

# 反射電子像でみられる白山火山噴出物の カンラン石・紫蘇輝石・斜長石斑晶の累帯構造

東野外志男 石川県白山自然保護センター

## ZONAL STRUCTURE ON THE BACK-SCATTERED ELECTRON IMAGE OF OLIVINE, HYPERTHENE AND PLAGIOCLASE PHENOCRYSTS IN THE HAKUSAN VOLCANIC ROCKS

Toshio HIGASINO, *Hakusan Nature Conservation Center, Ishikawa*

### はじめに

白山火山は金沢の南南東約 45 km に位置し、その火山体はカルクアルカリ岩系に属する安山岩によって構成される。カルクアルカリ岩系の安山岩質マグマの形成については、酸性マグマと塩基性マグマの混合が重要な役割を果たすといわれている。Eicherlberger (1975)・Anderson (1976)・Sakuyama (1979, 1981)などはマグマ混合を示す証拠の 1 つとして、斑晶鉱物の逆累帯構造を上げている。Sakuyama (1979, 1981)はまた一個の岩石内において正累帯構造と逆累帯構造を示す紫蘇輝石と普通輝石が存在し、それぞれの組成の変化はへりの狭い範囲で急激に起きることを示した。

白山火山の岩石学的研究はこれまで黒田 (1967)・長岡 (1972)・Tiba (1976)などによって行なわれてきた。黒田 (1967)と長岡 (1972)は、斜長石と紫蘇輝石の斑晶に逆累帯構造を示すものが存在することを報告している。造岩鉱物の累帯鉱物は EPMA による化学分析や反射電子像・偏光顕微鏡の観察などによってその特徴が明らかにされる。その中で反射電子像の観察は、重元素と軽元素の置換を主にする固溶体鉱物の累帯構造に有力である (Sakai et al., 1985, 他)。以下では、反射電子像で観察された白山火山噴出物のカンラン石・紫蘇輝石・斜長石斑晶の累帯構造の特徴を述べ、その成因について考察する。

反射電子像の観察には金沢大学地学教室の装置を使用した。装置の使用の御便宜を計っていただいた山崎正男教授 (当時)と石渡明博士に感謝する。今回使用した試料のうち、TH 82101702 を除いて全て金沢大学理学部地学教室に保管されているものである。

### 地質概要

白山火山の地質は山崎・中西・松原 (1968)、長岡・清水・山崎 (1985)、長岡・岩田・東野・山崎 (1985)などによって詳細に研究されている。それらによると、白山火山の形成史は侵食期をはさんで古いものから加賀室火山形成期・古白山火山形成期・新白山火山形成期に区分される。新白山火山形成期はさらに御前期と翠ヶ池期に細分され、翠ヶ池期の活動は歴史時代まで及ぶ。加賀室火山と古白山火山の活動年代は、それぞれ 0.32~0.43 Ma と 0.10~0.14 Ma である (東野ほか, 1984、清水・山崎・板谷, 1988)。

白山火山を構成する岩石はカルクアルカリ岩系に属する安山岩である。斑状組織を呈し、斑晶量は 23~30 容量%である (長岡・東野・岩田, 1990)。斑晶として常に含まれるものは斜長石・ホルンブレ

ンド・紫蘇輝石・不透明鉱物である。石英とカンラン石の斑晶は時々、黒雲母の斑晶はまれに含まれるが、その量は少ない。普通輝石は微斑晶として、時々産する。石基鉱物は斜長石・紫蘇輝石・普通輝石・不透明鉱物で、まれに黒雲母が石基に産することがある。噴出物のSiO<sub>2</sub>量の範囲は56.4~66.6重量%で、ほとんどが安山岩の領域にはいる(長岡ほか, 1990)。加賀室火山噴出物は古白山火山と新白山火山の噴出物に比較して、同SiO<sub>2</sub>量に対してのNa<sub>2</sub>OとK<sub>2</sub>O量がわずかに乏しい傾向があるほかは、各火山体のあいだには化学組成上の大きな差はない(長岡ほか, 1990)。

