

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みられるテフラ層からの知見 ——

酒 寄 淳 史 金沢大学人間社会研究域学校教育系
奥 野 充 福岡大学理学部地球圏科学科
田 島 靖 久 日本工営株式会社
守 屋 以智雄 金沢大学名誉教授

Magmatic Eruptions at Hakusan Volcano during 1.9-2.4 cal kBP: Implication from Tephra Layers around Okurayama, Gifu Prefecture

Atsushi SAKAYORI, *Faculty of Teacher Education, Institute of Human and Social Sciences,
Kanazawa University*

Mitsuru OKUNO, *Department of Earth System Science, Faculty of Science, Fukuoka University*
Yasuhisa TAJIMA, *Nippon Koei CO., LTD.*

Ichio MORIYA, *Emeritus Professor, Kanazawa University*

はじめに

白山火山の過去1万年間の活動については、古文書に記された内容や山頂部周辺に分布する降下テフラを中心とした調査研究に、岩屑なだれ堆積物や火砕流堆積物からの放射年代などを加え、解明が進められてきた(遠藤, 1985; 山崎ほか, 1987; 東野, 1991; 東野ほか, 1991; 北原ほか, 2000; 田島ほか, 2005; 田島・東野, 2015)。その結果、マグマ噴火が少なくとも4回(約8500 BP, 約2200 BP, 西暦1239年, 西暦1554～1556年)は起こっていることや、高い頻度で水蒸気噴火が発生していることなどが明らかになった。一方、山頂部周辺以外の地域に分布する降下テフラについては、年代測定を行った調査は乏しく、テフラどうしの対比を確実にするためにも、放射年代データの充実が必要である。また、火山体を構成する岩石の研究では、溶岩や火砕物ごとに岩石学的性質の違いが存在することも明らかになり(酒寄・水出, 2001; 酒寄ほか, 1997, 2002, 2004, 2006)、火山体を構成する噴出物と降下テフラとの岩石学的な対比を行える状況が整ってきた。

本研究では、白山火山の東麓に分布する降下テフラを対象に調査研究を実施した。白山の東部地域に

は、スコリアを含むテフラ層が発達していることが知られているが(高柳・守屋, 1991など)、それらの放射年代はこれまで報告されていない。また、この地域に分布する降下テフラ中のスコリアは比較的粗粒であり、マグマの岩石学的性質を調べることが可能な試料を得ることができる。今回、露頭から採取した土壌試料の¹⁴C年代測定とテフラ試料の岩石記載を行った。それらの結果を報告するとともに、降下テフラと溶岩との対応関係についても検討を行う。

調査地の概要と露頭記載

図1に調査および試料採取を行った露頭の位置を示す。主な調査対象である露頭1と露頭2は、白山山頂の御前峰から南東に直線距離で約2 km、大倉山(標高2038 m)の西方約200～300 mに位置し、岐阜県側の登山道である平瀬道沿いにある。大倉山一帯は基盤で構成されており、露頭の周辺は尾根上に形成された小規模な平坦地となっている。黒色土壌層が発達していることから、過去に湿原が存在していたと考えられる。一方、露頭3は、御前峰の南斜面の標高2500 m付近に露出する巨礫サイズのスコリアからなる露頭である。露頭1や露頭2の試料と

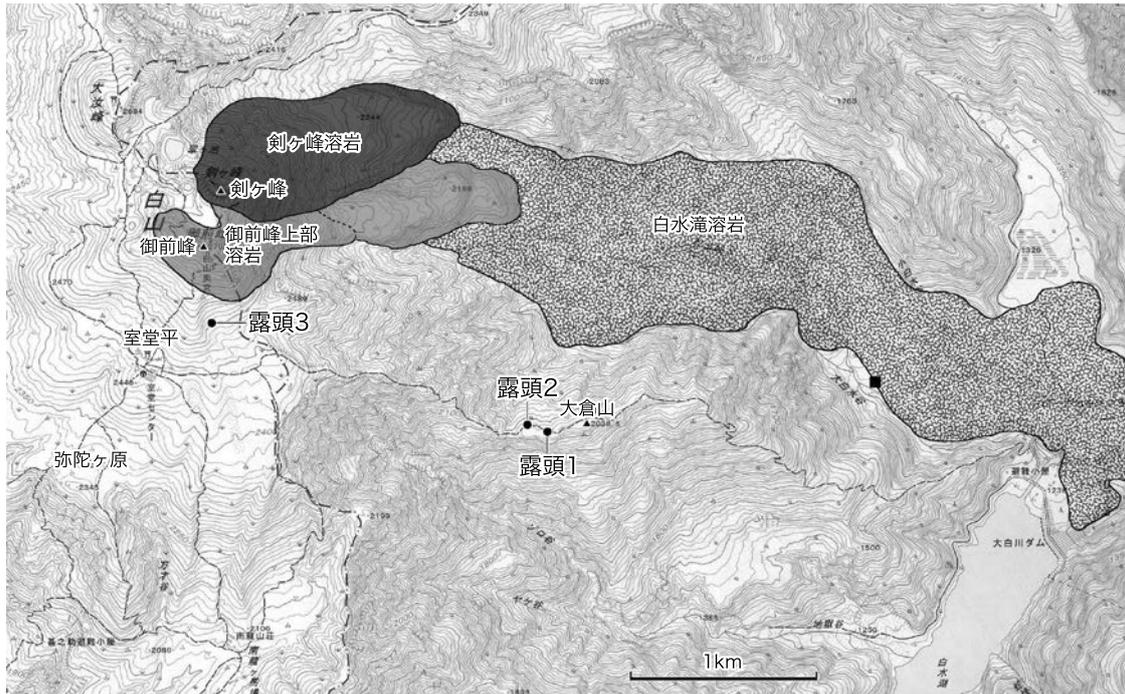


図1 露頭の位置図

図に示した溶岩は、約2200 BPに噴出したとされているものである。御前峰上部溶岩は酒寄ほか（2015）の解釈に従って加えたもので、図の破線より東側の溶岩も類似した岩石学的性質を示すことから本溶岩に含めた。■は北原ほか（2000）の¹⁴C年代試料（炭化木）の採取地点を示す。国土地理院発行の1：25000地形図「白山」を基図として使用した。

