

# 伊方発電所3号機 敷地内断層の性状について (補足説明)

平成27年2月16日  
四国電力株式会社

I.	連続性がある断層の選定	
1.	三波川変成岩類の特徴	P5
2.	敷地内における断層分布	P12
3.	敷地内断層の性状	P15
II.	重要施設の直下にある断層の選定	
1.	3号炉施設と断層の位置関係	P23
2.	震源として考慮する活断層との対応	P25
III.	他の断層による切断および軟質部の有無	P36
IV.	軟質部が認められない断層の活動性評価	
1.	断層内物質の物性の検討	P40
2.	断層内物質の観察	P48
3.	まとめ	P58
V.	軟質部を含む断層の活動性評価	
1.	破碎幅の検討	P60
2.	断層内物質の詳細分析	P65
3.	断層の活動時期の検討	P88
4.	まとめ	P105
VI.	総合評価	P107

# コメント概要

コメント日	コメント内容	ページ番号
平成26年12月19日 第137回原子力 発電所の新規制 基準適合性に 係る審査会合	断層分布に関するデータの追加について	P11, P13, P14, P61～64 詳細データ集P2～P39
	断層内物質のX線分析結果について	P98, P101 詳細データ集P176～P201
	緑泥石脈の認定について	P66～P87 詳細データ集P137～P175
	塑性変形の薄片観察について	P50 詳細データ集P102, P121
	Fa-3断層コアを用いたデータ拡充について	P88～P106 詳細データ集P163～P166, P188, P193～P201

# 活動性評価に関する審査ガイドの記載

- 『敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド』における将来活動する可能性のある断層等の認定や調査手法に関する記載を踏まえて敷地内断層の活動性を総合的に評価する。

## 2. 将来活動する可能性のある断層等の認定

(審査ガイドから抜粋)

### 2.1 基本方針

- (1) 「将来活動する可能性のある断層等」は、後期更新世以降（約12～13万年前以降）の活動が否定できないものとする。
- (2) その認定に当たって、後期更新世（約12～13万年前）の地形面又は地層が欠如する等、後期更新世以降の活動性が明確に判断できない場合には、中期更新世以降（約40万年前以降）まで遡って地形、地質・地質構造及び応力場等を総合的に検討した上で活動性を評価すること。
- (3) なお、活動性の評価に当たって、設置面での確認が困難な場合には、当該断層の延長部で確認される断層等の性状等により、安全側に判断する必要がある。
- (4) また、「将来活動する可能性のある断層等」には、震源として考慮する活断層のほか、地震活動に伴って永久変位が生じる断層に加え、支持地盤まで変位及び変形が及ぶ地すべり面が含まれる。
- (5) 「震源として考慮する活断層」とは、地下深部の地震発生層から地表付近まで破壊し、地震動による施設への影響を検討する必要があるものをいう。

⇒ 敷地において後期更新世の地形面および地層が欠如していることから、審査ガイドに従い、地形、地質・地質構造等を総合的に検討した上で敷地内断層の活動性を評価する。

## 3. 敷地内及び敷地極近傍における地盤の変位に関する調査

(審査ガイドから抜粋)

### 3.1 調査方針

- (1) 重要な安全機能を有する施設の地盤には、将来活動する可能性のある断層等の露頭が無いことを確認する。
- (2) 敷地内及び敷地極近傍に将来活動する可能性のある断層等の露頭が存在する場合には、適切な調査、又はその組合せによって、当該断層等の性状（位置、形状、過去の活動状況）について合理的に説明されていることを確認する。
- (3) 敷地内及び敷地極近傍に将来活動する可能性のある断層等の露頭が存在する場合には、その断層等の本体及び延長部が重要な安全機能を有する施設の直下に無いことを確認する。なお、将来活動する可能性のある断層等が重要な安全機能を有する施設の直下に無い場合でも、施設の近傍にある場合には、地震により施設の安全機能に影響がないことを、「基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価に係る審査ガイド」に基づいて確認する。
- (4) 将来活動する可能性のある断層等とは、震源として考慮する活断層のほか、地震活動に伴って永久変位が生じる断層に加え、支持地盤まで変位及び変形が及ぶ地すべり面が含まれる。

⇒ 審査ガイドに従い、重要な安全機能を有する施設の直下に将来活動する可能性のある断層等が無いことを確認するとともに、敷地内に「震源として考慮する活断層」が無いことを確認する。

# 評価の流れ

## I. 連続性がある断層の選定

断層露頭(ボーリングコア)の肉眼観察

- 断層の幅, 連続性, 走向傾斜
- 他の断層による切断の有無
- 断層内物質の軟質部の有無
- 年代評価に適した上載地層がないことの確認

比較的破砕幅が大きく  
連続性がある断層の選定

連続性のない  
小規模な断層

将来活動する可能性のある断層等に該当しない

Fa-1~Fa-5断層, f1~f4断層, S<sub>1</sub>, S<sub>3</sub>断層

## II. 重要施設の直下にある断層の選定

断層の本体及び延長部が重要な安全機能を有する施設の直下にある可能性

なし

S<sub>1</sub>, S<sub>3</sub>断層

震源として考慮する活断層との対応

対応しない

S<sub>1</sub>, S<sub>3</sub>断層

地震動による施設への影響なし

Fa-1~Fa-5断層  
f1~f4断層

あり

震源として考慮する活断層と対応しないことの確認

- 変動地形学的調査
- 地質調査
- 地球物理学的調査

対応する

該当なし

地震動による施設への影響の検討

## III. 他の断層による切断および軟質部の有無

他の断層による切断の有無

切断あり

Fa-2, Fa-5断層

切断された断層より古い断層

切断なし

軟質無  
Fa-1, Fa-4断層, f1~f4断層

断層内物質による区分(軟質部の有無)

軟質含  
Fa-3断層

## IV. 軟質部が認められない断層の活動性評価

断層内物質の観察  
・軟X線観察, CT画像観察  
・研磨片観察  
・薄片観察

断層内物質の物性の検討  
・肉眼観察  
・物理試験  
・針貫入試験

断層ガウジでなく岩石相当の物性を有することの確認

軟質部有

該当なし

軟質部が認められない断層の活動性評価

地表付近における新しい時代の活動なし

Fa-1, Fa-4断層, f1~f4断層

## V. 軟質部を含む断層の活動性評価

断層内物質の詳細分析(研磨片・薄片観察)  
・せん断面を横断する方向の鉱物脈の観察  
・せん断面と対応する変形構造の観察  
・EPMA分析による鉱物脈の同定

断層の活動時期の検討

軟質部を含む断層の活動性評価

後期更新世以降の活動なし

Fa-3, Fa-2\*断層

Fa-2, Fa-5断層 (Fa-3断層よりも古い断層)

\*Fa-2断層とFa-3断層は最終的にFa-3断層が切っているものの、切り切れ関係にあることから、Fa-2断層についても研磨片・薄片観察による活動性評価を行う。

将来活動する可能性のある断層等に該当しない

VI. 総合評価

# I. 連続性がある断層の選定

## 1. 三波川変成岩類の特徴

## 2. 敷地内における断層分布

## 3. 敷地内断層の性状

# II. 重要施設の直下にある断層の選定

# III. 他の断層による切断および

## 軟質部の有無

# IV. 軟質部が認められない断層の

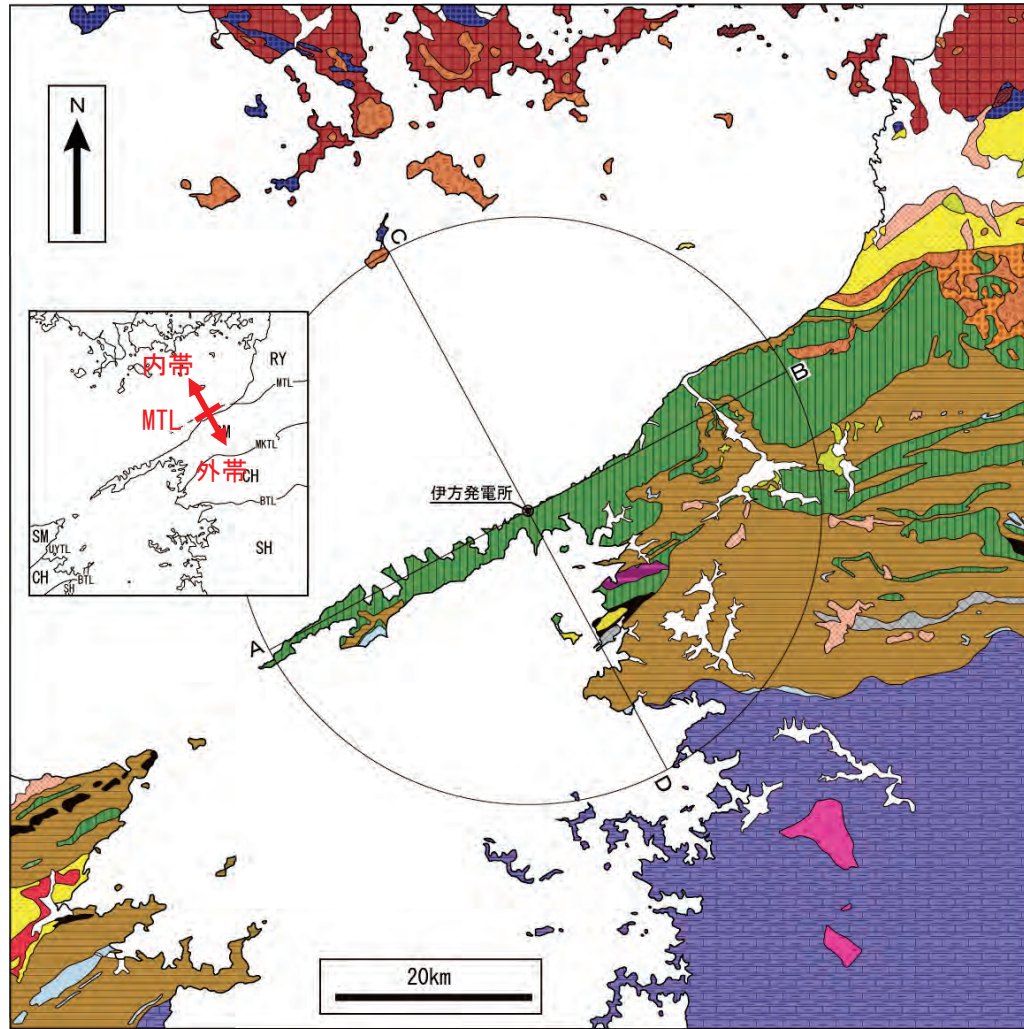
## 活動性評価

# V. 軟質部を含む断層の活動性評価

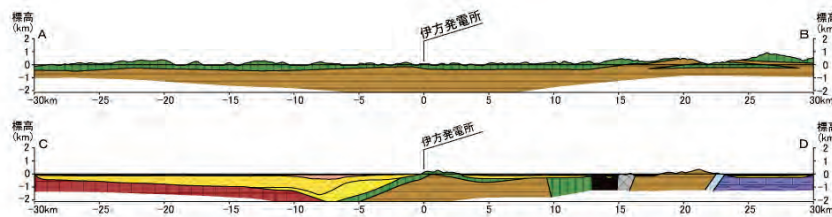
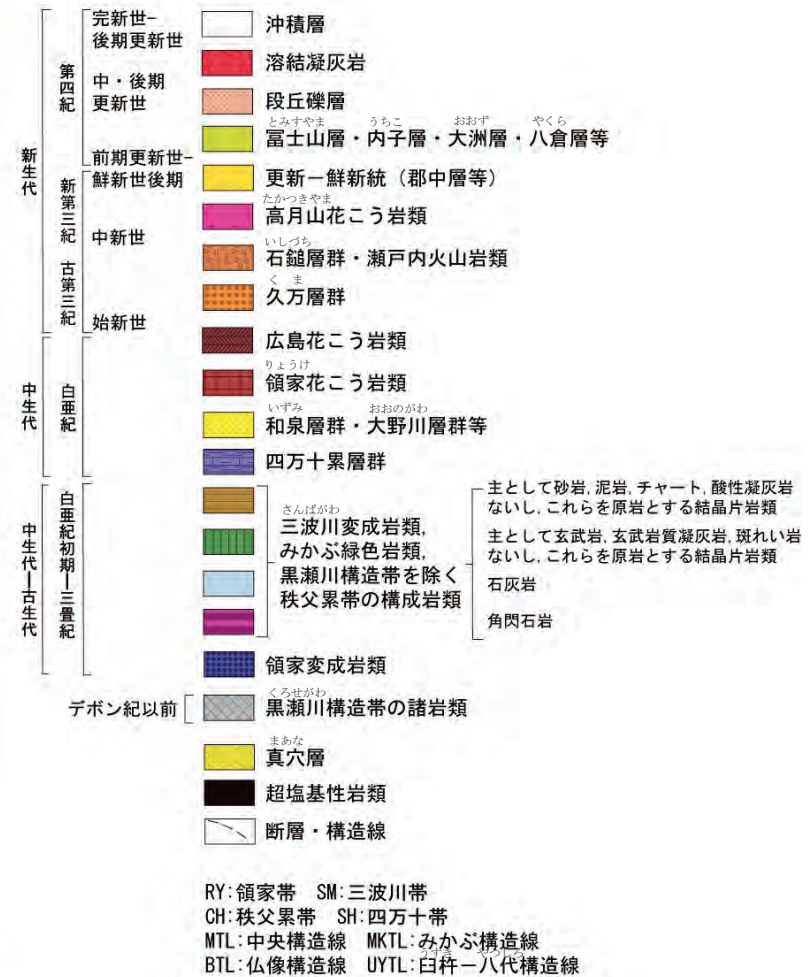
# VI. 総合評価



# 三波川変成岩類の特徴① <敷地周辺の地質>



凡例



○敷地周辺の内帯には領家帯に属する地層, 外帯には北から三波川帯, 秩父累帯および四万十帯に属する地層が分布し, 地質構造および地質境界断層は東北東-西南西方向である。  
○敷地付近には三波川変成岩類に属する塩基性片岩が広く分布する。

# 三波川変成岩類の特徴② <伊方発電所に分布する塩基性片岩の概要>

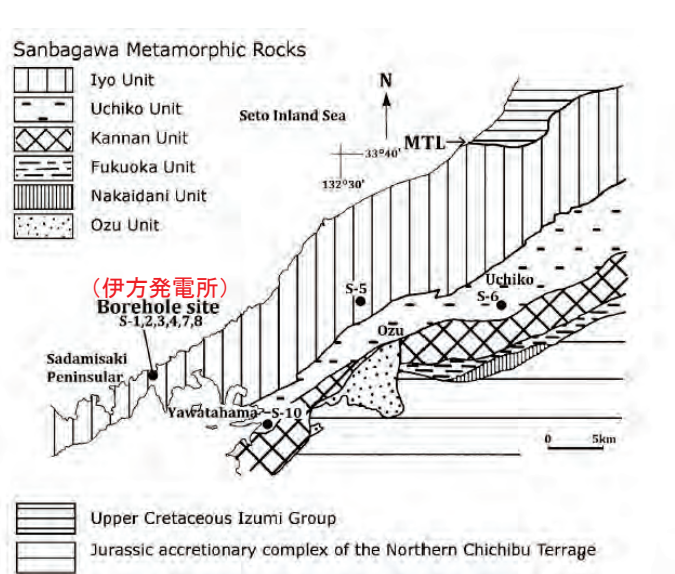
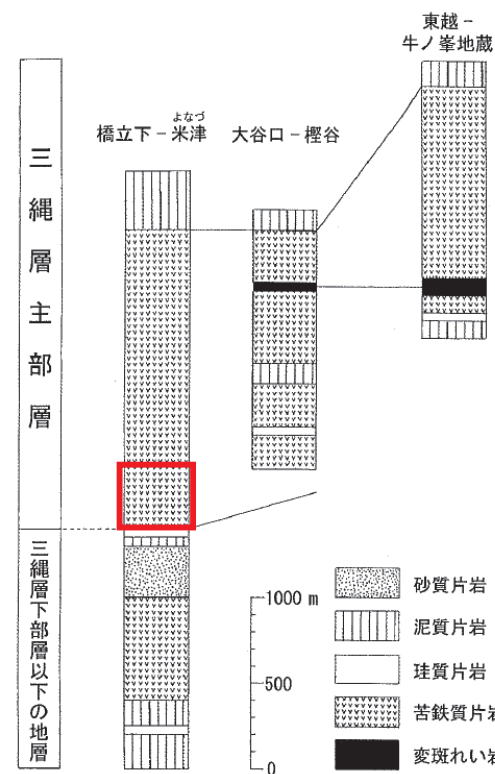


Fig. 1b. Map of northwestern Shikoku showing the location of the drill hole and the location of the surface samples.

【Knittel et al.(2014)より抜粋】  
 「Judged from published maps, the geological make-up of the peninsular might be relatively uniform. The surface of the peninsular is largely occupied by the main greenschist member of the Minawa Formation, which is a part of the Sanbagawa high-p/low-T Metamorphic Belt (Kojima et al., 1956).」  
 「Ohnishi et al. (2013) divided the 2000 m continuous succession of the schists encountered in the drill hole into two units that are correlated with the (upper) Iyo Unit and the (lower) Uchiko Unit that were defined by Banno et al. (2010) in the Ozu area (east of the study area). In the borehole, the attitude of the schistosity is generally trending ENE-WSW and gently dipping to the north.」

Knittel, U., S. Suzuki, N. Nishizaka, K. Kimura, W.-L. Tsai, H.-Y. Lu, Y. Ishikawa, Y. Ohno, M. Yanagida, Y.-H. Lee, 2014, U-Pb ages of detrital zircons from the Sanbagawa Belt in western Shikoku: Additional evidence for the prevalence of Late Cretaceous protoliths of the Sanbagawa Metamorphics, Journal of Asian Earth Sciences, 96, 148-161.



第4. 11図 伊予ユニットの地質柱状図  
 地層の対比は秀 (1972) に従った。

【坂野ほか(2010)より抜粋】  
 「伊予ユニットは佐藤(1929)の出石層、秀(1972)により三縄層下部層以下の地層・三縄層主部層に対比された地質体、武田ほか(1991)の中山-脇川ナップ(南縁部を除く)、佐礼谷ナップ、双海ナップの3つのナップの集合体にほぼ相当する。  
 本ユニットは大洲市高山寺山より東北東方向へ延びる高角断層の北側から伊予灘沿岸(大洲市長浜町黒田から伊予市双海町上灘)にかけて分布し、苦鉄質片岩、泥質片岩、砂質片岩、珪質片岩、石灰質片岩、変斑れい岩、角閃石から構成される。」

坂野靖行・水野清秀・宮崎一博, 2010, 大洲地域の地質, 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 高知(13)第59号.

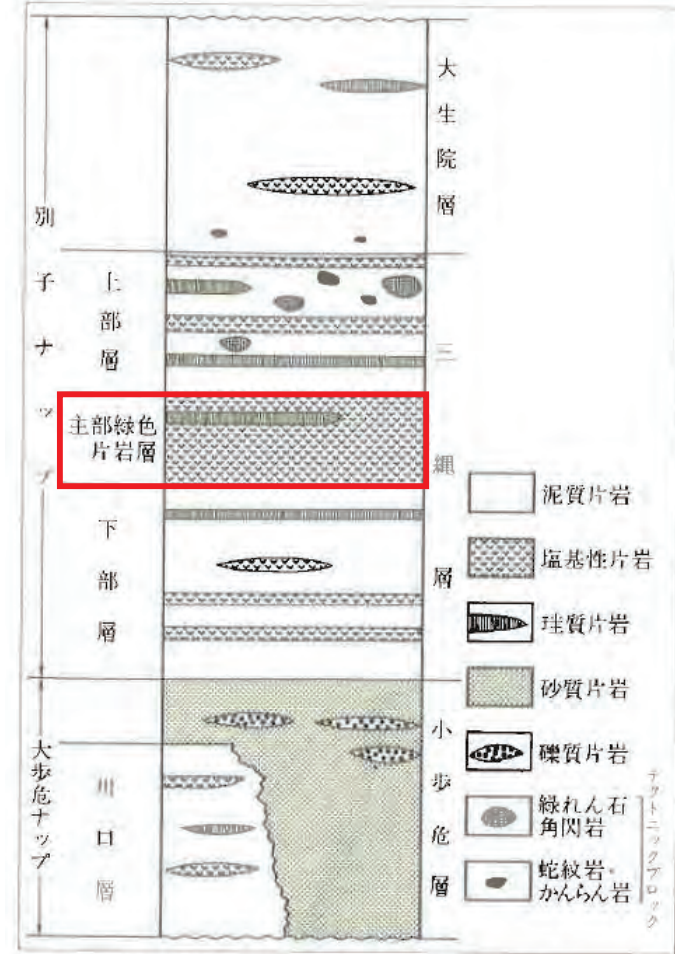


図2.17 四国中央部の三波川結晶片岩類の模式柱状図  
 日本の地質『四国地方』編集委員会編, 1991, 日本の地質8 四国地方.

○伊方発電所の地表付近に分布する塩基性片岩は坂野ほか(2010)の伊予ユニットに対比され、三縄層主部層に相当する。



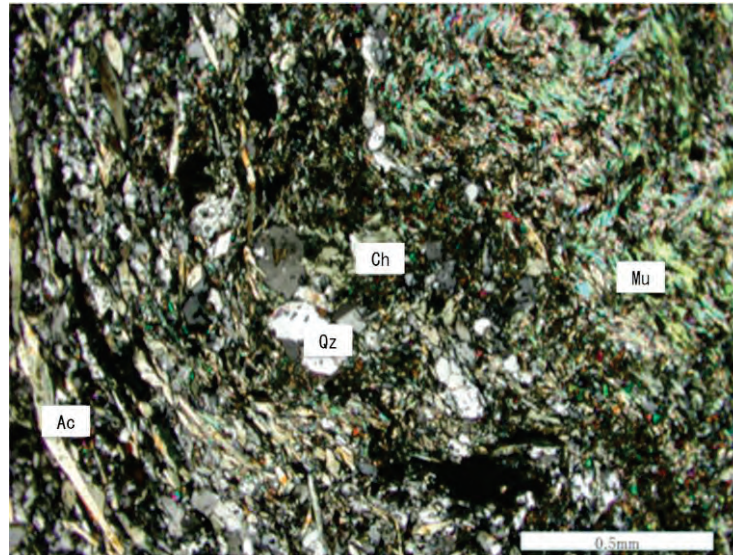
# 三波川変成岩類の特徴③ <伊方発電所に分布する塩基性片岩の主要鉱物>

○伊方発電所に分布する塩基性片岩は片理の発達があるものの、一般に剥離性が弱く、塊状かつ堅硬である。また、本岩は暗緑色～淡緑色を呈し、緑泥石、緑れん石、アクチノ閃石、長石、石英及び方解石が主要鉱物である。

○三波川帯の変成鉱物組合わせに基づいた変成分帯は右図のようにまとめられている。伊方発電所の地表付近に分布する塩基性片岩の変成度は観察された鉱物組合わせに基づくと、緑泥石帯に相当する。



深度約120m薄片写真  
(平行ニコル, 平成24年撮影)



深度約120m薄片写真  
(直交ニコル, 平成24年撮影)  
Ac: アクチノ閃石, Qz: 石英, Ch: 緑泥石, Mu: 白雲母

変成分帯	変成鉱物	緑泥石帯	ざくろ石帯	曹長石-黒雲母帯	オリゴクレーヌ-黒雲母帯
赤鉄鉱をふくむ塩基性片岩	ウインチ閃石	---			
	青閃石	---	---		
	ホルンブレンド		---		
	緑泥石	---			---
	緑れん石				---
	スチルプノメレーン	---			
	黒雲母				---
	ざくろ石				---
	くさび石		---		
	ルチル				
チタン鉄鉱			---		
磁鉄鉱				---	
赤鉄鉱をふくまない塩基性片岩	アクチノ閃石			---	
	ホルンブレンド		---		
	緑泥石	---			
	マンペリー石	---			
	緑れん石				---
	スチルプノメレーン	---			
	黒雲母				---
	ざくろ石				---
	くさび石		---		
	ルチル				
チタン鉄鉱			---		
泥質片岩	緑泥石	---			
	ざくろ石				
	黒雲母				---
	ホルンブレンド		---		
	白雲母			---	
	緑れん石				---
	ゆうれん石				---
	曹長石			---	
	オリゴクレーヌ				---
	方解石				---
炭質物				---	

図2.18 四国の三波川結晶片岩類の変成鉱物組合せ(大概・坂野, 1990英; 榎並, 1983英)

日本の地質『四国地方』編集委員会編, 1991, 日本の地質8 四国地方.

Otsuki, M and Banno, S., 1990, Prograde and retrograde metamorphism of hematite-bearing basic schists in the Sanbagawa belt in central Shikoku, J. metamorphic Geol., 8, 425-439.

Enami, M., 1983, Petrology of pelitic schists in the oligoclase-biotite zone of the Sanbagawa metamorphic terrane, Japan: phase equilibria in the highest grade zone of a high-pressure intermediate type of metamorphic belt. J. metamorphic Geol., 1, 141-161.

# 三波川変成岩類の特徴④ <形成史>

- 敷地付近には三波川変成岩類が広く分布する。
- 三波川変成岩類は、一般に、地下深部で低温高压型の変成作用を受けた後、地表まで上昇したとされている。
- 三波川変成岩類の形成史については多くの研究があるが、Wallis et al. (2009)によると、約9千万年前に地下深部から上昇を開始し、約5千万年前頃その一部が地表に露出し始めたとされている。
- したがって、三波川変成岩類は、その形成の過程において地下深部での変形作用を受けており、地下深部での生成を示す断層が認められる。

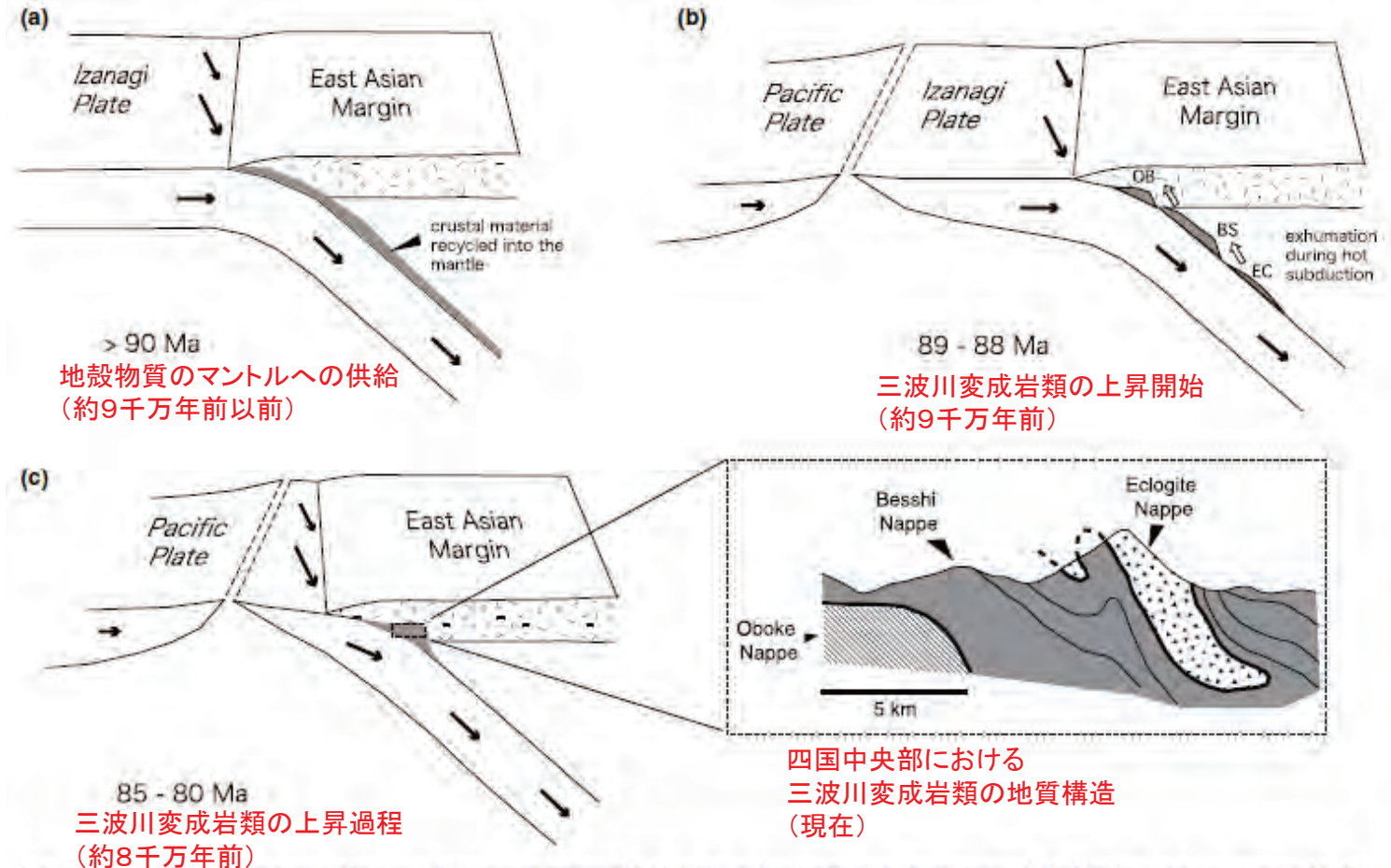


Fig. 7. Summary of proposed relationship between approach of a spreading ridge and formation of the Sanbagawa metamorphic belt. (a) Prior to 90 Ma there is normal approximately steady-state cold-subduction of the Izanagi Plate that results in most or all of the subducted crustal material being recycled into the mantle. (b) Around 90 Ma the close approach of a spreading ridge and associated younging of the subducting slab causes the subduction zone to warm and triggering the rapid rise of relatively buoyant units of the Sanbagawa belt (EC = eclogite nappe; BS = Besshi nappe; OB = Oboke nappe). The preserved metamorphic domain does not, therefore, reflect the conditions of steady-state subduction, but a snap shot of a particularly warm period in the evolution of the subduction zone. (c) Proposed relationship between the present architecture of the Sanbagawa belt and the former subduction zone.

三波川変成岩類の形成史の一例 (Wallis et al., 2009より抜粋)

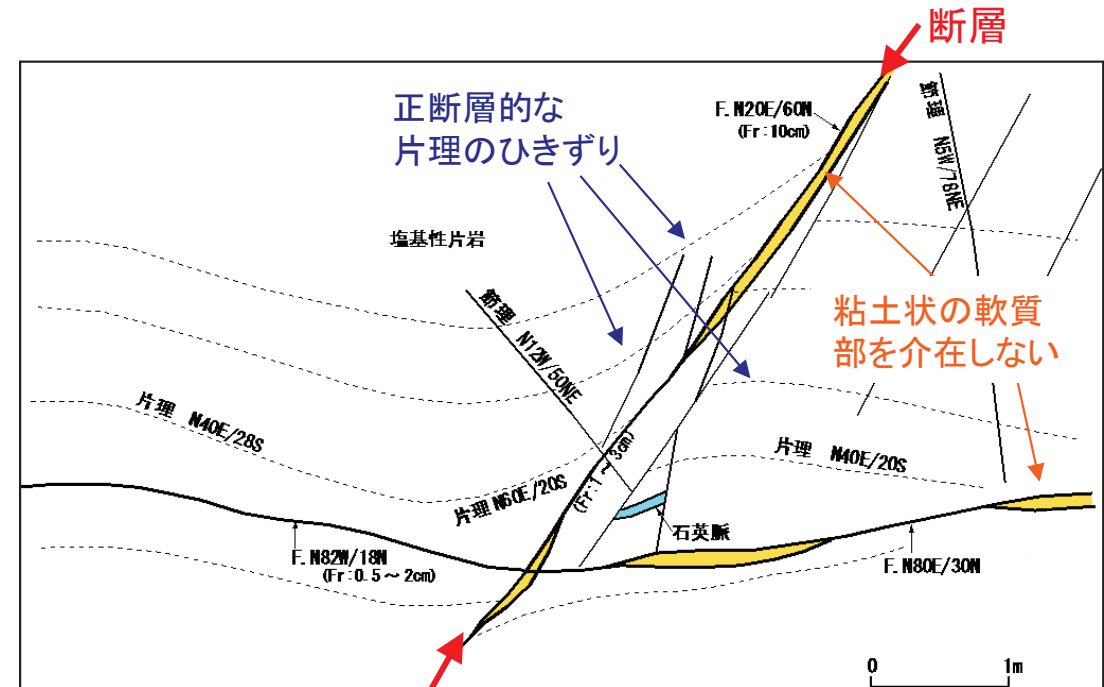


# 三波川変成岩類の特徴⑤ <片理のひきずり>

- 三波川変成岩類においては、一般に、地下深部で生成した断層が認められる。
- 一例として、伊方町二見の海岸沿いの塩基性片岩露頭において、断層付近で片理が流動するように変形していることが観察される（左下写真，右下図）。このような片理のひきずり（流動的な変形）は地表付近では起こり得ず、当該断層が地下深部の温度・圧力の下で生成したことを示す。
- また、当該断層は断層内物質が岩石に相当するほど硬く粘土状の軟質部を介在しない。これは古い時代に地下深部で生成した断層であることを示すとともに当該断層が地表付近に位置して以降の新しい時代には活動していないことを示唆するものである。
- なお、片理のひきずりの観察から、当該断層は地下深部において正断層的に活動したと評価される。



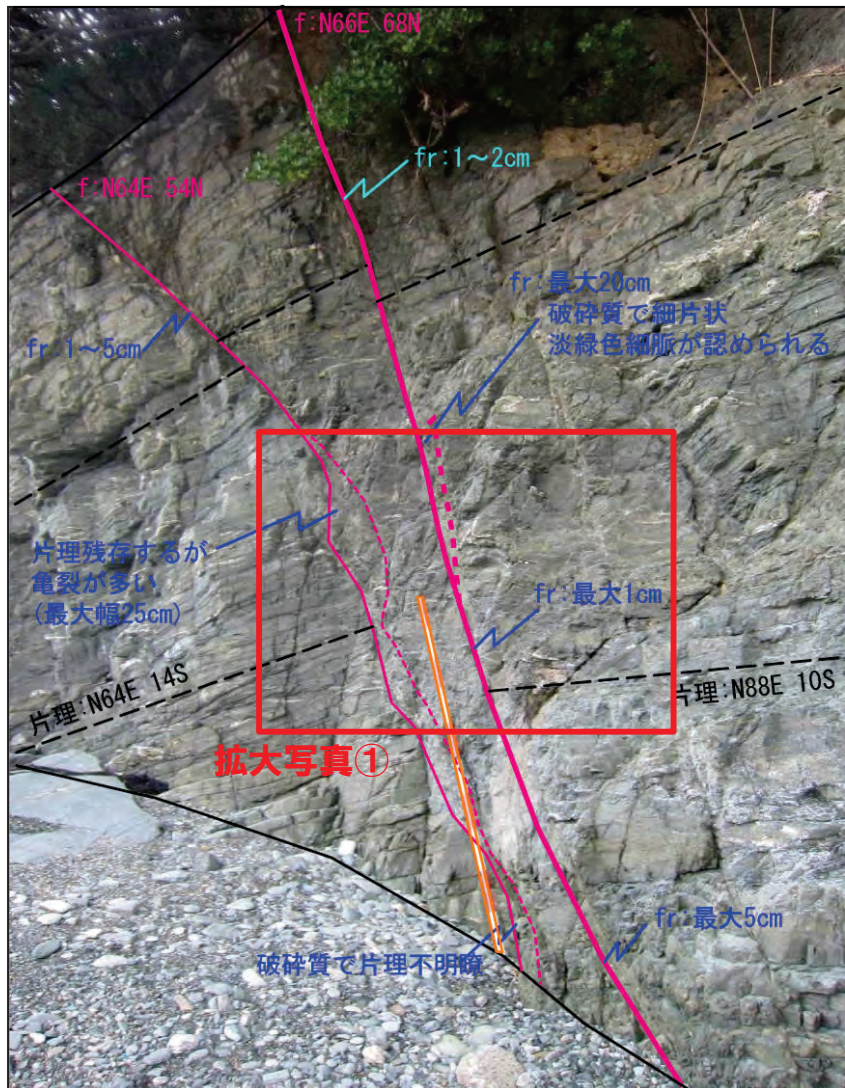
地下深部で生成した断層性状の例(写真)



地下深部で生成した断層性状の例(スケッチ)

# 三波川変成岩類の特徴⑥ <断層幅の変化>

- 三波川変成岩類においては、破碎幅が著しく変化する断層が見られる。
- 一例として、伊方町二見の海岸沿いの塩基性片岩露頭において、1mの区間で破碎幅が20cmから1cmへと変化する。
- このような破碎幅の著しい変化も地下深部で生成した断層の特徴の一つである。



H27年撮影

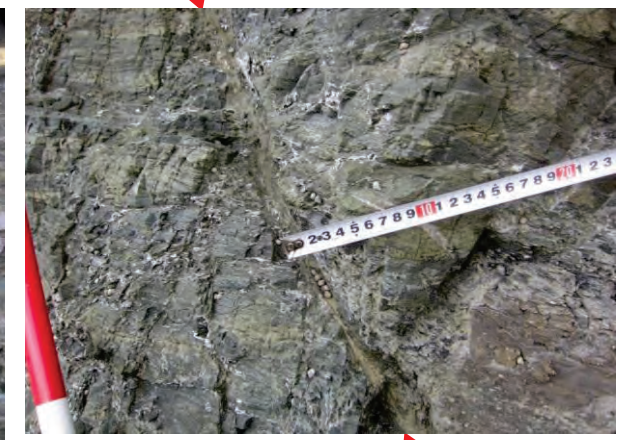


拡大写真①



拡大写真②

破碎幅15~20cm程度



拡大写真③

破碎幅1cm程度

# I. 連続性がある断層の選定

## 1. 三波川変成岩類の特徴

## 2. 敷地内における断層分布

## 3. 敷地内断層の性状

# II. 重要施設の直下にある断層の選定

# III. 他の断層による切断および

## 軟質部の有無

# IV. 軟質部が認められない断層の

## 活動性評価

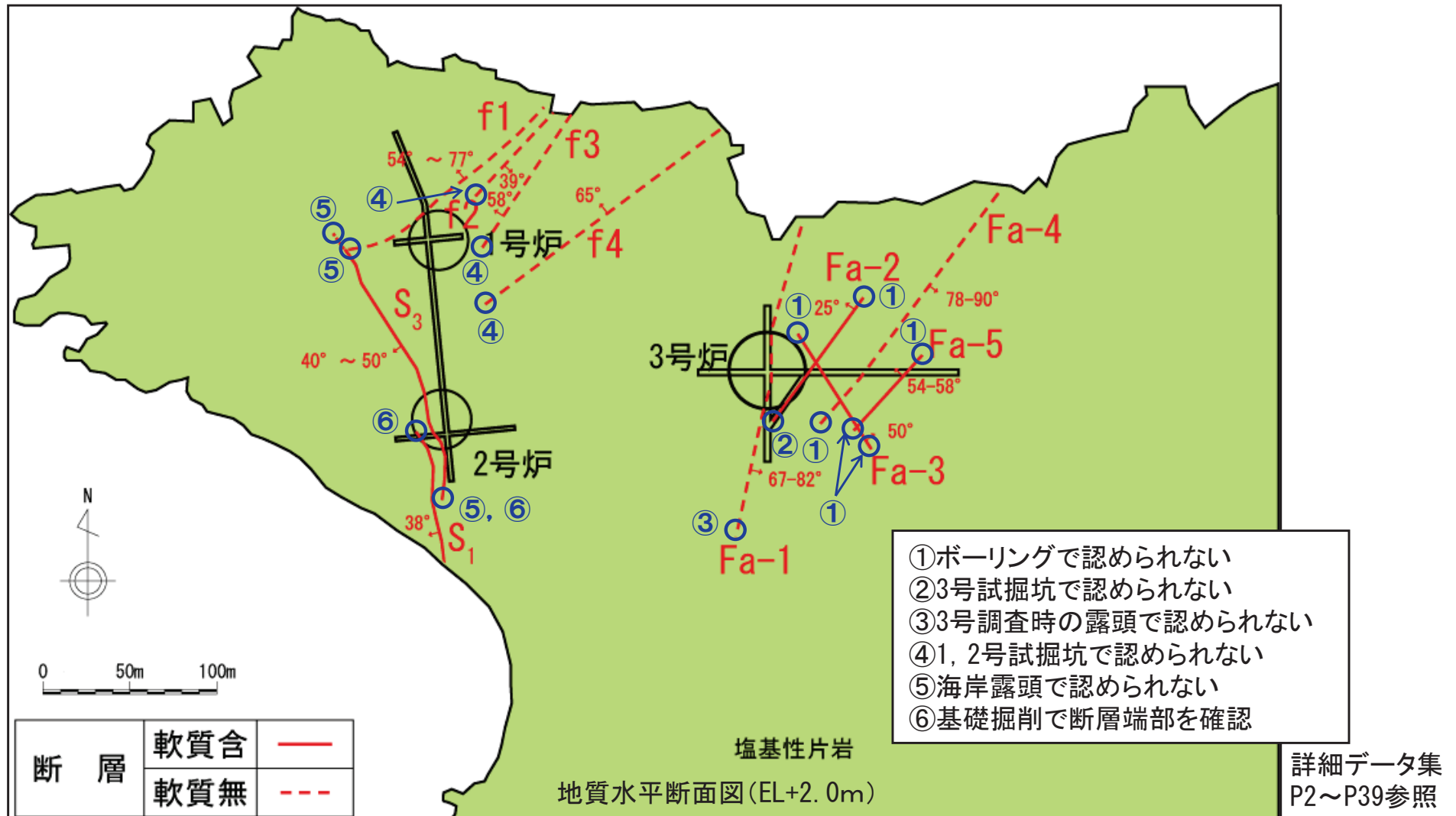
# V. 軟質部を含む断層の活動性評価

# VI. 総合評価



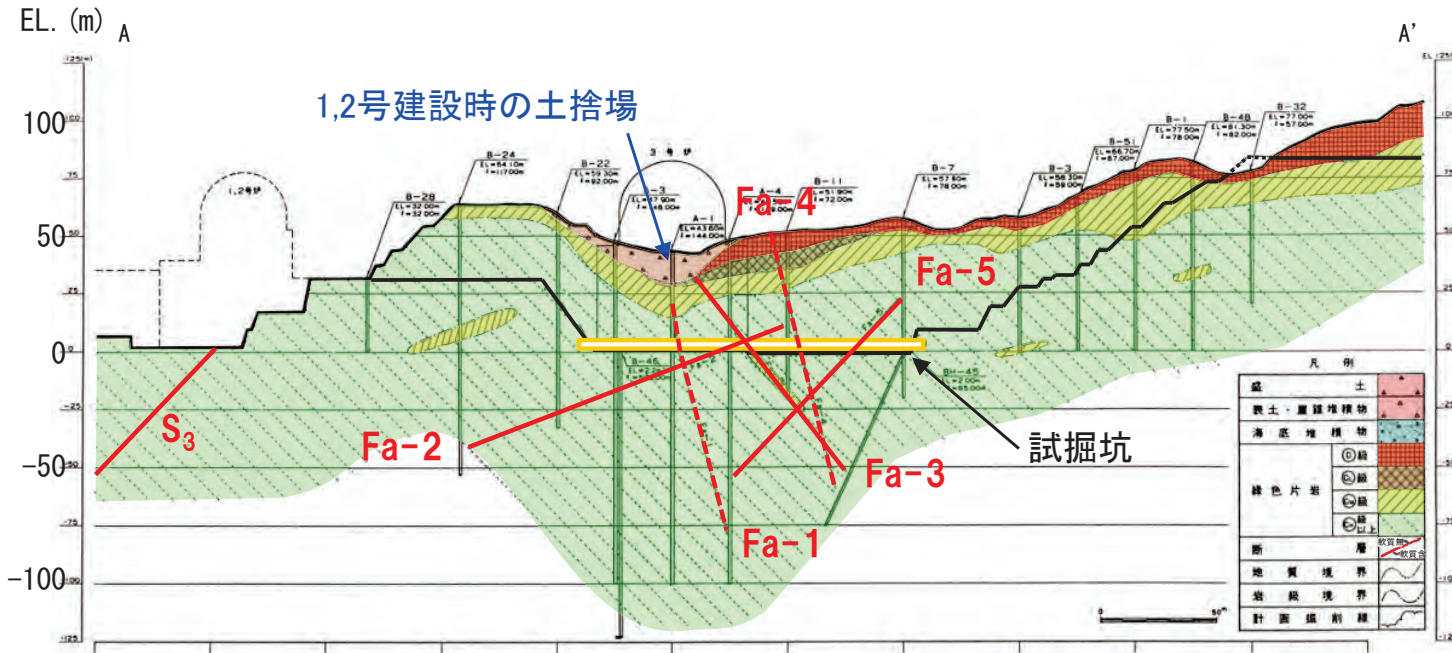
# 敷地内における断層分布① <敷地の地質と敷地内における断層分布>

○敷地の地質は三波川帯の塩基性片岩からなり、規模の大きな断層は認められない。敷地に認められる断層の破碎幅はほとんどが10cm未満であり、片理のひきずりや断層内物質の性状から、古い時代に地下深部で生成した断層である。3号炉申請時の調査において、敷地内で比較的破碎幅が大きく連続性がある断層としてFa-1断層～Fa-5断層、f1～f4断層、S<sub>1</sub>、S<sub>3</sub>断層を示している。



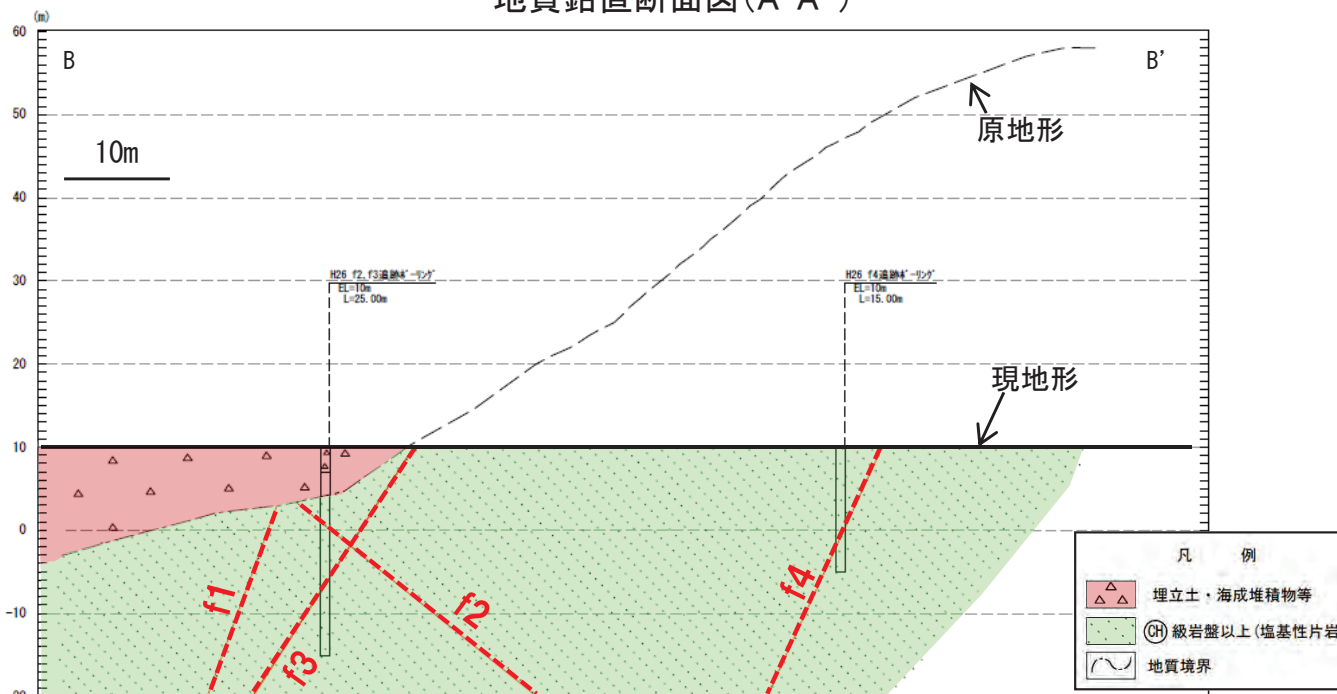
YONDEN ※S<sub>2</sub>断層は掘削により除去され現存しない。

# 敷地内における断層分布② <地質鉛直断面図>

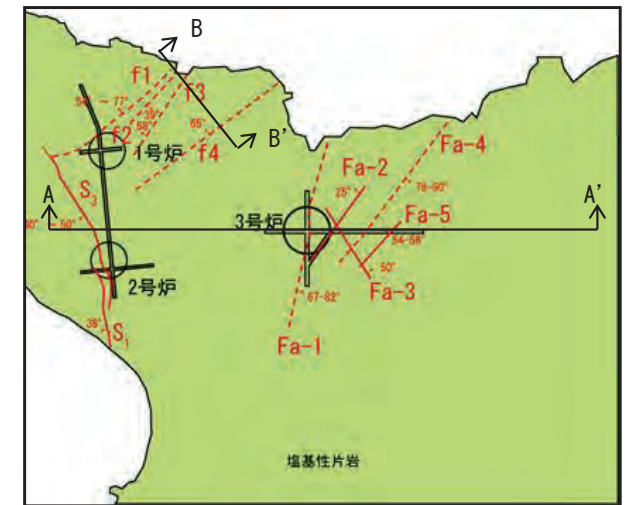


地質鉛直断面図(A-A')

○敷地内断層は全般に中～高角度であり, Fa-2断層およびf2断層は低角度である。



地質鉛直断面図(B-B')



地質水平断面図(EL+2.0m)

伊方発電所原子炉設置変更許可申請書(3号炉増設, 昭和59年)に加筆

# I. 連続性がある断層の選定

- 1. 三波川変成岩類の特徴
- 2. 敷地内における断層分布
- 3. 敷地内断層の性状

# II. 重要施設の直下にある断層の選定

# III. 他の断層による切断および

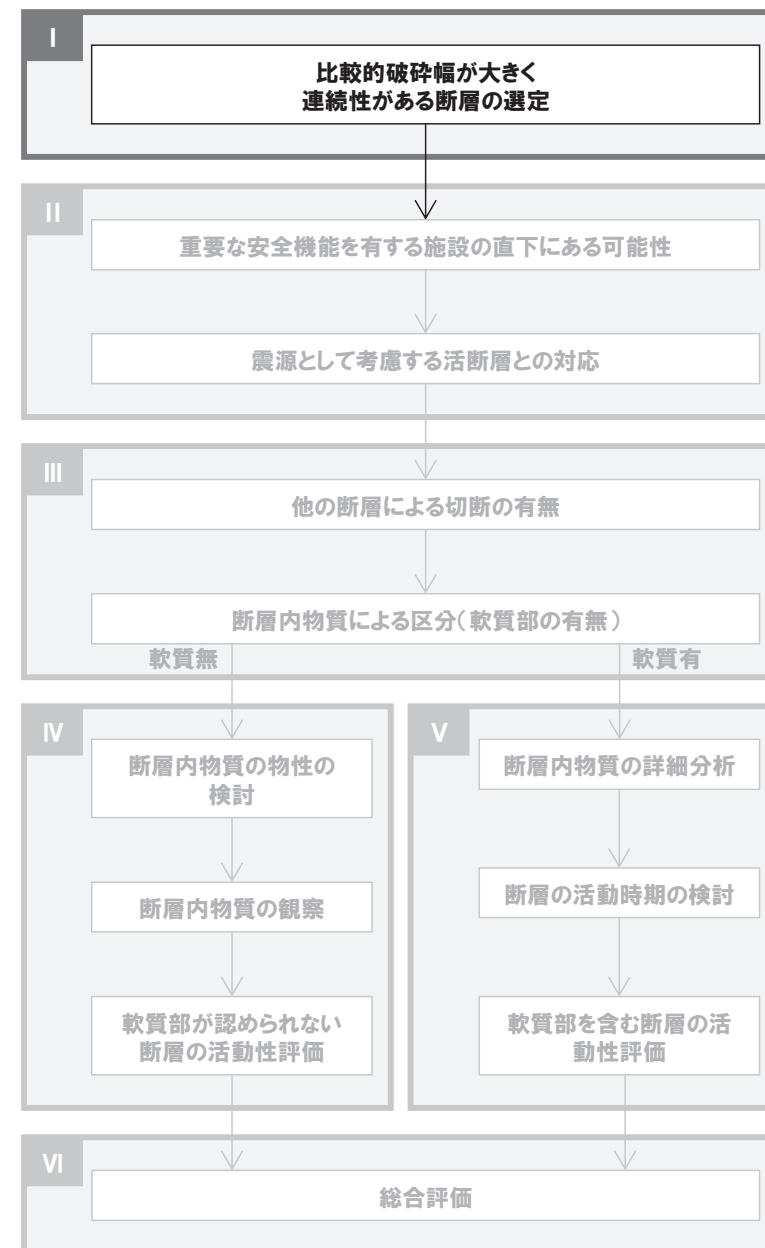
軟質部の有無

# IV. 軟質部が認められない断層の

活動性評価

# V. 軟質部を含む断層の活動性評価

# VI. 総合評価





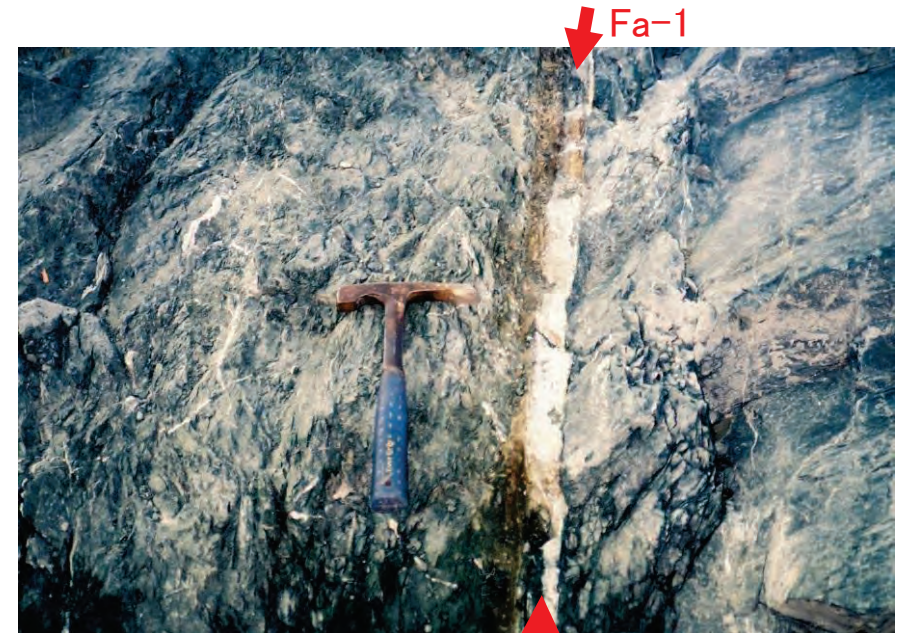
# 敷地内断層の性状① <Fa-1, Fa-2断層>

## ●Fa-1断層 (右上写真)

- ・ 走向・傾斜はN5~22° E/67~82° SEである。
- ・ 破碎幅は3~10cmで角礫岩状を呈し、断層内物質が岩石に相当するほど硬く粘土状の軟質部を介在しない。
- ・ 最大幅10cmの方解石脈を介在する。

## ●Fa-2断層 (右下写真)

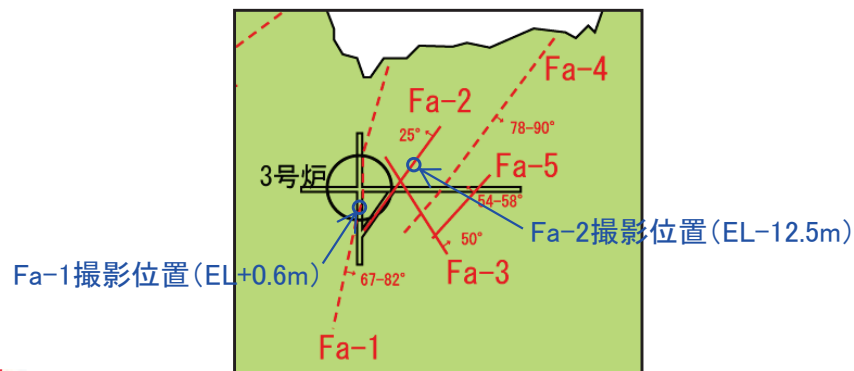
- ・ 走向・傾斜はN38° E/25° NWである。
- ・ 破碎幅は3~10cmで数条の粘土フィルム (幅0.3cm) を伴う。
- ・ ほぼ片理面に沿う低角度の断層である。
- ・ 断層付近に逆断層的な片理のひきずり (流動的な変形) が認められる。
- ・ なお、Fa-3断層と切り切れ関係にあり、最終的にはFa-3断層に3cm変位させられる。



※基礎掘削面で平成2年撮影



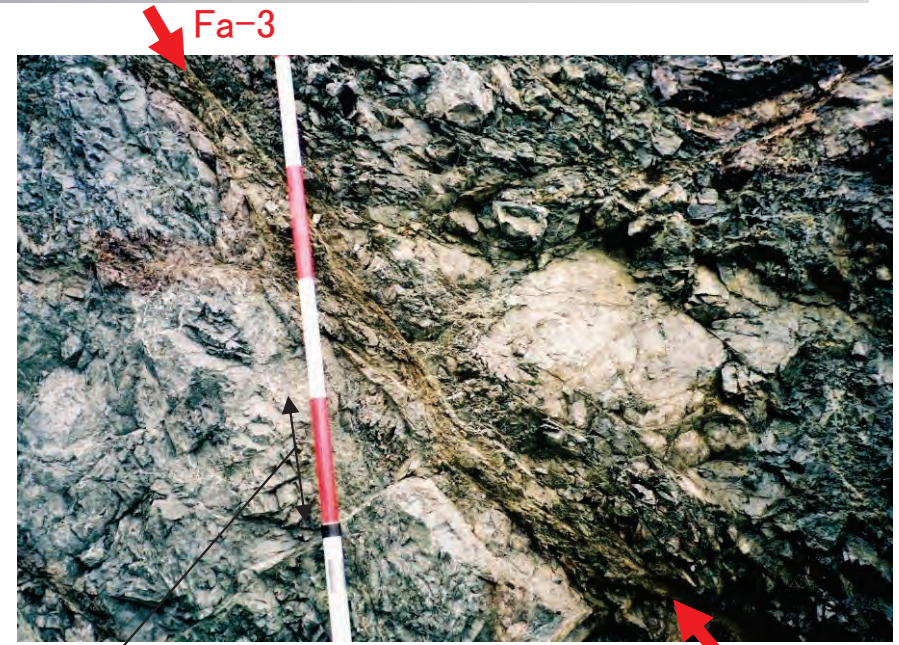
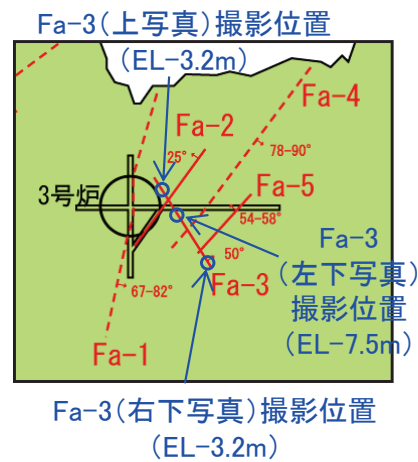
※基礎掘削面で平成2年撮影



# 敷地内断層の性状② <Fa-3断層>

## ●Fa-3断層 (右上写真)

- ・ 走向・傾斜はN31° W/50° NEである。
- ・ 3号試掘坑における破砕幅は5~40cmで幅0.2~4cmの粘土を含む。
- ・ 試掘坑から離れるにつれて破砕幅は減少し、直線性に乏しい。
- ・ 断層付近に正断層的な片理のひきずり(流動的な変形)が認められる。



