

Morphology and Distribution of Crystallite in Spherulitic Rhyolite from Shin-Iwo Island, Kagoshima, Japan

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2021-07-26 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24517/00061670

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.



新硫黄島産球顆流紋岩中のクリスタライトの形態と分布

三津野真澄*・渡辺弘明*・田崎和江**・長沼 毅***

Morphology and Distribution of Crystallite in Spherulitic Rhyolite from Shin-Iwo Island, Kagoshima, Japan

Masumi Mitsuno*, Hiroaki Watanabe*, Kazue Tazaki** and Takeshi Naganuma***

Key words: crystallite, morphology, spherulitic rhyolite, Shin-Iwo Island

はじめに

流紋岩, 黒曜岩などガラス質火山岩の中には, その石基部分に微小なクリスタライト (Crystallite) がしばしば見いだされることは古くから知られている (Johannsen 1931; Heinrich 1956). 黒田・諏訪 (1983) はクリスタライトを特殊な形態をした組織で鉱物としての同定はできないものと定義し, 久城ほか (1989) はクリスタライトを「きわめて微小であり, 輪郭は識別できるが複屈折が確認できないもの」としている. また, 勝井 (1996) は光学的に等方性で特定の鉱物種または結晶系に属さないものと定義している. McPhie et al. (1993) は火成岩の写真集の中でイグニンプライト中に見られるクリスタライトを紹介している. クリスタライトの形状はさまざまであり, Johannsen (1931) は球状, 数珠玉状, 毛状, 桿状など 8 種類に分類している. Sharp et al. (1996) は流紋岩ガラス中のクリスタライトとほぼ同様の大きさを持つマイクロライトと“ナノライト”について透過型電子顕微鏡を用いて観察し, その微細構造と化学特性について報告しているが, クリスタライトについては言及していない. 以上のように, クリスタライトのミクロンオーダーでの化学組成と形態についての研究例は少ない.

本研究においては鹿児島県新硫黄島で採取した球顆流紋岩中にみられるクリスタライトについて, 偏光顕微鏡および電子顕微鏡等を用いて微細形態, 化学組成, 分布を明らかにしたので報告する.

試料及び分析方法

試料

新硫黄島 (昭和硫黄島) は鹿児島県三島村薩摩硫黄島の東北東に位置する, 東西 500m, 南北 300m の小島である (第 1 図 A, B). 薩摩硫黄島, 竹島と共に鬼界カルデラの北側縁をなし, 1934~35年, 海底からの噴火によって形成された. 現在, 島の地表に露出しているのは 1935年に噴出した流紋岩溶岩であり, 島中央部に火道の跡である環状構造が見られ, 流出した溶岩が同心円状に分布している. 小野ほか (1982) によると, この島ではガラス質塊状溶岩, 黒曜岩, 流紋岩などが分布し, 流紋岩の石基中には針状の微結晶が配列すると記載されているが, 球顆流紋岩およびクリスタライトについての記載はない.

本研究で用いた試料は新硫黄島南西部の海岸 (汀線より約 10m 地点) で採取された球顆流紋岩の楕円形の礫 (大きさは約 30×20cm) で, 溶岩流の上に乗っていたものである. 試料全体には直径 3~8mm の薄桃色を呈する梅花様の球顆 (Spherulite) が散らばり, その内部にはしばしば空隙が認められ, 球顆が二重リング構造を示すこともある (第 1 図 C). また球顆以外の石基は黒いガラスであり, 肉眼でも斑晶が認められる.

分析方法

採取した試料は研磨薄片とし, 偏光顕微鏡で観察した. 研磨薄片に炭素蒸着を施し, 走査型電子顕微鏡 (SEM) (Jeol

1999年11月1日受付. 2000年5月9日受理.

*金沢大学大学院自然科学研究科, 〒920-1192 石川県金沢市角間町.

