

# 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)

2020年11月5日  
北陸電力株式会社

---

余白

○ 本日は、第875回審査会合で説明した「敷地(陸域)の6本の断層(S-1, S-2・S-6, S-4, S-5, S-7, S-8)及び敷地(海岸部)の3本の断層(K-2, K-3, K-14)の活動性評価」に関するコメント回答及び新たに評価対象断層として選定した「K-18の活動性評価」について説明を行う。

# 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(鉱物脈)	99	第875回	2020.7.10	活動性評価に用いている鉱物脈が敷地に広く分布していることを確認する観点から、敷地内のどこにどのような鉱物が確認されているかを整理して示すこと。	今回説明	
活動性評価(鉱物脈)	100	第875回	2020.7.10	敷地内における変質鉱物等の直接的な観察結果に基づき、それらの生成順序について説明すること。	今回説明	
活動性評価(鉱物脈)	101	第875回	2020.7.10	鉱物脈法に用いている碎屑岩脈の固結の程度について説明すること。また、薄片観察において、Ⅰ、Ⅱ等と分帯しているもののうち、どこが粘土状破碎部なのかが分かるように資料に記載すること。	今回説明	
活動性評価(鉱物脈)	102	第875回	2020.7.10	敷地周辺に分布する穴水累層中の変質鉱物について、客観的な観察事実に基づき、敷地と同じような変質の状況が敷地周辺に広範囲で認められること及び鉱物脈の生成時期が古いことを説明すること。	今回説明	
活動性評価(鉱物脈)	103	第875回	2020.7.10	鉱物脈法による評価においては、空隙等の乱れの影響を受けていない薄片を用いること。	今回説明	
活動性評価(K-3)	104	第875回	2020.7.10	K-3の活動性評価において、後期更新世以降の活動がないと評価した考え方を再整理して説明すること。	今回説明	
活動性評価(海成段丘堆積物)	105	第875回	2020.7.10	礫の形状を用いた海成堆積物の評価において、礫の採取時や解析の際に用いる礫の大きさを規定した根拠について、資料に記載すること。	今回説明	
活動性評価(海成段丘堆積物)	106	第875回	2020.7.10	礫の形状による解析を行う際には、侵食されにくい極端に大きな礫の影響も考慮し、同程度の礫の大きさで比較した場合についても考察すること。	今回説明	
活動性評価(S-4)	107	第875回	2020.7.10	35m盤トレンチと35m盤法面の堆積物の比較において、例えば針貫入試験等の定量的なデータを加えて、堆積物の広がりについての説明性を高めること。	今回説明	
評価対象断層の選定	108	第902回	2020.10.2	断層の系統区分について、走向、傾斜、運動方向による6種類の区分を分かりやすく示すこと。	今回説明	
評価対象断層の選定	109	第902回	2020.10.2	XRD分析結果に示す斜長石について、曹長石等に変質していないことを資料に明記すること。	今回説明	

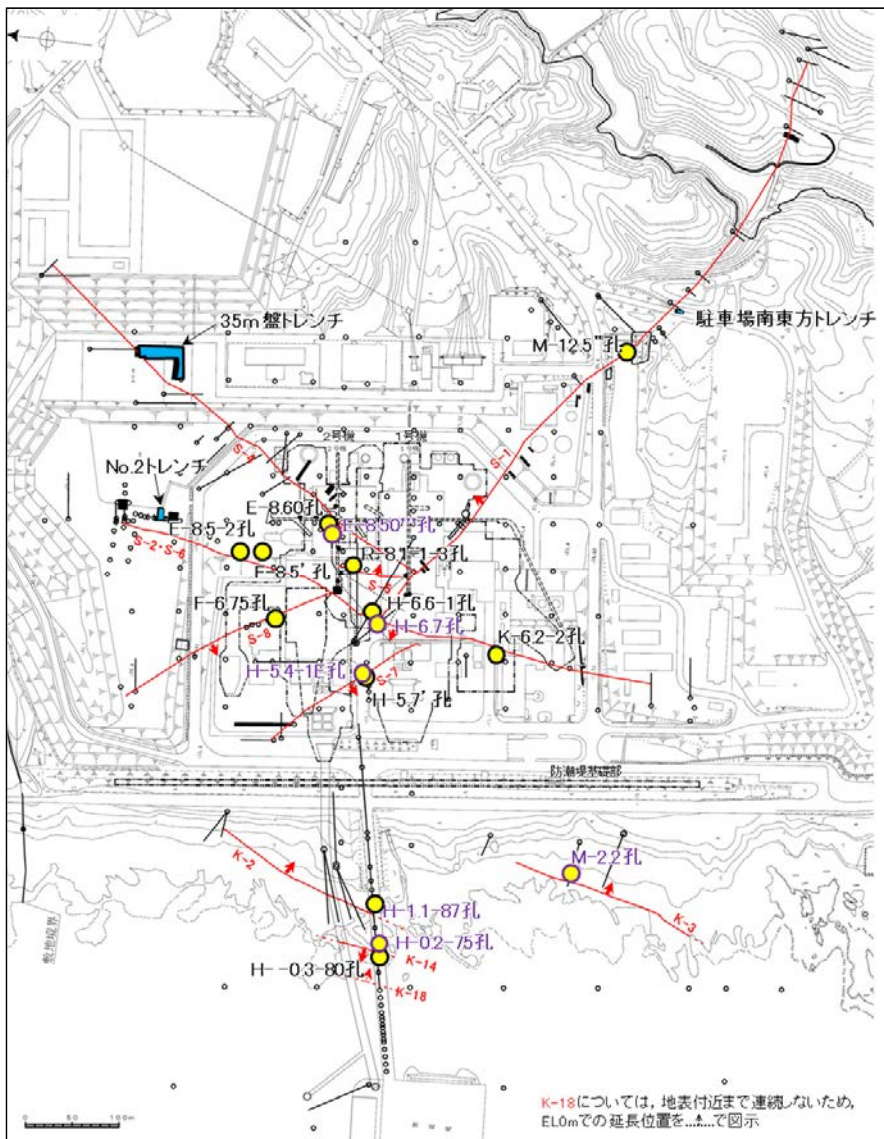


# コメント回答の概要

No	コメント	回答概要	記載頁
99	活動性評価に用いている鉱物脈が敷地に広く分布していることを確認する観点から、敷地内のどこにどのような鉱物が確認されているかを整理して示すこと。	・敷地内において、変質鉱物を確認した位置について、薄片観察に基づく新旧関係も含めて整理し、位置図と一覧表で示した。	P.347
100	敷地内における変質鉱物等の直接的な観察結果に基づき、それらの生成順序について説明すること。	・薄片観察による直接的な観察結果に基づき、I/S混合層生成後のオパールCT生成、フリブサイト生成及び碎屑岩脈の形成とする生成順序を形成プロセスの模式図に反映した。	P.346
101	鉱物脈法に用いている碎屑岩脈の固結の程度について説明すること。また、薄片観察において、I、II等と分帯しているものうち、どこが粘土状破碎部なのかが分かるように資料に記載すること。	・破碎部や碎屑岩脈の硬軟の程度を定量的に確認するために、粘土状破碎部、固結した破碎部、碎屑岩脈及び母岩で針貫入試験を実施した結果、粘土状破碎部では2~3N/mm、固結した破碎部では46~71N/mm、碎屑岩脈では50~75N/mm、母岩では46~100N/mmの針貫入勾配を示した。 ・これにより、粘土状破碎部と固結した破碎部の硬軟の程度は明らかに異なり、固結した破碎部や碎屑岩脈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。 ・また、薄片観察における分帯と、コア観察における破碎部区分との対応について、資料に記載した。	P.74~78, 87, 101, 112, 128, 142, 156, 173, 186, 204, 219, 231, 248, 262, 273, 298, 315, 328, 338
102	敷地周辺に分布する穴水累層中の変質鉱物について、客観的な観察事実に基づき、敷地と同じような変質の状況が敷地周辺に広範囲で認められること及び鉱物脈の生成時期が古いことを説明すること。	・敷地で確認される変質鉱物(I/S混合層)が、敷地周辺の穴水累層中にも分布することを確認した。 ・このI/S混合層を生成させた変質は第四系に及んでおらず、変質鉱物の確認標高・生成温度と12~13万年前以降の敷地の地温分布との関係によれば、I/S混合層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。	P.41~57
103	鉱物脈法による評価においては、空隙等の乱れの影響を受けていない薄片を用いること。	・第875回審査会合で示した乱れの影響を受けている可能性のある薄片(S-1:H-6.5-2孔, K-10.3SW孔, S-4:E-11.1SE-2孔, K-14:H'-1.3孔)及び変質鉱物と最新活動との関係が明確に確認できない薄片(S-5:H-5.4-4E孔, K-3:N-2.3-1孔, K-3露頭a地点)については、活動性評価の根拠として用いないこととした。	P.13, 15, 16
104	K-3の活動性評価において、後期更新世以降の活動がないと評価した考え方を再整理して説明すること。	・K-3については、これまで変質鉱物と最新活動との関係が明確に確認できていなかったが、固結した破碎部中の最新ゾーンに少なくとも後期更新世以降に生成され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。 ・その結果、最新面が不明瞭かつ不連続になっており、不連続箇所の変質鉱物(I/S混合層)に変位・変形が認められないことが確認できたことから、K-3は後期更新世以降の活動がないと評価した。	P.292~310, 428
105	礫の形状を用いた海成堆積物の評価において、礫の採取時や解析の際に用いる礫の大きさを規定した根拠について、資料に記載すること。	・礫の採取時や解析の際に用いる礫の大きさを規定した根拠については、風化による形状への影響が大きい礫を除くためである旨を記載した。	P.369, 370
106	礫の形状による解析を行う際には、侵食されにくい極端に大きな礫の影響も考慮し、同程度の礫の大きさで比較した場合についても考察すること。	・水流による運搬・侵食作用を受けにくいと考えられる径の大きな礫の影響の有無を確認するため、本地域の海成堆積物及び陸成堆積物の礫の平均真円度(ab面)について礫径毎に区分して整理した。 ・礫径と平均真円度(ab面)の関係については、長径(a)と短径(c)の平均値が12.5cm未満の礫は、試料数が多く、礫径が大きくなるにつれて平均真円度(ab面)の値が小さくなる傾向が認められた。一方、長径(a)と短径(c)の平均値が12.5cm以上の礫については、試料数が少なく、礫径と平均真円度(ab面)の関係は不明である。 ・なお、いずれの礫径においても海成堆積物は陸成堆積物よりも礫の平均真円度(ab面)の値が大きく、海成堆積物では0.77以上、陸成堆積物では0.77未満の値を示すことから、平均真円度(ab面)を用いた海成堆積物の認定結果に影響はないと考えられる。	P.383, 384
107	35m盤トレンチと35m盤法面の堆積物の比較において、例えば針貫入試験等の定量的なデータを加えて、堆積物の広がりについての説明性を高めること。	・35m盤トレンチと35m盤法面の堆積物の性状の比較において、基質の締まりの程度については土壌硬度計を用いた硬度測定、礫の風化の程度についてはクサリ礫調査を行った。これらの定量的なデータを加えて、35m盤トレンチの堆積物と35m盤法面の堆積物が一連の堆積物であることの説明性を高めた。	P.410~413
108	断層の系統区分について、走向、傾斜、運動方向による6種類の区分を分かりやすく示すこと。	・断層の系統区分について、走向、傾斜、運動方向(固結した破碎部)、運動方向(粘土状破碎部)の4項目のデータに基づいた6種類の区分を図示した。	P.434, 435
109	XRD分析結果に示す斜長石について、曹長石等に変質していないことを資料に明記すること。	・斜長石について、曹長石等に変質していないことを資料に記載した。	P.437~439

# 敷地(陸域・海岸部)の評価対象断層の活動性評価

- 約12~13万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。
- 変質鉱物の生成年代に関する詳細な検討を行い、少なくとも後期更新世以降に生成されたものではないと評価した変質鉱物(イライト/スメクタイト混合層)及び碎屑岩脈を用いて、これまでのS-1, S-2・S-6, S-4, S-5, S-7, S-8, K-2, K-3, K-14に今回新たに評価対象断層として選定したK-18を加え、鉱物脈法による評価を実施した。



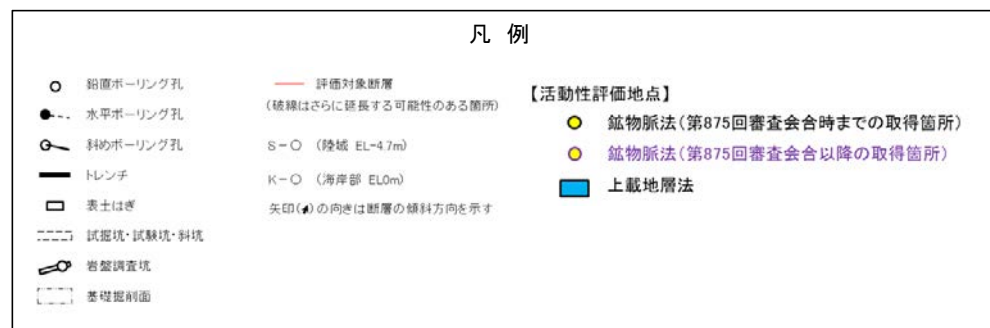
活動性評価に関する調査位置図

## 各断層の活動性評価に関する評価地点

紫字: 第875回審査会合以降の主な追加・変更箇所

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	
	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)※1 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)※1 E-8.60孔(イライト/スメクタイト混合層)
S-5	—	—	1地点	R-8.1-1-3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)※1 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)※1
K-3	—	—	1地点	M-2.2孔(イライト/スメクタイト混合層)※1
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)※1

※1: 第875回審査会合以降に追加した評価地点(6箇所)



## 【活動性評価結果】

紫字：第875回審査会合以降の主な追加・変更箇所

○：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		断層活動(最新面)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	最新ゾーンにおける 直線性・連続性の よい面構造の有無	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	最新面が不明瞭かつ不連続 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	
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-8.1-1-3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		有	-	○	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

第875回審査会合で示した以下の薄片については、活動性評価の根拠として用いないこととした。

- ・乱れの影響を受けている可能性のある薄片(S-1:H-6.5-2孔, K-10.3SW孔, S-4:E-11.1SE-2孔, K-14:H'-1.3孔)
- ・変質鉱物と最新活動との関係が明確に確認できない薄片(S-5:H-5.4-4E孔, K-3:N-2.3-1孔, K-3露頭a地点)
- ・オパールCTにより評価した薄片(K-2:H-1.1孔)

# 目次

1. 敷地の地形, 地質・地質構造	
1.1 文献調査	
1.2 敷地の地形	
1.3 敷地の地質・地質構造	
1.4 まとめ	
2. 敷地内断層の分布, 性状, 運動方向	
2.1 調査位置図	
2.2 敷地の穴水累層及び破碎部	
(1) 敷地の穴水累層	
(2) 穴水累層中に認められる破碎部	
2.3 断層の分布	
(1) 断層の抽出	
(2) 断層の分布	
2.4 断層の性状	
(1) 各断層の性状	
(2) 破碎部内及び母岩に認められる鉱物組成	
2.5 断層の運動方向	
2.6 まとめ	
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	
4. 評価対象断層の選定	
5. 敷地内断層の活動性評価	.....10
5.1 活動性評価の方針	.....11
5.2 鉱物脈法による活動性評価	.....17
5.2.1 評価に用いる変質鉱物と最新面	.....18
(1) 評価に用いる変質鉱物	.....19
(2) 最新面と最新面付近の変質鉱物	.....73
5.2.2 S-1	.....82
(1) H-6.6-1孔	.....85
(2) H-6.7孔	.....99
(3) M-12.5”孔	.....110
5.2.3 S-2・S-6	.....124
(1) K-6.2-2孔	.....126
(2) F-8.5’孔	.....140
(3) E-8.5-2孔	.....154
5.2.4 S-4	.....169
(1) E-8.50”孔	.....171
(2) E-8.60孔	.....184
5.2.5 S-5	.....196
R-8.1-1-3孔	.....202
5.2.6 S-7	.....215
(1) H-5.4-1E孔	.....217
(2) H-5.7’孔	.....229
5.2.7 S-8	.....244
F-6.75孔	.....246



5.2.8 K-2	.....258
(1) H-1.1-87孔	.....260
(2) (参考)H-1.1孔	.....271
5.2.9 K-3	.....291
M-2.2孔	.....296
5.2.10 K-14	.....311
H- -0.3-80孔	.....313
5.2.11 K-18	.....324
H-0.2-75孔	.....326
5.2.12 破砕部と変質鉱物の形成プロセス	.....345
5.3 上載地層法による活動性評価	.....350
5.3.1 上載地層法に用いる地層	.....351
(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	.....353
(2) 海成堆積物の特徴	.....356
(3) 敷地内断層上に分布する海成堆積物の認定	.....373
(4) 堆積物の年代評価	.....385
5.3.2 S-1	.....387
駐車場南東方トレンチ	.....389
5.3.3 S-2・S-6	.....393
No.2トレンチ	.....395
5.3.4 S-4	.....399
35m盤トレンチ	.....401
5.4 活動性評価 まとめ	.....418

## 6. 有識者会合の評価に対する検討

- 6.1 S-1の有識者会合の評価と追加検討について
- 6.2 S-2・S-6の有識者会合の評価と追加検討について  
有識者会合により示された「今後の課題」

## 評価対象断層の選定に関するコメント回答

- [1] 断層の系統区分について
- [2] 斜長石の変質について

## 参考文献

灰色：第875回審査会合において説明

---

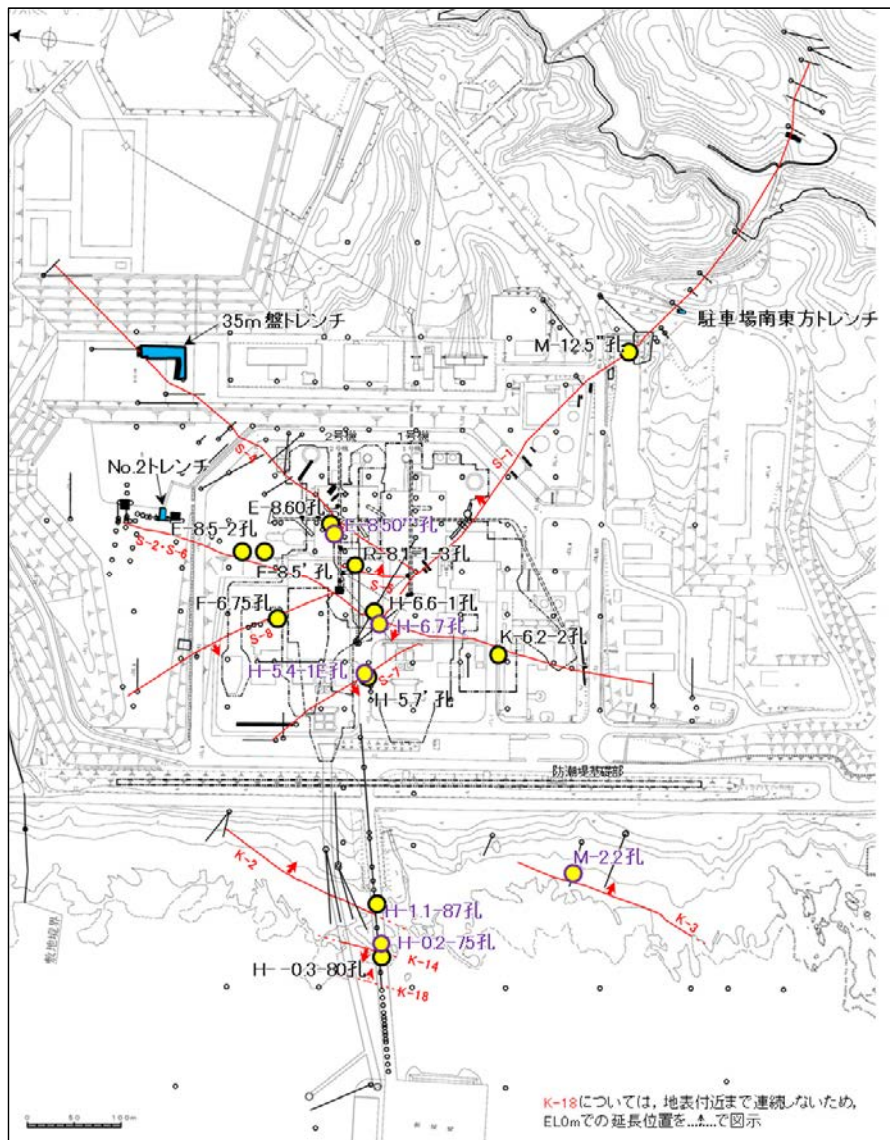
## 5. 敷地内断層の活動性評価

---

## 5.1 活動性評価の方針

# 5.1 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、地層の変位・変形構造による評価(上載地層法)を行う。
- 断層破碎部の詳細性状による評価(鉱物脈法)を行う。



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

紫字: 第875回審査会合以降の主な追加・変更箇所

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	
	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-8.1-1-3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)

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 ELOm)  
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875回審査会合時までの取得箇所)
- 鉱物脈法(第875回審査会合以降の取得箇所)
- 上載地層法



# 5.1 活動性評価の方針 -S-1-

## ■上載地層法による評価

- 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。

## ■鉋物脈法による評価

- 3地点(H-6.6-1孔, H-6.7孔, M-12.5”孔)において、鉋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。

なお、S-1の有識者会合の評価については、当該評価の内容及び当社評価と異なる点に関して検討を行った(第875回審査会合 資料1 P.381～402)。

評価手法	評価地点
上載地層法	駐車場南東方トレンチ
鉋物脈法	H-6.6-1孔
	H-6.7孔
	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、活動性評価の根拠としては用いないこととした。

※2:旧A・Bトレンチ(第875回審査会合 資料1 P.387～398, 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、活動性評価の根拠としては用いないこととした。

※3:駐車場南側法面、えん堤左岸トレンチ(補足資料5.3-2(3), 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(第597回審査会合 資料2-1 3.2.4(1))

本孔で作成した薄片は、最新面を鉋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、活動性評価の根拠としては用いないこととした。

※5:H-6.5-2孔(第875回審査会合 資料1 5.2.5(1)), K-10.3SW孔(第875回審査会合 資料1 5.2.5(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、活動性評価の根拠としては用いないこととした。



調査位置図

# 5.1 活動性評価の方針 —S-2・S-6—

## ■上載地層法による評価

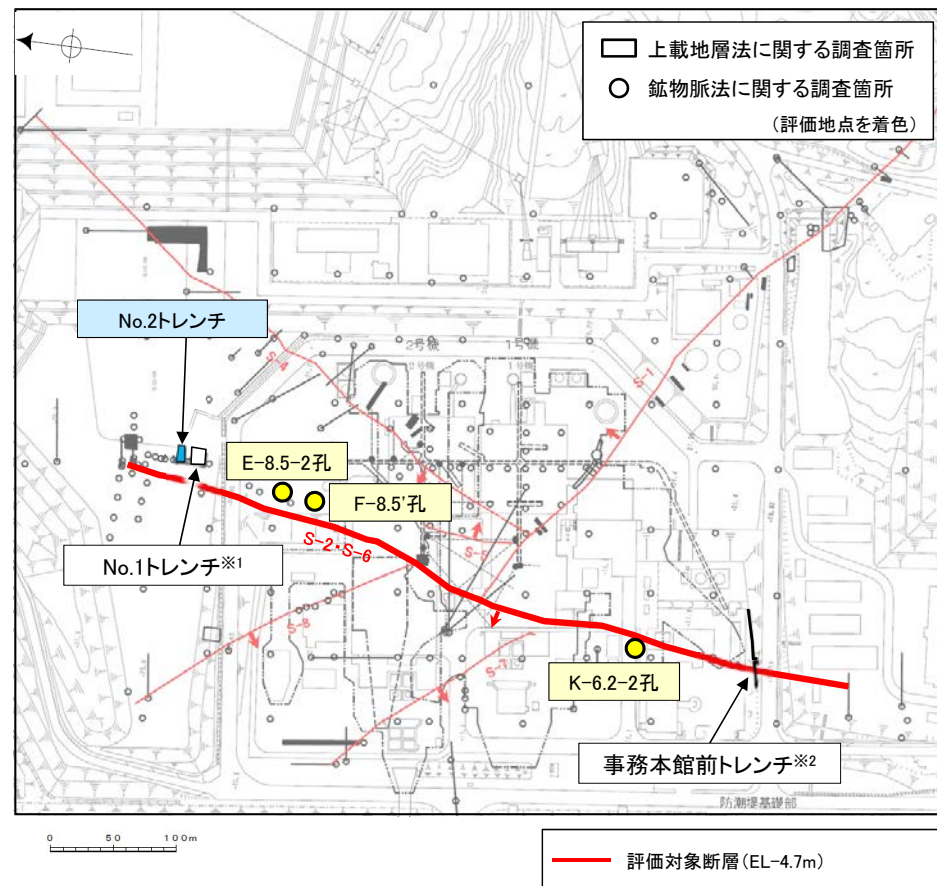
○約12～13万年前に堆積した地層であるM I 段丘堆積物が分布するNo.2トレンチにおいて、上載地層法による評価を行った。

## ■鉤物脈法による評価

- 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。

なお、S-2・S-6の有識者会合の評価については、当該評価の内容及び当社評価と異なる点に関して検討を行った(第875回審査会合 資料1 P.403～437)。

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、活動性評価の根拠としては用いないこととした。

# 5.1 活動性評価の方針 -S-4-

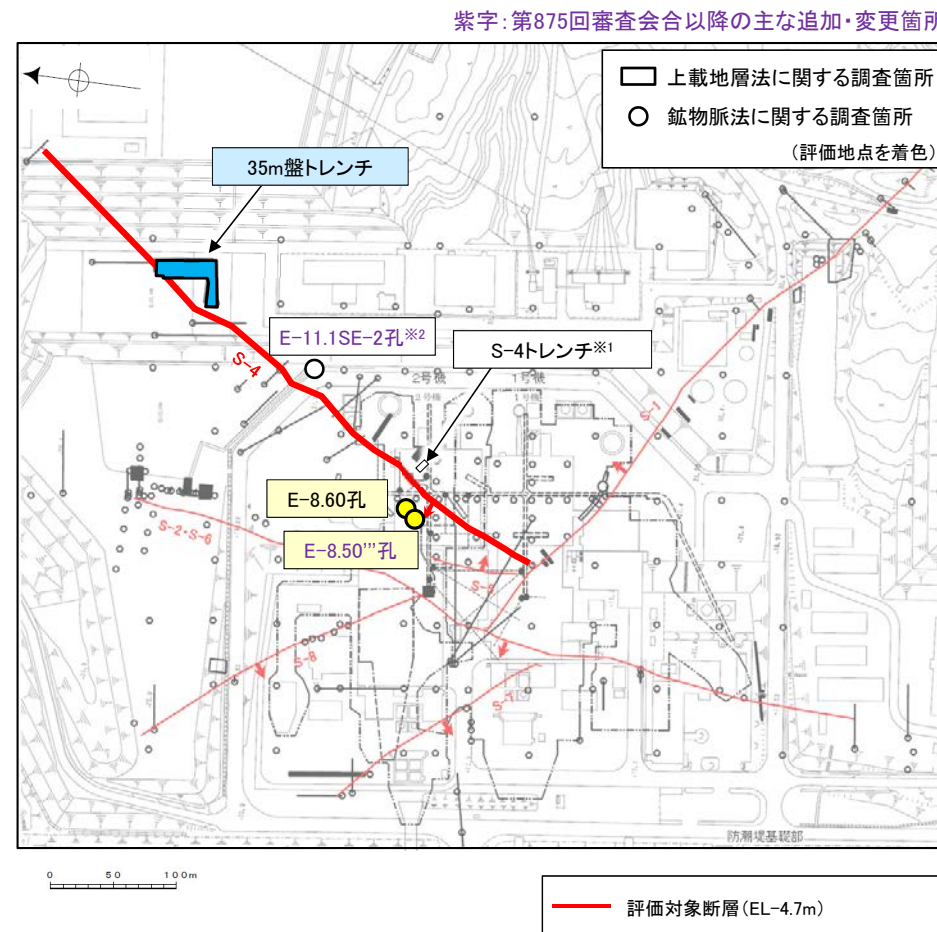
## ■上載地層法による評価

○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。

## ■鉤物脈法による評価

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

評価手法	評価地点
上載地層法	35m盤トレンチ
鉤物脈法	E-8.50”孔
	E-8.60孔



調査位置図

※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、活動性評価の根拠としては用いないこととした。

※2: E-11.1SE-2孔(第875回審査会合 資料1 5.2.7(2))

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、活動性評価の根拠としては用いないこととした。



# 5.1 活動性評価の方針 -S-5, S-7, S-8, K-2, K-3, K-14, K-18-

## ■上載地層法による評価

○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。

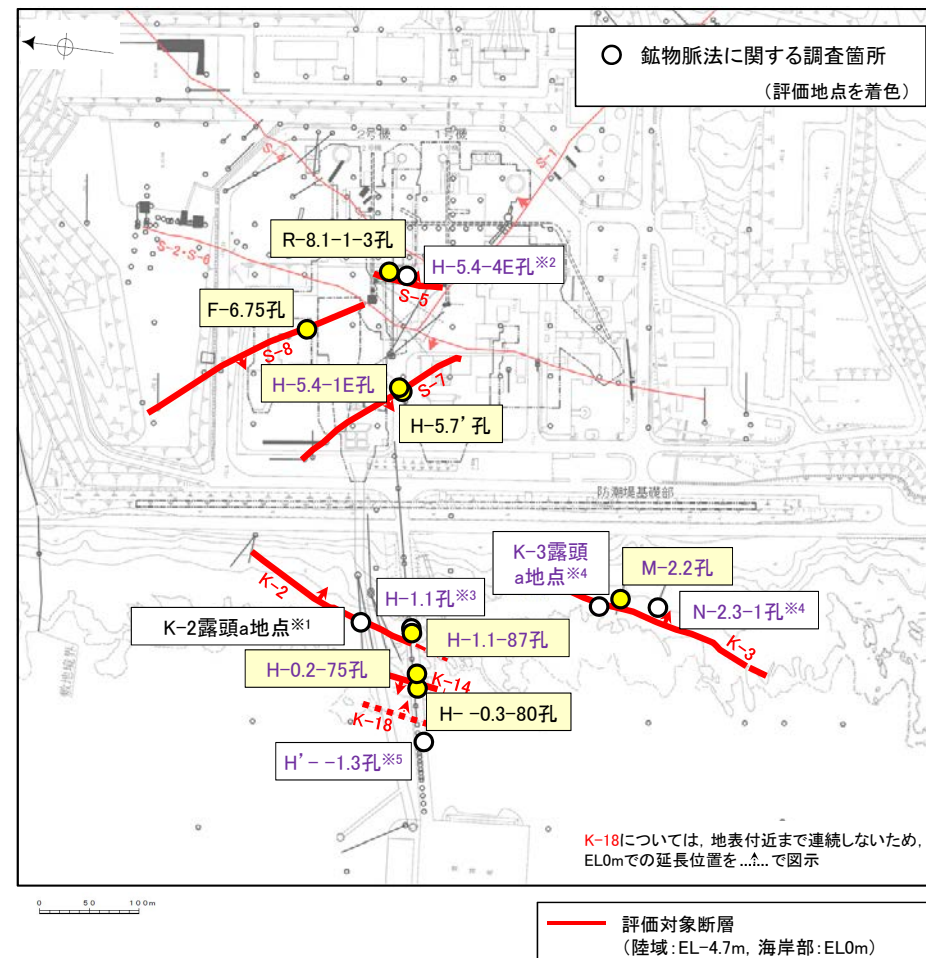
## ■鉬物脈法による評価

○下表に示す地点において，鉬物脈法による評価を行った。

評価手法	断層	評価地点
鉬物脈法	S-5	R-8.1-1-3孔
	S-7	H-5.4-1E孔
		H-5.7' 孔
	S-8	F-6.75孔
	K-2	H-1.1-87孔
	K-3	M-2.2孔
	K-14	H- -0.3-80孔
K-18	H-0.2-75孔	

- ※1: K-2露頭 a地点 (第597回審査会合 資料1 3.5.3(2))  
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 (第875回審査会合 資料1 5.2.4(1))  
S-5深部のデータ。本孔で作成した薄片は、変質鉬物と最新活動との関係が明確でないことから、活動性評価の根拠としては用いないこととした。
- ※3: H-1.1孔 (P.271～290)  
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 (第875回審査会合 資料1 5.2.5(1))  
K-3のデータ。本孔で作成した薄片は、変質鉬物と最新活動との関係が明確でないことから、活動性評価の根拠としては用いないこととした。
- ※5: H' - -1.3孔 (第875回審査会合 資料1 5.2.3(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ッ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、活動性評価の根拠としては用いないこととした。

紫字: 第875回審査会合以降の主な追加・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	.....	20
(1-1) 敷地で確認される変質鉱物の詳細	.....	24
(1-2) 敷地周辺で確認される変質鉱物	.....	47
(1-3) 敷地深部で確認される変質鉱物	.....	55
(1-4) 変質鉱物の生成年代の評価	.....	58
(1-5) 変質鉱物の生成年代に関する考察	.....	65
(1-6) 碎屑岩脈の形成年代の評価	.....	71
(1-7) 評価に用いる変質鉱物	.....	72

## 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.24, 25, 36)。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。

### ■ 敷地で確認される変質鉱物の詳細

- ・ 粘土状破碎部中に含まれる鉱物の確認を目的としたXRD分析(P.23, XRD分析①)を実施した結果、粘土鉱物のスメクタイトが変質鉱物として共通して認められた(2章)。この粘土鉱物の粘土分を濃集したXRD分析(P.23, XRD分析②)による結晶構造及びEPMA分析結果による化学組成を踏まえると、これらの粘土鉱物は数十%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、XRD分析及び薄片観察を実施した結果、白色鉱物がオパールCT及びフィリプサイトであることを確認した。

### ■ 敷地周辺で確認される変質鉱物

- ・ 敷地で確認される変質鉱物(I/S混合層)が、敷地周辺の穴水累層中にも分布することを確認した。

### ■ 敷地深部で確認される変質鉱物

- ・ 敷地深部のEL-150m付近では、オパールCTから石英への変化が認められ、EL-950m付近では硬石膏が認められた。

### ■ 変質鉱物の生成年代の評価

- ・ 敷地(深部含む)で確認される変質鉱物の確認標高、生成温度に関する文献調査結果及び敷地の温度検層結果に基づき、変質鉱物の確認標高・生成温度と12～13万年前以降の敷地の地温分布との関係を整理し、変質鉱物の生成年代の評価を行った。その結果、敷地で確認される変質鉱物の生成温度は12～13万年前以降の敷地の推定地温分布よりも数十℃以上高温であるため、12～13万年前以降の地温分布では敷地の変質鉱物が生成しないと評価される。よって、敷地の変質鉱物は、少なくとも後期更新世以降に生成したものではない。

### ■ 変質鉱物の生成年代に関する考察

- ・ 敷地で確認される変質鉱物の生成環境として、「地下深部(地温勾配相当の高温)」と「熱水(過去の火成活動に伴う地温勾配以上の高温)」の場合について、生成年代を推定した。地下深部で生成したと考えた場合、変質鉱物の生成年代は、地殻の隆起速度を一定と仮定すると、生成温度が50℃の場合は約6Ma、75℃の場合は約11.5Maとなる。熱水により生成したと考えた場合、生成年代は能登半島で最後に火成活動が認められた9Ma以前と見積もられる。

### ■ 碎屑岩脈の形成年代の評価

- ・ 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、地下深部の高封圧下で形成したと判断される。この確認位置は、約12～13万年前には現在とほぼ同じ低封圧下にあったものと判断されることから、碎屑岩脈は少なくとも後期更新世以降に形成されたものではないと評価される。

### ■ 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されたものではないと評価した変質鉱物のうちI/S混合層、及び少なくとも後期更新世以降に形成され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った。



# 【鉍物脈法による活動性評価に用いる変質鉍物】

紫字: 第875回審査会合時からの変更箇所

## ■2章 敷地で確認される変質鉍物

- ・粘土状破砕部中には、変質鉍物として粘土鉍物のスメクタイトが共通して認められる。

## ■5.2.1(1-1) 敷地で確認される変質鉍物の詳細 (P.24~45)

### 【敷地(穴水累層)の変質鉍物】

#### <粘土鉍物>

- ・XRD分析(粘土分濃集, I/S混合層の構造判定)
- ・EPMA分析(化学組成の検討)
- ⇒粘土鉍物(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

#### <白色鉍物>

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

### 【敷地(第四系)の変質鉍物】

- ・トレンチ調査, 表土はぎ調査
- ・XRD分析

⇒I/S混合層を生成させた変質は第四系に及んでいない。

## ■5.2.1(1-2) 敷地周辺で確認される変質鉍物 (P.47~54)

### 【敷地周辺(穴水累層)の変質鉍物】

- ・露頭調査
- ・XRD分析

⇒敷地で確認される変質鉍物(I/S混合層)が敷地周辺の穴水累層中にも分布することを確認した。

## ■5.2.1(1-3) 敷地深部で確認される変質鉍物 (P.55~57)

### 【敷地深部(穴水累層)の変質鉍物】

- ・大深度ボーリング調査
- ・XRD分析

⇒EL-150m付近では、オパールCTから石英への変化が認められる。  
⇒EL-950m付近では硬石膏が認められる。

## ■5.2.1(1-4) 変質鉍物の生成年代の評価 (P.58~64)

### 【変質鉍物の確認標高・生成温度】

(確認標高)

- ・ボーリング調査等(浅部, 5.2.1(1-1))
- ・大深度ボーリング(深部, 5.2.1(1-3))

(生成温度)

・文献調査

⇒I/S混合層, オパールCT, フィリップサイト, 石英, 硬石膏の生成温度が報告されている。

### 【12~13万年前以降の敷地の地温分布の推定】

・温度検層

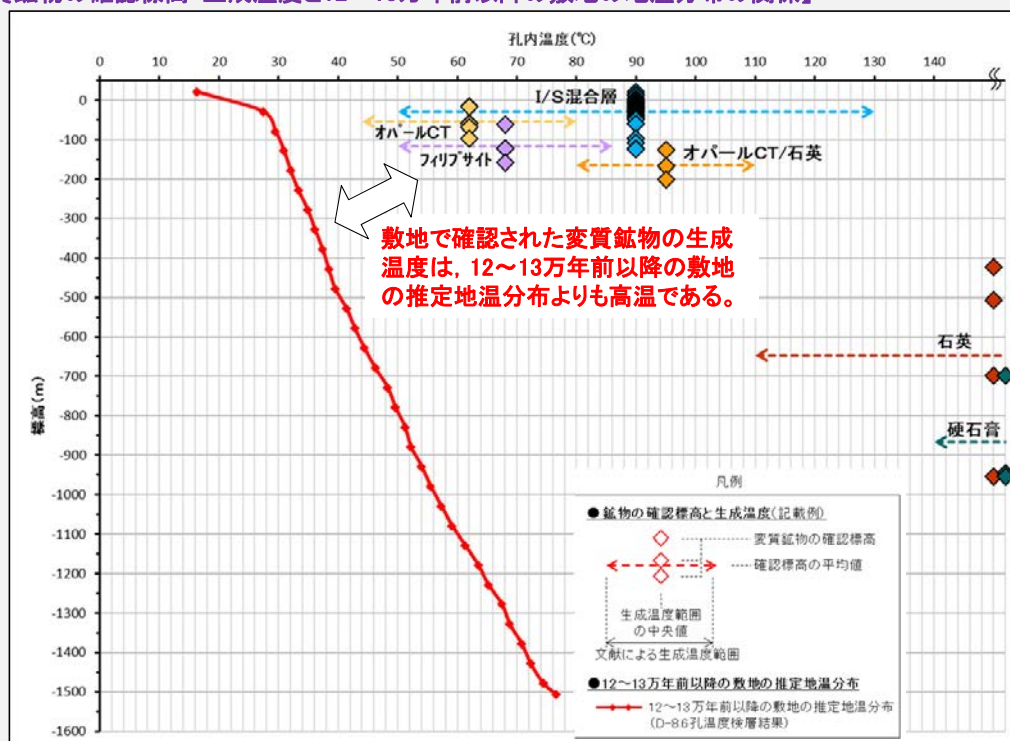
⇒現在の敷地の地温勾配(EL0m~-1500m付近まで)を確認した。

・文献調査(敷地周辺の地温分布)⇒敷地周辺に高温の温泉はなく, 地温分布も同程度である。

・文献調査(能登半島の第四紀火山)⇒能登半島に第四紀火山は認められない。

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。

### 【変質鉍物の確認標高・生成温度と12~13万年前以降の敷地の地温分布の関係】



敷地で確認される変質鉍物(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。

■5.2.1(1-5) 変質鉱物の生成年代に関する考察 (P.65~70)

敷地で確認される変質鉱物が生成する環境として、「①地下深部(地温勾配相当の高温)」と「②熱水(過去の火成活動に伴う地温勾配以上の高温)」の可能性がある。

【①変質鉱物が地下深部で生成したと考えた場合の生成年代の推定】

- ・変質鉱物の生成年代の推定  
⇒地殻の隆起速度を一定と仮定すると、現在敷地で確認できる変質鉱物の生成年代は、生成温度が50°Cの場合は**約6Ma**、75°Cの場合は**約11.5Ma**となる。

【②変質鉱物が熱水により生成したと考えた場合の生成年代の推定】

- ・変質鉱物の生成年代の推定  
⇒能登半島で最後に火成活動が認められたのは約9Ma以前であることを踏まえると、敷地で確認された変質鉱物の生成年代は**約9Ma以前**と見積もられる。

【(参考)変質鉱物の年代測定】

- ・I/S混合層のK-Ar年代値  
⇒敷地で確認されたI/S混合層の年代値は**15~10Ma**である。
- ・オパールCTのU-Pb年代値  
⇒敷地で確認されたオパールCTの年代値は**11.7Ma**である。

【(参考)変質鉱物の生成期間】

- ・文献調査(変質鉱物の生成温度と生成期間)  
⇒I/S混合層は約50°Cでは、**100万年**でも生成しない。  
⇒オパールCTが約50°Cで生成する場合、**数十万年**の期間を要する。

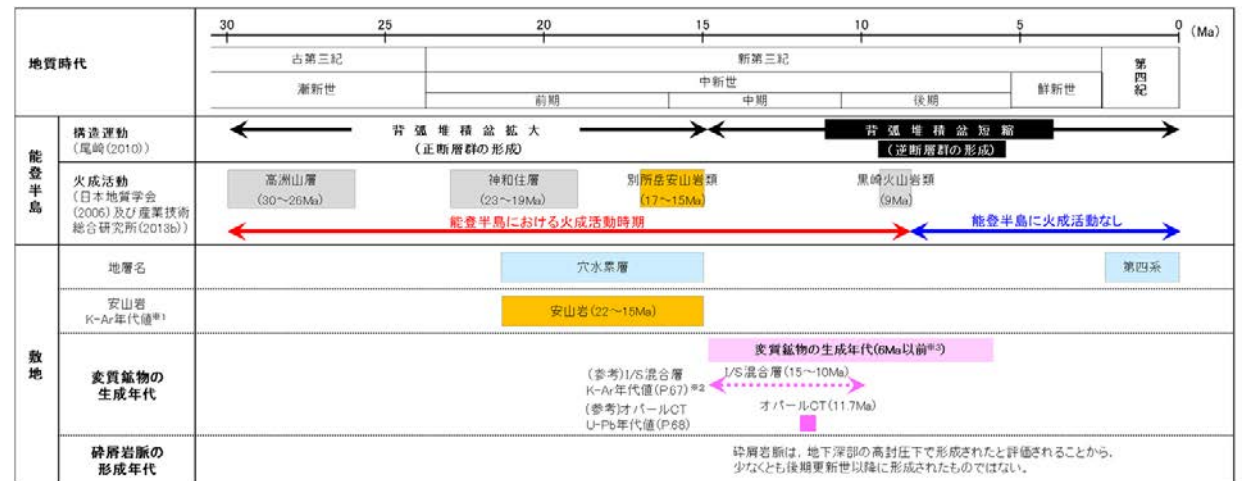
■5.2.1(1-6) 碎屑岩脈の形成年代の評価 (P.71)

【敷地で確認された碎屑岩脈】

- ＜碎屑岩脈＞
- ・EPMA分析
  - ・薄片観察  
⇒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。

- ・碎屑岩脈の生成年代の推定  
⇒碎屑岩脈は、地下深部の高封圧下で形成されたと判断され、この確認位置が約12~13万年前には現在とほぼ同じ低封圧下にあったことを踏まえると、後期更新世以降に形成されたものではない。

敷地で確認される碎屑岩脈は、少なくとも後期更新世以降に形成されたものではない。

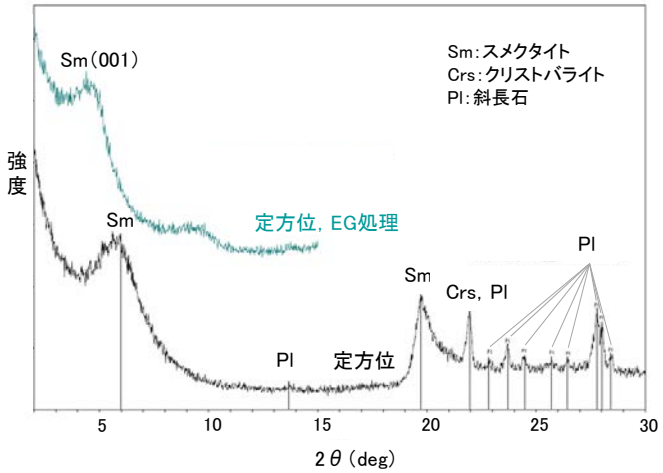
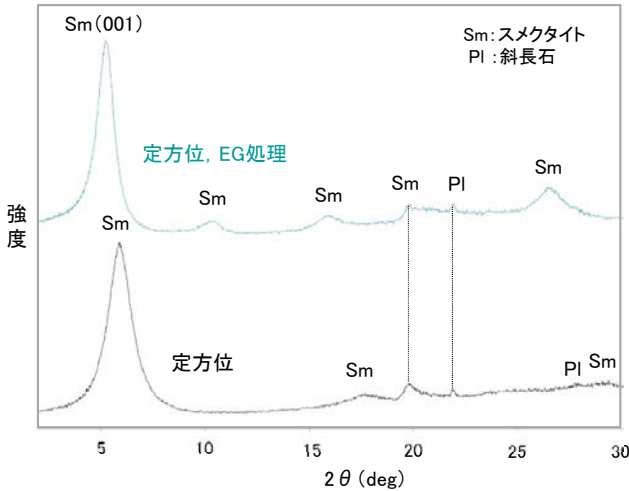


※1: 補足資料5.2-1(2), ※2: 信頼性確認#, 補足資料5.2-2(9), ※3: 5.2.1(1-6)生成年代に関する考察の②生成年代の推定結果による

■5.2.1(1-7) 評価に用いる変質鉱物 (P.72)

少なくとも後期更新世以降に生成されたものではないと評価した変質鉱物のうちI/S混合層、及び少なくとも後期更新世以降に形成され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った。

## 【XRD分析①と②の比較】

	<p>■XRD分析① XRD分析(定方位, 定法) 以下, XRD分析という。</p>	<p>■XRD分析② XRD分析(定方位, 粘土分濃集) 以下, XRD分析(粘土分濃集)という。</p>
<p>試料調整方法</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>乾燥させた後, 粉碎・混合して粉末試料とする。</li> <li>粉末試料を簡易水簸し, 定方位試料を作成する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水簸を複数回繰り返す, 得られた懸濁液を遠心分離にかけ, 粒径2 <math>\mu\text{m}</math>以下の細粒分を回収し, 粘土分が濃集した定方位試料を作成する。</li> </ul>
<p>回折チャート例</p>	 <p>強度</p> <p>Sm(001)</p> <p>Sm</p> <p>定方位, EG処理</p> <p>Sm</p> <p>PI</p> <p>定方位</p> <p>Sm</p> <p>Crs, PI</p> <p>2θ (deg)</p> <p>Sm:スメクタイト Crs:クリストバライト PI:斜長石</p> <p>回折チャート(岩盤調査坑 S-1粘土状破砕部)</p> <p>詳細は, <a href="#">補足資料2.4-2</a></p>	 <p>強度</p> <p>Sm(001)</p> <p>定方位, EG処理</p> <p>Sm</p> <p>Sm</p> <p>Sm</p> <p>Sm</p> <p>PI</p> <p>Sm</p> <p>定方位</p> <p>Sm</p> <p>PI</p> <p>Sm</p> <p>2θ (deg)</p> <p>Sm:スメクタイト PI:斜長石</p> <p>回折チャート(E-8.5+5"孔 S-2・S-6粘土状破砕部(粘土鉱物))</p> <p>詳細は, <a href="#">補足資料5.2-2 (2)</a></p>
<p>XRD分析①と② の比較</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>分析②では, 粘土分を濃集することによって, 粘土鉱物のピーク強度が強くなり, ピーク回折角が読みやすくなる。</li> <li>⇒EG処理した回折チャートでは, スメクタイトの(001)ピークに加え, <math>2\theta = 9\sim 11^\circ</math> 及び <math>2\theta = 16\sim 18^\circ</math> のピークも読み取ることができるため, Watanabe(1988)によるI/S混合層の構造判定*が可能となる。</li> </ul>	

\*Watanabe(1988)によるI/S混合層の構造判定は, P27

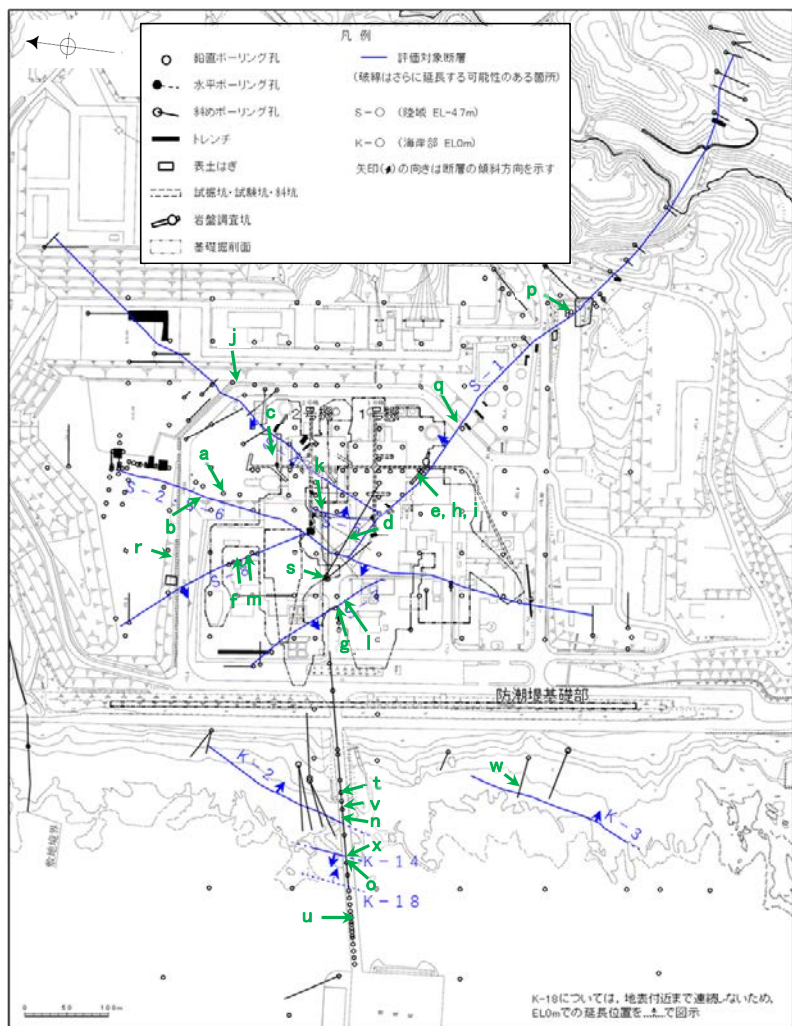


## 5.2.1(1-1)敷地で確認される変質鉱物の詳細 —粘土鉱物(I/S混合層)—

○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)】

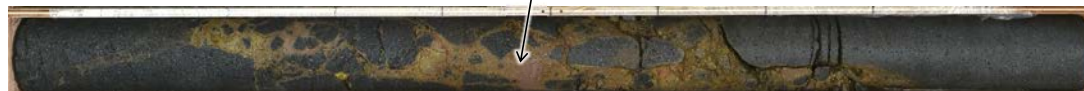
破碎部中に褐色の粘土鉱物が認められる  
(深度) 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 (m)



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)

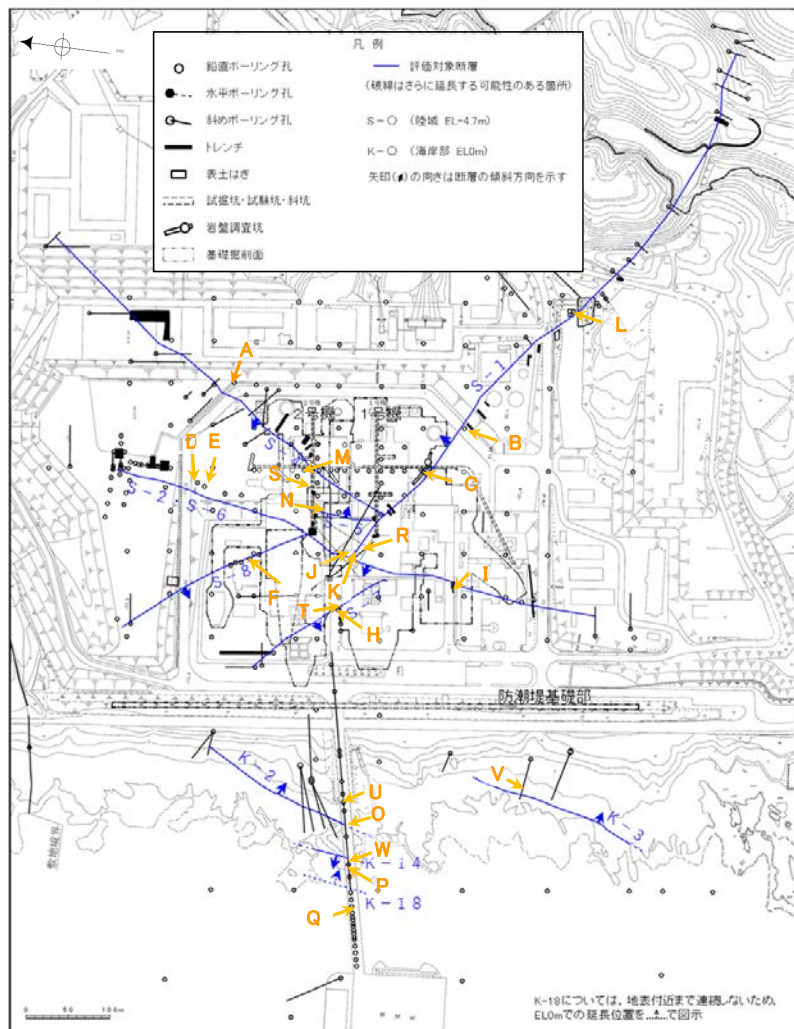


母岩中の割れ目に沿って粘土鉱物脈が認められる事例 (試料d. H-6.5-2孔 深度81.90m付近)

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

紫字: 第875回審査会合時からの追加分析箇所

## 【EPMA分析】

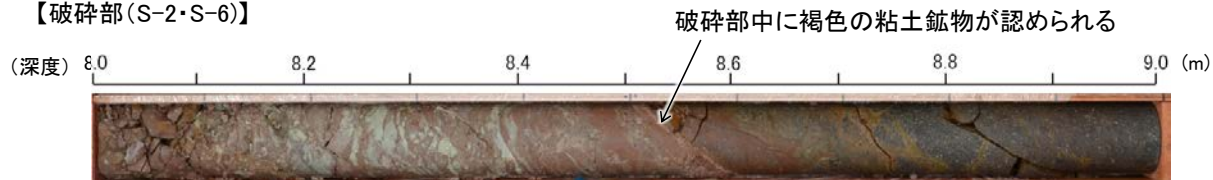


粘土鉱物(EPMA分析試料)

試料採取位置図

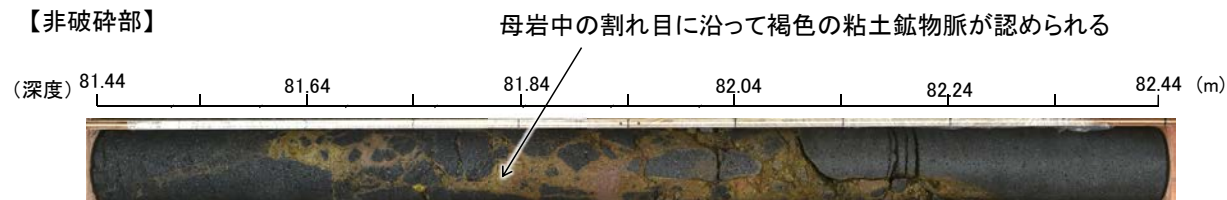
- ・分析に使用した試料のうち、代表的な例を右上に示す
- ・その他の試料については補足資料5.2-2(1) P5.2-2-11~19

### 【破碎部(S-2・S-6)】



破碎部中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)

### 【非破碎部】



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

紫字:第875回審査会合時からの追加分析箇所 ※:今回修正



## 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。

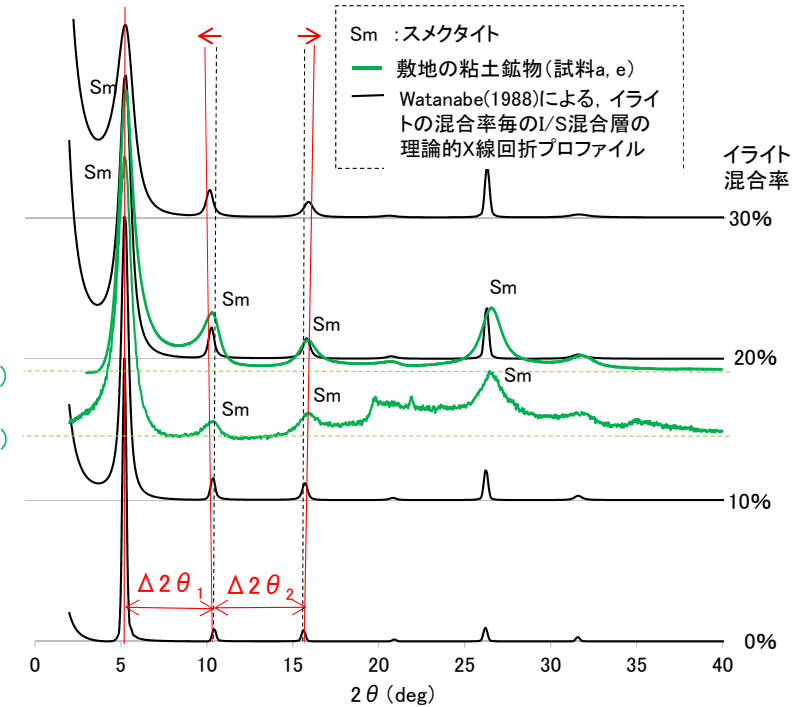
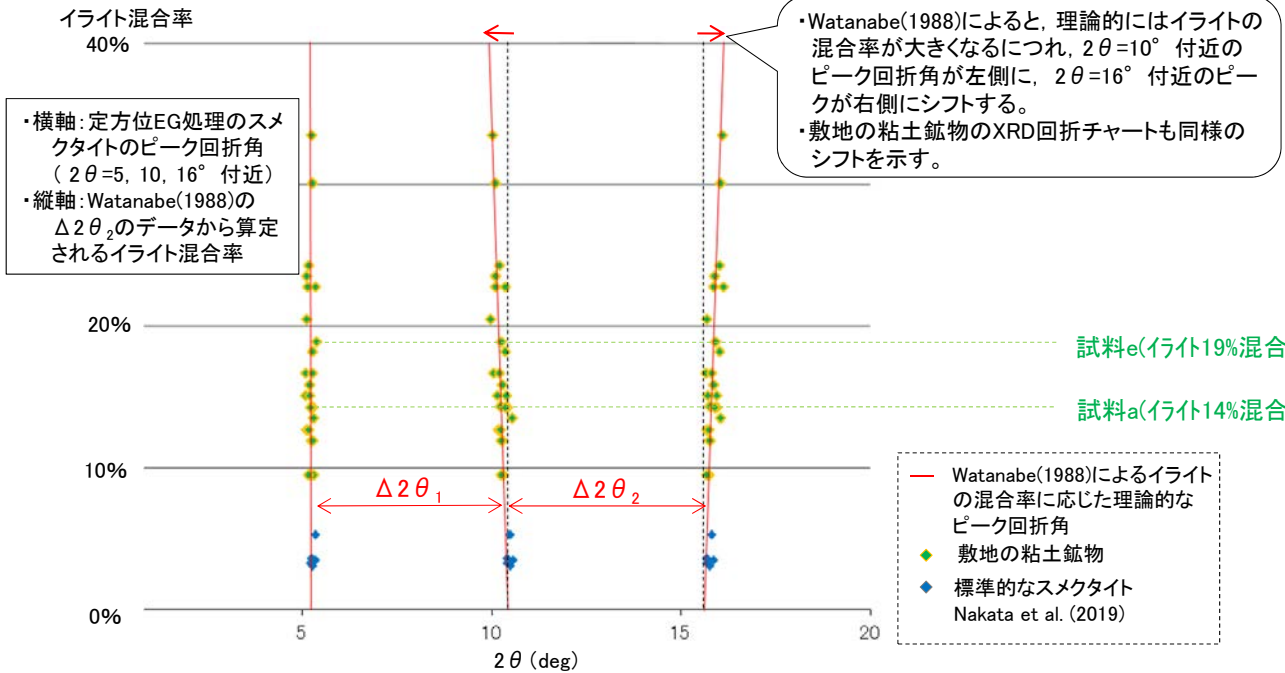