20cm

※基礎掘削面で平成2年撮影



※基礎掘削面で平成2年撮影



※基礎掘削面で平成2年撮影

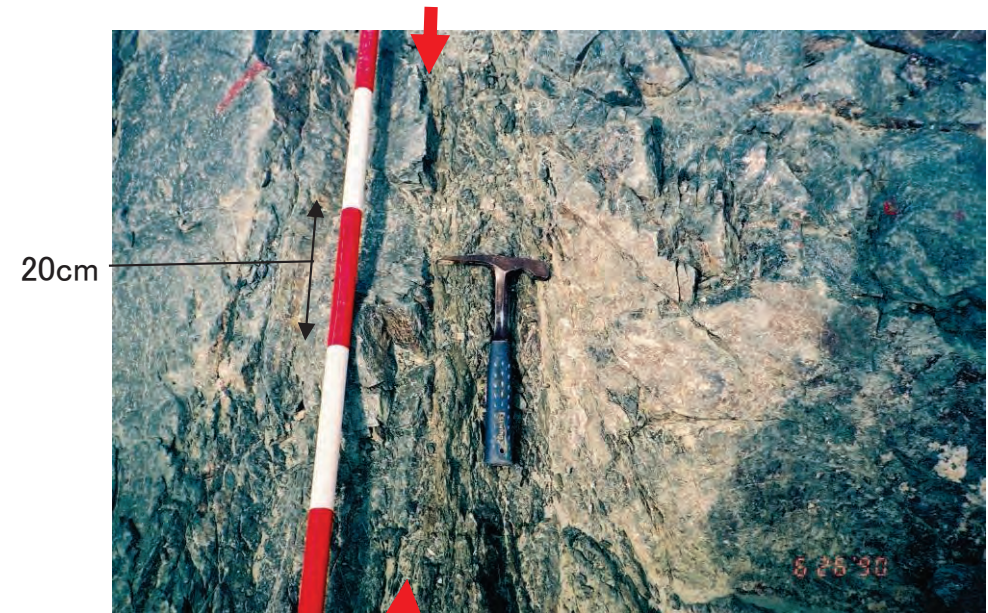
# 敷地内断層の性状③ <Fa-4, Fa-5断層>

## ●Fa-4断層 (左下写真)

- ・ 走向・傾斜はN43° E/78~90° SEである。
- ・ 破碎幅は1.5~4cmで角礫岩状を呈し、断層内物質が岩石に相当するほど硬く粘土状の軟質部を介在しない。

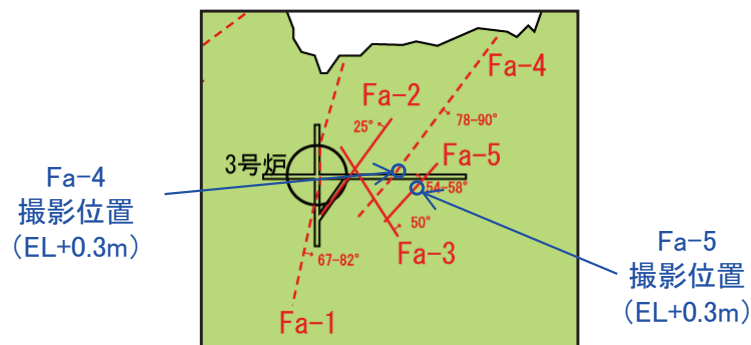
## ●Fa-5断層 (右下写真)

- ・ 走向・傾斜はN44° E/54~58° NWである。
- ・ 破碎幅は5~10cmで幅0.4cmの粘土を伴う。
- ・ Fa-3断層に切られ、約30cm変位させられる。



Fa-4

※基礎掘削面で平成2年撮影



Fa-5

※基礎掘削面で平成2年撮影

# 敷地内断層の性状④ <f1, f2断層>

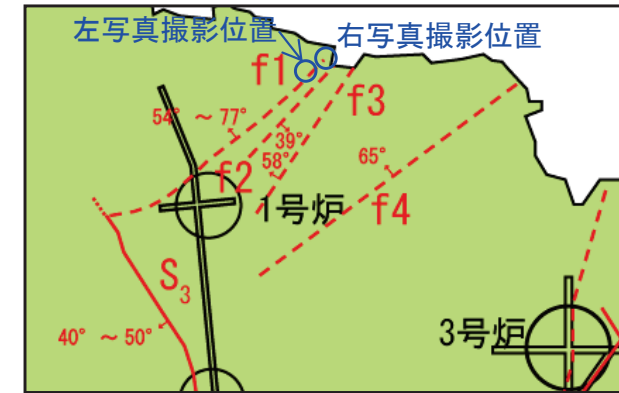
## ● f1断層 (左下写真)

- ・ 走向・傾斜はN40° E/54° Nで場所によって大きく変化する。
- ・ 破碎幅は2~10cmで断層内物質が岩石に相当するほど硬く粘土状の軟質部を介在しない。

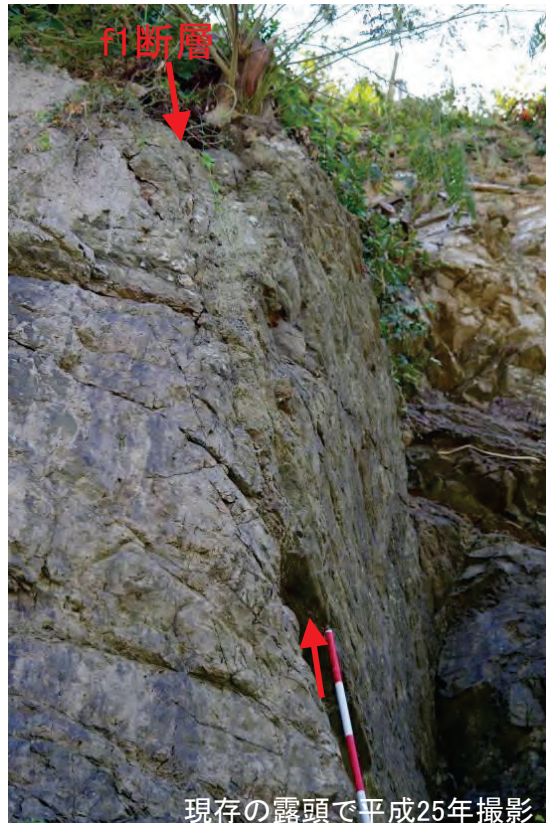
(平成26年7月1日の現地調査で岩石化した断層の露頭として説明)

## ● f2断層 (右下写真)

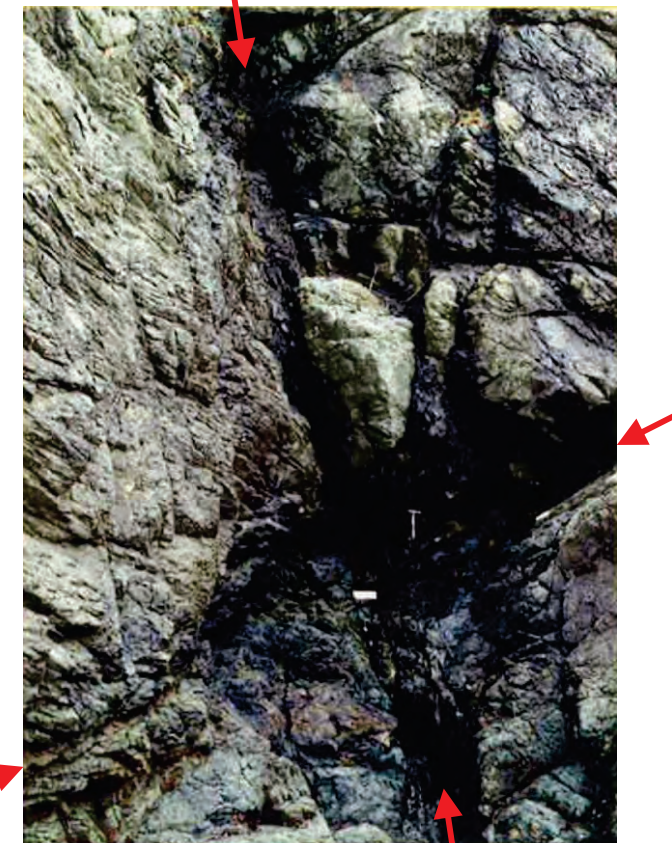
- ・ 走向・傾斜はN45° E/39° SEである。
- ・ 破碎幅は5~10cmで断層内物質が岩石に相当するほど硬く粘土状の軟質部を介在しない。
- ・ f1断層と交差し、互いに有意な変位が認められない。



f1断層



現存の露頭で平成25年撮影



f2断層

海岸露頭で昭和58年撮影

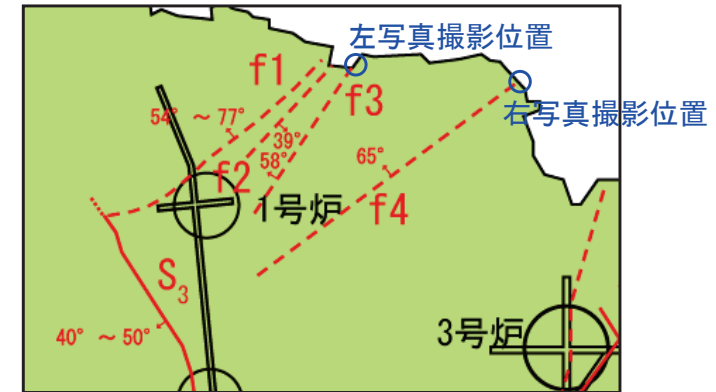
# 敷地内断層の性状⑤ <f3, f4断層>

## ● f3断層 (左下写真)

- ・ 走向・傾斜はN36° E/58° NWである。
- ・ 破碎幅は5~20cmで断層内物質が岩石に相当するほど硬く粘土状の軟質部を介在しない。
- ・ 断層付近に正断層的な片理のひきずり (流動的な変形) が認められる。

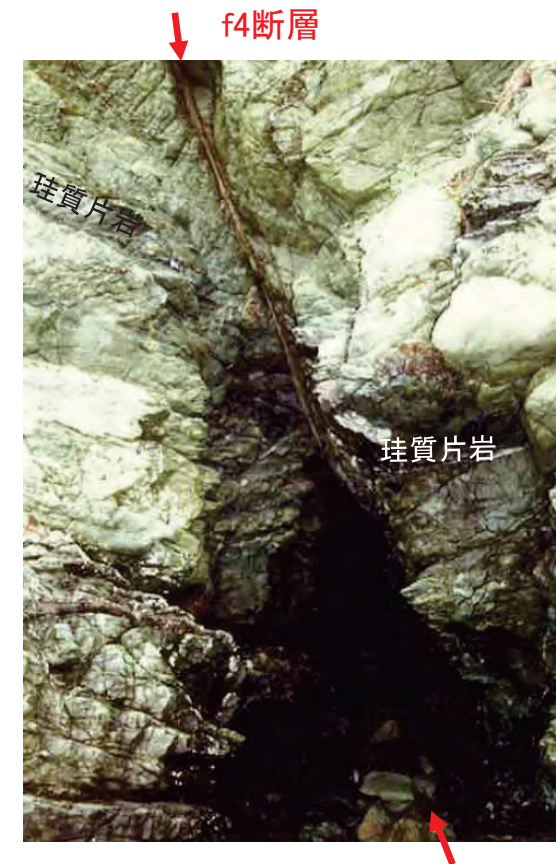
## ● f4断層 (右下写真)

- ・ 走向・傾斜はN56° E/65° NWである。
- ・ 破碎幅は5~10cmで断層内物質が岩石に相当するほど硬く粘土状の軟質部を介在しない。
- ・ 珪質片岩の薄層を正断層センスで約1.5m変位させている。



海岸露頭で昭和58年撮影

f3断層



海岸露頭で  
昭和58年撮影

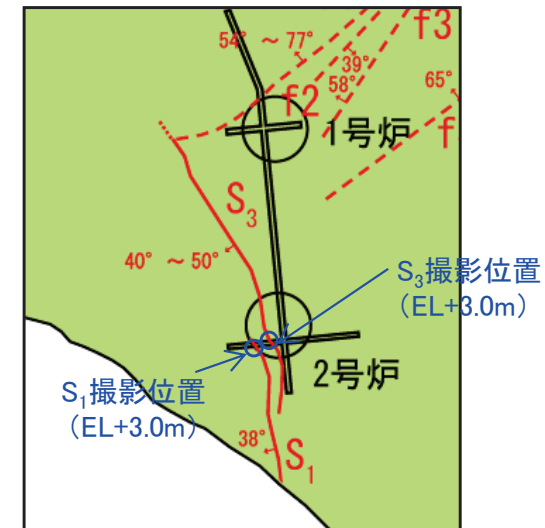
# 敷地内断層の性状⑥ <S<sub>1</sub>, S<sub>3</sub>断層>

## ● S<sub>1</sub>断層 (左下写真)

- ・ 走向・傾斜はN12° W/38° Wである。
- ・ 破砕幅は2~50cmで部分的に細かく破砕されている。
- ・ 断層付近に正断層的な片理のひきずり（流動的な変形）が認められる。

## ● S<sub>3</sub>断層 (右下写真)

- ・ 走向・傾斜はN8° E~35° W/40~50° Wで場所によって走向・傾斜が大きく変化する。
- ・ 破砕幅は2~40cmで幅0.5~3cmの粘土を含む。
- ・ 断層付近に正断層的な片理のひきずり（流動的な変形）が認められる。



※基礎トレンチ内で昭和51年撮影



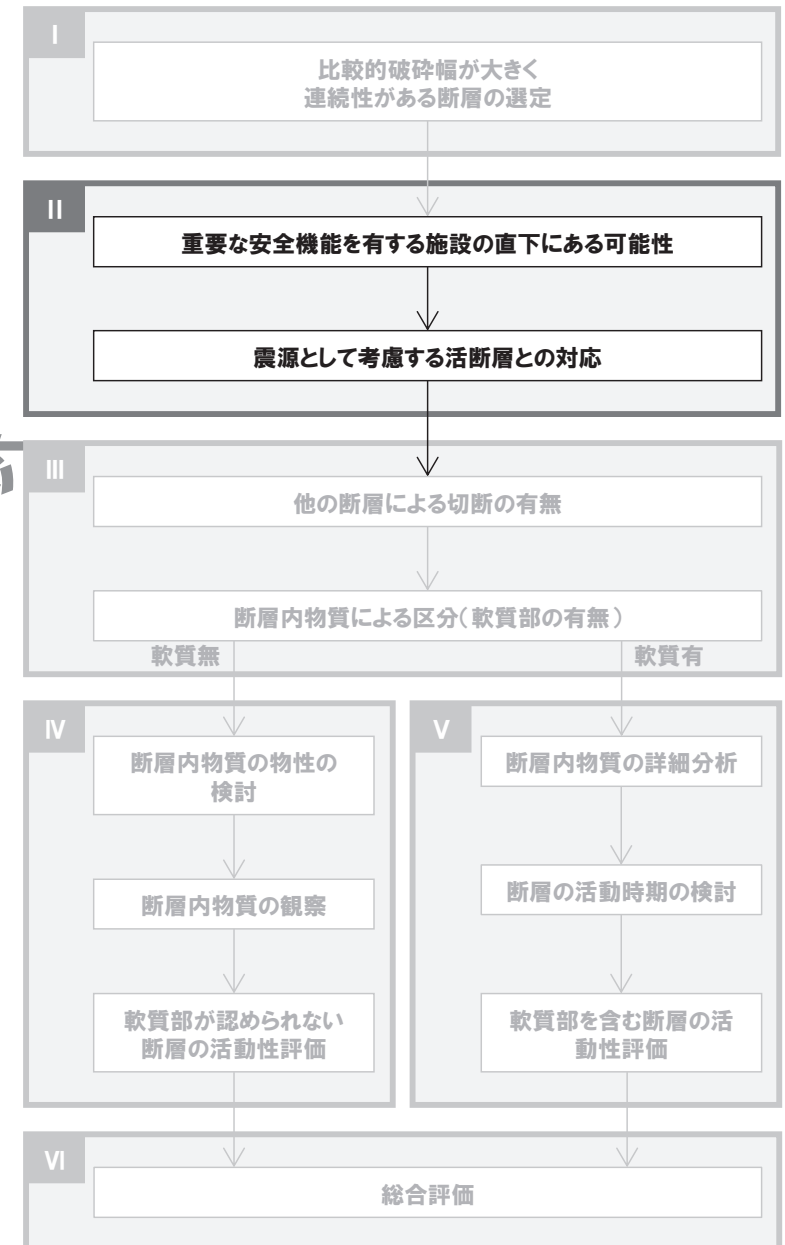
※基礎トレンチ内で昭和51年撮影

## 敷地内断層の性状⑦&lt;一覧&gt;

断層名	走向※・傾斜	破砕幅 fr:cm 粘土幅 cl:cm	備考
Fa-1断層	N5~22° E/67~82° SE	fr:3~10	
Fa-2断層	N38° E/25° NW	fr:3~10, cl:0.3	逆断層的な片理のひきずり
Fa-3断層	N31° W/50° NE	fr:5~40 cl:0.2~4	正断層的な片理のひきずり
Fa-4断層	N43° E/78~90° SE	fr:1.5~4 (海岸でfr:20~30)	
Fa-5断層	N44° E/54~58° NW	fr:5~10, cl:0.4	
f1断層	N40~54° E/54~77° N	fr:2~10	f2断層と交差
f2断層	N45° E/39° SE	fr:5~10	f1断層と交差
f3断層	N36° E/58° NW	fr:5~20	正断層的な片理のひきずり
f4断層	N56° E/65° NW	fr:5~10	珪質片岩を正断層センスで 約1.5m変位させる
S <sub>1</sub> 断層	N12° W/38° W	fr:2~50 cl:部分的に細かく破砕	正断層的な片理のひきずり
S <sub>3</sub> 断層	N8° E~35° W/40~50° W	fr:2~40 cl:0.5~3	正断層的な片理のひきずり



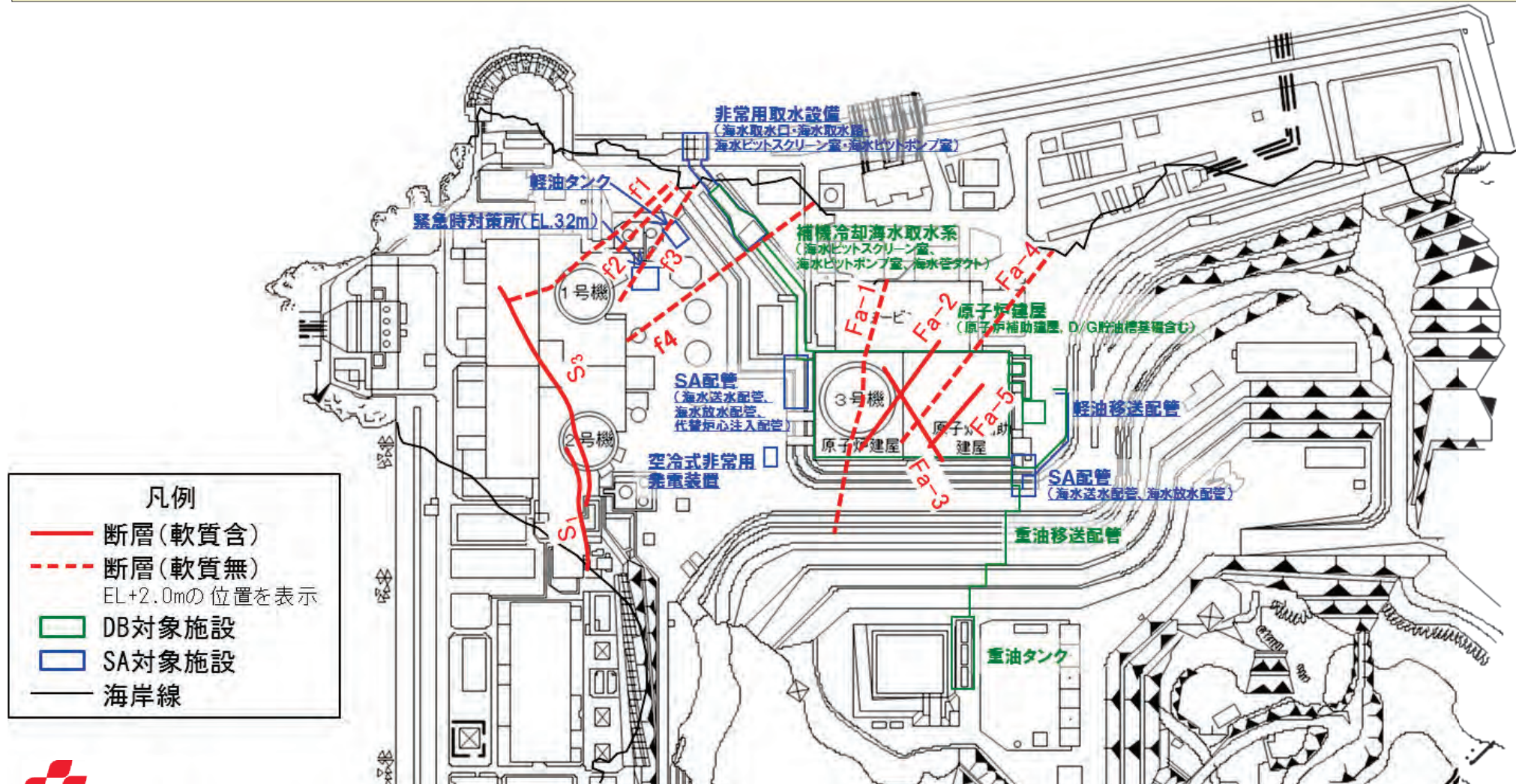
- I. 連続性がある断層の選定
- II. 重要施設の直下にある断層の選定
  - 1. 3号炉施設と断層の位置関係
  - 2. 震源として考慮する活断層との対応
- III. 他の断層による切断および軟質部の有無
- IV. 軟質部が認められない断層の活動性評価
- V. 軟質部を含む断層の活動性評価
- VI. 総合評価



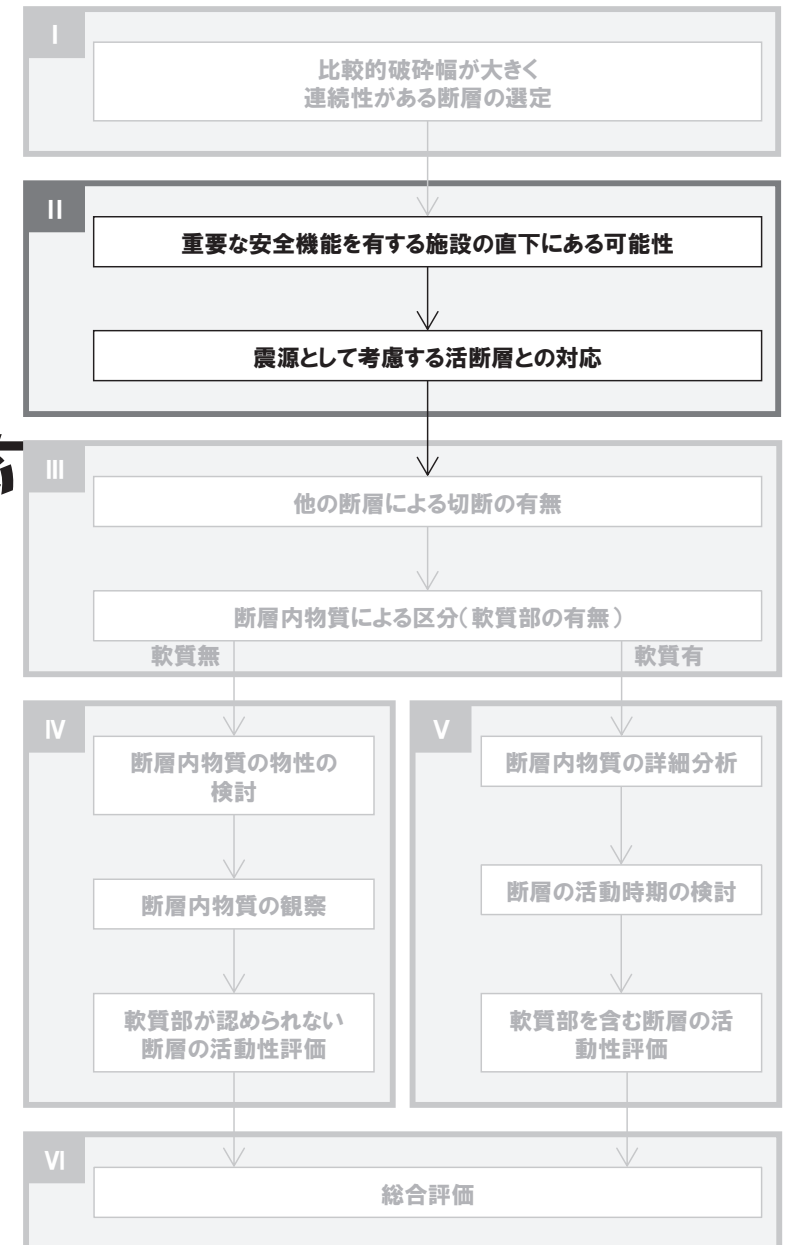


# 3号炉施設と断層の位置関係

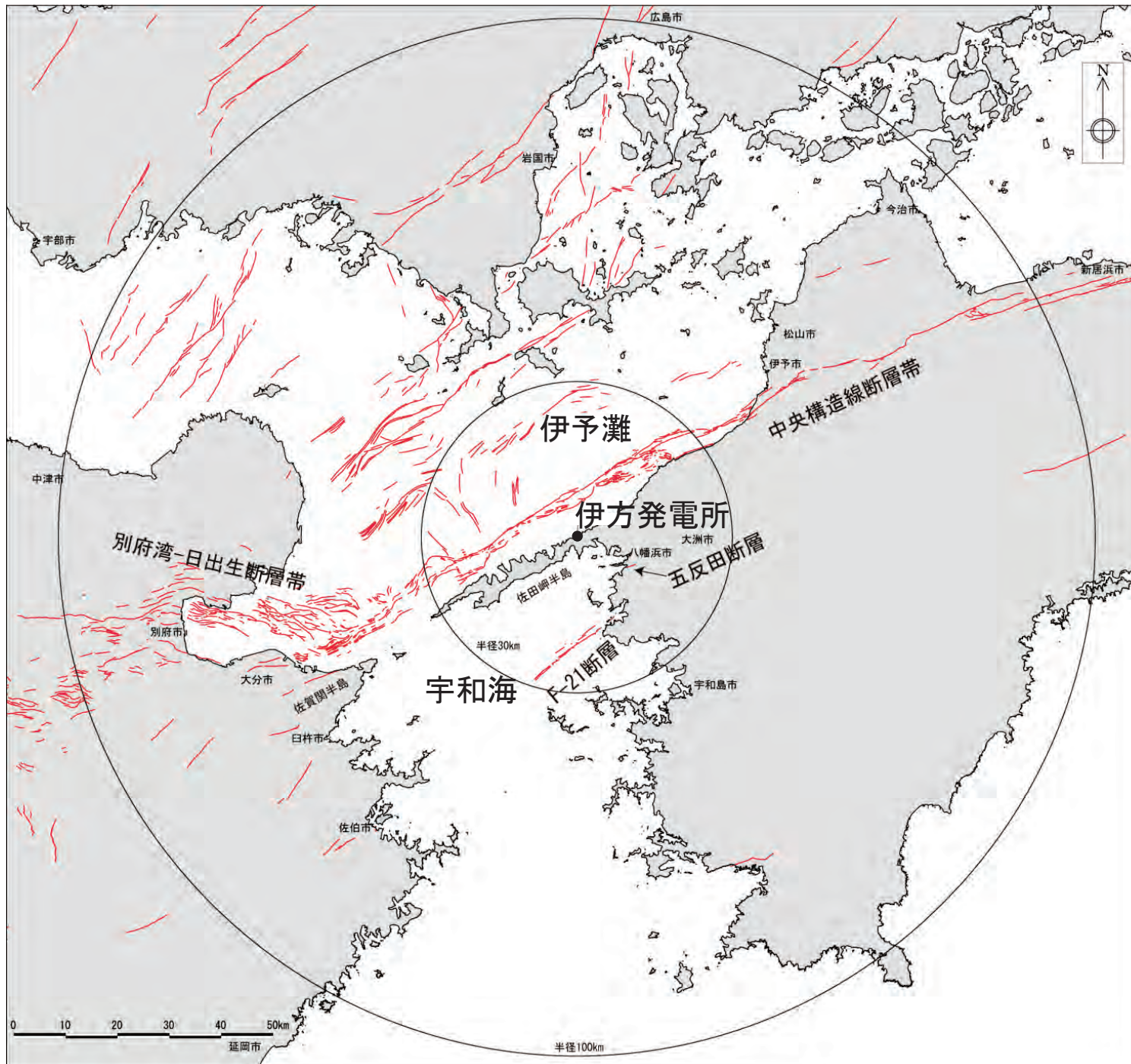
- 伊方3号炉の原子炉設置位置付近において比較的破碎幅が大きく連続性がある断層はFa-1～Fa-5断層である。また、3号炉の海水ピット付近にf1～f4断層が分布する。
- 3号炉西方にS<sub>1</sub>断層、S<sub>3</sub>断層が分布するが、その付近に3号炉申請に係る重要施設はなく、変位が施設に影響を及ぼすものではない。
- これらの断層が震源として考慮する活断層と対応しないことを確認する。



- I. 連続性がある断層の選定
- II. 重要施設の直下にある断層の選定
  - 1. 3号炉施設と断層の位置関係
  - 2. 震源として考慮する活断層との対応
- III. 他の断層による切断および軟質部の有無
- IV. 軟質部が認められない断層の活動性評価
- V. 軟質部を含む断層の活動性評価
- VI. 総合評価



# 震源として考慮する活断層との対応① <敷地周辺の活断層分布>



- 伊方発電所において、最も影響の大きい活断層は敷地の沖合い約8kmを通過する中央構造線断層帯であり、東北東-西南西走向で右横ずれの性状を示す。
- 敷地は中央構造線断層帯の南方に位置し、敷地近傍（半径5km）に活断層は認められない。

## 【活断層分布図の出典】

中田 高・今泉俊文編, 2002, 活断層詳細デジタルマップ。

産業技術総合研究所活断層・地震研究センター, 2012, 活断層データベース, <http://riodb02.ibase.aist.go.jp/activefault/index.html>。

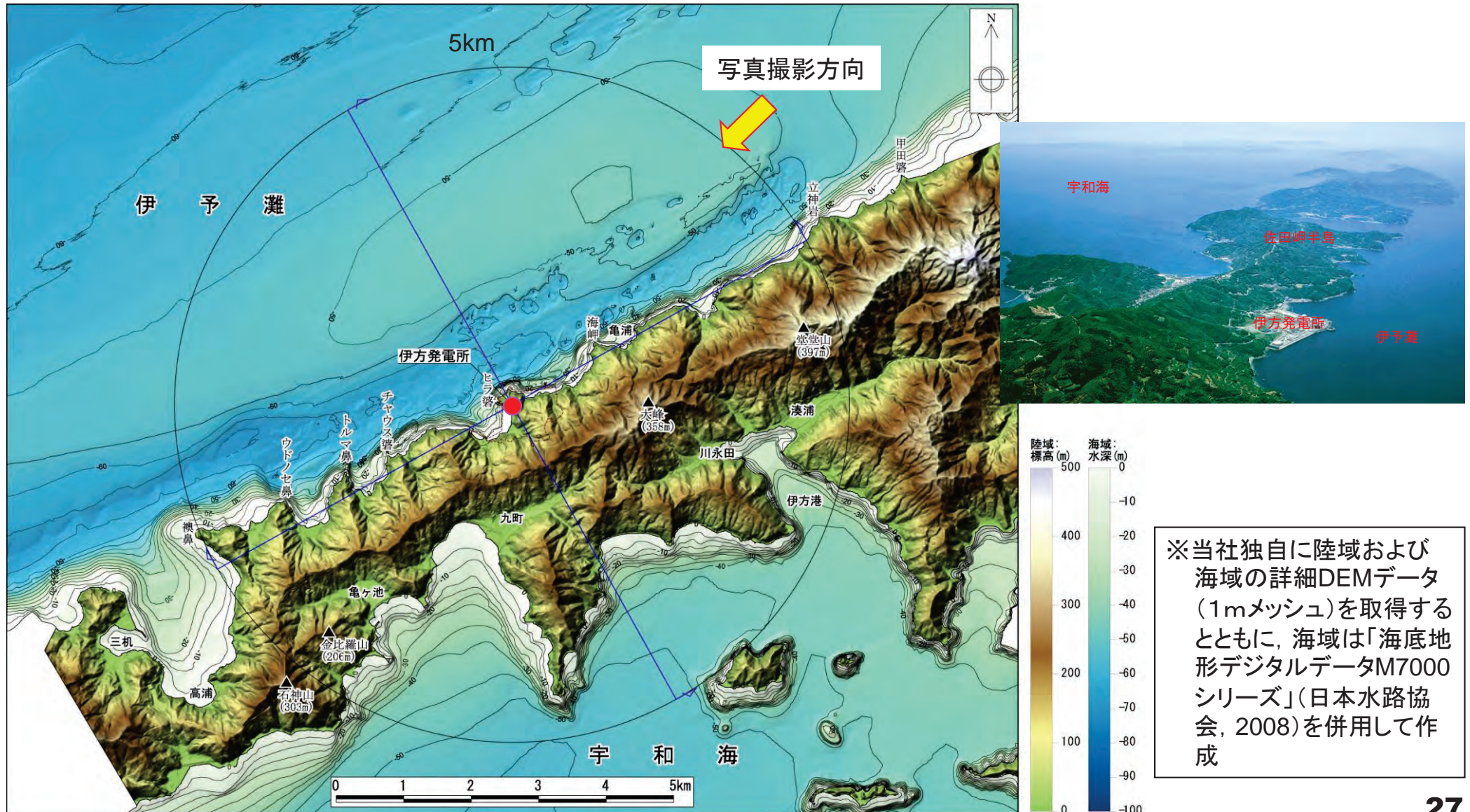
島崎邦彦・松岡裕美・岡村 眞・千田昇・中田 高, 2000, 別府湾の海底活断層分布, 月刊地球/号外, 28, 79-84。

七山 太・池田倫治・大塚一広・三浦健一郎・金山清一・小林修二・長谷川正・杉山雄一・佃 栄吉, 2002, 伊予灘～佐賀関沖MTL活断層系の広域イメージングとセグメント区分, 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 活断層・古地震研究報告, 2, 141-152。

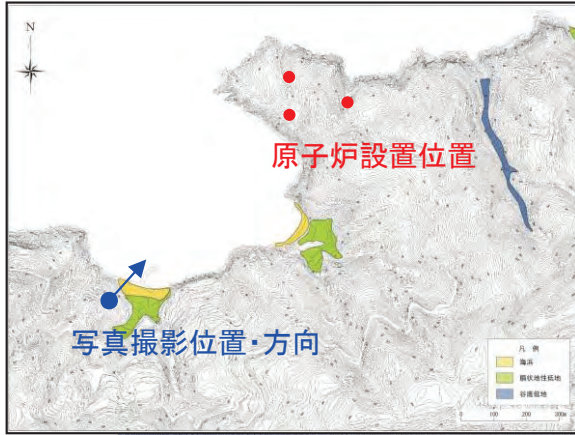
田中雅章・小西克文・國西達也・清水雄一・高智英二郎, 2010, 瀬戸内海西部海域における活断層の発見とそのテクトニクスについて, 日本応用地質学会平成22年度研究発表会, 93。

# 震源として考慮する活断層との対応② <変動地形学的調査(1)>

○伊方発電所の位置する佐田岬半島は、東北東－西南西方向に伸びる細長い半島であり、その海岸線は複雑に入り組んでいる。敷地近傍には、「活断層詳細デジタルマップ」、「[新編]日本の活断層－分布図と資料－」等の既存文献による変位地形・リニアメントの指摘はない。また、詳細DEMおよび空中写真による独自の地形判読によっても敷地近傍に変位地形・リニアメントは判読されない。



# 震源として考慮する活断層との対応③ <変動地形学的調査(2)>



伊予灘に突き出た小半島に原子炉を設置

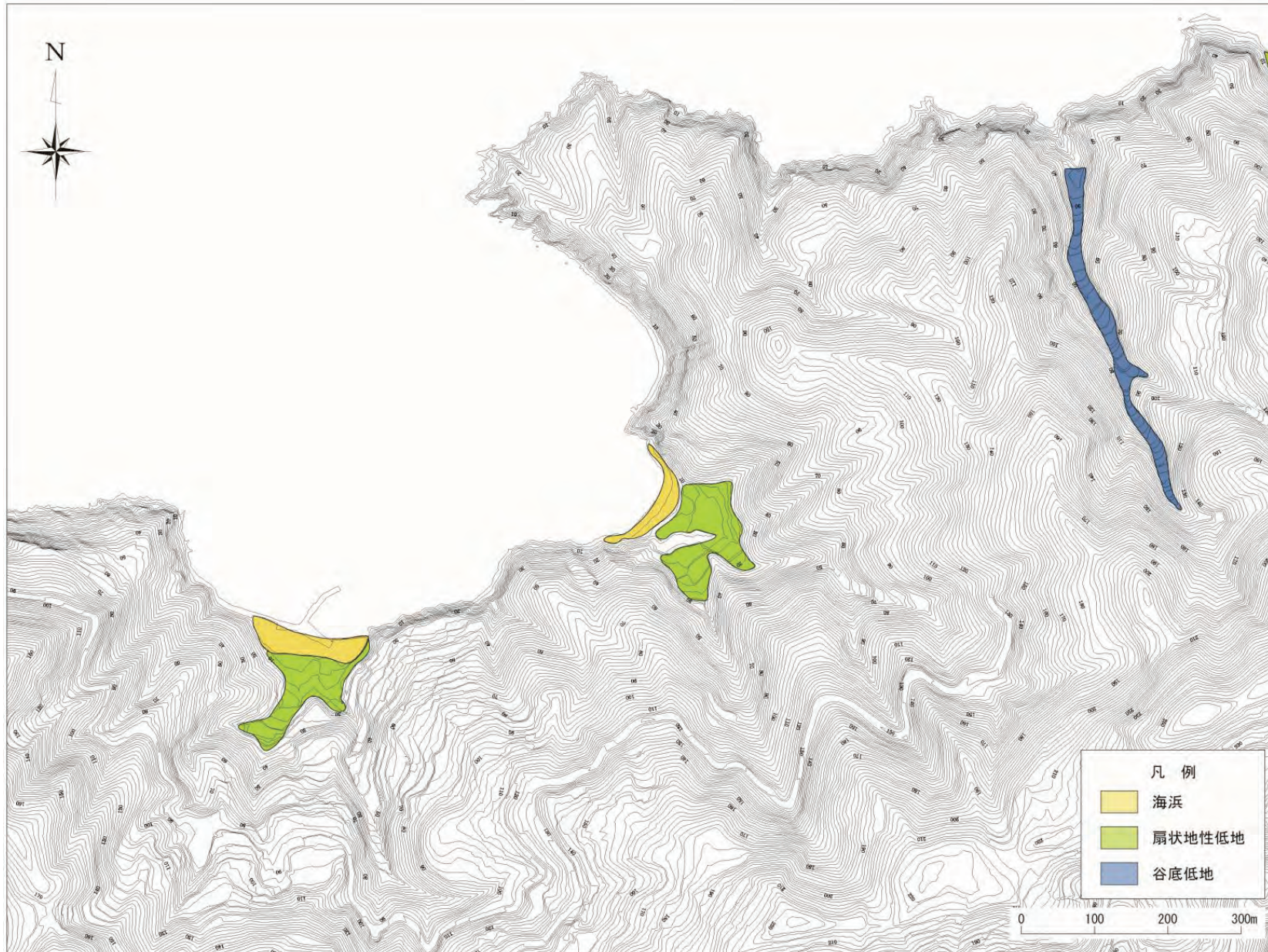
伊予灘



発電所建設前の遠景

# 震源として考慮する活断層との対応④ <変動地形学的調査(3)>

○地形改変前の空中写真（6千分の1モノクロ）および詳細地形データ（1mメッシュDEM）による地形判読によると、敷地内の断層（Fa-1～Fa-5断層，f1～f4断層，S<sub>1</sub>断層，S<sub>3</sub>断層）は活断層を示唆する変動地形と対応しない。

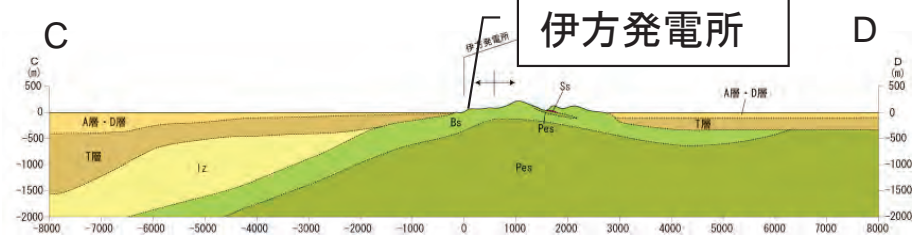
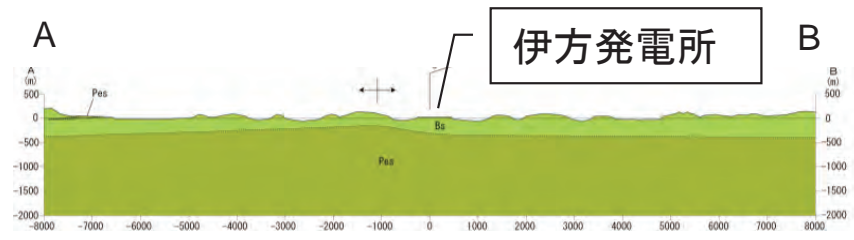
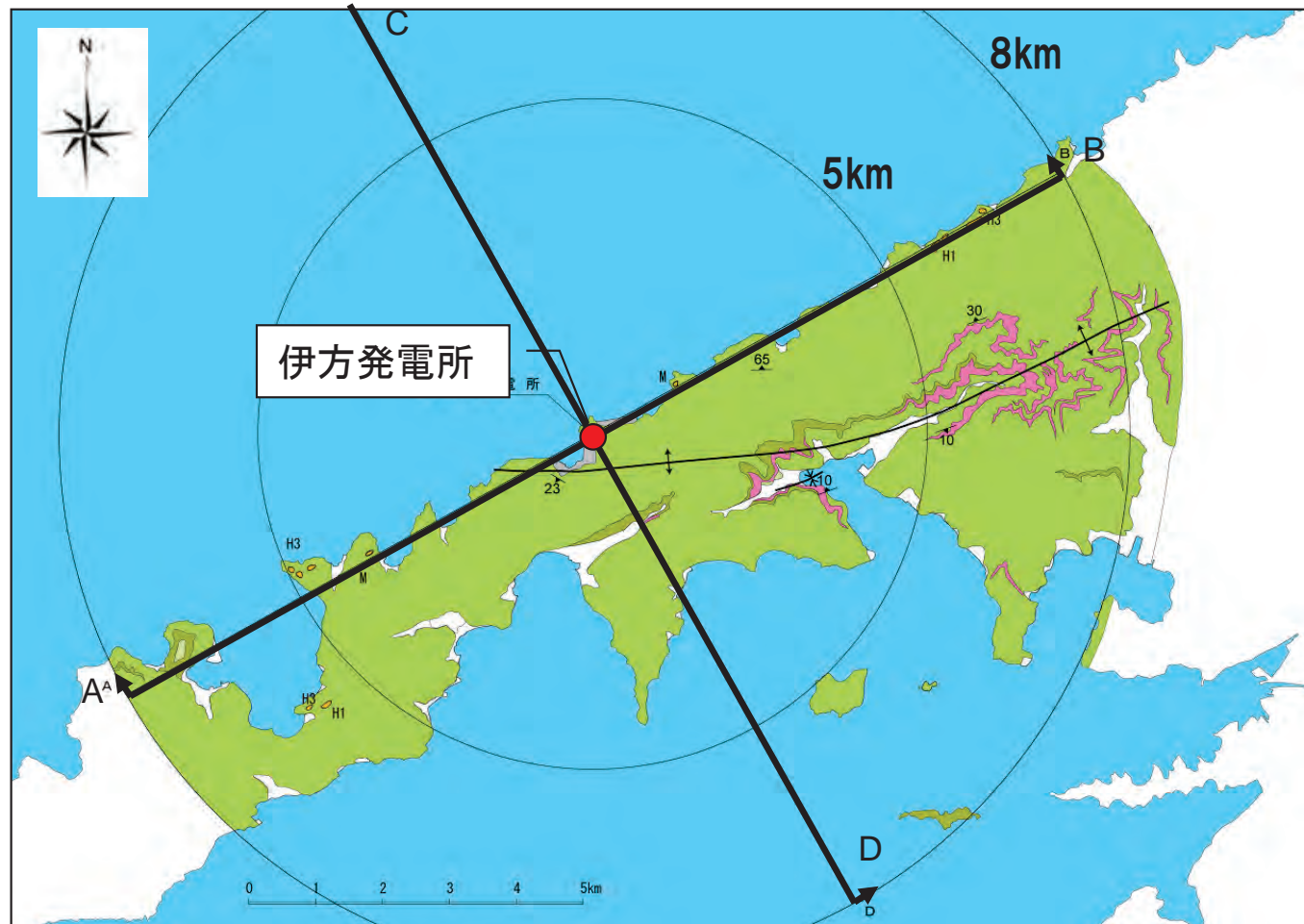


○敷地付近の地形は標高300m以下の壮年期山地からなる。東北東－西南西方向に延びる佐田岬半島の主稜線が分水界をなす。主な尾根は分水界と直交して北北西方向である。山地斜面の勾配はほぼ揃っており、高度の急変点や崖などはなく、活断層を示唆する変動地形は判読されない。

等高線間隔：2m

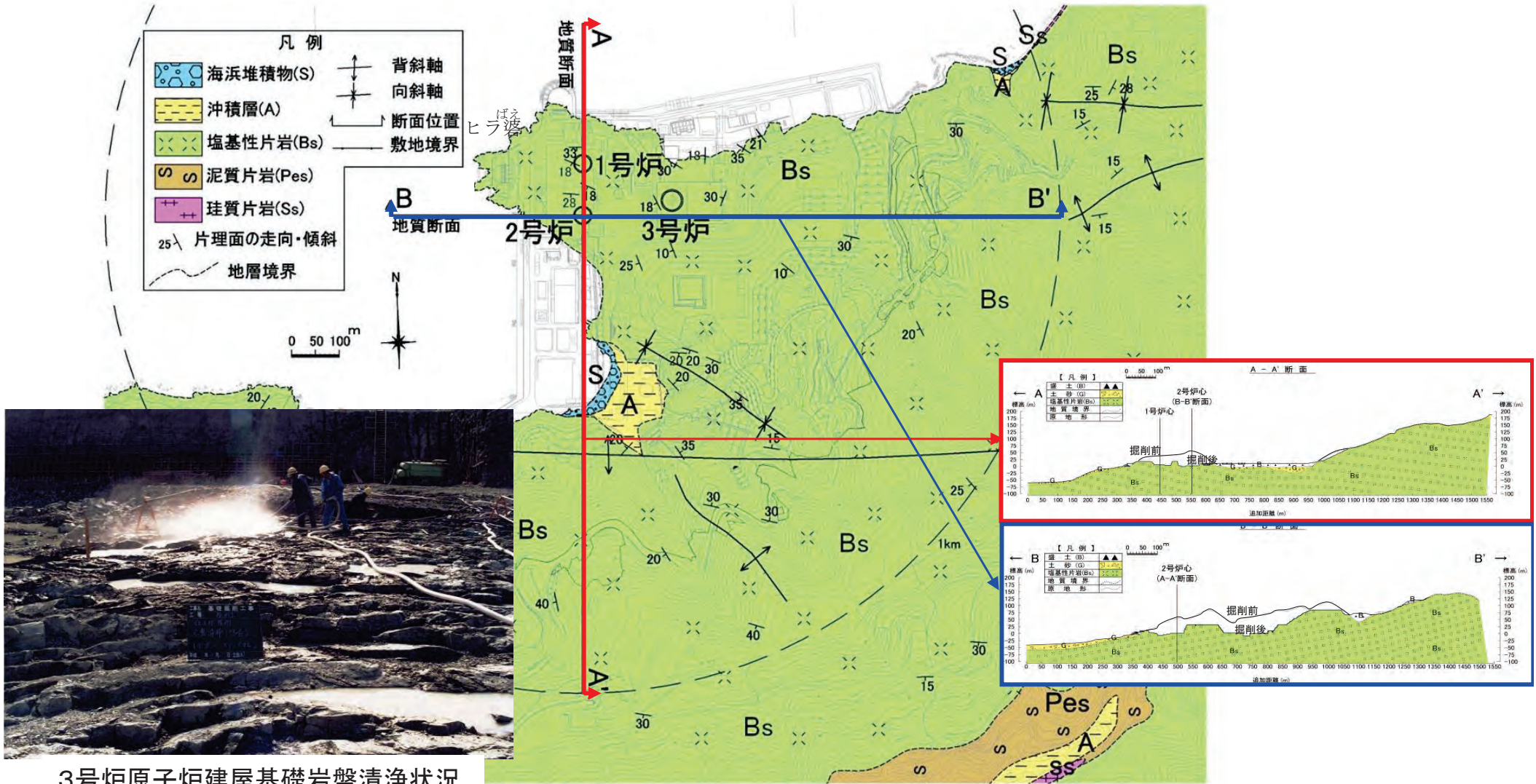
# 震源として考慮する活断層との対応⑤ <地質調査(1)>

○敷地近傍には広く堅硬な塩基性片岩が分布し、活断層を示唆する構造は認められない。



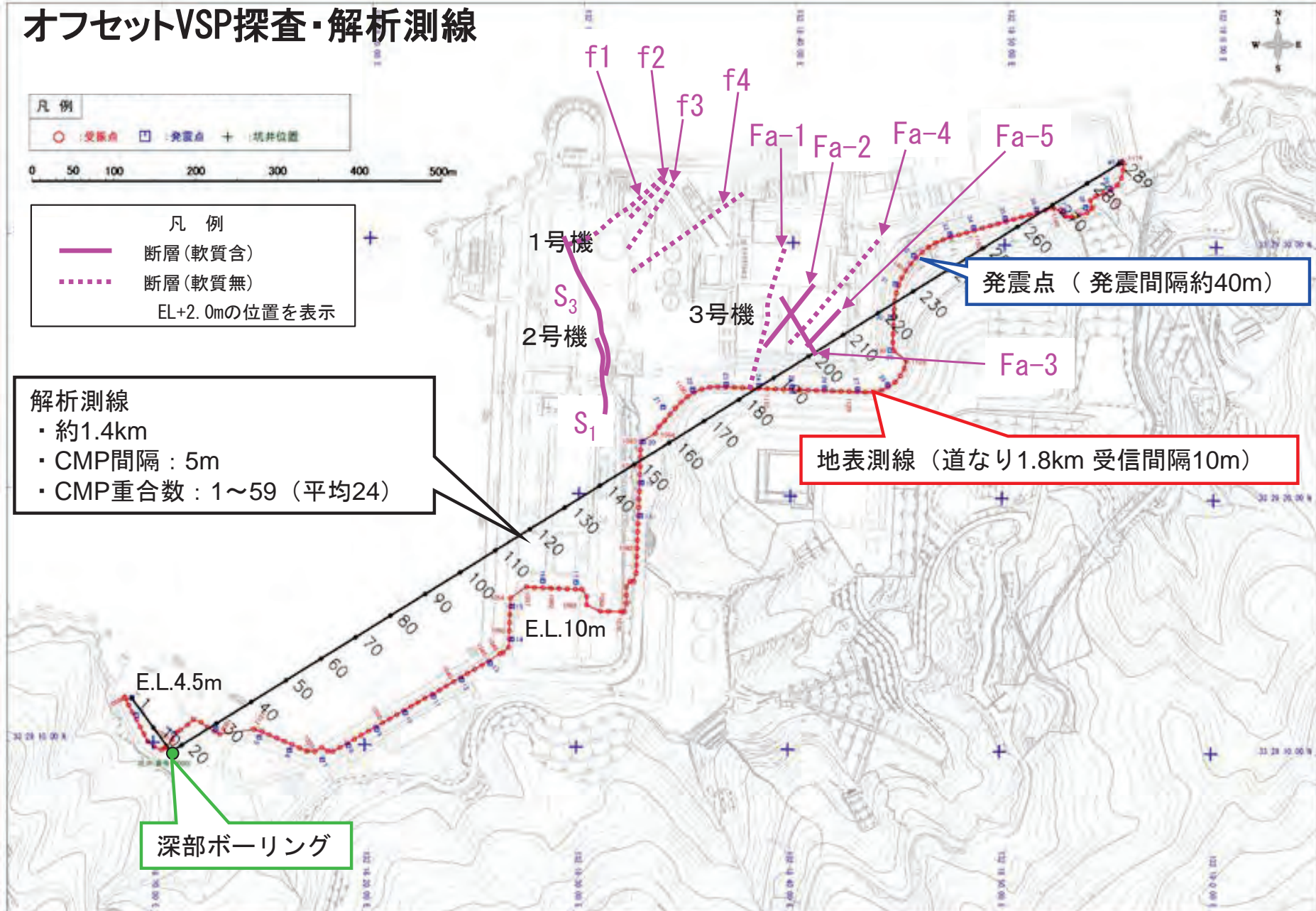
# 震源として考慮する活断層との対応⑥ <地質調査(2)>

○敷地の地盤は主に塩基性片岩からなり、敷地内の断層（Fa-1～Fa-5断層，f1～f4断層，S<sub>1</sub>断層，S<sub>3</sub>断層）に活断層を示唆する構造は認められない。なお，地山を掘削して敷地を造成しており，年代評価に適した上載地層（後期更新世の地形面および地層）が欠如している。



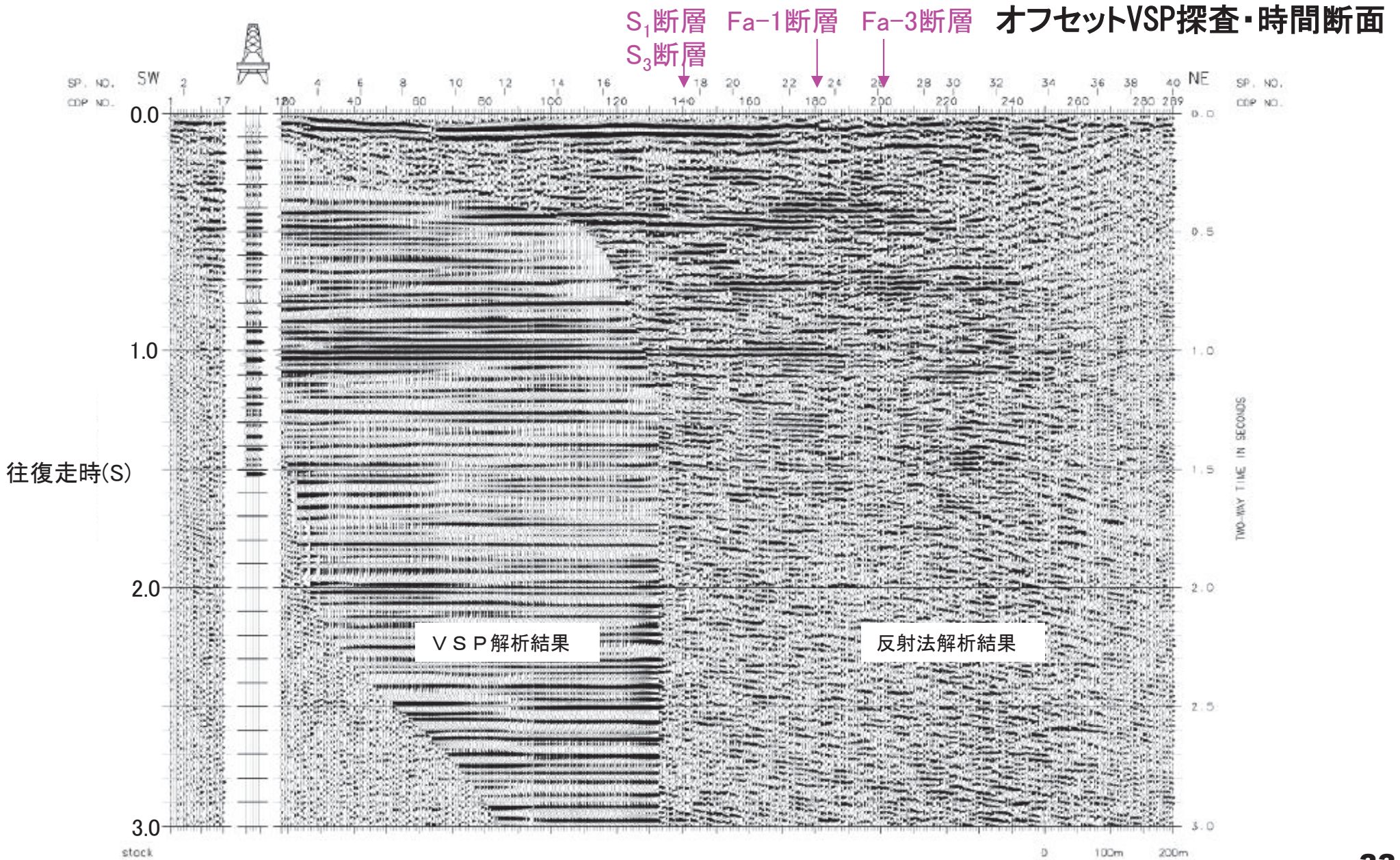


# 震源として考慮する活断層との対応⑦ <地球物理学的調査(1)>



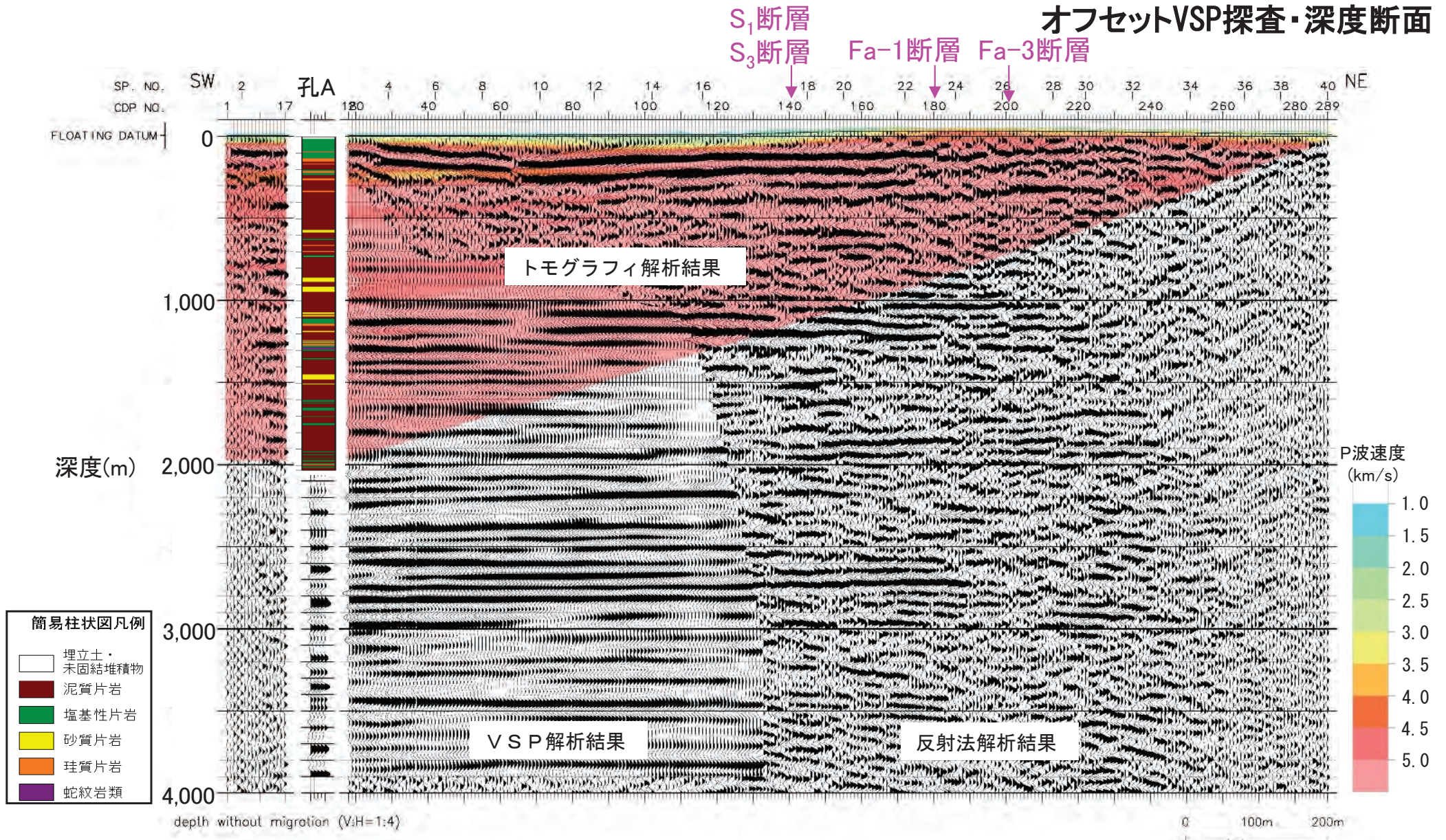
# 震源として考慮する活断層との対応⑧ <地球物理学的調査(2)>

○敷地において地下深部までほぼ水平な反射面が連続し、地表から地下深部まで連続する大規模な断層は認められない。



# 震源として考慮する活断層との対応⑨ <地球物理学的調査(3)>

○敷地において地下深部までほぼ水平な反射面が連続し、地表から地震発生層（地下2km以深）まで連続する大規模な断層は認められない。



# 震源として考慮する活断層との対応⑩<まとめ>

- 変動地形学的調査，地質調査，地球物理学的調査の結果より，敷地内断層はいずれも震源として考慮する活断層と対応しない。
- S<sub>1</sub>断層，S<sub>3</sub>断層はその付近に3号炉申請に係る重要施設がないことからその変位が施設に影響を及ぼすものではなく，震源として考慮する活断層とも対応しない。

