

日高帯北部・下川オフィオライトにおけるドレライト岩床
の発泡の要因と斜長石-カリ長石脈の起源

**Origin of feldspar veins and genesis of vesiculation in dolerite sills of
the Shimokawa ophiolite in the northern Hidaka belt, Hokkaido**

F16N006H 加藤聡美

Satomi Kato

新潟大学大学院自然科学研究科博士後期課程

環境科学専攻

学位論文

令和5年2月

Abstract

Studies of the interaction of magma with sediments during shallow intrusion are scarce. This study will provide insight into the processes by which volatile components were added to the magma which intruded into shallow soft-sediment.

Basalt and dolerite with N-MORB chemical features of the Shimokawa ophiolite in the northern Hidaka belt, Hokkaido, generally show poor vesiculation. However, some of dolerites are vesiculated up to 10 %, and these vesiculated rocks are exclusively found within sills thicker than 10 m, which intruded into clastic sediments. Non-vesiculated chilled margins suggest the vesiculation occurred after the magmatic emplacement. The vesiculated dolerite is richer in bulk-rock Na_2O , K_2O and Rb contents than poorly vesiculated basalt and dolerites. These observations suggest secondary enrichments of vapor and selective elements, and this paper tested this hypothesis by petrographic and petrochemical approaches.

While looking for carriers of enriched components, I focused on plagioclase – K-feldspar veins 2 mm thick found in a vesiculated dolerite sill. The veins are irregularly bounded, and partly contain amygdules. Therefore, it is considered that the veins were formed before the solidification of the intruded magma. The examined vein shows trachytic bulk-rock major element composition and petrographically classified as monzonite. The multi-element patterns of the trace element composition shows that the incompatible elements are not enriched unlike trachytes from plume-related oceanic settings. The LREE-poor chemical feature is similar to that of normal to transitional MORBs. Both textures and chemical composition suggest that the veins originated from a trachytic melt.

To seek the origin of the melt, the chemical compositions of the veins are compared

with those of interstitial melt parts of the dolerite. The HREE-rich feature of the veins cannot be explained by the crystallization differentiation of the dolerite magma. Therefore, it is considered that the melt of the veins were not the residue of the host dolerite magma, and of an exotic origin.

Although occurrences directly showing the vein melt have not been found yet, I assumed that the vein melt originated from mudstone to which the dolerite intruded. If mudstones are incorporated into dolerite magma and partially fused, the generated melt probably has a granitic composition on the three-phase eutectic point of quartz, albite, and K-feldspar, because the host mudstones are rich in these components. It is also considered that this granitic magma immediately loses silica, because it is surrounded by olivine tholeiite magma undersaturated in quartz. Losing silica, the granitic magma could thus transformed to monzonitic magma. The soft-sediment inclusions can provide water fluid and increase the volatile components in the dolerite magma. This mechanism can consistently explain the petrology of feldspar veins and vesiculation of the host magma together.

目次

1.	はじめに	4
	1.1 多くの種類の火成岩が形成される過程	
	1.2 下川オフィオライトの発泡現象の要因を研究する意義	
	1.3 日高帯, 特に下川地域の現地性緑色岩の意義	
	1.4 本研究の目的	
2.	地質概説	10
3.	研究手法	11
	3.1 野外調査と試料採取, 薄片作成, ルートマップ作製	
	3.2 発泡度および発泡痕数密度の測定	
	3.3 全岩化学組成	
	3.4 鉱物化学組成	
	3.5 長石脈の全岩化学組成	
	3.6 元素マップ	
	3.7 微小領域の全岩化学組成・微量成分組成	
	3.8 モデル計算	
4.	ドレライト岩床と発泡痕	15
	4.1 岩体主体部のドレライト岩床の産状と発泡痕	
	4.2 ドレライト岩床の野外での産状	
	4.3 ドレライトの岩石薄片記載・発泡痕の形態	
	4.4 ドレライト岩床の発泡痕数密度と発泡度	
	4.5 結晶分化の度合と発泡度	
	4.6 不適合元素と発泡	
	4.7 ドレライトの発泡度についての考察	
5.	長石脈の産状と化学組成	20
	5.1 長石脈と長石集合物の産状	
	5.2 元素マップ	
	5.3 鉱物化学組成	
	5.4 主成分組成・微量成分組成	
6.	長石脈の成因	24
	6.1 長石脈の起源は熱水?, メルト?	
	6.2 ドレライトの残液? 別起源メルト?	
	6.3 長石脈を形成したメルト	
7.	下川地域の組成改変モデルのマグマプロセス理解への貢献	30
8.	まとめ	33
9.	謝辞	34
10.	引用文献	34
11.	図表	42
	Appendix	75

1. はじめに

1.1 多くの種類の火成岩が形成される過程

地下深所で生成されたマグマが、地表あるいは地表近くに上昇する過程で、冷却・固結してさまざまな火成岩が形成される。火成岩の化学組成がもとのマグマの化学組成と異なっていることが多いのは一般的である。マグマの化学組成を変化させるおもな機構には、マグマの結晶分化作用・マグマの同化作用（混成作用）・マグマの同化分別結晶作用（AFC）・マグマ混合がある。

火成岩はマグマが固結して形成された岩石であるが、その鉱物組成・化学組成と、もともとのマグマの化学組成との関係は一様ではない。マグマが地下でゆっくり冷却・固結した場合には、鉱物がある順番にしたがって晶出する。鉱物の化学組成はマグマの化学組成とは異なっているため、晶出した鉱物が集積してマグマから取り除かれると、マグマの化学組成はもとのマグマの化学組成とは異なるものになる。また晶出した特定の鉱物あるいは鉱物群が集積して岩石を形成することがある。その岩石の化学組成ももとのマグマの化学組成とは異なっている。このように結晶作用で、もとのマグマの化学組成とは異なったマグマや岩石が形成されることは結晶分化作用と言われる。

化学組成が異なる 2 種類以上のマグマを形成したマグマだまりや火道では、それらのマグマが混合し、もとのマグマとは異なる化学組成のマグマとなり、マグマ混合と言われる。また地殻内部を上昇するマグマが、地殻の構成岩石を溶融した場合、または岩石と反応した場合にも、もとのマグマの化学組成は変化し、同化作用と言われる。

(1) 同化作用

マントル起源のマグマと地殻物質との反応の仕方は次の 3 つに大別される（周藤・小山内, 2002）。まず、マグマだまりや火道において、地殻物質が部分溶融して形成されたメルトと、マグマだまりからもたらされたマグマが混合するプロセスである。次に、マグマだまりの側壁部、天井部などがソリダス以上の温度に加熱されて部分溶融し、マグマだまりからもたらされたマグマと混合することによっても、地殻物質はでマグマに同化される。最後に壁岩のブロックがマグマに取り込まれ、それが部分溶融するか全溶融することでもマグマが同化される。

地殻の断面が良く観察されている日高変成帯の研究を例に挙げると、末武（1997）は、酸性

マグマが塩基性岩を同化することによってカルクアルカリ質な閃緑岩類に変化したことを示した。

(2) マグマの同化分別結晶作用 (AFC)

例えば地殻のマグマだまりに玄武岩質マグマが貫入すると、やがてこのマグマによる壁岩の同化作用が進行するとともに、マグマの分別結晶作用も進行すると考えられる。これはマグマの同化分別結晶作用と言われる。結晶分化作用の進行にともなう微量元素含有量の変化は、完全な分別結晶作用と AFC では違いがみられる。結晶分化作用の進行にともなう残液の不適合元素含有量は、完全な分別結晶作用にくらべて AFC のほうが著しく増加する。

同化分別結晶作用が検討された例として、カルクアルカリ系列マグマがソレアイト系列マグマと共存して、ひとつの火山を形成する霧島火山を例に挙げる。倉沢ほか (1986) は霧島火山において、ソレアイト系列の岩石中の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ がカルクアルカリ系列のそれより高いことから、それぞれのマグマが独立した異なる起源物質に由来していると提案した。このような火山岩についての研究は多く行われているが、深部のマグマだまりでおこった同化作用のプロセスを検討するにあたり、深部の壁岩に実際に触れることはできないことから、同化分別結晶作用の具体的なプロセスを特定するのは難しい。

(3) マグマ混合

マグマ混合を示唆する天然の観察としては、まず、フェルシクな火山岩中に存在するマフィックな包有物や、複合溶岩にみられるミングリング組織などのように、露頭で観察される不均質な岩相が挙げられる。また、非平衡な斑晶鉱物の組み合わせや、斑晶鉱物に見られる逆累帯構造などのように、鏡下での観察や鉱物の分析で認められるものもある。

小屋口 (1986) は、模擬流体の混合実験結果からは、マグマ混合はマグマだまりのフェルシクマグマへマフィックマグマが貫入することではおこりにくく、成層したマグマだまりからマグマが火道を上昇する過程でおこる可能性があるとして提案している。

マグマミングリングとは組成・温度・結晶度などの異なる 2 種類あるいはそれ以上のマグマの混合過程において、不均質な状態・産状あるいはそれらを生じる現象をさす (Shelley, 1992; Hibbard, 1995)。和田ほか (2007) は奈良県の宮滝岩脈の産状と岩石組織の観察から、同岩脈では安山岩マグマと流紋岩マグマがミングリングをおこしていたことを明らかにした。また同岩脈に包有される花崗岩は近傍に伏在岩体が存在することを示唆し、安山岩質マグマ・流紋岩

質マグマ・花崗岩マグマの三者が互いに接触しリングリングをおこした可能性を提案した。

(4) マグマの組成改変について

ペペライトは未固結な堆積物中へ溶岩が流動したり岩脈が貫入したりするときに、両者の相互作用による熱的破壊で形成される火山岩の破片と堆積岩の破片の混合物である。具体的には、岩床や岩脈の未固結堆積物への貫入、溶岩と未固結堆積物の接触、高温の火山碎屑物と未固結堆積物との接点に沿って生じる (Skillings et al., 2002 など)。マグマの破断は、マグマの急冷破砕、マグマ水蒸気爆発、マグマと堆積物の密度差、膨張・変形に伴う応力などによりおこる (Skillings et al., 2002 など)。ペペライトは火山岩片の形状から大きくブロック状と、流体状または球状に分けられ (Busby-Spera and White, 1987)、それは形成場の水深や母岩の封圧および造構圧、粒径、含水率等の条件やマグマの粘性や温度、揮発性成分の量などの条件に左右されるものと考えられている (Kokelaar, 1982; Busby-Spera and White, 1987 など)。これまで、ペペライトの研究は形成メカニズムやマグマと堆積物の混合過程の解明、ペペライトの形成過程の推定から古火山体中での位置づけの解明 (松原・天野, 2009) などを中心に行われてきた。ペペライトの中には堆積岩が熱変成作用を受けたとされるものがあるが、堆積岩とマグマの組成改変の検討は十分になされていない。

日高変成帯主帯最下部の変成岩中には、深成岩的組織をもつ優白パッチ (直方輝石-斜長石-石英あるいは直方輝石-キンセイ石-斜長石-石英) が不均質に存在するザクロ石-キンセイ石-黒雲母片麻岩が分布し、黒雲母の分解溶融反応の結果、優白質部が形成されたと考えられている。溶融実験の結果、これらの含直方輝石優白質部は、溶融量は 33-38%程度のアナテクシスによって形成されたと提案された (小山内ほか, 1997)。

(5) 下川地域の火成岩体の研究意義

マグマの結晶分化作用・マグマの同化作用 (混成作用)・マグマの同化分別結晶作用 (AFC)・マグマ混合のプロセスは地球深部で生じることが多い。一方で、マグマが浅所で、貫入してから固結する過程では、あまり化学組成が改変されないと考えられている。しかし、北海道の下川地域の火成岩体では浅所で組成改変が生じたと考えられる事例が報告されている。下川地域には MORB の化学組成を持った火成岩体が多数見られる。一般に、N-MORB は、マントルソースが揮発性成分に乏しいので無発泡である。しかし下川地域では、発泡痕に富むドレライトがいくつか報告されていた。のちに説明するとおり、これらの発泡したドレライトでは、貫入

後に揮発性成分が増加するという組成改変がおこったと考えられている。また発泡痕に富むドレライトは特定の元素に富む傾向があることから、これらの元素は揮発性成分と一緒に付け加わったと考えられる。このように下川地域では、浅所での組成改変の様子が保存されている可能性が高いことから、当地域における発泡現象の要因を研究することは重要である。

また、多様な火成岩を形成するプロセスであるマグマの結晶分化作用・マグマの同化作用（混成作用）・マグマの同化分別結晶作用（AFC）・マグマ混合のプロセスの多くは地球深部で生じると考えられているため、その現象を直接観察することは困難である。またこれらのプロセスがマグマだまりで進行する場合には、規模が大きいため、地殻の断面が良く観察されるとされる岩体においても、断片的な露頭においては一部しか観察することができない。さらに、火山岩の化学組成はマグマが組成を改変させた結果であり、多くの場合にはもとのマグマを観察したり分析することは困難である。よって火山岩に組成的な多様性が形成されるプロセスに関する議論は、最終結果から遡るアプローチに限られる。しかし、下川地域においては、後述するとおり、数 10 m のコンパクトな範囲内において、元のマグマと、そこに組成改変を与えたと考えられる母岩の双方が存在している。さらに前述のとおり特定の元素と揮発性成分と一緒に付け加わったと考えられるマグマの組成改変の様子が見られている。このように相互作用の双方の主体が揃った場で観察・議論できることから、当地域は多様な火成岩を形成するプロセスの検討に適している。

1.2 深海玄武岩の発泡

玄武岩質枕状溶岩の発泡は、Moore などによる一連の研究によって、噴出深度とそのマグマが有していた揮発性成分の量に支配されていることが明らかにされている（Moore, 1965, 1970, 1979; Moore and Schilling, 1973）。深海底に噴出した玄武岩マグマは、高い水圧のために発泡が抑制されるが、マグマが著しく揮発性成分に富んでいる背弧海盆玄武岩などでは、高い発泡度を示すことが知られている（Dick, 1980; Miyashita et al. 1995）。N-MORB（中央海嶺玄武岩）は揮発性成分に枯渇しているために、一般に発泡度が低く、発泡量が 1% 以下のものが多い（Moore, 1979; Blank et al. 1993）。そうした揮発性成分に乏しいマグマが顕著に発泡するのは、水深 1,000 m より浅い海底に噴出した場合である（Moore and Schilling, 1973）。深海底に噴出した MORB においても、数 % に達する発泡度を有する例や（Hekinian et al. 1973; Bryan and Moore, 1977）、まれに発泡痕に富むガラス質玄武岩も報告されている（Staudacher et al. 1989; Sarda and Graham, 1990; Javoy and Pineau, 1991）。こうした岩石のガ

ラスの K_2O 量と発泡度とは正の相関を示しており (Bryan and Moore, 1977), 発泡度の高い岩石は E-MORB としての特徴を有している. したがって, 発泡痕に富むガラス質玄武岩はマントルプレュームの影響を強く受けていると解釈されている (Bougault et al. 1988; Dosso et al. 1991).

古第三紀の付加体である日高帯の緑色岩は N-MORB または MORB に類似する特徴を有しており, 全般的に発泡に極めて乏しいが一部高い発泡度を有しているものがあり, その原因については未解決となっていた.

1.3 日高帯, 特に下川地域の現地性緑色岩の意義

鞠子 (1988) は下川含銅硫化鉄鉱床の形成に伴って, 熱水によって母岩ドレライトが変質したことを主張した. 中山ほか (2022) は下川地域の緑色岩および随伴する泥質岩の主成分および微量元素分析, 硫黄同位体組成分析および鉛同位体組成分析を報告し, 枯渇した MORB 類似マグマが泥質堆積物の汚染を受けたドレライトであることを主張した. しかし, これらの研究では, 全岩化学組成に基づいて二次的な組成改変を論じているにとどまっており, 浅所でのマグマの組成改変の具体的なプロセスについては検討していない.

下川地域において枕状溶岩はほとんど発泡していない. 本岩体は全岩化学組成や鉱物化学組成などから, N-MORB または MORB 類似マグマとしての特徴を有しており (Miyashita and Yoshida, 1994; 松尾・宮下, 1994), OIB (海洋島玄武岩) ではない. 一般に MORB の含水量は 0.1-0.2 wt % である (Fisher and Schmincke, 1984). これらのことから, 下川地域の玄武岩類の元となったマグマの揮発性成分量は少なかったと考えられる.

これらの玄武岩類は, 全般に発泡痕に極めて乏しいことも, 深海底で形成されたことの根拠とされていた (Miyashita and Katsushima, 1986; Miyashita and Yoshida, 1994). しかし, これらの玄武岩類の中には高い発泡度を有しているものがあることも報告されていた

(Miyashita and Yoshida, 1994). 宮下 (1999) は下川地域の緑色岩と, 同じく日高帯北部にある^{るろち}瑠椽層の緑色岩の発泡痕の特徴について記載し, 未固結堆積物中に貫入した大規模なドレライト岩床に発泡痕が多いことを報告した. 同論文で宮下は, 発泡の要因として, ドレライト岩床が大規模で冷却速度が遅いため揮発性成分が濃集したことに加え, マグマへ堆積層から熱水流体とともに揮発性成分 (特に CO_2) と K_2O が二次的に付加された可能性を提唱した.

そして, これらの MORB および MORB 類似マグマにおける発泡現象の原因として, 熱水等

を介した堆積物とマグマの相互作用による二次的な揮発分量の増加がおこった可能性が指摘されている。また、全岩組成からも周囲の堆積岩が貫入・噴出したマグマの組成を改変した可能性も指摘されている。そのため、揮発分量の二次的な付加とマグマの組成改変は連動していた可能性が高い。以上のことから、下川地域では、マグマが浅所に貫入した際の堆積物との相互作用の痕跡が発泡痕や組成変化によく記録されていると捉えられ、そのプロセスの検討に適していると考えられる。後述のとおり、これまでの筆者の検討からドレライト中の発泡痕に富む部分において、「斜長石-カリ長石脈（以下、長石脈と呼称する）」を発見し、この脈が揮発性成分を運んだ可能性が高い。発泡のメカニズム解明にはこの長石脈の詳しい岩石学的な性質と成因の検討が不可欠であると考えられる。

1.4 本研究の目的

本研究の目的は（１）長石脈の成因の解明、および（２）揮発性成分がマグマに付加した過程の解明に要約される。これらの解明により、浅所で貫入したマグマが固結する過程での組成変化の知見を得ることで、マグマの多様性の要因に貢献できると考えられる。また、全岩化学組成の変化から揮発性分量の二次変化を検討する新しいアプローチを提示することにも意義があると考えられる。

マグマの結晶分化作用、同化作用（混成作用）、マグマの同化分別結晶作用（AFC）、およびマグマ混合のプロセスは、いずれも地球深部で生じることが多い。一方で、マグマが浅所に貫入してから固結するまでの過程では、あまり組成が改変されないと考えられている。しかし、北海道の下川地域の火成岩体では浅所で組成改変が生じたと考えられる事例が報告されている。これらの事例からは、貫入後に揮発性成分が増加するという組成改変がおこったこと、また発泡痕に富むドレライトは特定の元素に富む傾向があることから、これらの元素は揮発性成分と一緒に付け加わったと考えられる。このように浅所での組成改変の様子が見えていることから、下川地域の発泡現象の要因を研究する意義がある。

また、この多様な火成岩を形成するプロセスは地球深部で生じることが多いため、その現象を直接見ることはできない。また規模が大きいため、地殻の断面が良く観察されるとされる岩体においても、露頭においては一部しか観察することができない。火山岩の場合には多様な火成岩を形成するプロセスに関する議論は、最終的に生成し噴出したマグマの固結物からのアプローチに限られる。しかし、下川地域においては、後述するとおり、数 10 m のコンパクトな範囲内に、マグマと部分融解したと考えられるものの双方が同時に存在

していることから、マグマの化学組成が貫入後に改変されたプロセスの検討に適している。

2. 地質概説

下川地域には日高帯北部における緑色岩の最大の岩体（東西 1–2 km, 南北 20 km）が存在し、大規模な含銅硫化鉄鉱床が胚胎している（Bamba, 1985; Mariko, 1984 など）。本岩体には不完全ながら、オフィオライトメンバーがほぼ揃っている（Fig. 1）ことから、下川オフィオライトと呼ばれている（Miyashita and watanabe, 1988）。下川オフィオライトでは、蛇紋岩化したハルツバージャイトと斜長岩質はんれい岩が岩体の東縁部（最下位）に沿って断続的に分布している。それらの上位には、玄武岩やドレライトと砂泥質岩からなる岩体主要部がある。この主要部は下部・中部・上部の 3 つの岩相ユニットに区分されている（Miyashita and Watanabe, 1988）。下部では、厚いドレライトと砂泥質岩が互層状に繰り返す岩相から構成される。上部は主に枕状溶岩からなる。中部は両者の中間的な性格を示し、ドレライト岩床、枕状溶岩、砂泥質岩が複雑な順序で出現する。岩体主要部全体の層厚は最大で 1.5 km に達する。当オフィオライトは西側上位の同斜構造を示す。その下限および上限は断層によって境され、いずれでも日高累層群の泥岩や砂岩と接する（Miyashita and Watanabe, 1988）。当オフィオライトの内部においては、ドレライトに隣接する堆積岩はホルンフェルス化しておらず、ドレライトには接触急冷縁が見られる。ドレライトと堆積岩の接触面に沿って、堆積岩は白化（珪化）している（Fig. 2A）ことがある。また、枕状溶岩のインターピロー（枕間）を泥岩が埋める産状が見られる（Fig. 2B）。これらのインターピローの泥岩もまた、白化（珪化）していることがある。以上のことから、枕状溶岩やドレライトは、未固結堆積物が堆積する場に噴出・貫入した現地性緑色岩であるとされている（Miyashita and Yoshida, 1994）。ドレライトの化学組成は典型的な N-MORB および MORB 類似マグマとしての特徴を示しており、鉱物組成や同位体組成からも同じ結論が得られている（Miyashita and Yoshida, 1994; 松尾・宮下, 1994; 中山ほか, 2022）。最上部には厚さ 150 m に達する角礫岩が局所的に出現する。角礫岩の大部分は当オフィオライトの主要部を構成する玄武岩、砂岩や泥岩からなるが、本岩体中には存在しない石灰岩の巨礫も含まれている（Miyashita and Yoshida, 1994）。

日高帯北部に関する年代データは乏しく、大局的には西から東に向かって若くなると考えられていた（宮下ほか, 1997b）。近年、野崎ほか（2011）は、下川鉱床の鉱石試料の Re-Os 年代として 48.0 ± 0.6 Ma を報告している。また、Nanayama et al.（2021）は北部日高帯の東西での年

代変化が小さく、下川オフィオライトに隣接する岩尾内フリッシュ（木村，1985）のタービダイト砂岩に含まれるジルコン粒子から 47.3 ± 0.5 Ma の U-Pb 年代を報告している。

本論文では緑色岩が陸源砕屑物が堆積する場で噴出・貫入した産状を示すため「現地性 (*in-situ*)」緑色岩と呼称する。古第三紀の付加体である日高帯北部（君波ほか，1985；中川，2010；Ueda，2016 など）には多数の現地性緑色岩が分布している（Fig. 3）。これらの緑色岩は玄武岩およびドレライトで構成され，玄武岩はおもに塊状溶岩，枕状溶岩として産する。Miyashita and Watanabe（1988）は下川オフィオライト中の緑色岩が，未固結堆積物中にマグマが貫入したことで形成された現地性緑色岩であることを示し，陸源性堆積物が堆積していた海溝に海嶺が位置していたことを主張した。カリフォルニア湾のように付近の陸地から砕屑物が適量供給される場所で海洋地殻が新しく生成される場（Mariko，1984）で形成されたとみなされている。当オフィオライト中の角礫岩の大部分は当オフィオライトを構成する玄武岩，砂岩や泥岩からなるが，当オフィオライト中には存在しない石灰岩の巨礫も含まれている。Miyashita and Yoshida（1994）は，この石灰岩が異地性岩塊で，西側の海溝大陸斜面に露出していた付加体起源であると推定した。また，当オフィオライトがその形成直後に部分的に崩壊したと考えた。これらのことから，当オフィオライトの生成場を RTT（海嶺-海溝-海溝）三重点付近であると提唱した。陸源砕屑物が堆積する場で MORB および MORB 類似マグマが噴出・貫入する火成活動が生じたことは，多くの研究者の一致した見解となっている（鞠子ほか，1982；Miyashita and Watanabe，1988；中山，1988）。

3. 研究手法

3.1 野外調査と試料採取，薄片作成，ルートマップ作製

本研究対象地域は，北海道士別市天塩川流域の岩尾内ダムの西岸である。当地域では下川オフィオライトの構成岩類が南北約 4 km にわたって連続的に露出する。下川オフィオライトにみられる玄武岩類（玄武岩とドレライト）は，産状の違いにより（1）枕状溶岩（pillow basalt），（2）ドレライト（dolerite）（塊状玄武岩・ドレライト岩床），（3）はんれい岩様ドレライト（gabbroic dolerite）の 3 つに区分され，下川オフィオライトにおいては，発泡痕に富むドレライト岩床が 3 か所から確認されている（宮下，1999）。Fig. 4 に示すとおり，議論のためにそれぞれをドレライト岩床 1（dolerite sill 1），ドレライト岩床 2（dolerite sill 2），ドレライト岩床 3（dolerite sill 3）と呼称する。ドレライト岩床 1 の接触部と内部には，結晶組

織，発泡痕組織に差異がみられる．下川オフィオライトに限らず，これまで溶岩に関して地表到達後の結晶作用と発泡痕組織を扱った事例は少ない．

筆者はドレライト岩床 1 を重点的に観察した．また，比較のために下川オフィオライト全体にわたって枕状溶岩，発泡痕に富む他のドレライト岩床，および発泡痕に乏しい塊状溶岩も観察した．これらの対象から計 86 個の試料を採取して，90 枚の岩石薄片を作製した．ドレライト岩床 1 では，下位の堆積岩との接触面から上位に向かって，初生的な鉛直方向に約 1 m 間隔で試料を採取した．斜長石-カリ長石脈を含む部分の周辺では，約 50 cm 間隔で試料を採取した．ドレライト岩床 1 の周囲 300 m についてルートマップを作製した (Fig. 6)．またドレライト岩床 1 の下位の接触面と接する，堆積岩から作成した 2 枚の岩石薄片を観察した．

本論文では，発泡痕があるドレライト岩床 1 においては，試料採取位置を岩体の底の堆積岩との接触面からの距離 (Distance from contact: DFC) で表す．DFC と試料番号の対応関係を Table. 1 と Fig. 5 に示した．本論文中に登場する試料については DFC も併記した．Fig. 5 のドレライト岩床 1 露頭全体写真において，左側に位置する岩体の底である DFC : 0m は下位の堆積岩との接触面である．なお，Fig. 5 の写真右側に位置する上位の堆積岩との接触面は，露頭が欠如している．Fig. 5 の写真左側に位置する下位の堆積岩との接触面からの距離が DFC : 0 m, 0.1 m, 0.45 m の試料はハイアロオフィティック組織を示すことから接触急冷縁と判断される．ドレライト岩床 1 ではそれ以外の全ての試料がインターグラニュラー～サブオフィティック組織を示すことから，それらの組織を持った部分を内部と呼ぶことにする．なお，斜長石-カリ長石脈を含む試料について DFC を便宜的に示すが，脈の位置には層序的な意味はない．これは斜長石-カリ長石脈の走向傾斜は接触面と必ずしも平行ではなく，DFC が同じであっても脈を含まないことがあるためである．

3.2 発泡度および発泡痕数密度の測定

(1) 発泡度

ドレライト岩床 1 の試料から作成した 23 枚の薄片において発泡痕のモードを測定し，発泡度 (%) とした (Table. 1, Table. 2)．また比較のために下川オフィオライト全体にわたって枕状溶岩，ドレライト岩床 1 以外の発泡痕に富むドレライト岩床，および発泡痕に乏しい塊状溶岩から採取した試料の計 11 枚の岩石薄片を用いて発泡痕のモードを計測した．モード測定にあたっては薄片全体にわたるように 2,000 点をポイントカウントした．これらの岩石は様々な程度に変質を被っており，発泡痕と変質したかんらん石仮像 (Fig. 7B) や基質部の粒間に生

じた変質鉱物との区別が困難な場合もある。そのため形態や内部の組織などから明らかに発泡痕とみなされるものとは区別して、識別が困難なものを「発泡痕?」としてカウントした。その結果「発泡痕?」のモードは0.5%以下 (Table. 1) であり、議論には大きく影響しない。本論文では3%以上の発泡度を示す試料を発泡痕に富むものとして取り扱う。3%未満の発泡度を示す試料を発泡痕に乏しいものとして取り扱う。なお宮下 (1999) による計測値も加え発泡度を検討した。

(2) 発泡痕数密度

画像解析ソフトウェア (ImageJ) を用いて偏光顕微鏡写真の発泡痕の数と計測面積を算出し、発泡痕の数 (個) と計測面積 (cm^2) から発泡痕数密度 (個/ cm^2) を求めた (Table. 1)。計測にあたっては、岩石薄片の面積の1/3以上を網羅するように範囲を設定した。ドレライト岩床1を横断するように、下底から約5m間隔で7枚試料を選び、斜長石-カリ長石脈を含む試料を加えて、計8枚の岩石薄片 (DFC: 2.6 m, 6.9 m, 10.8 m, 14.2 m, 16.3 m, 17.7 m, 19.2 m, 20.1 m) に対して計測した。

(3) 斜長石数密度

ドレライト岩床1から採取した13試料 (DFC: 0.1 m, 2.6 m, 6.9 m, 8.4 m, 10.8 m, 14.2 m, 15.9 m, 16.3 m, 16.4 m, 17.7 m, 19.2 m, 20.1 m, 21.8 m) の岩石薄片について偏光顕微鏡写真を撮影し、長方形の範囲に含まれる斜長石の個数を数えた (Table. 1)。薄片によって斜長石の粒径が異なるために、平均的な値になるように計測範囲内において100個以上の斜長石の数を測定した (Table. 1)。斜長石の個数を計測エリア面積で割ることにより、斜長石数密度 (個/ mm^2) を算出した。

3.3 全岩化学組成

77個のドレライトおよび玄武岩の試料について全岩化学組成を測定した。主要成分と一部の微量元素 (Sr, Rb, Ni, Zr, Y, Nb, Ba, Cr) の分析には、新潟大学理学部の蛍光X線分析装置 (RIX3000) を用いて分析した。川野ほか (1992)、高橋・周藤 (1997) の方法によって分析した。分析結果は Table. 2 に示す。

27個の試料について、希土類元素などの微量元素の含有量を新潟大学大学院自然科学研究科の誘導プラズマ質量分析計 (ICP-MS) Agilent 7500a を用いて分析した。分析にあたっては、以下に述べるようなアルカリ熔融法で試料の前処理をした。まず、試料0.1gにフッ化水素酸および硝酸を加え、140°Cで加熱分解、乾固した後、炭酸ナトリウム0.5gを加え、

1050 °Cのマッフル炉にて10 分間熔融，熔融物を硝酸，塩酸にて中和した後，10000 倍に希釈した溶液を用いた．分析手法は Roser et al. (2000) による．このときの標準試料として W-2a を使用した．分析結果を Table. 3 に示す．なお，Miyashita and Yoshida (1994) の分析値も加えて検討した．

3.4 鉍物化学組成

DFC : 8.4 m から採取した試料中の斜長石-カリ長石脈を構成する鉍物の鉍物化学組成を，新潟大学自然科学研究科の EPMA (JXA-8600SX) を用いて測定した．分析条件はプローブ電流を 1.3×10^{-8} A，加速電圧を 15 kV に設定した条件で測定し，Oxide-ZAF 法を用いて補正した分析値を得た．各鉍物の代表的な分析結果は Table. 4 に示す．長石脈の斜長石とカリ長石の詳細な鉍物化学組成の分析結果を Table. 5 に示す．

ドレライト 14 個の試料について新潟大学自然科学研究科の EPMA (JXA-8600SX) を用いて分析した．分析条件はプローブ電流を 1.3×10^{-8} A，加速電圧を 15 KV とし，分析値の補正には Oxide-ZAF 法を用いた．分析結果を Table. 6 と Table. 7 に示す．

3.5 長石脈の全岩化学組成

DFC : 8.4 m から採取した斜長石-カリ長石脈を含んだ試料について，全岩化学組成を求めるために北海道土質試験協同組合の SEM (JSM-IT200(LA)) を用いてグリッド分析を行った．グリッドの構成は 25 μ m 間隔の 43 点とした．分析条件はプローブ電流は 1.3×10^{-8} A，加速電圧は 15 kV に設定した条件で測定し，Oxide-ZAF 法を用いて補正した分析値を得た．得られた計算結果は Table. 4 に示す．詳細な鉍物化学組成の分析結果を Appendix. 7 に示す．

3.6 元素組成マップ

斜長石-カリ長石脈を含んだ試料 (DFC : 8.4 m) について元素組成マップ組成 (Fig. 8) を新潟大学自然科学研究科の EPMA (JXA-8600SX) を用いて測定した．分析時にはプローブ電流を 4×10^{-8} A，加速電圧を 15 kV とした．薄片上の 3 mm \times 1.8 mm の範囲を 3 μ m のインターバルで点分析して元素組成マップを得た．

3.7 微小領域の全岩化学組成・微量成分組成

XRF では測定できない微小領域の全岩化学組成を測定するために，EDS 面分析とレーザー

ICPMS による分析を行った。主成分の分析には、新潟大学自然科学研究科設置の走査型電子顕微鏡 (SEM: JEOL JSM-IT100) に装着されたエネルギー分散型蛍光 X 線分析装置 (EDS: Oxford AZTEC3.3) を用いた。SEM による照射条件は加速電圧 15 kV, プローブ電流 5 nA とし, 面分析では, 任意の矩形の範囲を SEM でスキャンした状態で EDS によって元素を定量分析した。

微量成分組成の分析には, 新潟大学大学院自然科学研究科のレーザーアブレーションシステム (NewWave UP-213) と誘導結合プラズマ質量分析計 (ICPMS: Agilent 7500a) を組み合わせた LA-ICPMS を用いた。レーザーの照射条件をレーザー径 65 μm , パルス周波数 10 Hz, エネルギー密度 4~5 $\mu\text{m}^2/\text{cm}^2$ に設定した。比較的分析面積が広い長石脈の測定では ICPMS による計測時間を 180 秒, より面積が狭いドレライトのセグリゲーションベシクルや石基の粒間(後述)の測定では 60 秒に設定した。スキャン間隔を 65 μm としたラスタースキャンモードで試料台を移動させながら ICPMS で微量元素組成を測定した。この際, 分析範囲を ICPMS の計測時間内にスキャンし終わるよう試料台の送り速度を個別に調整した。ICPMS の分析メソッドには LA_ss29 を用い, 標準ガラス NIST SRM610 で全元素を個別に外標準補正した後に, EDS 面分析による CaO 分析値を用いて内標準補正した。未知試料の測定とともに岩石標準試料 BHVO-2 および JB-1b のガラスビードも測定し, 分析値の正確度をチェックした。以上の分析の結果は得られた主成分および微量元素組成を Table. 8 に示す。

3.8 モデル計算

Fujimaki et al., 1984 によるレイリー分別を仮定した結晶分別モデル計算によって, ドレライトと長石脈の結晶分化作用による組成変化を検討した。

混合モデル計算を泥岩を 3 種類について行った。計算結果を Table. 9 に示す。

4. ドレライト岩床と発泡痕

4.1 岩体主体部のドレライト岩床の産状と発泡痕

下川オフィオライトの玄武岩類は全般的に発泡痕に極めて乏しいが, ドレライト岩床の一部では著しく発泡痕に富む(宮下, 1999)。ドレライトには, ほとんど発泡痕を含まない部分から, 数 mm ほどの大きさの発泡痕に富む部分まで, 多様な発泡度の部位が存在している。

発泡痕に富むドレライトの産状には共通した特徴が認められる。これらのドレライト岩床は比較的厚く 10 m 以上の厚さを持つ。発泡の度合いは, 岩床内部で不均質である。急冷縁付近

では発泡痕に乏しく (Table. 1: ドレライト岩床 1 (DFC: 0 m ~ 0.45 m)), 内部では相対的に発泡痕に富んでいる。

ドレライト岩床中にみられる発泡痕は、球状ないしやや不定形を示す (Fig. 7A, Fig. 7C)。ドレライト岩床 1 の発泡痕はやや不定形 ~ 不定形であり、まれに球状である。ドレライト岩床 2 と 3 の発泡痕は球状 ~ やや不定形である。発泡痕がインターサータル組織を持つ細粒な石基によって充填されているセグリゲーションベシクル (Smith, 1967) となっていることもある (Fig. 7C)。セグリゲーションベシクルは気泡内に排出された残液であると考えられている (Sisson and Bacon, 1999 など)。セグリゲーションベシクルはドレライト岩床 2 と 3 で見つかった。

一方、発泡痕に乏しいドレライト岩床もある。堆積岩中に貫入している場合でも、厚さが 10 m 以下の比較的薄いドレライト岩床は発泡痕に乏しい (宮下, 1999)。ドレライト岩床には堆積岩と隣接せず枕状溶岩と接するものがあるが (例えば Fig. 4 の 88IW113, 88IW114, 88IW119), こうした産状のドレライト岩床には発泡度の高い部位は見られていない。以上のことから、著しく発泡痕に富むドレライト岩床は堆積岩中に貫入している厚さが 10 m 以上の大規模な岩床であると要約される。

4.2 ドレライト岩床の野外での産状

本研究では、ドレライト岩床 1 について詳しく検討した。本岩床は、3 つの発泡痕に富むドレライト岩床の中では最下位の層準に貫入しており、岩体の厚さは 22 m である。下位の堆積岩と当岩床底部との接触面の走向傾斜は N20°W60°SW である。接触面は剪断変形を受けているが、接触急冷縁を伴うことから、貫入面が二次的な層平行剪断を受けたと考えられる。Fig. 5 にドレライト岩床 1 の露頭写真を示す。下底面では泥岩側が幅 1.5 m ほどにわたって白色化 (珪化) している。岩床上面の部分では露頭が欠如しており、接触境界は観察できない。しかし、ドレライトの最上部は中央部よりは細粒なインターサータル組織を示す傾向が見られ (Fig. 9F: DFC: 20 m), 露頭欠如部を挟んだ直近の泥岩も白色化 (珪化) していることから、岩床上面も急冷縁を伴う貫入境界であると推定できる。

ドレライト岩床 1 の内部からは、主に斜長石とカリ長石からなる脈および集合物 (Fig. 10) が見つかった。急冷縁付近では、長石の集合物はドレライトの粒間に不定形やネットワーク状の形態をしており、ドレライトの基質中に含まれる。不定形やネットワーク状の長石集合物は、肉眼では確認できず、岩石薄片内で見い出された。岩床内部においては、長石集合物は脈とし

て産する。不定形やネットワーク状の長石集合物は、肉眼では確認できず、岩石薄片内で見出された。長石脈は幅がおよそ 1-2 mm であり、露頭では曲がった細脈として観察された。これらの長石脈は未風化部では淡緑灰色であり、風化面では白色を呈する (Fig. 11)。ドレライトと長石脈は色が類似することから、露頭で長石脈を見出すためには詳細な観察が必要であった。風化面ではドレライトと長石脈を見わけにくいことから、長石脈を露頭で見出すためには、露頭の各所をくまなく割って新鮮なドレライトを観察することが必要であった。脈の走向傾斜は 3 か所で計測し、DFC:6.9 m 地点 (Fig. 6) では N40°E58°SE および N10°W60°SW, DFC:7.6 m 地点 (Fig. 6) では N41°E52°SE であった。これらの姿勢には岩床の貫入面に対してほぼ平行なものと同角なものがあり、一定しない。

ドレライト岩床 2 はドレライト岩床 1 の約 20 m 上位の層準に貫入しており、厚さは 22 m であった。下底面では泥岩側が幅約 40 cm にわたって白色化している。ドレライト岩床 3 は 3 つの発泡痕に富むドレライト岩床の中では最上位の層準に貫入しており、厚さは 10 m であった。この岩体では、急冷縁は露頭欠如のため観察できなかった。

4.3. ドレライトの岩石薄片記載・発泡痕の形態

ドレライト岩床 1 は、主にかんらん石仮像、斜長石、単斜輝石、不透明鉱物および変質した隠微晶質部からなり、二次鉱物としてスフェーンや粘土鉱物を含むドレライトである。貫入境界に近い部分では変質したハイアロオフィティック組織 (Fig. 9A) を示し、内部はインターグラニューラー～サブオフィティック組織 (Fig. 9B-9E) を示す。急冷縁では細粒な斜長石の粒径は、当岩床の内部に向かい粗粒となる全般的な傾向がある。しかし、斜長石-カリ長石脈を含む試料のうち、3 試料 (Fig. 9D: DFC: 16.3 m, 16.4 m, Fig. 9F: DFC: 20.1 m) は、岩体内部であるにもかかわらず、周囲より比較的細粒な組織インターグラニューラー組織を示す。また斜長石-カリ長石脈を含む試料のうち、3 試料 (DFC: 6.9 m, 7.6 m, 8.4 m, Fig. 11: DFC: 7.6 m, Fig. 12: DFC: 8.4 m) は比較的粗粒なインターサータル組織を示す。

ドレライト岩床 2 は主にかんらん石の仮像、斜長石、単斜輝石、不透明鉱物および変質した隠微晶質部からなり、二次変質鉱物として粘土鉱物を含むドレライトである。インターグラニューラー組織とオフィティック組織、アフアニティック組織を示す。

ドレライト岩床 3 は主にかんらん石の仮像、斜長石、単斜輝石、不透明鉱物および変質した隠微晶質部からなり、二次変質鉱物として粘土鉱物を含むドレライトである。インターグラニューラー組織とオフィティック組織を示す。

詳細に観察したドレライト岩床 3 のセグリゲーションベシクルは、細粒な針状の斜長石、樹枝状の単斜輝石、および細粒な緑泥石とスフェーンで構成される。またその内側には気泡の空洞を埋めた細粒な緑泥石とスフェーンで構成される杏仁状の部分がある。発泡痕内においてセグリゲーションベシクルと杏仁部の割合は約 10 %–100 %とさまざまである。

4.4. ドレライト岩床 1 の発泡痕数密度と発泡度

(1) 発泡痕の形態

Fig. 7A に、ドレライト岩床 1 の DFC : 15.9 m 地点で採取した斜長石-カリ長石脈を含む試料の薄片写真を示す。ドレライト岩床 1 におけるドレライト中の発泡痕は結晶の粒間に成長しており、不定形の形態を示す。発泡痕は他形であり、外縁部は周囲の長石の結晶面に制約された直線状である。発泡痕の大きさは 1 mm×0.8 mm 程度である。発泡痕の充填鉱物は緑泥石で、発泡痕外縁部に石英が晶出していることがある (Fig. 7A)。

(2) 発泡度

ドレライト岩床 1 の内部では、下底面から上位に 50 cm ほどは無発泡であり、上面付近の露頭欠如区間を除く全ての区間で 5 %以上 10.5 %以下の発泡度を示す (Fig. 13 (B), Table. 1)。局所的な特徴として、斜長石-カリ長石脈近傍のドレライト (DFC : 6.9 m, 8.4 m, 15.9 m, 16.3 m, 16.4 m) の発泡度は、岩床全体の平均的な発泡度よりは高く、8–10.5 %と高くなっている (Fig. 13 (B), Table. 1)。

ドレライト岩床 2 の発泡度は 0–8.6 %であり、岩床全体でまちまちである。ドレライト岩床 3 の発泡度は 0–11 %である。いずれの岩床も、発泡の度合いは部位によってまちまちであった。

(3) 発泡痕数密度

ドレライト岩床 1 の内部における発泡痕数密度は、下底から上方に 50 cm までの区間では 0 個/cm²、それより内部は 20–47 個/cm² (DFC : 2.6 m, 6.9 m (6.9 m は斜長石-カリ長石脈を含む試料), 10.8 m, 14.2 m, 17.7 m, 19.2 m) である。局所的な特徴として、DFC : 16.3 m および 20.1 m の斜長石-カリ長石脈を含む試料のドレライト部では、岩床全体の平均的な発泡痕数密度よりは発泡痕の数密度が顕著に高く 92–98 個/cm²であった。DFC : 6.9 m においても 42 個/cm²とやや高い値を示した (Fig. 13 (A), Table. 1)。