試料eの鉱物分離後の粉末試料

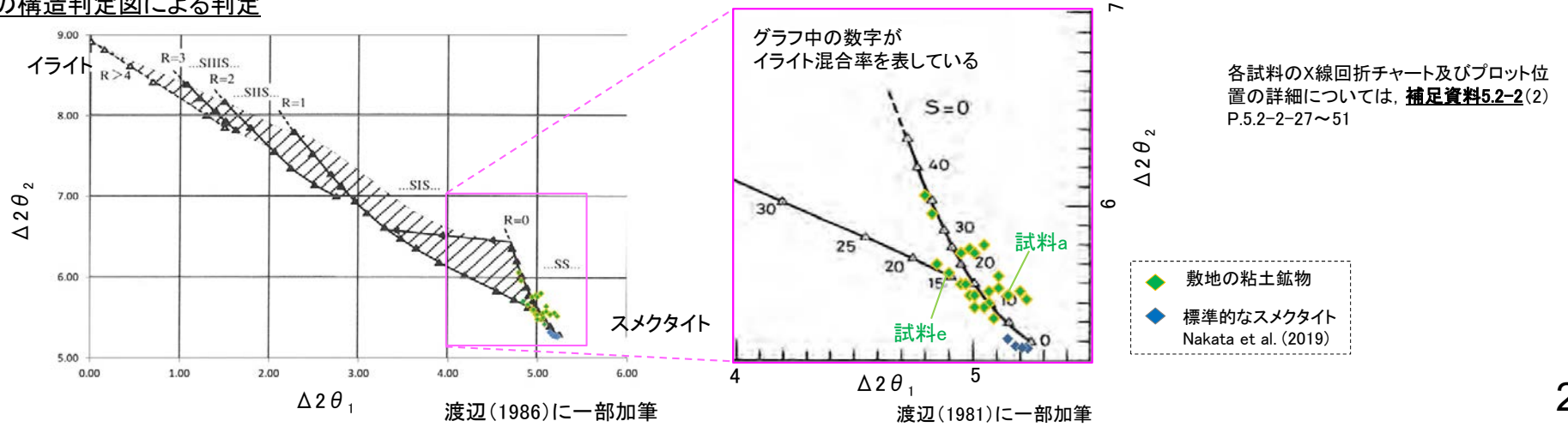
## 5.2.1(1-1) 敷地で確認される変質鉱物の詳細 –XRD分析(粘土分濃集)–

- 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



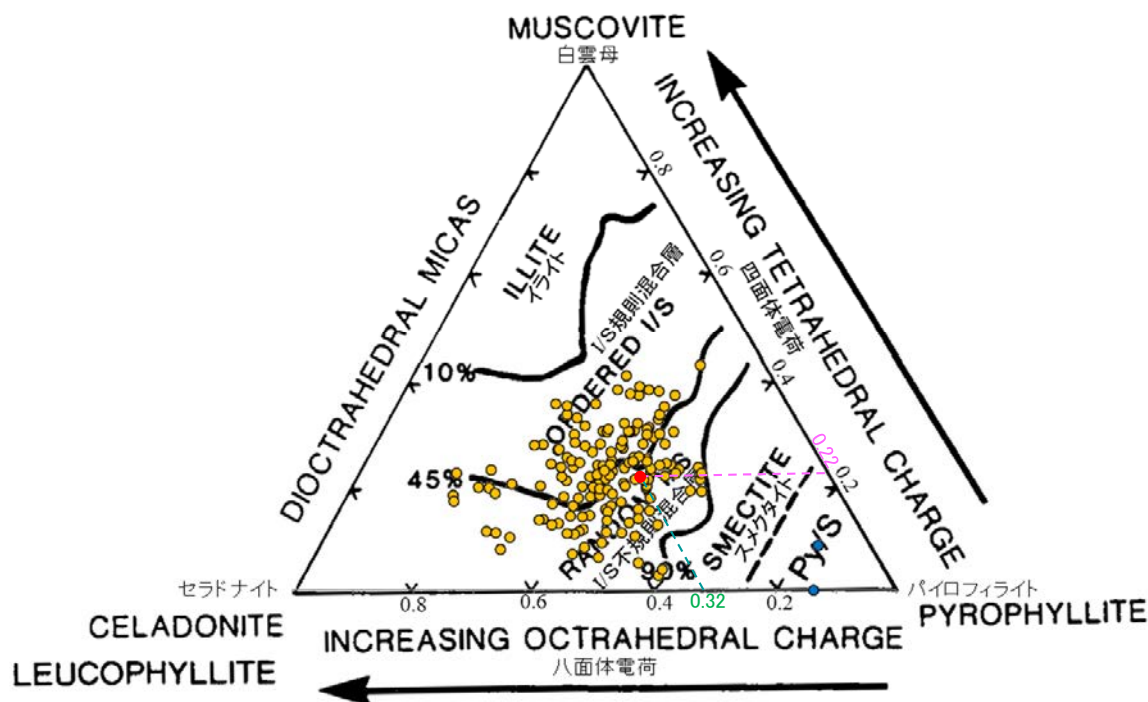
## 5.2.1(1-1) 敷地で確認される変質鉱物の詳細 – EPMA分析 –

- 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※1。
- 2八面体型の粘土鉱物※2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.5.2-2-84~85

※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」と判断される。



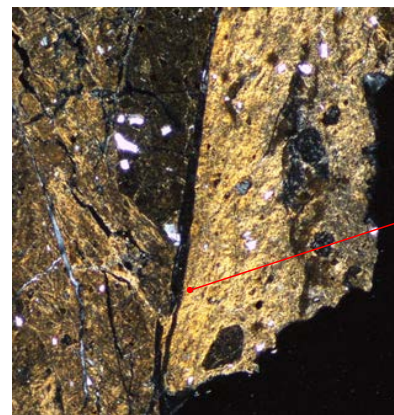
- 分析値(敷地の粘土鉱物)(第875回会合以降の追加分析値を含む)
- 標準的なスメクタイト(日本粘土学会編(2009)のWyoming試料の化学組成値を用いて作成)
- プロット例(試料D)

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

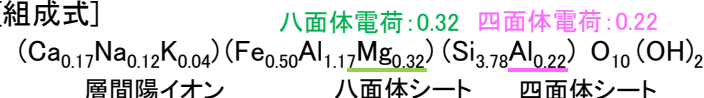
分析位置については、[補足資料5.2-2\(3\)](#)  
P.5.2-2-61

#### [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]

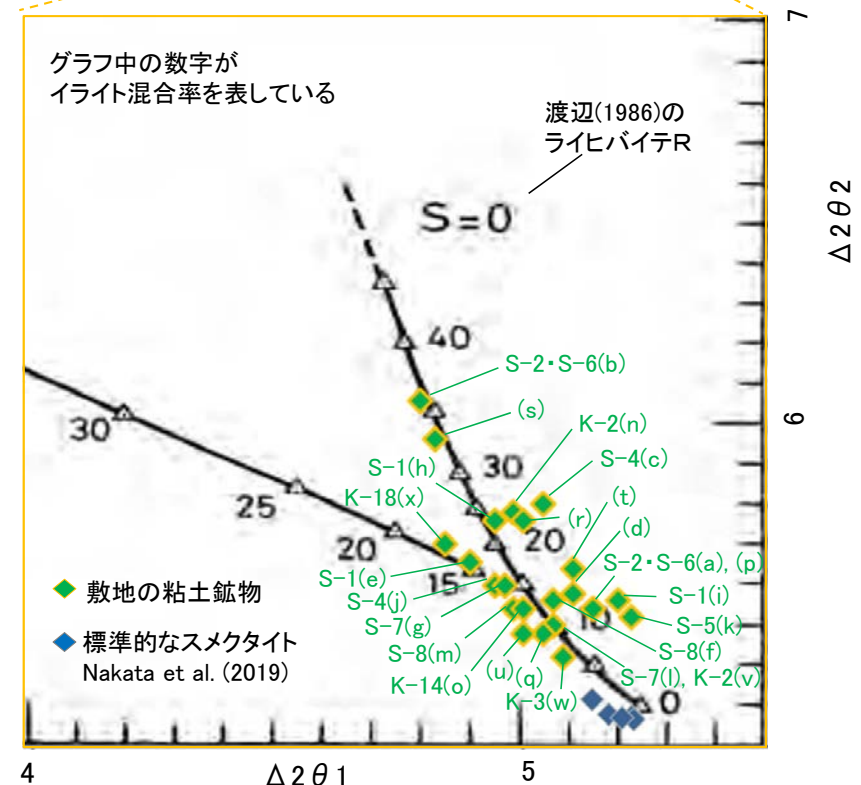
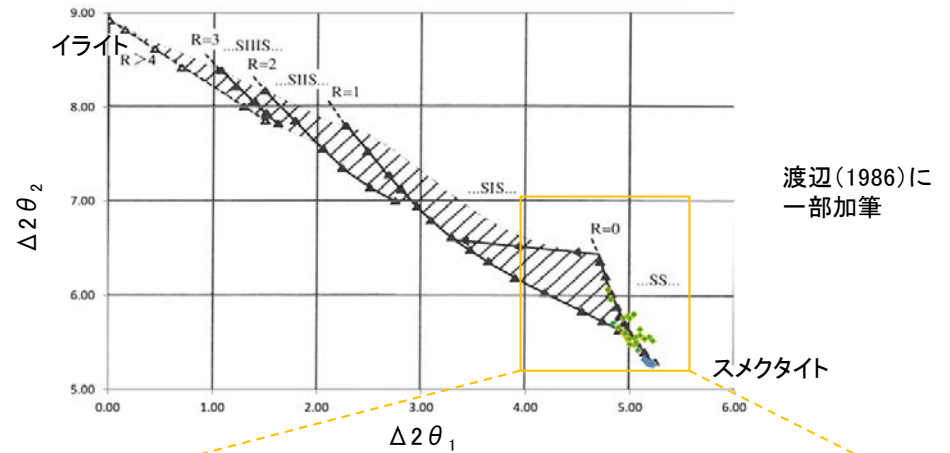




## 5.2.1(1-1)敷地で確認される変質鉱物の詳細 -XRD分析(粘土分濃集), 断層間比較-

○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



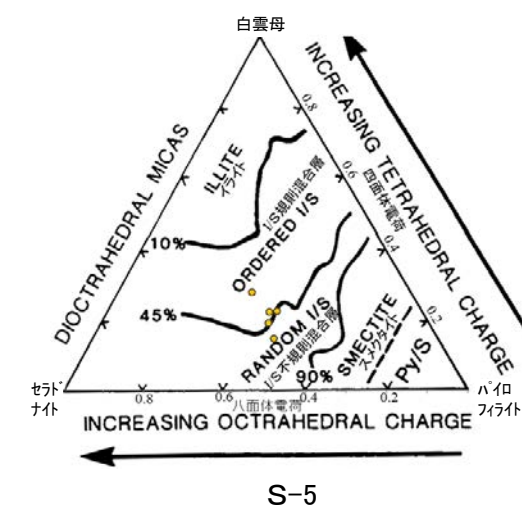
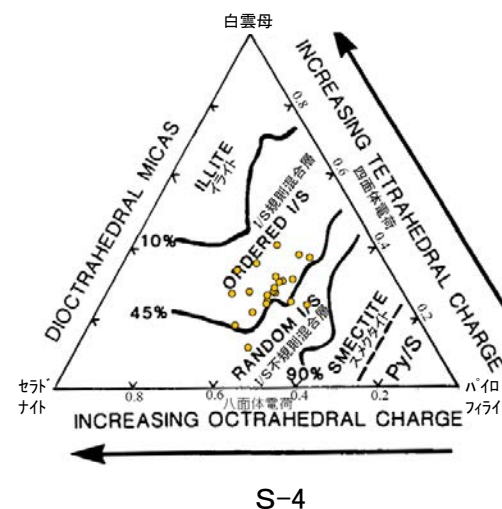
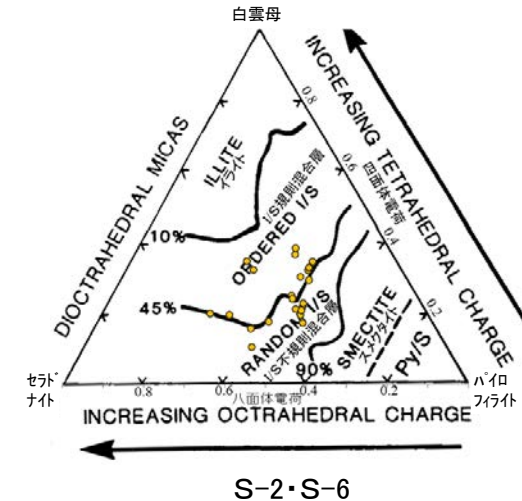
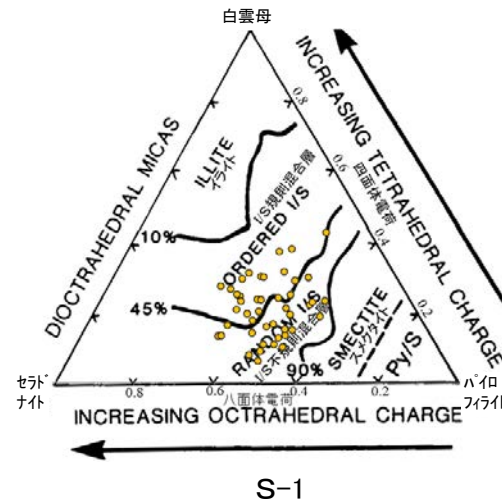
## 5.2.1(1-1) 敷地で確認される変質鉱物の詳細 – EPMA分析, 断層間比較 –

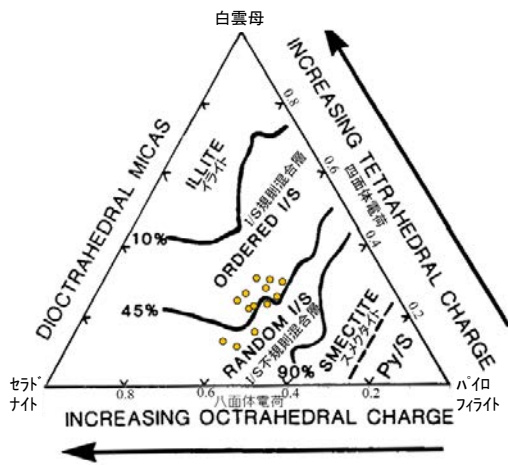
- EPMA分析の結果に関して、断層間で比較を行った。
- 2八面体型の粘土鉱物の化学組成を示したSrodon et al. (1984)の三角ダイアグラムによると、EPMA分析値から算出した化学組成は、いずれも「I/S混合層」に分類され、断層間の結果に相違はない。
- なお、断層以外の非破碎部の粘土鉱物脈の分析結果についても、同様の結果であった。

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
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

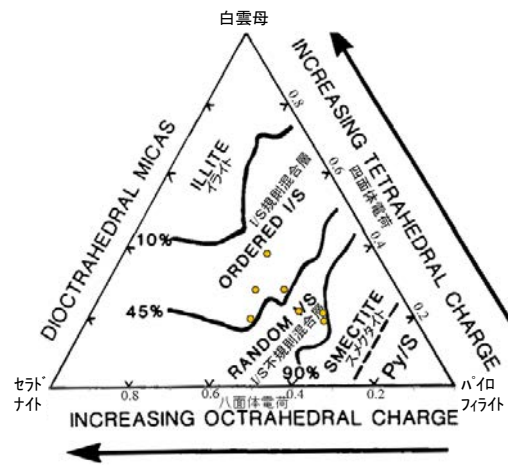
各試料の採取位置については、P.25。 ※:今回修正

各試料の分析結果については、[補足資料5.2-2\(3\)](#)

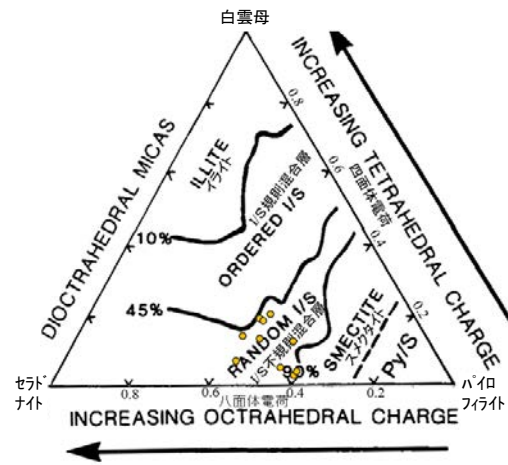




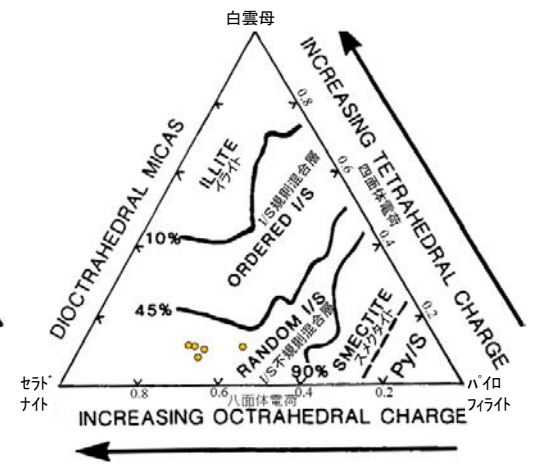
S-7



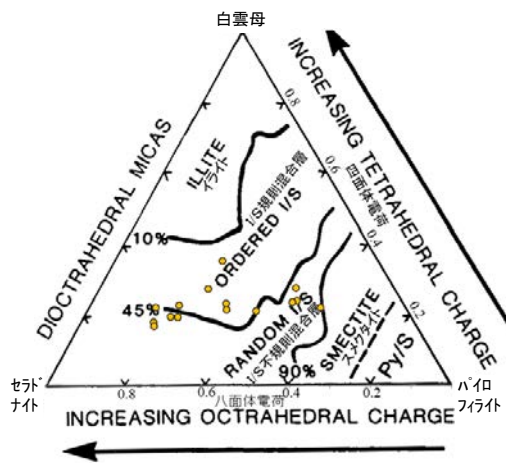
S-8



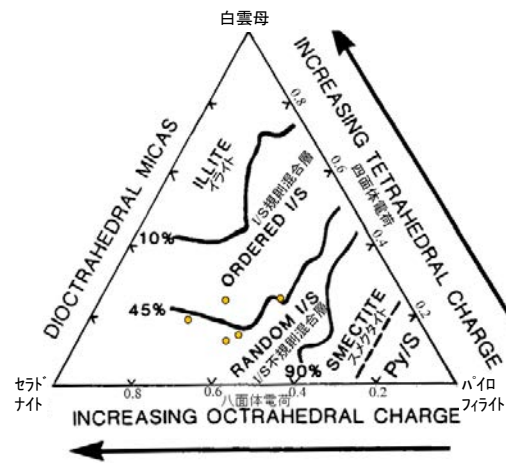
K-2



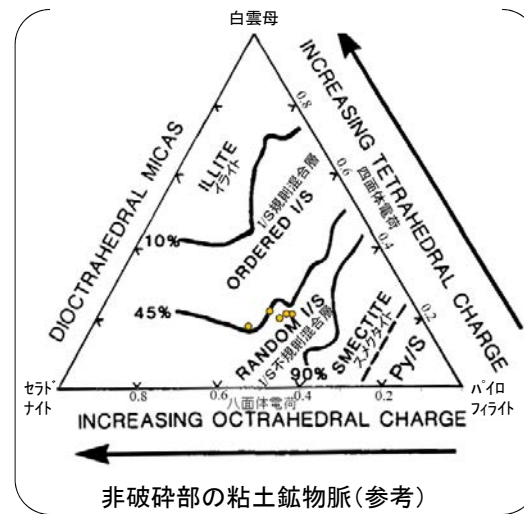
K-3



K-14



K-18

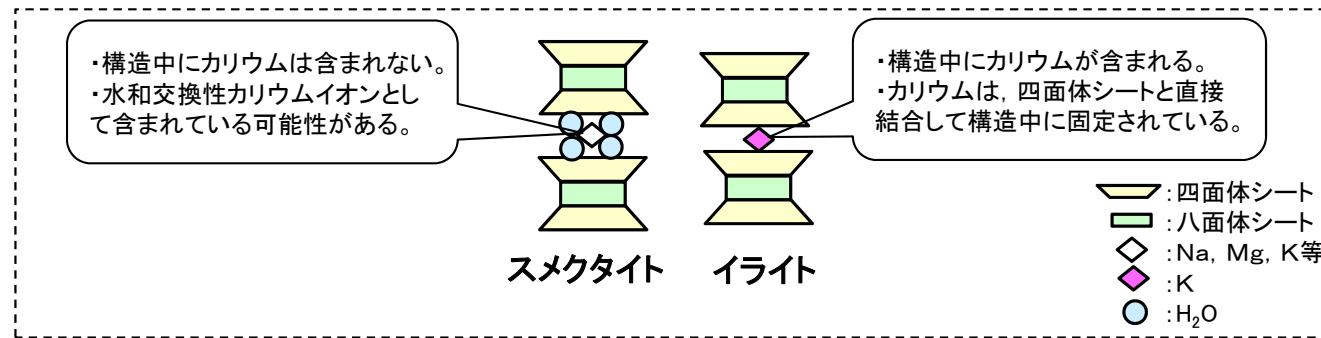


非破碎部の粘土鉱物脈 (参考)



## 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。



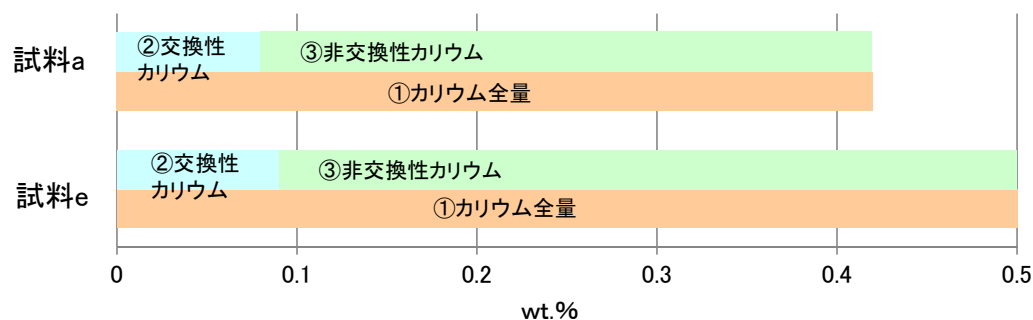
スメクタイトとイライトの構造とその特徴 (吉村(2001)を基に作成)

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.35, 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)】

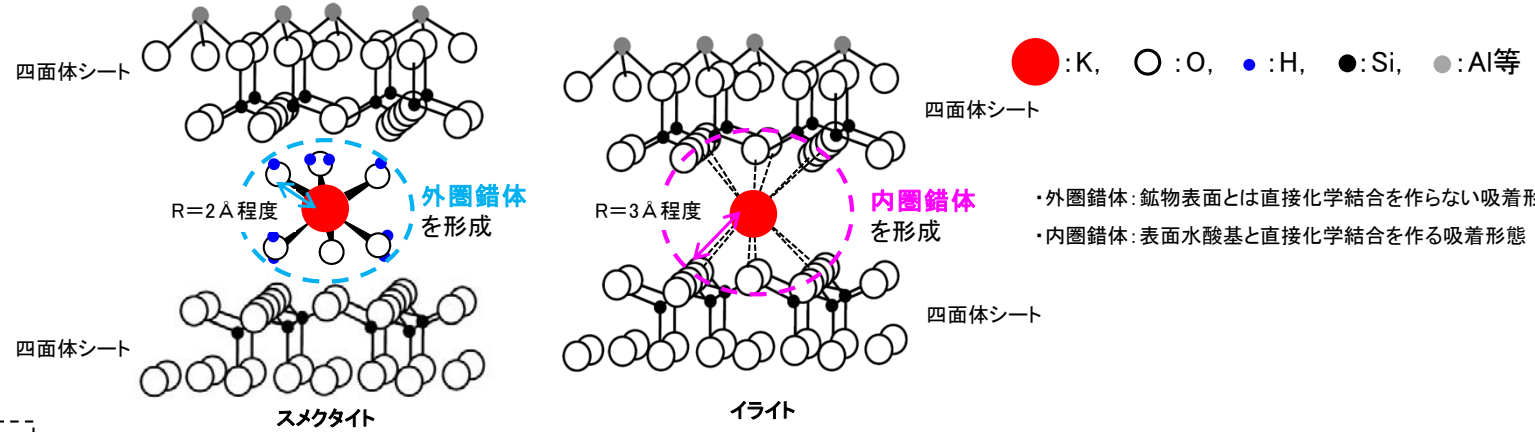
試料名	① カリウム全量 (wt.%) 湿式化学分析 ・定量法: 炎光分光法	② 交換性カリウム (wt.%) CEC分析 ・交換溶液: 塩化ストロンチウム溶液 ・定量法: ICP発光分光分析	③ 非交換性カリウム (wt.%) ①-②
試料a(E-8.5+5”孔)	0.42	0.08	0.34
試料e(岩盤調査坑No.27孔)	0.50	0.09	0.41

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.5.2-2-87~90



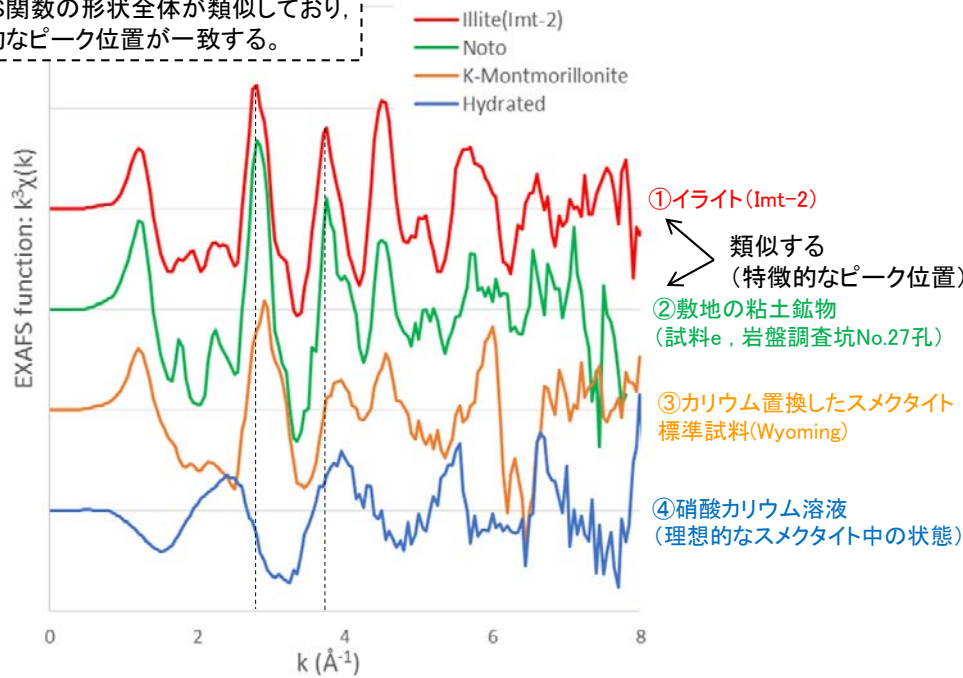
・敷地の粘土鉱物を対象として、CEC分析によって交換性カリウム含有量を定量した結果、湿式化学分析によるカリウム全量の定量結果(0.42~0.50wt.%)に比べて、交換性カリウムの含有量(0.08~0.09wt.%)が十分に小さく、固定されたカリウムが十分に含まれていることから、敷地の粘土鉱物にはイライトのようにカリウムが固定された構造が含まれる。

# 【XAFS分析, 宇波ほか(2019a, b)】

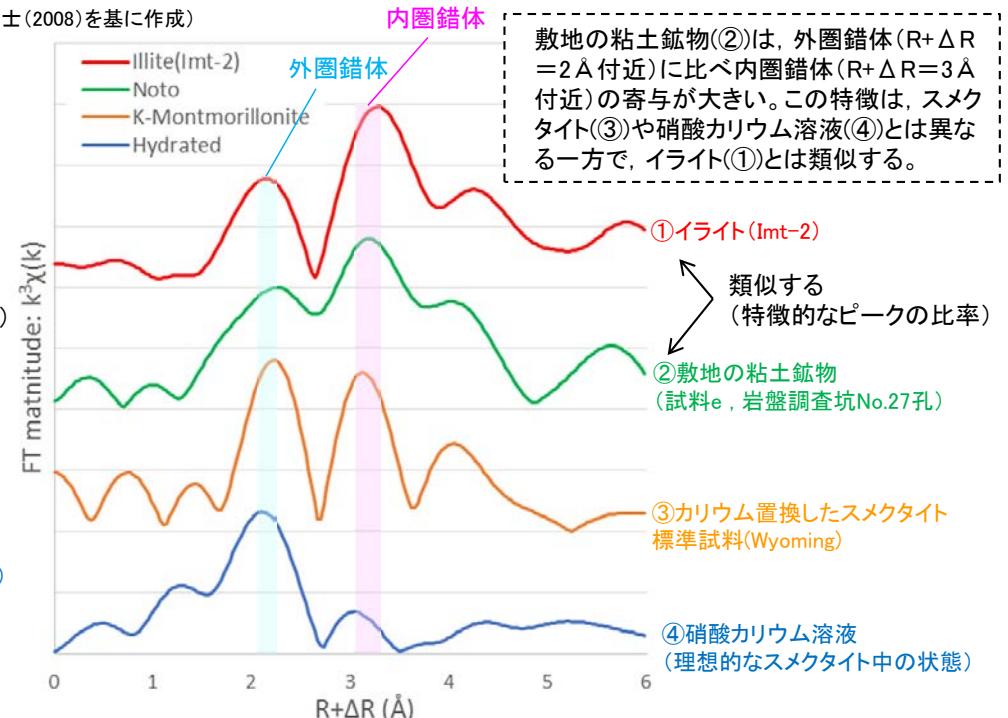


ス멕タイトとイライトの構造 (吉村(2001), 福士(2008)を基に作成)

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。



EXAFS関数結果



動径構造関数

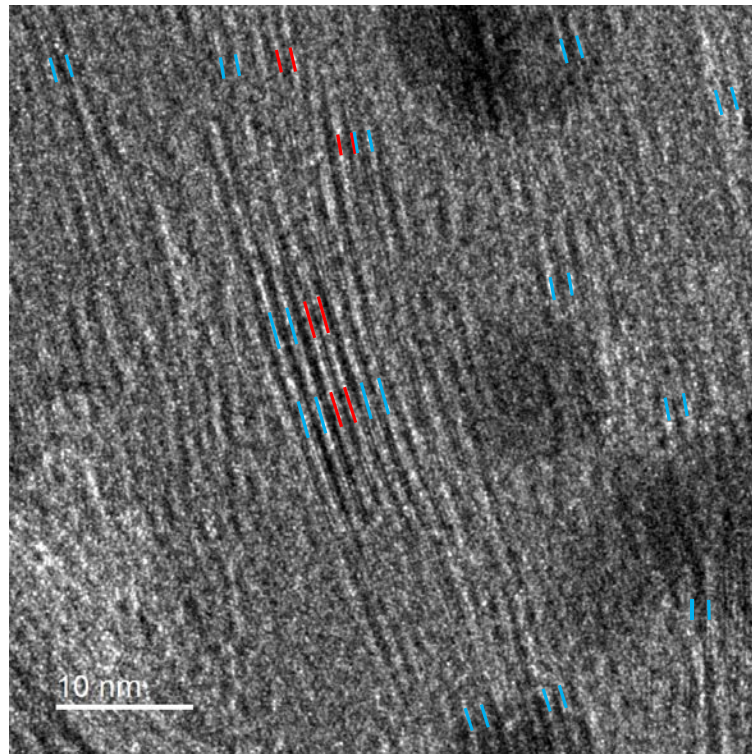
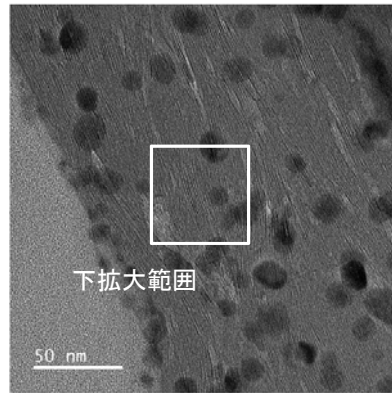
宇波ほか(2019a, b)に一部加筆

分析の詳細については補足資料5.2-2(4)P.5.2-2-91

・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】

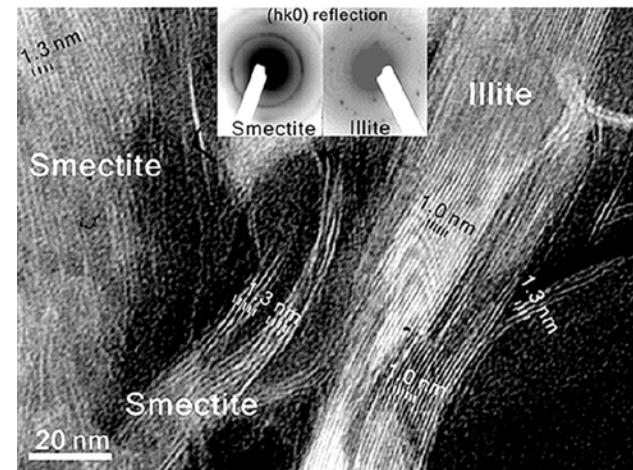


凡例

測定箇所	
1.0nm	— (Red arrow)
1.3nm	— (Blue arrow)

敷地の粘土鉱物(試料e)のHRTEM観察結果

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

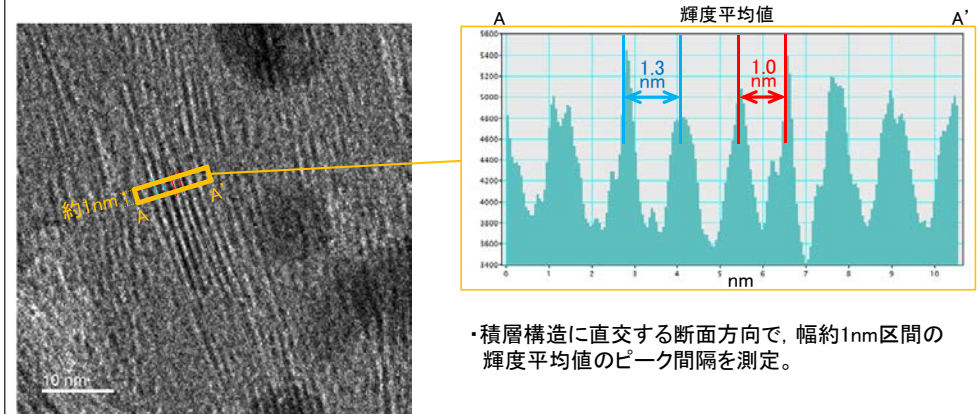


スメクタイト及びイライト構造のHRTEM像

・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。



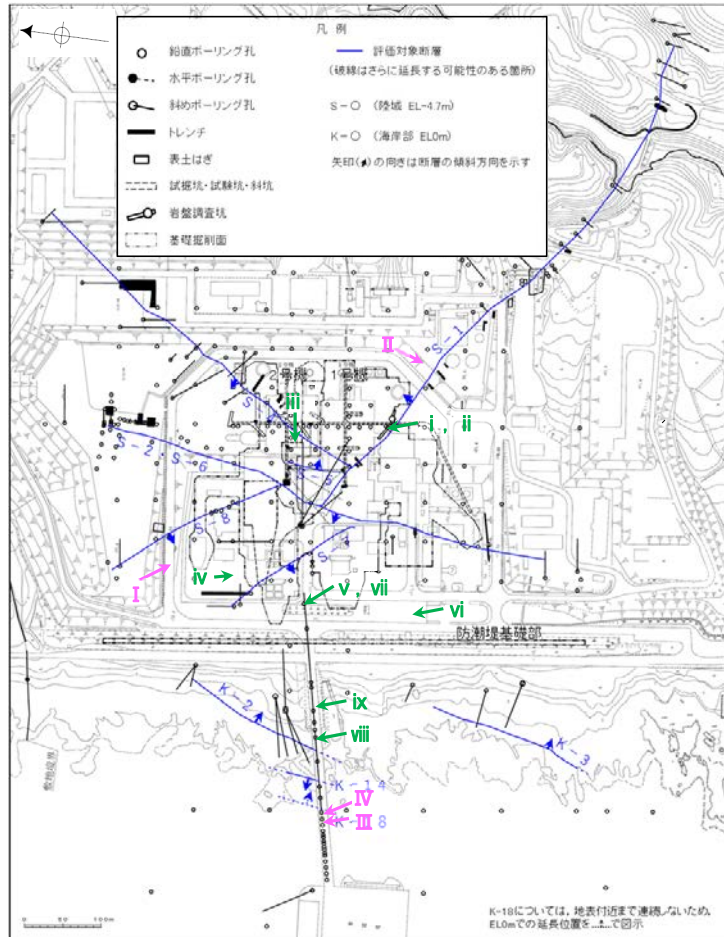
・積層構造に直交する断面方向で, 幅約1nm区間の輝度平均値のピーク間隔を測定。

・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。

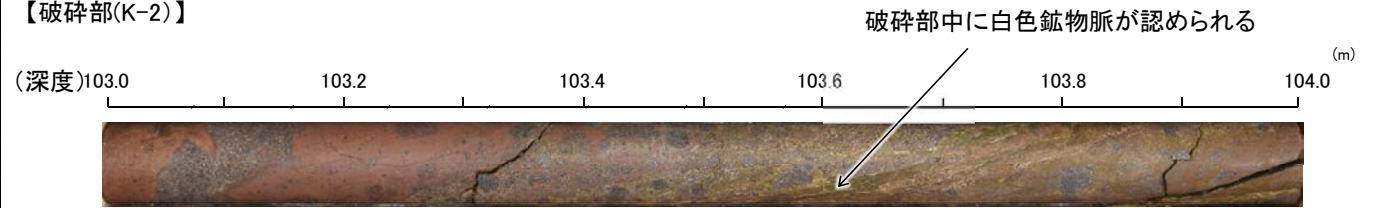


白色鉱物(オパールCT)分析試料  
白色鉱物(フィリップサイト)分析試料

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)

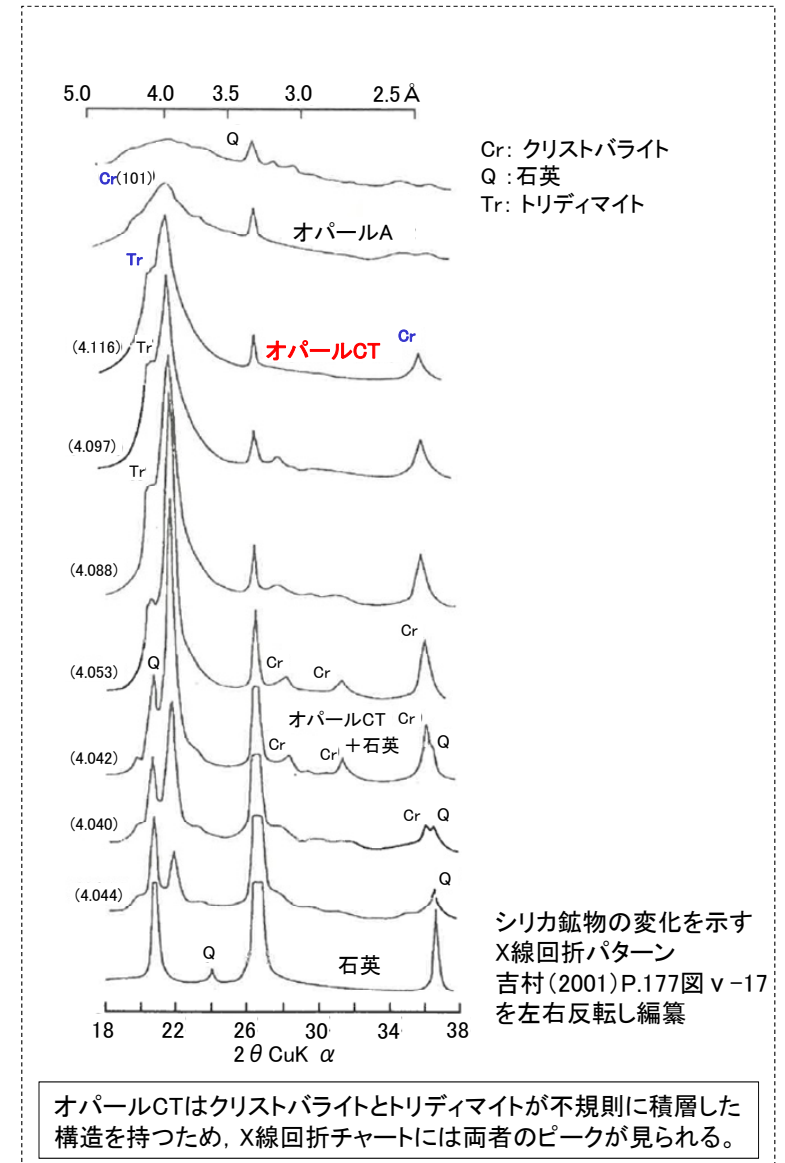
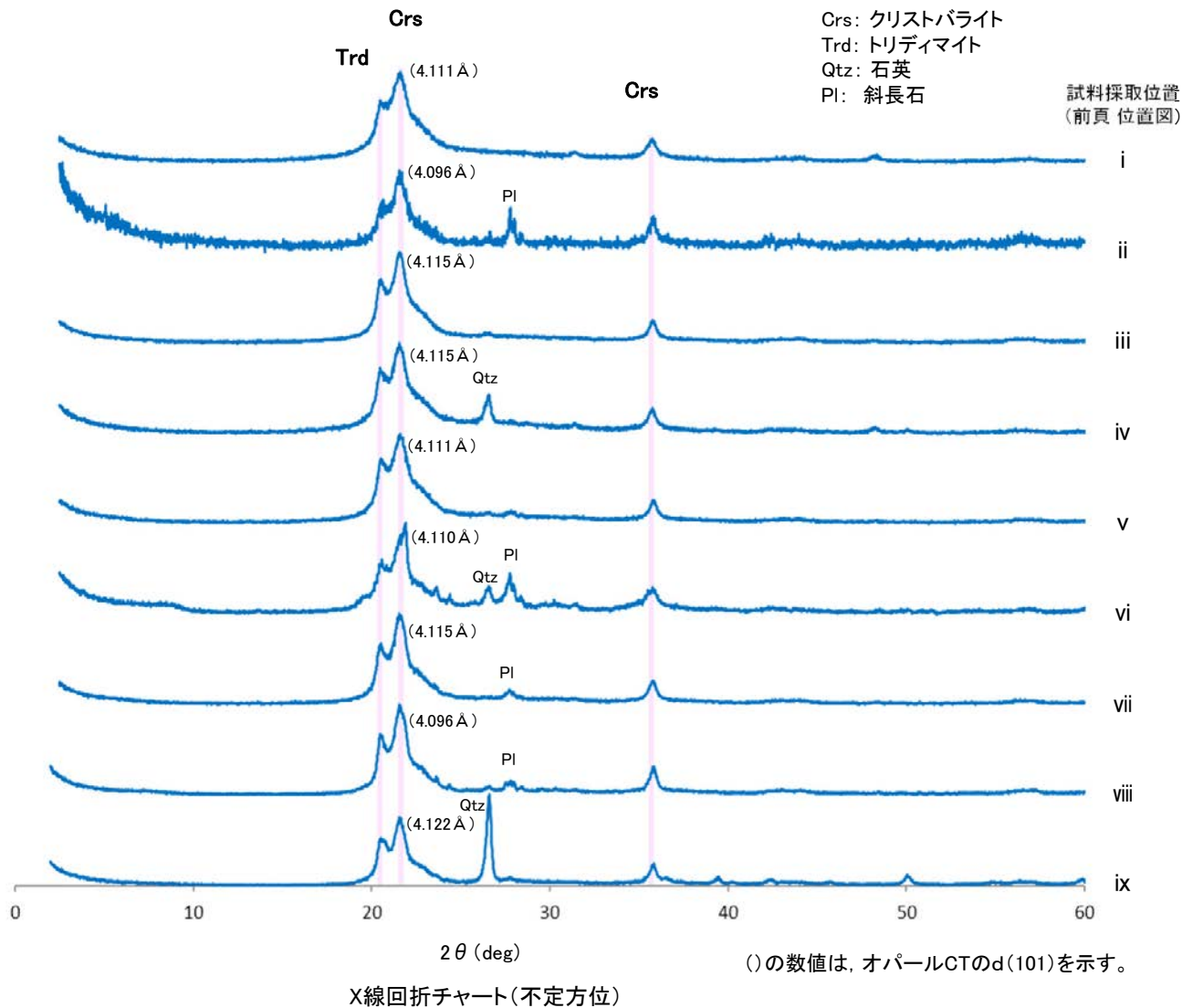
白色鉱物(オパールCT)確認箇所			
試料採取位置(左位置図)		深度	標高
i	非破碎部 岩盤調査坑No.30切羽 (切羽面)		EL -15.56m
ii	S-1 KR-13孔	2.47m	EL -16.75m
iii	H-6.4孔	112.95m	EL -68.78m
	F-4.9孔	136.57m	EL -125.44m
iv	非破碎部 R-4.5孔	68.63m	EL -57.56m
vi	K-4.2孔	80.63m	EL -69.36m
vii	R-4.5孔	71.10m	EL -60.03m
viii	K-2 H-1.1孔	103.62m	EL -96.84m
ix	非破碎部 H-1.5-95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

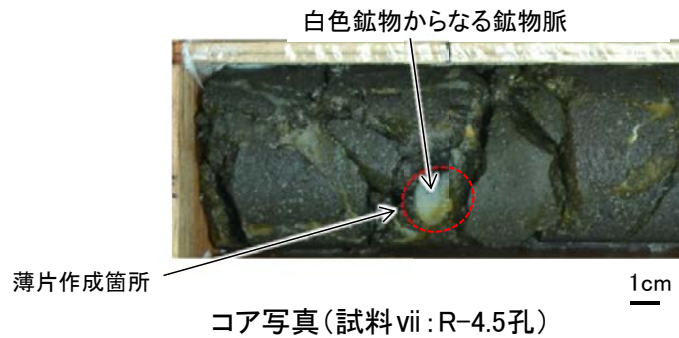


各試料のX線回折チャートの詳細は補足資料5.2-2(5)

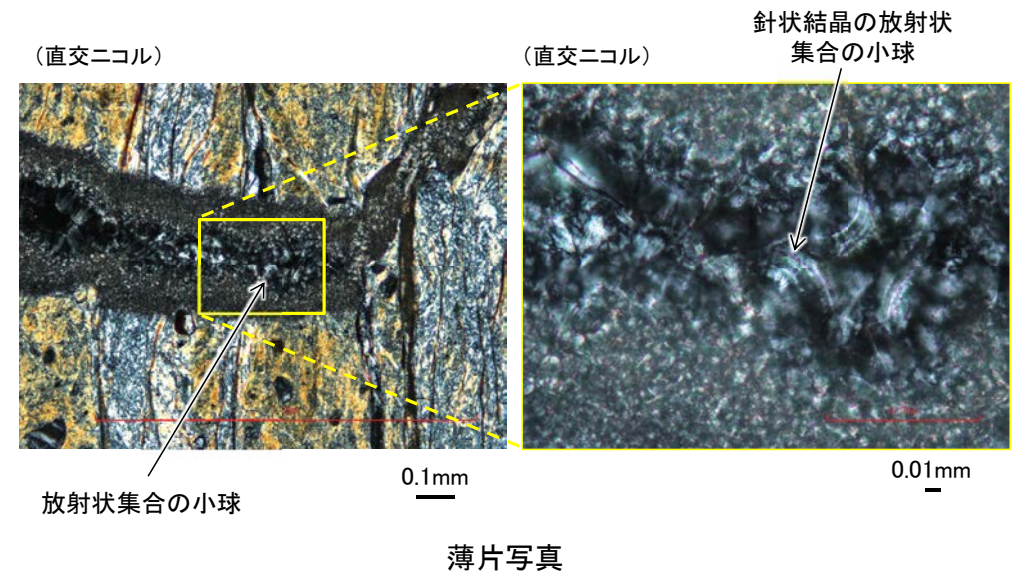
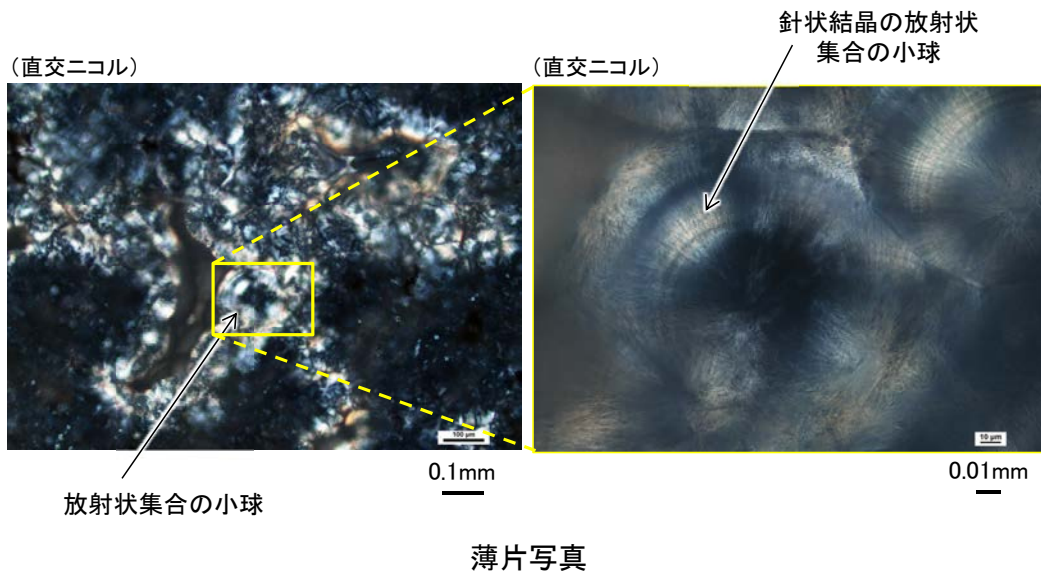
## 5.2.1(1-1)敷地で確認される変質鉱物の詳細 – 白色鉱物(オパールCT)の薄片観察 –

○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】



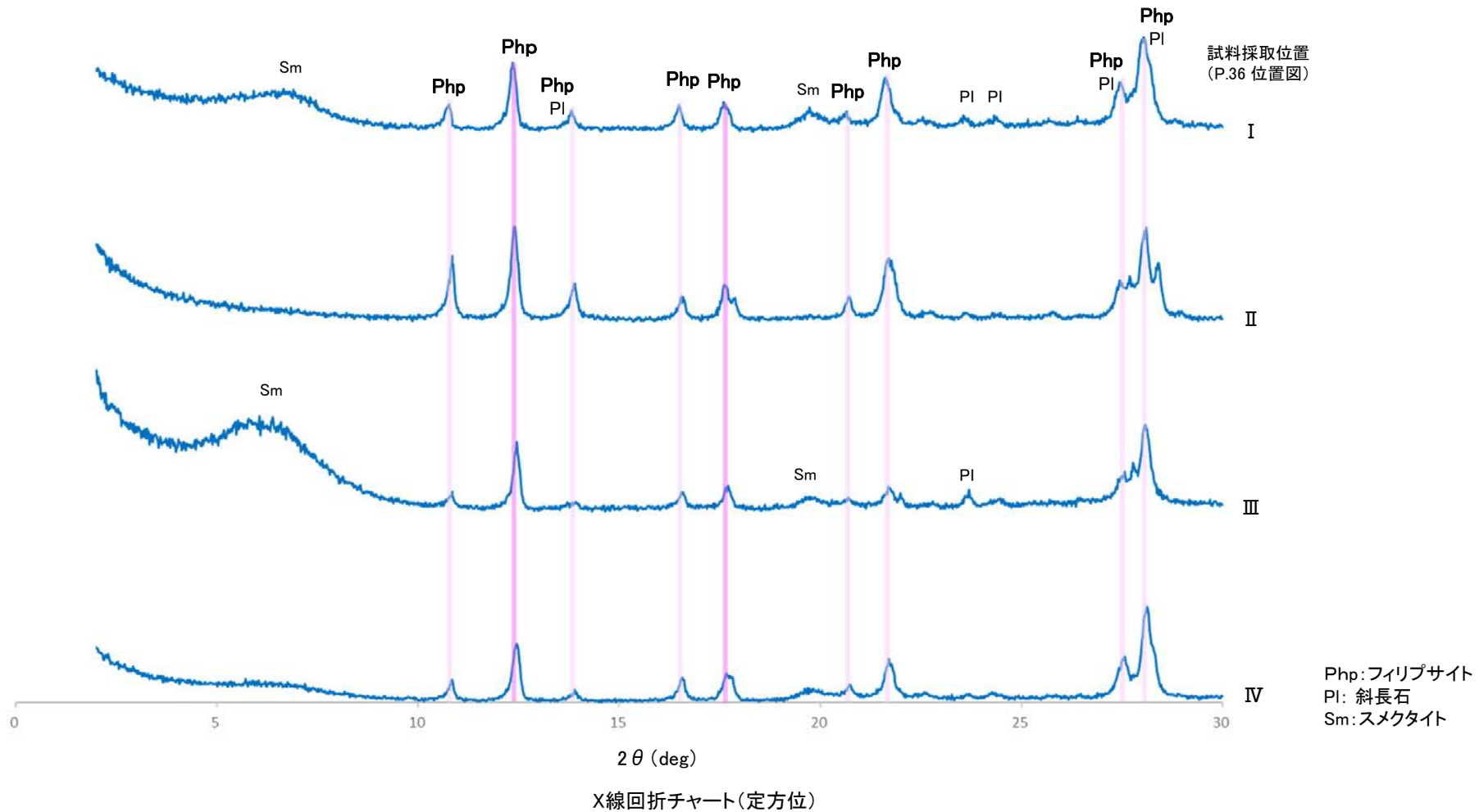
【試料viiiの薄片観察結果】



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:PDF-4(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)

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

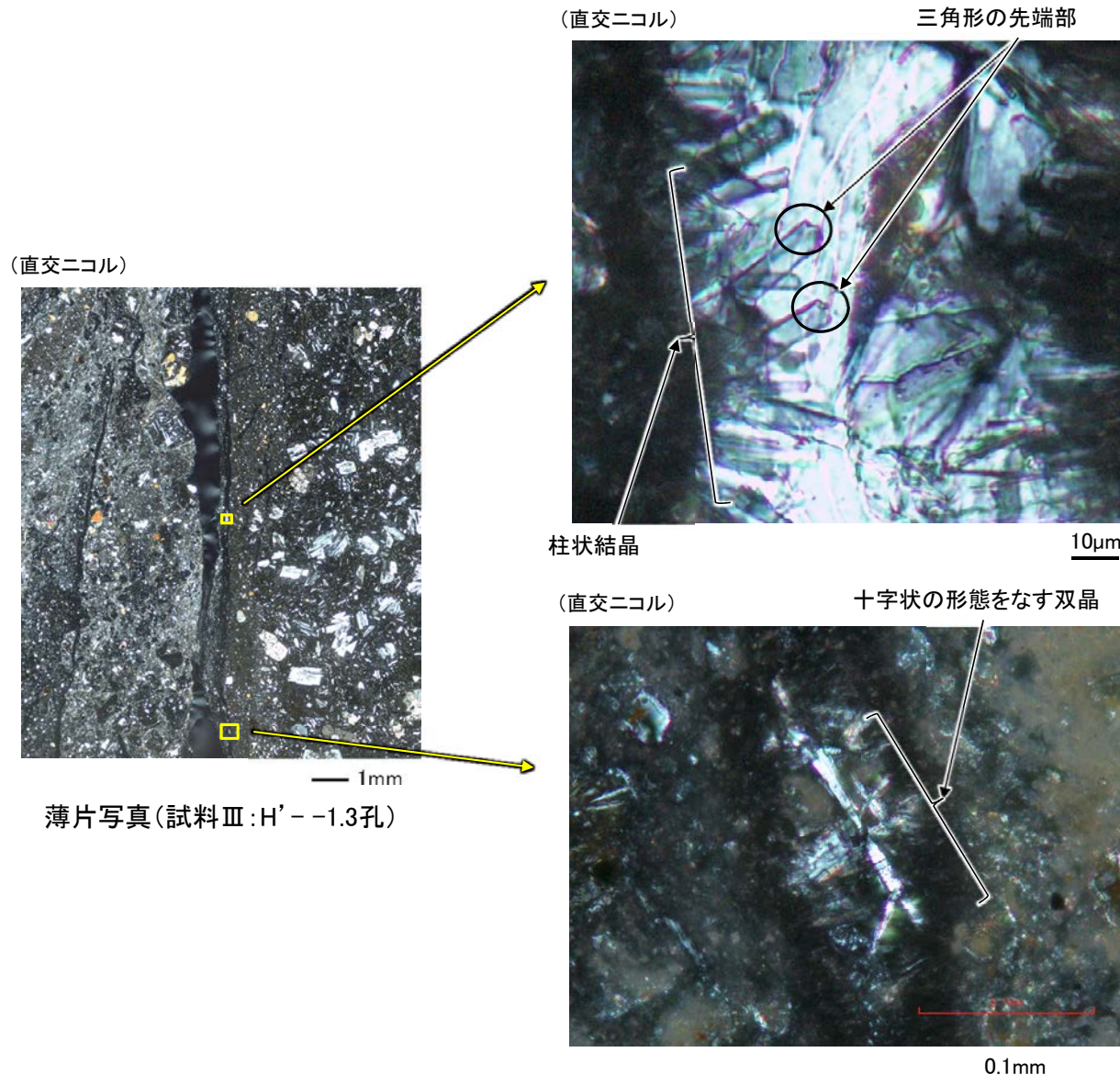
各試料のX線回折チャートの詳細は  
補足資料5.2-2(6)



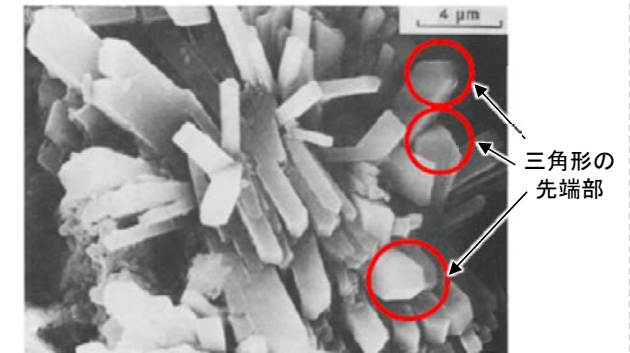
## 5.2.1(1-1) 敷地で確認される変質鉱物の詳細 – 白色鉱物(フィリップサイト)の薄片観察 –

○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

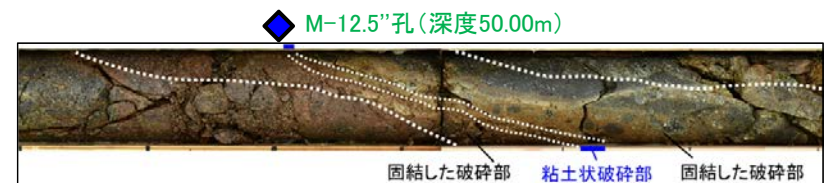
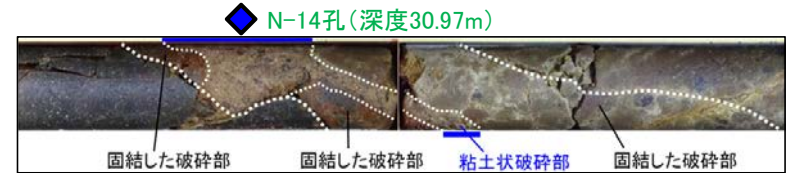
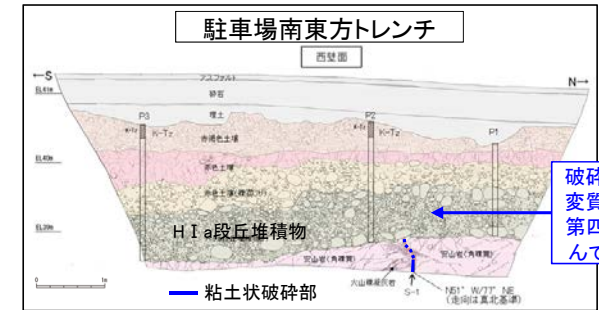
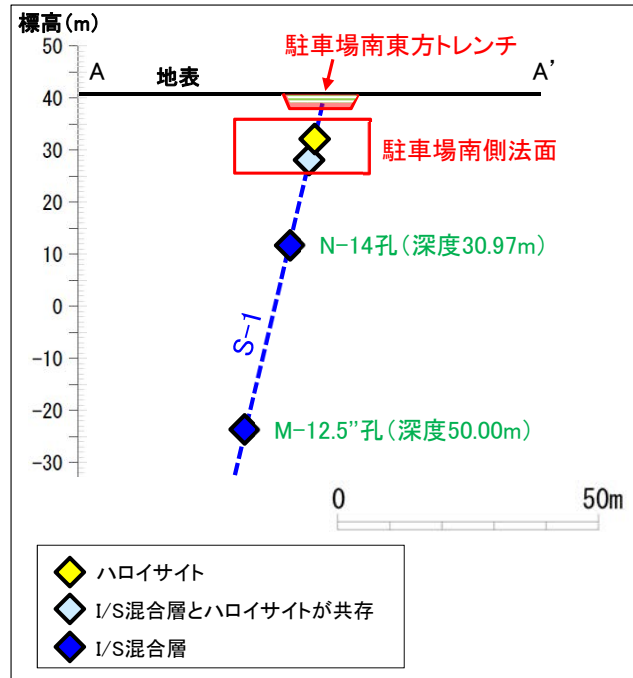
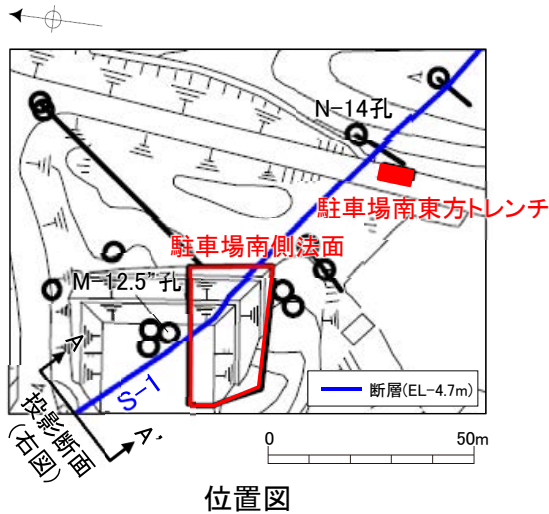


