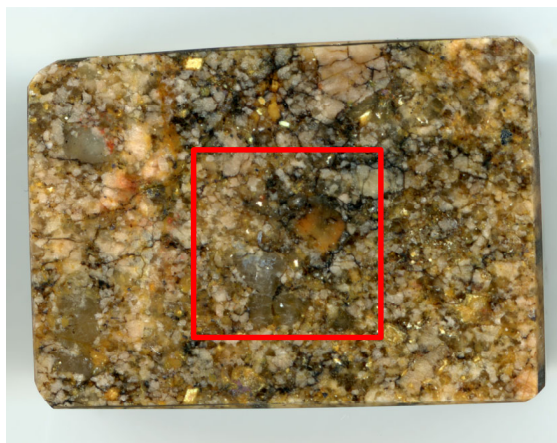


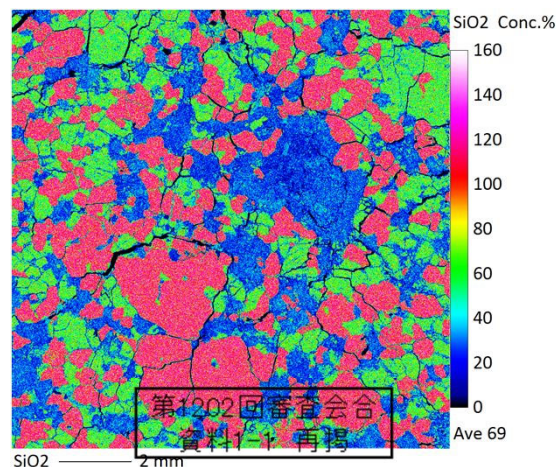
1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 長石類のEPMA分析)

EPMAマッピング ④D-1トレンチ北側ピット 変質区分2

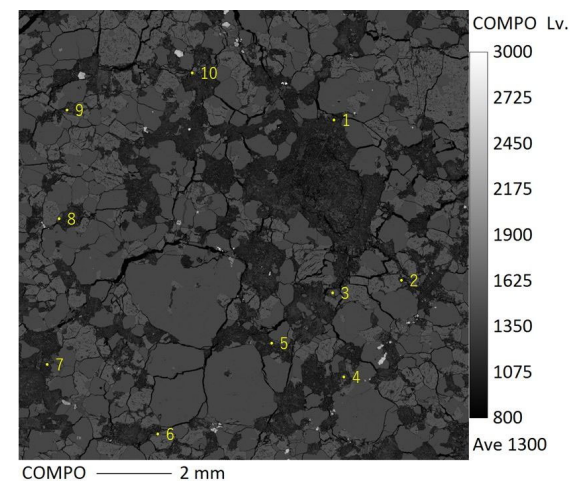
- Siに富む石英, Naに富む曹長石, Kに富むカリ長石に区分できる。
- マッピング範囲の斜長石で測定を行った。



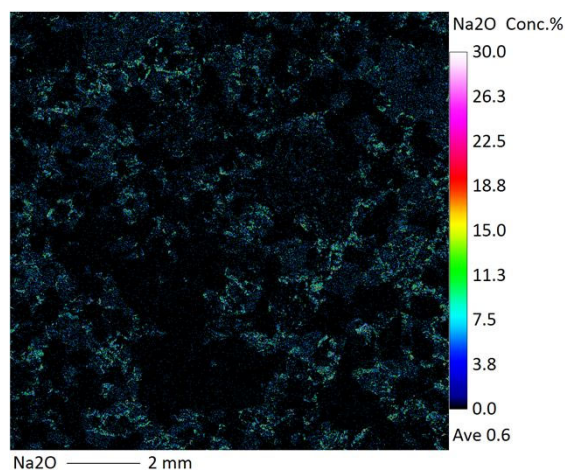
EPMAマッピング用試料
赤色枠内をマッピング



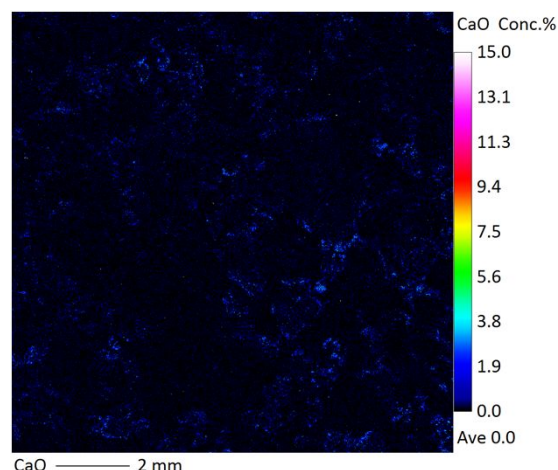
EPMAマッピング (Si)



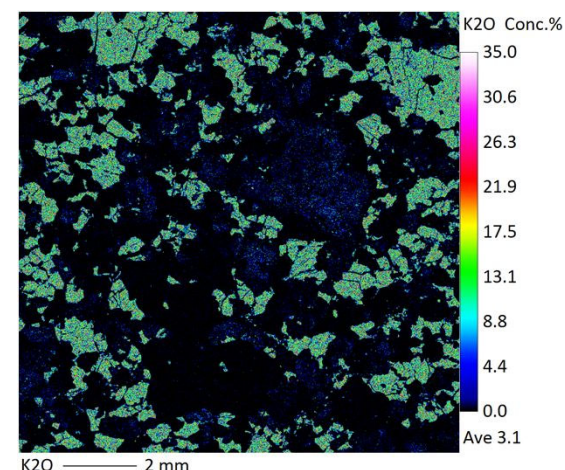
EPMAマッピング (COMPO像) 黄色
点は測定箇所



EPMAマッピング (Na)



EPMAマッピング (Ca)



EPMAマッピング (K)

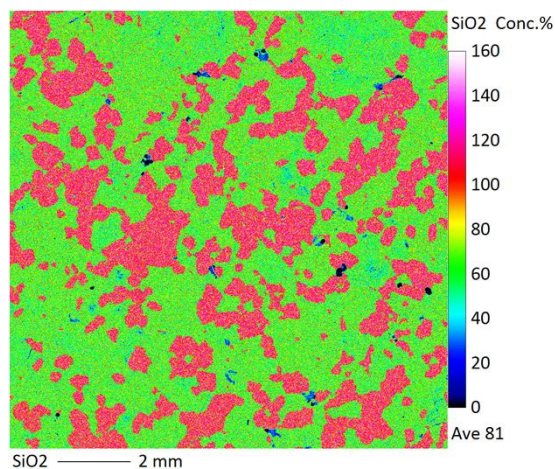
1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討:長石類のEPMA分析)

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

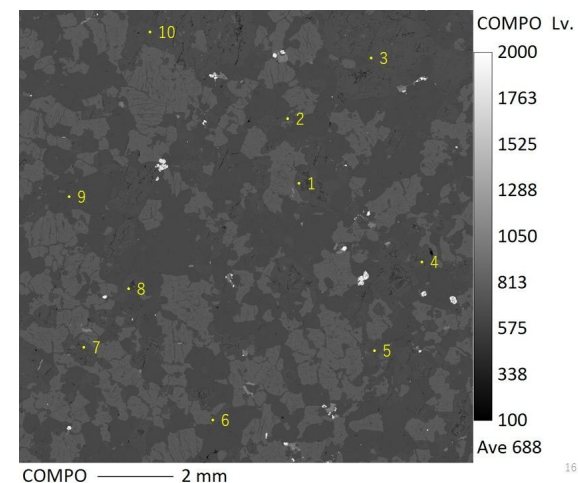
- Siに富む石英, Naに富む曹長石, Kに富むカリ長石に区分できる。
- マッピング範囲の斜長石で測定を行った。



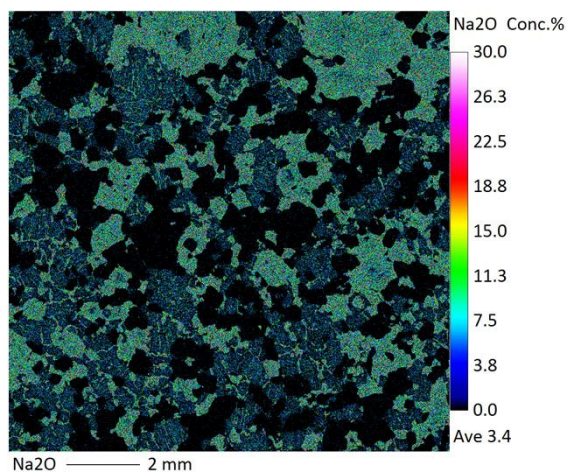
EPMAマッピング用試料
赤色枠内をマッピング



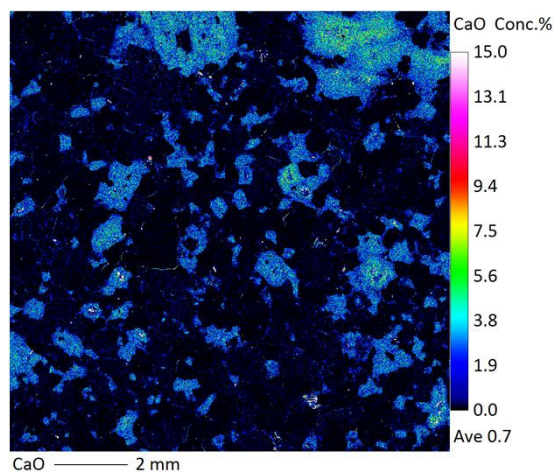
EPMAマッピング (Si)



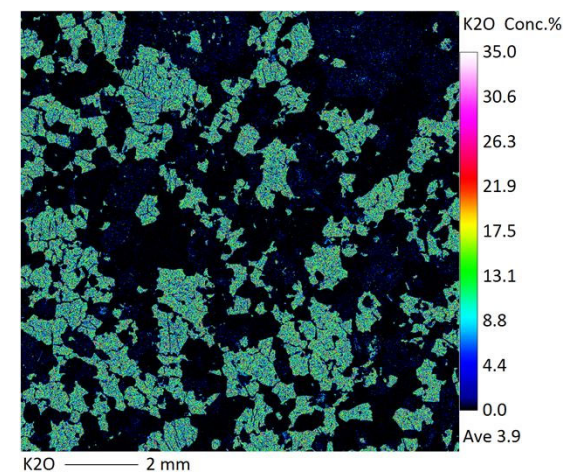
EPMAマッピング (COMPO像) 黄色
点は測定箇所



EPMAマッピング (Na)



EPMAマッピング (Ca)

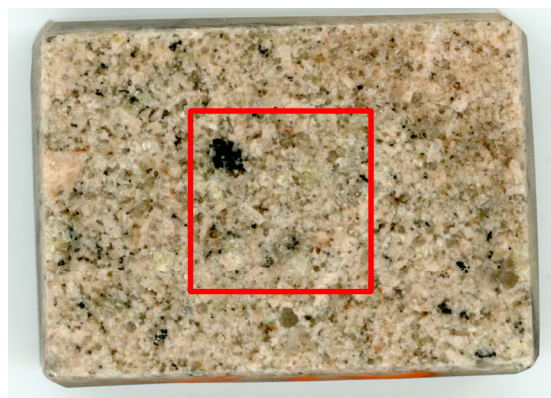


EPMAマッピング (K)

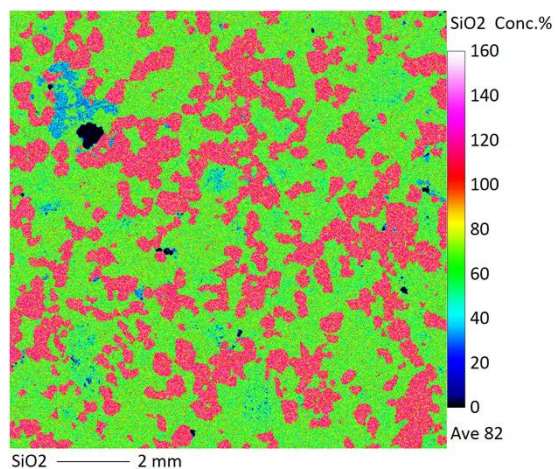
1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 長石類のEPMA分析)

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

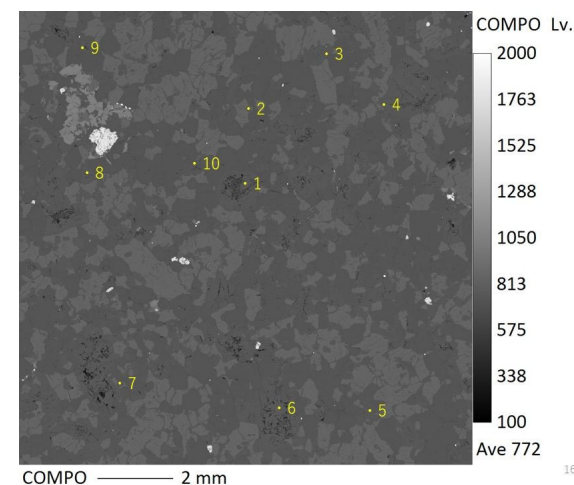
- Siに富む石英, Naに富む曹長石, Kに富むカリ長石に区分できる。
- マッピング範囲の斜長石で測定を行った。



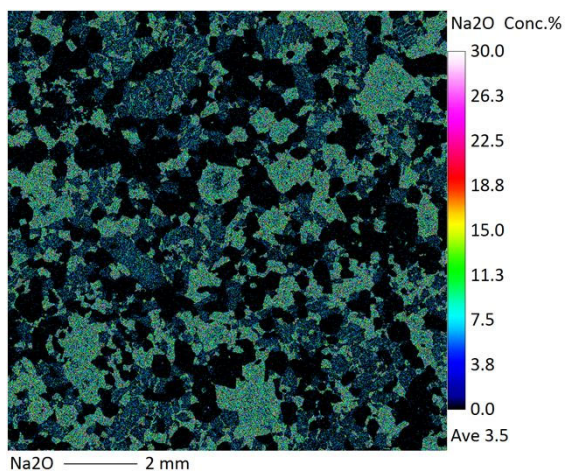
EPMAマッピング用試料
赤色枠内をマッピング



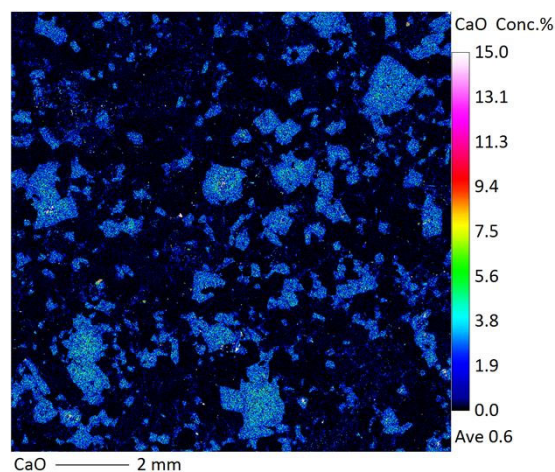
EPMAマッピング (Si)



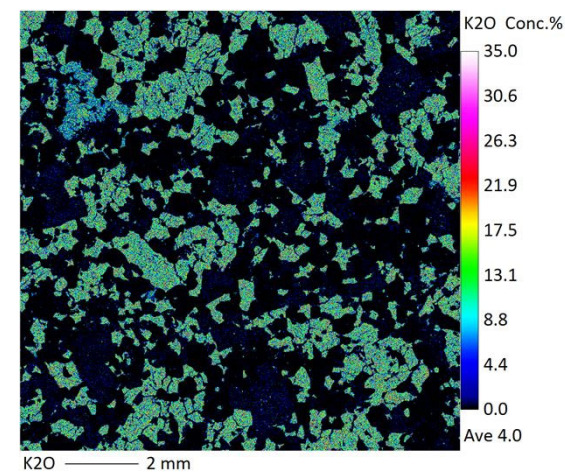
EPMAマッピング (COMPO像) 黄色
点は測定箇所



EPMAマッピング (Na)



EPMAマッピング (Ca)



EPMAマッピング (K)

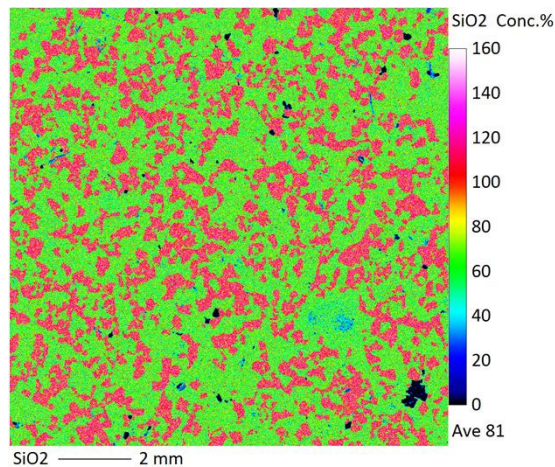
1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討:長石類のEPMA分析)

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

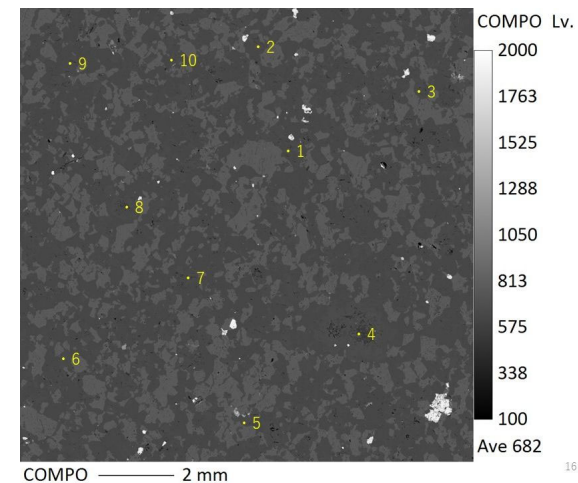
- Siに富む石英, Naに富む曹長石, Kに富むカリ長石に区分できる。
- マッピング範囲の斜長石で測定を行った。



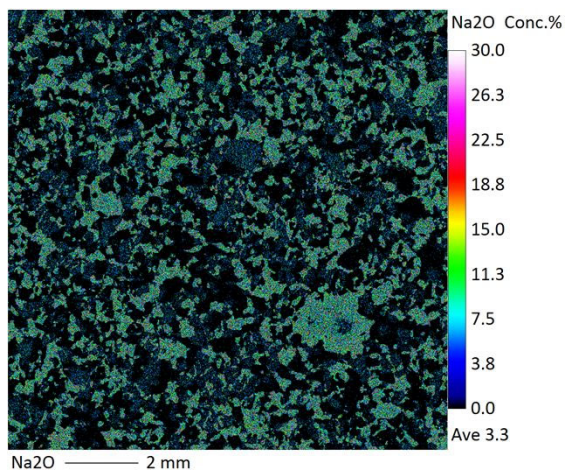
EPMAマッピング用試料
赤色枠内をマッピング



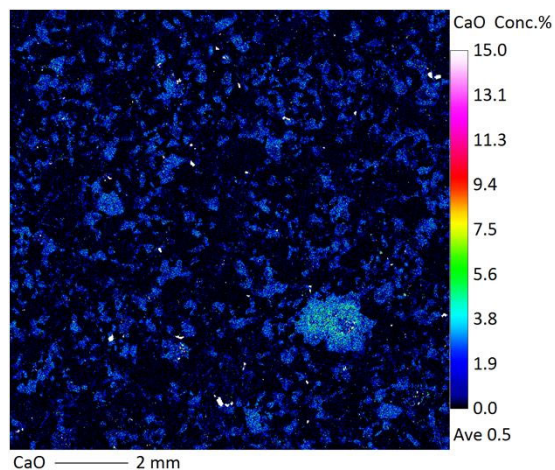
EPMAマッピング (Si)



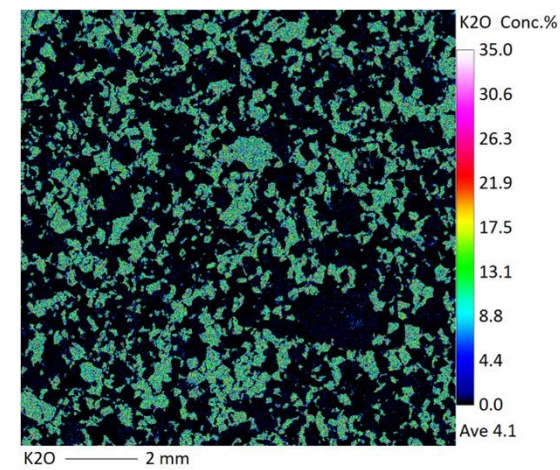
EPMAマッピング (COMPO像) 黄色
点は測定箇所



EPMAマッピング (Na)



EPMAマッピング (Ca)

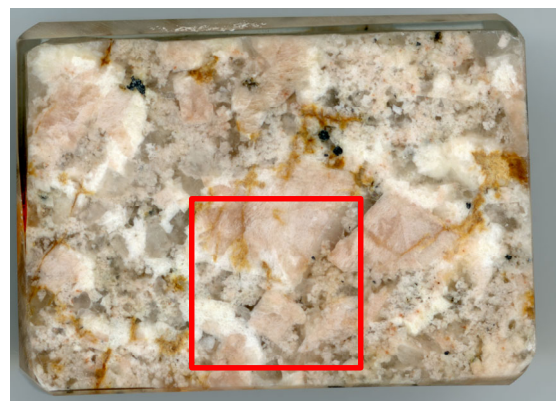


EPMAマッピング (K)

