

平成26年 3月28日  
独立行政法人  
日本原子力研究開発機構  
敦賀本部

高速増殖原型炉もんじゅ  
敷地内破砕帯の追加地質調査全体とりまとめ報告書の提出について

独立行政法人日本原子力研究開発機構は、平成25年9月25日付で原子力規制委員会から指示※を受け、高速増殖原型炉もんじゅ（以下「もんじゅ」という。）における敷地内破砕帯の追加調査計画書を原子力規制委員会に提出しました。

当機構は、当該計画に従い調査を進め、平成25年11月29日に同月中旬までに得られた結果を1次とりまとめ報告として、平成26年1月31日に平成25年11月中旬から平成26年1月中旬までに得られた結果を状況報告として、それぞれ原子力規制委員会に報告しました。

【平成25年11月29日、平成26年1月31日 プレス発表済み】

今般、当初計画した調査の結果について、平成25年11月の1次とりまとめ報告及び平成26年1月の状況報告の内容も含め、総合的に評価して全体をとりまとめ、本日、原子力規制委員会に提出しました。

今回取得した調査データからは、平成25年4月報告の結果と同様に、敷地内破砕帯に活動的であることを示す証拠は認められず、又、L-2リニアメント及びその延長方向における陸域及び海域においては、既に活断層として評価されている白木-丹生断層以外に、活断層に関連する構造は認められませんでした。

当機構は、原子力規制委員会の有識者会合における審議に真摯に対応するとともに、引き続き「もんじゅ」の安全確保に万全を期してまいります。

※：「高速増殖原型炉もんじゅ敷地内破砕帯の追加調査計画の策定について（原管地発第 1309251号）」（抜粋）

1. 重要構造物直下を通る敷地内断層の活動性を把握するため、はぎ取り調査地点の基盤岩中の断層において、変位マーカーの有無や形成年代の把握及び破砕帯内物質を対象とした年代測定等を実施すること。
2. L-2リニアメント及びその延長部等の評価についてデータ拡充を行うため、破砕帯の分布・性状、被覆層との関係及び被覆層の堆積年代（<sup>14</sup>C年代測定や火山灰分析等）の調査を実施すること。  
白木-丹生断層周辺及びL-2リニアメント延長等における海域の地質構造・活動性を把握するため、周辺海域における海上音波探査及び沿岸部における地形・地質調査等を実施すること。

添付資料：高速増殖原型炉もんじゅ敷地内破砕帯の追加地質調査全体とりまとめ報告【概要】

以上

（原子力規制委員会へ提出した報告書）

高速増殖原型炉もんじゅ敷地内破砕帯の追加地質調査全体とりまとめ報告

高速増殖原型炉もんじゅ敷地内破砕帯の追加地質調査全体とりまとめ報告（補足資料）

調査計画と調査結果の概要

原子力規制委員会からの指示事項	調査地点(対象)	調査項目	平成25年			平成26年		
			10月	11月	12月	1月	2月	3月
			計画書提出	1次とりまとめ報告		状況報告	全体とりまとめ報告	
1. 重要構造物直下を通る敷地内断層の活動性を把握するため、はぎ取り調査地点の基礎岩中の断層において、変位マーカ-の有無や形成年代の把握及び破碎帯内物質を対象とした年代測定等を実施すること。	① 原子炉建物基礎岩盤付近の剥ぎ取り調査地点* (β破碎帯、玄武岩岩脈、石英脈等)	●変位マーカ-の有無や形成年代	剥ぎ取り及び調査			分析・評価		
		●破碎帯内物質の年代測定等	分析・評価 I (採取済試料分)			分析・評価 II (追加・新規採取試料分)		
2. L-2リニアメント及びその延長部等の評価についてデータ拡充を行うため、破碎帯の分布・性状、被覆層との関係及び被覆層の堆積年代(14C年代測定や火山灰分析等)の調査を実施すること。	② L-2リニアメント及びその延長部(山地/段丘境界)、原子炉建物周辺等*	●破碎帯の分布・性状	踏査・調査			分析・評価		
		●破碎帯と被覆層の関係及び被覆層の堆積年代	踏査・調査			分析・評価		
白木-丹生断層周辺及びL-2リニアメント延長等における海域の地質構造・活動性を把握するため、周辺海域における海上音波探査及び沿岸部における地形・地質調査等を実施すること。	③ 海域及び海岸沿い(もんじゅ付近の海岸沿い、白木-丹生断層付近の地形・地質構造、B地点等)*	●周辺海域における海上音波探査	準備	調査		分析・評価		
		●沿岸部の地形・地質調査	踏査・調査			分析・評価		

注:平成25年10月23日付で、原子力規制委員会から調査内容に一部追加(海岸に沿う方向の地形・地質調査)が必要と指示されたことから、当初②の中で計画したB地点の調査を、③の調査と統合して調査・分析・評価を実施するよう計画を修正した。  
\*:調査地点は右図参照(文字の色と調査地点が対応)



**指示事項1. に対する調査結果**

- 剥ぎ取り調査の範囲を拡充し、2系統(α-3系列、β系列と呼ぶ)の複数の破碎帯の切断関係や変位量を調査し、β系列よりもα-3系列が相対的に新しい構造であることを確認した。
- 破碎帯は網目状に分布し、全体的に延性的な変形をしており、α-3系破碎帯の黒雲母には、150~250℃程度以上の高温環境下で生じる塑性的な変形構造が認められる。
- α-3系破碎帯によって切断されている玄武岩岩脈のK-Ar年代は約19Ma(Ma:100万年)であることから、α-3系破碎帯の最新活動年代は約1,900万年前以後である。
- 破碎帯内物質や花崗岩中のジルコンやアパタイトを対象としたFT法やU-Pb法による年代測定等を実施し、破碎帯と花崗岩の熱史を検討した結果、花崗岩貫入以降、玄武岩岩脈貫入以前の約250℃まで冷却されるまでの間、両者は同様の熱史を有していると判断できる。
- これ以降、破碎帯中のアパタイトFT年代だけが若返る程度の再加熱を被った可能性が高いが、19Maの玄武岩岩脈の貫入によって説明することが可能である。
- 上記のことから、敷地内破碎帯は、地下深部の高温環境下で形成された小規模な変形の痕跡であり、花崗岩が隆起や削剥により地表付近に到達する以前の地下深部で形成された古い時代の地質構造であると解釈される。

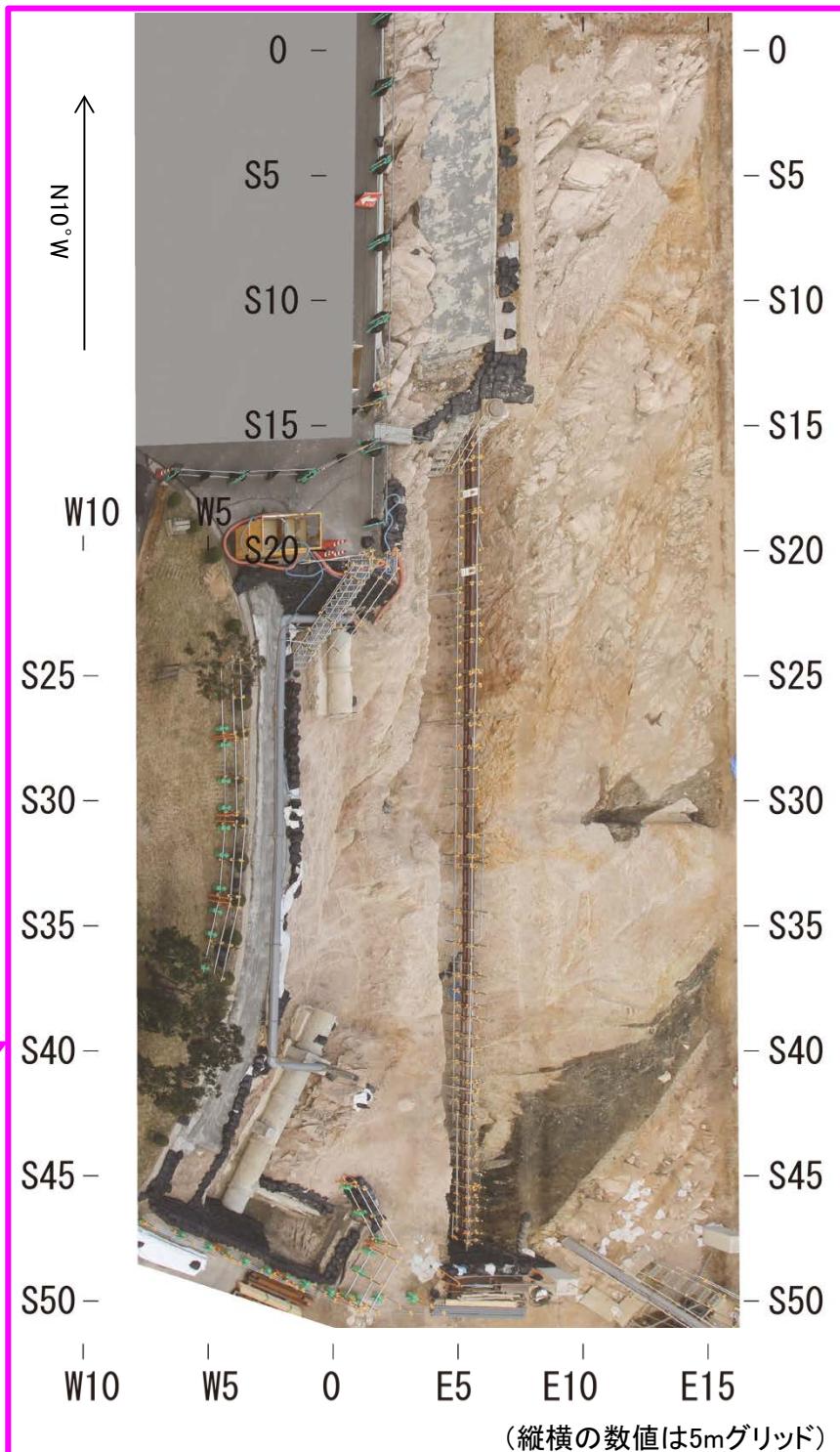
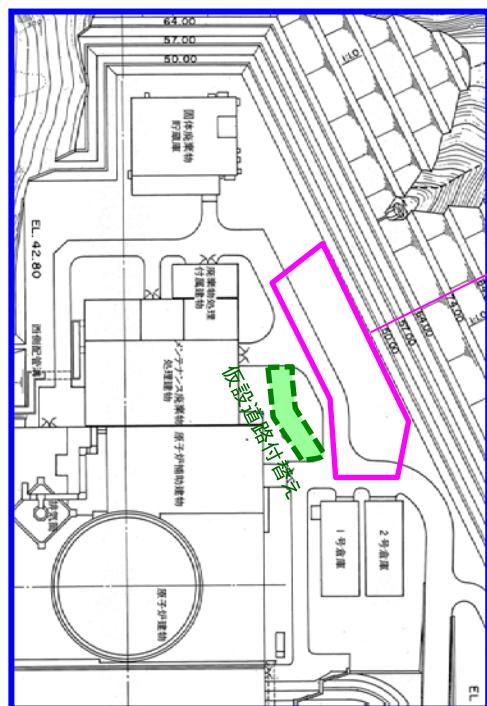
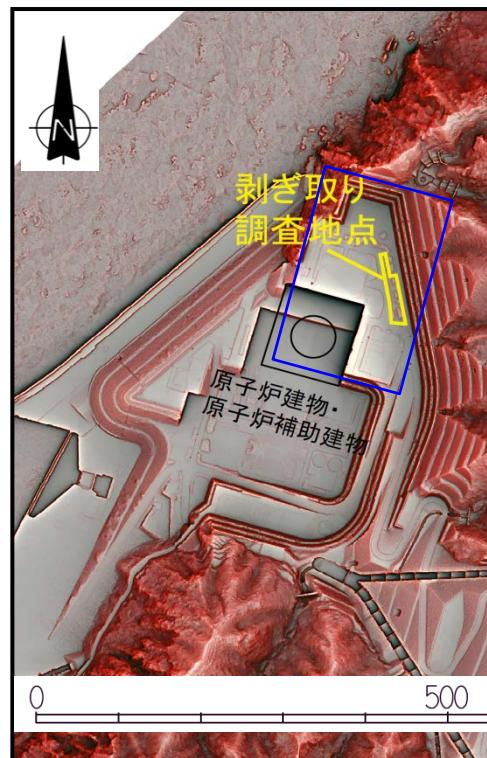
**指示事項2. に対する調査結果**