## 変動地形学的調査

敷地近傍に「活断層詳細デジタルマップ」，「[新編]日本の活断層—分布図と資料—」等の既存文献による変位地形・リニアメントの指摘はない。また，詳細DEMおよび空中写真による独自の地形判読によっても敷地近傍に変位地形・リニアメントは判読されない。

敷地内の断層(Fa-1～Fa-5断層，f1～f4断層，S<sub>1</sub>断層，S<sub>3</sub>断層)は活断層を示唆する変動地形と対応しない。

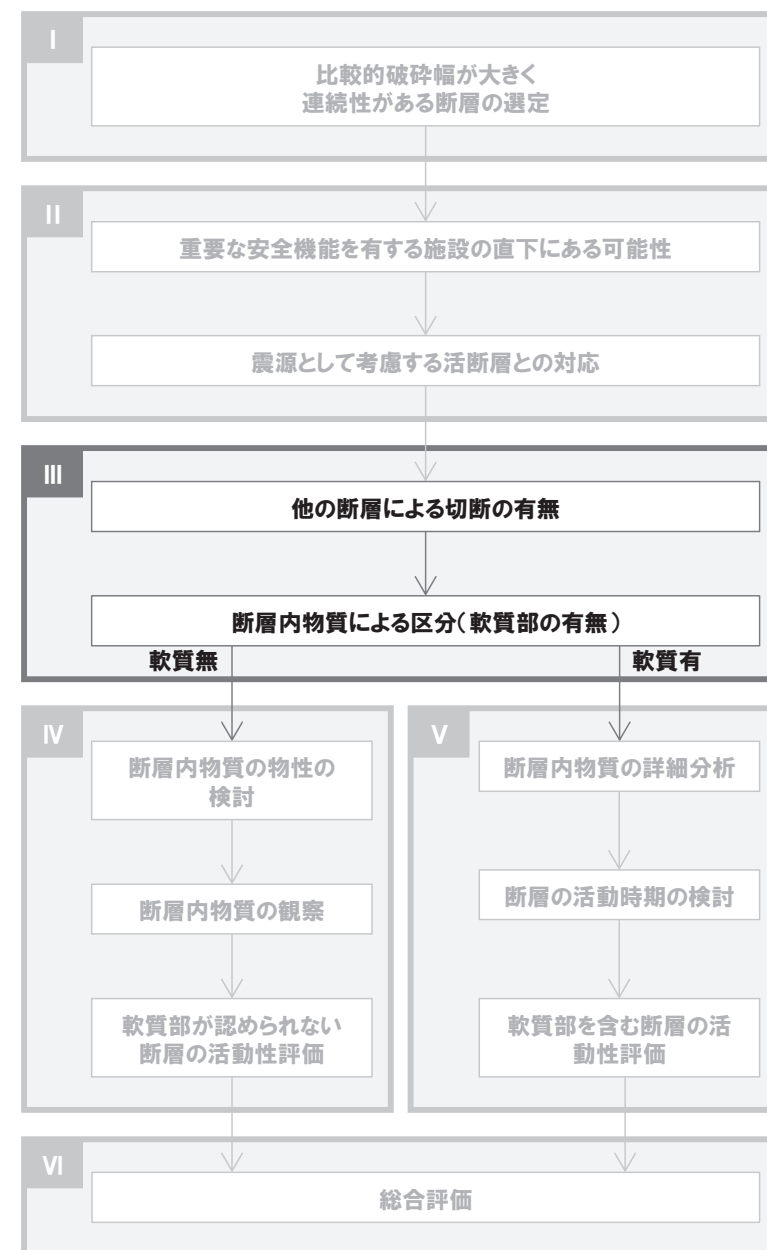
## 地質調査

敷地近傍・敷地付近には三波川変成岩類が広く分布する。敷地の地盤は主に塩基性片岩からなり，敷地内の断層(Fa-1～Fa-5断層，f1～f4断層，S<sub>1</sub>断層，S<sub>3</sub>断層)に活断層を示唆する構造は認められない。

## 地球物理学的調査

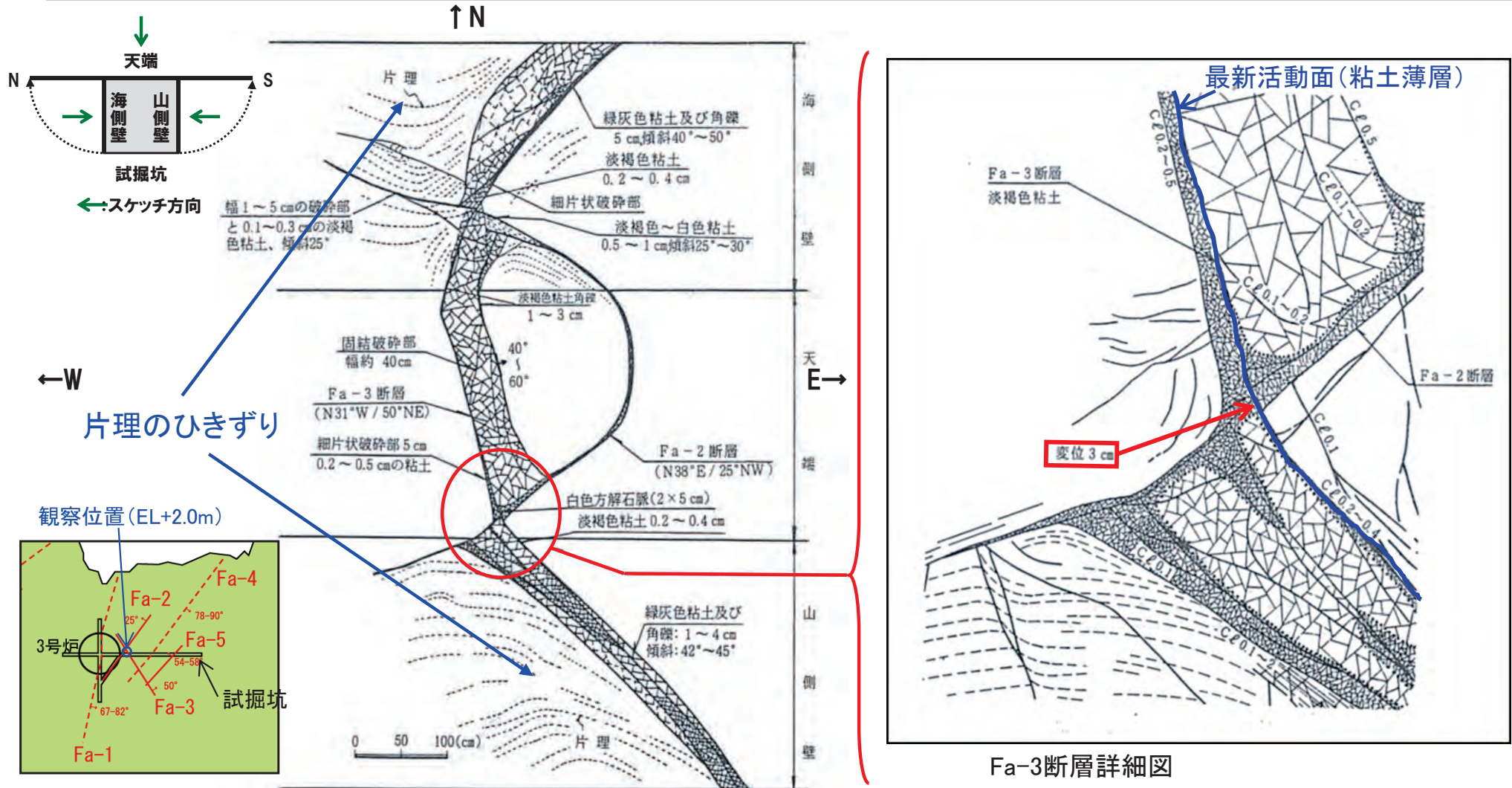
地下深部までほぼ水平な反射面が連続し，地震発生層(地下2km以深)まで連続する大規模な断層は認められない。

- I. 連続性がある断層の選定
- II. 重要施設の直下にある断層の選定
- III. 他の断層による切斷および  
軟質部の有無
- IV. 軟質部が認められない断層の  
活動性評価
- V. 軟質部を含む断層の活動性評価
- VI. 総合評価



# 他の断層による切断① <Fa-2断層とFa-3断層の切断関係>

○試掘坑内の観察において、Fa-2断層とFa-3断層はお互いに切り、切られており、最終的にはFa-3断層がFa-2断層を3cm変位させている。Fa-3断層の最新活動面はFa-2断層を切断する薄い粘土層（幅2mm～5mm）として認められ、粘土薄層が切断されることなくFa-2断層を横断することから、Fa-3断層の最新活動はFa-2断層の活動より後である。

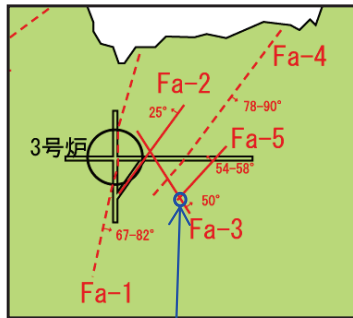


試掘坑展開図 ↓S

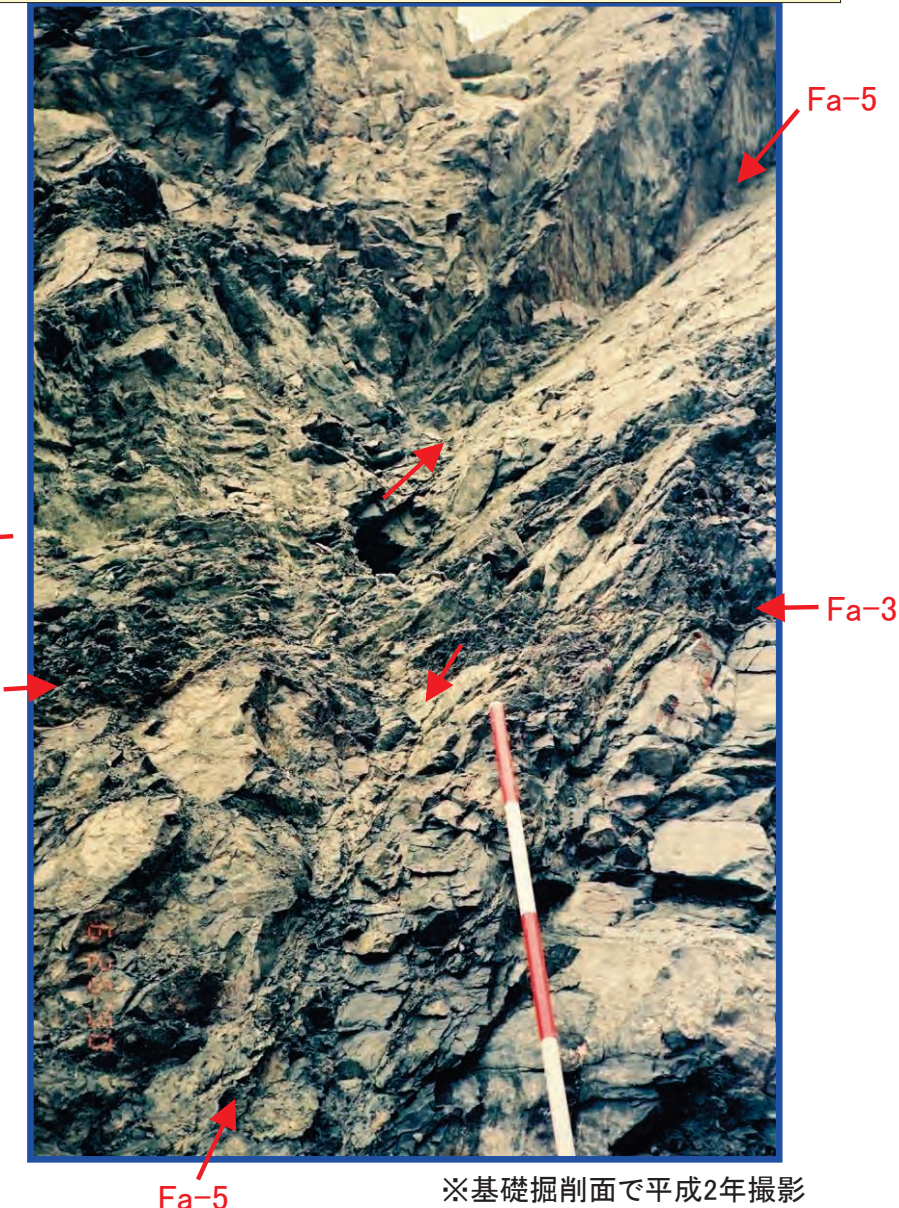
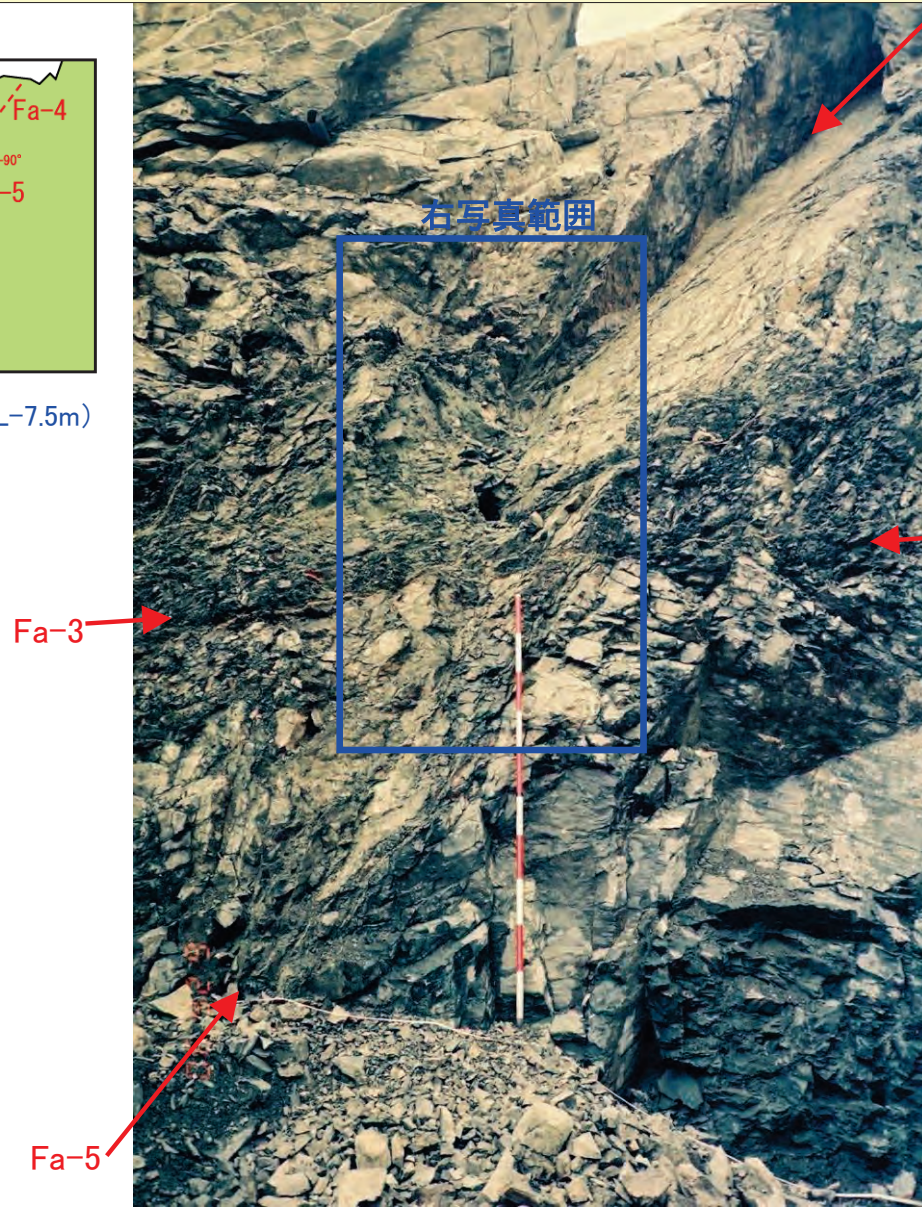
伊方発電所原子炉設置変更許可申請書(3号炉増設, 昭和59年)より抜粋, 試掘坑内にて観察

# 他の断層による切断② <Fa-3断層とFa-5断層の切断関係>

○Fa-3断層は、Fa-5断層を切り、約30cm変位させている。Fa-5断層はFa-3断層よりも活動時期の古い断層である。



撮影位置 (EL-7.5m)



※基礎掘削面で平成2年撮影

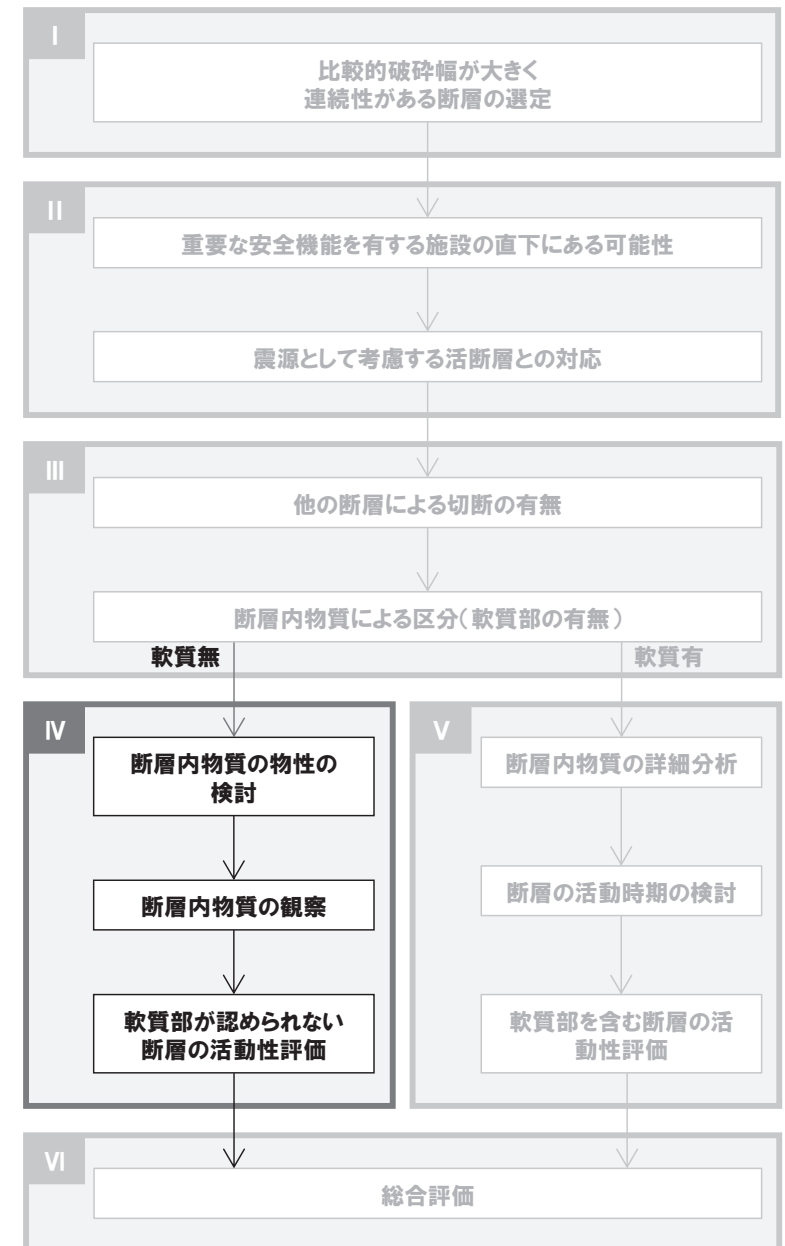
# 軟質部の有無と活動性評価の方針

- 軟質部を含む断層のうちFa-2断層，Fa-5断層はFa-3断層よりも活動時期の古い断層であると判断されるため，Fa-3断層について**研磨片・薄片で微細な構造を観察することによる活動性評価**を行う。また，Fa-3断層と切り切れ関係にあるFa-2断層についても同様の活動性評価を行う。
- 軟質部が認められないFa-1，Fa-4断層，f1～f4断層については，断層内物質が**断層ガウジ**でなく岩石相当の物性を有することを確認した上で**薄片観察等を総合した活動性評価**を行う。

断層名	断層内物質による区分	他の断層による切断	活動性評価の方針
Fa-1断層	軟質無	—	⇒ 物理試験や薄片観察等を総合した活動性評価
Fa-2断層	軟質含	Fa-3断層に切られる	⇒ 研磨片・薄片観察による活動性評価
Fa-3断層	軟質含	Fa-2断層と切り切れ関係	⇒ 研磨片・薄片観察による活動性評価
Fa-4断層	軟質無	—	⇒ 物理試験や薄片観察等を総合した活動性評価
Fa-5断層	軟質含	Fa-3断層に切られる	Fa-3断層よりも古い断層と判断される
f1断層	軟質無	—	⇒ 物理試験や薄片観察等を総合した活動性評価
f2断層	軟質無	—	⇒ 物理試験や薄片観察等を総合した活動性評価
f3断層	軟質無	—	⇒ 物理試験や薄片観察等を総合した活動性評価
f4断層	軟質無	—	⇒ 物理試験や薄片観察等を総合した活動性評価
S <sub>1</sub> 断層	軟質含	—	付近に3号炉重要施設がなくその変位が施設に影響を及ぼすものではなく，震源として考慮する活断層とも対応しない
S <sub>3</sub> 断層	軟質含	—	

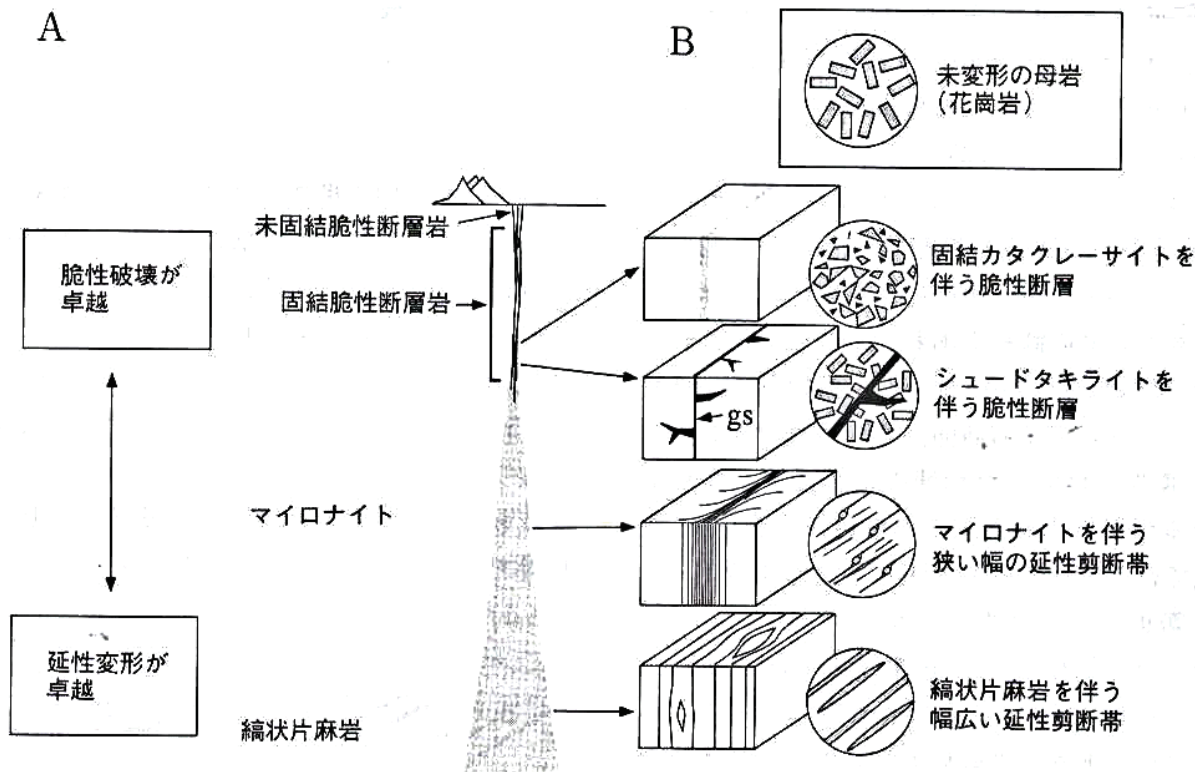


- I. 連続性がある断層の選定
- II. 重要施設の直下にある断層の選定
- III. 他の断層による切断および  
軟質部の有無
- IV. 軟質部が認められない断層の  
活動性評価
  - 1. 断層内物質の物性の検討
  - 2. 断層内物質の観察
  - 3. まとめ
- V. 軟質部を含む断層の活動性評価
- VI. 総合評価



# 断層内物質の物性の検討① <検討方針>

- 敷地内には、肉眼観察で断層内物質が岩石相当の硬さで粘土状の軟質部を介在しない断層（軟質部が認められない断層）が認められ、地下深部の封圧・温度で基質と岩片が固結したカタクレーサイトと評価される。
- 一方で、地表付近で観察される活断層は、一般に粘土状で未固結の断層ガウジあるいは断層角礫を伴う。断層ガウジあるいは断層角礫は粘土やシルトなどの細粒土を含み、含水量の違いによって硬軟などの物性や挙動が著しく変化する（地盤工学会，2009）。細粒土が乾燥すると固くなる性質を考慮し、断層内物質がカタクレーサイトであるか断層ガウジあるいは断層角礫であるかを慎重に判別することが重要である。
- 以上を踏まえ、敷地内の軟質部が認められない断層（Fa-1断層，Fa-4断層，f1～f4断層）について、断層ガウジあるいは断層角礫との区別が困難な粘土状軟質部の有無を肉眼観察で再検討するとともに、断層内物質の水に対する挙動を定量的に測定し、カタクレーサイトと認定できるか否かを評価する。



図Ⅴ.5-1 地殻浅部から深部にかけての主要な断層岩の分布 (Passchier & Trouw, 1996)

A：高角断層の模式的な断面形態，B：典型的な断層岩の組織。深さは母岩の性質，地温勾配，歪速度などによって異なる。

狩野・村田(1998)より抜粋

## 【狩野・村田(1998)より抜粋】

断層岩の中で、手でこわせるほど軟弱で、粘土状の細粒な基質部が多いものを断層ガウジと呼ぶ。断層ガウジに比べて基質が少なく、角礫状の岩片が多いものを断層角礫と呼ぶ。これに対して、基質と岩片が固結しているものが破碎岩またはカタクレーサイトである。

低封圧で低温状態の地表近傍では、破碎作用によって、未固結の断層ガウジや断層角礫が形成される。地表部での断層運動そのものは、地震断層の活動として多数示されている。

地下深部に向けて封圧と温度が増大してくると、断層岩は固結したカタクレーサイトに変化する。

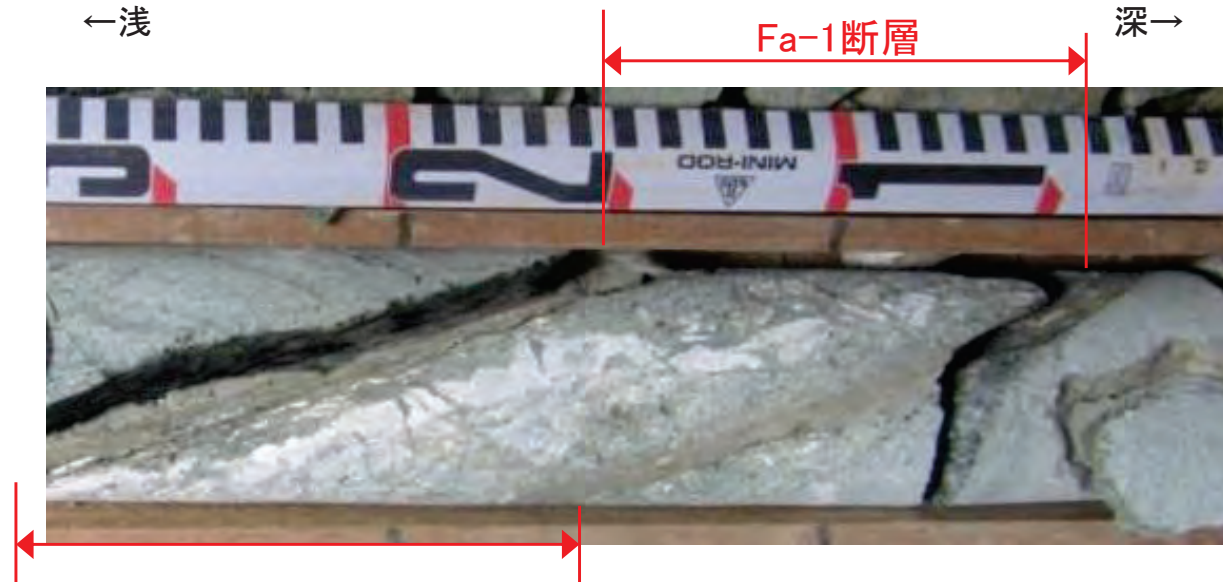
## 【地盤工学会(2009)より抜粋】

土は含水量の違いにより硬軟の程度が異なり、特に粘土やシルトなどの細粒土では含水量の大小によって繰り返した時、その性質と挙動が著しく変化する。

地盤工学会，2009，地盤材料試験の方法と解説。  
狩野謙一・村田明広，1998，構造地質学，298pp.

# 断層内物質の物性の検討② <肉眼観察(1)>

- Fa-1断層およびFa-4断層のボーリングコアは、取得時から約30年の年月を経ても粉末とはならず、岩塊としての形状を保っている。
- Fa-1断層コアの破碎幅は6cm、Fa-4断層コアの破碎幅は1~3cmであり、断層内物質に粘土状の軟質部を介在しない。また、断層内物質は岩石相当の硬さで周辺の母岩と密着して一体の岩石となっており、新しい時代の活動の痕跡は認められない。
- これらの断層コアを用いて定量的にカタクレサイトと認定できるか否かを評価する。



Fa-1断層(深度約19m)コア(S58年取得)写真(平成26年撮影)



Fa-4断層(深度約30m)コア(S58年取得)写真(平成26年撮影)

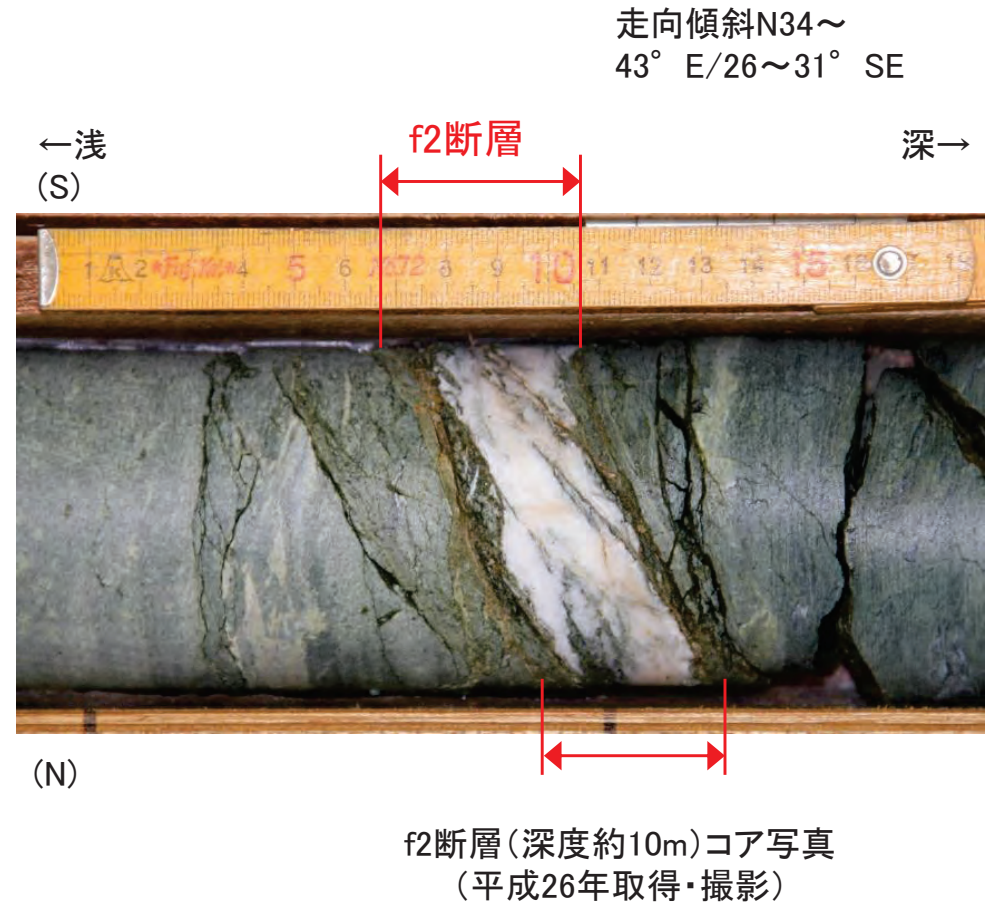
詳細データ集P30, P32参照



YONDEN ※Fa-1断層コアおよびFa-4断層コアは伊方3号炉申請時の調査で取得したものであり、約30年の年月を経て物性が劣化していると考えられる。

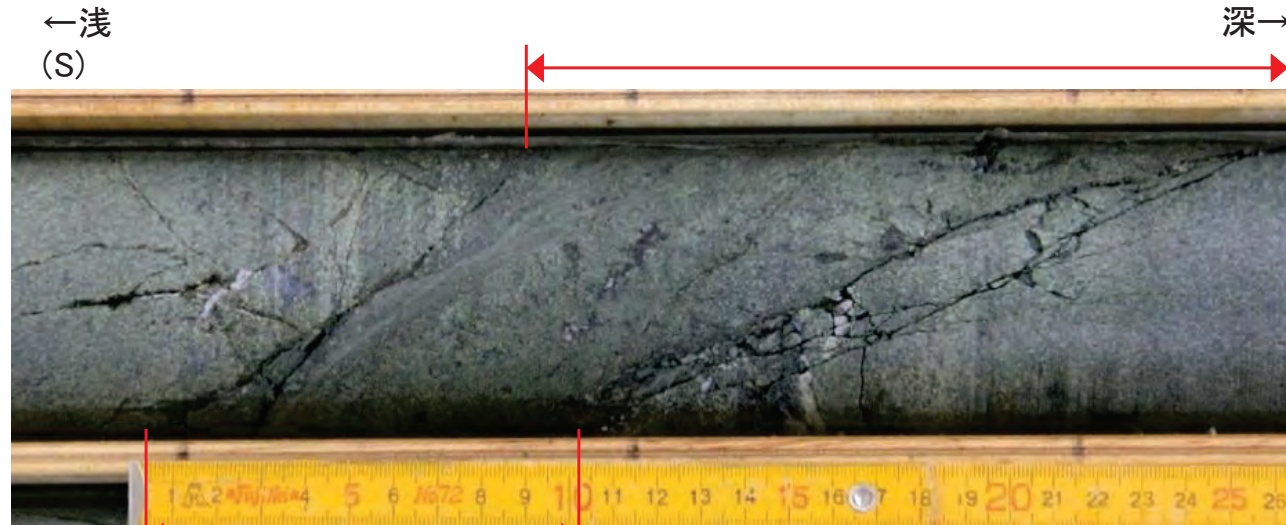
# 断層内物質の物性の検討③ <肉眼観察(2)>

- f1断層露頭の破碎幅は2~5cm, f2断層コアの破碎幅は4cmであり, 断層内物質に粘土状の軟質部を介在しない。また, 断層内物質は岩石相当の硬さで周辺の母岩と密着して一体の岩石となっており, 新しい時代の活動の痕跡は認められない。なお, f1断層露頭は, 平成26年7月1日の現地調査で説明した露頭である。
- f1断層露頭から採取した試料およびf2断層コアを用いて定量的にカタクレーサイトと認定できるか否かを評価する。



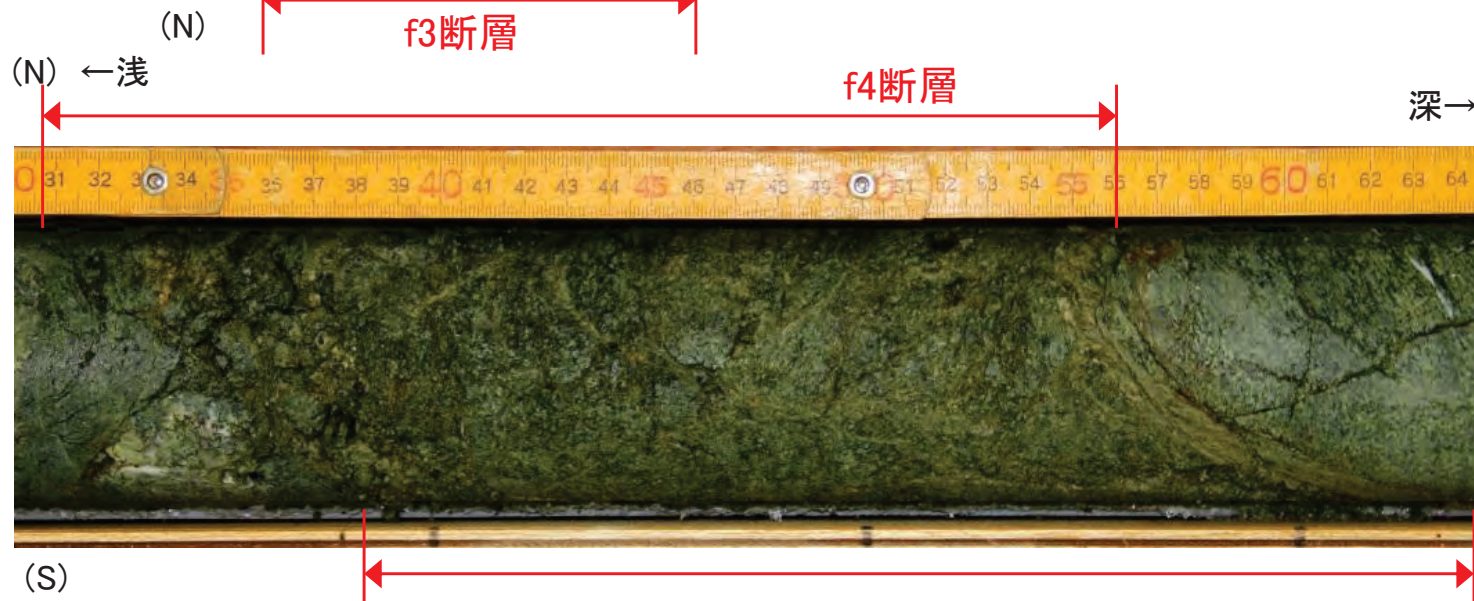
# 断層内物質の物性の検討④ <肉眼観察 (3)>

- f3断層コアの破碎幅は8cm, f4断層コアの破碎幅は20cmであり, 断層内物質に粘土状の軟質部を介在しない。
- また, 断層内物質は岩石相当の硬さで周辺の母岩と密着して一体の岩石となっており, 新しい時代の活動の痕跡は認められない。
- これらの断層コアを用いて定量的にカタクレーサイトと認定できるか否かを評価する。



走向傾斜  
N36~40° E/58~69° NW

f3断層(深度約17m)  
コア写真(平成26年取得・撮影)



走向傾斜  
N57~62° E/51~70° NW

f4断層(深度約9m)  
コア写真  
(平成26年取得・撮影)

# 断層内物質の物性の検討⑤ <物理試験>

- 軟質部が認められない断層（Fa-1断層, Fa-4断層, f1～f4断層）の断層内物質について物理試験を行って断層ガウジ（川上断層, 伊予断層）と比較し，水に対する挙動を定量的に評価する。
- 物理試験結果より，軟質部が認められない断層の有効間げき率は10%未満であるのに対し，断層ガウジの有効間げき率は数十%に達し，顕著な差が認められる。これは，「岩石中には，外部と連結せず，外部の気相や液相と置き換えることのできない閉じた間隙がある」（地盤工学会，2009）ためであり，これらの断層内物質が断層ガウジでなく基質と岩片が固結したカタクレーサイトであることを明確に示す結果である。

	物理試験			
	乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )	飽和密度 (湿潤密度) (g/cm <sup>3</sup> )	有効間げき率 (%)	吸水率 (含水比) (%)
Fa-1断層※1	2.65	2.67	1.9	0.7
Fa-4断層※1	2.81	2.86	4.8	1.7
f1断層	2.68	2.74	5.7	2.1
f2断層	2.51	2.53	2.5	1.0
f3断層	2.74	2.81	7.0	2.6
f4断層	2.56	2.64	8.1	3.2
川上断層※2	2.21	(2.38)	17.7以上	(7.0)
伊予断層※2	1.91	(2.19)	27.4以上	(13.6)

※1 Fa-1, Fa-4断層は伊方3号炉申請時の調査で取得したコアを用いて平成26年に試験を実施。

※2 活断層である中央構造線断層帯の断層ガウジを採取して物理試験を実施。

地盤工学会，2009，地盤材料の試験の方法と解説。

# 断層内物質の物性の検討⑥ <針貫入試験>

- 断層内物質の局所的な硬さを定量的に測定するため、現場や室内で軟岩～固結土に針を貫入してその貫入長さと貫入荷重（針貫入勾配）を測定する針貫入試験を行う。
- 自然状態において軟質部が認められない断層（Fa-1断層, Fa-4断層, f1～f4断層）の断層内物質は断層ガウジ（川上断層, 伊予断層）よりも針貫入勾配が顕著に大きい。湿潤状態でも土のように流動化せず一定の針貫入勾配を保っており、これらの断層内物質が断層ガウジでなく基質と岩片が固結したカタクレーサイトであることを明確に示す結果である。

	針貫入試験結果(針貫入勾配)		
	自然状態 <sup>※1</sup> (N/mm)	乾燥状態 (N/mm)	湿潤状態 (N/mm)
Fa-1断層	69.5	83.0	56.0
Fa-4断層	71.4	90.5	52.3
f1断層	80.6	85.0	47.0
f2断層	81.3	82.5	80.0
f3断層	62.9	71.5	54.3
f4断層	43.8	64.0	23.7
川上断層 <sup>※2</sup>	1.3	-	-
伊予断層 <sup>※2</sup>	1.5	-	-

## 【針貫入試験の測定方法】

土・岩に針を貫入し、その貫入長さと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。（地盤工学会基準 針貫入試験方法に準拠する。）

試験にあたり、1つの計測点に対して10点の計測を行い、その平均値<sup>※</sup>を測定値として評価する。

計測点は断層沿いに破碎幅や固結度が平均的かつ試験面が平滑な箇所を選定し、断層横断方向に粘土状の細粒部や境界部等の相対的に軟質な部分で試験を実施する。

<sup>※</sup>貫入長さ1mm未満で貫入荷重100Nに達した計測点は針貫入勾配を100N/mmとして算出。

<sup>※1</sup>ボーリングコアにおける自然状態は乾燥状態と湿潤状態の平均値を設定。

<sup>※2</sup>活断層である中央構造線断層帯の断層ガウジにおいて試験実施。

# 断層内物質の物性の検討⑦ <岩石化した断層の定義>

- 軟質部が認められない断層の物性を断層ガウジの物性と比較すると、乾燥密度、有効間隙率、吸水率（含水比）において有意な差が認められる。
- 地盤工学会（2009）において示されている岩石の乾燥密度と有効間隙率の関係や吸水率を参照すると、軟質部が認められない断層は硬岩に相当する物性を有すると評価される。
- さらに、伊方発電所における基礎地盤・周辺斜面の解析用物性値を参照すると、軟質部を含む断層の物性が強風化のD級岩盤～表土※に相当するのに対し、軟質部が認められない断層の物性はやや風化～風化のC<sub>M</sub>級岩盤～C<sub>L</sub>級岩盤※に相当する。
- 以上を踏まえ、肉眼観察、物理試験、針貫入試験の結果として断層内物質が岩石相当の物性を有して粘土状の軟質部を介在しないと判断できる断層を**岩石化した断層**と定義する。

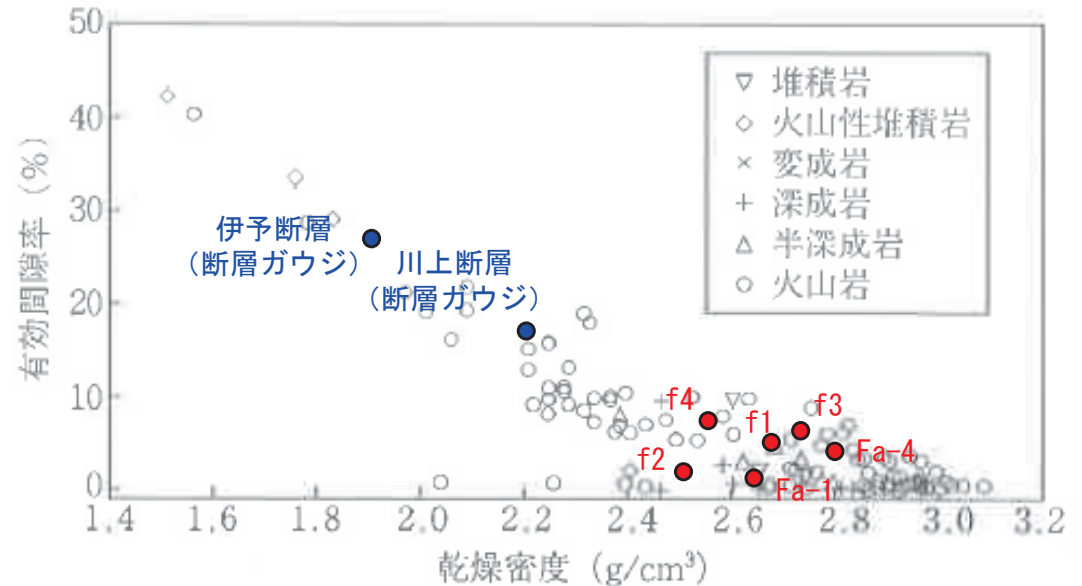


図-3.9.4 乾燥密度と有効間隙率との関係（地質調査所<sup>6)</sup>に  
加筆修正） 地盤工学会（2009）から抜粋・一部加筆

【地盤工学会(2009)より抜粋】

岩石の吸水率は、硬岩では10%以下、新鮮で緻密な岩では1%以下のものが多い。風化に伴い吸水率は増加し、軟岩では数%から数十%程度に及ぶ場合がある。

基礎地盤・周辺斜面の安定性評価において設定した  
解析用物性値（平成26年1日10日審査会合資料より抜粋）

項目	岩盤※					断層		
	I 級 (C <sub>H</sub> 級)			II 級 (C <sub>M</sub> 級)	III 級		軟質無 (岩石化)	軟質含
	①	②	③		① (C <sub>L</sub> 級)	② (D級・表土)		
単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	29.4			27.5	25.5	18.6	26.5	19.6
せん断強度 (kN/m <sup>2</sup> )	981			490	130	39	324	78
内部摩擦角 (°)	50			41	23	17	34	24

【地盤工学会(2009)より抜粋】

岩石の有効間隙率は、密度、含水比とならんで岩石の重要な基本物性値であることから、密度試験に関連して、有効間隙率を算出することがしばしばある。

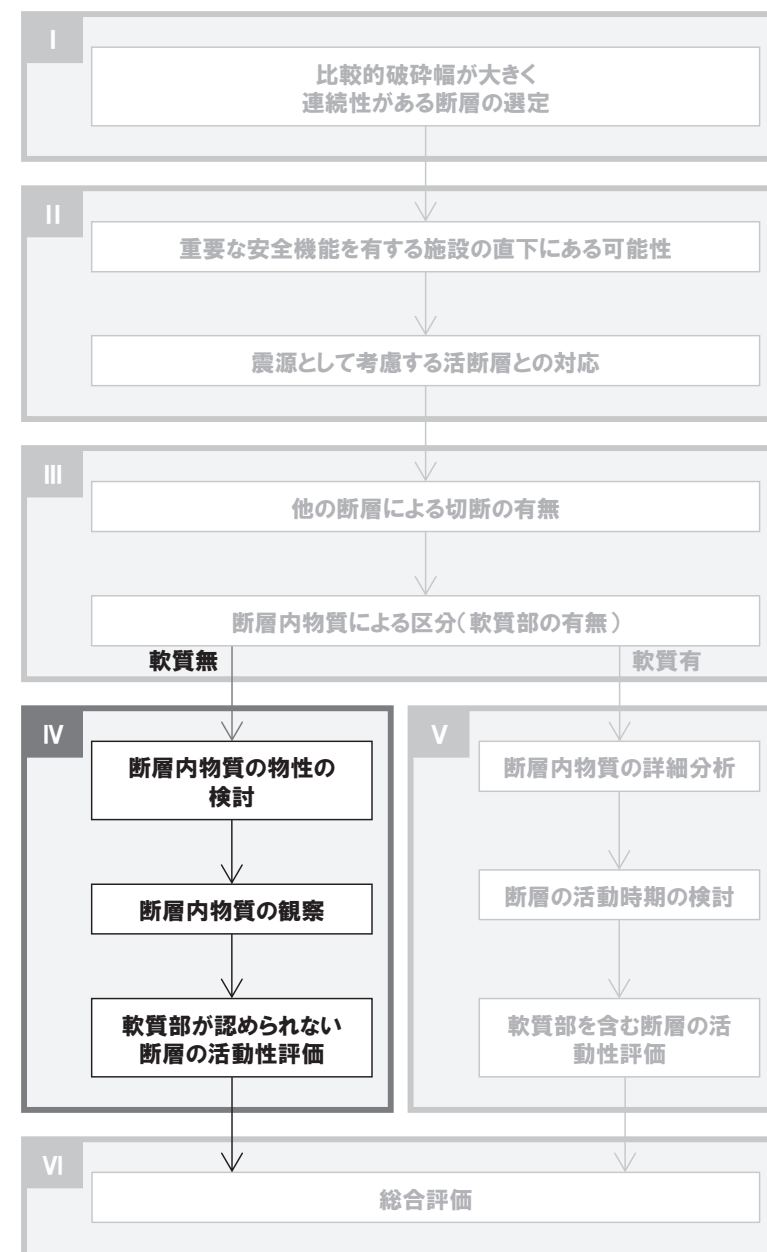
岩石中には気相や液相で満たされる間隙が多少とも存在する。このような間隙は、外部と有効に連結し、外部の気相や液相と置き換えることができるものと、外部と連結せず、外部の気相や液相と置き換えることのできない閉じた間隙がある。外部の気相や液相と置き換えることのできる間隙の占める容積の、岩石全体の容積に対する比率が有効間隙率である。

※電中研方式の分類法を基本的な考え方とし、これを参考に地質調査結果に基づきC<sub>H</sub>級、C<sub>M</sub>級、C<sub>L</sub>級およびD級の4段階に分類した。

地盤工学会, 2009, 地盤材料の試験の方法と解説。  
地質調査所, 1991, 日本の岩石物性値—密度, 磁性, P波速度, 有効間隙率, 熱伝導率—, 地質調査所報告第276号, 123~272

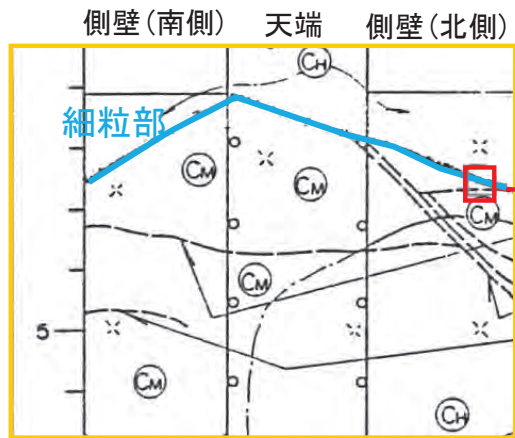
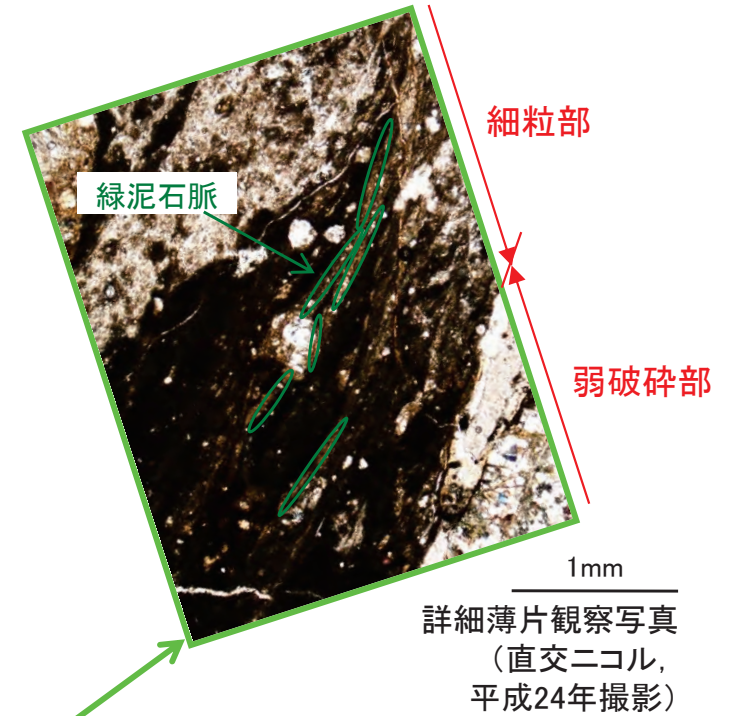


- I. 連続性がある断層の選定
- II. 重要施設の直下にある断層の選定
- III. 他の断層による切断および  
軟質部の有無
- IV. 軟質部が認められない断層の  
活動性評価
  1. 断層内物質の物性の検討
  2. 断層内物質の観察
  3. まとめ
- V. 軟質部を含む断層の活動性評価
- VI. 総合評価

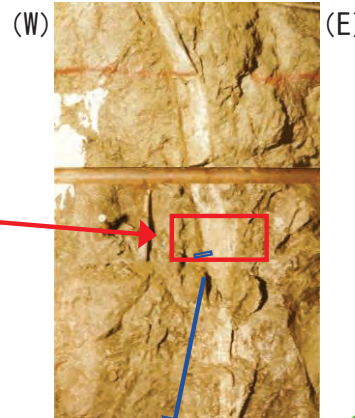


# 断層内物質の観察① <Fa-1断層>

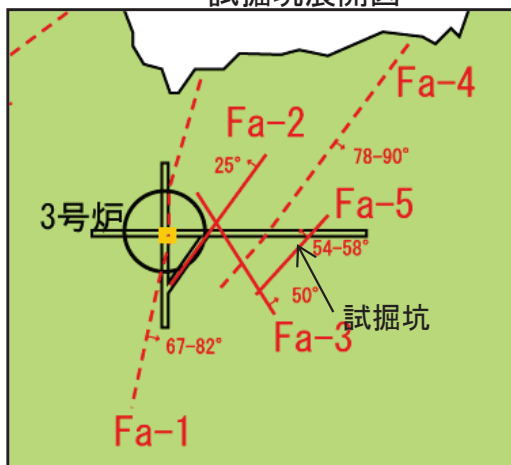
- 岩石化したFa-1断層の研磨片観察によると、主せん断面と対応する細粒部が認められる。薄片観察によると、幅数mm程度の細粒部のせん断方向に緑泥石が脈状に成長しており、その後脆性破壊を受けていないことから、緑泥石生成後にFa-1断層は活動していないと考えられる。
- 軟X線画像において、Fa-1断層の破碎部と母岩の明るさに差異がなく、両者が同等の密度であると判断される。
- Fa-1断層は地下深部における脆性破壊で形成されたカタクレーサイトである。



Fa-1 (N5E67SE)

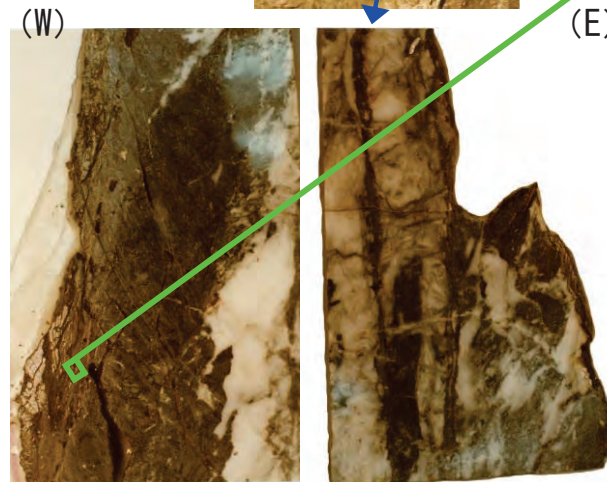


1m  
試掘坑写真  
(昭和58年撮影)



黄色 : 分析位置(展開図に対応)

詳細データ集P54~P65参照



塩基性片岩

細粒部  
破碎部

研磨片写真  
(昭和58年撮影)

5cm



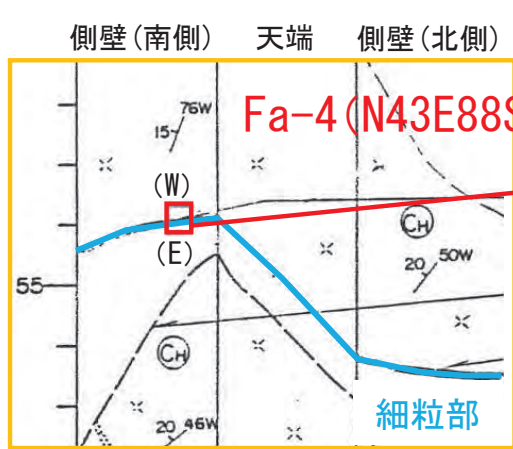
軟X線写真  
(昭和58年撮影)

# 断層内物質の観察② <Fa-4断層>

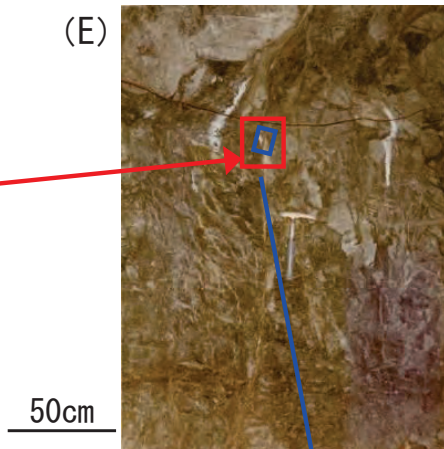
○岩石化したFa-4断層の研磨片観察によると、主せん断面と対応する細粒部が認められる。薄片観察によると、幅数mm程度の細粒部を横断する方向に変質鉍物脈が成長しており、その後脆性破壊を受けていないことから、鉍物脈生成後にFa-4断層は活動していないと考えられる。また、弱破碎部中に方解石脈の塑性変形が認められる。

○Fa-4断層の軟X線画像において、破碎部と母岩の明るさに差異がなく、両者が同等の密度であると判断される。

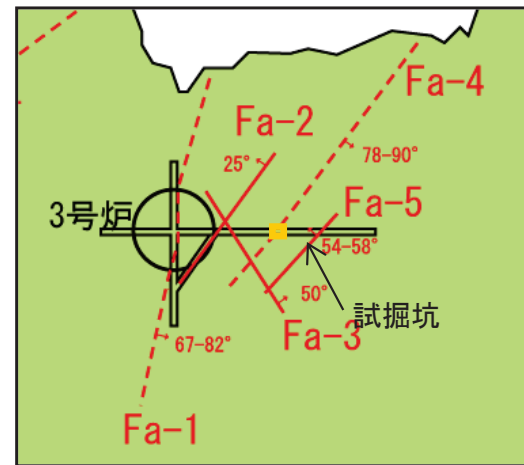
○Fa-4断層は地下深部における脆性破壊で形成されたカタクレーサイトで一部塑性変形を伴う。