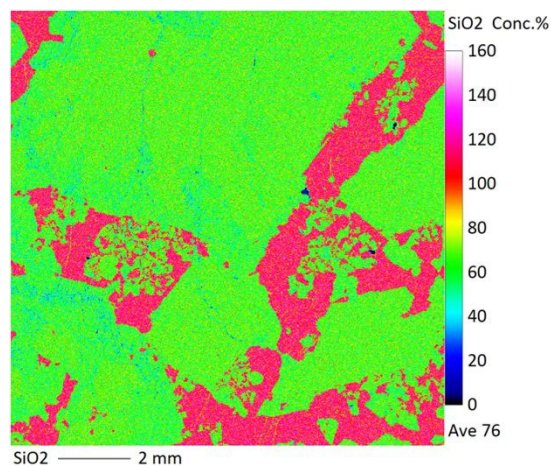
1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 長石類のEPMA分析)

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

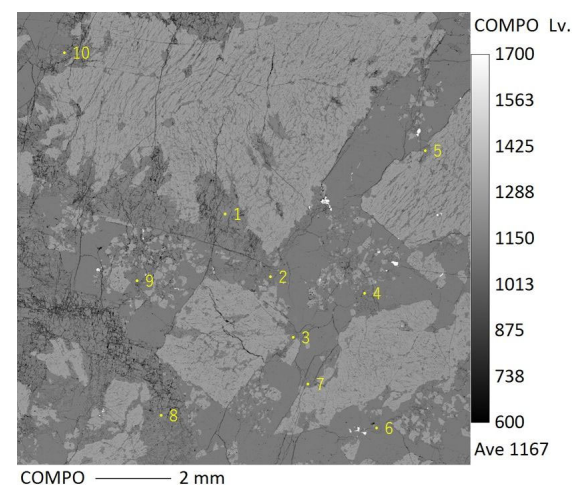
- Siに富む石英, Naに富む曹長石, Kに富むカリ長石に区分できる。
- マッピング範囲の斜長石で測定を行った。



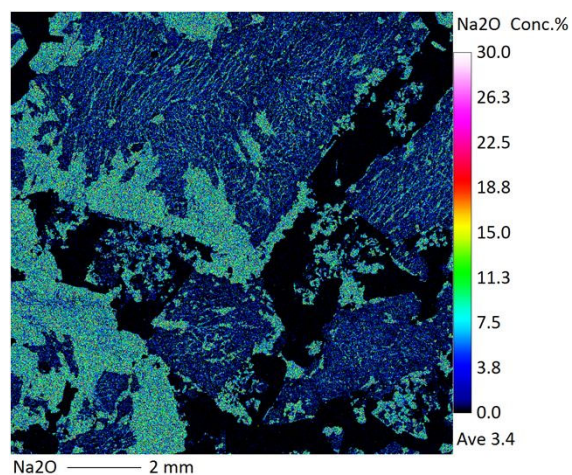
EPMAマッピング用試料
赤色枠内をマッピング



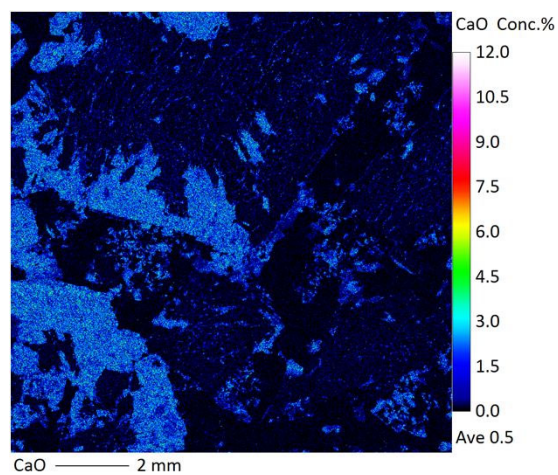
EPMAマッピング (Si)



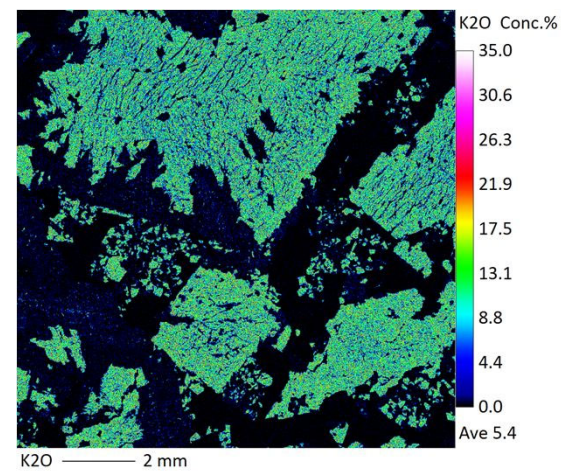
EPMAマッピング (COMPO像) 黄色
点は測定箇所



EPMAマッピング (Na)



EPMAマッピング (Ca)

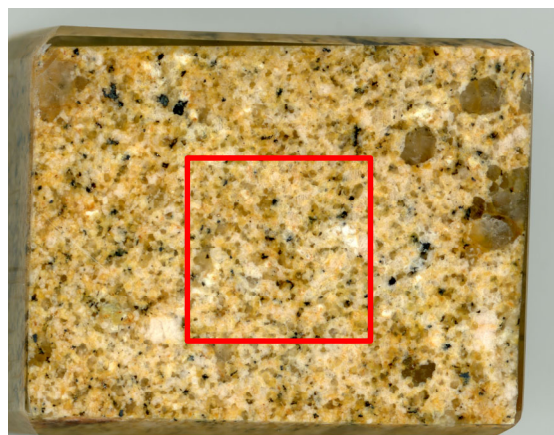


EPMAマッピング (K)

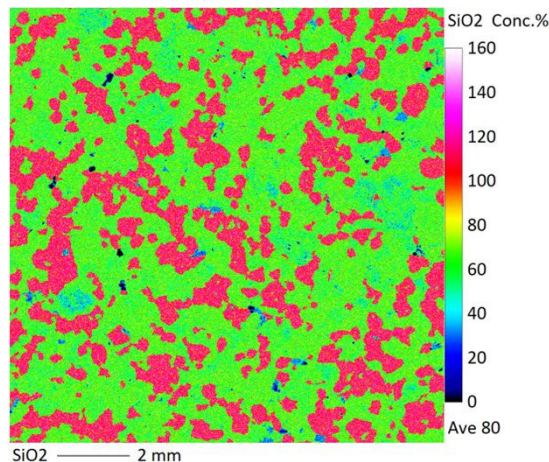
1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 長石類のEPMA分析)

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

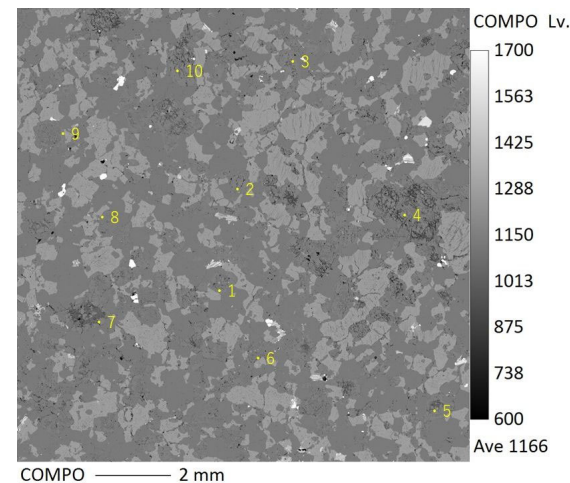
- Siに富む石英, Naに富む曹長石, Kに富むカリ長石に区分できる。
- マッピング範囲の斜長石で測定を行った。



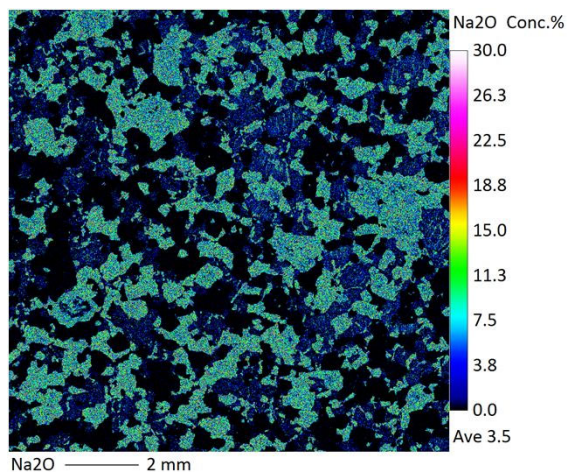
EPMAマッピング用試料
赤色枠内をマッピング



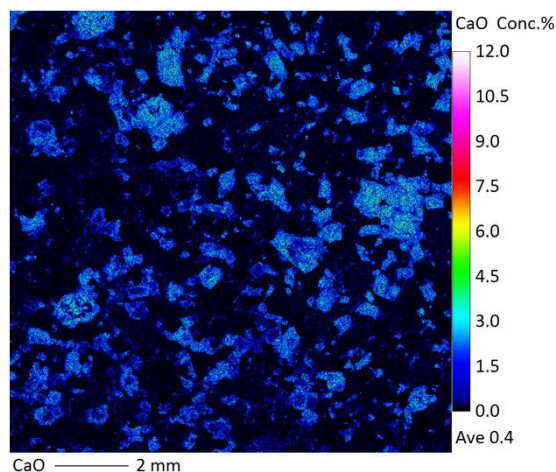
EPMAマッピング (Si)



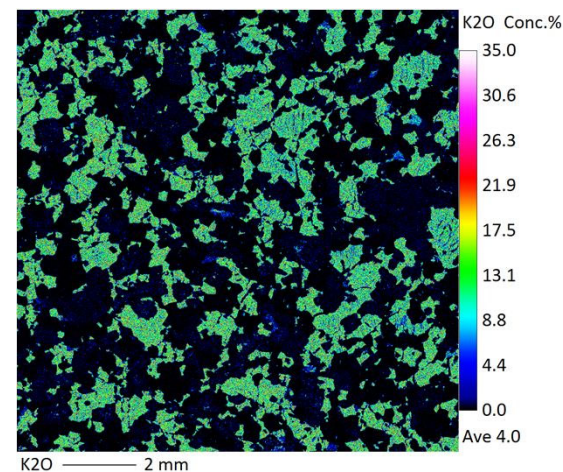
EPMAマッピング (COMPO像) 黄色
点は測定箇所



EPMAマッピング (Na)



EPMAマッピング (Ca)

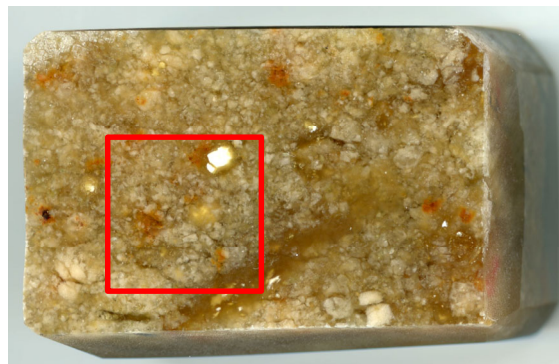


EPMAマッピング (K)

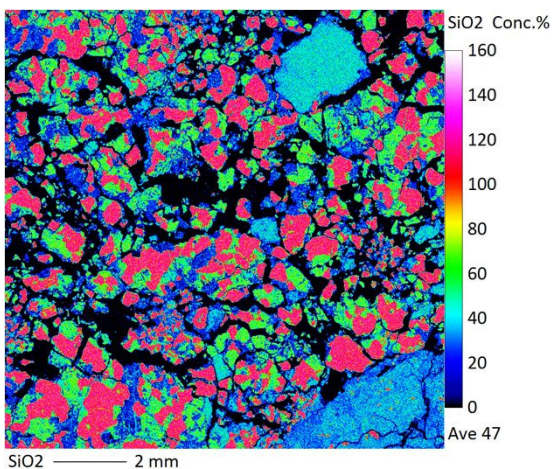
1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 長石類のEPMA分析)

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

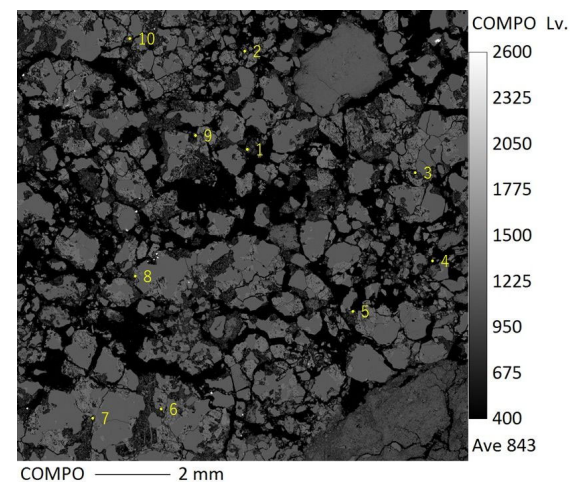
- Siに富む石英, Naに富む曹長石, Kに富むカリ長石に区分できる。
- マッピング範囲の斜長石で測定を行った。



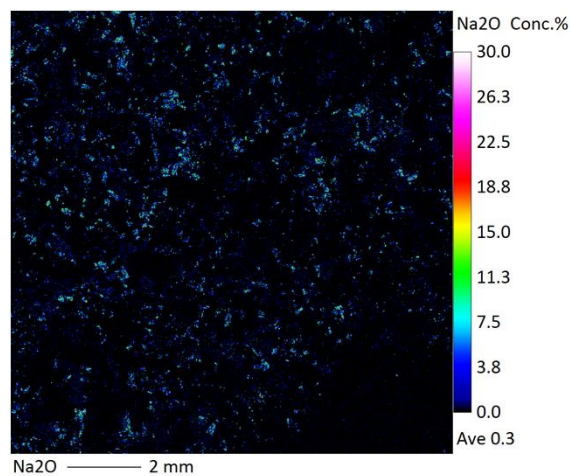
EPMAマッピング用試料
赤色枠内をマッピング



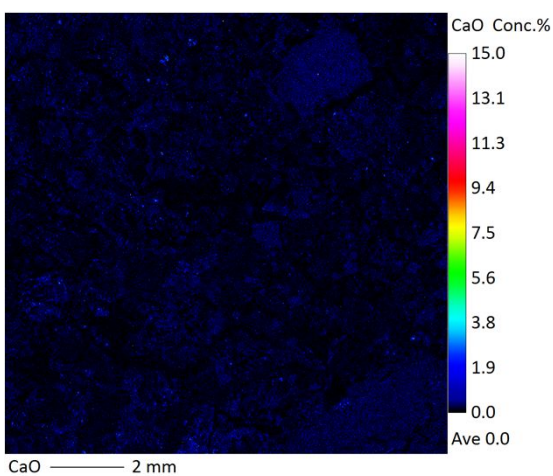
EPMAマッピング (Si)



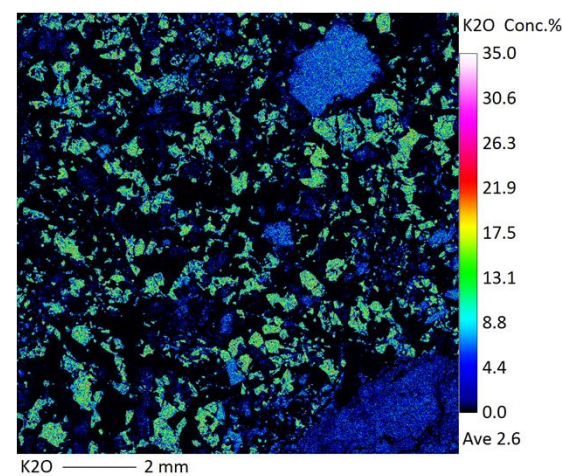
EPMAマッピング (COMPO像) 黄色
点は測定箇所



EPMAマッピング (Na)



EPMAマッピング (Ca)

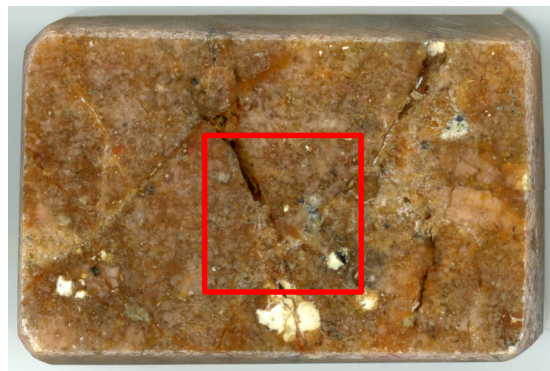


EPMAマッピング (K)

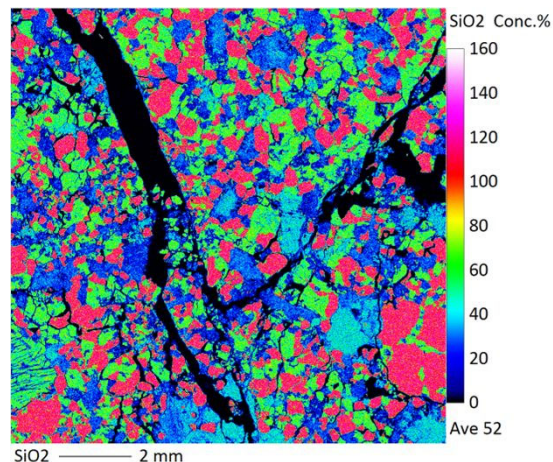
1.2.2 地質層序 (①粘土鉱物の成因の検討 長石類のEPMA分析)

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

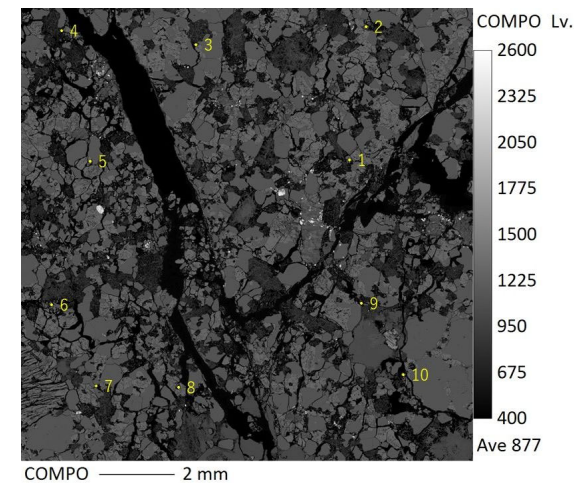
- Siに富む石英, Naに富む曹長石, Kに富むカリ長石に区分できる。
- マッピング範囲の斜長石で測定を行った。



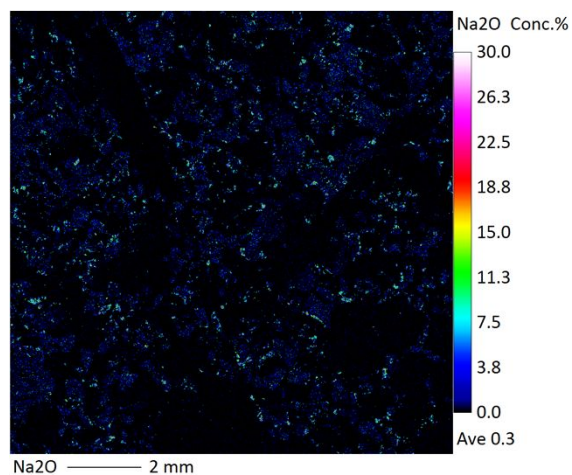
EPMAマッピング用試料
赤色枠内をマッピング



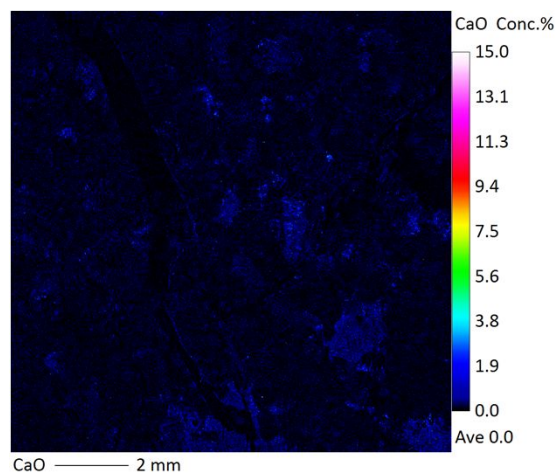
EPMAマッピング (Si)