4.5. 結晶分化の度合と発泡度

ドレライト岩床 1 の全岩での Zr 含有量は 112–178 ppm であり、岩床全体が比較的分化していると考えられる。前述のとおり急冷縁は無発泡であり、それ以外全ての部位では 5 %以上の発泡痕を含む。ドレライト岩床 1 において、Zr 含有量は発泡度に関わらずほぼ一定である (Fig. 14)。ドレライト岩床 2 および 3 においても、Zr 含有量の増加に対応した発泡度の変化は認められない (Fig. 14)。したがって、ドレライト岩床 1–3 においては結晶分化の度合いと発泡度には明瞭な関係は無いと評価できる。

下川オフィオライト全体でみると、ドレライトの Zr 含有量は 62–212 ppm の幅がある (Fig. 14, 15)。発泡痕に富むドレライトの Zr 含有量には 83–205 ppm の幅があり、発泡痕に乏しいドレライトの Zr 含有量にも 70–212 ppm の幅がある。両者の間に Zr 含有量の明瞭な違いは認められない。したがって、下川オフィオライト全体においても Zr 濃度の違いをもたらす結晶分化の度合いや HFS 元素の富化の度合いと発泡度との間には明瞭な関係が無いと考えられる。

4.6. 不適合元素と発泡

Fig. 16 に Nb, Na₂O, K₂O および Rb と発泡度との関係を示す。ドレライト岩床 1 の発泡痕に富む試料では Na₂O 含有量が 2.51–4.15 wt%, K₂O 含有量が 0.09–0.65 wt%, Rb 含有量が 2.73–14.83 ppm。発泡痕に乏しい試料では Na₂O 含有量が 2.33–2.70 wt%, K₂O 含有量が 0.11–0.30 wt%, Rb 含有量が 2.98–6.39 ppm であった。発泡痕に乏しい試料では Na₂O, K₂O, Rb 含有量が比較的少なく、組成のばらつきが小さい。発泡度が高くなるにつれて、これらの元素の含有量がばらつく傾向があり、発泡痕に乏しい試料と同程度の含有量のものに加えて、Na₂O や K₂O では発泡痕に乏しい試料の 2–3 倍近く含まれる部位もある。つまりこれらの元素の含有量が高い部位は、発泡度が高い部位に限られるといえる。一方で、Nb 含有量は 3.26–4.09 ppm と発泡度に依存せず一定である。

ドレライト岩床 2 の発泡痕に富む試料では Na₂O 含有量が 4.08–4.09 wt%, K₂O 含有量が 0.24–0.37 wt%, Rb 含有量が 6.9–8.15 ppm であった。発泡痕に乏しい試料では Na₂O 含有量が 2.74–3.19 wt%, K₂O 含有量が 0.04–0.23 wt%, Rb 含有量が 2.79–4.58 ppm であった。ドレライト岩床 2 では、ドレライト岩床 1 に比べて各元素の含有量のばらつきは小さく、発泡度の増加とともに Na₂O, K₂O, Rb 含有量が増加する傾向がみられる。Nb との関係は分析値が得られた試料が少ないために明瞭ではない。

ドレライト岩床 3 の発泡痕に富む試料では Na_2O 含有量が 2.84–4.95 wt%, K_2O 含有量が 0.10–0.15 wt%, Rb 含有量が 2.4–2.7 ppm であった。一方、発泡痕に乏しい試料では Na_2O 含有量が 2.55–3.27 wt%, K_2O 含有量が 0–0.21 wt%, Rb 含有量が 2.70–5.77 ppm であった。発泡度が高い試料で Na_2O 含有量が高い傾向がみられるが、 K_2O や Rb の含有量と発泡度に明瞭な対応関係はみられない。Nb 含有量はばらつき、発泡度との関係の評価は難しい。

4.7. ドレライトの発泡度についての考察

一般に、マグマの発泡過程には、減圧発泡と冷却結晶化による発泡がある。減圧発泡過程は、マグマの上昇に伴う減圧による発泡であり、噴火のダイナミクス、特に火道内でのマグマの流体力学的振る舞いを左右する。冷却結晶化による発泡過程は、マグマ溜りの冷却過程で、結晶に入らない水が液に濃集し過飽和となり、水を含む揮発性成分が析出する二次沸騰または、二次発泡である (Sisson and Bacon, 1999 など)。

前述のとおり、ドレライト岩床 1 は、接触急冷縁 (DFC: 0.1–0.45 m) が無発泡であるが、それ以外の全てが 5 %以上の発泡度である。このことから、ドレライト岩床 1 において揮発性成分の飽和が生じたのは、接触急冷縁を形成した後であり、マグマが貫入する前には発泡はおきていなかったと考えられる。つまり、当岩床にみられる発泡痕は、減圧発泡によるものでないと考えられる。これらのことから下川オフィオライトの一部のドレライトが発泡痕に富む要因は、噴出・貫入後に生じた何らかのプロセスに起因していると考えられる。

長石脈を含む部分は発泡痕数密度と発泡度が高い傾向がある。よって揮発性成分は長石脈からマグマ中にもたらされた可能性がある。

また、発泡度と結晶分化の度合いの間に明瞭な相関がみられないことから、発泡の要因は結晶分化の進行に伴って起こる二次沸騰ではないと考えられる。

ドレライト岩床 1 と 2 においては、 Na_2O 、 K_2O 、Rb 含有量が高い試料は発泡度が高いものに限られる。ドレライト岩床 3 においては、 Na_2O 含有量が高い試料は発泡度が高いものに限られる。以上のことから、当岩床における発泡は、これらの元素が局所的に付加するプロセスによって引き起こされた可能性がある。長石脈を含む部分では発泡痕数密度と発泡度が高い傾向見られたことを考えれば、揮発性成分や上記元素は、長石脈を介してマグマ中にもたらされた可能性がある。

5. 長石脈の産状と化学組成

5.1. 長石脈と長石集合物の産状

前述のとおり、ドレライト岩床 1 の 8 か所 (DFC: 0.1 m, 6.9 m, 7.6 m, 8.4 m, 15.9 m, 16.3 m, 16.4 m, 20.1 m) から、斜長石-カリ長石脈および集合物が発見された。これらの長石脈や同質の集合物は、おもに斜長石とカリ長石から構成され、少量のスティルプノメレン、緑泥石、スフェーンを含む。また部分的に少量の石英と単斜輝石を含むことがある。ドレライト岩床 1 下底近くの急冷縁内 (DFC: 0.1 m) では石基中の結晶粒間に斜長石とカリ長石が不定形かつ孤立したプール状またはネットワーク状に集合した産状が見られる (Fig. 10)。集合物とドレライトの境は不明瞭である。

(1) 斜長石-カリ長石脈

Fig. 12 に DFC: 8.4 m から採取した斜長石-カリ長石脈の偏光薄片顕微鏡写真と薄片全体を偏光板で挟んで撮影した透過光写真を示す。当試料は斜長石とカリ長石を主体とし、少量のスティルプノメレン、緑泥石および、スフェーンを伴う細粒な等粒状組織を示す。また、少量の単斜輝石 (Fig. 7E) と石英を含む部分がある。斜長石は矩形の自形結晶であり、カリ長石は多形である。斜長石には組成累帯構造を示す部分がある。このように長石脈は火成岩的な組織を示す。脈は幅が 1-2 mm 前後で、方解石脈や石英脈によって切られている (Fig. 17: DFC: 16.4 m)。母岩ドレライトと長石脈との境界は直線的ではなく不規則で凹凸がある (Fig. 12A, B, C)。長石脈の周縁部では長石脈の中にドレライトの自形の斜長石が突き出たように入り込み、それらの間が入り組んでいる。その入り組んでいるところに長石脈が入り込んでいる。これらことから長石脈を形成したものは完全に固結していないマグマに貫入したと考えられる。

また、岩床上部 (Fig. 7D: DFC: 20.1 m) および岩床内部 (DFC: 16.3 m) では発泡痕を含む斜長石-カリ長石脈が見られる。Fig. 7D の斜長石-カリ長石脈中の発泡痕の大きさは短径約 3 mm, 長径約 7 mm であり、母岩ドレライト中の発泡痕の大きさ (短径約 0.8 mm, 長径約 1 mm) より大きい。この発泡痕は不定形であり、主に緑泥石で埋められている。自形石英が発泡痕の壁から内側に晶出していることもある。この発泡痕の存在は、脈を充填していた流体が揮発性成分に飽和していたことを示唆する。なお長石脈の壁面には緑泥石からなる多角形の仮像がみられ、直方輝石であった可能性が考えられる。

(2) 斜長石-カリ長石集合物

ドレライト岩床 1 の下底の急冷縁では、斜長石やカリ長石の集合物が脈の形態を示さず、ドレライトの基質部に斜長石-カリ長石集合物として存在している (Fig. 10, DFC : 0.1 m) これらの集合物は幅 0.02–1 mm の不定形の孤立したプール状、またはネットワーク状の産状を示す。集合物中に鏡下でカリ長石と斜長石と石英、スフェーンおよび周囲の石基と同様の単斜輝石が確認でき、長石脈と類似する鉱物組み合わせである。

5.2. 元素組成マップ

斜長石-カリ長石脈内の鉱物が細粒であることから、脈内の鉱物分布を判別するために WDS で元素組成マップを作製した (Fig. 8)。K₂O に富む箇所は他形のカリ長石で、Na₂O に富む箇所は自形の斜長石、FeO に富む箇所は単斜輝石、スチルプノメレンや緑泥石などに対応すると考えられる。マッピング結果から、長石脈は全体的に K₂O と Na₂O に富むことが伺える。また、この脈の周囲では、母岩のドレライトの結晶粒間にも K₂O 濃度が高い部分がみられる (Fig. 8C の左下)。母岩のドレライトの結晶粒間に見られる K₂O 濃度が高い部分は、脈から離れるに従い見られなくなる。このことは長石脈を充填したものの中の K₂O 成分がドレライトの結晶粒間を通じて浸透または拡散したことを示唆する。

5.3. 鉱物化学組成

斜長石-カリ長石脈中の斜長石とカリ長石の鉱物化学組成を Fig. 18, Table. 5 に示した。斜長石の曹長石成分は 81.0–96.0 % で、ほとんど Ca を含まない端正分に近い曹長石組成のものから、最大 19 % の灰長石成分を含みオリゴクレイスに分類されるものまでのバリエーションがあった。カリ長石中の正長石成分は 86.0–97.2 % であり、ほとんど Na を含まない端正分に近い正長石から、最大 14 % の Na を含むものまでであった。DFC : 8.4 m で採取した試料の斜長石の中心部の An % は 7.39–16.66 % であった一方、周縁部の An % は 2.25–6.31 % であった。したがって、斜長石では中心部に比べて周縁部で灰長石に乏しい、正累帯構造を示す。

5.4. 主成分組成・微量成分組成

(1) 斜長石-カリ長石脈の組成

長石脈は幅が 1–2mm と狭くかつ曲線状であり、十分な量を母岩から分離することが困難であるため、通常の粉末を使う分析はできない。そのため岩石薄片中の局所的な領域の平均 (“全岩”) 化学組成を決める方法を模索した。手法の検討にあたり、次の 3 つの方法を試みた。(1)

グリッド分析の平均値からの組成の算出 (Fig. 19), (2) 元素マップによる画像解析 (Fig. 20), および (3) EDS 面分析からも全岩化学組成 (Table. 4) である. 同一試料についてこれら 3 種類の手法を用いて, 結果をクロスチェックした. (1) の手法では, グリッド分析 43 点 (Table. 4) の平均値を長石脈の全岩とした. 横 250 μm \times 縦 150 μm の矩形の範囲の中に, 25 μm 間隔で 4 本の側線を設定した. 各側線において 25 μm 間隔で 11 点の EDS 点分析を行い, 合計 43 点の分析値から平均化学組成を算出した. 得られた斜長石-カリ長石脈の SiO_2 含有量は約 64 wt% であり, Na_2O と K_2O の合計含有量の合計は約 12 wt % となった. この組成は, 全アルカリ-シリカ (TAS) 図 (Streckeisen, 1978) では粗面岩に分類される (Fig. 21). (2) の方法では, WDS による元素組成マップ (Fig. 8) から求めた鉱物面積比に対し, WDS 点分析で測定した鉱物化学組成 (Table. 4) を掛けることによって, 全岩化学組成を求める方法である. まず, 鉱物面積比を求めるために元素組成マップ画像を Na_2O , K_2O , FeO の 3 種類の元素組成マップ画像を 2 値化し (Fig. 20), ImageJ を用いて着色部の面積を算出した. Na_2O , K_2O , FeO の面積比は, 0.42 : 0.42 : 0.16 であった. 鏡下観察から緑泥石とスチルプノメレンの量比を 1 : 1 と仮定した. この面積比に, Table. 4 で示した斜長石-カリ長石脈中の各鉱物化学組成を乗じて合計した. この手法により算出された斜長石-カリ長石脈の全岩化学組成の SiO_2 含有量は約 62 wt %, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ は約 11 wt % で, (1) のグリッド分析の平均から求めた組成と類似する. (3) の方法では, EDS 面分析を 3 か所で行った. この手法により算出された斜長石-カリ長石脈の全岩化学組成の SiO_2 含有量は 62–64 wt % であり, Na_2O と K_2O 合計含有量は 10–11 wt % となったため, (1) のグリッド分析及び (2) の元素組成マップによる手法から求めた組成と類似する値が得られた. 以上 3 つの手法からは同様の値が得られたことから SiO_2 含有量やアルカリ元素についてはいずれの手法でもおおむね妥当な値が得られたと評価できる. また, 長石脈の主成分の中で FeO 含有量は 2–6 wt%, TiO_2 含有量は 0.05–1 wt% と手法によって違った値を示した. FeO 含有量に富むスチルプノメレンや緑泥石と TiO_2 含有量に富むスフェーンは, 岩石中に均等に分布せず特定かつ少量の鉱物中に濃集する. そのため点分析に依存する (1) や (2) の分析方法では, プローブがそれらの Fe や Ti を含む鉱物に当たるか当たらないかという偶然に結果が左右されやすいと考えられる. このような理由から, 分析手法によって値に数 % の差が生じたと考えられる. 長石脈の全岩化学組成は TAS 図 (Streckeisen, 1978) では粗面岩 (Fig. 21A) に分類される. 鉱物組み合わせからは石英をほとんど含まず, 斜長石とカリ長石が等量含まれることからモンゾニ岩 (Streckeisen, 1974) (Fig. 21B) に分類される.

(2) 微小領域の全岩微量成分組成

LA-ICP-MS のラスタースキャンモードで測定した微量組成 (Table. 8) を, Fig. 22 において C1 コンドライト (Sun and McDonough, 1989) で規格した多元素存在度として示した. 斜長石-カリ長石脈では, 非調和度の高い元素が濃縮していない点 (Fig. 22) において, 非調和元素の濃集に特徴づけられる海洋島に産する粗面岩 (Beier et al. 2008; Kawabata et al. 2021) とは組成の特徴が異なる. むしろ斜長石-カリ長石は, 下川オフィオライトのドレライトに似た全体的に平行なパターンを示す. ただし, 一部の元素 (Rb, Ba, Th, U, Zr, Hf, HREE) が濃集している. 以上のことから MORB に近い組成的特徴を示す. しかし, 一部の元素は外部から付加した可能性がある.

6. 長石脈の成因

宮下 (1999) は堆積層からマグマにもたらされた熱水が発泡を引き起こしたと主張した. その他に, 何らかのメルト, 例えばドレライトの残液や, 外部の物質を起源とするメルトがマグマに持たされた可能性を挙げることもできる. よって本論文では脈の成因として, 「熱水」, 「ドレライトの残液」, 「外部物質のメルトを起源とする」の3つの作業仮説を議論する.

6.1 長石脈の起源は熱水?, メルト?

まず発泡痕を含む長石脈 (Fig. 7D) が熱水から生成しうるか考察する. 仮に長石脈が熱水脈起源だとすると, 熱水沈殿物で埋められていなかった頃はそこに熱水が流れていたはずである. もし熱水中に気泡が存在すれば気泡も熱水とともに流れていたはずである. 一方, 鉱物に飽和した熱水が流れ続けると亀裂が沈殿物で埋められることはないため, 揮発性成分に飽和したメルトであれば発泡したまま固結して脈になることは十分考えられる.

次に, 長石脈が複数種の鉱物を含む組織を持つことについて考えてみる. 熱水脈では通過する熱水中で飽和した成分の過飽和分だけが沈殿物としてその場に残り, 不飽和な成分は流れていく. 複数の成分に同時に飽和することはおこりにくいと考えられるため, 複数種の鉱物が複雑にかみ合った組織はできにくいと考えられる.

長石脈を構成するが等粒状組織は, 熱水からの沈殿で形成されるだろうか考えてみる. 流体内部に満遍なくできた結晶核がその場にとどまったまま成長すると等粒状組織となる. 流体がメルトである場合流動が止まっても, 粘性が高く結晶とメルトの密度差も小さいため, 結晶が

沈降せずにその場に留まっても成長できると推定される。熱水では、形成された結晶核が大きく成長するまで、その場にとどまらず、沈殿する可能性が高いと考えられる。結果として、熱水中では壁面の結晶核や、壁面上に沈降した結晶を核として結晶が成長するため、鋸歯状の組織となることが多く、等粒状組織をつくりにくいと考えられる。

長石脈が母岩との間に不規則な境界を持つ点について考えてみる。このような産状は周囲の未固結のマグマが完全に固結していない時に形成されたことを示唆している。完全に固結しきっていないマグマ中にメルトが入ると脈状になりうる。もし熱水が未固結のマグマ中に入れば、マグマ中に溶解するか気泡になり、脈状にはならないと考えられる。一方、脈がメルトであったなら、不規則な境界の産状は十分あり得る。

プール状の長石集合物があることもまた、熱水では説明が難しい。なぜならば熱水の長石脈の溶解度は大変小さいために、長石が沈殿して空隙を埋めるためには大量の熱水が流れる必要がある。したがって、熱水では長石のプール状の産状をつくることは難しいと考えられる。

長石脈は、また HFS 元素の含有量が比較的高い特徴を持つ。熱水への HFSE 溶解度は大変低く、それらが熱水中で飽和して沈殿することは考えにくい。一方、HFS 元素は珪酸塩メルトの親和性が高いため、メルト中に HFS 元素が多く含まれても何ら不思議ではない。

これらのことから長石脈の起源を熱水と考えた場合には説明が困難なことが多く、それらの問題の多くは長石脈が何らかのメルト起源と考えたほうが良いと思われる。

6.2 長石脈の起源は、ドレライト残液？、別起源メルト？

長石脈を形成したメルトがドレライト残液であったか否かについて、粒間メルトの全岩化学組成との比較から検討する。粒間メルトであったと考えられる部分としてドレライトの石基の中でも細粒な部分（メソスタシス）(Fig. 23A) と、発泡痕内に排出された残液（セグリゲーションベシクル）(Fig. 23B) の局所全岩組成を用いた。C1 コンドライトで規格化した元素存在度からは粒間メルトには 2 つの組成タイプがあることが見てとれる (Fig. 24)。粒間メルト組成のうち、重希土類元素（HREE）と中希土類元素（MREE）の規格化濃度が同程度であり、より非調和度が高い HFS 元素にやや乏しい組成をタイプ 1 と呼ぶ。一方、MREE より HREE の規格化濃度が高い組成をタイプ 2 と呼ぶ。タイプ 1 の組成は石基細粒部と大多数のセグリゲーションベシクルで見られる。一方、タイプ 2 の組成は一部のセグリゲーションベシクルに限って見られる。HREE と MREE の含有比を示す指標として Lu/Ho 比をとった場合の、SiO₂ 含有量との対応関係を Fig. 25 に示す。タイプ 1 では Lu/Ho 比が 0.74–1.09 の範囲にある一方、タ

タイプ 2 では Lu/Ho 比が 1.36–1.63 と高い値を示す。また、長石脈の Lu/Ho 比は 1.32–1.47 の範囲にある。

タイプ 1 粒間メルトの起源を検討するために、タイプ 1 の微小領域（石基細粒部）におけるコンドライトで規格化したの希土類元素分析値を、全岩化学組成と比較した（Fig. 26）。ドレライト岩床 1 の最も未分化な全岩化学組成である DFC : 8.4 m で採取した試料の分析値を出発点とし、平衡結晶作用を想定して、レイリー分別を仮定した結晶分別のモデル計算（Fujimaki et al., 1984）を行った。下川オフィオライトのドレライトの鉱物量比に対応させて、分別する鉱物の量比をかんらん石を 5 %、単斜輝石を 35 %、斜長石を 60 %とした。これらの分別結晶作用を 10 %ずつ増やししながら段階的にモデル計算を行った結果を、タイプ 1 の微小領域（石基細粒部）における希土類元素の分析値を比較した。タイプ 1 の組成は全岩化学組成から 90 %の結晶を分別させた残液（10 %）の値よりさらに高濃度であるが、元素の存在比は類似している。よってタイプ 1 組成を示す部位はドレライトの分化の残液が固結したものと考えられる。次に、長石脈の局所全岩組成を上記タイプ 1 組成や結晶分別モデル計算の結果と比較すると長石脈では MREE に対し HREE に富む特徴（Fig. 27）を示すのに対し、タイプ 1 や分別モデルの組成では、HREE の存在度が MREE の存在度と同等かやや少ない特徴がみられることから、両者の希土類元素の存在度は大きく異なる。以上の比較から長石脈が MREE に対して HREE に富む特徴は、ドレライトの結晶分化作用では獲得できないと考えられる。よって、長石脈の起源はドレライトとなった玄武岩質マグマとは別に長石脈の起源を求める必要がある。このことから長石脈がドレライトの分化残液を起源とするとした作業仮説は棄却される。

次に、タイプ 2 の組成を示す部位（セグリゲーションベシクル）の成因を考察する。タイプ 2 の粒間メルト部の SiO₂ や Na₂O+K₂O 含有量は、長石脈とタイプ 1 粒間メルト部の中間的な組成であり（Fig. 28）、TAS 図（Streckeisen, 1978）において粗面安山岩と玄武岩質粗面安山岩の境界にプロットされる。同様の組成を持つ部位は、石基の細粒部（粒間メルト）でも見られる。コンドライトで規格した多元素存在度を見ると、タイプ 2 では MREE に対して HREE に富むという長石脈と共通した特徴を示す（Fig. 24）。以上の主成分および微量元素の特徴から、タイプ 2 の組成メルトはタイプ 1 組成のメルトと長石脈を形成したメルトの混合物である可能性が考えられる。この仮説が現実的か否かを評価するため、タイプ 1 組成メルトと長石脈組成のメルトが混合した場合の希土類元素組成を計算した（Fig. 29）。タイプ 1 組成メルトと長石脈組成メルトの混合割合を 1:4 に設定した。両者を混合させたメルトの組成にも、MREE に対し HREE が相対的に富む長石脈を形成したメルトの特徴が現れる。この仮想混合

メルトにおける希土類元素の規格化濃度は、タイプ 2 の組成よりも全体的に低い。そのためさらに希土類元素が濃縮するプロセスが必要ではあるが、タイプ 1 組成の残液と長石脈を形成したメルトが混合するとタイプ 2 となる解釈は、おこりうると考えられる。

また、タイプ 1 の微量元素組成を示すものの中には、主成分組成で SiO_2 、 Na_2O 、および K_2O が富化しているものの、HREE に富まないものがある。このことから実際にはタイプ 1 粒間メルトと混合したメルトの主成分組成と微量元素組成は一樣ではなく、HREE と SiO_2 と Na_2O 、 K_2O は同じプロセスで付加していない可能性が考えられる。

6.3 長石脈を形成したメルト

これまでの検討から、長石脈を形成したメルトは、ドレライトを形成したマグマとは異なる外来の物質を起源とする可能性が高くなった。発泡痕に富むドレライト岩床から泥岩ゼノリスが報告されている（宮下，1999）ことから、泥岩がマグマに取り込まれて部分融解してメルトを形成した可能性を挙げることができる。この作業仮説を検討するため、周囲に存在する泥岩の主成分化学組成を用いて、一種のノルム計算（Table. 9）を行い、泥岩のノルム組成を求めた。一般的に泥質堆積物に含まれる鉱物（緑泥石・スフェーン・白雲母・曹長石・灰長石・カリ長石・石英）をノルム鉱物に選定した。次に、各鉱物の存在量を変数として、これらに各鉱物の化学組成を掛けて積算することにより、混合モデルを計算した。そして、泥岩の化学分析値と混合モデル計算結果の残差二乗の総和が最小となるような各ノルム鉱物の量比の最適解をエクセルのソルバーアドインを用いて計算した。緑泥石の Fe: Mg 比を、泥岩の全岩化学組成の Fe: Mg 比と等しくなるように設定した。宮下（1999）で分析された下川地域の泥質試料の全岩主成分組成を用いた計算では、泥岩のノルム組成は石英・曹長石・カリ長石の含有量の総和がおおむね 8 割を超え、相対的に白雲母が少ない（4–13 %）結果となった（Fig. 30）。また斜長石は灰長石成分に乏しく、曹長石～灰曹長石組成となる。このことから、当地域の泥岩の組成は、おおまかに石英-カリ長石-曹長石の 3 成分系に近似して考えることができる。

Fig. 31 には、Tuttle and Bowen（1958）による、石英-カリ長石-曹長石の三成分系のリキダス面の相図を示した。曹長石とカリ長石は、サブソリダス以下ではソルバスの関係にあり、中間の組成には不混和領域がある。そのため、端成分に近い組成の曹長石とカリ長石の 2 相が共存する。ソルバスが閉じる温度より高温では、両成分は互いに連続的に固溶するため、サニディンのような中間組成のアルカリ長石 1 相となる。

およそ 0.5 GPa より高压では、ソルバスが閉じる頂点の温度よりもソリダスの温度が低くな

る。そのため、ソリダスで融解が始まりメルトが生じる際には、まだ曹長石とカリ長石の 2 相が共存することになる。この場合は、2 成分 3 相で自由度がゼロになるため、融解の初期には不変点（共融点）上でメルトが生じることになる。一方、より低圧化では、ソルバスの頂点よりソリダスのほうが高温になる。その結果、ソリダス上ではアルカリ長石 1 相が融解するため、自由度は 1 となり、共融点とはならない。融解初期には、リキダスの最低温度点の組成のメルトが生じることになる。

石英-曹長石-カリ長石の 3 成分系では、固溶体をつくらない石英-曹長石間と石英-正長石間は共融関係になるため、3 本の共融線が 3 相共融点で交わる。この場合、部分融解初期のメルトはこの共融点の組成（Fig. 31 の黒丸）になる。低圧下では曹長石とカリ長石の成分は 1 相のアルカリ長石として完全固溶するため、相図上では石英-アルカリ長石の共融線の 1 本だけが現れる。部分融解初期のメルトは、この共融線上の最低温度点（Fig. 31 の白丸）の組成を持つことになる。

以上のような相平衡関係の変化に加えて、リキダス面上の各鉱物の安定領域が圧力とともに変化する。全般に、圧力の低下とともに曹長石またはアルカリ長石の領域が広がり、石英の領域が縮小する。そのため、高圧化で曹長石組成により近い組成にあった共融点は、圧力低下と共に共有線上の最低温度点に性質を変えるとともに、曹長石の頂点から離れるようにシフトする。0.1–0.05 GPa では、最低温度点の位置は石英、曹長石、カリ長石の各成分をほぼ等量含む組成になる。

以上を踏まえて、石英-カリ長石-曹長石の 3 成分系のリキダス面の相図（Fig. 31）上で、下川地域の泥がドレライトマグマに取り込まれて融解する場合を考えてみる。泥岩中の水によって泥のソリダスが周囲のマグマの温度にまで下がれば、部分融解がおこる。この時生じるメルトは、石英-曹長石-カリ長石の 3 相共融点（Fig. 31）または、石英-アルカリ長石の最低温度からメルトが生じると考えられる。Tuttle and Bowen (1958) によれば 0.03 GPa における共融線上の最低温度点は、およそ石英 34 %、曹長石 35 %、カリ長石 31 %の組成と推定されるため、花崗岩質メルトが生じると考えられる。なお、泥岩中の 3 つの成分比はこの最低温度点の組成に近いので、ほぼこの組成のまま全融解する可能性もある。

ところが実際に観察される長石脈はほとんど石英を含まないモンゾニ岩であるために、上記のプロセスだけでは長石脈メルトにはならない。ただし、長石脈のモンゾニ岩のカリ長石と曹長石の含有比は、推定される共融点（Fig. 32）組成の花崗岩メルトのカリ長石と曹長石の含有比に近い。そこで、生じた花崗岩メルトのカリ長石と曹長石の比を一定に保ったままシリカの

みが奪われる過程を考察する。

今、ドレライトマグマ中に取り込まれた泥岩が部分融解して花崗岩質メルトが生じた状況を考える。周囲の玄武岩は MORB であり、これは石英に不飽和なかんらん石ソレイトの一種である。そのため、花崗岩メルトが生じた矢先から、メルト中の過剰なシリカが玄武岩質マグマに奪われる可能性が考えられる。

花崗岩質メルトからシリカが減少する過程を Fo-SiO₂ 系の 1 気圧下での相平衡図 (Fig. 33) で詳細に考える。なお、示した相図は単純系であるが、実際は多成分系であることから、この相図で示される温度よりも低い温度でプロセスが進行すると考えられる。ドレライトの組成はノルムから Fo と En の割合が 42:58 であったことから、Fo-SiO₂ 成分系の 1 気圧下での相平衡図において Fo と En のおおよそ中間にプロットされる (Fig. 33 の緑色の破線)。ドレライトは石英に不飽和なかんらん石ソレイトの位置にプロットされる。5 つの長石脈の全岩主成分組成から算出した CIPW ノルムは、ハイパーシン (Hy) と石英 (Qtz) の相対比にして 87:13, 84:16, 74:26, 65:35, 62:38 であった。ここでは EDS 面分析で測定した全岩組成に基づく中で最も Hy が多い Hy:Qtz=84:16 の値をモンゾニ岩質メルトの組成の代表値として用いることとする。Fo-SiO₂ 系では En と SiO₂ の間の、En 寄りの組成にプロットされる (Fig. 33 の青色の破線)。

泥が部分融解して生じる花崗岩質メルトは、Fo-SiO₂ 系の相図では、シリカ鉱物とメルトが共存するリキダス線上に想定される。シリカ鉱物が全て融解した場合には、メルト 1 相の領域内の任意の組成であると考えられる。いずれにせよ、想定されるメルトは、1 気圧の Fo-SiO₂ 成分系の 2 成分系では約 1700 °C にある共融点より高温となり、SiO₂ 含有量を 95% 以上含む組成となる (Fig. 33 の c 点)。

花崗岩質マグマはドレライトマグマよりも圧倒的に量が少ないため、ドレライトマグマに多くのシリカ分が奪われると予想される。SiO₂ に富むマグマが、SiO₂ に乏しい組成となり (Fig. 33 の d 点)。これは曹長石成分やカリ長石成分を含む系では花崗岩質マグマからモンゾニ岩質への変化に相当する。この時に、圧倒的に量が多いドレライトマグマの組成はわずかに SiO₂ 含有量が増えるにとどまると推定される (Fig. 33 の e 点)。この時に、マグマ中にかんらん石の斑晶があれば、かんらん石の一部が獲得したシリカと反応して再溶解すると推定される。

以上をまとめると、ドレライトマグマ中に取り込まれた泥岩が部分融解すると、まず花崗岩質メルトが生じ、これが周囲のドレライトマグマと反応してシリカを奪われ、モンゾニ岩質メルトに変質する。同時にドレライトマグマの残液にはシリカ分が少量加わる。モンゾニ岩質メルトがさらにドレライトと混合することによって、SiO₂ 以外の成分もドレライトに付加される

可能性も考えられる。

以上の相図を用いた検討から、石英に不飽和なメルト中では花崗岩質メルトがモンゾニ岩質メルトに変化するというプロセスは現実的に起こりうると考えられ、長石脈の成因の説明が可能である。このプロセスはまだ直接の証拠に基づかない仮説の段階であるが、現時点では最良の解釈だと思われる。今後、この仮説の可否を示す産状が発見されることが望まれる。

また、上記のプロセスの中で、ドレライトマグマの組成変化には2種類のプロセスが想定される。1 つめはドレライトマグマと花崗岩質メルトの反応である。ドレライトマグマには SiO_2 が加わるが、Th, U, Zr, Hf および HREE はシリカとは連動せずにモンゾニ岩質メルト側に留まる可能性が高い。モンゾニ岩質メルトは揮発性成分に飽和し発泡していたと考えられるので、 Na_2O と K_2O は揮発性成分とともにマグマに付加された可能性が考えられる。このプロセスでは、ドレライトの残液に SiO_2 と Na_2O , K_2O と Rb を付加させることはできるが、流体では動きにくい Th, U, Zr, Hf および HREE の挙動を説明するのは難しいかもしれない。このことから、このプロセスはタイプ1の一部の粒間メルトのうち SiO_2 とアルカリ元素に富むものの成因として有望である。2 つめの組成改変プロセスは、ドレライトマグマとモンゾニ岩質メルトが混合する作用である。この過程であれば、ドレライトマグマに SiO_2 と Na_2O , K_2O だけでなく、Th, U, Zr, Hf および HREE なども付加できる。したがって、このプロセスがタイプ2粒間メルトを形成したのではないかと考えられる。

7. 下川地域の組成改変モデルのマグマプロセス理解への貢献

本研究の目的は(1)長石脈の成因の解明、および(2)揮発性成分がマグマに付加した過程の解明に要約される。これらの解明により、浅所で貫入したマグマが固結する過程での組成変化の知見を得ることで、マグマの多様性の要因に貢献できると考えられる。また、全岩化学組成の変化から揮発性成分量の二次変化を検討する新しいアプローチを提示することにも意義があると考えられる。

(1) 下川オフィオライトの組成改変モデルのマグマプロセス理解への貢献

マグマの結晶分化作用・マグマの同化作用(混成作用)・マグマの同化分別結晶作用(AFC)・マグマ混合のプロセスは地球深部で生じることが多い。一方で、マグマが浅所で、貫入してから固結する過程で、あまり組成が改変されないと考えられている。北海道の下川オフィオライ

トの火成岩体では浅所で組成変化が生じたと考えられる限られた事例を見ることができる。枕状溶岩がほとんど発泡痕を含まず、ドレライト岩床の接触急冷縁が無発泡であることから、貫入後に揮発性成分が増加するという組成変化がおこったと考えられる。また、発泡痕に富むドレライトは特定の元素 Rb と K_2O , Na_2O に富む傾向があることから、これらの元素は揮発性成分と一緒に付け加わったと考えられる。このことは全岩化学組成の変化から揮発性成分量の二次的変化を検討する新しいアプローチを提示する可能性を示した。

また、この多様な火成岩を形成するプロセスは地球深部で生じることが多いため、その現象を直接見ることはできない。また規模が大きいため、地殻の断面が良く観察されるとされる岩体においても、露頭においては一部しか観察することができない。火山岩の場合は多様な火成岩を形成するプロセスに関する議論は、溶け残り岩からのアプローチに限られる。しかし、下川オフィオライトにおいては、数 10 m のコンパクトな範囲内に、マグマと部分融解したと考えられるものが同時に存在している。溶け残りの花崗岩質メルトは見つかっていないが、溶けたもの（泥岩）と溶かしたもの（ドレライトマグマ）と生成物（長石脈とタイプ 2 粒間メルトと一部のタイプ 1 粒間メルト）がドレライト岩床の中に同時に存在していると考えられる。本研究により堆積物が融解し形成された花崗岩質メルトのシリカ分がドレライトマグマに奪われ、新たにモンゾニ岩質メルトが生じたと考えられること。さらに別の反応も生じており、モンゾニ岩質メルトもドレライトと反応し、 SiO_2 , K_2O , Na_2O , HREE が付加されたと考えられる。浅所における堆積物とマグマの両面から見た同化作用の過程を扱った本事例研究は、多様な火成岩を形成するプロセスの一例の理解につながるものと考えられる。

(2) 下川オフィオライトにおける発泡の要因に関する新たな知見

下川オフィオライトにおける発泡の要因については、宮下（1999）ではマグマが未固結堆積物中へ貫入することにより、堆積層の脱水と有機炭化物が分解して、マグマに CO_2 を含んだ熱水流体が付加されマグマが発泡したと考えられていた。本研究では発泡痕に富むドレライト中に長石脈を発見し、長石脈とともに揮発性成分がマグマにもたらされた可能性を新たに提示した。長石脈が気泡を含み、等粒状組織を持ち、複数種の鉱物からなることから、熱水の痕跡であるとは考えにくく、何らかのメルト起源である可能性が高いと考えられる。微量元素組成からは長石脈はドレライトマグマの外に起源をもつ可能性が高い。そのためドレライト中に泥が持ち込まれ部分融解しうるかを検討したところ、部分融解で生じた花崗岩質メルトはドレライトマグマと反応してモンゾニ岩組成の長石脈を形成しうるとの説明が可能である。下川オフィ

オライトの発泡の要因として、泥のゼノリスとともに水と CO₂ がマグマに持ち込まれ、ドレライトマグマ中で発泡した可能性があると考えられることを新たに提示した。

(3) 揮発性成分と全岩化学組成の相関

鈴木 (2016) によると、噴火時のマグマプロセスを噴出物組織から探る手法については、マグマ溜まりからの上昇開始以降の情報を、石基の結晶・気泡組織や鉱物・ガラスの組成から読み取ろうとするものである。火山地質学が解析対象とする地表における溶岩・火砕物の定置過程は、火道でのマグマ上昇によって誘発される諸現象（発泡・結晶化・脱ガス）と、それに伴うマグマの物性変化によって左右されるものである。火山地質学的解析の行われた噴火について、マグマダイナミックスの物質科学的研究を合わせて行えば、定置過程の理解が深まる可能性がある（鈴木, 2008）。マグマダイナミックスの研究は、上記現象（発泡・結晶化・脱ガス）の素過程に関する理論・実験的研究と、実際の噴出物の解析（事例研究）が両輪となって進んでいる。

深海底に噴出している MORB においても、まれに発泡痕に富む玄武岩が報告されている。Bryan and Moore (1997) は K₂O 含有量と発泡度とは正の相関があると提案しているが、揮発性成分と化学組成を同時に扱った事例は少ない。本研究において、発泡痕に富むドレライトは K₂O, Na₂O, Rb に富む傾向があると考えられる。K₂O, Na₂O, Rb と揮発性成分は、連動して動く可能性があることを新たに提案した。この事例研究は、マグマが浅所に噴出・貫入してから、揮発性成分と化学組成の二次的変質が連動して生じる事例を扱う手法の提案につながると考えられる。玄武岩質マグマの発泡の要因を考える上で、特定の組成の変化も指標になりうる可能性を提案した。

(4) ドレライトマグマの組成改変プロセス

中山 (2022) は下川オフィオライトのドレライト類について、全岩化学組成に基づいて二次的な組成改変を論じた。枯渇した MORB 類似マグマは泥質堆積物の汚染を受けたドレライトであることを提案した。本研究では、堆積物が融解し形成された花崗岩質メルトのシリカ分がドレライトマグマに奪われ、新たにモンゾニ岩質メルトが生じたと考えられる。さらに別の反応も生じており、モンゾニ岩質メルトもドレライトと混合し、ドレライトマグマに SiO₂, K₂O, Na₂O, Th, U, Zr, Hf および HREE が付加されたと考えられる。MORB 類似マグマ中に堆積物が持ち込まれると、2 段階の反応が生じ、マグマの二次的な組成改変がおこる可能性を新たに

提示した。

現世の拡大軸沈み込み帯であるソロモン諸島 Woodlark 海盆, チリ沖三重点, アラスカ Prince William Sound オフィオライトでは, 海洋性玄武岩マグマが前弧海盆堆積物や基盤の変成岩により汚染され, 組成変化することが知られている。その組成改変の場として海嶺沈み込み, 埋積海嶺頂部および大陸-海洋漸移帯が考えられている (Pearce, 2008)。よって下川オフィオライトのドレライト類の二次的な組成改変の事例研究は, 堆積物によるマグマの二次的な組成改変の具体的な過程の理解の貢献につながるものと考えられる。

(5) 浅所貫入岩体の組成改変

マグマの組成改変プロセスについては, 地殻深部の研究事例が多い。例えば, 末武 (1997) は, 酸性マグマが塩基性岩を同化することによってカルクアルカリ質な閃緑岩類に変化したことを示した。本研究では未固結堆積物が堆積する浅所でのマグマの組成改変がおりうる可能性を新たに提示した。

(6) 泥のゼノリスの部分融解による粗面岩の形成プロセス

小林・沢田 (1998) では島根県隠岐島後における粗面岩マグマの成因については, ショショナイトマグマからの結晶分化作用, あるいは地殻物質や固結したショショナイトの部分融解であると提案している。また, このような火成活動を引き起こしたのはマントル・ダイヤモンドの上昇によって全体的に地温が上昇し, そこに塩基性マグマが侵入して地殻が部分融解した可能性が大きいと考えられている。また, 倉沢ほか (1986) は, 霧島火山においてマグマの分化に伴い同位体比が高くなることを示し, マグマだまりでのマグマの結晶分化作用に重なる壁岩との同化作用との複合過程で説明できると提案した。このように同化作用の研究事例はマグマと壁岩の部分融解についての数多くの検討がある。本研究では, マグマに持ち込まれた泥岩のゼノリスによる部分融解によって生じた花崗岩質メルトから, シリカ分がドレライトマグマに奪われることでモンゾニ岩 (粗面岩) が形成される可能性を新たに提示した。

8. まとめ

1. 未固結の堆積物がマグマに取り込まれ, 堆積物が融解し花崗岩質メルトを形成する。花崗岩質メルトがドレライトマグマと反応し, SiO_2 成分を失い, モンゾニ岩質メルトに変化する。

る。一部でドレライトマグマ残液とモンゾニ岩質メルトが混合し、ドレライトマグマの組成改変する。この過程で堆積物とともに取り込まれた揮発性成分が発泡し、発泡痕に富むドレライトを形成した可能性がある (Fig. 34)。

2. これらの浅所でのプロセスが、貫入岩体内の化学組成を不均質にしたと考えられる。

9. 謝辞

植田勇人博士には日頃から議論いただき、野外調査、薄片観察、分析、議論のまとめをはじめとし研究全般においてご指導ご鞭撻いただいた。新潟大学の高澤栄一博士、藤林紀枝博士、高橋俊郎博士、サティッシュ・クマール博士、豊島剛志博士には、日頃から議論していただいた。分析機器の使用が制限される中で新潟大学の LA-ICP-MS を使用させていただいた。元新潟大学の宮下純夫博士には研究テーマを与えていただき、日頃から議論いただき、卒業研究以来ご指導ご鞭撻いただいた。野外調査、化学分析および発泡痕・結晶組織計測では元新潟大学の足立佳子博士、草野有紀博士にご指導いただいた。北海道士質試験協同組合の岡村聡博士には SEM および XRF を使用させていただき、日頃から議論していただいた。古川祐希氏には貴重な試料を採取していただき、井上倫瑠氏にも野外調査に同行いただいた。宮下研究室、植田研究室、オフィオライトマントルセミナー、岩石セミナーの皆様には貴重なご助言をいただいた。Abstract の英文の一部は様似町役場のデボナ・リン・ラーゼン氏に添削いただいた。野外調査では北海道開発局岩尾内ダム管理支所の職員の皆様、士別市立博物館、岩尾内ダムキャンプ場元管理人の山崎和子氏にお世話になった。また本研究の一部は、公益財団法人深田地質研究所「令和 2 年度深田野外調査助成」の支援を受けて行った。3 名の匿名査読者、1 名の匿名編集担当、編集委員の北海道大学の栗谷豪博士および編集委員長の富山大学の大藤茂博士のコメントと編集は、投稿論文の改善に非常に有益であった。家族と同級生、様似町役場とその関係者には公私ともに支えていただいた。以上の方々に厚く感謝します。

10. 引用文献

- Bamba, T., 1985, Implication of the composite mineralization on the massive sulfide deposits of the Shimokawa Mine. *Jour. Fac. Sci., Hokkaido Univ.*, Ser. **IV**, **21**, 363-404.
- Beier, C., Haase, K. M., Abouchami, W., Krienitz, M. S., & Hauff, F. 2008, Magma genesis by rifting of oceanic lithosphere above anomalous mantle: Terceira Rift, Azores. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, **9**(12).
- Blank, J. G., Delaney, J. R. and Des Marais, D. J., 1993, The concentration and isotopic composition of carbon in basaltic glasses from the Juan de Fuca Ridge, Pacific Ocean. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **57**, 875-887.
- Bougault, H., Dmitriev, L., Schilling, J. G., Sobolev, A., Joron, J. L. and Needham, H. D., 1988, Mantle heterogeneity from trace elements: MAR triple junction near 14°N. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **88**, 27-36.
- Bryan, W. B. and Moore, J. G., 1977, Compositional variations of young basalts in the Mid-Atlantic Ridge Rift Valley near lat 36° 49' N. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **88**, 556-570.
- Busby-Spera, C. J. and White, J. D. L., 1987, Variation in peperite textures associated with differing host-sediment properties. *Bull. Volcanol.*, **49**, 765-775.
- Dick, H. J. B., 1980, Vesicularity of Shikoku basin basalt: A possible correlation with the anomalous depth of back-arc basins. *Initial Rep. of the Deep Sea Drilling Project.*, **58**, 895-904.
- Dixon, S. and Rutherford, M. J., 1979, Plagiogranites as late-stage immiscible liquids in ophiolite and mid-ocean ridge suites: an experimental study. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **45**(1), 45-60.
- Dosso, L., Hanan, B. B., Bougault, H., Schilling, J. G. and Joron, J. L., 1991, Sr-Nd-Pb geochemical morphology between 10° and 17°N on the Mid-Atlantic Ridge: a new MORB isotope signature. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **106**, 29-43.
- Fisher RV, Schmincke H-U, 1984, *Pyroclastic rocks*. Springer, Berlin Heidelberg New York, 1-472.
- Fujimaki, H., Tatsumoto, M., & Aoki, K. I., 1984, Partition coefficients of Hf, Zr, and REE between phenocrysts and groundmasses. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **89**(S02), B662-B6.

