

# 大間原子力発電所

## 敷地周辺及び敷地近傍の地質・地質構造

(コメント回答 その8)

(敷地極近傍の断層の評価について)

(補足説明資料)

2020年4月16日

電源開発株式会社

本資料のうち  で示す箇所は、商業機密あるいは防護上の観点から公開不可としているもので、白抜きとしてあります。

○ 「第615回審査会合」及び「第646回審査会合」での誤記に関わる対応を踏まえ、本資料にて過去の審査会合資料を引用する際の注記を下記のとおりとする。

・ 右上の注記

再掲：過去の審査会合資料を、そのまま引用する場合

一部修正：過去の審査会合資料の内容を、一部修正する場合

誤りを修正：過去の審査会合資料の誤りを、正しい記載とする場合

・ 左下の注記

修正した誤りの内容を記載（誤りの修正がある場合）

## 〔地質・地質構造〕

1. 大畑層の特徴及び年代について…………… 2-1
2. sF断層系の形成の考え方…………… 2-7

## 〔sF-1断層〕

3. sF-1断層の性状…………… 2-16
4. EPMA分析による曹長石化の検討…………… 2-45
5. 大間周辺の隆起傾向…………… 2-49
6. フィリップサイトの年代測定…………… 2-50
7. X線分析の方法及び文献に基づく主要鉱物の特徴…………… 2-55
8. [参考]地下深部への連続性の有無…………… 2-58

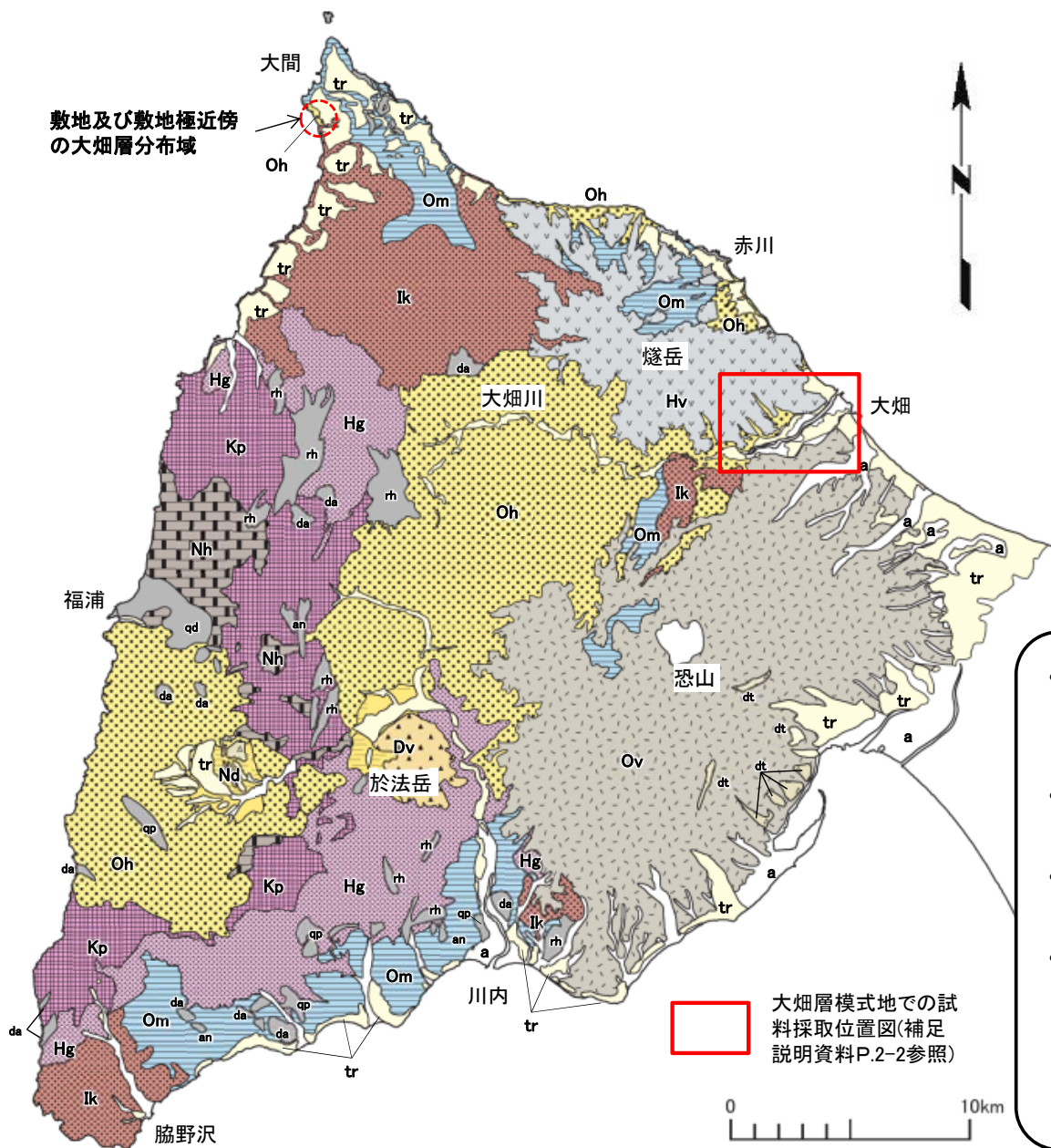
## 〔sF-2断層系〕

9. sF-2断層系の性状…………… 2-69

# 1. 大畑層の特徴及び年代について(1/6)



## 下北半島西部の大畑層の分布



| 地質凡例    |          |        |       |
|---------|----------|--------|-------|
| 地質時代    | 地層名      | 記号     |       |
| 完新世     | 崖錐堆積物    | △ dt △ | 貫入岩   |
|         | 沖積層      | a      | 玄武岩   |
| 第四紀     | 段丘堆積物    | tr     | 安山岩   |
|         | 燧岳火山噴出物  | ▽ Hv ▽ | デイサイト |
|         | 恐山火山噴出物  | < Ov > | 流紋岩   |
|         | 於法岳火山噴出物 | ▲ Dv ▲ | 石英斑岩  |
| 更新世・鮮新世 | 野平層      | ≡ Nā ≡ | 石英閃緑岩 |
|         | 大畑層      | ● Oh ● |       |
| 新第三紀    | 易国間層     | ■ Ik ■ |       |
|         | 大間層      | ▬ Om ▬ |       |
|         | 松川層      | ■ Hg ■ |       |
|         | 金八沢層     | ■ Kp ■ |       |
| 先新第三紀   | 長浜層      | ■ Nh ■ |       |

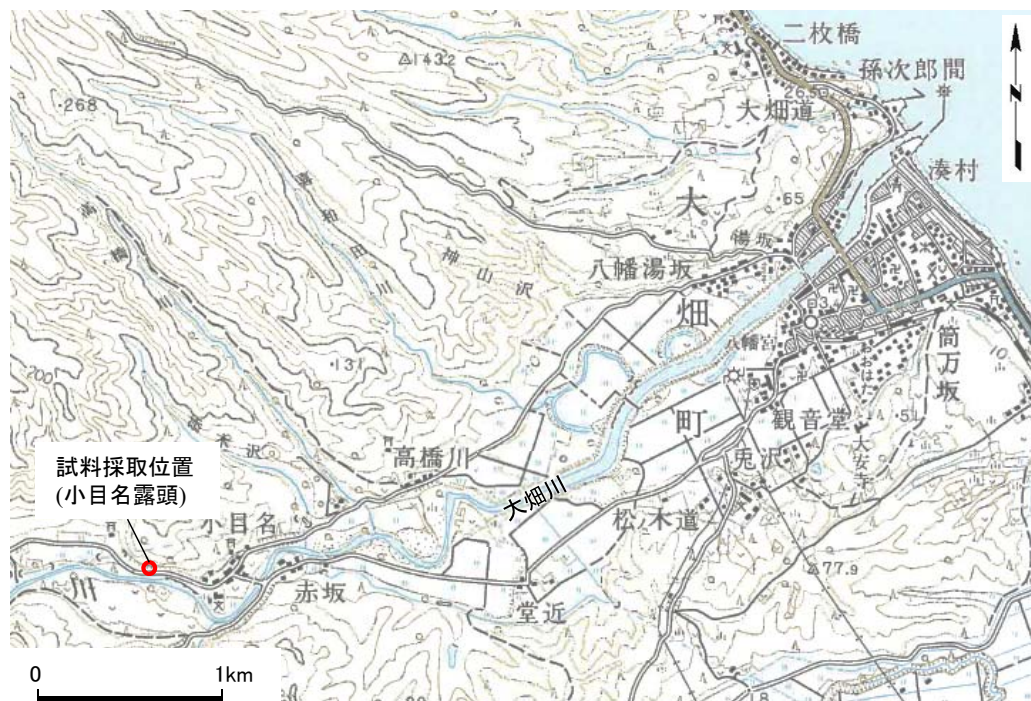
- 下北半島西部の大畑層は中央部及び南西部の広い範囲と赤川から北西-南東の海岸沿いの狭い範囲に分布し、主としてデイサイト質火山碎屑岩から成る(上村・斉藤(1957)<sup>1)</sup>)。
- これらのデイサイト質火山碎屑岩は大畑川沿い小目名地区に見られるように高温型石英を多く含むことを特徴とする。
- これらの大畑層の年代測定結果は、主に鮮新世の年代を示し、文献の年代値と調和的である(補足説明資料P.2-5参照)。
- 以上の分布域とは別に敷地北側にも高温型石英を特徴とするデイサイト質の凝灰質礫岩、火山碎屑岩及び溶岩の小規模な分布が認められる。これらは上記大畑層と岩相が類似すること、年代測定で約2.7Ma～約3.8Maが得られていることから、大畑層に対比されるが、上記の大畑層とは独立した分布を示す。

下北半島西部の地質図



## 1. 大畑層の特徴及び年代について(2/6)

## 小目名露頭(模式地)の大畑層の試料採取



試料採取位置図

この地図は、国土地理院発行の5万分の1地形図(大畑)を使用したものである。

- 上村・斉藤(1957)<sup>1)</sup>によれば大畑層の一部層「小目名石英安山岩」は大畑川沿いの小目名地区周辺に分布し、溶岩及び溶結凝灰岩様の岩石から成る。
- 試料採取位置の露頭はデイサイト質溶結凝灰岩から成り、肉眼でφ数mmの石英粒子が多く認められる。



写真1 試料採取位置全景(赤丸:写真2)



0 10cm

写真2 試料採取位置接写



# 1. 大畑層の特徴及び年代について(3/6)

第700回審査会合  
資料2-2-2 P.5 一部修正



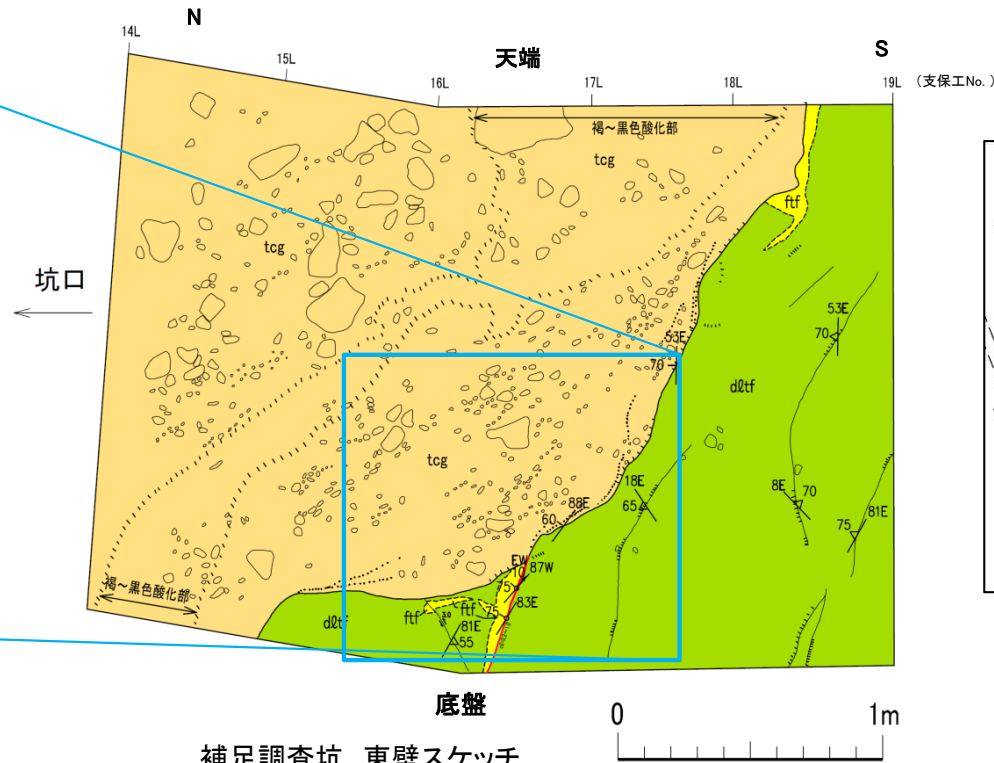
## 敷地の大畑層の試料採取



写真1 試料採取位置



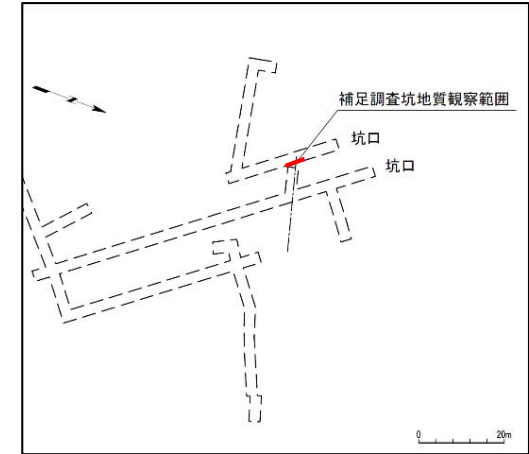
写真2 試料採取位置(赤丸内で採取)



補足調査坑 東壁スケッチ

凡例

|      |                    |       |          |   |                          |
|------|--------------------|-------|----------|---|--------------------------|
| 大畑層  | { tcg } 凝灰質礫岩      | ~~~~~ | 地層境界     | ↘ <sub>5.0</sub>  | 変位を伴う不連続面及び見掛けの鉛直変位量(cm) |
| 易国間層 | { d0tf } 暗灰色火山礫凝灰岩 | ~~~~~ | 地質境界     | ↘ <sub>10E</sub><br>↘ <sub>40</sub><br>↘ <sub>21E</sub> | 断層の走向・傾斜<br>条線の方位・伏角     |
| 下部層  | { ftf } 細粒凝灰岩      | ~~~~~ | 節理・割れ目   | ↘ <sub>80</sub> / ↘ <sub>21E</sub>                      | 節理・割れ目・変位を伴う不連続面の走向・傾斜   |
|      |                    | ~~~~~ | 断層       | ↘ <sub>80</sub> / ↘ <sub>21E</sub>                      | 地層境界の走向・傾斜               |
|      |                    | c#2-1 | 断層       | ~~~~~   | 酸化物(マンガン、鉄)付着部           |
|      |                    | c#    | 粘土厚さ(cm) |   |                          |
|      |                    | ○     | 礫        |   |                          |
|      |                    | ~~~~~ | 礫の配列     |   |                          |



地質観察範囲位置図

- 敷地の大畑層は主に敷地北側に分布し、補足調査坑では高温型石英を特徴的に含み淘汰不良の円礫~亜角礫を主体とする凝灰質礫岩から成る。この凝灰質礫岩は岩相からデイサイト質火山碎屑物の二次的堆積と推定される。
- 補足調査坑内で上記大畑層の試料採取を行った。



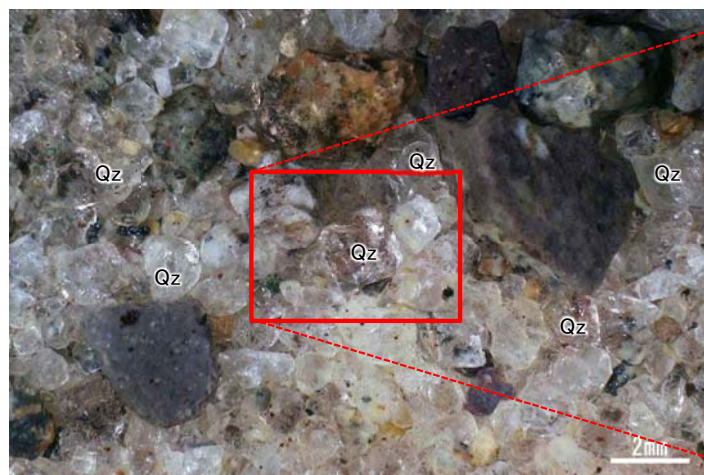


## 敷地の大畑層と模式地の大畑層の観察結果

〔敷地内補足調査坑〕



写真1-1 補足調査坑試料



凡例  
Qz: 石英

写真1-2 同左実体鏡写真  
石英粒子が多く認められる。

0 2mm



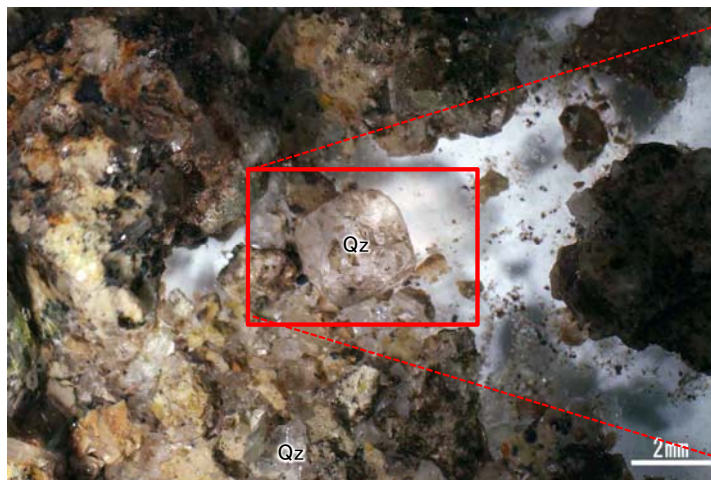
写真1-3 同左実体鏡拡大写真  
粒径2mm程度の大きな石英粒子(いわゆる算盤玉状の結晶形を呈する)が認められる。

0 1mm

〔大畑川小目名露頭〕



写真2-1 小目名露頭試料



凡例  
Qz: 石英

写真2-2 同左実体鏡写真  
比較的大きな粒径の石英粒子が認められる。

0 2mm



写真2-3 同左実体鏡拡大写真  
敷地内試料と同様、粒径3mm程度の大きな石英粒子(いわゆる算盤玉状の結晶形を呈する)が認められる。

0 1mm

敷地及び小目名露頭の大畑層試料の実体鏡観察によれば、両者には特徴的な結晶形を呈する石英粒子が明瞭に認められ、類似の岩相であることが分かる。



# 1. 大畑層の特徴及び年代について(5/6)

第700回審査会合  
資料2-2-2 P.7 一部修正



## 敷地周辺及び敷地の大畑層の年代測定結果

敷地における年代測定データ

| No. | 岩種名【孔名, 深度等】              | ジルコンFT年代    | ジルコンU-Pb年代  |
|-----|---------------------------|-------------|-------------|
| 1   | 凝灰質礫岩【Tf-6掘削面】            | 2.7±0.4Ma   | 3.00±0.14Ma |
| 2   | 凝灰質礫岩【IT-22孔16.55m】       | 2.93±0.61Ma | 3.00±0.10Ma |
| 3   | デイサイト溶岩【IT-24孔48.1-48.2m】 | 3.60±0.23Ma | 3.56±0.06Ma |
| 4   | デイサイト溶岩【R-109孔51.0-51.5m】 | 3.8±0.6Ma   | —           |
| 5   | 軽石凝灰岩【S-102孔47.4-48.6m】   | 3.8±0.3Ma   | —           |

敷地極近傍における年代測定データ

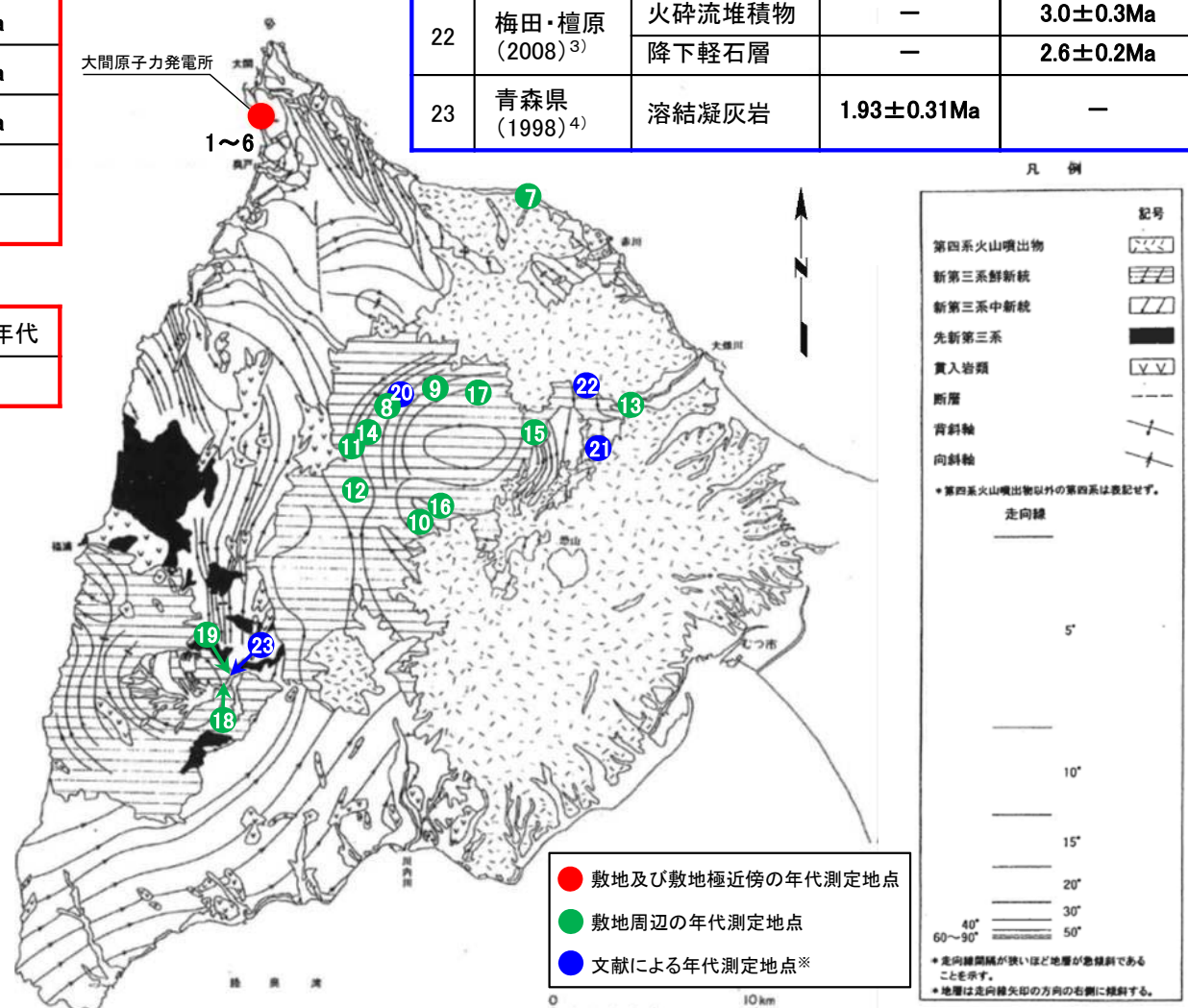
| No. | 岩種名【地点名】     | ジルコンFT年代  | ジルコンU-Pb年代 |
|-----|--------------|-----------|------------|
| 6   | 軽石凝灰岩【H-4地点】 | 3.1±0.4Ma | —          |

敷地周辺における年代測定データ

| No. | 岩種名        | K-Ar年代      | ジルコンFT年代  |
|-----|------------|-------------|-----------|
| 7   | 軽石層        | —           | 1.8±0.2Ma |
| 8   | 安山岩溶岩      | 1.89±0.22Ma | —         |
| 9   | 安山岩溶岩      | 2.18±0.11Ma | —         |
| 10  | 溶結凝灰岩      | —           | 2.4±0.4Ma |
| 11  | 軽石質凝灰岩     | —           | 3.0±0.9Ma |
| 12  | 安山岩フィーダー岩脈 | 3.15±0.21Ma | —         |
| 13  | 溶結凝灰岩      | —           | 3.2±0.4Ma |
| 14  | 軽石質火山礫凝灰岩  | —           | 3.4±0.7Ma |
| 15  | デイサイト礫     | —           | 3.6±0.3Ma |
| 16  | 細粒白色凝灰岩    | —           | 3.8±0.5Ma |
| 17  | 軽石質火山礫凝灰岩  | —           | 4.8±0.9Ma |
| 18  | 溶結凝灰岩      | —           | 2.9±0.5Ma |
| 19  | 溶結凝灰岩      | —           | 3.6±0.3Ma |

敷地周辺の文献による年代測定データ

| No. | 出典                        | 岩種名    | K-Ar年代      | ジルコンFT年代  |
|-----|---------------------------|--------|-------------|-----------|
| 20  | 戸田ほか(2011) <sup>2)</sup>  | 軽石凝灰岩  | 2.59±0.43Ma | —         |
| 21  |                           |        | 2.80±0.17Ma | —         |
| 22  | 梅田・檀原(2008) <sup>3)</sup> | 火砕流堆積物 | —           | 3.0±0.3Ma |
|     |                           | 降下軽石層  | —           | 2.6±0.2Ma |
| 23  | 青森県(1998) <sup>4)</sup>   | 溶結凝灰岩  | 1.93±0.31Ma | —         |



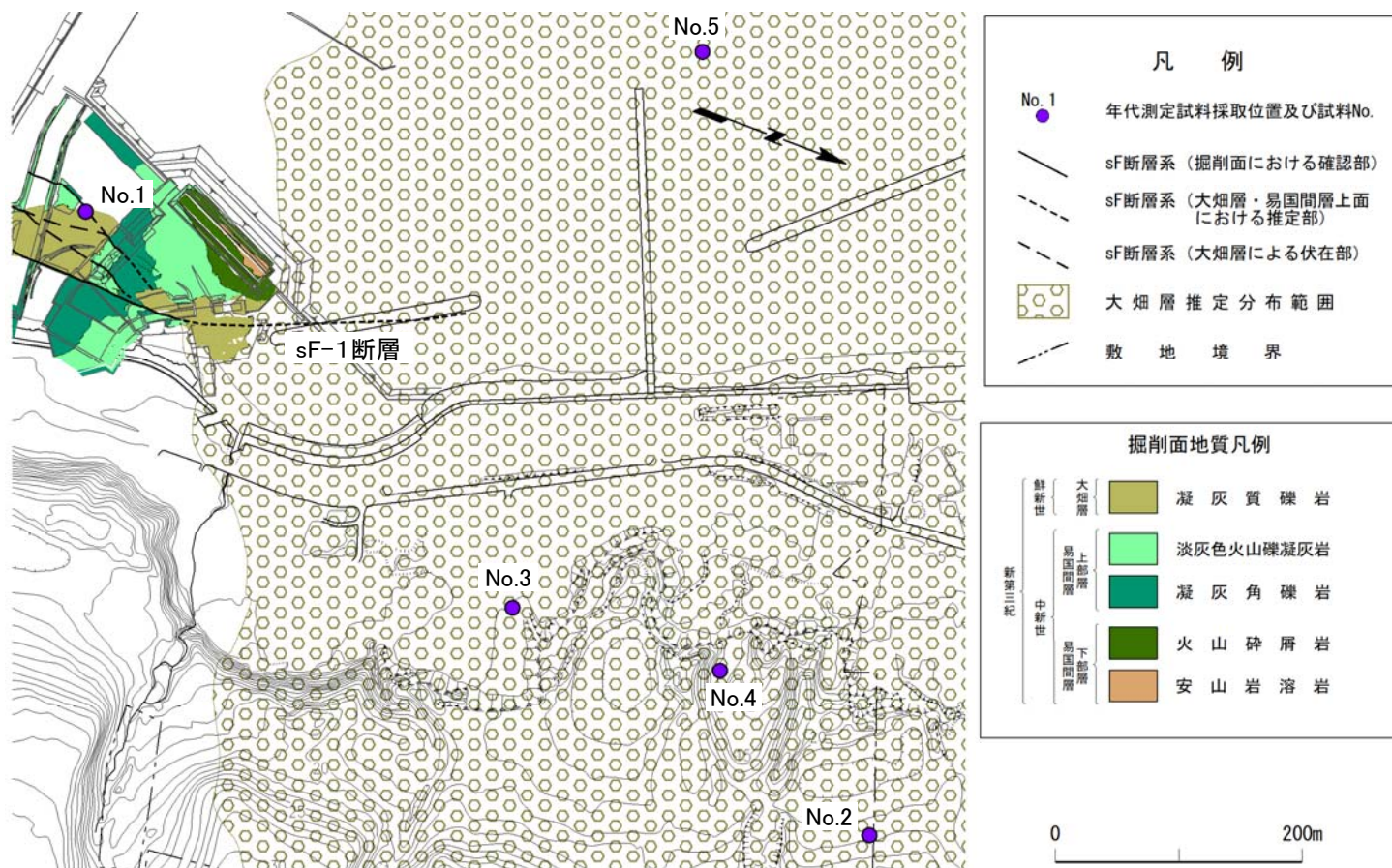
● 敷地及び敷地極近傍の年代測定地点  
● 敷地周辺の年代測定地点  
● 文献による年代測定地点※

※: No.20,21,23の測定地点は、文献の文章記載に基づく推定位置。  
注) 本図で示す敷地周辺陸域の地質構造は、第316回審査会合(H28.1.8)時点のものである。

敷地及び敷地極近傍での大畑層の年代(約2.7Ma~約3.8Ma)は、敷地周辺の大畑層の年代におおむね一致する。

# 1. 大畑層の特徴及び年代について(6/6)

## 敷地の大畑層の年代測定結果



敷地の大畑層の年代測定試料採取位置

敷地の大畑層の年代測定結果

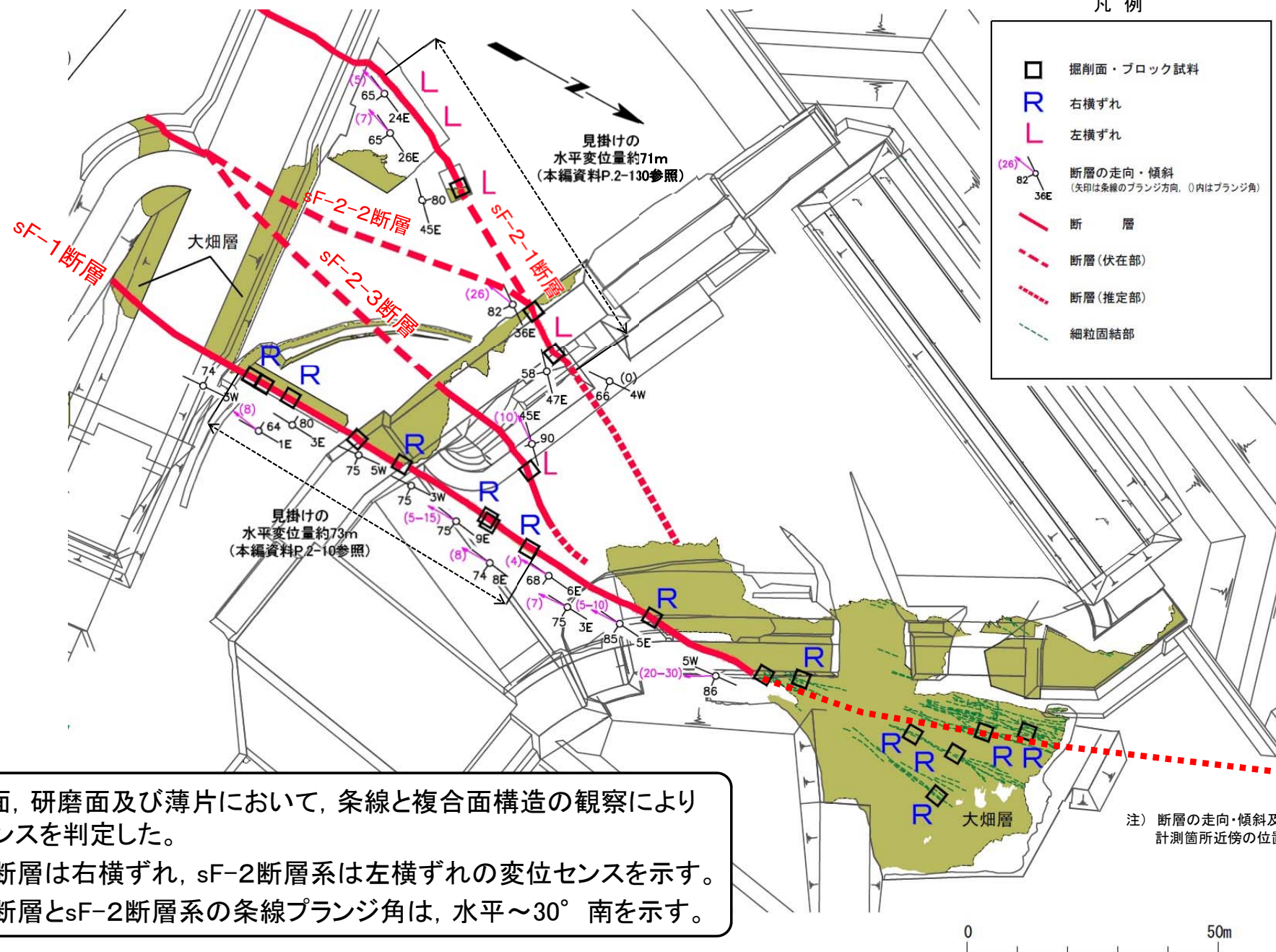
| No. | 岩種名【孔名, 深度等】              | ジルコンFT年代    | ジルコンU-Pb年代  |
|-----|---------------------------|-------------|-------------|
| 1   | 凝灰質礫岩【Tf-6掘削面】            | 2.7±0.4Ma   | 3.00±0.14Ma |
| 2   | 凝灰質礫岩【IT-22孔16.55m】       | 2.93±0.61Ma | 3.00±0.10Ma |
| 3   | デイサイト溶岩【IT-24孔48.1-48.2m】 | 3.60±0.23Ma | 3.56±0.06Ma |
| 4   | デイサイト溶岩【R-109孔51.0-51.5m】 | 3.8±0.6Ma   | —           |
| 5   | 軽石凝灰岩【S-102孔47.4-48.6m】   | 3.8±0.3Ma   | —           |

- 敷地の大畑層の年代測定を敷地の5地点の試料で実施した。
- 年代測定結果は、火山噴出物であるデイサイト溶岩及び軽石凝灰岩では約3.6Ma～約3.8Ma, 凝灰質礫岩では約2.7Ma～約3.0Maとなり、敷地の大畑層が鮮新世の地層であることが確認された。



## 2. sF断層系の形成の考え方(1/8)

## sF断層系の変位センス分布



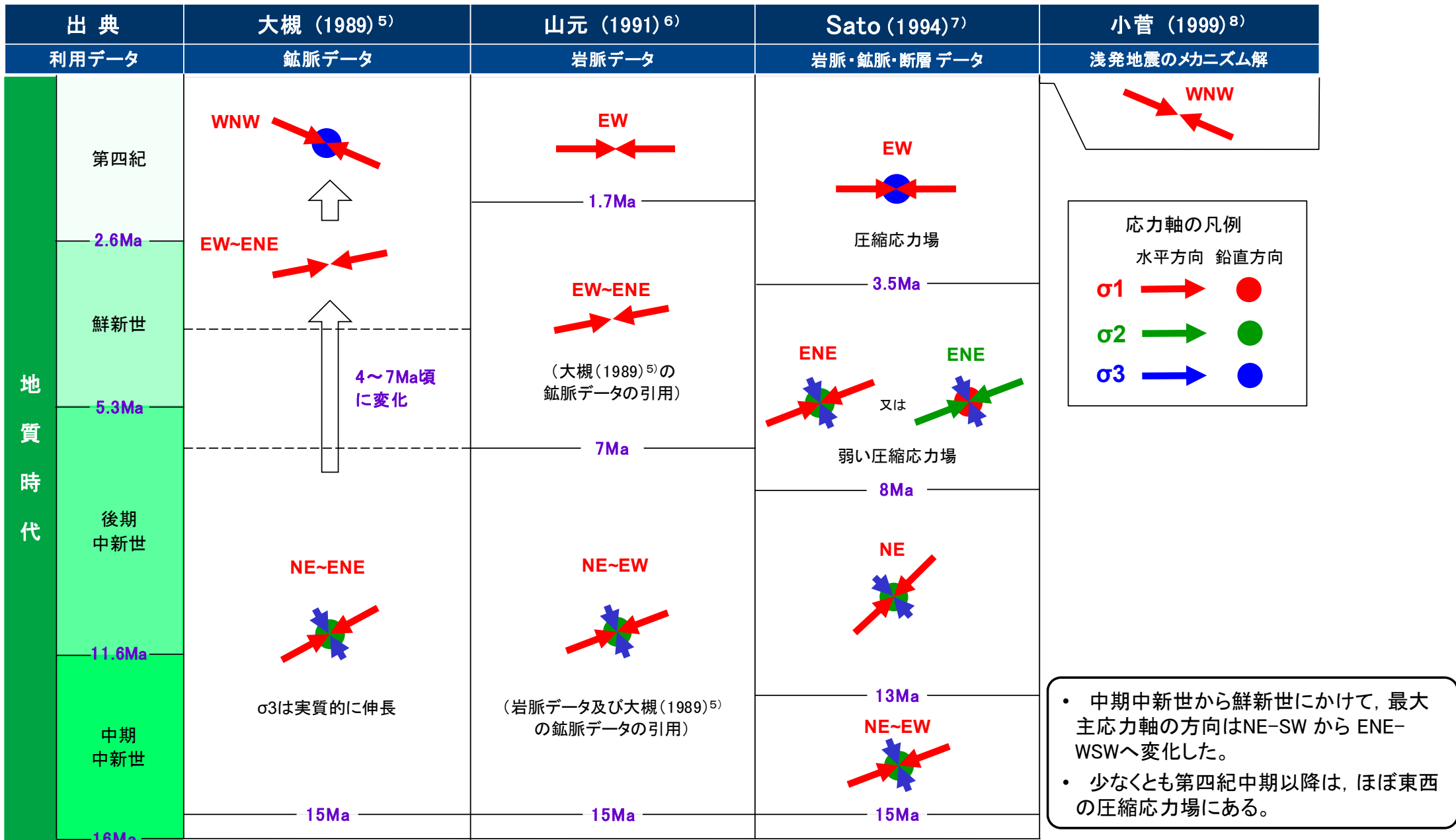
- 掘削面，研磨面及び薄片において，条線と複合面構造の観察により変位センスを判定した。
- sF-1断層は右横ずれ，sF-2断層系は左横ずれの変位センスを示す。
- sF-1断層とsF-2断層系の条線プランジ角は，水平～30°南を示す。