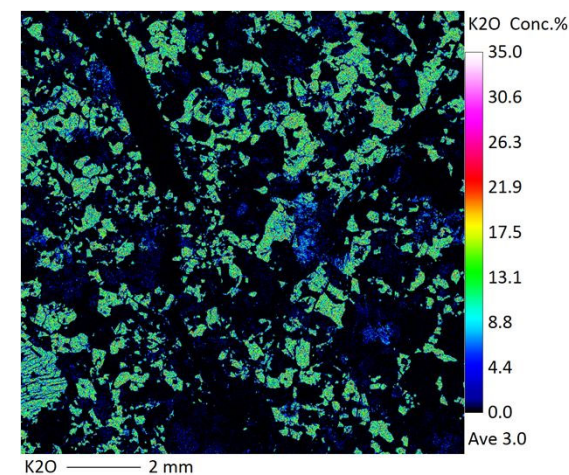
EPMAマッピング (COMPO像) 黄色
点は測定箇所



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。

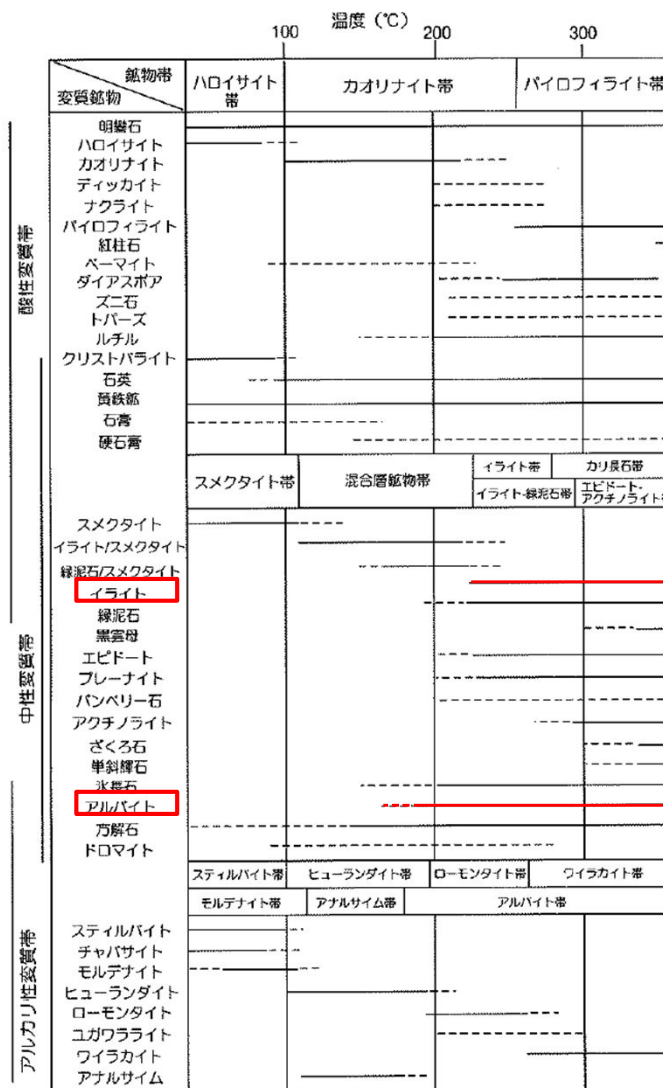


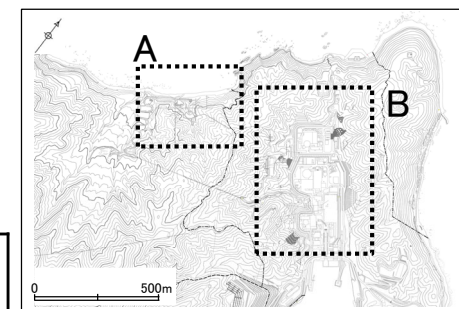
図9 各変質帯に特徴的な鉱物とそれらの概略の生成温度(吉村(2001)を改変)。

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

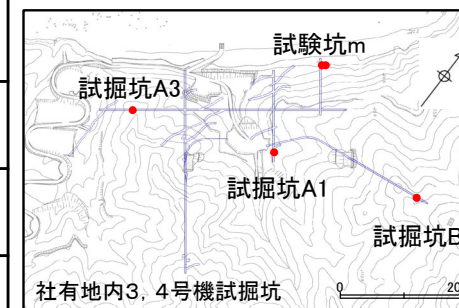
1.2.2 地質層序 (②最新の變質作用の時期の検討 K-Ar年代測定 測定位置及び測定結果)

- 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。

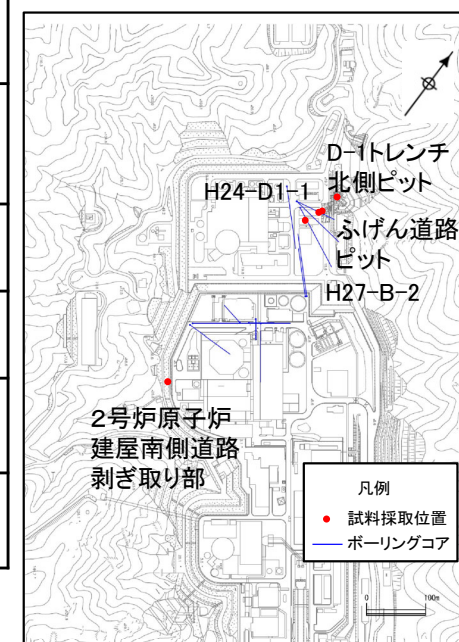
試料採取位置				測定物	カリウム含有量 (wt.%)	放射性起源 ⁴⁰ Ar (10 ⁻⁸ cc STP/g)	K-Ar年代 (Ma)	非放射性起源 ⁴⁰ Ar (%)
江若花崗岩中	黒雲母 花崗岩	社有地内3, 4号機 試掘坑A1	65m付近	カリ長石	10.5	277	66.6±3.3 ^{※3}	8.6
					10.4	274		10.9
	花崗斑岩	社有地内3, 4号機 試掘坑A3	337m付近	カリ長石	10.0	265	66.3±3.3 ^{※3}	9.6
					10.0	260		11.0
	アプライト	社有地内3, 4号機 試掘坑B1	260m付近	カリ長石	8.45	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	
	ふげん道路ピット	—	Sme他 ^{※1}	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	
	H27-B-2	31.65～ 31.82m	Sme ^{※1}	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	



全体位置図



試料採取位置図 (A)



試料採取位置図 (B)

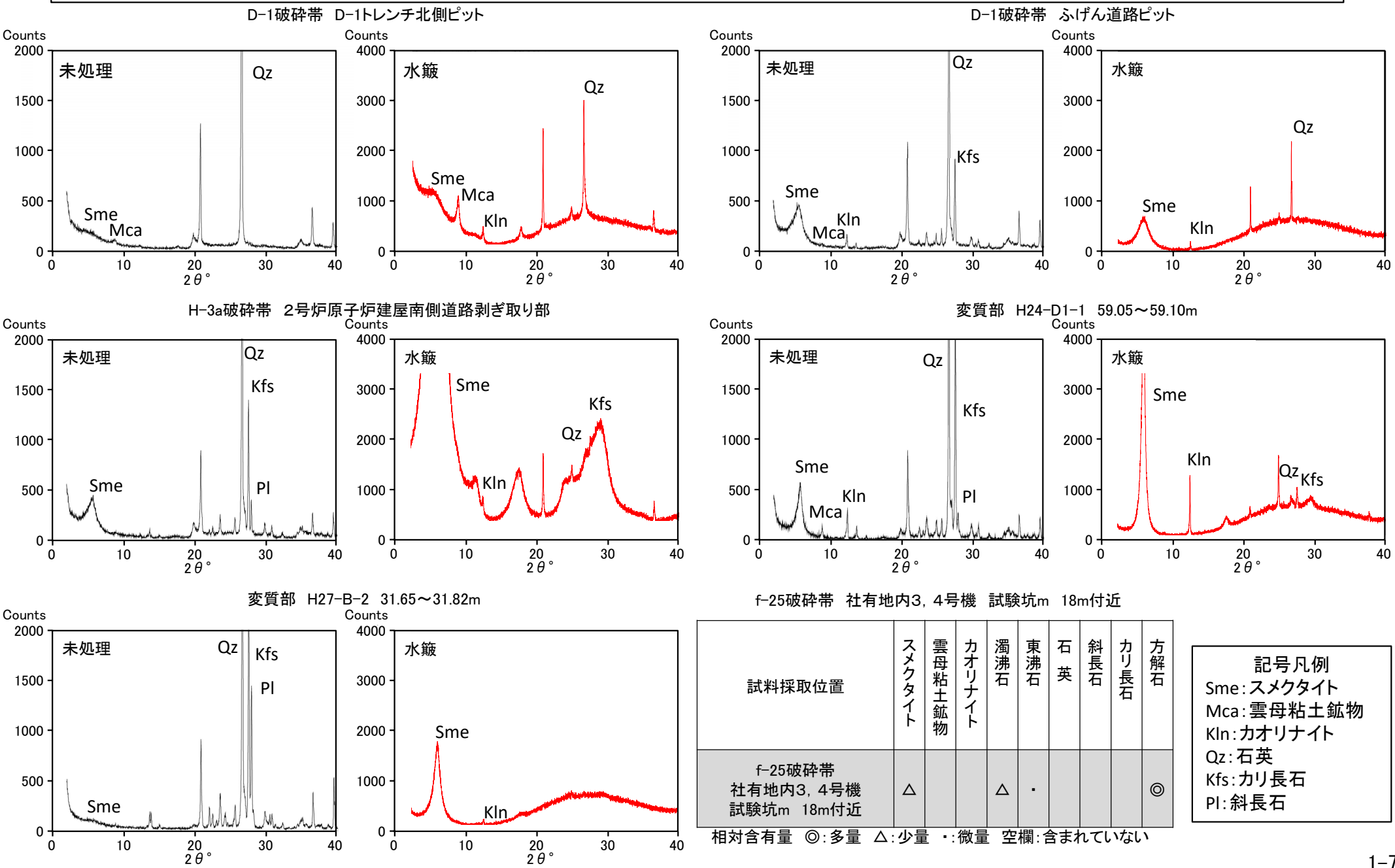
※1 粘土鉱物を対象とした分析については沈降法・遠心分離の前処理をして、2μm以下にした粒子を測定した。

※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。

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)

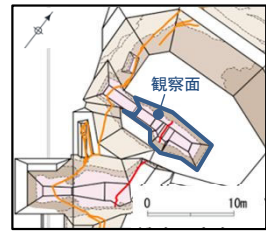
• 破碎部及び變質部のK-Ar年代測定試料について、**熱水變質作用によって生成されたと判断される粘土鉱物が含まれることをX線回折分析によって確認した。**
 • なお、f-25破碎部の試料を除き、水簸により粘土鉱物を抽出してK-Ar年代測定を行った。



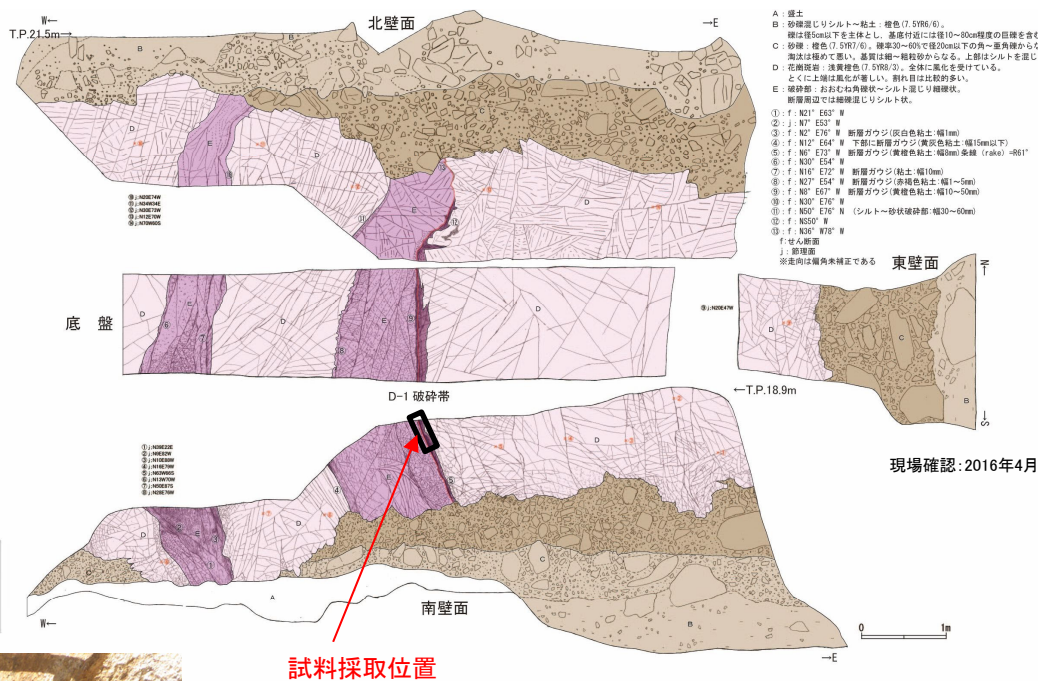
1.2.2 地質層序 (②最新の變質作用の時期の検討 K-Ar年代測定)

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。

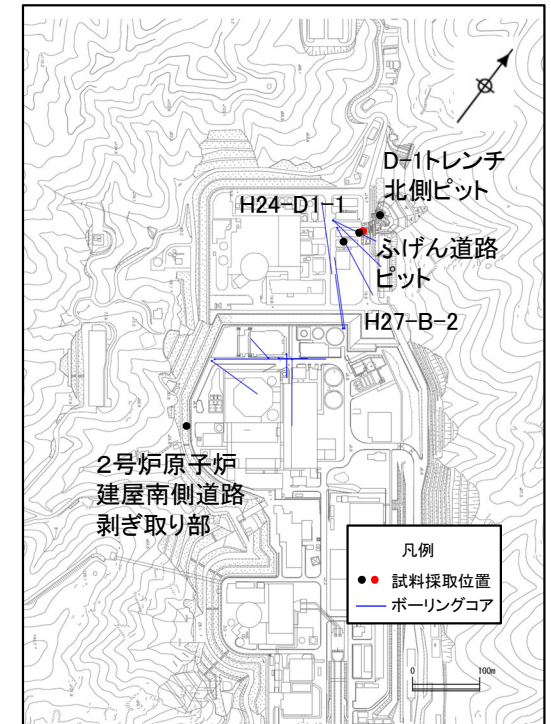


調査位置図

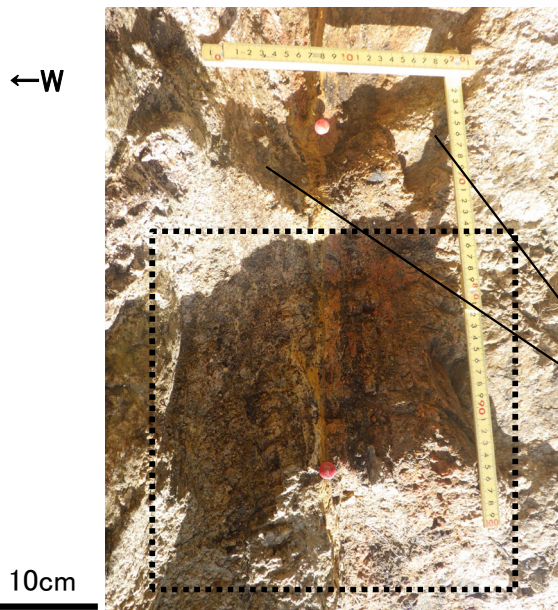


現場確認: 2016年4月

北側ピット 地質観察結果



試料採取位置図

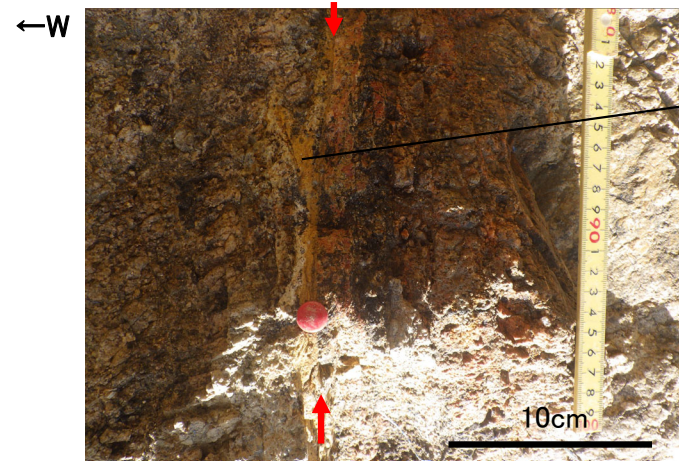


10cm

写真1. 試料採取位置(南壁面)

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



10cm

写真2. 試料採取位置(拡大)

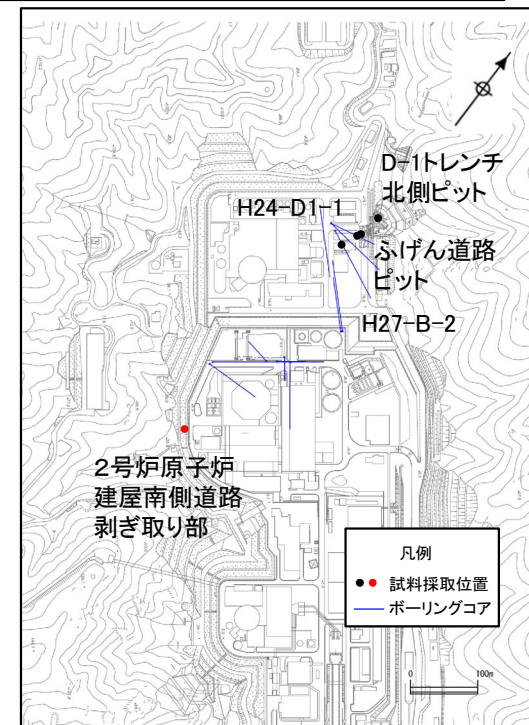
断層ガウジのうち最新活動ゾーンは、幅約1~3mm、軟質で暗褐色を呈する。変質区分は4である。最新活動ゾーンを分析試料として採取した。

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

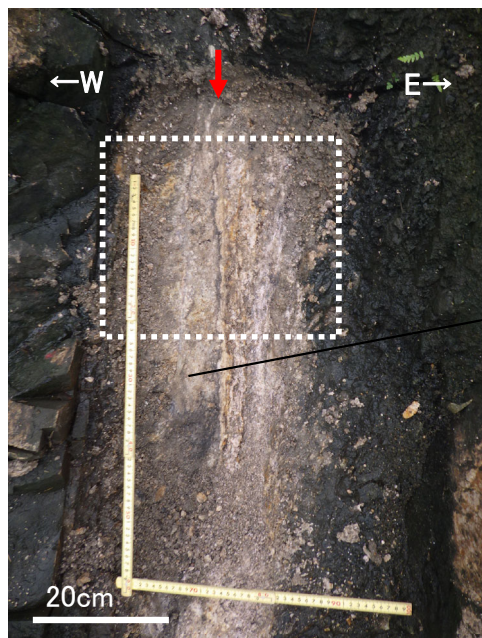


写真1. 試料採取位置

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

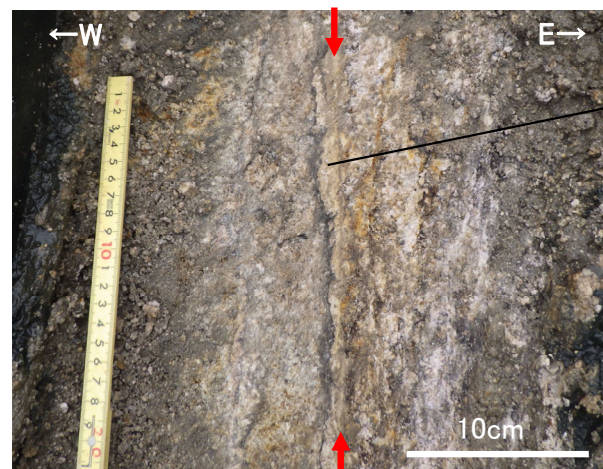


写真2. 試料採取位置(拡大)

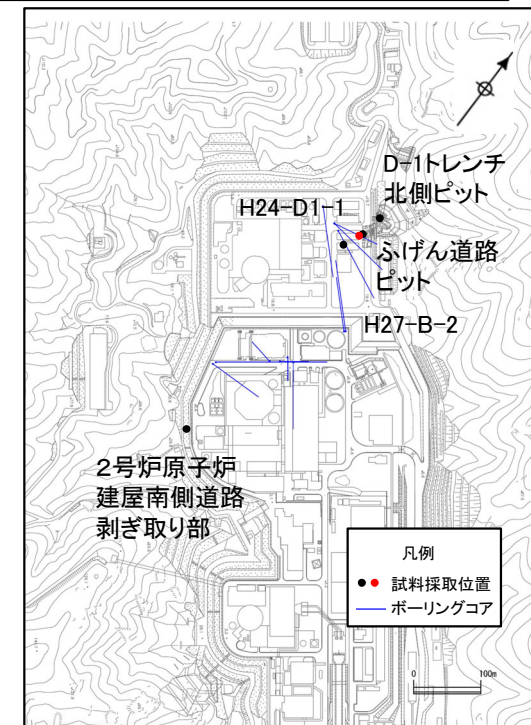
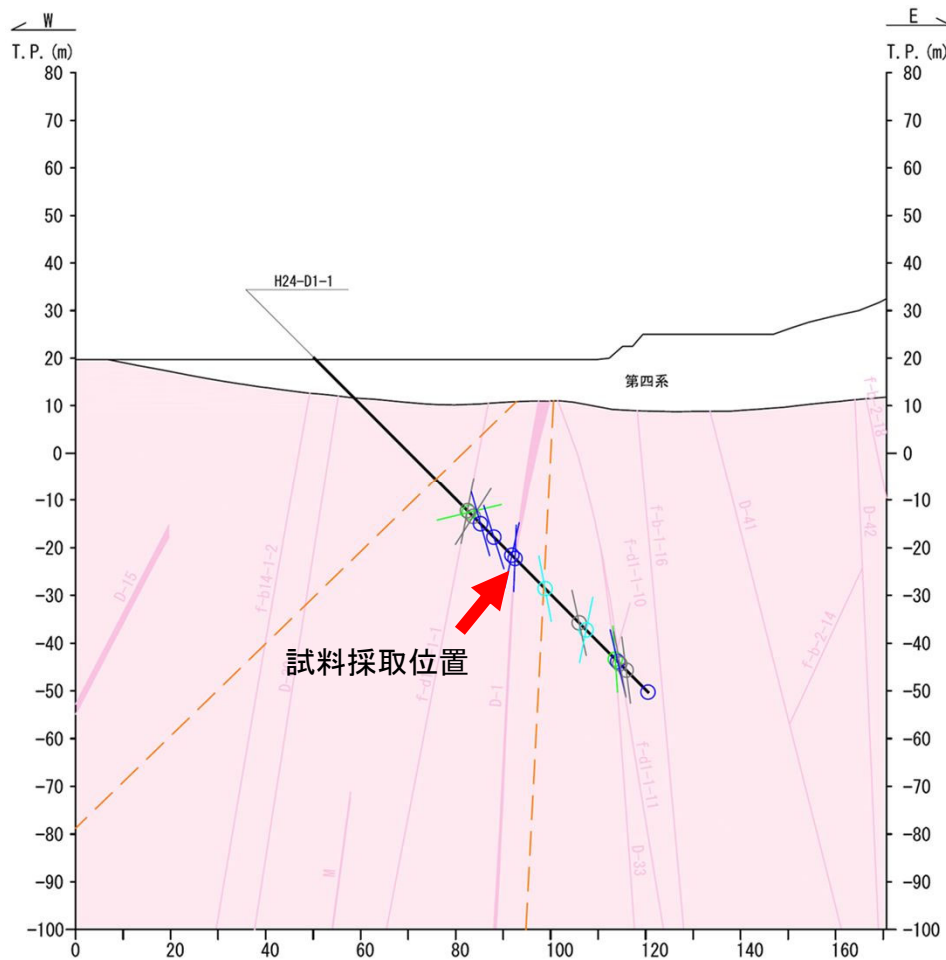
最新活動ゾーンは、幅約1cm、軟質で灰黄~黄橙色を呈する。変質区分は4である。最新活動ゾーンを分析試料として採取した。

