

# 志賀原子力発電所2号炉 敷地の地質・地質構造について

敷地内断層の活動性評価  
(コメント回答)

2022年3月14日  
北陸電力株式会社

---

余白

# はじめに

---

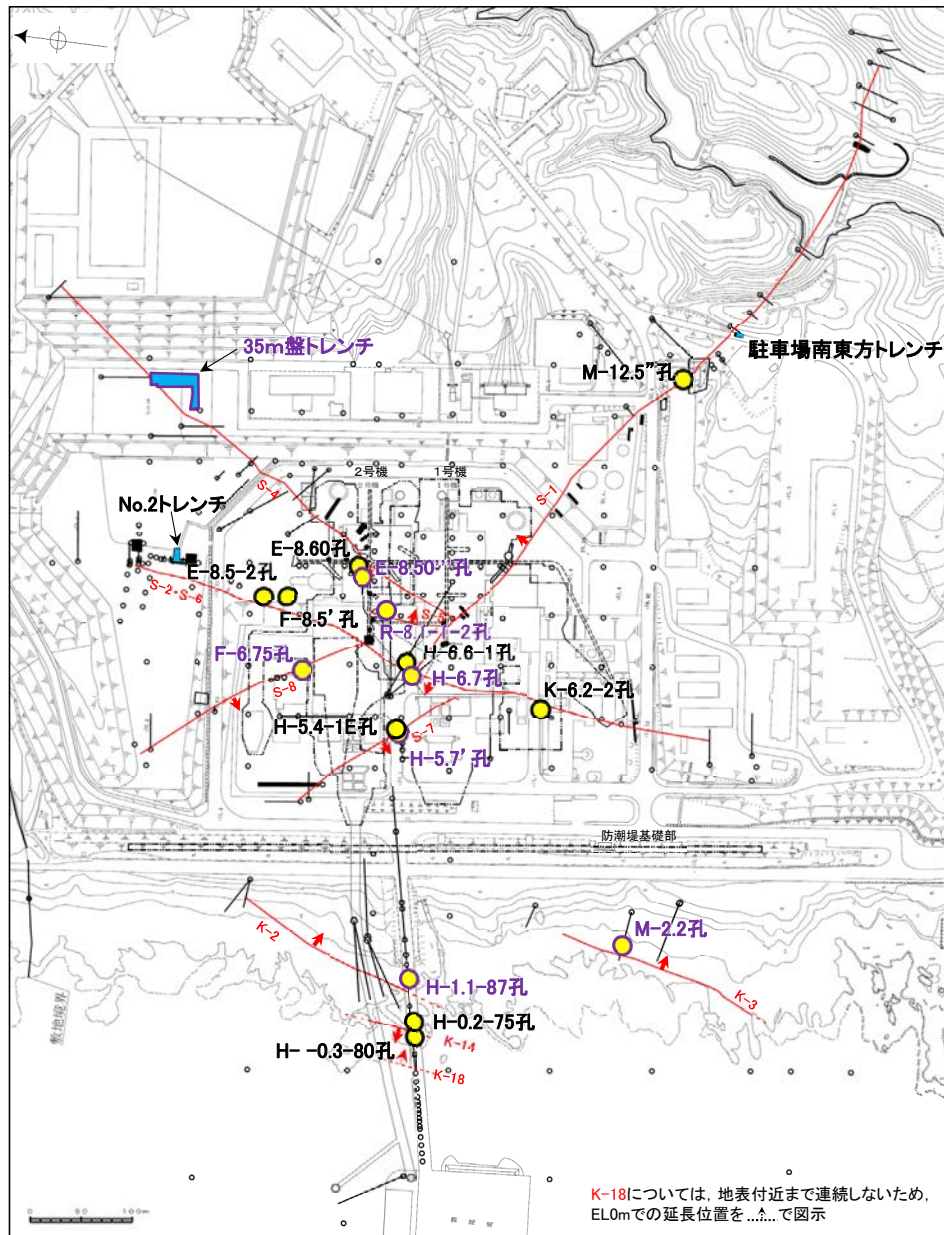
○当社は、敷地内断層の活動性評価について、第935回審査会合(2021年1月15日)及び現地調査(2021年11月18, 19日)において説明を行い、その際のコメントを踏まえ、第1024回審査会合(2022年1月14日)においてデータ拡充のための追加調査計画を説明している。

○本日は、追加調査結果に加え、これまで取得したデータも含めて、審査会合及び現地調査でのコメントへの回答について説明を行う。

# 敷地(陸域・海岸部)の評価対象断層の活動性評価

○約12~13年前以前の地層が確認できたS-1, S-2・S-6, S-4について, 上載地層法による評価を実施した。

○全ての評価対象断層について, 鉍物脈法による評価を実施した。



位置図

## 各断層の活動性評価に関する評価地点

紫字: 第935回審査会合以降の主なデータ拡充箇所

評価対象断層	上載地層法		鉍物脈法 ( )は、評価に用いた変質鉍物等	
	1地点	駐車場南東方トレンチ	3地点	H-6.6-1孔(イライト/スメクタイト混合層) H-6.7孔(イライト/スメクタイト混合層) M-12.5"孔(碎屑岩脈)
S-1	1地点	駐車場南東方トレンチ	3地点	H-6.6-1孔(イライト/スメクタイト混合層) H-6.7孔(イライト/スメクタイト混合層) M-12.5"孔(碎屑岩脈)
S-2・S-6	1地点	No.2トレンチ	3地点	K-6.2-2孔(イライト/スメクタイト混合層) F-8.5'孔(イライト/スメクタイト混合層) E-8.5-2孔(イライト/スメクタイト混合層)
S-4	1地点	35m盤トレンチ	2地点	E-8.50"孔(イライト/スメクタイト混合層) E-8.60孔(イライト/スメクタイト混合層)
S-5	—	—	1地点	R-8.1-1-2孔(イライト/スメクタイト混合層)
S-7	—	—	2地点	H-5.4-1E孔(イライト/スメクタイト混合層) H-5.7'孔(イライト/スメクタイト混合層)
S-8	—	—	1地点	F-6.75孔(イライト/スメクタイト混合層)
K-2	—	—	1地点	H-1.1-87孔(イライト/スメクタイト混合層)
K-3	—	—	1地点	M-2.2孔(イライト/スメクタイト混合層)
K-14	—	—	1地点	H-0.3-80孔(イライト/スメクタイト混合層)
K-18	—	—	1地点	H-0.2-75孔(イライト/スメクタイト混合層)





## 【活動性評価結果】

紫字: 第935回審査会合以降の主なデータ拡充箇所

○: 確認される - : 該当なし

評価対象断層	評価手法	評価地点	評価に用いた地層 または 変質鉱物等	断層と上載地層との関係	最新ゾーンにおける 直線性・連続性の よい面構造の有無	断層活動(最新面及び最新ゾーン)と変質鉱物との関係			活動性評価
				断層の直上に分布する 地層に変位・変形は 認められない		最新面及び最新ゾーン 全体を横断し、横断箇所 に変位・変形は認められ ない	最新面が不連続になって おり、不連続箇所の変質 鉱物に変位・変形は認め られない	最新ゾーンには広く変質 鉱物が網目状に分布し、 これらの変質鉱物に変位・ 変形は認められない	
S-1	上載地層法	駐車場南東方トレンチ	H I a段丘堆積物	○	/	/	/	/	後期更新世以降の 活動は認められない
	鉱物脈法	H-6.6-1孔	イライト/スメクタイト混合層	/	有	-	○	-	
		H-6.7孔	イライト/スメクタイト混合層	/	有	-	○	-	
		M-12.5"孔	砕屑岩脈	/	有	○	-	-	
S-2・S-6	上載地層法	No.2トレンチ	M I 段丘堆積物	○	/	/	/	/	後期更新世以降の 活動は認められない
	鉱物脈法	K-6.2-2孔	イライト/スメクタイト混合層	/	有	-	○	-	
		F-8.5'孔	イライト/スメクタイト混合層	/	有	-	○	-	
		E-8.5-2孔	イライト/スメクタイト混合層	/	有	-	○	-	
S-4	上載地層法	35m盤トレンチ	H I a段丘堆積物	※	/	/	/	/	後期更新世以降の 活動は認められない
	鉱物脈法	E-8.50"孔	イライト/スメクタイト混合層	/	有	-	○	-	
			E-8.60孔	イライト/スメクタイト混合層	/	有	-	○	-
S-5	鉱物脈法	R-8.1-1-2孔	イライト/スメクタイト混合層	/	有	-	○	-	後期更新世以降の 活動は認められない
S-7	鉱物脈法	H-5.4-1E孔	イライト/スメクタイト混合層	/	有	-	○	-	後期更新世以降の 活動は認められない
		H-5.7'孔	イライト/スメクタイト混合層	/	有	-	○	-	
S-8	鉱物脈法	F-6.75孔	イライト/スメクタイト混合層	/	有	-	○	-	後期更新世以降の 活動は認められない
K-2	鉱物脈法	H-1.1-87孔	イライト/スメクタイト混合層	/	有	-	○	-	後期更新世以降の 活動は認められない
K-3	鉱物脈法	M-2.2孔	イライト/スメクタイト混合層	/	無	-	-	○	後期更新世以降の 活動は認められない
K-14	鉱物脈法	H-0.3-80孔	イライト/スメクタイト混合層	/	有	-	○	-	後期更新世以降の 活動は認められない
K-18	鉱物脈法	H-0.2-75孔	イライト/スメクタイト混合層	/	有	-	○	-	後期更新世以降の 活動は認められない

※: 現地調査(2021.11.18, 19)以降に実施した追加掘削の結果、上載地層に変位・変形は認められないものの、断層が岩盤上面付近で不明瞭になっていることから、35m盤トレンチをS-4の活動性評価の主たる根拠には用いない(詳細はP.9)。

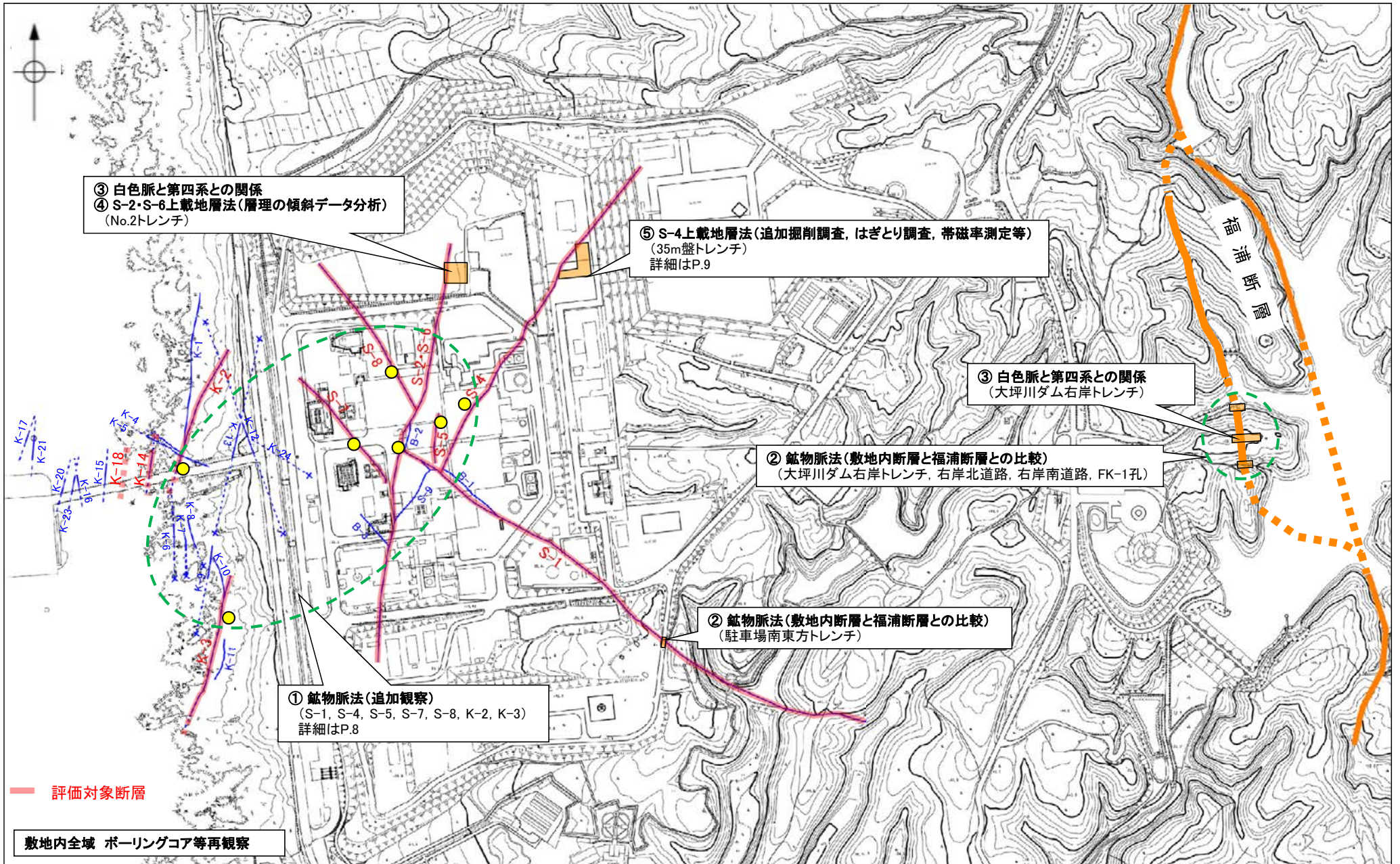
# 敷地内断層の活動性評価に関する追加調査結果(概要)

○敷地内断層の活動性評価に関する現地調査(2021.11.18, 19)でのコメントを踏まえ、データ拡充のための追加調査を実施した結果(概要)を下表に示す。

調査の目的	対応するコメント	調査の内容	調査位置(次頁)	調査結果	記載頁
ボーリングコア等再観察	・変質鉱物脈と断層との関係について、薄片観察に加え、露頭やボーリングコアでの目視レベルでも確認する。	・ボーリングコア等の再観察 ・XRD分析 (敷地内全域のボーリングコア)	敷地内 全域	・ボーリングコア観察等の結果、破砕部中にI/S混合層、オパールCT等の鉱物脈を確認した。鉱物脈は固結した破砕部及び粘土状破砕部中に認められ、それらに変位・変形は認められない。	P.113~140
鉱物脈法(追加観察)	・最新面が不明瞭となっており鉱物脈が明瞭に横断しているようには見えない箇所について、改めて追加観察を行い、最新面と鉱物脈の切り合い関係が明確な箇所を示す。	・薄片追加観察 S-1 H-6.7'孔 S-4 E-8.50'''孔 S-5 R-8.1-1-2'孔 S-7 H-5.7'孔 S-8 F-6.75'孔 K-2 H-1.1-87'孔 K-3 M-2.2'孔  (詳細はP.8)	①	・観察範囲の拡大もしくは新規薄片による追加の観察を実施した。その結果、粘土鉱物(I/S混合層)が最新面を横断して分布し、最新面が不連続になっており、不連続箇所の粘土鉱物(I/S混合層)に変位・変形は認められない。 ・ただし、K-3については、最新面を明確に認定できないことから、最新面が分布する可能性のある最新ゾーンと変質鉱物との関係を確認した。その結果、粘土鉱物(I/S混合層)が網目状に分布し、最新ゾーン中の粘土鉱物(I/S混合層)に変位・変形は認められない。	P.180~188, 261~270, 302~317, 346~357, 372~374 387~389, 400~407, 417~419
鉱物脈法(敷地内断層と福浦断層との比較)	・福浦断層の薄片観察について、含まれる鉱物の種類も含めて、より詳細に分析を行い、敷地内断層との違いについて確認する。 ・断層中に認められる積層構造について、薄片観察に加え、露頭においても詳細に確認を行う。	・XRD分析, EPMA分析等 ・薄片観察 大坪川ダム右岸トレンチ(10° R) 大坪川ダム右岸トレンチ(100° R) 大坪川ダム右岸北道路(120° R) 大坪川ダム右岸南道路(100° R) 受堤北方ボーリングFK-1孔(71° R) ・露頭観察(大坪川ダム右岸トレンチ)	②	・敷地内断層と福浦断層との薄片観察結果を比較した結果、敷地内断層では粘土鉱物(I/S混合層)に変位・変形は認められないのに対し、福浦断層では断層ガウジ中の粘土鉱物(I/S混合層)に変位・変形が認められる。 ・また、薄片観察に加え、露頭においても詳細に観察を行った結果、敷地内断層では層状構造は認められないのに対し、福浦断層では層状構造が確認され、繰り返し活動した構造が認められる。	P.461~481
白色脈と第四系との関係	・敷地の安山岩中の割れ目に沿って認められる白色脈と第四系の関係について、より詳細なデータを取得し、形成年代について検討する。	・露頭観察 ・XRD分析 (No.2トレンチ, 大坪川ダム右岸トレンチ)	③	・No2トレンチ, 35m盤法面及び大坪川ダム右岸トレンチを観察した結果、安山岩中の割れ目に認められる白色脈は穴水累層の上面で剝離され、上位の第四系に覆われており、第四系には認められないことを複数箇所を確認した。	P.95~104
S-2・S-6 上載地層法(層理の傾斜データ分析)	・No.2トレンチにおいて、M I 段丘堆積物中に認められる層理の傾斜方向と断層との位置関係の確認を行い、断層活動による影響について検討する。	・層理の傾斜と断層からの距離に関するデータの分析 (No.2トレンチ)	④	・トレンチ両面のM I 段丘堆積物中に認められる層理の傾斜方向と断層との関係を確認した結果、層理の傾斜方向は断層からの距離に関係なくばらつきが認められ、断層を挟んで傾斜方向が東西のどちらか一方に変化する傾向は認められない。	P.532~536
S-4 上載地層法(追加掘削調査、はぎとり調査、帯磁率測定等)	・35m盤トレンチにおいて、断層と上載地層との関係をより明確にする。 ・35m盤トレンチにおいて、岩盤上面位置の根拠となるデータの取得を行う。	・トレンチの追加掘削(35m盤トレンチ) (詳細はP.9)  ・はぎとり調査 ・帯磁率測定 ・CTスキャン	⑤	・旧北面では岩盤のタマネギ状風化の影響によりせん断面が不明瞭となっていたことから、追加掘削を実施した結果、新北面では岩盤の風化の影響が小さくなり、せん断面が明瞭に確認できるようになった。S-4の上方に分布するH I a段丘堆積物に変位・変形は認められないものの、S-4は岩盤上面付近で不明瞭となる。 ・はぎとり調査、帯磁率測定、CTスキャンの結果、目視観察による岩盤上面位置と総合的なデータが得られた。	P.540, 544~555



# 【位置図】

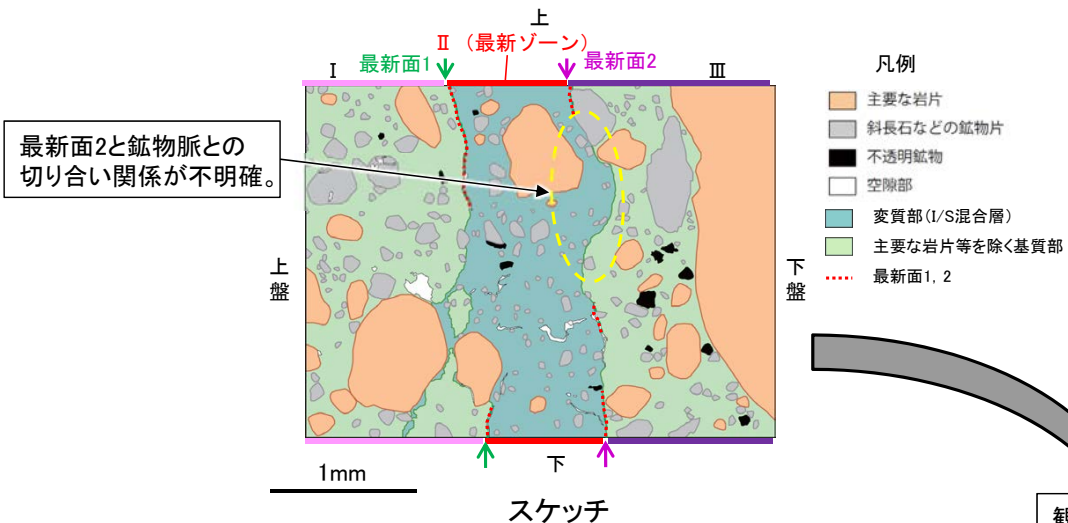




# 鉱物脈法 薄片追加観察結果

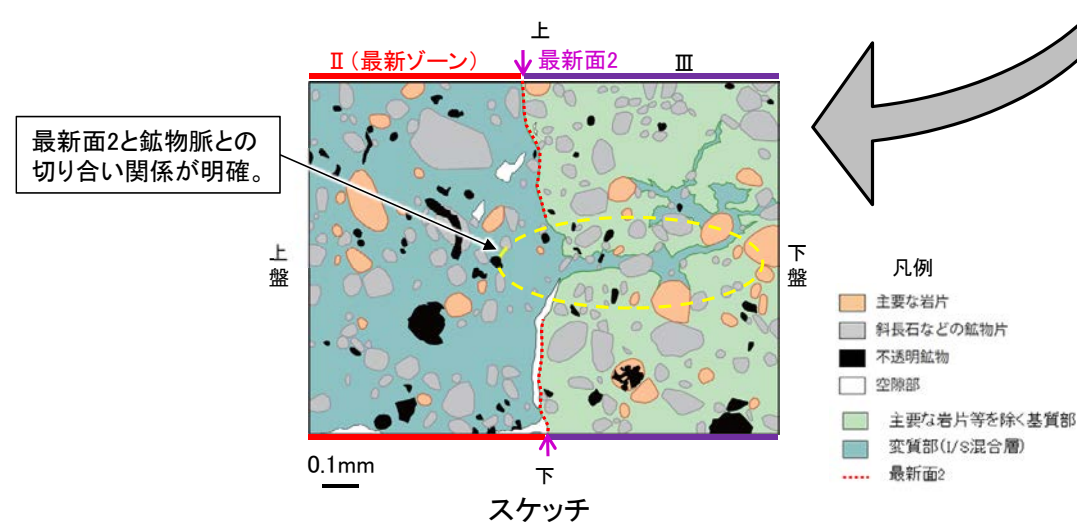
- 断層の最新面が不明瞭で、鉱物脈が明瞭に横断しているように見えない箇所については、観察範囲の拡大もしくは新規薄片による追加の観察を実施した。その結果、粘土鉱物(I/S混合層)が最新面を横断して分布し、最新面が不連続になっており、不連続箇所の粘土鉱物(I/S混合層)に変位・変形は認められない。
- K-3については、最新面が明確に認定できないものの、粘土鉱物(I/S混合層)が網目状に分布し、最新ゾーン中の粘土鉱物(I/S混合層)に変位・変形は認められない。
- 追加観察の結果、全ての評価対象断層について鉱物脈との切り合い関係を明確にし、粘土鉱物(I/S混合層)に変位・変形が認められないことを確認した。

## 第935回審査会合説明資料(S-4 E-8.50'''孔 薄片①の例)



評価対象断層	現地調査(2021.11.18, 19)で指摘を受けた箇所	追加観察を実施した箇所	記載頁
S-1	H-6.7孔 薄片①	H-6.7孔 薄片②	P.180~188
S-4	E-8.50'''孔 薄片①	E-8.50'''孔 薄片②	P.261~270
S-5	R-8.1-1-3孔 薄片①	R-8.1-1-2孔 薄片①	P.302~317
S-7	H-5.7' 孔 薄片①	H-5.7' 孔 薄片②	P.346~357
S-8	(該当なし)	F-6.75孔 薄片①	P.372~374
K-2	(該当なし)	H-1.1-87孔 薄片①	P.377~389
K-3	M-2.2孔 薄片①	M-2.2孔 薄片①~③'	P.400~407, 417~419

## 現地調査以降の観察結果(S-4 E-8.50'''孔 薄片②の例)

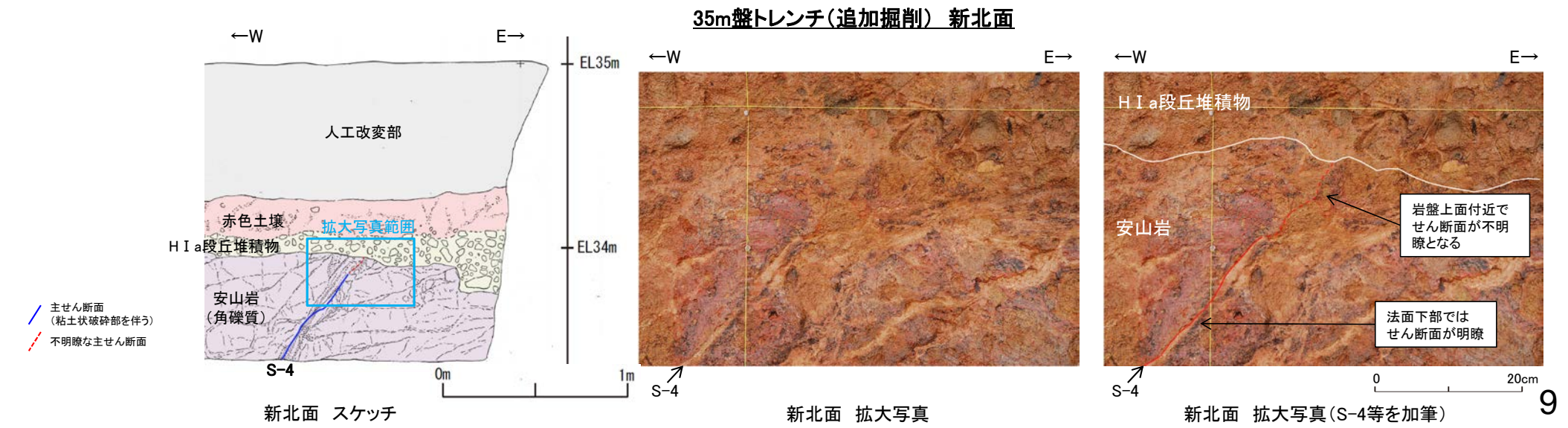
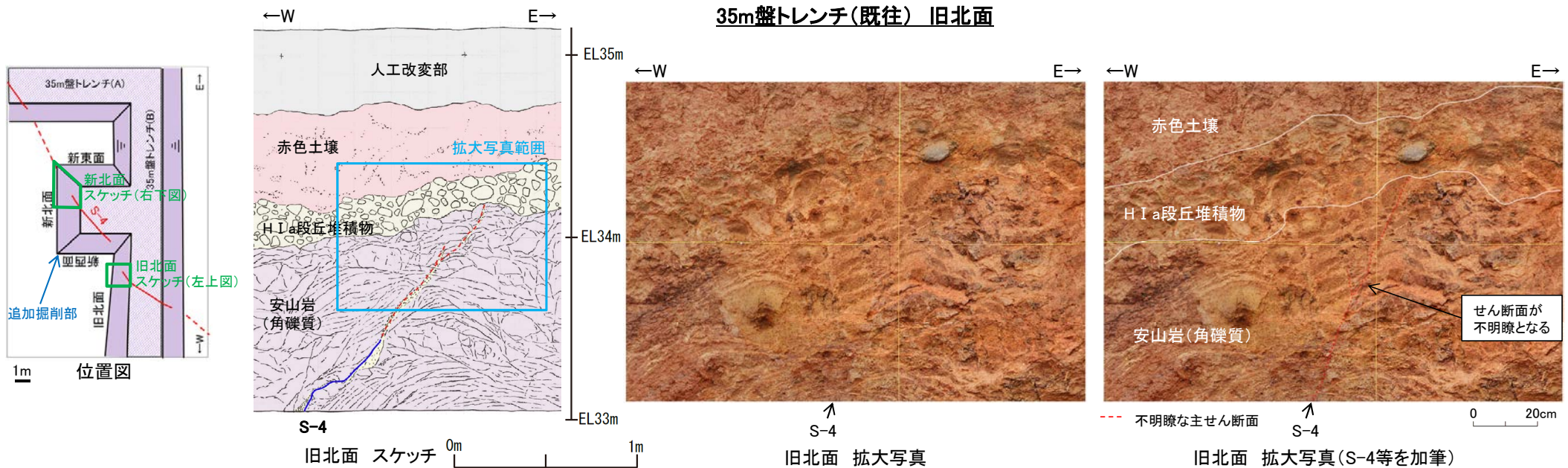


観察範囲の拡大もしくは新規薄片による追加の観察を実施。

# 上載地層法(S-4) 35m盤トレンチ追加掘削結果

○旧北面では岩盤のタマネギ状風化の影響によりせん断面が不明瞭となっていたことから、追加掘削を実施した結果、新北面では岩盤の風化の影響が小さくなり、法面下部ではせん断面が明瞭に確認できるようになった。  
 ○ただし、S-4の上方に分布するH I a段丘堆積物に変位・変形は認められないものの、S-4は岩盤上面付近で不明瞭となる。

○追加掘削を実施した結果、上載地層に変位・変形は認められないものの、断層が岩盤上面付近で不明瞭になっていることから、35m盤トレンチをS-4の活動性評価の主たる根拠には用いない。





# 敷地の地質・地質構造に関するコメント一覧(未回答分)

区分	No.	コメント			回答	備考
		開催回	日付	内容		
活動性評価(鉍物脈)	110	第935回	2021.1.15	敷地の変質鉍物と第四系との関係について、安山岩中の割れ目に認められる白色脈とその直上の堆積物の関係をより詳細に説明すること。	今回説明	No.116と合わせて回答
活動性評価(鉍物脈)	111	第935回	2021.1.15	敷地の変質鉍物が地下深部で生成後に隆起したとする評価に関して、能登半島周辺の地質構造に関する既往知見との関係を整理すること。	今回説明	
活動性評価(鉍物脈)	112	第935回	2021.1.15	敷地の安山岩の変質時期の説明において、生成環境の検討を行っているが、敷地周辺に分布するほぼ同時期(新第三紀)の堆積岩の変質状況についても確認すること。	今回説明	
活動性評価(鉍物脈)	113	第935回	2021.1.15	薄片観察における最新面の認定及び砕屑岩脈の分布形状の評価について、観察範囲の拡大等により、観察結果をより詳細に記載し、説明性を高めること。	今回説明	No.123と合わせて回答
活動性評価(鉍物脈)	114	第935回	2021.1.15	敷地内断層と、周辺の活断層である福浦断層の破碎部の性状の比較について、福浦断層の露頭観察結果、薄片のサンプリング位置等を示したうえで、福浦断層との違いについてより詳細な説明を加えること。	今回説明	No.124と合わせて回答
活動性評価(K-3)	115	第935回	2021.1.15	K-3のM-2.2孔の薄片観察結果について、最新面の認定に関するデータの拡充を行い、根拠の充実を図ること。	今回説明	
変質鉍物の年代評価	116	現地調査	2021.11.18, 19	穴水累層中に認められる白色脈と第四系の関係について、露頭での再観察等、より詳細なデータを示すこと。	今回説明	No.110と合わせて回答
S-2・S-6(上載地層法)	117	現地調査	2021.11.18, 19	No.2トレンチでは、断層活動の影響により地層が山側に傾斜している可能性も考えられるため、上載地層の傾斜方向や礫の長軸の傾斜方向の説明にあたっては、S-2・S-6との位置関係も考慮した分析を行うこと。	今回説明	
S-4(上載地層法)	118	現地調査	2021.11.18, 19	35m盤トレンチについて、当該地点で上載地層を用いた手法により活動性を評価するのであれば、断層位置が判別できる露頭を改めて示した上で、説明すること。また、岩盤と上載地層との境界部についても、認定根拠を具体的に示すこと。	今回説明	
S-4(上載地層法)	119	現地調査	2021.11.18, 19	35m盤法面の施工時の記録等があれば提示すること。	今回説明	
海岸部	120	現地調査	2021.11.18, 19	K-2とK-5の会合部のスケッチと写真及び現状が異なっているように見えるため、スケッチの作成時期やスケッチへの投影の方法が分かるように示すこと。	今回説明	
露頭・ボーリングコア	121	現地調査	2021.11.18, 19	変質鉍物脈と断層との関係については、薄片観察に加え、露頭やボーリングコアでの目視レベルでも詳細な観察を行い、整理して説明すること。	今回説明	
ボーリングコア	122	現地調査	2021.11.18, 19	ボーリングコアで柱状図に記載していない軟質部や条線が認められる箇所について、連続する断層かどうか確認すること。 ・H-6.5' 孔の深度61.5m ・G'-1.5-30孔の深度36.6m ・H-6.5' 孔の深度76.7m	今回説明	
薄片観察(鉍物脈法)	123	現地調査	2021.11.18, 19	断層の最新面が不明瞭になっているものもあり、鉍物脈が明瞭に横断しているように見えない箇所があるため、鉍物脈が最新面を横断するとの状況について、改めて追加観察を行うこと。 ・S-1(H-6.7' 孔)の面2 ・S-4(E-8.50'' 孔)の面2 ・S-5(R-8.1-1-3孔)の面1 ・S-7(H-5.7' 孔)の面2 ・K-3(M-2.2孔)の面1	今回説明	No.113と合わせて回答
薄片観察(鉍物脈法)	124	現地調査	2021.11.18, 19	敷地内断層との比較に用いている福浦断層の薄片観察結果については、含まれる変質鉍物の種類の分析結果も含めて、より詳細に説明すること。また、断層中に認められる積層構造について、薄片観察に加え、露頭での観察結果についても詳細に記載すること。	今回説明	No.114と合わせて回答
全般	125	第1024回	2022.1.14	活動性評価に用いていないデータも含め、過去のデータについて、最終的な評価との整合性について整理し、総合的な説明を行うこと。	今回説明	

# コメント回答の概要

No	コメント	回答概要	記載頁
110	敷地の変質鉱物と第四系との関係について、安山岩中の割れ目に認められる白色脈とその直上の堆積物の関係をより詳細に説明すること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・No2トレンチ、35m盤法面及び大坪川ダム右岸トレンチを観察した結果、安山岩中の割れ目に認められる白色脈は穴水累層の上面で削剥され、上位の第四系に覆われており、第四系には認められないことを複数箇所を確認した。また、各壁面のスケッチを現状に合わせて修正した。</li> </ul>	P.95～104
116	穴水累層中に認められる白色脈と第四系の関係について、露頭での再観察等、より詳細なデータを示すこと。		
111	敷地の変質鉱物が地下深部で生成後に隆起したとする評価に関して、能登半島周辺の地質構造に関する既往知見との関係を整理すること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・能登半島周辺の地質構造について文献調査を実施した結果、敷地周辺一帯は中期中新世以前に沈降し、中期中新世以降に隆起する環境を経たものとされており、敷地の変質鉱物が地下深部で生成し、その後隆起して現在の位置で確認されているものと判断したと整合的である。</li> </ul>	P.88, 89
112	敷地の安山岩の変質時期の説明において、生成環境の検討を行っているが、敷地周辺に分布するほぼ同時期(新第三紀)の堆積岩の変質状況についても確認すること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・敷地周辺一帯が同じような環境下で変質を被ったと判断したことについて、敷地周辺の穴水累層に加え、その周辺の新第三紀堆積岩の変質状況を調査した結果、敷地で確認される変質鉱物(I/S混合層)が分布することを確認した。</li> </ul>	P.88, 90～94
113	薄片観察における最新面の認定及び碎屑岩脈の分布形状の評価について、観察範囲の拡大等により、観察結果をより詳細に記載し、説明性を高めること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・資料で示す薄片観察範囲を広げる等して、最新面を認定した根拠を記載した。 (S-1のH-6.7'孔, S-5のR-8.1-1-3'孔, S-7のH-5.7'孔)</li> <li>・資料で示す薄片観察範囲を広げ、碎屑岩脈周辺の状況を示し、基質との違いを記載した。 (S-1のM-12.5'孔)</li> </ul>	P.173, 196, 294, 296, 336
123	断層の最新面が不明瞭になっているものもあり、鉱物脈が明瞭に横断しているようには見えない箇所があるため、鉱物脈が最新面を横断するとの状況について、改めて追加観察を行うこと。 <ul style="list-style-type: none"> <li>・S-1(H-6.7'孔)の面2</li> <li>・S-4(E-8.50''孔)の面2</li> <li>・S-5(R-8.1-1-3'孔)の面1</li> <li>・S-7(H-5.7'孔)の面2</li> <li>・K-3(M-2.2'孔)の面1</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・観察範囲の拡大もしくは新規薄片による追加の観察を実施した。その結果、粘土鉱物(I/S混合層)が最新面を横断して分布し、最新面が不連続になっており、不連続箇所粘土鉱物(I/S混合層)に変位・変形は認められない。</li> <li>・K-3については、最新面を明確に認定できないことから、最新面が分布する可能性のある最新ゾーンと変質鉱物との関係を確認した。その結果、粘土鉱物(I/S混合層)が網目状に分布し、最新ゾーン中の粘土鉱物(I/S混合層)に変位・変形は認められない。</li> </ul>	P.143, 155, 165～169, 176～179, 183～188, 204, 212～216, 218, 227～229, 232, 242～246, 249, 257～260, 264～271, 280～282, 301, 302, 313～317, 320, 329～332, 341～345, 349～357, 360, 369～374, 377, 383～389, 398, 408, 417～419, 422, 431, 432, 435, 444, 445, 450～452
114	敷地内断層と、周辺の活断層である福浦断層の破碎部の性状の比較について、福浦断層の露頭観察結果、薄片のサンプリング位置等を示したうえで、福浦断層との違いについてより詳細な説明を加えること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・敷地内断層の活動性評価にあたり、近傍の活断層(福浦断層)との性状(断層規模、活動の痕跡など)の比較を行った結果、薄片観察等において以下のような明瞭な差が認められた。また、福浦断層について、露頭観察結果、薄片サンプリング位置等を示した。</li> <li>・露頭調査の結果、敷地内断層では第四系に変位・変形を与えていないのに対し、活断層では第四系に変位・変形を与えている。</li> <li>・露頭調査及び薄片観察の結果、敷地内断層の破碎部では、活断層のような明瞭な複合面構造や層状構造は認められず、Y面は連続性に乏しく不明瞭である。</li> <li>・薄片観察の結果、敷地内断層ではY面(最新面)を横断して分布する粘土鉱物(I/S混合層)にせん断面や引きずりなどの変形は認められないのに対し、活断層では粘土鉱物(I/S混合層)に明瞭なY面や引きずりなどの変形が認められる。</li> </ul>	P.461～481
124	敷地内断層との比較に用いている福浦断層の薄片観察結果については、含まれる変質鉱物の種類の分析結果も含めて、より詳細に説明すること。また、断層中に認められる積層構造について、薄片観察に加え露頭での観察結果についても詳細に記載すること。		



# コメント回答の概要

No	コメント	回答概要	記載頁
115	K-3のM-2.2孔の薄片観察結果について、最新面の認定に関するデータの拡充を行い、根拠の充実を図ること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・K-3を確認した6孔で実施したボーリングコア観察、BHTV画像観察の結果、いずれも断層面が不明瞭であり、そのうちM-2.2孔では固結した破碎部に変質が顕著な部分が認められる。また、3孔で実施した薄片観察の結果、いずれも最新面が不明瞭であり、そのうちM-2.2孔では固結した破碎部に脈状の変質部が認められる。以上より、固結した破碎部に脈状の変質部が認められるM-2.2孔を用いて、鉱物脈法による活動性評価を行った。</li> <li>・M-2.2孔の最新面の認定にあたり、破碎部全体を横断するように新たに薄片を作成した。巨視的観察及び微視的観察を実施した結果、破碎部中の面構造は全体的に不明瞭であるものの、破碎部の中でも細粒化している最新ゾーン中に比較的連続性のよい面が認められる。この面について詳細に観察した結果、全体的に不明瞭で、面の延長位置を挟んで分布する岩片に変位が認められないことから、最新面として明確に認定できなかった。</li> </ul>	P.391, 394～408
117	No.2トレンチでは、断層活動の影響により地層が山側に傾斜している可能性も考えられるため、上載地層の傾斜方向や礫の長軸の傾斜方向の説明にあたっては、S-2・S-6との位置関係も考慮した分析を行うこと。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・トレンチ両面のM I 段丘堆積物中に認められる層理の傾斜方向と断層との関係を確認した結果、層理の傾斜方向は断層からの距離に関係なくばらつきが認められ、断層を挟んで傾斜方向が東西のどちらか一方に変化する傾向は認められない。</li> </ul>	P.532～536
118	35m盤トレンチについて、当該地点で上載地層を用いた手法により活動性を評価するのであれば、断層位置が判別できる露頭を改めて示した上で、説明すること。また、岩盤と上載地層との境界部についても、認定根拠を具体的に示すこと。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・旧北面では岩盤のタマネギ状風化の影響によりせん断面が不明瞭となっていたことから、追加掘削を実施した結果、新北面では岩盤の風化の影響が小さくなり、せん断面が明瞭に確認できるようになった。ただし、S-4の上方に分布するH I a段丘堆積物に変位・変形は認められないものの、S-4は岩盤上面付近で不明瞭となることから、35m盤トレンチをS-4の活動性評価の主たる根拠には用いないこととした。</li> <li>・はぎとり調査、帯磁率測定、CTスキャンの結果、目視観察による岩盤上面位置と整合的なデータが得られた。</li> </ul>	P.540, 544～555
119	35m盤法面の施工時の記録等があれば提示すること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・35m盤法面の施工時の記録を確認した。S-4の延長位置は施工時の法面では尾根部付近にあたり、施工時の写真によれば、岩盤を覆う赤色土壌が分布が確認できるものの、H I a段丘堆積物の有無については判断できない。</li> </ul>	P.566, 567
120	K-2とK-5の会合部のスケッチと写真及び現状が異なっているように見えるため、スケッチの作成時期やスケッチへの投影の方法が分かるように示すこと。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・スケッチと写真はいずれも2017年4月時点のものである。</li> <li>・スケッチはK-2とK-5の会合部の標高を基準として作成している。会合部の南東方の岩盤は、周辺に比べて標高が高く、真上から撮影した写真では東傾斜のK-2の断層面が見掛け西側へ張り出しているように見えるため、スケッチではK-2の断層面をK-2とK-5の会合部と同標高に補正し、描写した</li> </ul>	P.591
121	変質鉱物脈と断層との関係については、薄片観察に加え、露頭やボーリングコアでの目視レベルでも詳細な観察を行い、整理して説明すること。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ボーリングコア観察等の結果、破碎部にI/S混合層、オパールCT等の鉱物脈を確認した。鉱物脈は固結した破碎部及び粘土状破碎部中に認められ、それらに変位、変形は認められない。</li> </ul>	P.113～140
122	ボーリングコアで柱状図に記載していない軟質部や条線が認められる箇所について、連続する断層かどうか確認すること。 ・H-6.5' 孔の深度61.5m    ・G'-1.5-30孔の深度36.6m ・H-6.5' 孔の深度76.7m	<ul style="list-style-type: none"> <li>・当該軟質部等の連続性を検討した結果、いずれも隣接孔等に認められないことから、連続する断層ではないことを確認した。</li> </ul>	P.594, 595, 597, 598, 600～603
125	活動性評価に用いていないデータも含め、過去のデータについて、最終的な評価との整合性について整理し、総合的な説明を行うこと。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・活動性評価に用いていないデータも含め、過去のデータについては、これまでの調査結果と矛盾するものはなく、敷地内断層の評価結果と整合的である。</li> </ul>	P.573～586

# 目次

1. 敷地の地形, 地質・地質構造	……16	5. 敷地内断層の活動性評価	……35
1.1 文献調査	……17	5.1 活動性評価の方針	……36
1.2 敷地の地形	……20	(1) 活動性評価の方針	……37
1.3 敷地の地質・地質構造	……24	(2) 活動性評価地点	……39
1.4 まとめ	……33	5.2 鉱物脈法による活動性評価	……43
2. 敷地内断層の分布, 性状, 運動方向		5.2.1 評価に用いる変質鉱物と最新面	……44
2.1 調査位置図		(1) 評価に用いる変質鉱物	……45
2.2 敷地の穴水累層及び破砕部		(2) 破砕部中の鉱物脈	……112
(1) 敷地の穴水累層		(3) 最新面と最新面付近の変質鉱物	……141
(2) 穴水累層中に認められる破砕部		5.2.2 S-1	……152
2.3 断層の分布		(1) H-6.6-1孔	……155
(1) 断層の抽出		(2) H-6.7孔	……169
(2) 断層の分布		(3) M-12.5”孔	……189
2.4 断層の性状		5.2.3 S-2・S-6	……202
(1) 各断層の性状		(1) K-6.2-2孔	……204
(2) 破砕部内及び母岩に認められる鉱物組成		(2) F-8.5’孔	……218
2.5 断層の運動方向		(3) E-8.5-2孔	……232
2.6 まとめ		5.2.4 S-4	……247
3. 2号炉の耐震重要施設及び重大事故等 対処施設と断層との位置関係		(1) E-8.50”孔	……249
4. 評価対象断層の選定		(2) E-8.60孔	……271
		5.2.5 S-5	……283
		(1) (参考)R-8.1-1-3孔	……289
		(2) R-8.1-1-2孔	……302
		5.2.6 S-7	……318
		(1) H-5.4-1E孔	……320
		(2) H-5.7’孔	……332

5.2.7 S-8	.....358
F-6.75孔	.....360
5.2.8 K-2	.....375
H-1.1-87孔	.....377
5.2.9 K-3	.....390
M-2.2孔	.....398
5.2.10 K-14	.....420
H- -0.3-80孔	.....422
5.2.11 K-18	.....433
H-0.2-75孔	.....435
5.2.12 鈹物脈法による評価に用いた薄片一覧表	.....453
5.2.13 破碎部と変質鈹物の形成プロセス	.....455
5.2.14 敷地内断層と活断層との破碎部性状の比較	.....460
5.3 上載地層法による活動性評価	.....483
5.3.1 上載地層法に用いる地層	.....484
(1) 能登半島南西岸の海成段丘面と堆積物の年代評価の考え方	.....486
(2) 海成堆積物の特徴	.....489
(3) 敷地内断層上に分布する海成堆積物の認定	.....506
(4) 堆積物の年代評価	.....518
5.3.2 S-1	.....520
駐車場南東方トレンチ	.....522
5.3.3 S-2・S-6	.....526
No.2トレンチ	.....528
5.3.4 S-4	.....538
35m盤トレンチ	.....540
5.4 活動性評価 まとめ	.....571

## 巻末資料

[1] コメントNo.120 海岸部の会合部のスケッチ作成方法について	.....590
[2] コメントNo.122 軟質部等の連続性について	.....592
[3] 有識者会合の評価を踏まえたデータ拡充	.....604

参考文献	.....612
------	----------

※今回の資料は、第935回審査会合でのコメントへの回答に関連した黒字箇所のみを掲載。

(灰色:第671回, 第788回, 第849回, 第902回及び第935回審査会合において説明済)

---

余白

---

## 1. 敷地の地形, 地質・地質構造

---

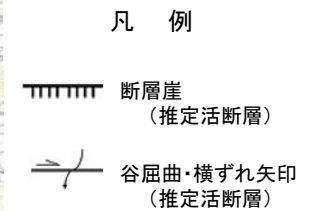
## 1.1 文献調査

# 1.1 文献調査 —活断層—

○文献によれば、敷地には活断層は示されていない。



「新編 日本の活断層」  
活断層研究会(1991)に一部加筆

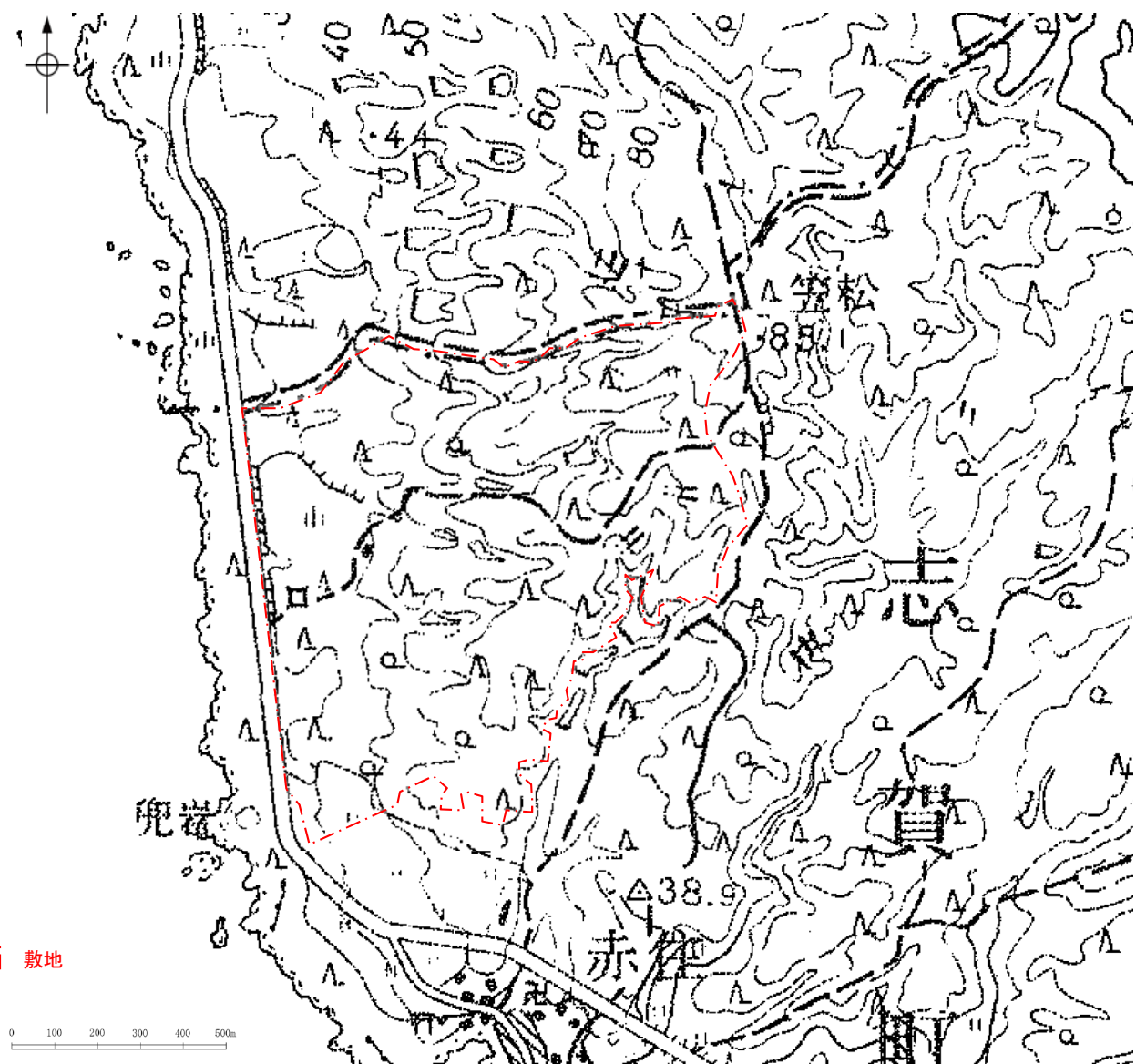


「活断層詳細デジタルマップ[新編]」  
今泉ほか(2018)に一部加筆



# 1.1 文献調査 ー地すべりー

○文献によれば、敷地には地すべり地形は示されていない。



凡 例	
<b>輪郭構造</b>	
滑り面と側方壁	
	新鮮または開析されていない冠頂をもつ滑り面
	部分的に開析されている冠頂をもつ滑り面
	冠頂が著しく開析された滑り面
	冠頂が丸味をおびて不明瞭になった滑り面
	開析されて無くなってしまった冠頂・滑り面の推定深元位置
	共通の冠頂をもち、互いに反対方向を向く滑り面
	中・近期の沈れ層すべり面が地表に露出し、滑り面にあたる急崖を呈しない斜面。冠頂は地核の反対側斜面とすべり面との交線である。
	後方壁、多重地盤等
<b>移動体の輪郭・境界</b>	
	後方に滑り面があり、移動体の輪郭が不明瞭に判定可能
	後方の滑り面は明確であるが、移動体の輪郭の判定が困難
	滑り面はほとんど開析されてしまったが過去の移動体の一部（不安定土塊）が残存している
	ほかの移動体や堆積物におおわれた部分
	斜面体の移動の初期状態、基礎から分離していないとしても不安定域・移動域と推定される範囲
	斜面移動体かどうか判定できない山体・小丘
	脚部線・前部地下壁
<b>内部構造</b>	
	二次・小滑り面、崖線の輪郭構造に応じて輪郭構造の場合と同様に表わす
	サブユニットの境界、内部(二次)移動体輪郭
	移動体内の小規模
	幅の広い溝状凹地、亀裂
	幅の狭い溝状凹地、亀裂
	扇形亀裂
	線状窪地・小谷底線、→は谷の出口または谷底の傾斜方向
	池
	水のない窪地
	断陸地の前線
<b>移動方向等</b>	
	移動体の主移動方向
	すべり
	クレープ（爬行）
	流れ・押し出し
	落石など
	前方への傾動または傾動を伴う移動とその方向
	元の斜面傾斜と逆方向へ傾動した斜面の傾斜方向
<b>その他</b>	
	運動線
	活断層（地すべりを定位置させている顕著な断層）
	地層面等および断層・断層の走向・傾斜

敷地の地すべり地形分布図(防災科学技術研究所, 2001に一部加筆)

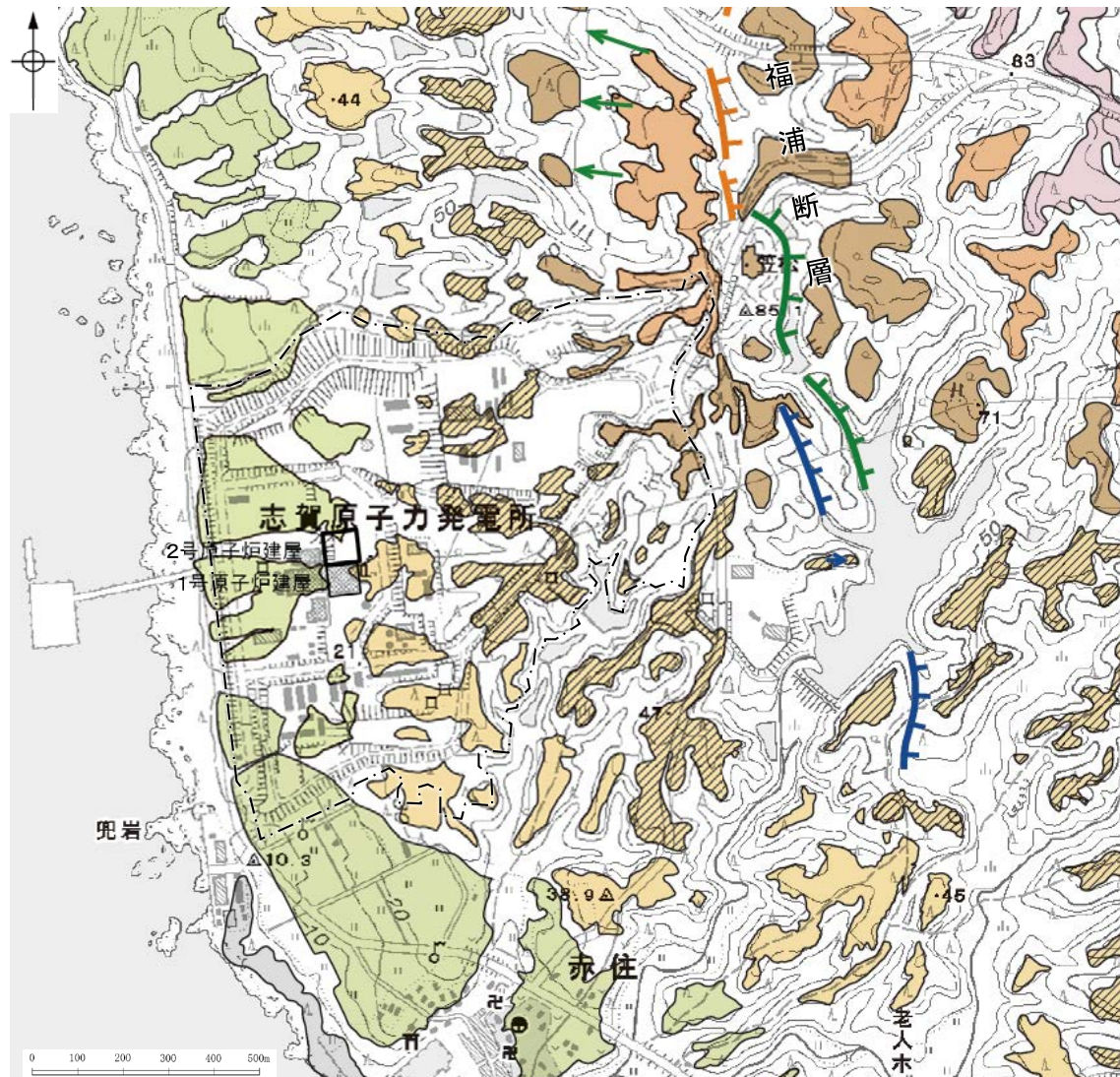
・より広域における地すべり地形分布は補足資料1.1-1

---

## 1.2 敷地の地形

## 1.2 敷地の地形 —陸域—

- 赤色立体地図(次頁)や空中写真(右表)を用いて、地形判読を行い、敷地の段丘面分布図(下図)として取りまとめた。
- 敷地では、海岸線に沿って中位段丘Ⅰ面、高位段丘Ⅰ～Ⅲ面が分布する(高位段丘Ⅰ面は、Ⅰa面とⅠb面に細区分される)。
- 原子炉建屋の約1km東方に福浦断層が分布し、それ以外にリニアメント・変動地形は認められない。
- 敷地では、地すべり地形は認められない。



空中写真一覧表

撮影者	縮尺	年代
米軍	1/40,000	1947年
国土地理院	1/10,000	1975年
当社	1/15,000	1961年
	1/8,000	1985年



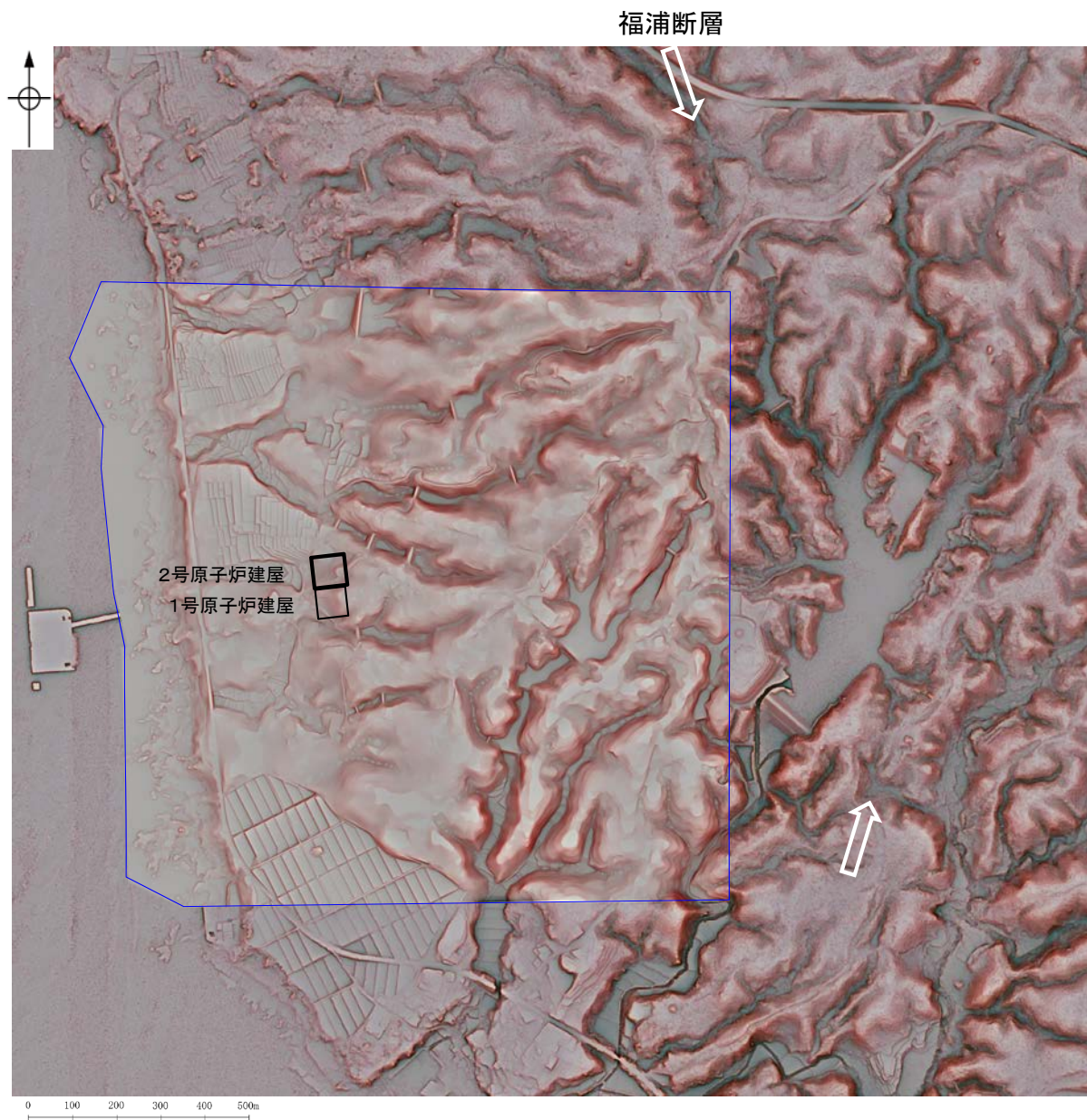
敷地

この図は、国土地理院発行の2万5千分の1版地形図を使用したものである。

敷地の段丘面分布図



## 【赤色立体地図】



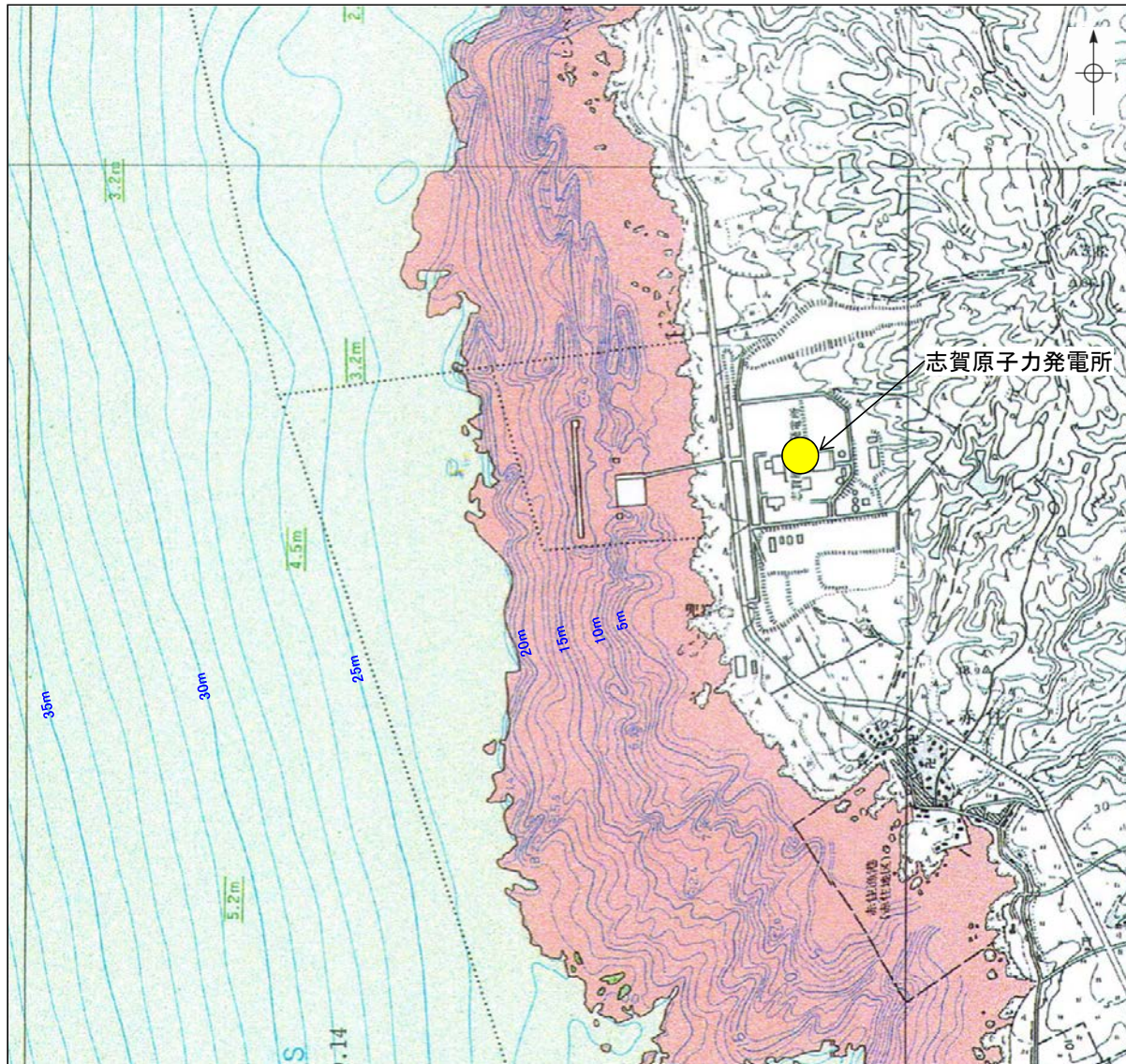
- ・青枠内は人工改変前の1985年撮影の空中写真(原縮尺1/8,000)及び1961年撮影の空中写真(原縮尺1/15,000)により作成した数値標高モデル(DEM), それ以外の部分は, 航空レーザ計測により作成したDEMを用いた。
- ・航空レーザ計測の仕様については, [補足資料1.2-1\(1\)](#)

敷地の赤色立体地図



## 1.2 敷地の地形 — 海域 —

- 敷地前面沿岸域周辺は、概ね20m以浅は凹凸に富んだ岩礁帯からなり、それ以深については、砂層に覆われた平坦な地形からなる。
- 活断層を示唆する地形は認められない。



石川県(1997)の底質凡例

- 岩石
- 中砂
- 細砂

2.1m 音波探査により確認した第1層(I-1層\*)の厚さ

\* 構造物は、細砂及び泥混じり砂よりなる未固結な堆積物と考えられる(石川県, 1997)

等深線図(石川県, 1997に水深を加筆)

・より広域における海域の地形については補足資料1.2-1(2)

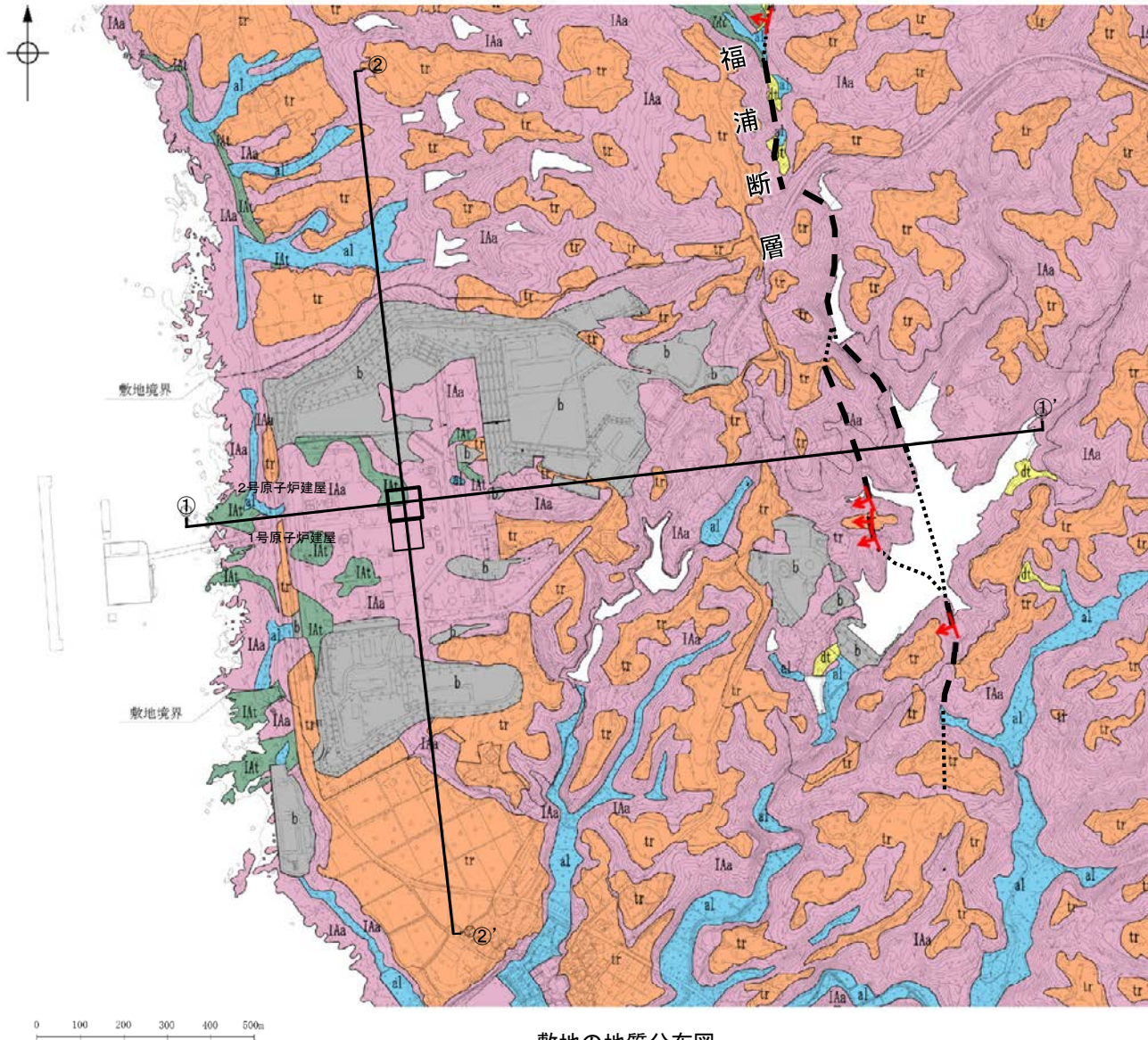
---

## 1.3 敷地の地質・地質構造



# 1.3 敷地の地質・地質構造 —地質分布図及び地質断面図—

- 敷地の地質は、岩稲階の穴水累層と、これを覆う第四系の堆積物からなる。
- 第四系は、段丘堆積層、崖錐堆積層及び沖積層からなる。



敷地の地質分布図

凡例

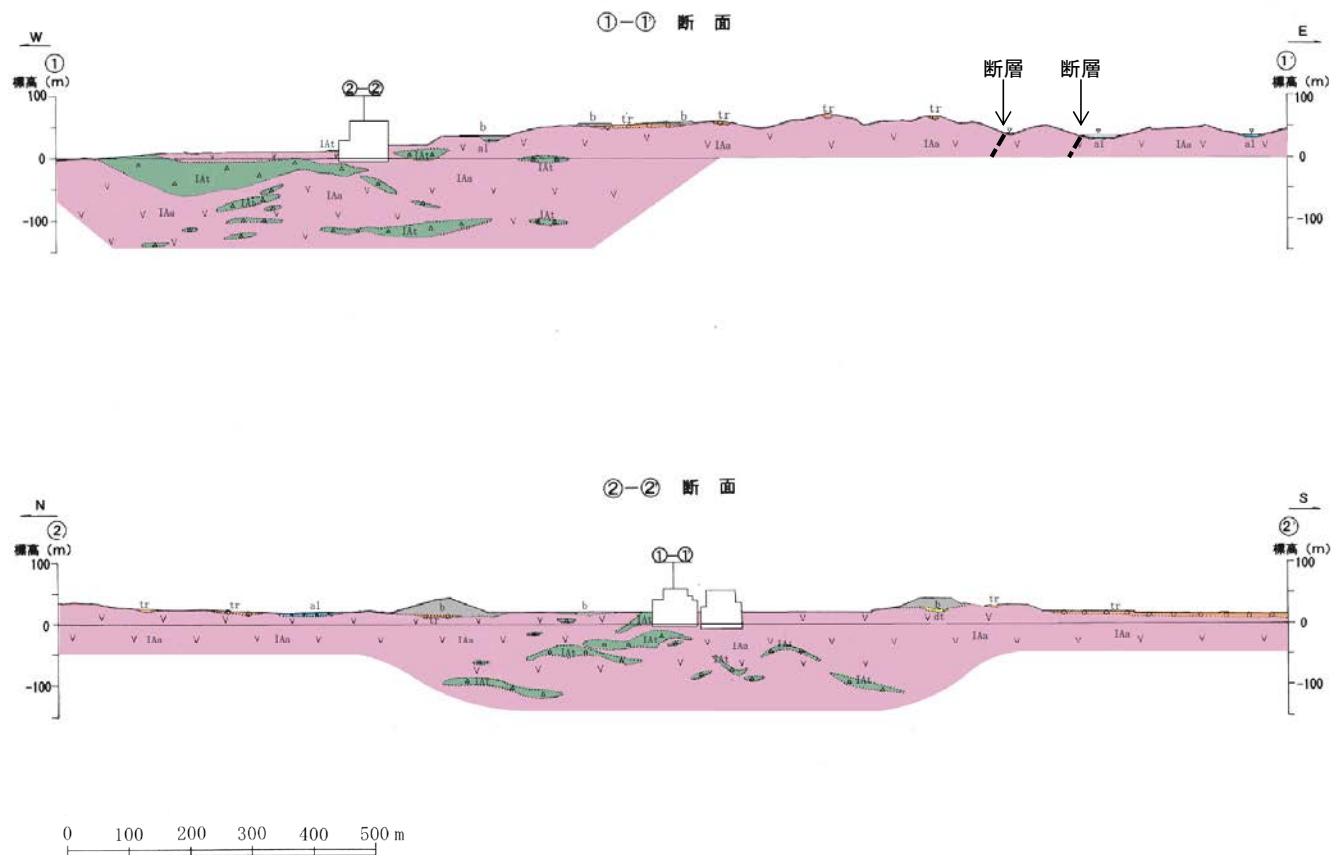
地質時代		地層名	記号	主要構成地質
新生代	第四紀	盛土	b	礫, 砂, 粘土
		沖積層	al	礫, 砂, 粘土
		崖錐堆積層	dt	礫, 砂, 粘土
	更新世	段丘堆積層	tr	礫, 砂, 粘土
新第三紀	中新世	穴水累層 (岩稲階)	IaA	安山岩
			IAt	凝灰角礫岩類

断層確認位置

断層位置  
推定区間



## 【地質断面図】



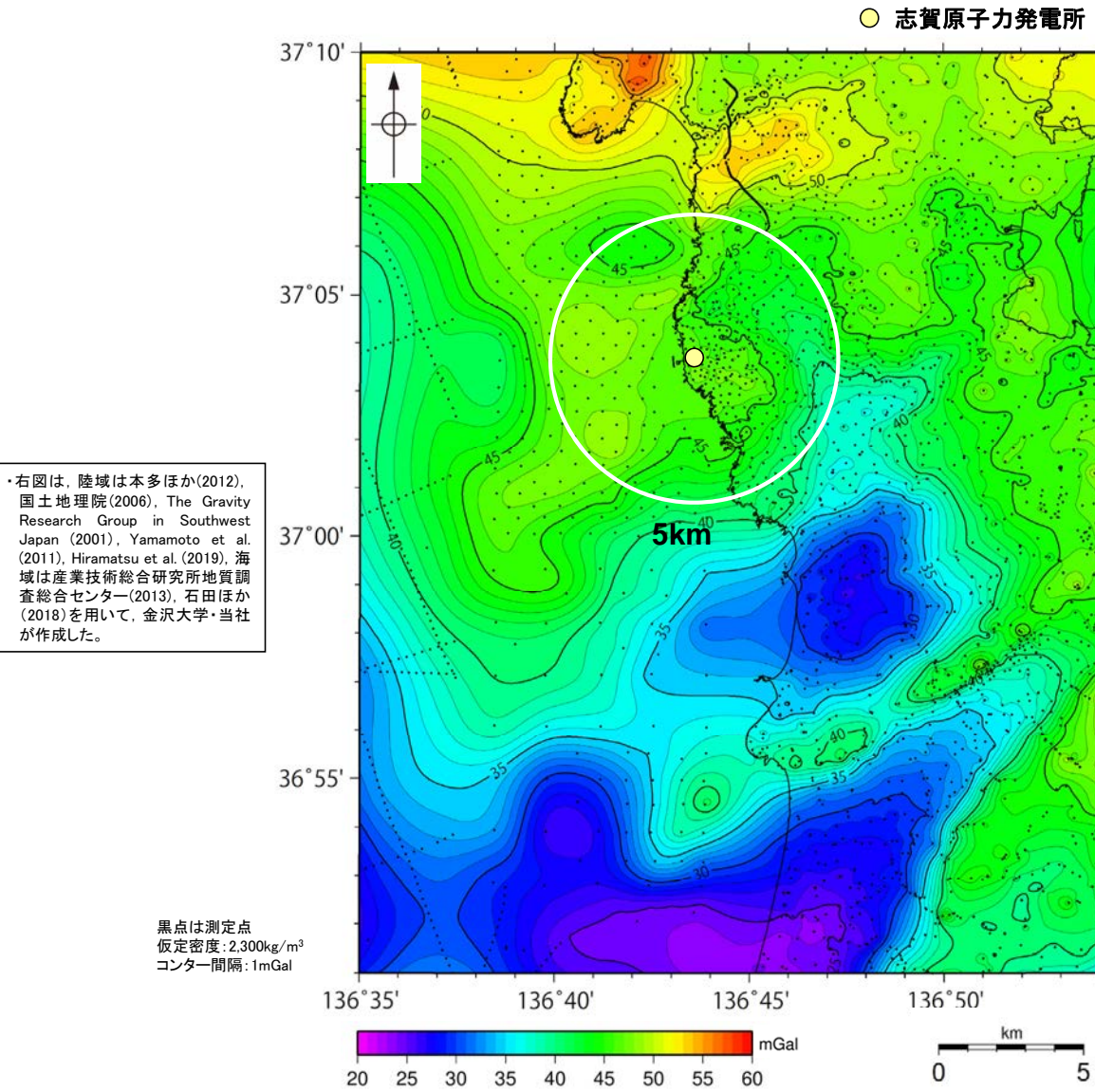
### 凡 例

地質時代		地層名	記号	主要構成地質
新生代	第四紀	盛 土	b	礫, 砂, 粘土
		沖 積 層	al	礫, 砂, 粘土
		虚錐堆積層	dt	礫, 砂, 粘土
	更新世	段丘堆積層	tr	礫, 砂, 粘土
新第三紀	中新世	穴水累層 (岩褶階)	IaA	安 山 岩
			IAt	凝灰角礫岩類

敷地の地質断面図

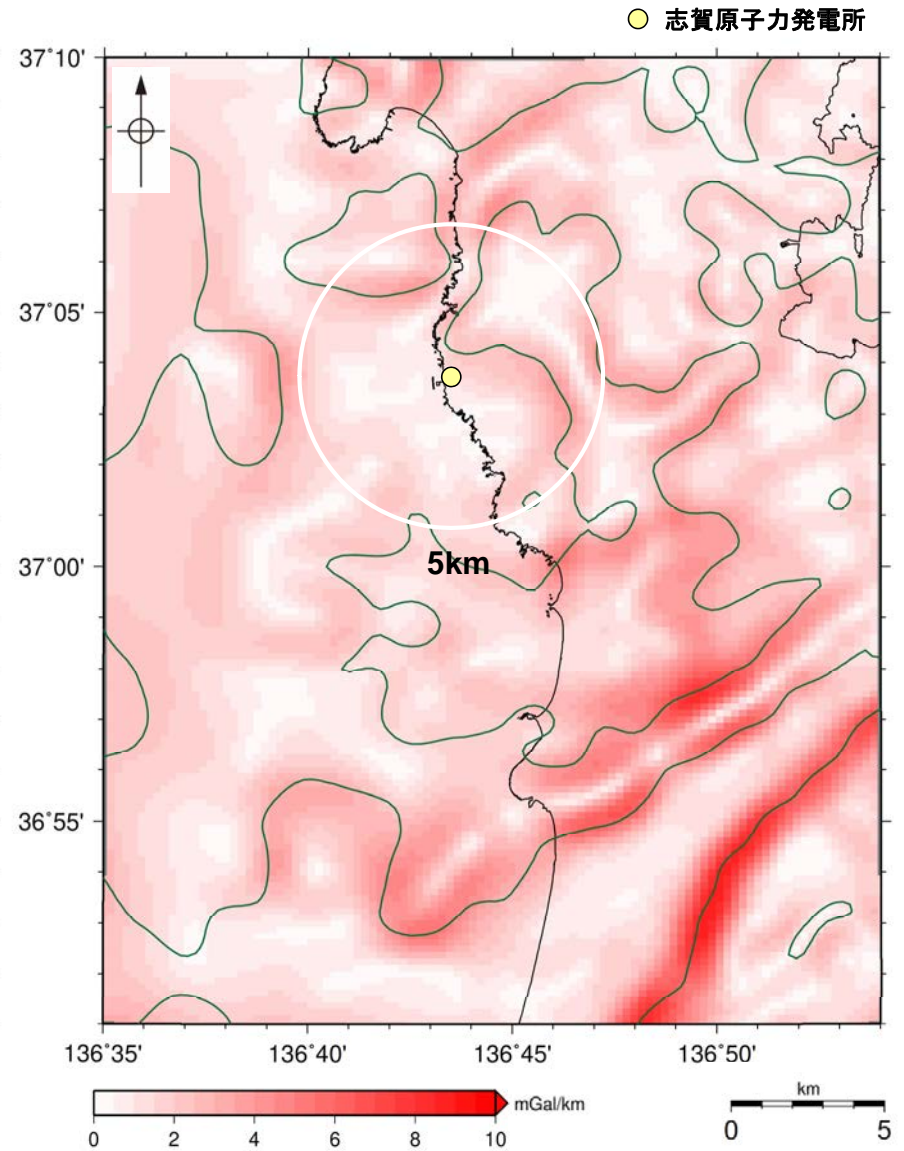
# 1.3 敷地の地質・地質構造 — 重力異常図 —

○敷地から半径5km範囲の重力異常値はほぼ一定であり、高重力異常域と低重力異常域との境界は明瞭ではなく、敷地近傍には断層の存在を示唆する顕著な線状の重力異常急変部は認められない。