## 2. sF断層系の形成の考え方(2/8)

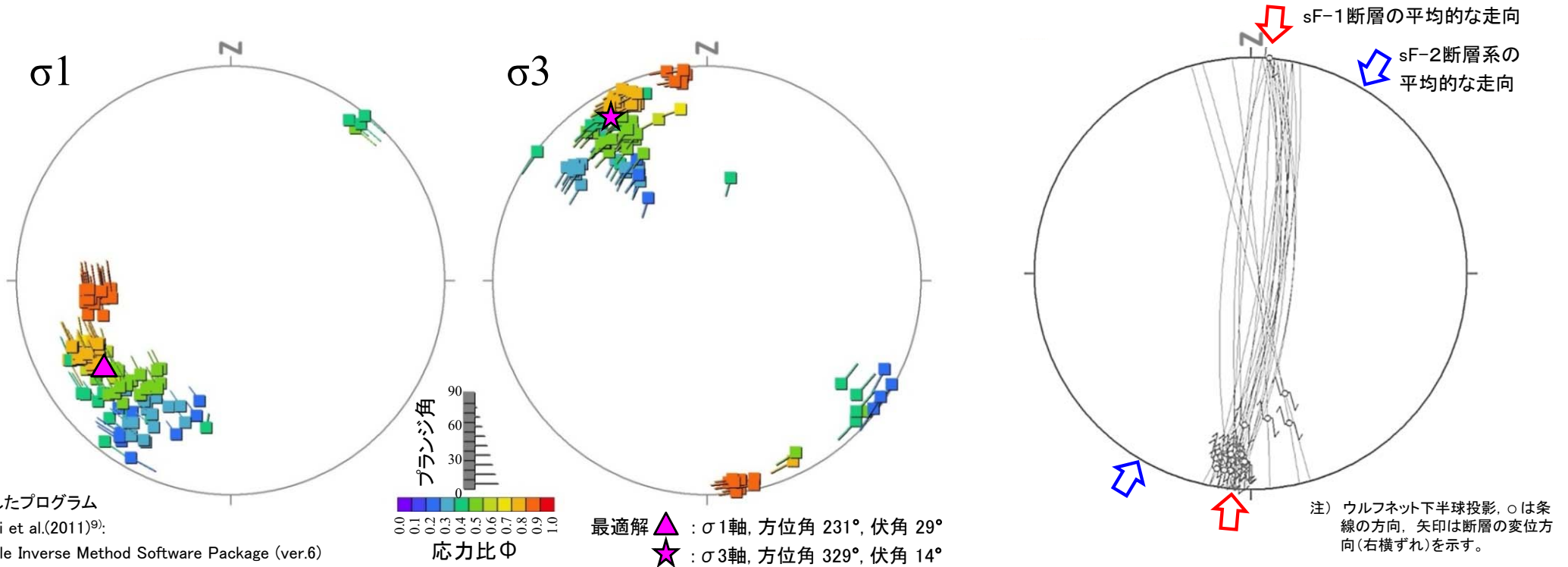
### 文献による下北半島周辺の応力場の変遷



注) 現応力場については補足説明資料P.2-13, 2-14参照。



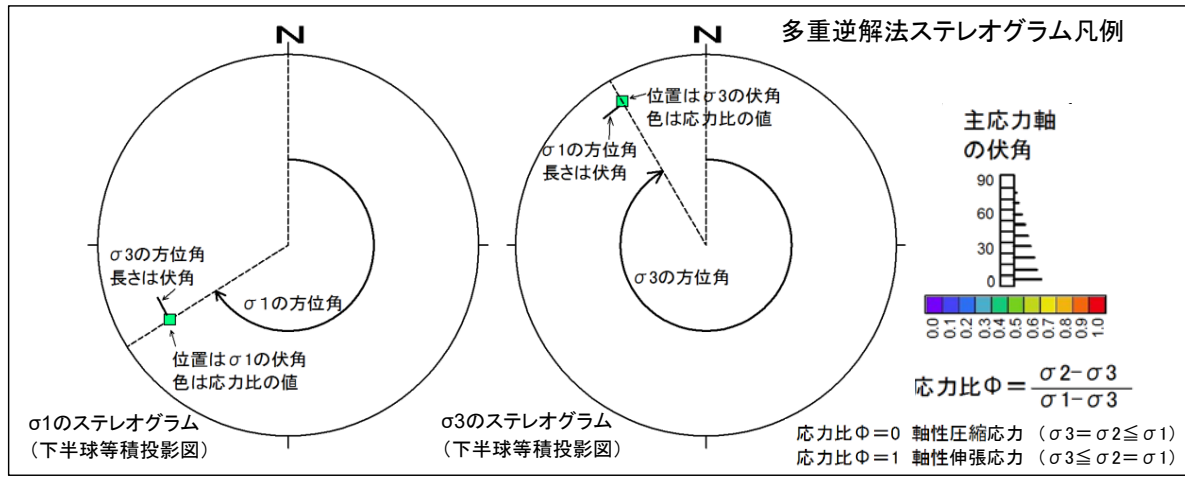
## 多重逆解法によるsF-1断層の応力場の推定



多重逆解法によるσ<sub>1</sub>及びσ<sub>3</sub>の主応力軸方向

断層の走向・傾斜と条線方向

使用したプログラム  
Yamaji et al.(2011)<sup>9)</sup>  
Multiple Inverse Method Software Package (ver.6)



- sF-1断層の走向・傾斜及び断層面の条線データ(計30個)を用いて, 多重逆解法(Yamaji et al.(2011)<sup>9)</sup>)により断層形成時の応力場について検討した。
- 最大主応力軸はNE-SW方向でほぼ水平で, 中～後期中新世の広域応力場(最大主応力軸NE-SW方向)及び鮮新世の広域応力場(最大主応力軸ENE-WSW方向)におおむね調和的である(補足説明資料P.2-8参照)。
- 第四紀の東西圧縮応力場には整合しないことから, 第四紀における活動はないものと考えられる。



### 多重逆解法解析に用いたsF-1断層データ

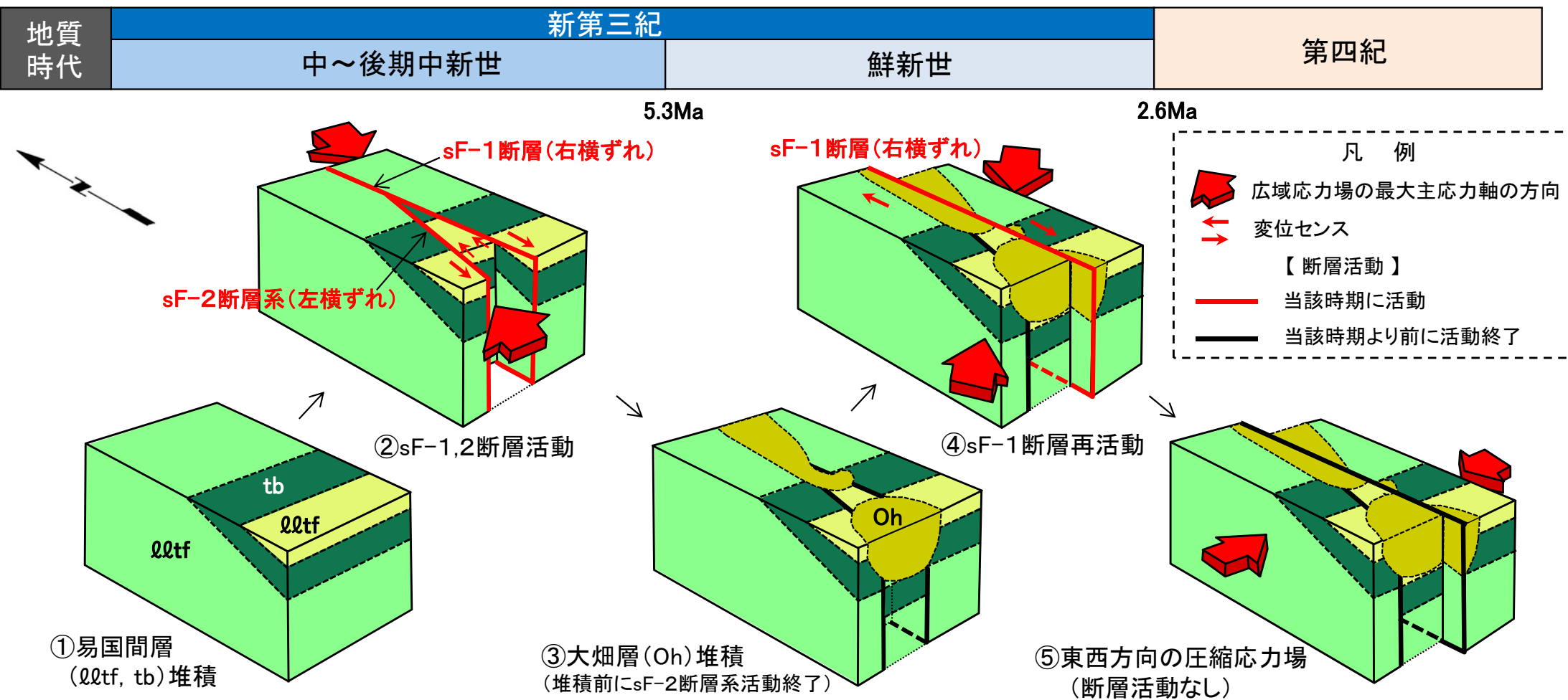
掘削面のsF-1断層データ

| 断層名  | 番号 | 断層面の方位角<br>(°) | 断層面の傾斜角<br>(°) | 条線方位角<br>(°) | 条線伏角<br>(°) | 変位センス | ミスフィット角<br>(°) |
|------|----|----------------|----------------|--------------|-------------|-------|----------------|
| sF-1 | 1  | 77             | 86             | 166          | 19          | 右横ずれ  | 1.3            |
|      | 2  | 85             | 86             | 173          | 22          | 右横ずれ  | 8.7            |
|      | 3  | 74             | 90             | 164          | 30          | 右横ずれ  | 2.0            |
|      | 4  | 275            | 75             | 5            | 0           | 右横ずれ  | 5.2            |
|      | 5  | 275            | 86             | 185          | 5           | 右横ずれ  | 2.2            |
|      | 6  | 271            | 84             | 182          | 7           | 右横ずれ  | 3.4            |
|      | 7  | 273            | 82             | 184          | 8           | 右横ずれ  | 0.4            |
|      | 8  | 95             | 85             | 184          | 8           | 右横ずれ  | 0.5            |
|      | 9  | 93             | 75             | 181          | 7           | 右横ずれ  | 1.0            |
|      | 10 | 101            | 73             | 189          | 7           | 右横ずれ  | 1.2            |
|      | 11 | 96             | 68             | 184          | 4           | 右横ずれ  | 3.7            |
|      | 12 | 95             | 68             | 182          | 8           | 右横ずれ  | 0.3            |
|      | 13 | 95             | 68             | 183          | 5           | 右横ずれ  | 2.4            |
|      | 14 | 95             | 68             | 182          | 8           | 右横ずれ  | 0.9            |
|      | 15 | 98             | 74             | 186          | 8           | 右横ずれ  | 0.1            |
|      | 16 | 98             | 74             | 186          | 8           | 右横ずれ  | 0.1            |
|      | 17 | 97             | 74             | 184          | 12          | 右横ずれ  | 4.3            |
|      | 18 | 97             | 78             | 186          | 5           | 右横ずれ  | 2.8            |
|      | 19 | 99             | 82             | 188          | 10          | 右横ずれ  | 3.0            |
|      | 20 | 97             | 74             | 184          | 10          | 右横ずれ  | 2.3            |
|      | 21 | 103            | 74             | 191          | 8           | 右横ずれ  | 0.1            |
|      | 22 | 97             | 78             | 186          | 5           | 右横ずれ  | 2.8            |
|      | 23 | 101            | 85             | 190          | 10          | 右横ずれ  | 4.2            |
|      | 24 | 101            | 78             | 190          | 5           | 右横ずれ  | 2.4            |
|      | 25 | 99             | 75             | 188          | 5           | 右横ずれ  | 2.9            |
|      | 26 | 99             | 75             | 186          | 10          | 右横ずれ  | 2.3            |
|      | 27 | 95             | 72             | 182          | 8           | 右横ずれ  | 0.4            |
|      | 28 | 95             | 78             | 183          | 10          | 右横ずれ  | 2.0            |
|      | 29 | 94             | 75             | 182          | 8           | 右横ずれ  | 0.1            |
|      | 30 | 96             | 80             | 182          | 20          | 右横ずれ  | 12.4           |

解析で求められた最適応力場とのミスフィット角は小さく、sF-1断層は均一な一つの応力場において形成されたものと考えられる。



## sF断層系の形成史モデル



- 中～後期中新世の広域応力場(最大主応力軸NE-SW方向)において、sF-1断層が右横ずれ、sF-2断層系が左横ずれの共役断層で活動した(②)。
- その後、陸化・侵食を受け、これら断層沿いに鮮新統の大畑層が堆積した(③)。sF-2断層系は大畑層堆積前に活動を終了した。
- sF-1断層はNS走向で直線性・連続性が良いことから、鮮新世の広域応力場(最大主応力軸ENE-WSW方向)でも右横ずれ運動可能であり、大畑層堆積直後に再活動し、活動終了した(④)。
- 第四紀のほぼ東西の水平圧縮応力場では、NS走向のsF-1断層は横ずれ運動を継続することは困難である(⑤)。

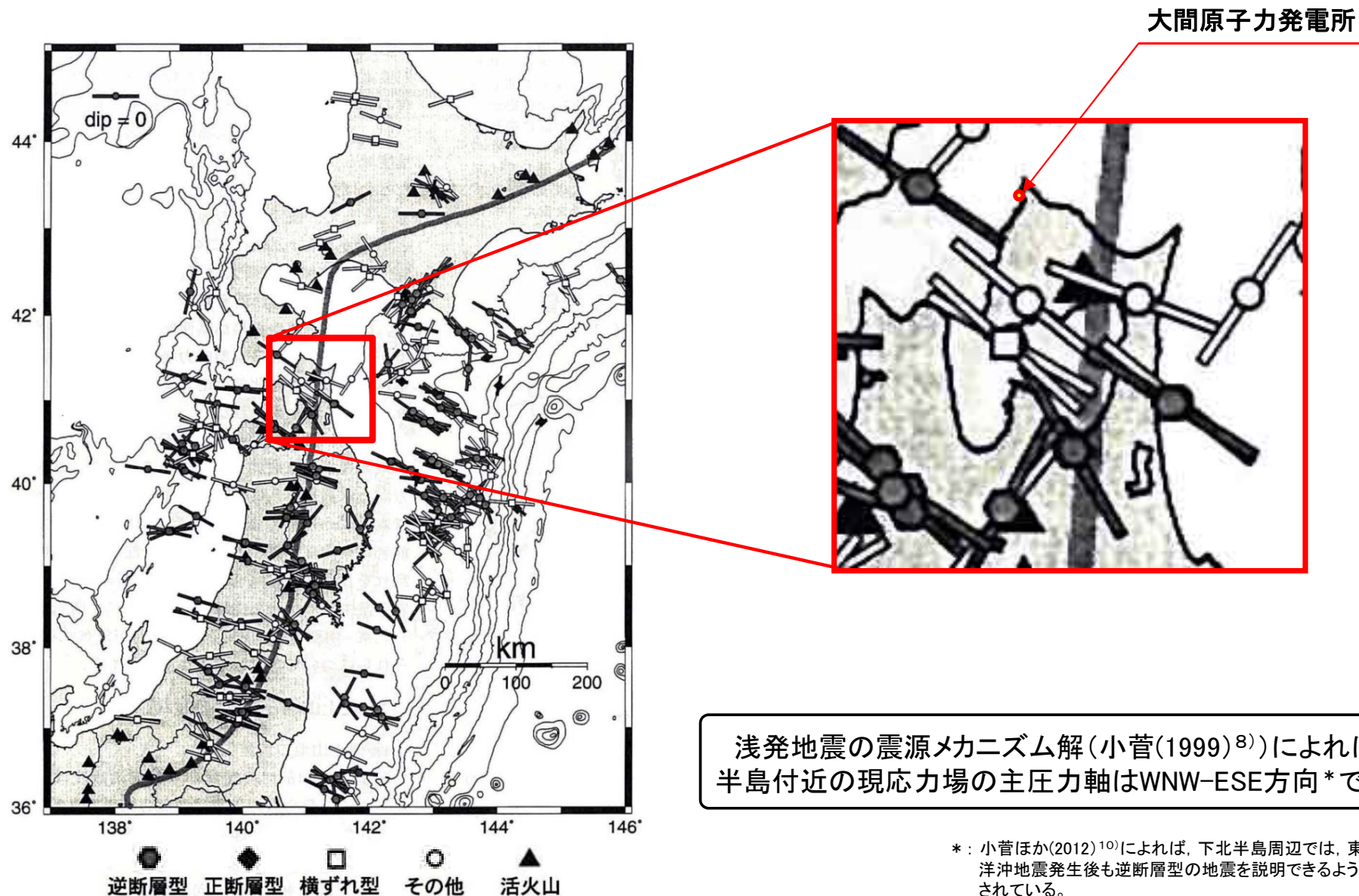
### まとめ

- 掘削面, 研磨面及び薄片において, 条線と複合面構造の観察によりせん断センスを判定した。sF-1断層は右横ずれ, sF-2断層系は左横ずれの変位センスを示し, 条線プランジ角は水平 $\sim 30^\circ$  南である(補足説明資料P.2-7参照)。
- 多重逆解法により推定されるsF-1断層の最大主応力軸はNE-SW方向でほぼ水平であり, 文献による中 $\sim$ 後期中新世及び鮮新世の下北半島周辺の応力場におおむね調和的である(補足説明資料P.2-9, 2-10参照)。
- 上記の変位センス及び応力場との関係の検討結果から, sF-1断層とsF-2断層系は中 $\sim$ 後期中新世に横ずれの共役断層として形成されたと推定され, 比較的連続性のあるsF-1断層のみが鮮新世まで活動を継続したものと考えられる。
- sF-1断層は, 南北走向で右横ずれセンスを示すことから, 第四紀の東西性の水平圧縮応力場での活動は生じていないものと考えられる。



## 2. sF断層系の形成の考え方(7/8)

## [参考]現応力場の検討(震源メカニズム解)

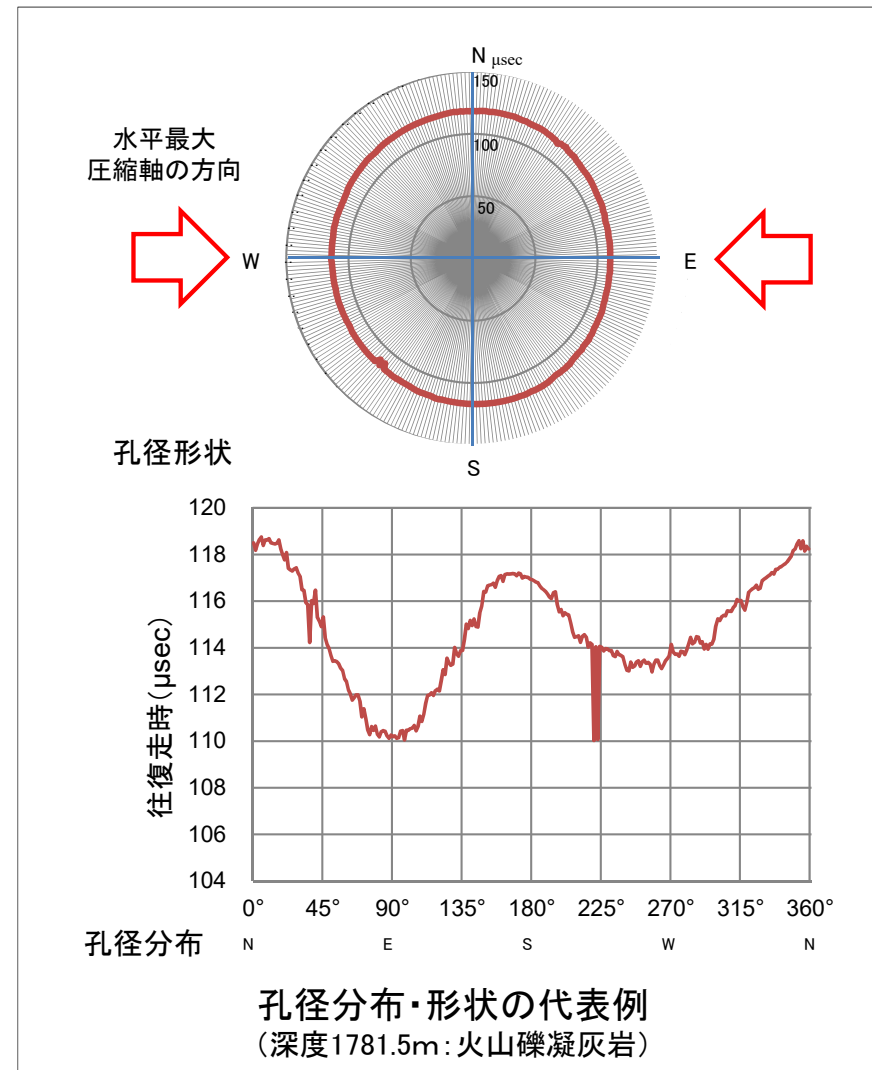
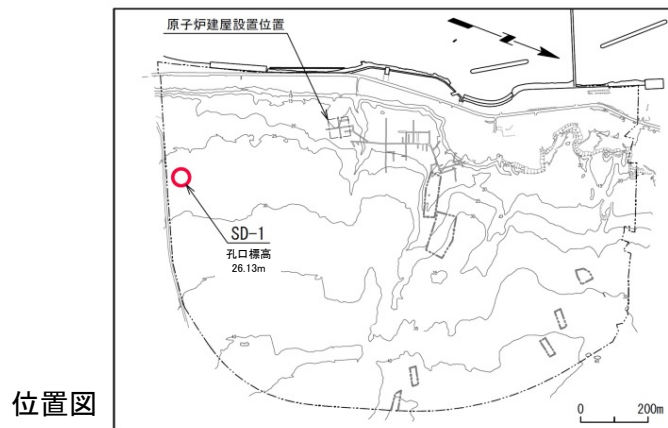
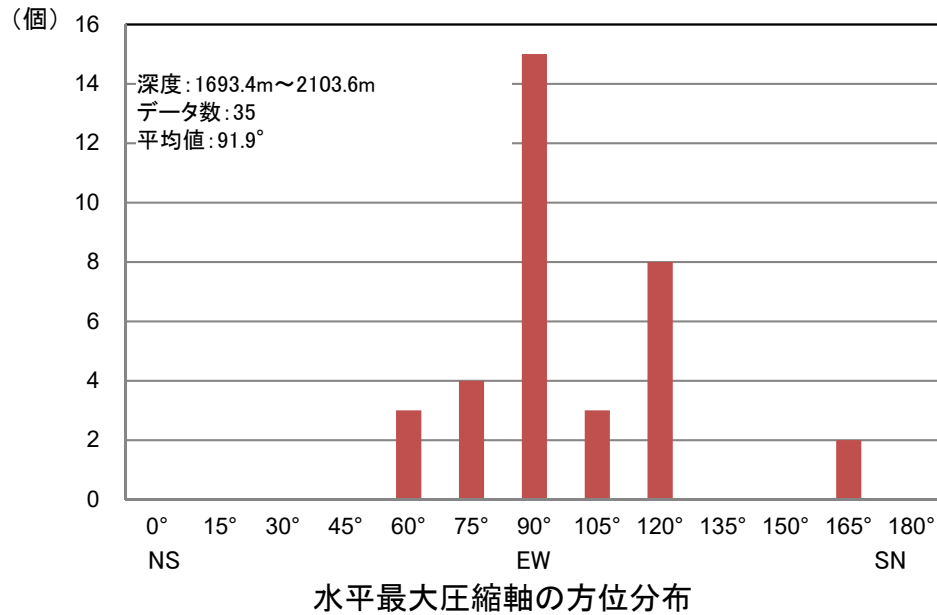


東北日本弧で発生した浅発地震のメカニズム解のP軸の空間分布(小菅(1999)<sup>8)</sup>)



## 2. sF断層系の形成の考え方(8/8)

## [参考]現応力場の検討(敷地におけるボーリング孔の変形現象による推定)



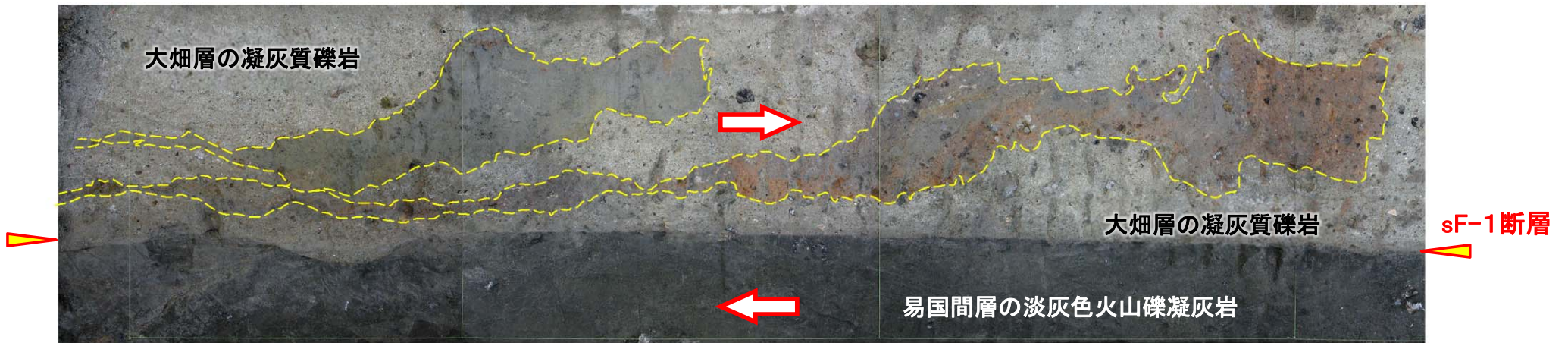
- SD-1孔にてボアホールテレビュア一検層により深度1693.4m~2103.6mの孔径分布を測定した。
- 複数の深度において方位90°毎に極大、極小孔径が出現するボーリング孔の変形現象を確認した。
- 孔径の変形から推定される水平最大圧縮軸は、そのヒストグラムの分布から東西方向であると判断される。

(余白)



### 3. sF-1断層の性状(1/26)

#### sF-1断層の掘削面での性状(1/14):掘削面底盤A(1/4)



掘削面底盤Aの写真

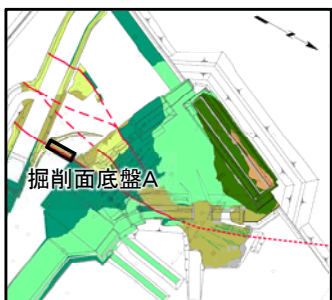
↔ 複合面構造から判定される変位センス



掘削面底盤Aの地質スケッチ

凡例

|      |      |      |           |       |               |      |                        |     |               |
|------|------|------|-----------|-------|---------------|------|------------------------|-----|---------------|
| 新第三紀 | 大畑層  | tcg  | 凝灰質礫岩     | —     | 地質境界          | ~~~~ | シルト質物質を伴う不連続面 (sF-1断層) | ⊠   | 軟質岩塊①(凝灰岩質)   |
|      |      | lltf | 淡灰色火山礫凝灰岩 | ⊞     | 固結部           | ○    | 径50mm以上の礫              | ▨   | 軟質岩塊②(凝灰角礫岩質) |
| 中新世  | 易国間層 | tb   | 凝灰角礫岩     | - - - | 大畑層中の密着した不連続面 | ~~~~ | 粘土質物質を伴う不連続面 (sF-1断層)  | cf= | 粘土質物質の幅 (cm)  |
|      |      |      |           | st=   | シルト質物質の幅 (cm) |      |                        |     |               |



位置図

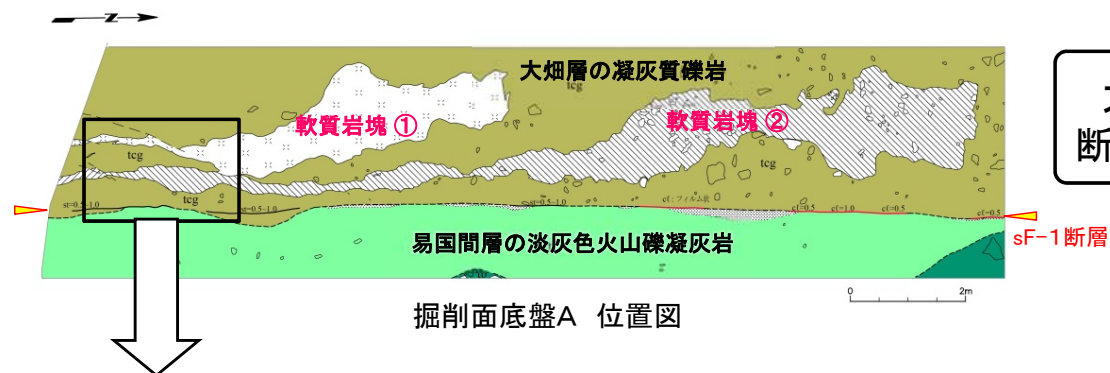
- 掘削面底盤Aでは、sF-1断層は大畑層と易国間層の境界を成し、ほぼ直線的に分布する。
- 大畑層中には変形した軟質岩塊が分布する。



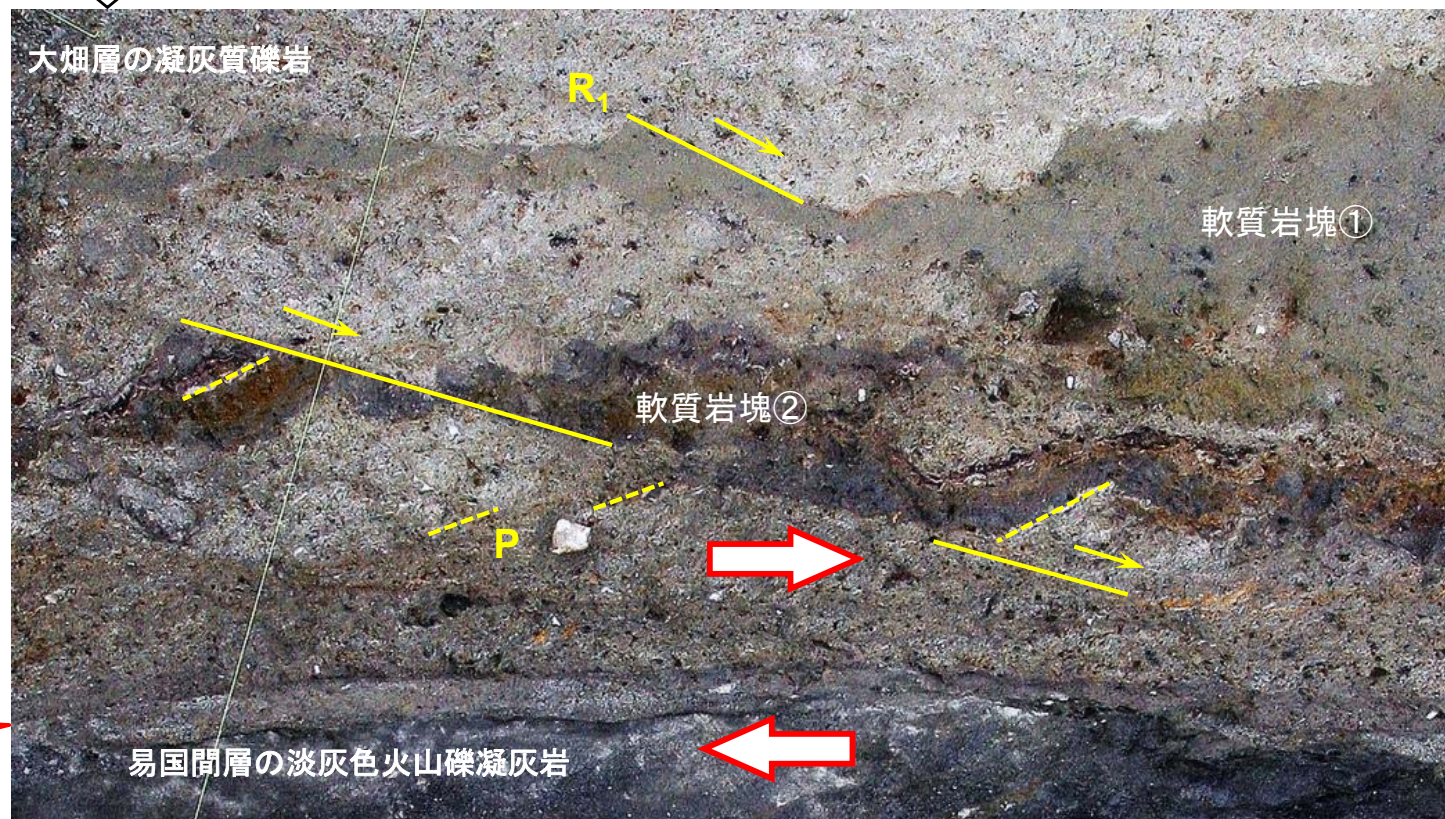
### 3. sF-1断層の性状(2/26)



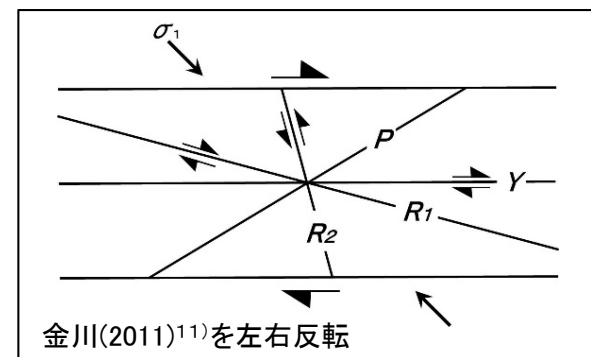
#### sF-1断層の掘削面での性状(2/14): 掘削面底盤A(2/4)(解釈線有り)



大畑層中の変形した軟質岩塊の伸長方向(P面)とこれを切断する $R_1$ 面による複合面構造は右横ずれセンスを示す。



Y : sF-1断層の主せん断面  
P : 変形岩塊と凝灰質礫岩基質中の軽石の伸長方向  
 $R_1$  : Yに対してPとは反対方向に斜交し、Pを切断する面