- Hekinian, R., Chaigneau, M. and Cheminee, J. L., 1973, Popping rocks and lava tubes from the Mid-Atlantic Rift valley at 36N°, *Nature*, **245**, 371-373.
- Hibbard, M.J., 1995, *Petrography to Petrogenesis*. Prentice Hall, New Jersey, 608p.
- 今中里華子・宮下純夫, 1999, 海嶺玄武岩と未固結堆積岩との相互反応-日高帯トムラウシ緑色岩体における例-. 地質学論集, **52**, 125-137. [Imanaka, R. and Miyashita, S., 1999, Interaction between mid-oceanic ridge basalts and soft-sediments: An example of the Tomuraushi complex, Hidaka Belt, central Hokkaido. *Mem. Geol. Soc. Japan*, **52**, 125-137.]
- Javoy, M. and Pineau, F., 1991, The volatiles record of a “popping” rock from the Mid-Atlantic Ridge at 14°N: chemical and isotopic composition of gas trapped in the vesicles. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **107**, 598-611.
- 川端清司・君波和雄, 1999, 奄美大島の四万十帯名瀬層中の現地性玄武岩-玄武岩の産状と珪化頁岩の化学組成-. 地質学論集, **52**, 139-150. [Kawabata, K., Kiminami, K., 1999, In-situ basalt from the Naze Formation in the Cretaceous Shimanto Belt, Amami-Oshima Island, Japan: Occurrence of basalt and geochemistry of silicified shale. *Mem. Geol. Soc. Japan*, **52**, 139-150.]
- 川野良伸・渡辺直喜・山本和広・周藤賢治, 1992, 蛍光 X 線分析装置による珪酸塩岩中の Ba, Co, Cr, V の定量分析. 新潟大理学地鉱研究報告, **7**, 111-115. [Kawano, Y., Watanabe, N., Yamamoto, K., Shuto, K., 1992, Ba, Co, Cr, V element quantitative analysis of silicate rocks using X-ray fluorescence spectrometer. *Sci. Rep. Niigata Univ.*, Ser. E, **7**, 111-115.]*
- Kawabata, H., Hanyu, T., Chang, Q., Kimura, J. I., Nichols, A. R., & Tatsumi, Y. 2011, The petrology and geochemistry of St. Helena alkali basalts: evaluation of the oceanic crust-recycling model for HIMU OIB. *Journal of Petrology*, **52**(4), 791-838.
- Kiminami, K., Miyashita, S. and Kawabata, K., 1994, Ridge collision and in-site greenstones in accretionary complexes. An example from the Late Cretaceous Ryukyu Islands and southwest Japan margin. *Island Arc*, **3**, 103-111.

- 君波和雄・紀藤典夫・田近 淳, 1985, 北海道の中生界-層序・年代とその意義-. 地球科学, **39(1)**, 1-17. [Kiminami, K., Kito, N. and Tajika, J., 1985, Mesozoic Group in Hokkaido-Stratigraphy and Age and their Significance. *Earth Sci. (Chikyu Kagaku)*, **39(1)**, 1-17.]
- 木村 学, 1985, 白亜紀北海道の沈み込み様式. 科学, 岩波書店, **55**, 24-31. [Kimura, G., 1985, *Cretaceous subduction system of Hokkaido*. Kagaku, Iwanami Shoten, **55**, 24-31.]*
- 倉沢 一・藤縄明彦, 1986, ひとつの火山に共存するカルク・アルカリおよびソレイト質岩系マグマ: スロンチウム同位体比による検討. 地質学雑誌, **92(4)**, 255-268.
- 小林伸治・沢田順弘, 1998, 隠岐島後における末期中新世隠岐アルカリ火山岩類の成因. 岩鉱, **93(5)**, 162-181.
- Kokelaar, B. P., 1982, Fluidization of wet sediments during the emplacement and cooling of various igneous bodies. *Jour. Geol. Soc. London*, **139**, 21-33.
- 小屋口剛博, 1986, 苦鉄質マグマと珪長質マグマの混合機構: 不均質なマグマの成因. 火山. 第2集, **30**, S41-S54.
- Le Bas, M. J. and Streckeisen, A. L., 1991 The IUGS systematics of igneous rocks. *Jour. Geol. Soc. London*, **148**, 825-833.
- 松原典孝・天野一男, 2010, 南部フォッサマグナ丹沢山地における中新世ペペライトの産状と形成過程. 地質学雑誌, **116(3)**, 134-150.
- 松尾重明・宮下純夫, 1994, 四万十帯-日高帯の in situ 緑色岩の岩石学. 月刊地球, **16**, 445-449. [Matsuo, S. and Miyashita, S., 1994, Petrology of the in-site green stone rocks from the Shimanto belt-Hidaka belt. *Chikyu Monthly*, **16**, 445-449.]*
- 鞠子 正・望月高明・堀井正治, 1982, 下川鉱床付近の日高系堆積岩類および枕状熔岩の地層逆転. 鉱山地質, **32**, 67-72. [Mariko, T., Mochizuki, T. and Horii, M., 1982, Overturn of sediments and pillow lavas of the Hidaka Series around the Shimokawa ore deposits, Hokkaido. *Mining Geol.*, **32**, 67-72.]
- Mariko, T., 1984, Sub-sea hydrothermal alteration of basalt, diabase and sedimentary rocks in the Shimokawa copper mining area, Hokkaido, Japan. *Mining Geol.*, **34**, 307-321.

- Miyashita, S. and Katsushima, T., 1986, The Tomuraushi greenstone complex of the central Hidaka zone: contemporaneous occurrence of abyssal tholeiite and terrigenous sediments. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **92**, 535-557.
- Miyashita, S. and Watanabe, Y., 1988, Genetic environments of the greenstones in the Hidaka zone, Hokkaido, with special reference to the metallogeny of massive sulfide, and bedded iron and manganese ores. *Mining Geol. Spec. Issue*, **12**, 93-104.
- Miyashita, S. and Yoshida, A., 1994, Geology and petrology of the Shimokawa ophiolite (Hokkaido, Japan): ophiolite possibly generated near R-T-T triple junction. In Ishiwatari, A. et al., (eds), *Circum-Pacific Ophiolites Proceedings of the 29th IGC Ophiolite Symposium*, Part D, 163-182.
- Miyashita, S., Tsuchiya, N., Ikeda, Y. and Sakamoto, I., 1995, Petrology of the Okushiri Ridge Basalts in the Japan sea basin: arc-and plume-type magma series. *Mem. Geol. Soc. Japan*, **44**, 1-21.
- 宮下純夫・新井孝志・長橋 徹, 1997b, 日高帯の緑色岩の意義：海嶺の多重衝突. 地質学論集, **47**, 307-323. [Miyashita, S., Arai, T. and Nagahashi, T. 1997b, Significance of greenstones in the Hidaka belt, Hokkaido: Evidence for polycollision of ocean ridges. *Mem. Geol. Soc. Japan*, **47**, 307-323.]
- 宮下純夫, 1999, 日高帯現地性緑色岩 (N-MORB) における異常な発泡現象の成因 .地質学論集, **52**, 151-164. [Miyashita, S., 1999, Origin of high vesicularity in some massive basalts with N-MORB signatures from the Hidaka belt, Hokkaido. *Mem. Geol. Soc. Japan*, **52**, 151-164.]
- Moore, J. G., 1965, Petrology of deep sea basalt near Hawaii. *Amer. Jour. Sci.*, **263**, 40-52.
- Moore, J. G., 1970, Water content of basalt erupted on the ocean floor. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **28**, 272-279.
- Moore, J. G. and Schilling, J. G., 1973, Vesicles, water, and sulfur in Reykjanes Ridge basalts. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **41**, 105-118.
- Moore, J. G., 1979, Vesicularity and CO₂ in mid-ocean ridge basalt. *Nature*, **282**, 250-253.
- 中川 充, 2010, 日高帯の付加体. 日本地質学会編, 日本地方地質誌 1, 北海道地方, 朝倉書店, 54p. [Nakagawa, M., 2010, Accretionary complex in Hokkaido. In Geological Society of Japan ed., *Regional Geology of Japan, Vol. 1 Hokkaido Region*, Asakura Publ., 54p.]*

- 中山 健, 1988, 下川緑色岩類の起源. 月刊海洋科学, **20**, 245-251. [Nakayama, K., 1988, Origin of the Shimokawa green rock complex, *Mar. Sci. Monthly*, **20**, 245-251.]*
- 中山 健, 川畑 博, 宮脇律郎, 藤永公一郎, 加藤泰浩, 2018, 未固結堆積物中のマグマ・フロント域における現象 -北海道下川岩体に見られる堆積物のアジノール化-. 日本地質学会第 125 回学術大会講演要旨, 386. [Nakayama, K., Kawabata, H., Miyawaki, R., Fujinaga, K. and Kato, Y., 2018, Geological features of wet sediments in the magma front area - Adinolization of sediments in the Shimokawa body, Hokkaido -. *125th Annu. Meet. Geol. Soc. Japan, Abstr.*, 386.]
- 中山 健, 中村謙太郎, 藤永公一郎, 高谷雄太郎, 原口悟, 永石一弥, 川合達也, 石川剛志, 加藤泰浩. 2022, 北海道北部日高帯の泥質岩を母岩とする下川含銅硫化鉄鉱床の成因. 資源地質, **72**(1), 21-55. [Nakayama, K., Nakamura, K., Fujinaga, K., Takaya, Y., Haraguchi, S., Nagaishi, K., Kawai, T., Ishikawa, T. and Kato, Y., 2022, Genesis of the argillite-hosted cupriferous iron sulfide deposits of the Shimokawa mine in the Hidaka Belt, northern Hokkaido, Japan. *Resour. Geol.* **72**(1), 21-55.]
- Nanayama, F., Tajika, J., Yamasaki, T., Kurita, H., Iwano, H., Danhara, T. and Hirata, T., 2021, The emplacement of in situ greenstones in the northern Hidaka belt: The tectonic relationship between subduction of the Izanagi–Pacific ridge and Hidaka magmatic activity. *Island Arc* **30**(1). DOI: 10.1111/iar.12403.
- 野崎達生・加藤泰浩・鈴木勝彦・高谷雄太郎・中山 健, 2011, 北海道下川および宮崎県檳峰別子型鉱床の Re - Os 年代 —Kula 海嶺沈み込み現象の追跡—. 資源地質学会第 61 回年会講演会講演要旨集, O-31, 60. [Nozaki, T., Kato, Y., Suzuki, K., Takaya, Y. and Nakayama, K., 2011, Re-Os ages of the Shimokawa and Makimine Besshi - type massive sulfide deposits: New age constraints for a timing of the Kula Ridge subduction into the paleo - Japanese Island. *Abstr. with Programs The 61th Ann. Meet. of the Soc. of Resource Geol.* **61**, O-31, 60.]
- 小山内康人, 1997, 日高帯地殻の形成とマグマ活動, 日高変成帯における地殻溶融と酸性マグマの形成. 地質学論集, **7**, 29-42.

- Pearce, J. A., 2008, Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust. *Lithos*, **100**(1-4), 14-48.
- Sarda, P. and Graham, D., 1990, Mid-ocean ridge popping rocks: implications for degassing at ridge crests. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **97**, 268-289.
- Shelley, D., 1992, *Igneous and Metamorphic Rocks Under the Micro-scope -Classification, Textures, Mirostructures and Mineral Pre-ferred Orientations*. Chapman & Hall, London, 445p
- 周藤賢治・小山内康人. 2002, 解析岩石学: 成因的岩石学へのガイド. 共立出版.
- Skilling, I. P., White, J. D. L. and McPhie, J., 2002, Peperite: a review of magma-sediment mingling. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, **114**, 1-17.
- Sisson, T. W. and Bacon, C. R., 1999, Gas-driven filter pressing in magmas. *Geology*, **27**(7), 613-616.
- Smith, R. E., 1967, Segregation vesicles in basaltic lava. *Amer. Jour. Sci.* **265**, 696-713.
- Staudacher, T., Sarda, P., Richardson, S. H., Allègre, C. J., Sagna, I. and Dmitriev, L. V., 1989, Noble gases in basalt glasses from a Mid-Atlantic Ridge topographic high at 14°N: geodynamic consequences. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **96**, 119-133.
- Streckeisen, A. 1974, Classification and nomenclature of plutonic rocks recommendations of the IUGS subcommission on the systematics of igneous rocks. *Geologische Rundschau*, **63**, 773-786.
- 末武晋一, 1997, 深成岩体中の不均質構造: 日高変成帯主体, トッタベツ複合深成岩体の例. 地質学論集, **47**, 57-74.
- Sun, S. S., and McDonough, W. F., 1989, Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geol. Soc, Spec Publ (London)*, **42**(1), 313-345.
- 鈴木由希, 2006, 結晶作用から見た噴火時のマグマ上昇: 最近の減圧実験による発展. 火山, **51**(6), 373-391.
- 高橋俊郎・周藤賢治, 1997, 蛍光 X 線分析装置 RIX3000 による, 珪酸塩岩石中の主成分元素および微量元素の定量分析. 理学電気ジャーナル, 28, 25-37. [Takahashi, T., Shuto, K., 1997, Major and trace element quantitative analysis of silicate rocks using X-ray fluorescence spectrometer RIX3000. *Rigaku-Denki Jour.*, **28**, 25-37.]*
- Tuttle, O. F., and Bowen, N. L., 1958, Origin of granite in the light of experimental studies in the system NaAlSi₃O₈-KAlSi₃O₈-SiO₂-H₂O. Vol. **74**, *Geological Society of America*.

- Ueda, H. and Miyashita, S., 2005, Tectonic accretion of a subducted intraoceanic remnant arc in Cretaceous Hokkaido, Japan, and implications for evolution of the Pacific northwest. *Island Arc*, **14**, 582-598.
- Ueda, H., 2016, Chapter 2g Hokkaido. In Moreno, T., Wallis, S., Kojima, T. and Gibbons, W., (Eds), *The Geology of Japan*, Geol. Soc. London, 201–221.
- 和田穰隆・藤田千夏・新正裕尚, 2007, 紀伊半島中央部, 中期中新世宮滝岩脈: 火道内でのマグマ・ミングリングとその意義. 地質学雑誌, **113**(7), 353-365.

*English translation from the original written in Japanese

1 1 . 図表

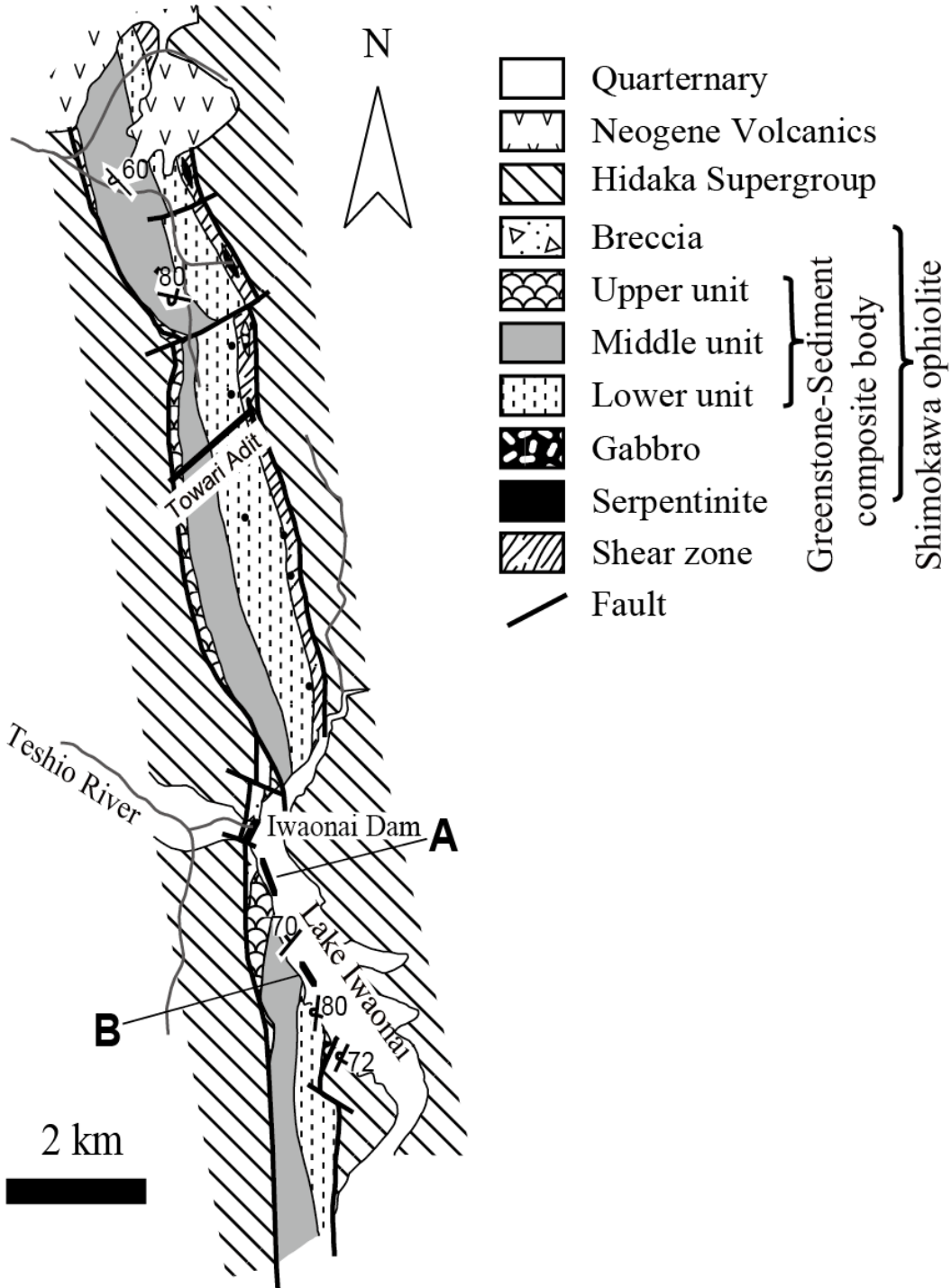


Fig. 1. 下川オフィオライトの地質図 (Miyashita and Watanabe, 1988). A と B は Fig. 4. で示しているルートマップの位置を示す



(A)



(B)

Fig. 2 (A) ドレライトと接する珪化した泥岩, (B) 枕状溶岩の枕間を泥岩が埋める産状

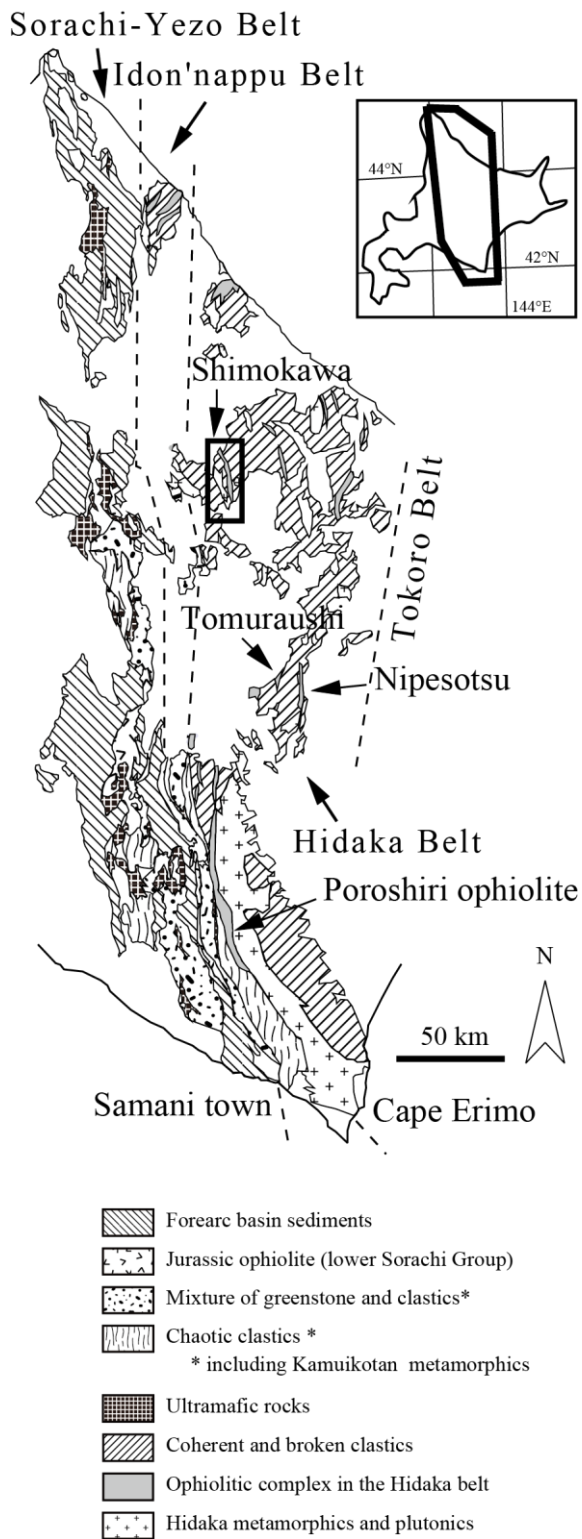


Fig. 3. 北海道中央部の地質図 (Ueda and Miyashita, 2005). 下川オフィオライトの位置を示す

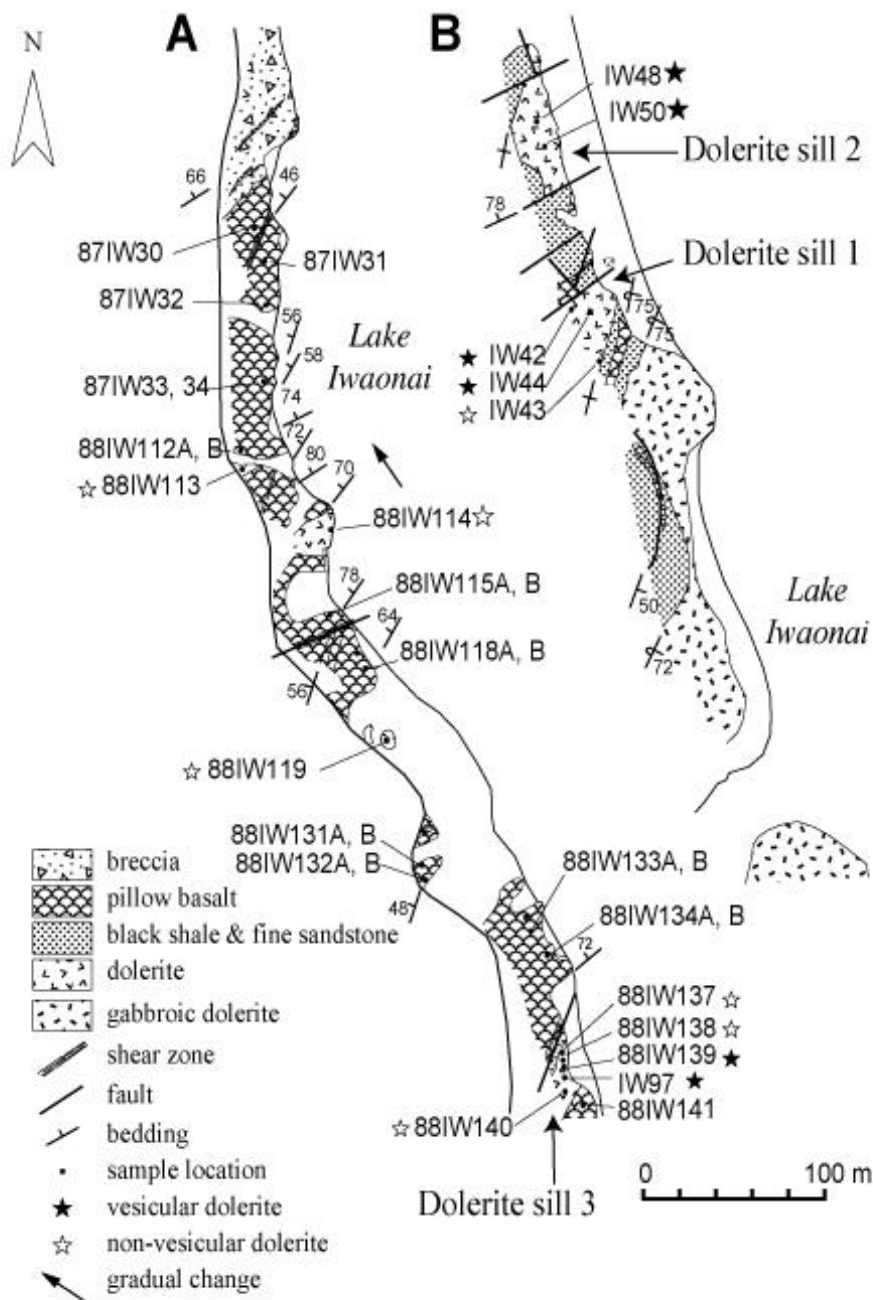
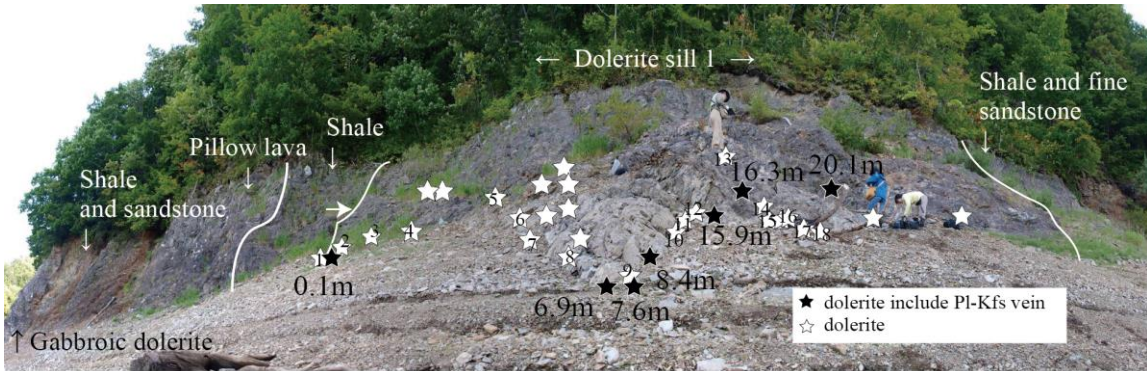


Fig. 4. 岩尾内ダム沿いの地質ルートマップ，発泡痕に富むドレライトの位置は黒色の星で示し，発泡痕に乏しいドレライトは白抜きの星で示した（Miyashita and Watanabe, 1988 を改変）



No.		No.		No.		No.		No.		No.	
1	0m	4	1.4m	7	4.6m	10	10.8m	13	16.2m	16	17.8m
2	0.45m	5	2.6m	8	5.6m	11	12.4m	14	16.9m	17	19.2m
3	0.8m	6	3.6m	9	7.1m	12	14.2m	15	17.7m	18	20m

Fig. 5. ドレライト岩床 1 の露頭写真。ドレライトレイヤーは泥岩と細粒砂岩に貫入している。矢印は堆積岩の珪化部分を示す。No. 1-18 は写真の試料採取位置に対応する。表は岩体下底からの距離（DFC）を示す

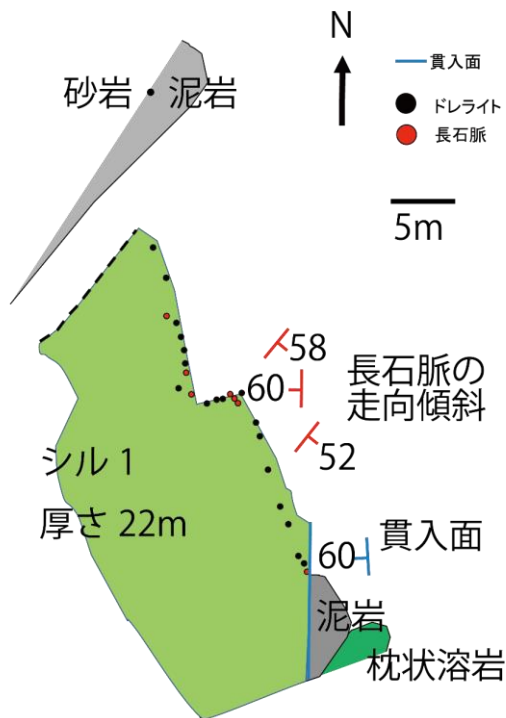


Fig. 6 ドレライト岩床 1 の周囲のルートマップ。黒丸と赤丸は試料採取場所を示し、赤丸は長石脈を含む試料である

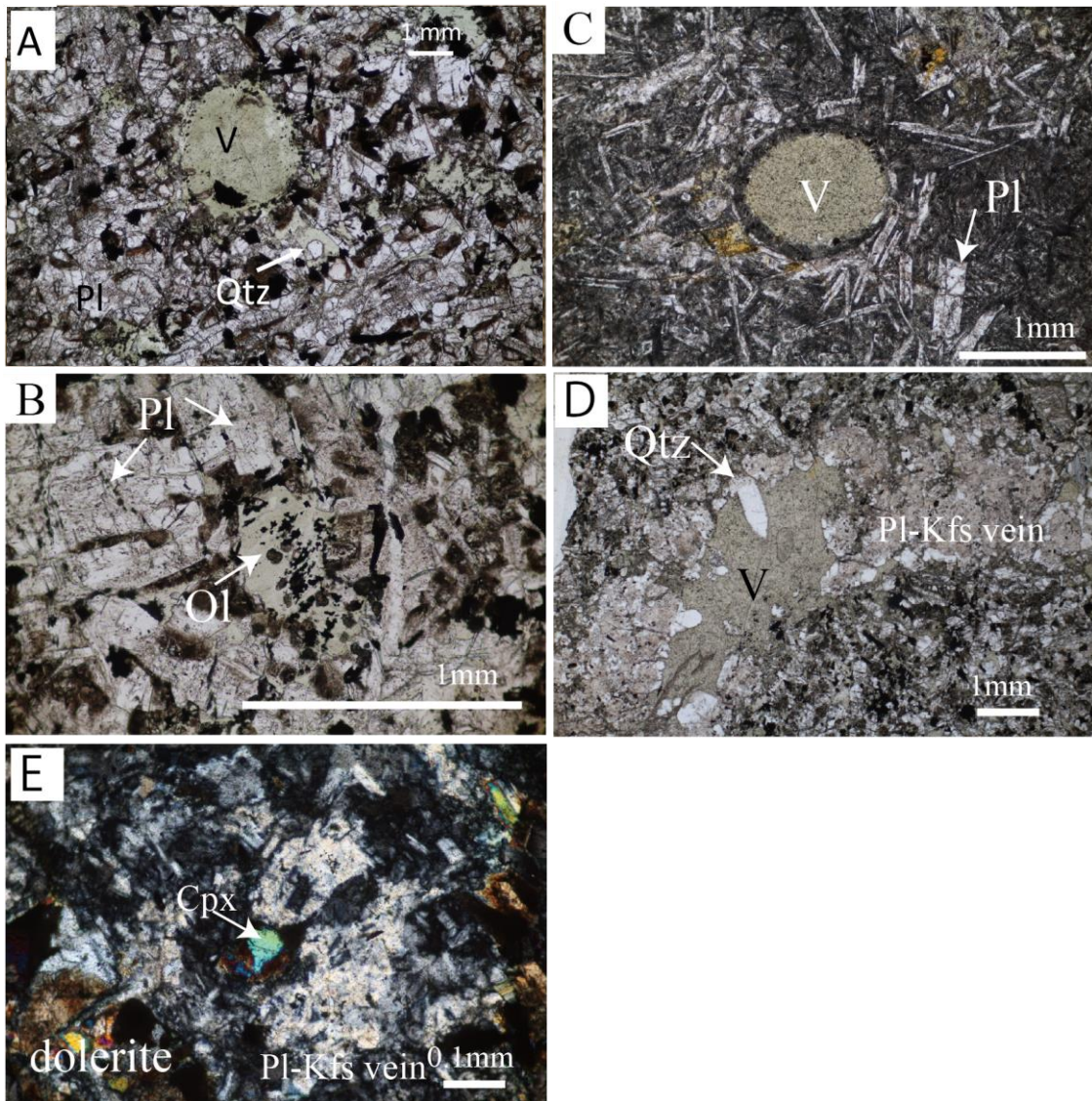


Fig. 7. 下川オフィオライトのドレライトと発泡痕を含むドレライトの薄片顕微鏡写真。
 A: ドレライト岩床1のDFC: 16.4 m, B: 緑泥石とマグネタイトに置換したかんらん石の仮晶 (ドレライト岩床1のDFC: 20 m), C: 発泡痕に富むドレライト (ドレライト岩床3の10IW16). いくつかの発泡痕はインターサタル組織を持つ細粒な石基状組織 (セグリゲーションベシクル) で埋められている. D: 長石脈中のアミグデュールに析出した石英 (ドレライト岩床1のDFC: 20.1 m). スケールバーは1 mm. E: 長石脈中の単斜輝石 (ドレライト岩床1のDFC: 16.4 m) V: 発泡痕, Qtz: 石英, Ol: かんらん石, Pl: 斜長石

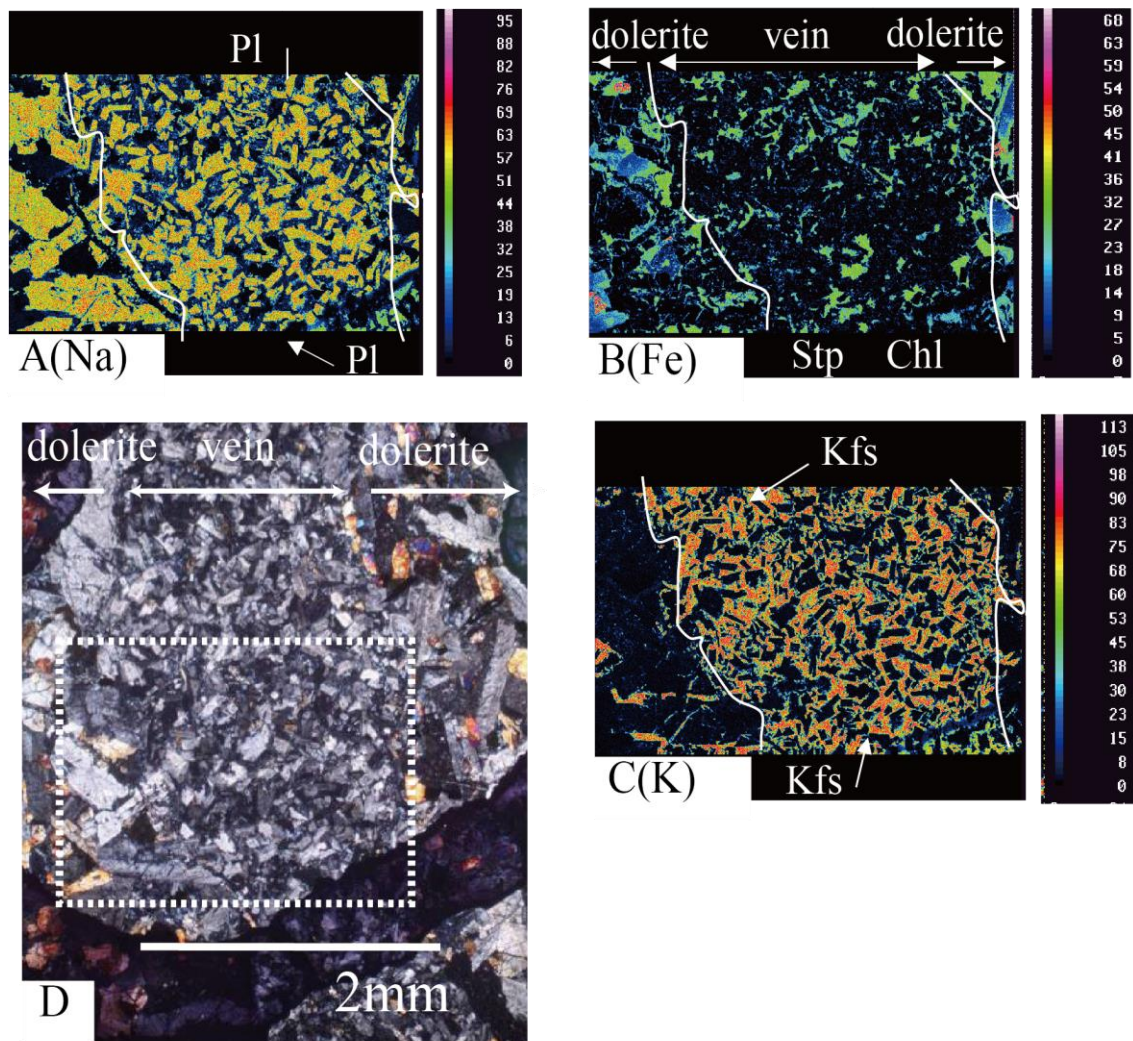


Fig. 8. ドレライト岩床 1 における斜長石-カリ長石脈の元素組成マップ (DFC : 8.4 m) (Na, Fe および K). 元素組成マップ範囲は 3 mm×1.8 mm (D). インターバルは 3 μm. 点線で囲んだ範囲を (A), (B), (C) の写真で示す. Pl: 斜長石, Kfs: カリ長石, Chl: 緑泥石, Stp: スチルプノメレン

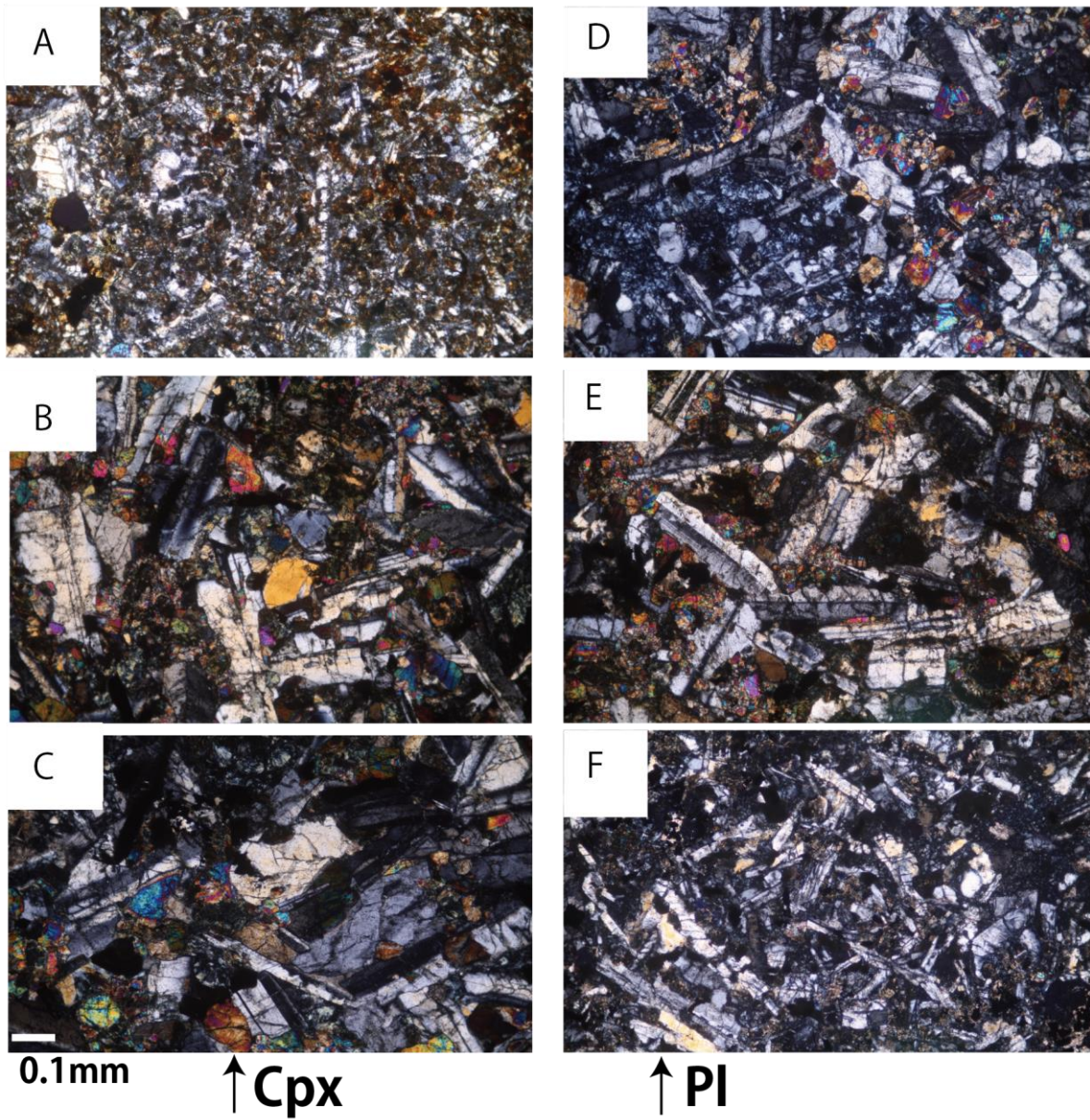


Fig. 9. ドレイイト岩床 1 における偏光顕微鏡写真. スケールバーはいずれの写真も共通で 0.1 mm. A は DFC : 0 m でハイアロオアロオフィティック組織を示す. B は DFC : 2.6 m, C は DFC : 10.8 m, D は DFC : 16.3 m, E は DFC : 19.2 m で, これらはインターサータル組織を示す. F は DFC : 20.1 m で少し細粒なインターサータル組織を示す