比較するため、露頭3からも岩石試料を採取した。以下に各露頭について解説する。

露頭1

大倉山避難小屋から西へ約30 m、東西に走る平瀬道の南側に幅約1 mの露頭1が存在する（写真1）。図2のaに露頭の柱状図を示す。厚さ約3.5 cmの黒色土壌層の上に、全体の層厚が14～20 cmの降下テフラ層が発達し、それをスコリアや基盤由来の砂岩などの礫を含む凝灰角礫層が覆っている。このテフラ層は、径10 mm未満の粒子からなる比較的粗粒な火砕物層とより細粒な火山灰層との互層によって構成される。成層構造が乱れて層の連続性が失われている部分もあるが、少なくとも7層の粗粒な火砕物層が確認できる。そのうち、火山礫サイズのスコリアを含む層が5層存在し、それらの厚さは下位より約1.8 cm、約1 cm、約0.7 cm、約1 cm、約0.7 cmである。本露頭でみられる降下テフラは、高柳・守屋（1991）が大倉山避難小屋周辺の露頭で記載し、遠藤（1985）によるHm-10（南竜火山灰）に対比されるとしたテフラと同じものと判断できる。



写真1 露頭1のテフラ層

Hm-10（南竜火山灰）に相当するテフラ層が黒色土壌を覆って分布する。テフラ層は凝灰角礫層によって覆われている。

ラ層が発達し、それをスコリアや基盤由来の砂岩などの礫を含む凝灰角礫層が覆っている。このテフラ層は、径10 mm未満の粒子からなる比較的粗粒な火砕物層とより細粒な火山灰層との互層によって構成される。成層構造が乱れて層の連続性が失われている部分もあるが、少なくとも7層の粗粒な火砕物層が確認できる。そのうち、火山礫サイズのスコリアを含む層が5層存在し、それらの厚さは下位より約1.8 cm、約1 cm、約0.7 cm、約1 cm、約0.7 cmである。本露頭でみられる降下テフラは、高柳・守屋（1991）が大倉山避難小屋周辺の露頭で記載し、遠藤（1985）によるHm-10（南竜火山灰）に対比されるとしたテフラと同じものと判断できる。

露頭2

露頭1から白山山頂方向（西北西）に向かって平瀬道を100 mほど進むと道の両側が切り通しになっており、北側に約5 mに渡って高さ約70 cmの露頭2がある（写真2）。この柱状図を図2のbに示す。

この露頭の西端部分には、露頭1と同じ南竜火山灰に相当するテフラ層が、南東方向に傾斜した状態で露出する。地層の構成は露頭1とほぼ同じである。火山礫サイズのスコリア（層ごとの最大粒径は約10



写真2 露頭2のテフラ層

Hm-10（南竜火山灰）とそれを覆う凝灰角礫層は傾斜しており、それらと斜交してHm-11や大倉山降下スコリアを含む地層が堆積している。

～15 mm) を含む5枚の層の厚さは、下位より約2 cm, 約1 cm, 約1.5 cm, 約2 cm, 約1 cmである。

写真2の露頭の中央から東側の部分にはほぼ水平に成層した地層が分布しており、前述のHm-10とその上位の凝灰角礫層を斜交するように覆っている。高さ約70 cmの露頭の下部は、主に火山砂や色の異

なる火山シルトなどの互層によって占められ、その中に降下テフラと思われる厚さ約2 cmの褐色層が認められる。主に径約10 mm以下の火山礫や火山砂からなり、その最上部には約10～18 mmの粒径をもつ火山礫が集中して分布する。南竜火山灰の上位に位置し、火山礫に富む特徴から、遠藤（1985）のHm-11に対比すると考えられる。

さらに、露頭の上部には、暗褐色の火山灰や土壤層とそれらを覆って、スコリア、火山礫、および火山砂からなる降下テフラ層が発達している。本論では便宜上、このテフラを大倉山降下スコリアと呼ぶことにする。大倉山降下スコリアは層厚が約11 cmであり、層の下部約1/4はその上部に比べ、全体の色調が明るく、かつ構成粒子のサイズがわずかながら小さい。しかしながら、両者の間に明瞭な境界は存在せず、ほぼ連続して堆積したと推測できる。構成粒子の最大径は層の下部で約11 mm、上部で約15 mmであり、特に上部は南竜火山灰よりも大きな粒子に富んでいる。露頭2の最上位層は黒色土壤であり、大倉山降下スコリアを直接覆っている。

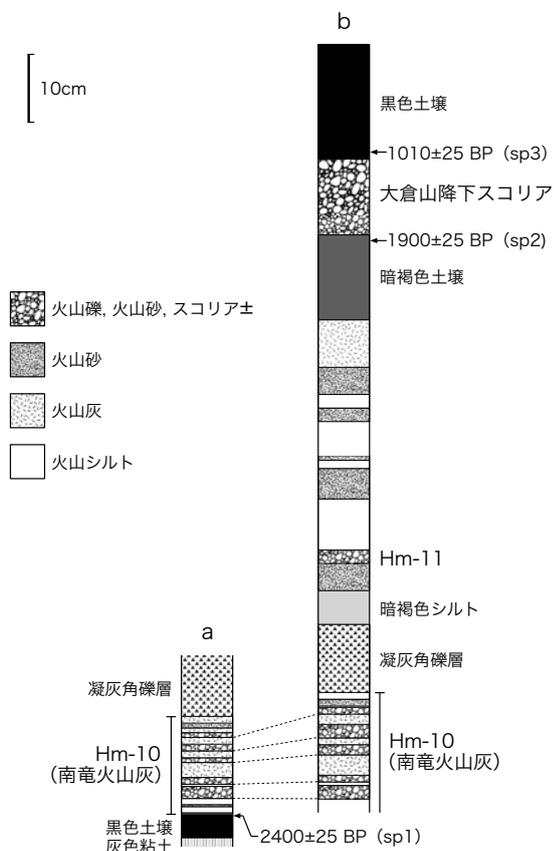


図2 露頭1 (a) と露頭2 (b) の柱状図
図中の年代は、表1の¹⁴C年代を示す。

露頭3

山頂から水平距離で約400 m、御前峰の南斜面に生じたくぼ地内にみられるスコリア層の露頭である。径10～40 cmほどのスコリアが周囲より1 mほど盛り上がった舌状の高まり（幅約3 m, 長さ約5 m）を形成し、斜面に沿って分布している。スコリア層の表面は、斜面の上部から崩れてきた砂礫によって覆われている。噴出源が比較的近く、スコリア丘の一部であった可能性も考えられるが、詳細は不明で

