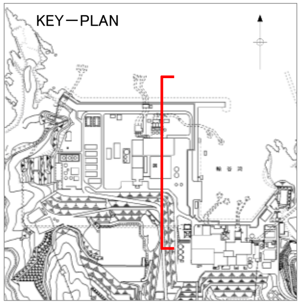
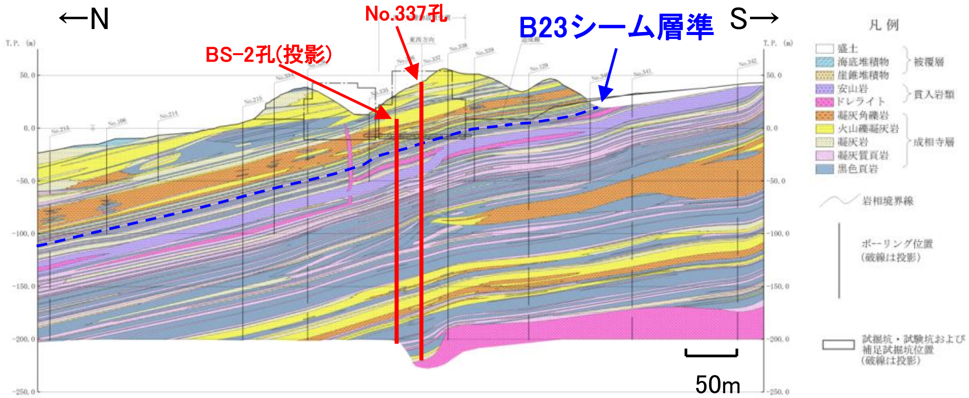
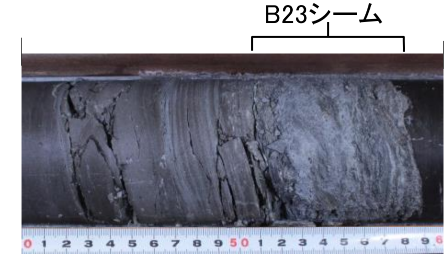
シームの特定(BS-2, B23シーム)

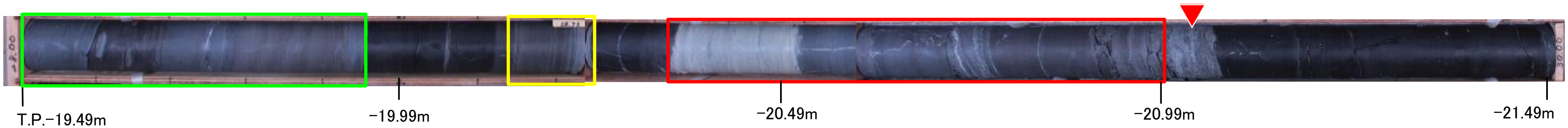
第318回審査会合
資料2 p.36 加筆・修正



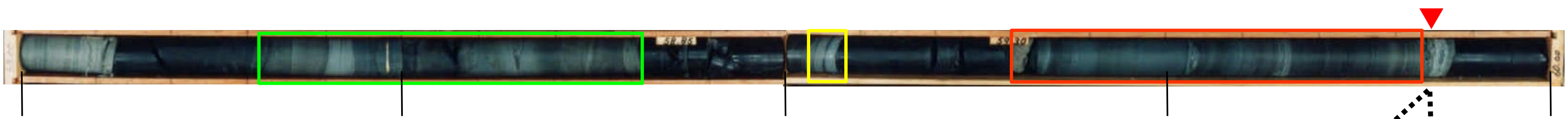




BS-2コア写真(シーム:T.P. −21.00～21.07m)



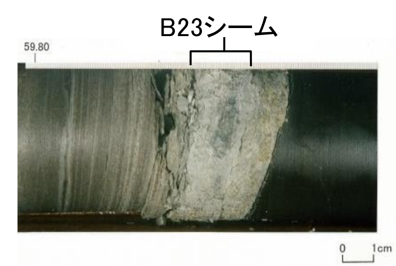
BS-2コア写真(T.P.−19.49～21.49 m)



No.337コア写真(T.P.−14.20～16.20m)

▼ : B23シーム

□□□ : 鍵層となる凝灰岩または凝灰質頁岩



No.337コア写真(シーム:T.P. −16.05～16.07m)

・B23シームの前後に出現する特徴的な凝灰岩または凝灰質頁岩(鍵層)により，地層を対比した結果，BS-2孔のT.P.-21.00～21.07m付近のシームはB23シームと判断した。

薄片観察結果 BS2-B23 薄片全体写真

第318回審査会合
資料2 p.90 再掲

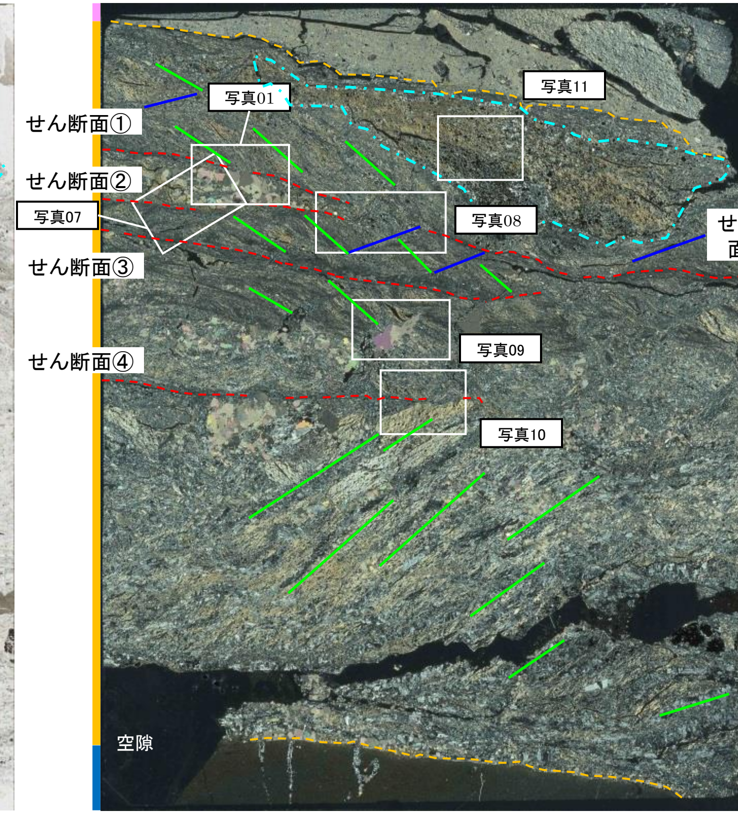
凡例

:薄片作製位置

S N

B23シーム研磨片写真

S N
上



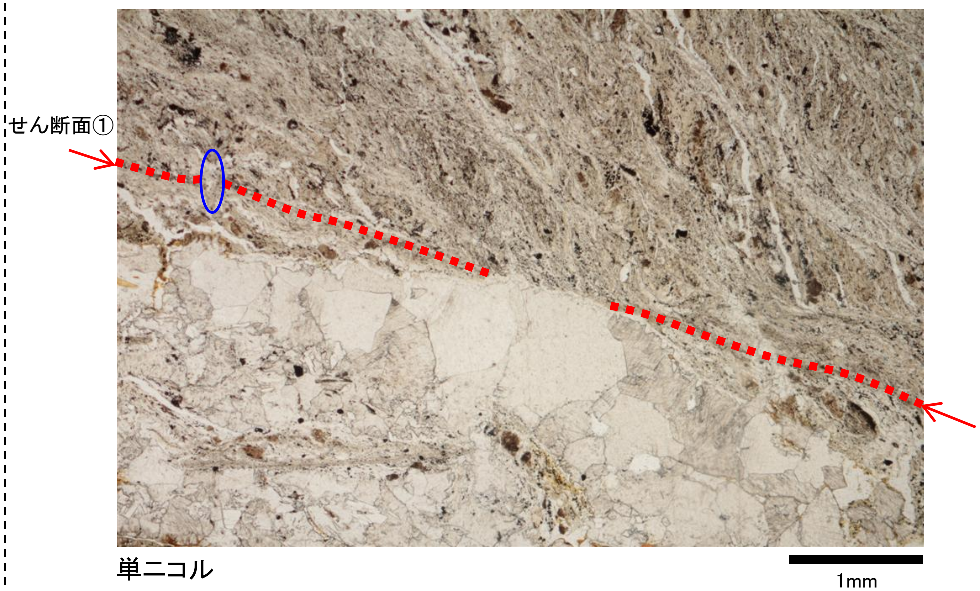
薄片全体写真(平成27年撮影)

凡例 :せん断面 :シーム境界 :R面 :P面 :不透明鉱物密集部

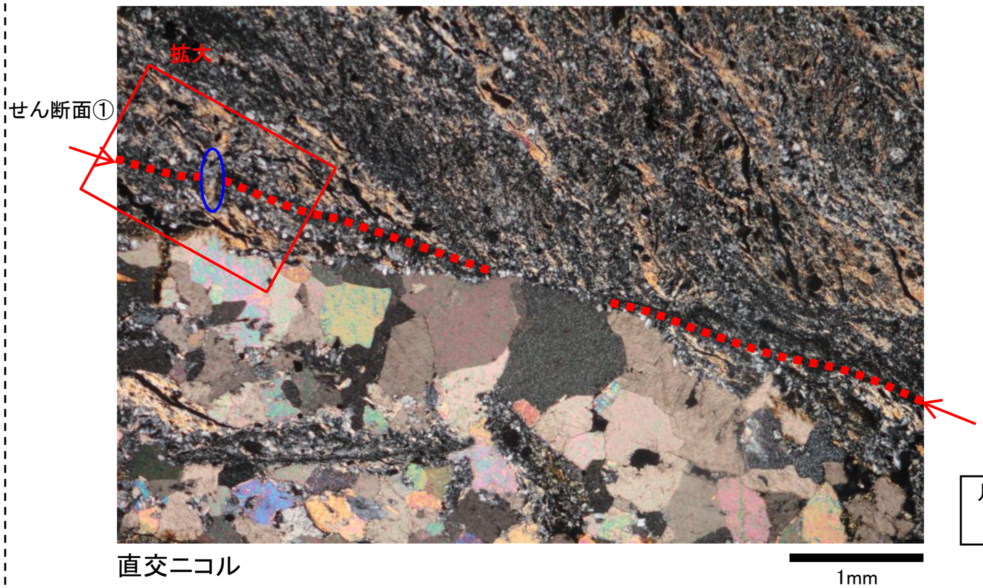
- 薄片全体を横断するようなせん断面は認められないが，細粒化しているせん断面のうち，比較的直線性・連続性が高い5本のせん断面を抽出した。
- シーム内のせん断面④付近を境に上部に左横ずれセンス(逆断層センス)，下部に右横ずれセンス(正断層センス)が認められる。
- シームと上盤母岩の境界部には，不透明鉱物の密集部が認められる。

薄片観察結果 BS2-B23

第318回審査会合
資料2 p.91 再掲



単ニコル



直交ニコル

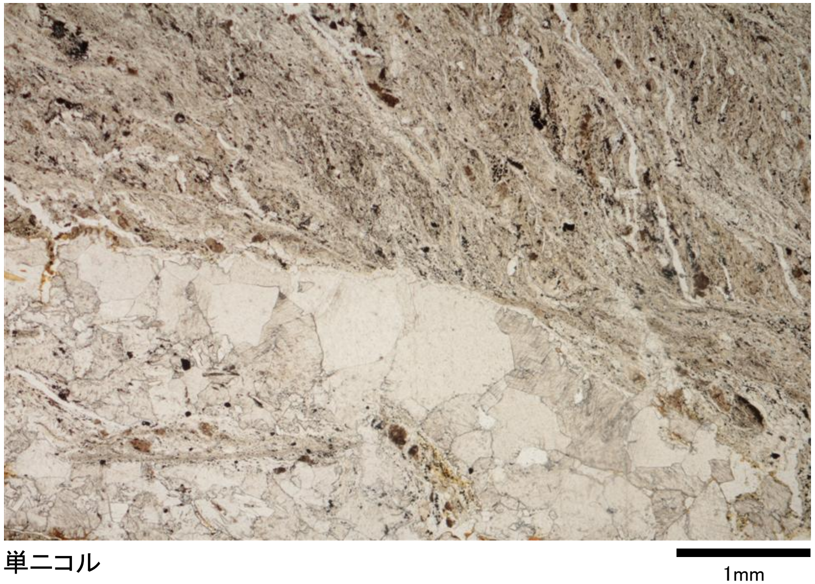
【写真01】
・自形鉱物が晶出してせん断面①は途切れている。自形鉱物は変位・変形を受けていない。

凡例
：せん断面
：濁沸石

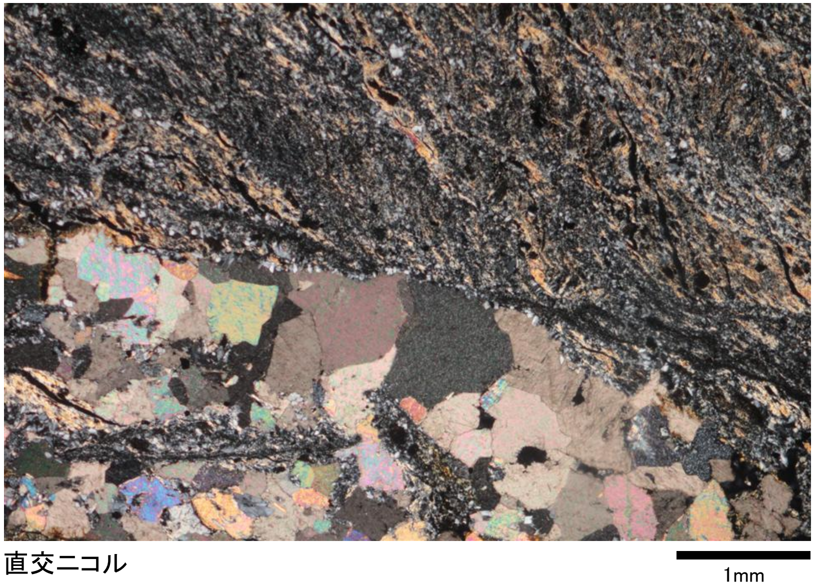
（平成27年撮影）

薄片観察結果 BS2-B23(解釈線なし)

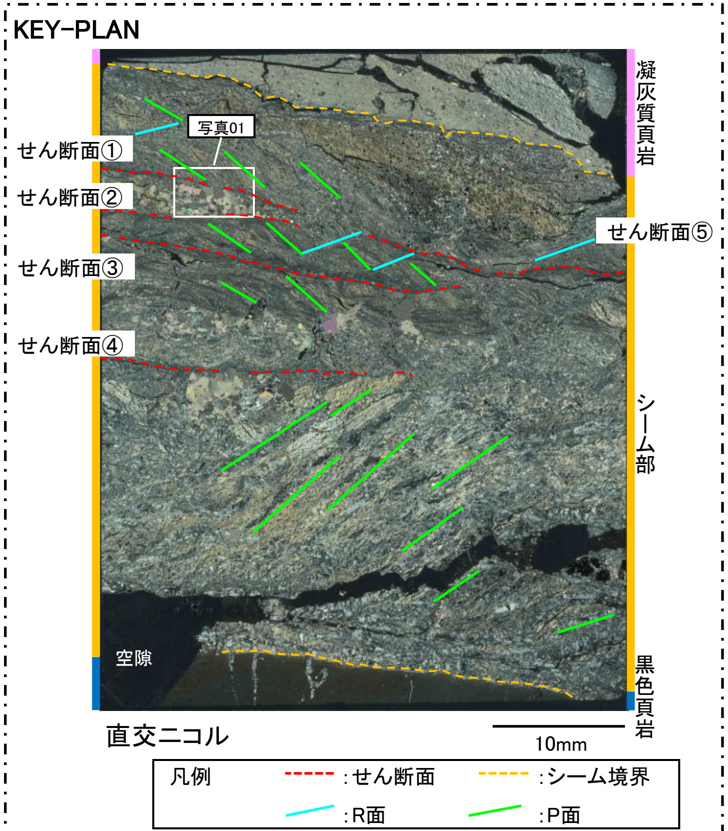
第318回審査会合
資料2 p.92 再掲



単ニコル



直交ニコル



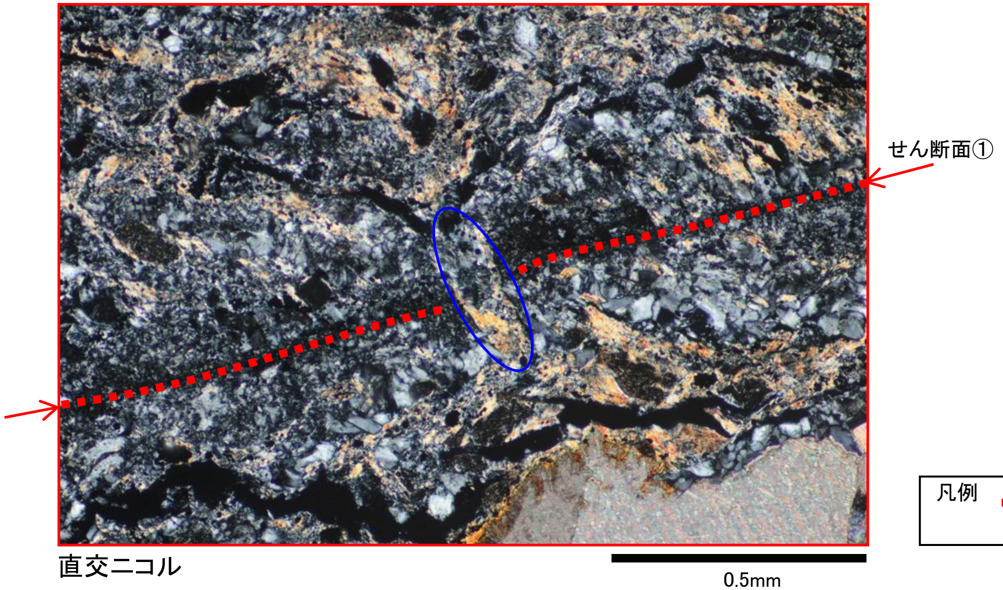
直交ニコル

(平成27年撮影)

薄片観察結果 BS2-B23

第318回審査会合
資料2 p.93 加筆・修正

単ニコル



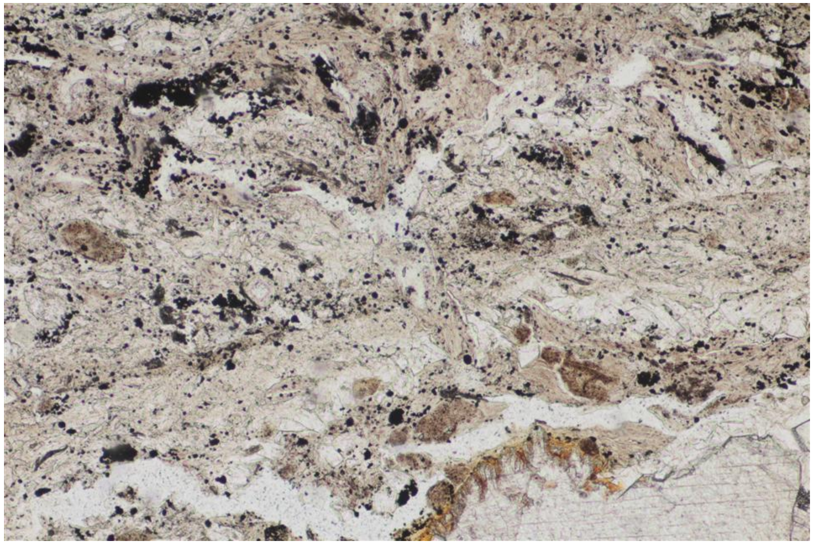
直交ニコル

【写真01 拡大】
- せん断面①を横切るように晶出する鉱物は，単ニコルで無色，板状で劈開が顕著であり，直交ニコルで複屈折が小さく，消光角も小さいことから，X線回折分析の結果を踏まえ，濁沸石と同定した。
- 濁沸石は変位・変形を受けていない。

（平成27年撮影）

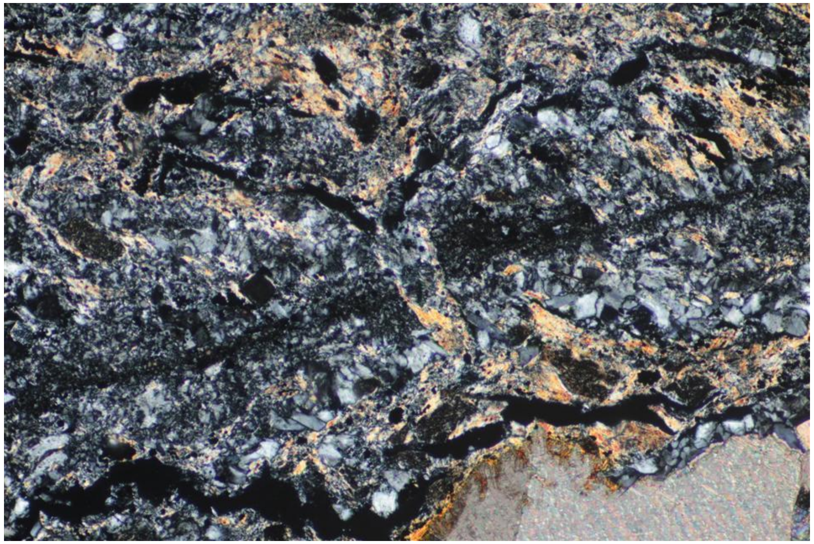
薄片観察結果 BS2-B23(解釈線なし)

第318回審査会合
資料2 p.94 再掲



単ニコル

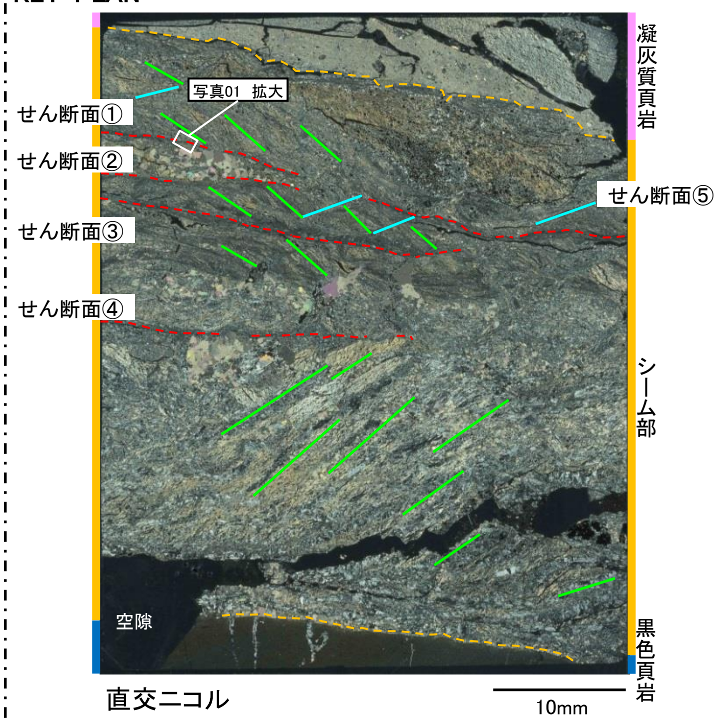
0.5mm



直交ニコル

0.5mm

KEY-PLAN



直交ニコル

凡例 :せん断面 :シーム境界 :R面 :P面

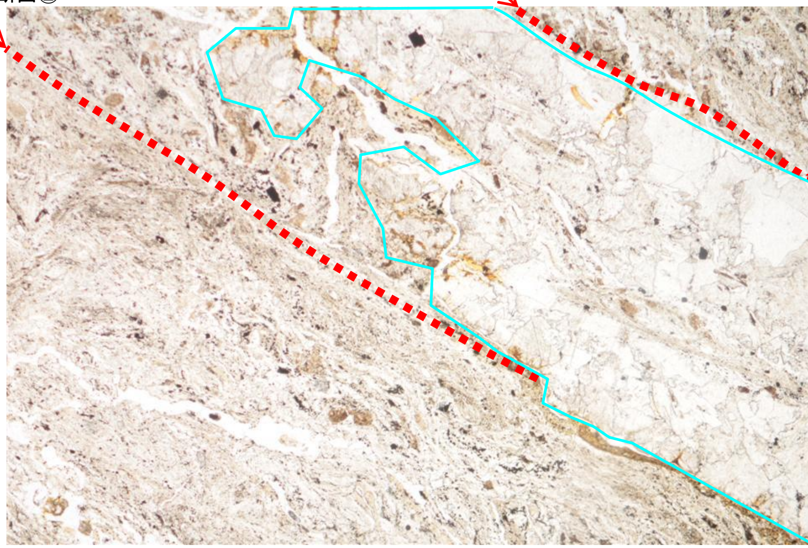
(平成27年撮影)

薄片観察結果 BS2-B23

第318回審査会合
資料2 p.95 加筆・修正

【写真07】
- 自形鉱物が晶出してせん断面②は途切れている。自形鉱物は変位・変形を受けていない。
- 自形鉱物は，単ニコルで無色で劈開が顕著であり，直交ニコルで高次の干渉色を示すことから，X線回折分析結果を踏まえ，方解石と同定した。

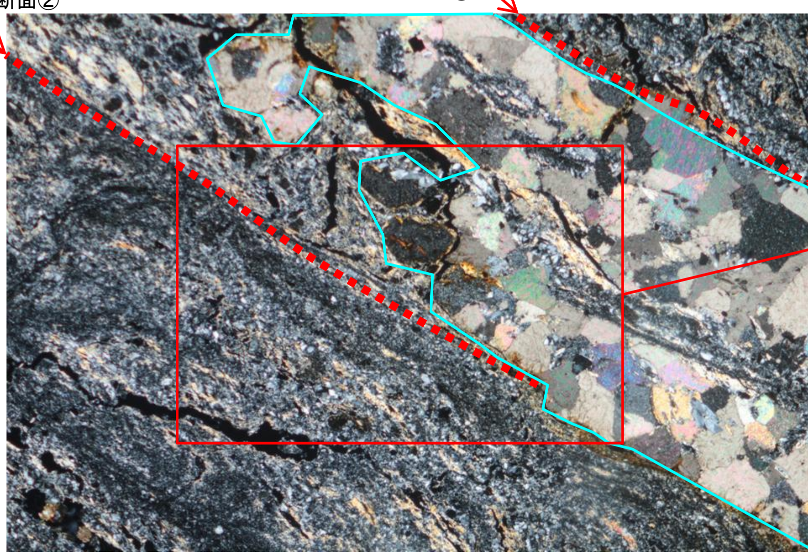
せん断面② せん断面①



単ニコル

1mm

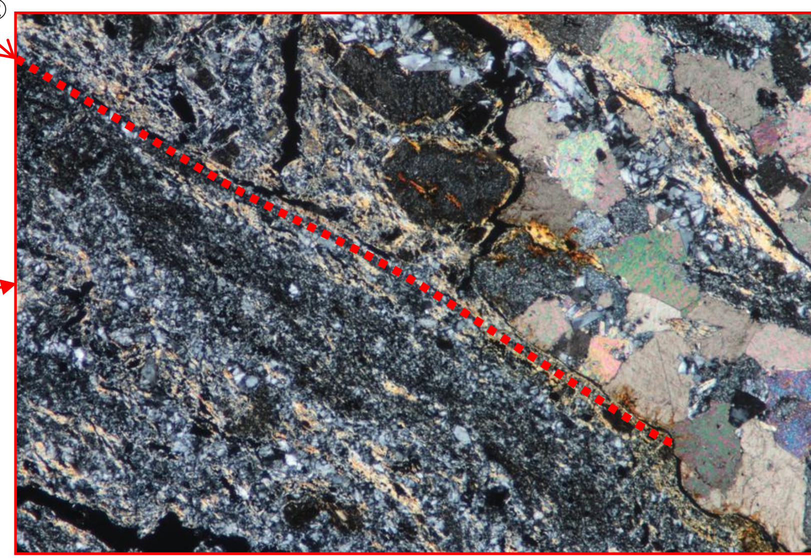
せん断面② せん断面①



直交ニコル

1mm

せん断面②



直交ニコル

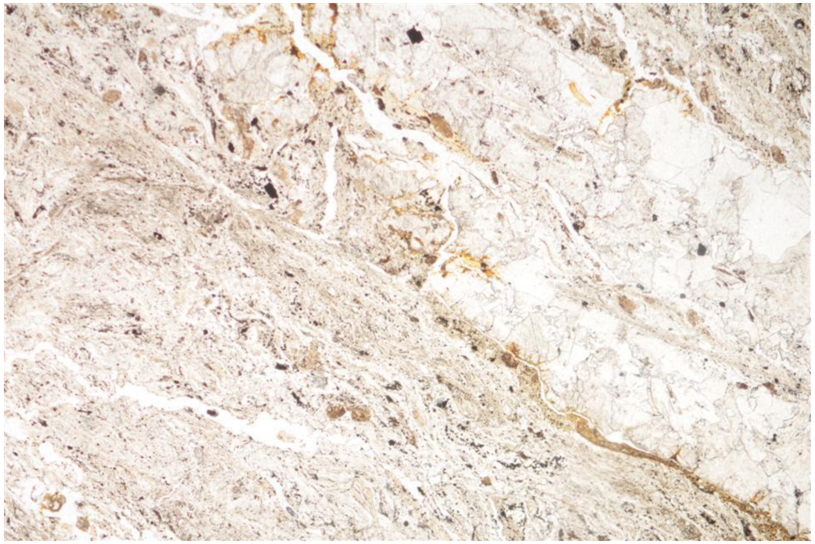
1mm

（平成27年撮影）

凡例 :せん断面
:方解石

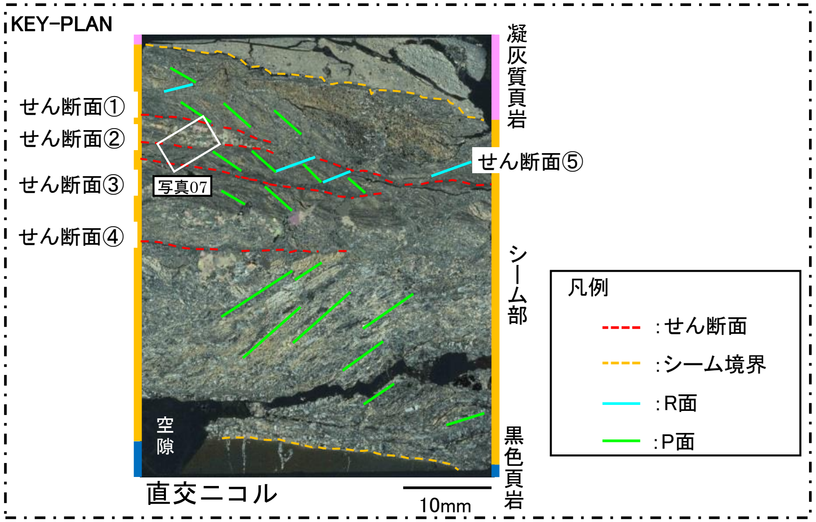
薄片観察結果 BS2-B23(解釈線なし)

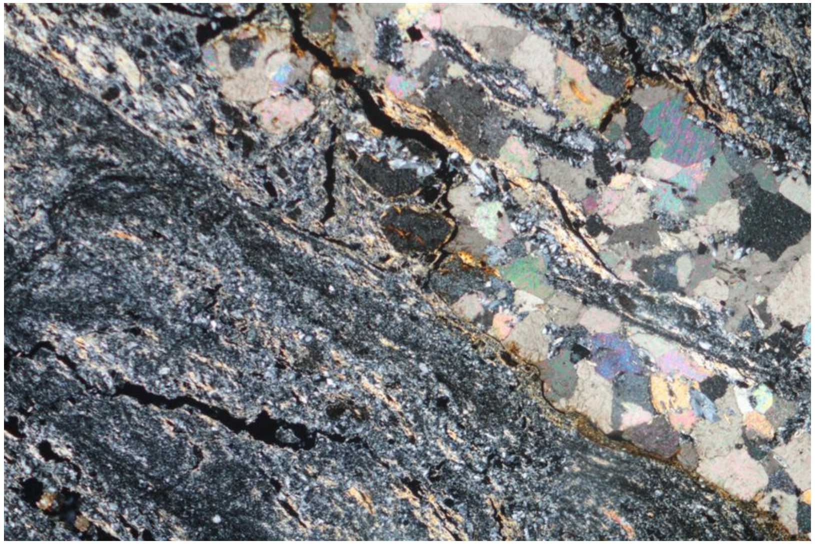
第318回審査会合
資料2 p.96 再掲



単ニコル

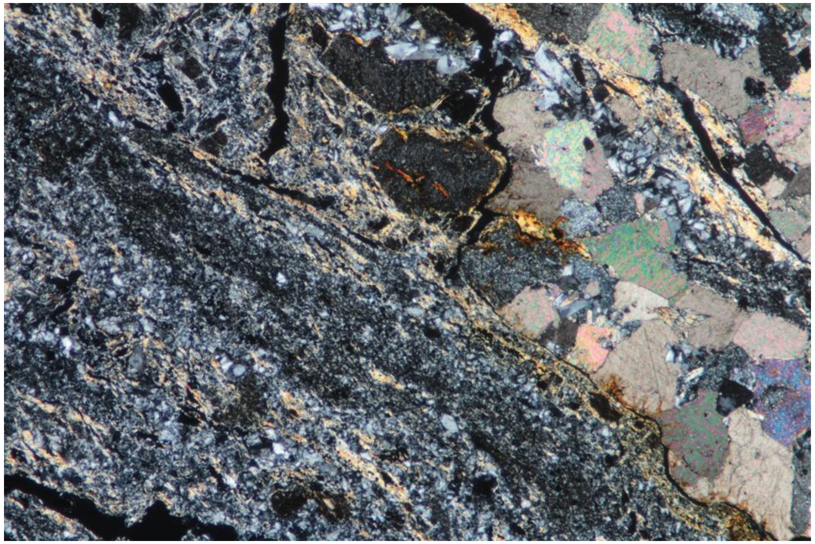
1mm





直交ニコル

1mm



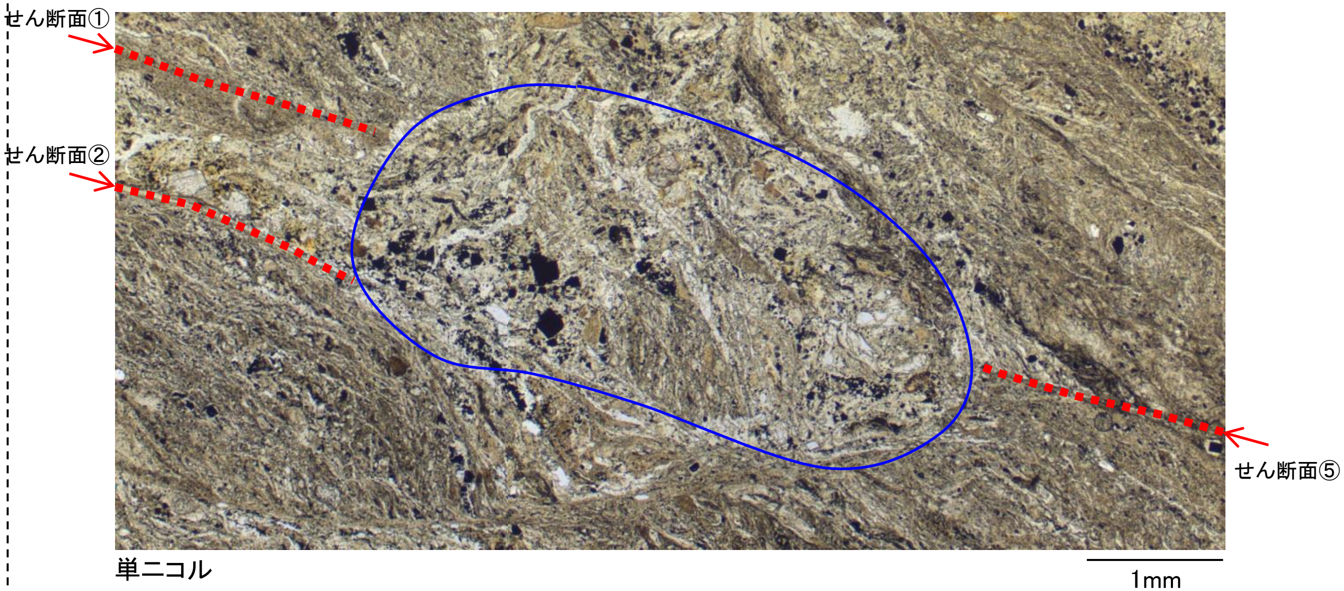
直交ニコル

1mm

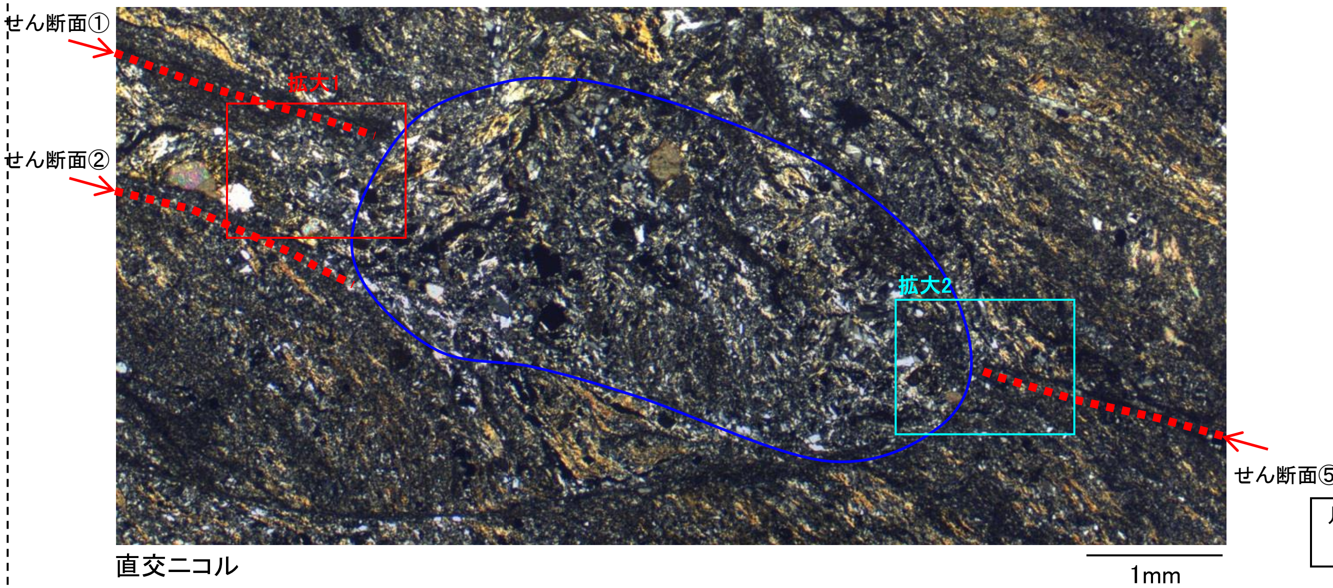
(平成27年撮影)

薄片観察結果 BS2-B23

第318回審査会合
資料2 p.97 再掲



単ニコル



直交ニコル

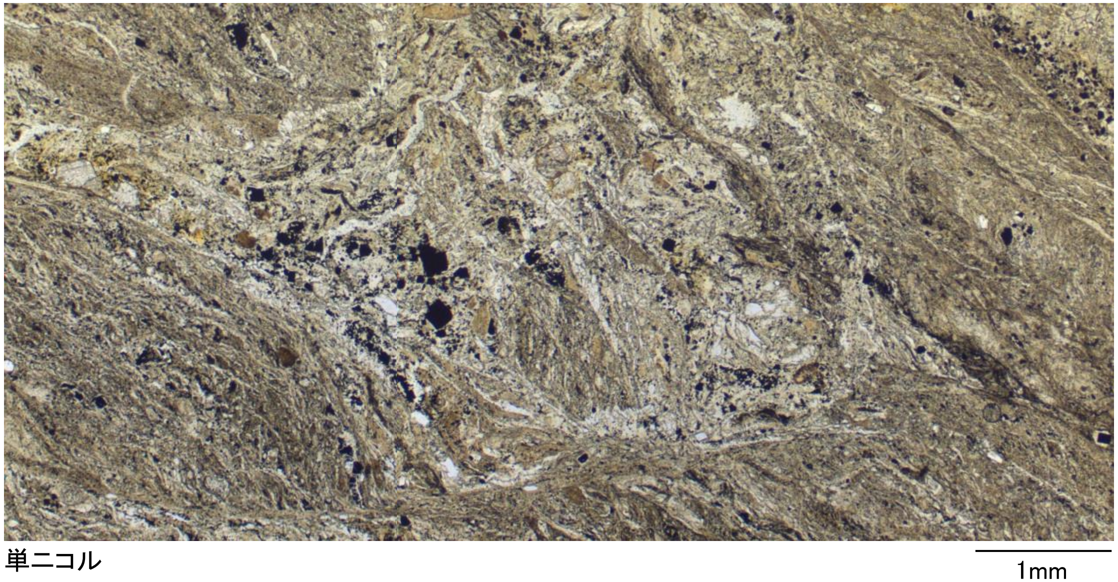
【鏡下写真08】
・せん断面①，②及び⑤を横切るように，鉱物が晶出しており，変位・変形を受けていない。

凡例
：せん断面
：濁沸石

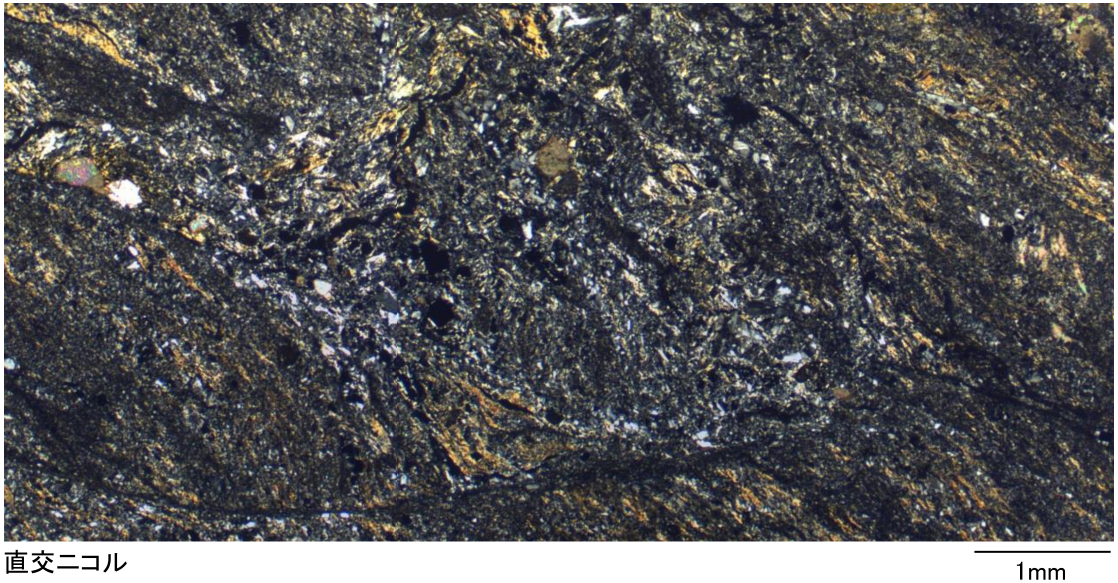
（平成27年撮影）

薄片観察結果 BS2-B23(解釈線なし)

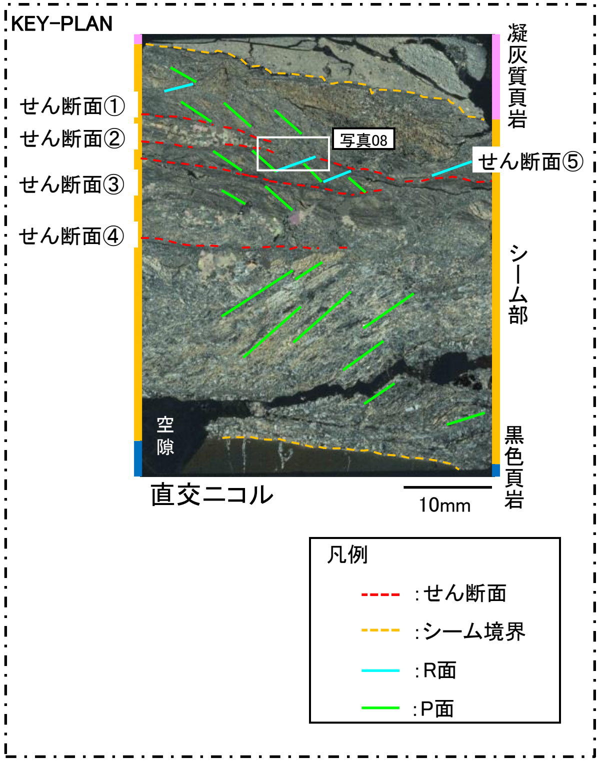
第318回審査会合
資料2 p.98 再掲



単ニコル



直交ニコル

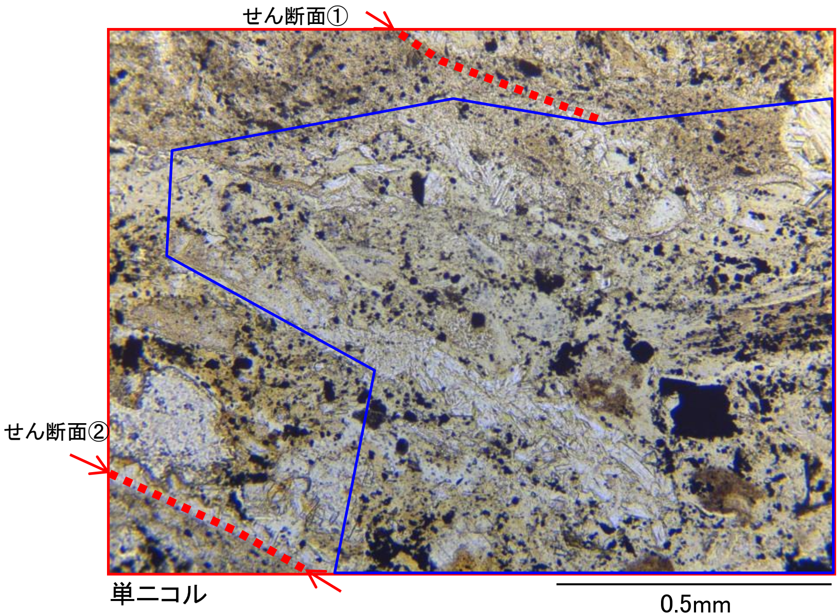


直交ニコル

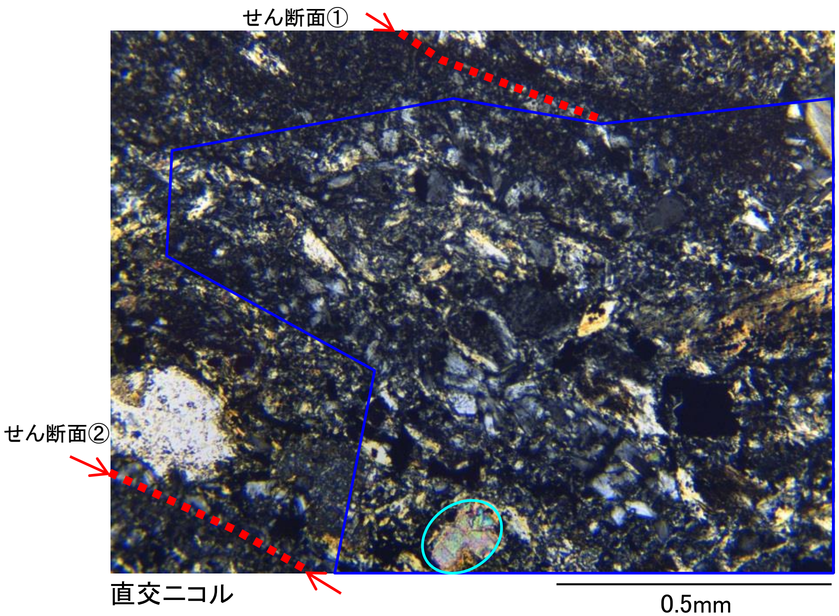
(平成27年撮影)

薄片観察結果 BS2-B23

第318回審査会合
資料2 p.99 加筆・修正



単ニコル



直交ニコル

【鏡下写真08 拡大1】

・せん断面①を横断するように晶出する鉱物脈は，単ニコルで無色，板状で劈開が顕著であり，直交ニコルで複屈折が小さく，消光角も小さいことから，X線回折分析の結果を踏まえ，濁沸石と同定した。

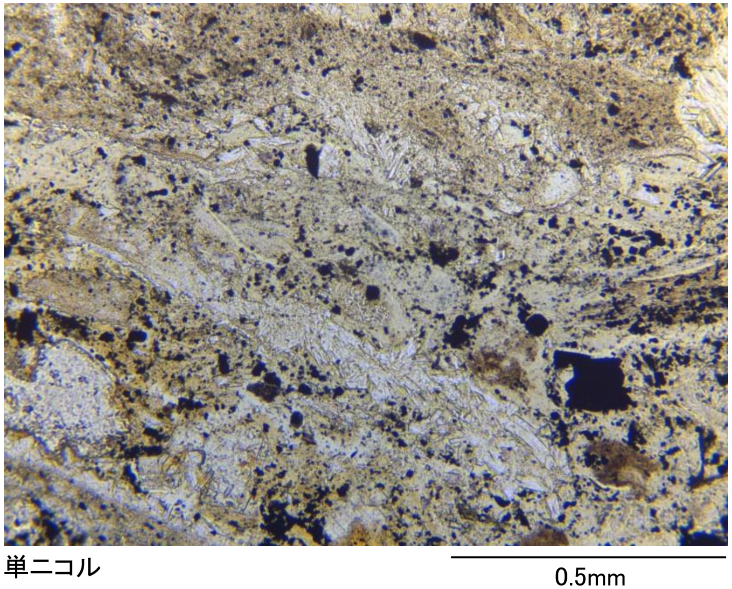
・濁沸石は変位・変形を受けていない。

凡例
：せん断面
：方解石
：濁沸石

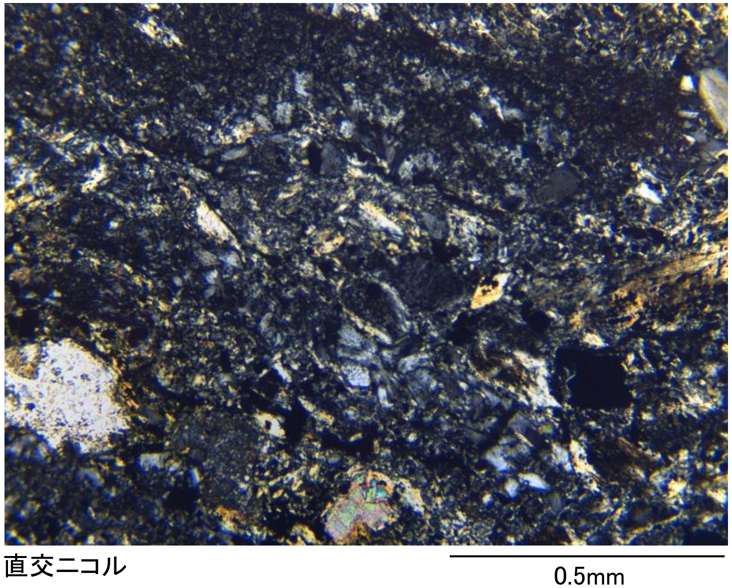
（平成27年撮影）

薄片観察結果 BS2-B23(解釈線なし)