・右図は、陸域は本多ほか(2012)、国土地理院(2006)、The Gravity Research Group in Southwest Japan (2001)、Yamamoto et al. (2011)、Hiramatsu et al. (2019)、海域は産業技術総合研究所地質調査総合センター(2013)、石田ほか(2018)を用いて、金沢大学・当社が作成した。

敷地近傍のブーゲー異常図(金沢大学・当社作成)



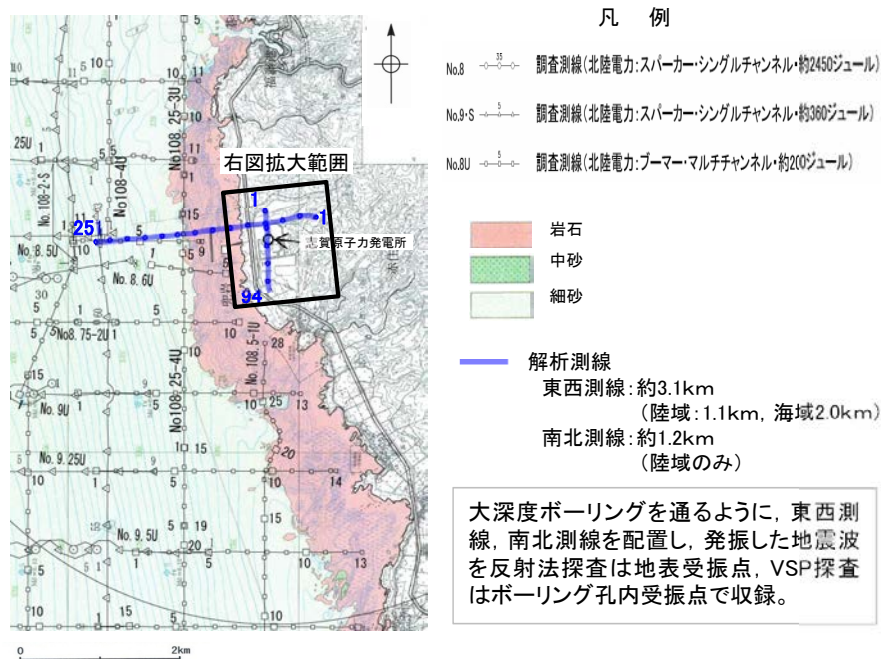
敷地近傍の水平一次微分図(金沢大学・当社作成)

・水平一次微分図は、作図範囲の大きさ、調査密度を考慮し、平面トレンドを除去及び遮断波長3kmのローパスフィルター処理後のブーゲー異常図を基に作成した。



# 1.3 敷地の地質・地質構造 — 反射法・VSP探査 —

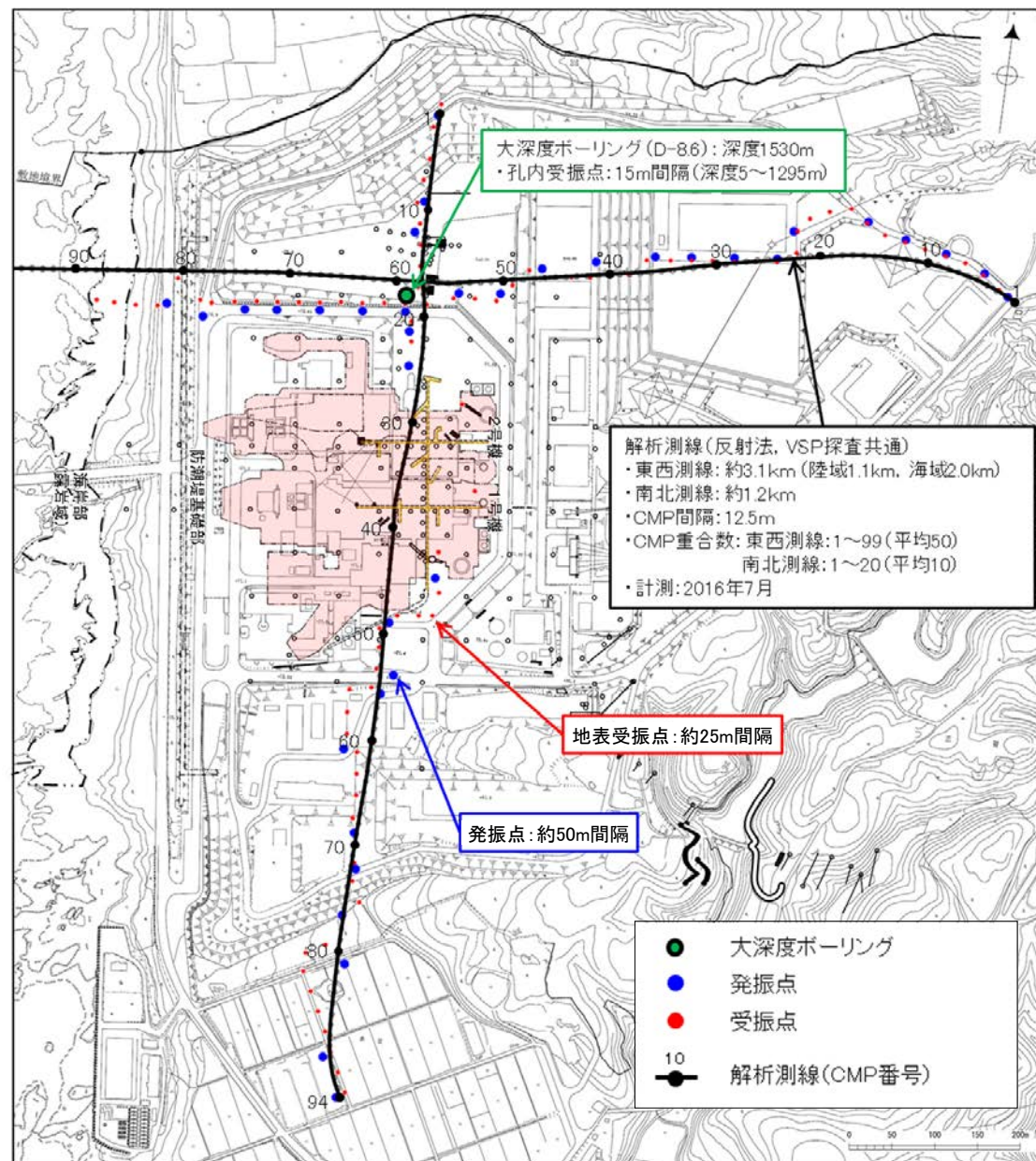
○敷地の地下深部構造を把握するため、ボーリング孔を用いたVSP探査及び海陸連続で測線を配置した反射法探査を実施した。  
○探査の結果、花崗岩上面に相当する反射面に、変位を与える断層は認められない。



調査位置図 (石川県, 1997に一部加筆)

発振源仕様

	発振源	仕様	発振間隔
陸域	大型パイプレータ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・18t×2台</li> <li>・起振マス: 2.3t, 2.6t(最大荷重18t)</li> <li>・発振周波数: 10-70Hz</li> </ul>	50m
海域	エアガン	<ul style="list-style-type: none"> <li>・480cu.in.</li> </ul>	25m

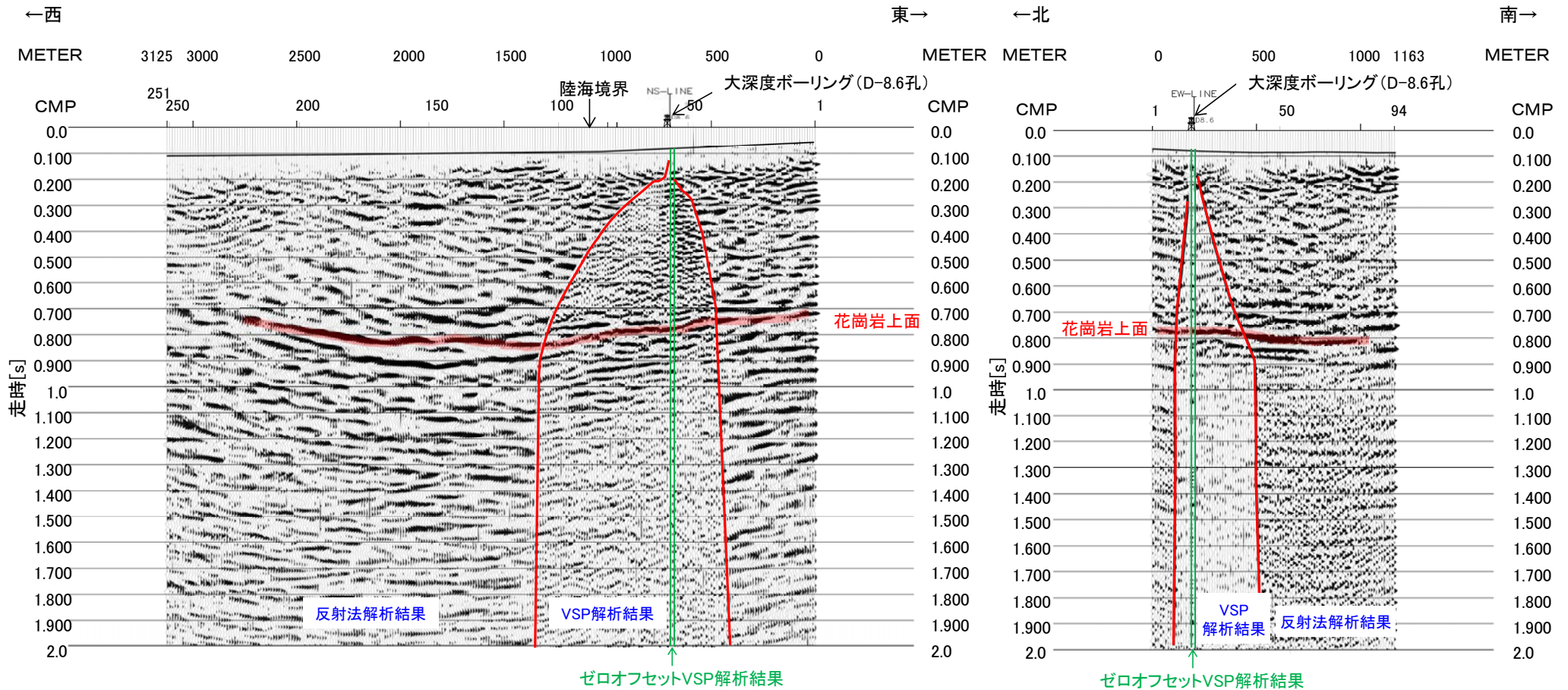


調査位置図





## 【反射法・VSP探査結果(時間断面:マイグレーション処理後)】



反射法・VSP探査結果(東西測線:時間断面)

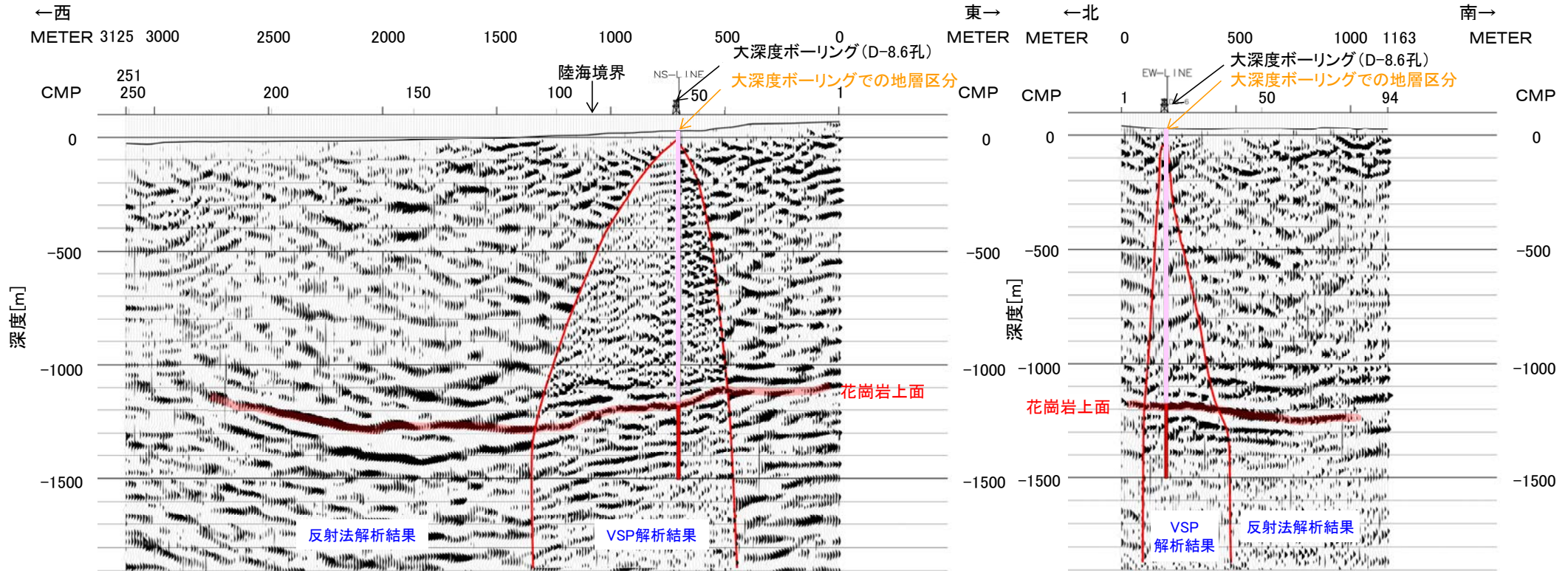
反射法・VSP探査結果(南北測線:時間断面)

・反射法探査結果のみの断面については、[補足資料1.3-1\(1\)](#) P.1.3-1-8



## 【反射法・VSP探査結果(深度断面)】

・マイグレーション処理後の時間断面から深度変換を行い作成。



大深度ボーリングでの地層区分  
 □ : 古第三系～新第三系  
 ■ : 花崗岩

反射法・VSP探査結果(東西測線:深度断面)

反射法・VSP探査結果(南北測線:深度断面)

- ・反射法探査区間における花崗岩上面付近での垂直分解能は32～35m程度(詳細は補足資料1.3-1(1) P.1.3-1-4～6)
- ・反射法探査結果のみの断面については, 補足資料1.3-1(1) P.1.3-1-9

# 1.3 敷地の地質・地質構造 — 反射法地震探査 —

○福浦断層南部の断層の位置や傾斜などの地下構造を確認するため、反射法地震探査を実施した\*。  
 ○このうち、敷地内を通り福浦断層を横断する測線(A測線)を用いて、敷地の地下構造について、既往のデータ(P.28)との整合性の確認を行う。

\*現在解析を実施中であり、その結果については、「敷地近傍の断層の評価」で説明を行う。



位置図

<span style="color: blue;">—</span>	: 反射法地震探査 (陸域)
<span style="color: yellow;">—</span>	: 反射法地震探査 (湖内)
<span style="color: red;">—</span>	: 反射法地震探査 (既調査)

### 反射法地震探査 仕様

陸域	
測線長	約8.1km
振源	広帯域バイブレータ
発振点間隔	約3m
受振器	上下動ジオフォン
受振点間隔	約3m
サンプリング間隔	0.5ms
記録長	2s

湖内	
測線長	約0.8km
振源	小型エアガン
発振点間隔	約3m
受振器	ハイドロフォン
受振点間隔	約3m
サンプリング間隔	0.5ms
記録長	2s

凡例			
地質時代	陸域 地層・岩石名	海域 地層名	
第四紀更新世	AL 沖積層	A層	
	CF 古期扇状地堆積層		
	MI 中位段丘I面堆積層	B層	
第三紀	BHm 浜田泥岩層		
	KNs 草木互層	D層	
	IAa 穴水累層 安山岩		
	IAt 穴水累層 安山岩質火砕岩 (凝灰角礫岩)		
	IAf 穴水累層 安山岩質火砕岩 (凝灰岩)		

(記号)

20 45 地層の走向・傾斜

(海域)

地層境界

断層確認位置

断層位置 推定区間

[リニアメント・変動地形]

Ld (変動地形である可能性は非常に低い)

ケハは低下側を示す。  
 †は地形面の傾斜の向きを示す。



---

## 1.4 まとめ

## 1.4 まとめ

### 1.1 文献調査

○文献によれば、敷地に活断層は示されていない。また、地すべり地形は示されていない。

### 1.2 敷地の地形

(陸域)

○海岸線に沿って中位段丘 I 面, 高位段丘 I ~ III面が分布する(高位段丘 I 面は, I a面と I b面に細区分される)。

○原子炉建屋の約1km東方に福浦断層が分布し, それ以外にリニアメント・変動地形は認められない。

○地すべり地形は認められない。

(海域)

○敷地前面沿岸域周辺は, 概ね20m以浅は凹凸に富んだ岩礁帯からなり, それ以深については, 砂層に覆われた平坦な地形からなる。

○活断層を示唆する地形は認められない。

### 1.3 敷地の地質・地質構造

○地質は, 岩稻階の穴水累層と, これを覆う第四系の段丘堆積層, 崖錐堆積層及び沖積層からなる。

○重力異常図によれば, 敷地から5km範囲の重力異常値はほぼ一定であり, 高重力異常域と低重力異常域との境界は明瞭ではなく, 断層の存在を示唆する顕著な線状の重力異常急変部は認められない。

○ボーリング孔を用いたVSP探査及び海陸連続で測線を配置した反射法探査を実施した結果, 花崗岩上面に相当する反射面に, 変位を与える断層は認められない。

---

## 5. 敷地内断層の活動性評価

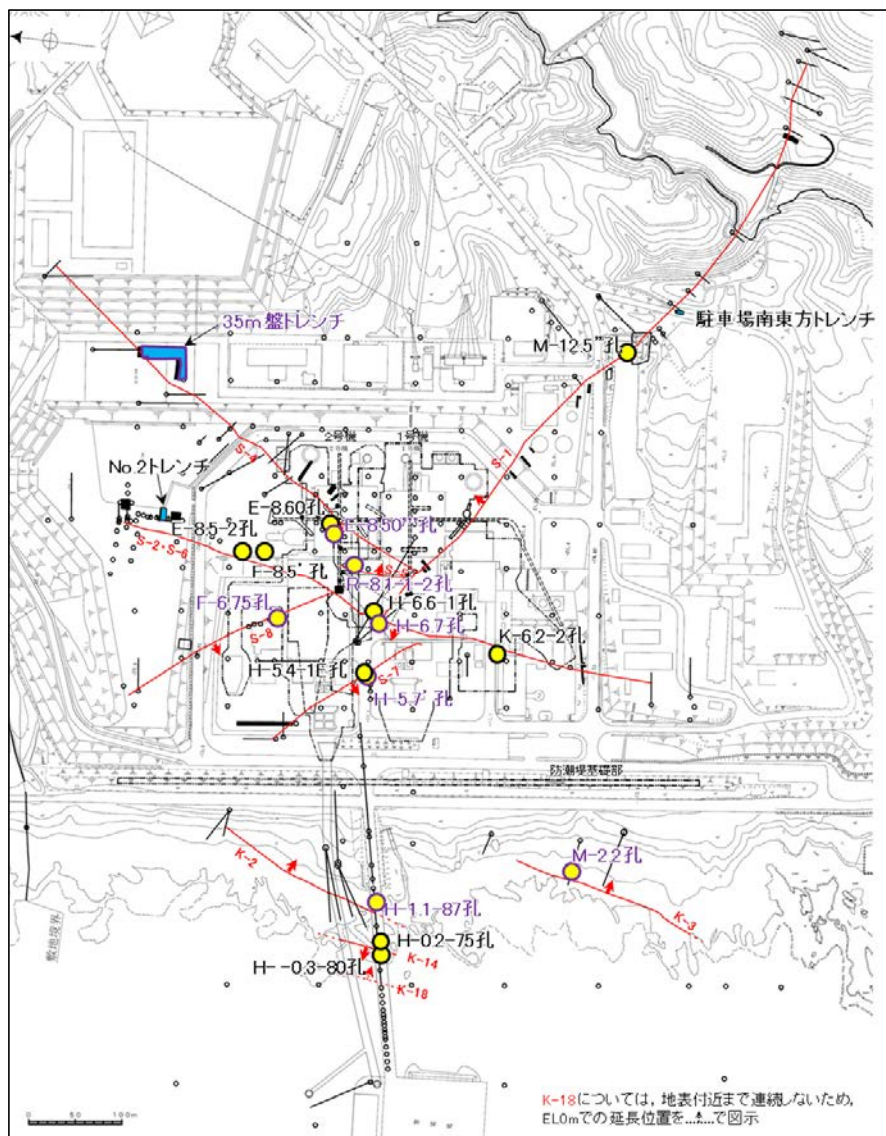
---

## 5.1 活動性評価の方針

# 5.1(1) 活動性評価の方針

- 約12~13万年前以前の地形面又は地層が確認できる箇所で、地層の変位・変形構造による評価(上載地層法)を行う。
- 「鉱物脈又は貫入岩等との接触関係を解析する」※1手法による評価(鉱物脈法)を行う。

※1:敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド, P.13, 4.1.2.3解説(5)



活動性評価に関する調査位置図

各断層の活動性評価に関する評価地点

評価対象断層	上載地層法		鉱物脈法 ( )は、評価に用いた変質鉱物等	
	地点	断層	地点	評価地点
S-1	1地点	駐車場南東方トレンチ	3地点	H-6.6-1孔(イライト/スメクタイト混合層) H-6.7孔(イライト/スメクタイト混合層) M-12.5"孔(碎屑岩脈)
S-2・S-6	1地点	No.2トレンチ	3地点	K-6.2-2孔(イライト/スメクタイト混合層) F-8.5'孔(イライト/スメクタイト混合層) E-8.5-2孔(イライト/スメクタイト混合層)
S-4	1地点	35m盤トレンチ※2	2地点	E-8.50"孔(イライト/スメクタイト混合層) E-8.60孔(イライト/スメクタイト混合層)
S-5	—	—	1地点	R-8.1-1-2孔(イライト/スメクタイト混合層)
S-7	—	—	2地点	H-5.4-1E孔(イライト/スメクタイト混合層) H-5.7'孔(イライト/スメクタイト混合層)
S-8	—	—	1地点	F-6.75孔(イライト/スメクタイト混合層)
K-2	—	—	1地点	H-1.1-87孔(イライト/スメクタイト混合層)
K-3	—	—	1地点	M-2.2孔(イライト/スメクタイト混合層)
K-14	—	—	1地点	H- -0.3-80孔(イライト/スメクタイト混合層)
K-18	—	—	1地点	H-0.2-75孔(イライト/スメクタイト混合層)

紫字: 第935回審査会合以降の主なデータ拡充箇所

※2: 現地調査(2021.11.18, 19)以降に実施した追加掘削の結果、上載地層に変位・変形は認められないものの、断層が岩盤上面付近で不明瞭になっていることから、35m盤トレンチをS-4の活動性評価の主たる根拠には用いない。

凡例

- 鉛直ボーリング孔
- 水平ボーリング孔
- ◐ 斜めボーリング孔
- トレンチ
- 表土はぎ
- 試掘坑・試験坑・斜坑
- ⊃ 岩盤調査坑
- 基礎掘削面

— 評価対象断層  
(破線はさらに延長する可能性のある箇所)

S-O (陸域 EL-4.7m)  
K-O (海岸部 EL0m)  
矢印(▲)の向きは断層の傾斜方向を示す

【活動性評価地点】

- 鉱物脈法(第935回審査会合までの取得箇所)
- 鉱物脈法(第935回審査会合以降の主なデータ拡充箇所)
- 上載地層法(第935回審査会合までの取得箇所)
- 上載地層法(第935回審査会合以降の主なデータ拡充箇所)

---

余白

## 5.1(2) 活動性評価地点 —S-1—

### ■上載地層法

○約12～13万年前以前に堆積した地層であるH I a段丘堆積物が分布する駐車場南東方トレンチにおいて、上載地層法による評価を行った。

### ■鉬物脈法

○3地点(H-6.6-1孔, H-6.7孔, M-12.5”孔)において、鉬物脈法による評価を行った。

○上記評価は、有識者会合により示された今後の課題③にも対応するものである。

紫字：第935回審査会合以降の追加箇所

評価手法	評価地点
上載地層法	駐車場南東方トレンチ
鉬物脈法	H-6.6-1孔
	H-6.7孔(追加観察分含む)
	M-12.5”孔

- ※1:掘削法面(補足資料5.3-2(2))  
建設時のスケッチ及び写真によれば、断層を覆う地層に変位・変形は認められないが、現状において、上載地層の年代が明確に判断できないことから、活動性評価の主たる根拠としては用いないこととした。
- ※2:旧A・Bトレンチ(補足資料5.3-2(1))  
本トレンチについては、有識者会合により評価が行われていることから、当社評価と異なる点に関して検討を行った結果、断層を覆う地層に変位・変形は認められないことを確認した。ただし、現状において、上載地層の年代が明確に判断できないことから、活動性評価の主たる根拠としては用いないこととした。
- ※3:駐車場南側法面(補足資料5.3-2(3))、えん堤左岸トレンチ(補足資料5.3-2(4))  
S-1が分布する基盤岩の直上に約12～13万年前以前に堆積したと考えられる地層が分布するが、上載地層の年代が明確に判断できないことから、活動性評価の主たる根拠としては用いないこととした。
- ※4:岩盤調査坑No.25切羽(補足資料5.2-3(1)-3)  
本孔で作成した薄片は、最新面を鉬物脈が横断しているものの、その横断形状について信頼性の向上ができないことから、活動性評価の主たる根拠としては用いないこととした。
- ※5:H-6.5-2孔(補足資料5.2-3(1)-4)、K-10.3SW孔(補足資料5.2-3(1)-5)  
本孔で作成した薄片は、最新面がイライト/スメクタイト混合層で不明瞭かつ不連続になっているものの、薄片作成時等の乱れの影響を受けている可能性を考慮して、活動性評価の主たる根拠としては用いないこととした。



調査位置図



## 5.1(2) 活動性評価地点 —S-2・S-6—

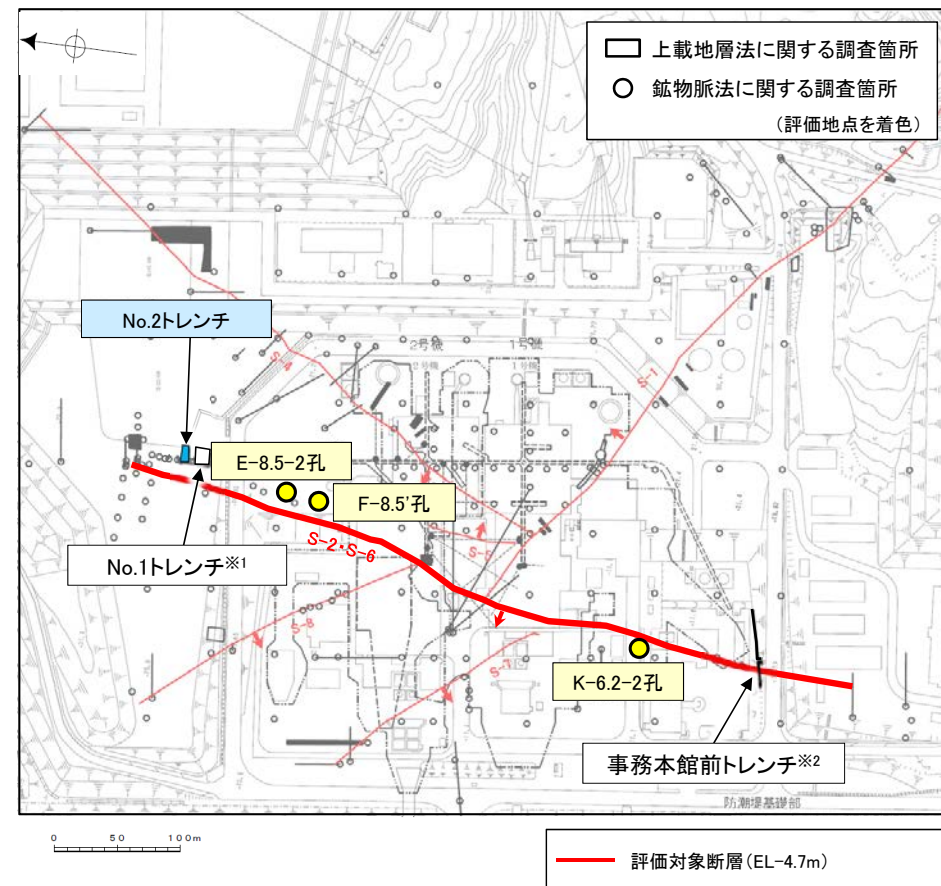
### ■ 上載地層法

○約12～13万年前に堆積した地層であるM I 段丘堆積物が分布するNo.2トレンチにおいて、上載地層法による評価を行った。

### ■ 鉤物脈法

○3地点(K-6.2-2孔、F-8.5'孔、E-8.5-2孔)において、鉤物脈法による評価を行った。  
○上記評価は、有識者会合により示された今後の課題③にも対応するものである。

評価手法	評価地点
上載地層法	No.2トレンチ
鉤物脈法	K-6.2-2孔
	F-8.5'孔
	E-8.5-2孔



調査位置図

※1: No.1トレンチ (補足資料5.3-3(1))  
断層を覆う堆積物に変位・変形は認められないが、堆積物の堆積年代が約12～13万年前より新しいことから、活動性評価の主たる根拠としては用いないこととした。

※2: 事務本館前トレンチ (補足資料5.3-3(2))  
断層を覆う堆積物に変位・変形は認められないが、堆積物の堆積年代が約12～13万年前より新しいことから、活動性評価の主たる根拠としては用いないこととした。



## 5.1(2) 活動性評価地点 -S-4-

### ■上載地層法

○約12～13万年前以前に堆積した地層であるH I a段丘堆積物が分布する35m盤トレンチにおいて、上載地層法による評価を行った。

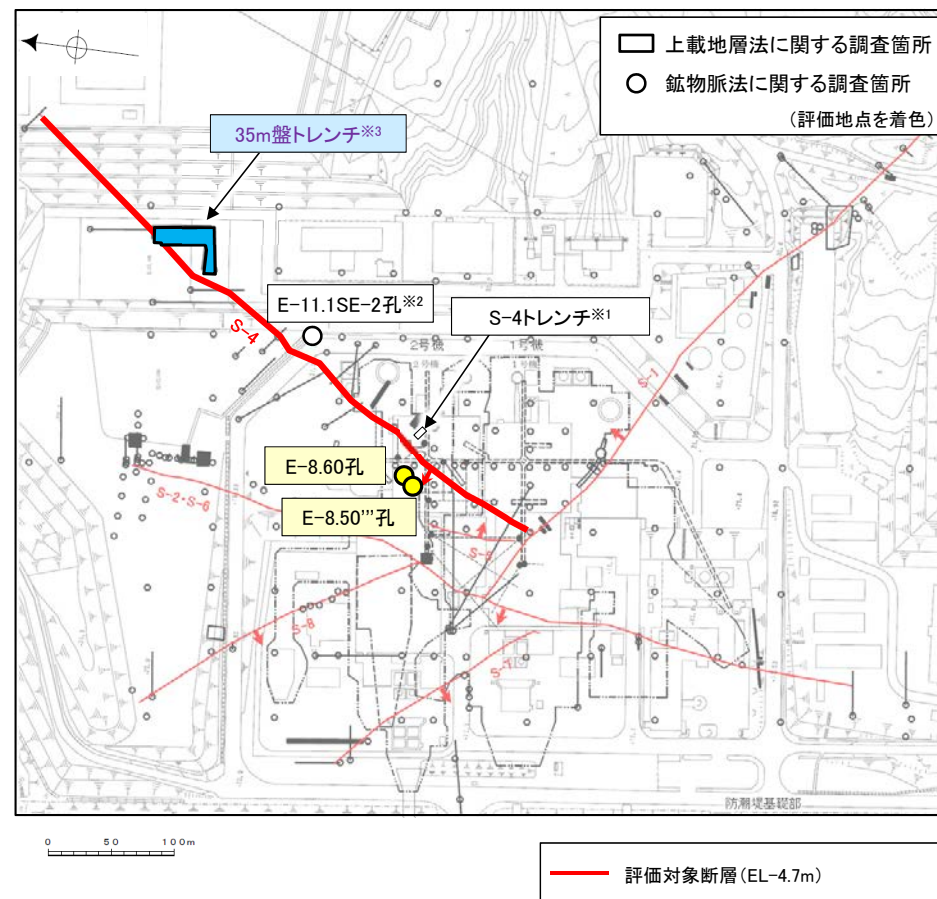
### ■鉞物脈法

○2地点(E-8.50”孔、E-8.60孔)において、鉞物脈法による評価を行った。

紫字: 第935回審査会合以降の追加・変更箇所

評価手法	評価地点
上載地層法	35m盤トレンチ※3
鉞物脈法	E-8.50”孔(追加観察分含む)
	E-8.60孔

※3: 現地調査(2021.11.18, 19)以降に実施した追加掘削の結果、上載地層に変位・変形は認められないものの、断層が岩盤上面付近で不明瞭になっていることから、35m盤トレンチをS-4の活動性評価の主たる根拠には用いない。



※1: S-4トレンチ(補足資料5.3-4(3))

建設時のスケッチ及び写真によれば、断層を覆う地層に変位・変形は認められないが、現状において、上載地層の年代が明確に判断できないことから、活動性評価の主たる根拠としては用いないこととした。

※2: E-11.1SE-2孔(補足資料5.2-5(1)-3)

本孔で作成した薄片は、最新面がイライト/スメクタイト混合層で不明瞭かつ不連続になっているものの、薄片作成時等の乱れの影響を受けている可能性を考慮して、活動性評価の主たる根拠としては用いないこととした。

## 5.1(2) 活動性評価地点 -S-5, S-7, S-8, K-2, K-3, K-14, K-18-

### ■上載地層法

○約12～13万年前以前の地形面，地層が確認できないことから，上載地層法による評価を実施できない。

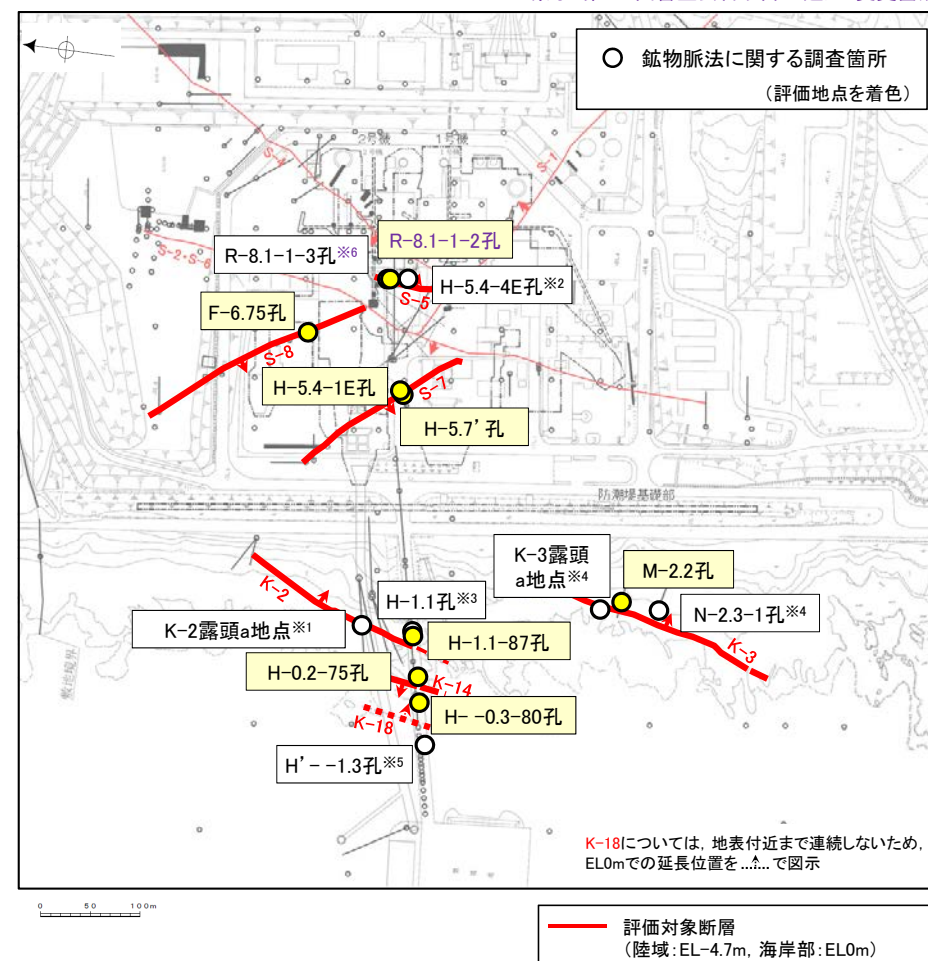
### ■鉤物脈法

○下表に示す地点において，鉤物脈法による評価を行った。

評価手法	断層	評価地点
鉤物脈法	S-5	R-8.1-1-2孔
	S-7	H-5.4-1E孔
		H-5.7' 孔 (追加観察分含む)
	S-8	F-6.75孔 (追加観察分含む)
	K-2	H-1.1-87孔 (追加観察分含む)
	K-3	M-2.2孔 (追加観察分含む)
	K-14	H--0.3-80孔
K-18	H-0.2-75孔	

- ※1: K-2露頭 a地点 (補足資料5.2-9(1)-3)  
第597回審査会合で提示したK-2のデータ。固結した破砕部を対象に評価を行っていたが、K-2の深部で粘土状破砕部が認められたことから(第849回審査会合で説明)、粘土状破砕部が認められた地点(H-1.1-87孔)において、評価を行うこととした。
- ※2: H-5.4-4E孔 (補足資料5.2-6(1)-3)  
S-5深部のデータ。本孔で作成した薄片は、変質鉤物と最新活動との関係が明確でないことから、活動性評価の主たる根拠としては用いないこととした。
- ※3: H-1.1孔 (補足資料5.2-9(1)-2)  
K-2のデータ。オパールCTを用いて評価を行っていたが、より高温で生成されるI/S混合層を用いて評価ができる地点(H-1.1-87孔)が認められたことから、H-1.1-87孔において評価を行うこととした。
- ※4: N-2.3-1孔, K-3露頭 a地点 (補足資料5.2-9(2)-2)  
K-3のデータ。本孔で作成した薄片は、変質鉤物と最新活動との関係が明確でないことから、活動性評価の主たる根拠としては用いないこととした。
- ※5: H'--1.3孔 (補足資料5.2-10(1)-1)  
K-14のデータ。本孔で作成した薄片は、最新面に接してフィリプサイトの柱状結晶が晶出しているものの、薄片作成時等の乱れの影響を受けている可能性を考慮して、活動性評価の主たる根拠としては用いないこととした。
- ※6: R-8.1-1-3孔 (P.289～301)  
S-5のデータ。本孔で作成した薄片において、最新面と変質鉤物との関係を確認していたが、イライト/スメクタイト混合層が最新面を横断して分布するか明確に判断できないことから、活動性評価の主たる根拠としては用いないこととした。

紫色: 第935回審査会合以降の追加・変更箇所



調査位置図

---

## 5.2 鉍物脈法による活動性評価



---

## 5.2.1 評価に用いる変質鉱物と最新面

---

## 5.2.1(1) 評価に用いる変質鉱物

概要	.....	18
(1-1) 敷地で確認される変質鉱物の詳細	.....	20
(1-2) 変質鉱物の後期更新世以降の生成可能性の評価	.....	37
(1-3) 変質鉱物の生成環境の検討及び生成年代の推定	.....	47
(1-4) 変質鉱物の生成年代評価のまとめ	.....	59
(1-5) 碎屑岩脈の形成年代評価	.....	79
(1-6) 評価に用いる変質鉱物	.....	80

## 5.2.1(1) 評価に用いる変質鉱物 ー概要ー

### ■ 鉱物脈法による活動性評価

- ・ 鉱物脈法は、「鉱物脈又は貫入岩等との接触関係を解析する」※手法である。敷地においては、変質鉱物からなる鉱物脈が破碎部中や母岩の割れ目に沿って認められる(P.48, 49, 60)。よって、断層活動(最新面)と変質鉱物等との関係から、断層の最新活動年代を評価する。

### 5.2.1(1-1): 敷地で確認される変質鉱物の詳細

- ・ 粘土状破碎部中には、変質鉱物として粘土鉱物のスメクタイトが共通して認められる(2章)。この粘土鉱物は、粘土分を濃集したXRD分析による結晶構造及びEPMA分析による化学組成を踏まえると、数十%のイライトが混合するイライト/スメクタイト混合層(以下、I/S混合層)である。さらに、CEC分析、XAFS分析、HRTEM観察による結果は、これらの粘土鉱物がI/S混合層であることを支持する。
- ・ また、粘土鉱物以外の白色鉱物については、XRD分析及び薄片観察を実施した結果、オパールCT及びフィリップサイトであることを確認した。

### 5.2.1(1-2): 変質鉱物の後期更新世以降の生成可能性の評価

- ・ 「約12~13万年前以降の敷地の地温分布」と「変質鉱物の生成温度の最低値」を比較し、約12~13万年前以降の敷地の温度環境下で変質鉱物が生成するか否かを評価した。
- ・ 約12~13万年前以降の敷地の地温分布は、敷地の温度検層結果及び敷地周辺の地温分布や能登半島の火成活動に関する文献調査の結果から、現在の敷地の地温分布と同程度であると評価した。文献に基づく変質鉱物の生成温度の最低値は、約12~13万年前以降の敷地の推定地温分布よりも数十℃以上高い。よって、約12~13万年前以降の敷地の地温分布では、敷地の変質鉱物は、その確認標高で生成せず、敷地の変質鉱物(I/S混合層等)は少なくとも約12~13万年前以降に生成したものではない。

### 5.2.1(1-3): 変質鉱物の生成環境の検討及び生成年代の推定

- ・ 5.2.1(1-2)を踏まえ、敷地の変質鉱物が生成し得る環境を検討し、生成年代を推定した。
- ・ 敷地の変質鉱物が生成するには、その確認標高の地温よりも高温である必要があることから、①現在と同程度の地温分布で、より高温の地下深部において生成し、現在の確認標高まで隆起したか、もしくは②敷地の地温分布が現在よりも高温となる環境下で生成したと考えられる。つまり、生成環境は、「①地下深部(地温勾配相当の高温)での生成」もしくは「②熱水(地温勾配以上の高温)による生成」である。
  - ①について、I/S混合層が敷地周辺の穴水累層中にも広く認められることから、敷地周辺一帯は同じような環境下で変質を被ったと考えられること、及び粘土状破碎部(I/S混合層からなる変質部)全体を横断している碎屑岩脈が地下深部の高封圧下で形成したと考えられることを踏まえ、敷地の変質鉱物は、地下深部で敷地周辺一帯が変質し、その後、敷地周辺一帯が隆起して現在の位置で確認されているものと判断した。
  - ②について、敷地の斜長石には曹長石化が認められないことから、敷地は少なくとも斜長石が曹長石化するような高温の熱水の影響を受けていないと考えられる。よって、敷地の変質鉱物は、「①地下深部での生成」の可能性が高いと判断した。一方で、斜長石が曹長石化しない程度の熱水の影響を受けて生成した可能性は否定できない。
- ・ 生成環境に関する検討結果を踏まえ、生成年代を推定した。地下深部での生成年代は、地殻の隆起速度を一定と仮定すると、変質鉱物の生成温度が約50℃以上であることから、約6Ma以前と推定した。なお、曹長石化しない程度の熱水により生成した場合の生成年代は、能登半島で最後に火成活動が認められた9Ma以前と推定した。

### 5.2.1(1-4): 変質鉱物の生成年代評価のまとめ

- ・ 5.2.1(1-2)及び5.2.1(1-3)を踏まえ、敷地の変質鉱物(I/S混合層等)は、少なくとも後期更新世以降に生成したものではないと評価した。なお、変質鉱物と第四系との関係やI/S混合層のK-Ar年代値等についても、この生成年代評価と矛盾しない。

### 5.2.1(1-5): 碎屑岩脈の形成年代評価

- ・ S-1の粘土状破碎部中には碎屑岩脈が認められ、この碎屑岩脈について薄片観察を実施した。その結果、碎屑岩脈は、未固結な状態で高い圧力を受けて貫入したことが示唆されること等から、地下深部の高封圧下で形成したと判断した。一方で、この確認位置は、約12~13万年前以降、現在とほぼ同じ低封圧下にあり、高封圧下で形成する碎屑岩脈は形成しないと判断した。よって、碎屑岩脈は少なくとも後期更新世以降に形成したものではないと評価した。

### 5.2.1(1-6): 評価に用いる変質鉱物

- ・ 少なくとも後期更新世以降に生成したものではないと評価した変質鉱物(I/S混合層等)、少なくとも後期更新世以降に形成したものではないと評価した碎屑岩脈を用いて鉱物脈法による活動性評価を行う。

※敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド、P.13, 4.1.2.3解説(5)



紫字: 第935回審査会合以降に追記

## 【鉱物脈法による活動性評価に用いる変質鉱物】

### ■5.2.1(1-1) 敷地で確認される変質鉱物の詳細 (P.48~64)

#### <粘土鉱物>

- ・XRD分析(粘土分濃集)による結晶構造
- ・EPMA分析による化学組成
- ⇒粘土鉱物(スメクタイト)は、I/S混合層である。

I/S混合層であることを支持する。

- ・CEC分析
- ・XAFS分析
- ・HRTEM観察

#### <白色鉱物>

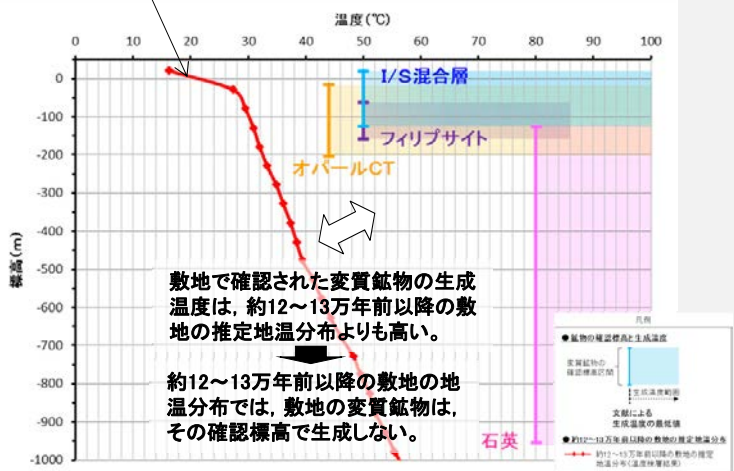
- ・XRD分析, 薄片観察
- ⇒粘土鉱物以外の白色鉱物は、オパールCT及びフィリップサイトである。

### ■5.2.1(1-2) 変質鉱物の後期更新世以降の生成可能性の評価 (P. 65~74)

○「約12~13万年前以降の敷地の地温分布」と「変質鉱物の生成温度の最低値」を比較し、約12~13万年前以降の敷地の温度環境下で変質鉱物が生成するか否かを評価した。

- ・温度検層, 文献調査(敷地周辺の地温分布, 能登半島の火成活動)

約12~13万年前以降の敷地の地温分布は、現在と同程度である。



敷地で確認された変質鉱物の生成温度は、約12~13万年前以降の敷地の推定地温分布よりも高い。

約12~13万年前以降の敷地の地温分布では、敷地の変質鉱物は、その確認標高で生成しない。

敷地で確認される変質鉱物は、約12~13万年前以降に生成したものではない。

### ■5.2.1(1-3) 変質鉱物の生成環境の検討及び生成年代の推定 (P.75~87)

○5.2.1(1-2)を踏まえ、敷地の変質鉱物が生成し得る環境を検討し、生成年代を推定した。

- ・敷地の変質鉱物が生成するには、その確認標高の地温よりも高温である必要があることから、①現在と同程度の地温分布で、より高温の地下深部において生成し、現在の確認標高まで隆起したか、もしくは②敷地の地温分布が現在よりも高温となる環境下で生成したと考えられる。

#### 【①地下深部(地温勾配相当の高温)での生成】

- ・敷地周辺の変質に関する調査
- ⇒I/S混合層が敷地周辺の穴水累層中にも広く認められることから、敷地周辺一帯は同じような環境下で変質を被ったと考えられる。

- ・砕屑岩脈
- ⇒砕屑岩脈は、地下深部の高封圧下で形成したと考えられる。

#### <生成環境の検討>

敷地の変質鉱物は、地下深部で敷地周辺一帯が変質し、その後、敷地周辺一帯が隆起して現在の位置で確認されているものと判断した。

#### <生成年代の推定>

敷地の変質鉱物の地下深部での生成年代は、地殻の隆起速度を一定と仮定し、約6Ma以前と推定した。

#### 【②熱水(地温勾配以上の高温)による生成】

- ・斜長石の曹長石化検討
- ⇒敷地の斜長石には、曹長石化が認められない。

#### <生成環境の検討>

・敷地は、少なくとも斜長石が曹長石化するような高温の熱水の影響を受けていない。

⇒敷地の変質鉱物は、「①地下深部での生成」の可能性が高いと判断した。一方で、曹長石化しない程度の熱水の影響を受けて生成した可能性は否定できない。

#### <生成年代の推定>

なお、熱水により生成した場合、敷地の変質鉱物の生成年代は、能登半島で最後に火成活動が認められた9Ma以前と推定した。

### ■5.2.1(1-5) 砕屑岩脈の形成年代評価 (P.110)

#### <砕屑岩脈>

- ・薄片観察
- ・地形図
- ⇒砕屑岩脈は、地下深部の高封圧下で形成した。
- ⇒確認位置は、約12~13万年前以降、現在とほぼ同じ低封圧下であり、高封圧下で形成する砕屑岩脈は形成しない。

砕屑岩脈は、少なくとも後期更新世以降に形成したものではない。

### ■5.2.1(1-4) 変質鉱物の生成年代評価のまとめ (P.88~109)

敷地で確認される変質鉱物(I/S混合層等)は、少なくとも後期更新世以降に生成したものではない。

生成年代評価と矛盾しない。

・変質鉱物と第四系との関係, K-Ar年代値(I/S混合層), U-Pb年代値(オパールCT), 生成温度・期間に関する文献調査

#### <生成環境に関する追加検討>

- ・能登半島周辺の地質構造に関する既往知見との関係
- ・新第三紀堆積岩における変質状況の確認

### ■5.2.1(1-6) 評価に用いる変質鉱物 (P.111)

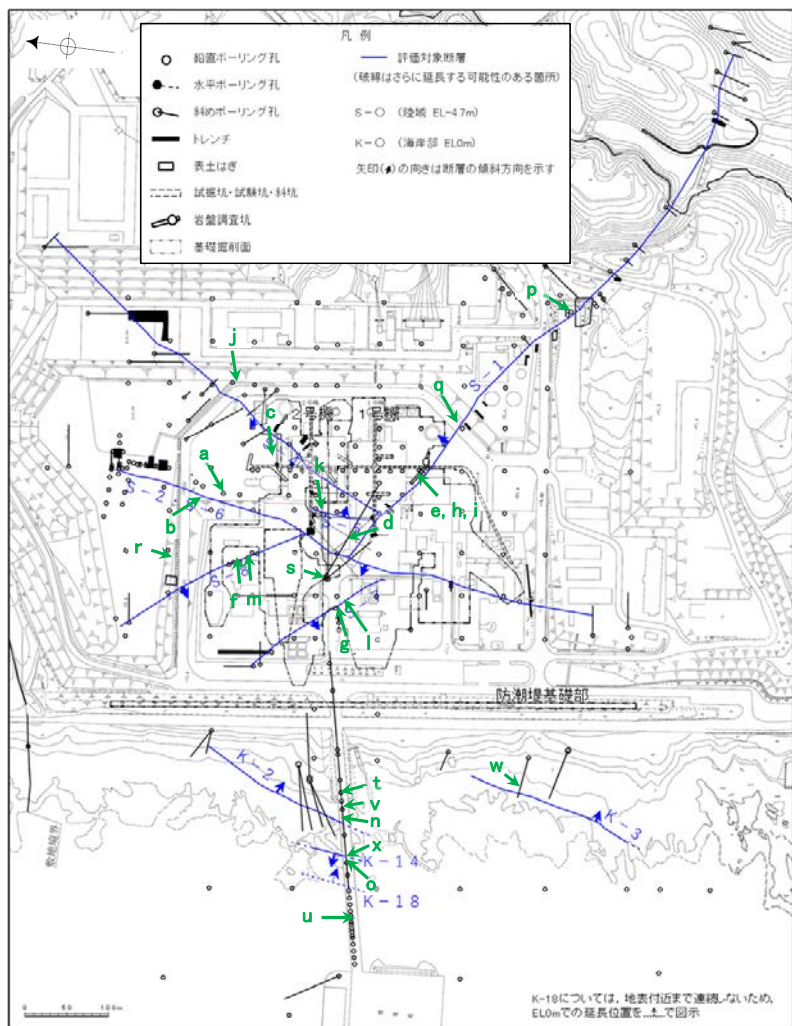
少なくとも後期更新世以降に生成したものではないと評価した変質鉱物(I/S混合層等), 少なくとも後期更新世以降に形成したものではないと評価した砕屑岩脈を用いて鉱物脈法による活動性評価を行う。

## 5.2.1(1-1)敷地で確認される変質鉱物の詳細 —粘土鉱物(I/S混合層)—

○ボーリングコア観察等の結果、破碎部中には粘土鉱物が認められることから、全ての評価対象断層の粘土状破碎部中の粘土鉱物を対象として、XRD分析(粘土分濃集)及びEPMA分析を実施した。また、母岩の割れ目に沿っても粘土鉱物が認められることから、これらの粘土鉱物についても同様に分析を実施した。

○分析の結果、これらの粘土鉱物は、I/S混合層であることを確認した。

### 【XRD分析(粘土分濃集)】



粘土鉱物(XRD分析(粘土分濃集)試料)

#### 試料採取位置図

- ・分析に使用した試料のうち、代表的な例を右上に示す
- ・その他の試料については補足資料5.2-2(1) P5.2-2-3~10

#### 【破碎部(S-1)】

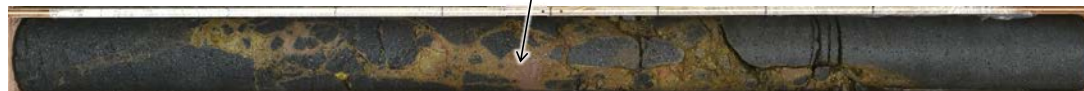
破碎部中に褐色の粘土鉱物が認められる  
(深度) 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 (m)



破碎部中に粘土鉱物が認められる事例 (試料e. 岩盤調査坑 No.27孔 深度0.25m付近)

#### 【非破碎部】

母岩中の割れ目に沿って褐色の粘土鉱物脈が認められる  
(深度) 81.44 81.64 81.84 82.04 82.24 82.44 (m)

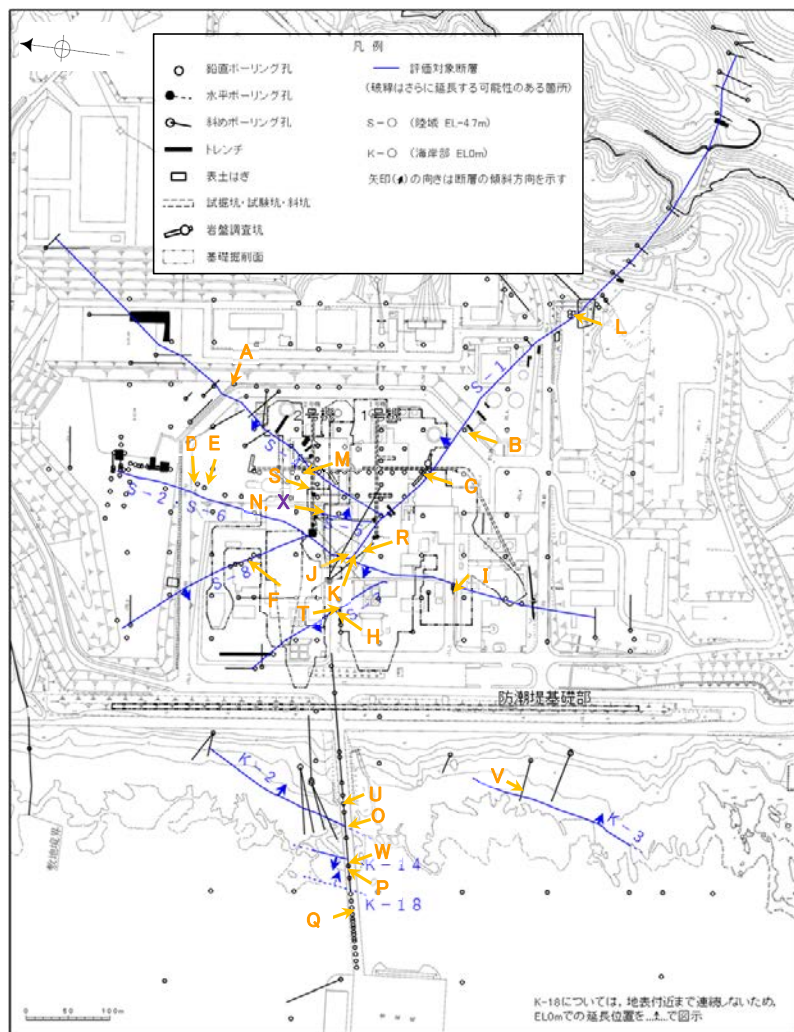


母岩中の割れ目に沿って粘土鉱物脈が認められる事例 (試料d. H-6.5-2孔 深度81.90m付近)

試料採取箇所									
採取位置 (左位置図)		深度	標高	採取位置 (左位置図)		深度	標高		
a	S-2・S-6	E-8.5+5"孔	9.30m	EL 11.82m	m	S-8	F-6.80-2孔	18.69m	EL -5.83m
b		E-8.4'孔	31.70m	EL -10.61m	n	K-2	H-0.9-40孔	19.65m	EL -6.36m
c	S-4	F-9.3-4孔	66.40m	EL -45.82m	o	K-14	H- -0.3-80孔	31.65m	EL -27.48m
d	非破碎部	H-6.5-2孔	81.90m	EL -59.10m	p	非破碎部	M-12.5"孔	55.55m	EL -27.25m
e	S-1	岩盤調査坑 No.27孔	0.25m	EL -16.45m	q		K-10.8SW-1孔	49.80m	EL -18.88m
f	S-8	F-6.82-6孔	17.08m	EL -1.97m	r		E-6.2孔	137.45m	EL -123.37m
g	S-7	H-5.5-2孔	19.33m	EL -3.75m	s		H-6.5'孔	47.70m	EL -24.19m
h	S-1	岩盤調査坑No.7-1孔	0.30m	EL -17.05m	t		H-1.1-80孔	43.45m	EL -36.01m
i		岩盤調査坑No.16付近 (底盤面)	(底盤面)	EL -17.90m	u		H- -1.80孔	48.30m	EL -44.66m
j	S-4	E-11.1SE-6孔	1.50m	EL 19.91m	v	K-2	H-1.1孔	103.77m	EL -96.99m
k	S-5	R-8.1-1-3孔	22.24m	EL -11.12m	w	K-3	M-2.2孔	48.74m	EL -31.45m
l	S-7	H-5.64-2孔	9.53m	EL 2.84m	x	K-18	H-0.2-75孔	116.75m	EL -108.04m



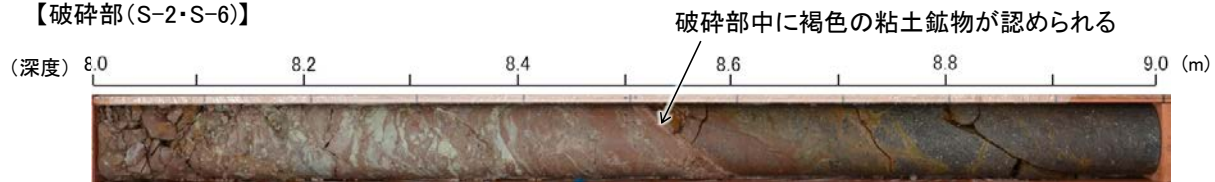
## 【EPMA分析】



試料採取位置図

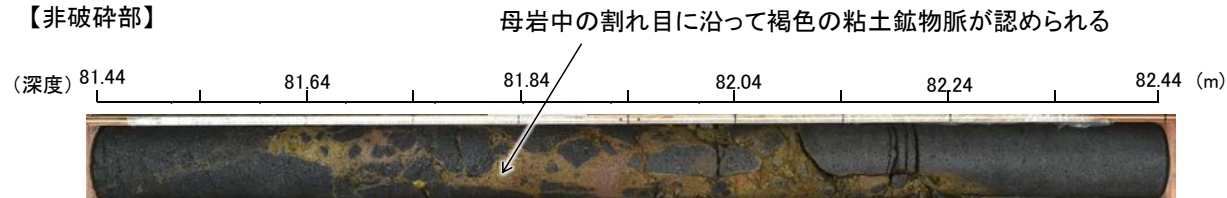
- ・分析に使用した試料のうち、代表的な例を右上に示す
- ・その他の試料については補足資料5.2-2(1) P5.2-2-11~19

### 【破砕部(S-2・S-6)】



破砕部に粘土鉱物が認められる事例 (試料D, E-8.5-2孔 深度8.55m付近)

### 【非破砕部】



母岩中の割れ目に沿って粘土鉱物脈が認められる事例 (試料R, H-6.5-2孔 深度81.80m付近)

試料採取箇所							
採取位置 (左位置図)		深度	標高	採取位置 (左位置図)		深度	標高
A	S-4 E-11.1SE-2孔	1.65m	EL 19.72m	N	S-5 R-8.1-1-3孔	22.24m	EL -11.12m
B	S-1 K-10.3SW孔	27.81m	EL -6.17m	O	K-2 H-0.9-40孔	19.65m	EL -6.36m
C	岩盤調査坑No.25切羽 (切羽面)	EL -17.60m		P	K-14 H-0.3-80孔	31.65m	EL -27.48m
D	S-2・S-6 E-8.5-2孔	8.55m	EL 12.66m	Q	H'-1.3孔	125.58m	EL -121.91m
E	S-2・S-6 F-8.5' 孔	8.50m	EL 12.63m	R	非破砕部 H-6.5-2孔	81.80m	EL -59.02m
F	S-8 F-6.75孔	26.85m	EL -15.76m	S	S-4 E-8.50' 孔	111.95m	EL -39.83m
H	S-7 H-5.7' 孔	14.35m	EL -3.26m	T	S-7 H-5.4-1E孔	24.16m	EL 4.80m
I	S-2・S-6 K-6.2-2孔	30.94m	EL -19.45m	U	K-2 H-1.1孔	103.62m	EL -96.84m
J	H-6.5-2孔	70.70m	EL -49.50m	V	K-3 M-2.2孔	48.74m	EL -31.45m
K	S-1 H-6.6-1孔	57.25m	EL -37.95m	W	K-18 H-0.2-75孔	116.75m	EL -108.04m
L	M-12.5' 孔	49.96m	EL -21.66m	X	S-5 R-8.1-1-2孔	23.46m	EL -12.38m
M	S-4 E-8.60孔	104.68m	EL -35.91m				

紫字: 第935回審査会合以降の追加分析箇所



## 5.2.1(1-1)敷地で確認される変質鉱物の詳細 –XRD分析(粘土分濃集)の試料調整方法–

○XRD分析(粘土分濃集)の実施にあたっては、ボーリングコアから粘土状破碎部または非破碎部の粘土鉱物部分を採取し、水簸と遠心分離によって細粒な粘土分を濃集している。作業手順を以下に示す。

### <試料採取>

■XRD分析(粘土分濃集)を実施するには、一定量の粘土分を採取する必要があるため、粘土鉱物が主に含まれる部分から粘土鉱物を採取した。



試料eの例、赤枠は採取位置

- ・破碎部:粘土状破碎部の主せん断面を中心に粘土鉱物を確認しながら採取
- ・非破碎部:粘土鉱物脈全体から粘土鉱物を確認しながら採取



試料採取の例

### <鉱物分離>

■水簸と遠心分離によって鉱物分離を実施し、細粒分を濃集させた。\*

※以下に示す手順は代表的な試料の作業手順である。鉱物分離前にXRD分析により試料に含まれる不純物を確認しており、必要に応じて鉱物分離作業内容を変更して実施している。

#### 【洗浄】

:試料を脱イオン水で洗浄。



#### 【水簸】

:ビーカーを用いて、粗粒部(岩片など)を除去し、上澄みの細粒分を含む懸濁液を回収。



#### 【遠心分離】

:ビーカーを用いた水簸で得られた懸濁液を遠心分離器にかけ、 $2\mu\text{m}$ よりも粒径の大きい粒子を除去した後、 $0.2\mu\text{m}$ よりも大きい粒子を沈殿させて回収する。得られた試料量が多い場合は、一定の粒径で区切る。

- ・遠心分離器の設定条件等の作業手順の詳細については、各試料ごとの特徴を踏まえて設定している。
- ・一部の試料では、超低温サーキュレータによる凍結粉碎後に水簸と遠心分離を実施し、粘土分を濃集した。



ビーカーを用いた水簸の例



遠心分離器の例

### <試料調整>

■鉱物分離によって粘土分を濃集した粉末試料について、試料調整をした後、各分析を実施した。

- ・XRD分析用試料(定方位, 粘土分濃集):スライドガラス上にごく微量の脱イオン水とともに展開させ、1日程度風乾し作成。
- ・XRD分析用試料(定方位EG処理, 粘土分濃集):エチレングリコール蒸気で充満したデシケーター内に定方位試料を1時間静置し作成。

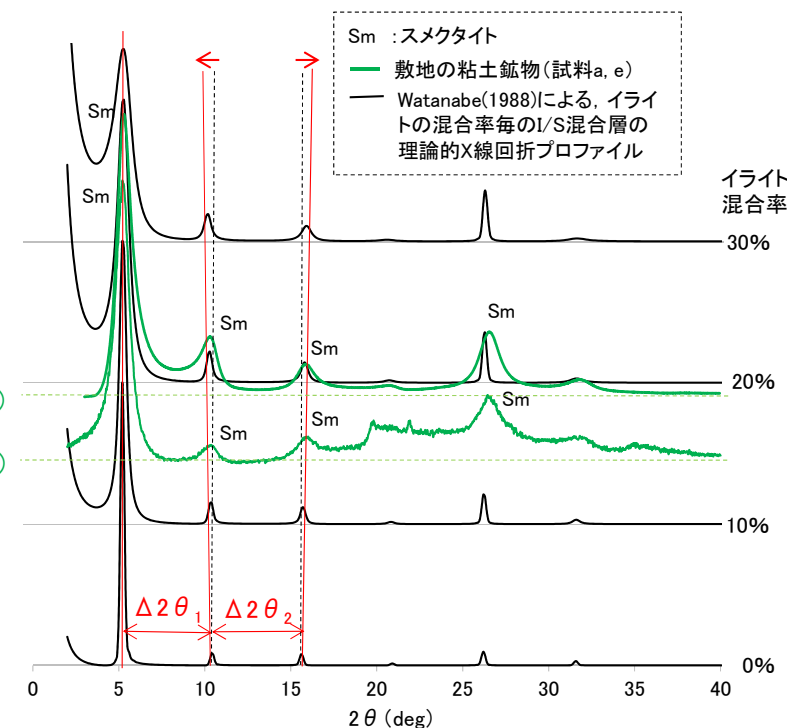
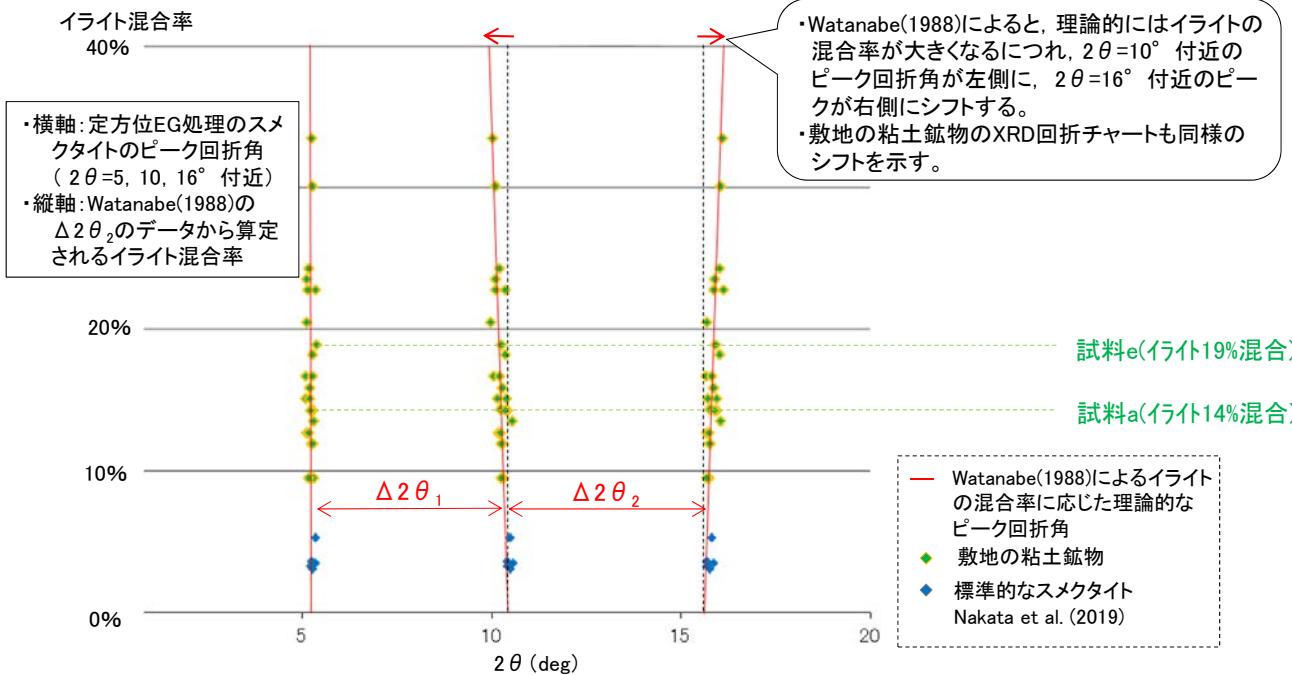


試料eの鉱物分離後の粉末試料

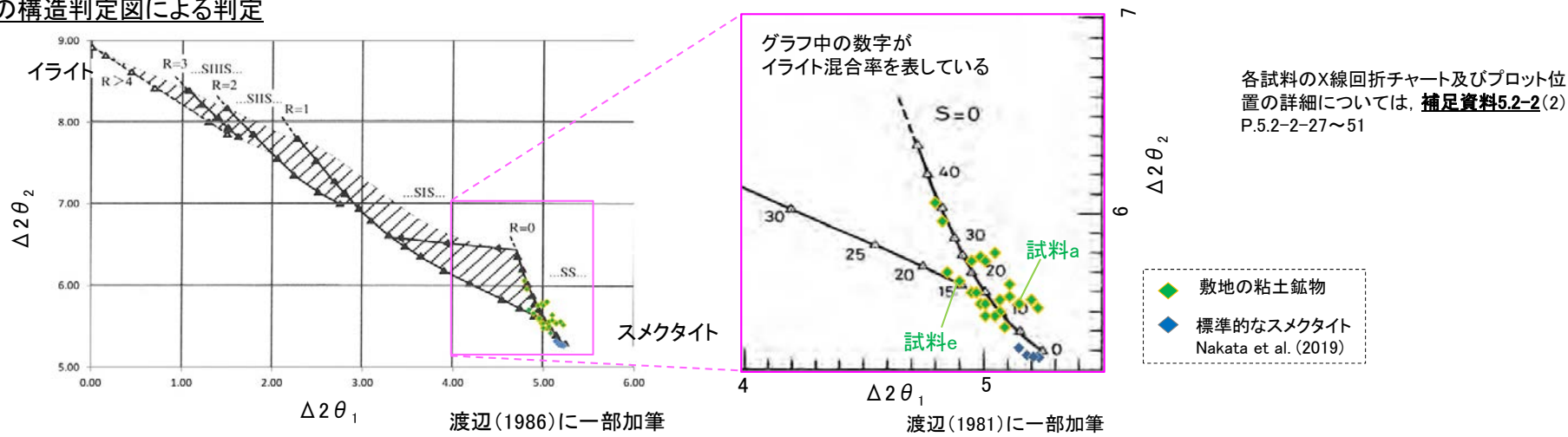
## 5.2.1(1-1)敷地で確認される変質鉱物の詳細 –XRD分析(粘土分濃集)–

- 敷地で認められた粘土鉱物について、XRD分析(粘土分濃集)を実施した。
- 敷地の粘土鉱物のピーク回折角は、Watanabe(1988)によるI/S混合層の理論的なピーク回折角のシフトと同様のシフトが認められた(【1】左図)。また、敷地の粘土鉱物のうち、より明瞭な粘土鉱物のピークを持つ試料a及び試料eの回折チャートについて、I/S混合層の理論的プロファイルと類似していることを確認した(【1】右図)。
- 同様の理論に基づき作成された渡辺(1986, 1981)のI/S混合層構造判定図に敷地の粘土鉱物の結果をプロットした結果、イライトの混合率は10~35%を示す(【2】図)。

### 【1】I/S混合層の理論的なピーク回折角との比較



### 【2】I/S混合層の構造判定図による判定



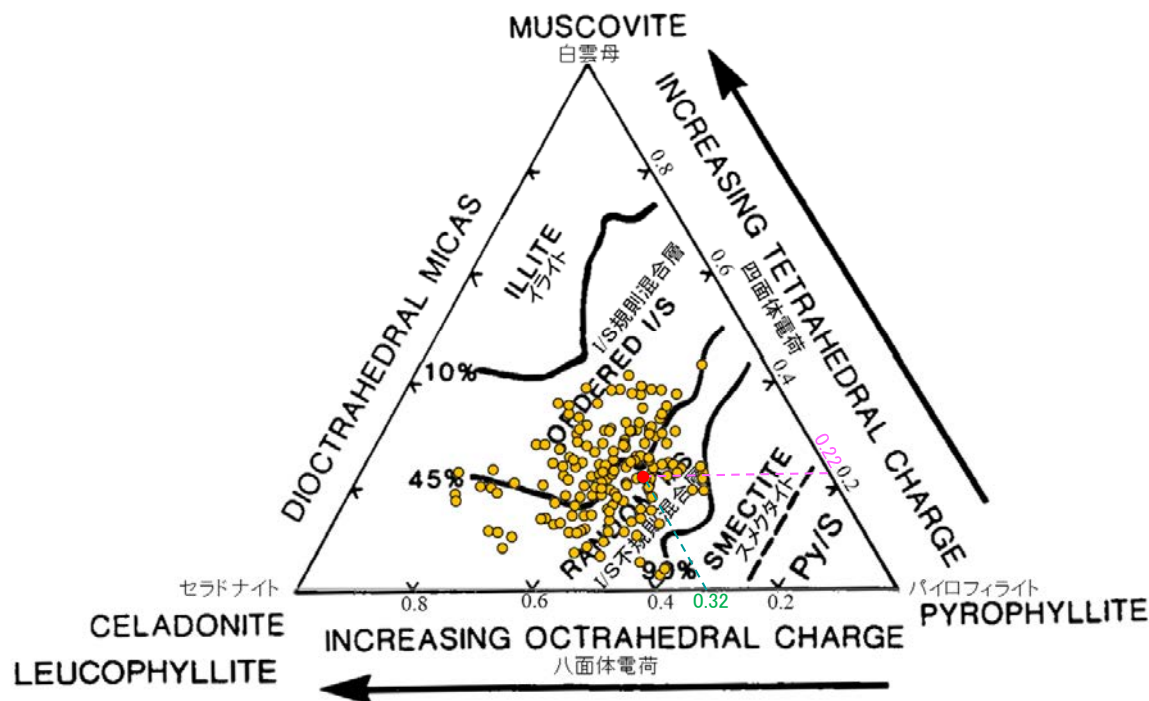
## 5.2.1(1-1) 敷地で確認される変質鉱物の詳細 – EPMA分析 –

- さらに、EPMA分析による化学組成の観点から、粘土鉱物について、鉱物の詳細確認を行った。
- EPMAの定量分析結果に基づき、敷地の粘土鉱物の組成式を算出した。組成式算出に用いる分析値については、粘土鉱物への二次的な変質等の影響や基準に基づく分析値の確認により、分析値が不純物等の影響を受けていないことを確認した値を用いている<sup>※1</sup>。
- 2八面体型の粘土鉱物<sup>※2</sup>の化学組成を示した三角ダイアグラム(左下図、Srodon et al. (1984))によると、敷地の粘土鉱物の分析値はいずれも「I/S混合層」に分類される。以下、この検討を三角ダイアグラム検討とする。

※1: 三角ダイアグラム検討に用いるEPMA分析値の確認結果については、[補足資料5.2-2\(3\)](#)P.5.2-2-85~86

※2: 敷地の粘土鉱物の八面体シート構造の検討結果については、[補足資料5.2-2\(2\)](#)P.5.2-2-52~54

○XRD分析(粘土分濃集)による結晶構造判定結果及びEPMA分析による化学組成の検討結果により、敷地の粘土鉱物は結晶構造中にイライト層が数十%混合した「I/S混合層」と判断した。



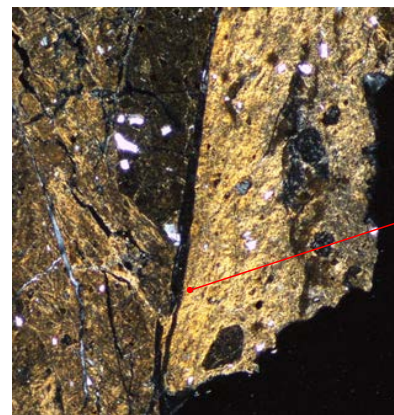
- 分析値(敷地の粘土鉱物)(第935回審査会合以降の追加分析値を含む)
- 標準的なスメクタイト(日本粘土学会編(2009)のWyoming試料の化学組成値を用いて作成)
- プロット例(試料D)

2八面体型雲母粘土鉱物及び関連鉱物の化学組成 (Srodon et al. (1984))に一部加筆)

EPMA分析結果に基づき算出した四面体電荷0.22及び八面体電荷0.32をSrodon et al. (1984)の三角ダイアグラム上にプロットした。

その他試料のEPMA分析結果については、[補足資料5.2-2\(3\)](#)。

### <EPMA分析結果の例 (試料D)>



分析位置

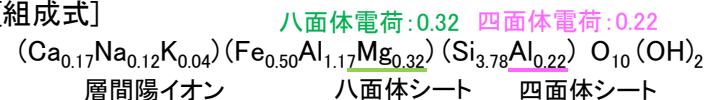
分析位置については、[補足資料5.2-2\(3\)](#)  
P.5.2-2-61

#### [EPMA分析値(%)] \*分析値(FeO)からの換算値

SiO <sub>2</sub>	50.02
TiO <sub>2</sub>	0.34
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.57
TFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	8.73
MnO	0.01
MgO	2.82
CaO	2.09
Na <sub>2</sub> O	0.81
K <sub>2</sub> O	0.38
total	80.76

<組成式の算出方法(白水(2010)を参考に算出)>  
 ・EPMA分析値から各酸化物の分子比を算出し、O原子(負電荷)を22と仮定して各元素の陽イオン数を算出。  
 ・求めた陽イオン数のうち、AlはSiとの合計が4になるまで四面体に配分し、MgはFe及び残りのAlの合計が2になるまで八面体に配分した。