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 H24-D1-1 59.00~59.10m

- H24-D1-1 59.00~59.10mの変質区分3で試料を採取しK-Ar年代測定を行った。



試料採取位置図

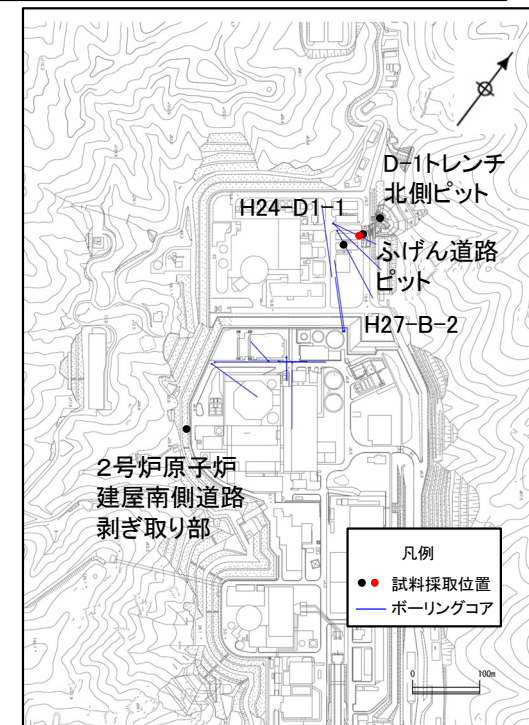
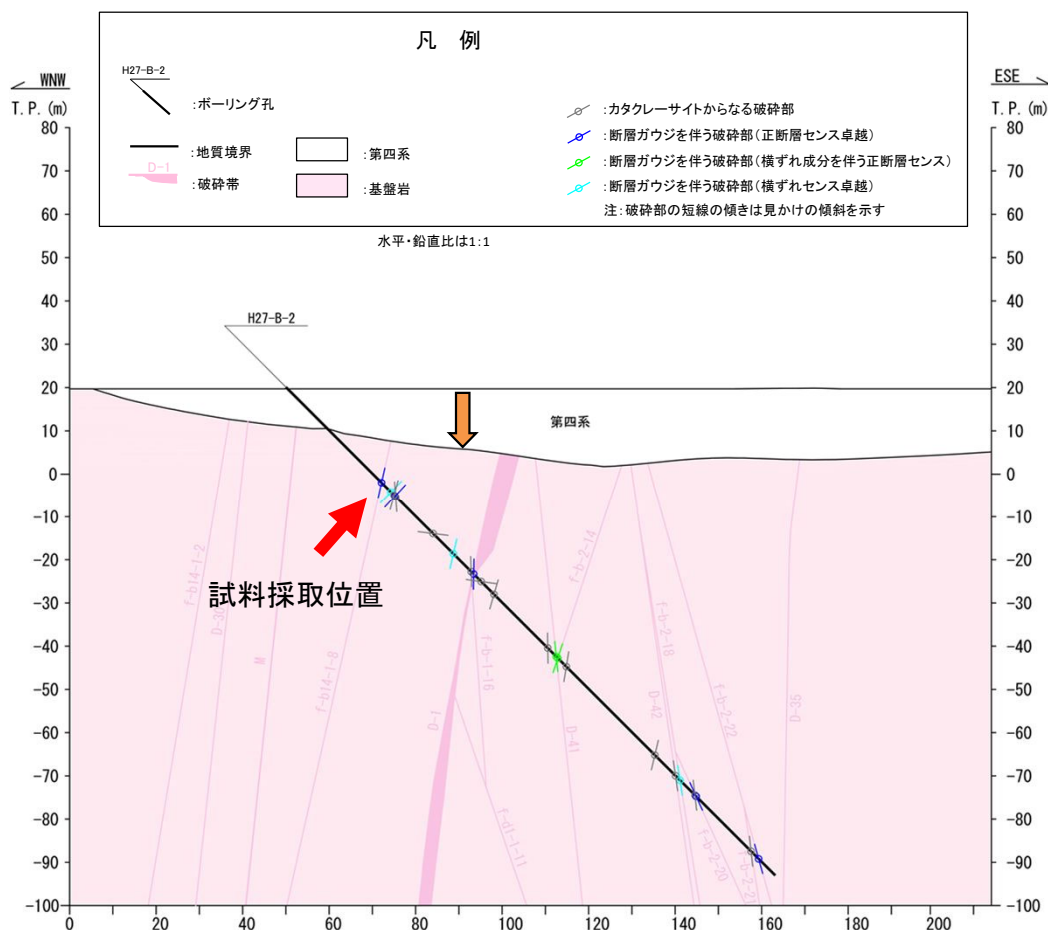


幅数mm程度の白色の粘土細脈が網目状に分布する。全体に軟質である。
變質区分は3である。

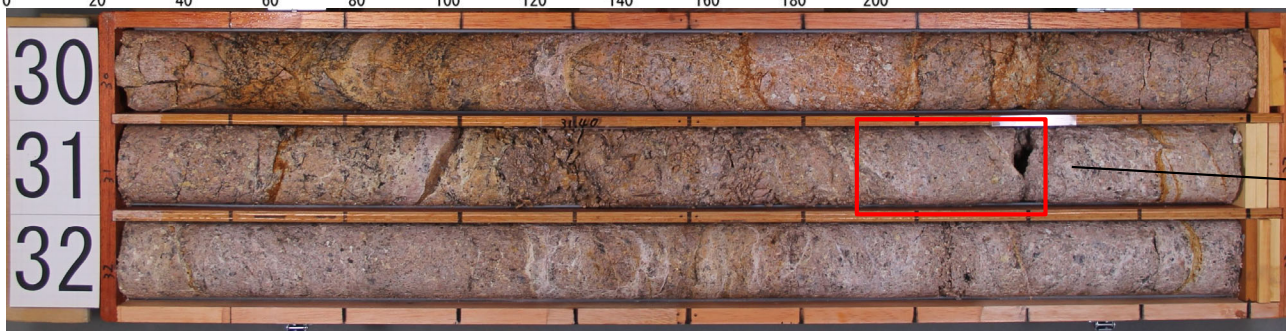
1.2.2 地質層序 (②最新の變質作用の時期の検討 K-Ar年代測定)

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。



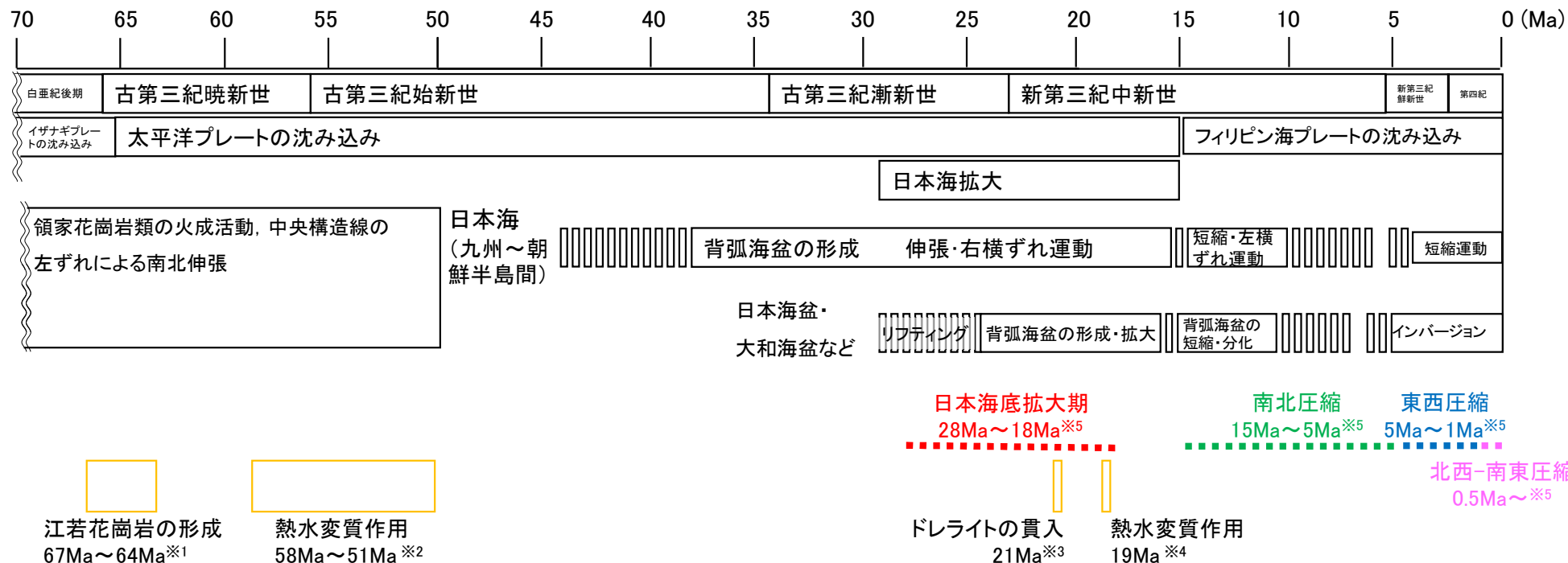
試料採取位置図



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。**

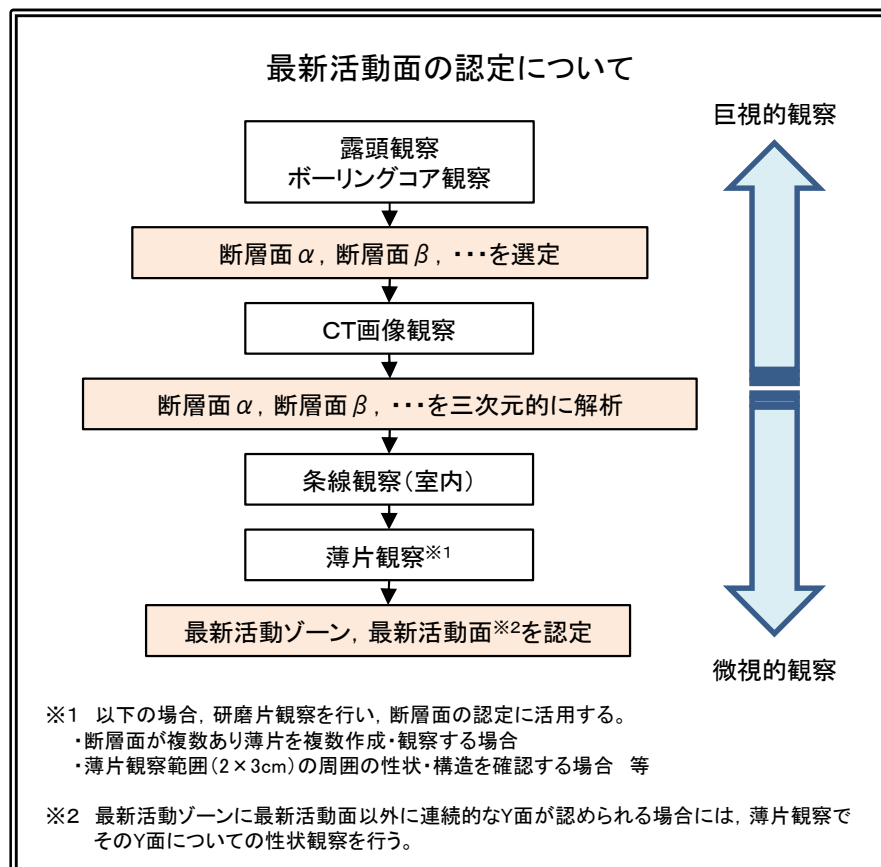
粘土鉱物に関する検討項目と検討結果

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

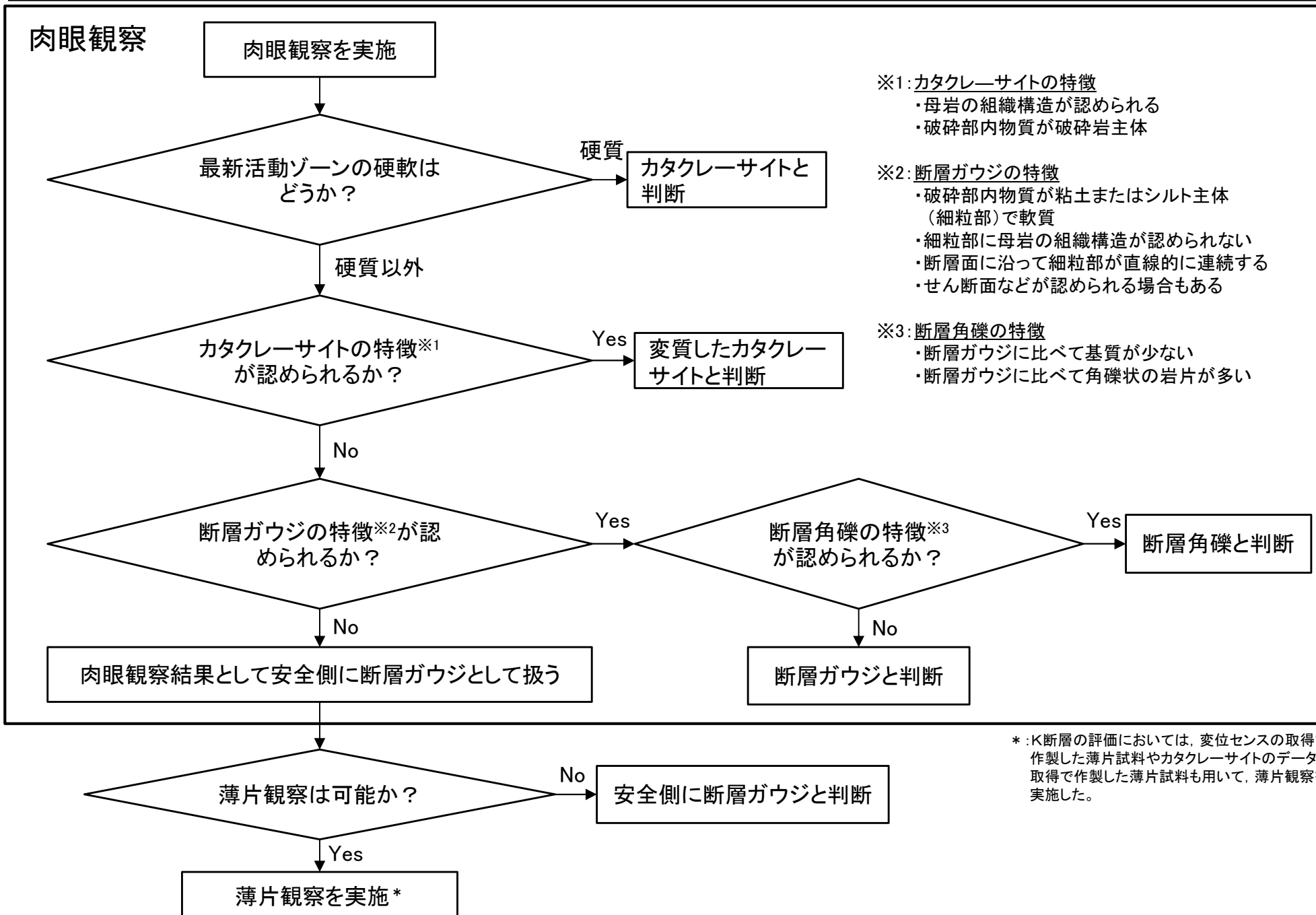
1.3.1 破碎帶

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））

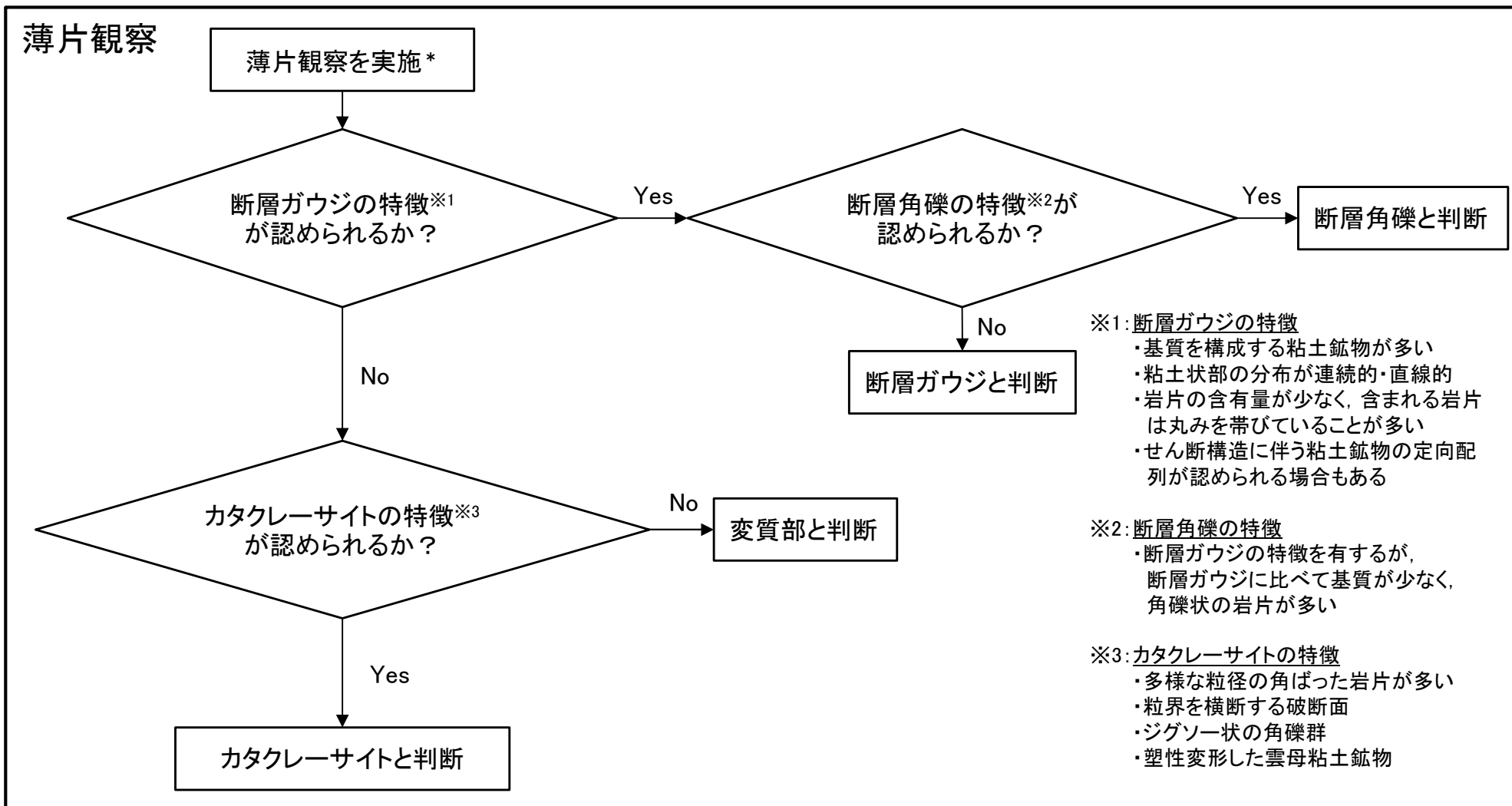
・肉眼観察による断層岩区分の評価フローを示す。



*: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。

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% 		<p>肉眼観察が可能な岩片の量比>30%</p>
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。 	<p>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%</p> <p>カタクレーサイト 肉眼観察が可能な岩片の量比 10~50%</p> <p>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%</p>	<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

