

## シームを対象とした薄片試料の詳細観察結果

## 沸石類の鏡下における光学的特徴等

薄片試料 採取場所	薄片 試料名	鉱物No.	光学的特徴					考えられる鉱物種
			単ニコル		直交ニコル			
			結晶の 形状	劈開	複屈折	伸長の 正負	消光角	
AS1坑	B23-AS1-N-S	鉱物A	板状	有	比較的高	正	斜消光大	濁沸石
		鉱物B	放射状	—	比較的低	負	斜消光小	輝沸石, 束沸石
		鉱物C	放射状	—	比較的高と 低が混在	正負両方	直消光～ 斜消光小	トムソン沸石, 束沸石
D坑R部	B23-DR-NE-SW	鉱物D	板状	有	比較的低	負	直消光～ 斜消光小	輝沸石
		鉱物E	板状	有	比較的低	負	直消光～ 斜消光小	輝沸石
	B23-DR-NW-SE	鉱物F	板状	有	比較的低	負	直消光～ 斜消光小	輝沸石

- ・試掘坑から採取したシームを対象とした薄片の詳細観察結果を踏まえ、沸石の詳細な種類を整理した。
- ・シームの薄片で確認された沸石の詳細な種類については、濁沸石、輝沸石、トムソン沸石及び束沸石が候補に挙げられる。

## (参考) 沸石類の特徴

・吉村(2001)によると、沸石類は、鏡下観察による形態的特徴により詳細な区分ができるとしている。

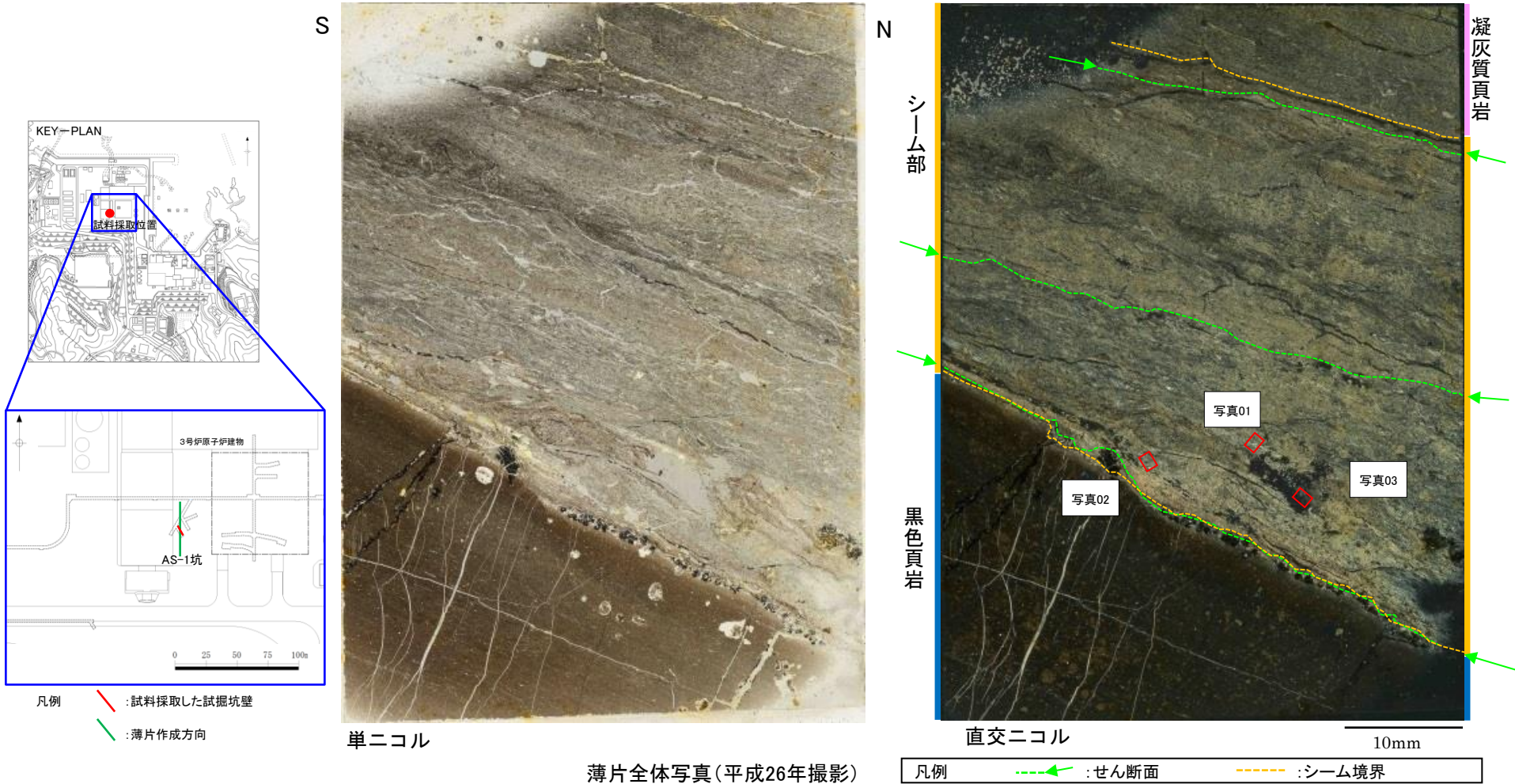
## 沸石類の鏡下における光学的特徴等 ※

鉱物名	化学式	光学的特徴					形成温度 (目安)
		単ニコル		直交ニコル			
		結晶の形状	劈開	複屈折	伸長の正負	消光角	
ヒューランダイト (輝沸石)	$(Ca,Na_2)(Al_2Si_7O_{18}) \cdot 6H_2O$	板状	顕著	0.006 暗灰	負	8~32° 以下	100~200°C
ローモンタイト (濁沸石)	$Ca(Al_2Si_4O_{12}) \cdot 4H_2O$	柱状, 針状集合, 板状	顕著	0.01 灰	正	8~40°	200~250°C
トムソナイト (トムソン沸石)	$NaCa_2(Al,Si)_{10}O_{20} \cdot 6H_2O$	針状, 放射状	弱	0.006~ 0.015 暗灰-灰	正負両方	直消光	—
スティルバイト (束沸石)	$(Ca,Na_2,K_2)(Al_2Si_7O_{18}) \cdot 7H_2O$	柱状, 束状集合	濁沸石より 顕著	0.01 灰	負	3~12°	70°C以下

※ 吉村(2001)を引用, 加筆

# 薄片試料の詳細観察結果 (B23-AS1-N-S)

## 薄片全体写真



- ・シーム内部で確認できる沸石を対象に実施した詳細観察結果を示す。
- ・せん断面近傍の沸石については、結晶が小さく、鉱物種の同定が困難なため、検討から除外した。

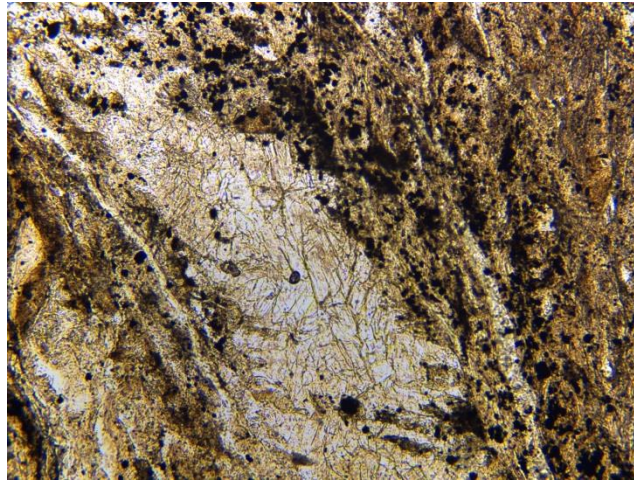
# 薄片試料の詳細観察結果 (B23-AS1-N-S)

## 鏡下写真01

対象鉱物(青線)

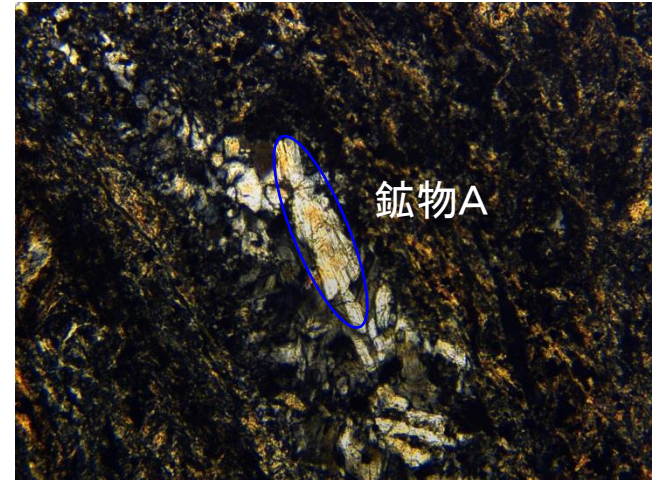
上側の写真: 対角位

下側の写真: 消光位



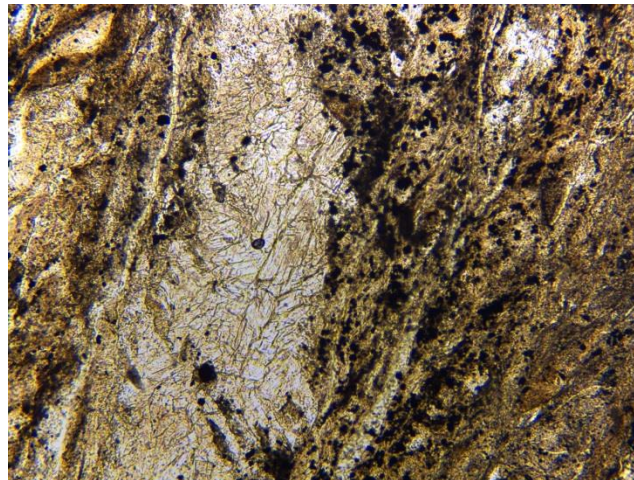
単ニコル

0.5mm



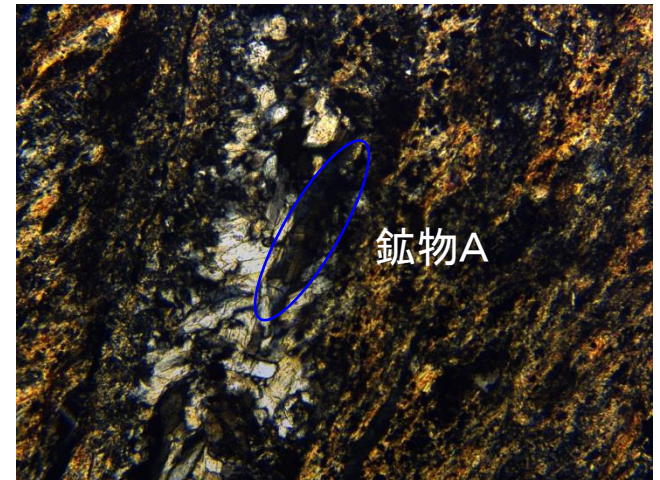
直交ニコル

0.5mm



単ニコル

0.5mm



直交ニコル

0.5mm

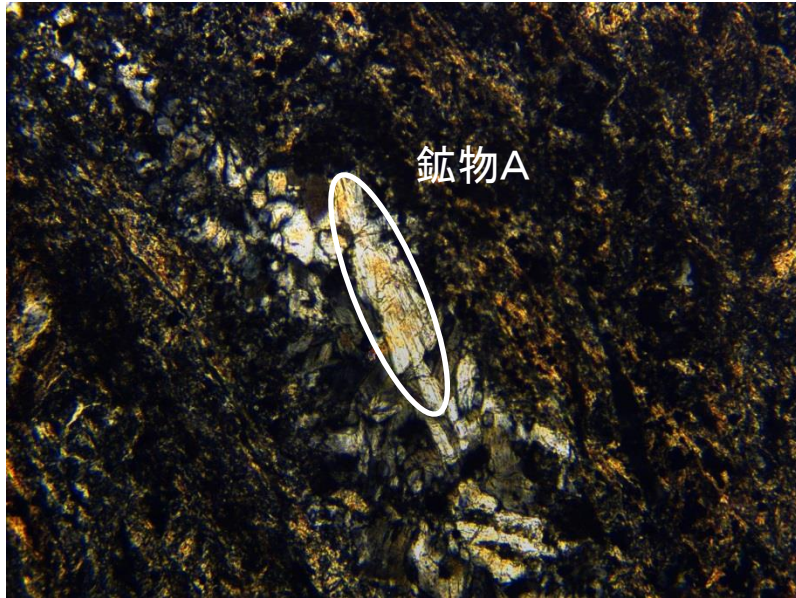
- ・ 鉱物Aは板状であり、複屈折が比較的高く、劈開が認められる。
- ・ 消光位が結晶軸や劈開と一致しておらず、斜消光である。消光角は比較的大きい。

# 薄片試料の詳細観察結果 (B23-AS1-N-S)

鏡下写真01 (対角位)

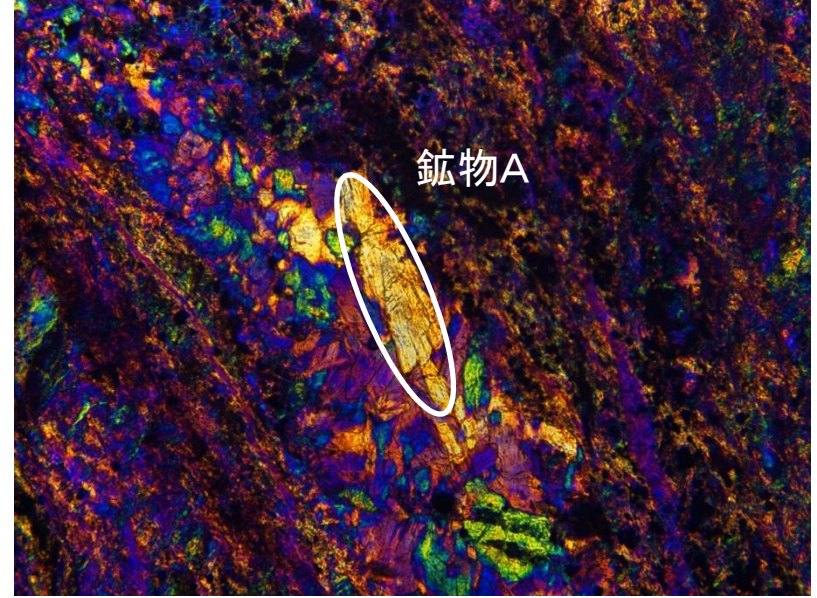
↖ 鋭敏色検板の挿入方向 (X' 方向)

対角位で鋭敏色検板を使用した写真



直交ニコル

0.5mm



対角位

0.5mm

・対角位で鋭敏色検板を使用した場合、鉱物の伸長方向に、相減が確認できることから、鉱物Aは、正の伸長となる。



・薄片観察の結果より、鉱物Aは、1) 板状であること、2) 消光角が大きいこと、3) 複屈折が比較的高いこと、4) 正の伸長が認められる。

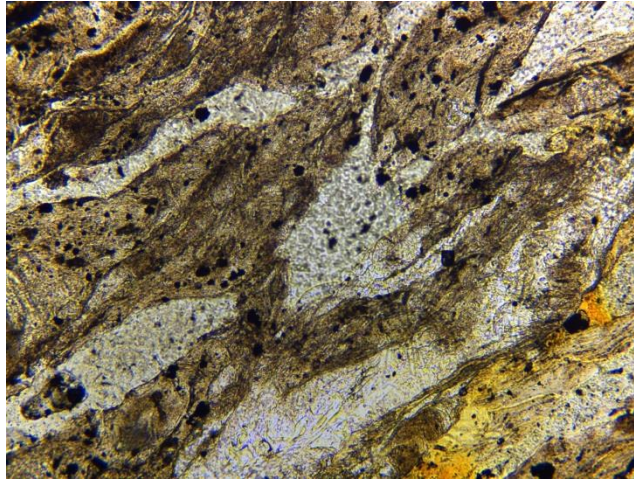
# 薄片試料の詳細観察結果 (B23-AS1-N-S)

## 鏡下写真02

対象鉱物(白矢印)

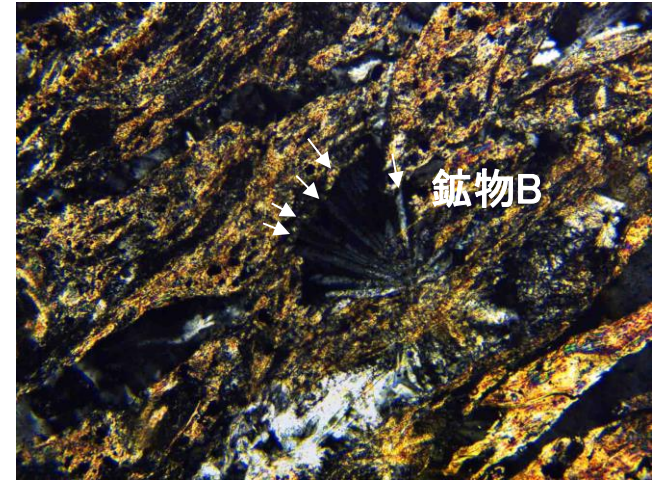
上側の写真: 対角位

下側の写真: 消光位



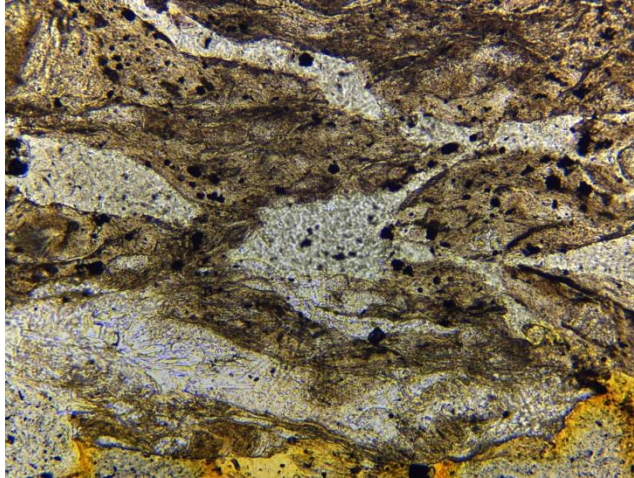
単ニコル

0.5mm



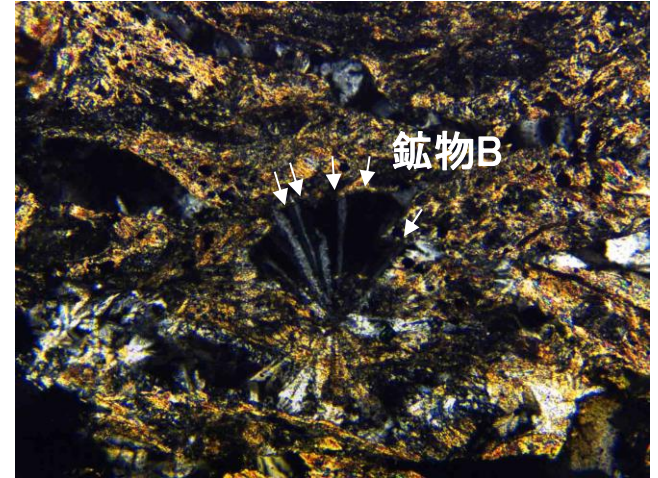
直交ニコル

0.5mm



単ニコル

0.5mm



直交ニコル

0.5mm

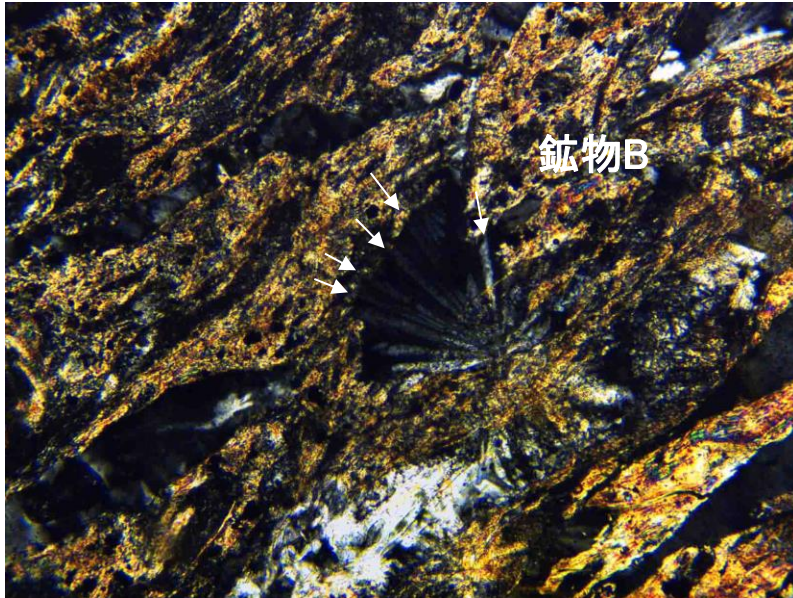
- ・ 鉱物Bは放射状で、複屈折は比較的低い。
- ・ 消光位が結晶軸と一致しておらず、斜消光である。

# 薄片試料の詳細観察結果 (B23-AS1-N-S)

鏡下写真02(対角位)

鋭敏色検板の挿入方向(X' 方向)

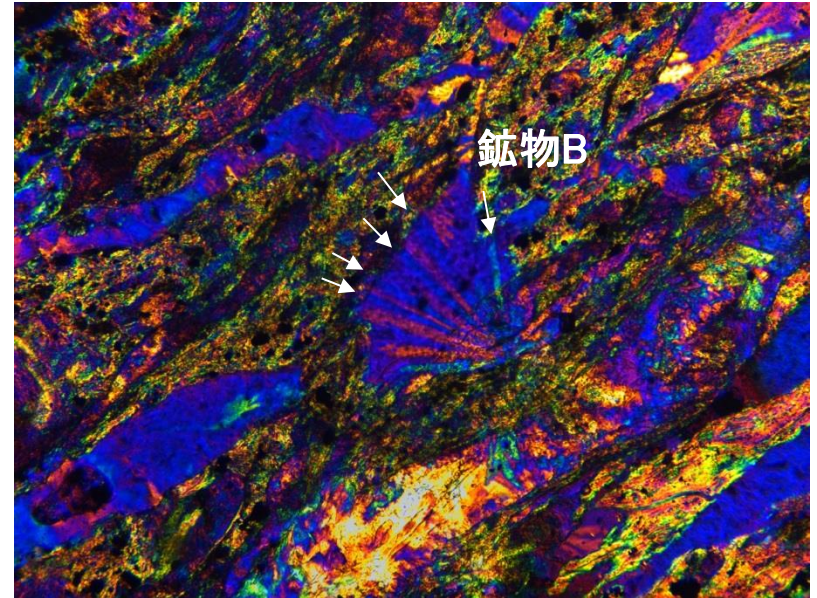
直交ニコルの写真



直交ニコル

0.5mm

対角位で鋭敏色検板を使用した写真



対角位

0.5mm

・対角位で鋭敏色検板を使用した場合、鉱物の伸長方向に、相加が確認できることから、鉱物Bは、負の伸長となる。



・薄片観察の結果より、鉱物Bは、1)放射状であること、2)斜消光であること、3)複屈折が比較的低いこと、4)負の伸長が認められる。

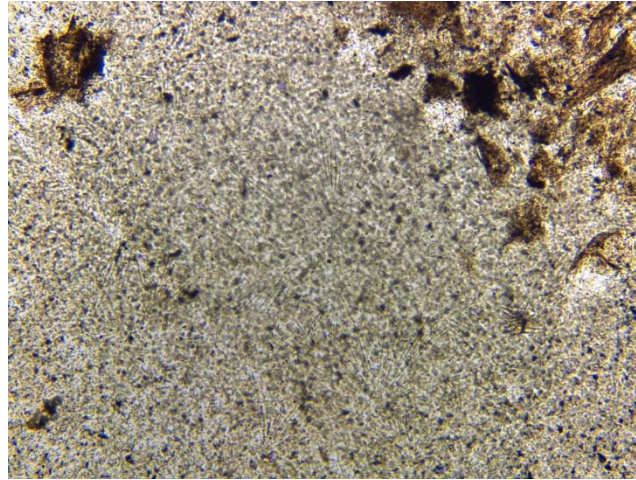
# 4. シームの活動性 (3) 鉱物と生成条件 ① B23シームで認められる沸石類の詳細観察結果 薄片試料の詳細観察結果 (B23-AS1-N-S)

## 鏡下写真03

対象鉱物 (白矢印)

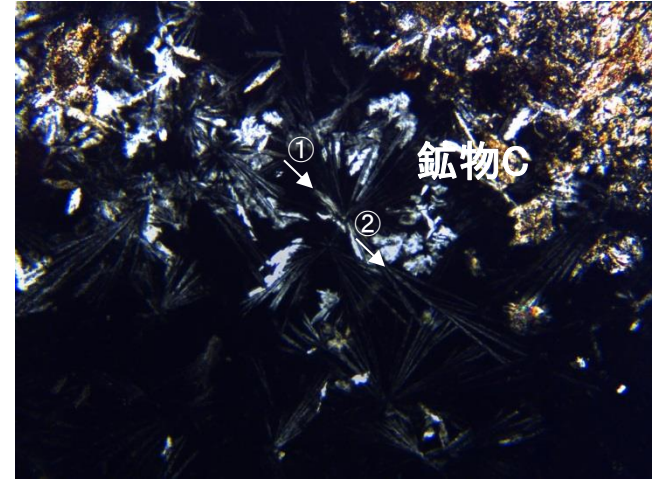
上側の写真: 対角位

下側の写真: 消光位



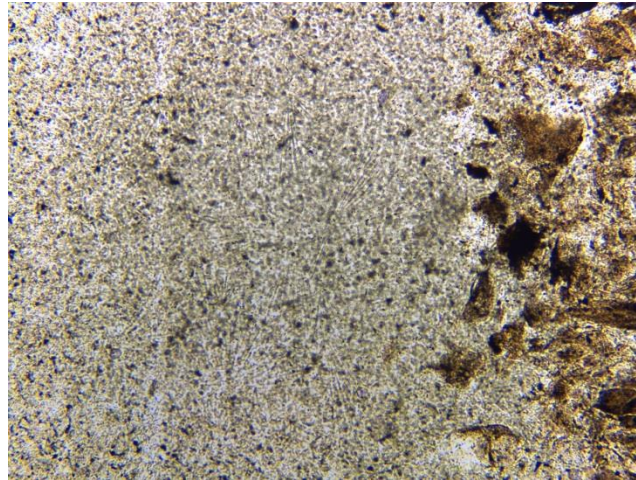
単ニコル

0.5mm



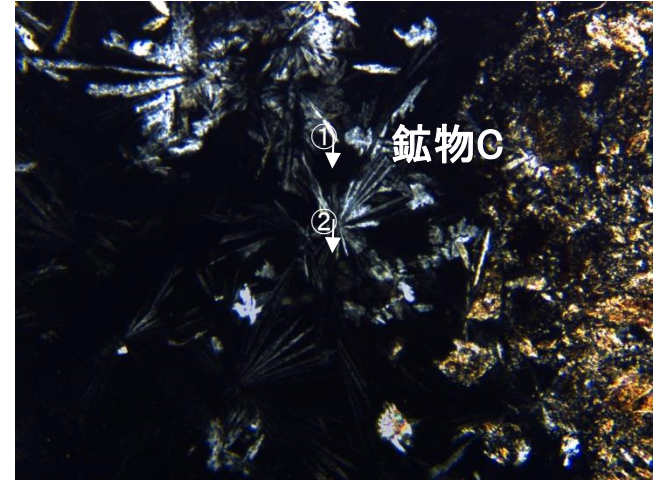
直交ニコル

0.5mm



単ニコル

0.5mm



直交ニコル

0.5mm

- ・ 鉱物Cは放射状で、複屈折の比較的高いものと低いものが混在している。
- ・ 消光位が結晶軸と概ね一致しており、直消光もしくは若干の斜消光である。

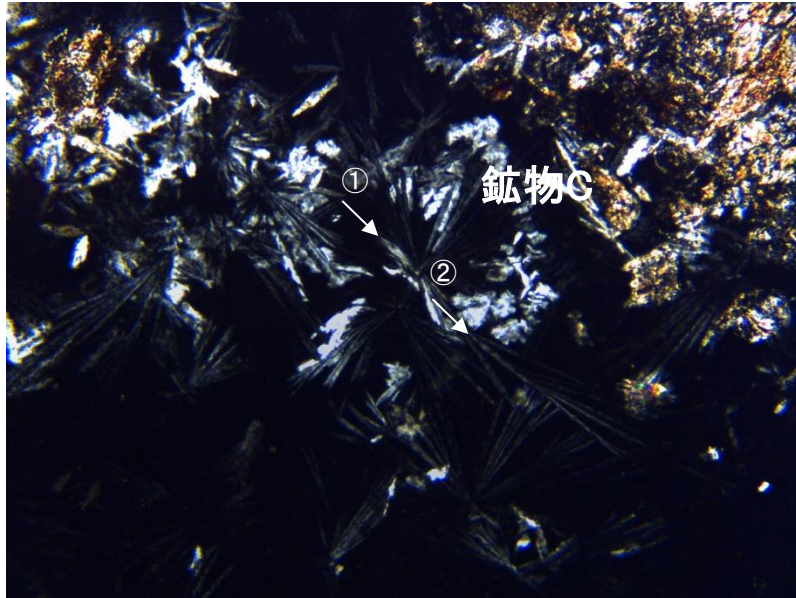


# 薄片試料の詳細観察結果 (B23-AS1-N-S)

鏡下写真03(対角位)

↖ 鋭敏色検板の挿入方向(X'方向)

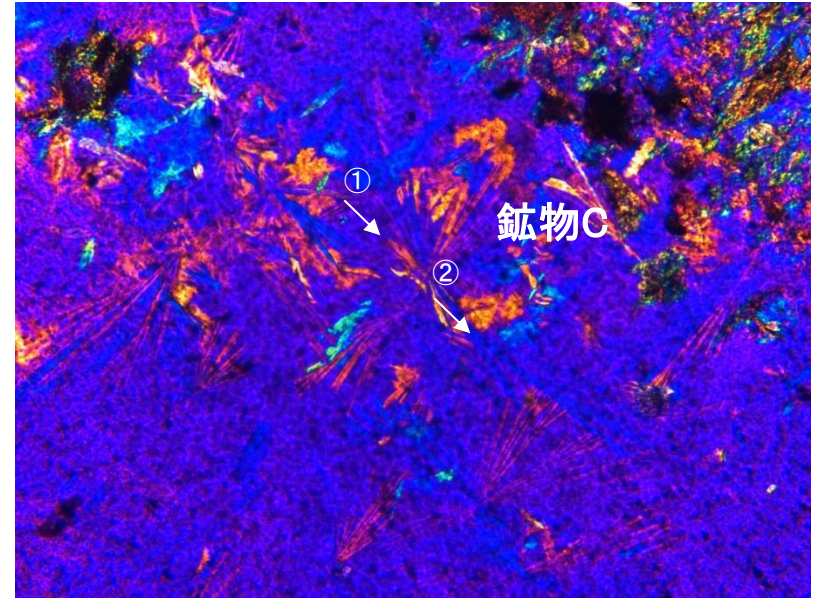
直交ニコルの写真



直交ニコル

0.5mm

対角位で鋭敏色検板を使用した写真



対角位

0.5mm

・対角位で鋭敏色検板を使用した場合、①では相減が確認され、②では相加が確認されることから、鉱物Cは、正負両方の伸長となる。



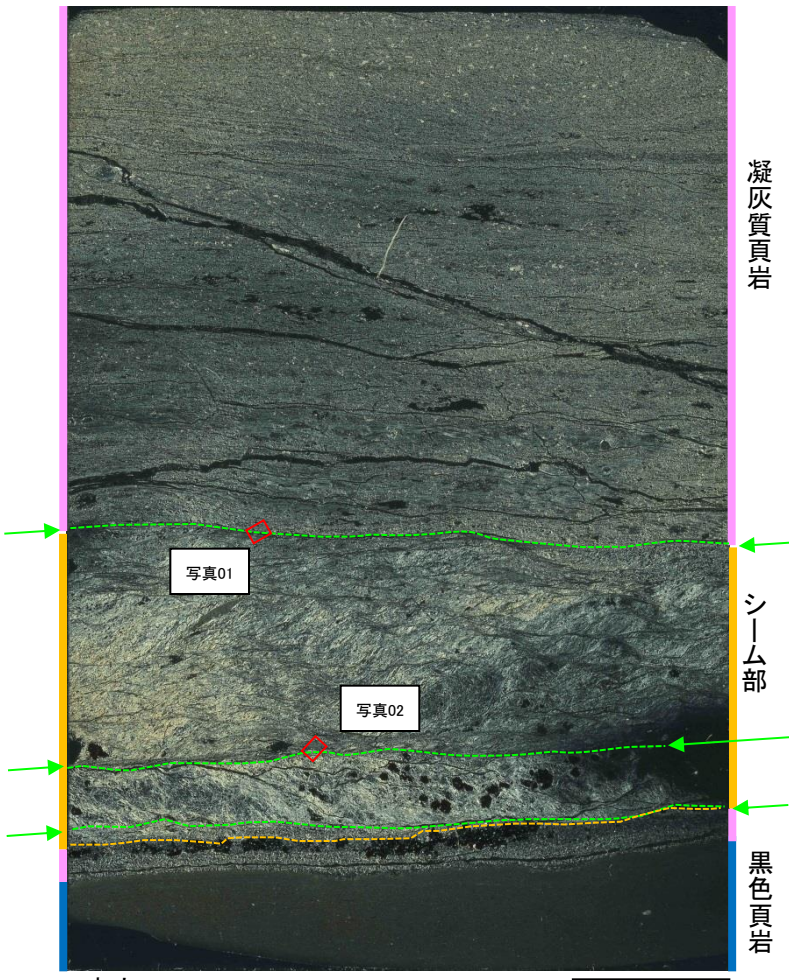
・薄片観察の結果より、鉱物Cは、1)放射状であること、2)直消光～若干の斜消光であること、3)複屈折は比較的高いものと低いものが混在すること、4)正負両方の伸長が認められる。

# 薄片試料の詳細観察結果 (B23-DR-NE-SW)

## 薄片全体写真



薄片全体写真(平成26年撮影)



凡例  
 〓 : せん断面  
 〓 : シーム境界

・シーム内部で確認できる沸石を対象に、詳細観察を実施した。

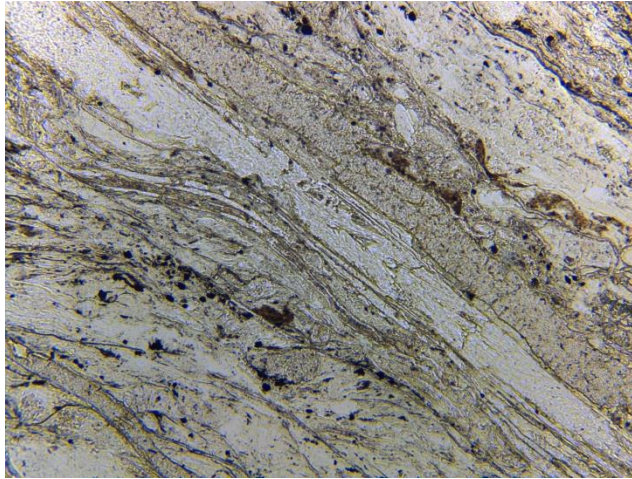
# 薄片試料の詳細観察結果 (B23-DR-NE-SW)

## 鏡下写真01

対象鉱物(青実線)

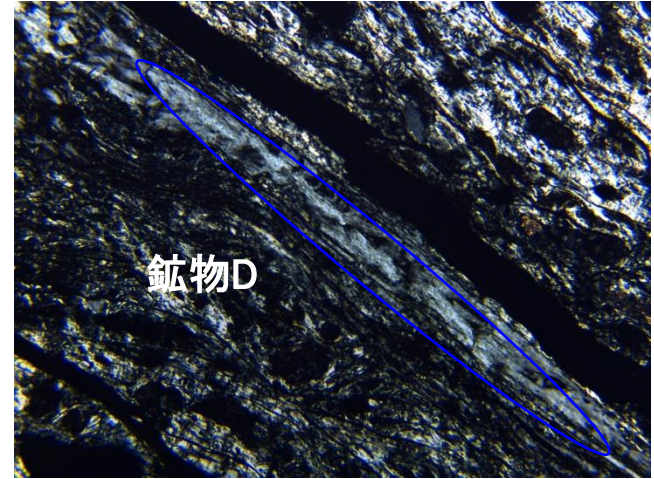
上側の写真: 対角位

下側の写真: 消光位



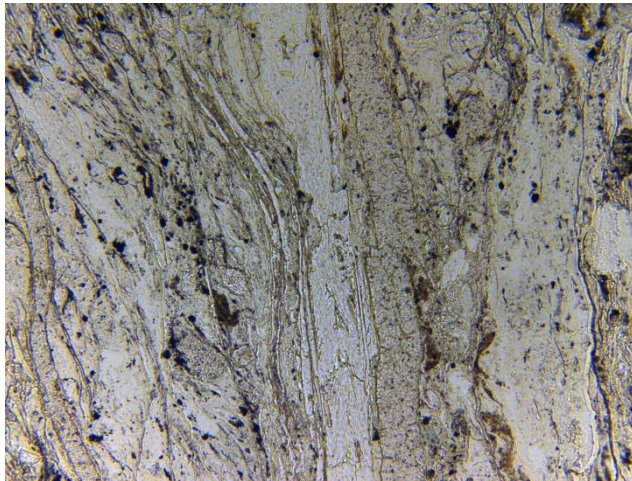
単ニコル

0.5mm



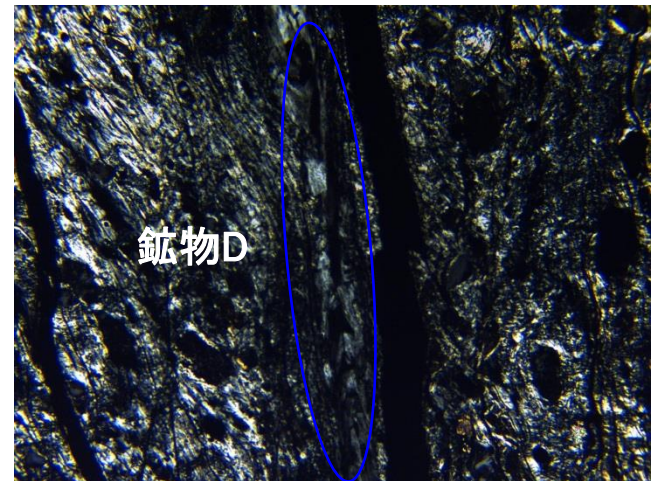
直交ニコル

0.5mm



単ニコル

0.5mm



直交ニコル

0.5mm

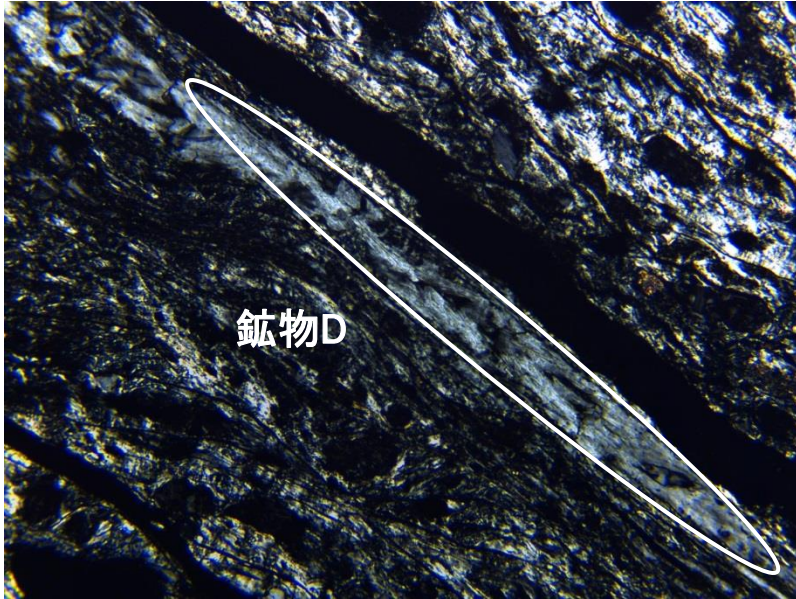
- ・ 鉱物Dは板状で、複屈折は比較的低い。
- ・ 消光位が結晶軸や劈開と概ね一致しており、直消光もしくは若干の斜消光である。

# 薄片試料の詳細観察結果 (B23-DR-NE-SW)

鏡下写真01 (対角位)

↖ 鋭敏色検板の挿入方向 (X' 方向)

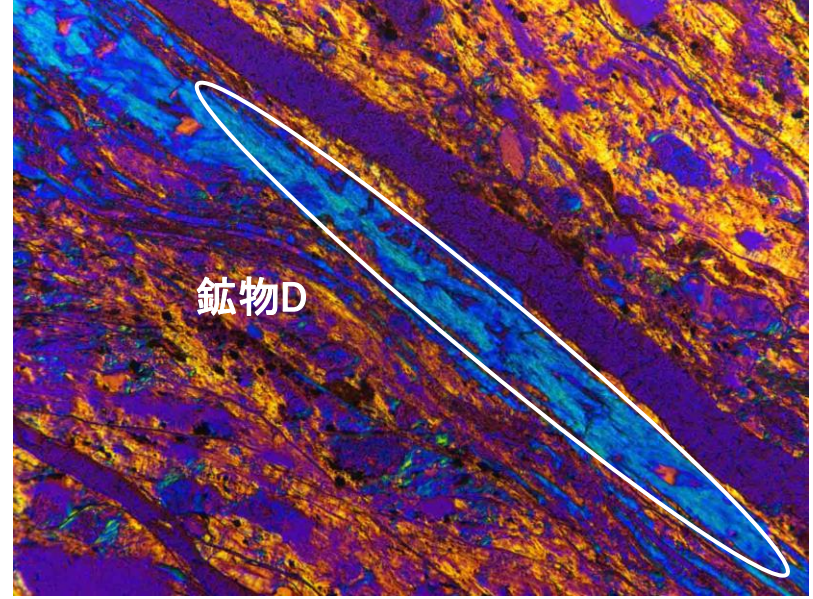
直交ニコルの写真



直交ニコル

0.5mm

対角位で鋭敏色検板を使用した写真



対角位

0.5mm

・対角位で鋭敏色検板を使用した場合、鉱物の伸長方向に、相加が確認できることから、鉱物Dは、負の伸長となる。



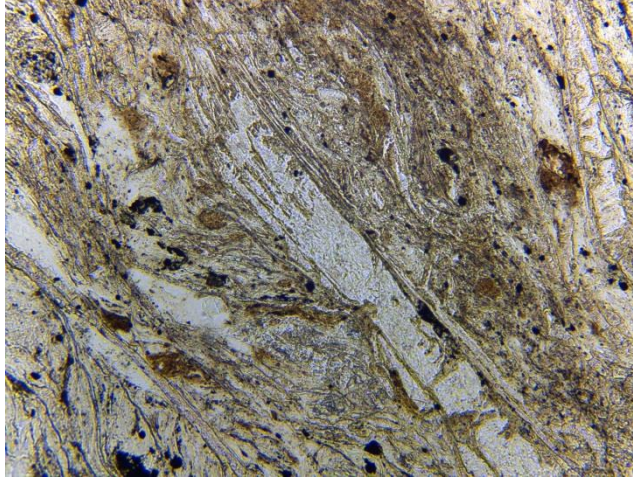
・薄片観察の結果より、鉱物Dは、1) 板状であること、2) 直消光～若干の斜消光であること、3) 複屈折は比較的低いこと、4) 負の伸長が認められる。

# 4. シームの活動性 (3) 鉱物と生成条件 ①B23シームで認められる沸石類の詳細観察結果 薄片試料の詳細観察結果 (B23-DR-NE-SW)

## 鏡下写真02

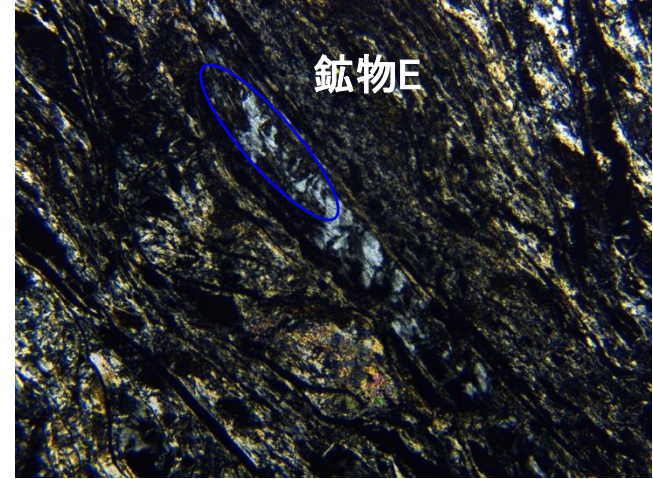
対象鉱物(青実線)