⇨⇨⇨ 複合面構造から判定される変位センス

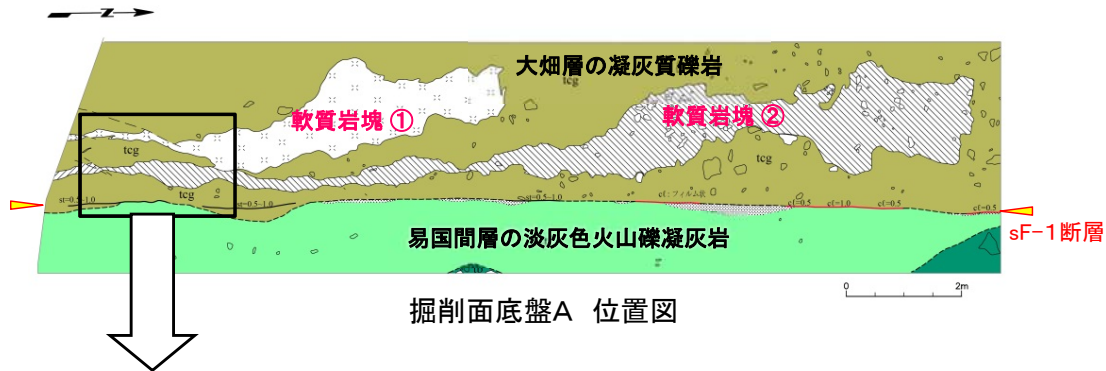
⇨⇨⇨



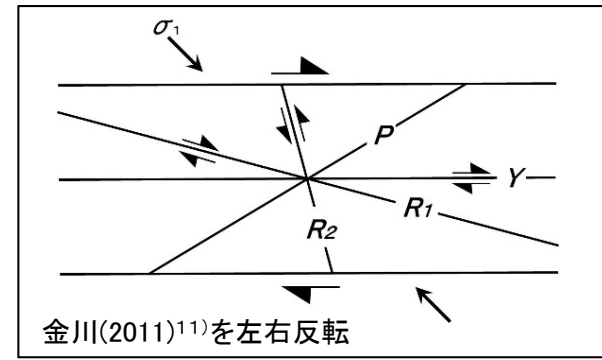


### 3. sF-1断層の性状(3/26)

#### sF-1断層の掘削面での性状(3/14):掘削面底盤A(3/4)(解釈線なし)



Y : sF-1断層の主せん断面  
 P : 変形岩塊と凝灰質礫岩基質中の軽石の伸長方向  
 R<sub>i</sub> : Yに対してPとは反対方向に斜交し, Pを切断する面



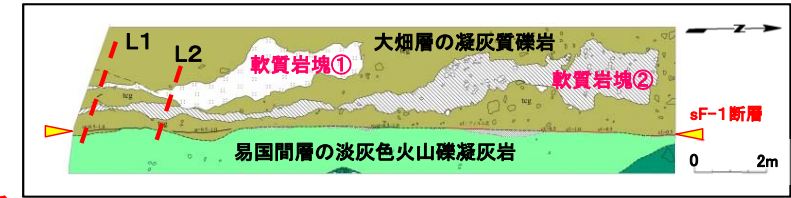




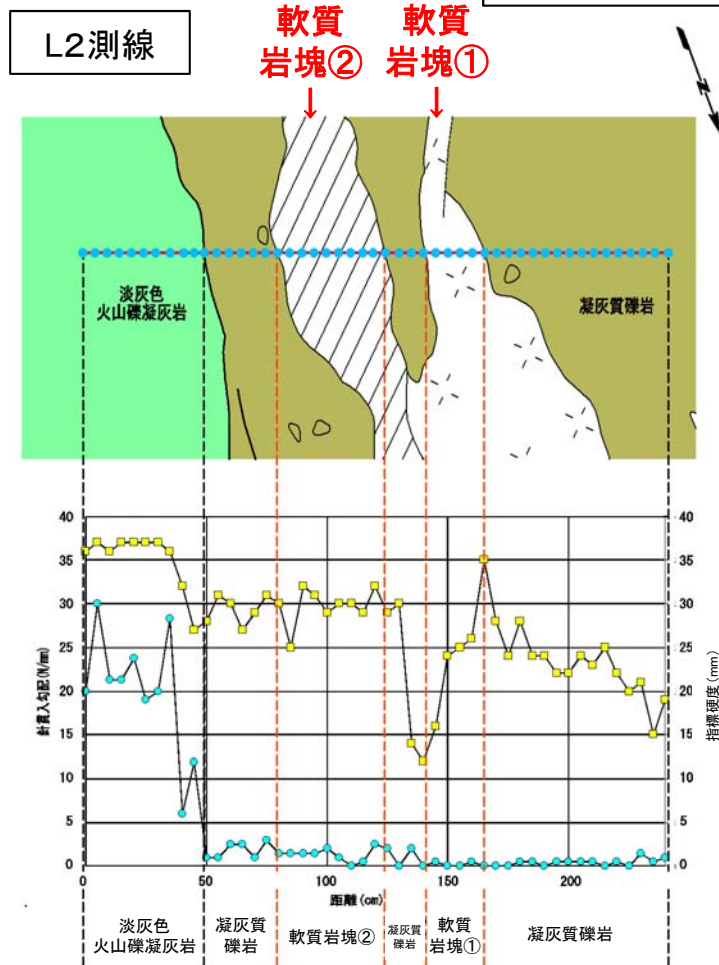
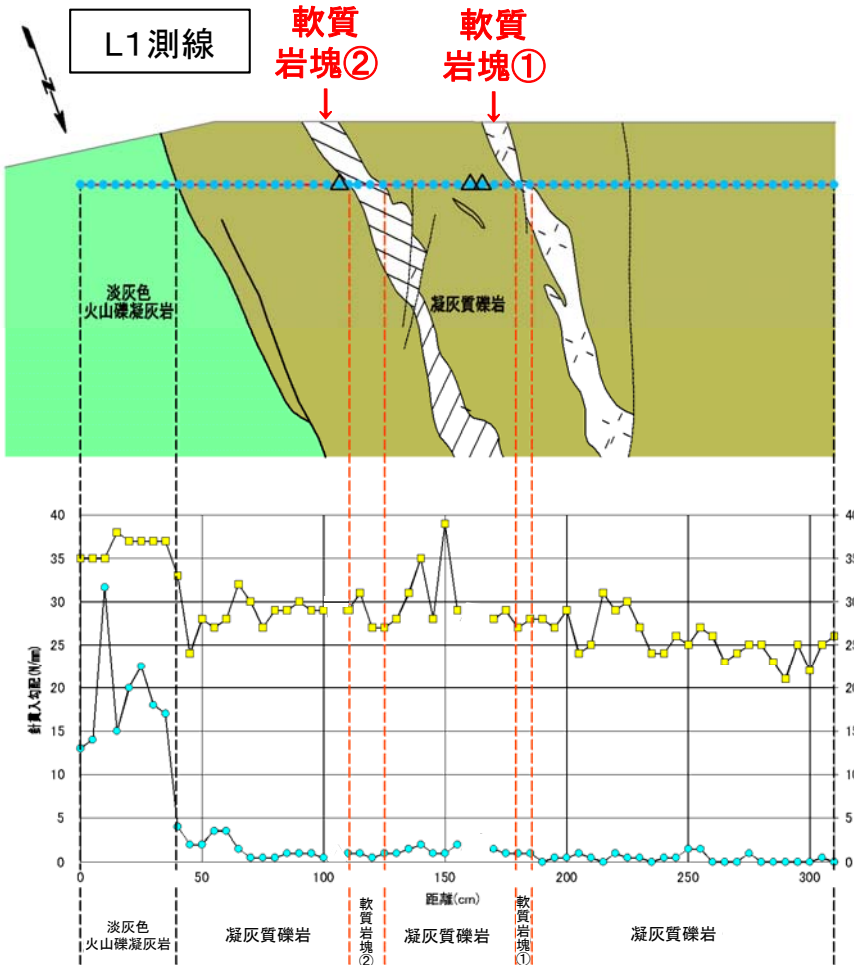
### 3. sF-1断層の性状(4/26)

#### sF-1断層の掘削面での性状(4/14):掘削面底盤A(4/4)

#### 軟質岩塊の硬さ(土壌硬度計, 針貫入試験)



掘削面底盤A 位置図



土壌硬度計

- 凡例
- 指標硬度 (読み取り値)\*
  - 針貫入勾配
  - △ 硬質礫の分布により未計測

\*:測定は1cm毎に1点で実施。

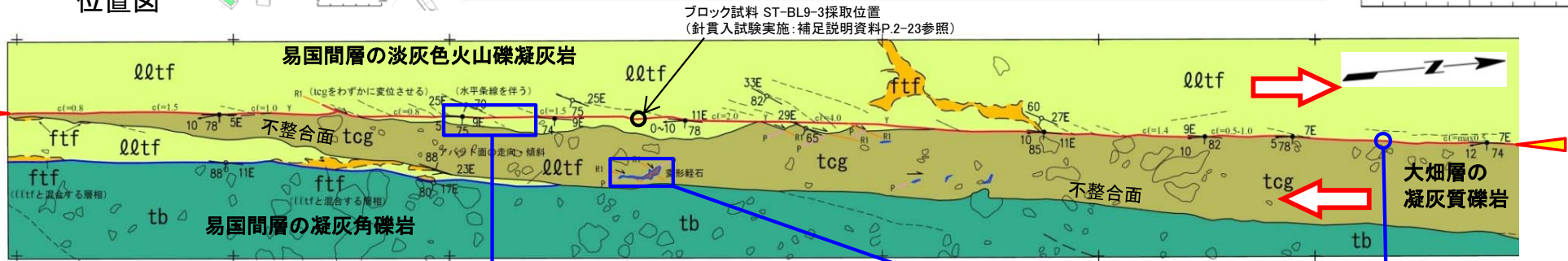
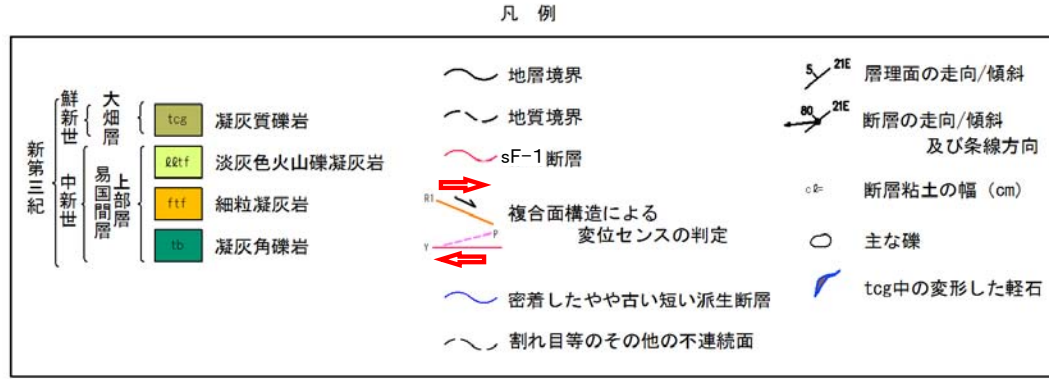
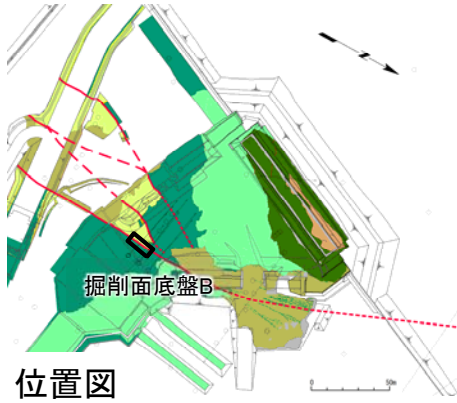
- 土壌硬度計測定及び針貫入試験結果から、軟質岩塊①・②は大畑層の凝灰質礫岩の基質部と同程度の硬さの凝灰岩である。
- 軟質岩塊は大畑層の基質部と類似した物性を示し、基質部と共に塑性的な変形が可能であったと考えられる。



(余白)



## sF-1断層の掘削面での性状(5/14):掘削面底盤B(1/3)(解釈線有り)



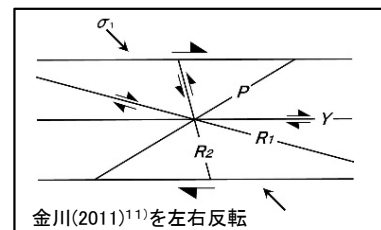
右横ずれセンスを示す断層の粘土状破砕部中の複合面構造

大畑層中の軽石の右横ずれ変形

約10°南プランジの条線

Y : sF-1断層の主せん断面    P : 粘土状破砕部中の葉片状構造の方向  
R<sub>1</sub> : 断層方向に対してPとは反対方向に斜交し, Pを切断する面

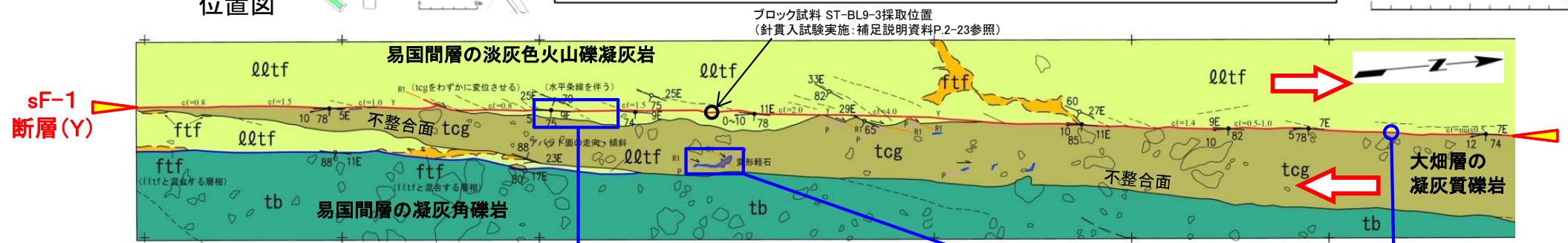
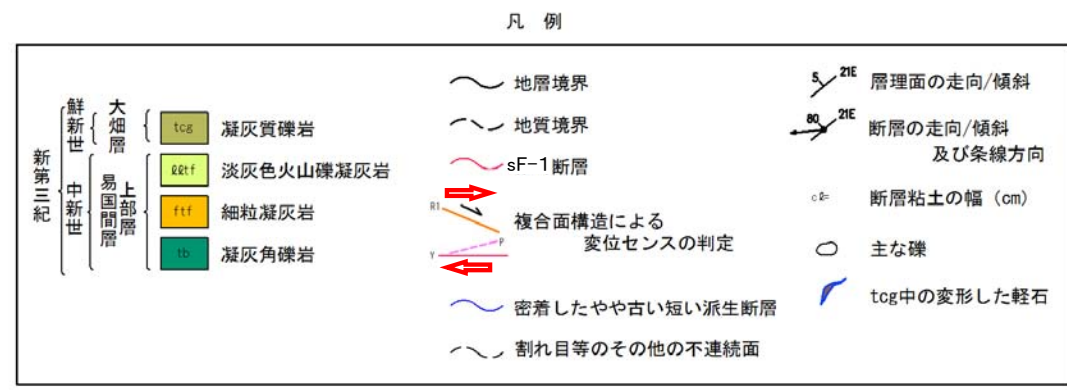
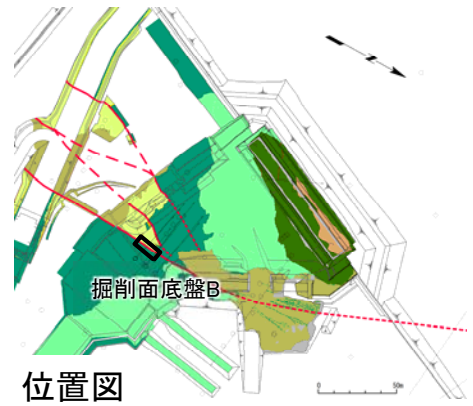
P : 凝灰質礫岩基質中の軽石の伸長方向  
R<sub>1</sub> : 断層方向に対してPとは反対方向に斜交し, Pを切断する面



- sF-1断層は大畑層と易国間層の明瞭な境界を成しており, ほぼ直線的に分布する。
- 大畑層はsF-1断層沿いに細長く分布し, 易国間層を高角の不整合面で覆っている。
- sF-1断層及び近傍の易国間層・大畑層には右横ずれセンスを示す複合面構造が認められる。



## sF-1断層の掘削面での性状(6/14):掘削面底盤B(2/3)(解釈線なし)

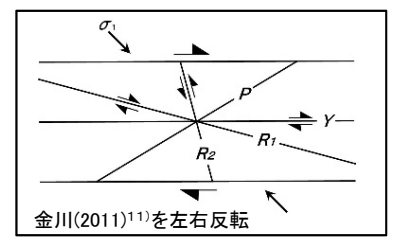


右横ずれセンスを示す断層の粘土状破碎部中の複合面構造

Y : sF-1断層の主せん断面      P : 粘土状破碎部中の葉片状構造の方向  
R<sub>1</sub> : 断層方向に対してPとは反対方向に斜交し, Pを切断する面

大畑層中の軽石の右横ずれ変形

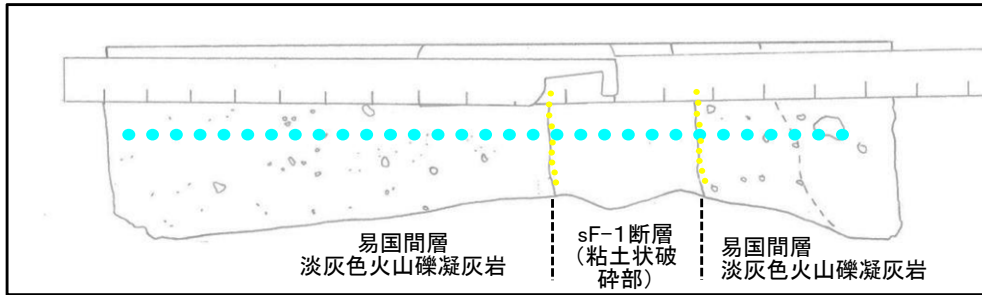
P : 凝灰質礫岩基質中の軽石の伸長方向  
R<sub>1</sub> : 断層方向に対してPとは反対方向に斜交し, Pを切断する面





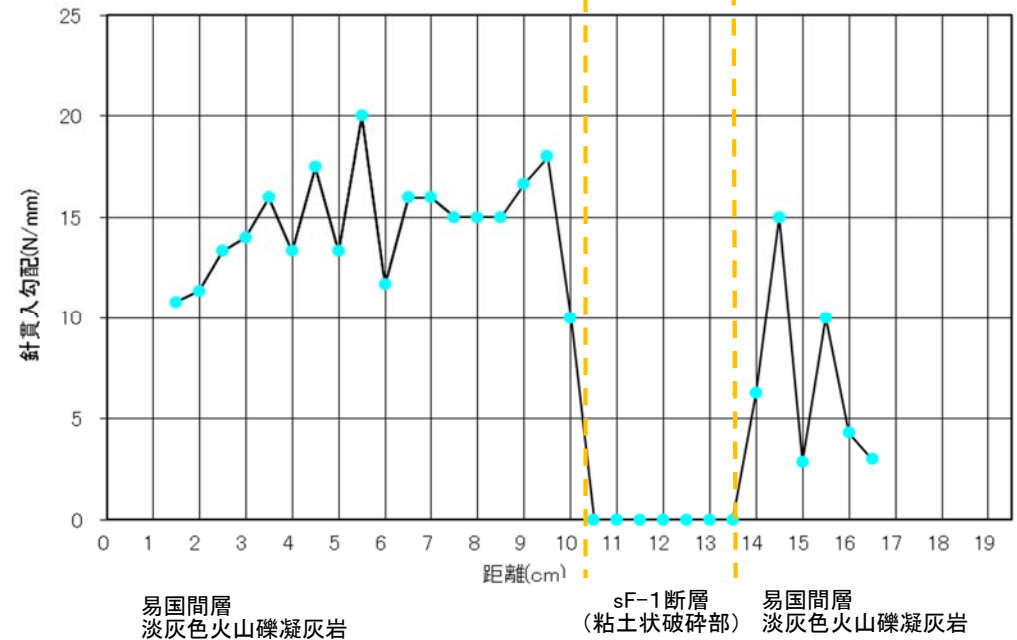
### 3. sF-1断層の性状(7/26)

#### sF-1断層の掘削面での性状(7/14):掘削面底盤B(3/3) 針貫入試験結果



針貫入試験位置のスケッチ  
(ブロック試料:ST-BL9-3)

注) 試料採取位置については補足説明資料P.2-21, 2-22参照。



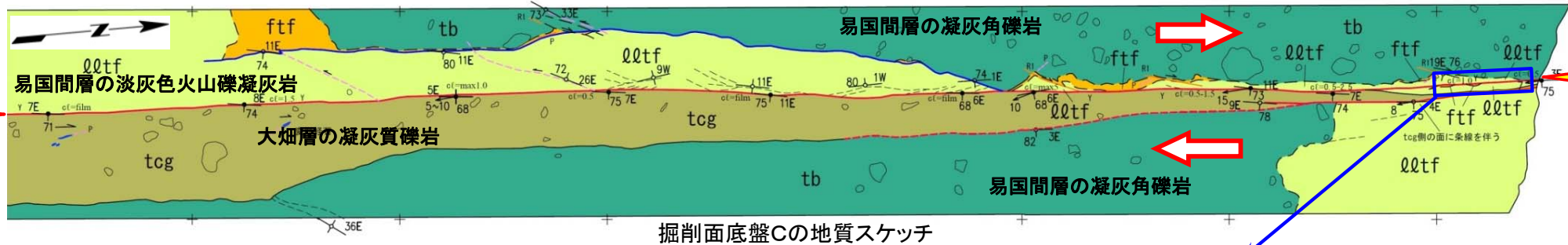
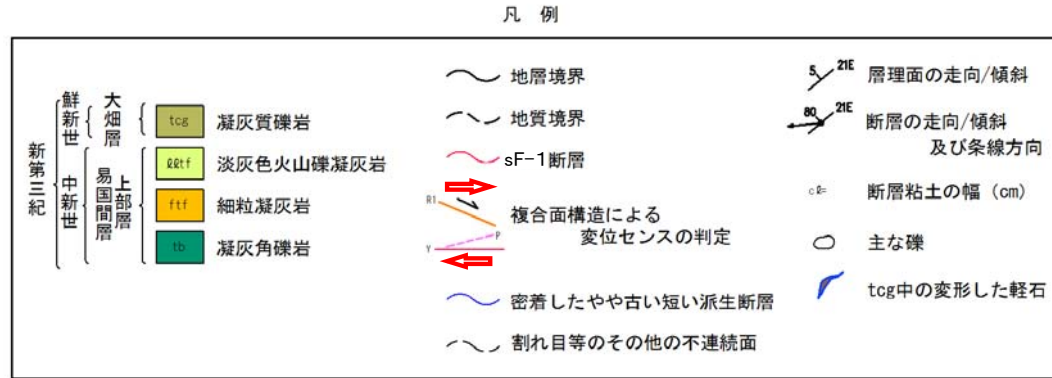
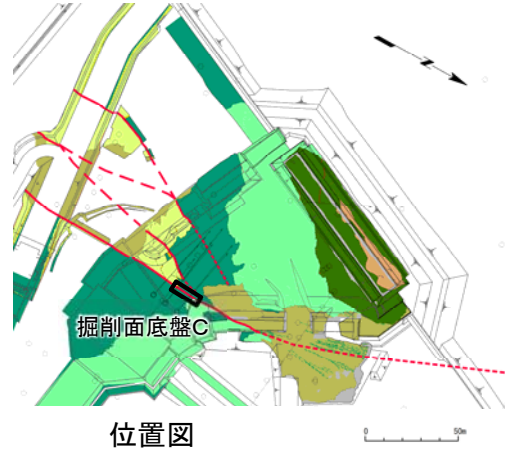
sF-1断層は断層面が明瞭であり、粘土状破碎部が認められる。粘土状破碎部は、周辺岩盤(淡灰色火山礫凝灰岩)よりも低い針貫入勾配を示す。

(余白)

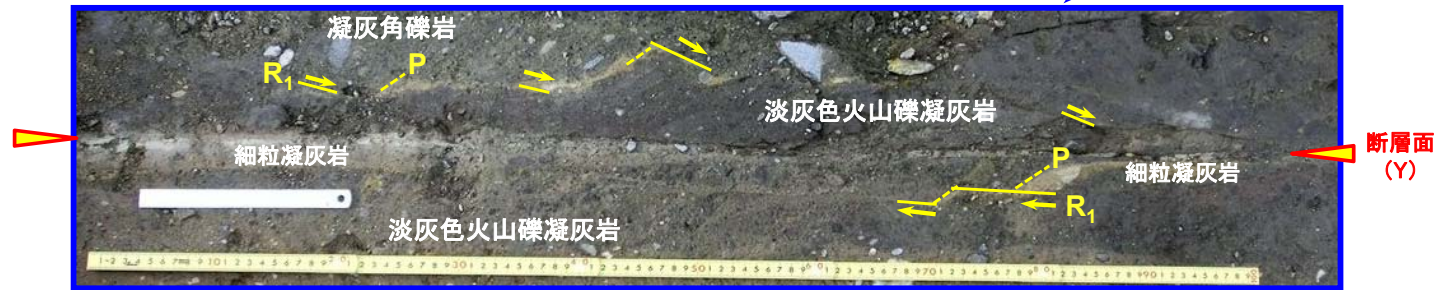
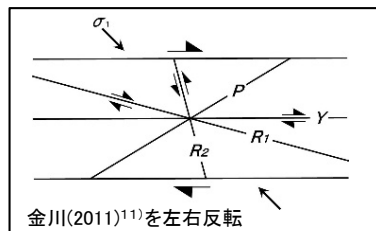


### 3. sF-1断層の性状(8/26)

#### sF-1断層の掘削面での性状(8/14):掘削面底盤C(1/4)(解釈線有り)



sF-1断層(Y)



易国間層中の直線的な断層面とその近傍の右横ずれセンスを示す複合面構造

Y: sF-1断層の主せん断面  
P: 変形した細粒凝灰岩の伸長方向  
R<sub>1</sub>: Yに対してPとは反対方向に斜交し、Pを切断する面

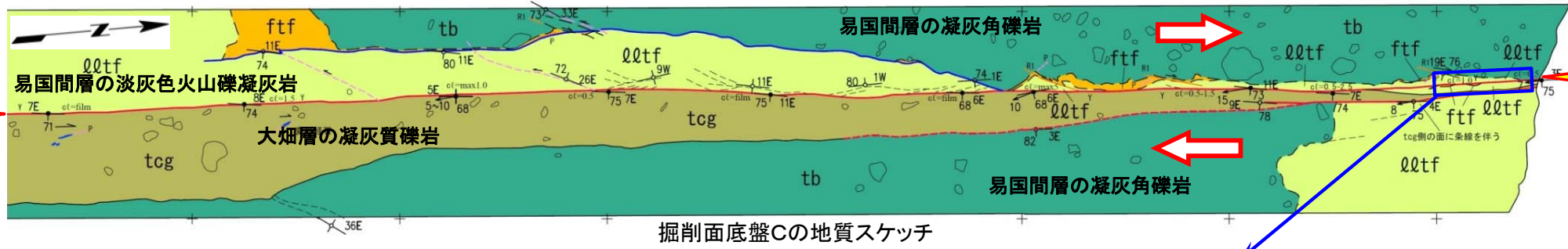
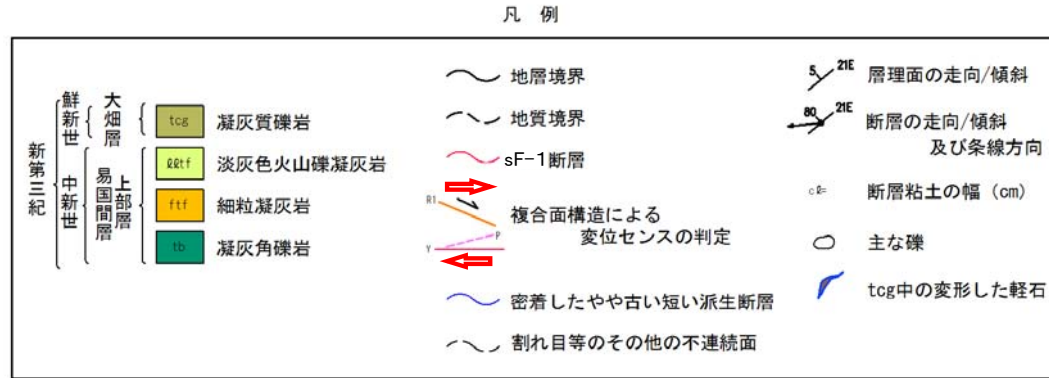
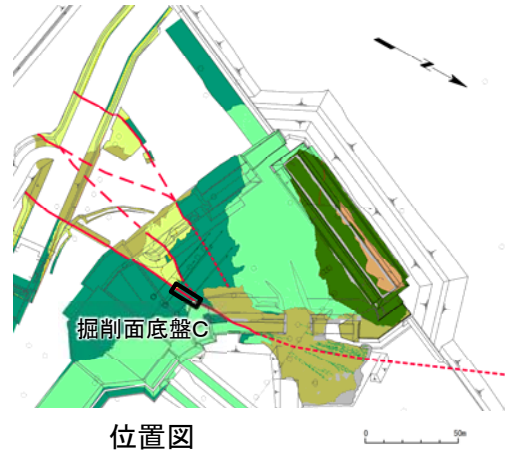
- sF-1断層は大畑層と易国間層の明瞭な境界を成しており、ほぼ直線的に分布する。
- 大畑層はsF-1断層沿いに細長く分布し、易国間層を高角の不整合面で覆っている。
- sF-1断層近傍の易国間層には右横ずれを示す複合面構造が認められる。



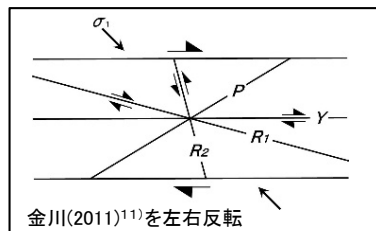


### 3. sF-1断層の性状(9/26)

#### sF-1断層の掘削面での性状(9/14):掘削面底盤C(2/4)(解釈線なし)



sF-1断層(Y)



Y: sF-1断層の主せん断面  
P: 変形した細粒凝灰岩の伸長方向  
R<sub>1</sub>: Yに対してPとは反対方向に斜交し、Pを切断する面

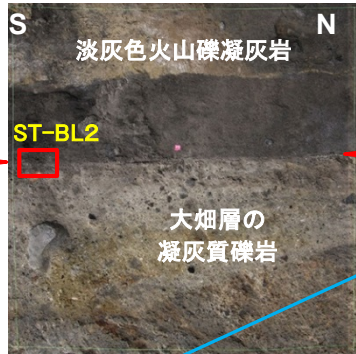
易国間層中の直線的な断層面とその近傍の右横ずれセンスを示す複合面構造

### 3. sF-1断層の性状(10/26)

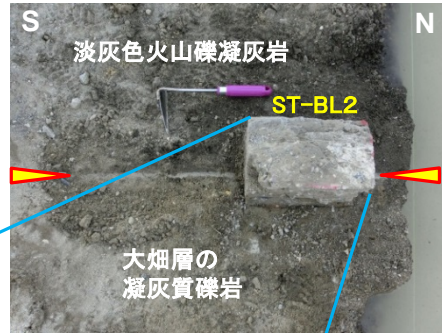


### sF-1断層の掘削面での性状(10/14): 掘削面底盤C(3/4)(解釈線有り)

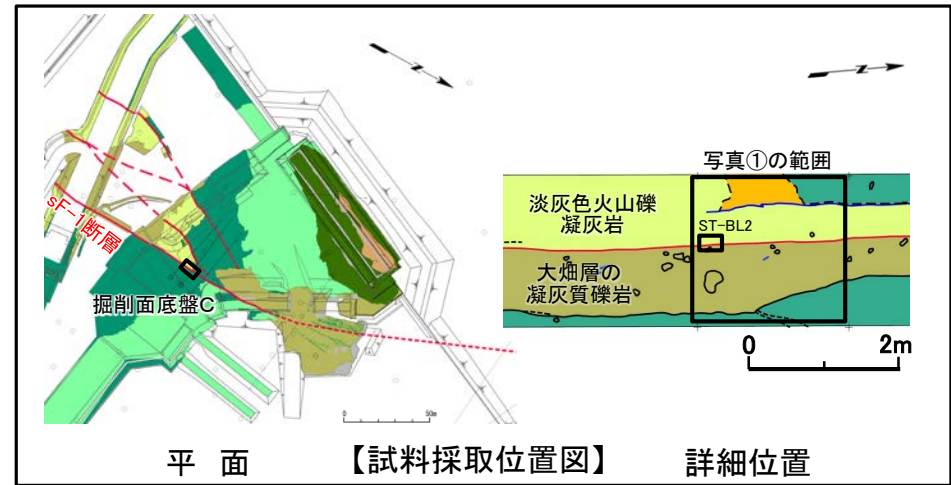
#### 【ST-BL2】(ブロック試料)



①掘削面写真



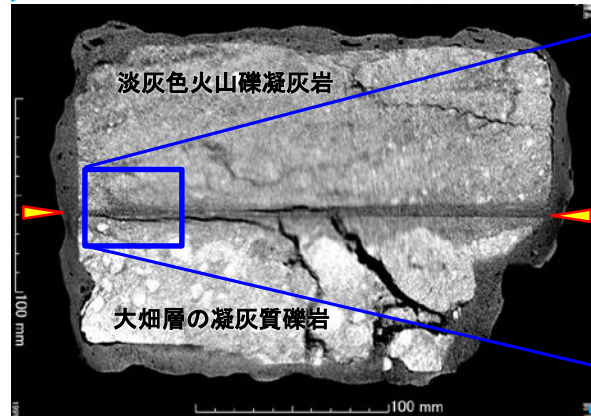
②試料採取状況



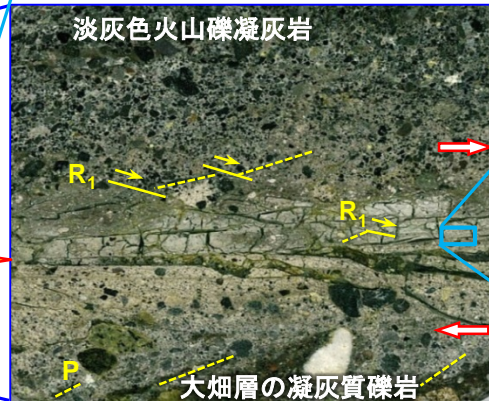
平面

【試料採取位置図】

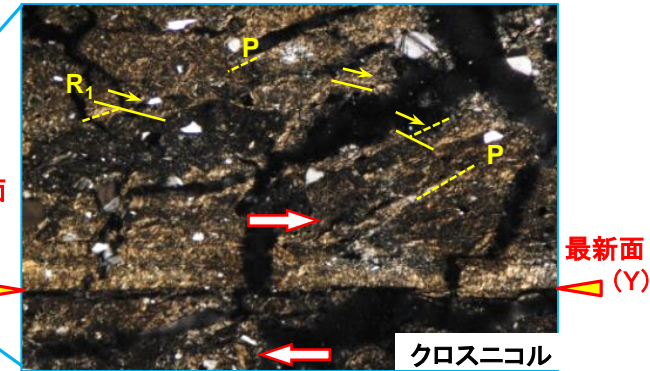
詳細位置



③CT画像(水平断面)



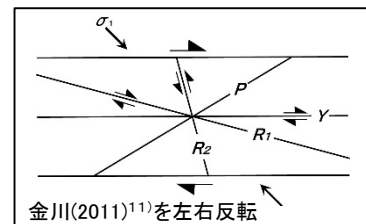
④研磨片(水平断面)



⑤薄片

⇨⇨ 複合面構造から判定される変位センス

- 掘削面から薄片に至る観察で、直線的で連続性の良い面を最新面として認定した。
- 研磨片及び薄片の複合面構造は右横ずれセンスを示す。



Y : sF-1断層の主せん断面  
P : 変形した岩片・軽石の伸長方向  
(薄片では主要な粘土鉱物の配向方向)  
R<sub>1</sub>: Yに対してPとは反対方向に斜交し、Pを切断・屈曲させる面

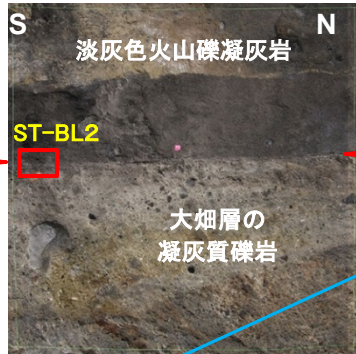


### 3. sF-1断層の性状(11/26)

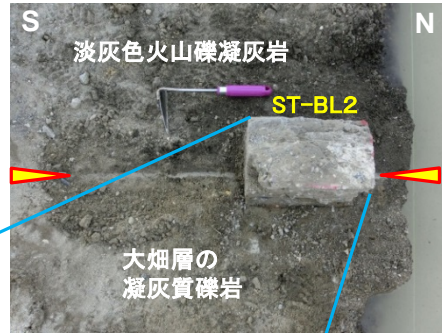


### sF-1断層の掘削面での性状(11/14): 掘削面底盤C(4/4) (解釈線なし)

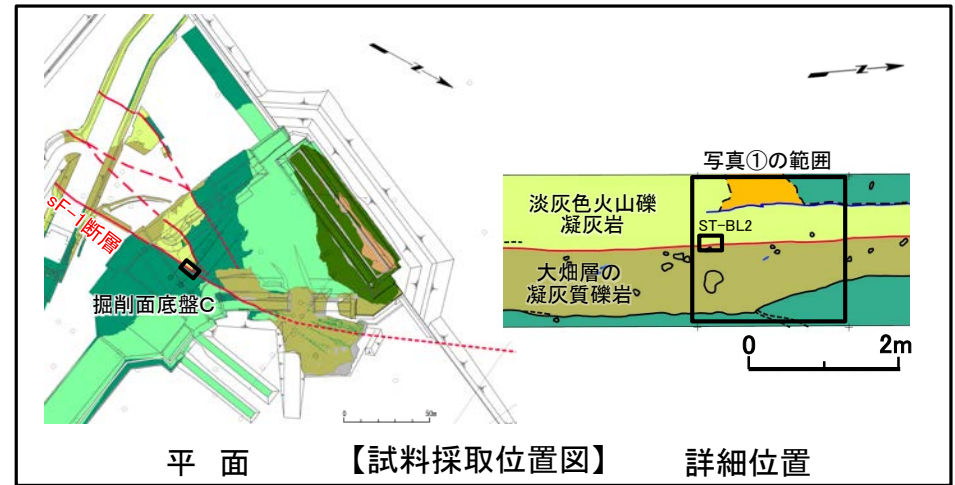
#### 【ST-BL2】(ブロック試料)