松原(2002)  
十字沸石(フィリップサイト):  
複雑な双晶をして産し、四角柱状、十字状などの形態が特徴。

# 5.2.1(1-1) 敷地で確認される変質鉱物の詳細 – 変質鉱物と第四系との関係 –

- 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考えられる。
- 以上を踏まえると、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される。

## 【破砕部中の変質鉱物と第四系の関係】



### XRD分析結果

試料採取位置	標高	検出鉱物						
		石英	クリスタバライト	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		△		±	+	+	

※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.24)。

XRD回折チャートは補足資料5.2-2(12)

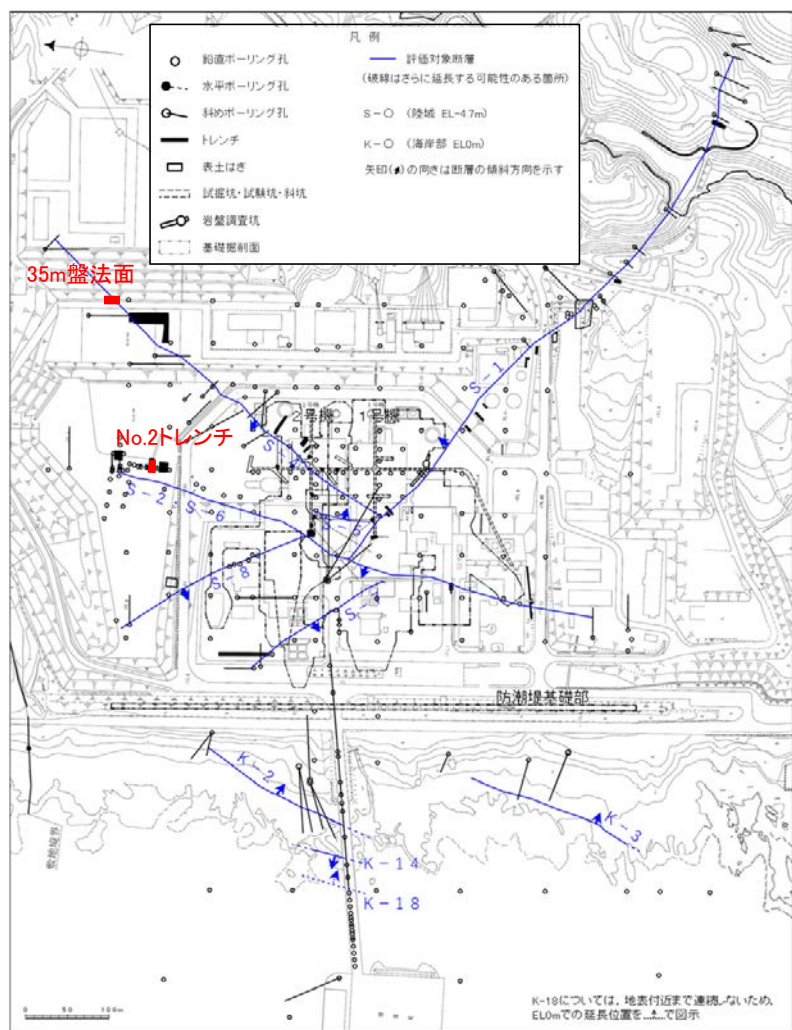
量比  
 ◎:多量(>5,000cps), ○:中量(2,500~5,000cps), △:少量(500~2,500cps),  
 +:微量(250~500cps), ±:きわめて微量(<250cps)



## 【その他の割れ目に認められる白色脈と第四系の関係】

○No.2トレンチ及び35m盤法面では、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中のみに認められ、第四系(M I 段丘堆積物, H I a段丘堆積物)には認められないことを確認した(P.43~45)。

○この白色脈については、XRD分析を実施した結果、主として風化変質鉱物であるハロイサイトが認められたものの、敷地で確認される変質鉱物(I/S混合層, オパールCT及びフィリップサイト)との関係は不明である。



位置図

### 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.43, 44
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.45

### 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	7 A型ハロイサイト	10 A型ハロイサイト	緑泥石 赤鉄鉱
No.2トレンチ東面 白色脈	EL 21m	±	±	△	±	±
No.2トレンチ南面 白色脈	EL 21m	+	+	△	±	±
35m盤法面 白色脈	EL 36m	±	+	△	±	±

※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。

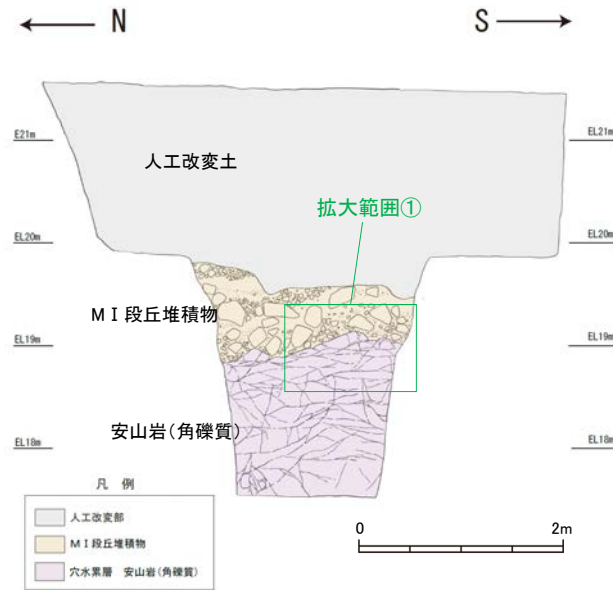
XRD回折チャートは補足資料5.2-2(12)

量比

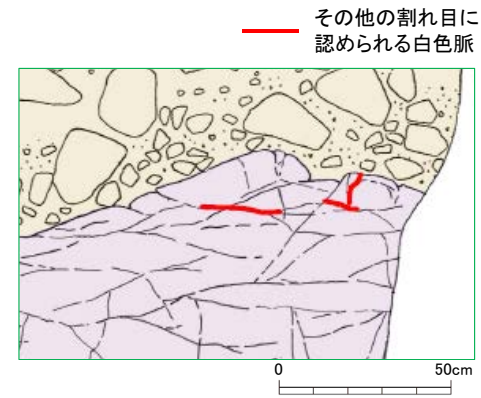
◎: 多量(>5,000cps), ○: 中量(2,500~5,000cps), △: 少量(500~2,500cps), +: 微量(250~500cps), ±: きわめて微量(<250cps)



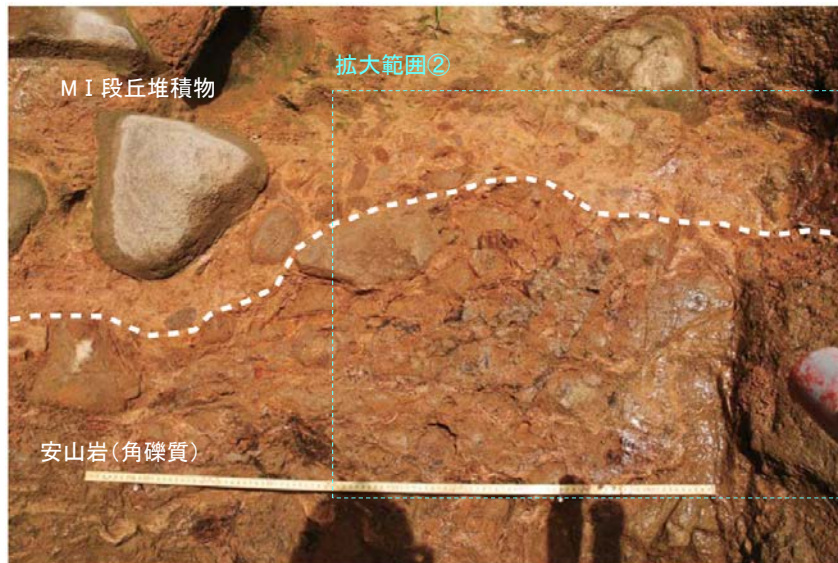
### 【その他の割れ目に認められる白色脈と第四系の関係(No.2トレンチ 東面)】



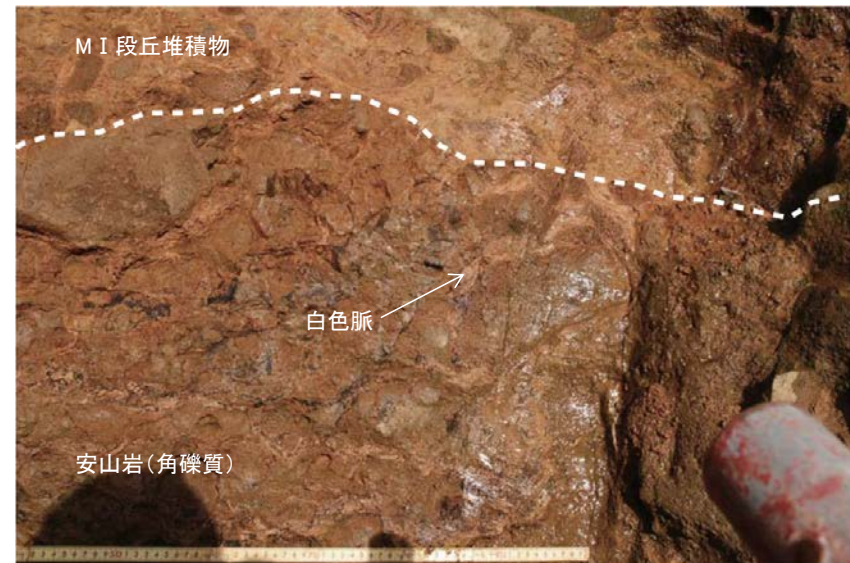
No.2トレンチ東面 スケッチ



スケッチ(拡大範囲①)

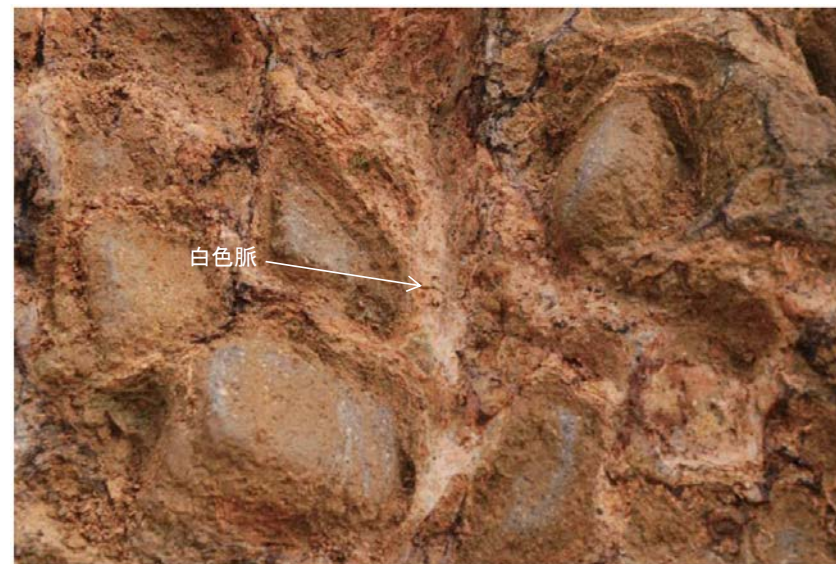
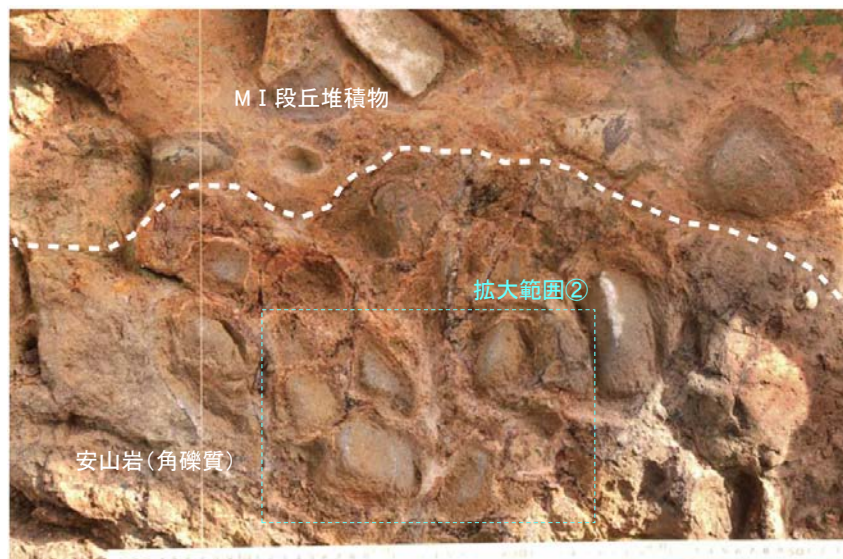
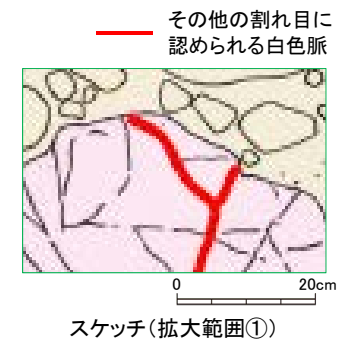
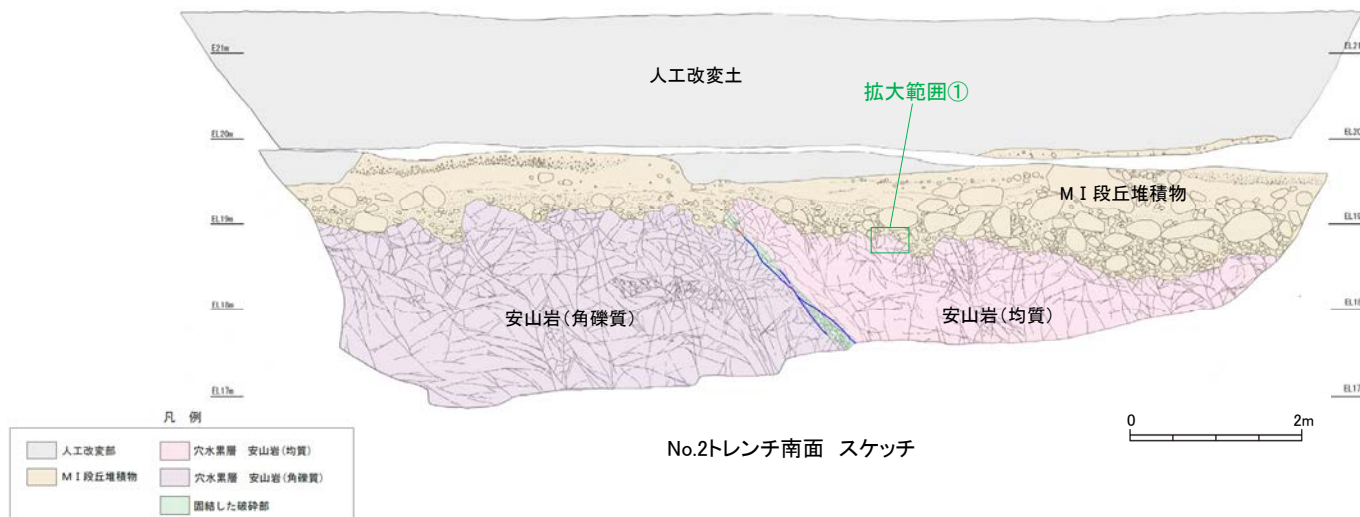


写真(拡大範囲①)



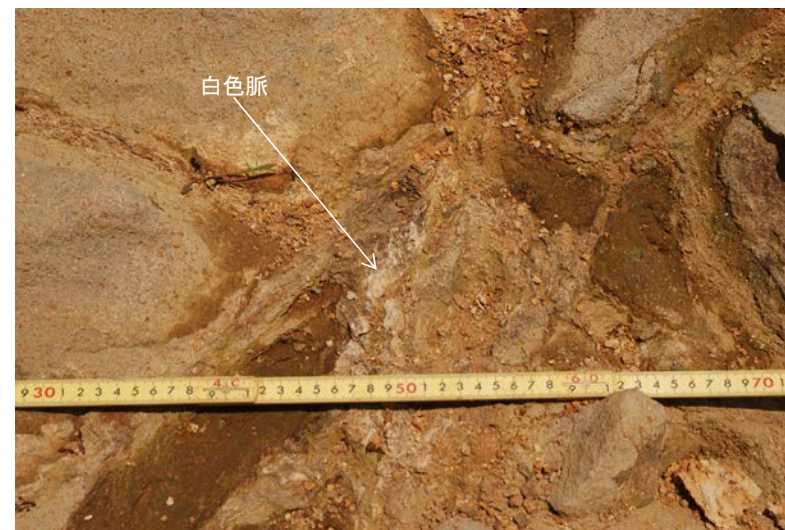
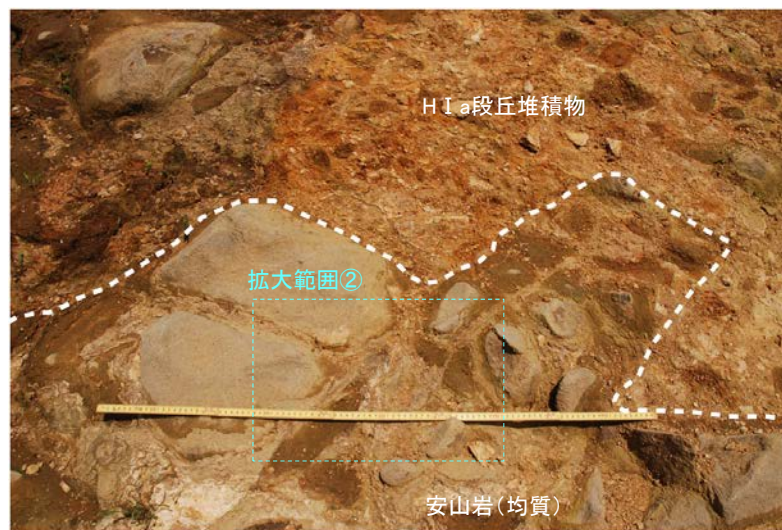
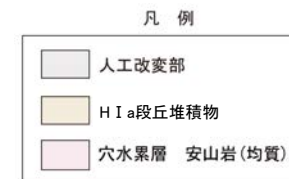
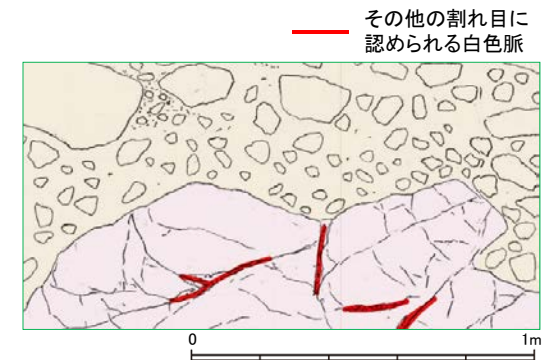
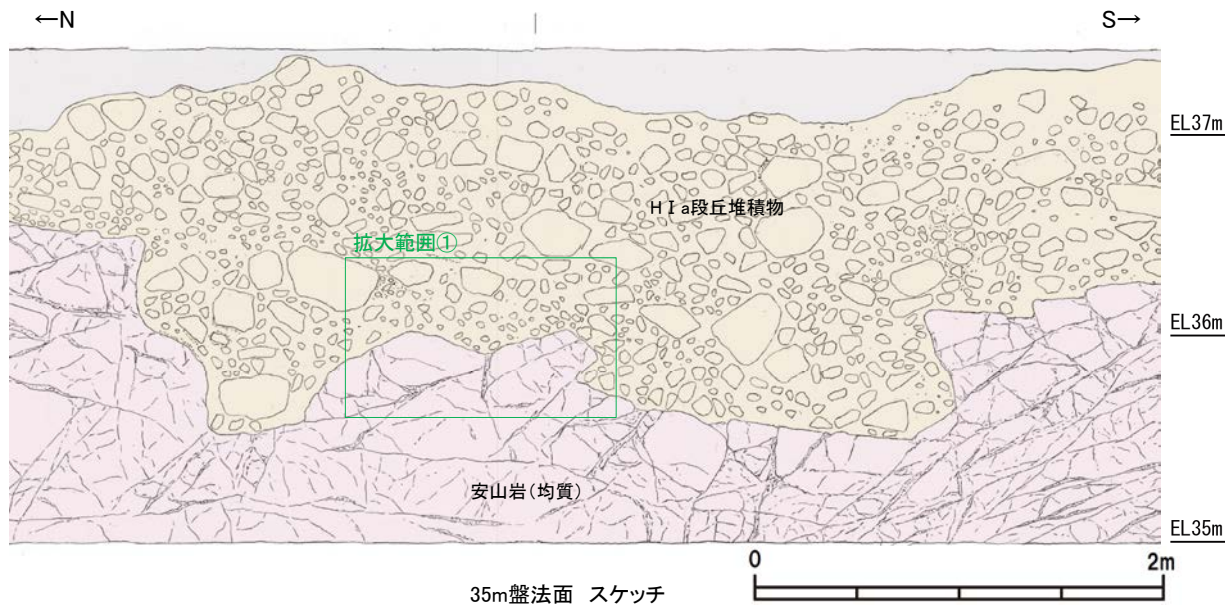
写真(拡大範囲②)

### 【その他の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)】





### 【その他の割れ目に認められる白色脈と第四系の関係(35m盤法面)】



写真(拡大範囲①)

写真(拡大範囲②)



### 【試料写真】

試料採取位置

#### 駐車場南側法面 粘土状破碎部

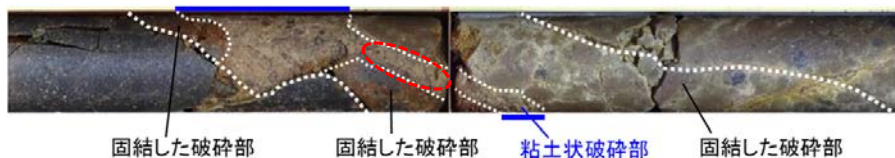


分析試料  
(駐車場南側法面\_上)



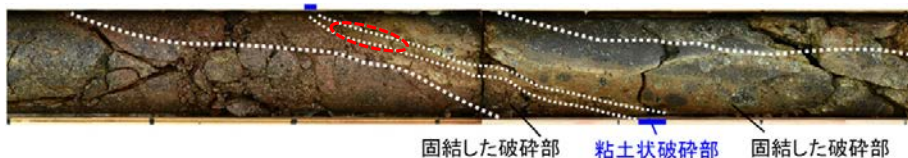
分析試料  
(駐車場南側法面\_下)

#### N-14孔 深度30.97m付近 粘土状破碎部



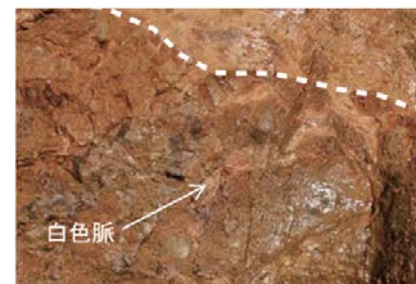
分析試料  
(N-14孔)

#### M-12.5”孔 深度50.00m付近 粘土状破碎部

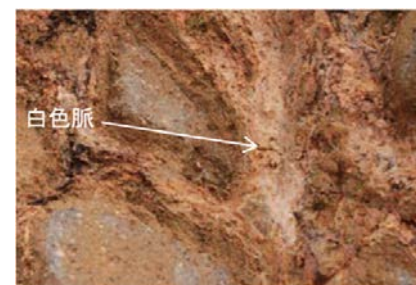


分析試料  
(M-12.5”孔)

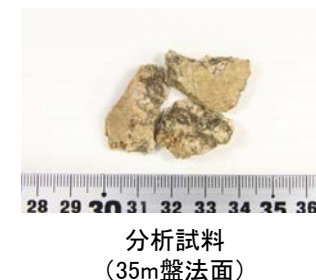
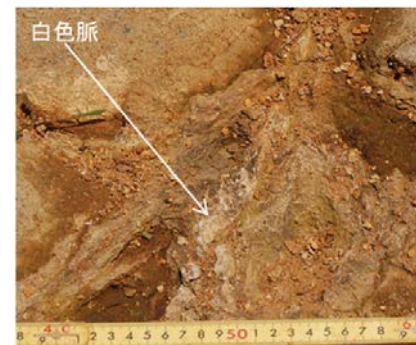
#### No.2トレンチ東面 白色脈



#### No.2トレンチ南面 白色脈



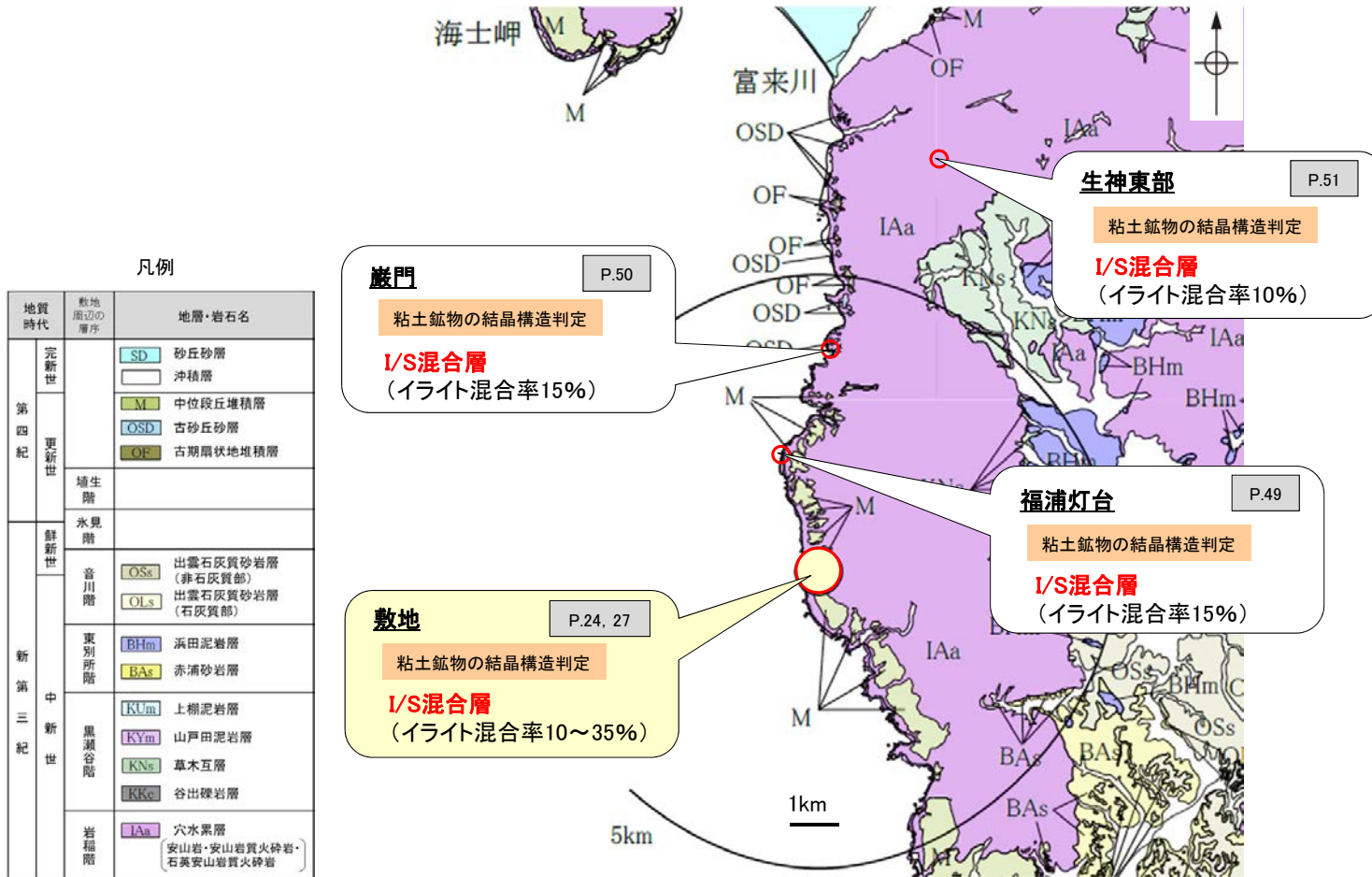
#### 35m盤法面 白色脈



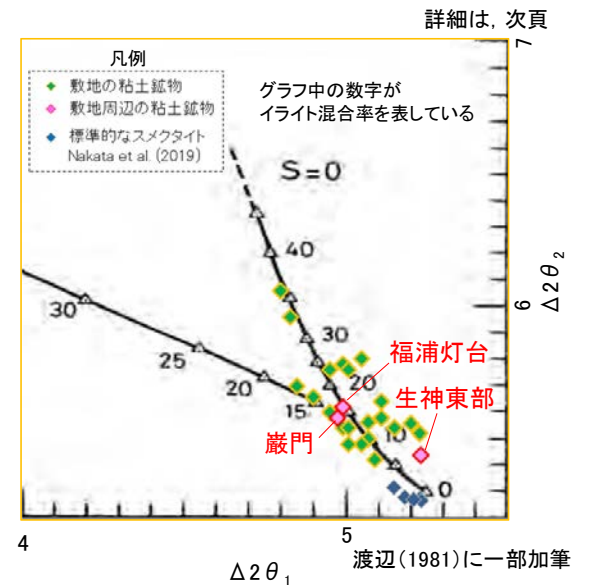
# 5.2.1 (1-2) 敷地周辺で確認される変質鉱物 — 敷地と同様な変質 —

- 敷地周辺の穴水累層中において、敷地で確認される変質鉱物(I/S混合層)の広がりを確認する目的で、露頭調査及びXRD分析を実施した。
- 敷地で確認される粘土鉱物は、結晶構造判定(Watanabe(1988)及び渡辺(1981))の結果、イライトが10~35%混合したI/S混合層であると評価される(P.27)。
- 敷地周辺の福浦灯台、巖門及び生神東部の変質部で認められる粘土鉱物を対象として、粘土鉱物の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混合層であると評価される(次頁)。
- 以上より、敷地で確認される変質鉱物(I/S混合層)は、敷地周辺の穴水累層中にも分布することを確認した。

## <敷地周辺の穴水累層で確認される主な変質鉱物>



## <粘土鉱物の結晶構造判定結果>

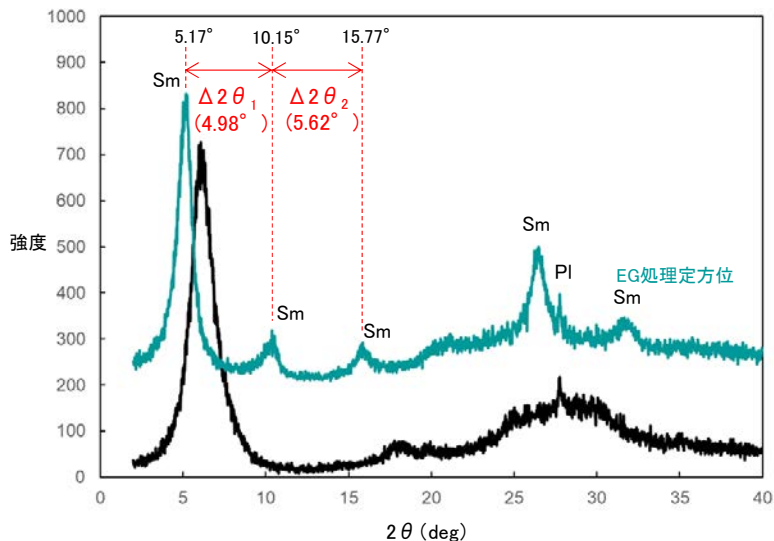




## 【敷地と同様な変質(粘土鉱物の結晶構造判定)】

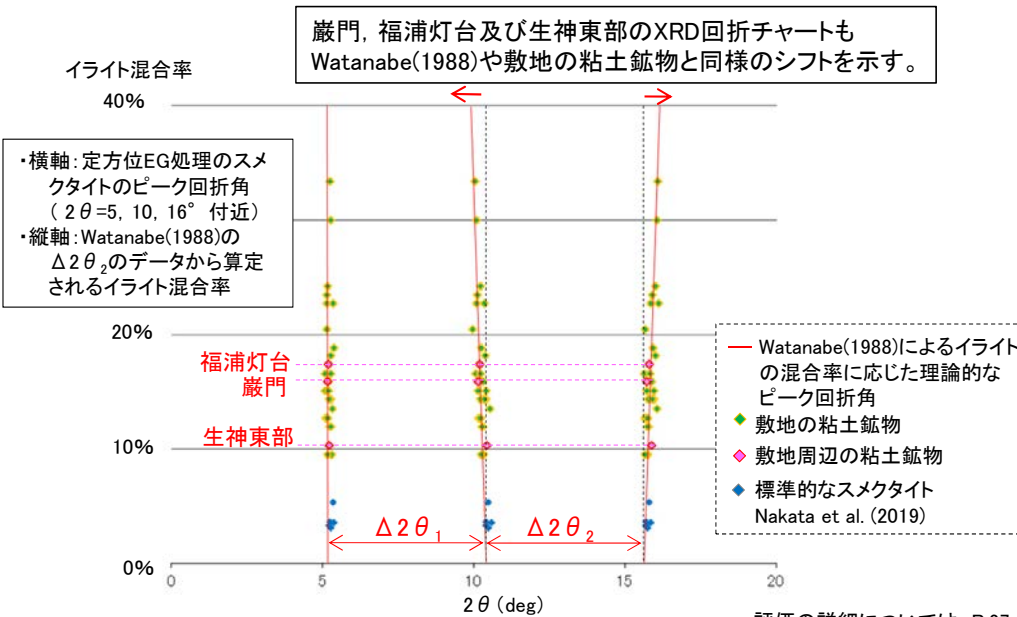
○福浦灯台、巖門及び生神東部で確認された粘土鉱物※のX線回折チャートを用いて粘土鉱物の構造判定を行った。これらの回折チャートでは、Watanabe (1988)の理論と同様なシフトが認められ、渡辺(1986, 1981)のI/S混合層構造判定図によるとイライト混合率10~15%程度となることから、これらの粘土鉱物は、敷地と同程度のイライト混合率をもつI/S混合層であると評価される。

※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.49~51



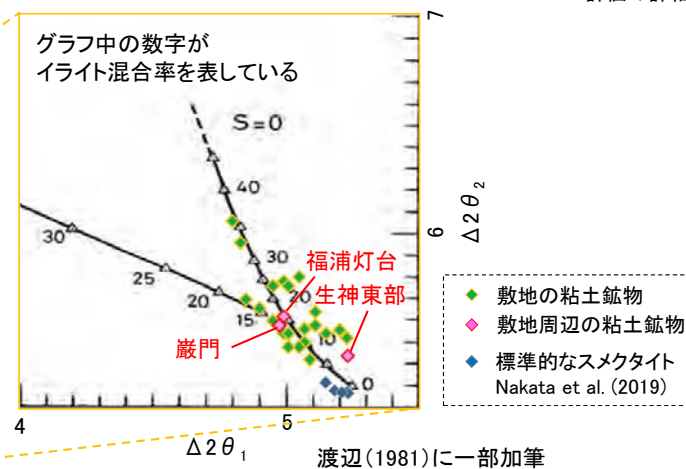
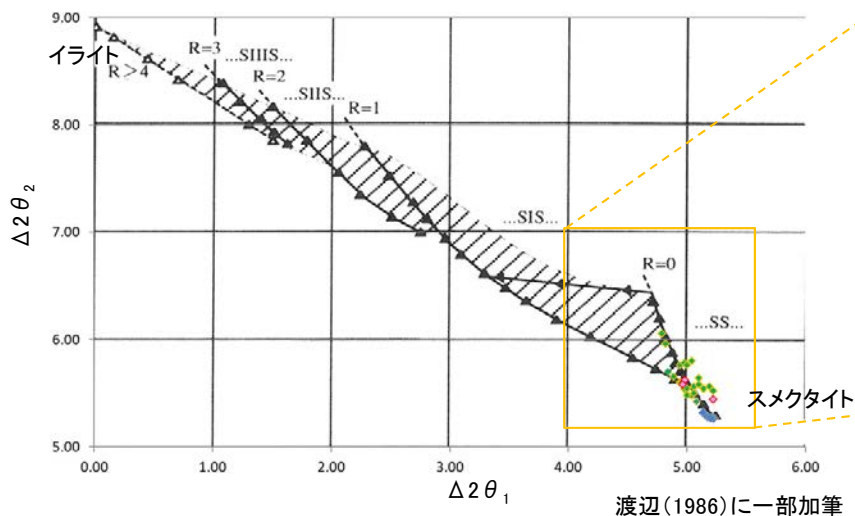
福浦灯台のX線回折チャート

### ■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.27

### ■I/S混合層の構造判定図(渡辺1986, 1981)による判定

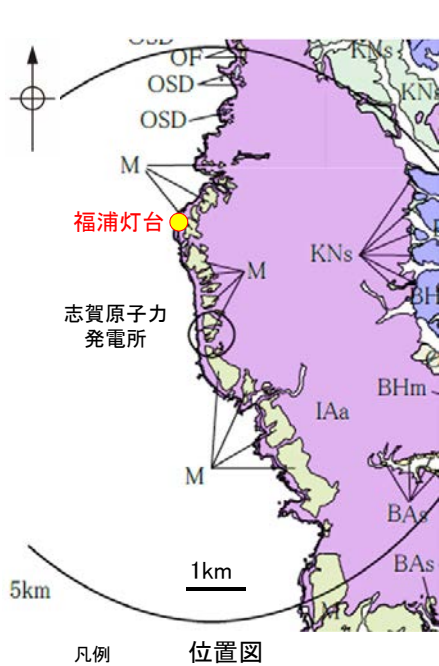


巖門及び福浦灯台の粘土鉱物は、イライト混合率15%程度、生神東部の粘土鉱物はイライト混合率10%程度である。



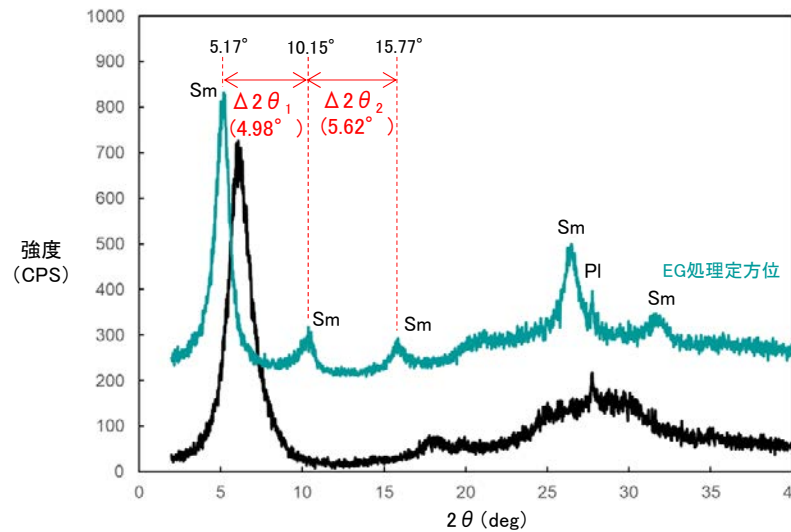
# 【福浦灯台】

○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

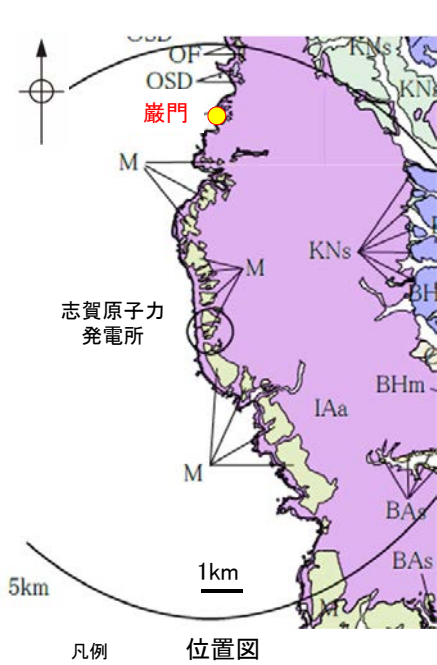
地質時代	新地層記号	地層・岩石名
第四紀	更新世	砂丘砂層 (SD)
		沖積層
		中位段丘堆積層 (M)
		古砂丘砂層 (OSD)
		古期階伏地堆積層 (OSD)
第三紀	鮮新世	出雲石灰質砂岩層 (出雲灰岩部) (LOSE)
		出雲石灰質砂岩層 (石灰質部) (LOLA)
	中新世	浜田泥岩層 (BHm)
		赤浦砂岩層 (IAa)
	上新世	上相沢岩層 (EUM)
		山戸泥岩層 (EYM)
	中新世	草木互層 (EKS)
		岩出層 (EKS)
	漸新世	穴水累層 (IAa)
		安山岩・安山岩質火砕岩・安山岩山頂火砕岩



X線回折チャート

# 【巖門】

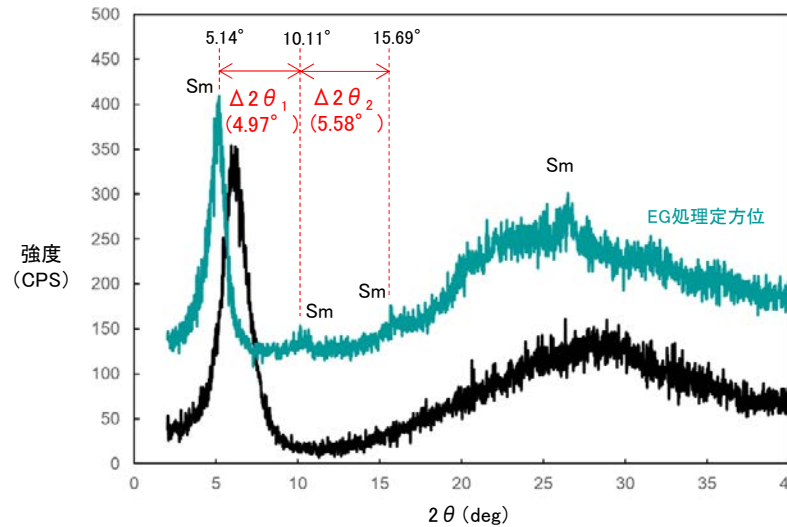
○敷地から約4km北方に位置する巖門の海岸部では、露岩した穴水累層中に脈状の白色の変質部が確認される。



○ 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 赤瀆砂岩層
		KNs 上瀬尻岩層
		KNm 山戸田泥岩層
	古第三紀	KNs 草木互層
		KNm 岩出線岩層
		IAa 穴水累層
		(安山岩・安山岩質火砕岩・石英質安山岩火砕岩)

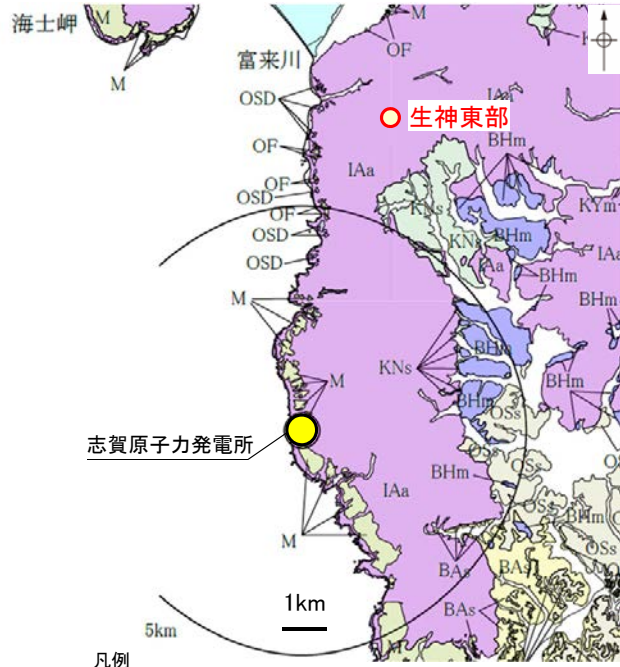


X線回折チャート



# 【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。



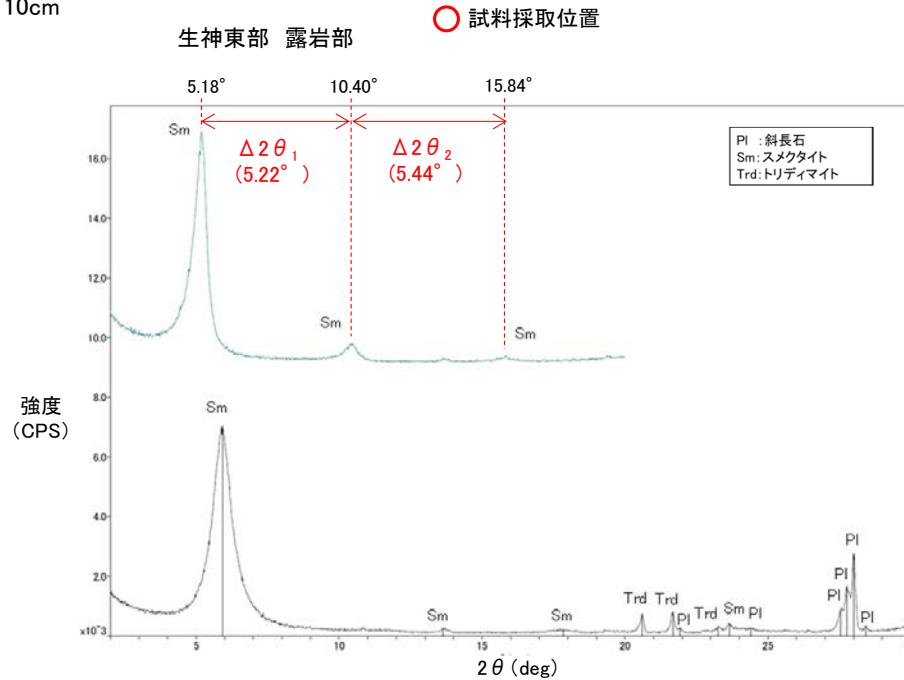
凡例

位置図

地質時代	敷地周辺の層序	地層・岩石名		
第四紀	沖積層	SD 砂丘砂層		
		沖積層		
		M 中位段丘堆積層		
		OSD 古砂丘砂層		
		KNs 古湖間伏地堆積層		
第三紀	出雲石炭層	OSD 出雲石炭層砂岩層 (非石炭質部)		
		OS 出雲石炭層砂岩層 (石炭質部)		
		BHm 浜田砂岩層		
		IAa 赤浦砂岩層		
		KNm 上標尾砂岩層		
		KYm 山戸田泥岩層		
		KNs 草木瓦層		
		TRs 砂岩層		
		新第三紀	穴水層	IAa 穴水層 (金山部・金山前貫火砕岩・石炭質山前貫火砕岩)



分析試料



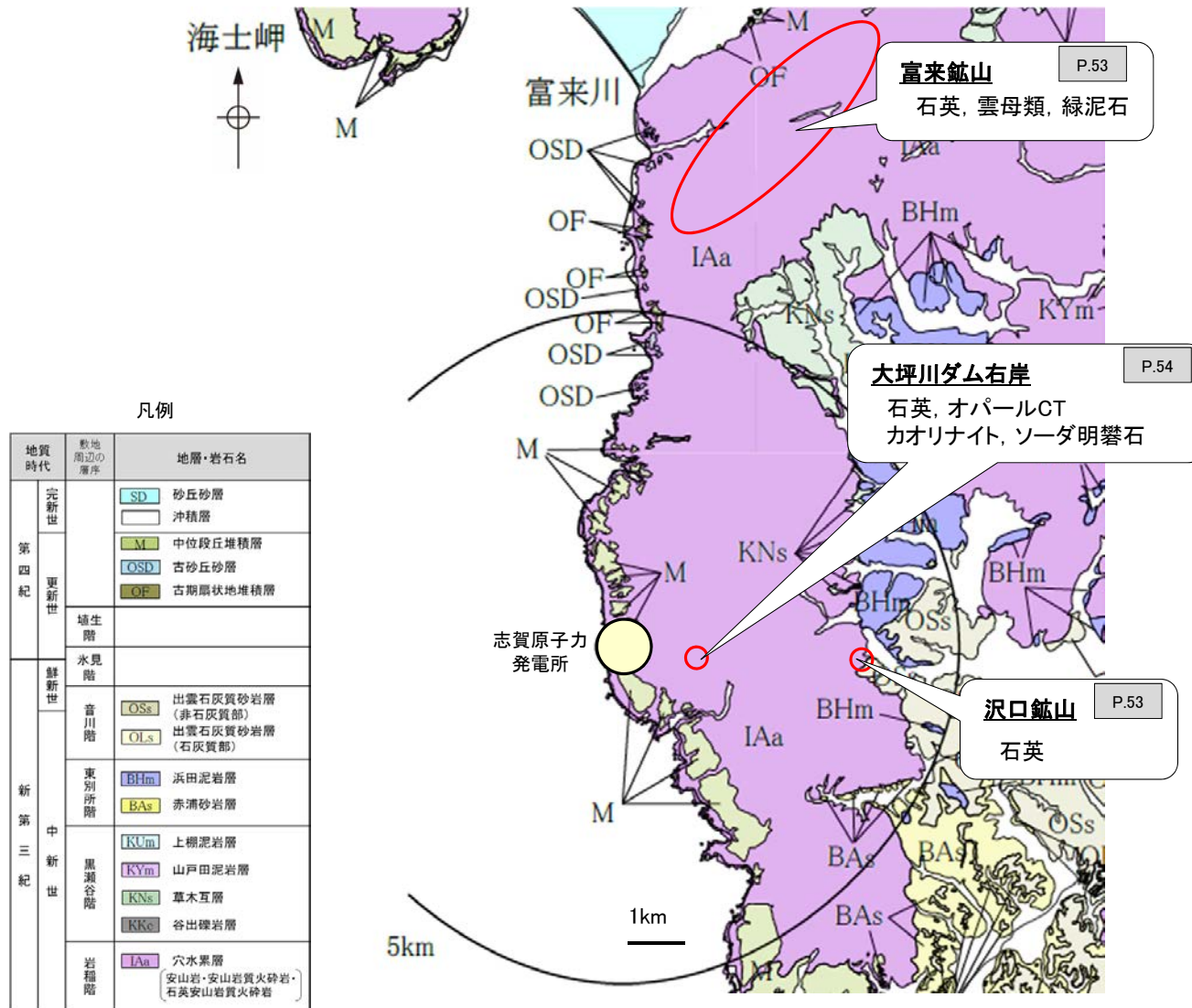
X線回折チャート

○敷地周辺の穴水累層中のその他の変質状況を以下に示す。

- ・敷地周辺の鉱山に関する調査の結果、富来鉱山や沢口鉱山では、石英等が認められている。
- ・敷地東方(大坪川ダム)では、穴水累層中に網目状の熱水脈が認められ、石英等の変質鉱物を確認した。

○これらは、鉱山等の局所的な熱水変質によるものと考えられる。

### <敷地周辺の穴水累層中で確認される主な変質鉱物>





# 【富来鉱山, 沢口鉱山】

- 敷地周辺の鉱山に関する文献調査の結果、敷地の約7km北方には富来鉱山が、敷地の約4km東方には沢口鉱山が分布する。
- 富来鉱山は、穴水累層中に浅熱水性含金石英脈を伴う鉱床であり、石英等が確認されている。
- 沢口鉱山は、穴水累層の境界に富鉱部を持つ銅鉱山とされる。また、XRD分析の結果、鉱山周辺で石英等を確認した。

## ■富来鉱山に関する知見

<p>日本金山誌編纂委員会編(1994)</p>	<p>&lt;富来(広地)鉱山&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・富来鉱山(広地)付近の地質は新第三紀中新世の穴水累層に属する輝石安山岩溶岩および火山碎屑岩よりなり、鉱床は輝石安山岩を母岩とする浅熱水性含金石英脈である。</li> </ul> <p>&lt;富来(生神)鉱山&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・鉱床は輝石安山岩および火山碎屑岩を母岩とする浅熱水性含金石英脈で、ほぼ2kmX2kmの範囲に複数の脈がある。鉱石鉱物は自然金のほか黄鉄鉱を主とし、脈石鉱物は石英を主とし乳白色を呈する。</li> </ul>
<p>濱田ほか(2018)</p>	<p>&lt;富来(生神)鉱山&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・母岩である穴水累層の輝石安山岩は熱水変質を受けており、ほとんどが暗青灰色から明青緑色である。斑晶である輝石および斜長石は緑泥石、雲母類、白チタン石などに変質しているか、交代されている。母岩中に石英の細脈が見られその周辺に黄鉄鉱や黄銅鉱が産出する。これらの硫化鉱物および変質鉱物は鉱床形成に伴う熱水作用によって生じたと考えられる。</li> </ul>
<p>Hamada et al. (2019)</p>	<p>&lt;富来(生神)鉱山&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・富来鉱山は、能登半島と日本海の形成に関連した重要な鉱床の一つである。</li> <li>・石英脈の表面に生成した水長石の状況から、複数回の熱水イベントが示唆される。</li> <li>・鉱床中に認められたイライト-スメクタイト混合層の年代によると富来鉱山の形成年代は前期中新世である。</li> </ul>

## ■沢口鉱山に関する知見

<p>地質調査所編(1956)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・酸化銅鉱と2次硫化銅鉱からなる特殊な沈殿性のものである。</li> <li>・富鉱部は泥岩層と基盤をなす集塊岩(穴水累層)との境界付近に多い。</li> </ul>
---------------------	--

## ■沢口鉱山周辺で確認される変質鉱物(XRD分析)



沢口鉱山 坑口跡



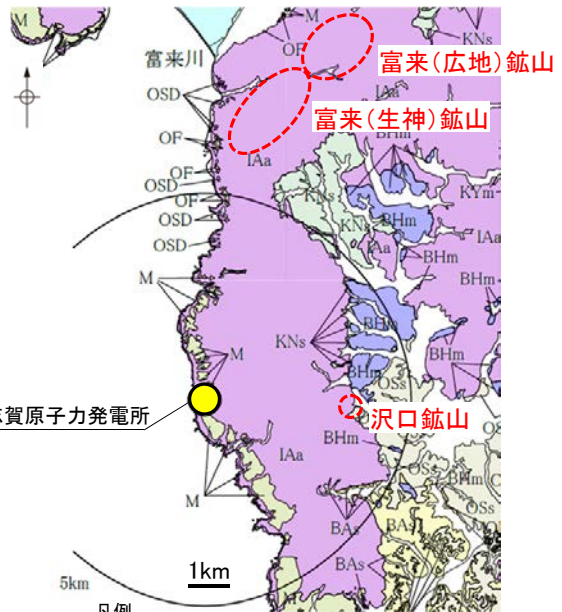
坑口跡周辺のズリから採取した白色鉱物

### <XRD分析結果>

試料採取箇所	検出鉱物		
	石英	菱マンガン鉱	フェリハイドライト
沢口鉱山坑口跡_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)  
 ±: 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線回折チャートは、補足資料5.2-2(10)P.5.2-2-147

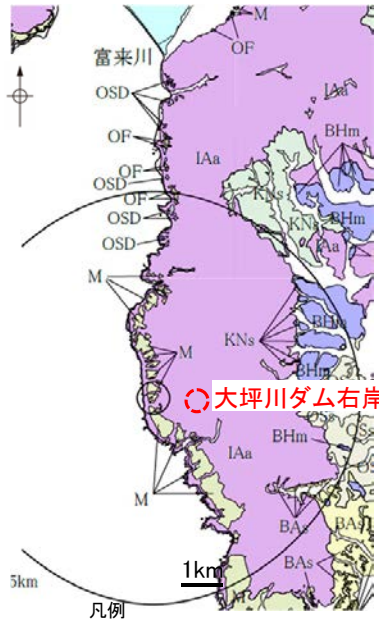


位置図

地質時代	新地層の層序	地層・岩石名	
第四紀	更新世	OSD 砂丘砂層 OF 沖積層	
	縄文世	M 中位段丘堆積層	
	縄文世	OSD 古砂丘砂層 OSD 古期扇状地堆積層	
	縄文世	M 埋生層	
第三紀	新第三紀	OSD 出雲石炭質砂岩層(厚石炭質部) OAS 出雲石炭質砂岩層(石炭質部)	
	中新世	BHm 浜田礫層 BAc 赤瀧砂岩層	
		中新世	UUm 上礫泥岩層 KYm 山内礫泥岩層
			中新世
	中新世	IAa 穴水累層 (安山岩・安山岩質砂岩層・石英安山岩質砂岩層)	

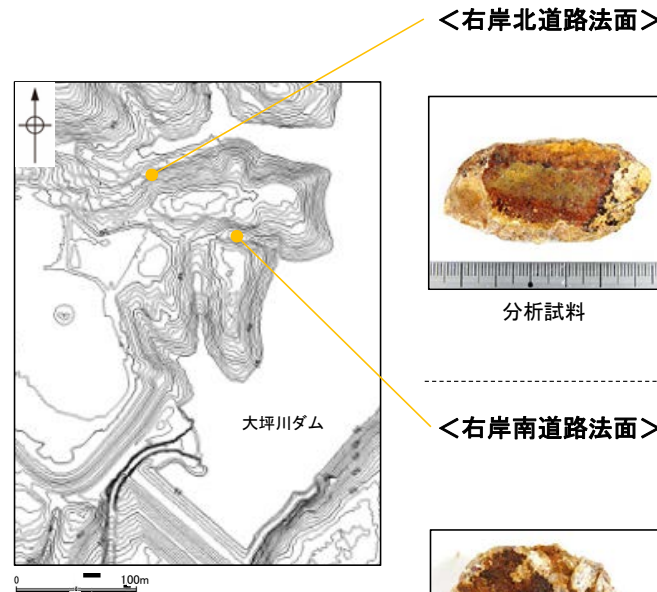
# 【大坪川ダム右岸】

○敷地の約1km東方に位置する大坪川ダム周辺では、岩盤(穴水累層)が全体的に熱水等による影響を受けており、白色硬質部や網目状節理に沿う白色脈が多く認められる。  
 ○ダム右岸の北道路法面や南道路法面の表土はぎで確認される白色変質部を対象としたXRD分析の結果、主な変質鉱物として石英やオパールCT(クリストバライトとトリディマイト)、カオリナイト、ソーダ明礬石を確認した。



位置図

地質時代	地層・岩石名
第四紀	SD 砂丘砂層
	沖積層
	中世段丘堆積層
	古砂丘砂層
第三紀	古期扇状地堆積層
	中生層
新第三紀	米見層
	音川層
	出雲石灰質砂岩層 (砂岩質部)
	出雲石灰質砂岩層 (石灰質部)
	浜田泥岩層
	赤濱砂岩層
	上郷泥岩層
	山戸田泥岩層
	草木互層
	岩出線岩層
岩盤層	穴水累層 安山岩・安山岩質火砕岩・石英質安山岩質火砕岩



＜右岸北道路法面＞



分析試料



○ 試料採取位置



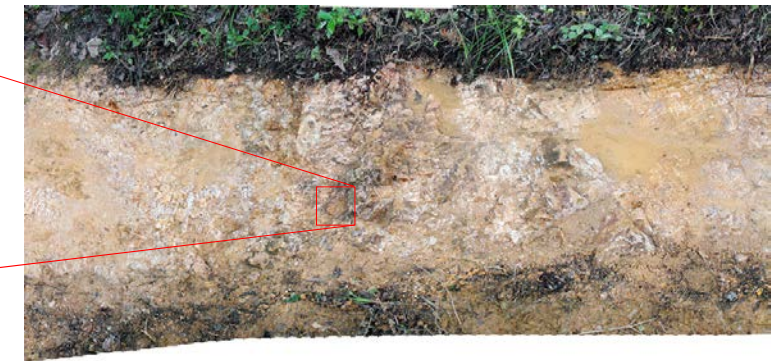
＜右岸南道路法面＞



分析試料



○ 試料採取位置



## ■XRD分析結果

試料採取箇所	検出鉱物						
	石英	クリストバライト	トリディマイト	カオリナイト	滑石	スメクタイト	赤鉄鉱
北道路法面 白色変質部	△	○	+	△		±	±
南道路法面 白色変質部	+	△	+	±	±	±	○

