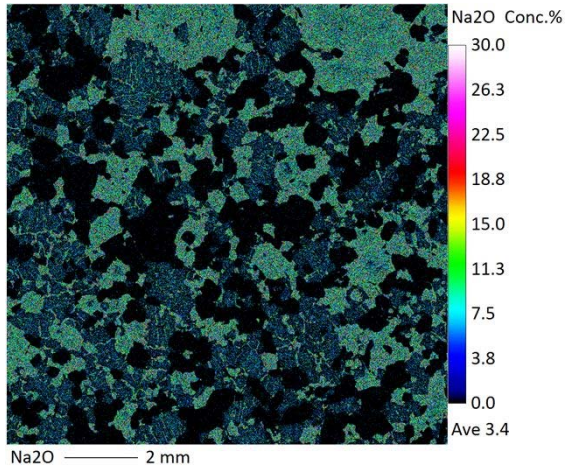
EPMAマッピング用試料
赤色枠内をマッピング



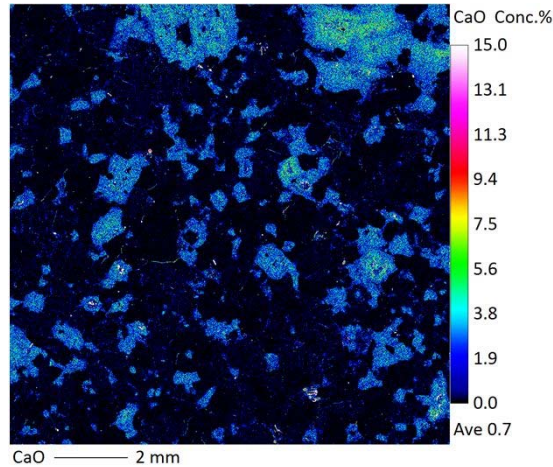
EPMAマッピング (Si)



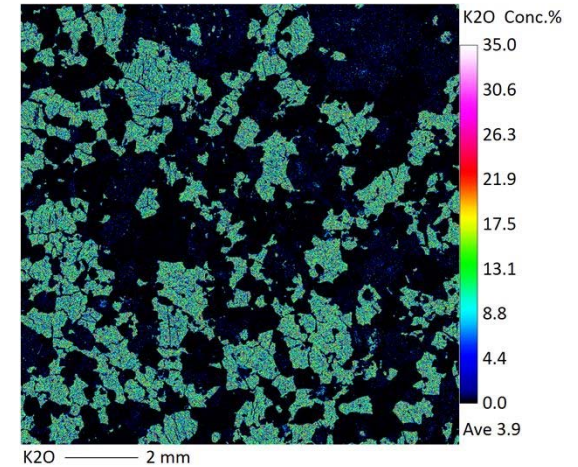
EPMAマッピング (COMPO像) 黄色
点は測定箇所



EPMAマッピング (Na)



EPMAマッピング (Ca)

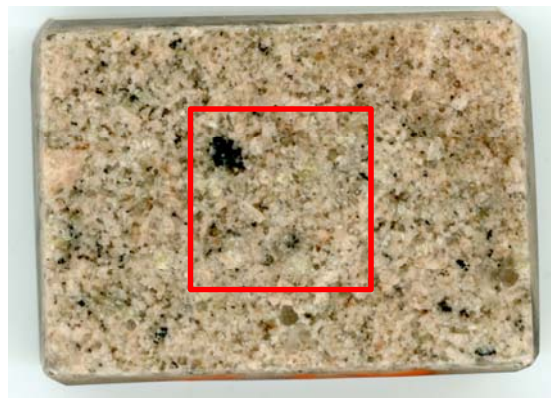


EPMAマッピング (K)

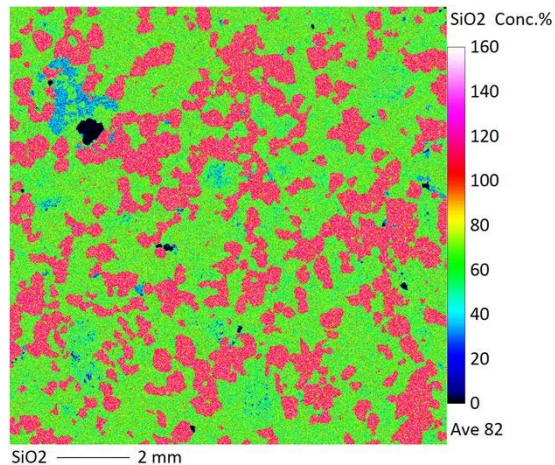
1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 長石類のEPMA分析)

EPMAマッピング ⑥H24-B14-2 97.23~97.27m 変質区分1

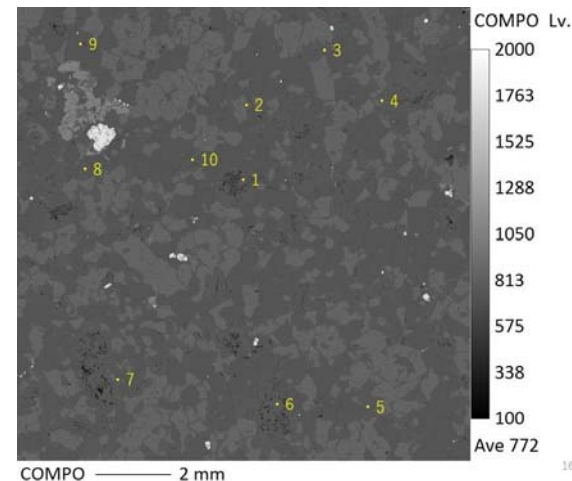
- Siに富む石英, Naに富む曹長石, Kに富むカリ長石に区分できる。
- マッピング範囲の斜長石で測定を行った。



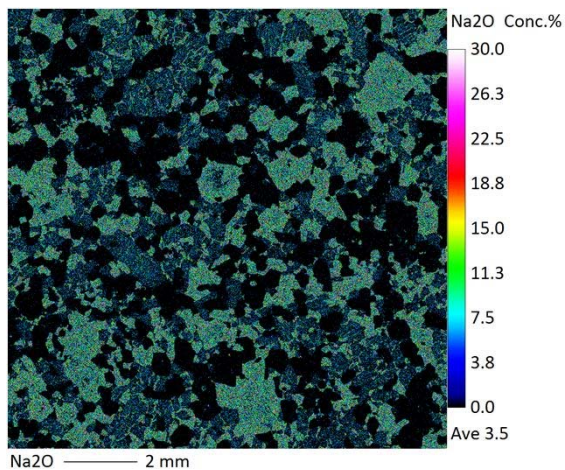
EPMAマッピング用試料
赤色枠内をマッピング



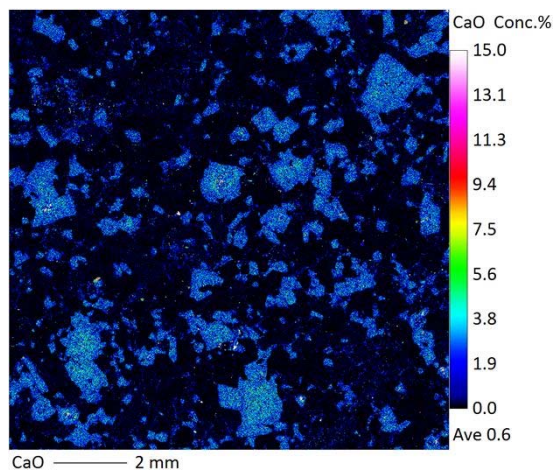
EPMAマッピング (Si)



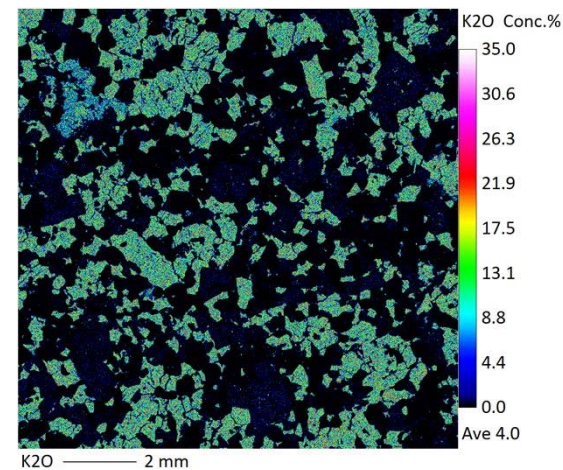
EPMAマッピング (COMPO像) 黄色
点は測定箇所



EPMAマッピング (Na)



EPMAマッピング (Ca)



EPMAマッピング (K)

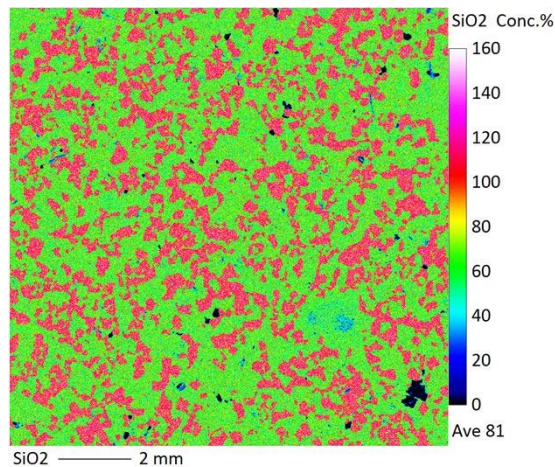
1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討:長石類のEPMA分析)

EPMAマッピング ⑦H27-B-3 147.36~147.40m 変質区分1

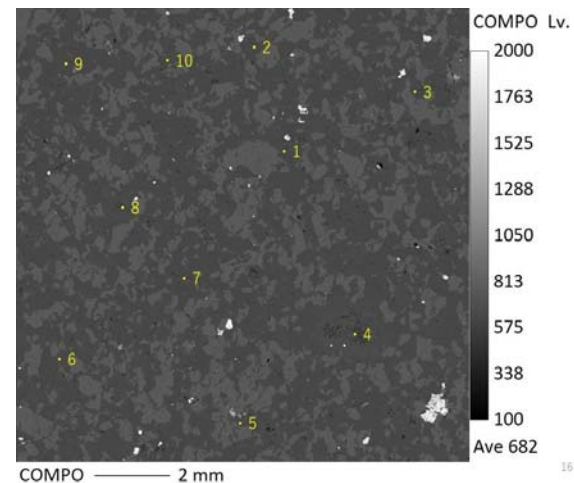
- Siに富む石英, Naに富む曹長石, Kに富むカリ長石に区分できる。
- マッピング範囲の斜長石で測定を行った。



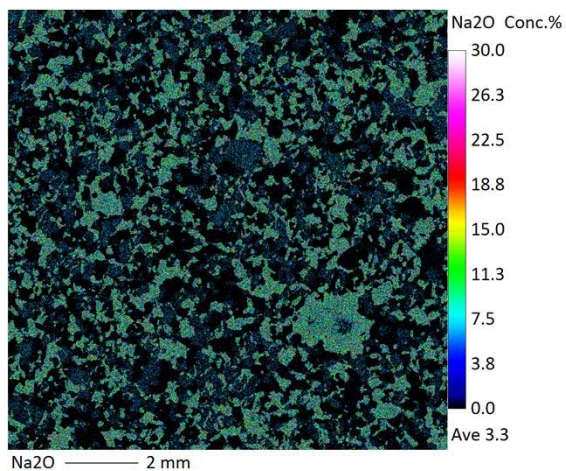
EPMAマッピング用試料
赤色枠内をマッピング



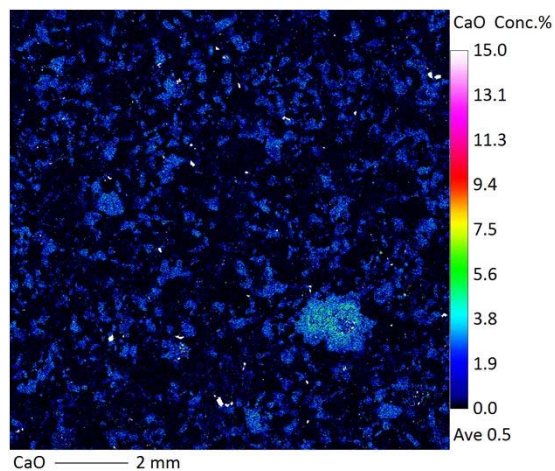
EPMAマッピング (Si)



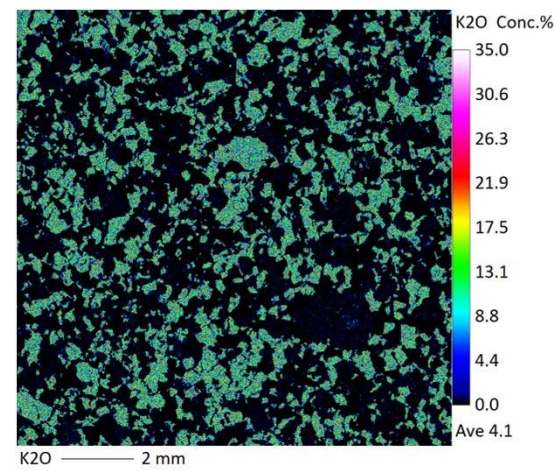
EPMAマッピング (COMPO像) 黄色
点は測定箇所



EPMAマッピング (Na)



EPMAマッピング (Ca)



EPMAマッピング (K)

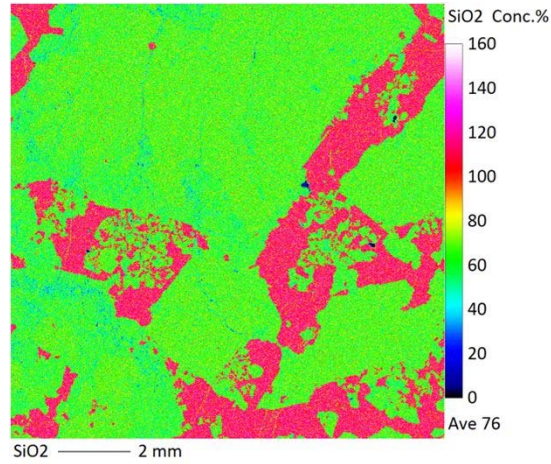
1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 長石類のEPMA分析)

EPMAマッピング ⑧2号炉原子炉建屋南側道路剥ぎ取り部 変質区分2

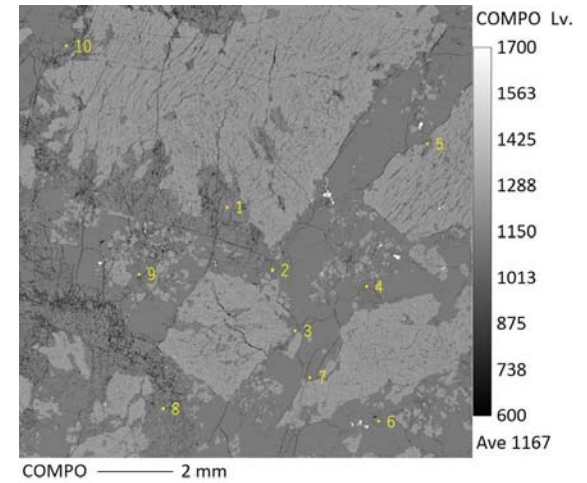
- Siに富む石英, Naに富む曹長石, Kに富むカリ長石に区分できる。
- マッピング範囲の斜長石で測定を行った。



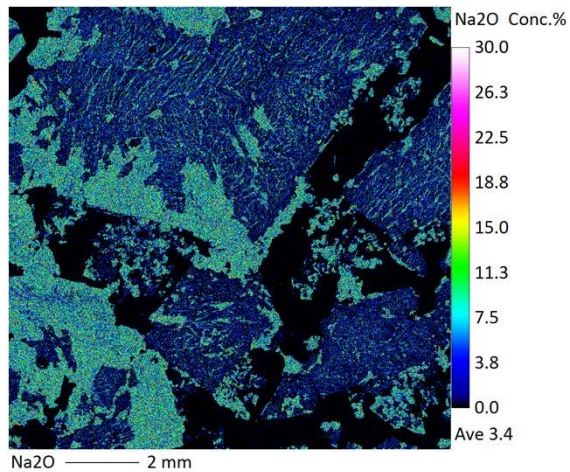
EPMAマッピング用試料
赤色枠内をマッピング



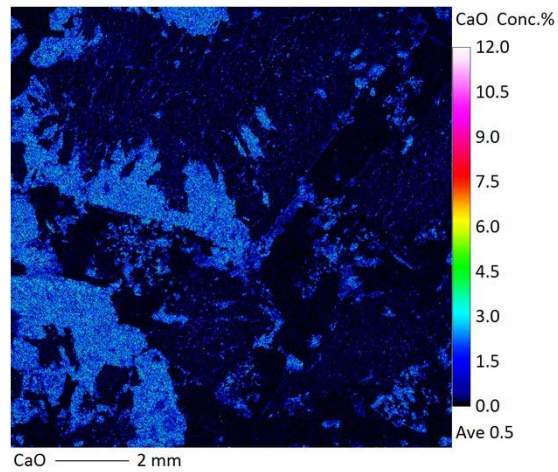
EPMAマッピング (Si)



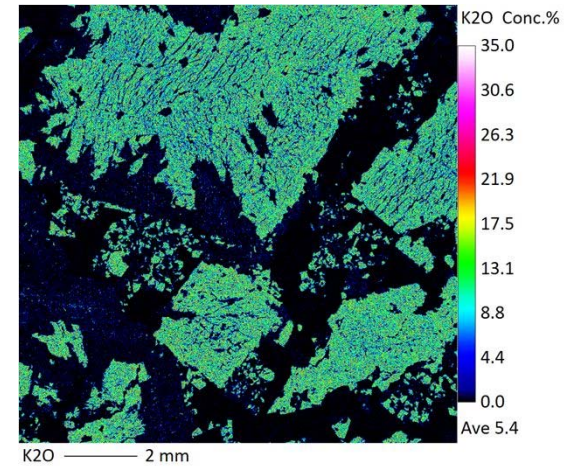
EPMAマッピング (COMPO像) 黄色
点は測定箇所



EPMAマッピング (Na)



EPMAマッピング (Ca)

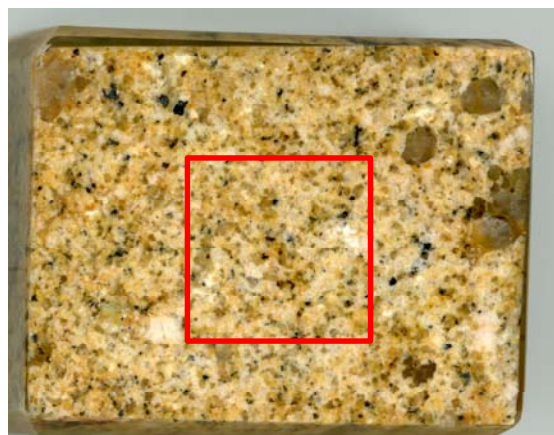


EPMAマッピング (K)

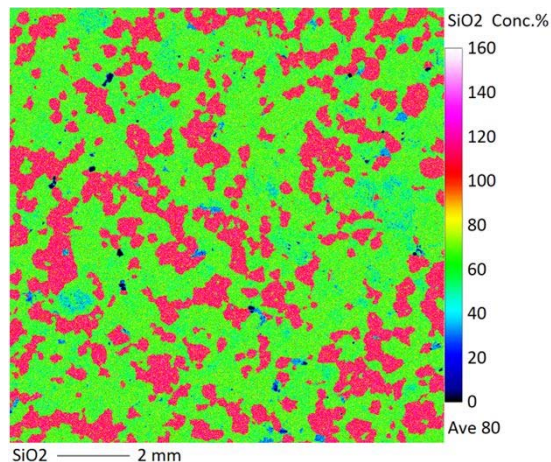
1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 長石類のEPMA分析)

EPMAマッピング ⑨2号炉原子炉建屋南側道路剥ぎ取り部 変質区分2

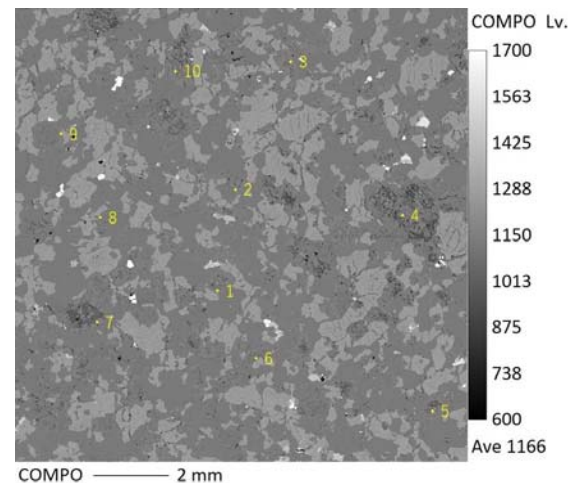
- Siに富む石英, Naに富む曹長石, Kに富むカリ長石に区分できる。
- マッピング範囲の斜長石で測定を行った。



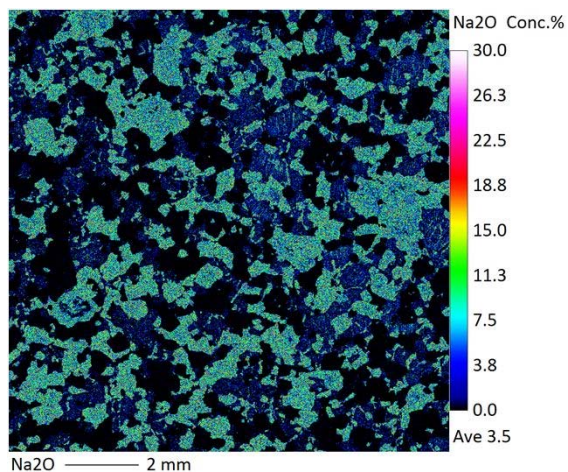
EPMAマッピング用試料
赤色枠内をマッピング



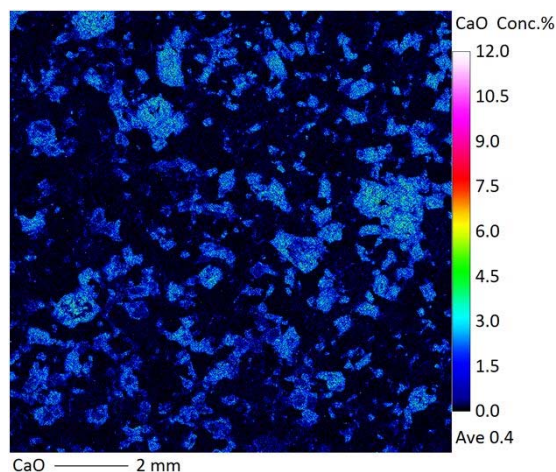
EPMAマッピング (Si)



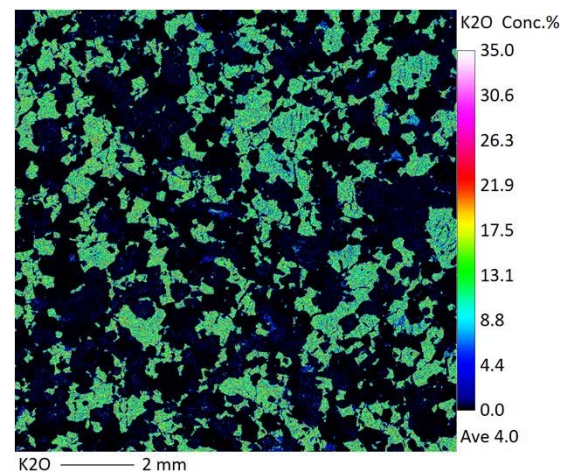
EPMAマッピング (COMPO像) 黄色
点は測定箇所



EPMAマッピング (Na)



EPMAマッピング (Ca)



EPMAマッピング (K)

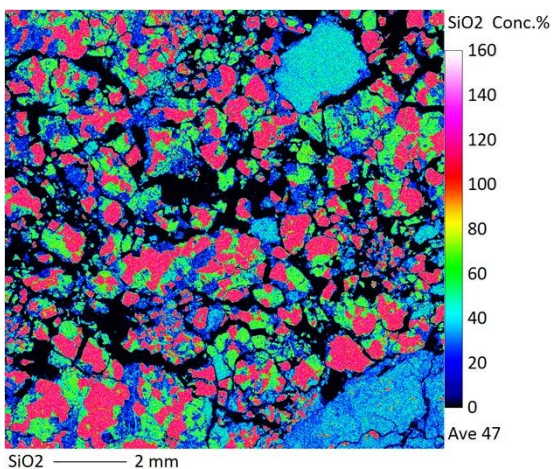
1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 長石類のEPMA分析)

EPMAマッピング ⑩1号炉原子炉建屋南方斜面72m小段 変質区分3

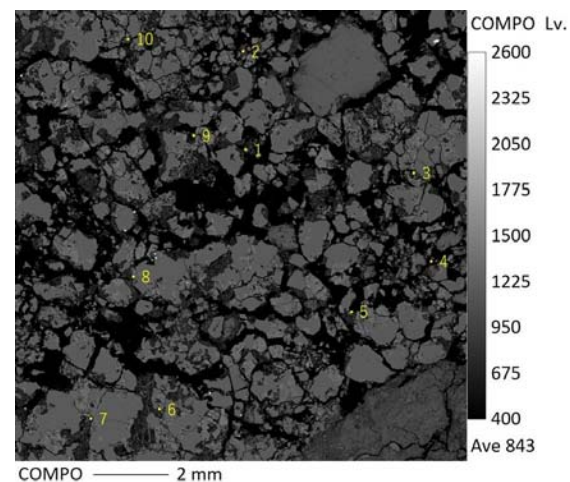
- Siに富む石英, Naに富む曹長石, Kに富むカリ長石に区分できる。
- マッピング範囲の斜長石で測定を行った。



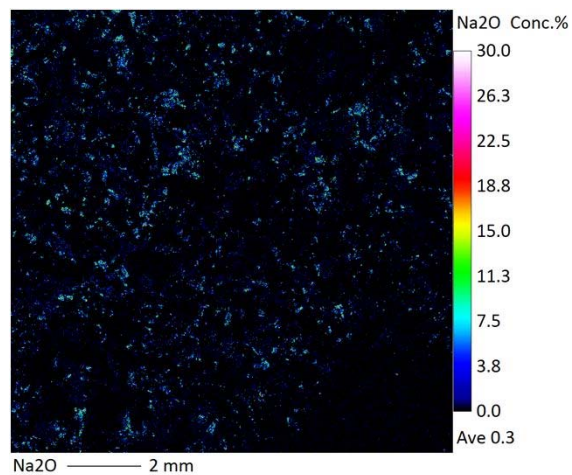
EPMAマッピング用試料
赤色枠内をマッピング



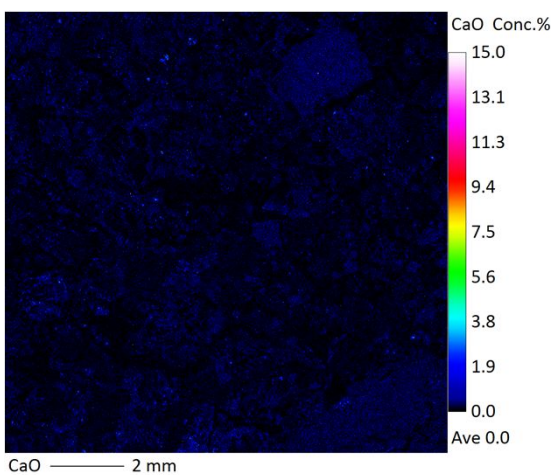
EPMAマッピング (Si)



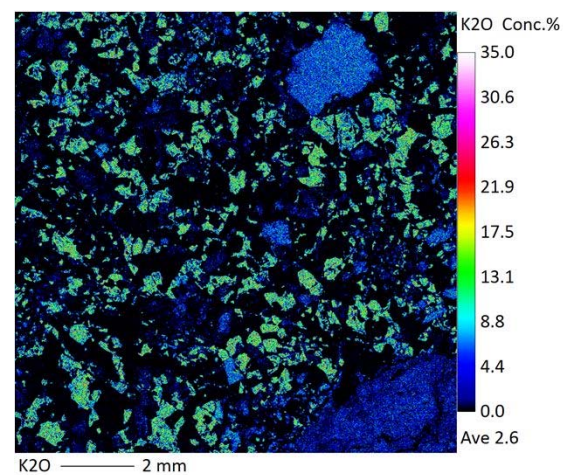
EPMAマッピング (COMPO像) 黄色
点は測定箇所



EPMAマッピング (Na)



EPMAマッピング (Ca)

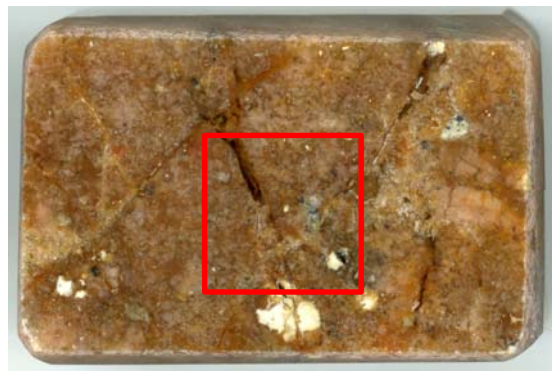


EPMAマッピング (K)

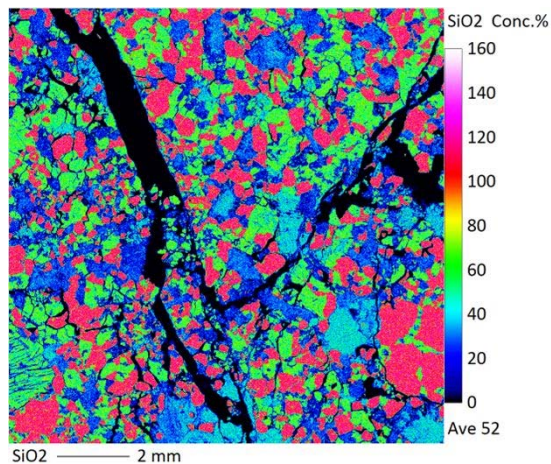
1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 長石類のEPMA分析)

EPMAマッピング ⑪1号炉原子炉建屋南方斜面72m小段 変質区分2

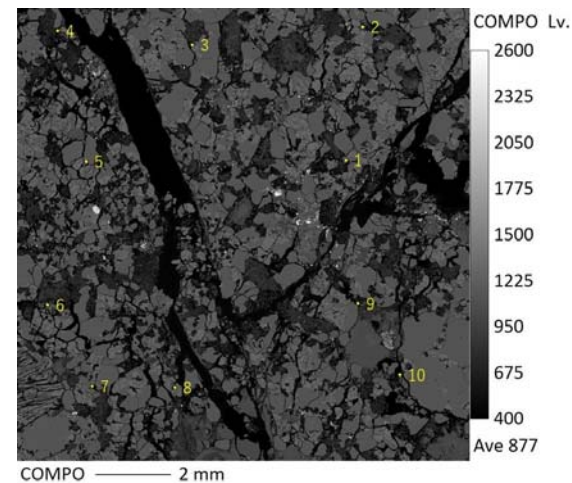
- Siに富む石英, Naに富む曹長石, Kに富むカリ長石に区分できる。
- マッピング範囲の斜長石で測定を行った。



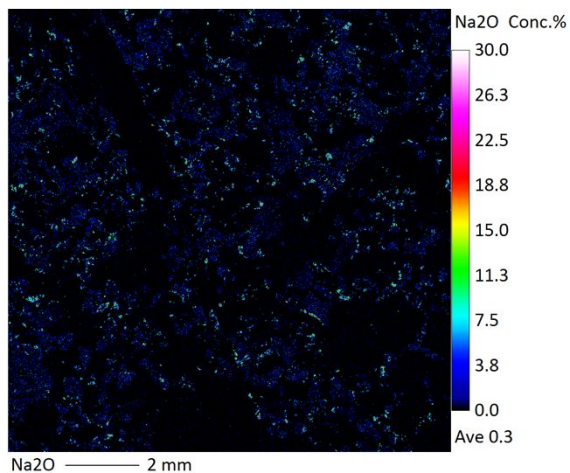
EPMAマッピング用試料
赤色枠内をマッピング



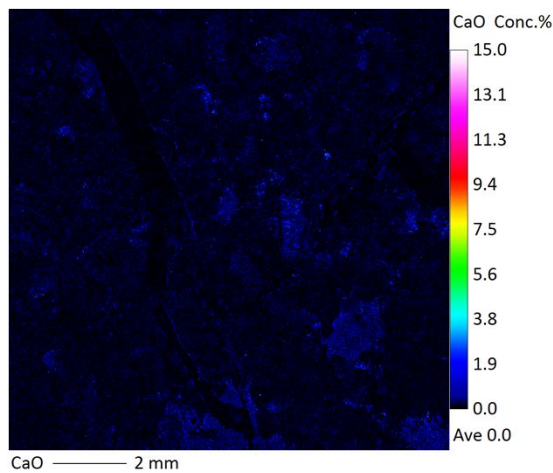
EPMAマッピング (Si)