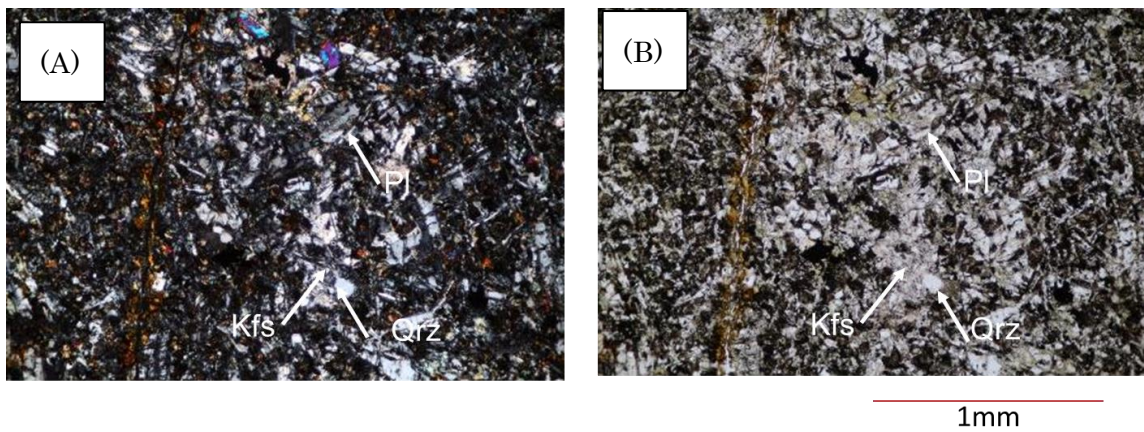


Fig.10 斜長石-カリ長石集合物の偏光顕微鏡写真. (A)がクロスニコル, (B)がオープンニコル. Pl: 斜長石, Kfs: カリ長石, Qrz: 石英

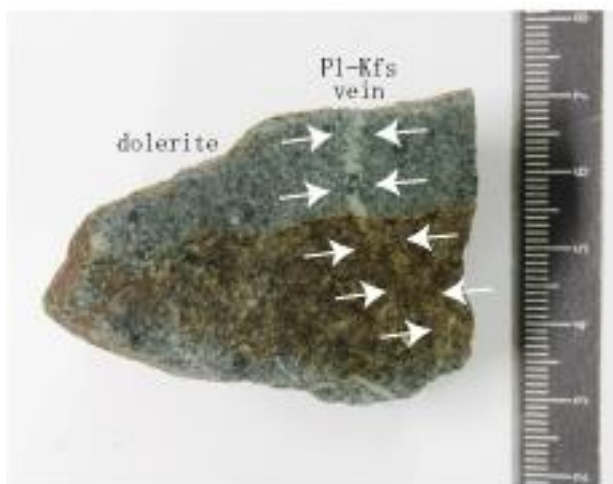


Fig. 11. 斜長石カリ長石脈の岩片研磨写真 (DFC : 7.6 m)

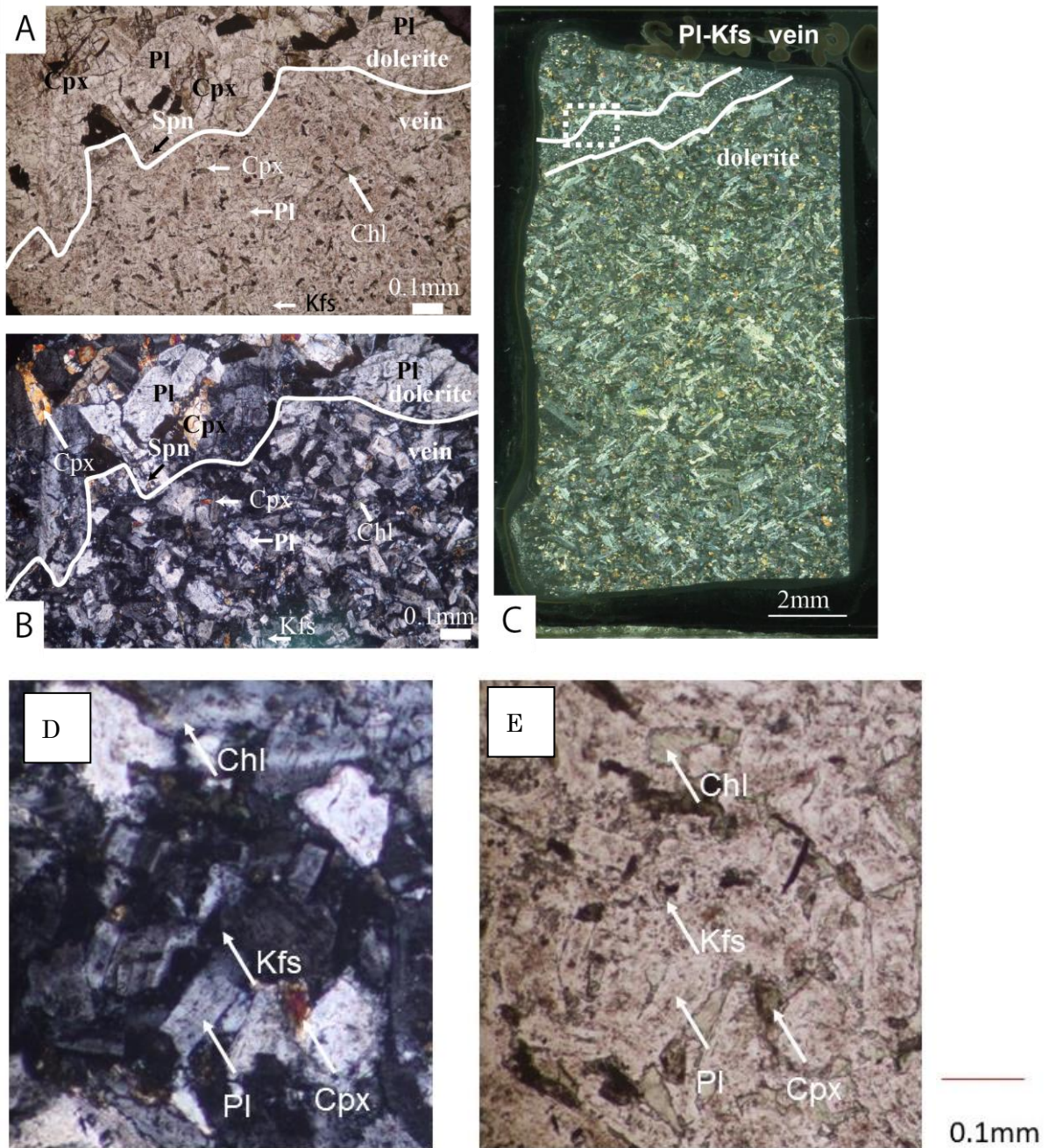


Fig. 12. ドライト岩床 1 における斜長石-カリ長石脈の偏光顕微鏡写真 (DFC : 8.4 m).
 (A) はオープンニコル. スケールバーは 0.1 mm. (B) はクロスニコル. スケールバーは 0.1 mm. (C) は薄片全体写真. 点線で囲んだ範囲は (A) と (B) に示している. スケールバーは 2 mm. (D) と (E) は拡大した斜長石-カリ長石脈の偏光顕微鏡写真 (DFC : 8.4 m). (D) はクロスニコル. スケールバーは 0.1 mm. (E) はオープンニコル. スケールバーは 0.1 mm. Pl : 斜長石. Cpx : 単斜輝石. Kfs : カリ長石. Spn : スチルプノメレン

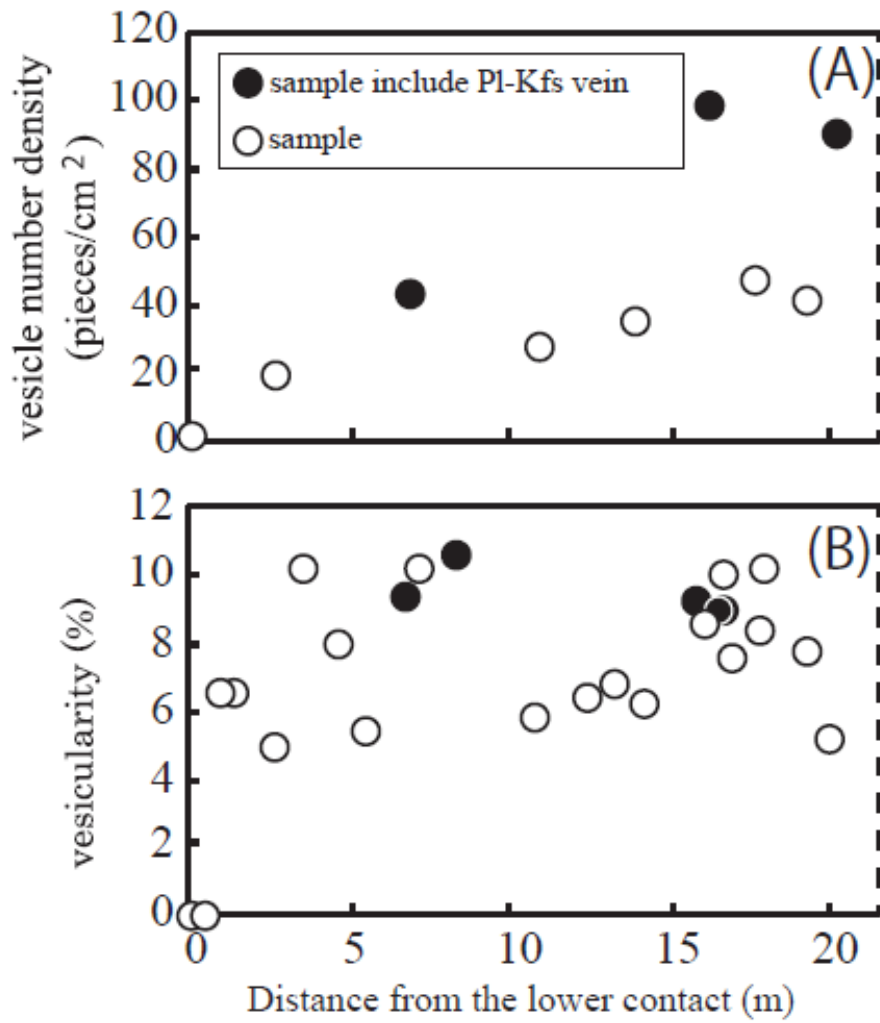


Fig. 13. ドレライト岩床 1 における発泡痕数密度 (A) と発泡度 (B) の岩体の下底からの距離 (m) 変化図

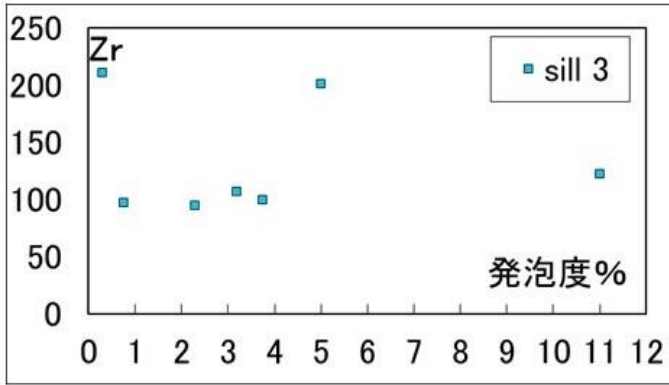
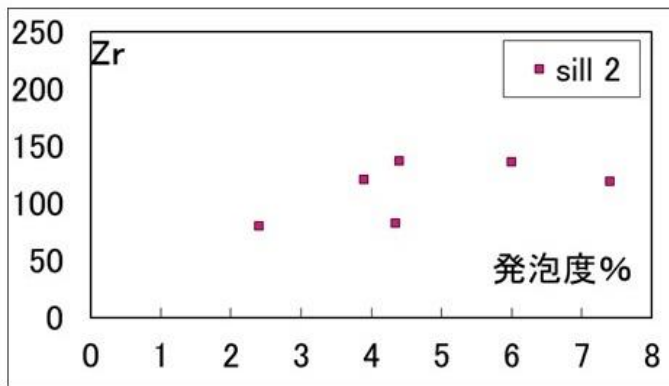
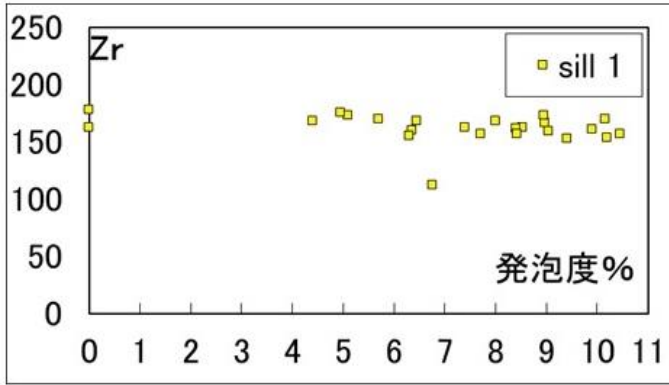


Fig. 14. 下川オフィオライトのドレライト岩床 1～3 の発泡度 (%) の Zr 含有量変化図

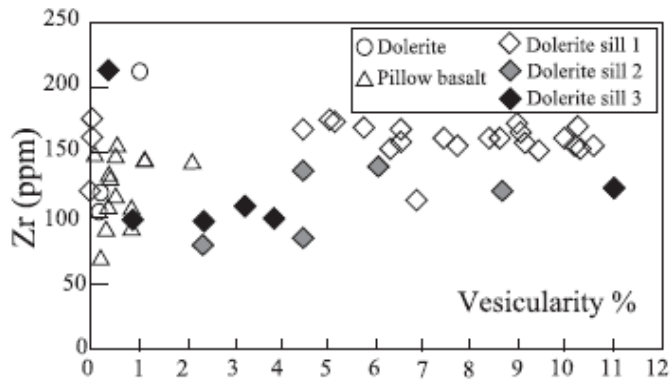


Fig. 15 下川オフィオライト全体の Zr 含有量変化図と発泡度 (%)

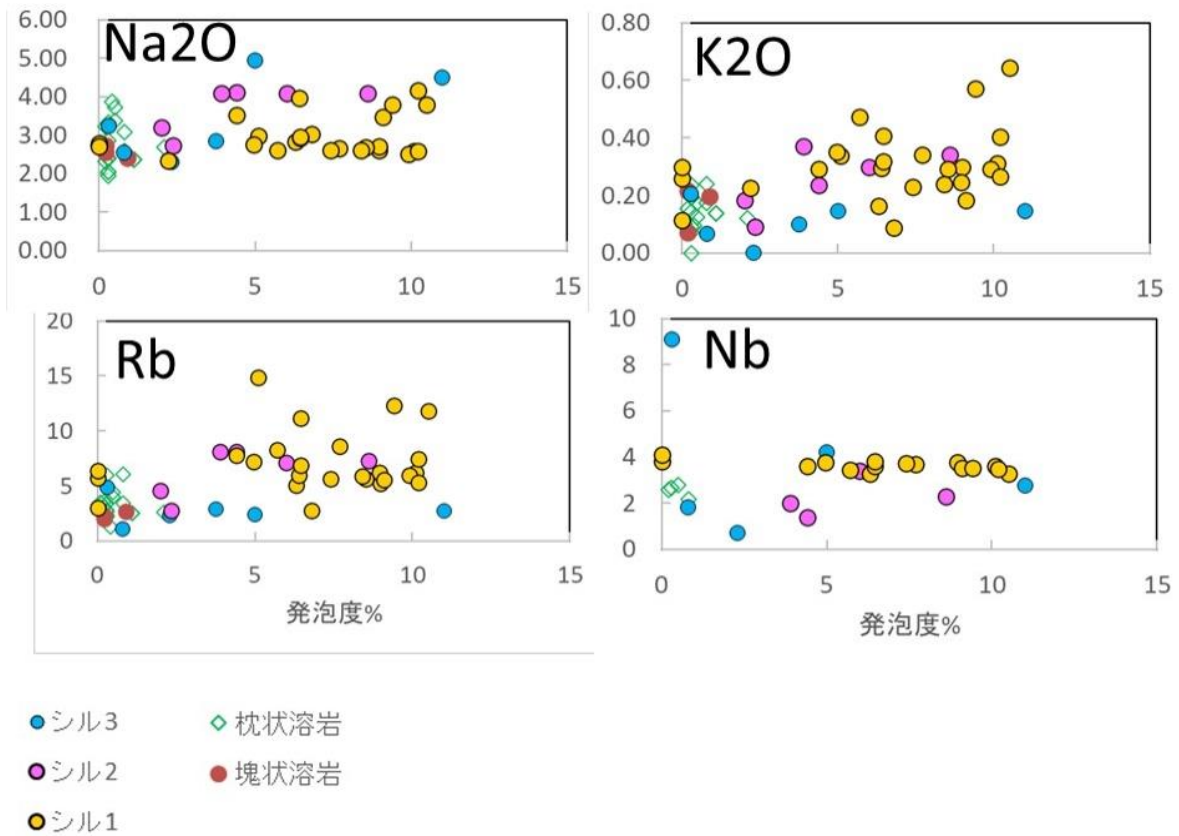


Fig. 16 Nb, Na₂O, K₂O および Rb 含有量と発泡度の相関

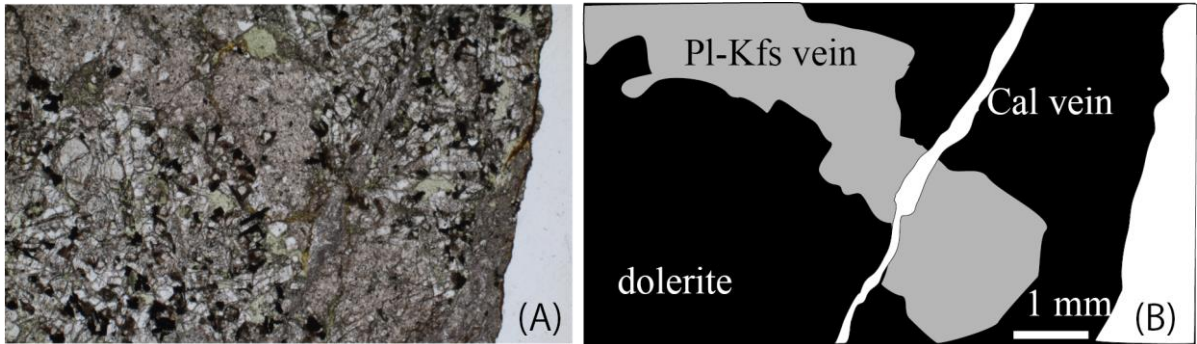


Fig. 17. ドレライト岩床 1 の DFC : 16.4 m において見られた、斜長石-カリ長石脈を方解石脈が切る産状を含むドレライトの偏光顕微鏡岩石薄片写真 (A) とスケッチ (B)

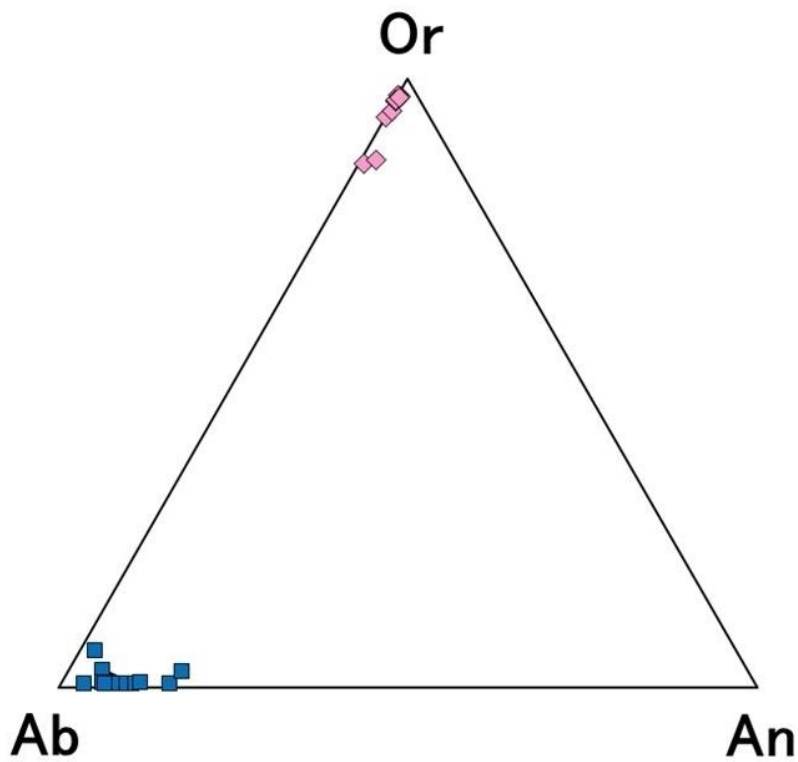


Fig. 18 Or-Ab-An の三角ダイヤグラムにおいて、斜長石-カリ長石脈中の斜長石とカリ長石の鉱物化学組成を示した

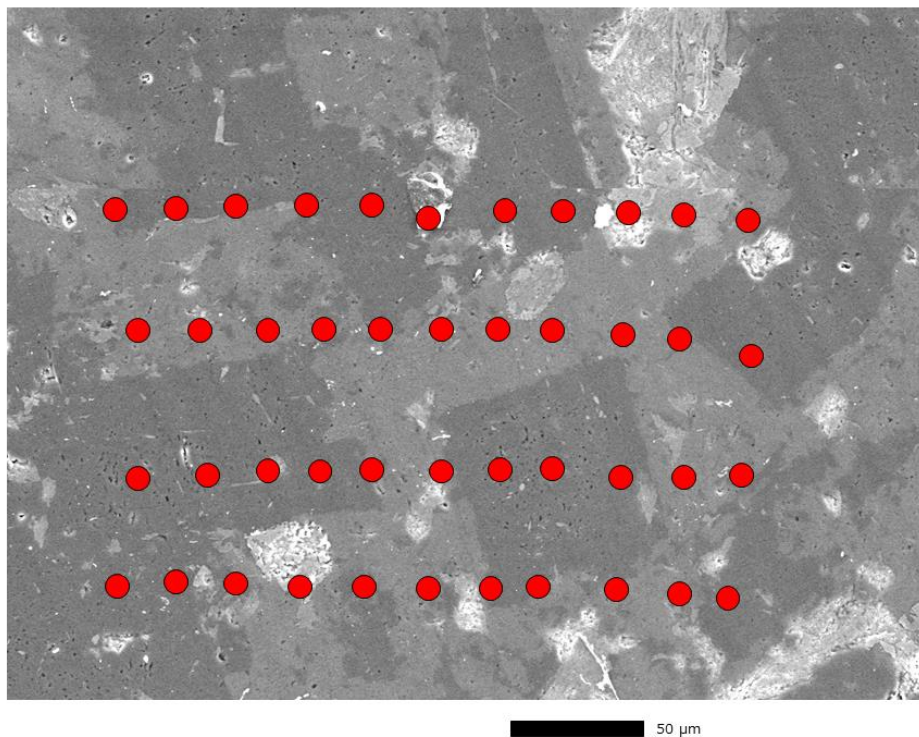


Fig. 19 点分析を行った箇所（赤丸）を示した長石脈の BSE 像

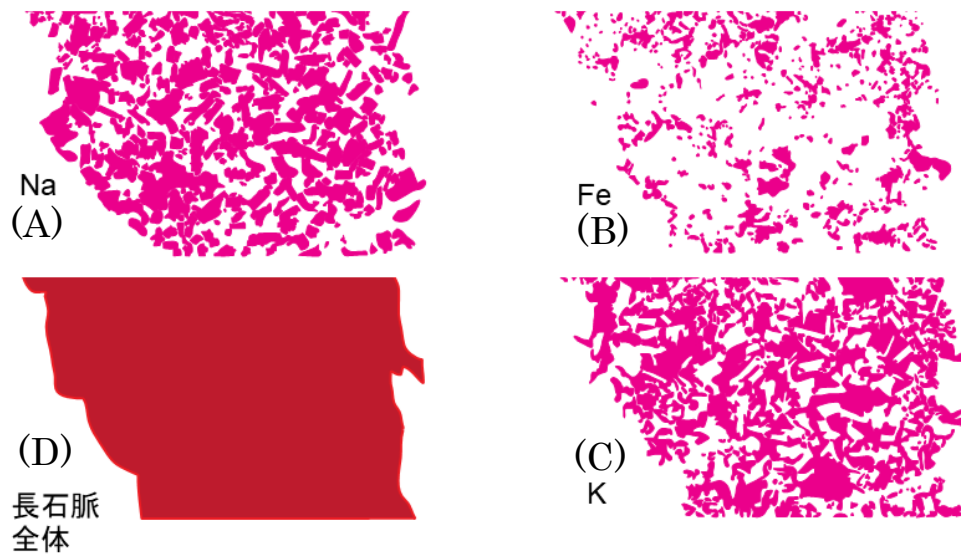


Fig. 20 長石脈の特定の範囲 (D) における, Na (A) と Fe (B) と K (C) の分布図

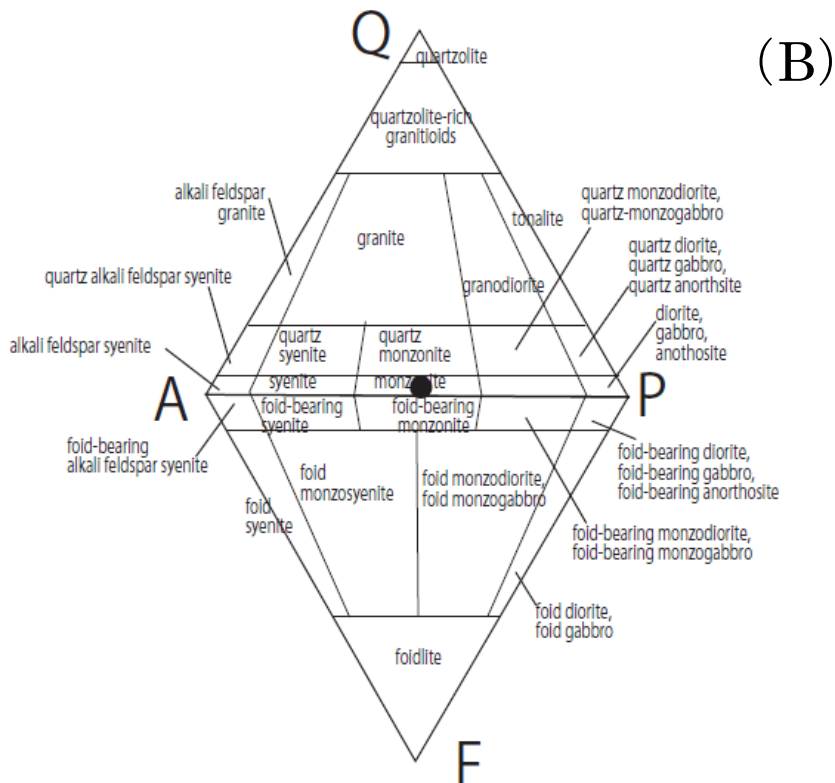
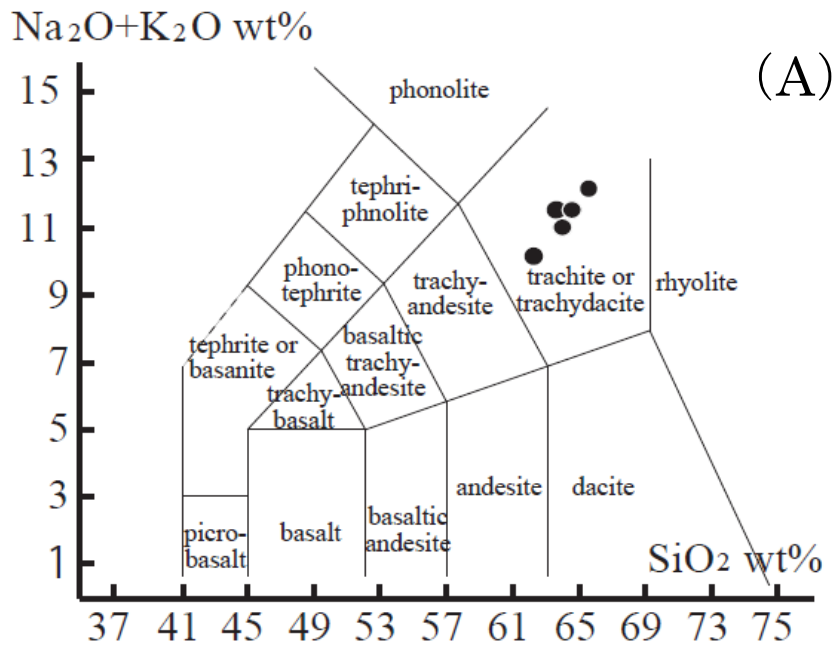


Fig. 21. (A) TAS図 (Streckeisen, 1978). 斜長石-カリ長石脈は粗面岩質の組成を示す.

(B) QAPF図 (Streckeisen, 1974). 斜長石-カリ長石脈はモンゾニ岩質の組成を示す

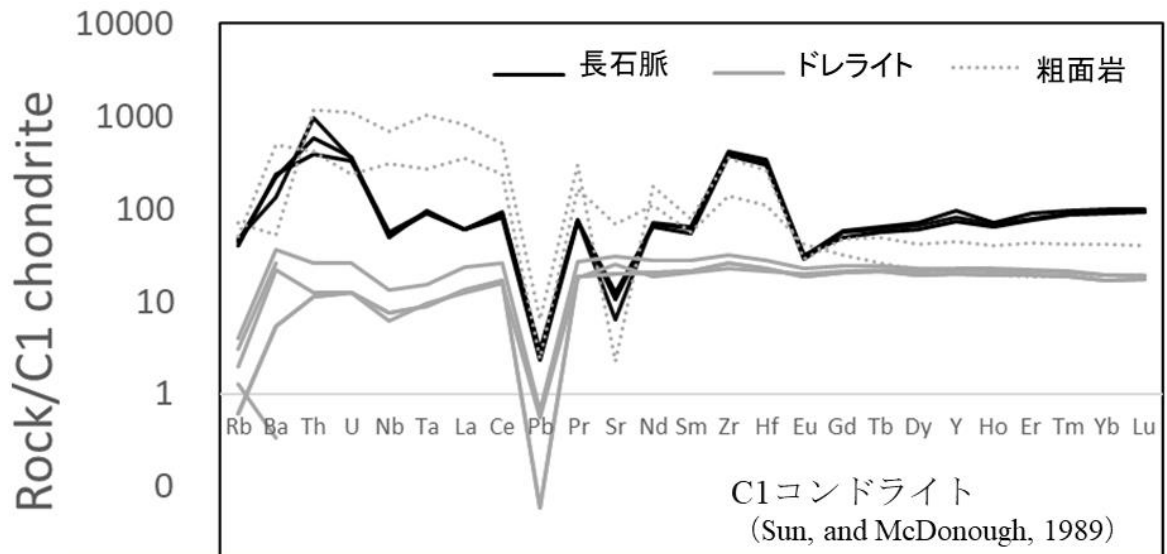


Fig. 22 長石脈の多元素存在度. C1コンドライトの値はSun and McDonough, 1989. 灰色線はドレライトの分析値. 破線はドレライトと粗面岩の分析値 (Beier et al. 2008, およびKawabata et al. 2021)

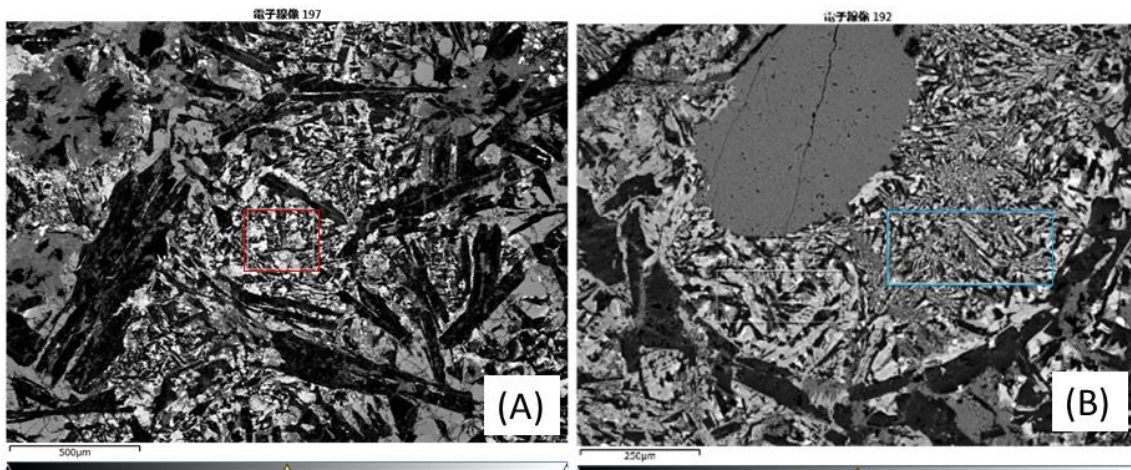


Fig. 23 (A) メソスタティス (石基細粒部・粒間メルト) と (B) セグレーションベシクル (粒間メルト) の BSE 像. それぞれの分析箇所を四角で示す

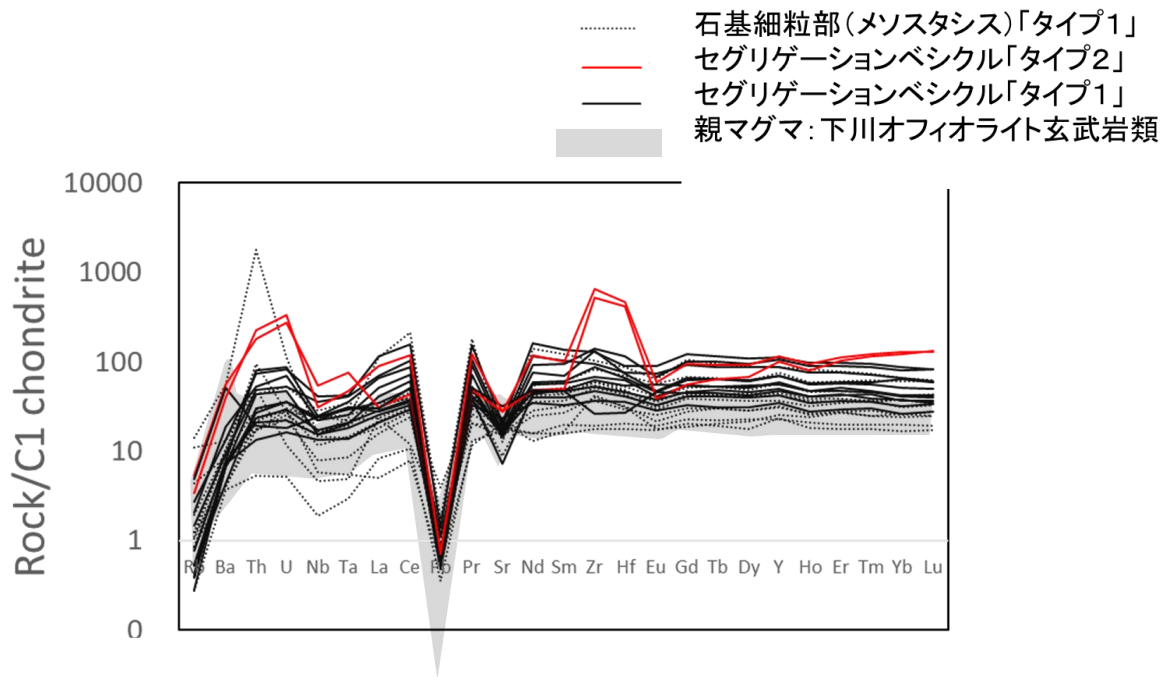


Fig. 24 粒間メルト（石基細粒部）の多元素存在度．灰色の範囲は下川オフィオライトのドレライト岩床 1～3 の全岩化学組成による多元素存在度．C1コンドライトの値はSun and McDonough, 1989.

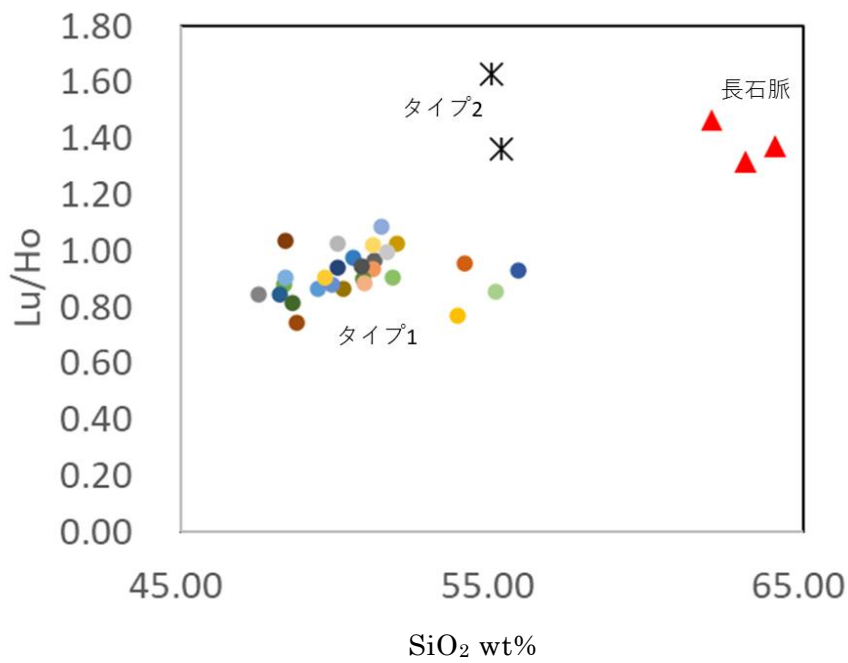


Fig. 25 タイプ 1 とタイプ 2, 長石脈の Lu/Ho 比の SiO₂ wt%変化図

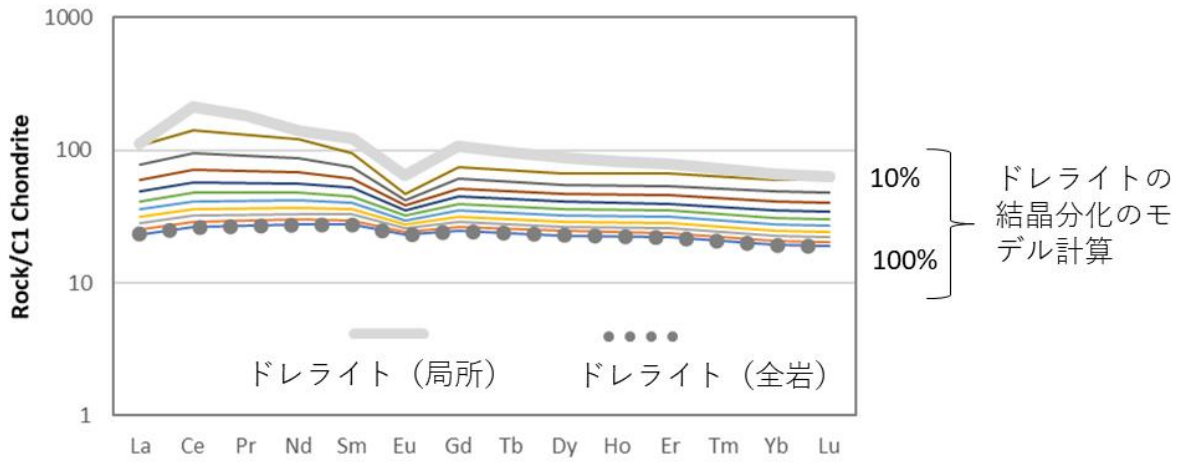


Fig. 26 タイプ1 粒間メルト（石基細粒部）の微小領域（局所）と全岩化学組成の希土類元素パターン． C1コンドライトの値はSun and McDonough, 1989.

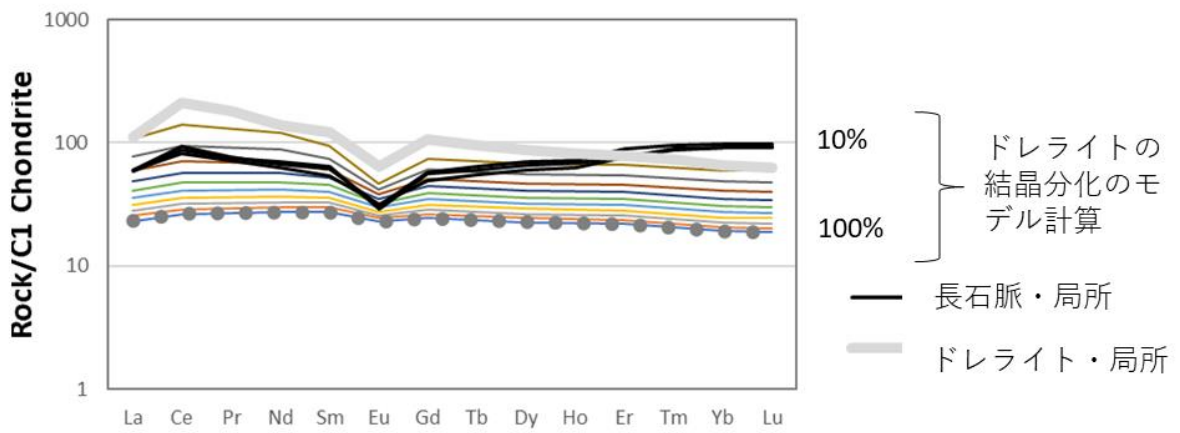


Fig. 27 タイプ1 粒間メルト（石基細粒部）の微小領域（局所）と全岩化学組成と長石脈の希土類元素パターン． C1コンドライトの値はSun and McDonough, 1989.

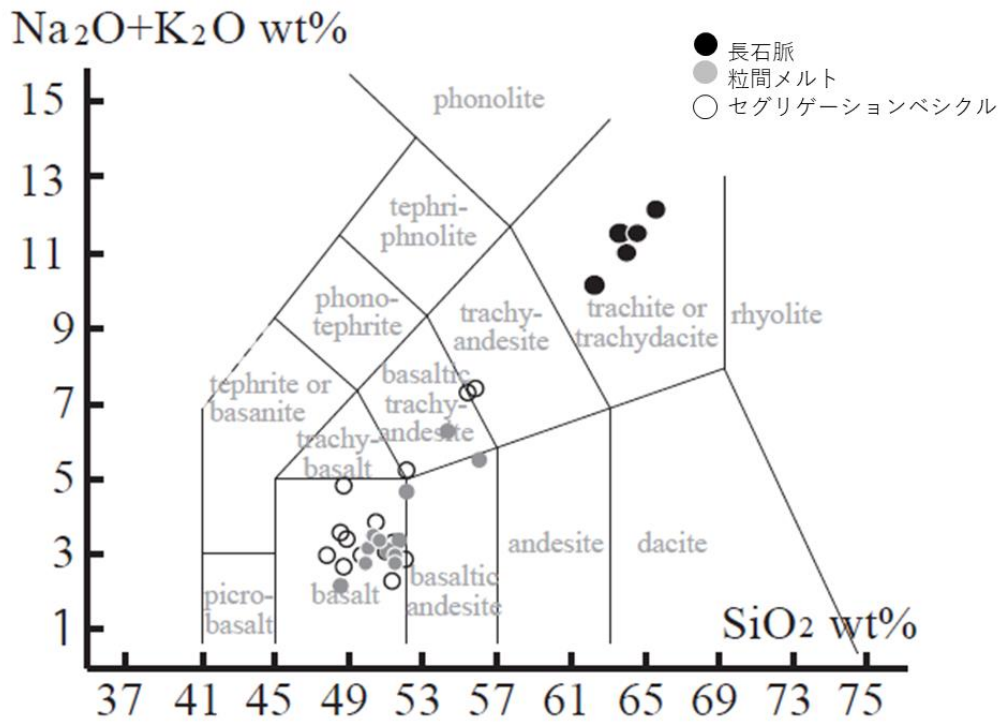


Fig. 28 粒間メルト（石基細粒部），セグリゲーションベシクルと長石脈の主成分組成をプロットしたTAS図（Streckeisen, 1978）

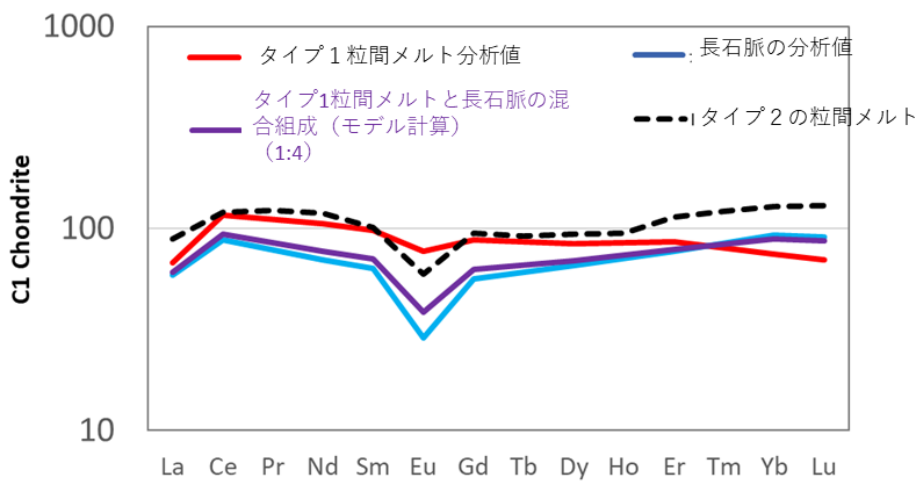


Fig. 29 タイプ 1粒間メルト（石基細粒部），長石脈および混合組成の希土類元素パターン．C1コンドライトの値はSun and McDonough, 1989.