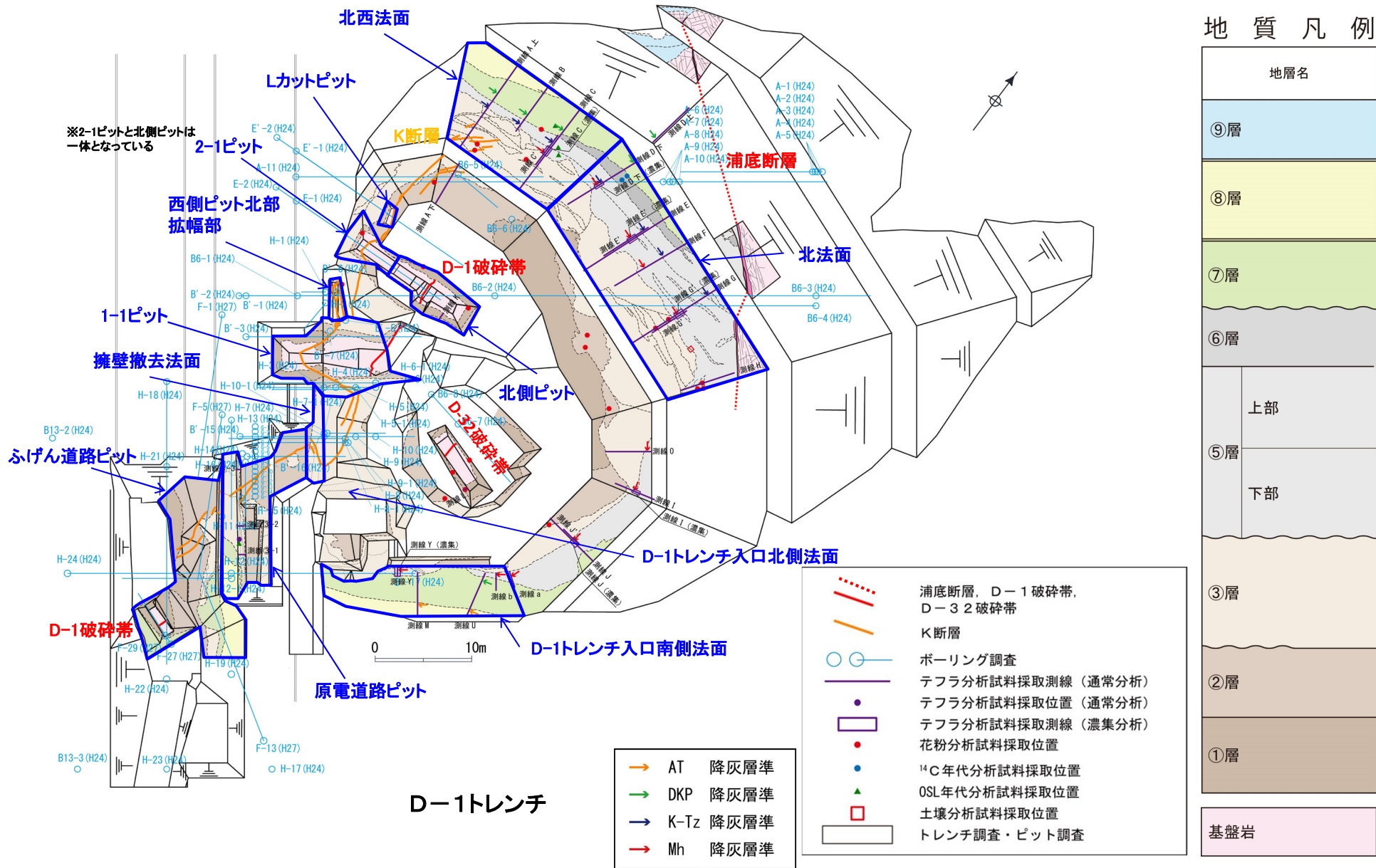
2. K断層の活動性評価

2.1 D-1トレンチの地質層序

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り出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	133ka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。									

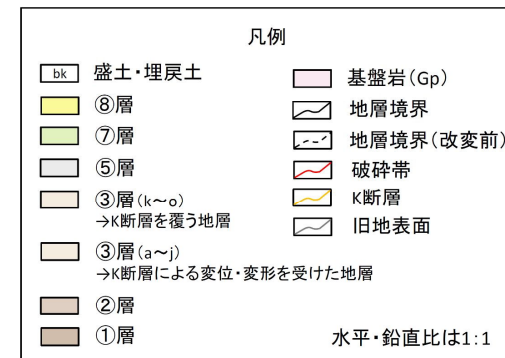
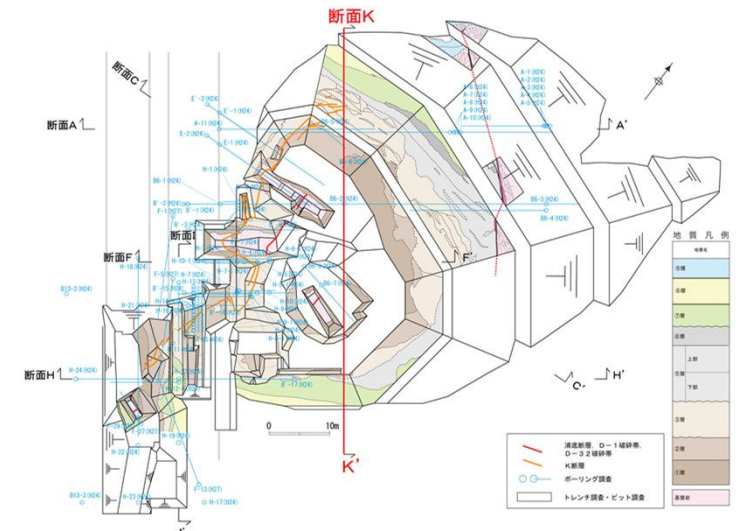
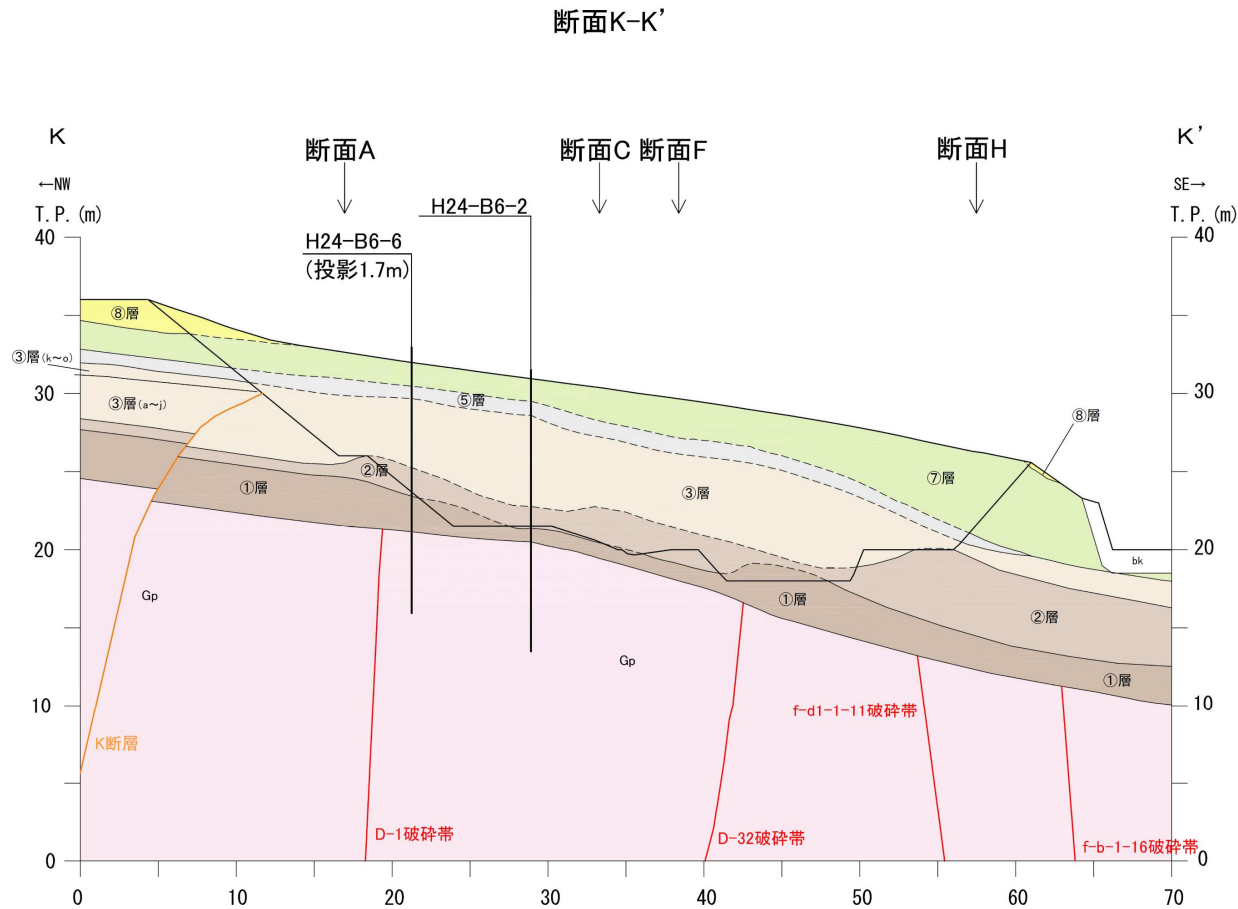
(凡例)

— : 整合境界
 — : 平行不整合境界
 ~ : 不整合境界

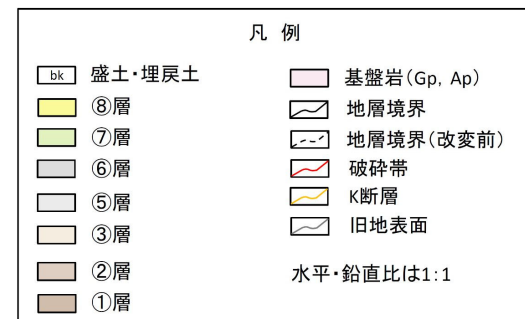
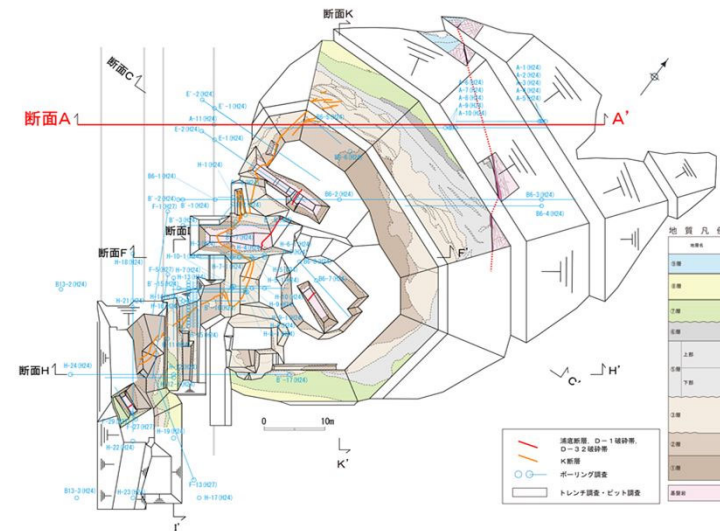
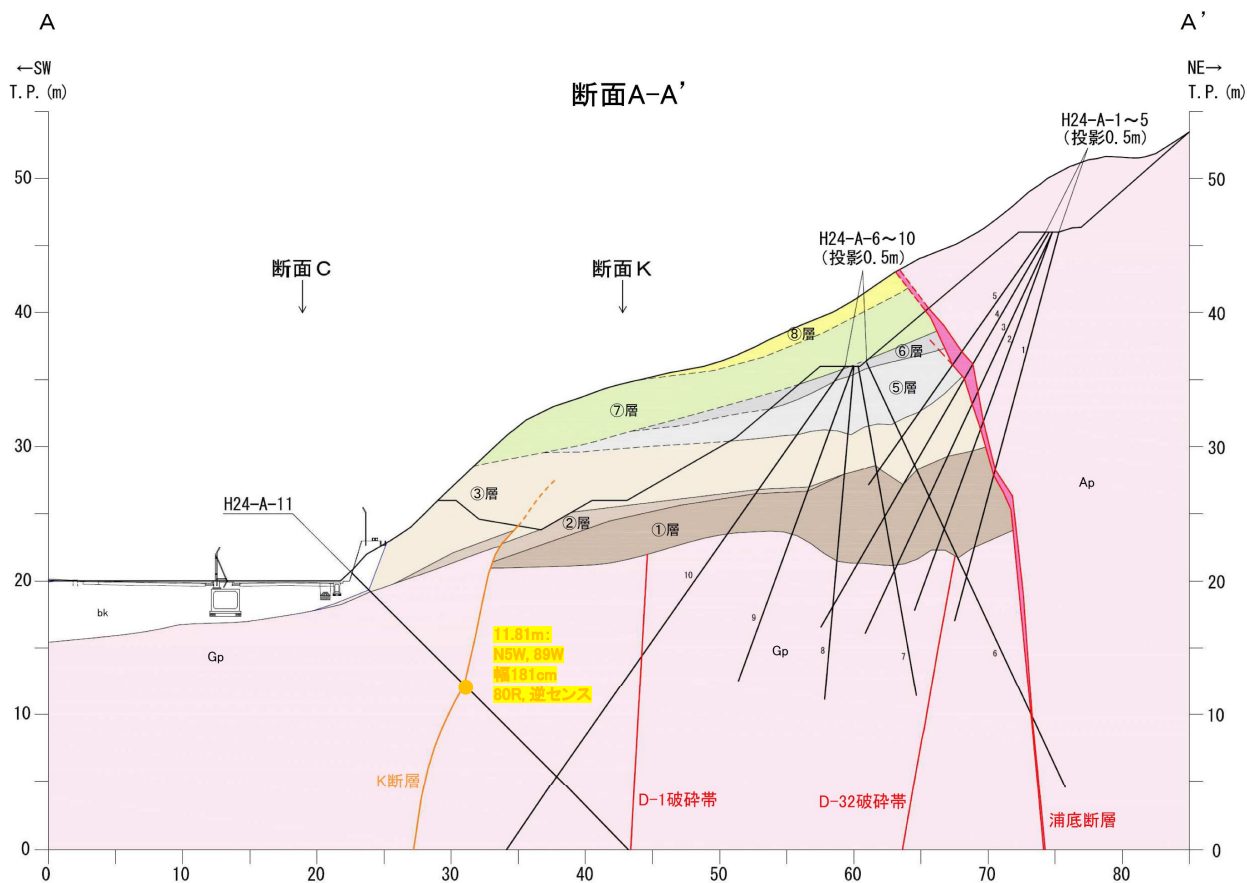
— : 当該の分析又は測定を実施しなかったもの、目的とした情報が得られなかったもの

・ 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。

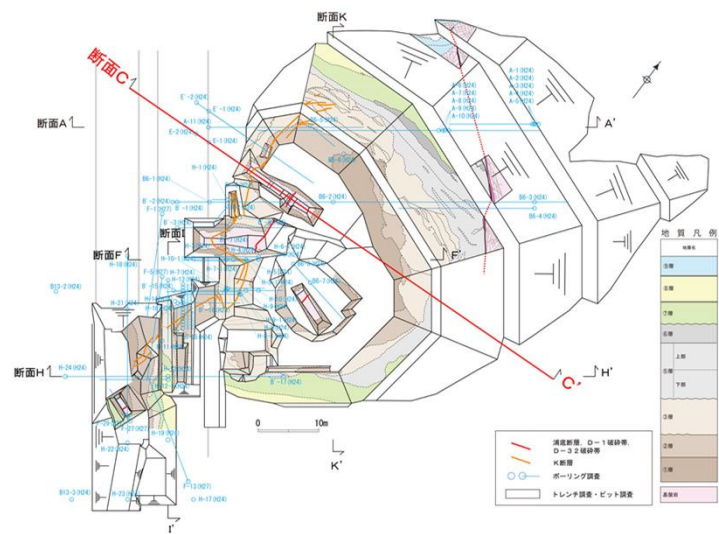
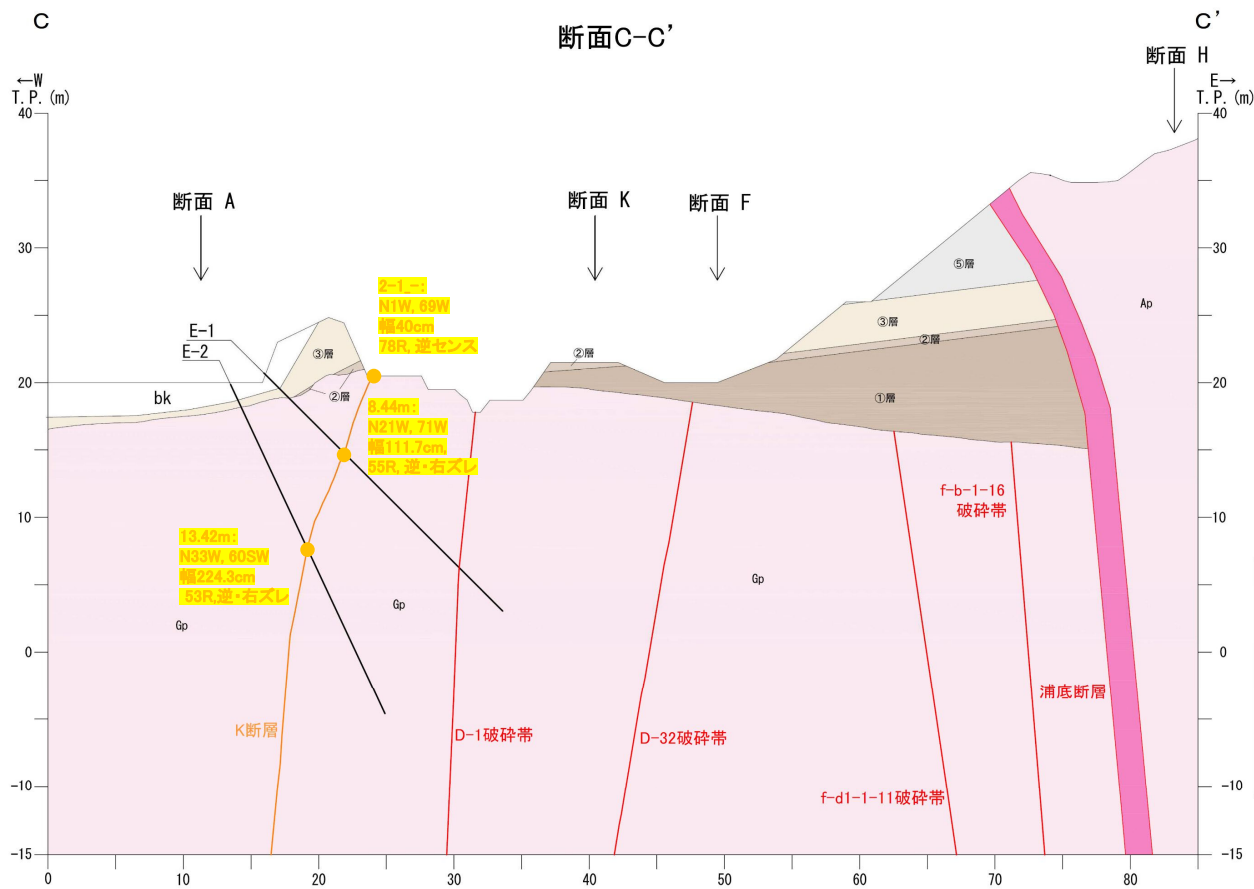
2.1.1 地層の層相及び分布 D-1トレンチ内の断面図 (断面K-K')



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')