◎: 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)

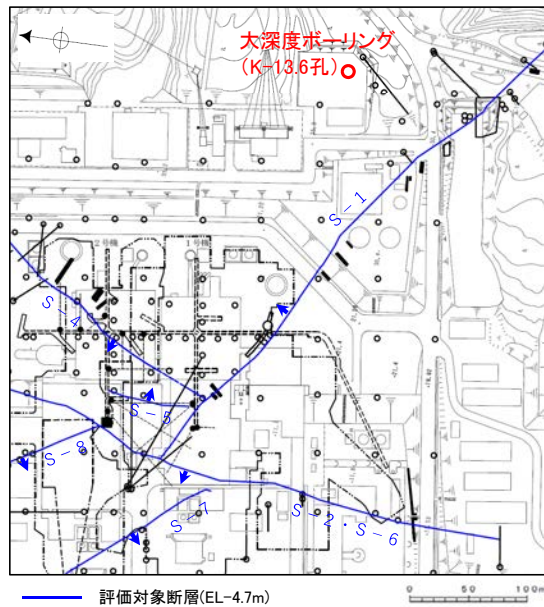
X線回折チャートは、[補足資料5.2-2](#)(10)P.5.2-2-148~151



## 5.2.1 (1-3) 敷地深部で確認される変質鉱物

- 敷地の深部における変質鉱物の分布を確認するため、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。
- EL-700m付近等で確認される白色鉱物に関する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)。
- 大深度ボーリングの結果に加え、その他の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、EL約-100m以浅では主にオパールCTが確認されるが、深部のEL約-100~-200mではオパールCTと石英が共存し、EL約-400m以深では主に石英が認められた。

### 【オパールCTから石英への深度変化】



位置図

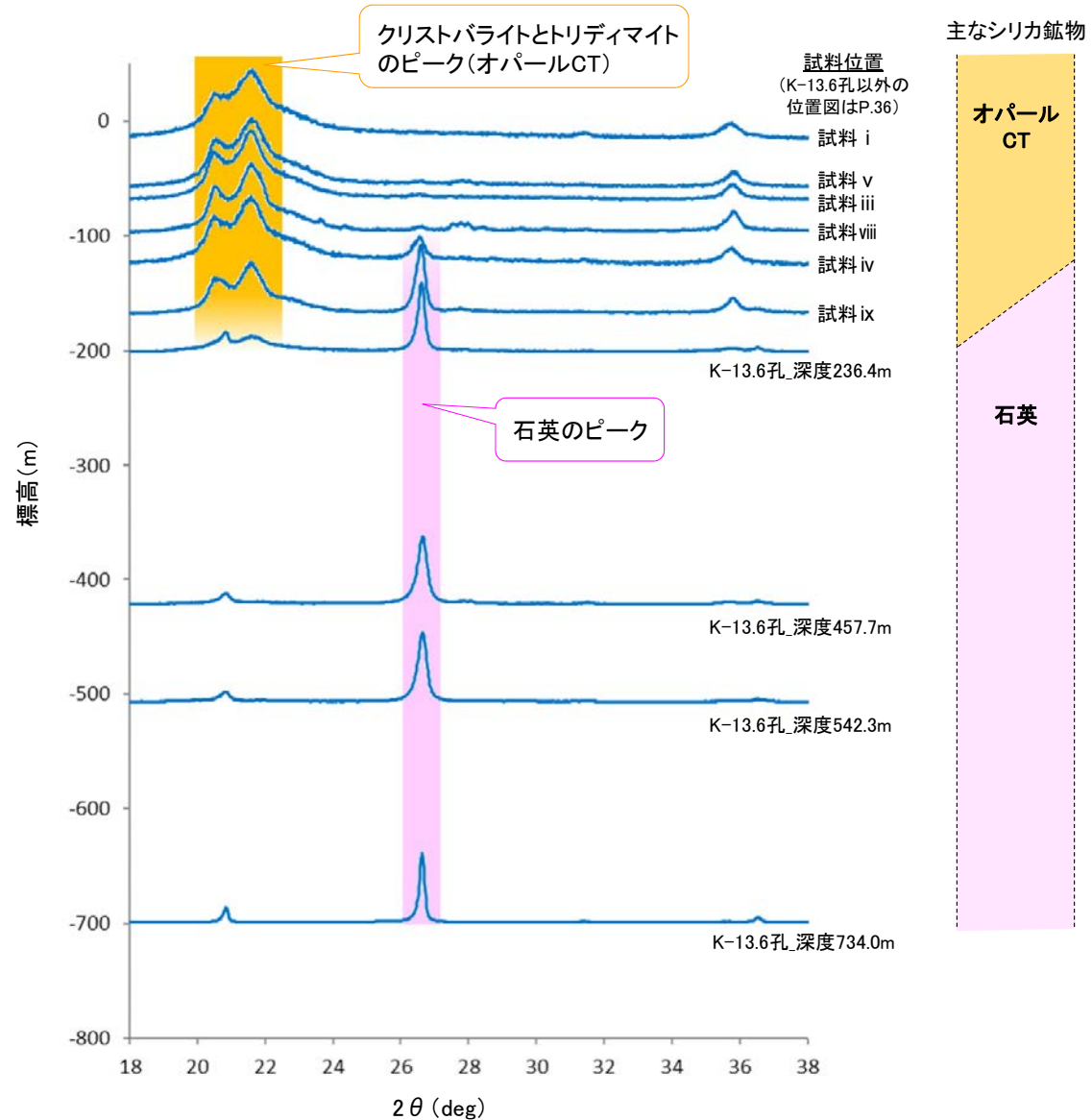
深度236.4m(EL-201.2m)付近



試料採取位置(オパールCTと石英を確認)

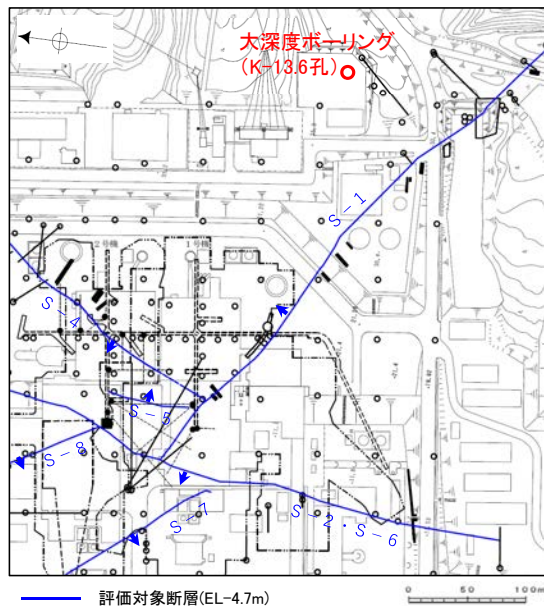
大深度ボーリングの深部で確認される変質鉱物の例

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)



# 【石英/硬石膏】

## ■大深度ボーリングで確認される白色鉱物(石英, 硬石膏)の例 (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

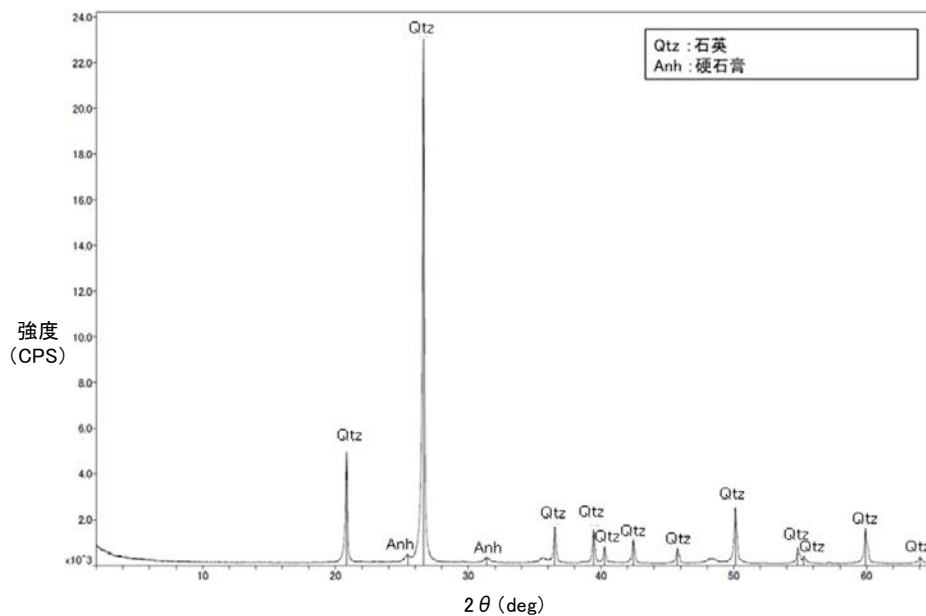
その他の白色鉱物の採取位置及び試料写真は、[補足資料5.2-2\(11\)](#)



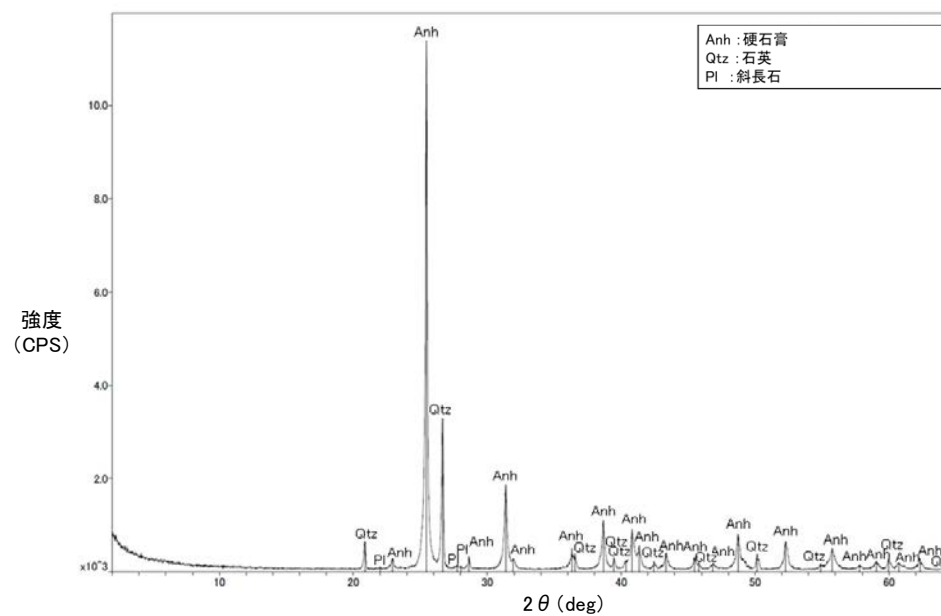
### XRD分析結果

	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(1-4) 変質鉱物の生成年代の評価 – 変質鉱物の確認標高・生成温度 –

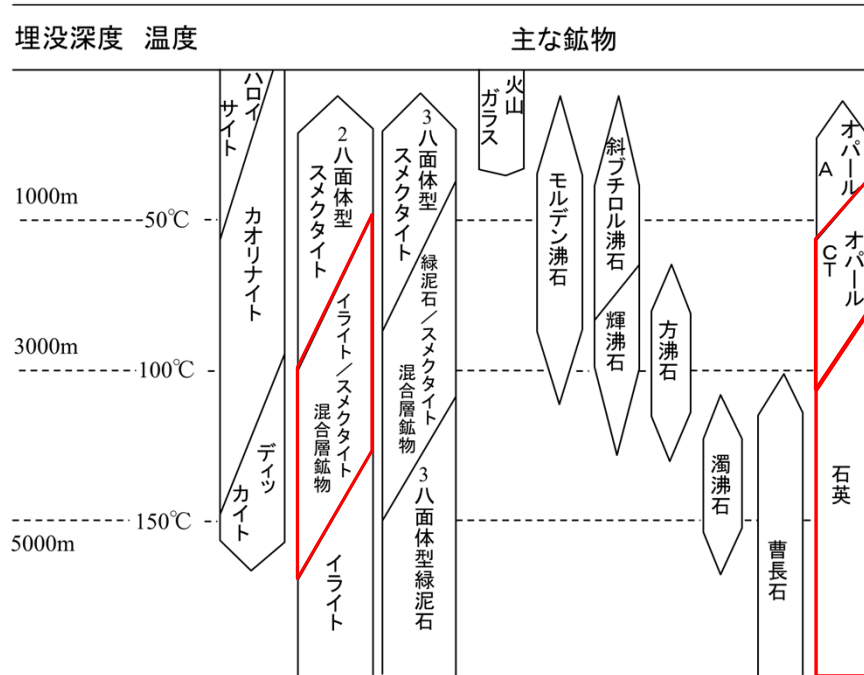
- 敷地において、深部も含めて確認された変質鉱物の確認標高と生成温度について整理した結果を以下に示す。  
 ○変質鉱物の生成温度の根拠とした生成温度に関する文献調査結果を次頁に示す。

### ■ 敷地で確認された変質鉱物の確認標高と生成温度

変質鉱物名	生成温度	生成温度の根拠 とした文献	確認標高		確認位置 (記載頁)
			平均標高	全確認位置	
I/S混合層	50~130°C	吉村(2001)	-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.24, 25
オパールCT	44~80°C	吉村(2001) 日本粘土学会編(2009)	-54.98m	【7箇所】 -15.56m, -16.75m, -57.56m, -60.03m, -68.78m, -69.36m, -96.84m	P.36, 55
オパールCT/石英	80~110°C	吉村(2001)	-164.88m	【3箇所】 -125.44m, -168.01m, -201.20m	P.55~57
石英	110°C以上	吉村(2001)	-645.60m	【4箇所】 -422.50m, -507.10m, -698.80m, -954.00m	P.55~57
フィリップサイト	50~86°C	飯島(1986)	-116.33m	【4箇所】 -62.11m, -121.91m, -123.22m, -158.08m	P.36
硬石膏	140°C以上	井上(2003)	-866.27m	【3箇所】 -698.80m, -946.00m, -954.00m	P.56, 57

# 【変質鉱物の生成温度に関する文献調査】

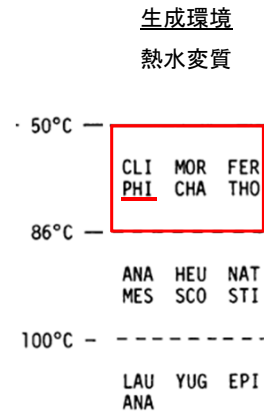
吉村(2001)



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

※日本粘土学会編(2009)では、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を44°Cとしている。

飯島(1986)

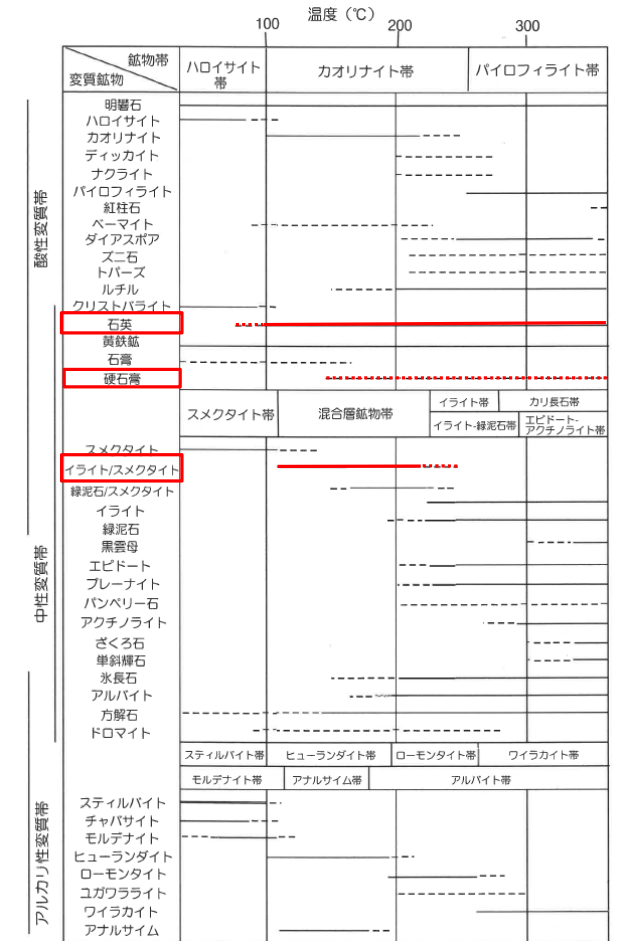


フィリップサイト(PHI)

PHI=philipsite, CHA=chabazite, NAT=natrolite, CLI=clinoptilolite, MOR=nordenite, ERI=erionite, GON=gonnardite, GIS=gismondine, FAU=faujasite, ANA=anaclime, FER=ferrierite, THO=thomsonite, HEU=heulandite, STI=stilbite, MES=mesolite, SCU=scolecite, LAU=laumontite, YUG=yugawaralite, EPI=epistilbite, WAI=waikarite, HAR=harrotonite, K-F=K feldspar, ALB=albite.

主要ゼオライトの熱水変質による生成温度  
飯島(1986) Fig.5を用いて作成

井上(2003)



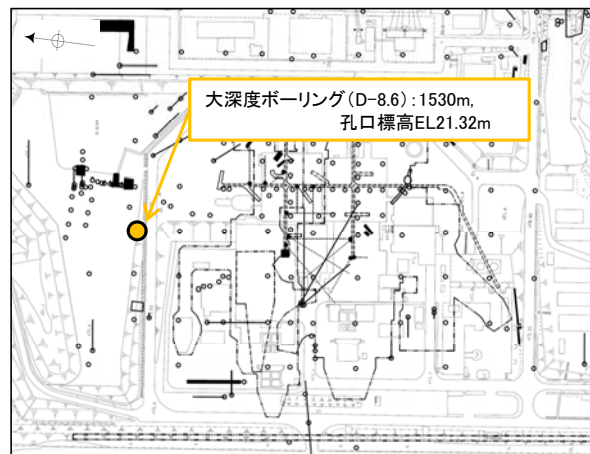
各変質帯に特徴的な鉱物とそれらの概略の生成温度  
(井上(2003)に一部加筆)



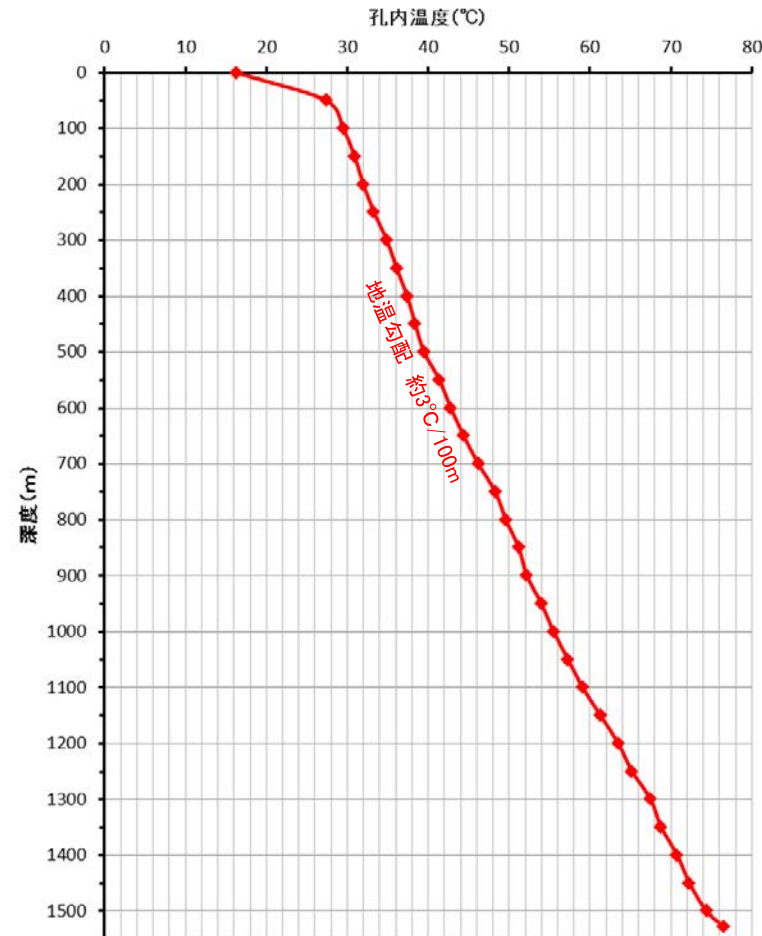
## 5.2.1(1-4) 変質鉱物の生成年代の評価 – 12~13万年前以降の敷地の地温分布の推定 –

- 敷地及び敷地周辺の地温分布を把握し、12~13万年前以降の敷地の地温分布を推定する目的で、温度検層及び文献調査を実施した。
- 敷地の地温分布に関して、大深度ボーリング孔による温度検層を実施した結果、敷地の地温勾配は約 $3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ で一定である。これは、吉村(2001)で示される一般的な地温勾配( $3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ )とほぼ同じで、大山(2014)で示される非火山地域(地温勾配  $2\sim 3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ )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 $91.4^{\circ}\text{C}$ の温泉が示されているものの、敷地付近では、泉温 $50^{\circ}\text{C}$ 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、能登半島の第四紀火山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、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考えられる(P.63)。
- 以上より、敷地及び敷地周辺は、一般的な地温勾配であり、地熱地帯ではなく、12~13万年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される。

### 【敷地の地温分布】

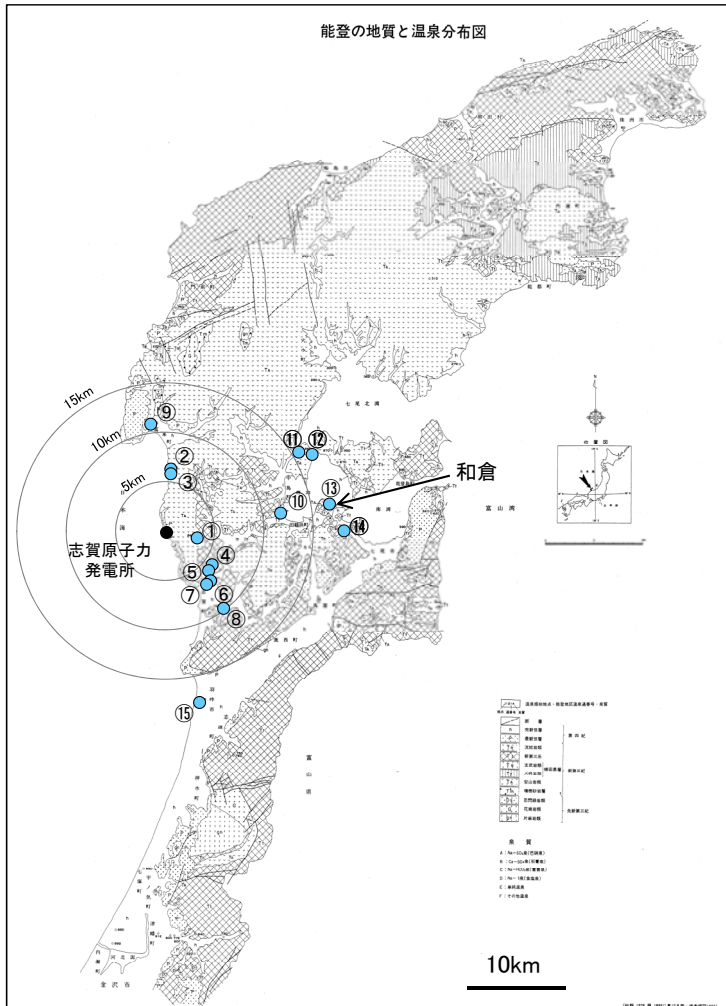


温度検層 位置図



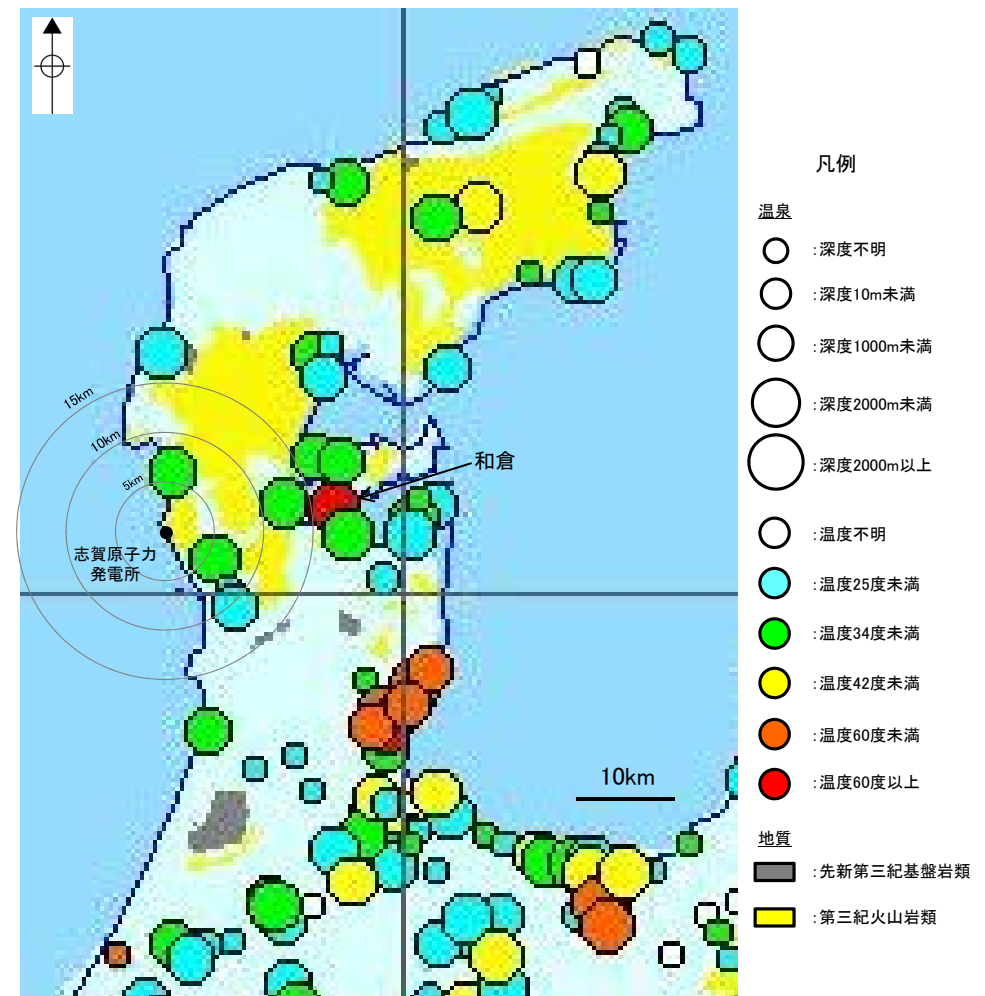
温度検層結果 大深度ボーリング(D-8.6孔)

## 【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

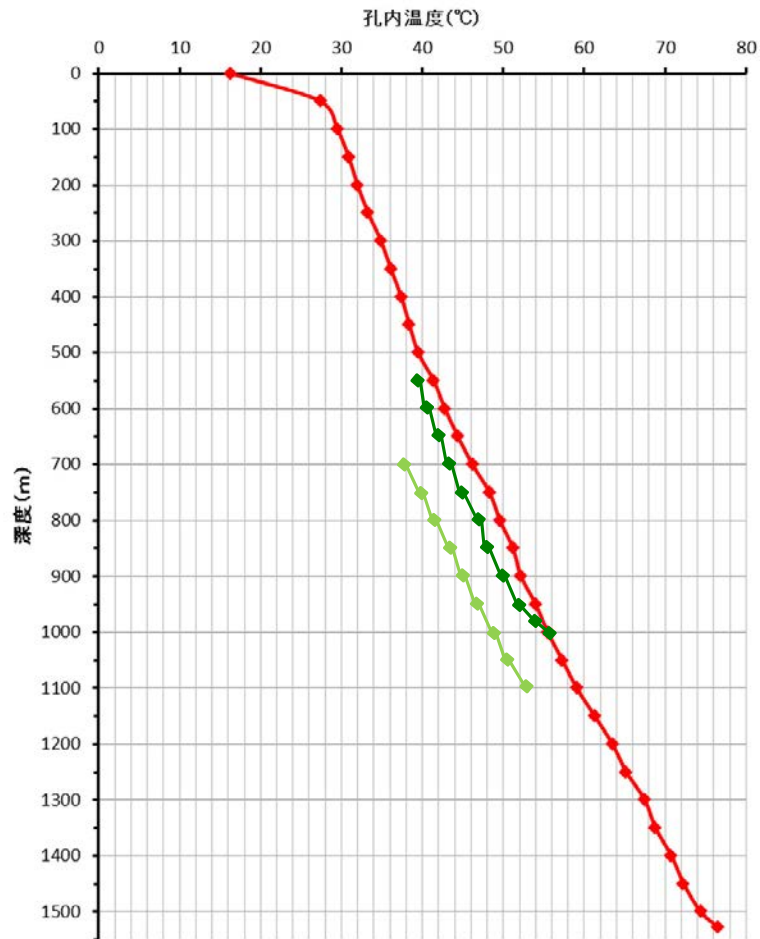
※1 湧出口での温泉水の温度  
 ※2 温泉所有者へ地温データを  
 確認した結果、深度1101mま  
 で掘削していることを確認。



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

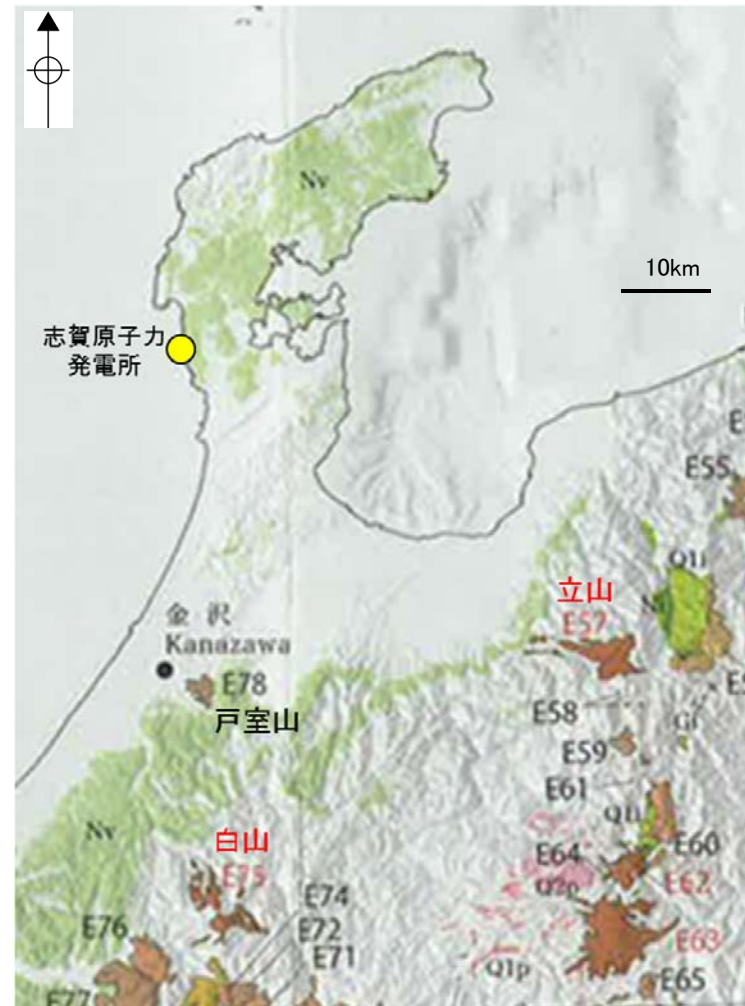
温度検層結果(温泉所有者のデータに基づく)

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



## 【文献調査(能登半島の第四紀火山)】



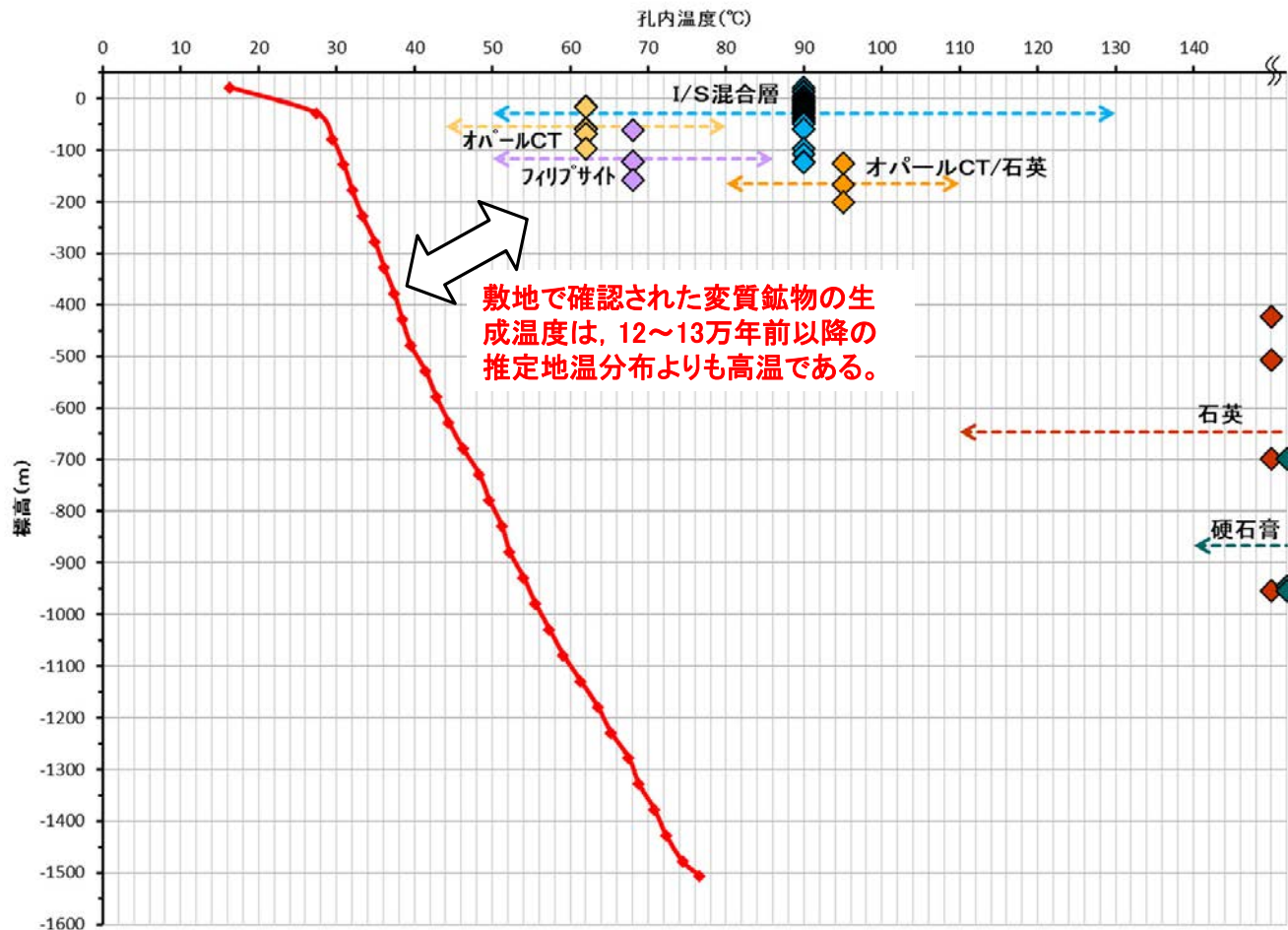
産業技術総合研究所(2013b, 左図)には、能登半島に第四紀火山は図示されていない。

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

## 5.2.1 (1-4) 変質鉱物の生成年代の評価 一年代評価のまとめ

- 敷地(深部含む)で確認される変質鉱物の確認標高, 生成温度に関する文献調査結果及び敷地の温度検層結果に基づき, 変質鉱物の確認標高・生成温度と12~13万年前以降の敷地の地温分布の関係を整理し(下図), 変質鉱物の生成年代の評価を行った。
- 下図によると, 敷地で確認される変質鉱物の生成温度は, 12~13万年前以降の敷地の推定地温分布よりも数十℃以上高温であるため, 12~13万年前以降の地温分布では敷地の変質鉱物が生成しないと評価される。
- よって, 敷地の変質鉱物は, 少なくとも後期更新世以降に生成したものではない。

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



### ■作図の考え方

- 12~13万年前以降の敷地の推定地温分布については, 以下の理由から現在の敷地の地温分布と同程度であり, 敷地の温度検層結果を用いた。
  - ・敷地周辺には高温の温泉もなく, 温度分布も敷地と同程度であるため (P.60~62), 敷地は局所的な熱水の影響を受けていない。
  - ・能登半島には第四紀火山が認められないことから (P.63), 12~13万年前以降, 敷地の地温分布は一定であった。
- 敷地には, 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, 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, 12~13万年前以降と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(記載例)

- ◇ (赤) 変質鉱物の確認標高
- ◇ (黒) 確認標高の平均値
- ◇ (赤) 生成温度範囲の中央値
- ◇ (黒) 文献による生成温度範囲(詳細は, P.58)

#### ●12~13万年前以降の敷地の推定地温分布

- ◆ (赤) 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)

## 5.2.1 (1-5) 変質鉱物の生成年代に関する考察 — 生成年代の推定 —

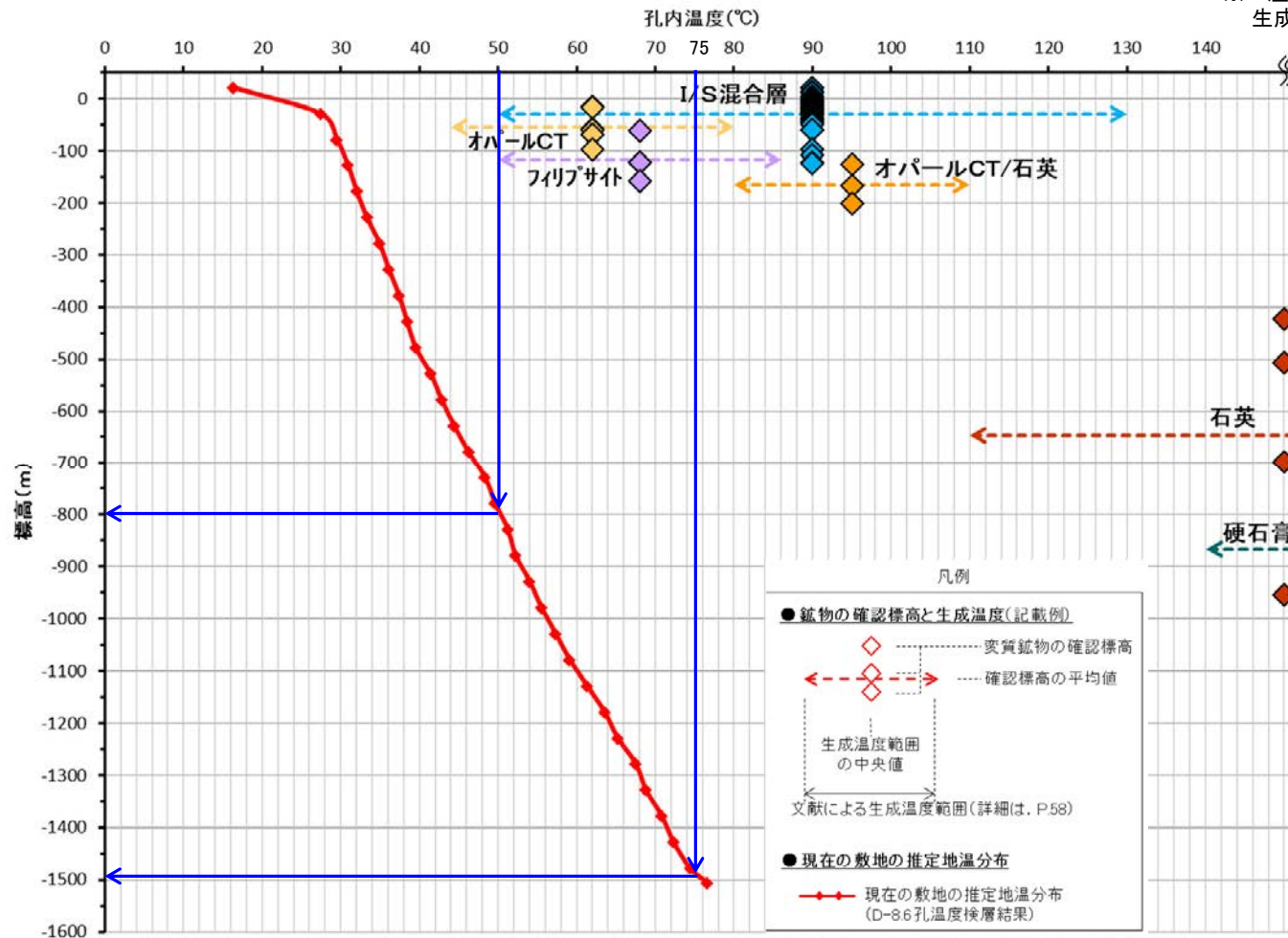
○変質鉱物の生成年代に関する考察として、敷地で確認される変質鉱物が生成する環境である「①地下深部(地温勾配相当の高温)」と「②熱水※<sup>1</sup>(過去の火成活動に伴う地温勾配以上の高温)」の場合について、生成年代の推定を行った。

※1: 熱水は、Utada(1980), Inoue(1995)に従い、火成活動に伴う「地温勾配から想定される温度よりも高温の水」とする。

### 【変質鉱物が地下深部で生成したと考えた場合の生成年代の推定】

- 敷地が火成活動による熱水変質の影響を受けずに地下深部で生成したと考えた場合の生成年代について、隆起速度等を仮定して推定した。
- 敷地深部で生成した変質鉱物が隆起及び侵食によって現在確認される標高に移動したと考えると、変質鉱物の生成温度※<sup>2</sup>を75°C(50°C)と仮定した場合には、敷地の現在の地温分布と変質鉱物の確認標高の間に約1,500m(800m)の標高差があることから、変質鉱物の生成時期から現在までに約1,500m(800m)の隆起及び侵食があったと判断される。
- MIS5e以降の隆起速度(0.13m/千年)を用いてそれ以前の隆起速度を一定と仮定すれば、変質鉱物の生成年代は約11.5Ma(6Ma)となる。

※2: 温度検層結果の最深部1500m付近の75°C及び変質鉱物の生成温度下限の文献値50°Cの場合について推定を行った。



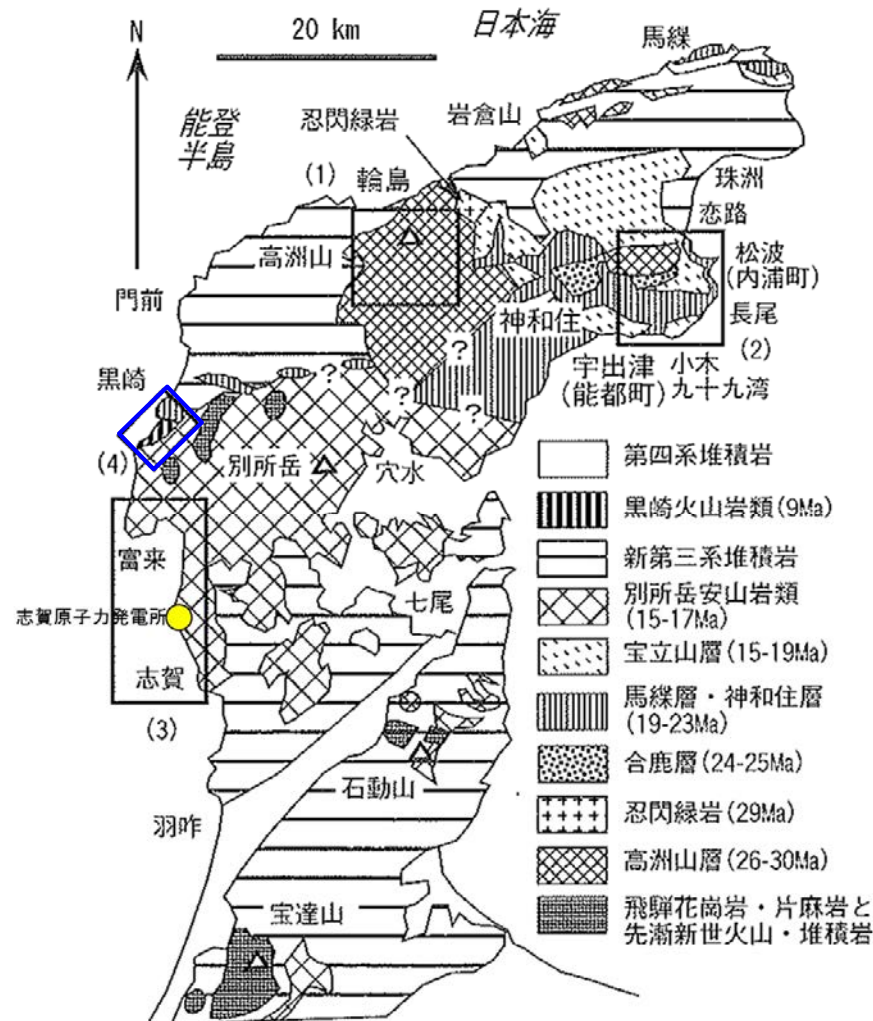
**生成年代の算出方法**  
 地温分布と変質鉱物確認標高の差:  
 約1,500m(800m)  
 標高差1,500m(800m) ÷ 隆起速度0.13m/千年※<sup>3</sup>  
 ≒ 1,150万年(600万年)

※3: MIS5e以降の隆起速度  
 (根拠は、補足資料5.3-1(6)P.5.3-1-134)



## 【変質鉱物が熱水により生成したと考えた場合の生成年代の推定】

- 敷地の変質鉱物が火成活動による熱水により生成したと考えた場合の生成年代を推定した。
- 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(下図□)。
- よって、敷地及び敷地周辺は、9Ma以降は火成活動の影響を受けていない地域であると判断される。
- 以上より、敷地の変質鉱物の生成年代は約9Ma以前と見積られる。



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)

## 5.2.1(1-5)(参考)変質鉱物の生成年代に関する考察 -K-Ar年代分析(I/S混合層)-

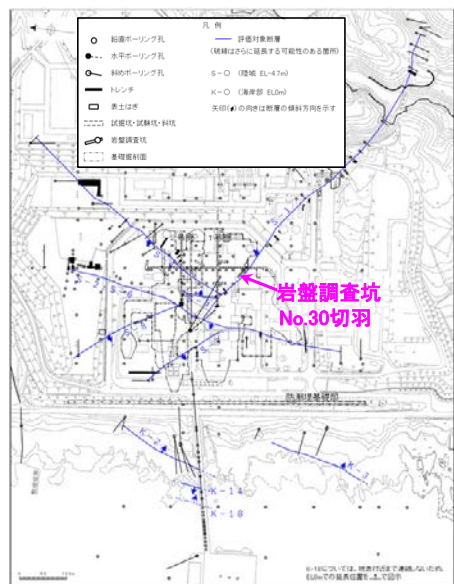
- 粘土鉱物(I/S混合層)を対象に実施したK-Ar年代分析結果を以下に示す。  
 ○粘土鉱物(I/S混合層)のK-Ar年代値は15~10Maを示し、いずれの試料の分析結果にも大きなばらつきは認められない。  
 ○なお、この分析値は、カリウムの長期的な保持の観点からも信頼性が確認されている※。

※K-Ar年代分析の信頼性確認内容は、[補足資料5.2-2\(9\)](#)

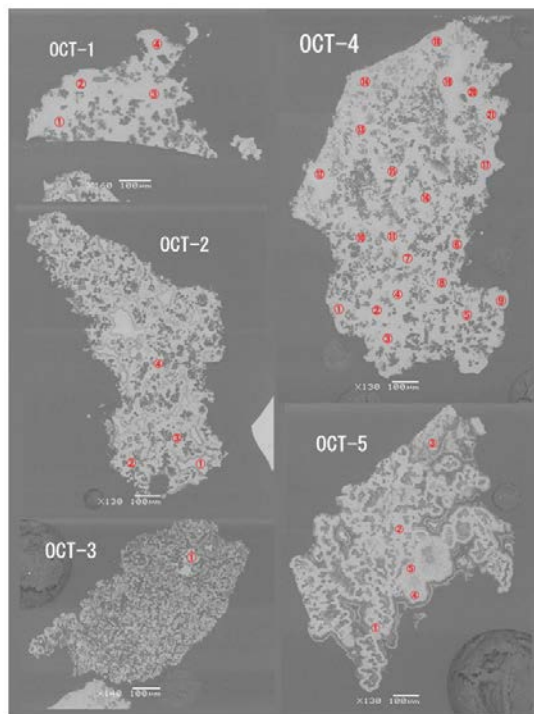
対象物	試料No.	試料採取箇所	測定物 (粒径)	カリウム含有量 (wt. %)	放射性起源 <sup>40</sup> Ar (10 <sup>-8</sup> cc STP/g)	K-Ar年代 (Ma)	非放射性起源 <sup>40</sup> Ar (%)
S-1 粘土状破砕部	1	岩盤調査坑 No.15~16付近 EL-17.90m	I/S混合層 (0.2-0.4μm)	0.652±0.013	26.1±4.0	10.3±1.6	90.4
	2	岩盤調査坑 No.16~17付近 EL-17.90m	I/S混合層 (0.2-0.4μm)	0.382±0.008	16.2±3.0	10.9±2.0	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

## 5.2.1 (1-5) (参考) 変質鉱物の生成年代に関する考察 –U-Pb年代分析(オパールCT)–

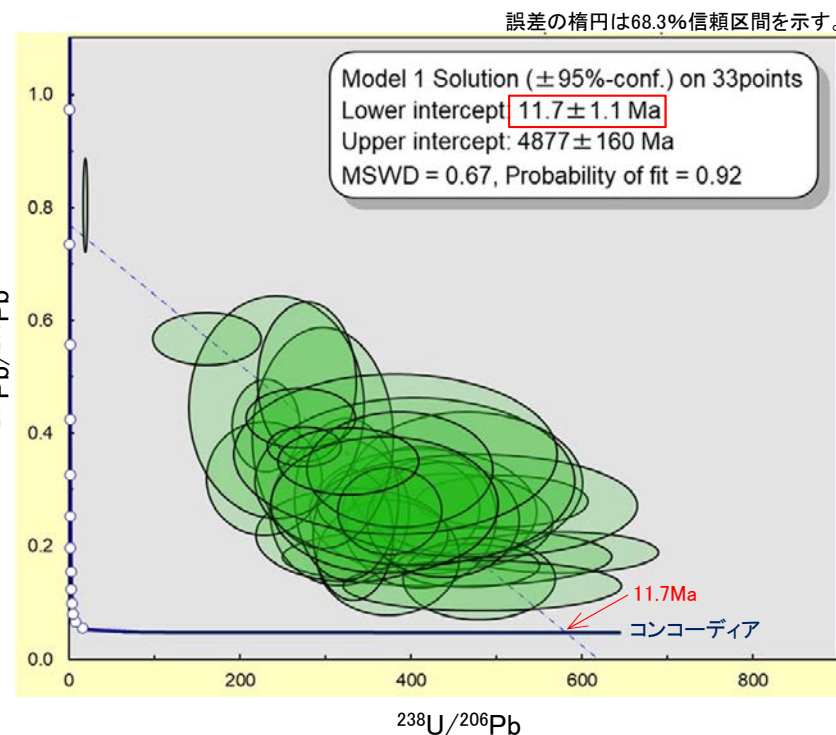
- 敷地のオパールCTを対象として、高感度高分解能イオンマイクロプローブ(SHRIMP)を用いてU-Pb年代測定を実施した。
- オパールCTのU-Pb年代値は、 $11.7 \pm 1.1 \text{ Ma}$ を示す。



位置図  
試料採取位置  
(オパールCT)



後方散乱電子像

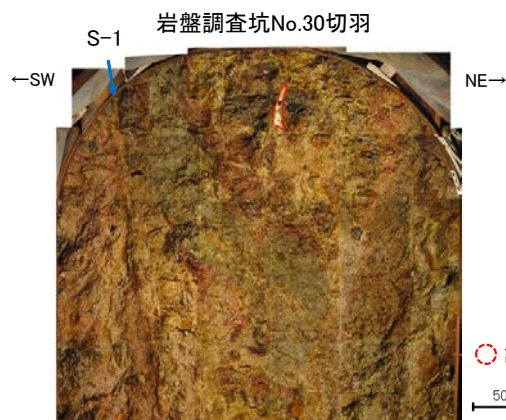


Total Pb Tera-Wasserburg コンコーディア図

誤差の楕円は68.3%信頼区間を示す。

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.5.2-2-120



試料採取位置写真

・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)。

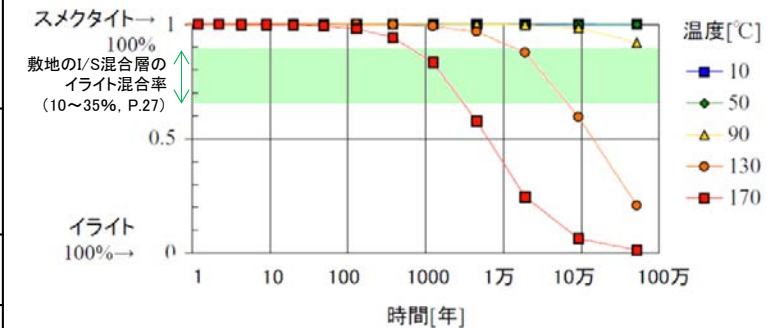


## 5.2.1 (1-5) (参考) 変質鉱物の生成年代に関する考察 — 生成温度・期間に関する文献調査 —

- 敷地内で確認された変質鉱物であるI/S混合層等の生成温度や生成期間等に関する文献調査を実施した。
- 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

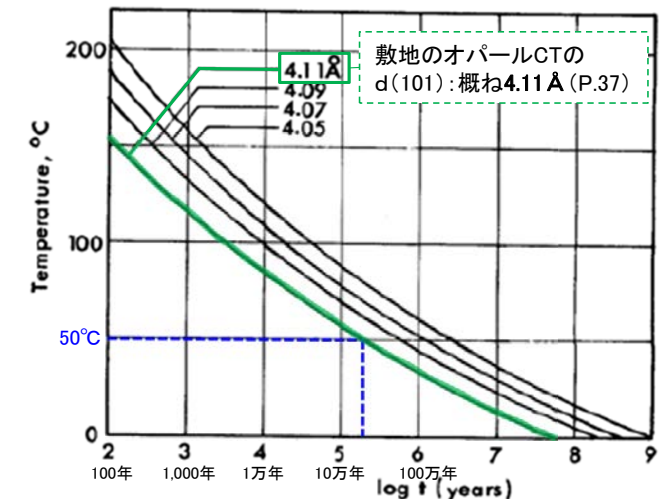
吉村(2001)	<p>&lt;地下深部での生成&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・I/S混合層における積層の仕方, I層とS層の含有率, 規則度及び出現温度との関係を表で示している。</li> <li>・この表によると, ライヒバITE<sub>R</sub>=0のI/S混合層の出現温度は, 「長期(5~300百万年), 50~60°C」である。</li> </ul> <p>&lt;熱水による生成&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・熱水変質作用によるI/S混合層の生成温度は約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(2010)	<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>

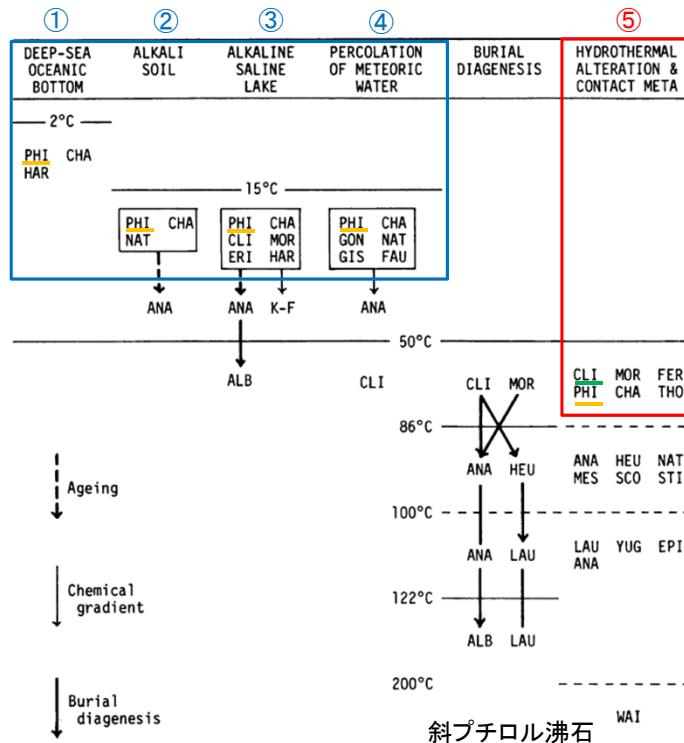


オパールCTのd(101)及び温度, 生成期間の関係  
(Kano(1983)に一部加筆)

■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(1-6) 碎屑岩脈の形成年代の評価

- 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.117, 118)。
- 薄片を詳細に観察すると、碎屑岩脈は複雑に枝分かかれし、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、現在とは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ると、碎屑岩脈は地下深部の高封圧下で形成したと判断される(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.355)以降の海退期に、侵食により現在の地形が形成されたと考えられることから、碎屑岩脈は約12~13万年前には現在とほぼ同じ低封圧下にあったものと判断される(発電所建設前の旧地形図)。
- したがって、碎屑岩脈は少なくとも後期更新世以降に形成されたものではないと評価される。

### 【碎屑岩脈の観察と形成環境の検討】

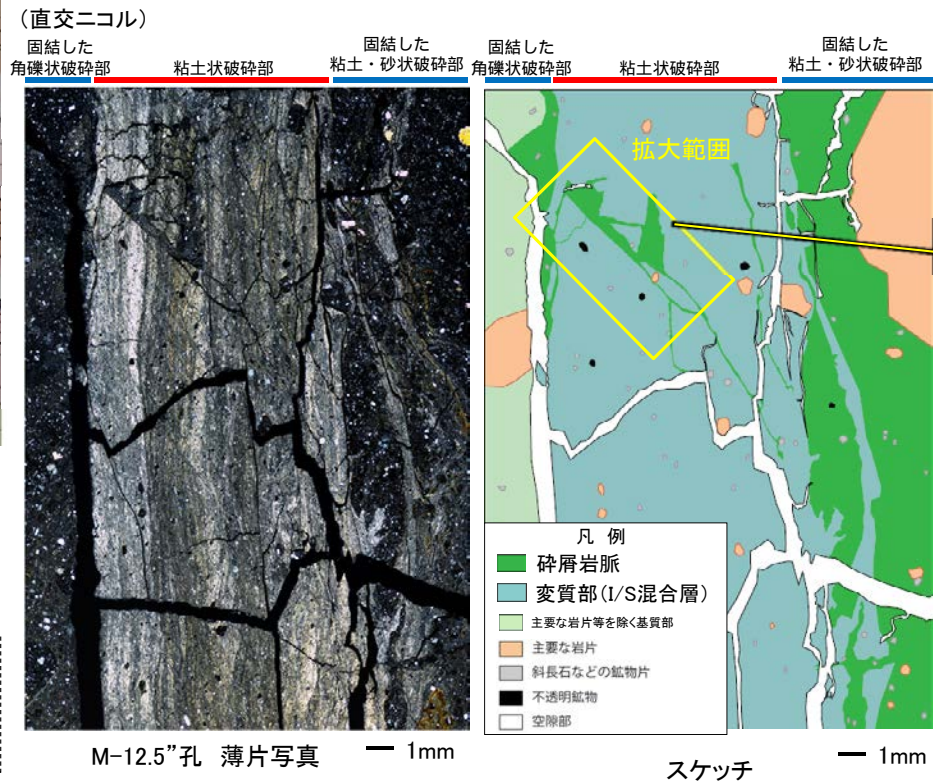
※碎屑岩脈の硬軟に関する定量的な確認結果はP.77, 78



発電所建設前の旧地形図

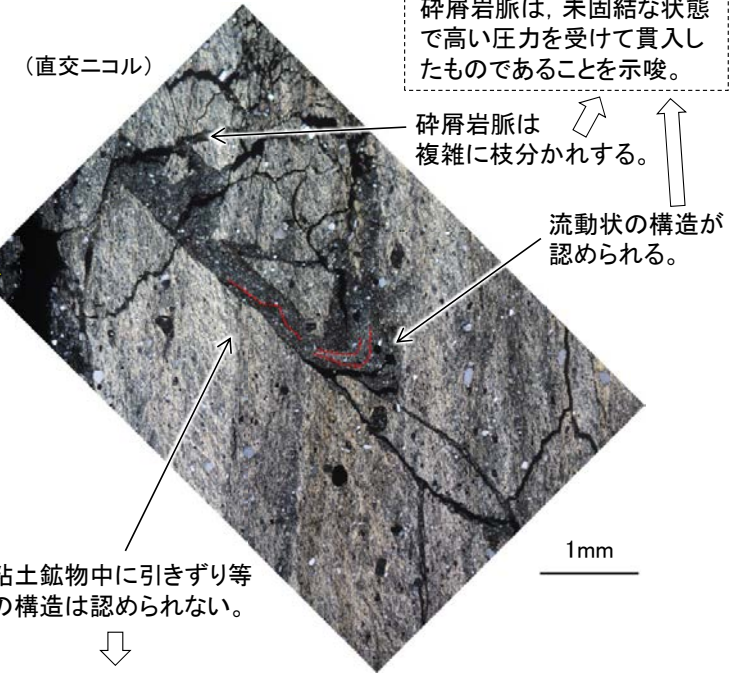
M-12.5”孔は高位段丘 I a面を開析する谷に位置する。

本地点では、高位段丘 I a面の形成時期(P.355参照)以降の海退期に、侵食により現在の地形が形成されたと考えられる。



M-12.5”孔 薄片写真 1mm

スケッチ 1mm



碎屑岩脈は、未固結な状態で高い圧力を受けて貫入したものであることを示唆。

粘土鉱物中に引きずり等の構造は認められない。

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)

