

# Spatiotemporal variation of volcanic activity of Hakusan volcanic chain, central Japan

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2020-05-19 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: SAKAYORI, Atsushi メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.24517/00058236">https://doi.org/10.24517/00058236</a>

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



# 白山火山列における火山活動の変遷

酒寄 淳史

## Spatiotemporal variation of volcanic activity of Hakusan volcanic chain, central Japan

Atsushi SAKAYORI

### はじめに

両白山地の岐阜県, 石川県, および福井県にまたがる地域には, 活火山である白山をはじめ新第三紀鮮新世以降に形成された火山が複数分布しており, それらは西北西-東南東に配列する九頭竜火山列(山崎ほか, 1985)と南北方向に配列する白山火山列(尾崎, 1987)に区分できる(Fig. 1)。清水ほか(1988)および Shimizu and Itaya (1993)は, 火山岩の全岩試料に対する K-Ar 年代測定を行い, 九頭竜火山列は約 5.0~2.7Ma (Ma は 100 万年前を示す)と約 1.5~0.8Ma にそれぞれ活動した火山から構成され, 白山火山列は約 0.6~0Ma の火山からなることを示した。棚瀬ほか(2007)は, 地質調査と火山岩の石基 K-Ar 年代に基づいて, 九頭竜火山列の活動期間は約 3.6~0.7Ma であり, 特に約 1.2~0.7Ma には複数の火山が活動して火山列が形作られたことを明らかにした。一方, 白山火山列については, 酒寄ほか(2002)がその活動開始が従来考えられてきた年代より約 20 万年ほど若い約 0.4Ma 頃である可能性を指摘したが, 火山列全体の活動史についてはこれまで論じられることはなかった。

小論では, 既知の放射年代に新たな K-Ar 年代を加え, 白山火山列における火山活動史について検討を行った。その結果, 火山活動の性格が時期によって顕著に変化したことが明らかになった。

### 白山火山列とこれまでの年代学的研究

白山火山列は, 戸室, 白山, 両白丸山, 毘沙門の南北に配列する 4 火山からなる (Fig. 1)。さらに, その中で唯一の活火山である白山は加賀室, 古白山, 新白山の 3 つの成層火山から主に構成される (山崎ほか, 1968; 長岡ほか, 1985a, b)。白山火山列の長さは約 90km におよぶが, 最も北に位置する戸室火山とその南に位置する白山火山との間は約 40km 隔たっている。これまでに測定できた火山噴出物の放射年代の数は, 白山火山が 25 個 (新白山: 10 個, 古白山: 12 個, 加賀室: 3 個)と最も多く, 戸室火山は 10 個, 毘沙門火山は 5 個, 両白丸山火山は 2 個である。これらの年代はいずれも火山岩の形成年代, すなわち噴出年代を示す。

これらの放射年代で最も多いのは K-Ar 法による年代であるが, 測定対象が異なる 2 種類の年代が混在する。すなわち, 火山岩の全岩試料から得られた年代と, 石基試料 (厳密には石基を濃集させた試料) を用いた年代である。島弧の火山岩に含まれる斜長石や石英の斑晶には相当量の過剰  $^{40}\text{Ar}$  を持つものが存在し, 100 万年より若い火山岩の K-Ar 年代に大きな影響を与える可能性が指摘されている (板谷・長尾, 1988 など)。すなわち, 若い火山岩の噴出年代を求めるとは, 全岩 K-Ar 年代よりも斑晶を除去した石基 K-Ar 年代の方が信頼度が高いとされる。

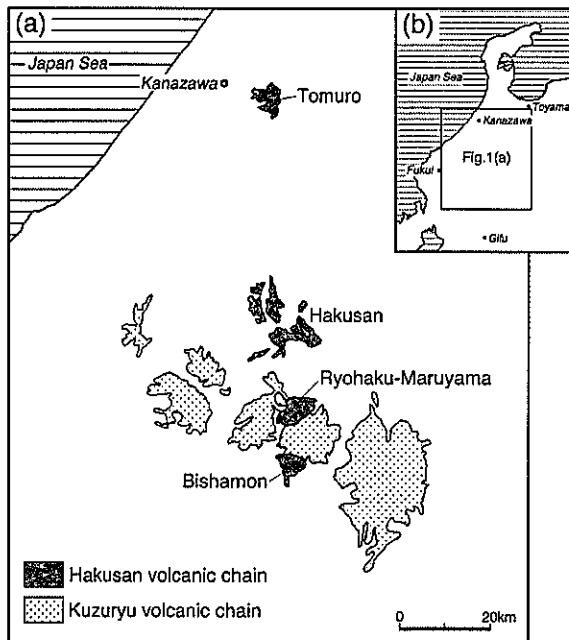


Fig. 1. (a) Distribution of Late Pliocene and Quaternary volcanoes in Ryohaku Mountains. (b) Map showing the location of (a).