- L-2リニアメントの延長方向となる山地/段丘境界付近において、複数の破碎帯露頭を確認したが、この地形的な境界に沿った走向の連続的な破碎帯は確認されなかった。
- 確認した破碎帯露頭において、それを覆う堆積層に変位・変形は確認されず、L-2リニアメント延長方向に活断層の存在を示す痕跡は認められなかった。
- 周辺海域の海上音波探査及び海底地形調査の結果からは、白木-丹生断層及びL-2リニアメント延長方向において、これまでの調査・検討結果の修正を要するような断層構造に係る新たな情報は認められなかった。
- もんじゅ敷地の沿岸部において、節理が卓越する方向と海岸線の特徴は調和的であり、離水地形や構造的な地形は確認されなかった。
- 沿岸部の破碎帯露頭B地点について、破碎帯と被覆層との関係を検討した結果、活動的であることを示唆する構造は認められなかった。

⇒ 今回取得した調査データからは、平成25年4月報告の結果と同様に、敷地内破碎帯に活動的であることを示す証拠は認められなかった。

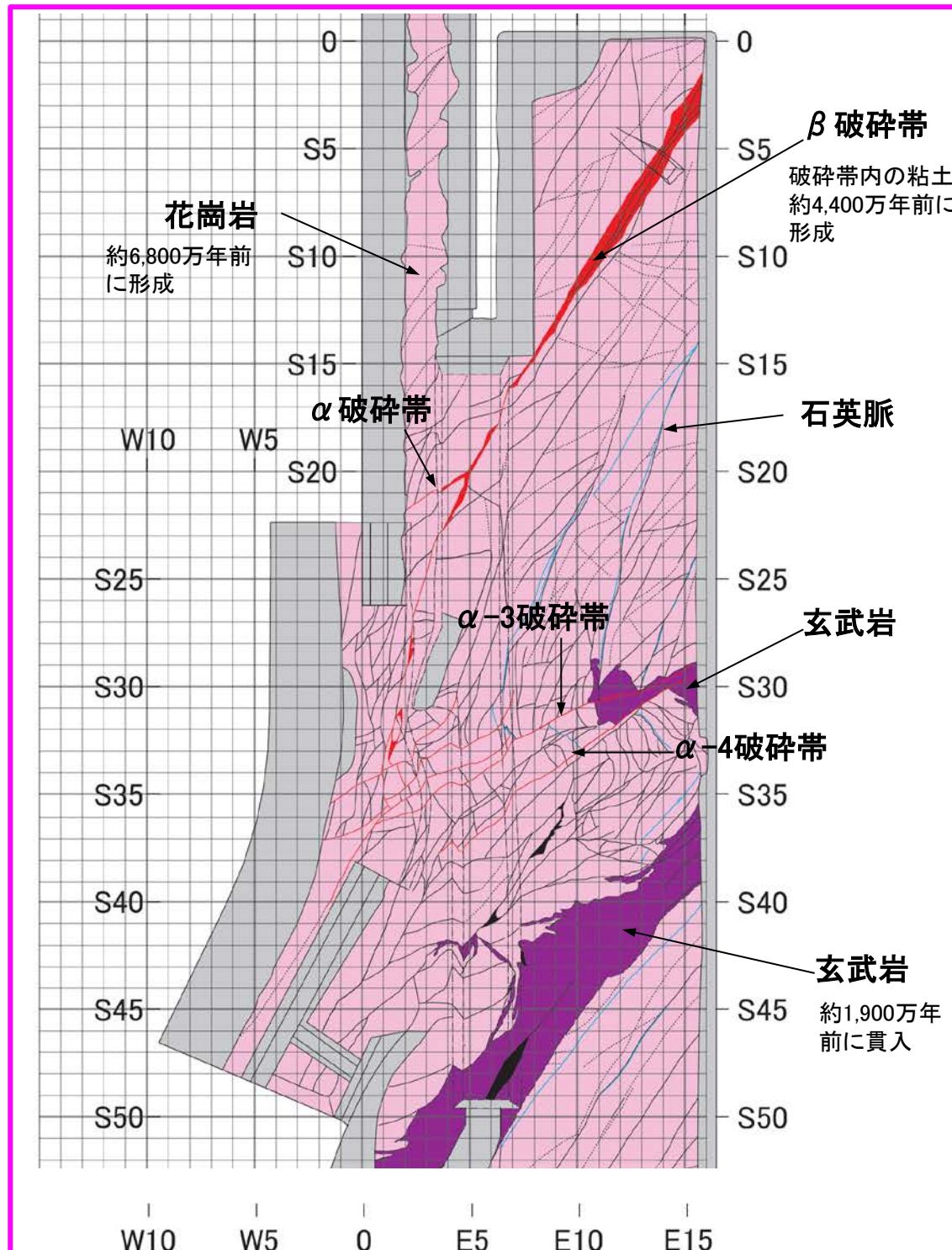
⇒ L-2リニアメント及びその延長方向における陸域及び海域においては、既に活断層として評価されている白木-丹生断層以外に、活断層に関連する構造は認められなかった。

# ①-1 剥ぎ取り調査地点の状況



剥ぎ取り調査地点の全景写真

(縦横の数値は5mグリッド)



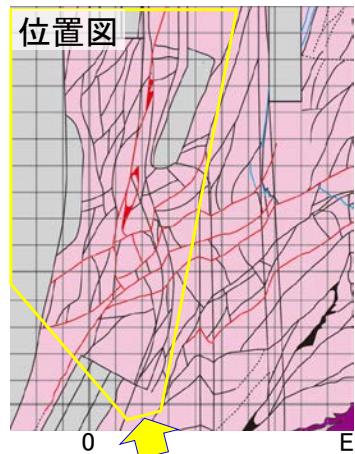
剥ぎ取り調査地点のスケッチ

スケッチの凡例

	埋土及び構造物		節理
	玄武岩		粘土を挟む不連続面
	花崗岩		主な破碎帯
			貫入面
			石英脈

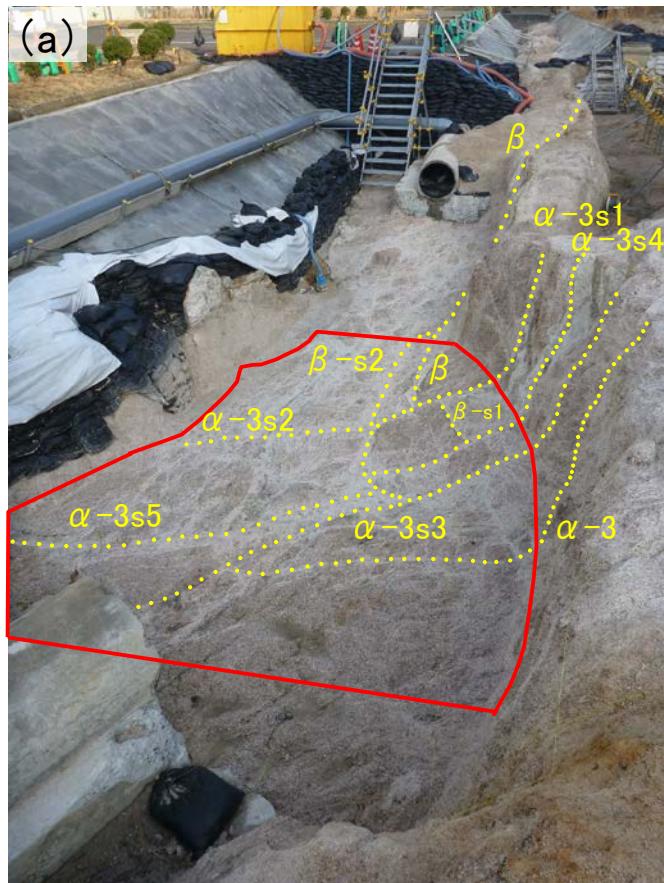
剥ぎ取り地点の南側を拡張し調査を実施。変位マーカとなる玄武岩(約1,900万年前に貫入)がα-3破碎帯でずらされている(切られている)こと、規模が大きいことから当初着目したβ 破碎帯も南側では不明瞭となり、α-3と同系列の破碎帯で切られていること等が確認された。β 破碎帯は相対的に古い断層であることから、α-3系列の破碎帯どうしの切断関係から最後に活動した破碎帯を同定し、その性状を詳細に分析した。