第318回審査会合
資料2 p.100 再掲

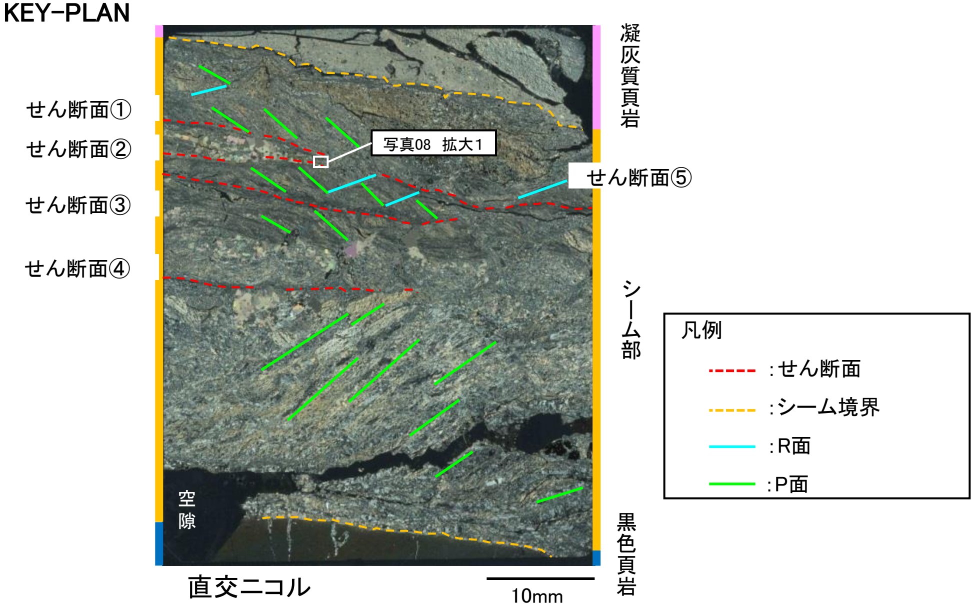


単ニコル



直交ニコル

KEY-PLAN

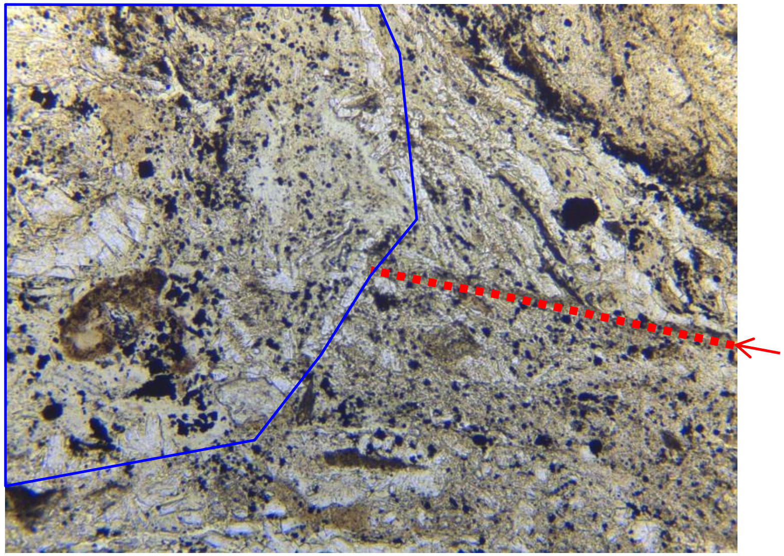


直交ニコル

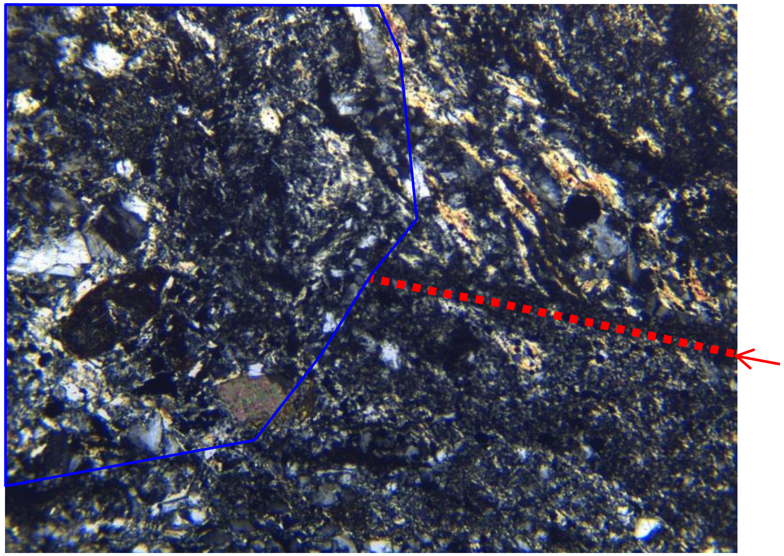
(平成27年撮影)

薄片観察結果 BS2-B23

第318回審査会合
資料2 p.101 加筆・修正



単ニコル　0.5mm



直交ニコル　0.5mm

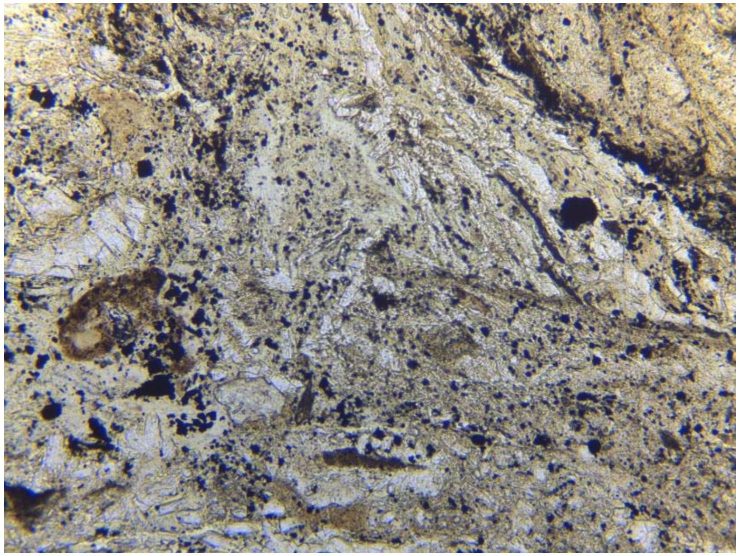
【鏡下写真08 拡大2】
- せん断面⑤を横断するように晶出する鉱物脈は，単ニコルで無色，板状で劈開が顕著であり，直交ニコルで複屈折が小さく，消光角も小さいことから，X線回折分析の結果を踏まえ，濁沸石と同定した。
- 濁沸石は変位・変形を受けていない。

凡例
:せん断面
:濁沸石

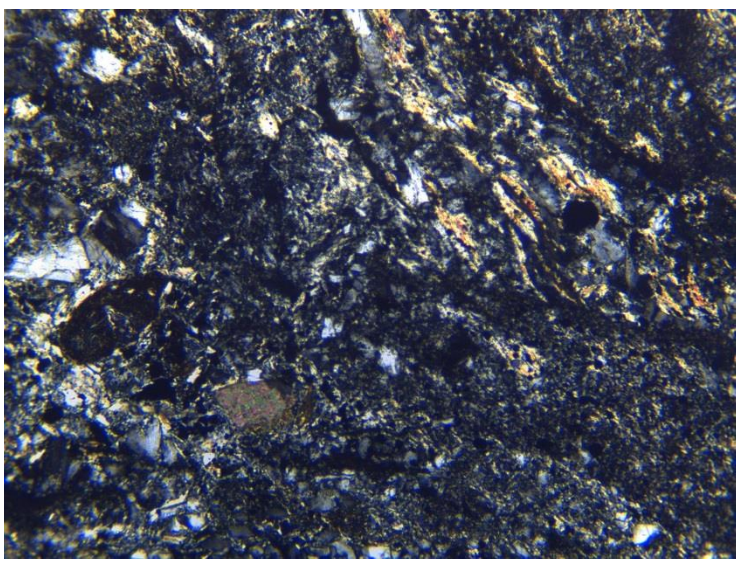
（平成27年撮影）

薄片観察結果　BS2-B23（解釈線なし）

第318回審査会合
資料2 p.102 再掲

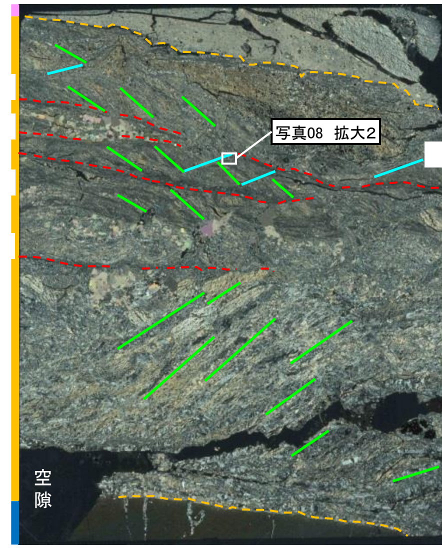


単ニコル　0.5mm



直交ニコル　0.5mm

KEY-PLAN

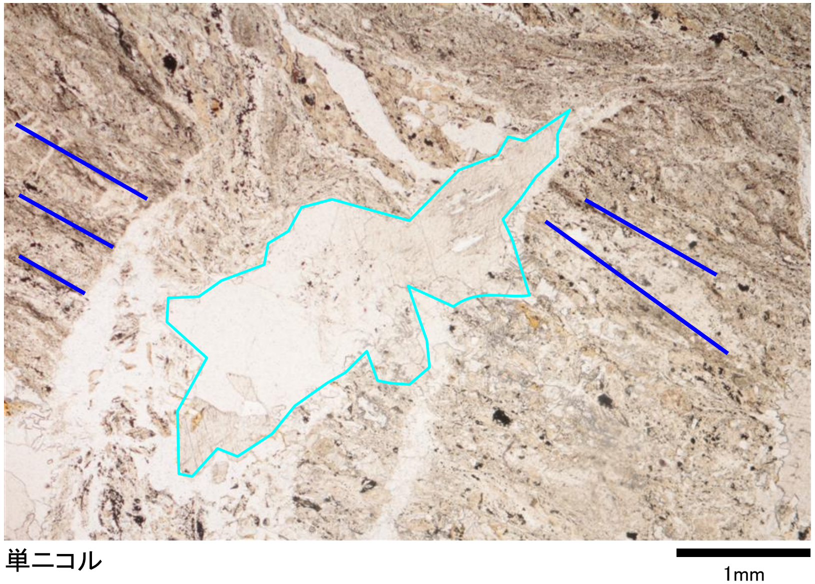


凡例
- :せん断面
- :シーム境界
- :R面
- :P面

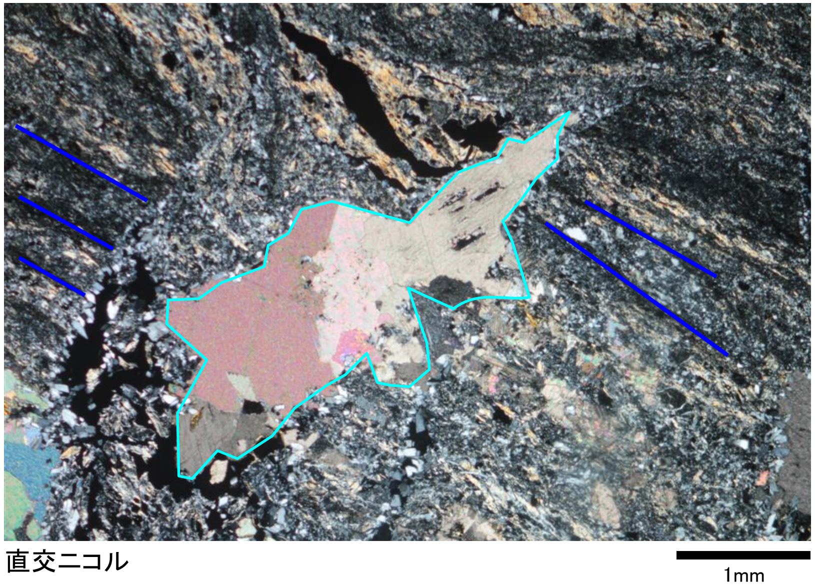
（平成27年撮影）

薄片観察結果 BS2-B23

第318回審査会合
資料2 p.103 加筆・修正



単ニコル



直交ニコル

【写真09】

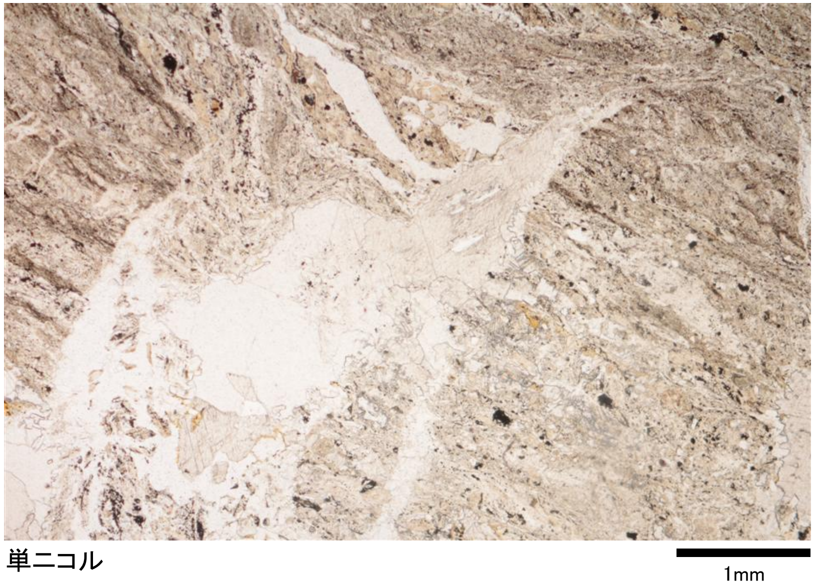
- シーム内に葉状の面構造（P面）が確認できる。P面の方向と薄片作製方向から，逆断層センスと評価した。
- P面を横切るように鉱物が晶出しており，変位・変形を受けていない。
- P面を横切るように晶出する鉱物は，単ニコルで無色で劈開が顕著であり，直交ニコルで高次の干渉色を示すことから，X線回折分析結果を踏まえ，方解石と同定した。

凡例 ：方解石 ：P面

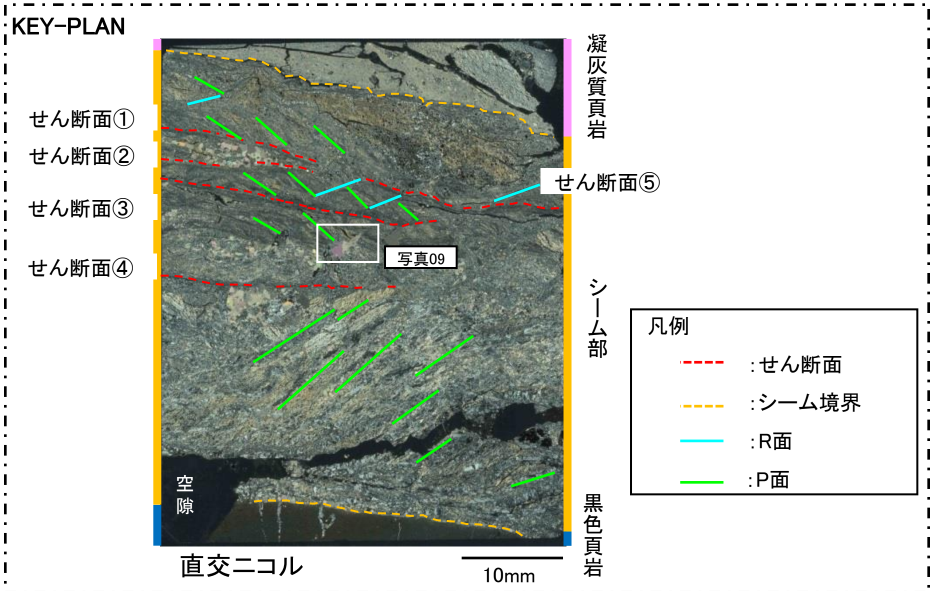
（平成27年撮影）

薄片観察結果 BS2-B23（解釈線なし）

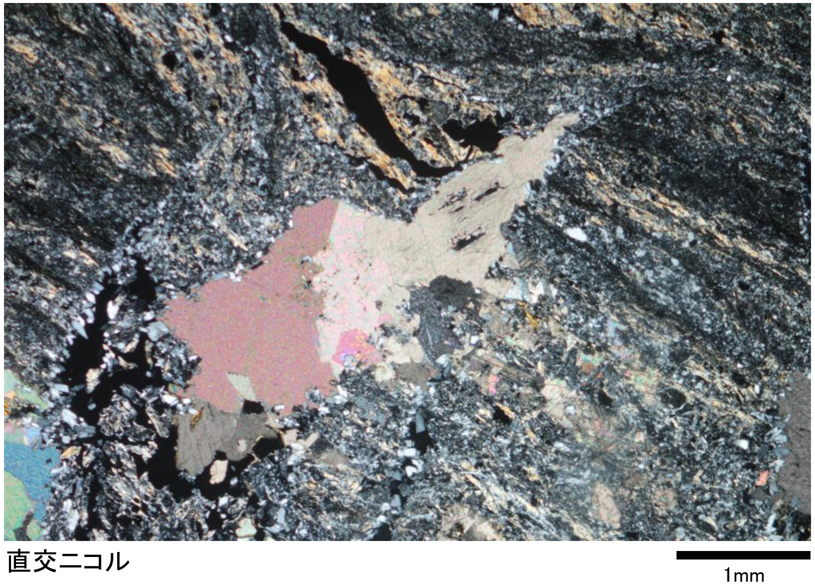
第318回審査会合
資料2 p.104 再掲



単ニコル



直交ニコル

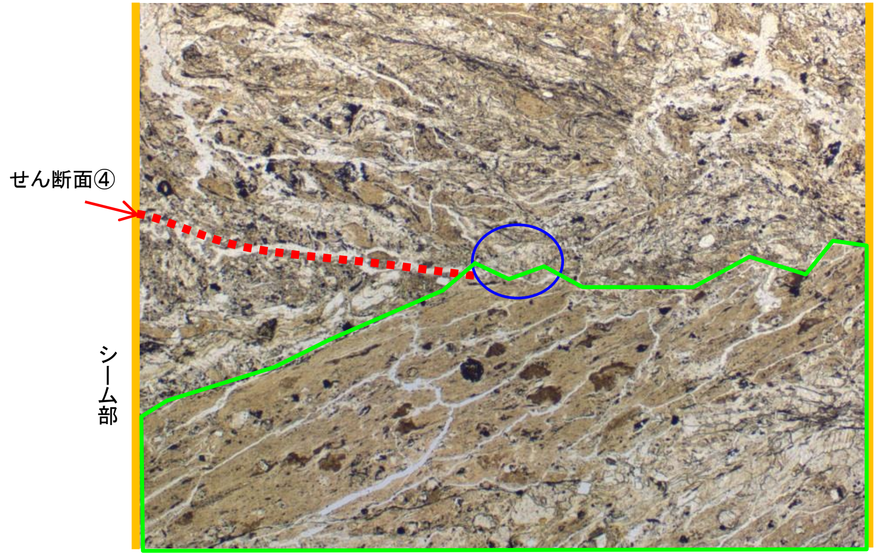


直交ニコル

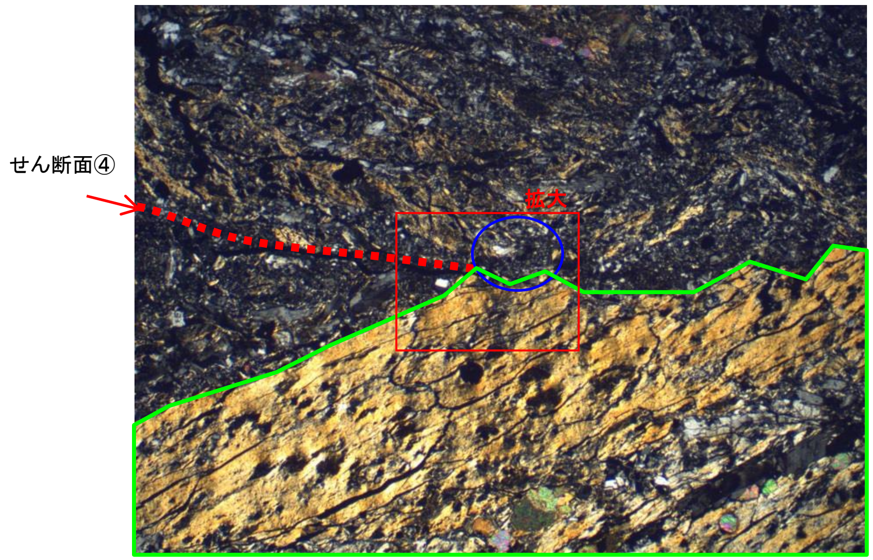
（平成27年撮影）

薄片観察結果 BS2-B23

第318回審査会合
資料2 p.105 再掲



単ニコル



直交ニコル

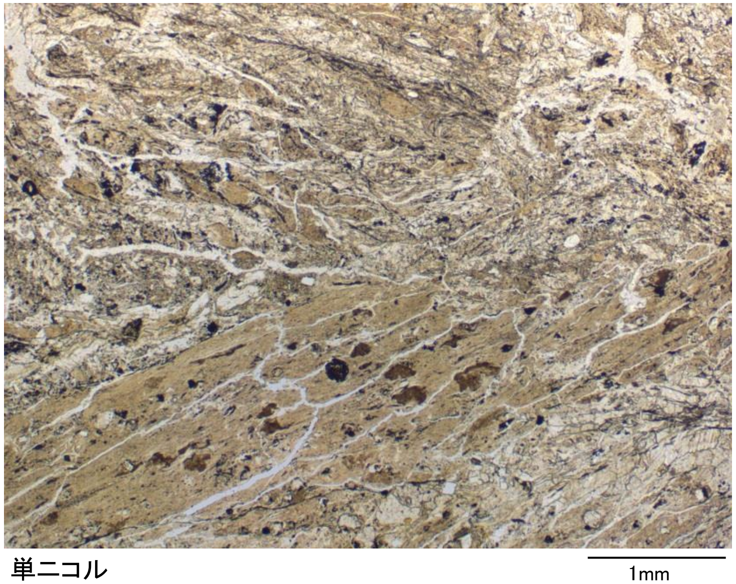
【写真10】
- せん断面④上部には左横ずれセンス(逆断層センス),下部には右横ずれセンス(正断層センス)が認められる。
- せん断面④の下側には,直交ニコルで黄金色のイライト/スメクタイト混合層鉱物が確認できるが,上部の逆断層センスの構造に切断されている。

凡例
:せん断面
:濁沸石
:ｲﾗｲﾄ/ｽﾒｸﾀｲﾄ混合層鉱物

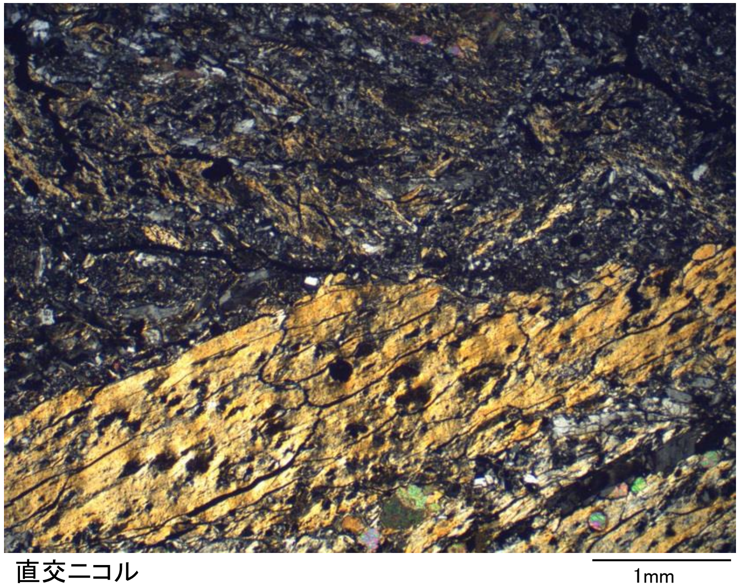
(平成27年撮影)

薄片観察結果 BS2-B23（解釈線なし）

第318回審査会合
資料2 p.106 再掲

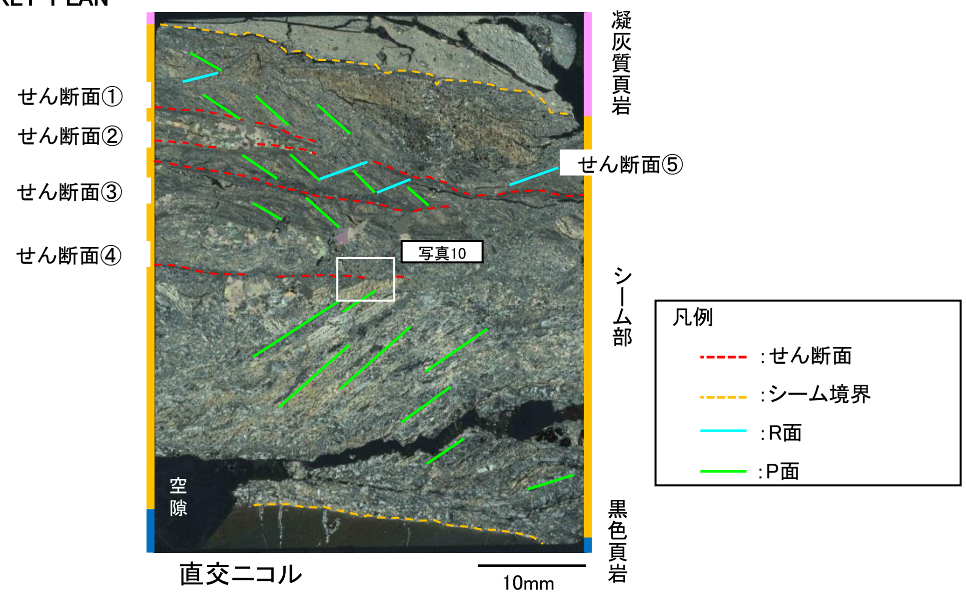


単ニコル



直交ニコル

KEY-PLAN



直交ニコル

（平成27年撮影）

薄片観察結果 BS2-B23

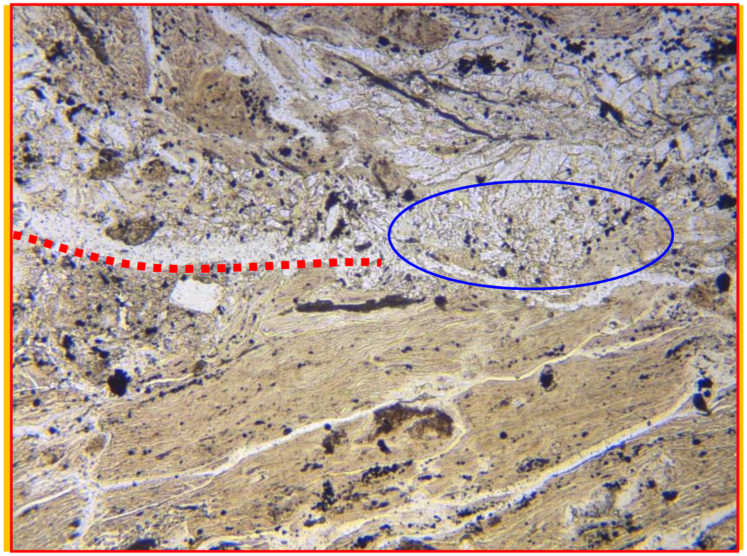
【写真10 拡大】

・せん断面④を止めるように自形鉱物が横断しており，変位・変形を受けていない。

・せん断面④を止めるように晶出する鉱物脈は，単ニコルで無色，板状で劈開が顕著であり，直交ニコルで複屈折が小さく，消光角も小さいことから，X線回折分析の結果を踏まえ，濁沸石と同定した。

せん断面④

シーム部

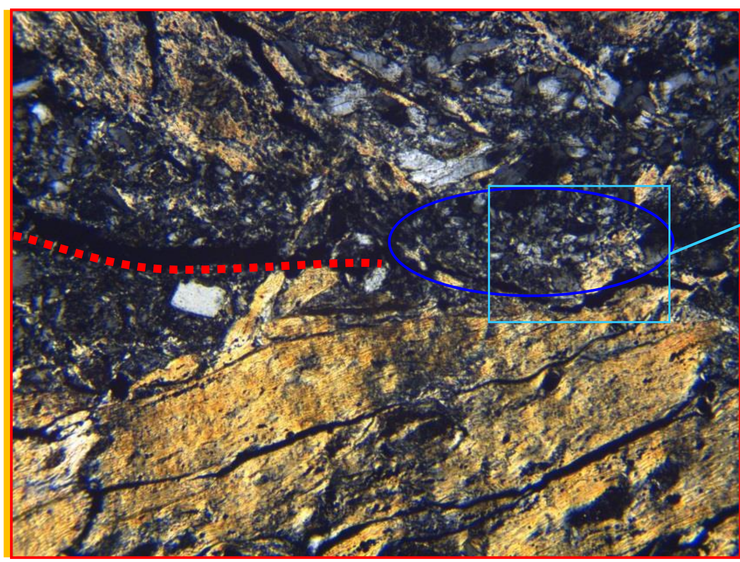


単ニコル

0.5mm

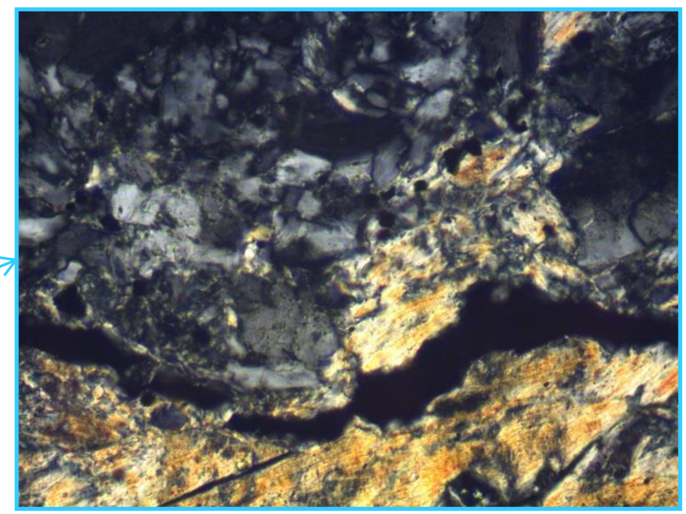
せん断面④

シーム部



直交ニコル

0.5mm



0.1mm

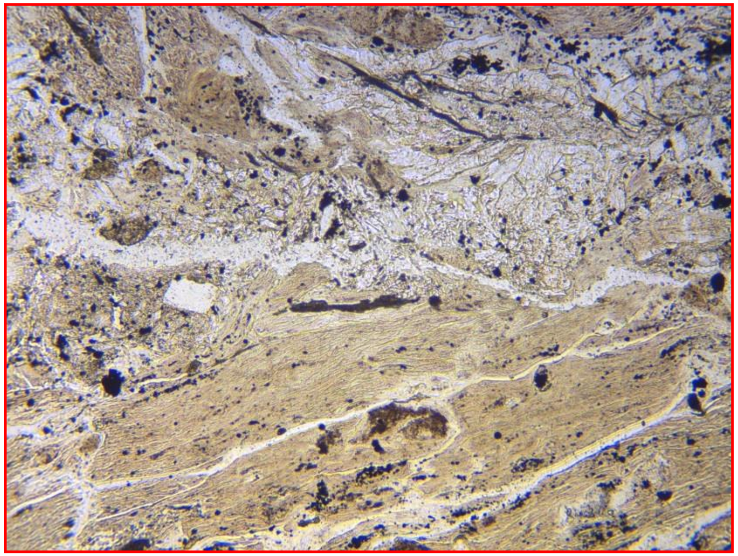
凡例

:せん断面

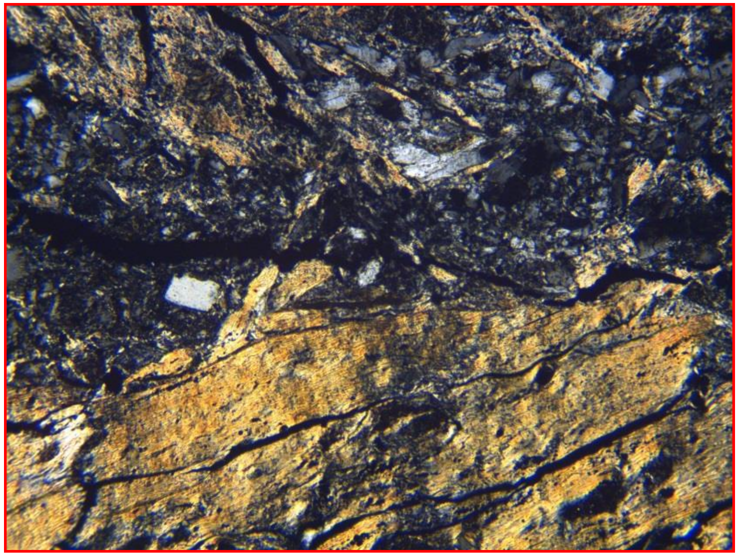
:濁沸石

（平成27年撮影）

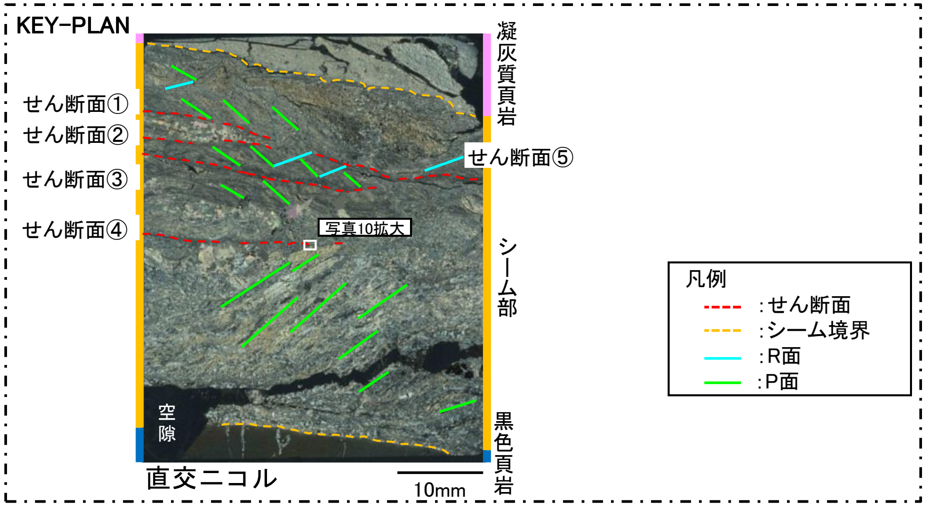
薄片観察結果 BS2-B23(解釈線なし)

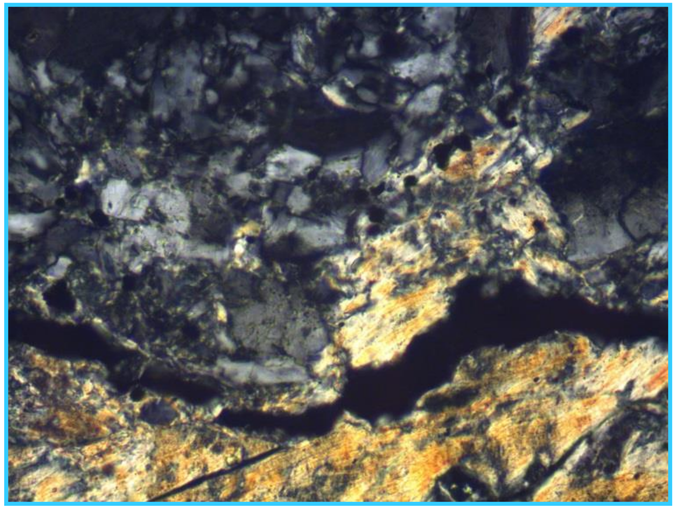


単ニコル
0.5mm



直交ニコル
0.5mm

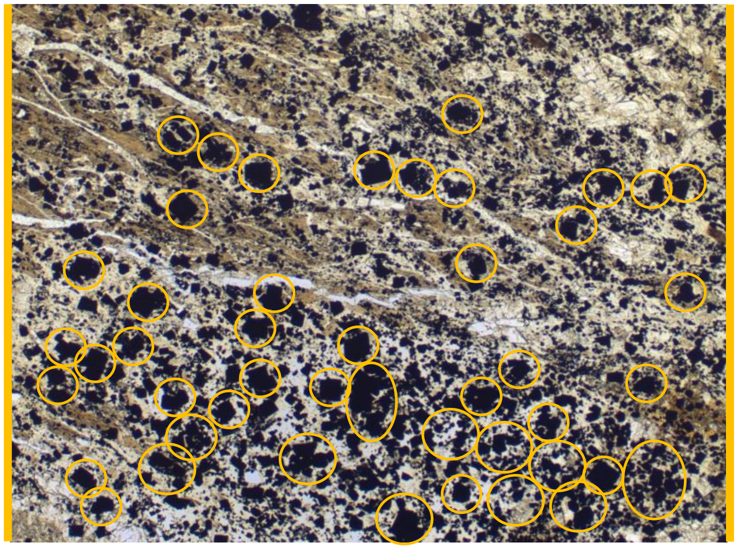




薄片観察結果 BS2-B23

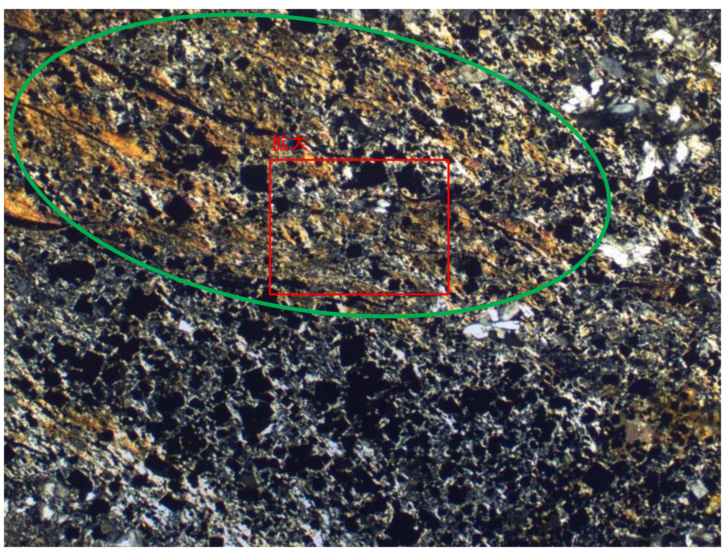
第318回審査会合
資料2 p.107 再掲

シーム部



単ニコル

1mm



直交ニコル

1mm

【写真11】

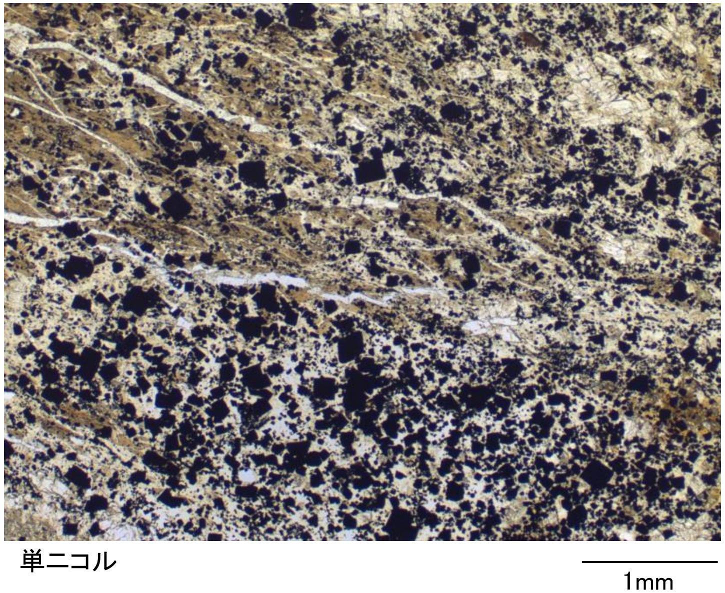
- シームと上盤母岩の境界部付近のシーム内部には，不透明鉱物が密集して晶出する部分が認められる。
- これらの鉱物は，単ニコル，直交ニコルで不透明であり，角張った方形であることから，X線回折分析結果を踏まえ，黄鉄鉱と同定した。

凡例
：黄鉄鉱　：イライト/スメクタイト混合層鉱物

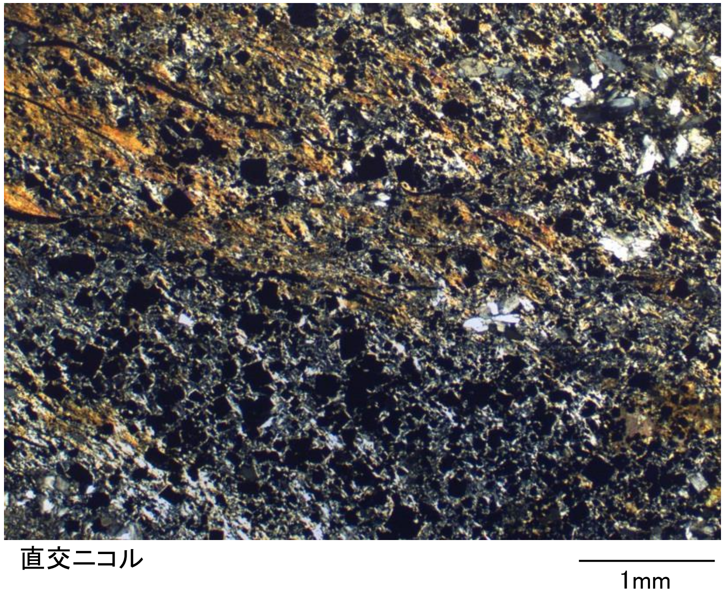
（平成27年撮影）

薄片観察結果 BS2-B23（解釈線なし）

第318回審査会合
資料2 p.108 再掲

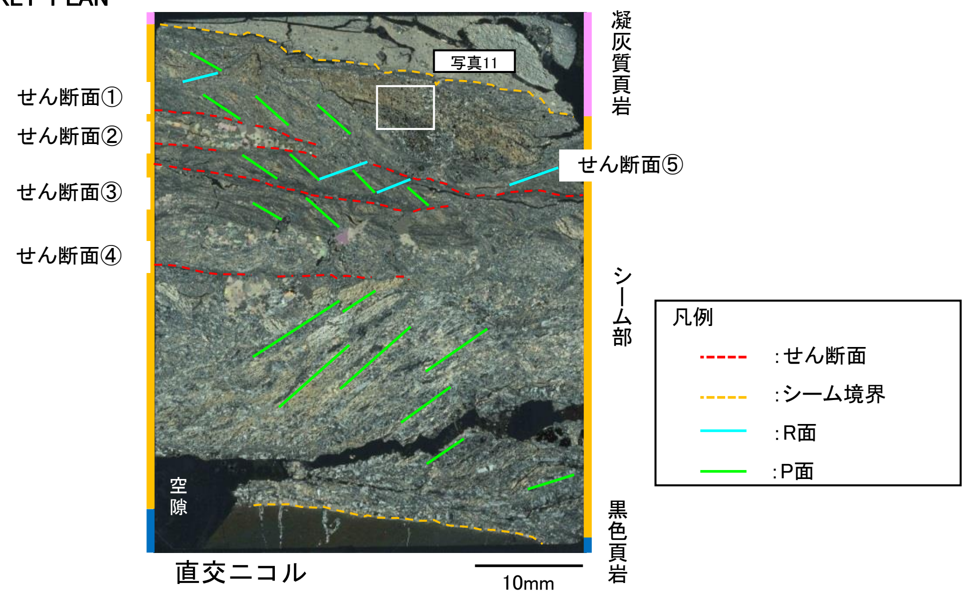


単ニコル



直交ニコル

KEY-PLAN



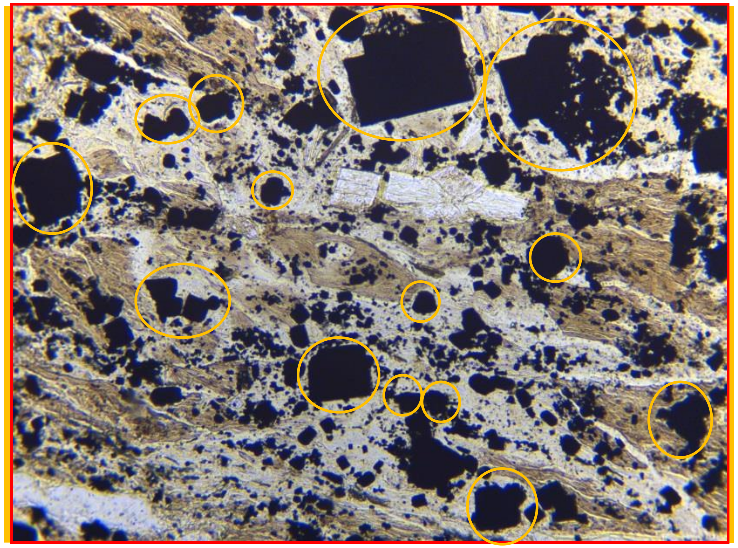
直交ニコル

（平成27年撮影）

薄片観察結果 BS2-B23

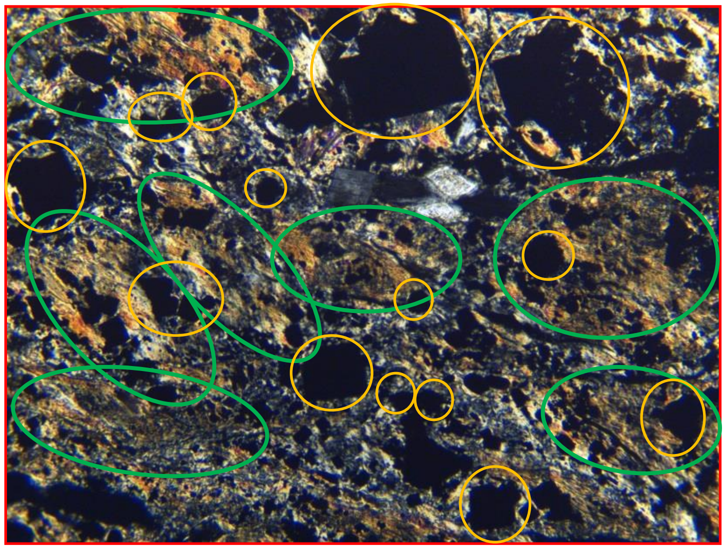
第318回審査会合
資料2 p.109 再掲

シーム部



単ニコル

0.5mm



直交ニコル

0.5mm

【写真11 拡大】
・黄鉄鉱は方形の結晶も認められるが，多くは角がとれて円摩されている。
・角が取れた黄鉄鉱の多くはイライト/スメクタイト混合層鉱物に取り込まれていることから，イライト/スメクタイト混合層鉱物の生成前に生成された鉱物と評価した。

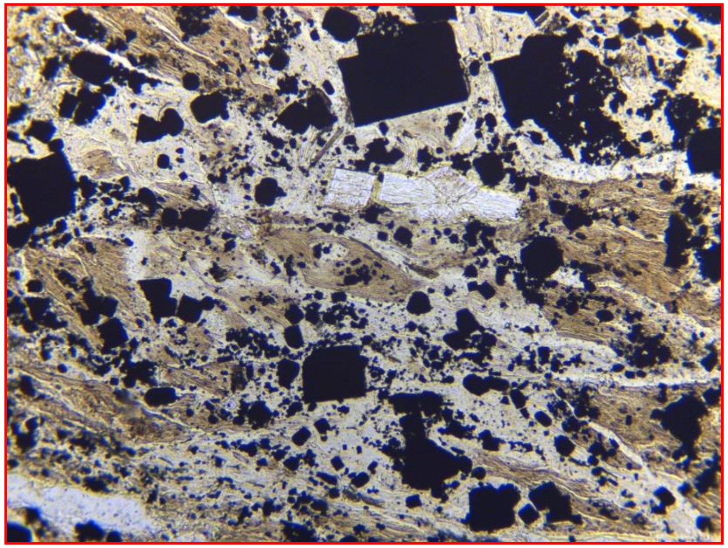
以上のことから，黄鉄鉱は凝灰質頁岩の初生鉱物であると評価した。

凡例
:黄鉄鉱 :イライト/スメクタイト混合層鉱物

（平成27年撮影）

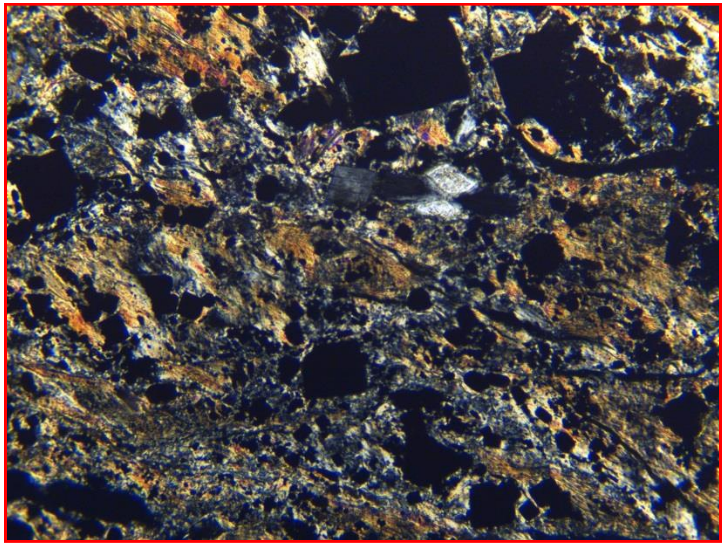
薄片観察結果 BS2-B23（解釈線なし）

第318回審査会合
資料2 p.110 再掲



単ニコル

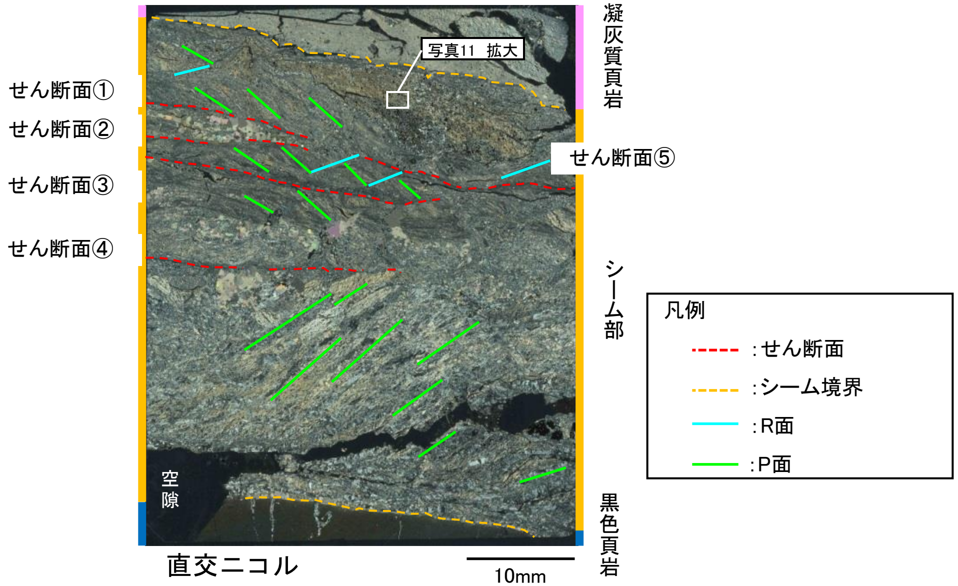
0.5mm



直交ニコル

0.5mm

KEY-PLAN



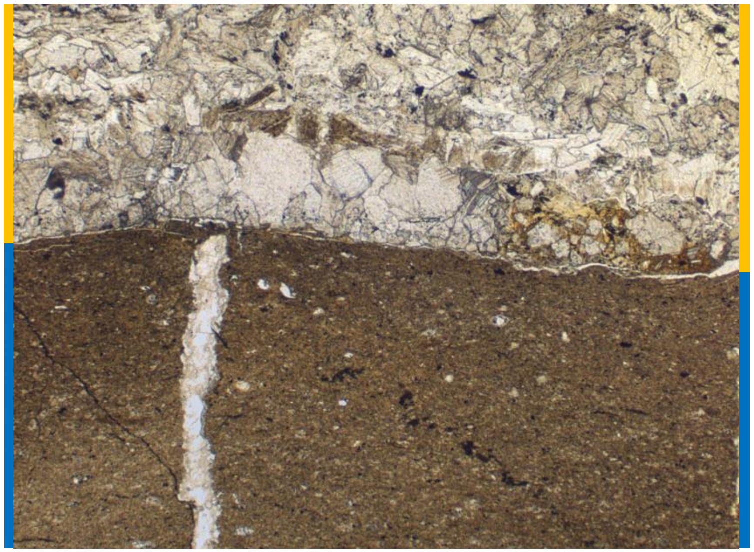
直交ニコル

（平成27年撮影）

薄片観察結果 BS2-B23

第318回審査会合
資料2 p.71 加筆・修正

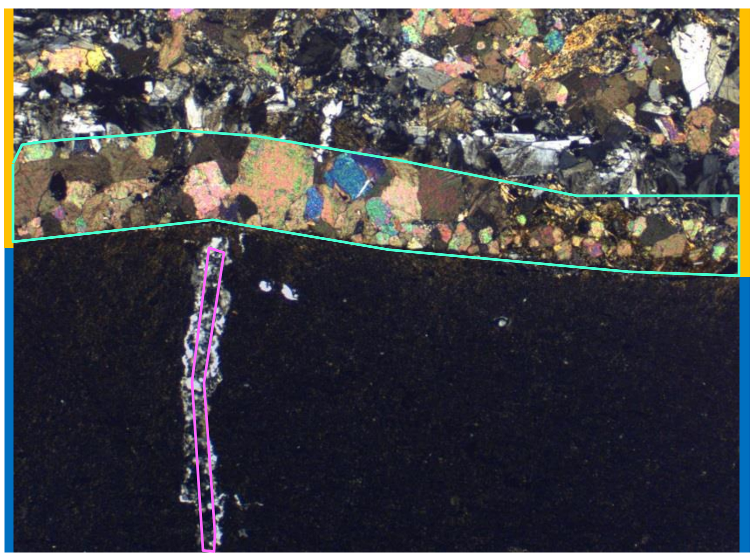
シーム部
黒色頁岩



単ニコル

1mm

シーム部
黒色頁岩



直交ニコル

1mm

【写真06】

- シームと下盤母岩において，細粒化が認められないことから，シームと下盤母岩（黒色頁岩）の境界部にはせん断面は認められない。
- シーム境界上側のシームに晶出する鉱物に破砕が認められない。この鉱物は，単ニコルで無色で劈開が顕著であり，直交ニコルで高次の干渉色を示すことから，X線回折分析結果を踏まえ，方解石と同定した。
- シーム境界下側の黒色頁岩の節理に充填された鉱物はせん断による破砕が認められない。単ニコルで無色で劈開がなく，直交ニコルで複屈折が小さく，消光角も小さいことから，X線回折分析の結果を踏まえ，石英と同定した。