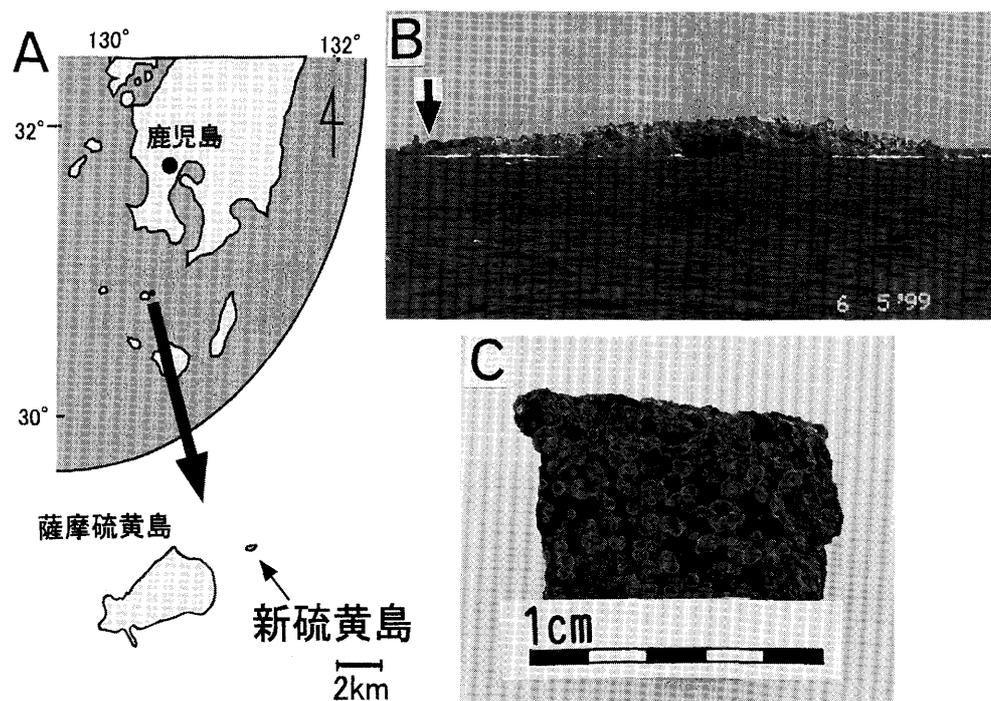
Division of Global Environmental Technology and Science, Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University, Kakuma, Kanazawa 920-1192, Japan.

**北陸支部, 金沢大学理学部地球学教室, 〒920-1192 石川県金沢市角間町.

Department of Earth Sciences, Faculty of Science, Kanazawa University, Kakuma, Kanazawa 920-1192, Japan.

***広島大学生物生産学部, 〒739-8528 東広島市鏡山1-4-4.

Faculty of Applied Biological Science, Hiroshima University, 1-4-4, Kagamiyama, Higashi-Hiroshima 739-8528, Japan.



第1図. 新硫黄島の位置図と採取試料.

A: 新硫黄島の位置.

B: 南方海上から見た新硫黄島全景, 矢印はサンプリング位置.

C: 梅花様球顆流紋岩.

JSM-5200LV) を用いて加速電圧 15kV および 25kV で観察を行った. 同時に構成元素を調べるために, SEM に取り付けられたエネルギー分散分析装置 (EDX) (Philips EDAX PV2000EX) を用い, 加速電圧 15kV および 25kV で定性分析を行った. また, EPMA (Jeol SUPERPROBE JXA-8800R) を用いて, 定量分析と元素カラーマッピングを行った. さらに斜長石斑晶の成長縞を調べるために, 濃縮フッ化ホウ素酸に薄片を4分間浸してエッチング処理を施した後, ノマルスキー型微分干渉顕微鏡 (Nikon OPTIPHOT2) で観察を行った.

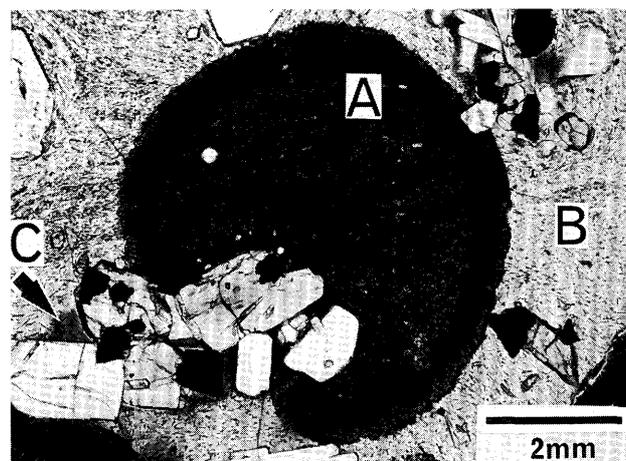
次に試料を薄桃色の球顆部分と黒曜石部分にハンドピッキングで分離し, それぞれの部分の構成鉱物を調べるために X 線粉末回折分析 (理学電機製 RINT1200, $\text{CuK}\alpha$, 電圧 40 kV, 電流 30mA, グラファイトモノクロメーター) を行った. $2\mu\text{m}$ 以下の粒子についても同様に, X 線粉末回折分析を行った. 斑晶はハンドピッキングで取り出し SEM 試料台上に載せ, 炭素蒸着後, SEM 観察と EDX 分析を実施した.