表1 土壌試料の放射性炭素年代測定の結果

試料番号	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	^{14}C age (BP)	較正暦年代 (2σ , cal BP)	暦年中央値 (cal BP)	測定番号
sp3	-25.9	1010 \pm 25	804-807 (0.3%)	934	IAAA-161366
			831-852 (4.9%)		
			906-969 (94.8%)		
sp2	-27.0	1900 \pm 25	1741-1756 (2.1%)	1850	IAAA-161997
			1780-1898 (97.4%)		
			1914-1918 (0.5%)		
sp1	-26.9	2400 \pm 25	2350-2491 (96.7%)	2415	IAAA-161998
			2643-2655 (1.7%)		
			2666-2676 (1.6%)		

ある。スコリアの多くは、その表面が部分的に高温酸化による赤味を帯びている。また、入り組んだ形状の境界で軽石と接し、黒色と白色の粗い縞模様を呈する縞状スコリア（径約40 cm）も存在する。

放射性炭素年代

年代測定は、株式会社加速器分析研究所に依頼した。根などの混入物を取り除き、酸-アルカリ-酸処理後、水素還元法でグラファイト化して ^{14}C -AMS専用装置（NEC社製）を用いて測定した。 ^{14}C 年代値の算出にはLibbyの半減期5568年を使用し、試料の $\delta^{13}\text{C}$ 値によって同位体分別効果を補正した。暦年較正には、プログラムCALIB 7.1.0 (Stuiver & Reimer, 1993) とデータセットIntCal13 (Reimer et al., 2013) を使用した。

表1に年代測定の結果を示すとともに、図2の柱状図に ^{14}C 年代を書き加えた。測定した試料はいずれも土壌であり、露頭1からの試料sp1、露頭2からの試料sp2とsp3の計3個である。試料sp1は、露頭1の南竜火山灰直下の黒色土壌の試料であり、土壌層の上面から厚さ約0.5 cmの部位から採取した。試料sp2は、露頭2の大倉山降下スコリア直下の暗褐色土壌の試料であり、土壌層の最上部厚さ約1.5 cmの範囲から採取した。試料sp3は、大倉山降下スコリアを直接覆う黒色土壌層の最下部厚さ約2.5 cmからの試料である。得られた ^{14}C 年代値は、露頭1の試料sp1が2400 \pm 25 BP、露頭2の試料sp2とsp3がそれぞれ1900 \pm 25 BPと1010 \pm 25 BPであり、層序の新旧関係とも矛盾しない（図2）。

地表付近の土壌は、噴出物が堆積することで閉鎖系が成立し、降下テフラ直下にある土壌の ^{14}C 年代を暦年較正した年代値が、そのテフラの噴出年代を示すと考えられる（奥野, 2005など）。ゆえに、表1の較正暦年代から、南竜火山灰の噴出年代は約2400 cal BPであり、大倉山降下スコリアの場合は約1900

cal BPと判断できる。

岩石記載

露頭1と2の南竜火山灰、Hm-11、および大倉山降下スコリアについて、これら各層に含まれる径2.0 mm以上の粒子を中心に岩石薄片の顕微鏡観察を行い、本質物質と思われる粒子について岩石学的性質を記載した。加えて、露頭3のスコリアについても岩石記載を行った。記載にあたっては、結晶の長径が0.5 mm以上のものを斑晶、0.05～0.5 mmのものを微斑晶、0.05 mm未満の場合を石基とした。表2に、ポイントカウンティング法によって求めた各試料のモード組成を示す。

Hm-10（南竜火山灰）

火山礫サイズのスコリアを含む5枚の層から得られた径2.0 mm以上（最上位層のみ1.4 mm以上）の粒子は、スコリアの占める割合が最も多く、ほかに基盤の岩石と少量ながら気泡跡に乏しい安山岩を伴う。本質物質はスコリアであると推測できる。スコリアは、まれに長径が13 mmに達するものも存在するが、通常は径9 mm以下の粒子として産する場合が多い。

上述の5層のうち、上位から2層目で比較的大きなスコリアが採取できたため、それらについてモード組成を求めた（表2）。測定した試料は、露頭1から5個（試料1-10-1～5、長径5.2～8.2 mm）、露頭2から4個（試料2-10-1～4、長径7.0～13.0 mm）の計9試料である。測定した試料がすべて共通のマグマから由来したと仮定すると、斑晶では斜長石が最も多く、副成分としてかんらん石を伴うと推測される。さらに顕微鏡観察したすべてのスコリアも含めると、角閃石、石英、斜方輝石、および黒雲母の各斑晶も時に観察される。5層すべてのスコリアに、斜長石、単斜輝石、およびかんらん石が微斑晶とし