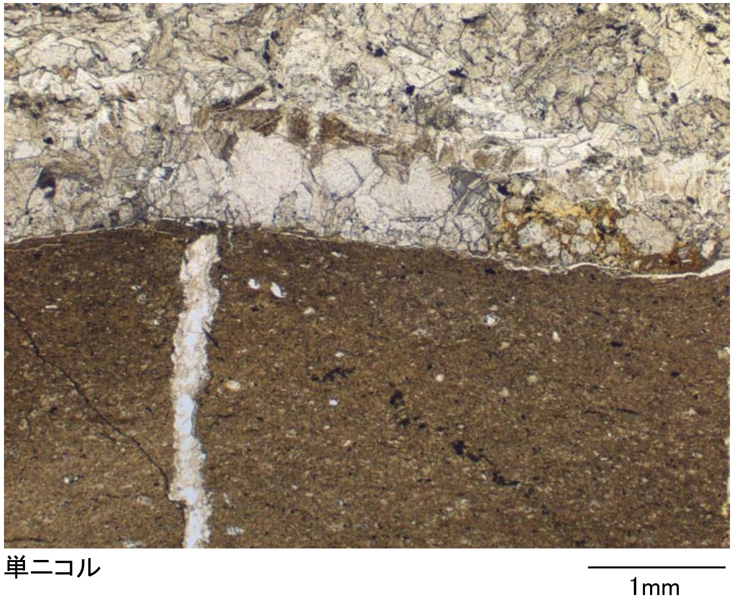
以上のことから，シームと下盤母岩（黒色頁岩）の境界部にはせん断面は認められないが，せん断面があったとしても，方解石等が境界部に晶出しており，破砕が認められないことから，これらの鉱物が晶出して以降，活動していないと評価した。

凡例 :方解石 :石英

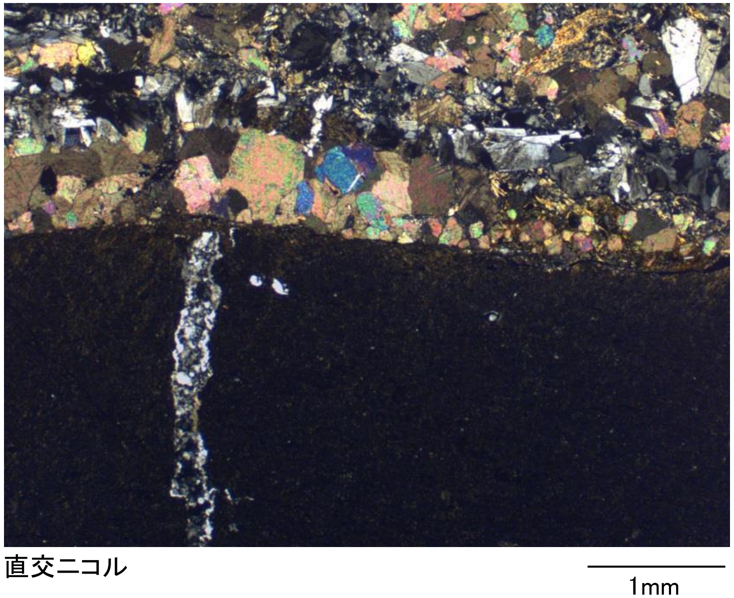
（平成27年撮影）

薄片観察結果 BS2-B23(解釈線なし)

第318回審査会合
資料2 p.72 再掲

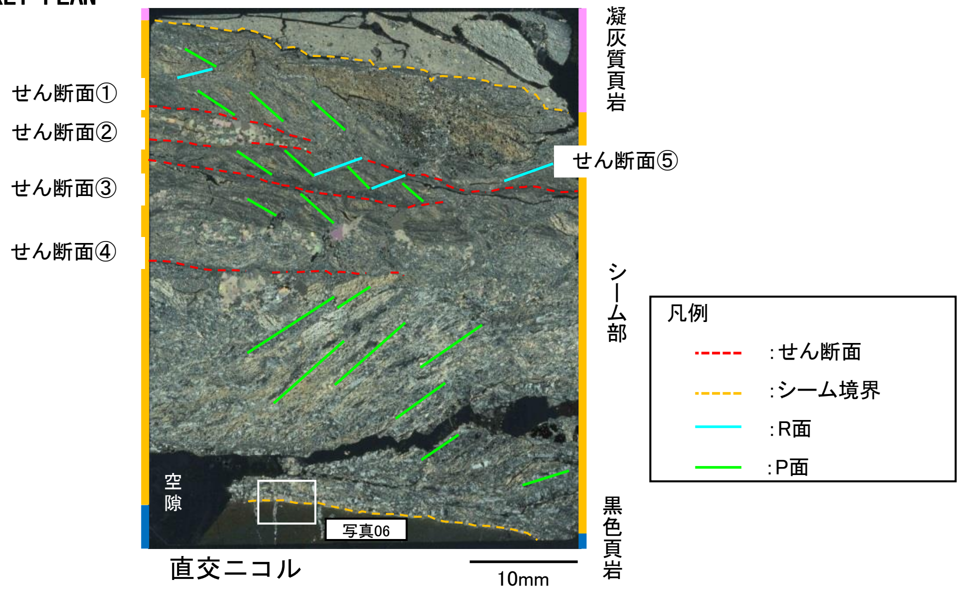


単ニコル



直交ニコル

KEY-PLAN

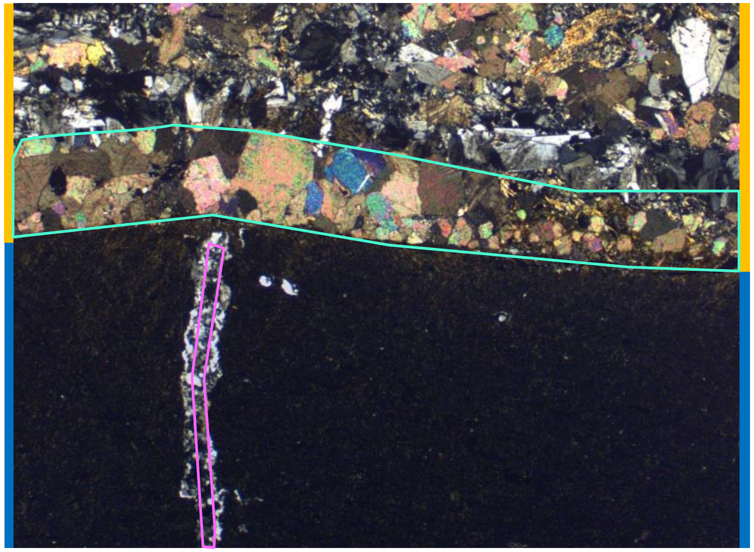


直交ニコル

(平成27年撮影)

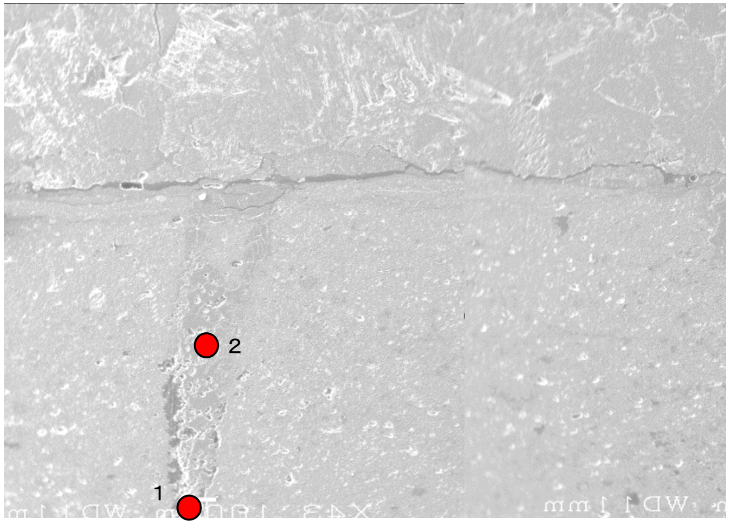
EPMA分析結果 BS2-B23

第318回審査会合
資料2 p.73 加筆・修正



薄片写真(直交ニコル)　1mm

凡例 :方解石 :石英



EPMA分析位置(SEM画像)　EPMA定量ポイント 直径10μ m

【写真06 EPMA分析結果】

- 黒色頁岩の節理に充填された鉱物脈の種類を詳細に同定するため，EPMA分析を行った。
- SiO_2が支配的であったため，薄片観察での同定結果と同様，この鉱物は石英と同定した。

EPMA分析結果　Mass(%)

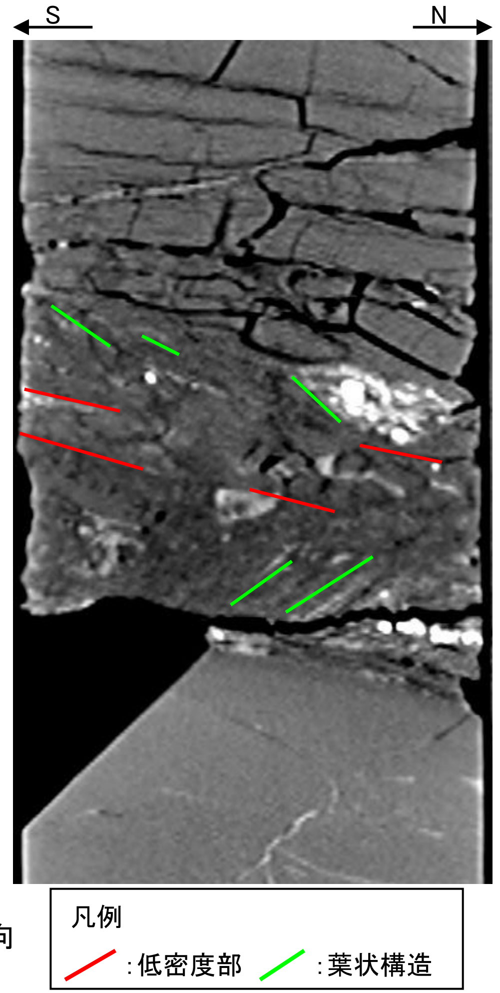
分析位置	1	2
SiO_2	95.657	95.674
TiO_2	0.006	0.041
Al_2O_3	0.432	0.392
Fe_2O_3	0.059	0.026
MnO	0.000	0.014
MgO	0.013	0.010
CaO	0.079	0.066
K_2O	0.045	0.052
Na_2O	0.053	0.058
Cr_2O_3	0.033	0.000
SO_3	0.009	0.029
OH	3.614	3.639
Total	100.000	100.001

(平成27年撮影)

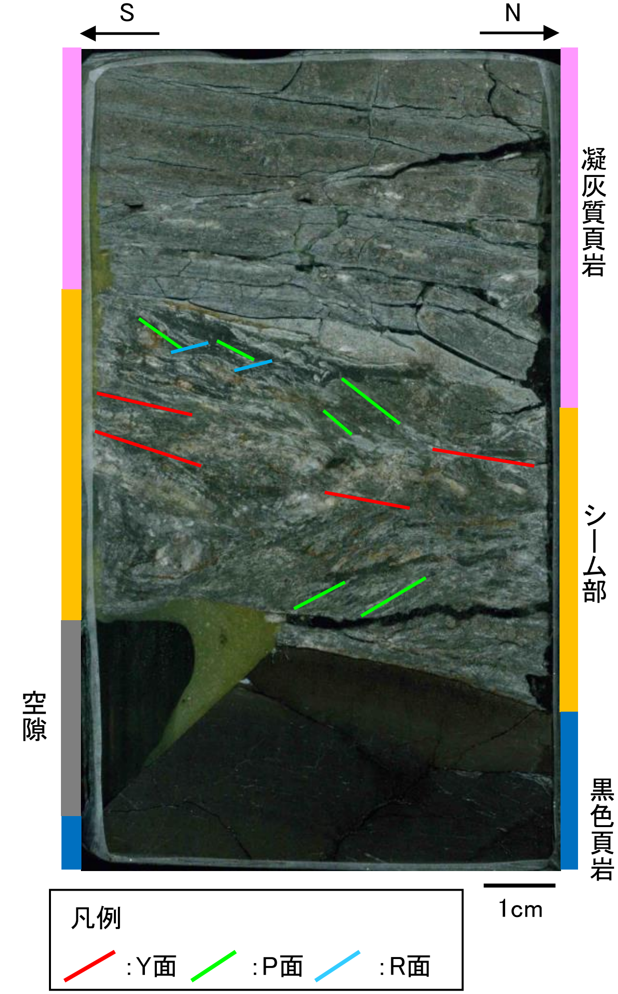
研磨片観察とCT観察の対比

第318回審査会合
資料2 p.43 再掲

B23シームコア写真



B23シームCT画像(研磨片作製断面)



B23シーム研磨片写真

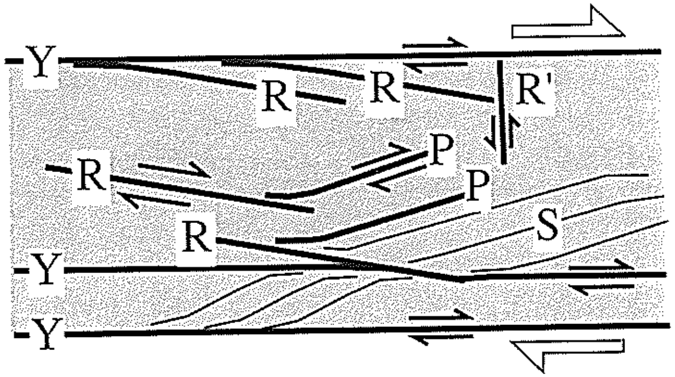
・CT画像では,シームに平行な低密度部(図の赤線)に斜交する鉱物の配列方向を葉状構造として認定している。
・B23シームのCT画像で認められる低密度部及び葉状構造は,研磨片のY面及びP面と概ね対応している。

(参考)複合面構造の考え方

第318回審査会合
資料2 p.44 再掲

脆弱断層帯で最もよく見られる

リーデルせん断面



Y : Yせん断面(主せん断面)
R : Rせん断面
R' : R' せん断面
P : Pせん断面

C. パスキエほか(1999)を加筆・修正

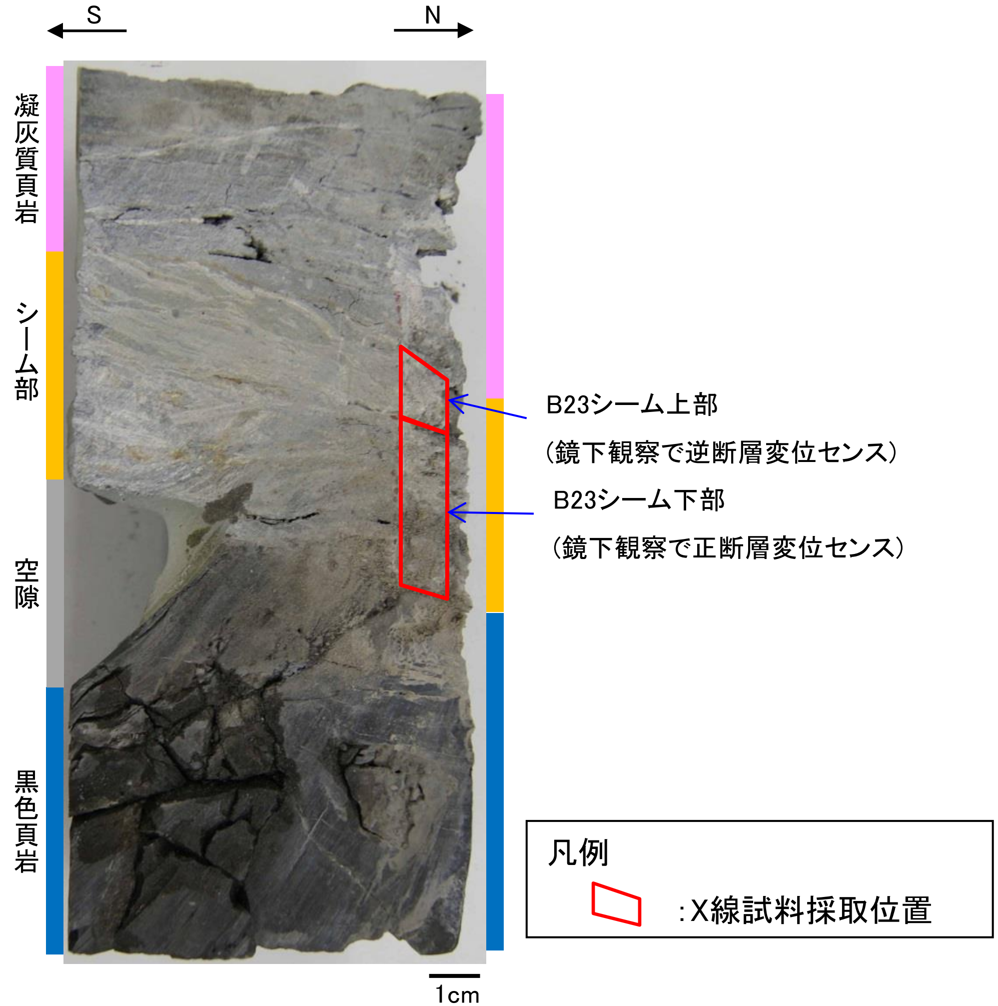
C. パスキエほか(1999)[(6)] 及び狩野・村田(1998)[(7)]による複合面構造の考え方

複合面構造	特徴
Y面	・シームの走向に平行な主せん断面
R面	・Y面に対して時計回りに0° から30° 程度斜交し，右横ずれの場合，右横ずれ変位と多少の開口成分をもつ左雁行状の破断面
P面	・Y面に対して反時計回りに0° から30° 程度斜交し，密に発達する葉状の面構造 ・面に沿って破砕された粒子や，続成・弱変成作用によって生じた細粒の雲母粘土鉱物が配列する。

・C. パスキエほか(1999)によると，右横ずれの脆弱性破砕帯が形成される際，特徴的な方位とせん断センスを持つ，リーデルせん断面(Rせん断面，R' せん断面，Pせん断面等)が見られ，せん断センスは，古いリーデルせん断面(RによるPやYの屈曲)や面構造により，せん断センスを決定できるとしている。
・狩野・村田(1998)によると，P面は密に発達する葉状の面構造であり，面に沿って破砕された粒子等が配列することで特徴付けられる。

X線回折分析試料採取位置 BS-2, B23シーム

B23シームコア写真

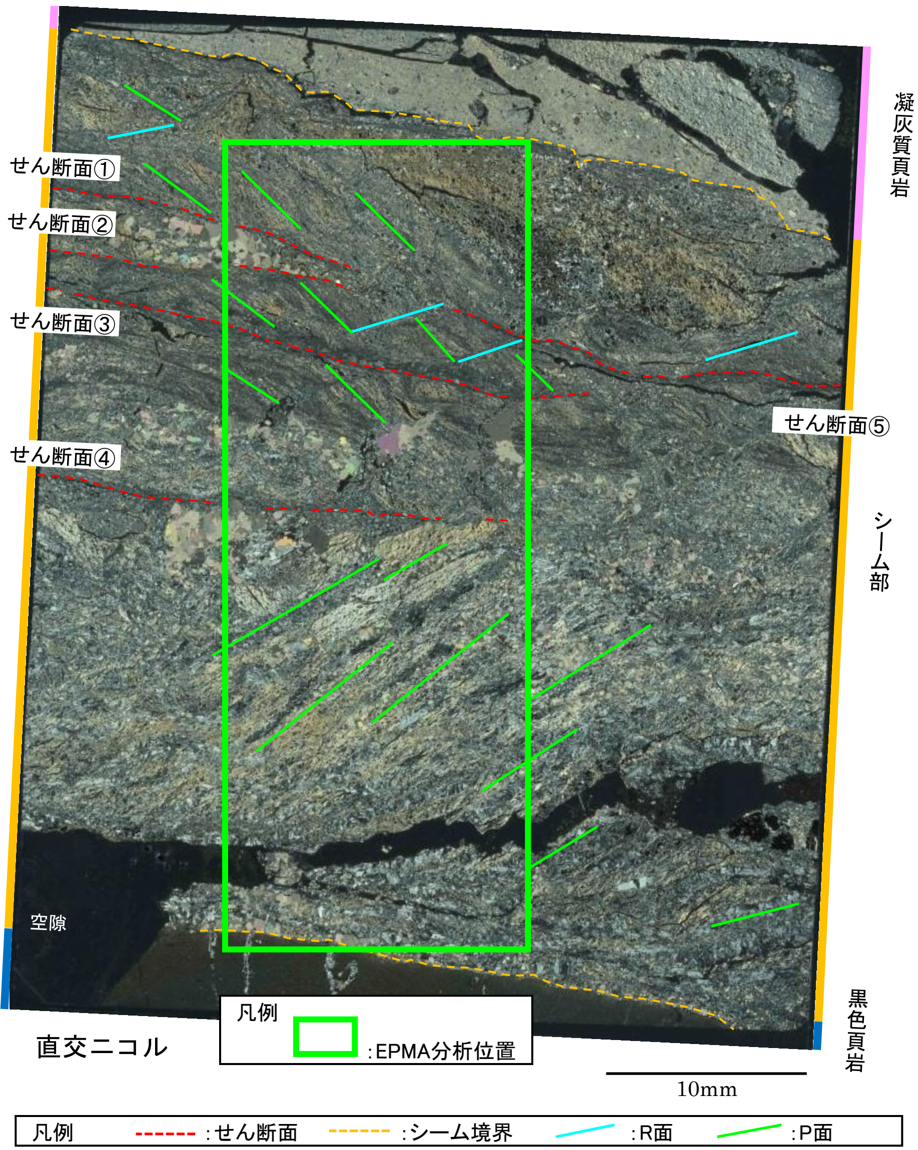


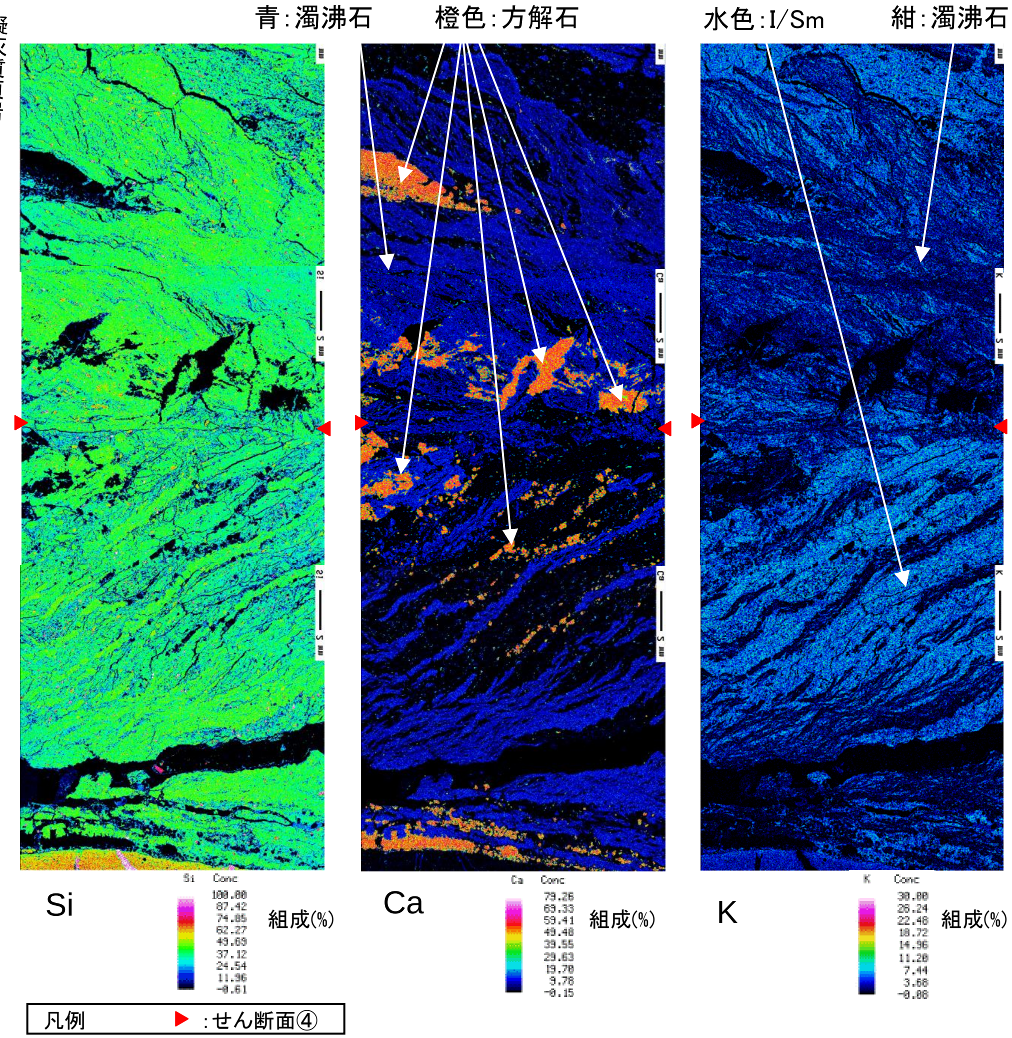
B23シーム半割コア写真(X線試料採取位置)

・B23シームは，コア観察及びCT観察において確認された，せん断センスが異なる上部と下部でそれぞれ試料を採取した。

EPMA分析結果 BS2-B23

第318回審査会合
資料2 p.75 再掲

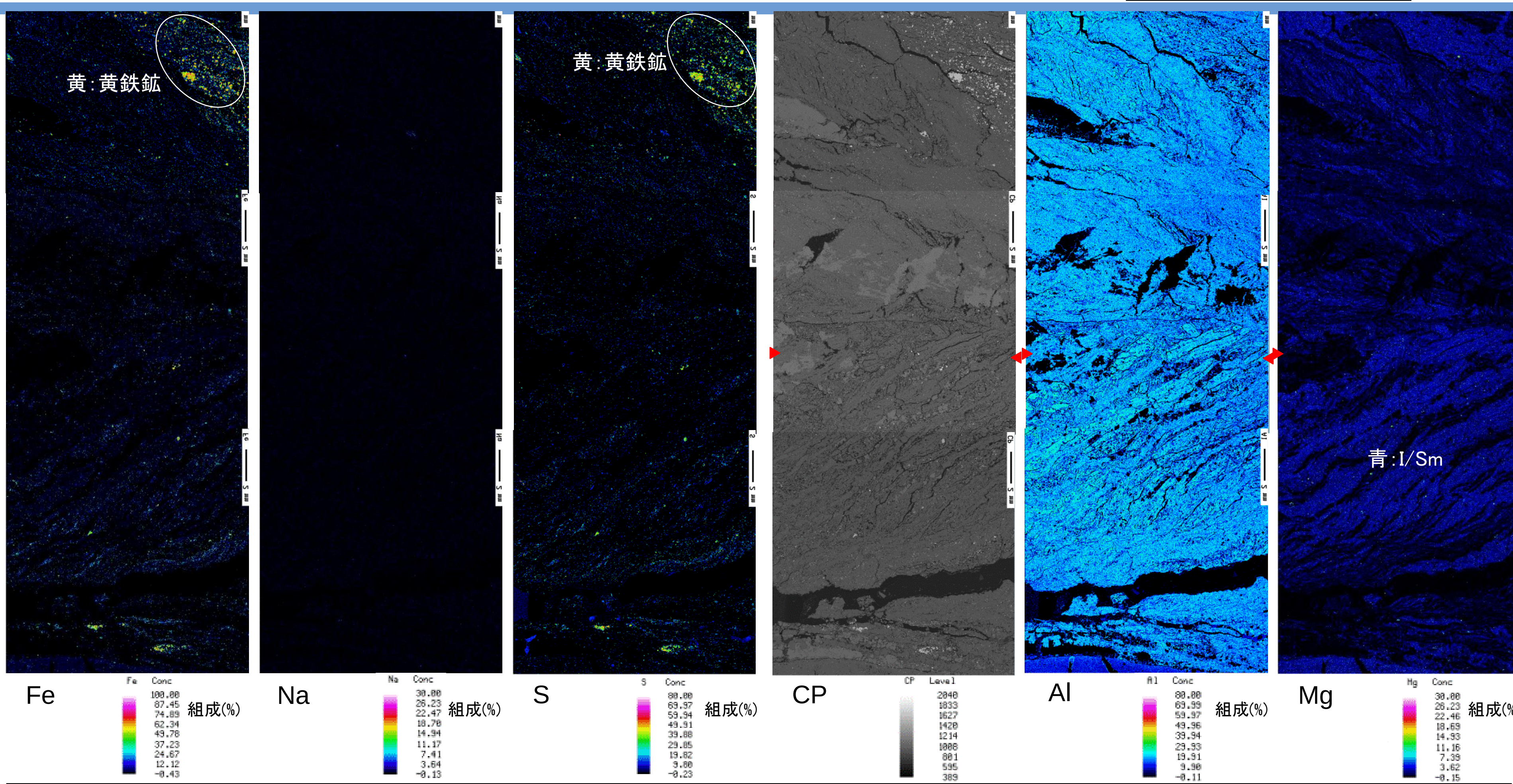




・B23シームの全体の鉱物組成を確認するため，EPMA分析（マッピング）を行った。

EPMA分析結果　BS2-B23

第318回審査会合
資料2 p.76 加筆・修正



・ほぼCaのみが検出される範囲には，方解石($CaCO_3$)が晶出している。方解石は，せん断面④下部のP面沿い，せん断面④上部のR面沿いに分布する。
・Si，Ca，Alが検出される範囲には，濁沸石($CaAl_2Si_4O_{12}$・$4H_2O$)が晶出している。
・K，Mgが検出される範囲には，ｲﾗｲﾄ/ｽﾒｸﾀｲﾄ混合層鉱物(※)が晶出している。ｲﾗｲﾄ/ｽﾒｸﾀｲﾄ混合層鉱物は，せん断面④の上部・下部のP面沿いに晶出しており，下部に多い傾向がある。
・Fe,Sが検出される範囲には，黄鉄鉱(FeS_2)が晶出している。

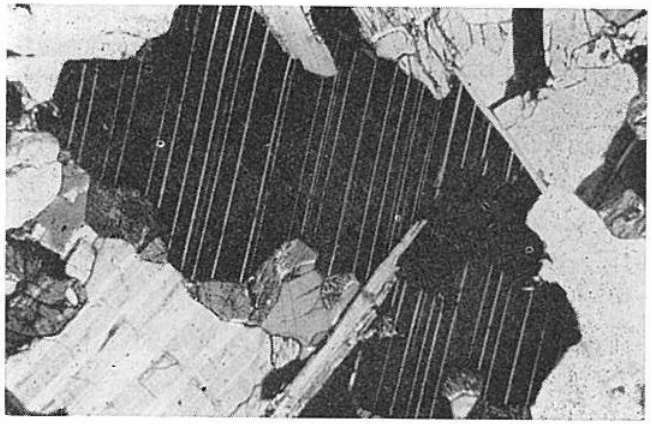
※　イライト：$K_{1-1.5}Al_4(Si_{7-6.5}Al_{1-1.5}O_{20})(OH)_4$，　　スメクタイト：$Na_{0.7}(Al_{3.3}Mg_{0.7})Si_8O_{20}(OH)_4$・$nH_2O$

余白

斜長石の特徴について

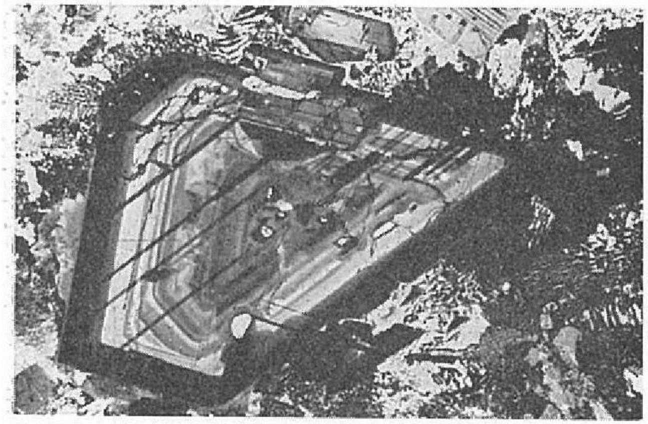
[黒田・諏訪(1983)(8)]

・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

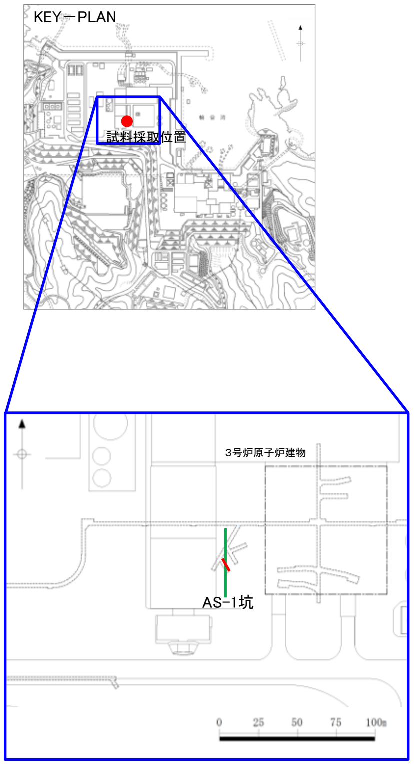


薄片観察下における斜長石の累帯構造の例
（直交ニコル，×32）

黒田・諏訪(1983)を加筆・修正

※双晶とは，特定な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)



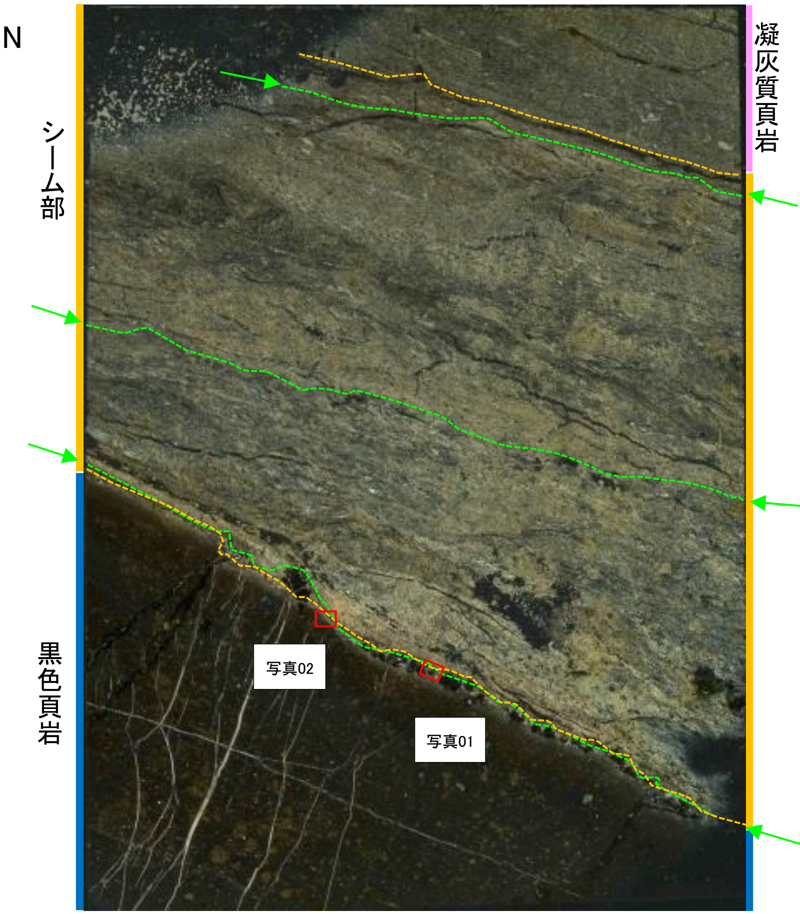
凡例 :試料採取した試掘坑壁

:薄片作成方向

S

N

単ニコル



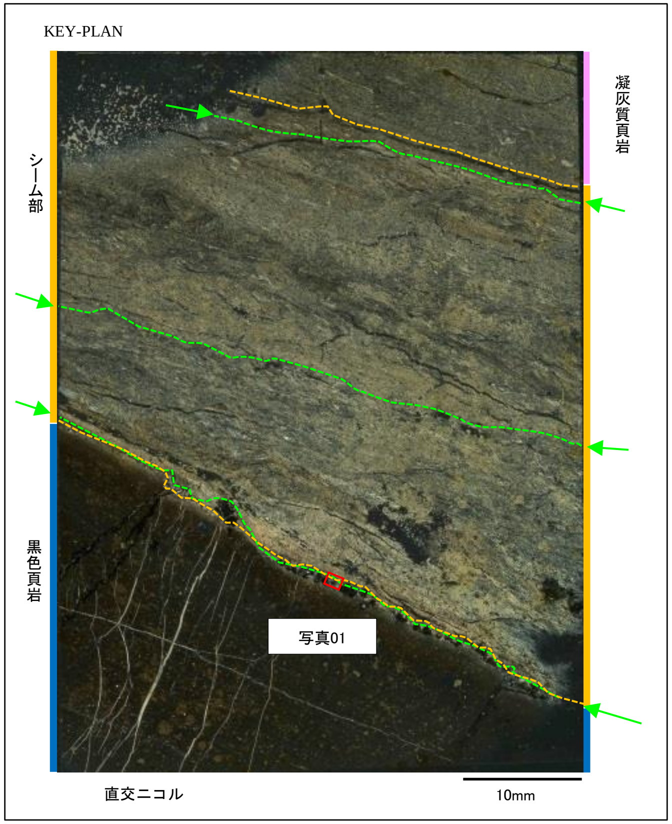
直交ニコル

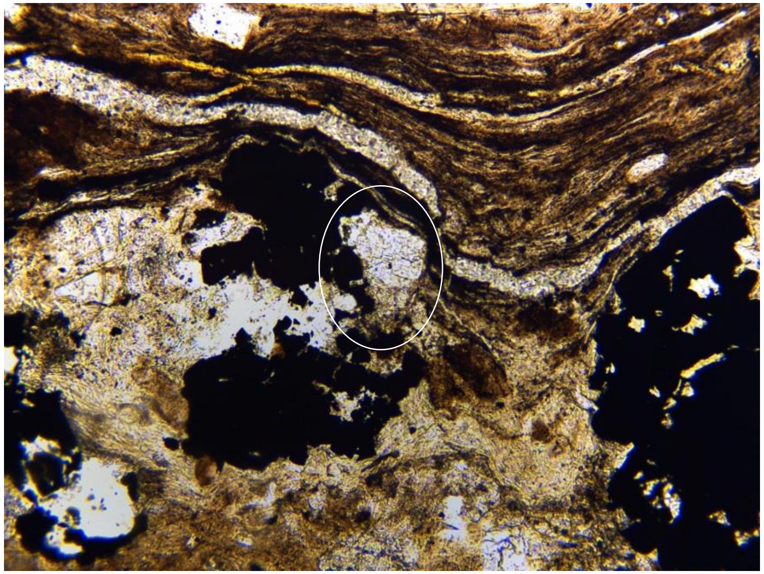
薄片全体写真(平成26年撮影)

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。

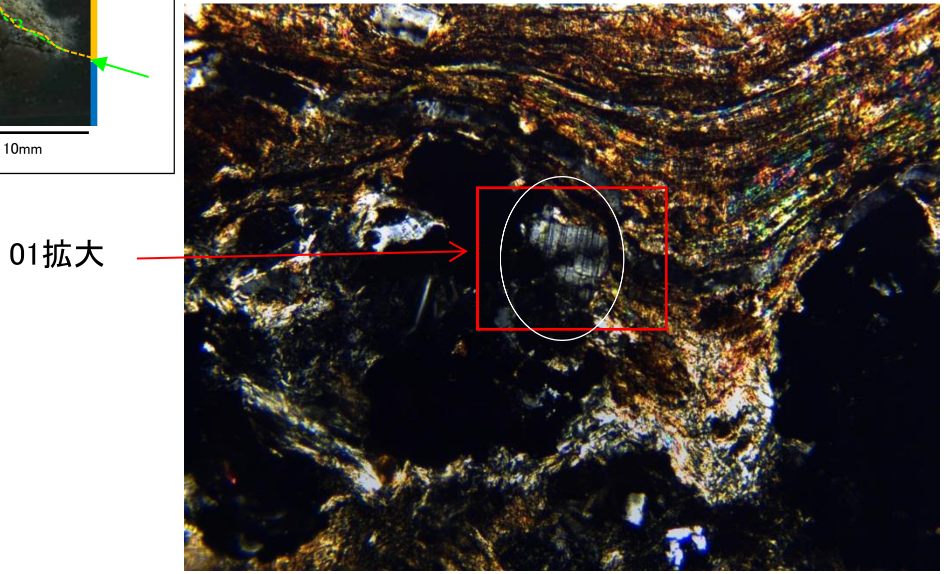
薄片試料の詳細観察結果（B23-AS1-N-S）





単ニコル

0.5mm

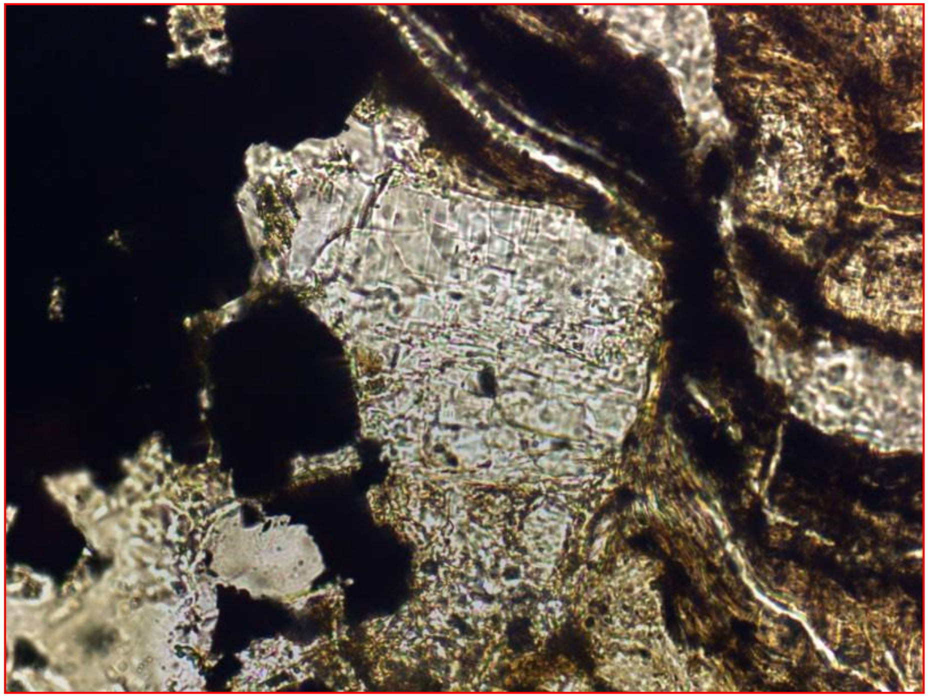


直交ニコル

0.5mm

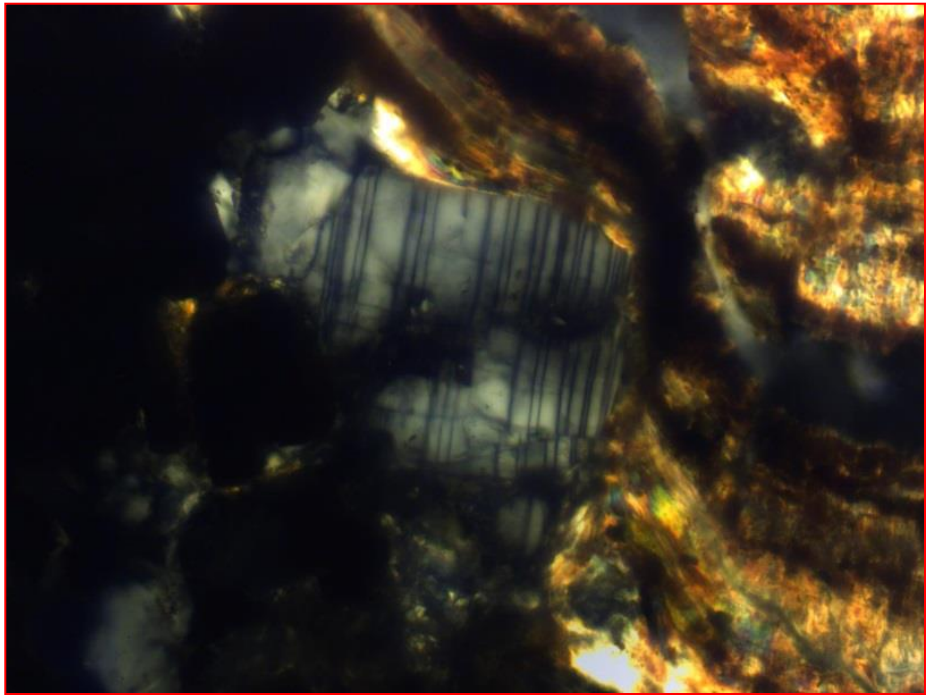
[写真01]
- シーム下部と接する黒色頁岩に，単ニコルで無色，直交ニコルで双晶を示す鉱物が確認できる。
- 当該鉱物は円磨された砂粒のような形状を示す。

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

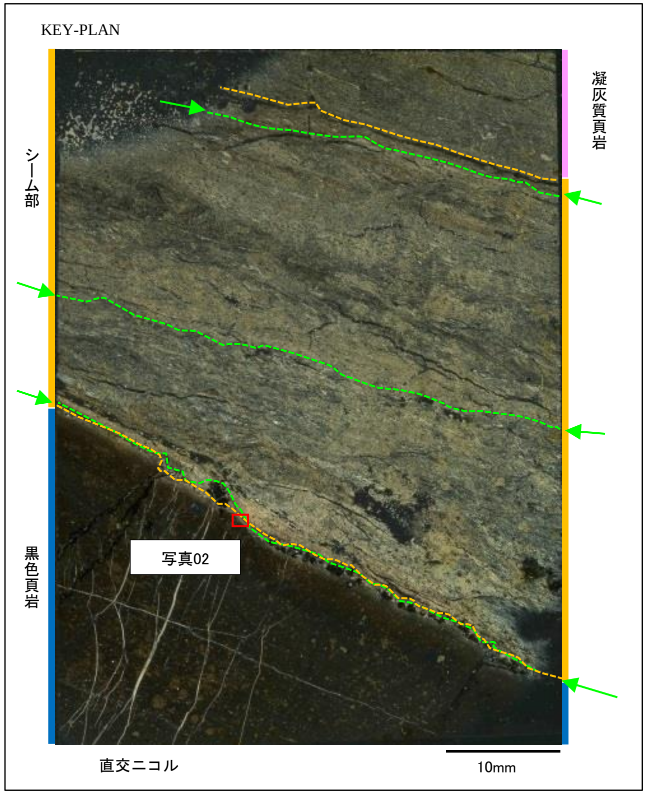
0.1mm

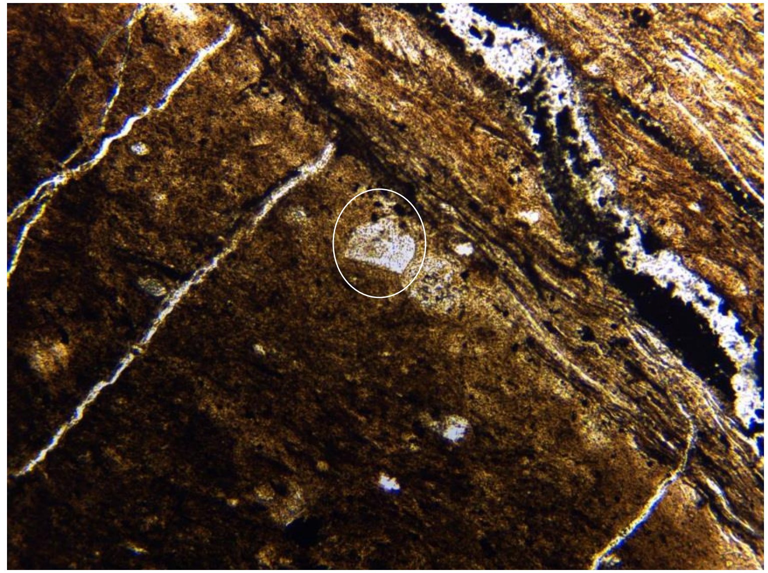
[写真01 拡大]

・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，この鉱物は斜長石と同定した。

・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。

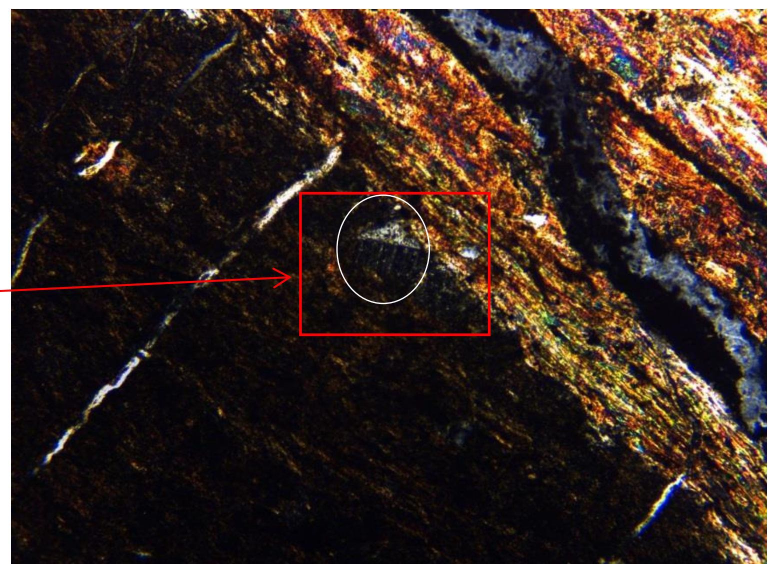
薄片試料の詳細観察結果(B23-AS1-N-S)