試掘坑展開図



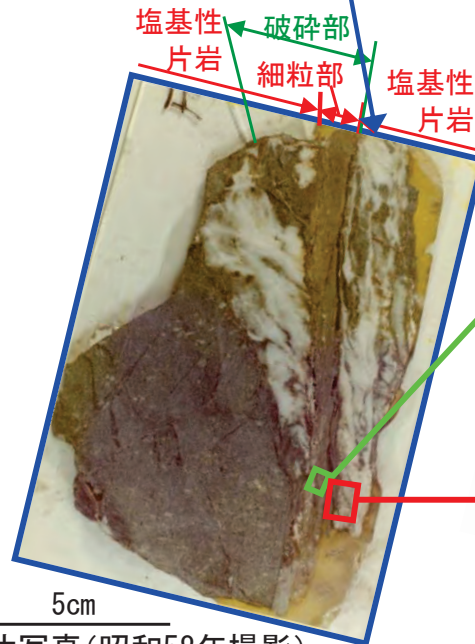
試掘坑写真(昭和58年撮影)



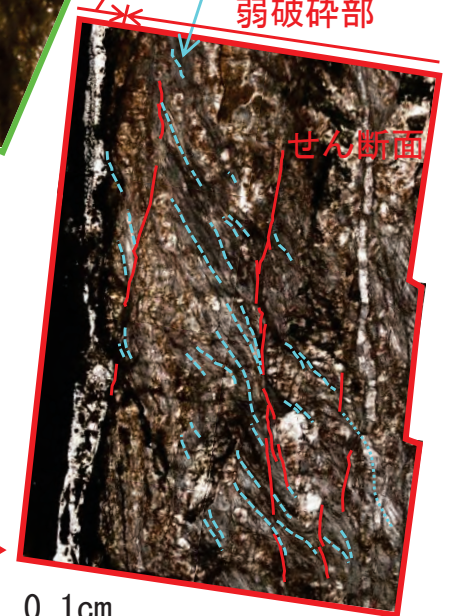
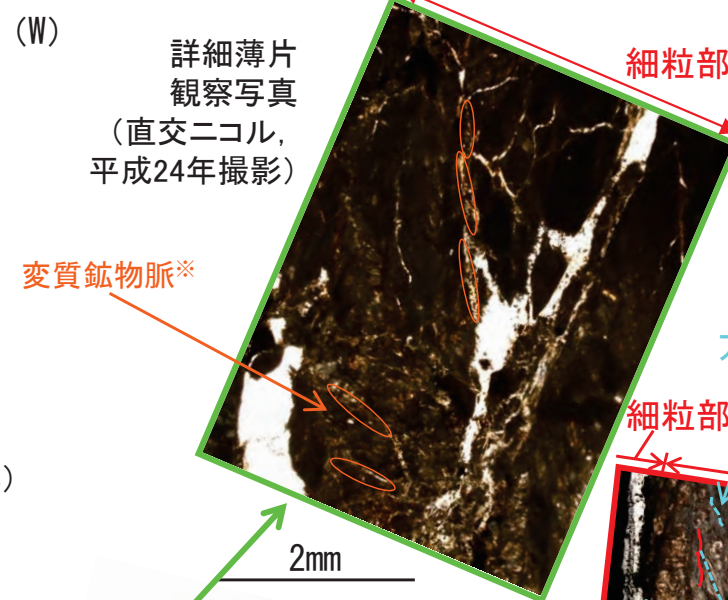
■ : 分析位置(展開図に対応)

\*EPMA分析の前処理として必要な薄片の研磨が実施できない状況のため、同定することができなかった

詳細データ集P98~P104参照



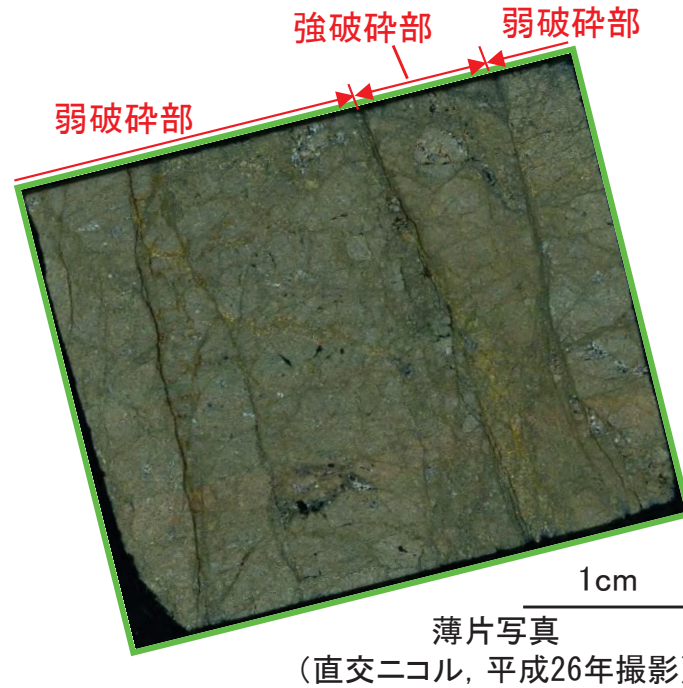
研磨片写真(昭和58年撮影)



薄片拡大写真

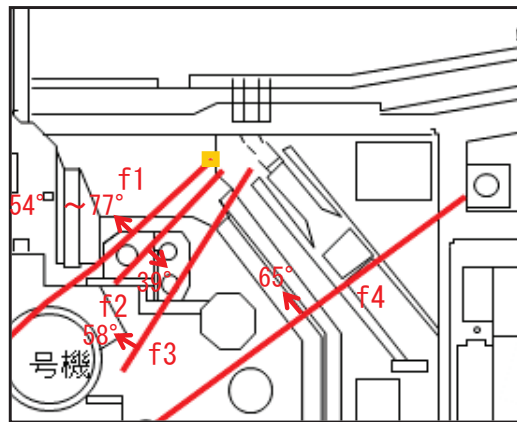
軟X線写真(昭和58年撮影) (平行ニコル, 平成26年撮影)

# 断層内物質の観察③ <f1断層>



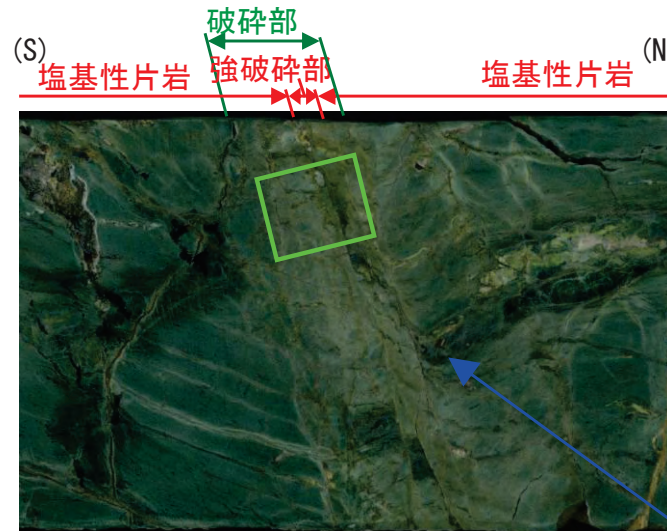
○岩石化したf1断層の研磨片観察によると、破碎部は周辺の母岩と密着して一体の岩石となっている。また、f1断層のX線CT画像において、破碎部と母岩の明るさに差異がなく、両者が同等の密度であると判断される。

○研磨片および薄片において、断層運動の繰り返しにより形成される細粒部は認められず、最も破碎の進んだ強破碎部と対応する片理のひきずりを確認できることからf1断層は地下深部における脆性破壊で形成されたカタクレーサイトで一部塑性変形を伴う。



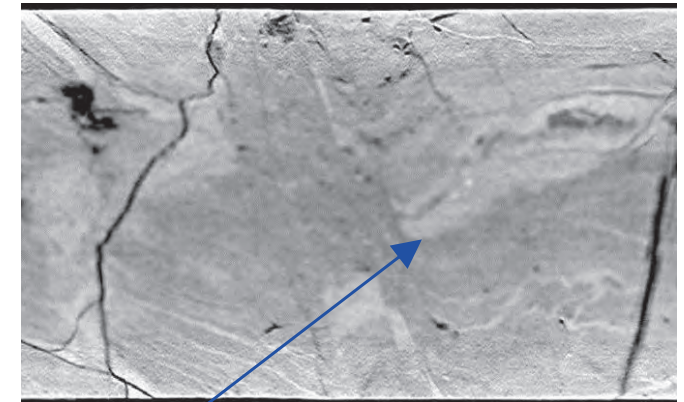
■ : 試料採取位置 (上写真位置に対応)

詳細データ集P111~P115参照



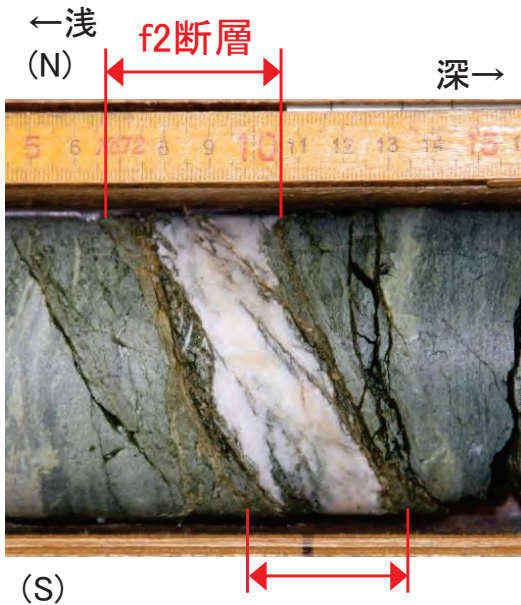
研磨片写真(平成26年撮影)

10cm



CT画像(平成26年撮影)

# 断層内物質の観察④ <f2断層の研磨片観察>

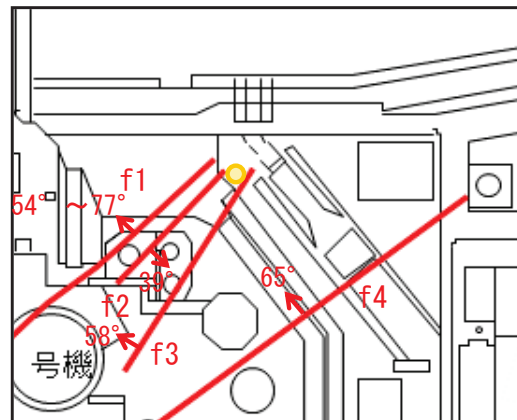


(S) f2断層(深度約10m)コア写真  
(平成26年撮影)

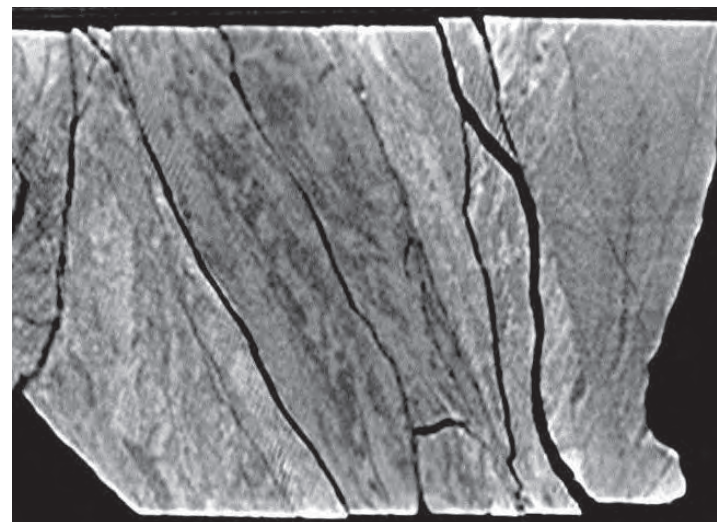
N34~43° E/26~31° SE



(S) 研磨片写真  
(平成26年撮影)



● : ボーリング位置



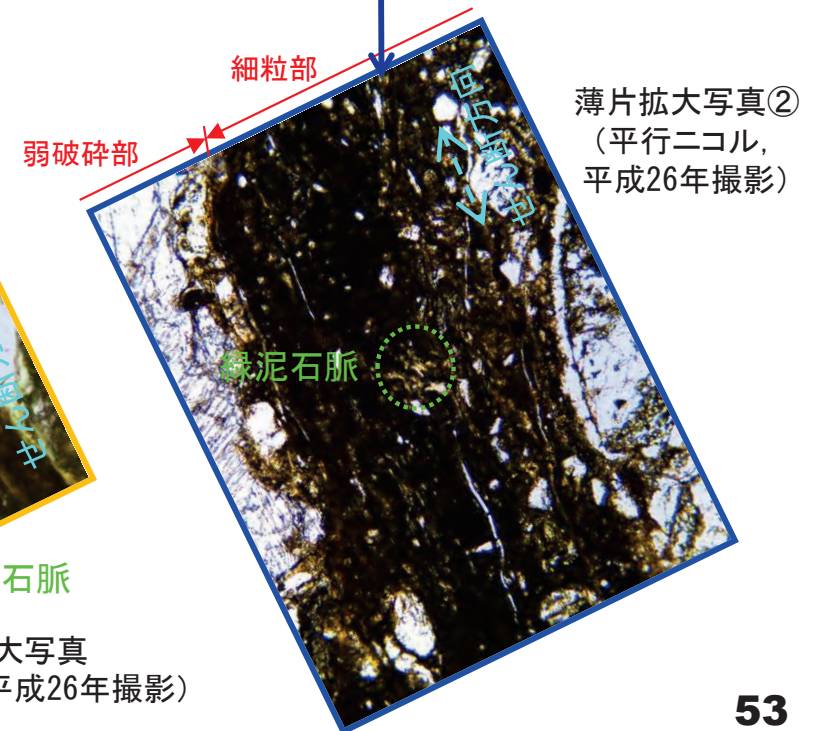
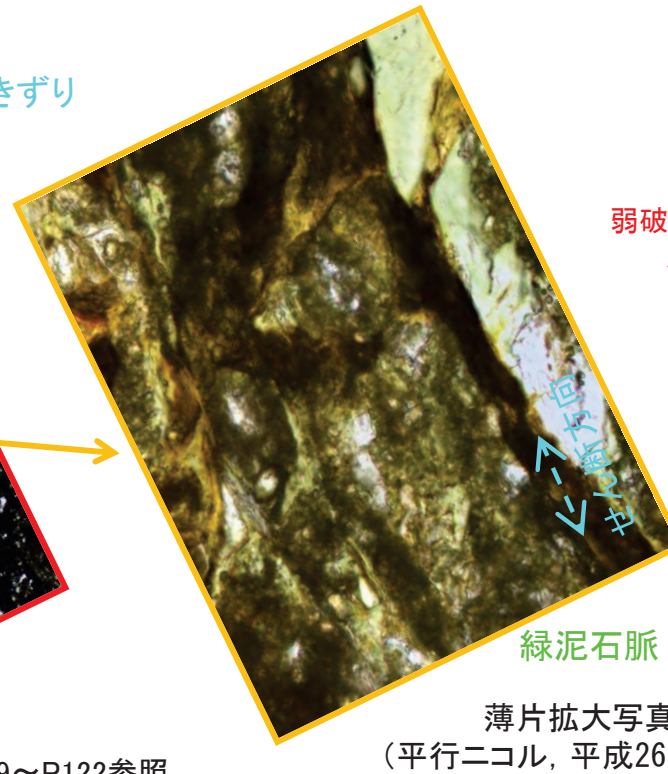
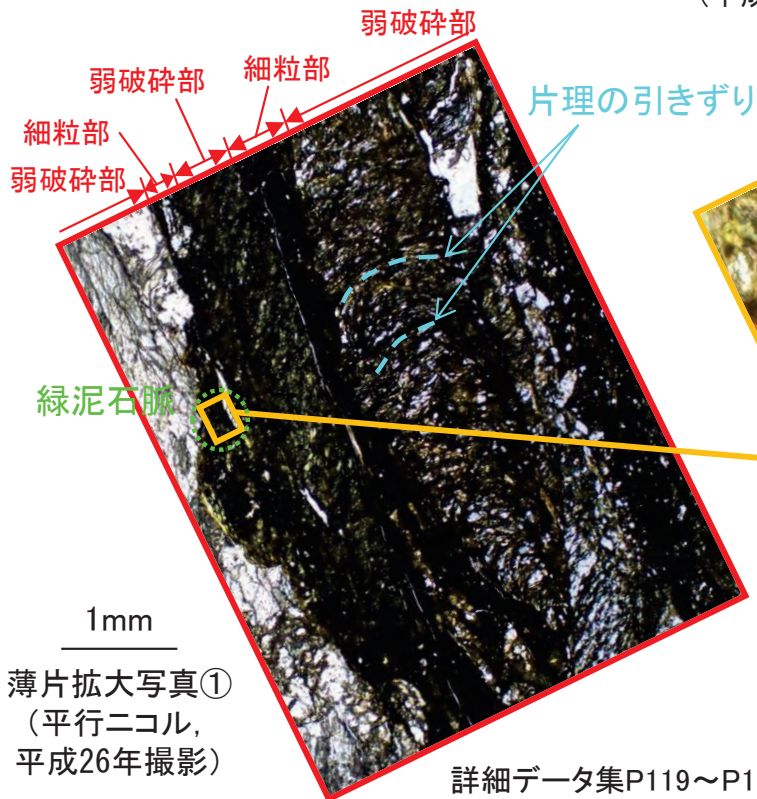
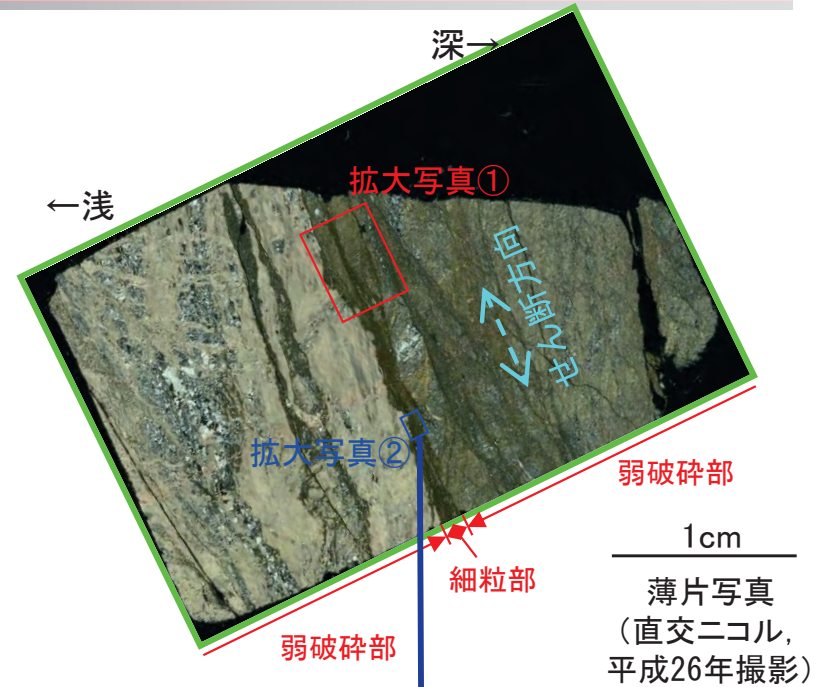
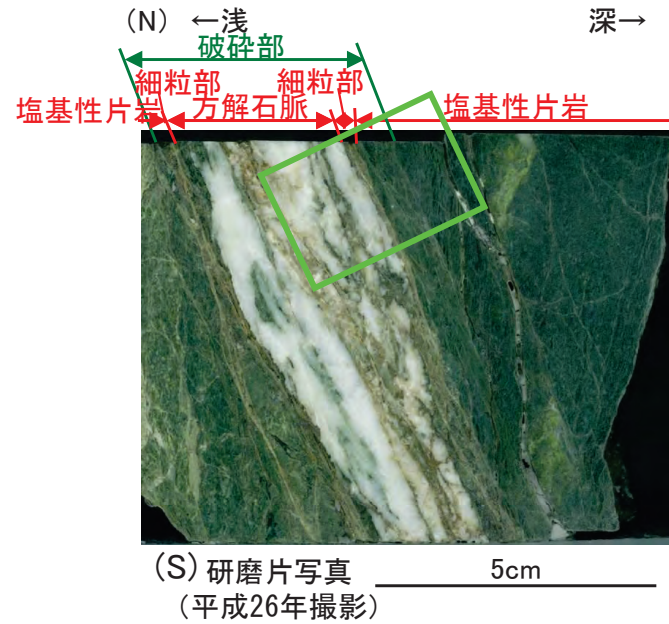
CT画像(平成26年撮影)

- 岩石化したf2断層の研磨片観察によると、破碎部は周辺の母岩と密着して一体の岩石となっている。
- また、破碎部において、方解石脈の塑性変形が認められ、地下深部での断層運動を示す。
- X線CT画像において、破碎部と母岩の明るさに差異がなく、両者が同等の密度であると判断される。
- 研磨片観察より主せん断面と対応する細粒部付近で薄片観察を行う。

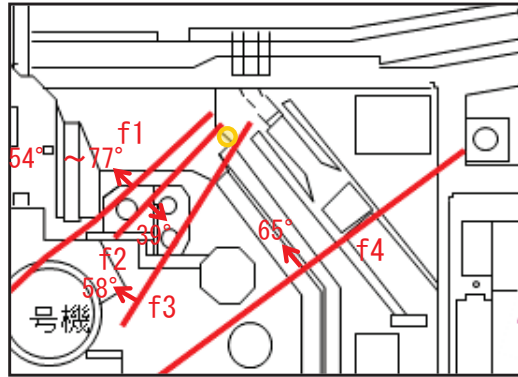
詳細データ集P116~P118参照

# 断層内物質の観察⑤ <f2断層の薄片観察>

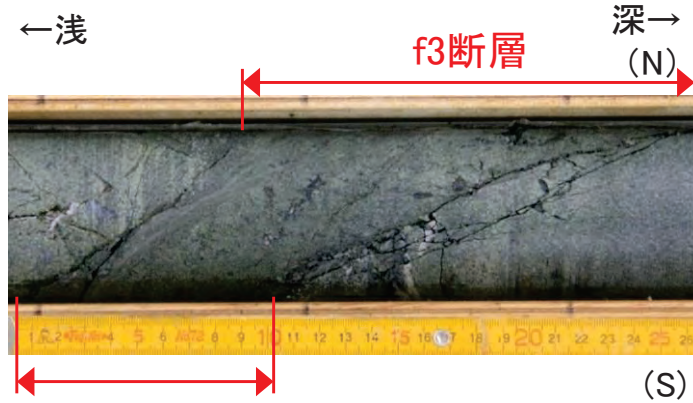
- 薄片観察によると、幅数mm程度の細粒部と接する弱破碎部中に片理の引きずりが認められ、地下深部での断層運動を示す。
- また、せん断方向を横断する方向に緑泥石が脈状に成長しており、その後脆性破壊を受けていない。
- 研磨片・薄片観察よりf2断層は地下深部における脆性破壊で形成されたカタクレーサイトで一部塑性変形を伴う。



# 断層内物質の観察⑥ <f3断層の研磨片観察>

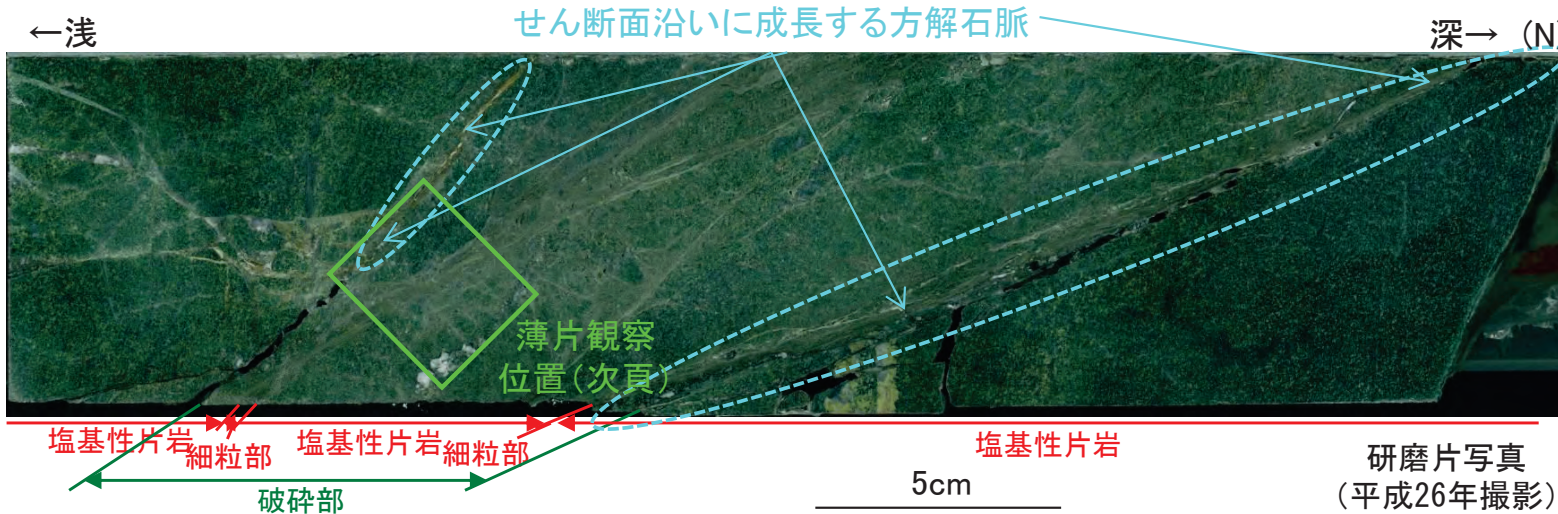


● : ボーリング位置

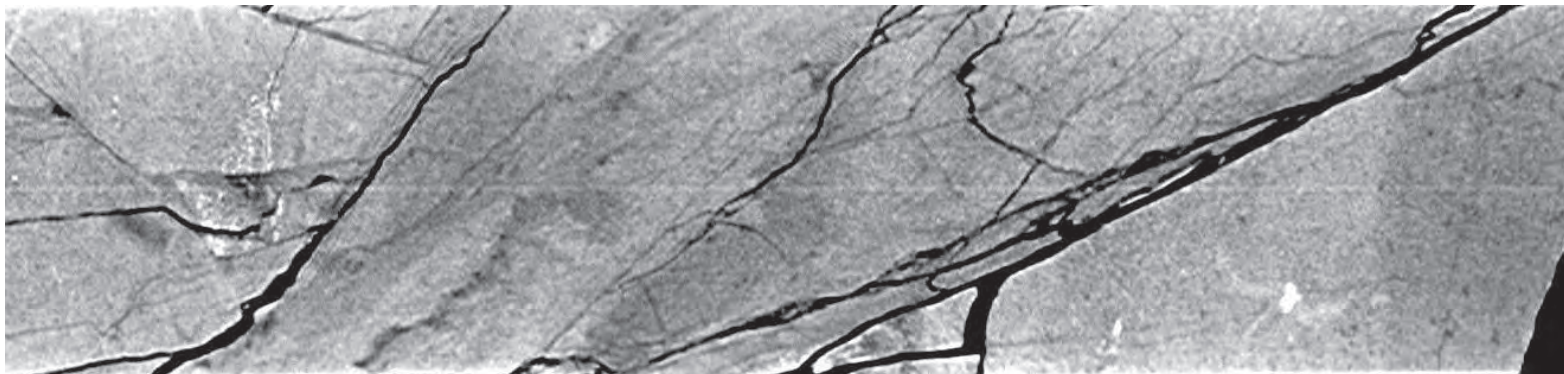


N36~40° E/58~69° NW

f3断層(深度約17m)  
コア写真  
(平成26年撮影)



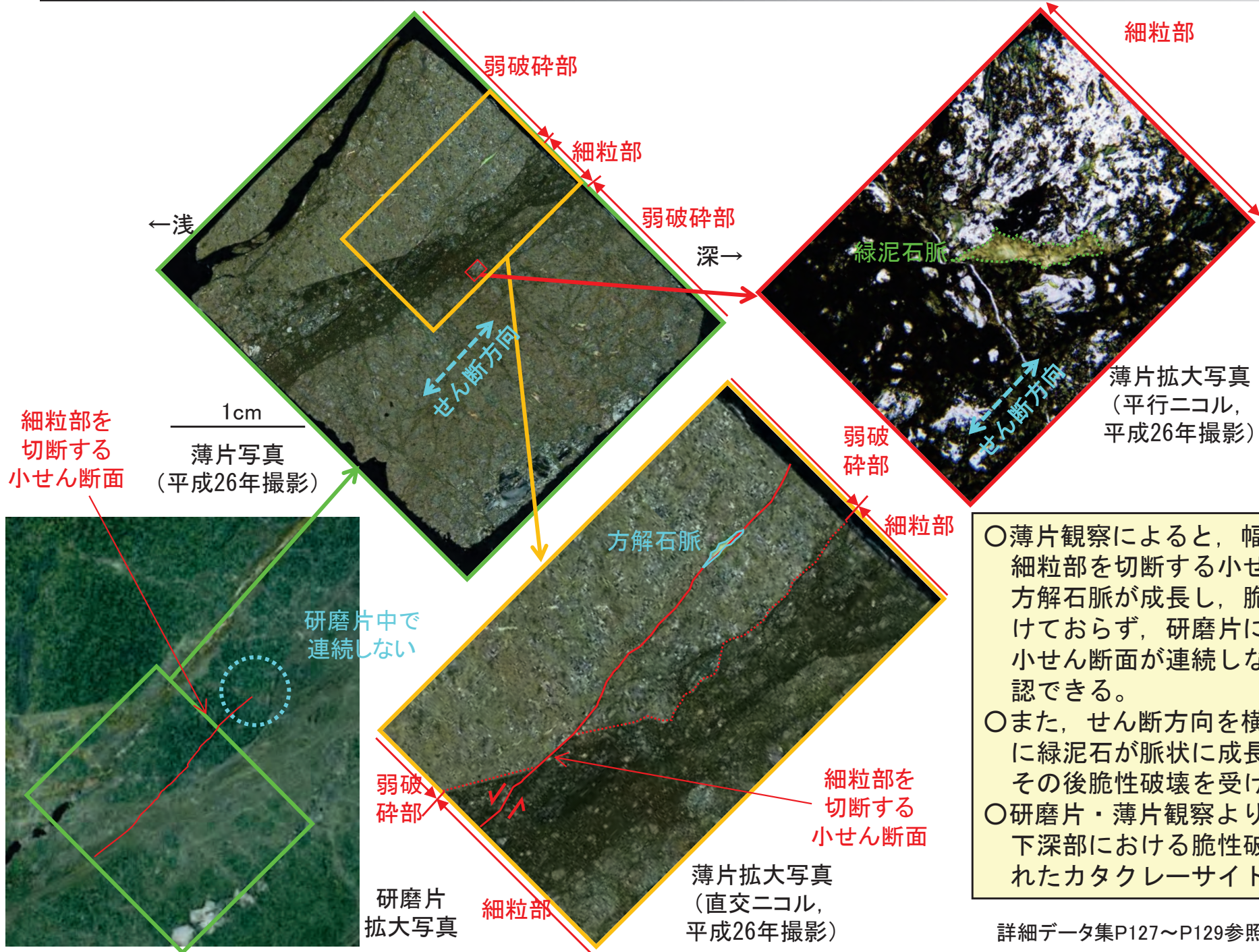
研磨片写真  
(平成26年撮影)



- 岩石化したf3断層の研磨片観察結果によると、破碎部は周辺の母岩と密着して一体の岩石となっている。
- また、せん断面沿いに方解石脈が成長しており、地表付近での破断を受けていない。
- X線CT画像において、破碎部と母岩の明るさに差異がなく、両者が同等の密度であると判断される。
- 主せん断面と対応する細粒部付近において薄片観察を行う。

詳細データ集P123~P125参照

# 断層内物質の観察⑦ <f3断層の薄片観察>



○薄片観察によると、幅数mm程度の細粒部を切断する小せん断面中に方解石脈が成長し、脆性破壊を受けておらず、研磨片においてその小せん断面が連続しないことを確認できる。

○また、せん断方向を横断する方向に緑泥石が脈状に成長しており、その後脆性破壊を受けていない。

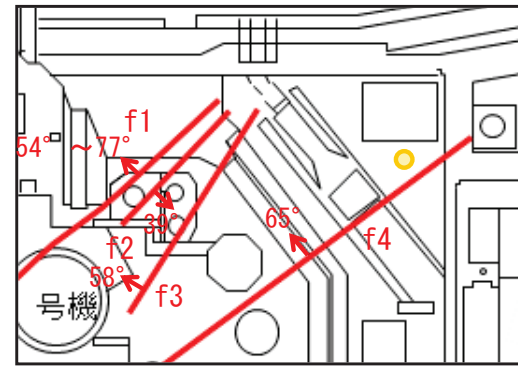
○研磨片・薄片観察よりf3断層は地下深部における脆性破壊で形成されたカタクレーサイトである。

詳細データ集P127～P129参照



# 断層内物質の観察⑧ <f4断層の研磨片観察>

- 岩石化したf4断層の研磨片観察によると、破碎部は周辺の母岩と密着して一体の岩石となっている。
- X線CT画像において、破碎部と母岩の明るさに差異がなく、両者が同等の密度であると判断される。
- 主せん断面と対応する細粒部付近において薄片観察を行う。



● : ボーリング位置

(S) ←浅 f4断層 深→



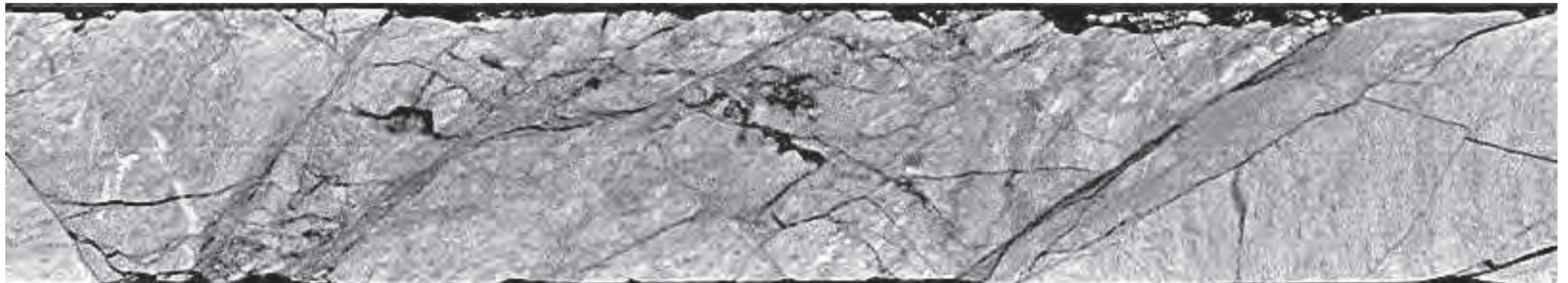
(N) N57~62° E/51~70° NW  
f4断層(深度約9m)コア写真  
(平成26年撮影)

(N) 深→

←浅



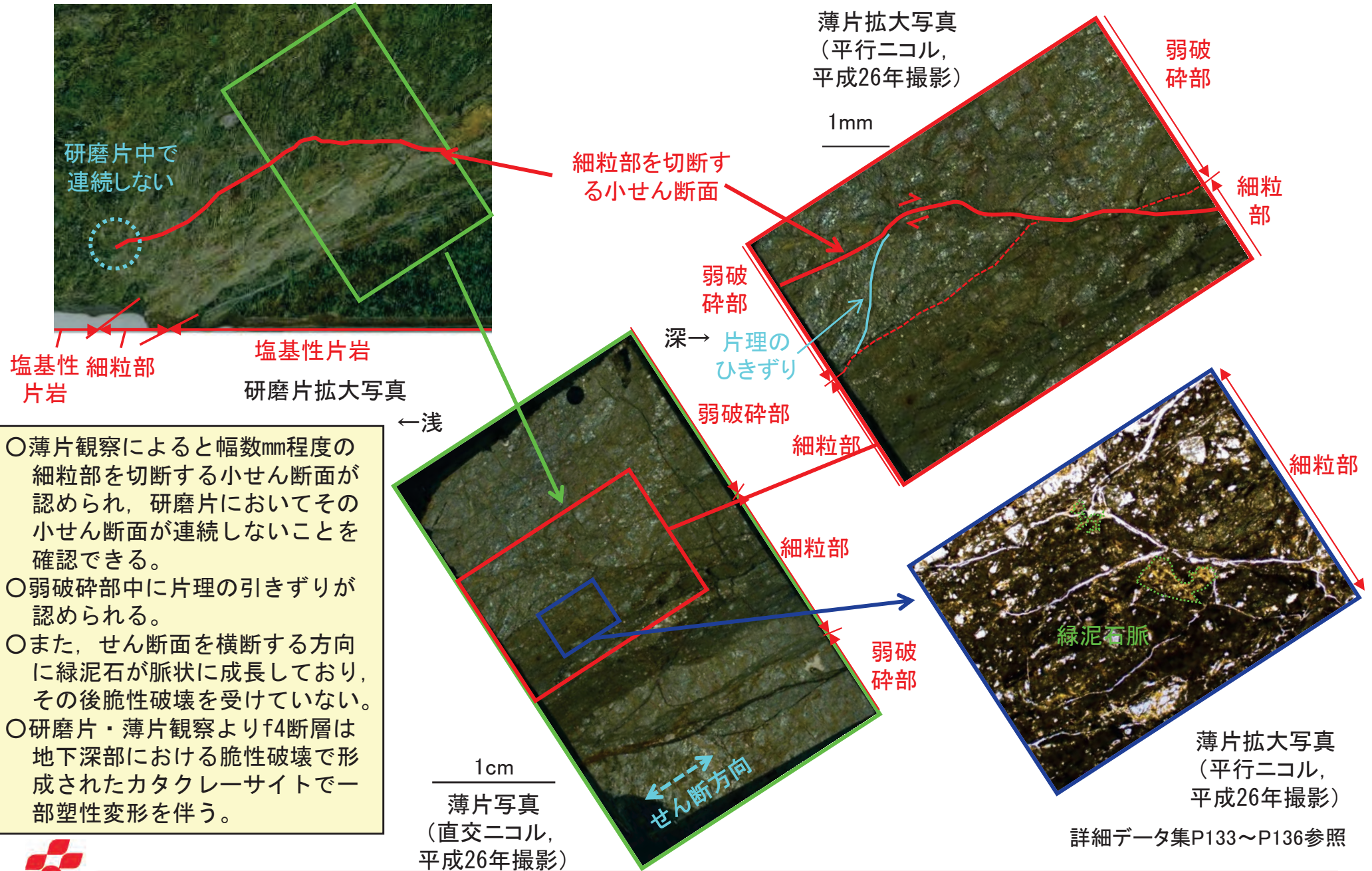
塩基性片岩 / 細粒部 / 塩基性片岩 / 破碎部 / 細粒部 / 塩基性片岩 / 5cm / 研磨片写真(平成26年撮影) (S)



CT画像(平成26年撮影)

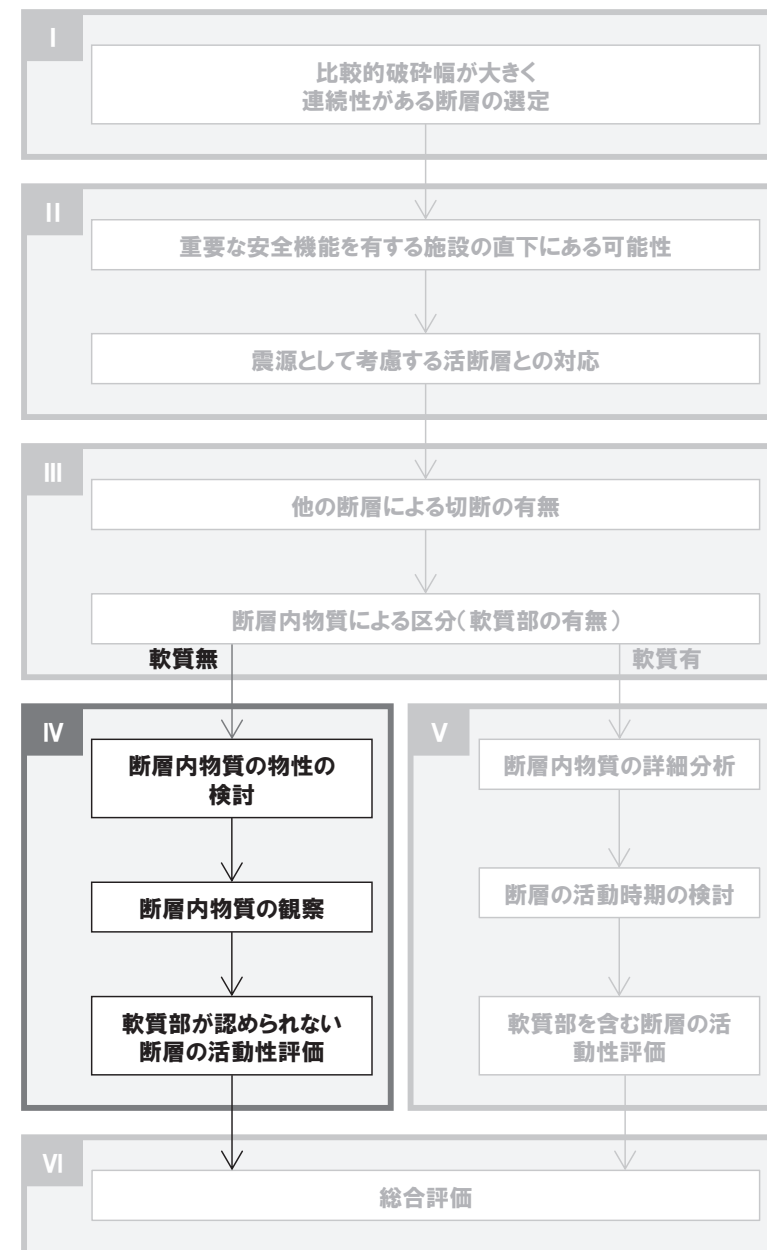
詳細データ集P130~P132参照

# 断層内物質の観察⑨ <f4断層の薄片観察>



- 薄片観察によると幅数mm程度の細粒部を切断する小せん断面が認められ、研磨片においてその小せん断面が連続しないことを確認できる。
- 弱破碎部中に片理の引きずりが認められる。
- また、せん断面を横断する方向に緑泥石が脈状に成長しており、その後脆性破壊を受けていない。
- 研磨片・薄片観察よりf4断層は地下深部における脆性破壊で形成されたカタクレーサイトで一部塑性変形を伴う。

- I. 連続性がある断層の選定
- II. 重要施設の直下にある断層の選定
- III. 他の断層による切断および  
軟質部の有無
- IV. 軟質部が認められない断層の  
活動性評価
  1. 断層内物質の物性の検討
  2. 断層内物質の観察
  3. まとめ
- V. 軟質部を含む断層の活動性評価
- VI. 総合評価

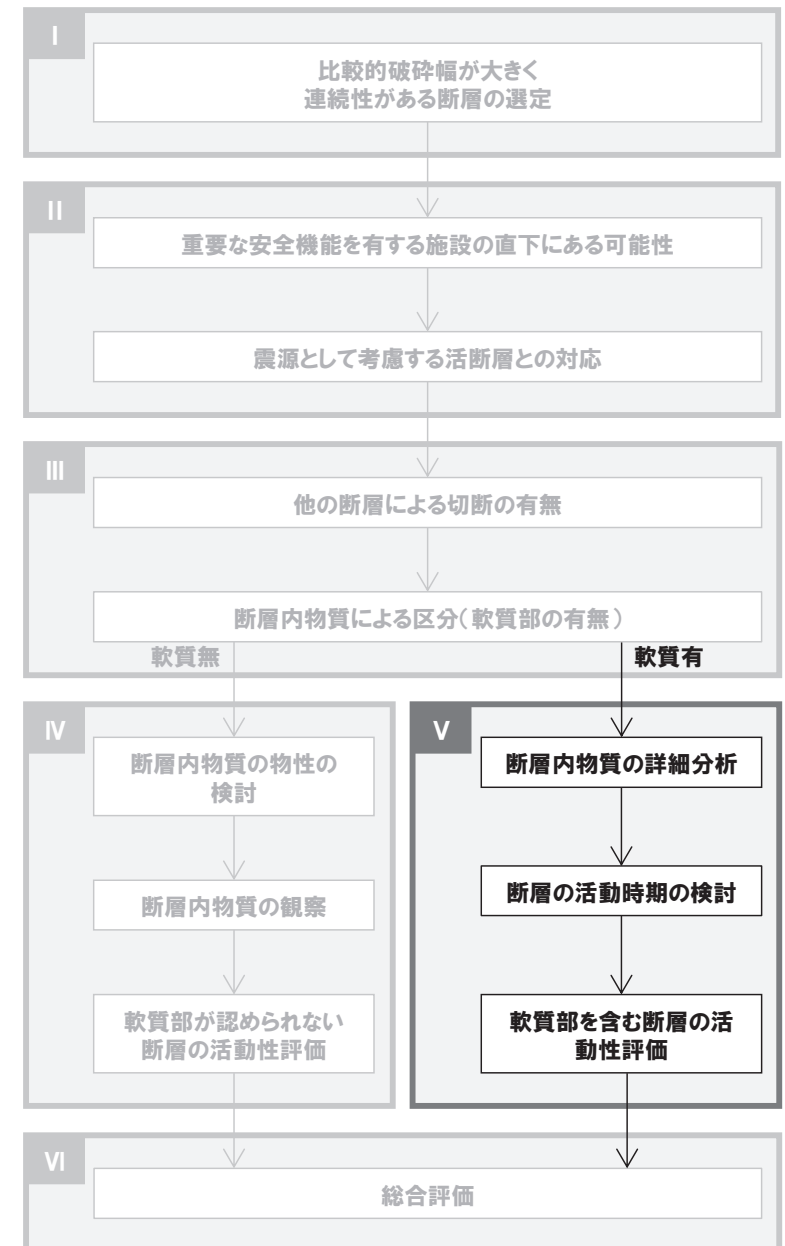


# 軟質部が認められない断層の活動性評価(まとめ)

- 軟質部が認められない断層（Fa-1断層，Fa-4断層，f1～f4断層）は，肉眼観察，物理試験，針貫入試験の結果として，断層内物質が岩石相当の物性で断層ガウジあるいは断層角礫との区別が困難な粘土状の軟質部を介在しない岩石化した断層と判断できる。これらは断層内物質が周辺の母岩と密着して一体の岩石となっており，地下深部の封圧・温度で基質と岩片が固結したカタクレーサイトが地表付近に位置して以降の破断を受けていない断層である。
- また，軟X線観察・CT画像観察によると破砕部と母岩の明るさに差異がなく，両者が同等の密度と判断され，研磨片・薄片観察によると地下深部で活動して以降に地表付近での脆性破壊を受けていないことから，いずれも地下深部で形成されたカタクレーサイトである。
- したがって，軟質部が認められない断層は，古い時代に地下深部で生成した断層が地表付近に位置して以降の新しい時代には活動しておらず，将来活動する可能性のある断層等には該当しない。

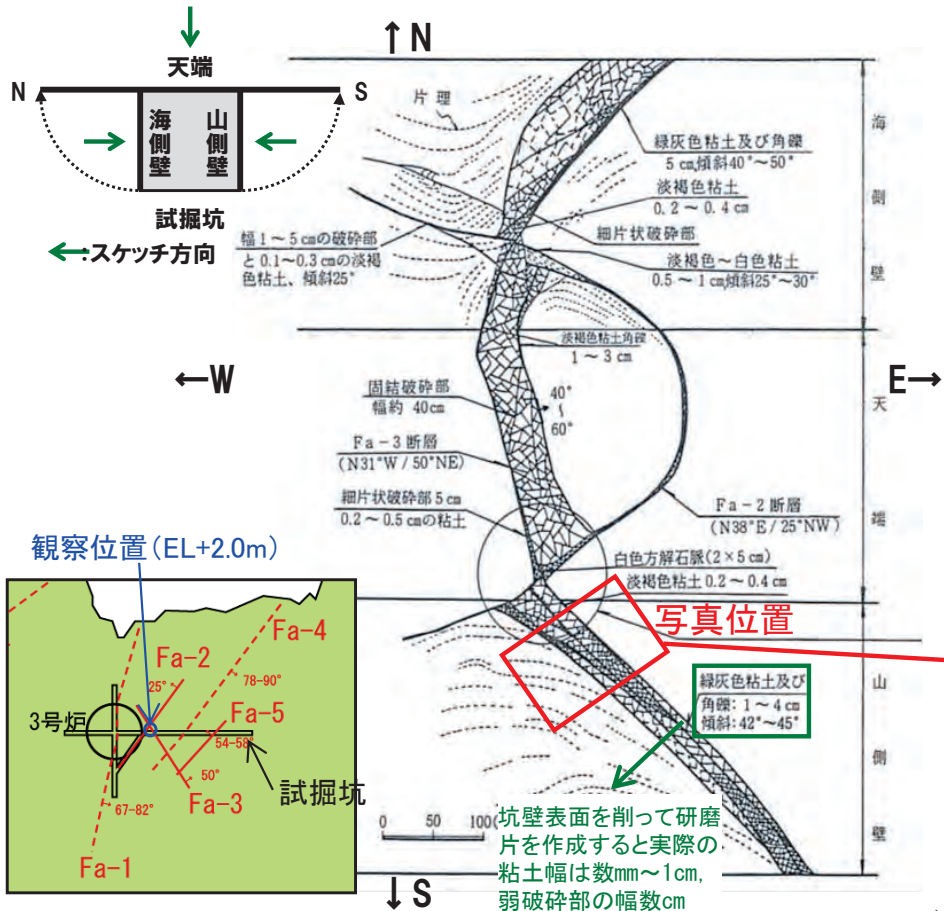
	肉眼観察	物理試験				針貫入勾配 (自然状態) (N/mm)	軟X線観察 CT画像観察	研磨片観察 薄片観察
		乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )	飽和密度 (g/cm <sup>3</sup> )	有効間げ き率 (%)	吸水率 (%)			
Fa-1 断層	周辺の母岩と密着 して一体の岩石	2.65	2.67	1.9	0.7	69.5	破砕部と母岩は 同等の密度	カタクレーサイト
Fa-4 断層	周辺の母岩と密着 して一体の岩石	2.81	2.86	4.8	1.7	71.4	破砕部と母岩は 同等の密度	カタクレーサイト
f1 断層	周辺の母岩と密着 して一体の岩石	2.68	2.74	5.7	2.1	80.6	破砕部と母岩は 同等の密度	カタクレーサイト
f2 断層	周辺の母岩と密着 して一体の岩石	2.51	2.53	2.5	1.0	81.3	破砕部と母岩は 同等の密度	カタクレーサイト
f3 断層	周辺の母岩と密着 して一体の岩石	2.74	2.81	7.0	2.6	62.9	破砕部と母岩は 同等の密度	カタクレーサイト
f4 断層	周辺の母岩と密着 して一体の岩石	2.56	2.64	8.1	3.2	43.8	破砕部と母岩は 同等の密度	カタクレーサイト

- I. 連続性がある断層の選定
- II. 重要施設の直下にある断層の選定
- III. 他の断層による切断および  
軟質部の有無
- IV. 軟質部が認められない断層の  
活動性評価
- V. 軟質部を含む断層の活動性評価
  1. 破碎幅の検討
  2. 断層内物質の詳細分析
  3. 断層の活動時期の検討
  4. まとめ
- VI. 総合評価

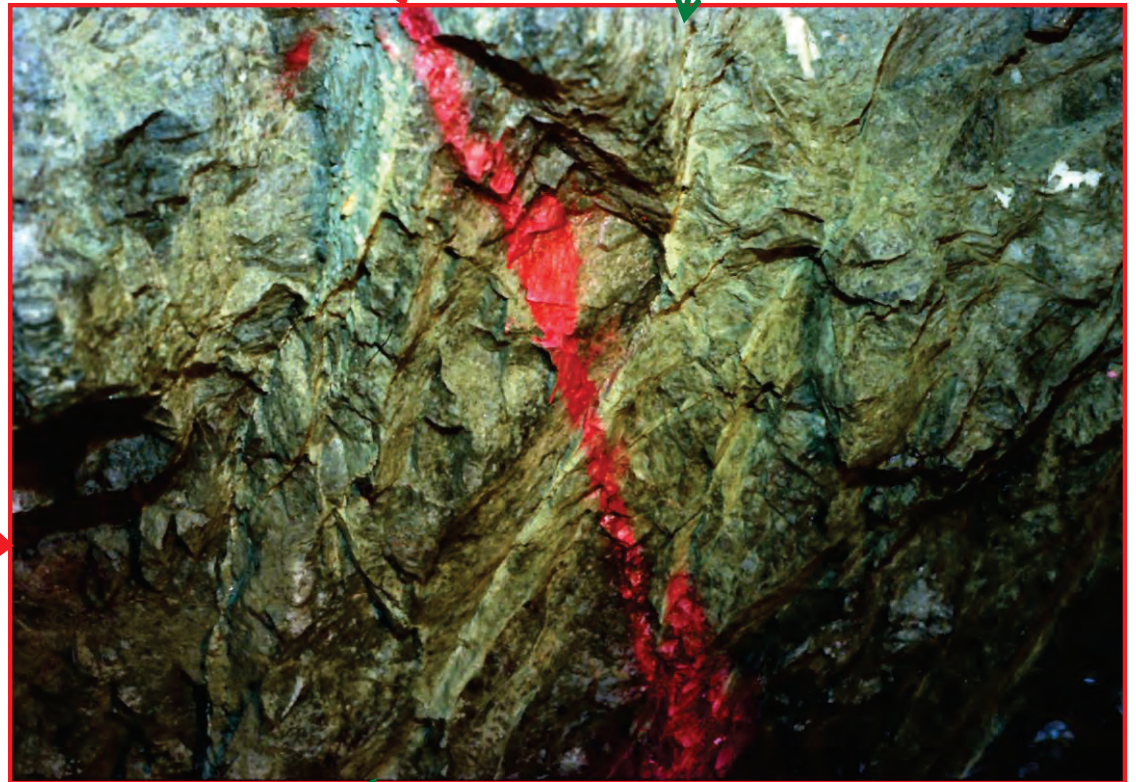


# 破砕幅の検討① < 試掘坑内の破砕幅 >

○地下約50mに位置する試掘坑における観察によると、Fa-3断層の破砕幅は、断層の影響を工学的に評価するため微小な亀裂が生じて岩盤が劣化した範囲まで含めて最大40cmであり、最も破砕の進んだ粘土部から弱破砕部までの幅は5 cm程度である。緑灰色粘土の幅は全般には0.2~0.5cmで、最も厚い箇所では幅1 cm~4 cm程度となっているものの坑壁表面を削った内部の粘土幅は数mm~1 cm程度である。



マーカー(50cm間隔で鉛直) 緑灰色粘土:幅0.2cm~0.5cm



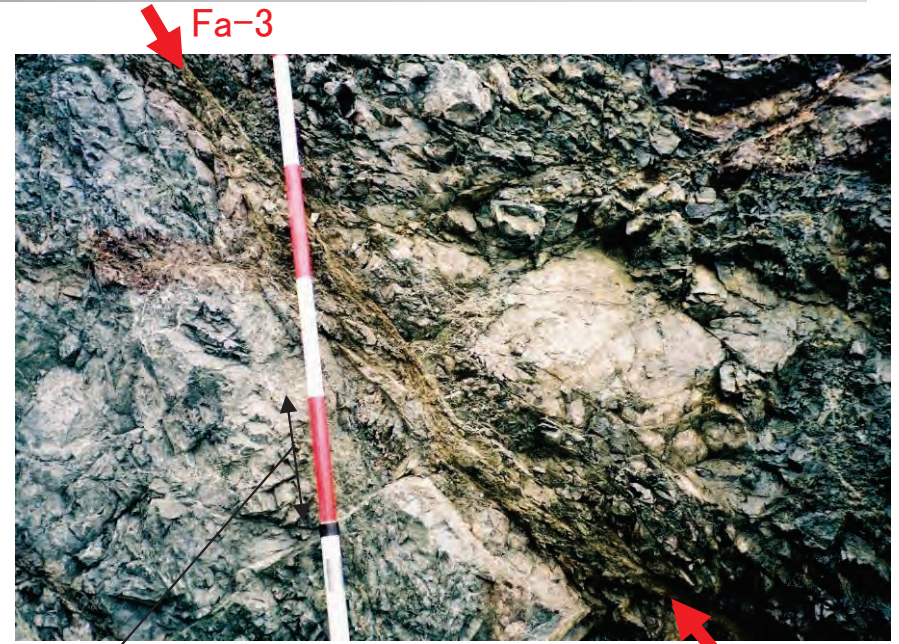
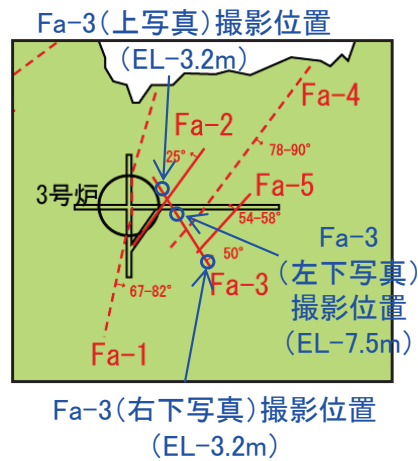
※試掘坑内で昭和58年撮影

弱破砕部の幅約5cm  
Fa-3断層:破砕幅最大40cm

試掘坑展開図(外側から見たスケッチ)  
伊方発電所原子炉設置変更許可申請書  
(3号炉増設, 昭和59年)より抜粋

# 破砕幅の検討② < 試掘坑周辺の破砕幅 >

- Fa-3断層は試掘坑において破砕幅が最大で40cmであるが、試掘坑から離れるにつれて破砕幅が減少し、直線性にも乏しい。
- 試掘坑から約5m掘り下げた基礎掘削面では破砕幅が小さく（左下写真）、Fa-3断層の局部的に破砕幅・粘土幅の大きい部分を既に掘削で除去している。



※試掘坑北方の基礎掘削面で平成2年撮影



※試掘坑付近から掘り下げた基礎掘削面で平成2年撮影

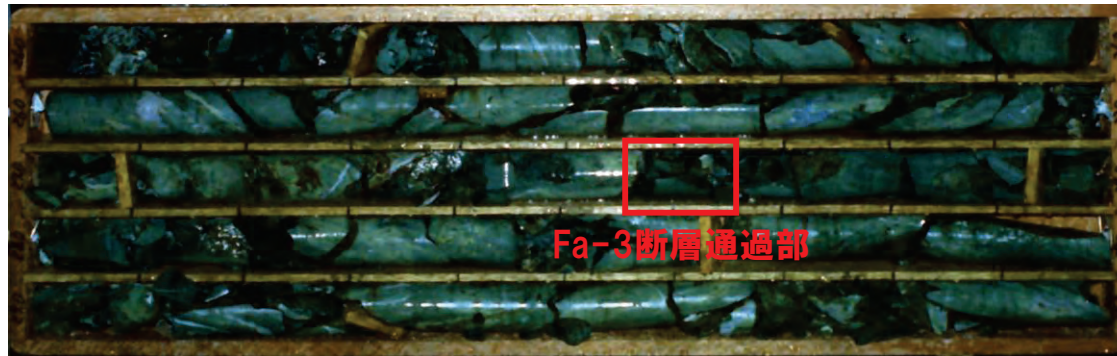


※試掘坑南方の基礎掘削面で平成2年撮影

# 破砕幅の検討③ <Fa-3断層通過部の破砕幅>

- 試掘坑内から水平ボーリングでFa-3断層通過部を掘削したBH-41孔, BH-42孔における破砕幅はおおよそ10cm程度である。
- また, 試掘坑より上方のFa-3断層通過部を掘削したA-4孔における破砕幅は約2cm程度である。

