

4. 「岩神の飛石」ボーリングコアのテフラ分析

火山灰考古学研究所 早田 勉

(1) はじめに

関東地方北西部に広がる利根川扇状地（早田 2000a）とその周辺には、赤城、榛名、浅間など、北関東地方周辺の火山などに由来するテフラ（tephra, いわゆる火山灰）が数多く降灰している（新井 1962・1979 など）。その多くについては、すでに岩石記載の特徴や噴出年代が明らかにされており、それらを時空指標とすることで、地形や地層の年代を詳細に求めることができるようになっている（町田・新井 1992・2003・2011、早田 1996 など）。

ここでは、前橋市昭和町地内に位置する国指定天然記念物「岩神の飛石」の周辺で実施されたボーリング調査の際に採取されたコア（No.1～No.4 地点：付図参照）を対象にテフラ分析を実施し、赤色の溶結降下火砕岩群と考えられる「岩神の飛石」の層位や周辺堆積物の層序に関する調査分析の結果を報告する。最初にコアの観察を実施して、層序を柱状図として記載するとともに、分析用試料を採取し、テフラ分析を実施した。テフラ分析としては、テフラ検出分析と、火山ガラスおよび鉱物を対象とした屈折率測定を行った。

(2) ボーリング地点の地質層序

テフラ分析結果をもとに集成した柱状図集を図1に示した。No.1 地点・No.2 地点・No.3 地点・No.4 地点の地表面の標高は、順に 111.89m・111.56m・111.79m・111.90m である。岩神の飛石の基底は、地表に露出する部分の北東方に位置する No.4 地点でもっとも深く、その海拔高度は少なくとも 99.5m 程度で、露出部北半部では、南西から北東にかけて基底が深くなっていることが明らかになった。

No.1 地点 [標高 111.89m] No.1 地点では、淘汰が悪い礫混じり泥質堆積物が厚く、その上位の砂礫層中に「岩神の飛石」を構成する径 1.5m 程度の赤色溶結降下火砕岩のブロックが認められる。この砂礫層を、仮に「後期河成堆積物」と呼ぶことにする。

No.2 地点 [標高 111.56m] No.2 地点では、径 8m ほどの巨大な赤色溶結降下火砕岩のブロックが認められる。その下位には、所々礫や砂を含む泥質堆積物が認められた。また、海拔 99.5～100.5m 付近には、灰色泥質砂層の上部に白色細粒火山灰の濃集部（層厚 3cm、試料 49'）、その最上部には白色軽石の濃集部（層厚 2cm、試料 48"）、さらにその上位には細粒の白色軽石を多く含むやや桃色がかった灰色泥質堆積物（層厚 68cm）が認められる。

No.3 地点 [標高 111.79m] No.3 地点でも、白色軽石を多く含む灰色泥流様堆積物（深度-13m～-12.19m、層厚 81cm）の上位に、径 3m ほどの赤色溶結降下火砕岩のブロックが認められる。その上位には、厚さ 6m ほどの河成堆積物（前期河成堆積物と呼ぶ）があり、その中部付近の 2 層準に、円磨された白色軽石を含む砂質堆積物（試料 8、試料 11）が挟在されている。

No.4 地点 [標高 111.90m] No.4 地点では、径 5m ほどの赤色溶結降下火砕岩のブロックがある。その上位には基底高度をほぼ同じくする前期河成堆積物（層厚約 6m）が堆積している。その中位付近に

は、黄灰色粗粒火山灰層（層厚 8cm、試料 1）が認められる。

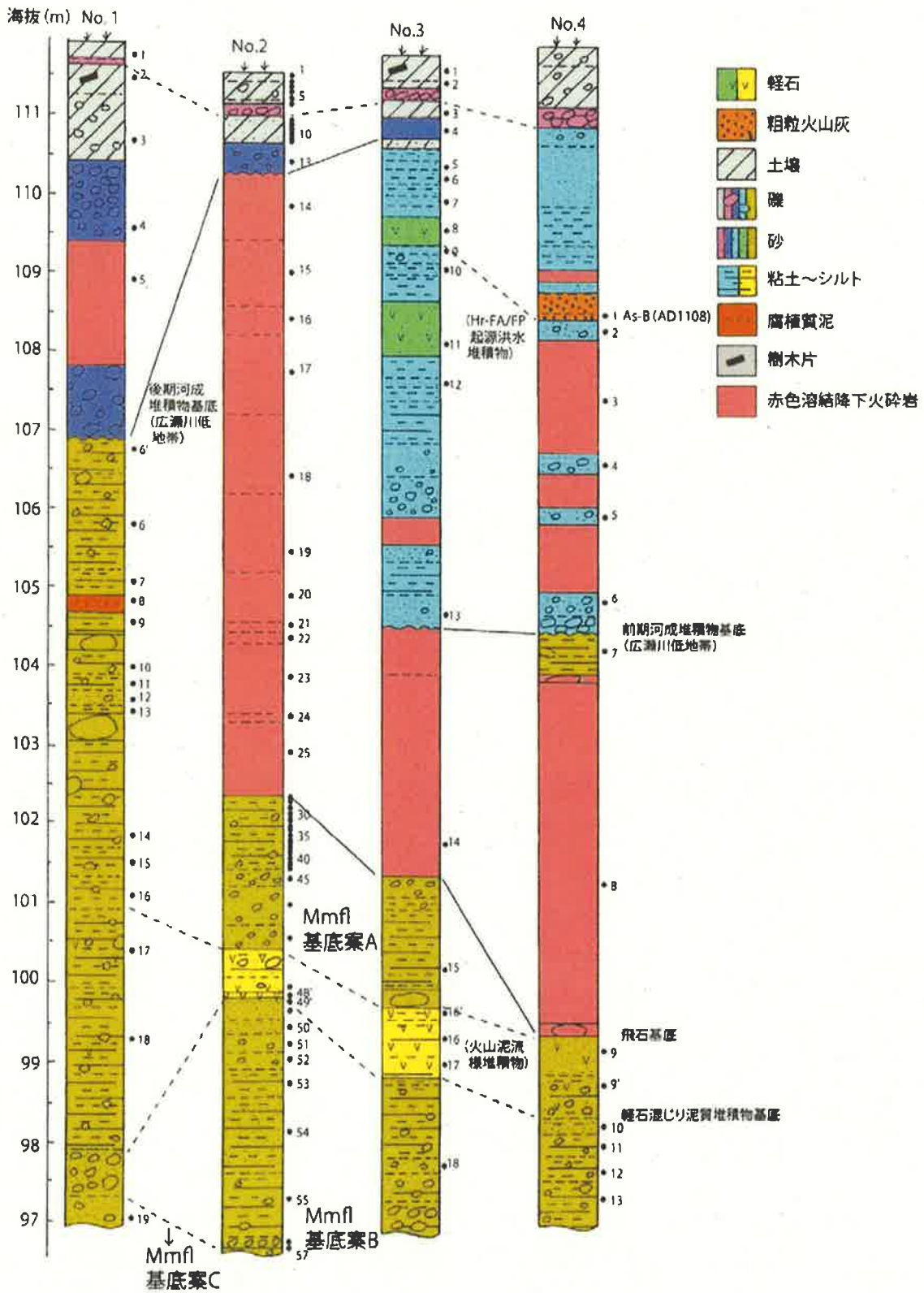


図 1. No.1~No.4 地点の地質柱状図

(3) テフラ検出分析・火山ガラス比分析

分析試料と分析方法

No.1～No.4 地点で採取されたテフラ分析用試料のうちの 57 試料を対象に、テフラ粒子の量や特徴を定性的に把握するテフラ検出分析を実施した。分析の手順は次の通りである。

- a 砂分の程度に応じて試料 5～8g を秤量。
- b 超音波洗浄装置を用いて泥分を除去。
- c 80℃で恒温乾燥。
- d 実体顕微鏡下で、テフラ粒子の量や色調などを観察。

分析結果

No.1 地点 No.1 地点では、最下位の試料 19 に無色透明のバブル型ガラスがわずかに含まれている。このタイプの火山ガラスは、試料 16 や試料 18 でも認められる。試料 6～試料 18 の多くの試料には、わずかに灰色をおびた白色や白色の軽石（最大径 4.9mm）、それらの細粒物であるスポンジ状軽石型ガラスが含まれている。軽石の班晶（重鉱物）には、斜方輝石や単斜輝石が認められる。これらの泥質堆積物にも、不透明鉱物以外の重鉱物として、おもに斜方輝石や単斜輝石が多く含まれている。

No.2 地点 No.2 地点では、試料 50 および試料 49 に、ごくわずかながら無色透明のバブル型ガラスが含まれている。また、おもに赤色溶結降下火砕岩の下位の泥質堆積物に、わずかに灰色がかった白色や白色の軽石（最大径 4.9mm）や、それらの細粒物であるスポンジ状軽石型ガラスが含まれている。とくに、試料 49 および試料 48 でこれらの軽石（最大径 6.0mm）や軽石型ガラスが多い。試料 49 には、ほかに無色透明のバブル型や繊維束状軽石型ガラスも比較的多い。コア試料において軽石がとくに濃集している試料 48 の軽石は風化が進んでいるために洗浄後には残らないが、全体として斜方輝石や単斜輝石を多く含む傾向にある。赤色溶結降下火砕岩（試料 19・試料 25）には、斜方輝石や単斜輝石が認められる。