K-Ar 年代のほかには, Hasebe *et al.* (2016) が, 白山火山噴出物に含まれる石英を用いた熱ルミネッセンス法およびジルコンを用いたフィッシュトラック法による年代を報告し, K-Ar 年代とのクロスチェックを試みている。なお, 白山火山に関しては, テフラの噴出年代を求めるために, 放射性炭素年代が複数測定されている(酒寄ほか, 2018 など)。しかしながら, それらが示す年代は約 1 万 1 千年より若く, 今回の議論には影響しないため, 放射性炭素年代については小論で扱わない。

### K-Ar 年代測定

戸室火山溶岩および白山火山の加賀室火山溶岩からの各 1 試料について石基を分離し, 石基 K-Ar 年代の測定を行った。また, 戸室火山溶岩の斑晶に含まれる過剰  $^{40}\text{Ar}$  の影響を評価するために, 石基 K-Ar 年代が既知の 2 個の溶岩試料から斜長石と石英の斑晶を分離し, それら

無色鉍物斑晶の K-Ar 年代も測定した。

石基試料の調製と K-Ar 年代測定は, (株) 蒜山地質年代学研究所に依頼した。できるだけ新鮮な状態の火山岩試料を粉碎し, 60 ~ 80 メッシュに整粒した。これらから電磁分離器を用いて斑晶と強磁性鉍物を除去し, 石基試料とした。一方, 無色鉍物斑晶の試料は, 粉碎した試料からネオジム磁石を使って石基と有色鉍物を取り除き, それらが完全に除去できていることを実体顕微鏡で確認した。試料は斜長石と石英で構成され, それらの粒子のサイズから, ほとんどが斑晶由来と判断できる。Ar 同位体比の測定には,  $^{36}\text{Ar}$  をスパイクとした同位体希釈法を用いた。K の定量は, 試料をメノウ乳鉢で粉碎した上で, 2000ppm の Cs を緩衝剤とした炎光光度法により行った。年代の算出に用いた定数は,  $\lambda_{\beta}(^{40}\text{K}) = 4.962 \times 10^{-10}/\text{年}$ ,  $\lambda_{\epsilon}(^{40}\text{K}) = 0.581 \times 10^{-10}/\text{年}$ , および  $^{40}\text{K}/\text{K} = 1.167 \times 10^{-4}$  (原子数比) (Steiger and Jäger, 1977) である。測定方法や年代計算については, 長尾ほか (1984) や Itaya *et al.* (1991) に詳しく述べられている。

K-Ar 年代の測定結果を Table 1 に示す。先に述べた 4 試料のほか, 同様の手順で測定した酒寄ほか (2002) による戸室火山溶岩の石基 5 試料の測定結果についても同表に示した。1 試料につき Ar の測定を 2 回行った上でそれぞれについて年代を算出しているが, 測定の再現性に問題はない。年代測定に用いた試料の採取地点および岩石名などは Appendix の表に示す。

無色鉍物斑晶試料である TMR-01-PQ と石基試料の TMR-01, 同様に TMR-22-PQ と TMR-22 は, それぞれ同じ溶岩試料から分離した。これら斑晶試料の K-Ar 年代は, 同じ溶岩試料からの石基年代 (0.37Ma と 0.41Ma) より 7 万年および 4 万年ほど古い値を示す。

**Table 1.** Results of K-Ar dating. Abbreviations: gm, groundmass; ph, phenocrysts of plagioclase and quartz. Mean age is calculated using the formula by Tsukui *et al.* (1985). \*The mean ages are after Sakayori *et al.* (2002).