#### [組成式]

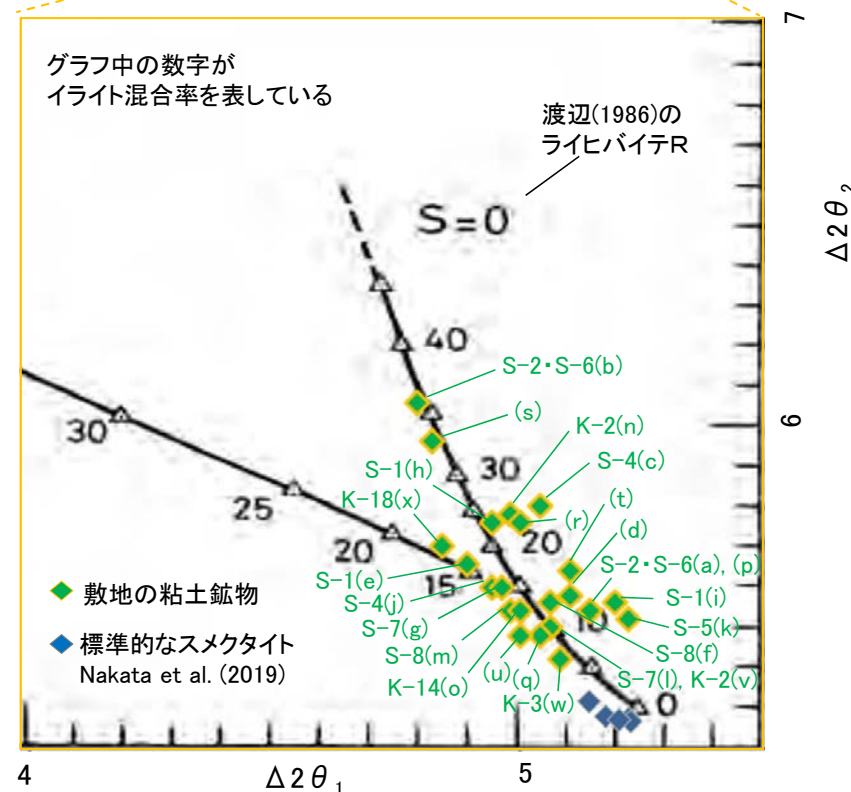
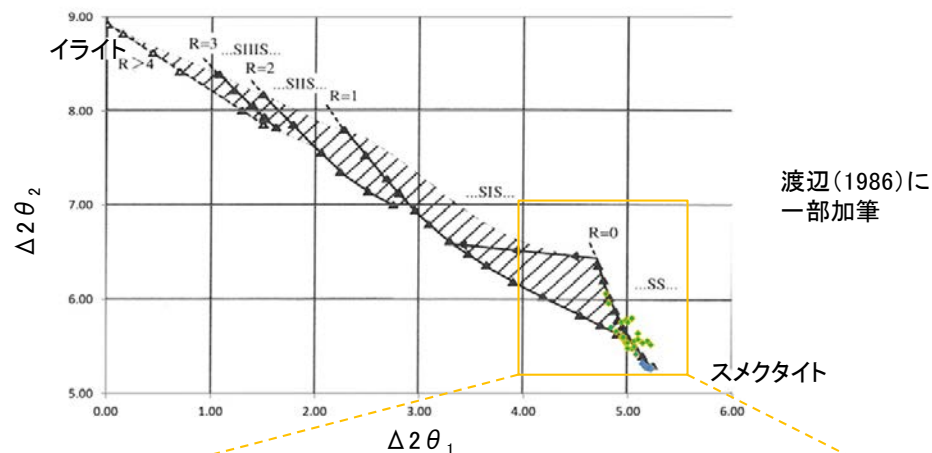




## 5.2.1(1-1)敷地で確認される変質鉱物の詳細 -XRD分析(粘土分濃集), 断層間比較-

- XRD分析(粘土分濃集)の結果に関して, 断層間で比較を行った。
- 渡辺(1981)の構造判定図にプロットすると, いずれの分析結果もイライトの混合割合は10~35%であり, 断層間の結果に相違はない。
- なお, 断層以外の非破碎部の粘土鉱物脈の分析結果についても, 同様の結果であった。

試料採取箇所 (XRD分析(粘土分濃集)試料)			渡辺(1986, 1981)の図 へのプロット結果	
断層名	採取位置	標高	ライヒバイテ	イライト混合率
S-1	e 岩盤調査坑 No.27孔	EL -16.45m	R=0	20%程度
	h 岩盤調査坑No.7-1孔	EL -17.05m	R=0	20%程度
	i 岩盤調査坑No.16付近	EL -17.90m	R=0	10%程度
S-2・S-6	a E-8.5'5"孔	EL 11.82m	R=0	10%程度
	b E-8.4'孔	EL -10.61m	R=0	35%程度
S-4	c F-9.3-4孔	EL -45.82m	R=0	20%程度
	j E-11.1SE-6孔	EL 19.91m	R=0	15%程度
S-5	k R-8.1-1-3孔	EL -11.12m	R=0	10%程度
S-7	g H-5.5-2孔	EL -3.75m	R=0	15%程度
	l H-5.64-2孔	EL 2.84m	R=0	10%程度
S-8	f F-6.82-6孔	EL -1.97m	R=0	10%程度
	m F-6.80-2孔	EL -5.83m	R=0	15%程度
K-2	n H-0.9-40孔	EL -6.36m	R=0	20%程度
	v H-1.1孔	EL -96.99m	R=0	10%程度
K-3	w M-2.2孔	EL -31.45m	R=0	10%程度
K-14	o H- -0.3-80孔	EL -27.48m	R=0	15%程度
K-18	x H-0.2-75孔	EL -108.04m	R=0	20%程度
非破碎部の 粘土鉱物脈 (参考)	d H-6.5-2孔	EL -59.10m	R=0	10%程度
	p M-12.5"孔	EL -27.25m	R=0	10%程度
	q K-10.8SW-1孔	EL -18.88m	R=0	10%程度
	r E-6.2孔	EL -123.37m	R=0	20%程度
	s H-6.5'孔	EL -24.19m	R=0	35%程度
	t H-1.1-80孔	EL -36.01m	R=0	15%程度
	u H- -1.80孔	EL -44.66m	R=0	10%程度



各試料の採取位置については, P.48. 各試料のX線回折チャートについては, [補足資料5.2-2\(2\)](#)

I/S混合層の構造判定図(渡辺(1981))に一部加筆

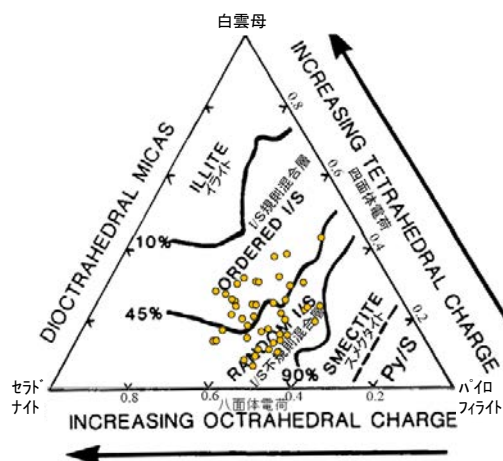
## 5.2.1(1-1)敷地で確認される変質鉱物の詳細 –EPMA分析, 断層間比較–

○EPMA分析の結果に関して, 断層間で比較を行った。

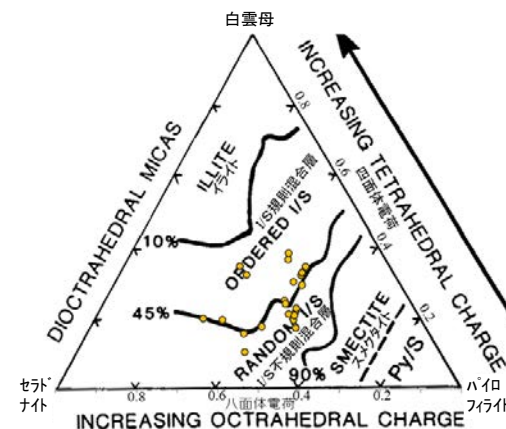
○八面体型の粘土鉱物の化学組成を示したSrodon et al. (1984)の三角ダイアグラムによると, EPMA分析値から算出した化学組成は, いずれも「I/S混合層」に分類され, 断層間の結果に相違はない。

○なお, 断層以外の非破碎部の粘土鉱物脈の分析結果についても, 同様の結果であった。

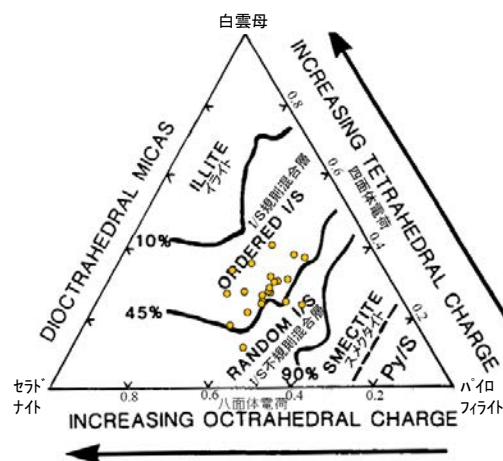
試料採取箇所 (EPMA分析試料)		
断層	採取位置	標高
S-1	B K-10.3SW孔	EL -6.17m
	C 岩盤調査坑No.25切羽	EL -17.60m
	J H-6.5-2孔	EL -49.50m
	K H-6.6-1孔	EL -37.95m
	L M-12.5”孔	EL -21.66m
S-2・S-6	D E-8.5-2孔	EL 12.66m
	E F-8.5’孔	EL 12.63m
	I K-6.2-2孔	EL -19.45m
S-4	A E-11.1SE-2孔	EL 19.72m
	M E-8.60孔	EL -35.91m
	S E-8.50”孔	EL -39.83m
S-5	N R-8.1-1-3孔	EL -11.12m
	X R-8.1-1-2孔	EL -12.38m
S-7	H H-5.7’孔	EL -3.26m
	T H-5.4-1E孔	EL 4.80m
S-8	F F-6.75孔	EL -15.76m
K-2	O H-0.9-40孔	EL -6.36m
	U H-1.1孔	EL -96.84m
K-3	V M-2.2孔	EL -31.45m
K-14	P H- -0.3-80孔	EL -27.48m
	Q H’ - -1.3孔	EL -121.91m
K-18	W H-0.2-75孔	EL -108.04m
非破碎部の 粘土鉱物脈 (参考)	R H-6.5-2孔	EL -59.02m



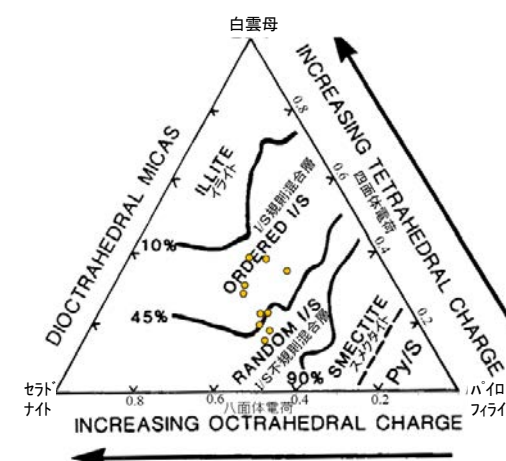
S-1



S-2・S-6



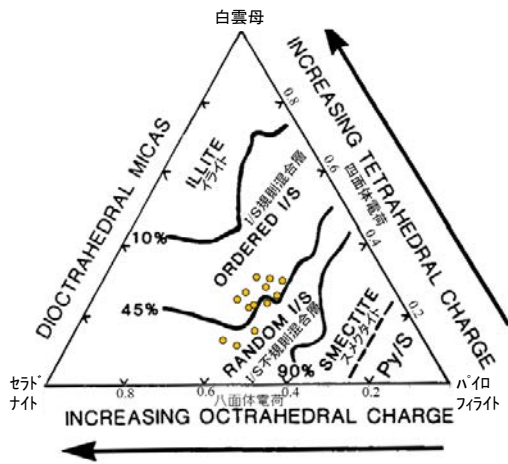
S-4



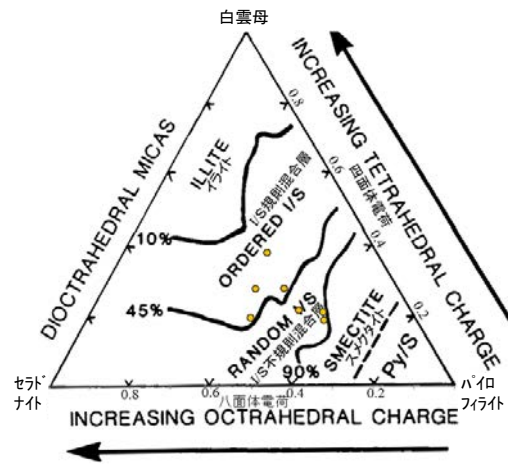
S-5

各試料の採取位置については, P.49。

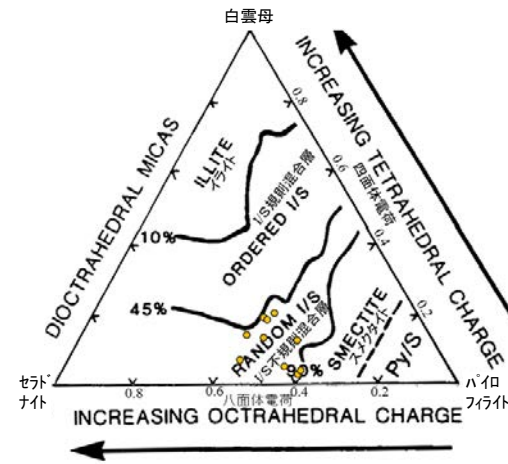
各試料の分析結果については, [補足資料5.2-2\(3\)](#)



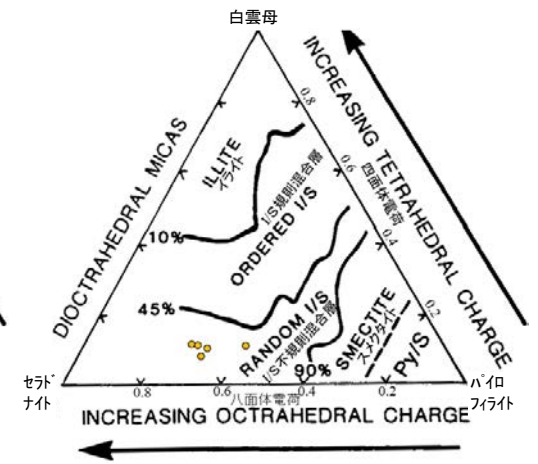
S-7



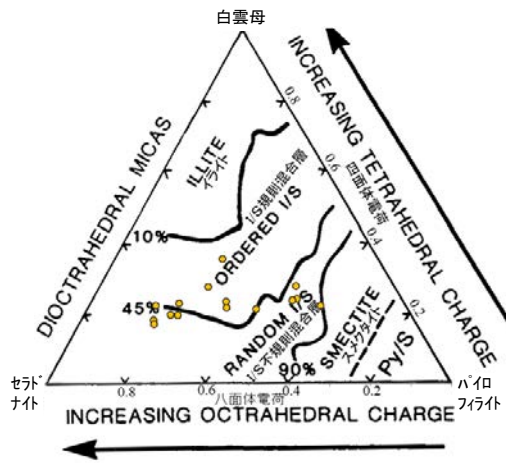
S-8



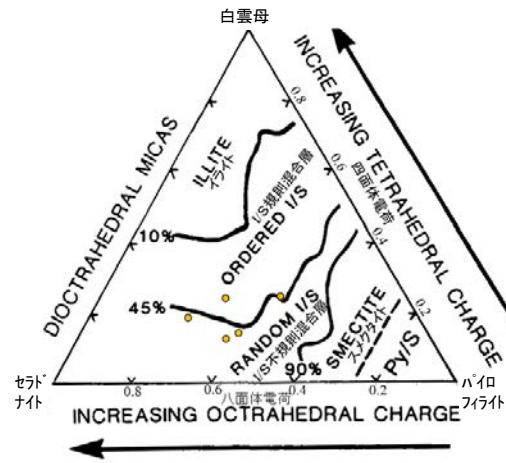
K-2



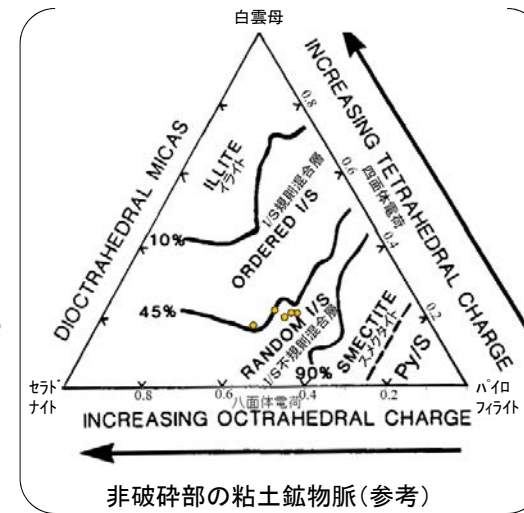
K-3



K-14



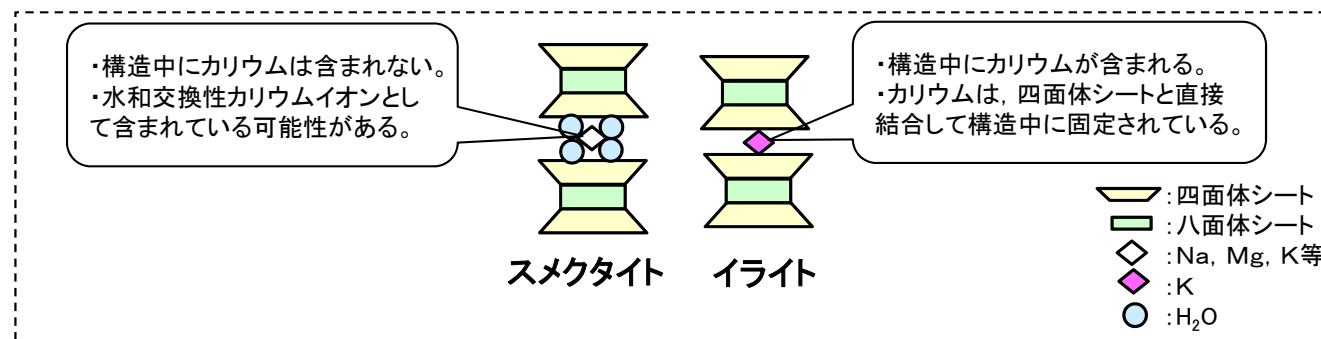
K-18





## 5.2.1(1-1)敷地で確認される変質鉱物の詳細 –CEC分析, XAFS分析, HRTEM観察–

○I/S混合層中に含まれるカリウムの存在状態を確認する目的で、敷地の粘土鉱物を用いてCEC分析, XAFS分析, HRTEM観察を実施した。  
○分析の結果、敷地の粘土鉱物にはカリウムが固定されたイライトの構造が含まれることを確認した。このことは、敷地の粘土鉱物がI/S混合層であることを支持する。



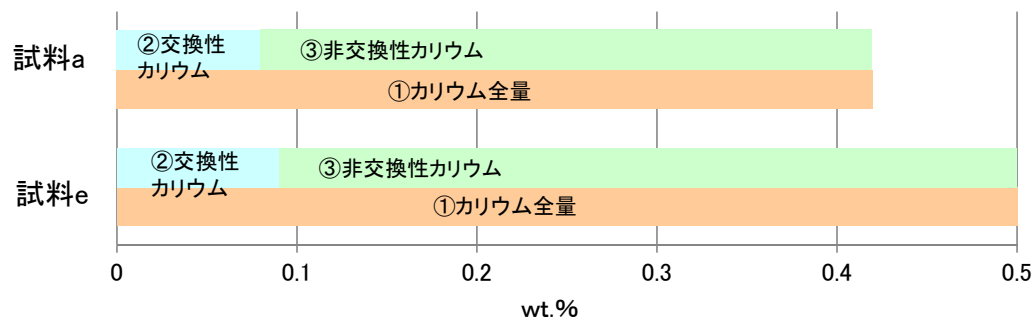
スメクタイトとイライトの構造とその特徴 (吉村(2001)を基に作成)

分析名	CEC分析 (Cation Exchange Capacity, 交換性陽イオン分析)	XAFS分析 (X-ray Absorption Fine Structure, X線吸収微細構造)	HRTEM観察 (High-Resolution Transmission Electron Microscope, 高分解能透過電子顕微鏡)
分析手法の概要	・試料中に含まれる交換性の陽イオンを交換溶液によって浸出させ、そのイオン量を測定する手法	・物質によるX線の吸収を測定することによって、特定元素周辺の構造を推定する手法	・高分解能の電子顕微鏡によって、粘土鉱物の積層構造を観察する手法
分析の目的	・スメクタイトでは、構造中にカリウムを含まず、層間の水和交換性カリウムイオンとしてしか含まれない。一方で、イライトでは構造中に固定されるとされている。 ⇒粘土鉱物中の交換性カリウムと固定されたカリウムの量を分析することによって、イライト構造の存在を確認する。	・スメクタイト中では、カリウムが水和交換性イオンとして存在する。一方で、イライト中では、カリウムが四面体シートと直接結合するとされ、両者ではカリウム原子周りの分子構造が異なる。 ⇒粘土鉱物中に含まれるカリウム原子周りの分子構造から、イライトと似た構造の存在を確認する。	・スメクタイトとイライトでは、単位層の間隔が異なる。 ⇒粘土鉱物の積層構造(単位層の間隔)を観察することによって、イライト構造の存在を確認する。
結果概要	・交換性カリウム含有量を定量した結果、カリウム全含有量に比べて十分に小さく、固定されたカリウムが十分に含まれていると判断される。(次頁, 宇波ほか(2019a, b))	・敷地の粘土鉱物のXAFS分析の結果、カリウム原子周りの構造を表すEXAFS関数及び構造関数がイライト標準試料の関数と類似する。(次々頁, 宇波ほか(2019a, b))	・HRTEM観察の結果、一連の積層構造中にスメクタイトの単位層とイライトの単位層が確認されることから、敷地の粘土鉱物はI/S混合層である。(P.59, 東京大学小暮研究室ほかによる観察結果)
検討の結果、敷地の粘土鉱物には、カリウムが固定されたイライトの構造が含まれ、I/S混合層であることを支持する。			

## 【CEC分析, 宇波ほか(2019a, b)】

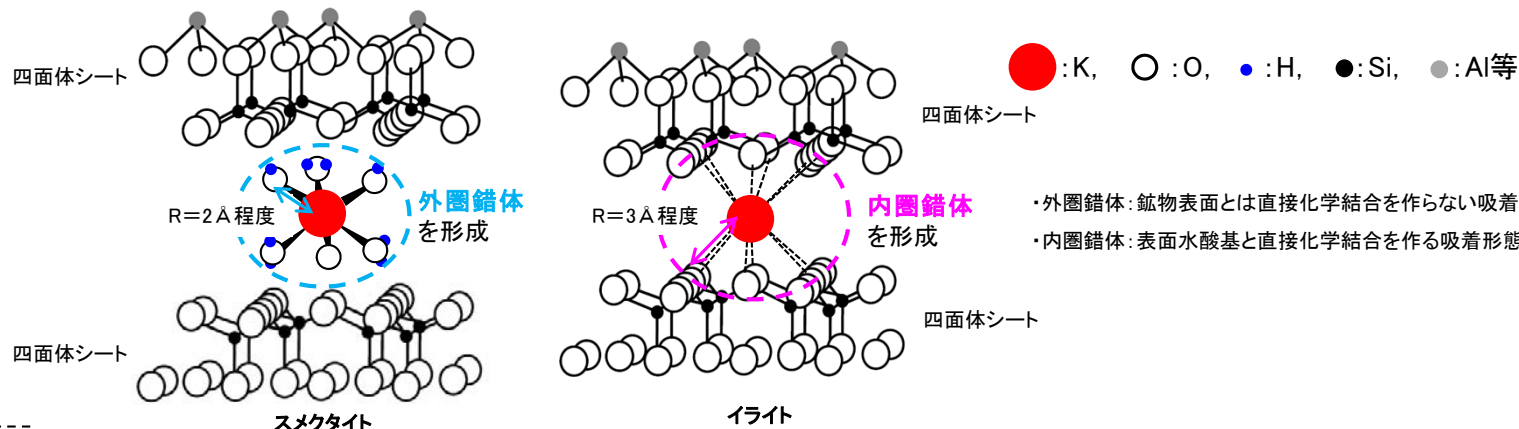
試料名	① カリウム全量 (wt.%) 湿式化学分析 ・定量法: 炎光分光法	② 交換性カリウム (wt.%) CEC分析 ・交換溶液: 塩化ストロンチウム溶液 ・定量法: ICP発光分光分析	③ 非交換性カリウム (wt.%) ①-②
試料a(E-8.5+5”孔)	0.42	0.08	0.34
試料e(岩盤調査坑No.27孔)	0.50	0.09	0.41

その他の分析試料の結果を含む詳細については  
**補足資料5.2-2(4)**P.5.2-2-88~91

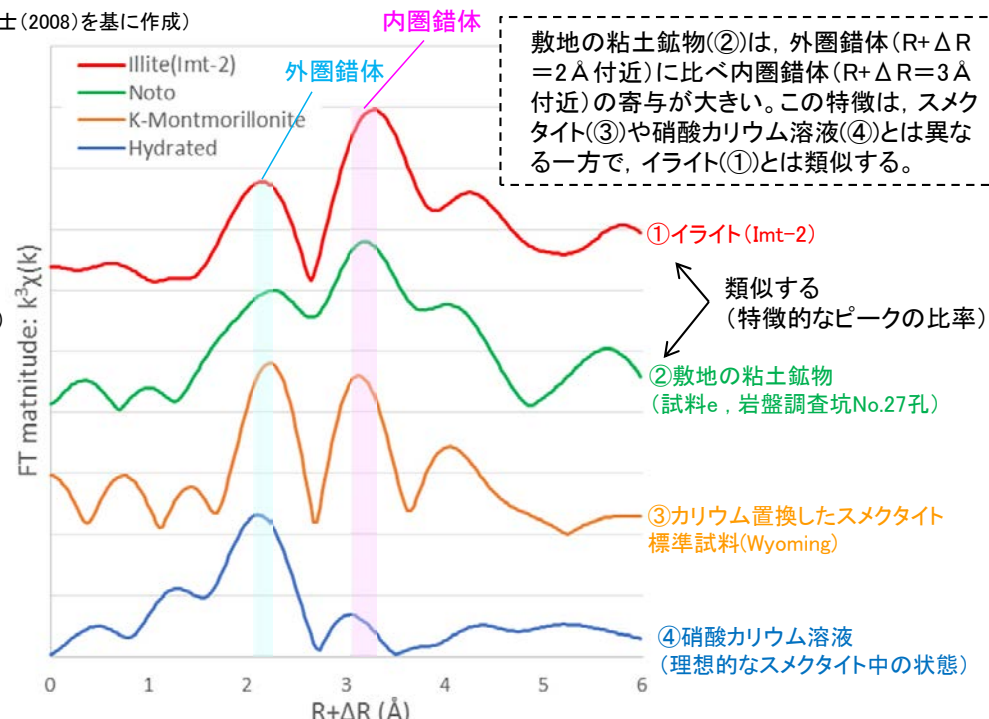
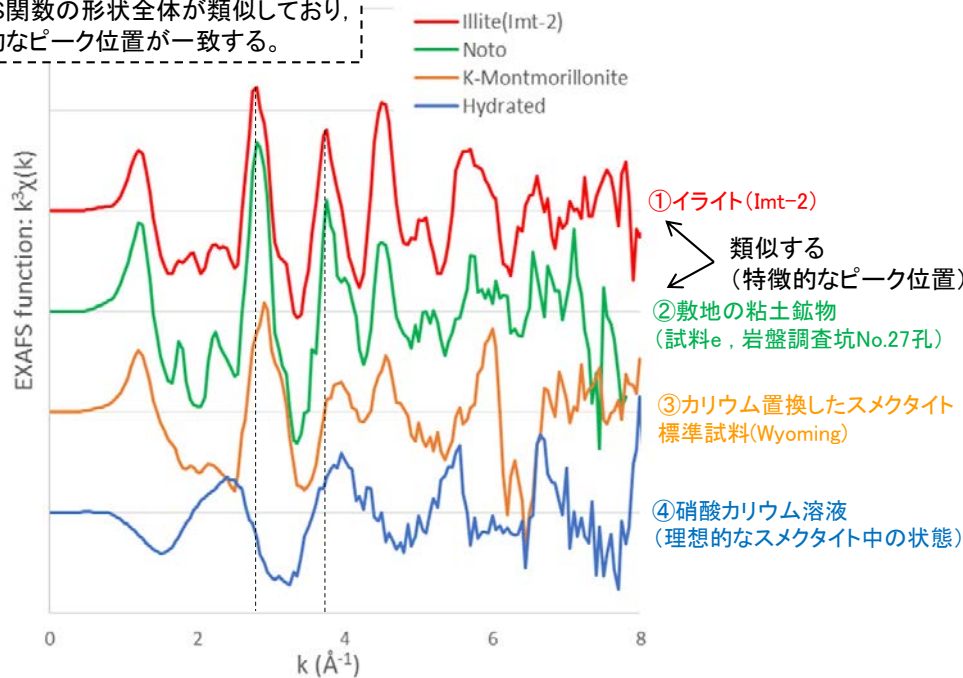


・敷地の粘土鉱物を対象として、CEC分析によって交換性カリウム含有量を定量した結果、湿式化学分析によるカリウム全量の定量結果(0.42~0.50wt.%)に比べて、交換性カリウムの含有量(0.08~0.09wt.%)が十分に小さく、固定されたカリウムが十分に含まれていることから、敷地の粘土鉱物にはイライトのようにカリウムが固定された構造が含まれる。

## 【XAFS分析, 宇波ほか(2019a, b)】



敷地の粘土鉱物(②)は、イライト(①)とEXAFS関数の形状全体が類似しており、特徴的なピーク位置が一致する。



敷地の粘土鉱物(②)は、外圏錯体( $R+\Delta R=2\text{Å}$ 付近)に比べ内圏錯体( $R+\Delta R=3\text{Å}$ 付近)の寄与が大きい。この特徴は、ス멕タイト(③)や硝酸カリウム溶液(④)とは異なる一方で、イライト(①)とは類似する。

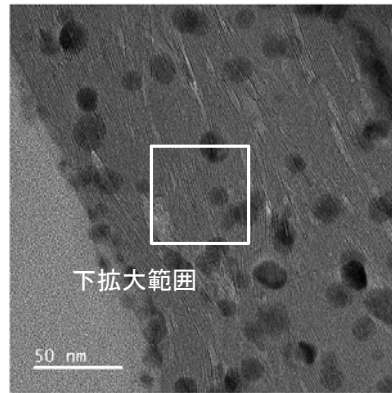
宇波ほか(2019a, b)に一部加筆

分析の詳細については補足資料5.2-2(4)P.5.2-2-92

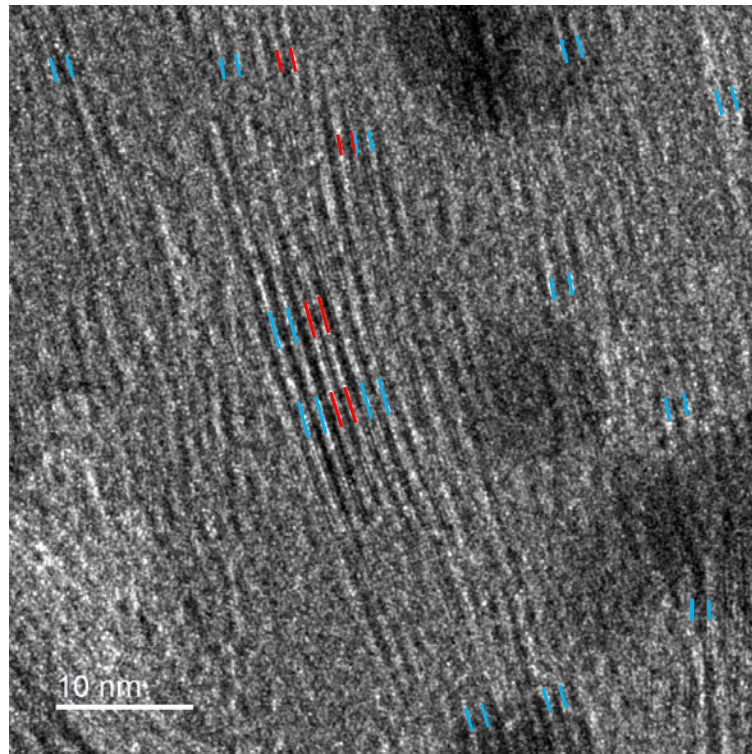
・敷地の粘土鉱物を対象にXAFS分析を実施し、粘土鉱物に吸着されたカリウム原子周りの構造を推定した。  
・XAFSから得られたEXAFS関数及び動径構造関数について、イライトの標準試料(Imt-2)、カリウム水和イオン(硝酸カリウム溶液)との関数と比較することによって、カリウム原子周りの構造を推定した結果、敷地の粘土鉱物(試料e)の関数はイライトの関数と類似する。



# 【HRTEM観察】



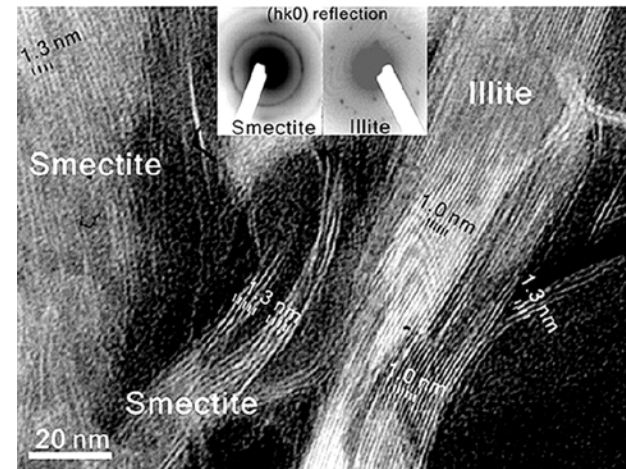
下拡大範囲



敷地の粘土鉱物(試料e)のHRTEM観察結果

- 凡例
- 測定箇所
- ⇄ 1.0nm
  - ⇄ 1.3nm

## ■I/S混合層のHRTEM観察に関する知見(Kim et al., 2004)

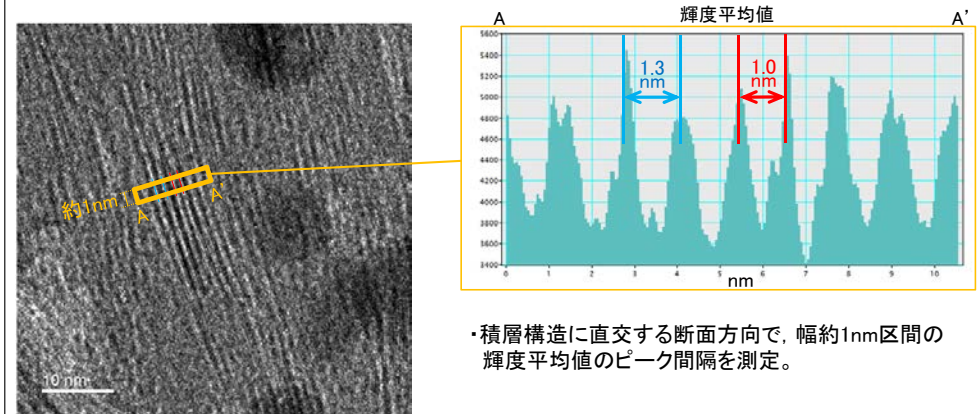


スメクタイト及びイライト構造のHRTEM像

・スメクタイトの典型的な単位層は1.3nm, イライトの単位層は1.0nmとなる。

## ■単位層の測定方法

・電子顕微鏡で撮影したHRTEM像で画像解析を実施し, 明瞭なコントラストが認められる積層構造中の単位層の間隔を測定した。



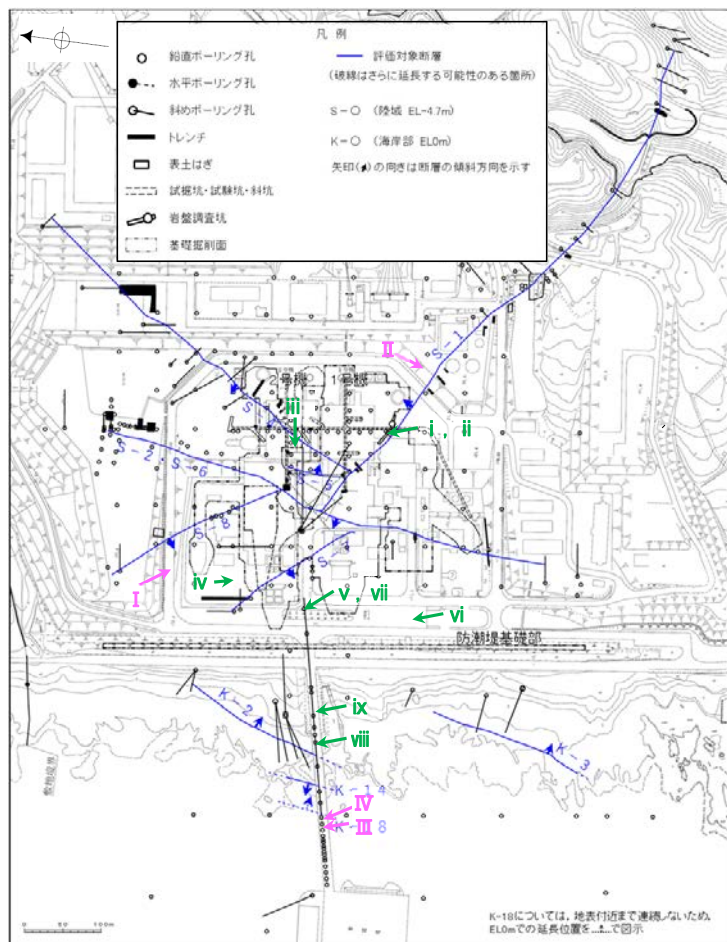
・積層構造に直交する断面方向で, 幅約1nm区間の輝度平均値のピーク間隔を測定。

・敷地の粘土鉱物を対象にHRTEM観察(観察装置: JEM-ARM200F)を実施した結果, 明瞭な積層構造を確認し, 一連の積層構造中にスメクタイトの単位層(1.3nm)とイライトの単位層(1.0nm)が確認されることから, この粘土鉱物はI/S混合層である。

上記は, 東京大学小暮研究室, 電力中央研究所, 北陸電力による観察結果である。

## 5.2.1(1-1)敷地で確認される変質鉱物の詳細 — 白色鉱物 —

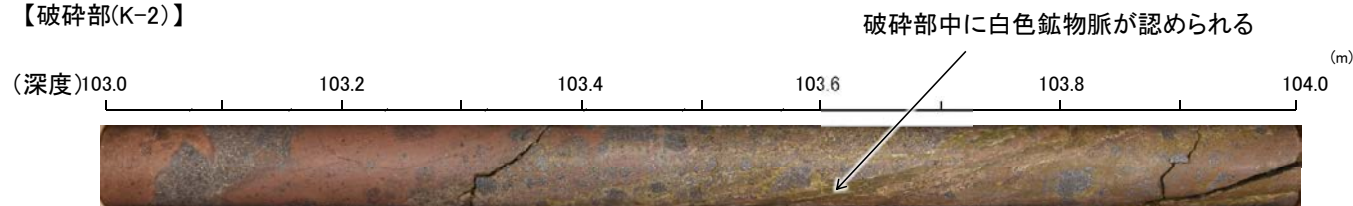
○粘土鉱物以外に評価に用いる変質鉱物について検討するため、粘土鉱物以外の変質鉱物について調査し、ボーリングコア観察等を実施した。  
○その結果、破碎部中や母岩の割れ目に沿って、白色鉱物が認められ、これらの白色鉱物を対象として、XRD分析及び薄片観察を実施し、これらの白色鉱物がオパールCT及びフィリップサイトであることを確認した。



白色鉱物(オパールCT)分析試料  
白色鉱物(フィリップサイト)分析試料  
**試料採取位置図**

・分析に使用した試料のうち、代表的な例を右上に示す。  
・その他の試料については補足資料5.2-2(1)P5.2-2-20~25

【破碎部(K-2)】



破碎部中に白色鉱物(オパールCT)の鉱物脈が認められる事例 (試料viii. H-1.1孔 深度103.62m付近)

【非破碎部】



母岩中の割れ目に沿って白色鉱物(フィリップサイト)の鉱物脈が認められる事例 (試料II. J-10.8SW-1孔 深度86.18m付近)

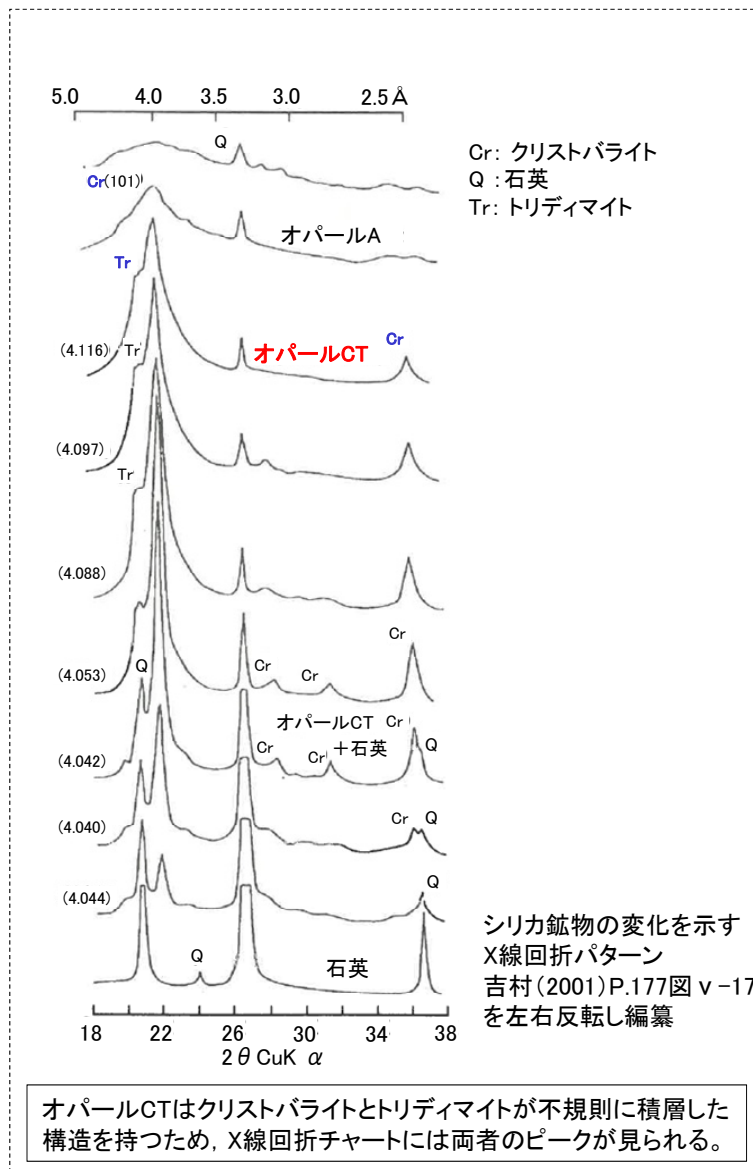
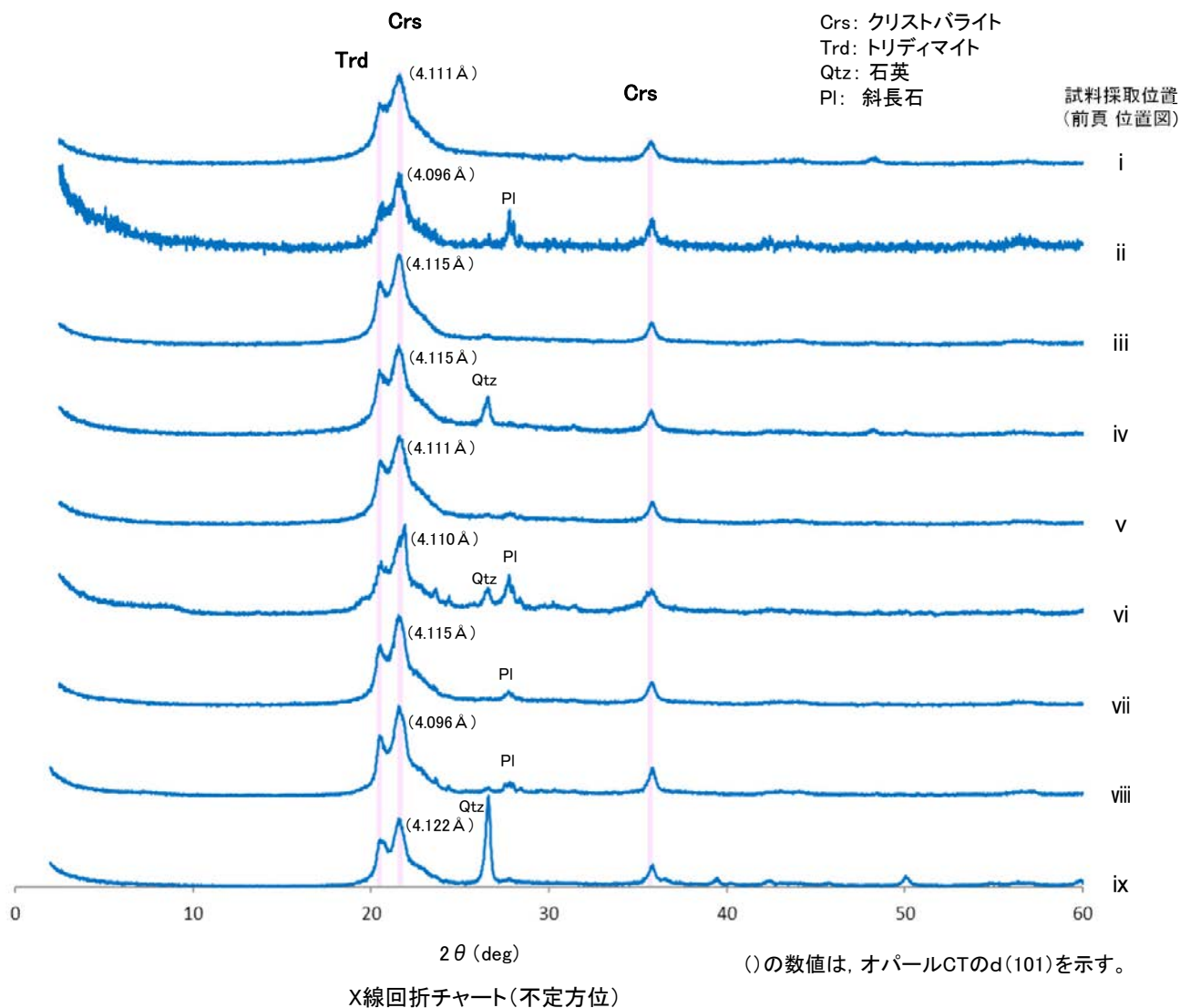
白色鉱物(オパールCT)確認箇所			
試料採取位置(左位置図)		深度	標高
i	非破碎部 岩盤調査坑No.30切羽 (切羽面)		EL -15.56m
ii	S-1 KR-13孔	2.47m	EL -16.75m
iii	H-6.4孔	112.95m	EL -68.78m
	F-4.9孔	136.57m	EL -125.44m
iv	非破碎部 R-4.5孔	68.63m	EL -57.56m
vi	K-4.2孔	80.63m	EL -69.36m
vii	R-4.5孔	71.10m	EL -60.03m
viii	K-2 H-1.1孔	103.62m	EL -96.84m
ix	非破碎部 H-1.5-95孔	176.71m	EL -168.01m

白色鉱物(フィリップサイト)確認箇所			
試料採取位置(左位置図)		深度	標高
I	S-2・S-6 E-5.7孔	170.73m	EL -158.08m
II	非破碎部 J-10.8SW-1孔	86.18m	EL -62.11m
III	K-14 H' - -1.3孔	125.58m	EL -121.91m
IV	非破碎部 H- -1.0孔	126.88m	EL -123.22m



## 5.2.1(1-1)敷地で確認される変質鉱物の詳細 – 白色鉱物(オパールCT)のXRD分析–

○敷地で認められた白色鉱物(試料 i ~ ix)について, XRD分析を実施した結果, クリスタライトとトリディマイトのピークが見られるため, これらの白色鉱物はオパールCTである。



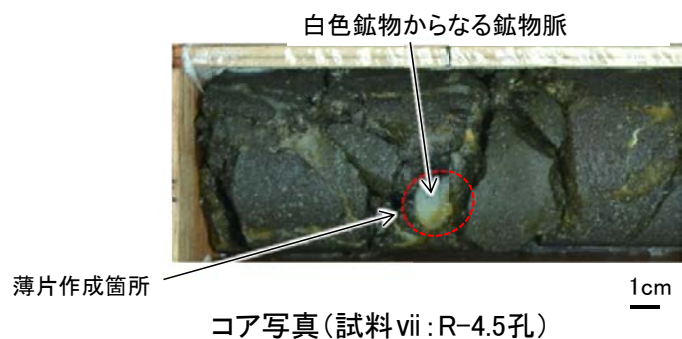
各試料のX線回折チャートの詳細は補足資料5.2-2(5)



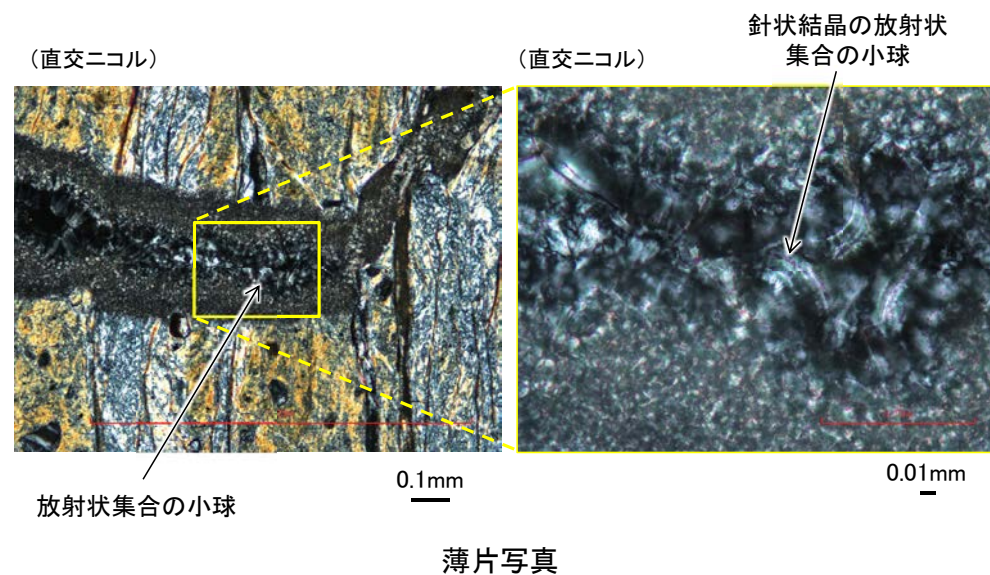
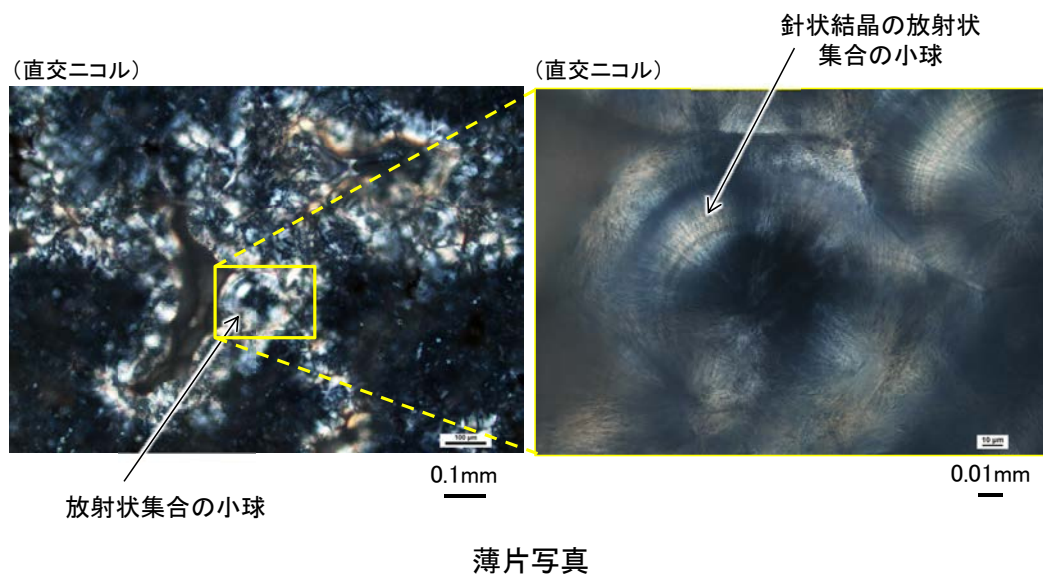
## 5.2.1(1-1)敷地で確認される変質鉱物の詳細 - 白色鉱物(オパールCT)の薄片観察 -

○XRD分析においてオパールCTが認められた試料vii及びviiiの薄片観察の結果, 白色鉱物からなる鉱物脈中には, 吉村(2001)でオパールCTの特徴として示される, 針状結晶の放射状集合の小球が認められる。

【試料viiの薄片観察結果】



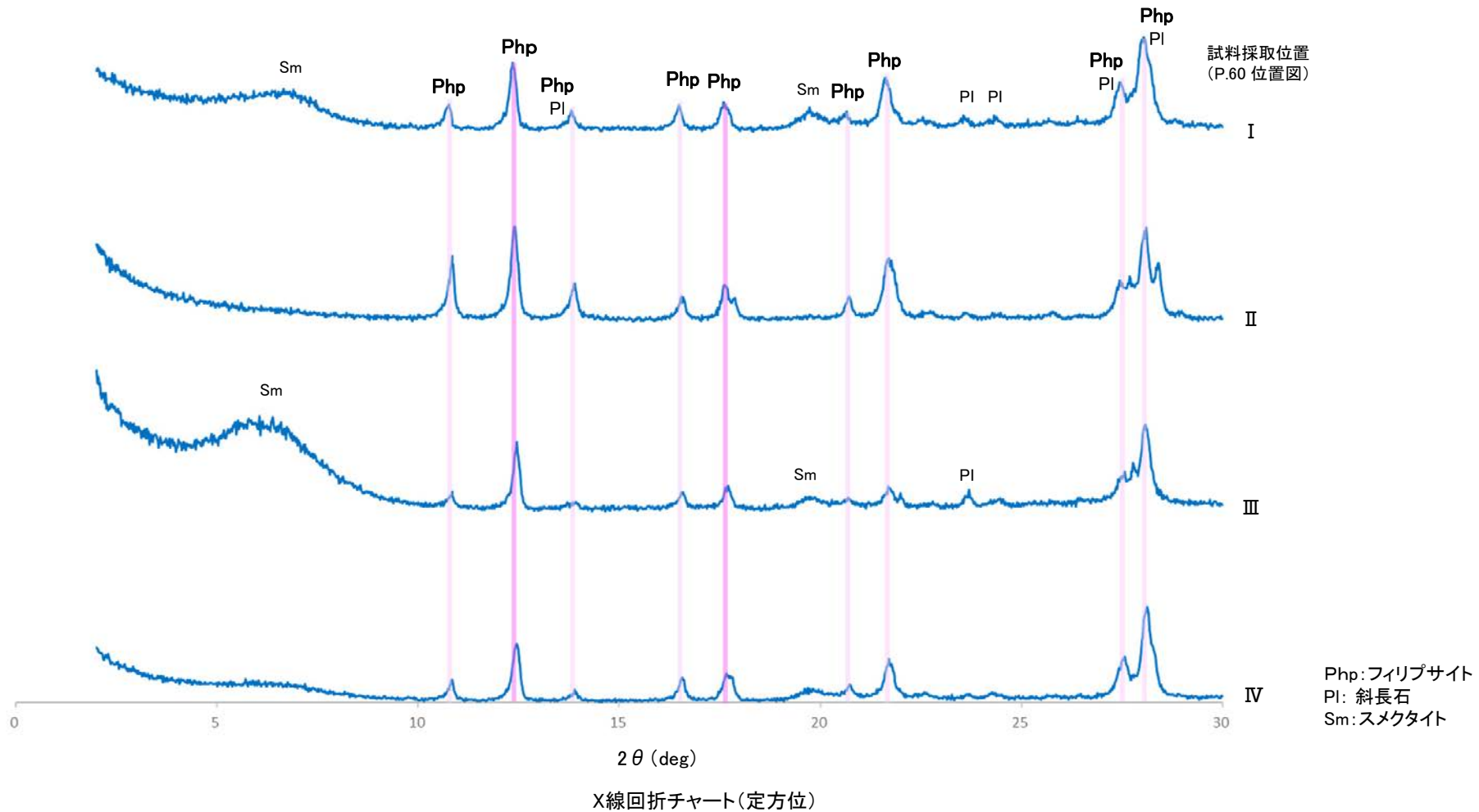
【試料viiiの薄片観察結果】



吉村(2001)  
オパールCT: 針状結晶の放射状集合の小球として産する。

## 5.2.1(1-1) 敷地で確認される変質鉱物の詳細 – 白色鉱物(フィリップサイト)のXRD分析–

○敷地で認められた白色鉱物(試料 I ~IV)について, XRD分析を実施した結果, これらの白色鉱物はフィリップサイトである。



ICDD (2015)によるPhillipsite-Kの特徴的回折ピーク  
(斜長石と重複しない主要回折ピーク位置)

$$2\theta = 12.44^\circ, 17.57^\circ$$

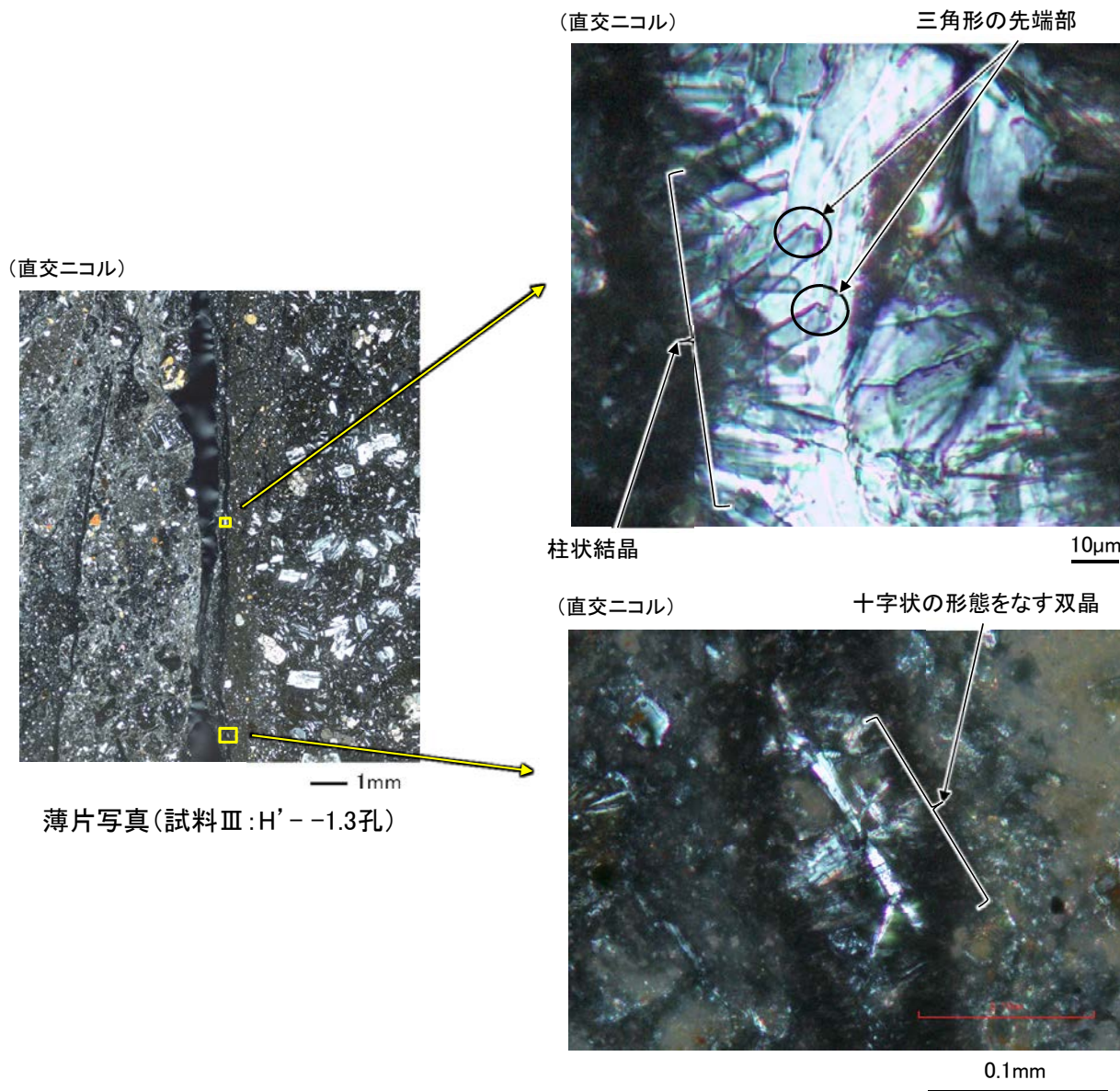
各試料のX線回折チャートの詳細は  
補足資料5.2-2(6)



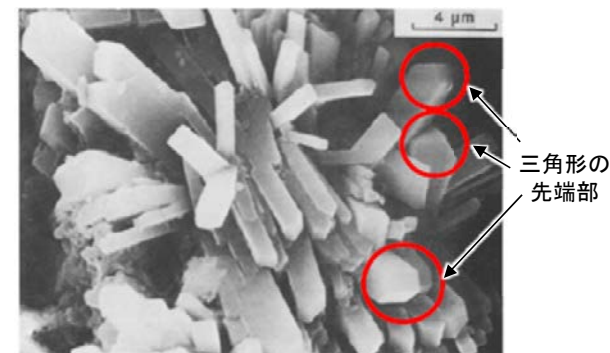
## 5.2.1(1-1) 敷地で確認される変質鉱物の詳細 – 白色鉱物(フィリップサイト)の薄片観察 –

○XRD分析においてフィリップサイトが認められた試料Ⅲの薄片観察の結果、白色鉱物からなる鉱物脈中には、Sheppard and Fitzpatrick(1989)のフィリップサイトで見られるような三角形の先端部を伴う柱状結晶が認められる。

○また、Adisaputra and Kusnida(2010), 松原(2002)でフィリップサイトの特徴として示される、十字状の形態をなす双晶も認められる。



Sheppard and Fitzpatrick(1989)  
フィリップサイトの柱状結晶のSEM画像



Adisaputra and Kusnida(2010)  
十字状の形態をなすフィリップサイトのSEM画像



松原(2002)  
十字沸石(フィリップサイト):  
複雑な双晶をして産し、四角柱状、十字状などの形態が特徴。

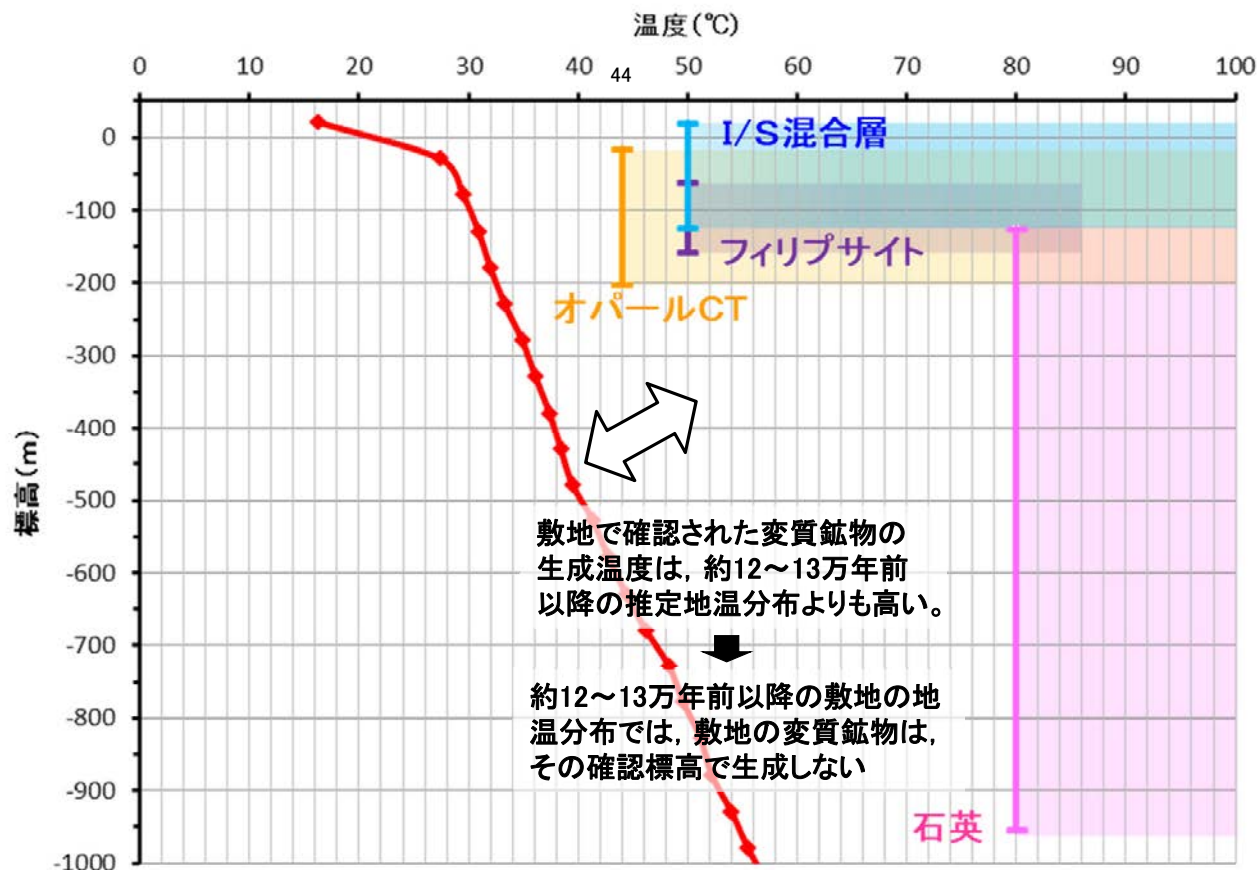


## 5.2.1 (1-2) 変質鉱物の後期更新世以降の生成可能性の評価 ー概要ー

- 約12～13万年前以降の敷地の地温分布と変質鉱物の生成温度の最低値を比較し、約12～13万年前以降の敷地の温度環境下で変質鉱物が生成するか否かを評価した。
- 約12～13万年前以降の敷地の推定地温分布については、敷地周辺の地温分布や能登半島の火成活動に関する文献調査結果を踏まえると、現在の敷地の地温分布と同程度であると考えられることから、現在の敷地の温度検層結果を用いた(P.71)。
- 変質鉱物の生成温度の最低値については、文献による生成温度を用いた(次頁)。
- 敷地深部の調査結果も含めた検討の結果、敷地で確認される変質鉱物の生成温度は、約12～13万年前以降の敷地の推定地温分布よりも数十℃以上高く、約12～13万年前以降の敷地の地温分布では、敷地の変質鉱物は、その確認標高で生成しない。

○よって、敷地の変質鉱物(I/S混合層等)は、約12～13万年前以降に生成したものではない。

【約12～13万年前以降の敷地の地温分布と変質鉱物の確認標高・生成温度の関係】

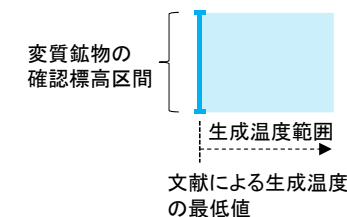


■左図の標高に関する考え方

・敷地には、約12～13万年前以前に形成された中位段丘面及び高位段丘面が分布しており、約12～13万年前以降、地形に大きな変化はない。よって、変質鉱物の地表からの深度は、約12～13万年前以降同程度と考えられることから、変質鉱物の確認標高の標高補正は行っていない。

凡例

●鉱物の確認標高と生成温度 (詳細は、次頁)



●約12～13万年前以降の敷地の推定地温分布

—◆— 約12～13万年前以降の敷地の推定地温分布  
(D-8.6孔温度検層結果, P.71)

5.2.1(1-2) 変質鉱物の後期更新世以降の生成可能性の評価 — 変質鉱物の確認標高・生成温度 —

○敷地において、深部も含めて確認された変質鉱物の確認標高と生成温度について整理した結果を以下に示す(敷地深部の調査結果はP.68~70)。  
○また、変質鉱物の生成温度の根拠とした生成温度に関する文献調査結果の代表例を次頁に示す\*。

※その他の調査結果については、P.108, 109

■敷地で確認された変質鉱物の確認標高及び生成温度

変質鉱物名	確認標高		確認位置 (記載頁)	生成温度(文献) 赤字は最低値	
	平均標高	全確認位置		地下深部での生成温度に関する知見	熱水による生成温度に関する知見
I/S混合層	-28.65m	【41箇所】 +19.91m, +19.72m, +12.66m, +12.63m, +11.82m, +4.80m, +2.84m, -1.97m, -3.26m, -3.75m, -5.83m, -6.17m, -6.36m, -10.61m, -11.12m, -15.76m, -16.45m, -17.05m, -17.60m, -17.90m, -18.88m, -19.45m, -21.66m, -24.19m, -27.25m, -27.48m, -31.45m, -35.91m, -36.01m, -37.95m, -39.83m, -44.66m, -45.82m, -49.50m, -59.02m, -59.10m, -96.84m, -96.99m, -108.04m, -121.91m, -123.37m	P.48, 49	<u>50</u> ~約160°C (吉村,2001) <u>50</u> ~80°C以上 (Meunier et al.,2010) <u>60</u> ~90°C以上 (Velde et al.,1988)	約120~220°C (吉村,2001) 約110~250°C (井上,2003)
オパールCT	-54.98m	【10箇所】 -15.56m, -16.75m, -57.56m, -60.03m, -68.78m, -69.36m, -96.84m, -125.44m*, -168.01m*, -201.20m*	P. 60, 68	<u>50</u> °C付近~約110°C (吉村,2001) <u>44</u> ~約80°C (日本粘土学会編,2009) <u>45</u> °C以上 (太田ほか,2007) <u>50</u> ~ <u>70</u> °C以上 (Bjørlykke,2015)	
フィリップサイト	-116.33m	【4箇所】 -62.11m, -121.91m, -123.22m, -158.08m	P.60		<u>50</u> ~ <u>86</u> °C (飯島,1986)
石英	-645.60m	【7箇所】 -125.44m*, -168.01m*, -201.20m*, -422.50m, -507.10m, -698.80m, -954.00m	P. 68, 69	<u>80</u> °C以上 (吉村,2001)	約80°C以上 (井上,2003)
硬石膏	-866.27m	【3箇所】 -698.80m, -946.00m, -954.00m	P.69		約140°C以上 (井上,2003)

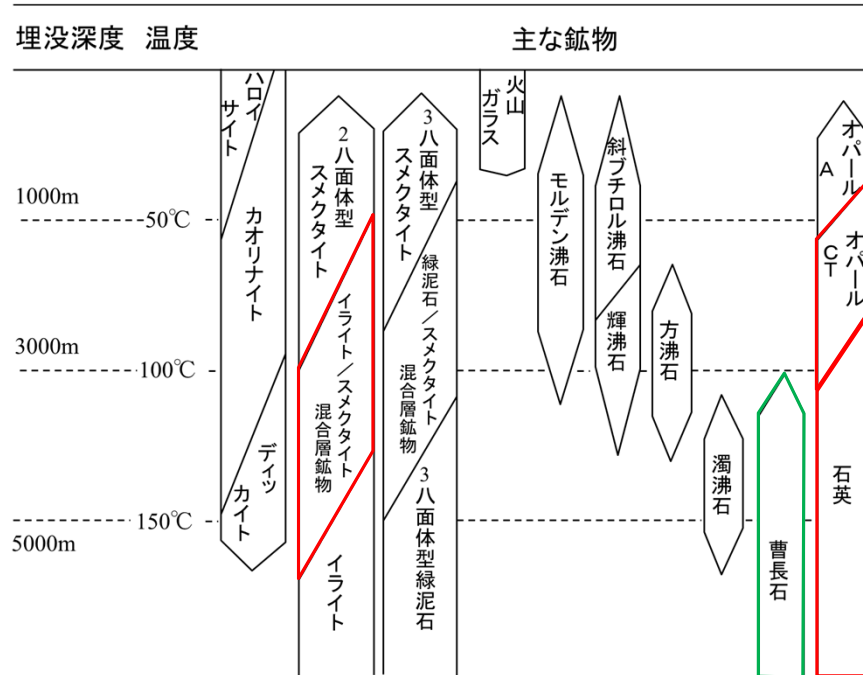
\*オパールCTと石英が確認された位置

生成温度のうち、下線は、文献に数値の記載があるもの、  
それ以外は図からの読取値

## 【変質鉱物の生成温度に関する文献調査】

地下深部での変質鉱物の生成温度に関する知見

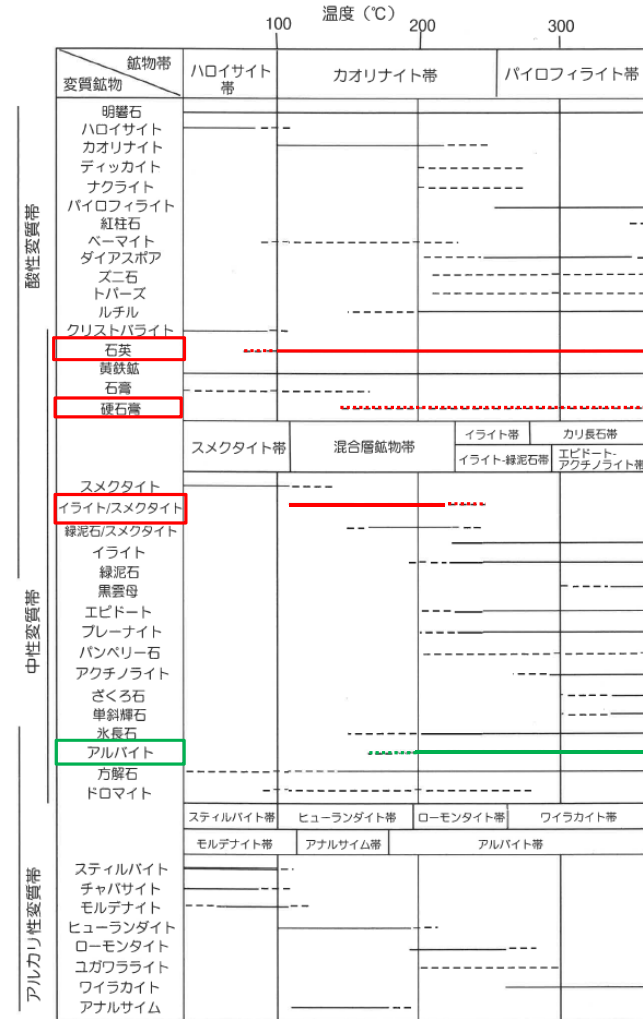
吉村(2001)



埋没深度の増大に伴う続成作用による火山碎屑性堆積物の主要自生鉱物の消長 吉村(2001)に一部加筆

熱水による変質鉱物の生成温度に関する知見

井上(2003)

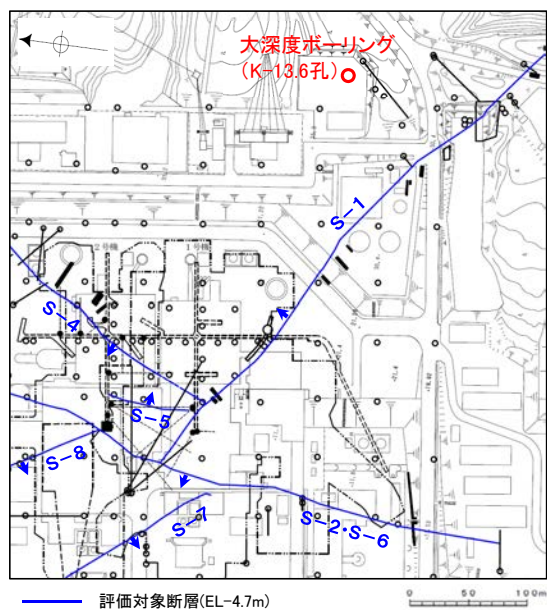




## 【敷地深部で認められる変質鉱物】

- 大深度ボーリング(K-13.6孔)の変質部を対象にXRD分析を実施した結果、主な鉱物として石英及び硬石膏が確認された(次頁)。
- 大深度ボーリングを含むボーリングで確認されたオパールCT及び石英について、深度ごとに回折チャートを整理した結果、標高約-200m以浅ではオパールCTが確認され、標高約-100m以深では石英が認められた(右下図)。

＜オパールCTから石英への深度変化＞

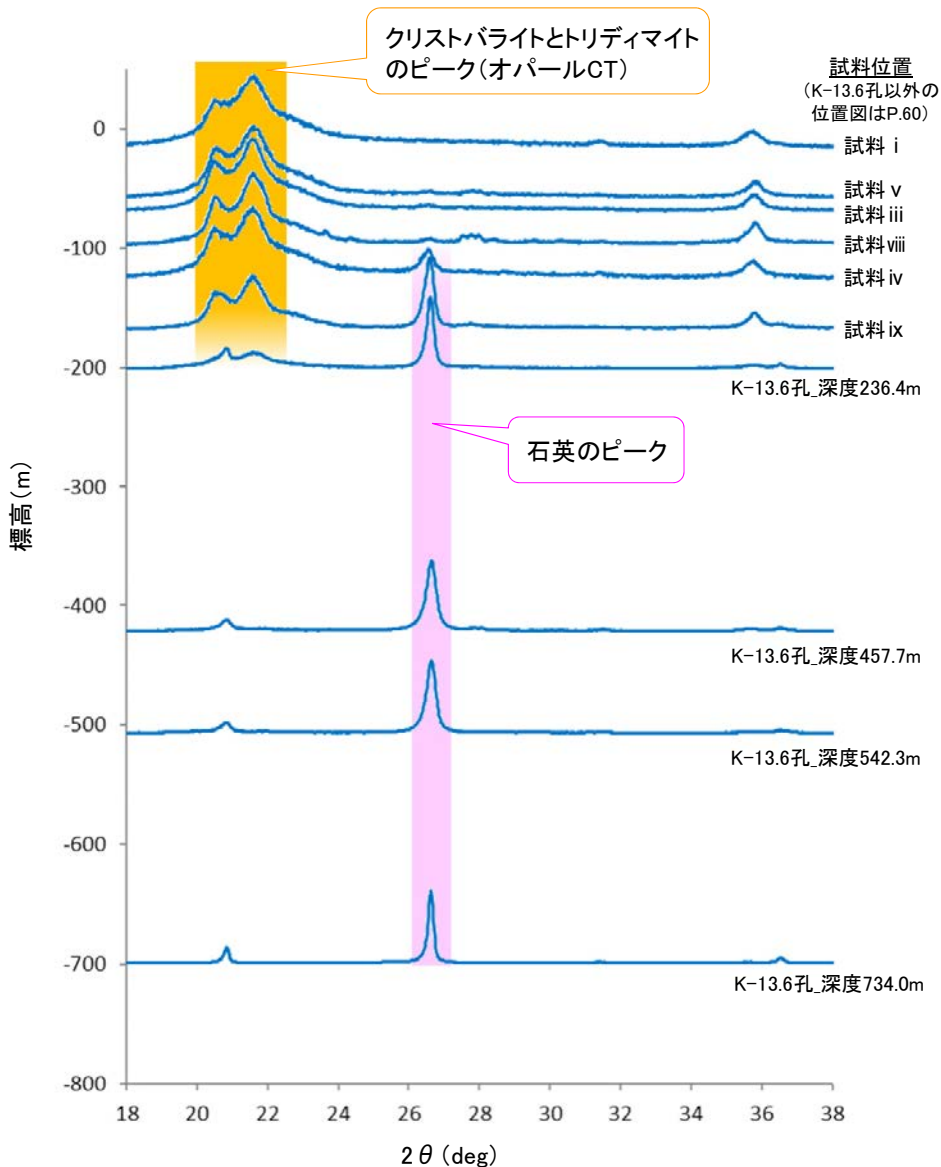


深度236.4m(EL-201.2m)付近



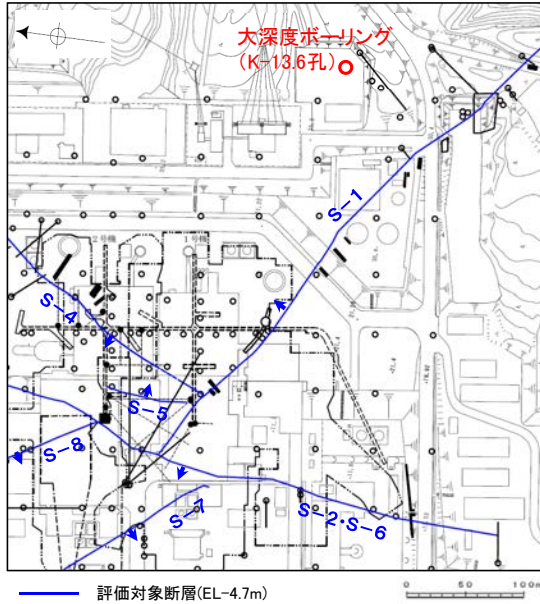
大深度ボーリングの深部で確認される変質鉱物の例

大深度ボーリングでの変質鉱物の試料写真及びX線回折チャートは、[補足資料5.2-2](#)(11)