No.3 地点 No.3 地点では、試料 18 に無色透明のバブル型ガラスがわずかに含まれている。このタイプの火山ガラスは、試料 16 でも認められる。赤色溶結降下火砕岩の下位の火山泥流様堆積物から採取された試料 17 や試料 16 には、わずかに灰色がかった白色や白色の軽石（最大径 4.1mm）や、それらの細粒物であるスポンジ状軽石型ガラスが多く含まれている。これらの泥質堆積物には、重鉱物として、おもに斜方輝石や単斜輝石が多く含まれている。赤色溶結降下火砕岩（試料 24）では、斜方輝石や単斜輝石が認められる。

赤色溶結降下火砕岩より上位の白色軽石を含む 2 層準の砂質堆積物のうち、下位の試料 11 には、スポンジ状に発泡した白色軽石（最大径 8.1mm）や、その細粒物である軽石型ガラスが多く含まれている。軽石の班晶（重鉱物）には角閃石や斜方輝石が認められる。上位の試料 8 には、これらの軽石（最大径 3.0mm）や軽石型ガラスのほかに、淡灰色や淡褐色の軽石およびスポンジ状軽石型ガラスが含まれている。この暗色の軽石や軽石型ガラスは、試料 7 や試料 4 に比較的多く含まれるなど、より上位のいずれの試料からも検出される。

No.4 地点 No.4 地点では、試料 12 に無色透明のバブル型ガラスがわずかに含まれている。赤色溶結降下火砕岩より下位から採取された試料 8 や試料 10 には、わずかに灰色がかった白色や白色の軽石（最大径 2.1mm）や、それらの細粒物であるスポンジ状軽石型ガラスが少量含まれている。これらの堆積物には、不透明鉱物以外の重鉱物として、おもに斜方輝石や単斜輝石が多く含まれている。赤色溶結降下火砕岩（試料 8）では、斜方輝石や単斜輝石が認められる。

赤色溶結降下火砕岩の上位の前期河成堆積物のうち、試料 4～試料 6 からは白色の軽石（最大径 2.6mm）やその細粒物であるスポンジ状軽石型ガラスが少量ずつ検出される。これらの試料では、斜方輝石や角閃石が多く認められる。また、試料 1 が採取されたテフラ層には、淡灰色の軽石（最大径 2mm）やスポンジ状軽石型ガラスのほか、淡褐色や光沢をもつ褐色のスポンジ状軽石型ガラスが多く含まれている。軽石の班晶（重鉱物）には、斜方輝石や単斜輝石が認められる。

（4）屈折率測定（火山ガラス・鉱物）

測定試料と測定方法

日本列島とその周辺では、テフラの岩石記載的特徴把握の際に、火山ガラスや鉱物の屈折率測定をおこなうことが一般的となっている。テフラ同定に利用されているこの方法は、故新井房夫群馬大学名誉教授により、1960 年代後半を中心に高精度化が図られたものである（新井 1972）。

指標テフラとの同定精度を向上させるために、特徴的なテフラ粒子が検出された試料のうち、No.2 地点の試料 48 の火山ガラスと斜方輝石、試料 25 の斜方輝石、No.3 地点の試料 11 に含まれる火山ガラス、斜方輝石、角閃石、No.1 地点の試料 1 に含まれる火山ガラス、さらに No.4 地点の試料 8 に含まれる斜方輝石、以上火山ガラス 3 点および鉱物 5 点の屈折率測定を実施した。

測定の対象とした火山ガラスは、実体顕微鏡下で採取した $>1/4\text{mm}$ の軽石や軽石質ガラスを軽く粉砕したものである。また、鉱物についても、実体顕微鏡を用いて $>1/4\text{mm}$ 粒子の中から採取し、軽く粉砕した後に、測定を行った。測定は、温度変化型屈折率測定法（壇原 1993）に従った。

測定結果

屈折率測定の結果を表 1 に示す。No.2 地点の試料 48 の火山ガラス（32 粒子）の屈折率（ n ）は、1.522-1.525 である。また、斜方輝石（30 粒子）の屈折率（ γ ）は 1.701-1.707 である。この地点の赤色溶結降下火砕岩（試料 25）の斜方輝石（30 粒子）の屈折率（ γ ）は、1.702-1.710 である。

No.3 地点の試料 11 に含まれる火山ガラス（34 粒子）の屈折率（ n ）は、1.504-1.508 である。また、斜方輝石（32 粒子）および角閃石（30 粒子）の屈折率（ $\gamma \cdot n_2$ ）は、順に 1.706-1.713 と 1.673-1.683 である。さらに、No.4 地点の試料 1 に含まれる火山ガラス（37 粒子）の屈折率（ n ）は、1.524-1.533 である。また、No.4 地点の赤色溶結降下火砕岩（試料 8）の斜方輝石（30 粒子）の屈折率（ γ ）は、1.703-1.714 である。