碎屑岩脈は、約12~13万年前には現在とほぼ同じ低封圧下にあったと判断される。

碎屑岩脈は、地下深部の高封圧下で形成されたと判断される。

碎屑岩脈は、少なくとも後期更新世以降に形成されたものではない。



## 5.2.1(1-7) 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。

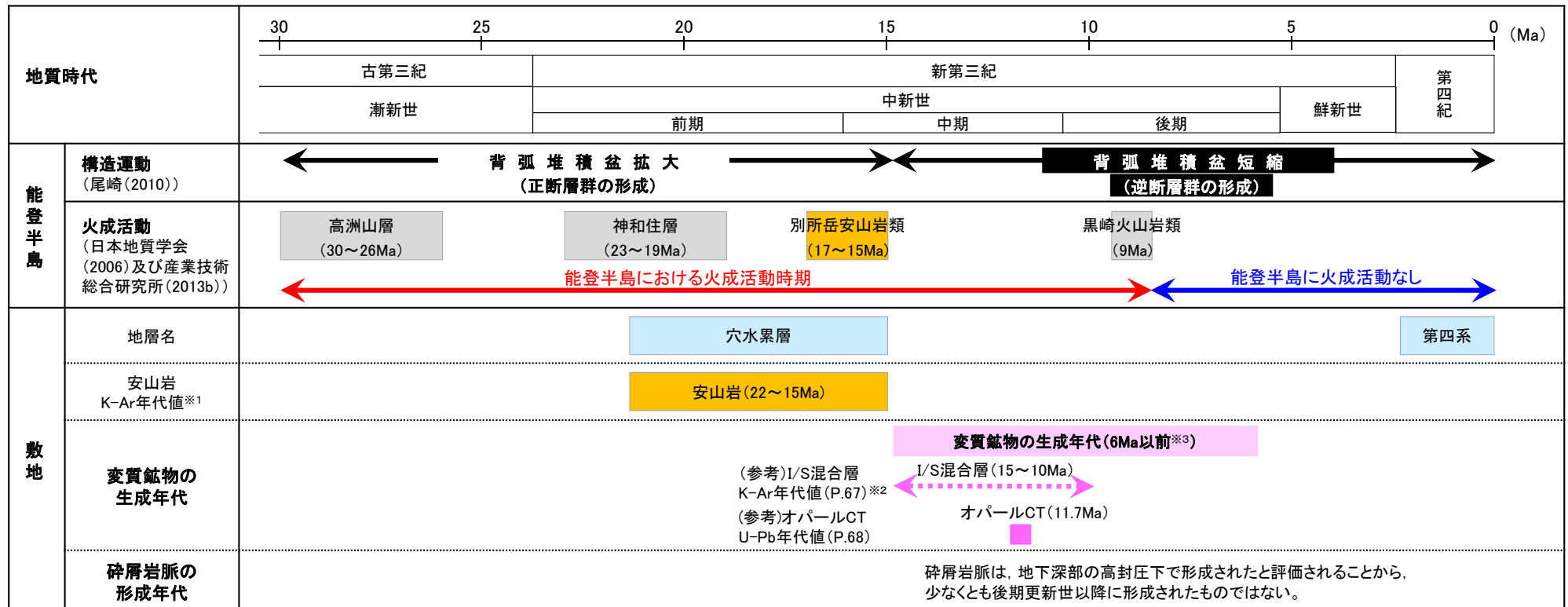
### <変質鉱物の生成年代の評価結果>

- 敷地（深部含む）で確認される変質鉱物の確認標高及び敷地の温度検層結果に基づき、変質鉱物の確認標高・生成温度と12～13万年前以降の敷地の地温分布との関係を整理し、変質鉱物の生成年代の評価を行った。
- その結果、変質鉱物は、少なくとも後期更新世以降に生成した鉱物ではないと評価される。

### <碎屑岩脈の形成年代の評価結果>

- 碎屑岩脈は、地下深部の高封圧下で形成されたと判断される。
- 碎屑岩脈は、約12～13万年前には現在とほぼ同じ低封圧下にあったものと判断される。
- 以上より、碎屑岩脈は、少なくとも後期更新世以降に形成されたものではないと評価される。

少なくとも後期更新世以降に生成されたものではないと評価した変質鉱物のうちI/S混合層、少なくとも後期更新世以降に形成され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った。



※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(1-6)生成年代に関する考察のうち生成年代の推定結果による

---

## 5.2.1(2) 最新面と最新面付近の変質鉱物

## 5.2.1(2) 最新面と最新面付近の変質鉱物 — 最新面の認定の考え方 —

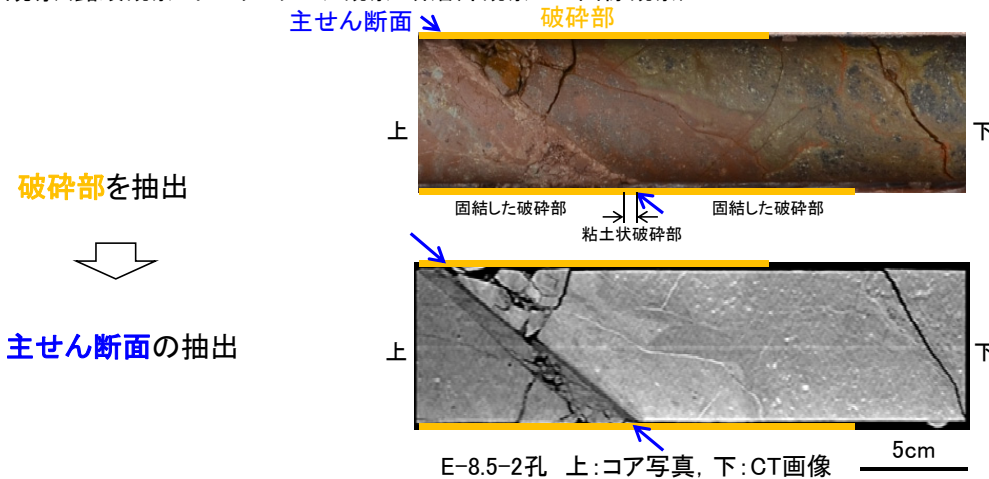
- 鉱物脈法による活動性評価にあたっては、断層の最新活動時期を表す最新面を適切に認定し、5.2.1(1)で示した変質鉱物との接触関係を確認することが重要となる。
- この最新面の認定にあたっては、まず巨視的観察により破碎部から主せん断面を抽出する。その上で、主せん断面を薄片による微視的観察により観察して最新ゾーンを抽出し、最新ゾーンの中から最新面を認定する。

志賀原子力発電所における用語

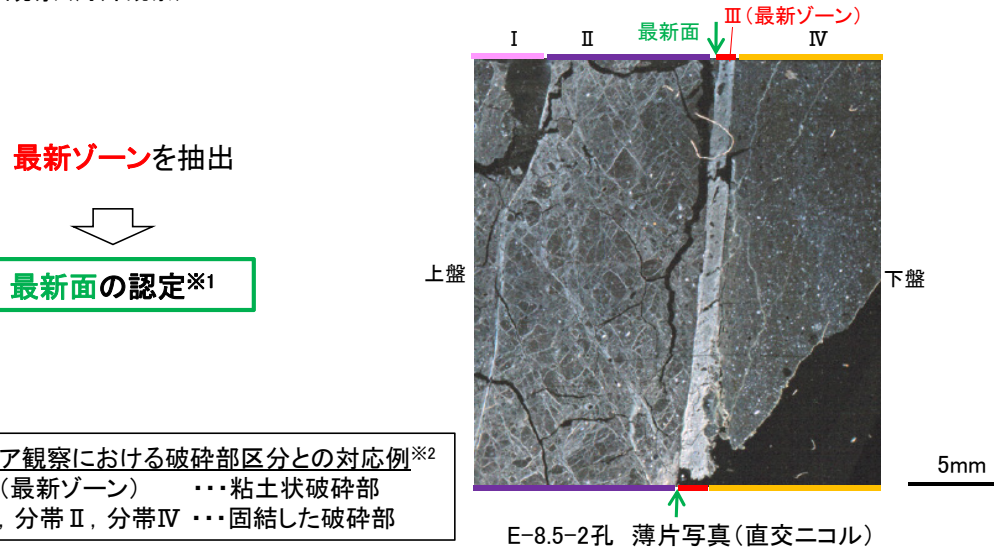
観察手法	用語	特徴
露頭観察 ボーリングコア観察 研磨片観察 CT画像観察	破碎部	断層活動による変形構造が認められる部分。ある幅を持ち、固結・未固結の程度、粒度とその割合から分類され、粘土状や角礫状等からなる。
	主せん断面	破碎部中において、細粒化が進んでおり、最も直線性・連続性がよい断層面。
薄片観察	最新ゾーン	巨視的観察で主せん断面として抽出した箇所で作成した薄片観察の結果、他の構造に切られない最も細粒化しているゾーン。
	最新面	最新ゾーンの中で、最も直線性・連続性がよく、他に切られることのない面。

### 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<sup>※2</sup>  
 ・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

※1: 直線性・連続性の優劣を付けるのが困難な複数の面が抽出された場合、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。

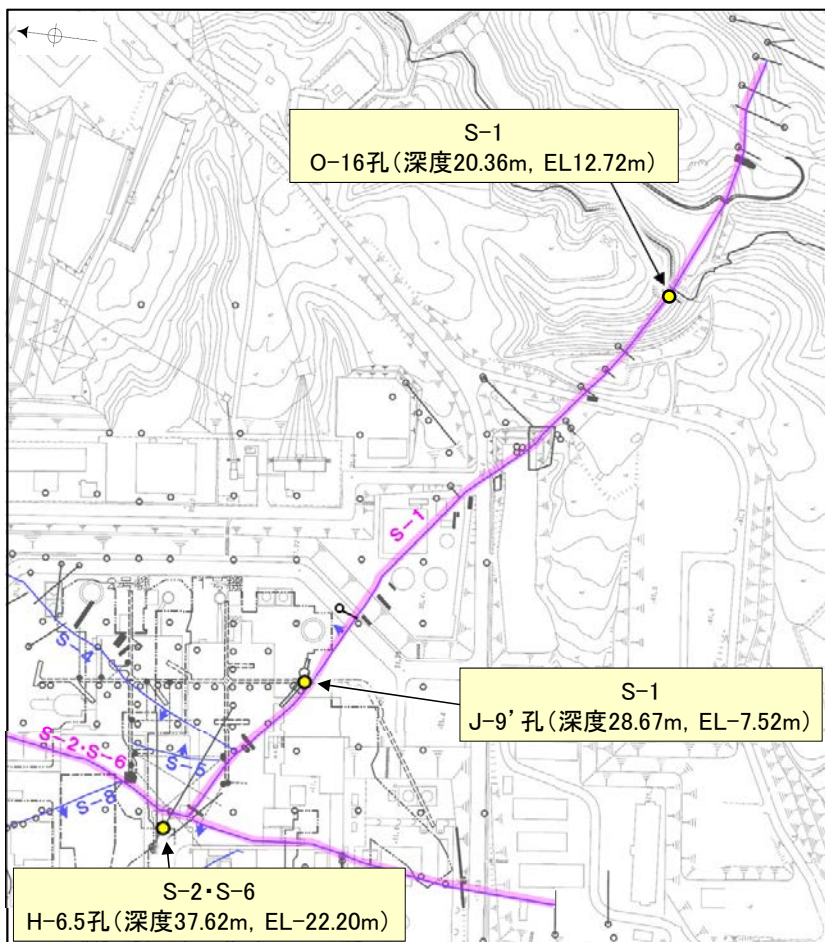
※2: 巨視的観察から微視的観察に進むにあたり、コア観察における破碎部区分と薄片観察における分帯との対応を確認する。



## 5.2.1(2) 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



— 評価対象断層  
 S-O (陸域 EL-4.7m)

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

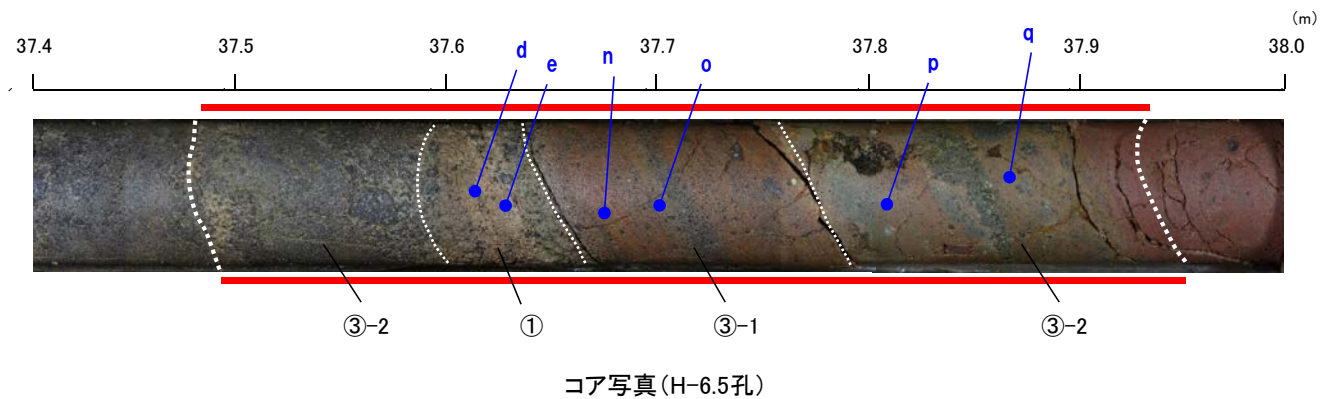
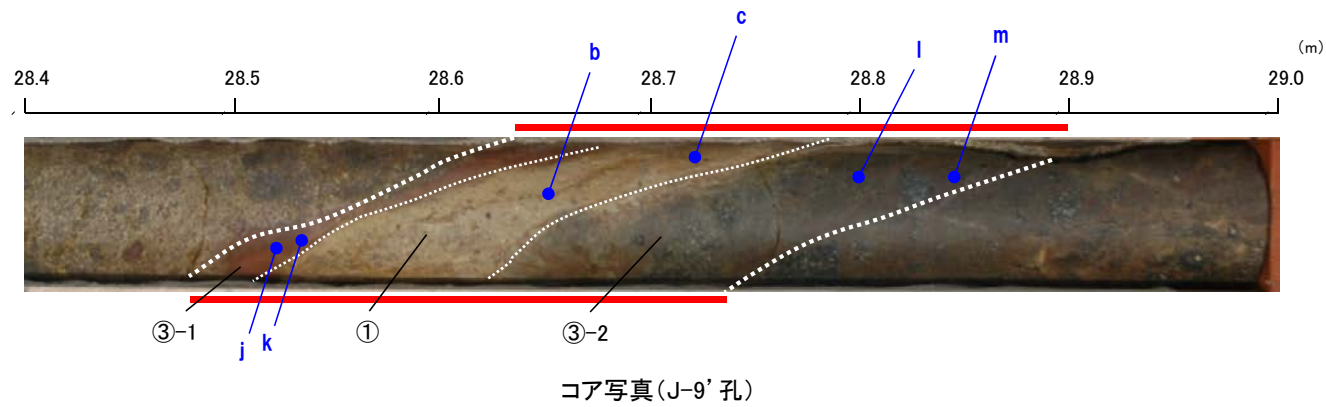
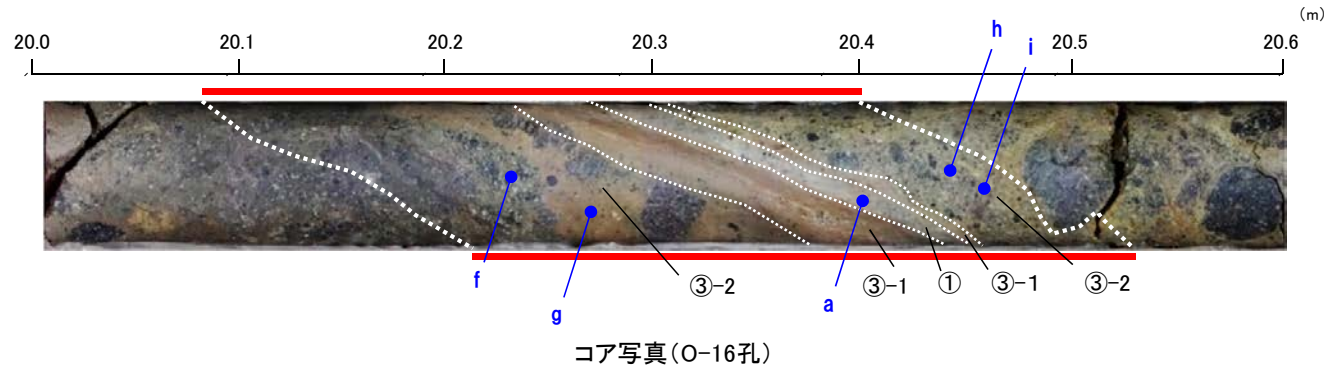
【針貫入試験の測定方法】

- ・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、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

# 【針貫入試験実施位置】

== 破砕部

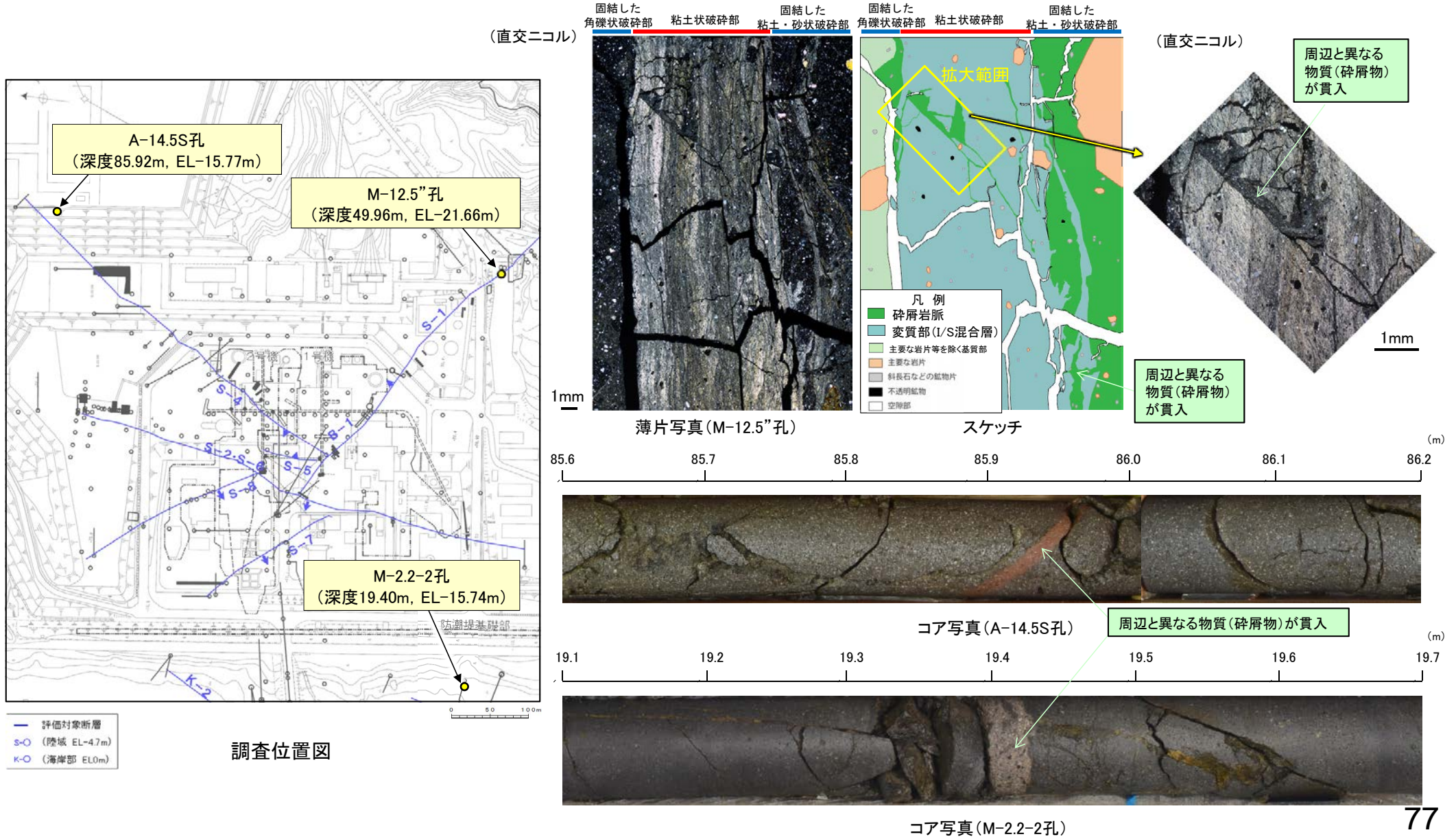
- ① 粘土状破砕部
- ③-1 固結した粘土・砂状破砕部
- ③-2 固結した角礫状破砕部





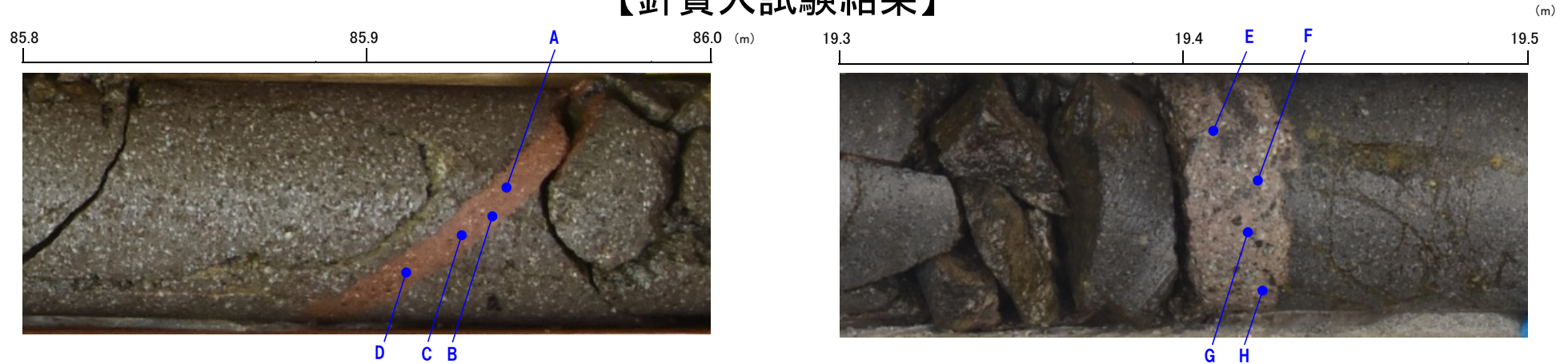
# 5.2.1(2)最新面と最新面付近の変質鉱物 - 碎屑岩脈の硬軟 -

- 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”孔の碎屑岩脈に加え、敷地内の他の地点(A-14.5S孔, M-2.2-2孔)においても碎屑岩脈が認められ、これらの碎屑岩脈は、周辺と異なる物質(碎屑物)が貫入している点が類似する。
- 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することができず、性状が類似するA-14.5S孔や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考えられる。





# 【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	34	58				
	-12.81	82.50	安山岩 (角礫質)	暗赤 → 暗赤	34	68	34	68			
			暗赤 → 暗赤	7	0				Ba	86.92~85.93 見掛けの傾斜角5°の砕屑岩脈あり。	
			暗赤 → 暗赤	13	13					87.09~87.16 周囲に比べ軟質。	
			暗赤 → 暗赤	18	39						
	-18.44	89.00	暗赤 → 暗赤	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 → 暗オリーブ	43	89	55	100			
			暗赤 → 黒	31	66	31	83		Ba		
			暗赤 → 黒	20	65	30	88				
	-16.30	19.90	安山岩 (均質)	暗赤 → 赤	42	83	34	96			19.40~19.43 見掛けの傾斜角5°の砕屑岩脈あり。
	-19.31	22.00	安山岩 (角礫質)	暗赤 → 赤	61	100	68	88			

柱状図

針貫入試験結果

孔名	砕屑岩脈		
	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砕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.75)ことから、砕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】  
 ・砕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、砕屑岩脈に対して4点程度の計測を行い、その平均値をその砕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

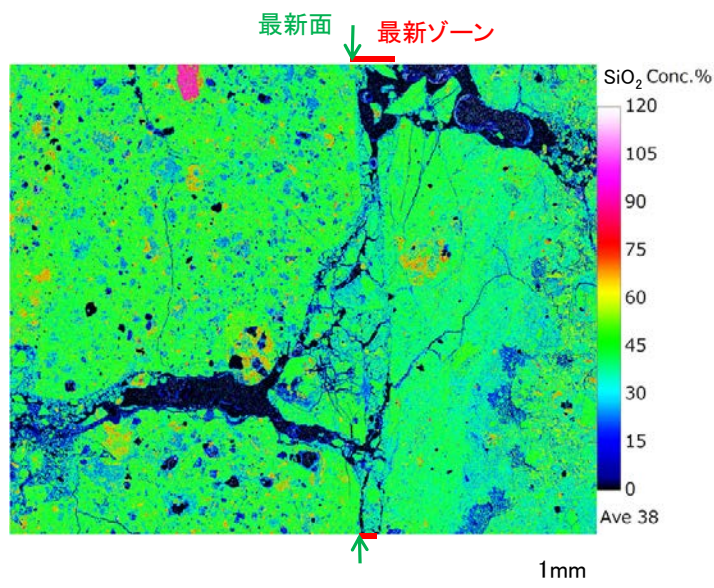


## 5.2.1(2) 最新面と最新面付近の変質鉱物 —変質鉱物のEPMA分析—

○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。

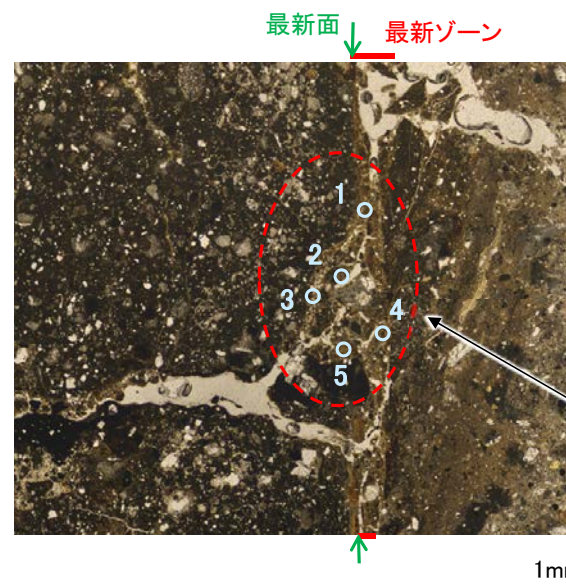
EPMA分析(マッピング)の例  
(K-14, H- -0.3-80孔)



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.320

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



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



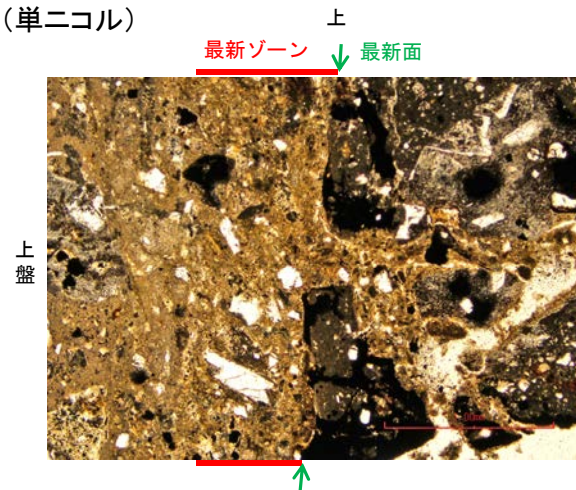
## 5.2.1 (2) 最新面と最新面付近の変質鉱物 — 注入現象の検討 —

- 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。
- なお、注入脈の特徴として、カリフォルニアの事例では弓状構造が認められ、阿寺断層の事例では粒子の配列が認められるとされている(関西電力美浜発電所3号炉第361回審査会合机上配布資料2引用)。
- そこで、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おいて、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。

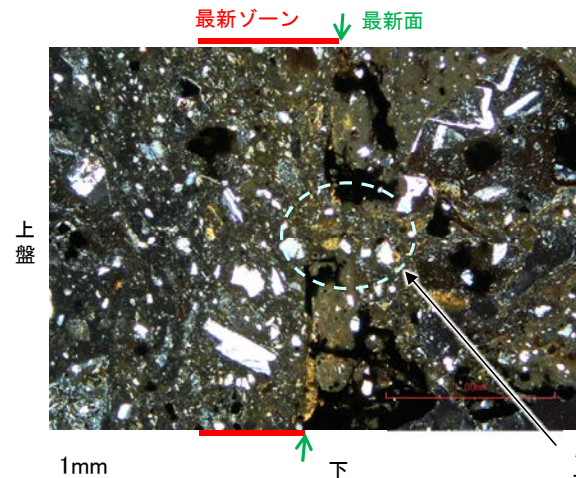
### 注入の痕跡が認められない事例<sup>※1</sup>

※1: 詳細についてはP.322

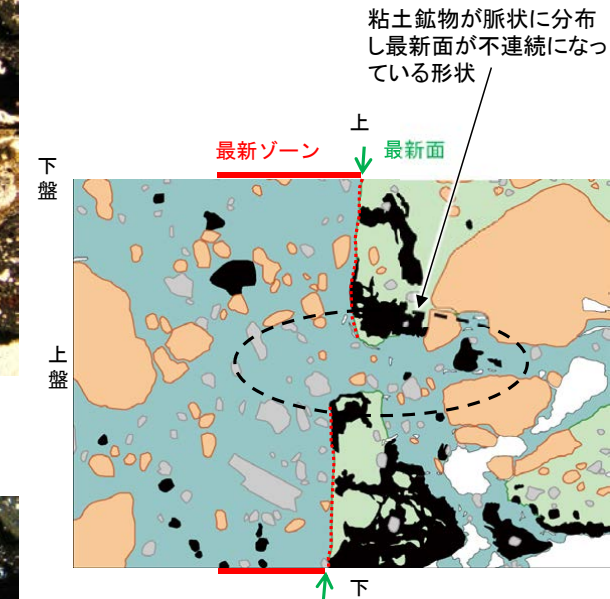
(単ニコル)



(直交ニコル)



薄片写真  
(K-14\_H- -0.3-80孔)



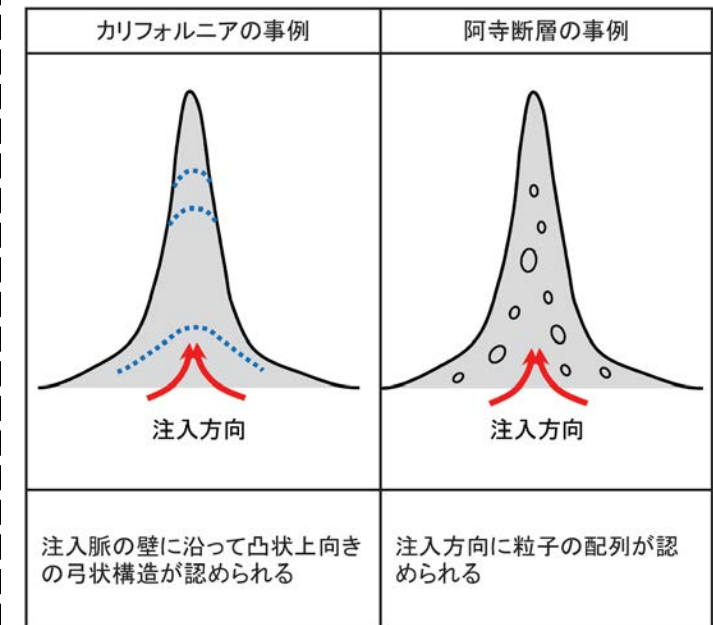
凡例  
 ■ 主要な岩片  
 ■ 斜長石などの鉱物片  
 ■ 不透明鉱物  
 ■ 空隙部  
 ■ 変質部 (I/S混合層)  
 ■ 主要な岩片等を除く基質部  
 ■ 最新面

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。

### 注入の痕跡が認められる事例<sup>※2</sup>

※2: 詳細については補足資料5.2-12(4)



直交ニコル 粒子の配列が認められる



---

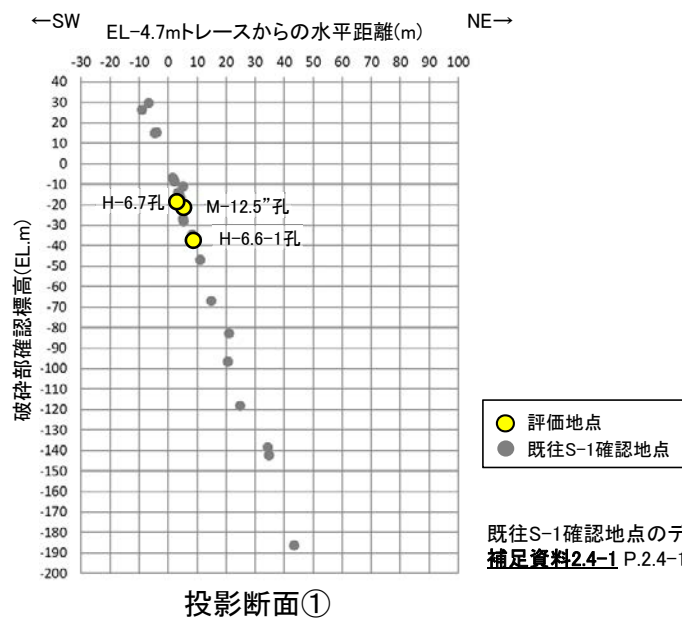
## 5.2.2 S-1

## 5.2.2 S-1の鉱物脈法による評価

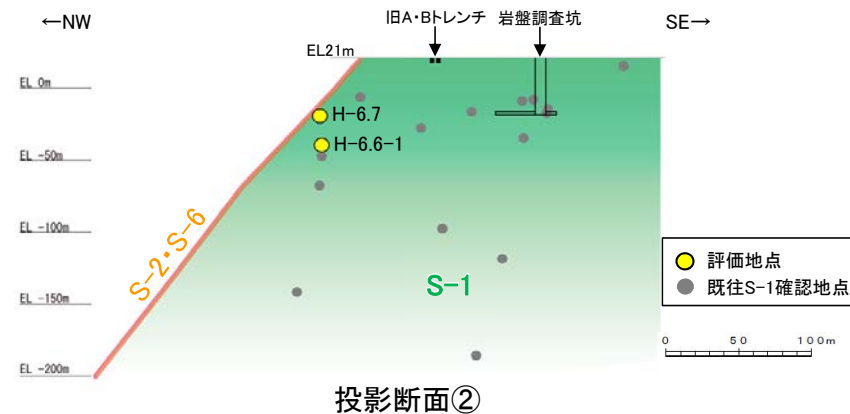
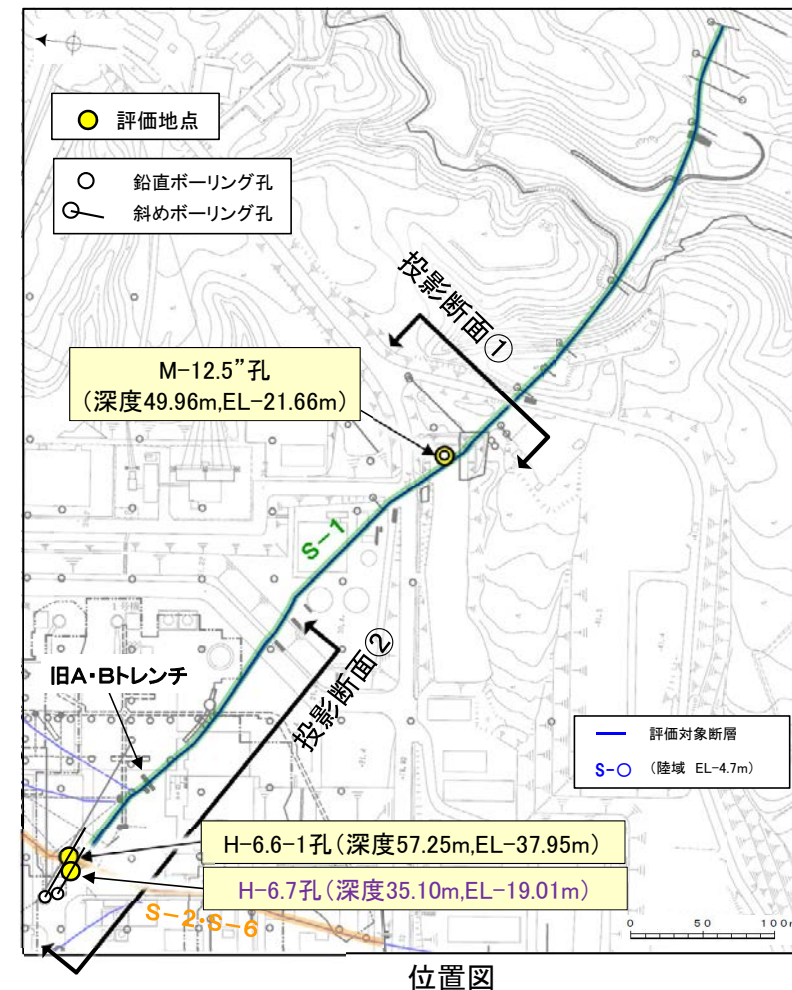
### ■ 鉱物脈法による評価

- 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され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され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.85~98
H-6.7孔 (深度35.10m, EL-19.01m)	P.99~109
M-12.5”孔 (深度49.96m, EL-21.66m)	P.110~123

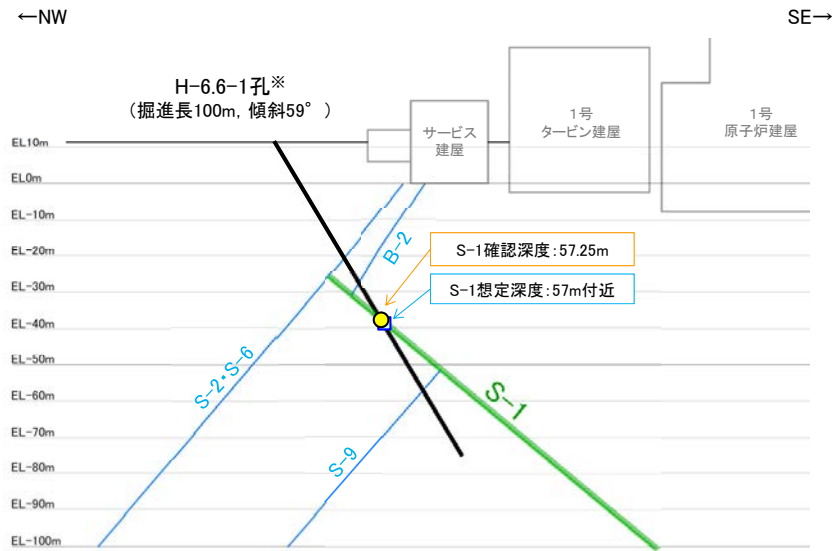


紫字:第875回審査会合以降の追加箇所

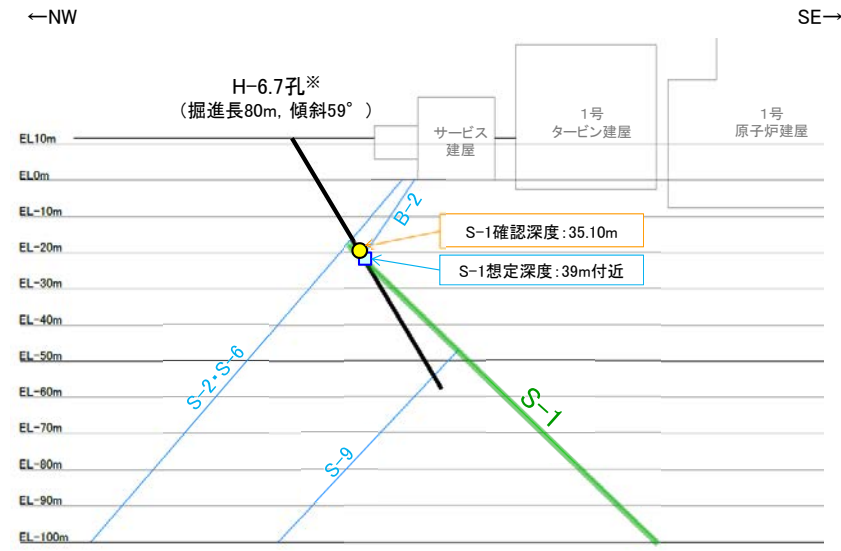




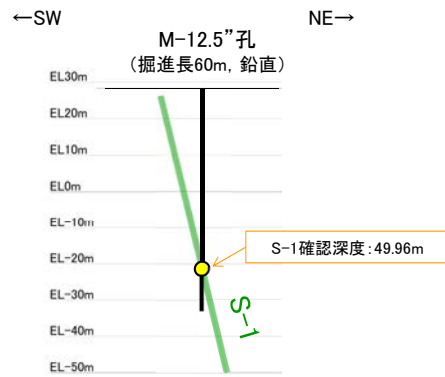
## 【断面図】



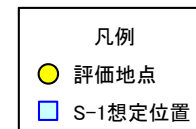
H-6.6-1孔断面図  
(掘進方向, H:V=1:1)



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](#)

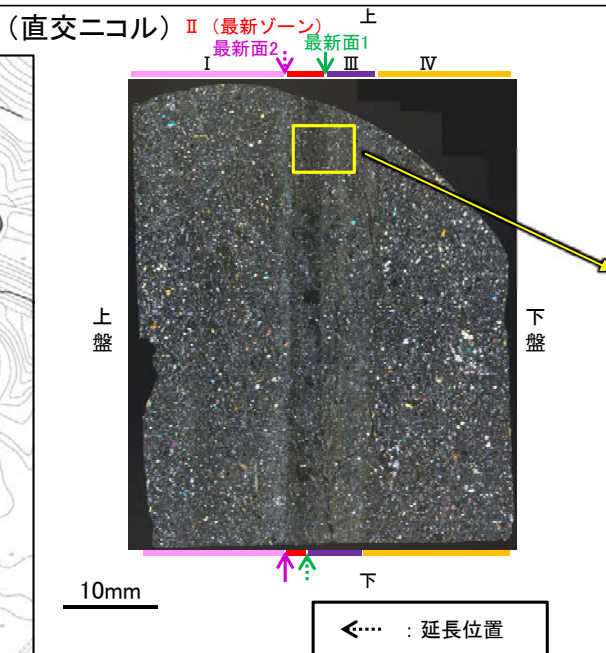
これらの図の断層線は, 周辺の露頭やボーリングでの出現位置を基に描いている。

## 5.2.2 S-1 (1) H-6.6-1孔 一概要一

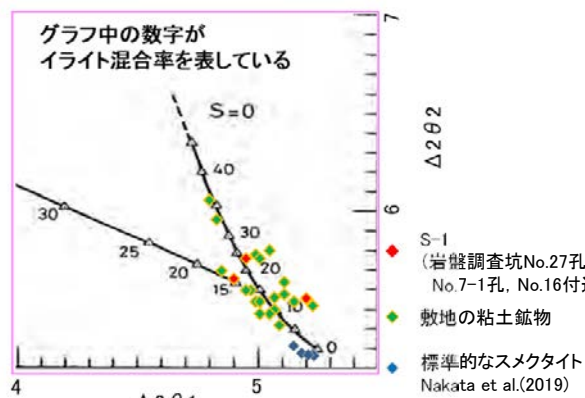
- H-6.6-1孔の深度57.20m付近で認められるS-1において、最新面と変質鉱物との関係による評価を行った。
- 最新ゾーンやその周辺に分布する粘土鉱物は、EPMA分析(定量)による化学組成の検討結果及びXRD分析(粘土分濃集)による結晶構造判定結果から、I/S混合層であると判断される。
- 最新面付近には広く粘土鉱物(I/S混合層)が分布し、最新面が不明瞭かつ不連続になっており、不連続箇所の粘土鉱物(I/S混合層)に変位・変形は認められない。
- なお、不連続箇所には、I/S混合層生成以降の注入の痕跡や、薄片作成時等の乱れの影響は認められない。



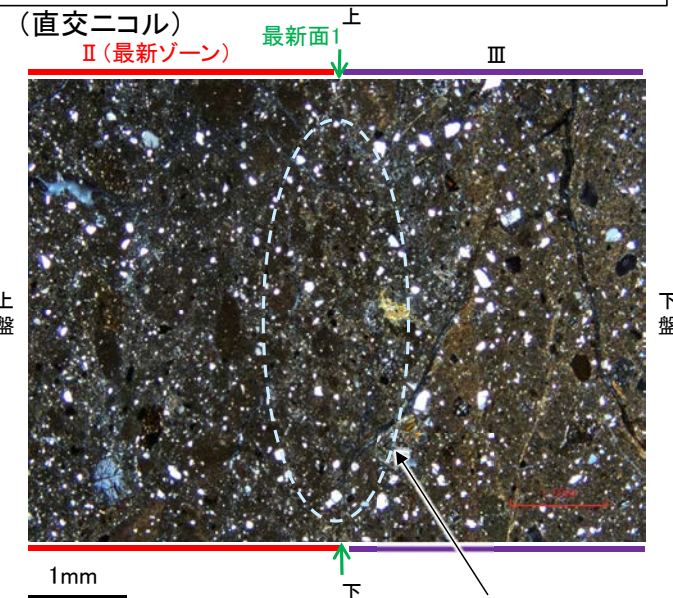
調査位置図



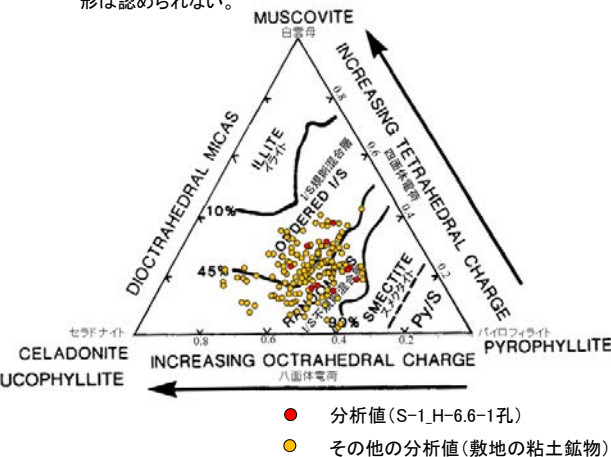
観察用薄片写真(H-6.6-1\_71R)



I/S混合層の構造判定図  
(渡辺(1981)に一部加筆)



・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。



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)



## 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

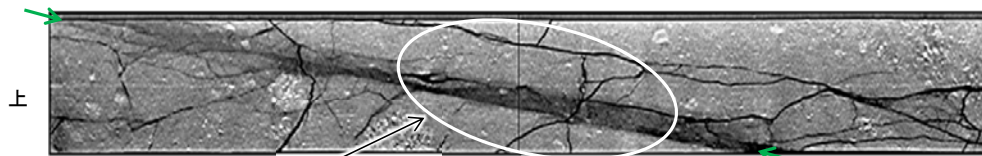


主せん断面 走向傾斜: N66° W/80° NE



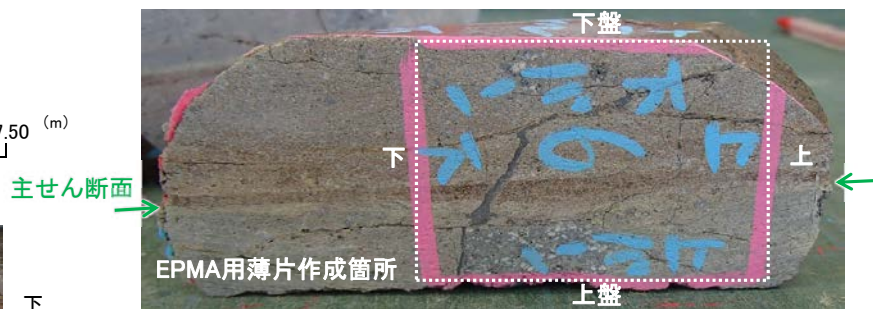
ボーリングコア写真(H-6.6-1孔)

主せん断面



右ブロック採取箇所

CT画像(H-6.6-1孔)



1cm

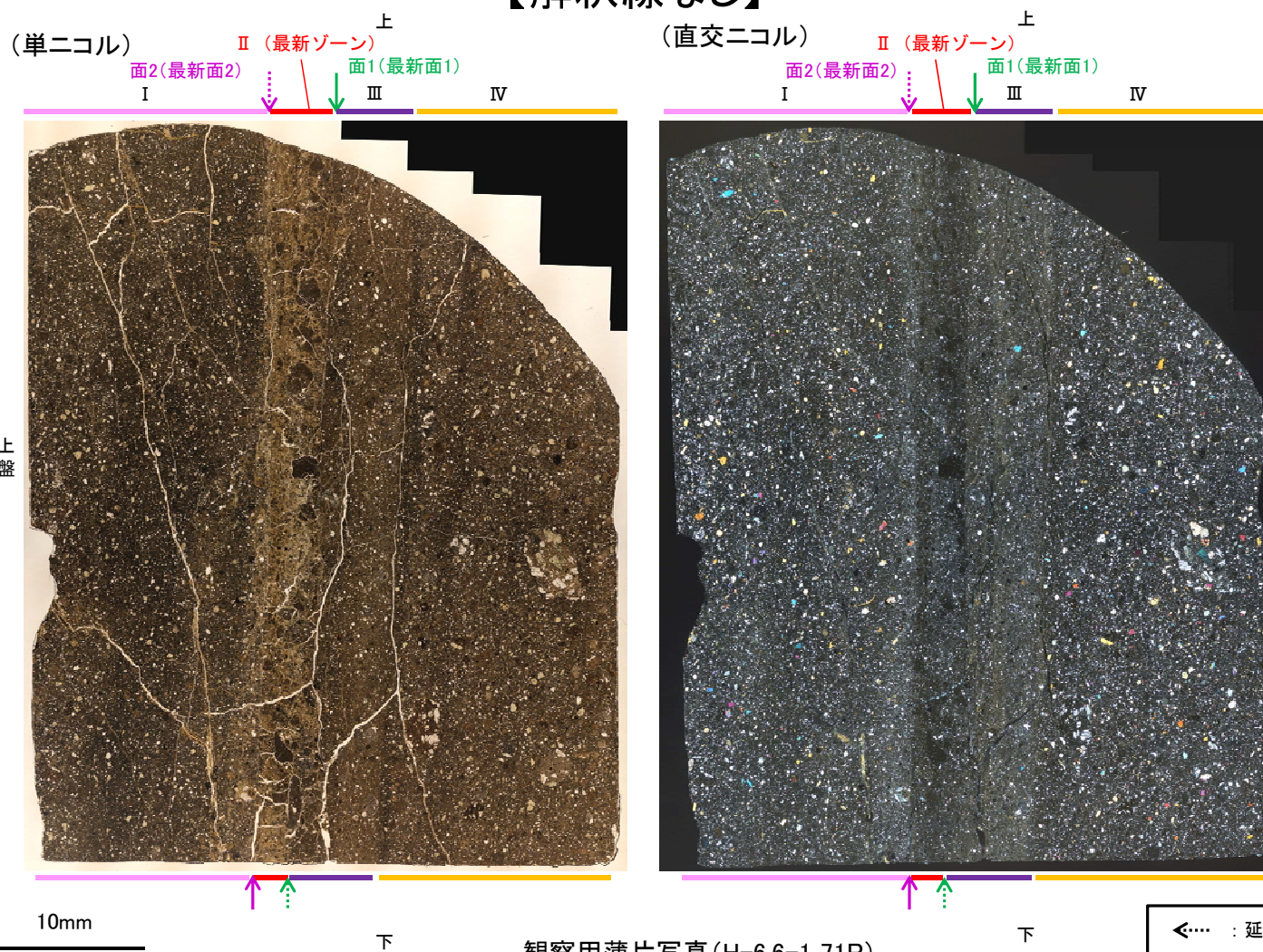
ブロック写真



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

- 観察用薄片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 に分帯される。
- 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される。

### 【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されている。

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されている。

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されている。

10mm

下

観察用薄片写真(H-6.6-1\_71R)

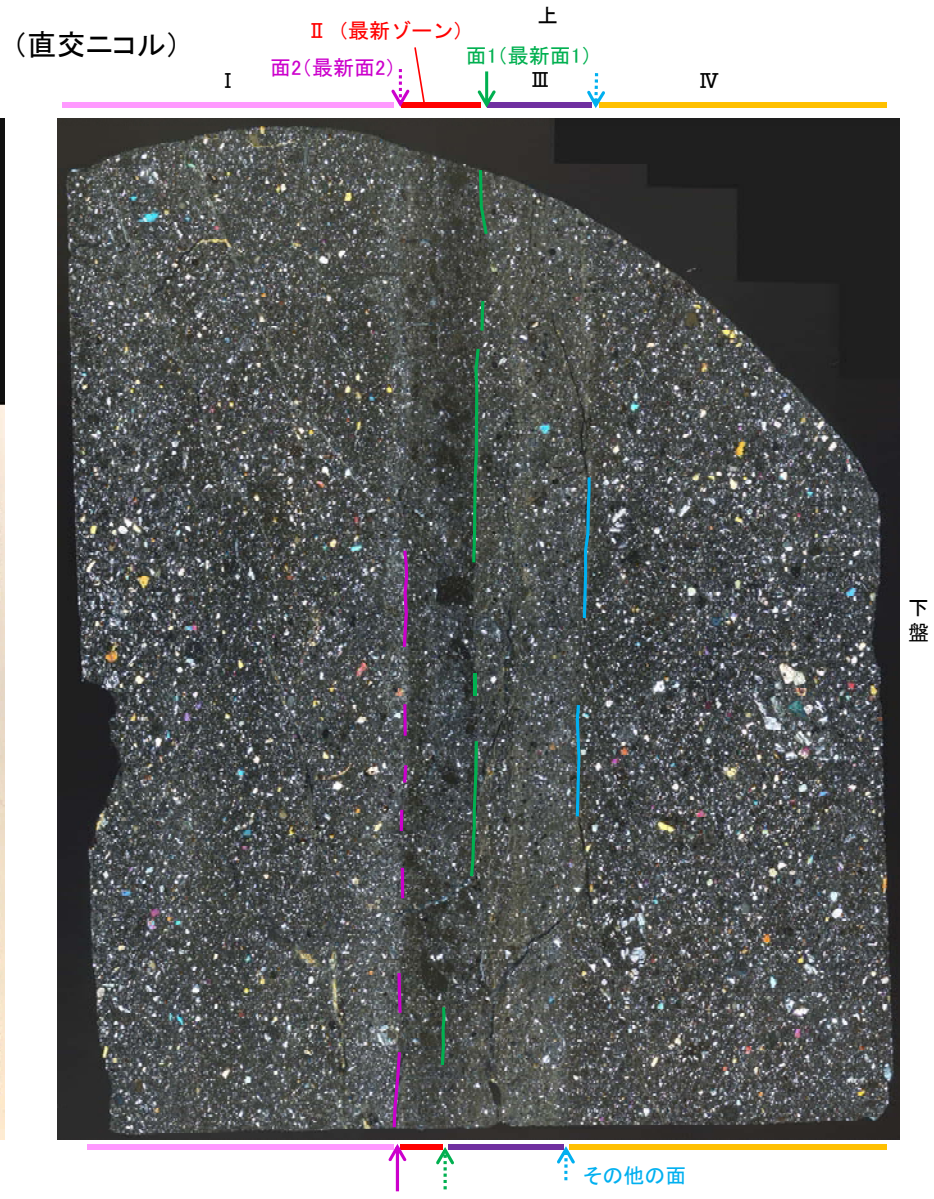
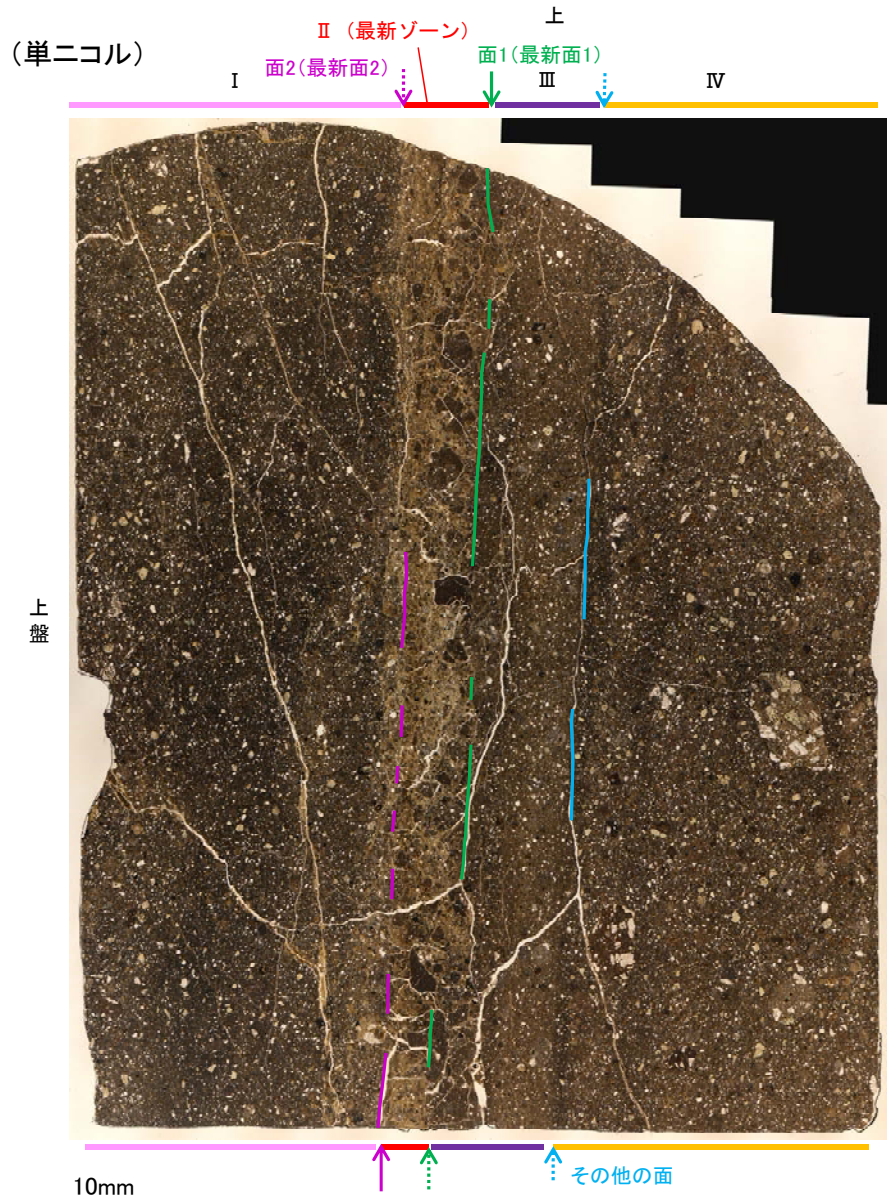
下