## 【大深度ボーリングで確認される白色鉱物(石英, 硬石膏)】

(XRD分析結果は次頁)



位置図

深度457.7m(EL-422.5m)付近



分析試料

深度734.0m(EL-698.8m)付近



分析試料

深度981.2m(EL-946.0m)付近



分析試料

深度989.2m(EL-954.0m)付近



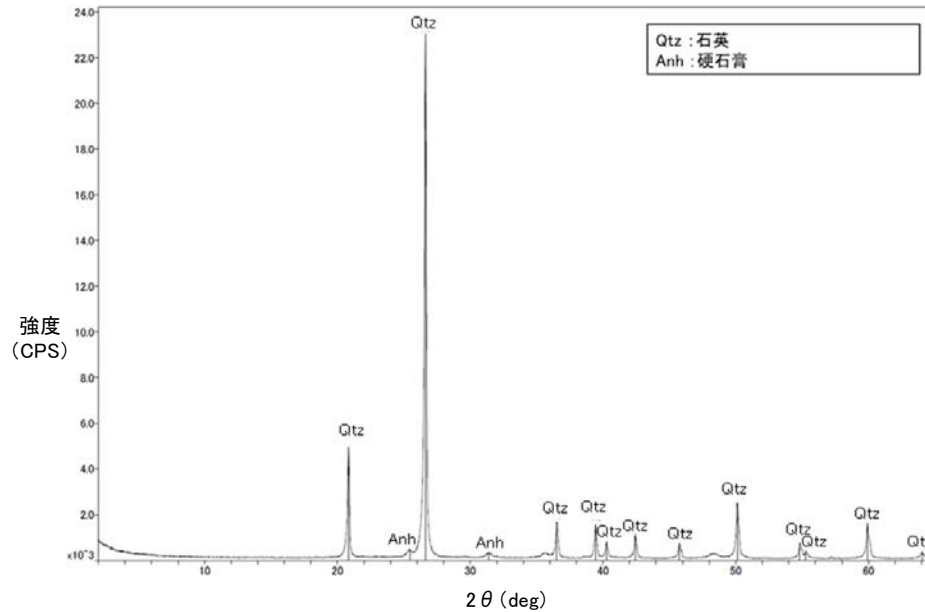
分析試料

その他の白色鉱物の採取位置及び試料写真は、[補足資料5.2-2\(11\)](#)

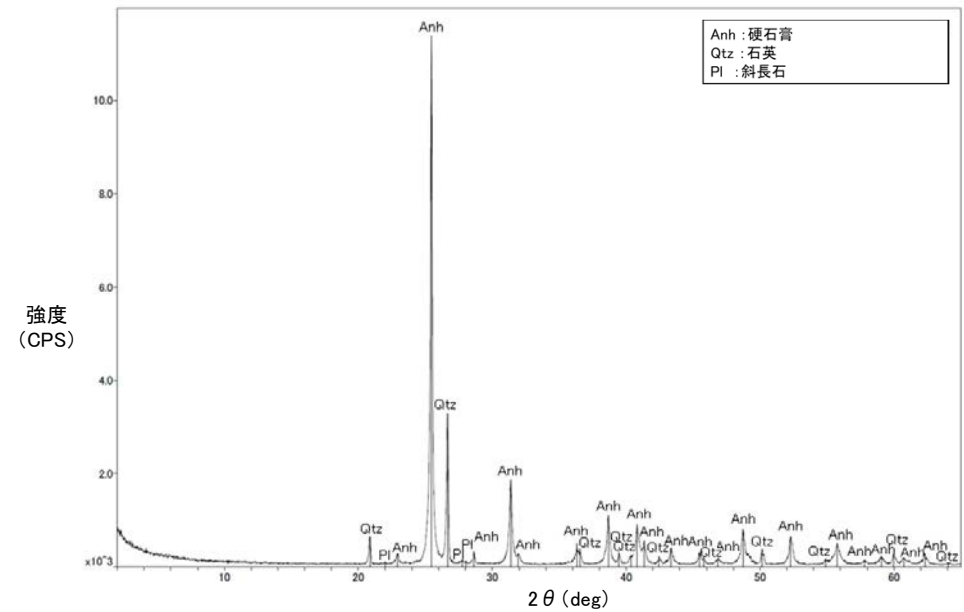
### XRD分析結果

	検出鉱物							
	石英	クリストバライト	トリディマイト	スメクタイト	斜長石	クリノタイロライト	方解石	硬石膏
K-13.6孔_236.4m付近_白色鉱物	◎	△	+	±	±			
K-13.6孔_457.7m付近_白色鉱物	◎	+		±	+	±		
K-13.6孔_542.3m付近_白色鉱物	◎	±		±			±	
K-13.6孔_734.0m付近_白色鉱物	◎	±		±				+
K-13.6孔_981.2m付近_白色鉱物	±							◎
K-13.6孔_989.2m付近_白色鉱物	○				±			◎

◎: 多量 (>5,000cps)  
○: 中量 (2,500~5,000cps)  
△: 少量 (500~2,500cps)  
+: 微量 (250~500cps)  
±: きわめて微量 (<250cps)  
標準石英最強回折線強度  
(3回繰り返し測定, 平均53.376cps)



X線回折チャート(不定方位) 深度734.0m付近\_白色鉱物



X線回折チャート(不定方位) 深度989.2m付近\_白色鉱物

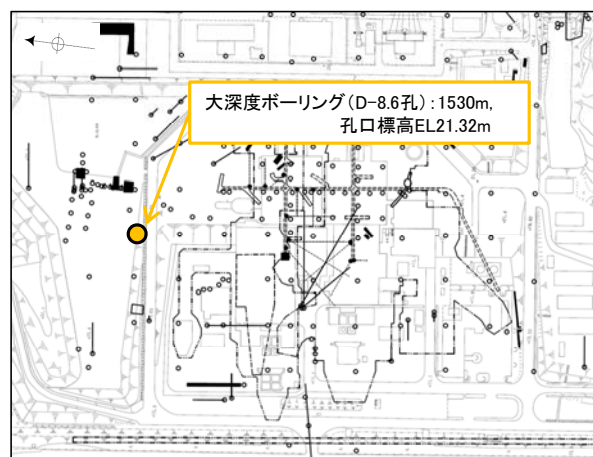
その他の白色鉱物のX線回折チャートは、[補足資料5.2-2\(11\)](#)



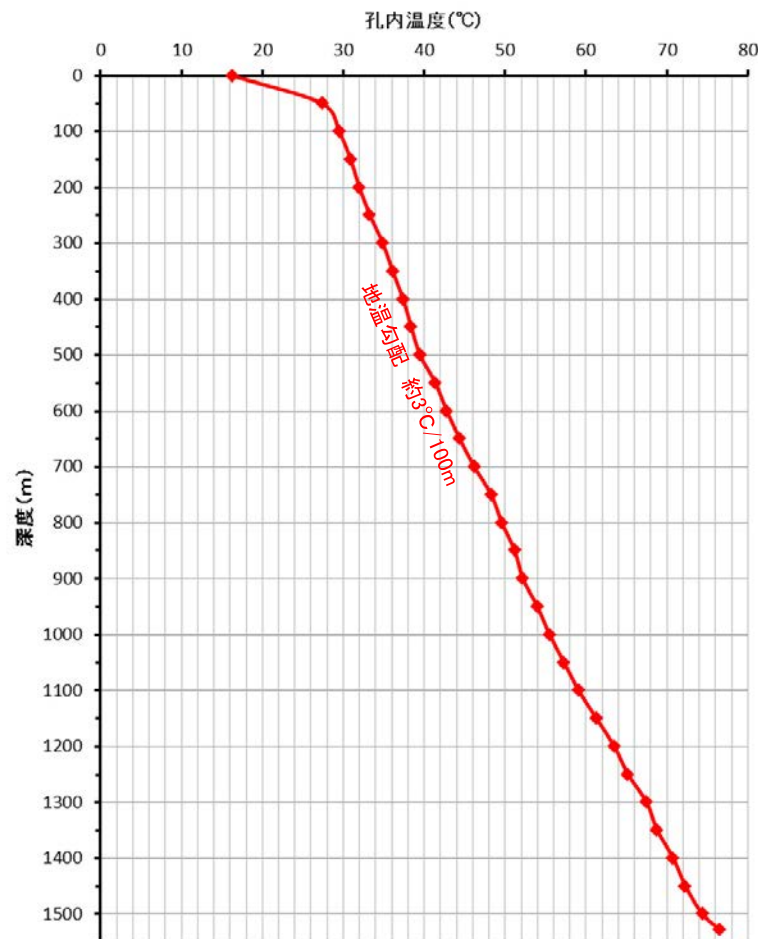
## 5.2.1(1-2) 変質鉱物の後期更新世以降の生成可能性の評価 — 約12~13万年前以降の敷地の地温分布 —

- 温度検層及び文献調査により、約12~13万年前以降の敷地の地温分布を推定した。
- 敷地の地温分布に関して、大深度ボーリング(D-8.6孔)による温度検層を実施した結果、敷地の地温勾配は約3°C/100mで一定であった(下図)。これは、吉村(2001)で示される一般的な地温勾配(3°C/100m)とほぼ同じで、大山(2014)で示される非火山地域(地温勾配 2~3°C/100m)に相当する。
- 敷地周辺の地温分布に関して、藤・板倉(1994)や産業技術総合研究所(2005)によると、敷地から約17km離れている和倉には泉温91.4°Cの温泉が示されているものの、敷地付近では、泉温50°Cを超える高温の温泉は示されていない(次頁)。また、藤・板倉(1994)で比較的温度が高く、敷地に近い①、⑨地点について、温泉所有者が実施したボーリング掘削時の地温データを確認した結果、いずれも敷地の地温勾配と同程度である(次々頁)。
- さらに、能登半島の火成活動に関する文献調査を実施した結果、能登半島に第四紀火山は認められないことから、約12~13万年前以降、敷地には火成活動の影響が及んでおらず、敷地の地温分布も一定であったと判断した(P.74)。
- 以上より、敷地及び敷地周辺は、地熱地帯ではなく、約12~13万年前以降の敷地の地温分布は、現在の敷地の地温分布と同程度であると評価した。

### 【敷地の地温分布】

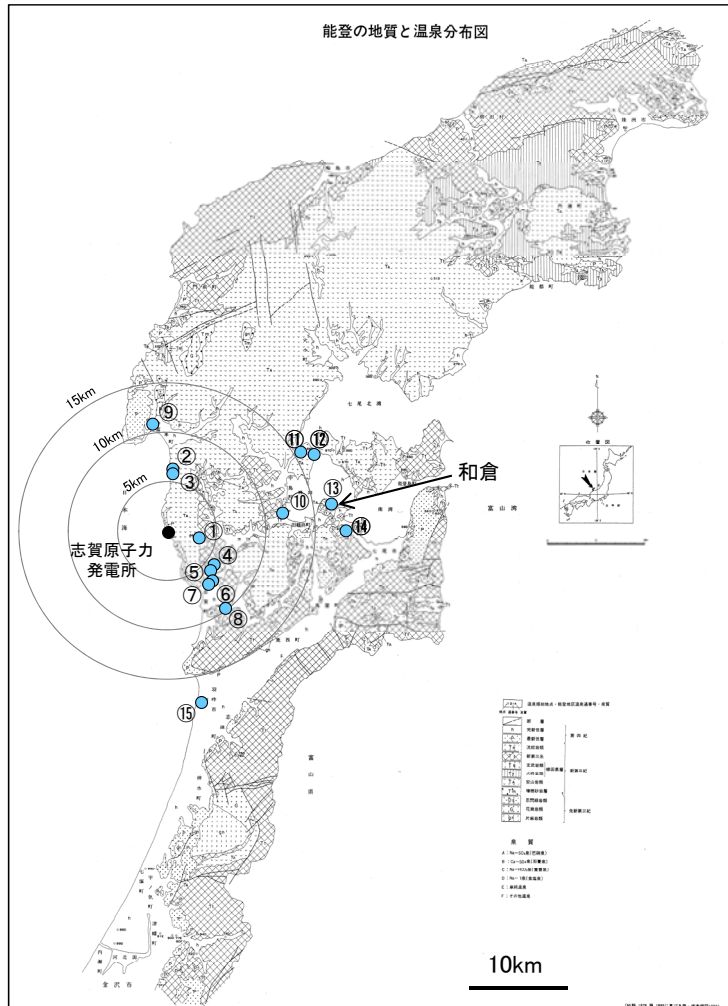


温度検層 位置図



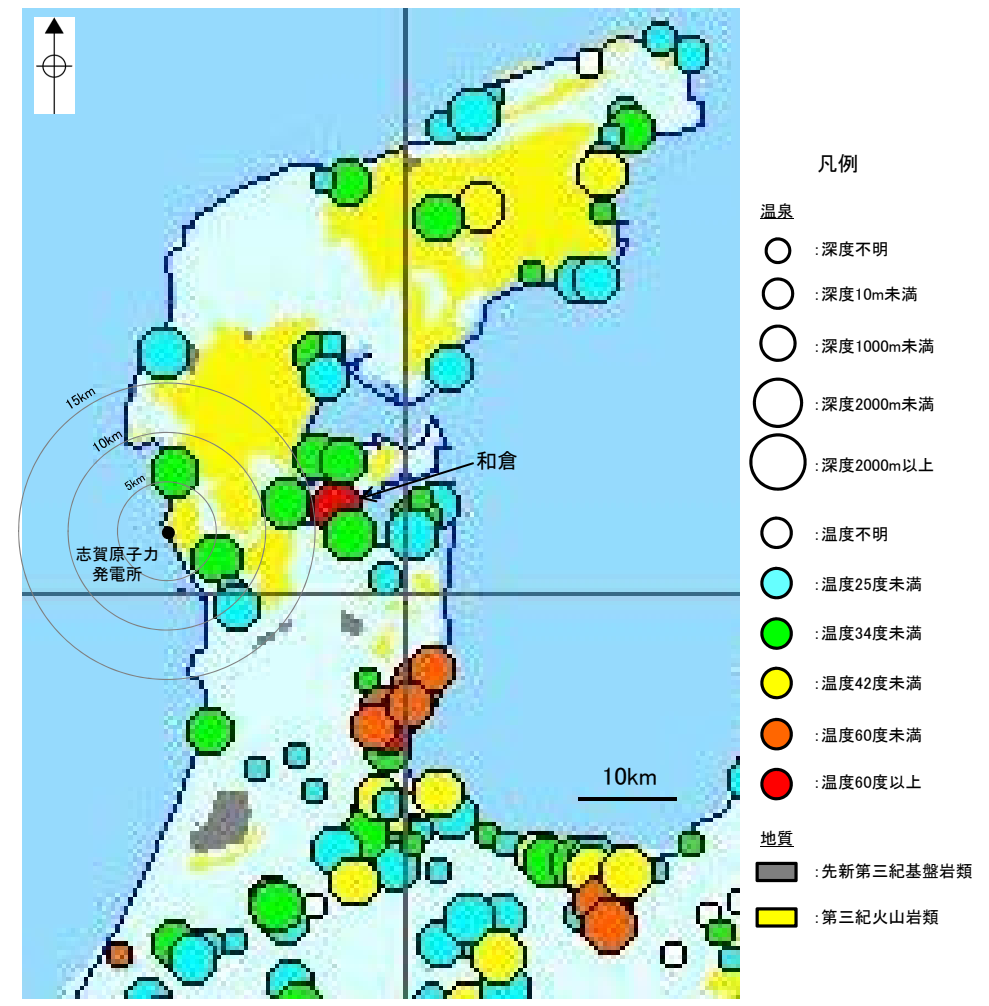
温度検層結果 大深度ボーリング(D-8.6孔)

## 【文献調査(敷地周辺の地温分布)】



地点名	深度	泉温※1
①	-	36.7°C
②	200m	20.3°C
③	400m	28.0°C
④	185m	22.1°C
⑤	1000m	29.4°C
⑥	1000m	32.0°C
⑦	1200m	32.9°C
⑧	160m	22.5°C
⑨	800m※2	42.7°C
⑩	300m	29.0°C
⑪	500m	28.5°C
⑫	600m	31.0°C
⑬	-	91.4°C
	-	31.0°C
	150m	58.4°C
	150m	85.0°C
⑭	-	88.9°C
	100m	27.7°C
⑮	300m	28.0°C

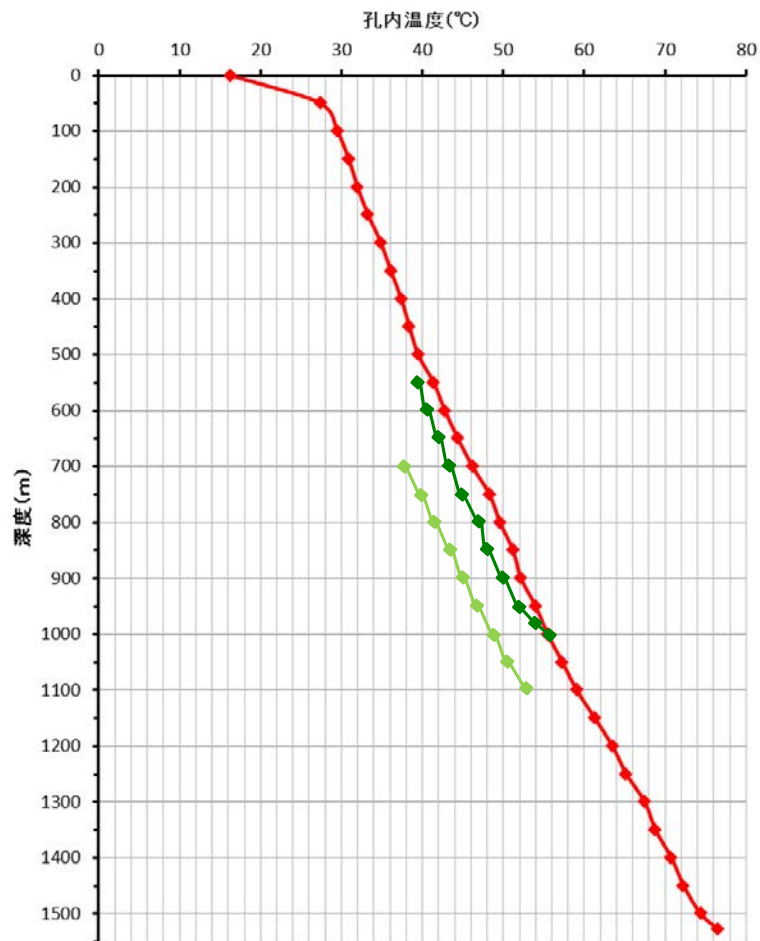
※1 湧出口での温泉水の温度  
 ※2 温泉所有者へ地温データを  
 確認した結果、深度1101mま  
 で掘削していることを確認。



敷地周辺の主要温泉分布図 藤・板倉(1994)に一部加筆

能登半島の温泉分布図 産業技術総合研究所(2005)に一部加筆

敷地周辺の地温分布(敷地と①地点, ⑨地点の地温勾配の対比)



温度検層結果(温泉所有者のデータに基づく)

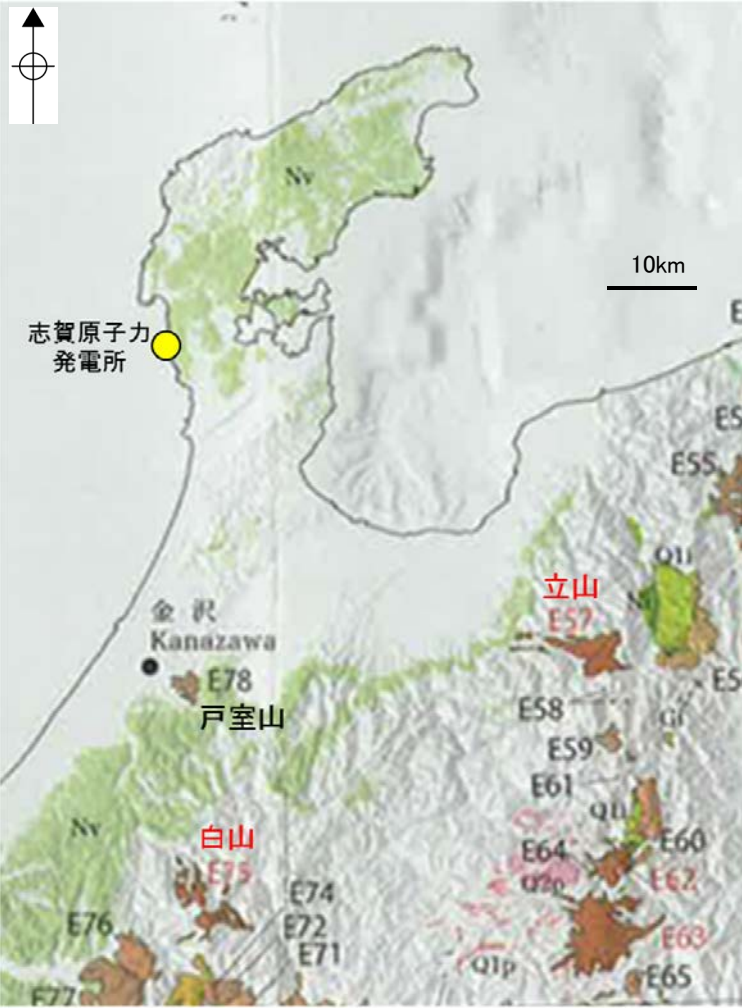
地点名	深度		温度
	掘削長	温度検層範囲	
①	1003m	550m~1003m	39.5°C~56.1°C
⑨	1101m	700m~1101m	37.9°C~52.9°C

凡例	
■	: 敷地 (D-8.6孔)
■	: ①地点
■	: ⑨地点

温度検層結果

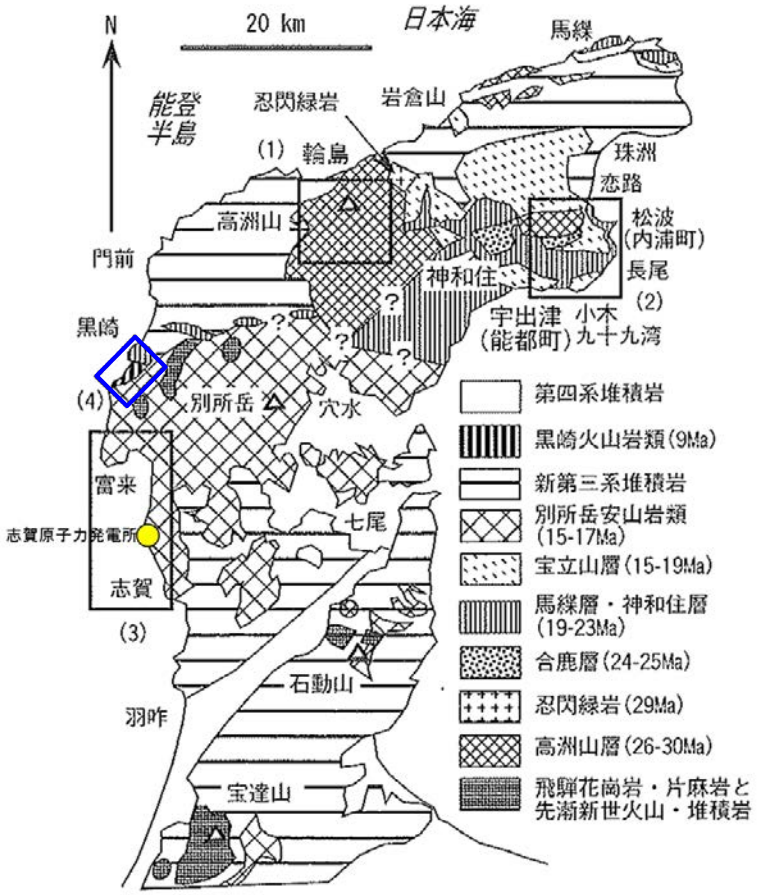


【文献調査(能登半島の火成活動)】



能登半島における第四紀火山分布図  
(産業技術総合研究所(2013)に一部加筆)

産業技術総合研究所(2013, 上図)には、能登半島に第四紀火山は図示されていない。



能登半島の火山岩類の地質概略図  
(日本地質学会(2006)に一部加筆)

日本地質学会(2006)によると、能登半島で最後に火成活動が認められたのは黒崎火山岩類形成時の9Maである(上図□)。

## 5.2.1(1-3) 変質鉱物の生成環境の検討及び生成年代の推定 一概要一

○変質鉱物の後期更新世以降の生成可能性の評価(5.2.1(1-2))において、敷地の変質鉱物が、少なくとも後期更新世以降に生成したものではないと評価したことを踏まえ、敷地の変質鉱物が生成し得る環境を検討し、生成年代を推定した。

### 【生成環境に関する分析結果及び考察】

○高温環境下での変質の有無を確認するために、敷地の斜長石の曹長石化の検討(EPMA分析)を行った結果、いずれの斜長石にも曹長石化が認められなかった。よって、敷地は斜長石が曹長石化するような高温の熱水の影響を受けていないと考えられる(P.77)。なお、敷地内で認められるI/S混合層や石英等の変質鉱物は、曹長石化する温度よりも低い温度でも生成することから(P.67)、曹長石化が認められない程度の温度環境下であっても、敷地の変質鉱物は生成し得る。

○変質の広がりを確認するために、敷地周辺の変質に関する調査を行った結果、敷地周辺で認められた粘土鉱物は敷地と同程度のイライト混合率をもつI/S混合層であると判定した(P.81)。敷地で確認される変質鉱物(I/S混合層)が、敷地内に限って分布するものではなく、敷地周辺の穴水累層中にも広く分布することから、敷地周辺一帯は同じような環境下で変質を被ったと判断した。

○S-1の粘土状破碎部(I/S混合層からなる変質部)全体を横断している碎屑物(碎屑岩脈)の薄片観察によると、未固結な状態で高い圧力を受けて貫入したことが示唆されること等から、碎屑岩脈は、地下深部の高封圧下で形成したと判断した(P.110)。

### 【生成環境の検討】

○敷地の変質鉱物が生成するには、その確認標高の地温よりも高温である必要があることから、①現在と同程度の地温分布で、より高温の地下深部において生成し、現在の確認標高まで隆起したか、もしくは②敷地の地温分布が現在よりも高温となる環境下で生成したと考えられる。つまり、生成環境は、「①地下深部(地温勾配相当の高温)での生成」もしくは「②熱水(地温勾配以上の高温)による生成」である。分析結果を踏まえ、生成環境を検討した。

#### <①地下深部で生成した場合>

・I/S混合層が敷地周辺の穴水累層中にも広く認められること及び粘土状破碎部(I/S混合層からなる変質部)全体を横断している碎屑岩脈が地下深部の高封圧下で形成したと考えられることを踏まえ、敷地の変質鉱物は、地下深部で敷地周辺一帯が変質し、その後、敷地周辺一帯が隆起して現在の位置で確認されているものと判断した。

#### <②熱水により生成した場合>

・敷地のいずれの斜長石にも曹長石化が認められないことから、敷地は、少なくとも斜長石が曹長石化するような高温の熱水の影響を受けていないと考えられる。  
・よって、敷地の変質鉱物は、「①地下深部での生成」の可能性が高いと判断した。一方で、斜長石が曹長石化しない程度の熱水の影響を受けて生成した可能性は否定できない。

### 【生成年代の推定】

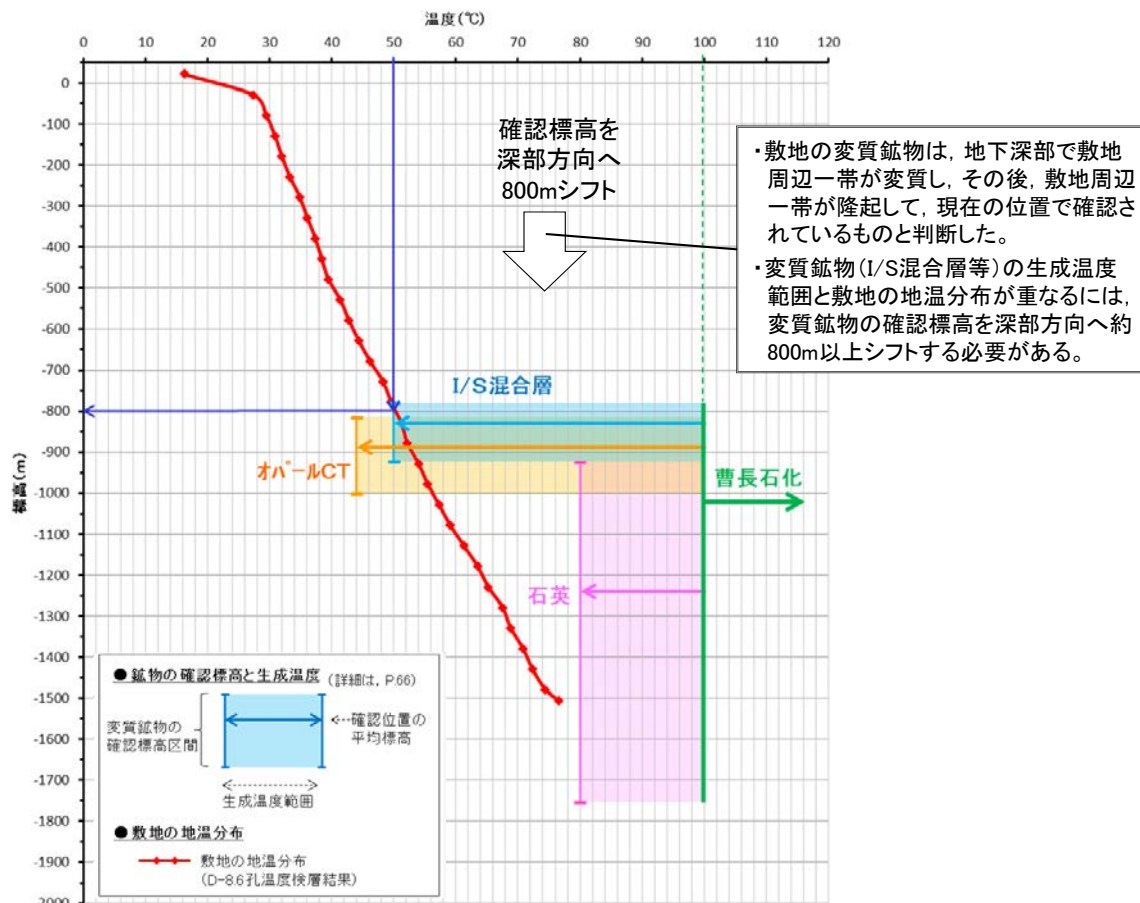
○変質鉱物の生成環境の検討結果を踏まえ、それぞれの生成環境における生成年代の推定を行った(次頁)。

○地下深部での生成年代は、隆起速度を用いて推定した。変質鉱物の生成温度は約50°C以上であることから(P.67)、敷地の地温分布を用いると、地温が50°C以上となる深度800m以深で生成し、地表付近まで隆起したこととなる。隆起速度をMIS5e以降の速度(0.13m/千年)と仮定し、生成年代を約6Ma以前と推定した。

○なお、曹長石化しない程度の熱水により生成した場合の生成年代は、能登半島で最後に火成活動が認められた9Ma以前と推定した。

○以上より、敷地の変質鉱物(I/S混合層等)は、地下深部で生成した可能性が高いと判断し、地下深部での生成年代は、地殻の隆起速度を一定と仮定すると、約6Ma以前と推定した。なお、曹長石化しない程度の熱水の影響を受けて変質鉱物が生成した可能性は否定できず、その場合の生成年代は、能登半島で最後に火成活動が認められた9Ma以前と推定した。

【①地下深部で生成した場合の推定生成年代】



・敷地の変質鉱物は、地下深部で敷地周辺一帯が変質し、その後、敷地周辺一帯が隆起して、現在の位置で確認されているものと判断した。

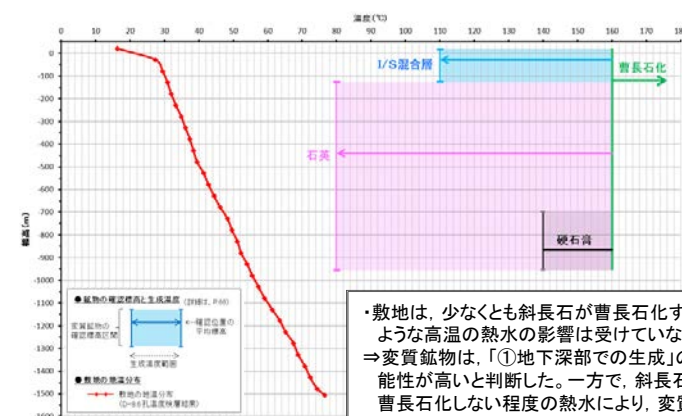
・変質鉱物(I/S混合層等)の生成温度範囲と敷地の地温分布が重なるには、変質鉱物の確認標高を深部方向へ約800m以上シフトする必要がある。

**生成年代の推定方法**  
生成温度50°C以上 ⇒ 生成深度800m以深  
標高差800m ÷ 隆起速度0.13m/千年<sup>\*</sup> ≒ 600万年

※MIS5e以降の隆起速度(根拠の詳細は、[補足資料5.3-1](#)(6)P.5.3-1-134,135)

変質鉱物の生成温度及び曹長石化の温度は、地下深部での生成温度に関する知見(吉村,2001)による(詳細はP.67)

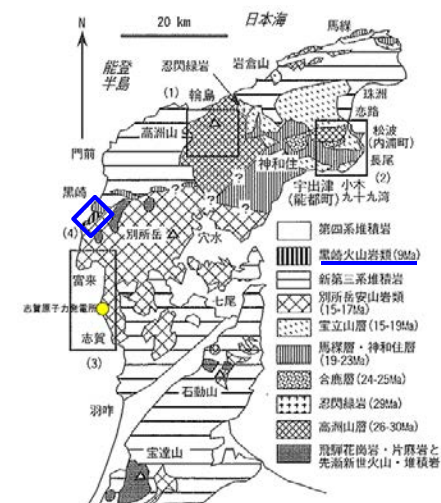
【②熱水により生成した場合の推定生成年代】



・敷地は、少なくとも斜長石が曹長石化するような高温の熱水の影響は受けていない。

⇒変質鉱物は、「①地下深部での生成」の可能性が高いと判断した。一方で、斜長石が曹長石化しない程度の熱水により、変質鉱物が生成した可能性は否定できない。

変質鉱物の生成温度及び曹長石化の温度は、熱水による生成温度に関する知見(井上,2003)による(詳細はP.67)



能登半島の火山岩類の地質概略図  
(日本地質学会(2006)に一部加筆)

能登半島で最後に火成活動が認められたのは黒崎火山岩類形成時の9Maである(上図□)

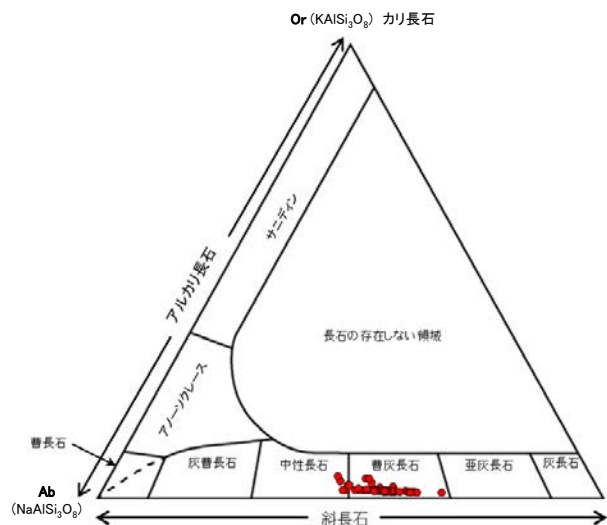


### 5.2.1(1-3) 変質鉱物の生成環境の検討及び生成年代の推定 —斜長石の曹長石化検討—

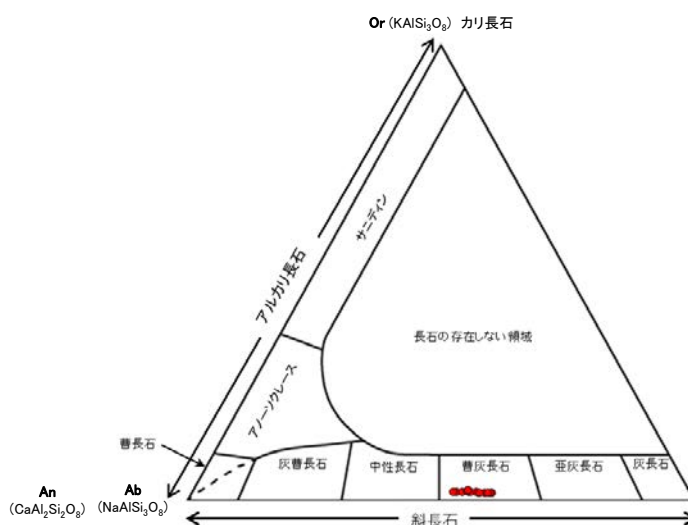
○EPMA分析により、敷地のEL12.66m～EL-945.90mまでの間の斜長石を対象として、曹長石化の検討を行った結果、いずれの斜長石も概ね曹灰長石～亜灰長石を示し、曹長石化は認められない。  
○よって、敷地は、少なくとも斜長石が曹長石化するような高温の熱水の影響を受けていないと考えられる※。

※敷地内で認められるI/S混合層や石英等の変質鉱物は、曹長石化する温度よりも低い温度でも生成することから(P.67)、曹長石化が認められない程度の温度環境下であっても、敷地の変質鉱物は生成し得る。

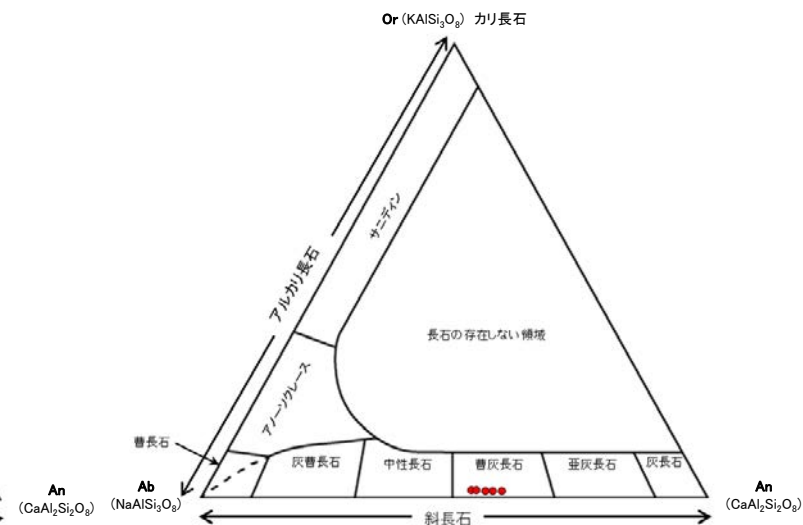
固結した破碎部中(E-8.5-2孔, EL12.66m)



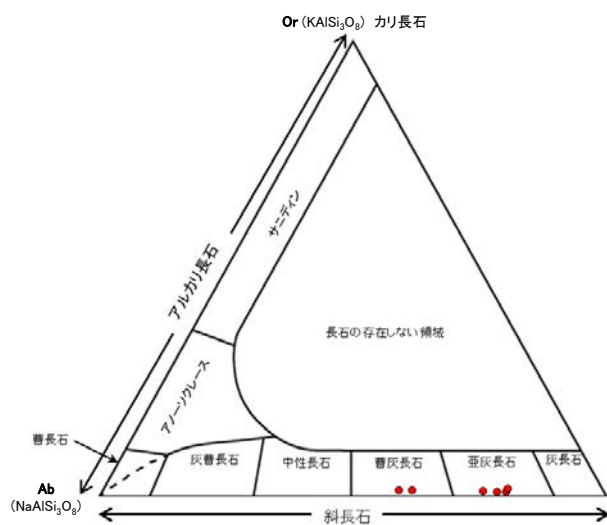
粘土状破碎部中(E-8.5-2孔, EL12.66m)



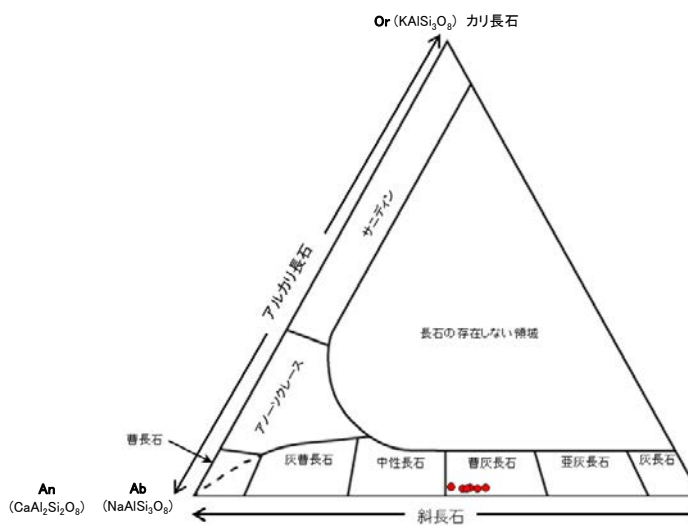
破碎部近傍の安山岩中(L-6'孔, EL-11.97m)



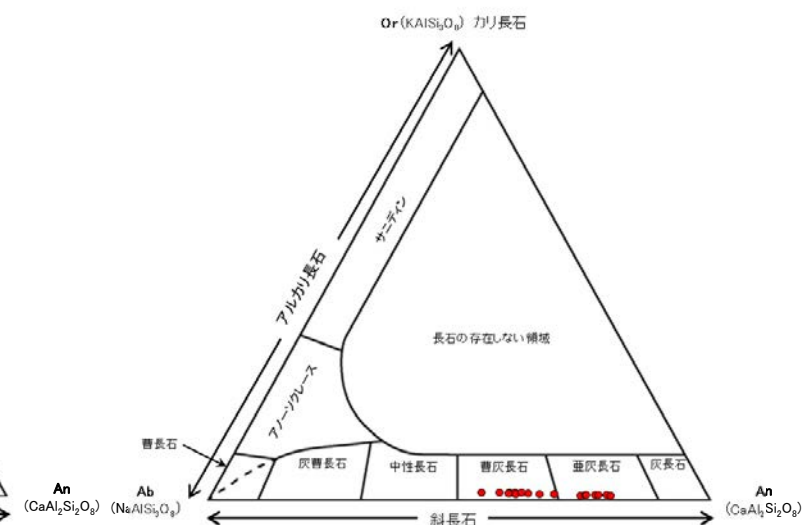
白色変質部付近(K-13.6孔, EL-422.50m)



白色変質部付近(K-13.6孔, EL-507.10m)



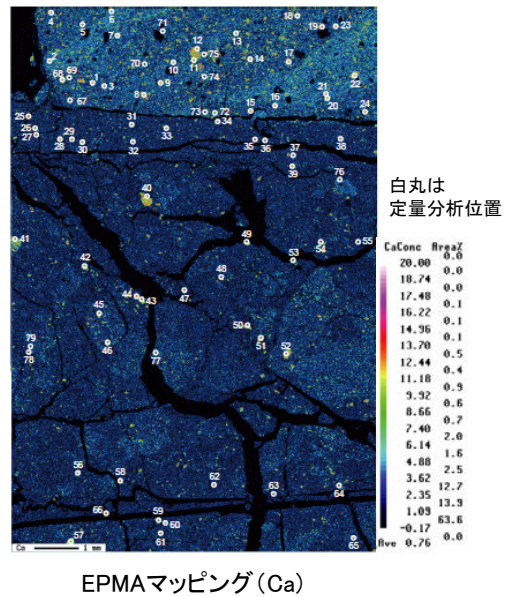
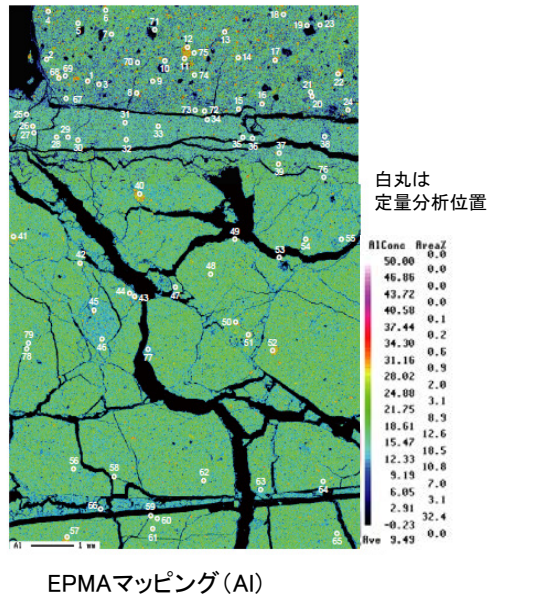
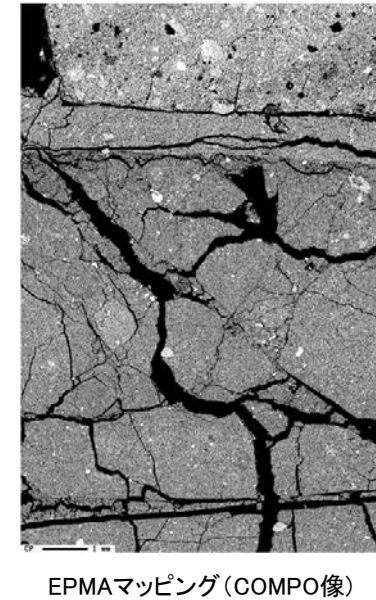
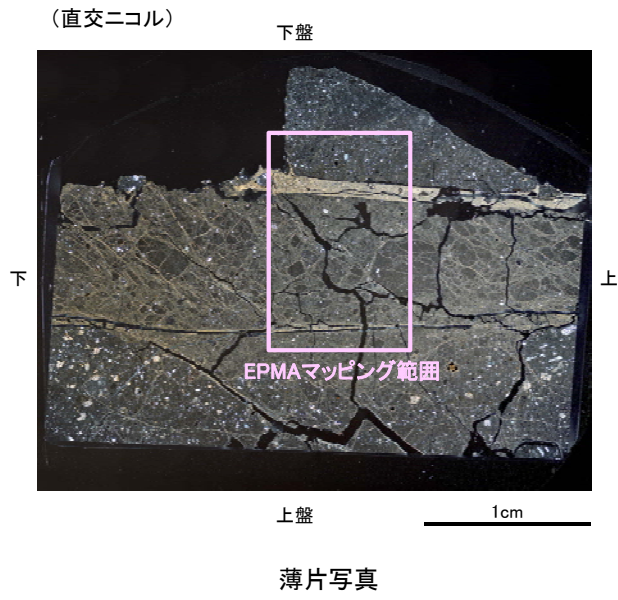
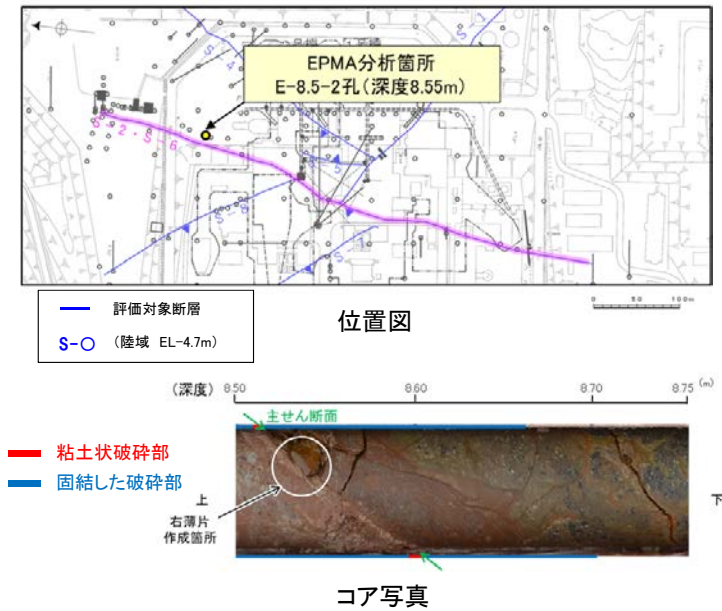
白色変質部付近(K-13.6孔, EL-945.90m)



上図は、黒田・諏訪(1983)を基に作成した。各分析試料の詳細はP.78～80

破砕部中(EL12.66m)の斜長石

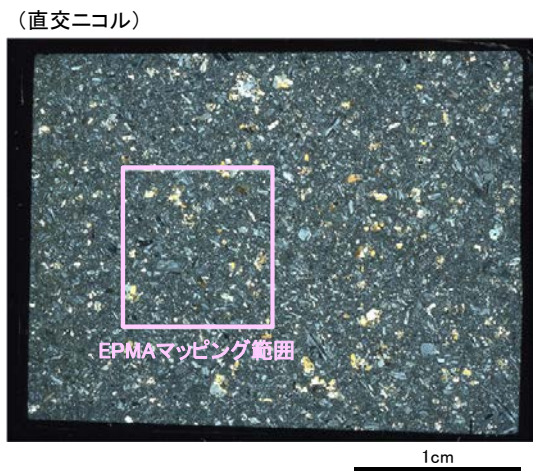
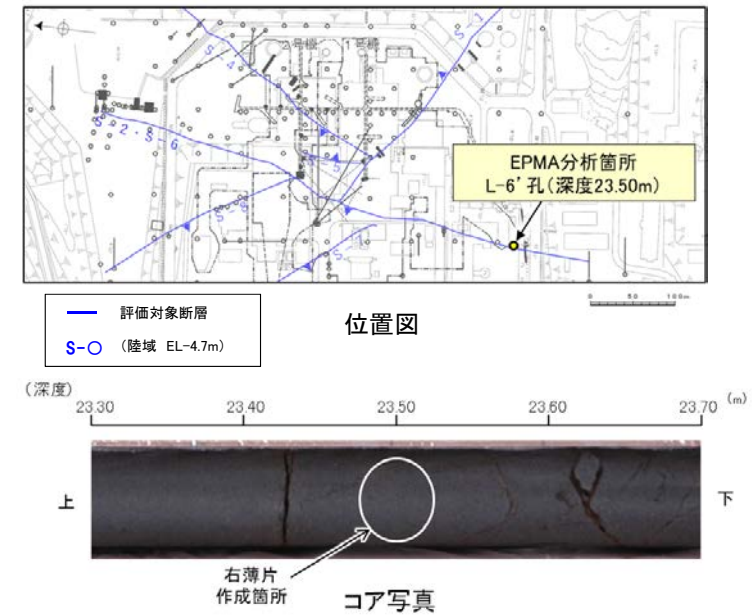
○E-8.5-2孔の深度8.55m付近(EL12.66m付近)で認められるS-2・S-6の破砕部に含まれる斜長石を対象としてEPMA分析を実施した。  
○EPMA分析(定量)の分析点は、固結した破砕部に含まれる斜長石粒子から65点、粘土状破砕部に含まれる斜長石粒子から14点を選定した。



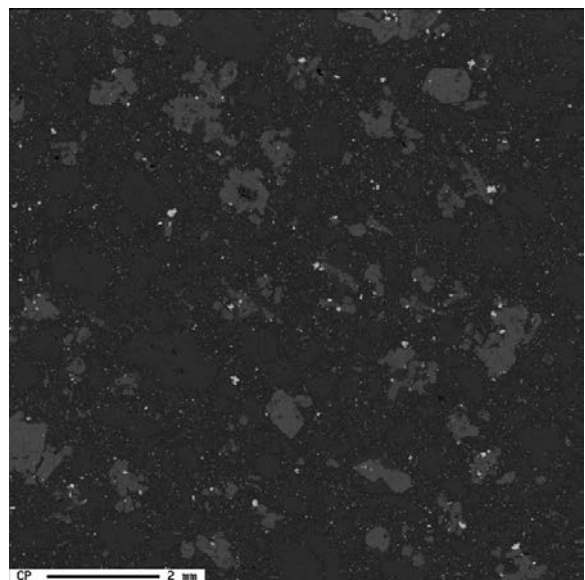


破砕部近傍の安山岩(EL-11.97m)の斜長石

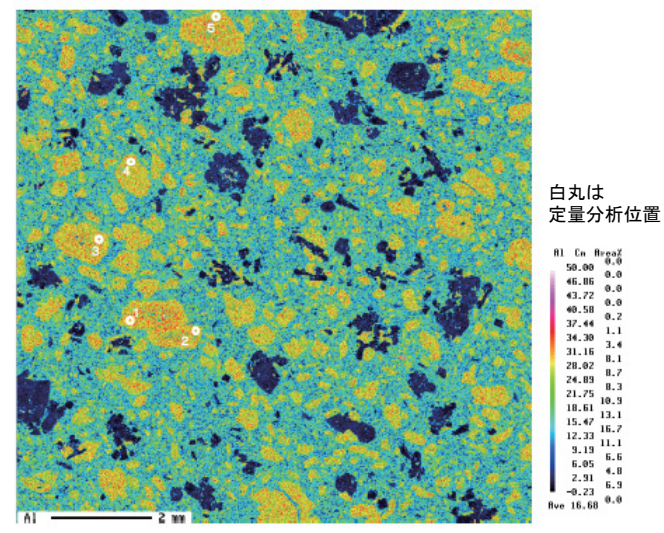
OL-6' 孔で認められるS-2・S-6(深度13.82m)の破砕部近傍の深度23.50m(EL-11.97m)の安山岩中に含まれる斜長石を対象としてEPMA分析を実施した。  
OEPMA分析(定量)の分析点は、安山岩に含まれる斜長石粒子から5点を選定した。



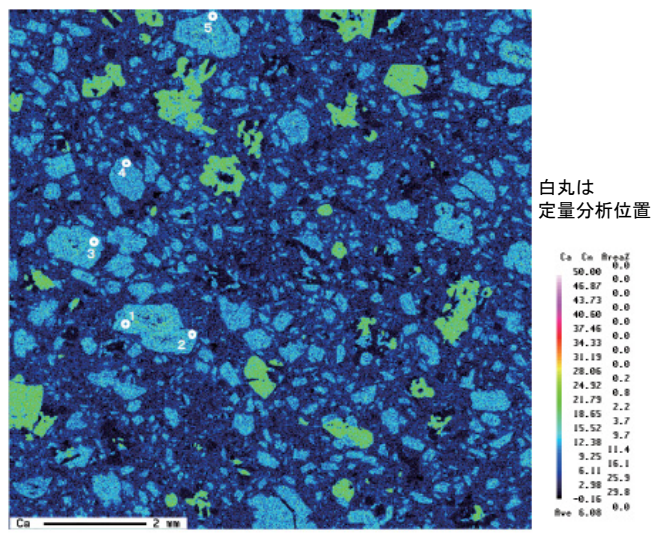
薄片写真



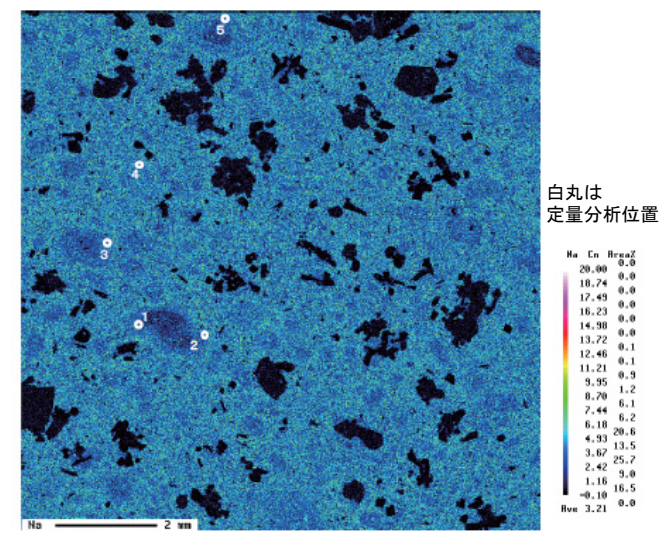
EPMAマッピング (COMPO像)



EPMAマッピング (Al)



EPMAマッピング (Ca)



EPMAマッピング (Na)



白色変質部付近(EL-422.5m, EL-507.1m, EL-945.9m)の斜長石

○大深度ボーリング(K-13.6孔)の深部では、白色変質部が認められ、XRD分析の結果、石英や硬石膏が主に確認される。これらの白色変質部は敷地において比較的変質の強い箇所と考えられることから、変質部付近(EL-422.5m, EL-507.1m, EL-945.9m付近)の安山岩中に含まれる斜長石を対象としてEPMA分析を実施した。  
○EPMA分析(定量)の分析点は、安山岩に含まれる斜長石粒子から各薄片5点以上を選定した。

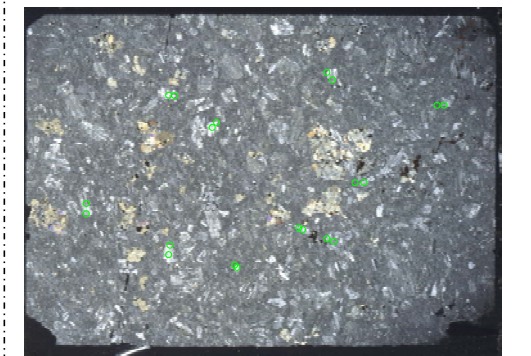
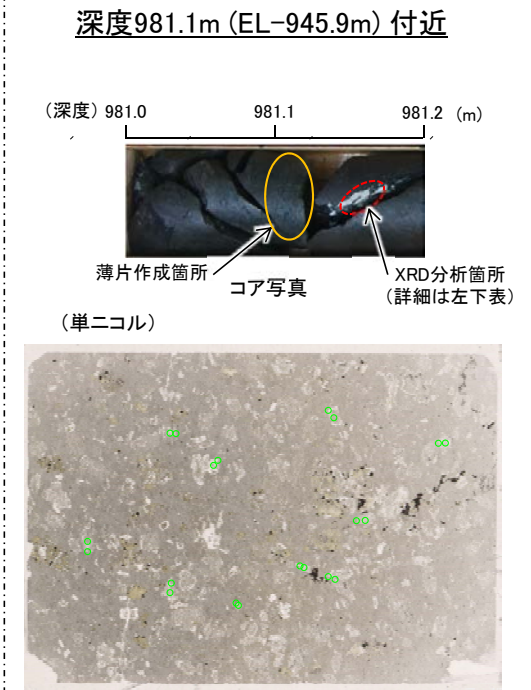
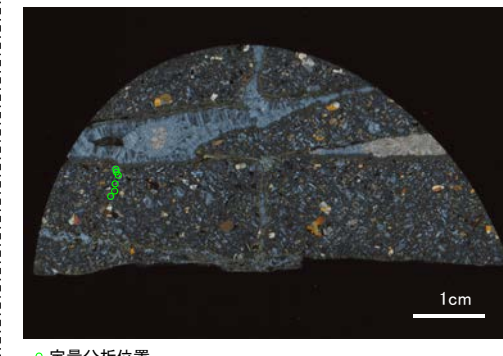
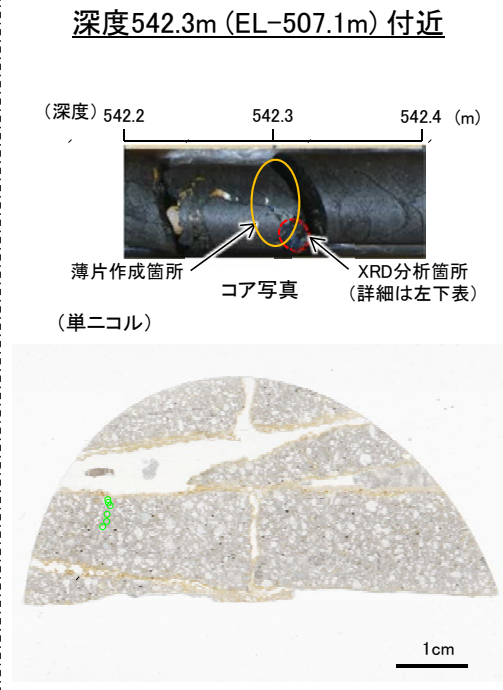
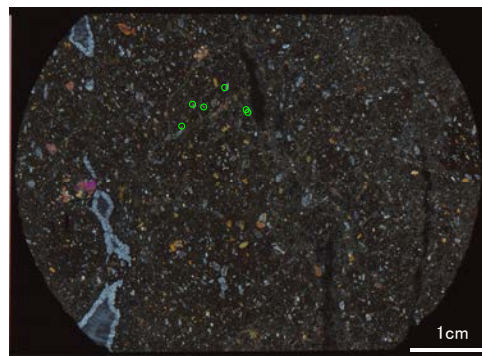
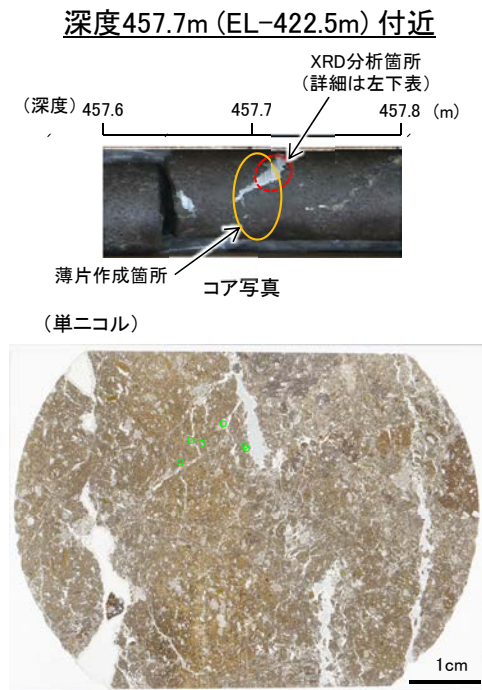


XRD分析結果

	検出鉱物						
	石英	クリストバライト	スメクタイト	斜長石	クリノタイロライト	方解石	硬石膏
K-13.6孔_457.7m付近 白色鉱物	◎	+	±	+	±		
K-13.6孔_542.3m付近 白色鉱物	◎	±	±				±
K-13.6孔_981.1m付近 白色鉱物	±						◎

◎: 多量 (>5,000cps)  
+: 微量 (250~500cps)  
±: ぎわめて微量 (<250cps)  
標準石英最強回折線強度  
(3回繰り返し測定, 平均53,376cps)

X線回折チャートは、補足資料5.2-2(11)



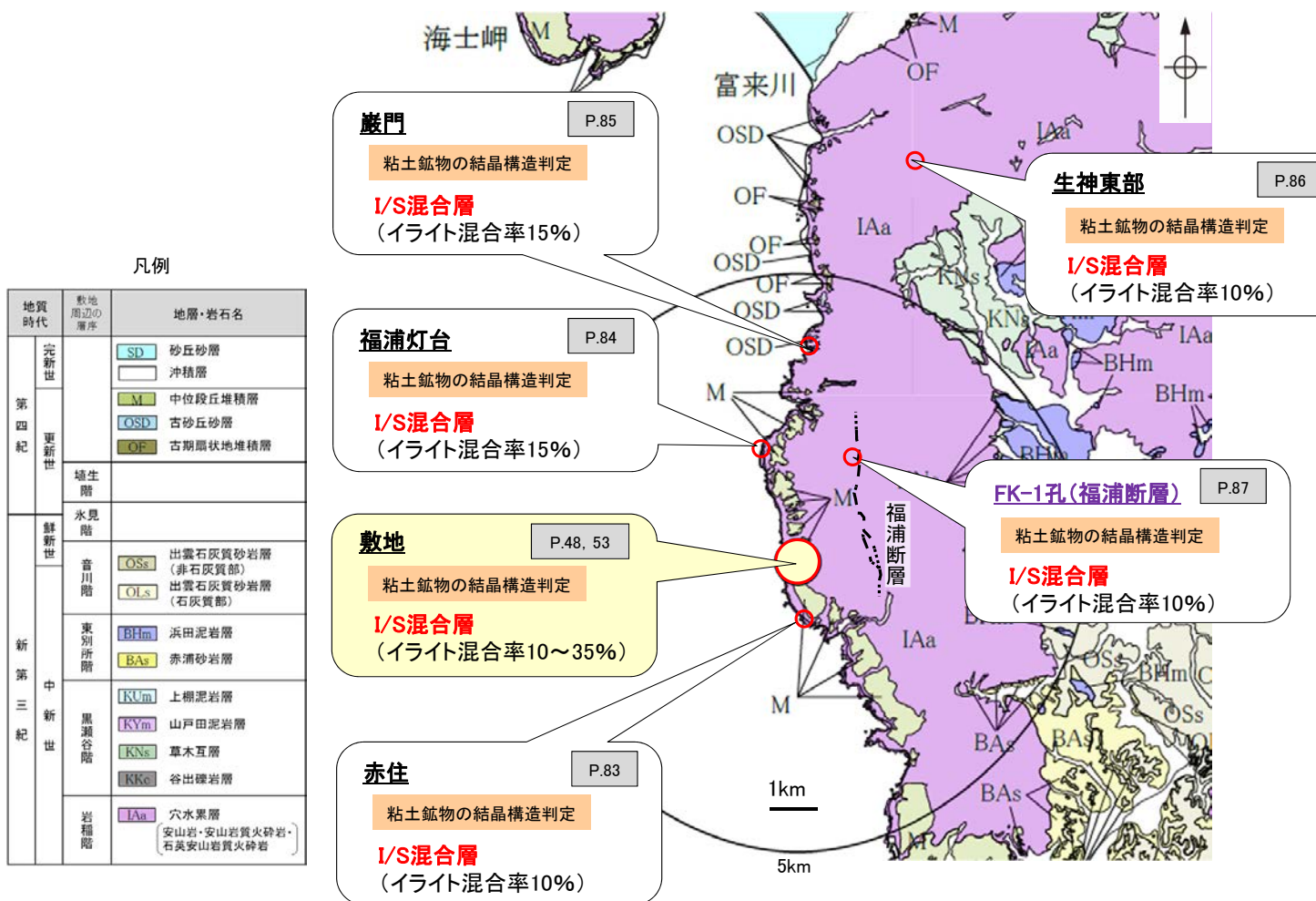
5.2.1(1-3) 変質鉱物の生成環境の検討及び生成年代の推定 — 敷地周辺の変質に関する調査 —

○敷地周辺の赤住、福浦灯台、巖門、生神東部及びFK-1孔(福浦断層)で認められる粘土鉱物を対象として、粘土鉱物のXRD分析による結晶構造判定を行った結果、これらの敷地周辺で確認される粘土鉱物は、敷地と同程度のイライト混合率をもつI/S混合層であると判定した(次頁)。  
○よって、敷地で確認される変質鉱物(I/S混合層)が、敷地内に限って分布するものではなく、敷地周辺の穴水累層中にも広く分布することから、敷地周辺一帯は同じような環境下で変質を被ったと判断した。

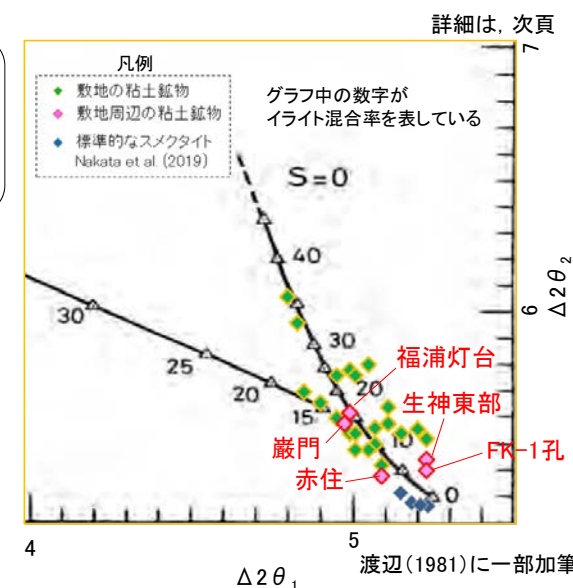
紫字: 第935回審査会合以降の追加分析箇所

※局所的な変質状況に関する調査結果は、補足資料5.2-2(10)

＜敷地周辺の穴水累層で確認される変質鉱物※＞



＜粘土鉱物の結晶構造判定結果＞



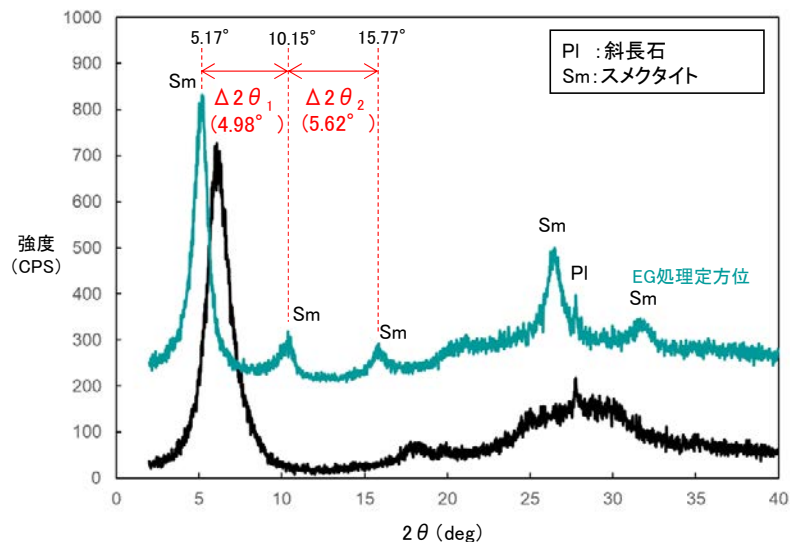


# 【粘土鉱物の結晶構造判定】

紫字: 第935回審査会合以降の追加分析箇所

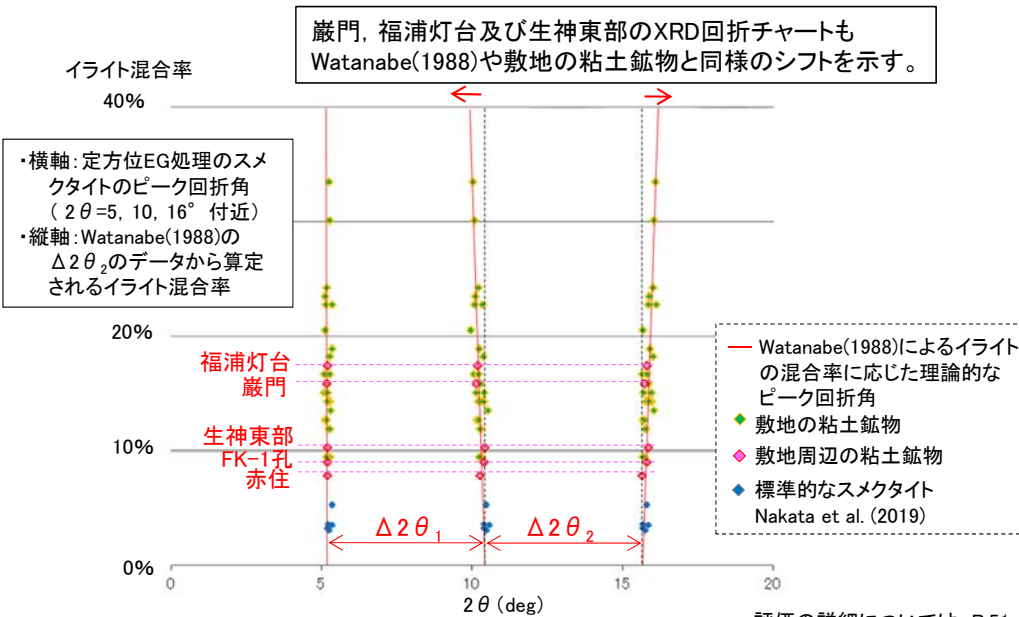
○赤住, 福浦灯台, 巖門, 生神東部及びFK-1孔(福浦断層)で確認された粘土鉱物※のX線回折チャートを用いて粘土鉱物の構造判定を行った。これらの回折チャートでは, Watanabe(1988)の理論と同様なシフトが認められ, 渡辺(1986, 1981)のI/S混合層構造判定図によるとイライト混合率10~15%程度となることから, これらの粘土鉱物は, 敷地と同程度のイライト混合率をもつI/S混合層であると判定した。

※各地点で確認した粘土鉱物の採取位置及びX線回折チャートについては, P.83~87



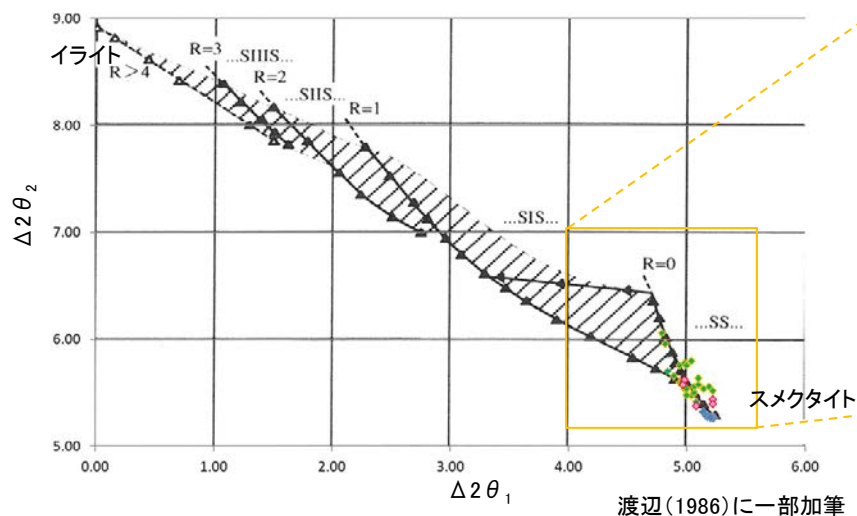
福浦灯台のX線回折チャート(定方位)

## ■I/S混合層の理論的なピーク回折角(Watanabe, 1988)との比較

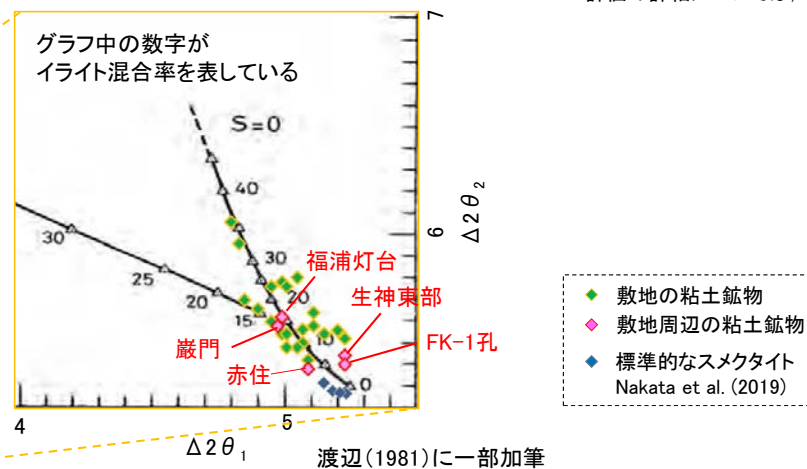


評価の詳細については, P.51

## ■I/S混合層の構造判定図(渡辺1986, 1981)による判定



渡辺(1986)に一部加筆

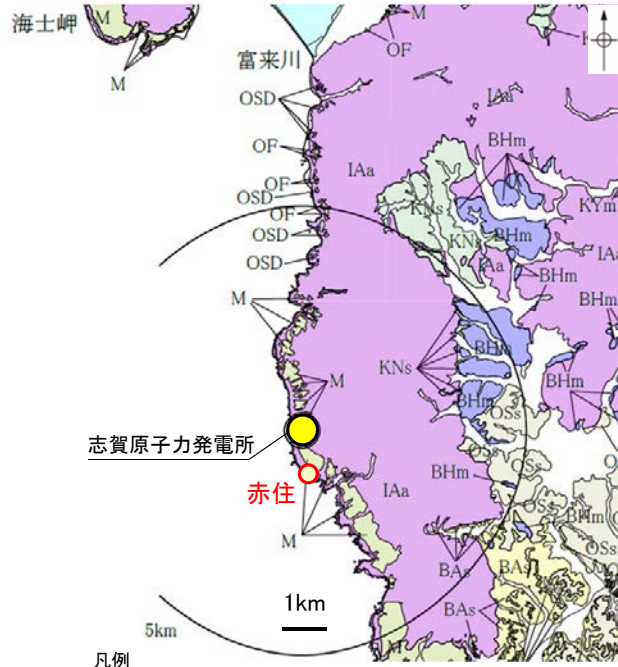


巖門及び福浦灯台の粘土鉱物は, イライト混合率15%程度, 赤住及び生神東部の粘土鉱物は, イライト混合率10%程度である。



# 【赤住】

○敷地の南方約1kmに位置する赤住の海岸部では、露岩した穴水累層中に脈状の白色の変質部が確認される。

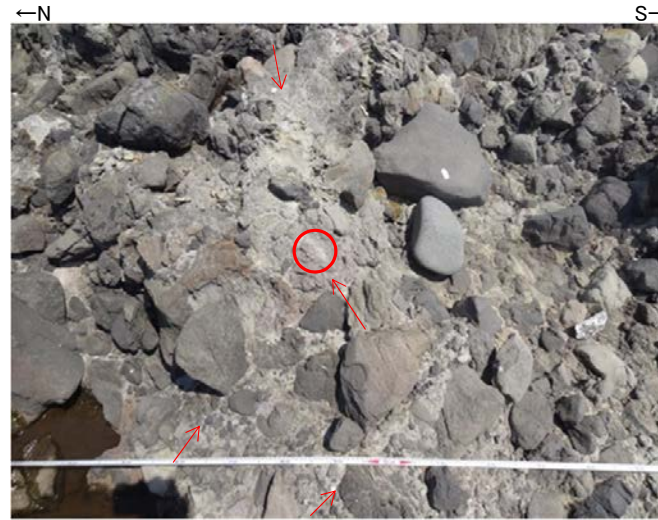


志賀原子力発電所  
赤住

凡例

位置図

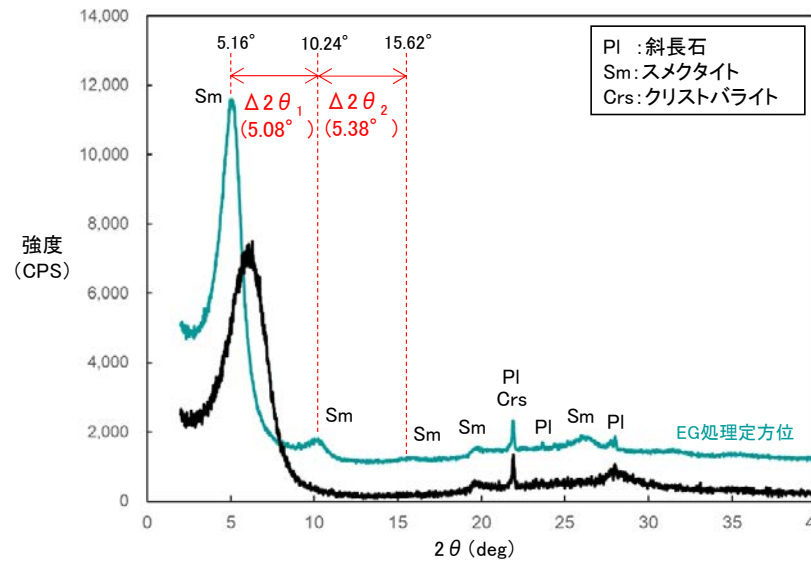
地質時代	地層・岩石名	
第四紀	砂丘砂層 (SD)	
	沖積層 (M)	
	中位段丘堆積層 (OSD)	
	古砂丘砂層 (OSD)	
第三紀	出雲石炭質砂岩層 (非石炭質部) (OSs)	
	出雲石炭質砂岩層 (石炭質部) (OSs)	
	浜田泥岩層 (BHm)	
	赤濱砂岩層 (IAa)	
	上標尾砂岩層 (KNs)	
	山内田泥岩層 (KYm)	
	草木互層 (KNS)	
	砂出礫岩層 (TKS)	
	新第三紀	穴水累層 (IAa)
		金山群・金山岩質火砕岩・石炭質山岩質火砕岩



○ 試料採取位置  
→ 白色変質部  
赤住 海岸部露岩域



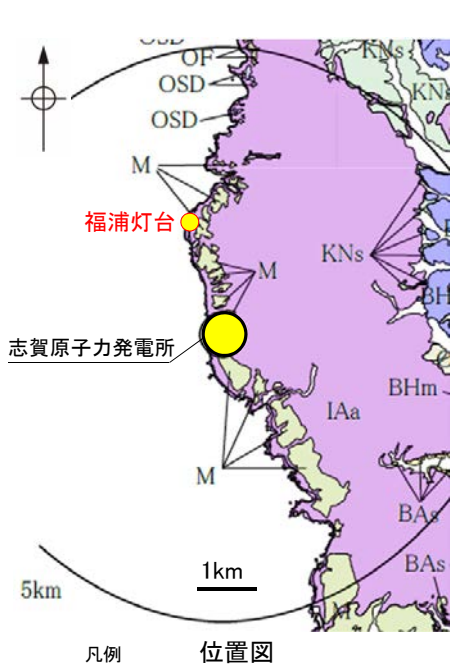
分析試料



X線回折チャート(定方位)