写真 1. No.2 地点・試料 48 (落射光) : わずかに灰色がかった白色や白色の軽石および軽石型ガラスが多く含まれている。背後は 1 mm メッシュ。

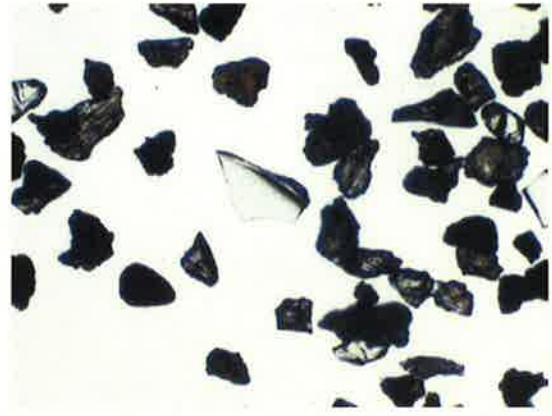


写真 4. No.2 地点・試料 49 の顕微鏡写真 (透過光)
中央 : バブル型ガラス (無色透明)。 0.2mm



写真 2. No.3 地点・試料 11 (落射光) : 白色の軽石や軽石型ガラスが多く含まれている。背後は 1 mm メッシュ。

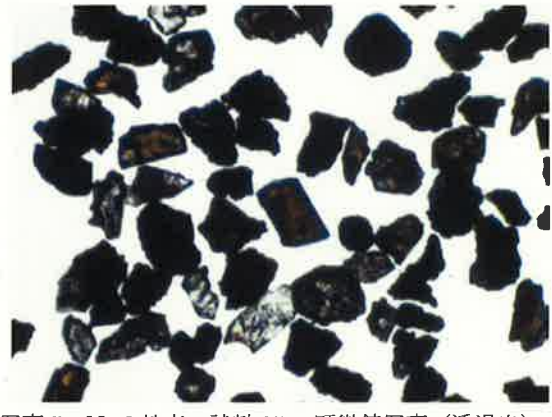


写真 5. No.2 地点・試料 25 の顕微鏡写真 (透過光)
中央など (おもに褐色) : 斜方輝石。 0.2mm



写真 3. No.4 地点・試料 1 の顕微鏡写真 (落射光) : 淡灰色、淡褐色、褐色の軽石型ガラスが多く含まれている。背後は 1 mm メッシュ。



写真 6. No.4 地点・試料 8 の顕微鏡写真 (透過光)
中央左など (おもに褐色) : 斜方輝石。中央右下 (緑色) : 単斜輝石。 0.2mm

表 1. 屈折率測定結果

試料 (テフラ)	火山ガラス		斜方輝石		角閃石		文献
	屈折率 (n)	粒子数	屈折率 (γ)	粒子数	屈折率 (n ₂)	粒子数	
岩神の飛石・No.2 地点・試料 25(岩神の飛石)			1.702-1.710	30			本報告
岩神の飛石・No.2 地点・試料 48	1.522-1.525	32	1.701-1.707	30			本報告
岩神の飛石・No.3 地点・試料 11	1.504-1.508	34	1.706-1.713	32	1.673-1.683	30	本報告
岩神の飛石・No.4 地点・試料 1	1.524-1.533	37					本報告
岩神の飛石・No.4 地点・試料 8 (岩神の飛石)			1.703-1.714	30			本報告
< 関東地方北西部のおもな後期更新世指標テフラ >							
浅間 A (As-A, 1783 年)	1.507-1.512		1.707-1.712				2)
浅間 B (As-B, 1108 年)	1.524-1.532		1.708-1.710				2)
榛名二ツ岳伊香保 (Hr-FP, 6 世紀中葉)	1.501-1.504		1.707-1.711		1.672-1.677		2)
榛名二ツ岳渋川 (Hr-FA, 6 世紀初頭)	1.500-1.502		1.707-1.711		1.671-1.695		2)
	1.499-1.504						3)
(藤岡市内低純度試料)	1.502-1.508						1)
榛名有馬 (Hr-AA, 5 世紀)	1.500-1.502		1.709-1.712		1.671-1.677		4)
浅間 C (As-C, 3 世紀後半)	1.514-1.520		1.706-1.711				2)
浅間 D 軽石 (As-D, 約 4,500 年前 *1)	1.513-1.516		1.706-1.708				2)
草津白根熊倉 (KS-Ku)			1.711-1.715				5)
浅間六合 (As-Kn)			1.706-1.708				5)
鬼界アカホヤ火山灰 (K-Ah, 約 7,300 年前)							
浅間藤岡軽石 (As-Fo, 約 8,200 年前 *1)	1.508-1.516		1.706-1.710				5)
浅間総社 (As-Sj, 約 1.0 ~ 1.1 万年前 *1)	1.501-1.518		1.706-1.711				6)
浅間小諸 2 (As-Km2)	1.501-1.503		1.708-1.711				2)
浅間草津 (As-K)	1.501-1.503		1.707-1.712				2)
浅間小諸 1 (As-Km1)	1.501-1.503		1.708-1.713				2)
浅間板島黄色 (As-YP, 約 1.5 ~ 1.65 万年前)	1.501-1.505		1.707-1.712				2)
浅間大沼沢 2 (As-Ok2, 約 1.6 万年前 *1)	1.502-1.504		1.704-1.709				2)
浅間大窪沢 1 (As-Ok1, 約 1.7 万年前 *1)	1.500-1.502		1.704-1.709				2)
浅間白糸 (As-Sr)	1.506-1.510		1.702-1.708		1.675-1.680		2)
浅間萩生 (As-Hg, 約 1.9 万年前 *1)	1.500-1.502		1.703-1.709				5)
浅間板鼻褐色 (群) (As-BP Group)		上部	1.515-1.520	1.707-1.714			2)
		中部	1.508-1.511	1.700-1.709			2)
		下部	1.505-1.515	1.710-1.725			2)
始良 Tn 火山灰 (AT, 約 3 万年前)							
榛名箱田 (Hr-HA)			1.709-1.712		1.670-1.677		5)
赤城追分 (Ag-KP, 約 4.5 万年前以前)	1.504-1.508		1.707-1.710		1.671-1.678		2)
榛名八崎 (Hr-HP, 約 5 万年前)	1.505-1.508		1.708-1.712		1.670-1.677		2)
赤城行川 1 (Ag-Nm1)			1.705-1.711				2)
赤城行川 2 (Ag-Nm2)			1.703-1.711				2)
赤城大胡 (Ag-Og)	1.509-1.511		1.707-1.713				2)
大山倉吉軽石 (DKP, 約 5.5 万年前以前)							
赤城水沼 1 (Ag-Mz1, 約 5.5 ~ 6 万年前)			1.702-1.711				2)
赤城追分 (Ag-Ok)	1.510-1.514		1.705-1.710		1.682-1.687		2)
阿蘇 4 火山灰 (Aso-4, 約 8.5 ~ 9 万年前)							
御岳第 1 軽石 (On-Pm1, 約 9.5 ~ 10 万年前)							
赤城水沼 6 (Ag-Mz6)			1.702-1.711				2)
赤城水沼 9, 10 (Ag-Mz9,10)	1.506-1.511		1.703-1.710		1.668-1.679		2)
赤城富士見 (Ag-Fj)	1.501-1.504		1.708-1.713				1)

1): 新井・早田 (未公表), 2): 町田・新井 (2011), 3): 早田 (2014), 4): 町田ほか (1984), 5): 早田 (1996), 6): 早田 (未公表). 本報告

3). 6): 温度変化型屈折率測定法 (壇原, 1993), 1) ~ 2), 4): 温度一定型屈折率測定法 (新井, 1972・1993)

*1: 放射性炭素 (¹⁴C) 年代.

(5) 考察

指標テフラの検出・同定

No.1~No.4 地点のボーリング・コアにおいて、赤色溶結降下火砕岩の下位から検出されたテフラのうち、無色透明のバブル型ガラスに関しては、その特徴から、約3万年前に南九州の始良カルデラから噴出した始良 Tn 火山灰(AT, 町田・新井, 1976, 2003, 2011) に由来する可能性が高い。このATは、前橋市街地南部に位置する群馬県立文書館(前橋市文京町)敷地内のボーリング調査の際に、前橋泥流堆積物(新井 1967, 以下, Mmfl とする)の直下から検出されている(故新井房夫群馬大学名誉教授、個人談話)。

このAT検出層準から赤色溶結降下火砕岩の下位の泥質堆積物にかけて検出される、わずかに灰色がかった白色や白色の軽石やその細粒物である軽石型火山ガラスについては、斜方輝石および単斜輝石に富む、いわゆる両輝石型の重鉱物組成をもつことや、斜方輝石の屈折率特性から、浅間板鼻褐色軽石群(As-BP Group)の中部に由来するものが含まれている可能性がある。ただ、今回得られた高い屈折率特性をもつ火山ガラスは、まだAs-BP Groupでは認められていないことから、さらに慎重に検討する必要がある。

No.3 地点において2層準検出された白色軽石を含む洪水堆積物のうち、試料11が採取された下位の堆積物中に含まれる軽石粒子は、色調、重鉱物の組み合わせ、火山ガラス、斜方輝石および角閃石の屈折率特性から、榛名火山起源と考えられる。最近の測定分析により、これまで知られている火山ガラスのrangeがより広いこと(早田 2014)や、これまでの測定分析が降下テフラがおもで火砕流堆積物についてはあまり実施されてないことを考慮すると、試料11に含まれるテフラ粒子の多くは、古墳時代に榛名火山で発生した榛名二ツ岳の3回の噴火(町田ほか, 1984など)に由来する可能性が十分にある。中でも、後の6世紀初頭のHr-FAの噴火および6世紀中葉のHr-FPの噴火が大規模で、噴火に伴って、火山泥流が発生して下流域に到達したことが判明している(早田 1989)。

今回、No.3 地点において、前期河成堆積物の中位から検出された軽石質洪水堆積物(試料11)については、降下テフラ層が伴っていないことから、Hr-FAかHr-FPのいずれに関係するものかは不明であるが、これらの火山泥流に関係した堆積物であると推定できよう。

No.4 地点において試料1が採取された粗粒火山灰層は、層相、軽石および火山ガラスの岩相および火山ガラスの屈折率特性、そして重鉱物の組み合わせから、1108(天仁元)年に浅間火山から噴出した浅間Bテフラ(As-B, 荒牧 1968, 新井 1979)に同定される。このテフラに由来する軽石型ガラスは、No.3 地点において試料8より上位の試料から検出される。したがって、As-Bの層位は、前期河成堆積物の上部にあると考えられる。

これら以外にも、岩神の飛石の上位には数多くのテフラが存在しているが、それらは河川による浸食作用などで流失していたり、土壌化による攪乱作用により散逸していると推定される。

前橋泥流堆積物(Mmfl)の基底高度と岩神の飛石の関係

複数の赤色の溶結降下火砕岩のブロックから構成される岩神の飛石の下位の泥質堆積物は、層相や層位から、Mmflと考えられる。前橋台地とその周辺におけるMmflの基底の深度に関しては、新井(1971)が記載したボーリング調査の結果から地点によっては地表面下15mを越える。そして、早田(2000a)も前橋周辺での層厚は15m前後と記載している。

今回、最初のコア観察段階では、Mmflの基底を、やや赤みを帯びた層相や赤色溶結降下火砕岩(実際には風化により軟化している場合もある)の多さ、特徴的な軽石や軽石型ガラスの濃集層準などから、

比較的浅い深度にあると考えた(案A)。この想定は、岩神の飛石に近接する旧前橋気象台構内のボーリングデータの解析(新井 1971)とも矛盾はしない。

しかしながら、分析を進めるにしたがって、No.1地点の深い部分にも特徴的な軽石や軽石型ガラスが散在していることが明らかになったこと、ATに由来する無色透明のバブル型ガラスがNo.2の海拔100m付近に多いものの、ほかのコアでもより下位の層準から微量ながら検出されることから、特徴的な軽石や軽石型ガラス、さらにAT起源の火山ガラスの濃集は降灰層準を示しているのではなく、Mmfl中に取り込まれたもの分散の程度を示していると考えようになり、より下位の案B(基底の高度:海拔97m前後)を想定した。

さらに、コアの再観察の結果で指摘された層界があまり明瞭ではないことや、AT起源の火山ガラスの濃集の程度の低さを考えると、より下位に前橋泥流堆積物の基底がある可能性も指摘できる(案C)。ただし、早田(2000)で記載されている層厚を考慮すると、その基底は、今回のボーリング到達深度からそうかけ離れているとは考えにくい。今後、やはり近接している群馬大学医学部構内におけるボーリング調査の結果なども合わせて、岩神の飛石付近の地質構造を解明すると良い。

以上のことから、岩神の飛石と呼ばれている赤色溶結降下火砕岩群は、この前橋泥流堆積物の下部付近にいわゆる「根」があり、上半部が地表に露出していると推定される。この巨大な赤色溶結降下火砕岩群があったために、下流側にあたるNo.1地点では、Mmflが浸食を免れて比較的厚く残っているように思われる。

岩神の飛石の起源

前橋泥流堆積物の起源については、以前は漠然と榛名火山と考えられていたらしい(新井 1971)。その後、堆積物の分析や包含される埋木の観察の観察や放射性炭素(^{14}C)年代測定が実施され、 ^{14}C 年代で約2.4万年前¹⁾に浅間山で発生した山体崩壊に由来する比較的低温の泥流堆積物と考えられるようになった(新井 1967・1971)。なお、当時は、山体崩壊に伴って発生する岩屑なだれという現象はほとんど知られておらず、「泥流」と一括して呼ばれていた。

その後の地質調査により、前橋泥流堆積物は、層相や堆積面上に流れ山地形が存在していたことなどから、岩屑なだれであると考えられるようになった(早田 2000aなど)。ただし、実際には前橋市域付近では泥流堆積物のような層相を示していることが多い。前橋市総社の利根川右岸の露頭では、起源を異にする火山体構成物がいわゆるパッチワーク状に混在して堆積しており、岩屑なだれ堆積物に特徴的な層相を認めることができる。また、最近では土地改良のために前橋市域ではほとんど認められないものの、前橋市域や高崎市域の数遺跡のように、考古遺跡の発掘調査の際に、岩屑なだれ堆積物の上面に特徴的な流れ山地形の痕跡が検出されている(早田 2000b)。