上側の写真: 対角位  
下側の写真: 消光位



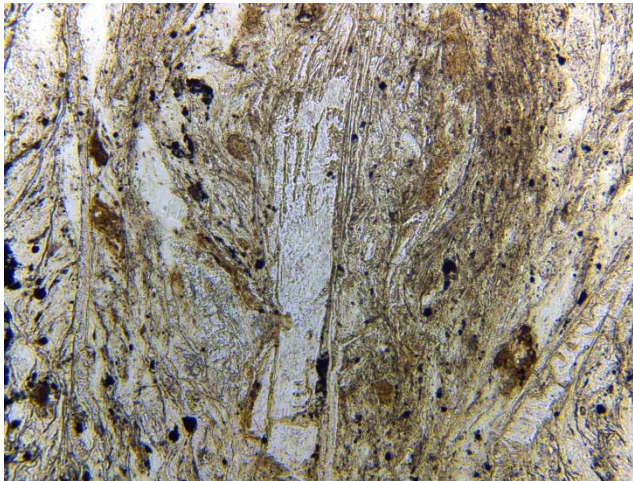
単ニコル

0.5mm



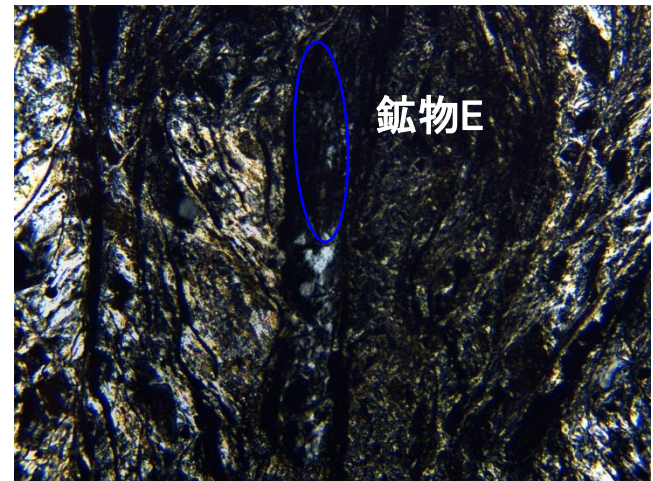
直交ニコル

0.5mm



単ニコル

0.5mm



直交ニコル

0.5mm

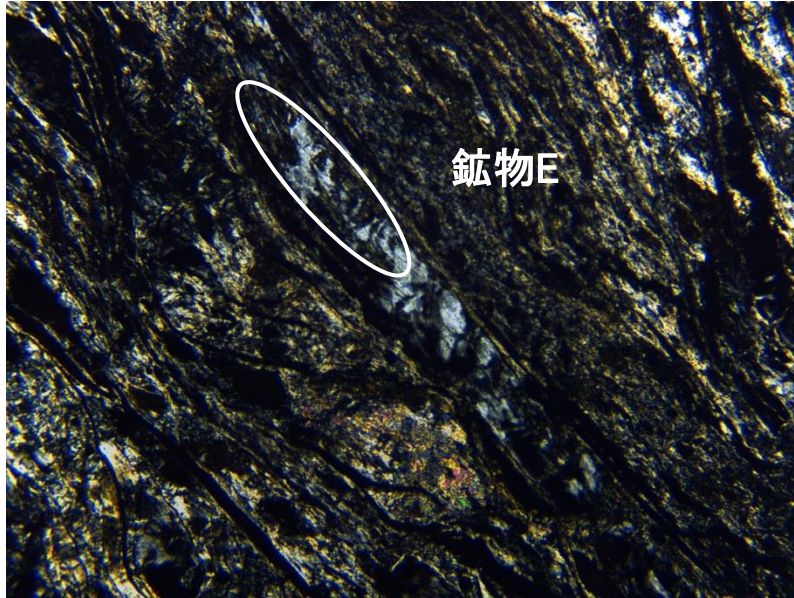
- ・ 鉱物Eは板状で、複屈折は比較的低い。
- ・ 消光位が結晶軸や劈開と概ね一致しており、直消光もしくは若干の斜消光である。

# 薄片試料の詳細観察結果 (B23-DR-NE-SW)

鏡下写真02 (対角位)

↖ 鋭敏色検板の挿入方向 (X' 方向)

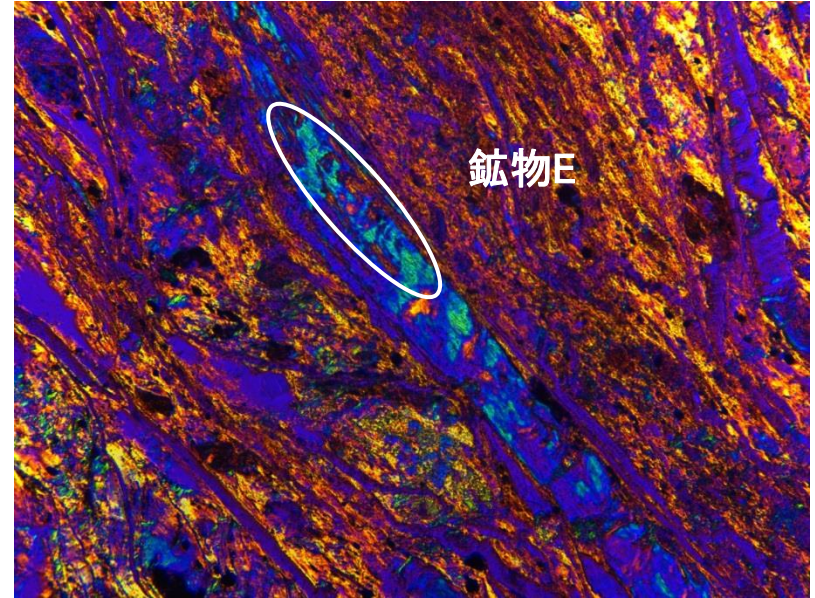
直交ニコルの写真



直交ニコル

0.5mm

対角位で鋭敏色検板を使用した写真



対角位

0.5mm

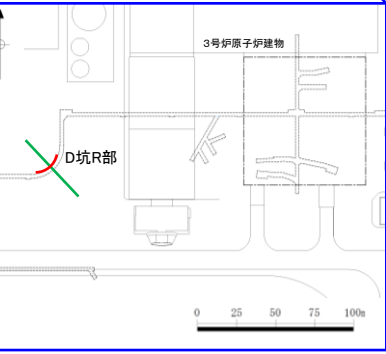
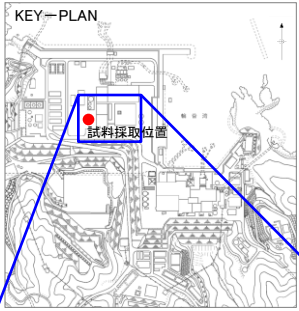
・対角位で鋭敏色検板を使用した場合、鉱物の伸長方向に、相加が確認できることから、鉱物Eは、負の伸長となる。



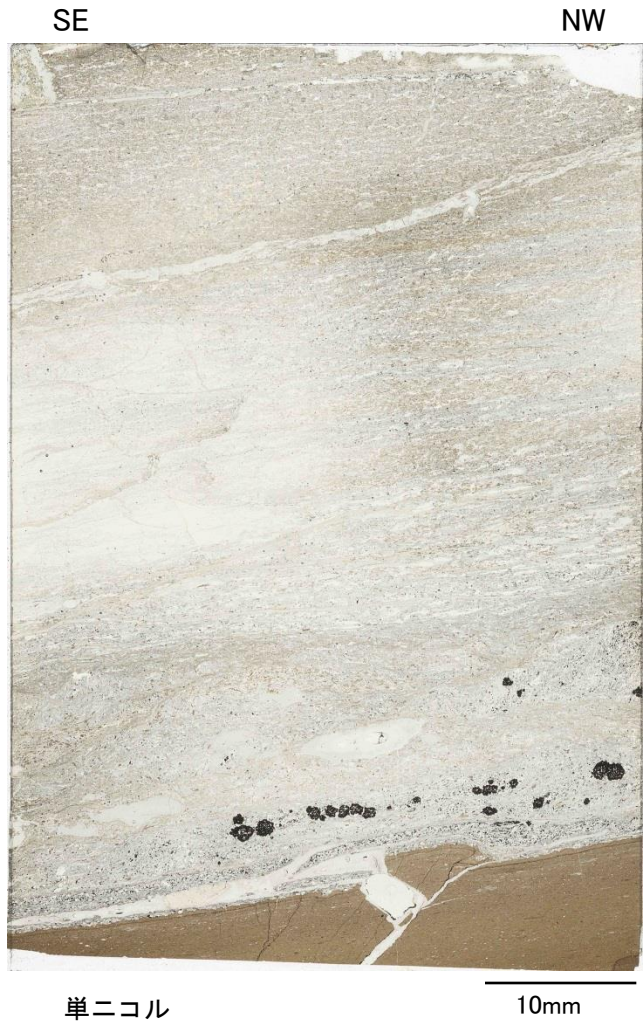
・薄片観察の結果より、鉱物Eは、1) 板状であること、2) 直消光～若干の斜消光であること、3) 複屈折は比較的低いこと、4) 負の伸長が認められる。

# 4. シームの活動性 (3) 鉱物と生成条件 ①B23シームで認められる沸石類の詳細観察結果 薄片試料の詳細観察結果 (B23-DR-NW-SE)

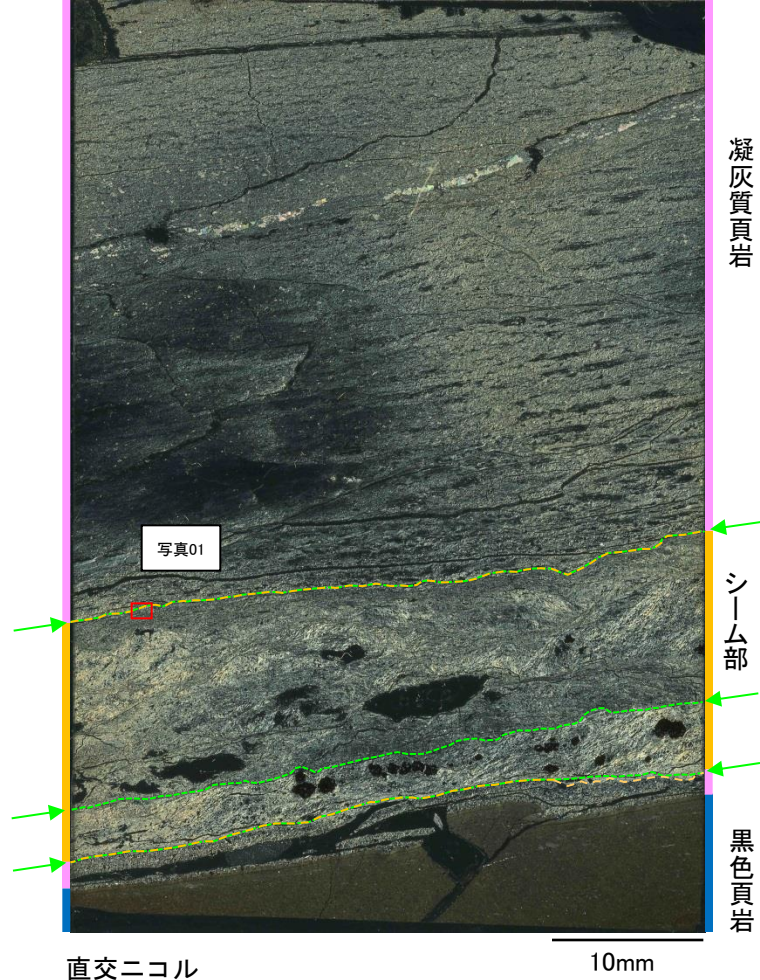
## 薄片全体写真



凡例  
- 試料採取した試掘坑壁 (Red line)  
- 薄片作成方向 (Green line)



単ニコル 10mm



直交ニコル 10mm

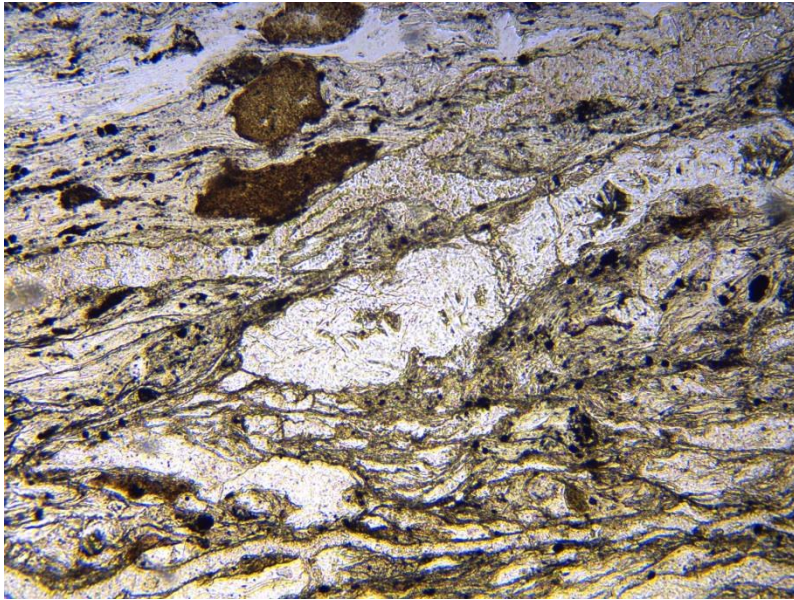
凡例  
- せん断面 (Green arrow)  
- シーム境界 (Dashed yellow line)

薄片全体写真 (平成27年撮影)

・シーム内部で確認できる沸石を対象に、詳細観察を実施した。

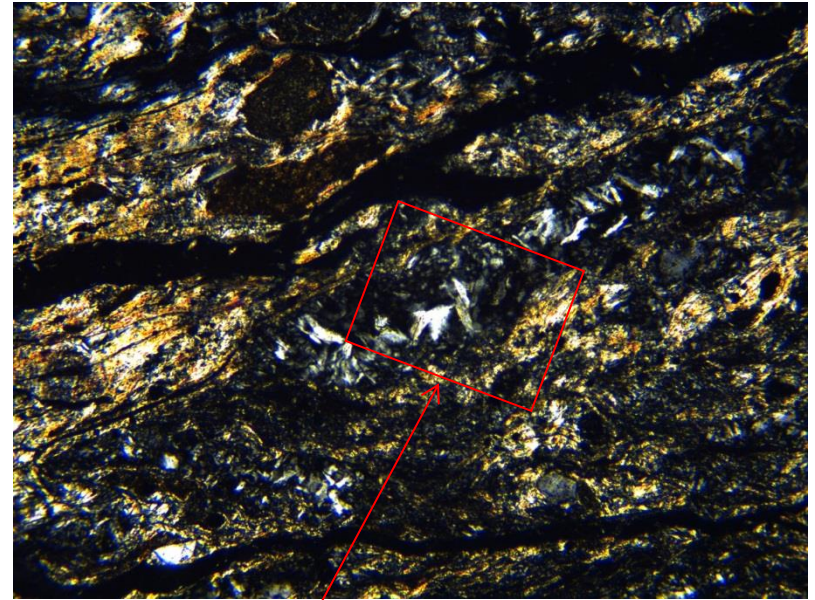
# 薄片試料の詳細観察結果 (B23-DR-NW-SE)

鏡下写真01



単ニコル

0.5mm



直交ニコル

01拡大

0.5mm



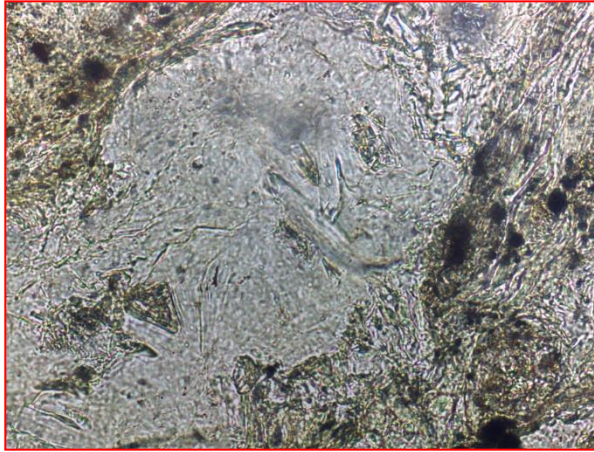
# 4. シームの活動性 (3) 鉱物と生成条件 ① B23シームで認められる沸石類の詳細観察結果 薄片試料の詳細観察結果 (B23-DR-NW-SE)

鏡下写真01拡大

対象鉱物(青実線)

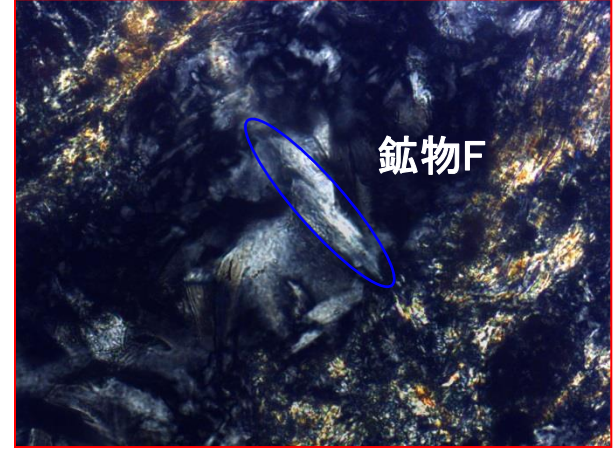
上側の写真: 対角位

下側の写真: 消光位



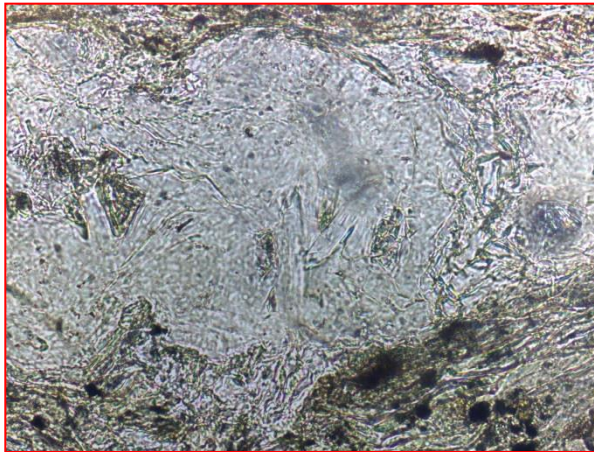
単ニコル

0.1mm



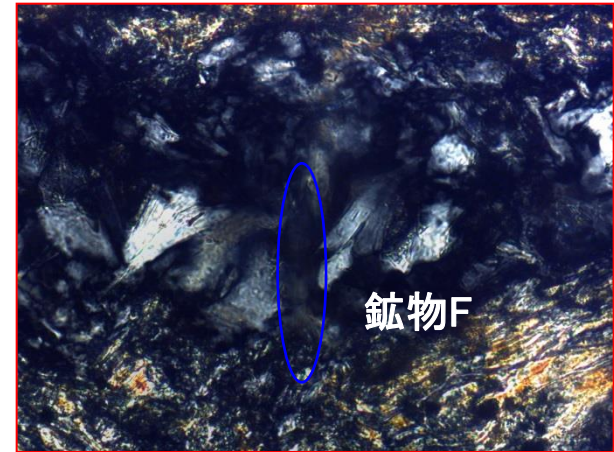
直交ニコル

0.1mm



単ニコル

0.1mm



直交ニコル

0.1mm

- ・ 鉱物Fは板状で、複屈折は比較的低い。
- ・ 消光位が結晶軸や劈開と概ね一致しており、直消光もしくは若干の斜消光である。

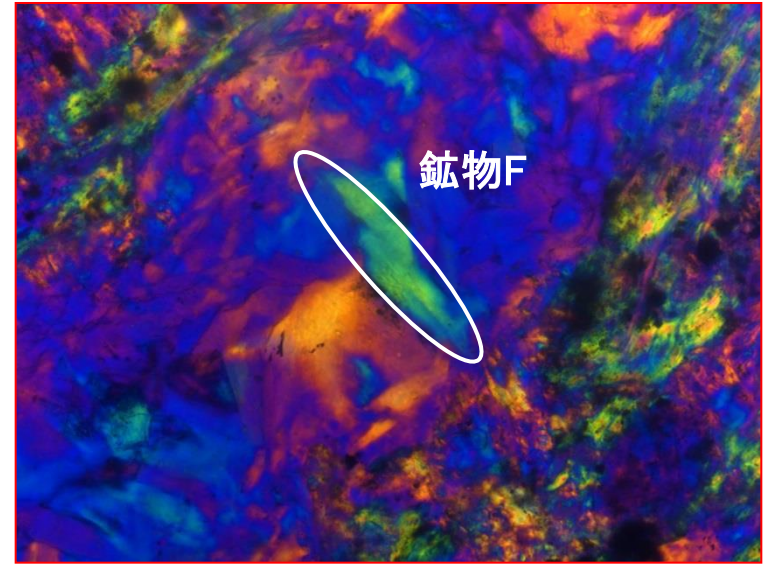
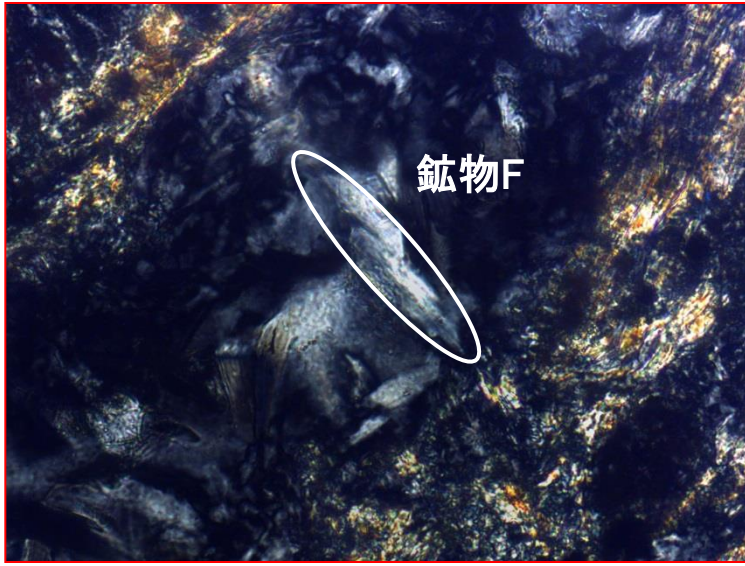
# 4. シームの活動性 (3) 鉱物と生成条件 ①B23シームで認められる沸石類の詳細観察結果 薄片試料の詳細観察結果 (B23-DR-NW-SE)

鏡下写真01 (対角位)

鋭敏色検板の挿入方向 (X' 方向)

直交ニコルの写真

対角位で鋭敏色検板を使用した写真



直交ニコル

0.1mm

対角位

0.1mm

・対角位で鋭敏色検板を使用した場合、鉱物の伸長方向に、相加が確認できることから、鉱物Fは、負の伸長となる。



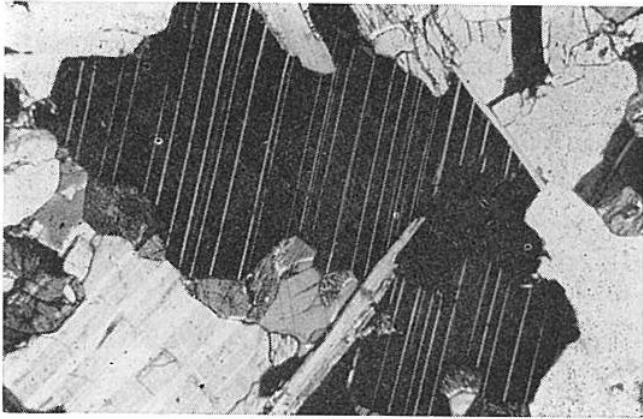
・薄片観察の結果より、鉱物Fは、1) 板状であること、2) 直消光～若干の斜消光であること、3) 複屈折は比較的低いこと、4) 負の伸長が認められる。

余白

## 斜長石の特徴について

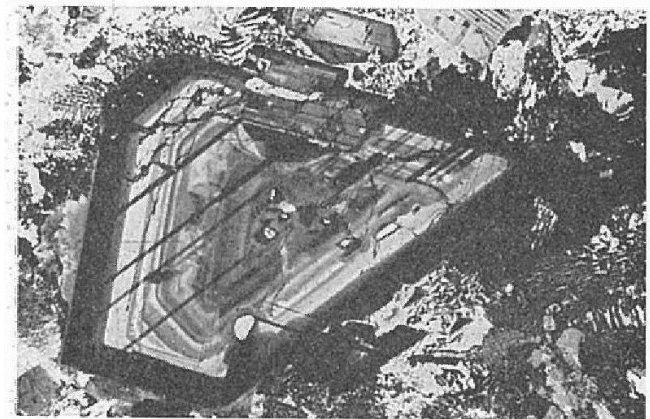
[黒田・諏訪(1983)<sup>(15)</sup>]

- ・斜長石は、平行な劈開がよく発達する。
- ・斜長石には、アルバイト式双晶や累帯構造が確認できる。
- ・アルバイト式双晶は、明暗の縞模様を成し、幅の狭い多数の個体からなる集片双晶のことである。
- ・累帯構造は、火山岩の斑晶の斜長石に見られることが多く、中心部から周縁に向かって明暗の縞模様を呈する。



薄片観察下におけるアルバイト式双晶の例  
(直交ニコル, ×37)

黒田・諏訪(1983)を加筆・修正

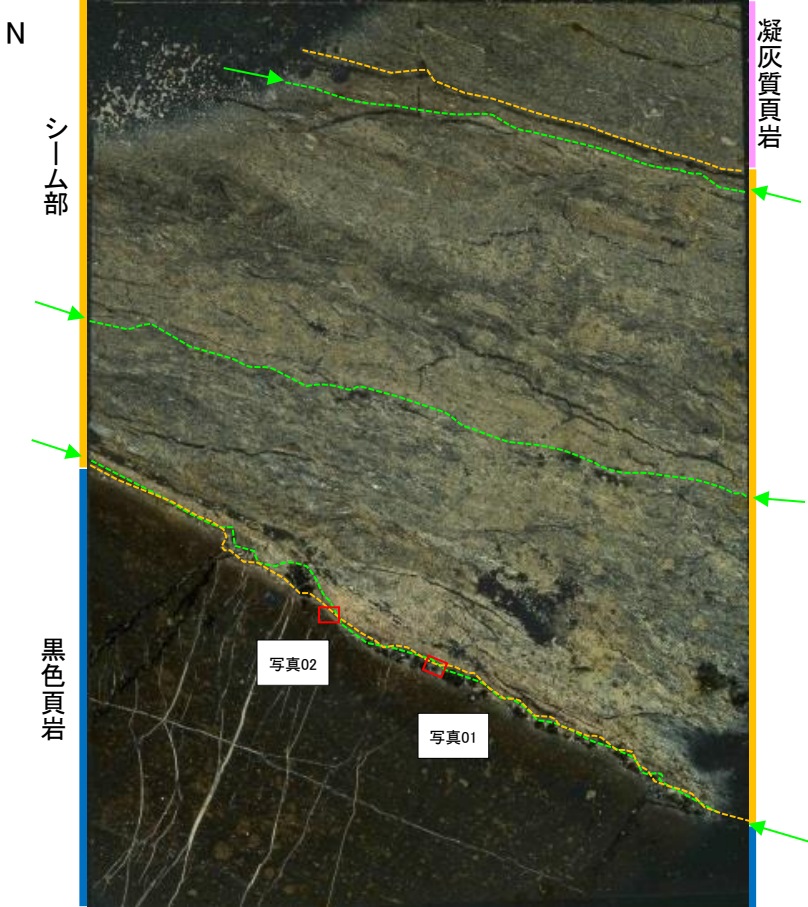
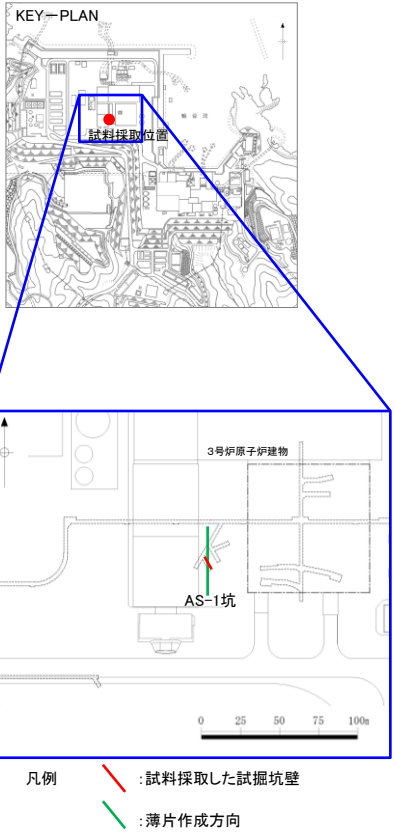


薄片観察下における斜長石の累帯構造の例  
(直交ニコル, ×32)

黒田・諏訪(1983)を加筆・修正

※双晶とは、特定の結晶面あるいは結晶軸に関して互いに対称的であるように2個の結晶が結合したものである。  
(「新版 地学事典」より)

# 薄片試料の詳細観察結果(B23-AS1-N-S)

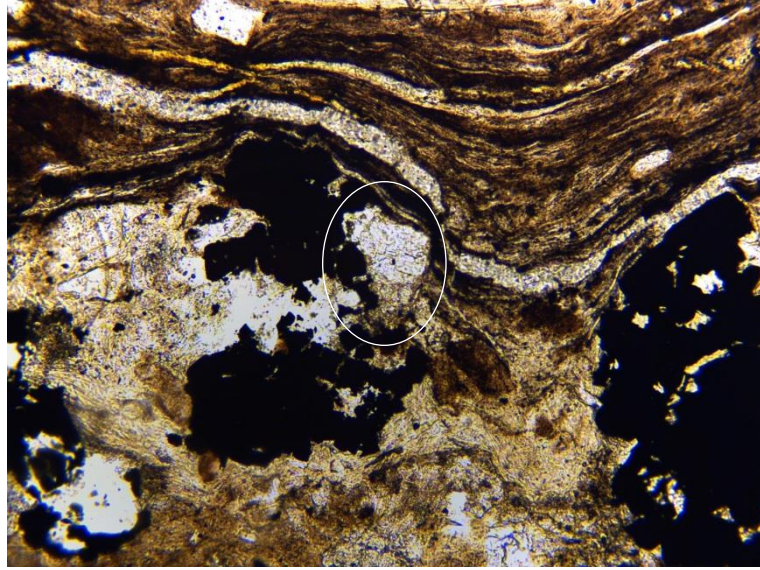
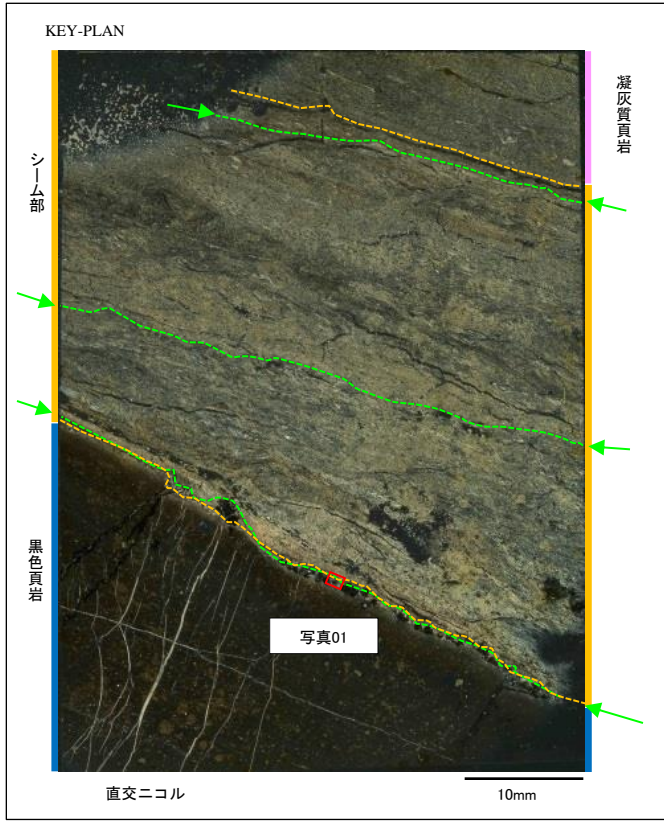


薄片全体写真(平成26年撮影)

凡例  
 - せん断面  
 - シーム境界

・試掘坑AS1坑のドレライト近傍からブロックを採取し、シーム内部で確認される斜長石を対象に詳細観察を実施した。

# 薄片試料の詳細観察結果 (B23-AS1-N-S)



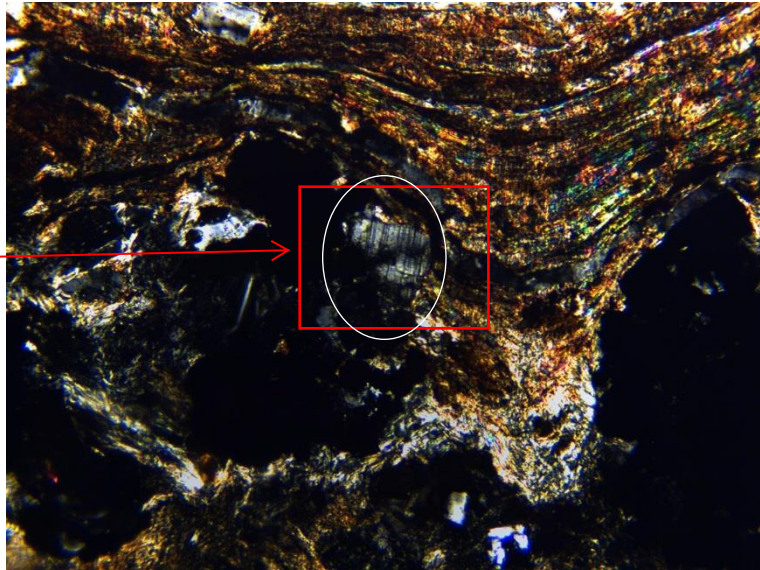
単ニコル

0.5mm

### [写真01]

- ・シーム下部と接する黒色頁岩に、単ニコルで無色、直交ニコルで双晶を示す鉱物が確認できる。
- ・当該鉱物は円磨された砂粒のような形状を示す。

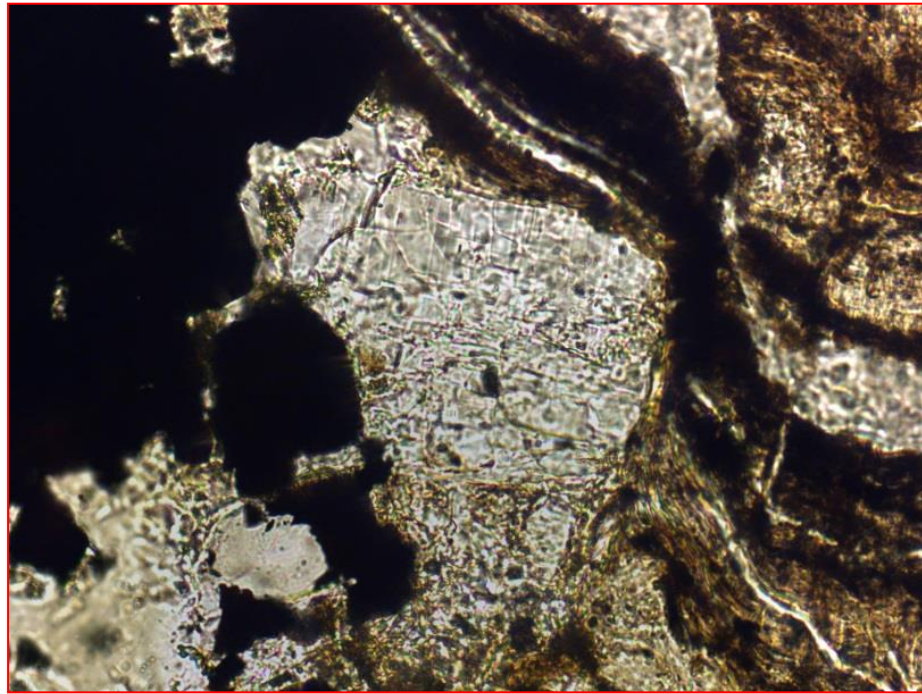
01拡大



直交ニコル

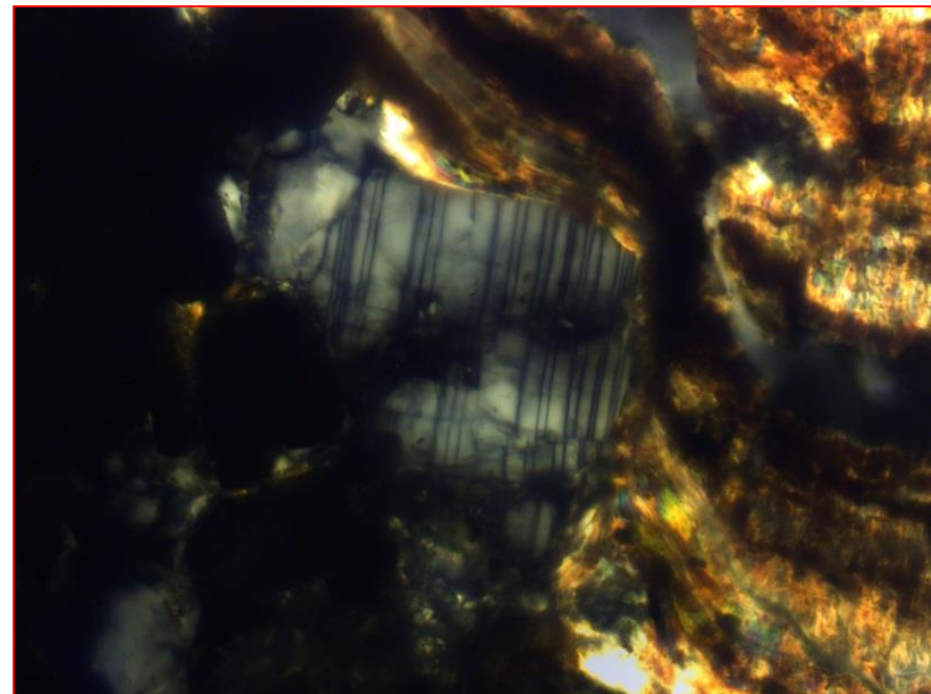
0.5mm

# 薄片試料の詳細観察結果 (B23-AS1-N-S)



単ニコル

0.1mm



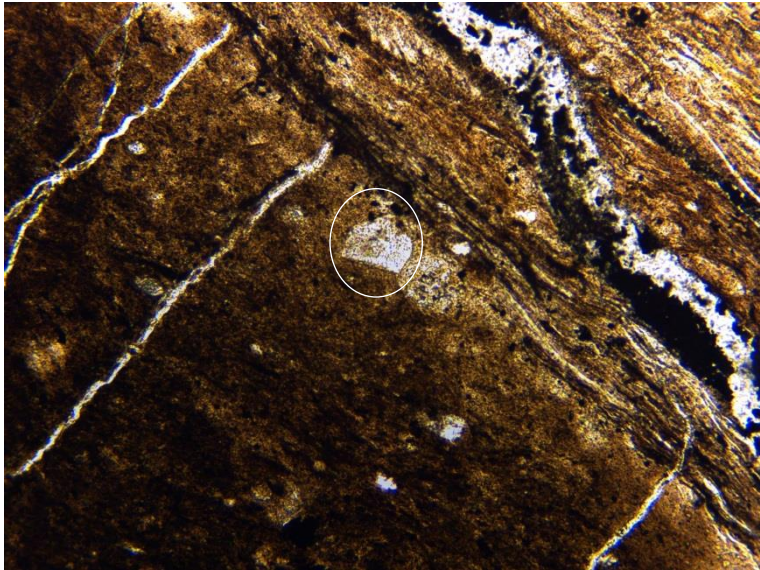
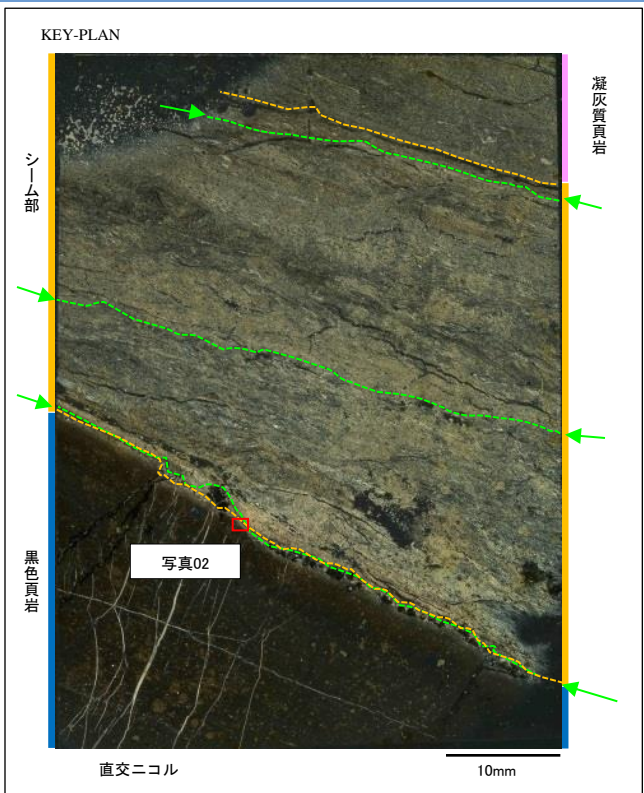
直交ニコル

0.1mm

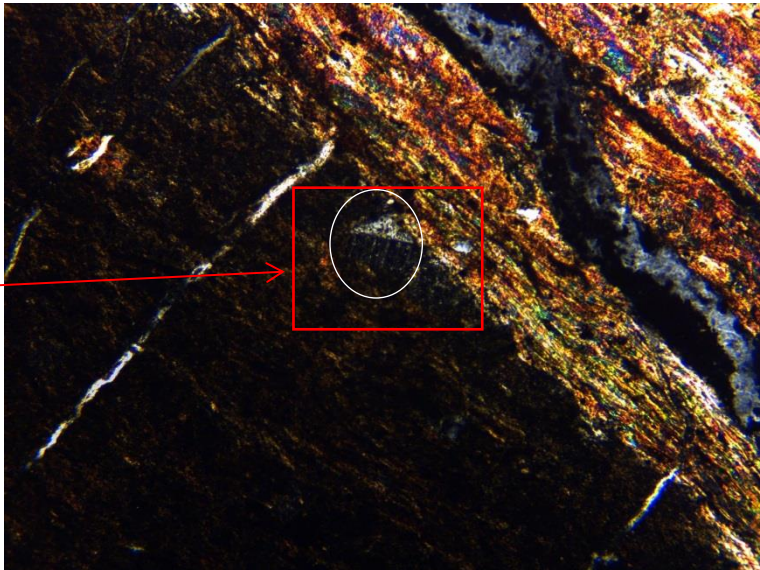
## [写真01 拡大]

- ・直交ニコルで明暗の縞模様を呈するアルバイト式双晶を示すことから、この鉱物は斜長石であると考えられる。
- ・単ニコル及び直交ニコルで結晶下部がざらついており、部分的に変質を被った可能性がある。

# 薄片試料の詳細観察結果(B23-AS1-N-S)



単ニコル 0.5mm



直交ニコル 0.5mm

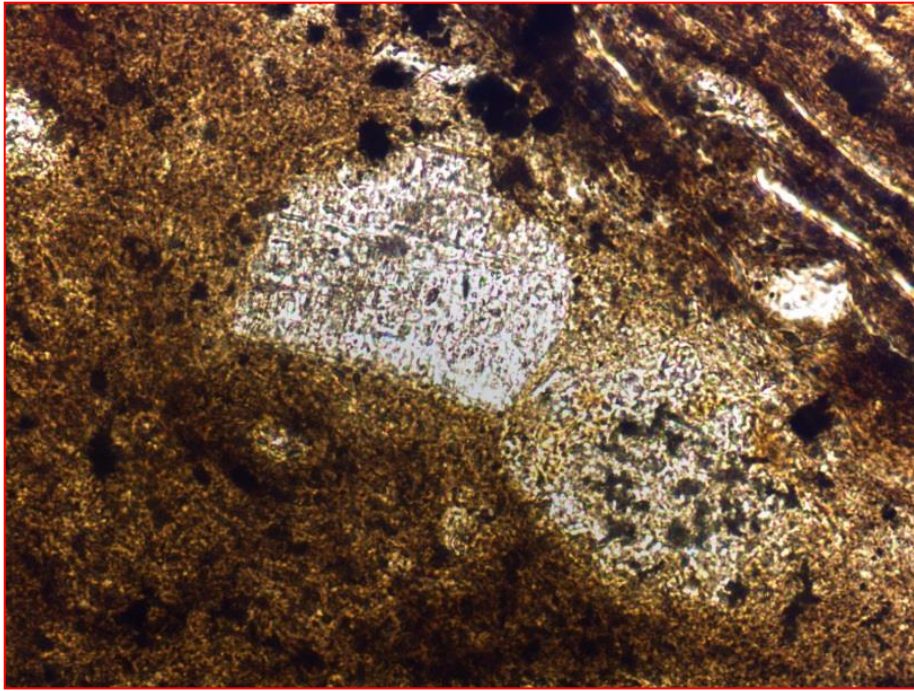
[写真02]