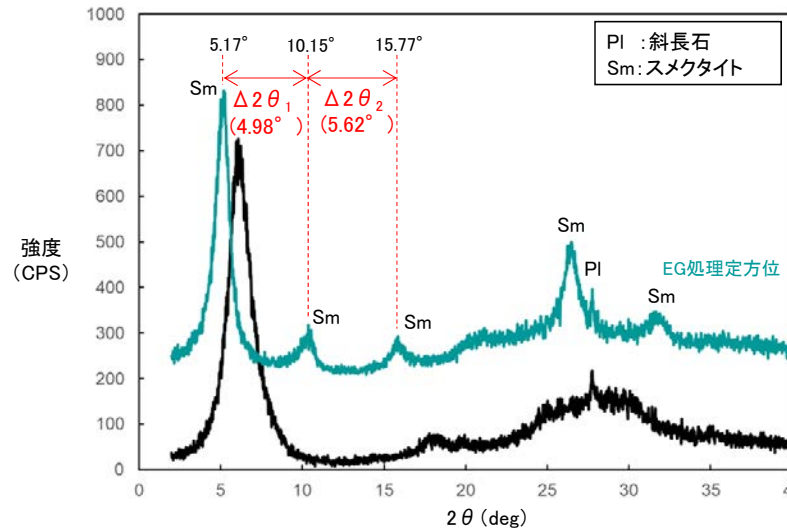
# 【福浦灯台】

○敷地から約2km北方に位置する福浦灯台の海岸部では、露岩した穴水累層中に白色の変質部が確認される。



○ 試料採取位置

地質時代	新地層(2019年)	地層・岩石名
第四紀	更新世	OSD 砂丘砂層
		沖積層
		M 中位級丘地層
		OSD 古砂丘砂層
		OSD 古期階伏地地層
第三紀	鮮新世	出雲石灰質砂岩層 (非石灰質部)
		出雲石灰質砂岩層 (石灰質部)
	中新世	BHm 浜田泥岩層
		IAa 赤浦砂岩層
		IAa 上相沢岩層
		IAa 山戸泥岩層
	古第三紀	草木互層
		岩出層
		穴水累層
		安山岩・安山岩質火砕岩・石英質安山岩質火砕岩

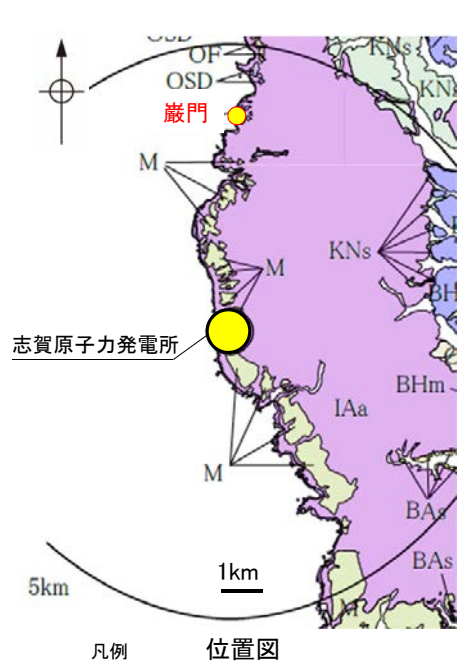


X線回折チャート(定方位)



# 【巖門】

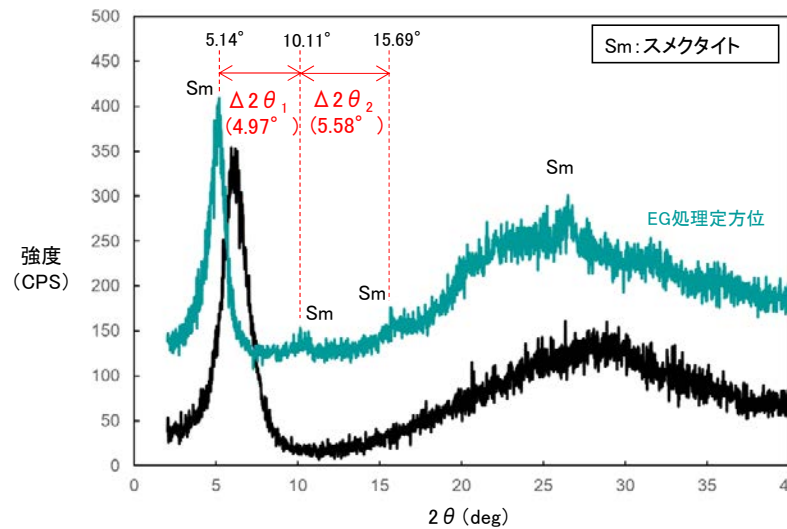
○敷地から約4km北方に位置する巖門の海岸部では、露岩した穴水累層中に脈状の白色の変質部が確認される。



○ 試料採取位置

→ 白色変質部

地質時代	敷地周辺の層序	地層・岩石名
第四紀	更新世	SD 砂丘砂層
		沖積層
		M 中位段丘堆積層
		OSD 古砂丘砂層
		古期扇状地堆積層
第三紀	新第三紀	出雲石炭質砂岩層 (非石炭質部)
		出雲石炭質砂岩層 (石炭質部)
	中新世	BHm 浜田泥岩層
		IAa 赤瀧砂岩層
		KNs 上瀬尻岩層
		KNm 山戸田泥岩層
		KNs 草木互層
		KNs 岩出線岩層
		IAa 穴水累層 (安山岩・安山岩質火砕岩・石炭質安山岩質火砕岩)

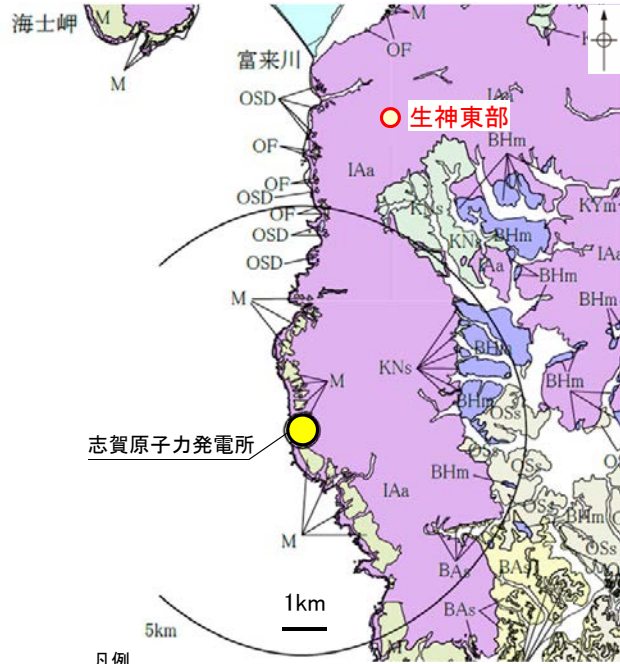


X線回折チャート(定方位)



# 【生神東部】

○敷地の北方約7kmに位置する生神東部の穴水累層露岩部では、変質が認められる。



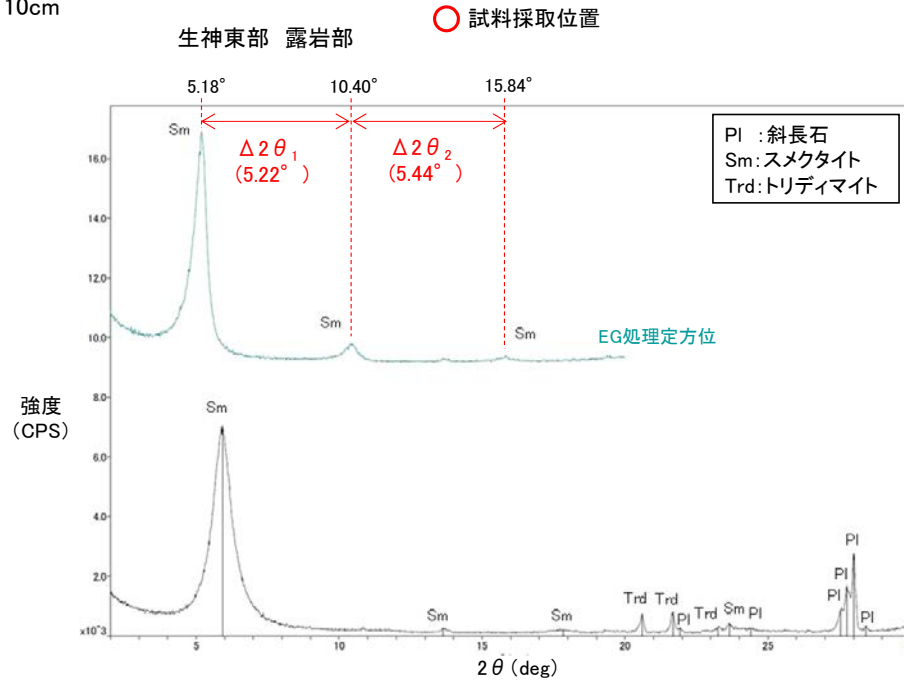
凡例

位置図

地質時代	敷地周辺の層序	地層・岩石名	
第四紀	埋藏層	SD 砂丘砂層	
		沖積層	
		M 中位段丘堆積層	
		OSD 古砂丘砂層	
第三紀	出雲石炭質砂岩層 (非石炭質部)	OSs	
		OSa	
	出雲石炭質砂岩層 (石炭質部)	OSs	
		OSa	
	浜田泥岩層	BHm	
		IAa	
	新第三紀	上標尾岩層	KNs
			KYm
		山戸田泥岩層	KNs
			BA
穴水累層	IAa		
	IAa		



分析試料

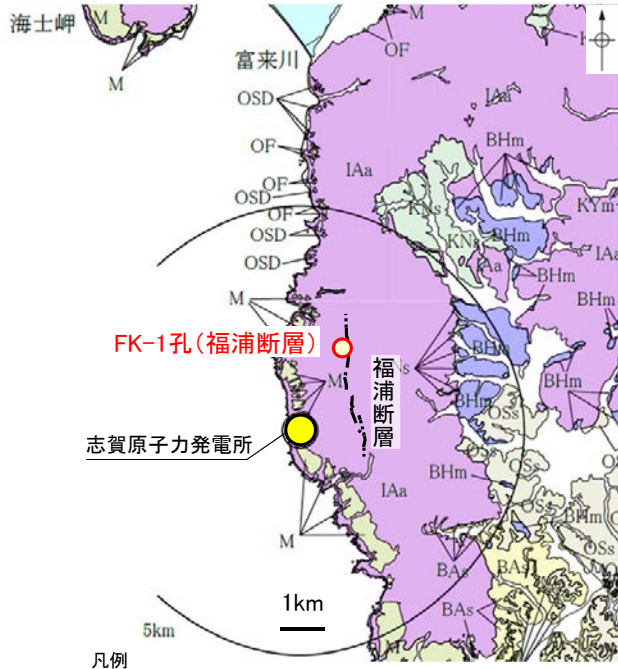


PI : 斜長石  
Sm: スメクタイト  
Trd: トリディマイト

X線回折チャート(定方位)

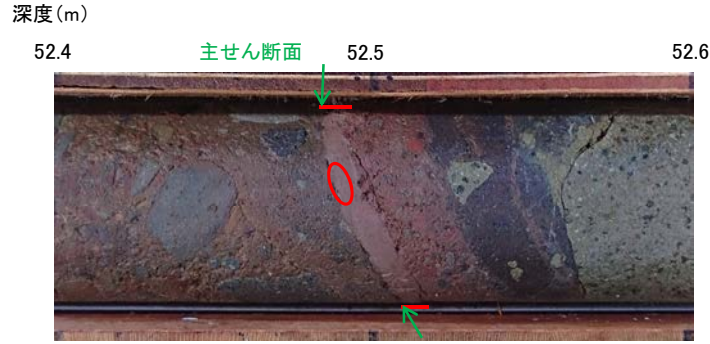
# 【FK-1孔(福浦断層)】

○敷地の北方約2kmで実施したFK-1孔の深度52.5m付近で認められる福浦断層では、断層ガウジ中に粘土鉱物が認められる。

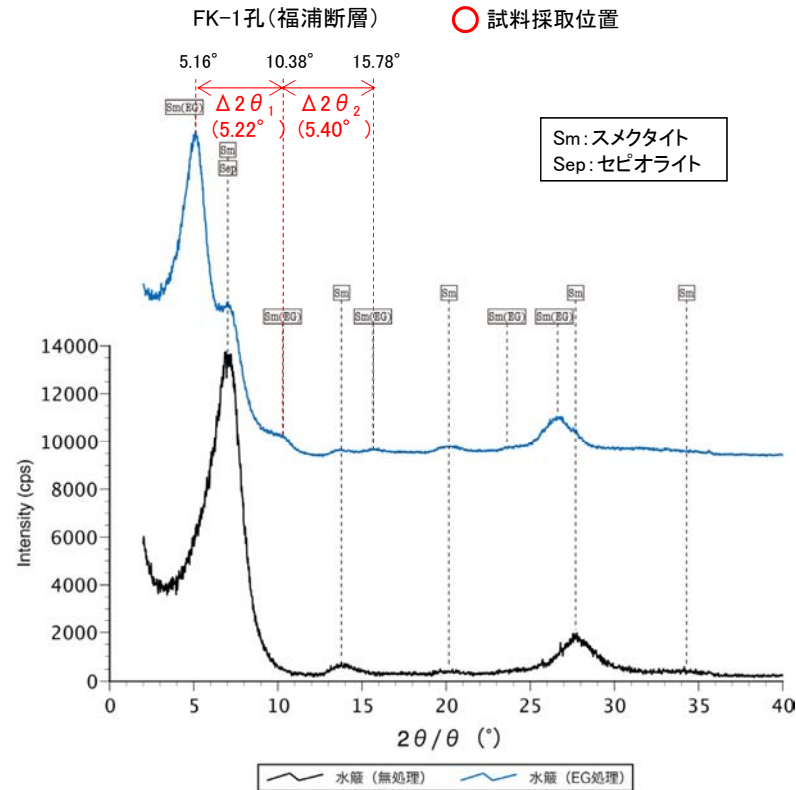


凡例 位置図

地質時代	地層・岩石名	
第四紀	沖積層	砂丘砂層 (OSD)
	沖積層	沖積層
	沖積層	中位段丘堆積層 (M)
	沖積層	古砂丘砂層 (OSD)
	沖積層	古湖沼伏地堆積層 (OSD)
第三紀	出雲石炭質砂岩層 (非石炭質部)	出雲石炭質砂岩層 (非石炭質部) (COS)
	出雲石炭質砂岩層 (石炭質部)	出雲石炭質砂岩層 (石炭質部) (COS)
	浜田砂岩層	浜田砂岩層 (BHm)
	赤浦砂岩層	赤浦砂岩層 (IAa)
	上標尾砂岩層	上標尾砂岩層 (KUm)
	山内田泥岩層	山内田泥岩層 (Kym)
	草木互層	草木互層 (KNS)
	砂出礫岩層	砂出礫岩層 (KPS)
	六水頁岩	六水頁岩 (IAa)
	安山岩・安山岩質火砕岩・石英安山岩質火砕岩	安山岩・安山岩質火砕岩・石英安山岩質火砕岩



分析試料



X線回折チャート(定方位)

## 5.2.1(1-4) 変質鉱物の生成年代評価のまとめ

- 変質鉱物の後期更新世以降の生成可能性の評価の結果、敷地の変質鉱物は、約12~13万年前以降に生成したものではない(P.65)。
- 生成環境を踏まえた生成年代の推定の結果、敷地の変質鉱物は、地下深部で生成した可能性が高いと判断し、地下深部での生成年代は、地殻の隆起速度を一定と仮定し、約6Ma以前と推定した。なお、曹長石化しない程度の熱水の影響を受けて変質鉱物が生成した可能性は否定できず、その場合の生成年代は、能登半島で最後に火成活動が認められた9Ma以前と推定した(P. 75)。

<生成環境に関する追加検討>

紫字: 第935回審査会合以降に追記

【能登半島周辺の地質構造に関する既往知見との関係】

・能登半島周辺の地質構造について文献調査を実施した結果、敷地周辺一帯は中期中新世以前に沈降し、中期中新世以降に隆起する環境を経たものとされており、敷地の変質鉱物が地下深部で生成し、その後隆起して現在の位置で確認されているものと判断したと統合的である(次頁)。

【新第三紀堆積岩における変質状況の確認】

・敷地周辺一帯が同じような環境下で変質を被ったと判断したことについて、敷地周辺の穴水累層に加え、その周辺の新第三紀堆積岩の変質状況を調査した結果、敷地と同程度のイライト混合率をもつ変質鉱物(I/S混合層)が分布することを確認した(P.90~94)。

○よって、敷地の変質鉱物(I/S混合層等)は、少なくとも後期更新世以降に生成したものではない※1。

※1: 変質鉱物と第四系との関係やI/S混合層のK-Ar年代値等についても、この年代評価と矛盾しない。

【敷地の変質鉱物と第四系との関係】

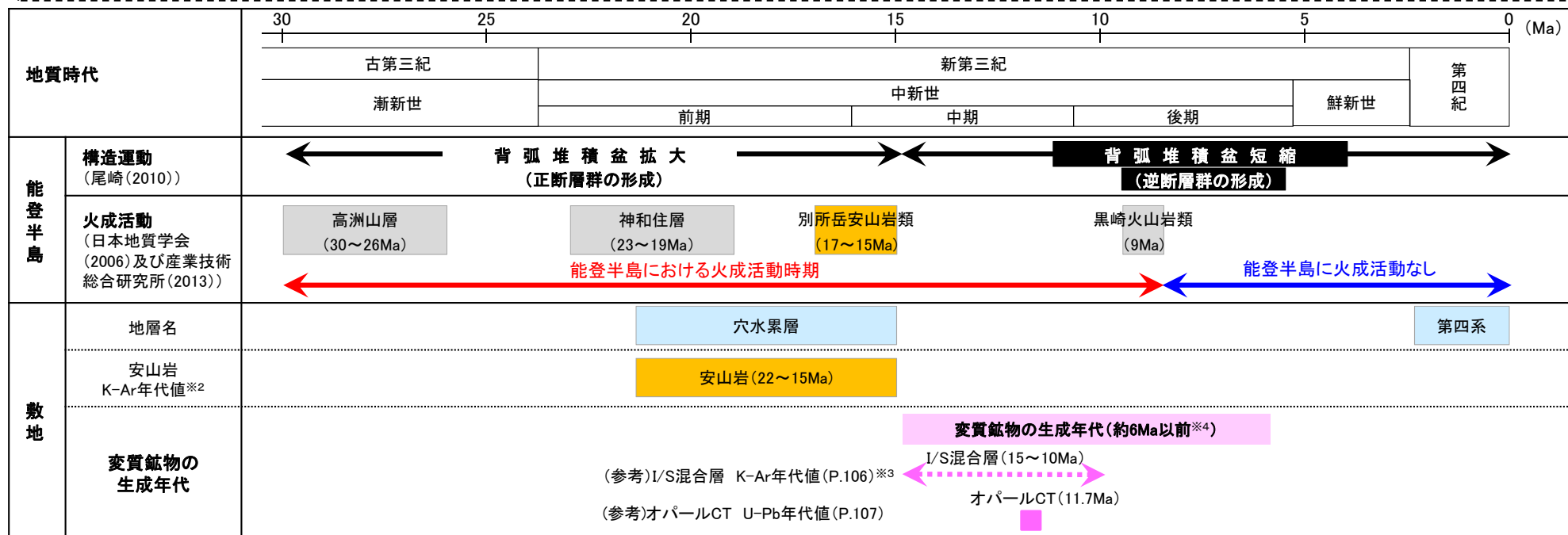
・敷地の変質鉱物と第四系との関係を検討した結果、I/S混合層を生成させた変質は、穴水累層中に深部から地表付近まで連続的に確認されるが、少なくとも第四系には及んでいないと判断した(P.95~105)。

【K-Ar年代値(I/S混合層)、U-Pb年代値(オパールCT)】

・敷地で認められたI/S混合層のK-Ar年代値は15~10Maを示し(P.106)、オパールCTのU-Pb年代値は11.7Maを示す(P.107)。

【生成温度・期間に関する文献調査】

・文献によると、I/S混合層は約50℃では、100万年でも生成せず、オパールCTが約50℃で生成する場合、数十万の期間を要するとされる(P.108, 109)。

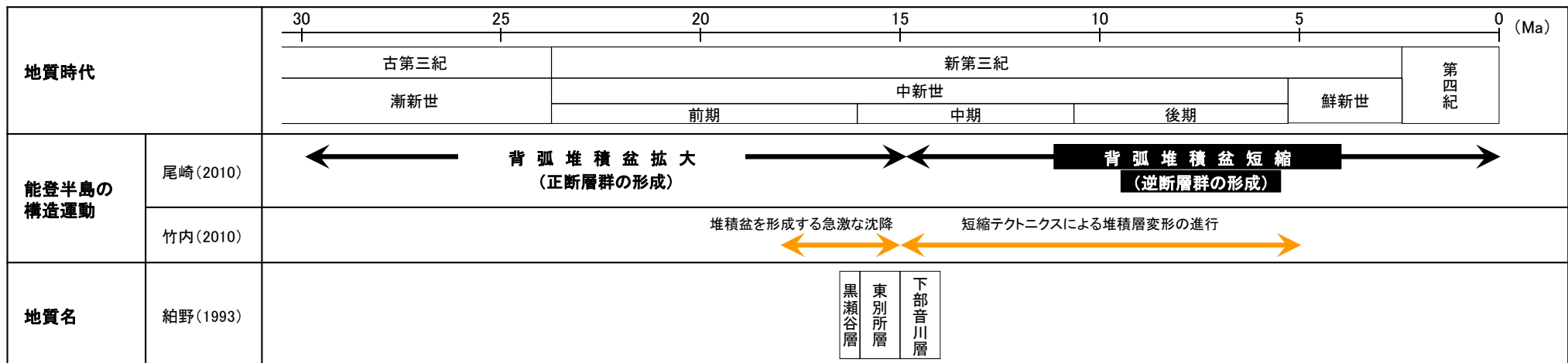
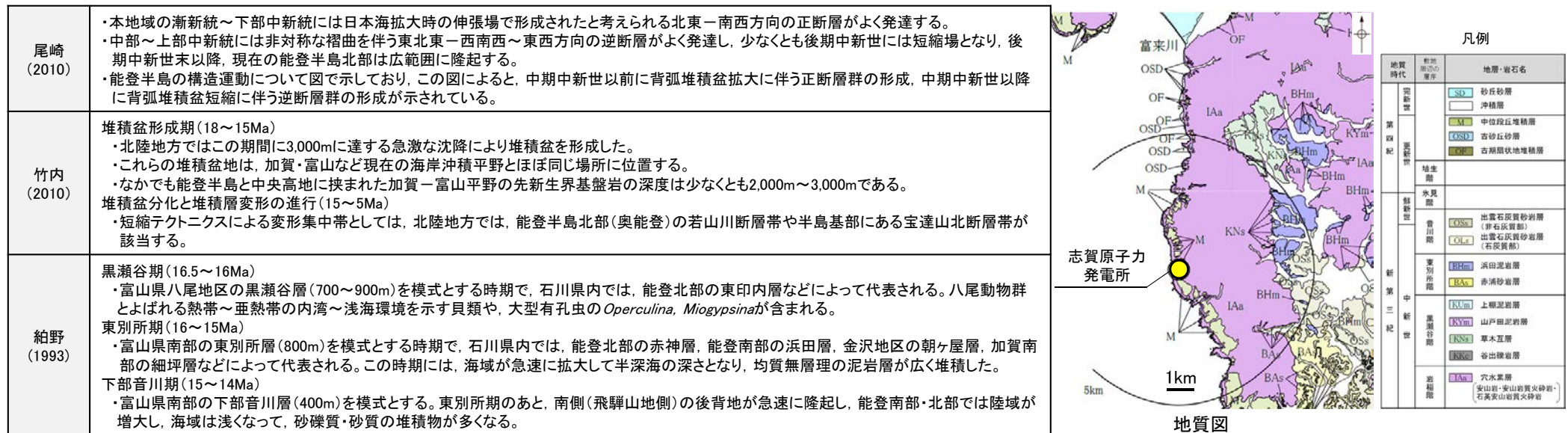


※2: 補足資料5.2-1(2), ※3: 信頼性確認は、補足資料5.2-2(9), ※4: 5.2.1(1-3)生成環境を踏まえて推定した生成年代



## 【能登半島周辺の地質構造に関する既往知見との関係】

- 敷地の変質鉱物の生成環境に関する評価と既往知見との関係を確認するため、六水累層形成以降(前期～中期中新世)における能登半島周辺の地質構造について整理した。
- 尾崎(2010)によれば、能登半島において中期中新世以前に背弧堆積盆拡大が起こり、中期中新世以降に背弧堆積盆短縮に伴う隆起が生じたとされている。
- 竹内(2010)によれば、能登半島周辺では18～15Maに堆積盆を形成する急激な沈降が生じ、15～5Maに短縮テクトニクスによる堆積層変形が進行したとされている。
- 紘野(1993)によれば、能登半島において黒瀬谷期(16.5～16Ma)には浅海環境であり、東別所期(16～15Ma)に海域が急速に拡大し半深海の深さとなり、下部音川期(15～14Ma)に隆起が生じ、陸域が増大したとされている。
- 以上を踏まえると、敷地周辺一帯は中期中新世以前に沈降し、中期中新世以降に隆起する環境を経たものとされており、敷地の変質鉱物が地下深部で生成し、その後隆起して現在の位置で確認されているものと判断したと整合的である。

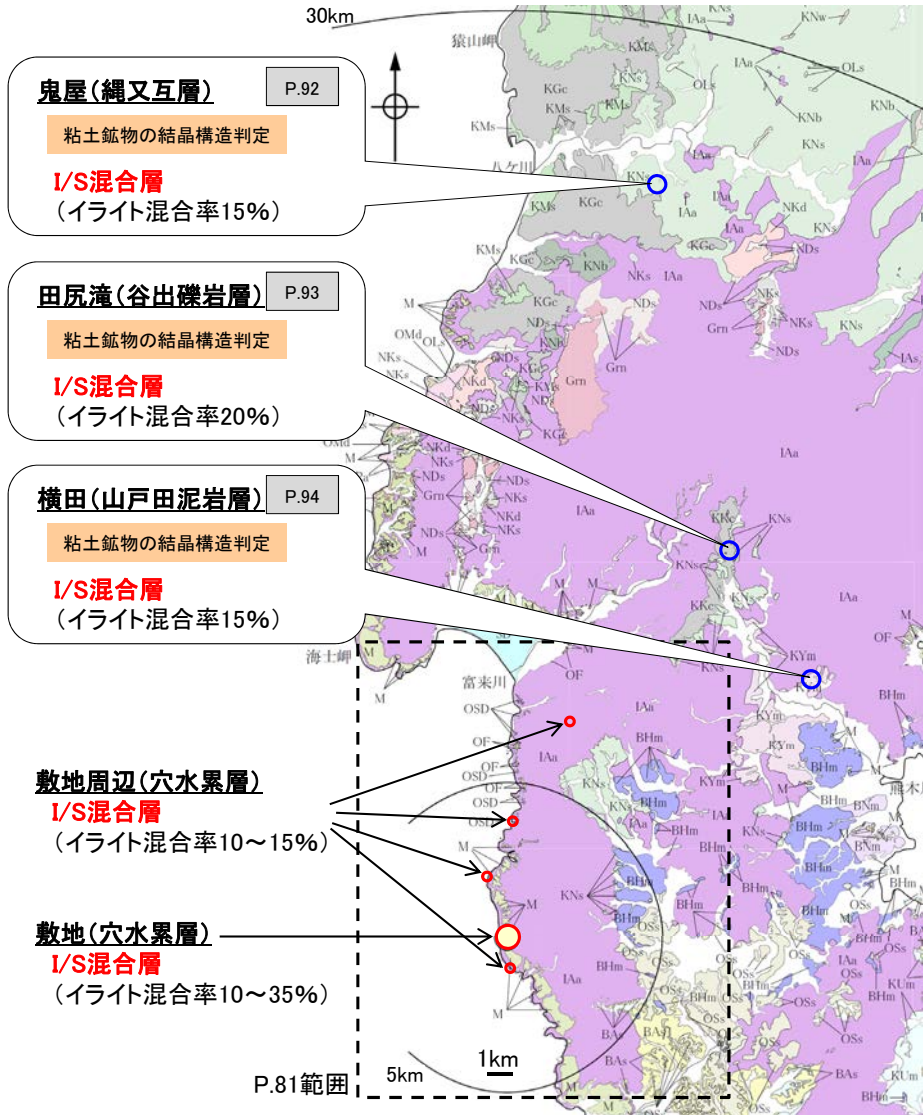


# 【新第三紀堆積岩における変質状況の確認】

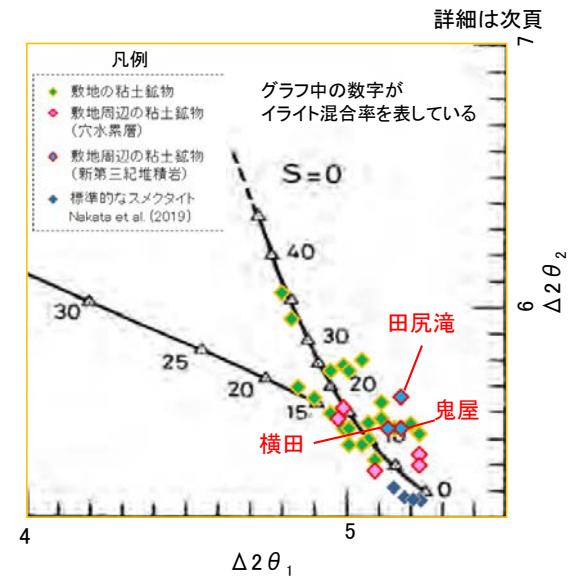
○敷地周辺一帯が同じような環境下で変質を被ったと判断したことについて、敷地周辺の穴水累層に加え、その周辺の新第三紀堆積岩の変質状況を調査した。  
 ○敷地周辺の新第三紀堆積岩(黒瀬谷階の縄又互層, 谷出礫岩層, 山戸田泥岩層)中の粘土鉱物を対象として、XRD分析による結晶構造判定を行った結果、これらの敷地周辺で確認される粘土鉱物は、敷地と同程度のイライト混合率をもつI/S混合層であると判定した(次頁)。

## ＜敷地周辺で確認される変質鉱物＞

凡 例		地層・岩石名
第四紀	更新世	SD 砂丘砂層 沖積層
	埋生階	M 中位段丘堆積層 OSD 古砂丘砂層
		OF 古期扇状地堆積層・河成段丘堆積層
	鮮新世	氷見階
音川階		ORa 黒崎安山岩 OMd 前浜泥岩層 OSs 七尾石灰質砂岩層・出雲石灰質砂岩層(非石灰質部) OIs 前波石灰質砂岩層・関野鼻石灰質砂岩層・七尾石灰質砂岩層・出雲石灰質砂岩層・安代原石灰質砂岩層(石灰質部)
東別所階		BHm 浜田泥岩層 BAs 赤浦砂岩層 BNm 笠師保泥岩層
新第三紀	黒瀬谷階	KMs 東印内互層・皆月砂岩泥岩層 KGe 道下礫岩層 KUm 上瀬泥岩層 KYm 山戸田泥岩層 KNs 縄又互層・草木互層・柳田累層 KNw 溶結凝灰岩 KNh 玄武岩
	岩橋階	IAa 穴水 別所岳安山岩類 安山岩・安山岩質火砕岩・高洲山安山岩類 岩・石英安山岩質火砕岩及び石英安山岩 IAs 穴水累層(泥岩・砂岩・礫岩)
	檜原階	NKd 石英安山岩・溶結凝灰岩 NKs 大角間層 NDs 大福寺砂岩層
	先第三紀	Grn 花崗岩・片麻岩



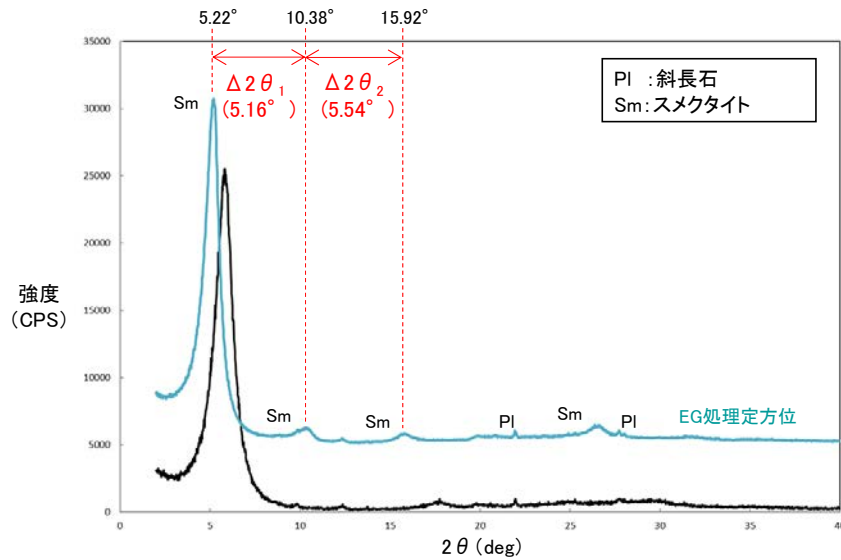
## ＜粘土鉱物の結晶構造判定結果＞



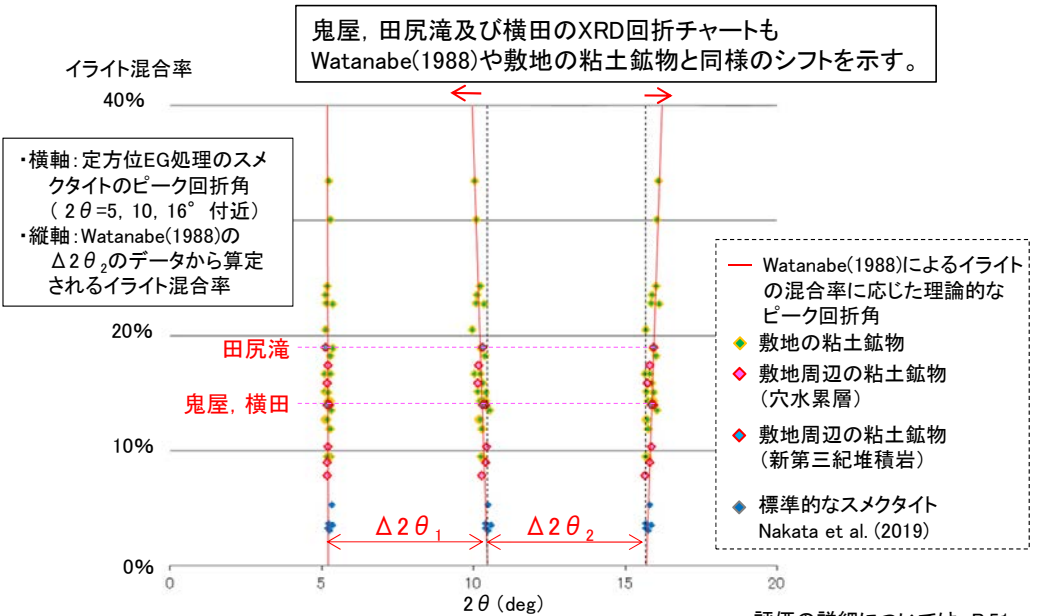
# 粘土鉱物の結晶構造判定

○鬼屋、田尻滝及び横田で確認された粘土鉱物\*のX線回折チャートを用いて粘土鉱物の構造判定を行った。これらの回折チャートでは、Watanabe(1988)の理論と同様なシフトが認められ、渡辺(1986, 1981)のI/S混合層構造判定図によるとイライト混合率15~20%程度となることから、これらの粘土鉱物は、敷地と同程度のイライト混合率をもつI/S混合層であると判定した。

※各地点で確認した粘土鉱物の採取位置及びX線回折チャートについては、P.92~94

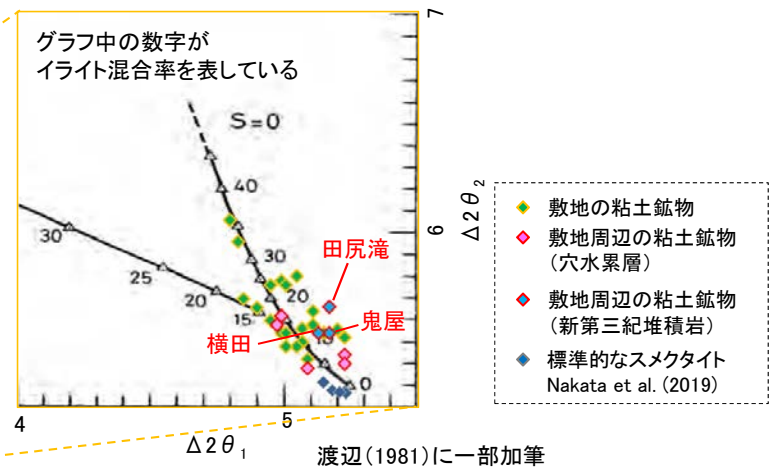
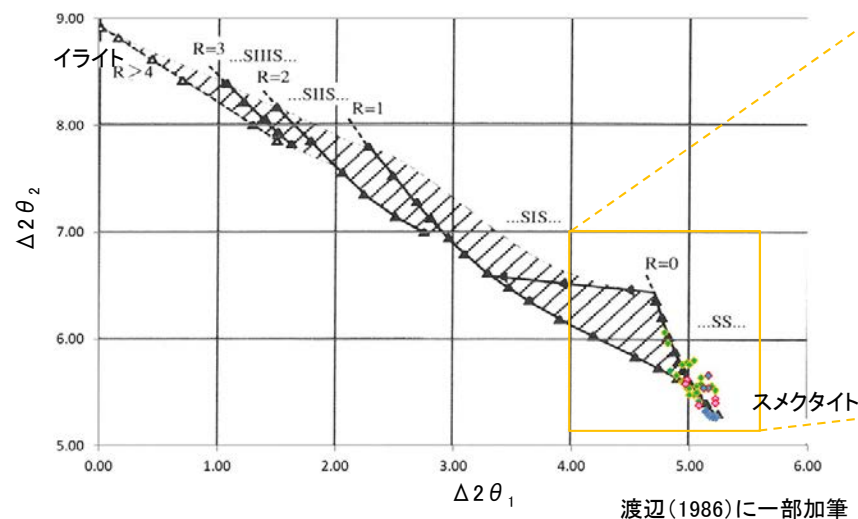


## ■I/S混合層の理論的なピーク回折角(Watanabe, 1988)との比較



評価の詳細については、P.51

## ■I/S混合層の構造判定図(渡辺1986, 1981)による判定



鬼屋及び横田の粘土鉱物は、イライト混合率15%程度、田尻滝の粘土鉱物は、イライト混合率20%程度である。













## 【敷地の変質鉱物と第四系との関係】

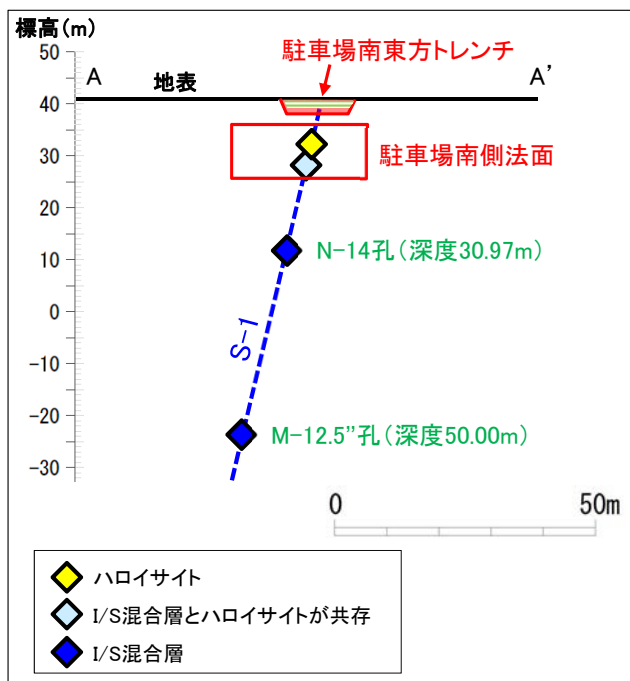
紫字: 第935回審査会以降に追記

- 破砕部中や割れ目に沿って変質鉱物(I/S混合層, オパールCT及びフィリップサイト)を確認したことから, これらの鉱物を生成させた変質が第四系に及んでいるかを確認するため, 破砕部及びその他の割れ目について調査を行った。
- 駐車場南側法面～駐車場南東方トレンチでは, 粘土状破砕部が穴水累層中に深部から連続的に認められるが, 第四系(H I a段丘堆積物)には認められない。
- この粘土状破砕部を対象としてXRD分析を実施した結果, ボーリング孔(M-12.5"孔, N-14孔)では変質鉱物であるI/S混合層が認められ, 駐車場南側法面下部ではI/S混合層とハロイサイトが共存し, 地表付近ではI/S混合層は認められず主に風化変質鉱物であるハロイサイトが認められた。
- このことから, 地表付近の粘土状破砕部は, 段丘面形成以降の風化によりハロイサイト主体となり, I/S混合層が検出されなくなったものと判断した。
- さらに, 穴水累層中に認められる白色脈(ハロイサイト脈)が穴水累層の上で削剥され, 上位の第四系に覆われており, 第四系には認められないことを複数箇所を確認している(次頁)。このことから, この白色脈の形成時期は第四系の堆積時期よりも古いと判断した。なお, この白色脈は, 風化によりI/S混合層が検出されなくなったものも含まれる可能性がある。
- 以上を踏まえ, I/S混合層を生成させた変質は, 穴水累層中に深部から地表付近まで連続的に確認されるが, 少なくとも第四系には及んでいないと判断した。



XRD分析結果

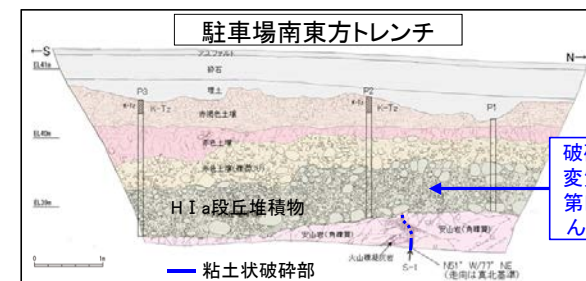
試料採取位置	標高	検出鉱物						
		石英	クリストバライト	斜長石	7Å型ハロイサイト	雲母鉱物	スメクタイト※	赤鉄鉱
駐車場南側法面-上	EL 32m	+	+	△	△	△	+	
駐車場南側法面-下	EL 27m	±	±	±	±	△	±	
N-14孔	EL 12m	±	○		△	±		
M-12.5"孔	EL -24m			△	±	+	+	+



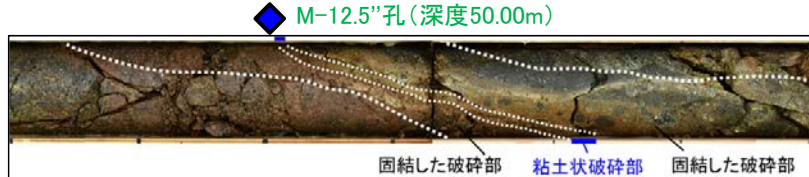
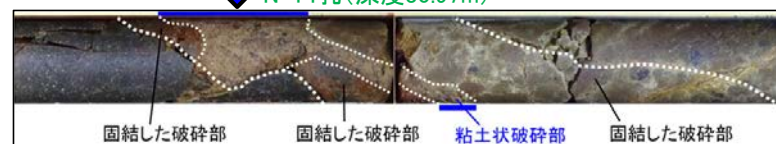
A-A' 投影断面図  
(H:V=1:1)

※XRD分析により確認された敷地の粘土鉱物(スメクタイト)は, I/S混合層であることを確認している(P.48)。

XRD回折チャートは補足資料5.2-2(12)



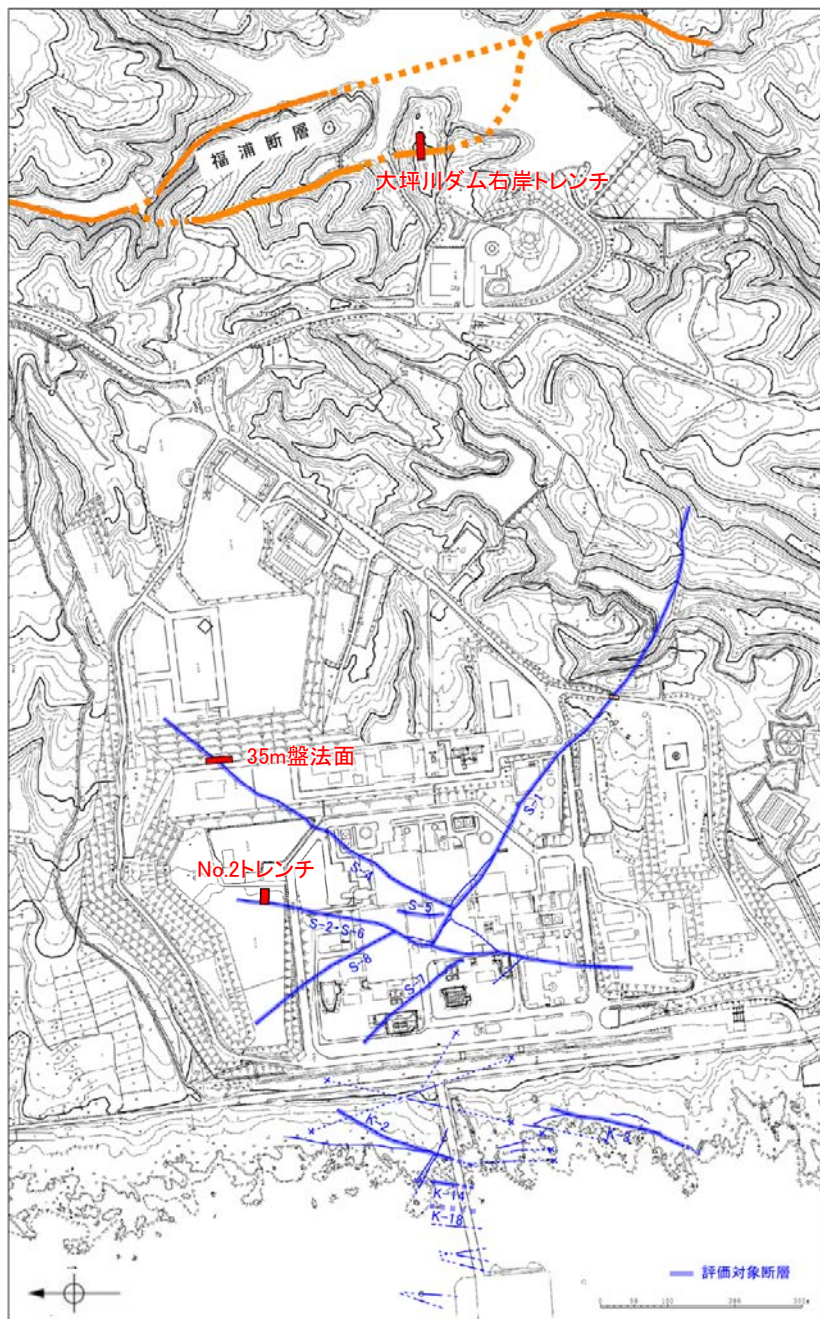
破砕部中の変質鉱物は第四系に及んでいない



量比  
○: 中量(2,500~5,000cps), △: 少量(500~2,500cps),  
+: 微量(250~500cps), ±: きわめて微量(<250cps)

## 割れ目に認められる白色脈と第四系の関係

紫字:第935回審査会合以降に追記・修正



位置図

- No.2トレンチ, 35m盤法面及び大坪川ダム右岸トレンチでは, 穴水累層中の割れ目に沿って白色脈が認められる。この白色脈は, 穴水累層の上面で削剥され, 上位の第四系(M I 段丘堆積物, H I a段丘堆積物等)に覆われており, 第四系には認められないことを確認した(P.97~104)。
- このことから, この白色脈の形成時期は第四系の堆積時期よりも古いと判断した。
- この白色脈について, XRD分析を実施した結果, 風化変質鉱物であるハロイサイトが認められたものの, I/S混合層は認められない。

### 露頭調査結果

地点	穴水累層	第四系	参照頁
No.2トレンチ	•穴水累層中の割れ目に沿って白色脈が認められる。	•M I 段丘堆積物中に変質鉱物脈は認められない。	P.97~100
35m盤法面	•穴水累層中の割れ目に沿って白色脈が認められる。	•H I a段丘堆積物中に変質鉱物脈は認められない。	P.101~102
大坪川ダム右岸トレンチ	•穴水累層中の割れ目に沿って白色脈が認められる。	•砂層(層理部)中に変質鉱物脈は認められない。	P.103~104

### XRD分析結果

試料採取位置	標高	検出鉱物				
		石英 ※	クリストパライト	7A型ハロイサイト	10A型ハロイサイト	赤鉄鉱
No.2トレンチ東面白色脈	EL 19m	±	±	△	±	±
No.2トレンチ南面白色脈	EL 19m	+	+	△	±	±
35m盤法面白色脈	EL 36m	±	+	△	±	±

量比  
△:少量(500~2,500cps), +:微量(250~500cps), ±:きわめて微量(<250cps)。

### XRD分析 測定諸元

装置:理学電気製 MultiFlex  
Target:Cu(K $\alpha$ )  
Monochrometer:Graphite 湾曲  
Voltage:40kV  
Current:40mA  
Detector:SC  
Calculation Mode:cps

Divergence Slit:1°  
Scattering Slit:1°  
Receiving Slit:0.3mm  
Scanning Sped:2°/min  
Scanning Mode:連続法  
Sampling Range:0.02°  
Scanning Range:2~61°

### XRD分析結果

試料採取位置	標高	検出鉱物					
		石英 ※	クリストパライト	7A型ハロイサイト	10A型ハロイサイト	ギブサイト	カオリナイト
大坪川ダム右岸トレンチ白色脈	EL 51m	△	△	△	△	△	△

量比  
△:少量だが検出される(<5,000cps)

### XRD分析 測定諸元

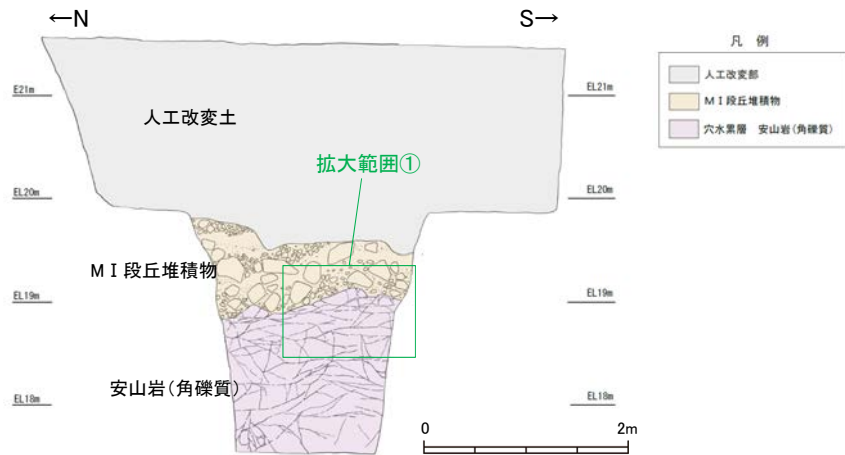
装置:Rigaku RINT2500V  
Target:Cu(K $\alpha$ )  
Voltage:40kV  
Detector:SC  
Divergence Slit:0.5°  
Receiving Slit:0.15mm  
Step size:0.02°

※白色脈中の石英は, 堆積物中に含まれる石英(補足資料5.3-1(1)P.5.3-1-44, 50)が流入してきたものと考えられる。

XRD回折チャートは補足資料5.2-2(12)



# 割れ目に認められる白色脈と第四系の関係 (No.2トレンチ 東面 1/2)

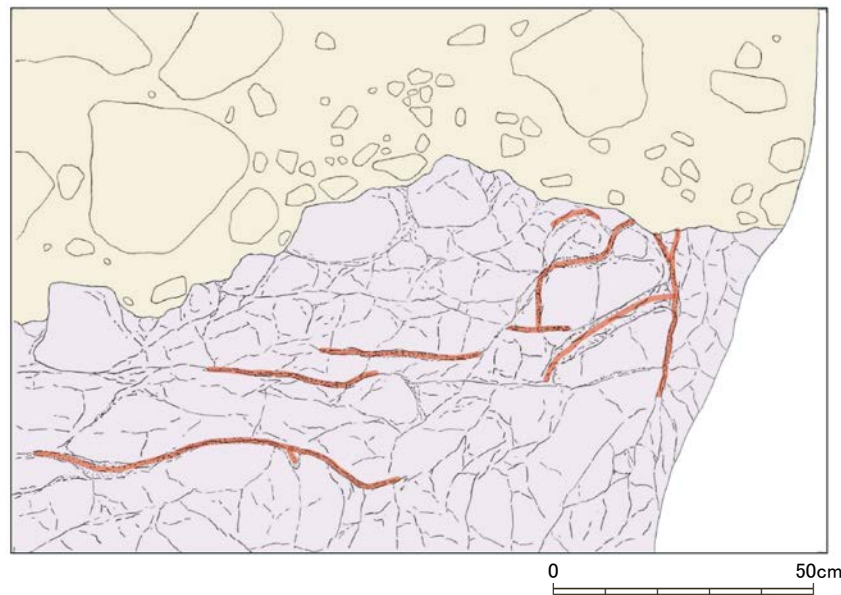
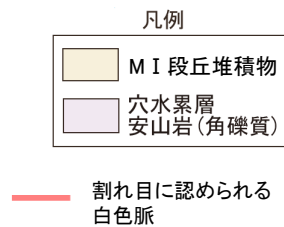


No.2トレンチ東面 全体スケッチ※

※このスケッチは、拡大範囲①スケッチと作成時期が異なるため、礫の分布や岩盤上面・割れ目等の形状が一部異なる。

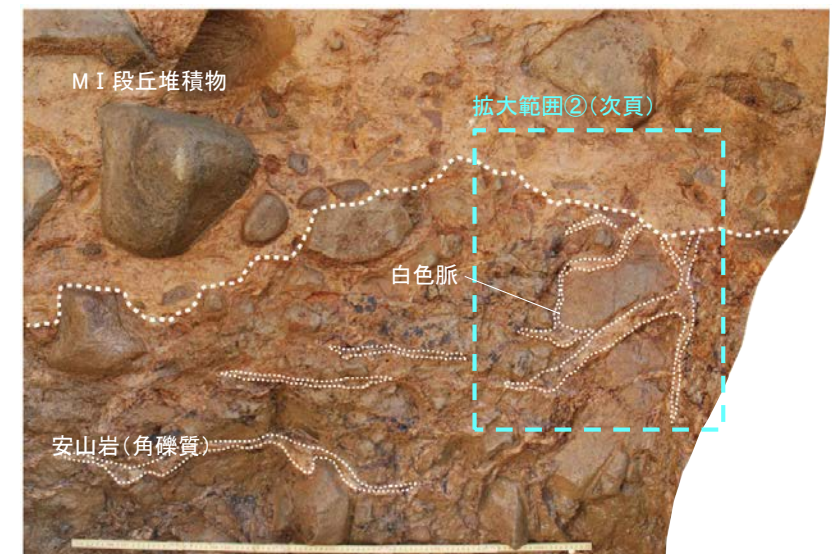


拡大範囲① 写真



拡大範囲① スケッチ

- ・安山岩(角礫質)中の割れ目に挟在して、褐白～褐灰色を呈する幅1cm程度の白色脈が分布する。
- ・白色脈には、水平方向と湾曲しながら高角に分布するものがある。
- ・高角に分布する白色脈の上端は、岩盤上面で削剥され、上位のMI段丘堆積物に覆われており、MI段丘堆積物中へは延長しない(次頁拡大範囲②③)。



拡大範囲① 写真(岩盤上面等を加筆)



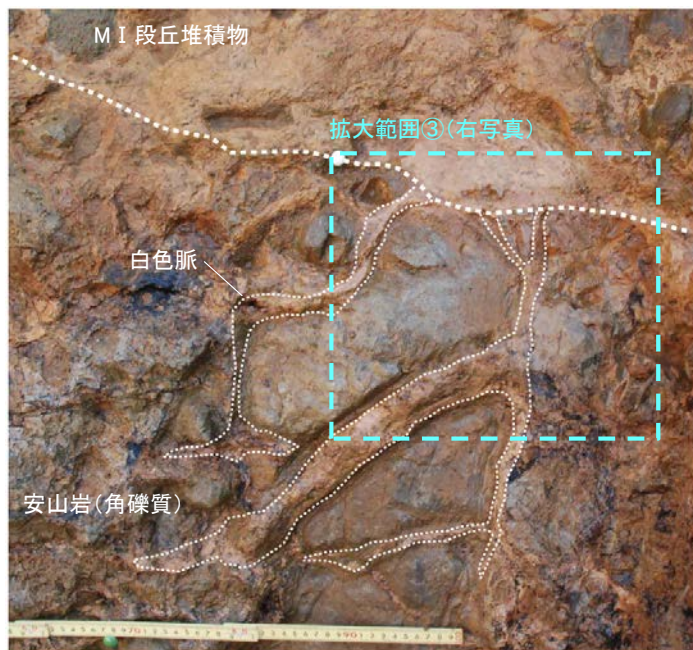
# 割れ目に認められる白色脈と第四系の関係 (No.2トレンチ 東面 2/2)



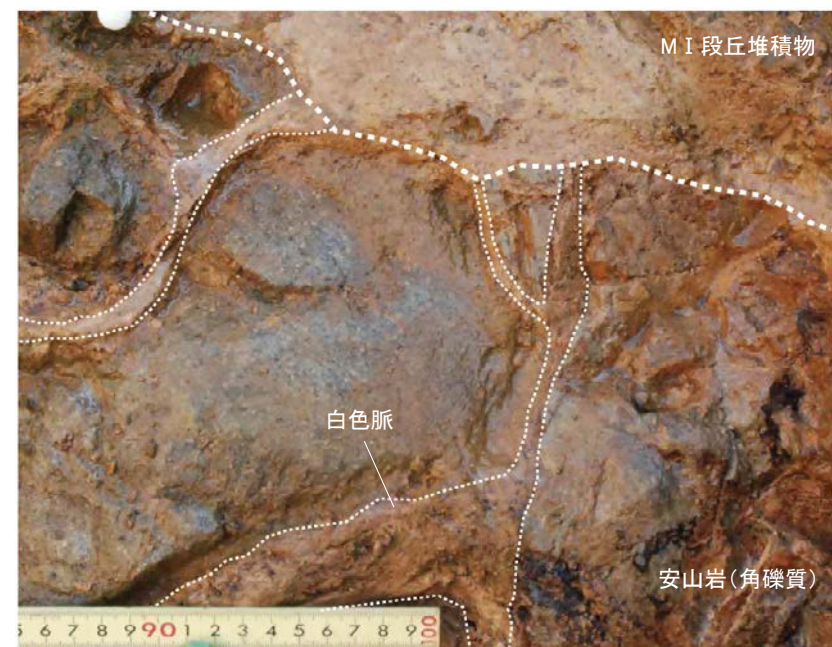
拡大範囲② 写真



拡大範囲③ 写真



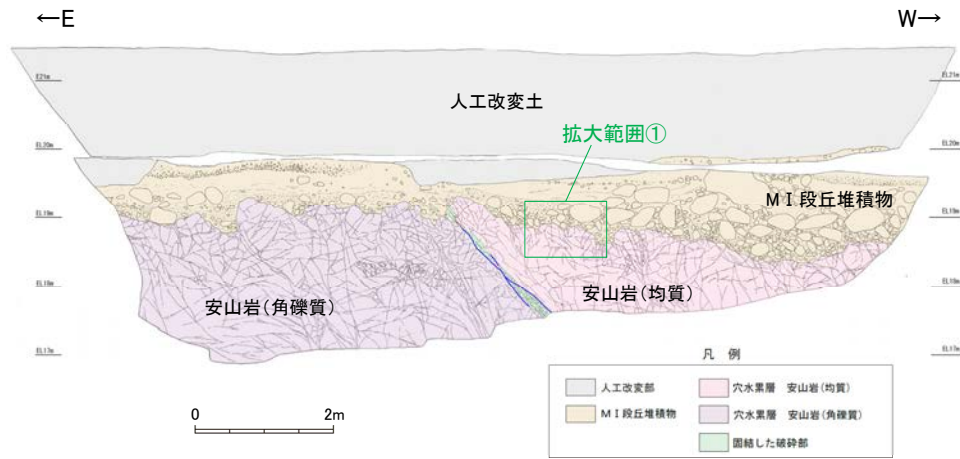
拡大範囲② 写真(岩盤上面等を加筆)



拡大範囲③ 写真(岩盤上面等を加筆)

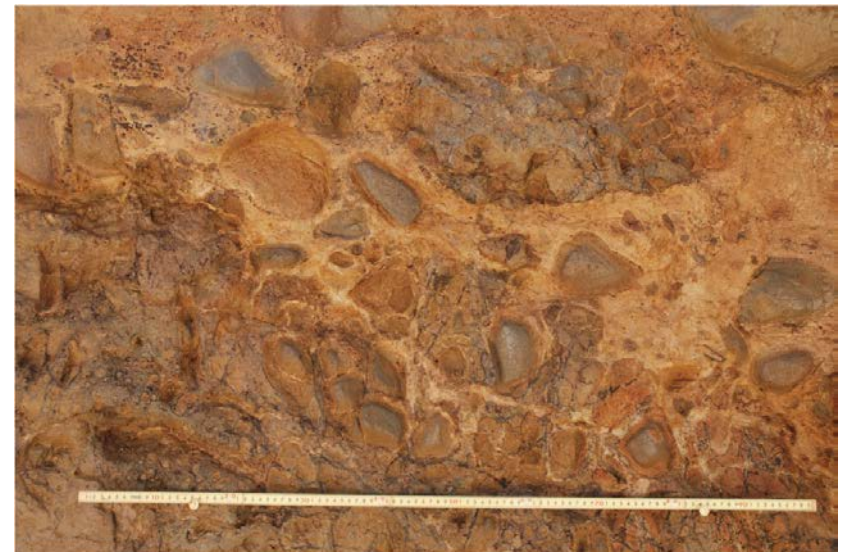


# 割れ目に認められる白色脈と第四系の関係 (No.2トレンチ 南面 1/2)

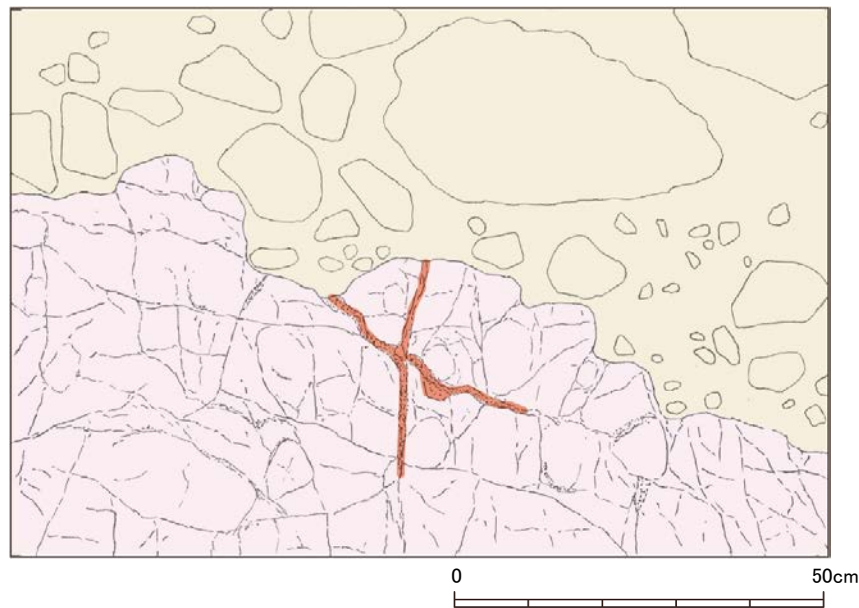
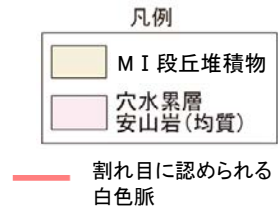


No.2トレンチ南面 全体スケッチ※

※このスケッチは、拡大範囲①スケッチと作成時期が異なるため、礫の分布や岩盤上面・割れ目等の形状が一部異なる。

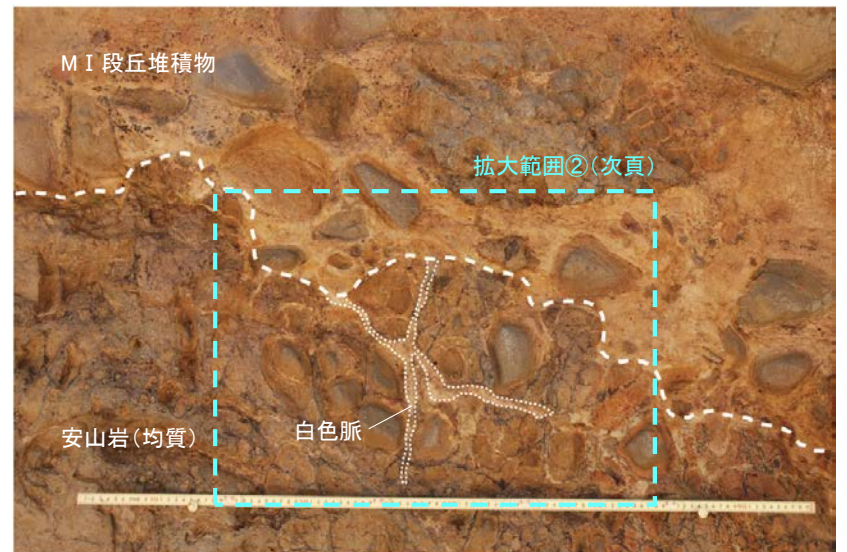


拡大範囲① 写真



拡大範囲① スケッチ

- ・安山岩(均質)中の割れ目に挟在して、褐白～褐灰色を呈する幅1cm程度の白色脈が分布する。
- ・白色脈は2条認められ、両者とも、岩盤の下方へは尖滅する。
- ・これらの白色脈は、岩盤上面で削剥され、上位のMI段丘堆積物に覆われており、MI段丘堆積物中へは延長しない(次頁拡大範囲②)。



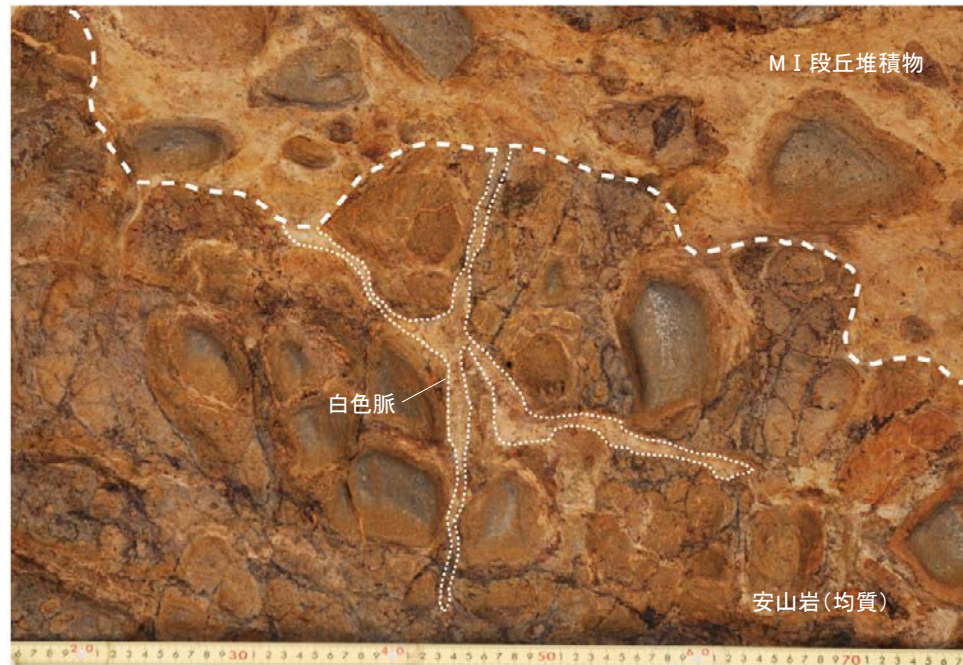
拡大範囲① 写真(岩盤上面等を加筆)



割れ目に認められる白色脈と第四系の関係 (No.2トレンチ 南面 2/2)



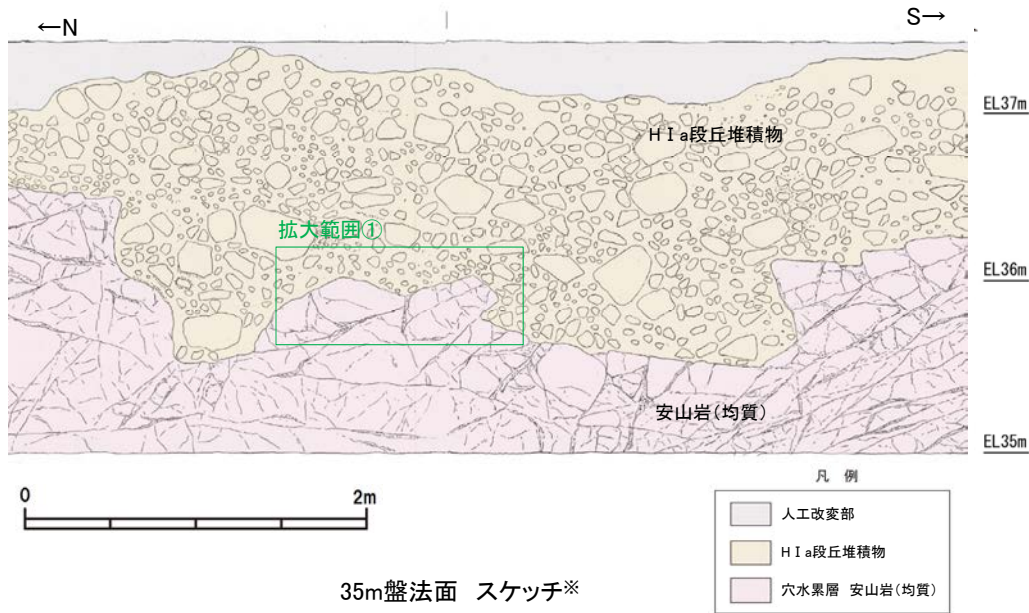
拡大範囲② 写真



拡大範囲② 写真(岩盤上面等を加筆)



# 割れ目に認められる白色脈と第四系の関係 (35m盤法面 1/2)

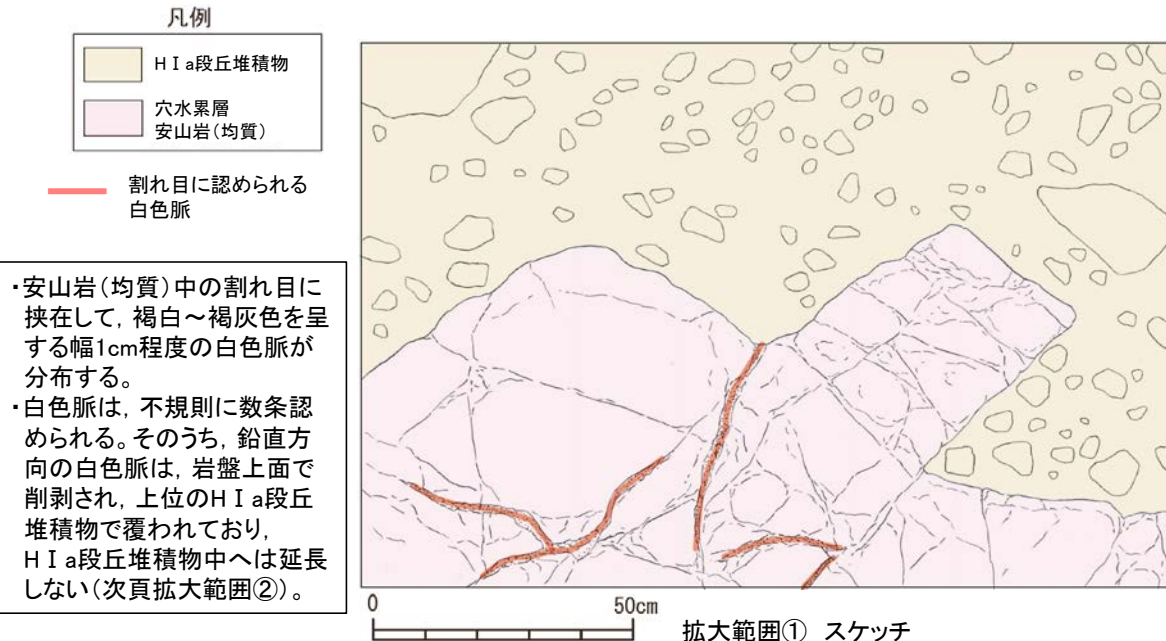


35m盤法面 スケッチ\*

※このスケッチは、拡大範囲①スケッチと作成時期が異なるため、礫の分布や岩盤上面・割れ目等の形状が一部異なる。

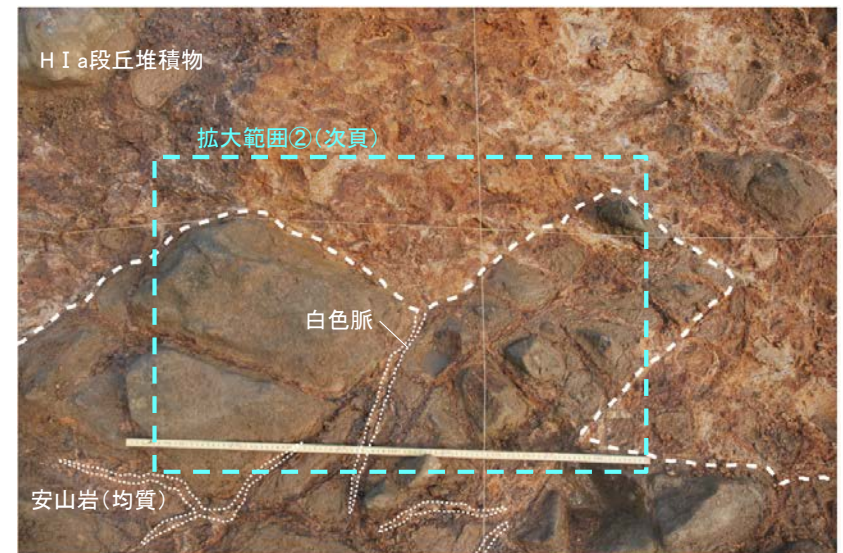


拡大範囲① 写真



拡大範囲① スケッチ

- ・安山岩(均質)中の割れ目に挟在して、褐白～褐灰色を呈する幅1cm程度の白色脈が分布する。
- ・白色脈は、不規則に数条認められる。そのうち、鉛直方向の白色脈は、岩盤上面で削剥され、上位のH I a段丘堆積物で覆われており、H I a段丘堆積物中へは延長しない(次頁拡大範囲②)。



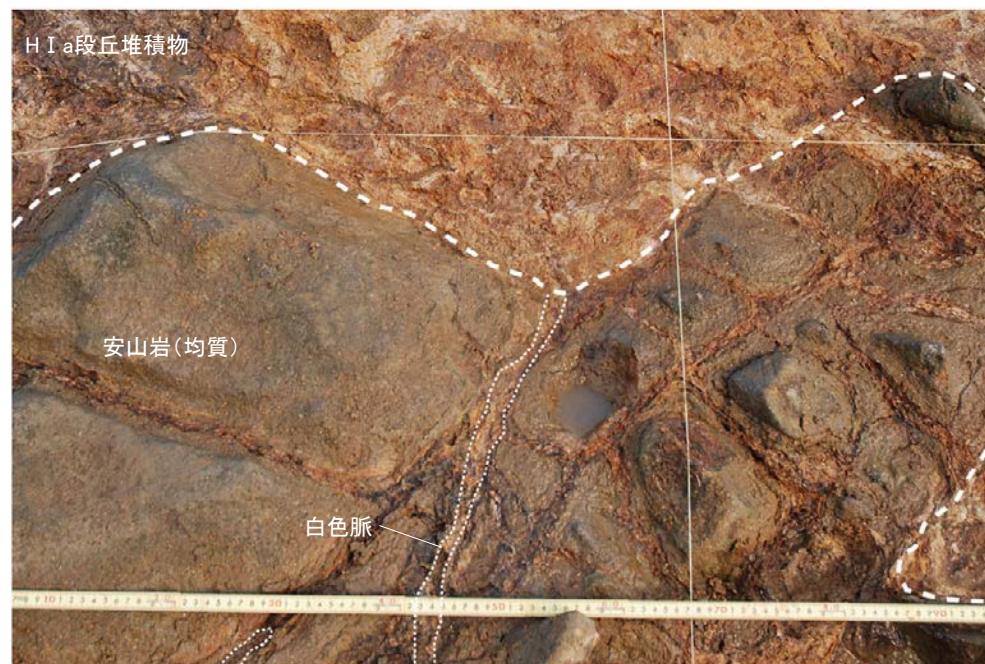
拡大範囲① 写真(岩盤上面等を加筆)



## 割れ目に認められる白色脈と第四系の関係 (35m盤法面 2/2)



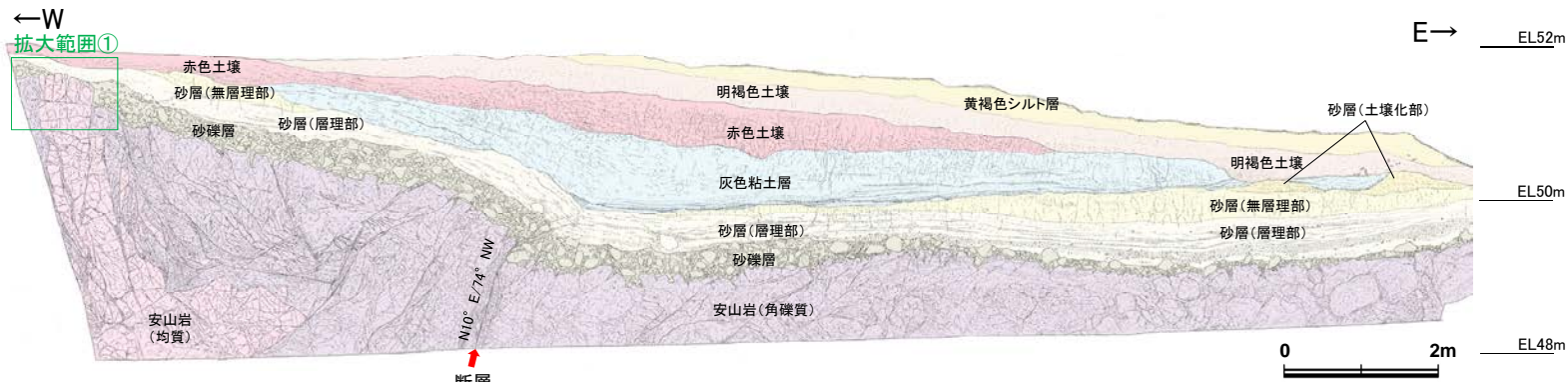
拡大範囲② 写真



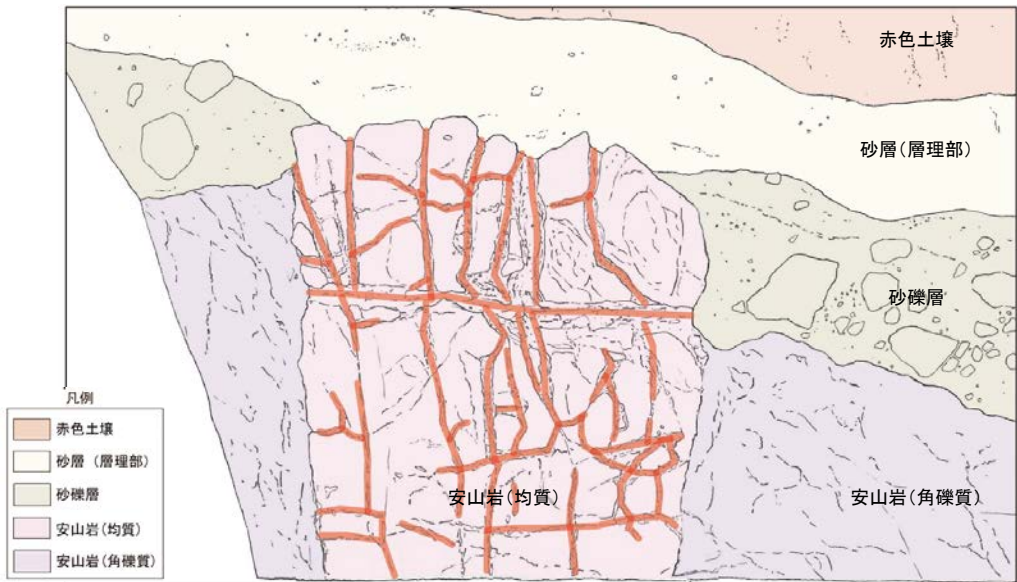
拡大範囲② 写真(岩盤上面等を加筆)