ただ、これまで、岩神の飛石に関しては、岩相や、類似した巨礫の分布との関係などから、赤城火山の火口付近で形成された溶結降下火砕岩が赤城火山の山体崩壊に伴って山麓まで押し出され、その後、浅間火山の山体崩壊に関係する前橋泥流により現在の地点まで運ばれてきたと考えられてきた(たとえば新井 1971)。しかしながら、故新井房夫群馬大学名誉教授自身も、明確な根拠をもとにした考えではないことを認識し、同種の赤色溶結降下火砕岩に関する調査分析を行っていたらしい(故新井房夫群馬大学名誉教授:個人談話)。

今回の分析では、岩神の飛石が両輝石型の重鉱物の組み合わせをもつことが追認された上に、重鉱物の屈折率特性から、浅間板鼻褐色軽石群(As-BP Group)の中部(新井 1962、町田・新井 1992、早田 1996、関口他 2011など)によく似ているように思われる。

なお、列島規模でテフラ同定の基準として広く利用されているテフラ・カタログ(町田・新井 1992・2003・2011)でのAs-BP Groupの上部、中部、下部の3区分は、鉱物の組み合わせや、火山ガラスおよび斜方輝石の屈折率特性による区分であることから注意を要する。中部は、As-BP Groupの最下部の室田軽石の主体部を含む、As-BP Groupのほとんどを占める(関口他 2011)。前橋泥流のもとになった浅間火山黒斑山の山体崩壊は、この中部の降灰期間に発生していることから、岩神の飛石の起源の可能性のあるAs-BP Group中部は、当然のことながら黒斑山の山体崩壊前に噴出したものを指す。

いずれにしても、岩神の飛石の起源を明確にするためには、赤城火山起源のテフラの全貌や、浅間火山やその周辺の溶結降下火砕岩の有無や特徴に関する調査が必要となる。

岩神の飛石形成後の周辺河川の流況

今回のボーリング調査の実施地点の数は少ないものの、岩神の飛石形成後に泥質の河成堆積物の形成があった可能性も否定できないが、少なくとも最近の河成堆積物形成の早い段階には、岩神の飛石の東方あるいは東西両側を、河川が流下していた可能性が考えられる。その後、As-Bの降灰前のある時期には、河川が岩神の飛石の東側を流れていたようである。そして、As-B降灰後には、西側を河川が流れたことがボーリング柱状図から読み取れる。

この河川に関しては、現在の広瀬川の前身の河川の蛇行の影響も考えられるが、利根川の流路の変化傾向(早田 2000c)とも調和していて興味深い。今後、岩神の飛石周辺での遺跡発掘調査などで微地形の形成史の検討が実施されると、周辺での遺跡形成過程の解明にも有効と期待される。

(6) まとめ

岩神の飛石周辺で実施されたボーリング調査で得られたコア試料の観察をおこなうとともに、採取した試料を対象にテフラ分析(テフラ検出分析および火山ガラス・鉱物の屈折率測定)を実施した。その結果、岩神の飛石と言われている赤色溶結降下火砕岩のブロック群の直下に、前橋泥流と呼ばれてきた岩屑なだれ堆積物が堆積していることを確認した。その堆積物中には、始良Tn火山灰(AT:約3万年前)に由来する特徴的な火山ガラスや浅間板鼻褐色軽石群(As-BP Group)の中部に似ているテフラ粒子が認められた。また、赤色溶結降下火砕岩自体も、含まれる重鉱物の組み合わせや斜方輝石の屈折率特性がAs-BP Groupの中部に似ていることが明らかになった。

さらに、岩神の飛石より上位の河成堆積物の形成は、少なくとも2期に区分され、比較的早い段階では河川の流路が岩神の飛石の東西両側か東側、その後東側に移り、浅間Bテフラ(As-B:AD1108年)降灰後になって西側に移動した可能性が指摘された。

註1 実年代とは異なる。

文献(著者名のアルファベット順)

- 新井房夫 1962 関東盆地北西部地域の第四紀編年、「群馬大学紀要自然科学編」、10:1-79.
新井房夫 1967 前橋泥流の噴出年代と岩宿I文化期、「地球科学」、21:46-47.
新井房夫 1971 「前橋市の自然地理的環境」、『前橋市史 第1巻』(前橋市史編纂委員会編)、pp.1-104.
新井房夫 1972 斜方輝石・角閃石の屈折率によるテフラの同定—テフクロノロジーの基礎的研究、「第四紀研

- 究」、11 : 254-269.
- 新井房夫 1979 関東地方北西部の縄文時代以降の示標テフラ層、「考古学ジャーナル」、(157) : 41-52.
- 新井房夫 1993 「温度一定型屈折率測定法」、『第四紀試料分析法 2』(日本第四紀学会編)、東京大学出版会、pp.138-149.
- 荒牧重雄 1968 浅間火山の地質、「地団研専報」、(14) : 1-68.
- 壇原 徹 1993 「温度変化型屈折率測定法」、『第四紀試料分析法 2』(日本第四紀学会編)、東京大学出版会、pp.149-158.
- 町田 洋・新井房夫 1976 広域に分布する火山灰：始良 Tn 火山灰の発見とその意義、「科学」46 : 339-347.
- 町田 洋・新井房夫 1978 南九州鬼界カルデラから噴出した広域テフラアカホヤ火山灰、「第四紀研究」、17 : 143-163.
- 町田 洋・新井房夫 1992 『火山灰アトラス：日本列島とその周辺』、東京大学出版会、276p.
- 町田 洋・新井房夫 2003 『新編火山灰アトラス：日本列島とその周辺』、東京大学出版会、336p.
- 町田 洋・新井房夫 2011 『新編火山灰アトラス：日本列島とその周辺 (第2刷)』、東京大学出版会、336p.
- 町田 洋・新井房夫・小田静夫・遠藤邦夫・杉原重夫 1984 「テフラと日本考古学：考古学研究に関するテフラのカタログ」、『古文化財研究に関する保存科学と人文・自然科学』(古文化財編集委員会編)、pp.865-928.
- 関口博幸・下岡順直・早田 勉 2011 群馬の旧石器編年のための基礎的研究：関東地方北西部における石器群の出土層位・テフラ層序・数値年代の整理と検討、「(財)群馬県埋蔵文化財調査事業団研究紀要」、(29) : 1-20.
- 早田 勉 1989 6世紀における榛名火山の二回の噴火とその災害、「第四紀研究」27 : 297-312.
- 早田 勉 1990 「群馬県の自然と風土」、『群馬県史通史編 1 原始古代 1』(群馬県史編纂委員会編)、pp.37-129.
- 早田 勉 1996 関東地方～東北地方南部の示標テフラの諸特徴：とくに御岳第1テフラより上位のテフラについて、「名古屋大学加速器質量分析計業績報告書」VII : 256-267.
- 早田 勉 2000a 「火山活動の影響を受けた利根川扇状地の地形」、『日本の地形 4 関東・伊豆小笠原』(貝塚爽平他編)、東京大学出版会、pp.191-194.
- 早田 勉 2000b 「浅間火山：プリニー式噴火を繰り返す若い成層火山」、『日本の地形 4 関東・伊豆小笠原』(貝塚爽平他編)、東京大学出版会、pp.64-67.
- 早田 勉 2000c 「吾妻川流域：浅間火山と榛名火山の噴火の影響を受けた河川地形」、『日本の地形 4 関東・伊豆小笠原』(貝塚爽平他編)、東京大学出版会、pp.79-81.
- 早田 勉 2014 「渋川市有馬寺畑遺跡におけるテフラ分析」、『有馬寺畑遺跡—古巻中部 土地改良事業に伴う発掘調査報告』(渋川市教育委員会)、pp.197-211.
- 田中鑿泉重工株式会社 2014 『国指定天然記念物岩神の飛石地質調査業務委託報告書』、17p.

5. 「岩神の飛石」の起源に関する岩石学的調査と分析

群馬県立自然史博物館 菅原久誠

(1) 調査の主旨

岩神の飛石の起源は、10 万年前以前の赤城山噴火で形成された火山岩であるとする仮説と、浅間火山の山体崩壊後に約 2 万 4000 年前の前橋泥流（新井 1967）以前の浅間火山噴火で形成された火山岩を起源とする仮説が存在する。しかしながら、これらの仮説は、岩神の飛石を試料として用いた記載岩石学および地球化学的検討に基づいていないため、いずれの仮説も確証に至っていないのが現状である。したがって本調査では、岩神の飛石を初めて研究試料として用いて記載岩石学および地球化学的特徴を明らかにし、それらの結果に基づいて起源を推定することを目的とした。

(2) 研究方法

岩神の飛石の起源に関する調査では、①岩神の飛石の採集・岩石記載、②浅間山および赤城山起源の岩石の採集・岩石記載ならびに③岩神の飛石およびこれに類似する岩石の化学組成分析を行った。

試料の採集は、岩神の飛石の岩相記載を行った後、外観を保持するため、柵外から見えない岩神の飛石中腹部において行った。採集した試料の岩石研磨片および岩石薄片を作成し、肉眼および群馬県立自然史博物館に設置されている偏光顕微鏡で観察した。

岩神の飛石の岩石記載に基づき、利根川と吾妻川の流域および周辺部ならびに赤城山および浅間山の山体から、岩神の飛石と類似する岩石の採集を行った。岩石の肉眼観察で試料の選定を行い、特に岩神の飛石と類似する試料の岩石薄片を作成し、それらの試料について岩石記載を行った。