## ①-2 破碎帯どうしの切断関係と $\alpha-3a1$ 破碎帯の性状



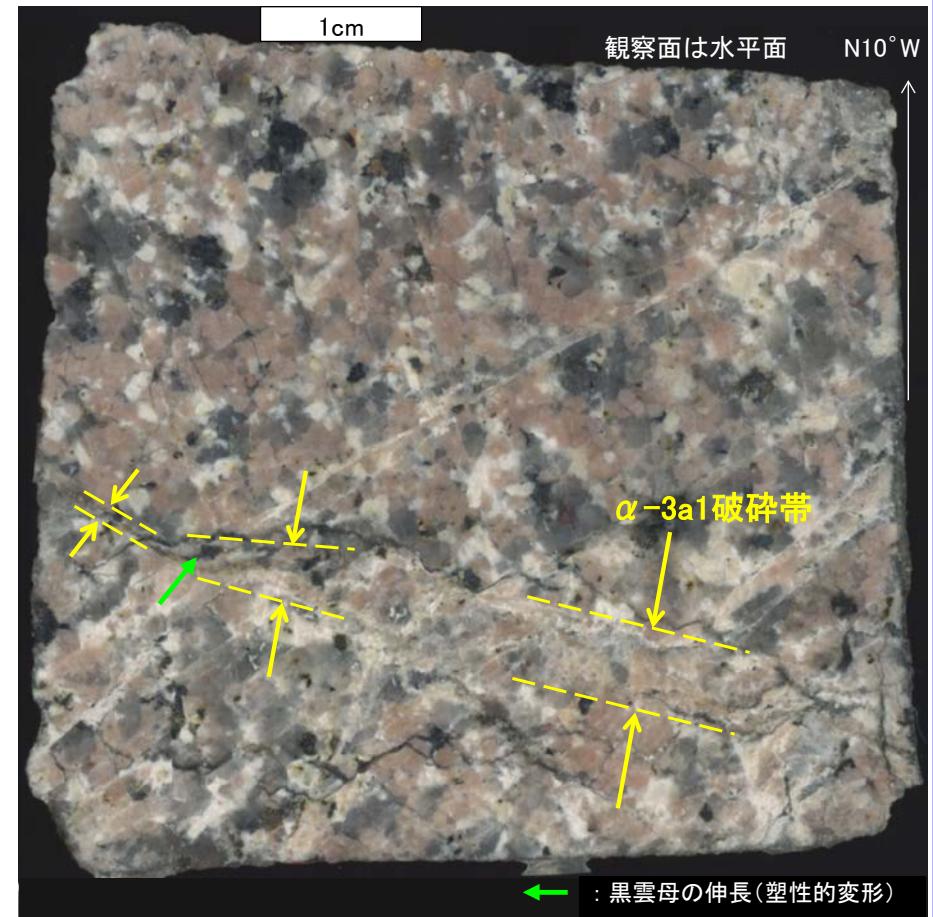
写真(a)

□内に示すように破碎帯は網目状に分布していることから、破碎帯どうしの切断関係を追跡した。



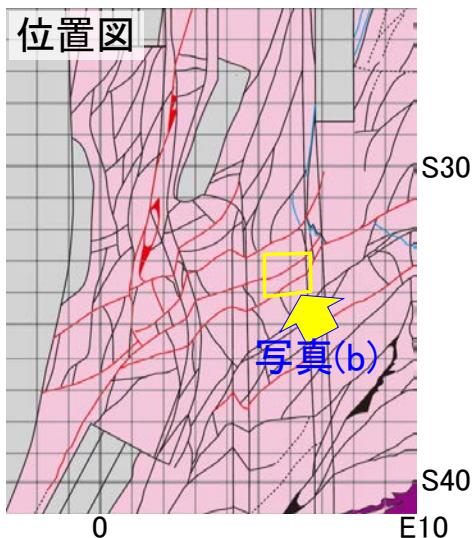
破碎帯の交差状況

$\alpha-3a1$ 破碎帯は幅約1cm程度以下。破碎帯に沿って、黒雲母の伸長や破碎粒子の配列による弱い面構造がみられる。左(西方)へ向かって、幅が狭くなるように見える。黒雲母の塑性的変形は破碎時の温度条件が高かったこと(150~250°C程度以上)を示し、破碎帯は地下深部で形成された古い地質構造と推定される。

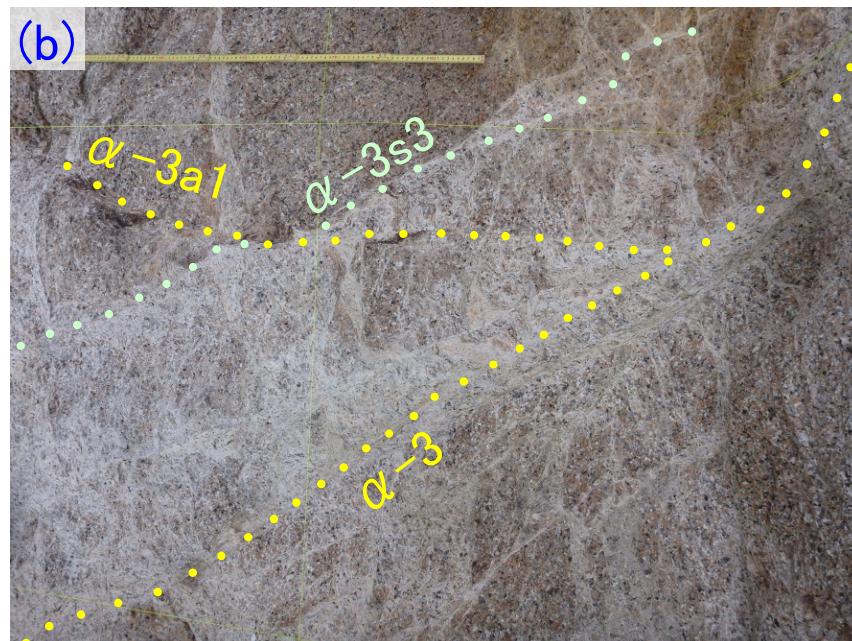


$\alpha-3a1$ の北西端部に近い箇所の定方位試料を研磨

$\alpha-3a1$ 破碎帯の研磨片観察



写真(b)



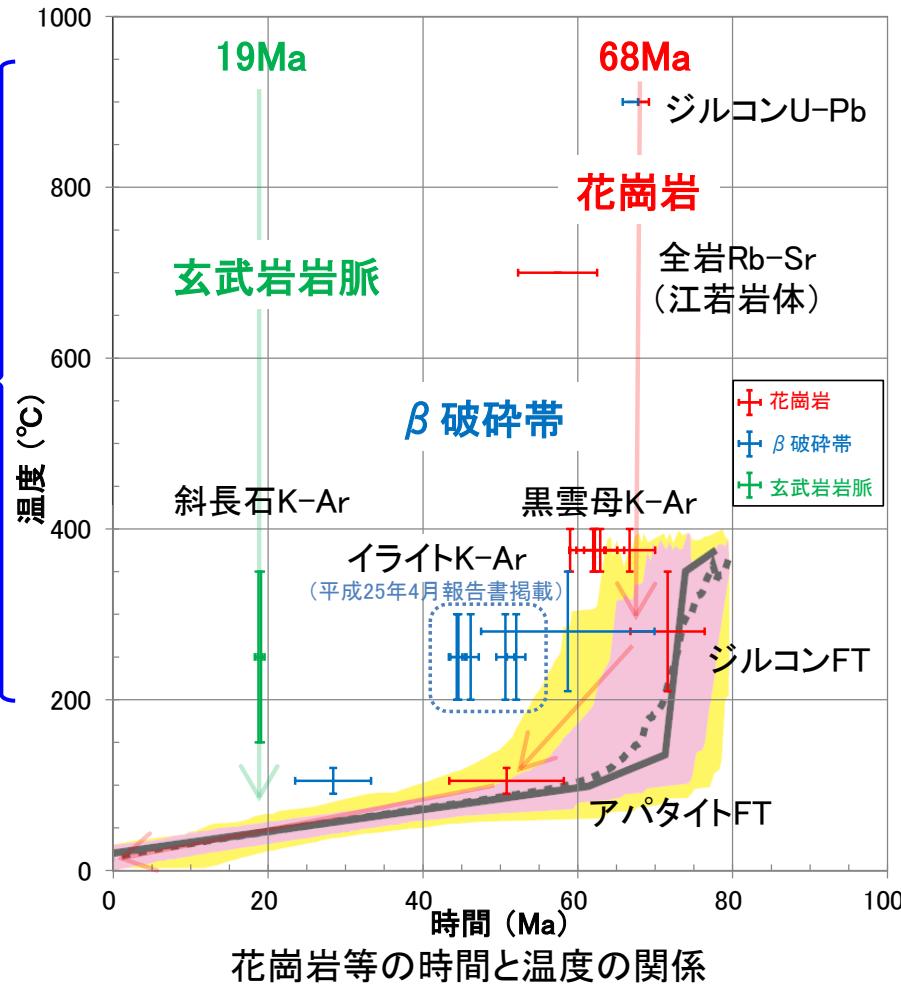
破碎帯どうしの切断関係の検討

$\alpha-3$ 破碎帯と $\alpha-3s3$ 破碎帯は同時期に活動した破碎帯。 $\alpha-3a1$ 破碎帯と $\alpha-3s3$ 破碎帯の切断関係を調べると、 $\alpha-3s3$ の左ずれ、 $\alpha-3a1$ の右ずれの順で活動している。このようなことを調査検討し、 $\alpha-3a1$ が最後に動いた破碎帯と同定。

# ①-3 破碎帯内物質等を対象とした年代測定結果

花崗岩と破碎帯で、ジルコンU-Pb年代及びジルコンFT年代に有意な差がない。また、両者ともジルコンFT長は短縮しておらず、急冷パターンを示している。

- ・花崗岩貫入時からジルコンFT法の閉鎖温度(約250°C)に冷却されるまでの熱史は、花崗岩とβ破碎帯でほぼ同様とみなせる。
- ・破碎帯内物質中の粘土鉱物は、岩体が冷却していく過程で生成したと考えられる。



花崗岩等の時間と温度の関係

## 年代測定結果のまとめ

試料名: 20130321Gr(未変質花崗岩)