Geological unit	Sample no.	Analyzed material	K (wt.%)	Rad. <sup>40</sup> Ar (10 <sup>-8</sup> ccSTP/g)	K-Ar age (Ma)	Mean age (Ma)	Non-rad. <sup>40</sup> Ar (%)
<b>Tomuro volcano</b>							
	TMR-01	gm	1.653±0.033	2.24±0.28	0.35±0.05	*0.37±0.04	88.5
				2.42±0.29	0.38±0.05		87.8
Tomuroyama lavas	TM-04	gm	1.995±0.040	3.08±0.14	0.40±0.02	0.39±0.02	63.7
				2.95±0.14	0.38±0.02		63.9
	TMR-01-PQ	ph	0.293±0.015	0.51±0.18	0.45±0.16	0.44±0.11	95.0
				0.48±0.17	0.43±0.15		95.0
Kigoyama lavas	TMR-20	gm	1.918±0.038	3.05±0.22	0.41±0.03	*0.40±0.03	79.5
				2.79±0.22	0.38±0.03		80.9
	TMR-22	gm	2.042±0.041	3.26±0.10	0.41±0.02	*0.41±0.02	56.7
				3.18±0.10	0.40±0.02		55.0
	TMR-23	gm	2.120±0.042	2.43±0.41	0.30±0.05	*0.31±0.04	91.2
2.57±0.38				0.31±0.05	90.2		
TMR-22-PQ	ph	0.252±0.013	0.44±0.09	0.45±0.09	0.45±0.06	90.6	
Tanoshimajoato lavas	TMR-21	gm	1.524±0.030	2.47±0.12	0.42±0.02	*0.42±0.02	71.3
				2.40±0.12	0.41±0.02		67.7
<b>Hakusan Volcano (Kagamuro)</b>							
	121105	gm	1.840±0.037	3.08±0.13	0.43±0.02	0.43±0.01	69.9
				3.08±0.14	0.43±0.02		71.0

## 各火山の活動年代

白山火山列における活動変遷の検討に先立つて、火山ごとの放射年代についてまとめた。

### 1. 戸室火山

白山火山列の北端に位置し、総体積が約0.5km<sup>3</sup>の小規模な火山である。主に4つの溶岩ドーム(戸室山, キゴ山, スポーツセンター, 田島城跡)から構成され, それぞれに対応した溶岩類に噴出物は区分される(酒寄, 2013)。岩石は主に, 黒雲母-角閃石安山岩~デイサイトである(酒寄ほか, 2004)。

戸室火山噴出物の放射年代を Fig. 2 に示す。本火山については, 5 試料の全岩 K-Ar 年代および 6 試料の石基 K-Ar 年代が得られている。全岩 K-Ar 年代は戸室山溶岩類とキゴ山溶岩類からの試料について求められ, 前者の 0.62 ~ 0.50Ma に対し, 後者は 0.48 ~ 0.43Ma とより若い値を示す(清水ほか, 1988)。戸室火山噴出物には斜長石や石英の無色鉱物斑晶が 18 ~ 34vol.% ほど含まれており(酒寄, 2012), 過剰<sup>40</sup>Ar を持つ斑晶の影響で古い K-Ar 年代が得ら

れた可能性もある。しかしながら, 戸室山溶岩類とキゴ山溶岩類の溶岩からそれぞれ分離した無色鉱物斑晶試料 TMR-01-PQ と TMR-22-PQ が 0.44Ma と 0.45Ma の K-Ar 年代を示すことから (Table 1), 斑晶の存在が全岩の年代に大きな影響を与えているとは考え難い。全岩 K-Ar 年代の中で, 約 0.6Ma と明らかに古い年代を示す戸室山溶岩類の 2 試料は, いずれも高温酸化で赤色化が進んだ溶岩から採取したものである。このことから, 高温酸化またはそれに伴う作用が, これらの試料の年代に影響を及ぼしている可能性が考えられる。

石基 K-Ar 年代は, 戸室山, キゴ山, および田島城跡の 3 つの溶岩類からの試料について測定が行われている。それらの値は 0.42 ~ 0.31Ma であり, 1 試料を除くと各溶岩類の年代は 0.4Ma 前後に集中し (Fig. 2), 火山全体の活動期間は数万年以内だったと想像できる。一般に日本の火山は 10 万年程度の寿命と 10 ~ 10<sup>3</sup>km<sup>3</sup> オーダーの山体を有し, 寿命が短い火山ほど山体が小さい傾向がある(小屋口, 1997)。これから得