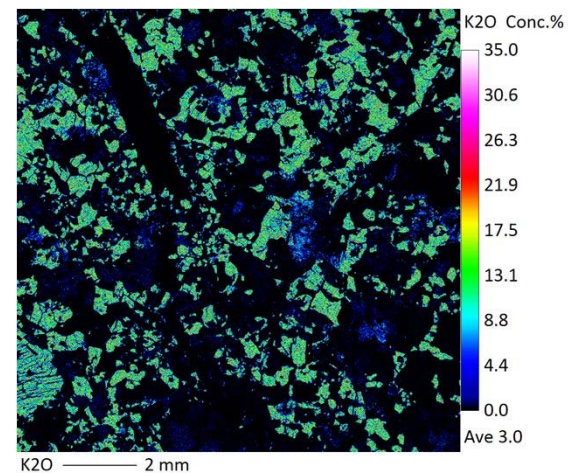
EPMAマッピング (COMPO像) 黄色
点は測定箇所



EPMAマッピング (Na)



EPMAマッピング (Ca)



EPMAマッピング (K)

1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 粘土鉱物の生成条件に関する文献調査結果)

- 破碎部について、EPMA分析で斜長石の曹長石化が進んでいる状況やX線回折分析で雲母粘土鉱物が認められる状況は、井上(2003)によれば比較的高温の熱水活動に伴ってもたらされた状況であると判断した。

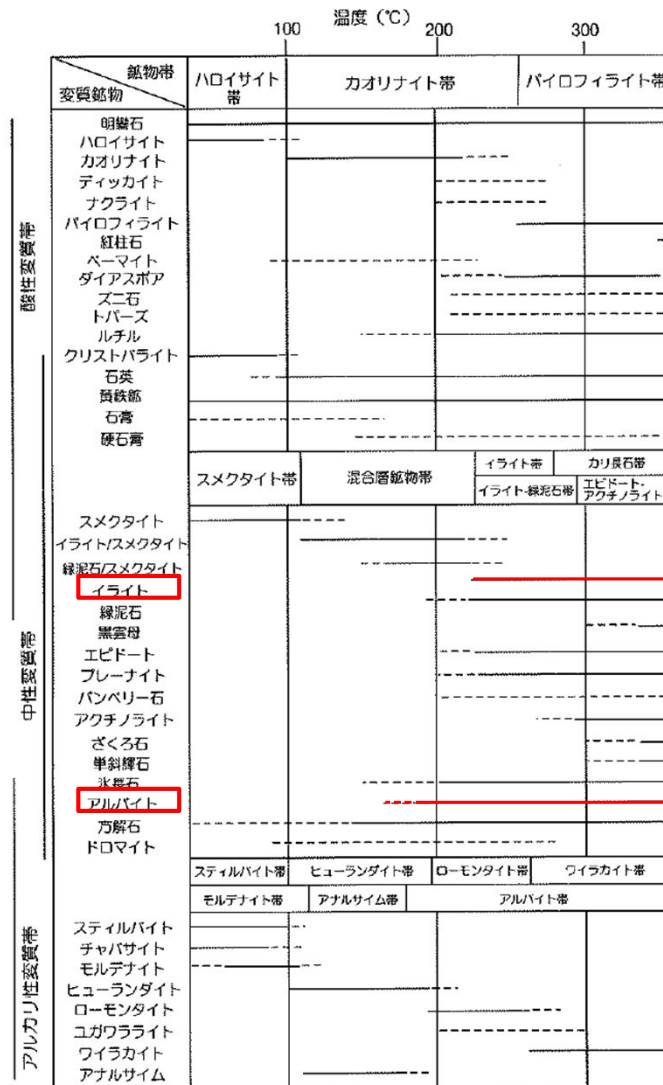


図9 各変質帯に特徴的な鉱物とそれらの概略の生成温度(吉村(2001)を改変)。

井上(2003) : 熱水変質作用. 資源環境地質学-地球史と環境汚染を読む-, 資源地質学会, 195-202. より引用

1.2.2 地質層序 (②最新の變質作用の時期の検討 K-Ar年代測定 測定位置及び測定結果)

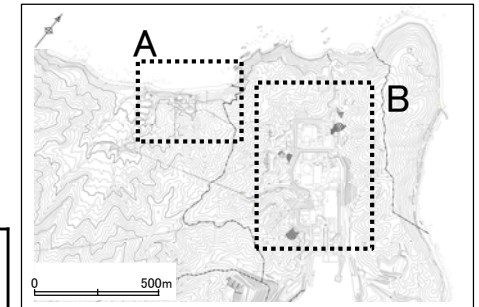
- 熱水變質作用によって生成された江若花崗岩中や破碎帯に見られる粘土細脈に含まれる粘土鉱物のカリウム・アルゴン法年代測定値は約51.0~58.1Maであり、熱水變質作用の影響により江若花崗岩の形成年代(約64.2~66.6Ma)よりも若干若い年代を示している。
- ドレライト中の粘土細脈に含まれる粘土鉱物のカリウム・アルゴン法年代測定値は約18.9Maであり、熱水變質作用の影響によりドレライトの形成年代(約21.1Ma)よりも若干若い年代を示している。

試料採取位置				測定物	カリウム含有量 (wt.%)	放射性起源 ⁴⁰ Ar (10 ⁻⁸ cc STP/g)	K-Ar年代 (Ma)	非放射性起源 ⁴⁰ Ar (%)
江若花崗岩中	黒雲母 花崗岩	社有地内3, 4号機 試掘坑A1	65m付近	カリ長石	10.5	277	66.6±3.3 ^{※3}	8.6
					10.4	274		10.9
	花崗斑岩	社有地内3, 4号機 試掘坑A3	337m付近	カリ長石	10.0	265	66.3±3.3 ^{※3}	9.6
					10.0	260		11.0
	アプライト	社有地内3, 4号機 試掘坑B1	260m付近	カリ長石	8.45	218	64.2±3.2 ^{※3}	14.2
					8.44	211		14.9
	D-1 破碎帯	D-1トレンチ 北側ピット	—	Mca, Sme他 ^{※1}	1.571±0.031	333.3±5.0	53.9±1.3	29.5
0.514±0.010					116.4±1.8	57.4±1.4		30.8
H-3a 破碎帯	2号炉原子炉 建屋南側道路 剥ぎ取り部	—	Sme他 ^{※1}	0.458±0.009	104.9±1.3	58.1±1.4	20.4	
變質部	H24-D1-1	59.00~ 59.10m	Sme他 ^{※1}	2.476±0.050	497.4±5.7	51.0±1.2	13.5	
				1.852±0.037	390.4±6.2		53.5±1.3	32.8
ドレ ライト中	ドレライト	社有地内3, 4号機 試験坑m	15m付近	全岩	0.51	41	21.1±1.1 ^{※3}	49.0
					0.51	43		54.6
	f-25 破碎帯	社有地内3, 4号機 試験坑m	18m付近	Sme他 ^{※2}	0.39	29	18.9±2.3 ^{※3}	75.1
0.38	28	79.6						

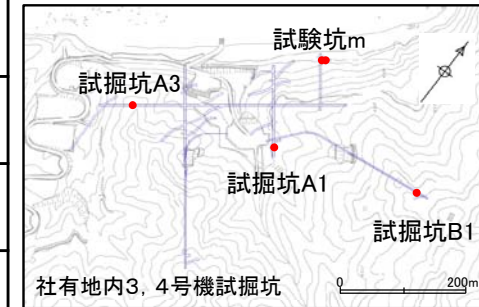
※1 粘土鉱物を対象とした分析については沈降法・遠心分離の前処理をして、2μm以下にした粒子を測定した。

※2 篩を用いて50~100μmの粒子を選定し、測定した。

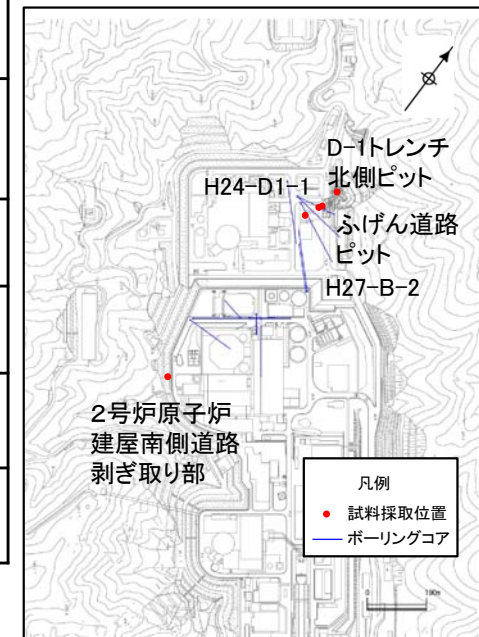
※3 それぞれの試料を分割して測定を行い、平均した値を年代値とした。



全体位置図



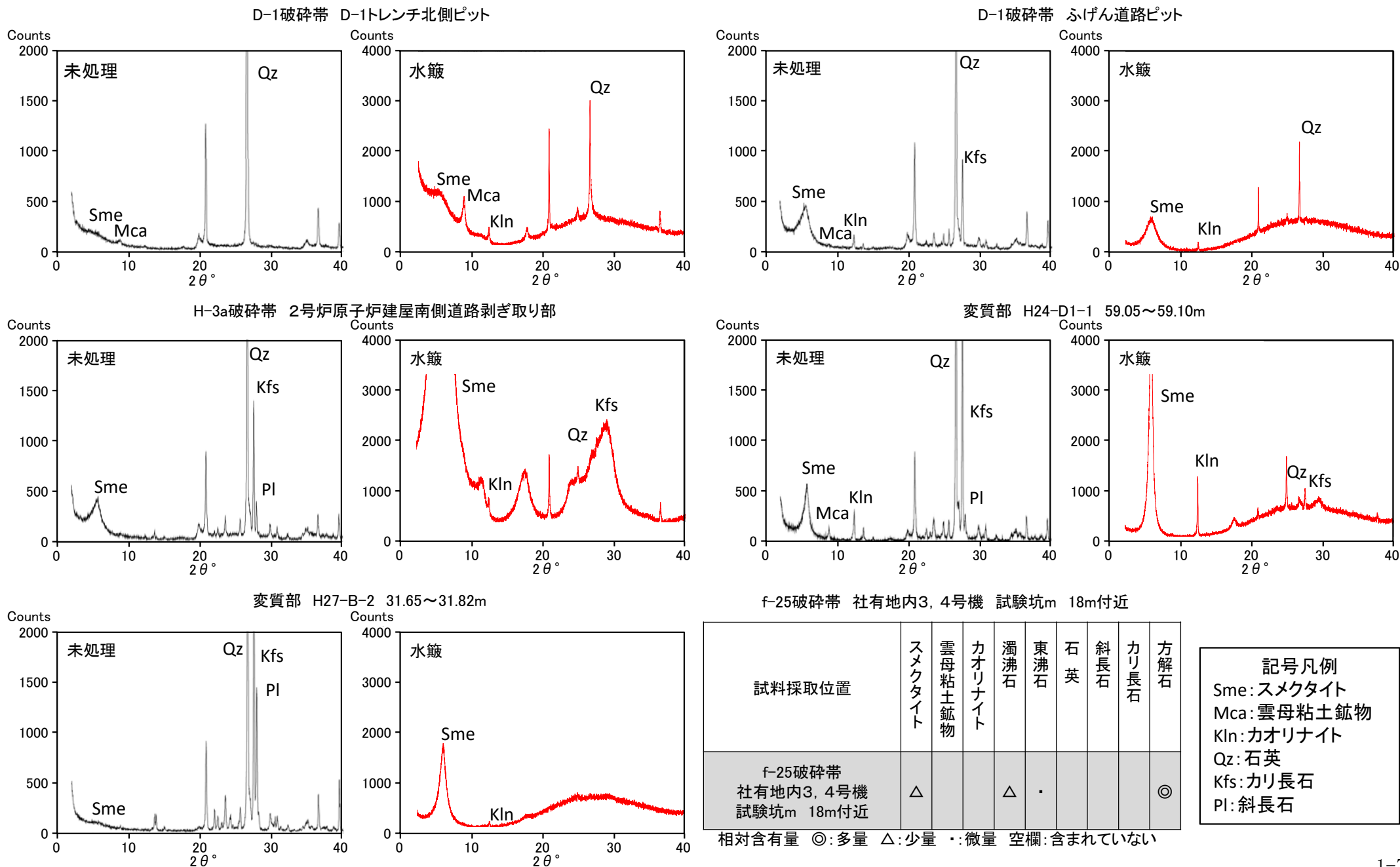
試料採取位置図 (A)



試料採取位置図 (B)

1.2.2 地質層序 (②最新の變質作用の時期の検討 K-Ar年代測定 測定試料のXRD分析)

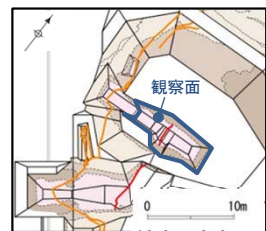
- 破碎部及び變質部のK-Ar年代測定試料について、**熱水變質作用によって生成されたと判断される粘土鉱物が含まれることをX線回折分析によって確認した。**
- なお、f-25破碎帯の試料を除き、水簸により粘土鉱物を抽出してK-Ar年代測定を行った。



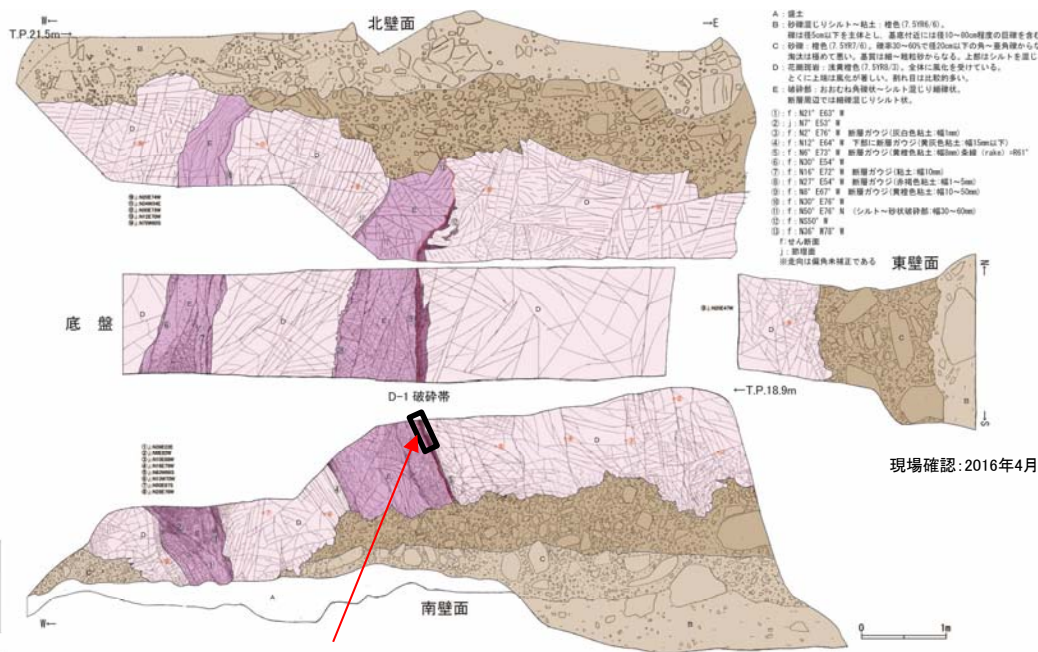
1.2.2 地質層序 (②最新の變質作用の時期の検討 K-Ar年代測定)

試料採取位置 D-1トレンチ北側ピット D-1破碎帯

- D-1トレンチ北側ピットでD-1破碎帯の断層ガウジのうち最新活動ゾーンの試料を採取しK-Ar年代測定を行った。

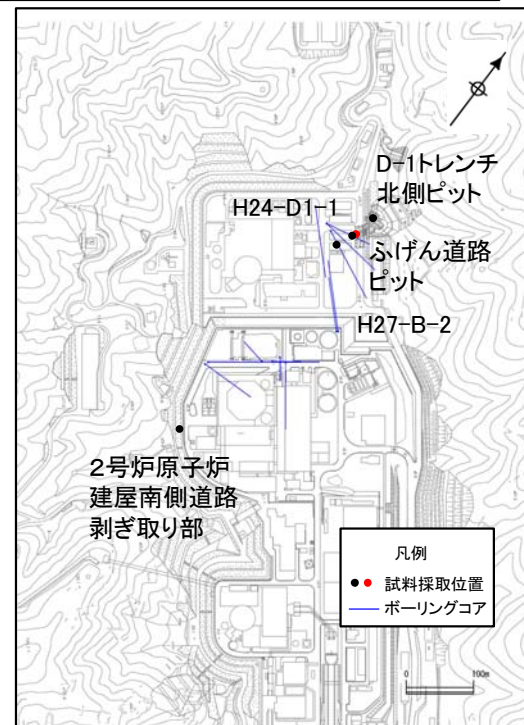


調査位置図

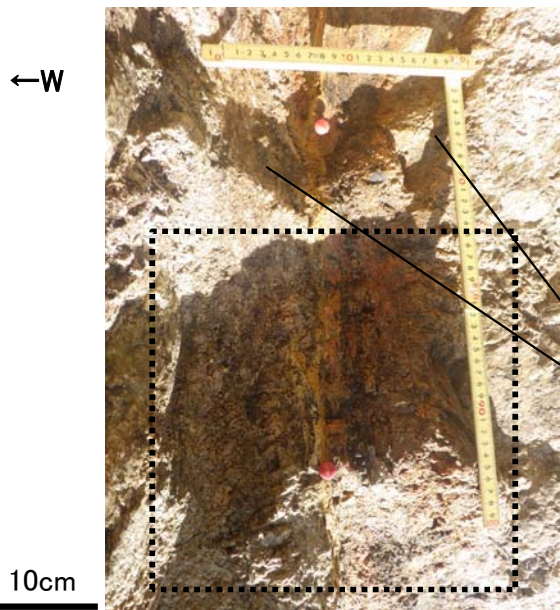


試料採取位置

北側ピット 地質観察結果



試料採取位置図



10cm

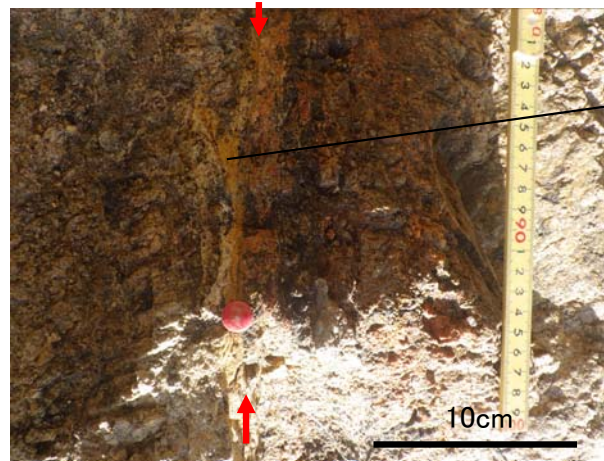
写真1. 試料採取位置(南壁面)

E→

断層ガウジの両側には幅数mmの白色の粘土細脈が網目状に分布する。原岩組織は残る。全体に軟質である。変質区分は3である。

黒破線は拡大写真範囲

←W



10cm

写真2. 試料採取位置(拡大)

E→

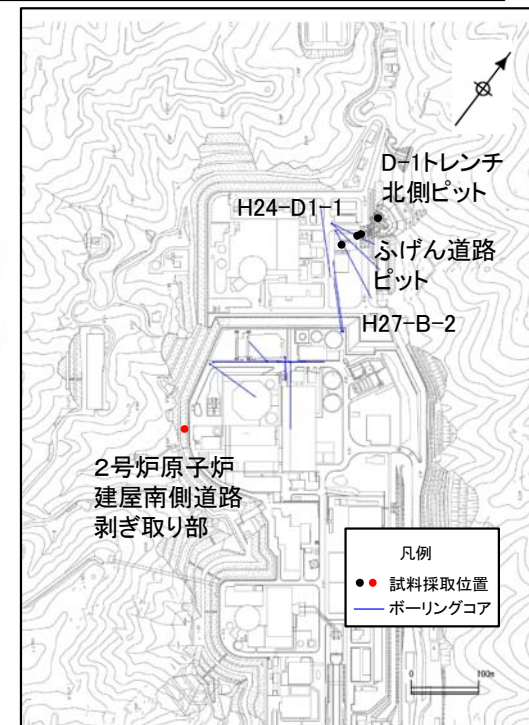
断層ガウジのうち最新活動ゾーンは、幅約1~3mm、軟質で暗褐色を呈する。変質区分は4である。最新活動ゾーンを分析試料として採取した。

赤矢印は最新活動面

1.2.2 地質層序 (②最新の變質作用の時期の検討 K-Ar年代測定)

試料採取位置 2号炉原子炉建屋南側道路剥ぎ取り部 H-3a破碎帯

- 2号炉原子炉建屋南側道路剥ぎ取り部のH-3a破碎帯の最新活動ゾーンから試料を採取しK-Ar年代測定を行った。



試料採取位置図

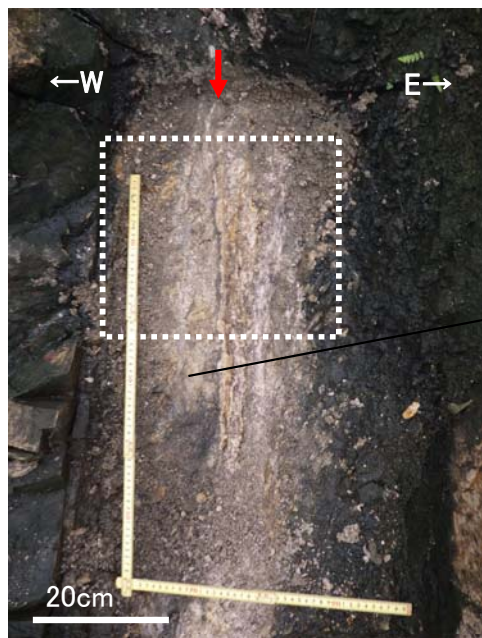


写真1. 試料採取位置

最新活動面(赤矢印)の東側の幅30cm程度の範囲は幅数mm~数cm程度の白色の粘土細脈が網目状に分布し、全体に軟質である。原岩組織は残る。変質区分は3である。

赤矢印は最新活動面
白破線は拡大写真範囲



写真2. 試料採取位置(拡大)

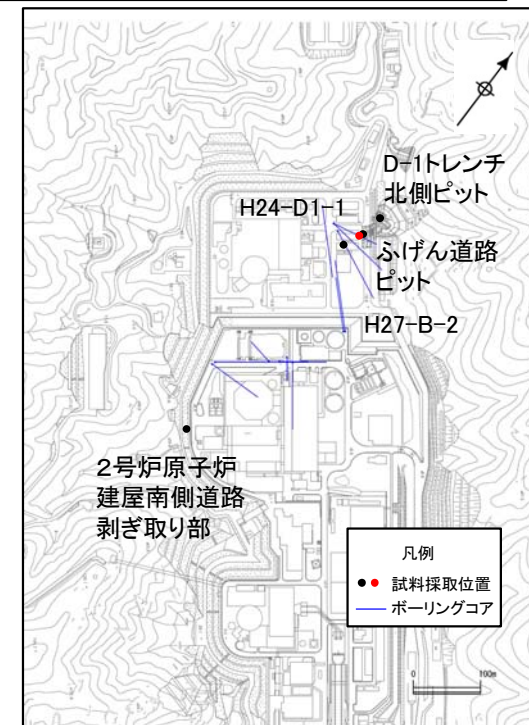
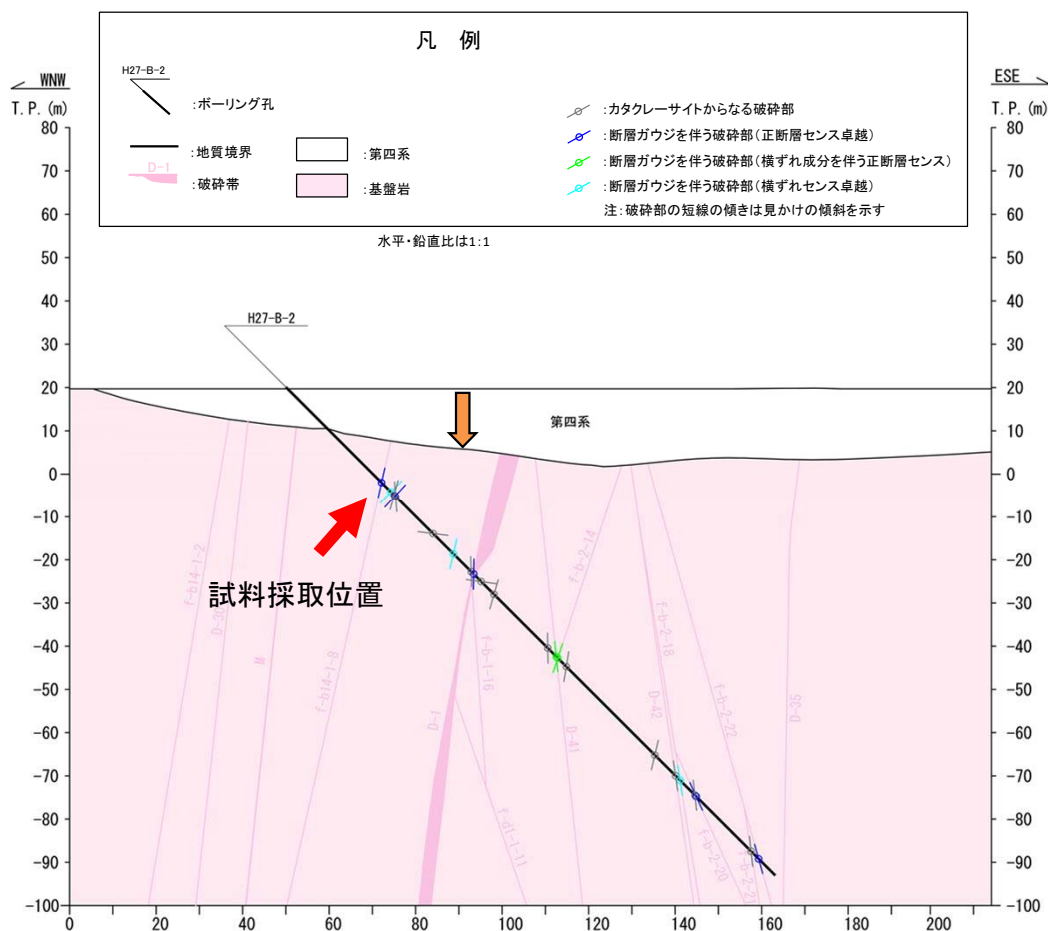
最新活動ゾーンは、幅約1cm、軟質で灰黄~黄橙色を呈する。変質区分は4である。最新活動ゾーンを分析試料として採取した。

赤矢印は最新活動面

1.2.2 地質層序 (②最新の變質作用の時期の検討 K-Ar年代測定)

試料採取位置 H27-B-2 31.65~31.82m

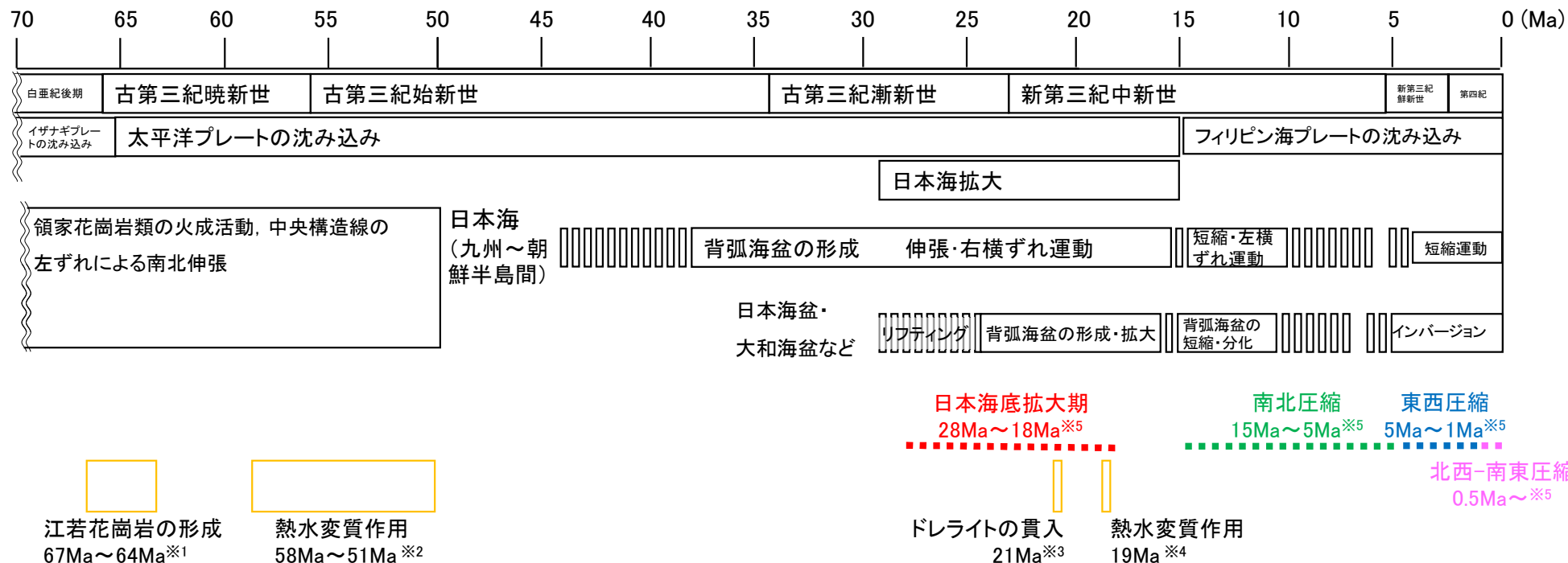
- H27-B-2 31.65~31.82mの變質区分3で試料を採取しK-Ar年代測定を行った。



幅数mm程度の白色の粘土細脈が網目状に分布する。全体に軟質である。
變質区分は3である。

1.2.2 地質層序 (②最新の變質作用の時期の検討 敷地周辺の地史)

- 江若花崗岩、ドレライト及びこれらに見られる變質部に関する分析の結果は、若狭湾周辺に第四紀火山が存在しないなど、ドレライトの貫入時期(約21Ma)以降の熱水活動は見られないとされている地史と矛盾していないことを確認した。



敷地周辺の白亜紀後期～現在の地質構造発達史

「日本地質学会編(2009): 日本地方地質誌 5 [近畿地方]」を抜粋・編集

※1 栗本他(1999)「敦賀地域の地質」による黒雲母花崗岩の黒雲母のK-Ar年代測定値 $62.9 \pm 3.1\text{Ma}$, 当社実施の花崗岩類のK-Ar年代測定値 $64.2 \pm 3.2\text{Ma} \sim 66.6 \pm 3.3\text{Ma}$

※2 当社実施の江若花崗岩中や破砕帯に見られる粘土細脈のK-Ar年代測定値 $51.0 \pm 1.2\text{Ma} \sim 58.1 \pm 1.4\text{Ma}$

※3 当社実施のドレライトのK-Ar年代測定値 $21.1 \pm 1.1\text{Ma}$

※4 当社実施のドレライト中の粘土細脈に含まれる粘土鉱物のK-Ar年代測定値 $18.9 \pm 2.3\text{Ma}$

※5 竹内(2010)より引用

当社による追記箇所

1.2.2 地質層序（粘土鉱物に関する検討 まとめ）

- 敷地の江若花崗岩や破碎部に認められる粘土鉱物について、以下の2点を総合的に検討した。
- ① 粘土鉱物が風化変質でなく熱水変質作用により生成したこと（粘土鉱物の成因の検討）
- ② 最新の変質作用の時期が敷地周辺の地史と矛盾しないこと（最新の変質作用の時期の検討）
- **検討の結果、以下の通り判断、確認した。**
- ① **破碎部の粘土鉱物は熱水変質によって生成したと判断した。**
- ② **最新の変質作用の時期は敷地周辺の地史と矛盾しないことを確認した。**