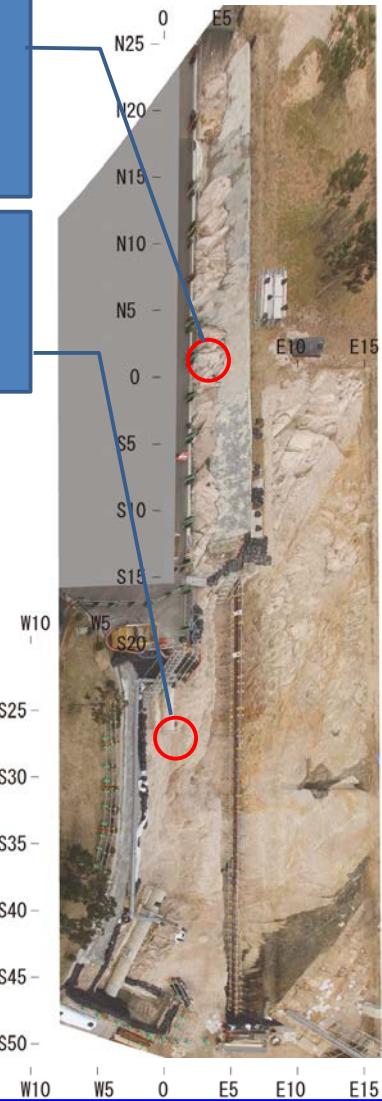
- ジルコンU-Pb = 68.5 ± 0.7 Ma
- 黒雲母K-Ar年代 = 62.2 ~ 62.3 ± 1.4 Ma
- ジルコンFT = 71.6 ± 4.8 Ma
- アパタイトFT = 50.8 ± 7.4 Ma

試料名: MP-37(β破碎帯内物質)

- ジルコンU-Pb = 66.8 ± 1.0 Ma
- ジルコンFT = 58.7 ± 11.2 Ma
- アパタイトFT = 28.4 ± 4.9 Ma

アパタイトFT長は短い側に裾の長い、典型的な徐冷パターンを示す。

- ・花崗岩は、アパタイトの閉鎖温度(約110°C)付近以下では、徐冷されたと考えられる。
- ・β破碎帯のアパタイトは花崗岩中のものに比べて若い年代を示しており、破碎帯が形成後に再加熱された可能性がある。

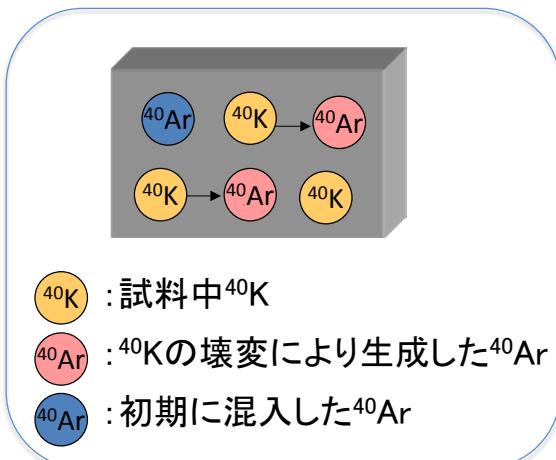


### K-Ar(カリウム-アルゴン)年代測定法

岩石・鉱物中の<sup>40</sup>Kが半減期12.5億年で<sup>40</sup>Arに壊変することを利用した放射年代測定法。

参考

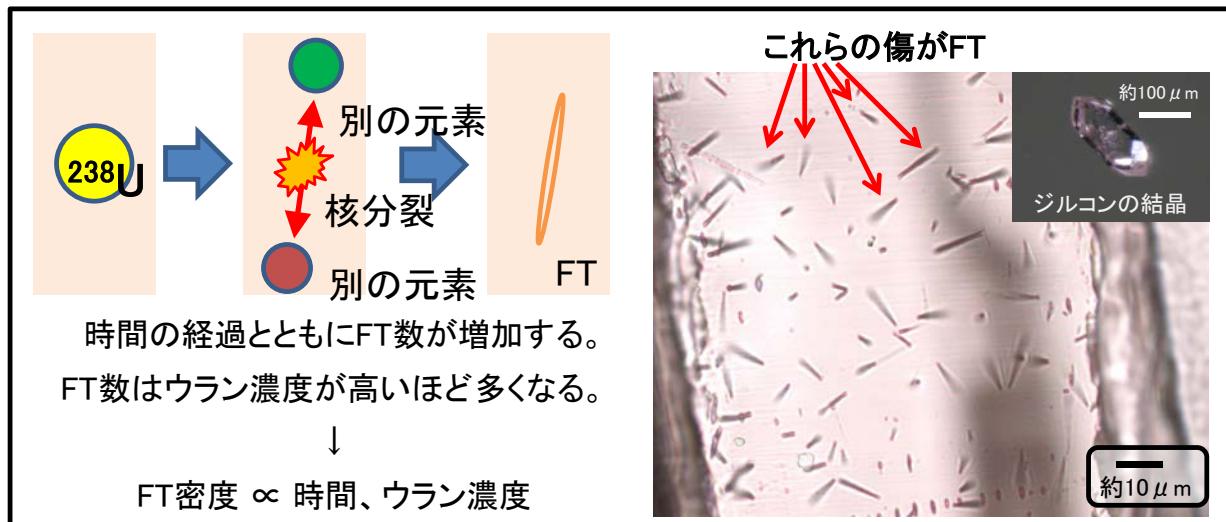
Kを含む多くの岩石・鉱物試料に適用可能。試料中のK, Arについて外部との出入りがなくなって(閉鎖系になって)からの時間を示す。約100万年~数億年の年代測定が可能。



### FT(フィッション・トラック)年代測定法

放射年代測定法の一つで、<sup>238</sup>Uが自発核分裂を起こす際に形成される線状損傷(FT)を計数することによって年代を測定する方法。

参考

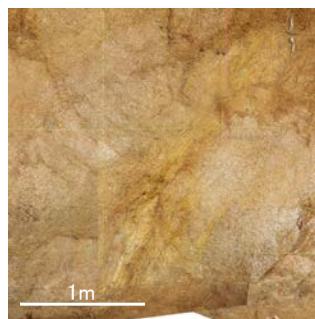


FTは熱により短縮・消滅(アニーリング)する。鉱物が再加熱されるとその時点で年代の起点が若返る。すなわち、FT年代 = 加熱時期になる。ただし加熱が不十分だとFT年代 > 加熱時期になる(パーシャルアニーリング)。

## ②-1 L-2リニアメント周辺及び山地／段丘境界付近の調査結果(破碎帯等の分布)

- 踏査範囲に発達する節理は主としてNE方向及びNW方向であり、比較的堅硬な花崗岩も分布している。
- 破碎帯はO2露頭を除く6地点で認められるが、山地／段丘境界付近には境界に沿った走向の連続的な破碎帯は確認されない。