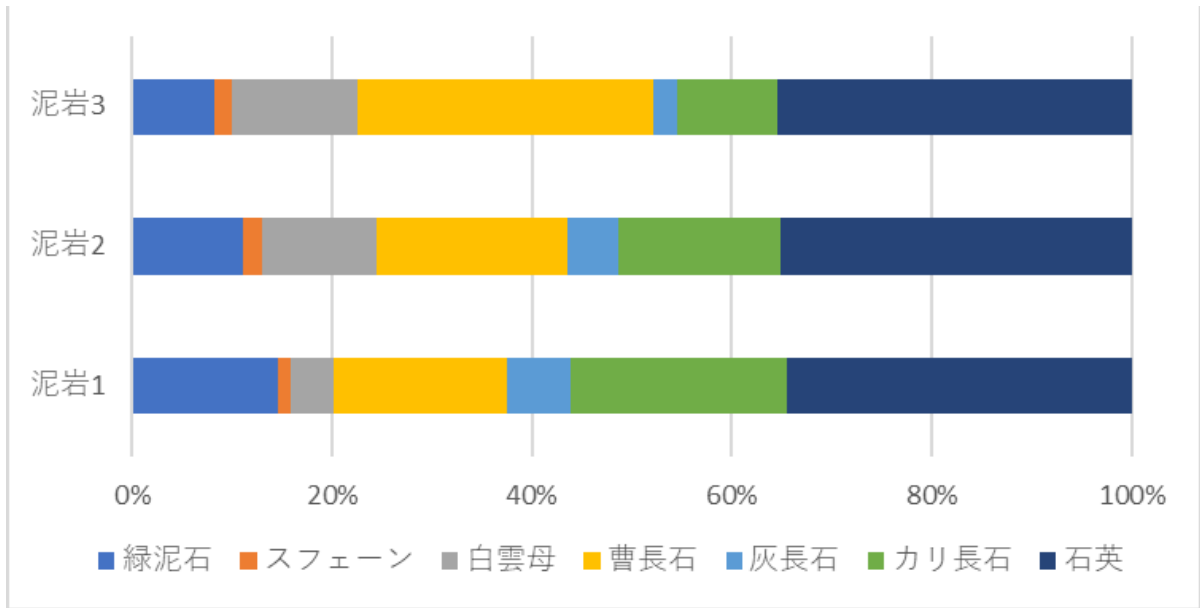


Fig. 30 泥岩のノルム計算の結果

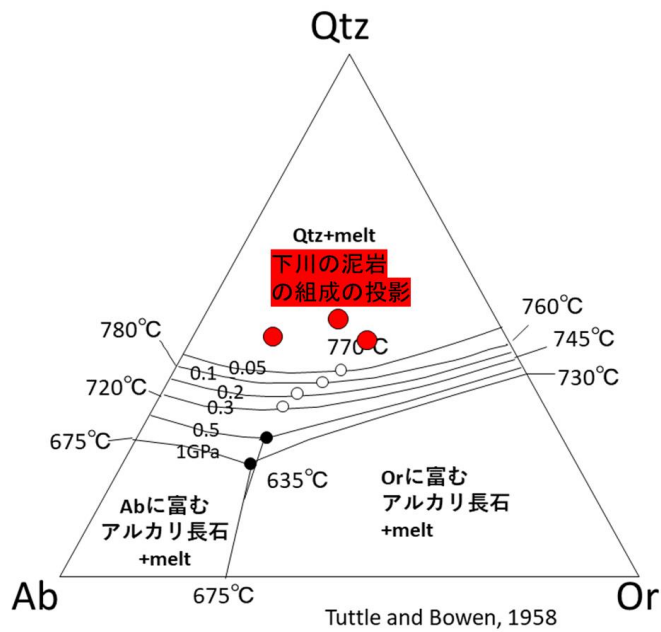


Fig. 31 石英-曹長石-カリ長石の相図に赤色の丸で下川の泥岩のノルム組成をプロットした図. 白色の丸が共融線上の最低温度点, 黒色の丸が不変点を示す

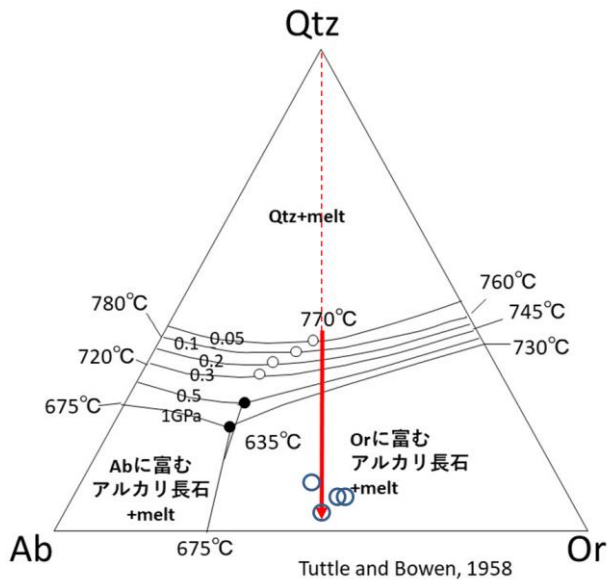


Fig. 32 石英-曹長石-カリ長石の相図に下川の泥岩のノルム組成をプロットした図．長石脈のノルムを青色の丸でプロット．赤色の点線と矢印は約 0.03GPa において共融線上の最低温度点から晶出した花崗岩質メルトからシリカが奪われると仮定した過程を示した

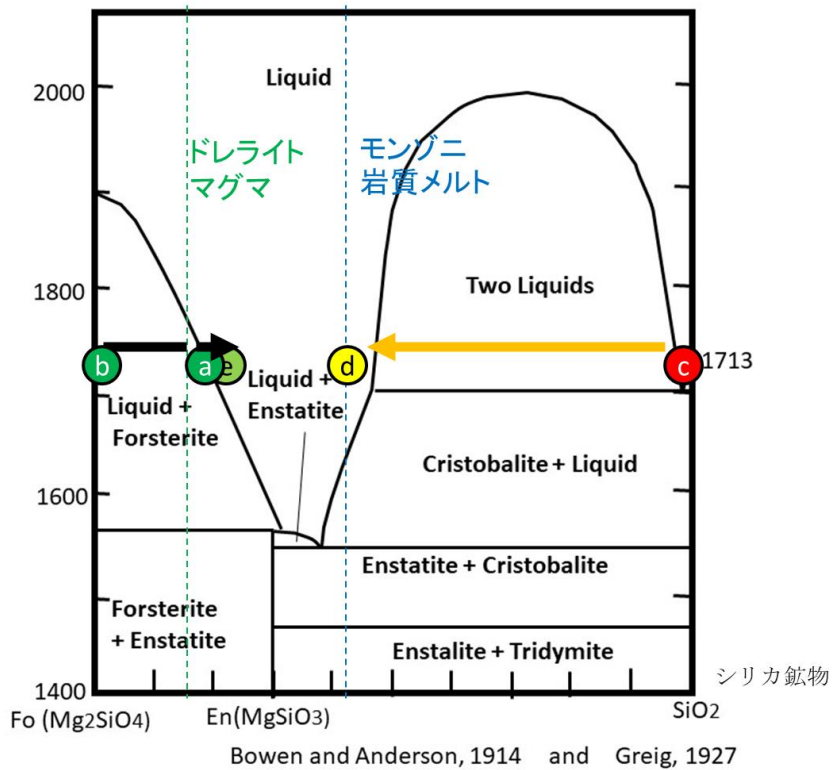


Fig. 33 Fo-En-SiO₂系の1気圧での相図を用いた花崗岩質メルト、モンゾニ岩質メルト、ドレライトマグマの反応を示した相図．

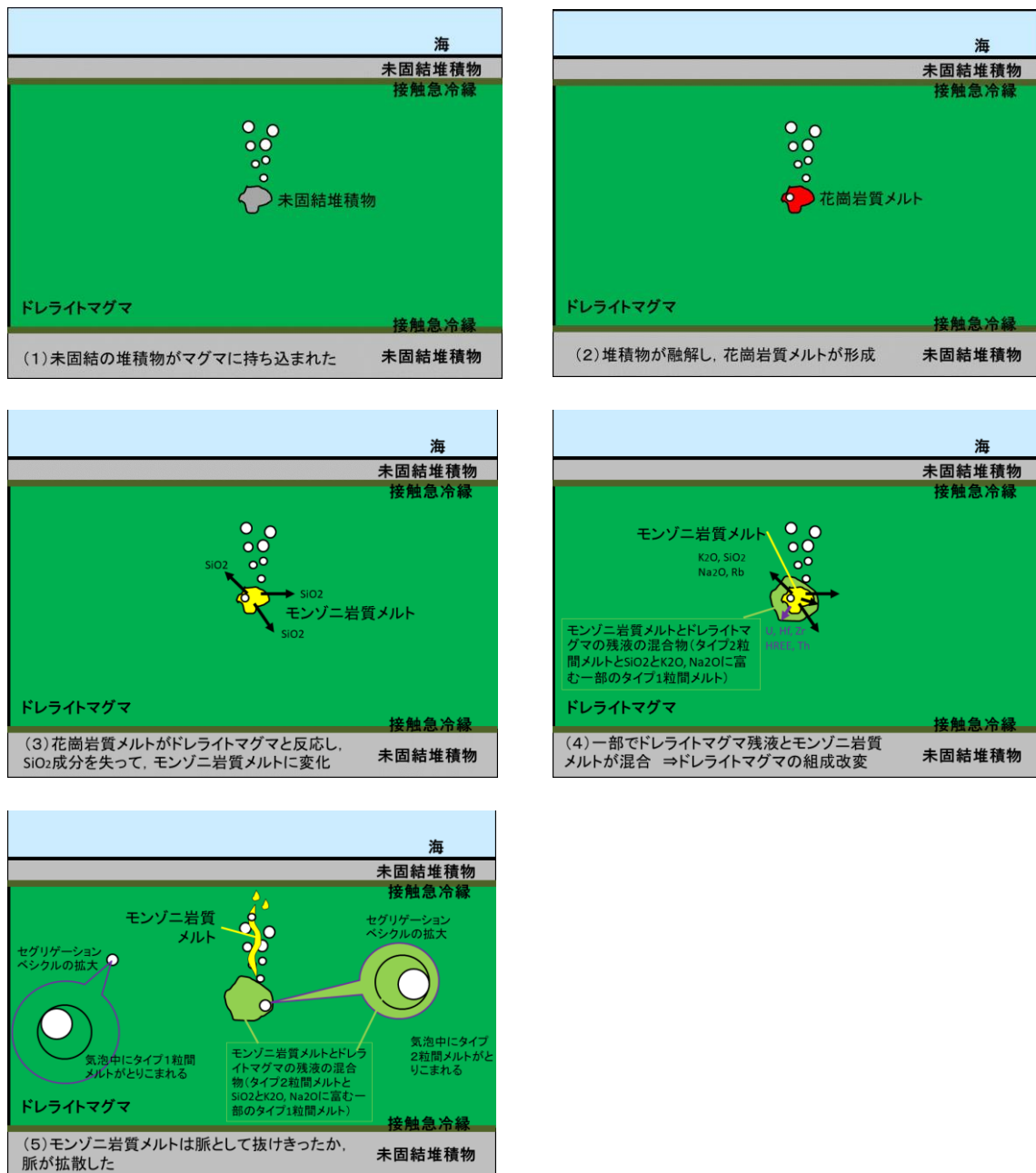


Fig. 34 発泡痕に富む岩床ドレライトと長石脈の形成モデル図

Sample No.	Distance from contact	Pl-Kfs vein or aggregates*	Vesicle	V+V?	Bubble number density	Pl number density	Bulk		
							Mg#	K ₂ O	Na ₂ O
	m		%	%	N/cm ²	N/mm ²	%	%	
09IW19-2	21.8	×	×	×	×	5.6	0.56	0.40	2.40
09IW19	20.1	●	×	×	92	8.5	0.56	0.30	3.20
10IW35	20	×	5.10	5.10	×	×	0.52	0.33	2.95
09IW18	19.2	×	7.70	8.05	40	3.4	0.56	0.30	2.60
10IW34	17.8	×	8.40	8.40	×	×	0.55	0.24	2.58
09IW17	17.7	×	10.10	10.10	47	5.7	0.55	0.30	2.60
09IW16	16.9	×	7.40	7.40	×	×	0.57	0.20	2.60
10IW33	16.6	×	9.90	9.90	×	×	0.56	0.29	2.49
10IW32	16.4	●	8.98	9.08	×	14.1	0.53	0.30	2.59
09IW15-2	16.3	●	8.95	9.35	98	14.1	0.55	0.20	2.70
10IW31	16.2	×	8.53	8.60	×	×	0.52	0.29	2.66
09IW15	15.9	●	9.10	9.10	×	5.2	0.59	0.20	3.40
09IW14	14.2	×	6.30	6.45	34	4.5	0.56	0.20	2.80
10IW30	13.2	×	6.80	6.80	×	×	0.55	0.09	2.99
10IW12-3	12.4	×	6.40	6.40	×	×	0.55	0.29	3.92
09IW13	10.8	×	5.70	6.20	22	6.2	0.55	0.50	2.60
09IW12	8.4	●	10.50	10.50	×	2.7	0.58	0.60	3.70
20IW05	7.6	●	×	×	×	×	×	×	×
10IW11	7.1	×	10.20	10.20	×	×	0.54	0.26	4.10
09IW11	6.9	●	9.40	9.40	42	3.2	0.58	0.60	3.80
10IW10	5.6	×	5.35	5.35	×	×	×	×	×
09IW10	4.6	×	8.00	8.00	×	×	×	×	×
09IW9	3.6	×	10.20	10.20	×	×	0.54	0.40	2.50
09IW8	2.6	×	4.95	5.25	20	6.9	0.57	0.30	2.70
09IW7	1.4	×	6.45	6.45	×	×	0.56	0.40	2.90
09IW6	0.8	×	6.45	6.45	×	×	0.56	0.30	2.90
09IW5	0.45	×	×	×	×	×	0.55	0.30	2.70
09IW4	0.1	●*	×	×	0	40.7	×	×	×
10IW9	0	×	×	×	×	×	0.52	0.29	2.67

Table 1. 下川オフィオライトのドレライト岩床 1 における接触面からの距離，発泡度，斜長石数密度，K₂O と Na₂O，Mg#の全岩化学組成

Sample No.	DFC m	Pl-Kfs vein	Vesicularity %	wt %											ppm										
				SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total	Mg#	Sr	Rb	Ni	Zr	Y	Nb	Ba	Cr	
Massive basalt																									
09IW45	-		×	52.44	1.61	15.81	8.30	0.17	6.51	9.35	3.66	0.14	0.19	2.83	99.11	0.58	285	3	77	127	45	×	14	275	
09IW43	-		×	50.00	1.59	16.11	8.73	0.15	6.61	10.90	2.74	0.17	0.19	2.36	98.16	0.57	193	3	72	117	43	×	12	246	
09IW42	-		×	49.65	1.60	16.74	8.79	0.15	6.63	11.04	2.76	0.12	0.19	2.81	98.65	0.57	212	2	74	123	46	×	10	249	
09IW41	-		×	54.16	1.45	14.30	8.53	0.19	6.87	9.89	4.11	0.17	0.16	1.78	100.77	0.59	198	3	61	104	40	×	21	292	
09IW38	-		×	49.89	2.10	15.77	10.27	0.17	6.67	9.58	3.09	0.25	0.28	2.55	99.20	0.54	196	6	55	164	53	×	20	140	
09IW37	-		○	50.90	1.73	15.24	9.19	0.15	5.56	11.88	2.71	0.13	0.18	1.02	98.70	0.52	143	4	50	122	44	×	×	108	
09IW28	-		△	53.72	1.55	14.16	9.08	0.17	7.94	8.72	3.91	0.23	0.16	5.33	100.66	0.61	292	8	79	106	39	×	77	207	
09IW24	-		0.20	50.89	1.44	16.19	7.94	0.14	6.83	11.49	2.49	0.07	0.16	1.73	98.53	0.61	147	2	126	104	38	×	5	270	
Pillow basalt																									
09IW40	-		×	51.57	2.05	13.63	10.67	0.17	6.79	9.43	2.46	0.27	0.22	2.47	98.45	0.53	161	4	44	157	52	×	34	79	
09IW39	-		×	54.10	1.92	14.40	9.50	0.18	6.56	7.88	4.33	0.62	0.24	1.89	100.79	0.55	132	9	47	156	51	×	73	129	
09IW36A	-		×	50.16	1.63	15.87	9.04	0.17	6.58	12.22	3.03	0.14	0.22	1.34	100.06	0.56	162	3	95	142	45	×	16	255	
09IW36	-		×	49.08	1.65	16.13	9.57	0.17	6.87	11.56	2.97	0.16	0.22	1.97	99.43	0.56	174	3	102	140	45	×	8	275	
09IW35	-		×	50.37	1.66	15.39	9.59	0.16	6.45	11.49	2.68	0.14	0.22	1.68	99.22	0.55	159	3	86	145	47	×	15	277	
09IW34	-		×	49.15	1.63	16.28	9.31	0.16	6.65	11.69	2.72	0.16	0.21	2.13	98.98	0.56	154	3	104	143	44	×	7	250	
09IW33	-		×	49.58	1.64	16.02	9.40	0.17	7.04	11.64	2.98	0.16	0.22	1.35	99.88	0.57	159	5	97	142	45	×	17	268	
09IW32B	-		×	50.17	1.62	16.54	9.09	0.16	6.97	11.74	3.04	0.19	0.21	1.45	100.73	0.58	181	4	112	135	42	×	19	270	
09IW30	-		1.10	49.65	1.67	15.82	9.68	0.16	6.61	11.67	2.32	0.14	0.22	1.66	99.01	0.55	146	3	100	143	47	×	12	244	
09IW26A	-		×	50.19	1.38	16.31	8.51	0.16	7.58	11.32	2.68	0.24	0.14	1.93	99.45	0.61	228	6	86	97	35	×	54	306	
09IW26B	-		×	49.03	1.36	16.76	9.14	0.16	8.61	10.54	2.75	0.27	0.15	2.62	99.77	0.63	262	7	99	97	37	×	106	343	
09IW29	-		0.80	48.93	1.37	16.05	9.79	0.16	7.36	11.64	2.54	0.23	0.14	1.80	99.30	0.57	185	6	77	93	36	×	89	288	
Pillow basalt with silicified inter pillow																									
09IW31	-		×	50.79	1.78	16.11	9.30	0.17	6.56	10.61	3.35	0.15	0.25	1.62	100.09	0.56	188	3	85	154	49	3	23	235	
Dolerite sill 3																									
10IW13	-		×	48.90	1.40	15.61	7.37	0.14	8.34	12.37	2.65	0.14	0.16	1.97	97.90	0.67	235	4	200	105	33	2	17	371	
10IW14	-		3.20	49.67	1.45	16.61	7.80	0.13	8.45	11.90	2.40	0.08	0.16	2.38	99.51	0.66	181	2	143	107	36	×	13	328	
10IW15	-		×	48.89	1.30	16.41	7.63	0.15	7.26	12.74	2.68	0.07	0.14	1.67	98.10	0.63	173	2	78	102	34	×	6	349	
10IW16	-		3.75	49.41	1.28	15.95	8.14	0.15	7.25	12.13	2.76	0.10	0.13	1.70	98.19	0.61	200	3	78	99	33	×	1	379	
10IW17	-		0.75	48.70	1.27	16.94	8.17	0.15	7.28	12.60	2.49	0.06	0.14	1.52	98.71	0.61	152	1	89	97	32	2	×	327	
10IW18	-		○	46.69	1.23	15.58	7.86	0.15	7.34	12.60	2.75	0.10	0.13	1.52	95.32	0.62	184	2	80	95	34	×	×	×	
Dolerite sill 2																									
10IW55	-		2.00	48.08	1.32	14.96	8.84	0.15	10.04	9.43	3.07	0.17	0.12	2.56	97.17	0.67	154	5	93	85	33	×	×	×	
10IW54	-		×	50.05	1.30	14.63	9.29	0.19	8.31	10.32	3.09	0.12	0.13	1.76	98.46	0.61	181	3	79	82	33	×	×	×	
10IW53	-		○	50.53	1.44	15.10	9.58	0.18	7.58	9.81	4.01	0.32	0.14	1.88	99.75	0.59	217	7	83	100	35	2	38	211	
10IW52	-		2.40	47.37	1.22	15.64	8.61	0.15	8.23	11.96	2.63	0.09	0.11	2.01	96.98	0.63	169	3	118	80	33	×	×	×	
10IW47	-		×	48.58	1.72	15.15	9.82	0.18	7.03	10.26	3.01	0.15	0.22	1.68	97.21	0.56	179	5	92	149	43	×	×	×	
10IW49	-		4.40	48.12	1.31	14.46	9.67	0.19	8.56	10.65	2.84	0.16	0.12	1.80	97.15	0.61	147	4	77	83	35	×	×	×	
10IW46	-		×	49.93	1.94	13.15	11.45	0.21	6.65	10.71	2.92	0.08	0.18	1.18	98.50	0.51	130	3	39	122	47	2	3	53	
10IW50	-		×	48.90	1.27	14.52	9.24	0.17	8.29	10.59	3.16	0.26	0.12	1.70	97.55	0.62	185	6	84	81	33	×	×	×	
10IW51-2	-		×	50.00	1.27	14.47	9.14	0.20	7.90	11.74	2.82	0.12	0.13	1.57	98.79	0.61	137	3	79	80	33	×	18	198	
09IW22	-		×	52.37	1.29	14.82	9.24	0.18	8.79	9.16	3.75	0.18	0.13	1.63	100.94	0.63	208	5	72	82	33	×	35	220	
09IW23-2	-		8.60	52.91	1.57	14.52	9.59	0.18	8.17	8.57	4.08	0.34	0.17	2.06	101.18	0.60	225	7	73	119	41	2	×	×	
99IW67	-		×	49.64	1.05	17.26	8.26	0.12	9.00	10.66	2.57	0.42	0.11	2.05	99.34	0.66	196	10	151	67	28	×	243	382	
99IW66	-		×	48.70	1.14	17.91	8.85	0.13	10.12	9.08	2.59	0.37	0.12	3.33	99.50	0.67	203	8	162	71	30	×	224	400	
99IW64	-		×	50.43	1.35	15.69	9.28	0.17	9.22	9.29	3.14	0.27	0.13	2.08	100.24	0.64	183	6	75	83	34	×	73	233	
99IW54	-		△	50.91	1.30	15.23	9.32	0.19	9.00	9.42	3.27	0.21	0.13	1.99	100.59	0.63	178	5	72	82	35	2	38	218	
99IW55	-		○	50.46	1.21	15.37	9.31	0.17	8.35	10.84	2.90	0.24	0.12	1.63	99.85	0.62	151	4	83	78	32	1	40	233	
99IW56	-		△	50.97	1.29	15.53	8.87	0.16	7.47	11.95	2.55	0.11	0.14	1.48	99.46	0.60	117	3	77	82	35	1	24	231	
99IW57	-		3.90	52.23	1.59	14.50	9.27	0.17	7.94	8.67	4.05	0.37	0.18	1.84	101.27	0.60	242	8	75	121	41	2	74	248	
Dolerite sill 1																									
09IW19-2	21.8		×	49.47	2.02	15.50	9.84	0.18	7.15	10.89	2.33	0.43	0.26	2.44	99.15	0.56	154	9	98	160	48	4	69	196	
09IW19	20.1	●	×	52.41	2.15	15.83	10.17	0.16	7.20	6.22	3.12	0.29	0.27	2.90	98.96	0.56	222	10	76	162	53	4	×	×	
10IW35	20		5.10	51.01	2.12	16.30	10.76	0.18	6.60	6.89	2.91	0.33	0.26	3.20	98.57	0.52	184	15	90	173	49	×	44	167	
09IW18	19.2		7.70	51.12	2.00	15.41	9.52	0.17	6.83	9.62	2.59	0.34	0.25	1.98	98.90	0.56	160	9	92	157	46	4	47	168	
10IW34	17.8		8.40	47.96	1.91	14.60	10.37	0.19	7.09	10.18	2.49	0.23	0.24	1.83	96.41	0.55	150	6	99	161	46	×	×	×	
09IW17	17.7		10.10	50.53	1.93	15.34	9.87	0.17	6.90	10.05	2.54	0.31	0.24	1.79	98.97	0.55	15								

Sample No.	W-2a	09IW31	88IW114B	IW101	88IW132B	88IW134	10IW13	10IW17	88IW138	88IW139	10IW53	10IW46	09IW23-2	99IW67	99IW66	99IW54	99IW55	99IW56	99IW57	
Pl-Kfs vein																				
High vesicularities																				
Lithofacies	PBSI	Pillow Basalt					Dolerite sill3					Dolerite sill2								
Li ppm	10	10	9	13	9	17	13	11	13	11	13	11	15	19	27	18	12	13	16	
Sc	36	35	39	36	36	36	36	37	36	39	39	44	38	36	37	39	38	41	38	
V	270	274	281	212	267	288	213	198	254	256	268	354	289	209	237	234	238	252	255	
Co	46	36	48	46	49	50	37	38	27	36	40	42	42	44	46	43	40	40	40	
Zn	77	45	92	83	100	102	38	42	49	57	47	57	84	41	846	301	34	40	620	
Ga	17	17	16	17	18	17	13	16	15	15	16	17	17	16	17	16	15	16	17	
Rb	20	2	2	3	2	5	3	1	2	2	5	2	8	8	9	5	3	1	8	
Sr	192	172	118	150	135	171	216	142	54	125	209	128	231	193	209	184	129	110	256	
Y	22.8	45.6	37.3	39.8	43.1	49.7	31.4	31.6	52.2	37.2	36.0	46.9	41.6	29.1	30.5	34.2	31.1	33.5	42.1	
Zr	92	155	106	144	143	175	106	101	200	122	102	129	132	70	74	88	77	85	135	
Nb	7.76	3.13	1.79	2.57	2.80	3.71	2.21	1.83	4.20	2.76	1.71	2.35	2.30	1.40	1.49	1.50	1.35	1.48	1.99	
Cs	1	1	1	2	1	1	1	1	0	1	1	1	2	3	2	1	1	1	2	
Ba	171	30	6	18	20	29	25	13	12	22	42	15	72	231	227	52	44	26	83	
La	10.6	5.8	3.2	5.3	5.0	6.4	3.5	3.2	8.1	4.7	3.3	4.2	4.1	2.5	3.0	3.0	2.7	2.9	4.4	
Ce	23.1	17.0	10.7	15.7	15.1	19.4	10.7	10.3	23.8	14.2	10.7	13.8	13.8	7.9	8.8	9.7	8.4	9.0	13.5	
Pr	3.0	2.9	1.9	2.4	2.6	3.3	1.8	1.8	3.8	2.4	1.9	2.4	2.3	1.3	1.5	1.7	1.4	1.6	2.4	
Nd	13.0	14.5	10.1	12.2	13.1	16.4	9.6	9.5	19.1	12.1	10.2	13.0	11.9	7.2	7.6	8.5	7.9	8.6	12.7	
Sm	3.3	4.8	3.6	4.1	4.5	5.3	3.2	3.2	5.7	3.9	3.5	4.6	4.1	2.5	2.8	3.2	2.8	3.1	4.2	
Eu	1.1	1.4	1.2	1.3	1.4	1.5	1.1	1.1	1.7	1.3	1.3	1.7	1.4	0.9	0.9	1.1	1.1	1.1	1.3	
Gd	3.7	6.2	5.0	5.3	5.9	6.9	4.1	4.3	7.3	5.1	4.8	6.2	5.5	3.7	3.9	4.4	4.0	4.3	5.7	
Tb	0.6	1.1	0.9	1.0	1.1	1.2	0.7	0.8	1.3	0.9	0.9	1.1	1.0	0.7	0.7	0.8	0.7	0.8	1.0	
Dy	3.8	7.0	5.9	6.1	6.8	7.7	4.8	4.9	8.2	5.7	5.6	7.3	6.3	4.4	4.6	5.4	4.8	5.1	6.4	
Ho	0.8	1.6	1.3	1.4	1.5	1.7	1.1	1.1	1.8	1.3	1.3	1.6	1.4	1.0	1.0	1.2	1.1	1.2	1.5	
Er	2.3	4.4	3.8	3.9	4.4	5.0	3.0	3.1	5.1	3.7	3.6	4.6	4.0	2.9	3.1	3.5	3.0	3.2	4.3	
Tm	0.3	0.7	0.6	0.6	0.6	0.8	0.5	0.5	0.8	0.6	0.5	0.7	0.6	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	
Yb	2.0	4.1	3.5	3.8	4.0	4.6	2.9	2.9	4.7	3.4	3.4	4.3	3.8	2.7	2.8	3.2	2.8	3.1	3.9	
Lu	0.3	0.6	0.5	0.6	0.6	0.7	0.4	0.4	0.7	0.5	0.5	0.6	0.6	0.4	0.4	0.5	0.4	0.5	0.6	
Hf	2.3	3.7	2.7	3.5	3.4	4.1	2.5	2.4	4.6	2.9	2.6	3.3	3.1	1.8	1.9	2.3	2.0	2.2	3.3	
Ta	0.5	0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	0.1	0.3	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
W	0	7	60		69	55	5	11	12	11	32	10		20	7	15	8	10	8	
Pb	8	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	
Th	2.2	0.8	0.3	1.0	0.7	0.9	0.5	0.3	1.2	0.6	0.3	0.3	0.5	0.2	0.2	0.4	0.3	0.3	0.5	
U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
(La/Yb)N	1.0	0.7	1.0	0.9	1.0	0.9	0.8	1.2	1.0	0.7	0.7	0.8	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	

※PBSI(Pillow basalt with silicified inter pillow)

Sample No.	09IW19-2	09IW19	09IW18	09IW17	09IW16	09IW15-2	09IW15	09IW14	09IW13	09IW12	09IW11	09IW09	09IW08	09IW07	09IW06	09IW05	10IW09	09IW3	09IW2	
Pl-Kfs vein																				
High vesicularities																				
Lithofacies	Dolerite sill1																		Gabbroic dolerite	
Li ppm	13	16	11	11	13	11	11	10	7	9	14	12	17	12	16	12	15	15	10	
Sc	35	36	35	34	37	37	34	33	34	27	38	35	35	37	36	36	38	39	39	
V	296	302	307	301	311	308	281	265	282	231	304	283	316	308	305	312	312	287	248	
Co	41	39	43	37	43	40	42	43	36	32	39	38	40	39	38	39	38	40	42	
Zn	106	85	76	146	74	89	88	124	86	84	96	114	96	80	82	123	59	81	70	
Ga	17	18	17	17	17	18	18	18	16	15	17	17	18	17	18	18	19	16	16	
Rb	8	9	8	5	5	5	7	4	7	9	11	11	6	10	6	5	6	7	9	
Sr	153	203	153	169	159	145	136	161	127	219	263	255	165	163	137	139	143	221	100	
Y	44.5	48.9	44.3	44.2	45.8	45.4	44.8	40.8	40.8	35.3	42.1	41.9	45.1	43.4	44.0	46.2	50.3	40.9	35.1	
Zr	156	162	158	153	165	170	164	154	149	125	148	148	165	158	173	170	192	128	88	
Nb	3.6	3.8	3.7	3.6	3.7	3.8	3.5	3.3	3.4	3.3	3.5	3.5	3.8	3.6	3.8	3.8	4.1	2.2	1.4	
Cs	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	4	
Ba	82	40	57	62	56	67	87	42	56	86	101	120	92	85	68	66	54	74	13	
La	6.3	7.5	6.7	6.5	6.3	6.7	6.8	6.5	6.2	5.5	6.4	6.5	6.7	6.5	6.7	7.0	7.5	4.2	3.0	
Ce	19.4	22.4	20.1	19.2	19.3	20.1	19.7	18.7	18.6	16.1	19.0	18.8	19.9	19.5	19.9	20.7	21.9	13.2	10.0	
Pr	3.1	3.6	3.2	3.1	3.1	3.3	3.2	3.0	2.9	2.6	3.0	3.0	3.1	3.1	3.1	3.3	3.5	2.3	1.7	
Nd	15.7	18.2	16.6	15.9	16.1	16.5	16.0	15.1	14.7	12.8	15.1	15.2	16.6	15.8	16.1	16.9	18.0	12.3	9.0	
Sm	5.1	5.6	5.2	5.1	5.2	5.3	5.0	4.8	4.7	4.2	4.6	4.7	5.0	5.1	4.9	5.2	5.6	4.2	3.2	
Eu	1.7	1.8	1.7	1.7	1.7	1.7	1.6	1.5	1.3	1.6	1.6	1.6	1.7	1.6	1.7	1.8	1.9	1.4	1.2	
Gd	6.3	6.8	6.4	6.2	6.3	6.6	6.4	5.9	5.8	5.1	6.1	6.0	6.4	6.3	6.3	6.6	7.0	5.4	4.6	
Tb	1.2	1.2	1.1	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	0.9	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.0	0.9	
Dy	7.4	8.0	7.4	7.2	7.3	7.3	6.6	6.7	5.8	6.7	6.7	7.2	6.9	7.0	7.4	7.9	6.3	5.4		
Ho	1.6	1.7	1.6	1.5	1.6	1.6	1.4	1.5	1.3	1.5	1.5	1.5	1.6	1.5	1.6	1.6	1.7	1.4	1.2	
Er	4.6	4.8	4.6	4.5	4.6	4.6	4.5	4.1	4.2	3.6	4.4	4.4	4.8	4.5	4.6	4.8	4.9	4.1	3.5	
Tm	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.6	0.5		
Yb	4.2	4.4	4.2	4.1	4.2	4.3	4.2	3.8	3.8	3.3	3.9	3.8	4.2	4.0	4.1	4.3	4.6	3.7	3.2	
Lu	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.6	0.5	
Hf	3.7	3.8	3.8	3.6	3.8	4.0	3.8	3.4	3.6	2.9	3.4	3.5	3.9	3.6	4.0	4.0	4.4	3.1	2.3	
Ta	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	
W	8	7	10	14	14	12	12	19	11	6	6	7	8	7	11	11	8	12	12	
Pb	1	5	2	2	1	3	2	2	2	2	2	3	1	2	2	0	1	1	1	
Th	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.7	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	0.4	0.4	
U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
(La/Yb)N	1.1	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	0.8	0.7	

Table. 3 下川オフィオライトにおける微量元素組成

Mineral name	PI	Kfs	Chl	Stp	Formula of Pl-Kfs vein bulk					Bulk of Pl-Kfs vein			
					core					20IW05			09IW12
					Sample No.	09IW12	09IW12	09IW12	Ab*0.42	Kfs*0.42	Chl*0.08	Stp*0.08	Total
SiO ₂	65.71	64.55	29.11	48.97	28.07	27.27	2.66	4.05	62.06	63	64	62	64
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.61	0.00	0.00	0.00	0.05	0.05	0	0	1	1
Al ₂ O ₃	20.93	18.65	15.75	2.26	8.94	7.88	1.44	0.19	18.45	18	18	17	19
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	nd	nd	nd	nd
FeO*	0.03	0.10	26.46	24.57	0.01	0.04	2.42	2.03	4.51	4	4	6	2
MnO	0.06	0.00	0.20	0.76	0.02	0.00	0.02	0.06	0.11	0	0	0	0
MgO	0.00	0.02	15.94	10.20	0.00	0.01	1.46	0.84	2.31	1	1	2	1
CaO	1.64	0.07	0.00	8.31	0.70	0.03	0.00	0.69	1.42	2	1	2	1
Na ₂ O	9.72	0.32	0.00	0.48	4.15	0.14	0.00	0.04	4.33	5	4	4	6
K ₂ O	0.11	15.45	0.00	0.24	0.05	6.53	0.00	0.02	6.60	7	7	6	6
NiO	0.10	0.12	0.09	0.03	0.04	0.05	0.01	0.00	0.10	nd	nd	nd	nd
BaO	0.00	0.13	0.04	0.20	0.00	0.05	0.00	0.02	0.08	nd	nd	nd	nd
P ₂ O ₅	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0
Total	98.30	99.41	87.59	96.63					100	100	100	100	100
Cation	O=8	O=8	O=28	Si=8									
Si	2.922	2.990	4.627	8.000									
Ti	0.000	0.000	0.000	0.075									
Al	1.097	1.018	2.950	0.435									
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000									
Fe	0.002	0.008	7.033	6.713									
Mn	0.002	0.000	0.027	0.105									
Mg	0.000	0.001	3.731	2.454									
Ca	0.078	0.003	0.000	1.454									
Na	0.838	0.029	0.000	0.152									
K	0.006	0.913	0.000	0.050									
Ni	0.003	0.004	0.012	0.004									
Ba	0.000	0.002	0.002	0.013									
Total	4.950	4.968	18.382	19.455									
An%	8.52												
Or%	96.95												
Fe/(Fe+Mg)	65.34												

FeO* means total iron as FeO

DFC of 09IW12 is 8.4 m.

Table 4. 斜長石-カリ長石脈中に含まれる斜長石，カリ長石，緑泥石，スチルプノメレンの鉱物化学組成(WDS)と斜長石-カリ長石脈の全岩化学組成計算式。計算式は本文中に示す。EDS 面分析による斜長石-カリ長石の全岩化学組成。EDS 点分析 43 点の分析値の平均による斜長石-カリ長石脈の全岩化学組成

			SiO2	TiO2	Al2O3	Cr2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	NiO	BaO	total
09IW12	Ab	core	64.38	0.00	21.85	0.00	0.06	0.04	0.00	3.08	9.23	0.10	0.04	0.00	98.77
09IW12	Ab	core	65.91	0.03	21.19	0.00	0.08	0.01	0.00	2.18	9.47	0.14	0.07	0.00	99.08
09IW12	Ab	core	65.71	0.00	20.93	0.00	0.03	0.06	0.00	1.64	9.72	0.11	0.10	0.00	98.30
09IW12	Ab	core	61.96	0.00	22.58	0.01	0.39	0.03	0.30	2.95	8.16	0.35	0.10	0.00	96.83
09IW12	Ab	core	68.79	0.00	20.98	0.00	0.16	0.03	0.00	1.35	9.38	0.11	0.07	0.00	100.88
09IW12	Ab	rim	68.53	0.00	20.05	0.00	0.08	0.05	0.00	0.40	9.47	0.94	0.07	0.00	99.58
09IW12	Ab	rim	64.51	0.06	20.51	0.00	0.15	0.10	0.00	1.15	5.95	6.69	0.15	0.49	99.76
09IW12	Ab	rim	65.17	0.04	20.27	0.00	0.64	0.09	0.70	0.62	9.79	0.09	0.08	0.00	97.48
09IW12	Ab	rim	67.45	0.01	20.93	0.00	0.01	0.08	0.00	1.17	10.29	0.13	0.10	0.00	100.16
09IW12	Ab	rim	67.94	0.00	20.85	0.00	0.06	0.05	0.00	1.16	9.55	0.12	0.09	0.00	99.82
09IW12	Pl	rim	65.15		19.81		0.66		0.01	0.40	6.42	7.16			99.61
09IW12	Pl	rim	65.73		20.03		0.14			1.24	10.10	0.12			97.36
09IW04	Ab		64.64	0.08	20.97	0.00	0.28	0.00	0.01	1.99	9.71	0.09	0.11	0.00	97.88
09IW04	Ab		71.85	0.03	18.67	0.00	0.15	0.00	0.00	0.86	9.25	0.43	0.01	0.00	101.26
09IW04	Ab		54.54	0.14	27.07	0.02	0.96	0.02	0.11	10.38	5.36	0.16	0.02	0.00	98.78
09IW04	Ab		55.30	0.08	24.66	0.01	0.49	0.07	0.02	7.71	6.91	0.22	0.01	0.01	95.48
09IW15	Ab	core	63.51	0.02	22.33	0.04	0.26	0.09	0.00	3.57	8.81	0.24	0.00	0.15	99.02
09IW15	Ab	rim	64.02	0.01	20.05	0.12	0.24	0.02	0.08	1.50	9.46	0.15	0.00	0.08	95.73
09IW15	Ab		64.33	0.02	20.54	0.04	0.28	0.07	0.00	1.78	10.17	0.11	0.00	0.00	97.34
09IW15	Ab		84.05	0.00	3.16	0.11	0.09	0.00	0.09	1.26	9.53	0.16	0.03	0.00	98.47

			SiO2	TiO2	Al2O3	Cr2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	NiO	BaO	total
09IW12	Kfs	core	64.55	0.00	18.65	0.00	0.10	0.00	0.02	0.07	0.32	15.45	0.12	0.13	99.40
09IW12	Kfs		65.51	0.03	18.21	0.00	0.33	0.09	0.01	0.06	0.27	14.53	0.09	0.35	99.48
09IW12	Kfs		64.09	0.00	17.83	0.00	0.25	0.02	0.01	0.01	0.25	13.44	0.00	0.08	95.97
09IW11	Kfs		63.89	0.00	17.95	0.00	0.41	0.00	0.02	0.06	0.54	15.10	0.00	0.16	98.14
09IW11	Kfs		62.92	0.00	17.15	0.02	0.25	0.00	0.08	0.01	0.37	15.01	0.00	0.61	96.42
09IW04	Kfs		63.16	0.00	17.61	0.05	0.38	0.00	0.01	0.13	1.41	13.24	0.00	0.00	95.98
09IW04	Kfs		68.43	0.08	15.14	0.00	0.11	0.08	0.00	0.00	0.48	11.17	0.03	0.11	95.62
09IW04	Kfs		60.40	0.05	16.91	0.00	0.24	0.00	0.00	0.03	0.36	14.07	0.08	0.00	92.14
09IW15	Kfs		65.10	0.02	17.12	0.09	0.28	0.00	0.00	0.00	0.22	9.42	0.02	0.09	92.37
09IW15	Kfs		78.43	0.00	9.86	0.04	0.26	0.06	0.01	0.29	0.79	7.77	0.05	0.13	97.67
09IW15	Kfs		74.53	0.05	11.11	0.00	0.33	0.01	0.01	0.07	0.23	10.86	0.00	0.07	97.27

Table. 5 長石脈中の斜長石とカリ長石の鉱物化学組成

Sample	10IW9_2			09IW4_3		09IW5_3		09IW8-2_3		09IW10_2		09IW11_1		09IW12	
distance (m)	0	0	0	0.1	0.1	0.5	0.5	2.6	2.6	4.6	4.6	6.9	6.9	8.4	8.4
	core	core	rim	core	rim	core	rim	core	rim	core	rim	core	rim	core	rim
SiO ₂ wt%	49.60	49.41	50.79	51.52	50.23	49.58	46.09	50.89	50.08	51.63	50.87	54.32	49.30	52.01	48.83
TiO ₂	0.94	0.85	0.62	0.39	0.50	0.49	0.95	0.69	0.46	0.68	0.72	0.46	0.47	0.67	0.18
Al ₂ O ₃	3.27	4.53	2.36	2.04	2.55	1.90	2.88	1.52	0.95	1.44	1.40	2.43	1.56	1.63	0.68
Cr ₂ O ₃	0.55	0.51	0.60	0.57	0.10	0.32	0.38	0.14	0.10	0.23	0.09	0.36	0.00	0.04	0.00
FeO	8.50	9.67	6.09	6.21	11.12	7.73	8.26	10.38	16.30	8.14	15.88	6.95	15.06	8.47	11.79
MnO	0.20	0.24	0.21	0.13	0.29	0.27	0.19	0.31	0.43	0.31	0.44	0.15	0.36	0.22	0.44
MgO	16.93	16.90	16.73	17.23	14.37	15.33	15.96	17.00	13.68	17.18	15.30	20.29	11.97	16.96	12.50
CaO	17.96	17.40	19.90	19.96	13.79	19.58	18.22	16.85	15.24	19.17	14.07	18.18	19.42	19.11	18.33
Na ₂ O	0.31	0.35	0.28	0.28	0.11	0.28	0.30	0.25	0.25	0.32	0.28	0.45	0.29	0.28	0.17
K ₂ O	0.00	0.03	0.02	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02
NiO	0.02	0.05	0.09	0.03	0.00	0.05	0.06	0.02	0.00	0.00	0.00	0.05	0.02	0.01	0.05
BaO	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.12	0.00	0.07	0.01	0.00	0.00	0.15	0.08	0.16
Total	98.28	99.93	97.68	98.35	93.04	95.70	93.41	98.06	97.59	99.11	99.05	103.64	98.58	99.49	93.14
Mg#	0.637	0.606	0.708	0.710	0.532	0.636	0.630	0.591	0.425	0.650	0.459	0.720	0.412	0.638	0.483
Atomic Number (O=6)															
Si	1.72	1.67	1.80	1.81	1.77	1.78	1.69	1.74	1.66	1.78	1.66	1.80	1.65	1.78	1.75
Ti	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.00
Cr	0.13	0.18	0.10	0.08	0.11	0.08	0.12	0.06	0.04	0.06	0.05	0.09	0.06	0.07	0.03
Al	0.01	0.01	0.02	0.02	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
Fe	0.49	0.55	0.36	0.37	0.66	0.46	0.51	0.59	0.91	0.47	0.87	0.38	0.84	0.49	0.71
Mn	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01
Mg	0.86	0.84	0.87	0.89	0.75	0.81	0.86	0.86	0.67	0.87	0.74	0.99	0.59	0.86	0.66
Ca	0.67	0.63	0.76	0.75	0.52	0.75	0.72	0.62	0.54	0.71	0.49	0.64	0.70	0.70	0.70
Na	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.01
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	3.94	3.94	3.95	3.95	3.84	3.94	3.97	3.92	3.86	3.94	3.87	3.96	3.89	3.93	3.88