単ニコル 0.5mm

02拡大

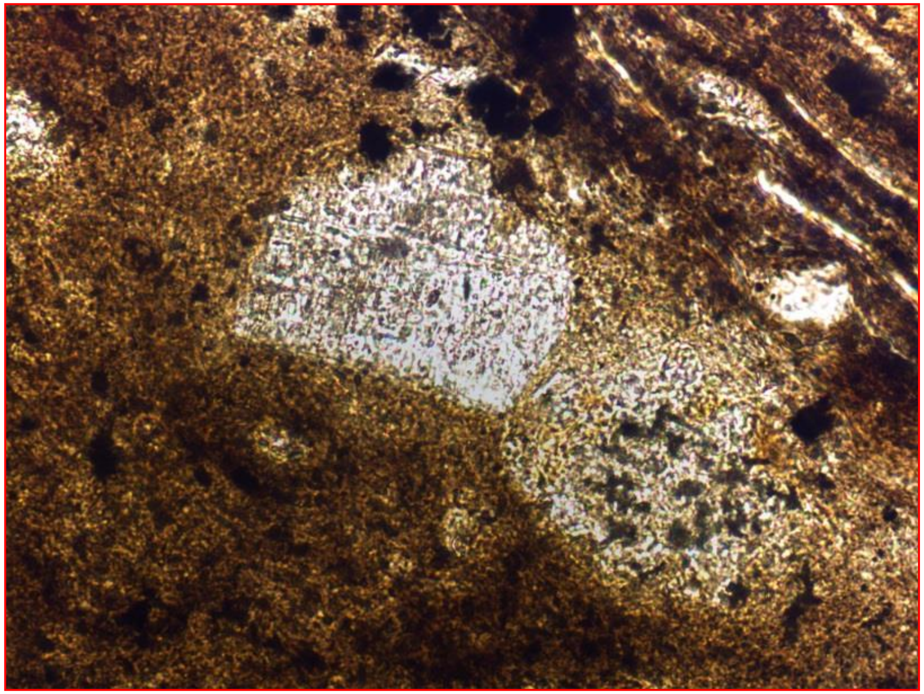


直交ニコル 0.5mm

[写真02]

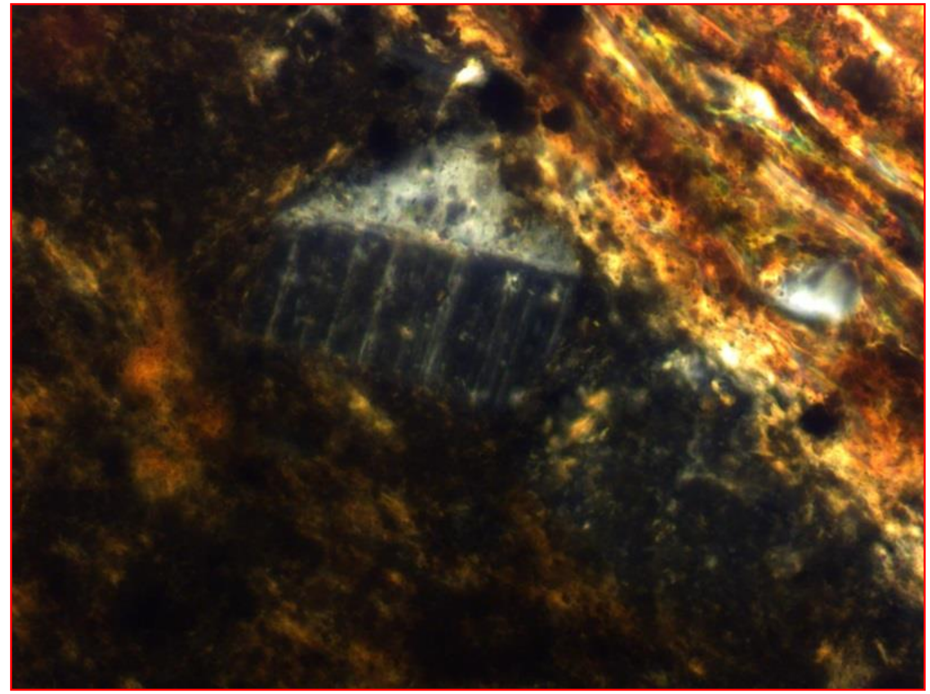
- シーム下部と接する黒色頁岩に，単ニコルで無色，直交ニコルで双晶を示す鉱物が確認できる。
- 当該鉱物は，円磨された砂粒のような形状を示す。

薄片試料の詳細観察結果（B23-AS1-N-S）



単ニコル

0.1mm



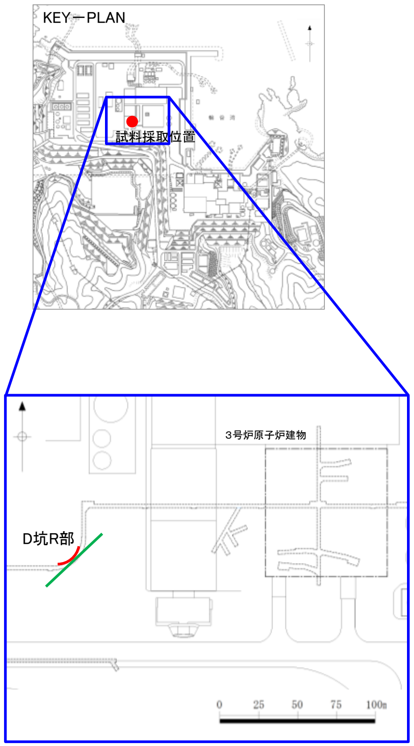
直交ニコル

0.1mm

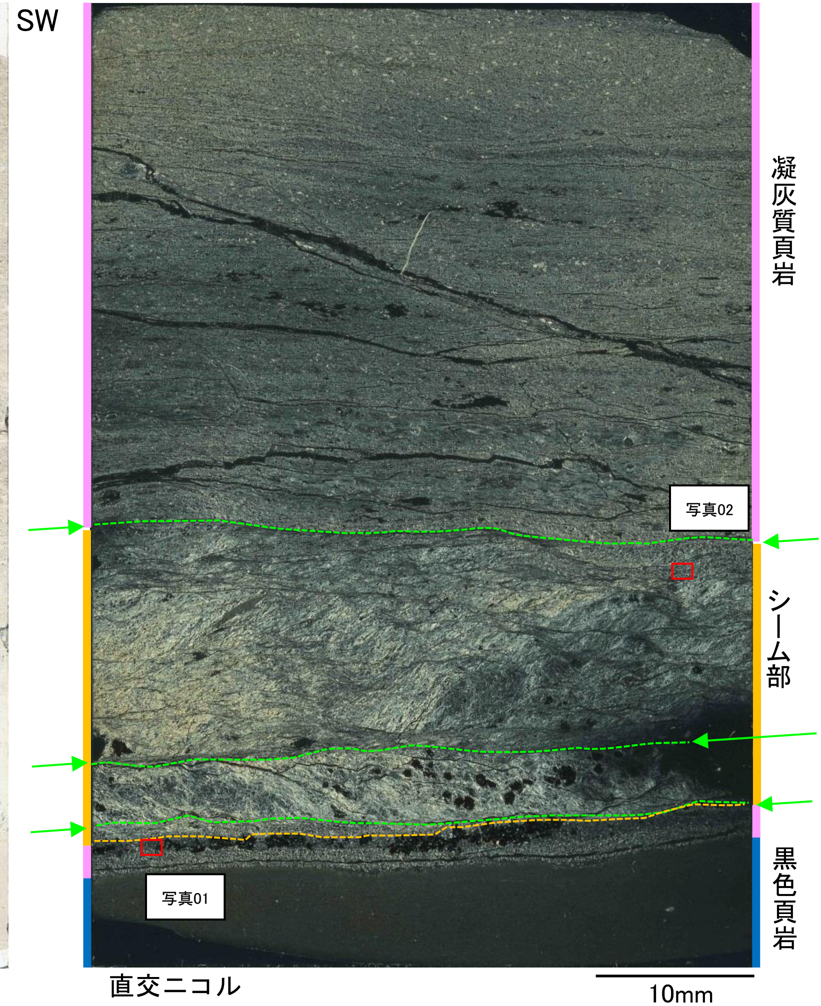
[写真02 拡大]
・直交ニコルで明暗の縞模様を呈するアルバイト式双晶を示すことから，この鉱物は斜長石と同定した。
・単ニコル及び直交ニコルで全体的にざらついていることから，変質を被った可能性がある。

余白

薄片試料の詳細観察結果（B23-DR-NE-SW）



凡例 ：試料採取した試掘坑壁
：薄片作成方向

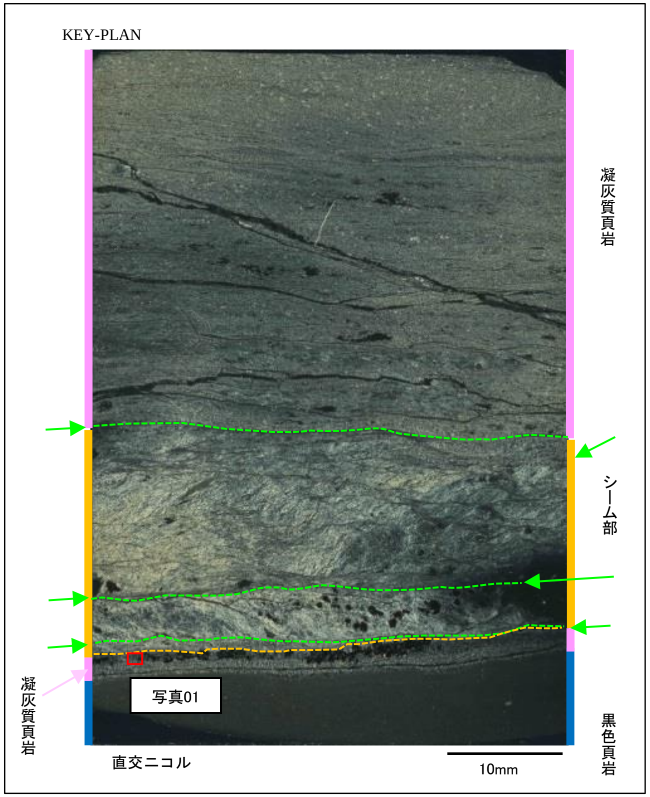


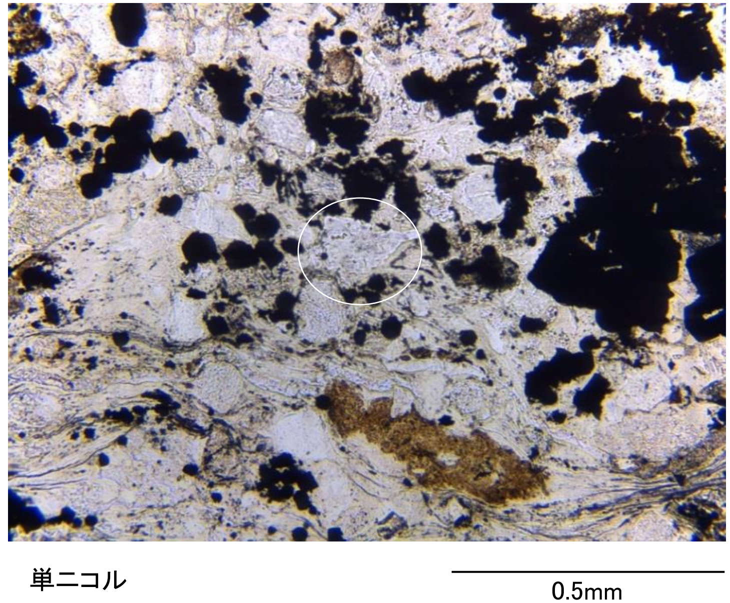
薄片全体写真（平成26年撮影）

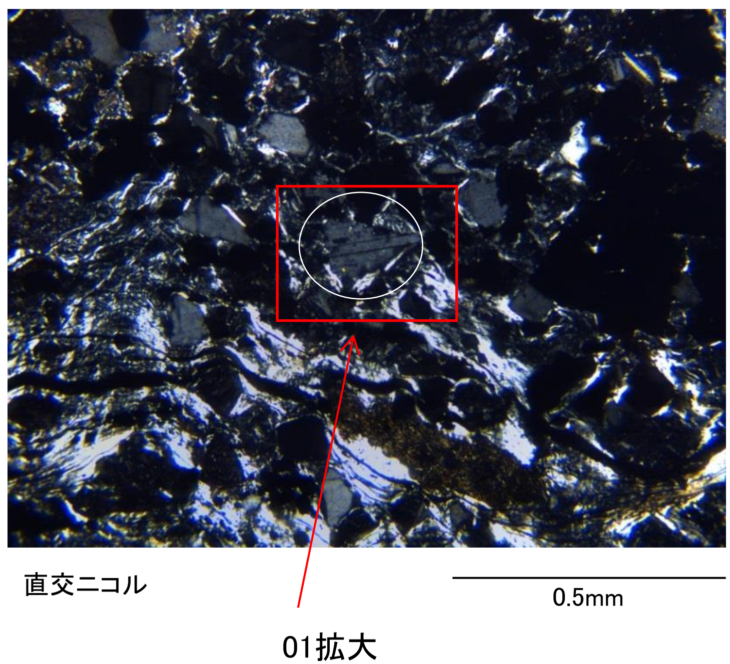
凡例 ：せん断面 ：シーム境界

・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。

薄片試料の詳細観察結果(B23-DR-NE-SW)

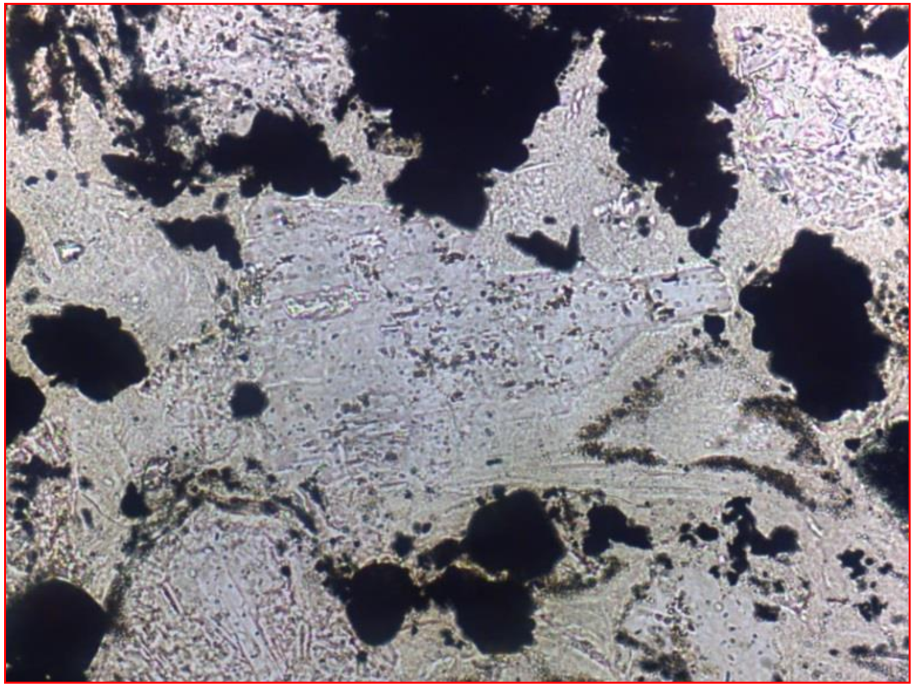






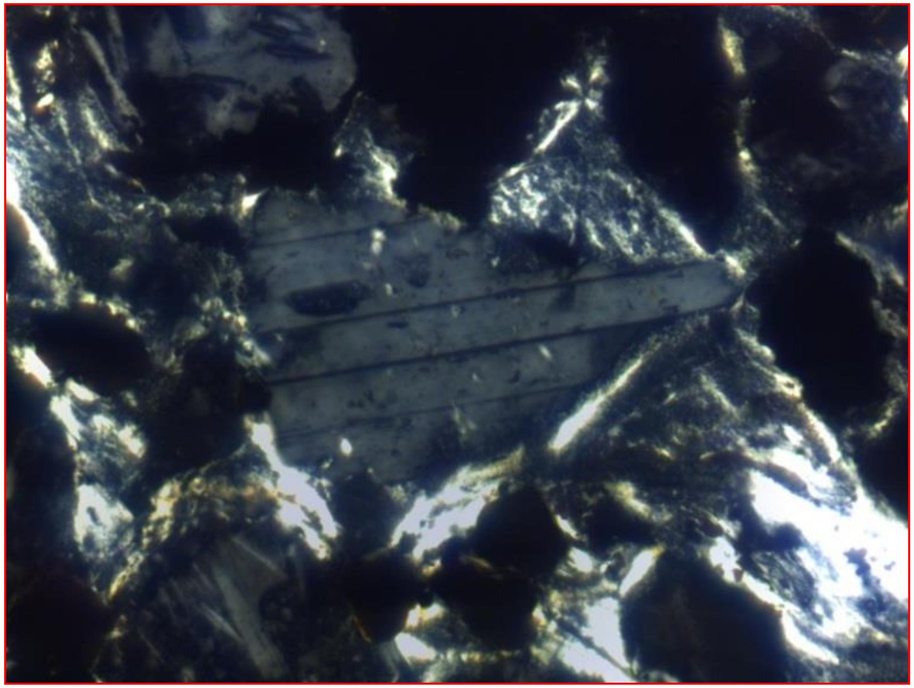
[写真01]
- シーム下部と接する凝灰質頁岩に，単ニコルで無色，直交ニコルで双晶を示す鉱物が確認できる。
- 当該鉱物は，円磨された砂粒のような形状を示す。

薄片試料の詳細観察結果（B23-DR-NE-SW）



単ニコル

0.1mm

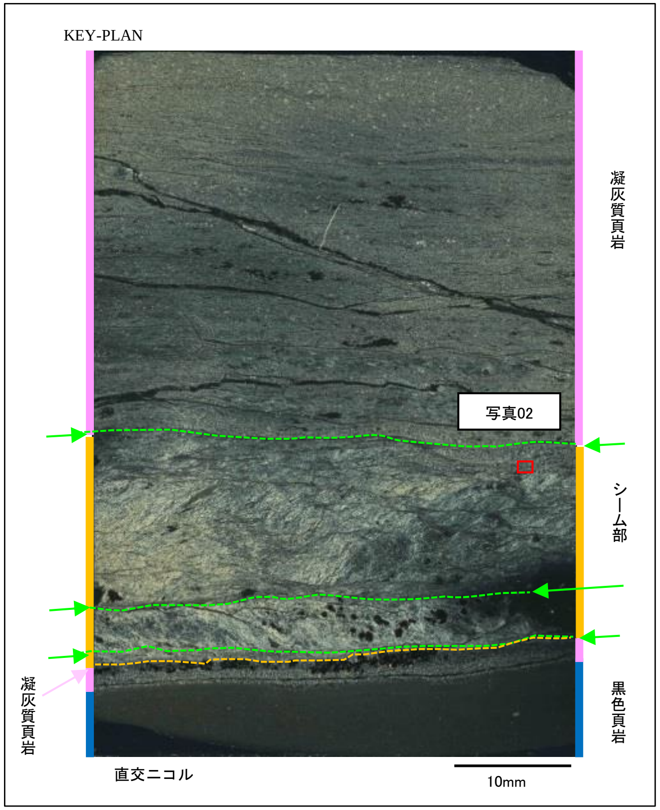


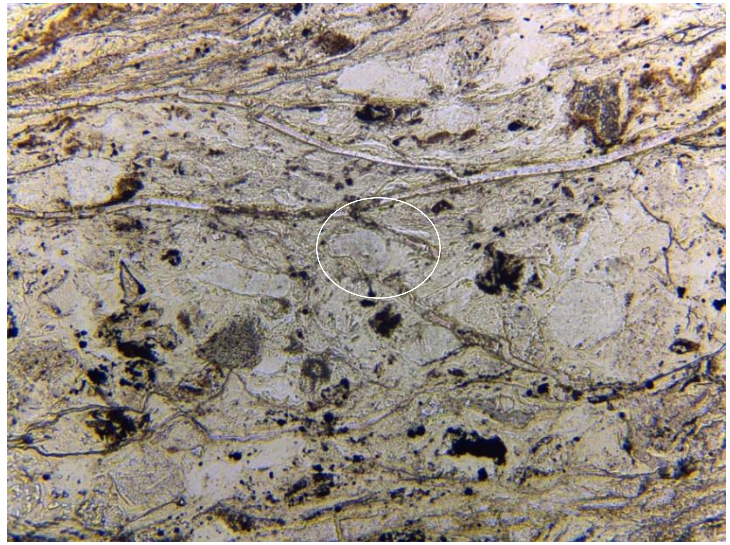
直交ニコル

0.1mm

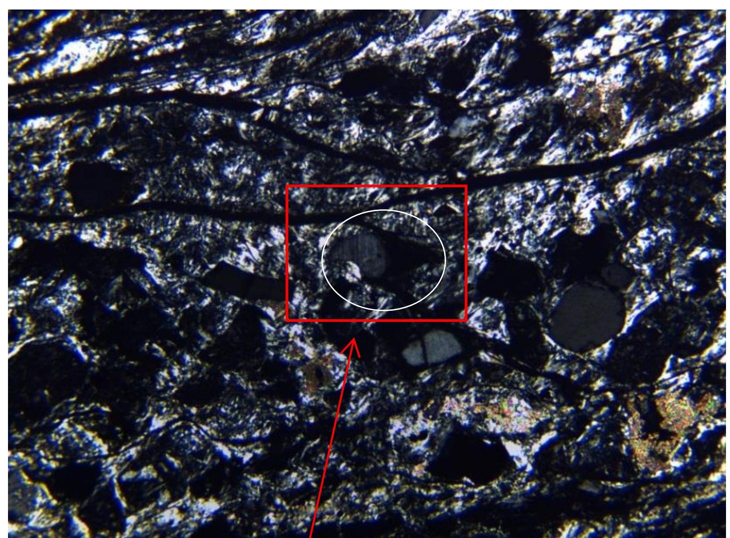
[写真01 拡大]
・直交ニコルで明暗の縞模様を呈するアルバイト式双晶を示すことから，この鉱物は斜長石と同定した。
・単ニコル及び直交ニコルでざらつきがほとんど認められないことから，変質は進んでいないと評価した。

薄片試料の詳細観察結果(B23-DR-NE-SW)





単ニコル　0.5mm

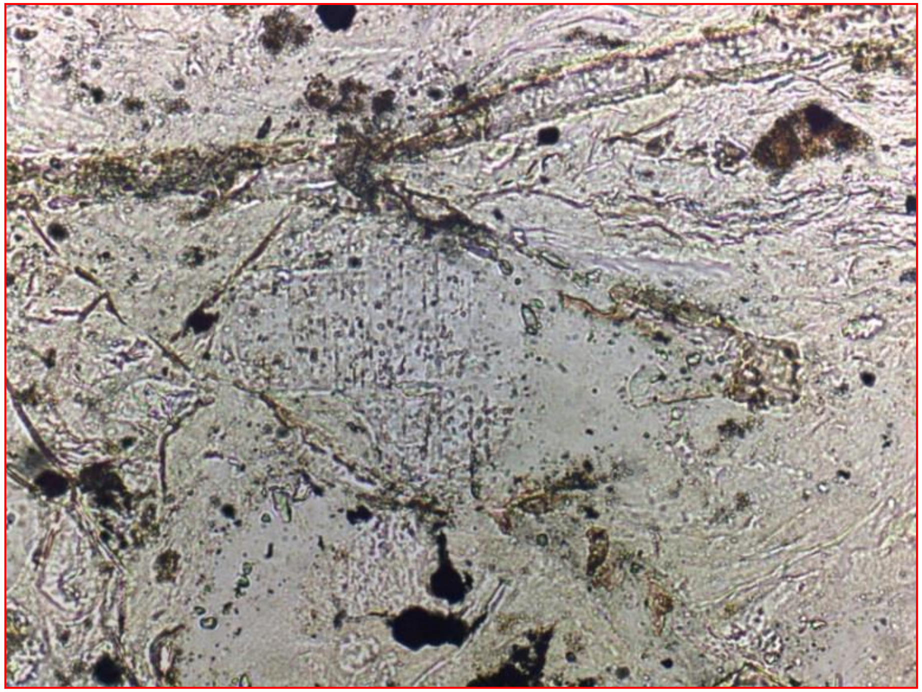


直交ニコル　0.5mm

02拡大

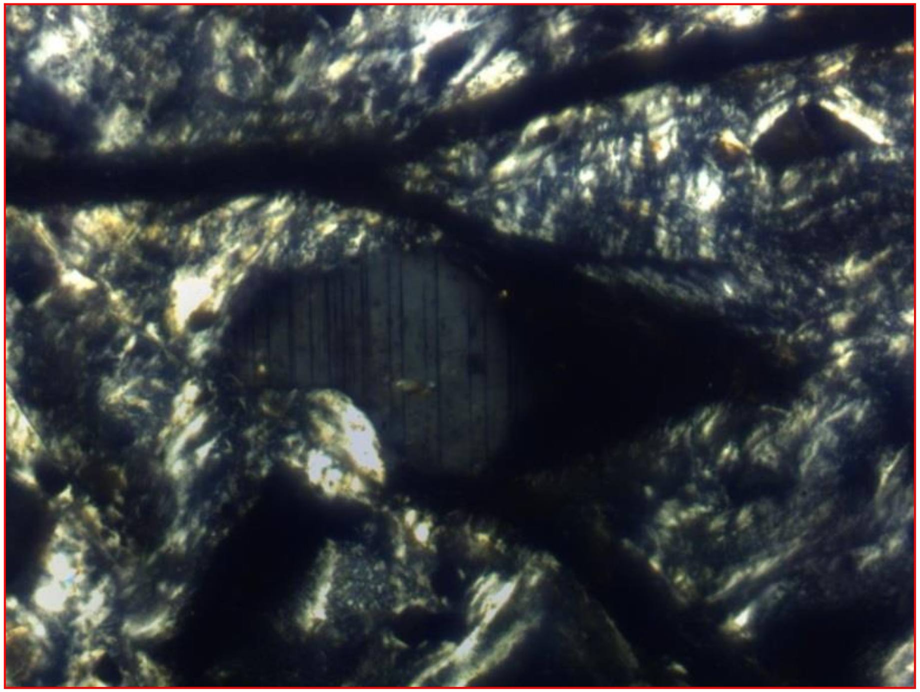
[写真02]
- シーム下部と接する凝灰質頁岩に，単ニコルで無色，直交ニコルで双晶を示す鉱物が確認できる。
- 当該鉱物は，円磨された砂粒のような形状を示す。

薄片試料の詳細観察結果(B23-DR-NE-SW)



単ニコル

0.1mm



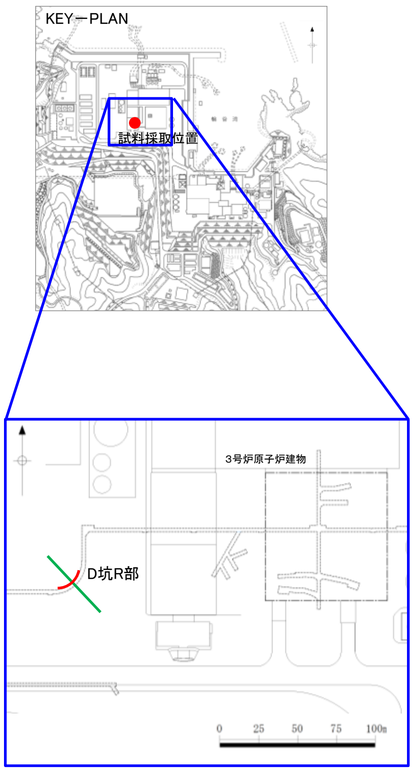
直交ニコル

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，この鉱物は斜長石と同定した。
・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評価した。

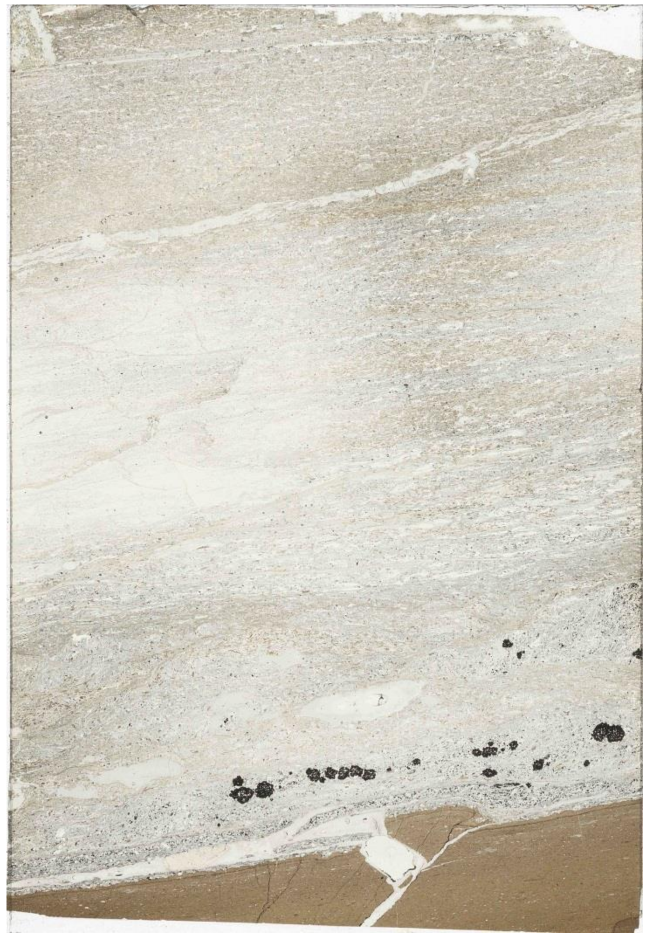
余白

薄片試料の詳細観察結果(B23-DR-NW-SE)

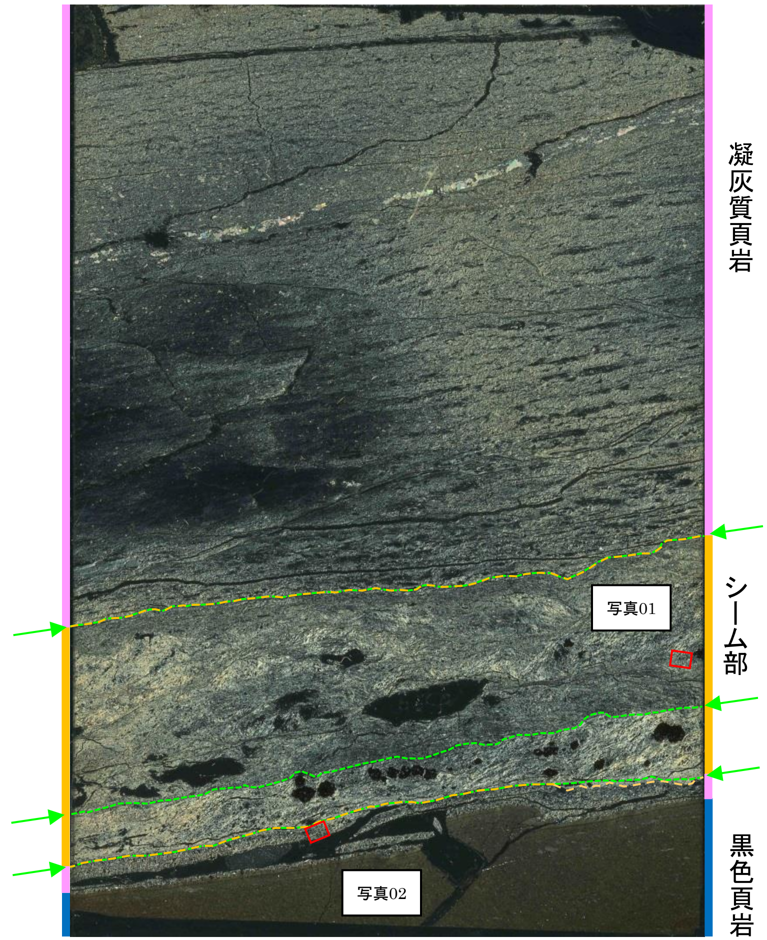


凡例 ：試料採取した試掘坑壁
：薄片作成方向

SE NW



単ニコル 10mm



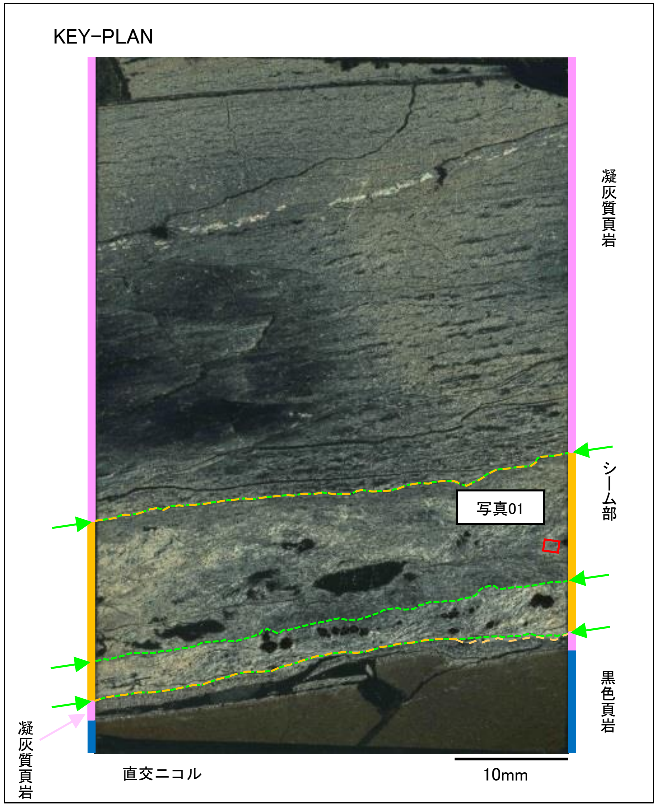
直交ニコル 10mm

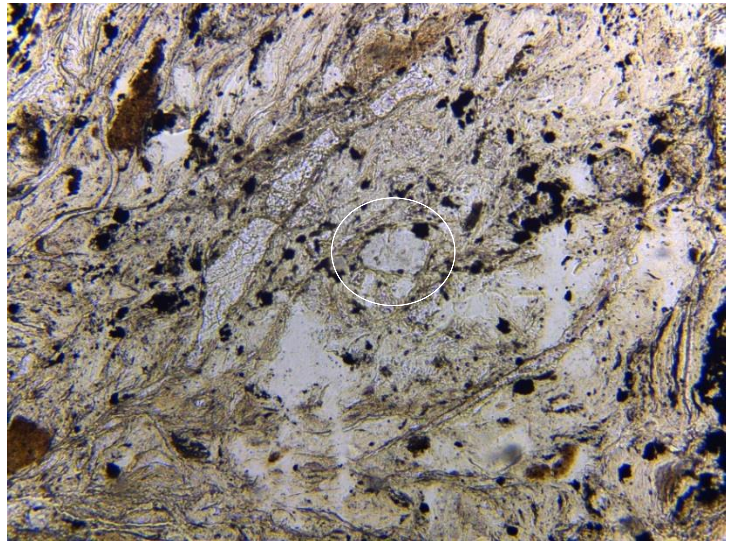
薄片全体写真(平成27年撮影)

凡例 ：せん断面 ：シーム境界

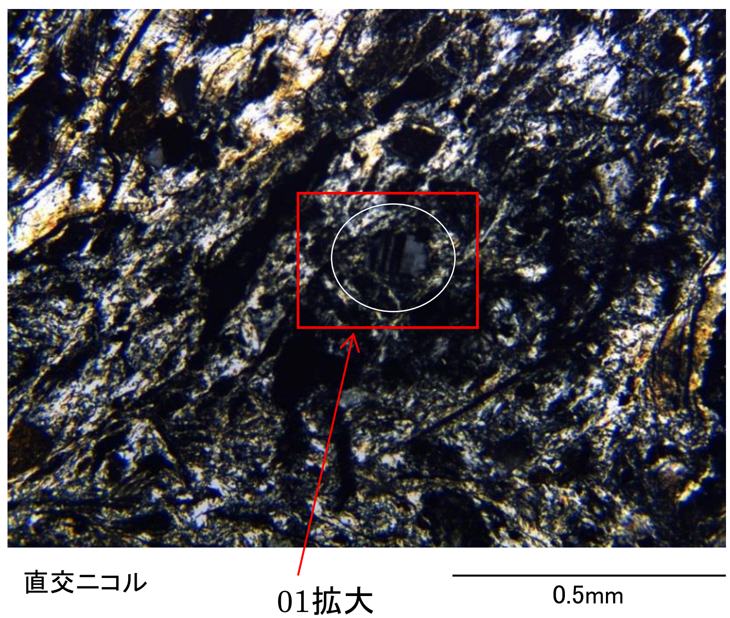
・試掘坑D坑R部からブロックを採取し，シーム内部で確認される斜長石を対象に詳細観察を実施した。

薄片試料の詳細観察結果(B23-DR-NW-SE)





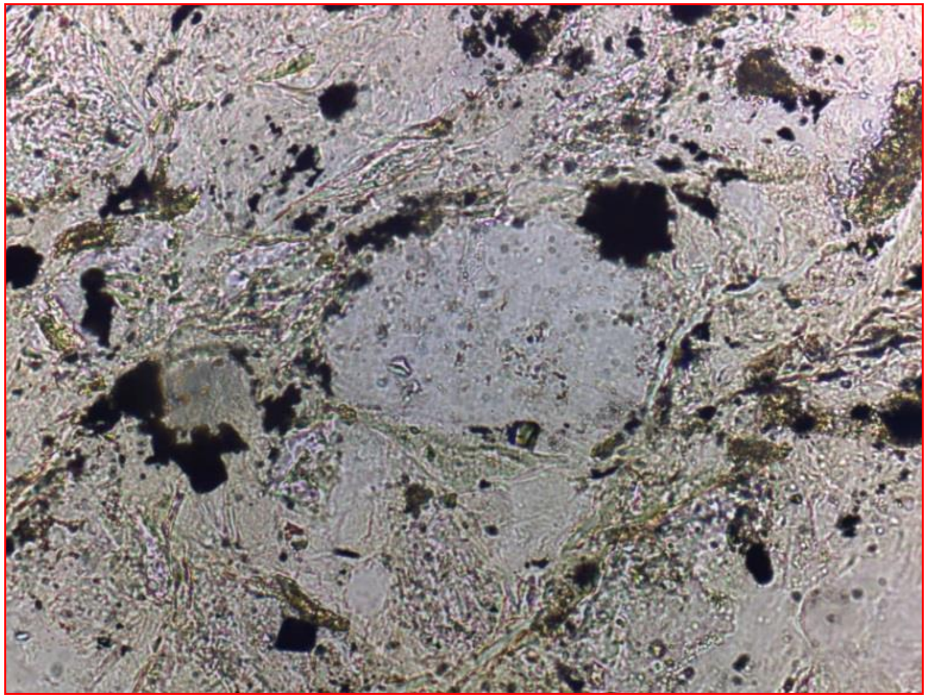
単ニコル 0.5mm



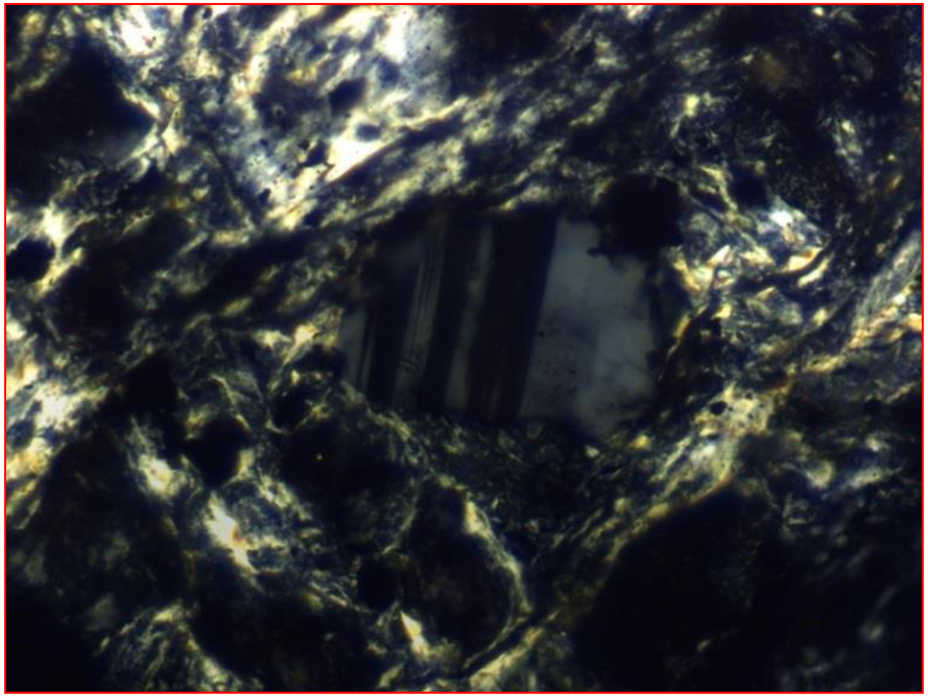
直交ニコル 0.5mm

[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

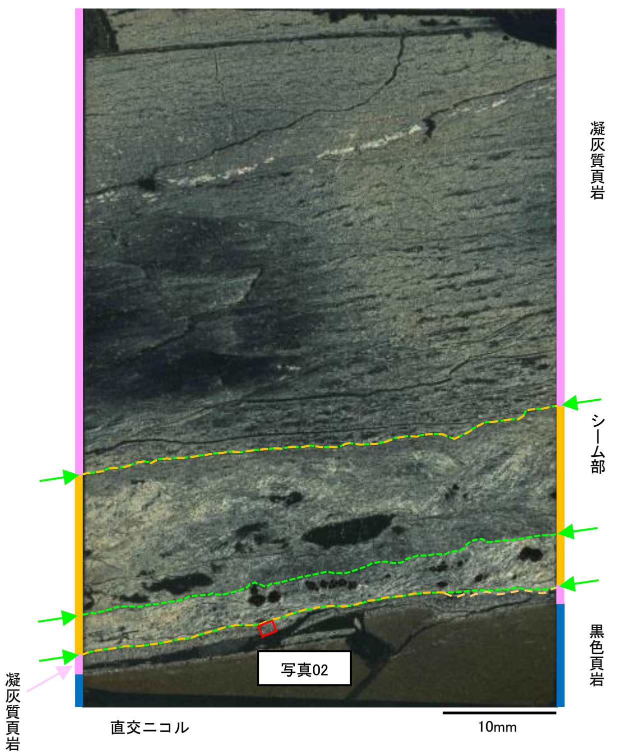
[写真01　拡大]

・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，この鉱物は斜長石と同定した。

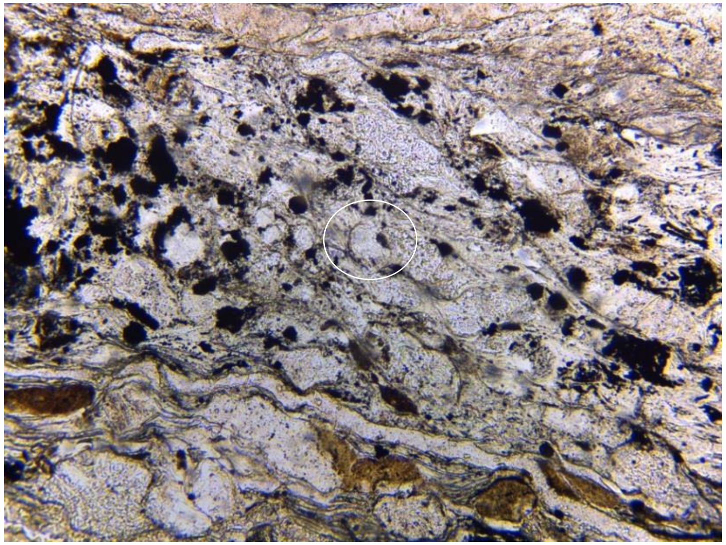
・単ニコル及び直交ニコルでざらつきがほとんど認められないことから，変質は進んでいないと評価した。

薄片試料の詳細観察結果(B23-DR-NW-SE)

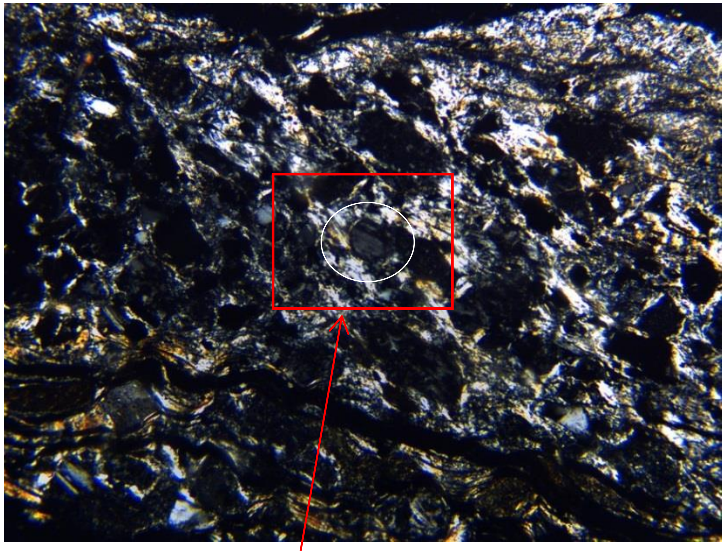
KEY-PLAN



直交ニコル



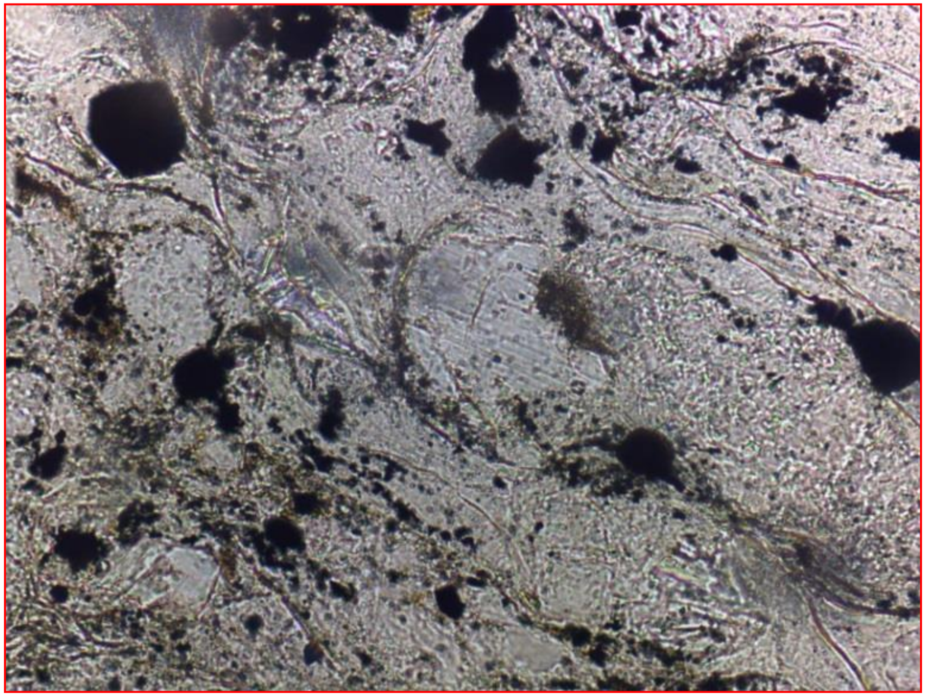
単ニコル 0.5mm



直交ニコル 02拡大 0.5mm

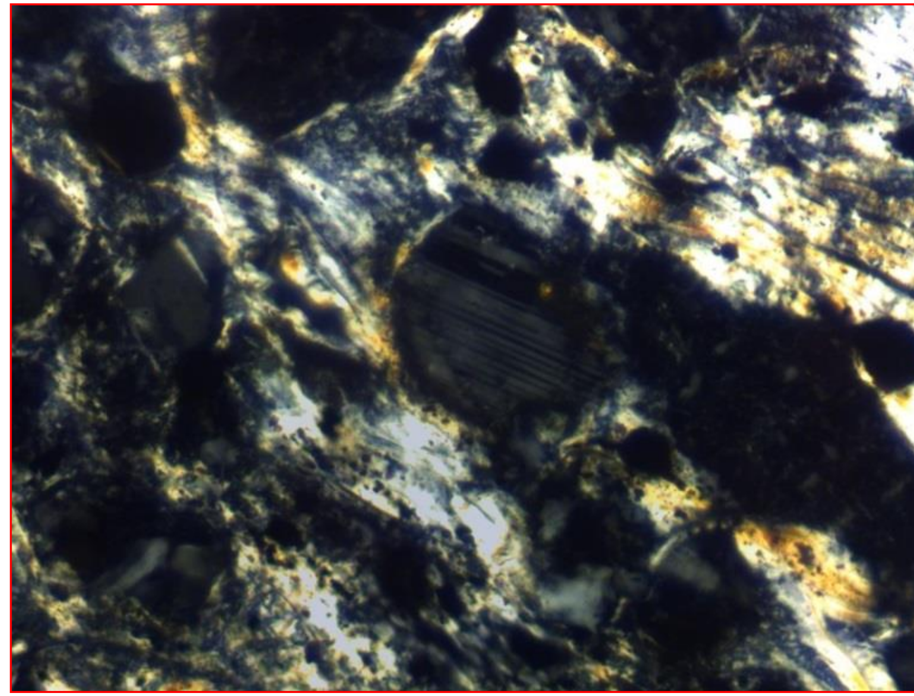
[写真02]
- シーム下部と接する凝灰質頁岩に，単ニコルで無色，直交ニコルで双晶を示す鉱物が確認できる。
- 当該鉱物は，円磨された砂粒のような形状を示す。

薄片試料の詳細観察結果(B23-DR-NW-SE)



単ニコル

0.1mm

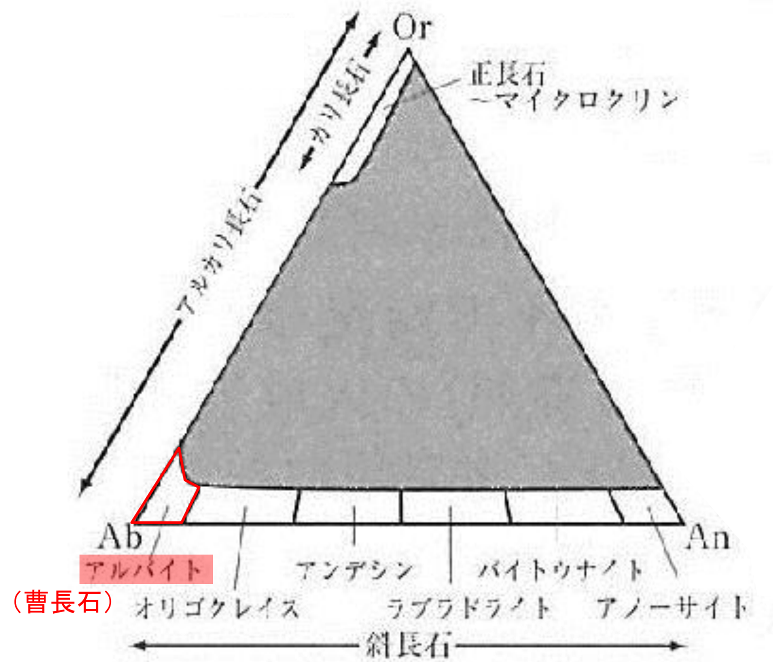


直交ニコル

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，この鉱物は斜長石と同定した。
・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評価した。

文献調査結果(長石の化学組成と分類)