KU露頭

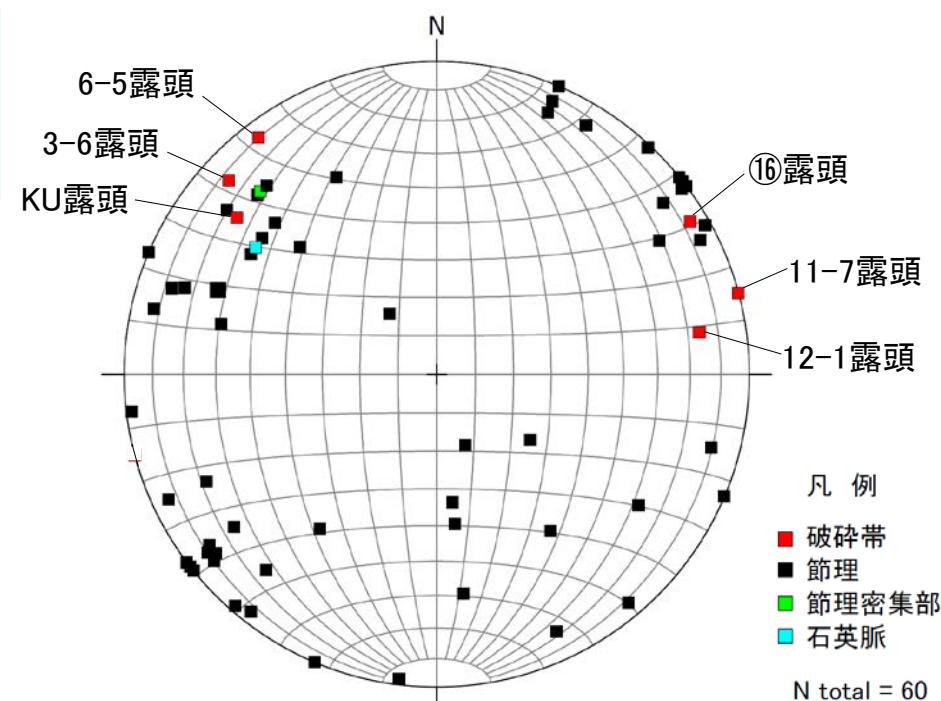


破碎幅は約20cmで、未固結の角礫状破碎部中に未固結の砂～粘土状破碎部を薄く挟む。破碎帯の走向・傾斜はN38°E・70°SEで、条線は識別されなかった。

3-6露頭



破碎幅は約40cmで、未固結の角礫状破碎部から成る。破碎帯の走向・傾斜はN43°E・80°SEで、条線は識別されなかった。



各地質構造の極の下半球等積投影図

6-5露頭

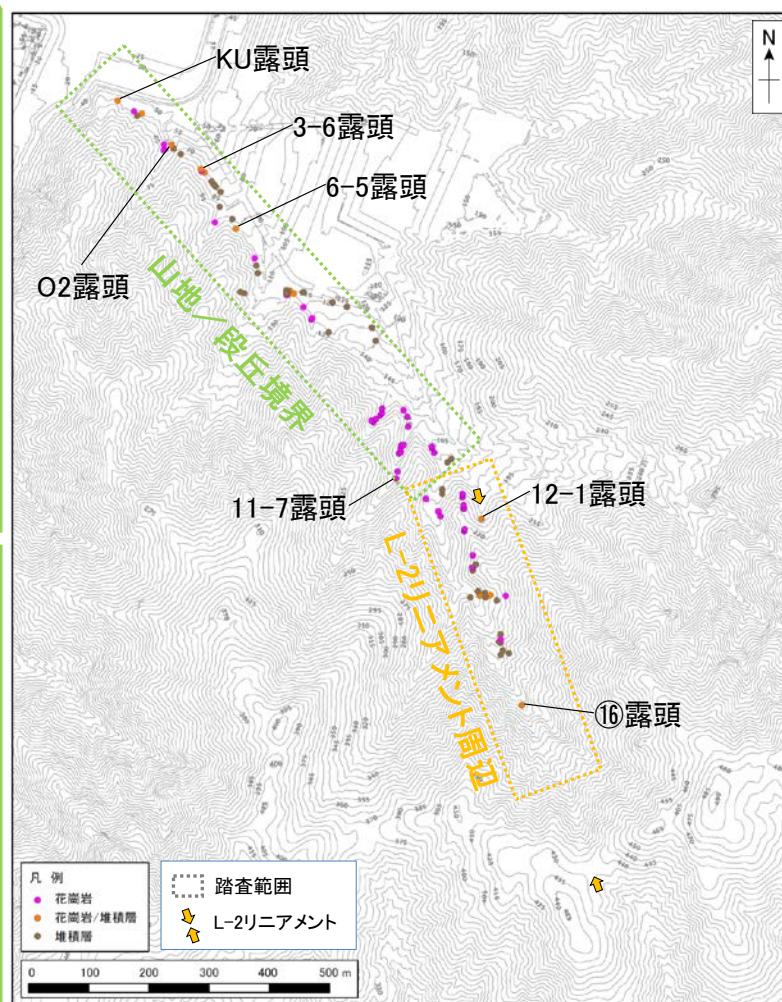


破碎幅は約50cmで、固結した角礫状破碎部中に未固結の粘土状破碎部を薄く挟む。破碎帯の走向・傾斜はN49°E・84°SEで、条線は識別されなかった。

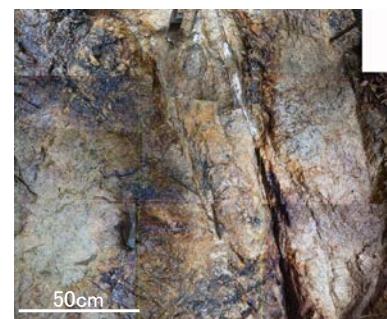
11-7露頭



破碎幅は約10cmで、未固結の角礫状破碎部中に未固結の粘土状破碎部を薄く挟む。破碎帯の走向・傾斜はN15°W・90°で、条線は識別されなかった。

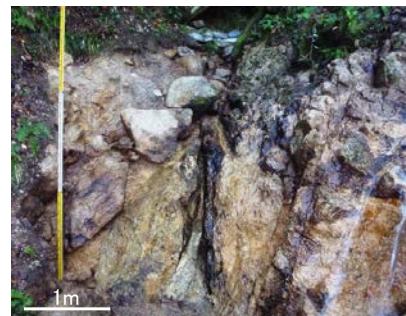


12-1露頭

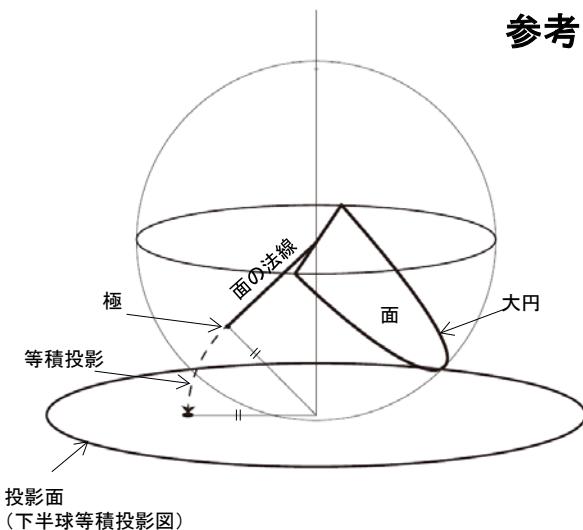


破碎幅は約50cmで、固結した弱破碎変質部中に未固結の粘土状破碎部を薄く挟む。破碎帯の走向・傾斜はN9°W・74°Wで、北へ低角度に傾斜する条線が認められる。

⑩露頭



破碎幅は約20cmで、固結した角礫状破碎部中に砂～粘土状破碎部を薄く挟む。破碎帯の走向・傾斜はN31°W・84°SWで、北へ中角度に傾斜する条線が認められる。

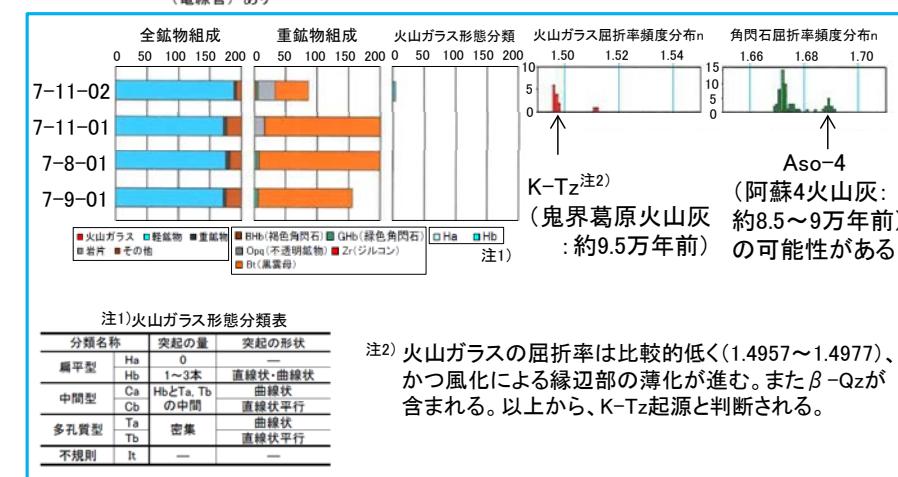
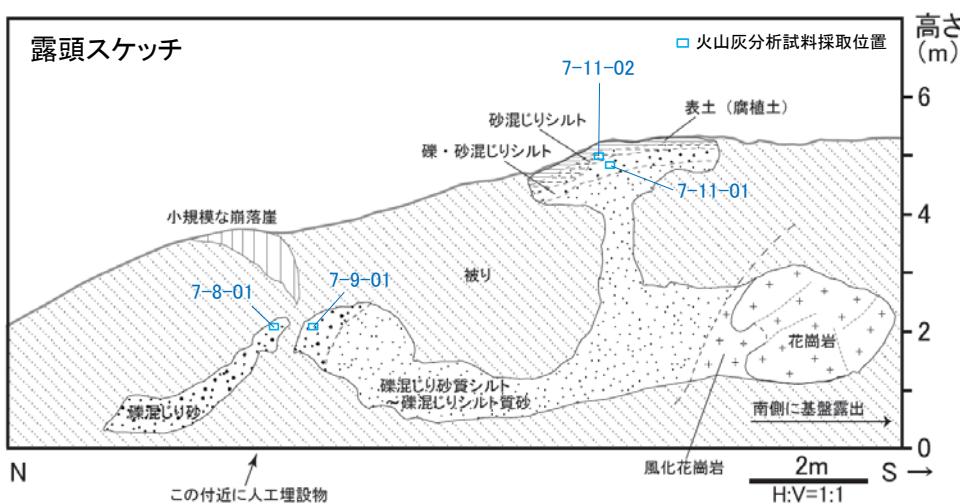


下半球等積投影図

節理や断層などの面状の構造の姿勢(走向・傾斜)は三次元的であるが、二次元の紙面上に投影することで、一つの点で表すことができる。球の中心を通る面の法線は、球殻と2点(極)で交差する。極のうち下半球のものを、下半球面上の各部分の面積が紙面上で等面積になるように投影する手法を下半球等積投影と呼び、作図されたものを下半球等積投影図と呼ぶ。

## ②-2 被覆層／花崗岩境界の露頭及び山地／段丘境界の露頭調査結果例

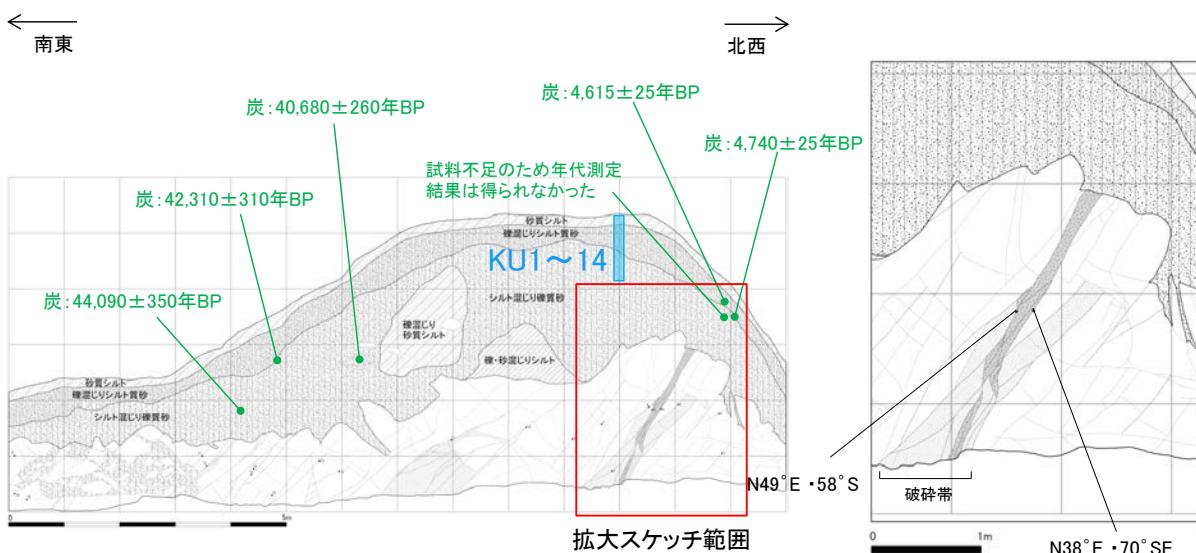
### 7-11露頭



火山灰分析結果

- 分離小丘状地形の南側において、山地／段丘境界を横断する方向で、斜面の表土の一部を剥ぎとり、破碎帯の有無を確認したところ、破碎帯は確認されなかった。
- 堆積層の火山灰分析の結果、地表付近の砂混じりシルトはK-Tz起源の粒子を含むことから、約9.5万年前以降の堆積物と考えられる。