# 割れ目に認められる白色脈と第四系の関係(大坪川ダム右岸トレンチ 1/2)



大坪川ダム右岸トレンチ 北壁面スケッチ



拡大範囲① スケッチ



拡大範囲① 写真

- ・変質した安山岩(角礫質)中に局所的に(均質)が分布する。この安山岩(均質)の割れ目に挟在して、褐白～褐色を呈する幅1～2cm程度の白色脈が分布する。
- ・白色脈には、高角～鉛直方向に分布するものが多く、副次的に水平方向のものも伴う。また、幅6～8cmの水平方向の脈が例外的に一条分布する。
- ・高角～鉛直方向に分布する白色脈の上端は、岩盤と砂層(層理部)の境界で凹状に削剥されており、砂層(層理部)中へは延長しない(次頁拡大範囲②)。



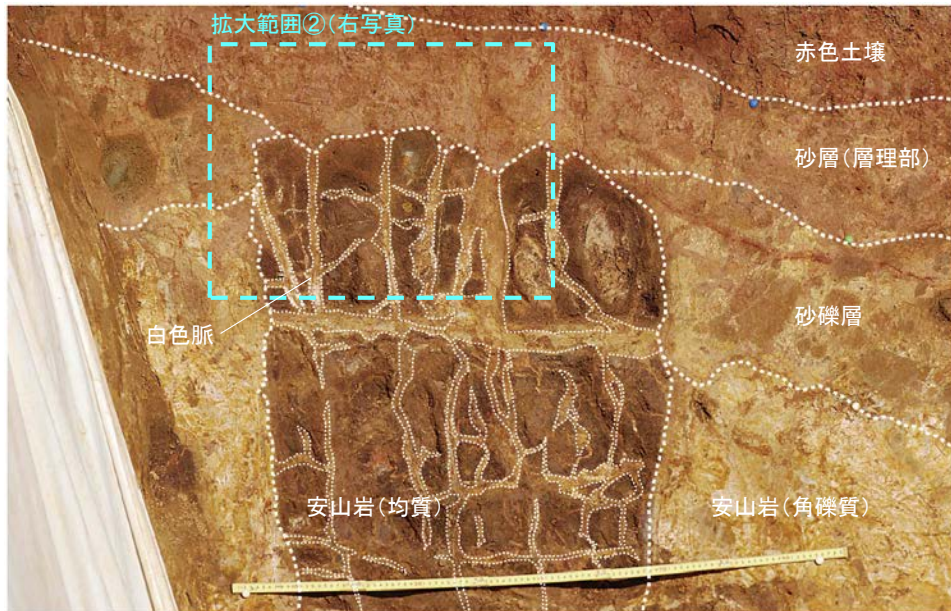
# 割れ目に認められる白色脈と第四系の関係(大坪川ダム右岸トレンチ 2/2)



拡大範囲① 写真



拡大範囲② 写真



拡大範囲① 写真(岩盤上面等を加筆)

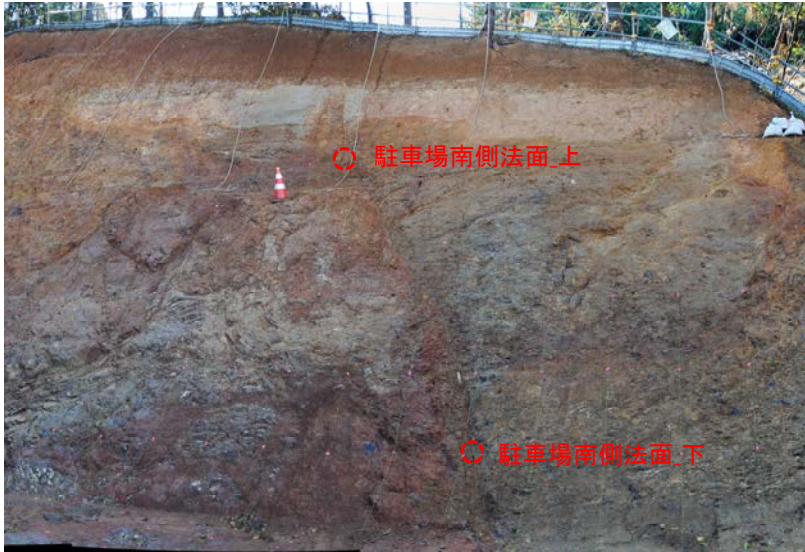


拡大範囲② 写真(岩盤上面等を加筆)

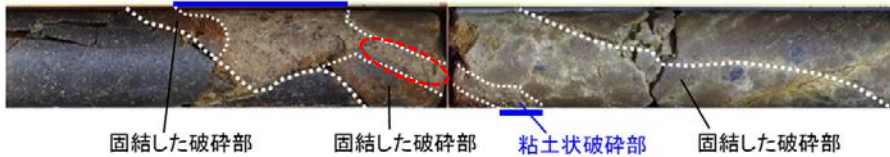


試料採取位置

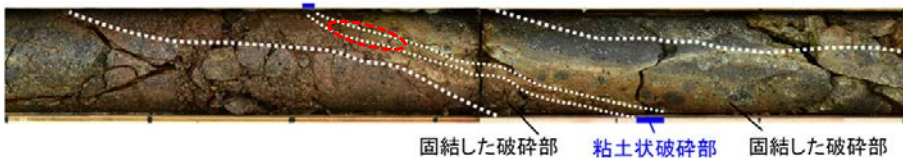
駐車場南側法面 粘土状破碎部



N-14孔 深度30.97m付近 粘土状破碎部



M-12.5"孔 深度50.00m付近 粘土状破碎部



試料写真



分析試料  
(駐車場南側法面\_上)



分析試料  
(駐車場南側法面\_下)

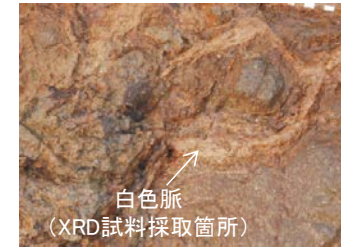


分析試料  
(N-14孔)



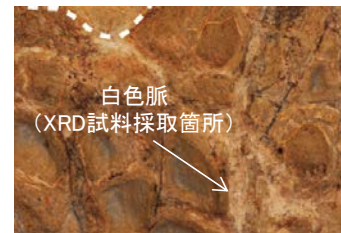
分析試料  
(M-12.5"孔)

No.2トレンチ東面 白色脈



分析試料  
(No.2トレンチ東面)

No.2トレンチ南面 白色脈



分析試料  
(No.2トレンチ南面)

35m盤法面 白色脈



分析試料  
(35m盤法面)

大坪川ダム右岸トレンチ 白色脈



分析試料  
(大坪川ダム右岸トレンチ)

## 【(参考)K-Ar年代分析(I/S混合層)】

○粘土鉱物(I/S混合層)のK-Ar年代値は15~10Maを示す※。

※K-Ar年代分析の信頼性確認内容は、補足資料5.2-2(9)

対象物	試料No.	試料採取箇所	測定物 (粒径)	カリウム含有量 (wt. %)	放射性起源 <sup>40</sup> Ar (10 <sup>-8</sup> cc STP/g)	K-Ar年代 (Ma)	非放射性起源 <sup>40</sup> Ar (%)
S-1 粘土状破砕部	1	岩盤調査坑 No.15~16付近 EL-17.90m	I/S混合層 (0.2-0.4μm)	0.652±0.013	26.1±4.0	10.3±1.6	90.4
	2	岩盤調査坑 No.16~17付近 EL-17.90m	I/S混合層 (0.2-0.4μm)	0.382±0.008	16.2±3.0	10.9±2.0	91.8
	3	岩盤調査坑 No.24~25付近 EL-17.70m	I/S混合層 (0.2-0.4μm)	0.689±0.014	30.8±7.5	11.5±2.8	93.6
	4-1	岩盤調査坑 No.27孔 EL-16.45m	I/S混合層 (<5.0μm)	0.512±0.010	21.7±4.6	10.9±2.3	93.1
	4-2		I/S混合層 (<1.0μm)	0.504±0.010	19.2±5.2	9.8±2.6	94.5
	4-3		I/S混合層 (<0.4μm)	0.489±0.010	20.2±5.8	10.6±3.1	94.8
	4-4		I/S混合層 (<0.1μm)	0.407±0.009	16.3±6.5	10.3±4.1	96.2
S-2・S-6 粘土状破砕部	5	E-8.5+5'孔_深度9.3m EL11.82m	I/S混合層 (0.2-1.0μm)	0.420±0.008	23.3±6.3	14.3±3.9	94.5
	6	E-8.6+5'孔_深度8.9m EL12.24m	I/S混合層 (0.2-1.0μm)	0.337±0.007	17.7±2.9	13.5±2.2	91.1
	7	F-8.5''孔_深度8.80m EL12.33m	I/S混合層 (0.2-1.0μm)	0.375±0.008	21.1±2.0	14.5±1.4	84.7
	8-1	E-8.4'孔_深度31.70m EL-10.61m	I/S混合層 (<5.0μm)	0.638±0.013	29.1±6.2	11.7±2.5	93.0
	8-2		I/S混合層 (<1.0μm)	0.909±0.018	42.1±12.8	11.9±3.6	95.0
	8-3		I/S混合層 (<0.4μm)	0.935±0.019	41.4±14.2	11.4±3.9	95.6
	8-4		I/S混合層 (<0.1μm)	0.887±0.018	47.5±14.9	13.7±4.3	95.2
S-4 粘土状破砕部	9	E-11.1SE-6孔_深度1.50m EL 31.17m	I/S混合層 (0.2-2.0μm)	0.400±0.008	21.1±1.5	13.5±1.0	80.5
S-5 粘土状破砕部	10	R-8.1-1-3孔_深度22.24m EL-11.12m	I/S混合層 (0.2-1.0μm)	0.295±0.006	11.8±1.8	10.3±1.6	90.5
S-7 粘土状破砕部	11	H-5.64-2孔_深度9.53m EL 2.84m	I/S混合層 (0.2-2.0μm)	0.359±0.007	20.1±2.3	14.4±1.7	87.1
S-8 粘土状破砕部	12	F-6.80-2孔_深度18.69m EL-5.83m	I/S混合層 (0.2-2.0μm)	0.672±0.013	39.0±2.2	14.9±0.9	76.0
K-2 粘土状破砕部	13	H-0.9-40孔_深度19.65m EL-6.36m	I/S混合層 (0.2-1.0μm)	0.754±0.015	34.1±2.7	11.6±0.9	82.0
K-14 粘土状破砕部	14	H- -0.3-80孔_深度31.65m EL-27.48m	I/S混合層 (0.2-2.0μm)	1.871±0.037	84.6±9.0	11.6±1.3	85.6
K-18 粘土状破砕部	15	H-0.2-75孔_深度116.75m EL-108.04m	I/S混合層 (0.2-1.0μm)	1.501±0.030	65.9±8.4	11.3±1.5	87.5
非破砕部の 粘土鉱物脈	16	H-6.5-2孔_深度81.90m EL-59.10m	I/S混合層 (0.2-2.0μm)	0.538±0.011	22.6±3.3	10.8±1.6	89.8
	17	K-10.8SW-1孔_深度49.80m EL-18.88m	I/S混合層 (0.2-2.0μm)	0.511±0.010	20.9±1.8	10.5±0.9	83.3

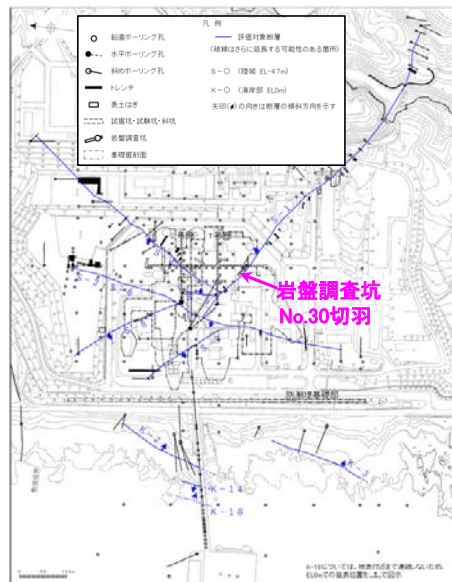


## 【(参考)U-Pb年代分析(オパールCT)】

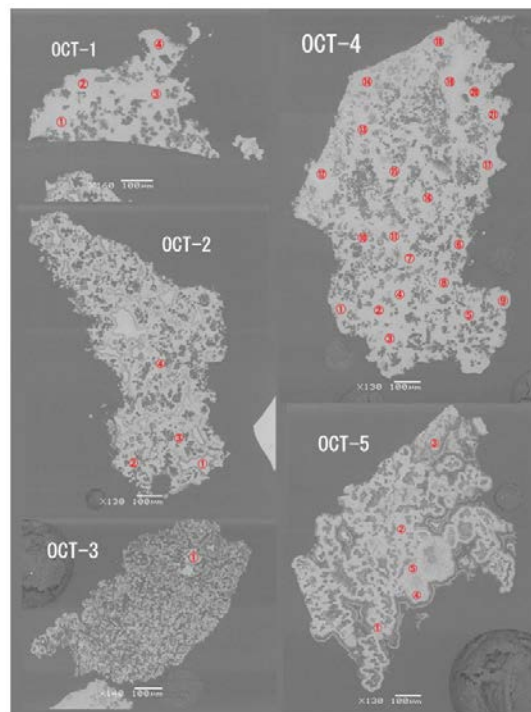
○オパールCTのU-Pb年代値は、 $11.7 \pm 1.1 \text{Ma}$ を示す\*。

\*: 分析位置が、1地点に限られていることから参考値とする。

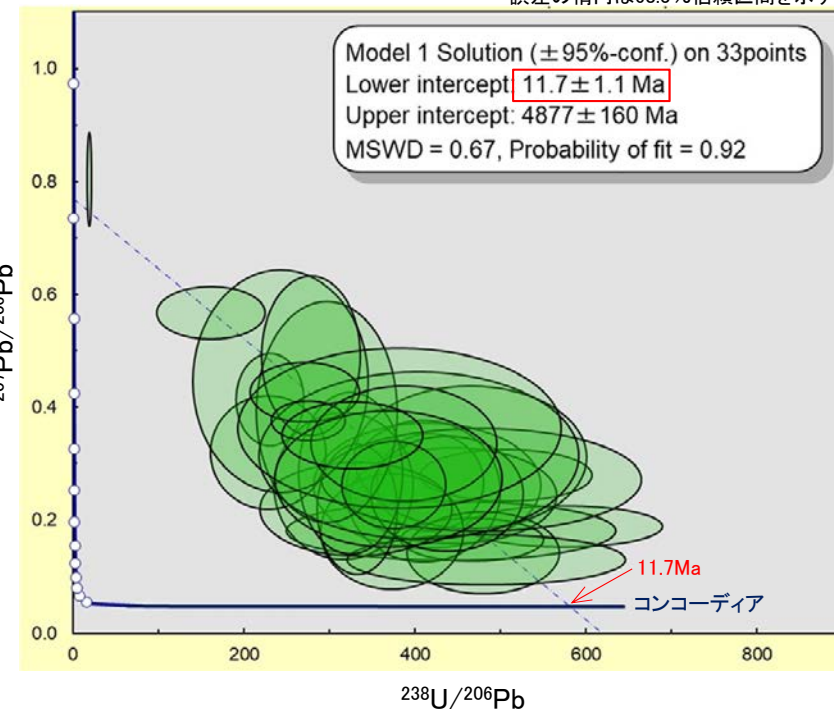
誤差の楕円は68.3%信頼区間を示す。



位置図  
試料採取位置 (オパールCT)



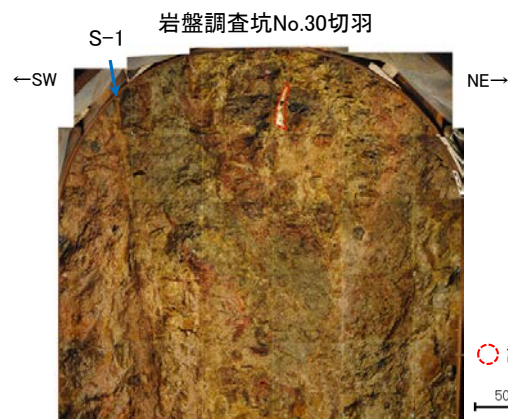
後方散乱電子像



Total Pb Tera-Wasserburg コンコーディア図

年代計算には、Isoplot 3 (Ludwig, 2008)を使用した。

測定データは、補足資料5.2-2(7)P.5.2-2-121



試料採取位置写真

- ・高感度高分解能イオンマイクロプローブ (SHRIMP)を用いてU-Pb年代測定を実施した。
- ・全35測定点のうち、33点から有意な同位体比データを取得し、この33点の重み付け平均によりU-Pb年代を求めた。

### 【U-Pb年代のオパールへの適用事例について】

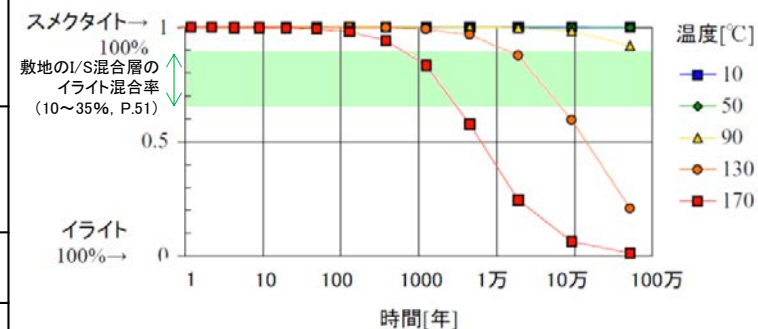
- ・U-PbやU系列を用いた年代測定は、オパール質シリカに適用されている (Neymark and Paces, 2000, 2013等)。
- ・オパールは、U-Pb年代の対象として有望であると考えられる (Neymark, 2015)。

## 【(参考)生成温度・期間に関する文献調査】

- I/S混合層は、地下深部で生成した場合は50°C以上、熱水によって生成した場合は110°C以上で生成することが示されている。また、スメクタイトのイライト化の変質速度に関する知見では、低温ほど生成期間が長く、温度50°Cでは百万年が経過してもイライト化が進行しないとされている。
- オパールCTは、地温約50°C以上の地下深部で生成することが示されている。また、反応速度論的な検討によると、低温ほど生成期間は長く、地下深部の50°Cで生成する場合には、数十万年の期間を要することが示されている。
- フィリップサイトは、地温約50°C以上の地下深部もしくは熱水によって生成されることが示されている。また、熱水変質・接触変成でフィリップサイトと同様な温度環境で生成する斜プチロル沸石について、低温ほど生成期間は長く、約50°Cで生成する場合には、およそ100万年の時間を要するとされている(次頁)。

### ■I/S混合層の生成温度・期間に関する知見

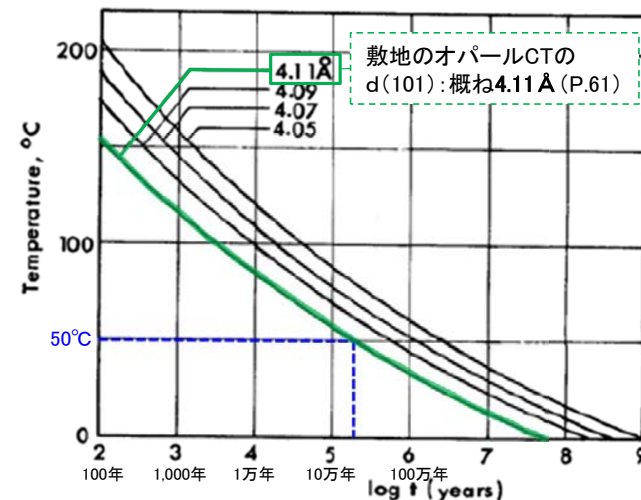
吉村(2001)	<p>&lt;地下深部での生成&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・I/S混合層における積層の仕方、I層とS層の含有率、規則度及び出現温度との関係を表で示している。</li> <li>・この表によると、ライヒバインR=0のI/S混合層の出現温度は、「長期(5~300百万年)、50~60°C」である。</li> </ul> <p>&lt;熱水による生成&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・熱水変質作用によるI/S混合層の生成温度は約120~220°Cである。</li> </ul>
井上(2003)	<p>&lt;熱水による生成&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・スメクタイトのイライト化は熱水変質作用のように比較的短時間で反応が完了する場合には温度の効果が最も重要な反応促進因子である。</li> <li>・I/S混合層は熱水変質作用により、約110°C以上で生成する。</li> </ul>
Velde et al. (1988)	<p>&lt;地下深部での生成&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・スメクタイトからR0(イライト/スメクタイト不規則混合層)への変換温度は60~90°Cである。</li> </ul>
Meunier et al. (2010)	<p>&lt;地下深部での生成&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・多くの研究データから100%純粋なスメクタイトのイライト化の反応の開始点は温度50~80°Cである。</li> </ul>
原子力発電環境整備機構(2014)	<p>&lt;熱水による生成&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・地層処分における熱環境の検討において、Karnland et al. (2000)による時間経過に伴うスメクタイトのイライト化に関する図を示している(右上図)。</li> <li>・この図によると、温度90°Cでは数十万年で10%程度のイライト化が進行するものの、温度50°Cではイライト化に至らない。</li> </ul>



時間経過に伴うスメクタイトのイライト化  
(原子力発電環境整備機構(2014)に一部加筆)

### ■オパールCTの生成温度・期間に関する知見

吉村(2001)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・オパールAは非晶質のシリカ物質であるが、続成変質を受けるとオパールCTが生成する。</li> <li>・両者の境界は埋没温度が50°C付近である。</li> </ul>
太田ほか(2007)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・報告地域におけるシリカ鉱物の変化は埋没続成作用により生じたものと見なし、オパールAからオパールCTへ変化する温度を45°Cと仮定して侵食量を推定している。</li> </ul>
日本粘土学会編(2009)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・シリカ鉱物の帯状分布を整理しており、オパールCTがみられる鉱物帯の境界温度は44°Cである。</li> </ul>
Kano(1983)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・北海道の基礎試錐「浜勇知」から得られたデータを基に反応速度論的な考察を行い、オパールCTのd(101)及び温度、生成期間の関係性を示している(右下図)。</li> <li>・この図によると、d(101)が4.11 ÅであるオパールCTが50°Cで生成する場合には、数十万年の期間を要する。</li> </ul>
Bjørlykke(2015)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・非晶質シリカ(オパールA)は、通常、50~70°Cで溶解しオパールCTに変化する。</li> </ul>

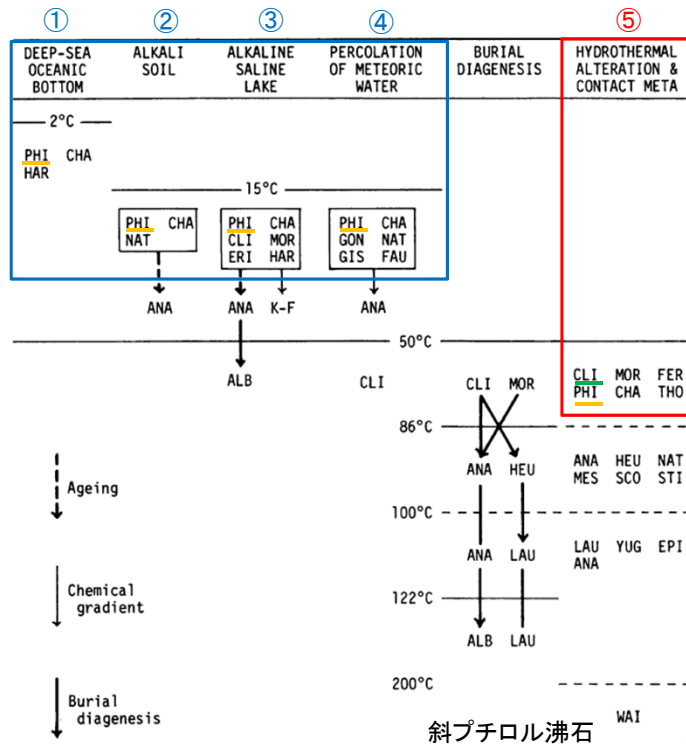


オパールCTのd(101)及び温度、生成期間の関係  
(Kano(1983)に一部加筆)

■フィリップサイトの生成温度・期間に関する知見(関連する沸石類も含む)

中田・千木良(1996)	・火山ガラスからフィリップサイトを合成した結果、フィリップサイトは100~125°Cで多く生成する(Hawkins et al., 1978)。
佐々木ほか(1982)	・斜プチロル沸石は、初期圧密から後期圧密段階初期、地温57°C以上の条件下で火山ガラスを交代して、生成する(青柳, 1978)。 ・斜プチロル沸石が47°Cで生成し始めるには、およそ100万年の時間を要する(鹿野, 1978)。
佐々木(1991)	・海成層中の沸石は、埋没続成下における最高地層温度に強く支配されて生成するが、有効被熱時間が転換温度に対して重要な働きをしている。沸石の転換温度は、有効被熱時間が長くなるにしたがって低くなる。

■フィリップサイトの生成環境に関する知見(飯島, 1986)



志賀サイトでの生成環境を考察



フィリップサイトの生成環境 (左図の番号に対応)	志賀サイト(穴水累層)の特徴
①深海底	× 深海底のフィリップサイトの母材である玄武岩質ガラスは、穴水累層中には含まれない。
②アルカリ土壌	× 敷地には、半乾燥~乾燥地帯のアルカリ土壌は分布しない。
③アルカリ塩湖	× 敷地には、アルカリ塩湖堆積物は分布しない。
④天水の浸透	× 本作用の主な母材である玄武岩質ガラスは、穴水累層中には含まれない。
⑤熱水変質・接触変成	○ 安山岩中には、50°C以上の温度環境下によって生成したと考えられる変質鉱物(I/S混合層, オパールCT)が認められる。

フィリップサイト PHI=phillipsite, CHA=chabazite, NAT=natrolite, CLI=clinoptilolite, MOR=mordenite, ERI=erionite, GON=gonnardite, GIS=gismondine, FAU=faujasite, ANA=analcite, FER=ferrierite, THO=thomsonite, HEU=heulandite, STI=stilbite, MES=mesolite, SCO=scolecite, LAU=laumontite, YUG=yugawaralite, EPI=epistilbite, WAI=wairakite, HAR=harmotome, K-F=K feldspar, ALB=albite.

沸石の種類と生成環境 (飯島(1986)に加筆)



## 5.2.1(1-5) 碎屑岩脈の形成年代評価

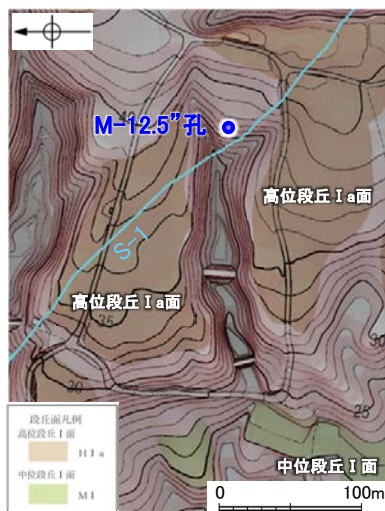
○OM-12.5”孔の深度50.00m(EL-21.70m)付近のS-1において、固結した角礫状破碎部と構成鉱物の種類等が類似する碎屑物が、粘土状破碎部全体を横断している。この碎屑物を「碎屑岩脈※」と呼ぶ(詳細はP.196, 197)。

○薄片を詳細に観察すると、碎屑岩脈は複雑に枝分かれし、内部に流動状の構造が認められることから、碎屑岩脈は未固結な状態で高い圧力を受けて貫入したことが示唆される。さらに、周辺の粘土鉱物中に引きずり等の構造が認められないことから、粘土鉱物は碎屑岩脈の貫入当時は軟質ではなかったと考えられ、現在と異なる環境下にあったことが示唆される。これらのことを踏まえ、碎屑岩脈は地下深部の高封圧下で形成したと判断した(薄片拡大写真)。

○本地点では、高位段丘 I a面の形成時期(約12~13万年前より古い高海面期, P.488)以降の海退期に、侵食により現在の地形が形成され、その後の地形に大きな変化はない(発電所建設前の旧地形図)。碎屑岩脈が確認された位置は浅部であり、碎屑岩脈は、約12~13万年前以降、現在とほぼ同じ低封圧下にあった。この低封圧下では、高封圧下で形成する碎屑岩脈は形成しないと判断した。

○以上より、碎屑岩脈は少なくとも後期更新世以降に形成したものではない。

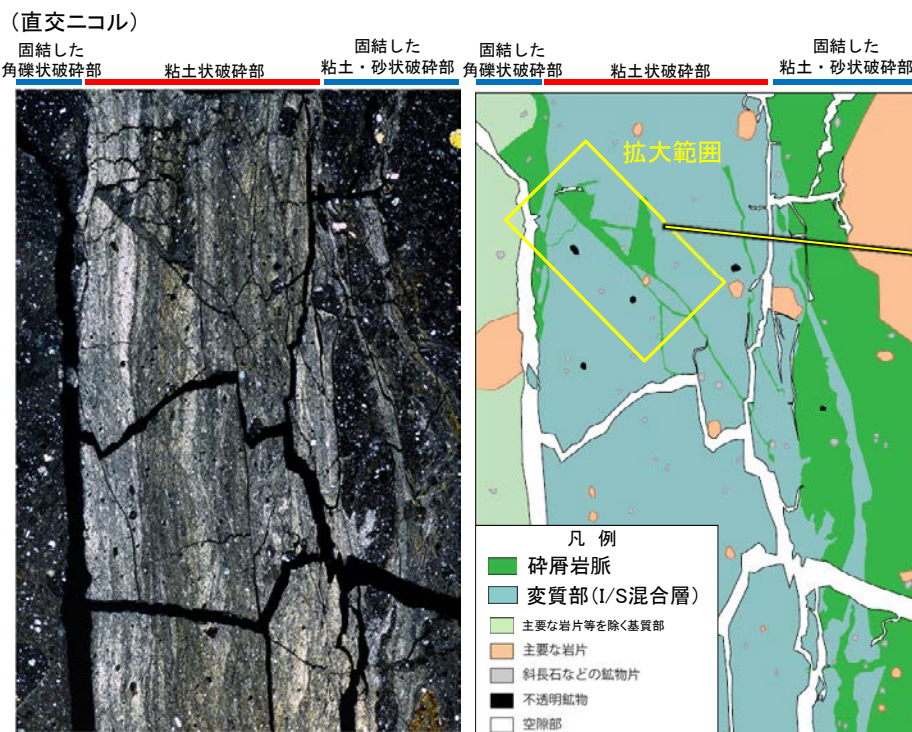
※碎屑岩脈の硬軟に関する定量的な確認結果はP.146~148



発電所建設前の旧地形図

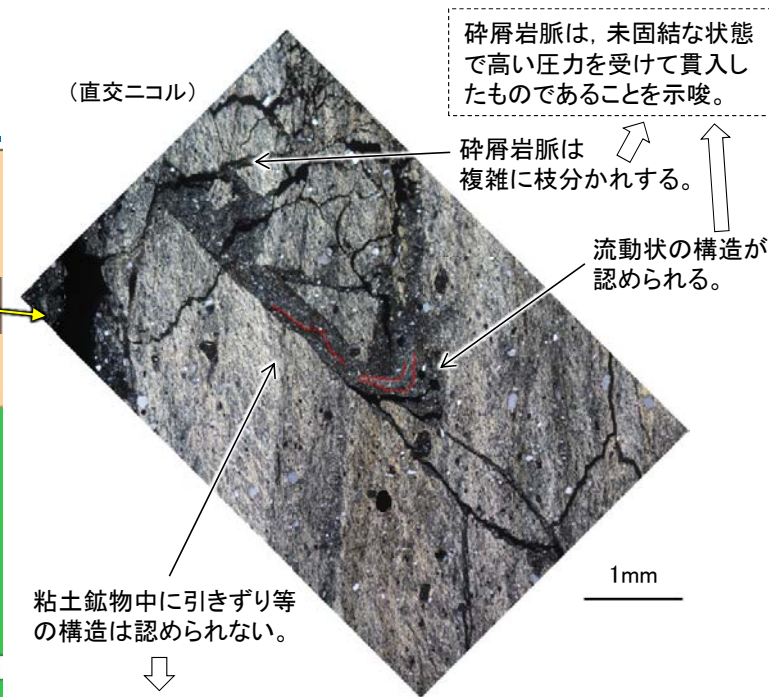
M-12.5”孔は高位段丘 I a面を開析する谷に位置する。

本地点では、高位段丘 I a面の形成時期(P.488)以降の海退期に、侵食により現在の地形が形成された。



M-12.5”孔 薄片写真 1mm

スケッチ 1mm



粘土鉱物は、碎屑岩脈の貫入当時は軟質ではなかったと考えられ、現在とは異なる環境下にあったことを示唆。

薄片拡大写真(流動状の構造を加筆)

## 5.2.1(1-6) 評価に用いる変質鉱物

○変質鉱物の生成年代及び碎屑岩脈の形成年代の評価結果に基づき、鉱物脈法による活動性評価に用いる変質鉱物を整理した。

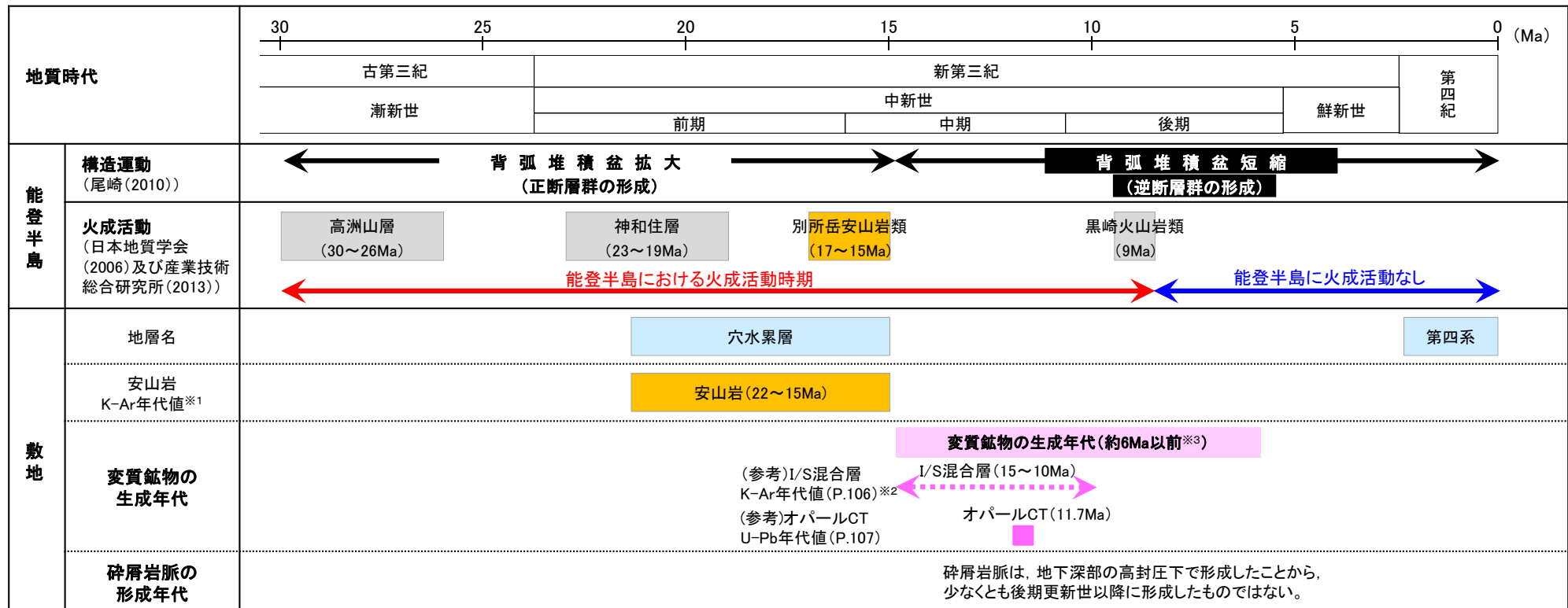
<変質鉱物の生成年代評価(P.88)>

変質鉱物は、少なくとも後期更新世以降に生成したものではない。

<碎屑岩脈の形成年代評価(P.110)>

碎屑岩脈は、少なくとも後期更新世以降に形成したものではない。

少なくとも後期更新世以降に生成したものではないと評価した変質鉱物(I/S混合層等)及び  
少なくとも後期更新世以降に形成したものではないと評価した碎屑岩脈を用いて、鉱物脈法による活動性評価を行う。



※1:補足資料5.2-1(2), ※2:信頼性確認は、補足資料5.2-2(9), ※3:5.2.1(1-3)生成環境を踏まえて推定した生成年代

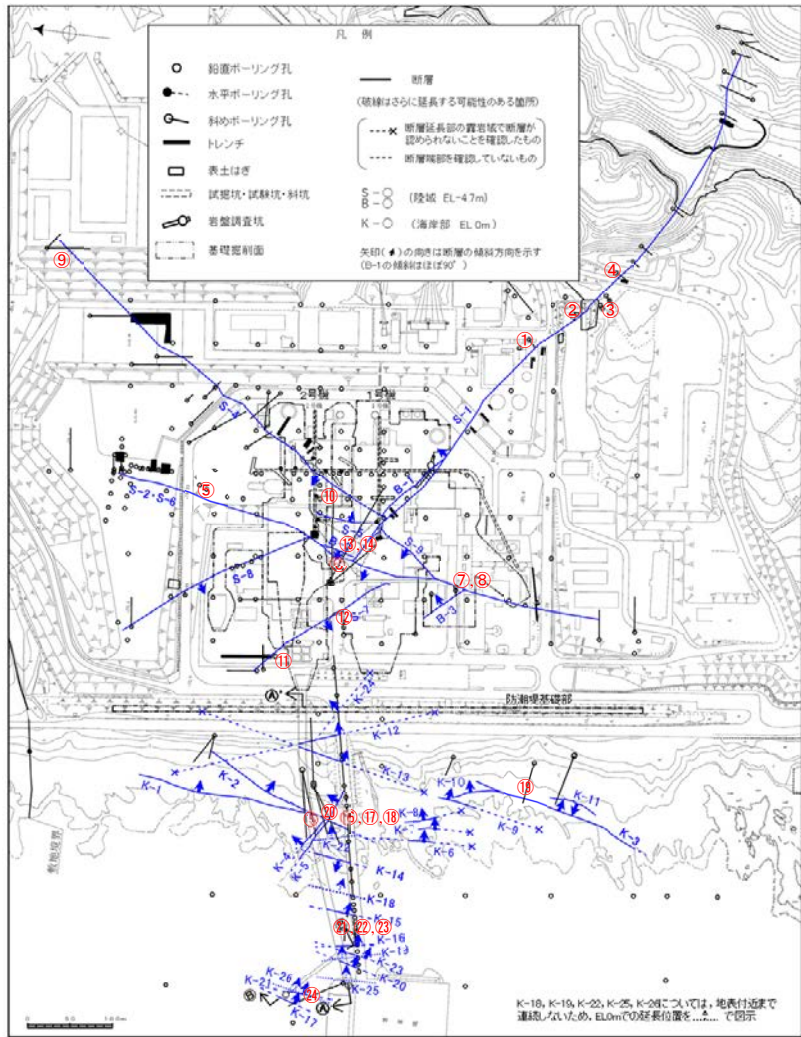
---

## 5.2.1(2) 破碎部中の鉍物脈



## 5.2.1(2) 破碎部中の鉱物脈

- 断層と鉱物脈との関係を確認するためにボーリングコア観察及び露頭調査を実施した。
- ボーリングコア観察の結果、破碎部中に鉱物脈を確認した。鉱物脈は固結した破碎部及び粘土状破碎部中に認められ、それらに変位、変形は認められない。このことから、破碎部の形成は、これらの鉱物脈の生成以前であると考えられる。
- 露頭調査については、敷地内の既存トレンチの観察を行ったが、風化変質等の影響が著しく、破碎部中に鉱物脈は認められなかった。



平面図

試料⑰(白色)

XRD分析 測定諸元	
装置 理学電気製 MultiFlex	Divergence Slit: 1°
Target: Cu (Kα)	Scattering Slit: 1°
Monochromator: Graphite 湾曲	Receiving Slit: 0.3mm
Voltage: 40kV	Scanning Speed: 2° /min
Current: 40mA	Scanning Mode: 連続法
Detector: SC	Sampling Range: 0.02°
Calculation Mode: cps	Scanning Range: 2~61°

試料⑰(オリブ色), ⑱

XRD分析 測定諸元	
装置 Rigaku RINT2500V	
Target: Cu (Kα)	Divergence Slit: 0.5°
Voltage: 40kV	Receiving Slit: 0.15mm
Detector: SC*	Step size: 0.02°

試料①, ③, ⑤, ⑮

XRD分析 測定諸元	
装置 PANalytical X'Pert Pro	
Target: Cu (Kα)	Divergence Slit: 15mm
Voltage: 40kV	Receiving Slit: 0.20mm
Detector: PC	Step size: 0.02°

破碎部中に認められた鉱物脈※1

鉱物脈が認められた位置	深度	標高	記事	変質鉱物		
①	L-12.2	41.93m	EL-10.97m	41.52~41.93mに灰白色~灰オリブ色の鉱物脈あり。	スメクタイト※2	
②	M-12.5	63.43m	EL-35.33m	63.31~63.66mにオリブ色の鉱物脈あり。	—	
③	N-13'	23.39m	EL15.13m	23.69~23.94mに灰白~オリブ褐色の鉱物脈あり。	スメクタイト※2	
④	N-14	30.97m	EL11.78m	31.00~31.50mに灰白~オリブ褐色の鉱物脈あり。	—	
⑤	E-8.6	11.70m	EL9.41m	12.02~12.21mにオリブ黄色の鉱物脈あり。	スメクタイト※2	
⑥	H-6.5'	34.55m	EL-13.41m	34.46~34.48mに灰白色の鉱物脈あり。	—	
⑦	K-6.3	20.61m	EL-9.48m	20.30~20.46mにオリブ黄色の鉱物脈あり。	—	
⑧	K-6.2-2	30.94m	EL-19.44m	31.31~31.34mに灰白色の鉱物脈あり。	—	
⑨	A-14.5S	57.49m	EL8.85m	57.41~57.43mに灰白色の鉱物脈あり。	—	
⑩	H-6.4	94.65m	EL-55.84m	94.56~94.60mにオリブ黄色の鉱物脈あり。	—	
⑪	F-4.6	29.70m	EL-18.60	29.66~29.68mにオリブ色の鉱物脈あり。	—	
⑫	H-5.7	13.20m	EL-0.55m	13.14~13.40mに浅黄色の鉱物脈あり。	—	
⑬	H-5.4-4E	87.56m	EL-11.60m	87.54~87.56mに灰白色の鉱物脈あり。	—	
⑭	H-6.5	46.32m	EL-29.88m	46.30~46.37mにオリブ黄色・灰白色の鉱物脈あり。	—	
⑮	G-1.9-27	47.81m	EL-17.82m	47.68~47.77mにオリブ色の鉱物脈あり。	スメクタイト※2	
⑯	H-0.9-75	36.51m	EL-29.00m	36.27~36.47mにオリブ褐色の鉱物脈あり。	—	
⑰	H-1.1	103.77m	EL-96.99m	103.36~106.29mにオリブ色・白色の鉱物脈あり。	I/S混合層, オパールCT	
⑱	H-1.3-88	139.30m 141.57m	EL-131.95m EL-134.21m	139.32~139.50mに浅黄色の鉱物脈あり。 141.44~142.00mにオリブ~オリブ褐色の鉱物脈あり。	—	
⑲	K-3	M-2.2	48.83m	EL-31.52m	48.72~48.84mにオリブ色の鉱物脈あり。	I/S混合層
⑳	K-5	G-1.5-35	40.06m	EL-18.49m	40.16~41.43mに明褐色~オリブ色の鉱物脈あり。	—
㉑	H- -1.86	36.28m	EL-32.64m	36.18~36.49mに褐~黄褐色の鉱物脈あり。	—	
㉒	K-16	H- -1.80	43.35m	EL-39.71m	43.07~43.80mに褐色・オリブ色の鉱物脈あり。	—
㉓	H- -1.7	57.55m	EL-53.91m	57.21~57.78mに灰白色・オリブ色・褐色の鉱物脈あり。	—	
㉔	K-17	H- -3.0-55	78.23m	EL-60.44m	78.14~78.23mに灰白色の鉱物脈あり。	—

※1: ボーリングコア観察の結果、破碎部中に認められた鉱物脈とボーリングコアに認められる変質の状況(次頁)について柱状図に加筆した(データ集1)。

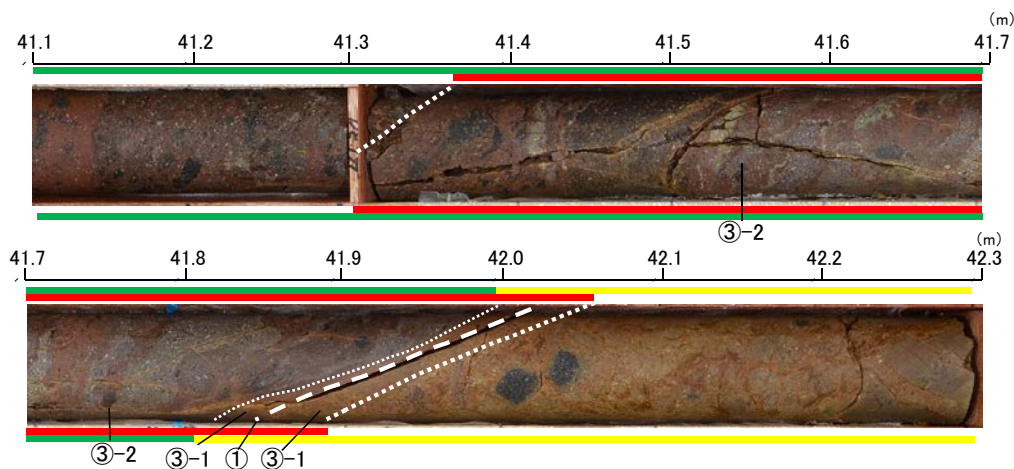
—: XRD分析未実施

※2: XRD分析により、主な粘土鉱物としてスメクタイトが認められており、同一断層の別孔で実施したXRD分析(粘土分濃集)の結果を踏まえ、これらの変質鉱物はI/S混合層であると判断した。

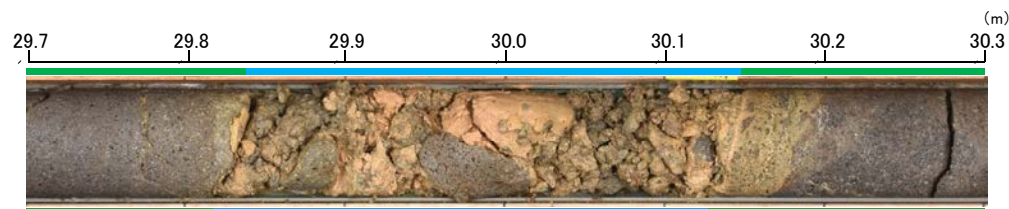
## 【ボーリングコアに認められる変質の状況】

- ボーリングコア観察の結果、熱水変質によるものと考えられる変質の状況が認められた。  
 ○変質区分を、以下の3区分とし、柱状図に変質、強い変質が認められた区間を柱状図に記載した(データ集1)。
- ・非変質, 弱く変質: 原岩組織が判別でき、変質部分が50%未満。
  - ・変質: 原岩組織が判別でき、変質部分が50%以上。
  - ・強く変質: 原岩組織が不明。

凡例	
①	粘土状破碎部
③-1	固結した粘土・砂状破碎部
③-2	固結した角礫状破碎部



変質している区間の例(L-12.2孔)



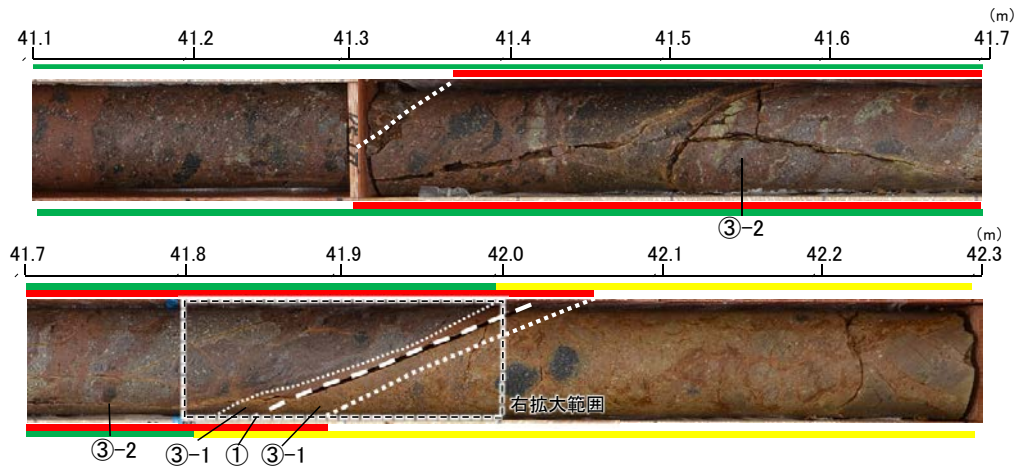
強く変質している区間の例(H-1.1-87孔)

- 変質している区間(非変質, 弱く変質)
- 変質している区間(変質)
- 変質している区間(強く変質)

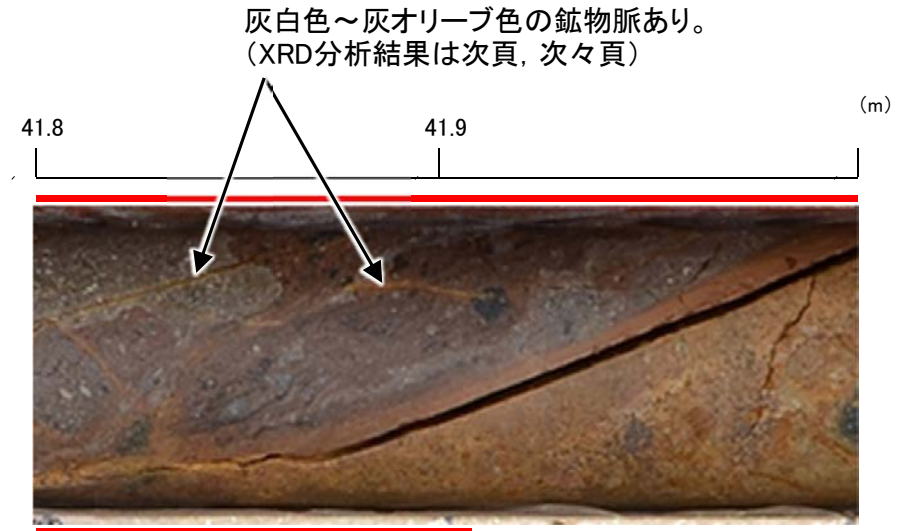


### 【破砕部中に認められた鉱物脈(S-1)】

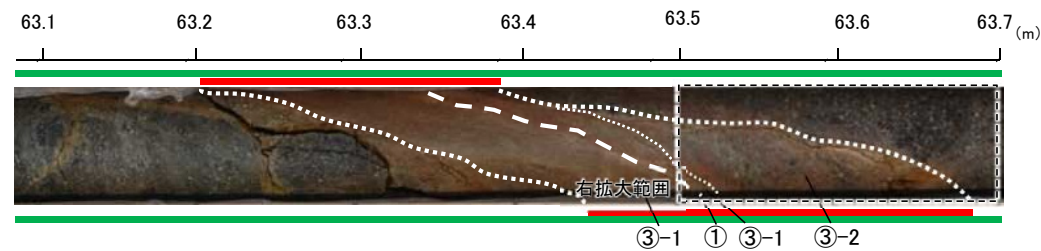
- 凡例
- ① 粘土状破砕部
  - ③-1 固結した粘土・砂状破砕部
  - ③-2 固結した角礫状破砕部
  - 変質している区間(非変質, 弱く変質)
  - 変質している区間(変質)



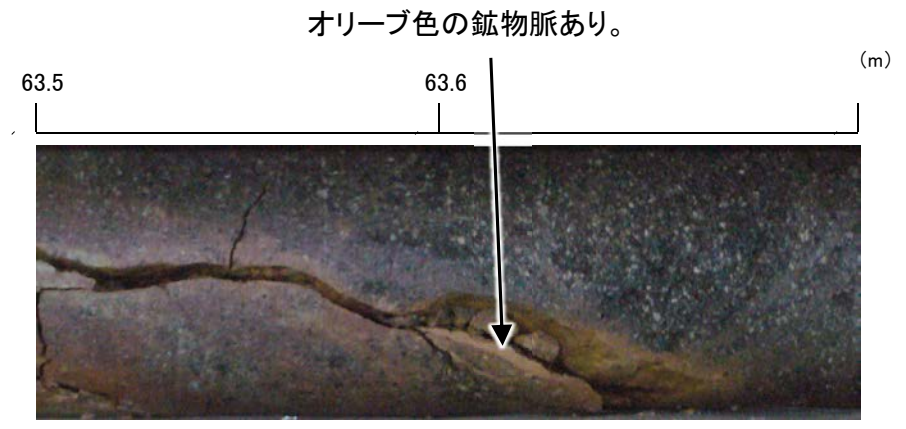
S-1写真(L-12.2孔)



拡大写真(L-12.2孔 41.8～42.0m)



S-1写真(M-12.5孔)

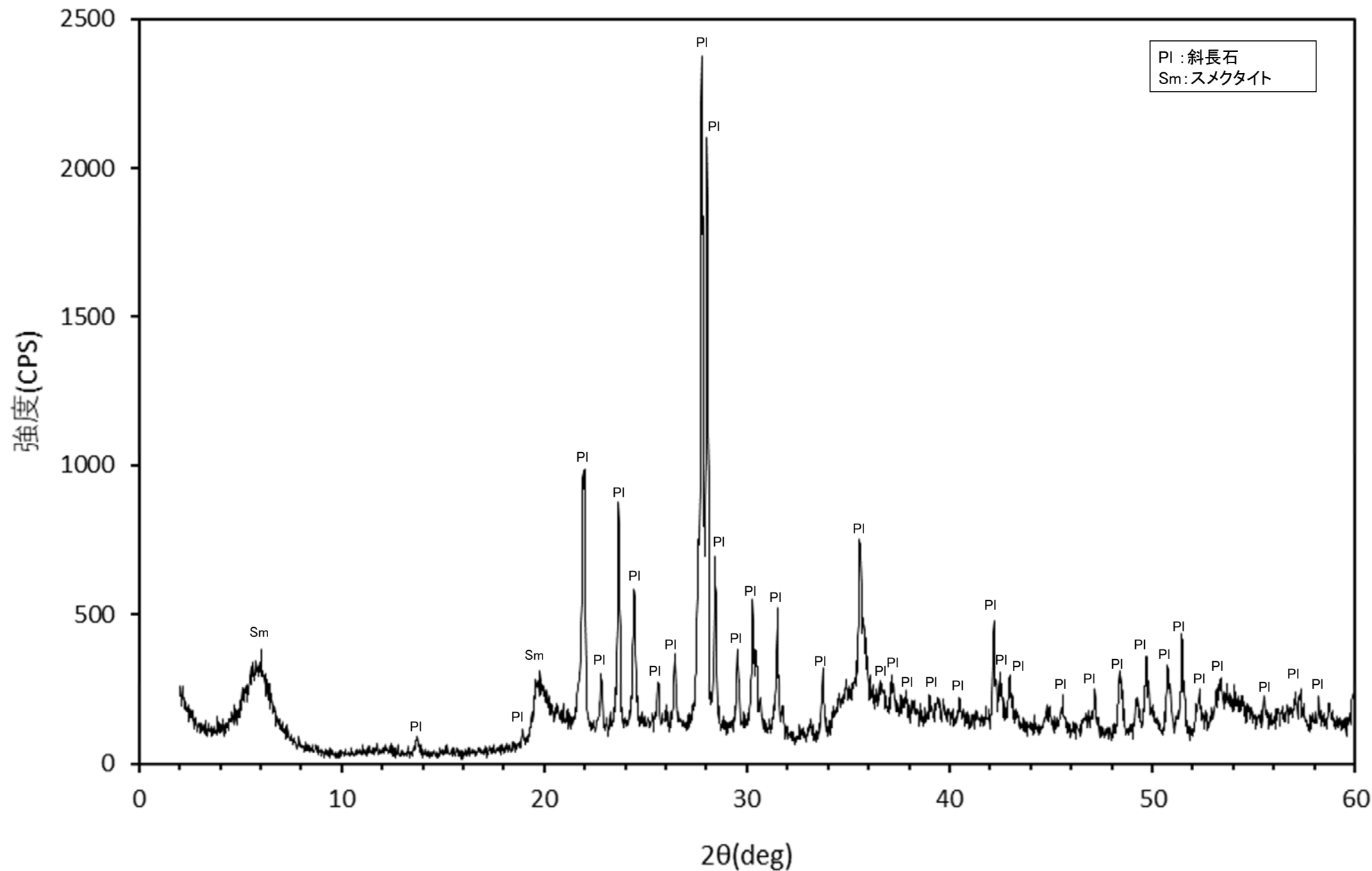


拡大写真(M-12.5孔 63.5～63.7m)

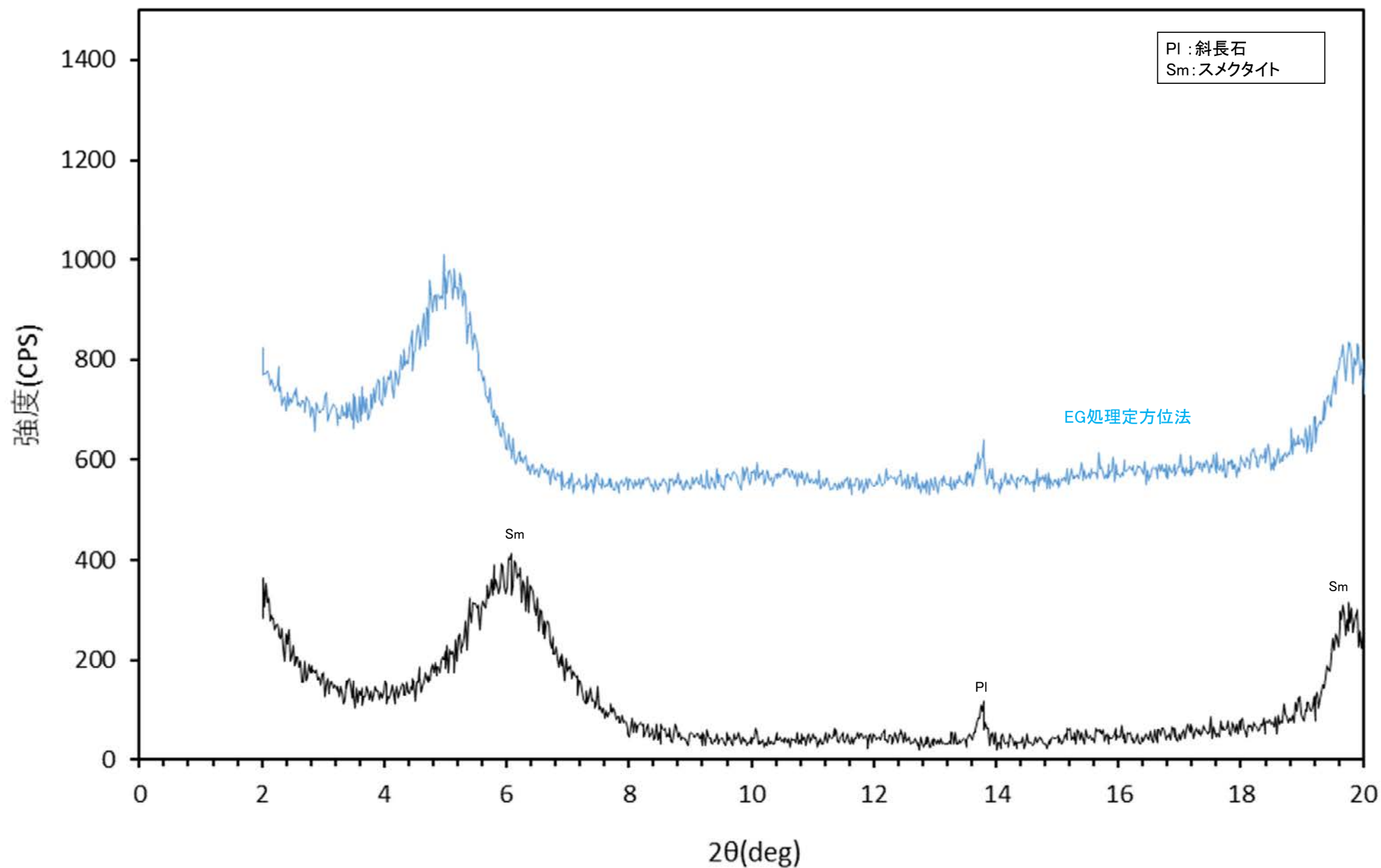


【L-12.2孔 X線回折チャート 不定方位】

○ 鉱物脈でXRD分析を実施した結果、主な粘土鉱物としてスメクタイトが認められる。



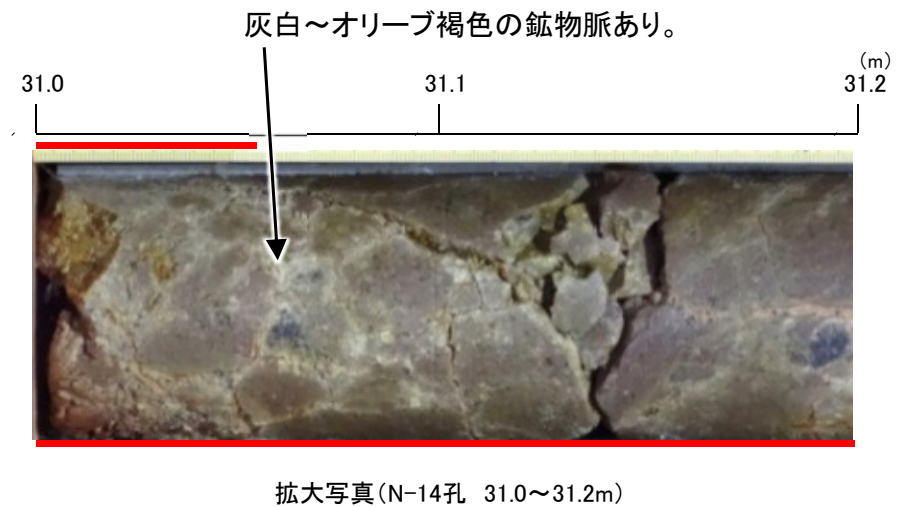
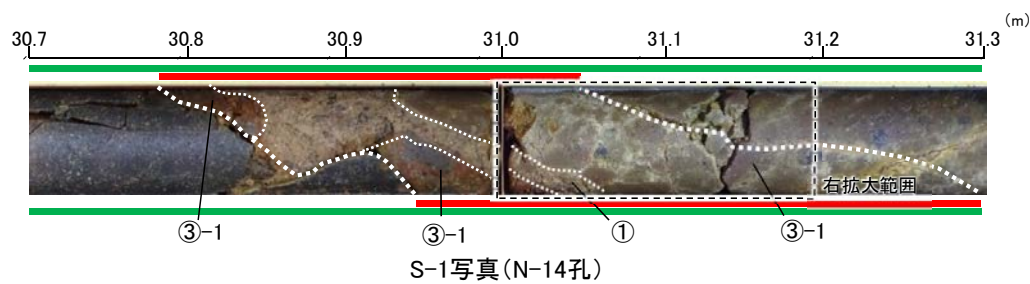
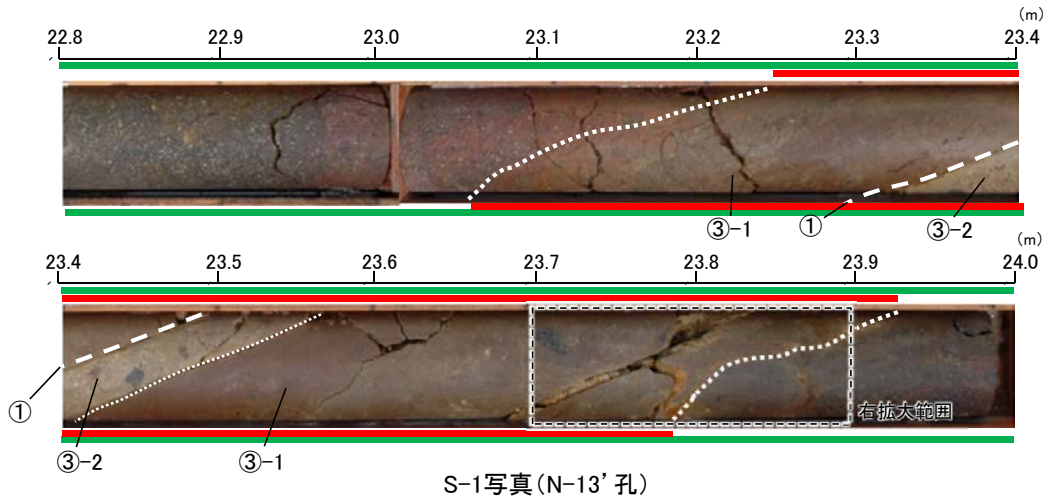
【L-12.2孔 X線回折チャート 定方位 EG処理】



回折チャート  
(EG処理も合わせて表示)

【破碎部中に認められた鉱物脈(S-1)】

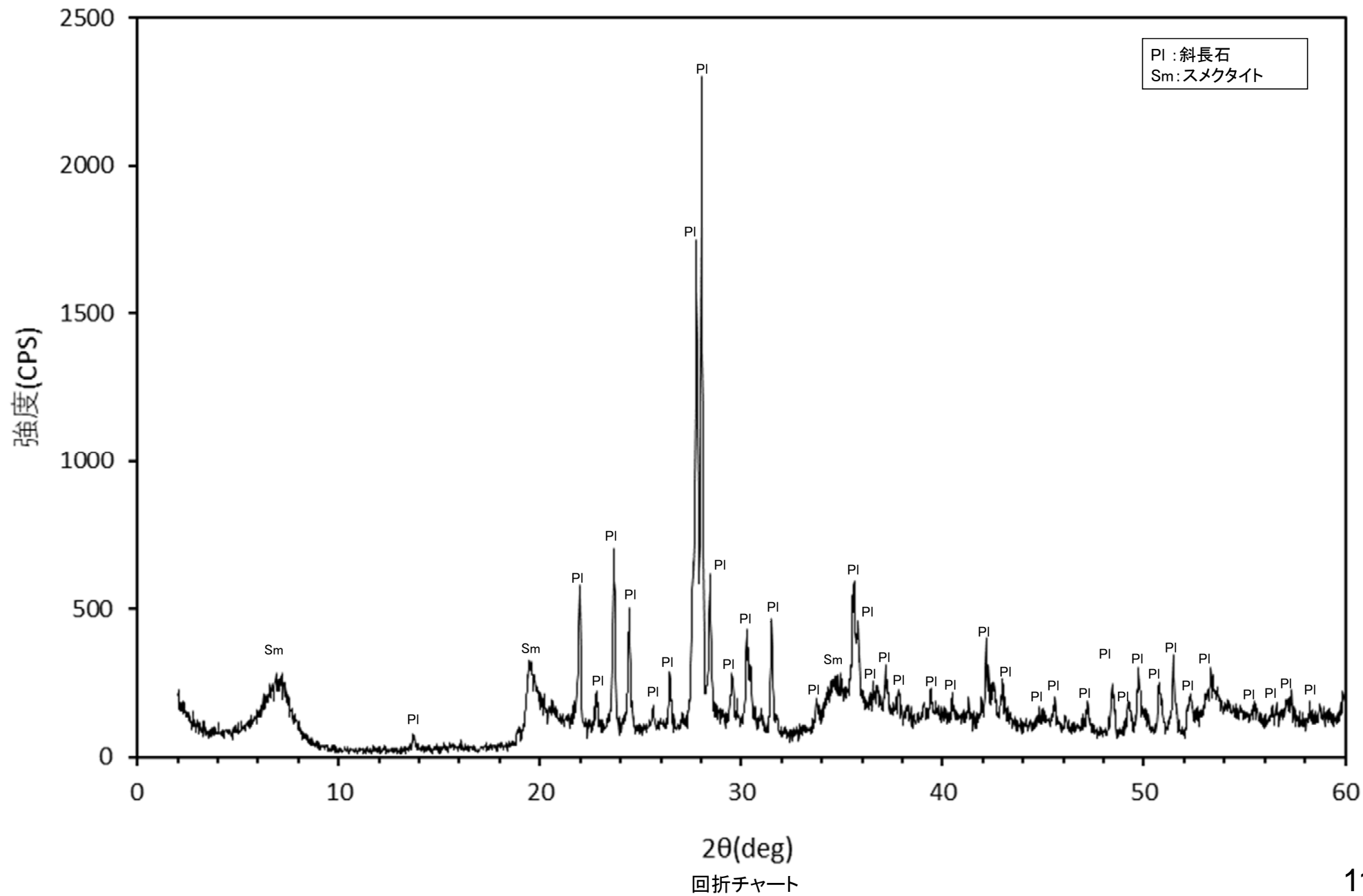
- 凡例
- ① 粘土状破碎部
  - 破碎部
  - ③-1 固結した粘土・砂状破碎部
  - ③-2 固結した角礫状破碎部
  - 変質している区間(非変質, 弱く変質)
  - 変質している区間(変質)



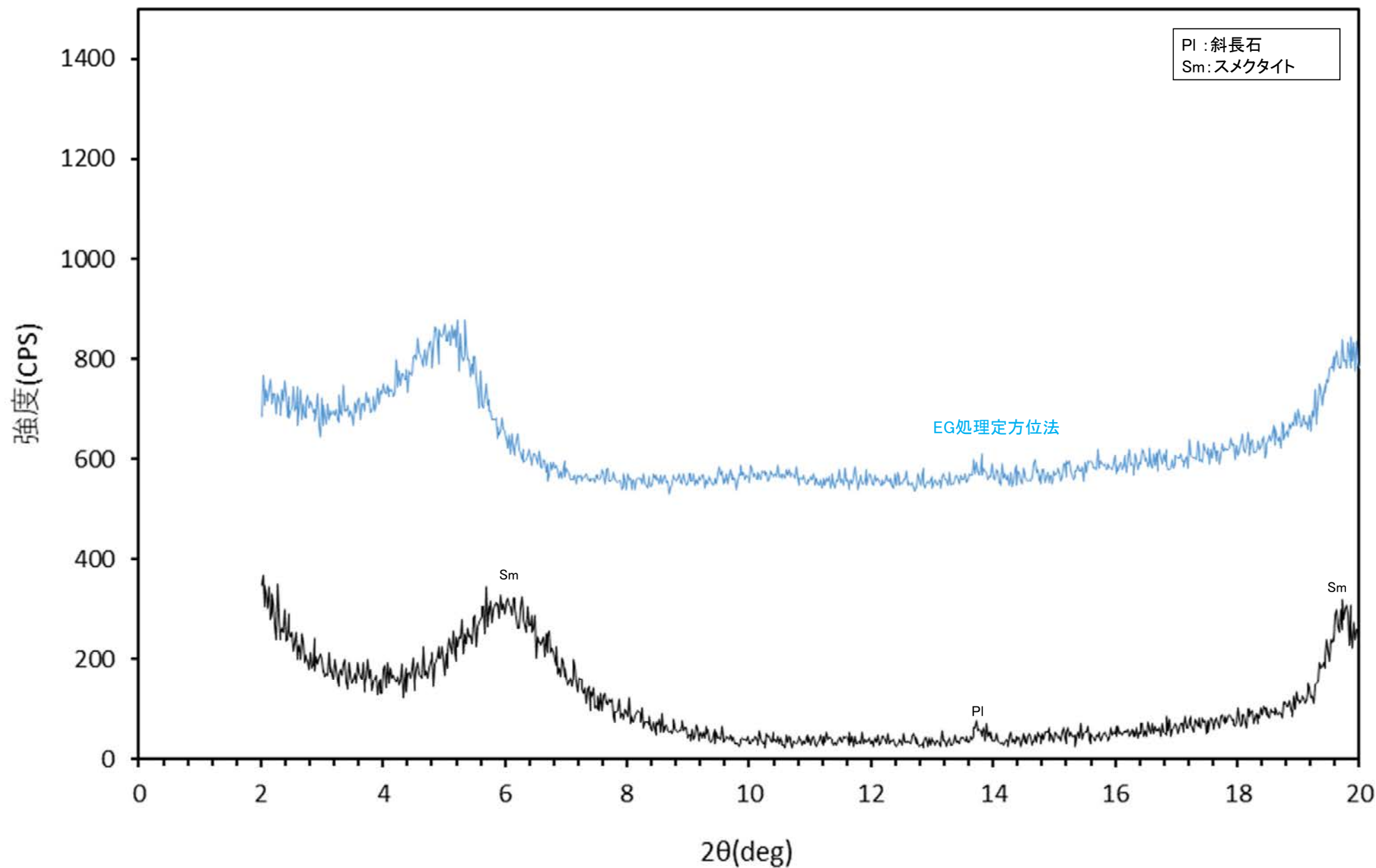


### 【N-13' 孔 X線回折チャート 不定方位】

○ 鉍物脈でXRD分析を実施した結果、主な粘土鉍物としてスメクタイトが認められる。



【N-13' 孔 X線回折チャート 定方位 EG処理】



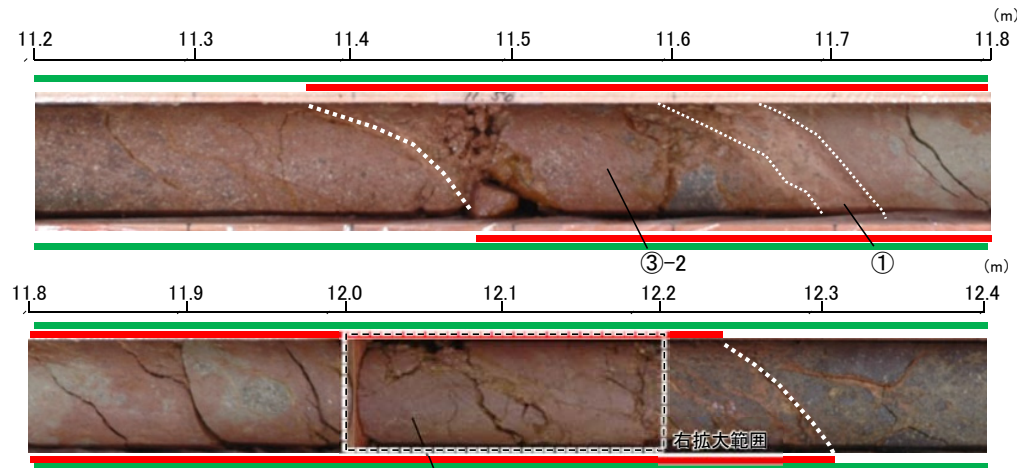
回折チャート  
(EG処理も合わせて表示)

【破砕部中に認められた鉱物脈(S-2・S-6)】

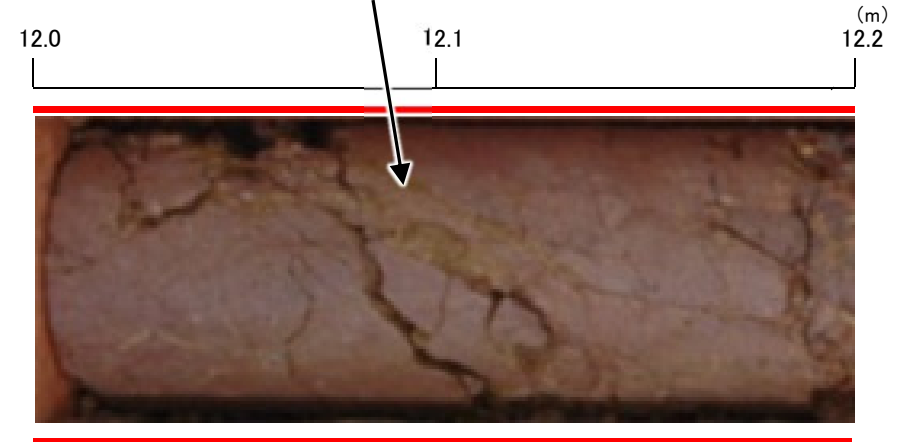
凡例

- ① 粘土状破砕部
- 破砕部 ③-1 固結した粘土・砂状破砕部
- ③-2 固結した角礫状破砕部
- 変質している区間(非変質, 弱く変質)

オリーブ黄色の鉱物脈あり。  
(XRD分析結果は次頁, 次々頁)

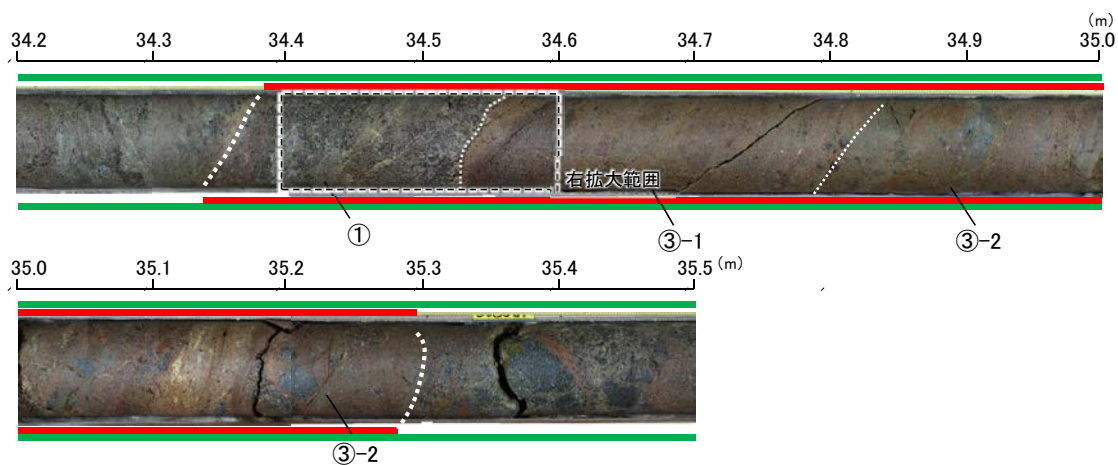


③-2  
S-2・S-6写真(E-8.6孔)

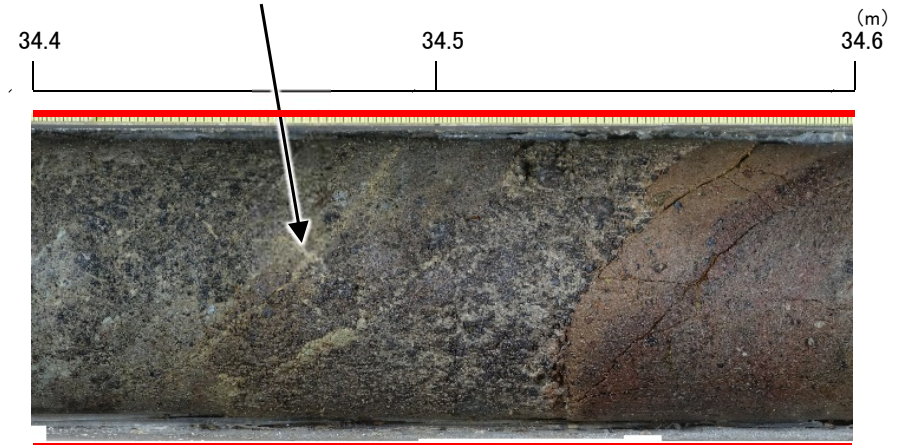


拡大写真(E-8.6孔 12.0~12.2m)

灰白色の鉱物脈あり。



③-2  
S-2・S-6写真(H-6.5'孔)