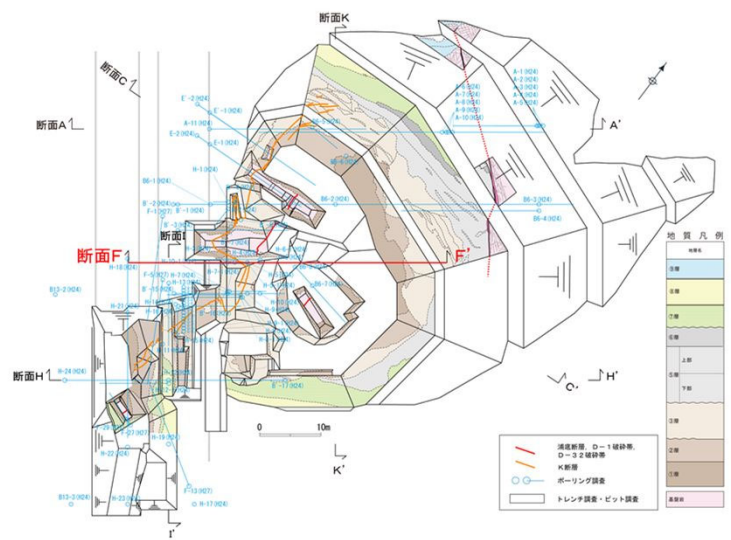
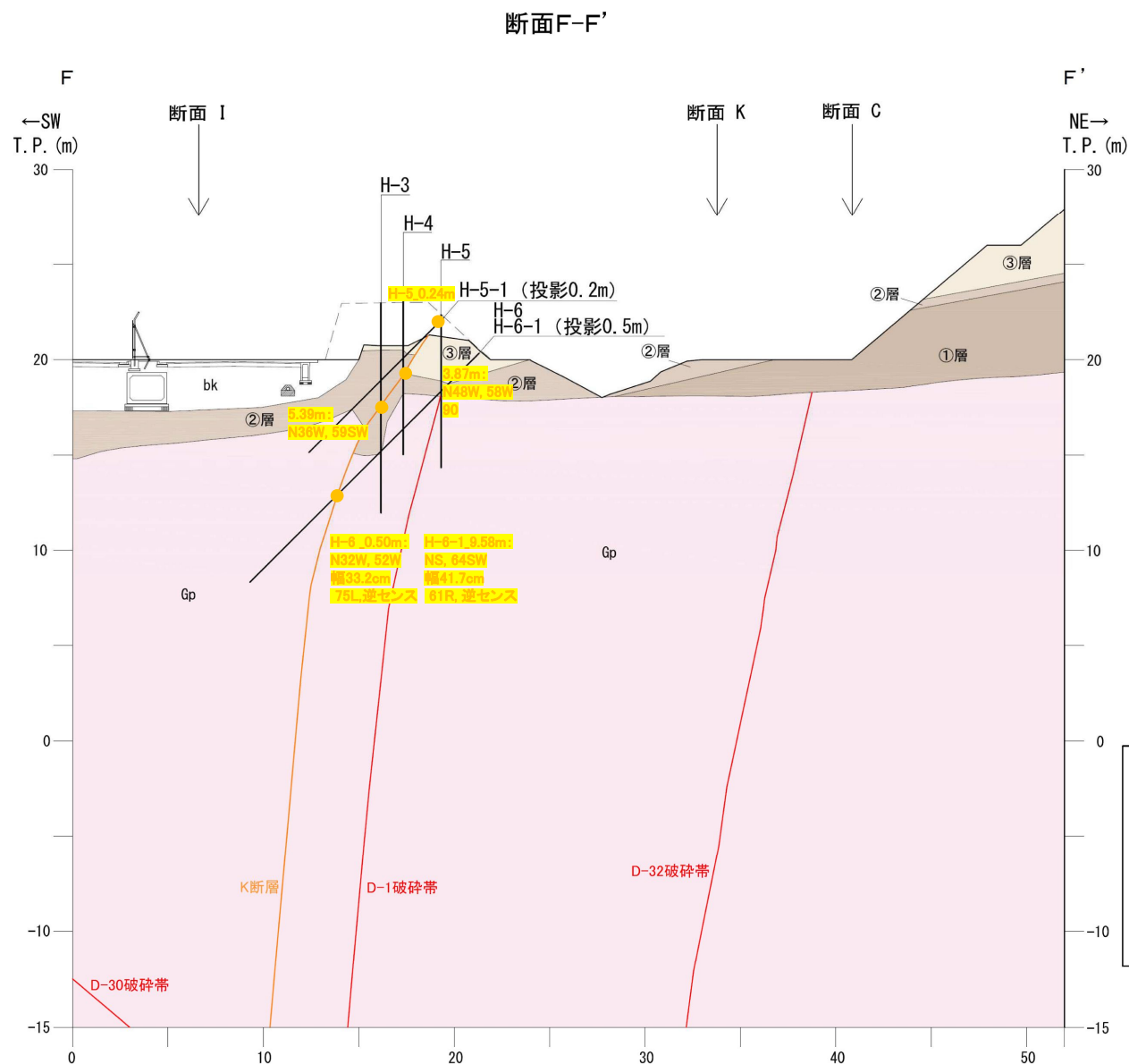


凡例

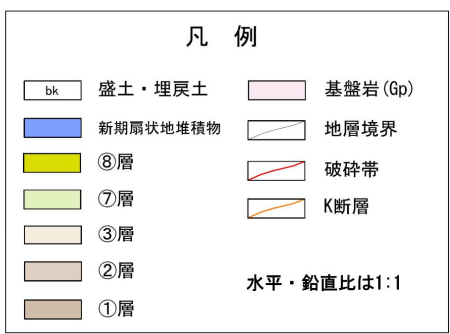
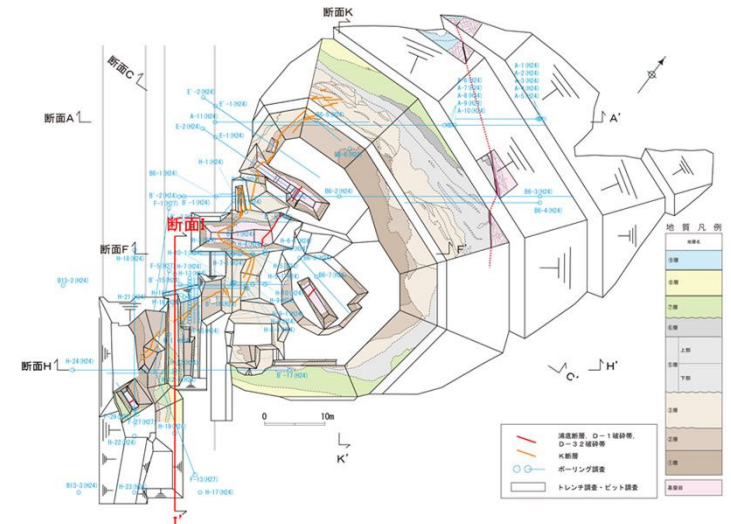
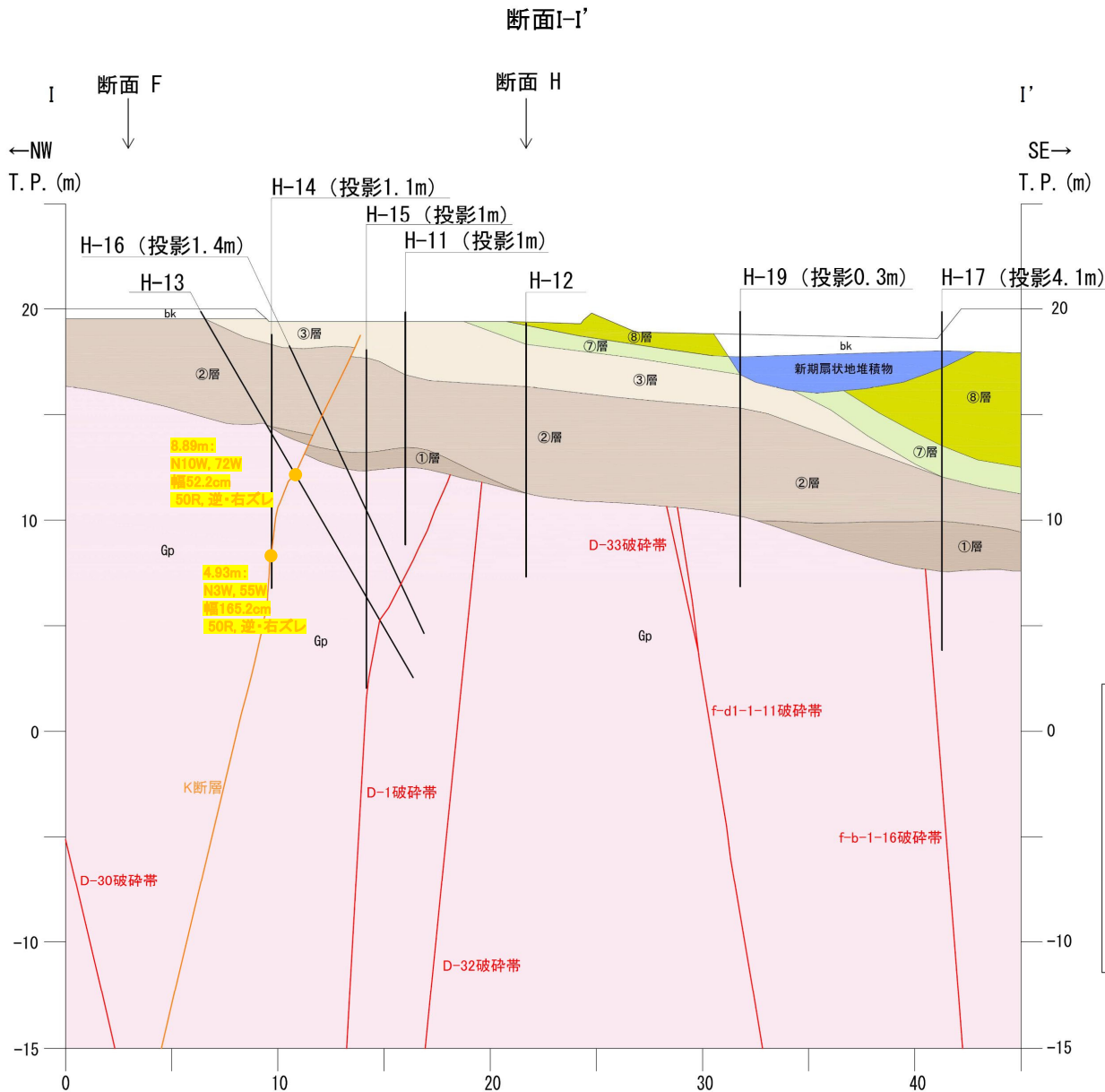
bk	盛土・埋戻土	Gp, Ap	基盤岩
⑤層	地層境界	破碎帯	
③層		K断層	
②層			
①層			

水平・鉛直比は1:1

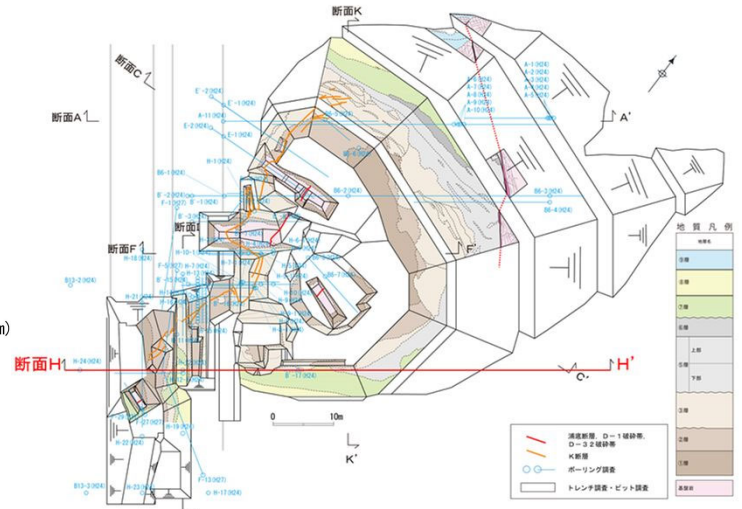
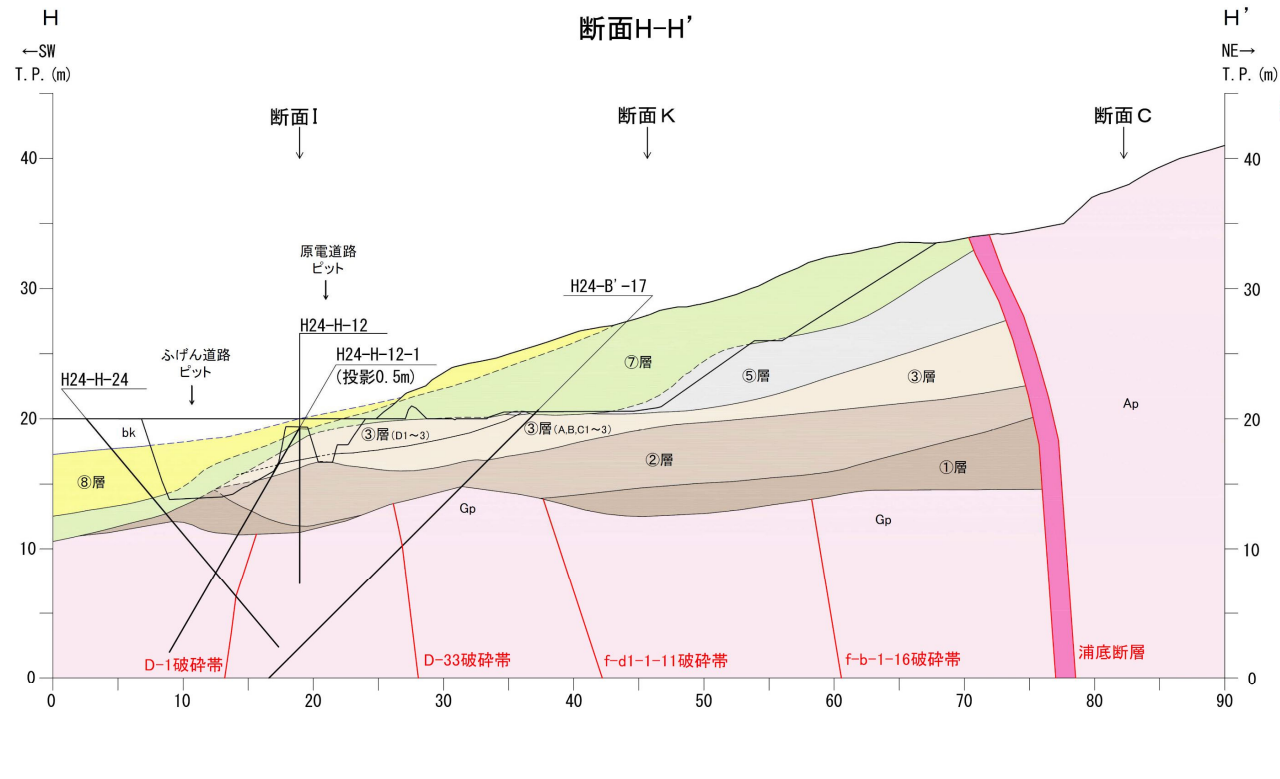
2.1.1 地層の層相及び分布 D-1トレンチ内の断面図 (断面F-F')



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')



凡例

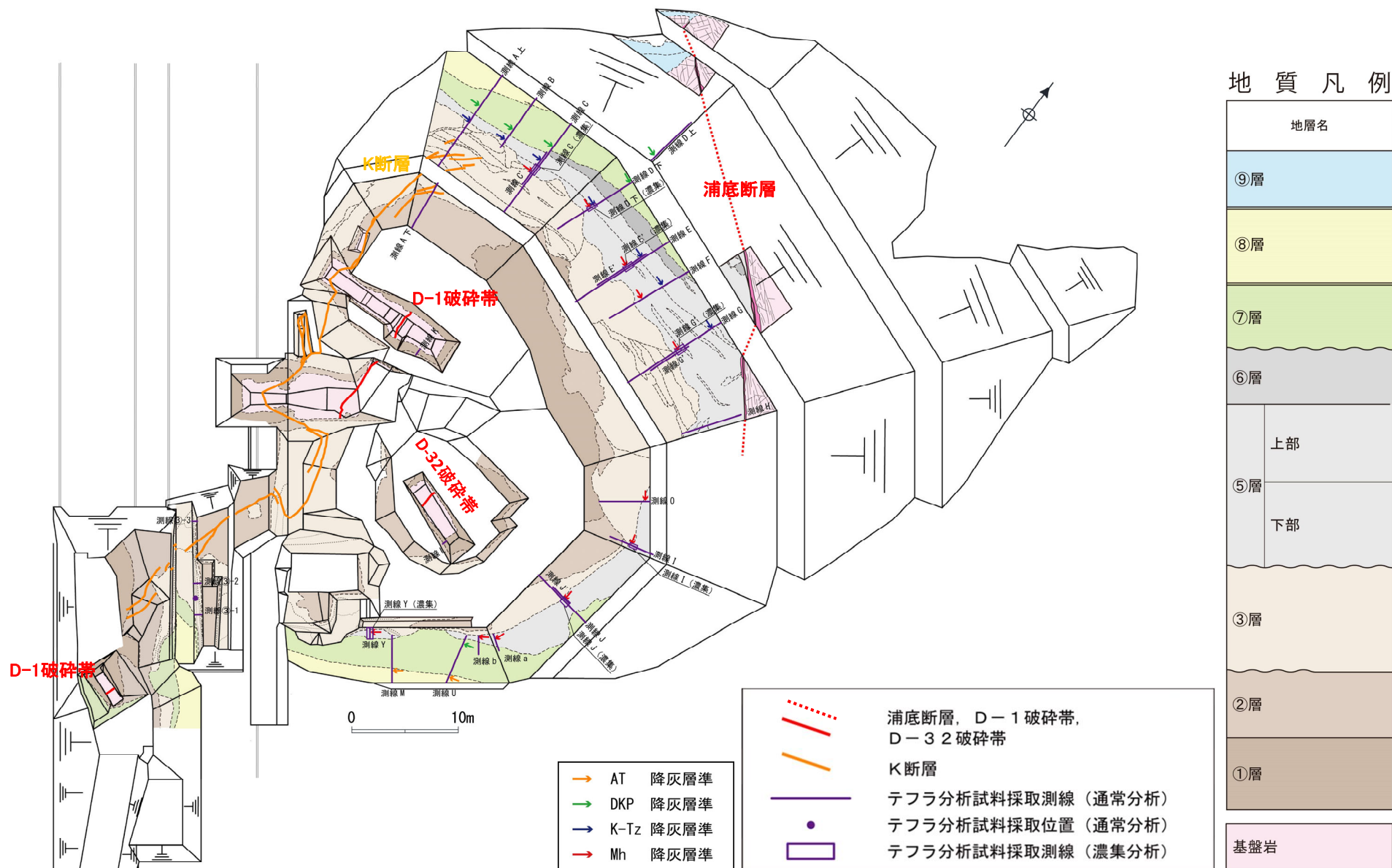
bk	盛土・埋戻土	基盤岩 (Gp, Ap)
⑧層		地層境界
⑦層		地層境界(変更前)
⑤層		破砕帯
③層 (D1~3)	→K断層を覆う地層	旧地表面
③層 (A,B,C1~3)	→K断層による変位・変形を受けた地層	
②層		
①層		

水平・鉛直比は1:1

2.1.2 地層の堆積年代

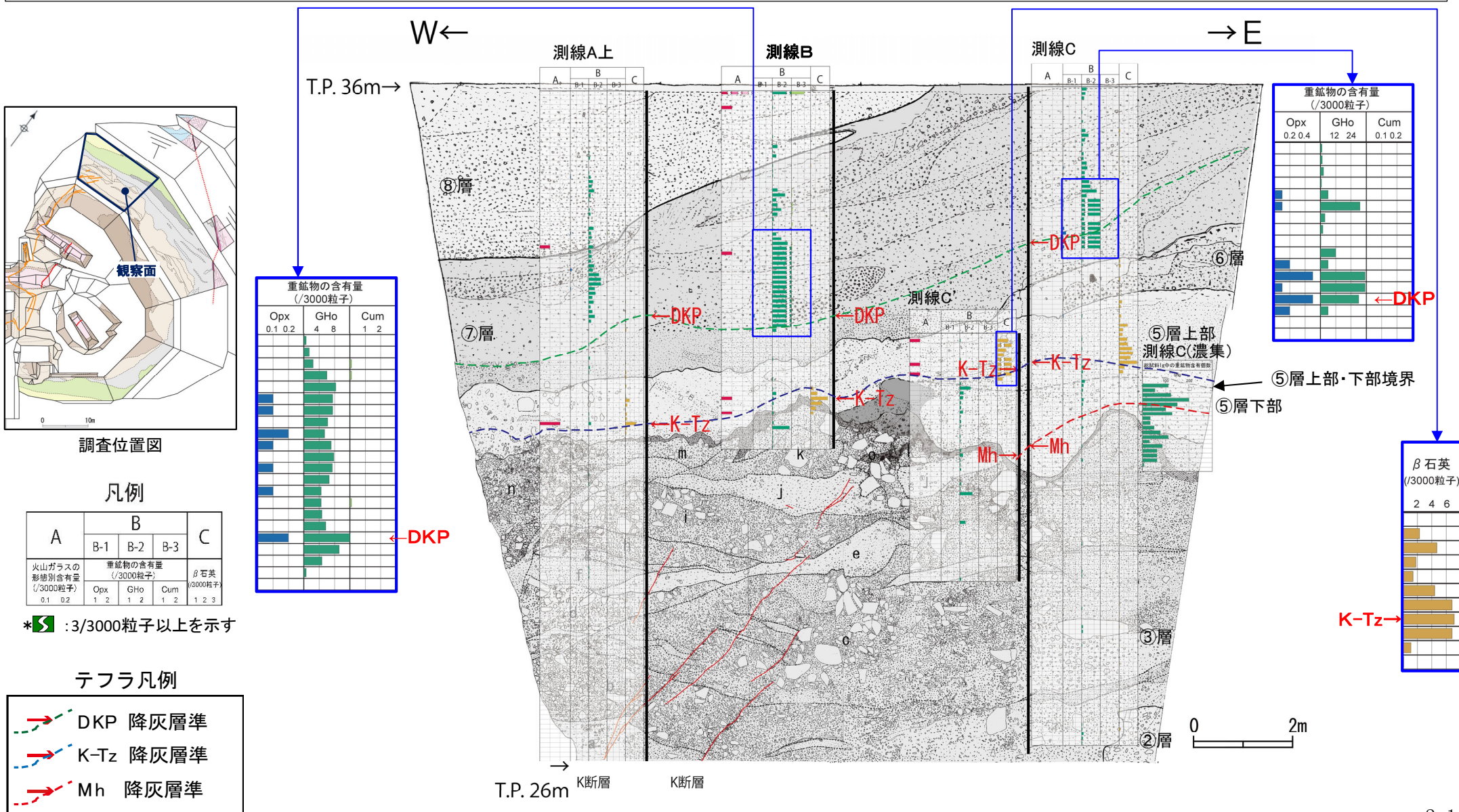
2.1.2 地層の堆積年代 テフラ分析結果 (分析試料採取位置)