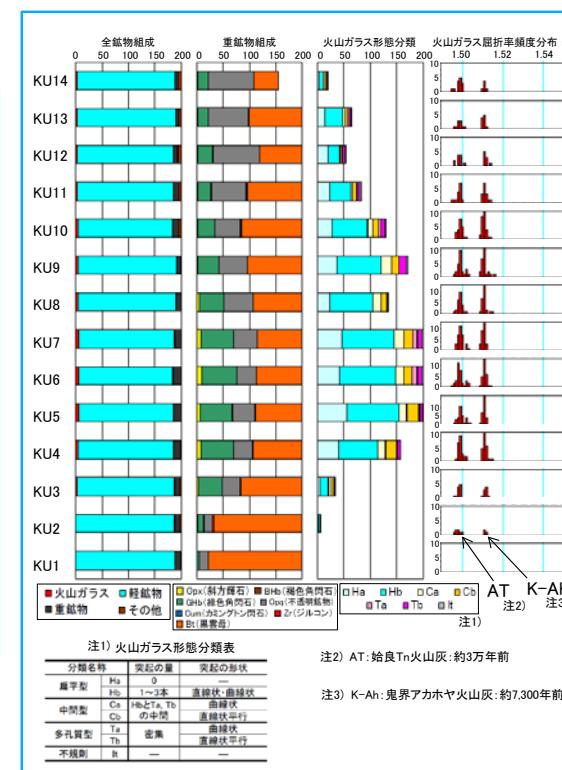
### KU露頭



拡大スケッチ範囲

露頭写真・スケッチ・試料採取位置  
 青字: 火山灰分析試料採取位置  
 緑字: <sup>14</sup>C年代試料採取位置及び年代測定結果

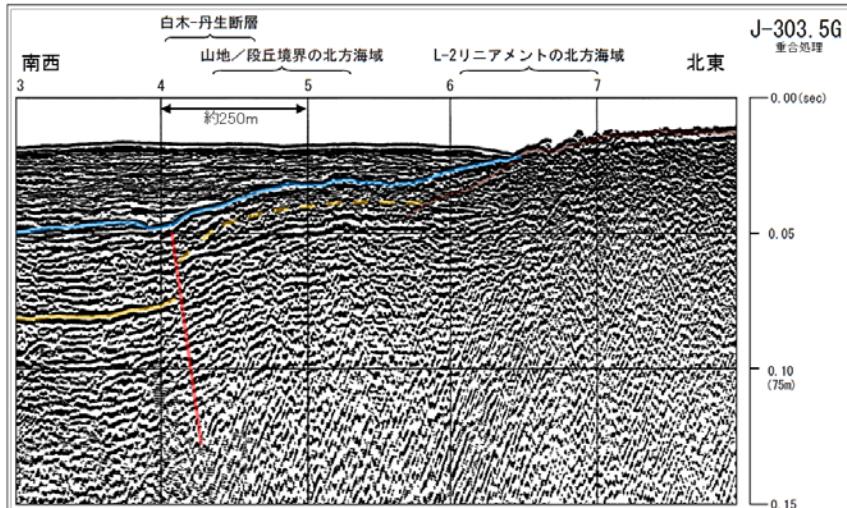
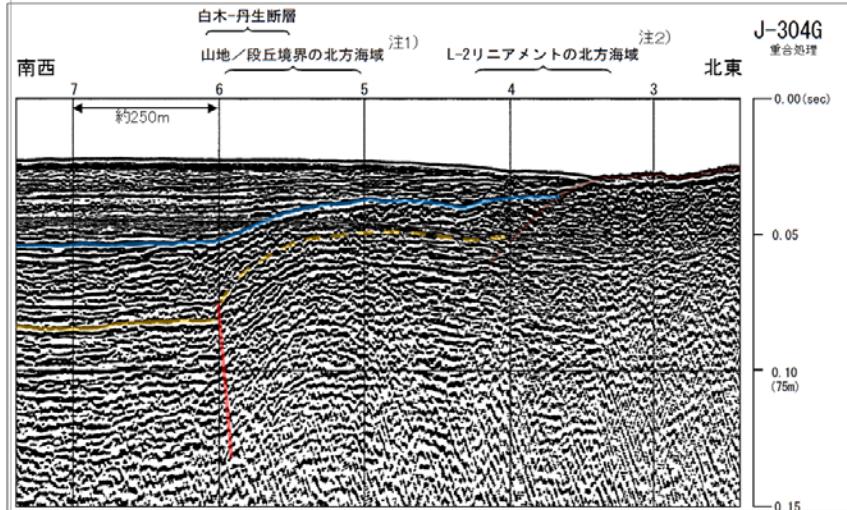
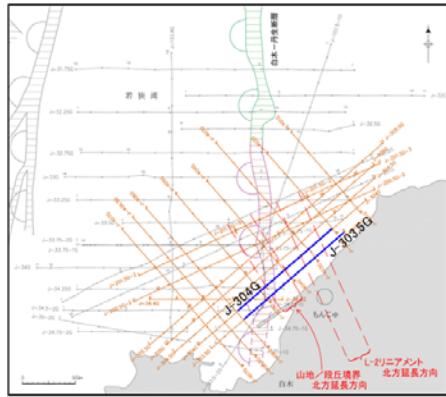
- 被覆層の<sup>14</sup>C年代値から、表層約50cm程は約5,000年前の堆積物が分布しており、その下位には 約4~5万年前の堆積物が分布すると考えられる。
- 被覆層の表層約1m程はATとK-Ah起源の粒子を含むことから、約7,300年前以降の堆積物と考えられる。
- 被覆層に断層変位によって引きずられた様な痕跡は認められない。



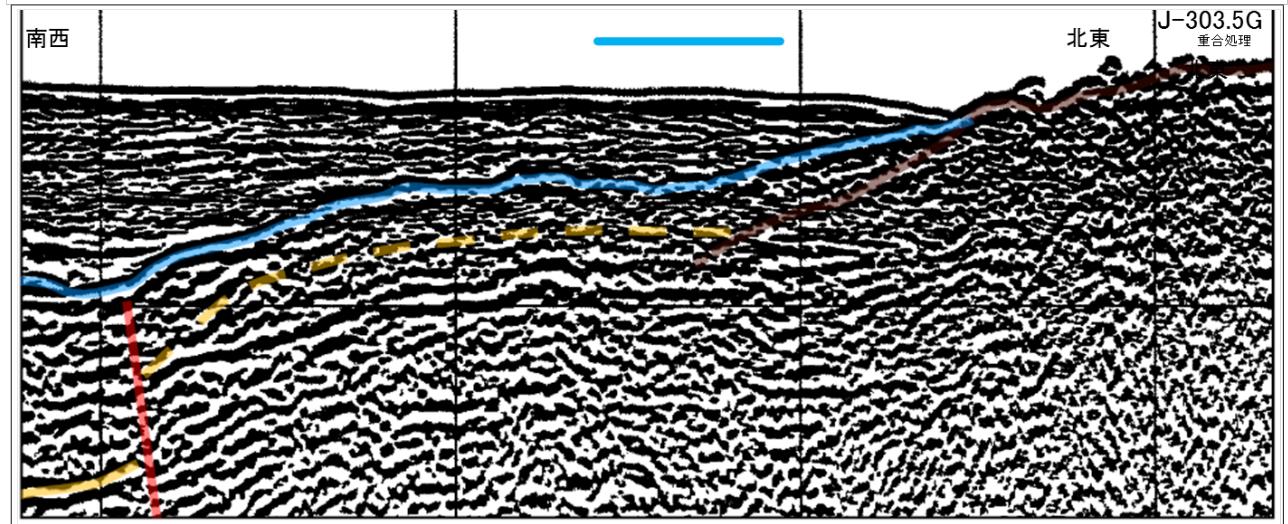
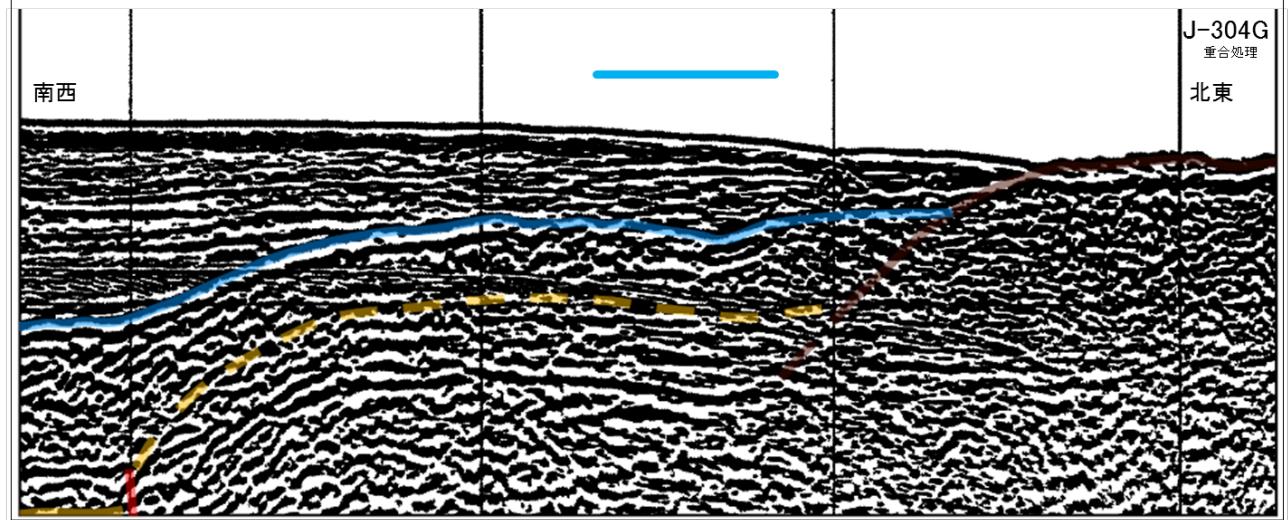
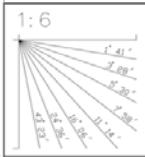
火山灰分析結果

### ③-1 周辺海域における海上音波探査(浅部)結果

浅部音波探査測線図

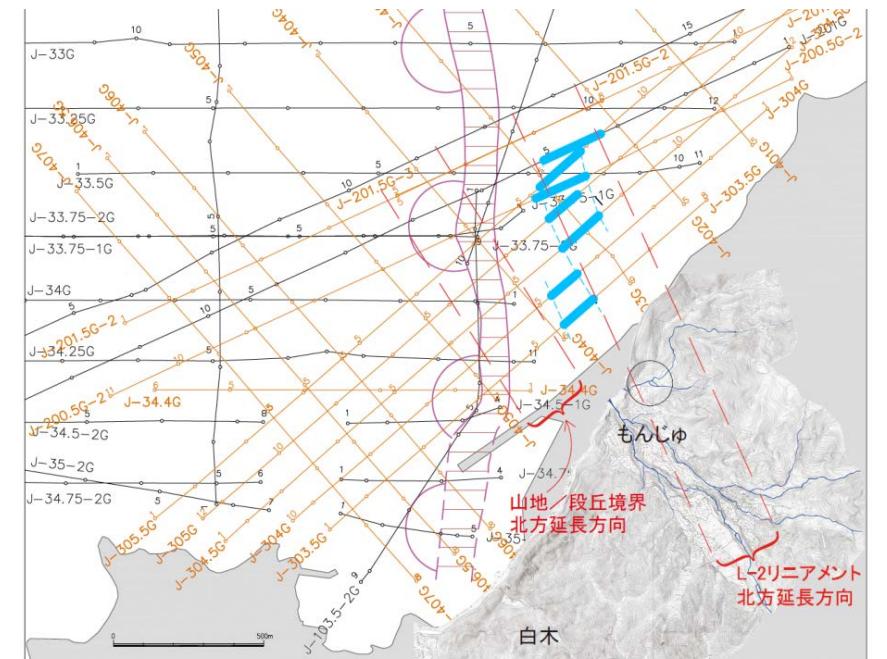


地質時代		音響層序区分	
第四紀	完新世	A	
	更新世	後期	B
		中期	C <sub>1</sub>
		前期	C <sub>2</sub>
前期		C <sub>3</sub>	
第三紀	鮮新世	C <sub>4</sub>	
	後期	D	
	後期	R	
	中期		
前期			
先新第三紀			