◀... : 延長位置



S-1\_H-6.6-1孔

【解釈線あり】



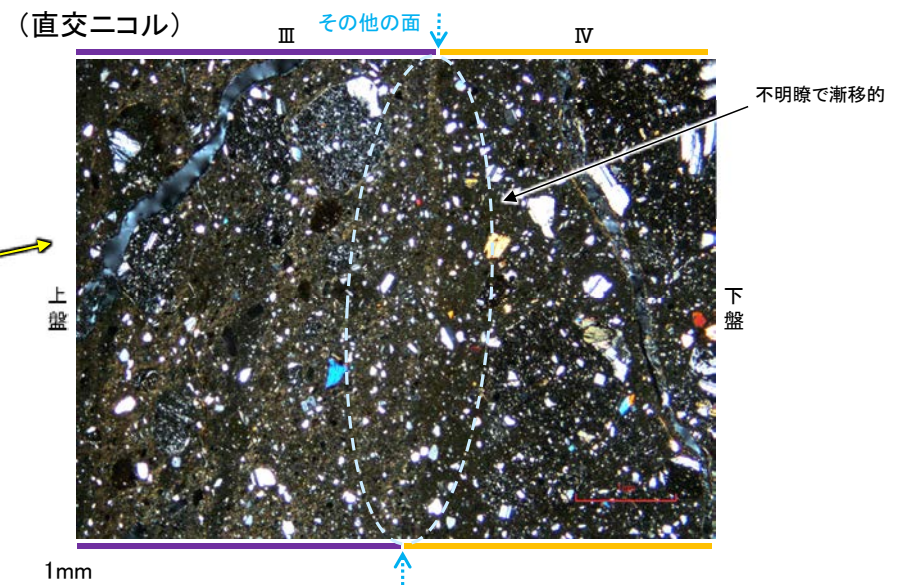
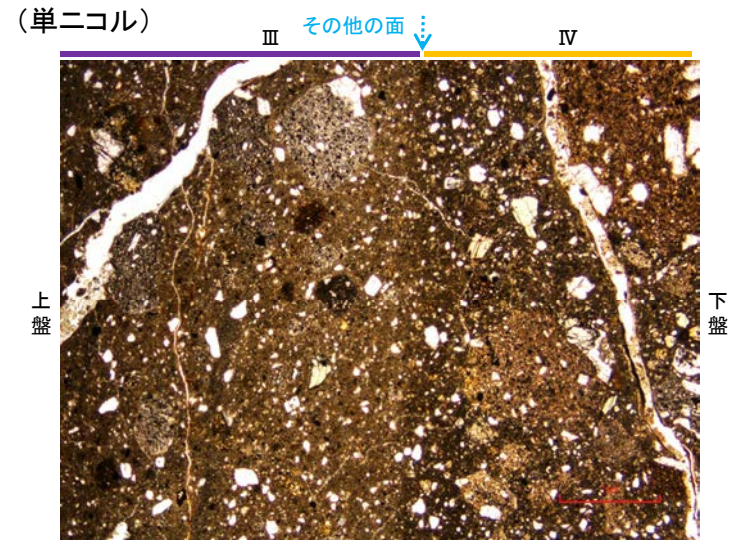
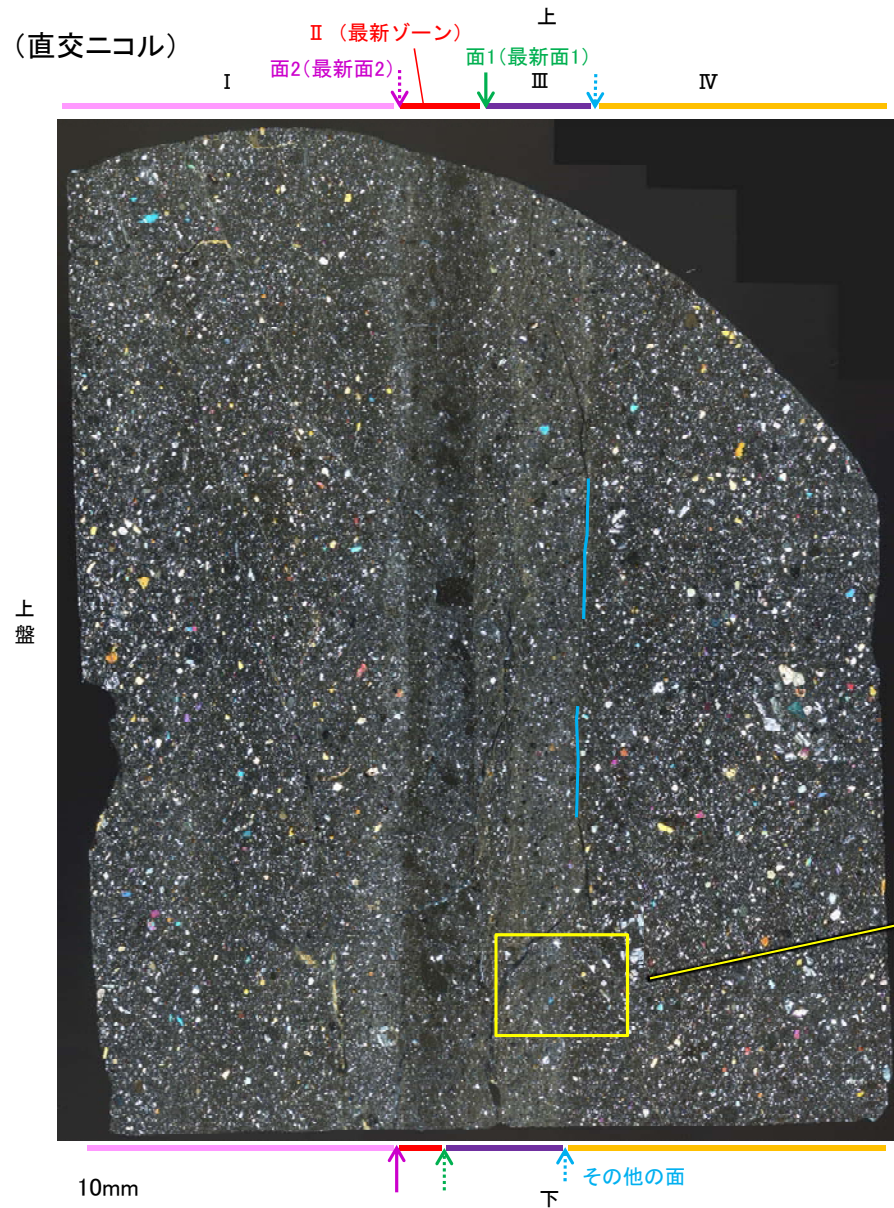
観察用薄片写真(H-6.6-1\_71R)

←… : 延長位置



## 5.2.2 S-1 (1) H-6.6-1孔 -その他の面の詳細観察-

○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される。



10mm

1mm

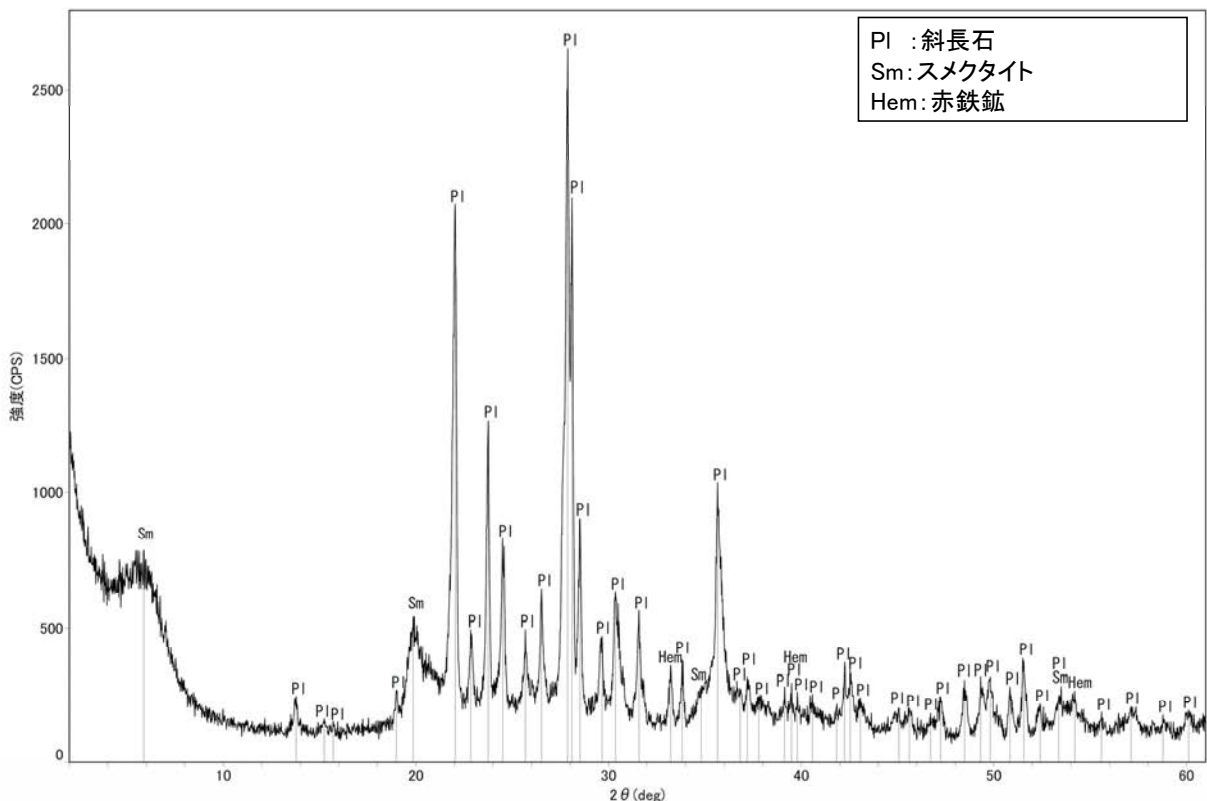
観察用薄片写真(H-6.6-1\_71R)

←… : 延長位置



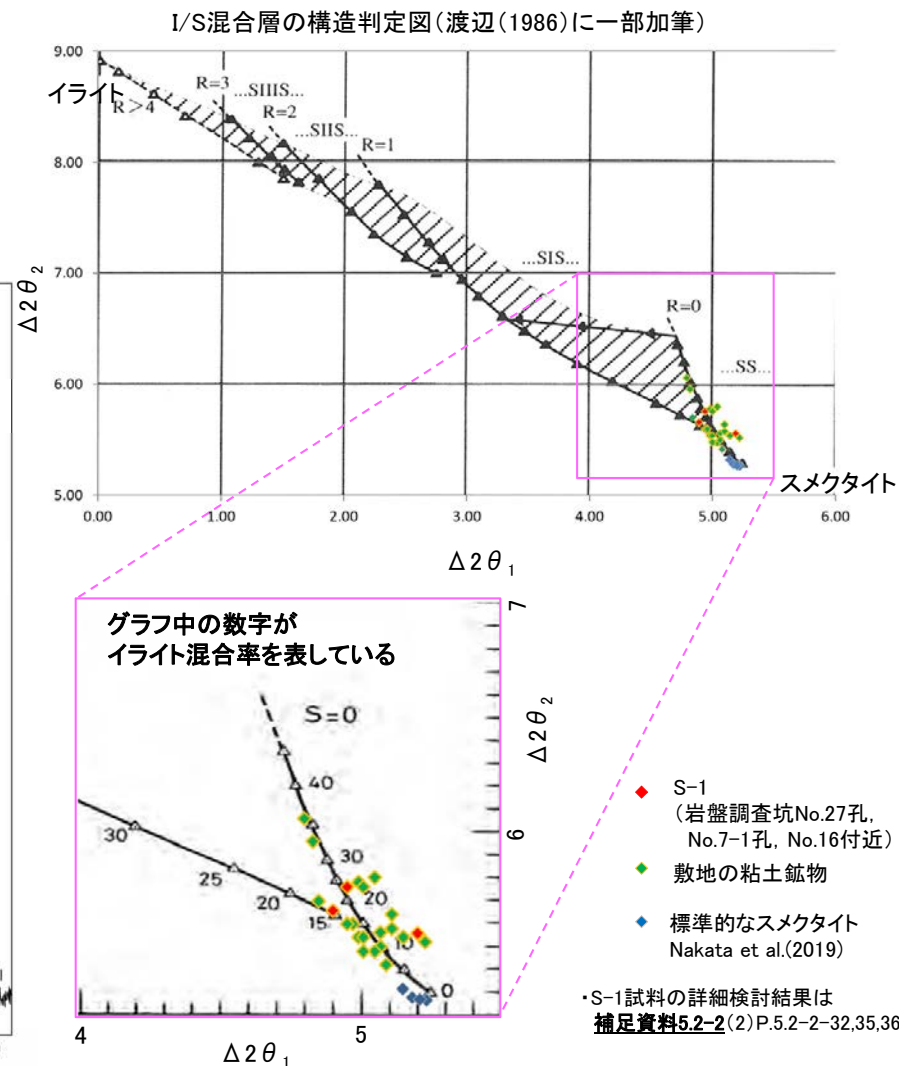
# 5.2.2 S-1 (1) H-6.6-1孔 – 鉱物の同定(XRD分析) –

- 最新ゾーン付近で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。
- スメクタイトについて詳細な結晶構造判定を行うために, 同一断層の別孔(岩盤調査坑No.27孔, No.7-1孔, No.16付近)の破砕部においてXRD分析(粘土分濃集)を実施した結果, I/S混合層と判定される。



回折チャート(不定方位)

・回折チャート(定方位, EG処理)については,  
補足資料5.2-12(1) P.5.2-12-7

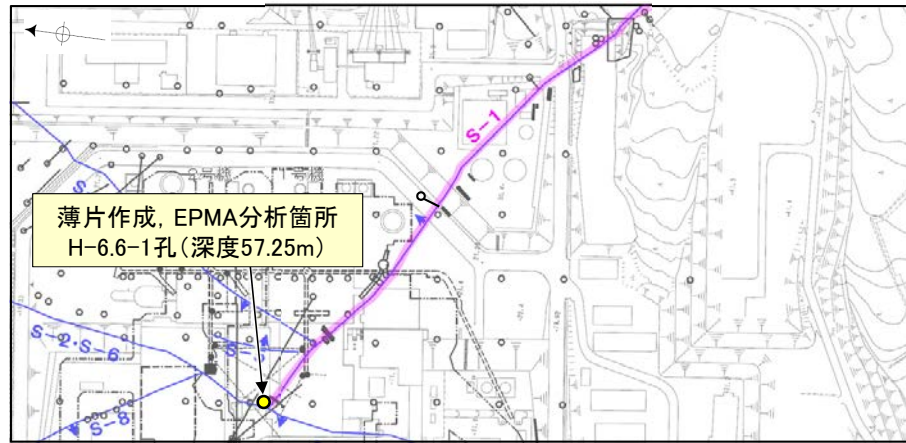


I/S混合層の構造判定図(渡辺(1981)に一部加筆)

・S-1試料の詳細検討結果は  
補足資料5.2-2(2) P.5.2-2-32,35,36

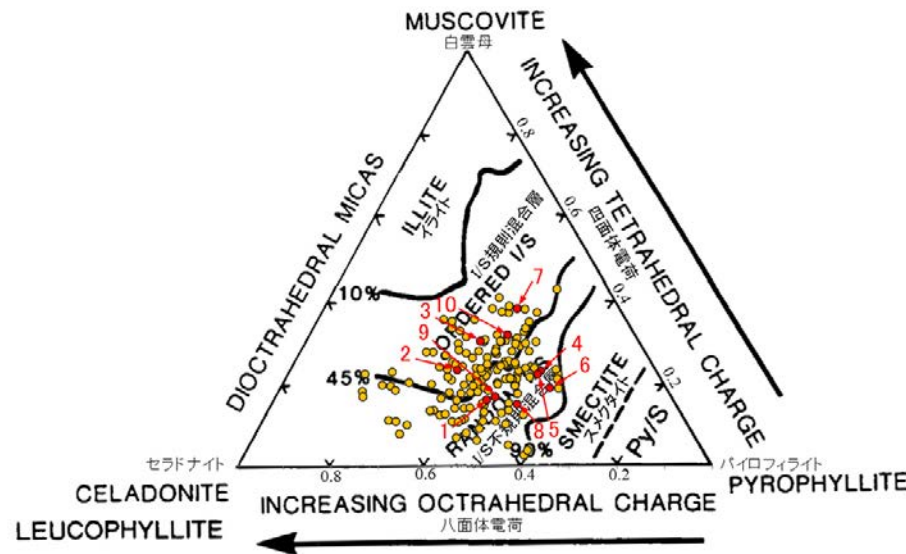
# 5.2.2 S-1 (1) H-6.6-1孔 — 鉱物の同定(EPMA分析(定量)) —

○EPMA用薄片で実施したEPMA分析(定量)による化学組成の検討結果から、最新ゾーンやその周辺に分布する粘土鉱物はI/S混合層であると判断される。



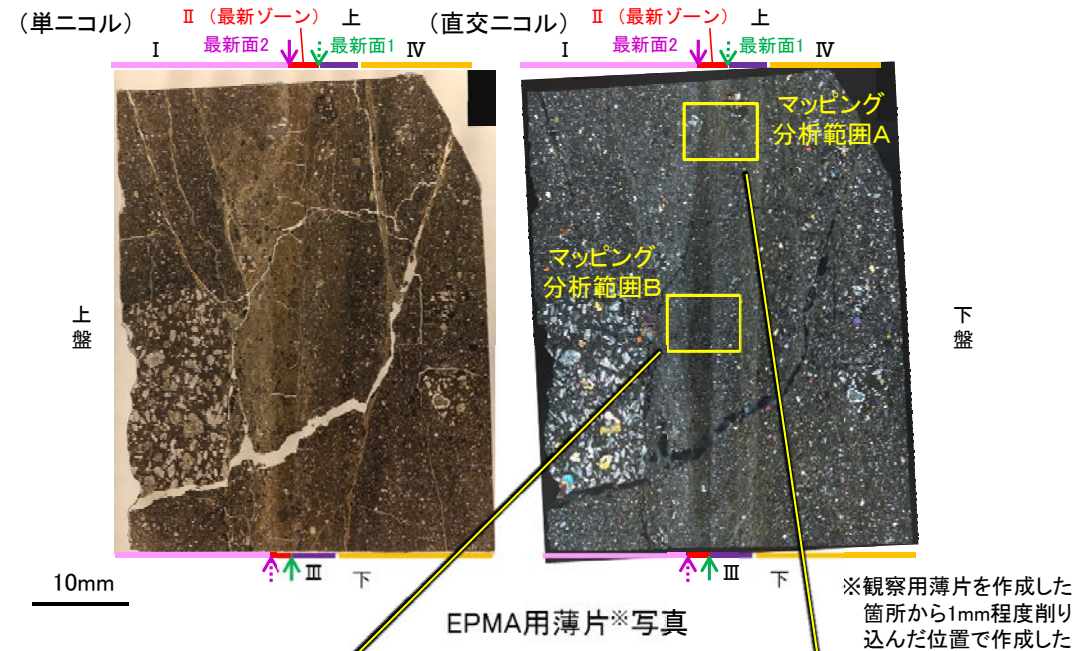
調査位置図

— 評価対象断層  
S-O (陸域 EL-4.7m)



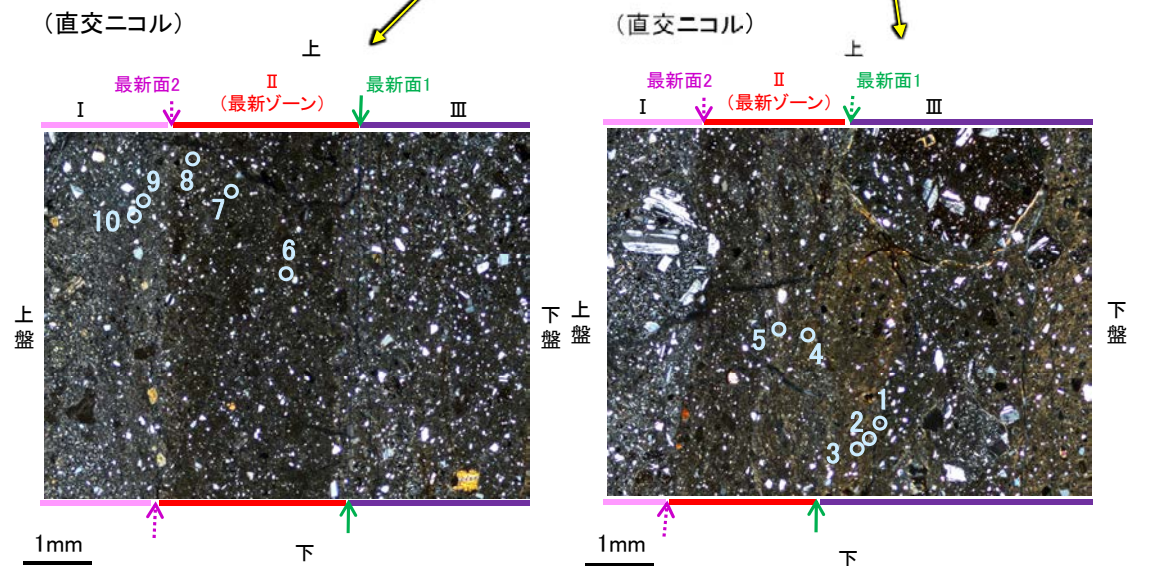
・詳細は補足資料5.2-2(3)P.5.2-2-69,70

- 分析値(S-1,H-6.6-1孔)  
分析番号位置は右図
- その他の分析値(敷地の粘土鉱物)



EPMA用薄片※写真

※観察用薄片を作成した箇所から1mm程度削り込んだ位置で作成した



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)

←... : 延長位置

マッピング分析範囲B写真

マッピング分析範囲A写真

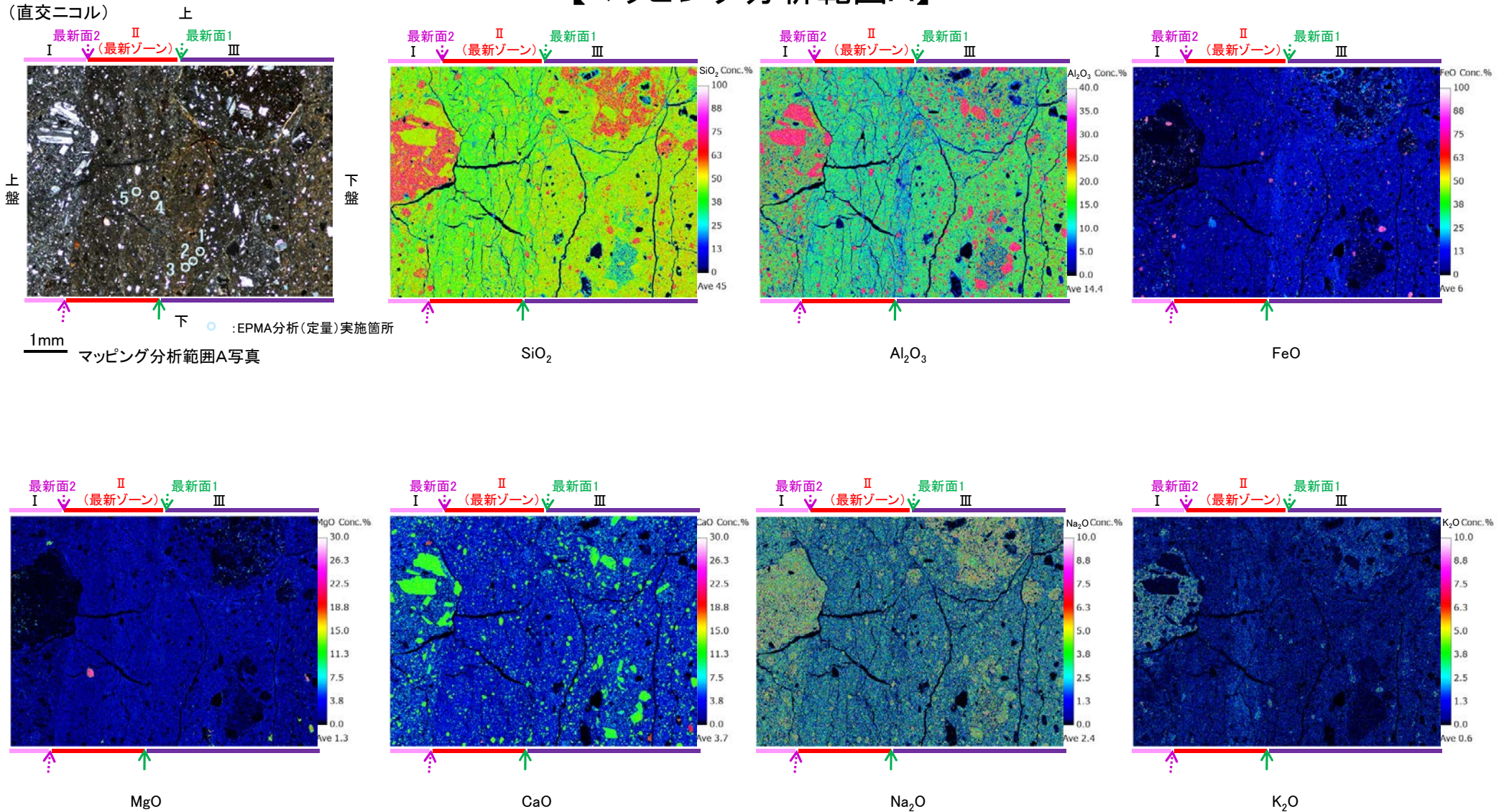


## 5.2.2 S-1 (1) H-6.6-1孔 ー変質鉱物の分布(EPMA分析(マッピング))ー

○EPMA用薄片でEPMA分析(マッピング)を実施した結果, EPMA分析(定量)で認められたI/S混合層が最新ゾーンやその周辺に分布していることを確認した。

### 【マッピング分析範囲A】

←… : 延長位置





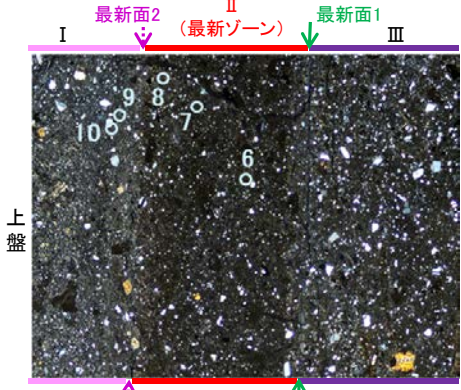
S-1\_H-6.6-1孔

【マッピング分析範囲B】

←… : 延長位置

(直交ニコル)

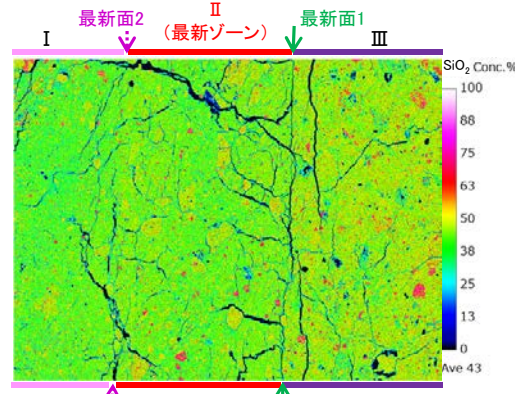
上



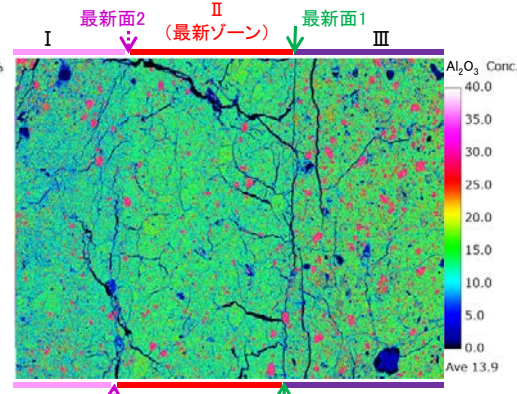
上盤

下盤

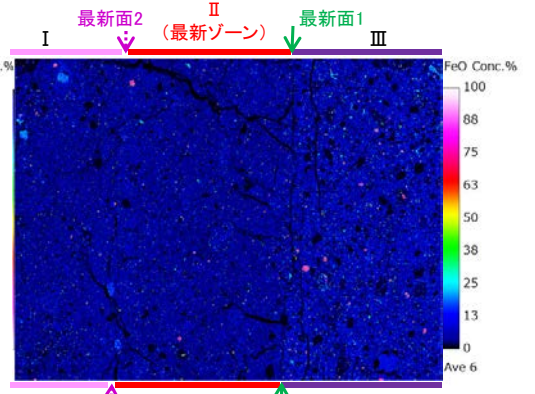
1mm  
下 ○ : EPMA分析(定量)実施箇所  
マッピング分析範囲B写真



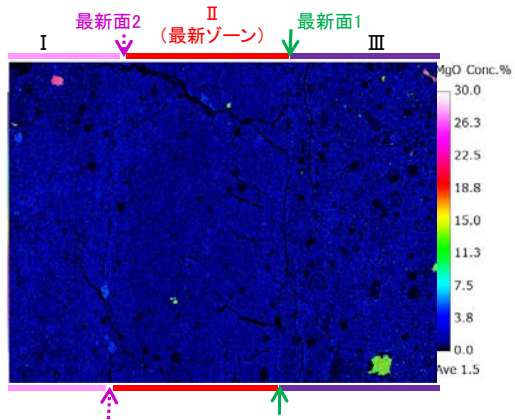
SiO<sub>2</sub>



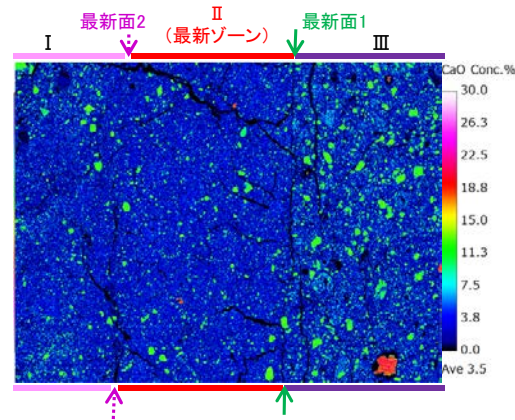
Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>



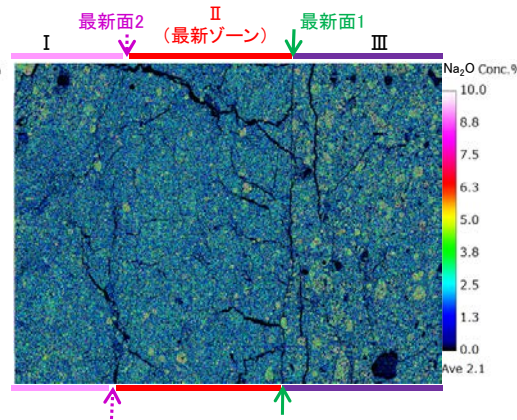
FeO



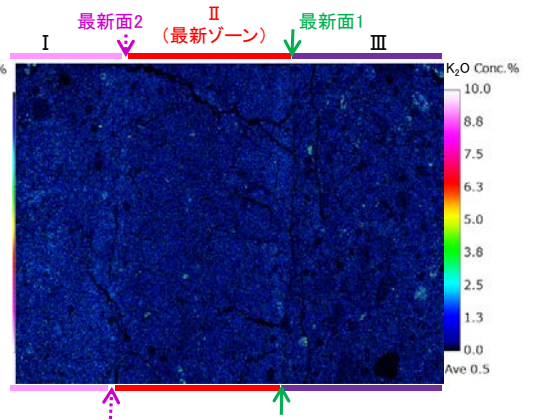
MgO



CaO



Na<sub>2</sub>O

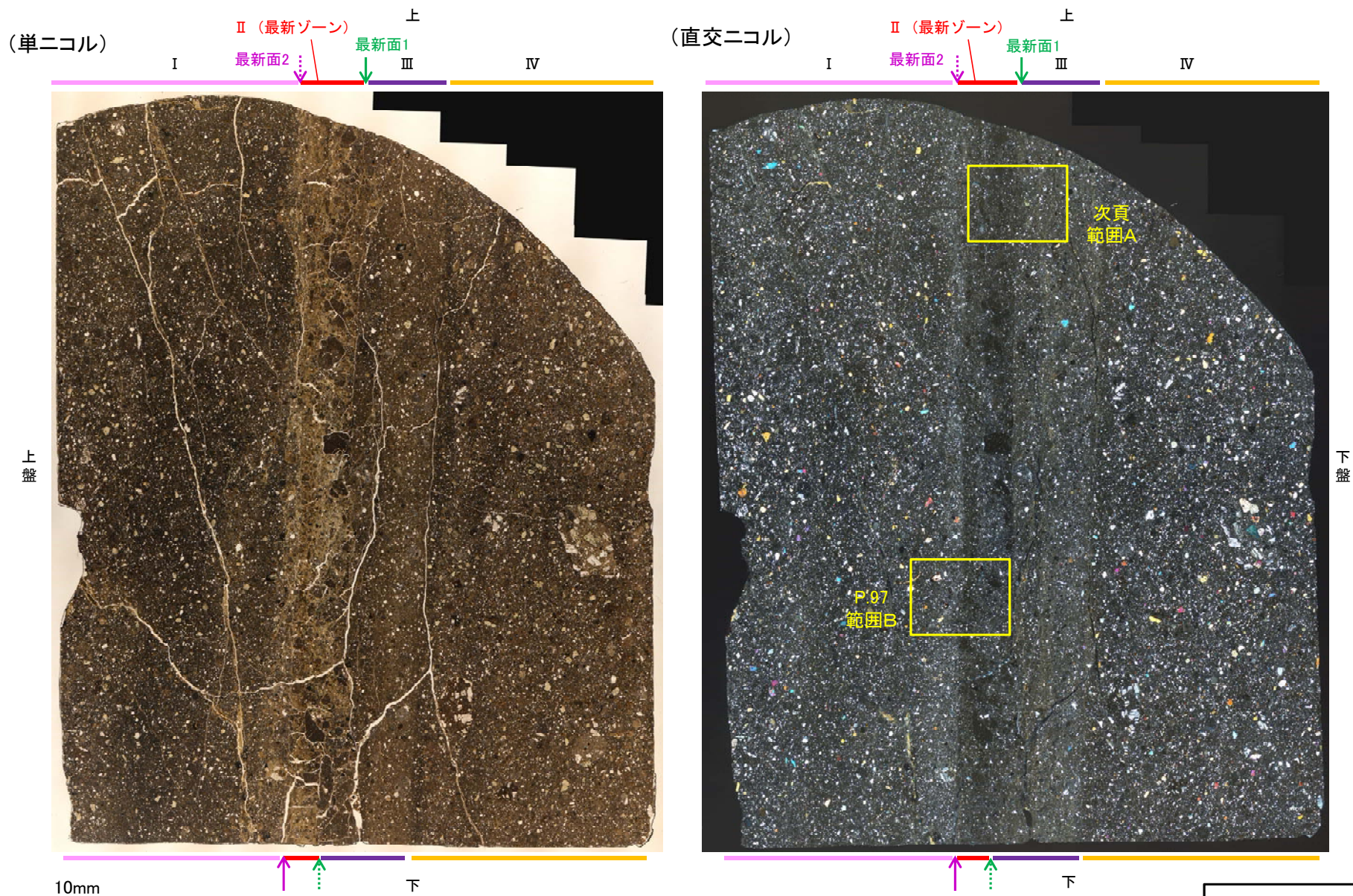


K<sub>2</sub>O



## 5.2.2 S-1 (1) H-6.6-1孔 ー変質鉱物の分布(薄片観察)ー

- 観察用薄片で実施した薄片観察や、EPMA用薄片で実施したEPMA分析(マッピング)における化学組成の観点での観察より、I/S混合層が最新ゾーンやその周辺に分布していることを確認した。
- このI/S混合層と最新面との関係を確認する。



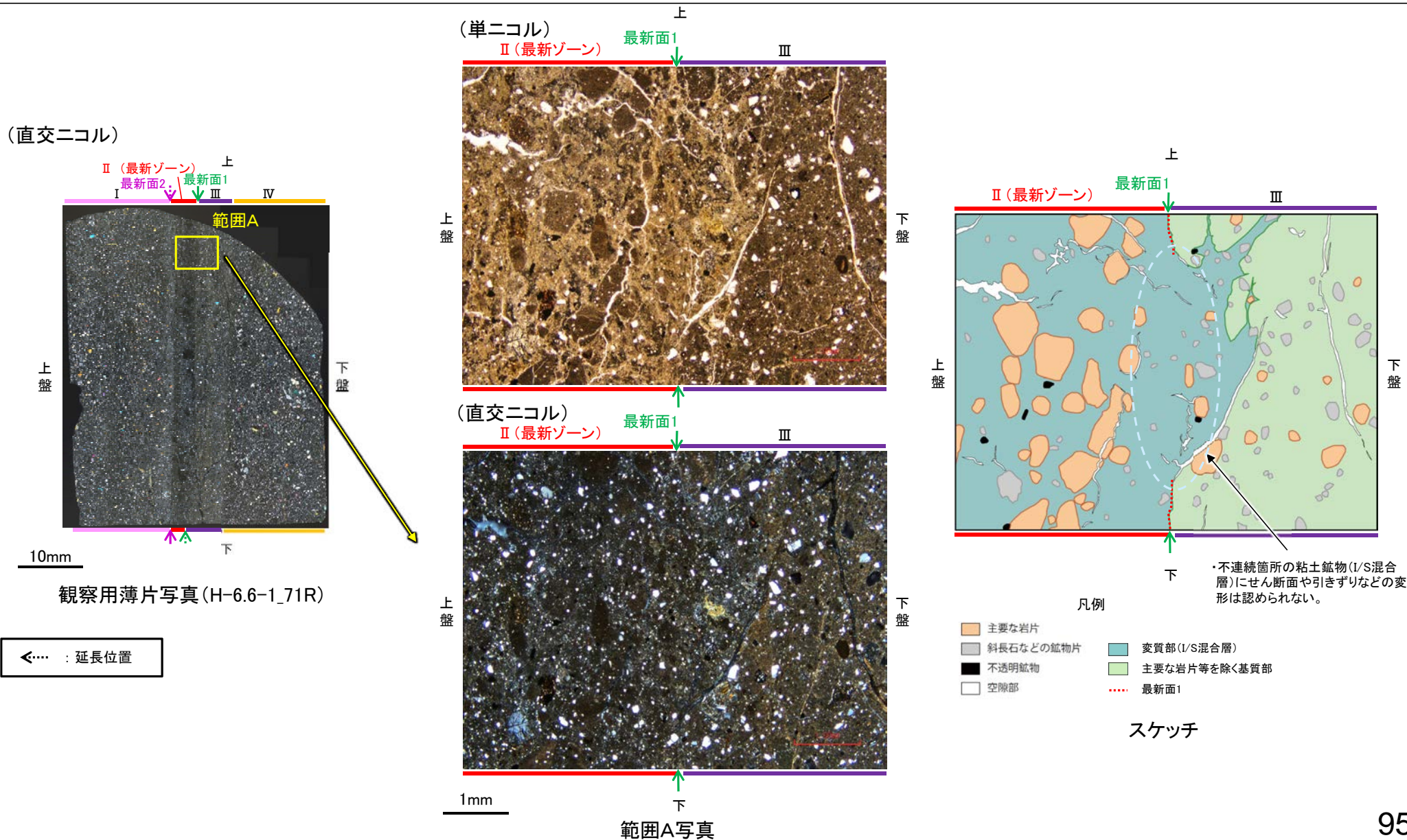
観察用薄片写真(H-6.6-1\_71R)

←… : 延長位置



## 5.2.2 S-1 (1) H-6.6-1孔 ー最新面とI/S混合層との関係(範囲A)ー

- 範囲Aにおいて詳細に観察した結果、最新面1付近には広く粘土鉱物(I/S混合層)が分布し、最新面1が不明瞭かつ不連続になっており、不連続箇所(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。
- なお、不連続箇所においてI/S混合層生成以降の注入現象の有無を確認した結果、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。
- さらに、薄片作成時等に生じた空隙は、明確に認定できる最新面1が不連続になる箇所の粘土鉱物(I/S混合層)の構造に影響を与えていないことから、不連続箇所は薄片作成時等の乱れの影響を受けていないと判断できる。

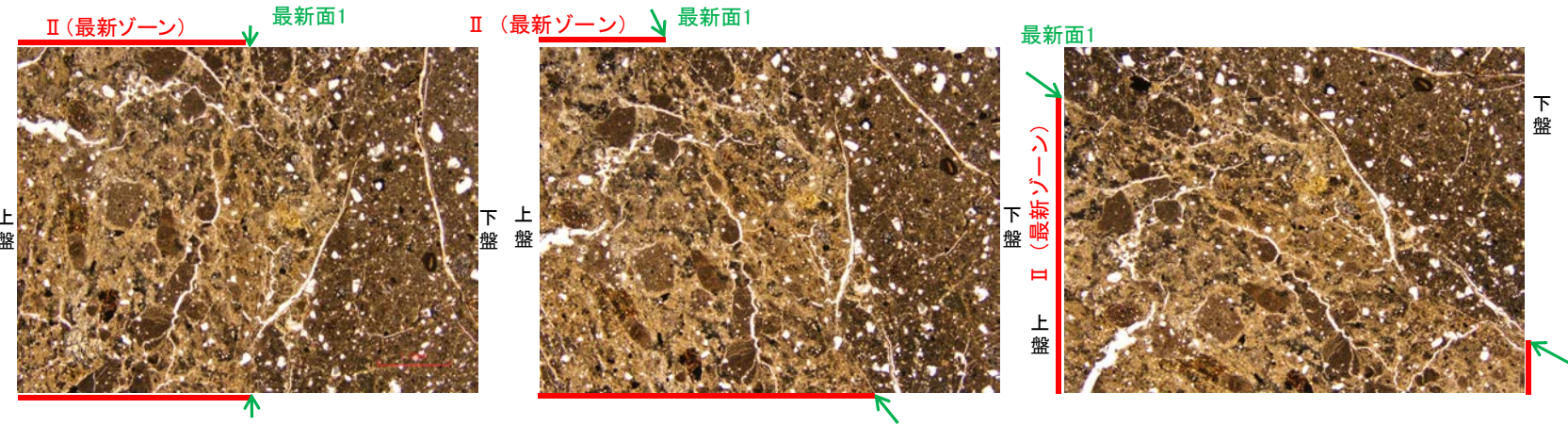




S-1\_H-6.6-1孔

## 【ステージ回転(範囲A)】

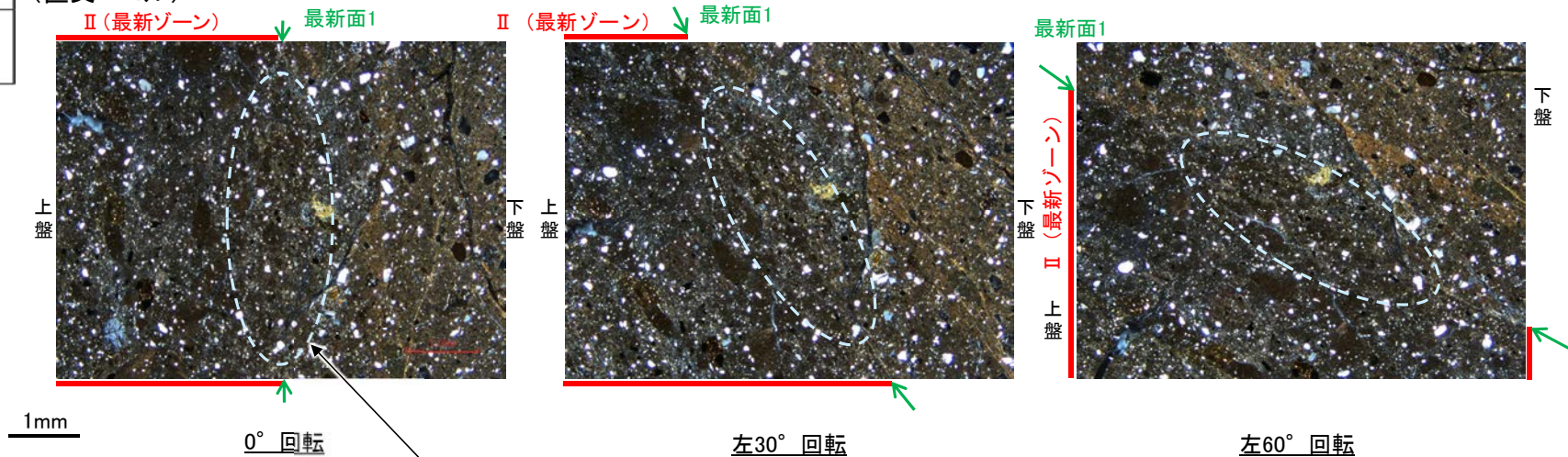
(単ニコル)



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

注入現象の事例  
(関西電力美浜発電所3号炉  
第361回審査会合資料引用)

(直交ニコル)



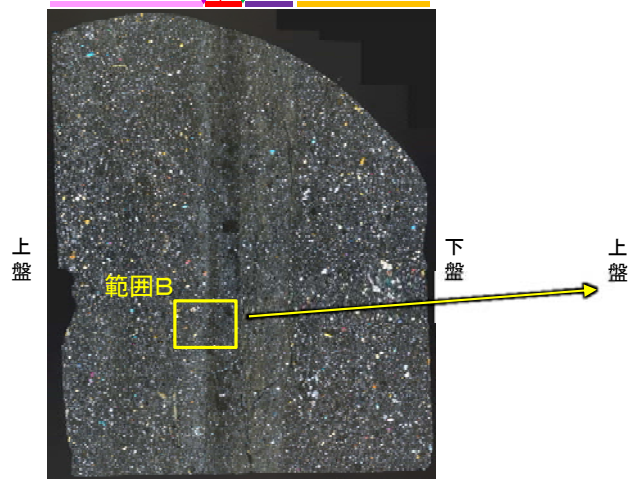
- ・不連続箇所(粘土鉱物(I/S混合層)にせん断面や引きずりなどの変形は認められない。
- ・注入の痕跡は認められない。



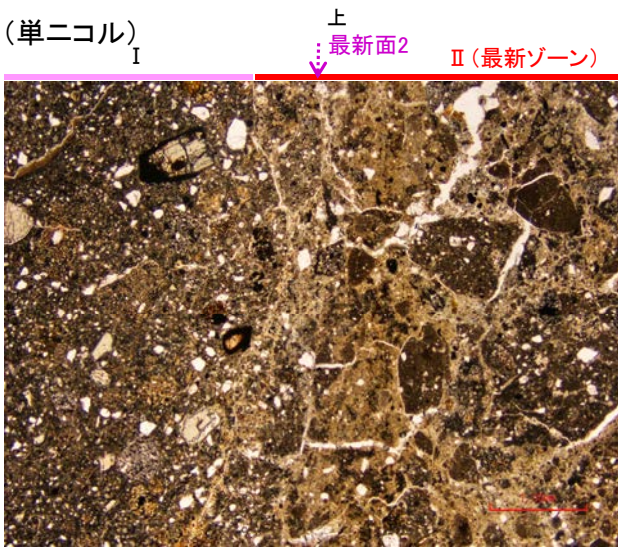
## 5.2.2 S-1 (1) H-6.6-1孔 ー最新面とI/S混合層との関係(範囲B)ー

- 範囲Bにおいて詳細に観察した結果、最新面2付近には広く粘土鉱物(I/S混合層)が分布し、最新面2が不明瞭かつ不連続になっており、不連続箇所の粘土鉱物(I/S混合層)にせん断面や引きずりなどの変形は認められない。
- なお、不連続箇所においてI/S混合層生成以降の注入現象の有無を確認した結果、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。
- さらに、薄片作成時等に生じた空隙は、明確に認定できる最新面2が不連続になる箇所の粘土鉱物(I/S混合層)の構造に影響を与えていないことから、不連続箇所は薄片作成時等の乱れの影響を受けていないと判断できる。

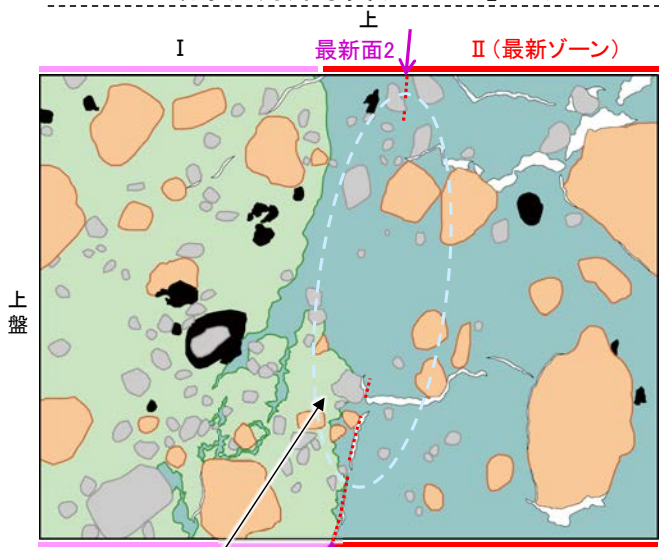
(直交ニコル) II (最新ゾーン) 上  
I 最新面2 最新面1 III IV  
←… : 延長位置



10mm 観察用薄片写真(H-6.6-1.71R)



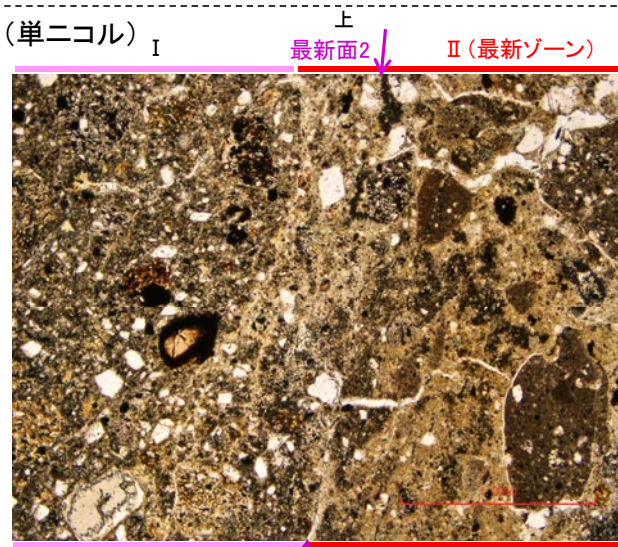
範囲B写真



・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。

スケッチ

■ 主要な岩片  
■ 斜長石などの鉱物片  
■ 変質部(I/S混合層)  
■ 不透明鉱物  
■ 空隙部  
..... 最新面2



詳細観察範囲写真

※範囲Bの上部において、最新ゾーンと分帯Iとの境界は不明瞭であり、境界の下盤側に分布する直線的な面構造を最新面とした。

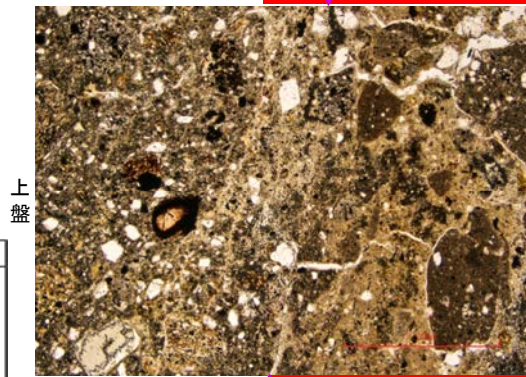


S-1\_H-6.6-1孔

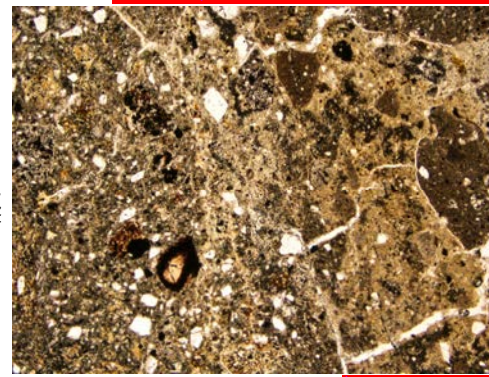
### 【ステージ回転(範囲B)】

(単ニコル)

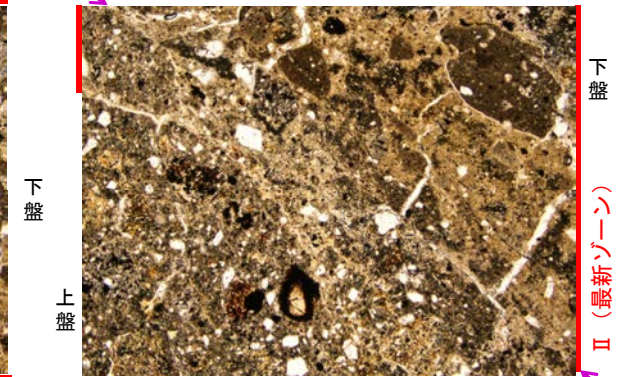
最新面2 ↓ II (最新ゾーン)



最新面2 ↓ II (最新ゾーン)



最新面2 ↓

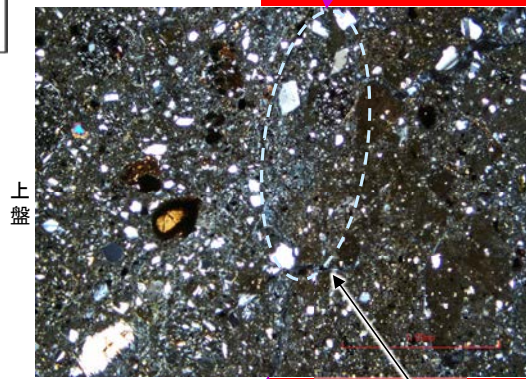


カリフォルニアの事例	阿寺断層の事例
注入方向	注入方向
注入脈の壁に沿って凸状上向き の弓状構造が認められる	注入方向に粒子の配列が認 められる

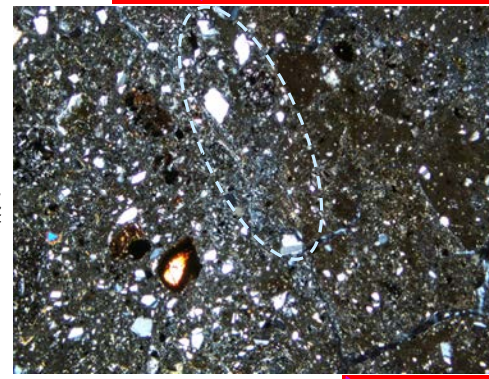
注入現象の事例  
(関西電力美浜発電所3号炉  
第361回審査会合資料引用)

(直交ニコル)

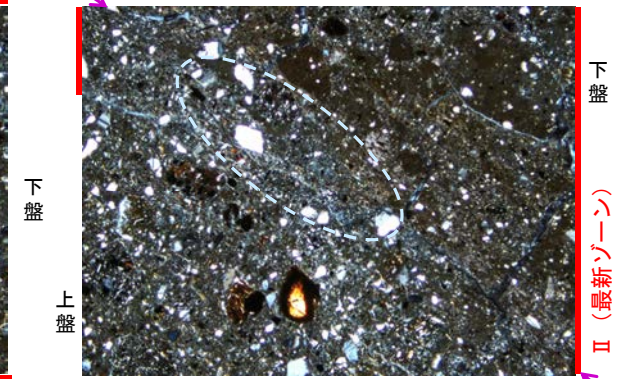
最新面2 ↓ II (最新ゾーン)



最新面2 ↓ II (最新ゾーン)



最新面2 ↓



0° 回転

左30° 回転

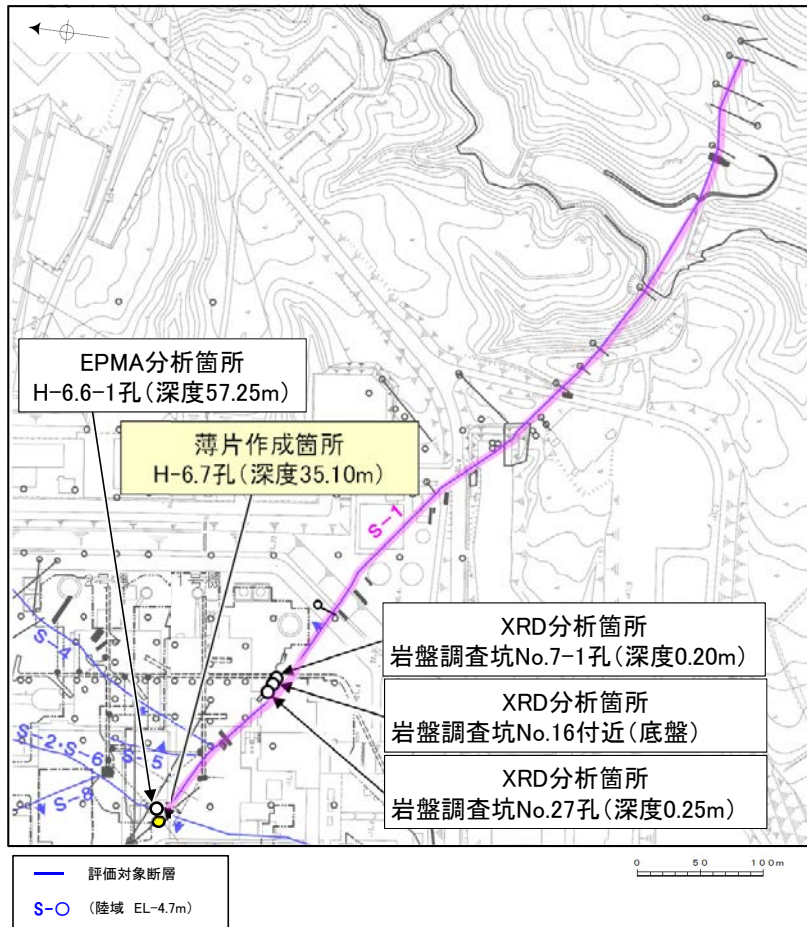
左60° 回転

- ・不連続箇所(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。
- ・注入の痕跡は認められない。

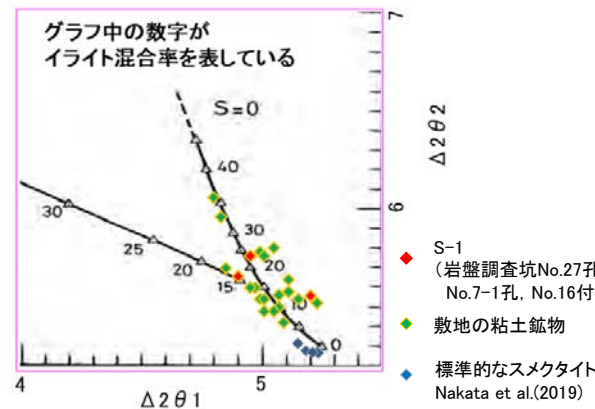
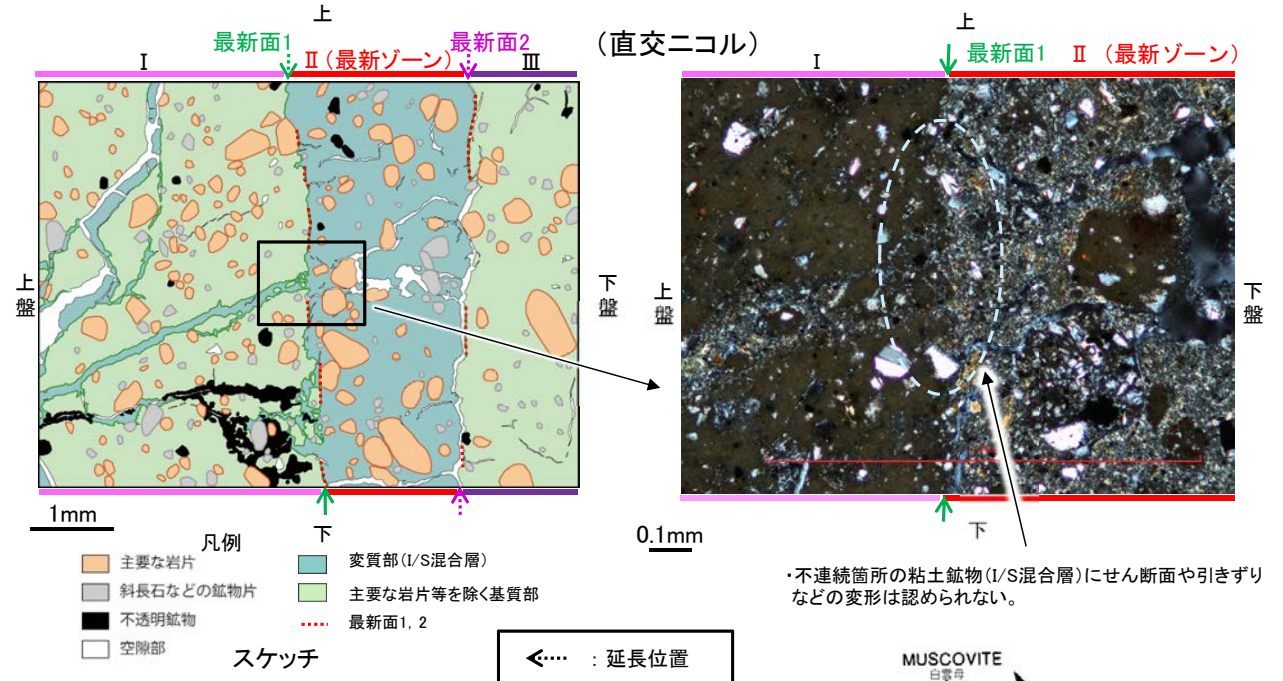


## 5.2.2 S-1 (2) H-6.7孔 一概要一

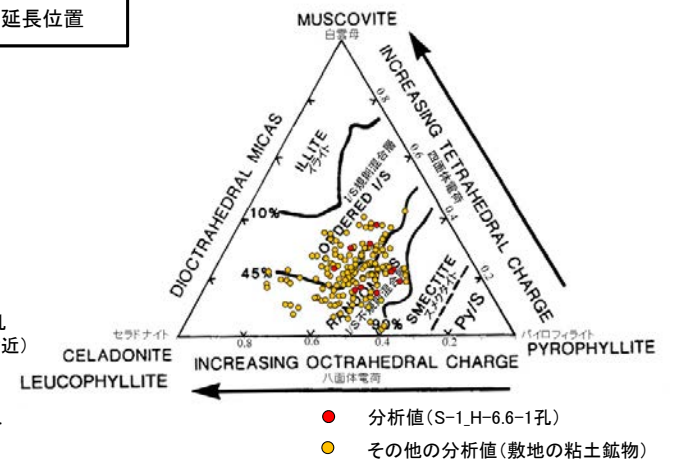
- H-6.7孔の深度35.10m付近で認められるS-1において、最新面と変質鉱物との関係による評価を行った。
- 最新ゾーンやその周辺に分布する粘土鉱物は、XRD分析(粘土分濃集)による結晶構造判定結果や隣接孔(H-6.6-1孔)で実施したEPMA分析(定量)による化学組成の検討結果から、I/S混合層であると判断される。
- 最新面付近には広く粘土鉱物(I/S混合層)が分布し、最新面が不明瞭かつ不連続になっており、不連続箇所の粘土鉱物(I/S混合層)に変位・変形は認められない。
- なお、不連続箇所には、I/S混合層生成以降の注入の痕跡や、薄片作成時等の乱れの影響は認められない。