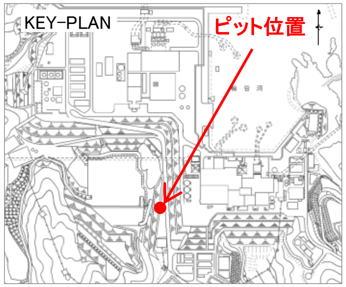


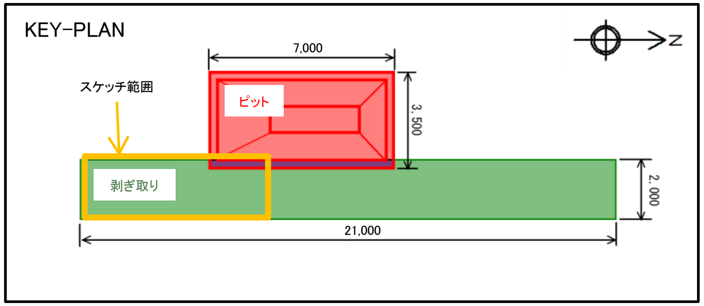
長石の化学組成に基づく分類

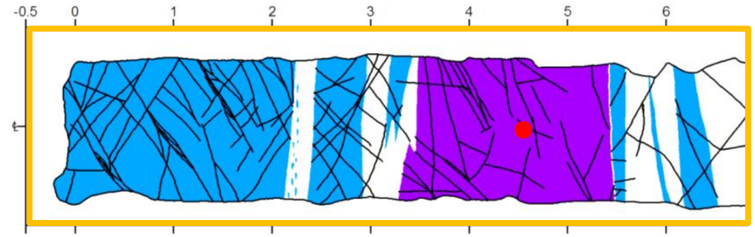
周藤・小山内(2002)[9]を加筆・修正

・周藤・小山内(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）





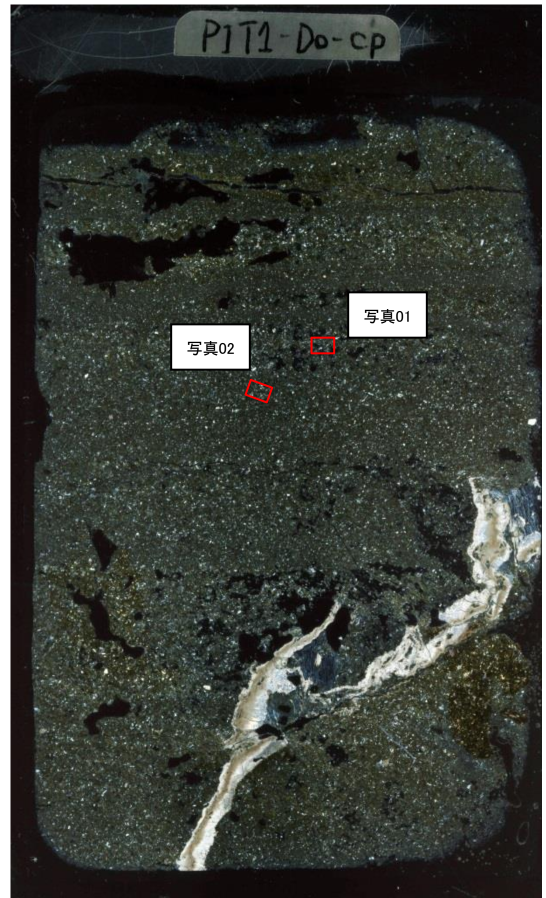


凡例

- 黒色頁岩
- 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

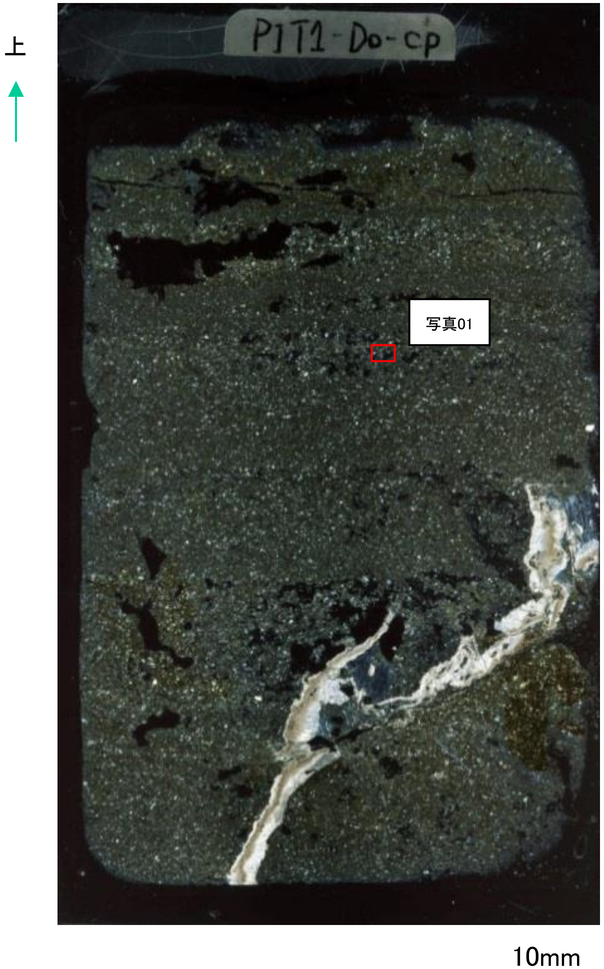


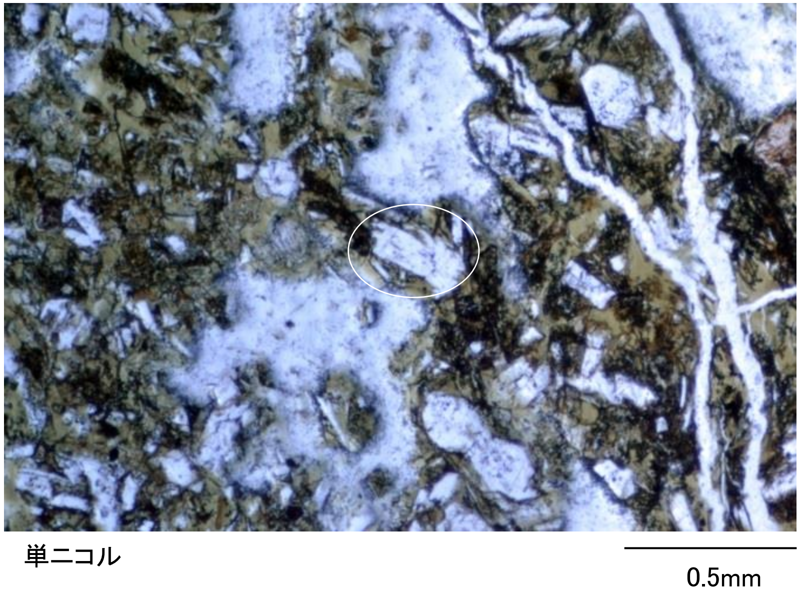
10mm

・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。

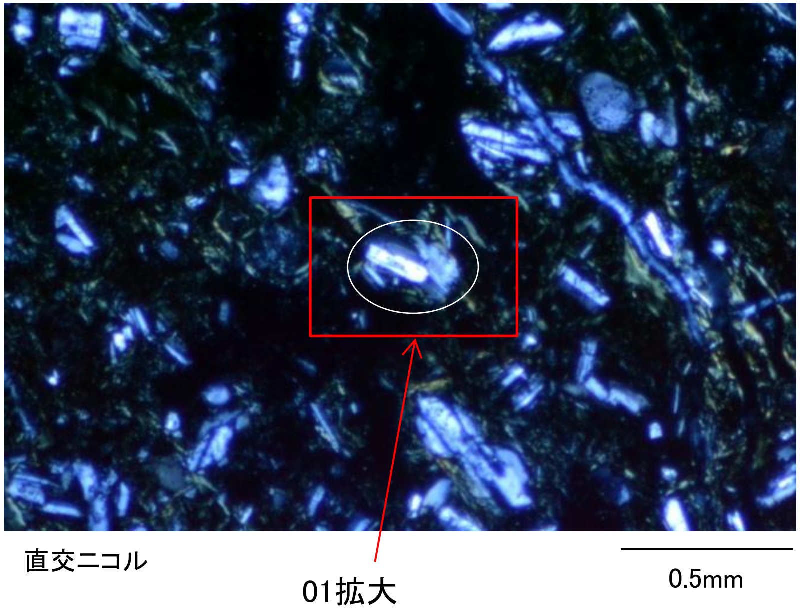
薄片試料の詳細観察結果（凝灰岩：Pit1-Do-cp）

KEY-PLAN





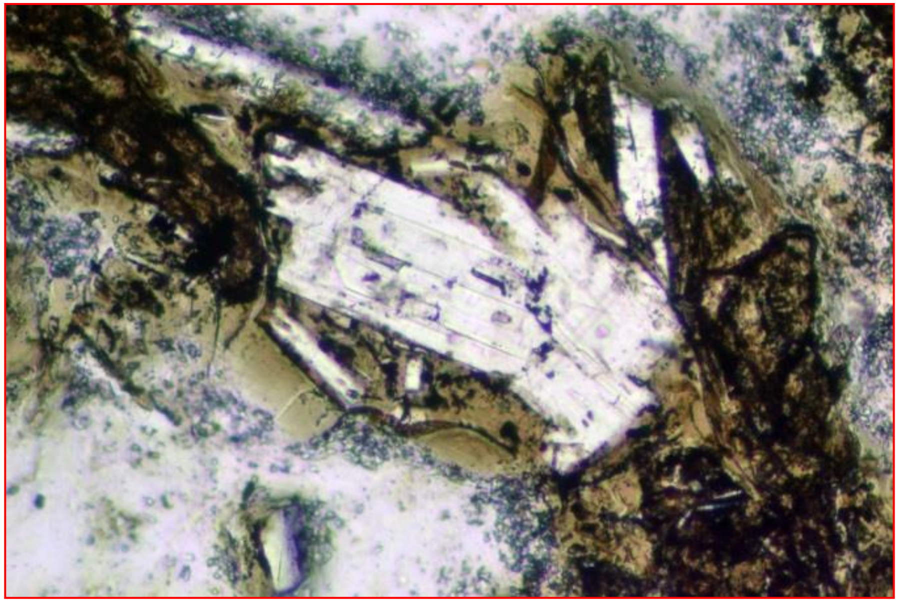
単ニコル



直交ニコル

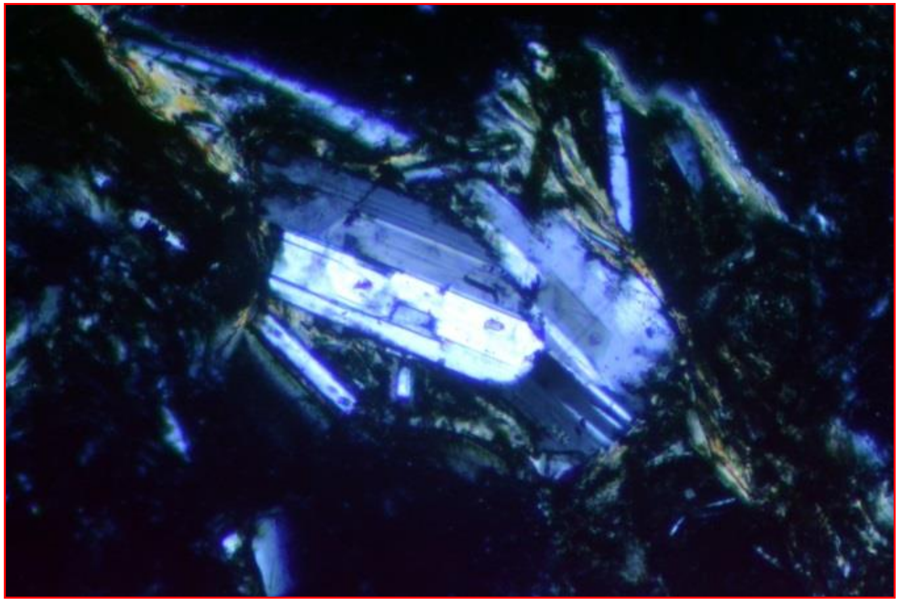
[写真01]
- 凝灰岩に，単ニコルで無色，直交ニコルで双晶を示す鉱物が確認できる。
- 当該鉱物は自形～半自形で柱状の形状を示す。

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

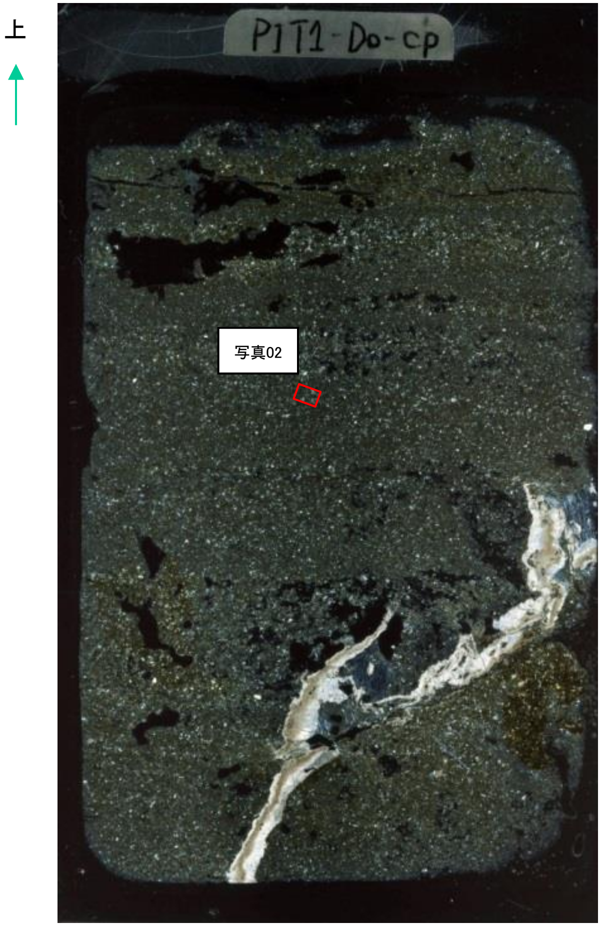
[写真01　拡大]

・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，この鉱物は斜長石と同定した。

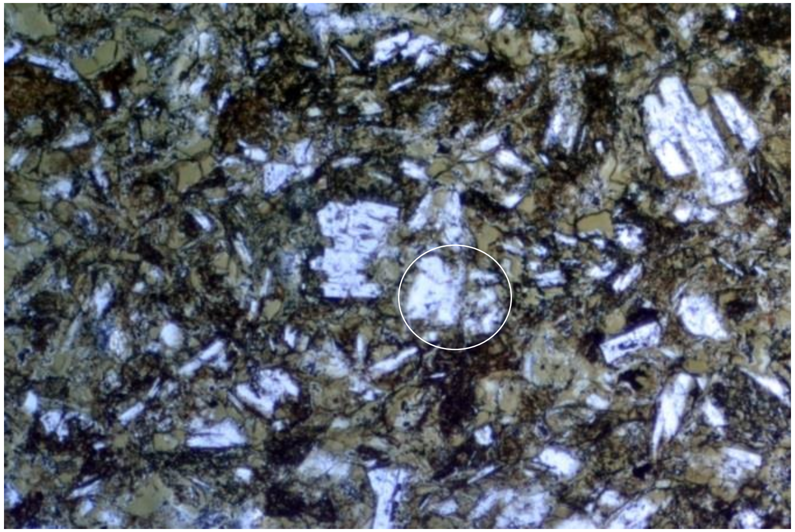
・単ニコル及び直交ニコルでざらつきがほとんど認められないことから，変質は進んでいないと評価した。

薄片試料の詳細観察結果(凝灰岩:Pit1-Do-cp)

KEY-PLAN

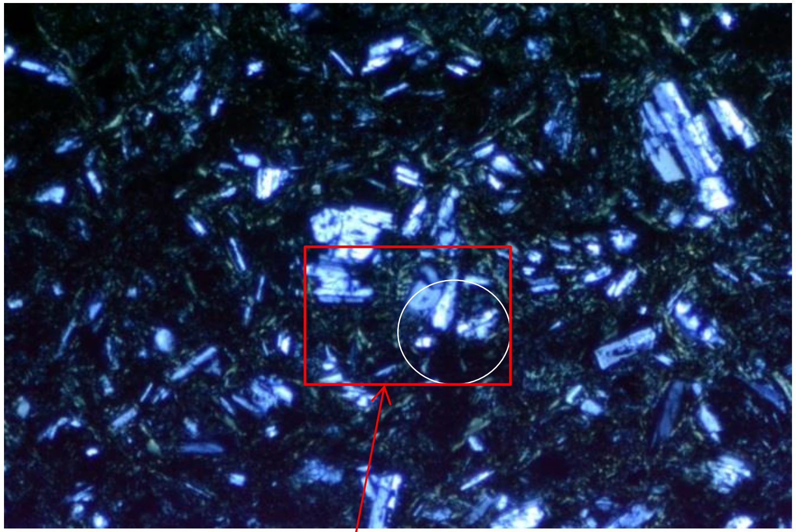


10mm



単ニコル

0.5mm



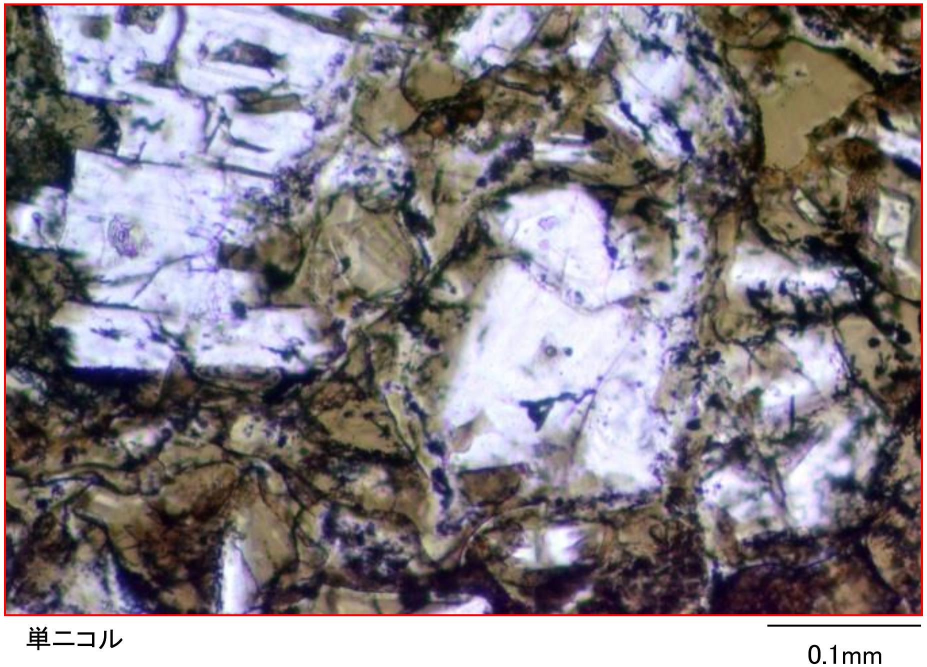
直交ニコル

0.5mm

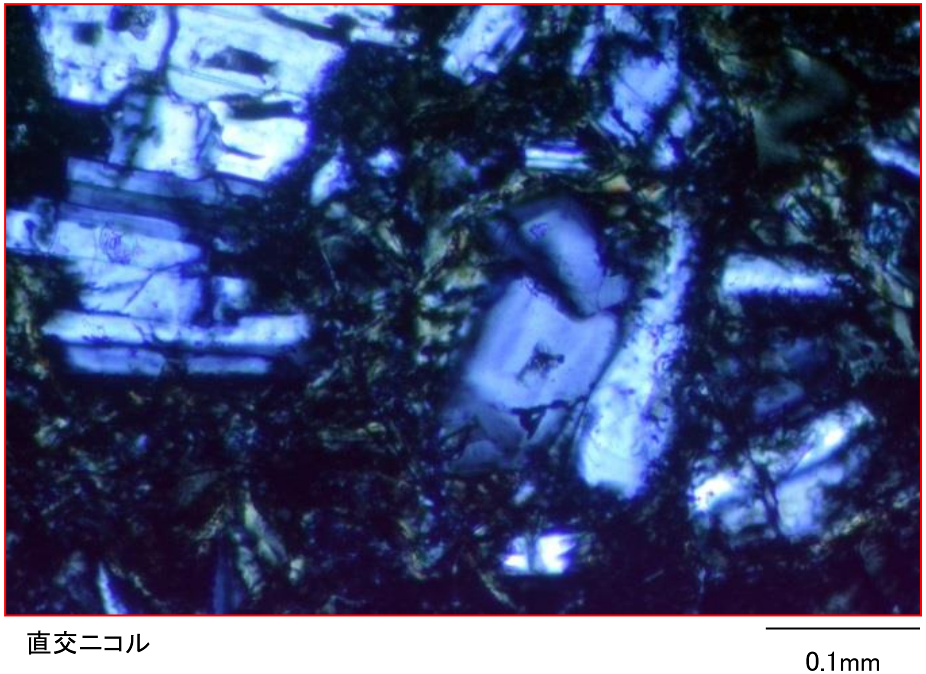
02拡大

[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

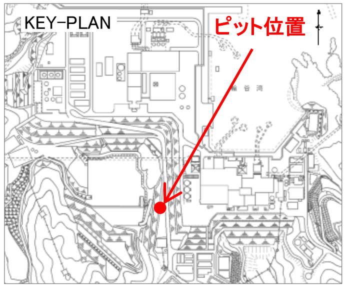


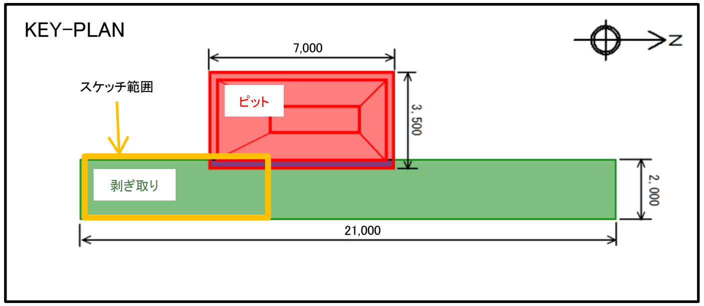
直交ニコル

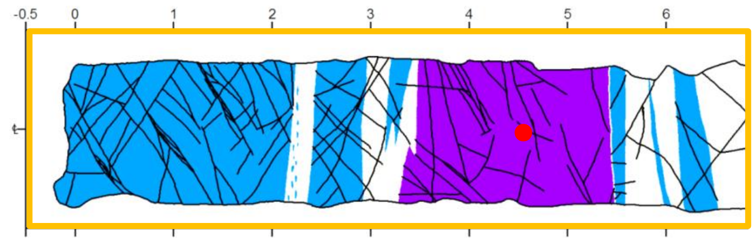
[写真02 拡大]
・直交ニコルで内部に向かって明暗の縞模様を呈する累帯構造を示すことから，この鉱物は斜長石と同定した。
・単ニコル及び直交ニコルでざらつきがほとんど認められないことから，変質は進んでいないと評価した。

薄片観察・ EPMA分析結果(凝灰岩:Pit1-Do-cp)

第318回審査会合
資料2 p.124 再掲







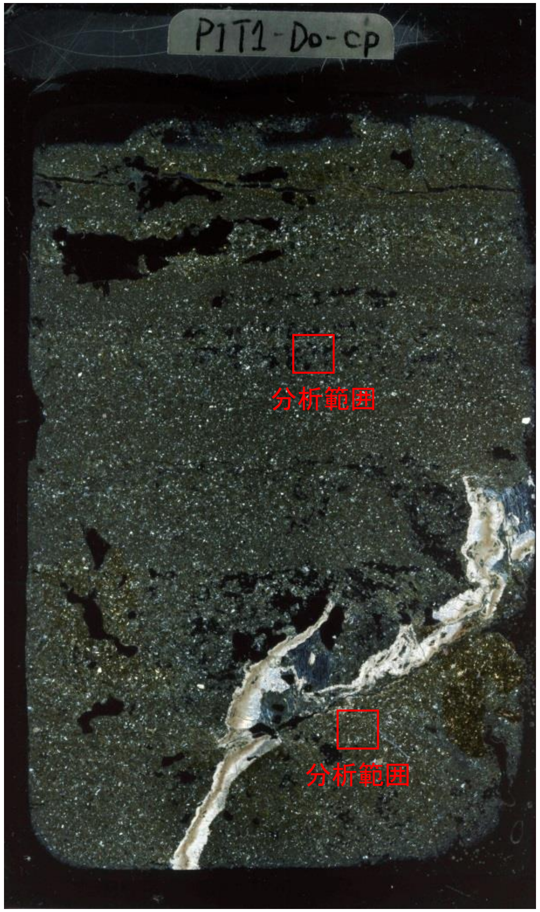
凡例

- 黒色頁岩
- 凝灰岩
- 凝灰岩
- 節理
- 試料採取位置

上

単ニコル

10mm

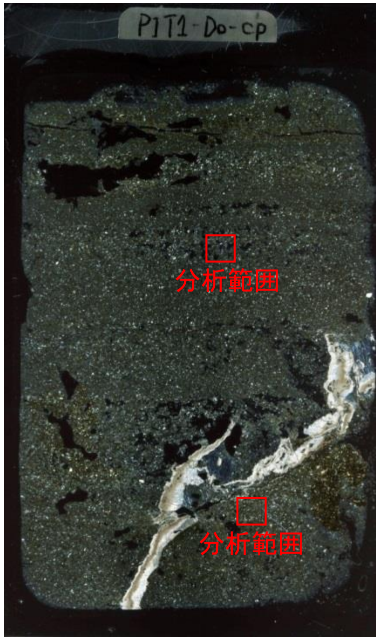


直交ニコル

10mm

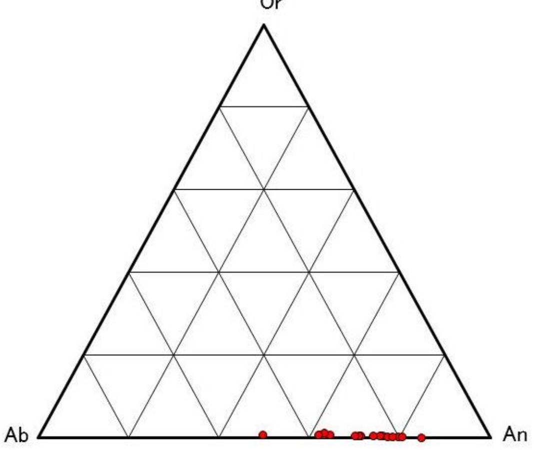
・シーム確認ピットから，凝灰岩を対象にブロックを採取し，薄片試料を作製してEPMA分析を実施した。

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(%)

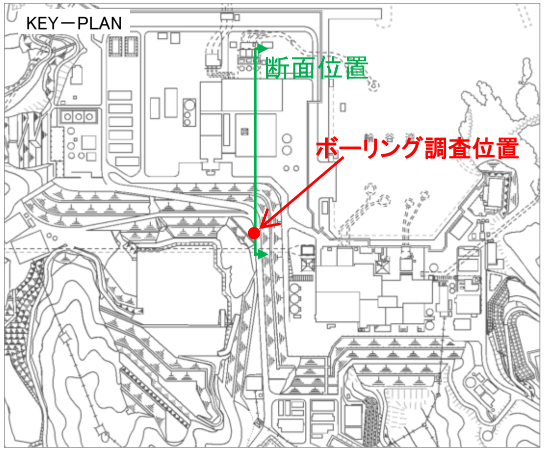
分析点No.	アノーサイト(An)	アルバイト(Ab)	カリ長石(Or)
1	84.7146	15.233	0.0523
2	64.1803	35.0735	0.7462
3	79.5774	20.2168	0.2058
4	71.3184	28.3181	0.3634
5	75.6434	23.9482	0.4084
6	61.9999	37.4641	0.536
7	76.1007	23.601	0.2983
8	62.7151	36.5982	0.6867
9	75.4485	24.2328	0.3187
10	80.358	19.4117	0.2302
11	62.8086	36.1225	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】

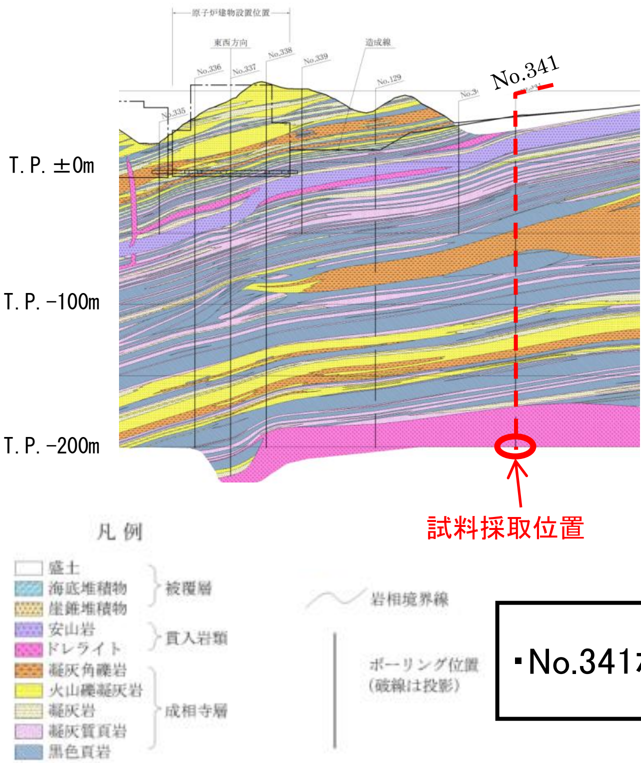
・EPMA分析を実施した地点のうち,鉱物組成から長石類と判断された箇所について定量データに基づく三角ダイヤグラムを作成したところ,大部分はAn成分が50～85%程度と多く,残りはほとんどがAb成分でOrはわずかにしか認められないことから,曹灰長石～亜灰長石と判断される。

余白

薄片試料の詳細観察結果（ドレライト：No.341 GL−232m）

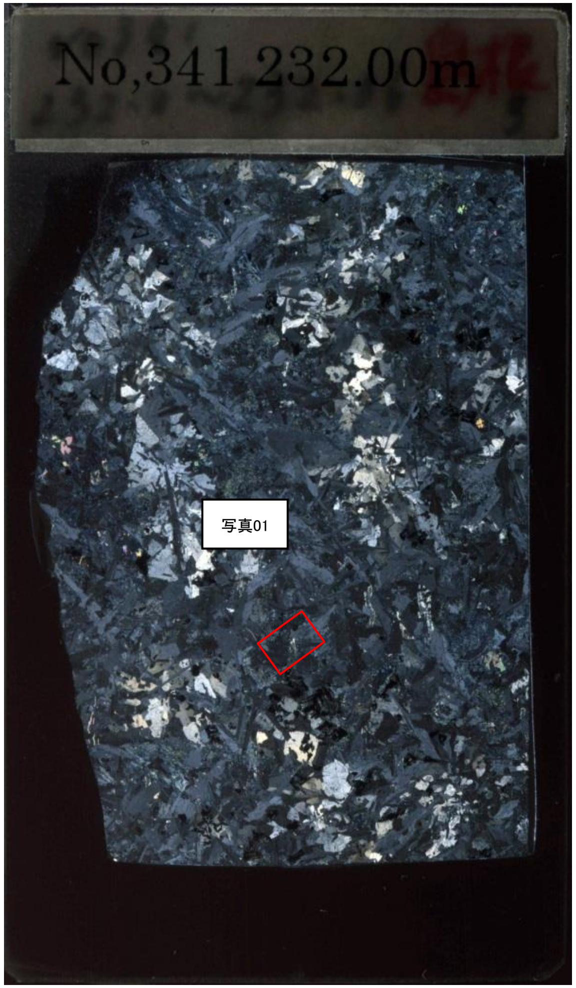


上



単ニコル

10mm



直交ニコル

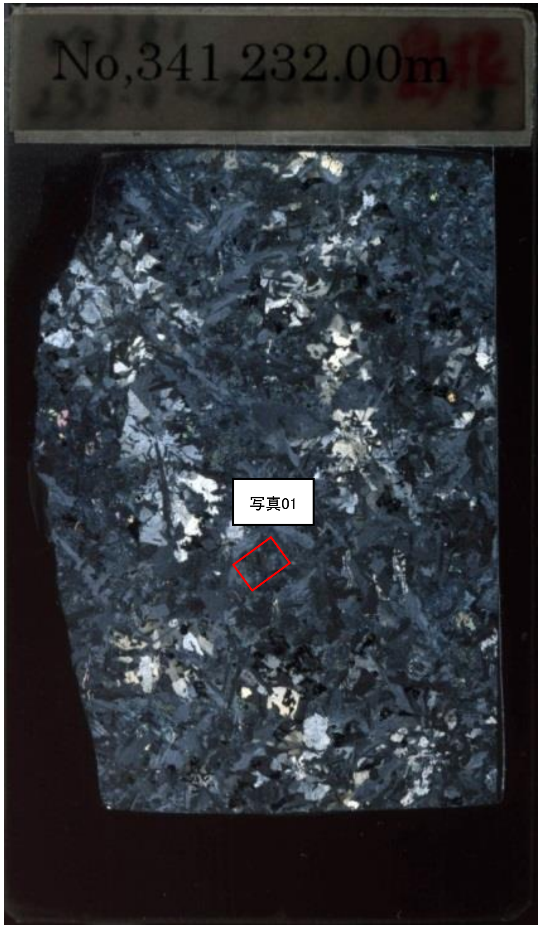
10mm

・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，薄片試料を作製した。

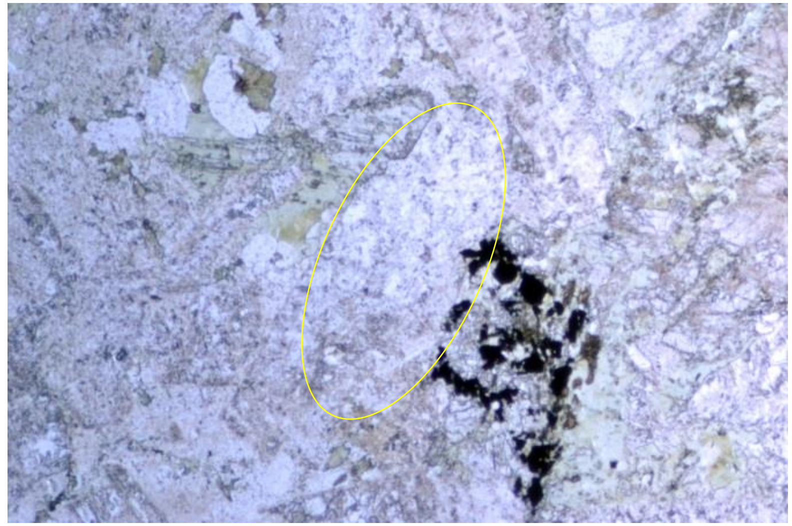
薄片試料の詳細観察結果(ドレライト:No.341 GL−232m)

KEY−PLAN

上

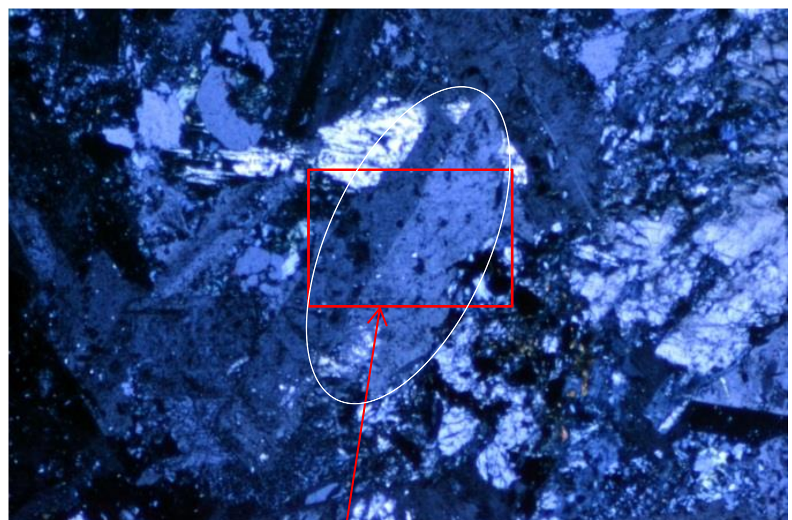


10mm



単ニコル

0.5mm



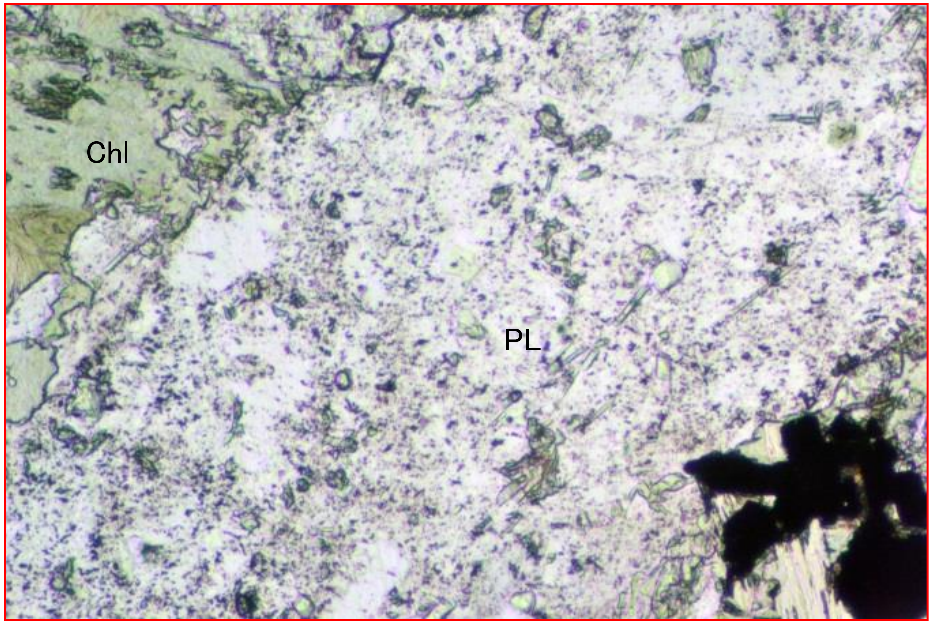
直交ニコル

01拡大

0.5mm

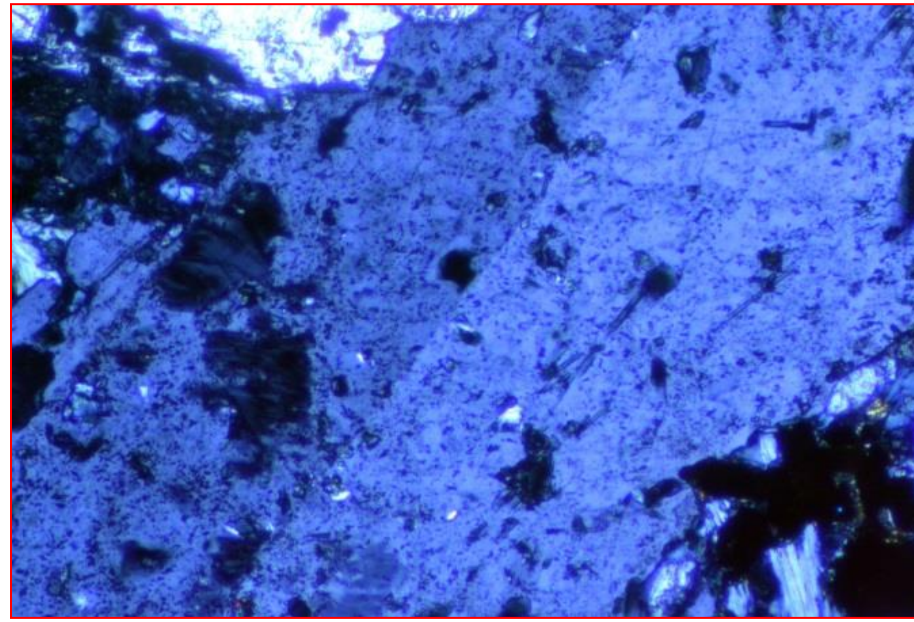
[写真01]
- ドレライト内部に，単ニコルで無色，直交ニコルで双晶を示す鉱物が確認できる。
- 当該鉱物は自形～半自形で柱状の形状を示す。

薄片試料の詳細観察結果(ドレライト:No.341 GL−232m)



単ニコル

0.1mm



直交ニコル

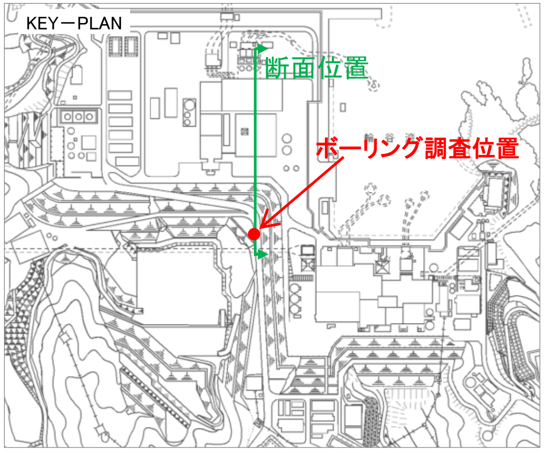
0.1mm

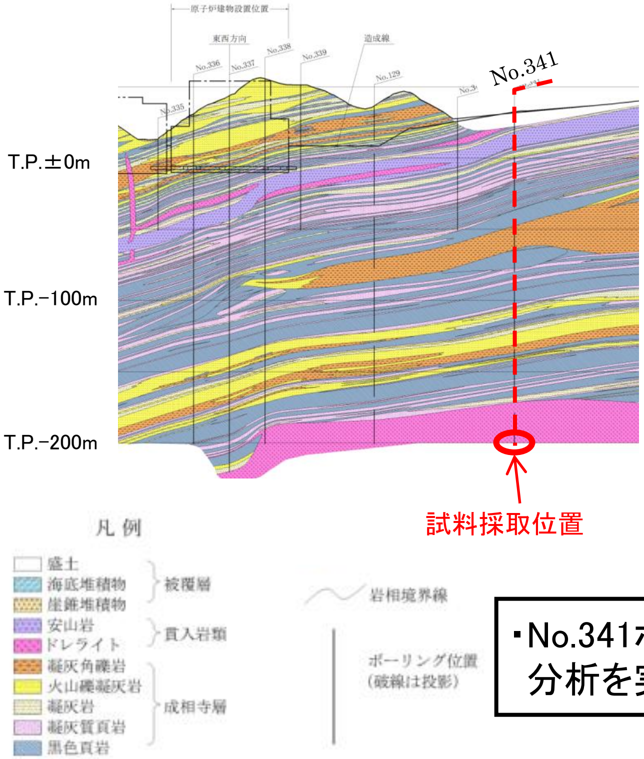
PL :斜長石
Chl:緑泥石

[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，この鉱物は斜長石と同定した。
・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評価した。

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

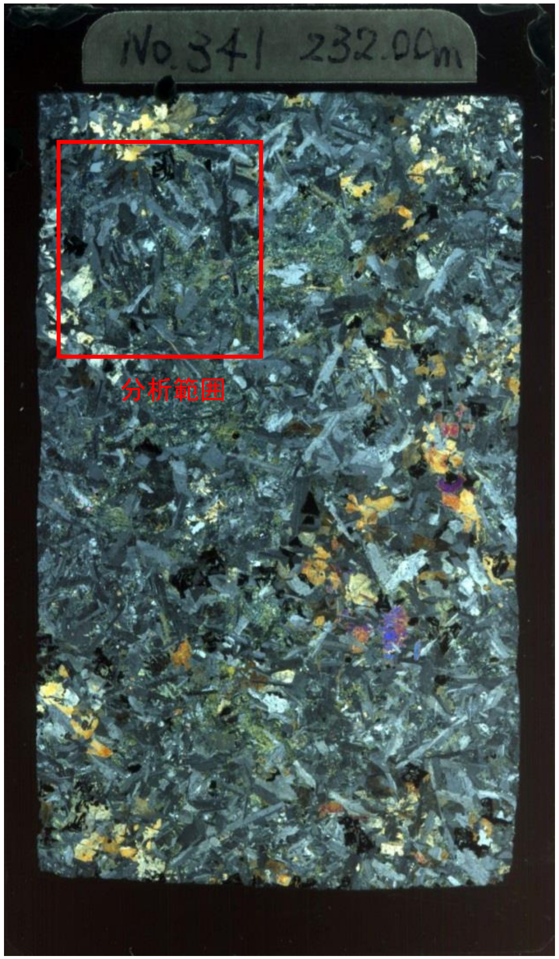




上

単ニコル

10mm



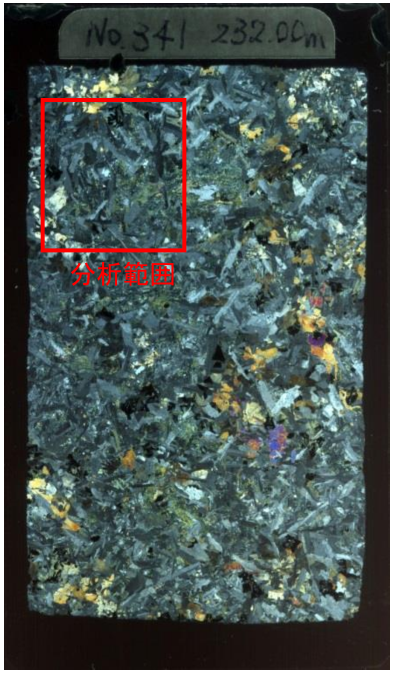
直交ニコル

10mm

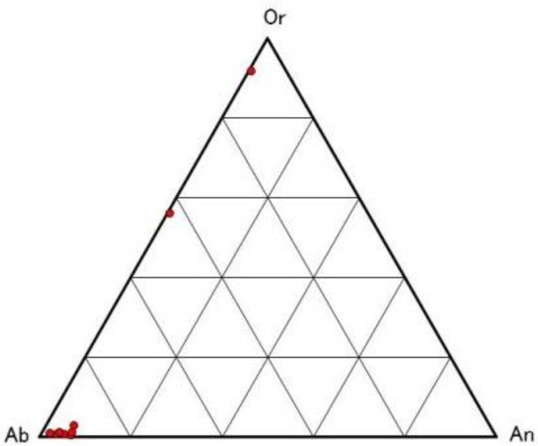
・No.341ボーリングコアから，ドレライト内部の試料を採取し，薄片試料を作製してEPMA分析を実施した。

EPMA分析結果(ドレライト:No.341 GL−232m)

上



直交ニコル 10mm



EPMA分析による長石の分量(%)

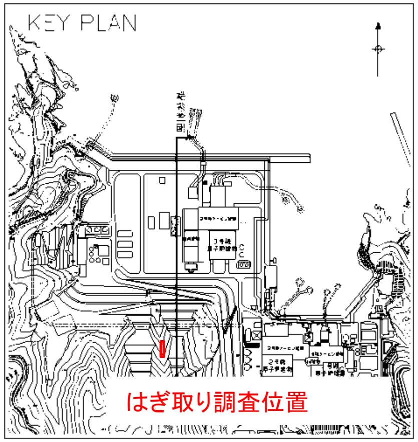
EPMA分析による長石の分量(%)

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

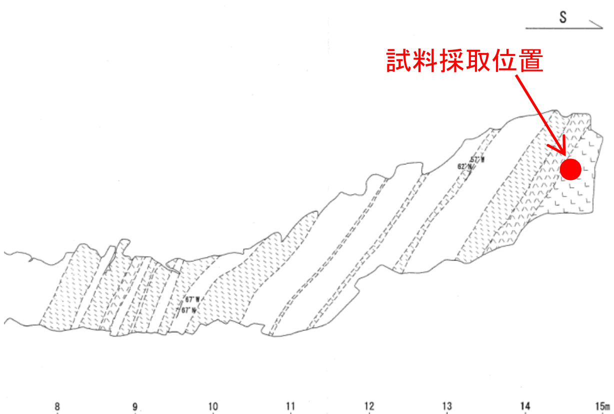
【分析結果】
・EPMA分析を実施した地点のうち，鉱物組成から長石類と判断された箇所について定量データに基づく三角ダイヤグラムを作成したところ，大部分はAb成分に富むことから曹長石と判断される。一部はOr成分に富み，カリ長石と判断される。

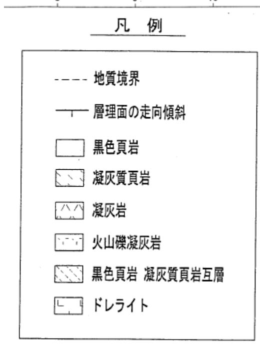
余白

薄片試料の詳細観察結果（ドレライト：Hag−Do−c10）



※はぎ取り調査位置を示すため，旧地形の平面図を示す。





単ニコル

10mm

直交ニコル

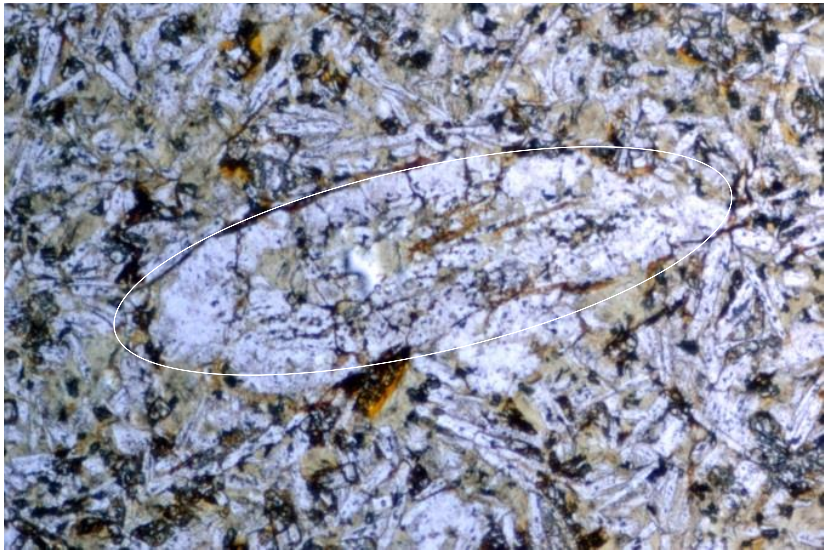
10mm

・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)

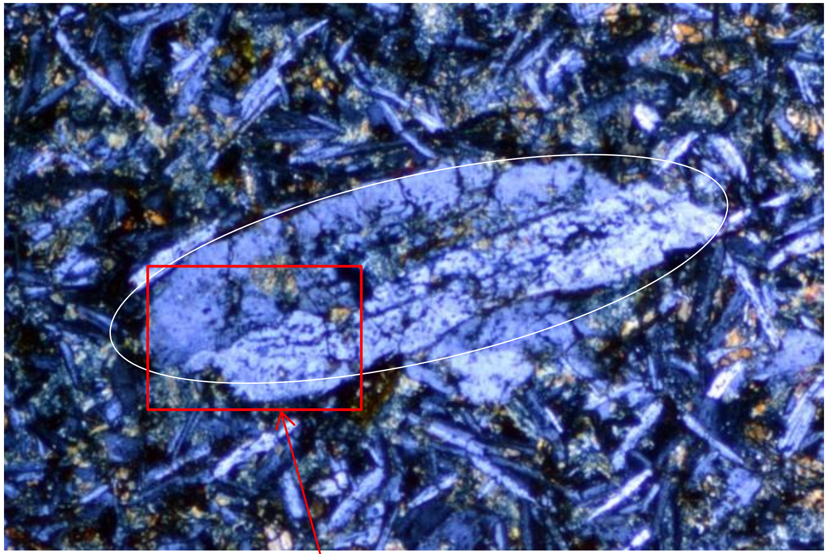
KEY-PLAN

10mm



単ニコル

0.5mm



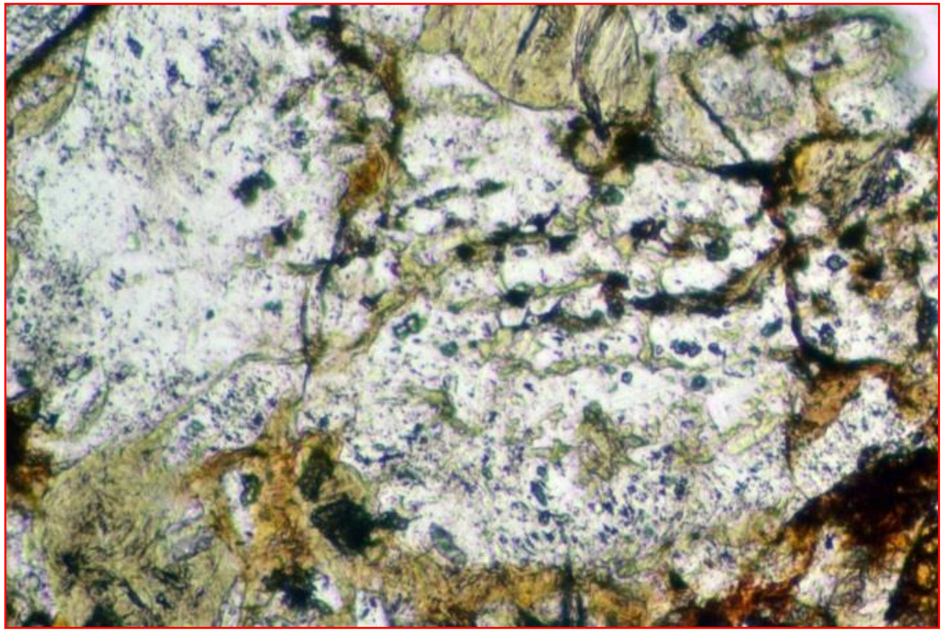
直交ニコル

01拡大

0.5mm

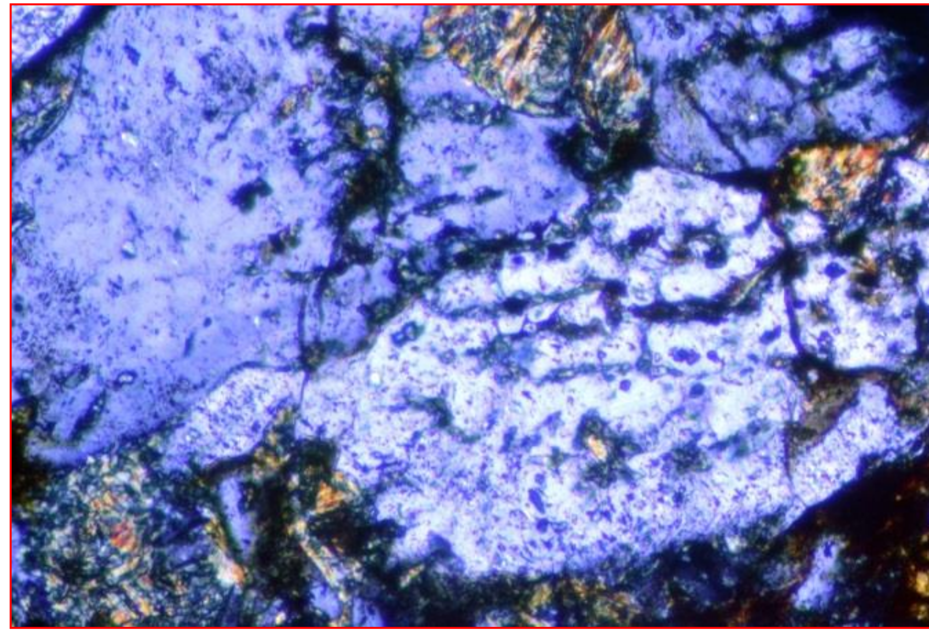
[写真01]
- ドレライト内部に,単ニコルで無色,直交ニコルで双晶を示す鉱物が確認できる。
- 当該鉱物は半自形～他形で柱状の形状を示す。