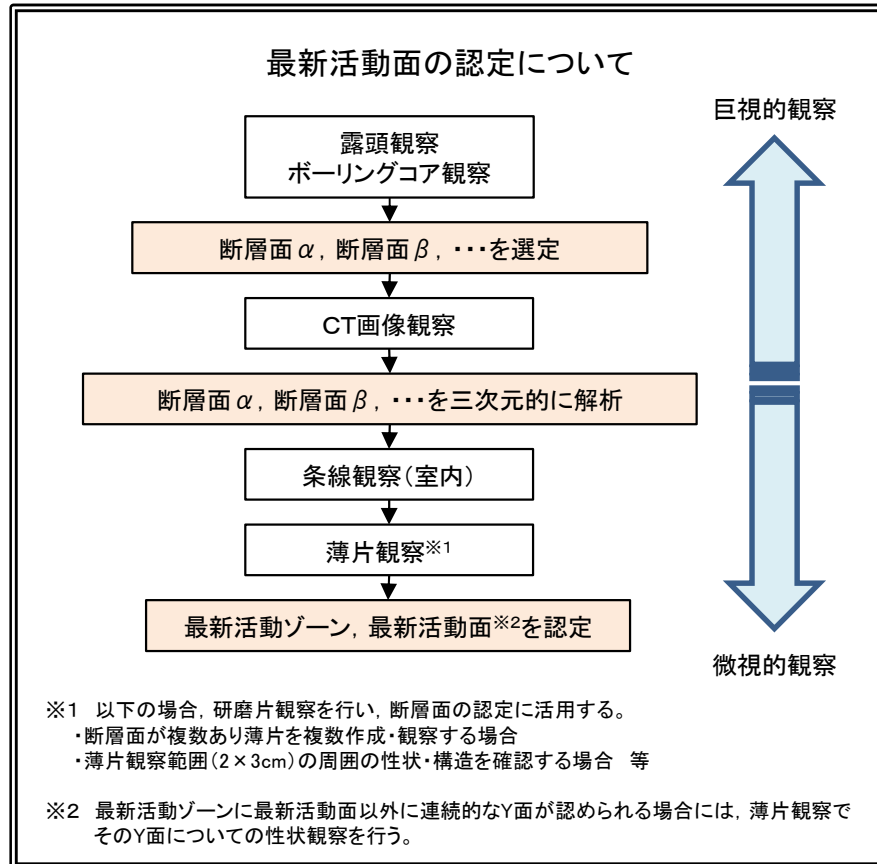
粘土鉱物に関する検討項目と検討結果

検討項目		検討結果
①	露頭観察	<ul style="list-style-type: none"> • 露頭観察の結果、敷地の江若花崗岩や破碎帯についても熱水変質作用の特徴である粘土細脈が網目状に発達し、軟質化している状況が認められる。
	XRD分析	<ul style="list-style-type: none"> • 破碎部の断層ガウジ、風化した花崗斑岩及び新鮮な花崗斑岩についてX線回折分析を行った結果、破碎部の断層ガウジにはスメクタイト、雲母粘土鉱物、カオリナイトの生成も認められたが、花崗斑岩の風化部及び強風化部にはスメクタイトが含まれていない。 • また、破碎部の断層ガウジは新鮮な花崗斑岩と比較して斜長石やカリ長石の割合が少なくなっている。 • 以上のことから、破碎部は熱水変質を受けていると判断した。
	長石類のEPMA分析	<ul style="list-style-type: none"> • 変質区分に応じた曹長石化の程度を比較するためにEPMA分析を行った結果、変質区分の程度が大きいものほどアルバイト率が高いことから、熱水変質作用によって曹長石化したものと判断した。 • 新鮮な花崗斑岩の斜長石は灰曹長石から曹長石に分類されるが、変質区分3の斜長石はすべて曹長石に分類される。
②	粘土鉱物のK-Ar年代測定	<p>江若花崗岩、ドレライト及びこれらに見られる変質部に関する分析の結果は、若狭湾周辺に第四紀火山が存在しないなど、ドレライトの貫入時期(約21Ma)以降の熱水活動は見られないとされている地史と矛盾していないことを確認した。</p>

1.2.2 地質層序（破碎部の最新活動面の認定方法）

- 最新活動面の認定は、露頭やボーリングコアの肉眼観察、CT画像観察、薄片観察等に基づき、巨視的観察から微視的観察にかけて順に行った。

最新活動面の認定方法



	最新活動面認定にあたっての判断指標
露頭観察 ボーリングコア観察	<ul style="list-style-type: none"> 他の構造に切られていない 細粒化が進んだゾーン 直線性・連続性が相対的に富む
CT画像観察	<ul style="list-style-type: none"> 三次元的に他の構造に切られていない CT値(密度)の相対的に小さいゾーン 三次元的に直線性・連続性が相対的に富む
薄片観察	<ul style="list-style-type: none"> 他の構造に切られていない 分帯し、最も細粒化が進んだゾーン(最新活動ゾーン)を伴う面 直線性・連続性が相対的に富む面

- * 研磨片観察
- 他の構造に切られていない
 - 細粒化が進んだゾーン
 - 直線性・連続性が相対的に富む

1.3 敷地の地質構造

余白

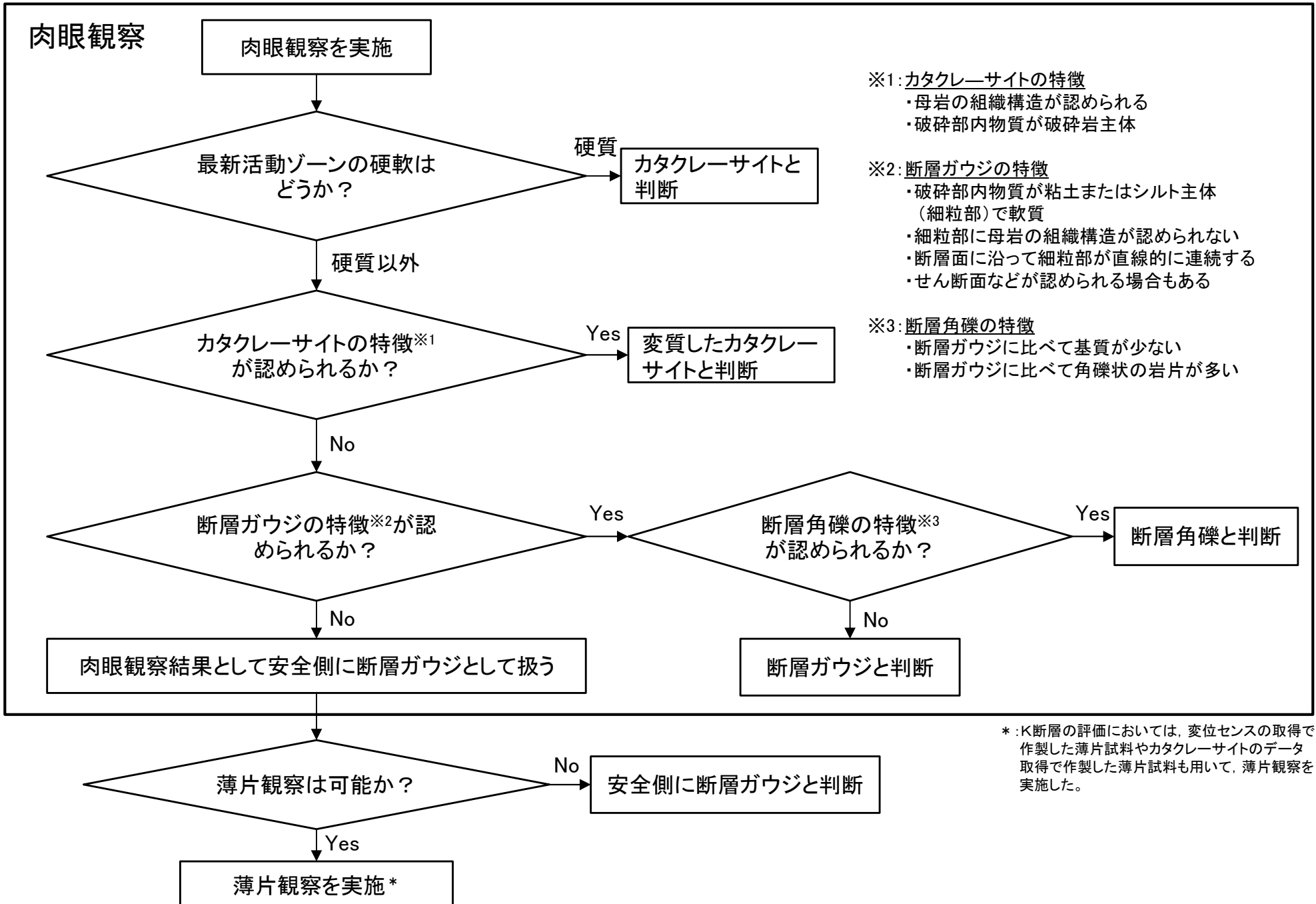
1.3.1 破碎帶

余白

1.3.1.1 破碎部の断層岩区分

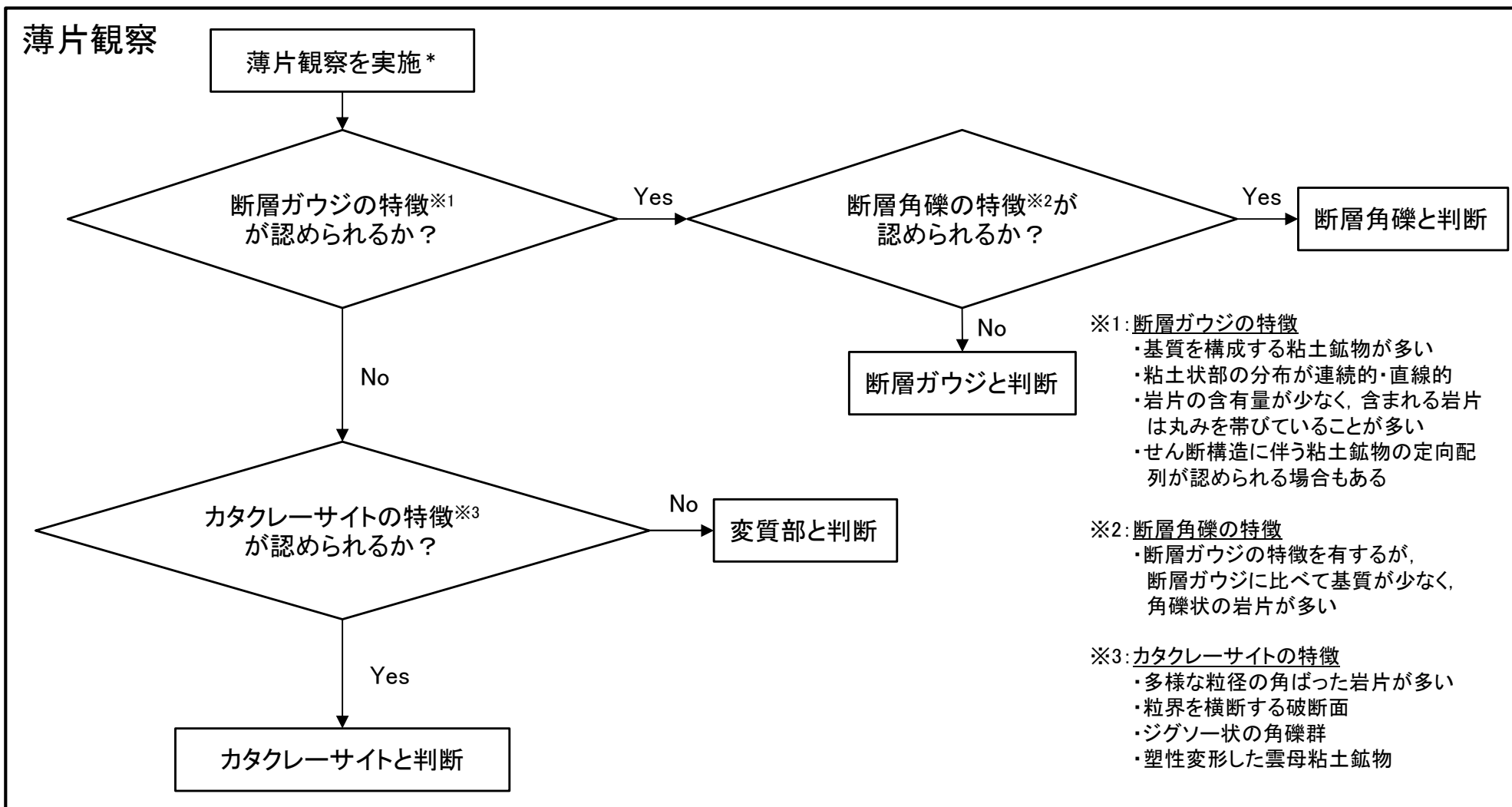
1.3.1.1 破砕部の断層岩区分（断層岩区分の評価フロー（その1））

・肉眼観察による断層岩区分の評価フローを示す。



1.3.1.1 破砕部の断層岩区分（断層岩区分の評価フロー（その2））

・薄片観察による断層岩区分の評価フローを示す。



断層岩区分の総合評価

ボーリングコアや露頭の観察による断層岩区分と薄片試料の観察による断層岩区分の両方が得られている場合には、両者の観察から得られた性状に矛盾がないことを確認した上で断層岩区分の総合評価を行い、断層ガウジ、断層角礫、カタクレーサイト及び変質したカタクレーサイトに区分する。

*:K断層の評価においては、変位センスの取得で作製した薄片試料やカタクレーサイトのデータ取得で作製した薄片試料も用いて、薄片観察を実施した。

肉眼観察結果

1.3.1.1 破碎部の断層岩区分 断層岩区分の着眼点(肉眼観察に関する文献調査結果)

- 破碎部の断層岩区分については、ボーリングコアや露頭の観察において、肉眼観察による断層岩の特徴を示している文献(狩野・村田(1998), 高木・小林(1996), 林(2000), 中島他(2004))等に基づき、破碎部の硬軟、母岩の組織構造の有無並びに粘土・シルト・砂等の細粒部の連続性及び直線性に着目して観察した。

肉眼観察	狩野・村田(1998)	高木・小林(1996)	林(2000)	中島他(2004)
断層ガウジ	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 断層岩の中で、手でこわせるほど軟弱で、粘土状の細粒な基質部が多いもの。 破碎岩片の割合が<30% 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 断層ガウジあるいは断層角礫と呼ばれる物質は、未固結の断層破碎物質として定義される。 ➢ 断層ガウジ帯は、露頭スケールでのY面に平行に存在する場合が多いが、Y面から派生される露頭スケールのR1面沿いにも生ずることがある。 ➢ 細粒の断層ガウジには、ほぼY面に平行な組織縞が発達する。 肉眼観察が可能な岩片の量比<30% 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 断層剪断作用により母岩の初生的固結性が失われて、母岩の組織構造が乱されたものである。 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 断層ガウジは断層破碎帯を構成する未固結の断層内物質であり、母岩の破碎と変質によって形成されたものである。母岩が破碎されて細粒になった物質とともに、スメクタイト、イライト、緑泥石、カオリナイトなどの粘土鉱物が生成していることが多い。 肉眼観察が可能な岩片の量比<30%
断層角礫	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 断層ガウジに比べて基質が少なく、角礫状の岩片が多いもの。 破碎岩片の割合が>30% 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 断層ガウジと断層角礫の区別は、肉眼で認定できる程度の粒度の破碎岩片と細粒基質部の構成比で区別される。 肉眼観察が可能な岩片の量比>30% 		<ul style="list-style-type: none"> 肉眼観察が可能な岩片の量比>30%
カタクレーサイト	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 基質と岩片が固結しているもの。 ➢ 複合面構造(葉状構造)が認められるものと、認められないものがある。 ➢ 破碎岩片の含有量によって、ウルトラカタクレーサイト(<10%)、カタクレーサイト(10~50%)、プロトカタクレーサイト(>50%)に細分される。 	<ul style="list-style-type: none"> プロトカタクレーサイト 肉眼観察が可能な岩片の量比 >50% カタクレーサイト 肉眼観察が可能な岩片の量比 10~50% ウルトラカタクレーサイト 肉眼観察が可能な岩片の量比 <10% 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ カタクレーサイトは全体的に破碎されているが、母岩の初生的固結性は失われず、母岩の組織構造も基本的に乱されていない。 ➢ 地下水や風化作用により破碎帯が軟弱化することがあるが、母岩そのものの組織構造がよく観察できる。 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 機械的な破碎がおもな変形機構であり、固結性を保持したまま破碎された断層岩である。 ➢ 断層破碎帯では風化しやすいことから、花崗岩のカタクレーサイトが母岩の組織を保存しつつ固結性をうしなったものもある。 プロトカタクレーサイト 肉眼観察が可能な岩片の量比 >50% カタクレーサイト 肉眼観察が可能な岩片の量比 10~50% ウルトラカタクレーサイト 肉眼観察が可能な岩片の量比 <10%

- 木村(1981)では、花こう岩中に粘土脈がある場合、粘土脈の周辺および粘土脈の中にとり込まれた軟弱化した花こう岩の組織に破碎変形の証拠が認められず、花こう岩の完晶組織をそのまま残すことや、粘土脈をもつ割れ目が長く延びることなく花こう岩中にしばしば消滅すること、ときに粘土脈は割れ目の中にフィルム状にのみであることなどからも、その粘土が熱水によってできたことが推測できるとしている。
- 相山他(2017)では、山田断層の露頭調査に際して、断層岩の境界の連続性や直線性に着目して断層岩区分を実施している。

文献による断層岩区分に用いる着眼点

- 狩野・村田(1998)や高木・小林(1996)では、「破碎部の固結の程度」と「破碎岩片及び基質部の粘土の量」を区分に用いている。
- 高木・小林(1996)では、「断層ガウジには、ほぼY面に平行な組織縞が発達する」としている。
- 林(2000)や中島他(2004)では、「母岩の初生的固結性」と「母岩の組織構造の保存の有無」を区分に用いている。なお、カタクレーサイトには母岩の組織構造が保存されていても風化や地下水の影響で「固結性を失ったものがある」としている。
- 木村(1981)は、熱水変質作用により生じた粘土脈の特徴(分岐したり、せん滅したりする)を示している。
- なお、相山他(2017)においても、露頭での断層岩の境界の「連続性や直線性」に着目している。



敦賀発電所の断層岩区分に用いる着眼点

肉眼観察によって得られる破碎部に関する観察所見のうち、文献の着眼点を参考に、「破碎部の硬軟」、「母岩の組織構造の有無」及び「粘土・シルト・砂等の細粒部の連続性及び直線性」等を断層岩区分の着眼点とする。

1.3.1.1 破砕部の断層岩区分 断層岩区分の着眼点(肉眼観察)

- 肉眼観察における断層岩区分を断層ガウジ, 断層角礫, カタクレーサイト及び変質したカタクレーサイト(カタクレーサイトのうち熱水変質作用を受け軟質化したもの)に区分した。
- 断層岩区分の実施にあたっては, 最新活動ゾーンが狭小な場合や, 熱水変質作用の影響により最新活動ゾーンの境界や構造が不明瞭である場合には, ボーリングコアや露頭の観察においては安全側に断層ガウジとして扱い, 薄片試料を用いてより詳細に観察した。

肉眼観察での着眼点	断層岩区分
<ul style="list-style-type: none"> • 破砕部内物質が粘土又はシルト主体（細粒部）で軟質 • 細粒部に母岩の組織構造が認められない • 断層面に沿って細粒部が直線的に連続する • せん断構造などが認められる場合もある 	断層ガウジ
<ul style="list-style-type: none"> • 断層ガウジの特徴を有する • 断層ガウジに比べて基質が少ない • 断層ガウジに比べて角礫状の岩片が多い 	断層角礫
<ul style="list-style-type: none"> • 基質と岩片が固結している • 母岩の組織構造が基本的に乱されていない(原岩組織が認められる岩片を主体とし基質も細粒化した岩片からなる組織を示す) 	カタクレーサイト
<ul style="list-style-type: none"> • 破砕部内物質は軟質であるが, 母岩の組織構造が認められる • 破砕部内物質が破砕岩片主体 	変質したカタクレーサイト [※]

※含まれる細粒部で連続性・直線性に乏しいものは粘土脈と判断した。

1.3.1.1 破砕部の断層岩区分 断層岩区分の着眼点(薄片観察に関する文献調査結果)

- 薄片試料の観察においては、薄片観察による断層岩の特徴を示している文献(Passchier and Trouw(2005), Manatschal(1999), 相山他(2017), 相山・金折(2019))に基づき、粘土鉱物の量及び定向配列の有無、粘土状部の連続性及び直線性、岩片の量及び粒形、粒界を横断する破断面、ジグソー状の角礫群並びに塑性変形した雲母粘土鉱物に着目して観察した。

薄片観察	Passchier and Trouw (2005)	Manatschal (1999)	相山他(2017) 相山・金折(2019)
断層ガウジ	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 数少ない岩片が粘土鉱物に富む基質中に孤立して存在する。 ➢ 基質には面構造が発達することがあり、岩片もレンズ状の形態をしていることが多い。 ➢ 未固結カタクレーサイトは細粒基質中の岩片量が30%以下である。※1 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 基質支持であり、基質は粘土鉱物に富み、強い定向配列が認められる。 ➢ 丸みを帯びている岩片や、レンズ状に引き延ばされた岩片が認められる。 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 断層ガウジ帯は、断層面に境された複数枚の断層ガウジからなる層状構造を示す。 ➢ フラグメントの周りに粘土鉱物が一様に分布する。粘土鉱物は定向配列している。
断層角礫	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 未固結角礫岩は、30%以上の壁岩角礫片または破断脈と細粒基質からなっている。 	記載なし。	記載なし。
カタクレーサイト	<ul style="list-style-type: none"> ➢ カタクレーサイトに認められる特徴として、粒界を横断する破断面も含む、多様な粒径の角張った破片が細粒基質中に含まれ、多くの大きい粒子には流体及び固体包有物からなるヒールドフラクチャーが交差する。 ➢ 固結角礫岩や固結カタクレーサイトは、圧力溶解・析出の豊富な痕跡を示すことが多い。岩片は、流体包有物の配列したヒールドクラックによって切断されていることもある。ランダムファブリックを有することが多い。 ➢ 固結角礫岩は破砕岩片量>30%、固結カタクレーサイトは破砕岩片量<30%である。※2 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 岩片が角ばっており、粒子内にマイクロクラックが発達しジグソー状の組織が認められる。 ➢ 基質の割合の増加や角礫がわずかに丸みを帯びることにより、岩片支持から基質支持に変化する。 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 破砕流動を示すカタクレーサイトの基質は細粒緻密な破砕岩片からなり、粘土鉱物をわずかに含む。 ➢ 破砕流動したフラグメントによるP面が発達する。 ➢ 塑性変形した黒雲母(黒雲母フィッシュ等)が認められる。

- ・粒界を横断する破断面: 岩片を横断するように認められる亀裂のこと。
- ・ジグソー状の組織: 岩片に多くの亀裂が発達して細かい角礫に分離したもので、角礫は一つの岩片であったことが推測できるもの。

※1: Passchier and Trouw (2005) では岩片量30%以下の未固結脆性断層岩を断層ガウジと未固結カタクレーサイトに分類しているが、敦賀発電所における破砕部の区分においてはこれらを断層ガウジと表記している。

※2: Passchier and Trouw (2005) では固結脆性断層岩に含まれる岩片の割合から固結角礫岩と固結カタクレーサイトに分類しているが、敦賀発電所における破砕部の区分においてはこれらをカタクレーサイトと表記している。

文献による断層岩区分に用いる着眼点

- ・ Passchier and Trouw (2005) では、「岩片及び基質の量」、「粒界を横断する破断面」、「多様な粒径の角張った破片」を区分に用いている。
- ・ Manatschal (1999) では、「粘土鉱物の量(基質支持, 岩片支持)」、「粘土鉱物の定向配列」、「岩片の粒形(丸みを帯びた岩片, レンズ状に引き延ばされた岩片, 角張った岩片)」、「ジグソー状の組織」を区分に用いている。
- ・ 相山他(2017)及び相山・金折(2019)では、「断層ガウジの層状構造」、「粘土鉱物の定向配列」、「破砕岩片からなる基質」、「塑性変形した黒雲母」を区分に用いている。



敦賀発電所の断層岩区分に用いる着眼点

薄片観察によって得られる破砕部に関する観察所見のうち、文献の着眼点を参考に、「粘土鉱物の量及び定向配列の有無」、「粘土状部の連続性及び直線性」、「岩片の量及び粒形」、「粒界を横断する破断面」、「ジグソー状の角礫群」、「塑性変形した雲母粘土鉱物」を断層岩区分の着眼点とする。

1.3.1.1 破砕部の断層岩区分 断層岩区分の着眼点(薄片観察)

- 薄片観察における断層岩区分を断層ガウジ, 断層角礫及びカタクレーサイトに区分した。

薄片観察での着眼点	断層岩区分
<ul style="list-style-type: none"> • 基質を構成する粘土鉱物が多い • 粘土状部の分布が連続的・直線的 • 岩片の含有量が少なく, 含まれる岩片は丸みを帯びていることが多い • せん断構造に伴う粘土鉱物の定向配列が認められる場合もある 	断層ガウジ
<ul style="list-style-type: none"> • 断層ガウジの特徴を有するが, 断層ガウジに比べて基質が少なく, 角礫状の岩片が多い 	断層角礫
<ul style="list-style-type: none"> • 下記の(A)と(B)の両方が認められる (A)断層ガウジの特徴をもたない <ul style="list-style-type: none"> • 基質を構成する粘土鉱物が少ない • 粘土状部の分布が不連続又は周囲との境界が漸移的 • 粘土鉱物の定向配列が認められない (B)次の特徴のいずれかが認められる <ul style="list-style-type: none"> • 多様な粒径の角ばった岩片が多い • 粒界を横断する破断面 • ジグソー状の角礫群 • 塑性変形した雲母粘土鉱物 	カタクレーサイト

連続的: 粘土状部が帯状に横断する状態。

直線的: 粘土状部が断層面により境され, 周囲と明瞭に区分できる状態。

粒界を横断する破断面: 岩片を横断するように認められる亀裂のこと。

ジグソー状の角礫群: 岩片に多くの亀裂が発達して細かい角礫に分離したもので, 角礫は一つの岩片であったことが推測できるもの。

余白

2. K断層の活動性評価

余白

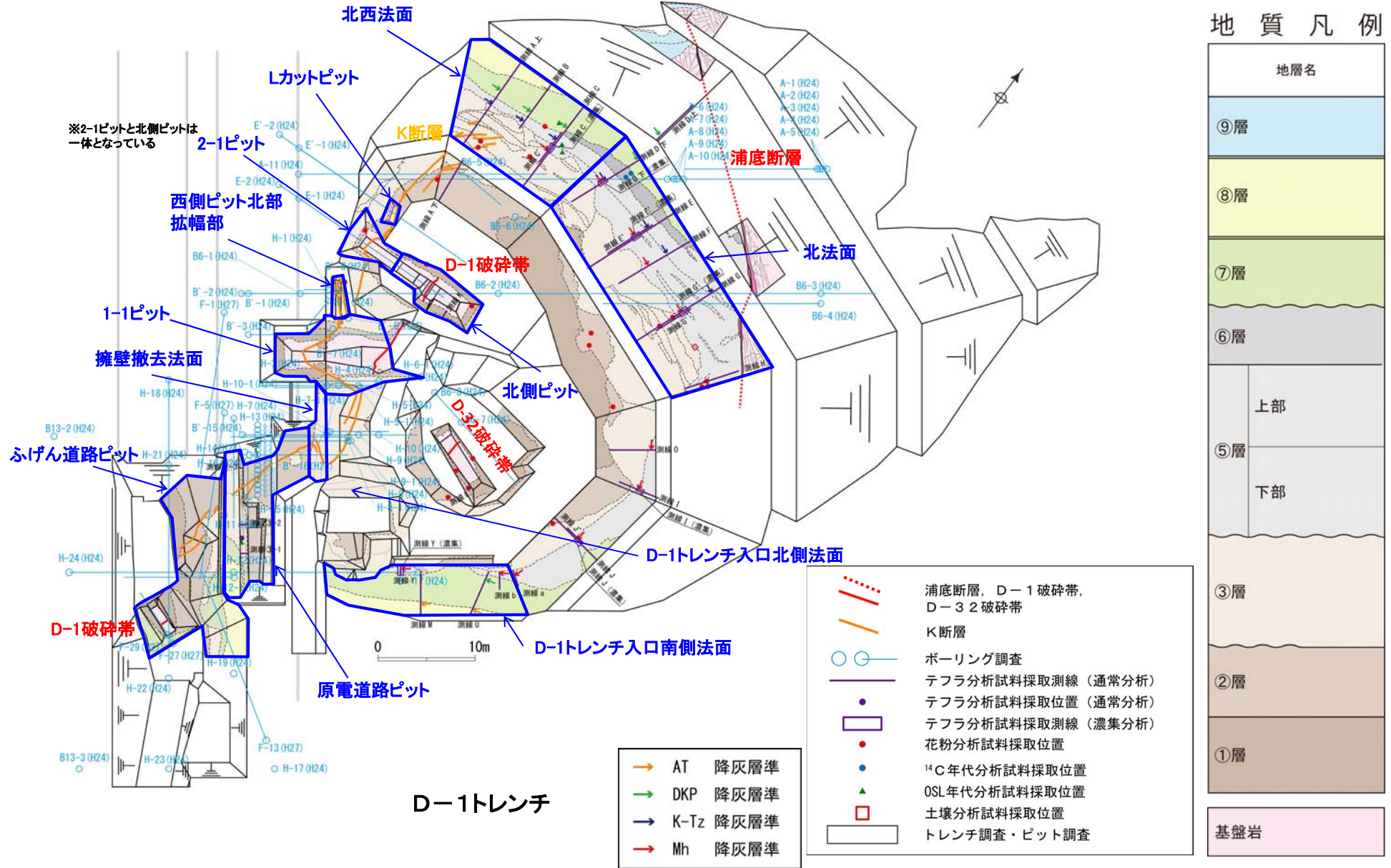
2.1 D-1トレンチの地質層序

余白

2.1.1 地層の層相及び分布

2.1.1 地層の層相及び分布 (D-1トレンチ 層相区分)

- D-1トレンチに分布する地層は、花崗斑岩とそれを覆う第四系からなり、第四系は層相に基づき下位より①層～③層及び⑤層～⑨層の地層に区分した。
- 地層の堆積年代を評価するため、テフラ分析(通常分析, 重鉍物濃集分析, 主成分分析), OSL年代測定, 放射性炭素[¹⁴C]年代測定, 花粉分析, 土壌分析を実施した。
- 調査位置, 分析試料採取位置を示す。



2.1.1 地層の層相及び分布 (D-1トレンチ 地質層序表)