Sample	09IW13_1		10IW30_3		09IW14_2		09IW15_3		10IW31_1		09IW15-2_2		10IW35_3	
distance (m)	11	11	13	13	14	16	16	16	16	16	16	20	20	
	core	rim	core	rim	core	core	rim	core	rim	core	rim	core	rim	
SiO ₂ wt%	50.11	50.33	52.96	51.40	50.71	51.43	50.32	52.14	50.49	50.64	49.38	51.57	52.22	
TiO ₂	0.45	0.60	0.68	0.46	0.73	0.80	1.08	0.60	0.61	0.93	0.62	0.60	1.02	
Al ₂ O ₃	2.07	1.33	1.71	0.70	2.34	2.72	2.25	1.69	3.18	3.17	1.52	2.40	2.45	
Cr ₂ O ₃	0.57	0.01	0.11	0.08	0.33	0.54	0.07	0.40	0.02	0.64	0.12	0.72	0.10	
FeO	6.79	14.19	7.50	19.86	7.58	7.06	11.33	6.43	13.50	6.77	18.09	6.25	9.88	
MnO	0.14	0.41	0.35	0.60	0.23	0.17	0.34	0.24	0.40	0.24	0.76	0.27	0.32	
MgO	16.49	14.25	16.99	10.55	16.51	17.13	16.03	17.36	14.39	16.46	12.19	17.66	16.08	
CaO	19.03	17.02	19.12	16.64	19.57	19.25	17.23	20.21	16.66	19.78	15.57	20.15	19.45	
Na ₂ O	0.31	0.32	0.29	0.30	0.29	0.28	0.28	0.30	0.29	0.29	0.22	0.35	0.35	
K ₂ O	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00	0.01	0.01	0.02	0.14	0.02	0.01	0.00	0.00	
NiO	0.08	0.06	0.15	0.11	0.03	0.06	0.10	0.04	0.05	0.02	0.00	0.05	0.03	
BaO	0.07	0.08	0.12	0.26	0.00	0.09	0.03	0.20	0.14	0.06	0.15	0.08	0.10	
Total	96.11	98.58	100.01	100.97	98.33	99.53	99.07	99.63	99.86	99.02	98.63	100.09	102.01	
Mg#	0.682	0.469	0.666	0.319	0.657	0.681	0.555	0.704	0.484	0.682	0.372	0.713	0.589	
Atomic Number (O=6)														
Si	1.80	1.68	1.81	1.63	1.77	1.78	1.70	1.81	1.67	1.77	1.61	1.79	1.74	
Ti	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	
Cr	0.09	0.05	0.07	0.03	0.10	0.11	0.09	0.07	0.12	0.13	0.06	0.10	0.10	
Al	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	
Fe	0.41	0.79	0.43	1.05	0.44	0.41	0.64	0.37	0.75	0.40	0.99	0.36	0.55	
Mn	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	
Mg	0.87	0.70	0.86	0.49	0.85	0.87	0.80	0.89	0.70	0.85	0.59	0.90	0.79	
Ca	0.73	0.61	0.70	0.57	0.73	0.71	0.62	0.75	0.59	0.74	0.55	0.75	0.69	
Na	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Total	3.94	3.89	3.92	3.82	3.95	3.94	3.91	3.95	3.89	3.95	3.85	3.97	3.92	

Table. 6 ドレライト中の単斜輝石の鉱物化学組成

Sample	10IW9_4		09IW4_2		09IW5_1		09IW8-2_4		09IW10_3		09IW11_3		09IW12	
distance (m)	0	0	0.1	0.1	0.5	0.5	2.6	2.6	4.6	4.6	6.9	6.9	8.4	8.4
	core	rim	core	rim	core	rim	core	rim	core	rim	core	rim	core	rim
SiO2 wt%	47.69	55.28	49.28	55.69	50.10	49.72	50.91	67.74	52.94	62.87	53.80	54.14	65.72	67.89
TiO2	0.01	0.09	0.02	0.05	0.06	0.10	0.07	0.00	0.08	0.03	0.04	0.02	0.00	0.00
Al2O3	31.21	25.72	30.48	26.27	29.14	27.30	28.73	19.00	27.23	19.83	28.00	28.42	22.46	20.11
Cr2O3	0.10	0.14	0.05	0.04	0.00	0.00	0.10	0.14	0.02	0.00	0.07	0.06	0.00	0.00
FeO	0.36	0.50	0.43	0.86	0.70	0.65	0.69	0.47	0.65	0.40	0.80	0.57	0.49	0.09
MnO	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.03	0.05	0.00	0.00	0.05	0.00
MgO	0.20	0.10	0.14	0.12	0.21	0.20	0.17	0.02	0.11	0.02	0.16	0.13	0.05	0.00
CaO	15.69	8.20	14.97	10.09	12.96	11.95	12.95	0.90	11.62	2.94	10.90	11.50	3.08	0.60
Na2O	2.71	6.29	2.89	5.63	3.51	4.34	4.35	10.55	5.36	10.15	5.38	5.33	8.35	9.96
K2O	0.07	0.15	0.00	0.08	0.04	0.03	0.06	0.11	0.00	0.16	0.10	0.10	0.16	0.09
NiO	0.03	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
BaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.14	0.12	0.10	0.02
Total	98.06	96.49	98.29	98.82	96.72	94.30	98.06	98.94	98.08	96.43	99.38	100.40	100.44	98.76
An %	76.2	41.9	74.1	49.7	67.1	60.3	62.2	4.5	54.5	13.8	52.8	54.4	16.9	3.2
Atomic Number (O=8)														
Si	2.23	2.56	2.28	2.52	2.34	2.38	2.35	2.98	2.44	2.87	2.44	2.44	2.86	2.99
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	1.72	1.40	1.66	1.40	1.60	1.54	1.57	0.99	1.48	1.07	1.50	1.51	1.15	1.04
Cr	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe 2+	0.03	0.04	0.03	0.07	0.05	0.05	0.05	0.03	0.05	0.03	0.06	0.04	0.04	0.01
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00
Ca	0.78	0.41	0.74	0.49	0.65	0.61	0.64	0.04	0.57	0.14	0.53	0.55	0.14	0.03
Na	0.25	0.56	0.26	0.49	0.32	0.40	0.39	0.90	0.48	0.90	0.47	0.46	0.70	0.85
K	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	5.02	5.00	5.00	4.99	4.99	5.02	5.03	4.96	5.03	5.03	5.02	5.02	4.90	4.92

Sample	09IW13_3		10IW30_1		09IW14_3		09IW15_2		09IW15-2_3		09IW17_1		09IW18_2	
distance (m)	11	11	13.2	13.2	14	14	16	16	16	16	17.7	17.7	19.2	19.2
	core	rim	core	rim	core	rim	core	rim	core	rim	core	rim	core	rim
SiO2 wt%	51.47	55.04	51.17	67.22	49.36	57.85	52.52	54.98	51.84	56.57	51.01	66.72	51.04	63.47
TiO2	0.07	0.05	0.05	0.01	0.00	0.01	0.08	0.10	0.13	0.09	0.07	0.00	0.05	0.00
Al2O3	28.82	25.66	28.96	19.87	31.01	25.17	28.56	26.78	29.00	26.35	27.95	19.86	29.26	20.10
Cr2O3	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.04	0.03	0.07	0.03	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
FeO	0.61	0.56	0.67	0.28	0.61	0.61	0.70	0.82	0.80	0.74	0.52	0.25	0.41	0.28
MnO	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.05	0.00	0.09	0.03	0.05	0.05
MgO	0.16	0.05	0.15	0.09	0.19	0.04	0.21	0.09	0.16	0.05	0.18	0.03	0.22	0.03
CaO	12.51	8.43	11.46	0.42	14.84	7.93	11.94	9.59	12.79	9.16	12.94	1.11	13.94	1.37
Na2O	3.87	6.99	4.07	9.72	2.80	6.61	4.44	5.91	4.01	6.20	3.95	11.03	3.47	10.65
K2O	0.00	0.07	0.09	0.62	0.00	0.07	0.09	0.13	0.08	0.14	0.00	0.10	0.00	0.01
NiO	0.05	0.09	0.13	0.12	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BaO	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00
Total	97.64	96.94	96.75	98.35	98.83	98.35	98.59	98.46	98.90	99.31	96.72	99.14	98.43	95.96
An %	64.1	40.0	60.9	2.3	74.5	39.8	59.8	47.3	63.8	44.9	64.4	5.3	69.0	6.6
Atomic Number (O=8)														
Si	2.38	2.55	2.38	2.97	2.27	2.62	2.40	2.50	2.37	2.55	2.39	2.95	2.35	2.90
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	1.57	1.40	1.59	1.04	1.68	1.34	1.54	1.44	1.56	1.40	1.54	1.03	1.59	1.08
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe 2+	0.05	0.04	0.05	0.02	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.04	0.02	0.03	0.02
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00
Ca	0.62	0.42	0.57	0.02	0.73	0.38	0.59	0.47	0.63	0.44	0.65	0.05	0.69	0.07
Na	0.35	0.63	0.37	0.83	0.25	0.58	0.39	0.52	0.36	0.54	0.36	0.94	0.31	0.94
K	0.00	0.00	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	4.98	5.04	4.98	4.93	4.99	4.98	5.00	5.01	5.00	5.00	5.00	5.00	4.99	5.02

Table. 7 ドレライト中の斜長石の鉱物化学組成

Sample Site	20IW05				88IW155B-2						10IW17					
	1		2		1		2		1		1		2			
	vein	vein	vein	host	ves	ves	host	ves	host	host	ves	ves	host	host	ves	host
EDS	906	907	909	911	885	886	887	890	892	891	893	894	895	896	898	899
Na2O	4.61	4.14	3.91	3.59	2.95	2.64	3.24	3.01	2.71	3.11	3.14	3.15	2.95	2.59	3.57	2.59
MgO	1.38	1.34	2.29	5.27	7.63	8.69	5.92	6.98	8.19	6.45	6.42	6.60	7.20	8.04	7.26	7.51
Al2O3	17.44	16.76	16.25	13.30	14.66	14.28	19.08	15.21	14.36	17.55	14.00	14.70	16.68	14.45	14.45	15.42
SiO2	59.97	59.60	58.49	48.54	48.24	46.04	48.50	46.27	50.94	48.69	44.18	44.82	48.46	49.03	47.96	48.39
K2O	6.28	6.42	5.26	1.05	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00
CaO	1.50	1.09	1.72	7.30	11.81	10.86	11.32	9.15	14.45	11.54	9.99	9.84	11.94	13.28	9.00	13.43
TiO2	0.27	0.23	0.60	1.18	1.62	1.07	1.30	2.05	1.69	1.17	4.20	2.82	1.75	1.02	2.00	1.85
Cr2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00	0.00	0.20	0.20	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00	0.23
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.00	0.17	0.00
FeO	3.54	3.38	5.76	9.78	10.51	11.49	7.55	11.96	6.87	8.25	9.60	10.25	7.96	7.14	11.24	8.05
Total	94.97	92.97	94.28	90.02	97.60	95.29	96.91	94.95	99.41	96.97	91.67	92.18	97.13	95.77	95.85	97.48

LA-ICPMS	UTR0769	UTR0770	UTR0773	UTR0772	UTR0786	UTR0787	UTR0789	UTR0782	UTR0783	UTR0784	UTR0798	UTR0799	UTR0800	UTR0801	UTR0802	UTR0803
Rb	109	102	92	33.1	2.5	1.8	4.3	4.2	1.2	2.4	6.4	3.4	2.4	0.64	4.7	2.0
Sr	46.3	76.1	89.9	91.6	126.0	89.2	150	130.6	98.2	139.7	151	138.0	103.6	124.0	112.9	63.5
Y	125.7	152	115.1	137	57	57	25.6	72	41.7	43.8	177	138	71	35.8	111	67
Zr	1559	1620	1440	396	108	96	74	254	124	144	504	369	211	75	508	227
Nb	13.63	12.21	12.8	3.78	2.10	2.28	1.38	5.7	2.29	2.85	10.0	8.7	5.8	0.46	5.4	5.9
Ba	321	536	575	133	10.9	7.2	13.4	21.6	7.9	9.6	32	22.2	16.0	8.9	46	9.6
La	13.95	14.4	14.4	26.3	5.3	4.7	1.86	7.1	2.37	3.6	27.0	16.6	7.6	1.99	12.3	5.6
Ce	53.9	57.3	49.7	128.9	20.0	17.1	7.0	24.0	8.9	13.1	95	63.0	24.6	6.5	44.2	20.9
Pr	7.20	7.24	6.89	17.3	3.12	2.78	1.27	3.79	1.59	2.12	14.6	10.0	4.1	1.23	6.9	3.56
Nd	32.6	31.6	29.6	65.0	17.0	15.6	6.2	21.0	9.7	11.6	75	53.2	22.1	7.4	35.1	19.7
Sm	9.73	9.37	8.25	18.8	5.8	5.6	2.27	6.9	3.7	4.1	21.1	15.9	6.9	3.01	10.7	6.6
Eu	1.67	1.80	1.83	3.75	1.83	1.77	0.91	2.10	1.27	1.29	5.24	4.28	2.04	1.10	2.71	1.81
Gd	11.52	11.9	10.2	21.9	7.5	7.3	3.5	9.3	5.4	5.3	25.3	19.1	9.7	4.7	13.6	8.8
Tb	2.27	2.40	2.08	3.59	1.36	1.27	0.65	1.63	1.00	1.03	4.26	3.22	1.63	0.83	2.37	1.59
Dy	16.7	17.8	15.3	22.1	8.8	8.4	4.1	11.1	6.7	6.5	27.8	22.1	11.2	5.8	15.9	10.7
Ho	3.91	4.03	3.59	4.60	1.84	1.68	0.81	2.24	1.40	1.41	5.6	4.3	2.22	1.18	3.3	2.09
Er	12.8	14.7	12.6	13.0	5.5	5.2	2.5	6.5	4.2	4.0	16.2	12.4	6.4	3.2	9.7	6.0
Tm	2.27	2.45	2.21	1.85	0.77	0.73	0.35	0.94	0.60	0.58	2.41	1.85	0.94	0.51	1.52	0.92
Yb	15.7	16.7	15.4	11.2	5.2	4.7	2.51	5.6	4.0	3.8	15.0	11.2	6.4	3.4	10.9	6.3
Lu	2.31	2.48	2.37	1.59	0.71	0.67	0.34	0.75	0.61	0.55	2.12	1.56	0.88	0.50	1.51	0.85
Hf	33.6	36.5	31.9	9.34	2.69	2.33	2.03	5.49	3.28	3.20	9.5	8.2	5.08	2.16	7.8	5.14
Ta	1.311	1.356	1.24	0.325	0.120	0.134	0.105	0.370	0.131	0.177	0.60	0.58	0.36	0.041	0.355	0.313
Pb	7.40	6.69	5.71	4.34	0.72	0.62	1.09	1.25	0.69	0.94	3.4	1.51	1.82	0.87	1.67	1.13
Th	27.5	16.61	11.40	51.3	0.80	0.70	0.220	0.89	0.271	0.43	2.12	1.39	0.69	0.155	1.54	0.63
U	2.77	2.87	2.61	0.907	0.178	0.175	0.096	0.35	0.127	0.157	0.67	0.42	0.220	0.041	0.56	0.241

Table. 8 微小領域の全岩化学組成. 主成分組成と微量成分組成

Sample Site	99IW54						10IW16-3						IW50				
	1			2			2			3			1				
	ves	ves	host	host	ves	host	ves	ves	host	ves	ves	host	ves	ves	ves	host	host
EDS	880	882	884	883	878	879	871	872	877	873	875	876	900	901	904	902	889
Na2O	4.19	4.84	4.87	5.77	2.84	4.33	3.02	3.33	3.17	2.35	2.91	2.99	6.32	6.15	6.43	2.02	2.83
MgO	4.66	5.22	8.29	4.34	7.71	5.67	6.88	6.50	6.28	8.32	7.00	6.43	3.12	3.27	3.02	10.12	7.18
Al2O3	10.00	11.47	13.96	13.64	10.81	14.13	13.59	14.78	16.87	11.36	13.66	17.12	16.51	17.16	16.65	7.69	15.25
SiO2	42.34	47.88	53.87	51.19	44.50	50.12	49.18	50.23	50.87	50.19	50.72	51.00	50.92	52.76	51.71	47.09	48.91
K2O	0.00	0.00	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	0.76	0.34	0.00	0.00
CaO	15.96	12.69	8.26	10.26	12.33	9.11	12.90	12.24	12.97	14.59	12.97	13.22	5.95	5.90	5.81	12.82	12.47
TiO2	2.57	2.12	0.68	2.45	4.74	4.07	2.30	2.10	1.17	1.90	1.62	1.20	2.14	1.97	2.19	3.60	1.42
Cr2O3	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.22	0.22	0.18	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.34	0.00
FeO	7.78	8.14	6.11	6.95	10.54	9.07	9.20	9.43	7.28	9.62	9.16	7.42	7.33	7.74	7.33	13.68	7.98
Total	87.50	92.36	96.44	94.61	93.63	96.51	97.28	98.79	98.84	98.55	98.22	99.61	92.60	95.70	93.46	97.35	96.22
LA-ICPMS	UTR0812	UTR0813	UTR0814	UTR0815	UTR0816	UTR0817	UTR0829	UTR0830	UTR0831	UTR0826	UTR0827	UTR0828	UTR0841	UTR0842	UTR0843	UTR0845	UTR788
Rb	1.8	1.24	25.8	2.6	1.20	2.9	0.90	0.65	2.0	0.91	0.98	4.4	12.3	11.4	7.9	10.1	2.9
Sr	122.3	113.9	136.7	167	52.3	98.7	116.2	136.7	107.2	107.3	171	131	198	233	203	153	115.4
Y	164	108	36.4	91	92	119	66	77	50	87	54	57	156	73	183	39.5	49.3
Zr	537	336	68	227	244	319	180	204	155	264	141	200	2035	100	2553	162	140
Nb	6.1	3.8	1.14	4.1	5.5	7.0	3.8	4.2	1.91	6.0	3.3	2.9	13.3	6.0	7.6	1.42	3.6
Ba	18.9	16.4	32	22.4	10.7	25.6	17.8	16.3	17.8	16.1	17.4	24	135	123	97	20.5	9.6
La	15.6	9.6	5.5	8.3	6.6	7.1	6.1	6.8	3.7	8.2	5.0	5.1	7.3	7.2	21.1	1.18	4.3
Ce	52.9	37.4	7.3	23.4	22.1	28.0	19.9	23.1	14.6	30.5	18.0	18.8	26.2	31.0	73.3	4.8	16.8
Pr	8.8	5.0	1.93	4.05	3.68	4.5	3.54	3.88	1.96	4.7	3.10	2.87	4.6	4.8	11.7	1.09	2.49
Nd	43.2	27.8	7.3	22.1	20.2	25.2	18.7	21.3	11.7	26.0	16.3	16.5	22.7	22.4	55.4	6.2	13.2
Sm	14.7	9.3	2.45	7.9	7.5	9.1	6.2	7.2	4.2	8.8	5.1	5.6	7.7	7.3	15.5	2.56	4.9
Eu	3.92	2.63	1.00	2.39	3.19	3.36	1.88	2.15	1.26	2.35	1.64	1.71	2.23	2.65	3.46	1.03	1.49
Gd	20.3	12.9	4.2	10.6	11.1	13.7	8.4	9.5	5.7	11.1	6.8	7.9	11.4	9.2	19.4	3.9	6.2
Tb	3.78	2.39	0.72	1.98	1.99	2.45	1.55	1.80	1.14	2.00	1.16	1.41	2.37	1.68	3.43	0.76	1.14
Dy	23.8	15.2	4.5	12.3	12.9	15.6	10.1	11.5	7.3	13.7	7.9	9.2	17.4	10.8	23.7	5.5	7.2
Ho	5.1	3.14	1.04	2.57	2.66	3.3	1.96	2.32	1.46	2.66	1.55	1.82	4.5	2.32	5.4	1.37	1.47
Er	14.8	9.6	3.0	7.8	7.7	10.0	6.0	7.0	4.6	8.4	4.9	5.8	17.3	7.2	18.8	4.4	4.5
Tm	2.24	1.43	0.45	1.18	1.16	1.59	0.92	1.09	0.72	1.20	0.76	0.92	2.91	1.00	3.09	0.64	0.63
Yb	13.8	8.8	2.81	7.2	7.0	10.2	5.5	6.3	4.4	7.2	4.4	5.3	20.8	6.3	21.8	4.1	4.5
Lu	2.08	1.27	0.43	1.10	1.01	1.53	0.86	0.94	0.71	1.06	0.69	0.83	3.3	0.89	3.3	0.64	0.63
Hf	12.2	7.0	1.89	5.6	5.8	7.4	4.34	4.83	3.37	6.6	3.79	4.55	45.1	2.85	49.6	3.32	3.09
Ta	0.50	0.283	0.068	0.267	0.44	0.49	0.258	0.295	0.118	0.40	0.194	0.205	1.05	0.43	0.67	0.076	0.199
Pb	1.64	1.89	4.4	1.43	1.22	2.65	1.29	1.41	2.23	2.74	1.45	9.6	1.77	1.43	1.75	1.33	1.72
Th	2.30	1.25	1.48	0.84	0.88	1.27	0.60	0.67	0.50	0.77	0.39	2.79	5.20	0.55	6.6	0.51	0.50
U	0.70	0.37	0.093	0.287	0.286	0.42	0.175	0.235	0.183	0.281	0.131	0.220	2.18	0.146	2.69	0.227	0.203

Table. 8 微小領域の全岩化学組成. 主成分組成と微量成分組成

分配	IW98								泥岩	残差二乗
	緑泥石	スフェーン	白雲母	曹長石	灰長石	カリ長石	石英	合計		
分配	15%	1%	4%	17%	6%	22%	34%	100%	参照値	
SiO2	4.74	0.40	1.43	12.01	3.38	13.99	34.45	70.40	70.40	0.00
TiO2	0.00	0.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.53	0.53	0.00
Al2O3	2.68	0.00	2.43	3.40	1.43	3.96	0.00	13.90	13.90	0.00
FeO	4.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.15	4.30	0.02
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00
MgO	2.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.97	2.77	0.04
CaO	0.00	0.38	0.00	0.00	1.58	0.00	0.00	1.95	1.95	0.00
Na2O	0.00	0.00	0.00	2.07	0.00	0.00	0.00	2.07	2.07	0.00
K2O	0.00	0.00	0.37	0.00	0.00	3.65	0.00	4.03	4.03	0.00
total	14.54	1.31	4.24	17.48	6.39	21.60	34.45	100.00	100.00	0.06

分配	IW33								泥岩	残差二乗
	緑泥石	スフェーン	白雲母	曹長石	灰長石	カリ長石	石英	合計		
分配	11%	2%	11%	19%	5%	16%	35%	100%	参照値	
SiO2	0.00	0.57	3.86	13.18	2.70	10.49	35.14	65.94	65.96	0.00
TiO2	0.00	0.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.76	0.76	0.00
Al2O3	3.04	0.00	6.55	3.73	1.14	2.97	0.00	17.42	17.44	0.00
FeO	4.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.70	5.17	0.21
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00
MgO	3.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.36	2.76	0.36
CaO	0.00	0.53	0.00	0.00	1.26	0.00	0.00	1.79	1.81	0.00
Na2O	0.00	0.00	0.00	2.27	0.00	0.00	0.00	2.27	2.28	0.00
K2O	0.00	0.00	1.01	0.00	0.00	2.74	0.00	3.75	3.77	0.00
total	11.10	1.87	11.42	19.18	5.10	16.19	35.14	100.00	100.00	0.58

分配	IW3								泥岩	残差二乗
	緑泥石	スフェーン	白雲母	曹長石	灰長石	カリ長石	石英	合計		
分配	8%	2%	13%	30%	2%	10%	35%	100%	参照値	
SiO2	0.00	0.57	4.24	20.34	1.31	6.41	35.49	68.35	68.38	0.00
TiO2	0.00	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75	0.75	0.00
Al2O3	2.23	0.00	7.19	5.75	0.55	1.81	0.00	17.55	17.57	0.00
FeO	3.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.46	4.10	0.41
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00
MgO	2.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.47	1.64	0.69
CaO	0.00	0.53	0.00	0.00	0.61	0.00	0.00	1.14	1.17	0.00
Na2O	0.00	0.00	0.00	3.50	0.00	0.00	0.00	3.50	3.53	0.00
K2O	0.00	0.00	1.11	0.00	0.00	1.68	0.00	2.78	2.81	0.00
total	8.17	1.85	12.54	29.58	2.47	9.90	35.49	100.00	100.00	1.11

Table. 9 泥岩の組成を各モデル鉱物の混合計算で算出した結果

		vesicle	PI	Cpx	OI	vesicle ?	ground mass	Spl	Opa	計
Dolerite sill 1	10IW35	102	103	1			1794			2000
Dolerite sill 1	10IW34	168	125	1			1706			2000
Dolerite sill 1	10IW33	198	80	15			1707			2000
Dolerite sill 1	10IW32	173	78			4	1745			2000
Dolerite sill 1	10IW32	186	26	5			1783			2000
Dolerite sill 1	10IW32平均	179.5	52	2.5		2	1764			2000
Dolerite sill 1	10IW31	182	120	1		2	1695			2000
Dolerite sill 1	10IW31	159	179	9		1	1652			2000
Dolerite sill 1	10IW31平均	170.5	149.5	5		1.5	1674			2000
Dolerite sill 1	10IW30	135	133	14			1718			2000
Dolerite sill 1	10IW12-3	127	81	3			1789			2000
Dolerite sill 1	10IW11	203	129	26			1642			2000
Dolerite sill 1	09IW18	154	229	1		7	1609			2000
Dolerite sill 1	09IW17	136	46	0		0	1818	0	0	2000
Dolerite sill 1	09IW17	201	114				1685			2000
Dolerite sill 1	09IW17平均	168.5	80				1752			2000
Dolerite sill 1	09IW16	148	122				1730			2000
Dolerite sill 1	09IW15-2	179	127	3		8	1683			2000
Dolerite sill 1	09IW15	194	106	3			1697			2000
Dolerite sill 1	09IW15	168	100	3			1729			2000
Dolerite sill 1	09IW15平均	181	103	3			1713			2000
Dolerite sill 1	09IW14-1	126	29	2		3	1840			2000
Dolerite sill 1	09IW13	57	187	8		5	732	11		1000
Dolerite sill 1	09IW12	209	114	11			1666			2000
Dolerite sill 1	09IW11	188	53				1759			2000
Dolerite sill 1	09IW10	159	289	13			1539			2000
Dolerite sill 1	09IW09	204	143	9			1644			2000
Dolerite sill 1	09IW8-2	99	92	3		6	1800			2000
Dolerite sill 1	09IW7-2	129	95	14			1762			2000
Dolerite sill 1	09IW06	191	116				1693			2000
Dolerite sill 1	09IW06	129	131	6			1734			2000
Dolerite sill 1	09IW06平均	320	247	6			3427			4000
Dolerite sill 2	09IW23-2	86	18	14		27	855	0		1000
Dolerite sill 2	09IW23-2	25	6	0		3	466	0		500
Dolerite sill 2	09IW23-2平均	111	24	14	0	30	1321	0	0	1500
Dolerite sill 2	10IW49	87	21				1892			2000
Dolerite sill 2	10IW52	47	7	1		8	1937			2000
Dolerite sill 2	10IW52	111	60	8			1821			2000
Dolerite sill 2	10IW52平均	158	67	9	0	8	3758			4000
Dolerite sill 3	10IW17	15	114			1	1870			2000
Dolerite sill 3	10IW16	75	176	1		5	1743			2000
Dolerite sill 3	10IW14	64	251	31		18	1636			2000
Pillow basalt	IW105-1	2	8	10	2	4	1974	0	0	2000
Pillow basalt	IW105-1	3	12	10	1	5	969	0	0	1000
Pillow basalt	IW105-1平均									
Gabbroic dolerite	09IW3	8	22	2	0	3	965	0	0	1000
Massive basalt	09IW24	3	109.5	7.5	6	7.5	1367	0	0	1500
Pillow basalt	09IW30	16.5	141	9	3	7.5	1323	0	0	1500
Pillow basalt	09IW29	12	115.5	12	1.5	3	1356	0	0	1500
Pillow basalt	88IW132A	31.5	126	1.5	1.5	6	1334	0	0	1500
Pillow basalt	IW76	3	58.5	0	0	3	1436	0	0	1500
Pillow basalt	IW77	15	60	0	9	3	1413	0	0	1500

Appendix 1 発泡度測定値

	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	LOI	Sr	Rb	Ni	Zr	Y	Nb	Ba	Cr	Pb	Th	V
09IW1	52.03	1.35	17.40	9.13	0.15	5.68	10.89	2.94	0.27	0.16	1.36	191.28	8.79	51.90	122.87	35.98	3.80	59.50	179.70	2.24	3.04	239.54
09IW2	51.68	1.29	15.26	10.03	0.16	6.83	12.13	2.37	0.12	0.13	1.19	107.35	9.60	77.60	81.34	34.59	2.74	12.30	221.40	2.90	1.86	272.66
09IW5	51.82	1.99	15.04	11.08	0.18	6.88	9.79	2.69	0.26	0.25	1.66	149.25	5.77	67.30	162.18	46.87	4.39	51.90	156.00	2.50	3.88	325.46
09IW6	51.97	1.98	14.97	11.22	0.18	7.28	8.90	2.92	0.31	0.26	2.56	180.58	6.90	75.50	168.50	48.64	4.74	89.50	152.20	2.67	5.17	323.43
09IW7	51.85	1.99	15.12	10.86	0.18	6.97	9.49	2.89	0.40	0.25	0.35	186.11	11.13	75.90	168.56	47.96	4.41	84.90	152.80	1.18	4.32	333.73
09IW8	52.43	1.97	15.80	9.52	0.17	6.39	10.39	2.74	0.35	0.25	1.95	150.77	7.24	84.50	175.84	49.08	4.26	58.10	206.60	1.62	4.91	315.23
09IW9	51.42	1.90	15.21	11.08	0.18	6.69	10.32	2.54	0.40	0.25	1.49	143.98	7.44	89.50	153.76	47.71	4.98	54.00	163.00	2.04	3.98	299.94
09IW11	51.92	1.79	15.14	10.74	0.18	7.47	8.20	2.36	0.57	0.24	2.02	274.97	12.30	90.90	152.88	45.66	5.413	96.90	171.10	1.94	4.34	298.08
09IW12	51.31	1.89	15.19	10.96	0.19	7.58	8.27	3.74	0.64	0.24	1.95	282.95	11.79	87.70	156.74	46.47	3.84	123.50	177.30	4.07	3.94	316.46
09IW13	50.59	1.90	15.38	11.38	0.17	6.98	10.29	2.58	0.47	0.26	1.67	152.11	8.26	100.40	169.71	49.65	5.34	86.90	170.90	3.76	4.20	312.17
09IW14	50.86	1.79	15.46	11.13	0.18	7.21	10.18	2.80	0.16	0.23	1.66	168.66	5.05	98.70	155.33	45.08	4.93	40.40	172.00	2.91	4.05	303.73
09IW15	51.23	2.01	15.15	11.20	0.19	8.05	8.30	3.44	0.18	0.25	1.87	234.77	5.58	87.50	159.04	47.98	4.26	36.60	175.80	2.64	4.12	335.68
09IW15-2	51.47	2.00	15.14	11.29	0.18	6.88	9.85	2.68	0.24	0.26	1.87	163.10	6.26	74.10	173.50	49.62	4.77	66.40	159.20	2.99	4.94	326.38
09IW16	50.46	2.05	15.53	11.16	0.18	7.54	10.02	2.57	0.23	0.25	1.94	172.77	5.67	104.40	162.16	49.27	4.82	45.00	187.30	2.81	4.05	329.18
09IW17	51.06	1.95	15.50	11.09	0.17	6.97	10.16	2.56	0.31	0.24	1.79	159.35	6.23	85.40	156.97	47.25	4.46	57.30	182.60	1.47	3.90	319.13
09IW18	51.69	2.02	15.58	10.70	0.17	6.91	9.73	2.62	0.34	0.25	1.98	160.02	8.63	92.40	156.85	46.30	4.30	47.40	168.10	1.44	3.99	304.15
09IW19	52.96	2.17	16.00	11.42	0.16	7.28	6.29	3.16	0.30	0.27	2.90	222.19	10.23	75.70	161.81	52.72	5.01			2.95	2.82	
09IW19-2	49.89	2.03	15.63	11.03	0.18	7.21	10.98	2.35	0.43	0.26	2.44	154.21	9.13	98.40	160.37	47.72	5.08	69.40	196.30	0.26	3.40	335.50
09IW20-2	68.25	0.70	15.60	5.23	0.04	2.51	1.82	4.16	1.60	0.10	1.42	223.53	34.29	19.90	158.68	18.99	8.25			4.34	4.07	
09IW22	51.88	1.28	14.68	10.17	0.18	8.71	9.08	3.71	0.17	0.13	1.63	208.42	4.91	71.60	81.90	32.89	1.65	35.00	219.50	1.41	3.24	269.10
09IW23-2	52.30	1.55	14.36	10.53	0.17	8.08	8.47	4.04	0.34	0.17	2.06	224.82	7.29	72.90	119.11	40.50	3.76			0.82	0.94	
09IW24	51.65	1.46	16.44	8.96	0.14	6.93	11.66	2.53	0.07	0.17	1.73	147.37	2.07	125.70	104.44	37.74	3.16	4.70	269.80	1.96	2.71	266.76
99IW51	66.40	0.82	16.63	6.08	0.04	3.05	1.35	3.54	1.96	0.13	2.55	137.57	67.82	38.70	149.66	24.08	9.71	362.00	82.20	2.40	4.27	156.07
99IW53	65.12	0.84	17.03	6.27	0.04	3.47	1.19	3.83	2.06	0.13	2.73	119.24	65.54	44.60	144.24	24.86	9.52	423.90	83.60	1.71	4.23	156.82
99IW54	50.91	1.30	15.23	10.35	0.19	9.00	9.42	3.27	0.21	0.13	1.99	177.71	5.11	72.00	81.68	35.04	2.80	38.00	217.60	1.45	0.90	279.05
99IW56	50.97	1.29	15.53	9.85	0.16	7.47	11.95	2.55	0.11	0.14	1.48	116.54	3.26	76.70	81.51	35.47	1.97	23.50	231.10	1.36	3.06	274.22
99IW57	52.23	1.59	14.50	10.30	0.17	7.94	8.67	4.05	0.37	0.18	1.84	241.81	8.15	75.10	120.78	40.99	3.25	73.90	247.80	0.94	3.45	285.46
99IW57	52.21	1.60	14.57	10.32	0.17	7.91	8.67	4.00	0.37	0.17												
99IW61	71.95	0.62	15.03	2.35	0.02	2.77	0.61	6.40	0.16	0.10	1.57	117.75	5.08	33.60	120.86	15.62	7.24	28.00	63.60	2.62	4.50	130.25
99IW64	50.43	1.35	15.69	10.31	0.17	9.22	9.29	3.14	0.27	0.13	2.08	119.21	3.13	32.30	118.87	15.90	7.91			1.78	4.34	
99IW67	49.64	1.05	17.26	9.17	0.12	9.00	10.66	2.57	0.42	0.11	2.05	182.81	6.44	75.00	83.22	34.20	2.48			0.71	0.31	
	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	LOI	Sr	Rb	Ni	Zr	Y	Nb	Ba	Cr	Pb	Th	V
99IW55	50.46	1.21	15.37	10.34	0.17	8.35	10.84	2.90	0.24	0.12	1.63	151.47	4.15	82.90	77.86	31.87	2.63	40.40	233.20	0.58	2.53	
99IW66	48.70	1.14	17.91	9.83	0.13	10.12	9.08	2.59	0.37	0.12	3.33	202.83	8.35	161.90	71.14	30.34	2.91	223.90	400.30	2.87	3.33	
(88IW139)	52.61	1.46	14.76	9.89	0.16	6.92	9.41	4.44	0.15	0.20	3.51	134.43	2.94	71.20	110.32	36.90	2.46	13.80	283.60	2.44	4.68	
09IW3	51.71	1.33	16.34	9.49	0.15	7.52	10.84	2.21	0.26	0.13	3.00	143.20	10.38	95.00	80.81	40.60	3.44	108.30	251.30	0.73	5.39	
09IW26A	50.47	1.39	16.40	9.51	0.16	7.62	11.39	2.69	0.24	0.14	1.93	227.92	6.23	86.10	97.17	35.15	2.98	54.20	305.80	1.32	5.09	
09IW26B	49.14	1.37	16.79	10.18	0.16	8.63	10.56	2.76	0.27	0.15	2.62	262.35	7.35	99.10	96.80	36.50	2.94	105.90	343.00	1.38	6.54	
09IW27	68.70	0.73	15.95	4.32	0.03	2.54	1.48	5.61	0.52	0.13	2.11	272.43	11.01	18.00	142.39	17.86	7.62	179.20	62.70	4.10	7.25	
09IW28	53.37	1.54	14.06	10.03	0.17	7.89	8.66	3.89	0.23	0.16	5.33	292.22	7.54	79.00	106.15	38.74	3.63	76.90	207.40	1.46	6.24	
09IW29	49.27	1.38	16.17	10.95	0.16	7.41	11.73	2.56	0.24	0.14	1.80	184.69	6.06	77.00	92.61	36.40	2.06	88.70	288.10	1.67	4.13	
09IW30	50.15	1.69	15.98	10.87	0.16	6.67	11.79	2.34	0.14	0.22	1.66	146.30	2.53	100.10	142.86	47.28	3.68	12.30	244.00	0.41	3.50	
09IW31	50.74	1.78	16.10	10.32	0.17	6.56	10.60	3.34	0.15	0.25	1.62	187.82	3.43	85.20	153.84	49.32	4.18	23.30	235.10	3.05	4.87	
09IW32B	49.81	1.61	16.42	10.03	0.16	6.92	11.65	3.01	0.19	0.21	1.45	180.68	3.66	112.20	134.77	42.45	3.76	18.80	270.40	2.58	4.86	
09IW33	49.64	1.64	16.04	10.45	0.17	7.04	11.65	2.98	0.16	0.22	1.35	158.57	4.65	96.50	142.29	44.57	3.90	16.80	268.00	1.42	4.54	
09IW34	49.66	1.65	16.44	10.45	0.16	6.72	11.81	2.74	0.17	0.22	2.13	153.99	2.68	104.40	143.26	43.88	4.33	7.00	249.60	1.94	3.88	
09IW35	50.77	1.68	15.51	10.74	0.16	6.50	11.58	2.70	0.15	0.22	1.68	158.94	2.99	85.90	144.93	46.51	4.97	14.50	277.00	0.90	5.13	
09IW36A	50.13	1.63	15.86	10.04	0.17	6.57	12.21	3.03	0.14	0.22	1.34	162.08	3.00	95.20	142.16	44.91	4.94	16.30	255.40	2.13	3.65	
09IW36	49.36	1.66	16.22	10.69	0.17	6.91	11.63	2.99	0.16	0.22	1.97	174.30	3.13	102.10	139.66	45.22	4.98	8.30	274.50	1.90	5.14	
09IW37	51.58	1.75	15.44	10.35	0.15	5.63	12.04	2.75	0.13	0.18	1.02	143.29	4.49	50.40	122.32	43.94	2.78	-4.30	108.30	1.46	4.58	
09IW38	50.29	2.11	15.90	11.50	0.17	6.72	9.66	3.11	0.26	0.28	2.55	195.61	5.65	54.70	163.53	53.49	4.82	20.10	140.30	2.75	5.47	
09IW39	53.67	1.90	14.29	10.47	0.18	6.51	7.82	4.29	0.62	0.24	1.89	132.25	8.81	47.20	156.24	50.92	4.12	73.40	128.70	3.05	6.59	
09IW40	52.38	2.08	13.84	12.05	0.17	6.89	9.58	2.50	0.27	0.23	2.47	161.41	4.00	43.50	156.61	51.80	4.79	34.10	78.50	0.78	6.22	
09IW41	53.74	1.44	14.19	9.41	0.18	6.82	9.82	4.08	0.17	0.16	1.78	198.26	3.43	61.40	103.63	40.39	3.55	20.80	291.70	1.01	3.58	
09IW42	50.33	1.62	16.97	9.90	0.16	6.72	11.19	2.79	0.12	0.19	2.81	211.84	2.45	73.50	122.89	45.53	3.75	10.40	248.80	1.83	3.94	
09IW43	50.93																					