結果

球顆流紋岩の観察・分析結果は以下のとおりである.

偏光顕微鏡観察

試料の薄片の偏光顕微鏡写真を第2図に示す. 石基ガラスのかなりの部分が脱玻璃化して球顆を生じており (第2図 A), 内部には無色あるいは淡褐色の斜長石, クリストバライトや黒褐色のイルメナイトの微小結晶が放射状に発達している. また球顆以外の石基ガラスでも脱玻璃化が見られ (第



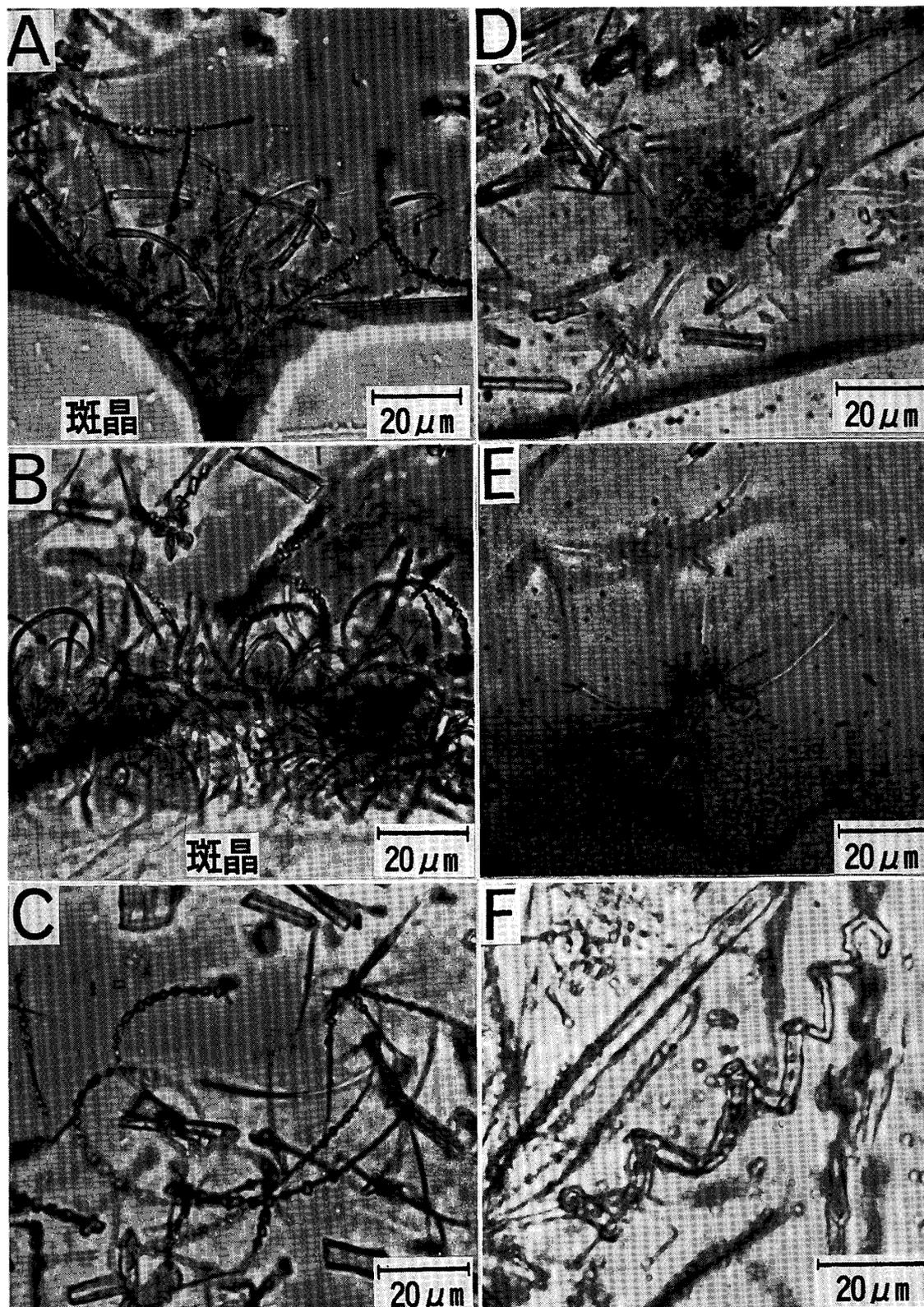
第2図. 球顆流紋岩の偏光顕微鏡写真.