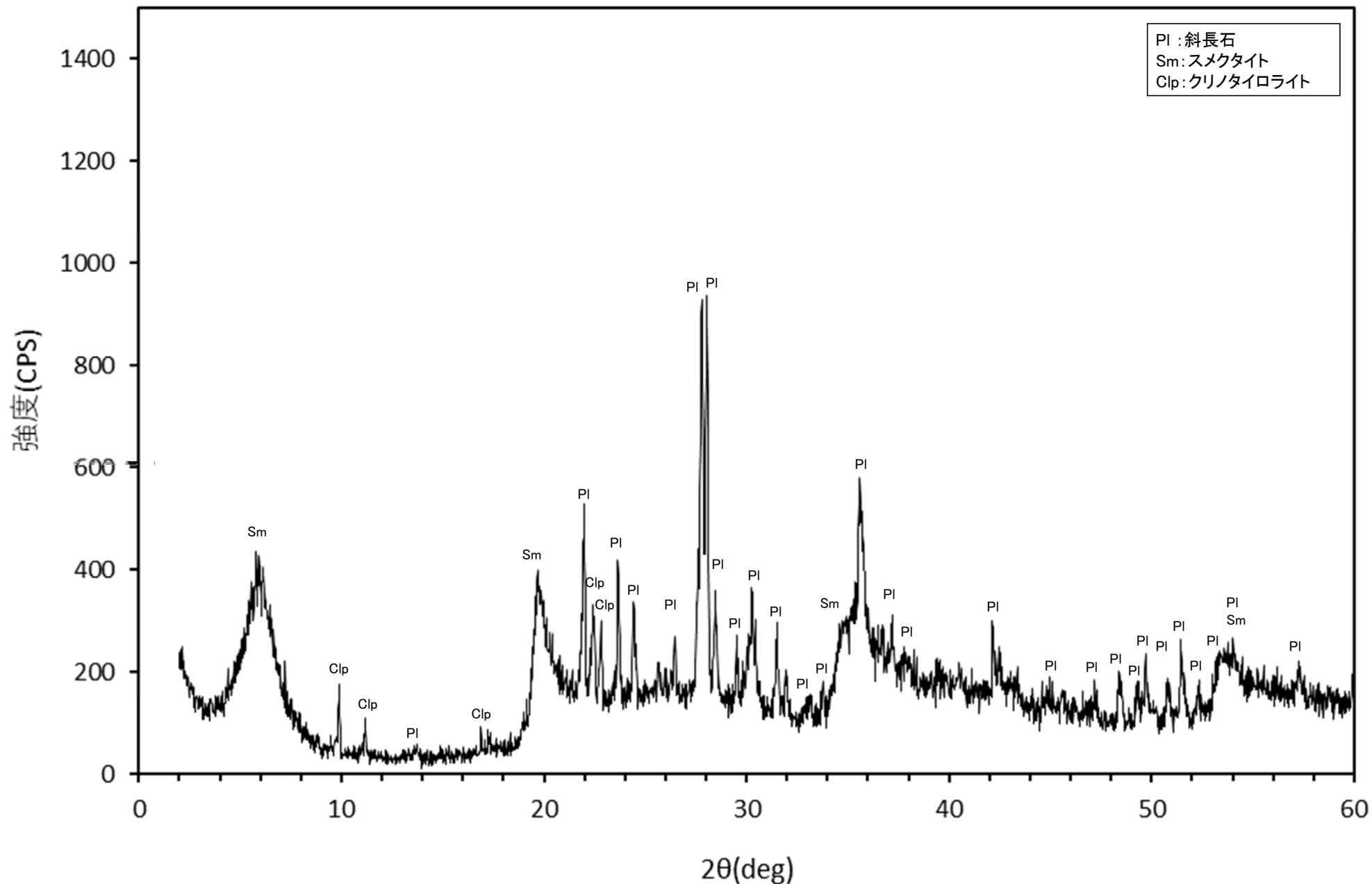


拡大写真(H-6.5'孔 34.4~34.6m)



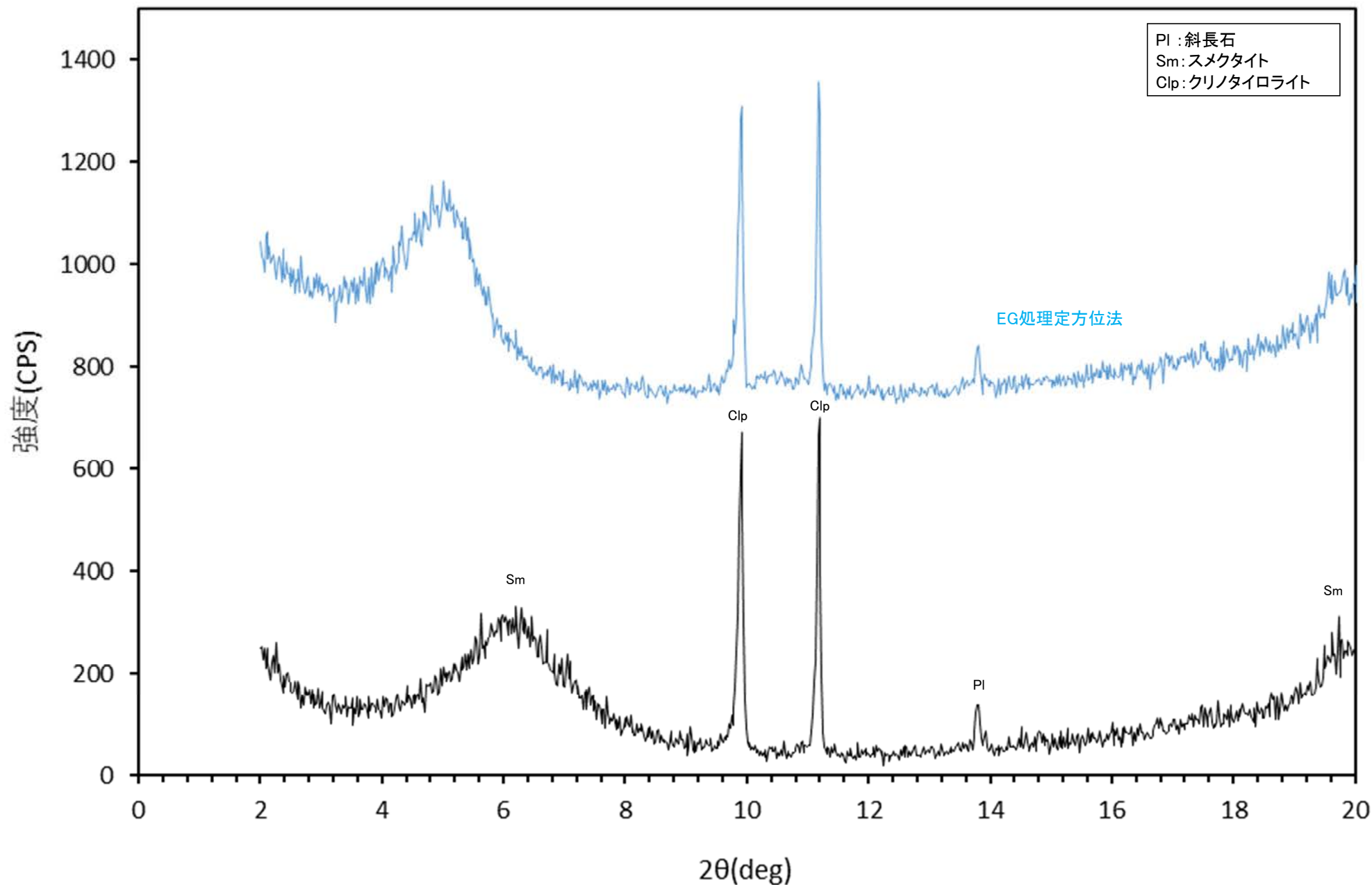
【E-8.6孔 X線回折チャート 不定方位】

○ 鉱物脈でXRD分析を実施した結果、主な粘土鉱物としてスメクタイトが認められる。



回折チャート

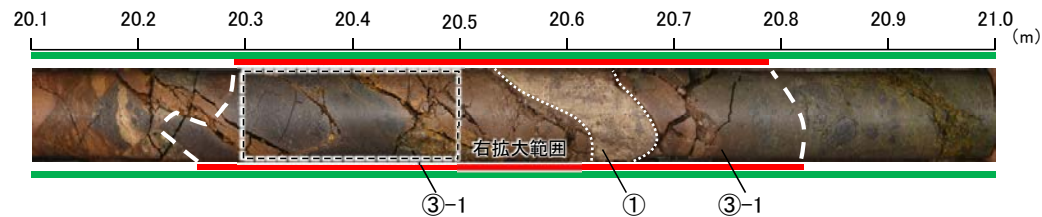
【 E-8.6孔 X線回折チャート 定方位 EG処理】



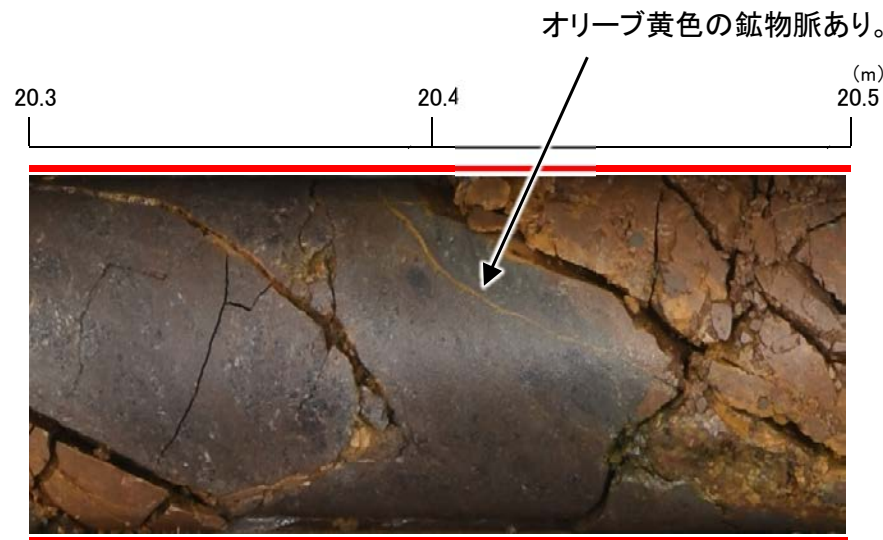
回折チャート  
(EG処理も合わせて表示)

### 【破碎部中に認められた鉱物脈(S-2・S-6)】

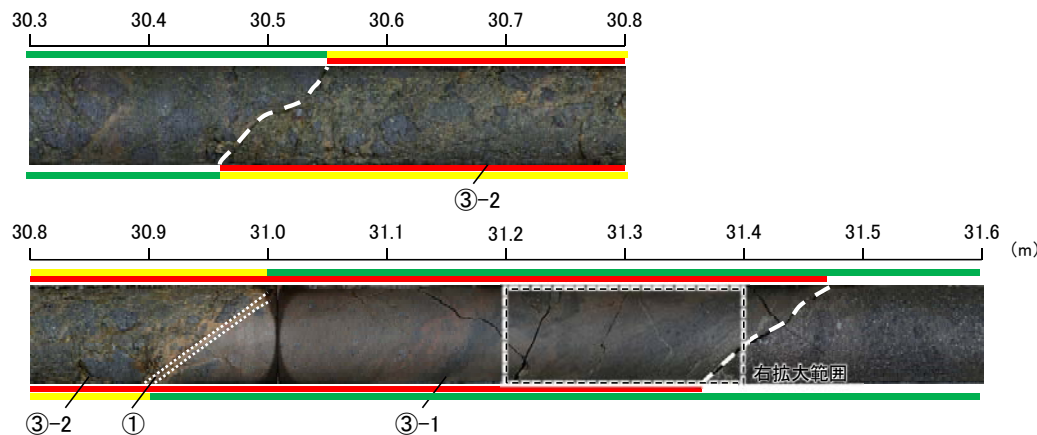
- 凡例
- ① 粘土状破碎部
  - ③-1 固結した粘土・砂状破碎部
  - ③-2 固結した角礫状破碎部
  - 変質している区間(非変質, 弱く変質)
  - 変質している区間(変質)



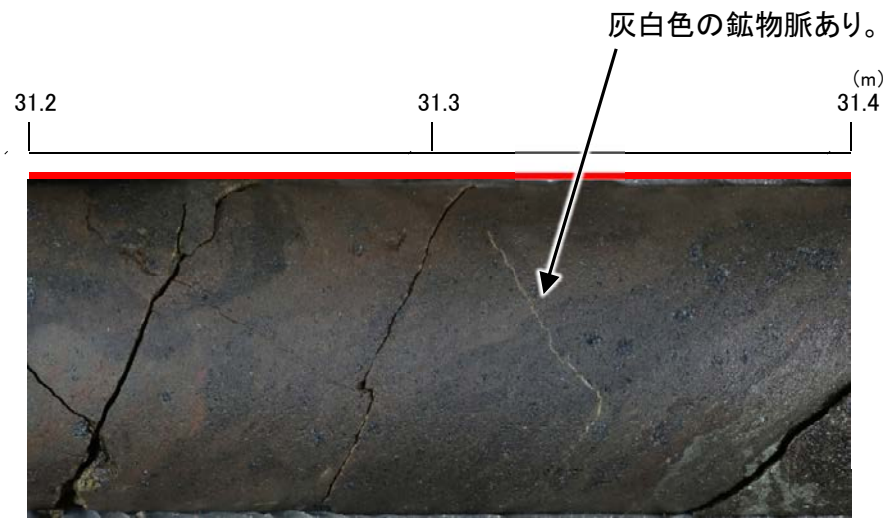
S-2・S-6写真(K-6.3孔)



拡大写真(K-6.3孔 20.3~20.5m)



S-2・S-6写真(K-6.2-2孔)

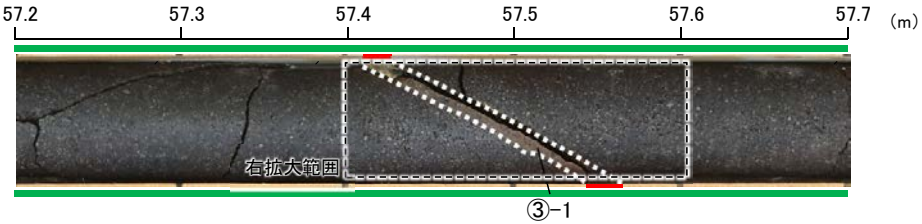


拡大写真(K-6.2-2孔 31.2~31.4m)

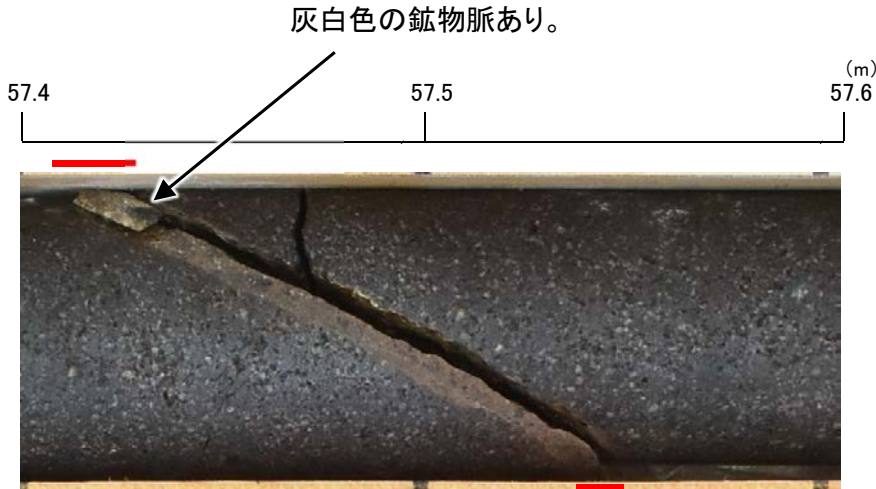


### 【破碎部中に認められた鉱物脈(S-4)】

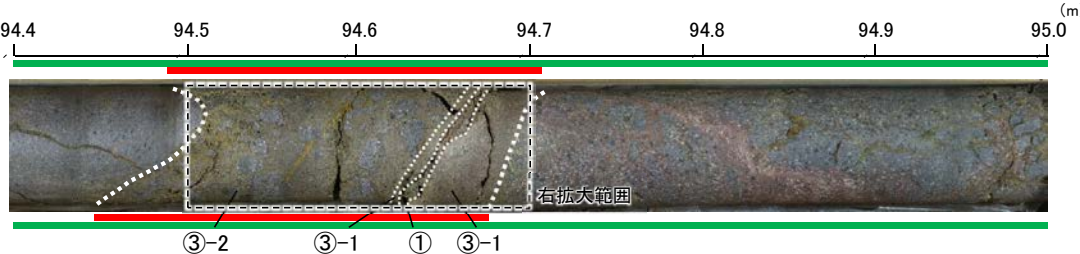
- 凡例
- ① 粘土状破碎部
  - ② 破碎部
  - ③-1 固結した粘土・砂状破碎部
  - ③-2 固結した角礫状破碎部
  - 変質している区間(非変質, 弱く変質)



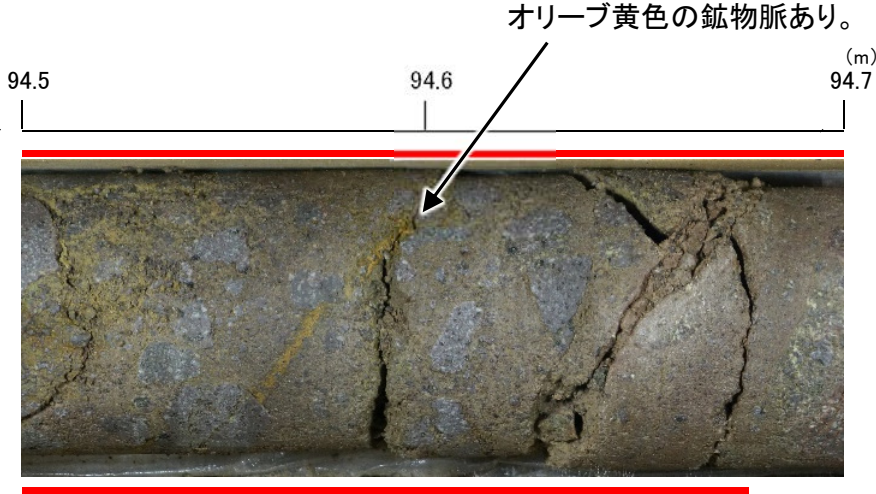
S-4写真(A-14.5S孔)



拡大写真(A-14.5S孔 57.4~57.6m)



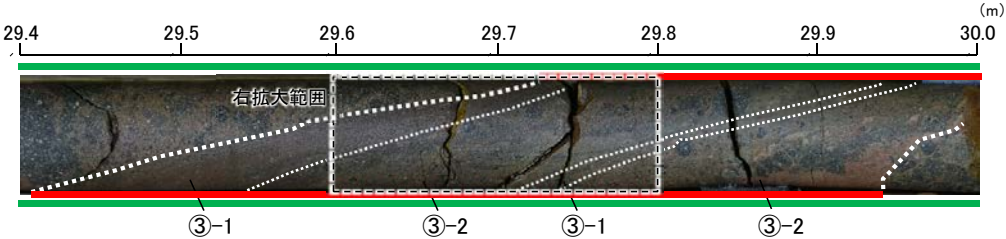
S-4写真(H-6.4孔)



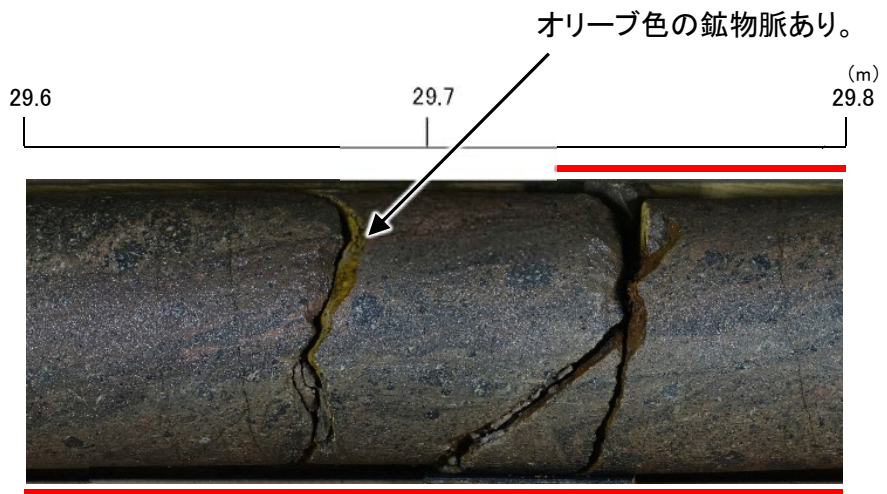
拡大写真(H-6.4孔 94.5~94.7m)

### 【破碎部中に認められた鉱物脈(S-7)】

- 凡例
- ① 粘土状破碎部
  - ③-1 固結した粘土・砂状破碎部
  - ③-2 固結した角礫状破碎部
  - 変質している区間(非変質, 弱く変質)

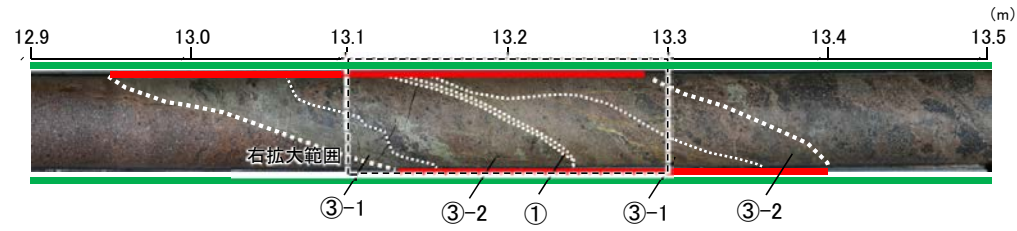


S-7写真(F-4.6孔)

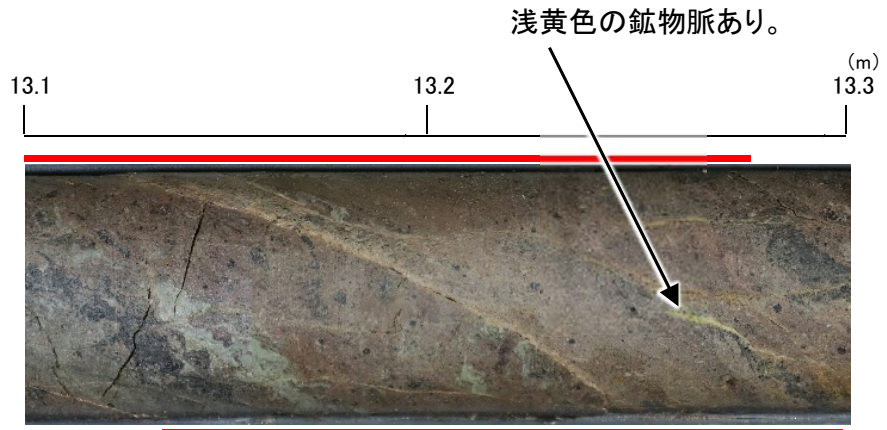


拡大写真(F-4.6孔 29.6~29.8m)

オリーブ色の鉱物脈あり。



S-7写真(H-5.7孔)



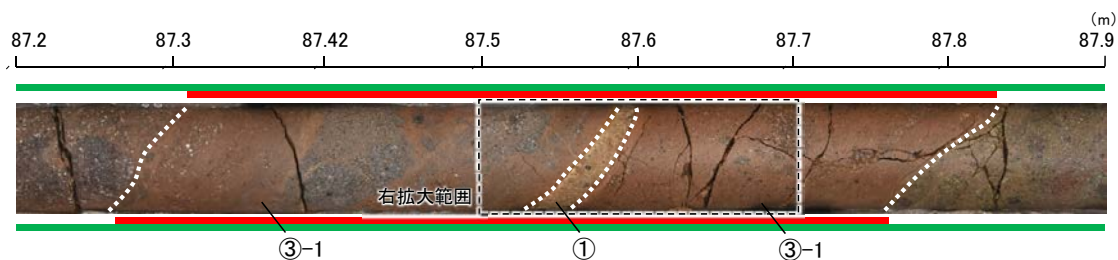
拡大写真(H-5.7孔 13.1~13.3m)

浅黄色の鉱物脈あり。

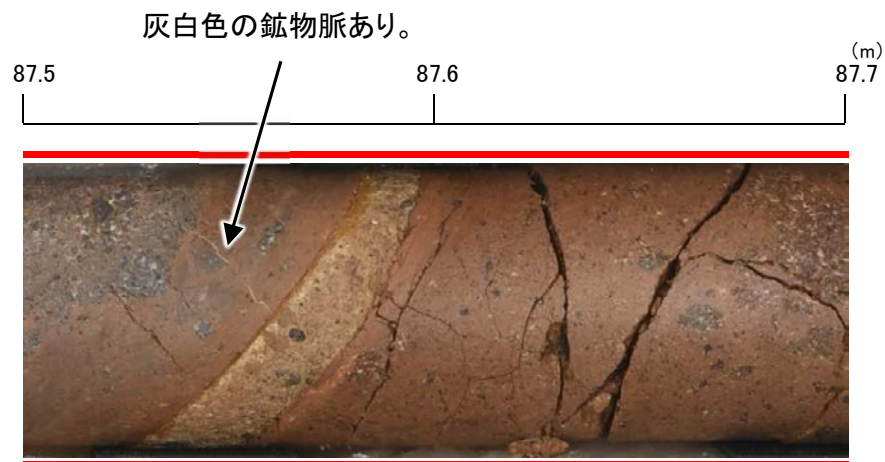
### 【破碎部中に認められた鉱物脈(B-2)】

凡例

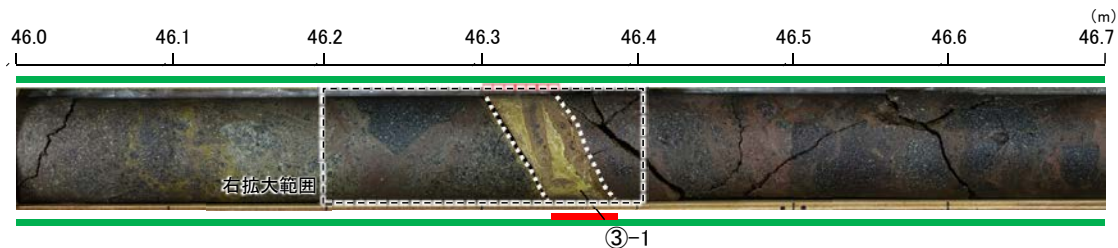
- 破碎部
- ① 粘土状破碎部
- ③-1 固結した粘土・砂状破碎部
- 変質している区間(非変質, 弱く変質)



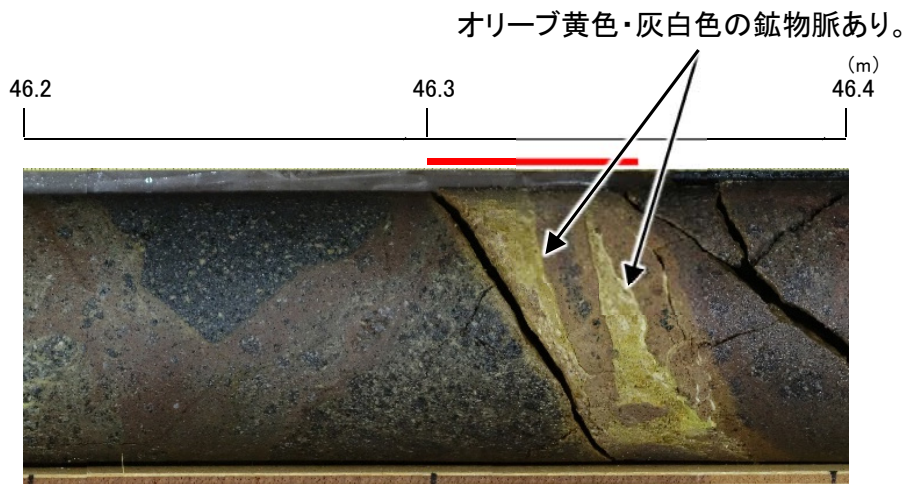
B-2写真(H-5.4-4E孔)



拡大写真(H-5.4-4E孔 87.5~87.6m)



B-2写真(H-6.5孔)

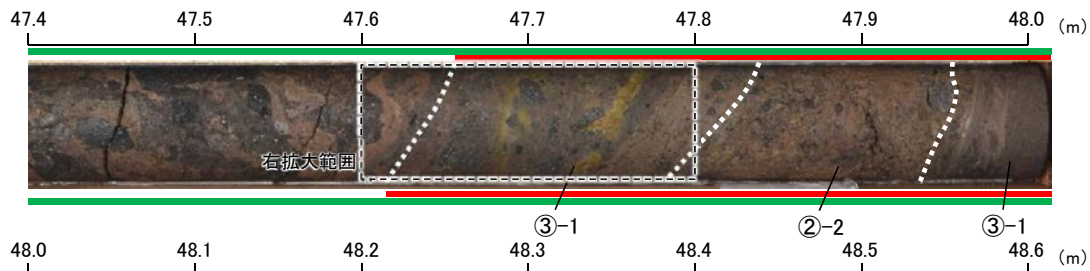


拡大写真(H-6.5孔 46.2~46.4m)



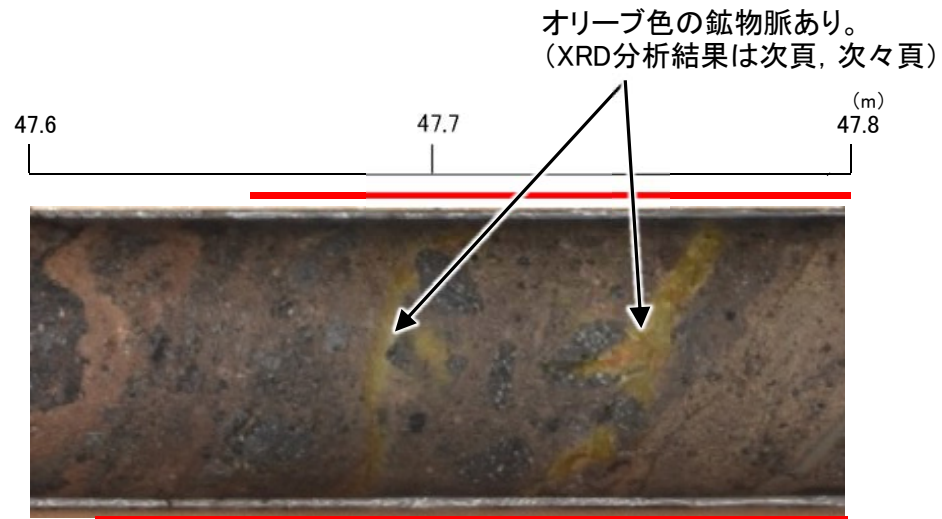
### 【破砕部中に認められた鉱物脈(K-2)】

- 凡例
- ① 粘土状破砕部
  - ②-2 角礫状破砕部
  - ③-1 固結した粘土・砂状破砕部
  - ③-2 固結した角礫状破砕部
  - 変質している区間(非変質, 弱く変質)

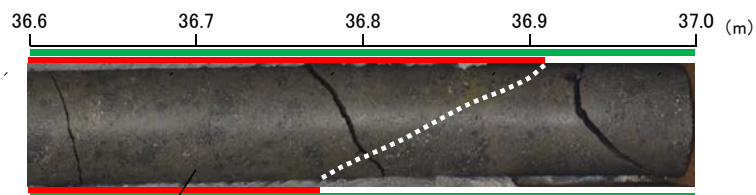
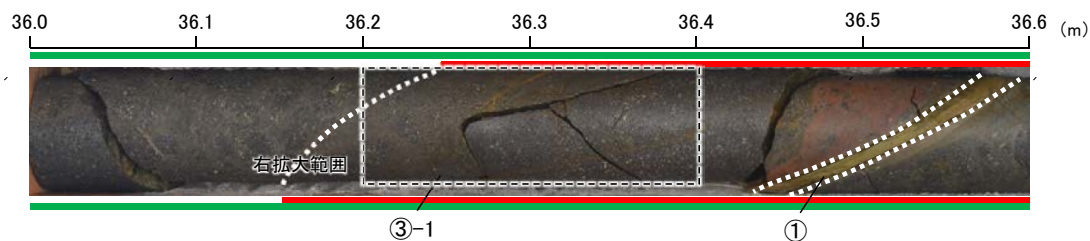


③-1 本コアには一部、グラウト影響(白色～灰色)が認められる。

K-2写真(G-1.9-27孔)

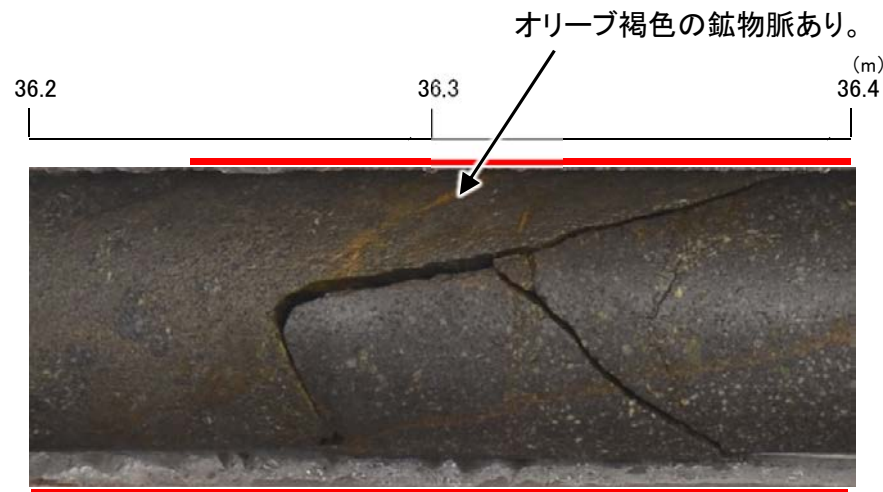


拡大写真(G-1.9-27孔 47.6～47.8m)



③-1

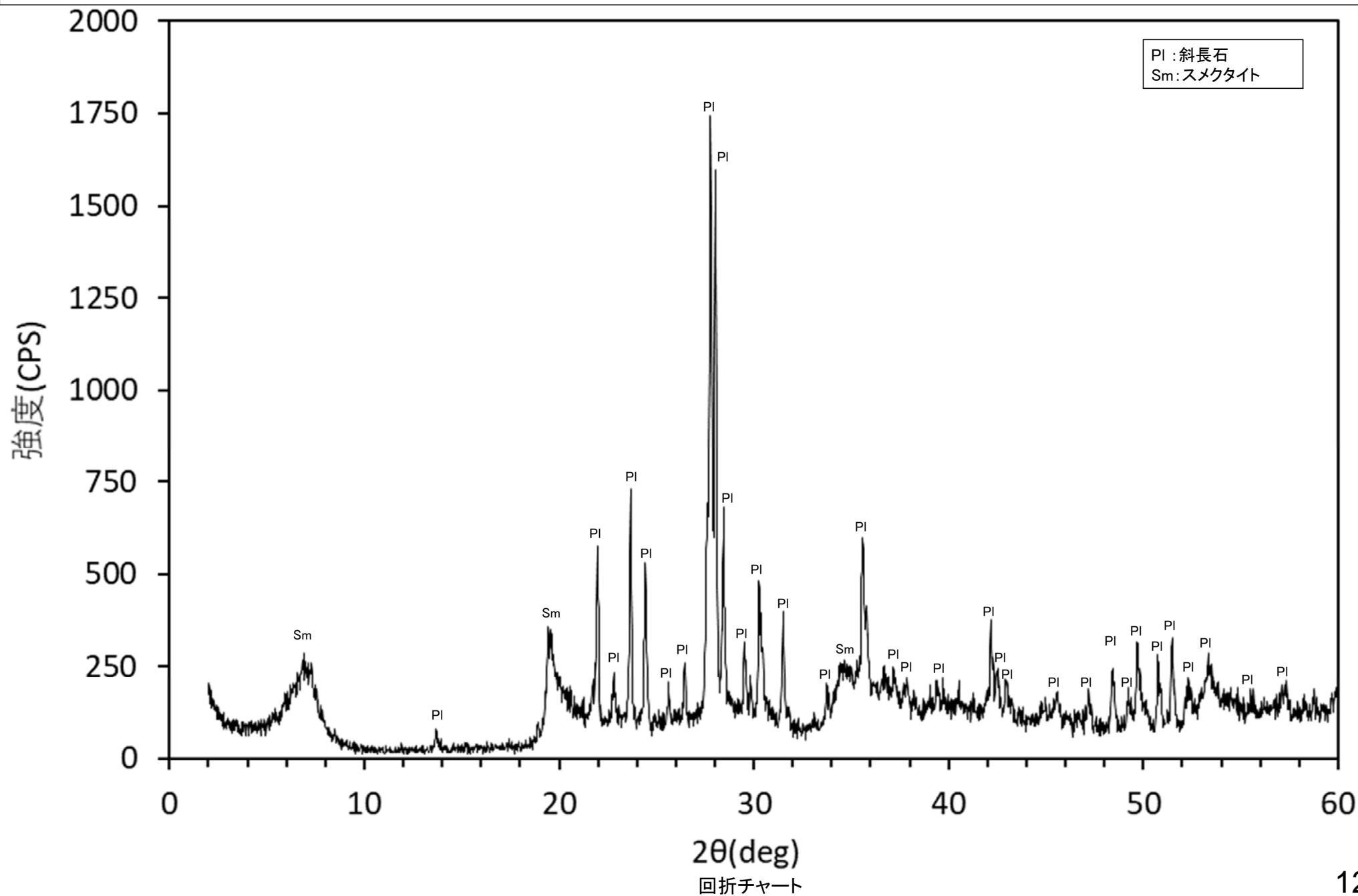
K-2写真(H-0.9-75孔)



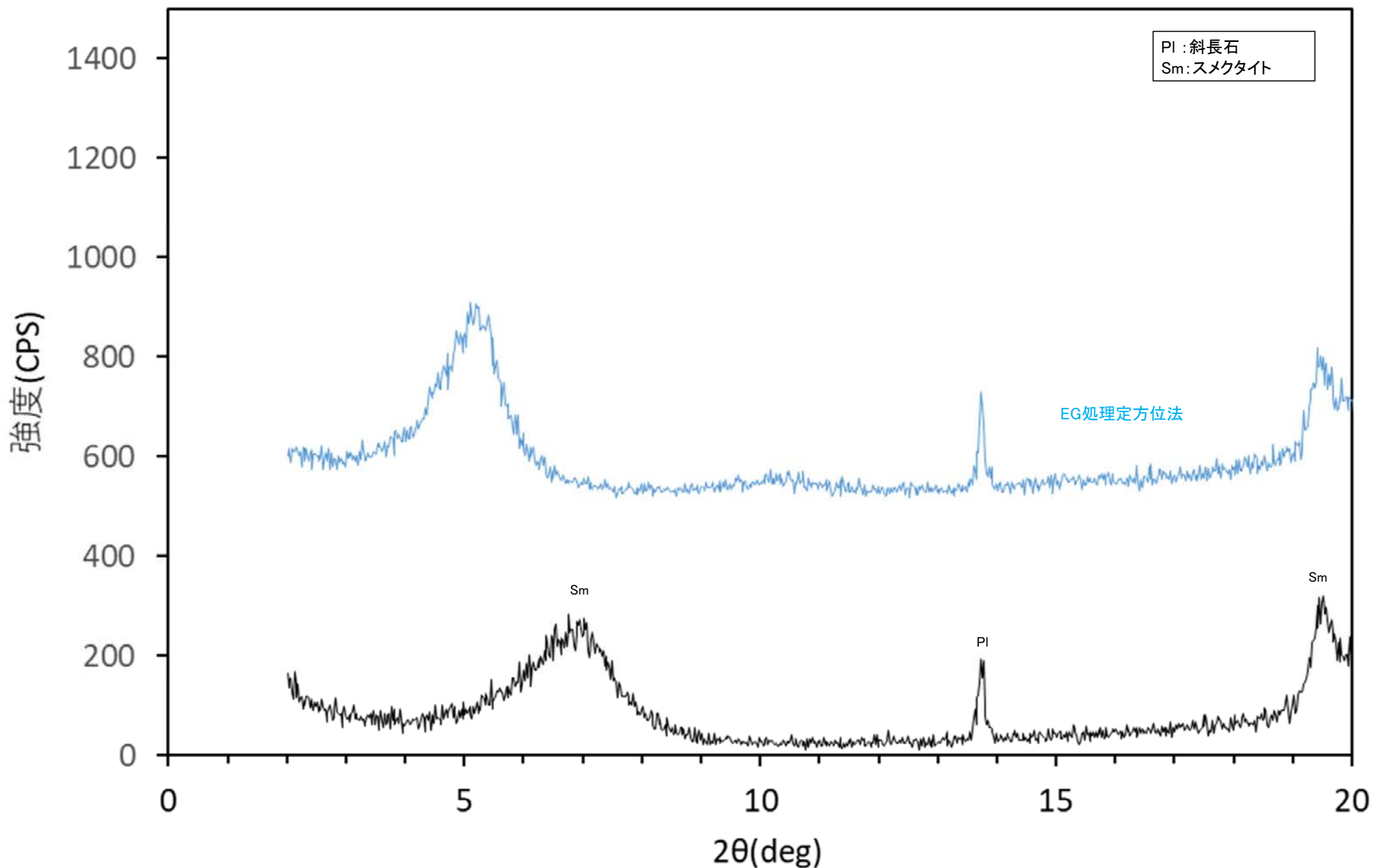
拡大写真(H-0.9-75孔 36.2～36.4m)

## 【G-1.9-27孔 -X線回折チャート 不定方位】

○ 鉱物脈でXRD分析を実施した結果、主な粘土鉱物としてスメクタイトが認められる。



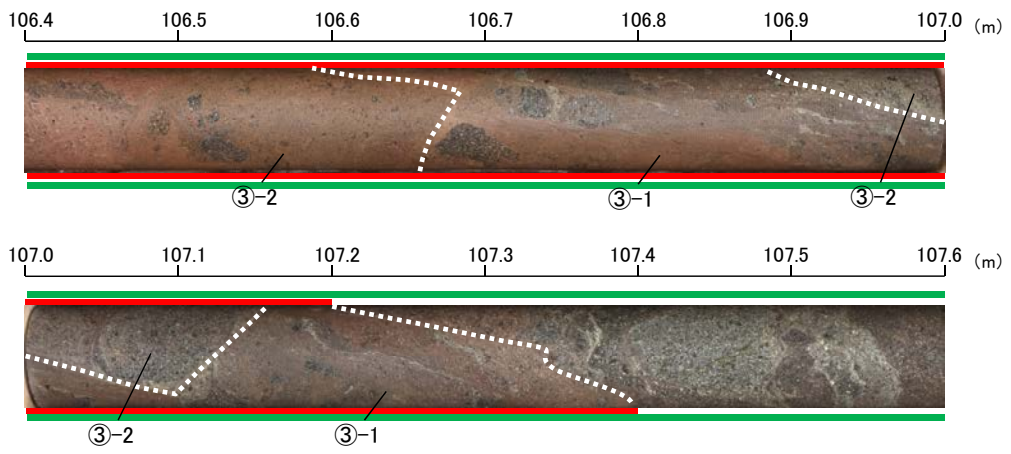
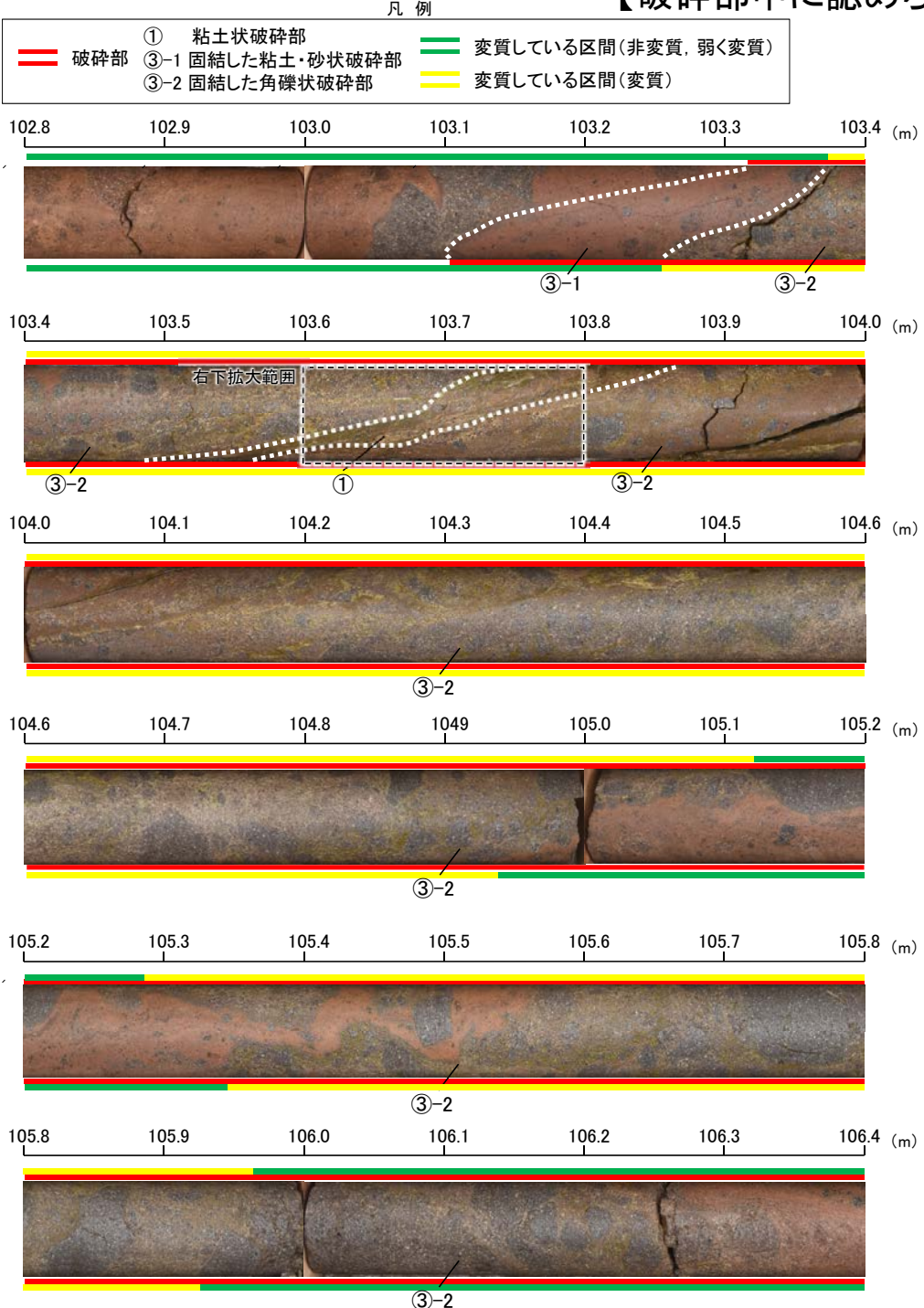
【G-1.9-27孔 X線回折チャート 定方位 EG処理】



回折チャート  
(EG処理も合わせて表示)



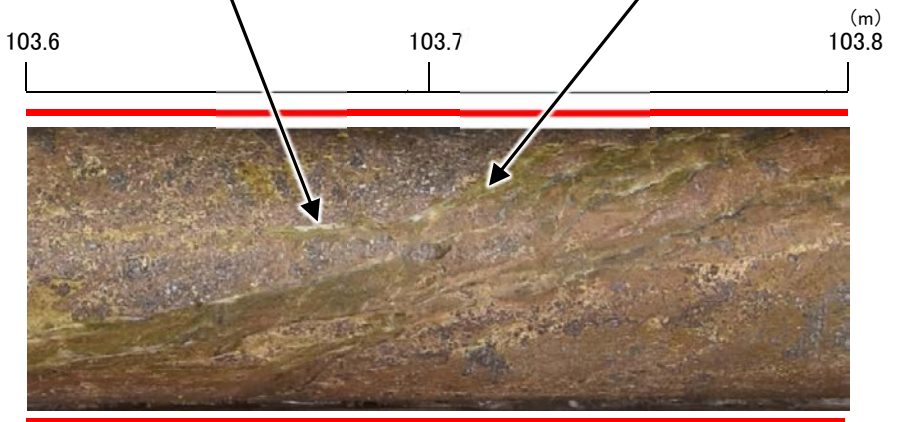
### 【破碎部中に認められた鉱物脈(K-2)】



K-2写真(H-1.1孔)

白色の鉱物脈あり。  
(XRD分析結果は次頁, 次々頁)

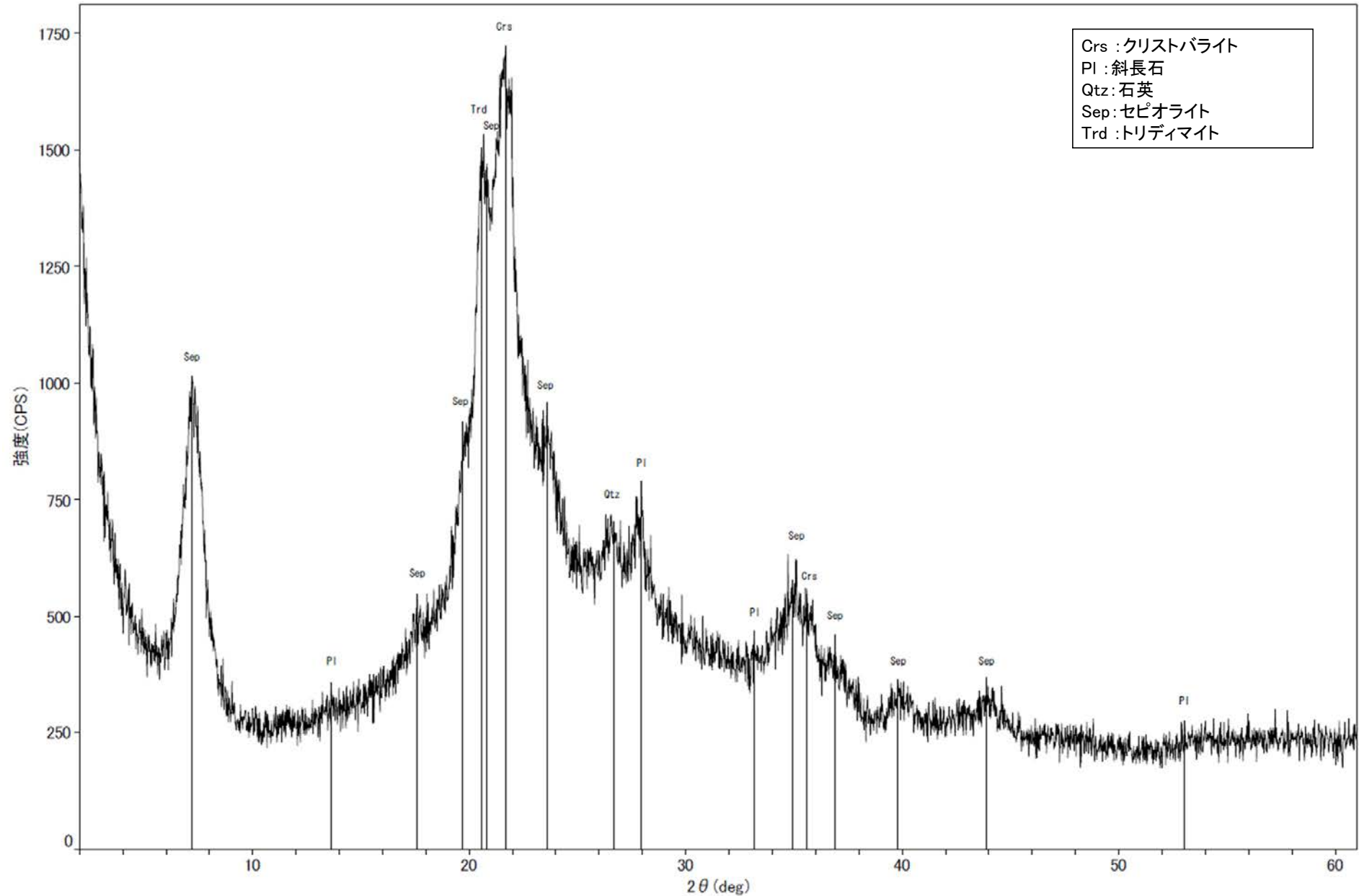
オリーブ色の鉱物脈あり。  
(XRD分析結果はP.134)



拡大写真(H-1.1孔 103.6~103.8m)

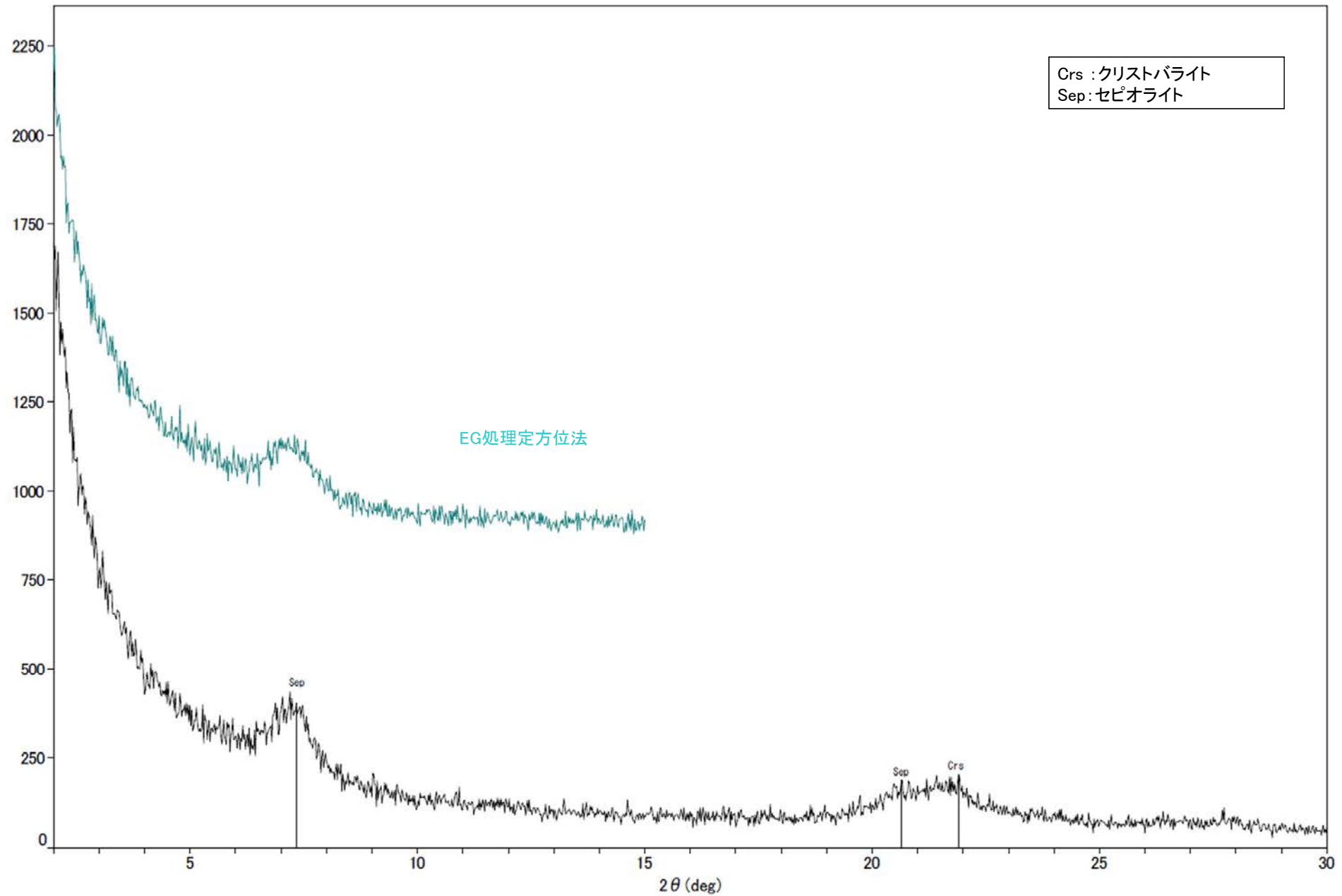
### 【H-1.1孔(白色の鉱物脈) X線回折チャート 不定方位】

○白色の鉱物脈でXRD分析を実施した結果, クリスタバライトとトリディマイトのピークが見られるため, この白色鉱物脈にはオパールCTが含まれる。



回折チャート

【H-1.1孔(白色の鉱物脈) X線回折チャート 定方位 EG処理】

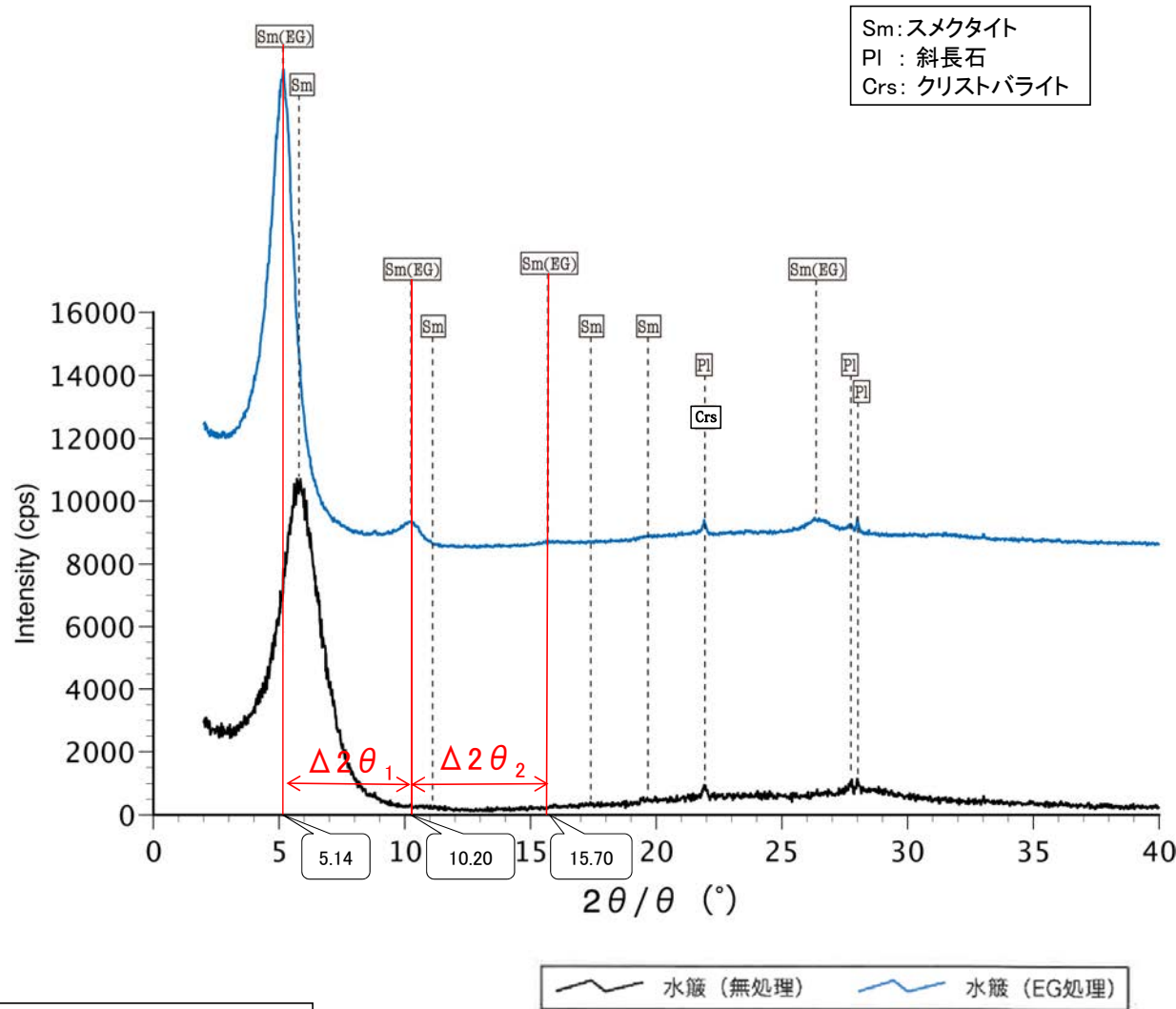


回折チャート  
(EG処理も合わせて表示)



【H-1.1孔(オリーブ色の鉱物脈) X線回折チャート 定方位(粘土分濃集)】

○オリーブ色の鉱物脈でXRD分析(粘土分濃集)による結晶構造判定を実施した結果、粘土鉱物(スメクタイト)はI/S混合層であると判定した。



本試料は、水簾と遠心分離によって、粒径0.2~2.0 $\mu$ mの粘土分を濃集している。

EG処理スメクタイトのピーク回折角

①5~8°	5.14°
②9~11°	10.20°
③16~18°	15.70°
$\Delta 2\theta_1$ (②-①)	5.06°
$\Delta 2\theta_2$ (③-②)	5.50°

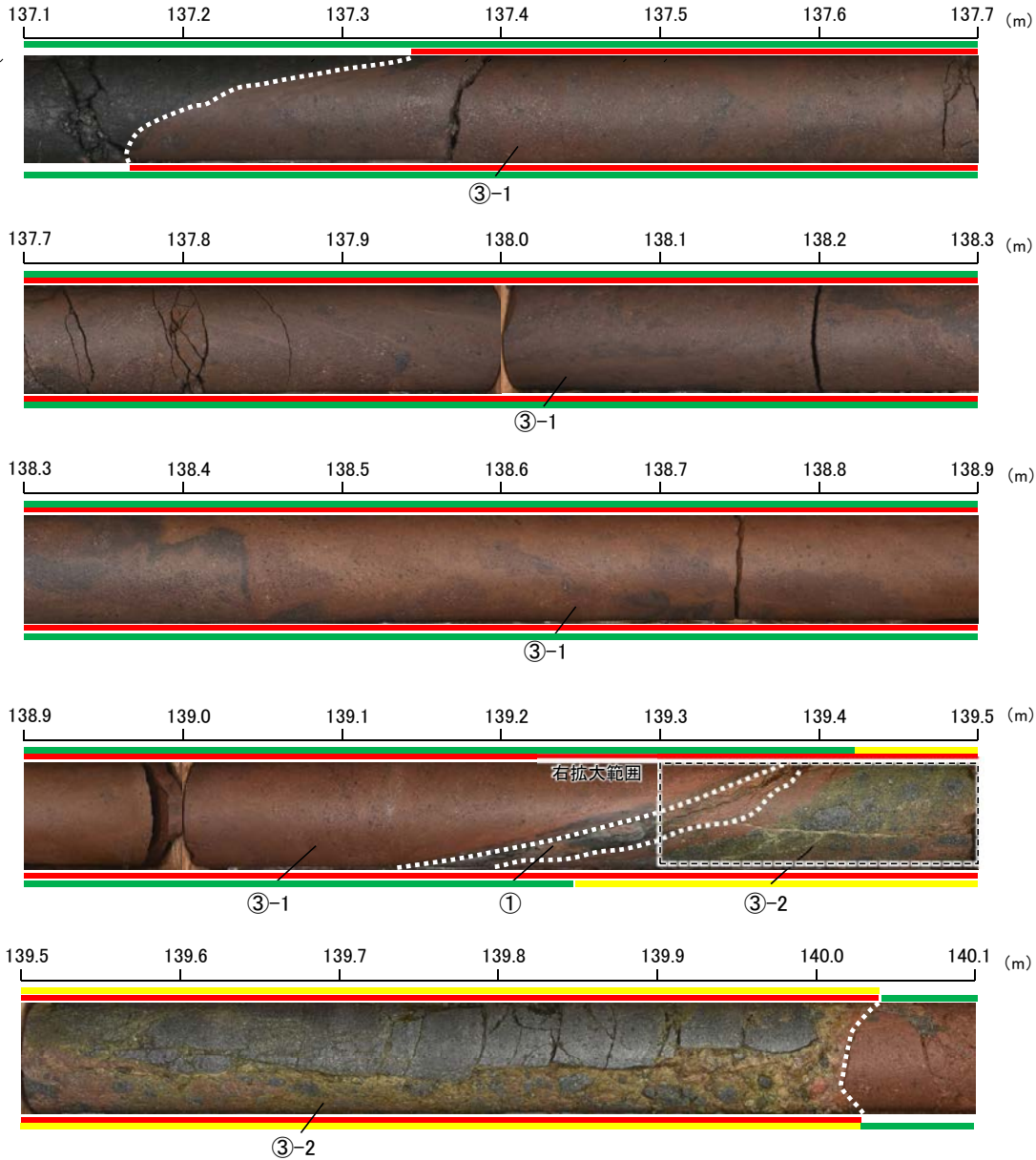
I/S混合層構造判定

渡辺(1986)によるI/S混合層構造判定	I/S混合層(R=0)
渡辺(1981)によるイライト混合割合	イライトが10%程度混合

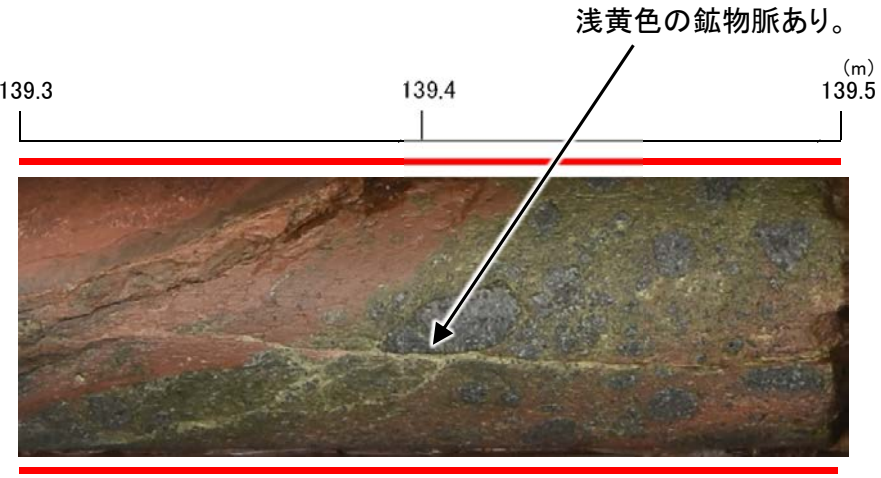
回折チャート  
(EG処理も合わせて表示)

### 【破砕部中に認められた鉱物脈(K-2)】

- 凡例
- ① 粘土状破砕部
  - 破砕部 ③-1 固結した粘土・砂状破砕部
  - ③-2 固結した角礫状破砕部
  - 変質している区間(非変質, 弱く変質)
  - 変質している区間(変質)



K-2写真(H-1.3-88孔)

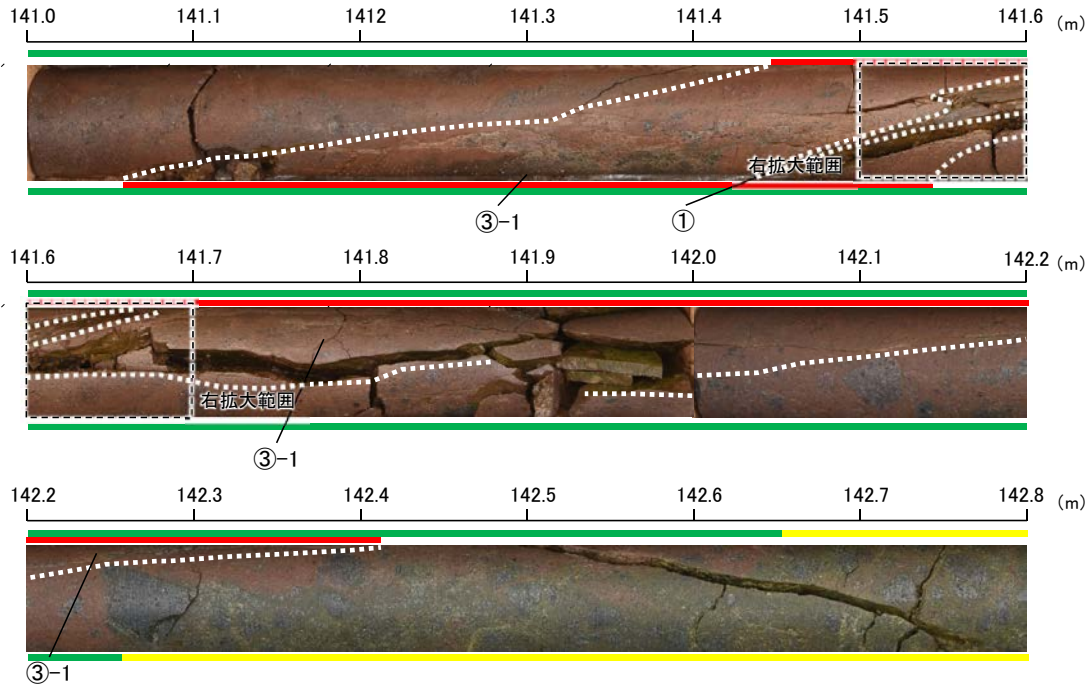


拡大写真(H-1.3-88孔 139.3~139.5m)

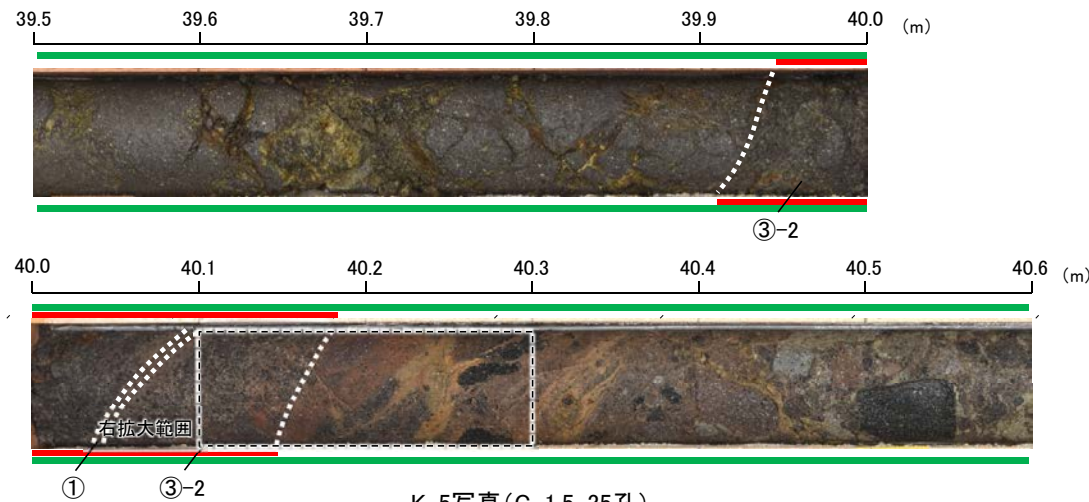
### 【破碎部中に認められた鉱物脈(K-2, K-5)】

凡例

- ① 粘土状破碎部
- ③-1 固結した粘土・砂状破碎部
- ③-2 固結した角礫状破碎部
- 変質している区間(非変質, 弱く変質)
- 変質している区間(変質)

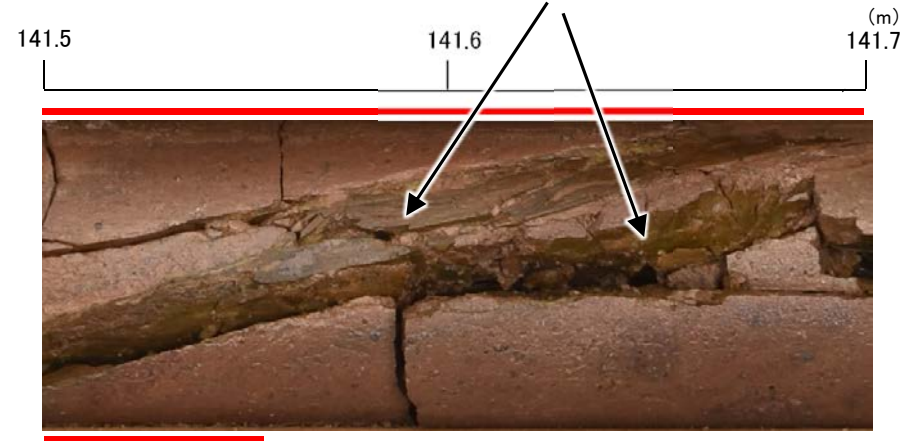


K-2写真(H-1.3-88孔)



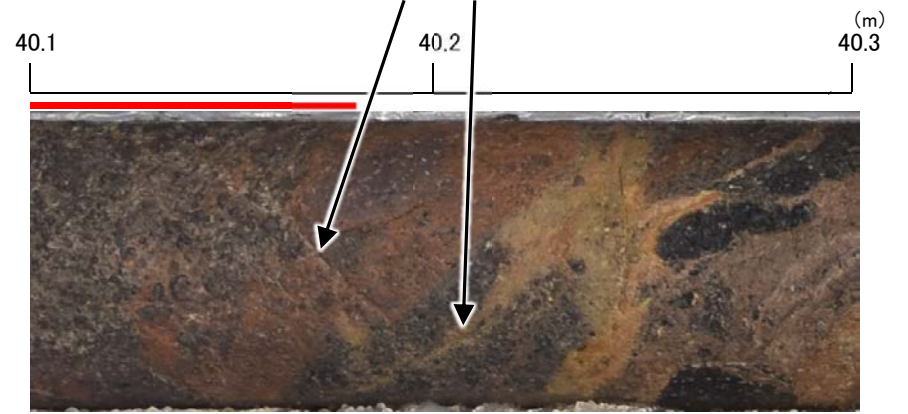
K-5写真(G-1.5-35孔)

オリブ～オリブ褐色の鉱物脈あり。



拡大写真(H-1.3-88孔 141.5～141.7m)

明褐色～オリブ色の鉱物脈あり。

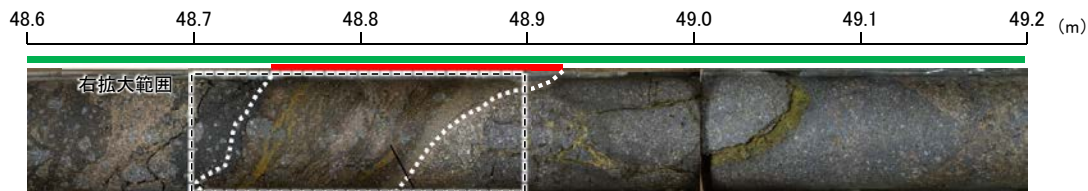


拡大写真G-1.5-35孔 40.1～40.3m)

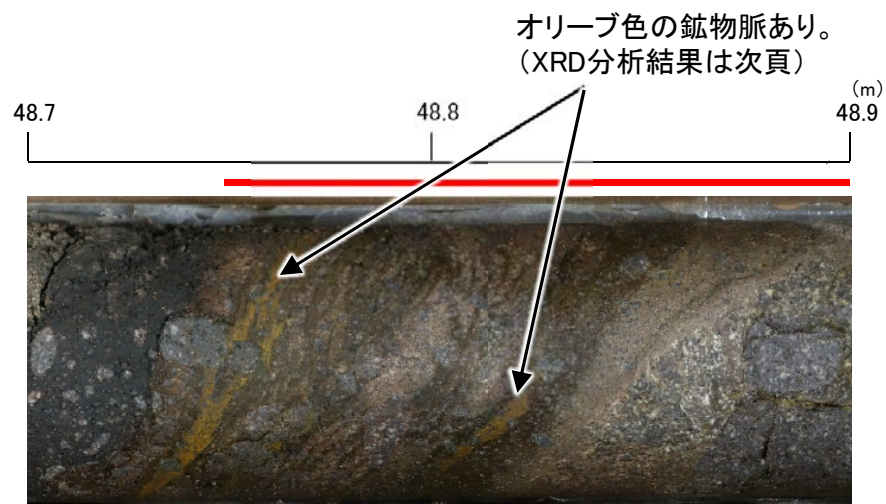


【破碎部中に認められた鉱物脈(K-3, K-16)】

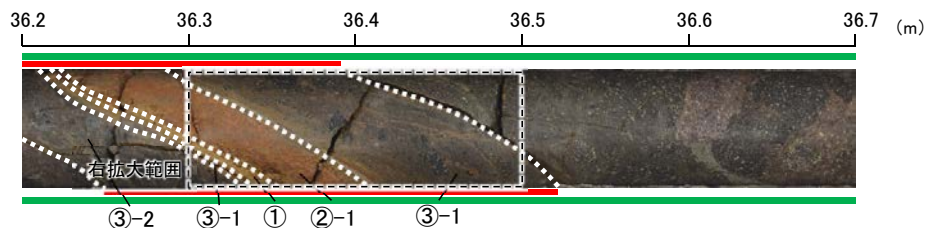
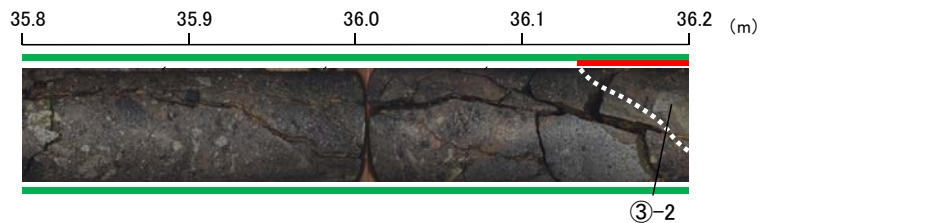
- 凡例
- ① 粘土状破碎部
  - ②-1 砂状破碎部
  - ③-1 固結した粘土・砂状破碎部
  - ③-2 固結した角礫状破碎部
  - 変質している区間(非変質, 弱く変質)



K-3写真(M-2.2孔)

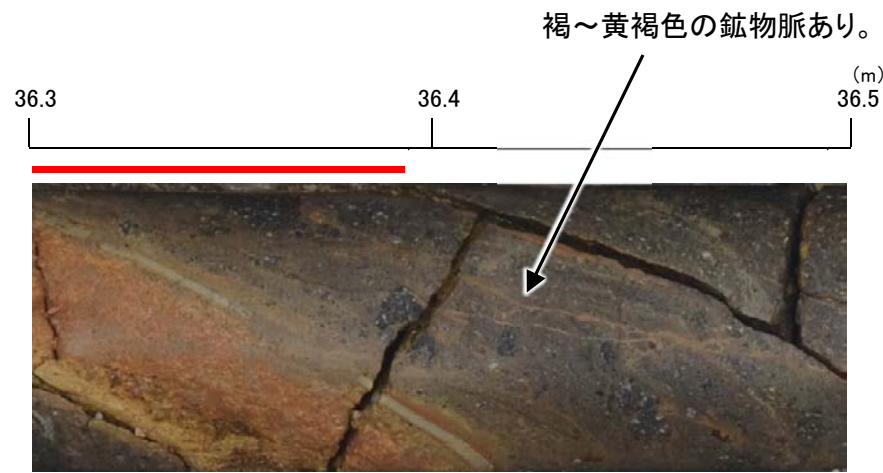


拡大写真(M-2.2孔 48.7~48.9m)



K-16写真(H- -1.86孔)

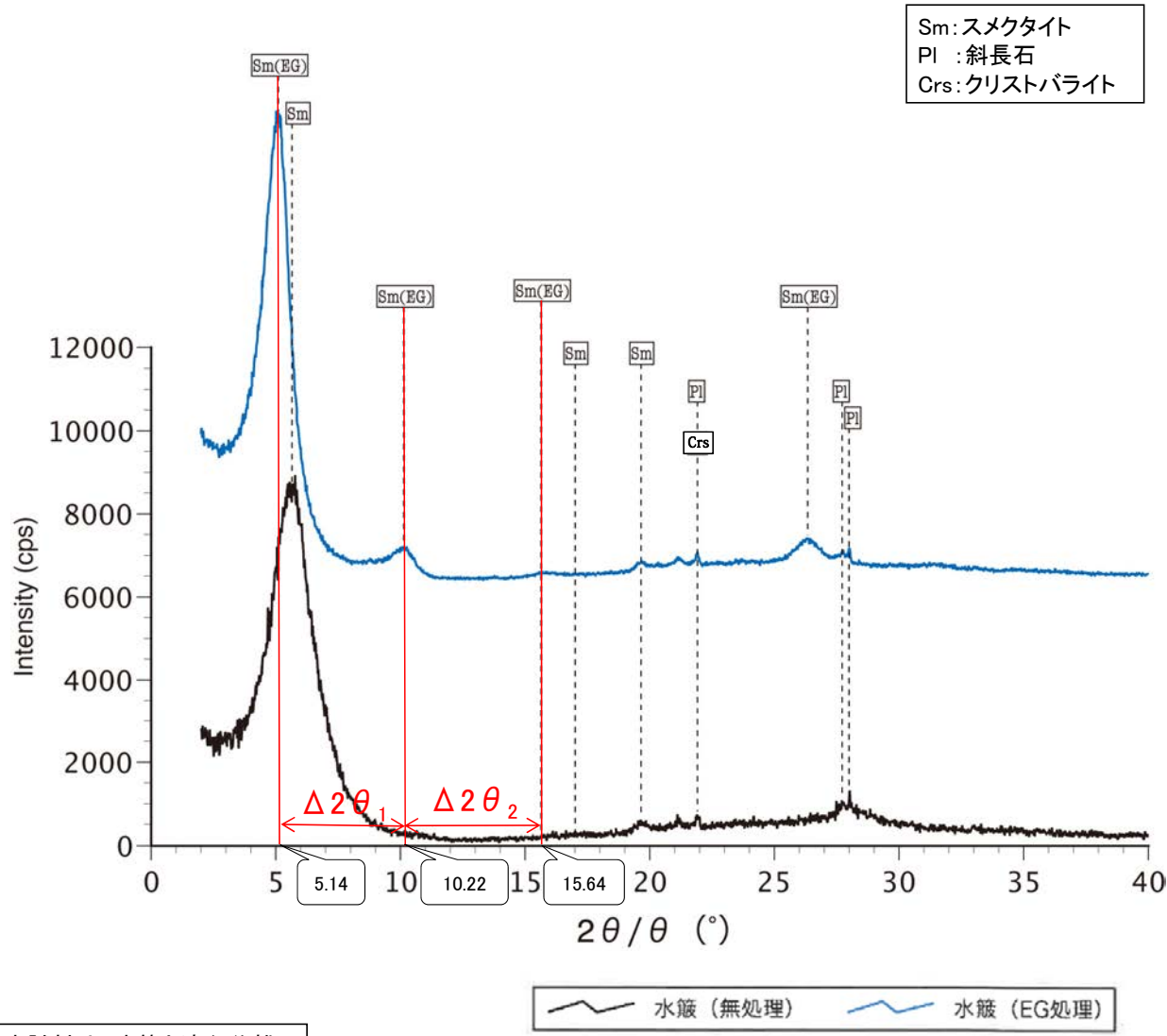
本コアには一部、グラウト影響(白色~灰色)が認められる。



拡大写真(H- -1.86孔 36.3~36.5m)