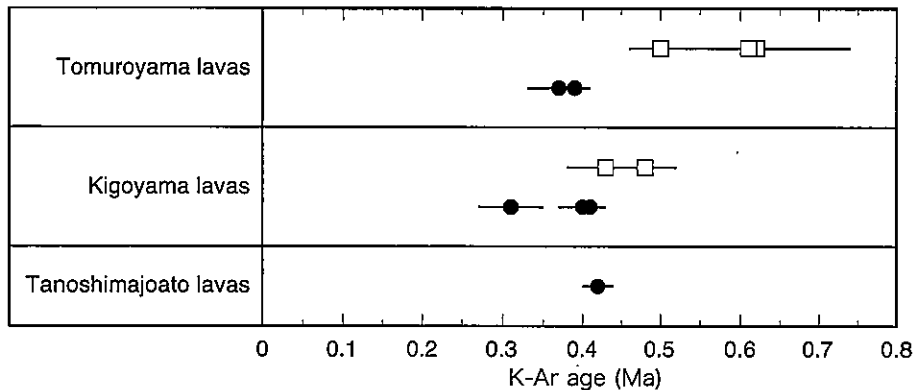


Fig. 2. K-Ar ages of volcanic rocks from the Tomuro volcano. Open squares represent K-Ar ages of whole rock (Shimizu *et al.*, 1988), closed circles represent K-Ar ages of groundmass (Sakayori *et al.*, 2002; this study).

られる長期的なマグマ噴出率( $10^4 \sim 10^3 \text{ km}^3/\text{年}$ )を仮に戸室火山の体積(約  $0.5 \text{ km}^3$ )に当てはめると、活動期間は5000～500年となり、戸室火山が短期間に形成されたことを示唆する。戸室火山を構成する4つの溶岩類のうちスポーツセンター溶岩類からの放射年代は得られていないが、戸室火山の活動年代は約0.4Ma頃と考えてよいであろう。

## 2. 白山火山

以下では、白山火山を構成する主要な3つの成層火山ごとに述べる。

### 2-1. 加賀室火山

白山火山の中で最も古い成層火山である。尾根沿いに火山砕屑物を挟む4枚の溶岩が分布しており、それらの体積は約  $1 \text{ km}^3$  である(長岡ほか, 1985a)。浸食によって山体のかなりの部分が消失したと考えられており、火山体を復元するのは容易ではない。岩石は、斜方輝石-角閃石安山岩と少量の斜方輝石-角閃石デイサイトからなる。

2つの溶岩試料について、それぞれ0.43Maと0.32Maの全岩K-Ar年代が報告されている(東野ほか, 1984)。これらの試料の採取地点近くから新たに溶岩試料を採取し、石基K-Ar年代とフィッシュトラック年代がそれぞれ求められた。全岩K-Ar年代が0.43Maを示す溶岩の近くから採取した試料は、同じく0.43Maの

石基K-Ar年代を示す(Table 1)。一方、0.32Maの全岩K-Ar年代を示す溶岩の近くから採取した試料については、0.22Maのフィッシュトラック年代が得られ、加賀室火山がより長い期間(約0.25Ma頃まで)活動していた可能性が指摘されている(Hasebe *et al.*, 2016)。

### 2-2. 古白山火山

火山体の中央部は崩壊や浸食などによって北に開いた馬蹄形の凹地となって消失している。その凹地の周囲には、古白山火山を構成していた厚い溶岩が分布している。山崎ほか(1968)によって復元された山体は、標高が3000mに達し、約  $15 \text{ km}^3$  の体積を有していたと推定される。岩石は主に斜方輝石-角閃石安山岩であり、斜方輝石-角閃石デイサイトを伴う。

全岩K-Ar年代と石基K-Ar年代が、それぞれ溶岩3試料について測定されている。前者が0.13～0.11Ma(東野ほか, 1984; 清水ほか, 1988)、後者が0.13Ma～0.10Ma(酒寄ほか, 1999; 北原ほか, 2000)と互いに似た値を示す。さらに、火砕流堆積物からは0.06Maとより若い全岩K-Ar年代が報告されている(清水ほか, 1988)。溶岩や火砕流堆積物から採取した5試料の熱ルミネッセンス年代は約0.10Maと約0.06Maの噴出年代を示し(Hasebe *et al.*, 2016)、K-Ar年代とほぼ一致する結果が得られている。

### 2-3. 新白山火山

古白山火山の南山腹に形成された成層火山であり、その体積は約  $1\text{km}^3$  である（山崎ほか、1968）。白山の最高峰である御前峰付近を噴出中心とし、歴史時代にも噴火を繰り返している。岩石は主に斜方輝石 - 角閃石安山岩であり、かんらん石斑晶を数 vol.% 含むものもある。