表2 各露頭から得られた本質物質試料のモード組成

露頭	試料番号	長径-短径 (mm)	石基	斜長石	斜方輝石	角閃石	Fe-Ti酸化物	単斜輝石	石英	かんらん石	黒雲母	気泡跡	
1	1-10-1	8.2-5.0	80.2	斑晶	7.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.0	
				微斑晶	5.3	0.1	0.0	0.1	5.7	0.0	0.5		0.0
	1-10-2	6.5-4.0	69.7	斑晶	4.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	0.0	12.6
				微斑晶	15.2	0.2	0.2	0.0	8.6	0.0	tr	0.0	
	1-10-3	6.0-5.0	81.1	斑晶	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	25.6
				微斑晶	9.5	0.0	0.0	tr	6.0	0.0	0.6	0.9	
	1-10-4	6.0-5.0	65.3	斑晶	21.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.3
				微斑晶	6.8	0.0	0.0	0.0	4.5	0.0	1.5	0.0	
	1-10-5	5.2-4.0	72.1	斑晶	15.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.6	0.0	14.1
				微斑晶	5.0	1.2	0.0	0.0	3.1	0.0	0.6	0.0	
2	2-10-1	13.0-7.5	68.4	斑晶	1.1	0.0	7.8	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	49.3
				微斑晶	11.1	0.7	tr	0.2	6.1	0.0	1.6	0.0	
	2-10-2	8.5-6.0	53.5	斑晶	30.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	12.0
				微斑晶	10.3	0.0	0.0	0.0	3.8	0.0	0.5	0.0	
	2-10-3	7.2-4.5	85.1	斑晶	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.1
				微斑晶	8.8	0.0	0.0	0.0	2.7	0.0	0.9	0.0	
	2-10-4	7.0-4.5	63.8	斑晶	5.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.6
				微斑晶	21.4	0.0	0.0	0.0	7.3	0.0	2.1	0.0	
	2-11-1	17.0-9.0	59.0	斑晶	22.8	3.0	0.1	0.0	0.0	0.3	0.4	0.0	-
				微斑晶	11.6	0.7	0.2	0.7	0.4	0.1	tr	tr	
	2-11-2	12.5-9.2	64.7	斑晶	16.8	1.0	0.2	0.0	0.0	0.8	0.0	0.1	-
				微斑晶	12.1	1.2	0.9	0.6	1.0	0.0	0.0	0.0	
	2-11-3	11.0-7.5	56.5	斑晶	23.3	1.6	0.0	0.0	0.0	7.0	0.0	0.0	-
				微斑晶	7.4	1.2	0.4	1.0	1.1	0.0	0.0	tr	
	2-0-1	9.0-6.0	83.5	斑晶	1.9	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	25.8
				微斑晶	0.0	0.0	0.0	tr	6.1	0.0	5.1	0.0	
	2-0-2	14.5-10.0	82.5	斑晶	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	5.8	0.0	20.1
				微斑晶	0.2	0.0	0.0	tr	6.9	0.0	4.0	0.0	
	2-0-3	14.0-10.0	84.8	斑晶	1.2	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	4.6	0.0	39.0
				微斑晶	0.1	0.0	0.0	tr	5.9	0.0	2.6	0.0	
2-0-4	15.0-14.2	85.6	斑晶	0.3	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	4.1	0.0	22.6	
			微斑晶	0.1	0.0	0.0	0.0	5.7	0.0	3.4	0.0		
2-0-5	12.0-8.0	76.7	斑晶	5.8	0.9	0.0	0.0	0.3	0.0	3.6	0.0	5.0	
			微斑晶	3.6	0.2	0.2	0.4	6.3	0.0	1.6	0.0		
3	101202	約300	72.7	斑晶	8.6	1.2	0.7	0.0	0.0	0.3	2.2	0.0	41.7
				微斑晶	8.8	0.0	0.0	0.0	3.8	0.0	0.9	0.0	
	92601B	約400	69.2	斑晶	8.1	1.5	2.1	0.0	0.0	0.1	2.2	0.0	43.2
				微斑晶	10.3	0.1	tr	tr	5.0	0.1	0.6	0.0	

石基と鉱物の値は気泡跡を除いた場合のvol.%である。一方、気泡跡の値は試料全体に対するvol.%である。trは0.1 vol.%未満の場合を意味する。

て常に含まれる。石基は、主に暗褐色や淡褐色のガラスからなる。まれに、透明なガラスの石基をもつ軽石が付着したスコリア粒子も観察できる。粒子全体に占める気泡跡の割合は12～26 vol.%であるが、時に49 vol.%に達する試料も存在する。

南竜火山灰のスコリアは、含まれる層によらず、岩石薄片においてほぼ同様の性質を示す。ただし、5層のうち最も下位の層に含まれるスコリアでは、斑晶サイズのかんらん石が確認されず、マグマの性質に若干の時間変化があったことを示している。

Hm-11

構成粒子58個（径2～18 mm）について顕微鏡観察を行ったところ、気泡跡がほとんどみられない安山岩が大部分を占め、スコリアはわずかに5個であった。また、基盤に由来する粒子は確認できなかった。スコリアに関しては、粒子全体に占める割合が少ないこと、および下位の南竜火山灰に含まれるも

のと類似した岩石学的性質を有することなどから類質物質と考え、溶岩由来と思われる安山岩粒子をHm-11の本質物質と判断した。

安山岩の火山礫は、斜長石斑晶に富み、斜方輝石、石英、および角閃石の各斑晶をしばしば含む。また粒子によっては、かんらん石と黒雲母の斑晶が認められる場合もある。長径が11.0～17.0 mmの3試料について、モード組成を測定した（表2の試料2-11-1～3）。なお、試料2-11-3（長径11.0 mm）は他の2試料より石英斑晶に著しく富むモード組成を示すが、これは約2.5 mm径の石英斑晶が1個、岩石試料に含まれていたことによるものである。微斑晶としては、斜長石、斜方輝石、単斜輝石、角閃石、およびFe-Ti酸化物が常に存在する。石基は、比較的結晶度の良いインターサタル組織を示す。

大倉山降下スコリア

径2.0 mm以上の構成粒子を観察した結果、大倉山

降下スコリア層の下部約1/4とその上部とで構成粒子における岩石種の割合が顕著に異なることが明らかになった。層の下部では、類質物質と思われる気泡跡に乏しい安山岩の粒子が主体であり、スコリアと基盤岩（砂岩など）はそれぞれ構成粒子全体の1割程度を占めるにすぎない。一方、層の上部は主にスコリアの粒子からなり、少量の安山岩粒子を伴う。なお、径2.0 mm未満の粒子には基盤岩も含まれる。また、気泡跡に乏しい安山岩粒子の表面は黄褐色を呈するのに対し、スコリア粒子の表面は褐色を呈する。そのため、前者に富む層の下部と後者が主体の層の上部とでは、層全体の色に違いが生じる。層の下部と上部とで、本質物質と考えられるスコリアに岩石学的な差異はみられない。