岩神の飛石およびこれに類似する岩石の化学組成分析では、全岩化学組成分析と鉱物化学組成分析を採用した。全岩化学組成分析では、岩石研磨片を対象とした肉眼観察結果に基づき、岩石の全岩化学組成分析に適した部分の粉末を作成し、これらを用いてガラスビードを作成した。ガラスビードは全岩主要元素分析を行う際に使用される。全岩化学組成分析は、愛媛大学大学院理工学研究科に設置されている走査型蛍光 X 線分析装置（Rigaku ZSX Primus II）を用いて分析した。鉱物化学組成分析では、岩石記載に使用した岩石薄片試料を、細粒研磨剤（1 μm ダイヤモンドスラリー）を用いて鏡面研磨し、炭素蒸着を施した後に、愛媛大学大学院理工学研究科に設置されているエネルギー分散型 X 線分析装置（Oxford X-Max 50）付属の走査型電子顕微鏡（JEOL JSM-6510LV）を用いて岩神の飛石に含まれる斑晶鉱物最外縁部の化学組成分析を行った。

(3) 結果

岩神の飛石の産状記載および岩石試料採集

表面の肉眼観察に基づくと、岩神の飛石は空隙に乏しい赤褐色溶岩および空隙に富む赤褐色火砕岩（火山砕屑岩）の互層で構成されることがわかった。両者は北に傾斜した互層として産する（図 1）。

岩神の飛石の大部分を構成するのは、空隙に乏しい赤褐色溶岩である。赤褐色溶岩は、しばしば淡褐色軽石を含む。一方、赤褐色溶岩に、空隙に富む赤褐色火砕岩が数枚の層として挟在する。

肉眼観察で区分した赤褐色溶岩と赤褐色火砕岩の試料採集は、外観の損傷を最小限に抑えるため、岩神の飛石中腹の凹部において行われた（図 2a）。岩神の飛石の凹部は、土壌と種子などの植物で覆われている場所が多いため（図 2b）、それらのような比較的風化が促進する場を避けるように留意した。前

述の 2 種類の岩相が隣接する飛石中腹部から、ハンマーを用いて合計 6 試料の採集を行った (図 2c-f)。

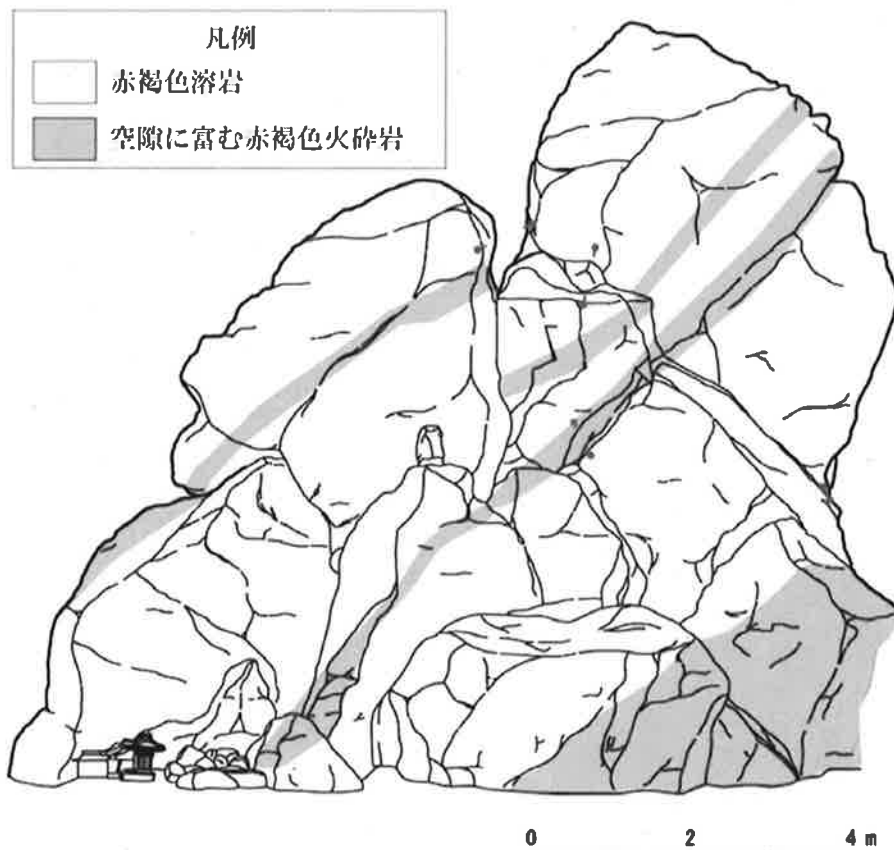


図 1. 西から見た岩神の飛石本体部分の立面図における岩相概略図

岩神の飛石の岩石記載

岩石研磨片の肉眼観察に基づくと、岩神の飛石は淡褐色の軽石と肉眼で確認できる大きさの斑晶鉱物を含む赤褐色溶岩および空隙に富む火砕岩で構成されることが明らかになった。赤褐色溶岩は、斑晶鉱物に富む赤褐色溶岩、少数の淡褐色軽石、岩片および破碎された斑晶鉱物を含む濃赤褐色または黒色ガラス質の基質によって構成される (図 3a)。一方、空隙に富む赤褐色火砕岩は、斑晶鉱物に富む赤褐色溶岩と淡褐色軽石によって構成され、溶岩の構造的境界部または溶岩と軽石の境界部に空隙が卓越する (図 3b)。

いずれにおいても、赤褐色溶岩は不定形の流動様構造を呈しており、境界部に淡褐色軽石は構造が見られる空隙を埋めるようにして産出する。

岩石薄片の偏光顕微鏡観察に基づくと、赤褐色溶岩を構成する斑晶鉱物組み合わせは、斜長石、単斜輝石および斜方輝石あることが明らかになった (図 4a・b)。基質は主にガラスで構成される。単斜輝石および斜方輝石は自形から半自形であり、しばしば数 μm から $30\mu\text{m}$ 程度のガラスおよび不透明鉱物を、稀に最大約 $100\mu\text{m}$ の斜長石を包有する (図 4c・d)。斑晶鉱物である斜長石の多くは自形であり、累帯構造を有するものが多数認められる (図 4e・f)。斜長石の多くは、単斜輝石・斜方輝石と同様にしばしばガラス包有物に富む。また、波動累帯構造または不均質組成を有する斜長石も少数産出する。

(4) 岩神の飛石と類似する岩石の採集および肉眼観察に基づく試料の選別

本調査では、岩神の飛石に類似する赤褐色溶岩または火砕岩を、県内の 23 箇所から採集した。これらの採集基準は、岩神の飛石と外観が類似しており、かつ岩神の飛石が運搬されてきた可能性のある経路の上流に産出するものである。平成 26 年度までに行った調査では、19 試料の採集を行っており、平成 27 年度の調査では前年度に岩神の飛石と類似する可能性があるとして予察され、検討箇所が上がっていた烏帽子岳、黒斑山のトーミの頭、黒斑山尾根および赤城山のラシラシ沢溶岩で採集した岩石試料 4 点を追加した。

採集した岩石試料は採集した岩石の切断面の観察に基づき、岩石試料の外観およびより新鮮な内部において、岩神の飛石と同様に赤褐色であるものを選定した。次に、岩神の飛石の岩相として特徴的である淡褐色軽石を含む溶岩または火砕岩である点ならびに肉眼で確認できる斑晶鉱物の大きさと種類に着目し、さらに選定を行った。この結果、中之条町指定天然記念物であるとうけえ石（以後、赤岩 2 またはとうけえ石と呼ぶ）、坂東橋東岸の露頭で採集された赤褐色溶岩（赤岩 3 または坂東橋）、佐久市の赤岩弁天神社の赤褐色岩（赤岩 4 または赤岩弁天）、烏帽子岳山頂の赤褐色溶岩（赤岩 5 または烏帽子岳）、黒斑山のトーミの頭（赤岩 6 またはトーミの頭）における露頭の赤褐色岩および黒斑山尾根に産する赤褐色岩（赤岩 7 または黒斑山尾根）と詳細な岩石記載と岩石の化学組成分析を行う試料として選出した（図 5）。

(5) 岩神の飛石および類似する試料の岩石記載

岩神の飛石および類似する試料の溶岩に相当する部分の岩石記載を行った（図 6・7 および表 1）。岩神の飛石およびとうけえ石は記載岩石学的特徴が酷似しており、どちらも単斜輝石、斜方輝石および斜長石の斑晶鉱物を含み、主にガラスに富む基質で構成される。稀に破砕された斑晶鉱物や他形様の融食構造が見られることがあるが、多数の斑晶鉱物の自形性は高い（図 6）。坂東橋の赤褐色岩は、岩神の飛石と比較して粗粒で短柱状の斜長石および斜方輝石を斑晶鉱物とし、ガラスに富む基質で構成される（図 6）。赤岩弁天の赤褐色岩に含まれる斑晶鉱物は、岩神の飛石に含まれる斑晶鉱物より小さいが、単斜輝石、斜方輝石および斜長石の斑晶鉱物組み合わせとガラスに富む基質で構成される組織は岩神の飛石の特徴と類似する（図 6）。烏帽子岳と黒斑山尾根の赤褐色溶岩は、単斜輝石、斜方輝石および斜長石の斑晶鉱物ならびにガラスおよび細粒な斜長石・輝石で構成される（図 7）。トーミの頭の露頭で採集した赤褐色岩の斑晶鉱物組み合わせは斜方輝石および斜長石であり、比較的斑晶鉱物の数が少ない。基質の特徴は、著しくガラスに富み、しばしば発泡痕が見受けられる（図 7）。