溶岩 5 試料について石基 K-Ar 年代が得られており（北原ほか、2000）、その中で最も古い年代は  $0.04\text{Ma}$  である。Hasebe *et al.* (2016) は溶岩や火山岩塊からの 8 試料について熱ルミネッセンス年代を測定し、それらの結果から活動開始時期を  $0.05\text{Ma}$  頃と推定している。

### 3. 両白丸山火山

山頂付近を噴出中心とする成層火山であり、その体積は約  $6\text{km}^3$  である（第四紀火山カタログ委員会、1999）。角閃石 - 単斜輝石 - 斜方輝石安山岩と斜方輝石 - 角閃石安山岩が報告されている（清水ほか、1988）。

全岩 K-Ar 年代が 2 個の溶岩試料について測定され、それぞれ  $0.40\text{Ma}$  と  $0.34\text{Ma}$  の値が得ら

れている（清水ほか、1988）。

### 4. 毘沙門火山

白山火山列の最も南に位置する成層火山である。山体の体積は約  $3\text{km}^3$  であり、噴出物は火砕流堆積物と 4 種類の溶岩に区分される（棚瀬ほか、2007）。岩石は、単斜輝石 - 斜方輝石安山岩～デイサイトと少量の角閃石安山岩からなる（Ujike *et al.*, 1999）

2 個の溶岩試料について、それぞれ  $0.36\text{Ma}$  と  $0.34\text{Ma}$  の全岩 K-Ar 年代が報告されている（清水ほか、1988）。棚瀬ほか（2007）は、層序的に最下部と最上部のものを含む 3 種類の溶岩に対して石基 K-Ar 年代を測定し、 $0.30 \sim 0.28\text{Ma}$  の年代を報告している。これらの結果から、彼らは約  $0.3\text{Ma}$  前後の数万年程度の期間に毘沙門火山が形成されたと判断した。

### 白山火山列の活動変遷

各火山の放射年代を、Fig. 3 に示す。ただし、石基 K-Ar 年代を用いて活動年代を推定できた戸室火山と毘沙門火山については、全岩 K-Ar

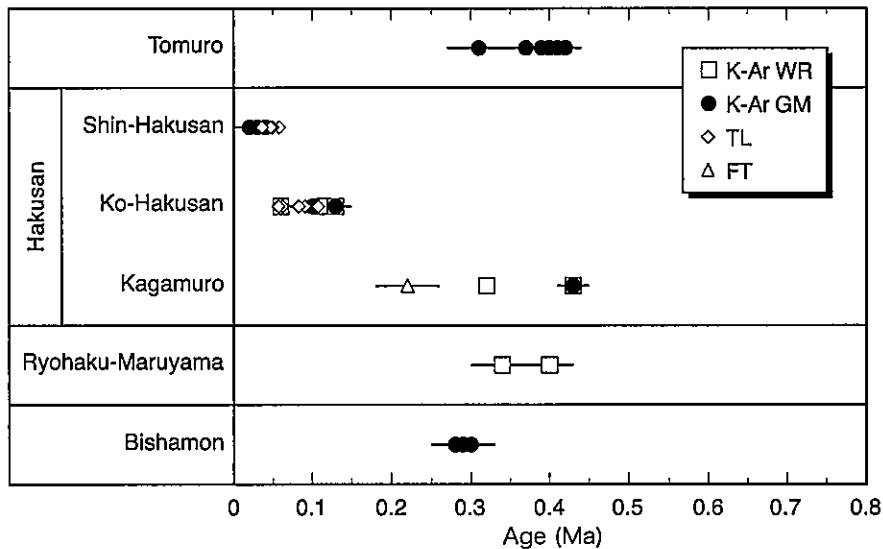


Fig. 3. Radiometric ages of volcanic rocks from the Hakusan volcanic chain. Abbreviations: K-Ar WR, K-Ar ages of whole rock (Higashino *et al.*, 1984; Shimizu *et al.*, 1988); K-Ar GM, K-Ar ages of groundmass (Sakayori *et al.*, 1999, 2002; Kitahara *et al.*, 2000, Tanase *et al.*, 2007; this study); TL, thermoluminescence ages (Hasebe *et al.*, 2016); FT, fission track age (Hasebe *et al.*, 2016).