調査位置図



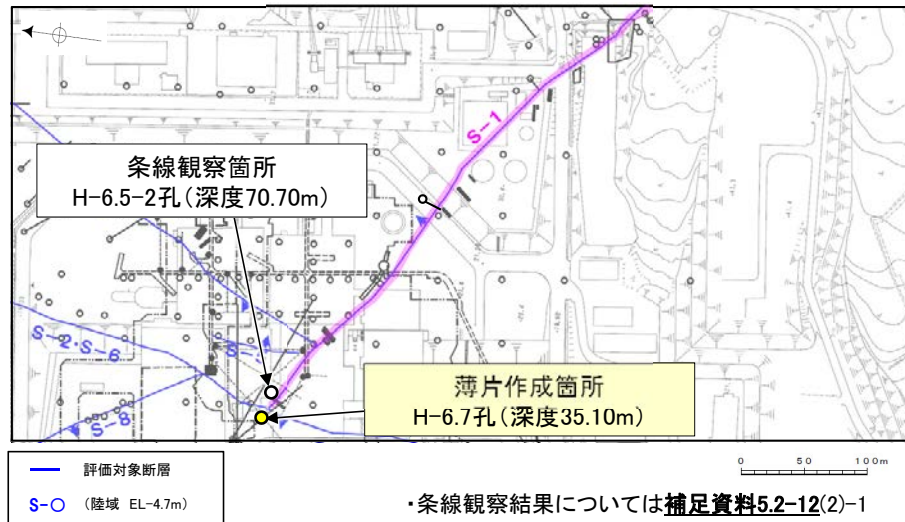
I/S混合層の構造判定図  
(渡辺(1981)に一部加筆)



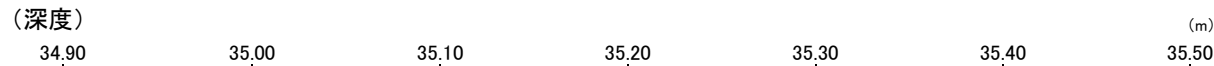
2八面体型雲母粘土鉱物及び関連鉱物の  
化学組成(Srodon et al. (1984)に一部加筆)

## 5.2.2 S-1 (2) H-6.7孔 ー最新面の認定(巨視的観察)ー

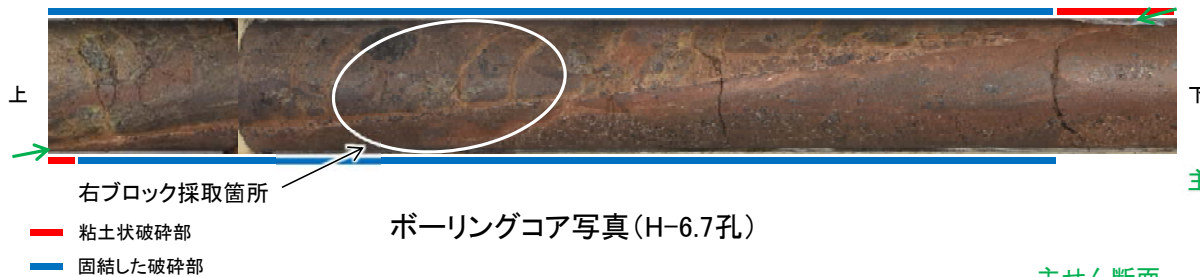
- H-6.7孔の深度35.10m付近で認められるS-1において、巨視的観察(ボーリングコア観察, CT画像観察)を実施し、最も直線性・連続性がよい断層面を主せん断面として抽出した。
- 隣接孔(H-6.5-2孔)の主せん断面における条線観察の結果、 $66^\circ$  Rの条線方向が確認されたことから、H-6.7孔において、 $66^\circ$  Rで薄片を作成した(ブロック写真)。



調査位置図

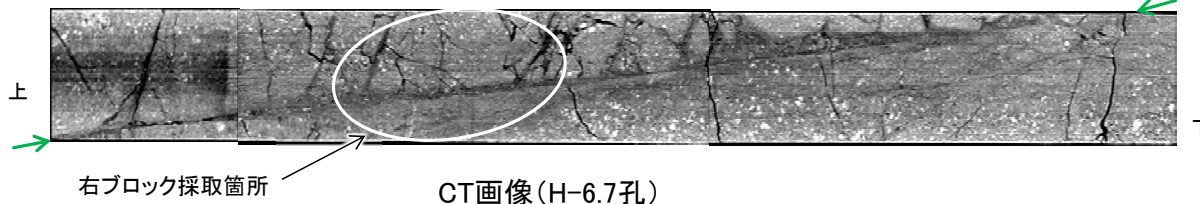


走向傾斜:  $N58^\circ W/75^\circ NE$  主せん断面



ボーリングコア写真(H-6.7孔)

主せん断面



CT画像(H-6.7孔)



ブロック写真



## 5.2.2 S-1 (2) H-6.7孔 ー最新面の認定(微視的観察)ー

- 観察用薄片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～Ⅲに分帯される。
- 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Ⅰ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Ⅲ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。

### 【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)・・・粘土状破碎部
- ・分帯Ⅰ, 分帯Ⅲ・・・固結した破碎部

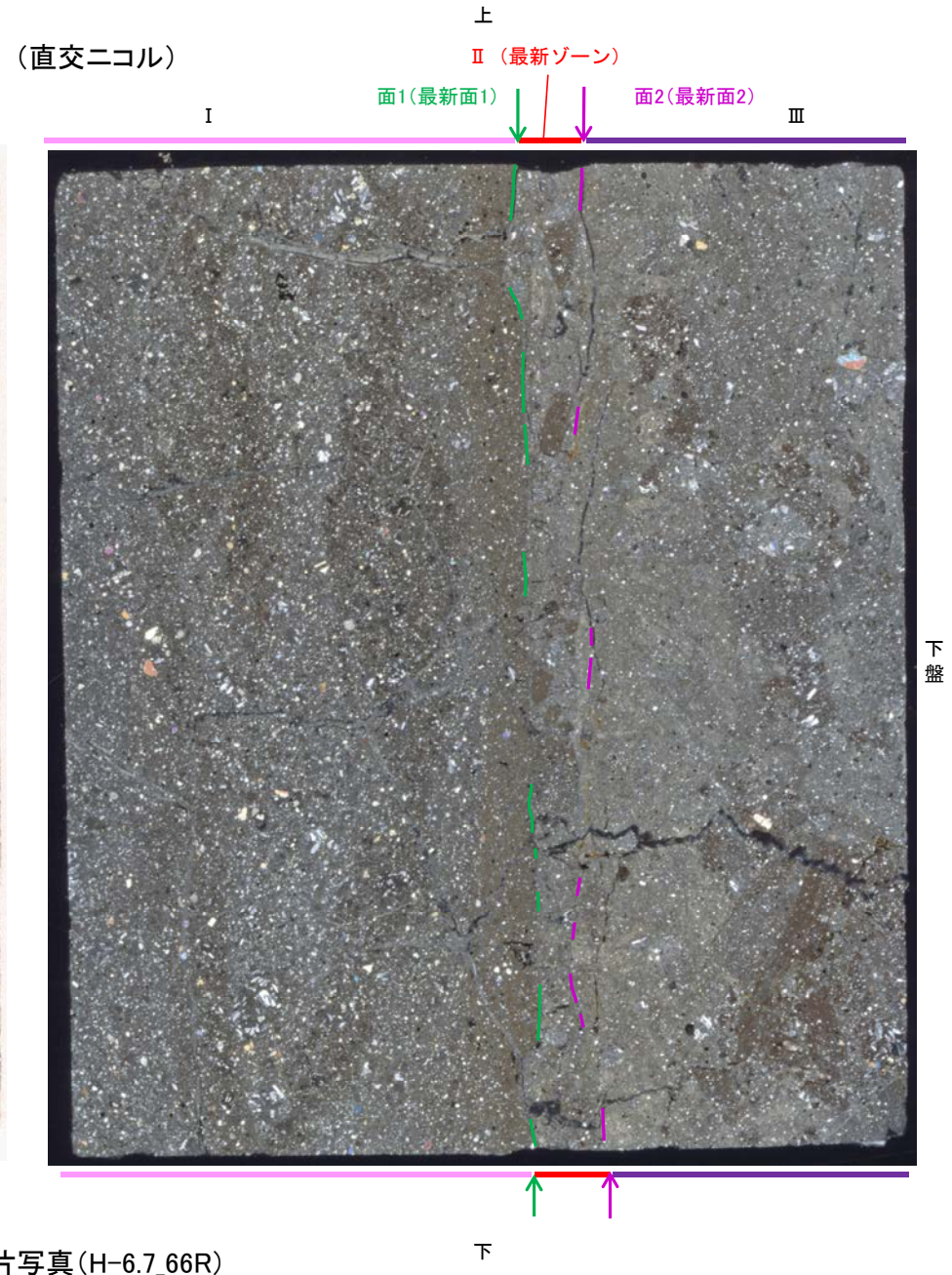
Ⅰ: 単ニコルで褐灰～暗褐灰色, 直交ニコルで暗灰色の干渉色を呈する凝灰岩からなる。径4mm以下の岩片や鉱物片が細粒な基質に含まれている。岩片, 鉱物片は垂角～垂円形である。割れ目に粘土鉱物が生成されている。

Ⅱ(最新ゾーン): 単ニコルで褐灰色, 直交ニコルで黄～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4mm以下の岩片や鉱物片が細粒な基質に含まれる。岩片, 鉱物片は角～垂円形である。基質中や岩片の縁辺部に粘土鉱物が生成されている。

Ⅲ: 単ニコルで褐灰色, 直交ニコルで黄～灰色の干渉色を呈する凝灰岩からなる。径4mm以下の岩片や鉱物片が細粒な基質に含まれており, 径13mmの岩片も含まれる。岩片, 鉱物片は角～垂円形である。基質中や岩片の縁辺部に粘土鉱物が生成されている。



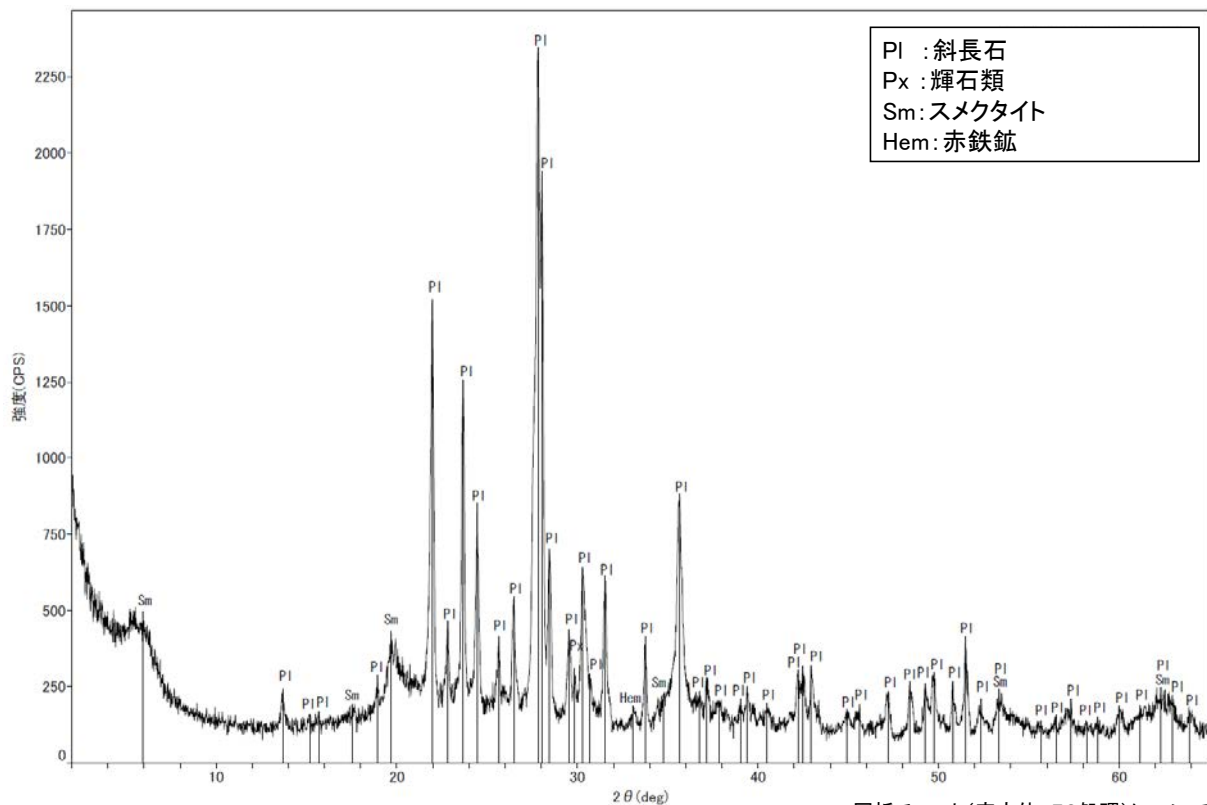
【解釈線あり】



## 5.2.2 S-1 (2) H-6.7孔 — 鉱物の同定(XRD分析, EPMA分析) —

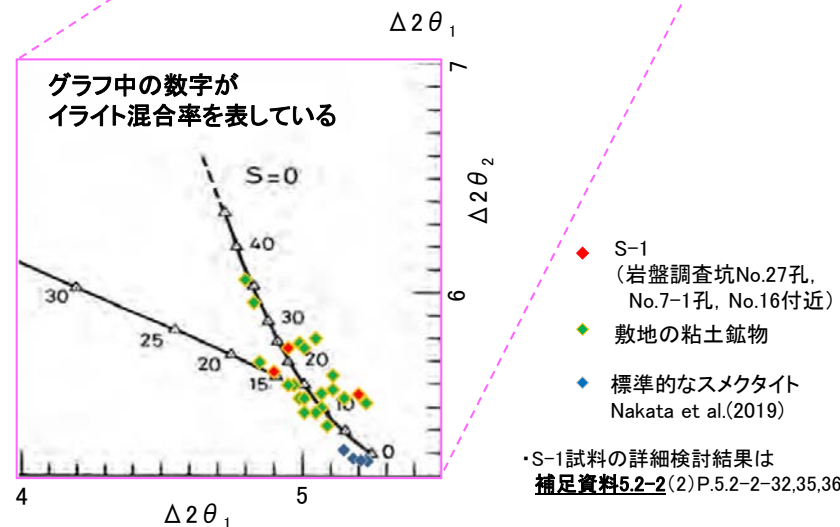
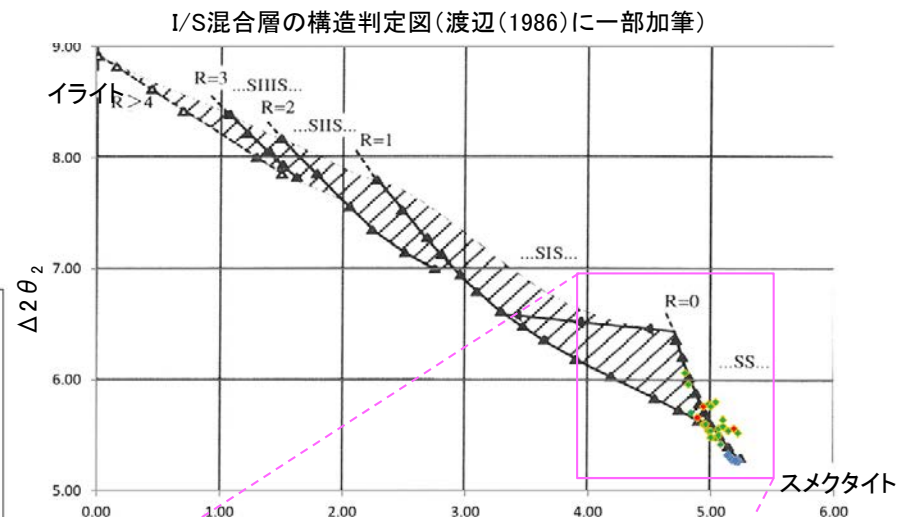
- 最新ゾーン付近でXRD分析を実施した結果, 主な粘土鉱物としてスメクタイトが認められる。
- スメクタイトについて詳細な結晶構造判定を行うために, 同一断層の別孔(岩盤調査坑No.27孔, No.7-1孔, No.16付近)の破碎部においてXRD分析(粘土分濃集)を実施した結果, I/S混合層と判定される。
- また, 隣接孔(H-6.6-1孔)で実施したEPMA分析(定量)による化学組成の検討※において, 最新ゾーンやその周辺でI/S混合層が確認されている。

※H-6.6-1孔で実施したEPMA分析(定量)の詳細はP.91



回折チャート(不定方位)

・回折チャート(定方位, EG処理)については,  
補足資料5.2-12(1) P.5.2-12-9



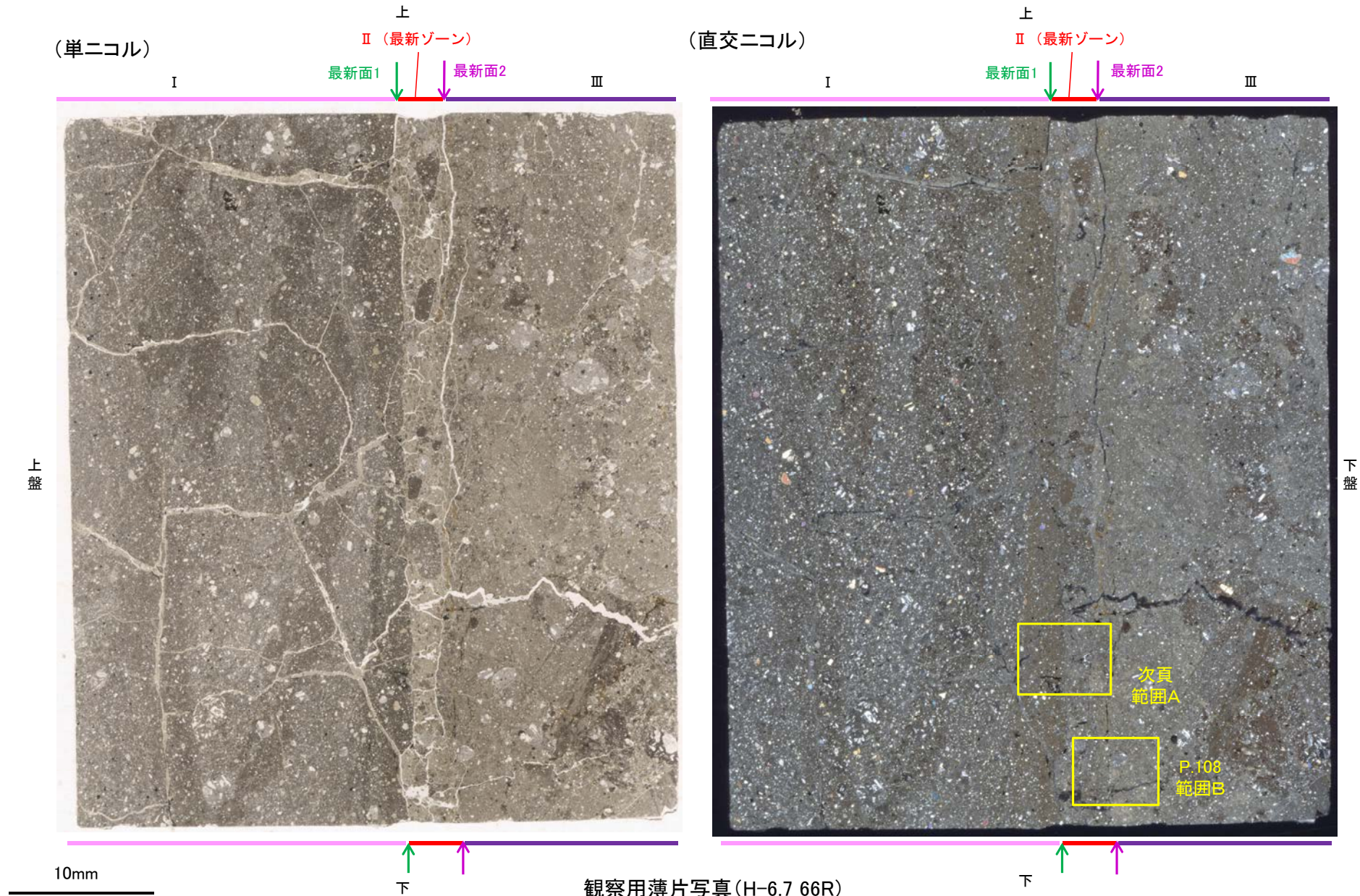
I/S混合層の構造判定図(渡辺(1981)に一部加筆)



## 5.2.2 S-1 (2) H-6.7孔 ー変質鉱物の分布(薄片観察)ー

- 観察用薄片で実施した薄片観察や、隣接孔(H-6.6-1孔)のEPMA用薄片で実施したEPMA分析(マッピング)における化学組成の観点での観察\*より、I/S混合層が最新ゾーンやその周辺に分布していることを確認した。
- このI/S混合層と最新面との関係を確認する。

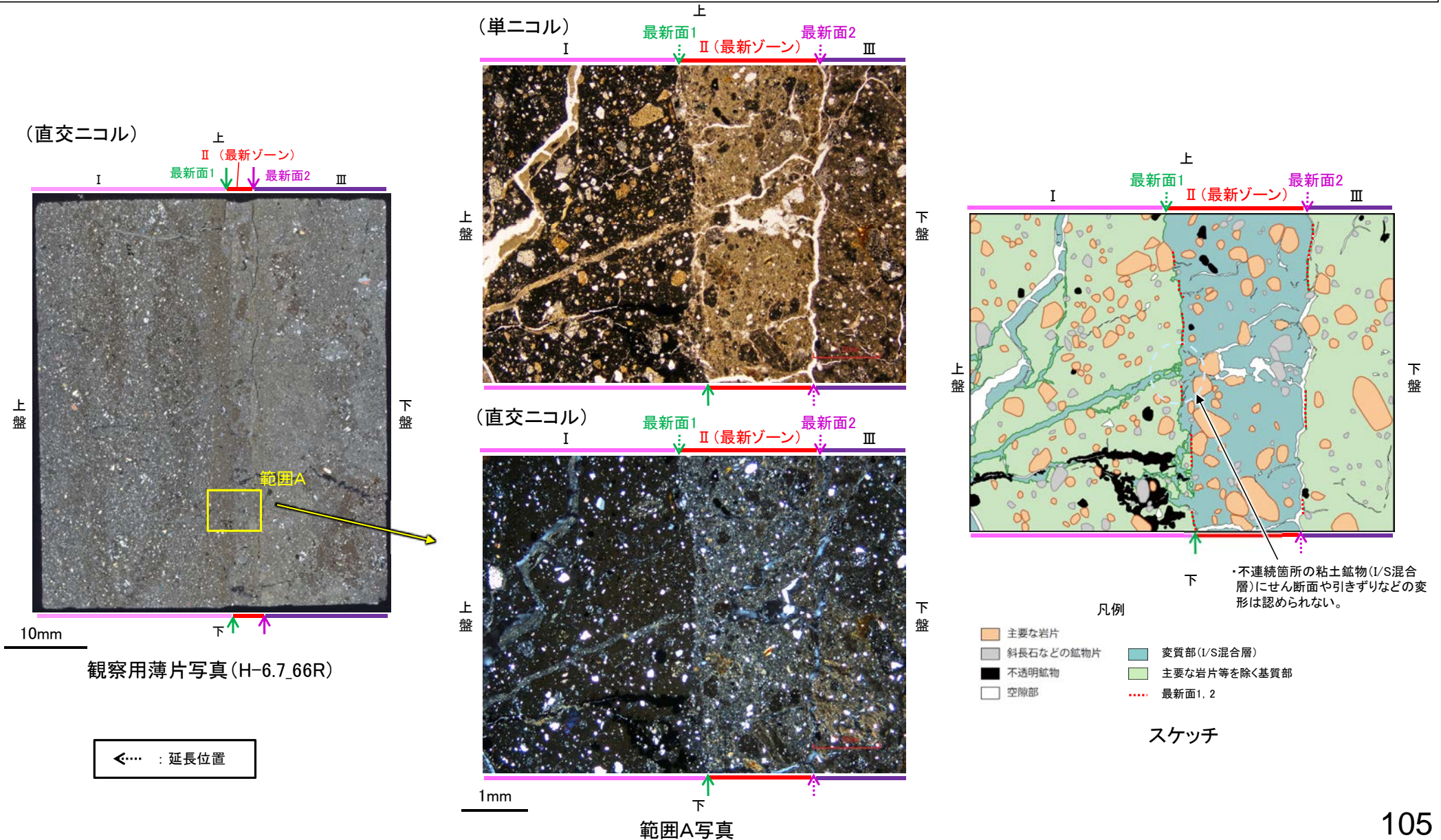
※H-6.6-1孔で実施したEPMA分析(マッピング)の詳細はP.92, 93





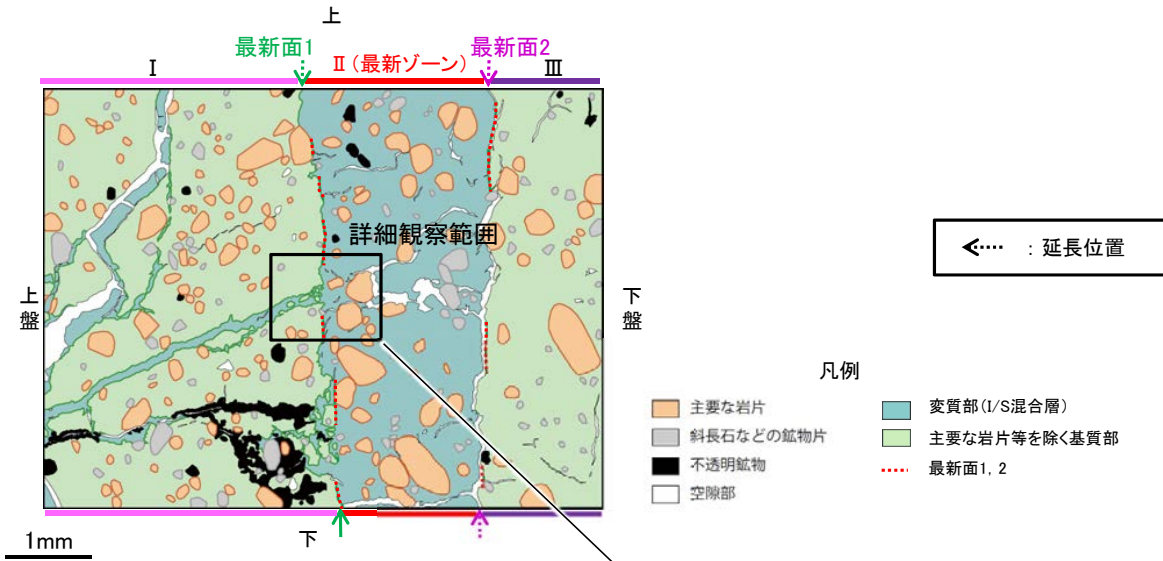
## 5.2.2 S-1 (2) H-6.7孔 ー最新面とI/S混合層との関係(範囲A)ー

- 範囲Aにおいて詳細に観察した結果、最新面1付近には広く粘土鉱物(I/S混合層)が分布し、最新面1が不明瞭かつ不連続になっており、不連続箇所(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。
- なお、不連続箇所においてI/S混合層生成以降の注入現象の有無を確認した結果、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。
- さらに、薄片作成時等に生じた空隙は、明確に認定できる最新面1が不連続になる箇所の粘土鉱物(I/S混合層)の構造に影響を与えていないことから、不連続箇所は薄片作成時等の乱れの影響を受けていないと判断できる。



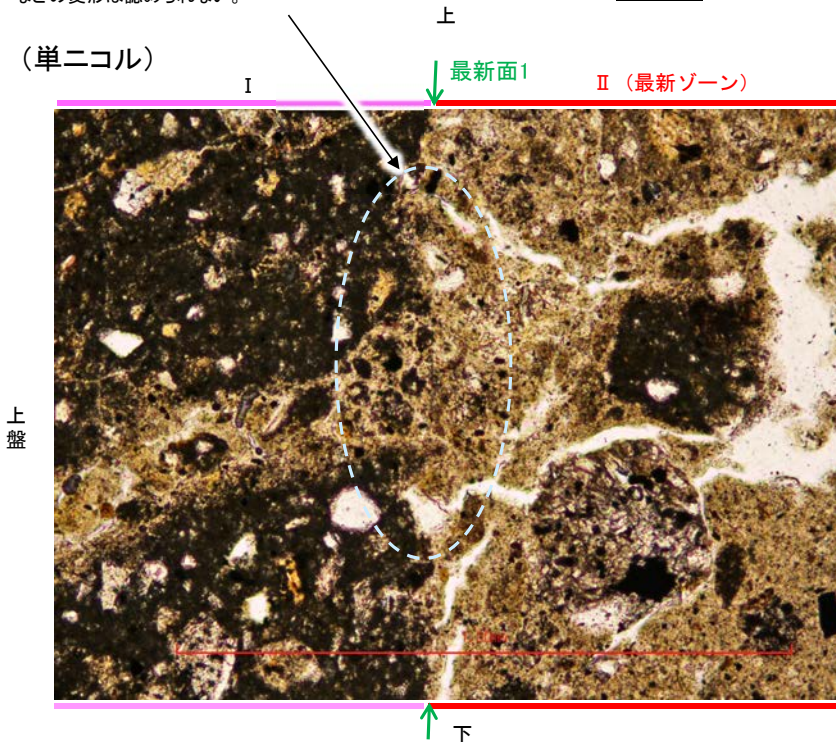


# 【詳細観察(範囲A)】

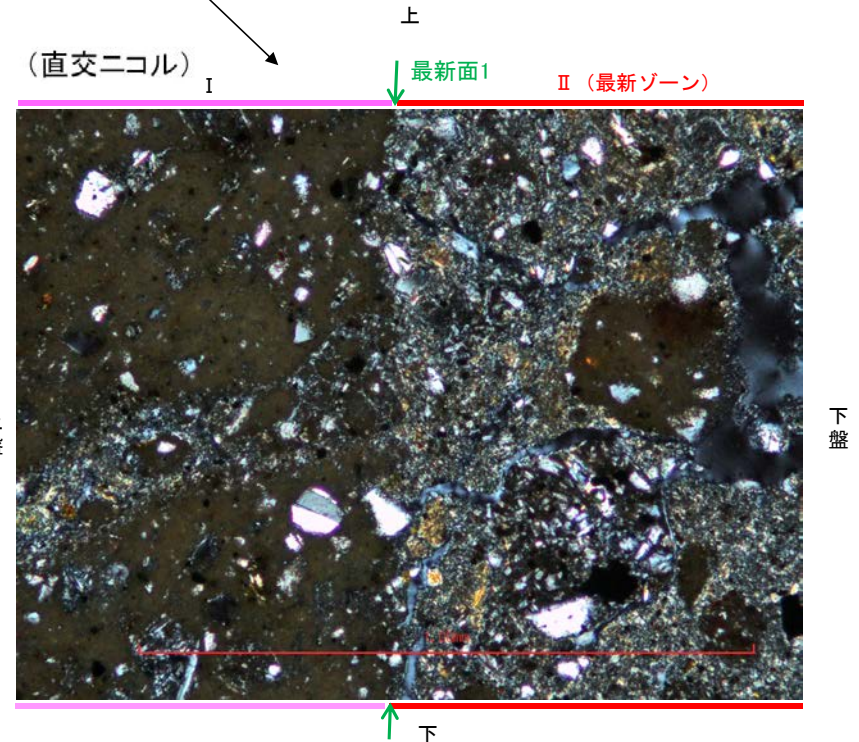


・不連続箇所(粘土鉱物(I/S混合層)にせん断面や引きずりなどの変形は認められない。

(単ニコル)



(直交ニコル)



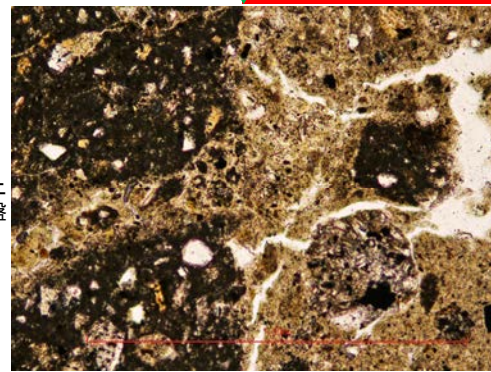
詳細観察範囲写真



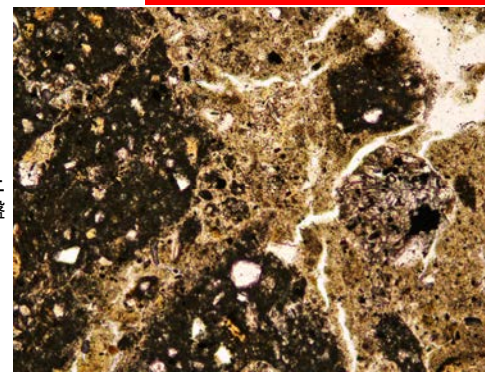
# 【ステージ回転(範囲A)】

(単ニコル)

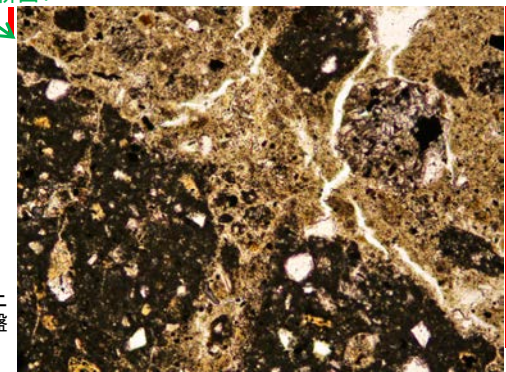
最新面1 ↓ II (最新ゾーン)



最新面1 ↓ II (最新ゾーン)



最新面1 ↓

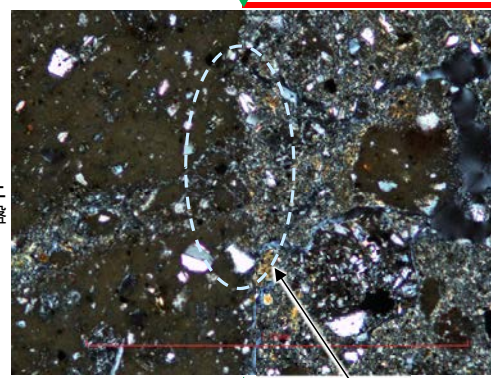


カリフォルニアの事例	阿寺断層の事例
注入脈の壁に沿って凸状上向き の弓状構造が認められる	注入方向に粒子の配列が認 められる

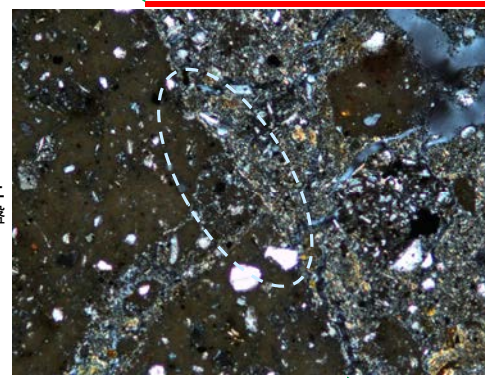
注入現象の事例  
(関西電力美浜発電所3号炉  
第361回審査会合資料引用)

(直交ニコル)

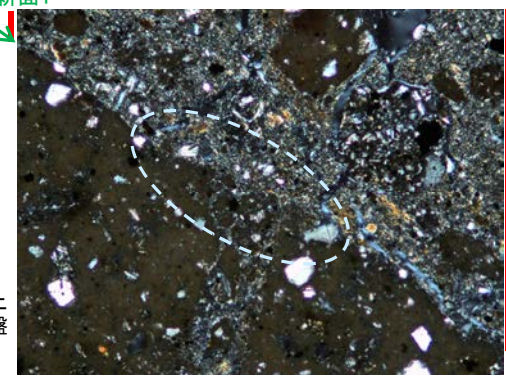
最新面1 ↓ II (最新ゾーン)



最新面1 ↓ II (最新ゾーン)



最新面1 ↓



←… : 延長位置

0.1mm

0° 回転

左30° 回転

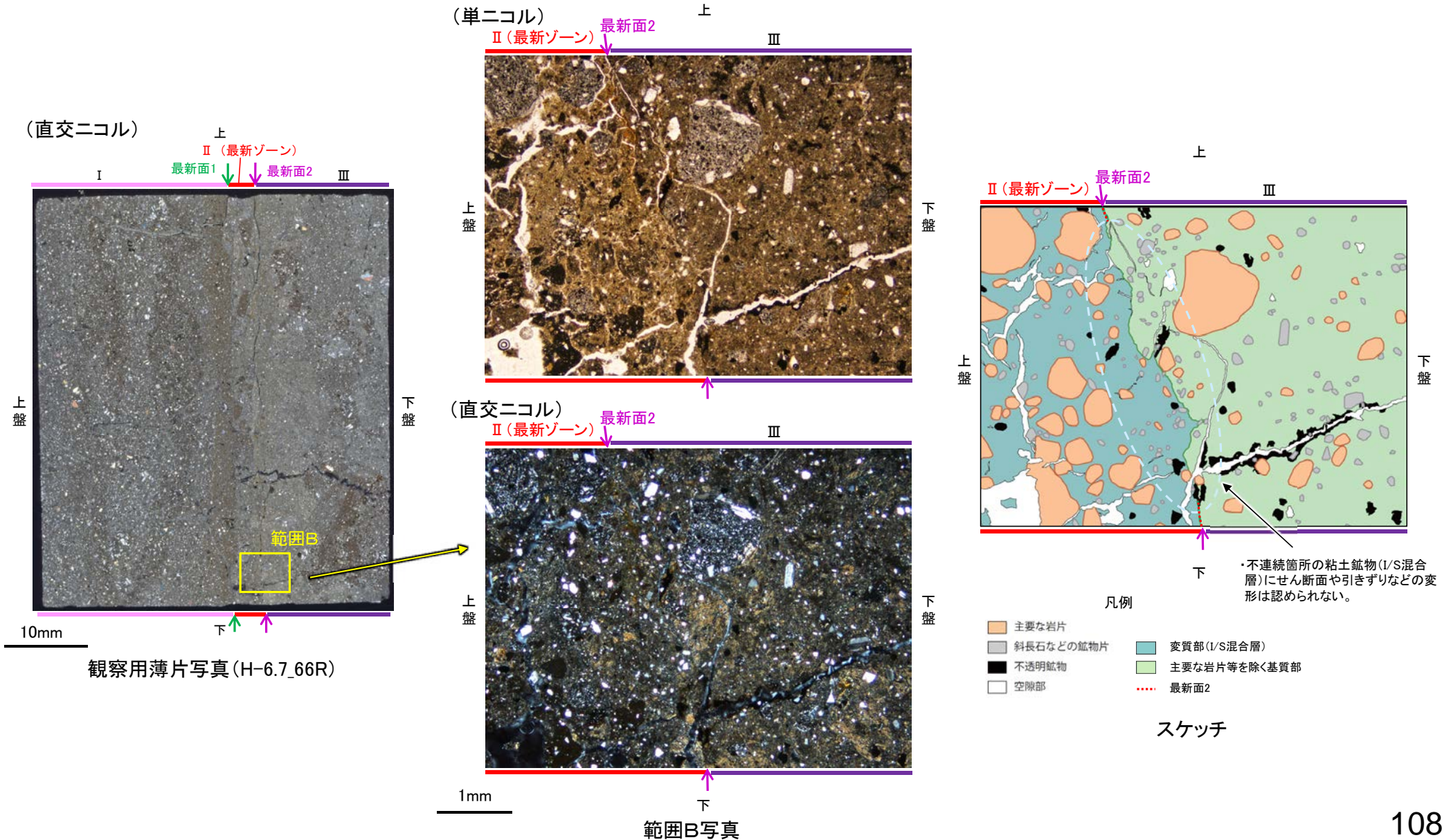
左60° 回転

- ・不連続箇所(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。
- ・注入の痕跡は認められない。



## 5.2.2 S-1 (2) H-6.7孔 ー最新面とI/S混合層との関係(範囲B)ー

- 範囲Bにおいて詳細に観察した結果、最新面2付近には広く粘土鉱物(I/S混合層)が分布し、最新面2が不明瞭かつ不連続になっており、不連続箇所(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。
- なお、不連続箇所においてI/S混合層生成以降の注入現象の有無を確認した結果、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。
- さらに、薄片作成時等に生じた空隙は、明確に認定できる最新面2が不連続になる箇所の粘土鉱物(I/S混合層)の構造に影響を与えていないことから、不連続箇所は薄片作成時等の乱れの影響を受けていないと判断できる。

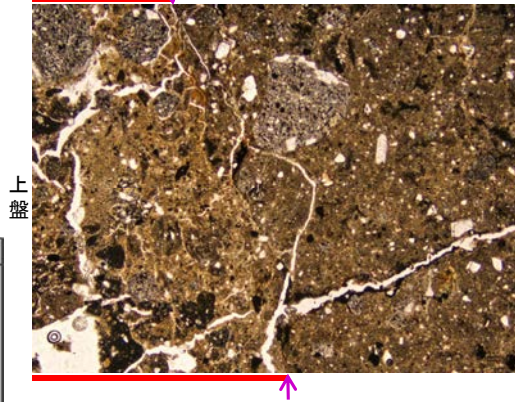




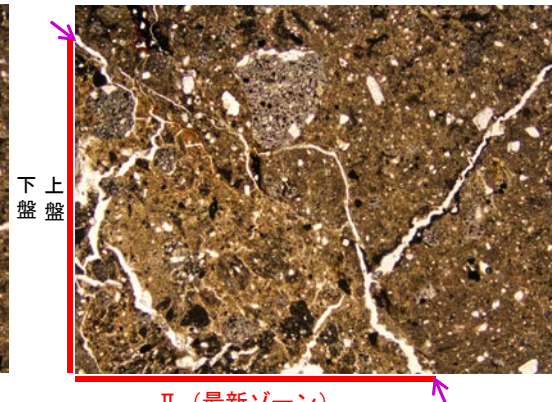
# 【ステージ回転(範囲B)】

(単ニコル)

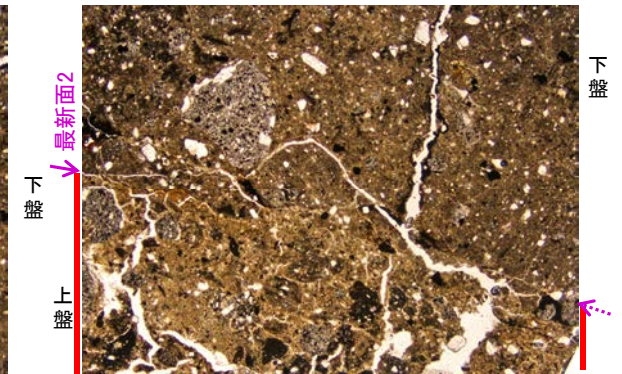
II (最新ゾーン) ↓ 最新面2



最新面2



II (最新ゾーン)

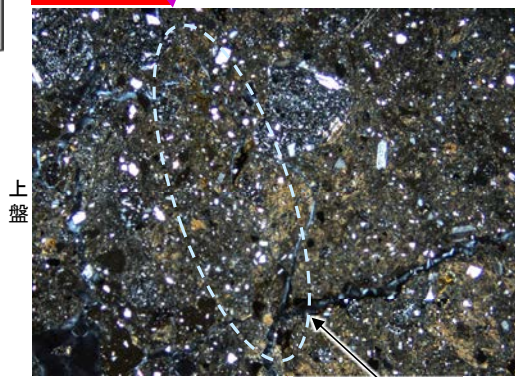


II (最新ゾーン)

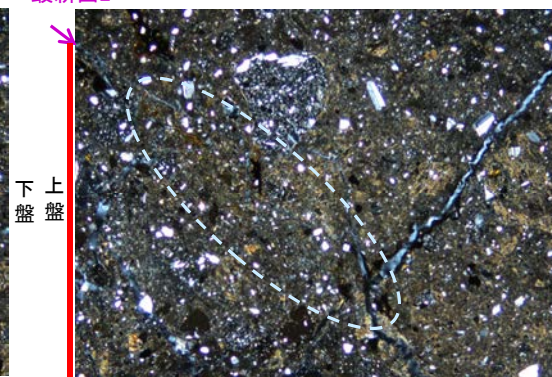
カリフォルニアの事例	阿寺断層の事例
注入方向	注入方向
注入脈の壁に沿って凸状上向き の弓状構造が認められる	注入方向に粒子の配列が認 められる

(直交ニコル)

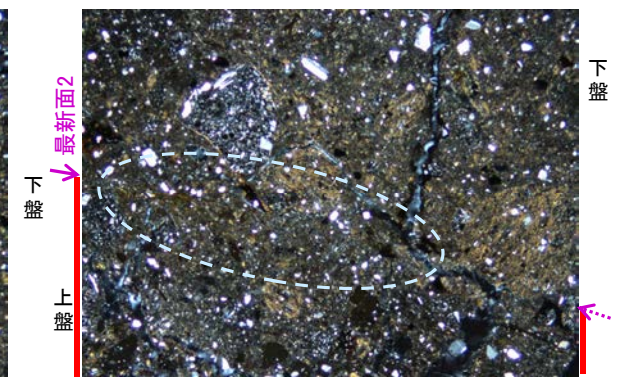
II (最新ゾーン) ↓ 最新面2



最新面2



II (最新ゾーン)



II (最新ゾーン)

注入現象の事例  
(関西電力美浜発電所3号炉  
第361回審査会合資料引用)

←… : 延長位置

1mm

0° 回転

左30° 回転

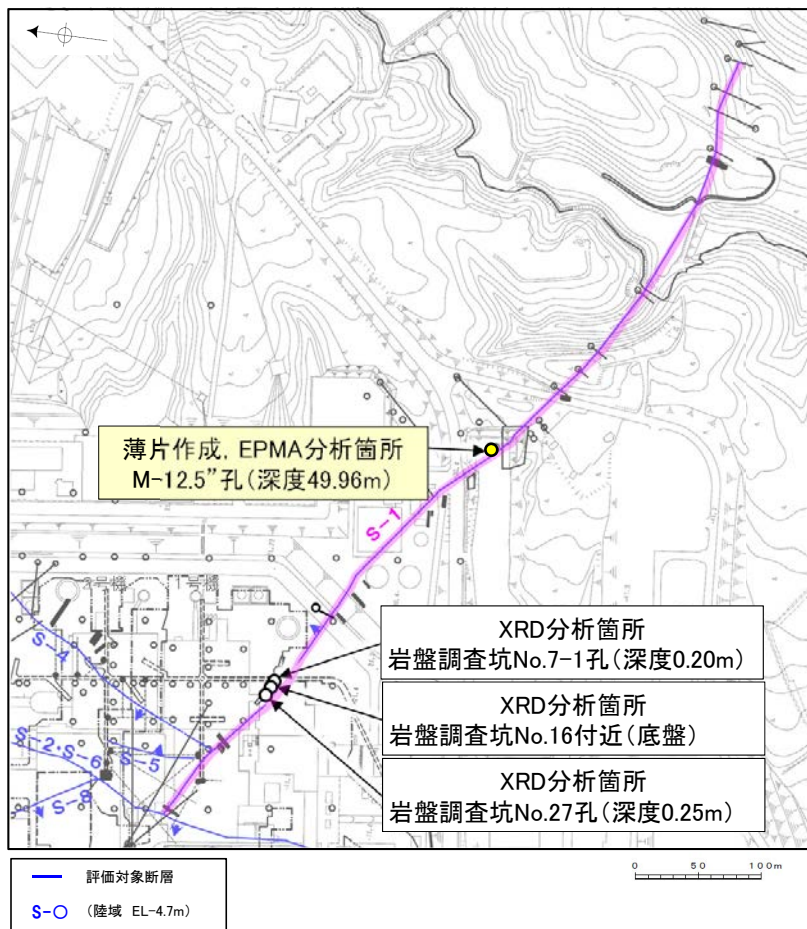
左60° 回転

- ・不連続箇所(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。
- ・注入の痕跡は認められない。

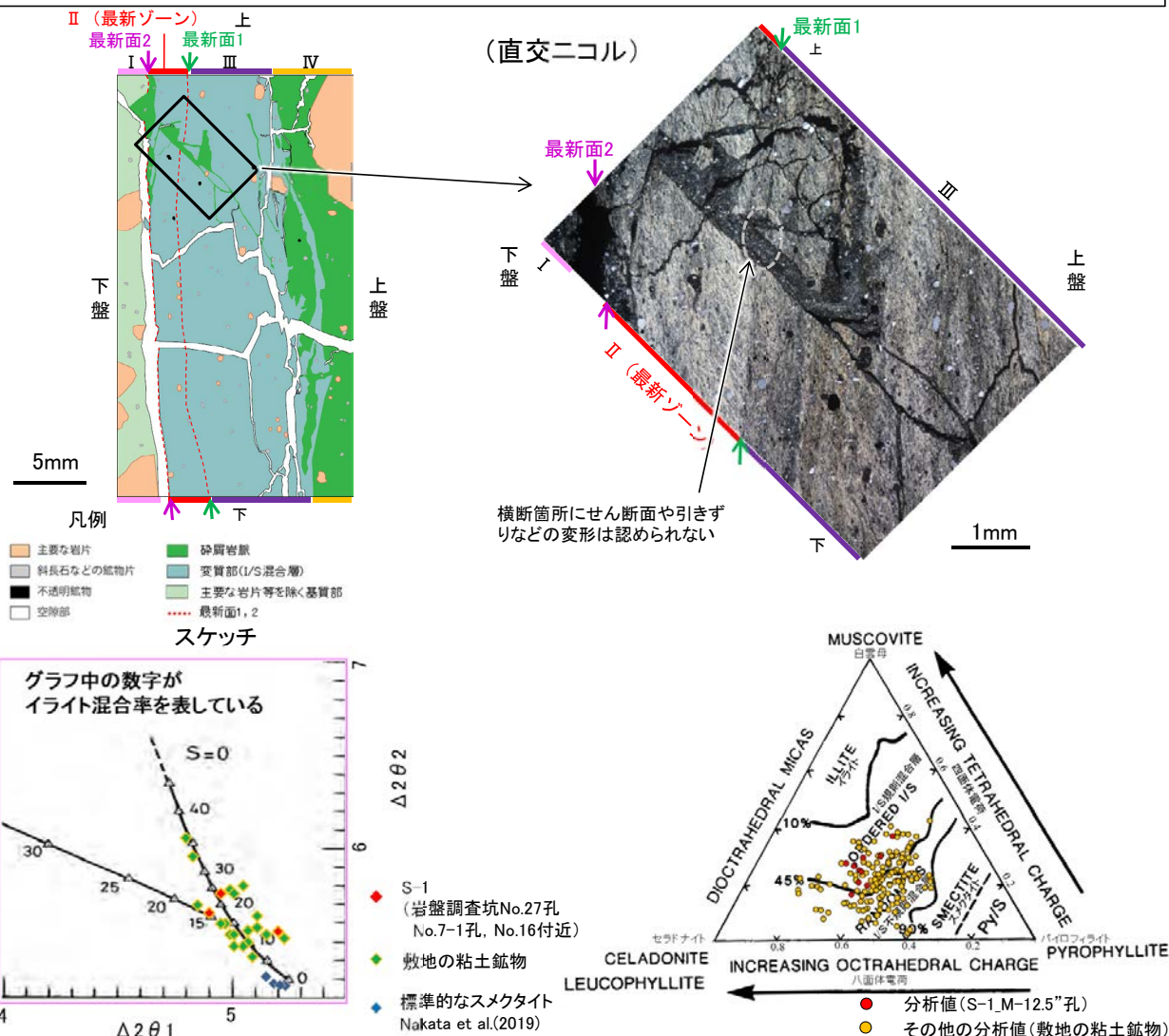


## 5.2.2 S-1 (3) M-12.5”孔 一概要一

- M-12.5”孔の深度50.00m付近で認められるS-1において、最新面と変質鉱物との関係による評価を行った。
- 最新ゾーンやその周辺に分布する粘土鉱物は、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され、そのI/S混合層を含むゾーン全体を横断するように分布する碎屑岩脈が認められる。
- 碎屑岩脈が最新面及び最新ゾーン全体を横断して分布し、横断箇所に変位・変形は認められない。
- 碎屑岩脈の分布や内部構造を詳細に観察した結果、碎屑岩脈は地下深部の高封圧下で碎屑物が貫入したものであると判断される。本地点では、約12~13万年前には現在とほぼ同じ低封圧下にあったと判断されることから、碎屑岩脈は少なくとも後期更新世以降に形成されたものではない。
- なお、横断箇所には、薄片作成時等の乱れの影響は認められない。



調査位置図



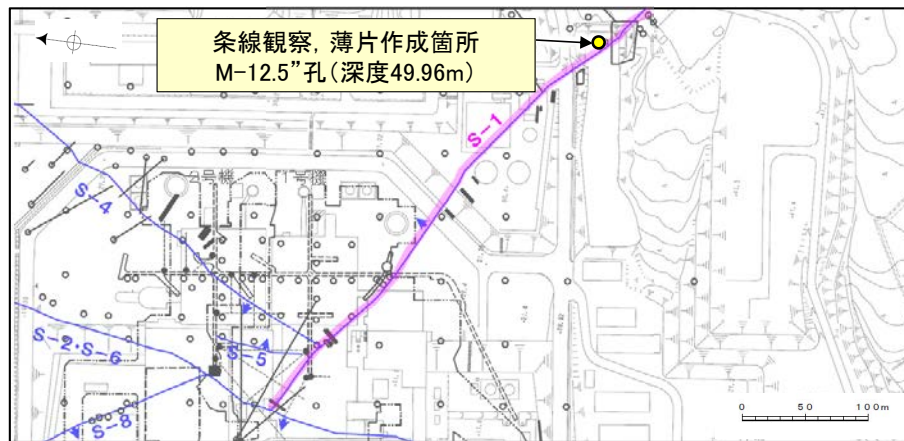
I/S混合層の構造判定図  
(渡辺(1981)に一部加筆)

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)

## 5.2.2 S-1 (3) M-12.5”孔 —最新面の認定(巨視的観察)—

○M-12.5”孔の深度50.00m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認定した。

○主せん断面における条線観察の結果、65° Rの条線方向が確認されたことから、65° Rで薄片を作成した(右下ブロック写真)。

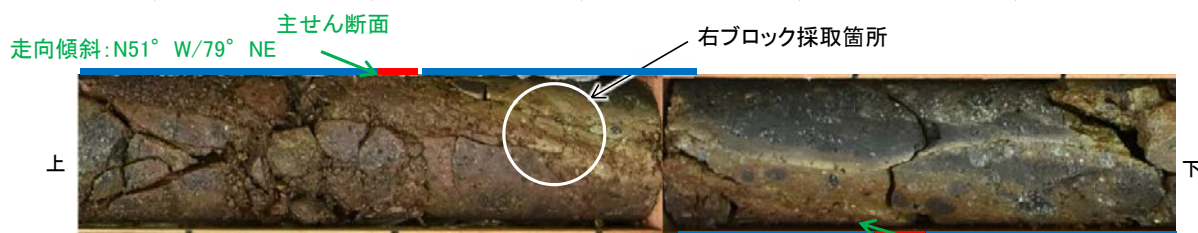


・条線観察結果については補足資料5.2-12(2)-1

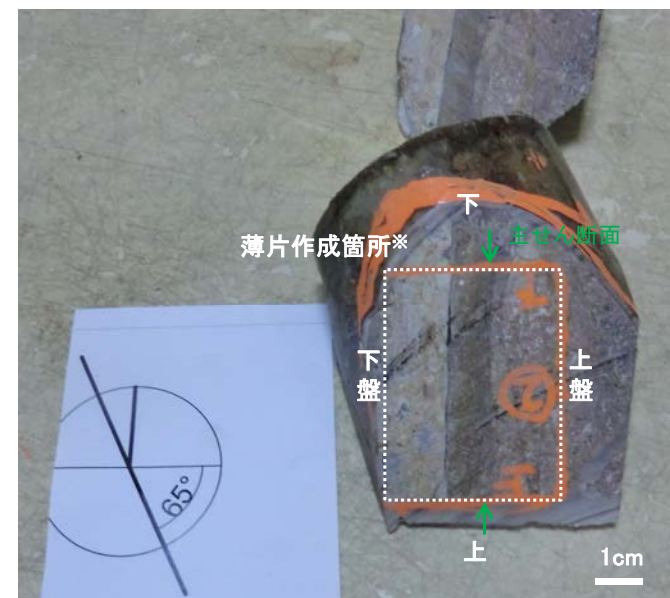
調査位置図

※図示した箇所にて観察用薄片を作成し、そこから1mm程度削り込んだ位置でEPMA用薄片を作成した

(深度) 49.75 49.8 49.9 50.0 50.1 50.2 50.25 (m)

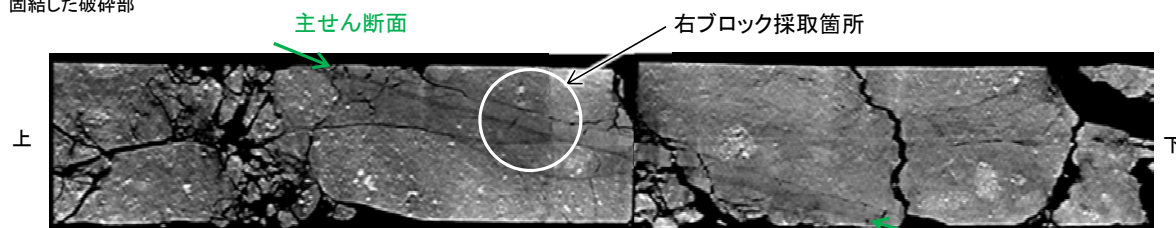


ボーリングコア写真



ブロック写真

■ 粘土状破砕部  
■ 固結した破砕部



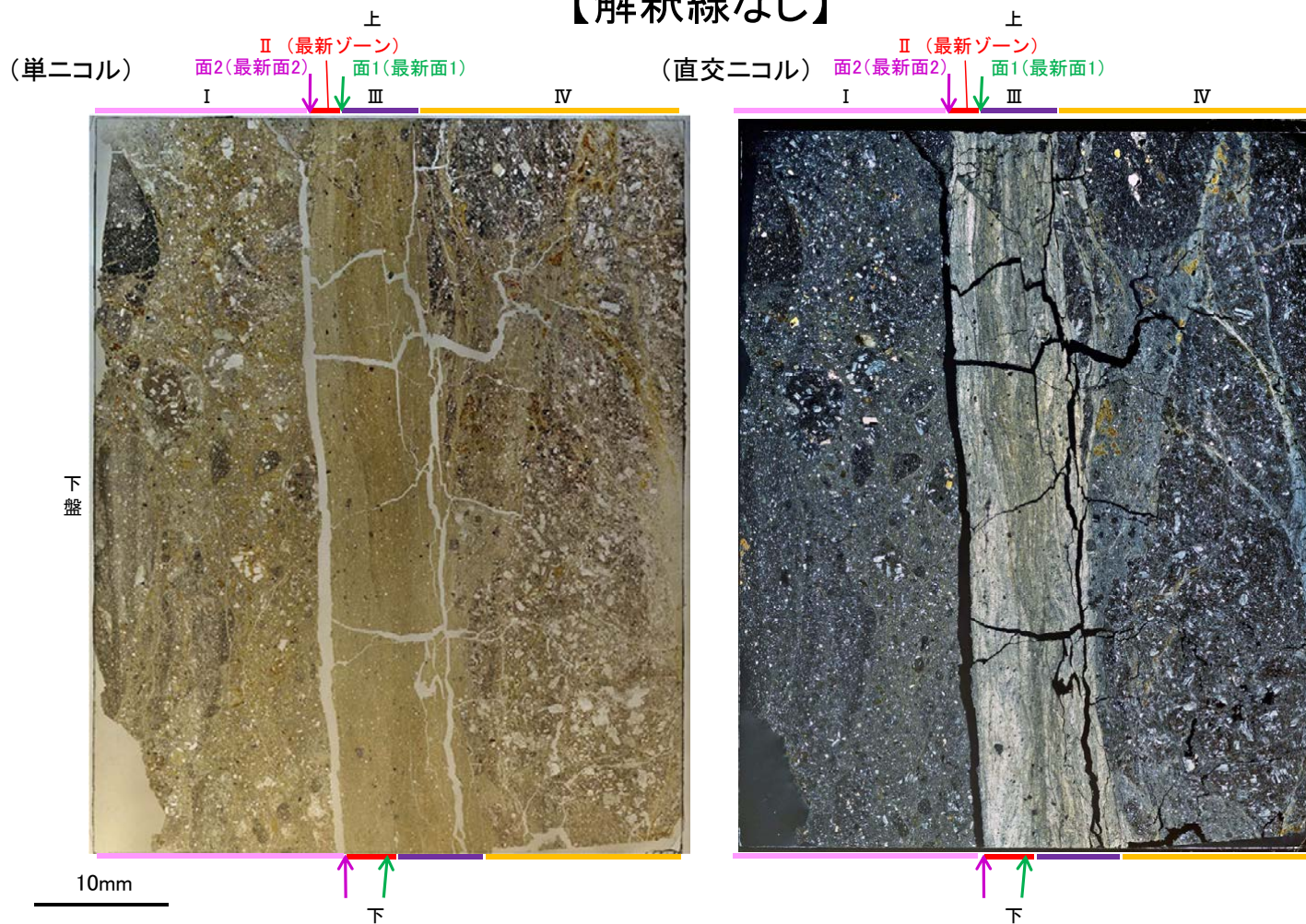
CT画像



## 5.2.2 S-1 (3) M-12.5”孔 ー最新面の認定(微視的観察)ー

- 観察用薄片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, 下盤側より I ~ IV に分帯される。
- 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は薄片上部では碎屑物によって分断され, 断続的になり連続性に乏しいが, 薄片中央~下部では直線性・連続性がよく, 全体として最新ゾーンの中では比較的直線性・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は薄片上部では凹凸を伴い直線性に乏しいが, 薄片中央~下部では直線性・連続性がよく, 全体として最新ゾーンの中では比較的直線性・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, 面は湾曲し不明瞭であり, 直線性に乏しいことから, 最新面ではないと判断される。