(6) 岩神の飛石の地球化学分析結果

全岩化学組成分析

火山岩の岩石名は、蛍光 X 線分析装置を用いた全岩分析の結果のうち、 SiO_2 と $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ の分析値に基づき決定される (Cox *et al.* 1979, Wilson 1989, Miyashiro 1978, 周藤・小山内 2002)。本調査で行った全岩分析結果に基づくと、全ての試料が安山岩に分類されることが明らかになった（図 9）。 SiO_2 とその他の主要元素の化学組成を比較すると、岩神の飛石に最も化学組成値が類似しているのはとうけえ石であることがわかった（図 8・9）。

主な構成鉱物の化学組成分析

エネルギー分散型 X 線分析装置を用いて、岩神の飛石およびこれに類似する岩石に含まれる斑晶鉱物

の最外縁部の化学組成分析を行った(図 10・11)。分析点数は、岩神の飛石 30 点(斜長石 16 点、斜方輝石 7 点、単斜輝石 7 点)、とうけえ石 30 点(斜長石 14 点、斜方輝石 12 点、単斜輝石 4 点)、坂東橋 30 点(斜長石 16 点、斜方輝石 14 点)、赤岩弁天 30 点(斜長石 18 点、斜方輝石 11 点、単斜輝石 1 点)、烏帽子岳 30 点(斜長石 16 点、斜方輝石 7 点、単斜輝石 7 点)、トーミの頭 30 点(斜長石 15 点、斜方輝石 15 点)および黒斑山尾根 30 点(斜長石 19 点、斜方輝石 1 点、単斜輝石 10 点)である。

分析結果は、斜長石と輝石に区分し、岩神の飛石およびこれに類似するそれぞれの試料を比較する三角図を作成した(図 10・11)。

(7) 考察およびまとめ

本調査において、岩神の飛石の試料採集を行い、記載岩石学および地球化学的特徴を初めて明らかにした。その結果、岩神の飛石は、淡褐色軽石を含む赤褐色単斜輝石斜方輝石安山岩で構成される溶岩と火砕岩の互層で構成される転石であることが明らかになった。

岩神の飛石と、浅間山、赤城山および榛名山の火山岩または火砕岩を比較するため、本調査ではおよそ 23 地点で試料採集を行った。赤褐色を呈する火山岩または火砕岩は、浅間山を起源とする岩石だけでなく、赤城山を起源とする岩石にも見受けられる(例えば、愛宕山、坂東橋東岸露頭、ラシラシ沢溶岩など)。したがって、岩石の外見が赤褐色であることで一義的に浅間山を起源とする岩石と決めることはできない。採集した岩石の肉眼観察と偏光顕微鏡観察に基づく岩石記載の結果、岩神の飛石は中之条町指定天然記念物であるとうけえ石と最も類似することがわかった。岩神の飛石と、とうけえ石の記載岩石学的特徴は、構成鉱物、組織、全岩化学組成分析および斑晶鉱物化学組成において調和的または類似している。これらはどちらも半晶質であり、主な斑晶鉱物は斜方輝石、単斜輝石および斜長石で構成される。しばしば、斜長石、単斜輝石、斜方輝石および不透明鉱物で構成される最大 200 μm 程度の集斑晶が含まれる点においても、両者の特徴は一致する。全岩分析の結果においても、とうけえ石は他の類似する岩石の分析結果と比較して、岩神の飛石と最も類似した化学組成値を示す。鉱物化学組成分析に関しても同様である。

とうけえ石は、標高約 355 m 地点にあり吾妻川まで直線距離にして約 400 m の位置に所在する。現在の地形を基準にして考えると、利根川と吾妻川の合流地点の標高は約 175 m であり、赤城山起源の岩石が中之条町まで運搬されることは考えづらい。とうけえ石と岩神の飛石は記載岩石学的に同質であることに基づくと、これらの岩石は吾妻川沿いに運搬されたと考えるのが妥当であり、したがって、岩神の飛石の給源は浅間山方面であると考えられる。

ボーリング調査による岩神の飛石の層序学的考察では、岩神の飛石の底面は前橋泥流堆積物中に乗っていることが報告されている(本報告書の別項参照)。前橋泥流は 24,000 \pm 650yBP のイベントであることが ^{14}C 年代測定によって推定されている(新井 1967)。したがって、岩神の飛石はこの年代以前の火山噴出物を起源とすると考えるのが妥当である。

また、熱ルミネッセンス線量計を用いた予察的な年代測定の結果、岩神の飛石は数万年前程度の放射線量を示しており(本報告書の別項参照)、これに基づくと烏帽子岳を含む比較的古い火山群は岩神の飛石の給源から除外されると考えられる。

(8) 今後の課題

3 年間にわたる本調査によって、岩神の飛石およびとうけえ石の類似性に基づき、岩神の飛石の起源は吾妻川沿いに運搬されてきた浅間方面の火山噴出物であることが明らかになった。しかしながら、浅

間山のいつの噴出物であるのか、或いはどこの露頭を給源とするのかなどといった事実は明らかになっていない。これらを明らかにするために、浅間山を中心とした比較的若い年代の火山噴出物を網羅的に採集し、岩体の岩相および化学的特徴のバリエーションを含めた総合的な検討を行う必要がある。

謝辞

岩神の飛石の起源を探る調査において、「岩神の飛石」環境整備委員会出席者の方々には様々な面において大変お世話になった。岩石に関する調査内容全般において、野村 哲博士および文化庁の柴田伊廣博士にご指導いただいた。また、岩神の飛石の化学組成分析では、愛媛大学大学院理工学研究科の榎原正幸教授、中村千怜氏、末岡裕理氏、Idham Andri Kurniawan 氏、岡田 弘氏および東海薬月氏には、試料調整および化学組成分析を行う際に特別な便宜を図っていただいた。試料採集やフィールド調査において、梅沢重昭氏、火山灰考古学研究所の早田 勉博士、立正大学の下岡順直博士、群馬県埋蔵文化財調査事業団の方々、能登 健氏、小島純一氏、宮沢竜一氏には様々な便宜を図っていただいた。以上の方々に心から御礼申し上げる。

引用文献 (著者名のアルファベット順)

新井房夫 1967 前橋泥流の噴出年代と岩宿 I 文化期、「地球科学」、21 : 46-47.

Cox, K.G., Bell, .D., Pankhurst, R.J. 1979 “The Interpretation of Igneous Rocks”, George Allen and Unwin, 464p.

Miyashiro, A. 1978 Nature of Alkalic Volcanic Rock Series. ‘Contributions to Mineralogy and Petrology’, 66: 91-104.

周藤賢治・小山内康人 2002 『記載岩石学』、共立出版株式会社、237p.

高橋 康・三宅康幸 2003 上信地域烏帽子岳南西麓の溶岩類の K-Ar 年代。「火山」、49 : 207-212.

Wilson, M. 1989 “Igneous Petrogenesis”, Unwin Hyaman, 466p.

表 1. 岩神の飛石およびこれに類似する試料の岩石記載のまとめ

試料名	給源	斑晶鉱物			基質
		斜長石	斜方輝石	単斜輝石	
岩神の飛石 (赤岩1)	?	○	○	○	ガラス
とうげえ石 (赤岩2)	浅間山	○	○	○	ガラス
坂東橋 (赤岩3)	赤城山	○	○		ガラス
赤岩弁天 (赤岩4)	浅間山	○	○	○	ガラス
烏帽子岳 (赤岩5)	烏帽子岳	○	○	○	ガラス、細粒な斜長石・輝石
トーミの頭 (赤岩6)	浅間山	○	○		ガラス
黒斑山尾根 (赤岩7)	浅間山	○	○	○	ガラス、細粒な斜長石・輝石



図 2. (a) 西から見た岩神の飛石における岩石試料採集部。(b) 岩神の飛石の凹部に一般的にみられる植物、種子および土壌。(c) 空隙に乏しい赤褐色溶岩および (d) 空隙に富む赤褐色火砕岩の試料採集後の写真。採集した (e) 空隙に乏しい赤褐色溶岩および (f) 空隙に富む赤褐色火砕岩。

