

白山火山噴出物の斜方輝石の化学組成

東野 外志男 石川県白山自然保護センター

CHEMISTRY OF ORTHOPYROXENES IN THE HAKUSAN VOLCANIC ROCKS

Toshio HIGASHINO, *Hakusan Nature Conservation Center, Ishikawa*

はじめに

斜方輝石は白山火山噴出物の主要な造岩鉱物で、その累帯構造や化学組成は白山火山のマグマの成因を考える上で重要な情報を提供する。これまで光軸角や反射電子像をもとに斜方輝石斑晶の累帯構造が調べられてきた(黒田, 1979; 東野, 1990)。東野(1990)は反射電子像をもとに、斜方輝石の斑晶にMgに富むへりを有するものと有しないものがあり、それらは1個の岩石中に共存することを示した。また、Mgに富むへりの形成は塩基性マグマの混合を示唆するものであると考えた。斜方輝石の化学組成については、これまで公表されたものはない。今回予察的であるが、斑晶と石基の斜方輝石のEPMAによる分析を行ったので、その結果を述べる。

反射電子像の観察と化学分析には、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。装置の使用の御便宜を計っていただいた石渡明博士に感謝する。測定試料は、金沢大学理学部地学教室に保管されているもので、長岡正利氏と岩田次男氏が採集したものである。

岩石記載

白山火山は形成年代と活動場所が異なる加賀室火山・古白山火山・新白山火山の3つの火山体からなり、この順に形成時期は新しくなる(長岡・清水・山崎, 1985)。岩質は安山岩~デイサイトで、カルクアルカリ岩系に属する(長岡・東野・岩田, 1990)。今回斜方輝石の分析を行った3個(MN117・MN27・TI38)の試料は、新白山火山・古白山火山・加賀室火山の各火山体それぞれから採集されたものである。これらは全て溶岩で、採集地や岩石名などの概要は表1のとおりである。

白山火山の噴出物は斑状組織を呈し、斑晶量はおよそ10~30容量%である(長岡ほか, 1990)。斜長石・紫蘇輝石・角閃石・鉄チタン鉱物の斑晶を常に含み、他にカンラン石や石英・黒雲母を斑晶として含むことがある。今回使用した試料のうちMN117に石英の斑晶が、MN27に黒雲母の斑晶が含まれる。カンラン石の斑晶は今回の試料には含まれていない。普通輝石は3個の試料とも微斑晶として産する。

斜長石の斑晶は斑晶鉱物のなかで最も量が多く、半自形~自形を呈する。1個の岩石中に、周辺部にdusty zoneを有する斜長石斑晶と有しないものが共存する。東野(1990)によると、dusty zoneをもつ斜長石の斑晶は、dusty zoneから外側の部分は内側の

表1 測定試料の概要

| 試料番号 | 火山体名 | 採集場所 | 岩石名 | SiO ₂ (wt.%) |
|-----------------------|-------|---|----------------------|-------------------------|
| MN117 (MN70081906) | 新白山火山 | 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 | 58.41 |
| MN27 (MN70082401) | 古白山火山 | 小白水谷支谷 (36°11'40"N, 136°44'29"E) | 黒雲母含有紫蘇輝石-ホルンブレンド安山岩 | 59.21 |
| TI38 (TI79081506) | 加賀室火山 | 尾添尾根美女坂東方斜面 (36°12'12"N, 136°43'56"E) | 紫蘇輝石-ホルンブレンド安山岩 | 59.10 |

採集場所、SiO₂量は長岡ほか(1990)による。

部分に比べてAn成分に富む。また, dusty zoneを有しない斜長石斑晶も, 通常へりがAn成分に富むが, dusty zoneを有するものに比べてAn成分に富む範囲は狭い。角閃石の斑晶は自形~半自形を呈し, ほとんどオパサイト化していることが多い。オパサイトを構成するものは鉄チタン鉱物・斜方輝石・斜長石などである。MN27に含まれる黒雲母斑晶は暗褐色で, 周辺部はオパサイト化している。MN117に産する石英の斑晶は, 周辺部が単斜輝石に取り囲まれているものとそうでないものがある。

石基はほぼ完晶質で, ガラスは少ない。石基鉱物として常に存在するものは斜長石と斜方輝石・普通輝石・鉄チタン鉱物である。MN27には, 黒雲母も石基鉱物として産する。

斜方輝石の産状と累帯構造

斜方輝石の累帯構造の観察は主に反射電子像をもとに行った。反射電子像では, 軽元素のMgと重元素のFeの置換が著しいところで, コントラストのある像が得られ, Mgに富む部分は相対的に暗くなる(東野, 1990)。