A: 放射状組織を示す球顆.

B: 石基ガラスは球顆以外の部分も脱玻璃化している.

C: 斜長石の斑晶の凹部や隙間は淡褐色を示し, クリスタライトが認められる.

2図 B), 石基全体で流理構造が明瞭である. 斑晶は主に斜長石と斜方輝石であり, その割合はおよそ 10:1 である. また不透明鉱物もしばしば認められる. 第2図 C に示すように, 斑晶の隙間, 凹部分や表面付近ではガラスがしばしば淡褐色を呈することがあり, ここでは毛状の物質が多数観察された. その形態及び複屈折が認められないことから, クリスタライトと同定した.



第3図. 偏光顕微鏡で観察したクリスタライトの多様な形状.

- A : 斑晶の隙間や凹部に高密度で分布している数珠玉状クリスタライト,
- B : 斑晶周辺部に密集するカール状クリスタライト,
- C : カールした数珠玉状クリスタライト,
- D : 小球状クリスタライトが集めた塊状のもの,
- E : 放射状に広がる毛状クリスタライト,
- F : らせん状クリスタライト.

薄片で観察されるクリスタライトの形は多様であり、数珠玉状のもの（第3図A）、カール状のもの（第3図B）、カールした数珠玉状のもの（第3図C）、小球が多数集まり塊状になったもの（第3図D）、放射状に広がる毛状のもの（第3図E）、らせん状のもの（第3図F）がよく見られ、桿状や針状、および棒の両端から放射状に広がったものなども見いだされる。クリスタライトの大きさは桿状のもので長さが20 μm 前後、幅は2~5 μm 程度、約2 μm の小球状クリスタライトが集合した塊状のものは直径が20~40 μm 、カール状や数珠玉状のものは幅が1 μm 以下だが長さが100 μm に達するものも認められる。また数珠玉の一つ一つは1~2 μm の直径をもつ。