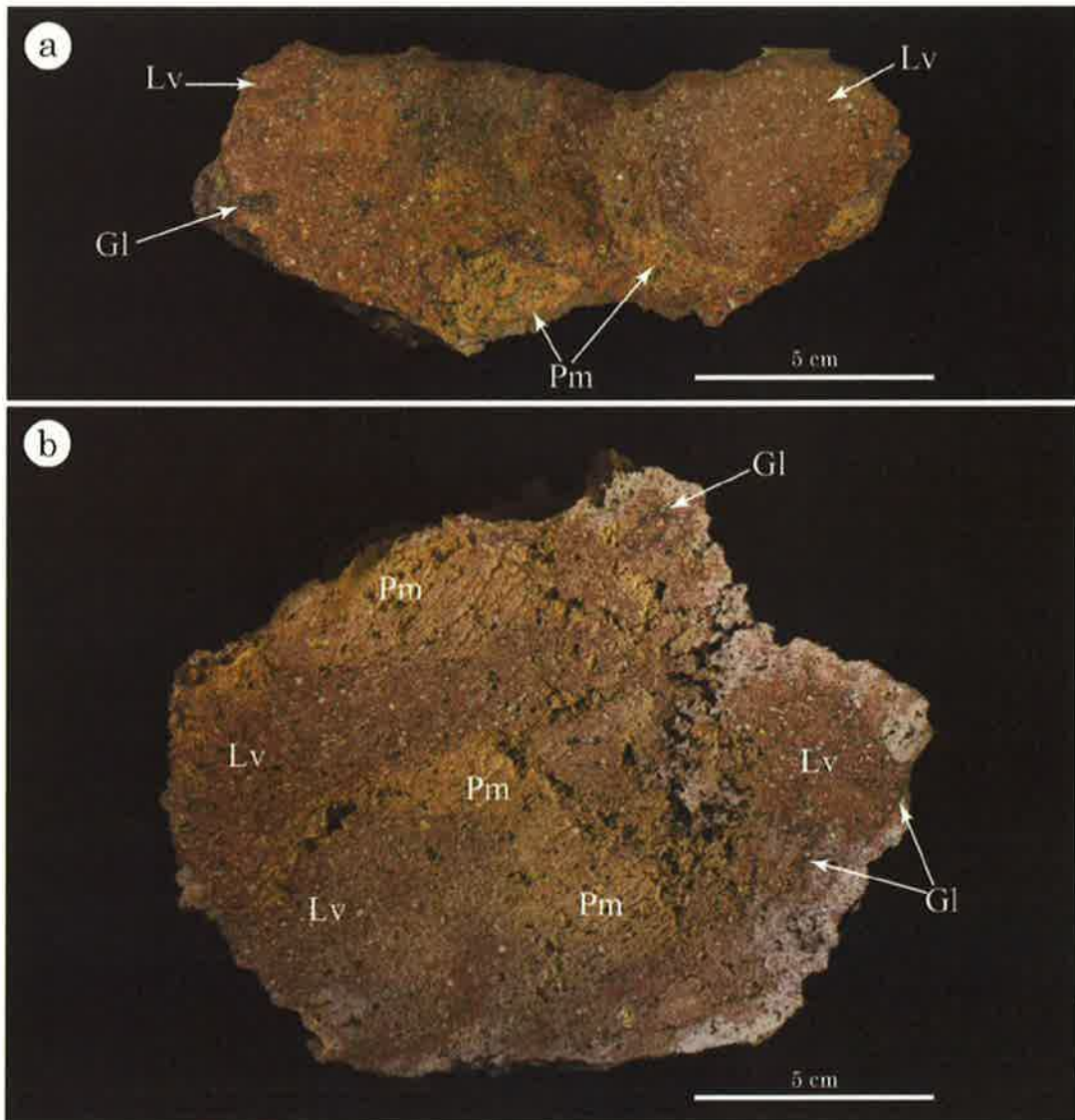


図 3. (a) 淡褐色軽石を含む赤褐色溶岩の研磨片写真。(b) 空隙に富む火砕岩の切断面写真。Gl: ガラス、Lv: 溶岩、Pm: 軽石。

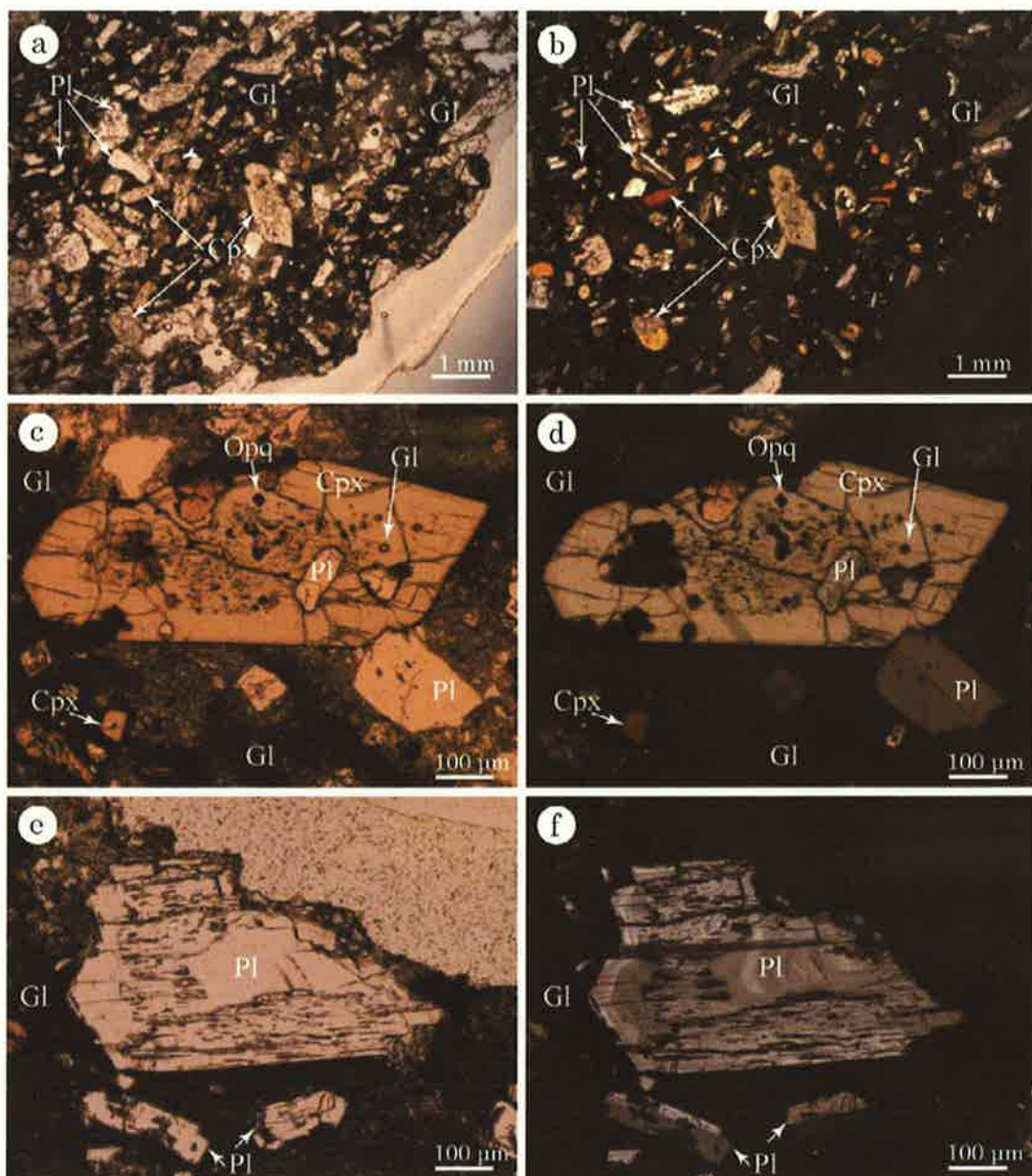


図 4. 岩神の飛石の赤褐色溶岩部における斑状組織および斑晶鉱物組み合わせを示す偏光顕微鏡写真（オープンニコル (a) およびクロスニコル (b)）。包有物に富む半自形の単斜輝石の偏光顕微鏡写真（オープンニコル (c) およびクロスニコル (d)）。波動累帯構造を有するガラス包有物に富む斜長石の偏光顕微鏡写真（オープンニコル (e) およびクロスニコル (f)）。Cpx: 単斜輝石、Gl: ガラス、Opq: 不透明鉱物、Pl: 斜長石。