比較的明るい色調を呈する層の下部から1個（試料2-O-1, 長径9.0 mm）と上部から3個（試料2-O-2～4, 長径14.0～15.0 mm）の計4個のスコリア試料について、モード組成を求めた（表2）。かんらん石斑晶の含有量は1.3～5.8 vol.%であり、4 vol.%を超える試料が4個中3個を占める。それに対し、白山火山噴出物において通常最も多く含まれる斜長石斑晶は、2 vol.%に満たない。かんらん石斑晶に富み、斜長石斑晶に乏しい傾向は、南竜火山灰やHm-11の試料との比較においても同様であり、大倉山降下スコリアをもたらししたマグマのもつ特徴を表すと推測される。また、白山火山噴出物では比較的珍しい斑

晶サイズの単斜輝石が0.4 vol.%未満ではあるが含まれる。角閃石や単斜輝石の厚いリムを有する斜方輝石の斑晶もまれに観察される。微斑晶として常に観察できるのは単斜輝石とかんらん石であり、少量の斜長石を伴う場合もある。石基は主に暗褐色ガラスからなる。また、スコリア内には苦鉄質包有物や基盤の岩片が時々観察できる。気泡跡は粒子全体の20 vol.%以上を占め、39 vol.%に達する試料もみられる。

出現頻度は低いですが、上述のスコリア同様に単斜輝石斑晶を有してかんらん石に富み、かつ比較的結晶度の良い石基をもつ粒子が存在する（表2の試料2-O-5）。ただし、上述のスコリアよりも斜長石斑晶に富むなどの違いもみられ、噴火に関与したマグマに多様性が存在したことを示している。このタイプの粒子の場合、多孔質なものから気泡跡の存在しないものまで、粒子によって発泡の程度はさまざまである。

露頭3のスコリア

露頭3から径30～40 cmの2個のスコリアを採取し、各試料のモード組成を測定した（表2の試料101202と92601B）。気泡跡が試料全体の約42 vol.%を占め、発泡の程度が著しい。そのため、モード組成を求めるにあたっては、岩石薄片上の測定範囲を拡大して2000点以上（気泡跡を除く）の測定を行い、溶岩試料のモード組成との比較にも耐えられるよう

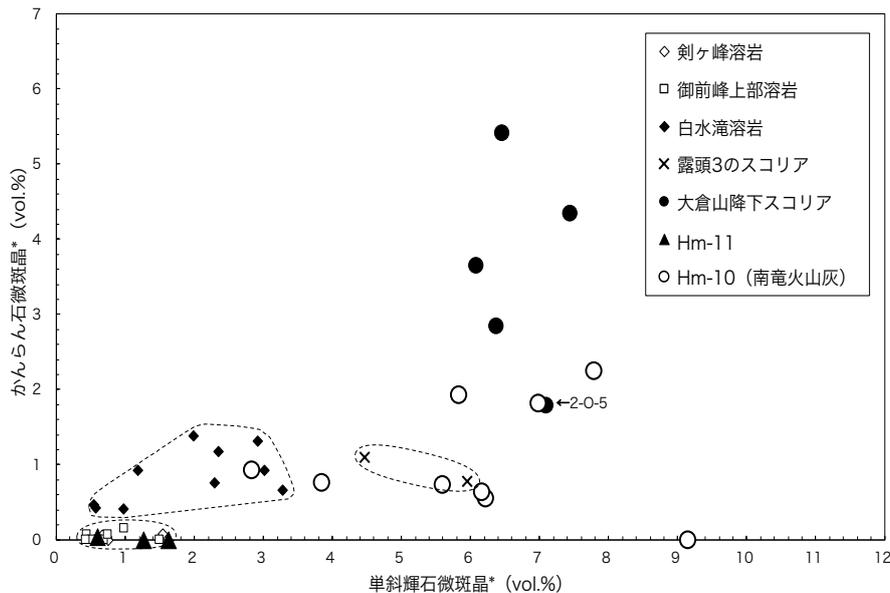


図3 単斜輝石微斑晶とかんらん石微斑晶のモード組成図

使用したモード組成（*印付き）は、微斑晶と石基の合計が100になるように再計算したときの値である。大倉山降下スコリアの試料2-O-5については、本文を参照のこと。溶岩試料については、酒寄ほか（1997, 2002）および未公表のデータを用いた。

にデータの信頼性を高めた。モード分析を行った試料の全岩SiO₂量は56 wt.%であり（未公表データ）、これまで報告されている白山火山の溶岩試料よりも苦鉄質な組成を示す。斑晶は斜長石>かんらん石>角閃石、斜方輝石>石英からなり、岩石名は斜方輝石-角閃石-かんらん石安山岩である。主要な微斑晶は、斜長石、単斜輝石、およびかんらん石である。石基は主に暗褐色や淡褐色のガラスからなる。

微斑晶モード組成における特徴

前述の岩石記載から、南竜火山灰、Hm-11、および大倉山降下スコリアがそれぞれ斑晶組成の異なるマグマに由来することが推測される。しかしながら、含まれる斑晶は長径が数mmを優に超えるものが多く、それに対してテフラの構成粒子は径が20 mmに満たないため、正確な斑晶の含有量を個々の岩石試料から求めることは難しい。そこで、岩石試料（長径5～17 mm）に対して十分に小さく、岩石本来のモード組成をほぼ反映しているとみなすことができる微斑晶（長径0.05～0.5 mm）を用いて、本質物質の岩石学的特徴を表した。その際、より厳密な比較ができるように、斑晶を除き、微斑晶と石基のモード組成の合計を100として再計算した場合の値を用いた。以降、特に断りがない限り、テフラ層からの試料は本質物質を指すこととする。