【M-2.2孔 X線回折チャート 定方位(粘土分濃集)】

○鉍物脈でXRD分析(粘土分濃集)による結晶構造判定を実施した結果, 粘土鉍物(スメクタイト)はI/S混合層であると判定した。



本試料は, 水簾と遠心分離によって, 粒径0.2~2.0μmの粘土分を濃集している。

EG処理スメクタイトのピーク回折角

①5~8°	5.14°
②9~11°	10.22°
③16~18°	15.64°
$\Delta 2\theta_1$ (②-①)	5.08°
$\Delta 2\theta_2$ (③-②)	5.42°

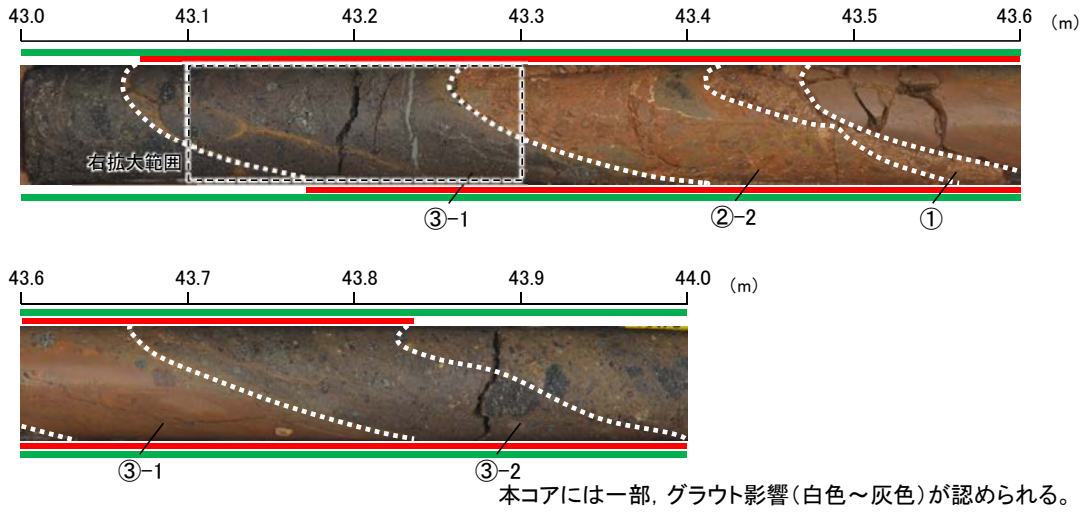
I/S混合層構造判定

渡辺(1986)によるI/S混合層構造判定	I/S混合層(R=0)
渡辺(1981)によるイライト混合割合	イライトが10%程度混合

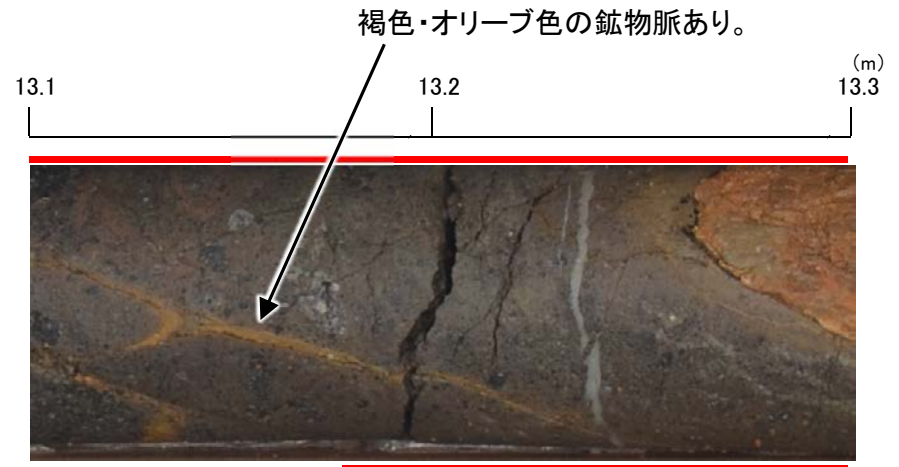
回折チャート  
(EG処理も合わせて表示)

### 【破碎部中に認められた鉱物脈(K-16)】

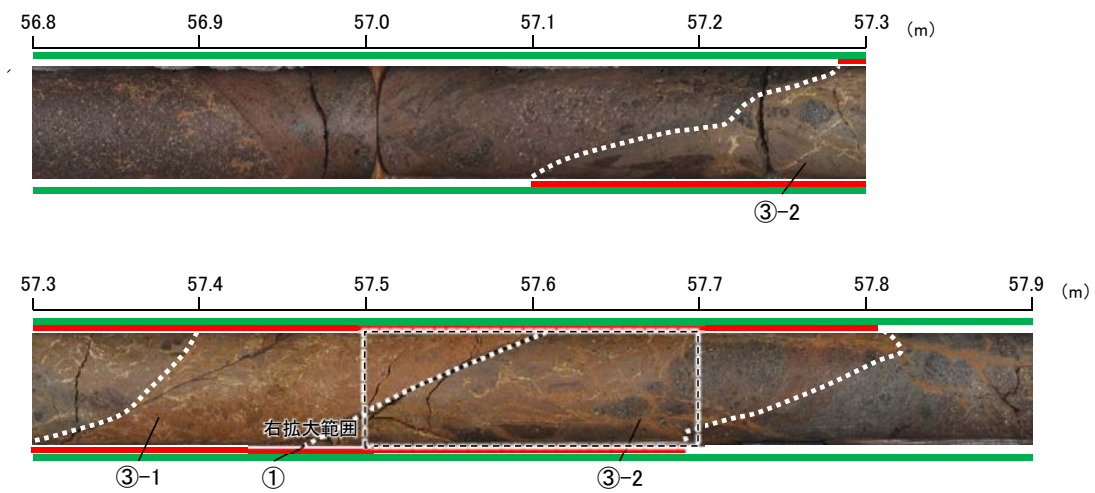
- 凡例
- ① 粘土状破碎部
  - ②-2 角礫状破碎部
  - ③-1 固結した粘土・砂状破碎部
  - ③-2 固結した角礫状破碎部
  - 変質している区間(非変質, 弱く変質)



K-16写真(H-1.80孔)



拡大写真(H-1.80孔 13.1～13.3m)



K-16写真(H-1.7孔)

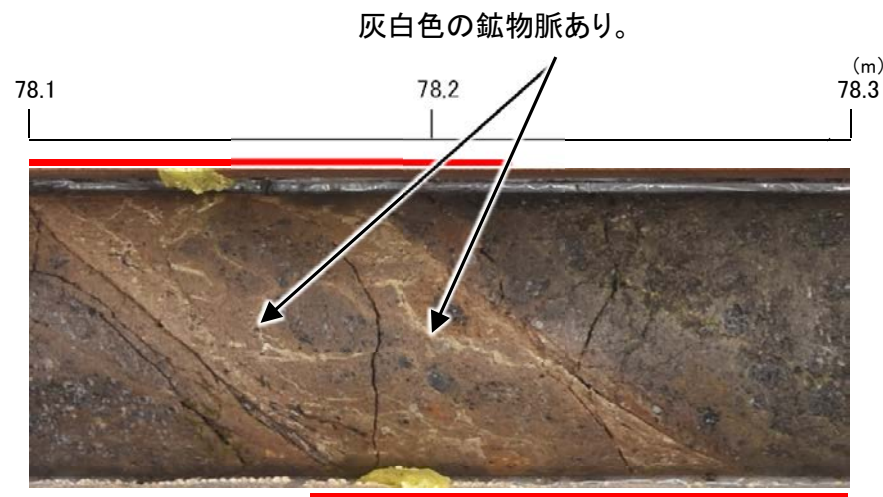
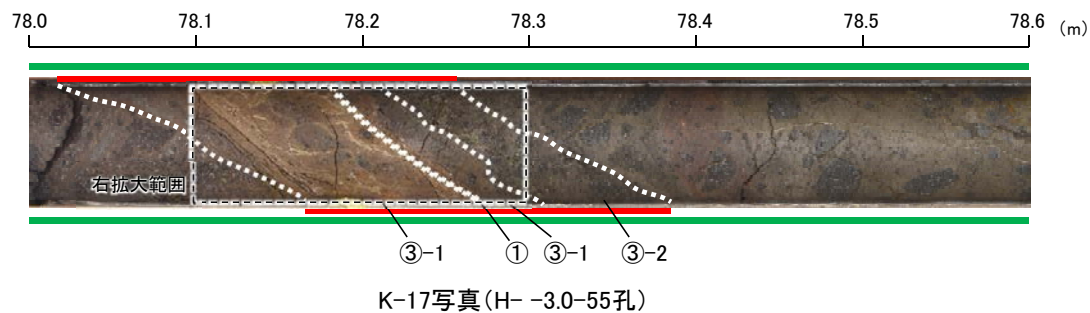


拡大写真(H-1.7孔 57.5～57.7m)



【破碎部中に認められた鉱物脈(K-17)】

- 凡例
- ① 粘土状破碎部
  - ③-1 固結した粘土・砂状破碎部
  - ③-2 固結した角礫状破碎部
  - 変質している区間(非変質, 弱く変質)



拡大写真(H- -3.0-55孔 78.1~78.3m)

---

### 5.2.1(3) 最新面と最新面付近の変質鉱物

## 5.2.1(3) 最新面と最新面付近の変質鉱物 — 最新面の認定の考え方 —

- 鉱物脈法による活動性評価にあたっては、断層の最新活動時期を表す最新面を適切に認定し、5.2.1(1)で示した変質鉱物との接触関係を確認することが重要となる。
- この最新面の認定にあたっては、まず巨視的観察により破碎部から主せん断面を抽出する。その上で、主せん断面を薄片による微視的観察により観察して最新ゾーンを抽出し、最新ゾーンの中から最新面を認定する。

志賀原子力発電所における用語

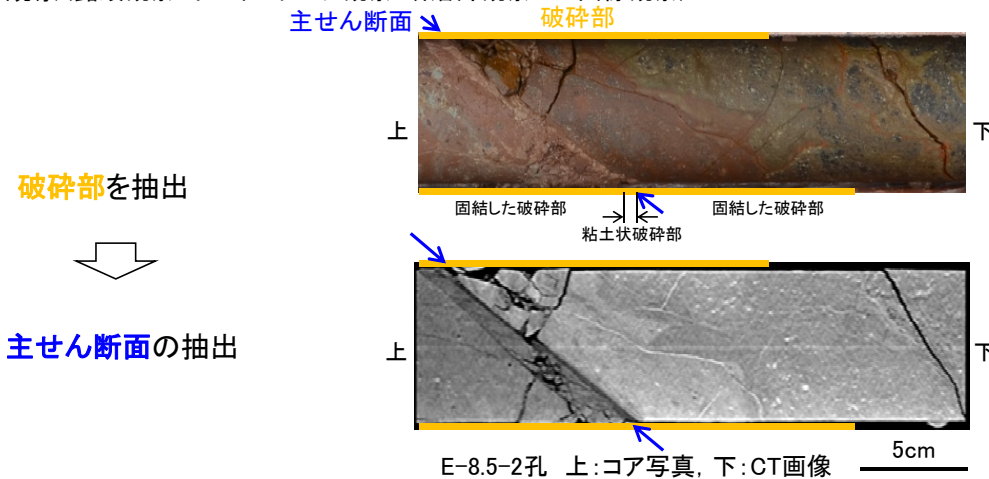
観察手法	用語	特徴
露頭観察 ボーリングコア観察 研磨片観察 CT画像観察	破碎部	断層活動による変形構造が認められる部分。ある幅を持ち、固結・未固結の程度、粒度とその割合から分類され、粘土状や角礫状等からなる。
	主せん断面	破碎部中において、細粒化が進んでおり、最も直線性・連続性がよい断層面。
薄片観察	最新ゾーン	巨視的観察で主せん断面として抽出した箇所で作成した薄片観察の結果、他の構造に切られない最も細粒化しているゾーン。
	最新面	最新ゾーンの中で、最も直線性・連続性がよく、他に切られないことのない面。

※1: 直線性・連続性の優劣を付けるのが困難な複数の面を抽出した場合、最新面1, 2, ...と記載し、全てについて変質鉱物との関係を確認する。

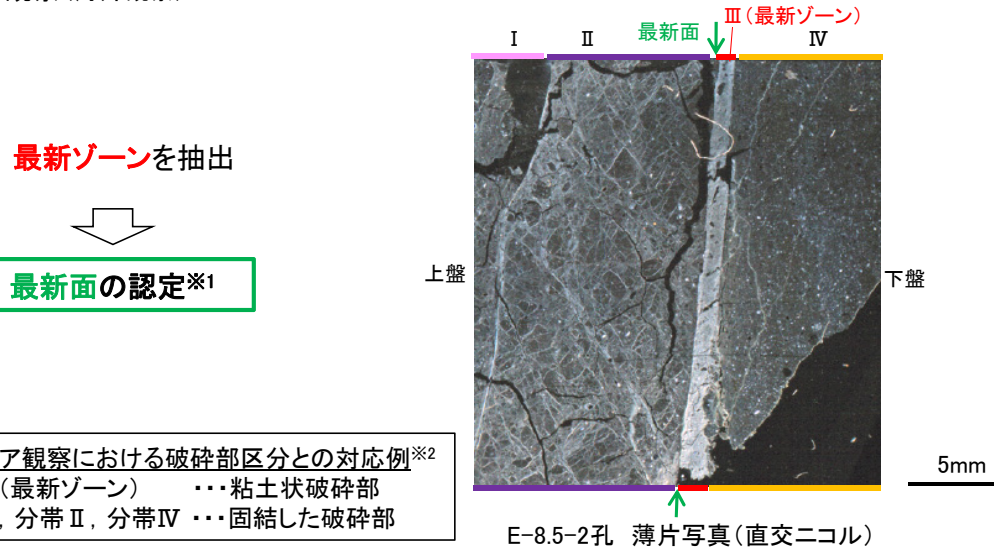
※2: 巨視的観察から微視的観察に進むにあたり、コア観察における破碎部区分と薄片観察における分帯との対応を確認する。

### 最新面の認定手順

巨視的観察(露頭観察・ボーリングコア観察・研磨片観察・CT画像観察)



微視的観察(薄片観察)



分帯とコア観察における破碎部区分との対応例※2  
 ・分帯Ⅲ(最新ゾーン) ... 粘土状破碎部  
 ・分帯Ⅰ, 分帯Ⅱ, 分帯Ⅳ ... 固結した破碎部

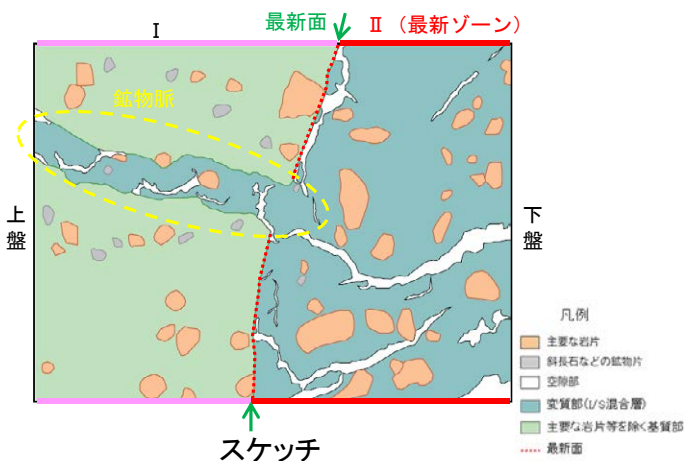
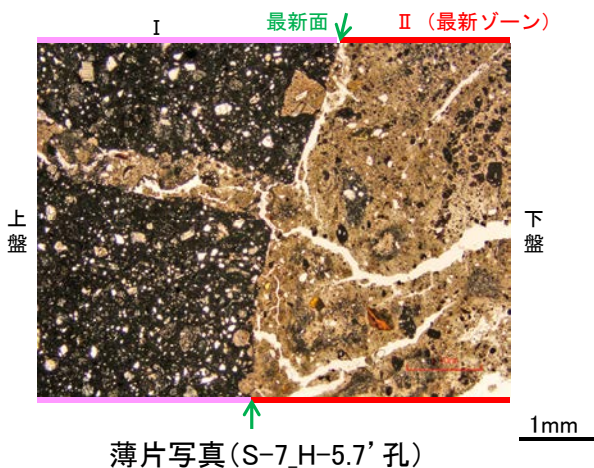


# 5.2.1 (3) 最新面と最新面付近の変質鉱物 一切り合い関係の考え方

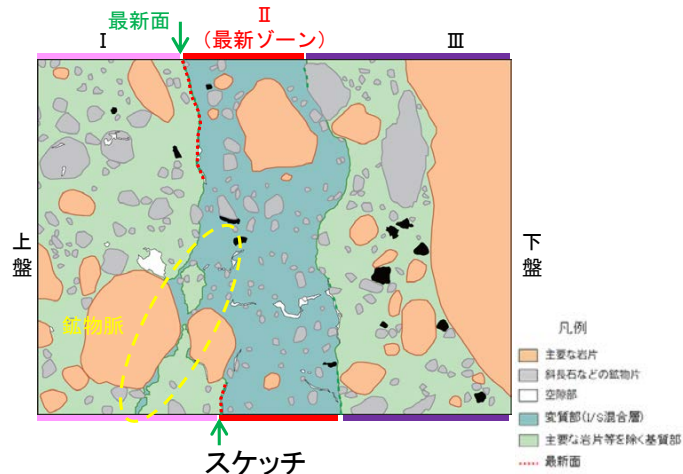
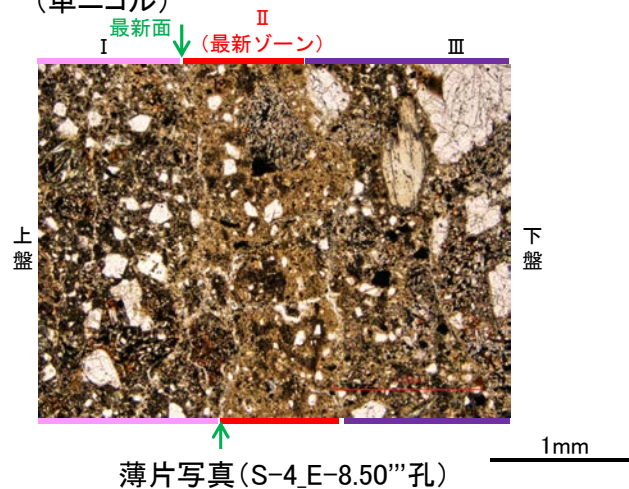
- 鉱物脈法による活動性評価にあたっては、最新面と鉱物脈との切り合い関係が明確な箇所で行うことが重要である。
- 鉱物脈が最新面を明確に横断しているもの(左写真, 中央写真)については、最新面と鉱物脈との切り合い関係を用いて活動性評価を行う。
- 一方、面が全体的に不明瞭で、面の周辺にも変位・変形が認められないなど、最新面を明確に認定できないもの(右写真)については、最新面が分布する可能性のある最新ゾーンと鉱物脈との関係を用いて活動性評価を行う。

## 最新面と鉱物脈との切り合い関係が明確な例

(単ニコル)



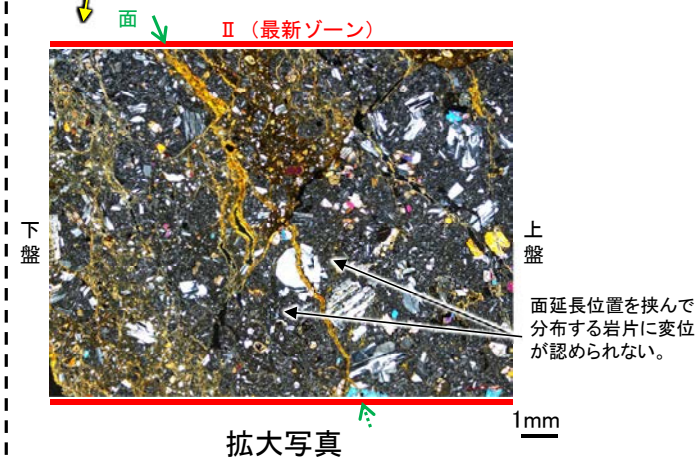
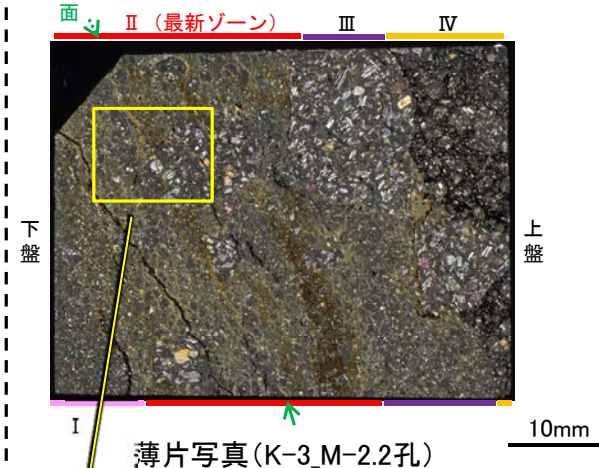
(単ニコル)



鉱物脈が最新面を明確に横断している。  
⇒最新面と鉱物脈との切り合い関係を用いて活動性評価を行う。

## 最新面と鉱物脈との切り合い関係が不明確な例

(直交ニコル)



面が全体的に不明瞭で、面の周辺にも変位・変形が認められないなど、最新面を明確に認定できない。  
⇒最新面が分布する可能性のある最新ゾーンと鉱物脈との関係を用いて活動性評価を行う。

## 5.2.1 (3) 最新面と最新面付近の変質鉱物 ー 破砕部の硬軟 ー

○破砕部の硬軟の程度を定量的に確認するために、粘土状破砕部及び固結した破砕部で針貫入試験を実施した。  
○その結果、粘土状破砕部では2～3N/mm、固結した破砕部では46～71N/mmの針貫入勾配を示し、粘土状破砕部と固結した破砕部の硬軟の程度は明らかに異なり、固結した破砕部は周辺の母岩と同程度の硬さを有することが確認できた。

針貫入試験結果



調査位置図

断層名	孔名	粘土状破砕部		
		測点番号	針貫入勾配 (N/mm)	平均値 (N/mm)
S-1	O-16孔	a	3	3
		b	2	
		c	2	
S-2・S-6	H-6.5孔	d	3	3
		e	2	

\*1: 粘土状破砕部と固結した破砕部の針貫入試験実施位置の詳細については次頁

断層名	孔名	固結した破砕部		
		測点番号	針貫入勾配 (N/mm)	平均値 (N/mm)
S-1	O-16孔	f	50	46
		g	50	
		h	50	
	J-9' 孔	i	33	63
		j	50	
k		50		
l		100		
S-2・S-6	H-6.5孔	m	50	71
		n	33	
		o	100	
		p	100	
		q	50	

(参考)母岩の針貫入勾配平均値 (N/mm)		
凝灰角礫岩	安山岩(角礫質)	安山岩(均質)
46	63	100

\*2: 母岩の針貫入試験結果の詳細については補足資料2.2-2

【針貫入試験の測定方法】

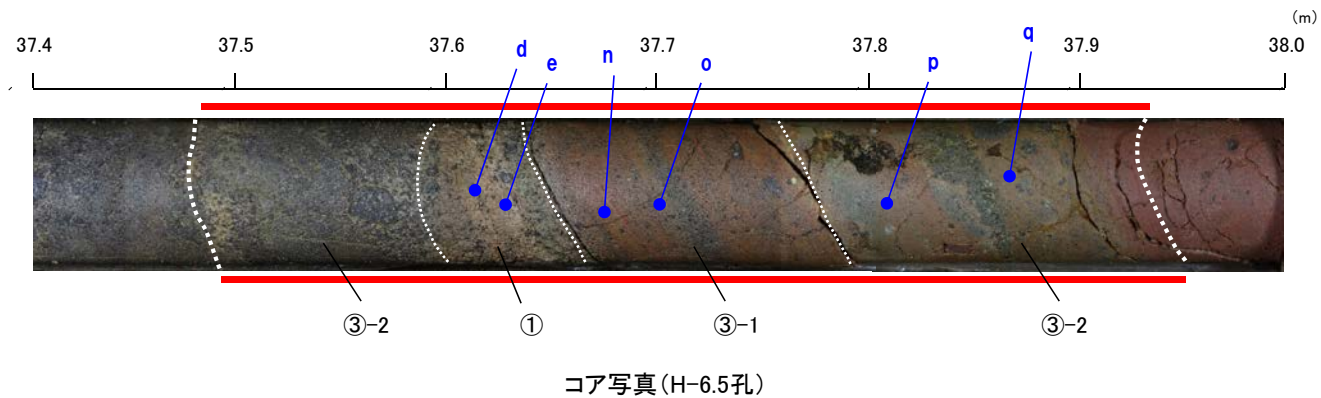
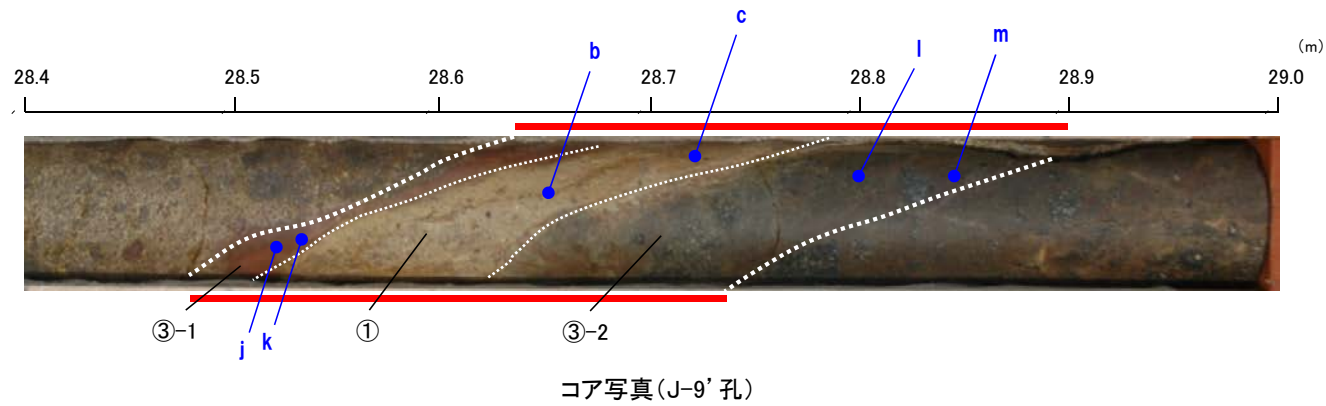
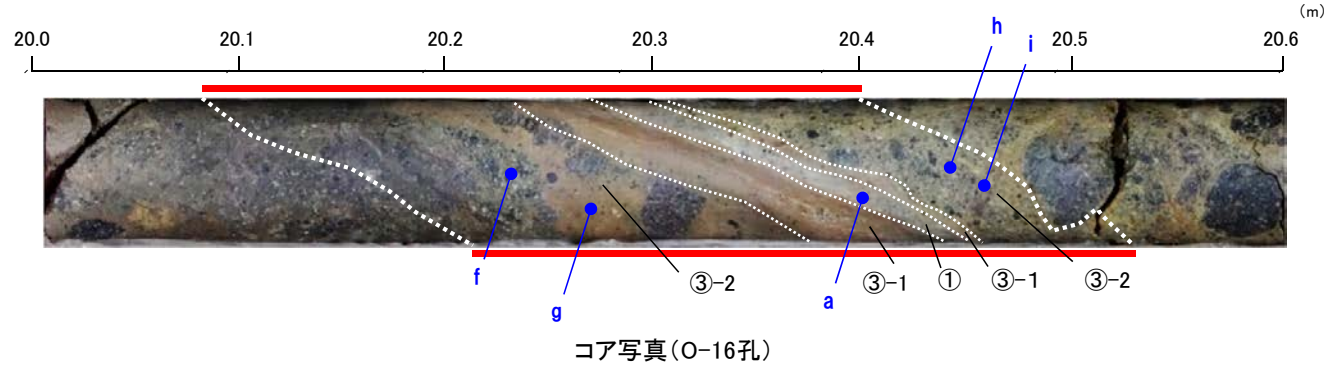
- ・粘土状破砕部及び固結した破砕部に針を貫入し、その貫入長さ及び貫入荷重を測定して、その関係から針貫入勾配を求める試験である。
  - ・試験にあたり、粘土状破砕部に対して2点程度、固結した破砕部に対して4点程度の計測を行い、その平均値をその破砕部における針貫入勾配値\*とした。
  - ・なお測定は、できるだけ平滑な箇所を対象に実施した。
- ※貫入深さ1mm未満で貫入荷重100Nに達した計測値は針貫入勾配を100N/mmとして算出



# 【針貫入試験実施位置】

== 破砕部

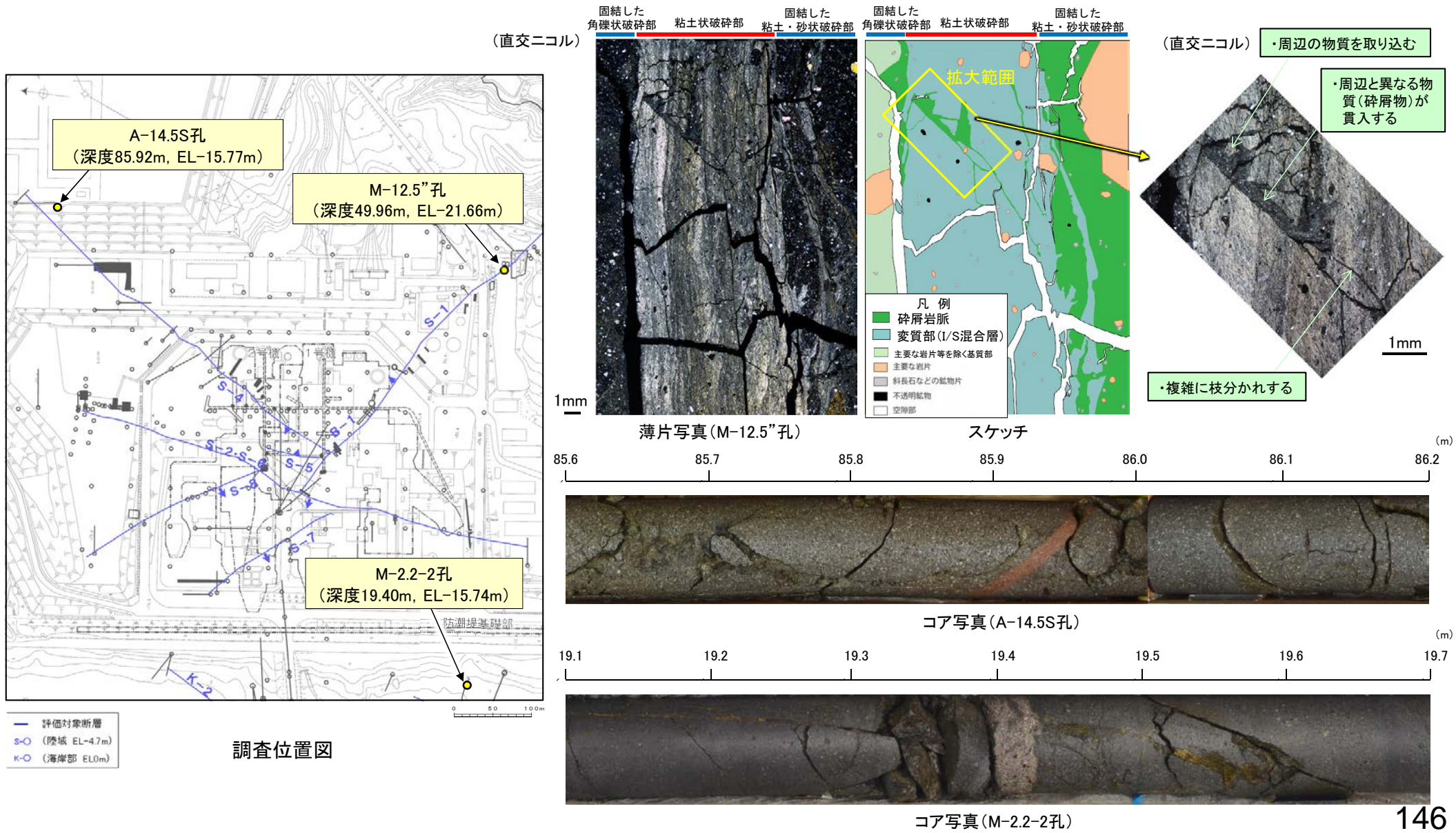
- ① 粘土状破砕部
- ③-1 固結した粘土・砂状破砕部
- ③-2 固結した角礫状破砕部





### 5.2.1 (3) 最新面と最新面付近の変質鉱物 — 碎屑岩脈の硬軟 —

○M-12.5”孔のS-1で認められる碎屑岩脈の硬軟の程度を定量的に確認するために、碎屑岩脈で針貫入試験を実施した。  
 ○M-12.5”孔の碎屑岩脈は、薄片作成や分析を優先したため針貫入試験を実施できないことから、M-12.5”孔と同じく、周辺と異なる物質(碎屑物)が貫入しているA-14.5S孔及びM-2.2-2孔の碎屑岩脈において、針貫入試験を実施した。なお、これらの碎屑岩脈は周辺の物質を取り込み、母岩に入り込んでおり、このことはM-12.5”孔の碎屑岩脈が周辺の物質を取り込み、複雑に枝分かれする特徴と類似している(本頁、次頁)。  
 ○A-14.5S孔及びM-2.2-2孔の碎屑岩脈において針貫入試験を実施した結果、碎屑岩脈は固結した破碎部や母岩と同程度の硬さを有することが確認できた(次々頁)。  
 ○以上より、M-12.5”孔のS-1で認められる碎屑岩脈についても、固結した破碎部や母岩と同程度に硬いと判断した。





# 【A-14.5S孔及びM-2.2-2孔における碎屑岩脈の詳細観察結果】

A-14.5S孔

M-2.2-2孔

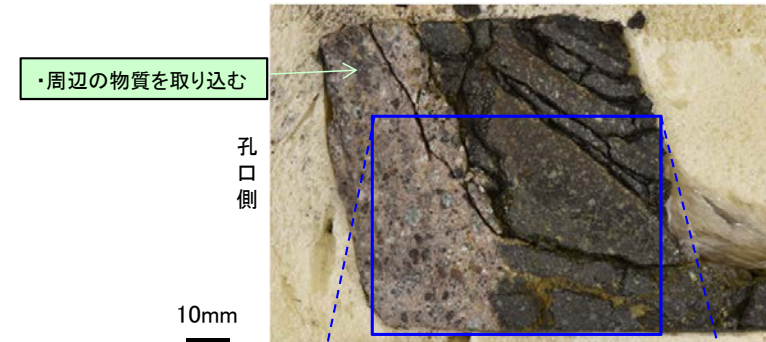
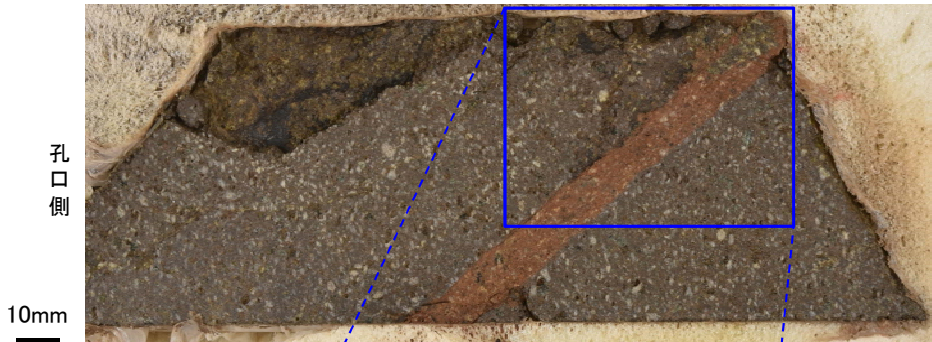
85.8 85.9 86.0 (m)

19.3 19.4 19.5 (m)



コア写真  
・周辺と異なる物質(碎屑物)が貫入する

コア写真  
・周辺と異なる物質(碎屑物)が貫入する



ブロック写真

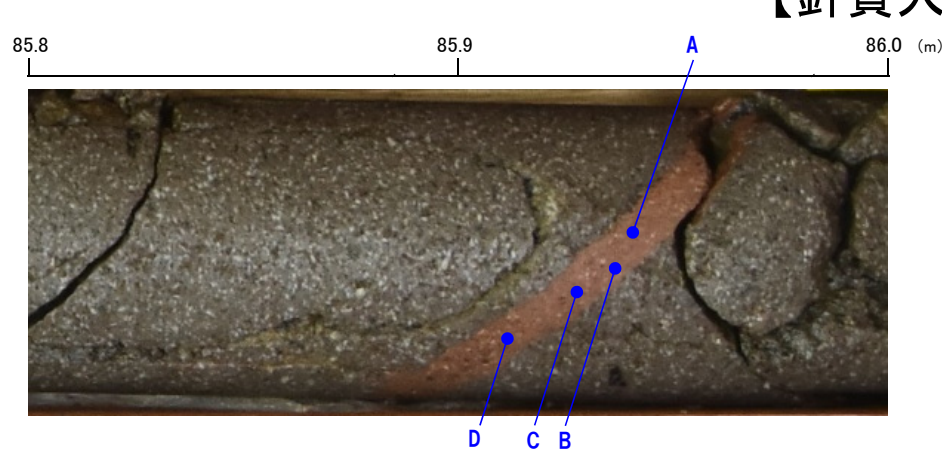
ブロック写真



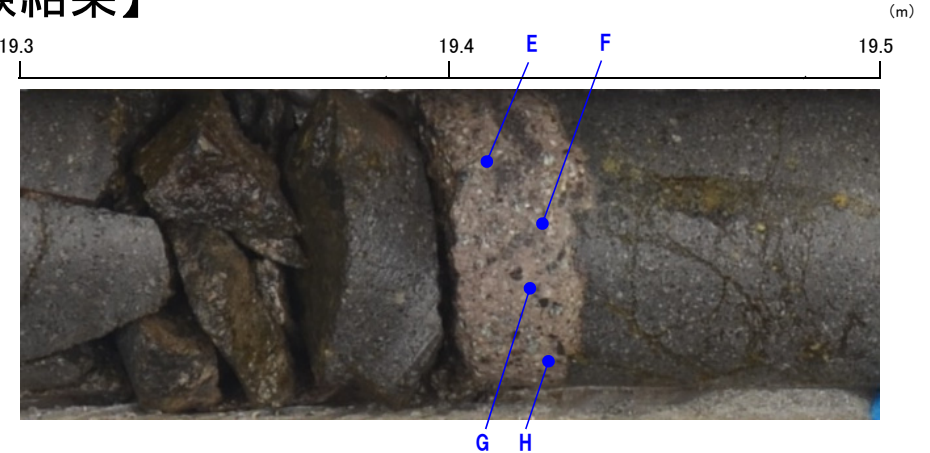
拡大写真

拡大写真

# 【針貫入試験結果】



針貫入試験実施位置(A-14.5S孔)



針貫入試験実施位置(M-2.2-2孔)

A-14.5S(3の3) G L=58.64m L=105.0m

標高 尺 (m)	深度 (m)	柱状 図 (m)	地質 名	色調	コア採取率 (%)			最大 コア長 (cm)	R Q D (%)	岩級 区分	記 事
					20	40	60				
80	-11.07	80.50	安山岩 (角礫質)	暗赤灰 → 暗赤	42	87	98	98	Bb	80.60~81.00 黄色味を含む。	
	-11.90	81.45	暗赤 → 暗赤	38	79	38	38	79			
	-12.81	82.50	安山岩 (角礫質)	暗赤灰 → 暗赤	34	58	34	58			
			暗赤 → 暗赤	34	68	34	68				
85			安山岩 (均質)	暗赤 → 暗赤	7	0	7	0	Ba	86.92~85.93 見掛けの傾斜角50°の碎屑岩脈あり。	
			暗赤 → 暗赤	13	13	13	13			87.09~87.16 周囲に比べ軟質。	
	-18.44	89.00	暗赤 → 暗赤	18	39	18	39				
			暗赤 → 暗赤	26	94	26	94				

柱状図

M-2.2-2(3の1) G L=3.01m L=100.0m

標高 尺 (m)	深度 (m)	柱状 図 (m)	地質 名	色調	コア採取率 (%)			最大 コア長 (cm)	R Q D (%)	岩級 区分	記 事
					20	40	60				
15	-11.69	15.15	安山岩 (角礫質)	明黄緑 → 暗赤	43	89	43	89			
			暗赤 → 暗赤	55	100	55	100				
			暗赤 → 暗赤	31	66	31	66			Ba	
			暗赤 → 暗赤	31	83	31	83				
			安山岩 (均質)	暗赤 → 暗赤	20	65	20	65			
			暗赤 → 暗赤	30	88	30	88				
20	-16.30	19.90	安山岩 (均質)	暗赤 → 暗赤	42	83	42	83			19.40~19.43 見掛けの傾斜角5°の碎屑岩脈あり。
			暗赤 → 暗赤	34	96	34	96				
	-19.31	22.00	安山岩 (均質)	暗赤 → 暗赤	61	100	61	100			
			暗赤 → 暗赤	68	88	68	88				

柱状図

針貫入試験結果

孔名	碎屑岩脈		
	測点 番号	針貫入勾配 (N/mm)	平均値 (N/mm)
A-14.5S孔	A	50	50
	B	50	
	C	50	
	D	50	
M-2.2-2孔	E	50	75
	F	50	
	G	100	
	H	100	

・敷地内で認められる碎屑岩脈において針貫入試験を実施した結果、50~75N/mmの針貫入勾配を示し、固結した破碎部の針貫入勾配は46~71N/mm、母岩の針貫入勾配は46~100N/mmを示す(P.144)ことから、碎屑岩脈は固結した破碎部や母岩と同程度の硬さを有することが確認できた。

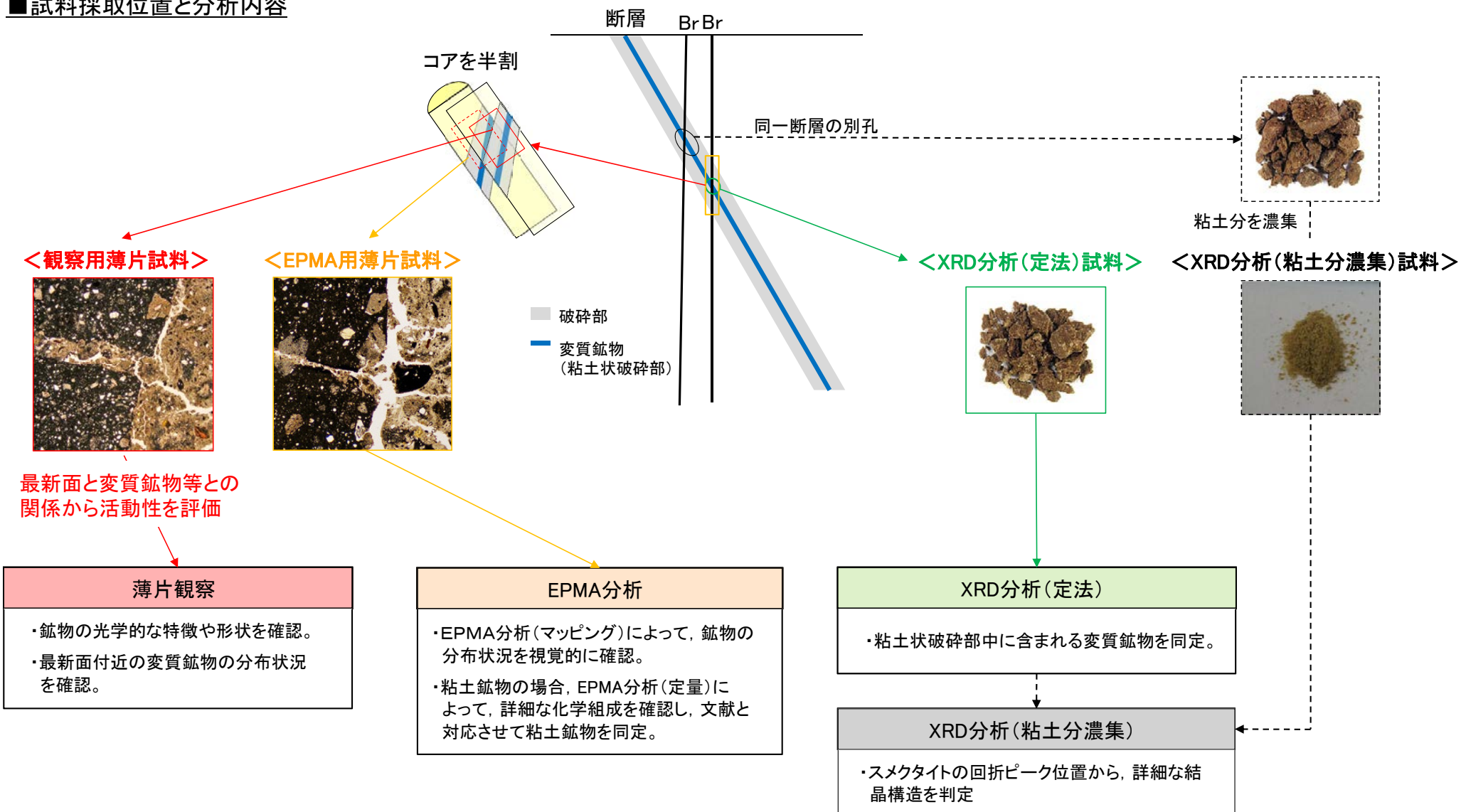
【針貫入試験の測定方法】  
 ・碎屑岩脈に針を貫入し、その貫入長さと同貫入荷重を測定して、その関係から針貫入勾配を求める試験である。  
 ・試験にあたり、碎屑岩脈に対して4点程度の計測を行い、その平均値をその碎屑岩脈における針貫入勾配値※とした。  
 ・なお測定は、できるだけ平滑な箇所を基質を対象に実施した。  
 ※：貫入深さ1mm未満で貫入荷重100Nに達した計測値は針貫入勾配を100N/mmとして算出



## 5.2.1 (3) 最新面と最新面付近の変質鉱物 — 試料採取位置と分析内容 —

- 鉱物脈法による活動性評価に用いる変質鉱物の同定にあたっては、評価を実施する薄片試料を作成したコア試料の同一破砕部を対象として、薄片観察, EPMA分析, XRD分析(定法)を実施し, 評価を行う。
- 「XRD分析(定法)」の結果, 主な粘土鉱物としてスメクタイトが認められる場合には, 同一断層の別孔の破砕部において実施した「XRD分析(粘土分濃集)」によって詳細な結晶構造を判定する。

### ■ 試料採取位置と分析内容

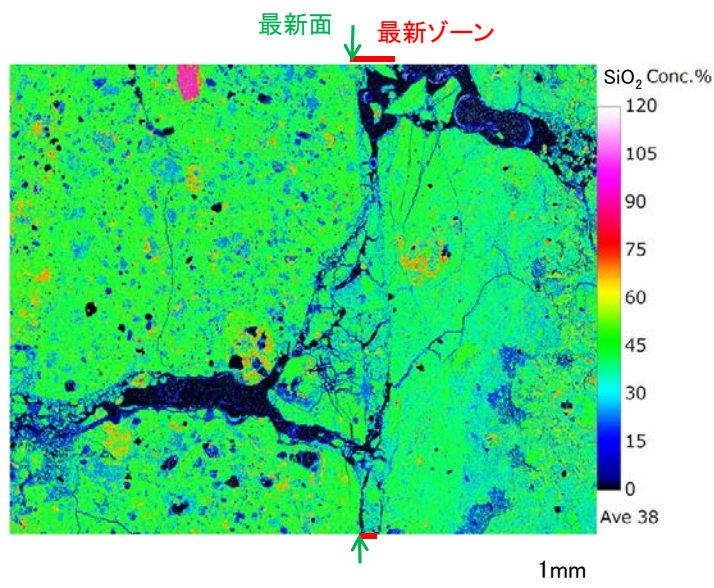


## 5.2.1(3) 最新面と最新面付近の変質鉱物 — 変質鉱物のEPMA分析 —

○EPMA分析(マッピング)は、評価に用いる変質鉱物の分布状況を視覚的に確認することを目的に実施する。分析試料は、活動性評価に用いる薄片試料作成時の残りの試料から作成したEPMA用薄片試料を用いる。

○EPMA分析(定量)は、XRD分析等で同定した鉱物を化学組成の観点から確認することを目的に実施する。その際、EPMAのビーム照射影響範囲(径約 $1\mu\text{m}$ )に測定対象鉱物以外の鉱物が入らないよう最大限留意しながら分析位置を選定し、各試料5箇所以上で実施する。

EPMA分析(マッピング)の例  
(K-14, H- -0.3-80孔)

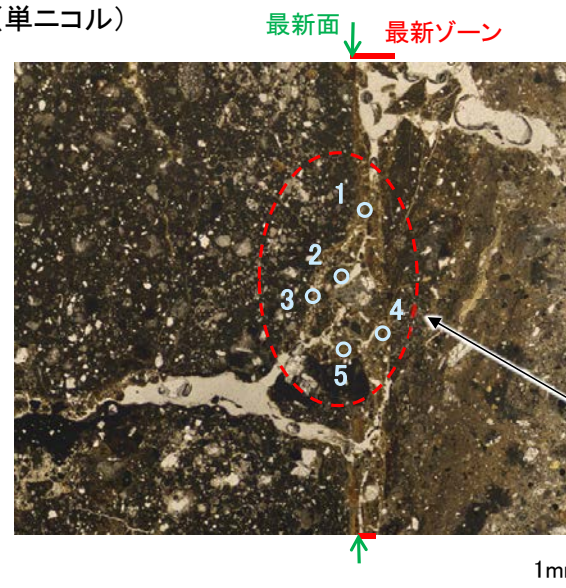


EPMA(マッピング)  $\text{SiO}_2$

H- -0.3-80孔の分析結果(マッピング)の詳細については、P.429

EPMA分析(定量)の分析位置の例  
(K-14, H- -0.3-80孔)

(単ニコル)



最新ゾーン中及び最新面付近に分布する変質鉱物を対象として、分析位置を設定する。

○ 分析位置

H- -0.3-80孔の分析結果(定量)の詳細については、  
補足資料5.2-2(3)P.5.2-2-75



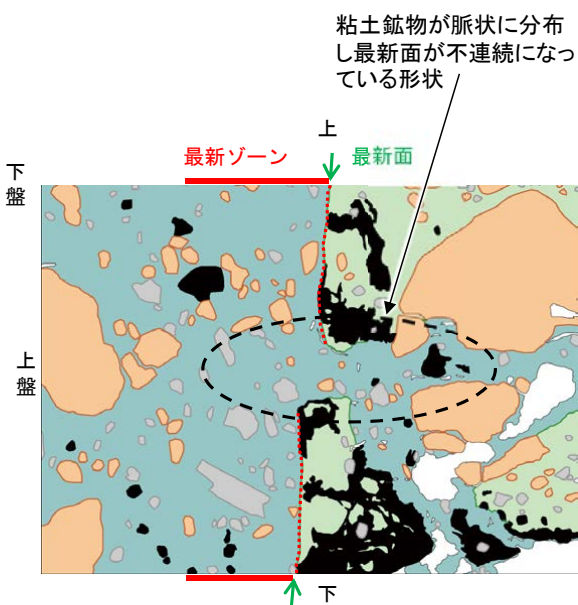
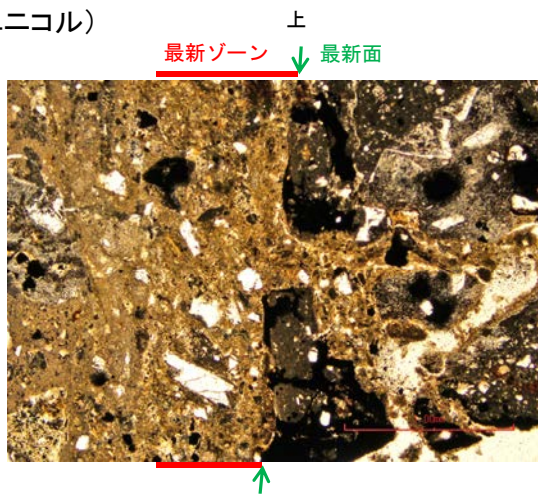
# 5.2.1 (3) 最新面と最新面付近の変質鉱物 — 注入現象の検討 —

- 鉱物脈法による活動性評価において、粘土鉱物が脈状に分布し最新面が不連続になっている形状が確認される箇所については、最新面が注入現象により不連続になったものではないことを確認する必要がある。
- 注入脈の特徴として、Rowe et al.(2012)によるカリフォルニアの事例では弓状構造が認められ、関西電力株式会社(2016)による阿寺断層の事例では粒子の配列が認められるとされており、このことを踏まえると、注入する側(当サイトでの粘土状破碎部)の内部における弓状構造や粒子の配列の有無を確認することで、注入現象の有無を判断することができると考えられる。
- そこで、鉱物脈法の適用にあたり、粘土鉱物が脈状に分布している箇所においては、弓状構造や粒子の配列などの注入の痕跡の有無を確認することで、評価箇所における注入現象の有無を判断する。

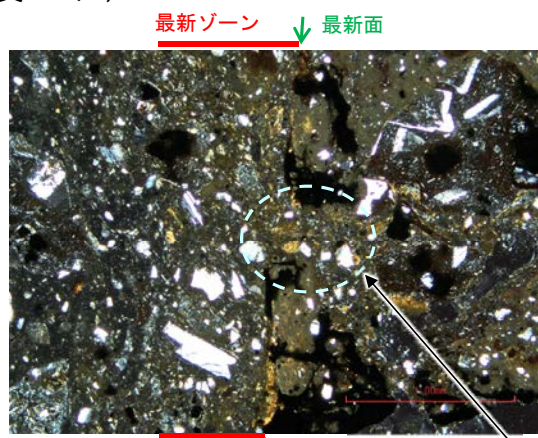
## 注入の痕跡が認められない事例※1

※1: 詳細についてはP.431

(単ニコル)



(直交ニコル)



凡例

- 主要な岩片 (Main rock fragments)
- 斜長石などの鉱物片 (Mineral fragments like plagioclase)
- 不透明鉱物 (Opaque minerals)
- 空隙部 (Void spaces)
- 変質部 (I/S混合層) (Metamorphic zone (I/S mixed layer))
- 主要な岩片等を除く基質部 (Matrix part excluding main rock fragments)
- 最新面 (Latest surface)

スケッチ

弓状構造や粒子の配列などの注入の痕跡は認められない。

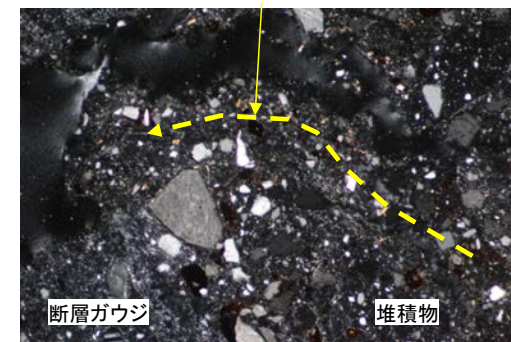
薄片写真 (K-14\_H- -0.3-80孔)

## 注入の痕跡が認められる事例(関西電力株式会社, 2016)※2

※2: 詳細については補足資料5.2-12(4)

カリフォルニアの事例	阿寺断層の事例
注入脈の壁に沿って凸状上向きの弓状構造が認められる	注入方向に粒子の配列が認められる

直交ニコル 粒子の配列が認められる



薄片写真(阿寺断層の事例)



---

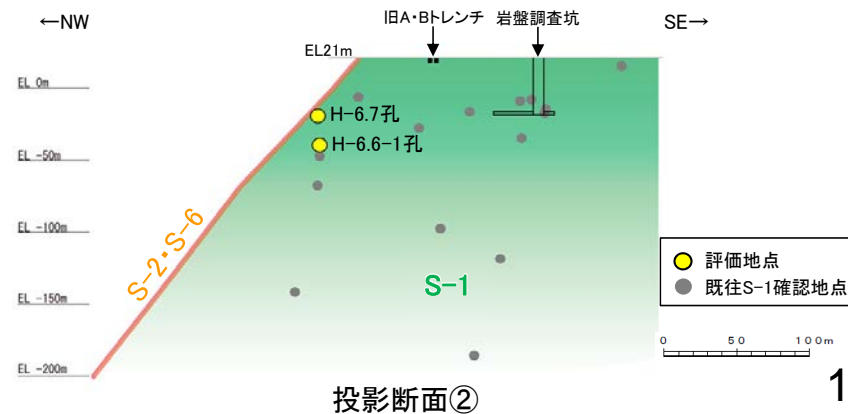
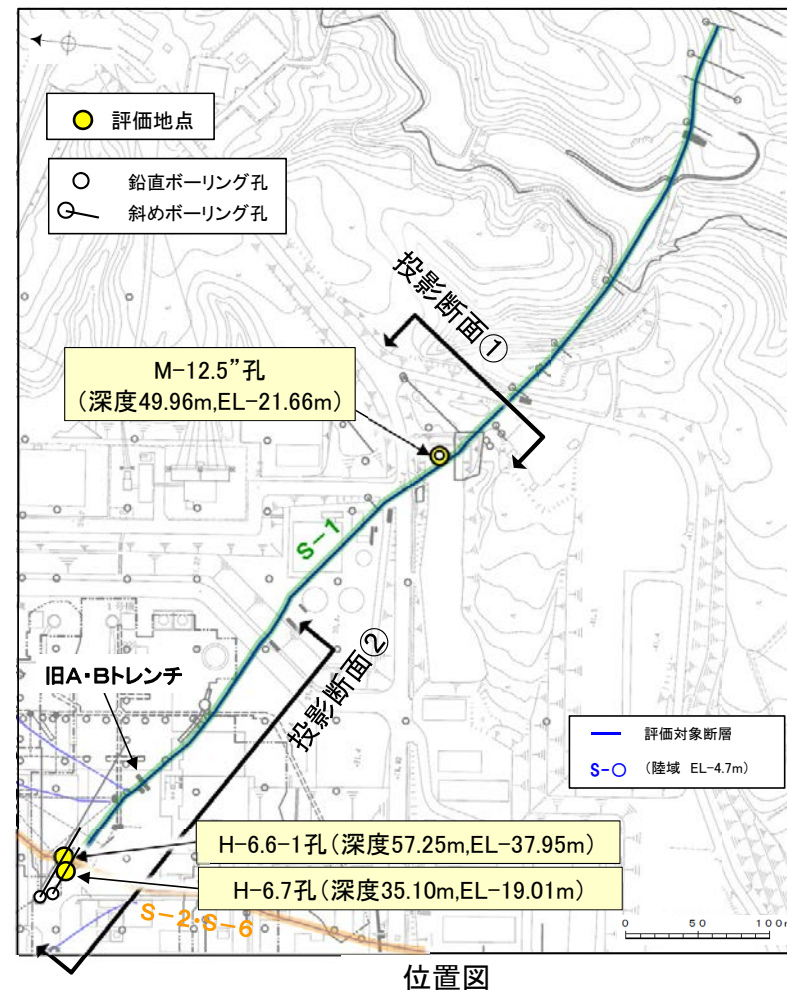
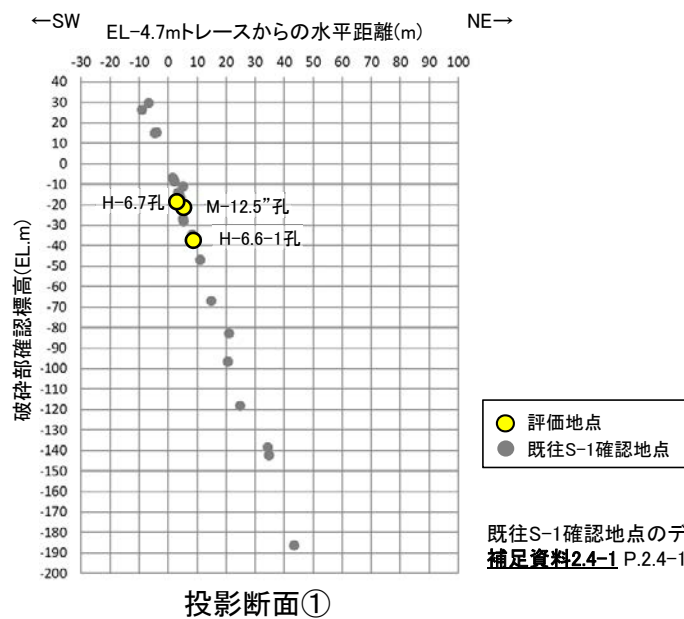
## 5.2.2 S-1

## 5.2.2 S-1の鉱物脈法による評価地点

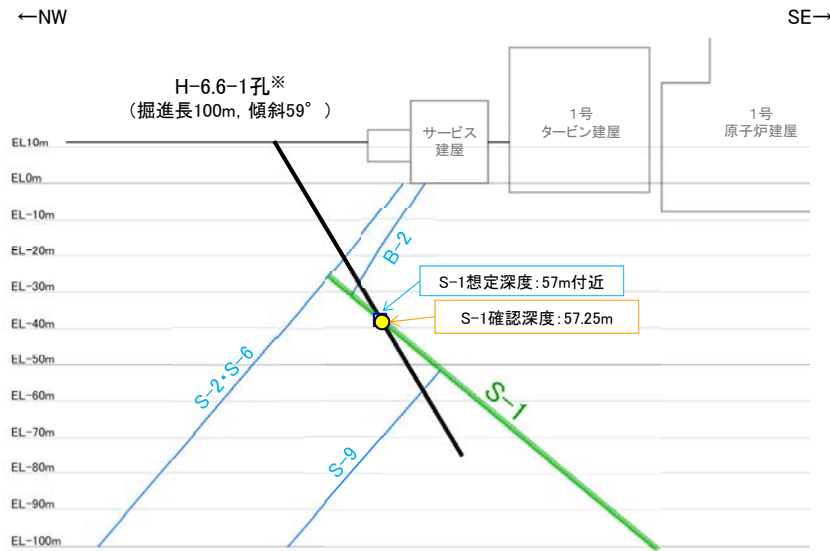
### ■ 鉱物脈法による評価地点

- 2地点 (H-6.6-1孔, H-6.7孔) において, S-1の最新ゾーンに少なくとも後期更新世以降に生成したものではないと評価した変質鉱物であるI/S混合層が認められたことから, 断層活動(最新面)と変質鉱物との関係による評価を行った。
- M-12.5”孔において, S-1の最新ゾーンに少なくとも後期更新世以降に形成したものではないと評価した碎屑岩脈が認められたことから, 断層活動(最新面)と碎屑岩脈との関係による評価を行った。

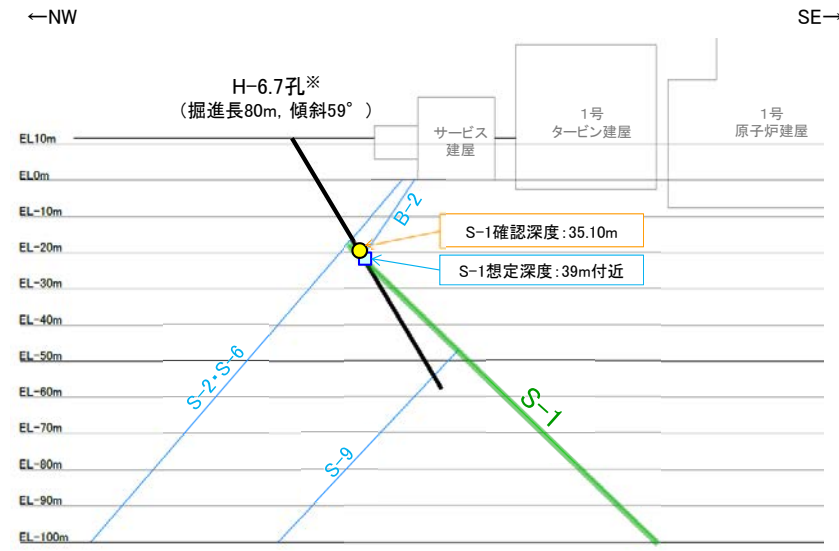
評価地点	記載頁
H-6.6-1孔 (深度57.25m, EL-37.95m)	P.155~168
H-6.7孔 (深度35.10m, EL-19.01m)	P.169~188
M-12.5”孔 (深度49.96m, EL-21.66m)	P.189~201



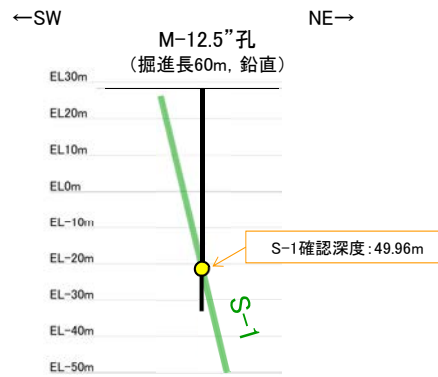
## 【断面図】



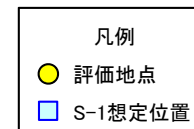
H-6.6-1孔断面図  
(掘進方向, H:V=1:1)



H-6.7孔断面図  
(掘進方向, H:V=1:1)



M-12.5"孔断面図  
(断層直交方向, H:V=1:1)



※鉋物脈法による評価のために実施したボーリング

H-6.6-1孔, H-6.7孔のS-1想定深度付近のコア写真は, [補足資料5.2-12\(3\)](#)  
M-12.5"孔のボーリング柱状図, コア写真, BHTVは, [データ集1, 2, 3](#)

これらの図の断層線は, 周辺の露頭やボーリングでの出現位置を基に描いている。



## 5.2.2 S-1 (1) H-6.6-1孔 ー評価結果ー

### 【最新面の認定】

○H-6.6-1孔の深度57.20m付近で認められるS-1において、巨視的観察及び微視的観察を実施し、最新ゾーンの下盤側及び上盤側の境界にそれぞれ最新面1、最新面2を認定した(P.156～159)。

### 【鉱物の同定】

○微視的観察により確認した粘土鉱物は、EPMA分析(定量)による化学組成の検討結果及びXRD分析(粘土分濃集)による結晶構造判定結果から、I/S混合層であると判断した(P.160, 161)。

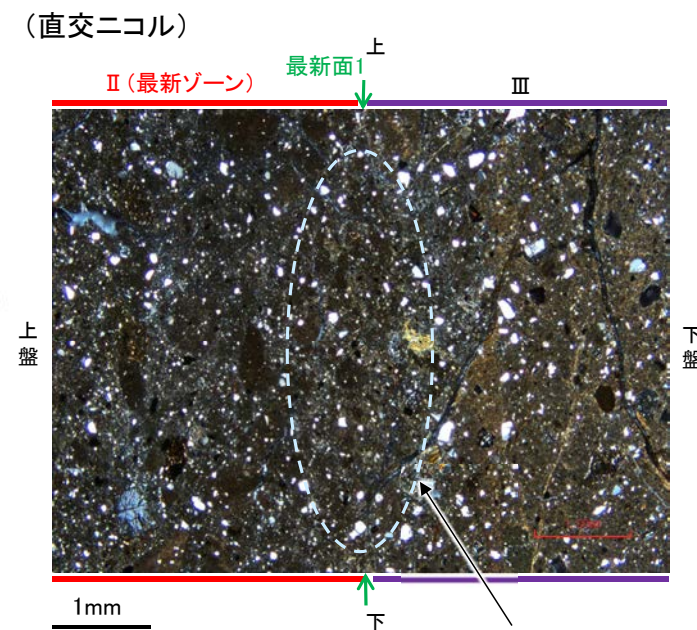
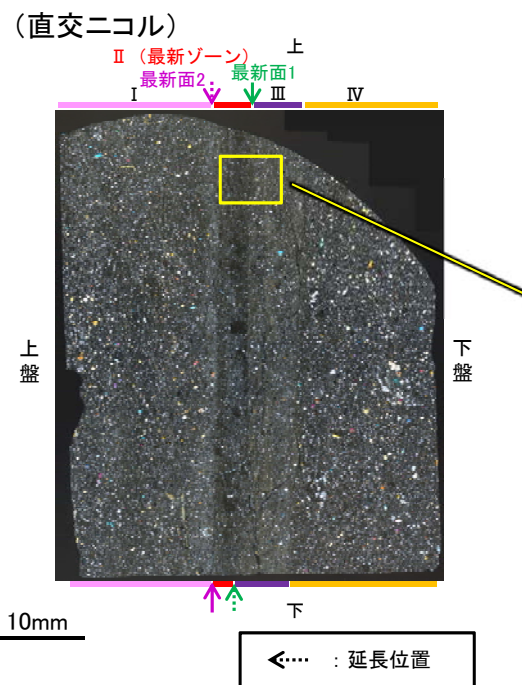
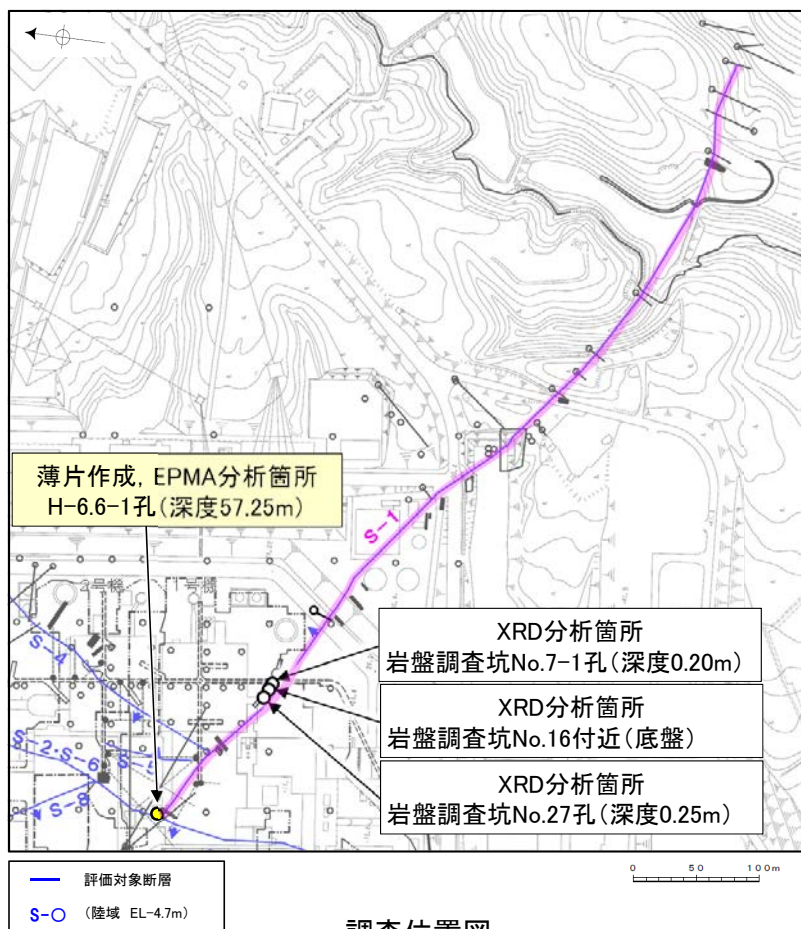
### 【変質鉱物の分布と最新面との関係】

○EPMA分析(マッピング)や薄片観察により、粘土鉱物(I/S混合層)の分布範囲を確認した結果、粘土鉱物(I/S混合層)は最新ゾーン及びその周辺に分布している(P.162～164)。

○粘土鉱物(I/S混合層)が最新面1, 2を横断して分布し、最新面1, 2が不連続になっており、不連続箇所の粘土鉱物(I/S混合層)に変位・変形は認められない(P.165～168)。

○以上のことを踏まえると、S-1の最新活動は、I/S混合層の生成以前である。

紫字:第935回審査会合以降の変更箇所



・不連続箇所の粘土鉱物(I/S混合層)にせん断面や引きずりなどの変形は認められない(P.165～168)。  
・不連続箇所には、I/S混合層生成以降の注入の痕跡や、薄片作成時等の乱れの影響は認められない(P.165～168)。

## 5.2.2 S-1 (1) H-6.6-1孔 —最新面の認定(巨視的観察)—

○H-6.6-1孔の深度57.20m付近で認められるS-1において、巨視的観察(ボーリングコア観察, CT画像観察)を実施し、最も直線性・連続性がよい断層面を主せん断面として抽出した。

○主せん断面における条線観察の結果、71° Rの条線方向が確認されたことから、71° Rで薄片を作成した(ブロック写真)。



・条線観察結果については補足資料5.2-12(2)-1

調査位置図

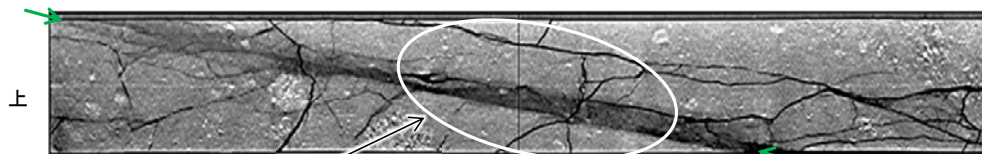


主せん断面 走向傾斜: N66° W/80° NE



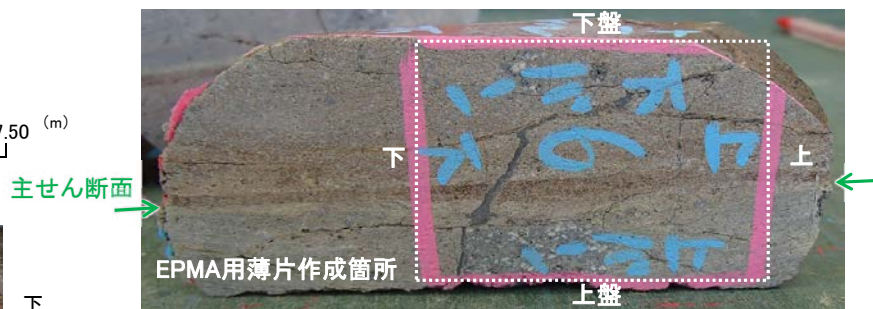
ボーリングコア写真(H-6.6-1孔)

主せん断面



右ブロック採取箇所

CT画像(H-6.6-1孔)



1cm

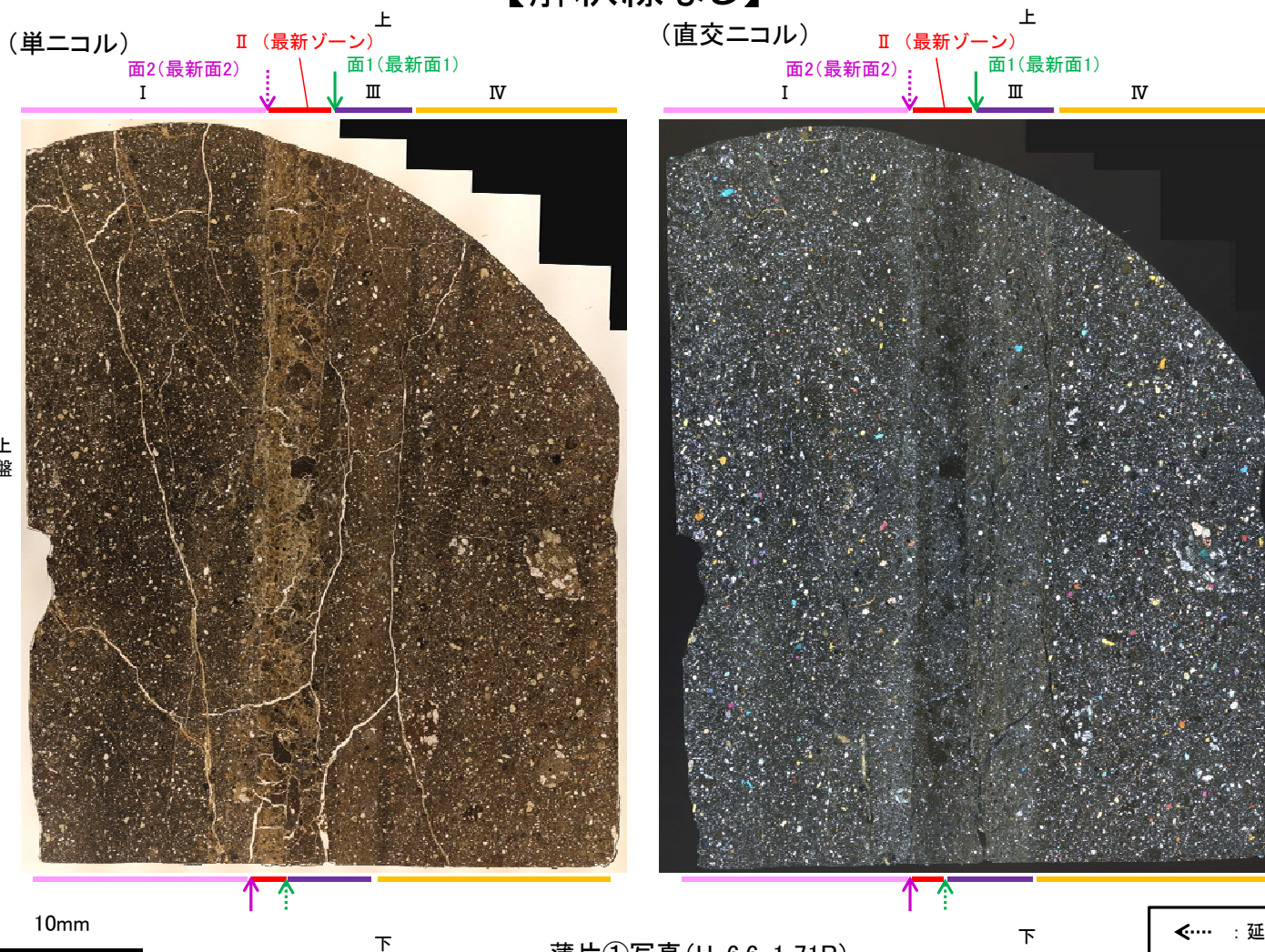
ブロック写真



## 5.2.2 S-1 (1) H-6.6-1孔 ー最新面の認定(微視的観察)ー

- 薄片①で実施した微視的観察(薄片観察)の結果, 色調や礫径などから, 上盤側より I ~ IV に分帯した。
- そのうち, 最も細粒化している分帯 II を最新ゾーンとして抽出した。
- 最新ゾーンと分帯 III との境界に, 面1(緑矢印)が認められる。面1は全体的に不明瞭だが, 最新ゾーンの中では比較的連続性がよい面である。
- 最新ゾーンと分帯 I との境界に, 面2(紫矢印)が認められる。面2は全体的に不明瞭だが, 最新ゾーンの中では比較的連続性がよい面である。
- 面1, 面2は同程度の直線性・連続性を有することから, 面1を最新面1, 面2を最新面2とし, それぞれについて変質鉱物との関係を確認する。
- なお, 最新ゾーンから離れたその他の面として分帯 III と分帯 IV との境界面が認められるが, この面の周辺は最新ゾーンに比べて細粒化が進んでおらず, 面は不明瞭で漸移的であることから, 最新面ではないと判断した。

### 【解釈線なし】



#### 分帯とコア観察における破碎部区分との対応

- ・分帯 II (最新ゾーン), 分帯 III ... 粘土状破碎部
- ・分帯 I, 分帯 IV ... 固結した破碎部

I : 単ニコルで褐灰色, 直交ニコルで灰色の干渉色を呈する凝灰岩からなる。径2mm以下の岩片や鉱物片が細粒な基質中に含まれている。岩片は垂角~垂円形, 鉱物片は角~垂角形である。基質中や割れ目, 岩片の縁辺部に粘土鉱物が生成されており, IIとの境界付近に比較的多く含まれる。

II (最新ゾーン) : 単ニコルで褐灰色, 直交ニコルで灰~暗灰色の干渉色を呈する, 粘土鉱物を含む細粒物からなる。径3mm以下の岩片や鉱物片が細粒な基質中に含まれる。岩片, 鉱物片は角~垂円形である。基質中や割れ目, 岩片の縁辺部に粘土鉱物が生成している。

III : 単ニコルで褐灰色, 直交ニコルで灰色の干渉色を呈する細粒凝灰岩からなる。径2mm以下の岩片や鉱物片が細粒な基質中に含まれる。岩片は垂角~垂円形, 鉱物片は角~垂円形である。基質中や割れ目, 岩片の縁辺部に粘土鉱物が生成している。

IV : 単ニコルで褐灰色, 直交ニコルで灰色の干渉色を呈する凝灰岩からなる。径6mm以下の岩片や鉱物片が細粒な基質中に含まれる。岩片, 鉱物片は垂角~垂円形である。割れ目や岩片の縁辺部に粘土鉱物が生成している。