クリスタライトは斜長石および輝石の斑晶の表面および周辺部分に多く認められる。特にそれら斑晶の隙間、凹部分（第3図A）や表面部分（第3図B）では、長いカール状や

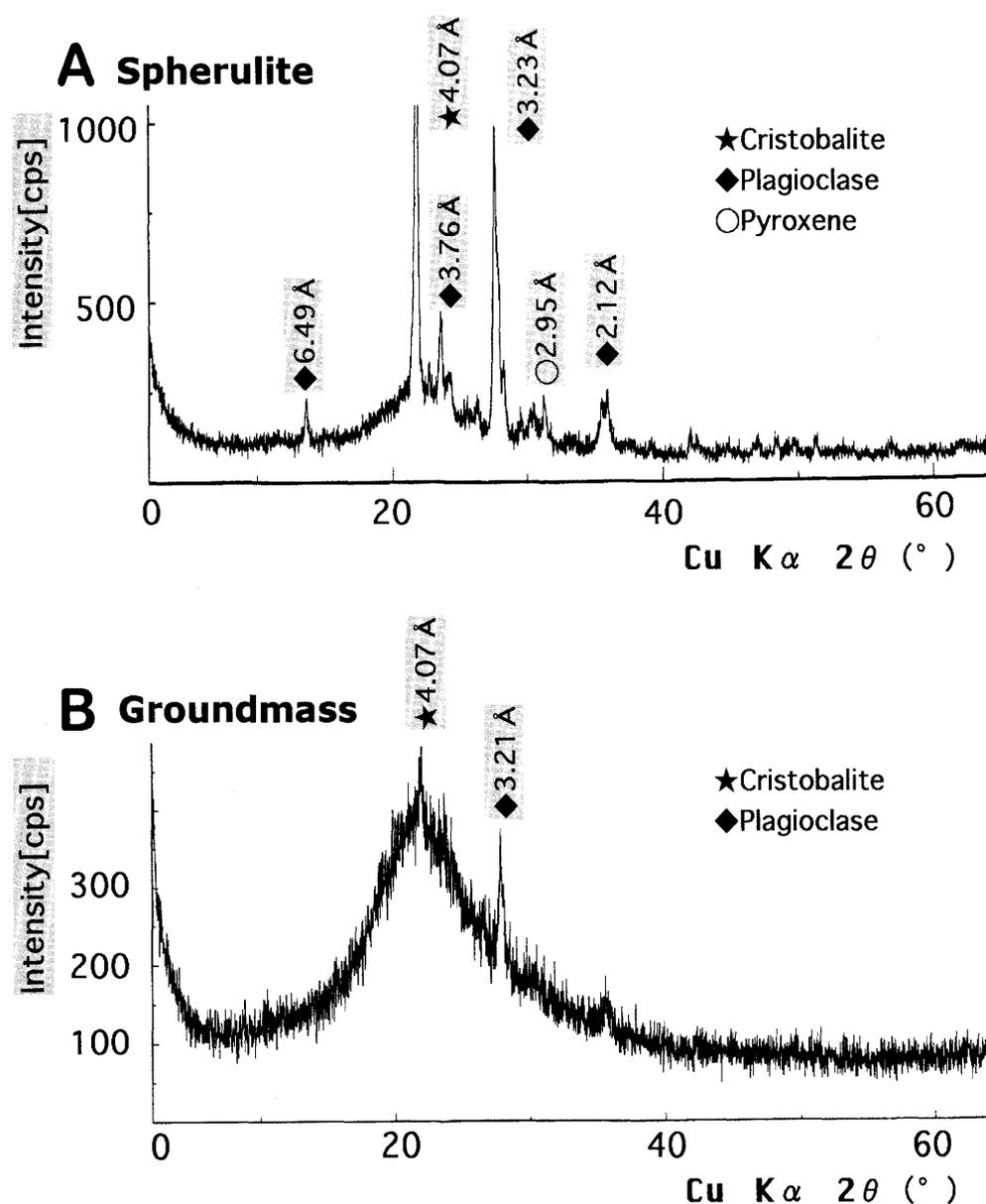
数珠玉状のものが絡み合うようにして密集している。

X線粉末回折分析

球顆と石基のそれぞれについて、全岩及び2 μm 以下の試料でX線粉末回折分析を行なった。このうち2 μm 以下の測定結果を第4図に示す。球顆（第4図A）と石基（第4図B）は共に、15~30°で高いベースラインを示し非晶質物質の存在を示唆している。球顆（第4図A）ではクリストバライト（4.07Å）、斜長石（2.12Å, 3.23Å, 3.76Å, 6.49Å）や輝石（2.95Å）のピークが顕著であるのに対し、石基（第4図B）では非晶質物質を主とし、少量のクリストバライト（4.07Å）や斜長石（3.21Å）も認められる。

SEM-EDX 分析

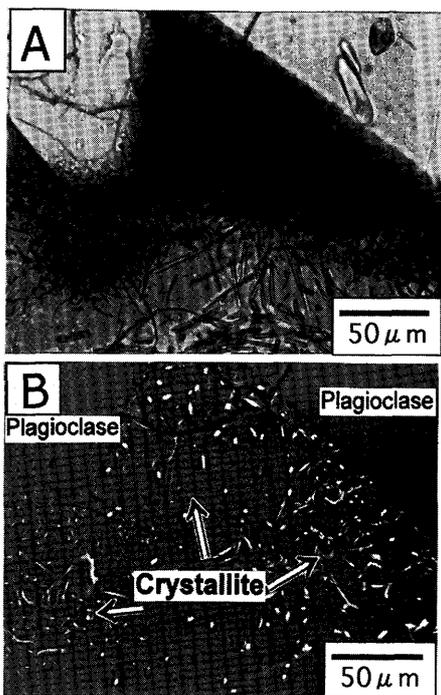
球顆流紋岩の薄片の偏光顕微鏡観察により、斑晶（斜長石）の表面凹部でクリスタライトが高密度に形成されている部分を選び（第5図A）、SEMで観察を行ったところ、白