図3に示すように、単斜輝石とかんらん石の各微斑晶量を用いると、各テフラ層からの試料の違いが明瞭になる。すなわち、Hm-11、南竜火山灰、大倉山降下スコリアの順に、かんらん石微斑晶に富み、かんらん石/単斜輝石の微斑晶どうしの量比も大きくなる傾向が認められる。また、Hm-11の試料は、他のテフラ試料よりも単斜輝石微斑晶に乏しい。ほかにも、Hm-11の試料は角閃石やFe-Ti酸化物の各微斑晶により富み、大倉山降下スコリアの試料は斜長石微斑晶に著しく乏しいなどの特徴がみられる。また、南竜火山灰の試料は、他の試料に比べて斜長石などのモード組成の幅が広く、1枚の層内でもほぼ連続した岩石学的多様性を示す。なお、大倉山降下スコリアの試料2-O-5は、微斑晶に関して南竜火山灰の試料と類似性を示すが、単斜輝石斑晶を含むなどの異なる特徴をもつ。

火山体を構成する噴出物との岩石学的対比

図1に示した溶岩と露頭3のスコリアに関して、降下テフラとの岩石学的な対比を試みた。山崎ほか

(1987)は、4410±220 BPに発生した白山山頂部の山体崩壊後、白水滝溶岩の噴出と剣ヶ峰溶岩ドームの形成が起こったことを議論し、年代と噴火の規模からこの活動が南竜火山灰を形成した噴火に対応すると考えた。なお、御前峰を構成する御前峰上部溶岩もこの時期の噴出物と解釈でき（酒寄ほか、2015）、テフラとの比較の対象に含めた。前出の図3において、上述の溶岩および露頭3のスコリアからの試料は、御前峰上部溶岩と剣ヶ峰溶岩が重複する以外、噴出物ごとに図上の異なる場所にプロットされる。以下に、露頭1と2のテフラ層ごとに岩石学的対比の結果について述べる。

Hm-10（南竜火山灰）

南竜火山灰の試料は、1試料を除いて、白水滝溶岩の試料よりも単斜輝石微斑晶に富む性質を示す（図3）。一方、露頭3の試料は、南竜火山灰の試料が分布する領域内にプロットされる。また、主要な微斑晶である斜長石、単斜輝石、およびかんらん石の石基に対する散布図（図4）においても、南竜火山灰の試料の分布域内に露頭3の試料が存在する。

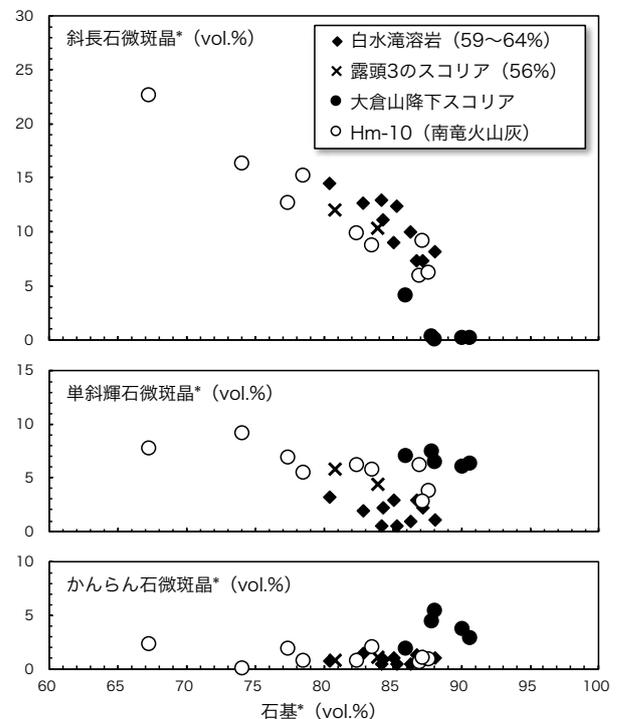


図4 Hm-10（南竜火山灰）と大倉山降下スコリアの試料における石基と微斑晶のモード組成図

使用したモード組成（*印付き）は、図3と同じ方法で再計算した値である。白水滝溶岩試料のデータの引用元は、図3と同じである。凡例における（ ）内の数値は、噴出物の全岩SiO₂量を示す。

ゆえに、露頭3のスコリア層は、南竜火山灰を形成した噴火の産物である可能性が高い。このことは、斑晶組合せ（斜長石>かんらん石>角閃石、斜方輝石、石英）に関しても整合的である。さらに、露頭3のスコリア試料は全岩のSiO₂含有量が56 wt.%と、白水滝溶岩の試料（SiO₂=59～64 wt.%：酒寄ほか，2015）より苦鉄質な組成を有する。すなわち、南竜火山灰と白水滝溶岩は、それぞれ化学組成の異なるマグマによってもたらされたと解釈できる。

Hm-11

Hm-11の試料はかんらん石をまれにしか含まず、図3において御前峰上部溶岩や剣ヶ峰溶岩の各試料とほぼ同じ場所にプロットされる。Hm-11の試料に含まれる主要な微斑晶である斜長石、斜方輝石、単斜輝石、角閃石、およびFe-Ti酸化物について、石基に対する散布図を図5に示す。わずかに石基に乏しいものもみられるが、Hm-11の試料は、御前峰上部溶岩や剣ヶ峰溶岩の試料と各微斑晶に関してほぼ同

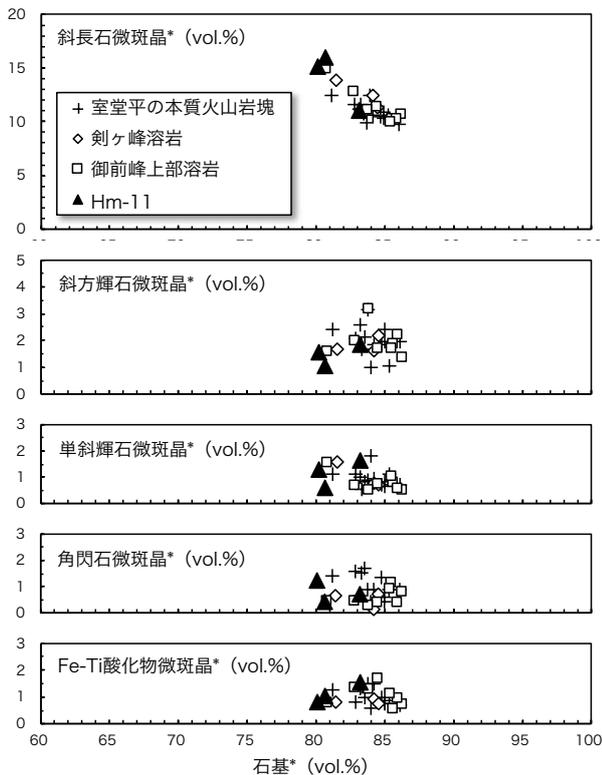


図5 Hm-11の試料における石基と微斑晶のモード組成図

使用したモード組成(*印付き)は、図3と同じ方法で再計算した値である。溶岩試料のデータの引用元は、図3と同じである。室堂平周辺の本質火山岩塊試料については、酒寄・水出(2001)および酒寄ほか(2004, 2006)のデータを用いた。