①掘削面写真



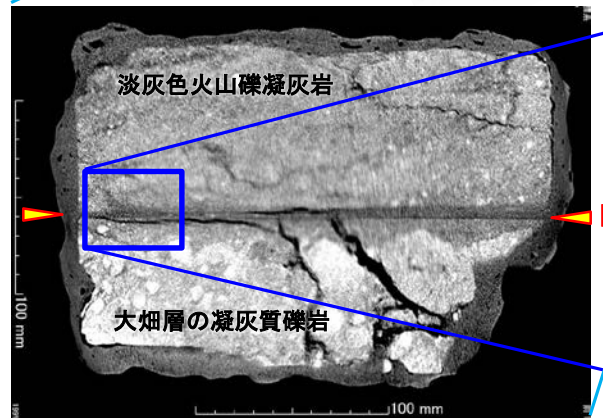
②試料採取状況



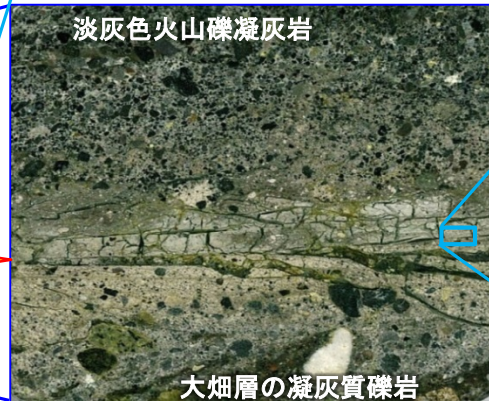
平面

【試料採取位置図】

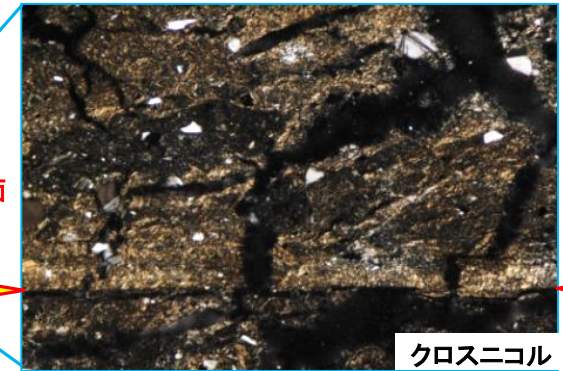
詳細位置



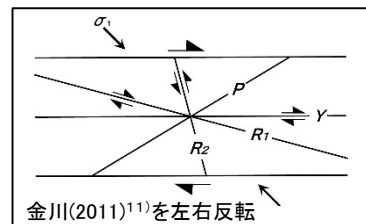
③CT画像(水平断面)



④研磨片(水平断面)



⑤薄片



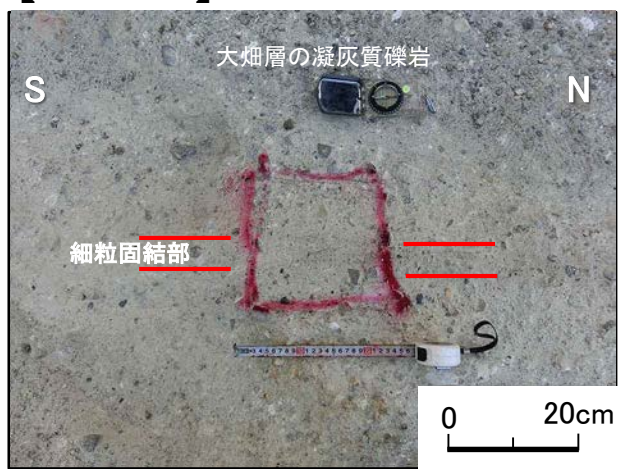
Y : sF-1断層の主せん断面  
P : 変形した岩片・軽石の伸長方向  
(薄片では主要な粘土鉱物の配向方向)  
R<sub>1</sub>: Yに対してPとは反対方向に斜交し、Pを切断・屈曲させる面

### 3. sF-1断層の性状(12/26)

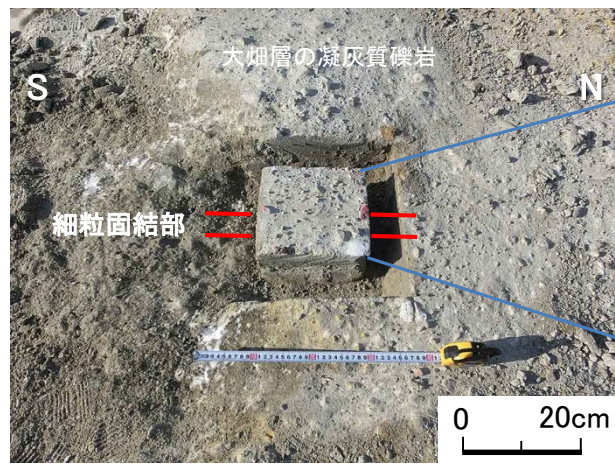


### sF-1断層の掘削面での性状(12/14): 掘削面底盤D(1/3) 細粒固結部(解釈線有り)

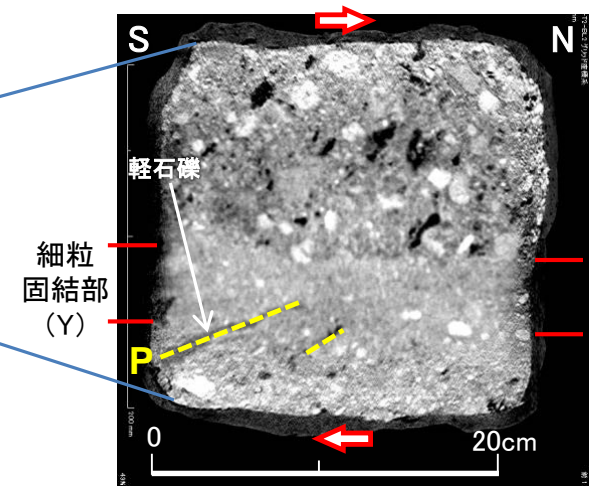
【T2-BL2】



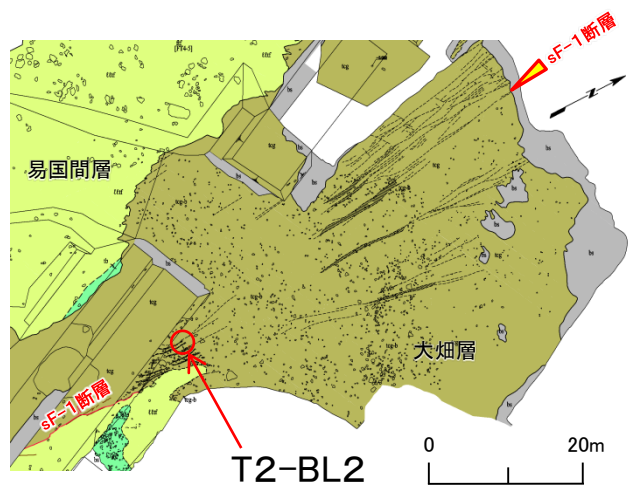
試料採取位置マーキング



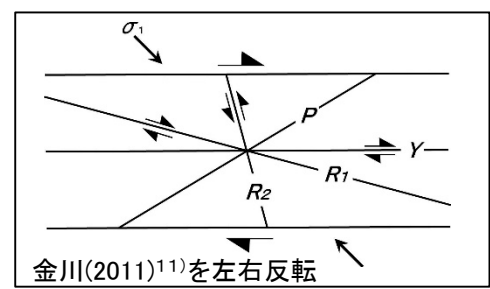
試料採取状況



CT画像(水平断面)



掘削面底盤D 試料採取位置図



⇨ 複合面構造から判定される変位センス

Y : 細粒固結部の連続方向  
P : 細粒固結部の内部とその近傍の凝灰質礫岩中の変形した軽石の伸長方向

- CT画像により細粒固結部は相対的に白くきめが細かいことから、周辺の岩盤よりも細粒で同等以上の密度であることが示唆される。
- CT画像から、周辺の岩盤中の軽石礫の複合面構造は右横ずれセンスを示す。

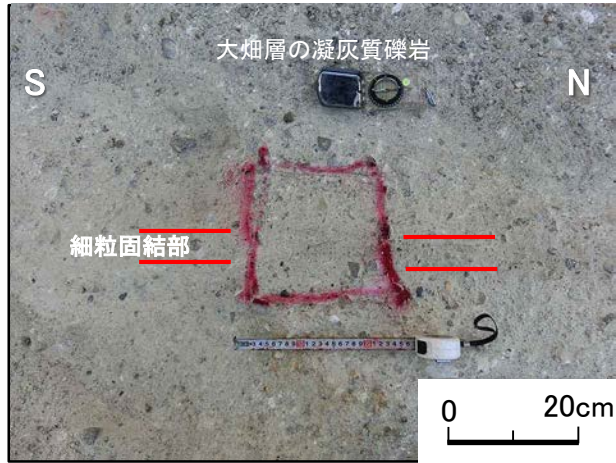


### 3. sF-1断層の性状(13/26)

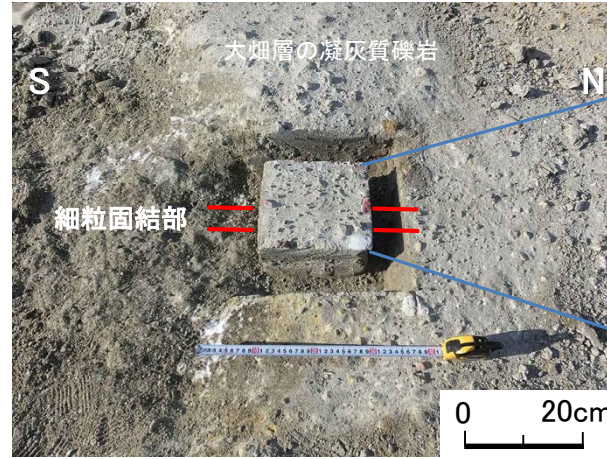


### sF-1断層の掘削面での性状(13/14): 掘削面底盤D(2/3) 細粒固結部(解釈線なし)

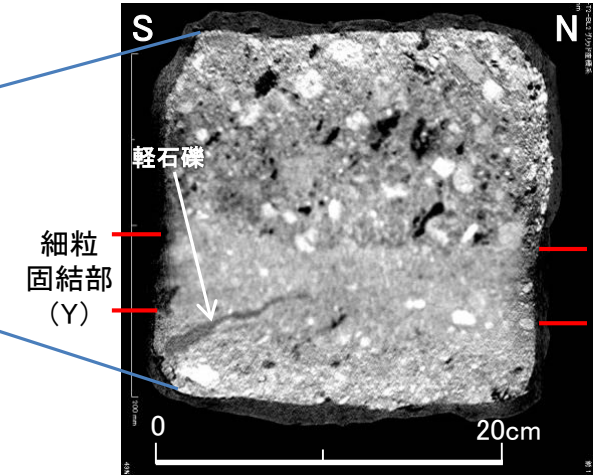
#### 【T2-BL2】



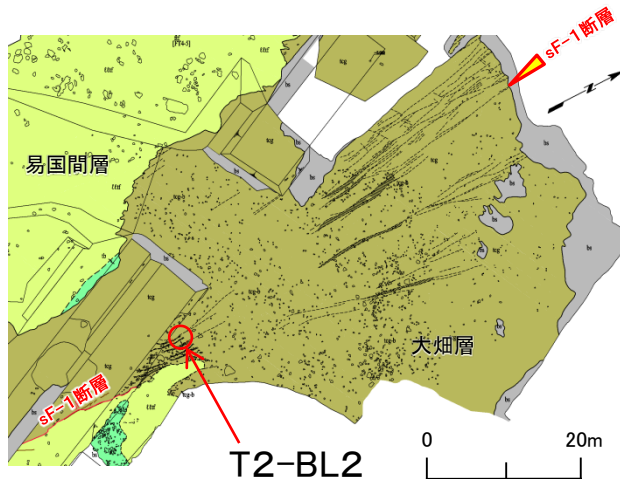
試料採取位置マーキング



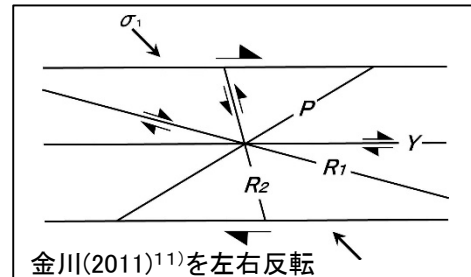
試料採取状況



CT画像(水平断面)



掘削面底盤D 試料採取位置図

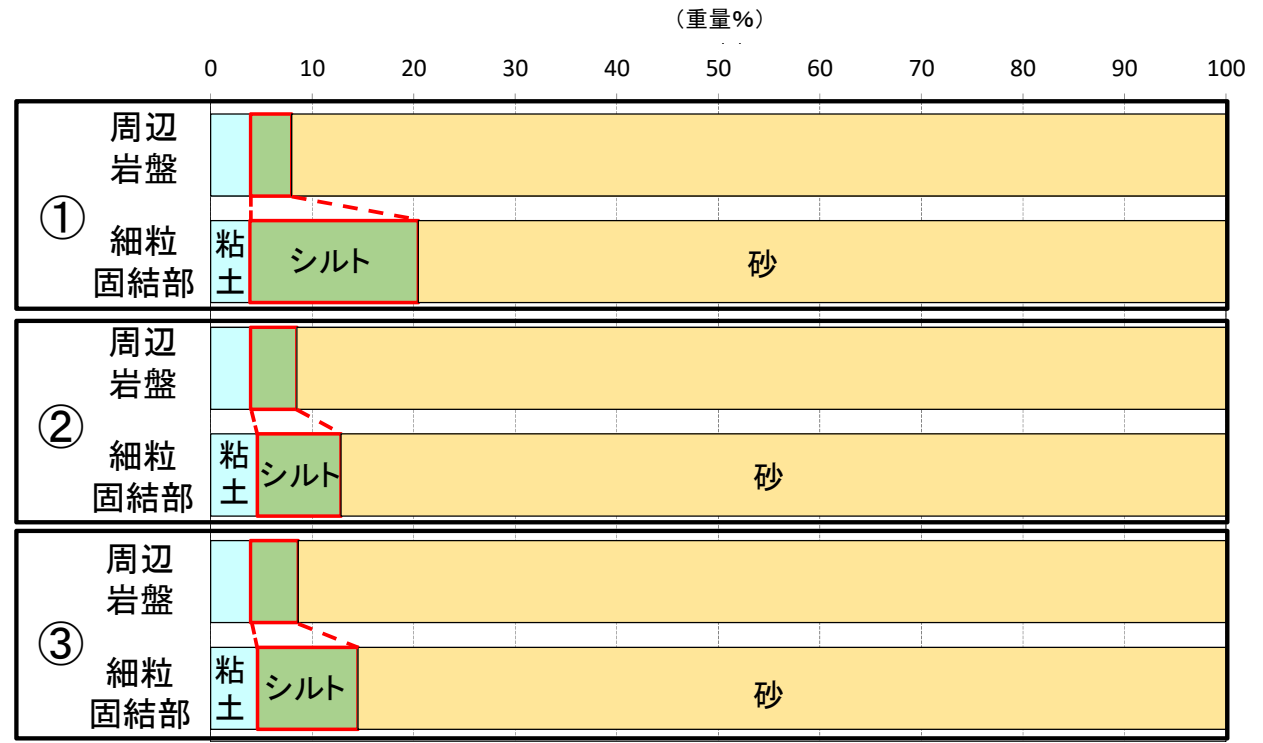
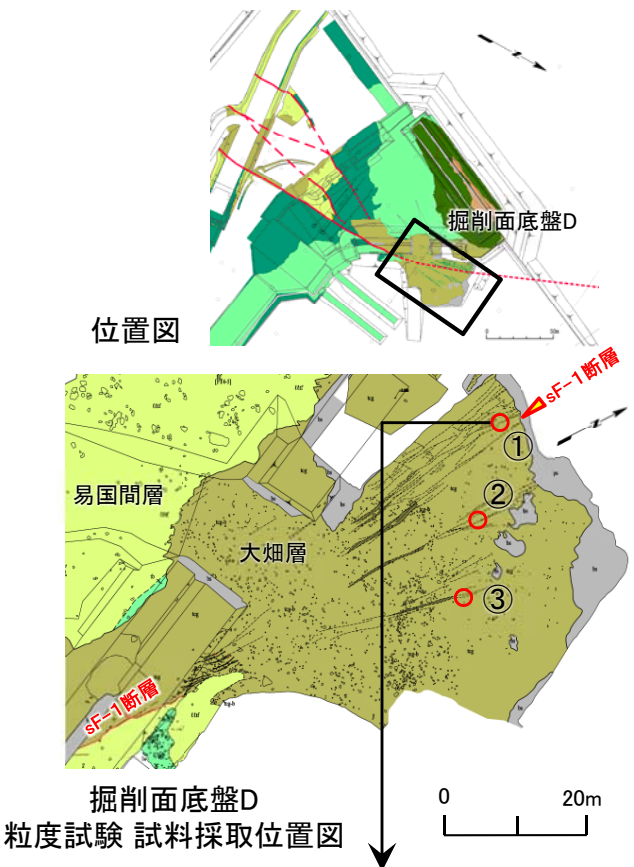


- Y : 細粒固結部の連続方向
- P : 細粒固結部の内部とその近傍の凝灰質礫岩中の変形した軽石の伸長方向

### 3. sF-1断層の性状(14/26)



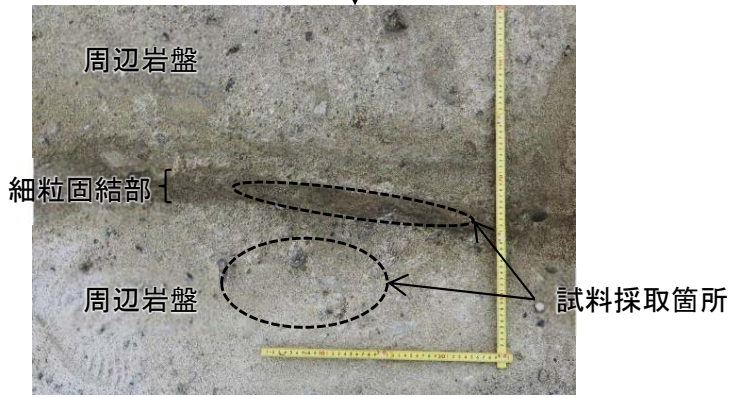
### sF-1断層の掘削面での性状(14/14):掘削面底盤D(3/3) 細粒固結部と周辺岩盤の粒度比較



□粘土分 ■シルト分 □砂分

#### 細粒固結部及び周辺岩盤の粒度試験結果\*

(\* : 径2mm以下の試験結果)



①地点 試料採取位置図 0 20cm

- 大畑層分布域において、細粒固結部と周辺の岩盤を対象に3箇所  
で粒度試験を実施した。
- 3箇所全てにおいて、細粒固結部は周辺の岩盤に比べてシルトサイ  
ズの含有量が多いことを確認した。
- 細粒固結部では、断層変位によって砂粒子が破碎されてシルトサイ  
ズに細粒化したものと考えられる。



### 3. sF-1断層の性状(15/26)



#### sF-1断層の北方延長部(1/8):IT-64孔

【IT-64孔(N97° E, 傾斜28.5°)】易国間層/大畑層境界のsF-1断層

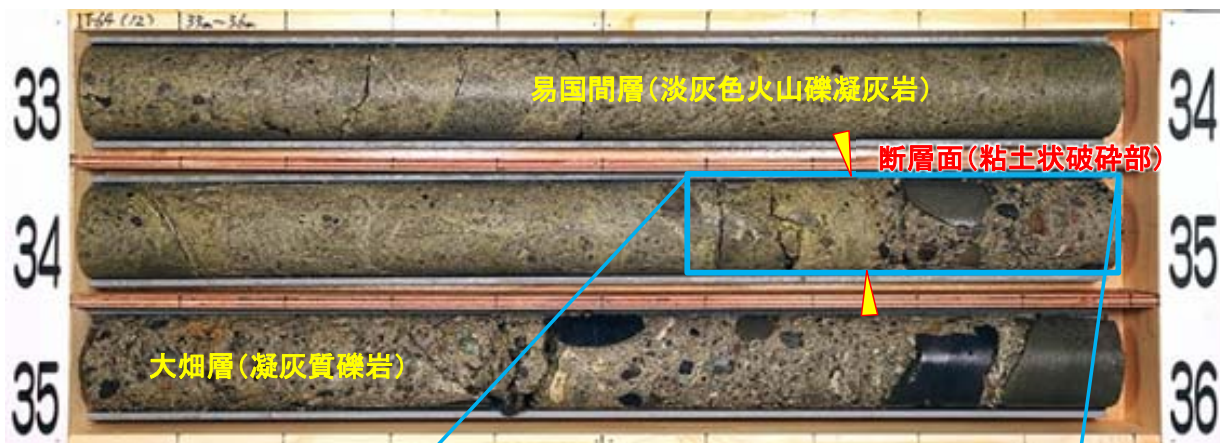


写真1 ボーリングコア(33.00m~36.00m)

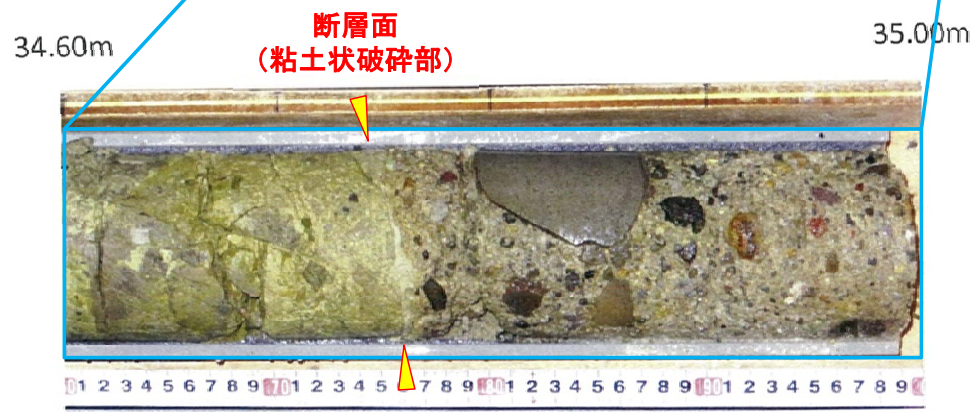
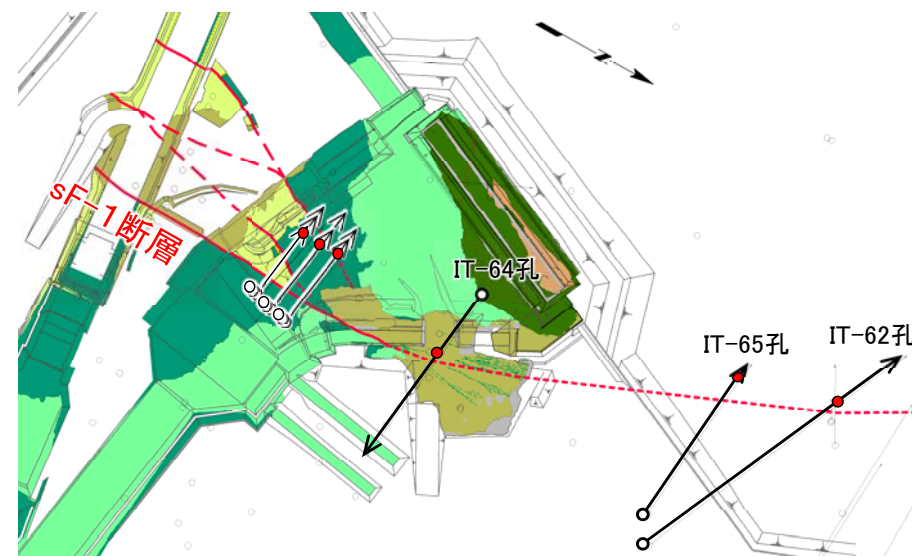


写真2 拡大写真(34.60m~35.00m)



位置図

注)凡例は本編資料P.2-10参照。

- IT-64孔の深度34.75mで易国間層と大畑層の境界にsF-1断層を確認した。
- 断層面は直線的・シャープである。
- IT-62孔及びIT-65孔についてもsF-1断層を確認している(補足説明資料P.2-33~P.2-39参照)。



### 3. sF-1断層の性状(16/26)



### sF-1断層の北方延長部(2/8):IT-65孔(1/4)(解釈線有り)

【IT-65孔(N85°W, 傾斜25.9°)】大畑層/大間層境界のsF-1断層



写真1 ボーリングコア(78m~81m)

軟質な粘土質物質  
主せん断面  
粘土状破碎部

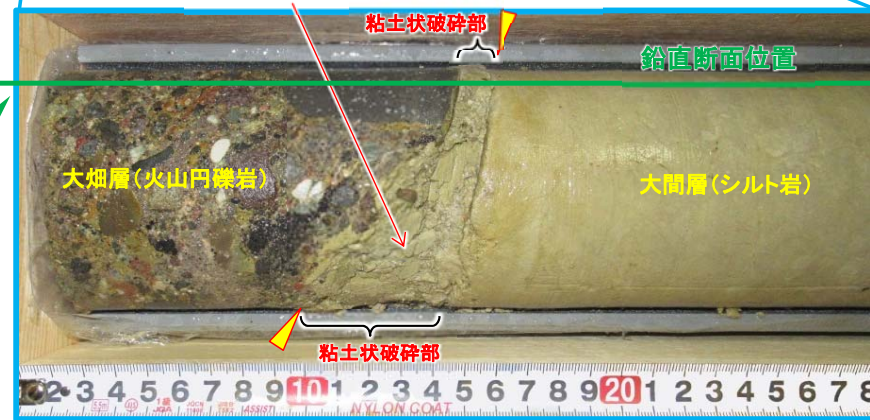


写真2 拡大写真(80.00m~80.28m)

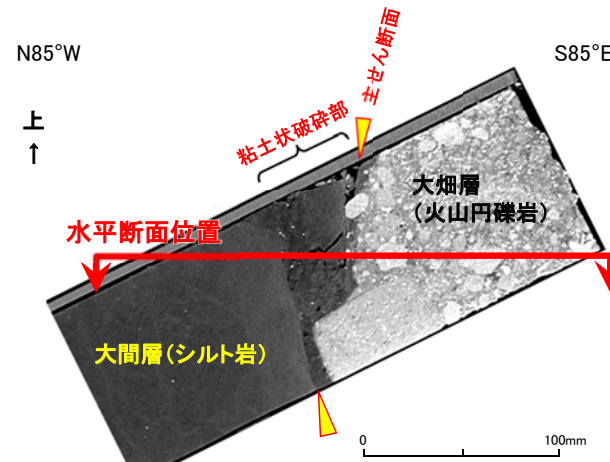
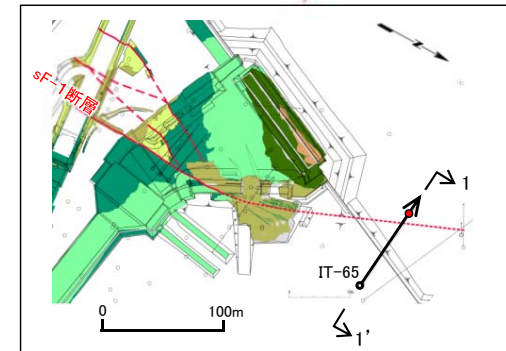
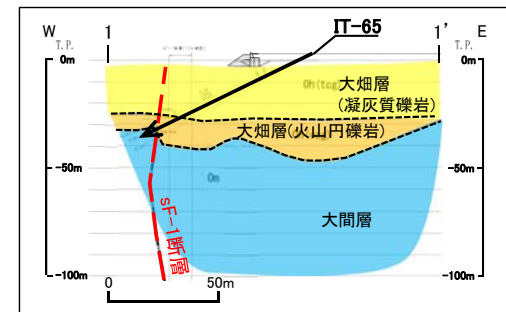


写真3 CT画像(鉛直断面)  
(写真2とは左右が逆向き)

⇨ 複合面構造から判  
定される変位センス

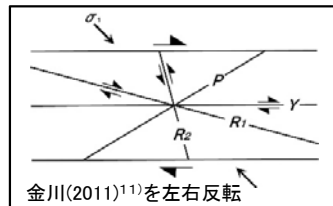


位置図 注)凡例は本編資料P.2-10参照。



IT-65孔沿い断面図

- IT-65孔の深度80.15mで大畑層と大間層の境界にsF-1断層を確認した。
- 大畑層と粘土状破碎部の境界は直線的・シャープであることから、粘土状破碎部の主せん断面と判断される(写真2~4)。本試料では主せん断面が約3cm離れてステップする。
- 粘土状破碎部中に右横ずれセンスを示す複合面構造が認められる(写真4)。



金川(2011)<sup>11)</sup>を左右反転

Y: sF-1断層の主せん断面  
P: 変形した岩片・軽石の伸長方向  
R<sub>1</sub>: Yに対してPとは反対方向に斜交し、Pを切断・屈曲させる面

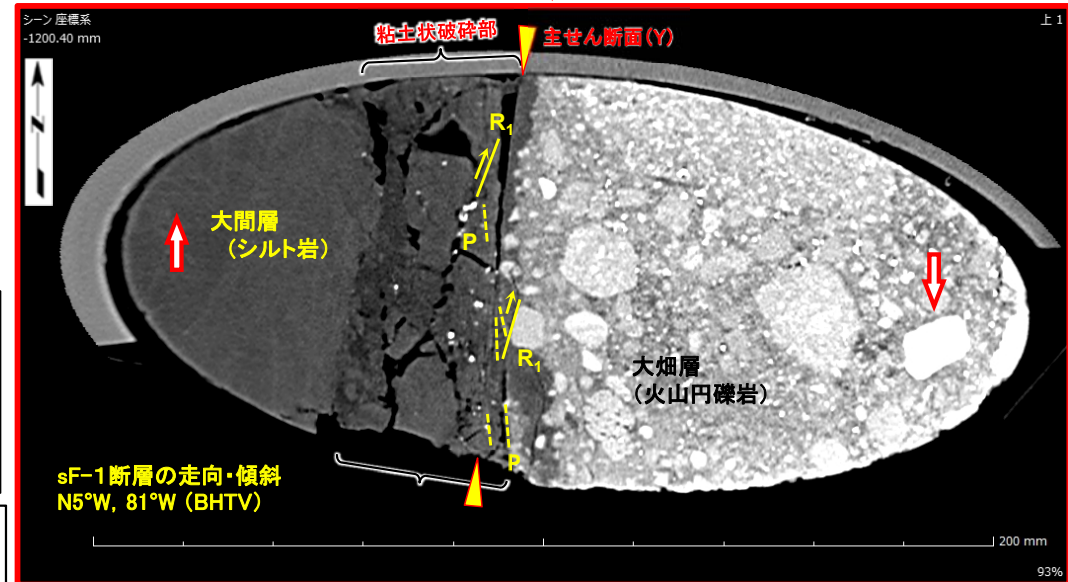


写真4 CT画像(水平断面)



### 3. sF-1断層の性状(17/26)



### sF-1断層の北方延長部(3/8):IT-65孔(2/4)(解釈線なし)

【IT-65孔(N85°W, 傾斜25.9°)】大畑層/大間層境界のsF-1断層

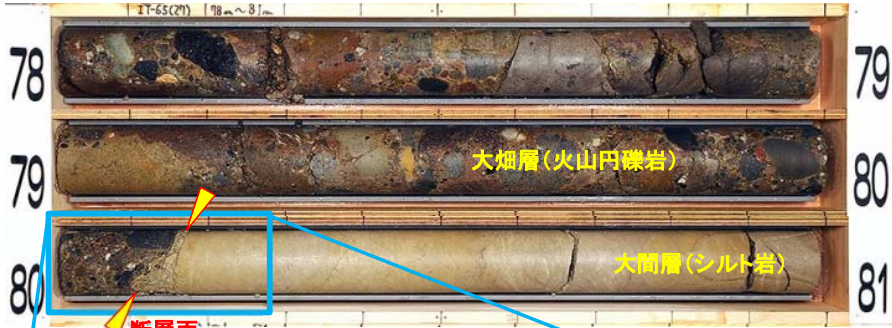


写真1 ボーリングコア(78m~81m)

軟質な粘土質物質  
粘土状破碎部  
主せん断面

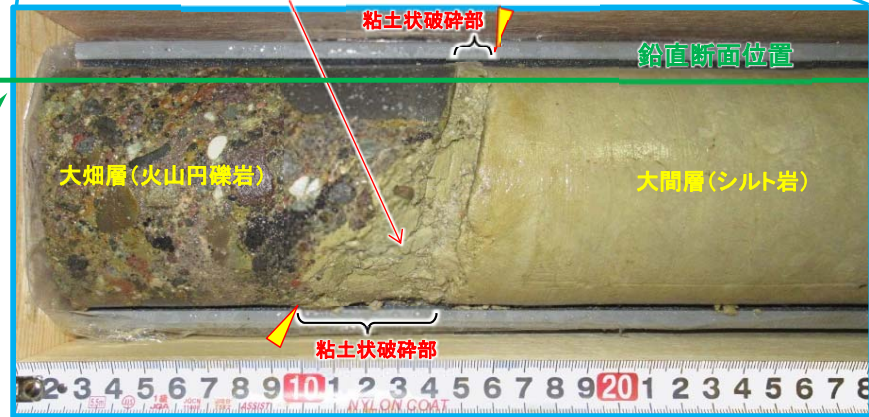


写真2 拡大写真(80.00m~80.28m)

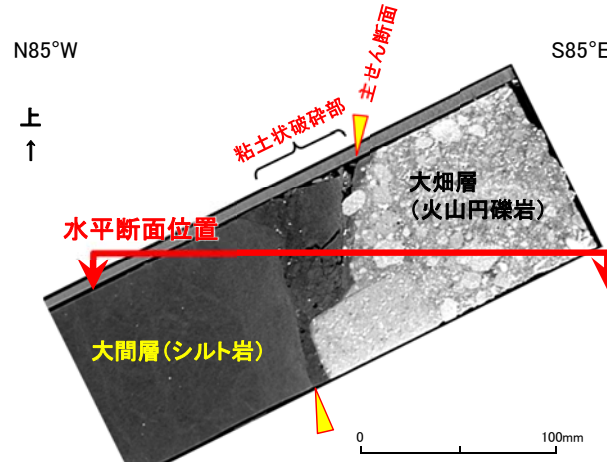
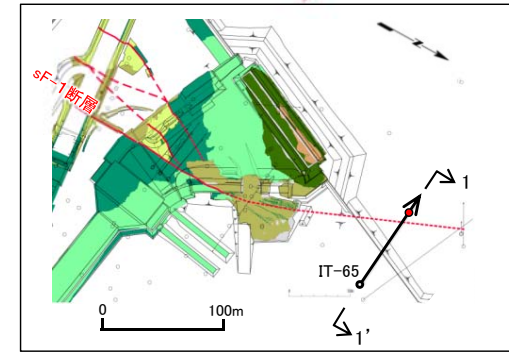
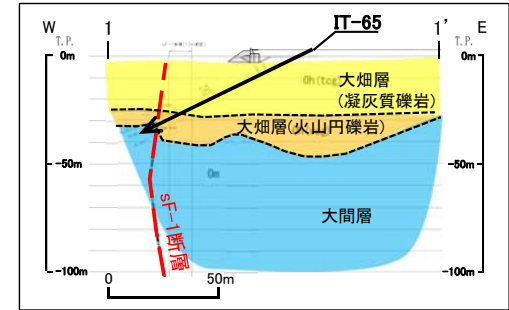


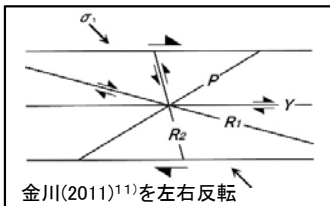
写真3 CT画像(鉛直断面)  
(写真2とは左右が逆向き)



位置図 注)凡例は本編資料P.2-10参照。



IT-65孔沿い断面図



金川(2011)<sup>11)</sup>を左右反転

Y: sF-1断層の主せん断面  
P: 変形した岩片・軽石の伸長方向  
R<sub>1</sub>: Yに対してPとは反対方向に斜交し、Pを切断・屈曲させる面