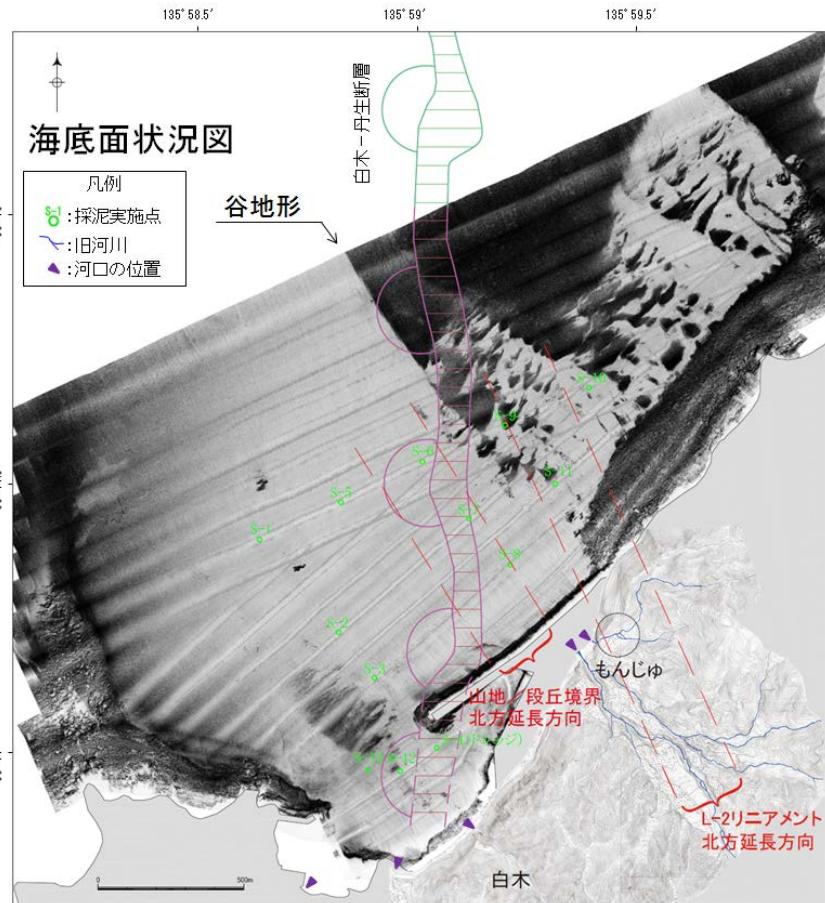
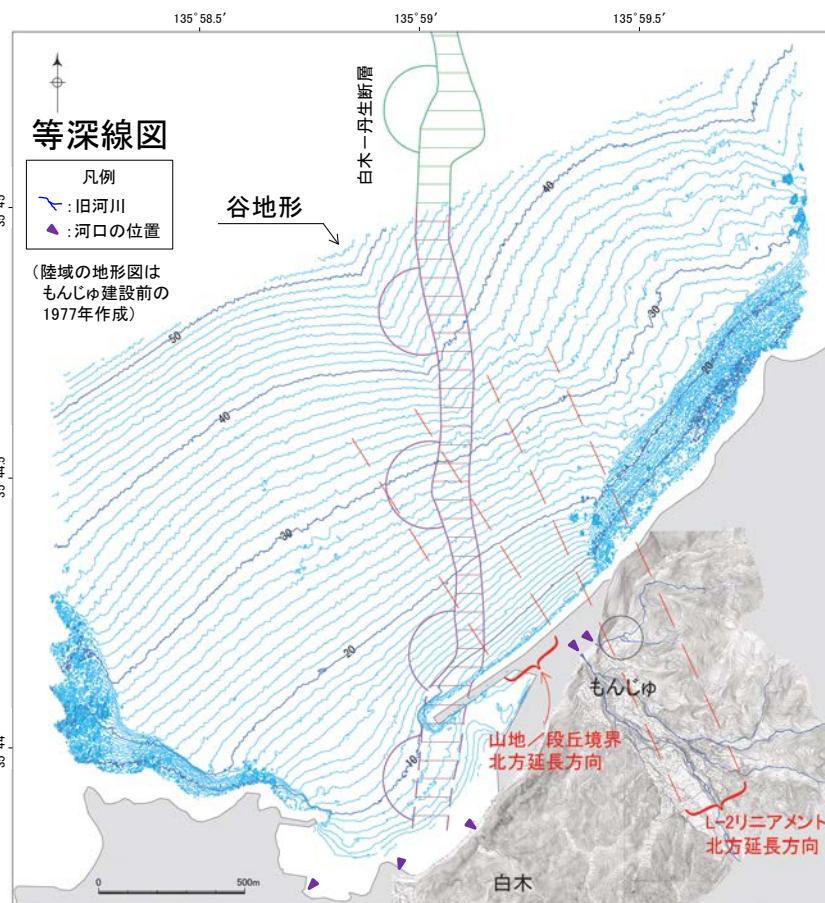
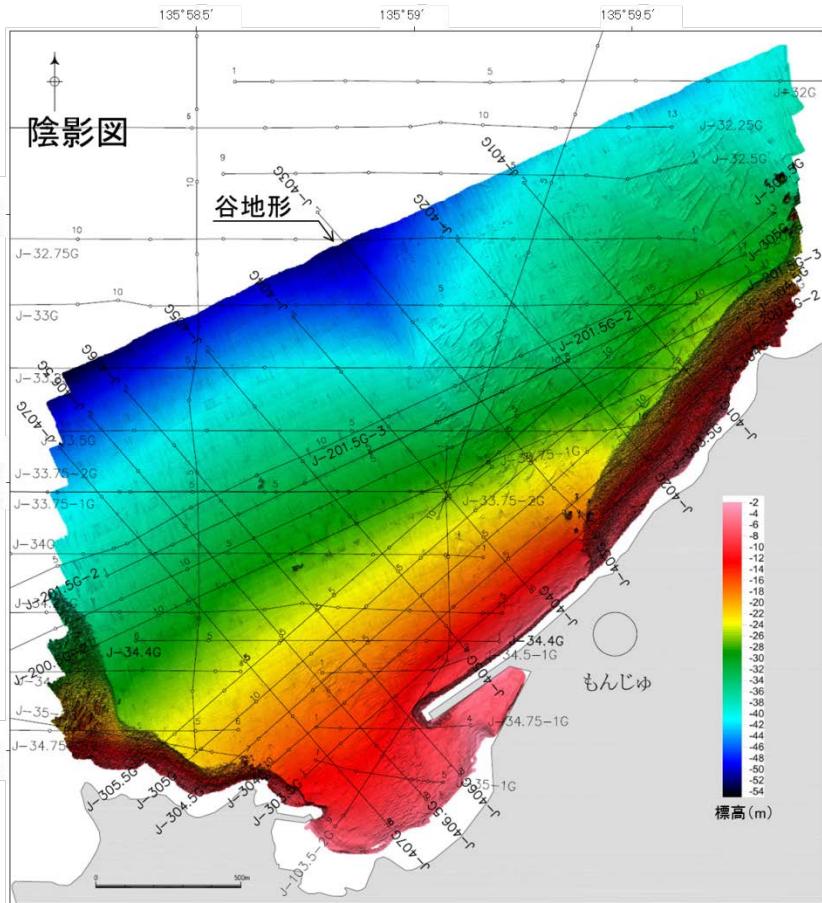


• 本頁の両断面では、——の比較的狭い範囲のB層上面に凹部が見られ、凹部側面に対してA層がほぼ水平に埋積しているように見える。

- L-2リニアメントの北方海域、山地/段丘境界の北方海域の部分の浅部音波探査記録例を示す。
- 本頁の両断面では、白木-丹生断層を除く範囲に断層運動によると見られる変位・変形は確認できないが、B層上面に凹部が見られ、A層が埋積しているように見える箇所がある。
- これらの凹部は、B層上面の形態に限られるように見える。これらの凹部が見られる区間について、右上に拡大図を示す。
- B層上面の凹部が見られる区間を測線図に示す(右図参照)と、凹部はもんじゅ建設前の自然状態の河谷の延長方向に、直線的ないし緩く湾曲した形態をもって分布する。
- これら凹部の断面は、B層上面の形態に限定されて下位の地層に系統的に連続しない、上位のA層がほぼ水平に凹部に堆積している、比較的狭い範囲に限定して発達している等の特徴を示す。
- B層上面に見られる凹部は、最終氷期に陸化していた時代に形成された流路の痕跡と考えられる。

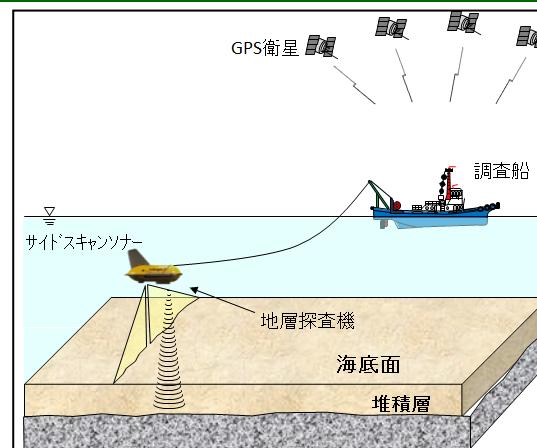


### ③-2 周辺海域における海底地形調査結果



- 調査海域の海底地形は、西側は比較的平坦であり、東側は多少の起伏がある。その境界は、調査範囲の北部中央から北西-南東方向で明瞭である。
- 水深30数m以深の谷地形が、より明瞭に捉えられた。
- 陰影図で黒く見える部分は、海底の露岩部(転石も含まれる)である。
- 陰影図に示した谷地形は、水深40mの等深線を基準にすると、谷幅約1kmで深さ約7mである。
- 谷地形は、白木-丹生断層と斜交している。