年代を省いた。

白山火山列において最も古い年代は白山の加賀室火山が示す0.43Maであり、白山火山列の活動は0.45～0.40Maの間に始まったと推定される。約0.4Ma前後には、加賀室火山と戸室火山のみならず、両白丸山火山でも活動が始まっていた可能性がある。これらの火山の活動開始から10万年ほど遅れて、毘沙門火山が0.3Ma頃に活動を開始する。これにより、南北約90kmにおよぶ火山列が形成された。戸室火山や毘沙門火山は数万年間程度で活動が終了したと考えられるのに対し、白山の加賀室火山は0.25Ma頃まで噴火活動が続いた可能性がある。その後は、火山活動のない期間が十数万年間ほど続く。約0.1Ma頃に再び白山で噴火が始まって古白山火山が形成され、約0.05Maには活動中心がやや南に移動して新白山火山が活動を開始し、現在に至っている。

以上のように、白山火山列の活動は、休止期を挟んで性格が異なる2つの活動期に分けるこ

とができる。それを地図上に表したのが、Fig. 4である。第1期(約0.4～0.25Ma)は南北に延びる火山列を形成した期間であり、戸室、白山の加賀室、両白丸山、および毘沙門の4火山が活動した。第2期(約0.1～0Ma)は、火山活動が白山に限定された期間であり、古白山火山に続いて新白山火山が形成された。

白山火山列の活動を俯瞰すると、白山火山に関して従来とは異なる解釈ができる。加賀室火山は、古白山火山と山体が接近し、想定される噴出中心も古白山火山のものと近かったことから、白山火山に属するとこれまで考えられてきた。それに対し、白山火山列の活動期という視点に立つと、第1期に属する加賀室火山を独立した別個の火山と捉え、第2期の古白山火山と新白山火山を狭義の白山火山とみなす解釈も成り立つ。このように、加賀室火山は2つの特徴を合わせ持った火山と言える。

白山火山列の第1期のような火山列形成期は、同じ両白山地の九頭竜火山列にもみられる。

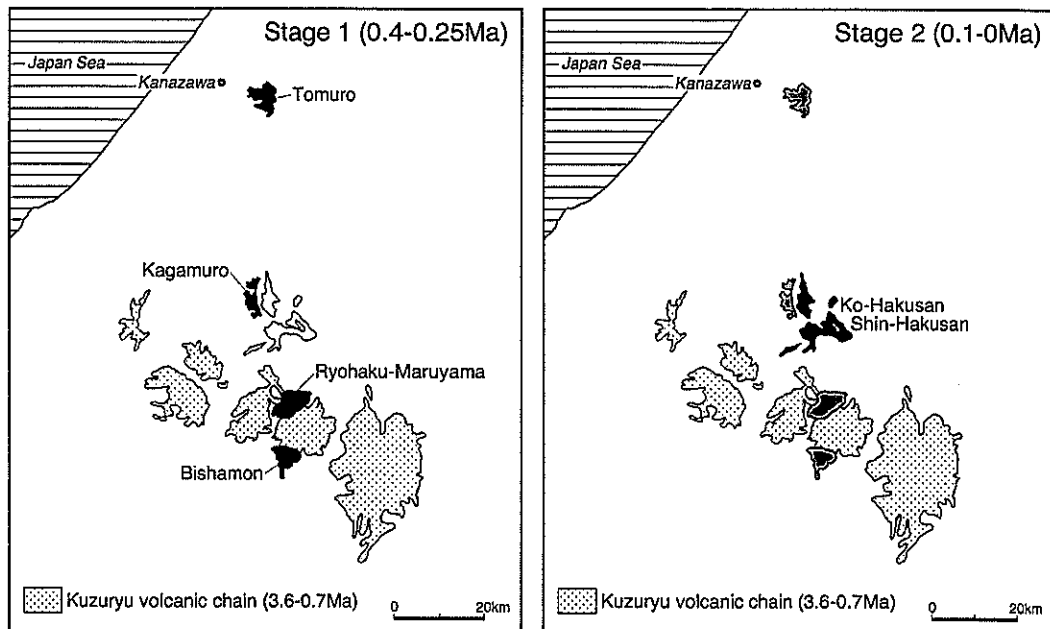


Fig. 4. Temporal variation of volcanic field of the Hakusan volcanic chain. See text for details.