年代	地層名	色調	層相	テフラ分析	花粉分析	土壌分析		放射性炭素[¹⁴ C]年代測定	OSL年代測定	堆積年代		
						土壌分類	遊離酸化鉄分析					
第四紀	完新世	⑨層	褐～にぶい黄褐	礫混じり砂質シルトからなる。⑧層とは平行不整合関係で接する。	—	—	—	—	—	MIS2以降		
	後期更新世	⑧層	褐～黄橙	シルト質砂を基質とする砂礫からなり、一部に成層構造もみられる。下位の⑦層とは平行不整合関係で接する。	始良Tnテフラ(AT)の降灰層準を含む(約30～28ka)	—	—	—	—	—	MIS3とMIS2の境界付近	
		⑦層	褐～褐灰	礫混じり砂質シルト～礫混じりシルト質砂からなる。山地斜面では下位層とは平行不整合関係で、低地では下位層を削削した不整合関係で接する。	大山倉吉テフラ(DKP)の降灰層準を含む(約59～58ka)	—	—	—	—	57±4ka	MIS4～3	
		⑥層	灰～暗灰	腐植質砂質シルト～シルト質砂からなり、木片を多く含む。⑤層上部と整合関係で接する。	—	—	—	—	測定限界を超えていた(53,960年前より古い)	—	MIS5a～5b	
		⑤層	上部	灰白～浅黄橙	シルト質砂礫主体で、シルト層～シルト質砂層が不連続に層状を呈し、腐植質シルトを含む。緩い西側傾斜で一定の層厚を示す。	鬼界葛原テフラ(K-Tz)の降灰層準を含む(約95ka)	温暖期の花粉を含む	—	—	—	109±3ka	MIS5c
			下部	灰白～浅黄橙	シルト質砂礫主体で、シルト層～シルト質砂層が不連続に層状を呈し、腐植質シルトを含む。北法面の東方に向かって層厚が厚くなる。③層とは不整合関係で接する。	美浜テフラ(Mh)の降灰層準を含む(約127ka)	温暖期の花粉を含む	—	—	—	126±5ka	MIS5e
		中期更新世	③層	浅黄橙～橙	砂礫主体で、シルト層やシルト質砂層を層状からレンズ状に挟み、チャンネルによる削り込みが複数認められる。③層は、D-1トレンチ北西法面では下位の②層及び①層とは不整合関係で接し、原電道路ピットから南方では②層とは顕著な不整合関係は認められない。最上部には土壌化した地層が認められ、D-1トレンチ北西法面から北法面にかけて広く分布している。	—	—	土壌生成で発達したB層に対応	活性度は0.1より小さく、結晶化指数は0.7程度以上であり大きく風化が進行している	—	133±9kaより古い	MIS6以前
	②層		にぶい橙～灰白	くさり礫を多く含む塊状で締まった砂質シルト～砂及びシルトと砂の互層からなり、一部には腐植質シルトを含む。下位の①層との境界は凹凸しているが大きな浸食は認められない。	—	温暖期の花粉を含む	—	—	—	—		
	①層		にぶい赤褐～明黄褐	よく締まった淘汰の悪い砂礫からなり、くさり礫を多く含む。	—	—	—	—	—	—		
古第三紀	基盤岩	※④層の区分は設けていない。										

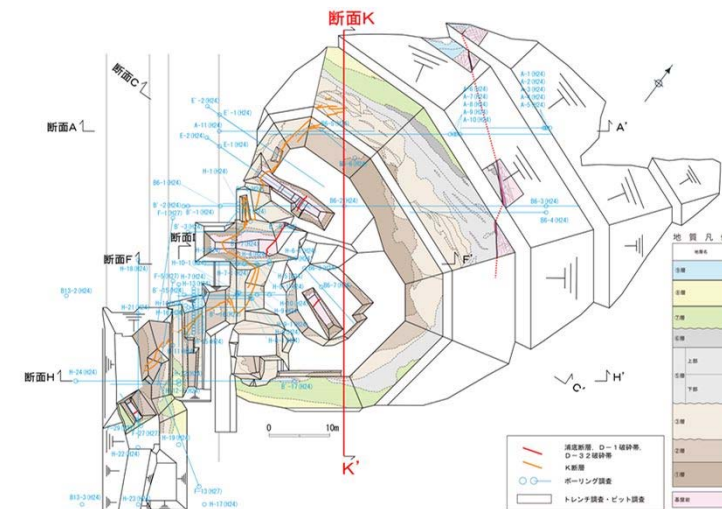
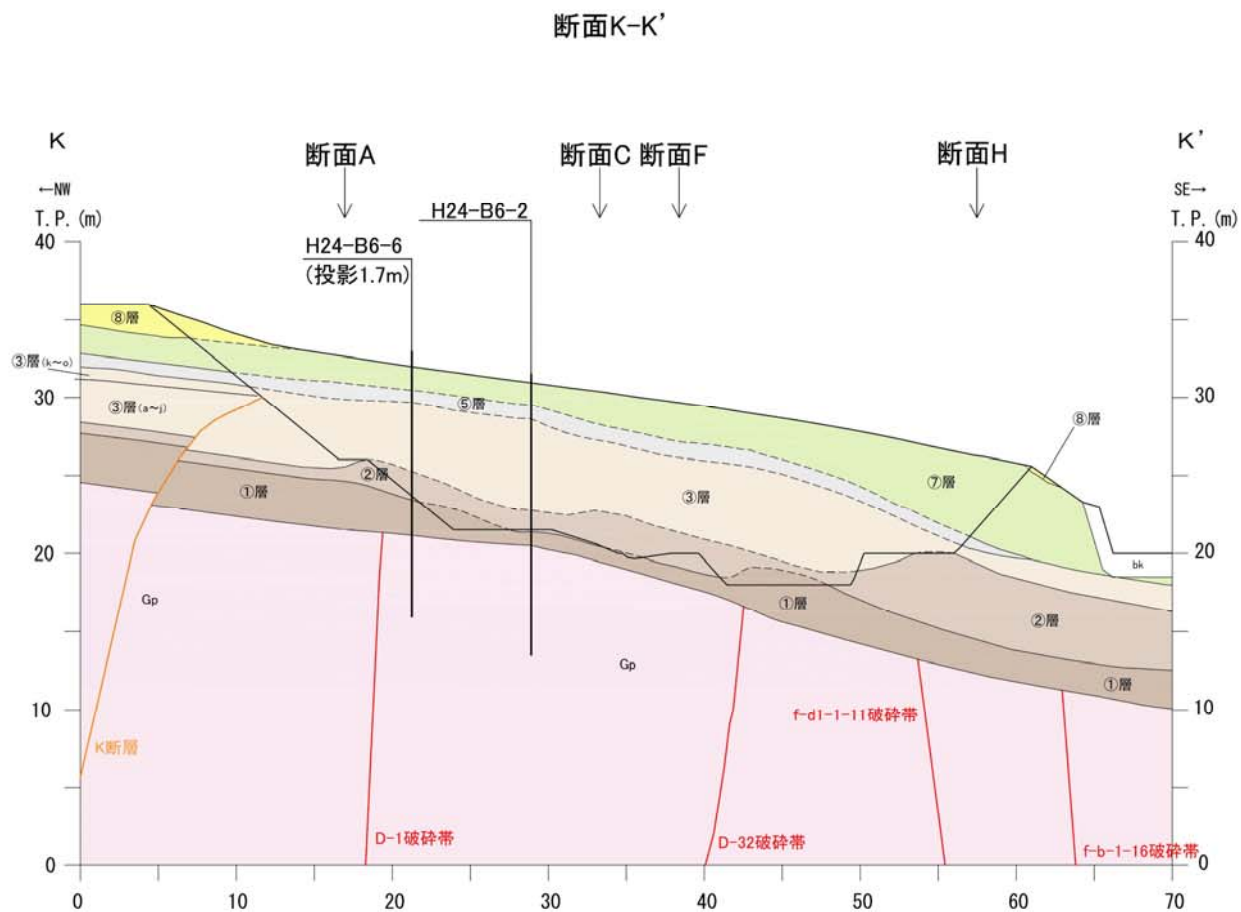
(凡例)

— : 整合境界
 — : 平行不整合境界
 ~ : 不整合境界

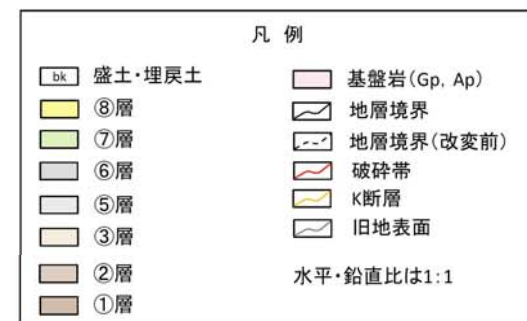
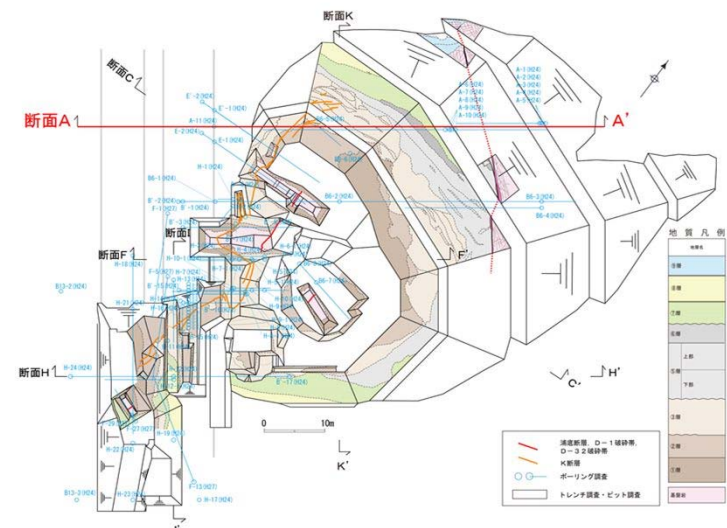
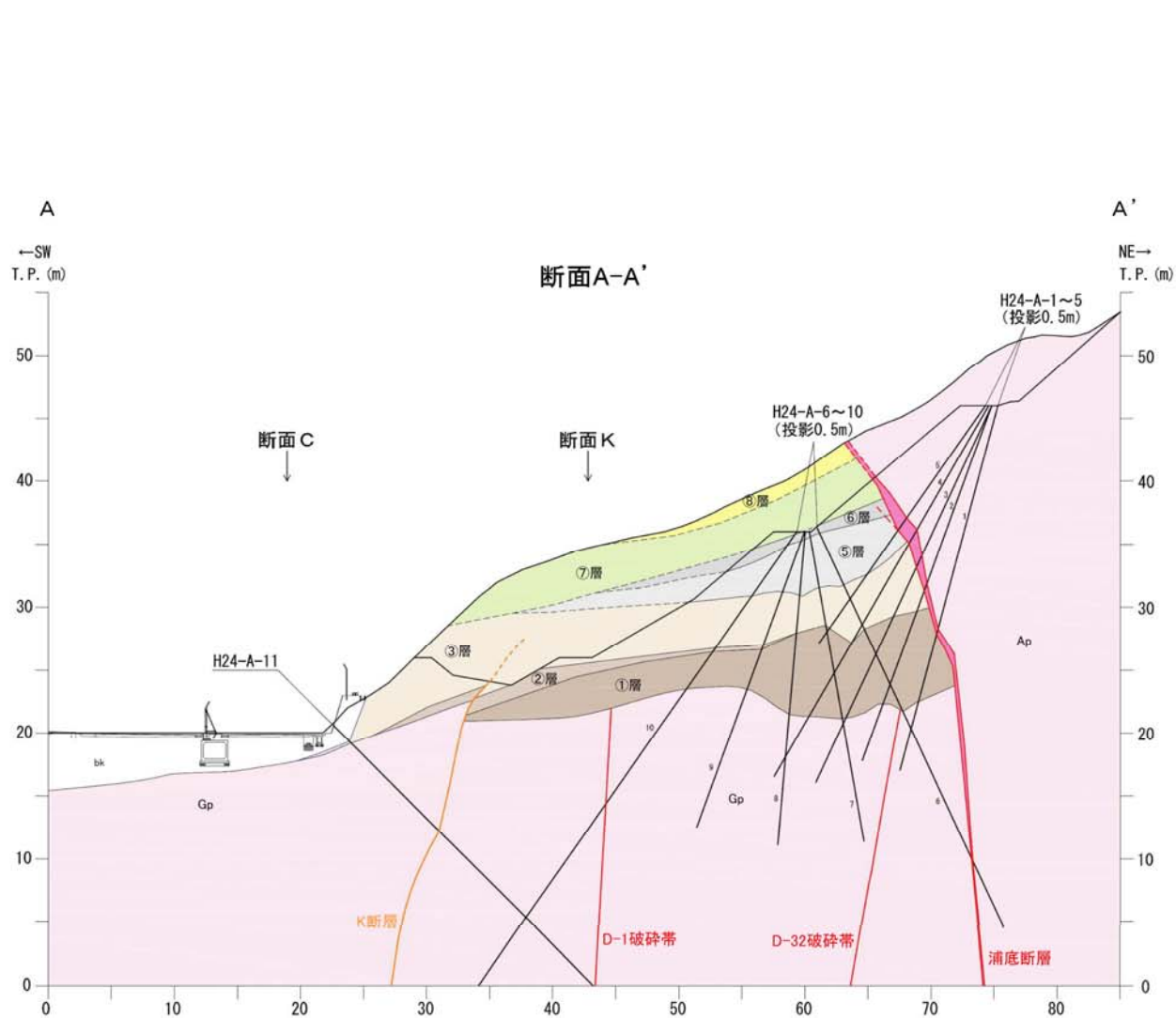
— : 当該の分析又は測定を実施しなかったもの、目的とした情報が得られなかったもの

・ D-1トレンチに分布する地層は、花崗斑岩とそれを覆う第四系からなり、第四系は層相に基づき下位より①層～③層及び⑤層～⑨層の地層に区分した。

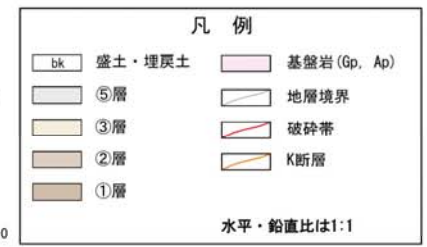
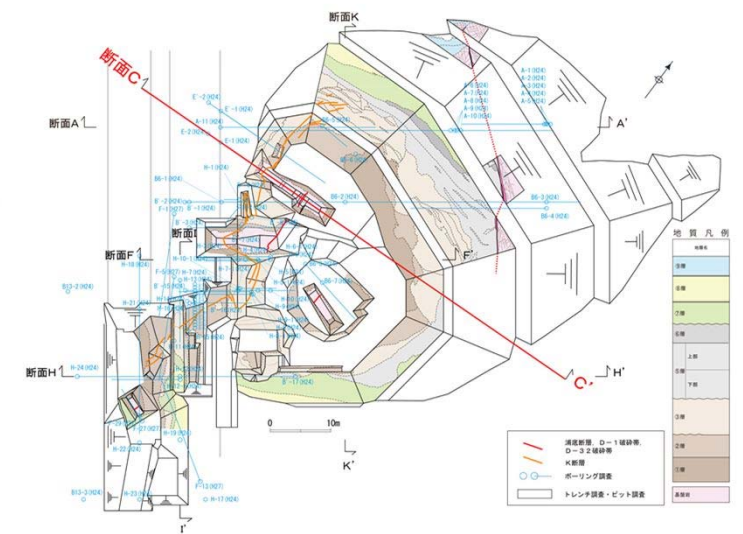
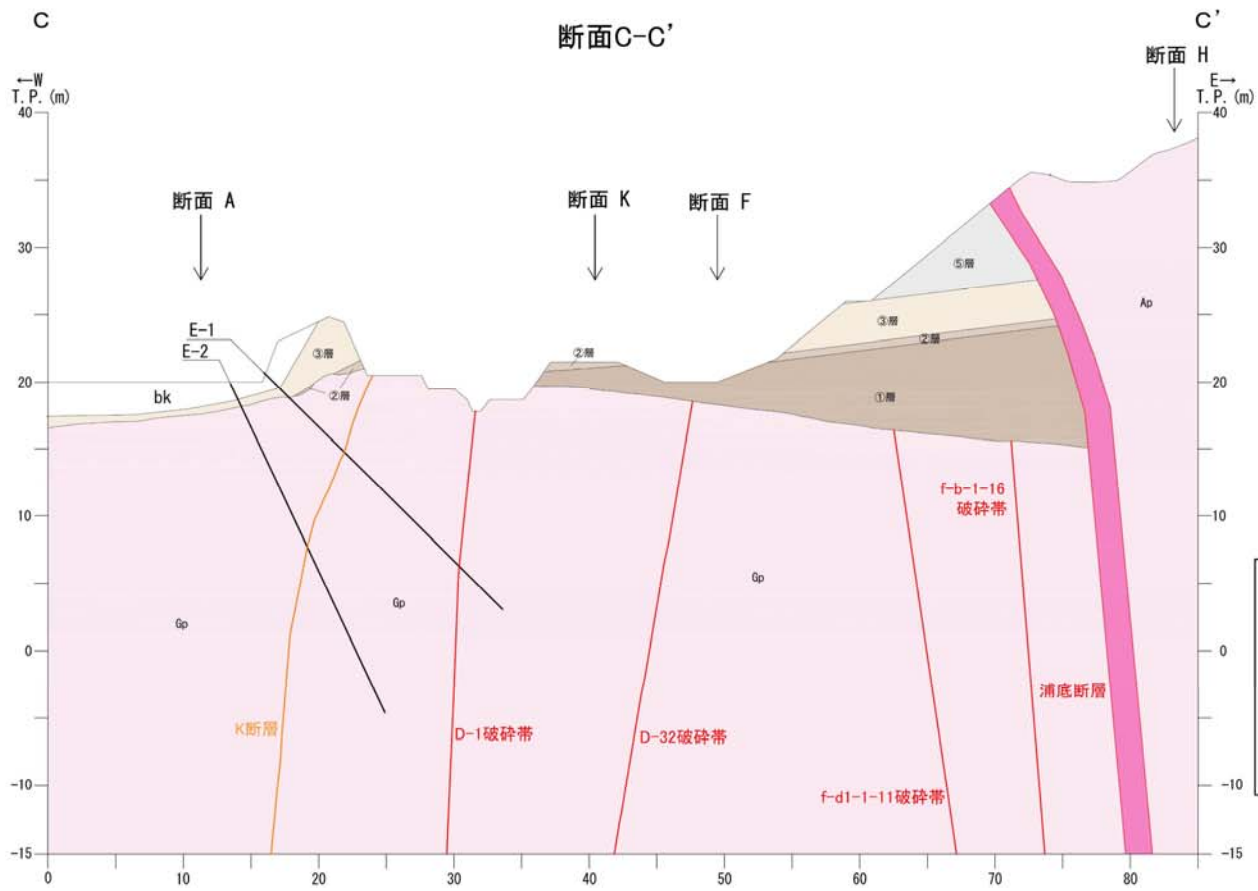
2.1.1 地層の層相及び分布 D-1トレンチ内の断面図 (断面K-K')



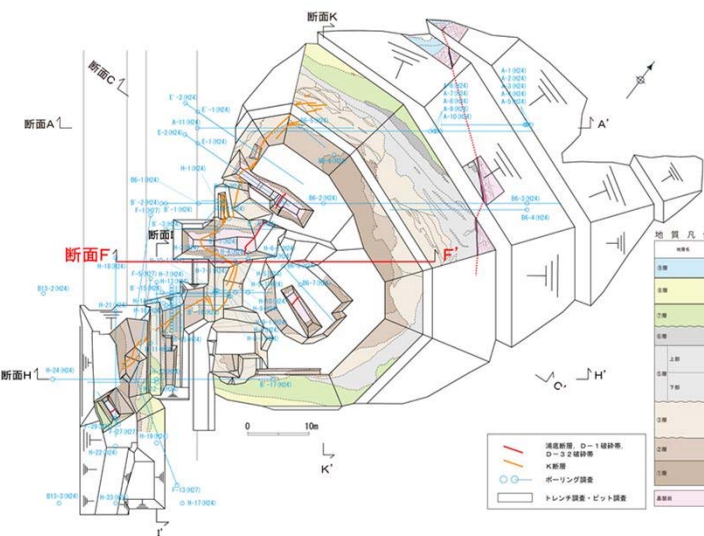
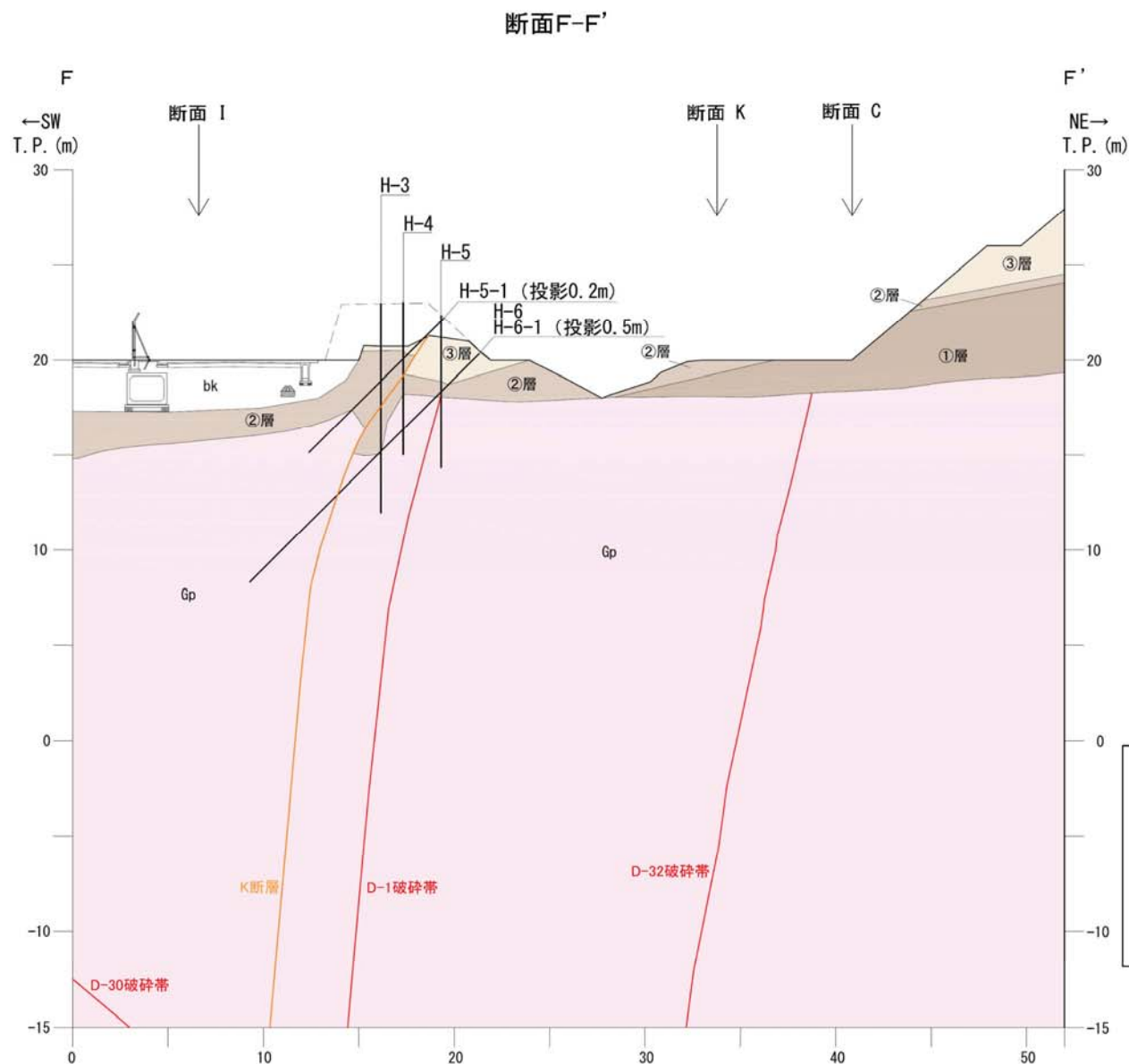
2.1.1 地層の層相及び分布 D-1トレンチ内の断面図 (断面A-A')



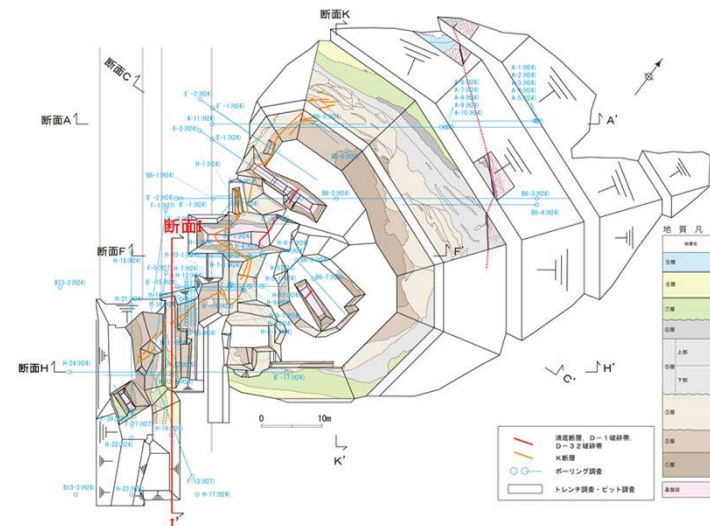
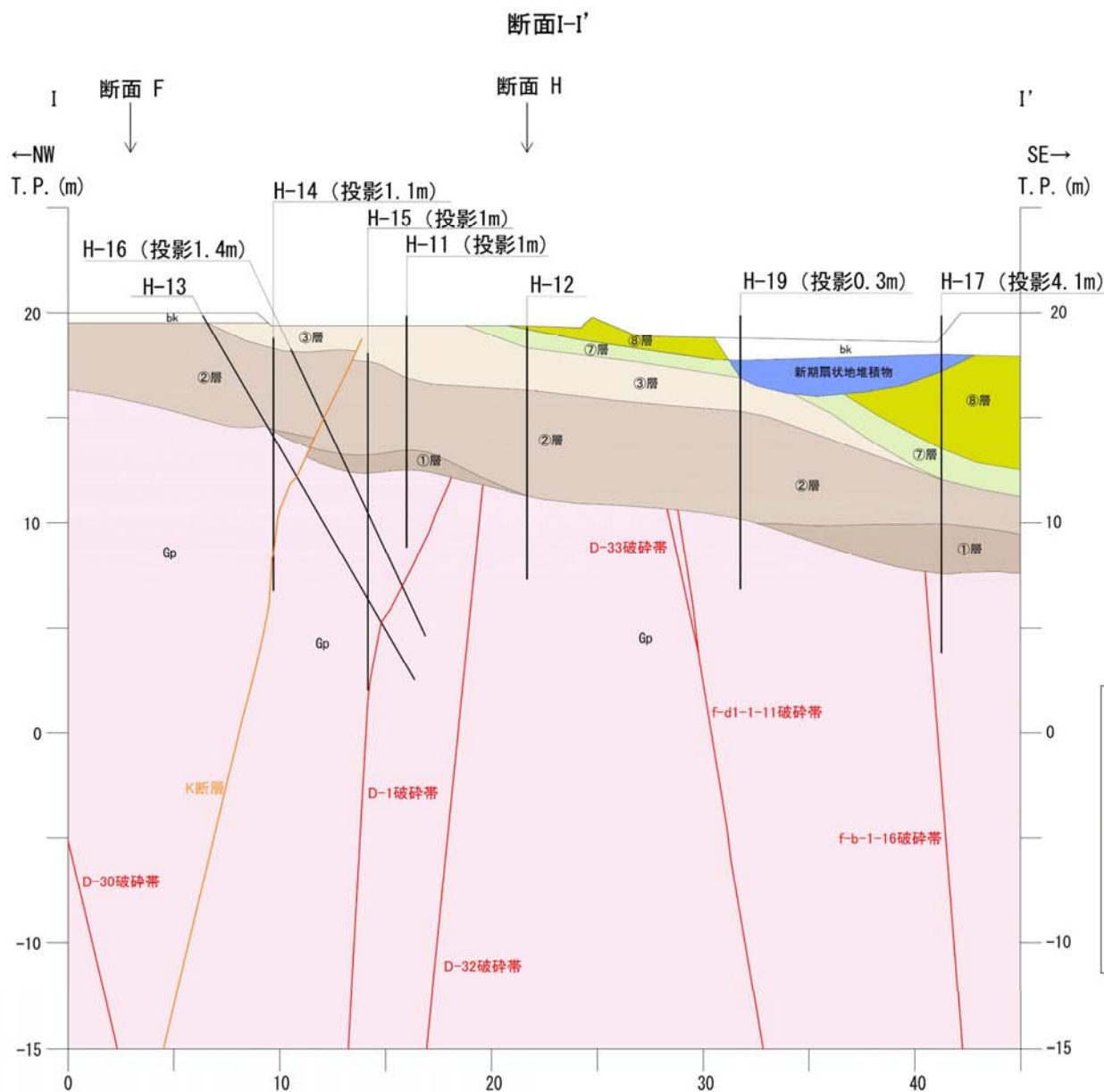
2.1.1 地層の層相及び分布 D-1トレンチ内の断面図 (断面C-C')



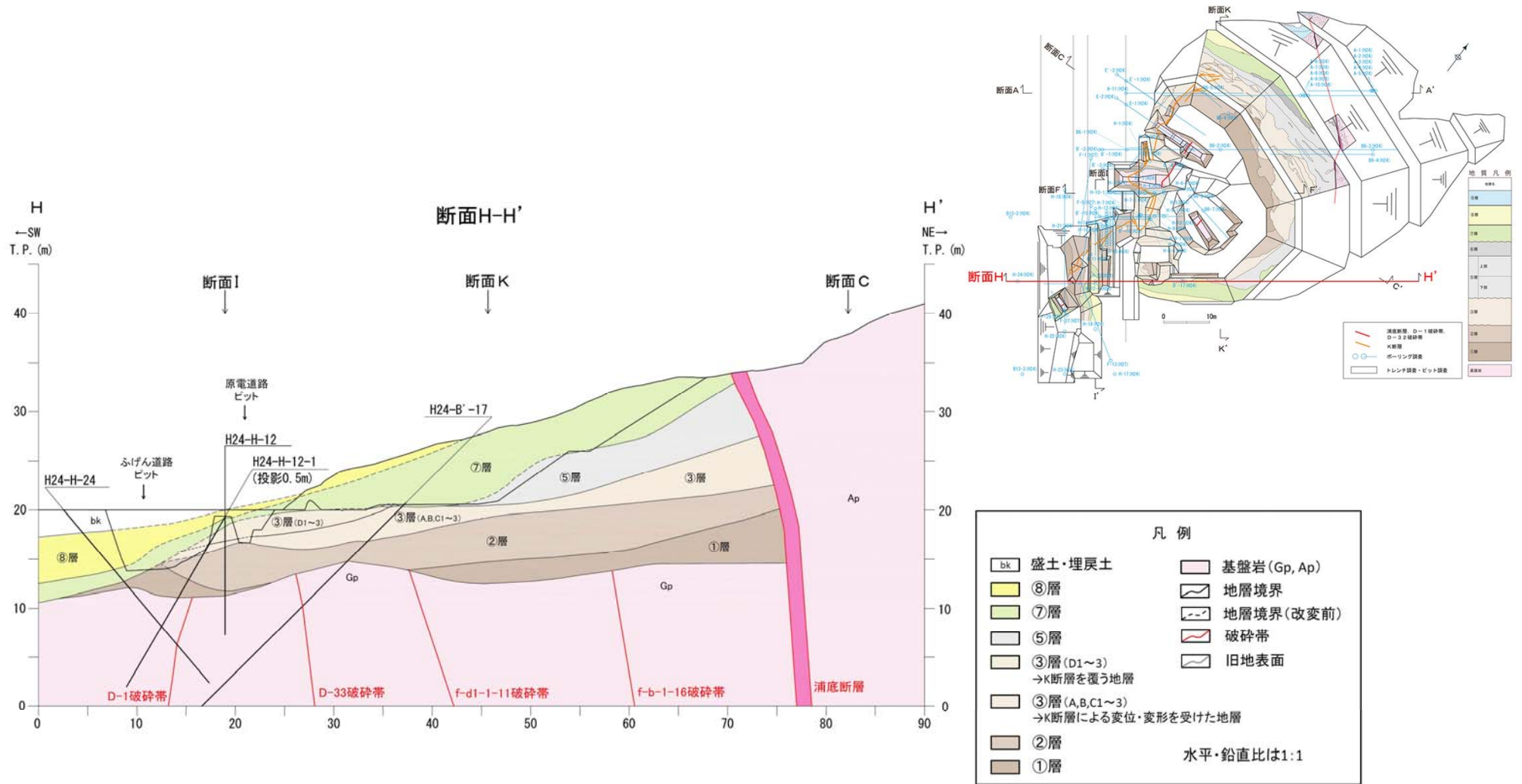
2.1.1 地層の層相及び分布 D-1トレンチ内の断面図 (断面F-F')



2.1.1 地層の層相及び分布 D-1トレンチ内の断面図 (断面I-I')



2.1.1 地層の層相及び分布 D-1トレンチ内の断面図 (断面H-H')