第4図. 新硫黄島から採取した球顆流紋岩のX線粉末回折分析(2 μm 以下). クリスタライトは両試料に含まれている。

A: 球顆部分はクリストバライトと斜長石が顕著である。

B: 石基部分は主にガラスからなる。

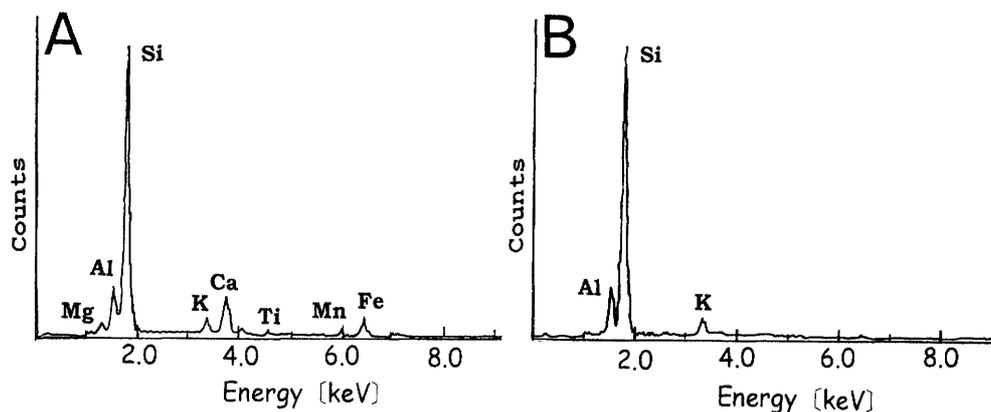
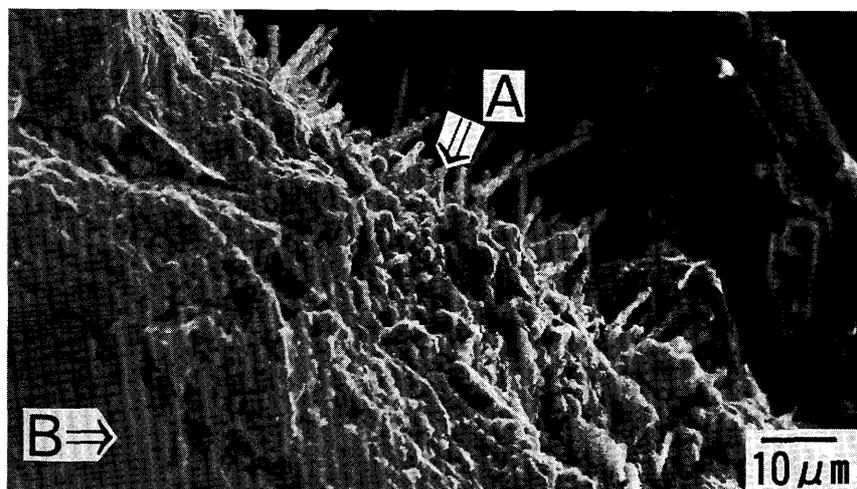


第5図. A: 斜長石の斑晶凹部分と表面付近に発達したクリスタライトの偏光顕微鏡写真.
B: Aの走査型電子顕微鏡による反射電子像.
クリスタライトは白色を呈している.

色のカールしたクリスタライトが存在した (第5図B).

次にハンドピッキングで取り出した斑晶 (斜長石) のSEM観察では, 斑晶の周辺部分に長さ 10~20 μm のクリスタライトが認められた (第6図一矢印A). EDX分析を行った結果, クリスタライト部分はSiに富み, 少量のAl, Ca, Fe, K, Mgと微量のMn, Tiを含んでいた (第6図A). 一方, 周辺の基質 (矢印B) 部分ではSiを主として少量のAl, Kを含むが, クリスタライト部分に認められたCa, Fe, Mg, Mn, Tiは検出されなかった (第6図B). EPMA測定 (元素カラーマッピング)