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Sr	Rb	Ni	Zr	Y	Nb	Ba	Cr	Pb	Th	V
10IW08	50.01	1.48	15.44	9.48	0.16	6.95	11.71	2.69	0.11	0.17	1.13	158.66	2.98	69.90	120.16	36.05	3.94	3.10	346.00	1.45	1.41	237.24
10IW09	50.72	2.01	15.11	11.52	0.16	6.34	9.32	2.62	0.29	0.25	2.16	143.39	6.39	80.10	177.59	48.33	5.80	43.40	147.00	2.00	3.22	337.47
10IW11	52.04	2.00	13.70	11.57	0.18	6.86	7.71	4.05	0.26	0.24	2.31	120.73	5.29	85.90	170.05	45.35	4.82	24.60	151.70	0.77	1.87	326.84
10IW12-3	49.13	1.81	14.80	11.36	0.19	7.01	8.57	3.80	0.28	0.22	2.33	259.40	5.94	99.10	159.77	44.42	5.15	63.10	166.50	2.11	2.12	309.94
10IW13	48.90	1.40	15.61	8.20	0.14	8.34	12.37	2.65	0.14	0.16	1.97	235.41	4.24	199.60	104.90	32.70	2.89	16.70	371.40	3.42	0.51	
10IW14	49.67	1.45	16.61	8.67	0.13	8.45	11.90	2.40	0.08	0.16	2.38	180.86	1.88	143.40	107.07	36.49	3.86	13.30	328.20	1.88	1.57	
10IW15	48.89	1.30	16.41	8.48	0.15	7.26	12.74	2.68	0.07	0.14	1.67	172.89	1.81	77.60	101.71	33.90	2.68	5.50	349.00	1.85	1.16	
10IW16	49.41	1.28	15.95	9.04	0.15	7.25	12.13	2.76	0.10	0.13	1.70	199.60	2.92	77.90	99.11	32.96	2.83	0.80	379.00	1.63	0.49	
10IW17	48.70	1.27	16.94	9.08	0.15	7.28	12.60	2.49	0.06	0.14	1.52	151.93	1.06	88.80	96.95	32.48	4.06	-2.50	327.30	1.82	1.39	
10IW18	46.69	1.23	15.58	8.74	0.15	7.34	12.60	2.75	0.10	0.13	1.52	184.20	2.37	80.00	95.47	33.67	3.80	3.10	346.00	1.32	1.06	
10IW30	48.57	1.67	14.27	11.80	0.20	7.20	11.37	2.94	0.09	0.16	1.46	140.82	2.73	44.20	112.49	41.08	3.55	6.60	76.20	-0.04	1.49	
10IW31	48.14	1.93	14.46	11.50	0.18	6.34	10.66	2.56	0.28	0.24	1.44	147.85	5.65	81.90	162.51	46.54	5.04	52.80	141.00	1.15	1.84	317.63
10IW32	50.62	2.02	15.16	10.92	0.17	6.26	10.68	2.56	0.29	0.25	1.61	147.60	5.23	85.80	166.41	47.94	4.95	55.40	154.30	2.09	1.68	
10IW33	50.44	1.94	14.61	10.94	0.18	6.96	10.35	2.45	0.28	0.23	1.94	161.35	5.99	92.20	160.95	46.07	4.97	69.40	171.50	2.70	2.53	
10IW34	47.96	1.91	14.80	11.53	0.19	7.09	10.18	2.49	0.23	0.24	1.83	150.30	5.86	99.40	161.49	45.87	5.40	53.20	158.40	2.18	1.87	324.58
10IW35	51.01	2.12	16.30	11.96	0.18	6.60	8.89	2.91	0.33	0.26	3.20	183.58	14.83	90.30	172.79	49.03	4.26	44.40	167.30	4.51	2.64	
10IW36	49.77	1.83	14.95	11.05	0.18	6.46	9.05	3.60	0.50	0.21	1.55	246.09	9.61	83.20	156.91	42.74	4.51	76.80	153.10	1.28	2.03	
10IW37	50.15	1.84	14.91	10.95	0.18	6.60	8.87	3.76	0.49	0.23	1.62	265.32	8.55	79.30	160.20	44.38	5.06	87.20	160.80	2.01	2.20	
10IW38	50.02	1.79	15.18	10.89	0.18	6.61	9.23	3.50	0.50	0.21	1.81	238.19	8.71	92.50	153.76	44.98	4.96	80.10	177.60	1.29	1.74	
10IW39	50.05	1.89	14.75	10.97	0.17	6.71	10.09	2.60	0.39	0.24	1.73	151.58	5.90	91.60	163.40	45.55	4.59	64.00	167.90	1.28	2.50	
10IW40	49.90	1.93	14.26	11.68	0.19	7.36	7.76	3.60	0.53	0.23	2.49	254.47	8.34	105.20	160.95	44.60	5.07	129.90	179.50	2.92	2.25	
10IW46	49.93	1.94	13.15	12.73	0.21	6.65	10.71	2.92	0.08	0.18	1.18	130.16	2.86	39.30	122.10	46.67	3.41	3.40	52.80	2.46	1.55	
10IW47	48.58	1.72	15.15	10.91	0.18	7.03	10.26	3.01	0.15	0.22	1.68	178.51	4.95	91.70	149.07	43.16	3.95	33.10	172.70	1.64	1.56	289.72
10IW49	48.12	1.31	14.46	10.75	0.19	8.56	10.65	2.84	0.16	0.12	1.80	147.08	4.03	76.90	82.51	34.68	2.45	38.70	209.70	1.96	1.05	289.07
10IW50	48.90	1.27	14.52	10.27	0.17	8.29	10.59	3.16	0.26	0.12	1.70	184.63	6.28	84.20	81.30	33.35	2.82	57.60	218.80	1.52	1.03	276.45
10IW51-2	50.00	1.27	14.47	10.16	0.20	7.90	11.74	2.82	0.12	0.13	1.57	136.64	3.40	78.90	80.01	32.80	3.04	18.20	197.80	1.80	1.64	
10IW52	47.37	1.22	15.64	9.57	0.15	8.23	11.96	2.63	0.09	0.11	2.01	168.76	2.79	118.30	79.77	32.51	2.51	3.90	360.10	0.62	0.80	258.73
10IW53	50.53	1.44	15.10	10.65	0.18	7.58	9.81	4.01	0.32	0.14	1.88	216.97	6.63	82.80	100.26	35.33	3.11	37.50	210.60	1.45	1.36	
10IW54	50.05	1.30	14.63	10.33	0.19	8.31	10.32	3.09	0.12	0.13	1.76	181.37	3.45	79.30	82.45	32.70	2.69	45.00	213.00	0.75	0.66	275.87
10IW55	48.08	1.32	14.96	9.83	0.15	10.04	9.43	3.07	0.17	0.12	2.56	153.77	4.58	92.50	84.89	32.54	2.57	36.50	245.80	2.06	1.95	285.31
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Sr	Rb	Ni	Zr	Y	Nb	Ba	Cr	Pb	Th	V
09AI01	50.25	1.13	15.43	9.42	0.15	7.84	12.18	2.40	0.17	0.12	2.60	158.23	10.32	77.30	66.43	28.29	2.52	39.70	358.50	1.59	1.73	255.26
09AI02	50.39	1.08	16.89	8.81	0.15	8.71	11.00	2.53	0.36	0.11	1.86	198.35	25.24	109.30	62.91	28.06	2.56	49.00	395.90	1.08	1.41	243.05
09AI04	50.21	1.06	16.95	9.43	0.14	9.64	9.32	2.15	0.37	0.63	2.42	179.13	24.53	179.70	60.59	26.70	1.33	46.40	374.20	1.54	1.99	238.81
09AI05	49.13	1.18	16.85	10.00	0.18	9.72	10.16	2.28	0.21	0.11	2.50	148.19	11.26	122.20	64.09	29.45	2.51	65.70	385.50	-0.04	1.38	275.62
09AI06	51.26	1.10	15.88	9.44	0.17	8.79	11.09	2.41	0.19	0.11	1.44	142.30	14.33	95.60	63.47	29.43	1.79	50.10	305.50	-0.08	1.95	259.73
09AI07	50.54	1.11	15.88	9.65	0.17	7.47	12.05	2.32	0.19	0.11	2.31	148.43	13.86	92.80	63.31	27.71	1.61	57.80	358.50	0.89	1.21	253.62
10TK02	52.55	0.84	17.98	7.48	0.15	7.21	10.20	3.23	0.20	0.10	1.92	306.59	7.93	87.50	71.60	22.59	2.16	42.20	278.20	2.36	2.94	176.68
10TK03	51.89	0.82	17.87	7.50	0.16	7.58	11.16	2.68	0.16	0.09	1.45	299.73	6.91	85.40	69.69	20.69	2.68	48.50	274.60	1.95	3.11	184.48
10TK04	52.40	0.90	15.82	8.43	0.15	8.21	10.85	2.37	0.80	0.07	1.97	220.67	29.72	84.60	52.83	26.18	1.59	118.00	346.40	0.26	2.21	222.68
10TK05	50.40	0.89	19.05	7.50	0.12	6.94	12.56	2.33	0.16	0.07	1.42	161.14	8.21	80.10	54.46	22.83	1.92	21.40	316.00	1.30	3.57	192.52
10TK09	55.00	0.80	17.28	5.67	0.06	6.56	9.96	4.13	0.34	0.10	1.08	412.47	13.29	52.40	78.31	19.39	3.36	35.50	222.80	1.08	3.94	162.87
10TK10	52.42	0.85	17.42	7.57	0.12	7.74	9.86	3.19	0.50	0.10	1.43	477.84	18.22	71.80	85.43	20.17	4.25	97.90	238.60	0.71	3.54	163.66
10OK35	53.39	0.84	17.51	7.56	0.12	7.06	9.79	3.06	0.63	0.12	3.01	256.07	17.65	35.00	93.55	23.43	3.65	114.50	243.70	1.51	3.60	174.86
10OK36	56.50	0.80	16.87	6.87	0.12	6.51	8.07	3.64	1.12	0.09	1.96	263.89	24.72	33.10	90.21	22.82	1.99	274.10	217.50	2.25	3.81	168.76
10OK37	53.64	0.85	17.58	7.44	0.11	7.22	9.90	2.76	0.46	0.09	2.17	205.44	12.49	36.70	95.61	23.22	3.32	115.10	243.00	1.86	2.99	177.68

Appendix. 2 下川オフィオライト・日高帯北部（愛別岩体・滝上岩体・立牛岩体）の全岩化学組成分析値

	Li	Sc	V	Co	Zn	Ga	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd
09IW5	11.89	35.58	311.77	39.50	122.89	17.96	5.00	139.10	46.22	170.27	3.81	1.56	66.35	6.98	20.74	3.33	16.88
09IW6	15.97	35.51	304.64	38.45	82.02	17.57	6.24	136.76	44.04	173.50	3.79	0.74	67.60	6.70	19.93	3.09	16.06
09IW7	12.46	36.90	308.11	38.51	79.87	17.42	9.91	163.41	43.45	157.83	3.62	1.40	84.50	6.52	19.52	3.11	15.80
09IW8	17.30	35.35	315.89	39.93	96.46	17.66	6.44	165.12	45.08	164.59	3.79	1.47	91.66	6.70	19.93	3.11	16.60
09IW9	12.02	35.23	282.60	37.78	114.49	16.65	11.50	254.53	41.86	147.80	3.48	1.23	120.39	6.47	18.82	2.99	15.22
09IW11	14.00	37.56	303.88	39.36	96.04	17.42	11.07	263.31	42.06	147.68	3.51	1.37	100.51	6.41	19.00	2.99	15.08
09IW12	9.04	27.03	231.46	31.85	83.96	14.56	9.19	219.08	35.26	124.62	3.27	1.18	85.97	5.51	16.11	2.55	12.76
09IW13	6.71	34.49	282.04	35.85	85.74	16.49	7.11	126.82	40.82	149.23	3.44	1.11	56.46	6.25	18.57	2.94	14.73
09IW14	9.67	32.59	265.01	42.77	123.72	17.61	3.66	161.34	40.80	153.71	3.29	0.91	42.34	6.52	18.67	3.00	15.10
09IW15	10.90	34.28	280.53	42.36	87.86	17.52	7.14	135.62	44.79	163.95	3.53	0.88	87.23	6.82	19.68	3.16	15.98
09IW15-2	11.45	36.73	308.23	39.77	88.99	18.04	5.26	145.23	45.38	170.49	3.79	1.29	67.34	6.71	20.10	3.30	16.50
09IW16	12.53	36.73	310.75	42.52	74.13	16.98	4.55	159.10	45.84	164.90	3.72	1.10	56.41	6.33	19.34	3.12	16.07
09IW17	10.66	34.11	301.45	37.14	145.81	16.88	4.97	169.37	44.18	152.94	3.59	1.25	62.34	6.49	19.20	3.15	15.94
09IW18	11.19	34.73	306.53	43.33	75.88	17.21	7.58	152.83	44.32	158.25	3.69	1.15	57.33	6.69	20.13	3.24	16.56
09IW19	15.78	35.60	302.10	39.19	85.33	18.47	9.40	203.06	48.89	161.89	3.79	1.78	39.65	7.50	22.40	3.60	18.20
09IW19-2	13.20	35.38	296.23	41.19	106.49	17.04	8.47	152.93	44.51	155.97	3.59	0.96	81.70	6.26	19.36	3.07	15.65
09IW20-2	12.55	12.72	79.69	10.69	50.82	15.40	31.72	197.77	17.99	149.78	7.90	0.79	507.56	20.56	42.93	4.89	18.45
	Li	Sc	V	Co	Zn	Ga	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd
IW20	13.51	27.86	176.71	48.06	65.71	13.85	2.60	134.81	24.97	78.95	1.40	1.31	19.68	2.62	8.44	1.46	7.62
IW69	33.24	34.75	165.56	40.93	79.43	13.95	12.06	286.71	24.99	58.84	0.76	25.29	157.40	1.87	6.03	1.09	6.05
IW101	12.31	36.74	189.39	46.68	90.17	17.35	2.59	152.25	39.82	144.67	2.48	1.99	17.16	5.22	15.23	2.57	12.66
97IW27	9.38	38.67	207.84	47.72	96.45	17.79	3.46	182.07	41.72	153.78	2.64	3.55	19.30	5.65	16.37	2.67	13.11
88IW114B	8.52	39.48	281.30	48.44	92.04	16.44	2.03	118.22	37.25	105.56	1.79	1.48	6.44	3.19	10.67	1.90	10.11
88IW132B	8.99	36.09	266.92	49.44	99.69	18.07	1.95	134.71	43.09	142.94	2.80	1.19	19.61	5.04	15.06	2.62	13.05
88IW134	16.84	35.93	287.78	50.19	101.92	16.81	5.26	170.61	49.66	174.91	3.71	0.82	28.62	6.43	19.42	3.31	16.45
88IW152	6.04	36.87	230.33	51.91	80.36	15.74	3.15	134.50	31.32	87.30	1.56	10.14	10.87	3.05	9.68	1.65	8.57
88IW155A																	
88IW156	10.35	35.66	266.90	47.88	334.15	17.46	2.28	165.05	41.16	138.36	2.65	1.06	12.35	4.72	14.89	2.41	12.75
99IW54	17.54	39.30	234.42	42.75	301.40	16.38	4.65	183.89	34.24	88.08	1.50	1.14	52.33	2.98	9.70	1.68	8.54
99IW57	15.88	38.48	255.14	40.16	620.34	16.66	7.86	255.64	42.10	135.10	1.99	1.67	83.04	4.40	13.47	2.43	12.70
99IW66	26.79	37.38	236.80	45.82	845.69	16.86	8.91	209.31	30.48	73.92	1.49	1.56	226.58	2.99	8.78	1.49	7.61
99IW67	18.65	35.68	209.01	43.92	40.65	16.10	8.37	192.60	29.07	70.39	1.40	2.93	230.86	2.45	7.94	1.31	7.20
09IW2	9.74	38.99	248.22	42.42	69.55	16.30	8.54	100.39	35.15	87.78	1.35	3.75	12.90	3.03	9.96	1.70	9.03
09IW3	15.49	38.79	287.45	40.37	81.46	16.22	7.43	221.09	40.91	128.24	2.24	1.72	73.78	4.25	13.25	2.32	12.32
09IW23-2	4.52	31.88	311.72	45.33	104.50	21.59	9.87	394.15	28.13	180.58	19.74	0.11	135.19	15.63	38.16	5.51	24.55
再測定																	
IW20	15.50	30.52	187.28	55.28	66.89	15.75	3.28	157.81	28.71	85.80	1.62	1.90	23.22	3.00	9.73	1.66	8.88
IW101	12.88	36.13	211.53	46.49	83.12	17.34	2.51	149.77	39.77	143.63	2.57	2.46	18.12	5.27	15.67	2.38	12.20
88IW155A	11.97	34.48	240.93	46.10	73.86	16.59	3.92	168.43	35.08	111.61	2.17	9.65	17.41	3.72	11.49	2.03	10.20
09IW23-2	14.86	37.69	289.08	41.72	84.17	17.31	8.06	230.85	41.58	131.54	2.30	2.25	72.46	4.11	13.80	2.29	11.94
	Li	Sc	V	Co	Zn	Ga	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd
10IW09	14.66	38.00	312.35	38.11	59.11	18.58	5.77	143.20	50.30	191.86	4.09	1.29	53.58	7.54	21.88	3.52	17.98
88IW138	12.85	36.08	254.07	27.26	49.31	14.64	2.02	54.37	52.19	200.29	4.20	0.45	12.02	8.10	23.84	3.76	19.09
88IW139	10.53	39.09	255.72	35.55	57.05	14.56	2.38	124.95	37.22	122.32	2.76	0.87	21.94	4.72	14.19	2.35	12.14
10IW17	11.33	36.53	197.82	37.65	42.27	16.00	1.44	142.12	31.65	100.75	1.83	1.04	12.85	3.17	10.32	1.77	9.54
10IW13	12.70	36.46	213.41	37.13	38.26	13.28	2.71	215.85	31.36	106.13	2.21	0.90	25.10	3.48	10.75	1.80	9.57
99IW55	12.04	38.21	237.50	40.10	33.87	15.00	3.22	129.30	31.13	76.53	1.35	0.63	44.41	2.73	8.39	1.44	7.93
99IW56	13.02	40.72	252.43	39.71	39.85	15.70	1.15	110.19	33.46	84.58	1.48	0.55	26.22	2.92	9.01	1.60	8.63
10IW46	10.51	43.67	354.40	41.68	56.65	17.43	1.74	128.09	46.90	128.59	2.35	0.67	14.87	4.18	13.79	2.37	12.97
10IW53	13.01	38.55	268.21	39.68	47.21	15.75	4.96	208.72	36.03	101.64	1.71	0.80	42.33	3.35	10.72	1.90	10.21
09IW31	9.53	35.08	273.81	35.60	45.28	16.93	1.94	172.41	45.57	154.92	3.13	0.84	29.63	5.77	16.99	2.88	14.51
10TK03	6.24	28.07	133.34	30.57	31.85	13.81	3.11	275.86	19.78	68.00	1.71	0.47	57.91	3.04	8.37	1.25	6.20
10TK04	6.94	26.34	136.82	15.03	6.83	13.07	8.57	380.84	19.23	74.59	2.55	1.14	48.59	1.28	4.10	0.82	4.52
10TK09	8.87	33.81	186.96	34.88	40.52	13.40	21.93	207.13	25.56	50.94	1.05	1.10	110.85	2.31	6.08	0.99	5.49
10OK35	20.05	27.44	145.29	28.89	32.47	14.89	12.73	231.10	21.71	91.10	1.97	2.29	107.95	5.78	13.70	1.83	8.32
10OK37	17.89	28.11	149.36	28.68	32.70	14.82	8.23	185.88	22.05	91.94	1.99	0.80	109.35	4.98	12.51	1.76	8.15
09AI01	21.04	37.52	224.88	39.60	34.18	13.91	6.07	146.15	27.71	63.23	0.85	0.75	39.64	1.82	6.37	1.19	6.81
09AI05	29.24	39.04	233.07	40.51	39.66	14.85	7.91	138.20	28.57	63.31	0.88	0.74	68.99	1.77	6.24	1.18	6.86

Appendix. 3 下川オフィオライト・日高帯北部（愛別岩体・滝上岩体・立牛岩体）の微量元素組成分析値

	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Pb	Th	U
09IW5	5.23	1.77	6.64	1.17	7.35	1.62	4.75	0.69	4.26	0.65	4.02	0.26	11.45	1.99	1.00	0.28
09IW6	4.93	1.66	6.29	1.13	7.01	1.58	4.63	0.67	4.11	0.61	4.04	0.25	10.79	1.87	1.05	0.29
09IW7	5.10	1.58	6.26	1.09	6.91	1.52	4.50	0.66	4.01	0.58	3.64	0.25	7.36	1.27	0.91	0.26
09IW8	4.97	1.67	6.43	1.14	7.20	1.57	4.75	0.66	4.15	0.61	3.88	0.25	7.60	3.03	0.94	0.26
09IW9	4.66	1.61	6.05	1.06	6.69	1.47	4.37	0.62	3.84	0.58	3.46	0.23	6.55	2.05	0.89	0.25
09IW11	4.62	1.56	6.10	1.03	6.74	1.46	4.37	0.63	3.86	0.57	3.36	0.23	5.59	1.90	0.87	0.24
09IW12	4.20	1.34	5.05	0.91	5.75	1.27	3.65	0.53	3.28	0.48	2.94	0.21	5.51	1.61	0.75	0.21
09IW13	4.75	1.53	5.81	1.04	6.66	1.48	4.25	0.61	3.84	0.56	3.56	0.24	11.15	2.27	0.88	0.24
09IW14	4.80	1.60	5.87	1.05	6.61	1.44	4.14	0.62	3.84	0.56	3.41	0.23	19.01	1.90	0.91	0.25
09IW15	5.02	1.67	6.38	1.15	7.30	1.55	4.53	0.65	4.19	0.61	3.77	0.25	11.71	1.79	0.94	0.27
09IW15-2	5.31	1.71	6.59	1.15	7.29	1.63	4.63	0.69	4.31	0.63	3.97	0.26	11.93	2.64	0.99	0.28
09IW16	5.16	1.67	6.33	1.17	7.33	1.60	4.58	0.68	4.23	0.61	3.78	0.26	13.62	1.47	0.96	0.26
09IW17	5.14	1.67	6.17	1.16	7.21	1.51	4.53	0.66	4.08	0.60	3.63	0.25	13.62	2.30	0.98	0.26
09IW18	5.19	1.67	6.38	1.14	7.39	1.58	4.59	0.68	4.16	0.61	3.80	0.26	10.37	2.17	0.96	0.27
09IW19	5.60	1.78	6.84	1.25	7.97	1.70	4.82	0.72	4.42	0.63	3.81	0.26	7.09	4.87	0.98	0.26
09IW19-2	5.14	1.67	6.29	1.16	7.40	1.57	4.65	0.68	4.15	0.61	3.70	0.26	7.53	1.19	0.94	0.25
09IW20-2	3.91	0.94	3.24	0.53	3.13	0.64	1.89	0.30	1.89	0.28	3.78	0.55	5.45	4.34	7.33	1.94
	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Pb	Th	U
IW20	2.65	1.00	3.46	0.62	3.95	0.86	2.60	0.36	2.33	0.35	1.82	0.12	57.48	0.56	0.29	0.07
IW69	2.29	0.83	3.22	0.59	3.83	0.86	2.60	0.37	2.35	0.35	1.49	0.08	25.85	0.71	0.11	0.03
IW101	4.12	1.26	5.36	0.95	6.18	1.34	4.06	0.59	3.73	0.56	3.41	0.23	52.07	1.08	1.02	0.27
97IW27	4.29	1.31	5.45	1.00	6.43	1.40	4.21	0.63	3.87	0.58	3.61	0.24	62.10	0.78	1.08	0.36
88IW114B	3.57	1.25	4.96	0.93	5.90	1.27	3.80	0.57	3.47	0.52	2.68	0.14	59.66	0.60	0.26	0.09
88IW132B	4.47	1.44	5.91	1.07	6.84	1.49	4.41	0.64	4.02	0.59	3.42	0.28	69.42	1.25	0.68	0.15
88IW134	5.32	1.53	6.87	1.24	7.69	1.68	5.04	0.75	4.59	0.69	4.14	0.33	55.00	1.13	0.94	0.25
88IW152	2.91	1.14	4.07	0.75	4.79	1.07	3.10	0.47	2.87	0.43	2.21	0.12	83.52	0.76	0.26	0.05
88IW155A																
88IW156	4.28	1.33	5.57	1.00	6.38	1.43	4.13	0.62	3.81	0.56	3.33	0.24	56.40	1.62	0.59	0.14
99IW54	3.18	1.14	4.40	0.83	5.38	1.19	3.54	0.53	3.24	0.48	2.28	0.13	14.82	1.38	0.36	0.10
99IW57	4.22	1.32	5.66	1.02	6.43	1.46	4.25	0.63	3.94	0.58	3.31	0.12	8.18	0.73	0.47	0.14
99IW66	2.77	0.88	3.87	0.70	4.65	1.03	3.12	0.47	2.80	0.41	1.91	0.12	7.00	1.48	0.23	0.04
99IW67	2.54	0.94	3.66	0.70	4.37	1.00	2.92	0.42	2.69	0.40	1.78	0.12	20.39	0.71	0.18	0.05
09IW2	3.25	1.17	4.57	0.85	5.41	1.17	3.49	0.52	3.22	0.48	2.26	0.10	12.49	0.88	0.36	0.09
09IW3	4.19	1.43	5.42	0.98	6.26	1.39	4.07	0.63	3.67	0.57	3.11	0.17	12.34	0.62	0.43	0.12
09IW23-2	6.11	2.09	6.30	0.96	5.18	1.01	2.56	0.35	1.99	0.28	4.41	1.22	0.33	1.56	1.27	0.42
再測定																
IW20	3.04	1.13	3.94	0.71	4.36	1.05	2.89	0.43	2.66	0.41	2.15	0.14		0.64	0.35	0.09
IW101	4.06	1.32	5.25	0.96	6.14	1.42	3.93	0.61	3.76	0.55	3.52	0.21		1.12	0.99	0.28
88IW155A	3.56	1.22	4.85	0.85	5.47	1.23	3.55	0.52	3.29	0.48	2.67	0.18		0.79	0.40	0.10
09IW23-2	4.13	1.40	5.48	1.03	6.35	1.42	4.04	0.58	3.80	0.57	3.09	0.18		0.47	0.46	0.11
	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Pb	Th	U
10IW09	5.60	1.94	6.99	1.25	7.86	1.72	4.95	0.75	4.59	0.69	4.41	0.27	7.78	0.37	1.10	0.30
88IW138	5.69	1.66	7.26	1.29	8.16	1.78	5.10	0.77	4.71	0.71	4.59	0.29	12.43	0.18	1.17	0.31
88IW139	3.91	1.34	5.10	0.91	5.71	1.27	3.66	0.56	3.41	0.51	2.87	0.19	11.37	0.26	0.59	0.17
10IW17	3.20	1.09	4.25	0.78	4.85	1.08	3.13	0.47	2.87	0.44	2.38	0.12	10.73	0.14	0.33	0.10
10IW13	3.21	1.08	4.15	0.75	4.83	1.08	3.05	0.47	2.89	0.43	2.48	0.15	4.55	0.23	0.49	0.13
99IW55	2.85	1.08	3.97	0.73	4.78	1.08	3.05	0.47	2.84	0.43	2.02	0.09	7.97	0.10	0.31	0.08
99IW56	3.07	1.11	4.32	0.82	5.10	1.17	3.25	0.51	3.08	0.47	2.20	0.10	9.88	0.11	0.34	0.09
10IW46	4.56	1.68	6.18	1.15	7.30	1.63	4.65	0.71	4.29	0.64	3.32	0.16	10.05	0.10	0.34	0.11
10IW53	3.47	1.29	4.78	0.88	5.59	1.25	3.59	0.54	3.37	0.51	2.61	0.12	31.95	0.14	0.28	0.08
09IW31	4.78	1.44	6.21	1.12	7.03	1.55	4.40	0.69	4.13	0.62	3.67	0.21	7.08	0.30	0.80	0.24
10TK03	1.97	0.67	2.59	0.48	3.00	0.68	1.89	0.29	1.80	0.27	1.71	0.12	9.61	0.32	0.88	0.30
10TK04	1.84	0.88	2.52	0.48	2.98	0.67	1.92	0.29	1.76	0.26	1.78	0.26	13.39	0.04	1.08	0.35
10TK09	2.21	0.84	3.24	0.62	3.95	0.88	2.68	0.39	2.37	0.37	1.49	0.07	4.91	0.22	0.47	0.18
10OK35	2.41	0.89	3.00	0.54	3.34	0.73	2.15	0.32	2.01	0.30	2.15	0.15	5.50	0.27	1.60	0.54
10OK37	2.45	0.85	3.02	0.54	3.42	0.77	2.27	0.34	2.05	0.31	2.25	0.15	7.07	0.38	1.64	0.50
09AI01	2.50	0.99	3.57	0.68	4.35	1.00	2.89	0.43	2.63	0.39	1.74	0.06	5.52	0.29	0.06	0.02
09AI05	2.53	0.96	3.69	0.69	4.41	1.00	2.89	0.44	2.70	0.40	1.69	0.06	3.74	0.20	0.06	0.02

Appendix. 3 下川オフィオライト・日高帯北部（愛別岩体・滝上岩体・立牛岩体）の微量元素組成分析値

				SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	NiO	BaO	Total
091W04-3	cpx-2	micro phenocryst	rim	49.35	0.95	3.40	0.63	7.17	0.19	15.64	19.60	0.32	0.01	0.09	0.08	97.40
091W04-3	cpx-2	micro phenocryst	rim	48.73	1.06	3.58	0.44	7.44	0.16	15.28	19.51	0.33	0.01	0.07	0.14	96.76
091W04-4	cpx	micro phenocryst	rim	42.30	0.61	1.70	0.63	8.69	0.26	18.32	15.62	0.27	0.02	0.10	0.06	88.57
091W04-3	cpx	matrix		49.29	1.02	1.82	0.10	15.11	0.22	11.95	18.39	0.30	0.00	0.00	0.00	98.20
091W04-3	cpx	matrix		49.17	1.23	1.95	0.01	14.85	0.20	12.37	18.24	0.40	0.00	0.00	0.00	98.42
091W04-3	cpx-1	micro phenocryst	core	47.94	0.93	3.24	0.53	7.67	0.23	16.25	19.34	0.31	0.03	0.10	0.17	96.72
091W04-3	cpx-1	micro phenocryst	core	46.15	0.69	2.25	0.57	7.09	0.23	16.93	19.45	0.29	0.02	0.10	0.13	93.88
091W04-3	cpx-1	micro phenocryst	core	49.86	0.78	2.62	0.63	7.04	0.16	16.44	19.61	0.27	0.02	0.10	0.11	97.64
091W04-3	cpx-1	micro phenocryst	core	50.07	0.70	2.24	0.67	6.67	0.21	16.52	19.56	0.28	0.01	0.09	0.07	97.08
091W04-3	cpx-2	micro phenocryst	core	48.93	1.19	4.01	0.65	7.73	0.27	15.91	18.33	0.30	0.00	0.11	0.16	97.59
091W04-3	cpx-2	micro phenocryst	core	49.11	1.12	3.84	0.74	7.52	0.24	15.56	18.01	0.35	0.01	0.06	0.09	96.64
091W04-4	cpx	micro phenocryst	core	51.16	0.65	2.10	0.71	6.49	0.22	16.76	19.43	0.24	0.03	0.04	0.06	97.86
091W04-4	cpx	micro phenocryst	core	51.30	0.68	2.32	0.64	6.70	0.17	16.75	19.70	0.27	0.01	0.00	0.07	98.61
091W04-4	cpx	micro phenocryst	core	51.57	0.69	2.12	0.49	7.11	0.20	17.23	19.08	0.28	0.01	0.07	0.04	98.88
091W04-5	cpx	micro phenocryst	core	49.75	1.24	3.62	0.57	7.89	0.20	16.05	19.12	0.31	0.02	0.01	0.06	98.82
091W04-5	cpx	micro phenocryst	core	51.05	0.63	1.55	0.49	7.36	0.25	17.87	18.16	0.22	0.02	0.01	0.07	97.68
091W04-6	cpx	matrix	core	51.19	0.70	2.26	0.52	6.49	0.22	16.76	19.89	0.28	0.02	0.01	0.05	98.37
091W04-6	cpx	matrix	core	45.05	1.26	4.28	0.32	8.40	0.22	15.38	14.25	0.29	0.03	0.05	0.07	89.59
091W04-6	cpx	matrix	core	50.19	0.98	3.52	0.61	7.73	0.16	16.75	18.26	0.28	0.02	0.03	0.12	98.67
091W04-6	cpx	matrix	core	49.11	1.24	3.22	0.14	10.90	0.23	16.62	16.15	0.29	0.02	0.00	0.12	98.02
091W05①	Cpx	matrix	rim	51.81	0.58	2.12	0.51	6.36	0.29	17.43	20.04	0.24	0.00	0.05	0.10	99.50
091W05-3	cpx	phenocryst	rim	46.63	0.60	2.20	0.51	7.27	0.20	16.93	18.04	0.27	0.01	0.07	0.09	92.83
091W05③	Cpx	matrix	rim	51.48	0.53	3.39	0.00	12.98	0.34	16.56	13.54	0.23	0.01	0.00	0.17	99.22
091W05③	Cpx	matrix	rim	51.02	0.92	2.53	0.05	8.33	0.28	16.02	19.61	0.31	0.01	0.04	0.14	99.25
091W05③	Cpx	matrix	rim	50.71	0.89	2.93	0.23	7.44	0.20	16.55	19.63	0.28	0.01	0.00	0.11	98.98
091W05③	Cpx	matrix	rim	52.34	0.58	1.77	0.31	7.02	0.22	18.36	18.46	0.22	0.00	0.02	0.19	99.47
091W05③	Cpx	matrix	rim	50.89	0.97	2.79	0.20	7.55	0.26	16.30	19.33	0.28	0.00	0.03	0.14	98.75
091W05-1	cpx	micro phenocryst	core	49.89	0.69	2.88	0.75	6.93	0.18	16.21	18.68	0.32	0.00	0.00	0.02	96.55
091W05-1	cpx	micro phenocryst	core	51.15	0.58	1.43	0.00	11.04	0.24	16.98	15.21	0.20	0.00	0.01	0.01	96.85
091W05-1	cpx	micro phenocryst	core	49.89	0.73	2.71	0.46	6.82	0.21	16.18	19.23	0.27	0.00	0.05	0.03	96.58
091W05-1	cpx	micro phenocryst	core	45.94	0.77	2.73	0.49	7.15	0.10	15.81	18.33	0.26	0.00	0.06	0.00	91.64
091W05-1	cpx	micro phenocryst	core	50.08	0.90	2.75	0.11	7.73	0.20	16.00	18.64	0.28	0.00	0.02	0.00	96.70
091W05-1	cpx	micro phenocryst	core	50.27	0.70	2.55	0.71	7.07	0.18	16.49	18.83	0.28	0.00	0.03	0.02	97.13
091W05-1	cpx	micro phenocryst	core	46.55	0.37	3.14	0.18	11.04	0.24	16.94	14.34	0.20	0.07	0.01	0.00	93.08
091W05-1	cpx	micro phenocryst	core	47.94	0.81	2.88	0.50	7.64	0.20	16.62	17.56	0.26	0.00	0.00	0.02	94.44
091W05①	Cpx	matrix	core	51.70	0.77	2.82	0.47	7.64	0.24	17.81	18.13	0.24	0.00	0.01	0.13	99.95
091W05-3	cpx	phenocryst	core	46.09	0.95	2.88	0.38	8.26	0.19	15.96	18.22	0.30	0.01	0.06	0.12	93.41
091W05-3	cpx	phenocryst	core	48.59	0.37	2.17	0.49	7.64	0.27	13.95	20.53	0.26	0.04	0.07	0.13	94.52
091W05-3	cpx	phenocryst	core	49.58	0.49	1.90	0.32	7.73	0.27	15.33	19.58	0.28	0.02	0.05	0.16	95.70
091W05③	Cpx	matrix	core	47.10	0.78	5.55	0.28	11.23	0.22	15.88	17.58	0.26	0.01	0.00	0.15	99.04
091W05③	Cpx	matrix	core	50.68	0.94	3.25	0.38	8.17	0.27	17.77	17.08	0.29	0.01	0.00	0.13	98.98
091W05③	Cpx	matrix	core	49.79	1.07	3.60	0.47	7.55	0.19	16.59	19.00	0.34	0.00	0.00	0.08	98.67
091W05③	Cpx	matrix	core	50.78	0.95	2.78	0.05	8.19	0.26	16.40	19.24	0.28	0.00	0.00	0.09	99.02
091W05③	Cpx	matrix	core	50.66	0.81	2.63	0.13	8.14	0.27	16.72	18.70	0.28	0.00	0.00	0.12	98.46
091W05-4	cpx	matrix	core	45.37	0.72	2.68	0.66	6.78	0.19	14.81	18.99	0.29	0.02	0.00	0.20	90.71
091W05-4	cpx	matrix	core	45.98	0.83	3.02	0.65	7.14	0.15	14.78	18.84	0.30	0.01	0.00	0.21	91.92
091W08-2	cpx2	matrix	core	53.87	0.07	26.23	0.00	0.58	0.26	8.50	0.10	0.01	0.07	0.00	0.00	89.69
091W08-2	cpx3	matrix	core	51.52	0.04	18.38	0.00	0.68	0.26	11.44	0.12	0.23	0.73	0.00	0.00	83.38
091W08-2	cpx3	micro phenocryst	core	50.48	0.04	18.28	0.00	11.41	0.28	12.57	0.07	0.25	0.01	0.00	0.00	93.39
091W08-6	cpx	matrix	core	50.45	0.73	2.25	0.34	7.88	0.21	16.47	19.09	0.23	0.03	0.08	0.00	97.77
091W08-6	cpx	matrix	core	49.43	1.14	2.24	0.00	11.14	0.34	14.78	17.82	0.30	0.02	0.01	0.00	97.21
091W08-6	cpx	matrix	core	49.81	0.75	2.31	0.18	7.70	0.19	15.92	18.46	0.26	0.04	0.03	0.00	95.65
091W08-6	cpx	matrix	core	48.17	1.11	2.14	0.00	11.42	0.30	14.97	18.09	0.27	0.03	0.09	0.03	96.62
091W08-6	cpx	matrix	core	47.99	0.79	2.38	0.39	7.26	0.21	16.45	19.77	0.22	0.02	0.10	0.01	95.59
091W08-6	cpx	matrix	core	48.61	0.96	1.94	0.00	13.46	0.43	13.67	16.94	0.28	0.02	0.06	0.04	96.40

Appendix. 4 単斜輝石の鉍物化学組成分析値

				SiO2	TiO2	Al2O3	Cr2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	NiO	BaO	Total
091W12	Cpx	matrix	rim	51.53	0.78	1.66	0.01	9.68	0.24	16.56	18.44	0.29	0.00	0.02	0.13	99.35
091W12	Cpx	matrix	rim	51.51	0.89	2.07	0.00	11.90	0.45	12.41	20.33	0.31	0.04	0.02	0.08	99.99
091W12	Cpx	matrix	core	51.16	0.93	2.24	0.02	8.76	0.18	16.26	19.21	0.28	0.00	0.03	0.21	99.27
091W12	Cpx	matrix	core	51.23	0.96	2.13	0.00	10.41	0.33	16.60	17.22	0.27	0.00	0.02	0.15	99.31
091W12	Cpx	matrix		52.01	0.67	1.63	0.04	8.47	0.22	16.96	19.11	0.28	0.00	0.01	0.08	99.49
091W12	Cpx	matrix		51.16	0.99	2.26	0.04	9.45	0.31	16.20	19.03	0.30	0.02	0.00	0.13	99.89
091W12	Cpx	matrix		51.78	0.85	2.12	0.01	9.48	0.28	16.83	17.78	0.27	0.00	0.01	0.13	99.54
091W12	Cpx	matrix		48.83	0.18	0.68	0.00	11.79	0.44	12.50	18.33	0.17	0.02	0.05	0.16	93.14
091W13-1	cpx	micro phenocryst	rim	50.33	0.60	1.33	0.01	14.19	0.41	14.25	17.02	0.32	0.00	0.06	0.08	98.58
091W13-2	cpx-1	micro phenocryst	rim	49.71	0.64	2.60	0.00	10.71	0.29	15.87	18.25	0.28	0.00	0.09	0.00	98.44
091W13-2	cpx-2	matrix	rim	50.15	0.99	2.09	0.00	10.45	0.30	15.69	17.59	0.29	0.00	0.09	0.07	97.72
091W13-1	cpx	micro phenocryst	core	49.59	0.70	1.76	0.05	9.54	0.25	15.53	18.35	0.27	0.00	0.07	0.05	96.18
091W13-1	cpx	micro phenocryst	core	50.87	0.44	1.79	0.21	7.74	0.23	16.50	19.13	0.27	0.00	0.02	0.01	97.21
091W13-1	cpx	micro phenocryst	core	50.11	0.45	2.07	0.57	6.79	0.14	16.49	19.03	0.31	0.00	0.08	0.07	96.11
091W13-2	cpx-1	micro phenocryst	core	47.08	0.92	2.01	0.05	9.18	0.23	16.14	18.49	0.25	0.00	0.07	0.08	94.49
091W13-2	cpx-1	micro phenocryst	core	50.73	0.94	3.96	0.00	8.62	0.33	14.66	18.43	0.28	0.00	0.10	0.00	98.05
091W13-2	cpx-2	matrix	core	50.24	1.07	2.08	0.03	10.20	0.32	15.74	18.41	0.29	0.00	0.11	0.12	98.62
091W14-1	cpx-2	matrix	rim	50.97	0.78	2.08	0.17	7.73	0.23	16.52	19.48	0.26	0.00	0.01	0.00	98.22
091W14-1	cpx-1	matrix	core	48.47	0.77	2.43	0.07	10.31	0.33	15.04	17.59	0.25	0.00	0.05	0.00	95.29
091W14-1	cpx-1	matrix	core	52.17	0.14	14.90	0.06	9.85	0.26	4.72	11.20	2.21	0.09	0.02	0.00	95.61
091W14-1	cpx-2	matrix	core	48.62	0.72	2.12	0.31	7.20	0.27	16.58	19.83	0.27	0.00	0.06	0.00	95.96
091W14-1	cpx-2	matrix	core	46.13	0.89	2.02	0.08	8.51	0.28	15.33	19.20	0.26	0.00	0.07	0.00	92.77
091W14-2	cpx-1	micro phenocryst	core	46.68	0.46	1.37	0.03	18.53	0.56	10.74	16.96	0.33	0.00	0.04	0.09	95.78
091W14-2	cpx-1	micro phenocryst	core	48.57	0.86	1.68	0.04	12.94	0.41	13.96	18.52	0.32	0.00	0.04	0.00	97.34
091W14-2	cpx-2	matrix	core	50.71	0.73	2.34	0.33	7.58	0.23	16.51	19.57	0.29	0.00	0.03	0.00	98.33
091W14-2	cpx-2	matrix	core	50.43	0.88	2.05	0.03	8.70	0.23	16.23	19.31	0.25	0.00	0.01	0.00	98.13
091W14-3	cpx	matrix	core	49.66	1.11	2.11	0.04	10.36	0.26	15.67	18.30	0.30	0.00	0.01	0.00	97.81
091W14-3	cpx	matrix	core	50.61	0.99	2.01	0.01	9.75	0.30	16.00	18.64	0.28	0.00	0.05	0.02	98.63
091W15-2	cpx	phenocryst	rim	47.76	1.03	2.17	0.07	11.56	0.33	15.38	17.73	0.33	0.02	0.04	0.03	96.43
091W15-3	cpx-1	phenocryst	rim	52.43	0.11	27.56	0.02	1.01	0.01	0.13	11.11	4.93	0.08	0.00	0.00	97.40
091W15-3	cpx-2	phenocryst	rim	50.32	1.08	2.25	0.07	11.33	0.34	16.03	17.23	0.28	0.01	0.10	0.03	99.07
091W15-5	cpx	micro phenocryst	rim	50.20	1.00	2.35	0.06	11.09	0.28	16.87	16.83	0.27	0.02	0.07	0.04	99.06
091W15-1	cpx	matrix	core	47.91	0.89	2.26	0.19	10.08	0.27	17.38	16.52	0.28	0.01	0.03	0.09	95.88
091W15-1	cpx	matrix	core	47.84	0.78	2.22	0.26	9.63	0.27	17.53	16.72	0.30	0.02	0.07	0.04	95.67
091W15-2	cpx	phenocryst	core	50.56	0.68	2.57	0.73	7.17	0.15	16.97	19.64	0.29	0.01	0.04	0.08	98.88
091W15-2	cpx	phenocryst	core	47.53	0.92	3.29	0.59	7.99	0.17	16.19	19.43	0.31	0.02	0.08	0.05	96.58
091W15-3	cpx-1	phenocryst	core	52.40	0.58	1.62	0.44	8.63	0.30	18.44	16.30	0.20	0.03	0.03	0.06	99.03
091W15-3	cpx-1	phenocryst	core	51.94	0.64	1.78	0.39	7.97	0.23	17.41	18.24	0.25	0.03	0.04	0.02	98.94
091W15-3	cpx-2	phenocryst	core	51.43	0.80	2.72	0.54	7.06	0.17	17.13	19.25	0.28	0.01	0.06	0.09	99.53
091W15-3	cpx-2	phenocryst	core	51.53	0.83	2.49	0.27	8.99	0.26	17.46	17.81	0.27	0.02	0.07	0.02	100.00
091W15-5	cpx	micro phenocryst	core	47.56	0.71	2.44	0.74	6.84	0.17	16.45	19.87	0.29	0.01	0.03	0.04	95.15
091W18-1	cpx	matrix	rim	61.29	0.09	25.04	0.01	0.79	0.40	12.69	16.50	0.01	0.04	0.00	0.00	116.86
091W18-1	cpx	matrix	core	61.81	0.13	20.65	0.00	0.79	0.76	11.61	7.89	0.00	0.00	0.00	0.00	103.63
091W05①	Cpx		core	51.70	0.77	2.82	0.47	7.64	0.24	17.81	18.13	0.24	0.00	0.01	0.13	99.95
091W05①	Cpx		rim	51.81	0.58	2.12	0.51	6.36	0.29	17.43	20.04	0.24	0.00	0.05	0.10	99.50
091W05③	Cpx		core	47.10	0.78	5.55	0.28	11.23	0.22	15.88	17.58	0.26	0.01	0.00	0.15	99.04
091W05③	Cpx		rim	51.48	0.53	3.39	0.00	12.98	0.34	16.56	13.54	0.23	0.01	0.00	0.17	99.22
091W05③	Cpx		core	50.68	0.94	3.25	0.38	8.17	0.27	17.77	17.08	0.29	0.01	0.00	0.13	98.98
091W05③	Cpx		rim	51.02	0.92	2.53	0.05	8.33	0.28	16.02	19.61	0.31	0.01	0.04	0.14	99.25
091W05③	Cpx		core	49.79	1.07	3.60	0.47	7.55	0.19	16.59	19.00	0.34	0.00	0.00	0.08	98.67
091W05③	Cpx		rim	50.71	0.89	2.93	0.23	7.44	0.20	16.55	19.63	0.28	0.01	0.00	0.11	98.98
091W05③	Cpx		core	50.78	0.95	2.78	0.05	8.19	0.26	16.40	19.24	0.28	0.00	0.00	0.09	99.02
091W05③	Cpx		rim	52.34	0.58	1.77	0.31	7.02	0.22	18.36	18.46	0.22	0.00	0.02	0.19	99.47
091W05③	Cpx		core	50.66	0.81	2.63	0.13	8.14	0.27	16.72	18.70	0.28	0.00	0.00	0.12	98.46
091W05③	Cpx		rim	50.89	0.97	2.79	0.20	7.55	0.26	16.30	19.33	0.28	0.00	0.03	0.14	98.75
091W12	Cpx		core	48.60	0.09	2.37	0.00	15.47	0.64	7.66	14.37	0.09	0.07	0.00	0.20	89.56
091W12	Cpx		m	39.82	0.08	2.40	0.02	16.57	0.35	10.57	11.62	0.22	0.03	0.00	0.14	81.81
091W12	Cpx		rim	51.53	0.78	1.66	0.01	9.68	0.24	16.56	18.44	0.29	0.00	0.02	0.13	99.35
091W12	Cpx			52.01	0.67	1.63	0.04	8.47	0.22	16.96	19.11	0.28	0.00	0.01	0.08	99.49
091W12	Cpx			51.16	0.99	2.26	0.04	9.45	0.31	16.20	19.03	0.30	0.02	0.00	0.13	99.89
091W12	Cpx			51.78	0.85	2.12	0.01	9.48	0.28	16.83	17.78	0.27	0.00	0.01	0.13	99.54
091W12	Cpx			48.83	0.18	0.68	0.00	11.79	0.44	12.50	18.33	0.17	0.02	0.05	0.16	93.14
091W12	Cpx		rim	51.51	0.89	2.07	0.00	11.90	0.45	12.41	20.33	0.31	0.04	0.02	0.08	99.99
091W12	Cpx		core	51.16	0.93	2.24	0.02	8.76	0.18	16.26	19.21	0.28	0.00	0.03	0.21	99.27
091W12	Cpx		core	51.23	0.96	2.13	0.00	10.41	0.33	16.60	17.22	0.27	0.00	0.02	0.15	99.31
091W26	Cpx		core	52.21	0.38	2.01	0.13	7.61	0.23	18.11	17.86	0.20	0.01	0.01	0.11	98.88
091W26	Cpx		rim	50.58	0.78	2.43	0.01	8.27	0.25	17.04	18.21	0.23	0.00	0.00	0.13	97.95