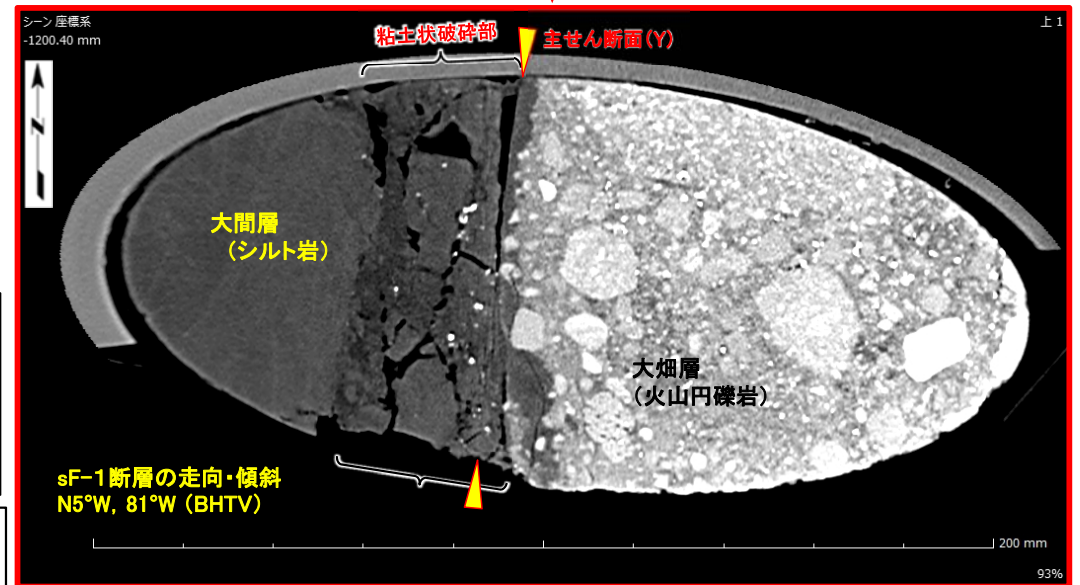


写真4 CT画像(水平断面)



### 3. sF-1断層の性状(18/26)



#### sF-1断層の北方延長部(4/8):IT-65孔(3/4)(解釈線有り)

⇒ 複合面構造から判定される変位センス

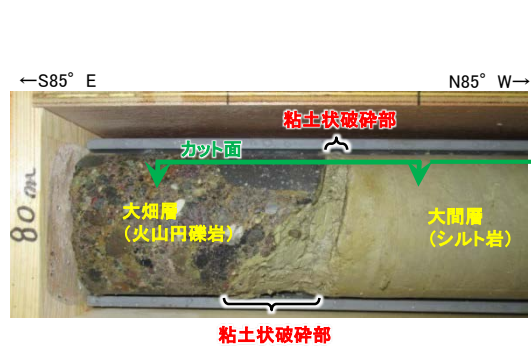


写真1 拡大写真 (80.00m~80.25m)

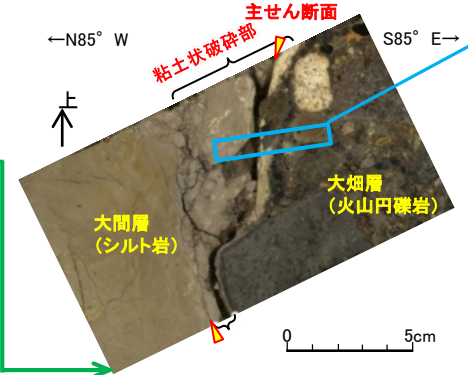


写真2 断層直交方向の研磨面 (鉛直断面: 80.05m~80.20m)

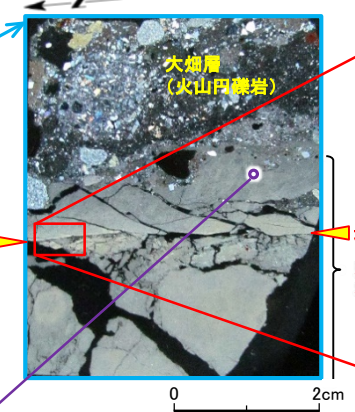


写真3 薄片 (水平断面)

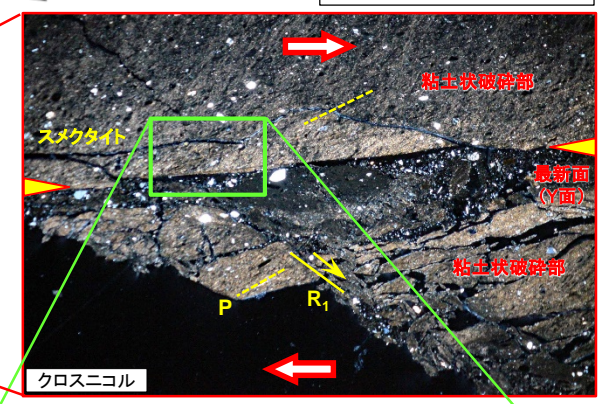


写真4 薄片 (最新面付近, 変位センス)

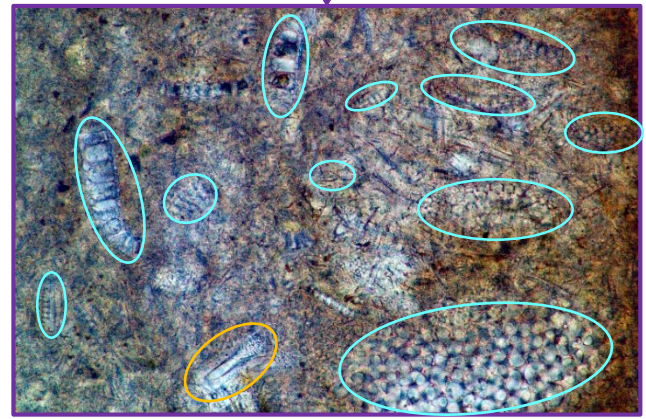


写真5 薄片 (最新面から少し離れた変形の弱い粘土状破砕部中の微化石) [主に珪藻と放散虫の破片で一部に海綿骨針含む]

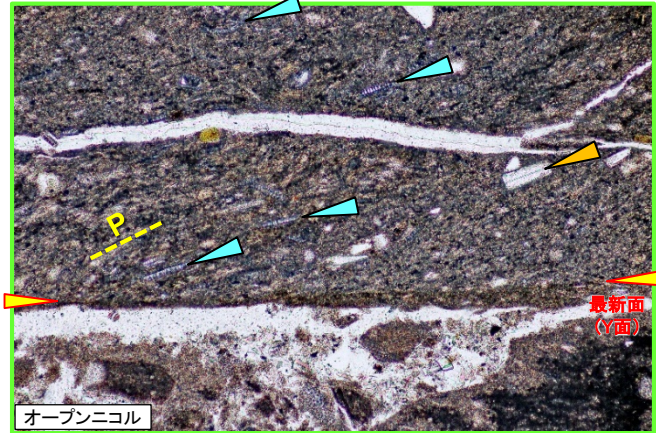
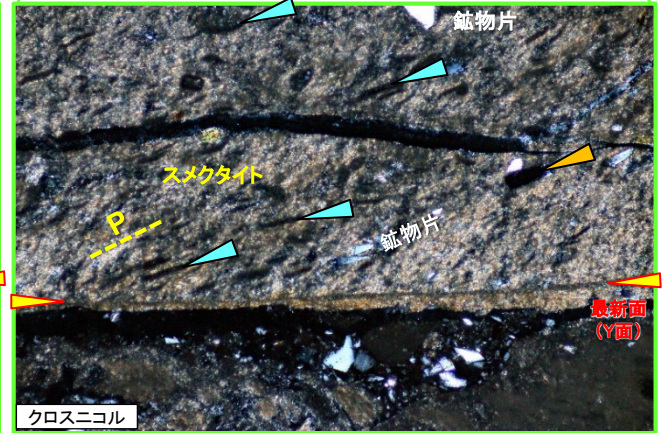
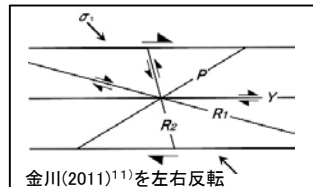


写真6 薄片 (最新面付近の変形を受けた粘土状破砕部中の微化石) [珪藻等の破片 (非晶質) 及びスメクタイトがP面方向に伸長]



注) 薄片は裏面作製のため反転して表示。

- 薄片観察により、最新面から少し離れた変形の弱い粘土状破砕部中に、珪藻、放散虫及び海綿骨針から成る微化石が含まれることを確認した(写真5)。
- 最新面付近の変形を受けた粘土状破砕部中には、粘土鉍物(スメクタイト)と同様にP面方向に伸長する珪藻等の微化石の破片を確認した(写真6)。なお、これらP面方向とR<sub>1</sub>面の方向との関係から、右横ずれセンスが判定される。



Y : sF-1断層の主せん断面  
P : 変形した岩片・軽石の伸長方向 (薄片では主要な粘土鉱物及び微化石の配向方向)  
R<sub>1</sub>: Yに対してPとは反対方向に斜交し、Pを切断・屈曲させる面

金川(2011)<sup>11)</sup>を左右反転



### 3. sF-1断層の性状(19/26)



### sF-1断層の北方延長部(5/8):IT-65孔(4/4)(解釈線なし)

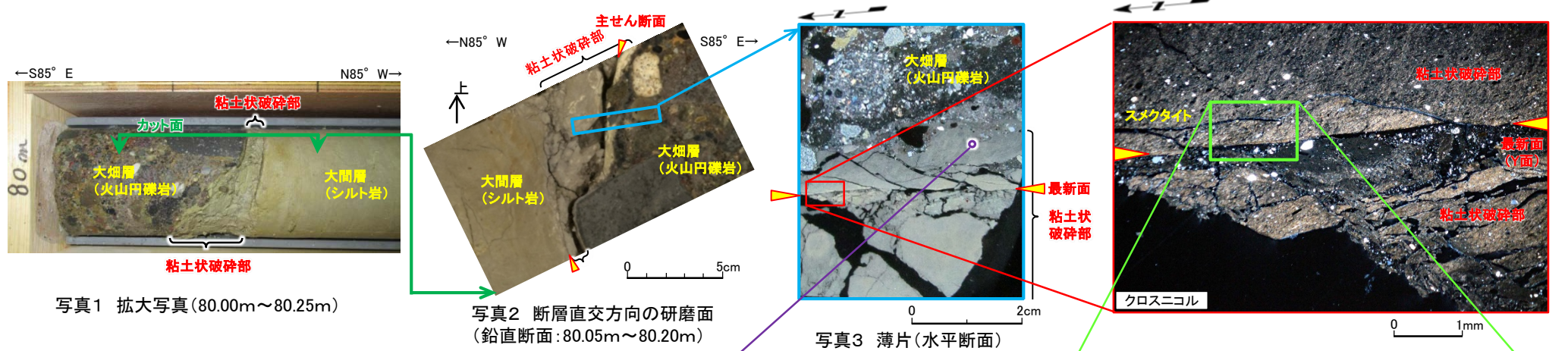


写真1 拡大写真(80.00m~80.25m)

写真2 断層直交方向の研磨面(鉛直断面:80.05m~80.20m)

写真3 薄片(水平断面)

写真4 薄片(最新面付近, 変位センス)

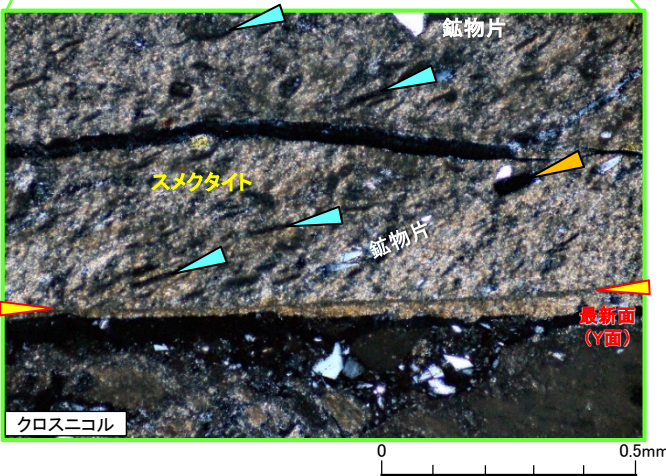
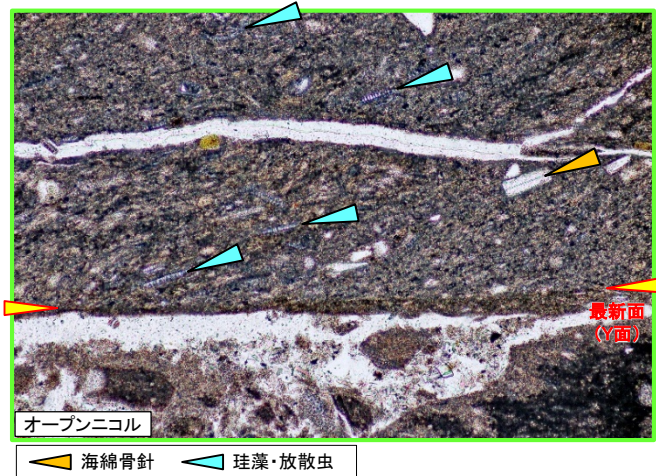
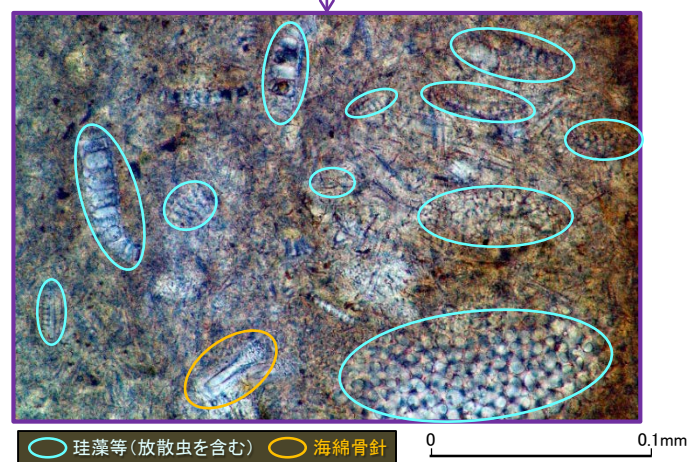
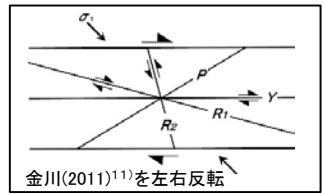


写真5 薄片(最新面から少し離れた変形の弱い粘土状破砕部中の微化石)  
〔主に珪藻と放散虫の破片で一部に海綿骨針含む〕

写真6 薄片(最新面付近の変形を受けた粘土状破砕部中の微化石)  
〔珪藻等の破片(非晶質)及びスメクタイトがP面方向に伸長〕

注)薄片は裏面作製のため反転して表示。



Y : sF-1断層の主せん断面  
P : 変形した岩片・軽石の伸長方向  
(薄片では主要な粘土鉱物及び微化石の配向方向)  
R<sub>1</sub> : Yに対してPとは反対方向に斜交し, Pを切断・屈曲させる面





### 3. sF-1断層の性状(20/26)

#### sF-1断層の北方延長部(6/8):IT-62孔(1/3)(解釈線有り)

【IT-62孔(N65° W, 傾斜20.8°)】大畑層中のsF-1断層

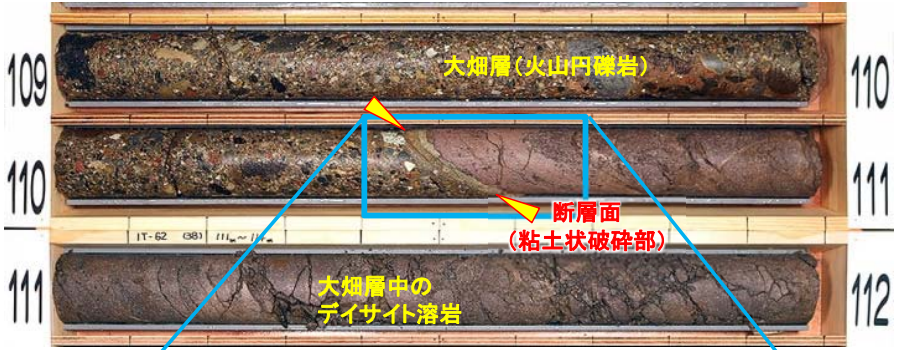


写真1 ボーリングコア(109m~112m)



写真2 拡大写真(110.4m~110.7m)

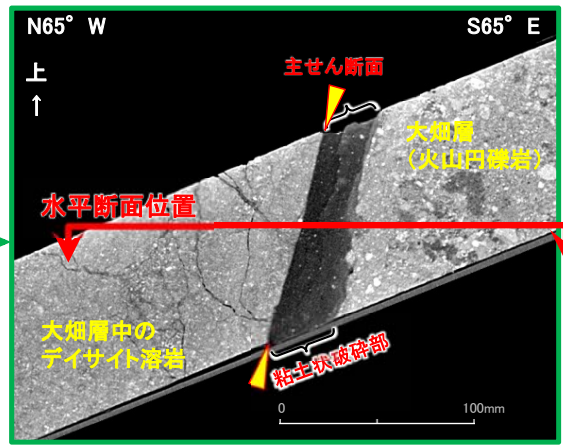
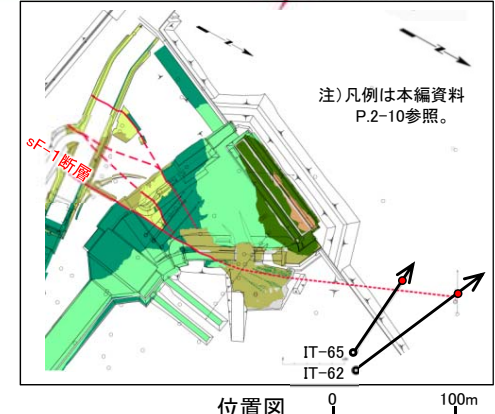
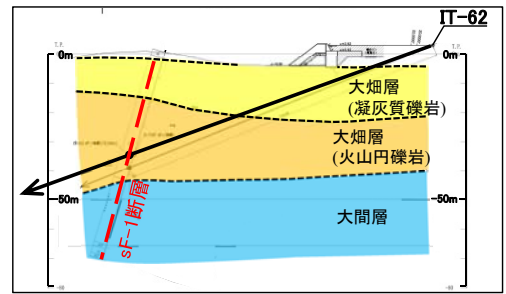


写真3 CT画像(鉛直断面)  
(写真2とは左右が逆向き)

↔ 複合面構造から判定される変位センス

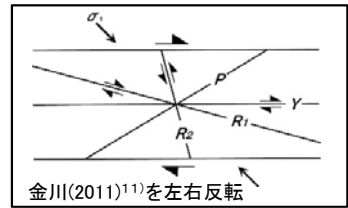


位置図 0 100m



IT-62孔沿い断面図

- IT-62孔の深度110.55mで大畑層中にsF-1断層を確認した。
- デイサイト溶岩と粘土状破碎部の境界は直線的・シャープであることから、粘土状破碎部の主せん断と判断される(写真2~4)。
- 粘土状破碎部中に右横ずれセンスを示す複合面構造が認められる(写真4)。



Y : sF-1断層の主せん断  
P : 変形した岩片・軽石の伸長方向  
R<sub>i</sub> : Yに対してPとは反対方向に斜交し、Pを切断・屈曲させる面

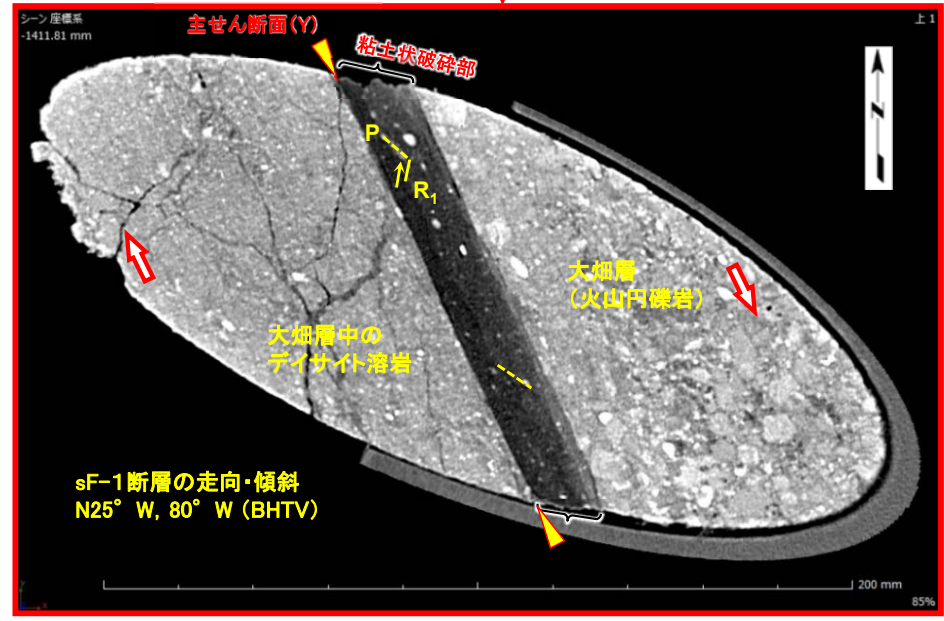


写真4 CT画像(水平断面)



### 3. sF-1断層の性状(21/26)



### sF-1断層の北方延長部(7/8):IT-62孔(2/3)(解釈線なし)

【IT-62孔(N65° W, 傾斜20.8°)】大畑層中のsF-1断層

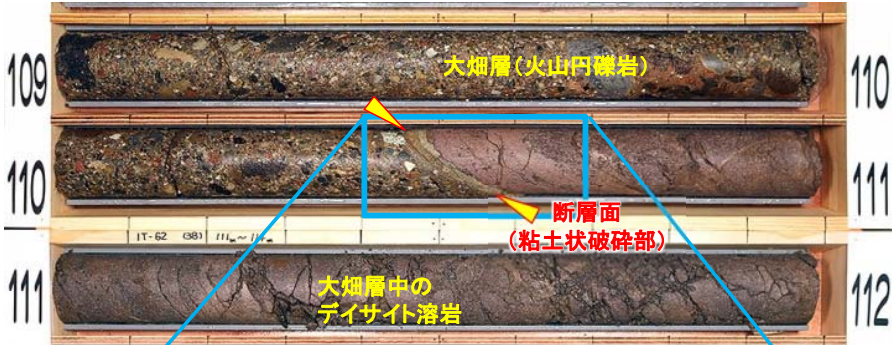


写真1 ボーリングコア(109m~112m)

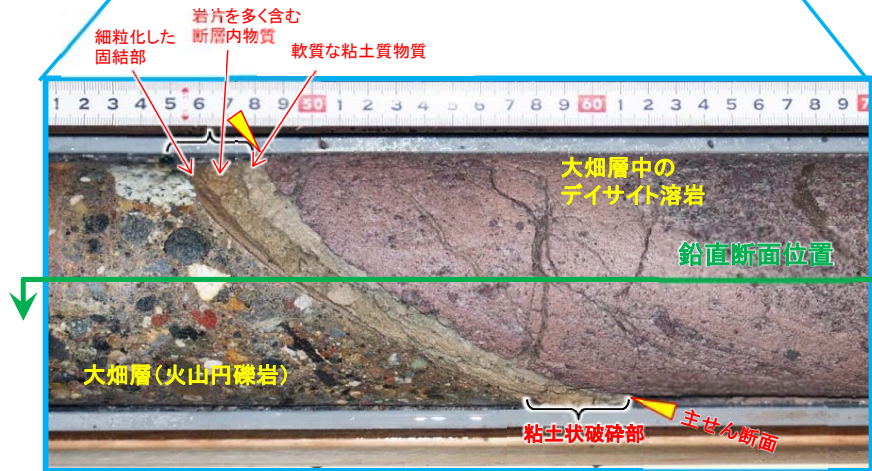


写真2 拡大写真(110.4m~110.7m)

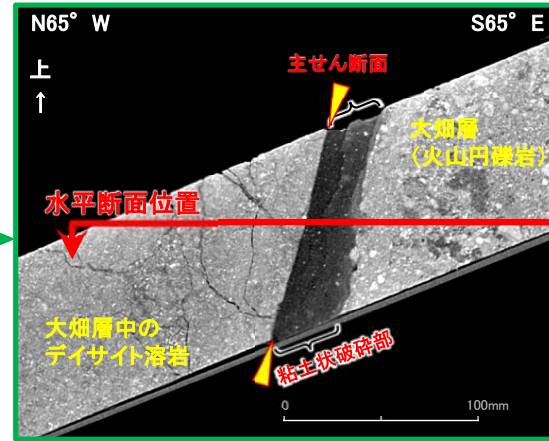
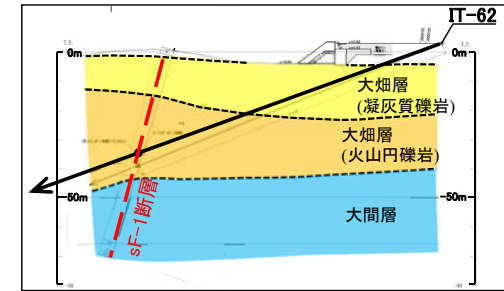
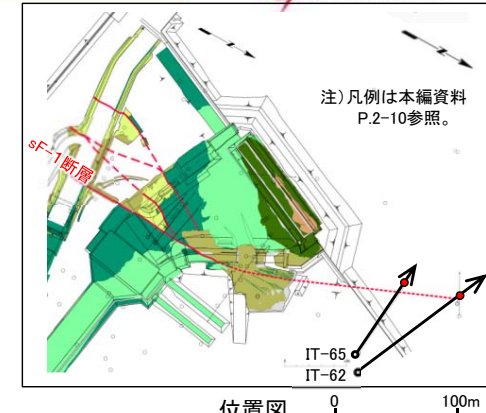
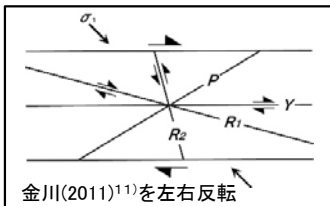


写真3 CT画像(鉛直断面)  
(写真2とは左右が逆向き)



IT-62孔沿い断面図



金川(2011)<sup>11)</sup>を左右反転

Y : sF-1断層の主せん断面  
P : 変形した岩片・軽石の伸長方向  
R<sub>i</sub> : Yに対してPとは反対方向に斜交し、Pを切断・屈曲させる面

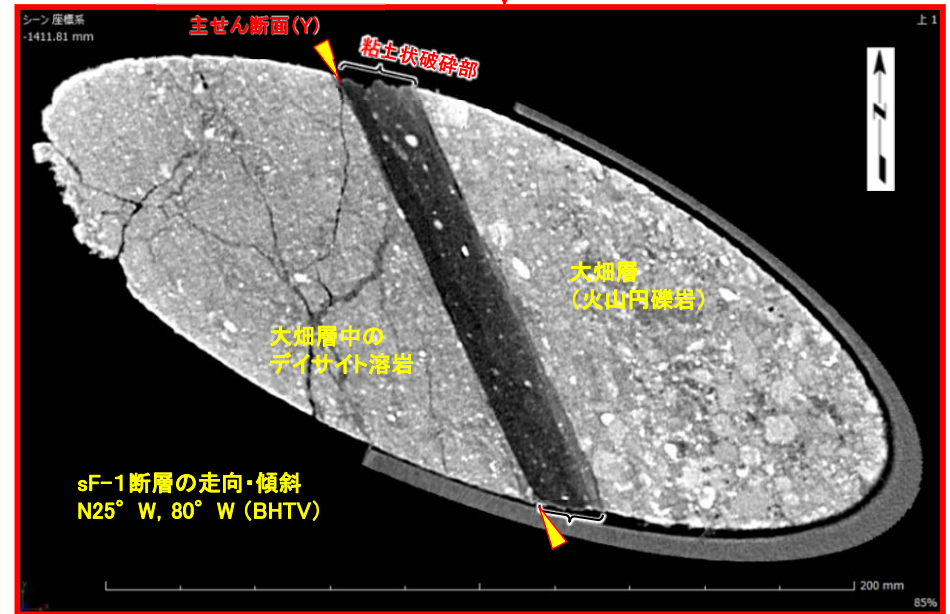


写真4 CT画像(水平断面)



### 3. sF-1断層の性状(22/26)



#### sF-1断層の北方延長部(8/8):IT-62孔(3/3)



写真1 拡大写真(110.4m~110.7m)

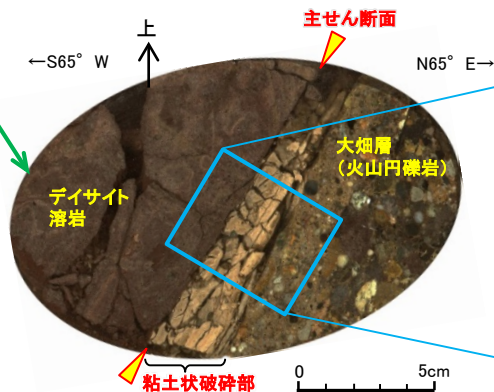


写真2 断層直交方向の研磨面  
(鉛直断面:110.54m付近)

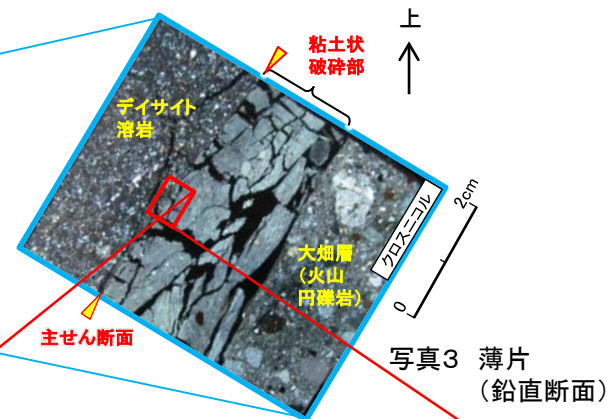


写真3 薄片  
(鉛直断面)

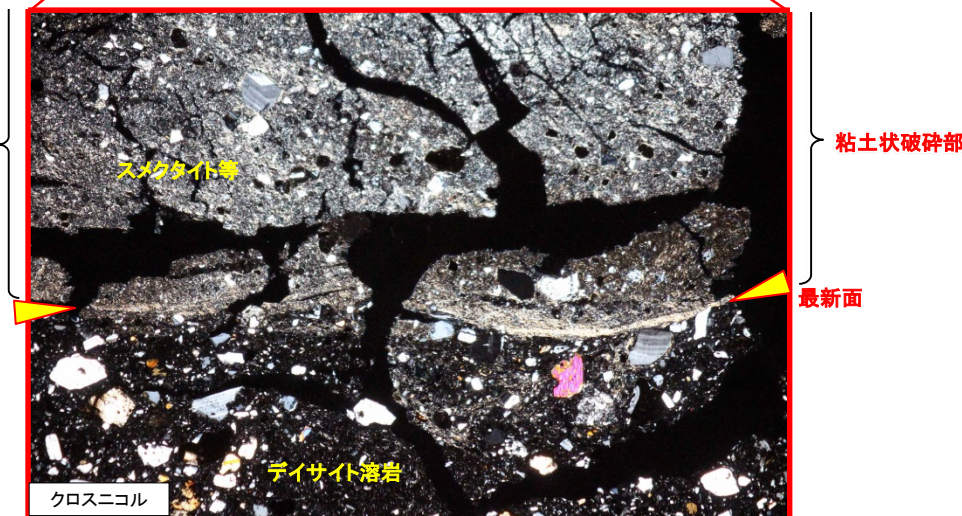
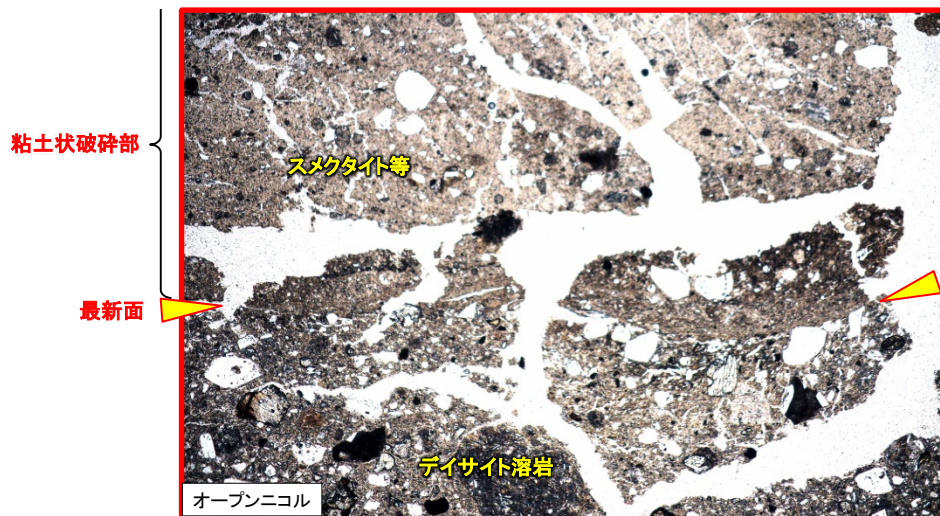


写真4 薄片(最新面付近)

デイサイト溶岩と粘土状破碎部の境界の主せん断面は薄片観察により、シャープな最新面であることを確認した。

注) 薄片は裏面作製のため反転して表示。



(余白)

### 3. sF-1断層の性状(23/26)



#### sF-1断層北方の音波探査断面(1/2):No.111SM測線位置

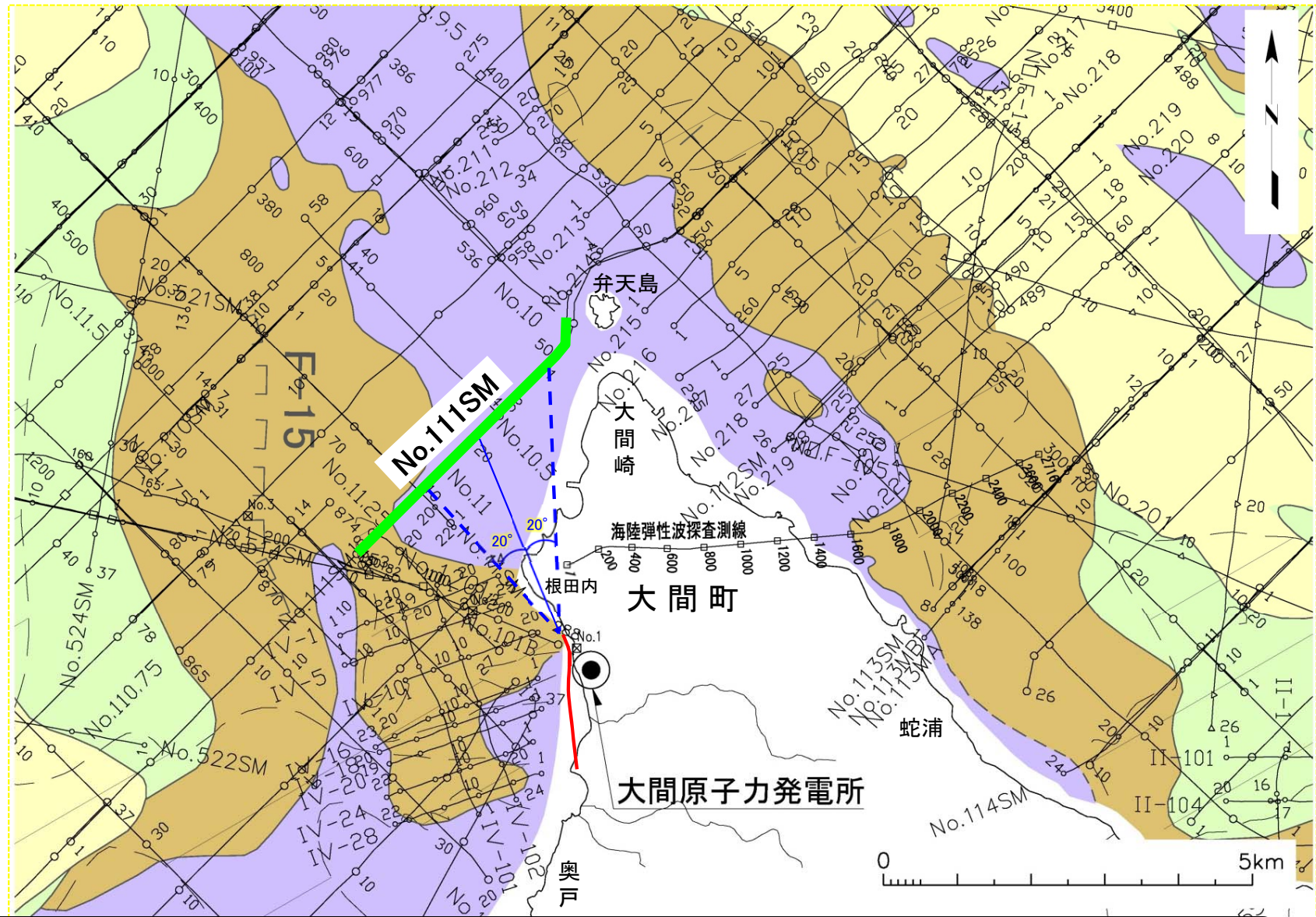
凡例

| 地質時代 |     | 敷地面前海域 |                  |
|------|-----|--------|------------------|
| 第四紀  | 完新世 | A層     |                  |
|      | 更新世 | 後期     | B <sub>1</sub> 層 |
|      |     | 中期     | B <sub>2</sub> 層 |
|      |     | 前期     | B <sub>3</sub> 層 |
| 新第三紀 | 鮮新世 | D層     |                  |
|      | 中新世 | E層     |                  |
|      |     |        | 先新第三紀            |