- サイドスキャンソナーの調査結果を、反射強度が強い場所は暗く、反射強度が弱い場所は明るく表示。
- 採泥調査により、明色域に細砂～中砂が分布している。
- 暗色域の底質は露岩域又は粒径が大きい堆積物、明色域の底質は粒径が小さい堆積物である。
- 谷地形の位置は、暗色域と明色域の境界にほぼ一致していることから、直線的に見える谷地形の形成は砂の堆積により説明される。



サイドスキャンソナー

サイドスキャンソナーとは海底面の性状を調べる調査技術。調査船に曳航された送受波器から扇状に発振された音波が海底で反射した強度を色の濃淡として描画する。

周波数: 100/400kHz  
調査範囲: 約4.0km<sup>2</sup>

#### 参考

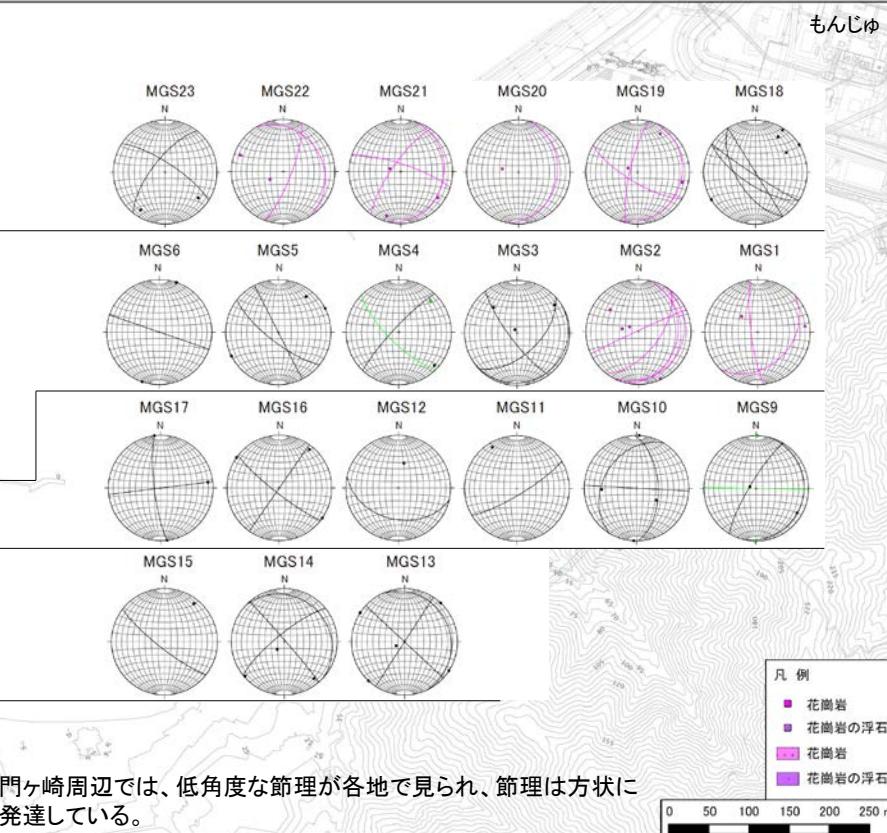
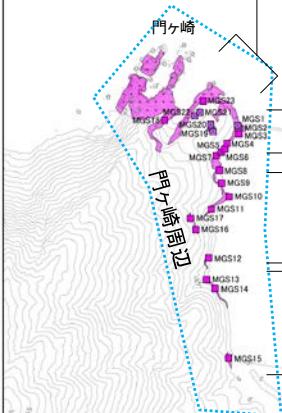
### ③-3 海岸沿いの地形・地質調査結果

#### 門ヶ崎の調査例

各露頭の節理の極と大円の  
下半球等積投影図

- 凡例
- 節理
  - 節理密集部
  - 浮石

今回の調査では、低角度な構造の有無に注目して踏査を実施した。

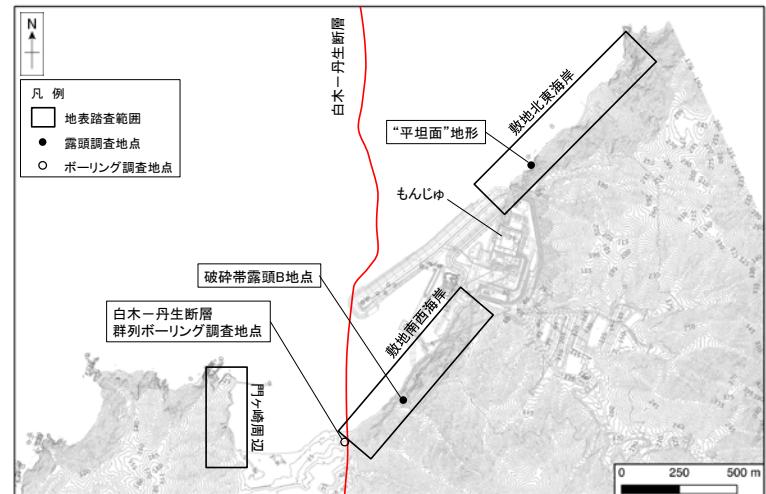


もんじゅ



低角度な節理面上に残る立方体状の浮石

門ヶ崎付近の写真

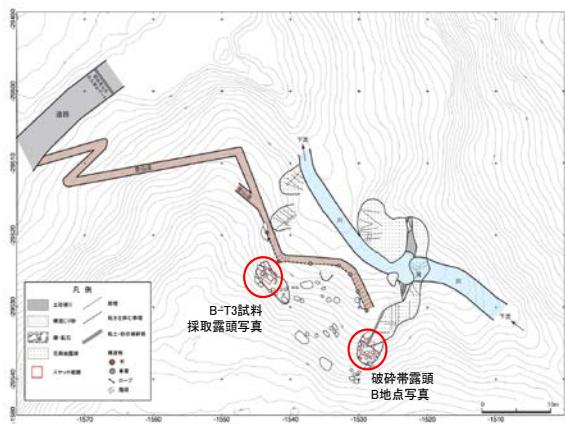


海岸沿いの調査位置図

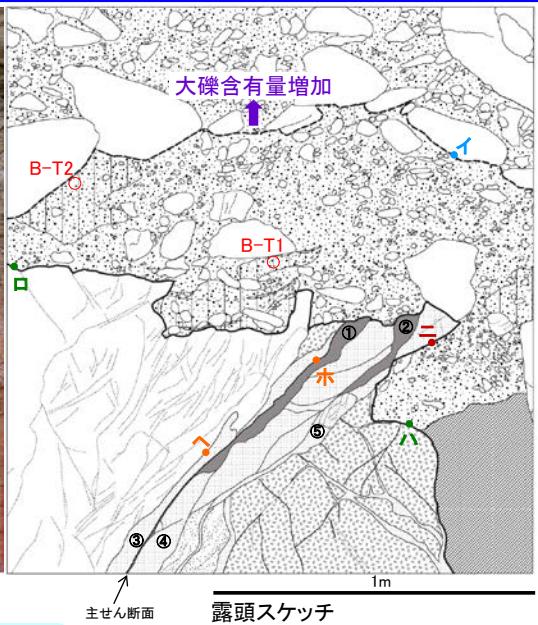
- 節理は互いに高角度に交わる方状に発達している。
- 海側は低角度な節理が目立ち、節理間隔は比較的広い。
- 山側は高角度な節理が目立ち、節理間隔は比較的狭い。
- 門ヶ崎の急峻で階段状の地形と、間隔の広い低角度の節理との対応が認められる。

#### 破碎帯露頭B地点

破碎帯露頭B地点周辺のルートマップ



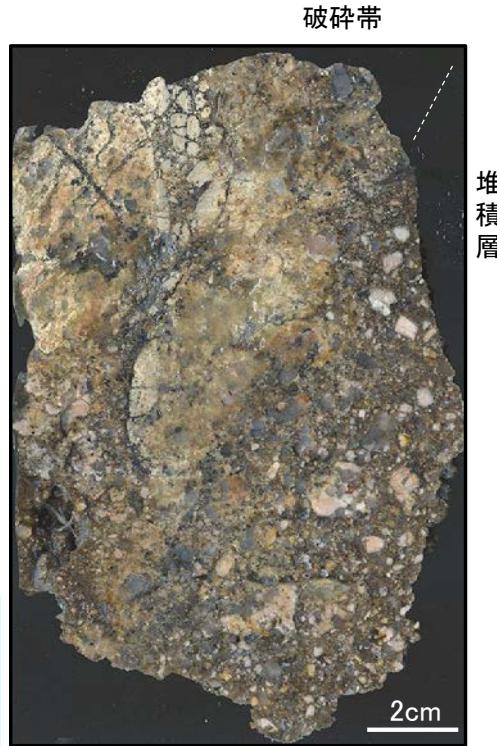
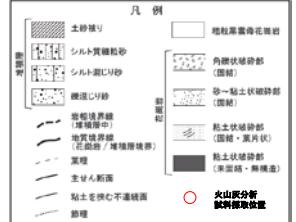
露頭写真



主せん断面 露頭スケッチ

- 走向・傾斜
- イ: N22°W - 23°W (堆積層層理面)
  - ロ: N5°W - 32°W (花崗岩/堆積層境界)
  - ハ: N29°W - 7°W (花崗岩/堆積層境界)
  - ニ: N33°E - 78°E (破碎帯/堆積層境界)
  - ホ: N8°E - 72°E (破碎帯)
  - ヘ: N33°E - 63°E (破碎帯)

- 破碎帯
- ① 白色粘土 (未固結) 幅最大60mm、最小3mm、平均15mm
  - ② 白色粘土 (未固結) 幅最大50mm、平均30mm (せん減する)
  - ③ 黄白色粘土 (固結) 幅最大50mm、最小20mm、平均10mm
  - ④ 黄白色粘土 (固結) 幅最大110mm、最小50mm、平均70mm
  - ⑤ 黄白色粘土 (固結) 幅最大120mm、最小10mm、平均60mm



ほぼ鉛直な断面 (露頭手前から奥を見る)

#### 露頭観察結果

- B-T1、B-T2の火山灰分析の結果、火山灰は検出されなかった。
- 堆積層 (礫層) 中に固結～未固結の粘土化した破碎帯の分布が確認された。
- 破碎帯の上部の堆積層に断層変位によって引きずられたような痕跡は認められない。

#### 研磨片の観察結果

- 破碎帯と堆積層の境界は不規則な形に入り組んで密着しており、断層活動の痕跡 (すべり面や連続的な粘土の薄層、変位センスを示す構造、堆積層内部の系統的な粒子配列) は認められない。