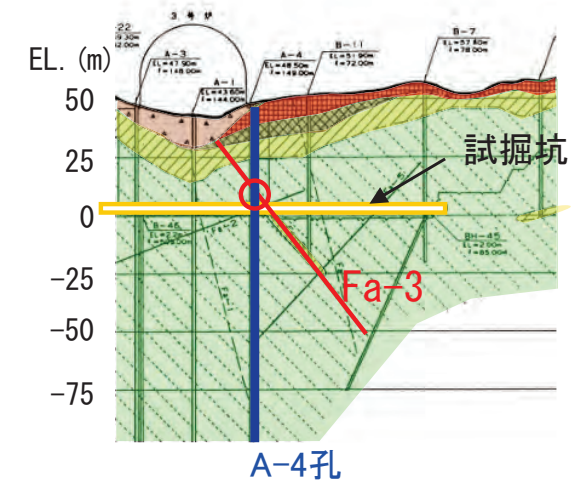
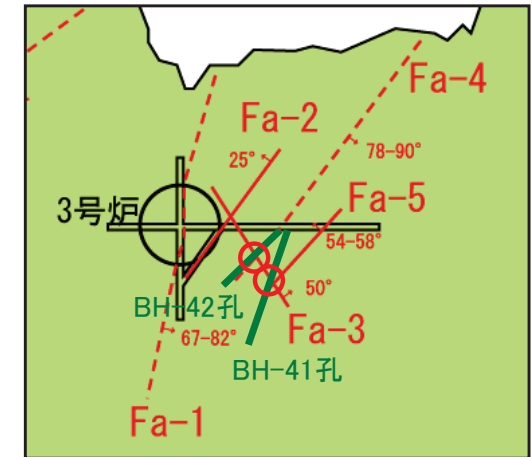
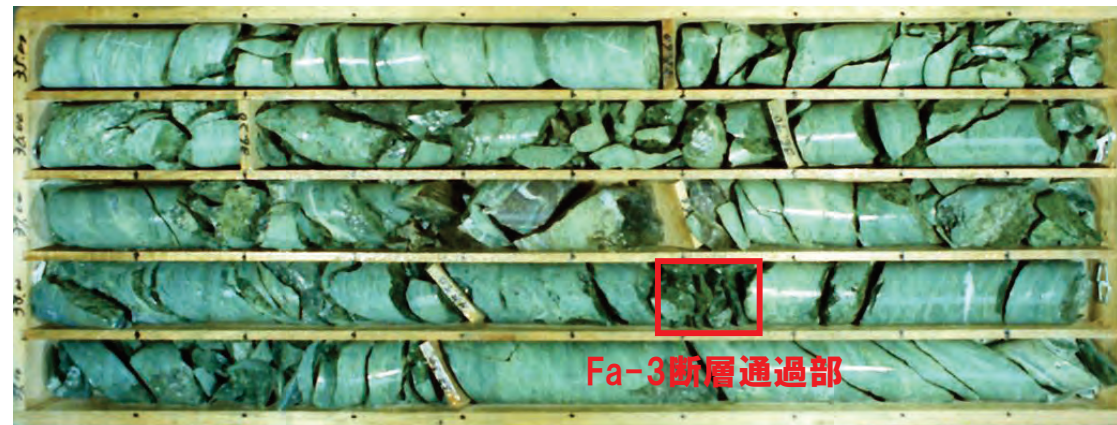
BH-41孔  
コア写真  
深度25m~30m  
(S58年  
取得・撮影)



BH-42孔  
コア写真  
深度15m~20m  
(S58年  
取得・撮影)



A-4孔  
コア写真  
深度35m~40m  
(S58年  
取得・撮影)

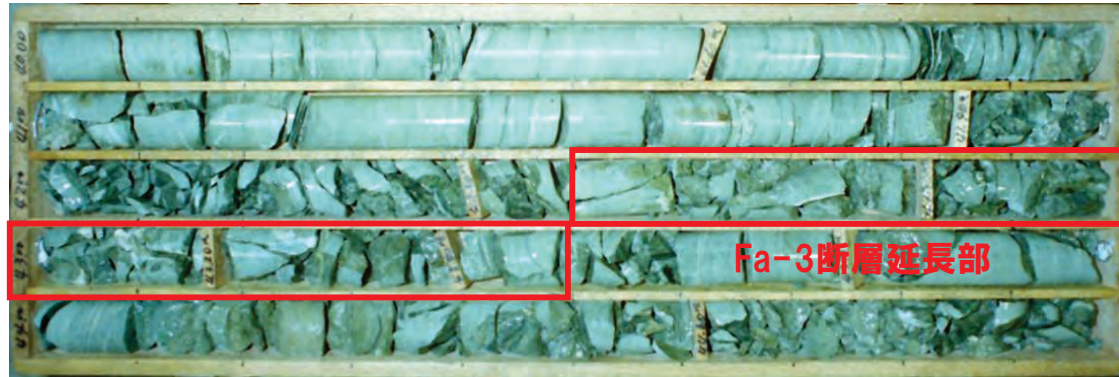




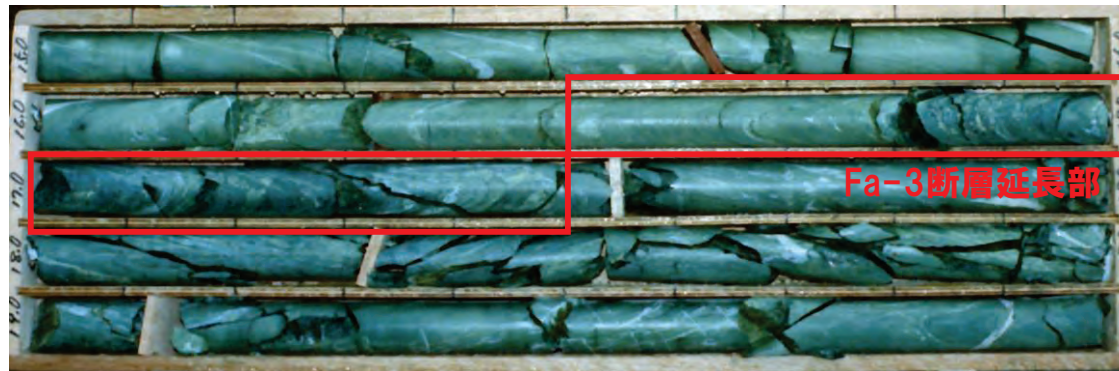
# 破砕幅の検討④ <Fa-3断層延長部のボーリングコア>

○Fa-3断層南方延長部のB-12孔および北方延長部のBH-43孔におけるボーリングコアに顕著な断層は認められず、Fa-3断層がここまで連続するとしても断層端部に相当し、Fa-3断層の長さは75m程度である。  
 ○また、Fa-3断層の下方延長部のBH-45孔では全般に堅硬な岩盤が連続して顕著な断層は認められず、Fa-3断層がここまで連続するとしても断層端部に相当する。

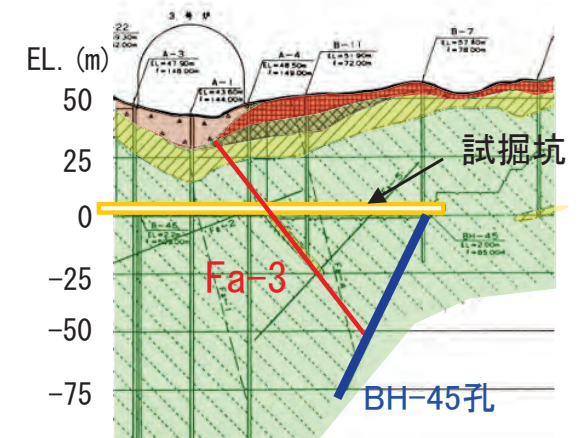
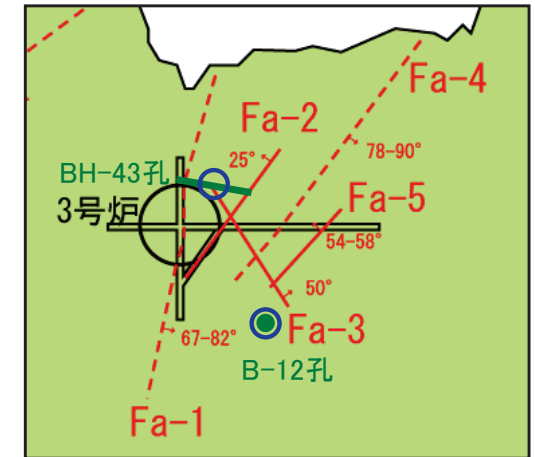
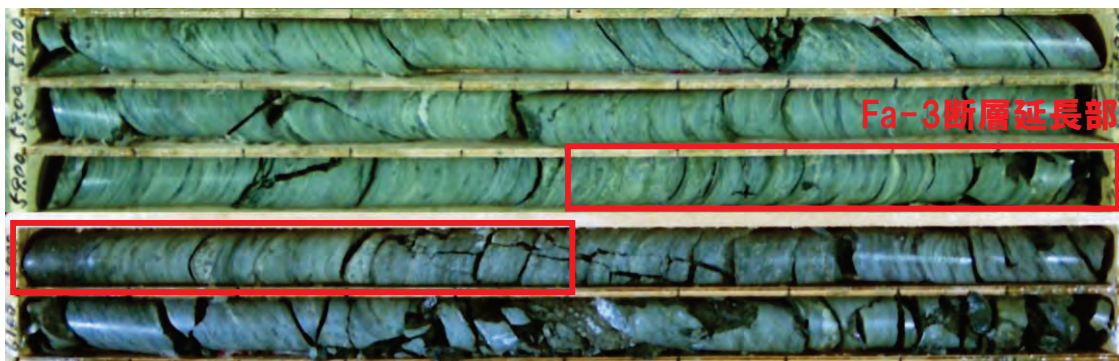
B-12孔  
 コア写真  
 深度40m～45m  
 (S58年  
 取得・撮影)



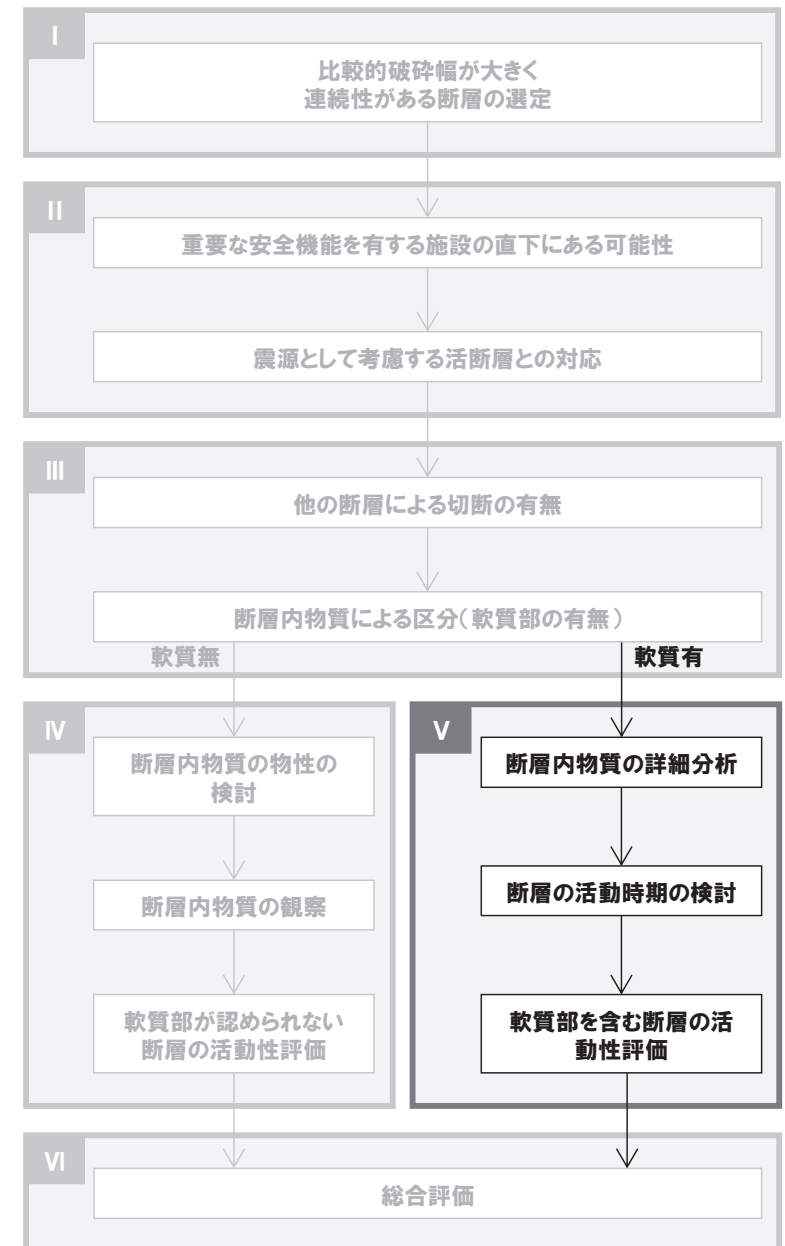
BH-43孔  
 コア写真  
 深度15m～20m  
 (S58年  
 取得・撮影)



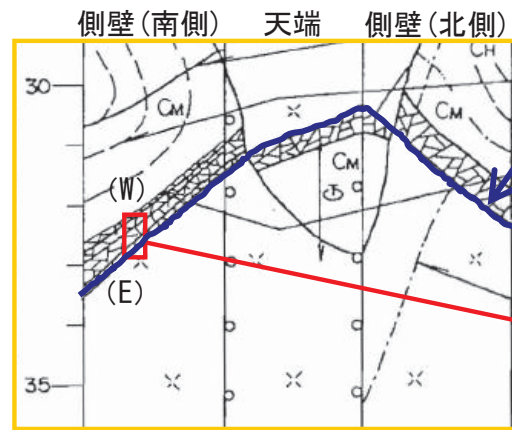
BH-45孔  
 コア写真  
 深度57m～62m  
 (S58年  
 取得・撮影)



- I. 連続性がある断層の選定
- II. 重要施設の直下にある断層の選定
- III. 他の断層による切断および  
軟質部の有無
- IV. 軟質部が認められない断層の  
活動性評価
- V. 軟質部を含む断層の活動性評価
  1. 破碎幅の検討
  2. 断層内物質の詳細分析
  3. 断層の活動時期の検討
  4. まとめ
- VI. 総合評価



# Fa-3断層内物質の詳細分析① <研磨片作成位置>

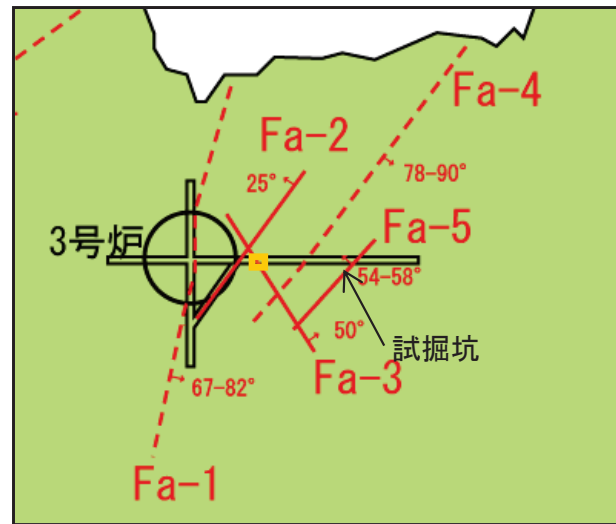


試掘坑展開図

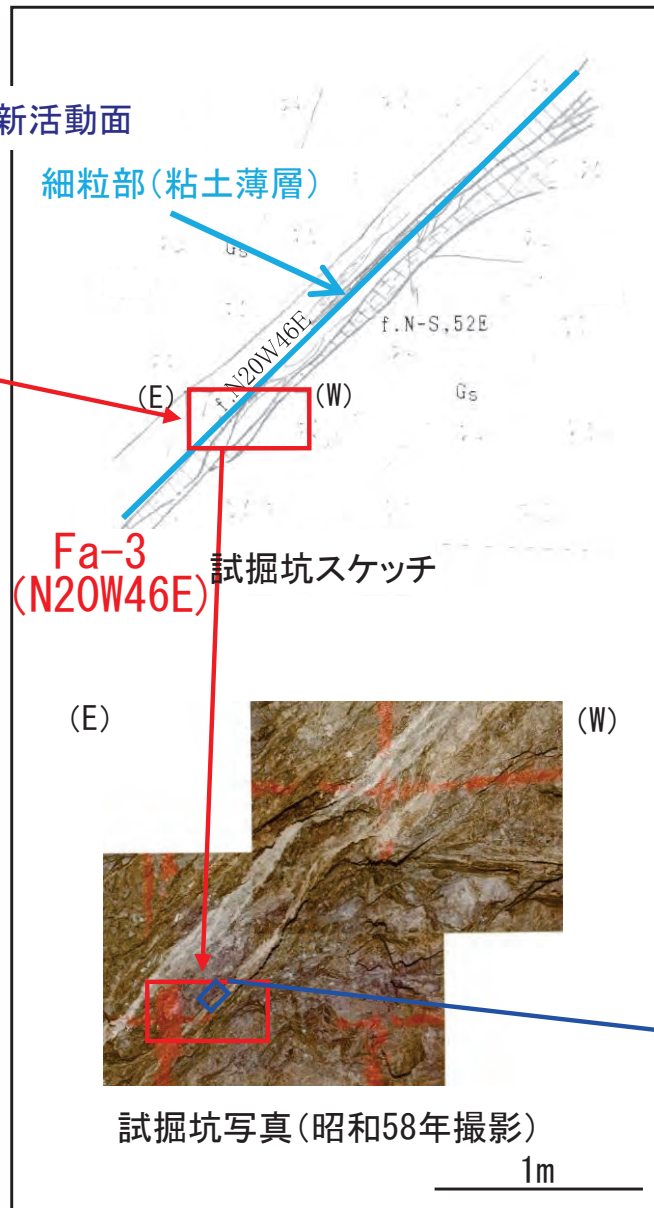
最新活動面

細粒部(粘土薄層)

Fa-3 (N20W46E) 試掘坑スケッチ



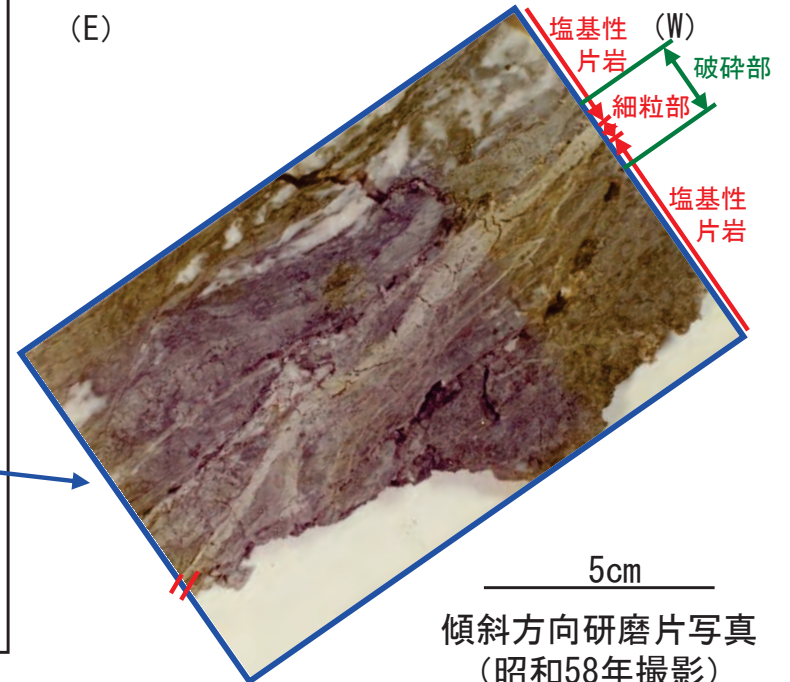
分析位置(展開図に対応)



試掘坑写真(昭和58年撮影)

1m

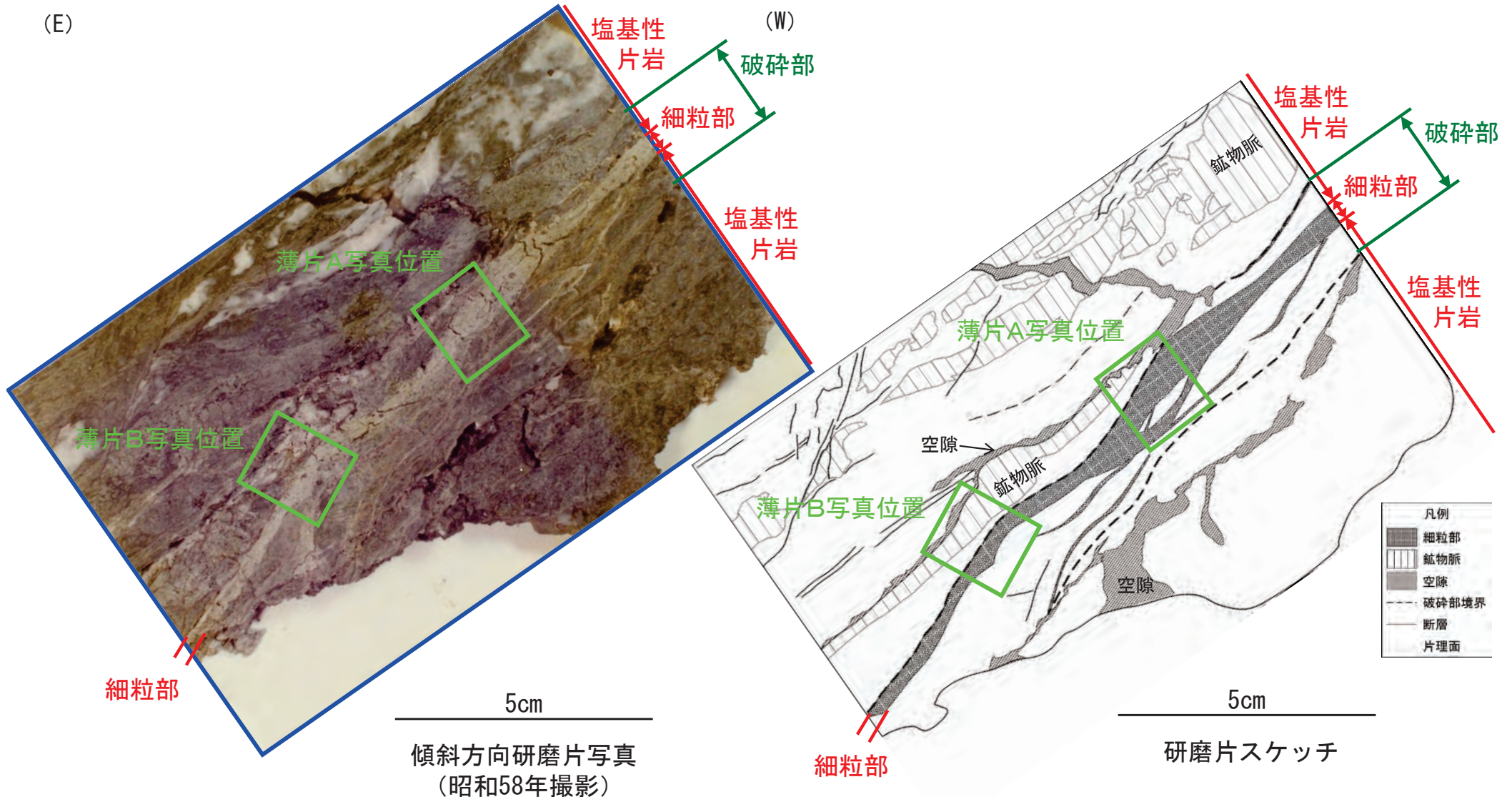
- 最新活動面と対応する細粒部(粘土薄層)付近を分析する。試掘坑内において坑壁表面を削った内部の幅数mm~1cm程度の粘土部を含む試料を採取した。
- なお、坑壁におけるFa-3断層の粘土の表面を削ると内部では非常に固い。



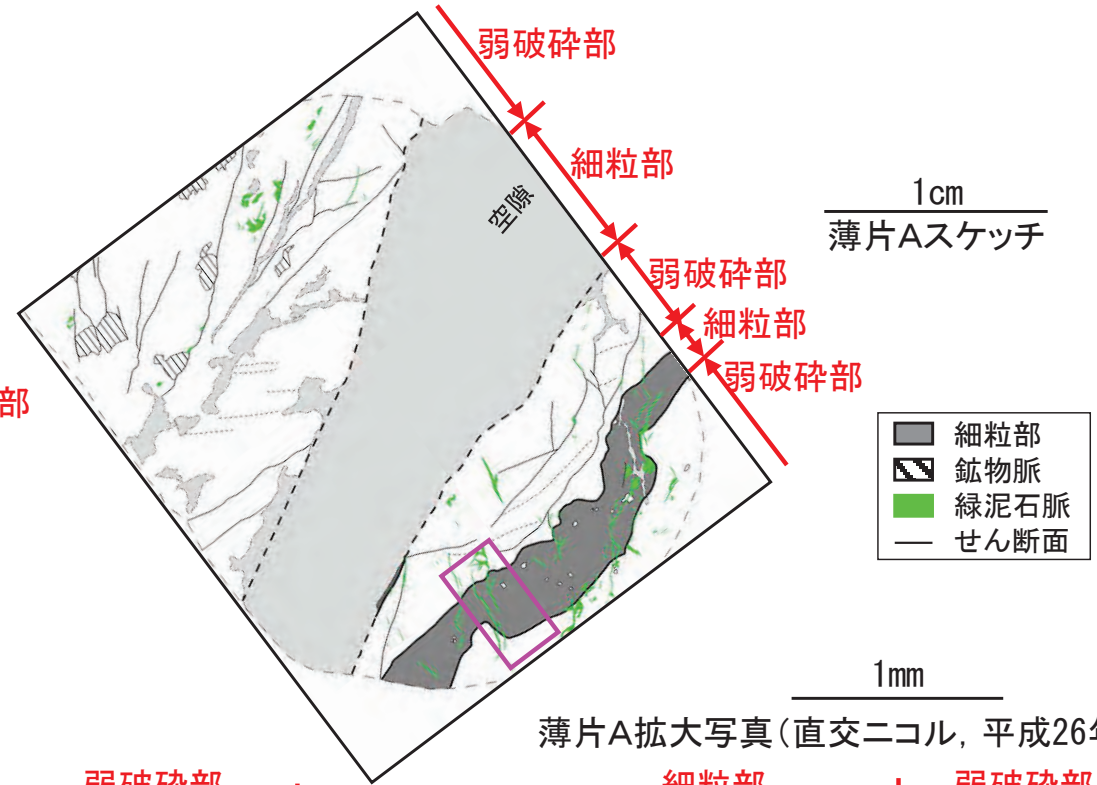
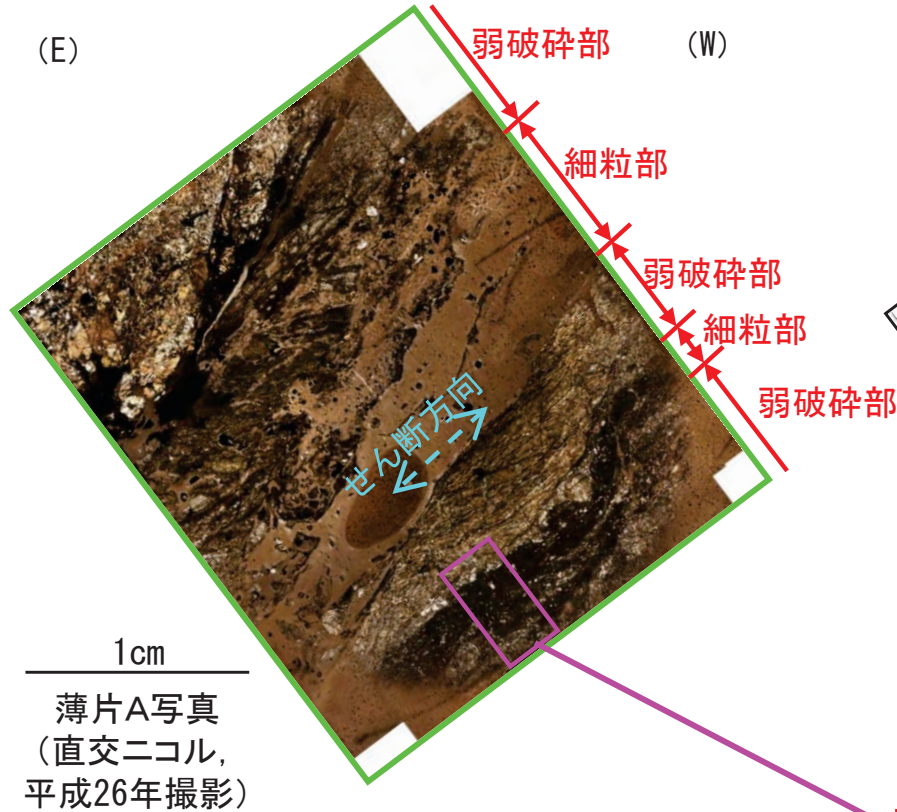
傾斜方向研磨片写真 (昭和58年撮影)

# Fa-3断層内物質の詳細分析② <研磨片観察結果>

- 細粒部は幅が数mm~1cm程度で直線性に乏しい。
- 細粒部の幅が広い薄片Aおよび細粒部の幅が狭くなる薄片Bにおいて観察を行い、Fa-3断層の活動性を評価する。



# Fa-3断層内物質の詳細分析③ <薄片A観察結果>



## 【Fa-3断層薄片Aの観察結果】

- 薄片観察によると、細粒部中に異常干渉色を示す緑泥石脈が認められる。
- 幅数mm程度の細粒部を横断して緑泥石が脈状に成長しており、その後脆性破壊を受けていないことから、緑泥石生成後にFa-3断層は活動していない。
- Fa-3断層は地下深部における脆性破壊で形成されたカタクレーサイトである。

詳細データ集P82参照

# Fa-3断層内物質の詳細分析④ <薄片AのEPMA分析(1)>

○薄片観察において異常干渉色を呈する脈状鉱物のEPMA分析を行い、緑泥石の組成と比較する。

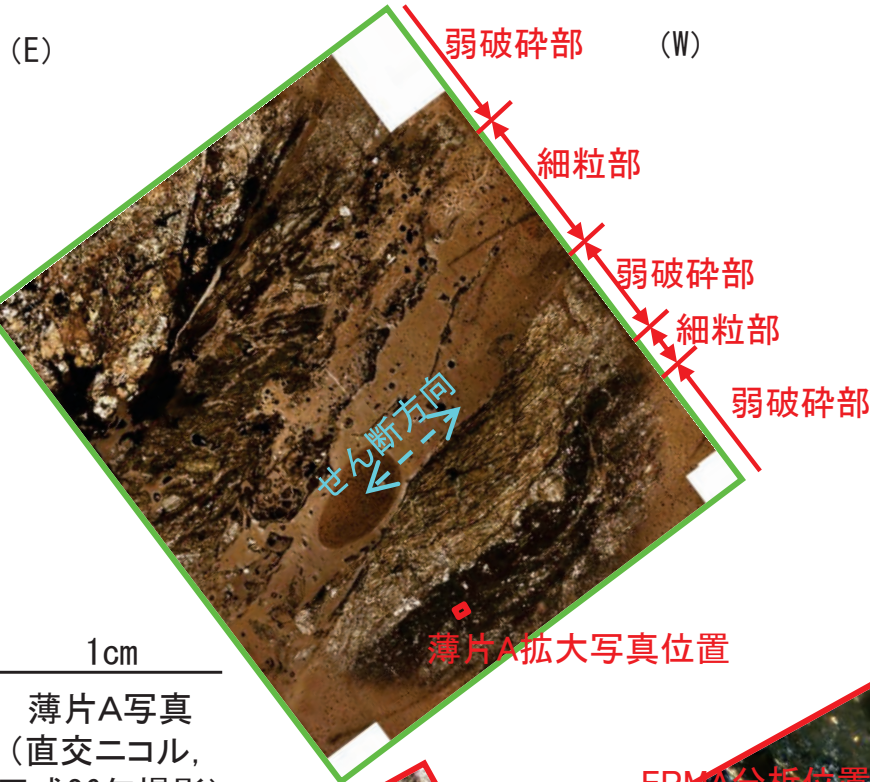
### 【緑泥石の判断基準】

拡大画像で脈状鉱物の分布範囲を正確に把握して分析した結果として、  
 ・Mass(%)が既存の文献(Deer et al.(1996))に示される分析結果と概ね整合的であること

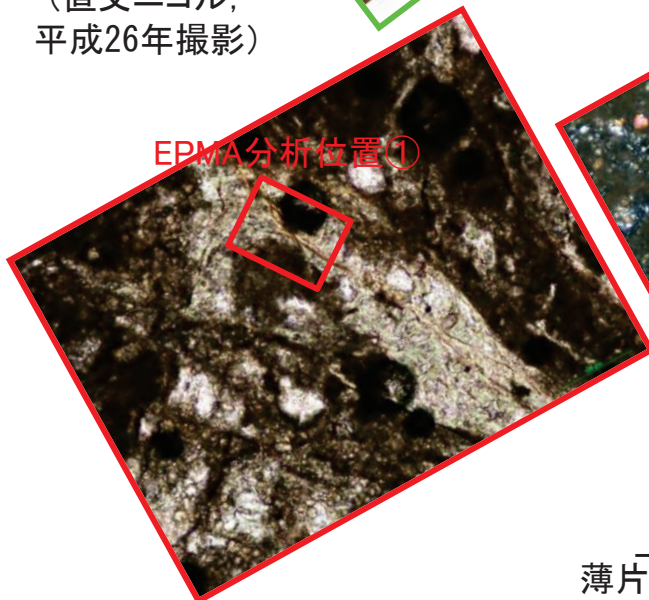
SiO<sub>2</sub>のMassが30%程度, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>のMassが10~30%程度, FeOおよびMgOの合計のMassが30~40%程度, TotalのMassが85%程度

・測定した陽イオン数が緑泥石の化学組成の理想式である  
 (Mg,Fe,Al)<sub>12</sub>(Si,Al)<sub>8</sub>O<sub>20</sub>(OH)<sub>16</sub>と一致すること

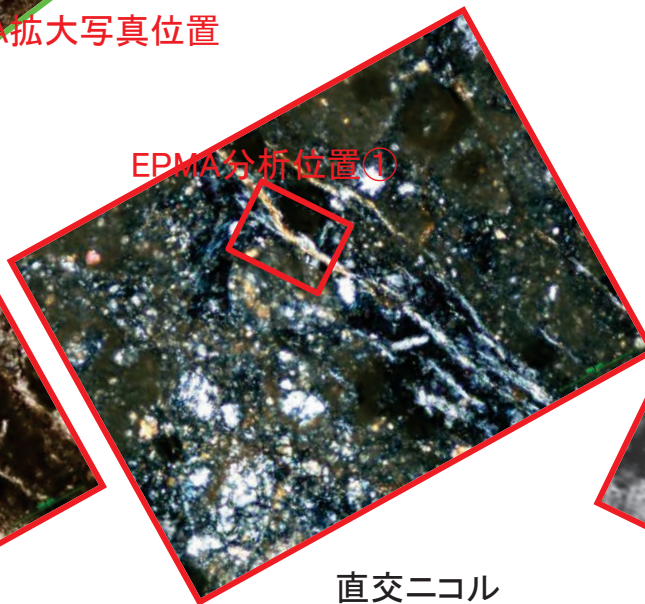
以上を踏まえ、緑泥石の同定を行った。



薄片A写真  
 (直交ニコル,  
 平成26年撮影)

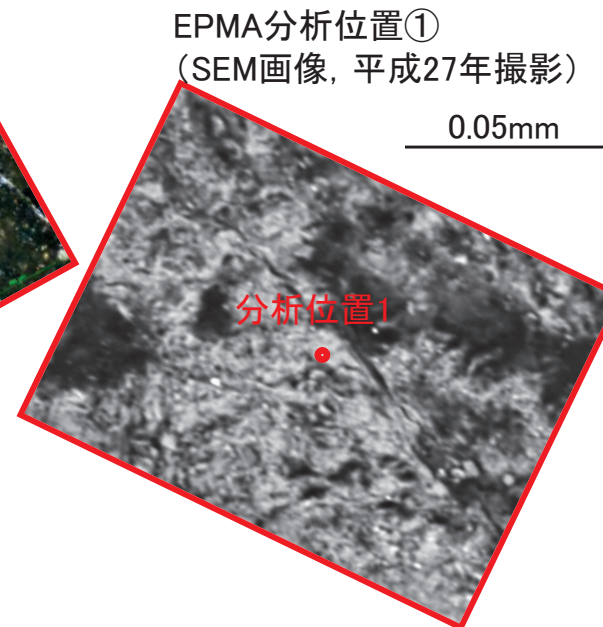


平行ニコル



直交ニコル

0.1mm  
 薄片A拡大写真  
 (平成27年撮影)



Element	分析位置1	
	Mass (%)	Cation
SiO <sub>2</sub>	26.54	5.88
TiO <sub>2</sub>	0.02	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.59	3.81
FeO	22.31	4.13
MnO	0.54	0.10
MgO	18.93	6.25
CaO	0.12	0.03
Na <sub>2</sub> O	0.08	0.03
K <sub>2</sub> O	0.02	0.01
Total	83.14	20.24

# Fa-3断層内物質の詳細分析⑤ <薄片AのEPMA分析(2)>

○薄片観察において異常干渉色を呈する脈状鉱物のEPMA分析を行い、緑泥石の組成と比較する。

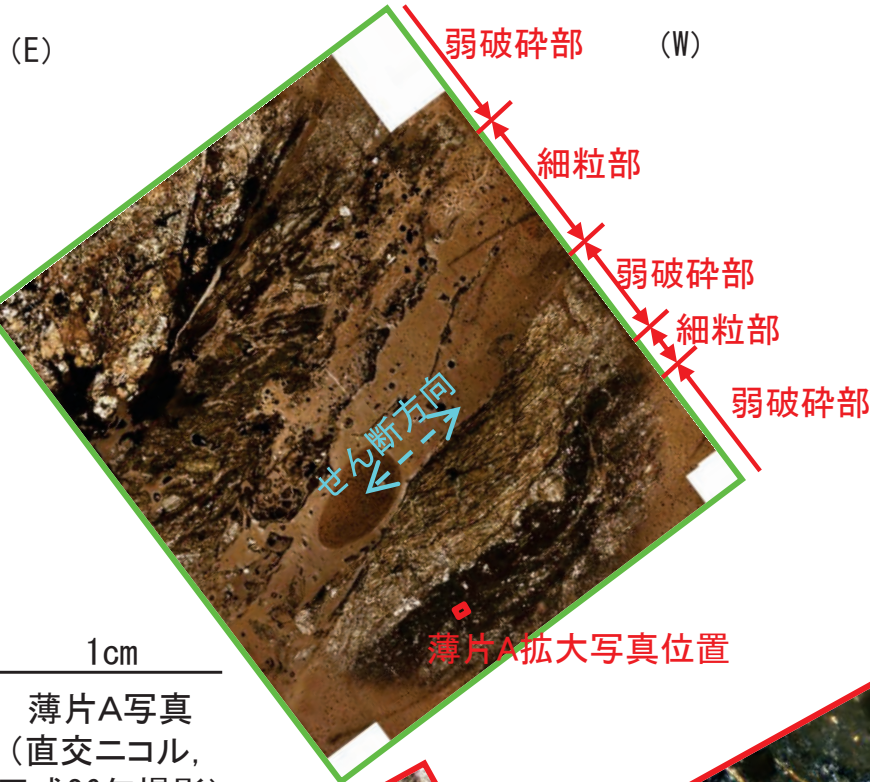
### 【緑泥石の判断基準】

拡大画像で脈状鉱物の分布範囲を正確に把握して分析した結果として、  
 ・Mass(%)が既存の文献(Deer et al.(1996))に示される分析結果と概ね整合的であること

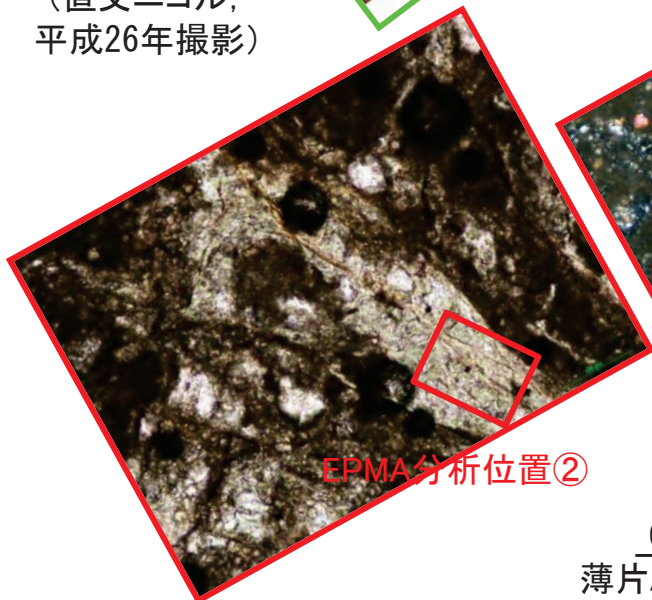
SiO<sub>2</sub>のMassが30%程度, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>のMassが10~30%程度, FeOおよびMgOの合計のMassが30~40%程度, TotalのMassが85%程度

・測定した陽イオン数が緑泥石の化学組成の理想式である  
 (Mg,Fe,Al)<sub>12</sub>(Si,Al)<sub>8</sub>O<sub>20</sub>(OH)<sub>16</sub>と一致すること

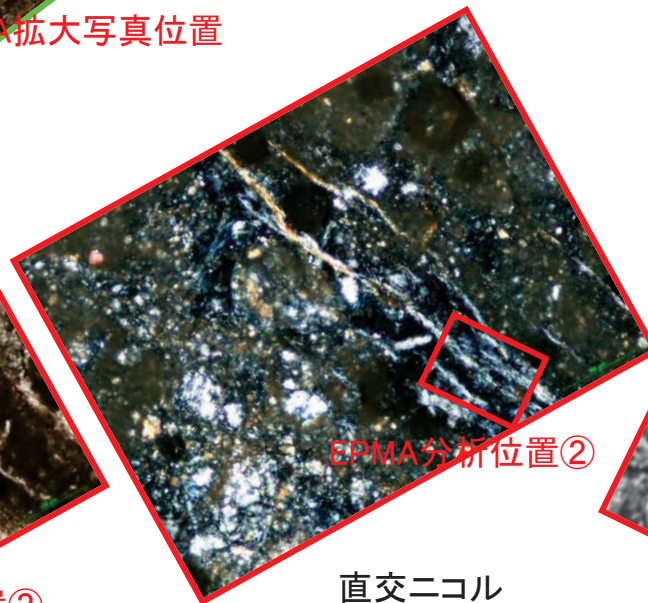
以上を踏まえ、緑泥石の同定を行った。



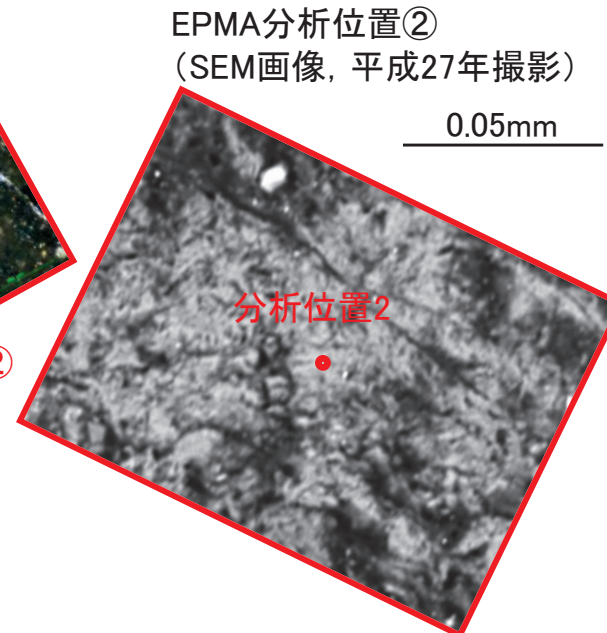
薄片A写真  
 (直交ニコル,  
 平成26年撮影)



平行ニコル



0.1mm  
 薄片A拡大写真  
 (平成27年撮影)

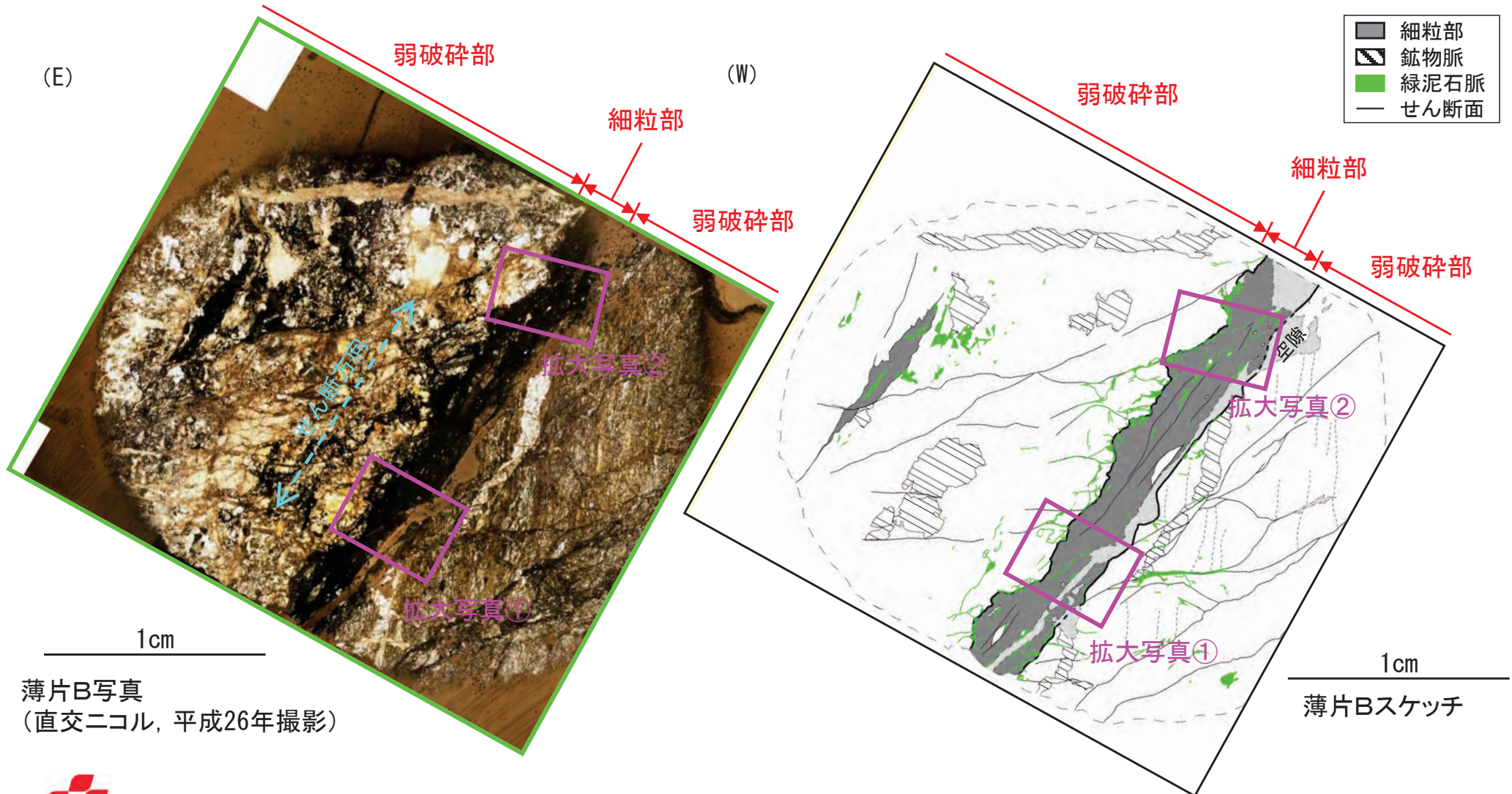


Element	分析位置2	
	Mass (%)	Cation
SiO <sub>2</sub>	30.62	6.25
TiO <sub>2</sub>	0.05	0.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.69	4.01
FeO	23.43	4.00
MnO	0.59	0.10
MgO	17.52	5.33
CaO	0.16	0.03
Na <sub>2</sub> O	0.06	0.02
K <sub>2</sub> O	0.02	0.01
Total	89.13	19.75

# Fa-3断層内物質の詳細分析⑥ <薄片B観察結果(1)>

## 【Fa-3断層薄片Bの観察結果】

- 幅数mm程度の細粒部を横断して緑泥石が脈状に成長しており、その後脆性破壊を受けていないことから、緑泥石生成後にFa-3断層は活動していない。
- Fa-3断層は地下深部における脆性破壊で形成されたカタクレーサイトである。

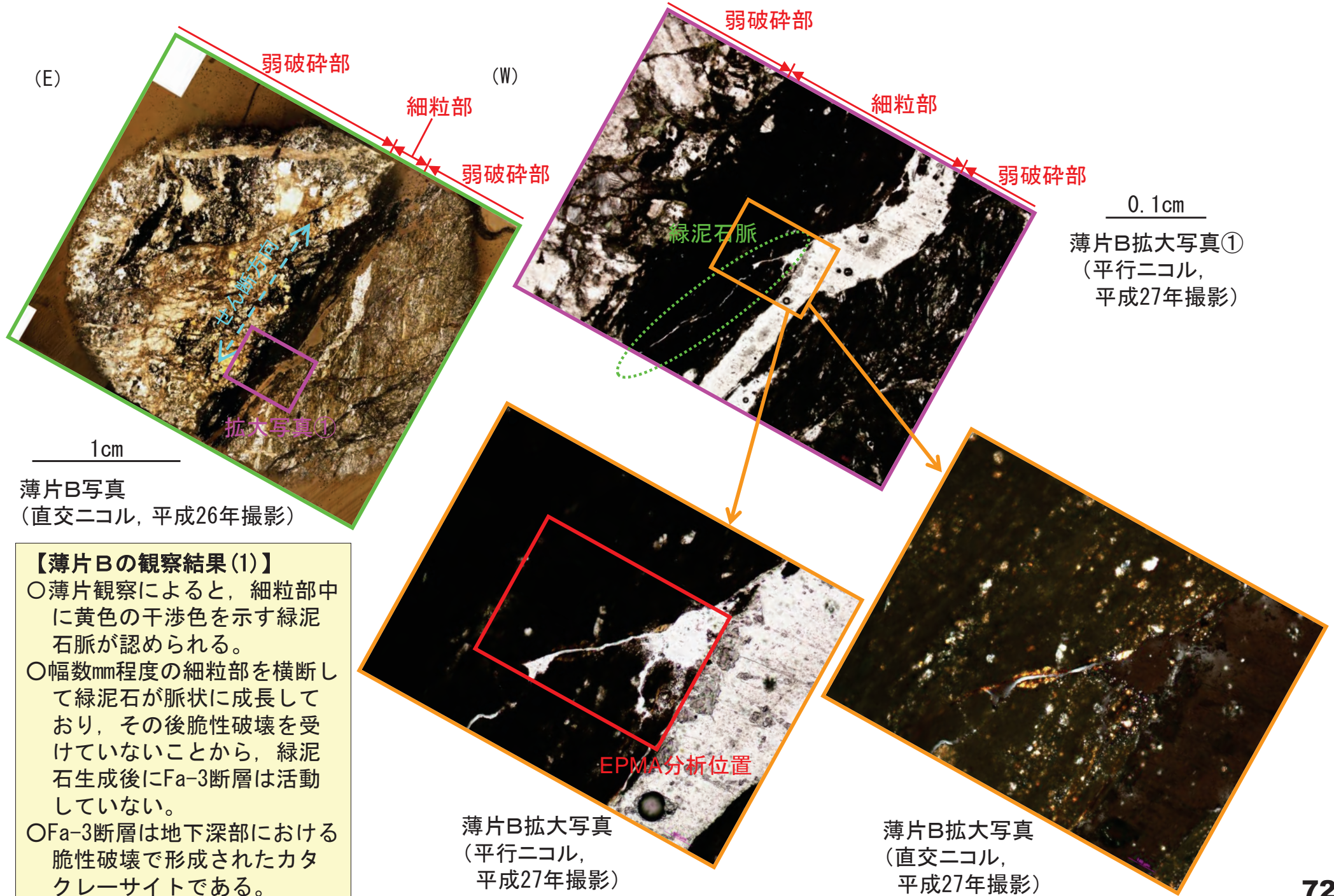


薄片B写真  
(直交ニコル, 平成26年撮影)

薄片Bスケッチ



# Fa-3断層内物質の詳細分析⑦ <薄片B観察結果(2)>



0.1cm  
薄片B拡大写真①  
(平行ニコル,  
平成27年撮影)

1cm  
薄片B写真  
(直交ニコル, 平成26年撮影)

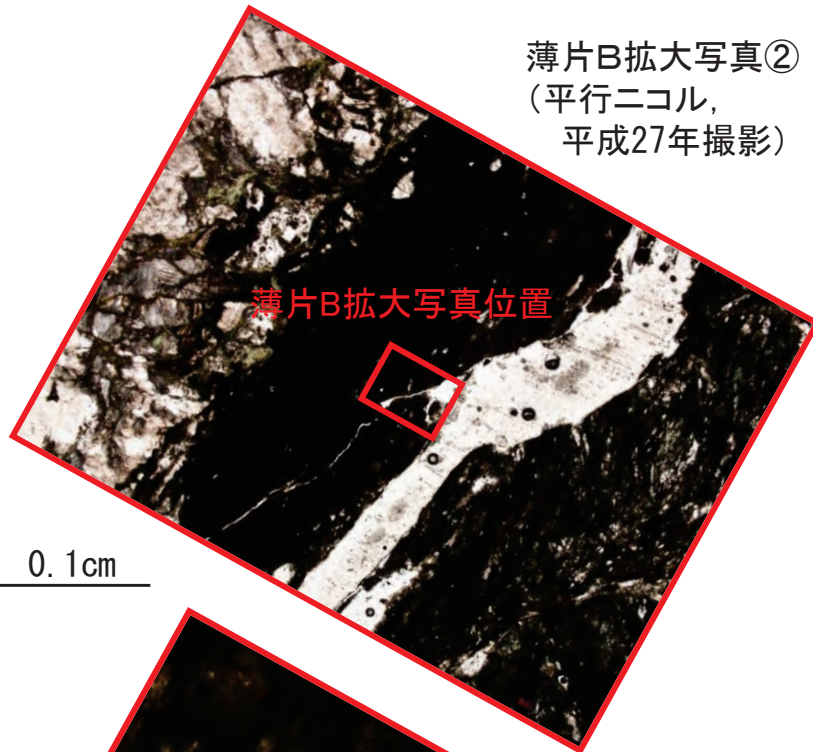
**【薄片Bの観察結果(1)】**  
 ○薄片観察によると、細粒部中に黄色の干渉色を示す緑泥石脈が認められる。  
 ○幅数mm程度の細粒部を横断して緑泥石が脈状に成長しており、その後脆性破壊を受けていないことから、緑泥石生成後にFa-3断層は活動していない。  
 ○Fa-3断層は地下深部における脆性破壊で形成されたカタクレーサイトである。

薄片B拡大写真  
(平行ニコル,  
平成27年撮影)

薄片B拡大写真  
(直交ニコル,  
平成27年撮影)

# Fa-3断層内物質の詳細分析⑧ <薄片BのEPMA分析(1)>

薄片B拡大写真②  
(平行ニコル,  
平成27年撮影)



0.1cm

○薄片観察において干渉色が黄色を呈する脈状鉱物のEPMA分析を行い、緑泥石の組成と比較する。

### 【緑泥石の判断基準】

拡大画像で脈状鉱物の分布範囲を正確に把握して分析した結果として、

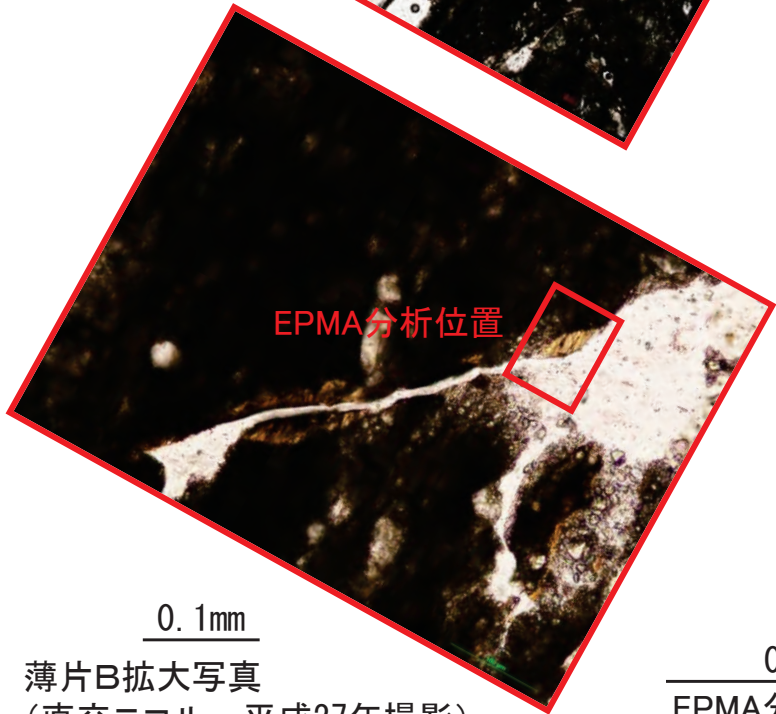
- ・Mass(%)が既存の文献(Deer et al.(1996))に示される分析結果と概ね整合的であること

SiO<sub>2</sub>のMassが30%程度, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>のMassが10~30%程度, FeOおよびMgOの合計のMassが30~40%程度, TotalのMassが85%程度

- ・測定した陽イオン数が緑泥石の化学組成の理想式である(Mg,Fe,Al)<sub>12</sub>(Si,Al)<sub>8</sub>O<sub>20</sub>(OH)<sub>16</sub>と一致すること

以上を踏まえ、緑泥石の同定を行った。

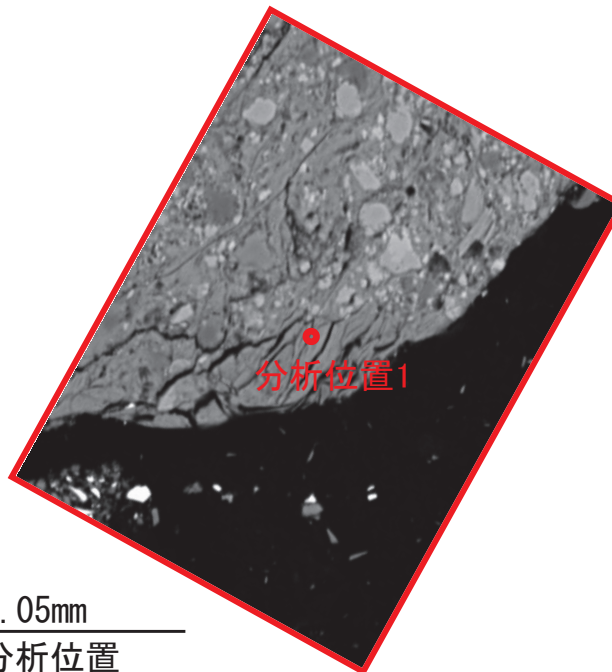
EPMA分析位置



0.1mm

薄片B拡大写真  
(直交ニコル, 平成27年撮影)

分析位置1



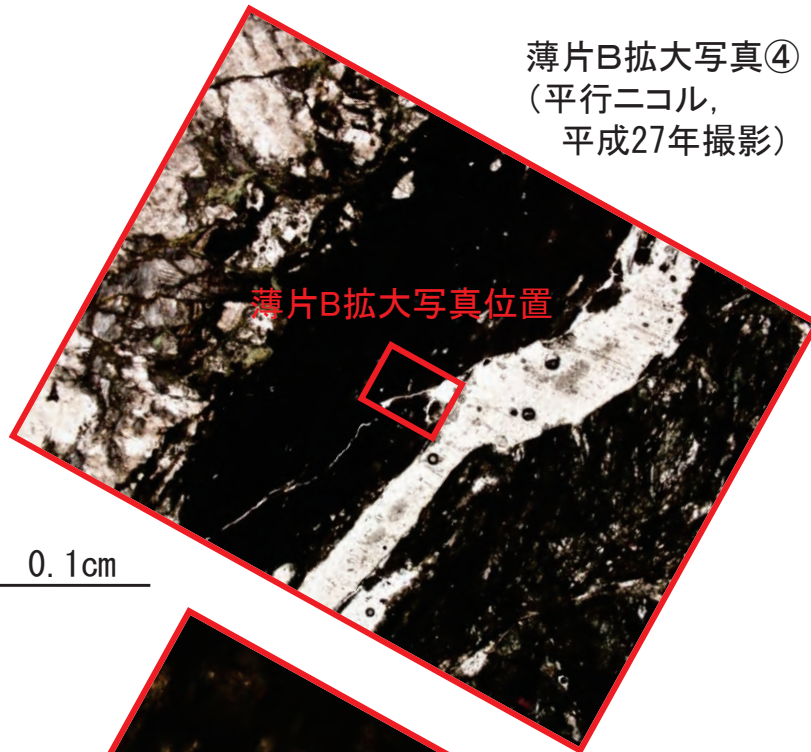
0.05mm

EPMA分析位置  
(SEM画像, 平成27年撮影)

Element	分析位置1	
	Mass (%)	Cation
SiO <sub>2</sub>	32.22	6.80
TiO <sub>2</sub>	0.06	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.08	3.00
FeO	20.49	3.62
MnO	0.33	0.06
MgO	19.18	6.03
CaO	0.69	0.16
Na <sub>2</sub> O	0.05	0.02
K <sub>2</sub> O	0.09	0.02
Total	85.17	19.71