- ・シーム下部と接する黒色頁岩に、単ニコルで無色、直交ニコルで双晶を示す鉱物が確認できる。
- ・当該鉱物は、円磨された砂粒のような形状を示す。

02拡大

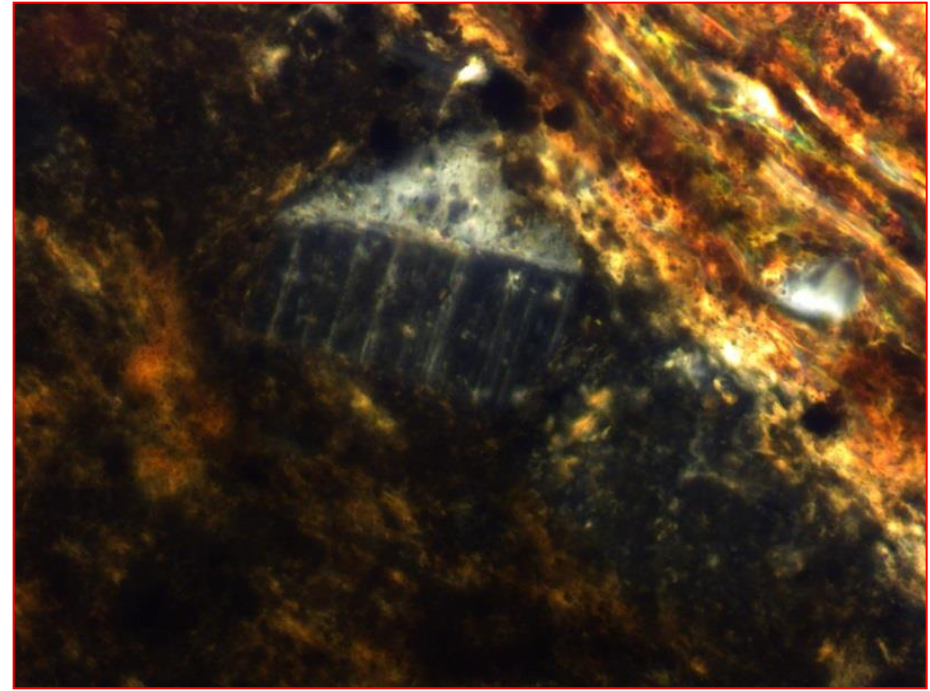


# 薄片試料の詳細観察結果 (B23-AS1-N-S)



単ニコル

0.1mm



直交ニコル

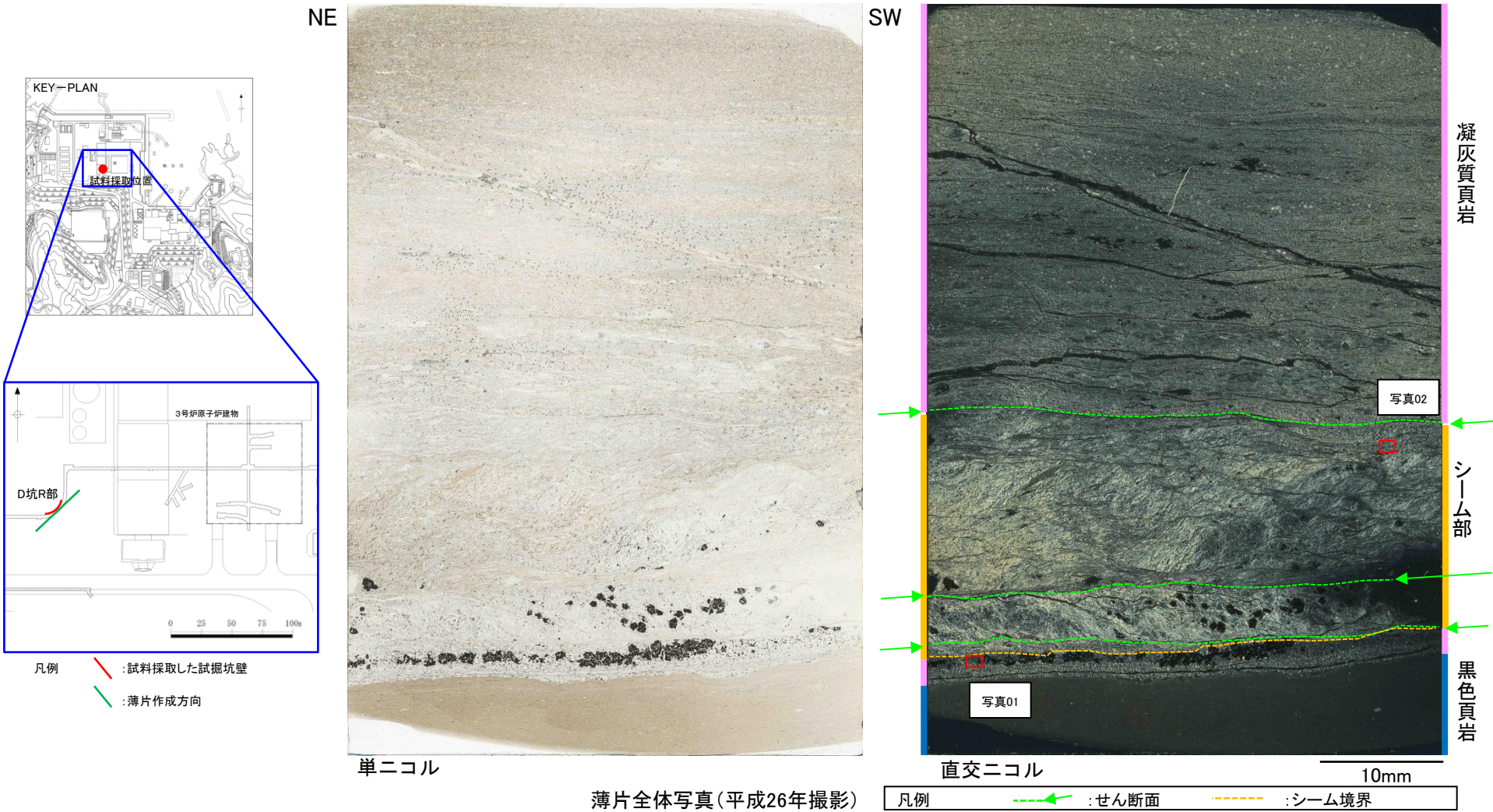
0.1mm

## [写真02 拡大]

- ・直交ニコルで明暗の縞模様を呈するアルバイト式双晶を示すことから、この鉱物は斜長石であると考えられる。
- ・単ニコル及び直交ニコルで全体的にざらついていることから、変質を被った可能性がある。

余白

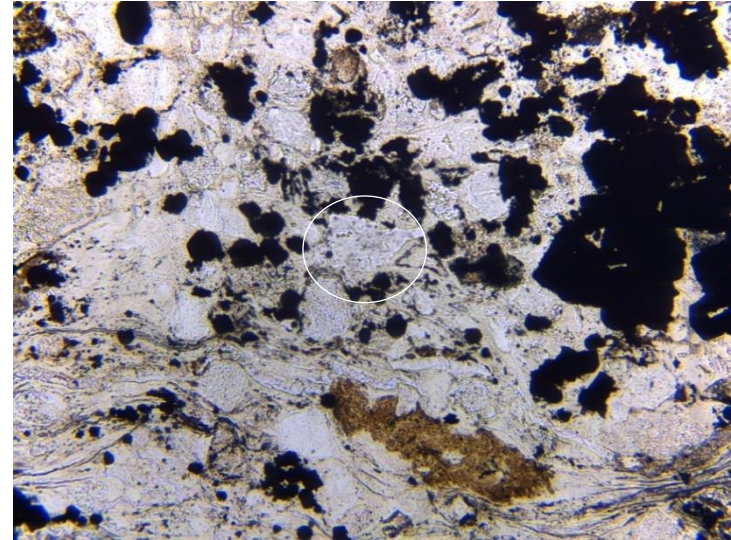
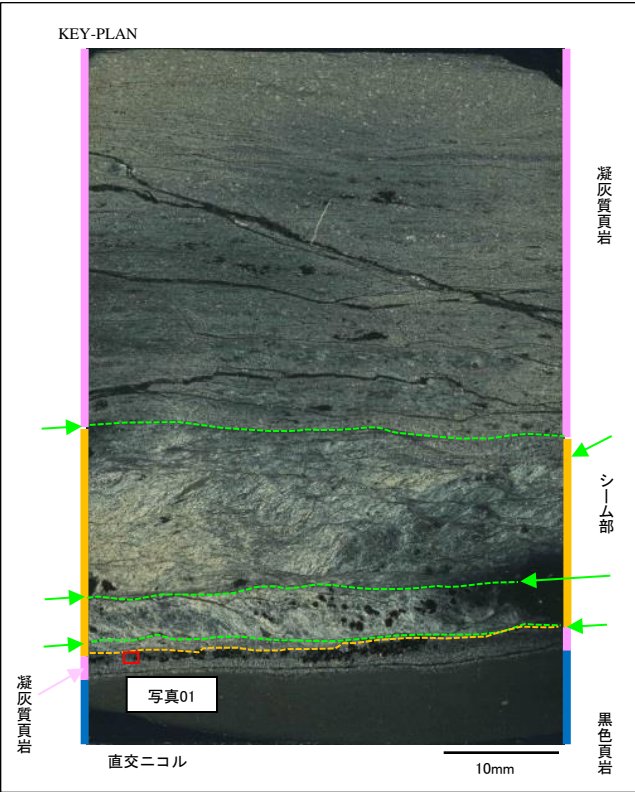
# 薄片試料の詳細観察結果(B23-DR-NE-SW)



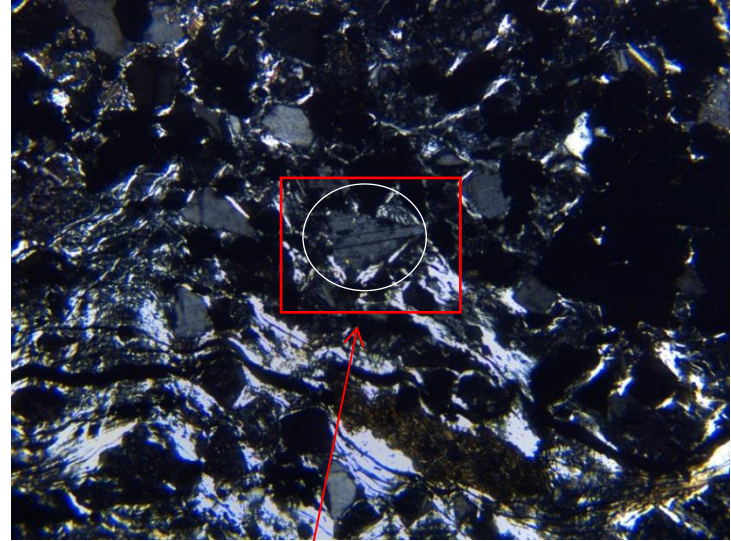
薄片全体写真(平成26年撮影)

・試掘坑D坑R部からブロックを採取し、シームの条線方向に薄片試料を作製した。

# 4. シームの活動性 (3) 鉱物と生成条件 ②長石類の薄片観察及びEPMA分析結果 薄片試料の詳細観察結果 (B23-DR-NE-SW)



0.5mm



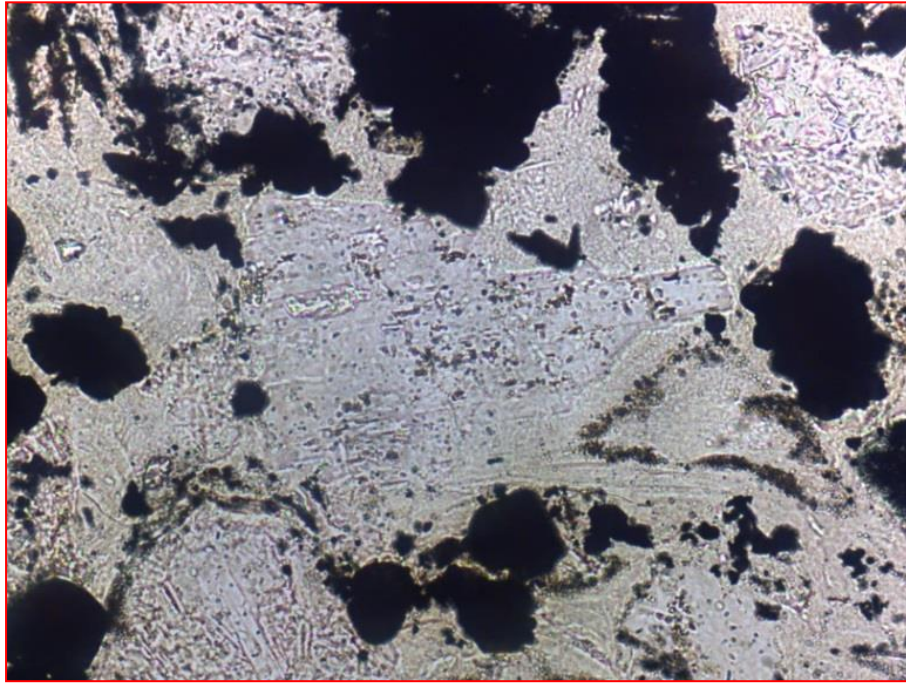
0.5mm

01拡大

[写真01]

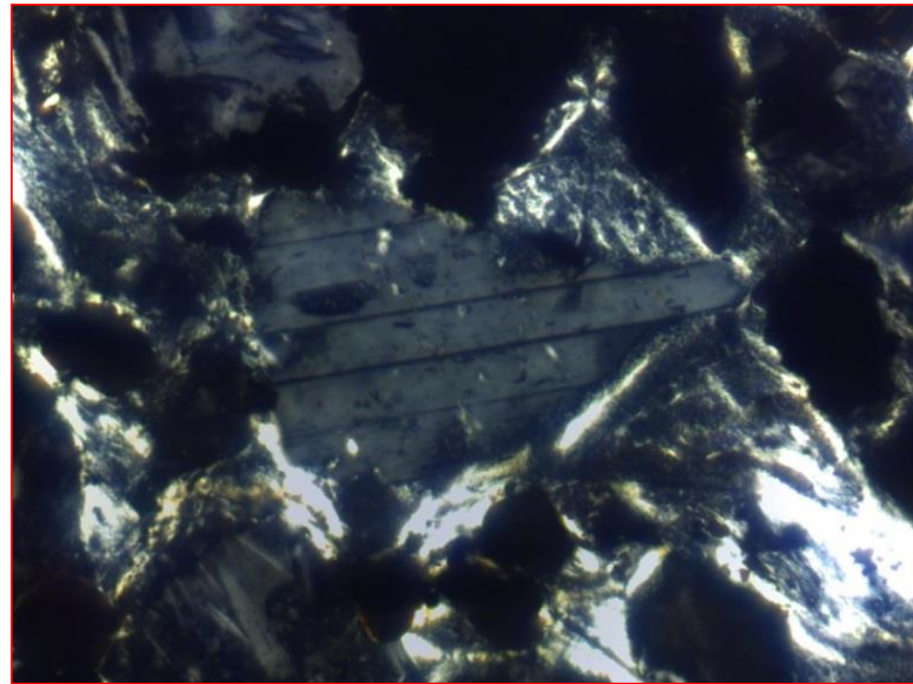
- ・シーム下部と接する凝灰質頁岩に、単ニコルで無色、直交ニコルで双晶を示す鉱物が確認できる。
- ・当該鉱物は、円磨された砂粒のような形状を示す。

# 薄片試料の詳細観察結果 (B23-DR-NE-SW)



単ニコル

0.1mm



直交ニコル

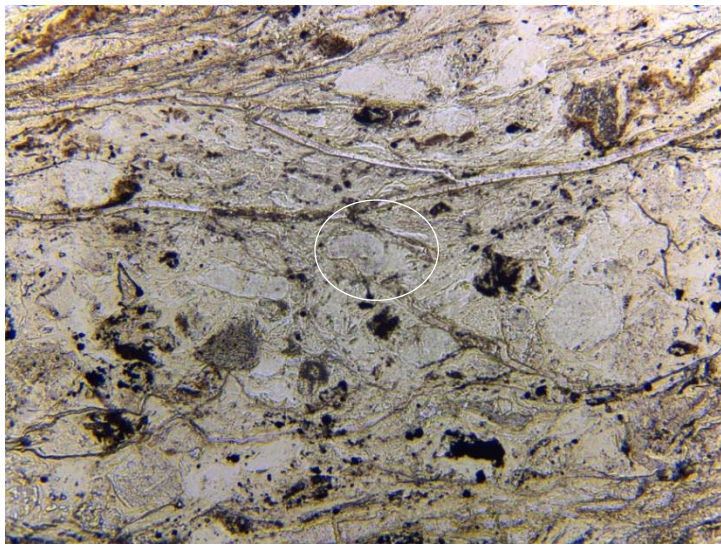
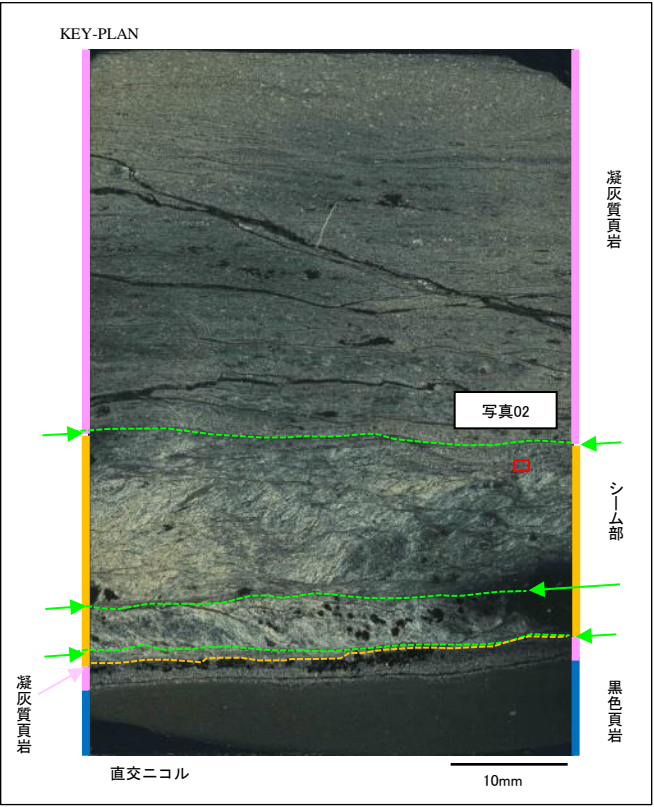
0.1mm

## [写真01 拡大]

- ・直交ニコルで明暗の縞模様を呈するアルバイト式双晶を示すことから、この鉱物は斜長石であると考えられる。
- ・単ニコル及び直交ニコルでざらつきがほとんど認められないことから、変質は進んでいないと考えられる。

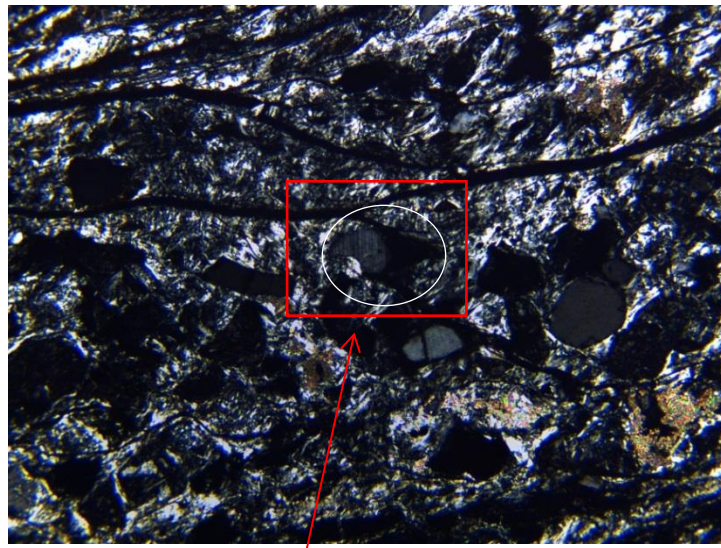
4. シームの活動性 (3) 鉱物と生成条件 ②長石類の薄片観察及びEPMA分析結果

薄片試料の詳細観察結果 (B23-DR-NE-SW)



単ニコル

0.5mm



直交ニコル

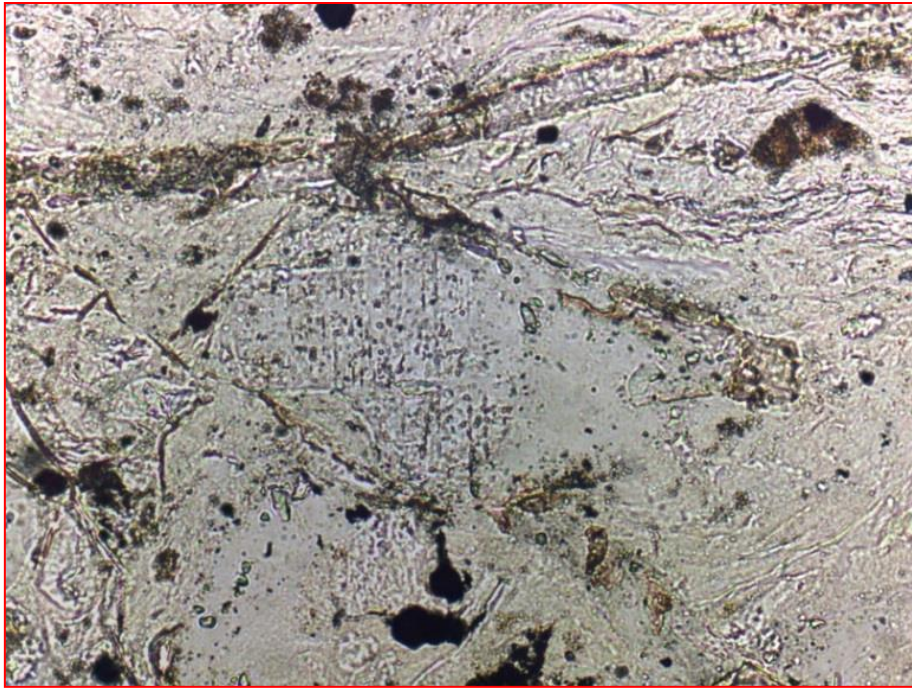
02拡大

0.5mm

[写真02]

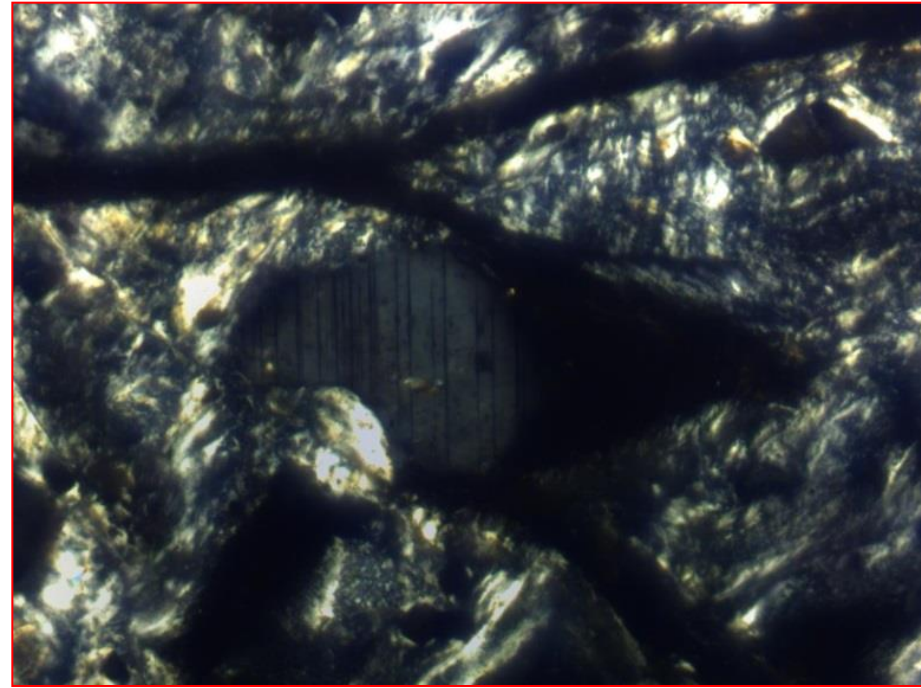
- ・シーム下部と接する凝灰質頁岩に、単ニコルで無色、直交ニコルで双晶を示す鉱物が確認できる。
- ・当該鉱物は、円磨された砂粒のような形状を示す。

# 薄片試料の詳細観察結果 (B23-DR-NE-SW)



単ニコル

0.1mm



直交ニコル

0.1mm

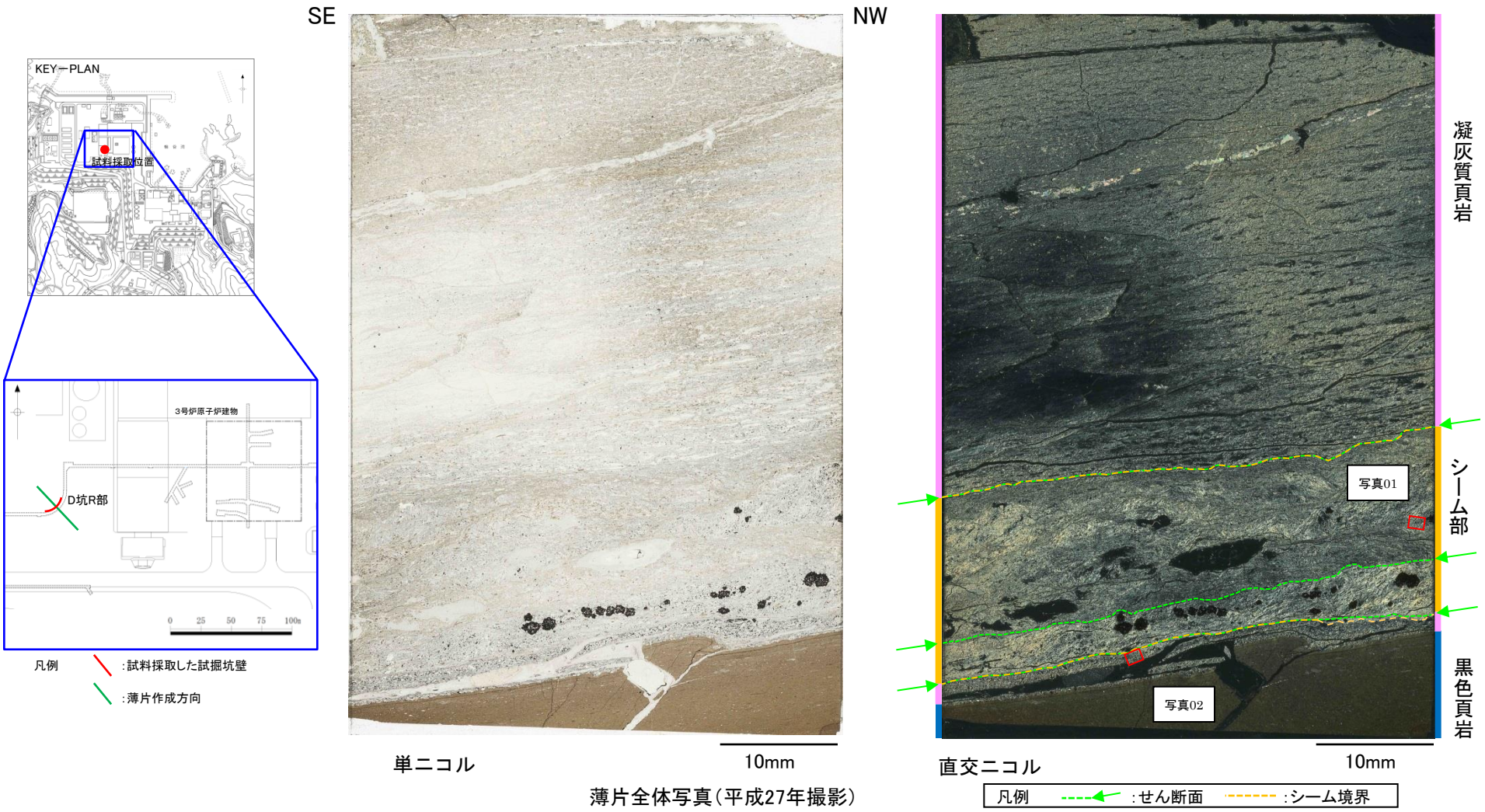
## [写真02 拡大]

- ・直交ニコルで明暗の縞模様を呈するアルバイト式双晶を示すことから、この鉱物は斜長石であると考えられる。
- ・単ニコル及び直交ニコルでざらつきがほとんど認められないことから、変質は進んでいないと考えられる。

余白

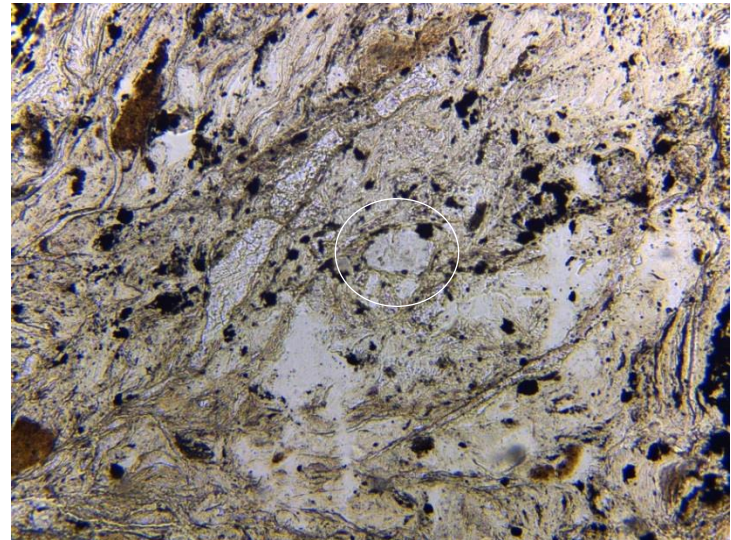
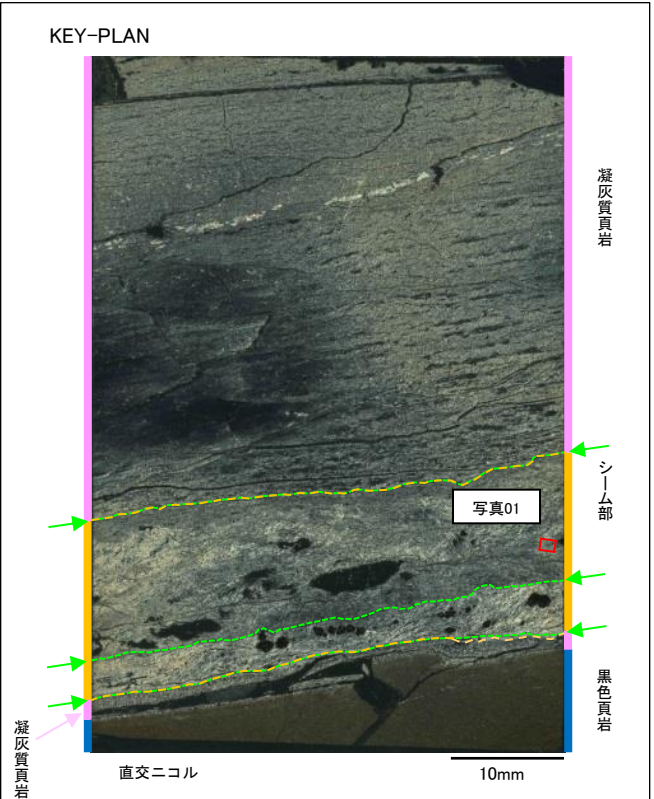


# 薄片試料の詳細観察結果 (B23-DR-NW-SE)



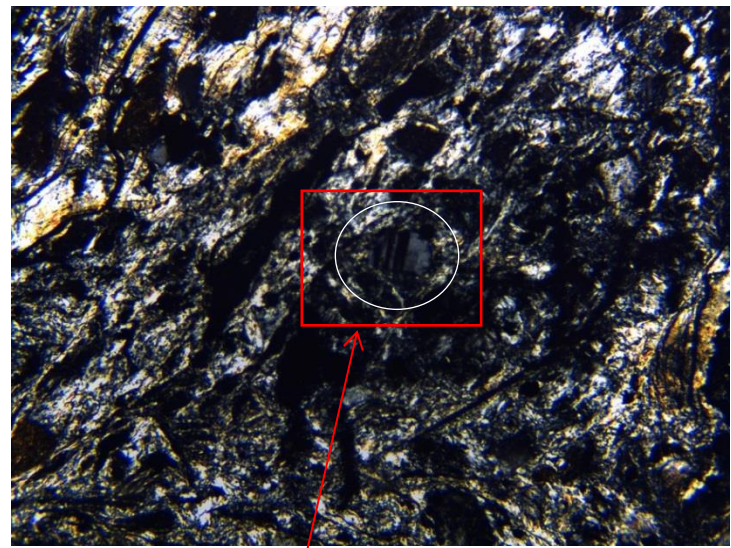
・試掘坑D坑R部からブロックを採取し、シーム内部で確認される斜長石を対象に詳細観察を実施した。

# 4. シームの活動性 (3) 鉱物と生成条件 ②長石類の薄片観察及びEPMA分析結果 薄片試料の詳細観察結果 (B23-DR-NW-SE)

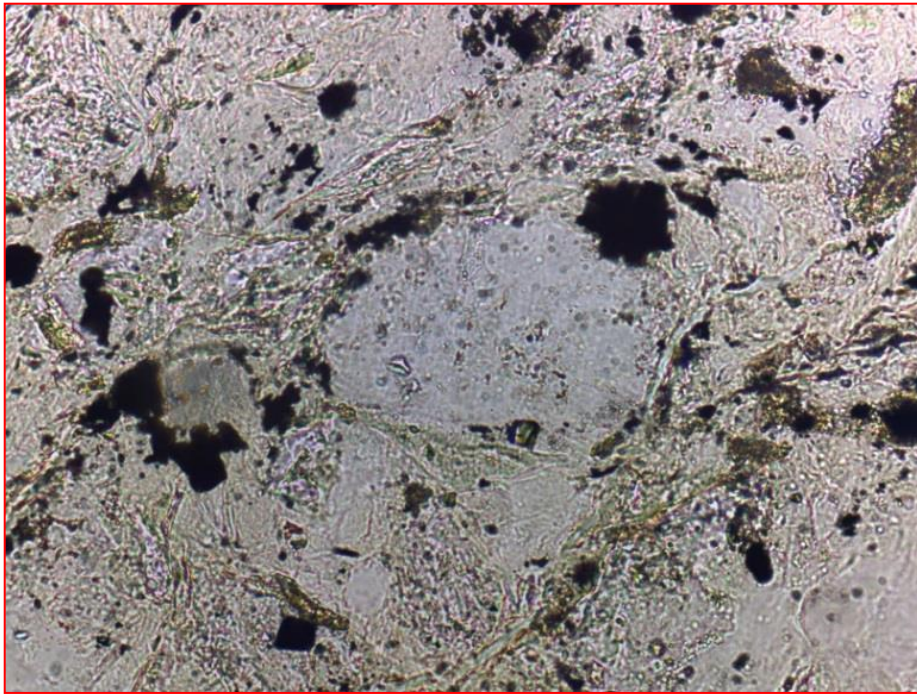


[写真01]

- ・シーム内部に, 単ニコルで無色, 直交ニコルで双晶を示す鉱物が確認できる。
- ・当該鉱物は, 円磨された砂粒のような形状を示す。

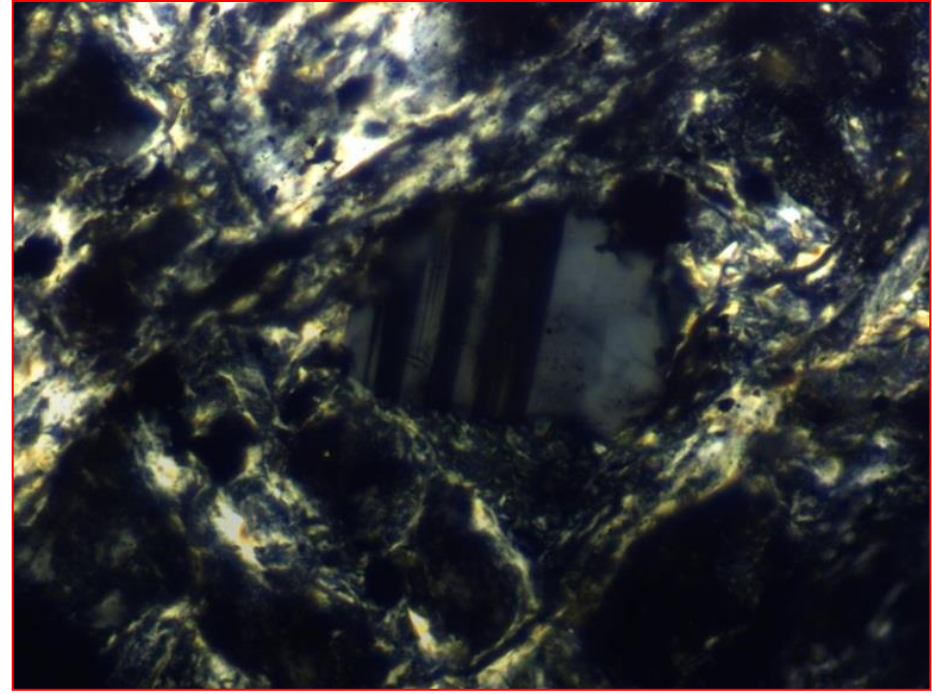


# 薄片試料の詳細観察結果 (B23-DR-NW-SE)



単ニコル

0.1mm



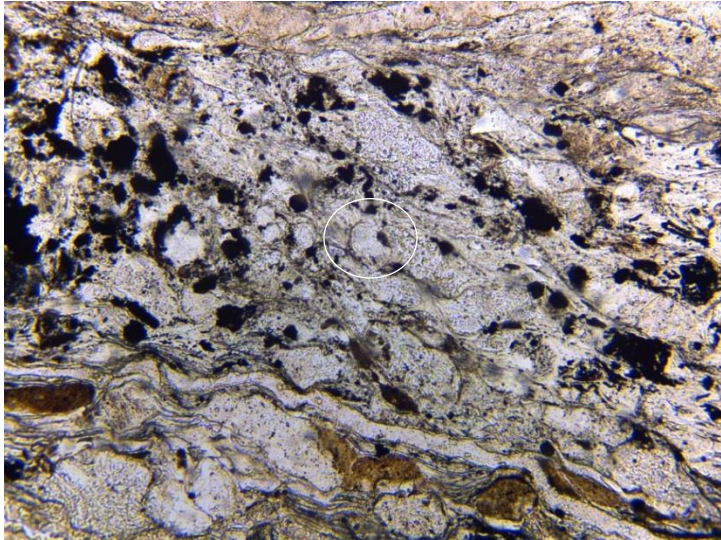
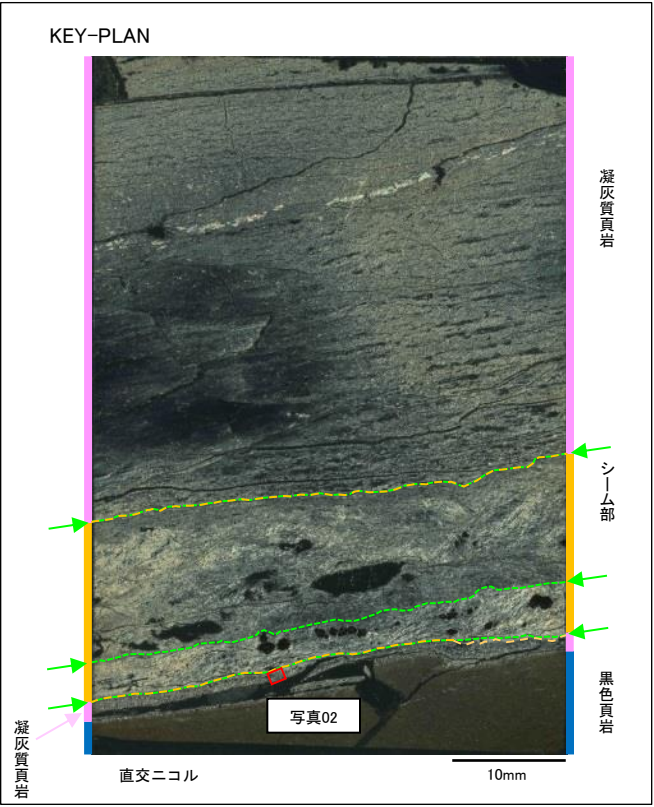
直交ニコル

0.1mm

## [写真01 拡大]

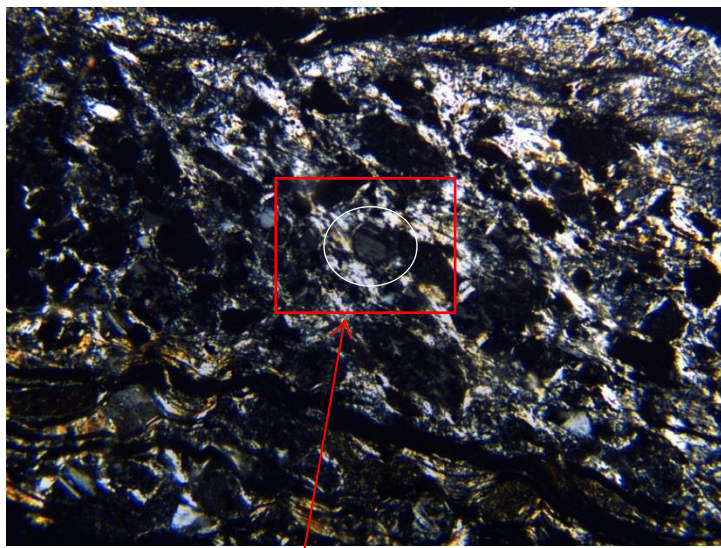
- ・直交ニコルで明暗の縞模様を呈するアルバイト式双晶を示すことから、この鉱物は斜長石であると考えられる。
- ・単ニコル及び直交ニコルでざらつきがほとんど認められないことから、変質は進んでいないと考えられる。

# 薄片試料の詳細観察結果 (B23-DR-NW-SE)



単ニコル

0.5mm



直交ニコル

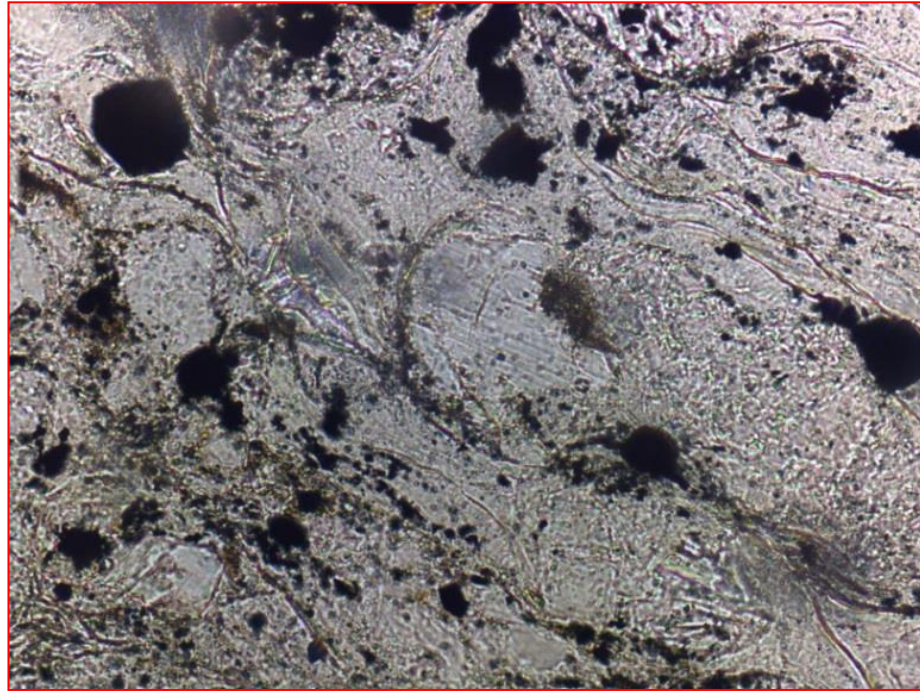
02拡大

0.5mm

[写真02]