斜方輝石の斑晶は通常自形~半自形を呈する。今回の試料のなかで, 最も大きな斜方輝石の斑晶は

TI38中のもので, およそ3.92mm×1.24mmである。斜長石や鉄チタン鉱物, リン灰石を包有物として含む。黒雲母斑晶を有するMN27で, 黒雲母を含有する斜方輝石斑晶が存在する。

斜方輝石の斑晶は著しくMgに富むへりを有する逆累帯構造を示すものと, そのようなへりを有しないものとに大別される(東野, 1990)。前者をAタイプの斜方輝石斑晶, 後者をBタイプの斜方輝石斑晶とする。両タイプの斜方輝石斑晶は同じ岩石中に共存する。

Aタイプの結晶において, へりにおけるMgの増加の変化は通常急激である。まれに, その変化が漸次であることもある。1つの結晶内である結晶面へのMgの増加が急激であるが, 他の面で漸次であることがある(図版I-a)。1つの結晶で, ある結晶面ではMgに富むへりが存在し, ほかの結晶面ではMgに富むへりが存在しないものがある。その場合, Mgに富むへりを有しない面がシャープな場合(図版I-b・c)と不規則にでこぼこしている場合(図版I-b・c・f)がある。Aタイプの斜方輝石斑晶はMgに富むへりを除いて, 反射電子像で観察するかぎりほぼ均質である。累帯構造が認められるものでも, その程度はMgに富むへりの変化に比べると著しく小さい。

表2 斜方輝石の代表的化学組成

| 試料番号 | MN117 (MN70081906) | | | | MN27 (MN70082401) | | | |
|--------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------------|
| | 斑晶 (Opx-9) Aタイプ | 斑晶 (Opx-9) Aタイプ | 斑晶 (Opx-3) Bタイプ | 石基 (GM1-P5) | 斑晶 (Opx-10) Aタイプ | 斑晶 (Opx-10) Aタイプ | 斑晶 (Opx-10) Bタイプ | 石基 (GM2-P4) |
| 分析点 | 中央 (3) | へり (4) | 中央 (2) | 中央 (1) | 中央 (2) | へり (4) | 中央 (4) | 中央 (1) |
| SiO ₂ | 52.56 | 52.79 | 52.44 | 53.86 | 51.29 | 52.06 | 52.36 | 53.25 |
| TiO ₂ | 0.01 | 0.29 | 0.08 | 0.19 | 0.02 | 0.33 | 0.00 | 0.12 |
| Al ₂ O ₃ | 0.79 | 2.59 | 0.88 | 1.20 | 1.45 | 2.57 | 1.03 | 1.35 |
| FeO* | 23.07 | 15.96 | 23.81 | 16.58 | 24.30 | 17.01 | 24.37 | 16.14 |
| MnO | 0.78 | 0.40 | 0.79 | 0.45 | 0.95 | 0.40 | 0.80 | 0.37 |
| MgO | 22.15 | 26.27 | 22.46 | 26.23 | 21.11 | 25.68 | 21.23 | 26.37 |
| CaO | 0.92 | 2.28 | 1.01 | 2.00 | 0.95 | 2.14 | 0.87 | 1.73 |
| Total | 100.28 | 100.58 | 101.47 | 100.51 | 100.07 | 100.19 | 100.67 | 99.33 |
| | atomic ratio (O=6) | | | | | | | |
| Si | 1.965 | 1.909 | 1.946 | 1.951 | 1.938 | 1.901 | 1.961 | 1.948 |
| Ti | 0.000 | 0.008 | 0.002 | 0.005 | 0.001 | 0.009 | 0.000 | 0.003 |
| Al | 0.035 | 0.110 | 0.038 | 0.051 | 0.065 | 0.111 | 0.045 | 0.058 |
| Fe | 0.721 | 0.483 | 0.739 | 0.502 | 0.768 | 0.519 | 0.763 | 0.494 |
| Mn | 0.025 | 0.012 | 0.025 | 0.014 | 0.030 | 0.012 | 0.025 | 0.011 |
| Mg | 1.234 | 1.416 | 1.242 | 1.417 | 1.189 | 1.398 | 1.186 | 1.438 |
| Ca | 0.037 | 0.088 | 0.040 | 0.078 | 0.038 | 0.084 | 0.035 | 0.068 |