- 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。



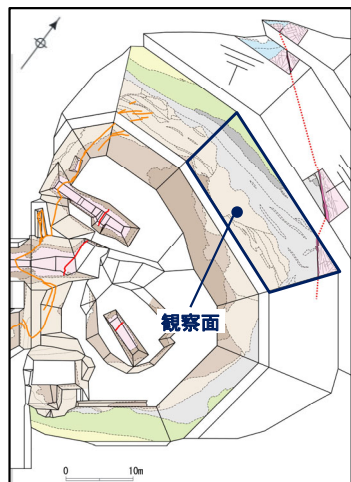
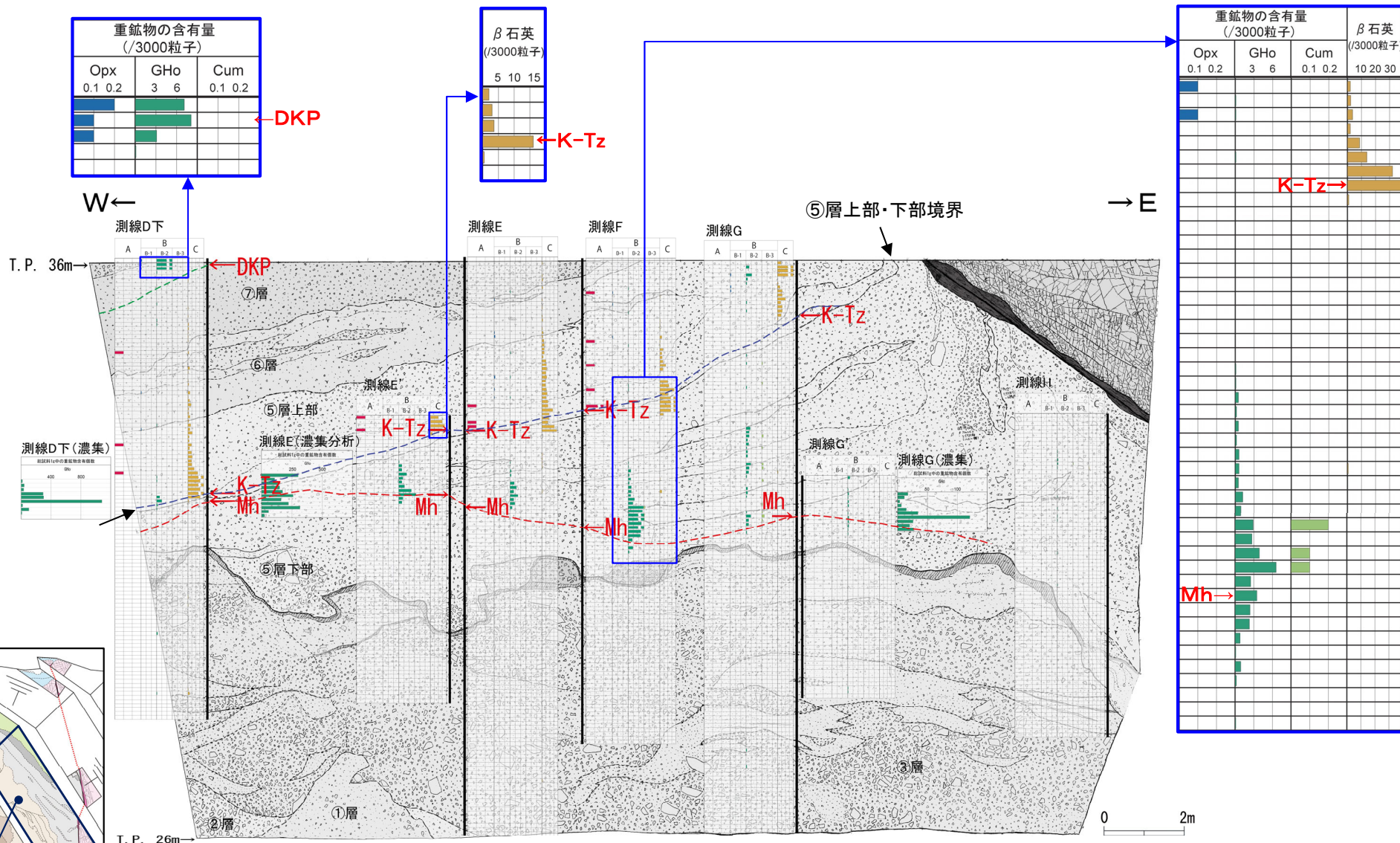
2.1.2 地層の堆積年代 テフラ分析結果 (D-1トレンチ 北西法面)

- 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 北法面)

第1202回審査会合
資料1-1 再掲

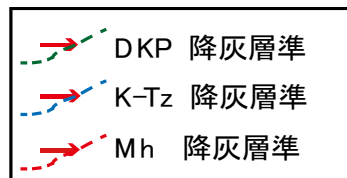


凡例

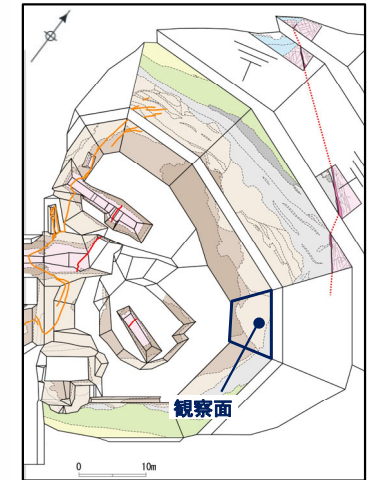
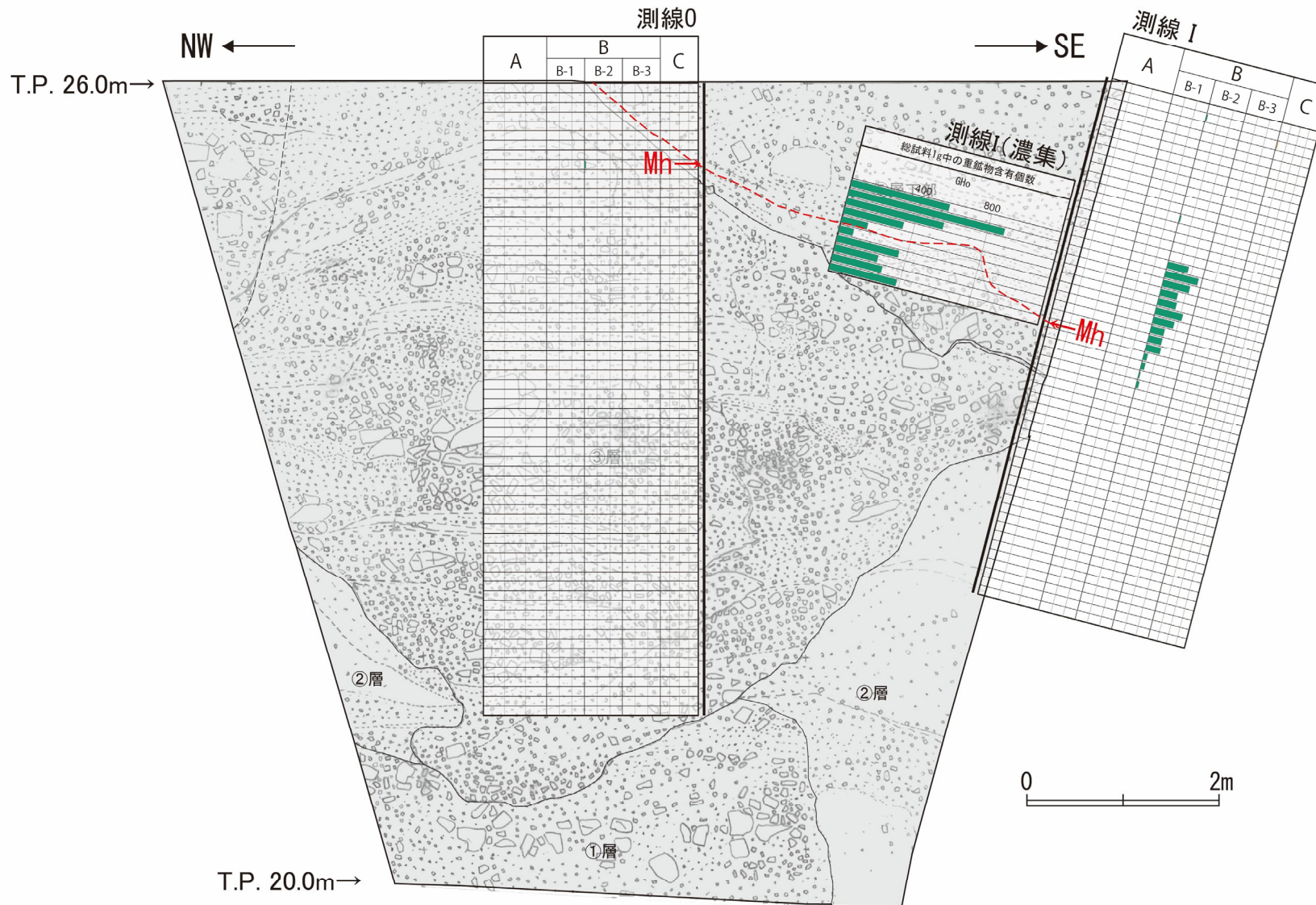
A	B			C
	B-1	B-2	B-3	
火山ガラスの 形態別含有量 (/3000粒子)	Opx 1 2	GHo 1 2	Cum 1 2	β石英 (/3000粒子) 1 2 3

* : 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 北東法面)

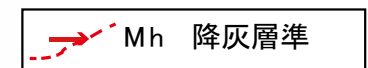


凡例

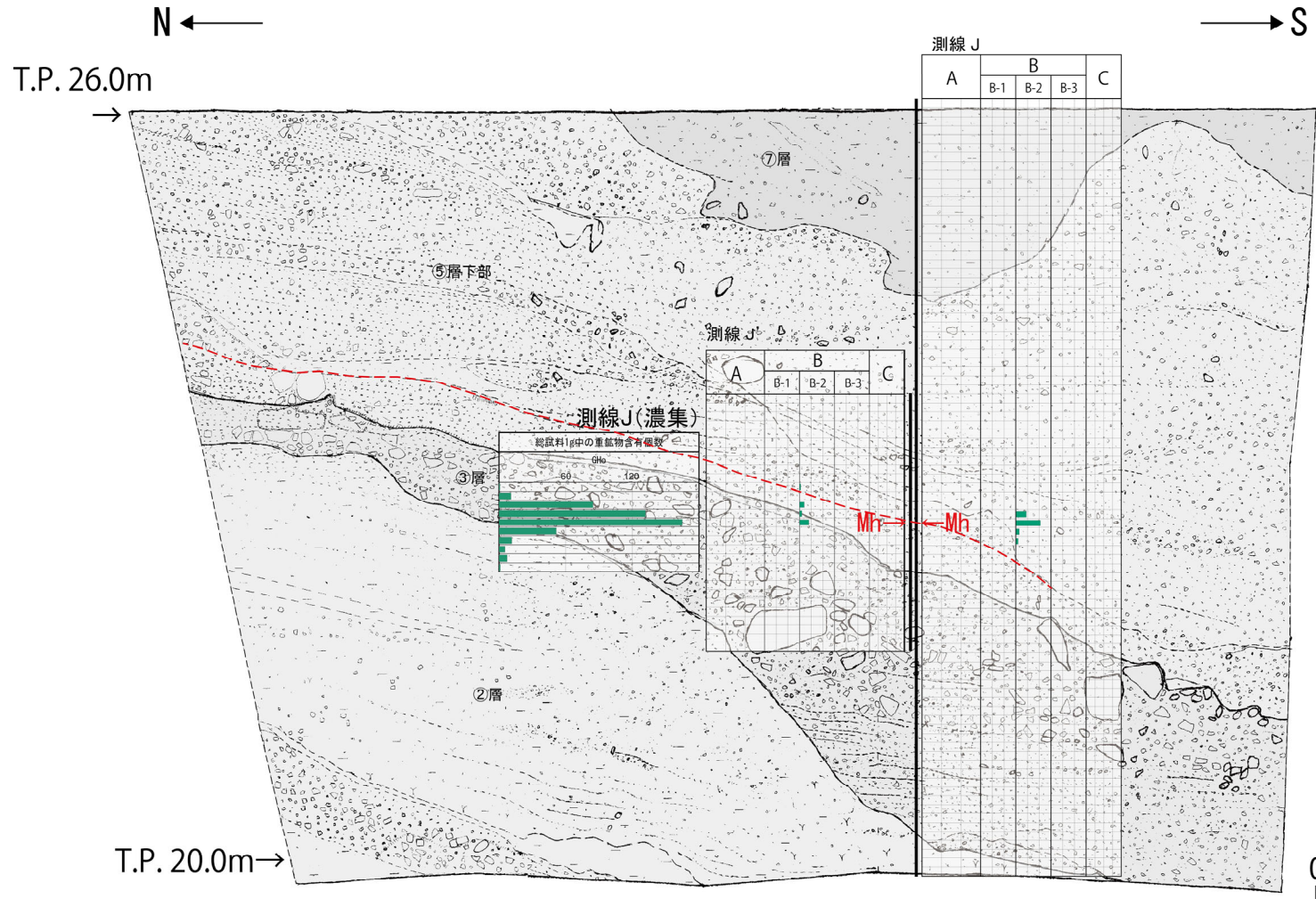
A	B			C
	B-1	B-2	B-3	
火山ガラスの 形態別含有量 (/3000粒子)	重鉱物の含有量 (/3000粒子)			β石英 (/3000粒子)
0.1 0.2	Opx 1 2	GHo 1 2	Cum 1 2	1 2 3

* : 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)

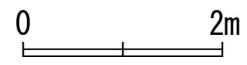
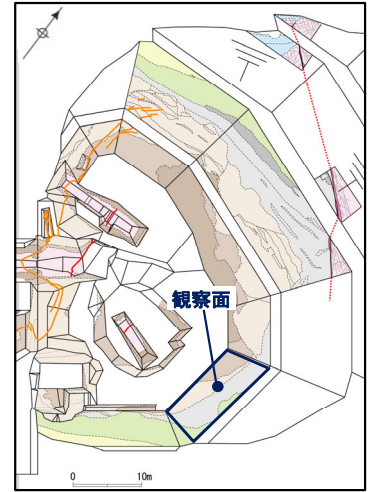


凡例

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)
OpX 0.1 0.2	GHo 1 2	Cum 1 2	Cum 1 2 3	

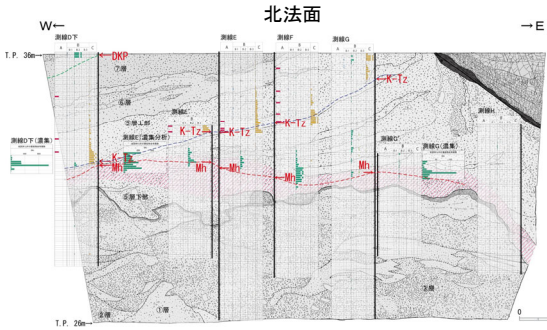
* : 3/3000粒子以上を示す

Mh 降灰層準



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))

第1202回審査会合
資料1-1 再掲



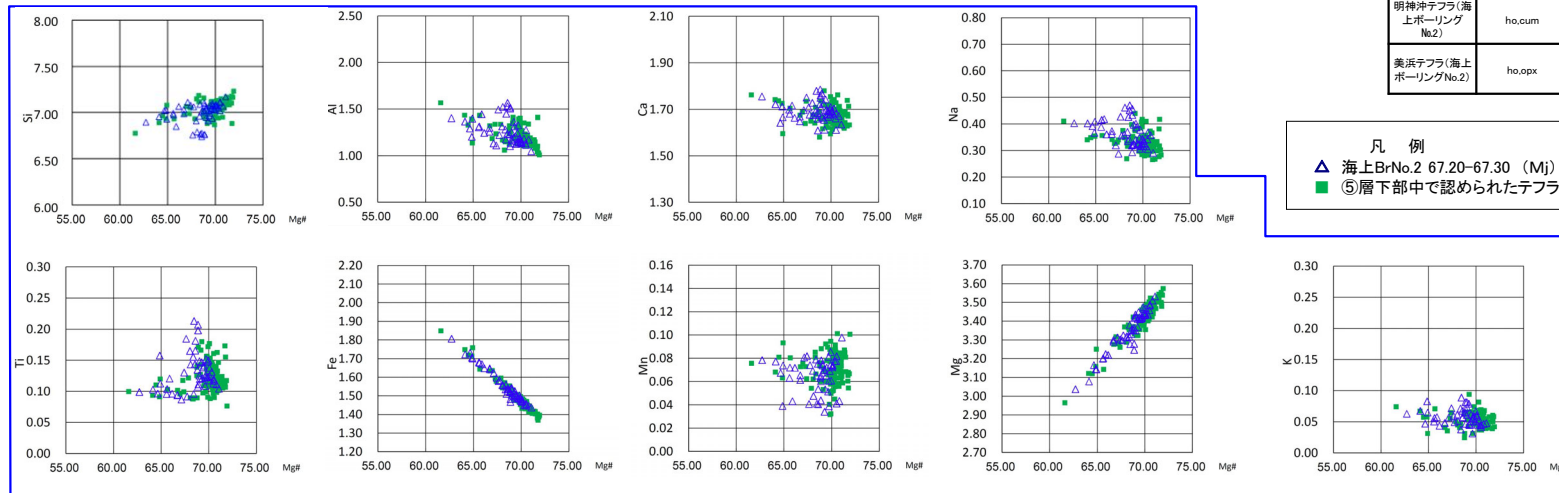
- ⑤層下部中の美浜テフラの降灰層準付近には、普通角閃石からなり、極微量のカミングトン閃石を伴うテフラが認められる。
- 屈折率測定の結果によれば、当該テフラについては、明神沖テフラ及び美浜テフラの屈折率の範囲と良く一致している。
- 普通角閃石の主成分分析の結果によれば、当該テフラについては、美浜テフラと明神沖テフラの両者のMg及びFeの分布と重なっており、その他の元素についても両者のMg#の範囲と元素の含有量の範囲と重なっている。
- カミングトン閃石の主成分分析の結果によれば、当該テフラについては、明神沖テフラのMg及びFeの分布と重なっており、その他の元素についてもMg#の範囲と元素の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
 : 美浜テフラを含む層準(礫混じりシルト質砂)

屈折率分析結果: 試料番号 測線E

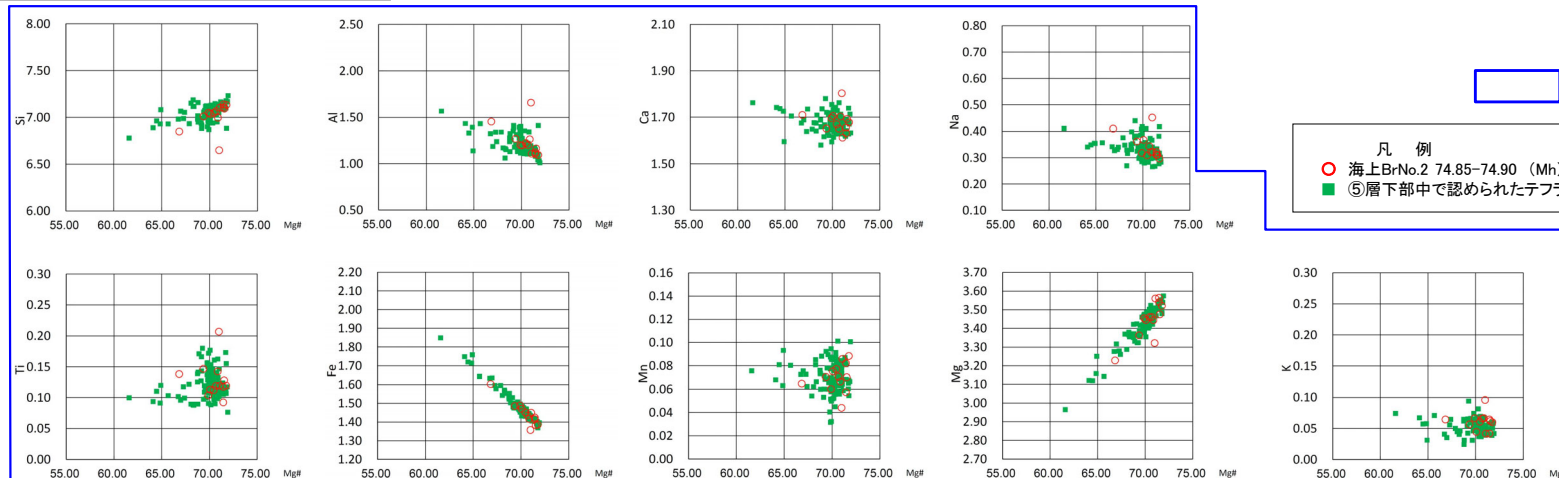
対比項目	主な鉱物	普通角閃石 屈折率(mode)	カミングトン閃石 屈折率(mode)	斜方輝石 屈折率(mode)
⑤層下部テフラ	ho	1.669-1.683(1.671)	1.658-1.666(1.660)	1.704-1.711(1.707)
明神沖テフラ(海上ボーリングNo.2)	ho.cum	1.670-1.682(1.674)	1.660-1.668(1.662)	-
美浜テフラ(海上ボーリングNo.2)	ho.opx	1.669-1.686(1.671-1.672)	-	1.702-1.712(1.707)