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

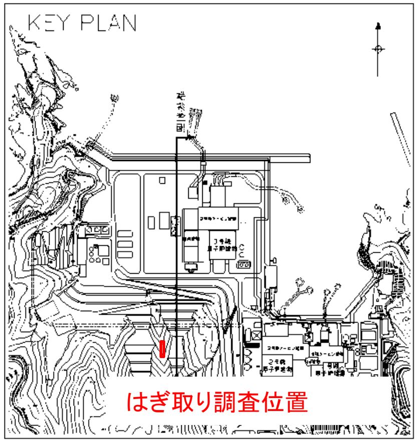
0.1mm

[写真01 拡大]

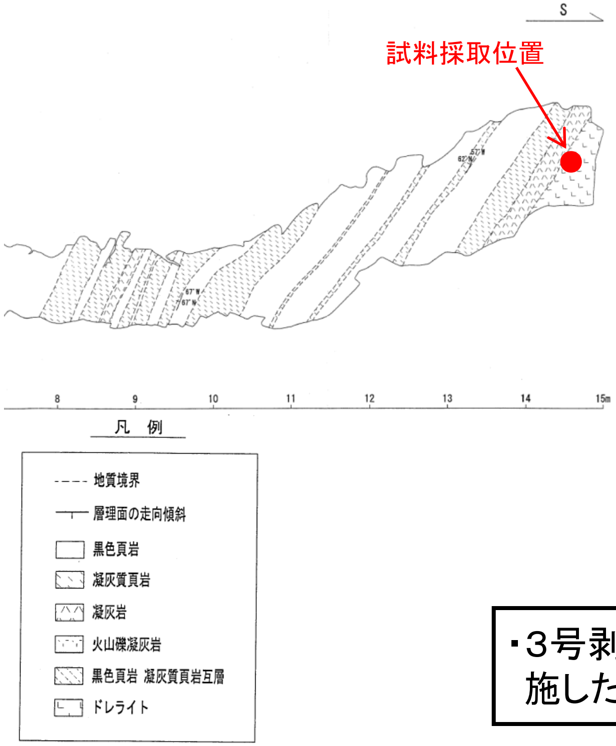
・直交ニコルで2個体から成る単純双晶を示し, 柱状の形状であることから, この鉱物は斜長石と同定した。

・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評価した。

薄片観察・EPMA分析結果（ドレライト：Hag-Do-C10）

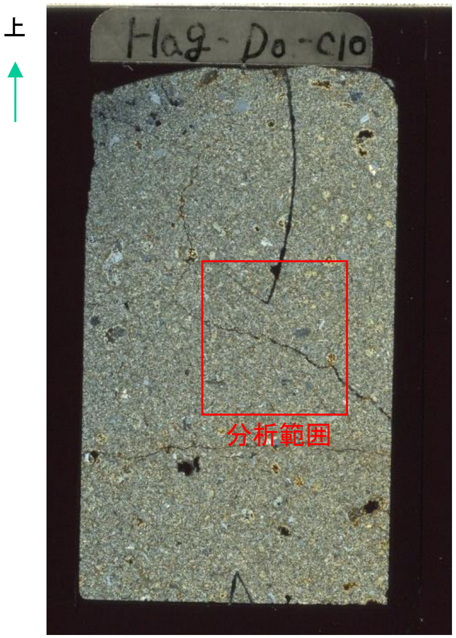


※はぎ取り調査位置を示すため，旧地形の平面図を示す。

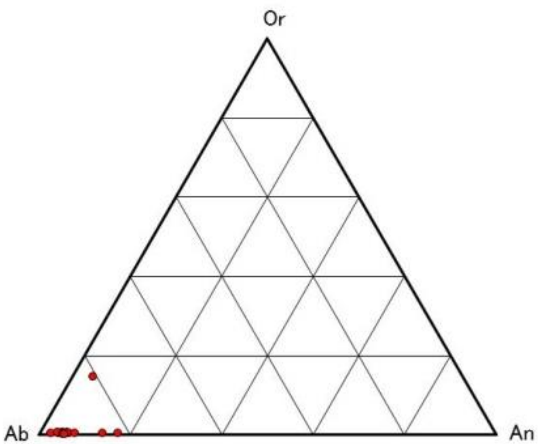


・3号剥ぎ取り箇所から，ドレライトの試料を採取し，薄片試料を作製してEPMA分析を実施した。

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(%)

EPMA分析による長石の分量(%)

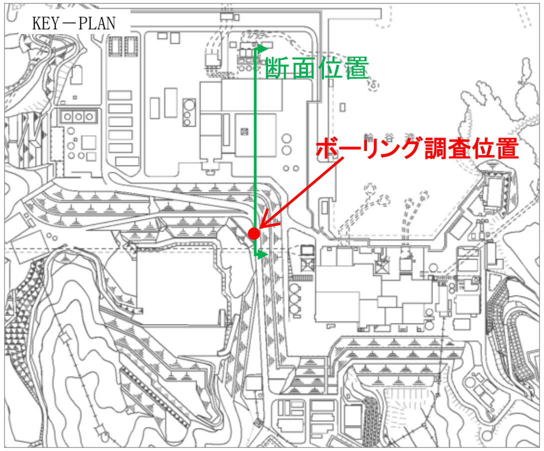
分析点No.	アノーサイト(An)	アルバイト(Ab)	カリ長石(Or)
1	2.2796	97.2345	0.4859
2	4.4165	95.0847	0.4988
3	13.5574	85.9842	0.4584
4	5.2394	94.3795	0.3811
5	4.9841	94.5629	0.4531
6	4.6849	94.6159	0.6992
7	3.9248	95.6176	0.4576
8	3.5858	95.7087	0.7055
9	5.1233	94.3118	0.565
10	16.9553	82.5496	0.4951
11	6.1929	93.3501	0.4571
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

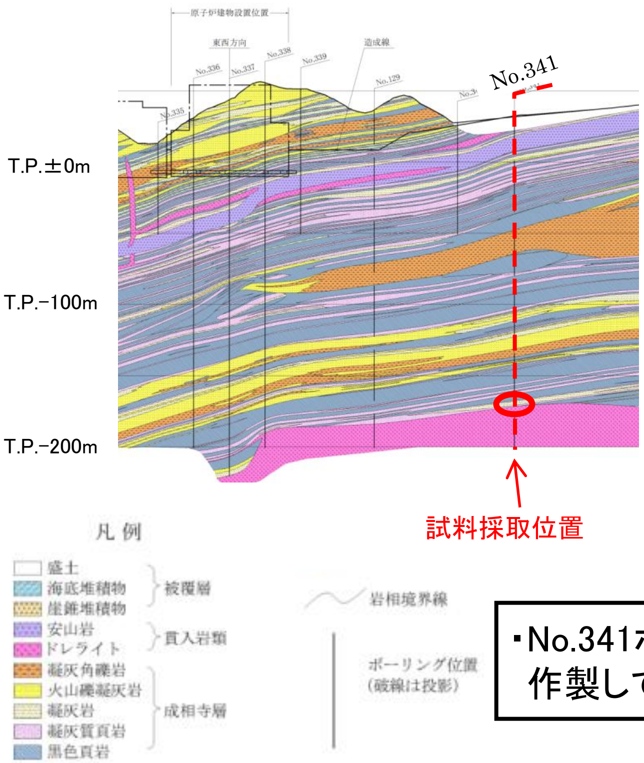
【分析結果】

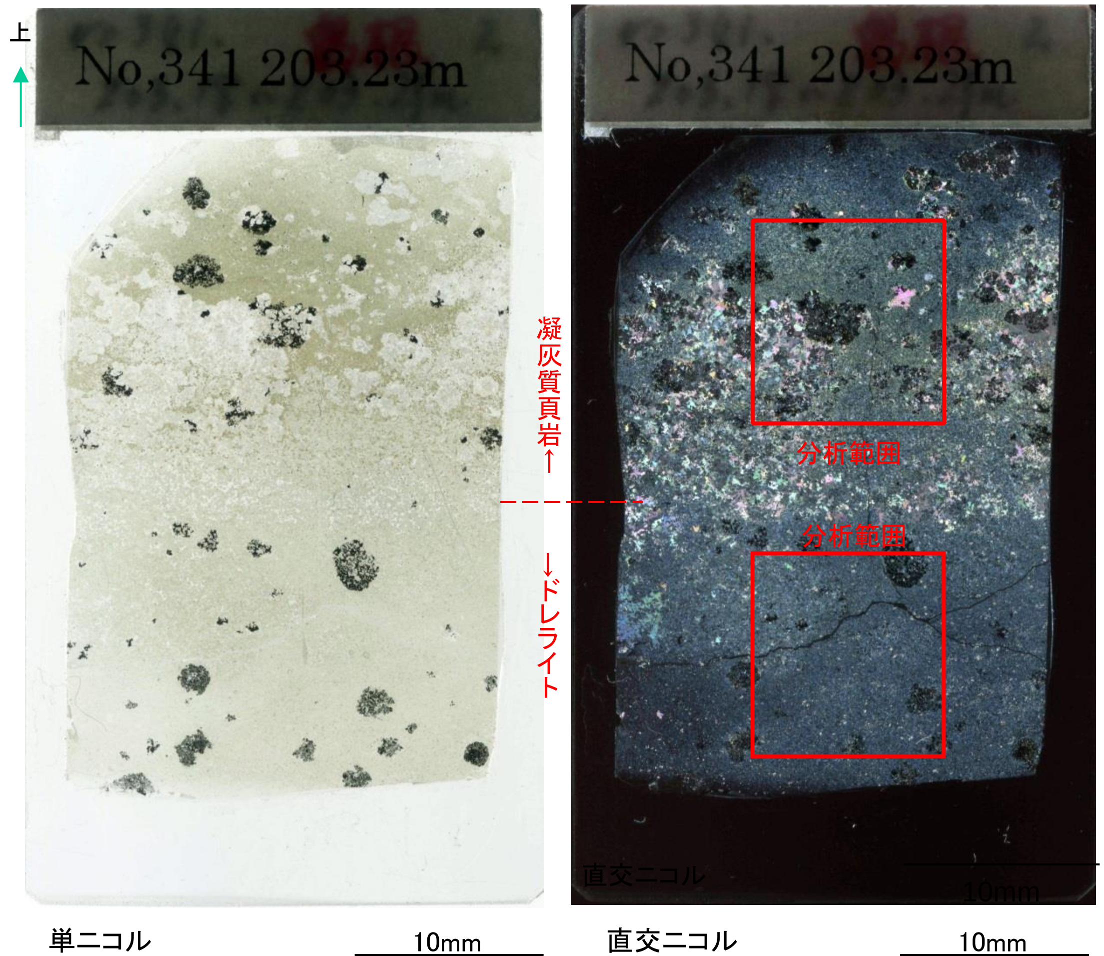
・EPMA分析を実施した地点のうち，鉱物組成から長石類と判断された箇所について定量データに基づく三角ダイヤグラムを作成したところ，Ab成分に富むことから曹長石と判断される。

薄片観察・ EPMA分析結果(No.341 GL−203.23m)

第318回審査会合
資料2 p.120 加筆・修正



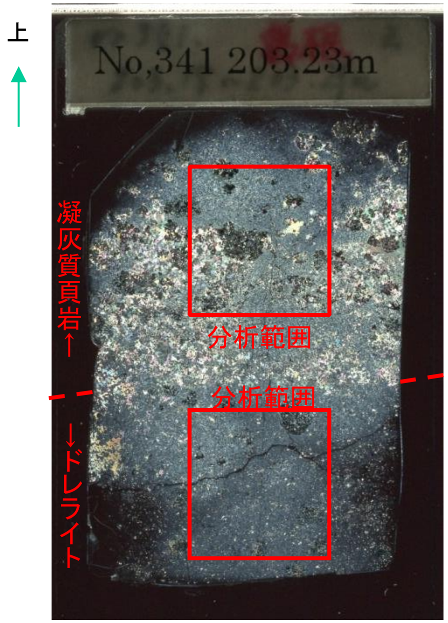




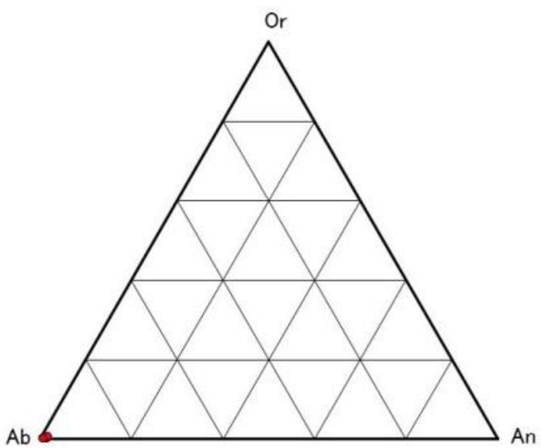
・No.341ボーリングコアから，ドレライトと凝灰質頁岩境界部の試料を採取し，薄片試料を作製してEPMA分析を実施した。

EPMA分析結果(No.341 GL−203.23m)

第318回審査会合
資料2 p.121 再掲



直交ニコル　10mm



EPMA分析による長石の分量(%)

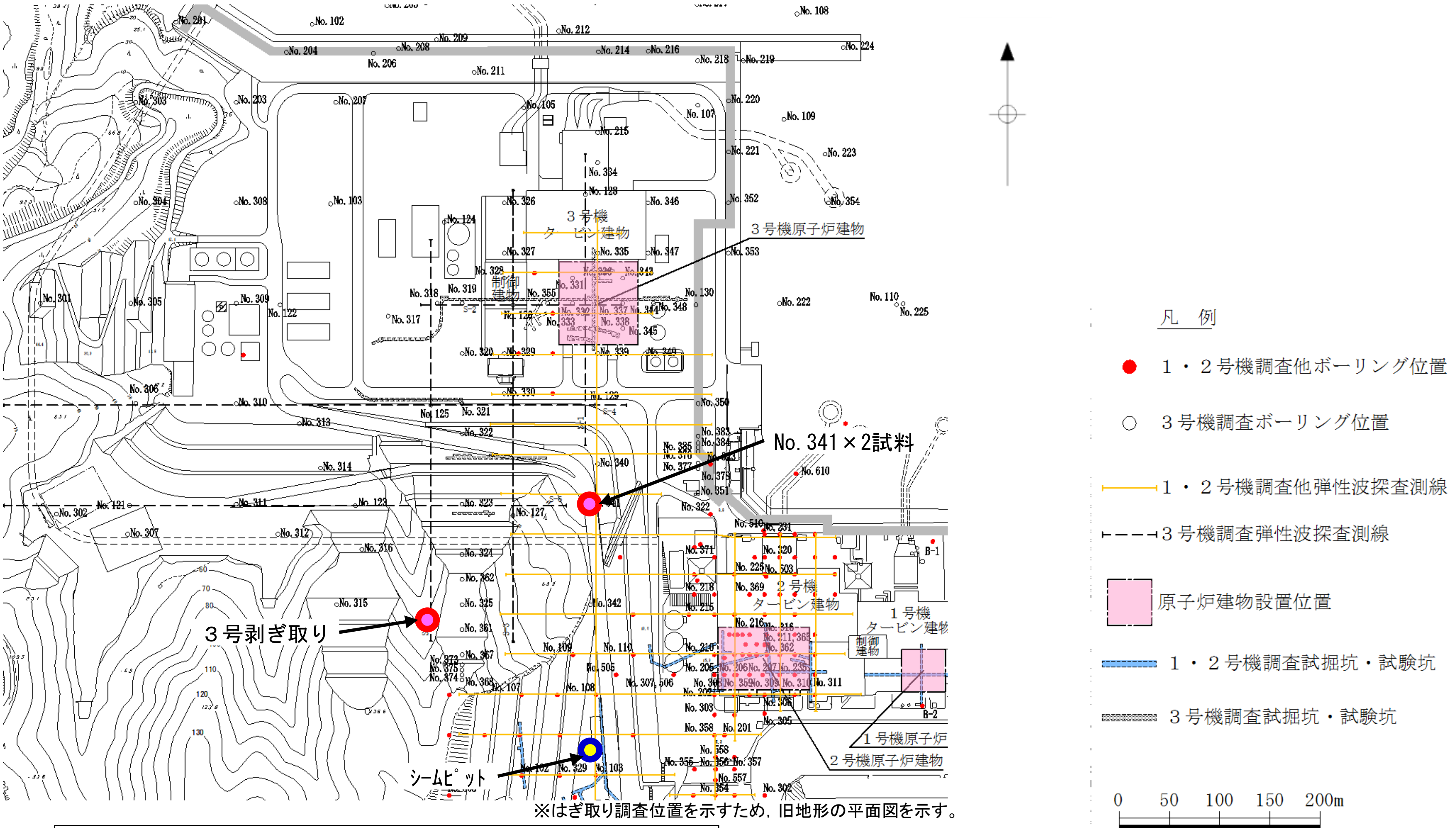
EPMA分析による長石の分量(%)

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。

EPMA分析結果（分析の平面位置）

第318回審査会合
資料2 p.127 加筆・修正



※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

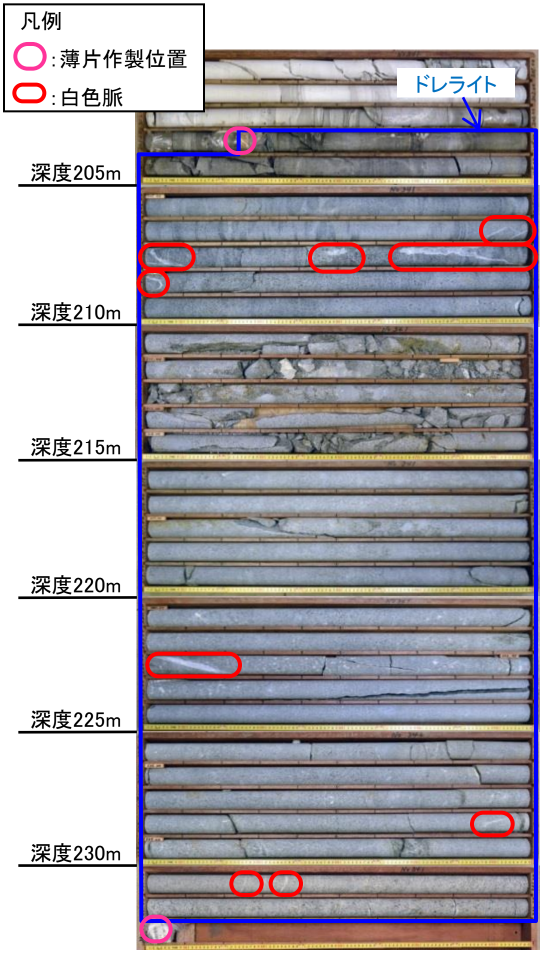
● ：ドレライトを対象とした薄片※1

● ：凝灰岩を対象とした薄片※1

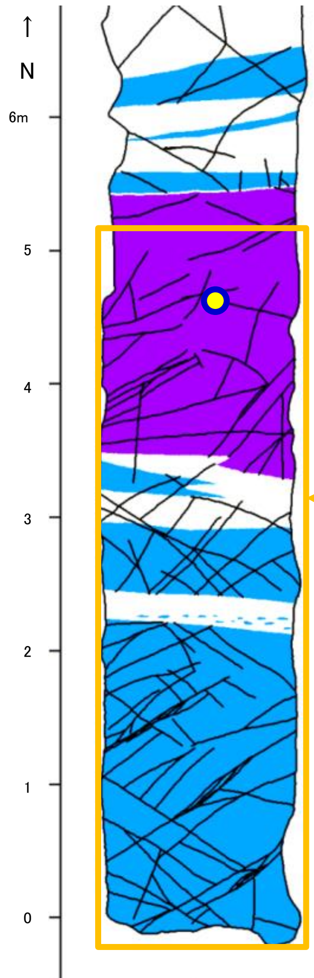
※1 曹長石化しているものは ○ ，していないものは ○ で囲む

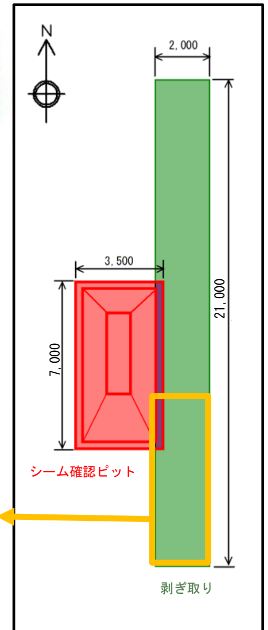
EPMA分析結果(分析の断面位置)

第318回審査会合
資料2 p.128 加筆・修正

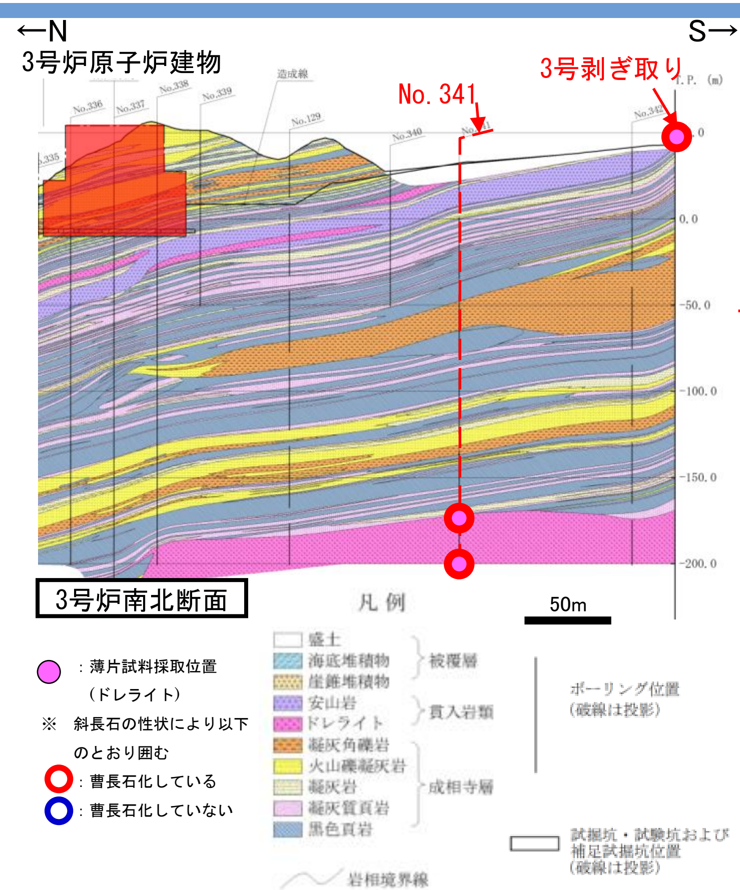


No.341ボーリングコア写真

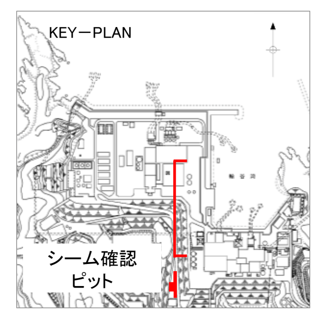




シーム確認ピットにおける薄片試料採取位置



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評価した。

(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)[10]	123℃以上	方沸石からの変化
吉村(2001)	200℃以上	熱水による
吉村(2003)[11]	75℃－280℃	続成作用による
星ほか(1992)[12]	110℃以上	斜長石の曹長石化
Iijima(1978)[13]	120℃以上	

・文献調査の結果，曹長石の生成温度は概ね100℃以上である。

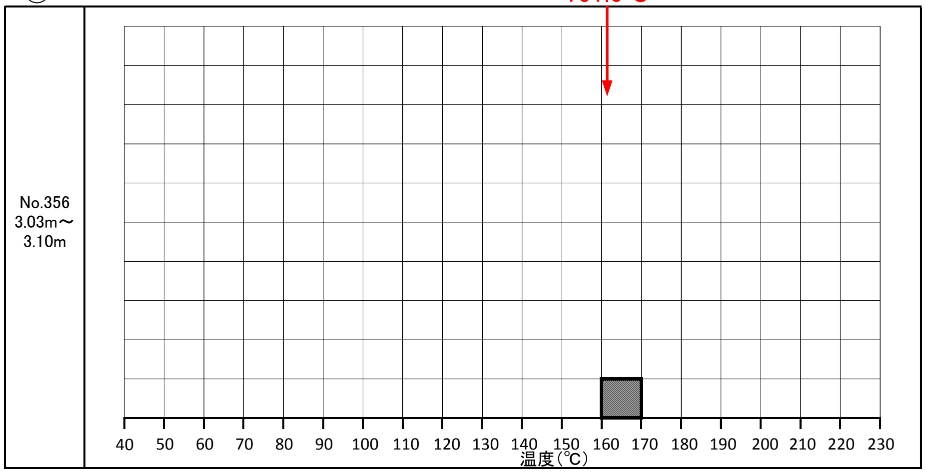
まとめ

- 周藤・小山内（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，熱水変質作用により曹長石化したものと評価した。

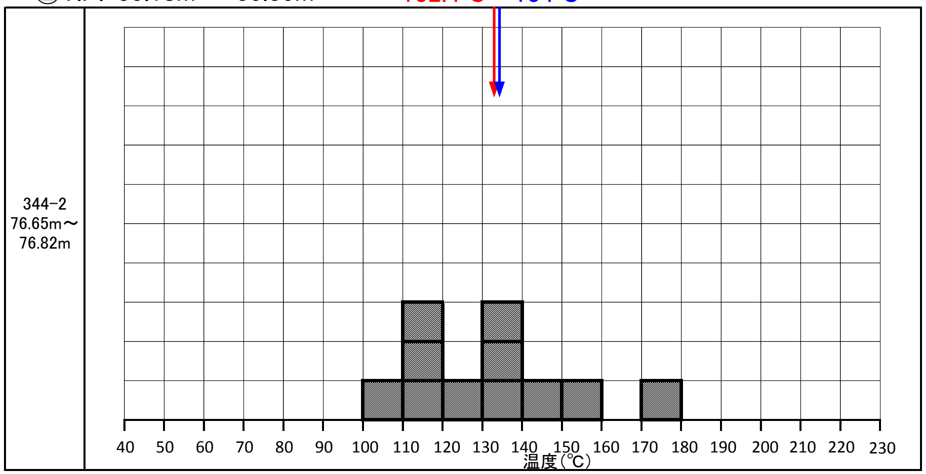
流体包有物試験結果(深度毎の均質化温度のヒストグラム)

第318回審査会合
資料2 p.82 再掲

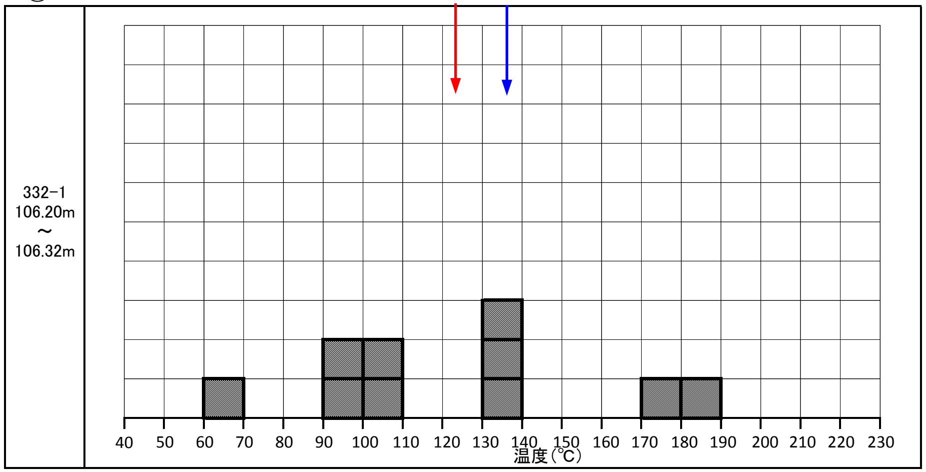
①T.P.−11.69m～−11.76m



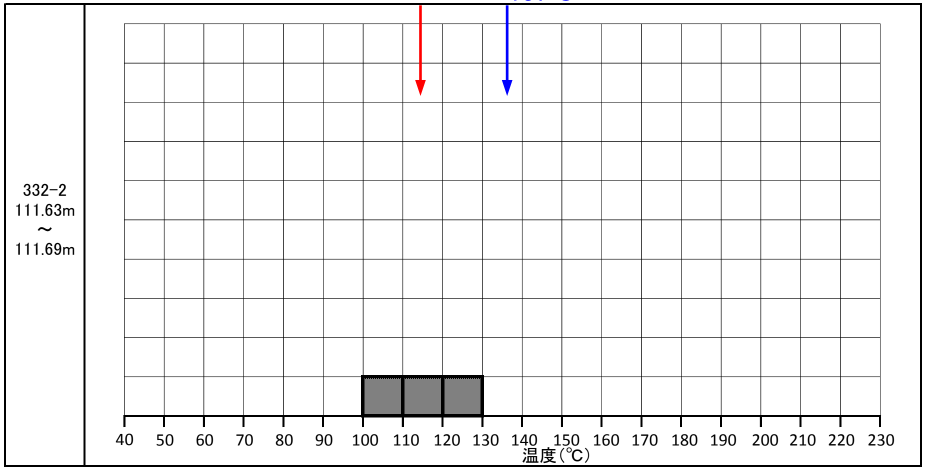
②T.P.−35.18m～−35.35m



③T.P.−68.02m～−68.14m



④T.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

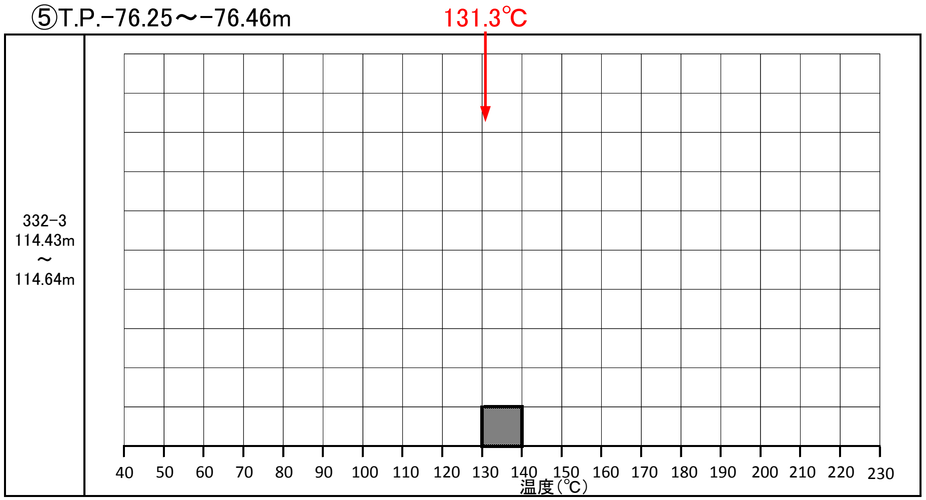
赤字 : 流体包有物試験における初生流体包有物の均質化温度(平均値)

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

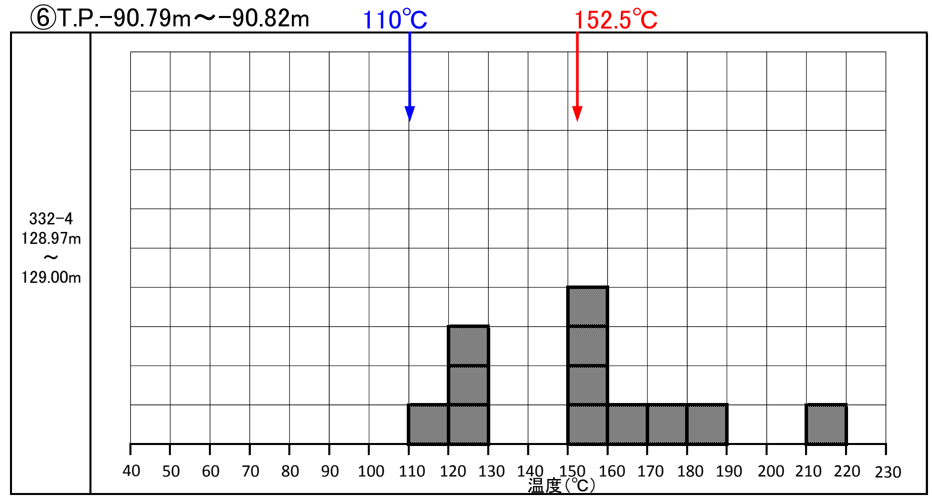
流体包有物試験結果(深度毎の均質化温度のヒストグラム)

第318回審査会合
資料2 p.83 再掲

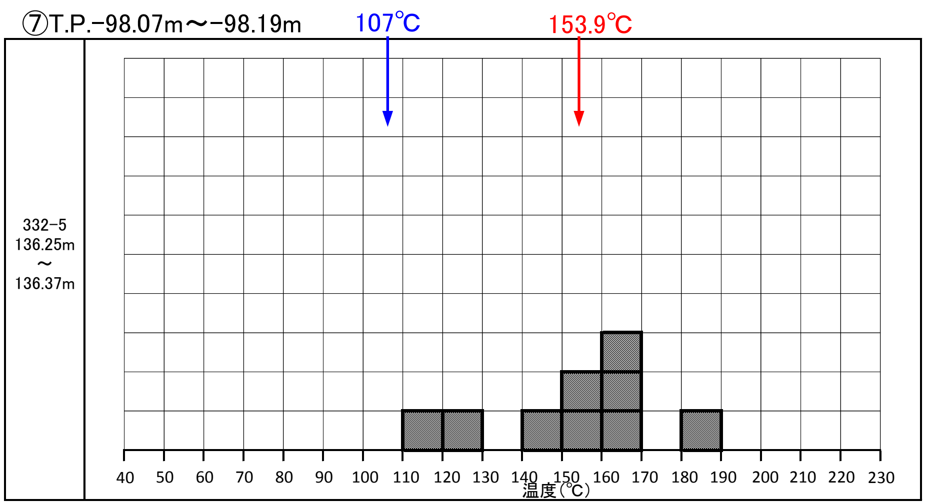
⑤T.P.−76.25～−76.46m



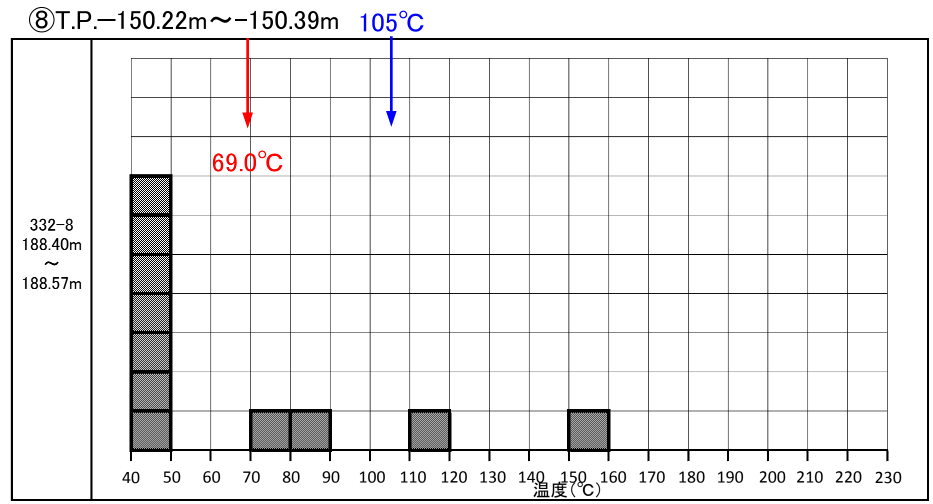
⑥T.P.−90.79m～−90.82m



⑦T.P.−98.07m～−98.19m



⑧T.P.−150.22m～−150.39m



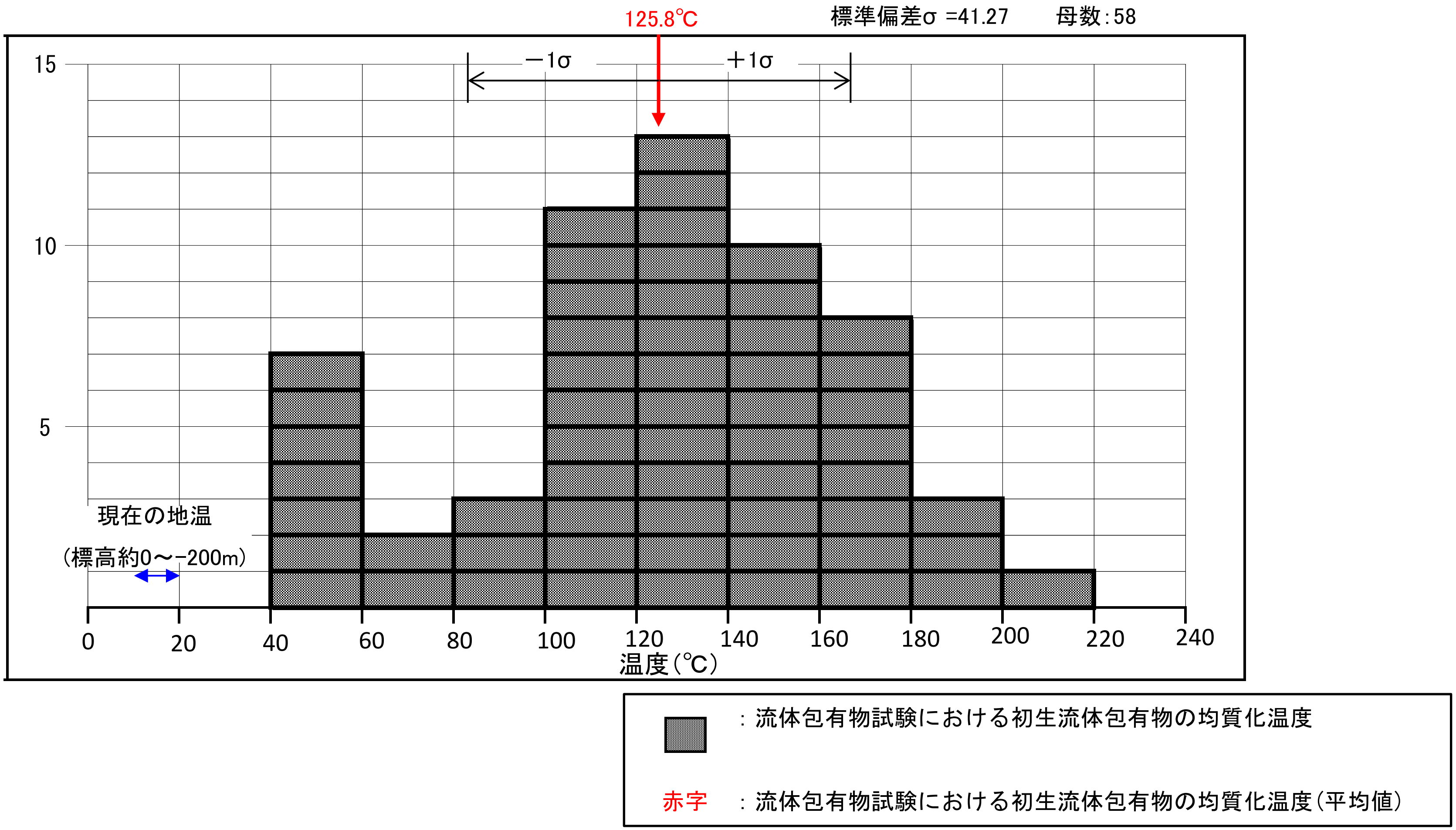
- 流体包有物試験における方解石の生成温度は，初生流体包有物の均質化温度を深度毎に平均して算出している。
- 均質化温度の平均値は，ヒストグラムのピークと概ね一致している。
- 均質化温度は，酸素同位体試験における生成温度と概ね一致している。

：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

流体包有物試験結果(初生流体包有物の均質化温度:全体)

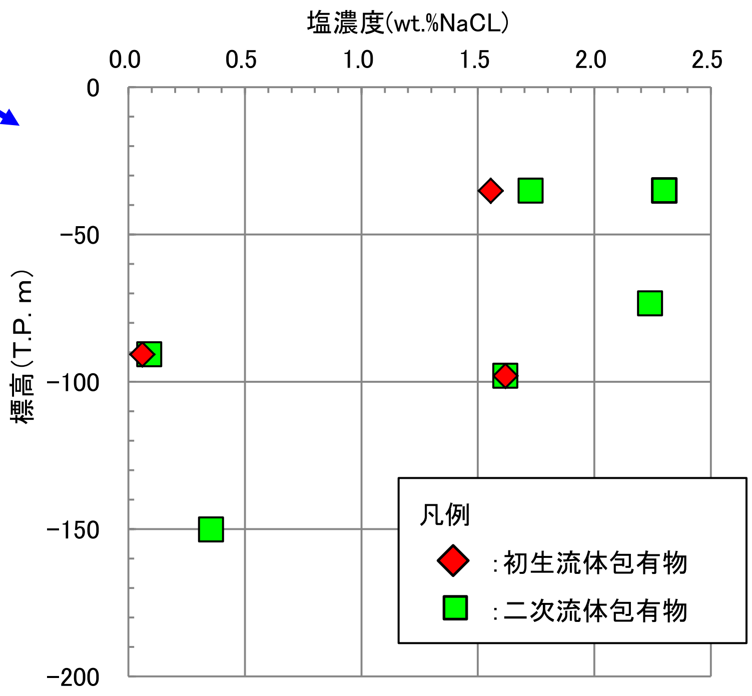


・初生流体包有物の均質化温度全ての平均値は約125.8℃であり，現在の地温と比較して高温であることから，方解石は，火成活動が活発であった時期の変質作用により生成されたと評価した。

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_2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。



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

約0.1～2.3%であることから，概ね海水であると評価した。

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。

[生成温度の計算式①(O’Neil et al.(1969)[14])]

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

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評価した。そのため，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。

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	熱水(算出)
試料名	ボーリング名	包有物タイプ	均質化温度(℃)				$\delta^{18}O_{CaCO3,SMOW}$	$\delta^{18}O_{fluid,SMOW}$
			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))]

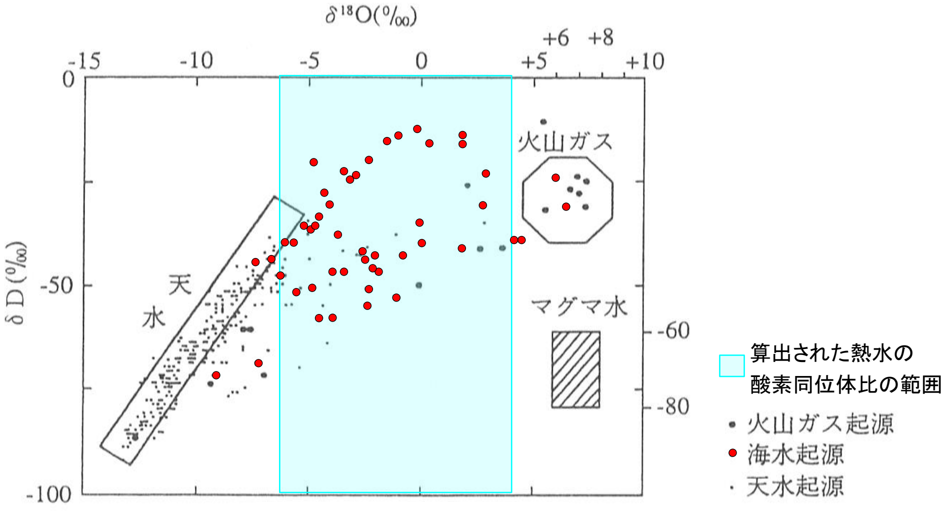
$$1000\ln\alpha = 2.78(10^6 T^{-2}) - 3.39$$

T:温度(K)

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

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

$\delta^{18}O_{SMOW(熱水)}$:熱水の酸素同位体比



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

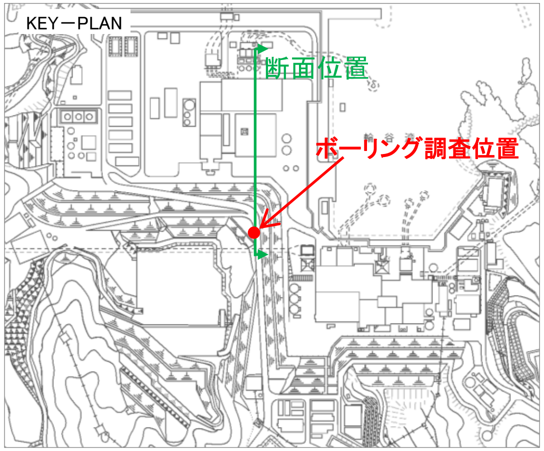
吉村(2001):(松葉谷(1991)(15)に一部加筆されたもの)に一部加筆

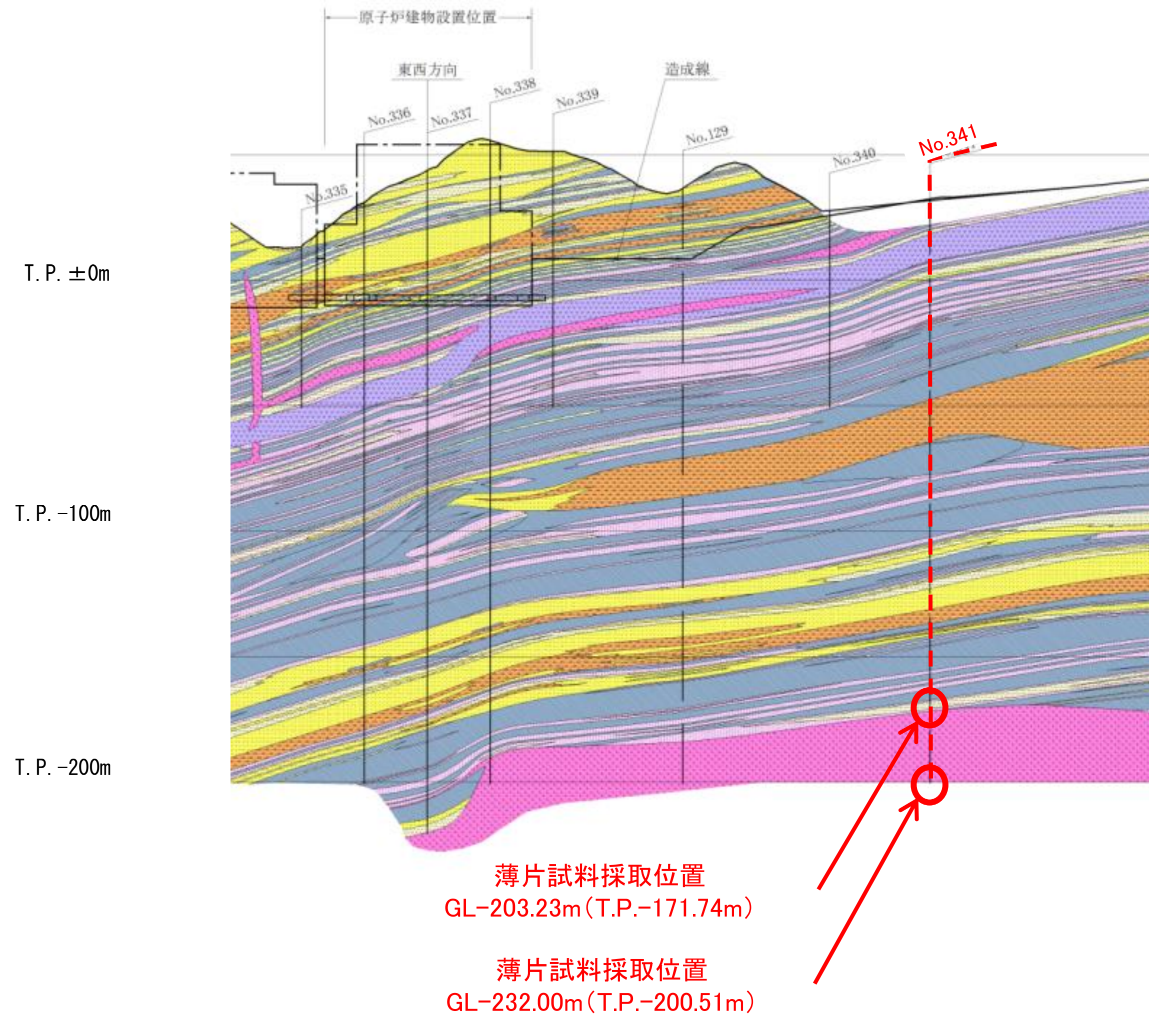
- 流体包有物試験の均質化温度測定結果及び方解石の酸素同位体試験結果を用いて方解石生成時の流体(熱水)の酸素同位体比を算出した結果,-6.3‰~4.0‰という結果が得られた。
- 算出された熱水の酸素同位体比を吉村(2001)にプロットした結果,海水起源の酸素同位体比範囲と概ね一致することから,熱水は海水起源であると評価した。

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。

深部ドレライトにおける薄片観察試料の採取位置

第318回審査会合
資料2 p.164 加筆・修正



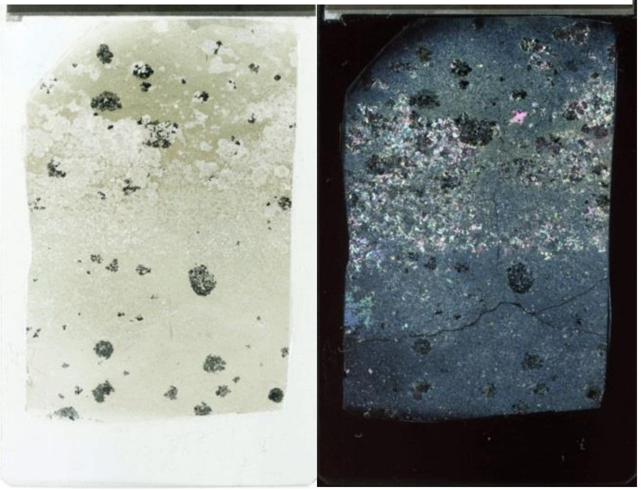


・凝灰質頁岩と深部ドレライトとの境界部，及び深部ドレライト内部から試料を採取し，薄片観察等分析を実施した。

深部ドレライトのコア観察結果

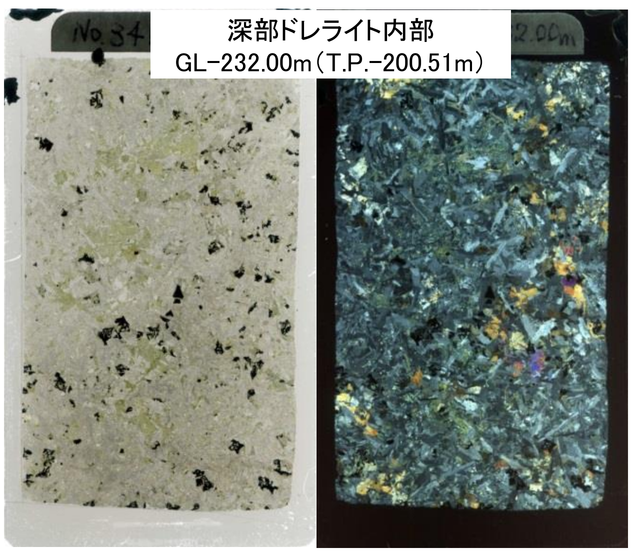
第318回審査会合
資料2 p.165 再掲

凝灰質頁岩と深部ドレライトとの境界部
GL-203.23m(T.P.-171.74m)