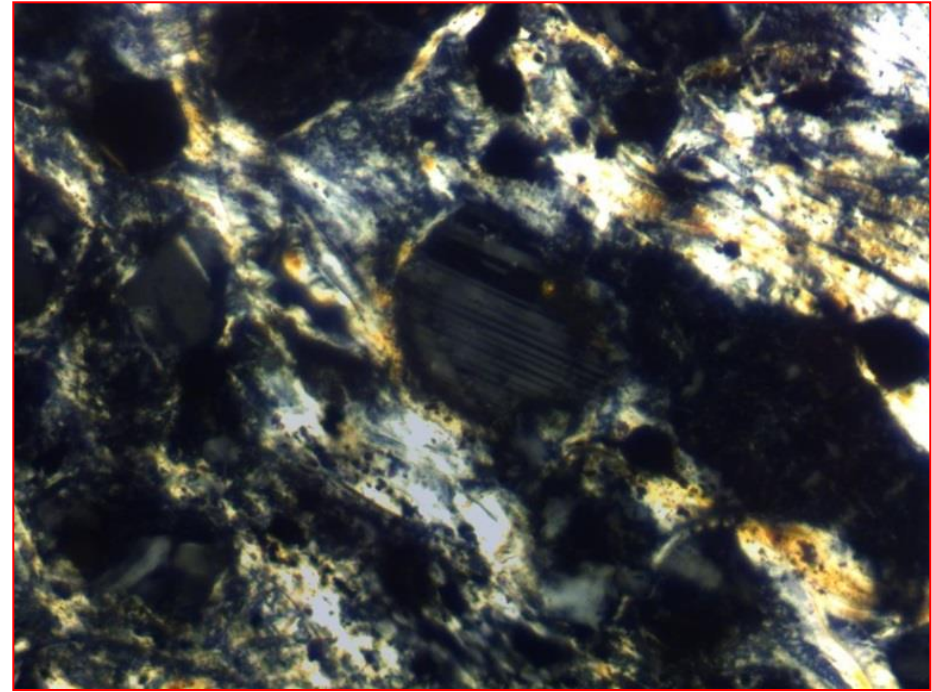
- ・シーム下部と接する凝灰質頁岩に、単ニコルで無色、直交ニコルで双晶を示す鉱物が確認できる。
- ・当該鉱物は、円磨された砂粒のような形状を示す。

# 薄片試料の詳細観察結果 (B23-DR-NW-SE)



単ニコル

0.1mm

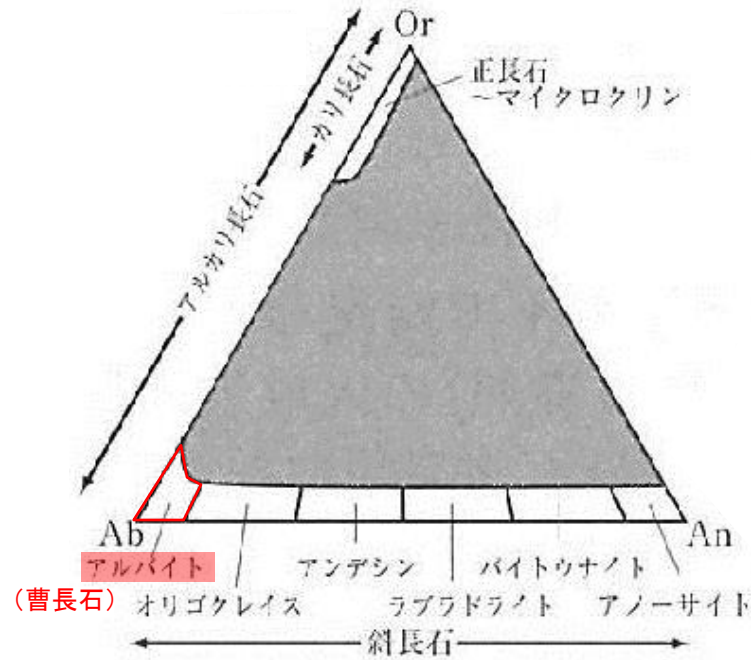


直交ニコル

0.1mm

## [写真01 拡大]

- ・直交ニコルで明暗の縞模様を呈するアルバイト式双晶を示すことから、この鉱物は斜長石であると考えられる。
- ・単ニコル及び直交ニコルでざらつきがほとんど認められないことから、変質は進んでいないと考えられる。

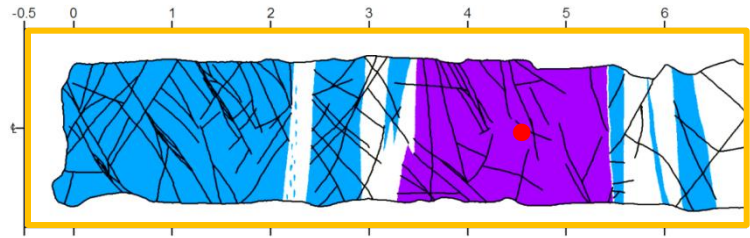
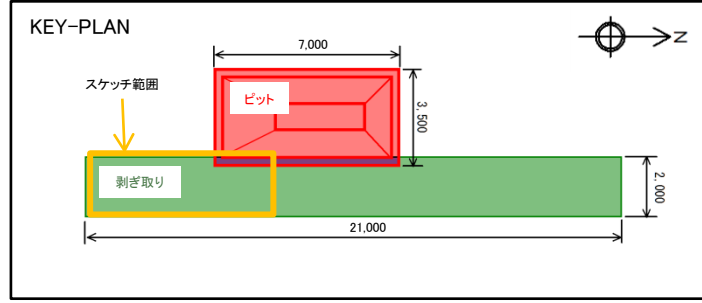
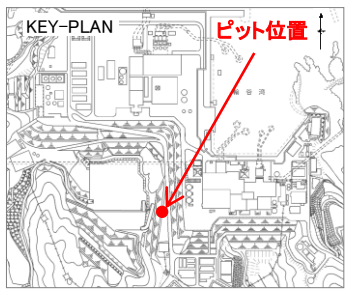


長石の化学組成に基づく分類

周藤ほか(2002)<sup>(16)</sup>を加筆・修正

- ・周藤ほか(2002)によると、長石はアルバイト( $Ab: NaAlSi_3O_8$ )・カリ長石( $Or: KAlSi_3O_8$ )・アノーサイト( $An: CaAl_2Si_2O_8$ )の3成分を端成分とする固溶体で、3成分の含有比率で上図のように細区分されるとされている。
- ・また、Ab-Anの領域は斜長石、Ab-Orの領域はアルカリ長石であり、曹長石は、斜長石の中でも特にアルバイト成分に富むものであるとされている。

# 薄片試料の詳細観察結果(凝灰岩:Pit1-Do-cp)



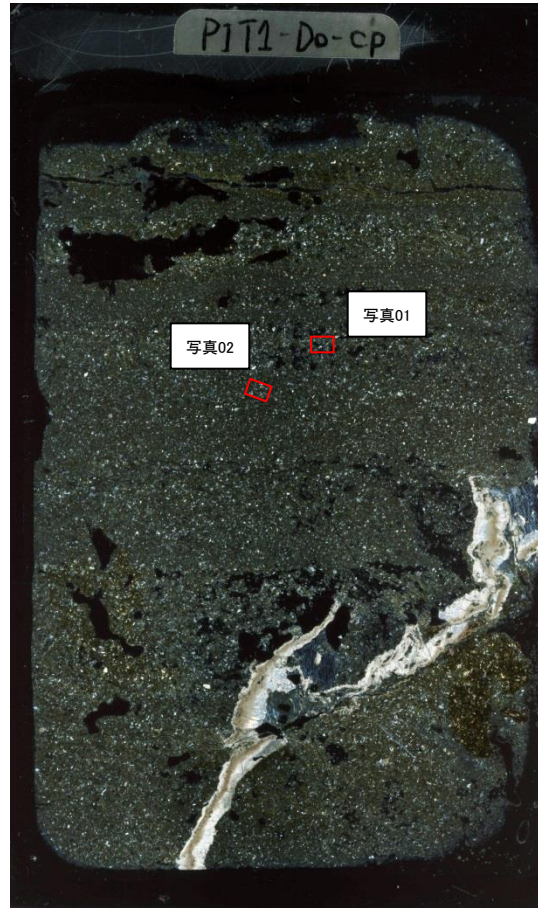
凡例

- 黑色頁岩
- 凝灰岩
- 凝灰岩 (当初, ドレライトと評価)
- 節理
- 試料採取位置

上  
↑



10mm



10mm

・シーム確認ピットから、凝灰岩を対象にブロックを採取し、薄片試料を作製した。

# 4. シームの活動性 (3) 鉱物と生成条件 ②長石類の薄片観察及びEPMA分析結果 薄片試料の詳細観察結果(凝灰岩:Pit1-Do-cp)

KEY-PLAN

上  
↑

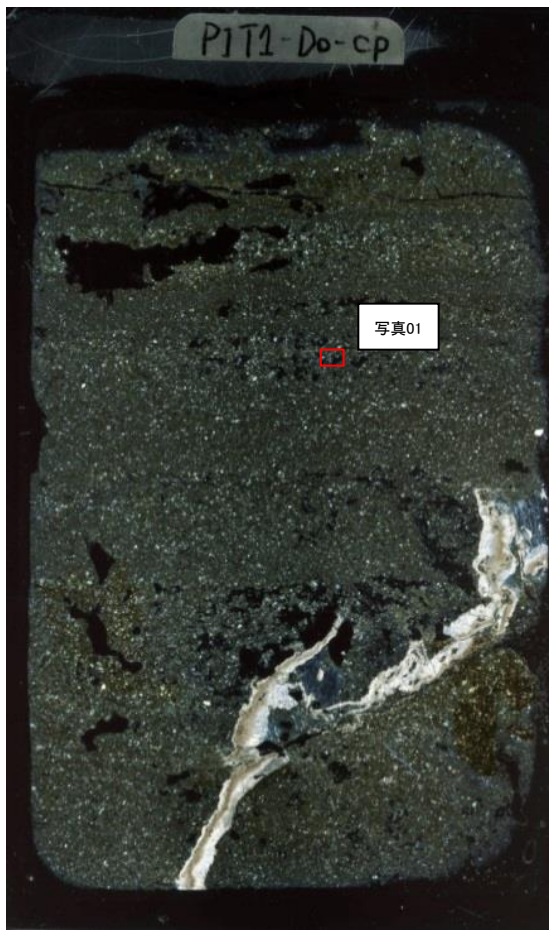
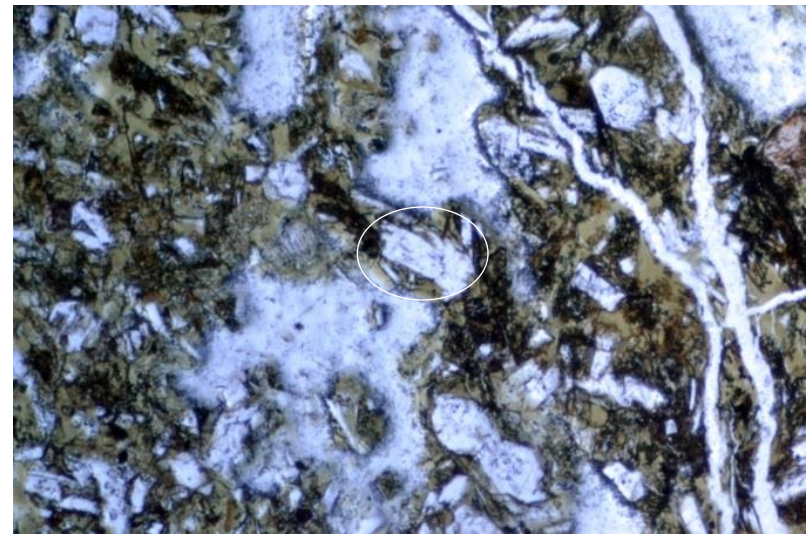


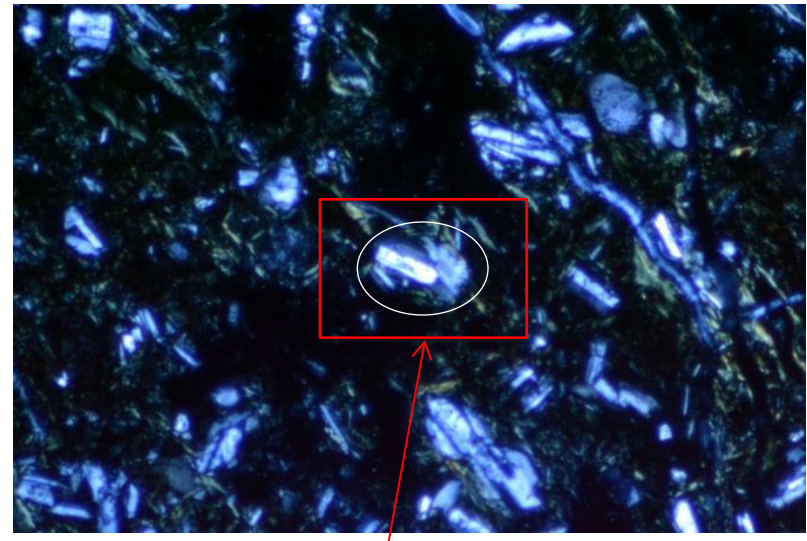
写真01

10mm



単ニコル

0.5mm



直交ニコル

01拡大

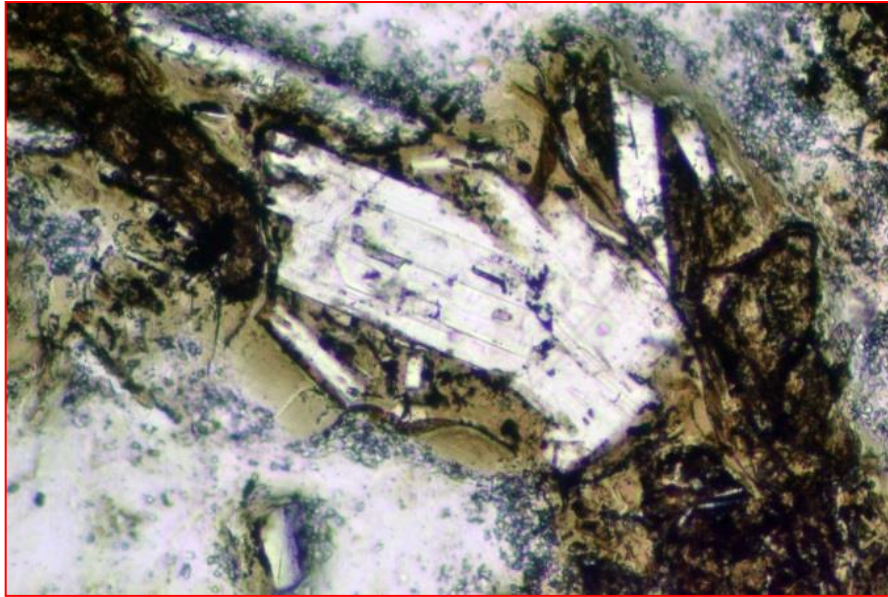
0.5mm

[写真01]

- ・凝灰岩に、単ニコルで無色、直交ニコルで双晶を示す鉱物が確認できる。
- ・当該鉱物は自形～半自形で柱状の形状を示す。

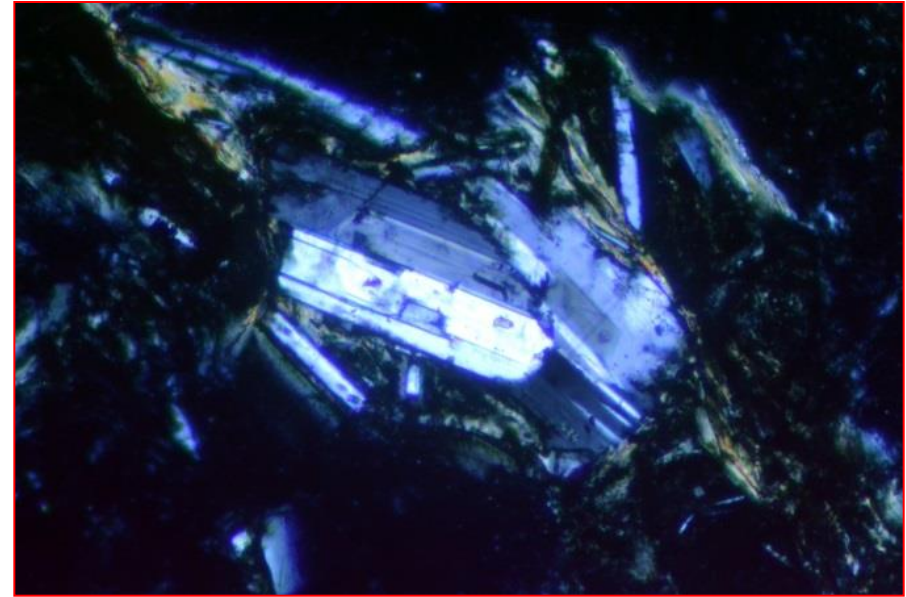


# 薄片試料の詳細観察結果(凝灰岩:Pit1-Do-cp)



単ニコル

0.1mm



直交ニコル

0.1mm

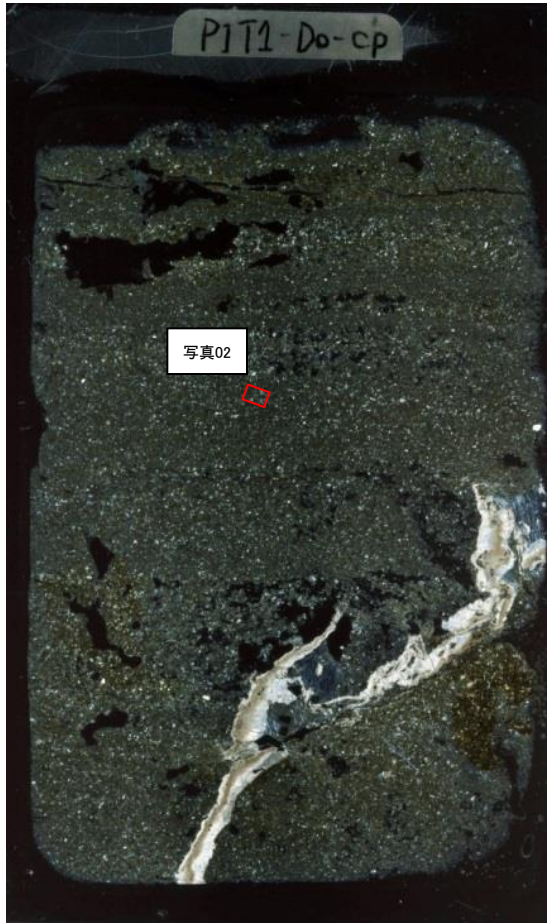
## [写真01 拡大]

- ・直交ニコルで2個体から成る単純双晶を示し、劈開が顕著であり、柱状の形状であることから、この鉱物は斜長石であると考えられる。
- ・単ニコル及び直交ニコルでざらつきがほとんど認められないことから、変質は進んでいないと考えられる。

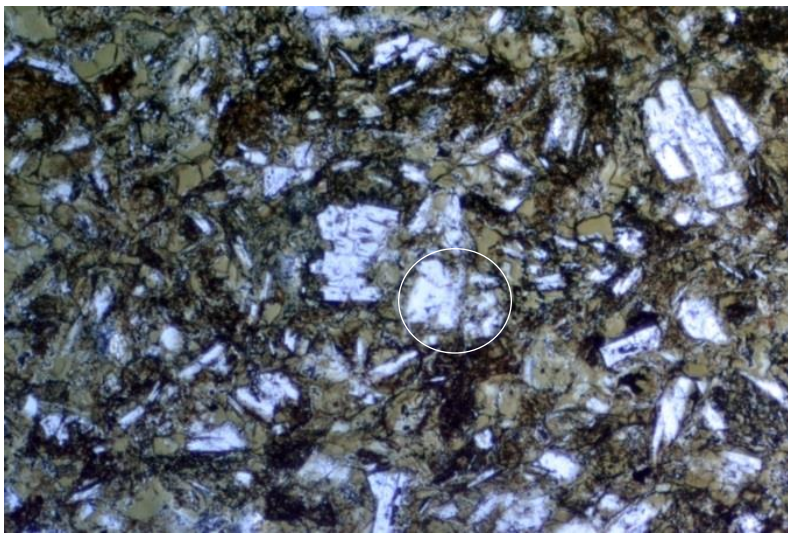
# 4. シームの活動性 (3) 鉱物と生成条件 ②長石類の薄片観察及びEPMA分析結果 薄片試料の詳細観察結果(凝灰岩:Pit1-Do-cp)

KEY-PLAN

上  
↑

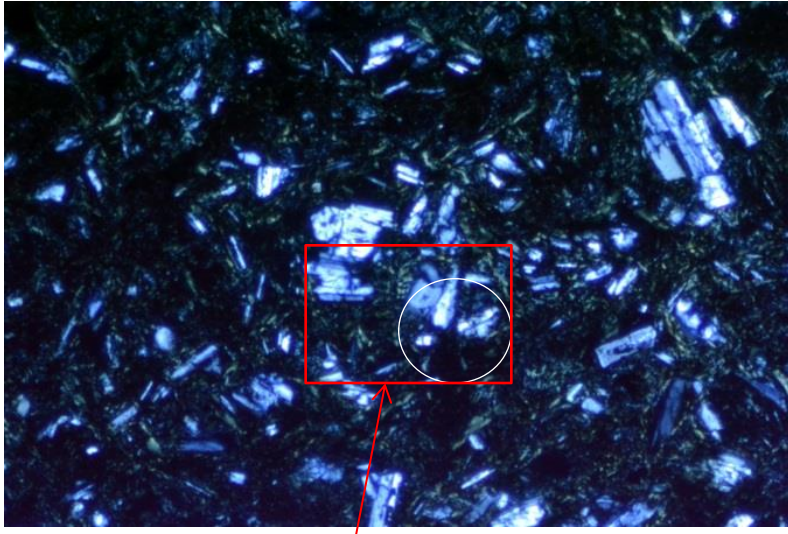


10mm



単ニコル

0.5mm



直交ニコル

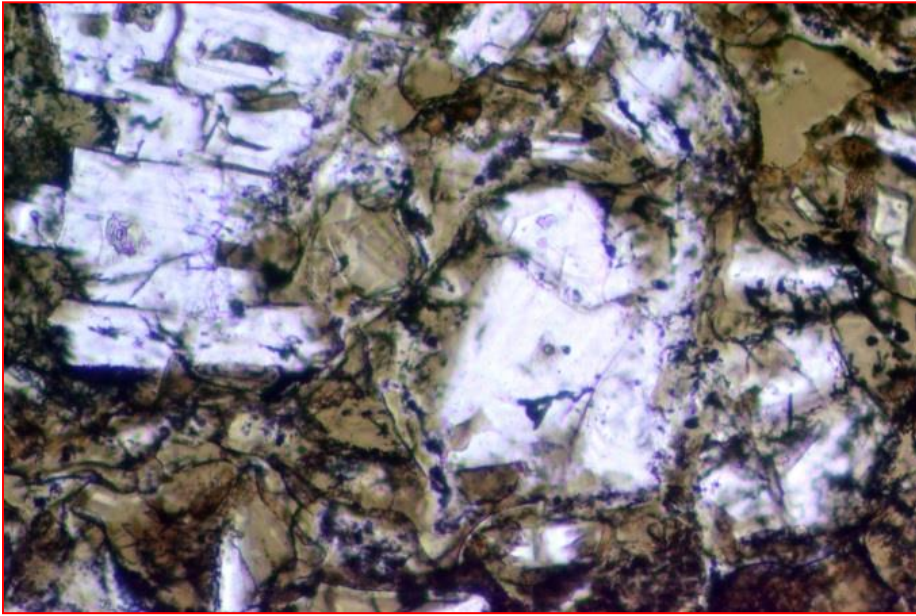
0.5mm

02拡大

[写真02]

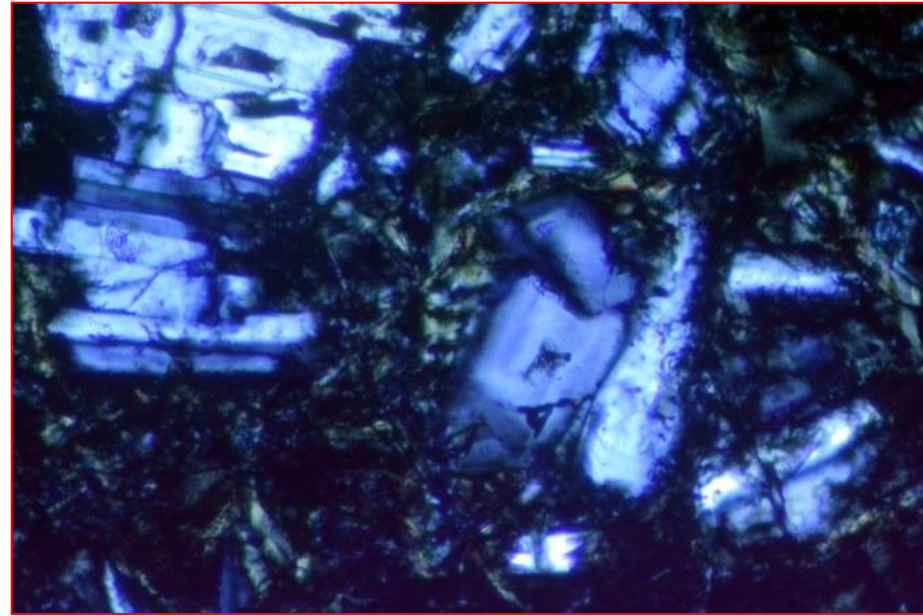
- ・凝灰岩に、単ニコルで無色、直交ニコルで双晶を示す鉱物が確認できる。
- ・当該鉱物は半自形～他形で柱状の形状を示す。

# 薄片試料の詳細観察結果(凝灰岩: Pit1-Do-cp)



単ニコル

0.1mm



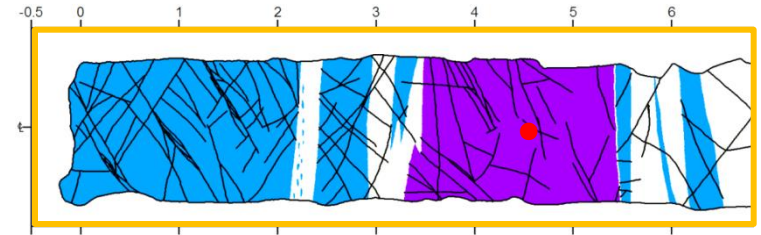
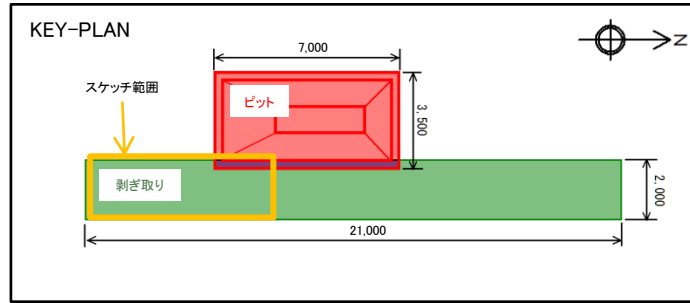
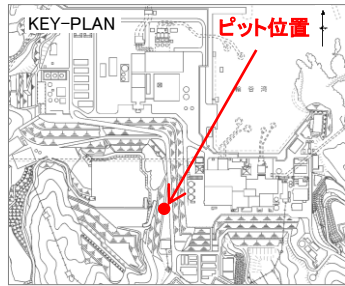
直交ニコル

0.1mm

## [写真02 拡大]

- ・直交ニコルで内部に向かって明暗の縞模様を呈する累帯構造を示すことから、この鉱物は斜長石であると考えられる。
- ・単ニコル及び直交ニコルでざらつきがほとんど認められないことから、変質は進んでいないと考えられる。

4. シームの活動性 (3) 鉱物と生成条件 ②長石類の薄片観察及びEPMA分析結果  
 薄片観察・EPMA分析結果(凝灰岩:Pit1-Do-cp)



凡例

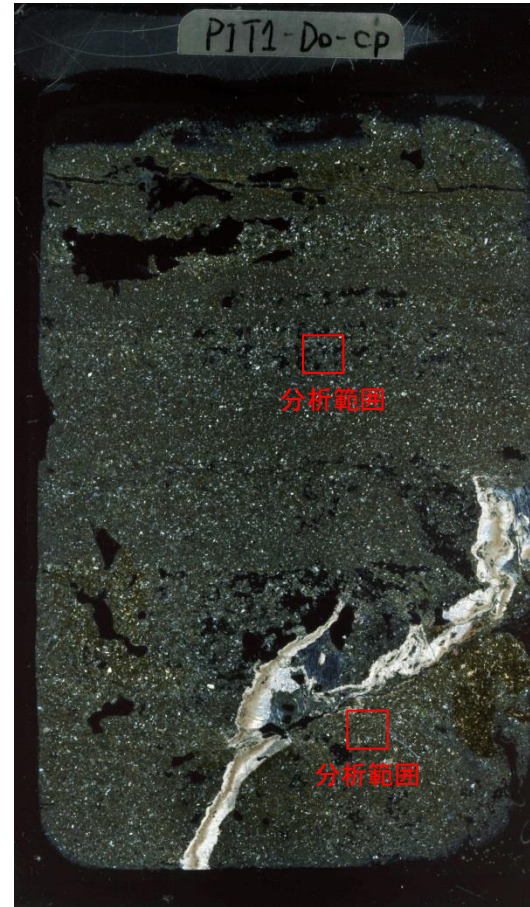
- 黑色頁岩
- 凝灰岩
- 凝灰岩
- 節理
- 試料採取位置

上  
↑



単ニコル

10mm

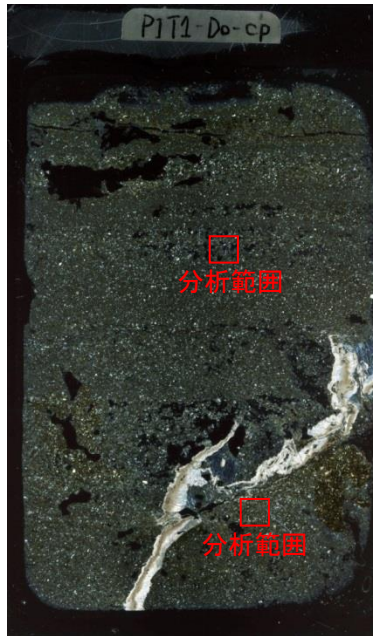


直交ニコル

10mm

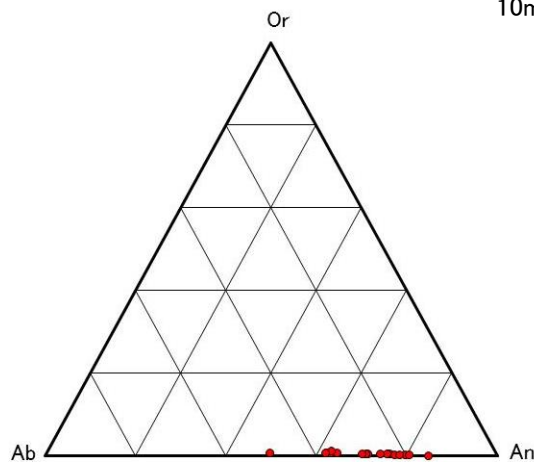
・シーム確認ピットから、凝灰岩を対象にブロックを採取し、薄片試料を作製してEPMA分析を実施した。

## EPMA分析結果(凝灰岩:Pit1-Do-cp)



直交ニコル

10mm



EPMA分析による長石の分量(%)

EPMA分析による長石の分量(%)

分析点No.	アノーサイト (An)	アルバイト(Ab)	カリ長石 (Or)
1	84.7146	15.233	0.0523
2	64.1803	35.0735	0.7462
3	79.5774	20.2168	0.2058
4	71.3184	28.3181	0.3634
5	75.6434	23.9482	0.4084
6	61.9999	37.4641	0.536
7	76.1007	23.601	0.2983
8	62.7151	36.5982	0.6867
9	75.4485	24.2328	0.3187
10	80.358	19.4117	0.2302
11	62.8086	36.1225	1.0689
12	49.2838	49.9806	0.7357
13	77.2123	22.5435	0.2442
14	74.0321	25.6805	0.2874
15	70.7896	28.6983	0.5121
16	70.0068	29.6036	0.3897
17	61.8838	37.5795	0.5367
18	78.2992	21.4659	0.2349

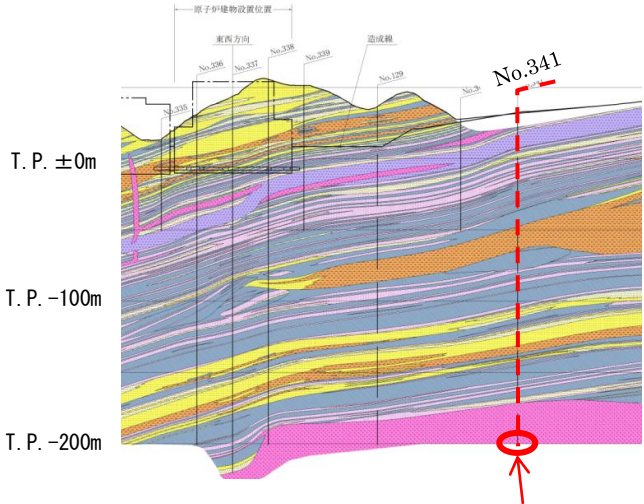
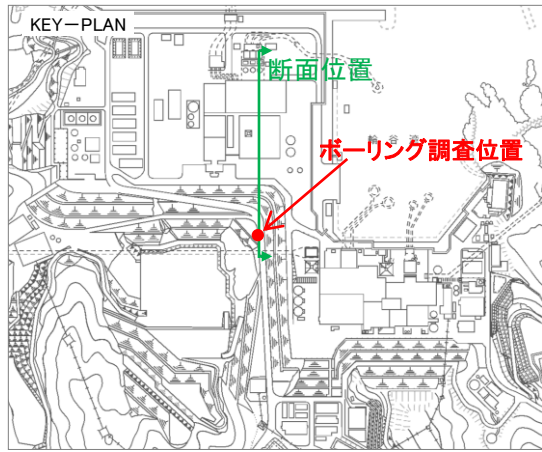
## 【分析結果】

・EPMA分析を実施した地点のうち、鉱物組成から長石類と判断された箇所について定量データに基づく三角ダイアグラムを作成したところ、大部分はAn成分が50～85%程度と多く、残りはほとんどがAb成分でOrはわずかにしか認められないことから、曹灰長石～亜灰長石と判断される。

余白

4. シームの活動性 (3) 鉱物と生成条件 ②長石類の薄片観察及びEPMA分析結果

薄片試料の詳細観察結果(ドレライト:No.341 GL-232m)



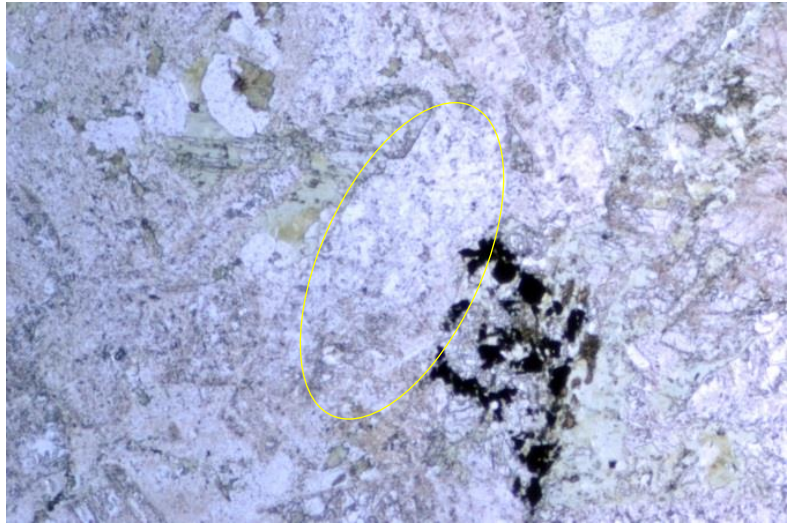
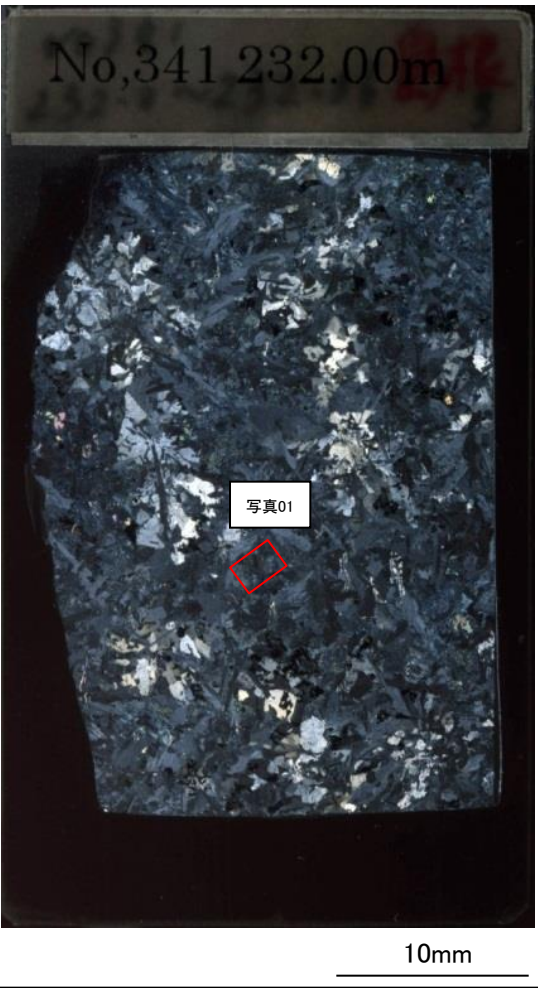
- 凡例
- 盛土
  - 海底堆積物
  - 崖錐堆積物
  - 安山岩
  - ドレライト
  - 凝灰角礫岩
  - 火山礫凝灰岩
  - 凝灰岩
  - 凝灰質頁岩
  - 黒色頁岩
- 被覆層
- 貫入岩類
- 成相寺層
- 岩相境界線
- ボーリング位置 (破線は投影)

・No.341ボーリングコアから、ドレライト内部の試料を採取し、薄片試料を作製した。

4. シームの活動性 (3) 鉱物と生成条件 ②長石類の薄片観察及びEPMA分析結果  
薄片試料の詳細観察結果(ドレライト:No.341 GL-232m)

KEY-PLAN

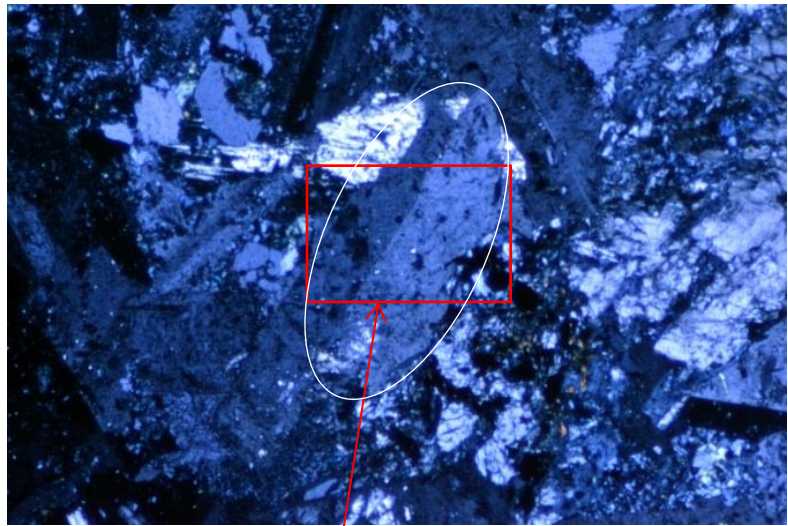
上  
↑



単ニコル

0.5mm

[写真01]  
・ドレライト内部に, 単ニコルで無色, 直交ニコルで双晶を示す鉱物が確認できる。  
・当該鉱物は自形～半自形で柱状の形状を示す。



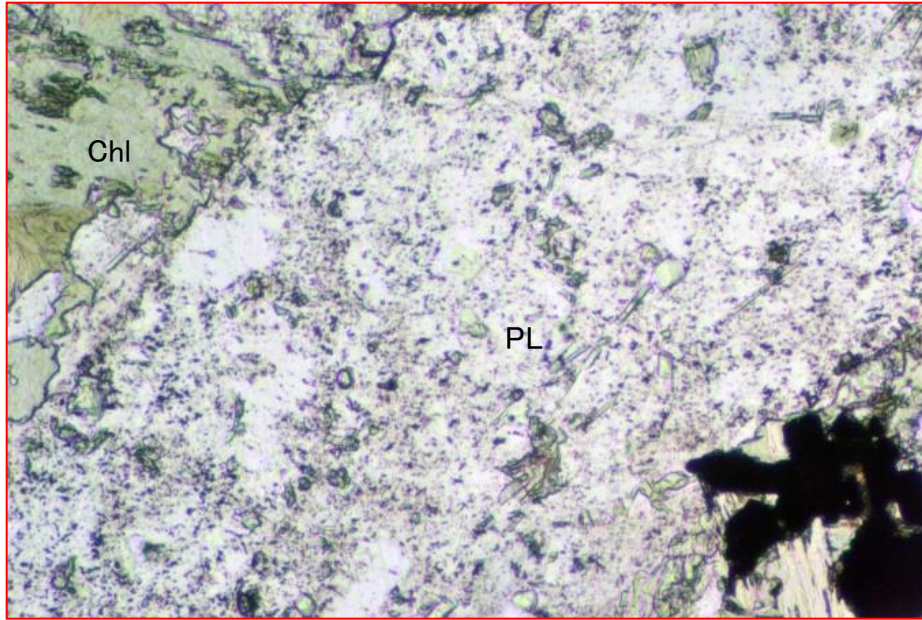
直交ニコル

01拡大

0.5mm

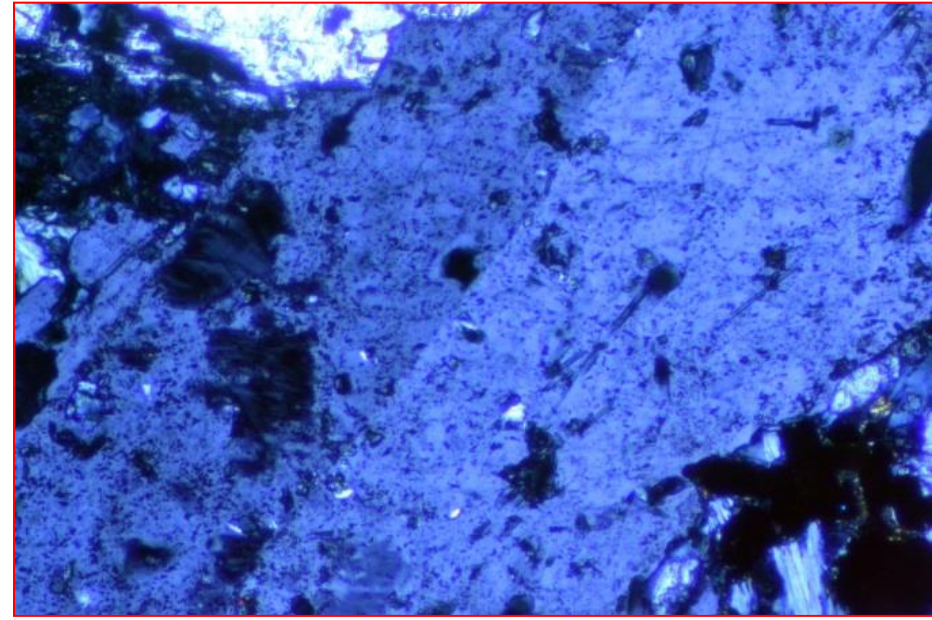


薄片試料の詳細観察結果(ドレライト:No.341 GL-232m)