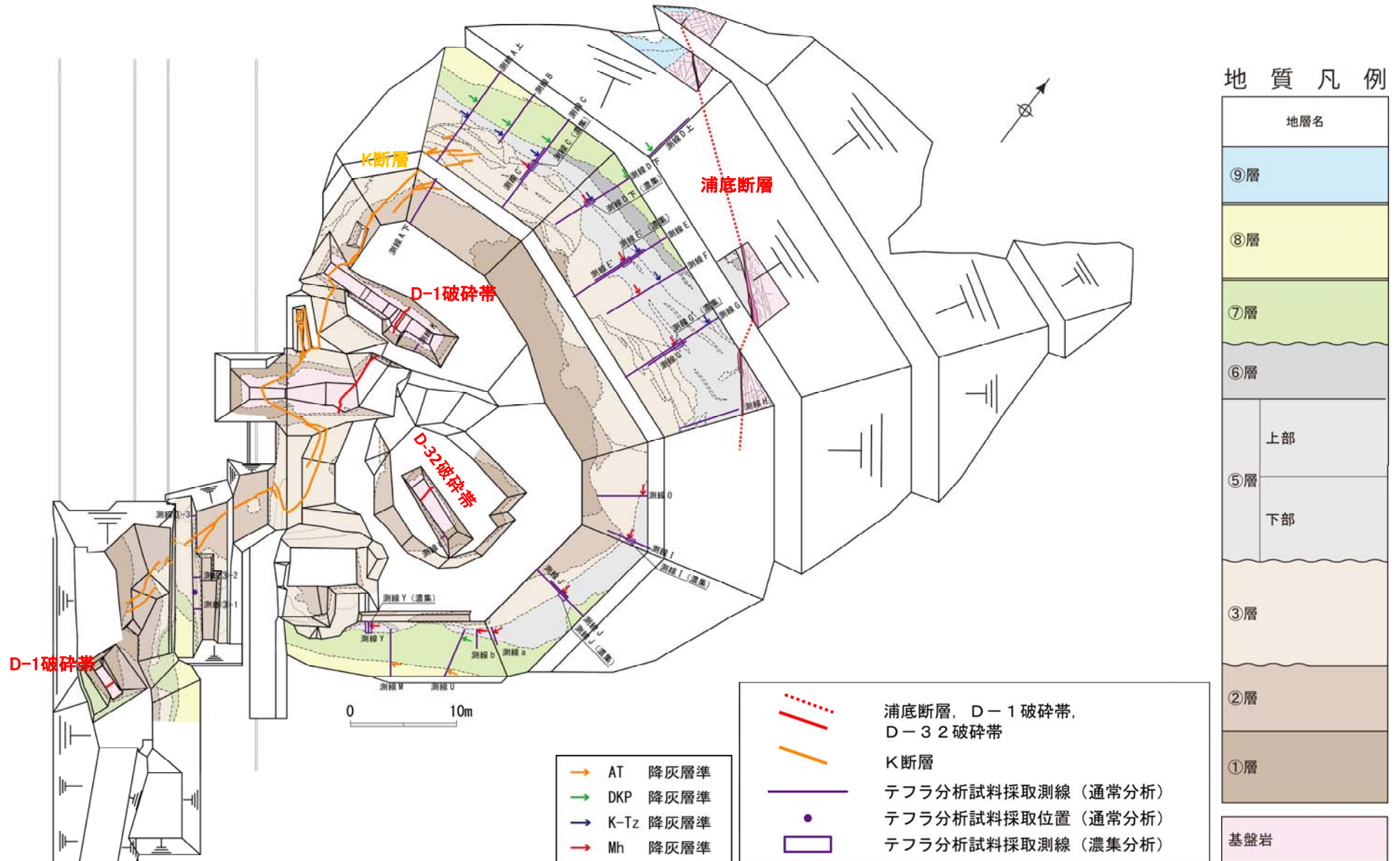


余白

2.1.2 地層の堆積年代

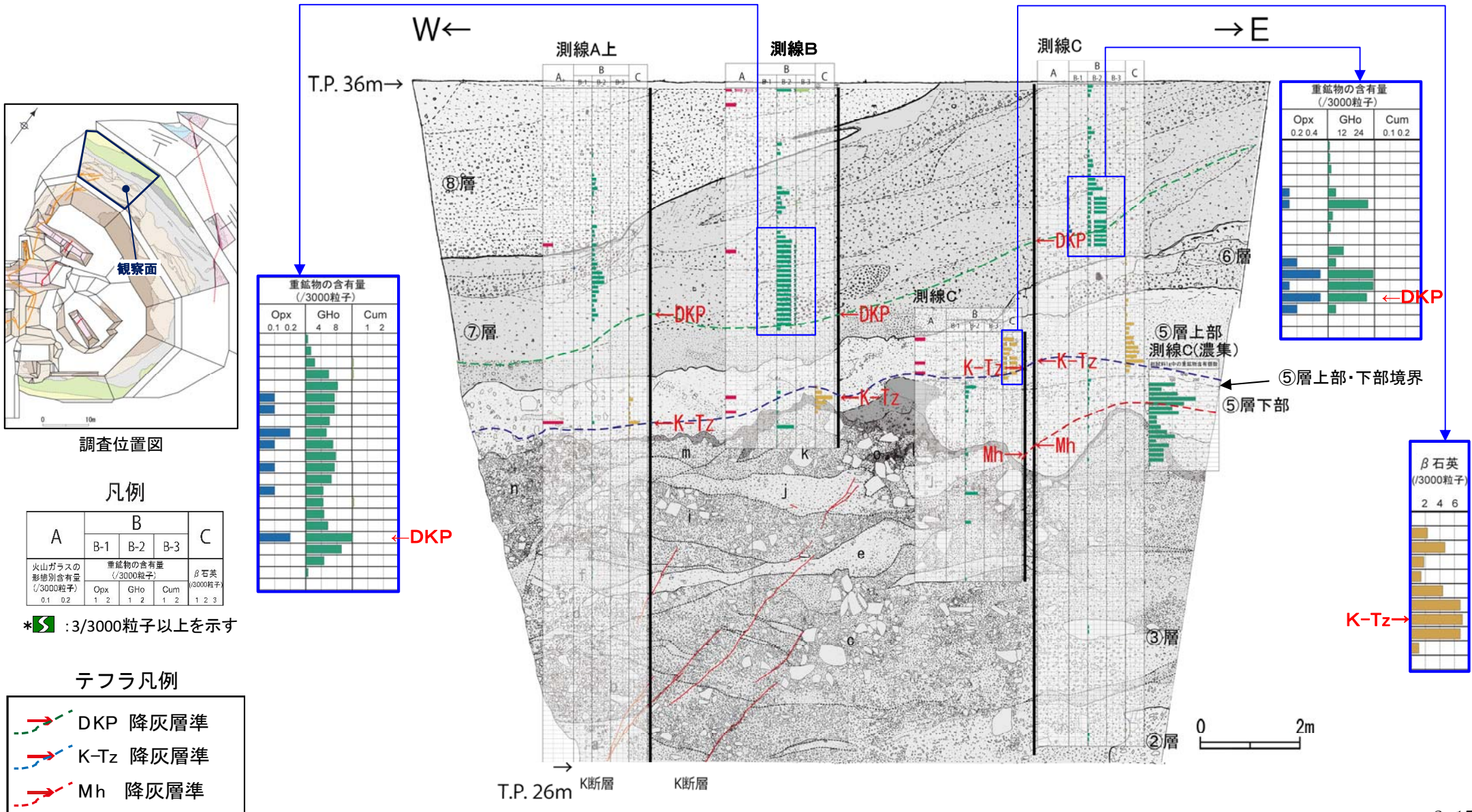
2.1.2 地層の堆積年代 テフラ分析結果（分析試料採取位置）

- 地層の堆積年代を評価するため、テフラ分析(通常分析, 重鉍物濃集分析, 主成分分析)を実施した。
- 試料採取測線の位置を下記に示す。
- ⑤層は, 堆積構造の違いから上部と下部に細区分される。
- ⑤層下部は北法面の東方に向かって層厚が厚くなっており, ⑤層上部は緩い西傾斜で一定の層厚を示す。⑤層は下位の③層とは不整合関係で接する。

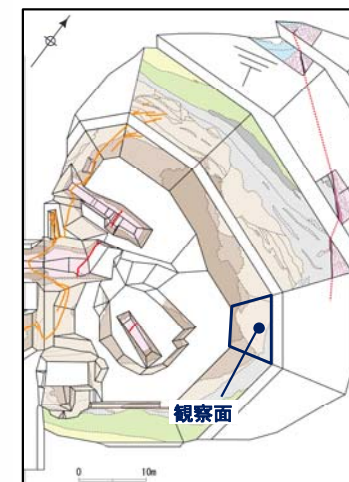
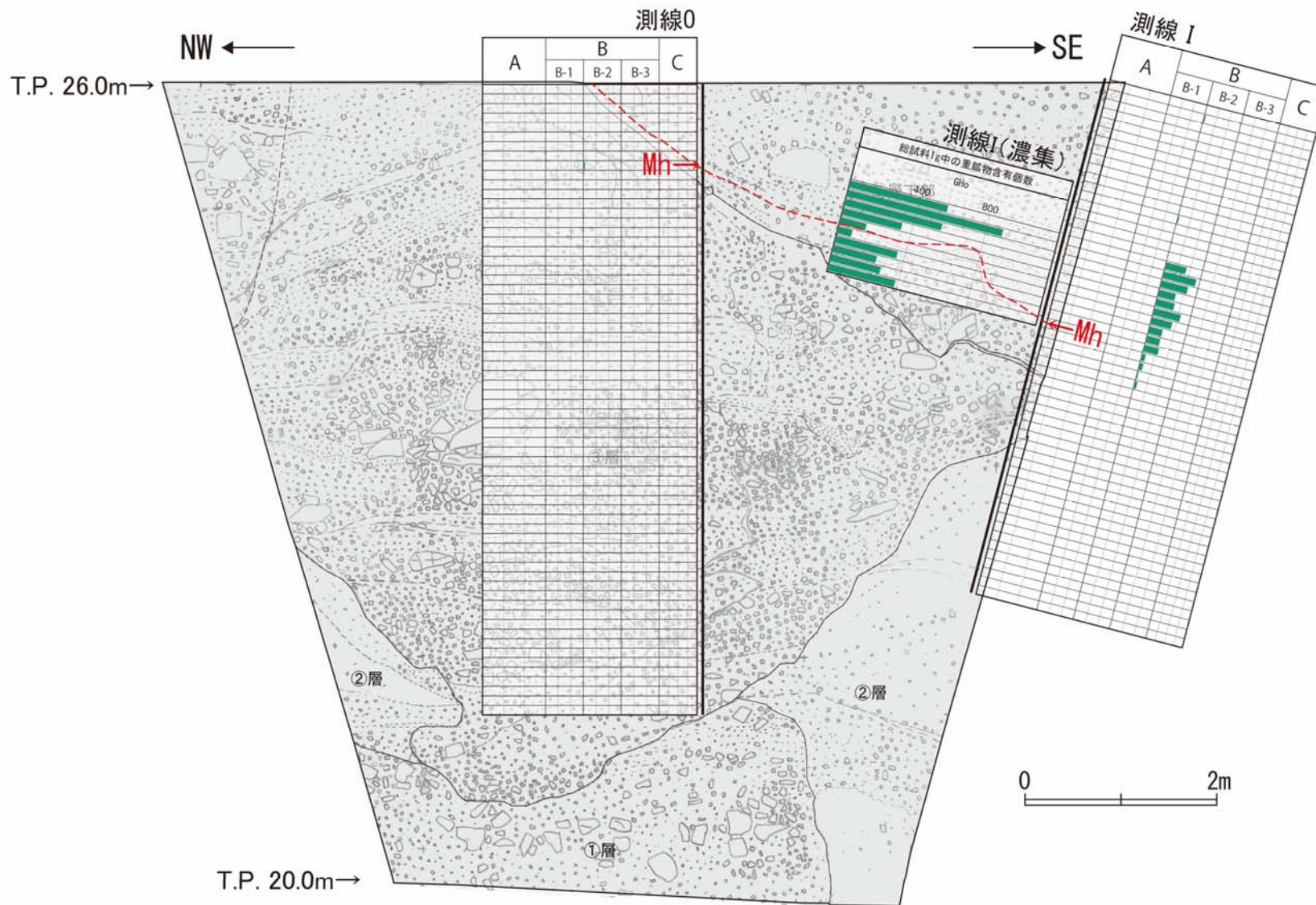


2.1.2 地層の堆積年代 テフラ分析結果 (D-1トレンチ 北西法面)

- ⑤層下部に産出するテフラについては、テフラの通常分析、重鉱物濃集分析の結果によれば、普通角閃石、斜方輝石等からなる。
- また、これらの鉱物の主成分分析等の結果によれば、美浜テフラ及び後述する明神沖テフラ(MIS5eの高海面期に降灰)からなる。
- ⑤層下部中の美浜テフラの普通角閃石には検出量のピークが認められ、このピークは全てのテフラ分析測線で確認されている。
- また、このピークは同一層準(礫混じりシルト質砂)中に認められる。
- さらに、このピークは、鬼界葛原テフラや大山倉吉テフラの層位関係と逆転していない。
- これらのことから、⑤層下部において美浜テフラの降灰層準を認定することができる。



2.1.2 地層の堆積年代 テフラ分析結果 (D-1トレンチ 北東法面)



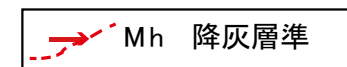
調査位置図

凡例

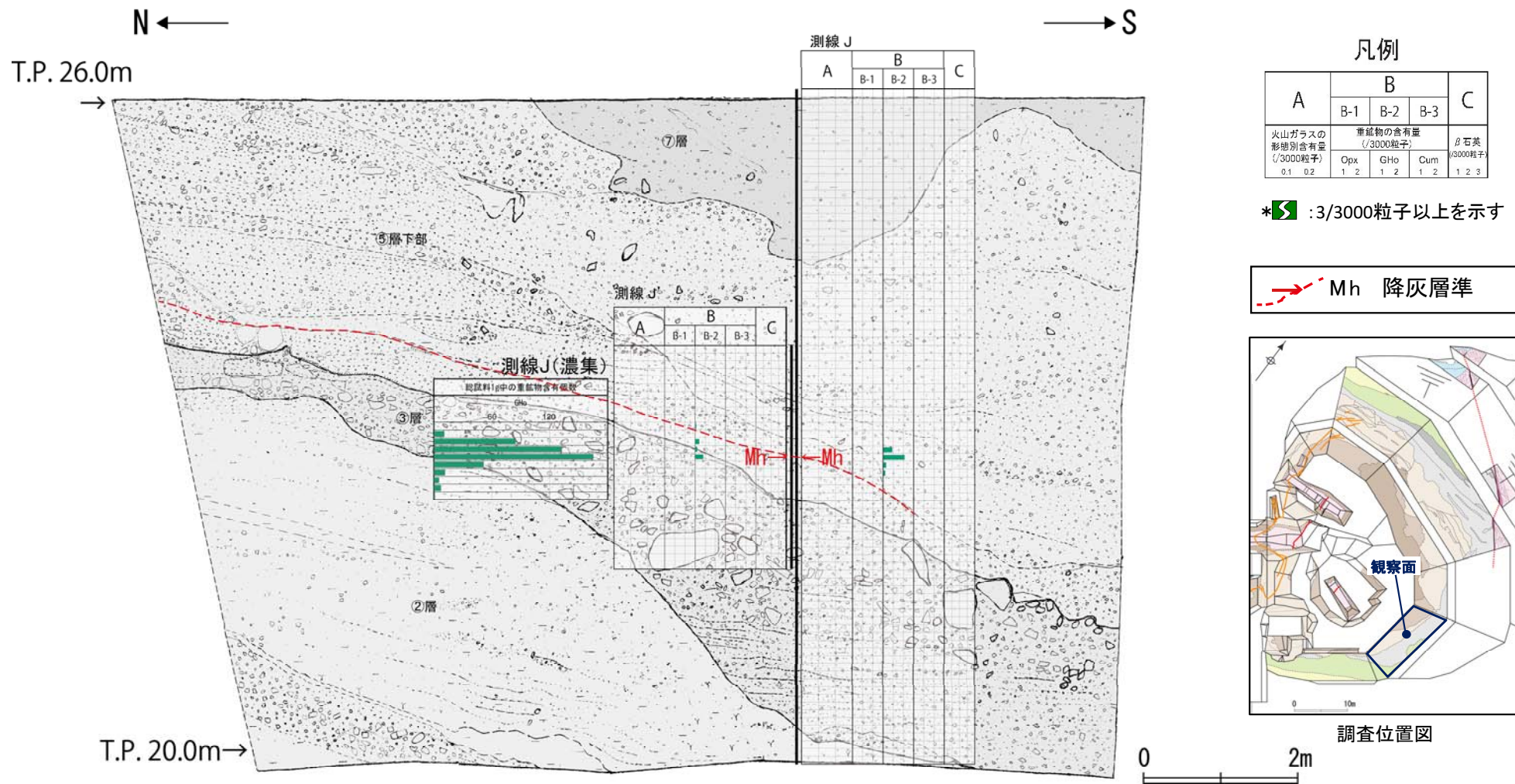
A	B			C
	B-1	B-2	B-3	
火山ガラスの 形態別含有量 (/3000粒子)	重鉱物の含有量 (/3000粒子)			β石英 (/3000粒子)
0.1 0.2	Opx 1 2	GHo 1 2	Cum 1 2	1 2 3

* : 3/3000粒子以上を示す

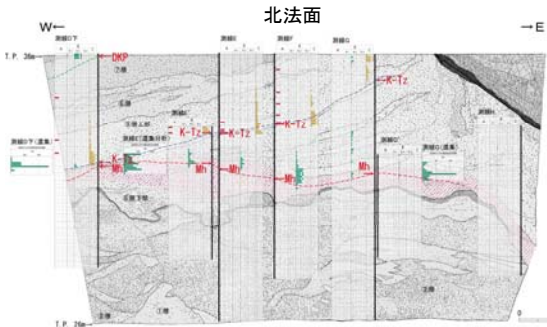
テフラ凡例



2.1.2 地層の堆積年代 テフラ分析結果 (D-1トレンチ 東法面)



2.1.2 地層の堆積年代 テフラ分析結果 (⑤層下部テフラの主成分分析結果(普通角閃石))



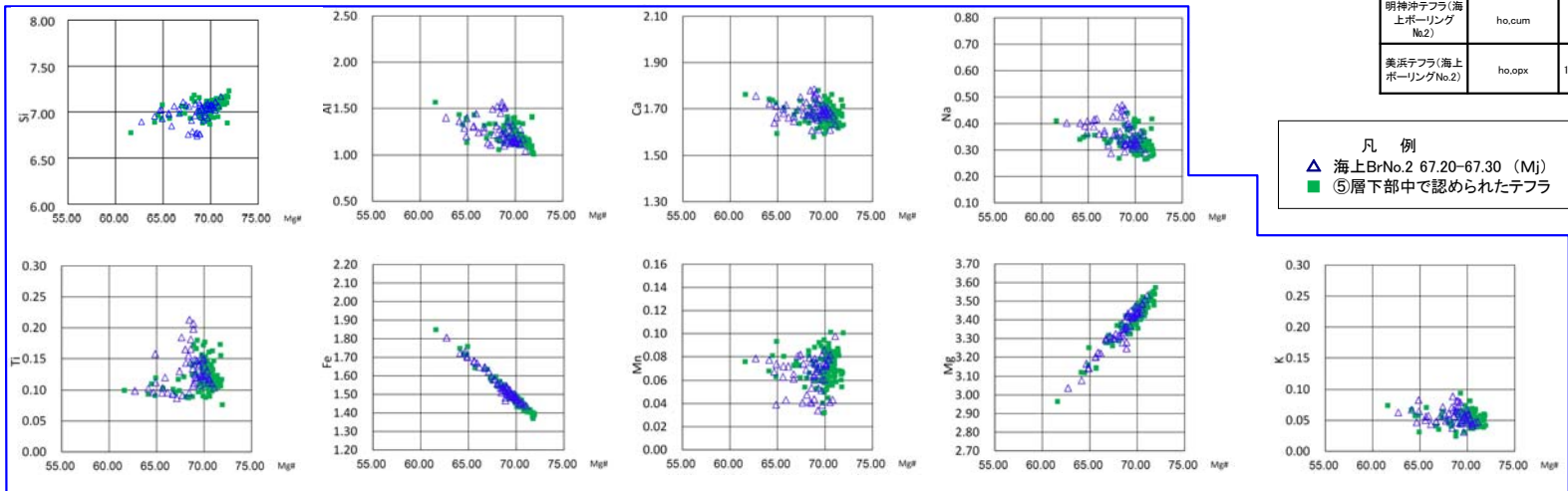
- ⑤層下部中の美浜テフラの降灰層準付近には、普通角閃石からなり、極微量のカミングトン閃石を伴うテフラが認められる。
- 屈折率測定の結果によれば、当該テフラについては、明神沖テフラ及び美浜テフラの屈折率の範囲と良く一致している。
- 普通角閃石の主成分分析の結果によれば、当該テフラについては、美浜テフラと明神沖テフラの両者のMg及びFeの分布と重なっており、その他の元素についても両者のMg#の範囲と元素の含有量の範囲と重なっている。
- カミングトン閃石の主成分分析の結果によれば、当該テフラについては、明神沖テフラのMg及びFeの分布と重なっており、その他の元素についてもMg#の範囲と元素の含有量の範囲と重なっている。
- 以上のことから、当該テフラは明神沖テフラ及び美浜テフラを合わせたものに対比される。

--- : 美浜テフラ降灰層準
 [斜線] : 美浜テフラを含む層準(凝混じりシルト質砂)

屈折率分析結果: 試料番号 測線E

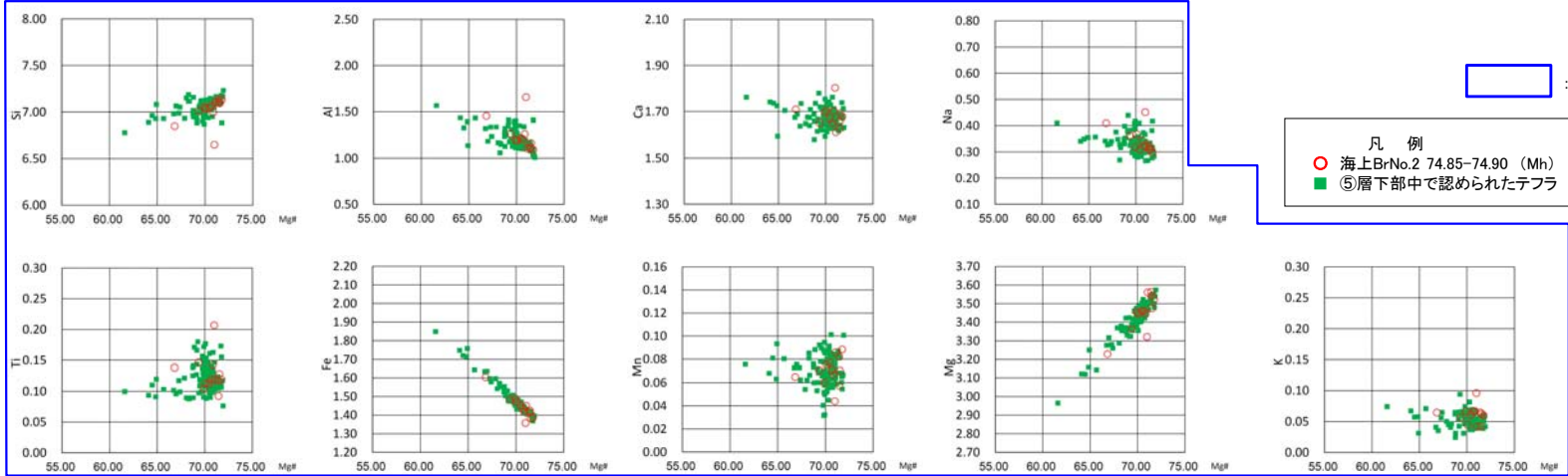
対比項目	主な鉱物	普通角閃石 屈折率(mode)	カミングトン閃石 屈折率(mode)	斜方輝石 屈折率(mode)
⑤層下部テフラ	ho	1.669-1.683(1.671)	1.658-1.666(1.660)	1.704-1.711(1.707)
明神沖テフラ(海上ボーリングNo.2)	ho.cum	1.670-1.682(1.674)	1.660-1.668(1.662)	-
美浜テフラ(海上ボーリングNo.2)	ho.opx	1.669-1.686(1.671-1.672)	-	1.702-1.712(1.707)

主成分分析結果(普通角閃石): 試料番号 測線E



凡例
 ▲ 海上BrNo.2 67.20-67.30 (Mj)
 ■ ⑤層下部中で認められたテフラ

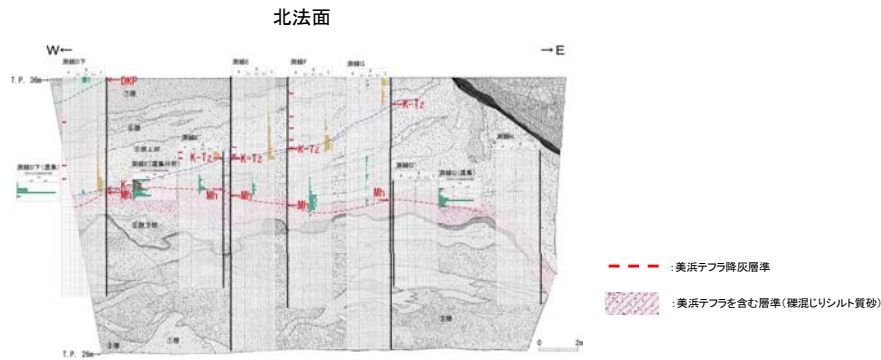
主成分分析結果(普通角閃石): 試料番号 測線E



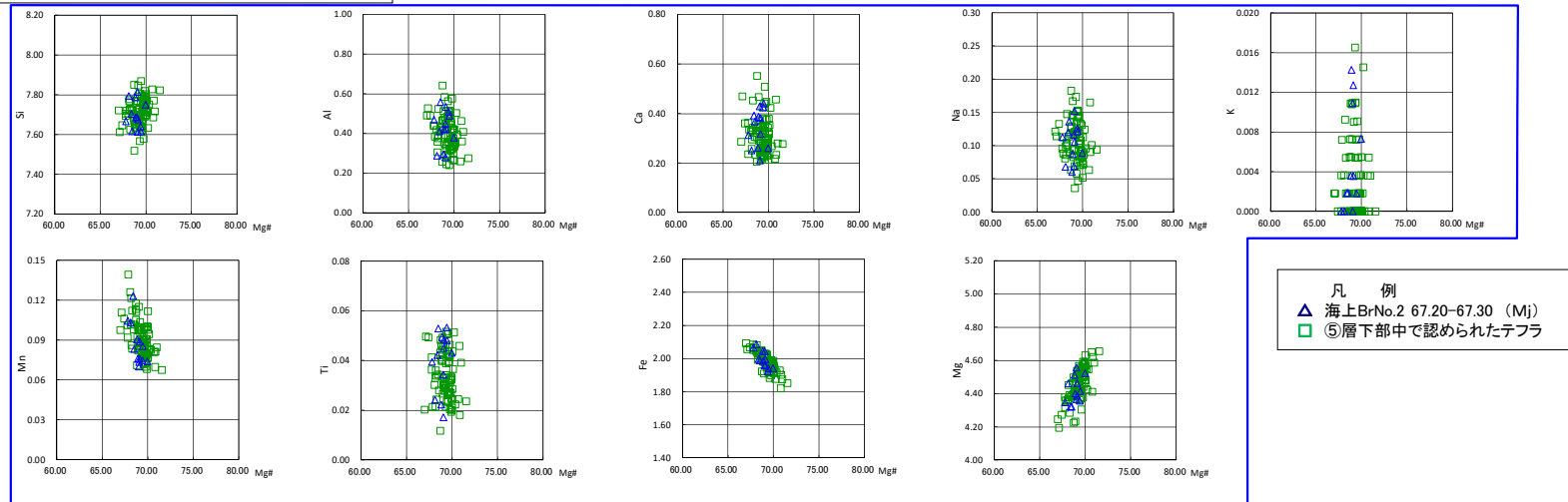
[] : 元素の含有量の重なりが良いもの

凡例
 ○ 海上BrNo.2 74.85-74.90 (Mh)
 ■ ⑤層下部中で認められたテフラ

2.1.2 地層の堆積年代 テフラ分析結果 (⑤層下部テフラの主成分分析結果(カミングトン閃石))



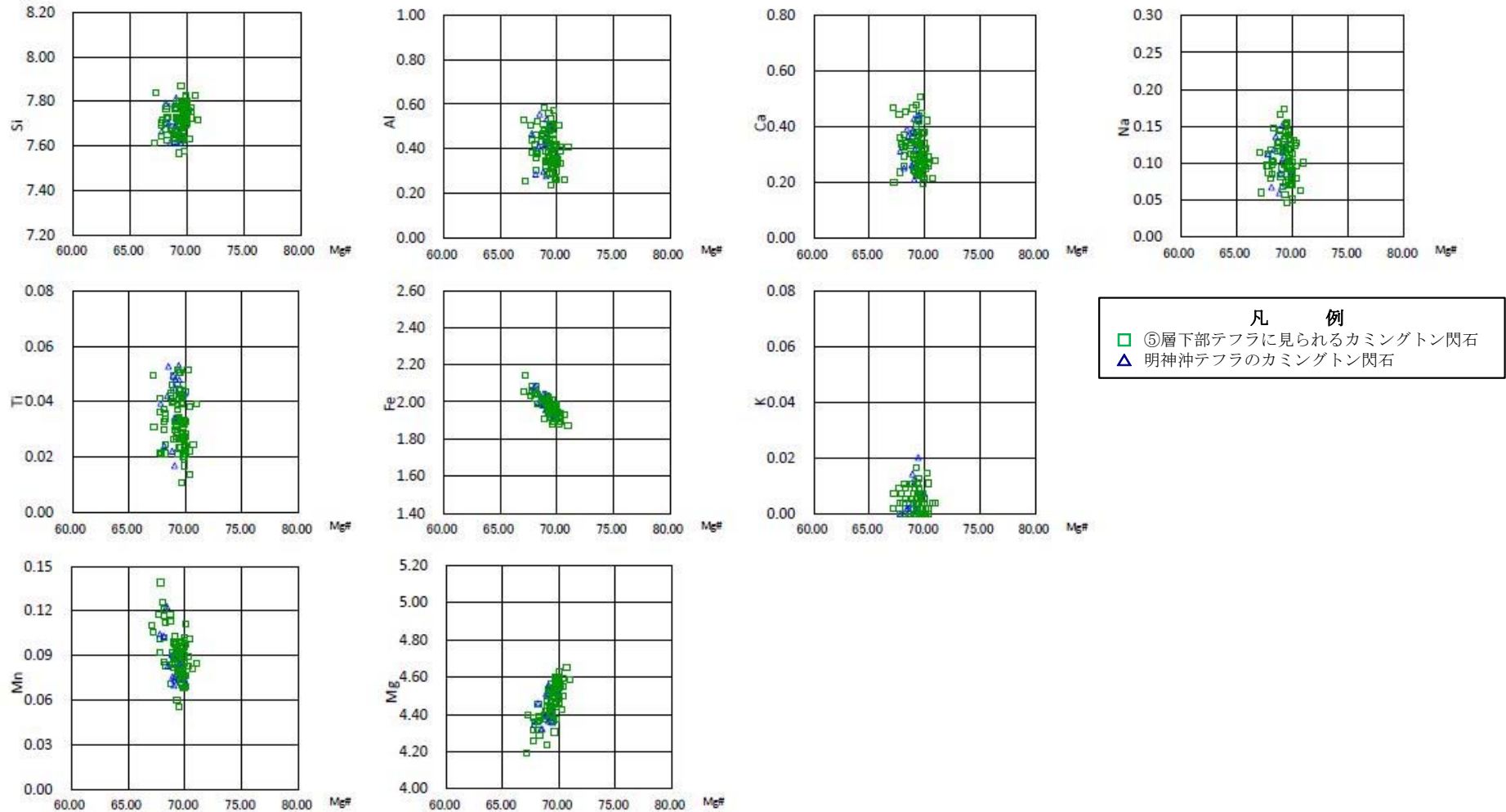
主成分分析結果(カミングトン閃石): 試料番号 測線E



□ : 元素の含有量の重なりが良いもの

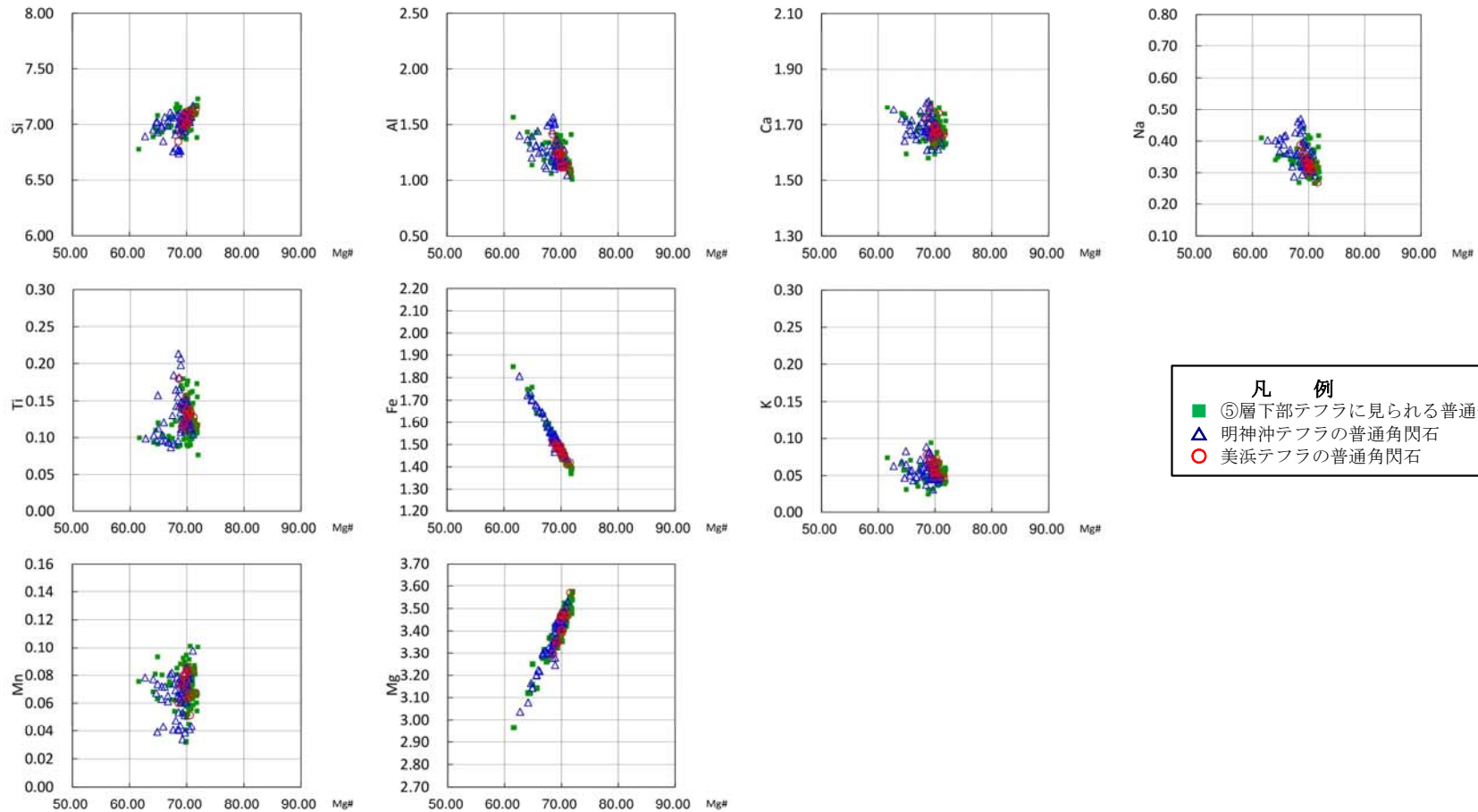
2.1.2 地層の堆積年代 テフラ分析結果 (⑤層下部テフラ(明神沖テフラ)の分析結果(その2))