### 試料概要・研究方法

カンラン石・紫蘇輝石・斜長石の反射電子像の観察は、加賀室火山3個・古白山火山2個・新白山火山3個の合計7個の溶岩について行なった。各試料の活動期・採集地・岩石名は以下のとおりである。活動期とSiO<sub>2</sub>量はそれぞれ長岡・清水・山崎(1985)と長岡ほか(1990)による。石基はいずれの試料も紫蘇輝石・普通輝石・斜長石・不透明鉱物・ガラスである。

#### TI 14 (TI 79081505)

加賀室火山, 尾添尾根美女坂東方斜面 (36°12'04"N, 13°43'54"E)

ホルンブレンド-紫蘇輝石安山岩 (SiO<sub>2</sub> = 61.52 重量%)

#### TI 38 (TI 79081506)

加賀室火山, 尾添尾根美女坂東方斜面 (36°02'12"N, 136°43'56"E)

紫蘇輝石-ホルンブレンド安山岩 (SiO<sub>2</sub> = 59.10 重量%)

#### TH 82101702

加賀室火山, ハライ谷上流 (36°13'54"N, 136°43'49"E)

カンラン石含有ホルンブレンド-紫蘇輝石安山岩 (SiO<sub>2</sub> = 60.53 重量%)

#### MN 27 (MN 70082401)

古白山火山・II期, 小白水谷支谷 (36°09'44"N, 136°48'15"E)

黒雲母含有紫蘇輝石-ホルンブレンド安山岩 (SiO<sub>2</sub> = 59.21 重量%)

#### MN 33 (MN 69081305)

古白山火山・II期, 大汝峰北の御手水鉢 (36°09'59"N, 136°45'54"E)

紫蘇輝石-ホルンブレンド安山岩 (SiO<sub>2</sub> = 58.30 重量%)

#### MN 117 (MN 70081906)

新白山火山・御前期III期, 大白水谷と転法輪谷の間の尾根 (36°08'53"N, 136°48'42"E)

石英含有紫蘇輝石-ホルンブレンド安山岩 (SiO<sub>2</sub> = 58.41 重量%)

#### MN 120 (MN 70081504)

新白山火山・御前期III期, 大白水谷と小白水谷との出合 (36°08'29"N, 136°49'34"E)

石英-カンラン石含有ホルンブレンド-紫蘇輝石安山岩 (SiO<sub>2</sub> = 60.75 重量%)

反射電子像の観察には、金沢大学理学部地学教室のエネルギー分散型X線分析装置(Philips EDAX 9100) 付属の走査電子顕微鏡 AKASHI ALPHA-30A を使用した。励起電圧は20 kvもしくは30 kvに保った。反射電子線は電子線を受けている部分の原始番号と凹凸についての情報を与え、平滑な面における反射電子線の強度はその部分の原始番号にほぼ比例する(内山・渡辺・紀本, 1962; Sakai et al., 1985)。反射電子像で平均原子番号の大きい部分は相対的に明るく、一方それが小さい部分は相対的に暗く見える。今回観察の対象とするカンラン石・紫蘇輝石の斑晶はFeとMgの置換を主とし、また、斜長石はCaとNaを主要な置換元素としているため、反射電子像の観察に適している。実際には、これ

らの鉱物において他の元素の置換も行われているが、以下の記載では、反射電子像で観察できる明暗の変化を、カンラン石と紫蘇輝石はFeとMg元素の変化として、また、斜長石についてはCaとNa元素(An成分とAb成分)の変化として記述する。

## カンラン石

カンラン石の斑晶はTH 82101702とMN 120の試料に含まれる。斑晶の中央部はほぼ均質であるが、周辺部でFeが徐々に減少する正累帯構造を示す(図版I-a・b・c)。カンラン石斑晶のへりには斜方輝石が普通形成されており、カンラン石斑晶との境界は細かく凹凸に富んでいる(図版I-a)。このことから、カンラン石が融食して斜方輝石が形成されたと考えられる。