様のモード組成を示す。また、これらの溶岩試料は斜長石斑晶に富む斜方輝石-角閃石-安山岩(SiO₂=61～63 wt.%：酒寄ほか，2015)であり、少量の石英斑晶とまれに黒雲母やかんらん石の各斑晶を伴う(酒寄ほか，1997, 2002)。これらと同様の斑晶組合せは、Hm-11の試料でも観察できる。以上のことから、Hm-11は岩石学的に、御前峰上部溶岩あるいは剣ヶ峰溶岩に対比できる。

大倉山降下スコリア

大倉山降下スコリアの試料は、かんらん石微斑晶に富み、斜長石微斑晶に著しく乏しい(図3, 4)。斑晶に関しても、かんらん石斑晶に富み、斜長石斑晶に乏しく、さらに少量ながら単斜輝石斑晶を含むなど、これまで報告されている白山の火山体を構成する噴出物とは明らかに異なる特徴を有する。

議 論

露頭1と2の調査により、約1900～2400 cal BPの間に少なくとも3回のマグマ噴火が発生したことが明らかになった。それぞれの噴火の特徴をまとめ、白山火山の噴火史における位置づけについて検討した。

Hm-10(南竜火山灰)を形成した噴火

南竜火山灰は、白山火山において確認できる最も顕著な降下テフラであり、御前峰山頂から南南東に約1.3 kmの地点では、層厚が32 cm以上に達する同テフラが分布する(酒寄ほか，2003)。層厚の発達した南竜火山灰は粗粒な火砕物と細粒な火山灰の互層からなり、本論の露頭1や2でも、スコリアを降らせた噴火が少なくとも5回は発生したことを読み取れる。高柳・守屋(1991)は、本層でみられる白色細粒テフラ層を硫気変質を受けた岩石が水蒸気噴火によって飛散・堆積したものと解釈し、短い休止期間を挟みながらマグマ噴火が繰り返し起きたと考えた。

遠藤(1985)は、白山火山の南西部に位置する弥陀ヶ原において、その上位と下位の泥炭試料の¹⁴C年代(2650±140 BPと3160±130 BP)から、南竜火山灰は両者の中間の2900 BP頃に降下したと判断した。その後、東野ほか(1991)は、白山南麓の南竜ヶ馬場に分布する南竜火山灰直下の泥炭試料から2690±90 BPの¹⁴C年代を報告し、降下年代が遠藤(1985)の推定したものより若くなる可能性について述べて

いる。一方で、噴火の規模と年代から、南竜火山灰が白水滝溶岩や剣ヶ峰溶岩と同一噴火サイクルの産物である可能性が、山崎ほか（1987）によって指摘された。北原ほか（2000）は、白水滝溶岩直下の火砕流堆積物に含まれる炭化木片 2 試料から¹⁴C年代（2050±70 BPと2270±60 BP）を報告し、白水滝溶岩が約2200 cal BPに噴出したことを明らかにした。これにより、南竜火山灰も約2200 cal BPの噴出物とみなされるようになった。

今回、露頭 1 から得られた南竜火山灰の噴出年代は約2400 cal BPであり、白水滝溶岩の噴出年代よりも約200年ほど古い値を示す。なお、本論と同じプログラムとデーターセットを使って、北原ほか（1987）の¹⁴C年代から較正暦年代を求めても、それぞれ約2000 cal BPと約2300 cal BPを示し、従来と同様の結果が得られる。年代値どおりに解釈すれば、白水滝溶岩に先行する活動として、南竜火山灰の噴出が起こったことになる。ただし、マグマ噴火を断続的に繰り返した南竜火山灰の活動が、どれくらいの期間続いたかは不明である。また、前述の岩石学的な検討結果は、南竜火山灰と白水滝溶岩がそれぞれ異なるマグマの産物であることを示唆しており、苦鉄質な安山岩から珪長質な安山岩にマグマの化学組成も変化したことになる。

Hm-11を形成した噴火

Hm-11は発泡跡のない安山岩粒子から主に構成されており、粘性の高い溶岩や溶岩ドームを破壊した爆発的噴火によってもたらされたと推測できる。Hm-11の安山岩粒子と岩石学的に対応するのは、御前峰上部溶岩や剣ヶ峰溶岩である。剣ヶ峰溶岩は、白水滝溶岩を覆っており、約2200 cal BPあるいはそれより新しい噴出物であることがわかる。一方、露頭2の層序は、Hm-11の形成年代が約1900～2400 cal BPの間であることを示しており、年代的にも矛盾しない。

御前峰南麓に位置する標高約2450 mの室堂平周辺の緩斜面には、冷却節理の発達した本質火山岩塊が多数分布する（酒寄ほか（2006）のタイプ2）。これらの火山岩塊は、御前峰上部溶岩や剣ヶ峰溶岩と類似した岩石学的性質を示し（図5；中塚ほか，2005），これら溶岩の形成時に発生したブルカノ式噴火やごく小規模な火砕流によってもたらされた噴出物と考えられる。この時の爆発的噴火によって、降下テフラHm-11も形成された可能性が高い。