- ⑤層下部中の美浜テフラの降灰層準付近には、**極微量のカミングトン閃石を伴うテフラ**が認められ、海上ボーリングの深度67m付近で確認された**明神沖テフラ**に対比される。



2.1.2 地層の堆積年代 テフラ分析結果 (⑤層下部テフラ(明神沖テフラ)の分析結果(その3))

- ⑤層下部テフラに見られる普通角閃石の主成分分析結果は、明神沖テフラの普通角閃石と美浜テフラの普通角閃石の両者の主成分分析結果に対応している。



凡 例

- ⑤層下部テフラに見られる普通角閃石
- ▲ 明神沖テフラの普通角閃石
- 美浜テフラの普通角閃石

2.1.2 地層の堆積年代 テフラ分析結果 (D-1トレンチと海上ボーリングの地層の堆積速度(その1))

- 明神沖テフラのカミングトン閃石は、D-1トレンチの10cmの分析ピッチにおいては美浜テフラの降灰層準の分析深度と同一か上位に認められており、両テフラの層位関係は逆転していない。
- ⑤層下部テフラについて10cmピッチで分析を行った結果、上部では明神沖テフラの主成分分析結果の特徴であるMg#70付近より低い測定値も含まれているが、下部では美浜テフラの主成分分析結果の特徴であるMg#70付近に測定値が集中していることから、⑤層下部テフラの上部は明神沖テフラと美浜テフラが混在しているが、下部では美浜テフラのみが分布していると判断される。

普通角閃石

測線C(濃集分析)

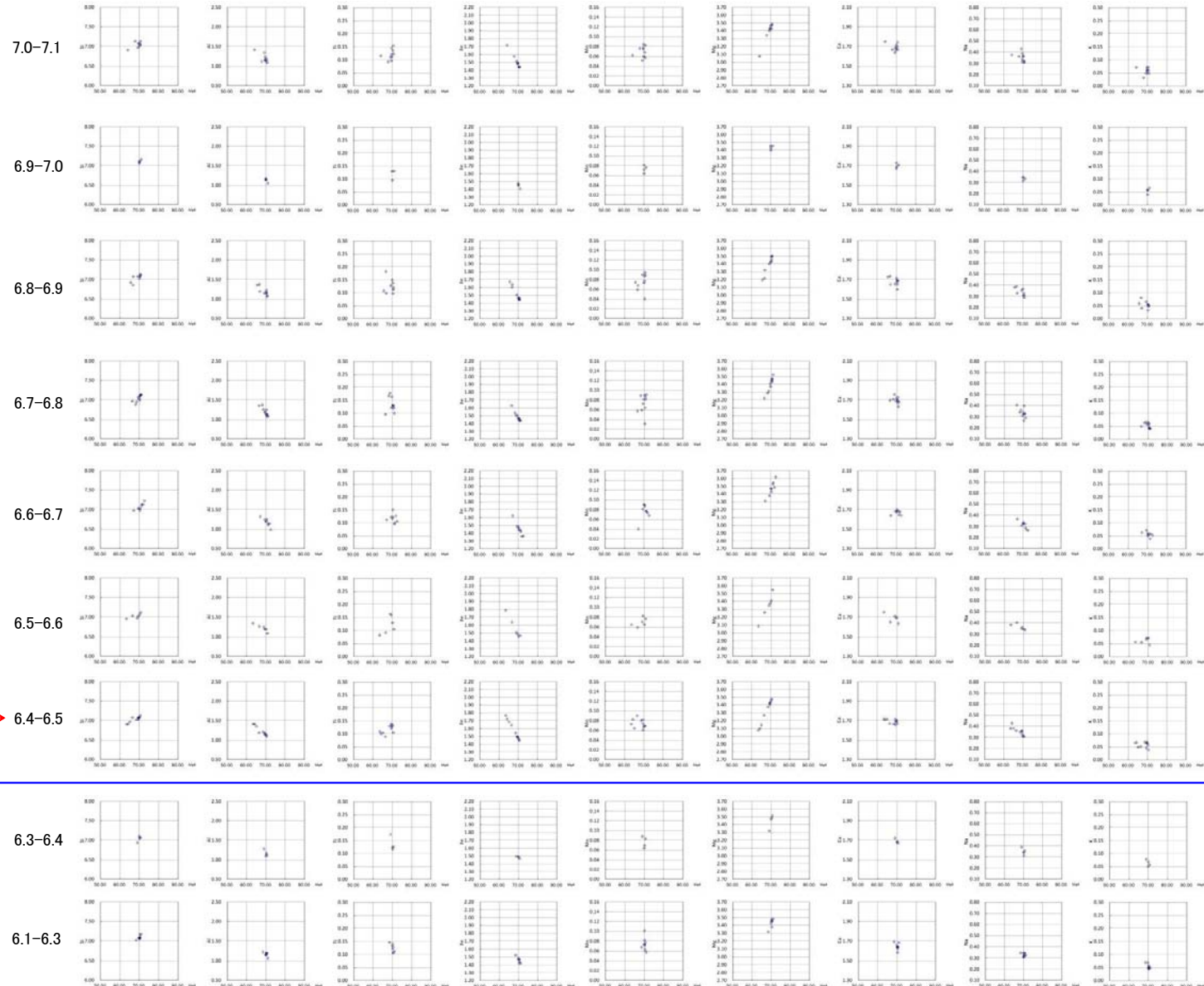
試料番号	総試料1g中の重鉱物含有個数			
	Gho		Cum	
	100	200	4	8
7.7-7.8				
7.6-7.7				
7.5-7.6				
7.4-7.5				
7.3-7.4				
7.2-7.3				
7.1-7.2				
7.0-7.1				
6.9-7.0				
6.8-6.9				
6.7-6.8				
6.6-6.7				
6.5-6.6				
6.4-6.5				
6.3-6.4				
6.2-6.3				
6.1-6.2				
6.0-6.1				
5.9-6.0				

● :主成分分析実施箇所

→ :Mh降灰層準

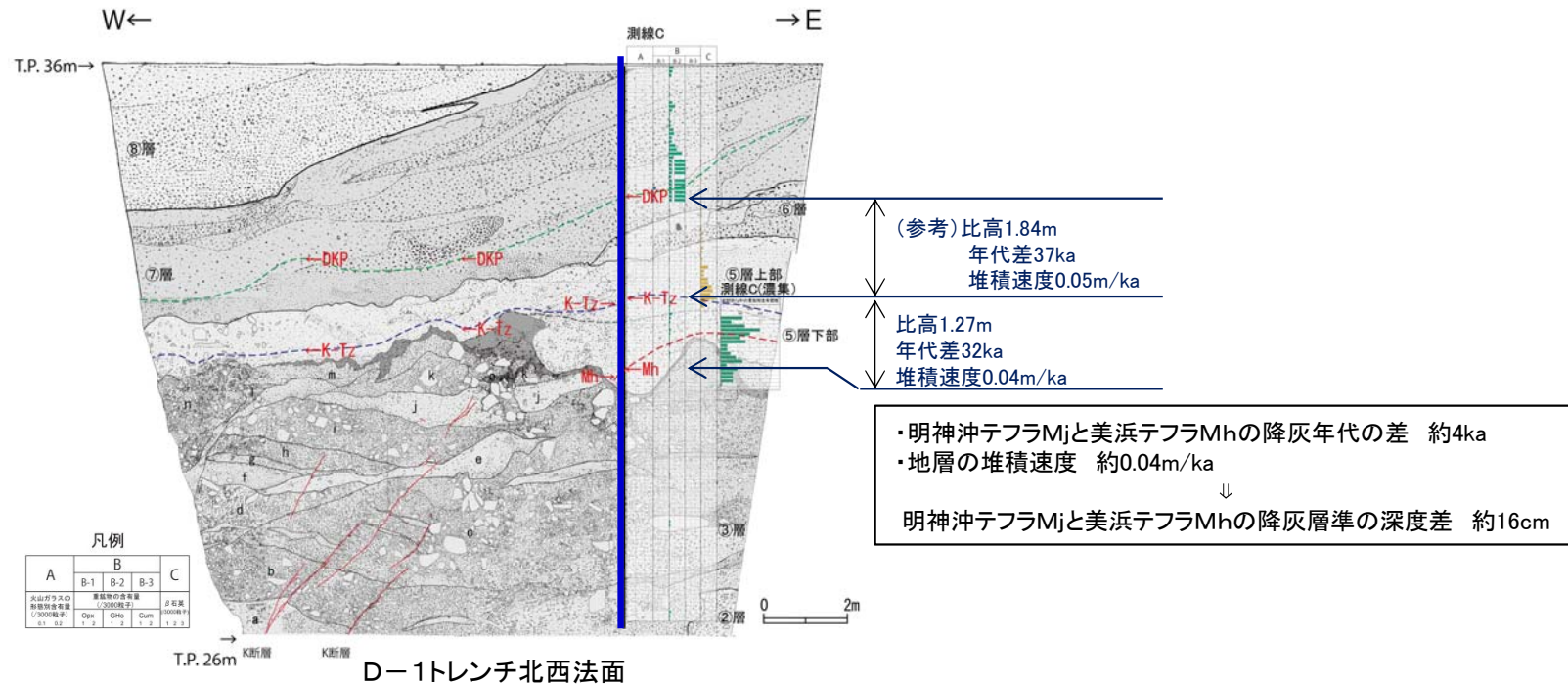
Mg#70付近より低い測定値を示す
普通角閃石も認められる

Mg#70付近に
測定値が集中



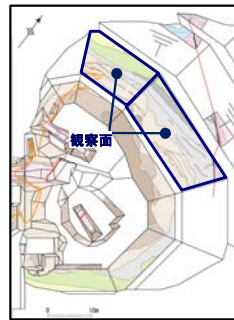
2.1.2 地層の堆積年代 テフラ分析結果 (D-1トレンチと海上ボーリングの地層の堆積速度(その2))

- 10cmの分析ピッチにおいて明神沖テフラと美浜テフラが同一深度で認められることについては、両テフラの降灰年代及び本トレンチの地層の堆積速度の関係等を踏まえ、**地層の二次堆積によるものではないと判断**した。
- 明神沖テフラ及び美浜テフラの降灰年代はそれぞれ約12.3万年前及び約12.7万年前であり、その差は約4kaであるのに対し、D-1トレンチの地層の堆積速度は約0.04m/ka (Mh及びK-Tzの降灰層準に基づき算出)であることから、両テフラは深度差十数cmで近接して降灰したものと考えられる。
- このことから、上位のテフラである**明神沖テフラ**が近接する**下位の美浜テフラの降灰層準へ拡散**したことによるものと判断される。

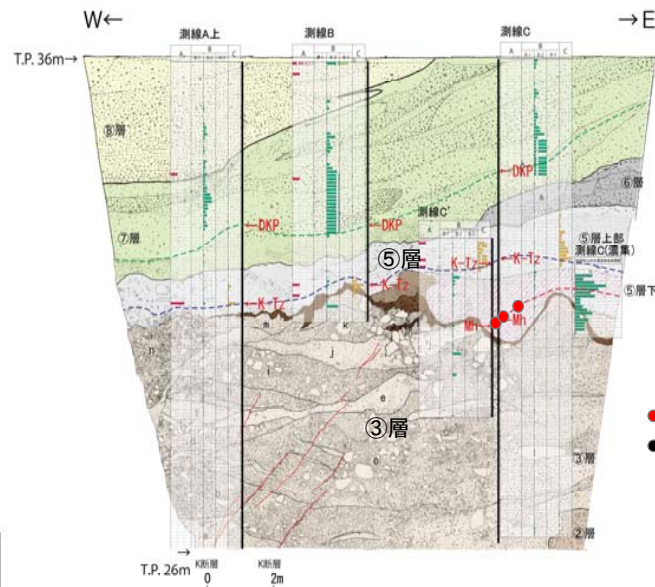


2.1.2 地層の堆積年代 テフラ分析結果 (D-1トレンチ ⑤層の粒度分析結果)

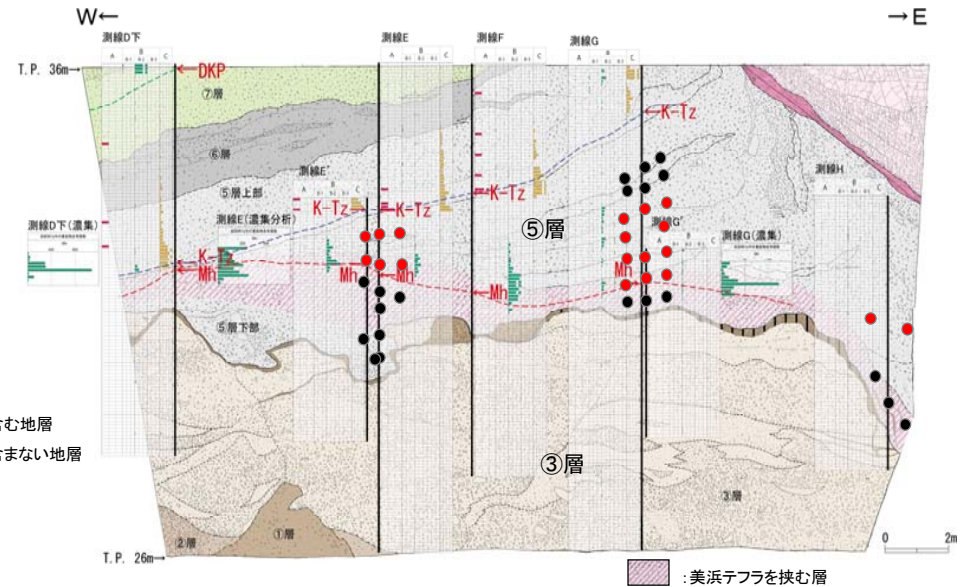
- 全てのテフラ分析測線において、⑤層最下部の地層にはテフラ起源の鉱物が一切認められない。一方、⑤層最下部の地層の粒度は、美浜テフラが認められる地層の粒度と同程度である。
- いずれの地層もテフラ分析粒径範囲に相当する粒径のもので構成されていることから、テフラ起源の鉱物だけが地下水等により流出することはないと判断した。
- ⑤層最下部の地層にテフラ起源の鉱物が認められないのは、降灰したテフラ起源の鉱物が流出したのではなく、テフラの降灰自体がなかったと判断した。
- ⑤層最下部の地層は、美浜テフラ降灰以前に堆積した地層であると判断した。



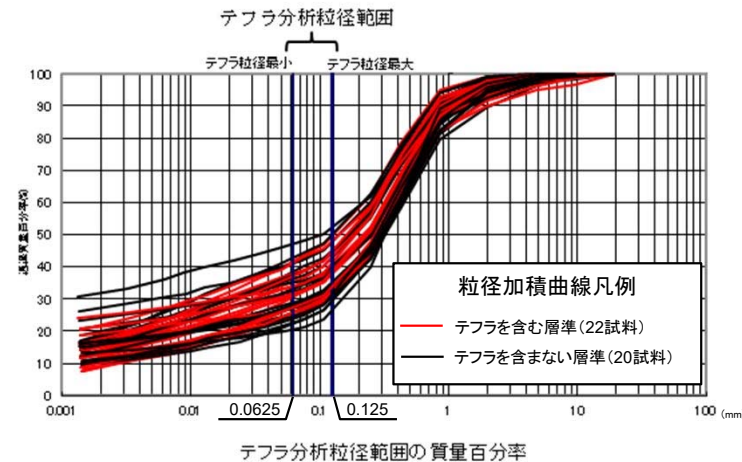
調査位置図



粒度分析用試料採取位置図 (D-1トレンチ北西法面)

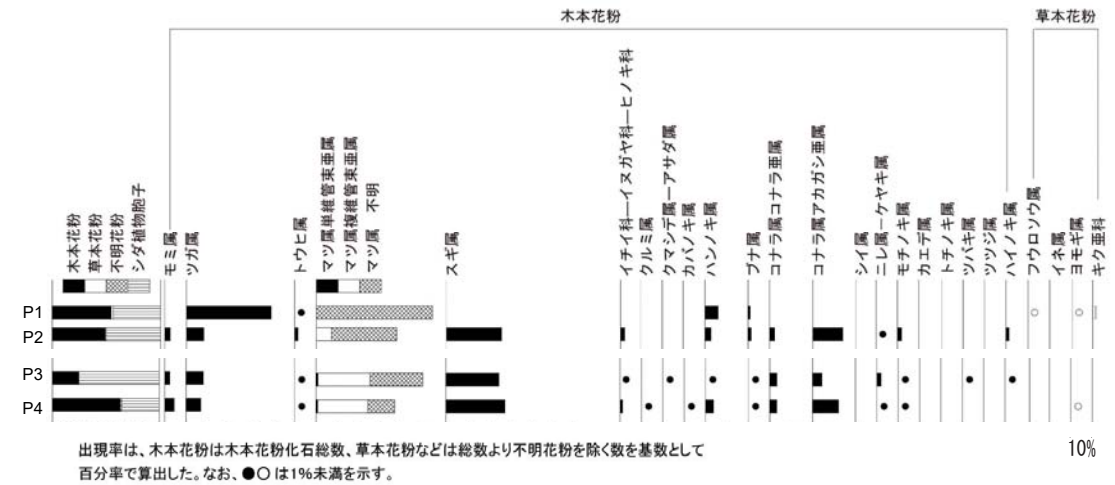
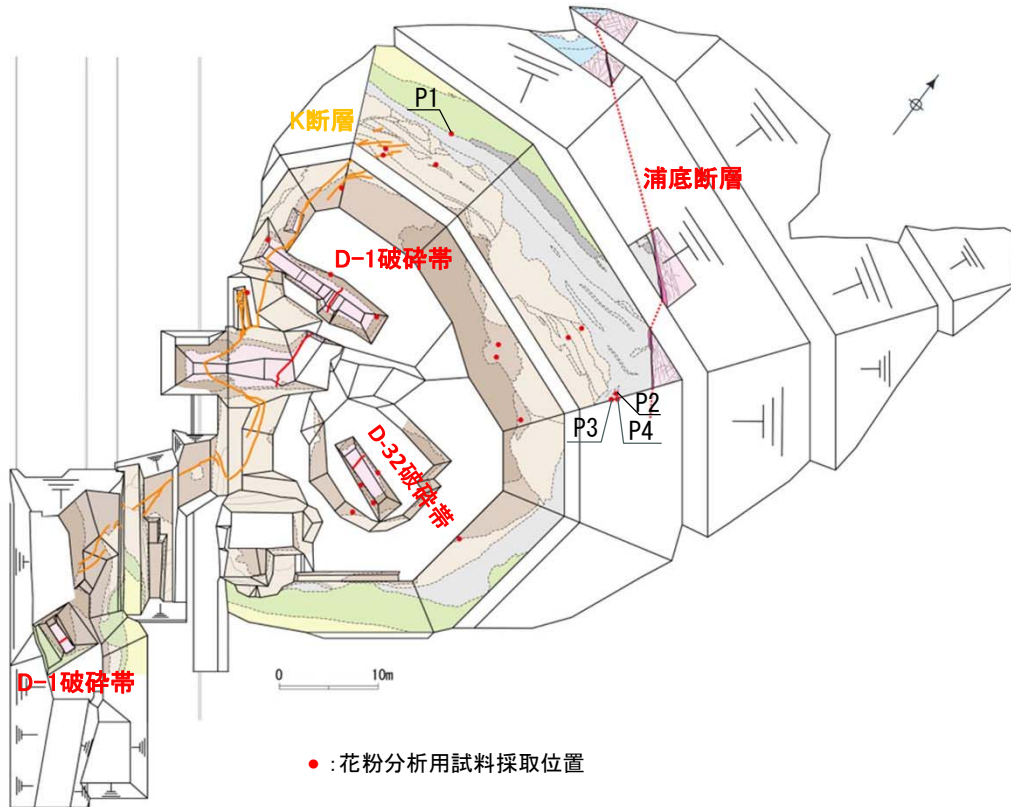


粒度分析用試料採取位置図 (D-1トレンチ北法面)

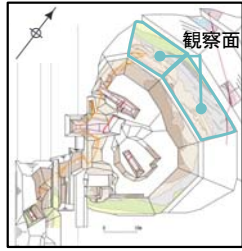


2.1.2 地層の堆積年代 花粉分析結果 (⑤層)

・⑤層下部は、花粉分析結果によれば、**針葉樹のマツ属、スギ属が優勢**であり、他に**広葉樹のコナラ属アカガシ亜属**を含むことから**比較的温暖な気候**と判断した。

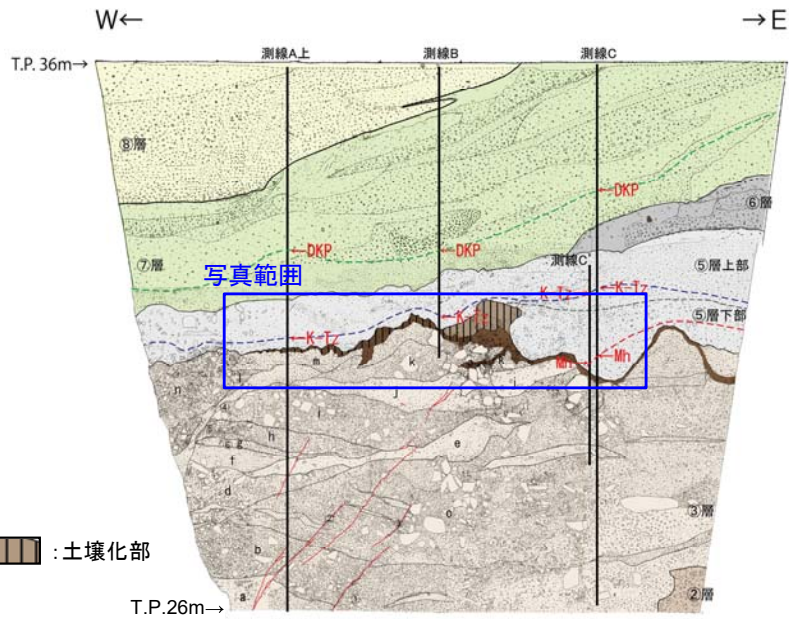


2.1.2 地層の堆積年代 土壌分類と遊離酸化鉄分析（土壌化部の分布）



調査位置図

- ③層は、D-1トレンチ北西法面及びD-1トレンチ北法面の上位の美浜テフラを含む⑤層に不整合関係で覆われている。
- ③層の最上部には、褐色を帯びて土壌化した地層が認められ、D-1トレンチ北西法面から北法面にかけて広く分布している。
- このことは、③層堆積後、⑤層が堆積するまでには土壌を生成するだけの時間間隙があったことを示している。

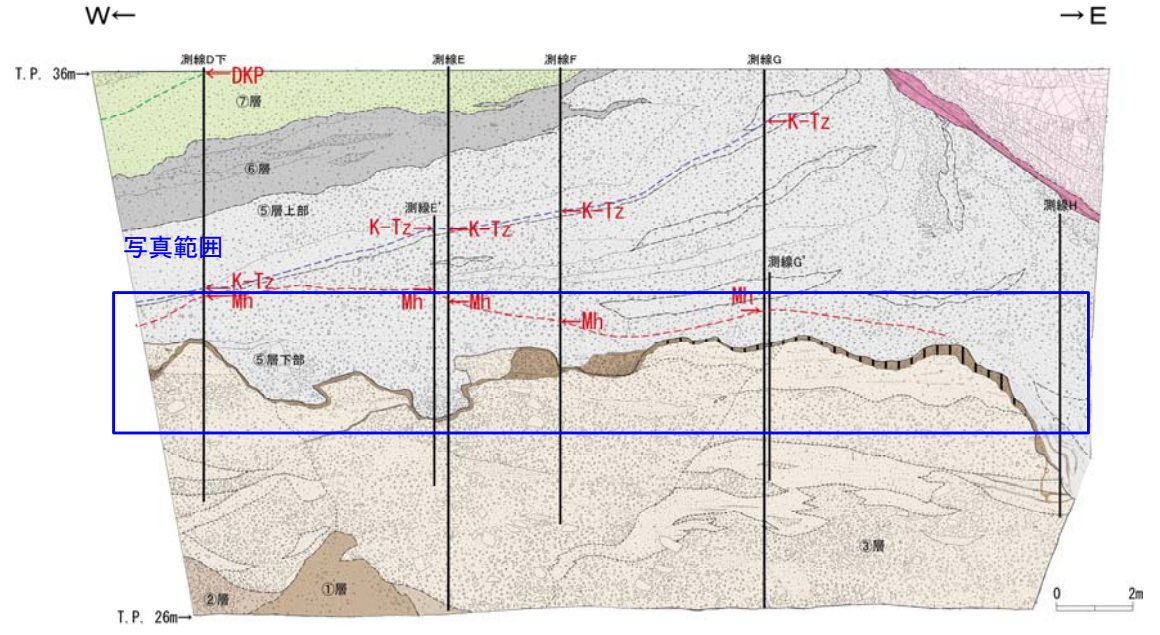


現場確認: 2012年12月



撮影: 2014年6月

D-1トレンチ 北西法面



現場確認: 2012年12月

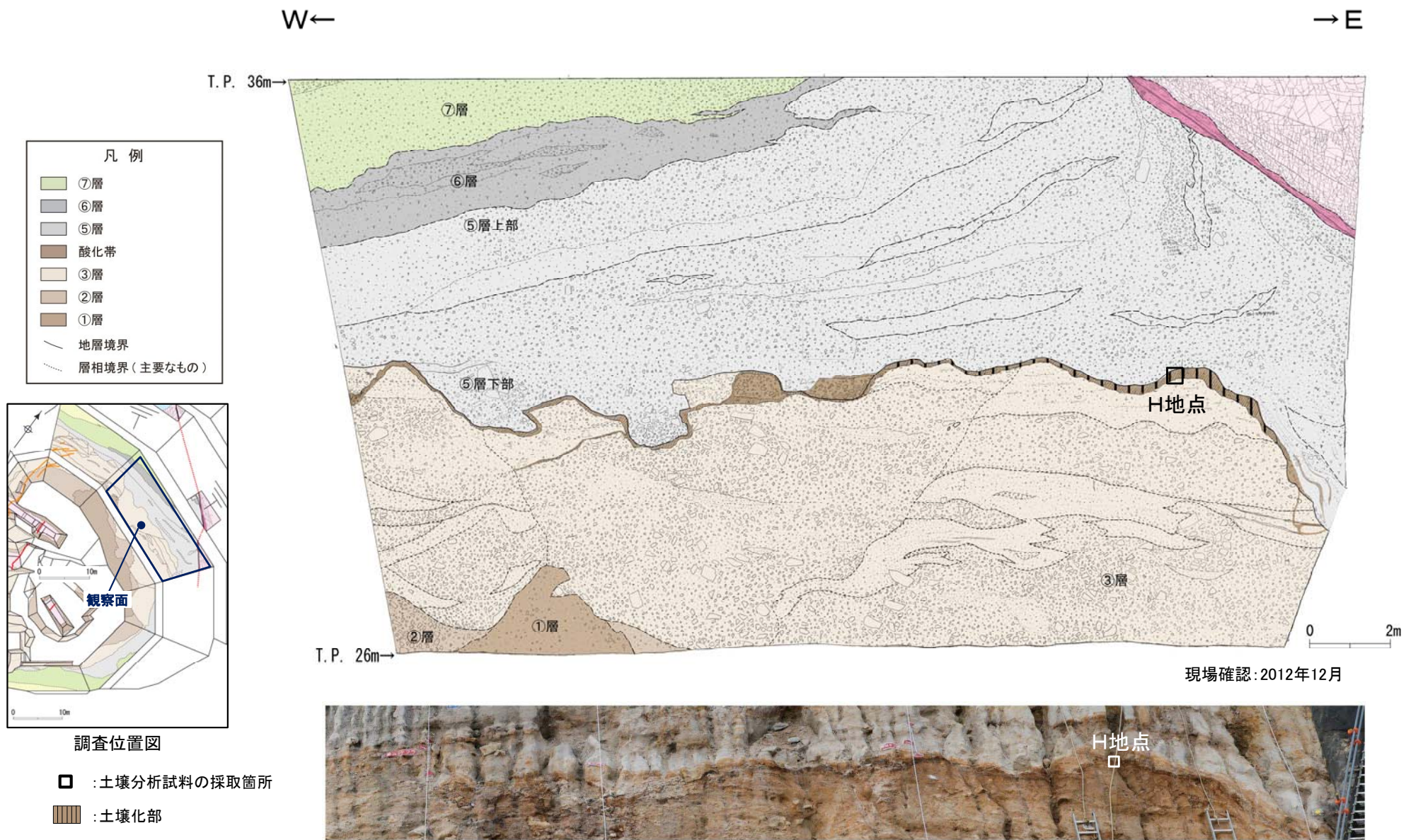


撮影: 2014年2月

D-1トレンチ 北法面

凡例	
⑧層	⑦層
⑥層	⑤層
④層	③層
②層	①層
花崗斑岩	砕砕帯
地層境界	層相境界 (主要なもの)

2.1.2 地層の堆積年代 土壌分類と遊離酸化鉄分析 (D-1トレンチ北法面 試料採取位置)