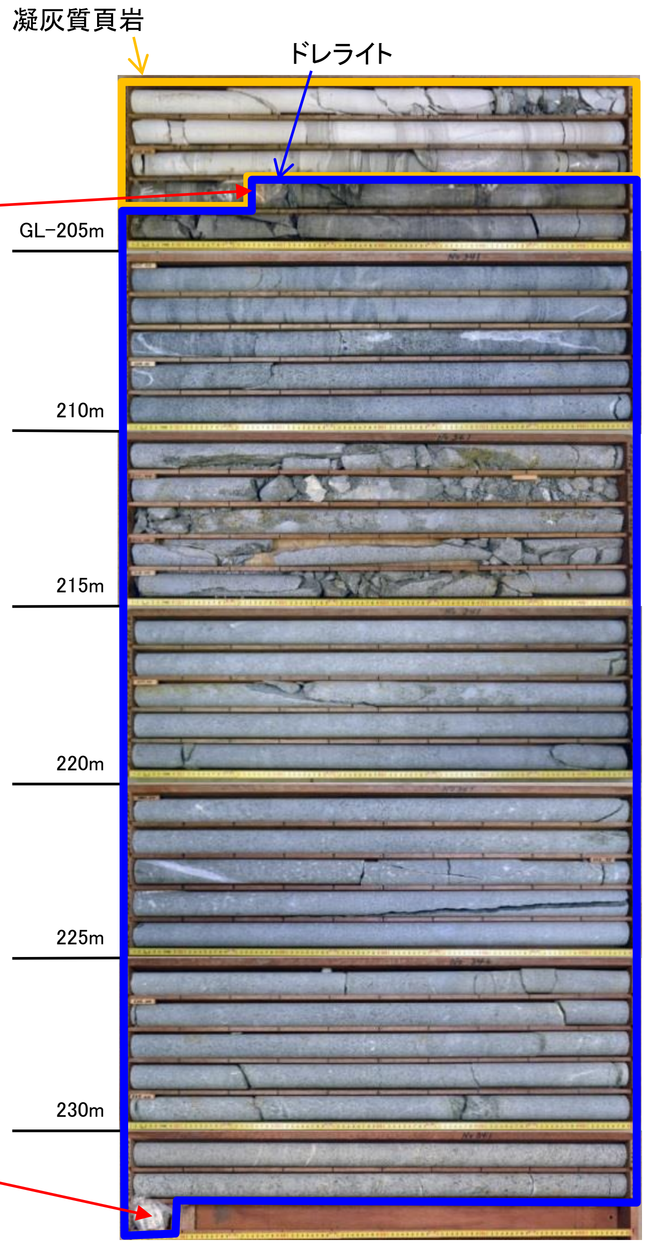


単ニコル　直交ニコル　10mm

深部ドレライト内部
GL-232.00m(T.P.-200.51m)



単ニコル　直交ニコル　10mm



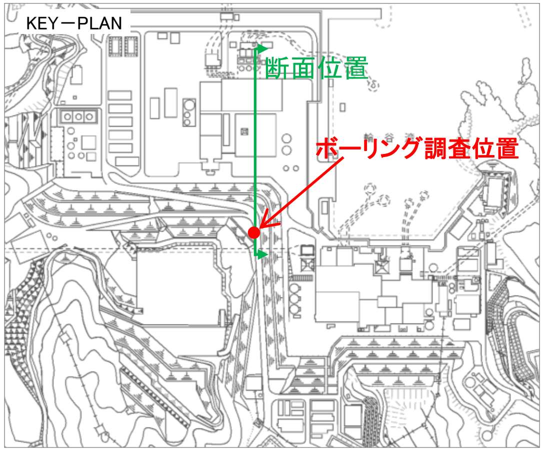
細粒なドレライト

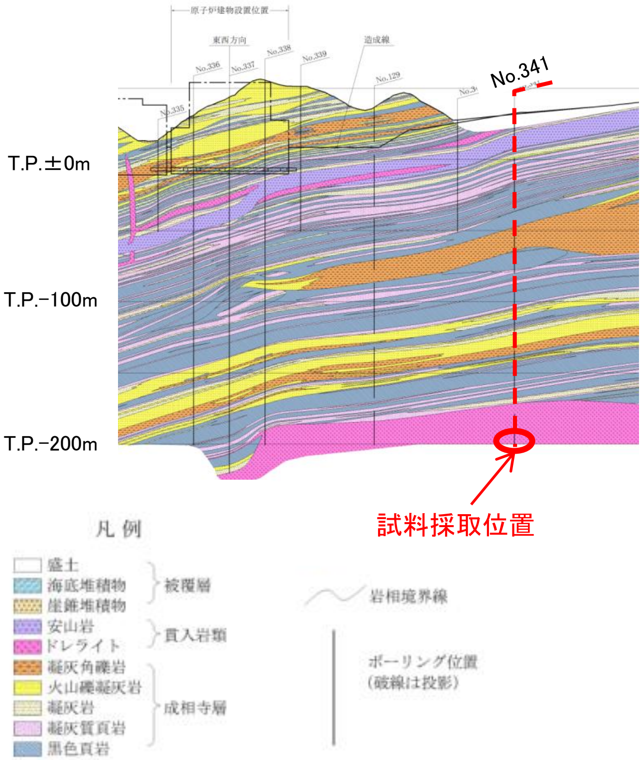
粗粒なドレライト

- 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

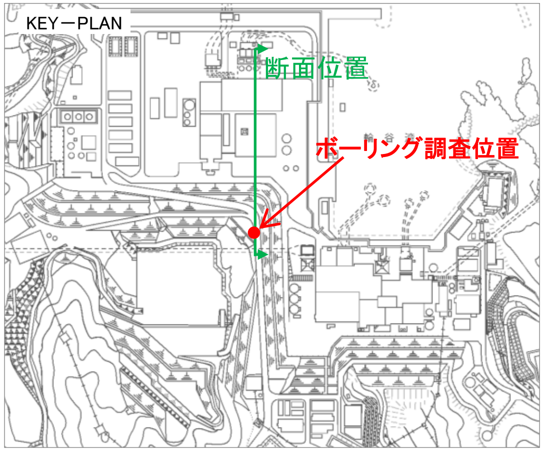
○ :試料採取位置

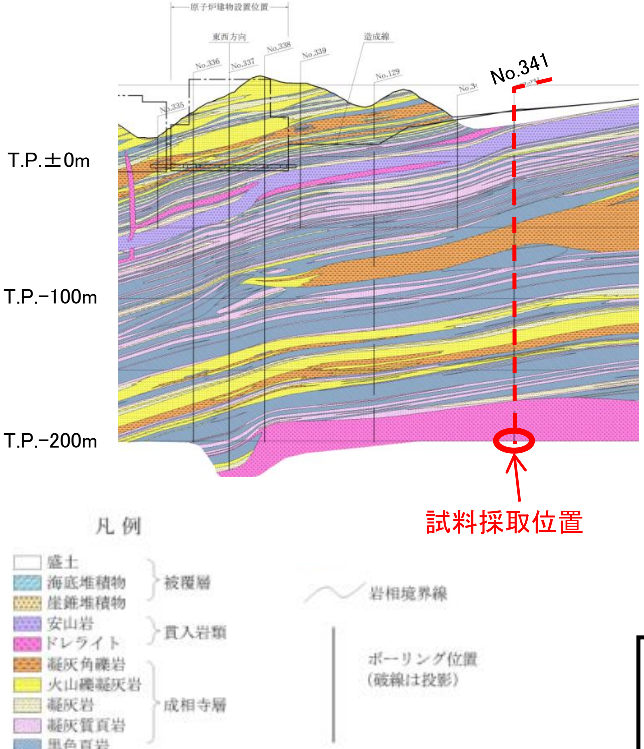
No.341 試料採取位置(深度約232m)

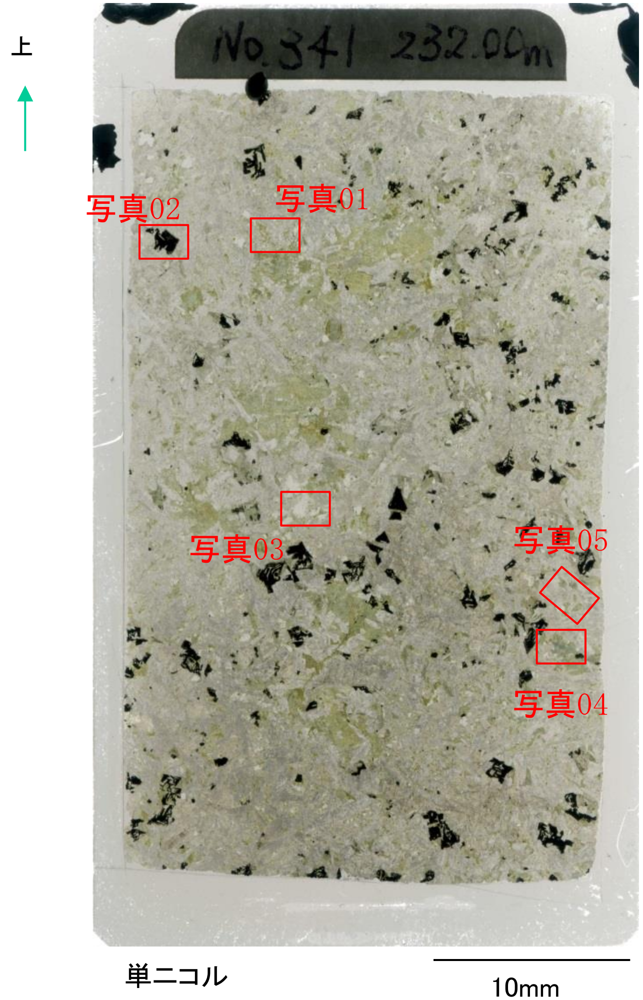
・No.341コアにおけるドレライトから試料を採取し, X線回折分析を行ったところ, 石英, 斜長石, 単斜輝石, 緑泥石, スメクタイトが確認された。

薄片観察結果（No.341 GL-232.00m，深部ドレライト内部）

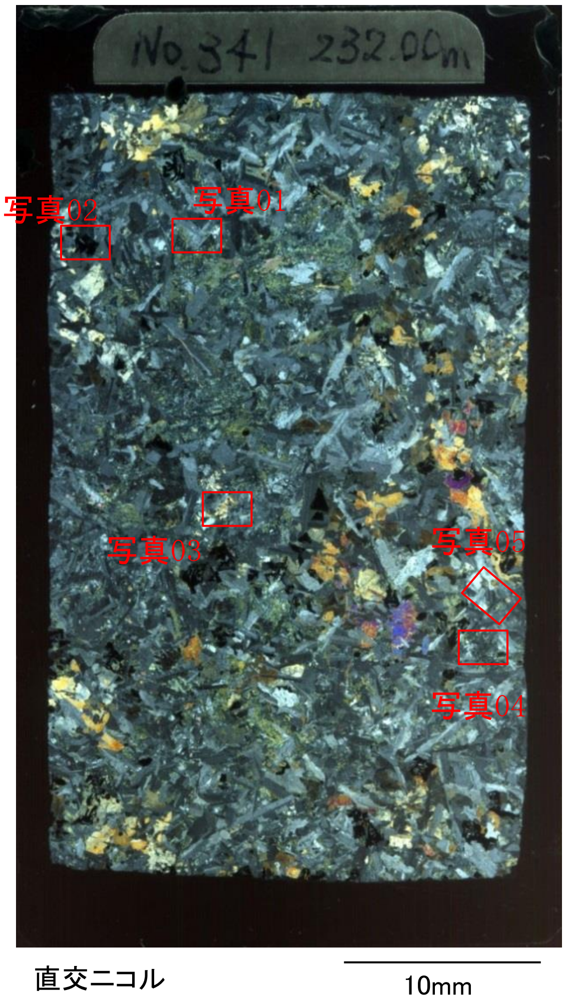
第318回審査会合
資料2 p.167 加筆・修正







単ニコル

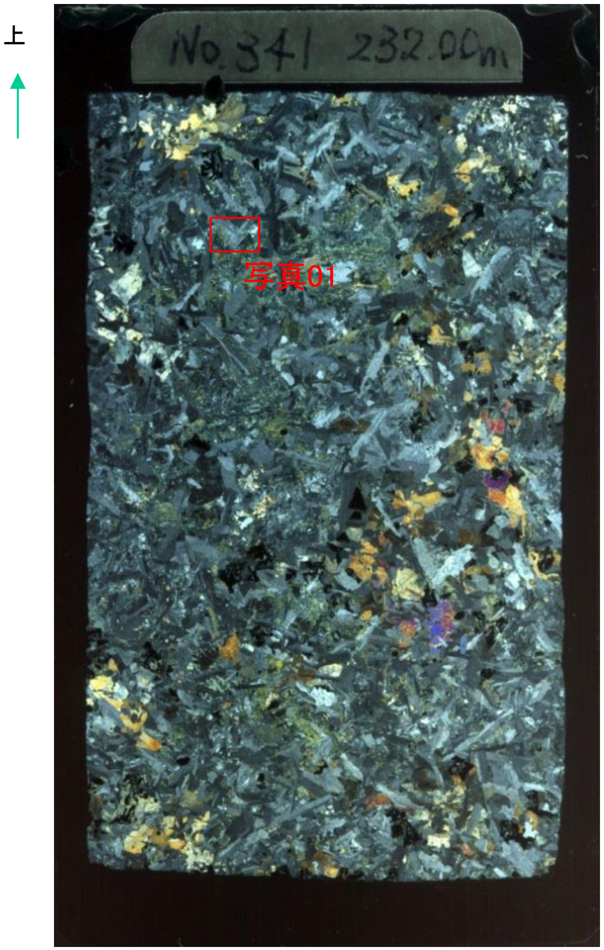


直交ニコル

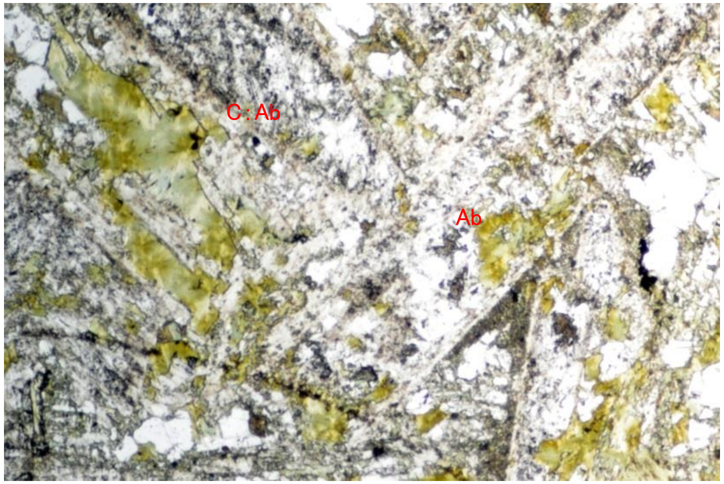
・No.341ボーリングコアから，ドレライト内部の試料を採取し，薄片試料を作成して薄片観察及びEPMA分析を実施した。

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）

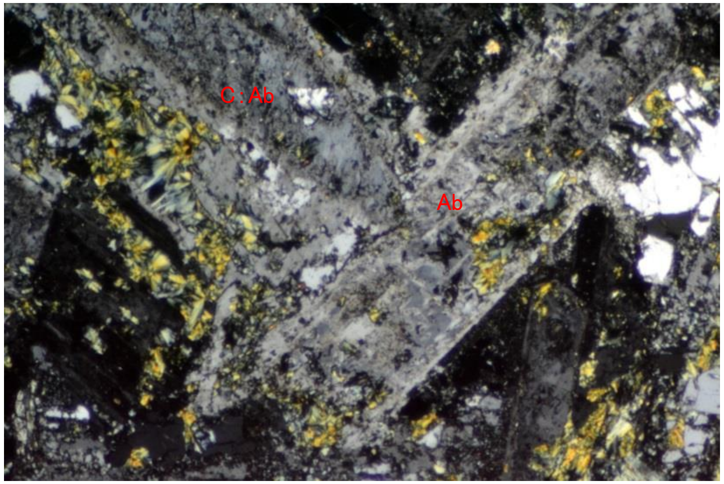
第318回審査会合
資料2 p.168 再掲



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(%)

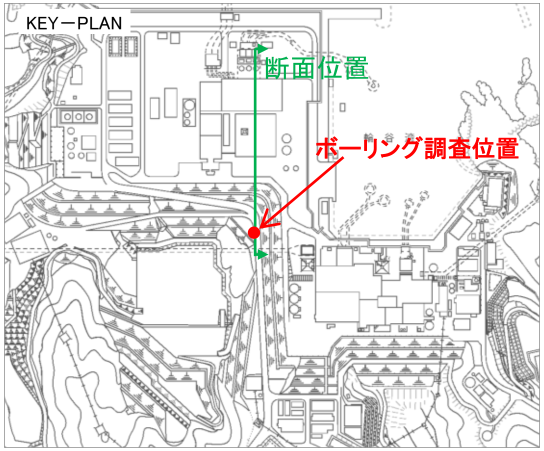
分析位置	C
SiO_2	67.587
TiO_2	0.017
Al_2O_3	18.78
Fe_2O_3	0.232
MnO	0.012
MgO	0.004
CaO	0.368
K_2O	0.175
Na_2O	11.498
Cr_2O_3	0
S	0.004
(OH)	1.323
Total	100.000
鉱物種	曹長石

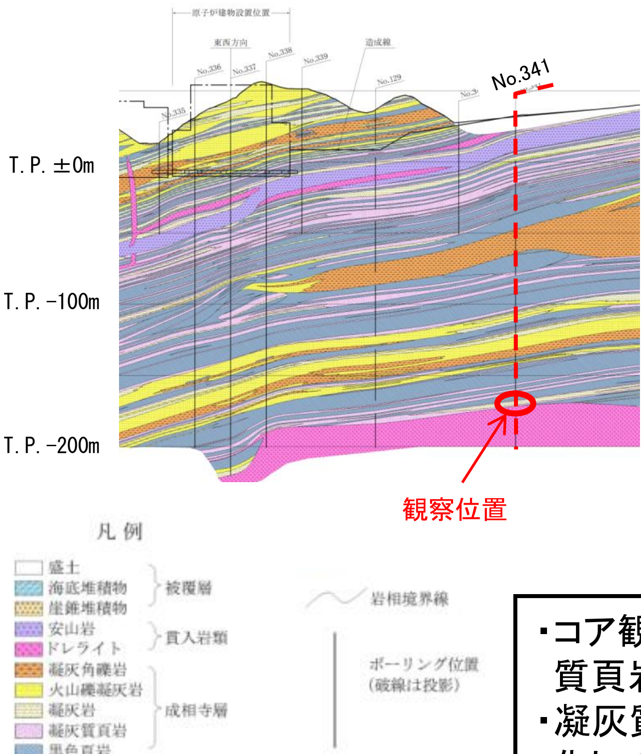
Ab:曹長石 $NaAlSi_3O_8$

・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。

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



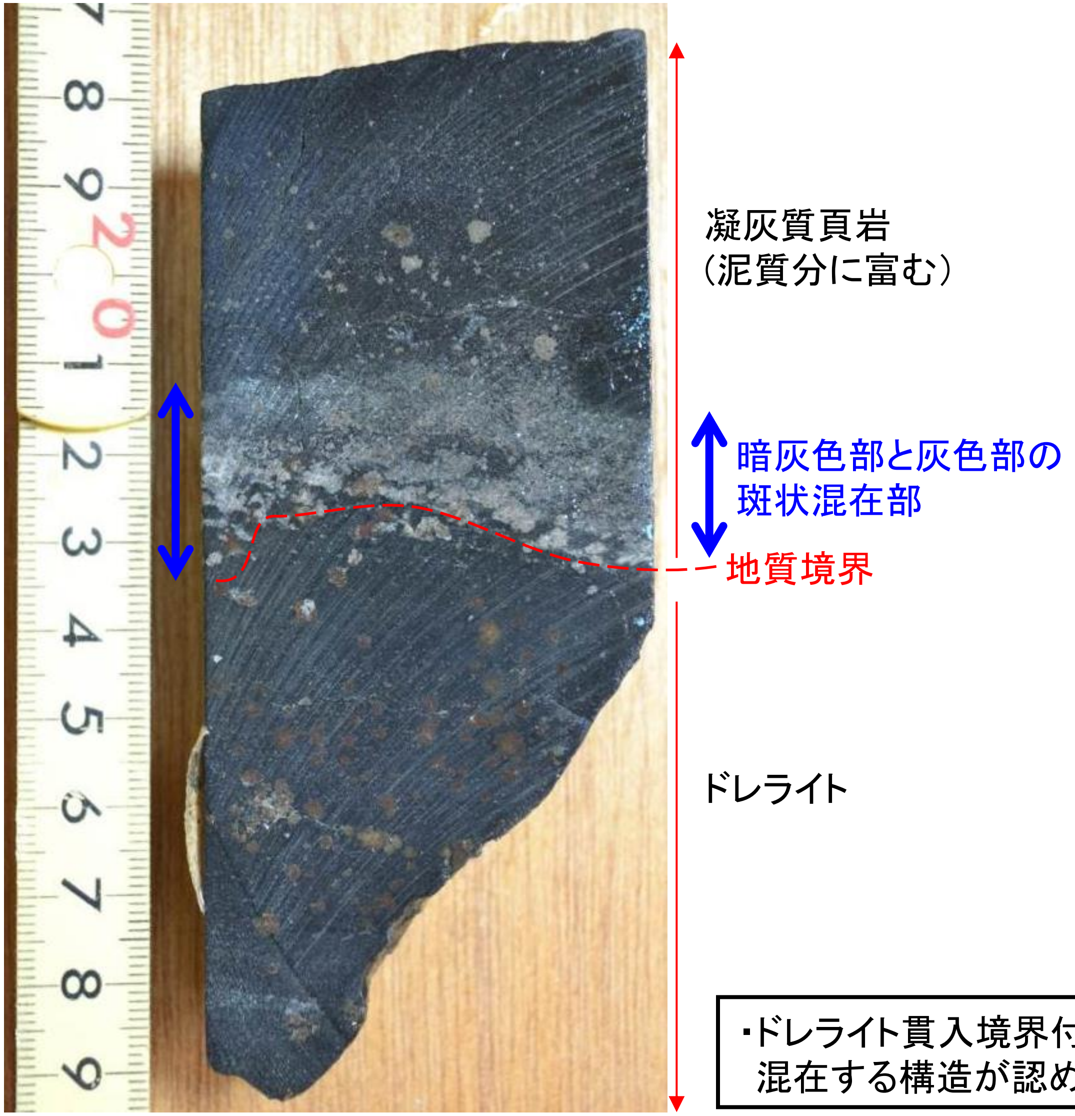


No.341 ボーリングコア写真

拡大写真 No.341 GL-203.23m 深部ドレライト境界部

- 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同定した。
- 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）

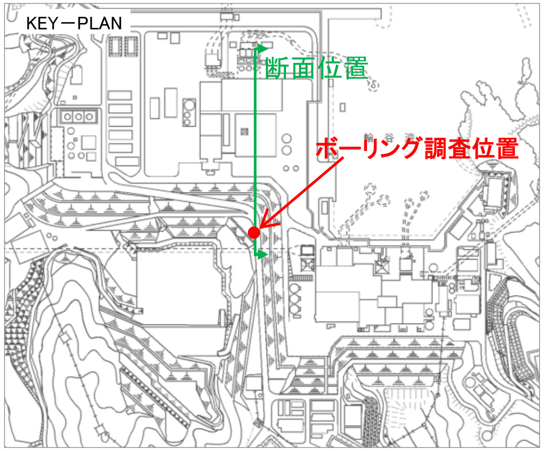


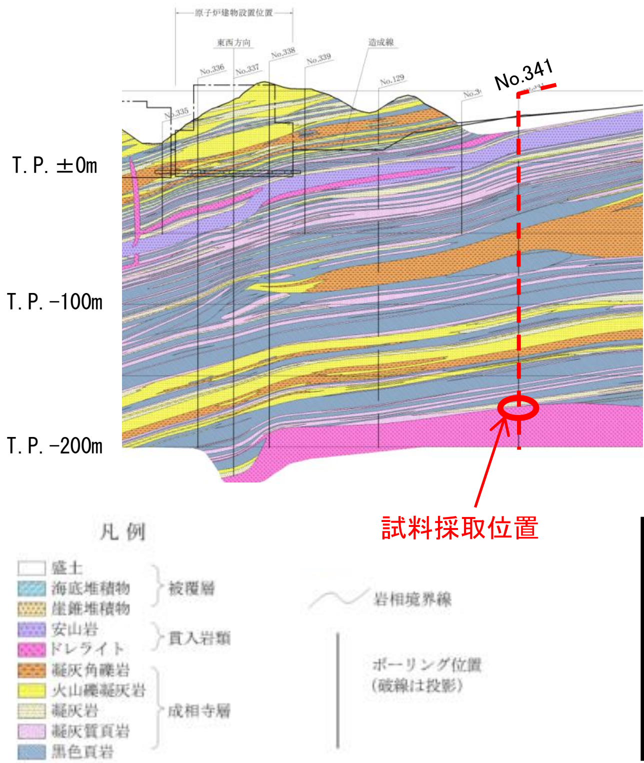
薄片作成箇所　ボーリングコア断面

・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。

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

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

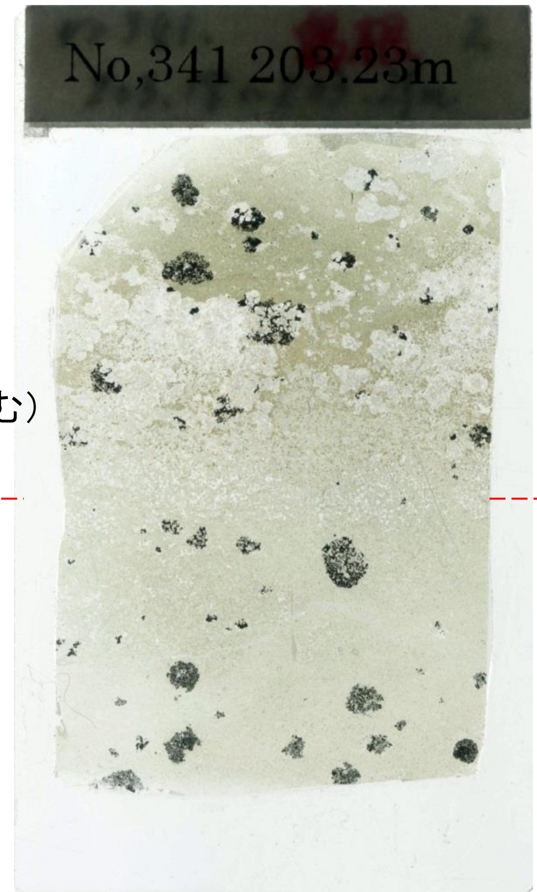
薄片全体写真

上

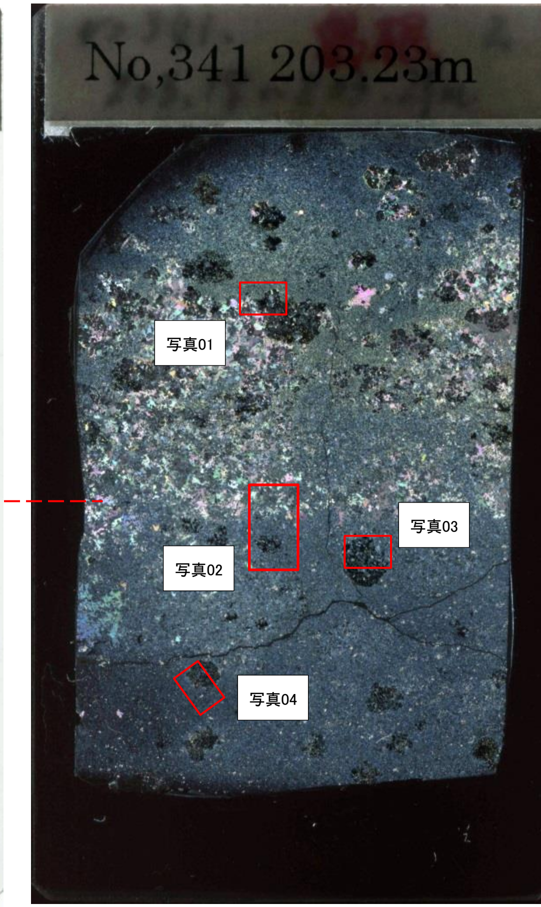
凝灰質頁岩
(泥質分に富む)

地質境界

ドレライト



単ニコル　10mm



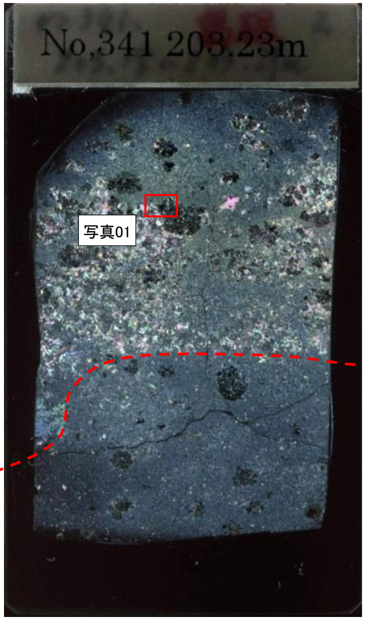
直交ニコル　10mm

・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。

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 加筆・修正

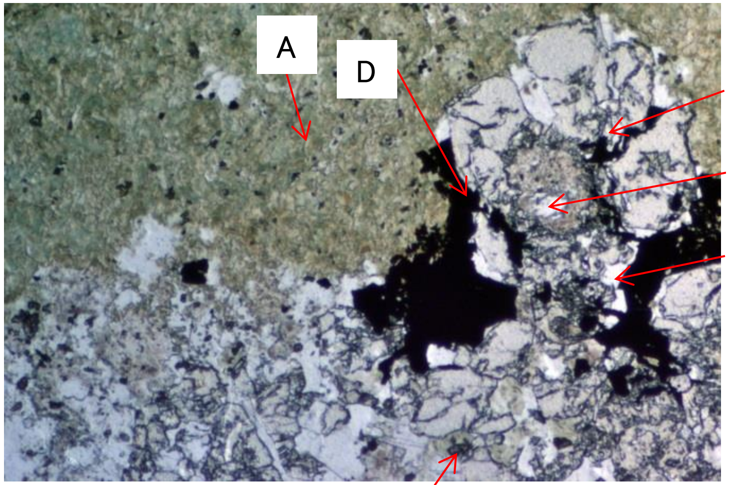
KEY-PLAN



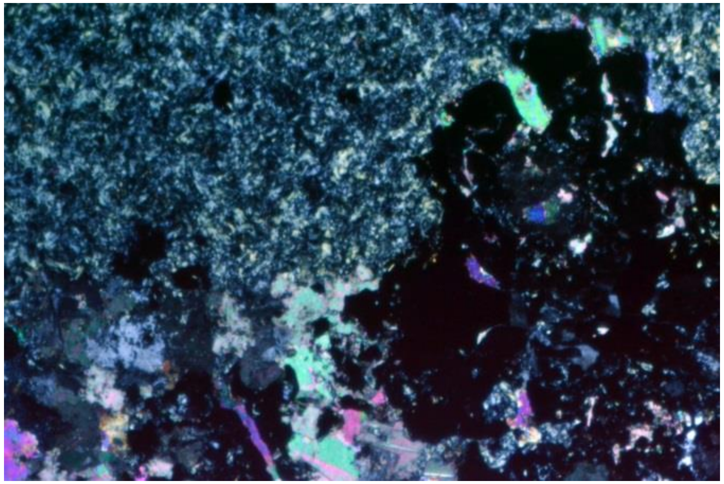
上

地質境界

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	A	B	C	D	E	F
SiO_2	30.967	30.623	100.339	0.043	0.000	38.239
TiO_2	0.506	34.184	0.036	0.025	0.018	0.775
Al_2O_3	14.259	2.034	0.423	0.014	0.022	15.541
Fe_2O_3	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_2O	0.307	0.000	0.038	0.008	0.000	0.000
Na_2O	0.029	0.000	0.019	0.140	0.006	0.000
Cr_2O_3	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：$CaTiSiO_4(O,OH,F)$　石英：SiO_2
黄鉄鉱：FeS_2　方解石：$CaCO_3$
(灰ばん)ざくろ石：$Ca_3Al_2Si_3O_{12}$
緑泥石$(Mg,Fe,Al)_{12}(Si,Al)_8O_{20}(OH)_{16}$
スメクタイト：$Na_{0.7}(Al_{3.3}Mg_{0.7})Si_8O_{20}(OH)_4 \cdot nH_2O$

・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，グロシュラライトと同定した。

（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

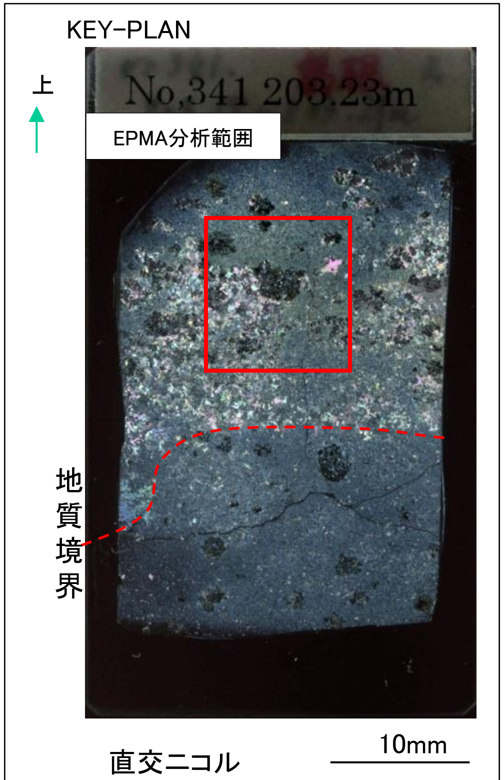
種類	組成式
パイロープ（苦ばんざくろ石）	$Mg_3Al_2Si_3O_{12}$
アルマンディン（鉄ばんざくろ石）	$Fe_3Al_2Si_3O_{12}$
スペッサルティン（まんばんざくろ石）	$Mn_3Al_2Si_3O_{12}$
ウヴァロバイト（灰クロムざくろ石）	$Ca_3Cr_2Si_3O_{12}$
グロシュラライト（灰ばんざくろ石）	$Ca_3Al_2Si_3O_{12}$
アンドラダイト（灰鉄ざくろ石）	$Ca_3Fe_2Si_3O_{12}$

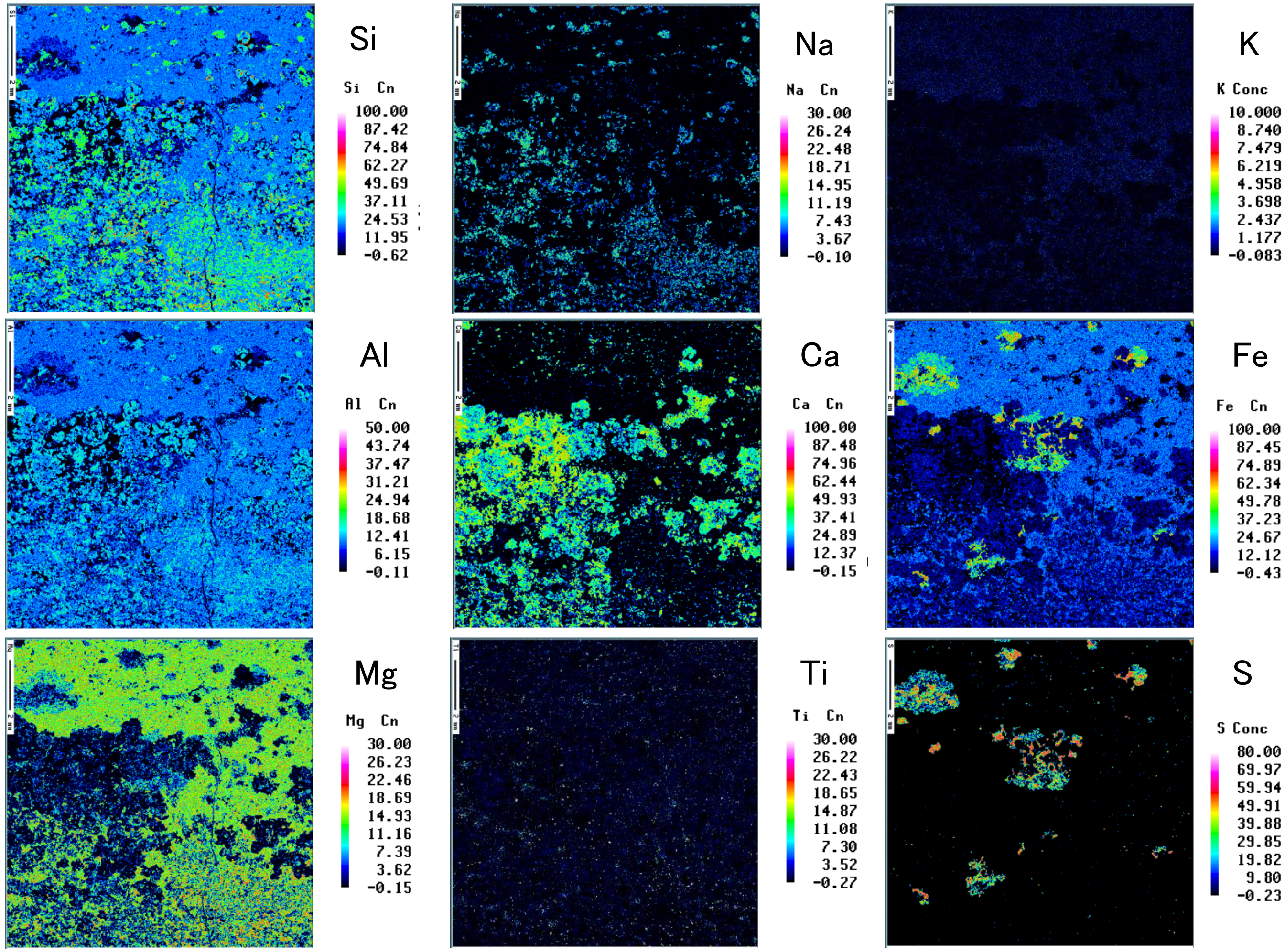
黒田・諏訪(1983)をもとに作成

・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）[(16)]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）[(17)]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 加筆・修正

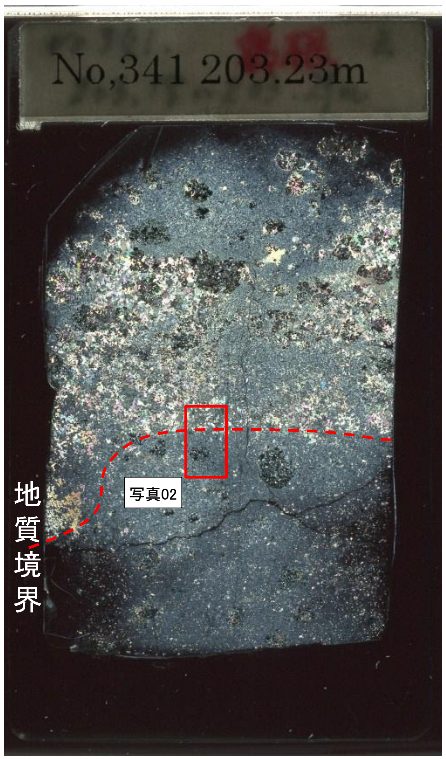




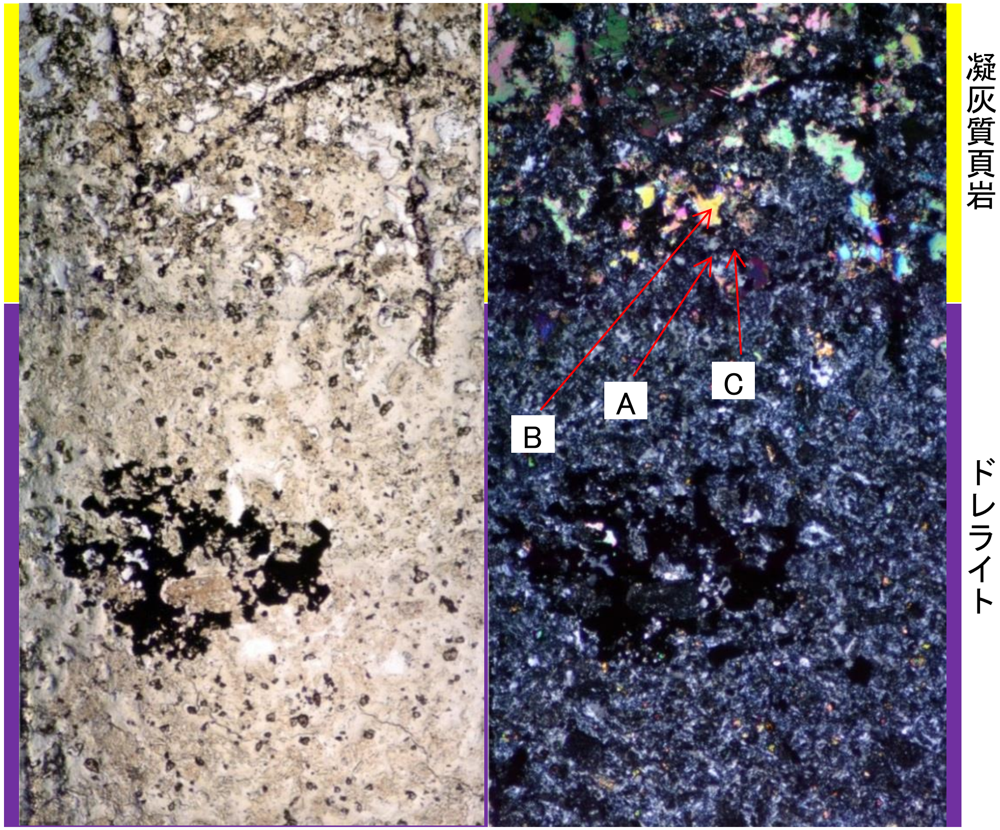
- Fe及びSが検出される範囲には, 黄鉄鉱(FeS_2)が晶出している。黄鉄鉱は黒色斑点内部にのみ晶出しており, 熱水変質により空隙を埋めたものと考えられる。
- Ca(緑), Si(緑), Al(水色)が検出される範囲にはざくろ石が, Ca(黄)のみが検出される範囲には方解石がそれぞれ晶出しており, 斑状に境界部付近に分布する。
- Si, Mg(緑), Fe, Alが検出される範囲には, 緑泥石/ｽﾒｸﾀｲﾄ混合層鉱物が晶出しており, 凝灰質頁岩の主成分鉱物と考えられる。
- Naが検出される範囲には, 曹長石が分布している。

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



直交ニコル　10mm



単ニコル　1mm　直交ニコル　1mm

EPMA分析結果　Mass(%)

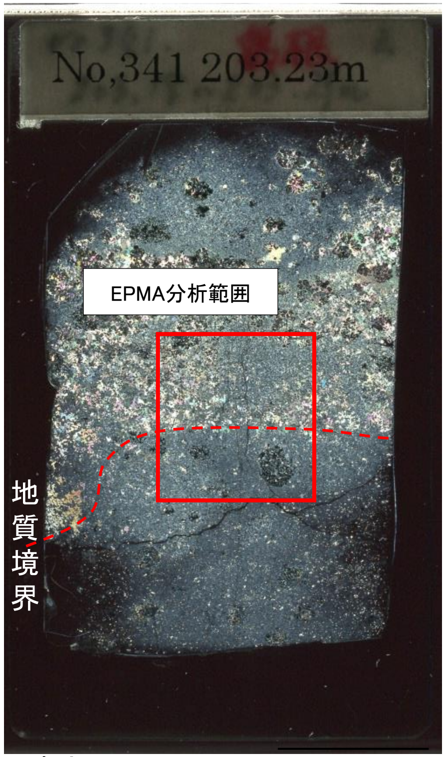
分析位置	A	B	C
SiO_2	68.116	0	37.362
TiO_2	0.01	0.015	0.683
Al_2O_3	18.857	0.011	12.804
Fe_2O_3	0.037	0.097	12.666
MnO	0	0.095	0.733
MgO	0.004	0.042	0.391
CaO	0.257	56.436	34.632
K_2O	0.051	0.002	0.003
Na_2O	11.702	0.007	0.014
Cr_2O_3	0.013	0	0
S	0.002	0.016	0.000
(OH)	0.951	43.279	0.712
Total	100.000	100.000	100.000
鉱物種	曹長石	方解石	ざくろ石

曹長石:$NaAlSi_3O_8$
方解石:$CaCO_3$
(灰ばん)ざくろ石:$Ca_3Al_2Si_3O_{12}$

・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）

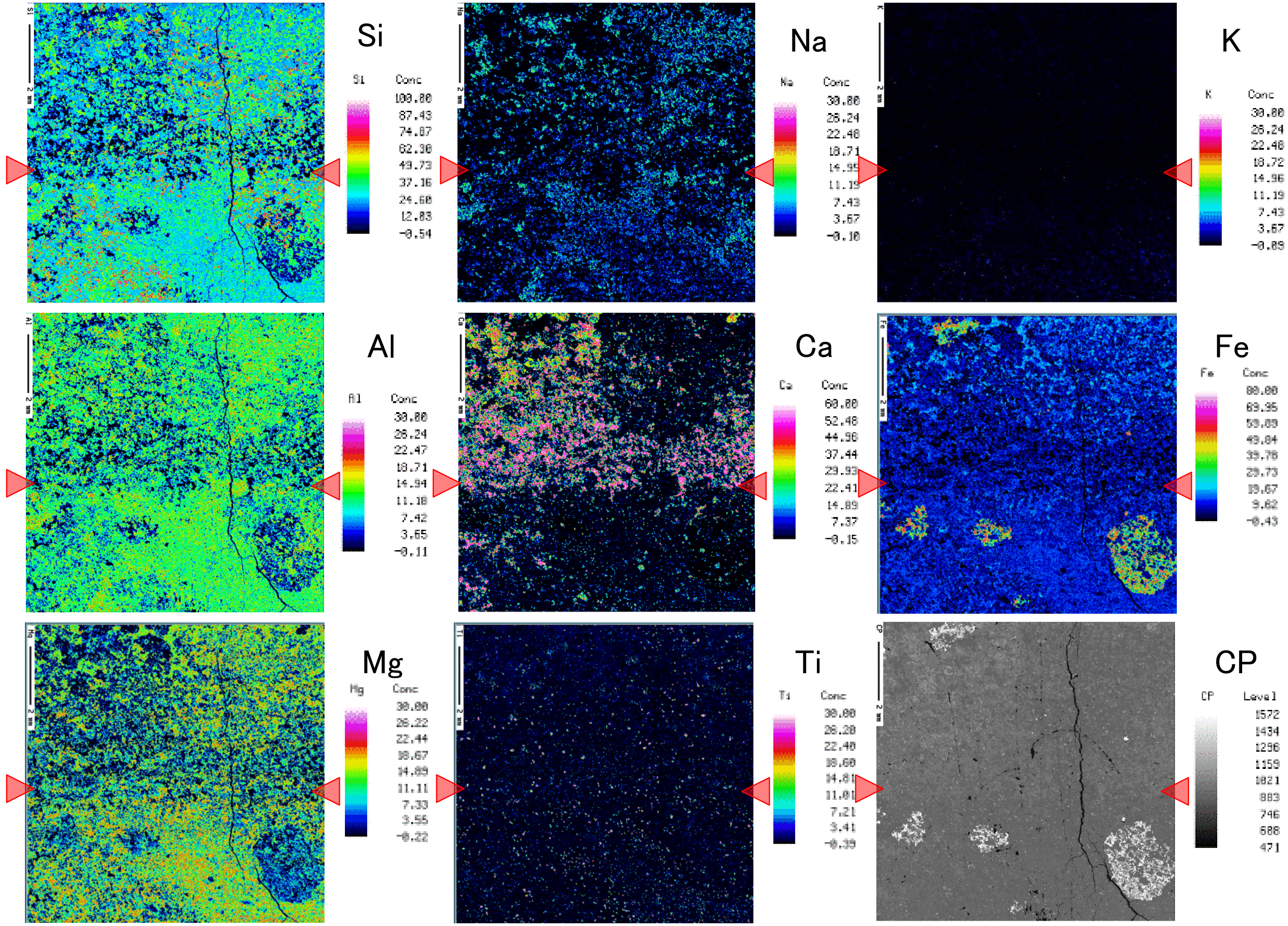
第318回審査会合
資料2 p.178 再掲



直交ニコル

10mm

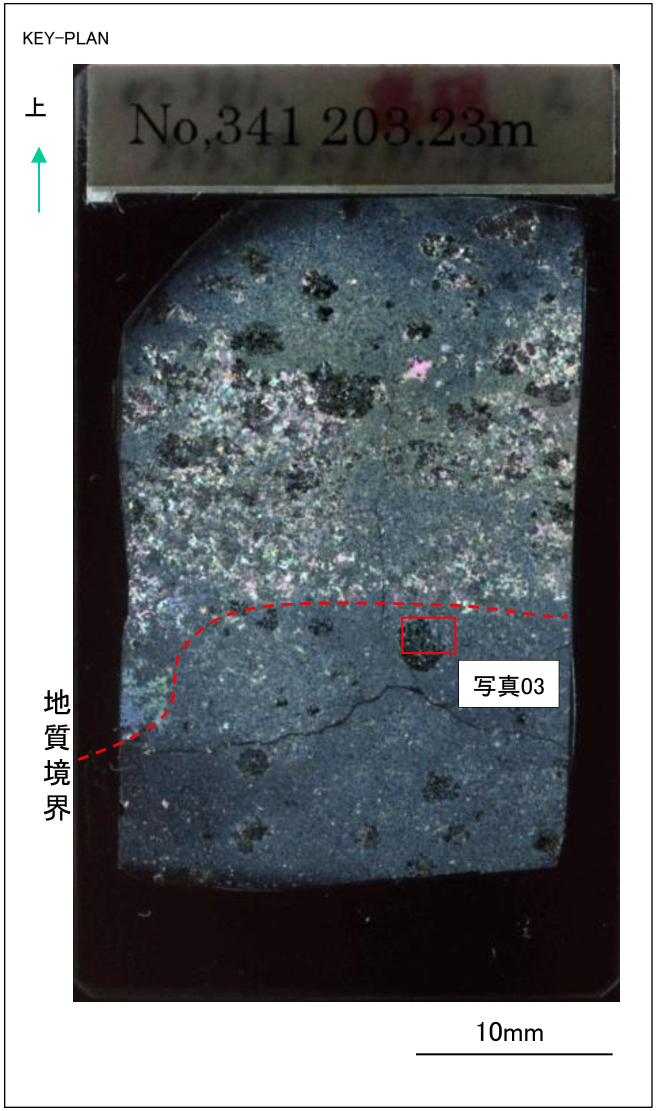
凡例
▶ :地質境界

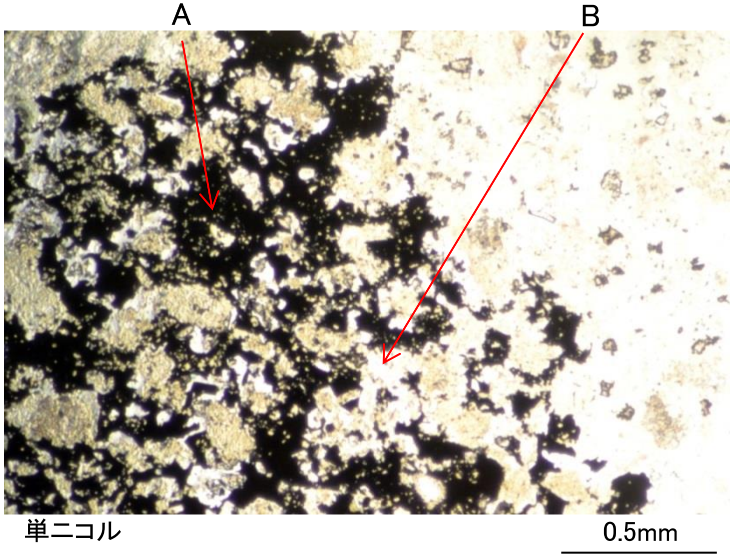


・Ca(緑～黄)，Si(緑)，Al(水色)が検出される範囲にはざくろ石が，Ca(赤)のみが検出される範囲には方解石がそれぞれ晶出しており，斑状に境界部付近に分布する。ざくろ石は，ドレライト側には認められない。