## 紫蘇輝石

紫蘇輝石の斑晶にはMgに富むへりを有するものとそうでないものがある。比較的多くの紫蘇輝石斑晶を検討したMN 27では16個中11個が、MN 33で13個中5個がMgに富むへりを有し、その割合は試料ごとに異なるようである。

Mgに富むへりを有する紫蘇輝石斑晶の内部の組成はほぼ均質である(図版I-d・II-a・b)。まれに累帯構造を示す場合があるが、その変化の程度は小さい。中央部からMgに富むへりへの組成変化は急激で、Mgに富むへりと内部との境界は通常平滑である。Mgに富むへりでは、外側に向かって徐々にMgに乏しくなる傾向がある。

Mgに富むへりを有しない紫蘇輝石の斑晶は、Mgに富むへりをもつ結晶の内部と同様に、通常均質である(図版II-d)。まれに微弱な累帯構造を示すものもある。

紫蘇輝石斑晶のへりに普通輝石が形成されていることがある。普通輝石が形成される割合は試料によって様々で、紫蘇輝石斑晶の半数近くに確認されたものから、全く確認されないものまでである。通常Mgに富むへりを有する紫蘇輝石斑晶に形成されている。その場合、Mgに富む部分と普通輝石は異なった結晶面に発達し、それらが接する部分で普通輝石はMgに富む部分の外側に発達する(図版II-b)。まれではあるが、Mgに富むへりを有しない紫蘇輝石斑晶に普通輝石のへりが形成されていることがある(図版II-c)。普通輝石と内部の紫蘇輝石斑晶との境界は通常平滑である。まれに凹凸に富んでいることがある(図版II-c)。この凹凸は、普通輝石の形成の際に紫蘇輝石斑晶融食を伴ったためと考えられる。

Mgに富むへりを有する有しないにかかわらず、紫蘇輝石の斑晶があたかも粉砕を受け一部が欠けたような組織を示すものがときどき観察される(図版II-a・d)。図版II-aは、その作用がMgにとむへりを形成した後に起きたことを示す。

## 斜長石

斜長石の斑晶には周辺部にdusty zoneを有するものとそうでないものがある。一般にdusty zoneを有しないもののほうが多い。Dusty zoneを有する斜長石斑晶については、dusty zoneより内側及び外側の部分をそれぞれ内核と外殻と呼ぶ。Dusty zoneは普通周辺部で連続的に発達する(図版III-a)が、部分的に欠けている場合もある(図版III-b)。内核とdusty zoneとの境界は通常不規則で、なかにはdusty zoneが結晶の内部にしみ入るように発達しているものもある。内核の累帯構造が明瞭な結晶

において、dusty zoneが内核の累帯構造を切るように発達しているのが観察される(図版III-a)。外殻とdusty zoneは内核に比較してAn成分に富み、それらの境界における組成変化は比較的急激である。外殻において、An成分は外側に向かって徐々に減少する。内核では、一般にほぼ均質もしくは組成変化の比較的弱いoscillatory zoningを示す(図版III-a・b)。時々、dusty zoneや外殻程度にAnに富む部分を有することがあり、それが島状になっている場合もある。

Dusty zoneを有しない斑晶も、一般にdusty zoneを有する斑晶の外殻と同様にAn成分に富むへりを有する(図版III-d)。Anに富むへりを有しないことはまれである。An成分に富むへりは、dusty zoneを有する斜長石斑晶の外殻に比較して一般に薄い。Anに富むへりと内部との組成変化は急激で、Anに富むへりの比較的厚いものについては、dusty zoneを有する結晶と同様に、外側に向かってAn成分が減少することが確認できる。内部とへりとの境界は一般に平滑である。内部の化学的特徴は、dusty zoneを有する斜長石斑晶の内核と同様に、oscillatory zoningもしくはほぼ均質で、時にへりと同程度のAnに富む部分を有することがある。