FeO* は FeO としての全鉄量

Bタイプの斜方輝石斑晶で、結晶の成長面と思われるシャープな結晶面を有するもの(図版I-d・f)と、そのような面を有せず結晶の周辺全体が不規則にでこぼこしているものがある(図版I-e)。前者でも、ある面はシャープであるが、他の面はシャープではなくでこぼこしていることがある(図版I-f)。いずれにしても、このタイプの斜方輝石斑晶は、Aタイプの斜方輝石の中央部と同様に、反射電子像で観察するかぎりではほぼ均質である。累帯構造を認められるものもあるが、その程度は微弱である。

A・B両タイプの斜方輝石斑晶の周辺に時々普通輝石が形成されていることがある。Aタイプの結晶では、Mgに富むへりを有する結晶面と普通輝石が形成されている結晶面は異なり、両面の接する稜で普通輝石とMgに富むへりの形成時期の前後関係が確認できるものでは、普通輝石の形成はMgに富む部分より後である(東野, 1990)。

AタイプとBタイプの斜方輝石斑晶の分布は任意である。図版I-fに示したように、両タイプが近接し

て分布することもある。

石基中に産する斜方輝石は通常自形を呈する。累帯構造が反射電子像で観察される場合、その変化は中心部からへりに向かってMgが乏しくなる。

斜方輝石はホルンブレンド斑晶のオパサイトの構成物としても産する。今回の試料にはないが、カンラン石斑晶を有するものでは、その斑晶の周辺部に斜方輝石が形成されている(東野, 1990)。

斜方輝石の化学組成

Aタイプの斜方輝石斑晶は中央部のほぼ均質な部分とへりのMgに富む部分を分析し、中央部の測定点は任意に選んだ。Bタイプの斜方輝石斑晶は中央部を測定し、測定点は任意に選んだ。測定の点数は結晶によって異なり、1個の結晶につき1点から数点分析した。石基の斜方輝石は、中央部を分析した。分析元素はSi・Ti・Al・Fe・Mn・Mg・Caの7元素である。表2はそれらの代表的分析値である。