音波探査記録断面位置

F-15  
断層(伏在断層)及び断層番号  
断層 } 連続性のない断層  
伏在断層 }

sF-1断層  
sF-1断層の直線延長から  
東西20°の角度の範囲

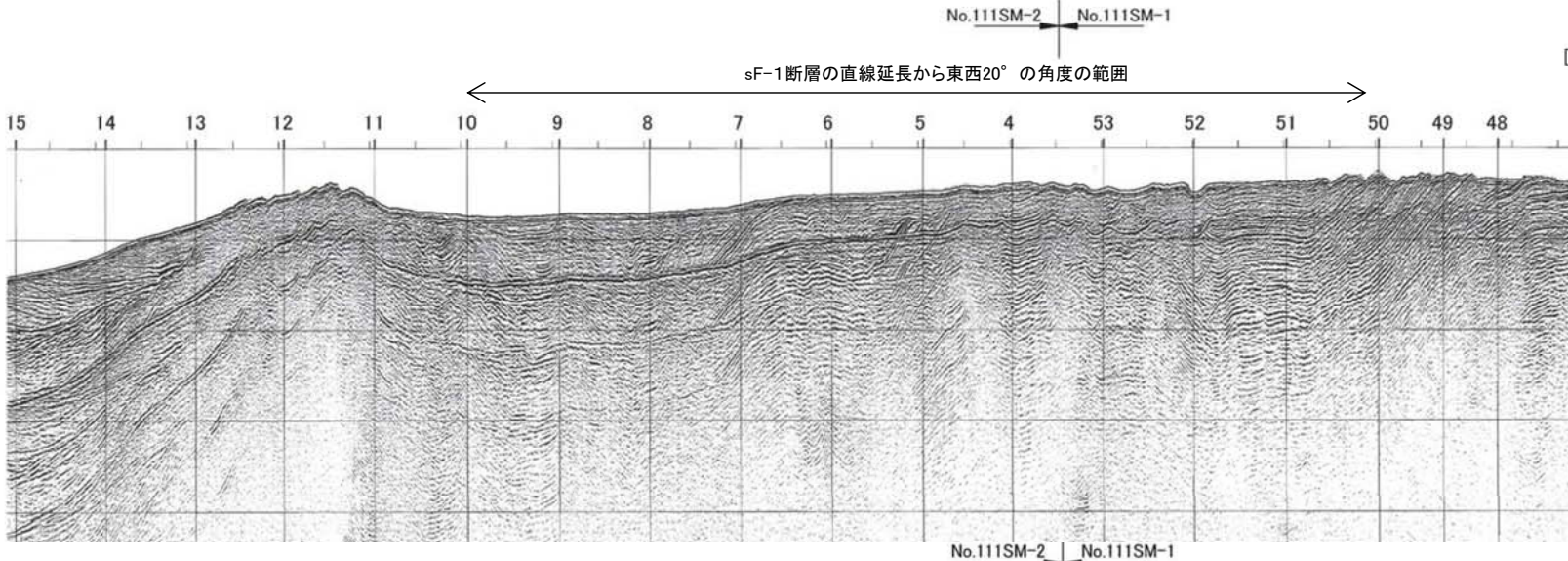






### 3. sF-1断層の性状(24/26)

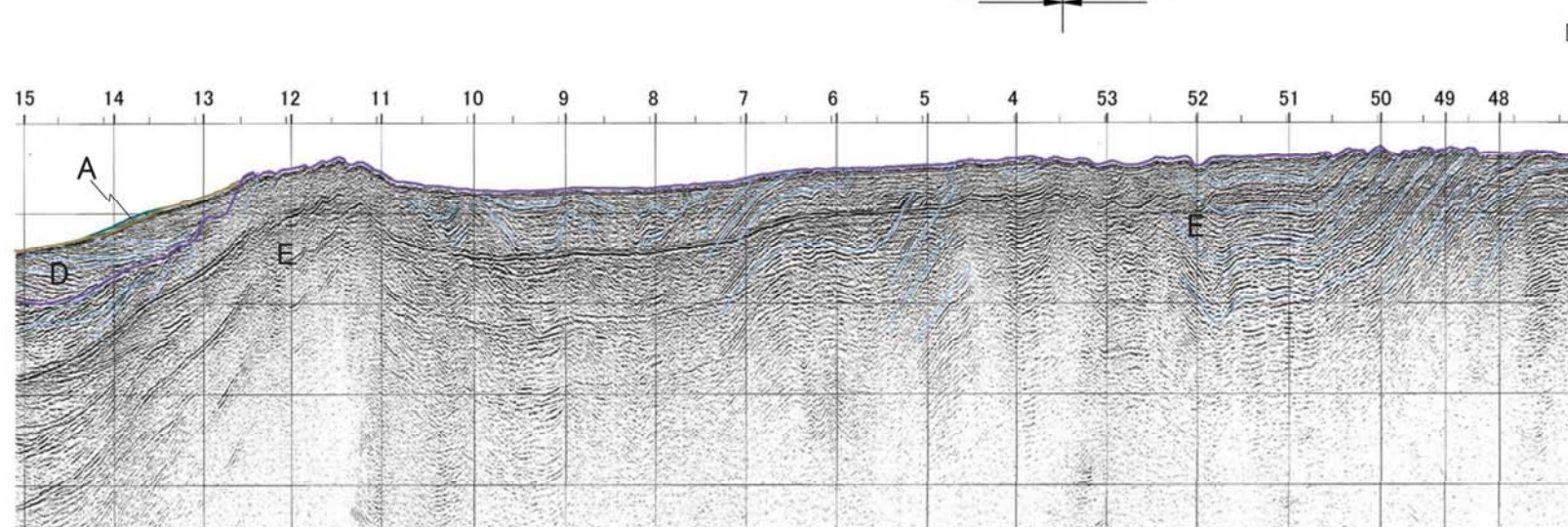
#### sF-1断層北方の音波探査断面(2/2): No.111SM測線



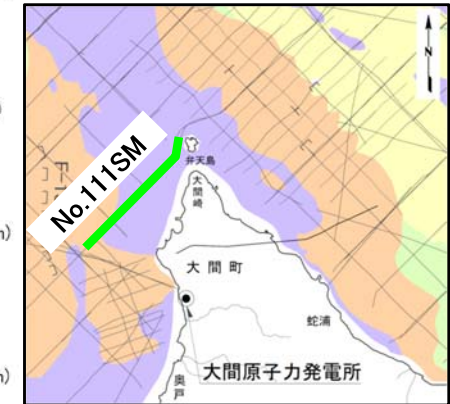
No. 111SM  
[電源開発㈱ブーマー]  
[マイグレーション]

深度は、水中及び堆積層中での音波伝播速度を1500m/secと仮定して計算した。

| 地質時代  |     | 敷地前面海域 |                  |
|-------|-----|--------|------------------|
| 第四紀   | 完新世 | A層     |                  |
|       | 更新世 | 後期     | B <sub>1</sub> 層 |
|       |     | 中期     | B <sub>2</sub> 層 |
|       |     |        | B <sub>3</sub> 層 |
| 前期    | C層  |        |                  |
| 新第三紀  | 鮮新世 | D層     |                  |
|       | 中新世 | E層     |                  |
| 先新第三紀 |     |        |                  |

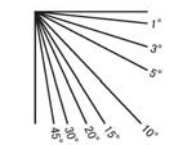


No. 111SM  
[電源開発㈱ブーマー]  
[マイグレーション]



- sF-1断層の北方延長では、E層及び海底面に断層運動を示唆する変位・変形は認められないことから、sF-1断層は分布しないと評価する。
- E層(中新統以下)には、波長の短い凹凸の繰返しが認められる。これら凹凸は、「大間崎背斜」と波長や方向性が類似しているため、同じ成因による背斜と判断される※。

約500m  
V.E. ≒ 6



※:「大間崎背斜」の詳細は、第732回審査会合 資料2-1「7.3 中新世背斜・向斜」を参照。





## sF-1断層の南方延長部(1/2):IT-33孔(1/2)(解釈線有り)

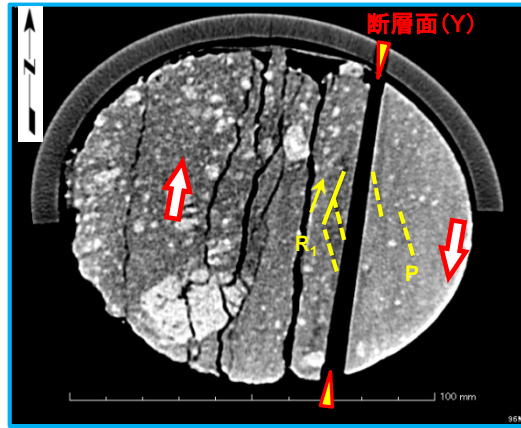
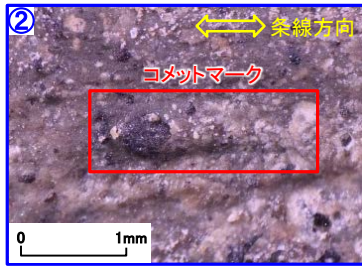
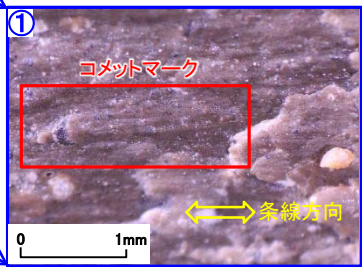
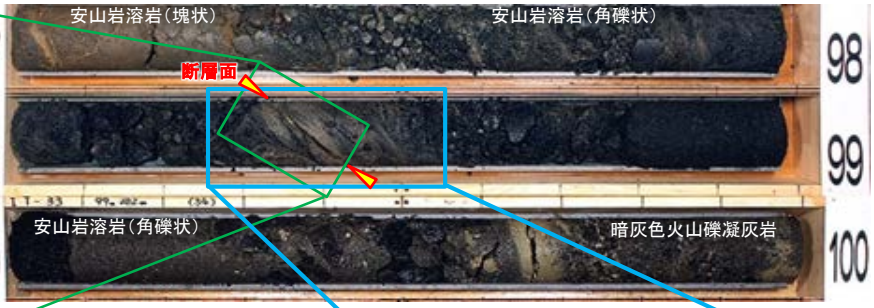


断層面の下盤上面の接写写真  
横ずれセンスを示す明瞭な条線が認められる

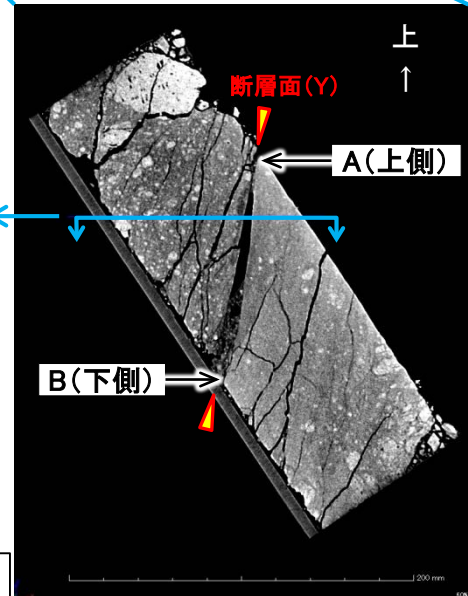


断層部コア接写写真(深度98.4m付近)

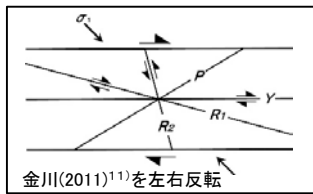
コア写真(深度97m~100m)



CT画像(水平断面) 深度98.35m

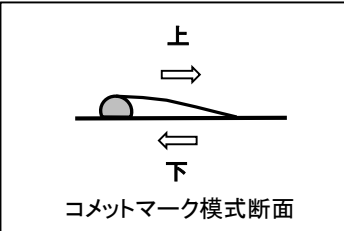


CT画像(鉛直断面:最大傾斜方向)  
深度98.25m~98.55m



複合面構造から判定される変位センス  
Y: sF-1断層の主せん断  
P: 変形した岩片の伸長方向  
R<sub>i</sub>: Yに対してPとは反対方向に斜交し、Pを切断・屈曲させる面  
金川(2011)<sup>11)</sup>を左右反転

注) IT-33孔の実施位置については本編資料P.2-22参照。



コメットマーク模式断面

上記の形状を示す場合は、上盤側が右に動くせん断センスを示す。

- IT-33孔の深度98.37mの断層面に横ずれセンスを示す明瞭な条線が認められる。
- 実体顕微鏡観察によるコメットマーク及びCT画像による複合面構造は、どちらも右横ずれセンスを示す。
- 位置、方向性及び変位センスがsF-1断層にほぼ一致することから、この断層面はsF-1断層の延長部と考えられる。



### 3. sF-1断層の性状(26/26)



### sF-1断層の南方延長部(2/2):IT-33孔(2/2)(解釈線なし)

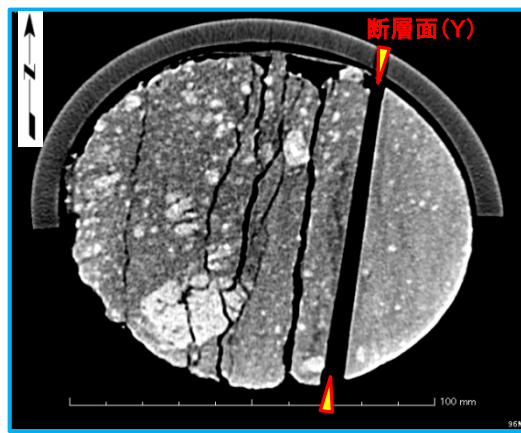
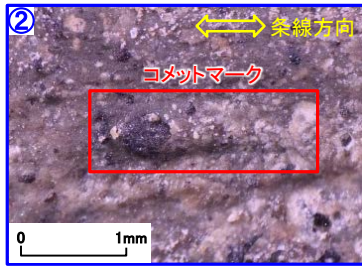
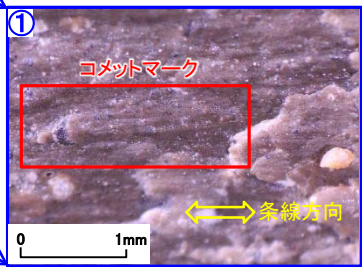
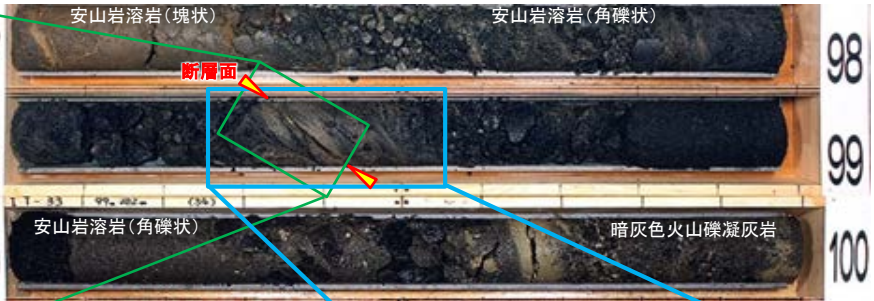


断層面の下盤上面の接写写真  
横ずれセンスを示す明瞭な条線が認められる

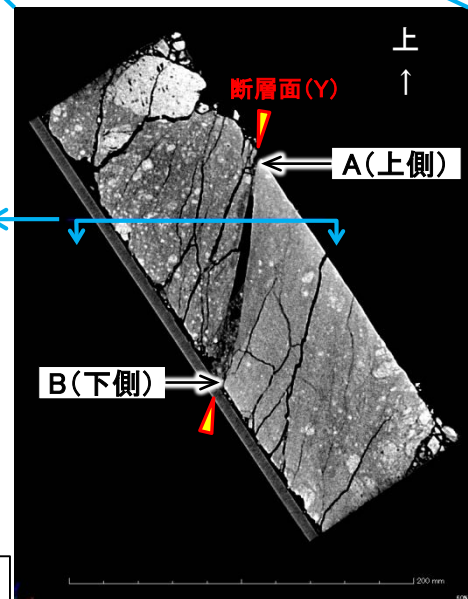


断層部コア接写写真(深度98.4m付近)

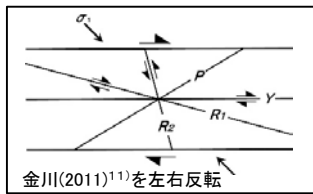
コア写真(深度97m~100m)



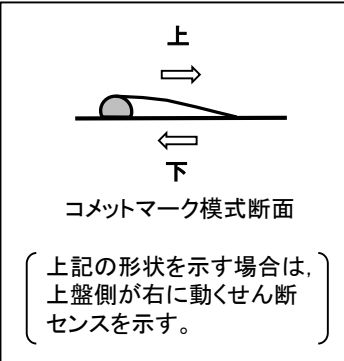
CT画像(水平断面) 深度98.35m



CT画像(鉛直断面:最大傾斜方向)  
深度98.25m~98.55m



Y : sF-1断層の主せん断面  
P : 変形した岩片の伸長方向  
R<sub>i</sub> : Y<sub>i</sub>に対してPとは反対方向に斜交し、Pを切断・屈曲させる面

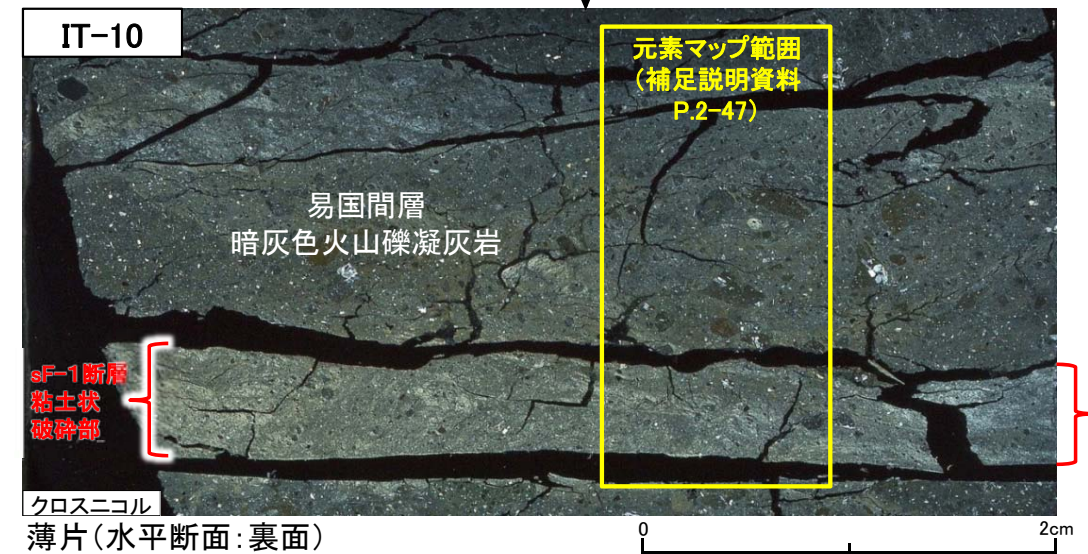
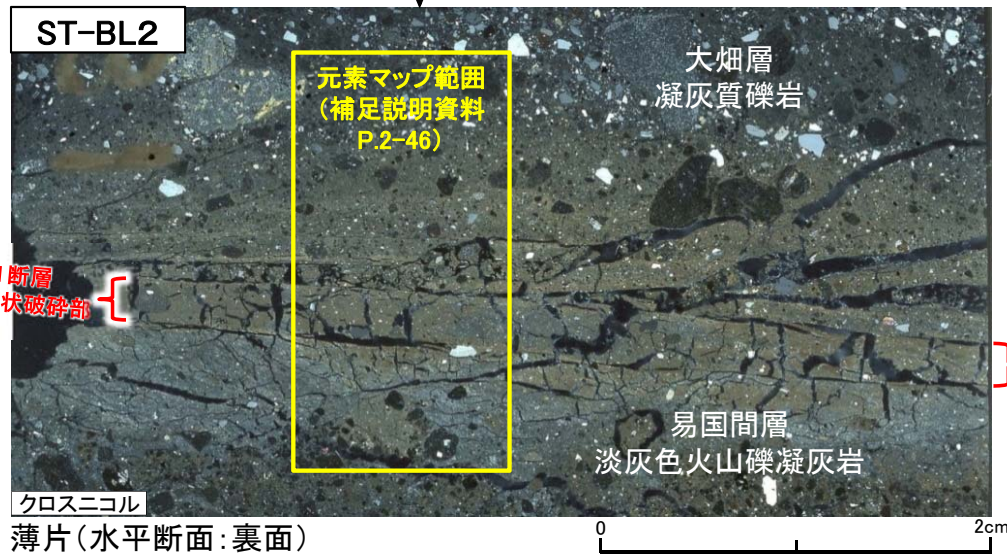
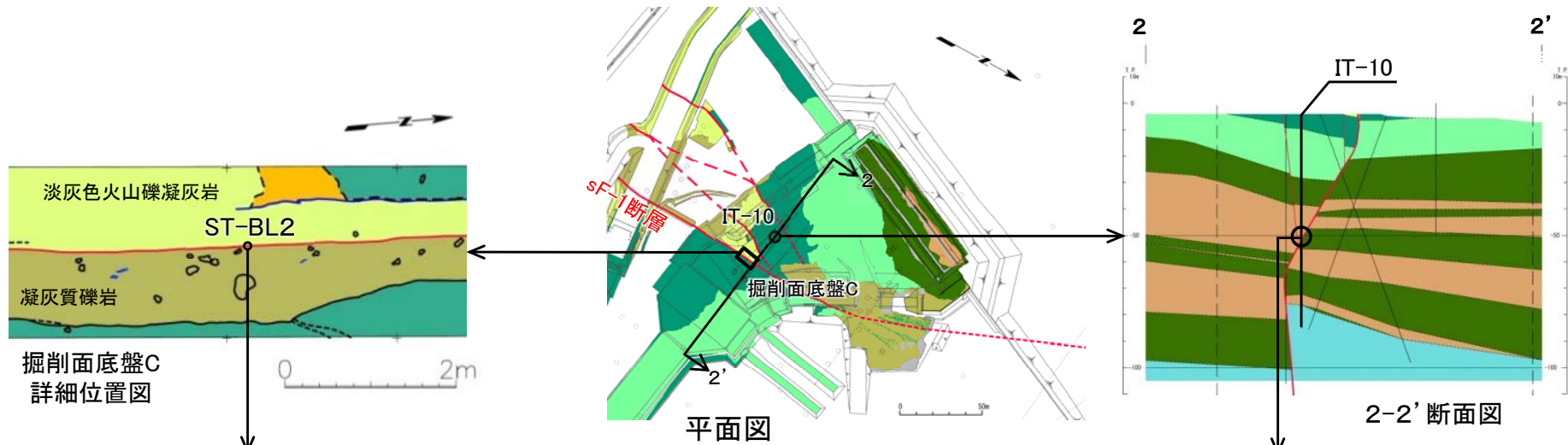


注) IT-33孔の実施位置については本編資料P.2-22参照。



## 4. EPMA分析による曹長石化の検討(1/4)

## 分析試料ST-BL2, IT-10

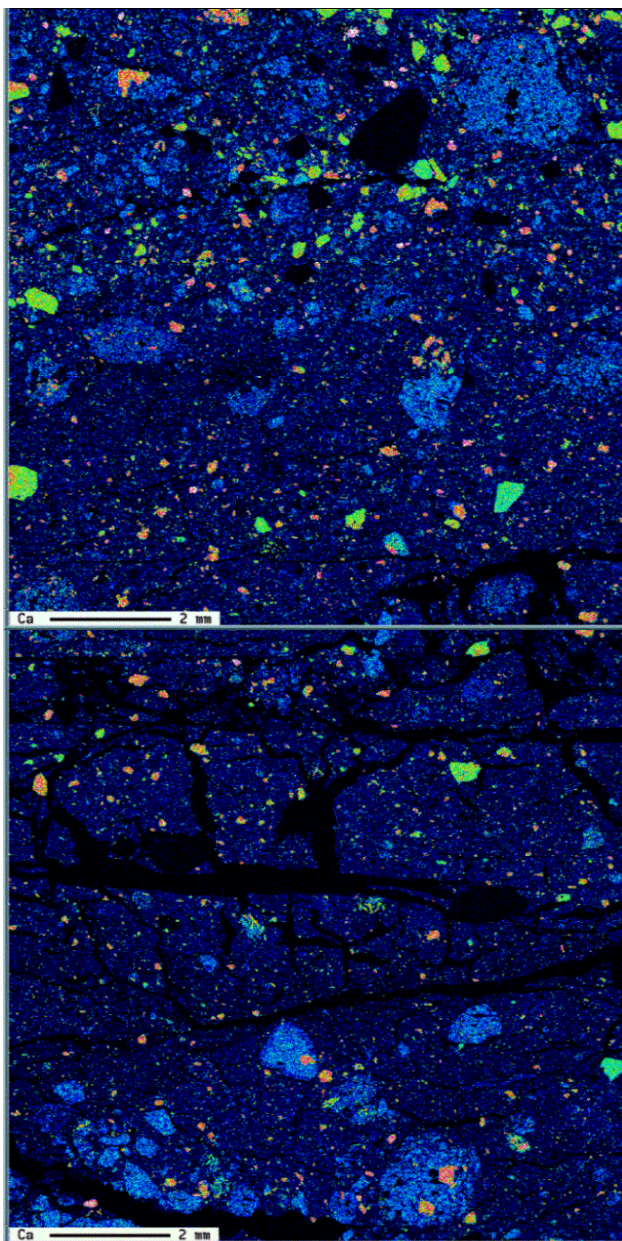


- 熱水変質作用による斜長石の曹長石化の有無を検討するため、sF-1断層の粘土状破碎部と周辺の岩盤に含まれる斜長石を対象に、EPMA分析を実施した。
- 代表試料として、掘削面ブロック試料(ST-BL2)及びボーリングコア試料(IT-10孔)を使用し、粘土状破碎部を横断する範囲の元素マップを作成した。

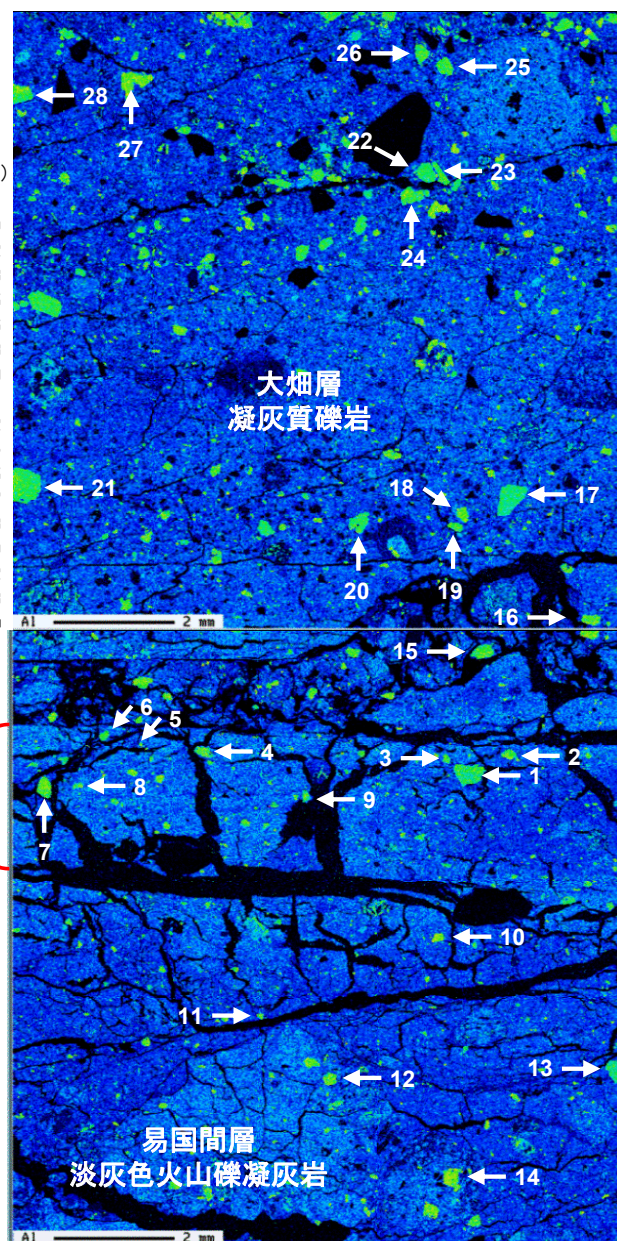
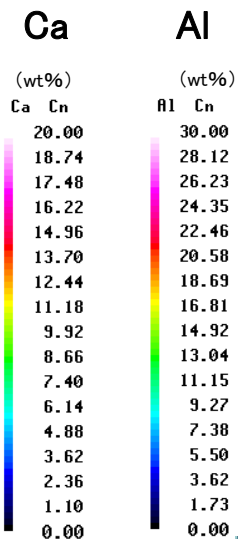




## ST-BL2



ST-BL2 元素マップ(Ca)



ST-BL2 元素マップ(Al)

ST-BL2元素マップ上で、粘土状破碎部と周辺の岩盤に含まれる斜長石粒子を選定し、各粒子1~3点でEPMA分析を実施した。

### 凝灰質礫岩

- 斜長石14粒子 (No.15~28) を選定
- 分析1~3点/粒子
- 計27点を分析

### 粘土状破碎部

- 斜長石9粒子 (No.1~9) を選定
- 分析1~3点/粒子
- 計19点を分析

### 淡灰色火山礫凝灰岩

- 斜長石5粒子 (No.10~14) を選定
- 分析1~3点/粒子
- 計10点を分析

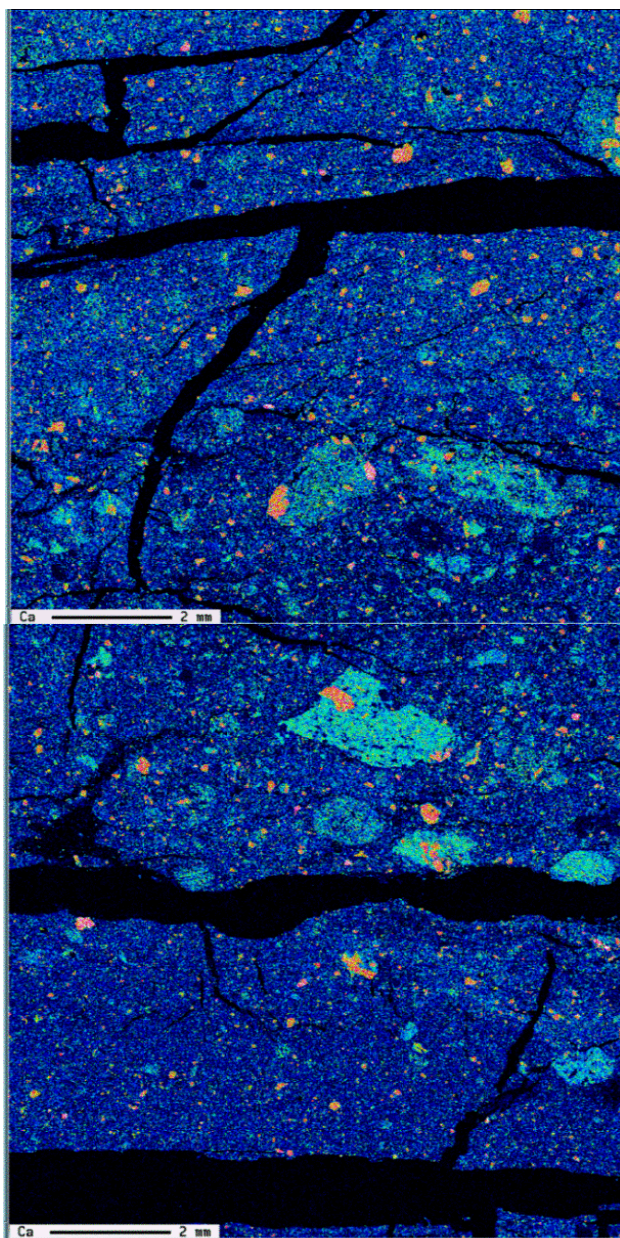
sF-1 断層  
粘土状破碎部

← 分析粒子番号

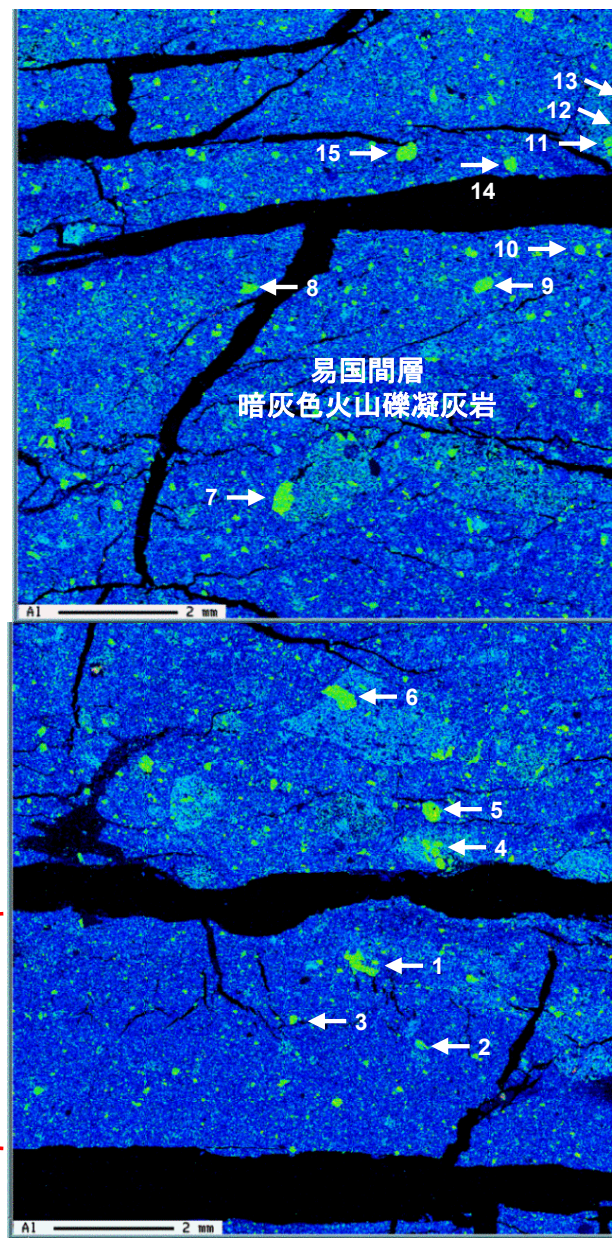
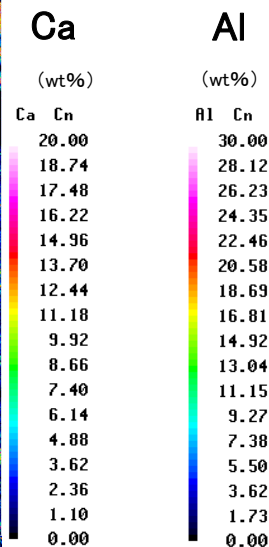




## IT-10



IT-10元素マップ(Ca)



IT-10元素マップ(Al)