Dusty zoneを有する有しないにかかわらず、斜長石斑晶に紫蘇輝石斑晶と同様に、機械的な粉碎を受け一部が欠けたような組織がときどきみられる(図版III-c・d)。Dusty zoneやAnに富むへりもその部分で欠けているので、その作用はdusty zoneやAnに富むへりの形成後に起きたことを示す。

## 考 察

今回反射電子像をもとに検討した斑晶の累帯構造について注目すべきことは、紫蘇輝石の逆累帯構造、斜長石のdusty zoneの形成を伴う逆累帯構造、及びカンラン石のへりに形成された紫蘇輝石の反応縁(reaction rim)の存在である。このような特徴は単純な結晶分化作用では説明できず、塩基性のマグマと酸性のマグマとの混合によって形成されたことを強く示唆する(Eicherlberger, 1975; Anderson, 1976; Sakuyama, 1979; 1981; 和田, 1988; 他)。すなわち、紫蘇輝石と斜長石の逆累帯構造は、それらが本来平衡にあったマグマより塩基性のマグマの混合によって、一方、カンラン石の紫蘇輝石反応縁はそれが本来平衡にあったマグマより酸性のマグマの混合によって形成されたとするものである。Tsuchiyama(1985)は斜長石-メルトの実験で、メルトの組成がその斜長石と平衡に共存しうるメルトの組成よりAn成分に富んでいる場合に、斜長石結晶は融食を受けメルト(melt)との間の反応によってdusty zoneのような融食構造が形成されることを示した。また、Tsuchiyama(1986)はカンラン石とメルトとの反応実験で、メルトがカンラン石とは本来平衡共存しないSiに富む組成(安山岩質)であるとき、カンラン石の周囲にCaに乏しい輝石の反応縁が形成されることを示した。これらの実験は、今回観察されたカンラン石と斜長石の累帯構造が異なる組成のマグマの混合によって形成されたことを支持するものである。

しかしながら、一方、紫蘇輝石の斑晶にはMgに富むへりを有するものとそうでないもののが、また、同様に斜長石斑晶にはdusty zoneをもつものとそうでないもののがあり、それらは白山火山噴出物中に共に存在する。これまで行われてきた予察的な分析(東野, 未公表)では、紫蘇輝石斑晶についてはMgに富むへりの部分を除いては両者の間に化学組成上の違いがない。斜長石斑晶についても、dusty zoneを有するものとそうでないものとの間に化学組成上の特徴に明瞭な差がみられない(東野, 未公表)。また、斜長石斑晶については両者ともに周辺部がAn成分に富む。これらのことは、紫蘇輝石と斜長石斑晶が、現在観察できる累帯構造の違いにかかわらず、それらが本来同じマグマから晶出したことを示唆すると考えられる。つまり、紫蘇輝石・カンラン石・斜長石の斑晶に限っていえば、酸性のマグマには紫蘇輝石と斜長石の斑晶が、一方、塩基性のマグマにはカンラン石の斑晶が存在した

と考えるものである。紫蘇輝石斑晶にMgに富むへりが、また、斜長石斑晶にdusty zoneが形成されるかもしくは形成されないかは、局所的な化学平衡や反応のカイネテックス (kinetics) などに支配されているのであろう。マグマの混合によってMgに富むへりとdusty zoneが形成された後、マグマが地表に流出するまでが短時間であったため、それらを形成する影響がマグマ全体にゆきわたらなかつたためかもしれない。