撮影: 2014年2月

2.1.2 地層の堆積年代 土壌分類と遊離酸化鉄分析（土壌化に関する文献調査）

- 土壌の区分にあたっては、土壌区分で一般的な区分であるA層、B層及びC層の区分を用いており、それらの細区分には下記の区分を参照している。

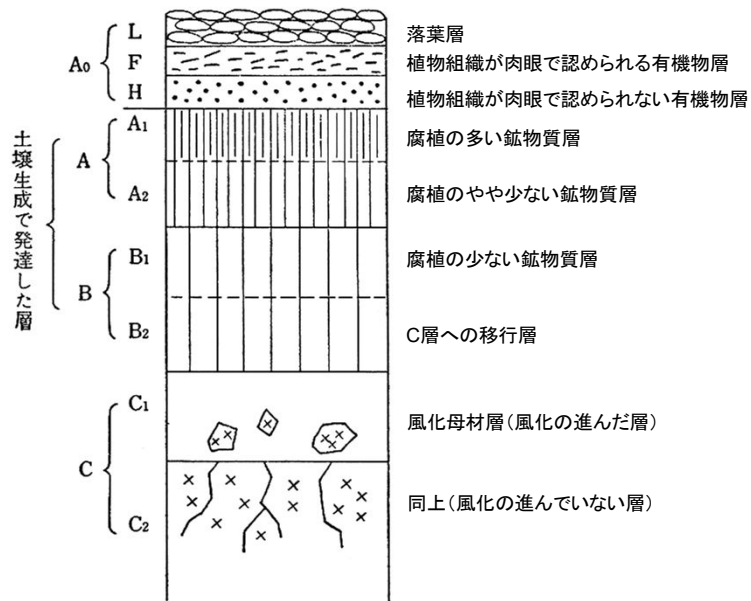


図 3.5 断面順位の模式図（林野土壌とその調べ方¹³⁾より）

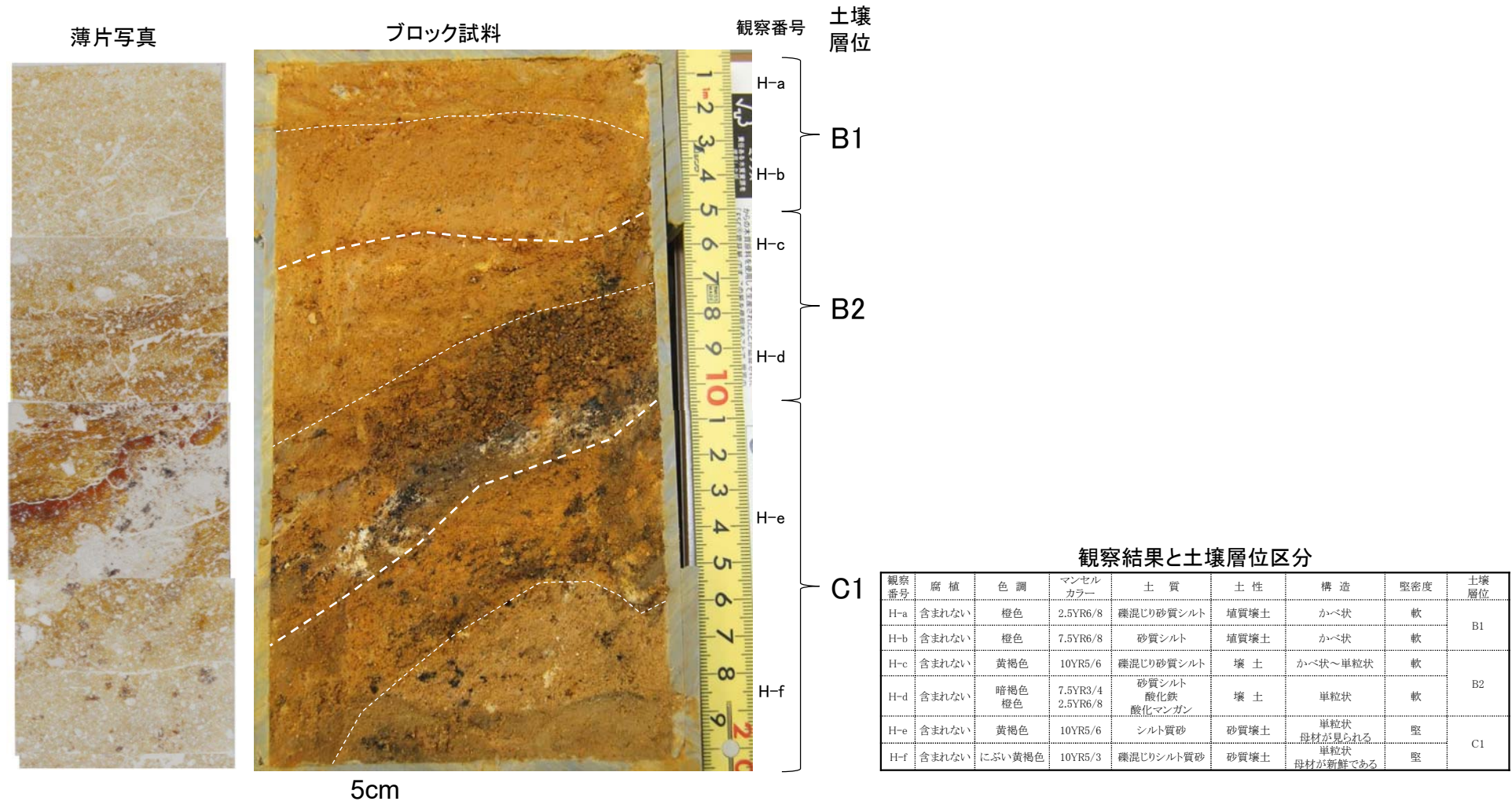
河田・小島(1979):生態学研究法講座30
環境測定法IV－森林土壌－(新訂版)を引用

A ₀ 層	落葉や落枝、草木類遺体やその分解過程にあるものが、地層に堆積した層。堆積腐植ともよばれる。
A層	最表層を占め、腐植で汚染された暗色ないし黒褐色を呈する土層。腐植が無機物と結合して多量に集積している土層で、植生や気候などの環境諸因子の影響をもっとも強く受けている。発達が進み、土色、構造、堅密度などの相違によって層内での分化が認められる場合には、A1, A2, …などに細分する。
B層	A層よりも外界からの影響の受け方が弱い層。腐植による汚染は少なく、母材の色や鉄化合物の影響を受けて、褐色を帯びていることが多い。A層に比べると堅密である。土色、構造、堅密度などによって層内での分化が認められるときには、B1, B2, …などに細分する。
C層	土壌の最下部にあって、母材の風化物からなり、土壌の生成作用の影響をあまり受けていない土層。土色や組成の状態には、母材の影響が強くあらわれている。堅密で、構造は見られず、一般に風化礫が多い。風化の程度によって細分できる場合には、C1, C2層に細分する。

河田・小島(1979):生態学研究法講座30 環境測定法IV－森林土壌－(新訂版)を要約

2.1.2 地層の堆積年代 土壌分類と遊離酸化鉄分析 (D-1トレンチ北法面 土壌分類)

- D-1トレンチ北法面の③層の最上部でサンプリングした試料について、土壌区分で一般的な区分を用いている河田・小島(1979)に基づき、詳細な観察を行い、同層が**土壌生成で発達したB層(B1層及びB2層)**に対応する特徴を有していることを確認した。
- ブロック試料の観察の結果、土壌を構成する粒子の状況からH-a~H-fに分帯される。
- H-a~H-fに分帯したゾーンのうち、観察番号H-a~H-dは土壌化していると判断される。
- 観察番号H-a, H-bは粘土を含む礫混じり砂質シルトからなり、母材の色や鉄化合物の影響を受けていることがみられるため、河田・小島(1979)の文献に照らして土壌層位B1層に区分される。
- 観察番号H-c, H-dは粘土を含む礫混じり砂質シルトからなり、B1層よりも母材の色や鉄化合物の影響を強く受けていることがみられるため、河田・小島(1979)の文献に照らして土壌層位B2層に区分される。
- 母材の風化物からなり、土壌の生成作用の影響をあまり受けていない、堆積物の性状が明瞭になる観察番号H-e, H-fはC1層に区分される。
- この土壌について、土壌生成で発達したと判断したB1層及びB2層を対象に遊離酸化鉄分析を実施した。



2.1.2 地層の堆積年代 土壌分類と遊離酸化鉄分析（遊離酸化鉄分析結果）

- Maejima et al. (2002)によれば、年代が明らかな喜界島の石灰岩を母材とする土壌について、土壌の絶対年代と遊離酸化鉄の結晶化指数との間に高い相関関係があると、遊離酸化鉄の活性度と結晶化指数が、年代が古いほど活性度は小さく、結晶化指数が大きくなる傾向があることを示した(図1)。
- 山家・八木(1983)によれば、越後平野周辺の新第三紀鮮新世及び前期更新世の泥岩、並びに白亜紀の花崗岩を母材とする土壌には、風化が進行した赤色土でも、遊離酸化鉄の生成がそれほど進んでいないものと、鉄のほとんどが遊離態となっているものが存在し、各土壌の結晶化指数の値の範囲がいずれも大きいため、この地域の土壌の区分の根拠として結晶化指数を使用するのは困難があるとされている(図2)。
- 永塚(1975)によれば、西南日本の段丘堆積物や風成塵(レス)を母材とする土壌について分類を行い、高位段丘及び丘陵の赤色土の遊離酸化鉄の分析値が、活性度が0.4より小さく、結晶化指数は0.5より大きくなるとし、全鉄中の結晶質遊離酸化鉄の割合が極めて高いのは、生成年代が古いために結晶化が進行していることを推定した(図3)。
- D-1トレンチ北法面の③層最上部の土壌化した地層について、**遊離酸化鉄分析を行った結果、活性度は0.1よりも小さく、結晶化指数は0.7程度以上となった。**この結果は、**3つの文献が示す赤色土の範囲に概ね一致した。**結晶化指数は0.69~0.95の範囲で大きくばらついている(表1)。
- 以上のことから、**③層最上部に分布する土壌化した地層は、⑤層下部が堆積するまでに大きく風化が進行し、赤色土化したものと判断した。**

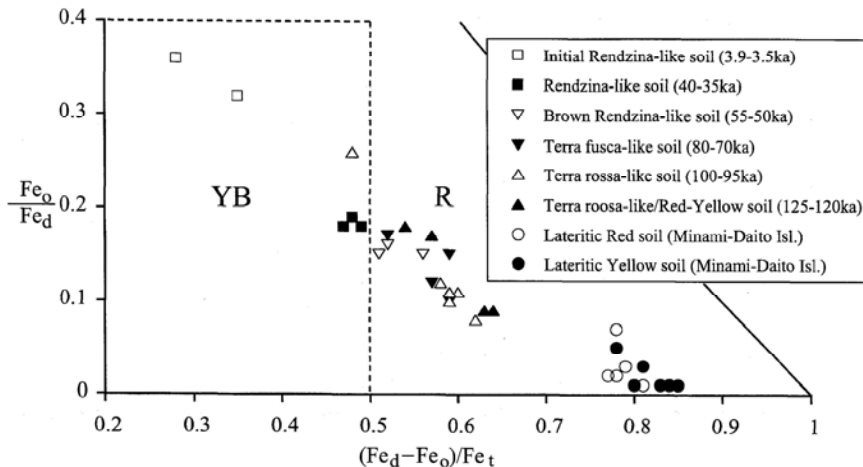


図1. 遊離酸化鉄の活性度—結晶化指数 (Maejima et al. (2002))

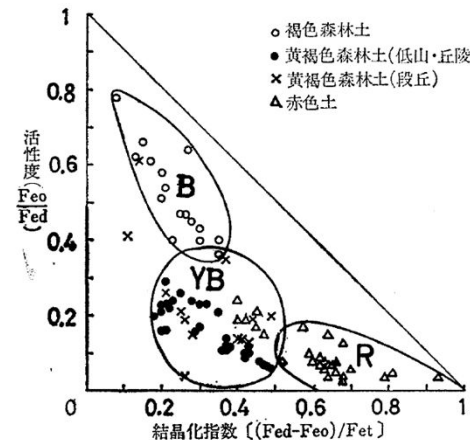


図3. 遊離酸化鉄の活性度—結晶化指数 (永塚(1975))

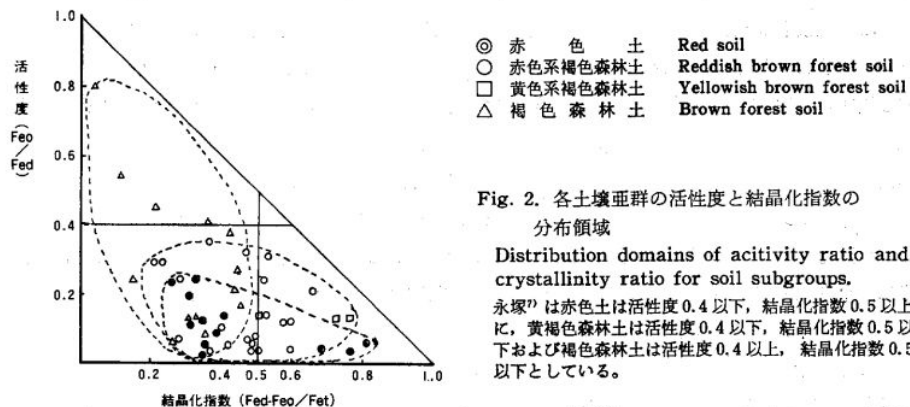


Fig. 2. 各土壌亜群の活性度と結晶化指数の分布領域

Distribution domains of activity ratio and crystallinity ratio for soil subgroups.

永塚²⁾は赤色土は活性度0.4以下、結晶化指数0.5以上に、黄褐色森林土は活性度0.4以下、結晶化指数0.5以下および褐色森林土は活性度0.4以上、結晶化指数0.5以下としている。

図2. 遊離酸化鉄の活性度—結晶化指数 (山家・八木(1983))

表1. D-1トレンチ③層最上部土壌の遊離酸化鉄分析結果

土壌層位観察番号	分析手法	活性度	結晶化指数
		Fe_o/Fe_d	$(Fe_d-Fe_o)/Fe_t$
H-a	乾式	0.07	0.91
H-b	乾式	0.05	0.95
H-c	乾式	0.02	0.69
H-d	乾式	0.04	0.76

2.1.2 地層の堆積年代 OSL年代測定 (文献調査結果(その1))

- K. Ito, T. Tamura and S. Tsukamoto (2017) 及び K. Ito, T. Tamura and S. Tsukamoto (2018)^{※1}によれば、上北平野のMIS5eの海成段丘上の2地点から採取した試料に対してOSL年代測定をpIR法^{※2}のpIR₅₀IR₂₉₀法～pIR₂₀₀IR₂₉₀法の加熱温度の異なる複数の条件で実施した。
- フェーディング^{※3}試験の結果、最初のIR刺激温度が50°C (pIR₅₀IR₂₉₀法)の場合、OSL強度の減衰率(g2day) 値が2%/decade程度あったものが、200°C (pIR₂₀₀IR₂₉₀法)では、はるかに小さくなった(g2days = 0.16 ± 0.49%/decade)(図2)。
- 最初のIR刺激温度が異なるgsj13-039(Site1)の未補正年代は、pIR₅₀IR₂₉₀法を除き、予想される年代(MIS5e, 123 ± 7ka)と概ね一致した。一方、pIR₅₀IR₂₉₀法、pIR₁₀₀IR₂₉₀法、pIR₁₅₀IR₂₉₀法、pIR₂₀₀IR₂₉₀法、pIR₂₅₀IR₂₉₀法の未補正のgsj13-094(Site2)の年代は、自身の年代の大きなばらつきを考慮しなければ期待される年代よりもわずかに古い。全サンプルのpIR₂₀₀IR₂₉₀法の未補正年代は予想年代と一致した(図3)。
- Site1は pIR₂₀₀IR₂₉₀法で得られた年代にフェーディング補正を行った値が最も層序から予想される年代(MIS5e, 123 ± 7ka)とのバラつきが少なくなった(図3で、Site1のpIR₂₀₀IR₂₉₀法は補正しなくても推定年代に近い数値が得られた)。Site2はフェーディング補正は必要がなかった(図2)。
- 以上の結果から、**pIR₂₀₀IR₂₉₀法を上北平野の海成段丘堆積物の信頼できる年代を検出するために最も適している**と結論づけている。

※1 K. Ito, T. Tamura and S. Tsukamoto (2018)はK. Ito, T. Tamura and S. Tsukamoto (2017)の誤植訂正版

※2 加熱温度の異なる2段階の励起を行い、2回目の励起においてカリ長石のフェーディングの影響の小さい信号を得るOSL年代測定的手法。1回目の加熱温度と2回目の加熱温度を下付き文字で示している。

※3 蓄積したOSL信号が減る現象のことを指し、年代値の若返りに繋がる。

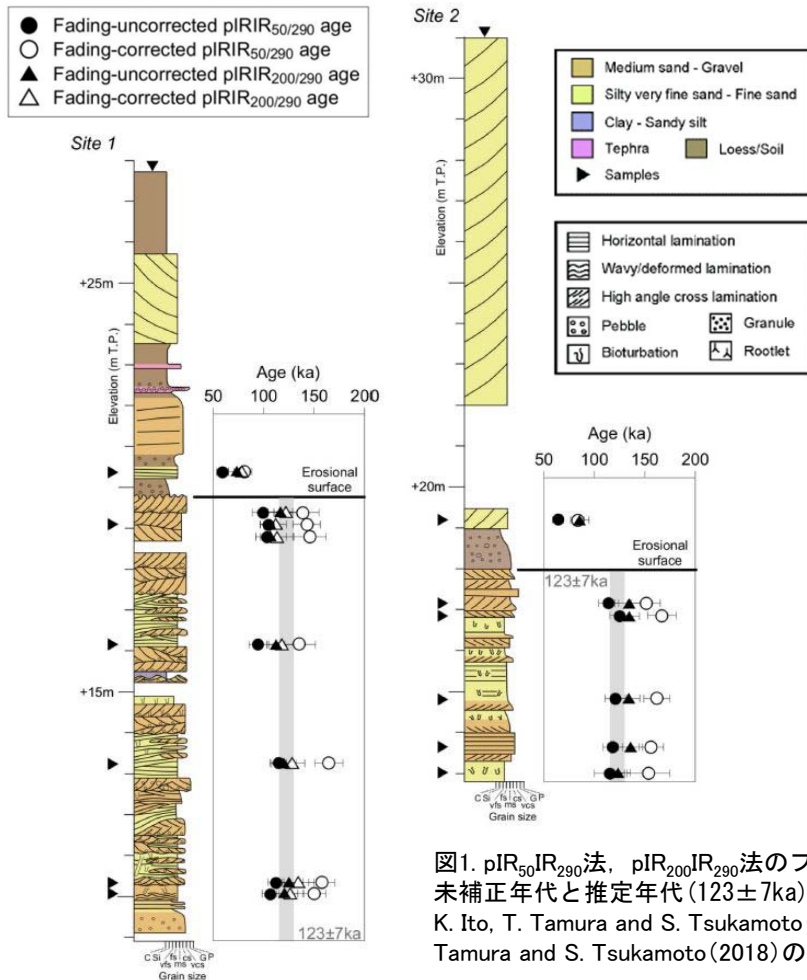


図1. pIR₅₀IR₂₉₀法、pIR₂₀₀IR₂₉₀法のフェーディング補正、未補正年代と推定年代(123 ± 7ka)の比較
K. Ito, T. Tamura and S. Tsukamoto (2017), K. Ito, T. Tamura and S. Tsukamoto (2018)の図を改訂

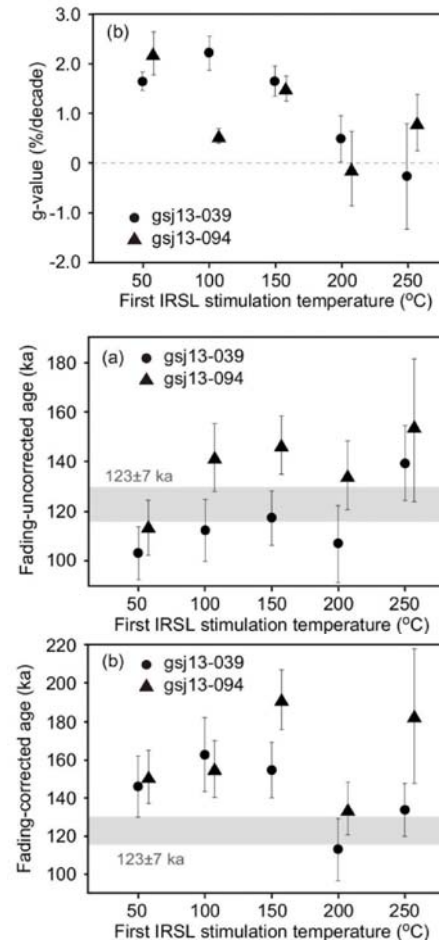


図2. フェーディング試験結果 (b) gsj13-039(Site1)と gsj13-094(Site2)の最初のIR刺激温度を変えて得られたg値エラーバーは1標準誤差を示す。
K. Ito, T. Tamura and S. Tsukamoto (2018)

図3. 異なる最初のIR刺激温度で得られた gsj13-039と gsj13-094の (a) 未補正と (b) 補正されたpIRIR年代 エラーバーは1標準誤差を示す。
K. Ito, T. Tamura and S. Tsukamoto (2018)

2.1.2 地層の堆積年代 OSL年代測定（文献調査結果(その2)）

- 林崎(2022)によれば、福島県南相馬市の塚原海岸において、年代が既知の安達太良-岳テフラと田頭テフラに挟まれた地層に対してOSL年代測定をpIR法及びpIR₂₀₀IR₂₉₀法で実施した。
- pIR₅₀IR₂₉₀法で得られた未補正值が火山灰層序で予想される年代値よりも若く、フェーディングの影響を受けている一方で、pIR₂₀₀IR₂₉₀法で未補正の年代値は予想される年代値と一致した(Buylaert et al(2012)による、1~1.5%/decade程度の小さなg2days値は測定に起因するものでフェーディング補正は必要ないとする報告と整合的な結果である)。
- pIR₂₀₀IR₂₉₀法はフェーディングの影響を受けず、12万年前以降の年代測定法として有効である**ことが示されたと結論付けている(図1, 表1)。

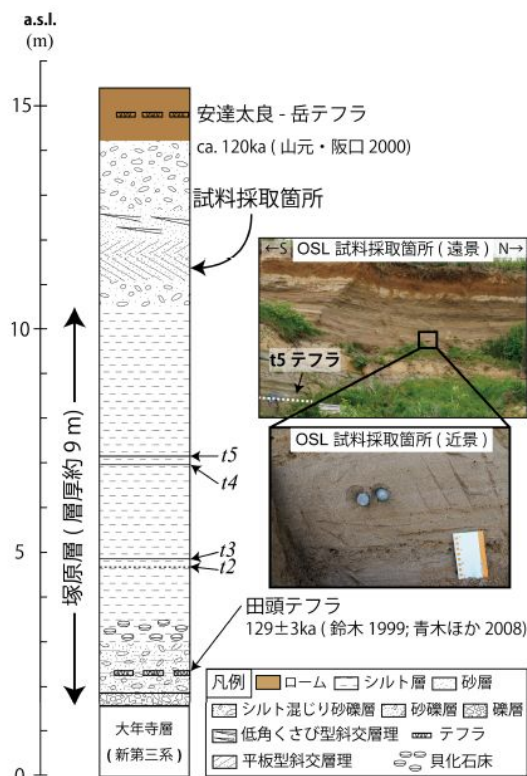


図 1. 福島県南相馬市塚原海岸の柱状図, 試料採取位置 林崎(2022)

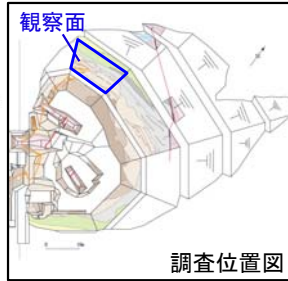
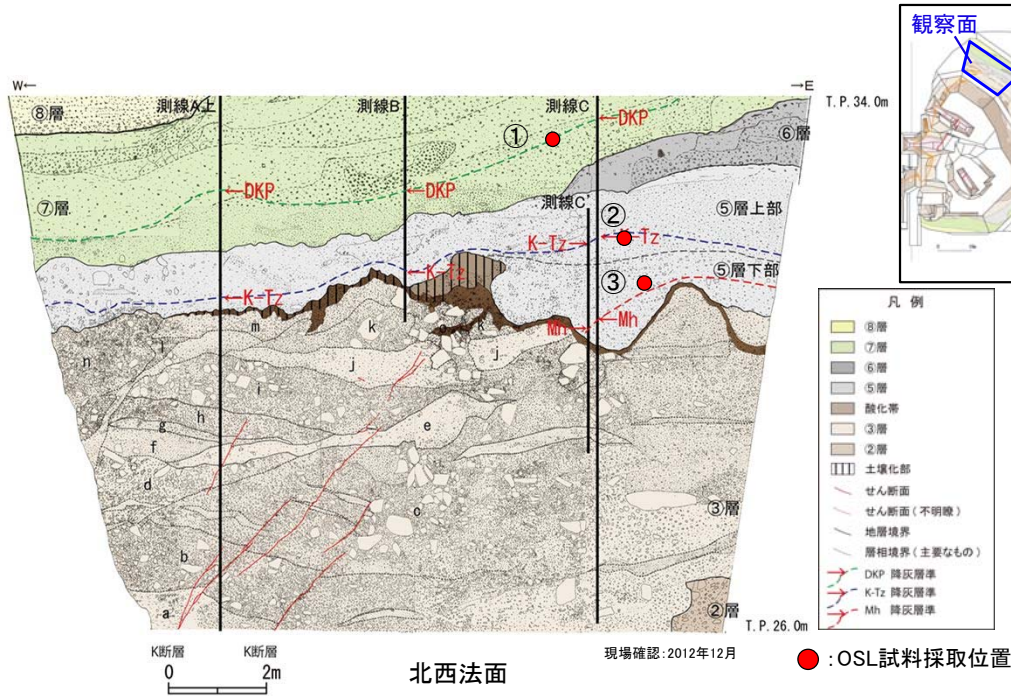
表 1. pIR₅₀IR₂₉₀法, pIR₂₀₀IR₂₉₀法による年代測定結果 林崎(2022)

試料名	測定手順	装置	等価線量 (Gy)	年間線量率 (mGy/year)	年代 (ka)	g2days 値 (%/decade)	フェーディング補正年代 (ka)
塚原海岸 段丘堆積物	pIR ₅₀ IR ₂₉₀ 法	Lexsyg Smart	233.4 ± 9.5	2.99 ± 0.14	78.0 ± 4.9	0.9 ± 0.3	96.2 ± 7.6
		Lexsyg Research	226.8 ± 5.0		75.8 ± 3.9	-0.5 ± 0.3	-
		Risø TL/OSL reader	257.9 ± 19.3		86.3 ± 7.6	1.8 ± 0.3	122.8 ± 10.8
	pIR ₂₀₀ IR ₂₉₀ 法	Lexsyg Smart	364.7 ± 24.8		122.0 ± 10.1	1.1 ± 0.4	164.5 ± 17.2
		Lexsyg Research	364.6 ± 26.1		121.9 ± 10.5	-0.7 ± 0.3	-
		Risø TL/OSL reader	369.2 ± 22.2		123.5 ± 9.4	1.3 ± 0.4	166.1 ± 12.5

K. Ito, T. Tamura and S. Tsukamoto(2017), K. Ito, T. Tamura and S. Tsukamoto(2018)及び林崎(2022)の文献を踏まえ、本調査ではpIR₂₀₀IR₂₉₀法によりOSL年代測定を実施した。

2.1.2 地層の堆積年代 OSL年代測定 (D-1トレンチ北西法面 試料採取位置)

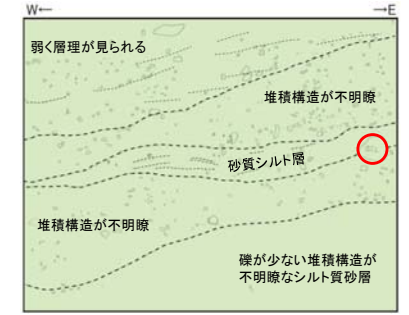
- OSL年代測定用の試料採取位置を下図に示す。
- OSL年代測定はD-1トレンチ北西法面の⑤層下部中のMhテフラの降灰層準付近、D-1トレンチ北西法面の⑤層上部中のK-Tzテフラの降灰層準付近及びD-1トレンチ北西法面の⑦層中のDKPテフラの降灰層準付近で実施した。



①DKPテフラ降灰層準付近(⑦層)



写真 スケッチ作成範囲



スケッチ

・礫混じりシルト質砂からなり、褐灰色を呈する砂質シルト層を挟む。緩く西に傾斜する堆積構造が見られる。

②K-Tzテフラ降灰層準付近(⑤層上部)



写真 スケッチ作成範囲



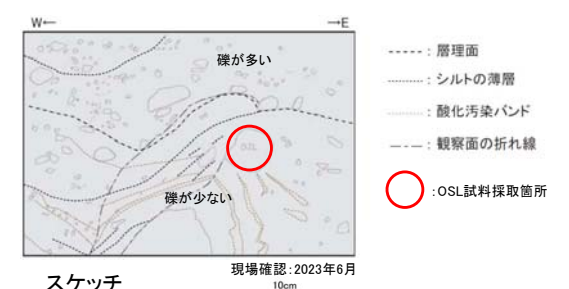
スケッチ

・礫混じり砂質シルト～シルト質砂からなり、南側に傾斜した層状構造が見られる。上位ほどやや腐植質である。

③Mhテフラ降灰層準付近(⑤層下部)



写真 スケッチ作成範囲

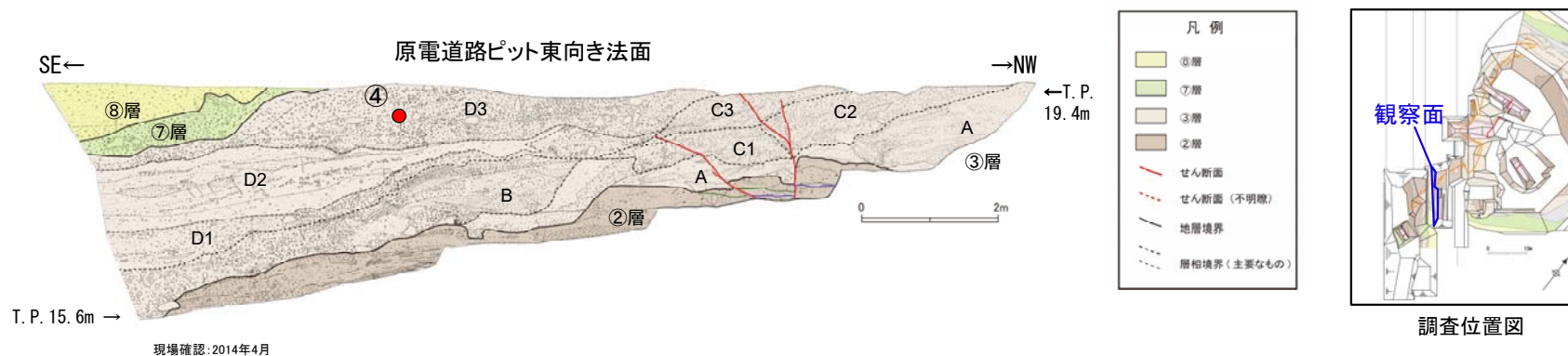


スケッチ

・礫混じりシルト質砂からなり、下部の礫が少ない部分にはシルトの薄層を多く挟む。南側に傾斜した堆積構造が見られる。堆積構造と斜交して酸化汚染のバンドが見られる。

2.1.2 地層の堆積年代 OSL年代測定（原電道路ピット東向き法面 試料採取位置）

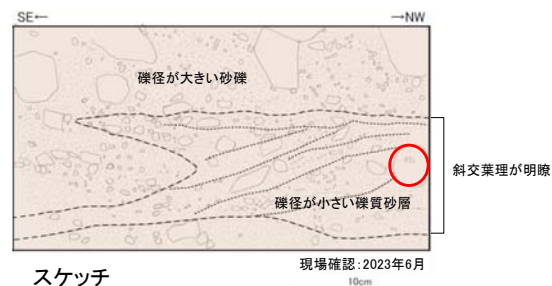
- OSL年代測定用の試料採取位置を下図に示す。
- OSL年代測定は原電道路ピット東向き法面の③層中のD3層で実施した。