第5図で示した斑晶 (斜長石) 表面凹部のクリスタライト及びその周辺のガラスを, EPMAにより定量分析および元素カラーマッピングを行った. 分析条件は, クリスタライト部分の定量分析では, 加速電圧 15kV, 試料電流 2.0×10^{-8} A, ビーム径 $< 1\mu\text{m}$ の点分析, ガラス部分の定量分析では加速電圧 15kV, 試料電流 1.2×10^{-8} A, ビーム径 10 μm の点分析である. また, 元素カラーマッピングでは加速電圧 15kV, 試料電流 5.0×10^{-8} A, ビーム径 $< 1\mu\text{m}$ であった. このうち定量分析結果を第1表に示す. クリスタライト部分はFeO, MgO, CaOに富んでいる. またガラス部分 (B, C, D) は互いにほぼ同じ組成で, クリスタライト部分に較べ Al_2O_3 , K_2O が多い. 従ってクリスタライト部分は重金



第6図. クリスタライトの走査型電子顕微鏡写真およびエネルギー分散分析.
A: クリスタライトの組成.
B: 基質部分 (黒曜石) の組成.

第1表. EPMAによるクリスタライトとガラスの定量分析値.

Wt. (%)	crystallite		glass	
	(A)	(B)	(C)	(D)
SiO ₂	74.47	74.28	76.16	76.37
Al ₂ O ₃	11.67	12.93	13.07	12.92
TiO ₂	0.44	0.49	0.54	0.53
FeO	4.57	1.62	1.34	1.18
MgO	1.36	0.10	0.03	0.09
MnO	0.22	0.05	0.04	0.06
CaO	3.50	0.66	0.77	1.07
Na ₂ O	1.26	1.66	1.22	1.25
K ₂ O	3.28	5.77	5.72	5.47
Total	100.77	97.55	98.89	98.94

- A: 斑晶周辺に密集したクリスタライト (3点測定の平均値).
 B: 斑晶凹部内のガラス (1点測定).
 C: クリスタライト密集部周辺の薄茶色ガラス (3点測定の前平均値),
 D: 斑晶から離れた無色ガラス (2点測定の前平均値).

属に富み、ガラス部分とは化学組成が異なる。

考 察

以上の結果から、クリスタライトは様々な形態をとり、斑晶の周辺部、特に凹部に集中していることが明らかになった(第3, 5, 6図)。以下にクリスタライトの化学成分、形態の特徴とそれが集中するファクターを考察する。

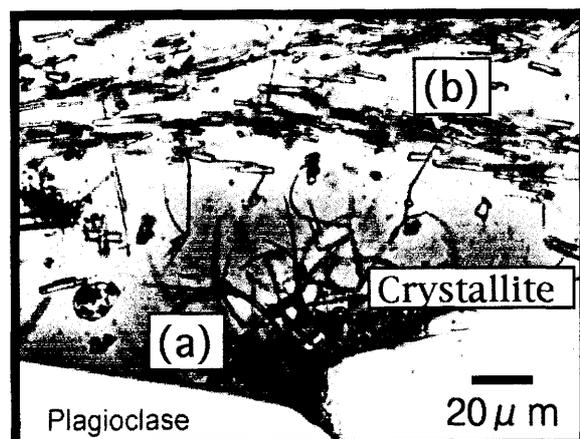
まず、クリスタライトは斑晶の表面や凹部分に密集していることから、斑晶との相互作用、例えば斑晶から融解した成分より形成されたと考えられる。その場合は斑晶の成長縞の一部が欠落するであろうから、確認のために研磨薄片のフッ化ホウ素酸エッチング処理を行い、ノマルスキー型微分干渉顕微鏡で観察を行った。その結果、斑晶(斜長石)の成長縞は斑晶の縁と平行であり、欠落は認められなかった(第7図B)。従って、クリスタライトは斑晶から成分を融け出させることによって成長したものではなく、その成分はメルト起源であると考えられる。

偏光顕微鏡観察で斑晶周囲が淡褐色を呈しており(第2図C, 第5図A)、クリスタライトとガラスのEPMAによる定量分析結果(第1表)は、両者の化学組成(特にFeO, MgO, CaO, K₂O)に差があることを示した。