斜方輝石斑晶の中央部での1個の粒内での組成変

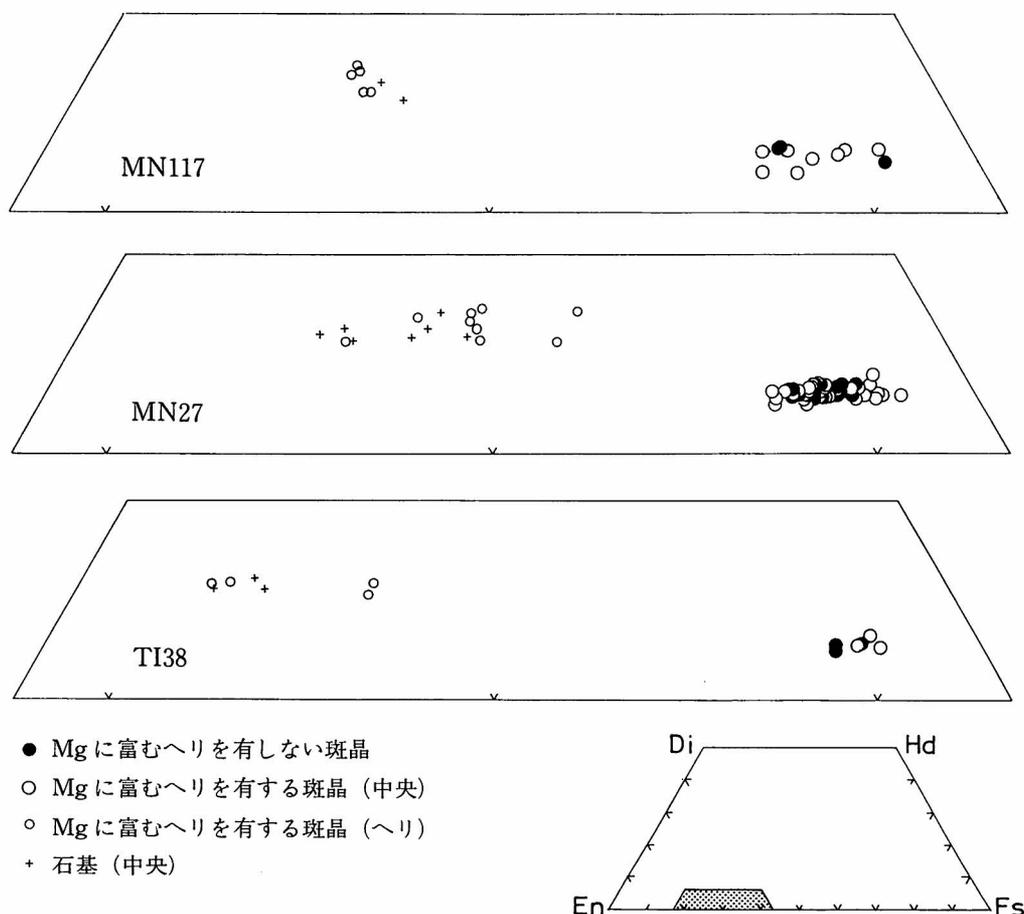


図1 Di-Hd-En-Fs図における斜方輝石の組成

化は、Aタイプ・Bタイプにかかわらず小さい。最も変化の大きいもの(MN27中のAタイプの斜方輝石斑晶)で、その変化はEn成分で58.5~60.4 molesである。中央部における斜方輝石斑晶の化学組成は、AタイプとBタイプの間に違いはみられない(図1)。Mgに富むへりを除いた斜方輝石斑晶の1つの試料内でのEn成分の範囲は、MN117で58.9~62.3 moles, MN27で58.5~61.9 moles, TI38で59.1~60.3 molesで、いずれもハイパーシンの領域にはいる。Wo成分はいずれの試料でも1.2~1.9 moles前後である(図1)。他の元素については、Al₂O₃量がおよそ0.8~1.5wt.%, MnO量はおよそ0.7~1.1wt.%, TiO₂量は多くが0.1wt.%以下である(表2)。

Aタイプの斜方輝石斑晶のMgに富むへりは、中央部に比較してMg元素の他にAl・Ti・Caの元素に富み、FeとMnの元素に乏しい(表2)。Al₂O₃量は多くが1.5~2.5wt.%で、TI38の試料の斜方輝石斑晶で4wt.%を越えるものがある。MnO量はおよそ0.25~0.75wt.%で、TiO₂量は多くが0.25wt.%前後である。

石基の組成は、いずれの試料でも、Di-Hd-En-Fs台形図でMgに富むへりの組成と似ている(図1)。これらMgに富む部分と石基の斜方輝石の組成は、MN27の試料ではブロンザイト~ハイパーシンの領域に、MN117とTI38では、ブロンザイトの領域にはいる。

考 察

白山火山噴出物の斜方輝石斑晶には、周辺部でMg成分に富むへりを有する逆累帯構造を示すもの(Aタイプ)と、ほとんど累帯構造を示さないもの(Bタイプ)が存在するのが特徴である。これら2つのタイプの斜方輝石斑晶は、AタイプのMgに富むへりを除いては、化学組成上差がみられない。また、形態上も両タイプの間に明瞭な差はみられない。これらのことは、両者が共に同じマグマから晶出したことを示唆する。

A・B両タイプの斜方輝石斑晶で周辺全体もしくは一部が不規則にでこぼこしているもの(図版I-c・e-f)では、形態からその部分の形成は融食や機械的な粉碎によるものと推定され、その作用はMgに富むへりの形成後である(東野, 1990)。その中で図版I-eに示したような全体が不規則にでこぼこしたものは、Bタイプの斜方輝石であるが、融食や粉碎を

受ける前はMgに富むへりを有していた可能性がある。このことはMgに富むへりが形成されたときには、斜方輝石斑晶の中でMgに富むへりを有する斜方輝石斑晶の占める割合が、現在岩石中で観察されるよりも高かったことを示唆する。

逆累帯構造の斜方輝石斑晶(Aタイプ)のMgに富むへりは、Mg元素の他にCaやAl, Tiの元素に富み、FeやMnの元素に乏しい。このような累帯構造は通常の結晶分化作用では形成されず、その斑晶が晶出したマグマより塩基性のマグマが混合することによって形成されたと考えられる(Eicherberger, 1975; Sakuyama, 1978; 東野, 1990など)。塩基性マグマの混合に伴うMgに富むへりの形成は、新たな結晶成長による、もしくはマグマと斜方輝石斑晶との相互拡散による可能性が考えられる。いずれにしても、Mgに富むへりはその組成が石基の斜方輝石に似ていることから、噴出直前もしくは噴出とほぼ同時のごく短い時間に形成されたと考えられる。。