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

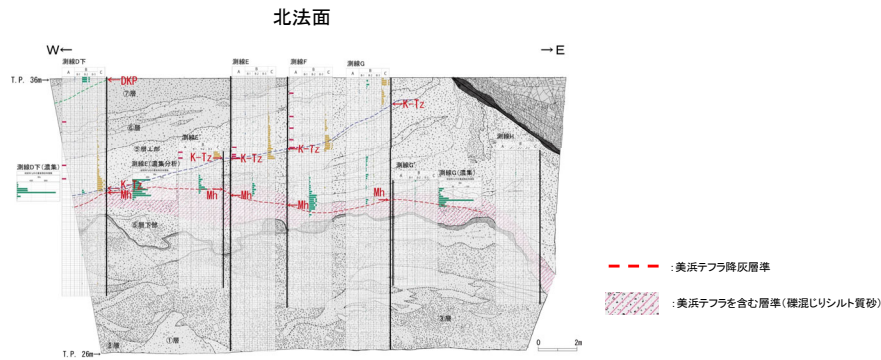
主成分分析結果(普通角閃石): 試料番号 測線E



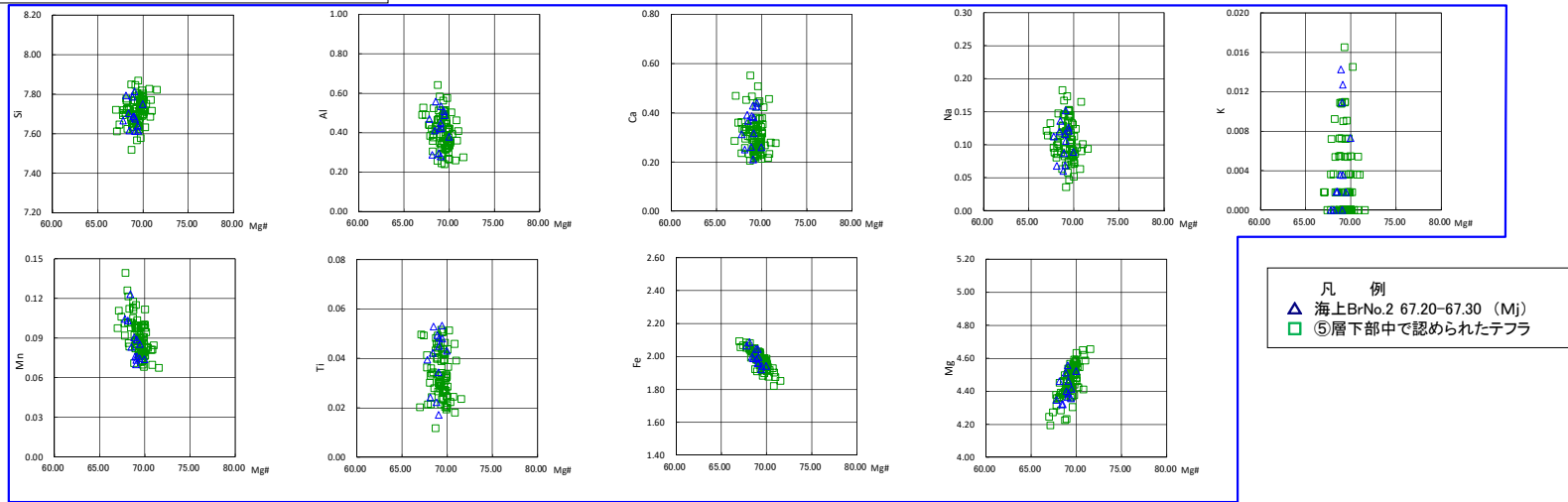
: 元素の含有量の重なりが良いもの

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))



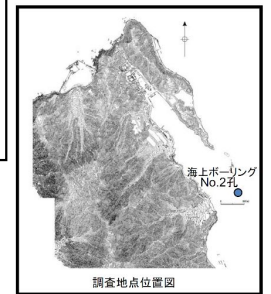
主成分分析結果(カミングトン閃石): 試料番号 測線E



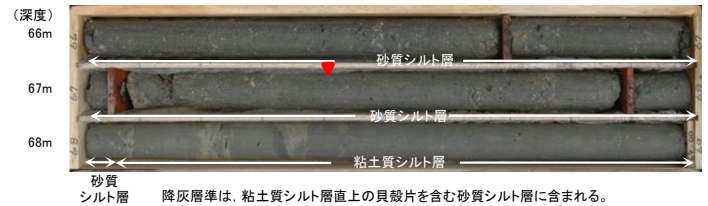
: 元素の含有量の重なりが良いもの

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1))

- 海上ボーリング調査の結果によれば、明神沖テフラは、鬼界葛原テフラ(K-Tz)の下位の海成層(貝殻片を含む砂質シルト層)中に見られ、花粉分析の結果、温暖な気候を示すアカガシ亜属を多く含み、MIS5eの最高海面期(約12.3万年前)に堆積した地層であると判断されることから、同テフラの降灰年代は、MIS5eの最高海面期と判断した。
- なお、海上ボーリングの明神沖テフラよりも下位の深度75m付近の礫混じり粗砂層中には美浜テフラが分布している。



明神沖テフラ(Mj)の降灰層準(♥)

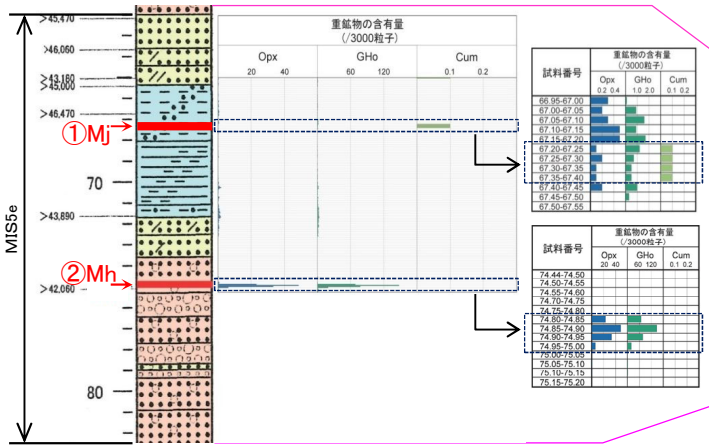


美浜テフラ(Mh)の降灰層準(♥)



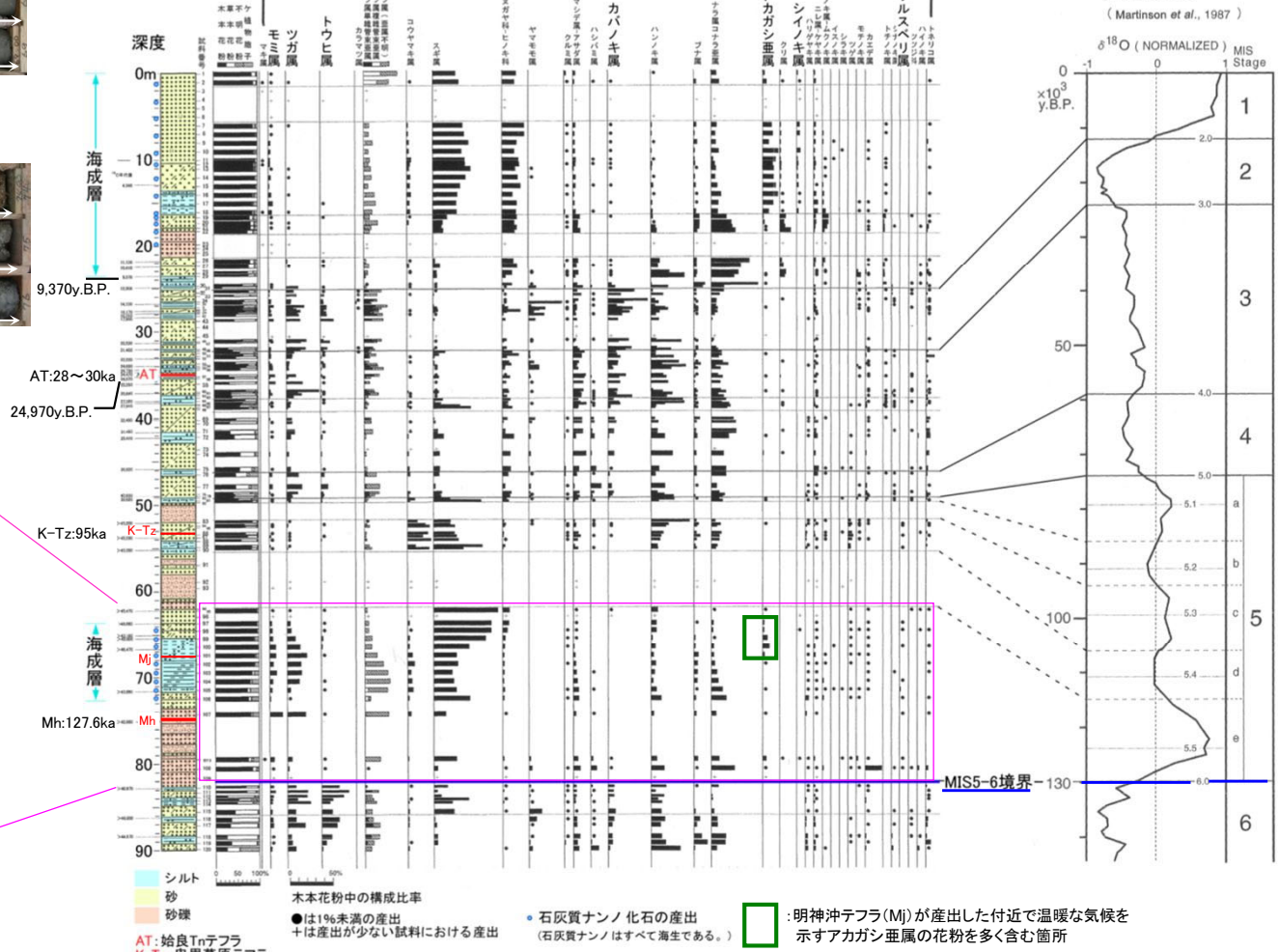
コア写真

海上ボーリング No.2 (MIS5e層準)



MIS5e層準の地質とテフラ分析結果

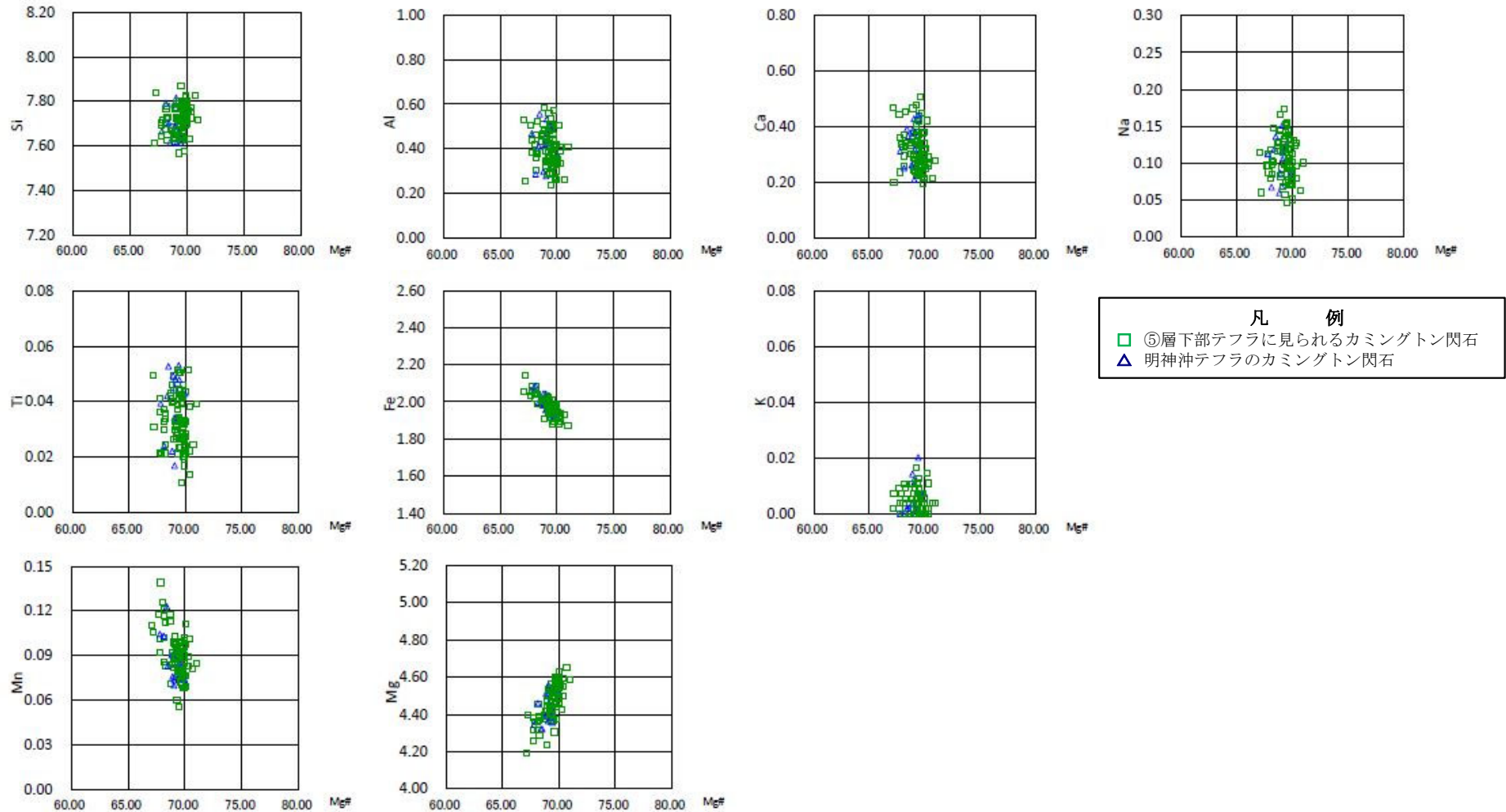
No.2孔
孔口標高-18.84m



海上ボーリングNo.2孔の花分析結果

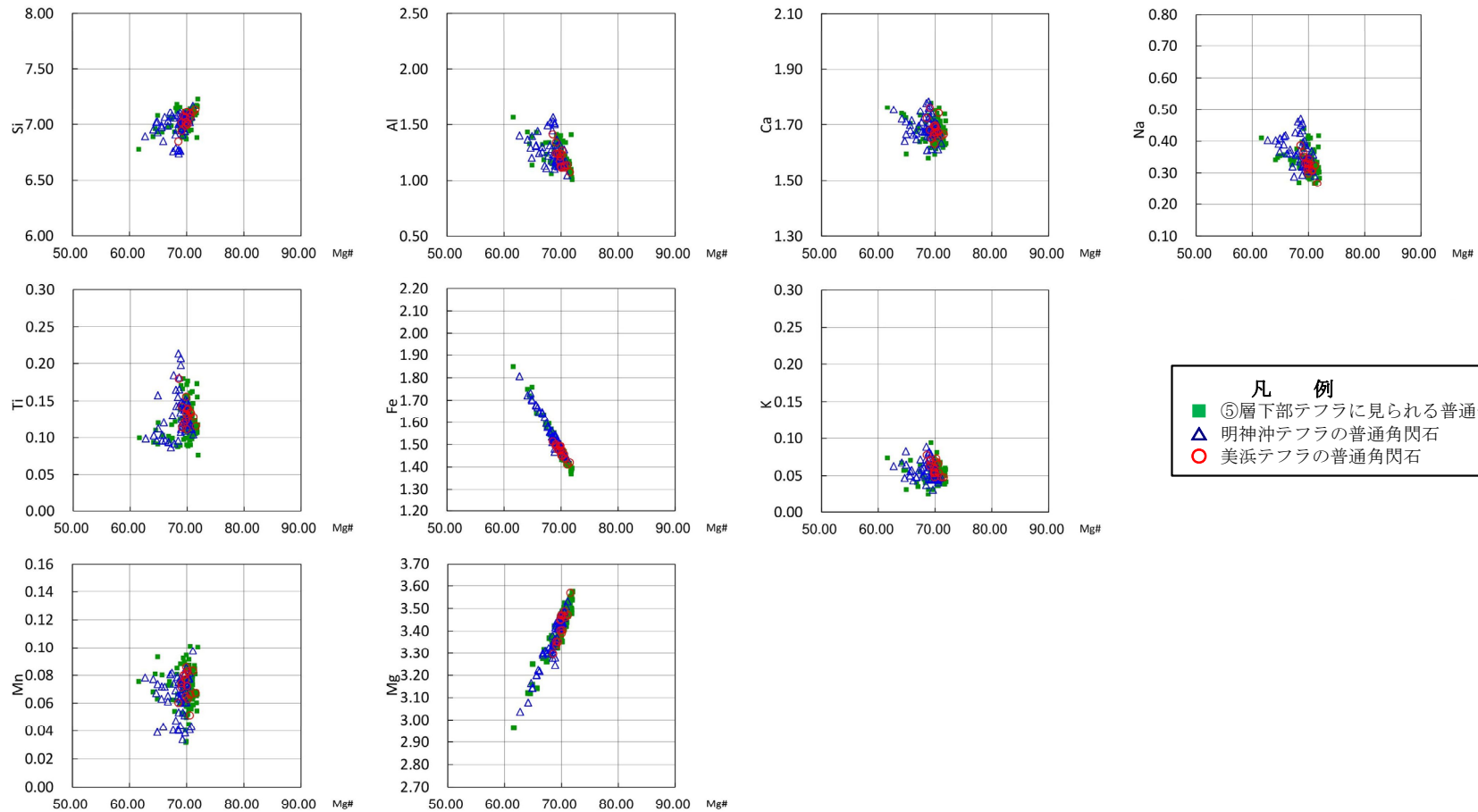
2.1.2 地層の堆積年代 テフラ分析結果 (⑤層下部テフラ(明神沖テフラ)の分析結果(その2))

• 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。



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

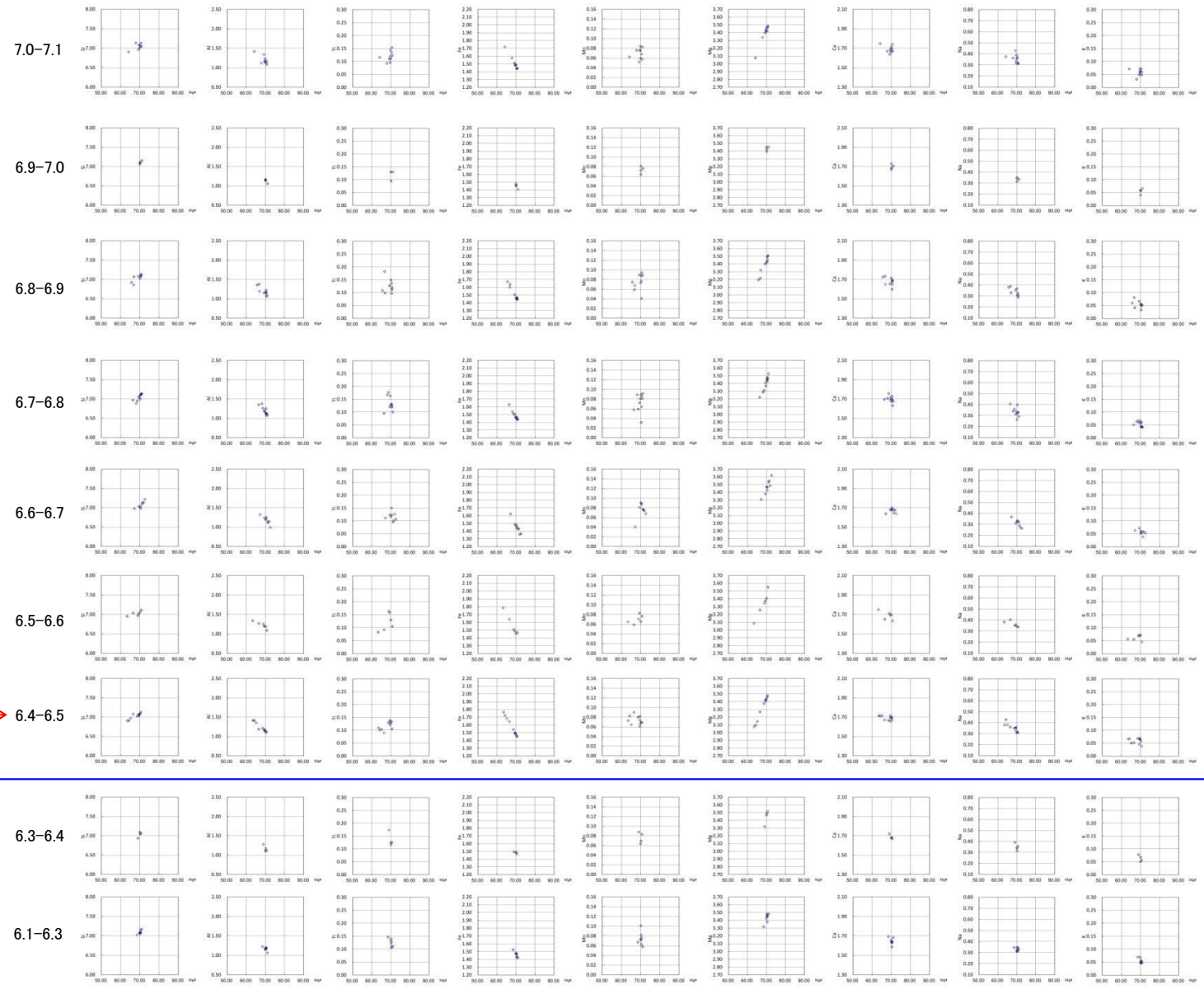
測線C(濃集分析)

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。