### 【解釈線なし】



### 分帯とコア観察における破砕部区分との対応

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

I: 単ニコルで褐灰~灰色, 直交ニコルで灰色の干渉色を呈する火山礫凝灰岩からなる。径10mm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。基質中や割れ目, 岩片の縁辺部に粘土鉱物が生成されている。

II (最新ゾーン): 単ニコルで褐灰色, 直交ニコルで黄~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1mm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。基質中に粘土鉱物が生成されている。

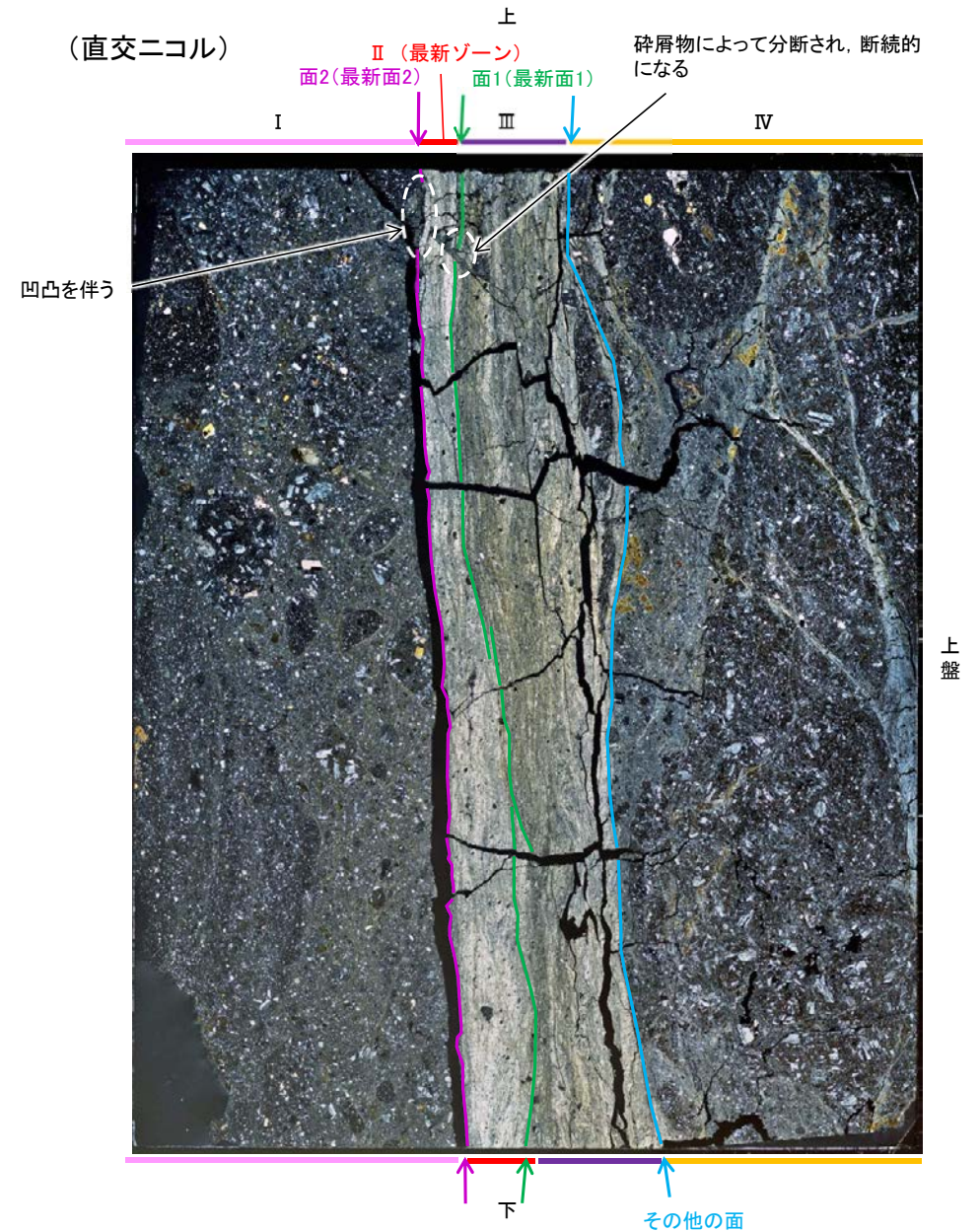
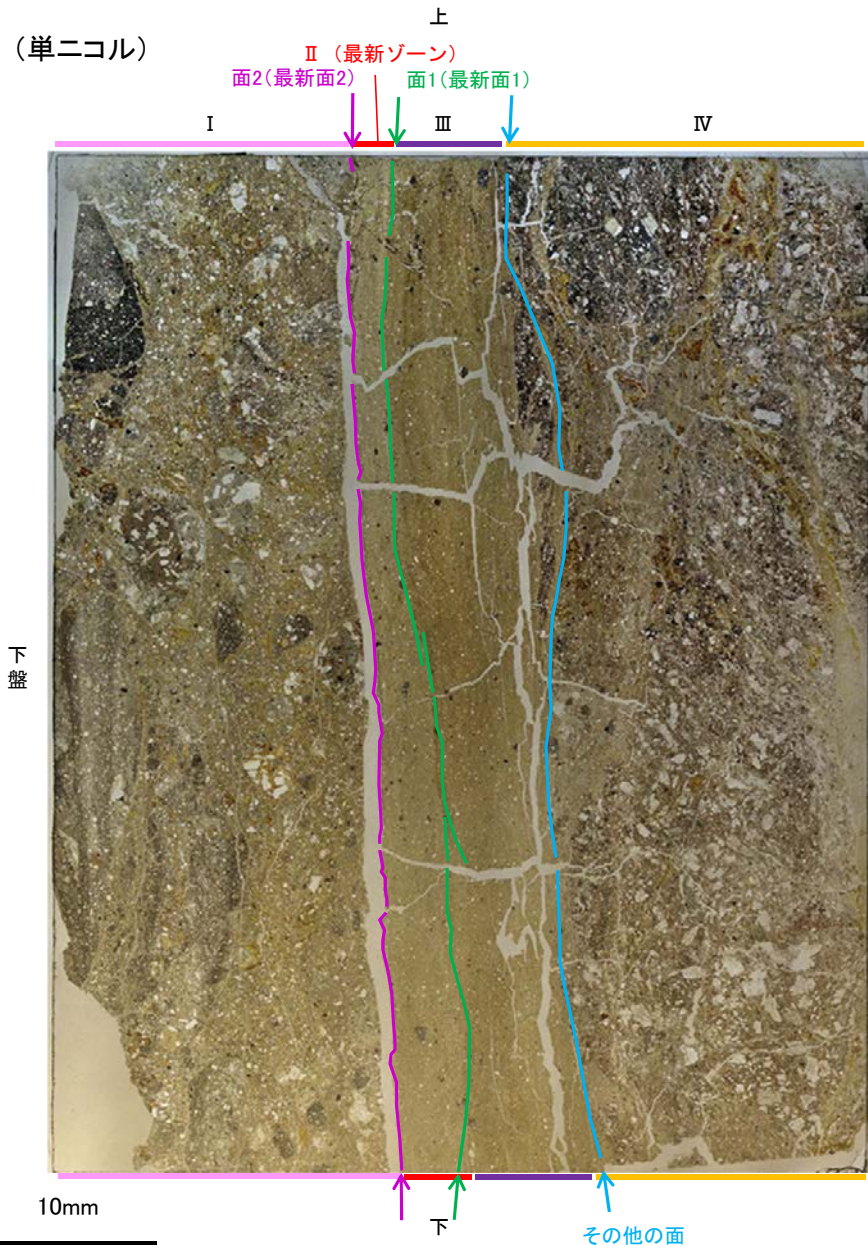
III: 単ニコルで褐灰色, 直交ニコルで黄~暗灰色の干渉色を呈する, 粘土鉱物を含む細粒物からなる。径1mm以下の岩片や鉱物片が細粒な基質中に含まれる。岩片, 鉱物片は垂角~垂円形である。基質中に粘土鉱物が生成されている。

IV: 単ニコルで褐灰~灰色, 直交ニコルで灰色の干渉色を呈する火山礫凝灰岩からなる。薄片範囲内では径30mm以下の岩片が大半を占める。岩片間には基質が分布し, 径3mm以下の岩片や鉱物片を含む。岩片は角~垂円形, 鉱物片は垂角~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されている。



S-1\_M-12.5”孔

【解釈線あり】

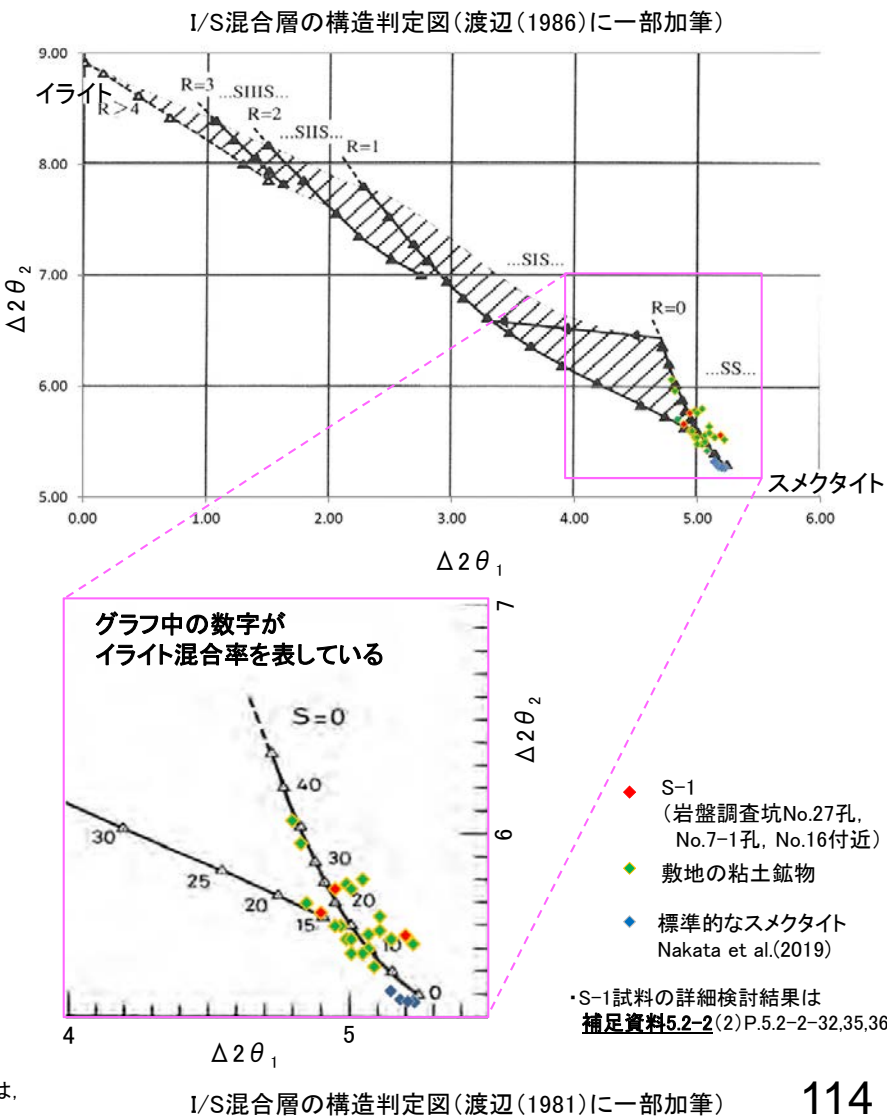
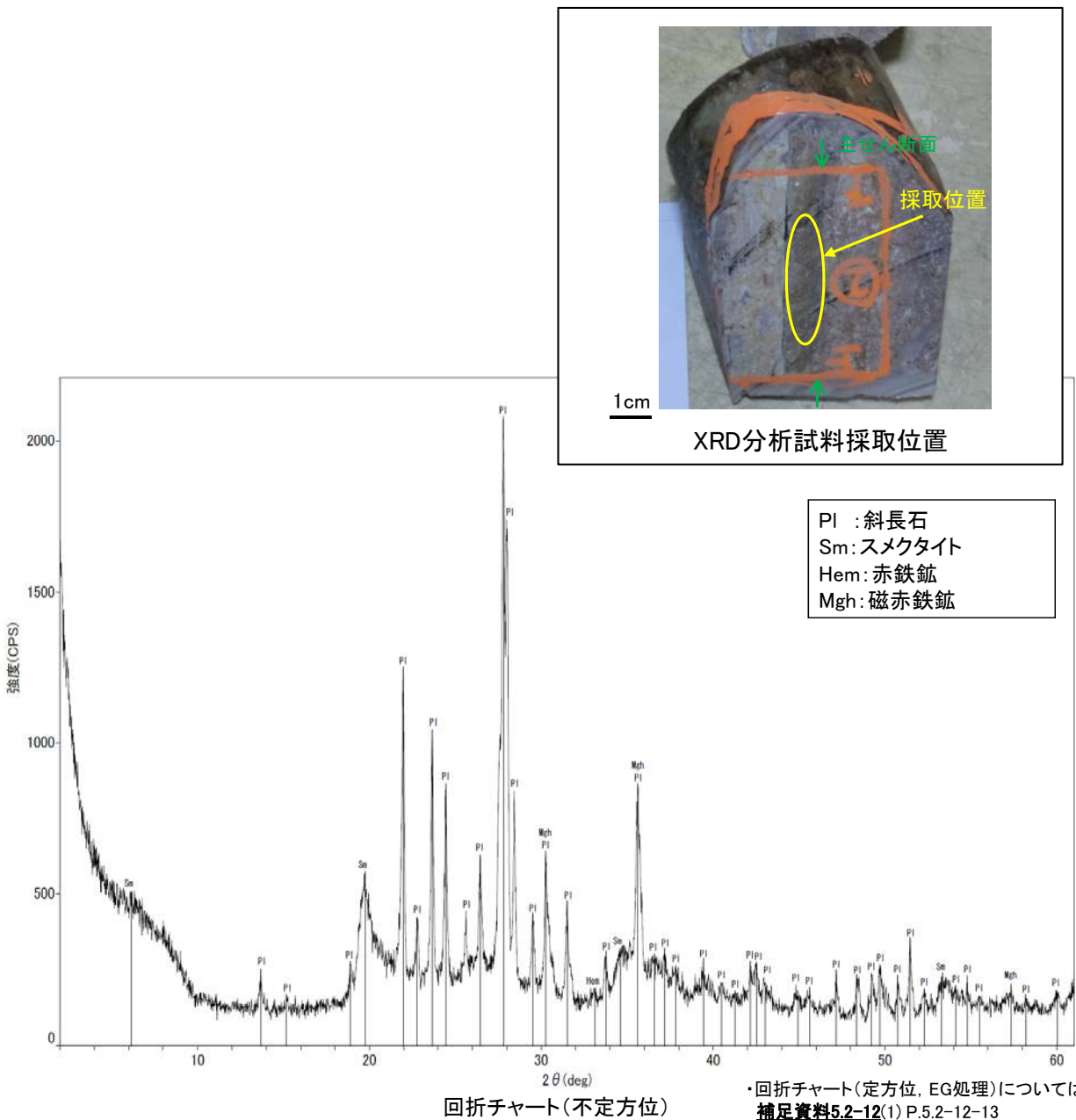


観察用薄片写真(M-12.5”\_65R)



# 5.2.2 S-1 (3) M-12.5”孔 — 鉱物の同定(XRD分析, I/S混合層) —

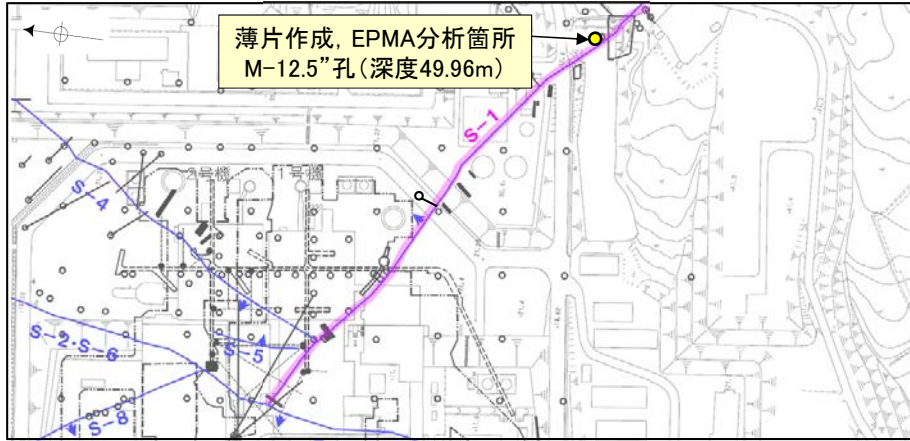
- 最新ゾーン付近でXRD分析を実施した結果, 主な粘土鉱物としてスメクタイトが認められる。
- スメクタイトについて詳細な結晶構造判定を行うために, 同一断層の別孔(岩盤調査坑No.27孔, No.7-1孔, No.16付近)の破砕部においてXRD分析(粘土分濃集)を実施した結果, I/S混合層と判定される。



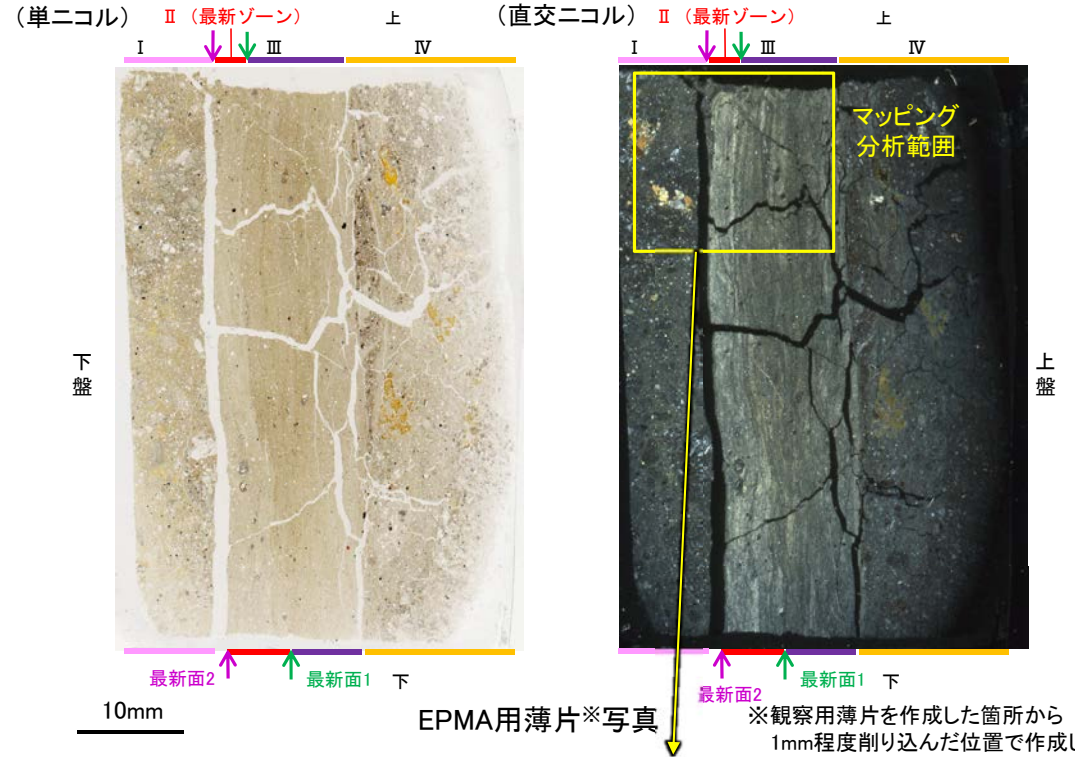
## 5.2.2 S-1 (3) M-12.5”孔 — 鉱物の同定(EPMA分析(定量), I/S混合層) —

○EPMA用薄片で実施したEPMA分析(定量)による化学組成の検討結果から、最新ゾーンや最新面を越えて分布する粘土鉱物はI/S混合層であると判断される。

○また、観察用薄片で認められた碎屑物がEPMA用薄片においても認められ、その内部の粘土鉱物についてもI/S混合層であると判断される。

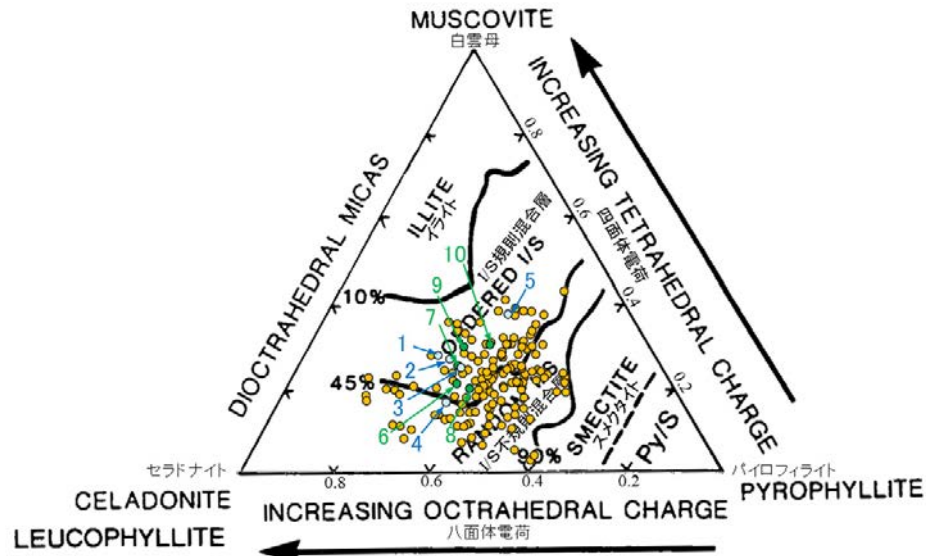


調査位置図



EPMA用薄片\*写真

※観察用薄片を作成した箇所から1mm程度削り込んだ位置で作成した

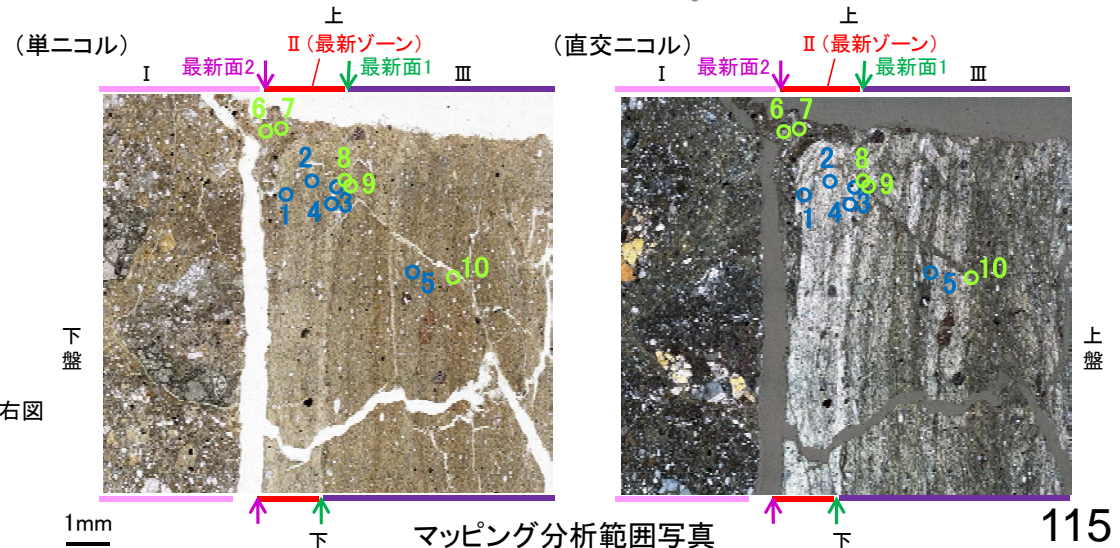


○ 分析値(M-12.5”孔, 変質部粘土鉱物)分析番号位置は右図

● 分析値(M-12.5”孔, 碎屑岩脈中粘土鉱物)分析番号位置は右図

○ その他の分析値(敷地の粘土鉱物)

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)



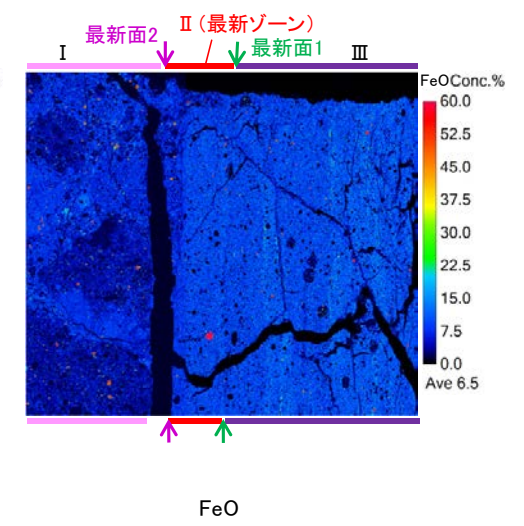
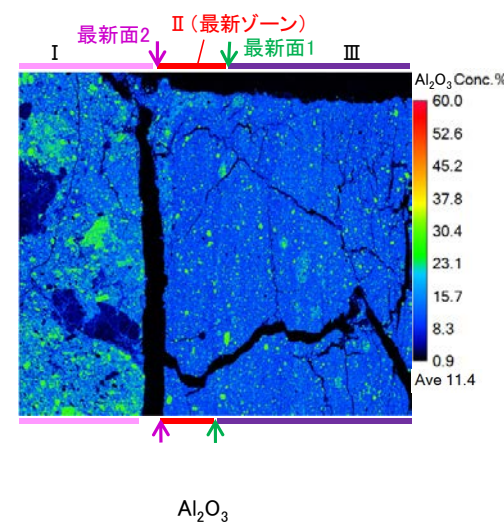
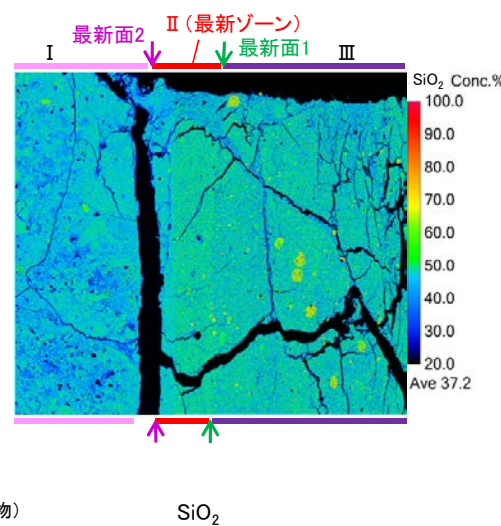
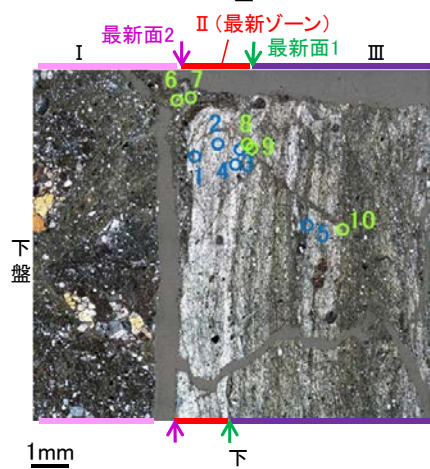
マッピング分析範囲写真



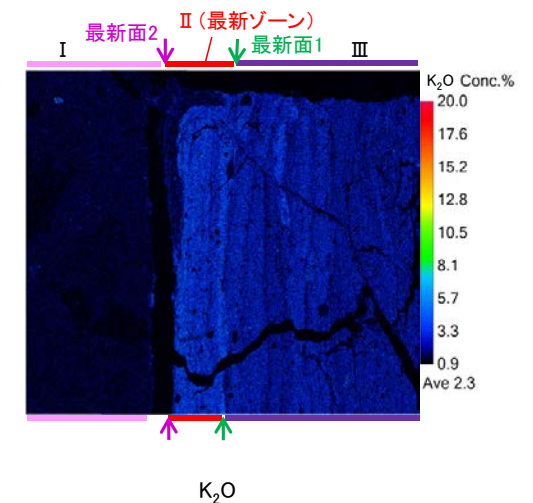
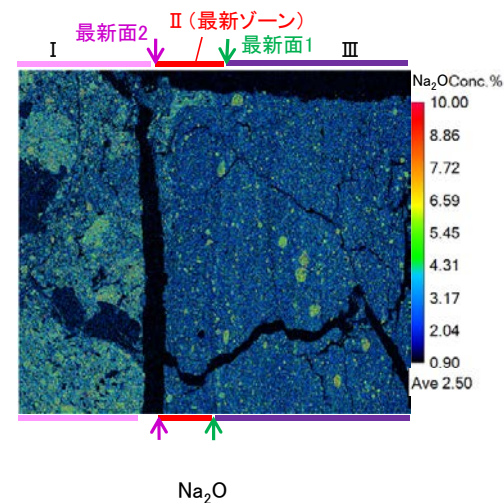
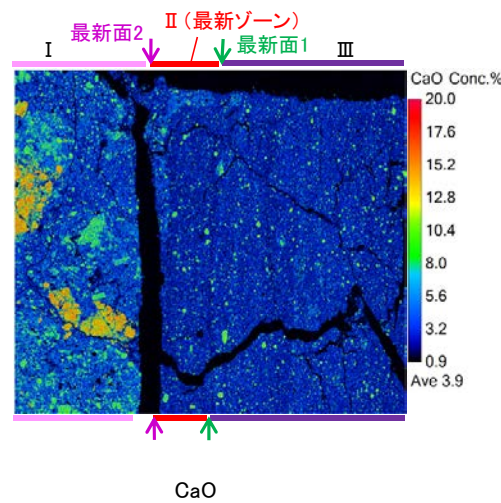
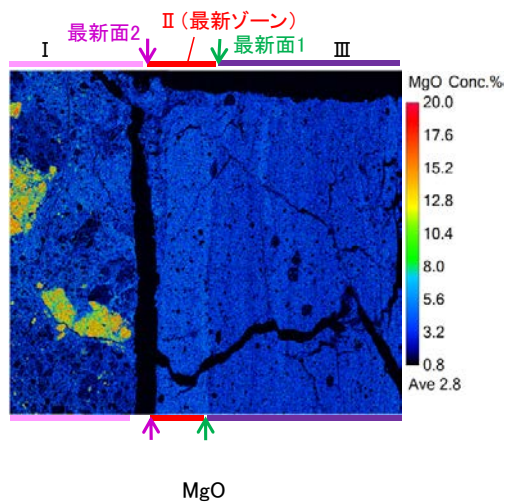
## 5.2.2 S-1 (3) M-12.5”孔 –変質鉱物等の分布(EPMA分析(マッピング))–

○EPMA用薄片でEPMA分析(マッピング)を実施した結果, EPMA分析(定量)で認められたI/S混合層が最新ゾーンやその周辺に分布していることを確認した。

(直交ニコル)



- : EPMA分析(定量)実施箇所(変質部の粘土鉱物)
  - : EPMA分析(定量)実施箇所(碎屑岩脈中の粘土鉱物)
- マッピング分析範囲写真





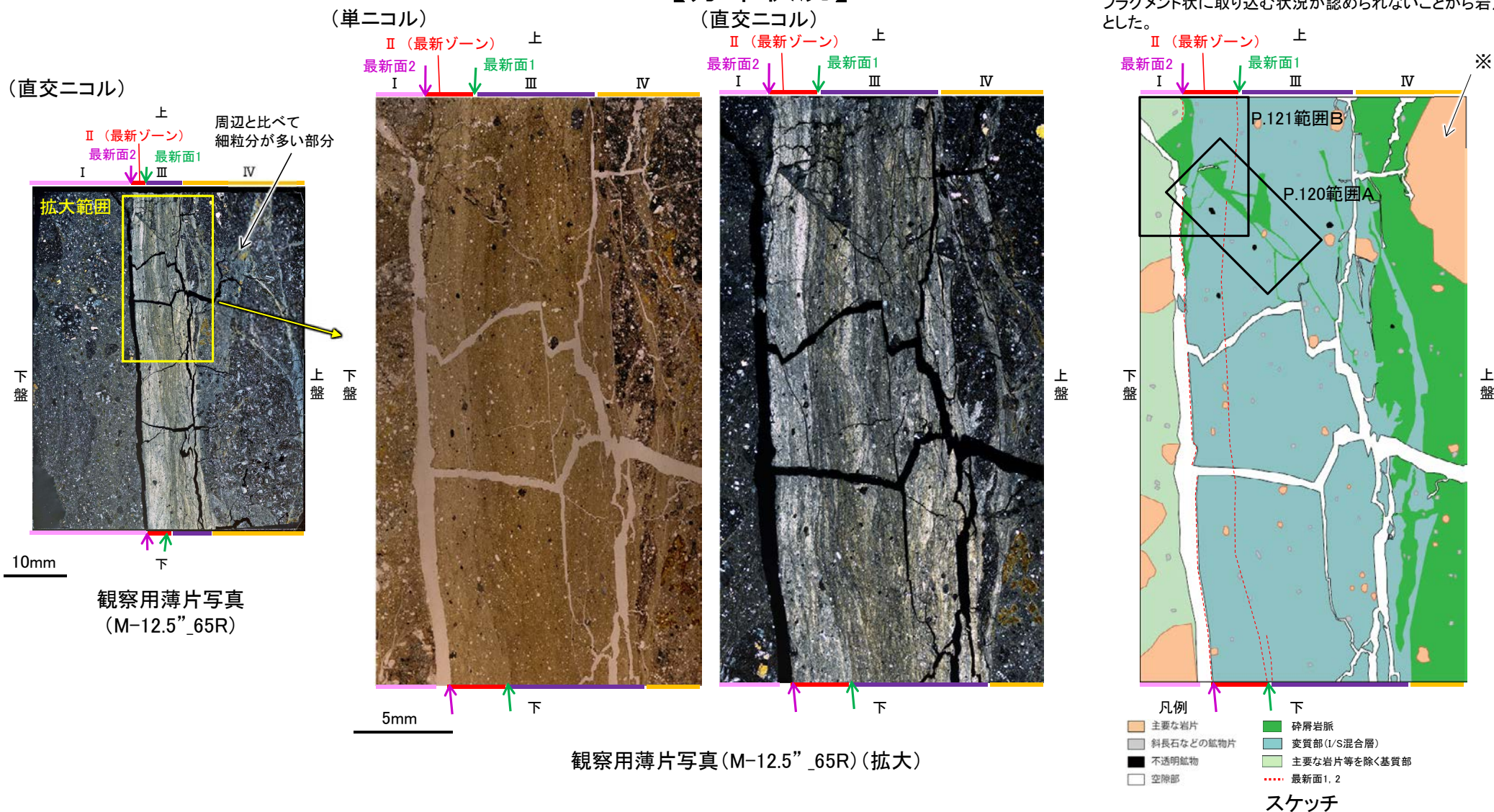
## 5.2.2 S-1 (3) M-12.5”孔 ー変質鉱物等の分布(薄片観察)ー

○観察用薄片で実施した薄片観察や、EPMA用薄片で実施したEPMA分析(マッピング)における化学組成の観点での観察より、I/S混合層が最新ゾーンやその周辺に広く分布し、周辺の固結した角礫状破碎部(分帯Ⅰに対応)と構成鉱物の種類等が類似する碎屑物(次頁)がI/S混合層を含むゾーン全体に岩脈状に分布することを確認した。(この碎屑物を「碎屑岩脈」と呼ぶ。)

○碎屑岩脈の分布は、上盤側の分帯Ⅳ中に周辺と比べて細粒分が多い部分として確認でき、最新ゾーン及び分帯Ⅲの全体を横断するように分布し、下盤側の分帯Ⅰまで達している。

### 【分布状況】

※角が取れており、また内部に流動状の構造や粘土鉱物をフラグメント状に取り込む状況が認められないことから岩片とした。

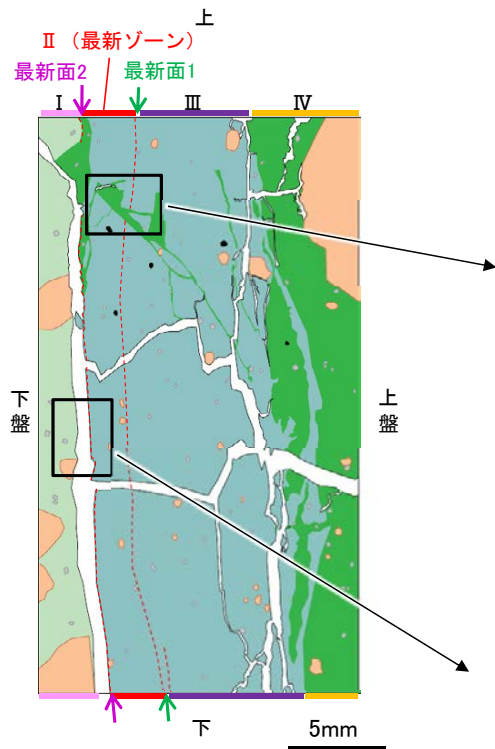




S-1\_M-12.5”孔

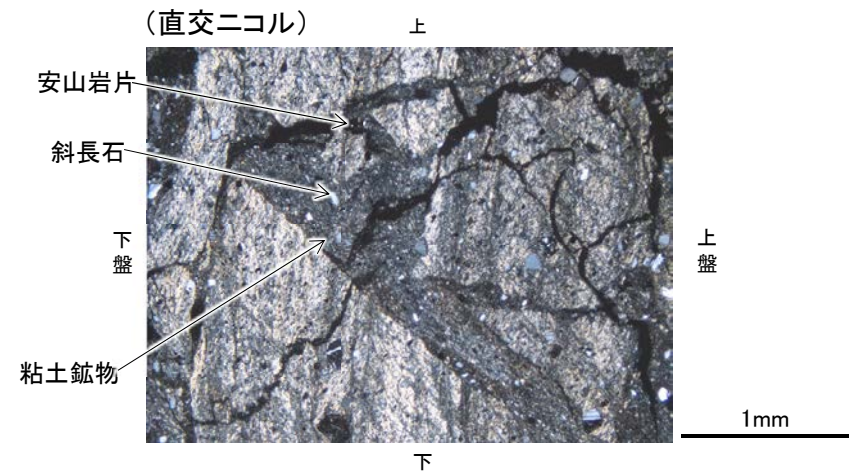
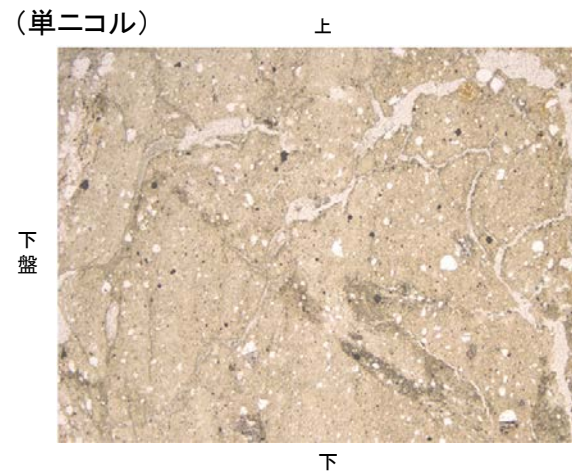
【碎屑岩脈の構成物】

○碎屑岩脈の構成物については、主に細粒の長石類、粘土鉱物、安山岩片からなる。  
 ○一方、碎屑岩脈の周辺に分布する固結した角礫状破碎部(分帯 I に対応)も主として、長石類、粘土鉱物、安山岩片からなる。  
 ○碎屑岩脈と固結した角礫状破碎部は、長石類等の細粒化の程度に違いはあるものの、構成鉱物の種類や、細粒な基質の割合が多いという特徴が類似している。

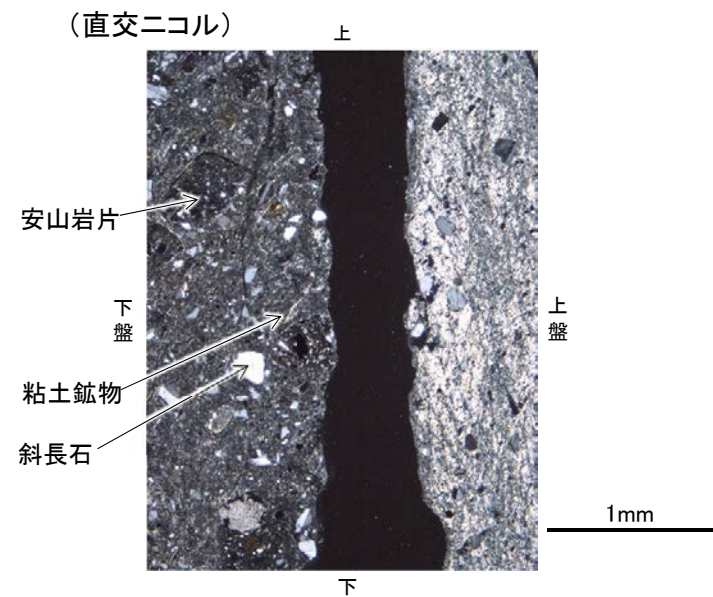
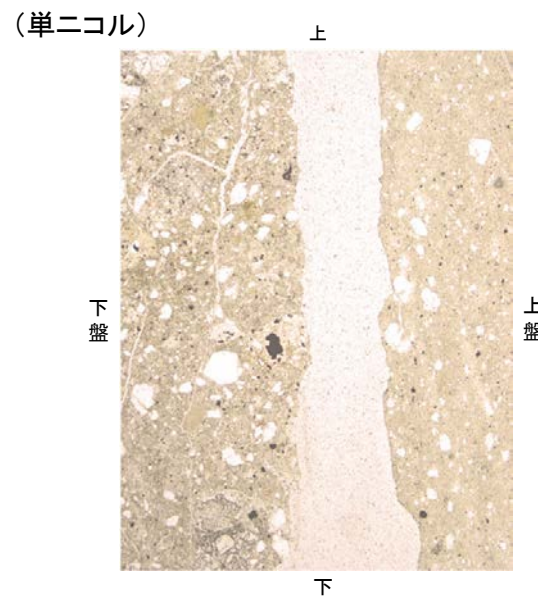


- 凡例
- 主要な岩片
  - 斜長石などの鉱物片
  - 不透明鉱物
  - 空隙部
  - 碎屑岩脈
  - 変質部 (L/S混合層)
  - 主要な岩片等を除く基質部
  - ⋯ 最新面1, 2

スケッチ



碎屑岩脈の構成物

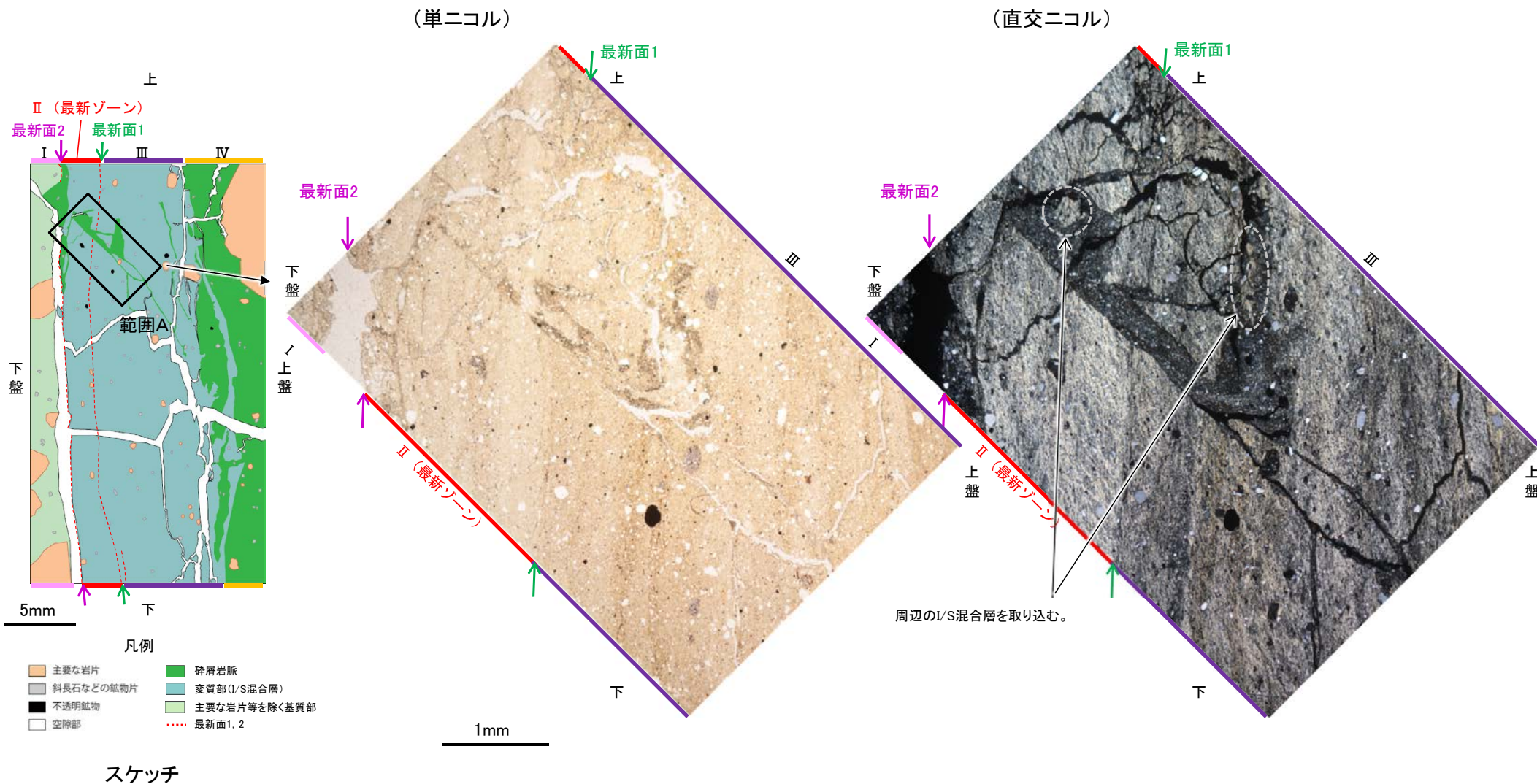


固結した角礫状破碎部の構成物



## 5.2.2 S-1 (3) M-12.5”孔 -I/S混合層と碎屑岩脈との関係-

- 碎屑岩脈はI/S混合層を含むゾーン全体を横断するように認められ、碎屑岩脈中には、周辺のI/S混合層を取り込む状況が認められる。
- また、碎屑岩脈中に含まれる粘土鉱物のEPMA分析(定量)の結果からも、碎屑岩脈中の粘土鉱物はいずれも周辺に認められる粘土鉱物と同じI/S混合層であると判定された(P.115)。
- 以上のことから、碎屑岩脈はI/S混合層生成以降に形成されたものと考えられることから、この碎屑岩脈と最新面との関係を確認する。



範囲A写真



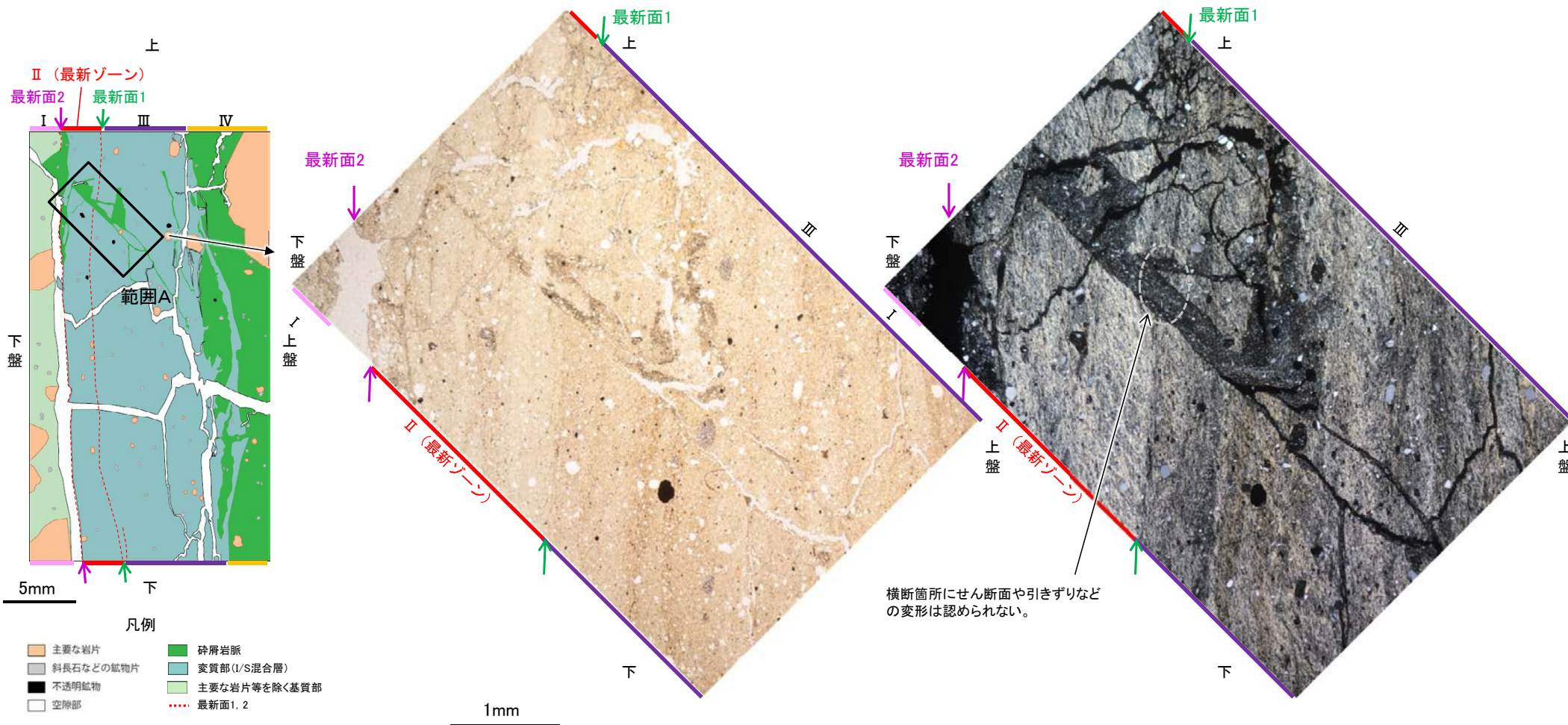
## 5.2.2 S-1 (3) M-12.5”孔 ー最新面と碎屑岩脈との関係(範囲A)ー

○範囲Aにおいて詳細に観察した結果、碎屑岩脈が最新面1を横断して分布し、横断箇所にてせん断面や引きずりなどの変形は認められない。

○なお、薄片作成時等に生じた空隙は、明確に認定できる最新面1を横断する碎屑岩脈の構造に影響を与えていないことから、横断箇所は薄片作成時等の乱れの影響を受けていないと判断できる。

(単ニコル)

(直交ニコル)



横断箇所にてせん断面や引きずりなどの変形は認められない。

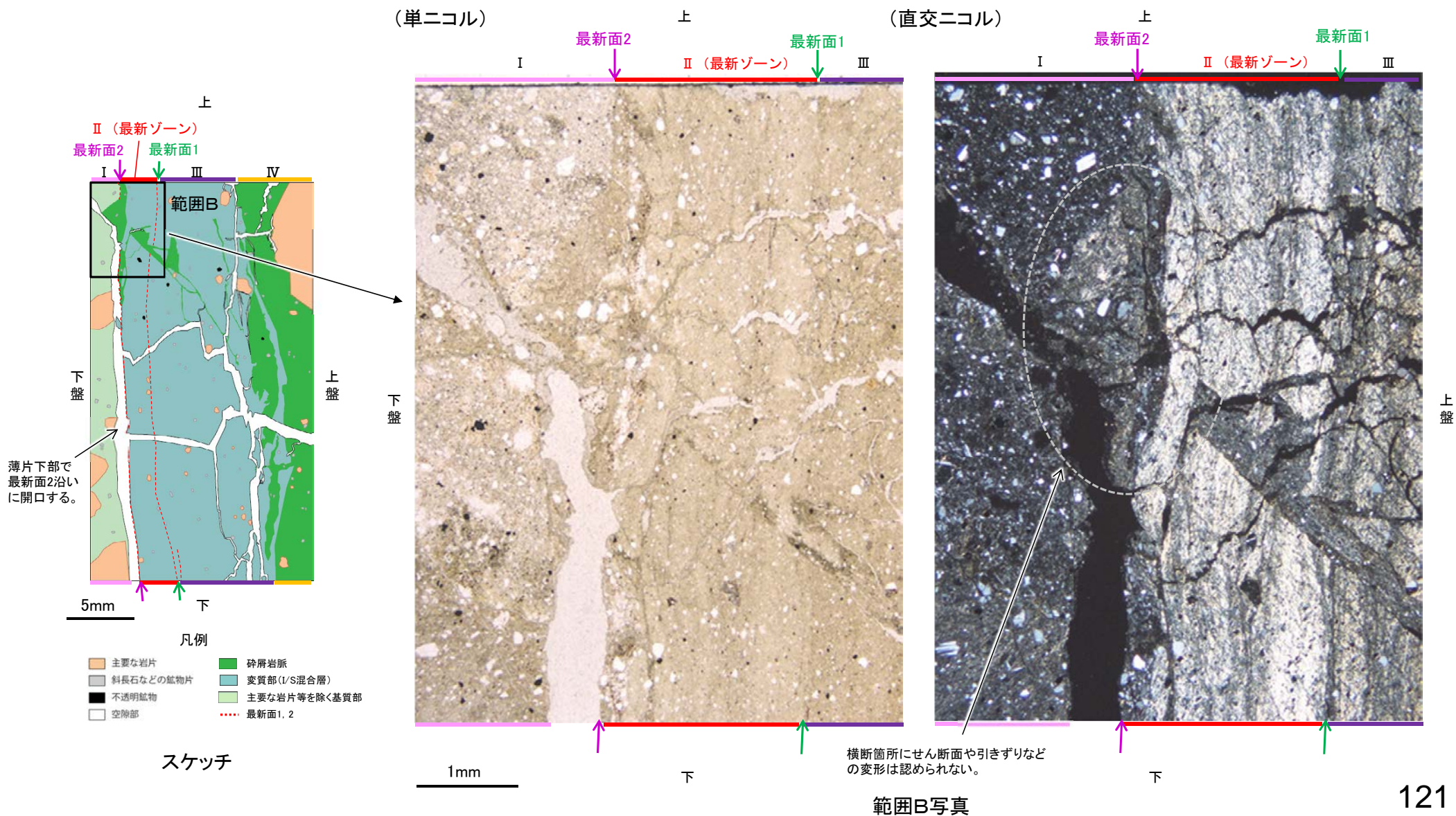
スケッチ

範囲A写真



## 5.2.2 S-1 (3) M-12.5”孔 ー最新面と碎屑岩脈との関係(範囲B)ー

- 範囲Bにおいて詳細に観察した結果、碎屑岩脈が最新面2を横断して分布し、横断箇所にはせん断面や引きずりなどの変形は認められない。
- なお、薄片作成時等に生じた空隙は、明確に認定できる最新面2を横断する碎屑岩脈の構造に影響を与えていないことから、横断箇所は薄片作成時等の乱れの影響を受けていないと判断できる。
- また、最新面2の上盤側には割れ目が認められるものの、碎屑岩脈がこの割れ目を充填しており、碎屑岩脈にせん断面や引きずりなどの変形は認められないことから、この割れ目は碎屑岩脈形成以降に生じたものではない(次頁)。

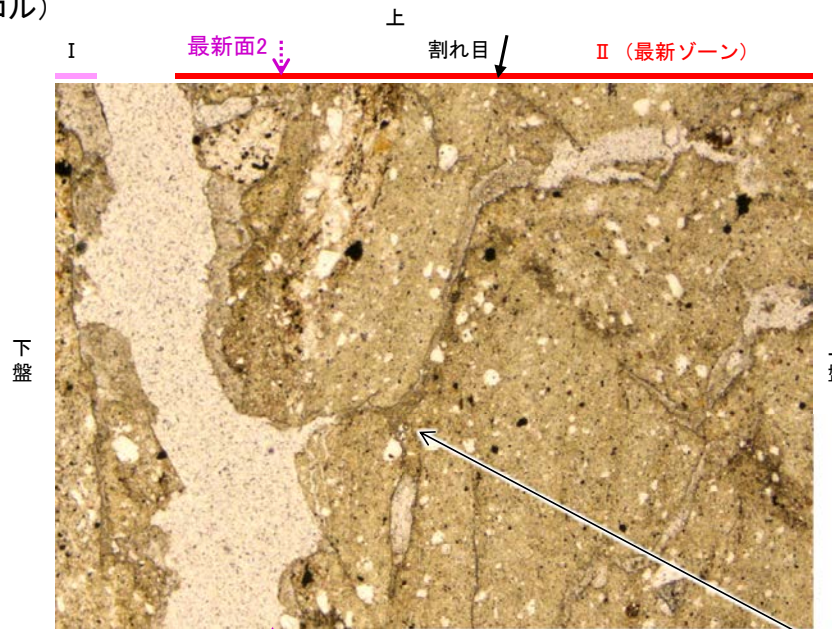




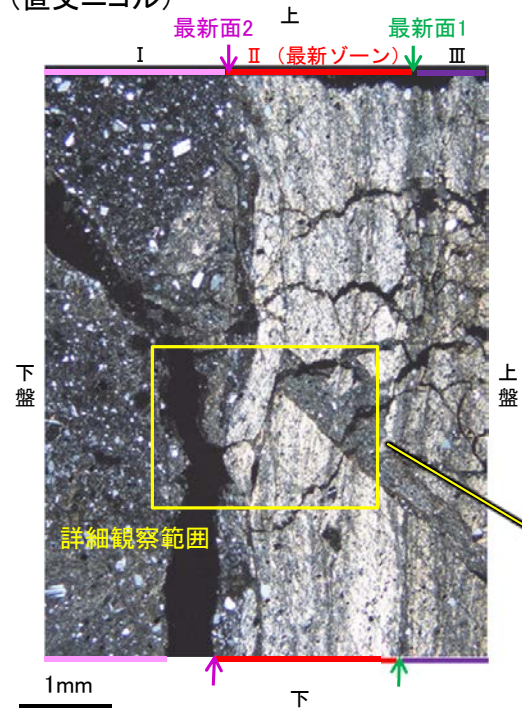
S-1\_M-12.5”孔

【詳細観察(範囲B)】

(単ニコル)

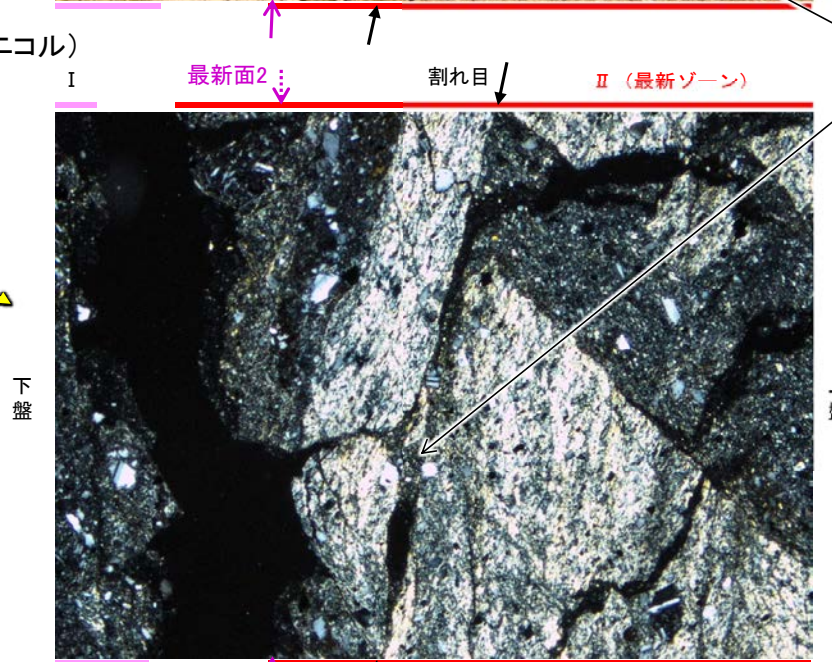


(直交ニコル)



範囲B写真

(直交ニコル)



詳細観察範囲写真

碎屑岩脈が割れ目を充填し、  
碎屑岩脈にせん断面や引きずり  
などの変形は認められない。

←… : 延長位置