活動期間が約 3.6 ~ 0.7Ma の九頭竜火山列では、約 1.2 ~ 0.7Ma の期間に 5 つの火山が次々と活動を開始して火山列を形成した(棚瀬ほか, 2007)。比較的短期間に複数の火山が活動して一気に火山列が形作られるという現象は、全長が 100km に満たないような小規模な火山列の特性かもしれない。

### おわりに

現時点では、白山火山列を構成するすべての火山で十分な放射年代が揃っているわけではない。今後、両白山火山や加賀室火山を中心に年代データを充実させることが必要であり、それによって活動期のより正確な年代も決定できる。しかしながら、白山火山列の活動が休止期を挟んで 2 つの活動期に区分できることは、ほぼ間違いないであろう。

白山火山列の第 1 期と第 2 期とで火山活動の性格が異なる原因については、次の 2 つの可能性を挙げるができる。1 つ目は、マントル上部におけるマグマ発生領域の変化である。中部日本の地下には、東から沈み込んだ太平洋プレートが存在しており、また南から沈み込んだフィリピン海プレートも白山火山の直下に達している (Nakajima and Hasegawa, 2007)。Nakamura *et al.* (2008) は火山岩の地球化学的研究から各プレート由来の流体の影響を見積り、白山火山ではフィリピン海プレートの明らかな関与が確認できるのに対し、より北に位置する戸室火山ではほぼ太平洋プレートの影響しか認められないことを指摘している。これら沈み込んだプレートの挙動がマグマの発生領域に変化をもたらし、白山火山列における火山形成域の変化につながった可能性がある。

2 つ目は、地殻におけるマグマ輸送経路の変化である。地殻にかかる応力はマグマが地殻内を上昇するときの経路に影響を及ぼし、火山体の規模やその分布に多様性をもたらす (Takada, 1994)。そして、この関係は、地殻歪速度が大きい場合に観察できると考えられる (高

橋, 1995)。白山火山とその周辺は、地殻歪速度の大きな新潟 - 神戸歪集中帯 (Sagiya *et al.*, 2000) の一部であり、火山が地殻応力場の影響を受けやすい地域と言える。つまり、第 1 期から第 2 期に移行する間に地殻応力場が変化し、白山火山列の火山活動に違いが生じた可能性が考えられる。

以上の可能性を検討するためには、噴出物の岩石学的・地球化学的性質を活動期の間で比較することも必要であろう。特に、噴出中心が互いに接近している第 1 期の加賀室火山と第 2 期の古白山および新白山火山における比較からは、有用な情報が得られると期待できる。

### 引用文献

- 第四紀火山カタログ委員会, 1999, 日本の第四紀火山カタログ Ver.1.0 (CD-ROM 版). 日本火山学会.
- Hasebe, N., Nakano, Y., Miyamoto, H., Higashino, T., Tamura, A., Arai, S., and Kim, J. Y., 2016, A multi-geochronological study of the Hakusan volcano, central Japan. *Island Arc*, **25**, 111-125.
- 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, 23-29.
- 板谷徹丸・長尾敬介, 1988, 100 万年より若い火山岩の K-Ar 年代測定. 地質学論集, no.29, 143-161.
- Itaya, T., Nagao, K., Inoue, K., Honjou, Y., Okada, T., and Ogata, A., 1991, Argon isotope analysis by a newly developed mass spectrometric system for K-Ar dating. *Mineral. J.*, **15**, 203-221.
- 小屋口剛博, 1997, 第 3 章 火山と噴火のダイナミクス. 岩波講座地球惑星科学 8 地殻の形成, 岩波書店, 121-182.
- 北原哲郎・堀 伸三郎・小川義厚・前川秀和・石田孝司, 2000, 新白山火山の層序区分年代測定結果による検討一. 日本火山学会講演予稿集 2000 年度秋季大会, 153.
- 長尾敬介・西戸裕嗣・板谷徹丸・緒方惟一, 1984, K-Ar 法による年代測定. 岡山理科大学燕山研究