IT-10元素マップ上で、粘土状破碎部と周辺の岩盤に含まれる斜長石粒子を選定し、各粒子1~3点でEPMA分析を実施した。

### 暗灰色火山礫凝灰岩

- 斜長石12粒子(No.4~15)を選定
- 分析1~3点/粒子
- 計21点を分析

sF-1断層  
粘土状破碎部

### 粘土状破碎部

- 斜長石3粒子(No.1~3)を選定
- 分析2~3点/粒子
- 計7点を分析

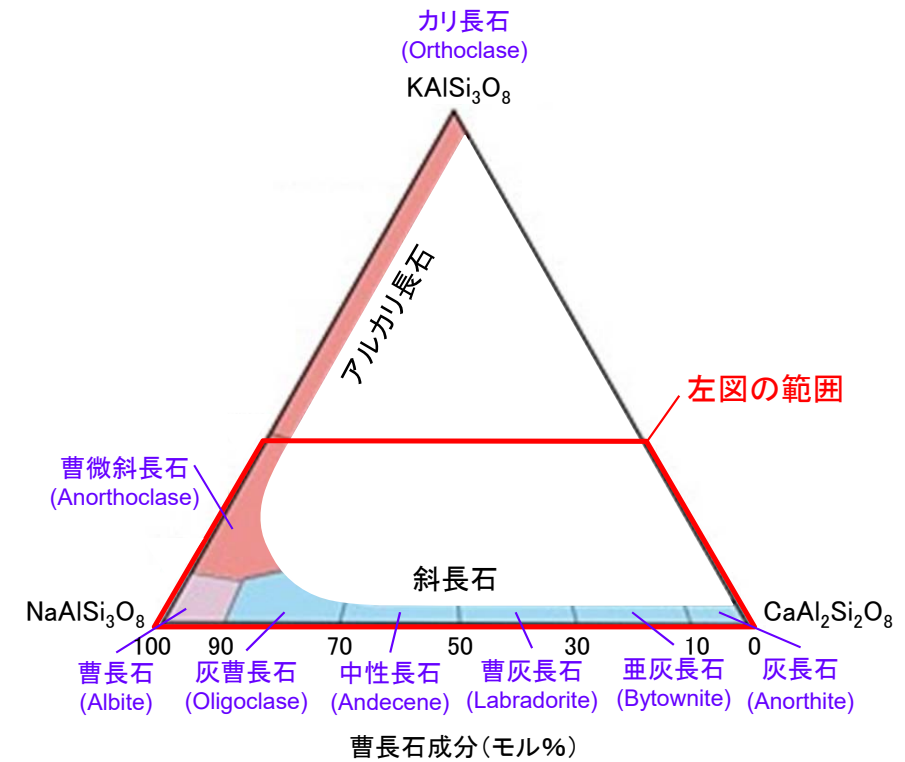
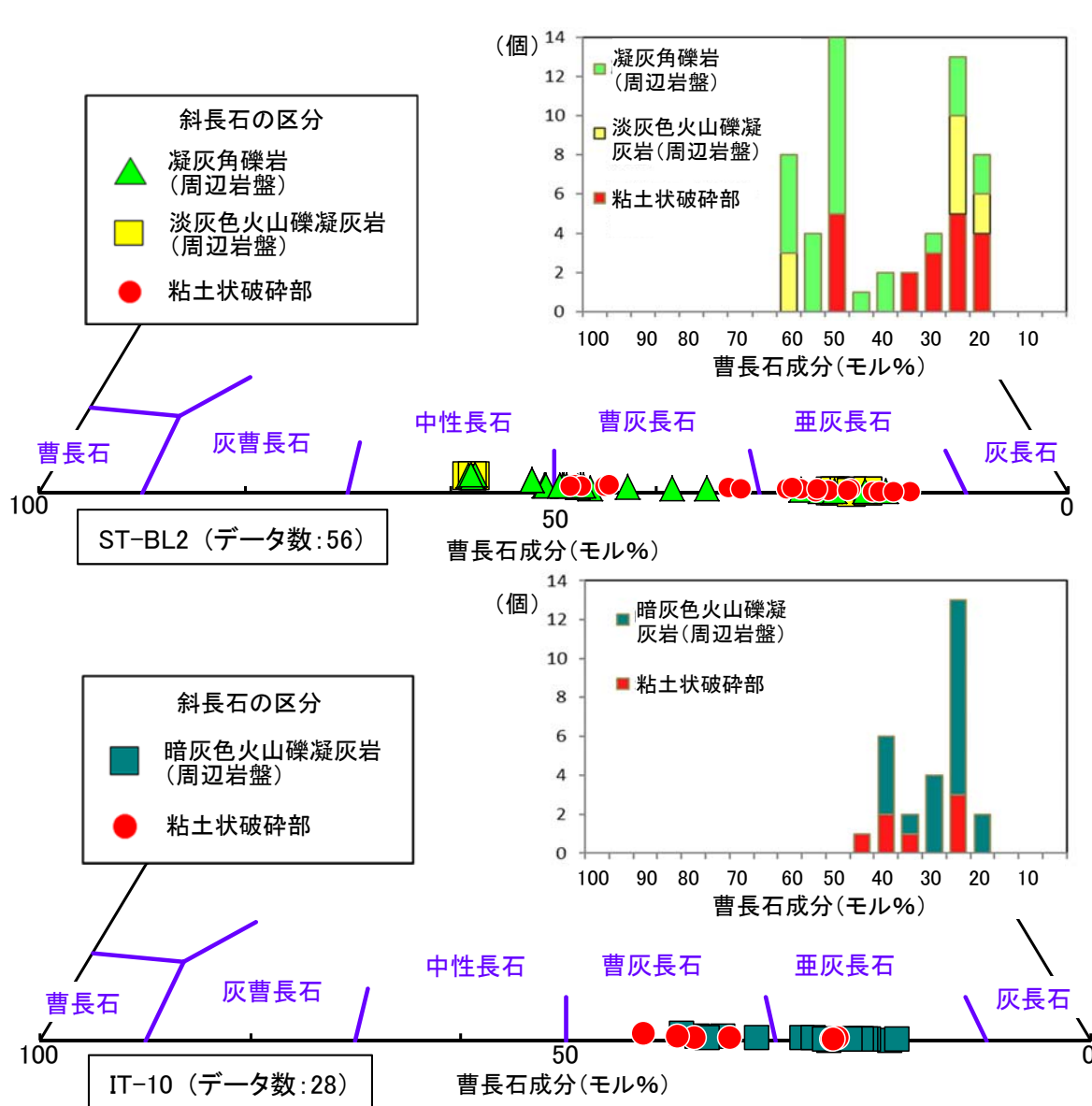
← 分析粒子番号





# 4. EPMA分析による曹長石化の検討(4/4)

## sF-1断層中の斜長石の化学組成の評価



化学組成による長石の分類図

- EPMAによる斜長石の分析データから三角ダイアグラムを作成し、曹長石化について検討した。
- 断層の粘土状破砕部及びその周辺の岩盤に含まれる斜長石は、いずれも中性長石～亜灰長石の化学組成を示し、曹長石化は生じていないと判断される。

斜長石の曹長石成分の分析結果

審査資料の再チェックを行い、「ヒストグラムの横軸目盛り」及び「ST-BL2の凡例」を修正した。



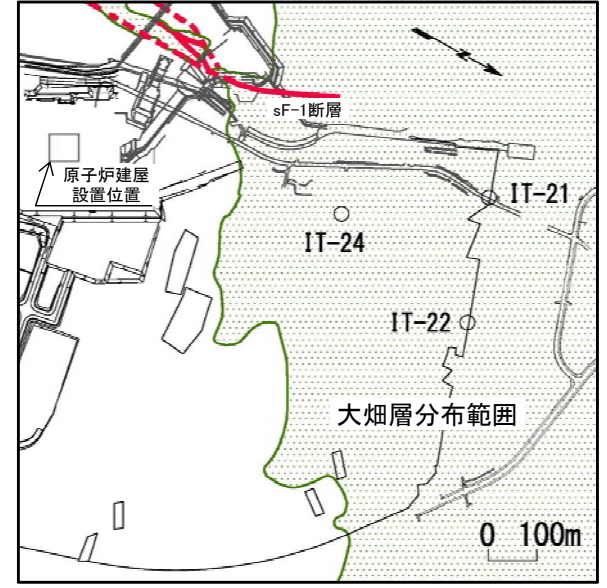
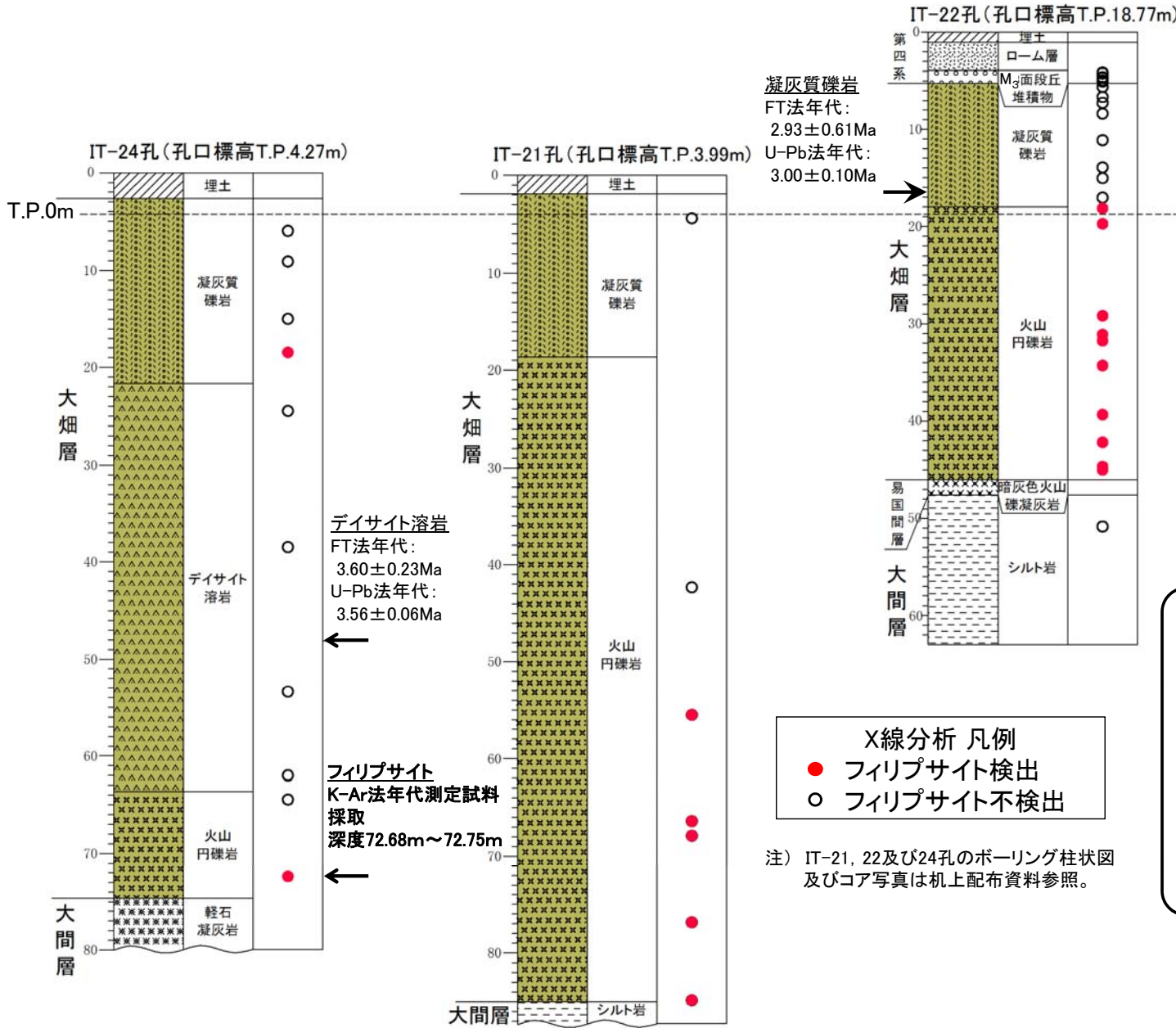


# 6. フィリップサイトの年代測定(1/5)

第615回審査会合  
資料2-2 P.3-47 一部修正



## 年代測定試料の選定



位置図

熱史におけるフィリップサイトの生成時期を確認するため、フィリップサイトの年代測定を実施した。

- 多量のフィリップサイトが分布する大畑層を対象として、IT-21, 22及び24孔のコア観察及びX線分析を詳細に実施した結果、フィリップサイトは主に火山円礫岩の基質部に分布することが確認された。
- 多量のフィリップサイトを含むことが確認されたIT-24孔の深度72.68m~72.75mのコアを採取し、K-Ar法による年代測定試料とした。



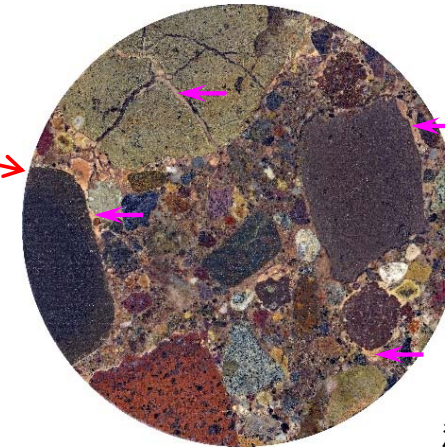
## 6. フィリップサイトの年代測定(2/5)

### 試料の薄片観察結果

IT-24孔(72m~75m区間)



ボーリングコア写真



← フィリップサイト濃集部  
(淡橙色を呈する)

ボーリングコア  
研磨片(72.80m)

注) カット面の下盤・上向き面

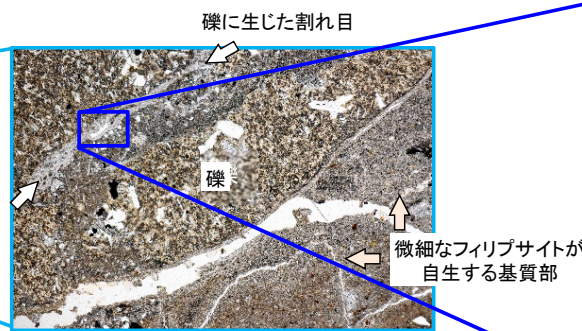
← フィリップサイト濃集部  
(淡橙色を呈する)



0 2cm

薄片用岩石チップ

(深度72.80m)  
上盤・下向き面  
(写真を反転)



礫に生じた割れ目

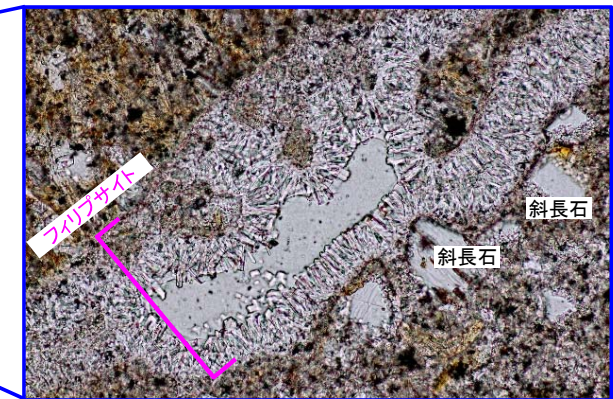
礫

微細なフィリップサイトが  
自生する基質部

0 2mm

薄片(オープンニコル)

礫の基質には微細なフィリップサイトが自生する。  
礫に生じた割れ目には脈状にフィリップサイトが  
分布する。



フィリップサイト

斜長石

斜長石

0 0.2mm

薄片(オープンニコル)

薄片は、切断した研磨片の反対面から作製。

年代測定試料の薄片観察の結果、年代測定試料にはフィリップサイトが多量に含まれる。フィリップサイトは大畑層の火山円礫岩の基質部中に自生し、礫に生じた割れ目にはフィリップサイト脈として分布する。

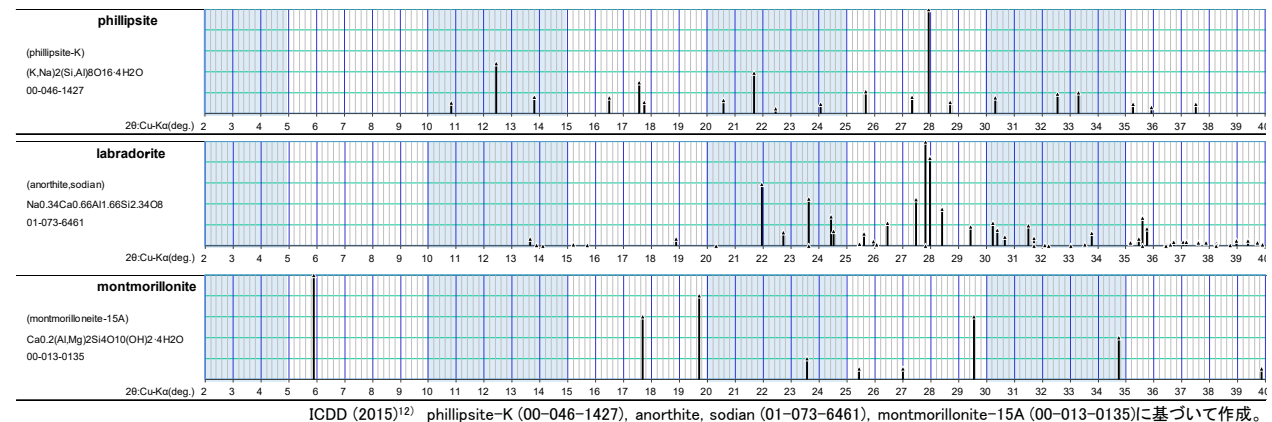
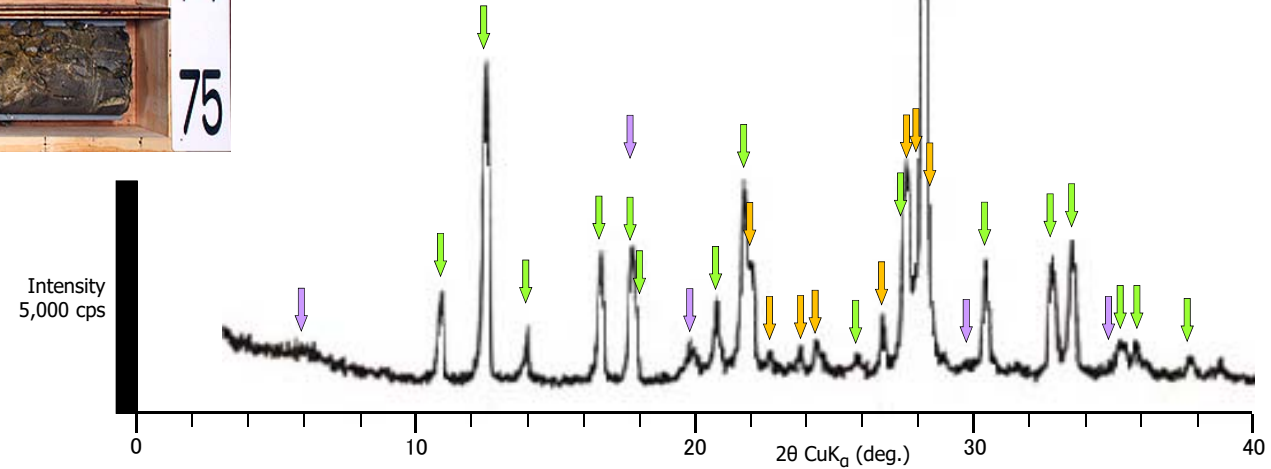


## 6. フィリップサイトの年代測定(3/5)

### 試料のX線分析結果



ボーリングコア写真



- X線分析の結果, 年代測定試料には薄片観察結果と同様にフィリップサイトが多量に検出される。
- その他の鉱物として検出された斜長石及びスメクタイトの回折線強度はフィリップサイトに比較して小さく, それらの混入は少ない。

年代測定試料のX線分析結果(不定方位分析)

## 6. フィリップサイトの年代測定(4/5)

### フィリップサイトのK-Ar年代測定の方法

#### 1. フィリップサイトの分離

- (1) 火山円礫岩の基質部のフィリップサイト濃集部を削り取り粉碎する。
- (2) 超音波洗浄機で攪拌後一昼夜放置し、水ひ法により直径 $10\mu\text{m}$ 以下の粒子を含む懸濁液上部を採取する。
- (3) (2)で得られた懸濁液を遠心分離器(HITACHI製[himac CT 5L])にかけて直径 $0.2\mu\text{m}$ 以下の粒子を回収する。設定条件は3,000回転/分、14分40秒間とする。
- (4) (3)で得られた沈殿物(直径 $0.2\mu\text{m}\sim 10\mu\text{m}$ の粒子)について、以下の方法により試料に付着している塩素分を除去するため、沸騰させた脱イオン水を加え、超音波洗浄器で攪拌後、遠心分離器(3,000回転/分、20分間)にかけ、上澄みを捨てる。以上の洗浄操作を10回繰り返す。
- (5) (4)で脱塩処理した沈殿物を $70^\circ\text{C}$ の恒温槽内で十分に乾燥させ年代測定用試料とする。

#### 2. X線分析

分析には岡山理科大学自然科学研究所のX線回折分析装置(X線回折装置RINT2500V)を用いた。

- ターゲット: Cu( $K\alpha$ ), 管電圧: 40kV, 管電流: 160mA
- 拡散スリット・散乱スリット:  $1^\circ$ , 受光スリット: 0.15mm
- スキャン範囲:  $3^\circ\sim 70^\circ$ , サンプル幅:  $0.02^\circ$ , スキャン速度:  $8^\circ/\text{分}$

#### 3. カリウムの定量分析

炎光分光法により検量線を用いてカリウムの定量を行った。分析には岡山理科大学自然科学研究所の日立180-30型原子吸光・炎光分光分析装置を用いた。試料の不均質さや定量の再現性を確認するため、1試料につき2回以上の分析を行い、その平均値を年代計算に使用する。再現性は、(分析結果の差)/(分析結果の平均値) $\times 100$ である。

#### 4. アルゴン同位体比の測定

岡山理科大学自然科学研究所のアルゴン専用の質量分析計(HIRU)を用い、 $^{38}\text{Ar}$ をトレーサー(スパイク)として、試料から抽出されるアルゴンと混合させる同位体希釈法により定量。



## 6. フィリップサイトの年代測定(5/5)

### 年代測定結果

| 年代測定試料                    | 測定鉱物<br>(粒径)                         | カリウム含有量*<br>(wt%) | 放射性起源 <sup>40</sup> Ar<br>( $\times 10^{-8}$ ccSTP/g) | K-Ar年代<br>(Ma)  | 非放射性起源 <sup>40</sup> Ar<br>(%) |
|---------------------------|--------------------------------------|-------------------|---|-----------------|--------------------------------|
| IT-24孔<br>深度72.68m~72.75m | フィリップサイト<br>(0.2 $\mu$ m~10 $\mu$ m) | 4.400 $\pm$ 0.088 | 27.3 $\pm$ 2.1  | 1.60 $\pm$ 0.13 | 81.4                           |

\*: X線分析で検出された斜長石やスメクタイトのカリウム含有量はフィリップサイトに比較して十分少なく(補足説明資料P.2-56参照), 回折線の強度も小さいため(補足説明資料P.2-52参照), カリウムはほぼすべてフィリップサイトに含まれているものと考えられる。

- IT-24孔の深度72.68m~72.75mの年代測定試料のフィリップサイトのK-Ar法年代は約1.6Maである。
- このフィリップサイトの年代値は, その生成温度と現在の地温分布からフィリップサイトが後期更新世より十分古い時期に生成したと推定されることと整合的である。

## 7. X線分析の方法及び文献に基づく主要鉱物の特徴(1/2)

### 試料調整とX線分析条件

#### (1)不定方位法回折試験

試料を乾燥機において 60°C以下で 12 時間以上乾燥させた後、振動ミル(平工製作所製 TI100:10ml 容タングステンカーバイト容器)を用いて粉碎・混合し、粉末試料(200mesh, 95%pass)とする。粉末試料は、X線回折用アルミニウムホルダーに充填し、不定方位試料を作成する。作成した不定方位試料は、X線回折測定装置を用いて以下の条件で測定する。

|                            |                         |
|----------------------------|-------------------------|
| 装置:理学電気製 MultiFlex         | Divergency Slit: 1°     |
| Target: Cu(K $\alpha$ )    | Scattering Slit: 1°     |
| Monochrometer: 湾曲 Graphite | Receiving Slit: 0.3mm   |
| Voltage: 40KV              | Scanning Speed: 2° /min |
| Current: 40mA              | Scanning Mode: 連続法      |
| Detector: SC               | Sampling Range: 0.02°   |
| Calculation Mode: cps      | Scanning Range: 2~65°   |

#### (2)定方位および EG 処理定方位回折試験

上記の粉末試料を用いて純水による簡易水ひを行い、懸濁液をシリコン単結晶板上に無限厚さを保つように塗布し、乾燥させて定方位試料を作成する。Scanning Range を 2~30° (2 $\theta$ )とする他は不定方位法回折試験と同一条件で回折試験を行う。さらに、定方位法に用いた試料を EG(エチレングリコール)処理した後、2~20° の Scanning Range について再度、定方位法と同一条件でX線回折を行う。



## 7. X線分析の方法及び文献に基づく主要鉱物の特徴(2/2)

### X線分析及び薄片観察に関わる主要鉱物の特徴

| 鉱物名<br>[化学式]  | 粉末X線回折分析での特徴的回折ピーク<br>(ICDD (2015) <sup>12)</sup> による) |  |                              | 文献による光学的性質      |                 |
|---|--|--|------------------------------|-----------------|-----------------|
|   | 相対強度   | $2\theta_{\text{CuK}\alpha}$<br>(deg.) | 備考                           | 屈折率*1           | 複屈折*2           |
| 石英<br>[SiO <sub>2</sub> ]   | 100 (第一強線)   | 26.65                                  | low-quartz                   | 1.544 ~ 1.553*3 | 0.009*3         |
|   | 22 (第二強線)  | 20.85                                  |                              |                 |                 |
| 斜長石<br>[(Ca <sub>x</sub> , Na <sub>1-x</sub> ) Al <sub>1+x</sub> Si <sub>3-x</sub> O <sub>8</sub> ]                                     | 100 (第一強線)   | 27.82                                  | labradorite*4                | 1.554 ~ 1.582*5 | 0.007 ~ 0.011*5 |
|   | 59 (第二強線)  | 21.95                                  |                              |                 |                 |
| スメクタイト<br>[(Na,Ca) <sub>0.33</sub> (Al,Mg) <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> ·nH <sub>2</sub> O]           | 100 (第一強線)   | 5.9-6.5                                | montmorillonite<br>14 Å-15 Å | 1.48 ~ 1.64*3   | 0.010 ~ 0.040*3 |
|   | 18-80 (第二強線)   | 19.7-19.8                              |                              |                 |                 |
| フィリップサイト<br>[(K, Na, Ca <sub>0.5</sub> , Ba <sub>0.5x</sub> ) (Al <sub>x</sub> Si <sub>16-x</sub> O <sub>32</sub> )·12H <sub>2</sub> O] | 48 *6  | 12.44*6                                | phillipsite - K*6            | 1.451 ~ 1.470*7 | 0.002 ~ 0.004*7 |
|   | 30 *6  | 17.57*6                                |                              |                 |                 |

\*1: 鉱物の屈折率が試料固定樹脂の屈折率に近い場合、オープンニコル下では鉱物周辺の明るい輪郭が弱く見え、両者の屈折率の差が大きい場合は、明瞭に見える。

\*2: 鉱物の複屈折が低い場合、クロスニコル下ではステージを回転\*させても暗黒色のままであり、高い場合は回転すると明るい色調で明瞭に変化する。

(※:ステージ回転で鉱物に対する観察光の振動方向が変化し、鉱物の色調が変化する。これを干渉色という。)

\*3: 都城・久城 (1972)<sup>13)</sup>の屈折率及び複屈折。

\*4: EPMA分析によると、sF-1断層の粘土状破砕部の斜長石は曹灰長石～垂灰長石である(補足説明資料P.2-48参照)。

\*5: 都城・久城 (1972)<sup>13)</sup>の曹灰長石～垂灰長石。

\*6: ICDD(2015)<sup>12)</sup>のphillipsite-Kの回折ピークのうち、斜長石と重複しない主要回折ピークの位置。

\*7: Sheppard and Fitzpatrick(1989)<sup>14)</sup>のK・Na・Siに富むフィリップサイト。

- X線分析: フィリップサイトと他の鉱物とは回折ピークの位置で識別可能である。
- 薄片観察: 屈折率及び複屈折からフィリップサイトと他の鉱物とは識別可能である。特に複屈折が他の鉱物に比べて非常に小さいことが特徴である。

(余白)



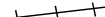



## 8. [参考]地下深部への連続性の有無(1/11)

### 反射法地震探査統合解析:測線位置

□で示す箇所は、商業機密あるいは防護上の観点から公開不可としているもので、白抜きとしてあります。

#### 凡 例

-  反射法地震探査 EW測線(2013年)
-  ベイケーブル B102測線(1998年)
-  統合解析断面線 (数字:GDP)
-  断面線沿いボーリング  
(矢印は斜めボーリング)

- sF-1断層の地下深部への連続性の有無の確認のため、sF-1断層を直交方向に横切る東西測線(EW測線、B102測線)の既往反射法地震探査データを用いて再解析を行った。
- 再解析で得られた深度断面、近傍の既往ボーリング孔及び第615回審査会合以降に実施したIT-66-e孔のデータを用いて解釈図を作成した。

注) 測定及び解析仕様等は補足説明資料P.2-59~P.2-61参照。

## 8. [参考]地下深部への連続性の有無(2/11)

第732回審査会合  
資料2-2 P.2-8 再掲

2-59



### 反射法地震探査統合解析:データ取得仕様

データ取得仕様一覧

| 調査項目/測定諸元       | ベイクーブルB102測線(1998年) | 反射法EW測線(2013年)    |
|-----------------|---------------------|-------------------|
| 発震種別            | エアガン発震              | P波発震              |
| 測線長             | 1.26km              | 1.845km           |
| 発震系パラメータ        |                     |                   |
| 震源              | エアガン                | 大型バイブレータ          |
| エアガン容量/バイブレータ台数 | 80 cu.in.           | 2台                |
| 標準発震点間隔(発震位置)   | 10m                 | 10m               |
| スイープ長           | -                   | 20 sec            |
| 標準発震回数/発震点      | 1回                  | 5回                |
| スイープ周波数         | -                   | 8-70Hz            |
| エアガン深度          | 1.5m                | -                 |
| バイブレータアレイ長      | -                   | 8m(B-B)           |
| 総発震点数           | 115点                | 168点              |
| 受振系パラメータ        |                     |                   |
| 受振点間隔           | 10m                 | 5m                |
| 受振器種別           | OBC(ハイドロフォン)        | 3成分受振器(MEMS型加速度計) |
| 受振器数/受振点        | 1組                  | 1組                |
| 展開パターン          | 移動展開                | 固定展開              |
| 展開長             | 1.08km              | 1.845km           |
| 受振点数            | 108点                | 370点              |
| 記録系パラメータ        |                     |                   |
| サンプルレート         | 1msec               | 2msec             |
| チャンネル数          | 60(移動)              | 370(固定)           |
| 相互相関            | -                   | CAS               |
| 記録長             | 4sec                | 6sec              |



# 8. [参考]地下深部への連続性の有無(3/11)

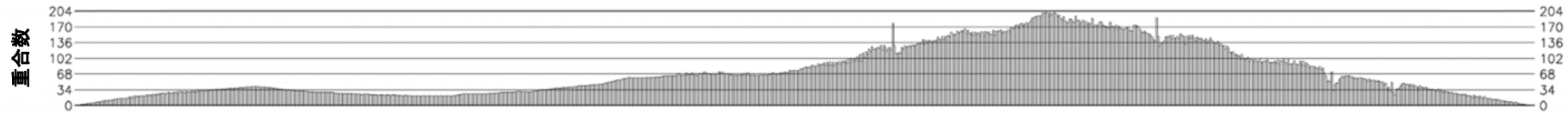


## 反射法地震探査統合解析: 解析仕様(2018年)

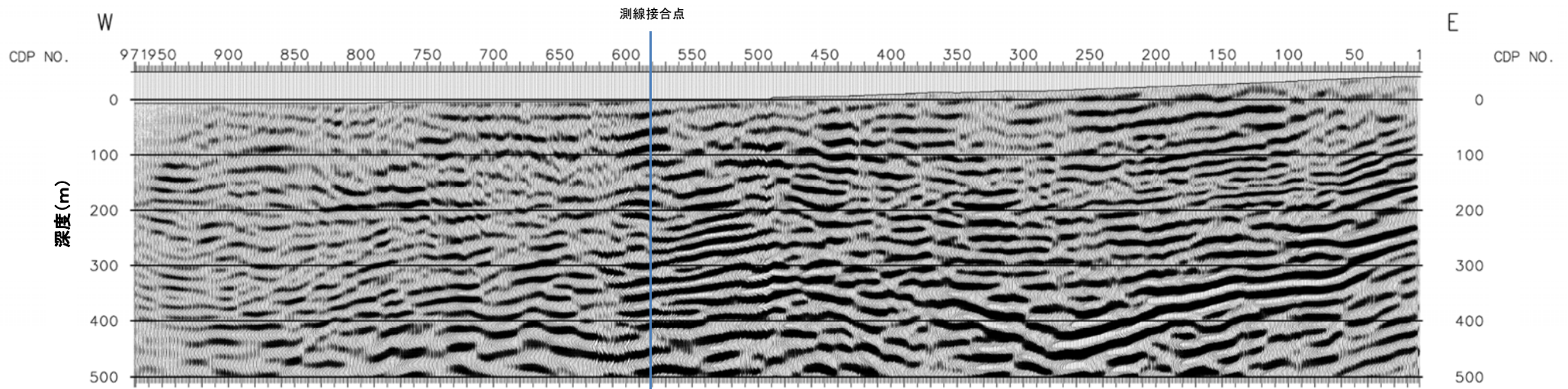
| データ処理パラメーター一覧表(1) |                       |                             | データ処理パラメーター一覧表(2)                 |             |                     |                                      |
|-------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------|---------------------|--------------------------------------|
| 処理項目              | パラメータ項目               | パラメータ                       | 処理項目                              | パラメータ項目     | パラメータ               |                                      |
| 1                 | フォーマット変換              | SEGYフォーマットからSUPERXフォーマットへ変換 | 10                                | CMPデータ編集    | ピンサイズ<br>2.5 m      |                                      |
| 2                 | 測線情報セット               |                             |                                   | CMP制限       | none                |                                      |
| 3                 | 最小位相変換                | ターゲット<br>バイブプレートデータ         | 11                                | 速度解析        | 手法<br>定速度重合法        |                                      |
| 4                 | 屈折初動解析                |                             |                                   | 解析間隔        | 50 m                |                                      |
| 5                 | 静補正                   | 手法                          | 屈折法解析                             | 12          | NMO補正               | ストレッチファクター<br>2.1(EW4),1.8(B102A)    |
|                   |                       | インバージョン                     | タイムターム法                           | 13          | ミュート                | 手法<br>マニュアル                          |
|                   |                       | 発震点における表層速度                 | 800 m/sec                         |             | 解析間隔                | Variable                             |
|                   |                       | 受振点における表層速度                 | 800 m/sec                         | 14          | 残差静補正               | 最大タイムシフト量<br>6, 4 msec               |
|                   |                       | 表層基底層速度                     | 2500 m/sec                        |             | タイムゲート              | 100-600 msec                         |
|                   | 標高補正速度                | 表層基底層速度                     |                                   | プレフィルター     | 15/20 - 65/70 Hz    |                                      |
| 6                 | トレース間内挿<br>※B102A測線のみ |                             |                                   | スタートCMP No. | 200(EW4),350(B102A) |                                      |
| 7                 | ノイズ抑制(線形ノイズ抑制)        | 処理領域                        | 共通発震点領域                           | 15          | トレースバラランシング         | 手法<br>AGC                            |
|                   |                       | オペレータモード                    | reject                            |             | AGCゲート長             | 100 msec                             |
|                   |                       | オペレータ長                      | 11 traces                         | 16          | リサンプル<br>※B102A測線のみ | サンプリング間隔<br>1msec -> 2msec           |
|                   |                       | 速度範囲                        | -3000 ~ 3000 m/sec                | 17          | 東西測線とB102A測線の結合     |                                      |
|                   |                       | ターゲット周波数                    | 0/2 ~ 60/65 Hz                    | 18          | 重合前時間マイグレーション       | 手法<br>共通発震点領域におけるキルヒッフ時間<br>マイグレーション |
|                   |                       | 前処理                         | 静補正処理、NMO補正、AGC適用                 |             | 速度解析間隔              | 50 m                                 |
|                   |                       | AGCゲート長                     | 300 msec                          | 19          | CMP重合               | 手法<br>CMP重合                          |
| 8                 | 振幅補償                  | 手法                          | AGC                               | 20          | バンドパスフィルター          | オペレータ長<br>960 msec                   |
|                   |                       | AGCゲート長                     | 600 msec                          |             | 通過帯域                | 25/30 - 50/60 Hz                     |
|                   |                       | ゲートスライディング速度                | 2500 m/sec                        | 21          | 周波数-空間予測フィルター       | オペレータ長<br>7 CMPs                     |
| 9                 | デコンボリューション            | 手法                          | スパイクングデコンボリューション                  |             | ゲート長                | 49 CMPs                              |
|                   |                       | モード                         | Non Time Variant                  |             | 時間ゲート長              | 500 msec                             |
|                   |                       | ゲートスタートタイム                  | 200 msec(EW4),0 msec(B102A)       |             | オペレータタイプ            | Two-Side                             |
|                   |                       | ゲート長                        | 3000 msec(EW4),1000 msec(B102A)   |             | 時間ゲートオーバーラップ長       | 375 msec                             |
|                   |                       | オーバーラップ長                    | -                                 | 22          | 深度変換                | 基準面<br>平均海水面                         |
|                   |                       | オペレータ長                      | 300 msec(EW4),100 msec(B102A)     |             |                     |                                      |
|                   |                       | 予測距離                        | 2 msec(EW4),1 msec(B102A)         |             |                     |                                      |
|                   |                       | ゲートスライディング速度                | 2500 m/sec(EW4),1500 m/sec(B102A) |             |                     |                                      |
|                   | ホワイトノイズ               | 0.50%                       |                                   |             |                     |                                      |