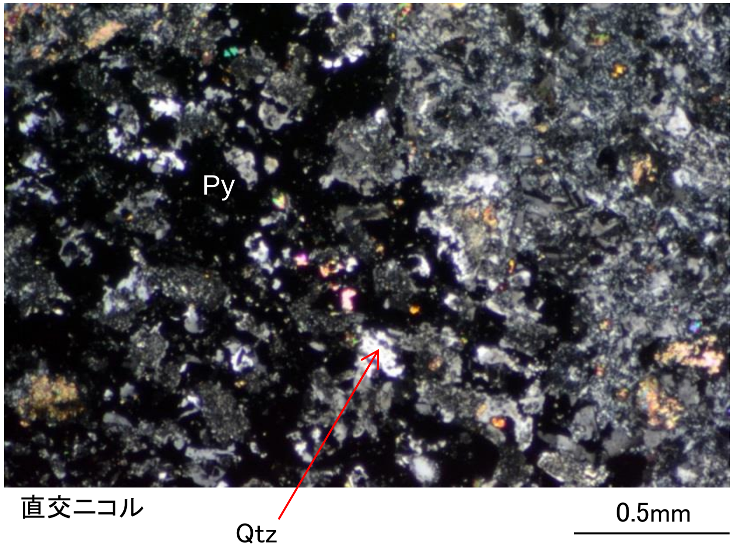
薄片観察及びEPMA分析結果（No.341 GL−203.23m，深部ドレライト境界部）

第318回審査会合
資料2 p.180 再掲





単ニコル



直交ニコル

EPMA分析結果 Mass(%)

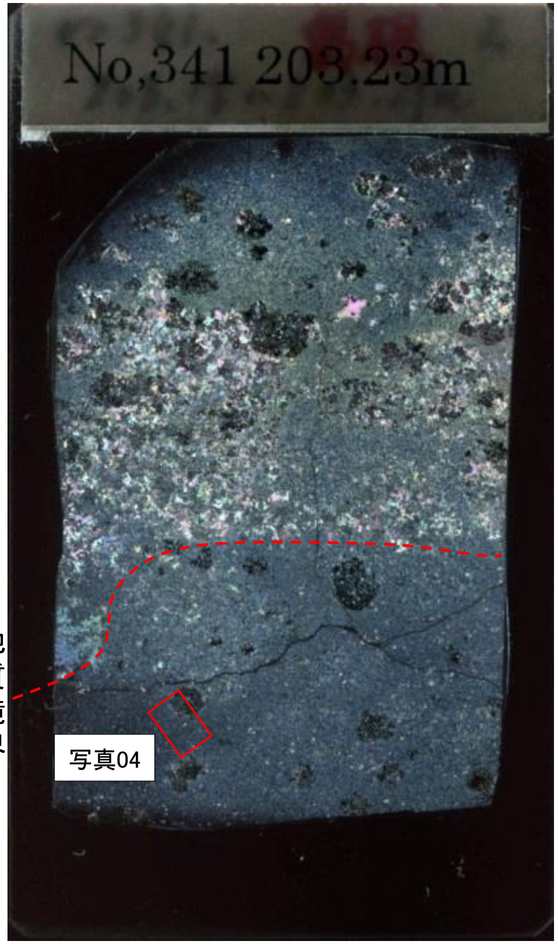
分析位置	A	B
SiO_2	0.067	92.974
TiO_2	0.024	0.003
Al_2O_3	0.012	4.194
Fe_2O_3	56.625	0.673
MnO	0.025	0.008
MgO	0.049	0.002
CaO	0	0.117
K_2O	0	0.072
Na_2O	0.094	2.368
Cr_2O_3	0.026	0.01
S	13.109	0.022
(OH)	29.969	0
Total	100.000	100.443
鉱物種	黄鉄鉱	石英

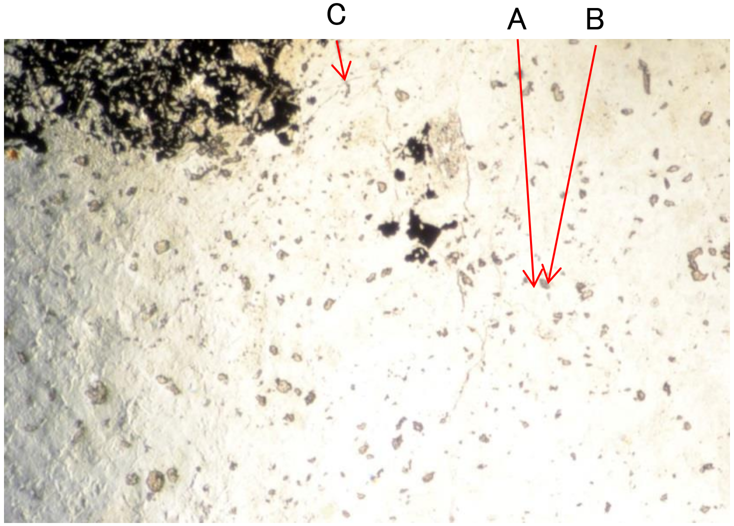
Py：黄鉄鉱 FeS_2
Qtz:石英 SiO_2

・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。

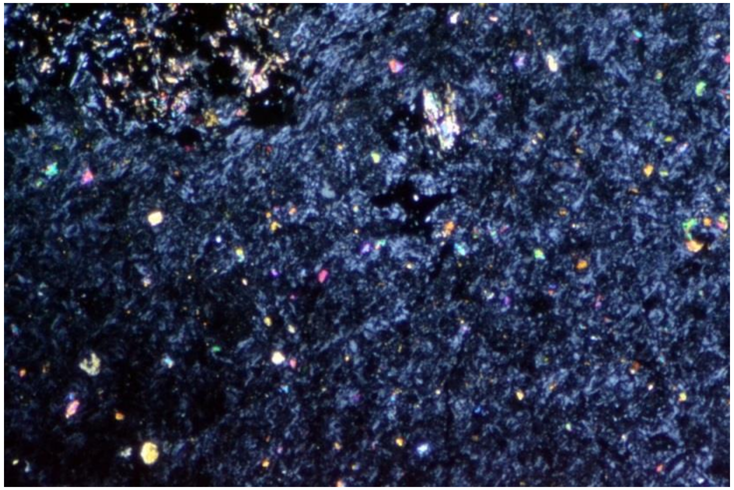
薄片観察及びEPMA分析結果（No.341 GL−203.23m，深部ドレライト境界部）

第318回審査会合
資料2 p.181 再掲





単ニコル　0.5mm



直交ニコル　0.5mm

EPMA分析結果　Mass(%)

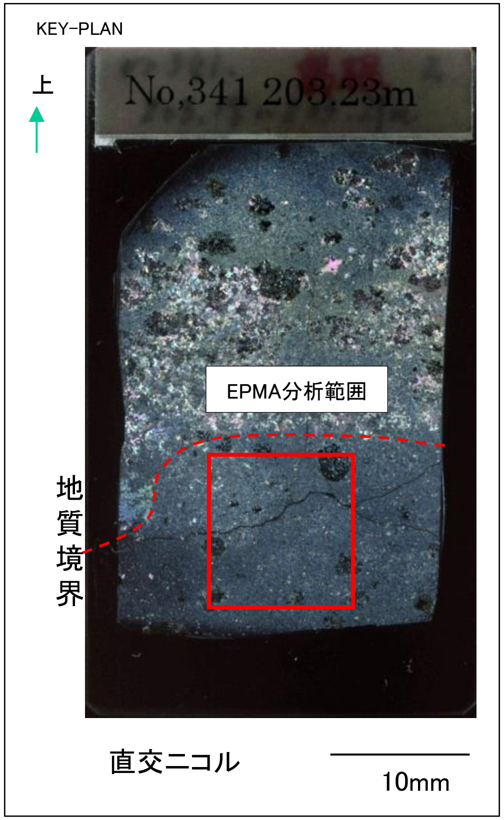
分析位置	A	B	C
SiO_2	66.751	30.006	29.047
TiO_2	0.006	37.584	0.015
Al_2O_3	18.796	0.972	15.048
Fe_2O_3	0.057	0.84	28.604
MnO	0	0.132	1.007
MgO	0.029	0.061	14.693
CaO	0.465	28.416	0.357
K_2O	0.095	0.009	0.021
Na_2O	11.763	0.018	0.014
Cr_2O_3	0.008	0	0.053
S	0.005	0.001	0.001
(OH)	2.025	1.961	11.14
Total	100.000	100.000	100.000
鉱物種	曹長石	スフェーン	緑泥石

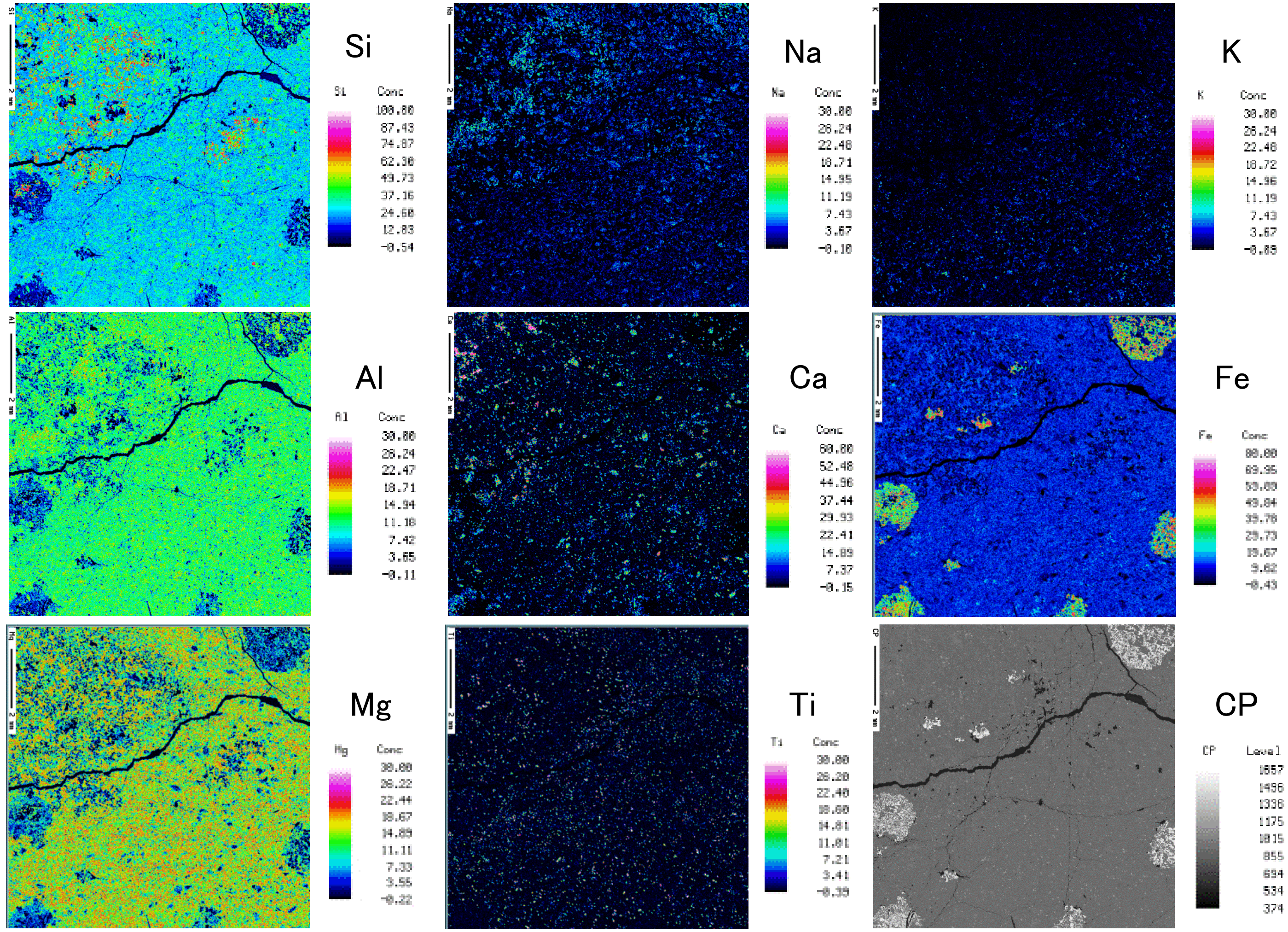
曹長石 $NaAlSi_3O_8$
スフェーン：$CaTiSiO_4(O,OH,F)$
緑泥石$(Mg,Fe,Al)_{12}(Si,Al)_8O_{20}(OH)_{16}$

・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 加筆・修正





・Feが検出される範囲には，黄鉄鉱(FeS_2)が晶出している。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。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）

第318回審査会合
資料2 p.183 再掲

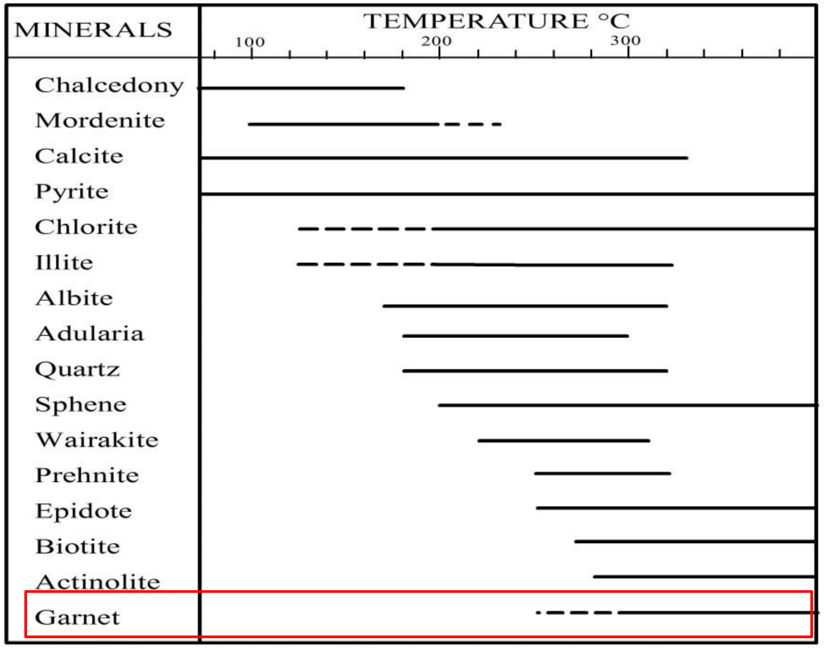


FIGURE 1: Common hydrothermal alteration minerals used as geothermometers and their temperature stability ranges. Dotted sections indicate mineral outside their usual stability ranges (modified from Reyes, 1990)

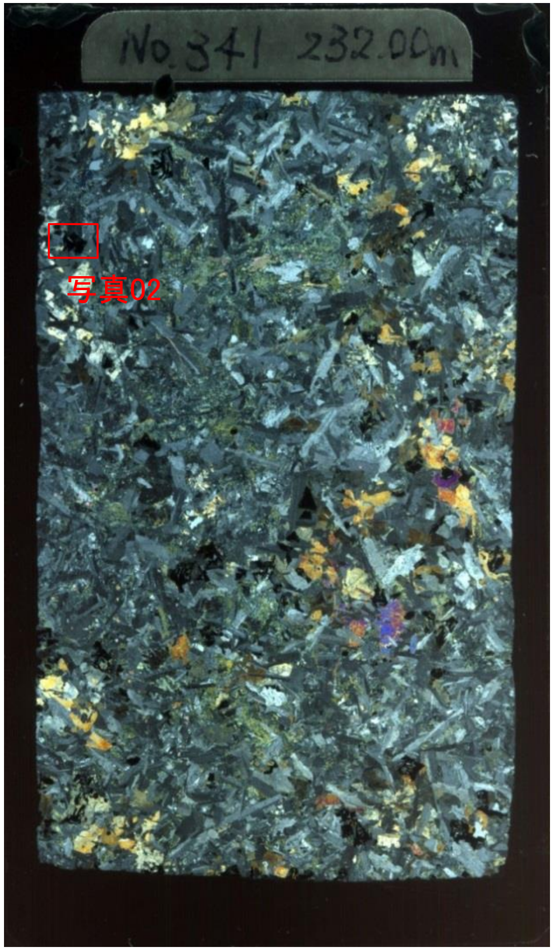
・John Lagat(2009)(18)に一部加筆

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

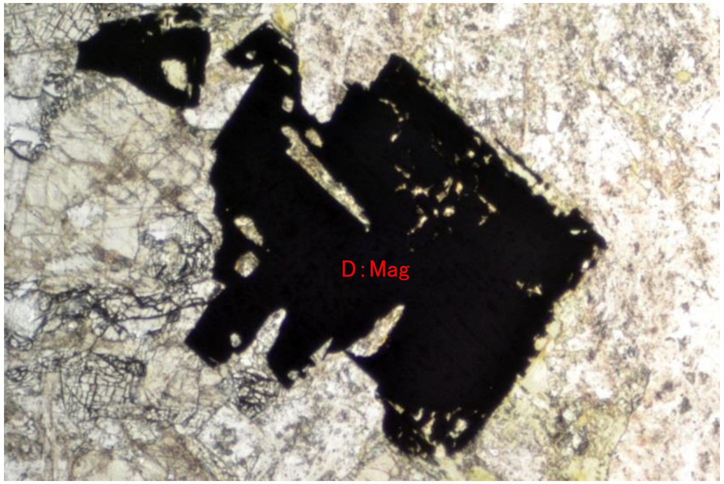
(参考)薄片観察及びEPMA分析結果(No.341 GL−232.00m, 深部ドレライト内部)

第318回審査会合
資料2 p.185 加筆・修正

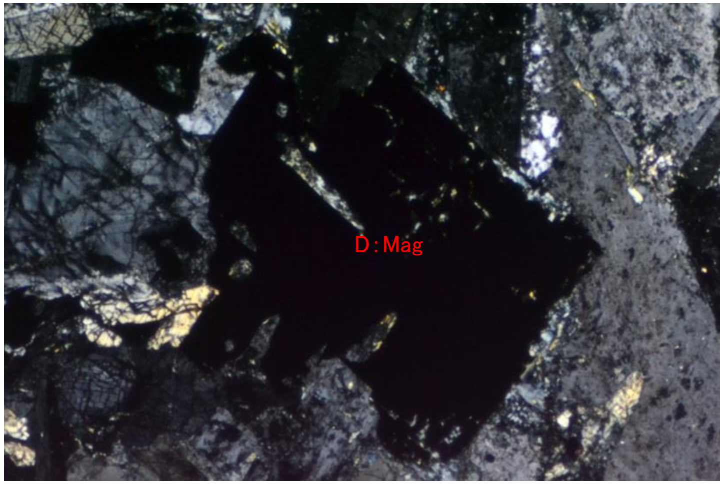
上



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	D
SiO_2	0.124
TiO_2	17.454
Al_2O_3	1.167
Fe_2O_3	83.682
MnO	0.786
MgO	0.037
CaO	0.026
K_2O	0.000
Na_2O	0.000
Cr_2O_3	0.018
S	0.000
(OH)	0.000
Total	103.294

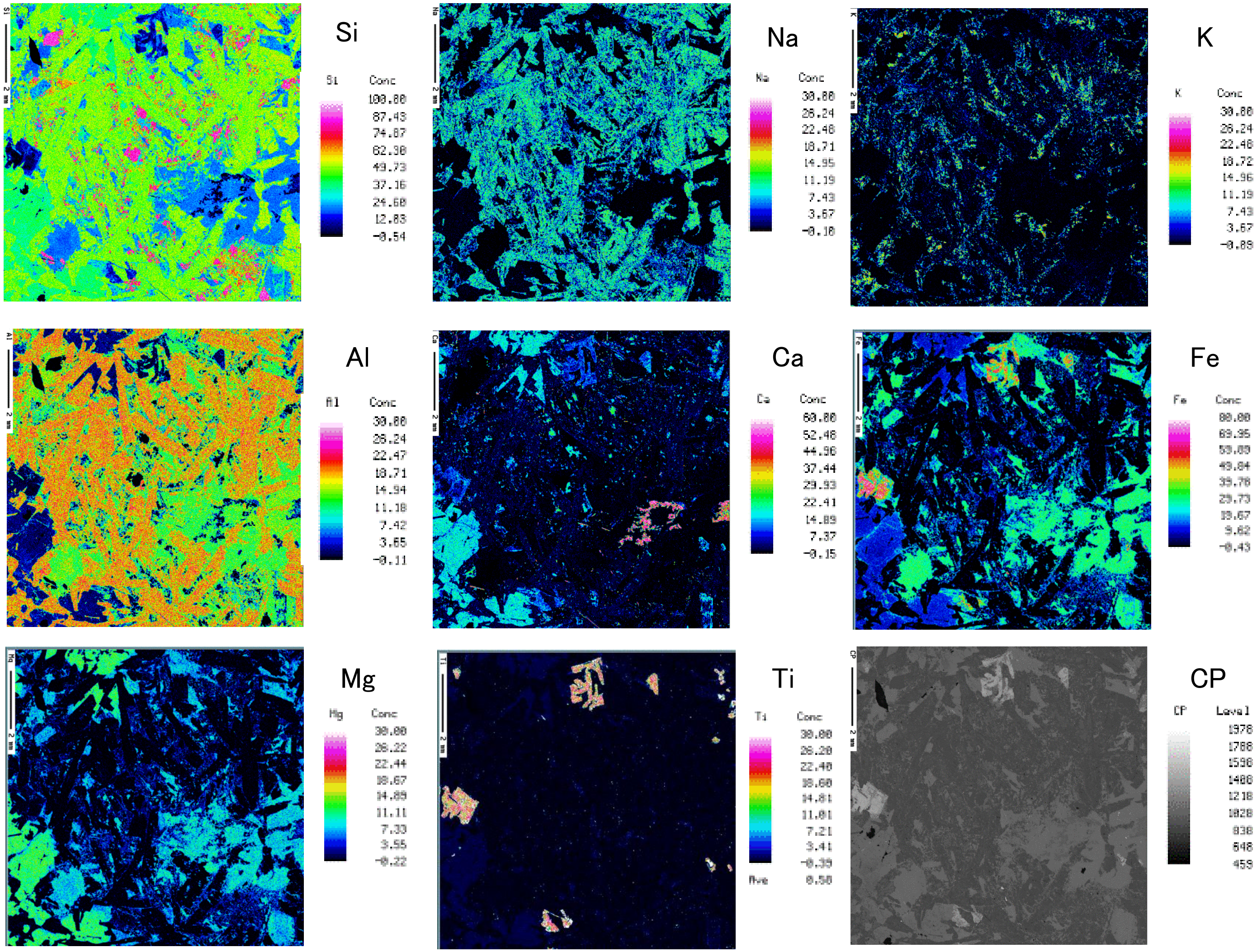
Mag:マグネタイト(磁鉄鉱)

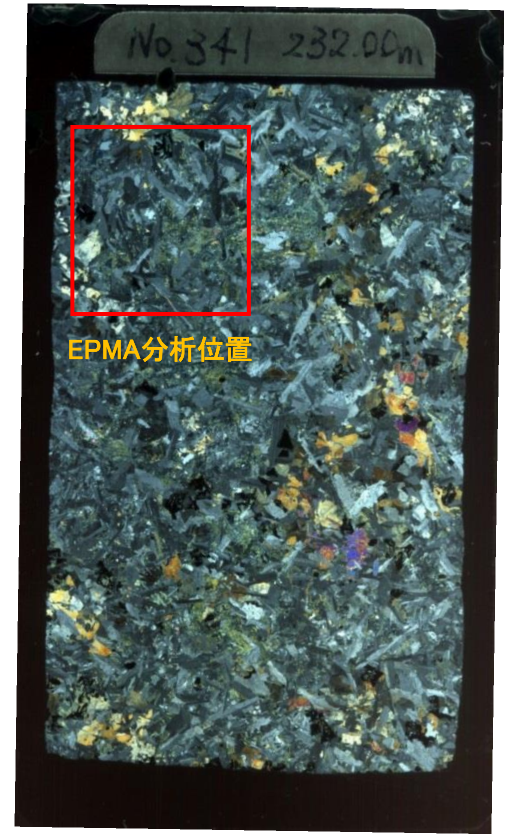
$FeO \cdot Fe_2O_3 - 2FeO \cdot TiO_2$

・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_2O_3及びTiO_2に富むことから，マグネタイトと同定した。

(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





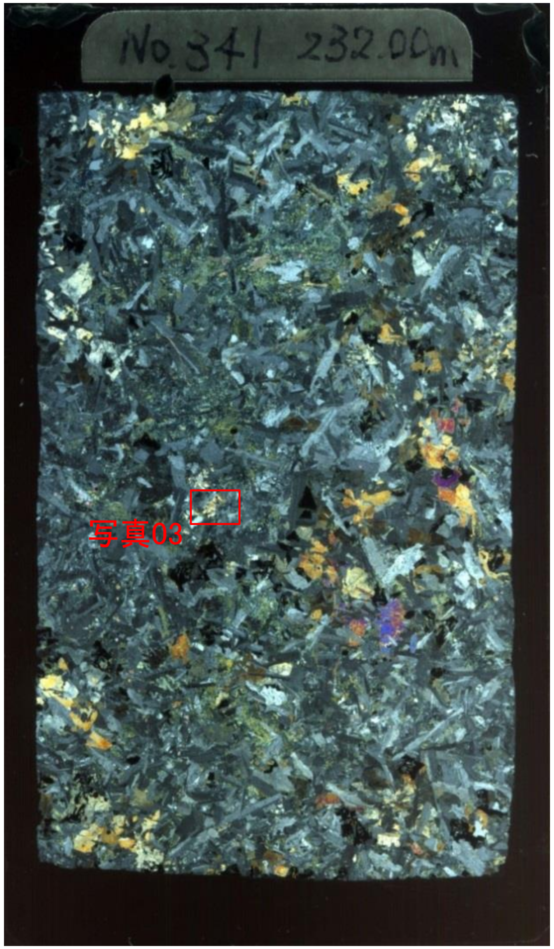
直交ニコル　10mm

- 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($NaAlSi_3O_8$)とNa(青)よりK(緑)に富むカリ長石($KAlSi_3O_8$)が認められる。
- ほぼCa(赤色)のみ検出される部分は方解石($CaCO_3$)が晶出している。
- ほぼFe(緑～赤)とTi(赤)からなる箇所はマグネタイト(FeO・Fe_2O_3－$2FeO$・TiO_2)が分布している。

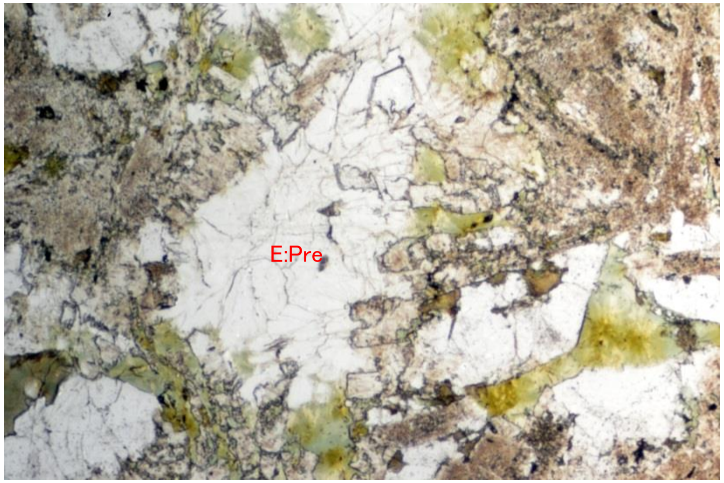
(参考)薄片観察及びEPMA分析結果(No.341 GL−232.00m，深部ドレライト内部)

第318回審査会合
資料2 p.187 再掲

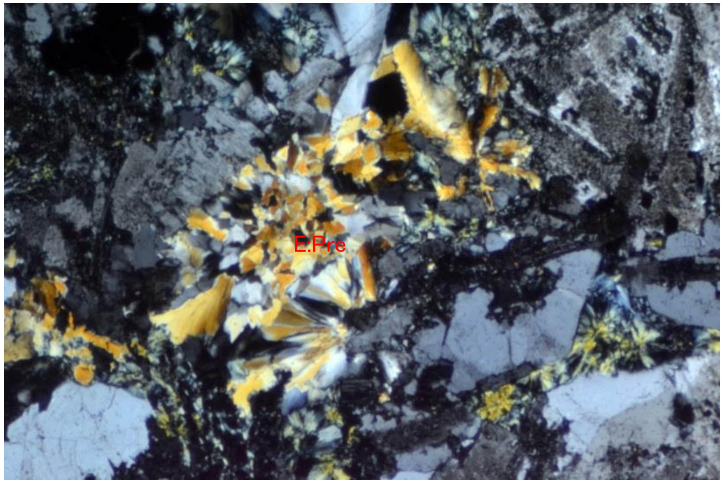
上



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	E
SiO_2	42.903
TiO_2	0.035
Al_2O_3	20.367
Fe_2O_3	4.285
MnO	0.030
MgO	0.000
CaO	26.457
K_2O	0.000
Na_2O	0.079
Cr_2O_3	0.000
S	0.000
(OH)	5.844
Total	100.000

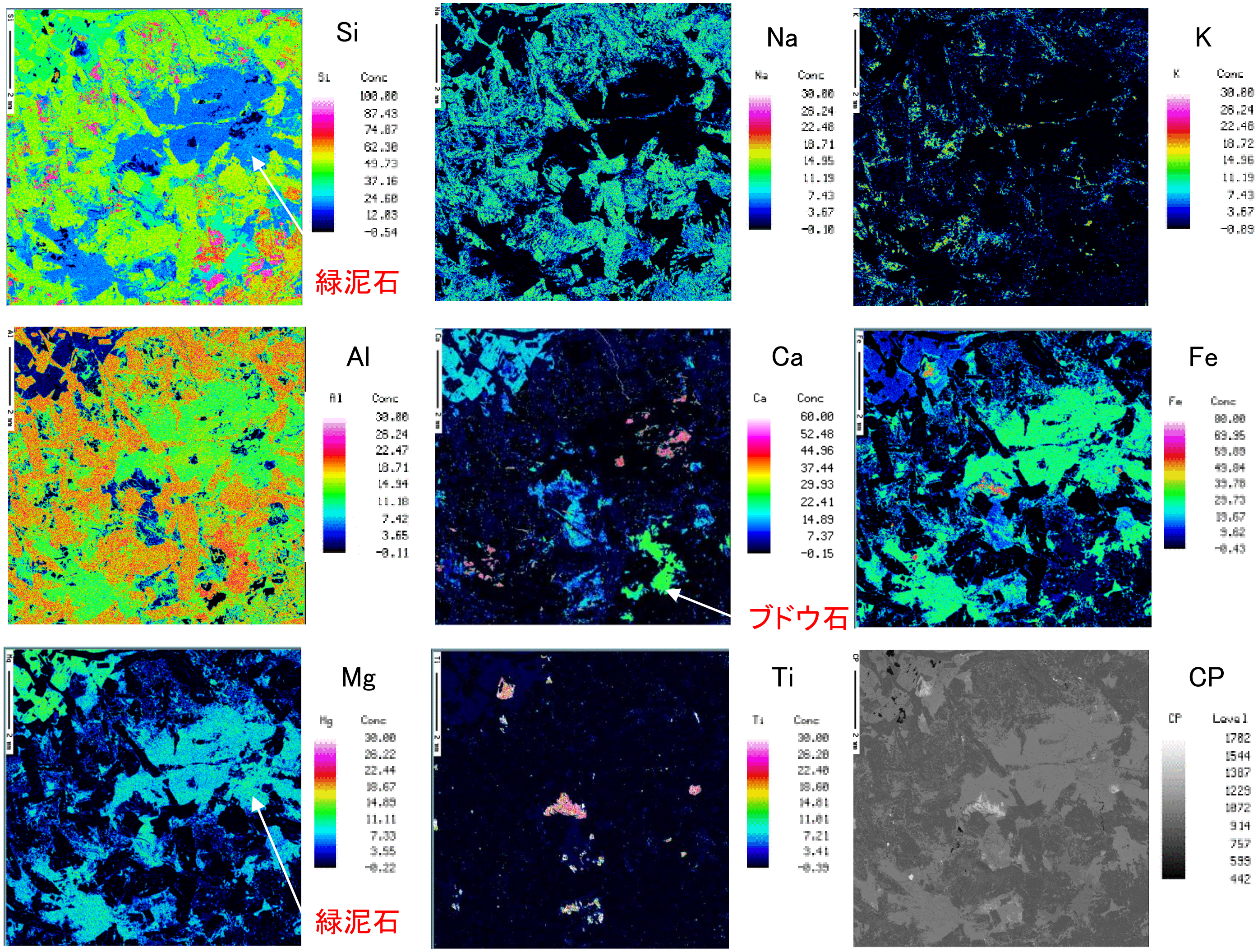
Pre:ブドウ石

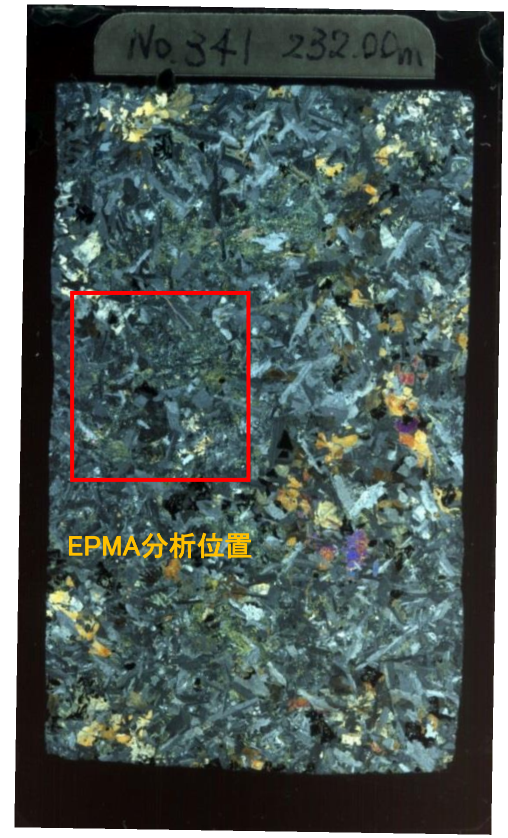
$Ca_2Al_2SiO_{10}(OH)_2$

・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。

(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





直交ニコル

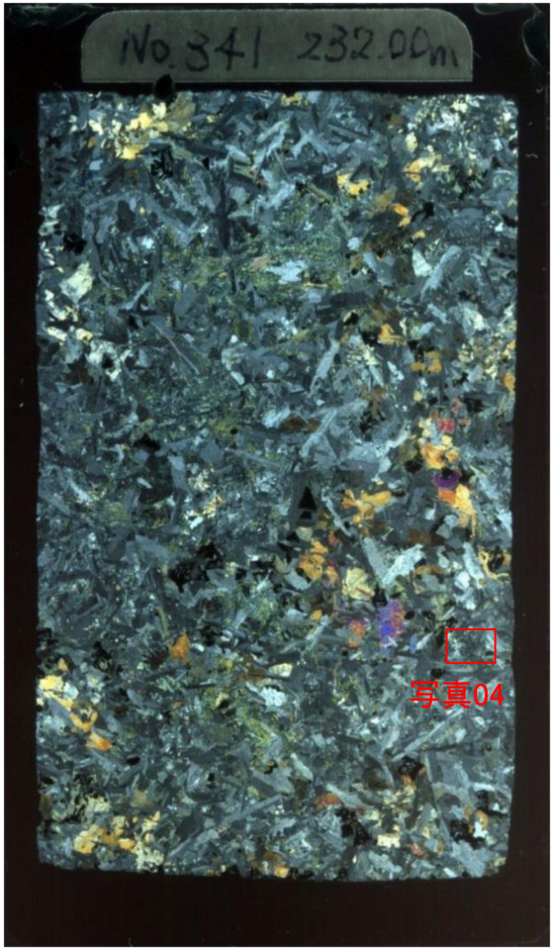
10mm

・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$(Mg,Fe,Al)_{12}(Si,Al)O_{20}(OH)_{16}$が認められる。
・Si(青緑)，Al(赤～橙色)，Ca(黄緑)からなるブドウ石$Ca_2Al_2SiO_{10}(OH)_2$が認められる。

(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

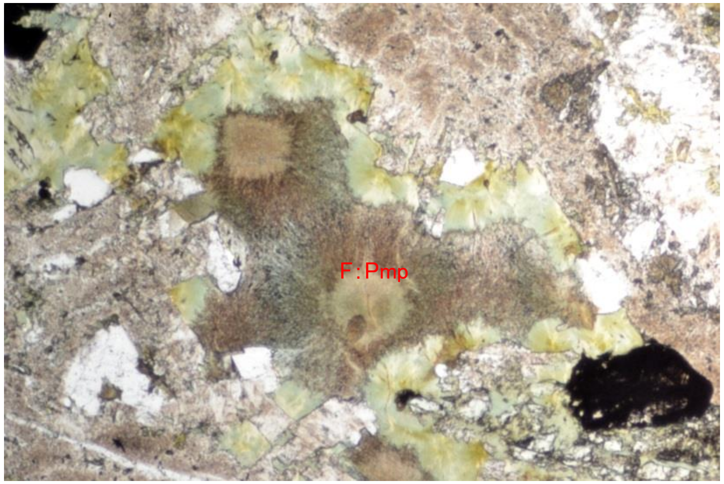
上



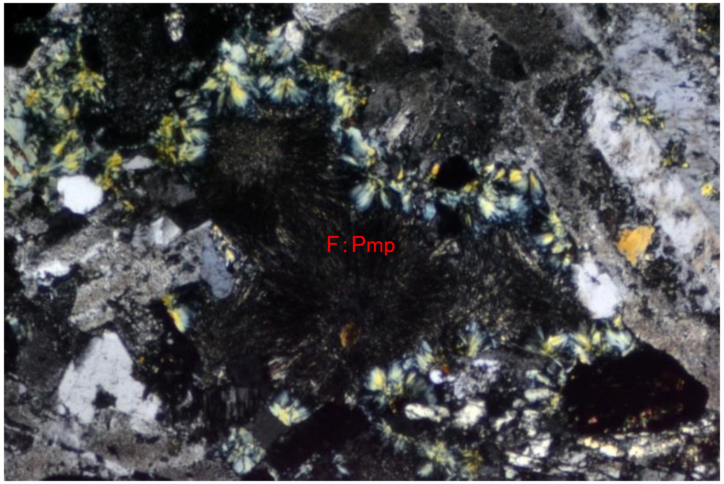
直交ニコル　10mm

Pmp:パンペリー石

$Ca_4(Mg,Fe^{2+})(Al,Fe^{3+})_5Si_6O_{23}(OH)_3 \cdot 2H_2O$



単ニコル　0.5mm



直交ニコル　0.5mm

EPMA分析結果　Mass(%)

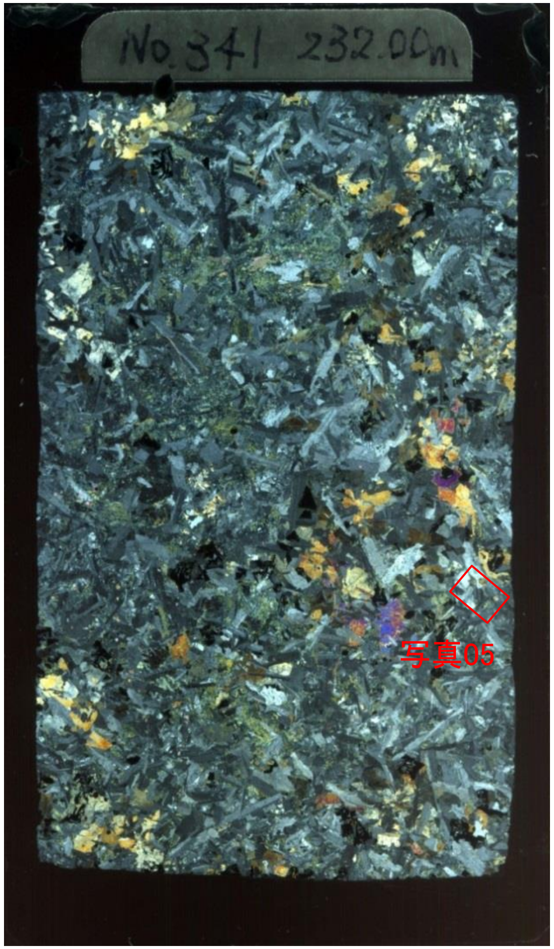
分析位置	F
SiO_2	36.267
TiO_2	0.032
Al_2O_3	22.091
Fe_2O_3	9.012
MnO	0.054
MgO	1.590
CaO	22.587
K_2O	0.002
Na_2O	0.017
Cr_2O_3	0.013
S	0.000
(OH)	8.335
Total	100.000

・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。

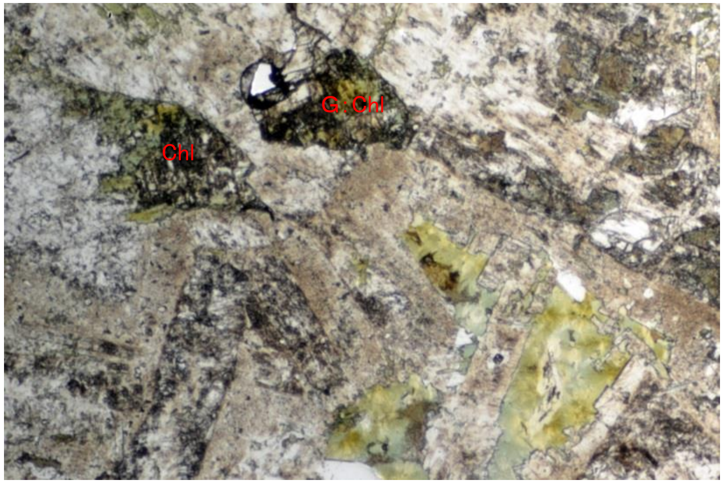
3. シームの活動性 (3)鉱物と生成条件 ④深部ドレライトの鉱物観察及び分析結果と生成温度
(参考)薄片観察及びEPMA分析結果(No.341 GL-232.00m, 深部ドレライト内部)

第318回審査会合
資料2 p.190 再掲

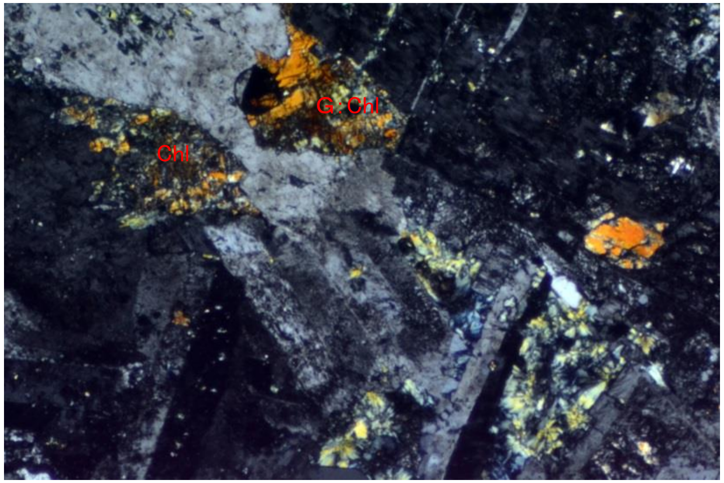
上



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	G
SiO_2	26.299
TiO_2	0.000
Al_2O_3	17.874
Fe_2O_3	35.950
MnO	0.281
MgO	10.938
CaO	0.164
K_2O	0.005
Na_2O	0.014
Cr_2O_3	0.000
S	0.000
(OH)	8.475
Total	100.000

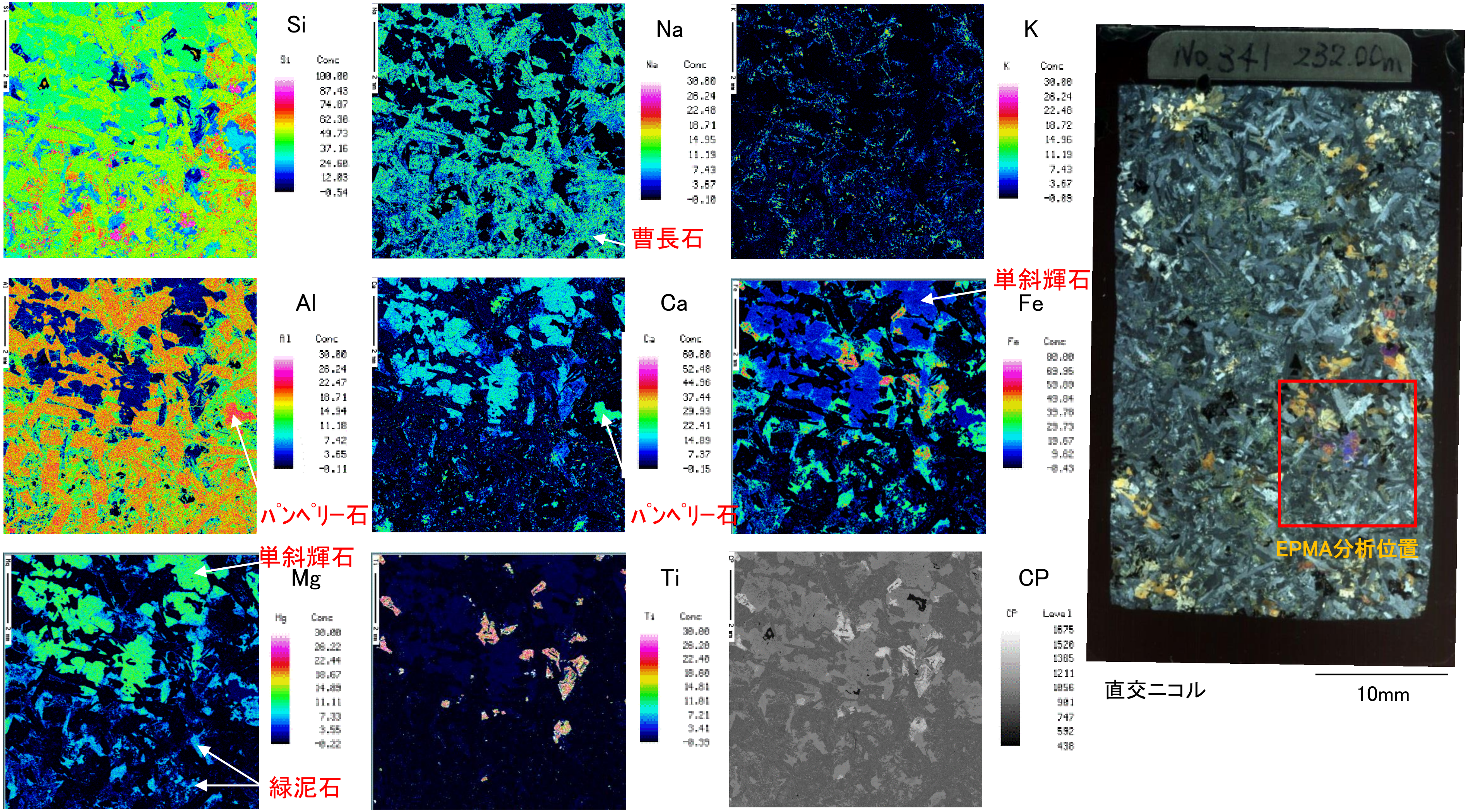
Chl:緑泥石

$(Mg,Fe,Al)_{12}(Si,Al)_8O_{12}(OH)_{16}$

・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)

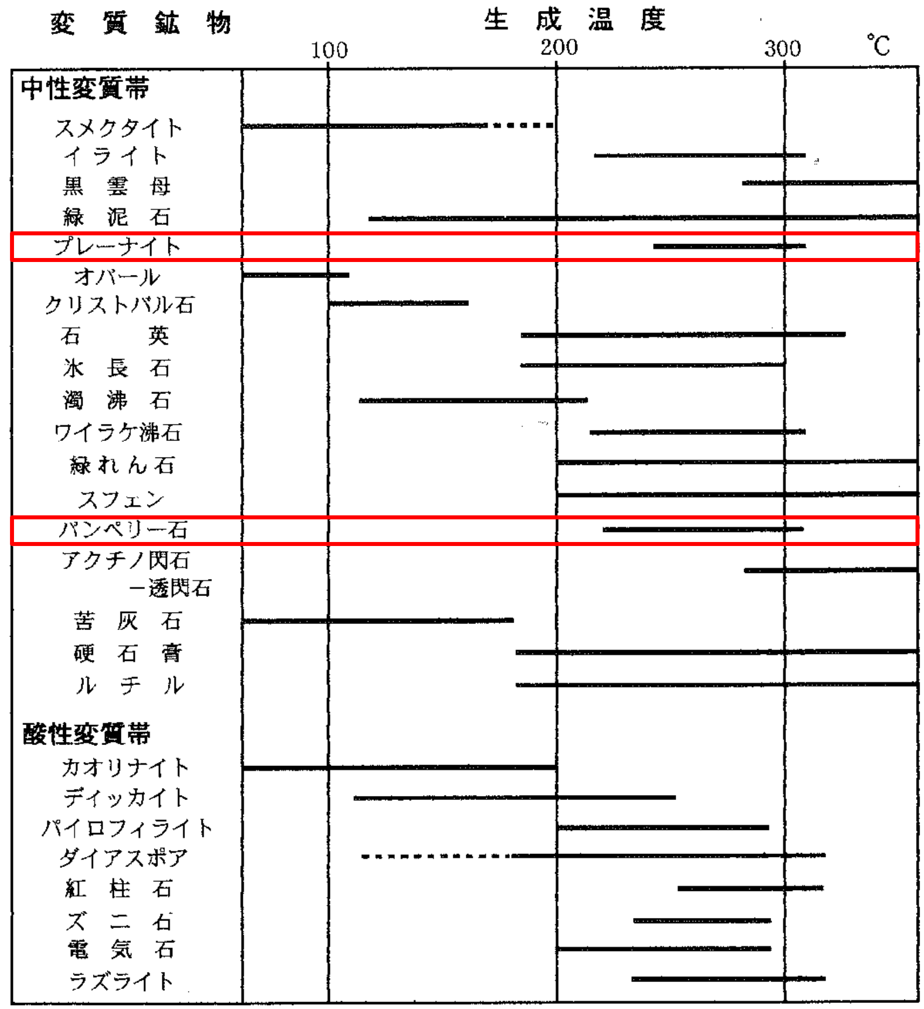
第318回審査会合
資料2 p.191 再掲



・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$(Mg,Fe,Al)_{12}(Si,Al)O_{20}(OH)_{16}$が認められる。
・Si(青緑)，Al(赤)，Ca(緑)に富むパンペリー石$(Mg,Fe,Al)_{12}(Si,Al)_8O_{12}(OH)_{16}$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℃～300℃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同定した。
- ざくろ石の生成温度は，300℃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評価した。

参考文献

(1)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
(2)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
(3)地学団体研究会(1996):新版地学辞典，平凡社
(4)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
(5)小玉一人(1999):古地磁気学，東京大学出版会
(6)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
(7)狩野謙一・村田明広(1998):構造地質学，朝倉書店
(8)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
(9)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
(10)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
(11)吉村尚久(2003):続成作用と粘土鉱物．粘土科学，42，P.167-173
(12)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
(13)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
(14)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
(15)松葉谷治(1991):熱水の地球科学，裳華房
(16)都城秋穂(1965):変成岩と変成帯，岩波書店
(17)森本信男・砂川一郎・都城秋穂(1975):鉱物学，岩波書店
(18)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