- 所研究報告, no.9, 19-38.
- 長岡正利・岩田次男・東野外志男・山崎正男, 1985a, 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, 1-7.
- 長岡正利・清水 智・山崎正男, 1985b, 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, 9-24.
- Nakajima, J. and Hasegawa, A., 2007, Subduction of the Philippine Sea plate beneath southwestern Japan: Slab geometry and its relationship to arc magmatism. *J. Geophys. Res.*, **112**, B08306.
- Nakamura, H., Iwamori, H., and Kimura, J.-I., 2008, Geochemical evidence for enhanced fluid flux due to overlapping subducting plates. *Nature Geosci.* **1**, 380-384.
- 尾崎裕司, 1987, 両白山地第三紀鮮新世～第四紀火山の岩石学的研究. 日本火山学会講演予稿集 1987年度秋季大会, 90.
- Sagiya, T., Miyazaki S., and Tada, T., 2000, Continuous GPS array and present-day crustal deformation of Japan. *Pure Appl. Geophys.*, **157**, 2303-2322.
- 酒寄淳史, 2012, 石川県の史跡末松麿寺跡における塔心礎の岩石学的性質—塔心礎に使われている岩石は戸室石か?—. 日本海域研究, no.43, 1-8.
- 酒寄淳史, 2013, 第2章第2節 地質環境. 金沢城史料叢書 18 戸室石切丁場確認調査報告書Ⅱ, 石川県金沢城調査研究所, 13-19.
- 酒寄淳史・林 信太郎・梅田浩司, 2002, 石川県, 戸室火山の K-Ar 年代. 日本火山学会講演予稿集 2002年度秋季大会, 43.
- 酒寄淳史・東野外志男・梅田浩司・棚瀬充史・林信太郎, 1999, 古白山火山の溶岩の K-Ar 年代. 石川県白山自然保護センター研究報告, no.26, 7-11.
- 酒寄淳史・中田朋子・奥村博之・林 信太郎, 2004, 金沢市の戸室火山における溶岩の分布—田島城跡溶岩ドームの発見—. 日本海域研究, no.35, 117-124.
- 酒寄淳史・奥野 充・田島靖久・守屋以智雄, 2018, 白山火山における 1.9～2.4 cal kBP のマグマ噴火—岐阜県大倉山周辺に見られるテフラ層からの知見—. 石川県白山自然保護センター研究報告, no.44, 1-10.
- Shimizu, S. and Itaya, T., 1993, Plio-Pleistocene arc magmatism controlled by two overlapping subducted plates, central Japan. *Tectonophysics*, **225**, 139-154.
- 清水 智・山崎正男・板屋徹丸, 1988, 両白—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, 1-36.
- Steiger, R. H. and Jäger, E., 1977, Subcommission on geochronology: Convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **36**, 359-362.
- Takada, A., 1994, The influence of regional stress and magmatic input on styles of monogenetic and polygenetic volcanism. *J. Geophys. Res.*, **99**, 13563-13573.
- 高橋正樹, 1995, 大規模珪長質火山活動と地殻歪速度. 火山, **40**, 33-42.
- 棚瀬充史・及川輝樹・二ノ宮 淳・林 信太郎・梅田浩司, 2007, K-Ar 年代測定に基づく両白山地の鮮新—更新世火山活動の時空分布. 火山, **52**, 39-61.
- 津久井雅志・西戸裕嗣・長尾敬介, 1985, 蒜山火山群・大山火山の K-Ar 年代. 地質雑, **91**, 279-288
- Ujike, O., Tanaka, R., and Watanabe, K., 1999, Petrology of adakitic rocks from Quaternary Bishamon-dake volcano, central Japan. *J. Min. Petr. Econ. Geol.*, **94**, 315-328.
- 山崎正男・中西信弘・松原幹夫, 1968, 白山火山の形成史. 火山, **13**, 32-43.
- 山崎正男・佐藤博明・坂田章吉, 1985, 飛騨山地西部の第四紀火山とその噴出物. 昭和 57～59 年度科学研究費補助金 (総合研究 A) 研究経過報告書「日本の第四紀火山岩組成の時空分布」(代表: 荒牧重雄), 25-27.

**Appendix** Localities and rock types of samples for K-Ar age determination. Abbreviations: opx, orthopyroxene; bt, biotite; ho, hornblende; ol, olivine.

Geological unit	Sample no.	Locality (JGD2011)		Rock type	
		Latitude	Longitude		
<b>Tomuro volcano</b>					
Tomuroyama lavas	TMR-01	36°31'42.50"N	136°44'35.27"E	opx-bt-ho andesite	lava
	TM-04	36°31'43.38"N	136°44'24.28"E	bt-ho andesite	lava
Kigoyama lavas	TMR-20	36°31'29.42"N	136°45'17.04"E	bt-ho andesite	lava
	TMR-22	36°31'39.72"N	136°45'00.82"E	bt-ho dacite	lava
	TMR-23	36°30'24.17"N	136°45'39.21"E	bt-ho dacite	lava
Tanoshimajoato lavas	TMR-21	36°32'12.18"N	136°46'02.00"E	bt-ho andesite	pyroclastic flow deposit
<b>Hakusan Volcano (Kagamuro)</b>					
	121105	36°14'58.60"N	136°42'59.23"E	ol-br.opx-ho andesite	lava