単ニコル

0.1mm



直交ニコル

0.1mm

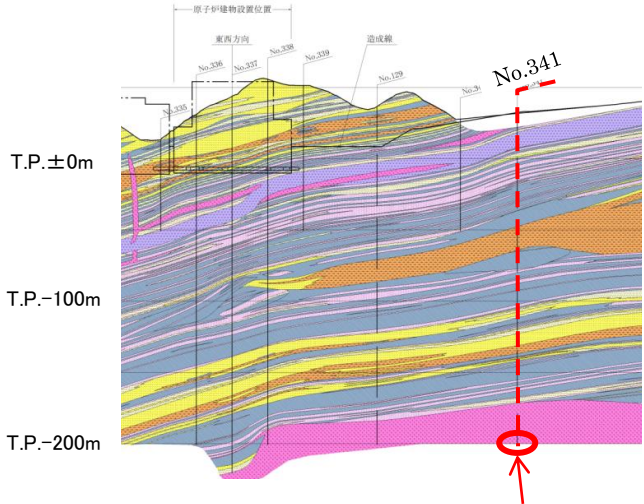
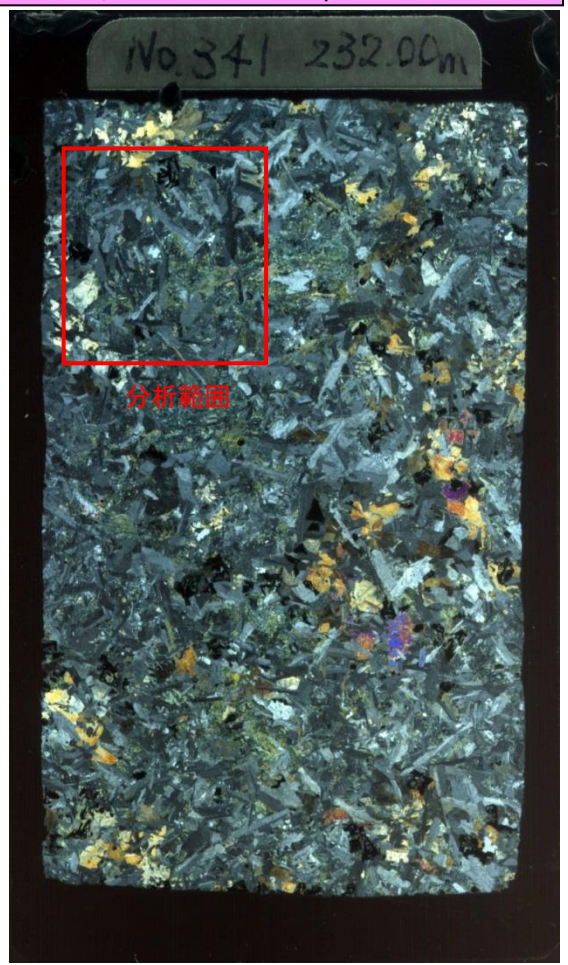
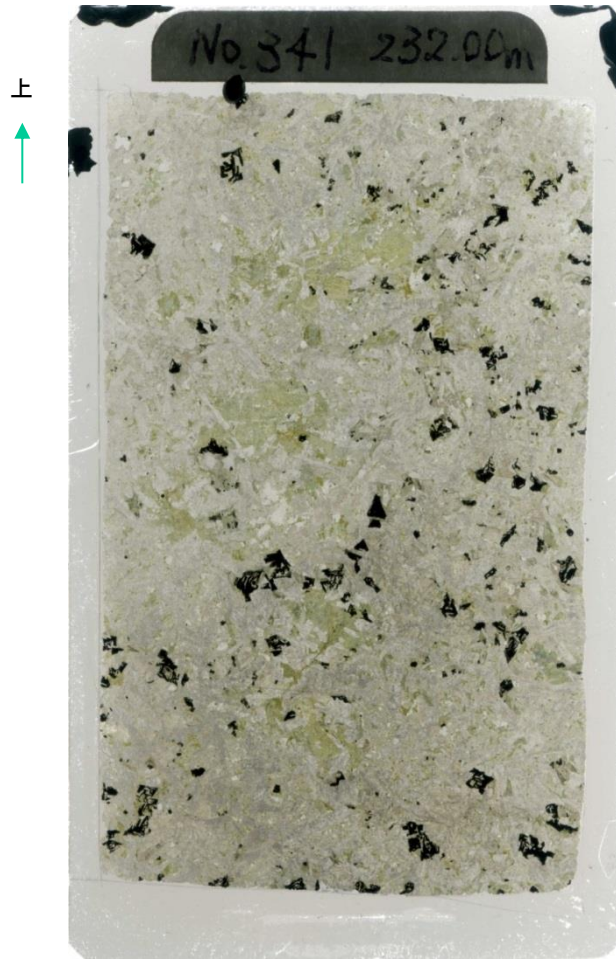
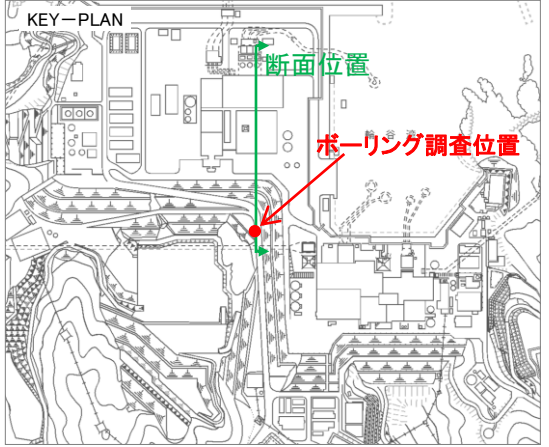
PL : 斜長石  
Chl : 緑泥石

[写真01 拡大]

- ・直交ニコルで2個体から成る単純双晶を示し、柱状の形状であることから、この鉱物は斜長石であると考えられる。
- ・単ニコル及び直交ニコルで全体的にざらついており、変質を被っていると考えられる。

# 薄片観察・EPMA分析結果(ドレライト:No.341 GL-232m)

第318回審査会合 資料2 p.122 加筆・修正



- 凡例
- 盛土
  - 海底堆積物
  - 崖錐堆積物
  - 安山岩
  - ドレライト
  - 凝灰角礫岩
  - 火山礫凝灰岩
  - 凝灰岩
  - 凝灰質頁岩
  - 黒色頁岩
- 被覆層
- 貫入岩類
- 成相層
- 岩相境界線
- ボーリング位置 (破線は投影)

単ニコル

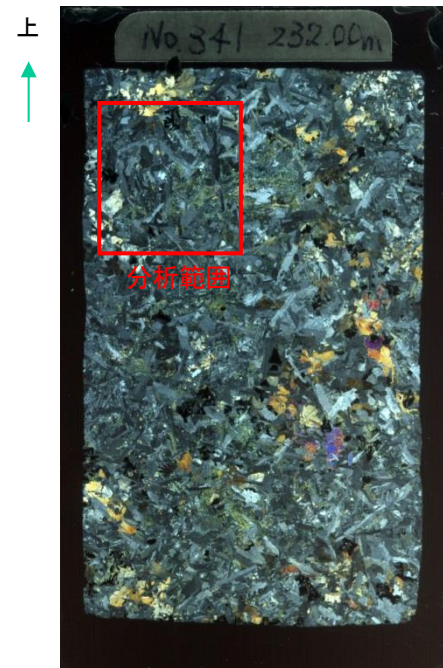
10mm

直交ニコル

10mm

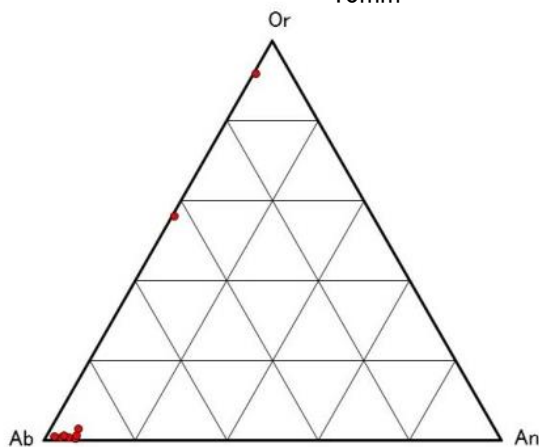
・No.341ボーリングコアから、ドレライト内部の試料を採取し、薄片試料を作製してEPMA分析を実施した。

## EPMA分析結果(ドレライト:No.341 GL-232m)



直交ニコル

10mm



EPMA分析による長石の分量(%)

EPMA分析による長石の分量(%)

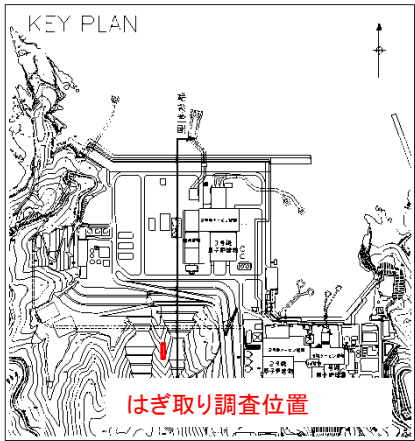
分析点No.	アノーサイト (An)	アルバイト(Ab)	カリ長石 (Or)
1	5.0259	94.2679	0.7063
2	0.6016	43.3373	56.0611
3	6.0778	91.099	2.8233
4	0.4802	7.6737	91.8461
5	3.5595	95.8456	0.5949
6	1.7325	97.2927	0.9748
7	6.6259	92.9237	0.4504
8	6.7321	92.9439	0.324
9	6.5212	92.4159	1.0628
10	3.7498	95.0604	1.1898

## 【分析結果】

- ・EPMA分析を実施した地点のうち、鉱物組成から長石類と判断された箇所について定量データに基づく三角ダイアグラムを作成したところ、大部分はAb成分に富むことから曹長石と判断される。一部はOr成分に富み、カリ長石と判断される。

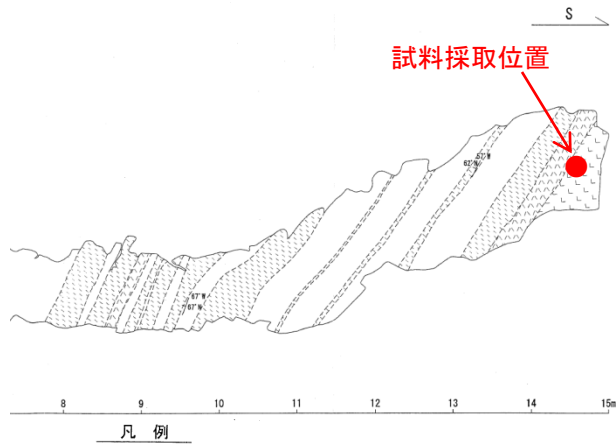
余白

薄片試料の詳細観察結果(ドレライト:Hag-Do-c10)



上  
↑

※はぎ取り調査位置を示すため、旧地形の平面図を示す。



- 凡例
- 地質境界
  - 層理面の走向傾斜
  - 黑色頁岩
  - ▨ 凝灰質頁岩
  - ▧ 凝灰岩
  - ▩ 火山礫凝灰岩
  - 黑色頁岩 凝灰質頁岩互層
  - トレライト



単ニコル

10mm



直交ニコル

10mm

・3号剥ぎ取り箇所から、ドレライトの試料を採取し、薄片試料を作製した。

# 薄片試料の詳細観察結果(ドレライト:Hag-Do-c10)

KEY-PLAN

上  
↑

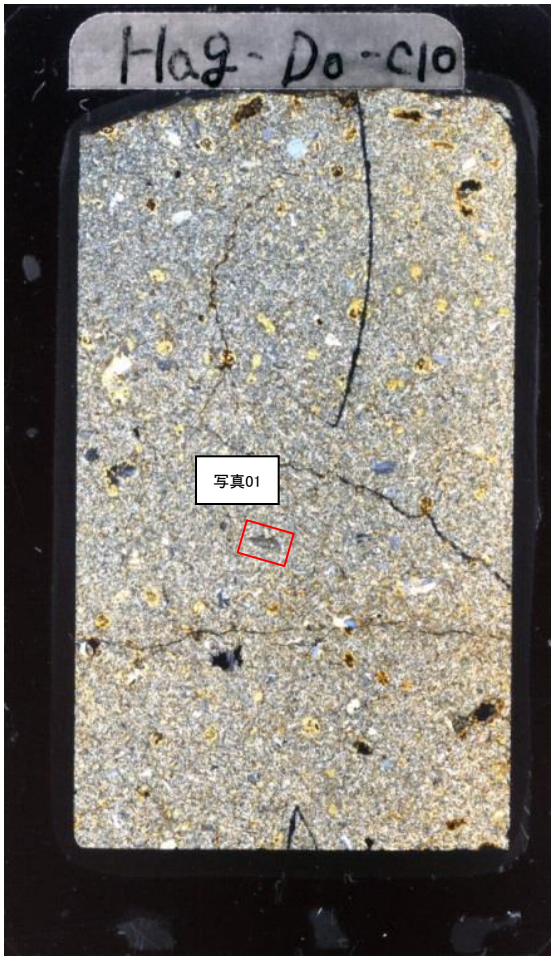
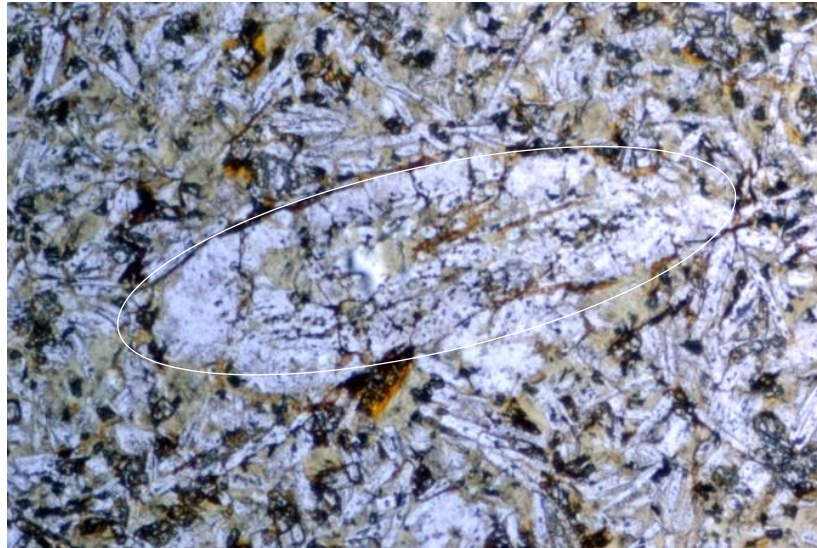


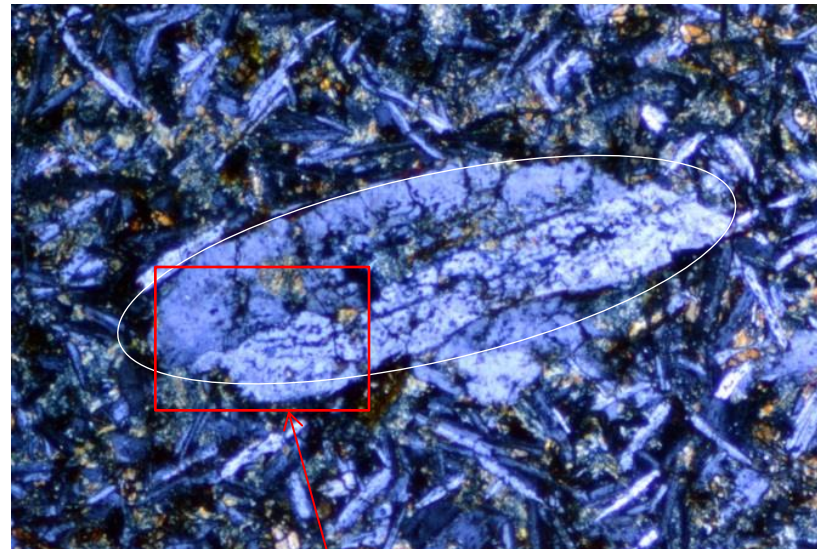
写真01

10mm



単ニコル

0.5mm



直交ニコル

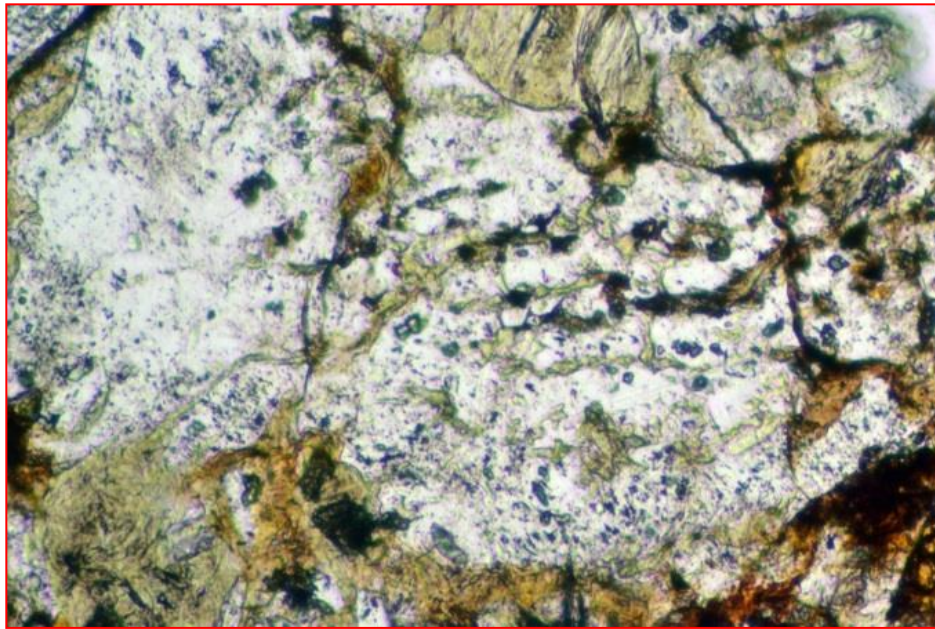
01拡大

0.5mm

[写真01]

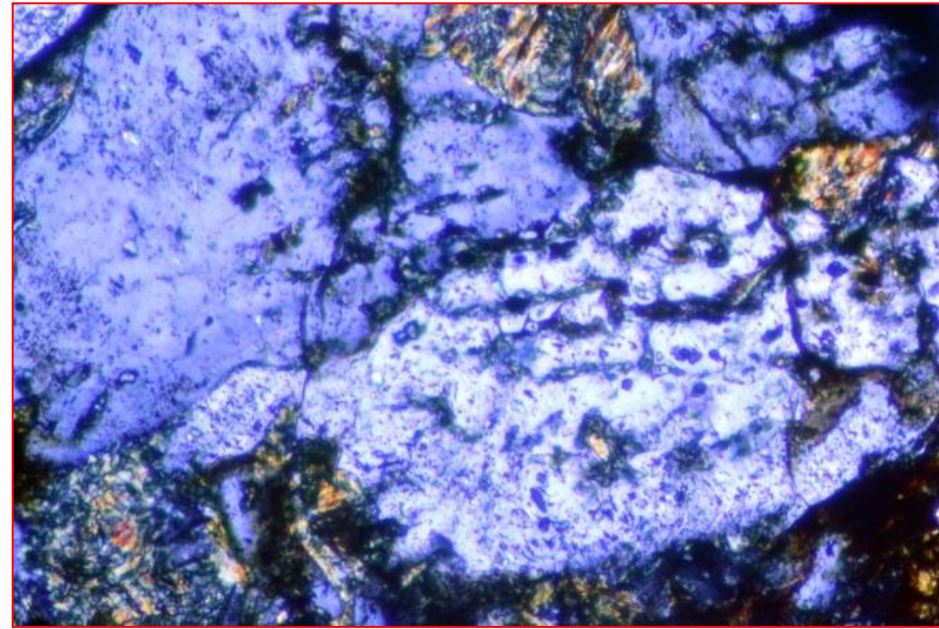
- ・ドレライト内部に、単ニコルで無色、直交ニコルで双晶を示す鉱物が確認できる。
- ・当該鉱物は半自形～他形で柱状の形状を示す。

# 薄片試料の詳細観察結果(ドレライト:Hag-Do-c10)



単ニコル

0.1mm



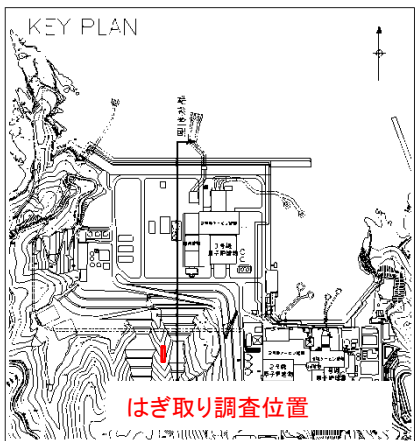
直交ニコル

0.1mm

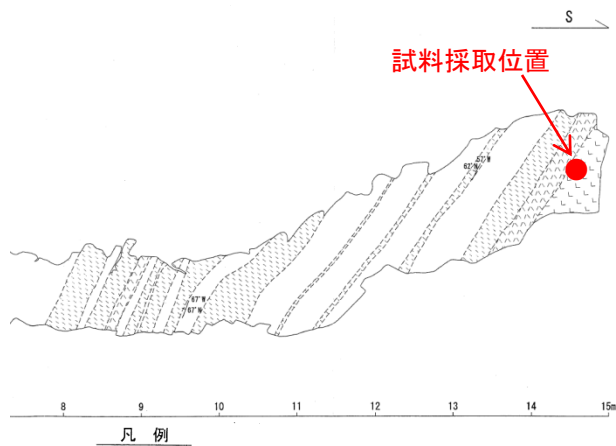
## [写真01 拡大]

- ・直交ニコルで2個体から成る単純双晶を示し、柱状の形状であることから、この鉱物は斜長石であると考えられる。
- ・単ニコル及び直交ニコルで全体的にざらついていることから、変質を被っていると考えられる。

薄片観察・EPMA分析結果(ドレライト:Hag-Do-C10)



※はぎ取り調査位置を示すため、旧地形の平面図を示す。



- 凡例
- 地質境界
  - 層理面の走向傾斜
  - 黑色頁岩
  - ▨ 凝灰質頁岩
  - ▧ 凝灰岩
  - ▩ 火山礫凝灰岩
  - 黑色頁岩 凝灰質頁岩互層
  - ドレライト



単ニコル

10mm



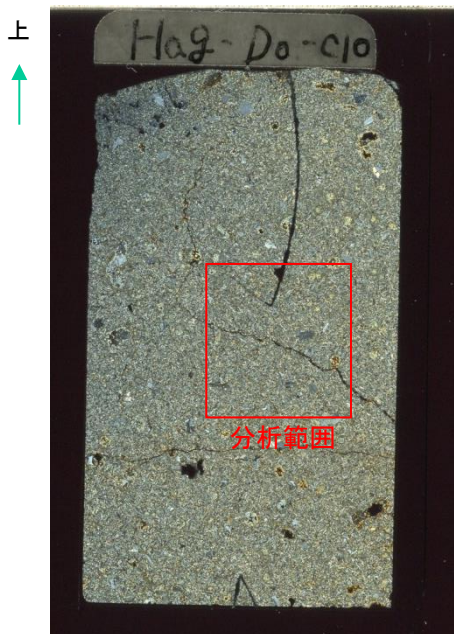
直交ニコル

10mm

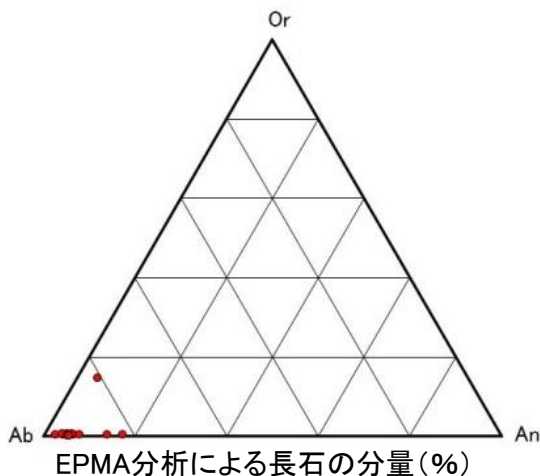
・3号剥ぎ取り箇所から、ドレライトの試料を採取し、薄片試料を作製してEPMA分析を実施した。



# EPMA分析結果(ドレライト:Hag-Do-C10)



直交ニコル 10mm



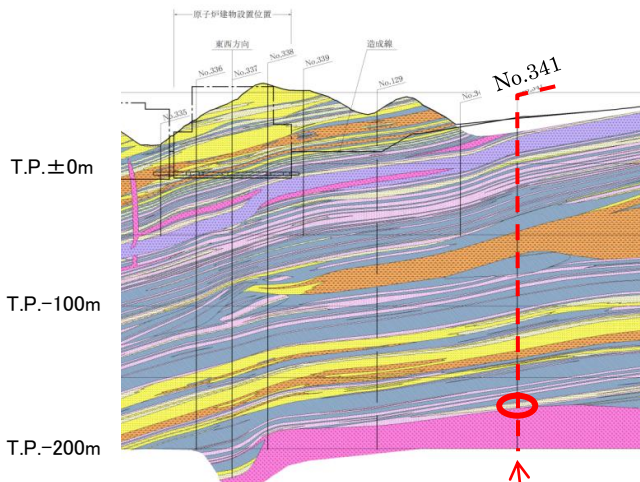
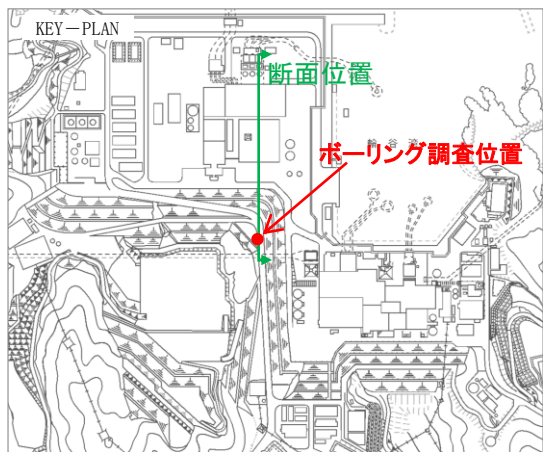
EPMA分析による長石の分量(%)

分析点No.	アノーサイト (An)	アルバイト(Ab)	カリ長石 (Or)
1	2.2796	97.2345	0.4859
2	4.4165	95.0847	0.4988
3	13.5574	85.9842	0.4584
4	5.2394	94.3795	0.3811
5	4.9841	94.5629	0.4531
6	4.6849	94.6159	0.6992
7	3.9248	95.6176	0.4576
8	3.5858	95.7087	0.7055
9	5.1233	94.3118	0.565
10	16.9553	82.5496	0.4951
11	6.1929	93.3501	0.4571
12	5.5941	93.6404	0.7655
13	4.9096	94.4716	0.6188
14	4.2655	80.869	14.8655
15	5.2467	94.3177	0.4355
16	4.9749	94.6013	0.4238
17	5.2325	94.4277	0.3399
18	7.5769	91.9527	0.4705

### 【分析結果】

- ・EPMA分析を実施した地点のうち、鉱物組成から長石類と判断された箇所について定量データに基づく三角ダイヤグラムを作成したところ、Ab成分に富むことから曹長石と判断される。

# 薄片観察・EPMA分析結果 (No.341 GL-203.23m)

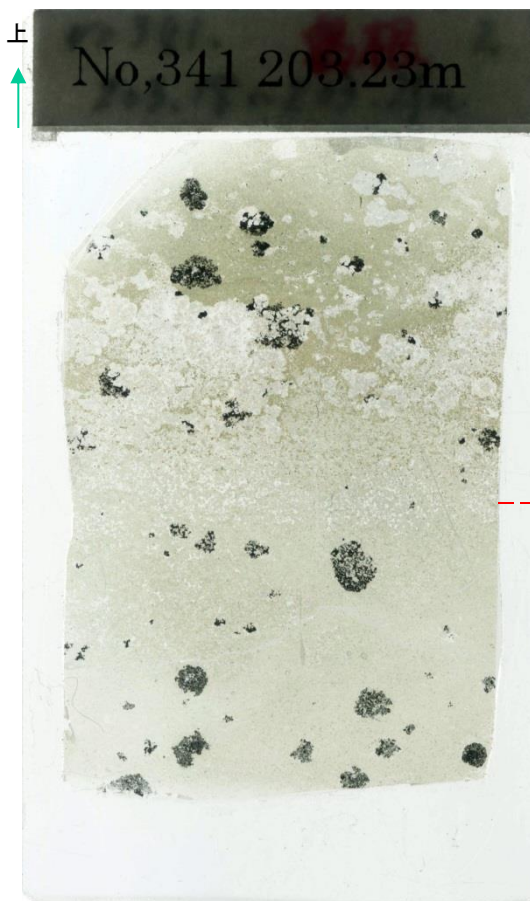


凡例

- 盛土
- 海底堆積物
- 崖堆積物
- 安山岩
- ドレライト
- 凝灰角礫岩
- 火山礫凝灰岩
- 凝灰岩
- 凝灰質頁岩
- 黒色頁岩

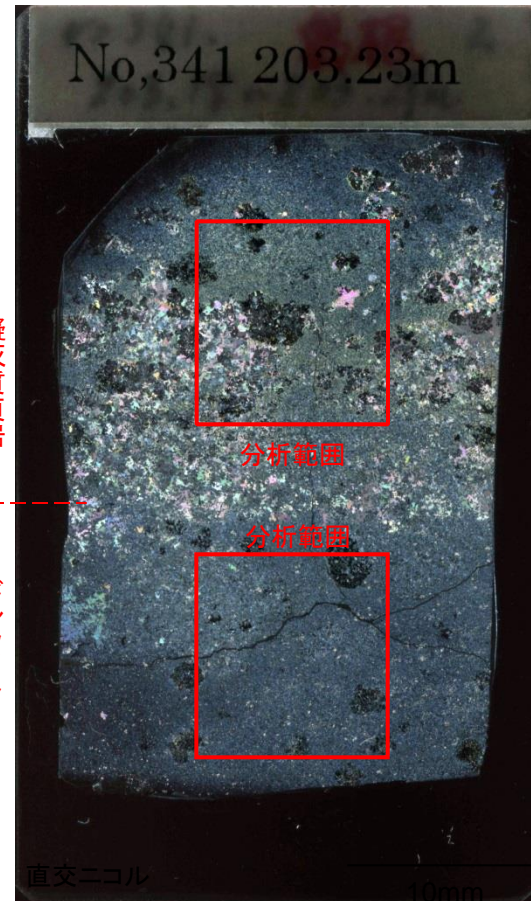
岩相境界線

ボーリング位置  
(破線は投影)



単ニコル

10mm

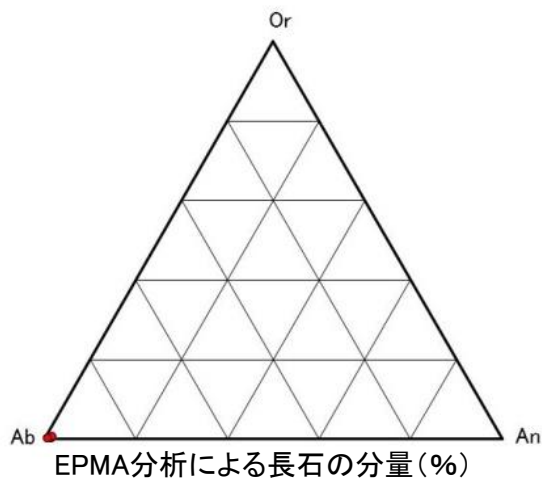
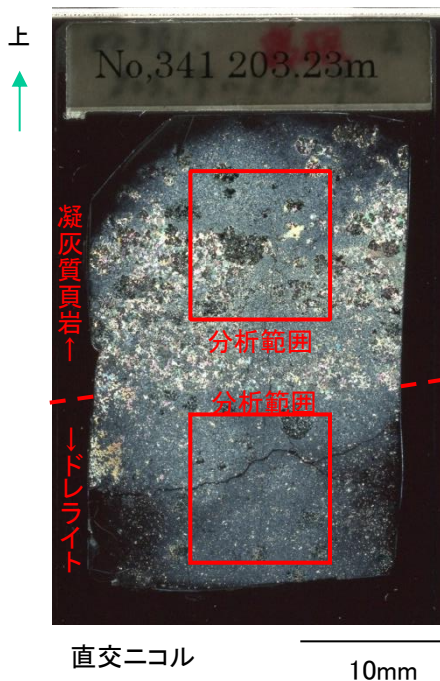


直交ニコル

10mm

・No.341ボーリングコアから、ドレライトと凝灰質頁岩境界部の試料を採取し、薄片試料を作製してEPMA分析を実施した。

4. シームの活動性 (3) 鉱物と生成条件 ②長石類の薄片観察及びEPMA分析結果  
 EPMA分析結果 (No.341 GL-203.23m)



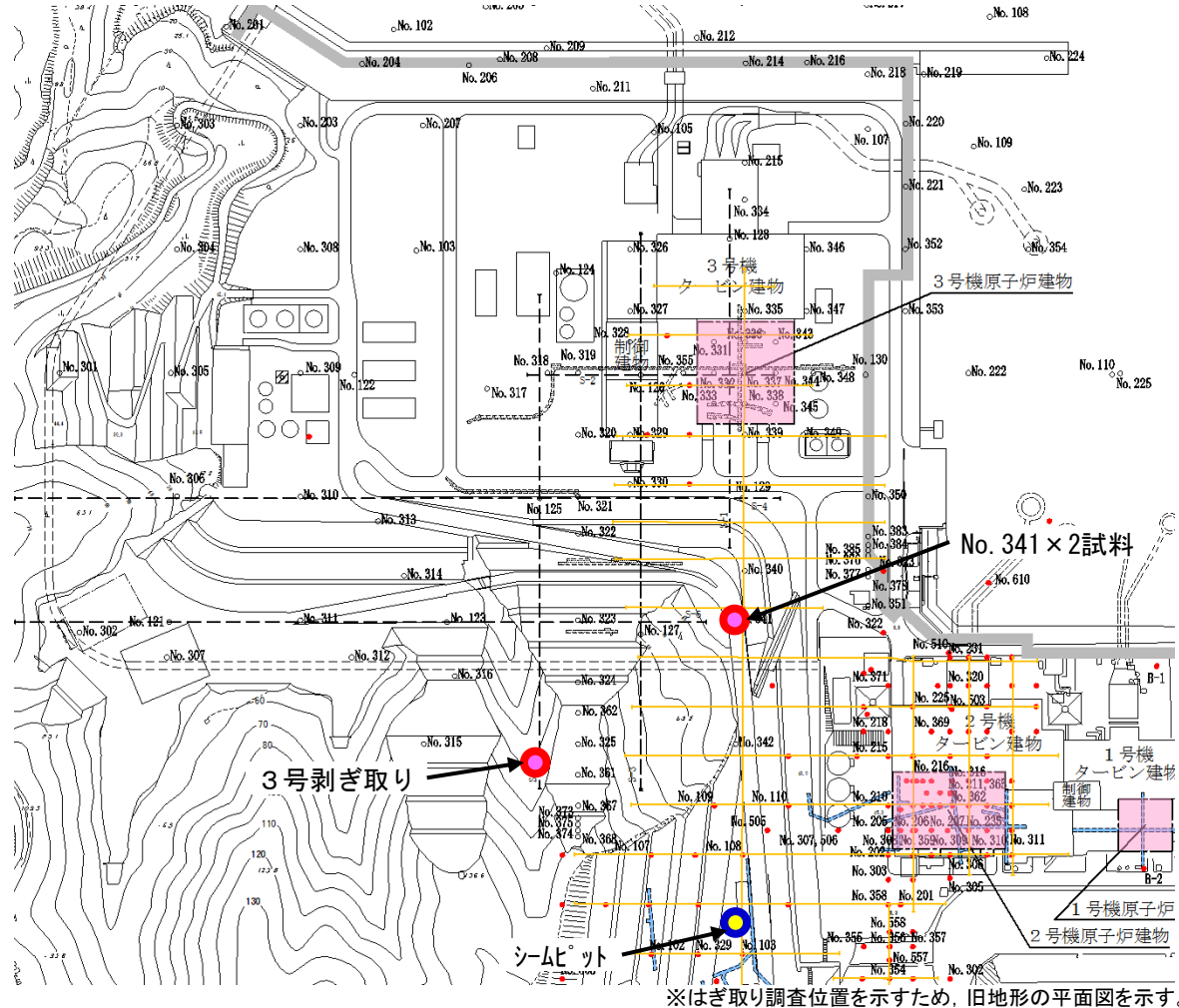
EPMA分析による長石の分量 (%)

岩種	分析番号	アノーサイト (An)	アルバイト (Ab)	カリ長石 (Or)
凝灰質頁岩	1	0.6102	99.0772	0.3126
	2	0.4739	99.2517	0.2744
	3	0.4921	99.2107	0.2973
	4	1.3713	98.289	0.3397
	5	0.4051	99.3459	0.2491
	6	0.8381	98.88	0.2819
	7	0.5211	99.1944	0.2845
	8	0.701	99.0276	0.2714
	9	0.417	99.3342	0.2487
	10	0.4195	99.3595	0.221
	11	0.9641	98.7651	0.2708
	12	0.9737	98.8352	0.1912
	13	0.6306	99.0591	0.3103
	14	1.1477	98.5672	0.285
	15	0.7471	98.8731	0.3798
	16	0.7005	99.0069	0.2927
	17	0.6339	99.1581	0.208
	18	0.7245	98.8289	0.4466
	19	0.532	99.1342	0.3338
	20	0.8557	98.9217	0.2226
	21	0.8606	98.8509	0.2885
	22	0.5925	99.1938	0.2136
	23	1.1522	98.584	0.2638
	24	1.3351	97.8292	0.8357
	25	0.5759	99.1525	0.2716
ドレライト	26	2.1465	97.3353	0.5182
	27	1.7307	97.7818	0.4875

【分析結果】

・EPMA分析を実施した地点のうち、鉱物組成から長石類と判断された箇所について定量データに基づく三角ダイアグラムを作成したところ、Ab成分に富むことから曹長石と判断される。

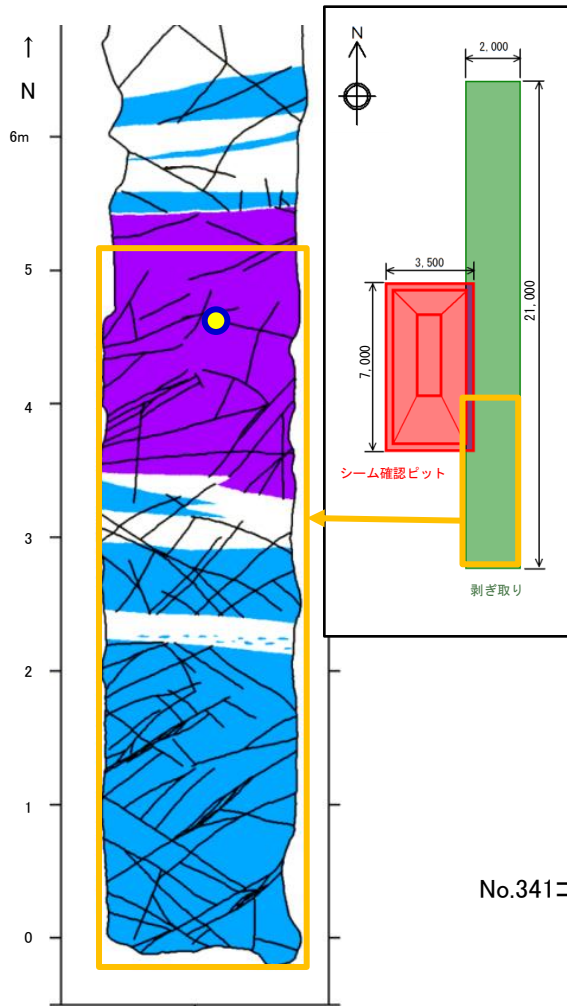
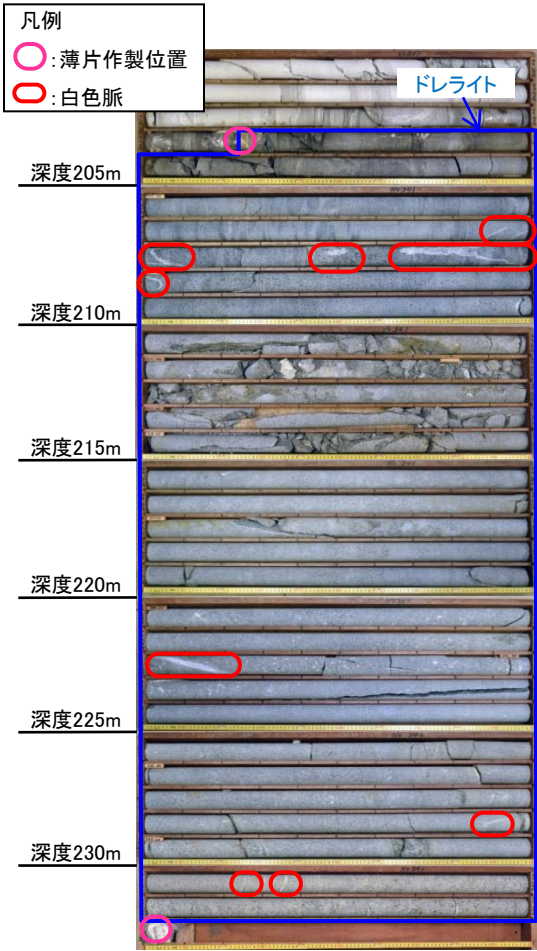
# 4. シームの活動性 (3) 鉱物と生成条件 ②長石類の薄片観察及びEPMA分析結果 EPMA分析結果(分析の平面位置)



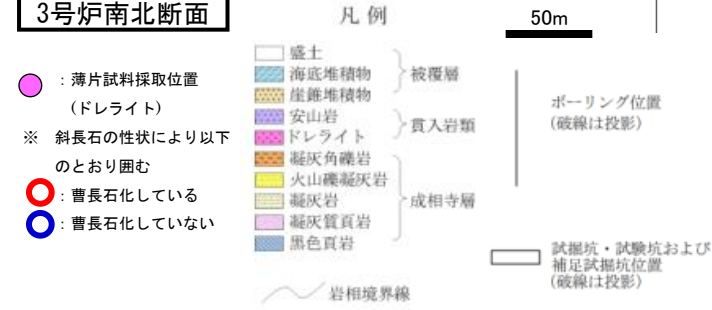
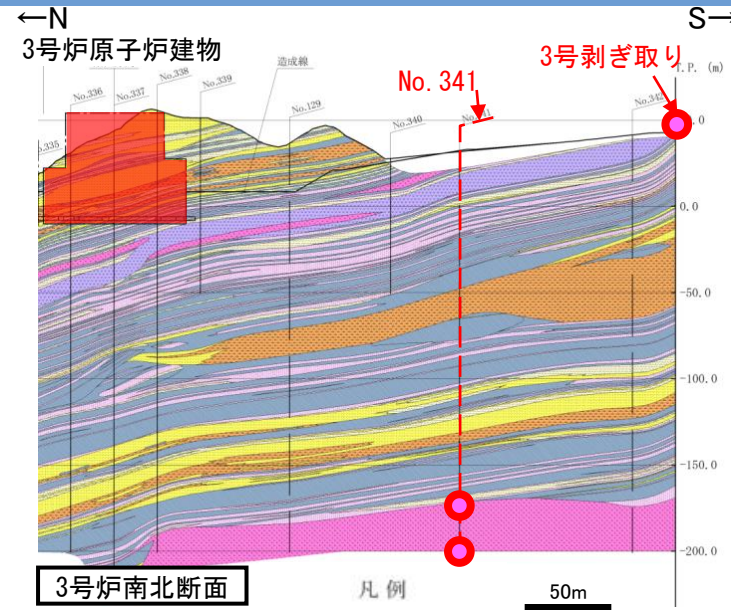
- 凡例
- 1・2号機調査他ボーリング位置
  - 3号機調査ボーリング位置
  - 1・2号機調査他弾性波探査測線
  - - - 3号機調査弾性波探査測線
  - 原子炉建物設置位置
  - 1・2号機調査試掘坑・試験坑
  - 3号機調査試掘坑・試験坑
- 0 50 100 150 200m

- 凡例
- : ドレライトを対象とした薄片※1
  - : 凝灰岩を対象とした薄片※1
- ※1 曹長石化しているものは ● , していないものは ● で囲む

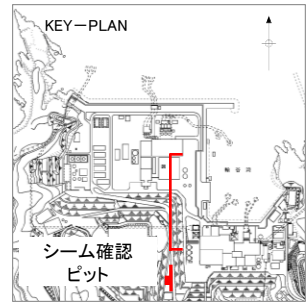
# 4. シームの活動性 (3) 鉱物と生成条件 ②長石類の薄片観察及びEPMA分析結果 EPMA分析結果(分析の断面位置)



シーム確認ピットにおける薄片試料採取位置



No.341コア及び3号炉背後斜面剥ぎ取り箇所における薄片試料採取位置



・曹長石化していない箇所も見られること、及び曹長石化が認められるドレライト内部に複数の白色脈が認められることから、局所的な熱水変質作用により曹長石化したものと考えられる。

4. シームの活動性 (3) 鉱物と生成条件 ②長石類の薄片観察及びEPMA分析結果  
(参考) 文献調査結果(曹長石の生成温度)