# Fa-3断層内物質の詳細分析⑨ <薄片BのEPMA分析(2)>

薄片B拡大写真④  
(平行ニコル,  
平成27年撮影)



0.1cm

○薄片観察において干渉色が黄色を呈する脈状鉱物のEPMA分析を行い、緑泥石の組成と比較する。

### 【緑泥石の判断基準】

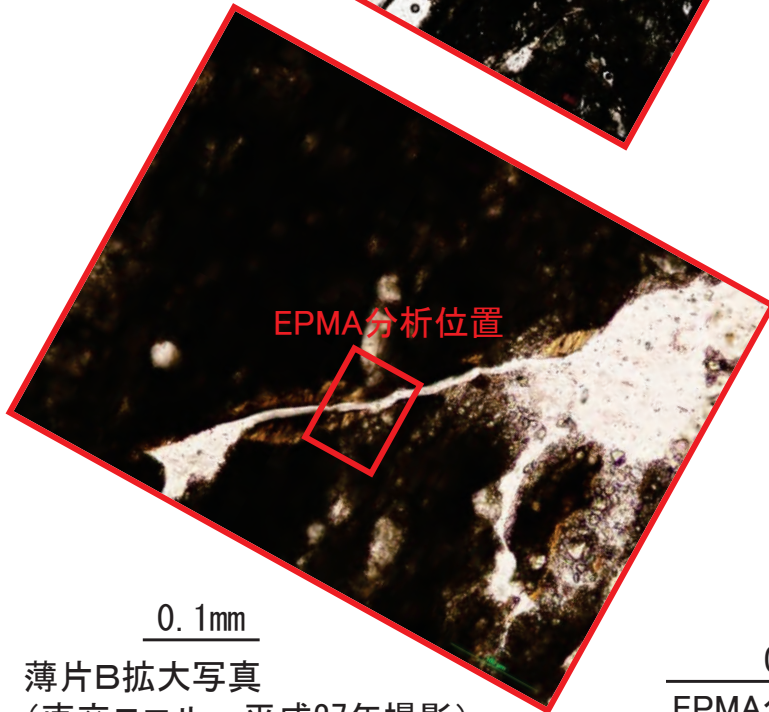
拡大画像で脈状鉱物の分布範囲を正確に把握して分析した結果として、  
・Mass(%)が既存の文献(Deer et al.(1996))に示される分析結果と概ね整合的であること

SiO<sub>2</sub>のMassが30%程度, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>のMassが10~30%程度, FeOおよびMgOの合計のMassが30~40%程度, TotalのMassが85%程度

・測定した陽イオン数が緑泥石の化学組成の理想式である  
(Mg,Fe,Al)<sub>12</sub>(Si,Al)<sub>8</sub>O<sub>20</sub>(OH)<sub>16</sub>とほぼ一致すること

以上を踏まえ、緑泥石の同定を行った。

EPMA分析位置

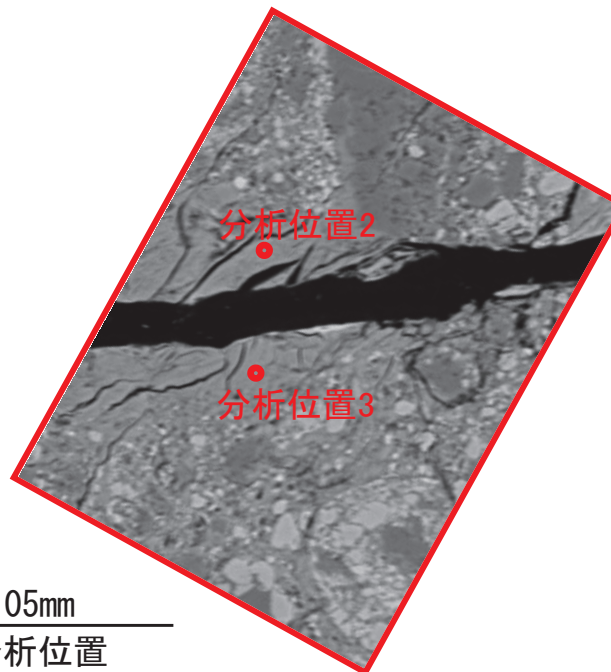


0.1mm

薄片B拡大写真  
(直交ニコル, 平成27年撮影)

分析位置2

分析位置3

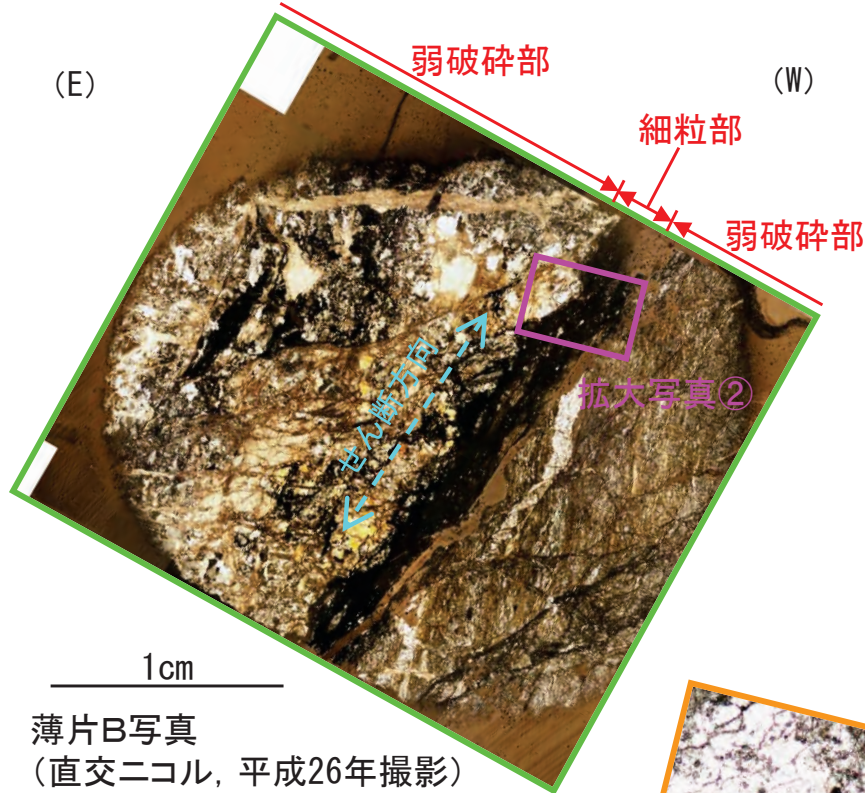


0.05mm

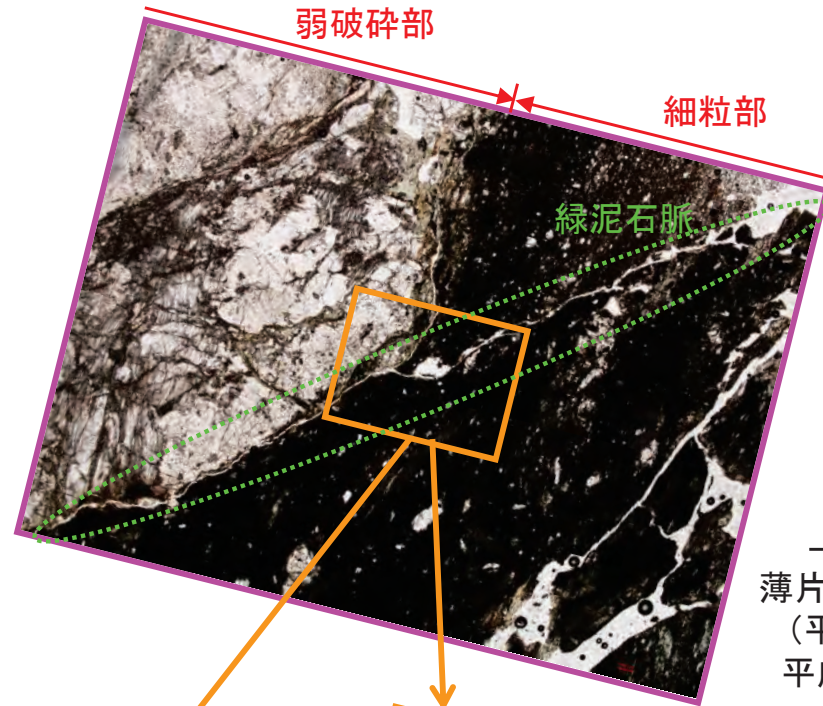
EPMA分析位置  
(SEM画像, 平成27年撮影)

Element	分析位置2		分析位置3	
	Mass (%)	Cation	Mass (%)	Cation
SiO <sub>2</sub>	29.78	6.55	31.94	6.77
TiO <sub>2</sub>	0.02	0.00	0.02	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.87	3.07	12.58	3.14
FeO	20.60	3.79	20.69	3.67
MnO	0.46	0.09	0.38	0.07
MgO	19.22	6.30	18.63	5.89
CaO	0.45	0.11	0.46	0.10
Na <sub>2</sub> O	0.04	0.02	0.02	0.01
K <sub>2</sub> O	0.05	0.01	0.09	0.03
Total	82.48	19.93	84.81	19.67

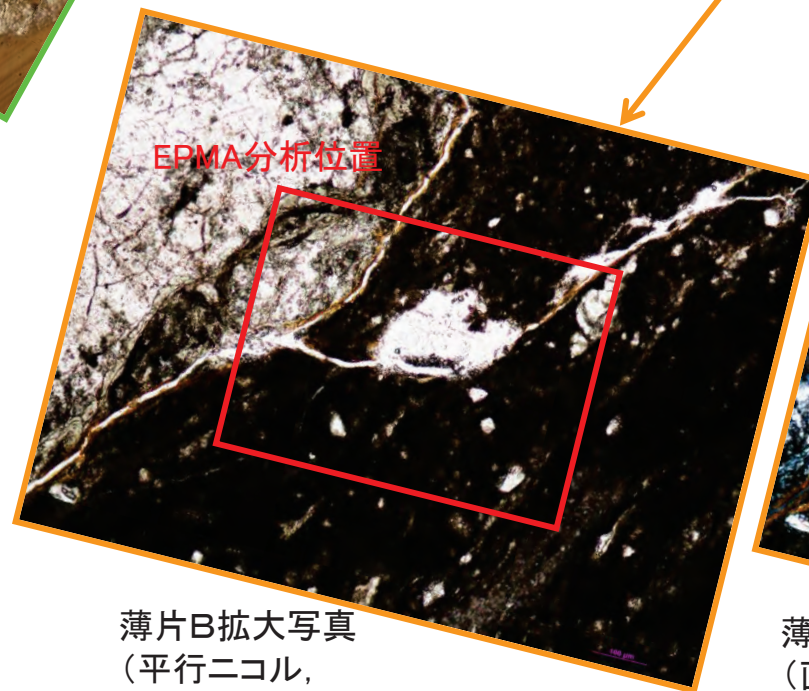
# Fa-3断層内物質の詳細分析⑩ <薄片B観察結果(3)>



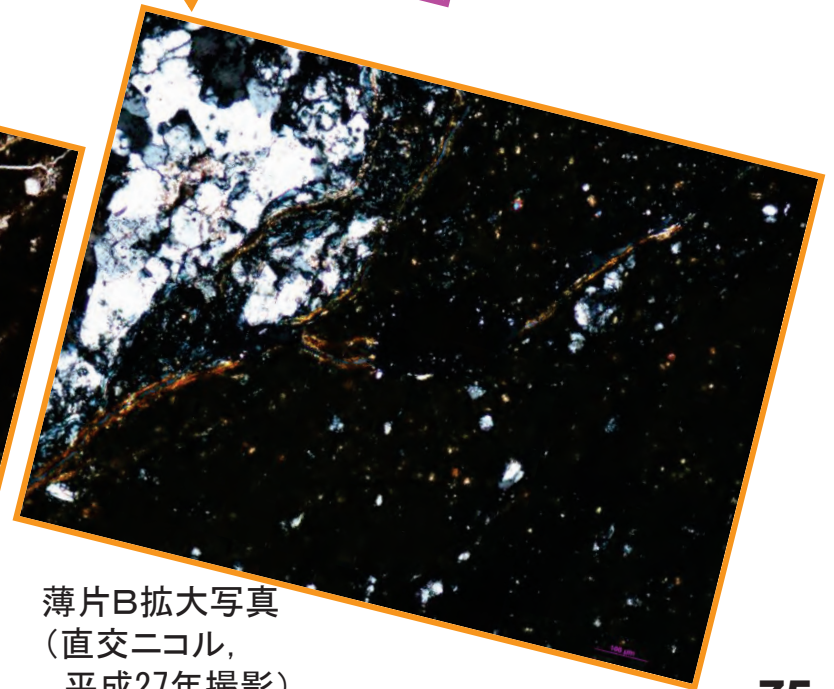
薄片B写真  
(直交ニコル, 平成26年撮影)



薄片B拡大写真②  
(平行ニコル, 平成27年撮影)



薄片B拡大写真  
(平行ニコル, 平成27年撮影)



薄片B拡大写真  
(直交ニコル, 平成27年撮影)

## 【薄片Bの観察結果(2)】

- 薄片観察によると、細粒部中に黄色の干渉色を示す緑泥石脈が認められる。
- 幅数mm程度の細粒部を横断して緑泥石が脈状に成長しており、その後脆性破壊を受けていないことから、緑泥石生成後にFa-3断層は活動していない。
- Fa-3断層は地下深部における脆性破壊で形成されたカタクレサイトである。

# Fa-3断層内物質の詳細分析⑪ <薄片BのEPMA分析(3)>

○薄片観察において干渉色が黄色を呈する脈状鉱物のEPMA分析を行い、緑泥石の組成と比較する。

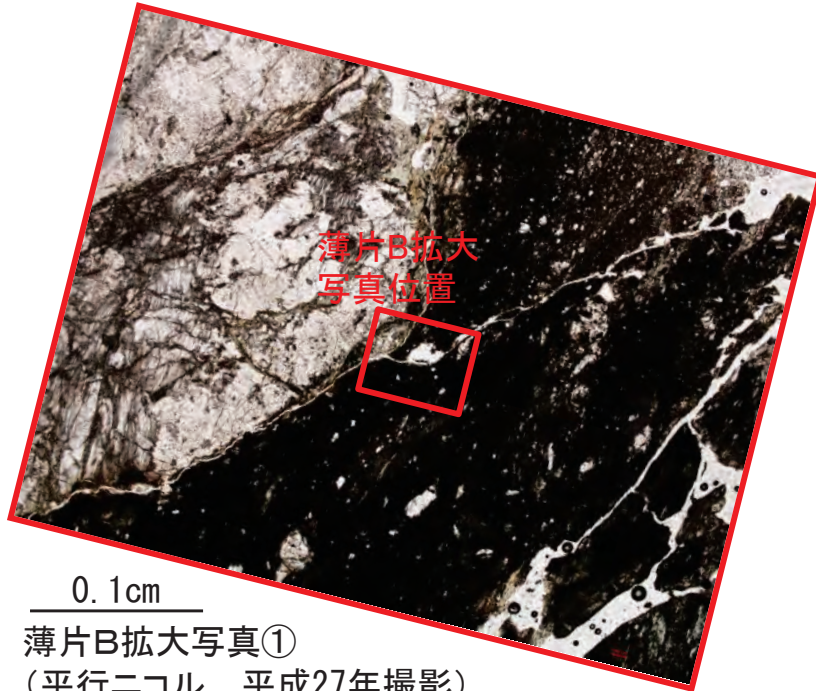
### 【緑泥石の判断基準】

拡大画像で脈状鉱物の分布範囲を正確に把握して分析した結果として、  
 ・Mass(%)が既存の文献(Deer et al.(1996))に示される分析結果と概ね整合的であること

SiO<sub>2</sub>のMassが30%程度, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>のMassが10~30%程度, FeOおよびMgOの合計のMassが30~40%程度, TotalのMassが85%程度

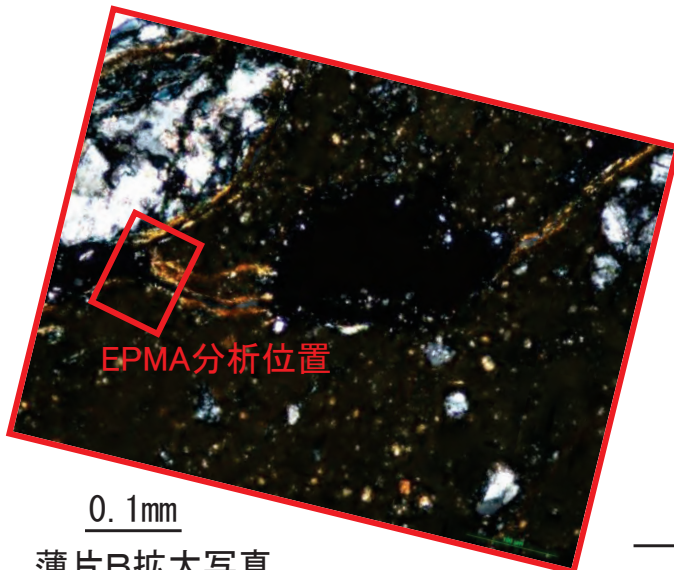
・測定した陽イオン数が緑泥石の化学組成の理想式である  
 (Mg,Fe,Al)<sub>12</sub>(Si,Al)<sub>8</sub>O<sub>20</sub>(OH)<sub>16</sub>とほぼ一致すること

以上を踏まえ、緑泥石の同定を行った。



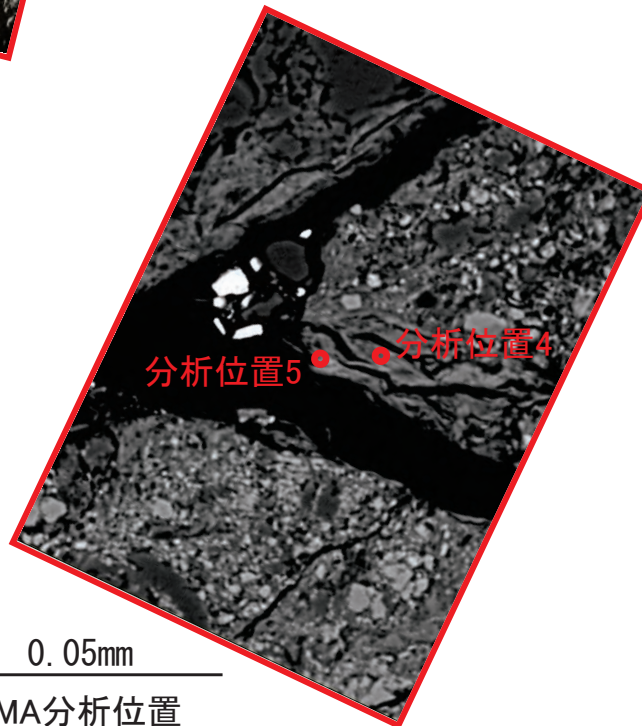
0.1cm

薄片B拡大写真①  
 (平行ニコル, 平成27年撮影)



0.1mm

薄片B拡大写真  
 (直交ニコル, 平成27年撮影)



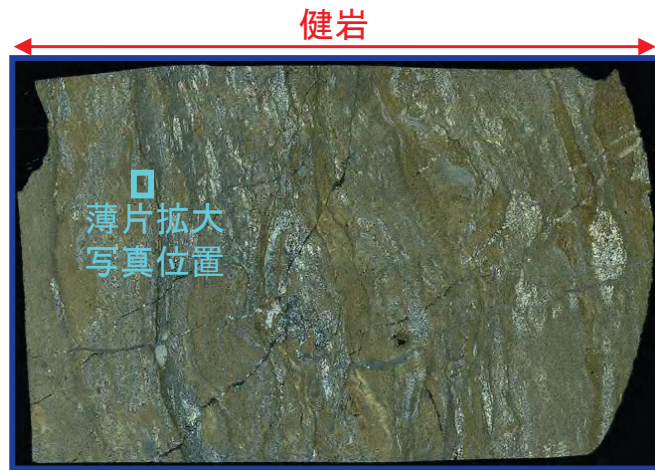
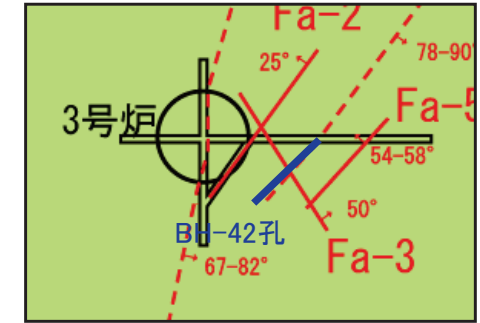
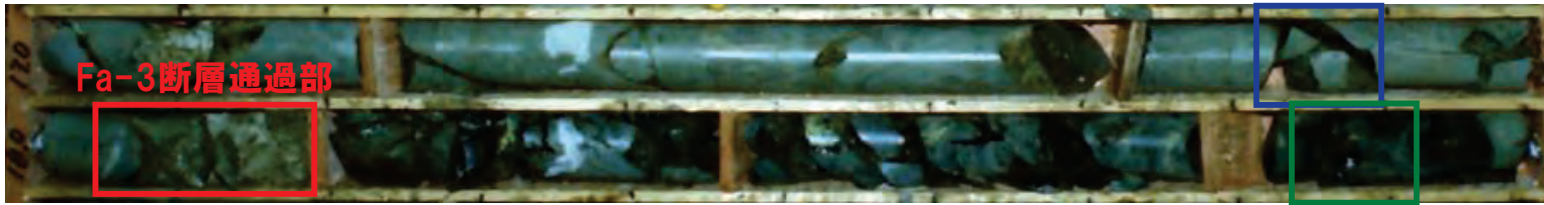
0.05mm

EPMA分析位置  
 (SEM画像, 平成27年撮影)

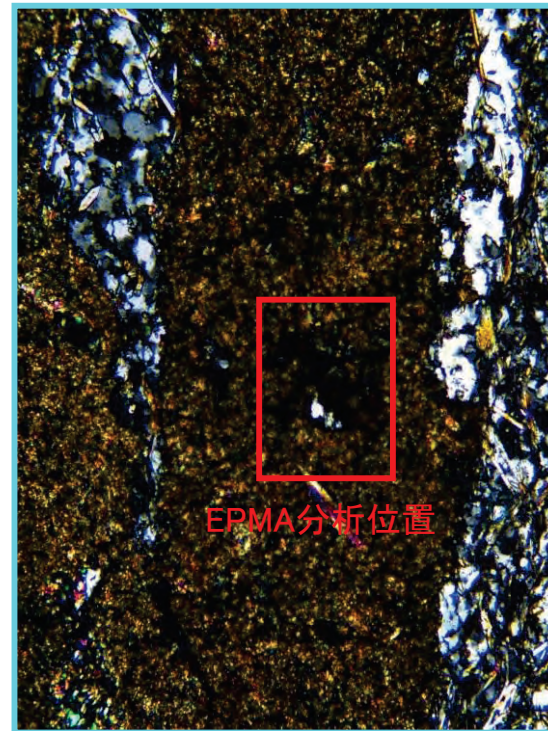
Element	分析位置4		分析位置5	
	Mass (%)	Cation	Mass (%)	Cation
SiO <sub>2</sub>	35.55	7.45	34.30	7.40
TiO <sub>2</sub>	0.03	0.00	0.03	0.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.79	2.42	8.43	2.15
FeO	20.37	3.57	27.13	4.90
MnO	0.30	0.05	0.24	0.04
MgO	17.52	5.47	14.39	4.63
CaO	1.46	0.33	1.41	0.33
Na <sub>2</sub> O	0.13	0.05	0.15	0.06
K <sub>2</sub> O	0.26	0.07	0.24	0.07
Total	85.40	19.40	86.32	19.58

# Fa-3断層内物質の詳細分析⑫ <周辺母岩のEPMA分析(1)>

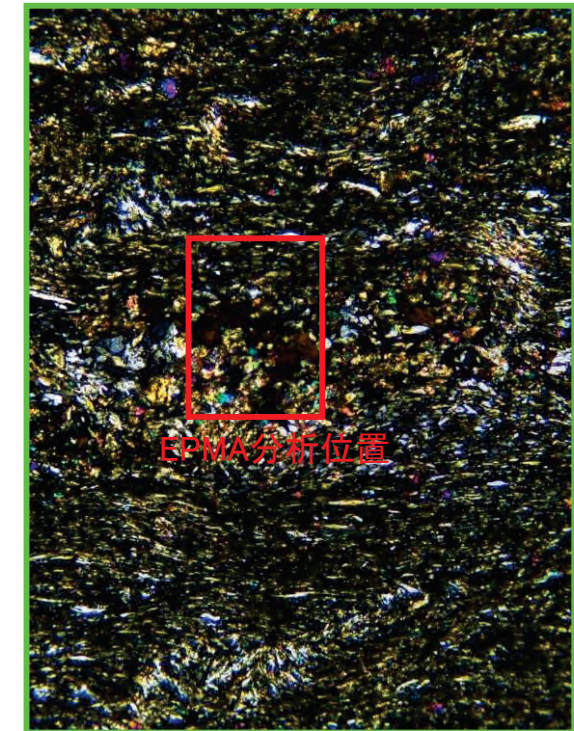
BH-42孔コア写真深度17m~19m(S58年取得・撮影)



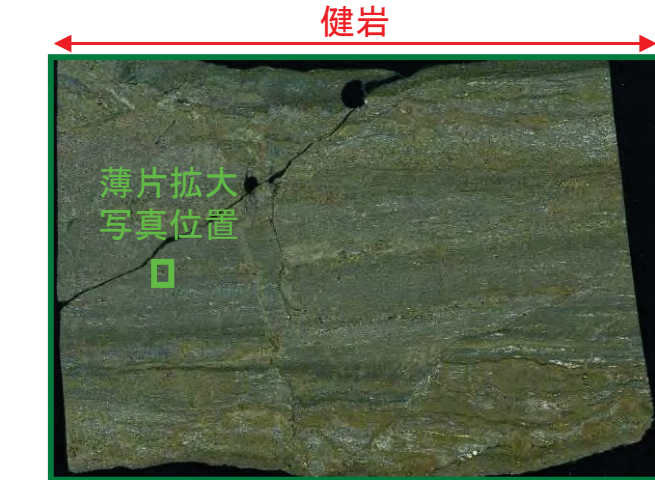
母岩分析位置①薄片写真  
(直交ニコル, 平成27年撮影)



0.1mm 母岩分析位置①薄片拡大写真  
(直交ニコル, 平成27年撮影)



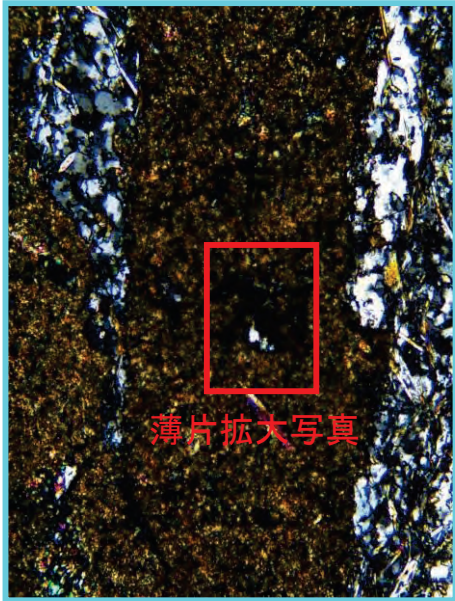
0.1mm 母岩分析位置②薄片拡大写真  
(直交ニコル, 平成27年撮影)



母岩分析位置②薄片写真  
(直交ニコル, 平成27年撮影)

○Fa-3断層が通過するBH-42孔において, Fa-3断層通過部周辺の母岩において片理面に沿う緑泥石等のEPMA分析を実施した。

# Fa-3断層内物質の詳細分析⑬ <周辺母岩のEPMA分析(2)>



薄片拡大写真

0.1mm

母岩分析位置①  
薄片拡大写真  
(直交ニコル,  
平成27年撮影)

○薄片観察において緑泥石と同定した鉱物のEPMA分析を行い、緑泥石の組成と比較する。

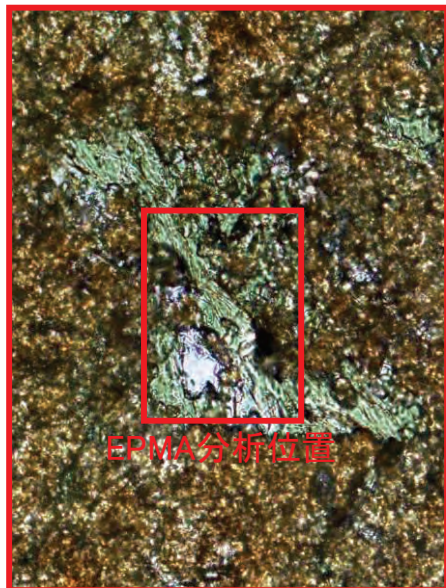
### 【緑泥石の判断基準】

拡大画像で脈状鉱物の分布範囲を正確に把握して分析した結果として、  
・Mass(%)が既存の文献(Deer et al.(1996))に示される分析結果と概ね整合的であること

SiO<sub>2</sub>のMassが30%程度, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>のMassが10~30%程度, FeOおよびMgOの合計のMassが30~40%程度, TotalのMassが85%程度

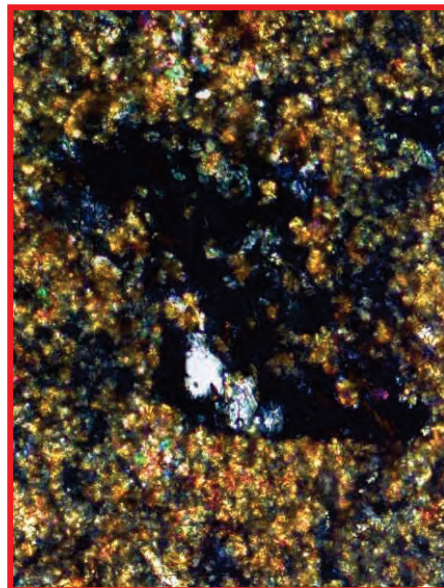
・測定した陽イオン数が緑泥石の化学組成の理想式である  
(Mg,Fe,Al)<sub>12</sub>(Si,Al)<sub>8</sub>O<sub>20</sub>(OH)<sub>16</sub>とほぼ一致すること

以上を踏まえ、緑泥石の同定を行った。



EPMA分析位置

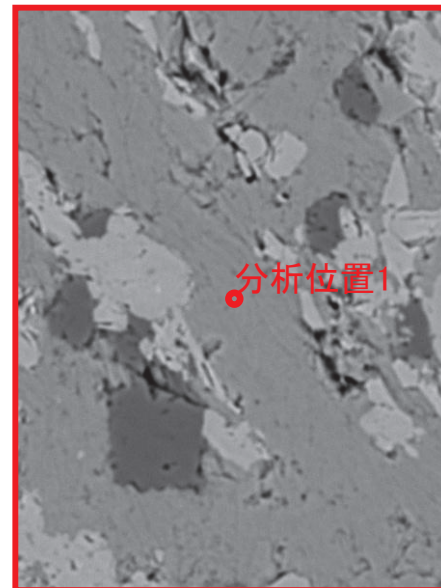
平行ニコル



直交ニコル

0.1mm

薄片拡大写真(平成27年撮影)



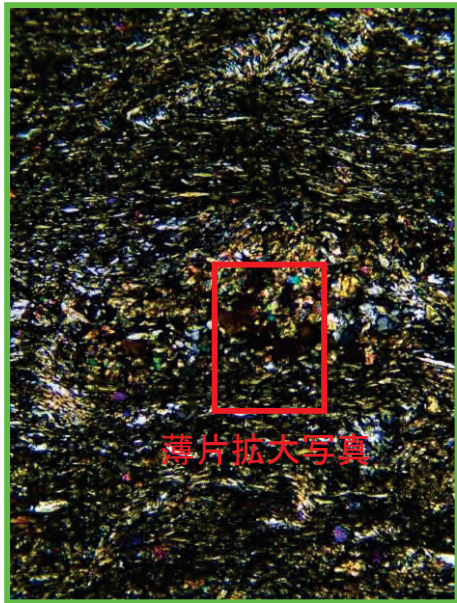
分析位置1

0.05mm

EPMA分析位置  
(SEM画像,  
平成27年撮影)

Element	分析位置1	
	Mass (%)	Cation
SiO <sub>2</sub>	29.43	6.06
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.99	4.13
FeO	22.60	3.89
MnO	0.45	0.08
MgO	18.51	5.68
CaO	0.11	0.03
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.00
K <sub>2</sub> O	0.04	0.01
Total	88.13	19.88

# Fa-3断層内物質の詳細分析⑭ <周辺母岩のEPMA分析(3)>



0.1mm

母岩分析位置②  
薄片拡大写真  
(直交ニコル,  
平成27年撮影)

○薄片観察において緑泥石と同定した鉱物のEPMA分析を行い、緑泥石の組成と比較する。

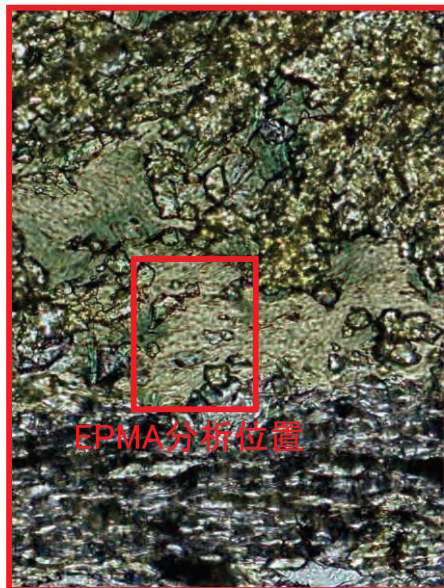
### 【緑泥石の判断基準】

拡大画像で脈状鉱物の分布範囲を正確に把握して分析した結果として、  
・Mass(%)が既存の文献(Deer et al.(1996))に示される分析結果と概ね整合的であること

SiO<sub>2</sub>のMassが30%程度, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>のMassが10~30%程度, FeOおよびMgOの合計のMassが30~40%程度, TotalのMassが85%程度

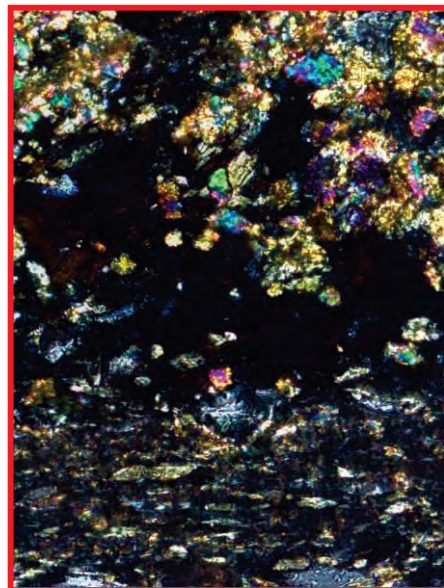
・測定した陽イオン数が緑泥石の化学組成の理想式である  
(Mg,Fe,Al)<sub>12</sub>(Si,Al)<sub>8</sub>O<sub>20</sub>(OH)<sub>16</sub>とほぼ一致すること

以上を踏まえ、緑泥石の同定を行った。

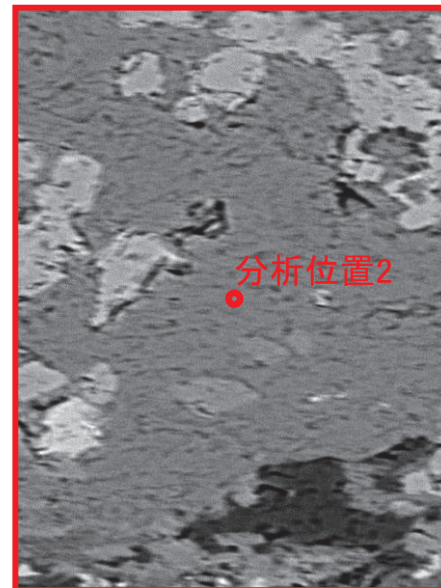


EPMA分析位置

平行ニコル



直交ニコル



分析位置2

0.05mm

EPMA分析位置  
(SEM画像,  
平成27年撮影)

Element	分析位置2	
	Mass (%)	Cation
SiO <sub>2</sub>	27.24	5.66
TiO <sub>2</sub>	0.04	0.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.54	4.54
FeO	23.83	4.14
MnO	0.48	0.09
MgO	18.09	5.61
CaO	0.04	0.01
Na <sub>2</sub> O	0.01	0.00
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00
Total	88.28	20.06

0.1mm

薄片拡大写真(平成27年撮影)



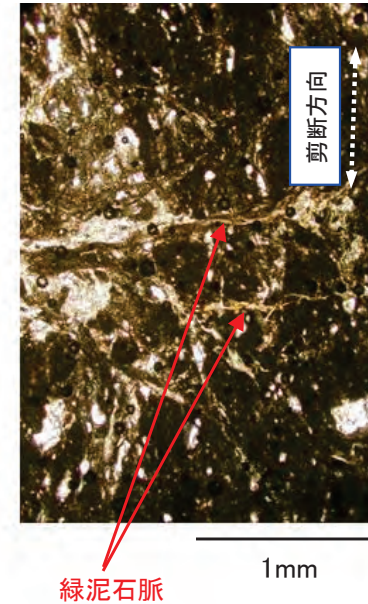
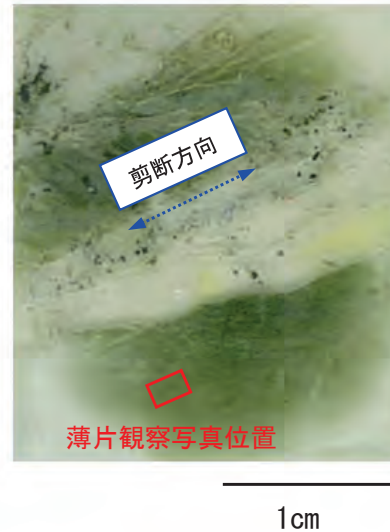
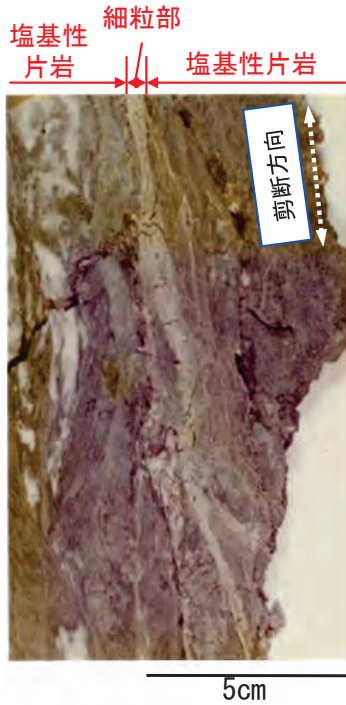
# Fa-3断層内物質の詳細分析⑮ <活断層との比較>

試料接写写真

薄片写真

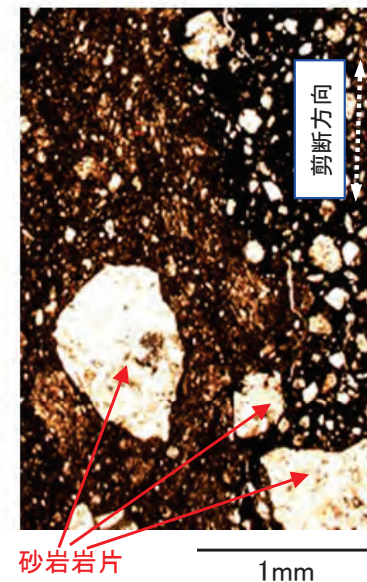
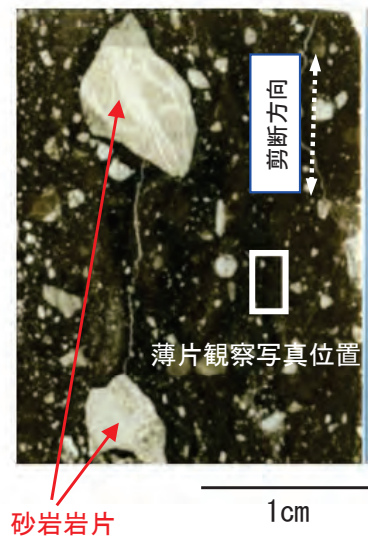
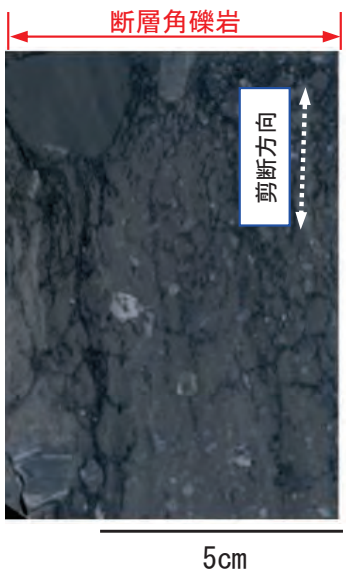
薄片観察写真(平行ニコル)

Fa-3断層



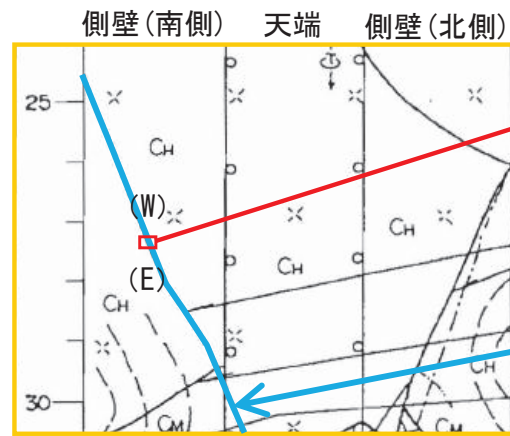
○Fa-3断層は細粒の破碎岩片と粘土鉱物で構成され、細粒部を横断して緑泥石が脈状に成長し、地下深部での生成を示す。

中央構造線  
断層帯  
(川上断層,  
湯谷口地点)

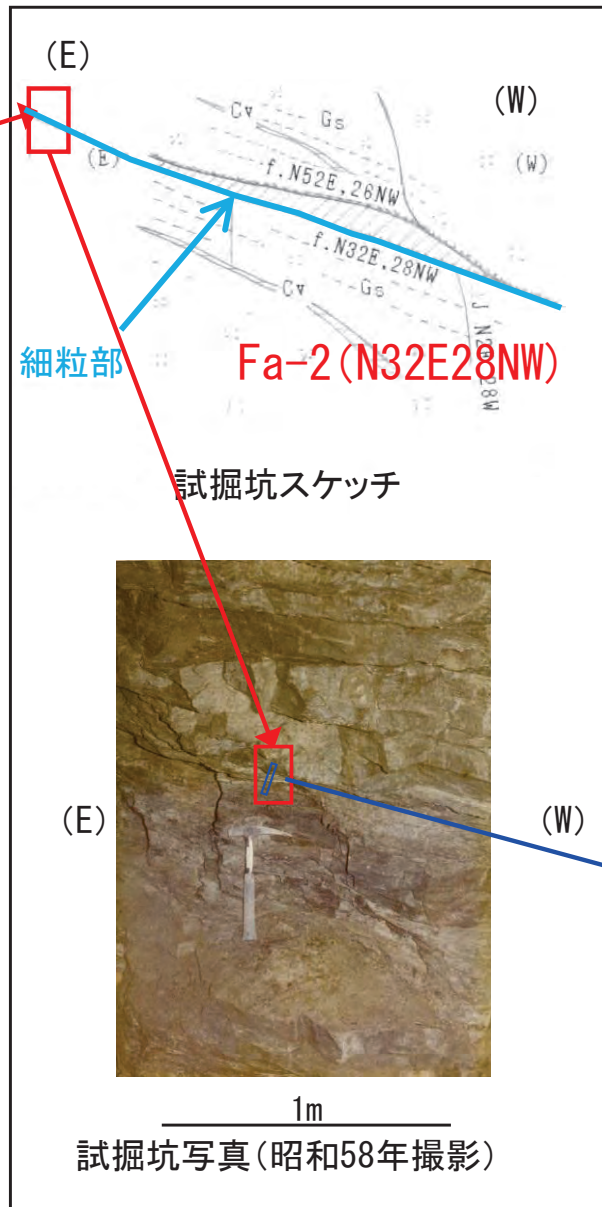


○川上断層は地下浅部の脆性破壊に特徴的な淘汰の悪い角礫状の砂岩岩片と細粒基質で構成され、地下深部での生成を示す鉱物脈の成長や塑性変形は認められない。

# Fa-2断層内物質の詳細分析① <研磨片作成位置>

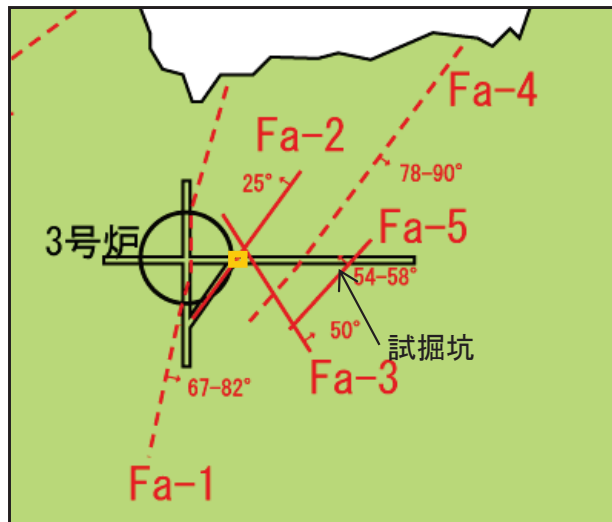


試掘坑展開図



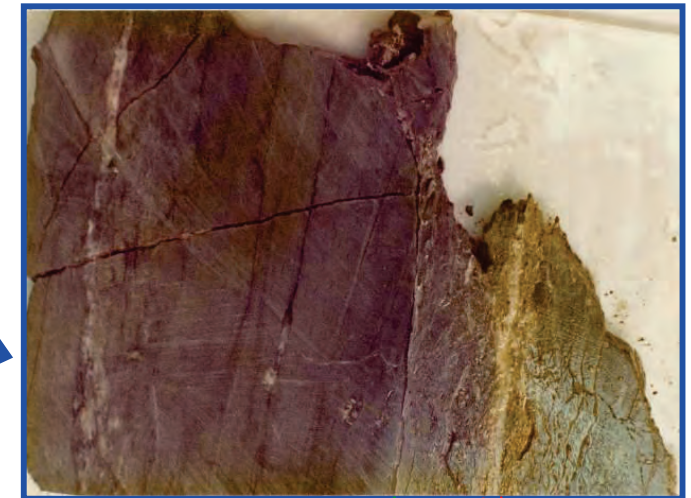
試掘坑写真(昭和58年撮影)

○Fa-3断層とFa-2断層は切り切られの関係にあることから、Fa-2断層についても活動性評価を行う。  
○主せん断面と対応する細粒部付近を分析する。



■ : 分析位置(展開図に対応)

(S) ※試掘坑壁面奥側方向

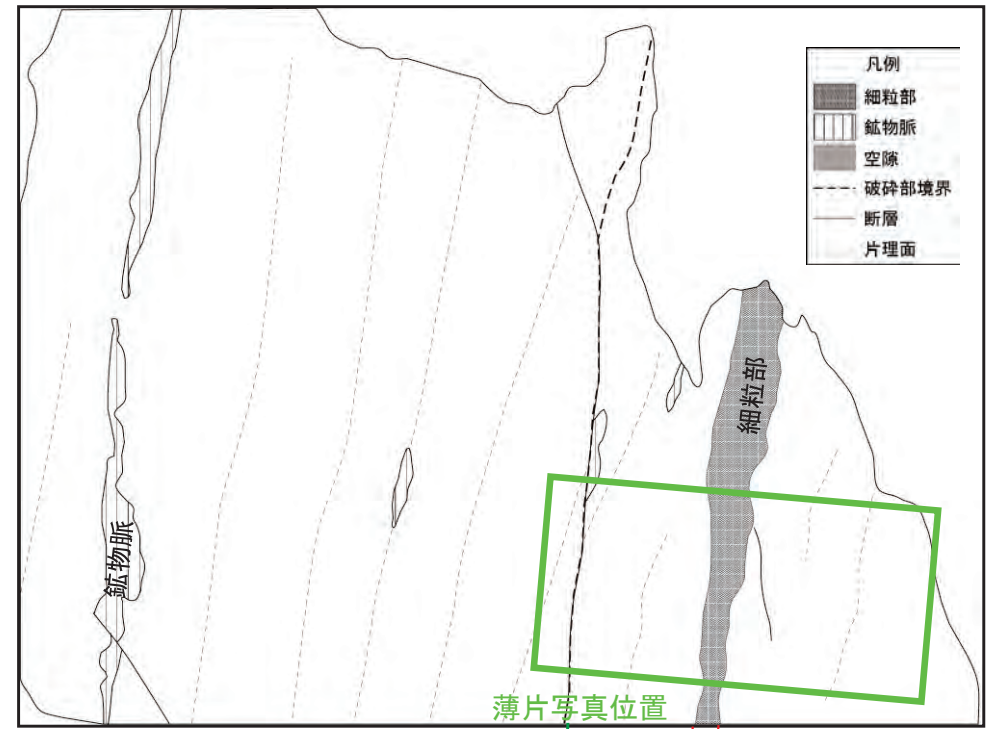
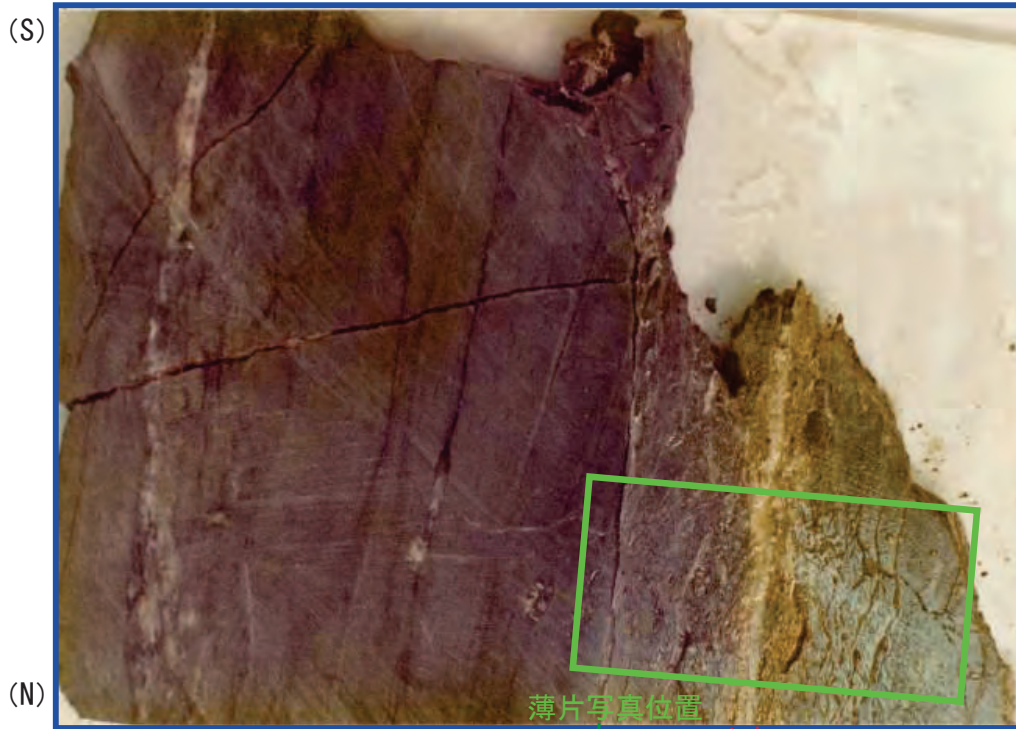


※試掘坑壁面 手前方向  
塩基性片岩  
細粒部  
破碎部  
5cm

走向方向研磨片写真(昭和58年撮影)

# Fa-2断層内物質の詳細分析② <研磨片観察結果>

○主せん断面と対応する細粒部は幅数mm程度である。



塩基性片岩

細粒部

塩基性片岩

破碎部

5cm

走向方向研磨片写真  
(昭和58年撮影)

塩基性片岩

細粒部

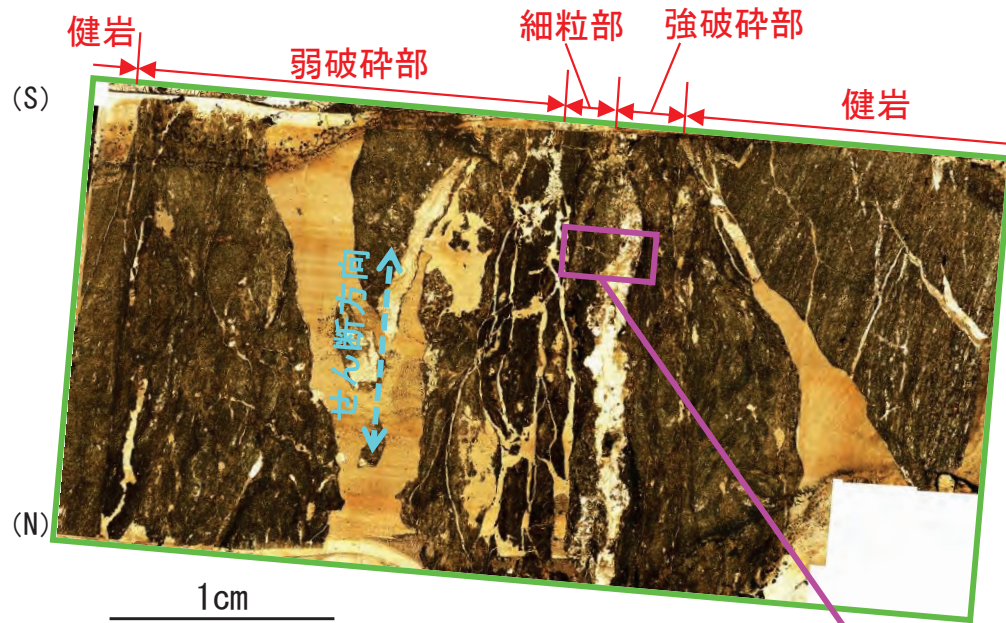
塩基性片岩

破碎部

5cm

研磨片スケッチ

# Fa-2断層内物質の詳細分析③ <薄片観察結果>



薄片写真(直交ニコル, 平成26年撮影)

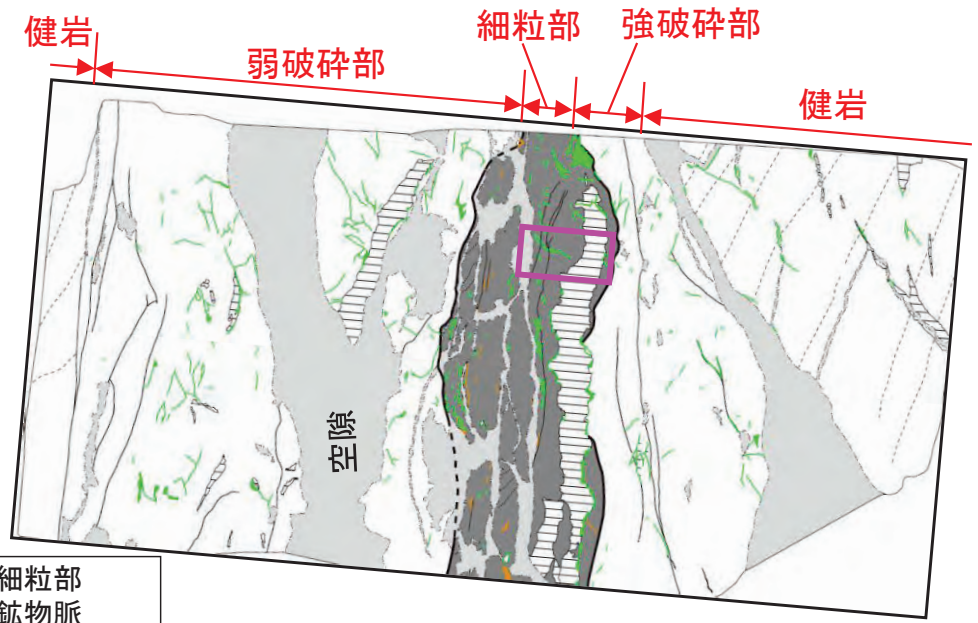
## 【Fa-2断層の分析結果】

- 薄片観察によると、細粒部中に異常干渉色を示す緑泥石脈および黄色の干渉色を示す緑泥石脈が認められる。
- 幅数mm程度の細粒部に沿って石英脈・方解石脈が成長するとともに、細粒部を横断して緑泥石が脈状に成長しており、その後脆性破壊を受けていないことから、石英・方解石および緑泥石生成後にFa-2断層は活動していない。
- Fa-2断層は地下深部における脆性破壊で形成されたカタクレーサイトである。

1mm

薄片拡大写真(直交ニコル, 平成26年撮影)

詳細データ集P76参照

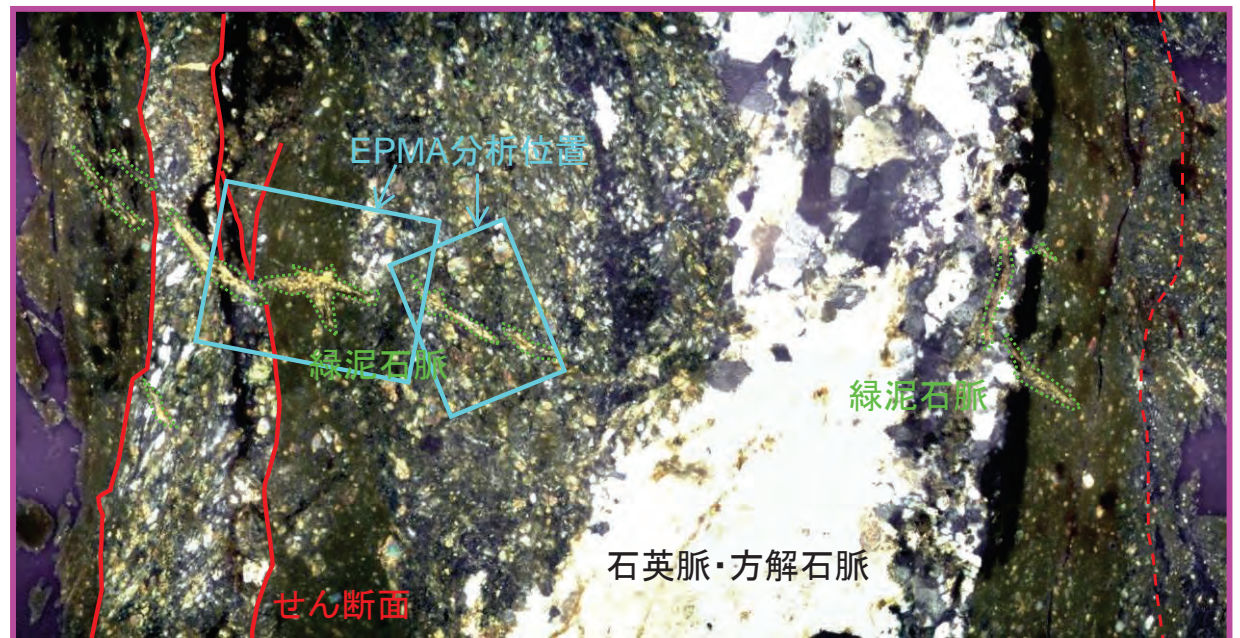


■	細粒部
▨	鉱物脈
■	緑泥石脈
■	変質鉱物脈
---	せん断面

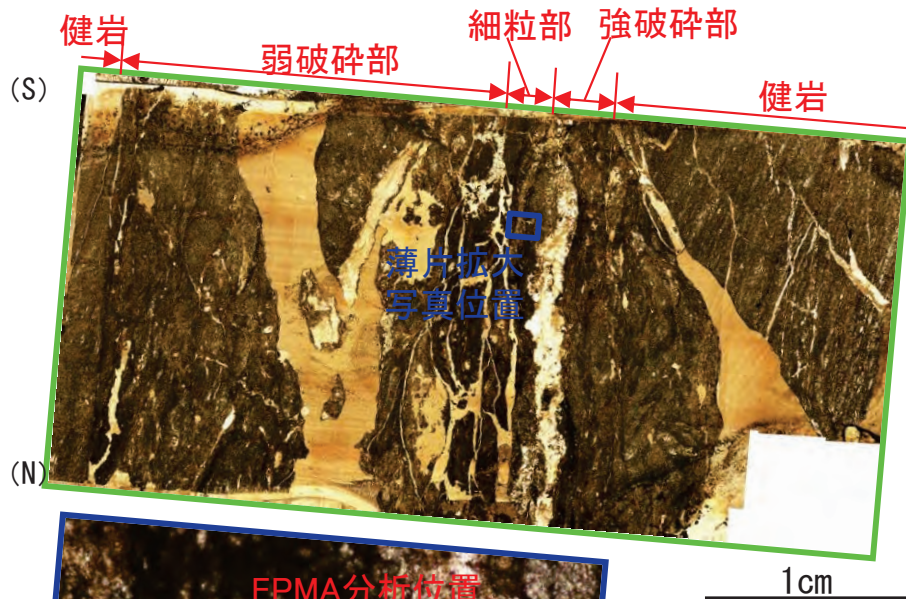
細粒部

薄片スケッチ

強破碎部



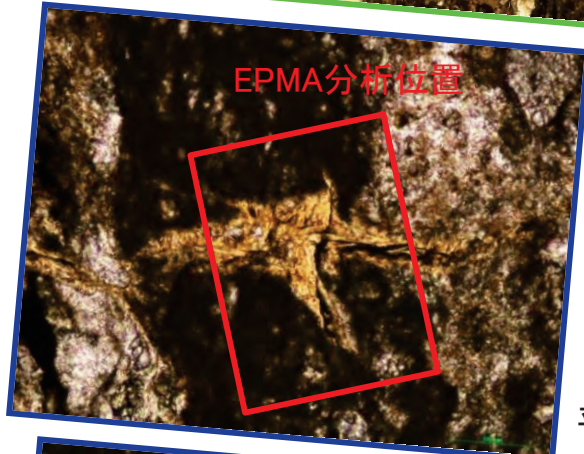
# Fa-2断層内物質の詳細分析④ <EPMA分析(1)>



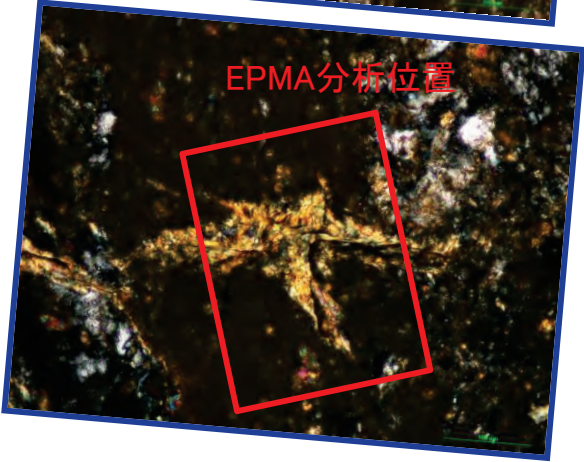
○薄片観察において干渉色が黄色を示す脈状鉱物のEPMA分析を行い、緑泥石の組成と比較する。