大倉山降下スコリアを形成した噴火

テフラ層直下の土壌試料の¹⁴C年代は、大倉山降下スコリアが約1900 cal BPの噴火で形成されたことを示している。このテフラは近年まで知られておらず、東野・田島（2016）による記載がおそらく唯一の報告である。彼らは、露頭 2 から東に約2.7 km離れた段丘において層厚約9 cmのかんらん石斑晶に富む降下スコリア層を見だし、粒度分析から白山火山の噴出物であることを示した。また、白水滝溶岩の上に形成されていることおよび上位の火砕流堆積物に含まれる炭化木の¹⁴C年代から、約2000 cal BPより後で11～13世紀以前に起こった噴火の産物と結論づけた。試料の詳細な比較を行ったわけではないが、かんらん石斑晶に富む特徴と噴火年代から判断して、彼らが報告した降下スコリアと本論の大倉山降下スコリアは同じ噴出物と思われる。

露頭 2 の大倉山降下スコリアでは、層の下部から中部にかけて構成粒子に占めるスコリアの割合が急激に増加しており、類質岩片を主に降らせた火口形成の時期を経て、スコリアを吹き上げる本格的なストロンボリ式噴火に移行していったことが推測できる。また、試料2-O-5のように、発泡の程度が小さく石基の結晶度の良い試料の存在は、小規模であったと想像されるが、溶岩を噴出していた可能性を示唆している。

大倉山降下スコリアをもたらししたマグマは、白山の火山体を構成する溶岩とは岩石学的に異質であり、その特徴は次のようにまとめることができる：

(a) かんらん石の斑晶および微斑晶に富む、(b) 斜長石の斑晶および微斑晶に著しく乏しい、(c) 少量ではあるが単斜輝石斑晶を含む。これらの特徴は、同じくかんらん石を有する南竜火山灰のスコリアと比べた場合でも明瞭であり、おそらくはより苦鉄質なマグマの活動によってもたらされたと想像できる。火山体を構成する噴出物において、大倉山降下スコリアに対応するものはこれまで報告されていない。

謝 辞

本研究は白山自然保護調査研究会平成27～28年度研究課題「白山東麓の降下火山灰層からみた白山火山の噴火活動」の成果の一部であり、研究費を助成いただいた。ここに深く感謝します。

引用文献

- 遠藤邦彦(1985) 白山火山地域の火山灰と泥炭層の形成過程. 白山高山帯自然史調査報告書, 11-30, 石川県白山自然保護センター.
- 東野外志男(1991) 白山火山の歴史時代の活動. 白山火山噴火活動調査報告書, 93-107, 石川県白山自然保護センター.
- 東野外志男・田島靖久(2016) 小白水谷下流で発見された白山火山起源の降下スコリア堆積物. 石川県白山自然保護センター研究報告, 42, 51-57.
- 東野外志男・守屋以智雄・高柳一男(1991) 南竜ヶ馬場湿原に分布する泥炭層の¹⁴C年代から推定される白山火山南竜火山灰の年代. 石川県白山自然保護センター研究報告, 18, 1-3.
- 北原哲朗・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-. 日本火山学会講演予稿集, 153.
- 中塚妙子・酒寄淳史・林 信太郎(2005) 新白山火山におけるマグマ組成の時間変化. 日本火山学会講演予稿集, 39.
- 奥野 充(2005) 最近10,000年間の噴火史編年と¹⁴C年代測定. 火山, 50, S209-S217.
- Reimer, P. J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J. W., Blackwell, P. G., Bronk Ramsey, C., Buck, C. E., Cheng, H., Edwards, R., L., Friedrich, M., Grootes, P. M., Guilderson, T. P., Hafflidason, H., Hajdas, I., Hatté, C., Heaton, T. J., Hoffmann, D. L., Hogg, A. G., Hughen, K. A., Kaiser, K. F., Kromer, B., Manning, S. W., Niu, M., Reimer, R. W., Richards, D. A., Scott, E. M., Southon, J. R., Staff, R. A., Turney, C. S. M., and van der Plicht, J. (2013) IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves, 0-50,000 years cal BP. Radiocarbon, 55, 1869-1887.
- 酒寄淳史・水出さやか(2001) 新白山火山, 翠ヶ池期噴出物の岩石記載学的特徴. 金沢大学教育学部紀要(自然科学編), 50, 1-9.
- 酒寄淳史・長谷川雅世・小林宏光(1997) 新白山火山噴出物における岩石記載学的性質の時間変化. 金沢大学教育学部紀要(自然科学編), 46, 37-43.
- 酒寄淳史・林 信太郎・大場 司(2015) 白山火山における約2200年前溶岩の岩石学的検討. 日本火山学会講演予稿集, 83.
- 酒寄淳史・東野外志男・中塚妙子(2004) 白山山頂部に分布する新白山火山本質岩塊の岩石記載学的特徴. 石川県白山自然保護センター研究報告, 31, 1-12.
- 酒寄淳史・中塚妙子・東野外志男(2003) 新白山火山南竜火山灰中のスコリアを含む火山灰層の岩石学的特徴. 石川県白山自然保護センター研究報告, 30, 1-6.
- 酒寄淳史・鈴木美朋・中塚妙子・東野外志男・林 信太郎(2006) 白山山頂部に分布する新白山火山本質岩塊の全岩化学組成. 石川県白山自然保護センター研究報告, 33, 7-14.
- 酒寄淳史・山田磨未・小林 力・小林宏光(2002) 新白山火山, 剣ヶ峰および白水滝溶岩における岩石学的多様性. 金沢大学教育学部紀要(自然科学編), 51, 1-10.
- Stuiver, M. & Reimer, P. J. (1993) Extended ¹⁴C database and revised CALIB 3.0 ¹⁴C calibration program. Radiocarbon, 35, 215-230.
- 田島靖久・東野外志男(2015) 白山火山における歴史時代に発生した火砕流. 日本火山学会講演予稿集, 116.
- 田島靖久・井上公夫・守屋以智雄・長井大輔(2005) 白山火山の最近1万年間の噴火活動史. 地球惑星科学関連学会合同大会予稿集. G017-P002.
- 高柳一男・守屋以智雄(1991) 白山火山の火山灰層. 白山火山噴火活動調査報告書, 75-92, 石川県白山自然保護センター.
- 山崎正男・富樫茂子・守屋以智雄・清水 智(1987) 白山火山大白川岩屑流堆積物中の木片の¹⁴C年代. 火山, 32, 123-124.