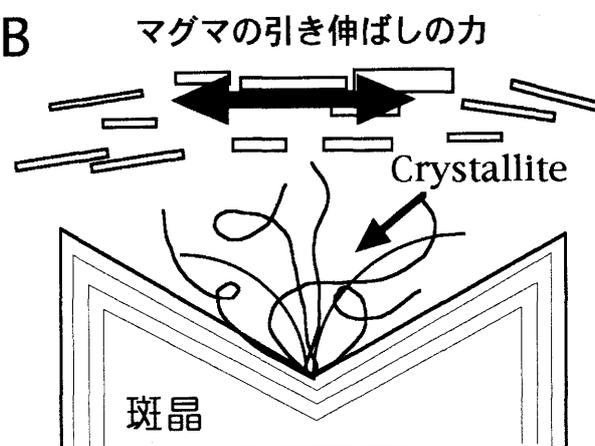
以上の結果は、斑晶が地下のマグマだまりの中でFeやMgに富んだメルトから晶出しマグマ混合する際に、斑晶の周囲にのみ、そのような組成の溶液が残存し、不均一な状態を作ったと考えられる。

一般に、過冷却度が高く結晶成長速度が速い場合には、結晶形態は樹枝状、毛状や球顆状をとる(Lofgren 1980)。本研究の球顆流紋岩の場合も、マグマが噴出した際に脱ガスし

A



B



第7図. クリスタライトの生成メカニズム.

- A: 斑晶凹部に高密度で分布するクリスタライトの偏光顕微鏡写真.
 B: エッチング処理して見た斑晶の成長縞は、斑晶の縁と平行で融解によって切られていないことから、クリスタライトは斑晶成分の融解によって成長したのではないことが明らか。

てリキダス温度が上昇し、大きな過冷却状態でガラス質や球顆が生じたと考えられる。斑晶の表面が結晶核の役割を果たしたために、表面付近ではFe, Mg, Ca等を取り込みながら急激にクリスタライトの形成が開始されたと考えられる。第7図Aにみられるように、斑晶(斜長石)から離れた石基(b)には斜長石や輝石の棒状微結晶が一方方向に並んでいることから、粘性の高い溶岩が流出した際の引き延ばし(横ずれ)の力を受けたと言える。しかし、斑晶の凹部や表面付近では一定方向に並ぶ棒状微結晶がみられず、溶岩が流出した際の引き伸ばしの影響をあまり受けることがない「淀み」のような部分であったと考えられる。その淀みの中で、クリスタライトはカール状やらせん状など多様な形態を取りながら成長を続けた。さらに、結晶成長速度が一定でない場合には、数珠玉状のものを作ったと考えられる。

謝辞 本研究を行うにあたり、金沢大学大学院自然科学研究科佐藤 努助教授、荒井章司教授、寅丸敦志助教授、同大学工学部木綿隆弘助教授には有益な助言をいただいた。神戸大学理学部の佐藤博明教授には丁寧な査読と指導をいただいた。深く感謝申し上げる。また金沢大学大学院自然科学研究科津根 明氏にはエッチング処理の指導を、田崎研究室のみなさまには研究全般にわたって励ましをいただいた。ここに感謝の意を表したい。

文 献

- Heinrich E WM (1956) Microscopic petrography. McGraw-Hill Book Company, INC., New York, 296p.
- Johannsen A (1931) A descriptive petrography of the igneous rocks, The Univ. Chicago Press, Chicago, 428p.
- 勝井義雄 (1996) クリスタライト. 新版地学事典 (地学団体研究会・新版地学事典編集委員会編), 平凡社, 東京, 358p.
- 黒田吉益・諏訪兼位 (1983) 偏光顕微鏡と岩石鉱物, 第2版. 共立出版, 東京, 343p.
- 久城育夫・荒牧重雄・青木謙一郎 (1989) 日本の火成岩. 岩波書店, 東京, 206p.
- Lofgren G (1980) Experimental studies on the dynamic crystallization of silicate melts., in Hargraves edit., Physics of Magmatic Processes, Princeton Univ. Press, Princeton, 487-551
- McPhie J, Doyle M and Allen R (1993) Volcanic Textures—A guide to the interpretation of textures in volcanic rocks. The Univ. of Tasmania, Tasmania, 196p.
- 小野晃司・曾屋竜典・細野武男 (1982) 薩摩硫黄島地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1図幅), 地質調査所, 80p.
- Sharp TG, Stevenson RJ and Dingwell DB (1996) Microclites and “nanolites” in rhyolitic glass: microstructural and chemical characterization. Bull. Volcanol., 57: 631-640.