## 文 献

- Anderson, A.T. (1976) Magma mixing: Petrological process and volcanological tool. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, vol.1, p.3-33.
- Eichelberger, J.C (1975) Origin of andesite and dacite: evidence of magma mixing at Glass Mountain in California and the other Circum-Pacific volcanoes. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, vol.86, p.1381-1391.
- 東野外志男・長尾敬介・板谷徹丸・坂田章吉・山崎正男 (1984) 白山火山及び大日ヶ岳火山のK-Ar年代. 石川県白山自然保護センター研究報告, No.10, p.23-29.
- 黒田 直 (1967) 白山火山の岩石について. 名古屋地学, No.23, p.2-15.
- 長岡正利 (1972) 白山火山の地質及びその岩石学的研究. 金沢大学修士論文, 手記.
- 長岡正利・東野外志男・岩田次男 (1990) 白山火山の全岩組成. 石川県白山自然保護センター研究報告, No.17, p.1-11.
- 長岡正利・岩田次男・東野外志男・山崎正男 (1985) 加賀室火山——白山火山にさきだつ火山——. 石川県白山自然保護センター研究報告, No.12, p.1-7.
- 長岡正利・清水 智・山崎正男 (1985) 白山火山の地質と形成史. 石川県白山自然保護センター研究報告, No.12, p.9-24.
- Sakuyama, M. (1981) Petrological study of the Myoko and Kurohime volcanoes, Japan: crystallization sequence and evidence for magma mixing. *Jour. Petrol.*, vol.22, p.553-582.
- Sakuyama, M. (1984) Magma mixing and magma plumbing systems in island arcs. *Bull. Volcanol.*, vol.47, p.685-703.
- 清水 智・山崎正男・板谷徹丸 (1988) 両白一飛騨地域に分布する鮮新—更新世火山岩のK-Ar年代. 岡山理科大学蒜山研究所研究報告, No.14, p.1-36.
- Tiba, T. (1976) Hornblende megacrysts in andesite from Hakusan Volcano. *Bull. Natn. Sci. Mus., Ser.C (Geol)*, vol.2, p.115-119.
- Tsuchiyama, A. (1985) Dissolution kinetics of plagioclase in the melt of the system diopside-albite-anorthite, and origin of dusty plagioclase in andesites. *Contrib. Mineral. Petrol.*, vol.89, p.1-16
- Tsuchiyama, A. (1986) Experimental study of olivine-melt reaction and its petrological implications. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, vol.29, p.245-264.
- 内山 郁・渡辺 融・紀本静雄 (1968) X線マイクロアナライザ. 249 p, 日刊工業新聞社.
- 山崎正男・中西信弘・松原幹夫 (1968) 白山火山の形成史. 火山, 第2集, vol.13, p.32-43.
- 和田恵治 (1988) 雄阿寒火山カルクアルカリ岩のマグマ混合. 岩鉱, vol.83, p.273-288.

## 図版の説明

### 図版 I

- a カンラン石斑晶の反射電子像 (MN120, Ol-3).  
Opx: 斜方輝石.
- b カンラン石斑晶の反射電子像 (MN120, Ol-11).
- c aのA-B線上の反射電子の強度.
- d 紫蘇輝石斑晶の反射電子像 (MN27, Opx-2・6).  
Mgに富むへりを有する.

### 図版 II

- a 紫蘇輝石斑晶の反射電子像 (TI14, Opx-7).  
Mgに富むへりを有する.
- b 紫蘇輝石斑晶の反射電子像 (TI38, Opx-2).  
Mgに富むへりを有する. 左側のへりに単斜輝石 (Cpx) が形成している.
- c 紫蘇輝石斑晶の反射電子像 (MN117, Opx-6).  
へりの暗い部分は全て単斜輝石.
- d 紫蘇輝石斑晶の反射電子像 (TI14, Opx-6).  
Mgに富むへりを有しない.

### 図版 III

- a 斜長石斑晶の反射電子像 (MN33, Pl-2).  
Dusty zoneを有する.
- b 斜長石斑晶の反射電子像 (MN33, Pl-5).  
Dusty zoneを有する.
- c 斜長石斑晶の反射電子像 (MN117, Pl-17).  
Dusty zoneを有する.
- d 斜長石斑晶の反射電子像 (TI14, Pl-6).  
Dusty zoneを有しない.

スケールは図版 I-aを除いて全て0.1mm, 図版 I-aのスケールは0.02mm.