**【緑泥石の判断基準】**  
 拡大画像で脈状鉱物の分布範囲を正確に把握して分析した結果として、  
 ・Mass(%)が既存の文献(Deer et al.(1996))に示される分析結果と概ね整合的であること  
 SiO<sub>2</sub>のMassが30%程度, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>のMassが10~30%程度, FeOおよびMgOの合計のMassが30~40%程度, TotalのMassが85%程度  
 ・測定した陽イオン数が緑泥石の化学組成の理想式である (Mg,Fe,Al)<sub>12</sub>(Si,Al)<sub>8</sub>O<sub>20</sub>(OH)<sub>16</sub>とほぼ一致すること  
 以上を踏まえ、緑泥石の同定を行った。

薄片写真(直交ニコル, 平成26年撮影)

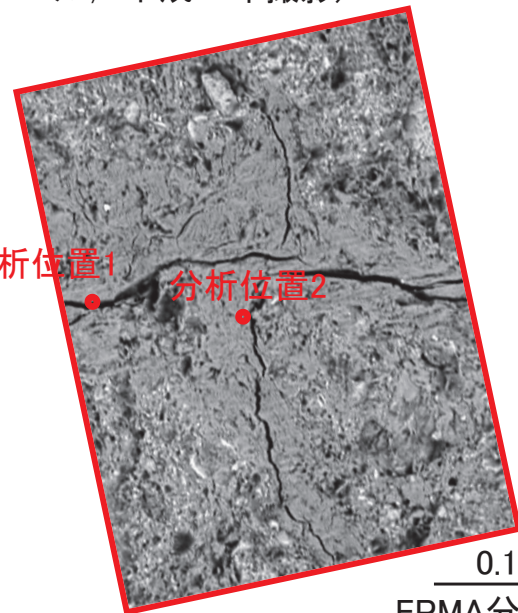


平行ニコル



直交ニコル

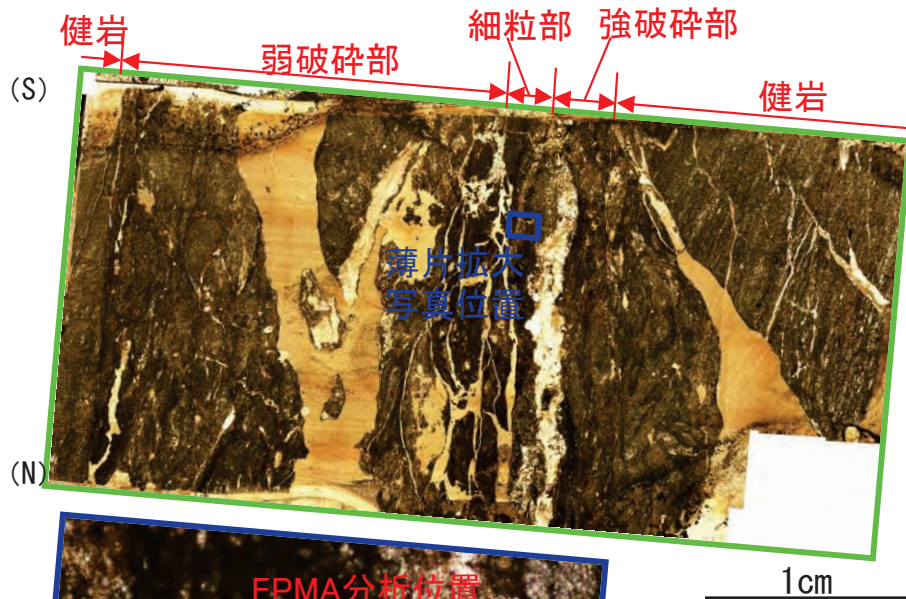
0.1mm  
薄片拡大写真  
(平成27年撮影)



0.1mm  
EPMA分析位置  
(SEM画像, 平成27年撮影)

Element	分析位置1		分析位置2	
	Mass (%)	Cation	Mass (%)	Cation
SiO <sub>2</sub>	32.40	6.87	32.59	7.10
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.00	0.81	0.13
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.57	3.14	12.66	3.25
FeO	21.56	3.82	19.39	3.53
MnO	0.31	0.06	0.29	0.05
MgO	17.45	5.52	14.91	4.84
CaO	0.55	0.13	0.72	0.17
Na <sub>2</sub> O	0.04	0.01	0.05	0.02
K <sub>2</sub> O	0.08	0.02	0.39	0.11
Total	84.97	19.57	81.81	19.21

# Fa-2断層内物質の詳細分析⑤ <EPMA分析(2)>



○薄片観察において干渉色が黄色を示す脈状鉱物のEPMA分析を行い、緑泥石の組成と比較する。

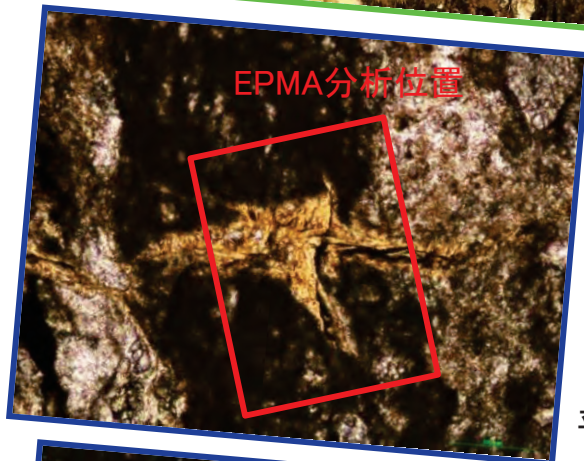
**【緑泥石の判断基準】**  
 拡大画像で脈状鉱物の分布範囲を正確に把握して分析した結果として、  
 ・Mass(%)が既存の文献(Deer et al.(1996))に示される分析結果と概ね整合的であること

SiO<sub>2</sub>のMassが30%程度, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>のMassが10~30%程度, FeOおよびMgOの合計のMassが30~40%程度, TotalのMassが85%程度

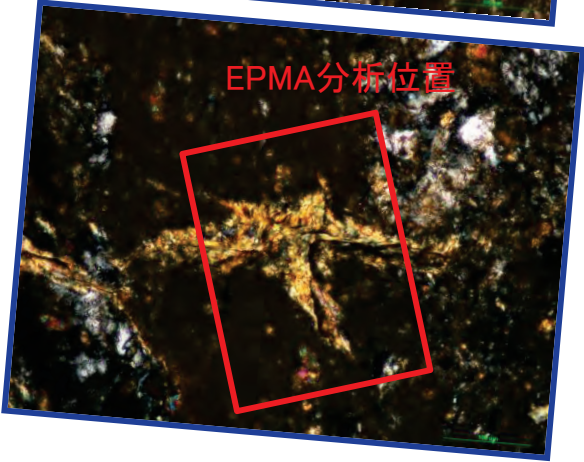
・測定した陽イオン数が緑泥石の化学組成の理想式である  
 (Mg,Fe,Al)<sub>12</sub>(Si,Al)<sub>8</sub>O<sub>20</sub>(OH)<sub>16</sub>とほぼ一致すること

以上を踏まえ、緑泥石の同定を行った。

薄片写真(直交ニコル, 平成26年撮影)

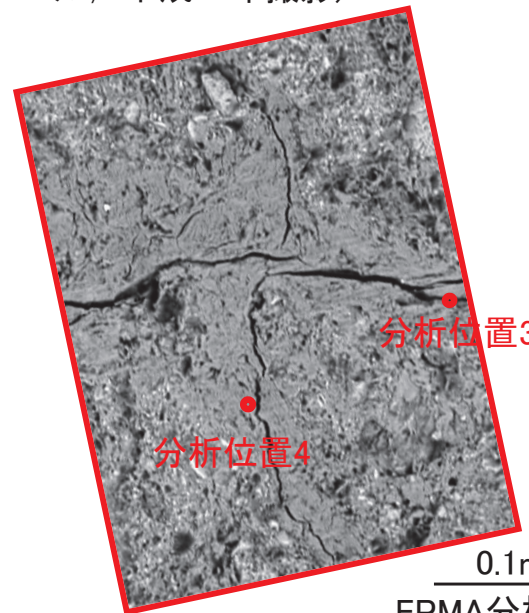


平行ニコル



直交ニコル

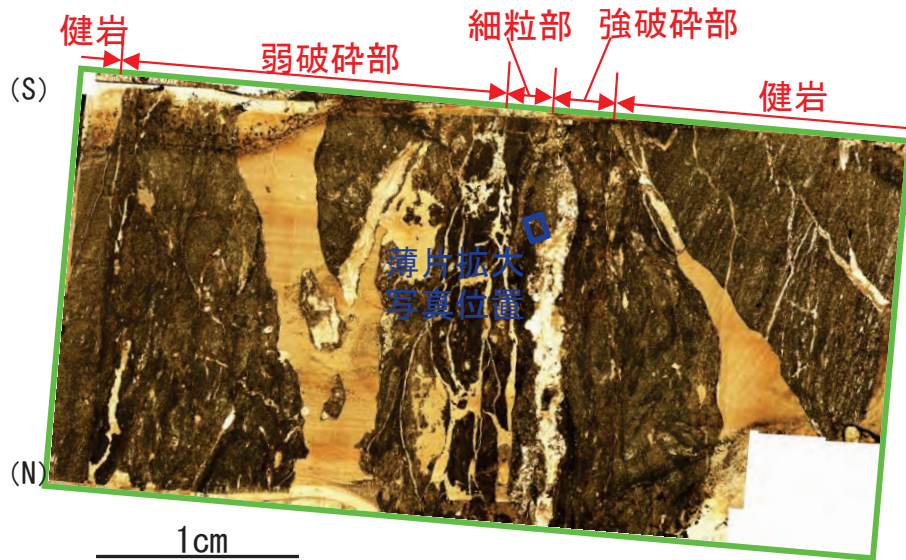
0.1mm  
薄片拡大写真  
(平成27年撮影)



0.1mm  
EPMA分析位置  
(SEM画像, 平成27年撮影)

Element	分析位置3		分析位置4	
	Mass (%)	Cation	Mass (%)	Cation
SiO <sub>2</sub>	31.38	6.86	33.03	7.10
TiO <sub>2</sub>	0.03	0.01	0.02	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.57	2.98	12.48	3.16
FeO	20.31	3.72	19.35	3.48
MnO	0.30	0.05	0.20	0.04
MgO	17.98	5.86	16.48	5.28
CaO	0.49	0.12	1.03	0.24
Na <sub>2</sub> O	0.09	0.04	0.07	0.03
K <sub>2</sub> O	0.12	0.03	0.13	0.04
Total	82.27	19.67	82.79	19.35

# Fa-2断層内物質の詳細分析⑥ <EPMA分析(3)>



薄片写真(直交ニコル, 平成26年撮影)

○薄片観察において異常干渉色を示す脈状鉱物のEPMA分析を行い、緑泥石の組成と比較する。

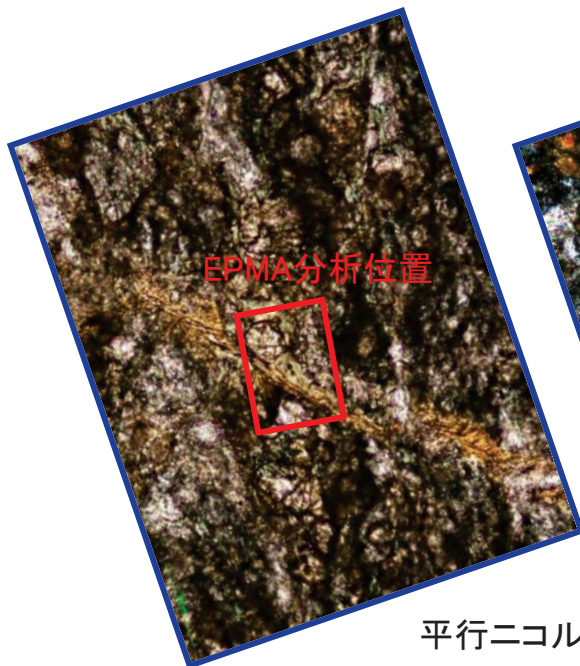
### 【緑泥石の判断基準】

拡大画像で脈状鉱物の分布範囲を正確に把握して分析した結果として、  
 ・Mass(%)が既存の文献(Deer et al.(1996))に示される分析結果と概ね整合的であること

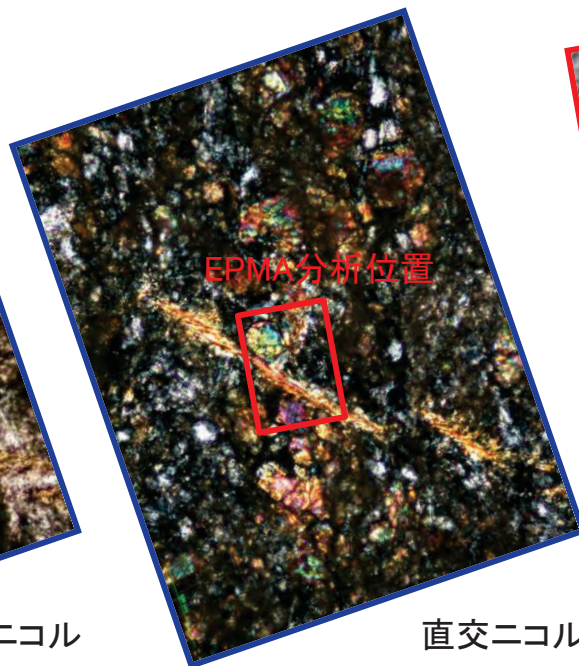
SiO<sub>2</sub>のMassが30%程度, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>のMassが10~30%程度, FeOおよびMgOの合計のMassが30~40%程度, TotalのMassが85%程度

・測定した陽イオン数が緑泥石の化学組成の理想式である  
 (Mg,Fe,Al)<sub>12</sub>(Si,Al)<sub>8</sub>O<sub>20</sub>(OH)<sub>16</sub>とほぼ一致すること

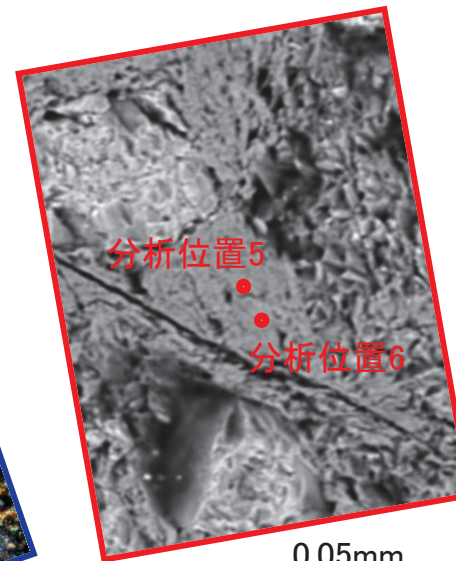
以上を踏まえ、緑泥石の同定を行った。



平行ニコル



直交ニコル



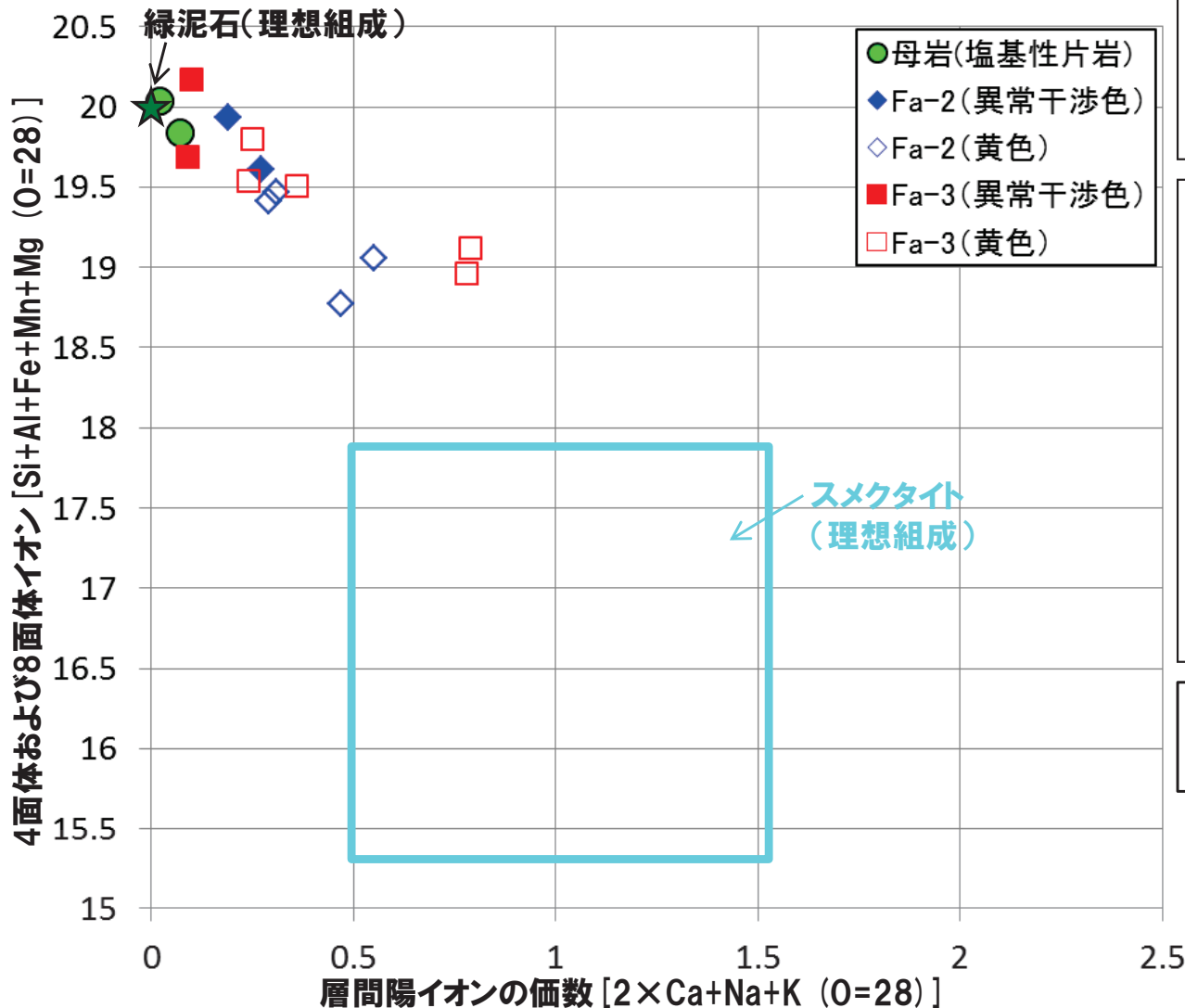
0.05mm  
EPMA分析位置  
(SEM画像, 平成27年撮影)

Element	分析位置5		分析位置6	
	Mass (%)	Cation	Mass (%)	Cation
SiO <sub>2</sub>	28.06	6.21	27.71	6.13
TiO <sub>2</sub>	0.06	0.01	0.00	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.55	4.05	14.24	3.72
FeO	20.23	3.74	20.24	3.75
MnO	0.38	0.07	0.30	0.06
MgO	16.78	5.54	19.00	6.27
CaO	0.24	0.06	0.25	0.06
Na <sub>2</sub> O	0.09	0.04	0.07	0.03
K <sub>2</sub> O	0.41	0.11	0.13	0.04
Total	81.80	19.83	81.94	20.04

0.1mm 薄片拡大写真(平成27年撮影)

# 断層内物質の詳細分析<緑泥石の干渉色と化学組成>

- 一般的に緑泥石は異常干渉色を示すことが多いものの(黒田・諏訪, 1983), スメクタイトの薄層を挟む緑泥石の混合層鉱物は黄色の干渉色を示すとされている(榊原ほか, 2005)。
- 分析結果を, 4面体および8面体イオン層間陽イオンの価数図にプロットすると, 母岩中の緑泥石および異常干渉色を示す緑泥石は緑泥石の理想組成付近にプロットされる。また, 黄色の干渉色を示すものは層間陽イオンが増加し, スメクタイトの理想化学組成の領域に近づく。
- 以上より, Fa-3断層およびFa-2断層の細粒部を横断する脈状の粘土鉱物は緑泥石脈(スメクタイトとの混合層を伴う)である。



【黒田・諏訪(1983)より抜粋】  
 「酸化した緑泥石は濃褐色を呈することがある。(中略)緑泥石は通常, 鏡下で淡緑ないし緑色で多色性を示し, 複屈折が小さい。また分散が強いために, 消光のときに異常干渉色(暗青灰色~暗褐色)を示すことが多い。」

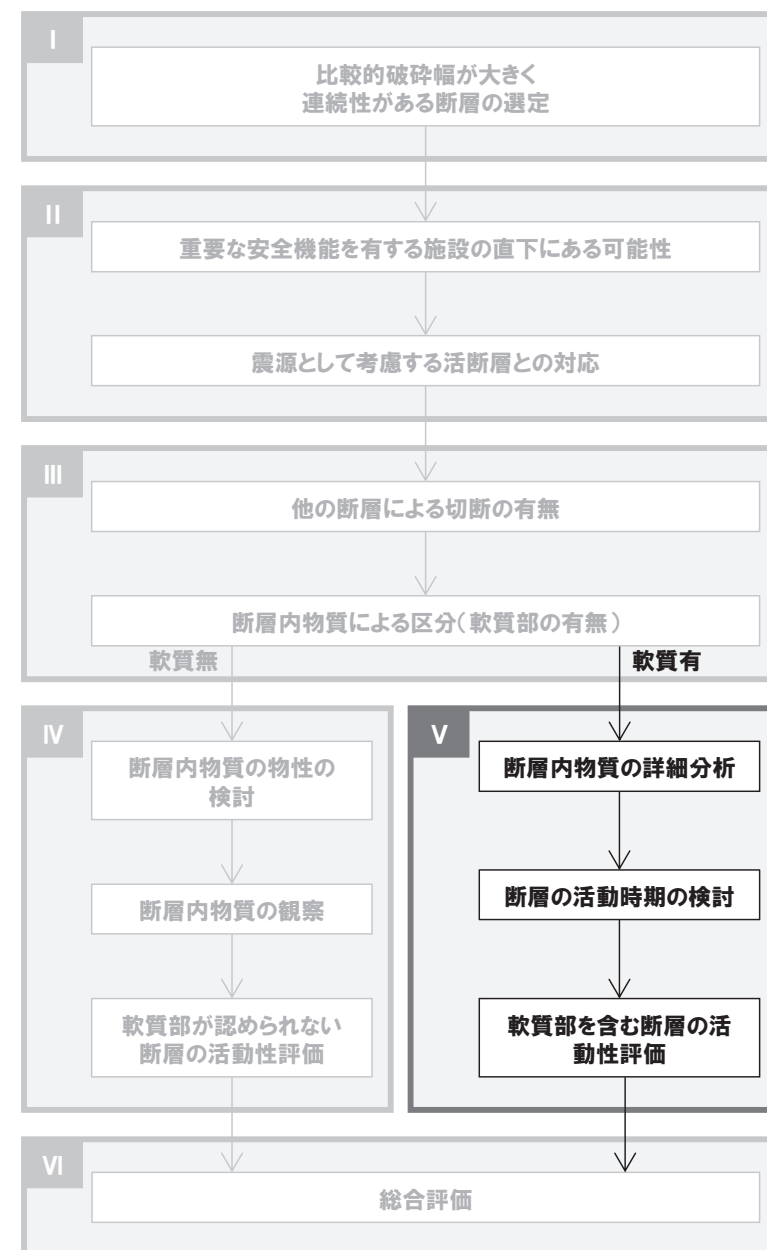
【榊原ほか(2005)より抜粋】  
 「緑泥石は, 概して干渉色が青灰色の異常干渉色を呈するものの, 部分的に一次の黄色などの干渉色を示す場合が多数認められた。これは緑泥石が純粋な端成分ではなく, スメクタイトやイライトなどの薄層を挟む混合層鉱物であることを示唆している。やや風化した部分においては鉱物周辺が褐色化し, 剪断面もしくは割れ目沿いにおいて干渉色が高くなっている。」  
 「薄片観察に基づいて, 産状によって緑泥石を, 「初生的な緑泥石」, 「地表の風化のため褐色化している緑泥石」および「剪断面沿いの緑泥石」に区分し, それぞれの化学組成の範囲を検討した。(中略)初生的な緑泥石, 風化のため褐色化した緑泥石および剪断面沿いの緑泥石はいずれも層間陽イオンにばらつきがあるが, 剪断面沿いにスメクタイト成分が多い傾向が認められる。」

【理想組成】  
 緑泥石:  $(\text{Mg,Fe,Al})_{12}(\text{Si,Al})_8\text{O}_{20}(\text{OH})_{16}$   
 スメクタイト:  $(\text{Na,Ca}_{1/2})_{0.2\sim 0.6}(\text{R}^{+3},\text{R}^{+2},\text{Li})_{2\sim 3}(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$

詳細データ集P137~P175参照  
 榊原正幸・富山雄太・上原誠一郎・伊東佳彦・岡崎健治, 2005, 付加体中の緑色岩中の初生粘土鉱物およびその風化プロセス, 応用地質学会講演要旨集, 13, 65-70.  
 黒田吉益・諏訪兼位, 1983, 偏光顕微鏡と岩石鉱物 第2版, 共立出版, pp390.



- I. 連続性がある断層の選定
- II. 重要施設の直下にある断層の選定
- III. 他の断層による切断および  
軟質部の有無
- IV. 軟質部が認められない断層の  
活動性評価
- V. 軟質部を含む断層の活動性評価
  1. 破碎幅の検討
  2. 断層内物質の詳細分析
  3. 断層の活動時期の検討
  4. まとめ
- VI. 総合評価



# Fa-3断層の活動時期に関する検討のポイント

## ①Fa-3断層の生成時期の検討

→断層近傍において硬質の塩基性片岩が急激に破断せずにひきずりを残している。

・断層は母岩の片理を切っており、断層の生成は片理の形成より後である。

⇒断層の生成深度の検討

⇒母岩である三波川変成岩類の形成史の検討

## ②Fa-3断層の活動が終了した時期の検討

→断層の活動は細粒部を横断する緑泥石脈(スメクタイトとの混合層を伴う)の生成以前である。

・緑泥石は高温で生成する鉱物である。生成環境については、地下深部の高温環境での生成と地表付近での熱水による生成の2つの可能性がある。

⇒緑泥石脈の生成条件や生成環境の検討

⇒敷地における熱水の有無の検討

⇒地表付近における熱水変質の痕跡の検討

⇒緑泥石脈の生成環境を踏まえた生成時期の検討

## ③Fa-3断層内の軟質部の形成時期の検討

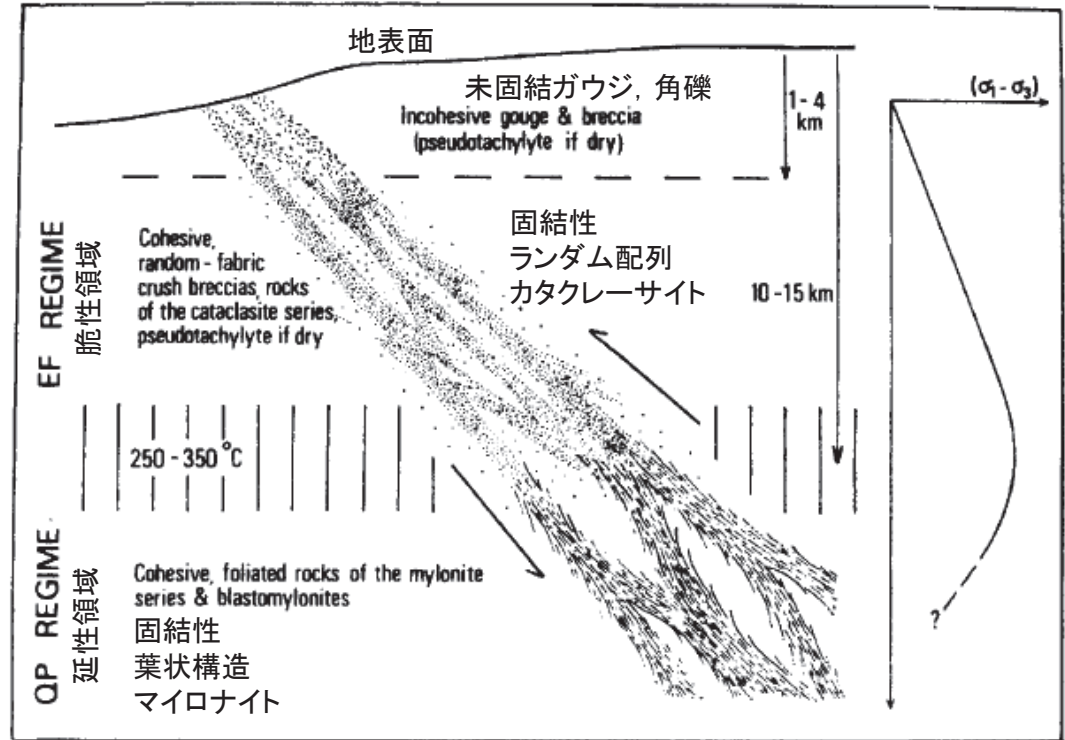
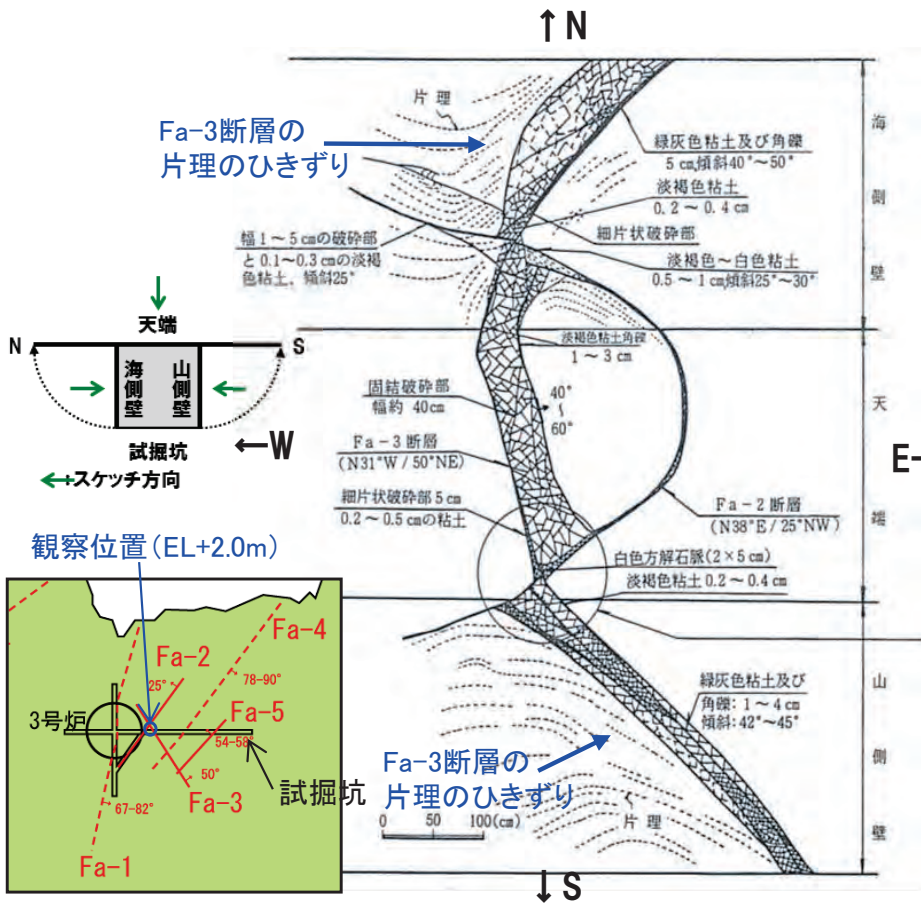
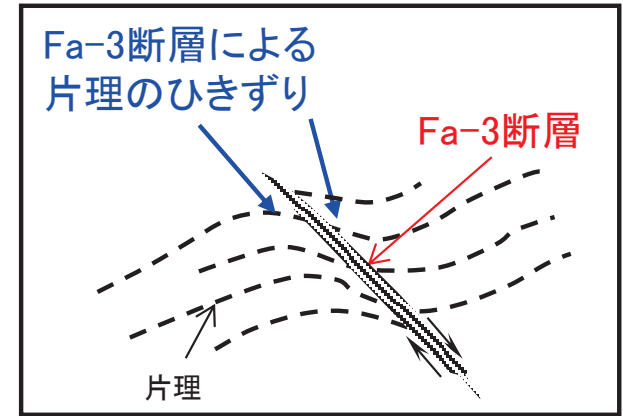
→断層内に水と反応すると粘土となりやすいスメクタイトが含まれる。

⇒軟質部が認められない断層と軟質部を含む断層の断層内物質の比較

⇒スメクタイトの成因および生成時期の検討

# 断層生成時期の検討① <性状と生成深度>

- Fa-3断層近傍の片理面の変形形態について、硬質の塩基性片岩が急激に破断せずにひきずりを残していることから、Fa-3断層は塑性流動の起こりうる地下数km以深で生成した断層である。
- Fa-3断層は母岩である塩基性片岩の片理を切る断層である。



試掘坑展開図(外側から見たスケッチ)  
伊方発電所原子炉設置変更許可申請書  
(3号炉増設, 昭和59年)より抜粋

FIG. 8. Conceptual model of a major fault zone.  
断層岩の種類とその形成深度に関する概念図(Sibson, 1977より抜粋・一部加筆)



# 断層生成時期の検討② <生成時期>

- 敷地付近には三波川変成岩類が広く分布する。
- 三波川変成岩類は、一般に、地下深部で低温高压型の変成作用を受けた後、地表まで上昇したとされている。
- 三波川変成岩類の形成史については多くの研究があるが、Wallis et al. (2009) によると、約9千万年前に地下深部から上昇を開始し、約5千万年前頃にその一部が地表に露出し始めたとされている。
- したがって、三波川変成岩類は、その生成の過程で古い時代に地下深部の温度・圧力を被っている。
- Fa-3断層は三波川変成岩類の片理を切っており、約9千万年前以降に三波川変成岩類の上昇過程で生成した断層である。

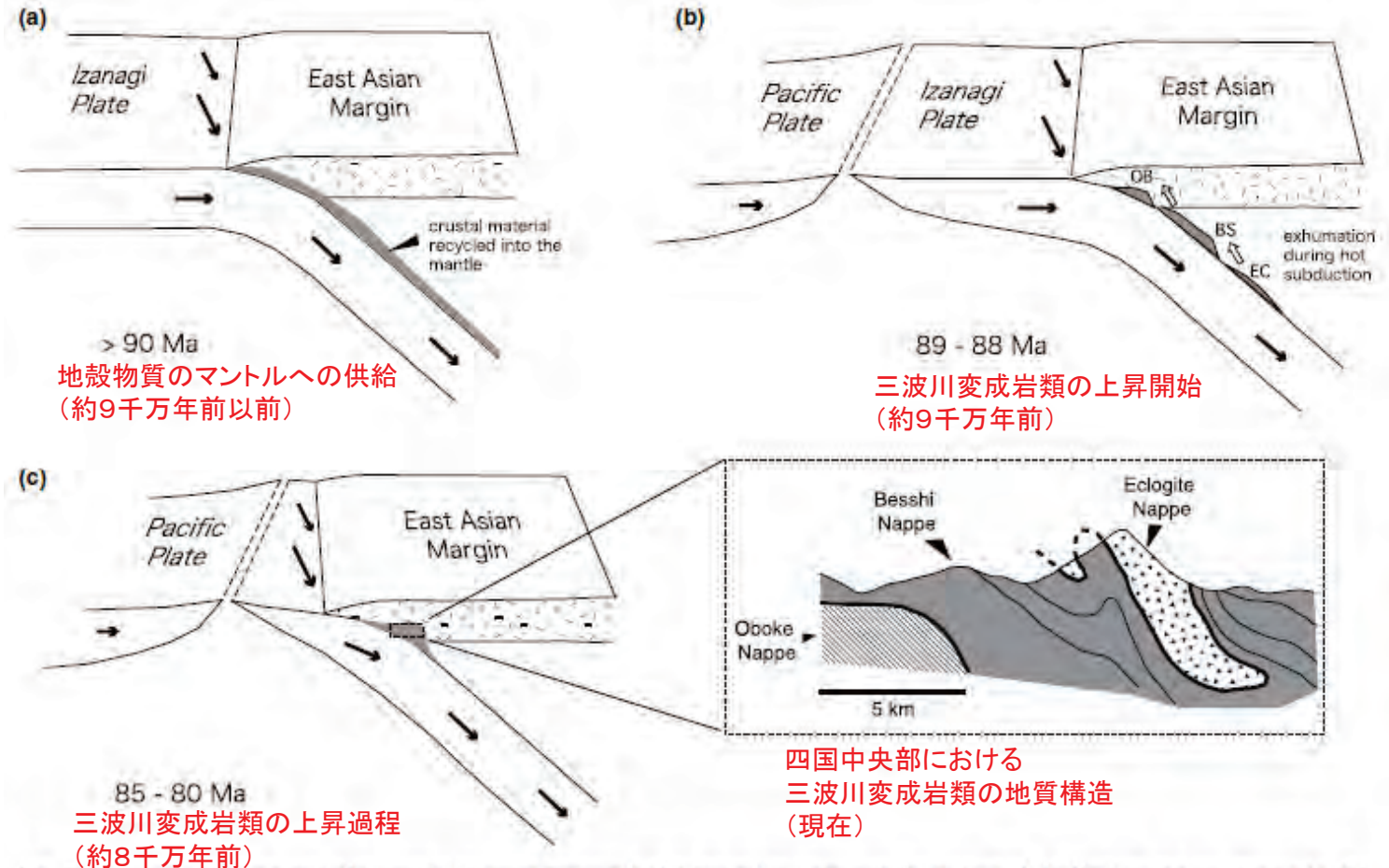


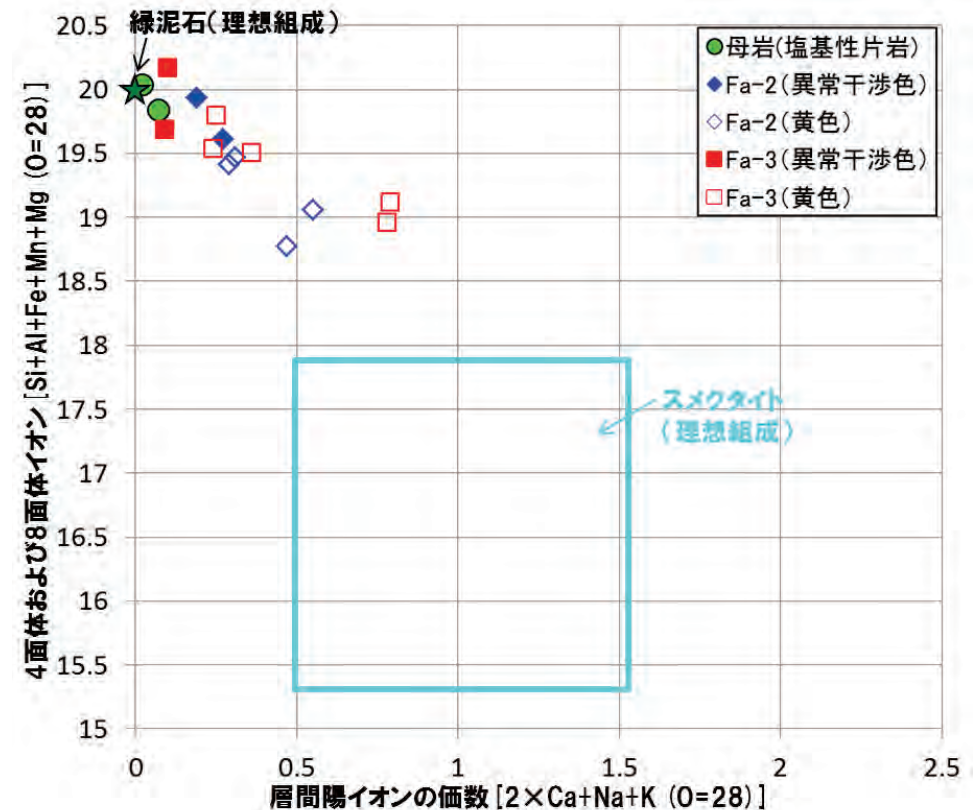
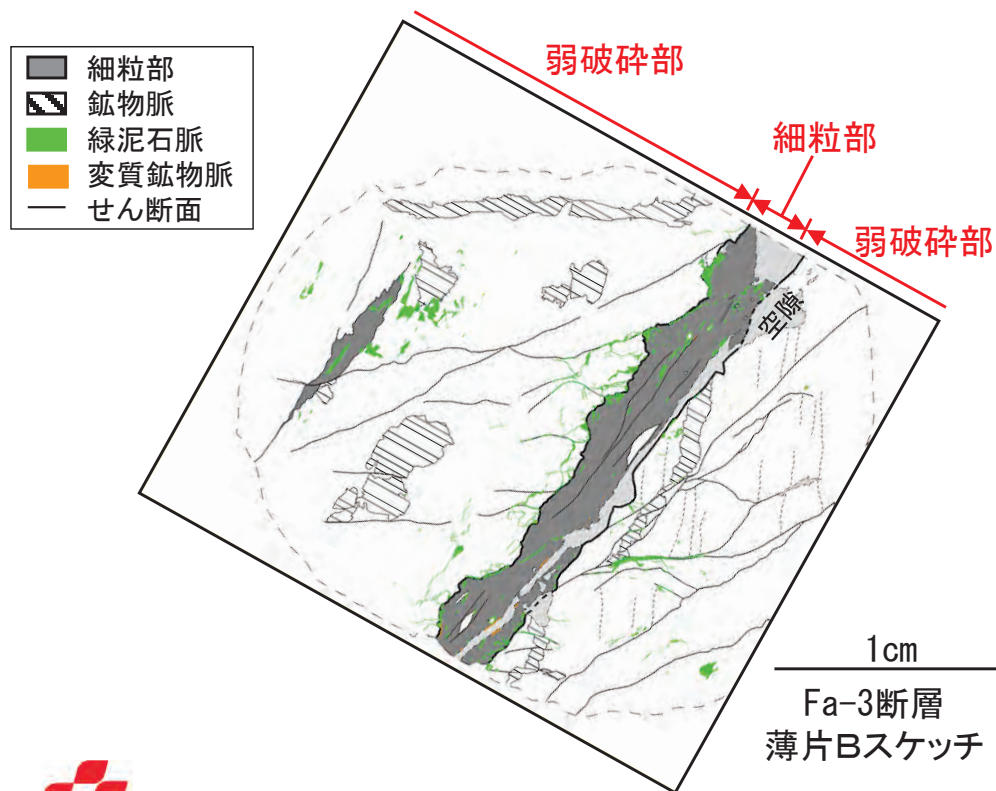
Fig. 7. Summary of proposed relationship between approach of a spreading ridge and formation of the Sanbagawa metamorphic belt. (a) Prior to 90 Ma there is normal approximately steady-state cold-subduction of the Izanagi Plate that results in most or all of the subducted crustal material being recycled into the mantle. (b) Around 90 Ma the close approach of a spreading ridge and associated younging of the subducting slab causes the subduction zone to warm and triggering the rapid rise of relatively buoyant units of the Sanbagawa belt (EC = eclogite nappe; BS = Besshi nappe; OB = Oboke nappe). The preserved metamorphic domain does not, therefore, reflect the conditions of steady-state subduction, but a snap shot of a particularly warm period in the evolution of the subduction zone. (c) Proposed relationship between the present architecture of the Sanbagawa belt and the former subduction zone.

三波川変成岩類の形成史の一例 (Wallis et al., 2009より抜粋)



# 断層活動終了時期の検討①<薄片観察結果>

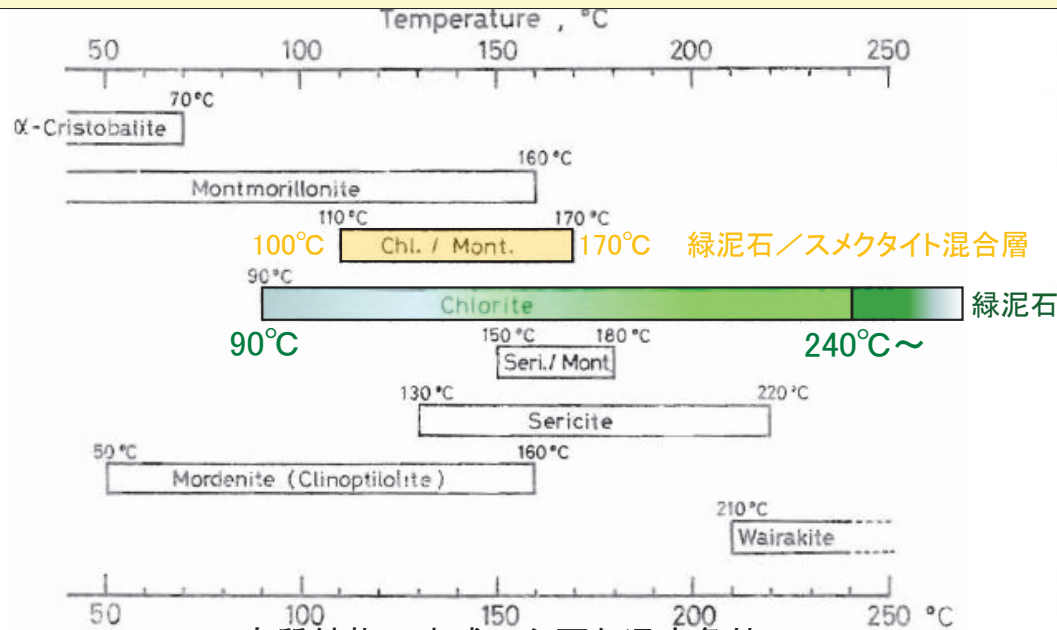
- Fa-3断層の幅数mm程度の細粒部を横断して緑泥石（スメクタイトとの混合層を伴う）が脈状に成長しており，その後脆性破壊を受けていない。Fa-3断層は地下深部における脆性破壊で形成されたカタクレーサイトであり，**その活動時期は緑泥石脈の生成より前である。**
- また，細粒部中に脈状に成長したスメクタイトは認められない。したがって，**スメクタイトよりも緑泥石が生成しやすい条件下で細粒部を横断する緑泥石脈（スメクタイトとの混合層を伴う）が生成したものである。**



# 断層活動終了時期の検討② < 緑泥石の生成する温度条件 >

○Fa-3断層の細粒部を横断して緑泥石（スメクタイトとの混合層を伴う）が脈状に成長しており，その温度条件は低くとも90℃以上で主に200℃以上とされている。

○緑泥石は高温で生成する鉱物である。生成環境について，①三波川変成岩類の上昇過程の地下深部の高温環境による生成，②地表付近での熱水による生成の2つの可能性があり，まずは後者の可能性を検証する。



変質鉱物の生成に必要な温度条件  
金原・大久保(1978)より抜粋・一部加筆

変質鉱物	100 200 300 °C		
	ハロサイト帯	カオリナイト帯	ディッカイト-ナクライト帯 / パイロフィライト帯
酸性変質帯			
明ばん石			
ハロサイト	-----		
カオリナイト	-----		
ディッカイト		-----	
ナクライト		-----	
パイロフィライト			-----
ダイアスポア			-----
アナテース			-----
ルチル		-----	
クリストバル石	-----		
石英	-----		
黄鉄鉱			
中性変質帯			
スメクタイト帯			
混合層帯			
セリサイト帯			
カリ長石帯			
スメクタイト			
緑泥石/スメクタイト	100°C ----- 220°C		
イライト/スメクタイト (セリサイト)			
緑泥石		160°C ----- 200°C~	
イライト (セリサイト)			
緑れん石			
プレーナイト			
バンベリー石			
アクチノ閃石			
黒雲母			
ざくろ石			
氷長石			
方解石			
アルカリ変質帯			
東沸石帯			
舞沸石帯			
濁沸石帯			
ワイラケ沸石帯			
モルデン沸石帯			
方沸石帯			
曹長石帯			
東沸石			
舞沸石			
モルデン沸石			
舞沸石			
方沸石			
濁沸石			
湯河原沸石			
ワイラケ沸石			

吉村編(2001)より抜粋・一部加筆

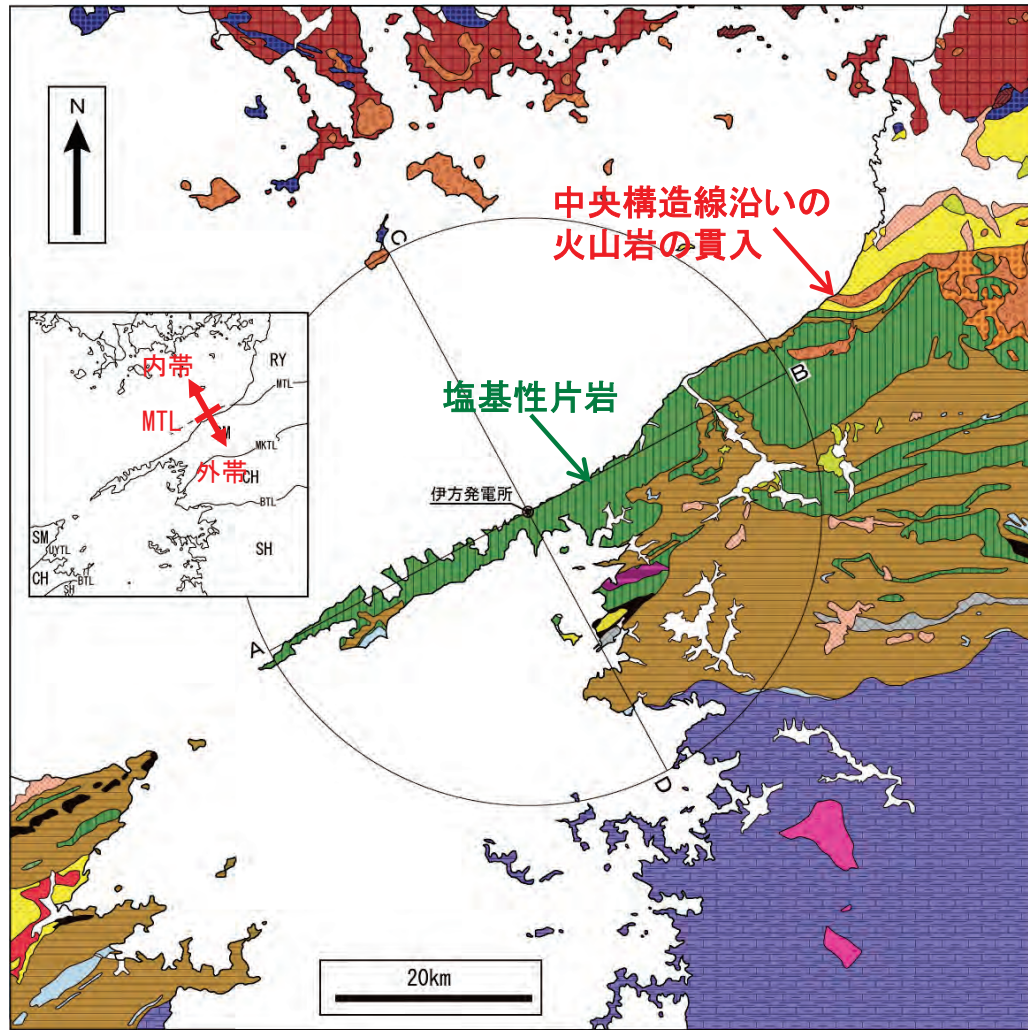
図V-35 温度と熱水溶液の相違による変質鉱物の生成環境。ここに示した各変質帯の形成温度は一応の目安である。Inoue(1995)；井沢(1996)をもとに編集。吉村尚久編，2001，粘土鉱物と変質作用，地学双書32，293pp.

金原啓司・大久保太治，1978，鹿児島県薩南地区地熱調査井(SA-1号)に見られる岩石の熱水変質，岩石鉱物鉱床学会誌，73，125-136.

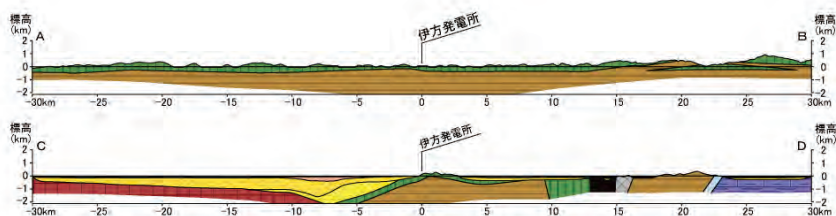
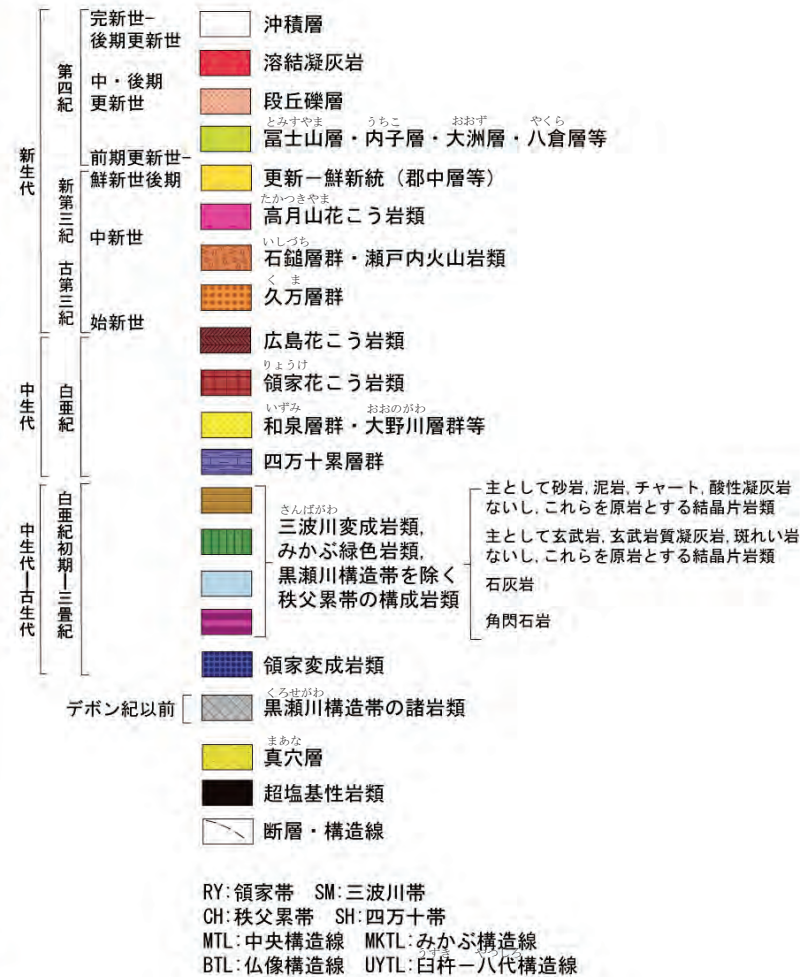
Inoue, A. (1995) Formation of Clay Minerals in Hydrothermal Environments. In Velde, B.(ed.) Origin and Mineralogy of Clays. Springer, 169-329.  
井沢英二(1996)資源の探査. 平朝彦ほか編，地球の観測. 岩波講座「地球惑星科学」，291-323.