曹長石の生成温度

文献	曹長石の生成温度	備考
歌田(1997) <sup>(17)</sup>	123°C以上	方沸石からの変化
吉村(2001)	200°C以上	熱水による
吉村(2003) <sup>(18)</sup>	75°C-280°C	続成作用による
星ほか(1992) <sup>(19)</sup>	110°C以上	斜長石の曹長石化
Iijima(1978) <sup>(20)</sup>	120°C以上	

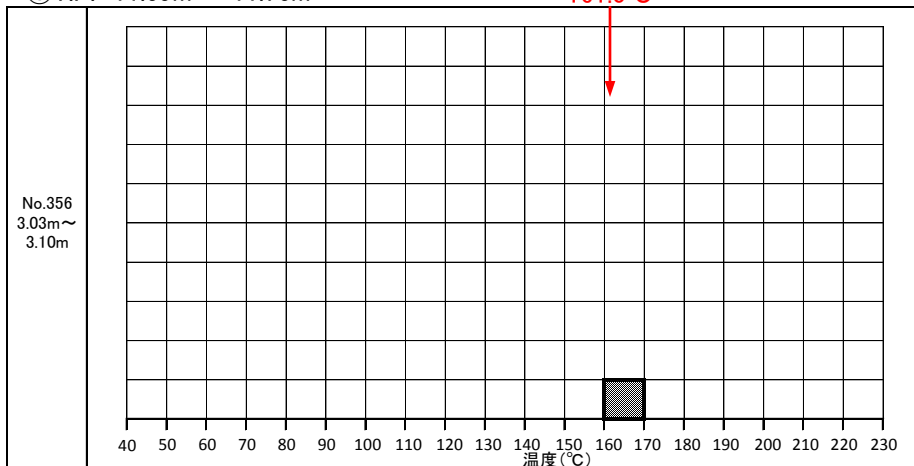
・文献調査の結果、曹長石の生成温度は概ね100°C以上である。

## まとめ

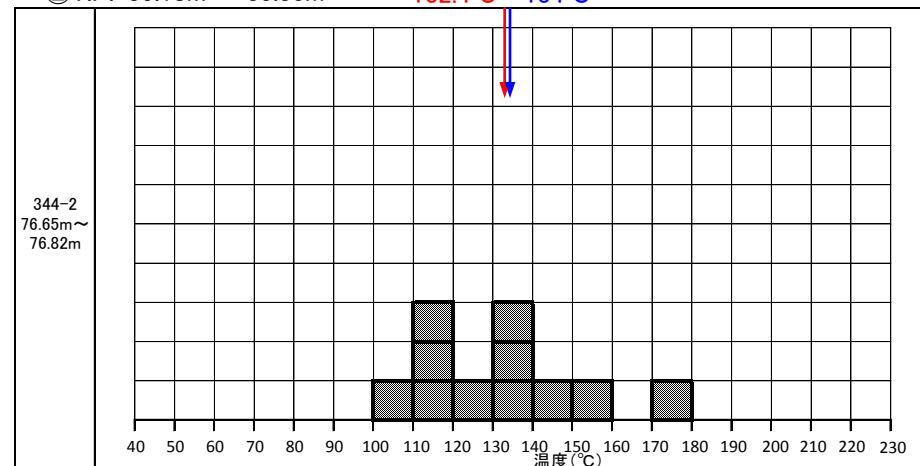
- ・周藤ほか(2002)によると、長石はその化学組成によって細分化することができ、曹長石は、斜長石の中でも特にアルバイト成分に富むものであるとされている。
- ・EPMA分析の結果、シーム確認ピットの凝灰岩における斜長石は曹長石化していなかったが、深部ドレライト内部及びその周辺、3号剥ぎ取り箇所では、曹長石化していることが確認された。
- ・曹長石化していない箇所も見られること、及びドレライト内部に複数の白色脈が認められることから、局所的な熱水変質作用により曹長石化したものと考えられる。

# 流体包有物試験結果(深度毎の均質化温度のヒストグラム)

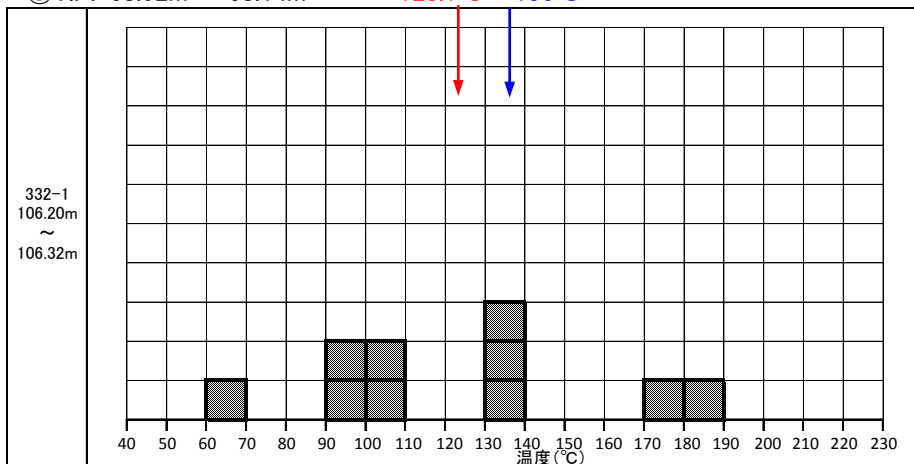
① T.P.-11.69m~-11.76m



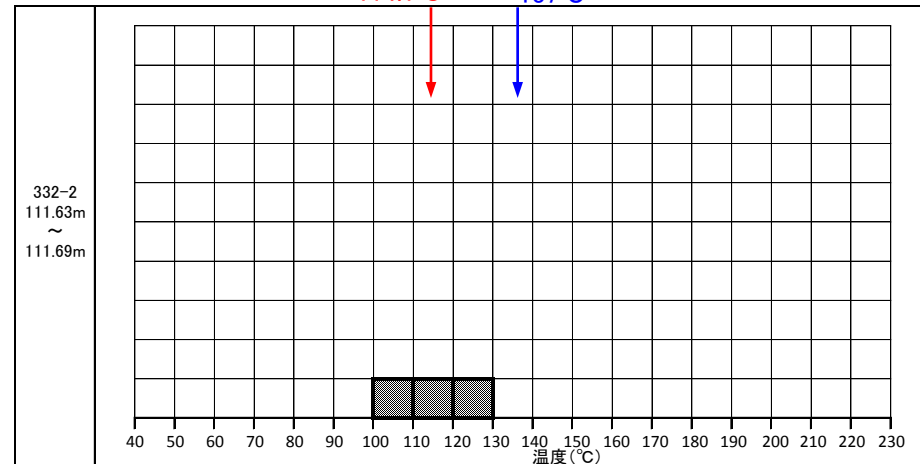
② T.P.-35.18m~-35.35m



③ T.P.-68.02m~-68.14m



④ T.P.-73.45m~-73.51m

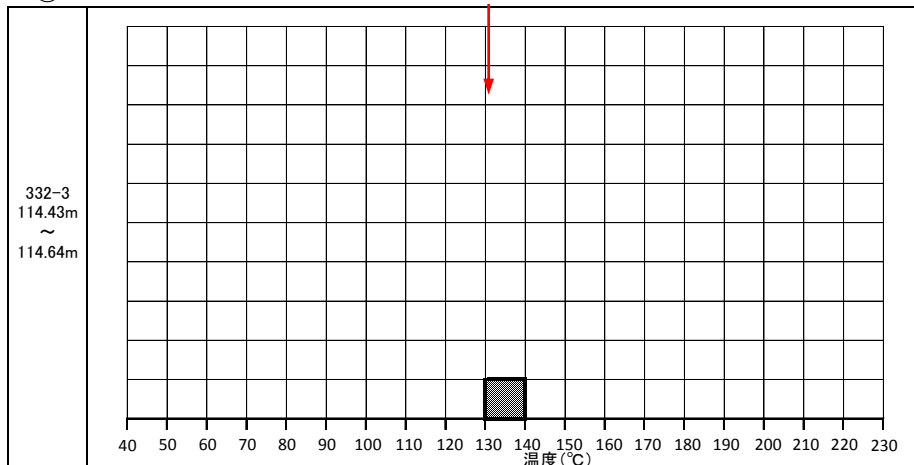


- : 流体包有物試験における初生流体包有物の均質化温度
- 赤字 : 流体包有物試験における初生流体包有物の均質化温度(平均値)
- 青字 : 方解石の酸素同位体試験結果から算出した生成温度

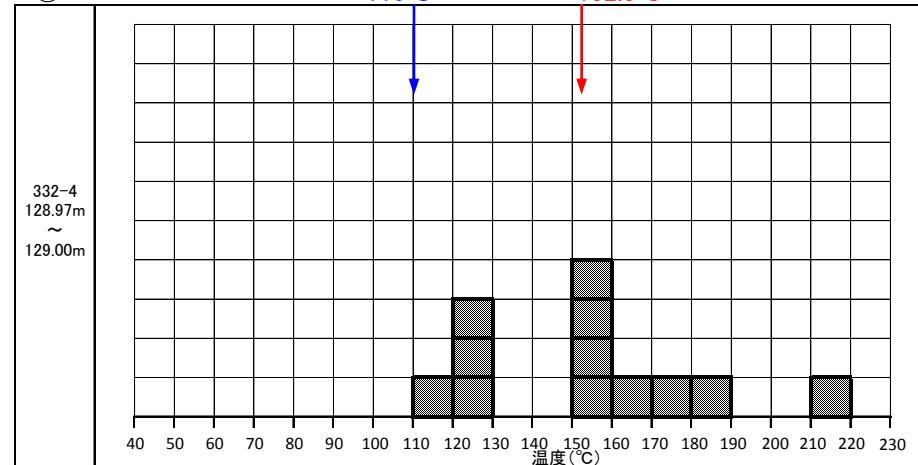


# 流体包有物試験結果(深度毎の均質化温度のヒストグラム)

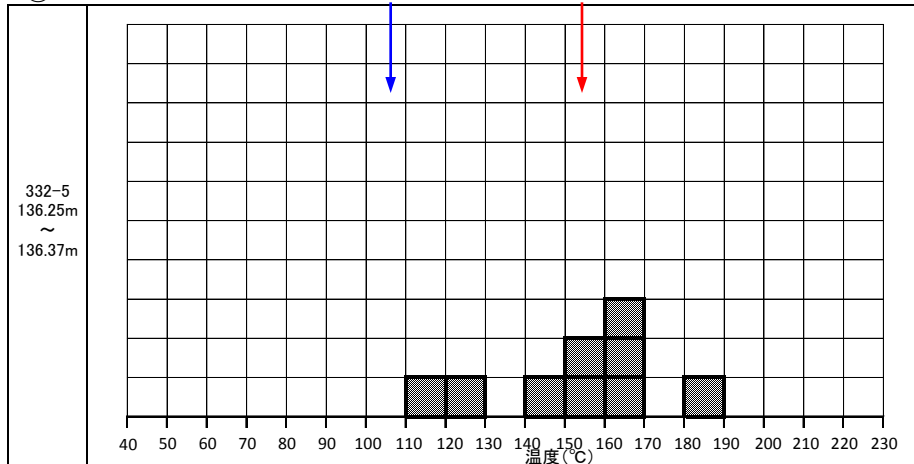
⑤ T.P. -76.25~-76.46m



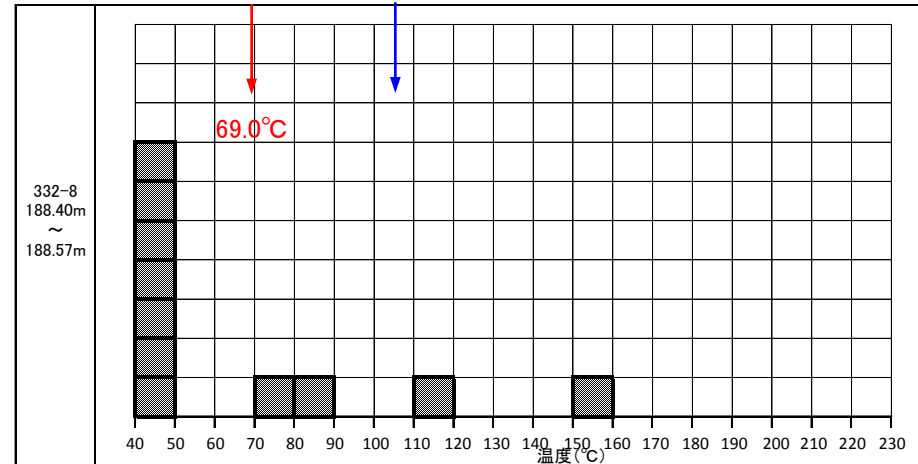
⑥ T.P. -90.79m~-90.82m



⑦ T.P. -98.07m~-98.19m



⑧ T.P. -150.22m~-150.39m



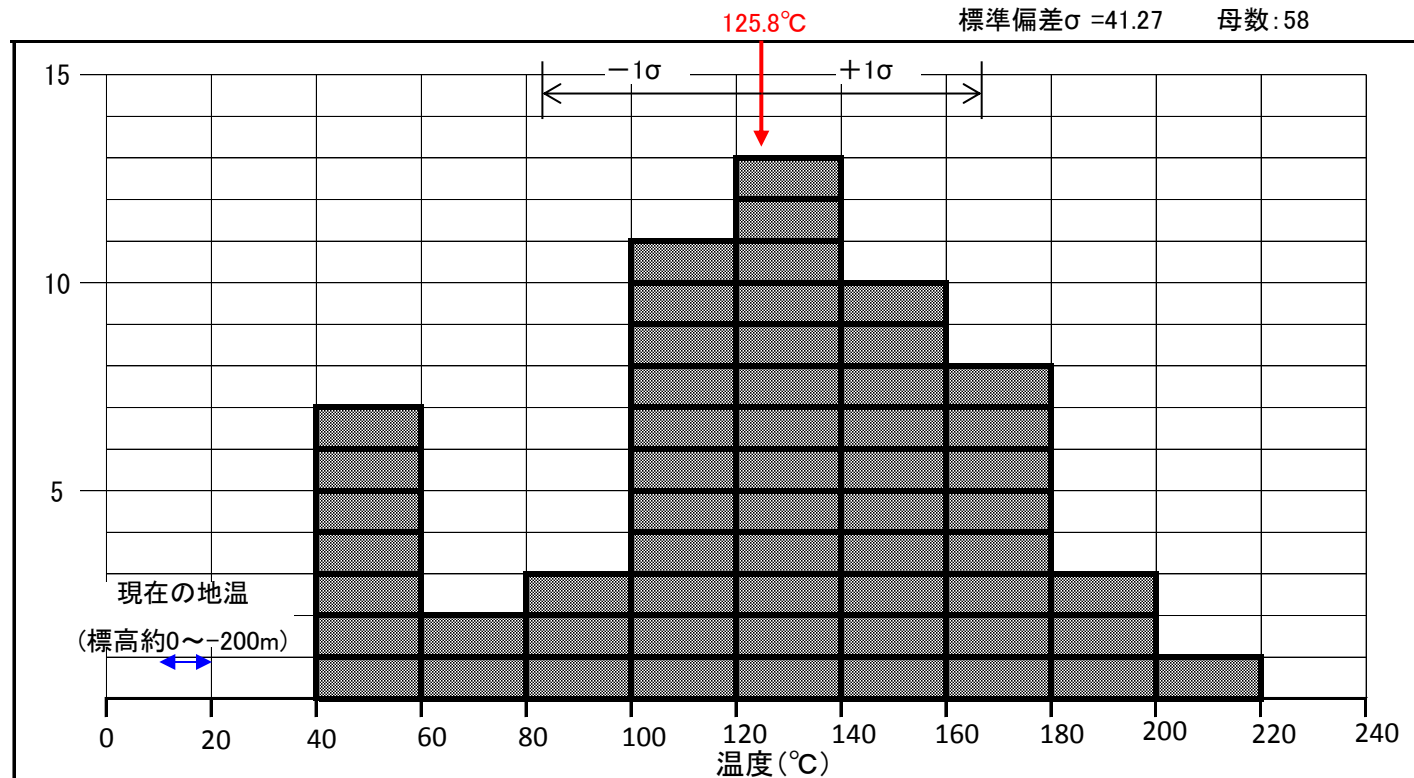
- 流体包有物試験における方解石の生成温度は、初生流体包有物の均質化温度を深度毎に平均して算出している。
- 均質化温度の平均値は、ヒストグラムのピークと概ね一致している。
- 均質化温度は、酸素同位体試験における生成温度と概ね一致している。

- : 流体包有物試験における初生流体包有物の均質化温度
- 赤字 : 流体包有物試験における初生流体包有物の均質化温度(平均値)
- 青字 : 方解石の酸素同位体試験結果から算出した生成温度

4. シームの活動性 (3) 鉱物と生成条件 ③ 流体包有物試験結果(ヒストグラム)  
流体包有物試験結果(初生流体包有物の均質化温度:全体)

第318回審査会合  
資料2 p.84 再掲

269



■ : 流体包有物試験における初生流体包有物の均質化温度  
赤字 : 流体包有物試験における初生流体包有物の均質化温度(平均値)

・初生流体包有物の均質化温度全ての平均値は約125.8°Cであり、現在の地温と比較して高温であることから、方解石は、火成活動が活発であった時期の変質作用により生成されたと考えられる。

# 4. シームの活動性 (3) 鉱物と生成条件 ④ 生成温度の導出方法 酸素同位体試験における生成温度の導出方法

[酸素同位体試験]  
方解石の酸素同位体比を測定  
方解石を抽出してリン酸と反応  
させる。発生したCO<sub>2</sub>から酸素  
同位体比を測定する。

[流体包有物試験](塩濃度の算出)  
方解石の流体包有物の氷融点温度  
を測定し、塩濃度を求めることで、方  
解石生成時の環境を推定する。

方解石が海水と同位体平衡下にあったと仮定  
し、計算式①を用いて生成温度を推定する。

約0.1~2.3%である  
ことから、概ね海水  
であると考えられる。

[生成温度の計算式①(O'Neil et al.(1969) <sup>(21)</sup>)]

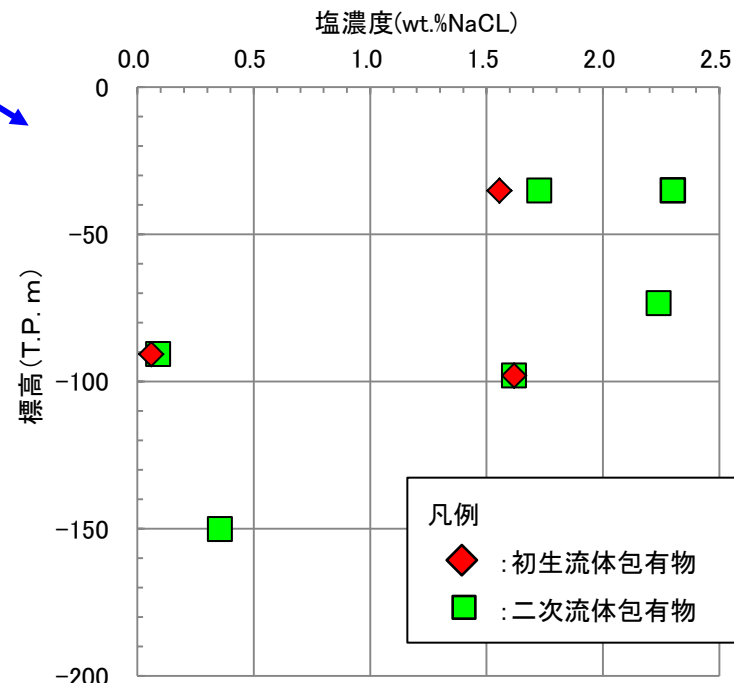
$$1000\ln\alpha = 2.78(10^6T^{-2}) - 3.39$$

T: 生成温度(K)

$$\alpha = \delta^{18}O_{SMOW(方解石)} - \delta^{18}O_{SMOW(海水)}$$

$\delta^{18}O_{SMOW(方解石)}$ : 酸素同位体試験により求めた酸素同位体比

$\delta^{18}O_{SMOW(海水)}$ : 海水の酸素同位体比



流体包有物試験による流体包有物の塩濃度と標高の関係

・流体包有物試験により方解石中に認められる流体包有物の塩濃度を求めたところ、約0.1~2.3%であり、方解石生成時の環境は概ね海水であると考えられるため、方解石は海水と同位体平衡下にあったと仮定して計算式により導出した。

# 4. シームの活動性 (3) 鉱物と生成条件 ④ 生成温度の導出方法 方解石が海水と同位体平衡下にあったとする仮定の検証

流体包有物の均質化温度測定結果を用いて計算した熱水の酸素同位体比

測定試料	流体包有物試験結果						方解石試料 $\delta^{18}\text{O}_{\text{CaCO}_3, \text{SMOW}}$ ‰	熱水(算出) $\delta^{18}\text{O}_{\text{fluid, SMOW}}$ ‰
	ホーリング名	包有物タイプ	均質化温度(°C)					
			測点数	最低値	最高値	平均値		
332-1	No. 332	初生	10	60.0	182.9	123.1	13.3	-1.1
332-1	No. 332	二次	10	94.8	186.7	130.1	13.3	-0.5
332-2	No. 332	初生	3	106.5	124.9	114.1	13.2	-2.0
332-2	No. 332	二次	17	103.7	122.8	116.8	13.2	-1.7
332-4	No. 332	初生	12	111.2	211.4	152.5	15.7	3.6
332-4	No. 332	二次	8	122.1	195.1	153.6	15.7	3.7
332-5	No. 332	初生	9	111.2	187.3	153.9	16.0	4.0
332-5	No. 332	二次	11	101.1	217.6	127.6	16.0	2.0
332-8	No. 332	初生	11	43.8	158.8	69.0	16.2	-4.3
332-8	No. 332	二次	9	41.0	75.5	55.4	16.2	-6.3
344-2	No. 344	二次	9	107.0	185.5	155.1	13.4	1.6
344-2	No. 344	初生	11	104.3	174.8	132.4	13.4	-0.2
No. 124	No. 124	二次	7	168.0	227.0	193.0	13.3	3.9
No. 124	No. 124	不明	3	96.0	205.0	169.0	13.3	2.4
No. 348	No. 348	不明	2	141.0	174.0	158.0	14.4	2.7

[計算式(O'Neil et al.(1969))]

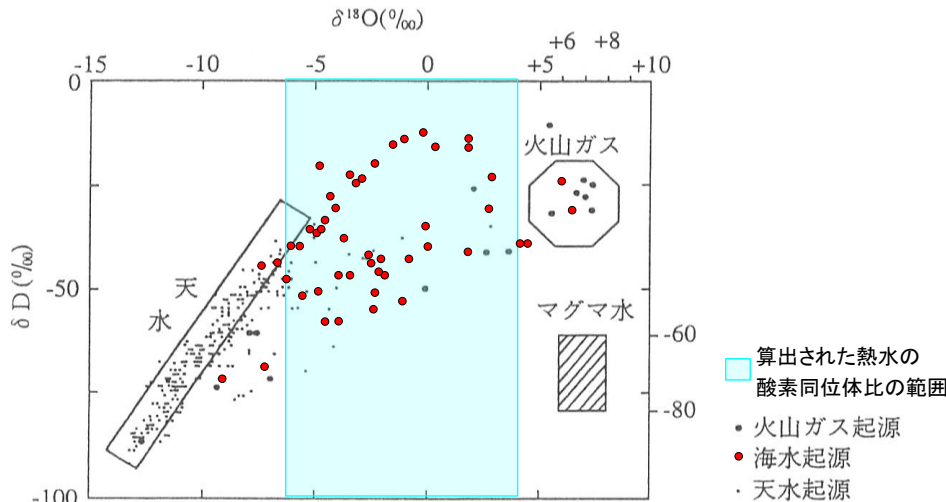
$$1000\text{Ln}\alpha = 2.78(10^6\text{T}^{-2}) - 3.39$$

T: 温度(K)

$$\alpha = \frac{\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}(\text{方解石})}{\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}(\text{熱水})}$$

$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}(\text{方解石})$ : 酸素同位体試験により求めた酸素同位体比

$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}(\text{熱水})$ : 熱水の酸素同位体比



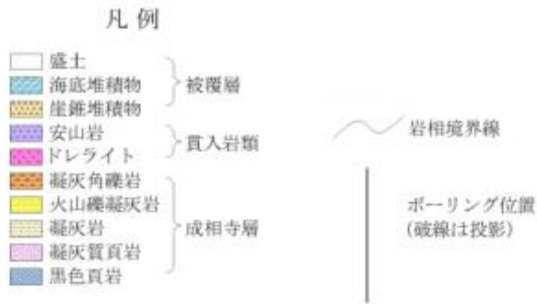
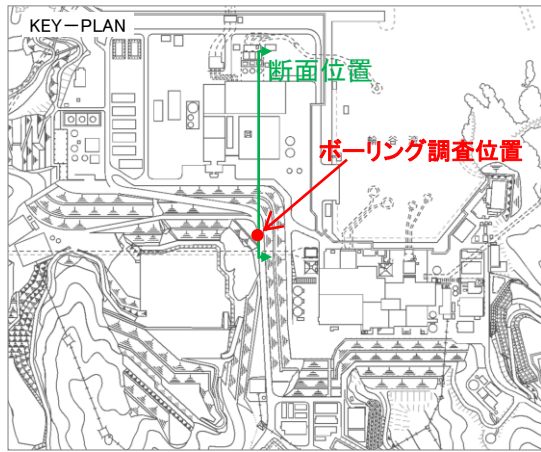
- ・流体包有物試験の均質化温度測定結果及び方解石の酸素同位体試験結果を用いて方解石生成時の流体(熱水)の酸素同位体比を算出した結果、-6.3‰~4.0‰という結果が得られた。
- ・算出された熱水の酸素同位体比を吉村(2001)にプロットした結果、海水起源の酸素同位体比範囲と概ね一致することから、熱水は海水起源であると考えられる。

以上のことから、酸素同位体試験において、方解石が海水と同位体平衡下にあったと仮定することは妥当である。

日本の地熱水の酸素同位体比と水素の同位体組成の関係

吉村(2001): (松葉谷(1991)<sup>(22)</sup>に一部加筆されたもの)に一部加筆

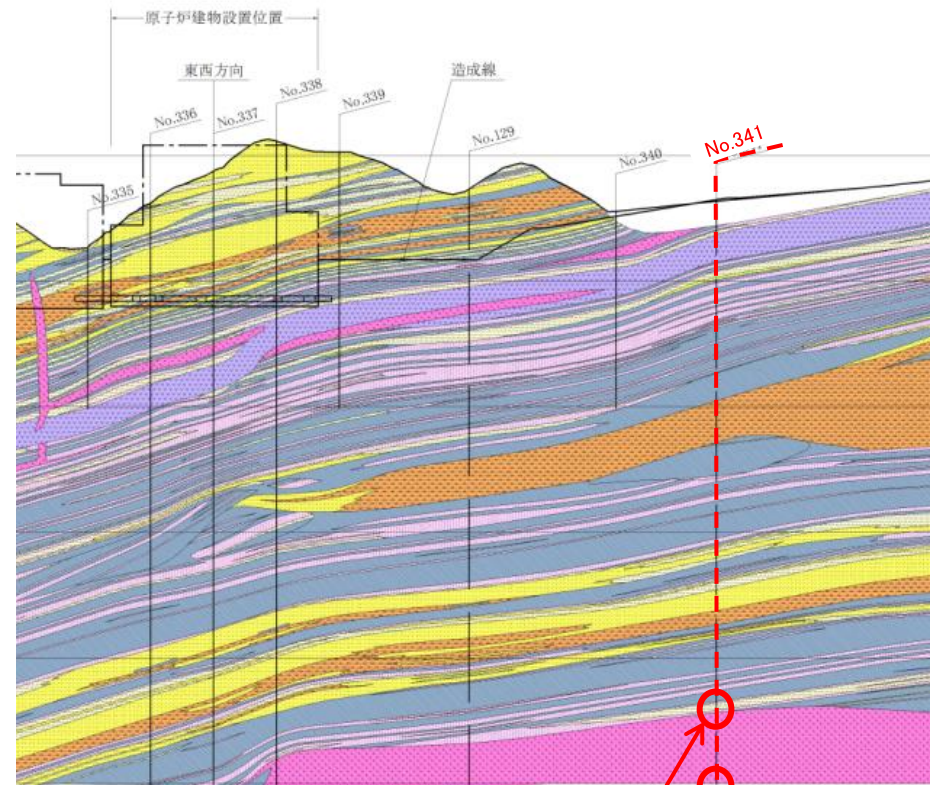
# 深部ドレライトにおける薄片観察試料の採取位置



T. P. ±0m

T. P. -100m

T. P. -200m

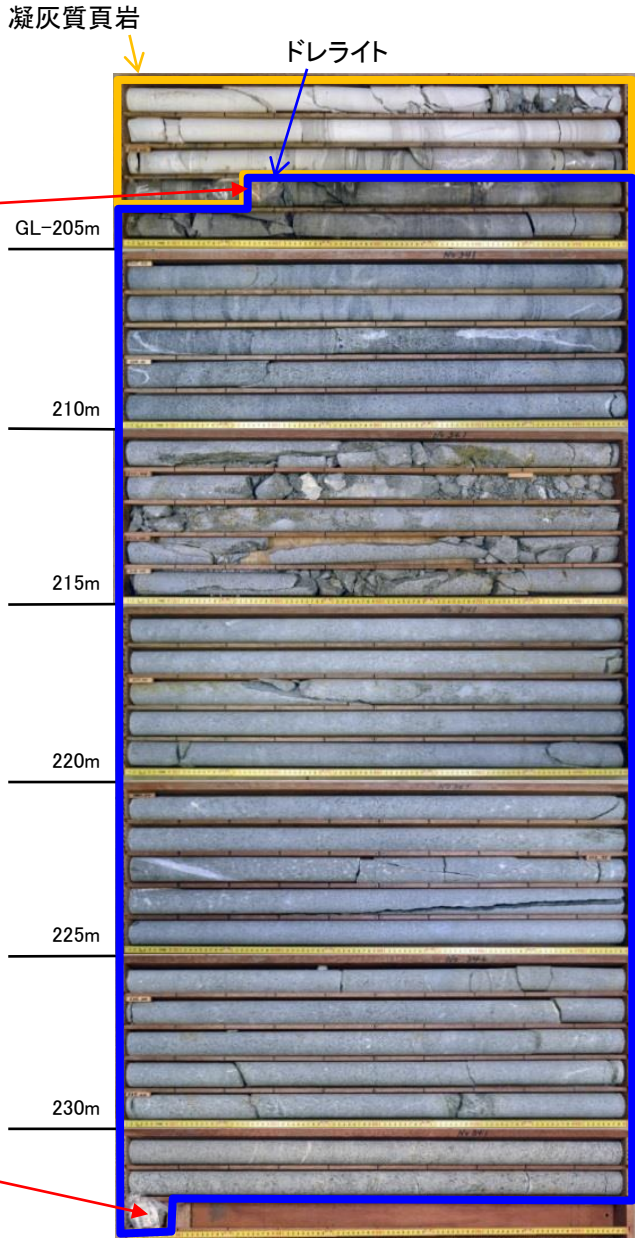
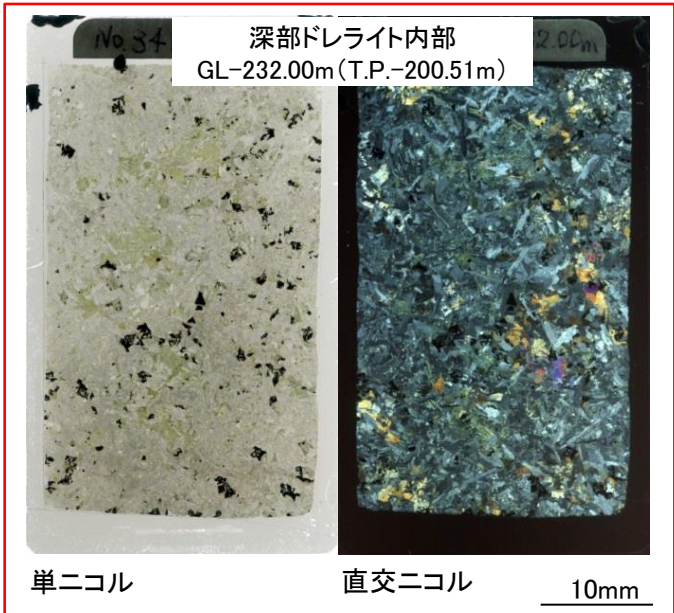
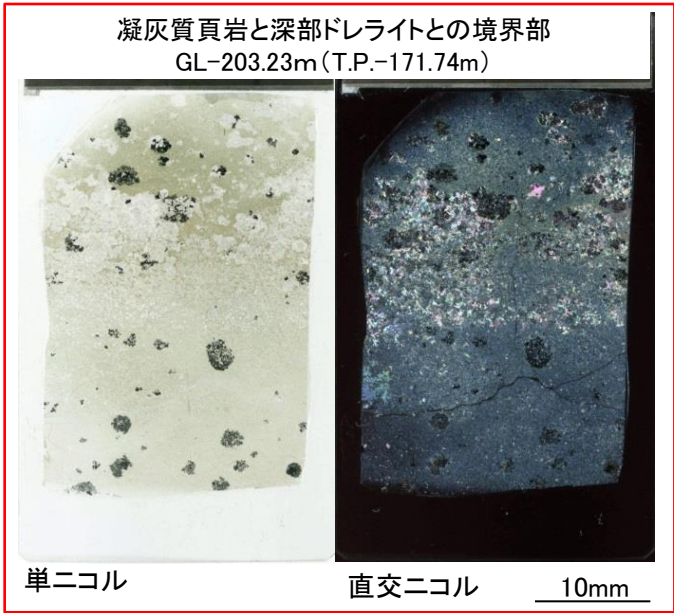


薄片試料採取位置  
GL-203.23m (T.P.-171.74m)

薄片試料採取位置  
GL-232.00m (T.P.-200.51m)

・凝灰質頁岩と深部ドレライトとの境界部、及び深部ドレライト内部から試料を採取し、薄片観察等分析を実施した。

# 深部ドレライトのコア観察結果



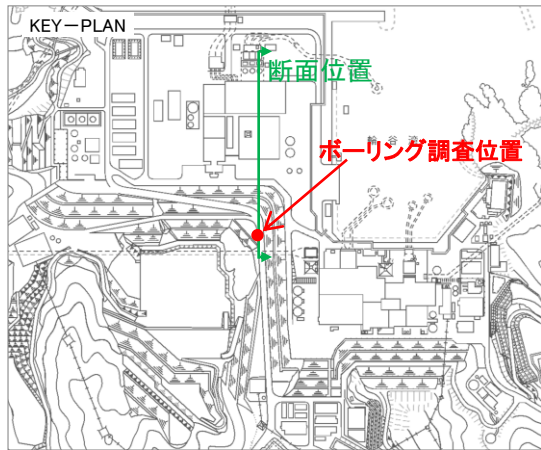
細粒なドレライト

粗粒なドレライト

- ・暗緑色で粗粒なドレライトであるが、凝灰質頁岩との境界部付近では、暗灰色で細粒(ガラス質)なドレライトに漸移的に変化する。
- ・ドレライトの貫入年代はK-Ar法で約14Maである。

# X線回折分析結果 (No.341 GL-232.00m, 深部ドレライト内部)

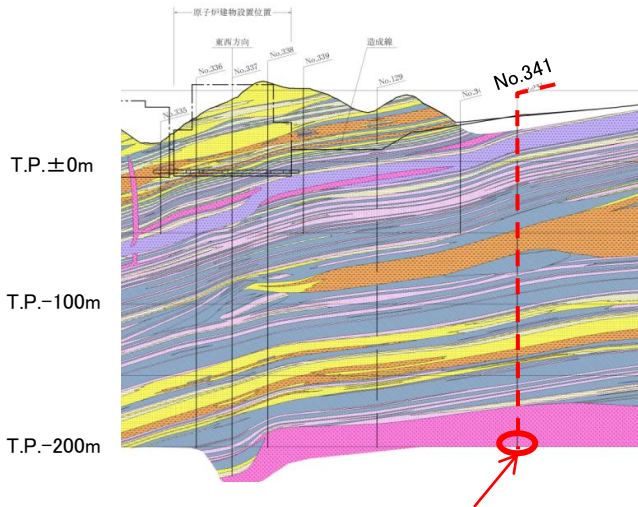
第318回審査会合  
資料2 p.166 加筆・修正



## ボーリングコアを用いたX線回折分析結果

試料名		No.341孔 232.00m (ドレライト)
主要 造岩鉱物	石英	○
	斜長石	◎
	単斜輝石	○
粘土鉱物	緑泥石	○
	スメクタイト	△

\* 含有量を表す表記: ◎卓越している, ○含まれている, △少量だが検出される



試料採取位置

GL-232.00m  
ドレライト



○ : 試料採取位置

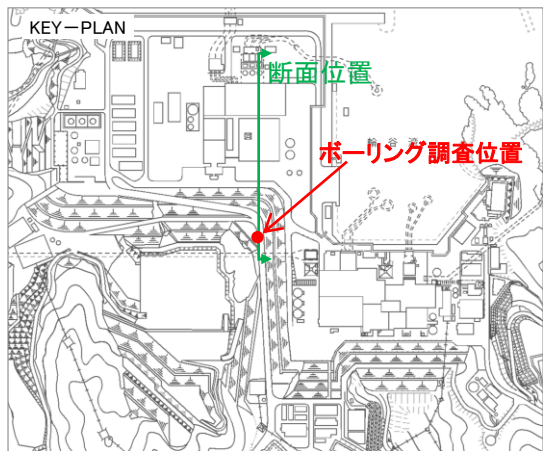
No.341 試料採取位置 (深度約232m)



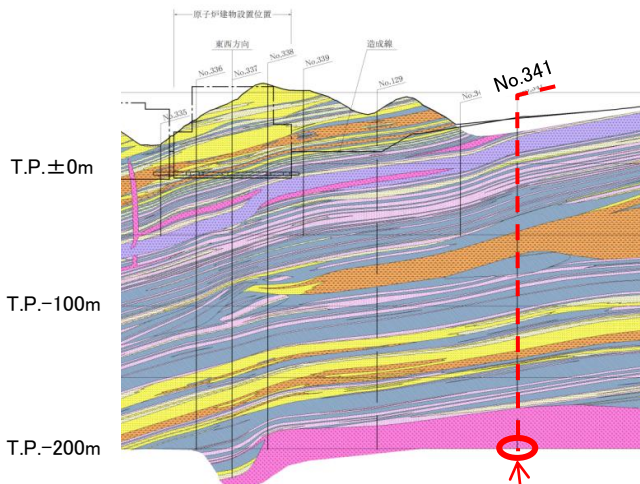
・No.341コアにおけるドレライトから試料を採取し、X線回折分析を行ったところ、石英、斜長石、単斜輝石、緑泥石、スメクタイトが確認された。

薄片観察結果 (No.341 GL-232.00m, 深部ドレライト内部)

第318回審査会合  
資料2 p.167 加筆・修正



上  
↑



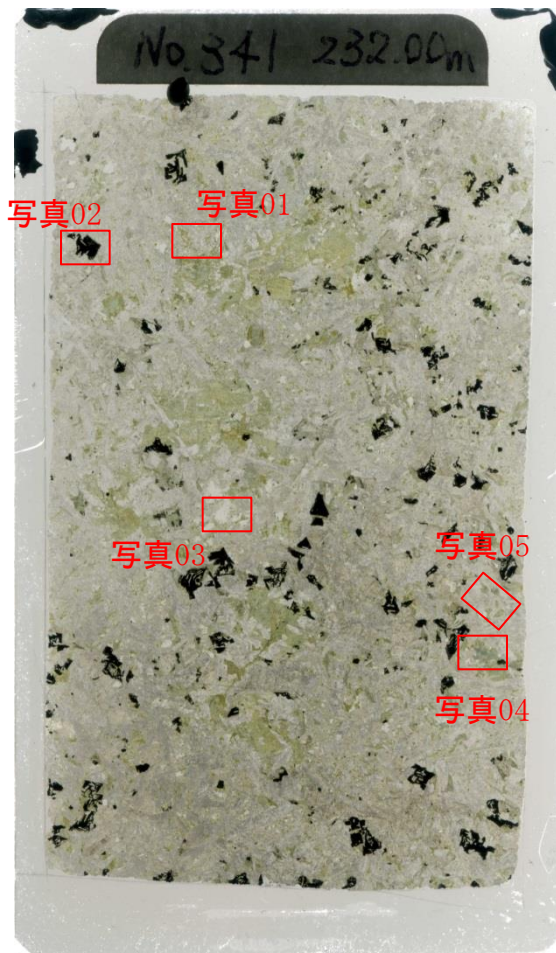
試料採取位置

凡例

- 盛土
- 海底堆積物
- 崖錐堆積物
- 安山岩
- ドレライト
- 凝灰角礫岩
- 火山礫凝灰岩
- 凝灰岩
- 凝灰質頁岩
- 黒色頁岩

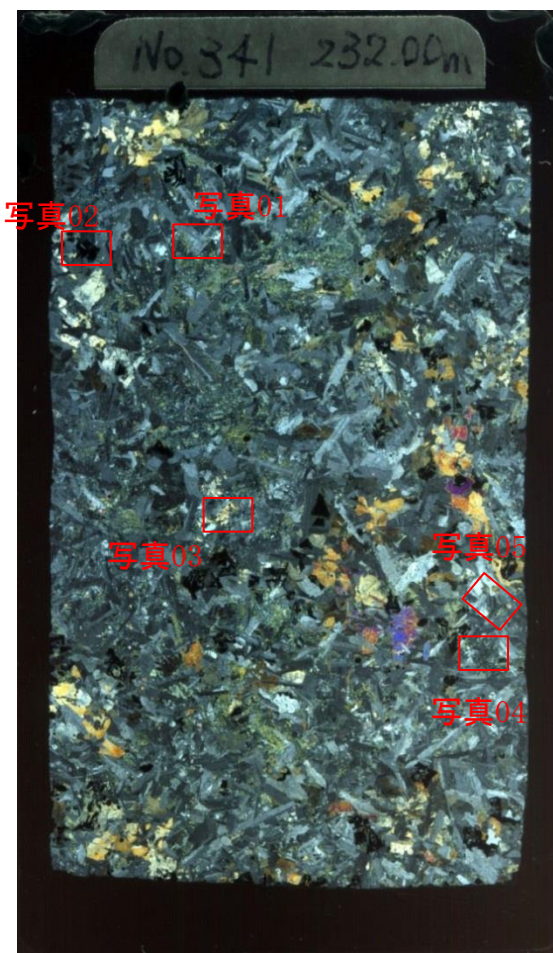
岩相境界線

ボーリング位置  
(破線は投影)



単ニコル

10mm



直交ニコル

10mm

・No.341ボーリングコアから、ドレライト内部の試料を採取し、薄片試料を作成して薄片観察及びEPMA分析を実施した。

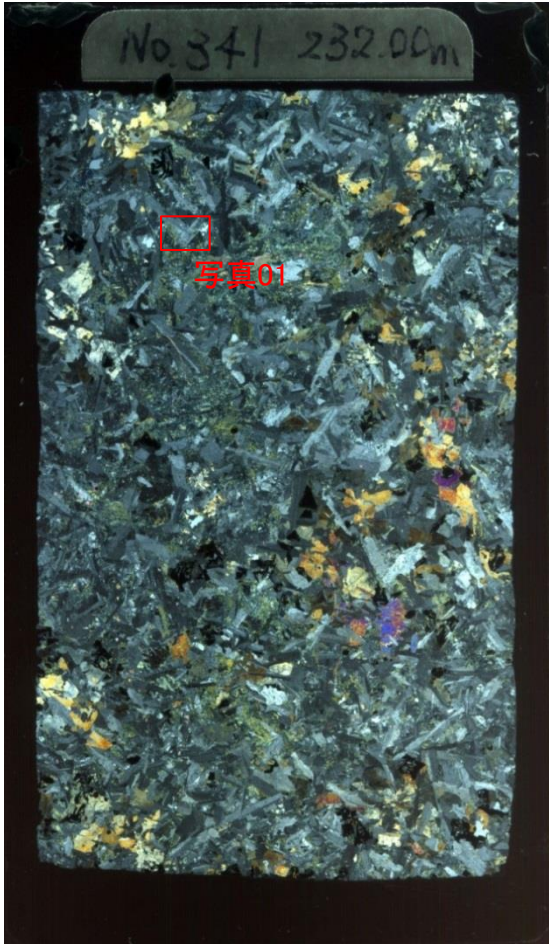


4. シームの活動性 (3) 鉱物と生成条件 ⑤ 深部ドレライトの鉱物観察及び分析結果と生成温度

薄片観察及びEPMA分析結果 (No.341 GL-232.00m, 深部ドレライト内部)