反射法地震探査統合解析: 重合数分布



重合数分布図

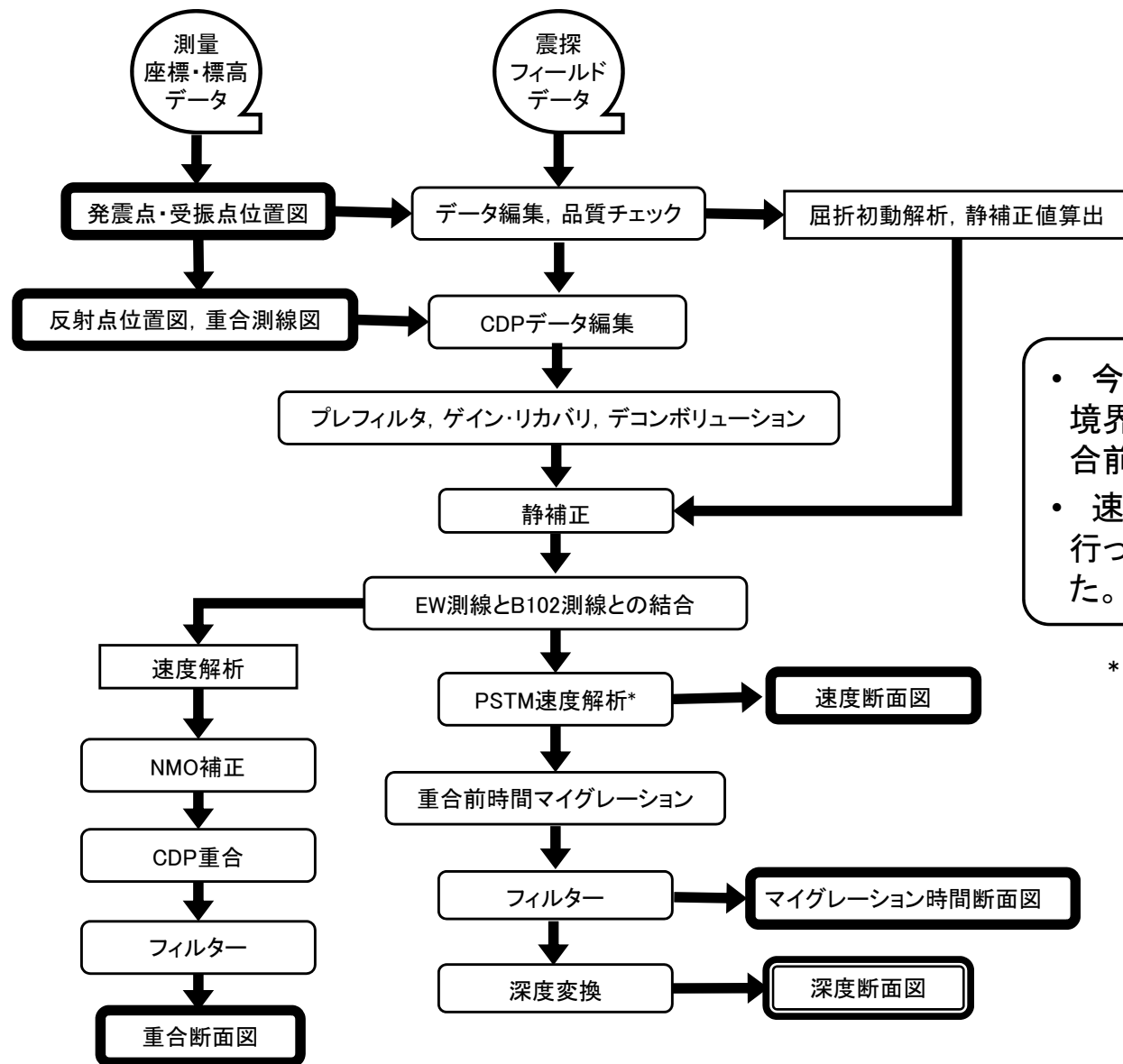


反射深度断面





反射法地震探査統合解析:統合解析フロー



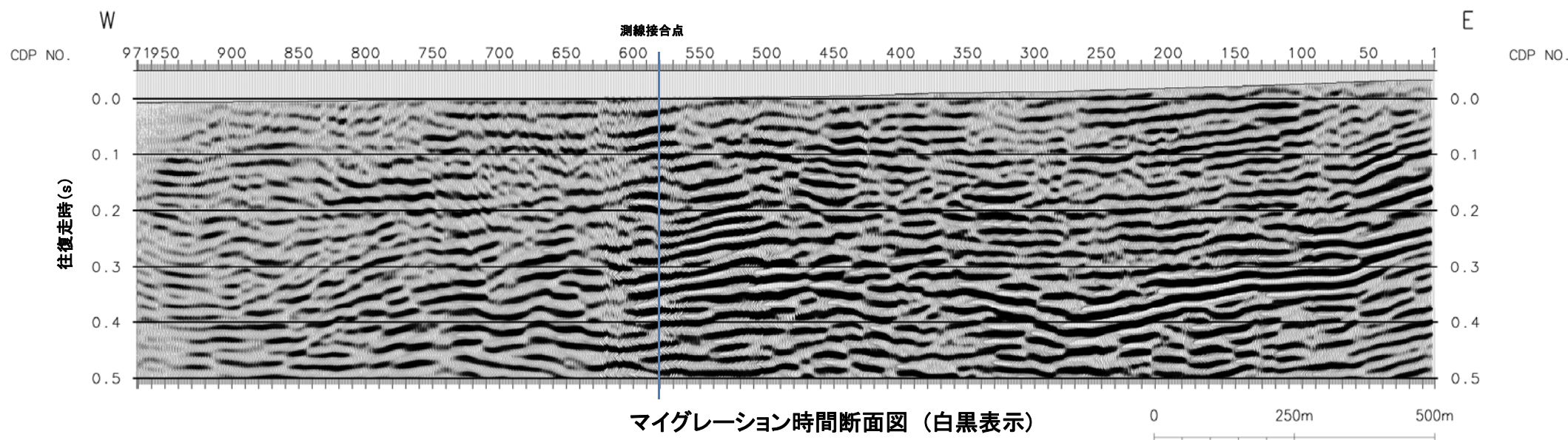
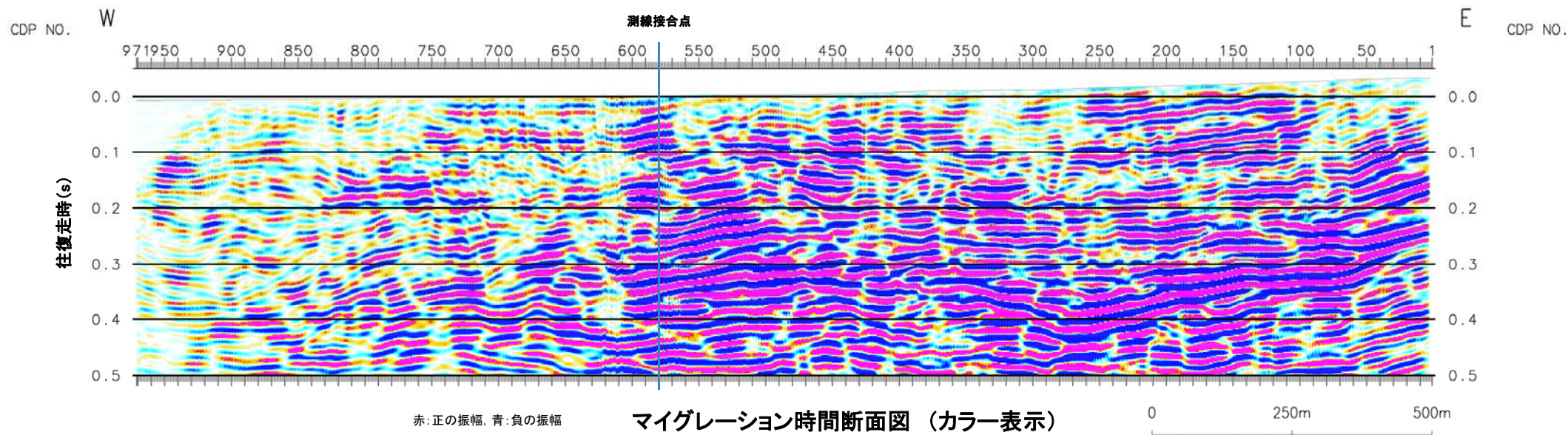
・ 今回の統合解析では、傾斜している地層境界の反射面を正確に把握するため、重合前時間マイグレーションを行った。  
 ・ 速度解析については、従来100m毎に行っていたが、今回は50m毎に精密に行った。

\* :重合前時間マイグレーション(PSTM)のための速度解析。

# 8. [参考]地下深部への連続性の有無(6/11)



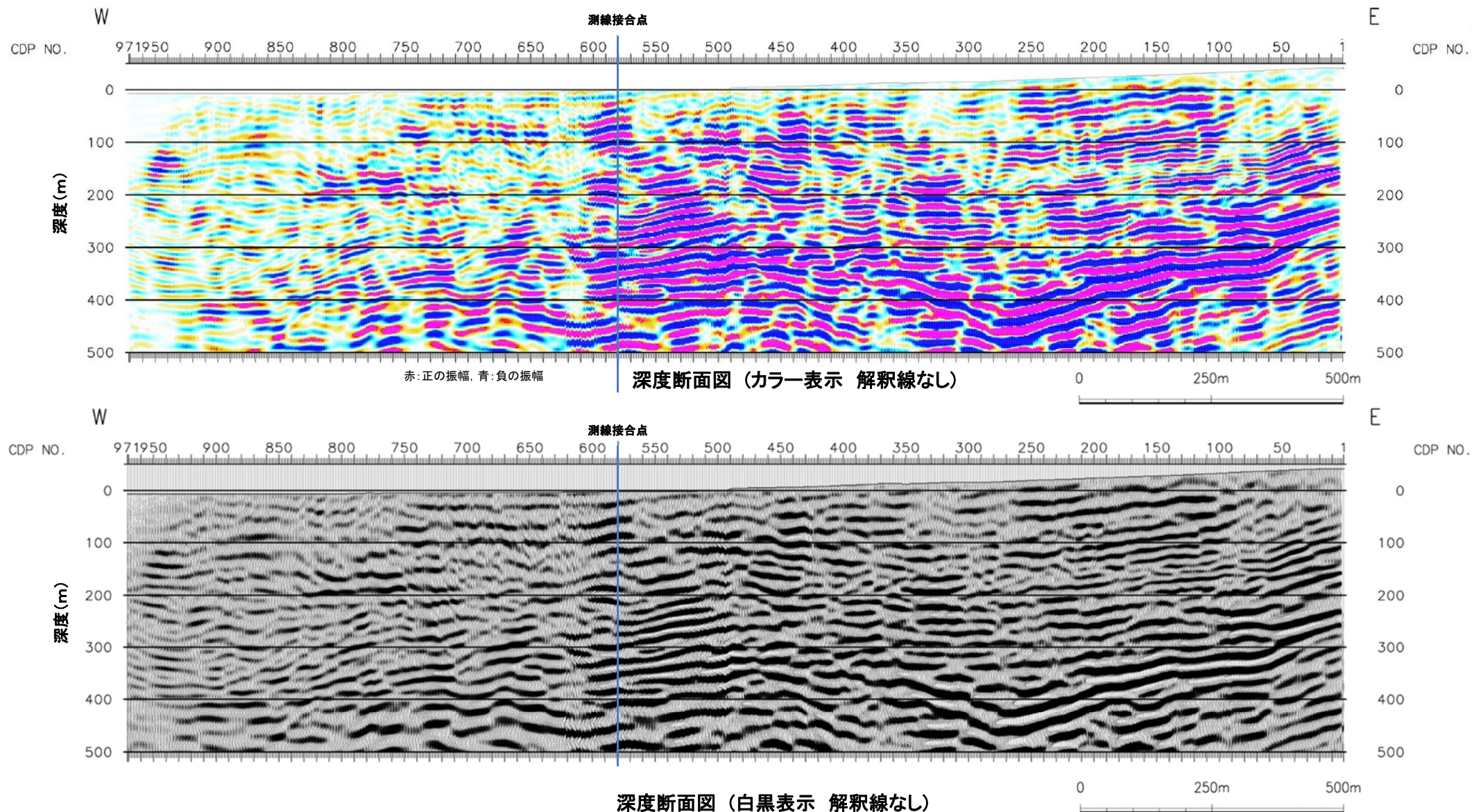
## 反射法地震探査統合解析:マイグレーション時間断面





## 8. [参考]地下深部への連続性の有無(7/11)

## 反射法地震探査統合解析:深度断面



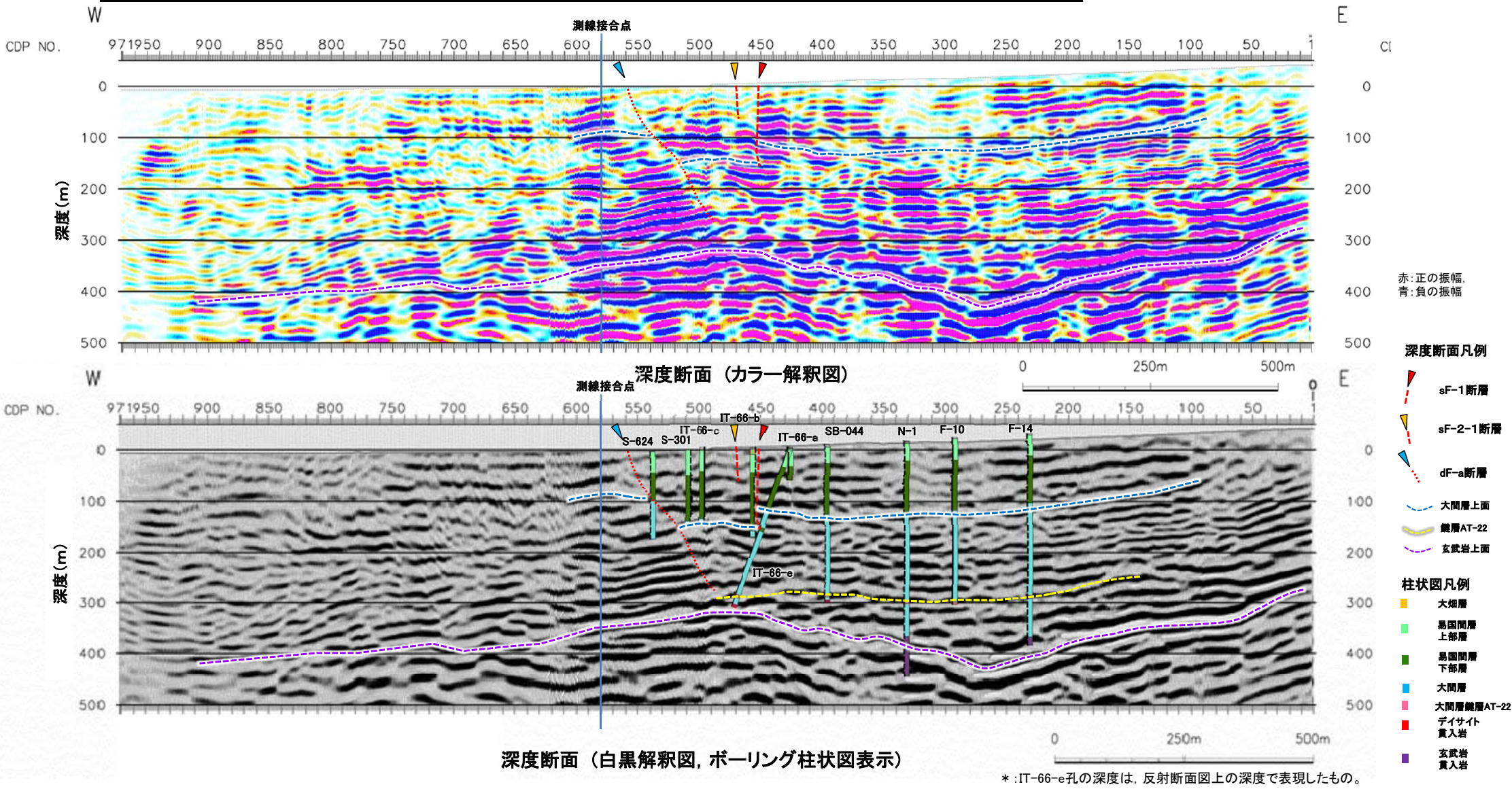
- 時間断面図(補足説明資料P.2-63参照)に解析速度を与えて深度変換した。
- 基本的な反射面のパターンは、時間断面と同じである。





# 8. [参考]地下深部への連続性の有無(8/11)

## 反射法地震探査統合解析: 深度断面(解釈図)及びボーリング調査結果

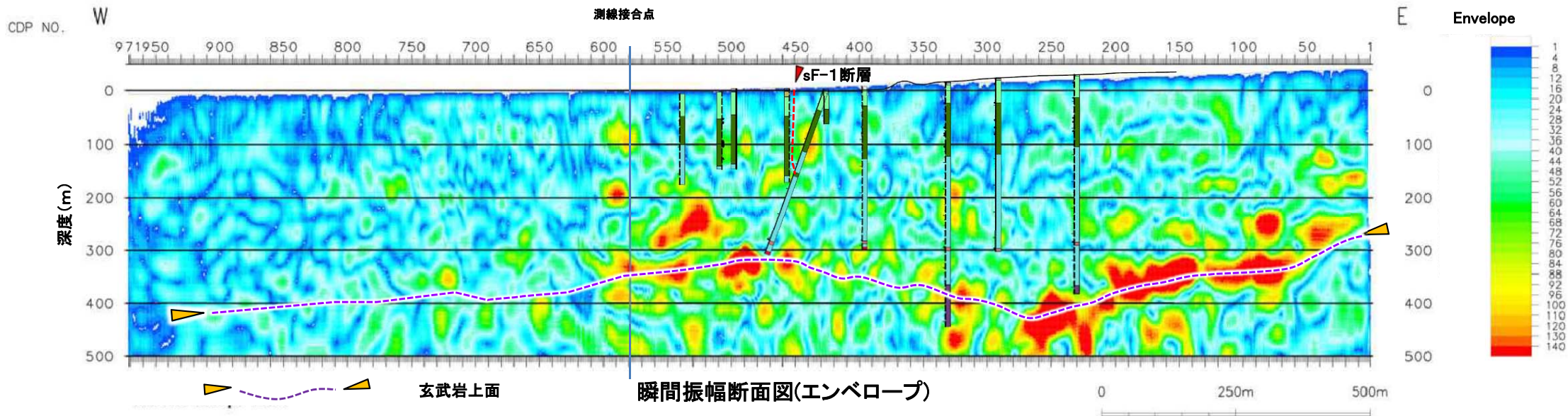


- 深度100m~140m付近及び300m~400m付近に強い反射面が認められ, ボーリング調査からそれぞれ大間層上面及び玄武岩上面と判断される。
- 地表(CDP450)付近のsF-1断層は, 高角傾斜で下方に延び, 大間層上面で西側落下の約40mの見掛けの鉛直変位量が認められるが, 深度150m付近以深には明瞭な不連続線は見られず, その延長上の玄武岩上面にも変位は認められない。斜めボーリングのIT-66-e孔では, 深度150m付近\*でsF-1断層を確認した。また, 同孔の深度280m付近\*で確認した大間層の鍵層(AT-22)は, 付近のボーリングとの関係から, sF-1断層の下方延長部を挟んだ両側でほぼ水平に分布するものと判断される。
- したがって, sF-1断層の下方延長部では鍵層AT-22及び玄武岩上面に変位はほとんど認められないことから, sF-1断層は地下深部に連続する断層ではないと判断される。



## 8. [参考]地下深部への連続性の有無(9/11)

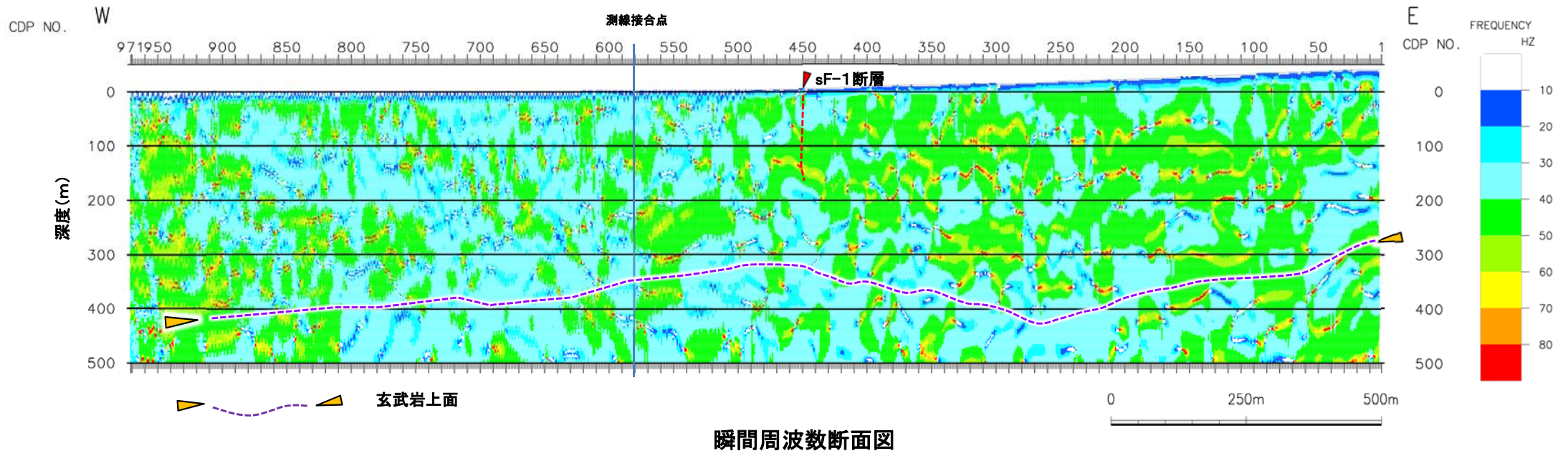
## 反射法地震探査統合解析:瞬間振幅と玄武岩上面の関係



- 補足説明資料P.2-65に示す深度断面図の玄武岩上面の反射面トレースを瞬間振幅断面図(エンベロープ)に重ねると、その反射面沿いの反射強度が顕著に大きいことが分かる。
- 瞬間振幅の強度は、地層境界等の音響インピーダンスコントラストを示しており、地層境界のうち大間層と玄武岩のインピーダンスコントラストが最も大きいと考えられることから、深度300m~400m付近に見られる強い反射面は玄武岩上面であると判断される。

## 8. [参考]地下深部への連続性の有無(10/11)

## 反射法地震探査統合解析:探査精度



- 反射法地震探査の鉛直方向の探査精度として、反射面の分解能( $R$ )は、Rayleigh基準により $R=V_p/4f$  で求まる( $V_p$ :P波速度,  $f$ :周波数)。
- 瞬間周波数断面図により, sF-1断層(CDP450)付近の深度150m以深の卓越周波数はおおむね30Hz~40Hzである。また, 当該領域のP波速度( $V_p$ )は1.77km/sec~2.06km/sec\*である。
- したがって, 鉛直方向の分解能は10m~20m程度と推定され, 補足説明資料P.2-65に示すsF-1断層の見掛けの鉛直変位量約40mは捉えられると判断される。

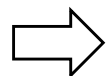
\*:P波速度については, 発電用原子炉設置変更許可申請書(平成26年12月), P.6-3-598, 第3.5-36図(2) PS検層による速度層断面図(Y-Y')を参照。



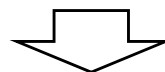
## 8. [参考]地下深部への連続性の有無(11/11)

### まとめ

- sF-1断層と直交する東西測線の既往反射法地震探査データを用いて再解析を行った。再解析で得られた深度断面、近傍の既往ボーリング調査及び追加で実施したIT-66-e孔のデータを用いて解釈図を作成した。
- 反射法による深度断面では深度100m～140m付近及び300m～400m付近に強い反射面が認められ、ボーリング調査からそれぞれ大間層上面及び玄武岩上面と判断される。
- sF-1断層は、反射法による深度断面では、CDP450付近で高角傾斜で下方に延び、大間層上面で西側落下の約40mの見掛けの鉛直変位量が認められるが、深度150m付近以深には明瞭な不連続線は見られず、その延長上の玄武岩上面にも変位は認められない。鉛直方向の分解能は10m～20m程度と推定されることから、sF-1断層の見掛けの鉛直変位量約40mは捉えられると判断される。
- IT-66-e孔では、深度150m付近\*でsF-1断層を確認した。また、同孔の深度280m付近\*で確認した大間層の鍵層(AT-22)は、付近のボーリングとの関係から、sF-1断層の下方延長部を挟んだ両側でほぼ水平に分布するものと判断される。



sF-1断層の下方延長部では、鍵層AT-22及び玄武岩上面に変位はほとんど認められないことから、sF-1断層は地下深部に連続する断層ではないと判断される



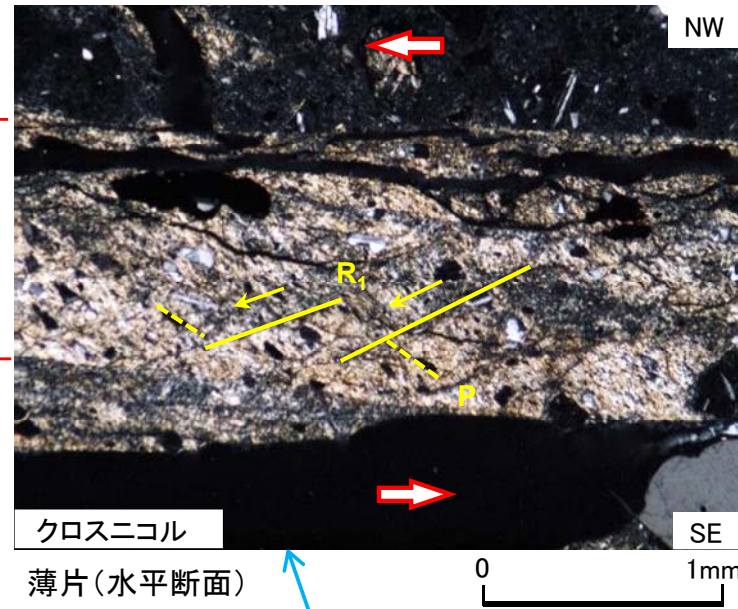
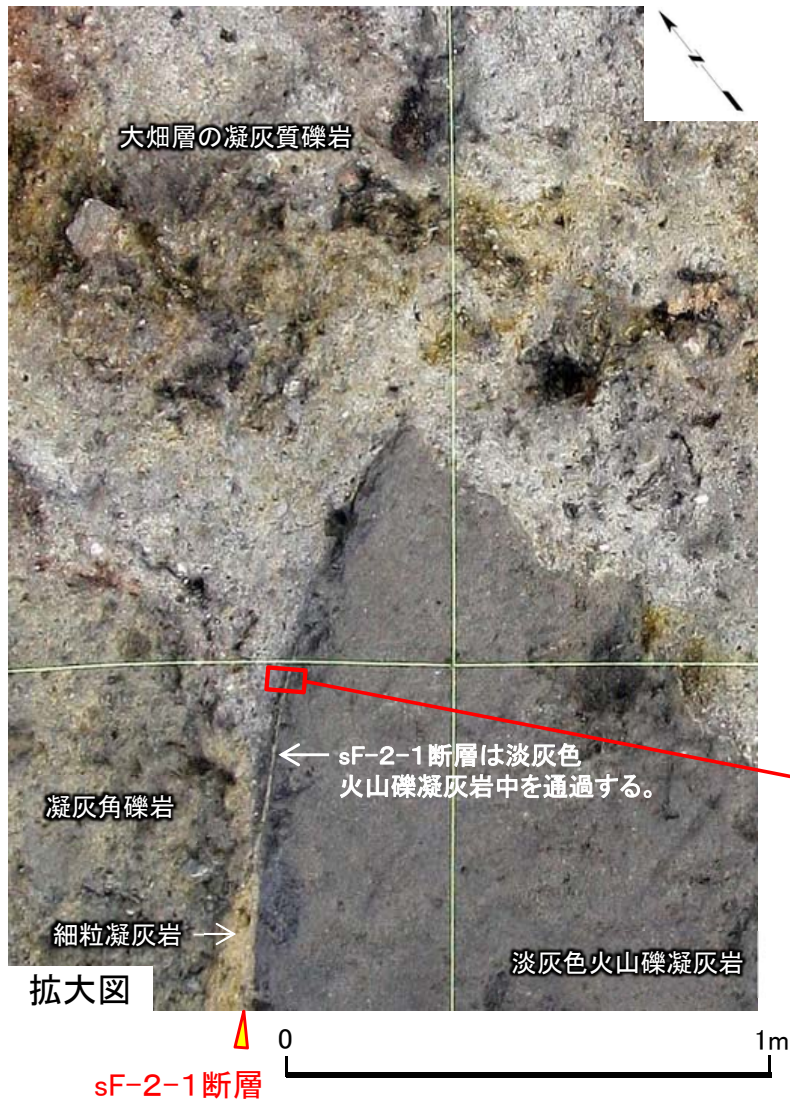
sF-1断層は震源として考慮する活断層に該当しない

\*: IT-66-e孔の深度は、反射断面図上の深度で表現したものの。



# 9. sF-2断層系の性状(1/2)

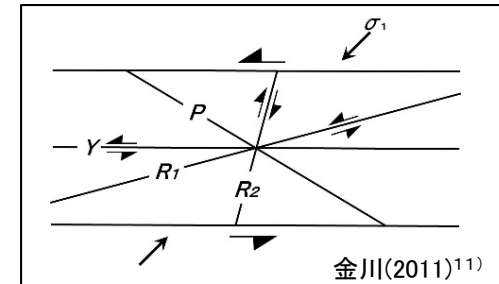
## sF-2断層系(sF-2-1断層)の掘削面での性状: 掘削面底盤E(1/2) (解釈線有り)



↗ 複合面構造から判定  
↖ される変位センス

Y : 粘土状破砕部の直線的なせん断面  
P : ガラス質な破砕物質の伸長方向  
及び粘土鉱物の主要な配向方向  
R<sub>1</sub>: Yに対してPとは反対方向に斜交し、  
Pを切断する面

最新ゾーン



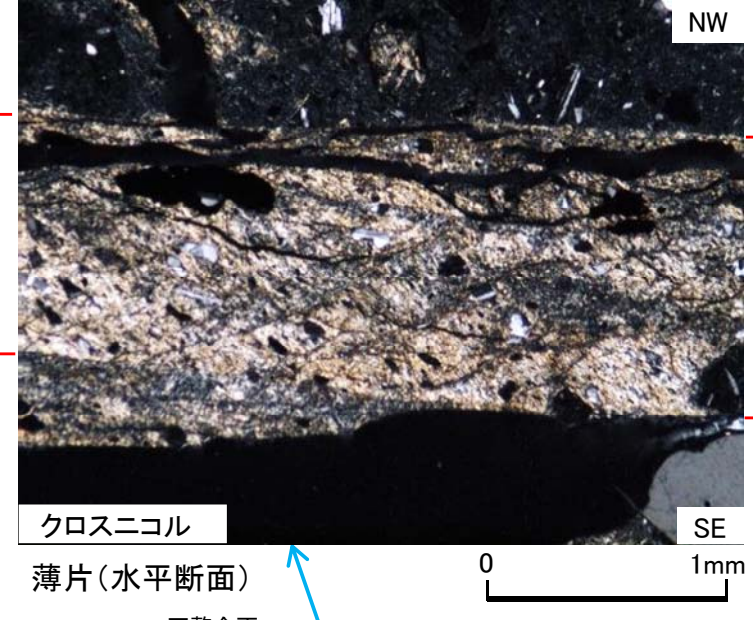
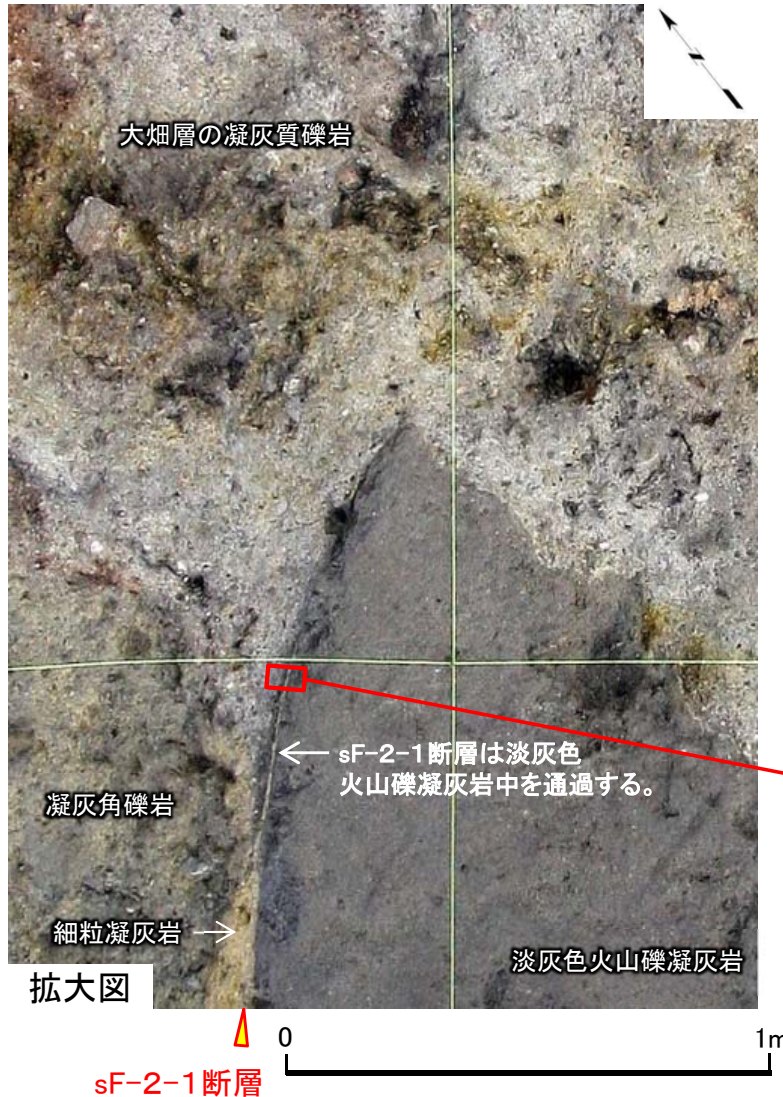
研磨片及び薄片によると、最新ゾーンの複合面構造は左横ずれセンスを示す。



# 9. sF-2断層系の性状(2/2)

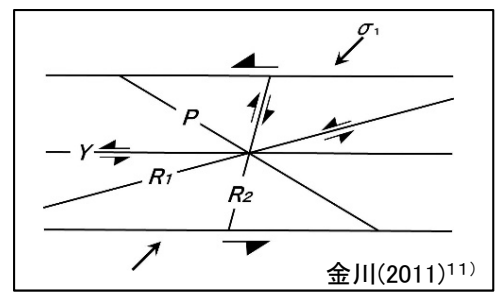


## sF-2断層系(sF-2-1断層)の掘削面での性状:掘削面底盤E(2/2)(解釈線なし)



Y : 粘土状破碎部の直線的なせん断面  
P : ガラス質な破碎物質の伸長方向  
及び粘土鉱物の主要な配向方向  
R<sub>1</sub>: Yに対してPとは反対方向に斜交し、  
Pを切断する面

最新ゾーン



1. 上村不二雄・斉藤正次(1957):5萬分の1地質図幅「大畑」及び同説明書, 地質調査所, 40p.
2. 戸田成太郎・大場司・小林淳・林信太郎(2011):下北半島中部に分布する大畑層の地質, 日本地質学会第118年学術大会・日本鉱物科学会2011年年会合同学術大会講演要旨集(セクションC), P.37
3. 梅田浩司・檀原徹(2008):フィッション・トラック年代によるむつ燧岳の活動年代の再検討, 岩石鉱物科学, vol.37, pp.131-136
4. 青森県(1998):青森県の地質, p.105
5. 大槻憲四郎(1989):鉱脈による新第三紀東北本州弧の造構応力場復元, 地質学論集, 第32号, pp.281-304
6. 山元孝広(1991):日本列島の後期新生代岩脈群と造構応力場, 地質調査所月報, 第42巻, 第3号, pp.131-148.
7. Sato Hiroshi (1994): The relationship between late Cenozoic tectonic events and stress field and basin development in northeast Japan, Journal of Geophysical Research, vol.99, pp.22,261-22,274.
8. 小菅正裕(1999):地殻内地震から見た東北日本の応力配置, 月刊地球, 号外No.27, pp.107-112.
9. Yamaji, A., Sato, K. and Otsubo, M. (2011):Multiple Inverse Method Software Package (ver.6)  
<http://www.kueps.kyoto-u.ac.jp/~web-bs/tsg/software/mim/>
10. 小菅正裕・渡邊和俊・橋本一勲・葛西宏生(2012):2011年東北地方太平洋沖地震後の東北地方北部での誘発地震活動, 地震, 第2輯, 第65巻, 第1号, pp.69-83
11. 金川久一(2011):現代地球科学入門シリーズ10, 地球のテクトニクスII 構造地質学, 共立出版.p.109.
12. ICDD (2015): PDF-4+ 2015 (Database), edited by Dr. Soorya Kabekkodu, International Centre for Diffraction Data, Newton Square, PA, USA.
13. 都城秋穂・久城育夫(1972):岩石学 I 偏光顕微鏡と造岩鉱物, 共立出版, 219p.
14. Sheppard, R.A. and Fitzpatrick, J. J. (1989):Phillipsite from silicic tuffs in saline, alkaline-lake deposits. Clays and Clay Minerals, vol.37, no.3, pp.243-247