④原電道路ピット（③層D3層）



写真 スケッチ作成範囲



スケッチ

・砂礫からなり、間に礫径が小さい礫質砂層を挟む。礫質砂層中には南東側に傾斜した斜交葉理が明瞭に見られる。

○ OSL試料採取箇所

2.1.2 地層の堆積年代 OSL年代測定（分析結果）

- OSL年代測定結果を下表に示す。
- 林崎(2022)によれば、 pIR_{200}/IR_{290} 法においてg2days値が小さい場合、フェーディング^{※1}補正は必要ないとしており、今回のg2days値はいずれも $0.04 \pm 0.56 \sim 1.16 \pm 1.12$ (%/decade)と小さい値であることから、補正は不要と判断した。
- D-1トレンチ北西法面で実施したOSL年代測定結果は、テフラ分析の結果と整合的である。
- 原電道路ピット東向き法面で実施したOSL年代測定結果は、OSL信号が飽和しており③層の堆積年代は $133 \pm 9ka$ より古いことを示している。

※1 フェーディングは長石のOSL信号強度が時間とともに減衰する現象。フェーディング補正の有無の判断には、48時間あたりのOSL信号強度の減衰率g2days値(%/decade)が用いられる。

OSL年代測定用試料採取箇所			等価線量 (Gy)	g2days値 (%/decade)	年間線量 (mGy/year)	年代値 (ka)	飽和年代 (ka)	テフラの降灰年代
①	北西法面	⑦層(DKP降灰層準)	333.5 ± 20.7	0.91 ± 2.18	5.83 ± 0.15	57.2 ± 3.8	142.0 ± 5.6	約5.8～5.9万年前
②	北西法面	⑤層上部(K-Tz降灰層準)	738.4 ± 14.4	0.04 ± 0.56	6.76 ± 0.16	109.3 ± 3.3	181.9 ± 4.9	約9.5万年前
③	北西法面	⑤層下部(Mh降灰層準)	793.5 ± 21.1	0.21 ± 0.55	6.29 ± 0.15	126.2 ± 4.6	204.7 ± 5.9	約12.7万年前
④	原電道路ピット 東向き法面	③層(D3層)	1051.4 ± 90.8	1.16 ± 1.12	7.01 ± 0.16	$150.0 \pm 13.4^{※2}$	$133.2 \pm 8.9^{※2}$	—

※2 OSL信号が飽和しており、 $133.2 \pm 8.9ka$ より古い

余白

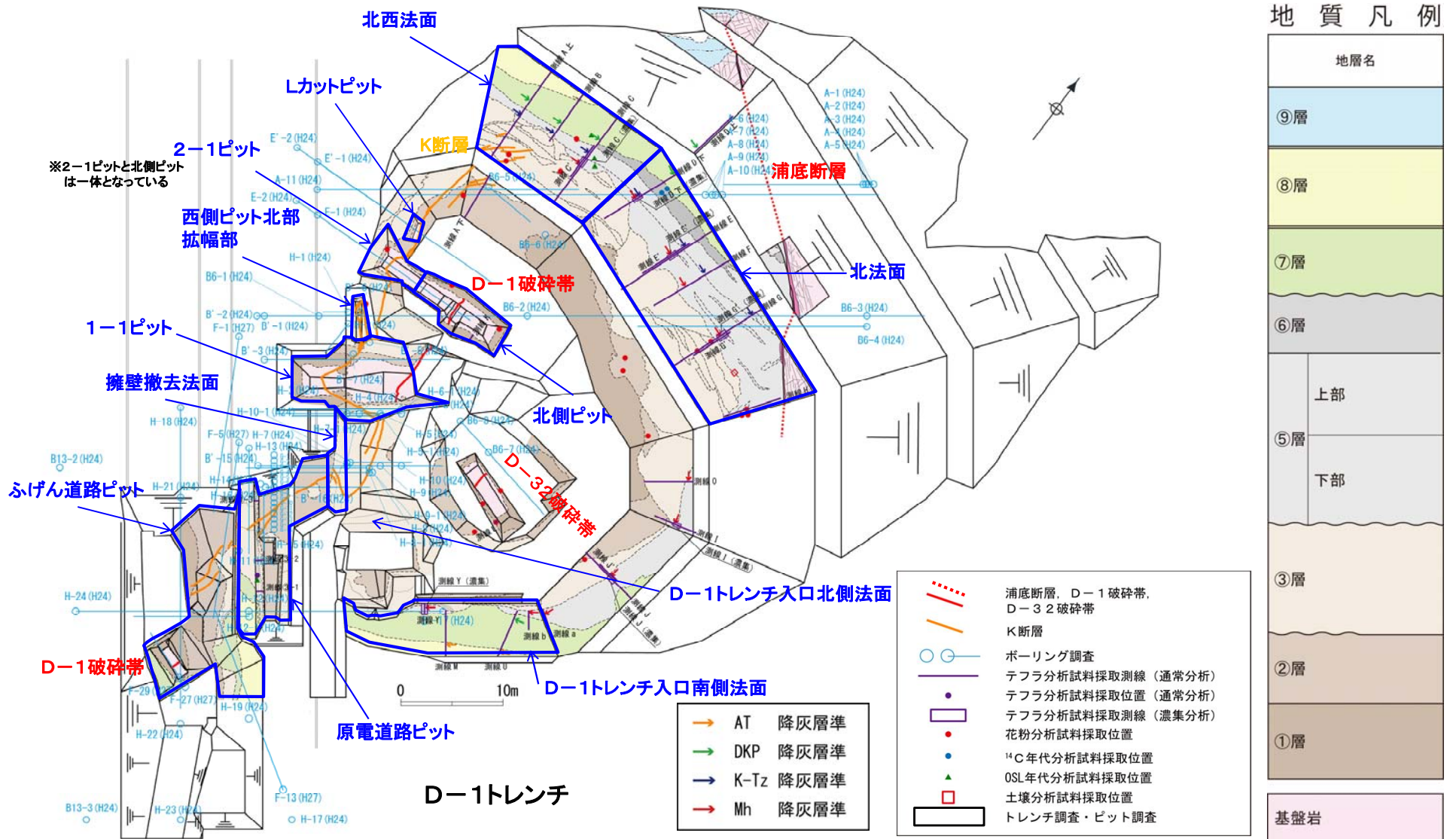
2.2 K断層の分布及び性状

余白

2.2.1 K断層に関する調査内容

2.2.1.1 K断層に関する調査内容

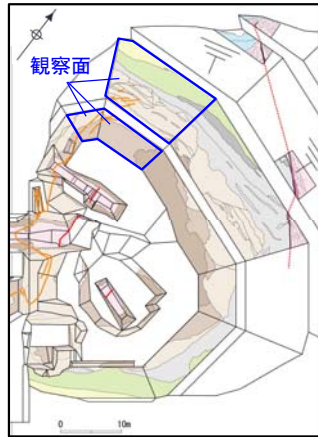
- K断層は、D-1トレンチ北西法面からふげん道路ピットに至る区間において連続して認められる断層である。
- D-1破碎帯に関する調査の過程において、D-1トレンチの西端付近で基盤岩及び第四系に変位・変形を与えていることを確認したK断層の連続性及び活動性を把握するため、文献調査(●頁参照)、空中写真判読、航空レーザー測量や、K断層の分布や走向・傾斜や変位センス等の性状を把握するため、トレンチ調査、ピット調査、ボーリング調査等を実施した。
- D-1トレンチでは、Lカットピット、2-1ピット、西側ピット、1-1ピット、原電道路ピット及びふげん道路ピットでピット調査を実施した。また、ボーリング調査はD-1トレンチにおけるK断層の確認地点の最南部にあたるふげん道路ピットの南方から2号炉原子炉建屋間で実施した。
- 地層の堆積年代を評価するため、テフラ分析(通常分析, 重鉱物濃集分析, 主成分分析), OSL年代測定, 放射性炭素[¹⁴C]年代測定, 花粉分析, 土壌分析を実施した。
- 調査位置, 分析試料採取位置を示す。



2.2.2 北西法面

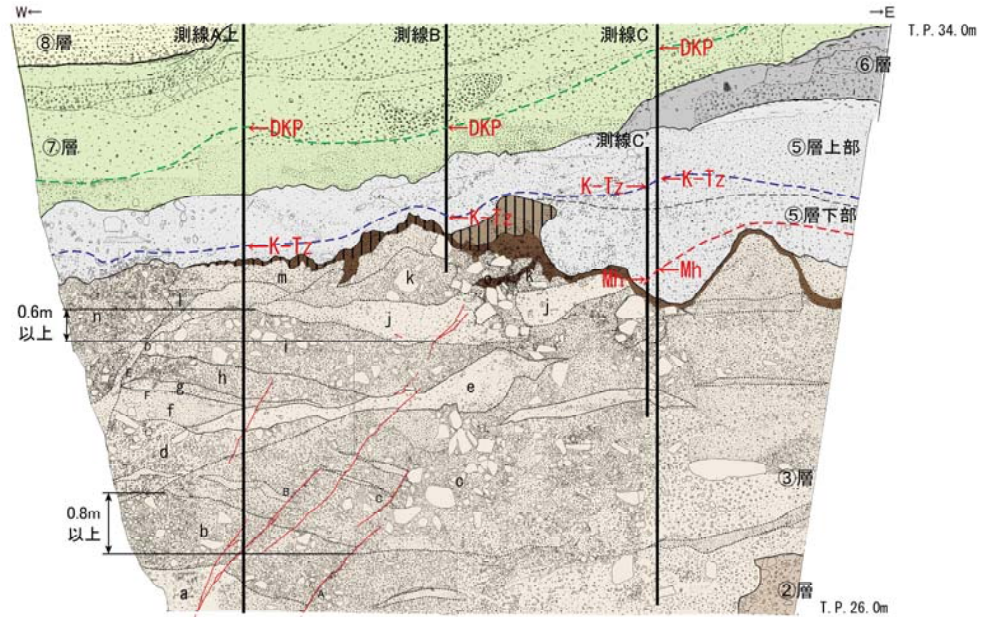
2.2.1.2 北西法面 (D-1トレンチ北西法面 スケッチ)

- K断層は、D-1トレンチ北西法面の付近の②層と③層の境界に逆断層変位を与え、北西法面の③層中の鉛直変位量は0.9mであり、D-1トレンチ北西法面の上方に向かって変形が主体となっている。
- 断層の変位・変形量を鉛直面に投影した量を「鉛直変位量」と呼称する。

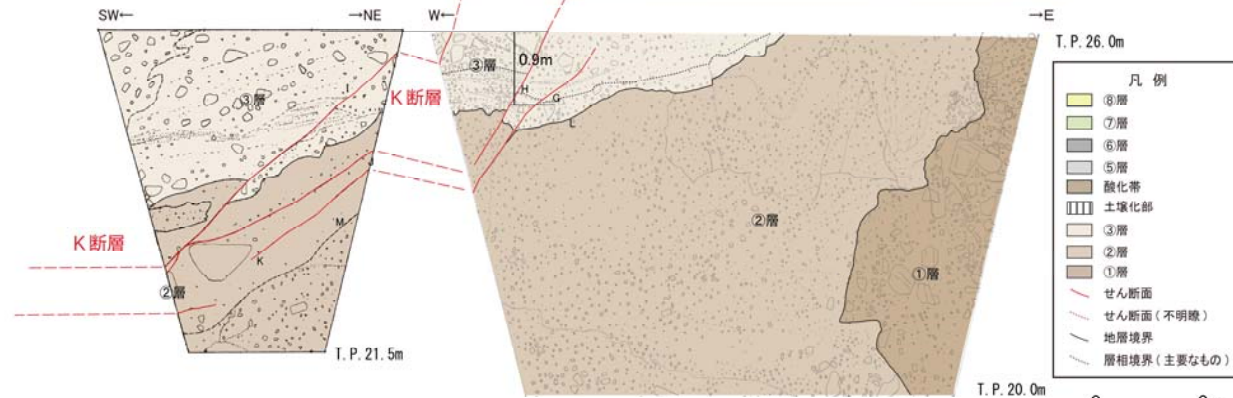


調査位置図

- ⑧層：砂礫
礫径5cm以下。特に1cm以下の角～亜角礫を主体とし、まれに10cm程度の礫を含む。礫種は新鮮な花崗斑岩、アブライト、石英である。基質はシルト質礫～中粒砂からなり、ゆるい、成層構造（ほぼ水平、一部斜交層理様）が見られる。
褐 (7.5YR4/6)、黄緑 (7.5YR7/8) を呈する。
- ⑦層：礫混じりシルト質砂～礫混じり砂質シルト（砂礫を伴う）
橙色～明黄褐色 (7.5YR6/6～10YR6/6)、灰色 (10Y6/1) を呈する。
- ⑥層：腐植質砂質シルト～シルト質砂（一部に砂礫を伴う）
木片を多数含む。
暗灰 (M3/7)、灰 (10Y6/1) を呈する。
- ⑤層：砂礫主体（礫混じりシルト質砂～礫混じり砂質シルト層を伴う）
礫は径0.5～20cmの角～亜角礫主体。
大局的には上方細粒化の傾向を示す。
黄灰色～明オリーブ灰色 (2.5Y6/1～2.5GY7/1) を呈する。
- 酸化帯：③層と⑤層の境界面付近に多い。
- ③層：砂礫
主に20cm以下（まれに50cm大）の角～亜角礫を含む。
礫種は花崗斑岩、花崗岩である。陶汰は極めて悪い。
基質は細～粗粒砂で、締まりは良好である。一部レンズ状に砂礫を挟む。
にぶい橙色～橙色 (7.5YR7/3～7.5YR6/6) を呈する。
K断層近辺の砂礫層は、曲由を示す。
- ②層：礫混じりシルト
礫径0.2～30cm（まれに50cm以上）で、亜角～角礫を含む。
礫種はアブライト、粗粒花崗岩からなる。礫率10～20%である。
にぶい橙色～明黄灰色 (5YR6/4～10B6/1) を呈する。
- ①層：砂礫
礫径0.5～30cm（最大100cm以上）で、亜角～角礫を含む。
礫種は花崗斑岩、粗粒花崗岩、アブライト、石英である。陶汰は悪い。
基質は砂質シルトで、締まりは良好である。
黄褐色 (10YR5/8) を呈する。



北西法面(上段)
現場確認:2012年12月



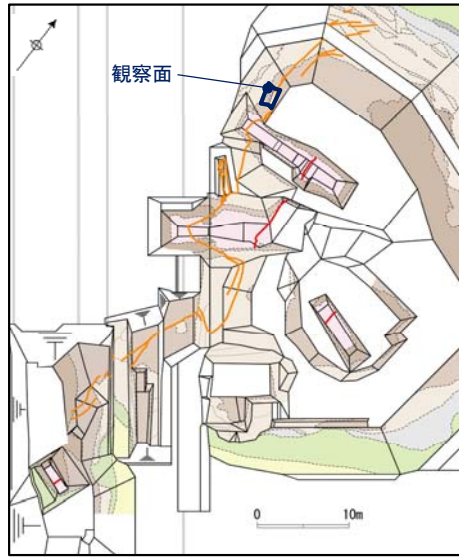
- A: せん断面: N25° E58° W
B: せん断面: N20° E63° W
C: せん断面: N22° E57° W
D: 層理面 (チャネル壁): N87° W42° S
E: 層理面 (チャネル壁): N33° W46° W
F: 層理面 (堆積構造): N69° E16° S
G: せん断面: N41° E60° NW
見かけ15cm変位 (逆断層)
H: せん断面: N33° E72° NW
見かけ10cm変位 (逆断層)
I: せん断面: N11° W64° W
J: せん断面: N9° W44° W
K: せん断面: N13° E48° NW
L: 層理面 (②層③層境界): N47° W20° SW
M: 層理面: N19° E56° NW

北西法面(下段)
現場確認:2013年6月

2.2.3 Lカットピット

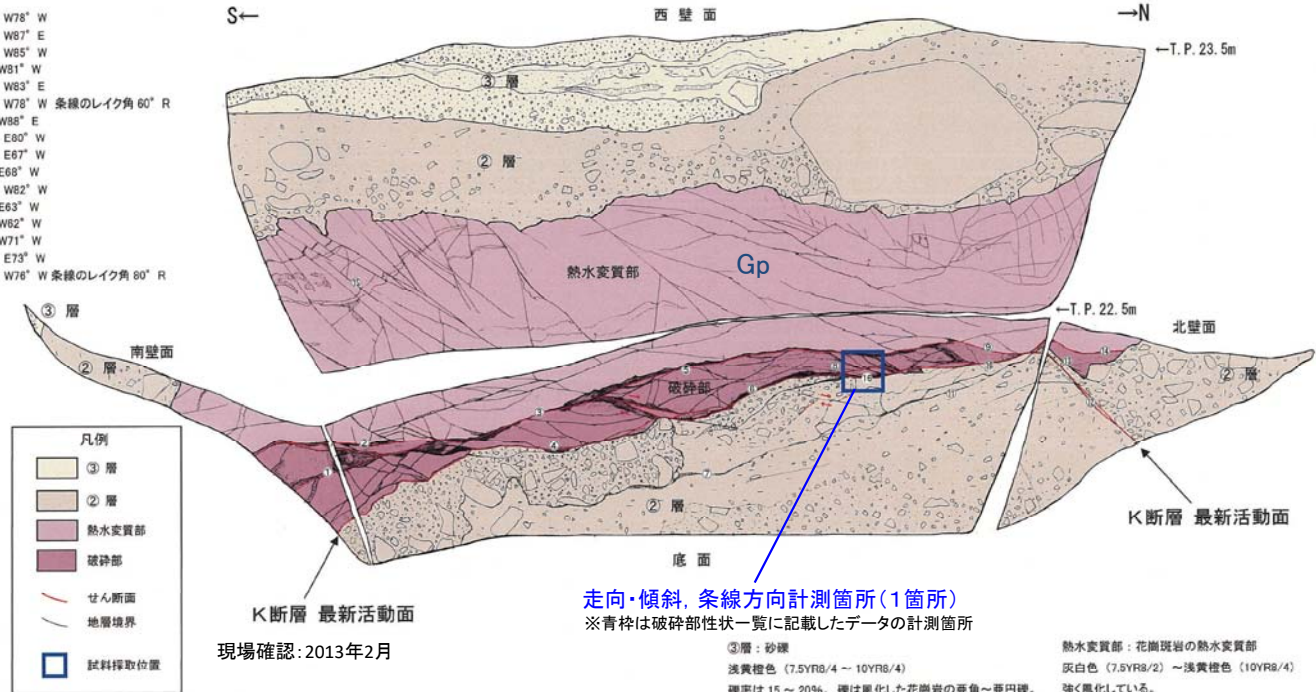
2.2.1.3 Lカットピット (Lカットピット スケッチ)

- D-1トレンチLカットピットでは、K断層は基盤岩と②層とを境している。
- 最新活動面について条線方向を確認した結果、縦ずれ成分が卓越する。最新活動面の薄片試料観察による**変位センスは逆断層センス**である。



調査位置図

- ① FN29° W78° W
- ② FN10° W87° E
- ③ FN20° W85° W
- ④ FN9° W81° W
- ⑤ FN10° W83° E
- ⑥ FN14° W78° W 条線のレイク角 60° R
- ⑦ FN7° W88° E
- ⑧ FN20° E60° W
- ⑨ FN11° E67° W
- ⑩ FN2° E68° W
- ⑪ FN15° W82° W
- ⑫ FN2° E63° W
- ⑬ FN1° W82° W
- ⑭ FN9° W71° W
- ⑮ FN18° E73° W
- ⑯ FN13° W76° W 条線のレイク角 80° R



・せん断面を挟んで上盤側に基盤岩が下盤側に堆積物(②層)が分布している。

・せん断面上盤側は10～30cm幅で変質した破碎部が分布し、堆積物(②層)中には基盤との境界面に沿って破碎・せん断構造が発達している。全体をせん断する直線的な断層ガウジは認められない。変位量が数cm程度のR1面がせん断面を細かく右ずれさせている。

・破碎部および堆積物(②層)中に認められるR1面から右ずれが判読される。

③層: 砂礫
 淡黄橙色 (7.5YR8/4 ~ 10YR8/4)
 礫率は15～20%。礫は風化した花崗岩の亜角～亜円礫。
 礫径は2～10mm。
 シルト質砂～砂質シルトを層状に挟む。
 基質は細～粗砂からなる。

②層: 礫・砂混じりシルトおよび砂礫
 淡黄橙色 (7.5YR8/3 ~ 10YR8/3)
 礫率は10～40%。礫は風化した花崗岩の亜角～亜円礫。
 礫径は2～250mm主体。最大150cmの礫を含む。
 基質はシルト、細～粗砂からなる。

熱水変質部: 花崗斑岩の熱水変質部
 灰白色 (7.5YR8/2) ~ 淡黄橙色 (10YR8/4)
 強く風化している。
 全体的に変質している。

破碎部: 花崗斑岩の変質したカタレーサイト
 灰白色 (7.5YR8/2) ~ 淡黄橙色 (5YR8/4)
 シルト質砂状～砂質シルト状
 カタレーサイトの特徴が認められる。
 全体的に軟質である。

K断層の最新活動面に関するデータの計測箇所について 破碎部性状一覧に記載した走向・傾斜, 条線方向:

全ての観察面について、断層面のトレンドを示す代表的な箇所計測。一連の断層面については、複数計測した平均値を記載。(ただし、Lカットピットについては、走向・傾斜が断層面のトレンドを示す範囲が狭いことから1箇所とした。1-1ピット北面、南面、底盤については各観察面の平均値とした。)

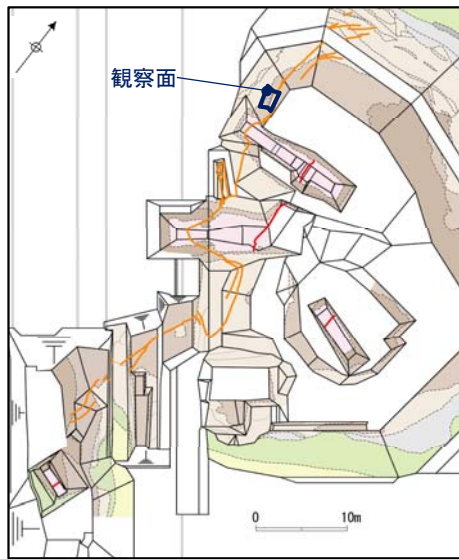
破碎部性状一覧に記載した断層ガウジ・断層角礫の幅:

岩盤中の断層ガウジ・断層角礫について、平均的な幅を示す箇所計測。

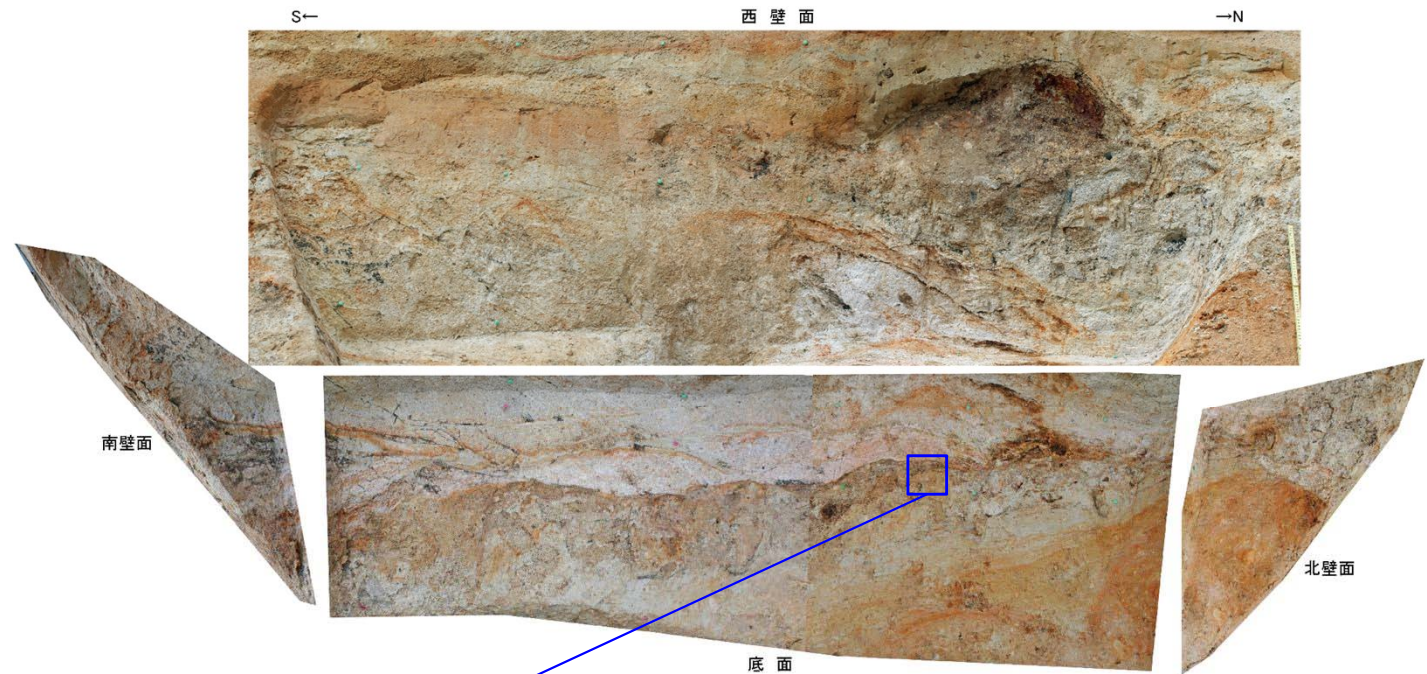
スケッチに記載したデータ:

上記に限らず走向・傾斜, 条線方向及び断層ガウジ・断層角礫の幅を計測可能な出来るだけ多くの箇所計測。

2.2.1.3 Lカットピット（Lカットピット 写真）



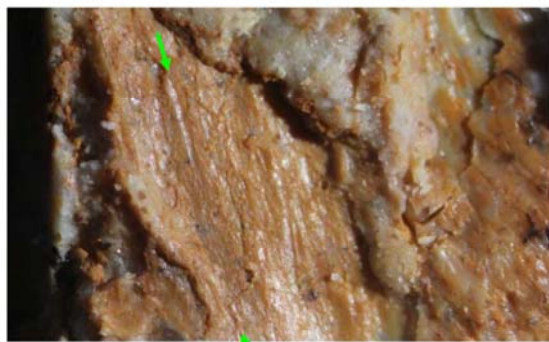
調査位置図



Lカットピット写真

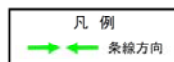
撮影: 2013年2月

条線写真



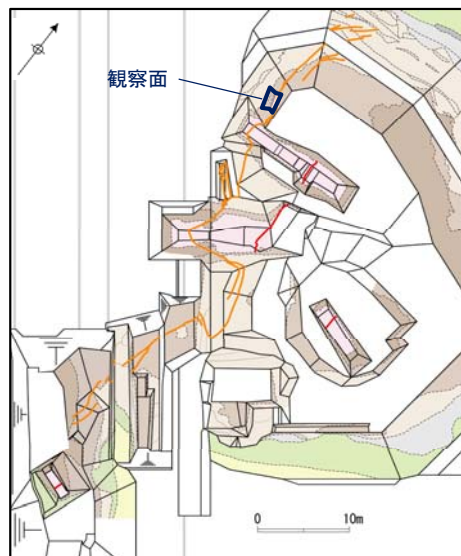
水平方向

LカットピットにおけるK断層の最新活動面の条線方向を確認した結果、80Rの条線が認められる。

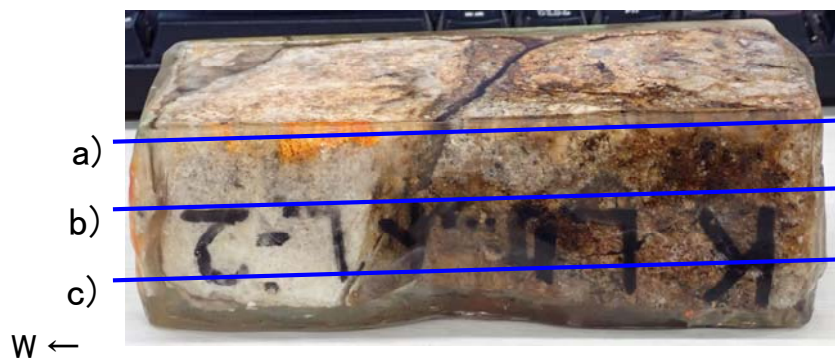
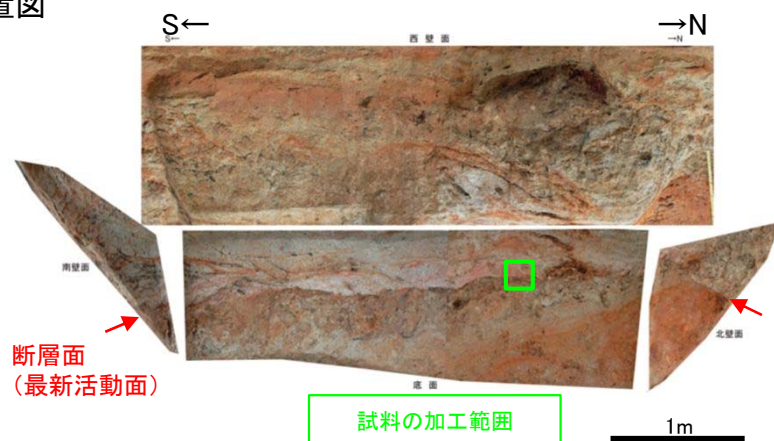


1 mm

2.2.1.3 Lカットピット (Lカットピット ブロックサンプル及びCT画像)



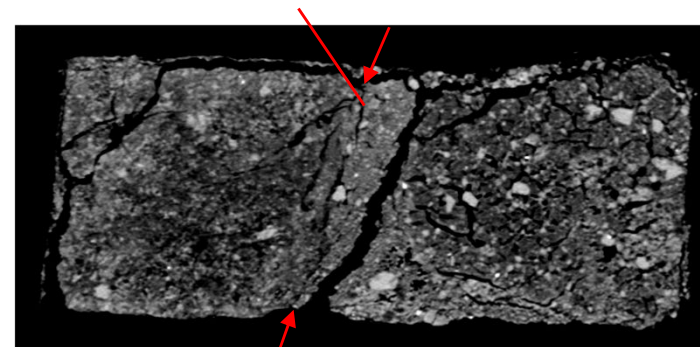
調査位置図



研磨片CT画像

湾曲及び凹凸が認められるが、不連続部が認められない

a)

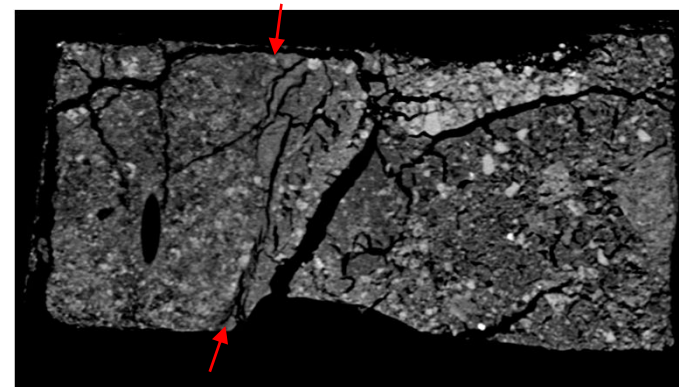


断層面 (最新活動面)

5 cm

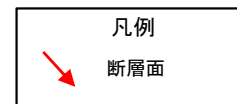
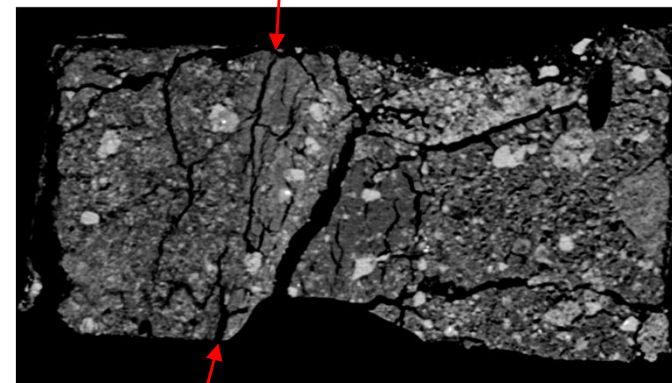
断層面 (最新活動面)

b)



断層面 (最新活動面)

c)



→ E

2.2.4 2-1ビット