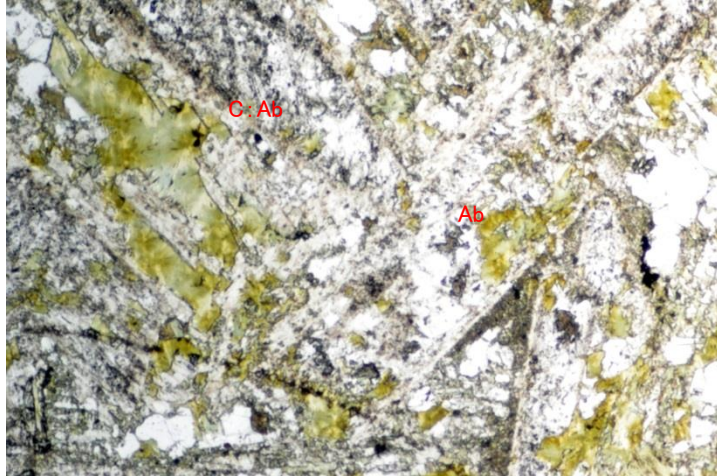
第318回審査会合  
資料2 p.168 再掲

上  
↑



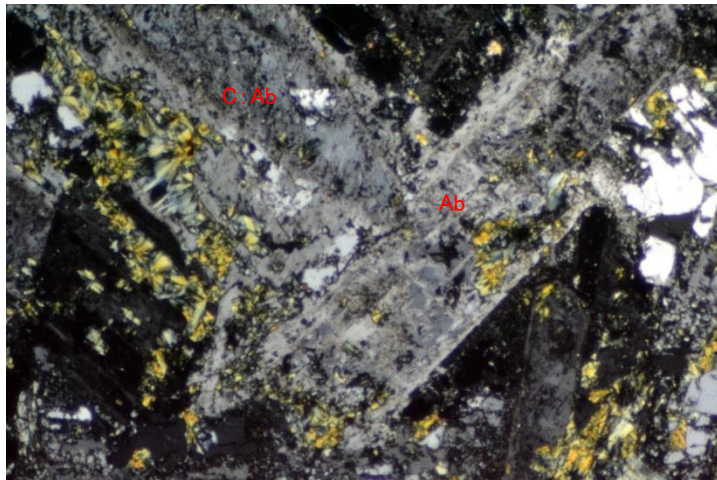
直交ニコル

10mm



単ニコル

0.5mm



直交ニコル

0.5mm

EPMA分析結果 Mass(%)

分析位置	C
SiO <sub>2</sub>	67.587
TiO <sub>2</sub>	0.017
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.78
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.232
MnO	0.012
MgO	0.004
CaO	0.368
K <sub>2</sub> O	0.175
Na <sub>2</sub> O	11.498
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0
S	0.004
(OH)	1.323
Total	100.000
鉱物種	曹長石

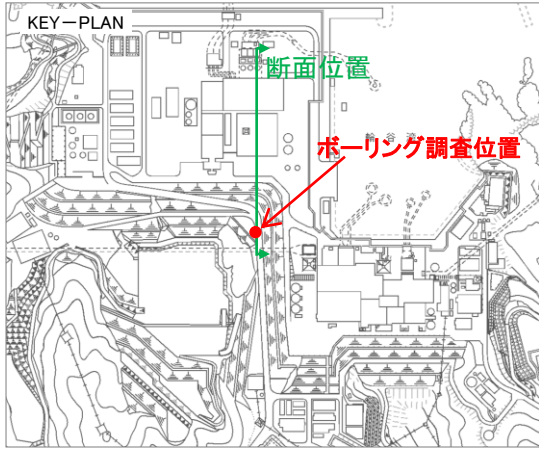
Ab:曹長石 NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>

- ・主成分鉱物として、いずれもφ 1mmを超える粗粒な曹長石が認められ、単斜輝石の結晶中に自形の曹長石が取り込まれるオフィティック組織を示す。
- ・ドレライト内部にざくろ石は認められない。

4. シームの活動性 (3) 鉱物と生成条件 ⑤ 深部ドレライトの鉱物観察及び分析結果と生成温度

ボーリングコア観察結果 (No.341 GL-203.23m, 深部ドレライト境界部)

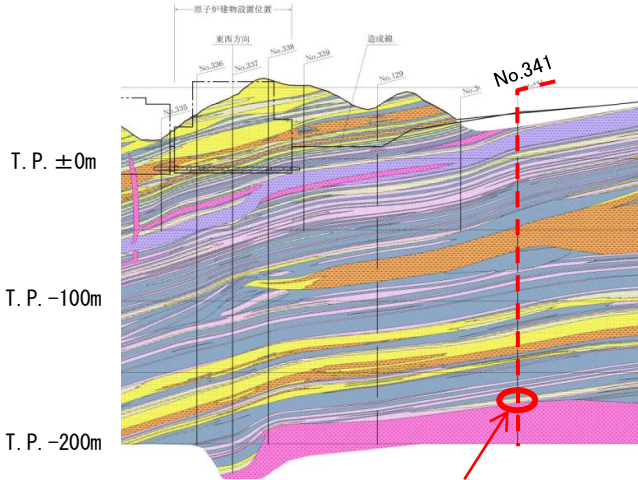
第318回審査会合  
資料2 p.169 加筆・修正



No.341 ボーリングコア写真



拡大写真 No.341 GL-203.23m 深部ドレライト境界部



観察位置



- ・コア観察の結果, GL-203.23mに地質境界が認められ, 上位層は泥質分に富む凝灰質頁岩, 下位層はドレライトと考えられる。
- ・凝灰質頁岩のうち, 凝灰質な部分は, ドレライトの貫入により珪化作用を被り, 白色化している。

ボーリングコア観察結果 (No.341 GL-203.23m, 深部ドレライト境界部)



凝灰質頁岩  
(泥質分に富む)

暗灰色部と灰色部の  
斑状混在部  
地質境界

ドレライト

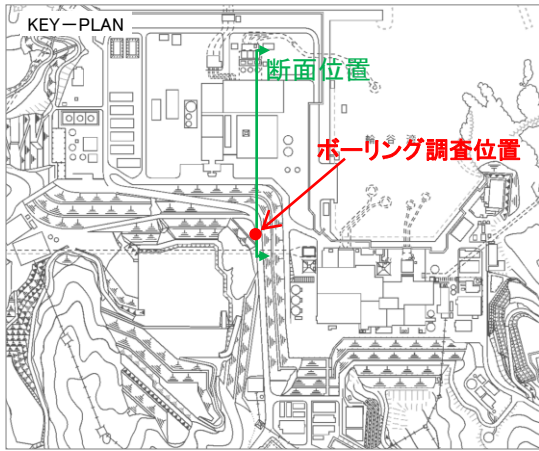
・ドレライト貫入境界付近の凝灰質頁岩では、暗灰色部と灰色部が混在する構造が認められる。

薄片作成箇所 ボーリングコア断面

4. シームの活動性 (3) 鉱物と生成条件 ⑤ 深部ドレライトの鉱物観察及び分析結果と生成温度

X線回折分析結果 (No.341 GL-203.23m, 深部ドレライト境界部)

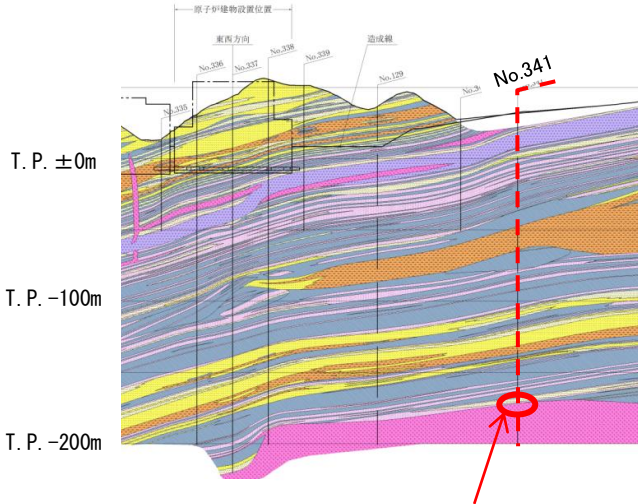
第318回審査会合  
資料2 p.171 加筆・修正



ボーリングコアを用いたX線回折分析結果

試料名		No.341孔 GL-203.23m (凝灰質頁岩)	No.341孔 GL-203.23m (ドレライト)
主要造岩鉱物	斜長石		△
粘土鉱物	緑泥石	◎	
	緑泥石／スメクタイト混合層鉱物	△	◎
	雲母鉱物	+	△
その他鉱物	黄鉄鉱	○	
	スフェーン(チタナイト)		○
	方解石	○	
	ざくろ石	+	

\* 含有量を表す表記: ◎多量, ○中量, △少量, +微量

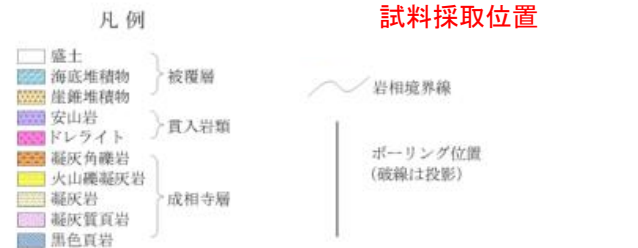


GL-203.10m 凝灰質頁岩 ドレライト GL-203.40m



○ : 試料採取位置

No.341 試料採取位置 (深度約203.23m)

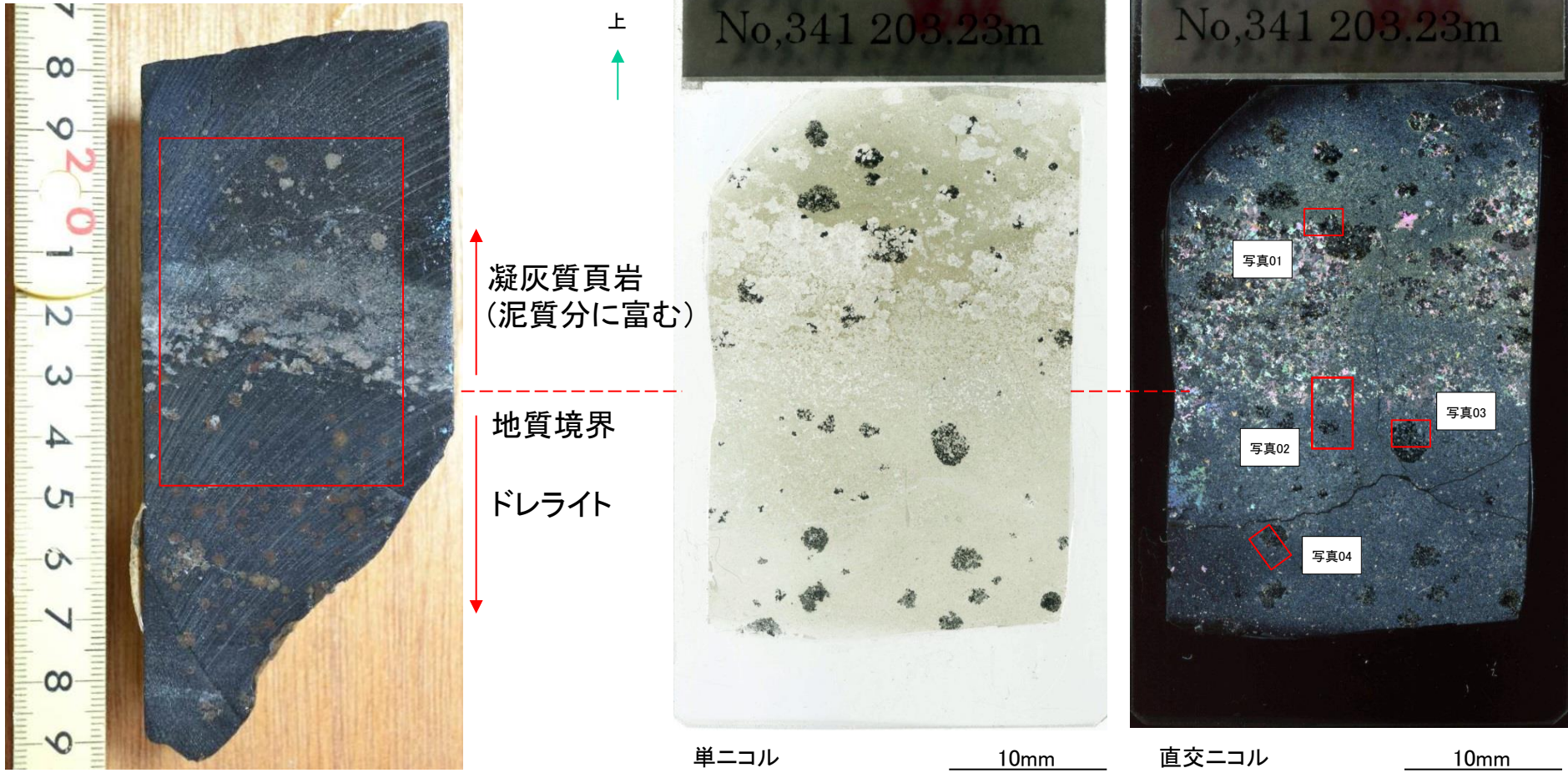


・ドレライト側では、斜長石、緑泥石／スメクタイト混合層鉱物、雲母鉱物、スフェーンが認められる。ざくろ石は認められない。  
 ・凝灰質頁岩側では、緑泥石、緑泥石／スメクタイト混合層鉱物、雲母鉱物、黄鉄鉱、方解石、ざくろ石が確認された。

# 薄片観察結果 (No.341 GL-203.23m, 深部ドレライト境界部)

第318回審査会合  
資料2 p.172 再掲

## 薄片全体写真



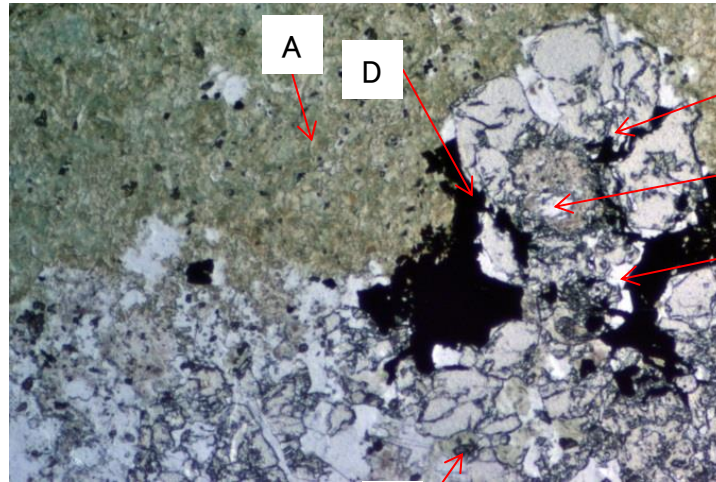
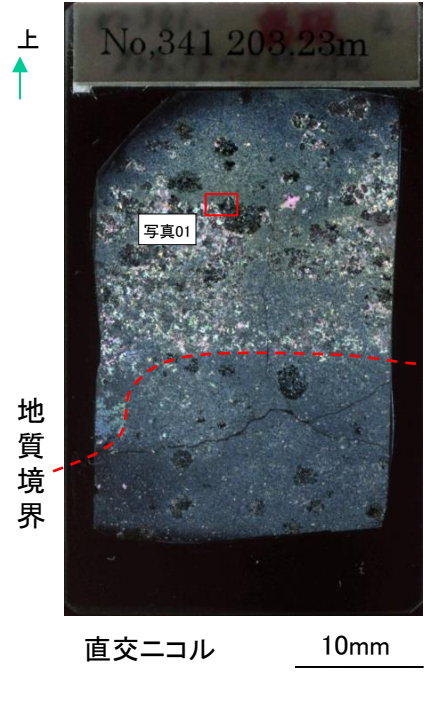
・凝灰質頁岩とドレライトを含む薄片試料を作製し、鉱物組成等の詳細観察を行った。

4. シームの活動性 (3) 鉱物と生成条件 ⑤ 深部ドレライトの鉱物観察及び分析結果と生成温度

薄片観察及びEPMA分析結果 (No.341 GL-203.23m, 深部ドレライト境界部)

第318回審査会合  
資料2 p.173 再掲

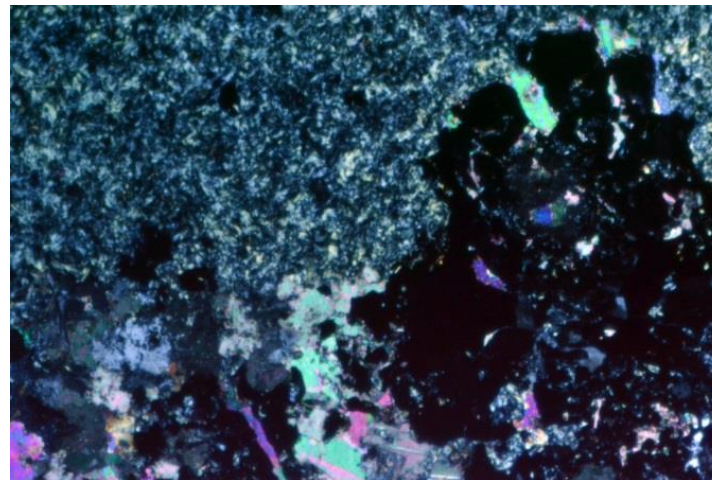
KEY-PLAN



単ニコル

B

0.5mm



直交ニコル

0.5mm

EPMA分析結果

Mass(%)

分析位置	A	B	C	D	E	F
SiO <sub>2</sub>	30.967	30.623	100.339	0.043	0.000	38.239
TiO <sub>2</sub>	0.506	34.184	0.036	0.025	0.018	0.775
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.259	2.034	0.423	0.014	0.022	15.541
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22.653	2.349	0.191	70.412	0.044	9.169
MnO	0.357	0.056	0.007	0.000	0.089	0.832
MgO	19.238	0.019	0.000	0.003	0.056	0.492
CaO	0.204	28.966	0.056	0.000	58.915	34.526
K <sub>2</sub> O	0.307	0.000	0.038	0.008	0.000	0.000
Na <sub>2</sub> O	0.029	0.000	0.019	0.140	0.006	0.000
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.000	0.014	0.003	0.000	0.014	0.019
S	0.012	0.006	0.033	18.670	0.000	0.000
(OH)	11.468	1.749	0.000	10.685	40.836	0.407
Total	100.000	100.000	101.145	100.000	100.000	100.000
鉱物種	緑泥石/ スメクタイト 混合層	スフェーン	石英	黄鉄鉱	方解石	ざくろ石

スフェーン: CaTiSiO<sub>4</sub>(O,OH,F) 石英: SiO<sub>2</sub>  
 黄鉄鉱: FeS<sub>2</sub> 方解石: CaCO<sub>3</sub>  
 (灰ばん)ざくろ石: Ca<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>12</sub>  
 緑泥石(Mg,Fe,Al)<sub>12</sub>(Si,Al)<sub>8</sub>O<sub>20</sub>(OH)<sub>16</sub>  
 スメクタイト: Na<sub>0.7</sub>(Al<sub>3.3</sub>Mg<sub>0.7</sub>)Si<sub>8</sub>O<sub>20</sub>(OH)<sub>4</sub>·nH<sub>2</sub>O

・ドレライト上位層である凝灰質頁岩側では、緑泥石/スメクタイト混合層鉱物、スフェーン、石英、黄鉄鉱、方解石及びざくろ石が認められる。ざくろ石は、Ca及びAlに富むことから、グロシュラライトであると考えられる。

## (参考) 文献調査結果(ざくろ石の種類)

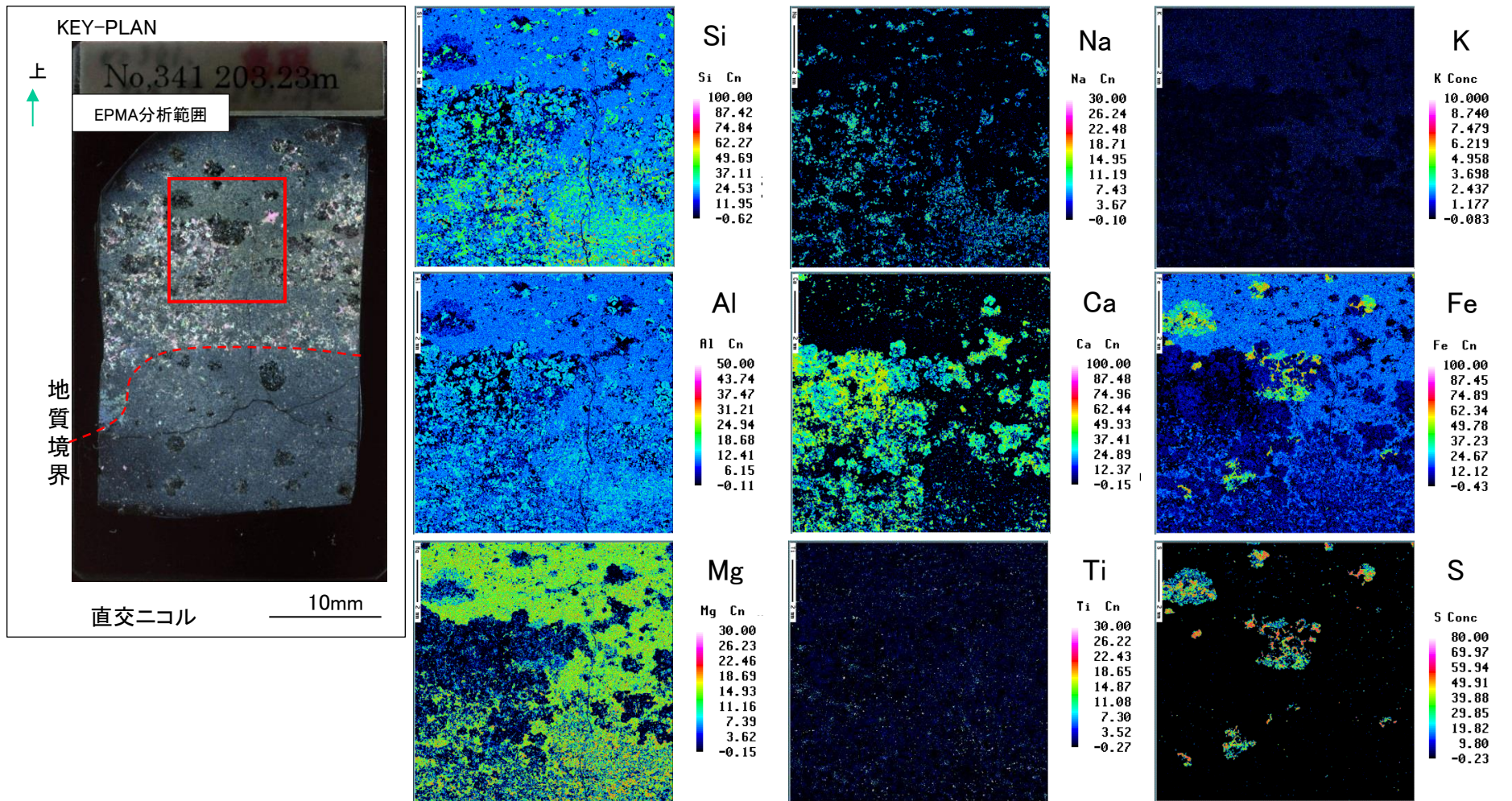
ざくろ石の種類と組成式

種類	組成式
パイロープ(苦ばんざくろ石)	$Mg_3Al_2Si_3O_{12}$
アルマンディン(鉄ばんざくろ石)	$Fe_3Al_2Si_3O_{12}$
スペッサルティン(まんばんざくろ石)	$Mn_3Al_2Si_3O_{12}$
ウヴァロバイト(灰クロムざくろ石)	$Ca_3Cr_2Si_3O_{12}$
グロシュラライト(灰ばんざくろ石)	$Ca_3Al_2Si_3O_{12}$
アンドラダイト(灰鉄ざくろ石)	$Ca_3Fe_2Si_3O_{12}$

黒田・諏訪(1983)をもとに作成

- ・黒田・諏訪(1983)によると、ざくろ石類はその組成により6種類に分類されるとされている。
- ・都城(1965)<sup>(23)</sup>によると、ざくろ石は変成岩に特有な高圧鉱物と考えられてきたが、適当な条件さえ揃えば、火成岩の中でも生成し得るとされている。
- ・森本ほか(1975)<sup>(24)</sup>によると、グロシュラライトの生成には高い圧力を必要とせず、石灰質な堆積岩が変成作用を受けた場合等に産するとされている。

## EPMA分析結果 (No.341 GL-203.23m, 深部ドレライト境界部)

第318回審査会合  
資料2 p.175 再掲

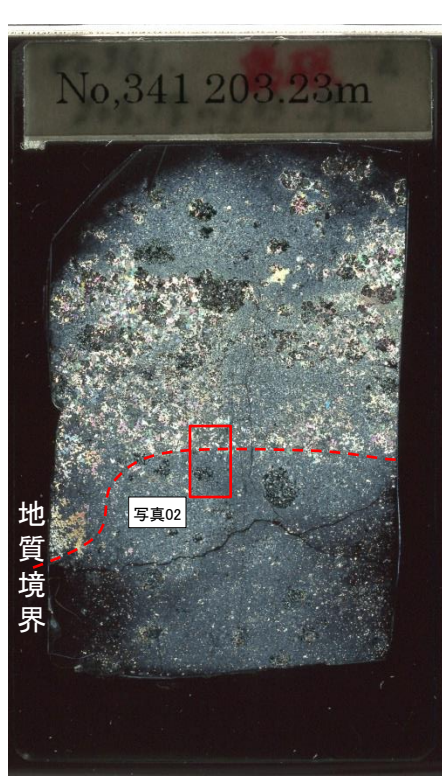
- Fe及びSが検出される範囲には、黄鉄鉱( $\text{FeS}_2$ )が晶出していると考えられる。黄鉄鉱は黒色斑点内部にのみ晶出しており、熱水変質により空隙を埋めたものと考えられる。
- Ca(緑), Si(緑), Al(水色)が検出される範囲にはざくろ石が、Ca(黄)のみが検出される範囲には方解石がそれぞれ晶出しており、斑状に境界部付近に分布する。
- Si, Mg(緑), Fe, Alが検出される範囲には、緑泥石/スモクタイト混合層鉱物が晶出しており、凝灰質頁岩の主成分鉱物と考えられる。
- Naが検出される範囲には、曹長石が分布している。



4. シームの活動性 (3) 鉱物と生成条件 ⑤ 深部ドレライトの鉱物観察及び分析結果と生成温度

薄片観察及びEPMA分析結果 (No.341 GL-203.23m, 深部ドレライト境界部)

第318回審査会合  
資料2 p.177 再掲

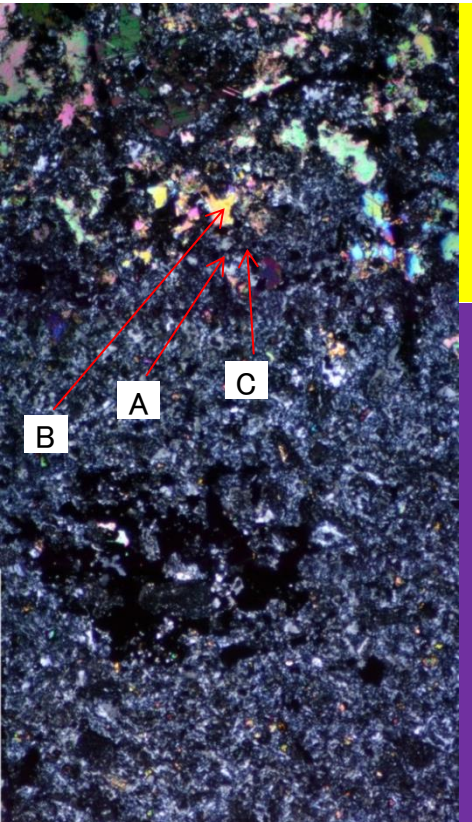


地質境界

直交ニコル 10mm



単ニコル 1mm



直交ニコル 1mm

凝灰質頁岩

ドレライト

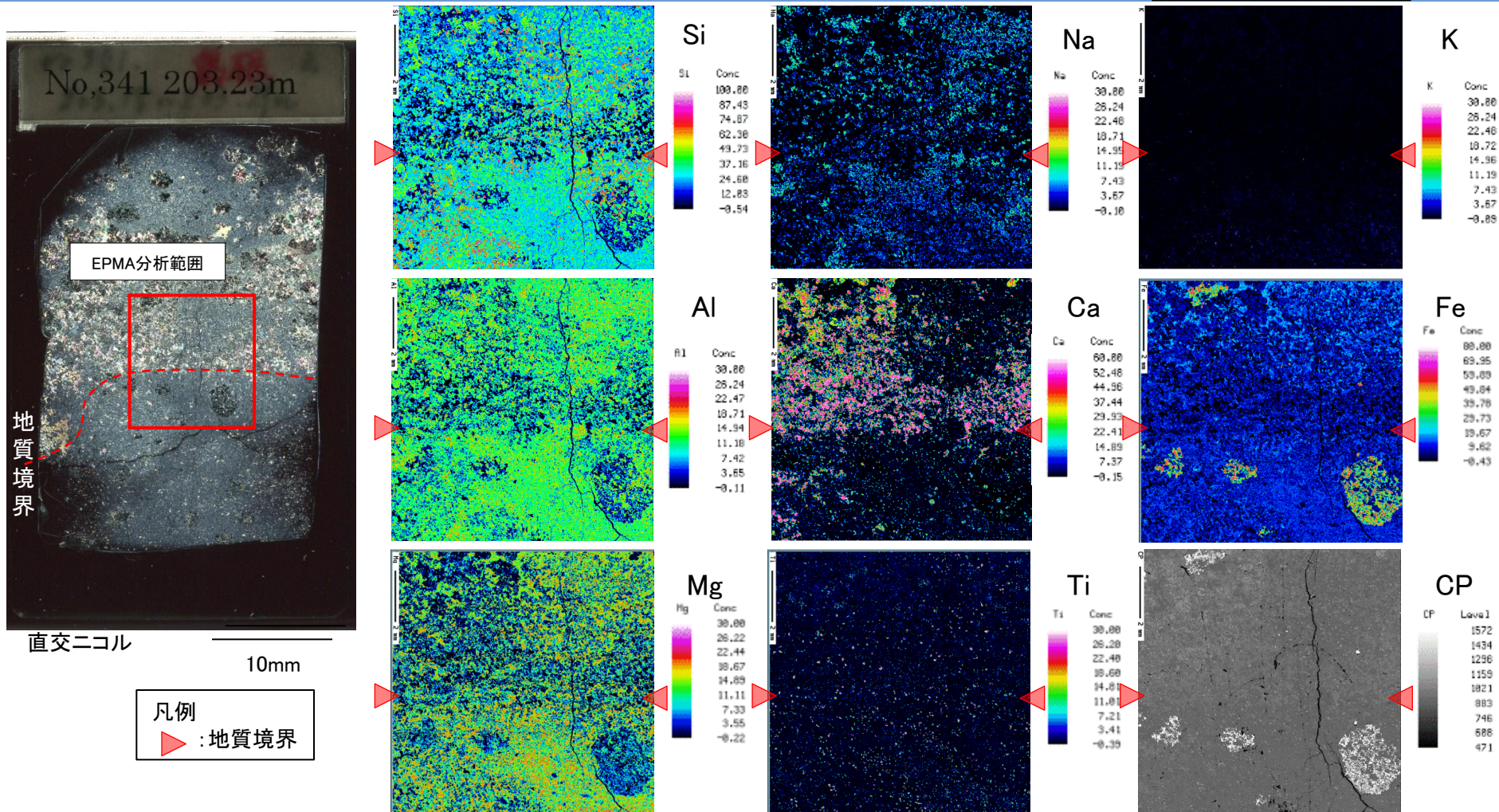
EPMA分析結果		Mass(%)		
分析位置	A	B	C	
SiO <sub>2</sub>	68.116	0	37.362	
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.015	0.683	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.857	0.011	12.804	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.037	0.097	12.666	
MnO	0	0.095	0.733	
MgO	0.004	0.042	0.391	
CaO	0.257	56.436	34.632	
K <sub>2</sub> O	0.051	0.002	0.003	
Na <sub>2</sub> O	11.702	0.007	0.014	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.013	0	0	
S	0.002	0.016	0.000	
(OH)	0.951	43.279	0.712	
Total	100.000	100.000	100.000	
鉱物種	曹長石	方解石	ざくろ石	

曹長石: NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>  
 方解石: CaCO<sub>3</sub>  
 (灰ばん)ざくろ石: Ca<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>12</sub>

・凝灰質頁岩側では、斑状にざくろ石、方解石及び曹長石化した斜長石が認められるが、ドレライト側にはざくろ石は認められない。

EPMA分析結果 (No.341 GL-203.23m, 深部ドレライト境界部)

第318回審査会合  
資料2 p.178 再掲

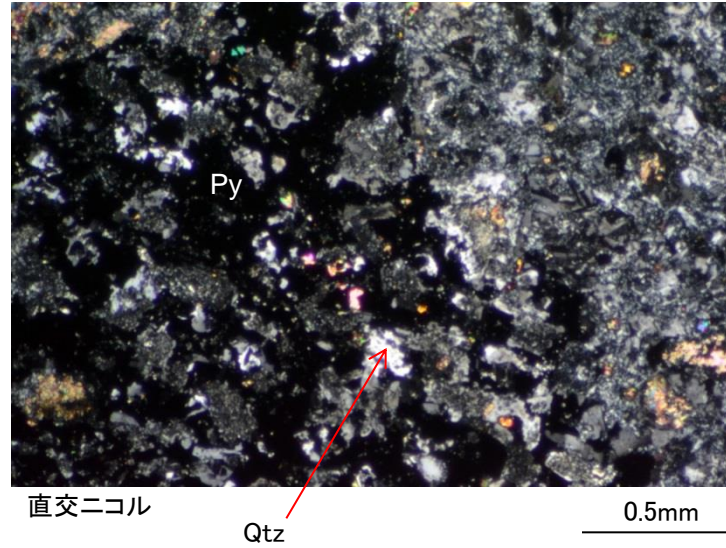
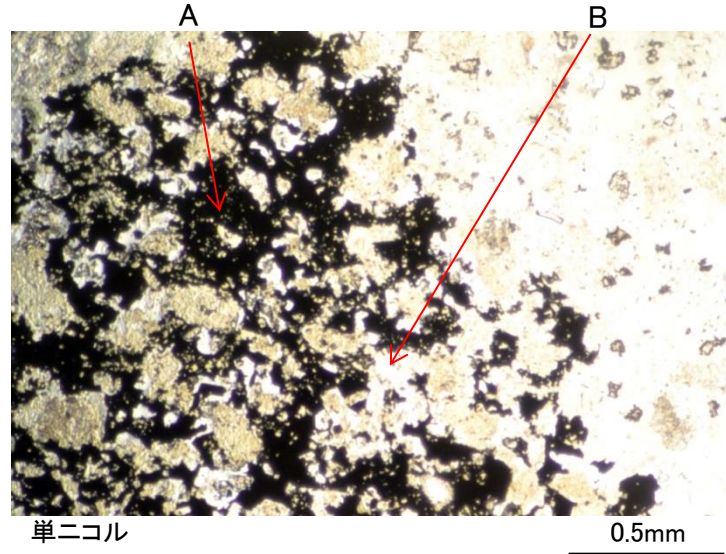
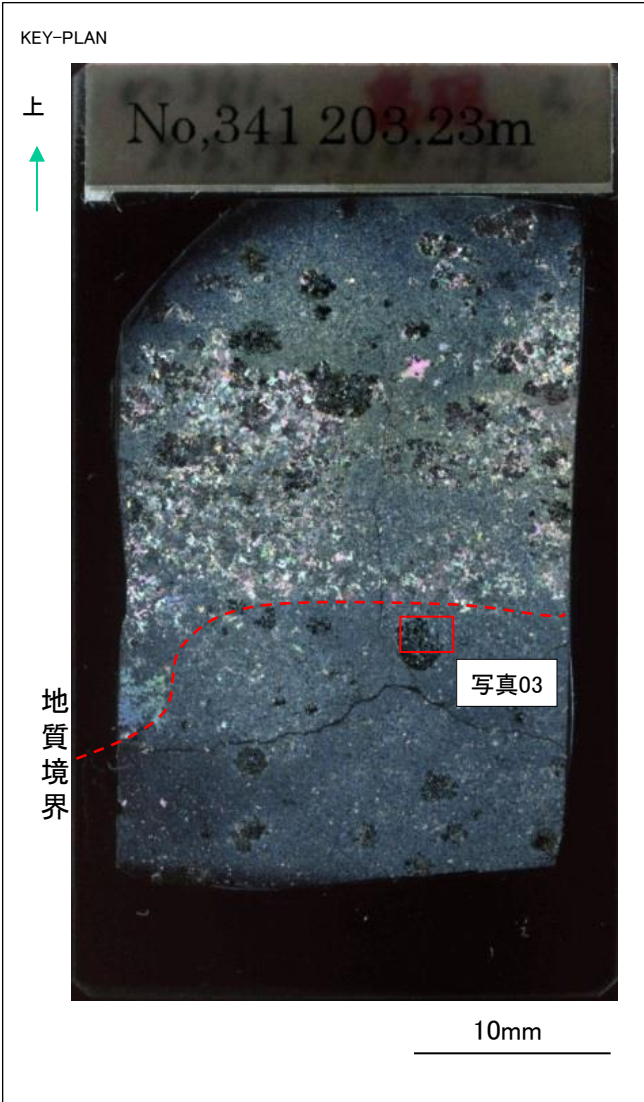


・Ca(緑～黄), Si(緑), Al(水色)が検出される範囲にはざくろ石が, Ca(赤)のみが検出される範囲には方解石がそれぞれ晶出しており, 斑状に境界部付近に分布する。ざくろ石は, ドレライト側には認められない。

4. シームの活動性 (3) 鉱物と生成条件 ⑤ 深部ドレライトの鉱物観察及び分析結果と生成温度

薄片観察及びEPMA分析結果 (No.341 GL-203.23m, 深部ドレライト境界部)

第318回審査会合  
資料2 p.180 再掲



EPMA分析結果 Mass(%)

分析位置	A	B
SiO <sub>2</sub>	0.067	92.974
TiO <sub>2</sub>	0.024	0.003
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.012	4.194
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	56.625	0.673
MnO	0.025	0.008
MgO	0.049	0.002
CaO	0	0.117
K <sub>2</sub> O	0	0.072
Na <sub>2</sub> O	0.094	2.368
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.026	0.01
S	13.109	0.022
(OH)	29.969	0
Total	100.000	100.443
鉱物種	黄鉄鉱	石英

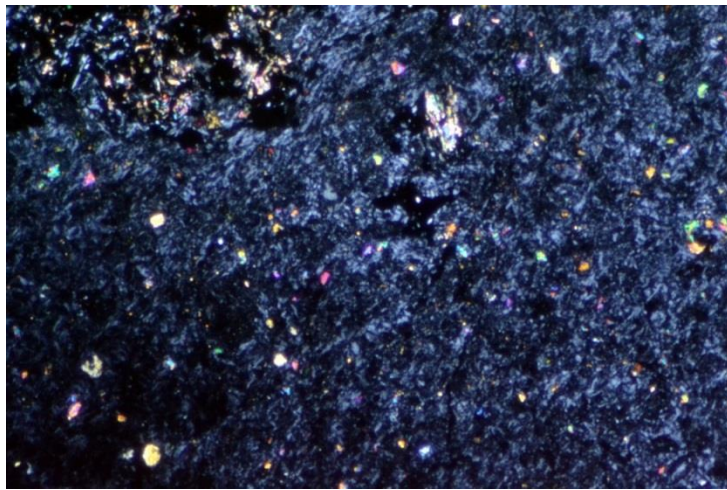
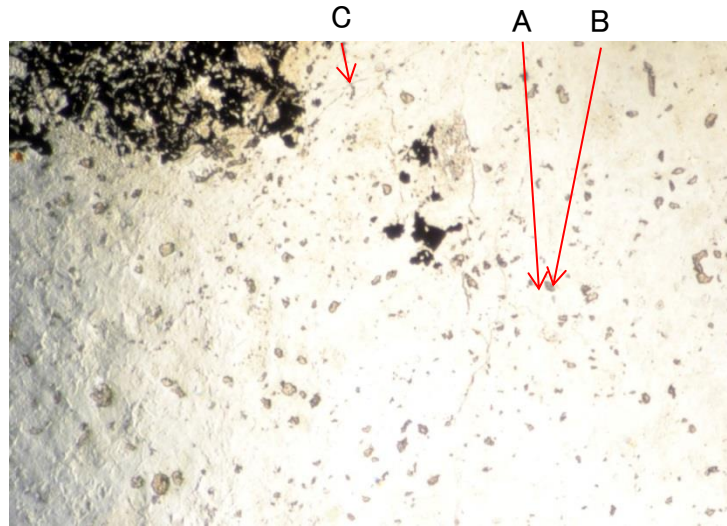
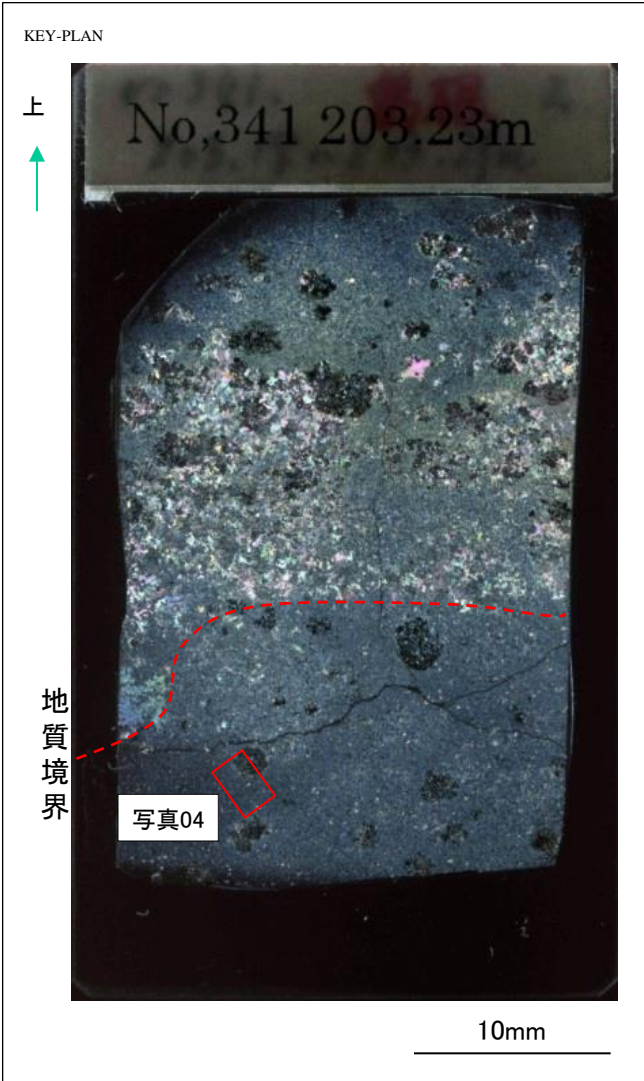
Py: 黄鉄鉱 FeS<sub>2</sub>  
Qtz: 石英 SiO<sub>2</sub>

・ドレライト内部における黒色斑点部分には、黄鉄鉱が晶出する。ざくろ石は認められない。

4. シームの活動性 (3) 鉱物と生成条件 ⑤ 深部ドレライトの鉱物観察及び分析結果と生成温度

薄片観察及びEPMA分析結果 (No.341 GL-203.23m, 深部ドレライト境界部)

第318回審査会合  
資料2 p.181 再掲



EPMA分析結果 Mass(%)