Appendix. 4 単斜輝石の鉍物化学組成分析値

		SiO2	TiO2	Al2O3	Cr2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	NiO	BaO	Total
091W26	PI		50.29	0.00	28.78	0.06	0.51		0.25	12.85	3.83			96.57
091W26②	PI		51.56	0.02	29.52	0.00	0.70	0.01	0.21	13.34	3.87	0.03	0.03	99.30
091W26②	PI	core	51.86	0.04	28.45	0.04	0.62	0.01	0.19	11.10	3.96	0.04	0.00	96.37
091W26②	PI	core	51.93	0.03	28.39	0.00	1.10	0.04	1.06	11.29	4.26	0.06	0.00	98.20
091W26②	PI		52.27	0.01	28.75	0.00	0.68	0.04	0.23	12.69	4.24	0.05	0.00	99.04
091W26②	PI		48.17	0.01	25.27	0.00	0.63	0.01	0.18	10.78	3.88	0.05	0.00	88.98
091W26②	PI		50.74	0.02	29.49	0.00	0.49	0.04	0.24	13.64	3.61	0.04	0.00	98.34
881W1	PI	core	48.13	0.02	32.12		0.36	0.03	0.22	16.06	2.17	0.00		99.11
091W04-1	PI phenocryst	rim	51.13	0.11	29.36	0.01	0.52	0.00	0.21	13.25	3.93	0.07	0.00	98.59
091W04-1	PI phenocryst	rim	51.61	0.10	29.10	0.02	0.61	0.00	0.21	13.14	3.94	0.08	0.02	98.87
091W04-1	PI phenocryst	rim	56.39	0.09	24.82	0.00	0.53	0.05	0.10	8.98	6.57	0.15	0.00	97.68
091W04-2	PI lath	rim	53.64	0.15	26.97	0.00	0.90	0.03	0.11	10.76	5.05	0.12	0.06	97.82
091W04-2	PI lath	rim	51.09	0.13	28.06	0.00	0.62	0.03	0.19	12.27	4.33	0.09	0.08	96.91
091W04-6	PI lath	rim	48.61	0.11	26.16	0.42	0.53	0.00	0.19	11.60	3.86	0.08	0.00	91.55
091W04-1	PI phenocryst	core	49.22	0.07	30.23	0.00	0.34	0.03	0.22	14.18	3.29	0.07	0.05	107.80
091W04-1	PI phenocryst	core	49.16	0.07	29.52	0.00	0.34	0.03	0.21	14.12	3.43	0.11	0.01	97.06
091W04-1	PI phenocryst	core	46.50	0.11	28.04	0.00	0.43	0.02	0.22	13.60	3.48	0.08	0.06	92.60
091W04-2	PI lath	core	51.33	0.15	27.35	0.00	0.65	0.02	0.21	11.82	4.62	0.11	0.07	96.39
091W04-2	PI lath	core	43.82	0.11	23.68	0.00	0.76	0.15	7.43	4.64	4.28	0.09	0.06	94.07
091W04-2	PI lath	core	51.92	0.15	28.51	0.00	0.71	0.03	0.18	12.24	4.38	0.11	0.00	98.29
091W04-6	PI lath	core	52.14	0.09	28.44	0.03	0.61	0.05	0.23	12.46	4.25	0.09	0.00	98.40
091W04-6	PI lath	core	50.80	0.07	28.08	0.00	0.51	0.05	0.22	12.42	4.15	0.08	0.00	96.37
091W05-1	PI matrix	rim	46.85	0.12	24.42	0.00	0.77	0.00	0.12	10.51	4.96	0.06	0.00	87.80
091W05-1	PI matrix	rim	49.72	0.10	27.30	0.00	0.65	0.00	0.20	11.95	4.34	0.03	0.00	94.30
091W05-1	PI-2 matrix	rim	52.13	0.09	27.38	0.00	0.80	0.00	0.17	11.45	4.52	0.08	0.02	96.63
091W05-2	PI phenocryst	rim	50.70	0.03	28.53	0.00	0.51	0.00	0.21	12.78	3.74	0.08	0.02	96.61
091W05-4	PI phenocryst	rim	49.25	0.07	27.03	0.00	0.63	0.00	0.18	12.06	4.17	0.07	0.04	93.53
091W05	PI	m	53.06	0.03	28.20	0.03	0.47	0.07	0.23	12.10	4.52	0.09	0.00	98.85
091W05	PI	m	51.67	0.02	29.43	0.07	0.43	0.03	0.20	13.20	4.04	0.08	0.00	99.17
091W05	PI	m	51.79	0.06	29.25	0.00	0.54	0.00	0.21	13.02	4.07	0.04	0.01	99.08
091W05	PI	core	55.36	0.07	27.50	0.00	0.87	0.03	0.13	11.38	5.37	0.11	0.00	100.85
091W05	PI	core	52.18	0.02	28.86	0.03	0.49	0.04	0.23	12.79	4.26	0.07	0.00	99.06
091W05	PI	core	51.80	0.00	29.64	0.02	0.43	0.02	0.19	13.32	3.94	0.06	0.00	99.50
091W05	PI	core	51.80	0.04	29.47	0.00	0.55	0.02	0.22	13.01	4.06	0.06	0.00	99.35
091W05	PI	core	52.32	0.00	28.39	0.00	0.64	0.05	0.16	11.55	4.48			97.59
091W05-1	PI matrix	core	49.71	0.07	28.56	0.00	0.71	0.00	0.20	12.79	3.75	0.04	0.00	95.82
091W05-1	PI matrix	core	50.10	0.06	29.14	0.00	0.70	0.00	0.21	12.96	3.51	0.04	0.00	96.72
091W05-1	PI matrix	core	49.12	0.06	27.29	0.00	0.64	0.00	0.20	12.37	4.01	0.04	0.00	93.73
091W05-1	PI-2 matrix	core	47.44	0.08	25.79	0.00	0.77	0.00	0.19	11.59	4.39	0.05	0.03	90.32
091W05-1	PI-2 matrix	core	43.87	0.04	25.64	0.00	0.54	0.00	0.16	12.32	4.01	0.03	0.00	86.60
091W05-1	PI-2 matrix	core	47.01	0.09	25.21	0.00	0.94	0.00	0.15	11.04	4.59	0.06	0.00	89.08
091W05-2	PI phenocryst	core	50.26	0.01	28.72	0.01	0.44	0.06	0.20	12.64	3.62	0.07	0.00	96.02
091W05-2	PI phenocryst	core	50.13	0.00	28.86	0.04	0.46	0.04	0.20	12.77	3.61	0.07	0.00	96.18
091W05-2	PI phenocryst	core	50.74	0.06	28.40	0.05	0.49	0.00	0.15	11.92	3.93	0.07	0.00	95.96
091W05-4	PI phenocryst	core	49.45	0.08	27.18	0.01	0.59	0.01	0.19	12.19	4.27	0.07	0.03	94.07
091W05	PI		52.14	0.06	28.23	0.00	0.70	0.03	0.19	12.07	4.20	0.06	0.00	97.73
091W05	PI		61.32	0.01	24.03	0.00	0.61	0.00	0.03	6.21	7.94	0.17	0.00	100.34
091W05	PI		51.95	0.03	28.77	0.00	0.37	0.03	0.21	12.67	4.12	0.06	0.00	98.24
091W05	PI		52.58	0.09	28.88	0.02	0.65	0.03	0.17	12.60	4.34	0.05	0.00	99.45
091W05	PI		56.72	0.02	26.13	0.00	0.68	0.00	0.08	9.19	6.23	0.15	0.00	99.24
091W05	PI		52.80	0.04	28.11	0.00	0.79	0.03	0.18	11.82	4.63	0.08	0.00	98.50
091W08-5	PI phenocryst	rim	51.56	0.07	28.11	0.01	0.74	0.03	0.13	11.67	4.33	0.10	0.00	96.74
091W08	PI phenocryst	m	51.58	0.00	28.79	0.02	0.25	0.00	0.20	12.41	4.01	0.00	0.05	97.31
091W08-5	PI phenocryst	core	48.74	0.07	30.24	0.00	0.41	0.05	0.19	14.47	2.96	0.06	0.00	97.18
091W08-5	PI phenocryst	core	47.94	0.06	29.69	0.00	0.46	0.00	0.24	14.48	2.76	0.04	0.03	95.70
091W08-5	PI phenocryst	core	48.85	0.06	30.20	0.00	0.45	0.01	0.22	14.25	2.94	0.08	0.04	97.11
091W08	PI phenocryst		53.67	0.00	27.38	0.00	0.65	0.01	0.14	10.75	5.01	0.02	0.02	97.65
091W12	PI		64.59	0.00	21.72	0.00	0.10	0.03	0.03	2.68	9.33	0.13	0.00	98.60
091W12	PI	core	65.72	0.00	22.46	0.00	0.49	0.05	0.05	3.08	8.35	0.16	0.00	100.44
091W12	PI	core	67.96	0.00	20.45	0.00	0.11	0.00	0.00	0.91	9.51	0.10	0.00	99.07
091W12	PI	core	65.25	0.00	21.72	0.00	0.54	0.01	0.76	1.74	8.69	0.13	0.00	98.87
091W12	PI	m	67.89	0.00	20.11	0.00	0.09	0.00	0.00	0.60	9.96	0.09	0.00	98.76
091W12	PI	m	67.47	0.00	21.60	0.00	0.02	0.00	0.00	2.37	9.11	0.06	0.00	100.67
091W12	PI	m	65.49	0.00	23.93	0.00	0.42	0.00	0.09	2.77	8.16	0.43	0.00	101.40
091W13-3	PI-1 lath	rim ?	55.04	0.05	25.66	0.00	0.56	0.01	0.05	8.43	6.99	0.07	0.09	96.94
091W13-3	PI-1 lath	rim ?	51.59	0.13	27.55	0.00	0.71	0.00	0.13	11.07	5.34	0.02	0.08	96.62
091W13-3	PI-2 lath	rim ?	55.95	0.07	26.21	0.02	0.72	0.01	0.06	9.04	6.04	0.04	0.07	98.21
091W13-3	PI-2 lath	rim ?	53.61	0.08	26.79	0.00	0.61	0.00	0.08	10.41	5.33	0.04	0.01	96.97
091W13-4	PI phenocryst	rim	46.58	0.11	27.73	0.00	0.72	0.03	0.13	12.00	3.83	0.00	0.00	91.13
091W13-4	PI phenocryst	rim	50.39	0.12	28.33	0.00	0.78	0.06	0.15	11.92	4.67	0.00	0.05	96.47
091W13-1	PI lath	core	52.48	0.00	25.21	0.01	0.57	0.00	0.04	8.86	6.18	0.07	0.00	93.42
091W13-1	PI lath	core	50.63	0.00	27.77	0.04	0.56	0.00	0.12	11.57	4.56	0.03	0.05	95.36
091W13-1	PI lath	core	51.88	0.00	25.61	0.01	1.37	0.00	0.37	10.84	4.47	0.03	0.00	94.59
091W13-1	PI-2 lath	core	50.40	0.00	29.31	0.05	0.60	0.00	0.17	13.07	3.73	0.00	0.00	97.33
091W13-1	PI-2 lath	core	47.37	0.00	27.16	0.07	0.66	0.01	0.14	12.09	4.05	0.00	0.03	91.59
091W13-2	PI matrix	core	49.10	0.08	28.16	0.00	0.69	0.04	0.18	12.40	4.07	0.01	0.06	94.78
091W13-2	PI matrix	core	50.45	0.10	27.46	0.00	0.59	0.06	0.13	11.33	4.59	0.02	0.06	94.78
091W13-2	PI matrix	core	42.34	0.10	25.93	0.00	0.54	0.03	0.16	11.79	4.25	0.00	0.04	85.17

Appendix. 5 斜長石の鉍物化学組成分析値

			SiO2	TiO2	Al2O3	Cr2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	NiO	BaO	Total	
09IW13-3 PI-1	lath	core	51.47	0.07	28.82	0.00	0.61	0.05	0.16	12.51	3.87	0.00	0.05	0.02	97.64	
09IW13-3 PI-1	lath	core	44.38	0.11	26.50	0.00	0.62	0.00	0.19	11.65	4.39	0.01	0.04	0.00	87.88	
09IW13-3 PI-1	lath	core	48.84	0.09	27.43	0.00	0.63	0.05	0.13	11.75	4.01	0.00	0.07	0.04	93.03	
09IW13-3 PI-1	lath	core	48.39	0.10	25.31	0.01	0.74	0.05	0.09	9.73	5.50	0.05	0.08	0.00	90.04	
09IW13-3 PI-1	lath	core	56.80	0.07	25.67	0.00	0.60	0.03	0.07	8.38	6.29	0.05	0.02	0.00	97.98	
09IW13-3 PI-1	lath	core	44.42	0.07	23.91	0.00	0.64	0.01	0.07	7.43	6.60	0.12	0.02	0.00	83.26	
09IW13-4 PI	phenocryst	core	46.76	0.06	27.34	0.00	0.48	0.03	0.16	12.26	4.32	0.00	0.00	0.04	91.43	
09IW13-4 PI	phenocryst	core	47.24	0.09	27.38	0.00	0.62	0.03	0.16	11.78	4.27	0.02	0.06	0.00	91.63	
09IW13-4 PI	phenocryst	core	42.83	0.06	26.11	0.00	0.45	0.00	0.17	11.91	4.08	0.00	0.02	0.00	85.63	
09IW13-4 PI	phenocryst	core	50.41	0.08	28.55	0.00	0.53	0.03	0.17	12.18	4.23	0.03	0.01	0.00	96.21	
09IW13-4 PI	phenocryst	core	47.77	0.09	28.12	0.00	0.66	0.05	0.18	12.30	4.30	0.00	0.00	0.00	93.48	
09IW14-3 PI-1	lath	rim	54.43	0.06	25.61	0.00	0.53	0.04	0.05	8.82	6.21	0.10	0.00	0.00	95.84	
09IW14-3 PI-2	lath	rim	55.95	0.05	25.70	0.00	0.50	0.04	0.08	8.72	6.29	0.07	0.03	0.00	97.42	
09IW14-4 PI-1	lath	rim	54.84	0.07	25.11	0.00	0.57	0.01	0.04	8.19	6.73	0.14	0.00	0.00	95.70	
09IW14-3 PI-1	lath	core	52.12	0.08	27.49	0.00	0.50	0.08	0.10	11.29	4.96	0.08	0.00	0.00	96.69	
09IW14-3 PI-2	lath	core	50.92	0.05	29.11	0.00	0.65	0.06	0.13	12.98	3.94	0.03	0.00	0.00	97.87	
09IW14-3 PI-2	lath	core	50.65	0.08	27.91	0.00	0.63	0.00	0.12	11.84	4.43	0.07	0.00	0.00	95.74	
09IW14-4 PI-1	lath	core	52.83	0.07	28.69	0.02	0.63	0.04	0.10	11.97	4.58	0.05	0.00	0.00	98.98	
09IW14-4 PI-1	lath	core	50.79	0.10	29.10	0.00	0.78	0.02	0.19	12.66	4.05	0.04	0.00	0.00	97.72	
09IW14-4 PI-2	phenocryst	core	48.76	0.12	27.52	0.00	0.73	0.04	0.13	11.53	4.70	0.09	0.02	0.00	93.65	
09IW15-2 PI	lath	rim	54.98	0.10	26.78	0.07	0.82	0.01	0.09	9.59	5.91	0.13	0.00	0.00	98.46	
09IW15-3 PI	lath	rim	54.17	0.10	27.30	0.04	0.87	0.01	0.12	10.81	4.97	0.08	0.00	0.00	98.47	
09IW15-4 PI-1	lath	rim	61.81	0.02	23.22	0.02	0.24	0.00	0.02	5.00	8.38	0.29	0.00	0.00	98.99	
09IW15-4 PI-2	lath	rim	53.81	0.10	27.78	0.11	0.75	0.00	0.15	11.17	4.74	0.10	0.00	0.00	98.70	
09IW15-5 PI	matrix	rim	61.84	0.02	18.68	0.05	6.35	0.17	4.01	0.46	3.86	8.04	0.01	0.50	103.98	
09IW15-1 PI	matrix	母岩	core	42.35	0.08	18.05	0.03	26.92	0.37	13.22	0.81	0.97	0.05	0.00	102.87	
09IW15-1 PI	matrix	母岩	core	51.83	0.10	28.19	0.01	0.67	0.02	0.16	12.05	4.42	0.07	0.00	97.52	
09IW15-1 PI	matrix	母岩	core	53.06	0.11	26.93	0.01	0.97	0.01	0.12	10.61	5.13	0.09	0.03	0.00	97.07
09IW15-1 PI	matrix	母岩	core	49.89	0.07	28.38	0.05	0.55	0.00	0.19	12.24	4.01	0.07	0.06	0.00	95.52
09IW15-2 PI	lath	core	52.52	0.08	28.56	0.03	0.70	0.03	0.21	11.94	4.44	0.09	0.00	0.00	98.59	
09IW15-3 PI	lath	core	53.13	0.07	28.01	0.07	0.75	0.01	0.13	11.58	4.95	0.08	0.05	0.00	98.85	
09IW15-4 PI-1	lath	core	60.33	0.05	24.94	0.01	0.25	0.01	0.19	12.17	4.53	0.09	0.00	0.00	102.58	
09IW15-4 PI-1	lath	core	54.54	0.12	27.49	0.05	0.73	0.00	0.10	10.33	5.34	0.11	0.00	0.00	98.82	
09IW15-4 PI-2	lath	core	53.08	0.12	28.30	0.02	0.55	0.00	0.15	11.56	4.81	0.10	0.03	0.05	98.76	
09IW15-5 PI	matrix	core	56.51	0.04	24.79	0.00	0.37	0.00	0.04	7.61	6.58	0.17	0.04	0.00	96.15	
09IW18-1 PI-2	lath	rim	56.85	0.07	26.48	0.00	0.70	0.00	0.14	11.65	4.76	0.03	0.01	0.05	100.73	
09IW18-3 PI-2	lath	core	51.56	0.07	28.11	0.01	0.74	0.03	0.13	11.67	4.33	0.10	0.00	0.00	96.74	
09IW18-3 PI-2	lath	core	48.74	0.07	30.24	0.00	0.41	0.05	0.19	14.47	2.96	0.06	0.00	0.00	97.18	
09IW18-3 cpx	phenocryst	core	47.94	0.06	29.69	0.00	0.46	0.00	0.24	14.48	2.76	0.04	0.03	0.00	95.70	
09IW18-3 cpx	phenocryst	core	48.85	0.06	30.20	0.00	0.45	0.01	0.22	14.25	2.94	0.08	0.04	0.00	97.11	
09IW5 PI		rim	52.14	0.06	28.23	0.00	0.70	0.03	0.19	12.07	4.20	0.06	0.00	0.06	97.73	
09IW5 PI		rim	61.32	0.01	24.03	0.00	0.61	0.00	0.03	6.21	7.94	0.17	0.00	0.03	100.34	
09IW5 PI		rim	51.95	0.03	28.77	0.00	0.37	0.03	0.21	12.67	4.12	0.06	0.00	0.03	98.24	
09IW5 PI		rim	52.58	0.09	28.88	0.02	0.65	0.03	0.17	12.60	4.34	0.05	0.00	0.03	99.45	
09IW5 PI		core	55.36	0.07	27.50	0.00	0.87	0.03	0.13	11.38	5.37	0.11	0.00	0.04	100.85	
09IW5 PI		core	52.18	0.02	28.86	0.03	0.49	0.04	0.23	12.79	4.26	0.07	0.00	0.11	99.06	
09IW5 PI		core	51.80	0.00	29.64	0.02	0.43	0.02	0.19	13.32	3.94	0.06	0.00	0.08	99.50	
09IW5 PI		core	51.80	0.04	29.47	0.00	0.55	0.02	0.22	13.01	4.06	0.06	0.00	0.12	99.35	
09IW5 PI		core	52.32	0.00	28.39	0.00	0.64	0.05	0.16	11.55	4.48				97.59	
09IW5 PI		m	53.06	0.03	28.20	0.03	0.47	0.07	0.23	12.10	4.52	0.09	0.00	0.07	98.85	
09IW5 PI		m	51.67	0.02	29.43	0.07	0.43	0.03	0.20	13.20	4.04	0.08	0.00	0.00	99.17	
09IW5 PI		m	51.79	0.06	29.25	0.00	0.54	0.00	0.21	13.02	4.07	0.04	0.01	0.10	99.08	
09IW5 PI			56.72	0.02	26.13	0.00	0.68	0.00	0.08	9.19	6.23	0.15	0.00	0.05	99.24	
09IW5 PI			52.80	0.04	28.11	0.00	0.79	0.03	0.18	11.82	4.63	0.08	0.00	0.03	98.50	
09IW08		m	51.58	0.00	28.79	0.02	0.25	0.00	0.20	12.41	4.01	0.00	0.05	0.00	97.31	
		rim	53.67	0.00	27.38	0.00	0.65	0.01	0.14	10.75	5.01	0.02	0.02	0.00	97.65	
09IW12 PI		rim	64.59	0.00	21.72	0.00	0.10	0.03	0.03	2.68	9.33	0.13	0.00	0.00	98.60	
09IW12 PI		rim	65.72	0.00	22.46	0.00	0.49	0.05	0.05	3.08	8.35	0.16	0.00	0.10	100.44	
09IW12 PI		core	67.96	0.00	20.45	0.00	0.11	0.00	0.00	0.91	9.51	0.10	0.00	0.03	99.07	
09IW12 PI		core	65.25	0.00	21.72	0.00	0.54	0.01	0.76	1.74	8.69	0.13	0.00	0.05	98.87	
09IW12 PI		m	67.89	0.00	20.11	0.00	0.09	0.00	0.00	0.60	9.96	0.09	0.00	0.02	98.76	
09IW12 PI		m	67.47	0.00	21.60	0.00	0.02	0.00	0.00	2.37	9.11	0.06	0.00	0.04	100.67	
09IW12 PI		m	65.49	0.00	23.93	0.00	0.42	0.00	0.09	2.77	8.16	0.43	0.00	0.11	101.40	
09IW26		rim	50.29	0.00	28.78	0.06	0.51		0.25	12.85	3.83				96.57	
09IW26② PI		rim	51.56	0.02	29.52	0.00	0.70	0.01	0.21	13.34	3.87	0.03	0.03	0.00	99.30	
09IW26②		core	51.86	0.04	28.45	0.04	0.62	0.01	0.19	11.10	3.96	0.04	0.00	0.05	96.37	
09IW26② PI		core	51.93	0.03	28.39	0.00	1.10	0.04	1.06	11.29	4.26	0.06	0.00	0.04	98.20	
09IW26②		rim	52.27	0.01	28.75	0.00	0.68	0.04	0.23	12.69	4.24	0.05	0.00	0.08	99.04	
09IW26② PI			48.17	0.01	25.27	0.00	0.63	0.01	0.18	10.78	3.88	0.05	0.00	0.00	88.98	
09IW26② PI			50.74	0.02	29.49	0.00	0.49	0.04	0.24	13.64	3.61	0.04	0.00	0.04	98.34	

Appendix. 5 斜長石の鉱物化学組成分析値

		SiO2	TiO2	Al2O3	Cr2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	NiO	BaO	total
09IW12 Ab	core	64.38	0.00	21.85	0.00	0.06	0.04	0.00	3.08	9.23	0.10	0.04	0.00	98.77
09IW12 Ab	core	65.91	0.03	21.19	0.00	0.08	0.01	0.00	2.18	9.47	0.14	0.07	0.00	99.08
09IW12 Ab	core	65.71	0.00	20.93	0.00	0.03	0.06	0.00	1.64	9.72	0.11	0.10	0.00	98.30
09IW12 Ab	core	61.96	0.00	22.58	0.01	0.39	0.03	0.30	2.95	8.16	0.35	0.10	0.00	96.83
09IW12 Ab	core	68.79	0.00	20.98	0.00	0.16	0.03	0.00	1.35	9.38	0.11	0.07	0.00	100.88
09IW12 Ab	rim	68.53	0.00	20.05	0.00	0.08	0.05	0.00	0.40	9.47	0.94	0.07	0.00	99.58
09IW12 Ab	rim	64.51	0.06	20.51	0.00	0.15	0.10	0.00	1.15	5.95	6.69	0.15	0.49	99.76
09IW12 Ab	rim	65.17	0.04	20.27	0.00	0.64	0.09	0.70	0.62	9.79	0.09	0.08	0.00	97.48
09IW12 Ab	rim	67.45	0.01	20.93	0.00	0.01	0.08	0.00	1.17	10.29	0.13	0.10	0.00	100.16
09IW12 Ab	rim	67.94	0.00	20.85	0.00	0.06	0.05	0.00	1.16	9.55	0.12	0.09	0.00	99.82
09IW12 Pl	rim	65.15		19.81		0.66		0.01	0.40	6.42	7.16			99.61
09IW12 Pl	rim	65.73		20.03		0.14			1.24	10.10	0.12			97.36
09IW04 Ab		64.64	0.08	20.97	0.00	0.28	0.00	0.01	1.99	9.71	0.09	0.11	0.00	97.88
09IW04 Ab		71.85	0.03	18.67	0.00	0.15	0.00	0.00	0.86	9.25	0.43	0.01	0.00	101.26
09IW04 Ab		54.54	0.14	27.07	0.02	0.96	0.02	0.11	10.38	5.36	0.16	0.02	0.00	98.78
09IW04 Ab		55.30	0.08	24.66	0.01	0.49	0.07	0.02	7.71	6.91	0.22	0.01	0.01	95.48
09IW15 Ab	core	63.51	0.02	22.33	0.04	0.26	0.09	0.00	3.57	8.81	0.24	0.00	0.15	99.02
09IW15 Ab	rim	64.02	0.01	20.05	0.12	0.24	0.02	0.08	1.50	9.46	0.15	0.00	0.08	95.73
09IW15 Ab		64.33	0.02	20.54	0.04	0.28	0.07	0.00	1.78	10.17	0.11	0.00	0.00	97.34
09IW15 Ab		84.05	0.00	3.16	0.11	0.09	0.00	0.09	1.26	9.53	0.16	0.03	0.00	98.47

		SiO2	TiO2	Al2O3	Cr2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	NiO	BaO	total
09IW12 Kfs	core	64.55	0.00	18.65	0.00	0.10	0.00	0.02	0.07	0.32	15.45	0.12	0.13	99.40
09IW12 Kfs		65.51	0.03	18.21	0.00	0.33	0.09	0.01	0.06	0.27	14.53	0.09	0.35	99.48
09IW12 Kfs		64.09	0.00	17.83	0.00	0.25	0.02	0.01	0.01	0.25	13.44	0.00	0.08	95.97
09IW11 Kfs		63.89	0.00	17.95	0.00	0.41	0.00	0.02	0.06	0.54	15.10	0.00	0.16	98.14
09IW11 Kfs		62.92	0.00	17.15	0.02	0.25	0.00	0.08	0.01	0.37	15.01	0.00	0.61	96.42
09IW04 Kfs		63.16	0.00	17.61	0.05	0.38	0.00	0.01	0.13	1.41	13.24	0.00	0.00	95.98
09IW04 Kfs		68.43	0.08	15.14	0.00	0.11	0.08	0.00	0.00	0.48	11.17	0.03	0.11	95.62
09IW04 Kfs		60.40	0.05	16.91	0.00	0.24	0.00	0.00	0.03	0.36	14.07	0.08	0.00	92.14
09IW15 Kfs		65.10	0.02	17.12	0.09	0.28	0.00	0.00	0.00	0.22	9.42	0.02	0.09	92.37
09IW15 Kfs		78.43	0.00	9.86	0.04	0.26	0.06	0.01	0.29	0.79	7.77	0.05	0.13	97.67
09IW15 Kfs		74.53	0.05	11.11	0.00	0.33	0.01	0.01	0.07	0.23	10.86	0.00	0.07	97.27
09IW12 Chl		29.11	0.00	15.75	0.00	26.46	0.20	15.94	0.00	0.00	0.00	0.09	0.04	87.59
09IW12 Chl		28.61	0.00	15.36	0.00	26.28	0.19	16.40	0.23	0.02	0.07	0.11	0.14	87.41
09IW12 Chl		28.01	0.00	15.56	0.00	26.01	0.25	15.20	0.11	0.00	0.00	0.02	0.13	85.28
09IW12 Spm		47.14	0.79	3.42	0.00	22.97	0.60	9.31	8.59	1.36	0.39	0.11	0.18	94.87
09IW12 Spm		46.64	0.80	3.29	0.01	22.56	0.50	9.43	9.09	2.27	0.50	0.13	0.17	95.38
09IW12 Spm		48.97	0.61	2.26	0.00	24.57	0.76	10.20	8.31	0.48	0.24	0.03	0.20	96.62
09IW12 Spm		44.81	0.58	2.27	0.00	22.46	0.51	8.73	8.31	1.59	0.41	0.05	0.26	89.98
09IW15 Spm?		30.73	0.09	14.13	0.02	27.91	0.23	12.64	3.55	0.04	0.13	0.01	0.06	89.53
09IW15 Spm		45.98	0.59	2.36	0.09	26.87	0.50	8.28	8.75	2.05	0.61	0.00	0.17	96.25
09IW15 Spm		44.98	0.55	2.69	0.00	28.41	0.50	7.86	8.19	1.75	0.28	0.12	0.20	95.53

Appendix. 6 長石脈・長石集合物中の鉍物の鉍物化学組成

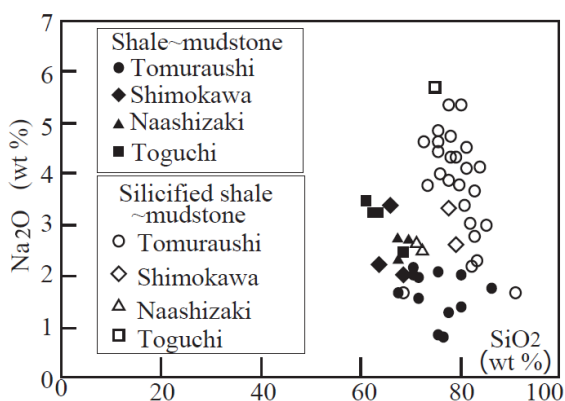
Sample No.	No.	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Total
wt %												
09IW12	1	66.05	0.05	18.99	0.07	0.04	0.06	1.18	11.57	nd	0.27	98.27
09IW12	2	66.91	nd	19.31	0.10	0.05	0.07	0.57	11.53	0.08	0.21	98.84
09IW12	3	61.10	0.09	17.94	1.85	nd	1.18	0.16	1.88	10.70	0.19	95.09
09IW12	4	63.12	0.24	17.27	0.29	0.04	0.08	0.07	0.59	13.66	0.16	95.53
09IW12	5	67.51	nd	19.02	0.19	nd	0.05	0.47	10.81	0.44	0.17	98.65
09IW12	6	67.83	0.04	18.76	0.06	nd	nd	0.18	10.02	1.27	0.15	98.32
09IW12	7	64.57	nd	19.40	0.50	0.04	0.39	1.10	10.84	0.02	0.20	97.06
09IW12	8	62.65	0.19	17.61	0.21	0.02	0.03	0.01	0.40	13.57	0.14	94.83
09IW12	9	63.34	0.01	17.85	0.19	0.02	0.03	nd	0.40	13.86	0.08	95.78
09IW12	10	62.73	0.15	17.46	0.24	0.10	0.07	0.11	0.43	13.77	0.17	95.22
09IW12	11	64.24	0.03	19.78	0.31	nd	0.11	1.49	10.70	0.05	0.07	96.78
09IW12	12	65.91	0.12	20.57	0.19	0.05	0.11	1.96	10.48	nd	0.26	99.66
09IW12	13	64.85	nd	21.41	0.08	0.05	0.02	2.75	10.49	0.01	0.23	99.89
09IW12	14	66.08	0.09	19.99	0.12	nd	0.05	1.46	11.17	0.02	0.18	99.15
09IW12	15	64.59	0.03	19.66	0.15	nd	0.21	1.44	10.31	0.00	0.17	96.58
09IW12	16	55.05	nd	19.10	11.25	0.05	3.94	0.45	6.29	2.57	0.18	98.88
09IW12	17	58.89	0.01	17.65	2.41	nd	1.58	0.10	0.92	10.97	0.09	92.62
09IW12	18	63.36	nd	21.07	0.15	nd	0.07	2.89	10.10	0.04	0.16	97.84
09IW12	19	59.52	0.09	18.56	3.36	0.10	1.72	1.03	8.91	0.04	0.17	93.49
09IW12	20	65.40	nd	19.30	0.16	0.02	0.07	0.90	11.00	0.07	0.17	97.09
09IW12	21	62.67	0.17	17.52	0.08	nd	0.00	0.02	0.51	13.58	0.11	94.67
09IW12	22	63.79	nd	18.04	0.02	0.02	0.03	0.05	3.92	9.70	0.14	95.7
09IW12	23	46.85	0.20	18.78	14.00	0.18	6.52	0.09	0.29	7.45	0.06	94.43
09IW12	24	64.38	0.05	17.98	0.06	nd	0.03	0.12	1.59	12.60	0.08	96.89
09IW12	25	63.31	0.05	17.88	0.09	0.06	0.05	0.05	0.44	13.73	0.14	95.81
09IW12	26	63.20	0.11	17.95	0.01	nd	nd	0.06	1.54	13.03	0.20	96.11
09IW12	27	59.90	0.06	17.23	1.24	0.08	0.65	0.18	1.81	11.40	0.12	92.68
09IW12	28	63.75	0.05	17.73	0.01	0.03	0.07	0.11	0.28	13.94	0.16	96.13
09IW12	29	64.13	0.05	18.27	0.01	0.05	0.03	0.06	0.53	14.13	0.09	97.36
09IW12	30	66.79	0.02	17.07	0.16	nd	0.03	0.07	1.27	12.47	0.06	97.95
09IW12	31	61.31	0.09	18.17	2.67	0.06	1.08	0.05	0.34	12.54	0.05	96.37
09IW12	32	65.92	0.09	19.02	0.09	nd	0.01	0.41	8.40	4.95	0.04	98.91
09IW12	33	65.82	0.05	20.03	0.10	0.01	0.02	1.55	11.13	0.02	0.30	99.04
09IW12	34	65.86	0.07	18.65	0.20	nd	nd	0.05	0.55	14.24	0.16	99.8
09IW12	35	67.20	nd	20.51	0.03	nd	0.11	1.34	11.07	nd	0.20	100.5
09IW12	36	67.38	nd	20.25	0.35	0.06	0.22	1.03	11.20	0.11	0.22	100.8
09IW12	37	66.51	nd	18.93	0.04	nd	0.12	0.41	8.18	4.70	0.20	99.09
09IW12	38	67.46	0.02	19.75	0.29	0.00	0.07	0.92	11.45	nd	0.18	100.1
09IW12	39	67.65	nd	19.77	0.24	0.17	0.19	0.73	11.46	0.02	0.16	100.4
09IW12	40	66.41	0.04	20.67	0.07	0.00	0.09	1.58	10.82	0.06	0.19	99.93
09IW12	41	30.68	30.57	3.12	1.65	0.02	0.22	28.03	0.06	0.16	0.07	94.57
09IW12	42	28.84	0.10	15.84	28.60	0.26	15.42	0.04	0.19	0.04	0.20	89.53
09IW12	43	63.93	0.14	18.12	0.13	nd	0.01	0.09	0.66	13.63	0.16	96.86

DFC of 09IW12 is 8.4 m.

Appendix. 7 長石脈の鉍物の鉍物化学組成 (EDS)

1. ドレライト岩床 1 に接する珪化泥岩の形成過程

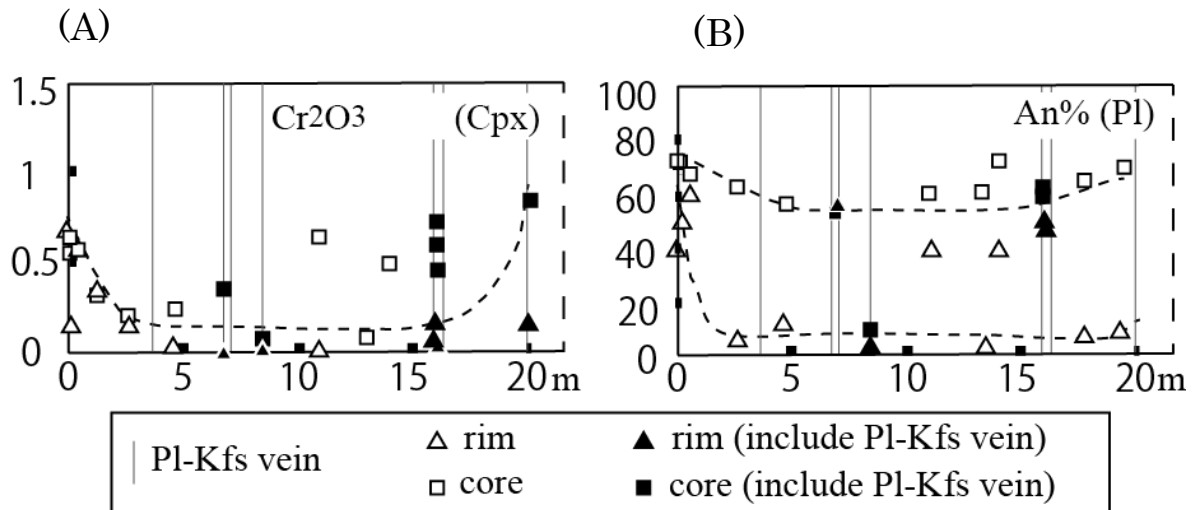
下川オフィオライトにおいて、ドレライト岩床に接する堆積岩はホルンフェルス化しておらずドレライトとの接触面に沿って堆積岩は優白化(珪化)している。ところで、中山ほか(2018)は深海においてマグマ(ドレライト岩床) 併入により未固結堆積物の間隙海水温度が急上昇し沸騰曲線をまたぐと高塩濃度の海水と気相に 2 相分離をおこし、また臨界点を超えれば超臨界流体が形成されることを指摘している。そしてさらに、高塩濃度海水もしくは超臨界流体と堆積物とが反応する。下川オフィオライトの泥岩の優白化(珪化・アジノール化・斜長石に富む灰色変質岩)は、海水の 2 相分離または超臨界流体による、未固結堆積物とマグマ(岩床)の相互作用に起因する Na_2O 付加によると主張している。そこで既存研究(今中・宮下, 1999; 川端・君波, 1999; 宮下, 1999)で示されているトムラウシ岩体、奄美大島の珪化した堆積岩と珪化していない堆積岩の組成を比較する(Appendix Fig. 1)。珪化していない堆積岩の Na_2O は 0.91–3.94 wt%であるのに対して、珪化した堆積岩の Na_2O は 1.67–5.73 wt%である。また、Fig. 16 では SiO_2 が増加すると Na_2O が急激に増加する傾斜の大きな右肩上がり傾向がみられる。したがって、珪化泥岩の組成は、珪化していない泥岩に比べて Na_2O が高い傾向がある。このことから中山ほか(2018)が指摘したように、珪化泥岩には海水(NaCl)に由来する Na_2O 付加の可能性がある。珪化の指標として K_2O の除去が指摘されていたが(今中・宮下, 1999)、 Na_2O が増加する傾向もあるといえる。下川オフィオライトドレライト岩床 1 に接する珪化泥岩の岩石薄片は透明で炭質物が少なく、雲母類は見られない。 K_2O 濃度もゼロである(宮下, 1999)。一方、それに隣接する泥岩の岩石薄片は暗灰色を示し炭質物が多量に存在することが示唆される(宮下, 1999)。このことから珪化堆積岩中では、炭質物がマグマ(岩床)の貫入により分解して除去されたこと、さらに K_2O と Na_2O の元素移動も生じていると考えられる。



Appendix Fig. 1 トムラウシ岩体(今中・宮下, 1999)、下川オフィオライト(宮下, 1999)、仲干瀬崎(奄美大島)および戸口(奄美大島)(川端・君波, 1999)における珪化頁岩と頁岩の Na_2O 含有量の比較図

2. 鉱物化学組成

ドレライト岩床 1 の接触部 (DFC: 0 m, 0.1 m, 20 m) の単斜輝石コアの Cr_2O_3 % は 0.57–0.72 % と高く, 他の場所は 0.11–0.33 % と低い傾向がある (Appendix Fig. 2). 一方, 斜長石-カリ長石脈周囲は単斜輝石コアの Cr_2O_3 % は 0.36–0.57 % と高い傾向がある. このことからドレライト岩床 1 は, 接触部が未分化で, 岩床内部ほど分化している. しかし, 斜長石-カリ長石脈の周囲は, 全体の傾向から外れ, やや未分化である. 石基斜長石コアの An % (Appendix Fig. 2) においてもドレライト岩床 1 の接触部 (下位の堆積岩との接触面からの距離が 0 m, 0.1 m, 20 m のサンプル) では 69.0–76.2 % と高く, 内部は約 55 % と低く, 斜長石-カリ長石脈周囲では 59.8–63.8 % と多少高い傾向を示した.



Appendix Fig. 2. ドレライト岩床 1 の鉱物化学組成の接触面からの距離変化. (A)が単斜輝石の Cr_2O_3 , (B)が斜長石の An %