# 断層活動終了時期の検討③ <敷地周辺の地質図>



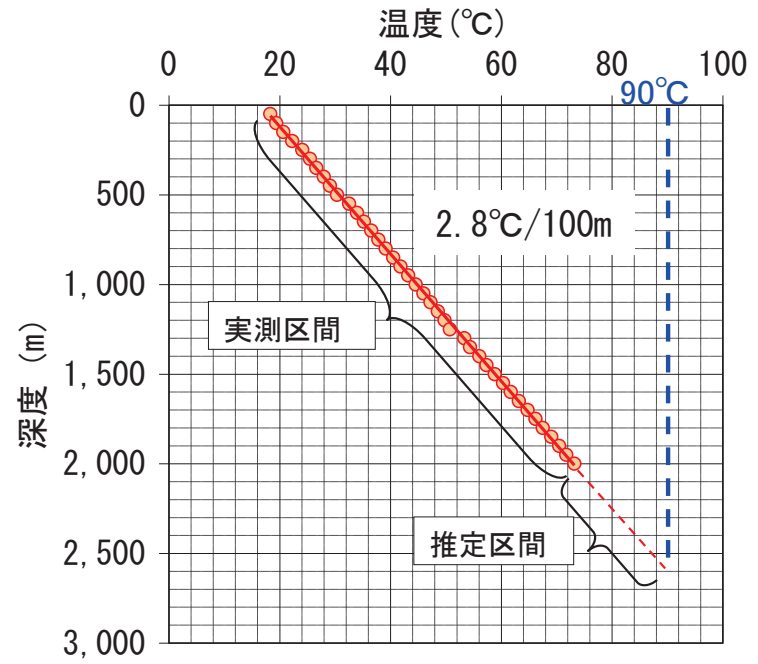
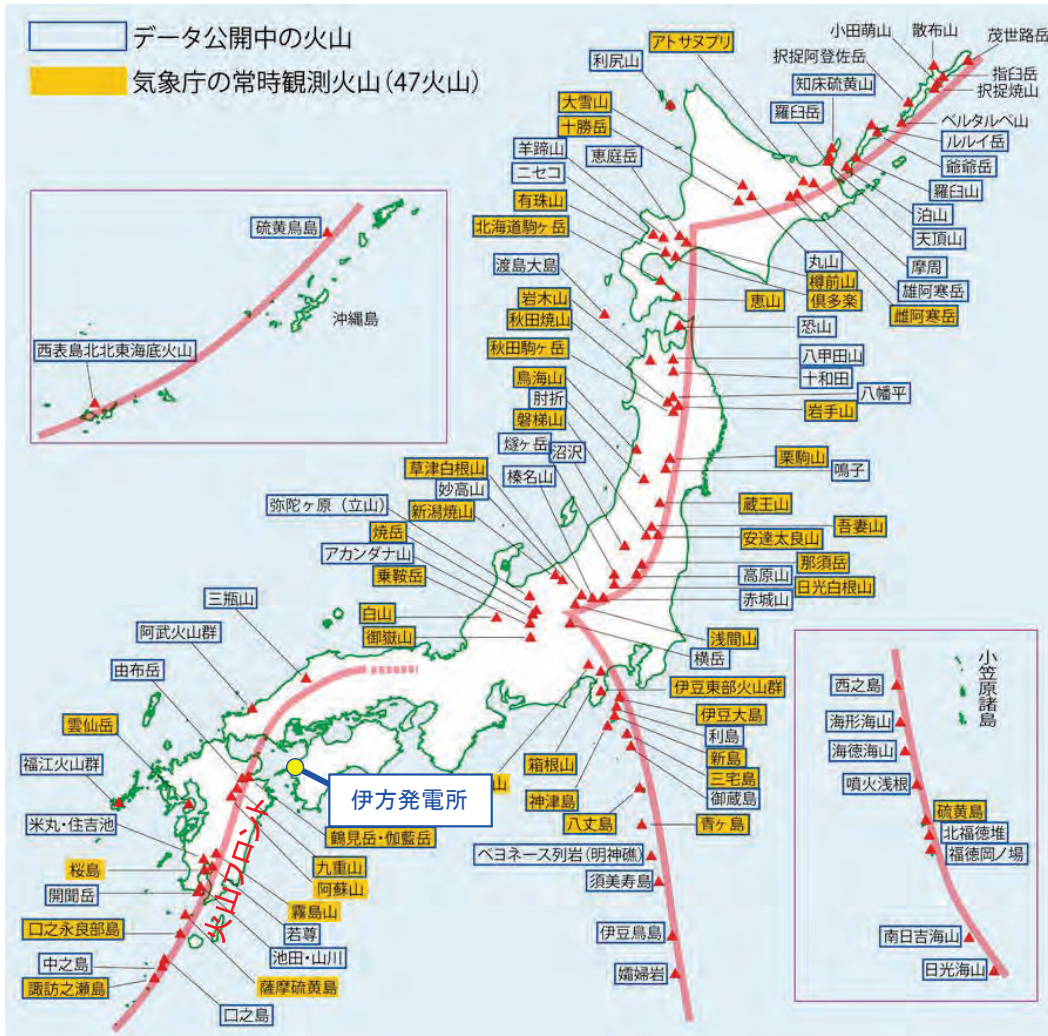
凡例



○敷地北方の中央構造線沿いに中期中新世(15Ma頃)の火山岩(石鎚層群・瀬戸内火山岩類)の貫入が認められる。  
○敷地付近には三波川変成岩類に属する塩基性片岩が広く分布し, 火山岩は分布しないものの, 敷地における熱水の影響について検討する。

# 断層活動終了時期の検討④ <敷地の地下増温率>

○伊方発電所は火山フロントから大きく南東に外れた位置にあり、火山と離隔がある。  
 ○深部ボーリング調査によると、敷地の深度2,000mにおける地温は約73℃、地下増温率は2.8℃/100mで一定である。「一般的には地下増温率 (3℃/100m) に相当する地温よりも高温の水が熱水」(東, 2004) との定義に従い、**現在、敷地において熱水は認められない。**



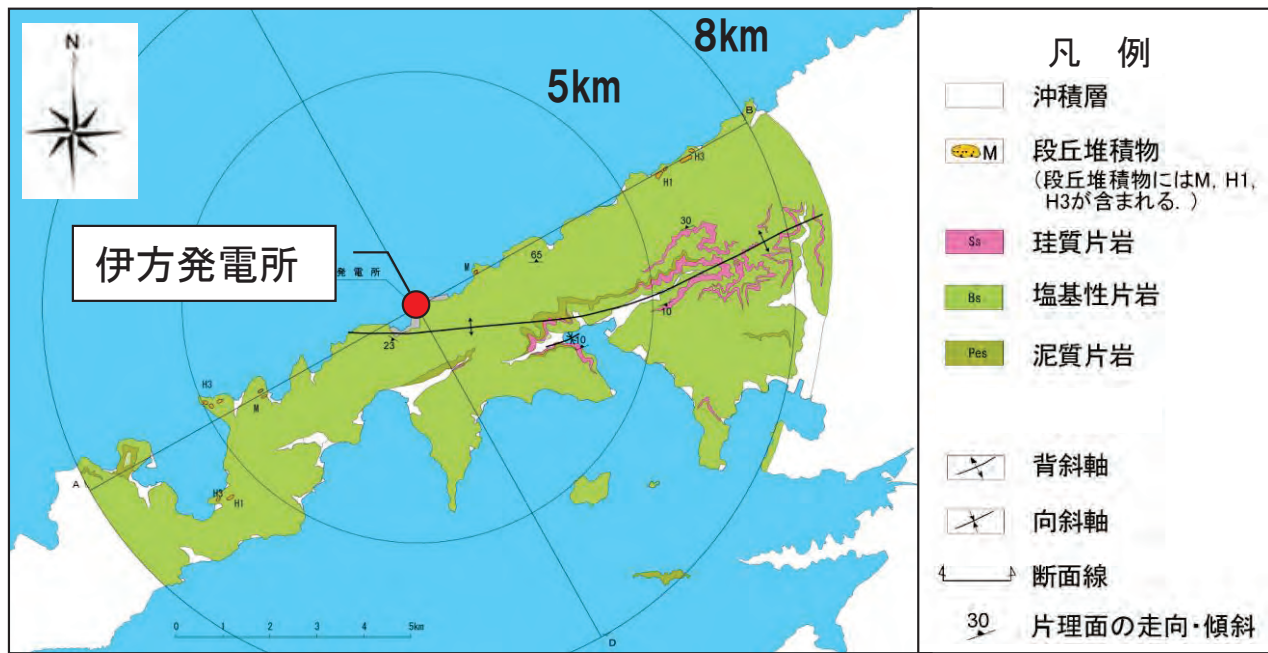
伊方発電所敷地内における2,000mボーリングによる地下増温率

【東(2004)より抜粋】  
 「我々が直接見ることのできる熱水としては地表付近に湧き出る温泉水や地熱発電に利用される地熱水などがこれによく該当し、一般的には地下増温率(3℃/100m)に相当する地温よりも高温の水を熱水として考えればよいこととなります。」



# 断層活動終了時期の検討⑤ <敷地の三波川変成岩類の産状>

- 敷地近傍には広く堅硬な塩基性片岩が分布する。
- 敷地における深部ボーリング調査によって少なくとも深さ2kmまで堅硬かつ緻密な結晶片岩が連続すること、掘削中の目立った逸水がなく透水性の低い岩盤であることを確認している。
- 敷地近傍に火山岩の貫入や熱水変質の痕跡は認められない。



塩基性片岩 (深さ約100m)



泥質片岩 (深さ約2000m)

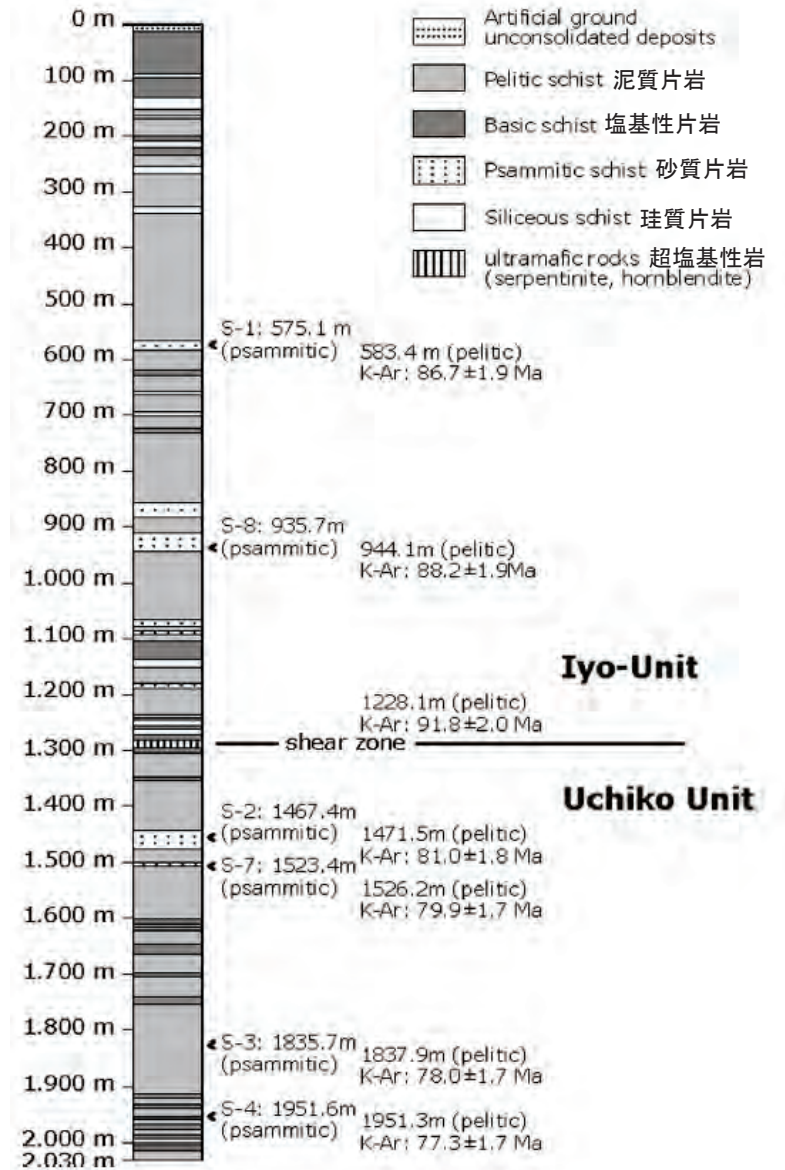


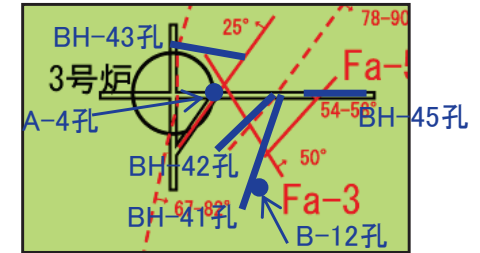
Fig. 2. Column of the bore hole.

伊方発電所敷地内における2,000mボーリング柱状図 (Knittel et al., 2014より抜粋)



# 断層活動終了時期の検討⑥ <断層付近のボーリングコア観察>

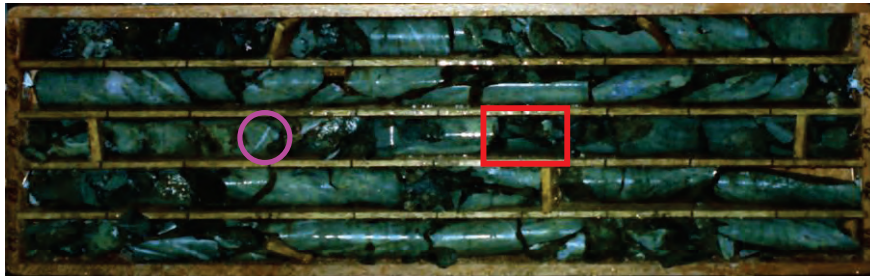
- Fa-3断層付近におけるボーリングコア観察によると、片理面に沿う剥離等で部分的にコア形状が悪くなるものの岩石は新鮮であり、Fa-3断層を中心とする熱水変質の痕跡は認められない。
- 三波川変成岩類には石英脈や方解石脈が普遍的に見られる。これらの脈は地下深部で生成したものであり、地下浅所で熱水変質に伴って生成したものではない。



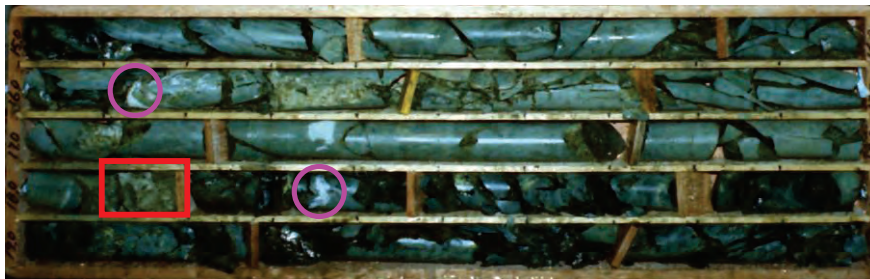
**断層通過部**  **Fa-3断層通過部**  **石英脈・方解石脈**

**断層延長部**  **Fa-3断層延長部**  **石英脈・方解石脈**

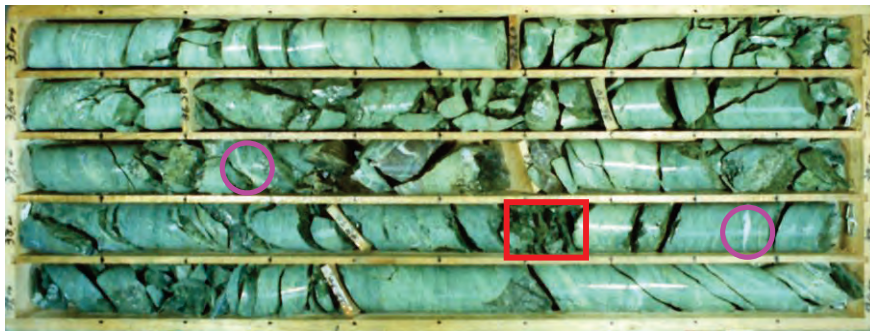
BH-41孔コア写真深度25m~30m (S58年取得・撮影)



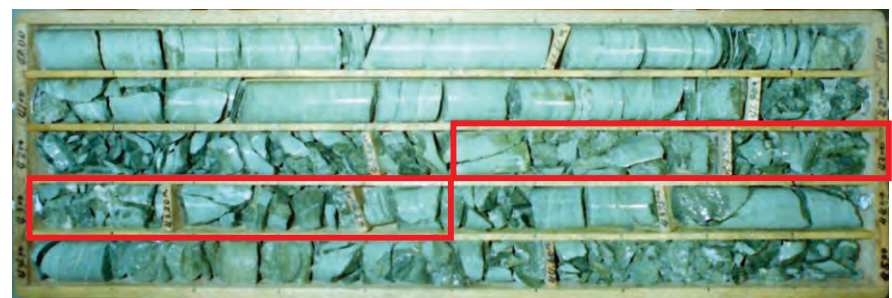
BH-42孔コア写真深度15m~20m (S58年取得・撮影)



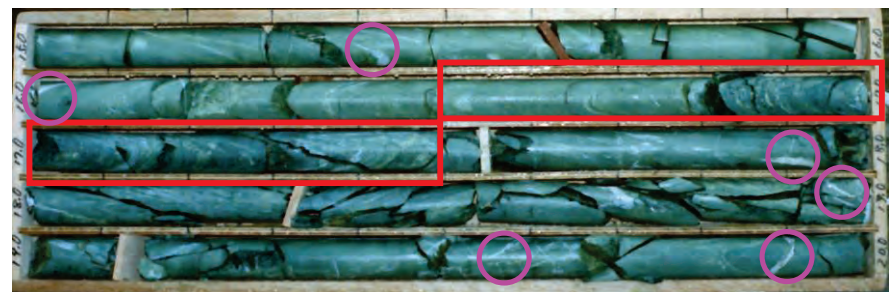
A-4孔コア写真深度35m~40m (S58年取得・撮影)



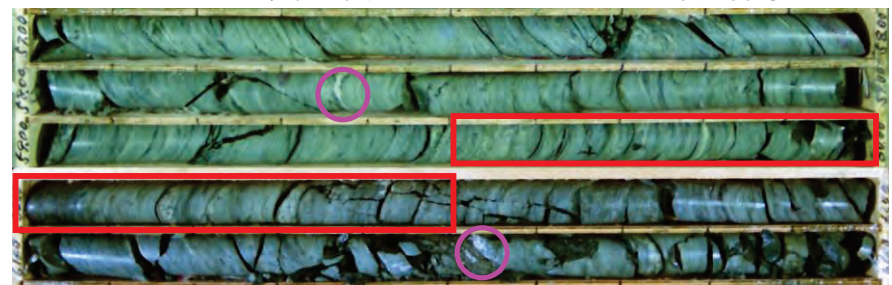
B-12孔コア写真深度40m~45m (S58年取得・撮影)



BH-43孔コア写真深度15m~20m (S58年取得・撮影)

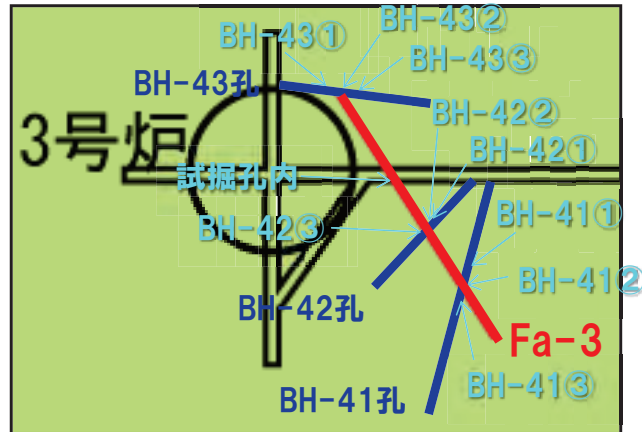


BH-45孔コア写真深度60m~65m (S58年取得・撮影)



# 断層活動終了時期の検討⑦ <断層付近のボーリングコアのX線分析>

- X線分析結果によると、Fa-3断層の細粒部中に緑泥石のほか、スメクタイトが多く含まれる。
- 流紋岩と接する熱水変質を受けた塩基性片岩の粘土がスメクタイトを多く含む事例も報告されているが（田村ほか，2007），Fa-3断層内の細片や直近の母岩にスメクタイトは微量であり，Fa-3断層を中心とする熱水変質の痕跡は認められない。



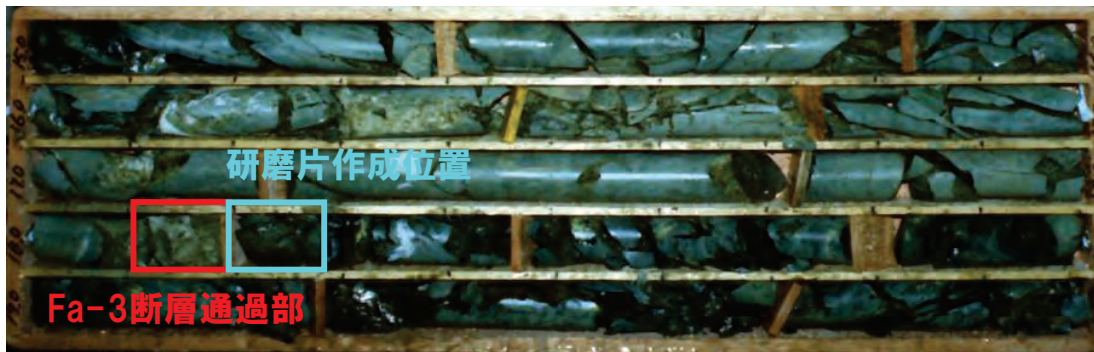
試料名	BH-41①	BH-41②	BH-41③
試料採取深度	22.6m	27.6m	31.9m
試料名	BH-42①	BH-42②	BH-42③
試料採取深度	18.13m	18.17m	18.23m
試料名	BH-43①	BH-43②	BH-43③
試料採取深度	12.1m	17.0m	21.1m

試料名	母岩	試掘坑内 (細粒部)	BH-42①	BH-42② (断層通過部)	BH-42③	BH-41①	BH-41② (断層通過部)	BH-41③	BH-43①	BH-43② (断層延長部)	BH-43③
試料の性状	岩片	細粒	岩片	細片	岩片	岩片	岩片	岩片	岩片	岩片	岩片
分析実施年	昭和58年		平成27年								
構成鉱物	スメクタイト	△	☆								
	緑泥石	☆	☆	++++	++++	++++	++++	++++	++++	++	++++
	斜長石	○	△	++++	+++	+++	+++	+++		++	+++
	石英				++					++++	++
	イライト	○	△			++		++	+++	++	+++
	角閃石	☆	○	+++	+++	++++	++++	++++	++++	++++	++++
	方解石	△			+++					++	++

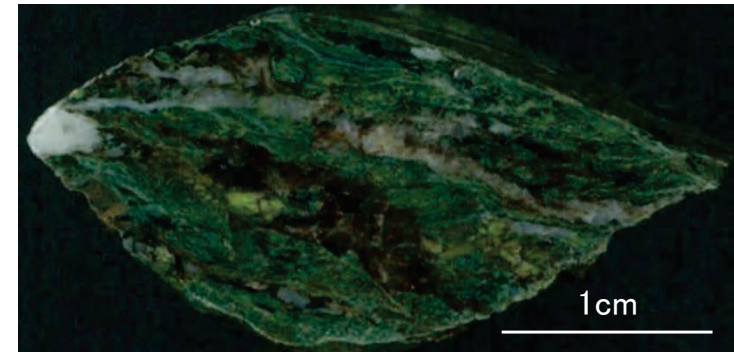
++++(☆):非常に多い +++(◎):多い ++(○):少ない +(△):非常に少ない



# 断層活動終了時期の検討⑧ <断層と接する母岩の観察結果>



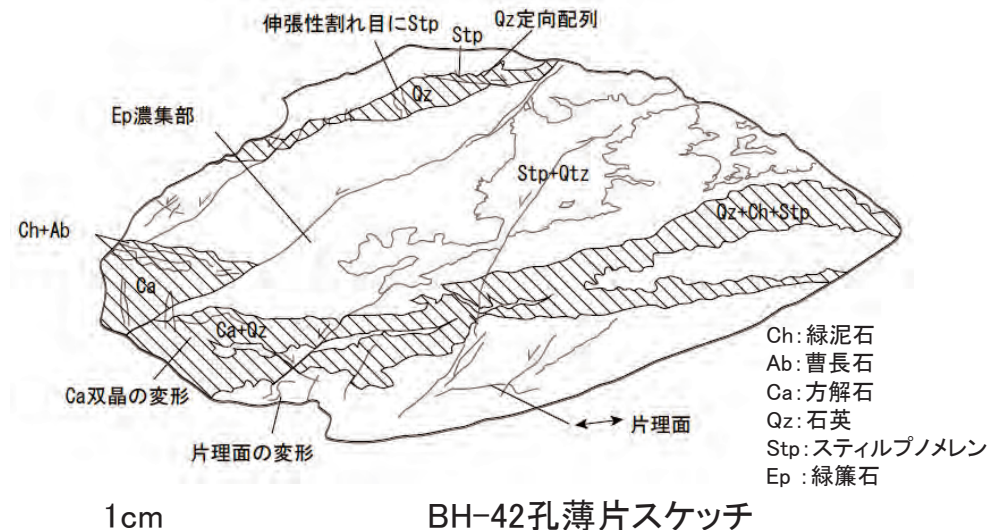
BH-42孔コア写真深度15m~20m(S58年取得・撮影)



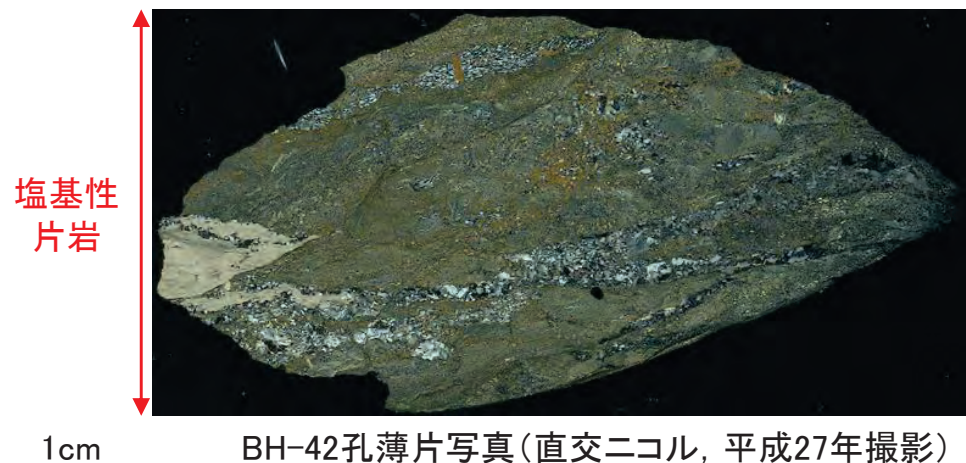
BH-42孔研磨片写真(平成27年撮影)



BH-42孔薄片写真(平行ニコル, 平成27年撮影)



BH-42孔薄片スケッチ



BH-42孔薄片写真(直交ニコル, 平成27年撮影)

○Fa-3断層と接する塩基性片岩の研磨片・薄片観察によると、塑性変形を伴う石英脈や方解石脈がみられ、それらは細粒部を横断する緑泥石脈（スメクタイトとの混合層を伴う）よりも古い鉱物脈である。

○岩石は新鮮で母岩の組織が残っており、熱水変質の痕跡は認められない。

# 断層活動終了時期の検討⑨ < 緑泥石脈の生成時期と断層の活動時期 >

- 細粒部を横断する緑泥石脈（スメクタイトとの混合層を伴う）は地表付近の熱水ではなく、三波川変成岩類の上昇過程において地下深部の普遍的な高温環境で生成したものである。
- 深部ボーリング調査によると、緑泥石脈（スメクタイトとの混合層を伴う）の生成条件である90℃以上は深度約2,500m以深に相当する。この深度はカタクレーサイトの生成深度とも対応する。
- 敷地周辺では100万年間の隆起速度が小さいことが示されている（大森, 1990）。敷地近傍においてMIS5（約12万年前）の形成と推定されるM面の標高は25~30m, MIS7の形成と推定されるH3面の標高は50~60mであり、敷地付近における地盤の隆起速度は0.2~0.25mm/yrである。地温や隆起速度を一定と仮定すれば、**緑泥石脈（スメクタイトとの混合層を伴う）の生成時期は約10Ma以前と見積もられる。**
- **Fa-3断層の活動時期は約10Ma以前であり、後期更新世よりもはるかに古い。**

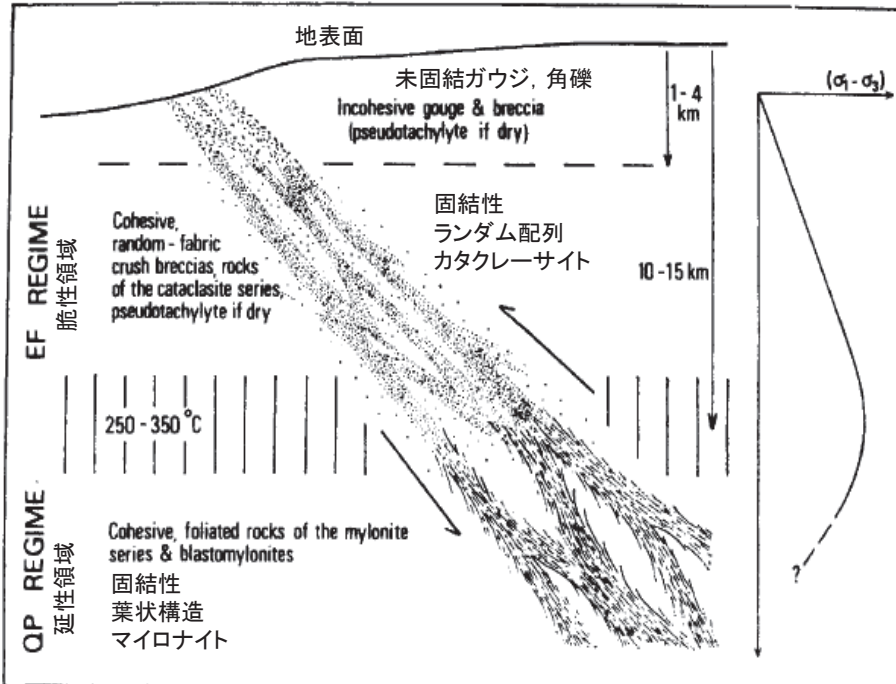


FIG. 8. Conceptual model of a major fault zone.

断層岩の種類とその形成深度に関する概念図  
(Sibson, 1977より抜粋・一部加筆)

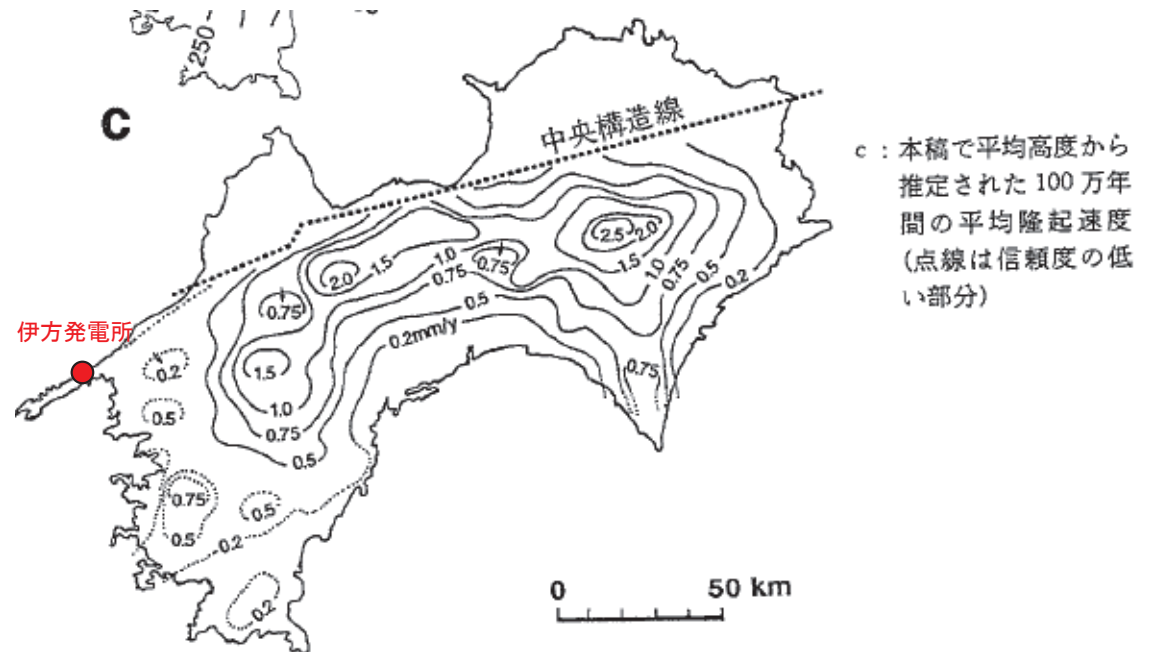


図4-11 四国山地の変動量・変動速度の分布

大森(1990)より抜粋・一部加筆



# 軟質部形成時期の検討① <敷地内断層のX線分析結果一覧>

- 敷地内断層の細粒部のX線分析結果によると、いずれも水と反応すると粘土となりやすいスメクタイトを母岩より多く含む。
- 軟質部を含む断層と軟質部の認められない断層（周辺の母岩と密着して一体の岩石となった資料）の双方の細粒部にスメクタイトが生成している。スメクタイトの生成は断層内が軟質含み（粘土状）となる前から始まっている。
- 「断層運動により母岩が破碎され、断層内物質が生成する時には母岩に存在していた鉱物だけしか断層内物質に存在しない」とされており（金折ほか，1982），断層内の細粒部中に含まれるスメクタイトは、破碎した造岩鉱物が地下水との相互作用によって粘土鉱物に変化して生成したものと考えられる。

試料名	母岩	Fa-1 (軟質無)	Fa-2 (軟質含)	Fa-3 (軟質含)	Fa-4 (軟質無)	Fa-5 (軟質含)	母岩	f1 (軟質無)	f2 (軟質無)	f3 (軟質無)	f4 (軟質無)	
試料の性状	岩片	細粒	細粒	細粒	細粒	細粒	岩片	細粒	細粒	細粒	細粒	
分析実施年	昭和58年						平成27年					
構成鉱物	スメクタイト	△	☆	◎	☆	◎	◎		++	+	++	++
	緑泥石	☆	☆	☆	☆	☆	☆	++	++	++++	+++	++
	斜長石	○	△		△	△	○	++	++++	++++	++++	++++
	石英		△					++++				+++
	イライト	○	△	○	△	△	△	++	+		+++	++
	角閃石	☆		○	○	◎	☆	++++	++++	+++	++++	++++
	方解石	△						++		+		
凡例	☆:非常に多い ◎:多い ○:少ない △:非常に少ない						++++:非常に多い +++:多い ++:少ない +:非常に少ない					

【金折ほか(1982)より抜粋】

「まず、断層運動により母岩が破碎され、断層内物質が生成する。この時には、岩石破壊試験結果に示される様に、当然母岩に存在していた鉱物だけしか断層内物質に存在しないであろう。破碎後まもなく、断層は地下水などの通路となり、化学成分の溶脱が始まり、溶脱しやすい成分がイオンとして地下水中へ出ていき、同時に地下水と断層内物質が相互作用を始め、粘土鉱物などの反応生成物が生成しはじめるであろう。」

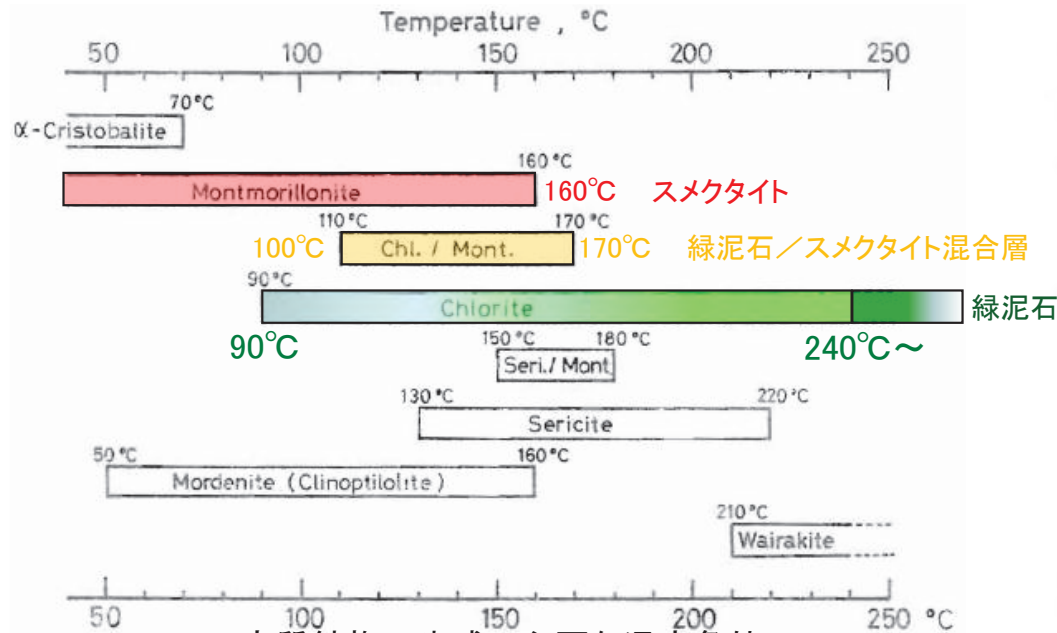
【金折(1994)より抜粋】

「断層内やその周辺では断層運動の結果、細粒になりやすく、かつ空隙の多いゾーンが形成されることになる。したがって、地下水の通路として断層が働くので、破碎して表面積が増大した岩片と水が反応し、変質作用が起きる。この場合、造岩鉱物が吸水反応によって粘土鉱物に変化していく。この時、生成される粘土鉱物の種類は、母岩や関与する水の組成に依存する。粘土鉱物のなかには水を含むと体積が膨張する性質をもつものもある。その一つとして花崗岩中の断層によく伴われるモンモリロナイトがある。」



# 軟質部形成時期の検討② <スメクタイトの生成する温度条件と生成時期>

- 細粒部中にスメクタイトが生成しており、その温度条件は緑泥石よりも低く、主に160°C以下とされている。スメクタイトの生成は主に緑泥石脈（スメクタイトとの混合層を伴う）の生成より後で、相対的に地表に近く低温な環境で生成したものである。
- 地表近くに位置して以降、地下水の作用で断層内にスメクタイトが生成し、断層幅が大きく水の影響を受けやすい箇所ですらに変質が進んで粘土状の軟質部が形成されたものと考えられる。



変質鉱物の生成に必要な温度条件  
金原・大久保(1978)より抜粋・一部加筆

金原啓司・大久保太治, 1978, 鹿児島県薩南地区地熱調査井(SA-1号)に見られる岩石の熱水変質, 岩石鉱物鉱床学会誌, 73, 125-136.

変質鉱物	100		200		300	
	ハロサイト帯	カオリナイト帯	ディッカイト-ナクライト帯	パイロフィライト帯	セリサイト帯	カリ長石帯
明ばん石						
ハロサイト	---					
カオリナイト		-----				
ディッカイト			-----			
ナクライト			-----			
パイロフィライト				-----		
ダイアスポア				-----		
アナテース					-----	
ルチル						-----
クリストバル石						-----
石英						-----
黄鉄鉱						-----
	スメクタイト帯	混合層帯	セリサイト帯	カリ長石帯	緑泥石-セリサイト帯	緑泥石-セリサイト-緑れん石帯
スメクタイト	-----	-----	-----	-----	-----	-----
緑泥石/スメクタイト	-----	-----	-----	-----	-----	-----
イライト/スメクタイト(セリサイト)	-----	-----	-----	-----	-----	-----
緑泥石				-----	-----	-----
イライト(セリサイト)				-----	-----	-----
緑れん石					-----	-----
プレーナイト					-----	-----
バンベリー石					-----	-----
アクチノ閃石					-----	-----
黒雲母					-----	-----
ざくろ石					-----	-----
氷長石					-----	-----
方解石					-----	-----
	東沸石帯	舞沸石帯	濁沸石帯	ワイラケ沸石帯		
東沸石	-----	-----	-----	-----		
舞沸石	-----	-----	-----	-----		
モルデン沸石	-----	-----	-----	-----		
舞沸石	-----	-----	-----	-----		
方沸石	-----	-----	-----	-----		
濁沸石			-----	-----		
湯河原沸石			-----	-----		
ワイラケ沸石			-----	-----		

吉村編(2001)より抜粋・一部加筆  
図V-35 温度と熱水溶液の相違による変質鉱物の生成環境。ここに示した各変質帯の形成温度は一応の目安である。Inoue(1995); 井沢(1996)をもとに編集。吉村尚久編, 2001, 粘土鉱物と変質作用, 地学双書32, 293pp.



Inoue, A. (1995) Formation of Clay Minerals in Hydrothermal Environments. In Velde, B.(ed.) Origin and Mineralogy of Clays. Springer, 169-329.  
井沢英二(1996)資源の探査. 平朝彦ほか編, 地球の観測. 岩波講座「地球惑星科学」, 291-323.

# Fa-3断層の活動時期に関する検討結果

## ①Fa-3断層の生成時期の検討

→断層近傍において硬質の塩基性片岩が急激に破断せずにひきずりを残している。

・断層は母岩の片理を切っており、断層の生成は片理の形成より後である。

⇒塑性流動の起こりうる地下数km以深で生成した断層である。

⇒約9千万年前以降に三波川変成岩類の上昇過程で生成した断層である。

## ②Fa-3断層の活動が終了した時期の検討

→断層の活動は細粒部を横断する緑泥石脈(スメクタイトとの混合層を伴う)の生成以前である。

・緑泥石は高温で生成する鉱物である。生成環境については、地下深部の高温環境での生成と地表付近での熱水による生成の2つの可能性がある。

⇒現在、敷地において熱水は認められず、地表付近における熱水変質の痕跡も認められない。

⇒緑泥石脈は三波川変成岩類が上昇する過程において地下深部の普遍的な高温環境で生成したものであり、その生成時期は約10Ma以前と見積もられる。

⇒Fa-3断層の活動時期は10Ma以前であり、後期更新世よりはるかに古い。

## ③Fa-3断層内の軟質部の形成時期の検討

→断層内に水と反応すると粘土となりやすいスメクタイトが含まれる。

⇒スメクタイトは破碎した造岩鉱物が地下水との相互作用によって粘土鉱物に変化して生成したものと考えられる。

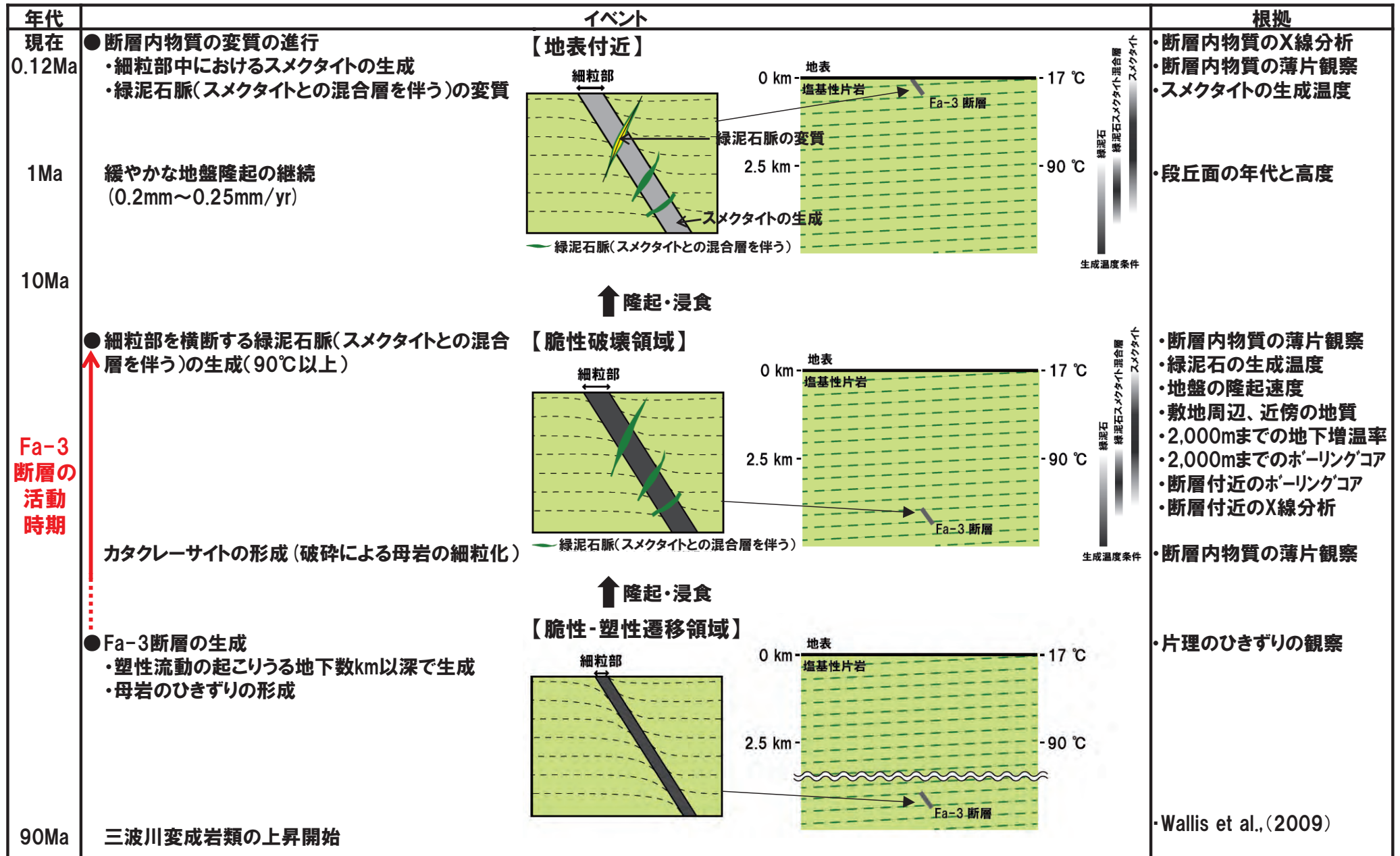
⇒スメクタイトの生成は主に緑泥石脈(スメクタイトとの混合層を伴う)の生成より後で、断層内が軟質含み(粘土状)となる前から始まっている。

⇒地表近くに位置して以降、地下水の作用で断層内にスメクタイトが生成し、断層幅が大きく水の影響を受けやすい箇所ですらに変質が進んで粘土状の軟質部が形成されたものと考えられる。

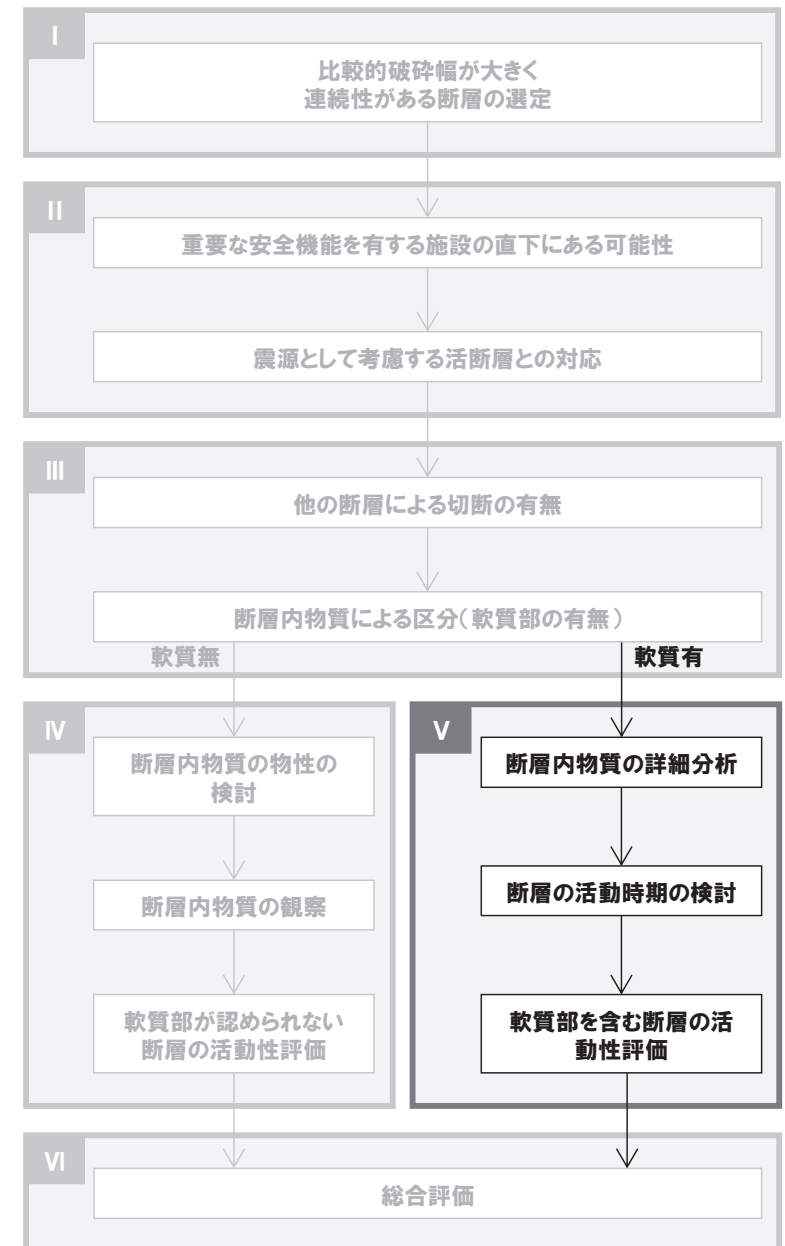


# Fa-3断層の断層内物質の形成史と活動時期

○断層内物質の形成史を踏まえると、Fa-3断層の活動時期は10Ma以前であり、後期更新世よりもはるかに古い。

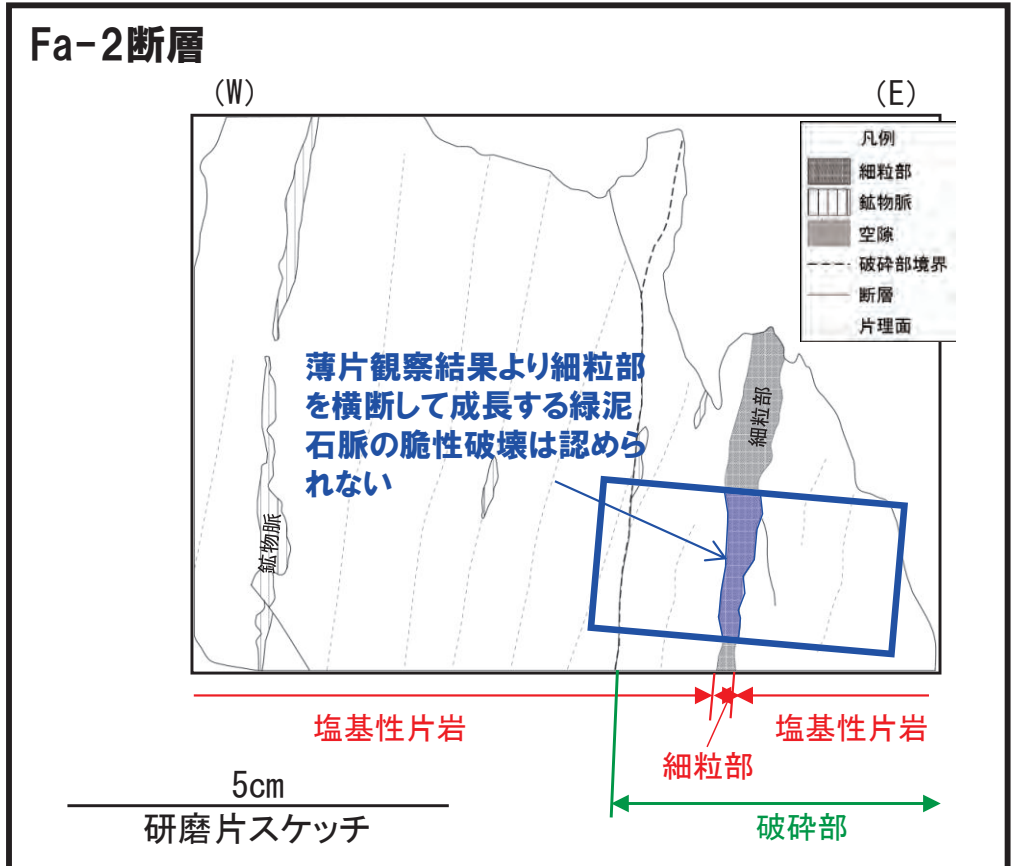
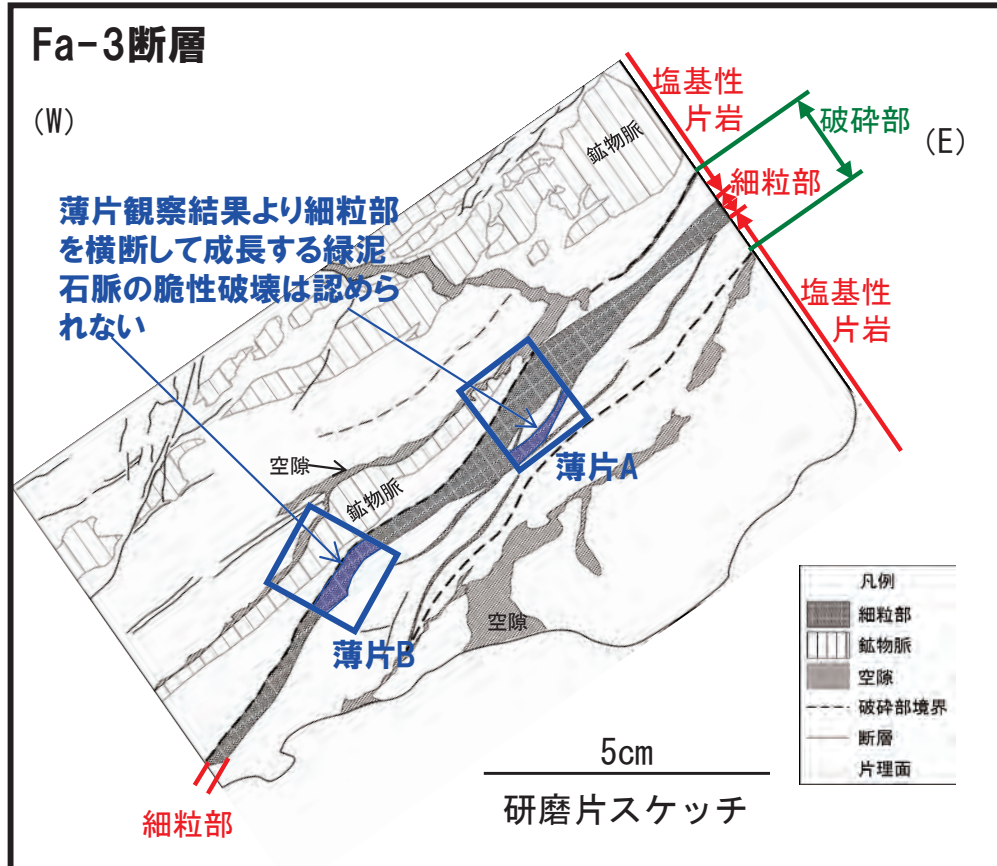


- I. 連続性がある断層の選定
- II. 重要施設の直下にある断層の選定
- III. 他の断層による切断および  
軟質部の有無
- IV. 軟質部が認められない断層の  
活動性評価
- V. 軟質部を含む断層の活動性評価
  1. 破碎幅の検討
  2. 断層内物質の詳細分析
  3. 断層の活動時期の検討
  4. まとめ
- VI. 総合評価



# 軟質部を含む断層の活動性評価のまとめ

- 薄片観察よりFa-3断層の薄片Aおよび薄片Bにおける細粒部を横断して成長する緑泥石脈（スメクタイトとの混合層を伴う）に脆性破壊は認められない。また、切り切られの関係にあるFa-2断層でも細粒部を横断して成長する緑泥石脈（スメクタイトとの混合層を伴う）が脆性破壊されていない。
- 以上より、Fa-3断層およびFa-2断層に古い時代の緑泥石脈（スメクタイトとの混合層を伴う）生成以降の活動は認められず、Fa-3断層に切断されるFa-5断層の活動時期も古い。これらの軟質部を含む断層の活動時期は後期更新世よりもはるかに古く、いずれも将来活動する可能性のある断層等には該当しない。
- 軟質部を含む断層は軟質部の認められない断層と同じく地下深部で形成されたカタクレーサイトであり、断層内の軟質部（粘土）は断層運動によって形成されたものではない。地下水の作用で断層内にスメクタイトが生成し、断層幅が大きく水の影響を受けやすい箇所ですらに変質が進んで粘土状の軟質部が形成されたものと考えられる。



- I. 連続性がある断層の選定
- II. 重要施設の直下にある断層の選定
- III. 他の断層による切断および  
軟質部の有無
- IV. 軟質部が認められない断層の  
活動性評価
- V. 軟質部を含む断層の活動性評価
  1. 破碎幅の検討
  2. 断層内物質の詳細分析
  3. 断層の活動時期の検討
  4. まとめ
- VI. 総合評価



# Fa-3断層の活動性の総合評価

- 敷地近傍（半径5km内）に活断層は認められず、周辺の活断層からの「枝分かれ断層」としてFa-3断層が変位する可能性はない。
- Fa-3断層は直線性の悪い長さ75m程度の断層であり、その性状から古い時代に地下深部で生成した断層である。断層内物質の分析から、断層の活動時期は後期更新世よりもはるかに古い。
- 以上より、Fa-3断層は将来活動する可能性のある断層等には該当しない。

敷地近傍の状況	
文献調査	敷地近傍(半径5km内)に「活断層詳細デジタルマップ」や「[新編]日本の活断層」等の既存文献による変位地形・リニアメントの指摘はない。 四国電力を含めた各種機関の音波探査記録を総合的に解析した産業技術総合研究所の検討において敷地北方約8kmの中央構造線断層帯以南に活断層は認められない。
地形調査	詳細DEMおよび空中写真による独自の地形判読において敷地近傍(半径5km内)に変位地形・リニアメントは判読されない。
地質調査	敷地近傍(半径5km内)・敷地付近には三波川変成岩類が広く分布し、活断層を示唆する構造は認められない。
地球物理学的調査	敷地内で実施したオフセットVSP探査によると、地下深部までほぼ水平な反射面が連続し、地震発生層(地下2km以深)まで連続する大規模な断層は認められない。

Fa-3断層の性状	
断層の走向・傾斜	試掘坑内でN31° W/50° NEであるが、直線性が悪く、場所によって走向・傾斜が変化する。東西圧縮横ずれの応力場とは対応しない。
断層の幅	試掘坑内におけるFa-3断層の破碎幅は、断層の影響を工学的に評価するため微小な亀裂が生じて岩盤が劣化した範囲まで含めて最大40cmであり、最も破碎の進んだ粘土部からやや破碎された弱破碎部までの幅は5cm程度である。また、試掘坑から離れるにつれて、Fa-3断層の破碎幅は減少し、Fa-3断層の局所的に破碎幅・粘土幅の大きい部分を既に掘削で除去している。
断層の連続性	Fa-3断層は長さ75m程度であり、地下深部の震源域まで連続するようなものではない。
断層付近の岩盤	断層付近の岩盤は破碎や変質がなく新鮮である。また、正断層的な片理のひきずりが認められ、Fa-3断層が古い時代に地下深部で生成したことを示す。
断層内物質	最新活動面と対応する細粒部(粘土)は幅が数mm～1cm程度で直線性にも乏しい。その細粒部を横断して緑泥石(スメクタイトとの混合層を伴う)が脈状に成長しており、その後脆性破壊を受けていないことから、緑泥石脈生成後にFa-3断層は活動していない。 細粒部中の緑泥石脈(スメクタイトとの混合層を伴う)は古い時代に地下深部の普遍的な高温環境で生成したものであり、Fa-3断層の活動時期は後期更新世よりもはるかに古い。

## 敷地内断層の活動性の総合評価

断層名	震源として考慮する活断層との対応	他の断層による切断	断層内物質の肉眼観察	物理試験	針貫入試験	軟X線観察CT画像観察	研磨片観察 薄片観察	総合評価
Fa-2	震源として考慮する活断層とは対応しない	Fa-3に切られる	粘土状の軟質部を含む	-	-	-	せん断方向に成長する石英脈・方解石脈および細粒部を横断して成長する緑泥石脈※に脆性破壊は認められない	地下深部における緑泥石脈※生成以降の活動は認められず、活動時期は後期更新世よりもはるかに古い
Fa-3		Fa-2と切り切れ関係		-	-	-	細粒部を横断して成長する緑泥石脈※に脆性破壊は認められない	
Fa-5		Fa-3に切られる		-	-	-	-	
Fa-1		-	岩石相当の硬さで周辺の母岩と密着して一体の岩石となっており、新しい時代の活動の痕跡は認められない	硬岩に相当する物性(密度、有効間げき率、吸水率)を有し、断層ガウジの物性と顕著な差が認められる	湿润状態でも土のように流動化せず一定の針貫入勾配を保っており、断層内物質が断層ガウジでなく基質と岩片が固結したカタクレサイトであることを明確に示す	破砕部と母岩の明るさに差異がなく、両者が同等の密度であると判断される	せん断方向に成長する緑泥石脈※に脆性破壊は認められない	地表付近における新しい時代の活動はない
Fa-4		-					せん断方向を横断する方向に成長する変質鉱物脈に脆性破壊は認められない 弱破砕部中に方解石脈の塑性変形が認められる	
f1		-					断層運動の繰り返しにより形成される細粒部は認められず、最も破砕の進んだ強破砕部に沿って片理のひきずりが認められる	
f2		-					細粒部と接する強破砕部中に片理の引きずりが認められ、せん断方向を横断する方向に成長する緑泥石脈※に脆性破壊は認められない	
f3		-					せん断面沿いの方解石脈の成長や細粒部を切断する小せん断面が認められ、せん断方向を横断する方向に成長する緑泥石脈※に脆性破壊は認められない	
f4		-					弱破砕部中の片理の引きずりや細粒部を切断する小せん断面が認められ、せん断方向を横断する方向に成長する緑泥石脈※に脆性破壊は認められない	
S <sub>1</sub>		-					部分的に細かく破砕	
S <sub>3</sub>	-	粘土状の軟質部を含む	-	-	-	-		

○敷地内で比較的破砕幅が大きく連続性がある断層としてFa-1～Fa-5断層、f1～f4断層、S<sub>1</sub>、S<sub>3</sub>断層があり、いずれも震源として考慮する活断層と対応しない。S<sub>1</sub>断層、S<sub>3</sub>断層はその付近に3号炉申請に係る重要施設がないことから、その変位が施設に影響を及ぼすものではなく、震源として考慮する活断層とも対応しない。

○軟質部が認められない断層（Fa-1断層、Fa-4断層、f1～f4断層）は、古い時代に地下深部で生成した断層が地表付近に位置して以降の新しい時代には活動しておらず、将来活動する可能性のある断層等には該当しない。

○Fa-3断層およびFa-2断層に古い時代の緑泥石脈（スメクタイトとの混合層を伴う）生成以降の活動は認められず、Fa-3断層に切断されるFa-5断層の活動時期も古い。これらの軟質部を含む断層の活動時期は後期更新世よりもはるかに古く、いずれも将来活動する可能性のある断層等には該当しない。

緑泥石脈※: 緑泥石脈(スメクタイトとの混合層を伴う)