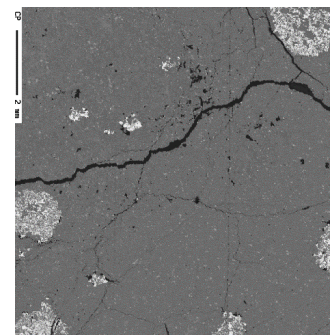
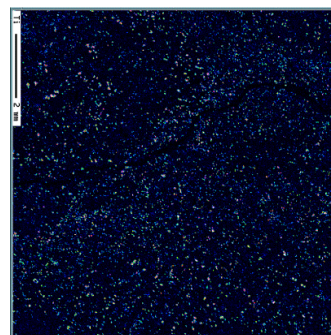
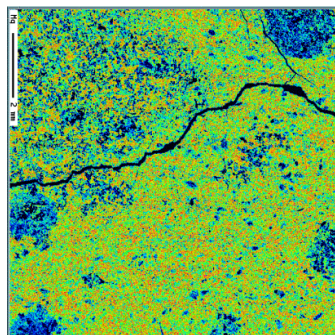
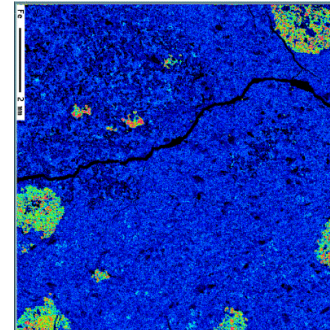
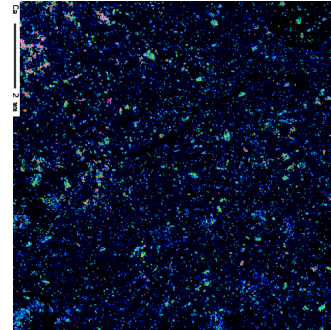
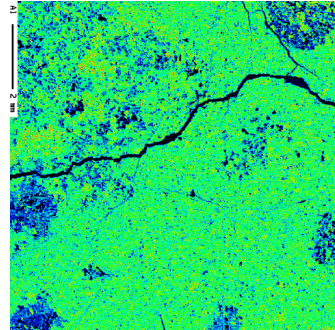
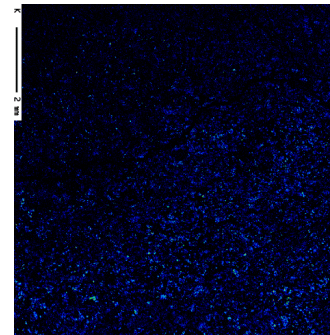
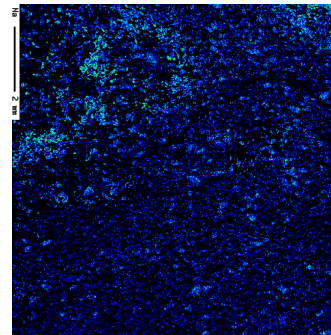
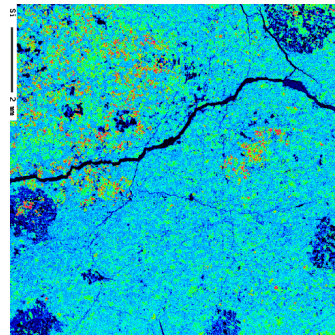
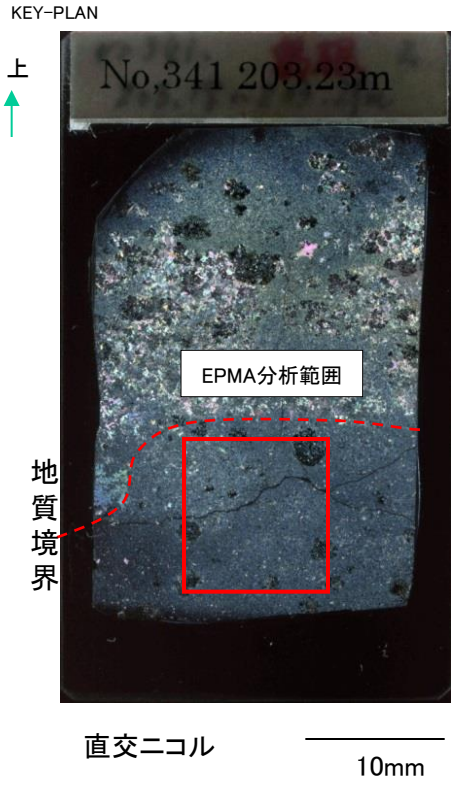
分析位置	A	B	C
SiO <sub>2</sub>	66.751	30.006	29.047
TiO <sub>2</sub>	0.006	37.584	0.015
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.796	0.972	15.048
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.057	0.84	28.604
MnO	0	0.132	1.007
MgO	0.029	0.061	14.693
CaO	0.465	28.416	0.357
K <sub>2</sub> O	0.095	0.009	0.021
Na <sub>2</sub> O	11.763	0.018	0.014
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.008	0	0.053
S	0.005	0.001	0.001
(OH)	2.025	1.961	11.14
Total	100.000	100.000	100.000
鉱物種	曹長石	スフェーン	緑泥石

曹長石 NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>  
 スフェーン: CaTiSiO<sub>4</sub>(O,OH,F)  
 緑泥石(Mg,Fe,Al)<sub>12</sub>(Si,Al)<sub>8</sub>O<sub>20</sub>(OH)<sub>16</sub>

・ドレライト側は、斑晶鉱物は曹長石等から成り、石基は緑泥石、曹長石、スフェーン等から構成される。ざくろ石は認められない。

EPMA分析結果 (No.341 GL-203.23m, 深部ドレライト境界部)

第318回審査会合  
資料2 p.182 再掲



- Feが検出される範囲には、黄鉄鉱 (FeS<sub>2</sub>) が晶出していると考えられる。黄鉄鉱は黒色斑点内部にのみ晶出しており、熱水変質により空隙を埋めたものと考えられる。
- Caが検出される範囲には、方解石が晶出していると考えられる。ざくろ石は認められない。

## 文献調査結果(ざくろ石の生成温度)

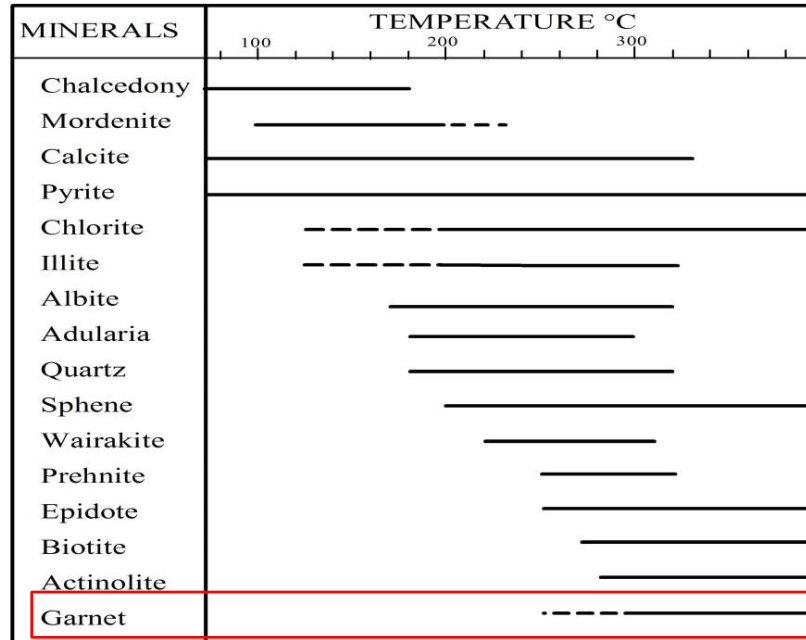
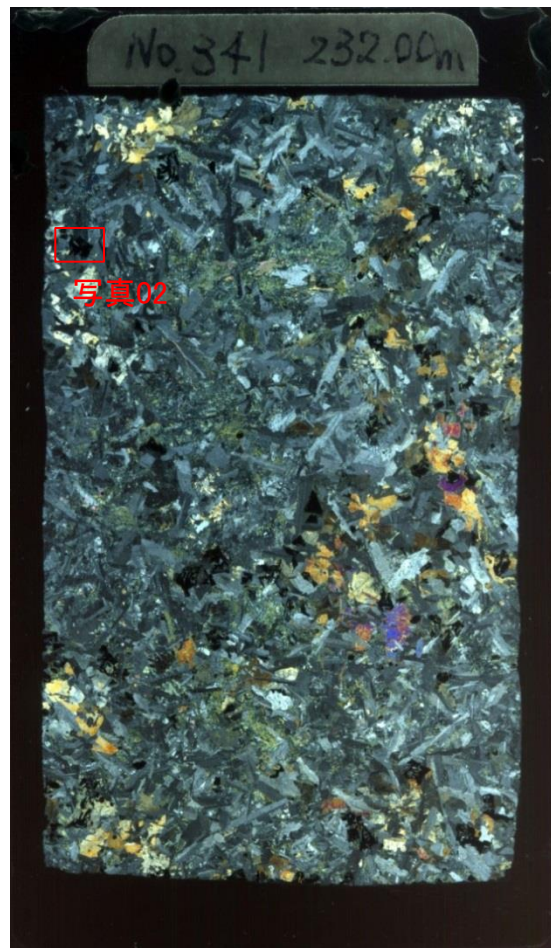


FIGURE 1: Common hydrothermal alteration minerals used as geothermometers and their temperature stability ranges. Dotted sections indicate mineral outside their usual stability ranges (modified from Reyes, 1990)

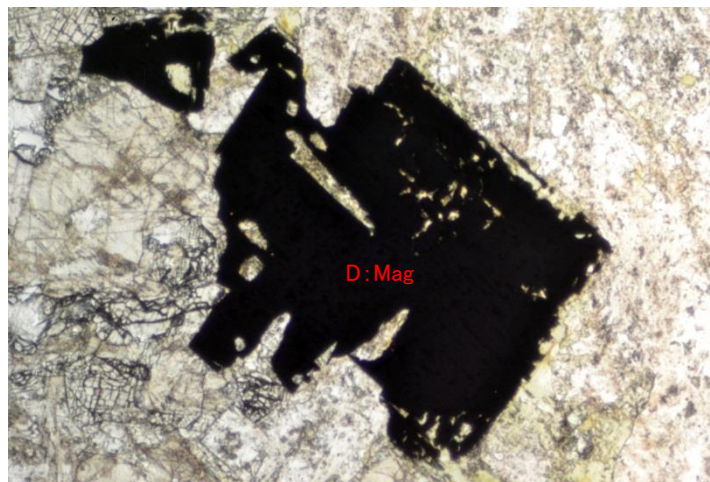
・John Lagat(2009)<sup>(25)</sup>に一部加筆

・John Lagat(2009)によると、ざくろ石(Garnet)は約300°C以上で生成するとされている。



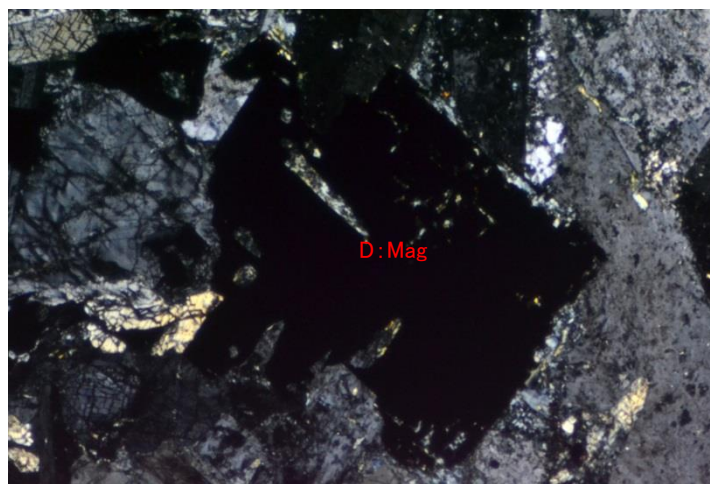
直交ニコル

10mm



単ニコル

0.5mm



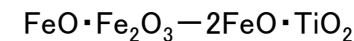
直交ニコル

0.5mm

EPMA分析結果 Mass(%)

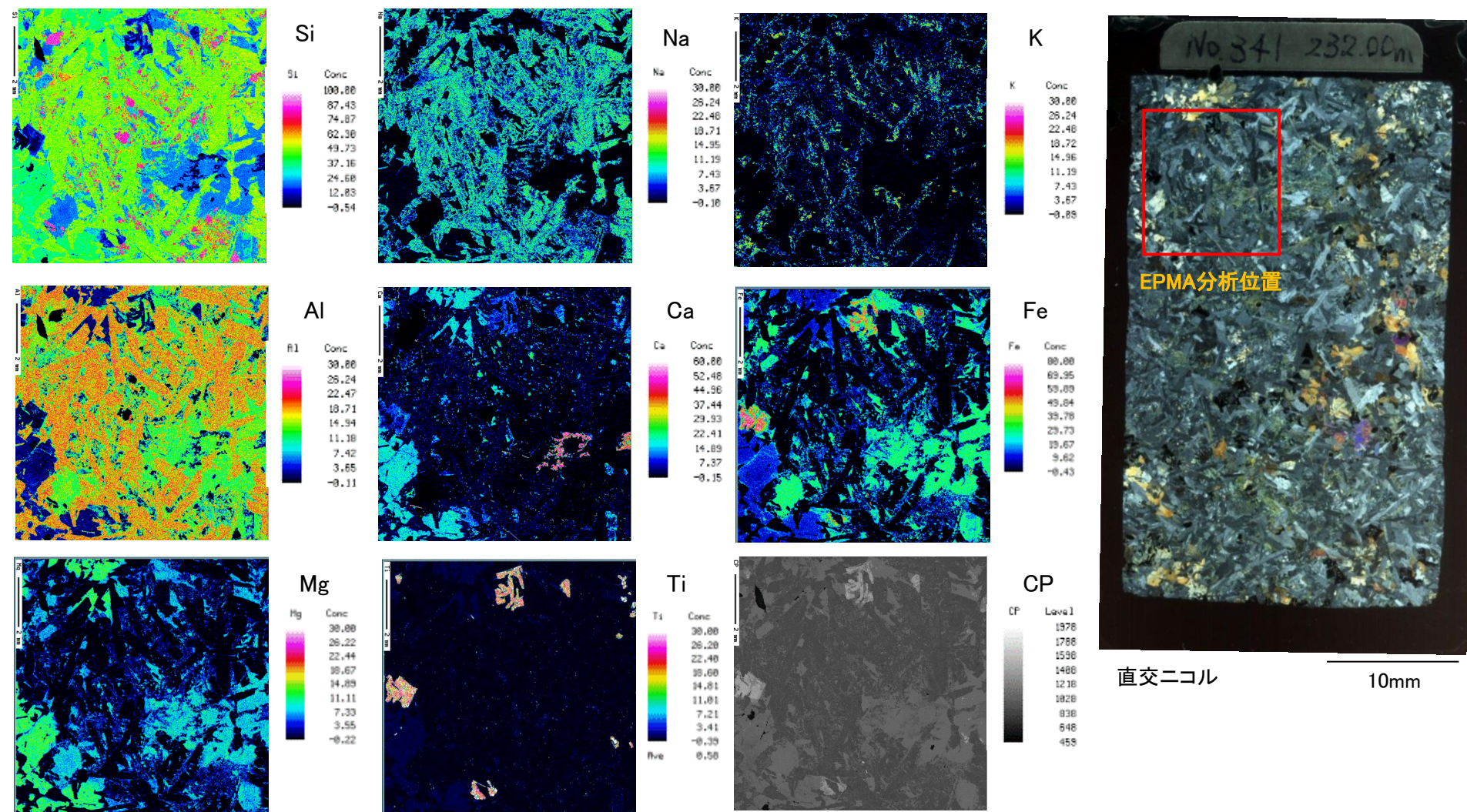
分析位置	D
SiO <sub>2</sub>	0.124
TiO <sub>2</sub>	17.454
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.167
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	83.682
MnO	0.786
MgO	0.037
CaO	0.026
K <sub>2</sub> O	0.000
Na <sub>2</sub> O	0.000
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.018
S	0.000
(OH)	0.000
Total	103.294

Mag: マグネタイト (磁鉄鉱)



・単ニコル, 直交ニコルとも黒色不透明で劈開は認められない方形の自形鉱物が認められる。Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>及びTiO<sub>2</sub>に富むことから, マグネタイトであると考えられる。

## (参考) EPMA分析結果 (No.341 GL-232.00m, 深部ドレライト内部)

第318回審査会合  
資料2 p.186 再掲

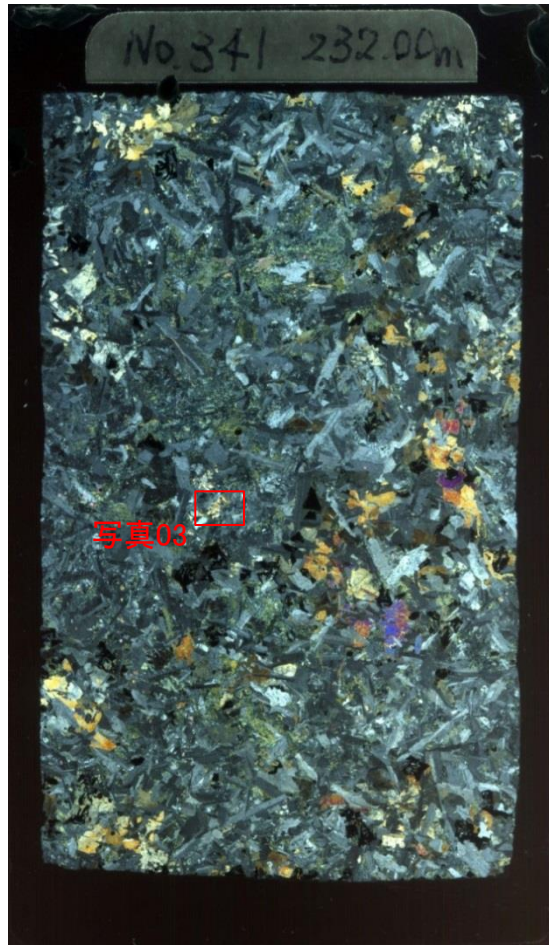
- ・Si(赤)のみからなる石英が認められる。
- ・Si(赤～黄緑)に富み, Al(赤～橙)とNa(青緑)を含む曹長石( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ )とNa(青)よりK(緑)に富むカリ長石( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ )が認められる。
- ・ほぼCa(赤色)のみ検出される部分は方解石( $\text{CaCO}_3$ )が晶出していると考えられる。
- ・ほぼFe(緑～赤)とTi(赤)からなる箇所はマグネタイト( $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 - 2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ )が分布している。



4. シームの活動性 (3) 鉱物と生成条件 ⑤ 深部ドレライトの鉱物観察及び分析結果と生成温度

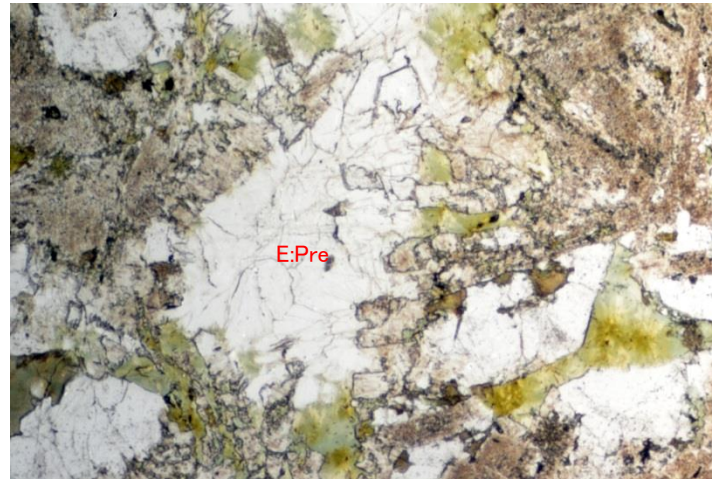
(参考) 薄片観察及びEPMA分析結果 (No.341 GL-232.00m, 深部ドレライト内部)

第318回審査会合  
資料2 p.187 再掲



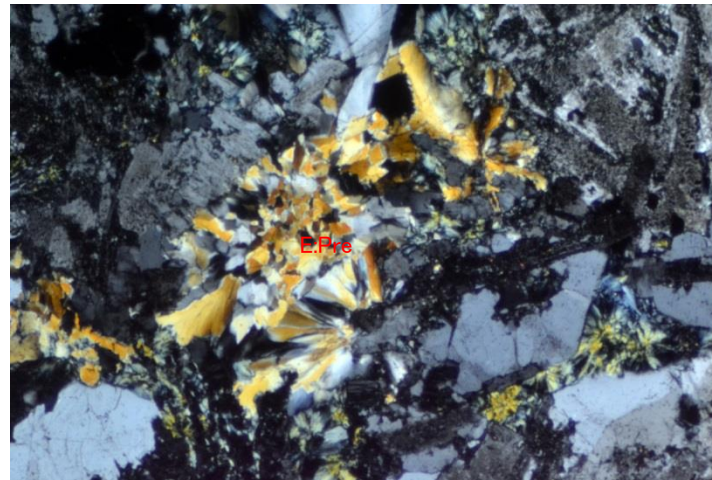
直交ニコル

10mm



単ニコル

0.5mm



直交ニコル

0.5mm

EPMA分析結果 Mass(%)

分析位置	E
SiO <sub>2</sub>	42.903
TiO <sub>2</sub>	0.035
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.367
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.285
MnO	0.030
MgO	0.000
CaO	26.457
K <sub>2</sub> O	0.000
Na <sub>2</sub> O	0.079
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.000
S	0.000
(OH)	5.844
Total	100.000

Pre:ブドウ石

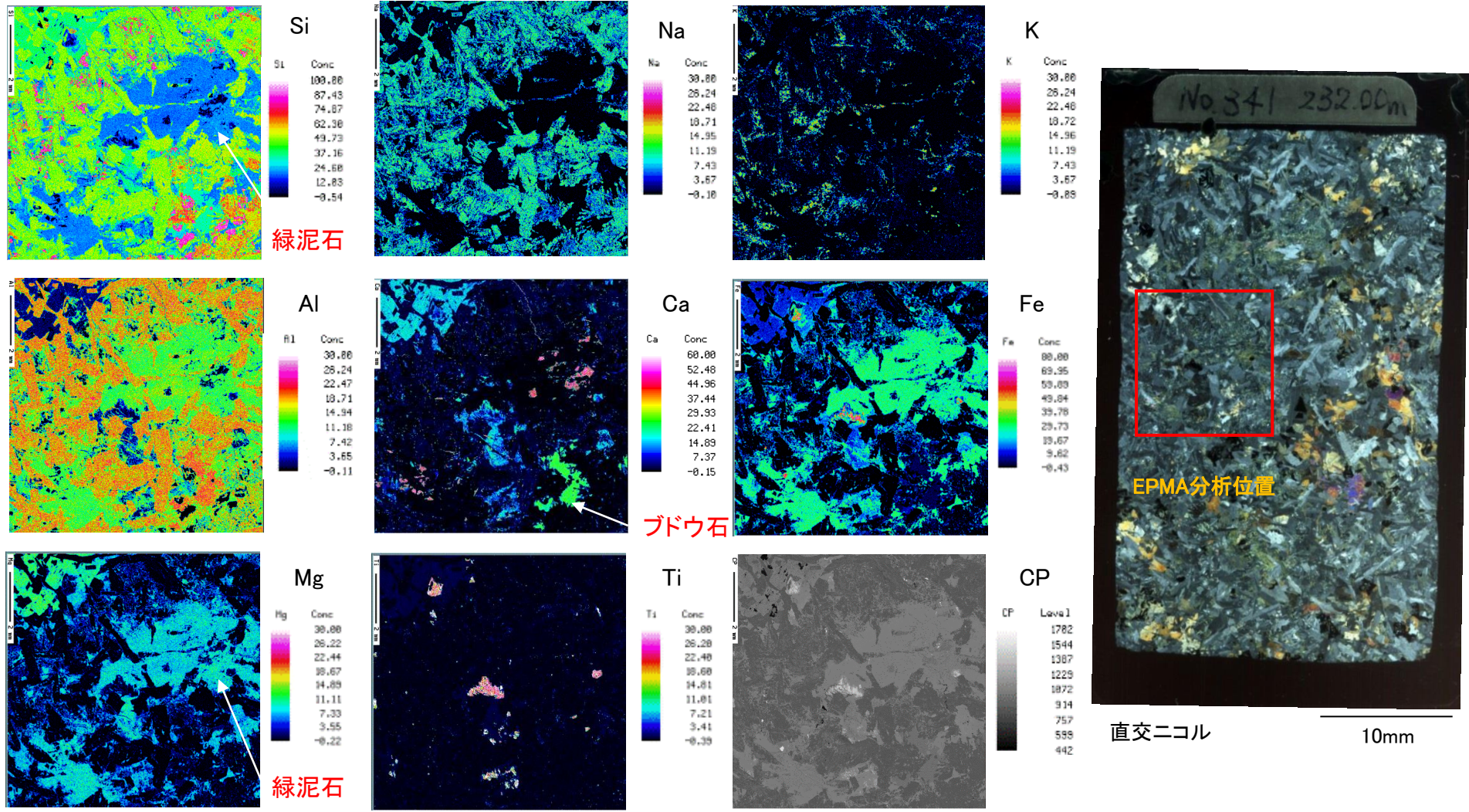


・単ニコルで無色, 直交ニコルで直消光し, 放射状に集合して晶出するブドウ石が認められる。

4. シームの活動性 (3) 鉱物と生成条件 ⑤ 深部ドレライトの鉱物観察及び分析結果と生成温度

(参考) EPMA分析結果 (No.341 GL-232.00m, 深部ドレライト内部)

第318回審査会合  
資料2 p.188 再掲



・Fe(緑～青緑)とSi(青)を主成分とし、Al(黄緑)とMg(水色)を含む緑泥石 $(Mg,Fe,Al)_2(Si,Al)_2O_5(OH)$ が認められる。  
 ・Si(青緑), Al(赤～橙色), Ca(黄緑)からなるブドウ石 $Ca_2Al_2SiO_7(OH)_2$ が認められる。

4. シームの活動性 (3) 鉱物と生成条件 ⑤ 深部ドレライトの鉱物観察及び分析結果と生成温度

(参考) 薄片観察及びEPMA分析結果 (No.341 GL-232.00m, 深部ドレライト内部)

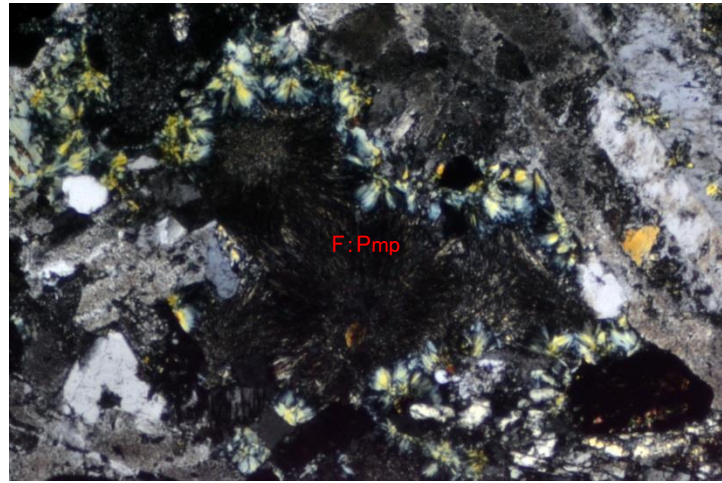
第318回審査会合  
資料2 p.189 再掲

EPMA分析結果 Mass(%)

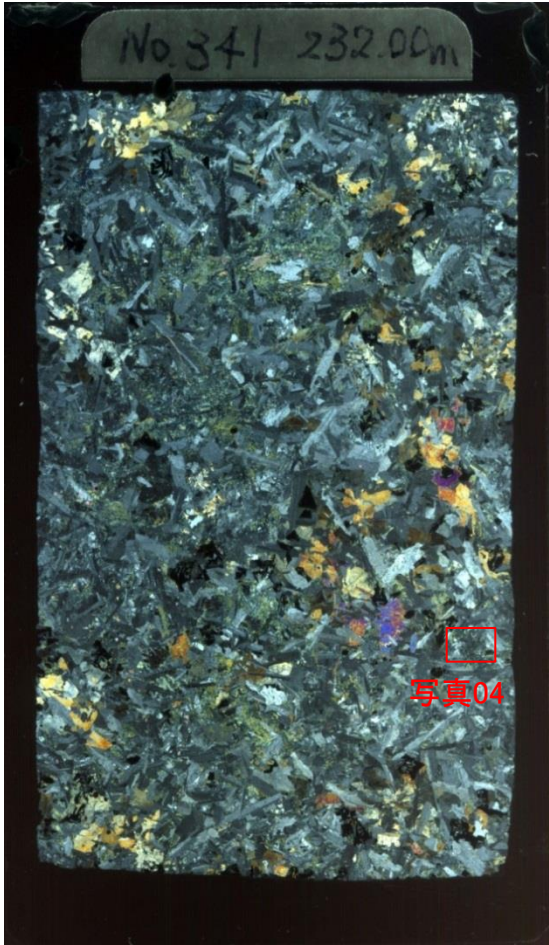
分析位置	F
SiO <sub>2</sub>	36.267
TiO <sub>2</sub>	0.032
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22.091
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.012
MnO	0.054
MgO	1.590
CaO	22.587
K <sub>2</sub> O	0.002
Na <sub>2</sub> O	0.017
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.013
S	0.000
(OH)	8.335
Total	100.000



単ニコル 0.5mm

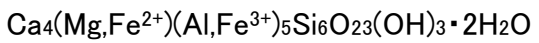


単ニコル 0.5mm



直交ニコル 10mm

Pmp:パンペリー石



・単ニコルで淡褐色及び淡青緑色，直交ニコルで複屈折が大きく，消光位の分散が強いパンペリー石が認められる。

4. シームの活動性 (3) 鉱物と生成条件 ⑤ 深部ドレライトの鉱物観察及び分析結果と生成温度

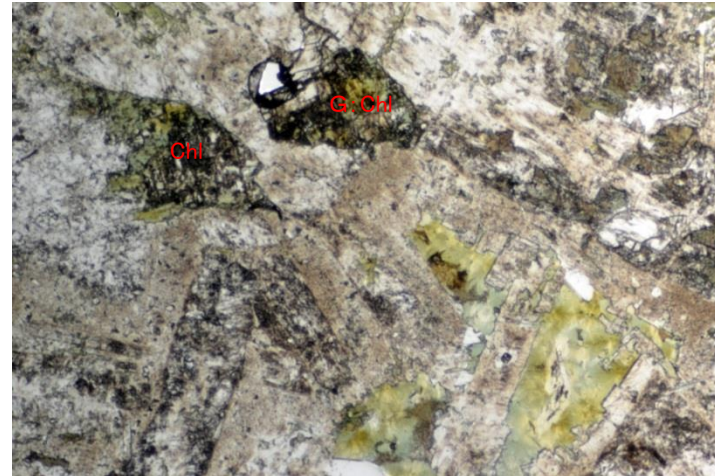
(参考) 薄片観察及びEPMA分析結果 (No.341 GL-232.00m, 深部ドレライト内部)

第318回審査会合  
資料2 p.190 再掲

EPMA分析結果 Mass(%)

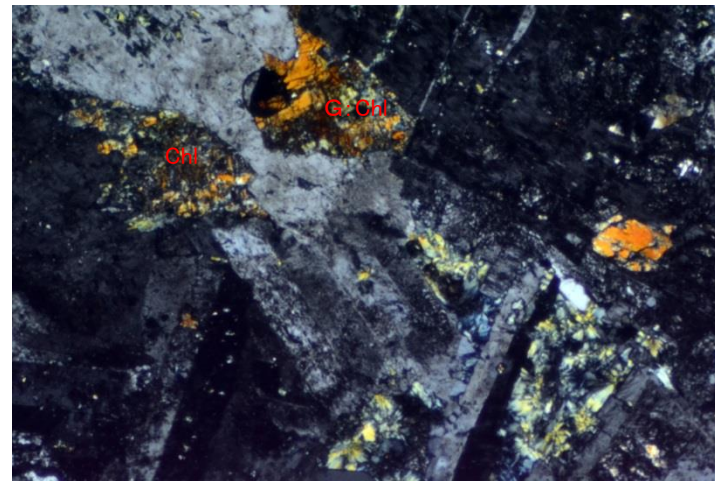
分析位置	G
SiO <sub>2</sub>	26.299
TiO <sub>2</sub>	0.000
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.874
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	35.950
MnO	0.281
MgO	10.938
CaO	0.164
K <sub>2</sub> O	0.005
Na <sub>2</sub> O	0.014
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.000
S	0.000
(OH)	8.475
Total	100.000

Chl: 緑泥石  
 $(Mg,Fe,Al)_{12}(Si,Al)_8O_{12}(OH)_{16}$



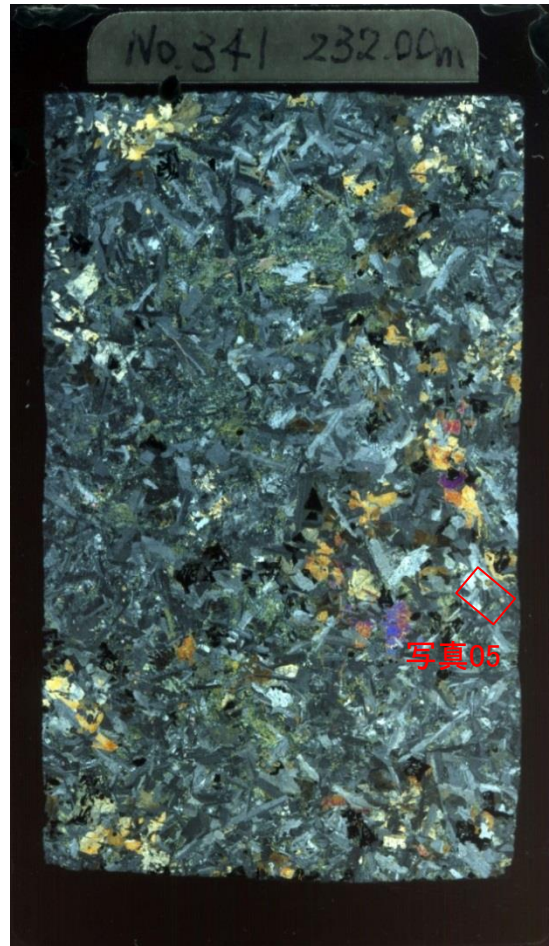
単ニコル

0.5mm



単ニコル

0.5mm



直交ニコル

10mm

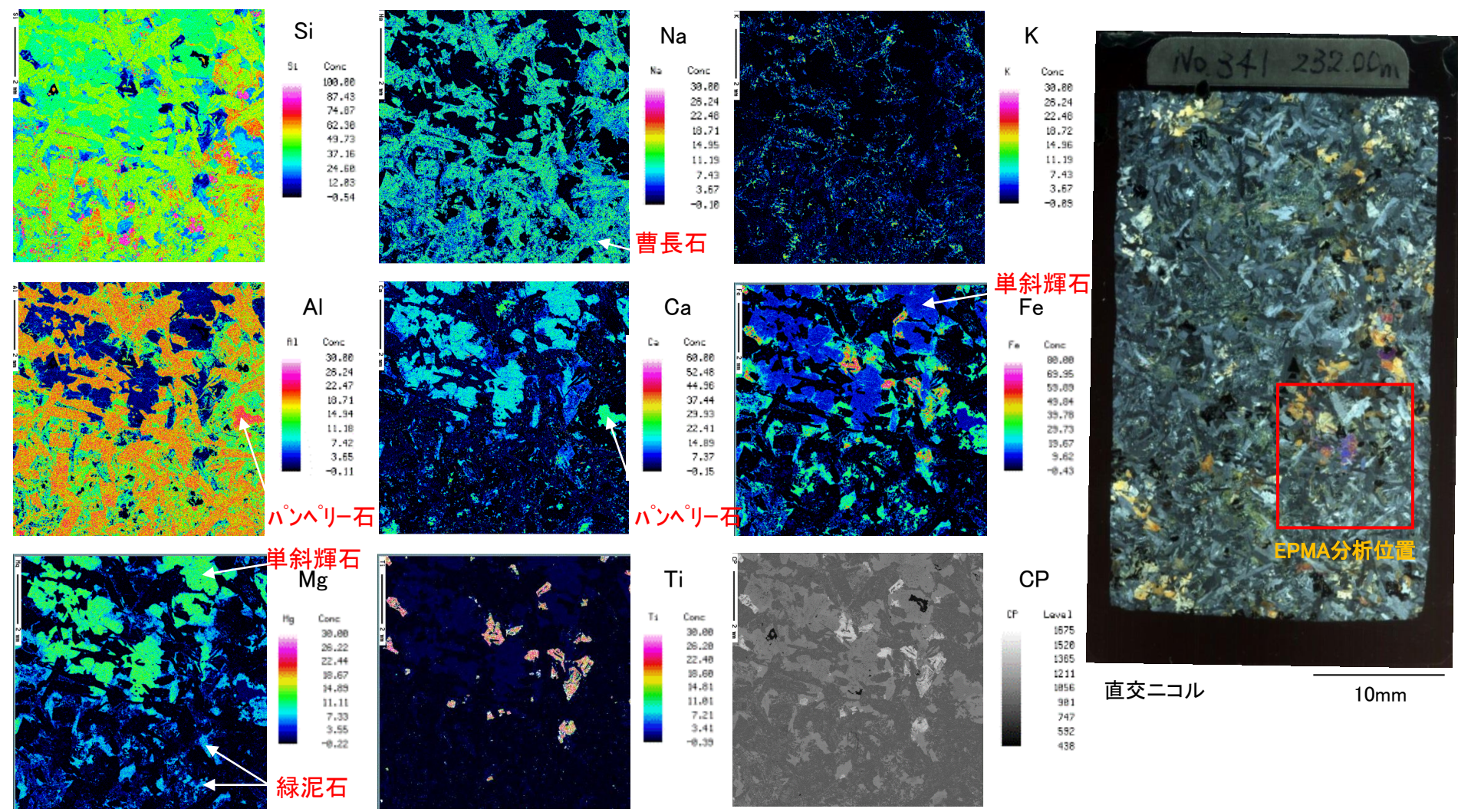
写真05

上  
↑

・単ニコルで無色～淡緑色, 直交ニコルで複屈折が小さく, 暗灰色から褐色の異常干渉色を呈する緑泥石が認められる。

(参考) EPMA分析結果 (No.341 GL-232.00m, 深部ドレライト内部)

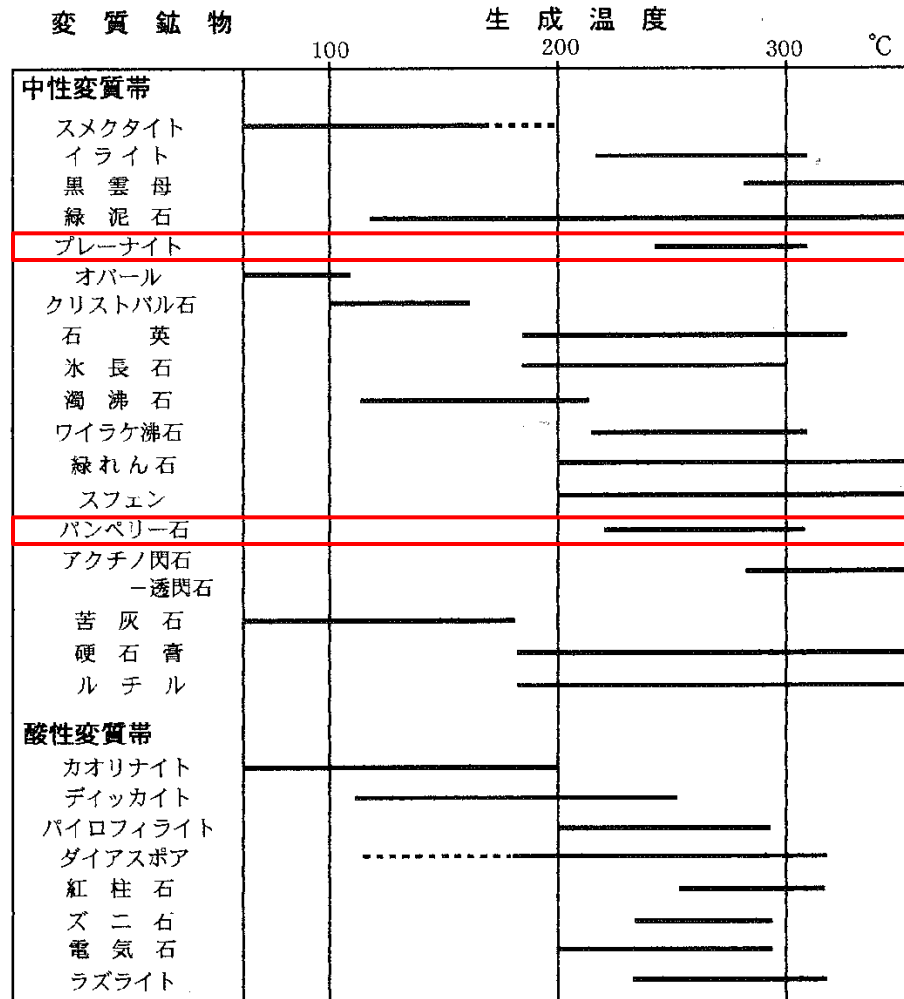
第318回審査会合  
資料2 p.191 再掲



・Fe(緑～青緑)とSi(水色)を主成分とし、Al(橙色～黄緑)とMg(水色)を含む緑泥石(Mg,Fe,Al)<sub>12</sub>(Si,Al)O<sub>20</sub>(OH)<sub>16</sub>が認められる。  
 ・Si(青緑), Al(赤), Ca(緑)に富むパンペリー石(Mg,Fe,Al)<sub>12</sub>(Si,Al)<sub>8</sub>O<sub>12</sub>(OH)<sub>16</sub>が認められる。

(参考) 文献調査結果(ぶどう石・パンペリー石相の生成温度)

第318回審査会合  
資料2 p.192 再掲



吉村尚久(2001)に一部加筆

・吉村(2001)によると、ブドウ石(プレーナイト)及びパンペリー石の生成温度は概ね200°C~300°Cとされている。

## まとめ

- ・X線回折分析, 薄片観察及びEPMA分析の結果, ドレライト側にはざくろ石は認められず, 凝灰質頁岩側にはざくろ石が認められた。
- ・EPMA分析の結果, ざくろ石の種類はグロシュラライトと考えられる。
- ・ざくろ石の生成温度は, 300°C以上であることから, 火成活動に伴う熱水変質作用により生成したと考えられる。

## 参考文献

- (1) 木村学(1980): 節理系の解析と褶曲の形成機構, 地質学雑誌, 第86巻, P.105-118.
- (2) 狩野謙一・村田明広(1998): 構造地質学, 朝倉書店
- (3) 鹿野和彦・吉田史郎(1985): 境港地域の地質, 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所
- (4) 小林洋二(1979): 西南日本内帯における新第三紀後半の岩脈群と広域応力場, 火山第2集, 24, P.153-168
- (5) 東正治(2004): 熱水鉱床と粘土鉱物, 粘土科学, 第43巻, 第4号, P.219-227
- (6) 渡辺隆(1986): 混合層粘土鉱物の構造解析と判定法の諸問題, 粘土科学, 第26巻, 第4号, P.238-246
- (7) 佐藤努・藤井美香・渡辺隆・大塚良平(1990): スメクタイトのイライト化に伴う膨張層の変化, 鉱物学雑誌, 第19巻特別号, P.17-22
- (8) 中川聖子・益田晴恵・奥平敬元・千葉仁(2009): 南海トラフODP Site 808の火山灰層の自生粘土鉱物とその酸素同位体比から推定した生成条件, 地球化学, P.1-13
- (9) 吉村尚久(2001): 粘土鉱物と変質作用, 地学双書, 地学団体研究会
- (10) 地学団体研究会(1996): 新版地学辞典, 平凡社
- (11) 小玉一人(1999): 古地磁気学, 東京大学出版会
- (12) C.パスキエ・R.トゥロウ(1999): マイクロテクトニクス, シュプリンガー・フェアラーク東京
- (13) Moore・Reynolds(1997): X-ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals, Oxford univ press
- (14) 須藤俊男(1974): 粘土鉱物学, 岩波書店
- (15) 黒田吉益・諏訪兼位(1983): 偏光顕微鏡と岩石鉱物[第2版], 共立出版株式会社
- (16) 周藤賢治・小山内康人(2002): 岩石学概論・上 記載岩石学, 共立出版株式会社
- (17) 歌田実(1997): 天然におけるゼオライトおよび関連鉱物の生成条件. 粘土科学, 37, P.87-94
- (18) 吉村尚久(2003): 続成作用と粘土鉱物. 粘土科学, 42, P.167-173
- (19) 星一良・佐賀肇・箕輪英雄・稲葉允(1992): 秋田・新潟のグリーンタフの変質と貯留岩性状. 石油技術協会誌, 57, P.77-90
- (20) Iijima, A (1978) Geological occurrences of zeolite in the marine environments: In SAND, J. B. and MUMPTON, F. A. (ed) Natural Zeolites, Occurrence, Properties, Use. Pergamon Press, Oxford, P.175-198
- (21) O'Neil, J.R., Clayton, R.N., Mayeda, T.K. (1969): Oxygen Isotope Fractionation in Divalent Metal Carbonates. Journal of Chemical Physics, 51, P.5547-5558
- (22) 松葉谷治(1991): 熱水の地球科学, 裳華房
- (23) 都城秋穂(1965): 変成岩と変成帯, 岩波書店
- (24) 森本信男・砂川一郎・都城秋穂(1975): 鉱物学, 岩波書店
- (25) John, L. (2009): HYDROTHERMAL ALTERATION MINERALOGY IN GEOTHERMAL FIELDS WITH CASE EXAMPLES FROM OLKARIA DOMES GEOTHERMAL FIELD, KENYA, Short Course VI on Exploration for Geothermal Resources