斜方輝石斑晶の逆累帯構造は白馬大池(Sakuyama, 1978)・妙高火山(Sakuyama, 1981)・舟形火山(Wada, 1985)・由布・鶴見火山群(太田・長谷中・藤巻, 1990)・蔵王火山(酒寄, 1991)・大日ヶ岳(坂田・東野・山崎, 1992)・日光白根火山(高橋・小堀・矢島, 1995)などから報告されている。それらのうち、妙高火山や舟形火山・大日ヶ岳火山では、逆累帯構造の斜方輝石斑晶と著しくMgに乏しいへりを有する正累帯構造の斜方輝石斑晶が同じ試料中に共存することがある。両者の中央部の化学組成は明瞭に分かれ、異なるマグマから晶出したと考えられている。一方、白馬大池や蔵王火山や由布・鶴見火山群、日光白根火山では、白山火山と同様に斜方輝石は逆累帯構造を示すものだけである。このちがいは混合した塩基性マグマ中の斜方輝石斑晶の存否によるもので、前者には混合以前の塩基性マグマに斜方輝石斑晶が存在したが、後者には存在しなかったためである。

以上のことをもとに、白山火山に含まれる斜方輝石の成長は以下のようにまとめられる。斜方輝石の斑晶は最初現在の母岩の組成より酸性のマグマより晶出した。その後、それらが晶出したマグマよりCaやAl, Tiにとみ、Mnの乏しい、すなわちより塩基性で斜方輝石斑晶を欠くマグマとの混合が起き、Mgに富むへりが形成された。斑晶によっては、Mgに富むへりが形成されなかったものもある。その後、粉碎や融食などが起き、Mgに富むへりを有するもの

で、その部分が欠けたものもある。斜方輝石斑晶のMgに富むへりの形成とその後の粉碎と融食、また、石基の斜方輝石の形成は、時間的には多少の前後関係があるが、それらは噴出直前もしくは噴出とほぼ同時のごく短い時間に行われたと考えられる。

文 献

- 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.*, **86**, 1381-1391.
- 東野外志男 (1991) 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。石川県白山自然保護センター研究報告, 第17集, 13-21.
- 黒田 直 (1967) 白山火山の岩石について。名古屋地学, No.23, 2-15.
- 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, 第17集, 1-11.
- 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, 第12集, 9-24.
- 太田岳洋・長谷中利昭・藤巻宏和 (1990) 大分県中部, 由布・鶴見火山群の地質と岩石。岩鉱, **85**, 113-120.
- 坂田章吉・東野外志男・山崎正男 (1992) 大日ヶ岳火山の地質と岩石。石川県白山自然保護センター研究報告, 第19集, 1-20.
- 酒寄淳史 (1991) 東北日本, 蔵王火山におけるマグマ系の変遷。火山, **36**, 79-92.
- Sakuyama, M. (1978) Petrographic evidence of magma mixing in Shirouma-Oike volcano, Japan. *Bull. Volcanol.*, **414**, 501-512.
- Sakuyama, M. (1981) Petrological study of the Myoko and Kurohime volcanoes, Japan: crystallization sequence and evidence for magma mixing. *Jour. Petrol.*, **22**, 553-582.

高橋正樹・小堀容子・矢島有紀子 (1995) 日光白根火山下マagma供給システムの岩石学的モデル。月刊地球, **17**, 113-119.

Wada, K. (1985) Magma mixing process of calc-alkalic andesites from Funagata volcano. *J. Japan. Assoc. Min. Petr. Econ. Geol.*, **80**, 467-483.

図版 I の説明

- a Mgに富むへり (相対的に暗い部分: 以下同じ) を有する斜方輝石斑晶 (Aタイプ, MN27, Opx-4)。中央部とMgに富むへりの境界が急激な部分と漸次な部分がある。
- b Mgに富むへりを有する斜方輝石斑晶 (Aタイプ, TI38, Opx-15)。Mgに富むへりを有する結晶面とそうでない結晶面がある。Mgに富むへりを有しない結晶面に、シャープなものとは不規則にでこぼこしているものがある。
- c Mgに富むへりを有する斜方輝石斑晶 (Aタイプ, TI38, Opx-3)。Mgに富むへりを有する結晶面とそうでない結晶面がある。Mgに富むへりを有しない結晶面に、シャープなものとは不規則にでこぼこしているものがある。
- d Mgに富むへりを有しない斜方輝石斑晶 (Bタイプ, TI38, Opx-6)。シャープな結晶面を有する。
- e Mgに富むへりを有する斜方輝石斑晶 (Bタイプ, MN27, Opx-5)。周囲全体が不規則にでこぼこしている。
- f Mgに富むへりを有する斜方輝石斑晶 (Aタイプ) とMgに富むへりを有しない斜方輝石斑晶 (Bタイプ) (TI38, Opx-10・11)。近接して共存する。

スケールは全て0.1mm

図版 I