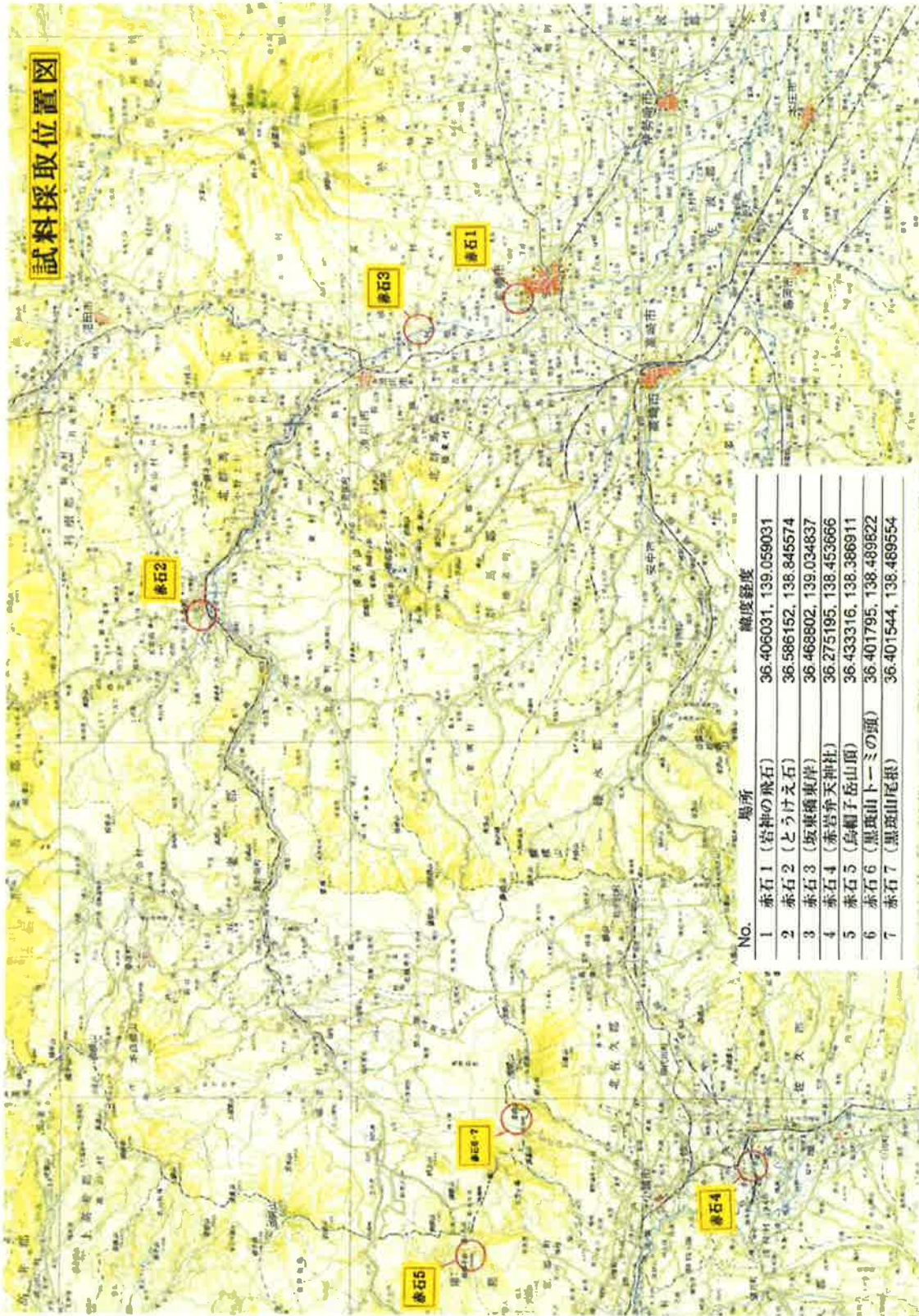


図5. 岩神の飛石および選定した岩神の飛石と類似する岩石の試料採集位置図

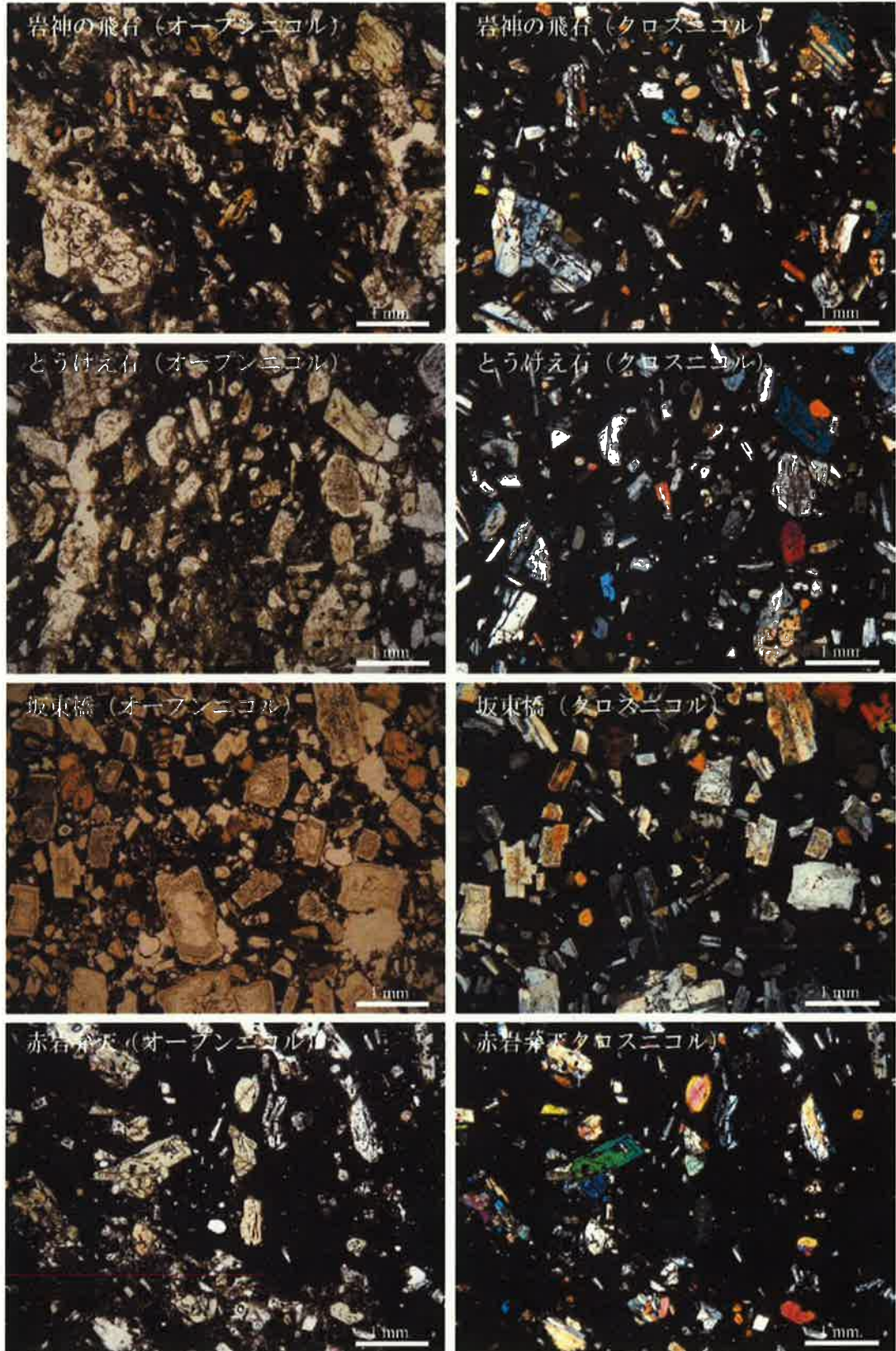


図6. 岩神の飛石、とうけえ石、坂東橋および赤岩弁天の薄片写真

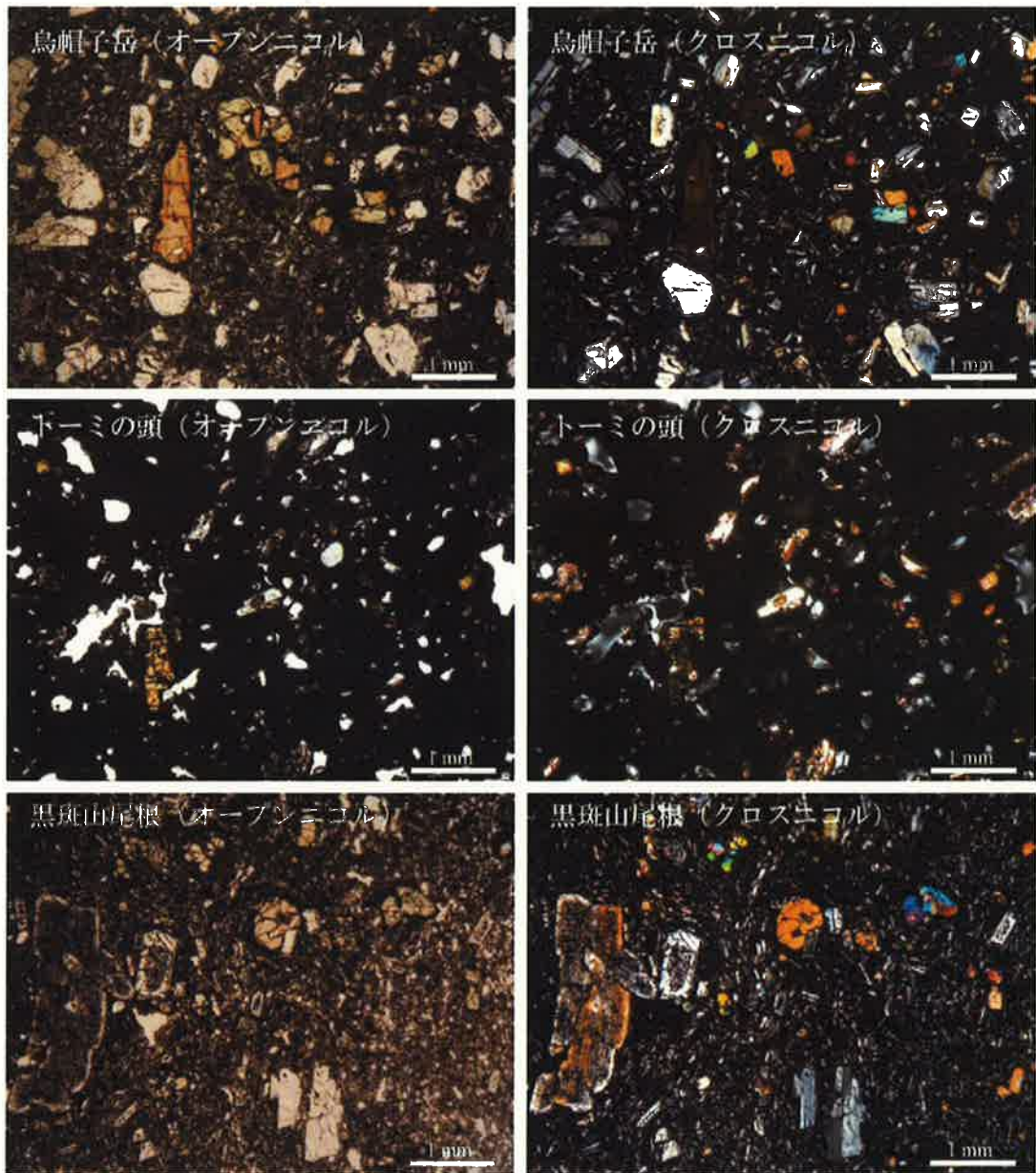


図7. 鳥帽子岳、トーミの頭および黒斑山尾根の薄片写真

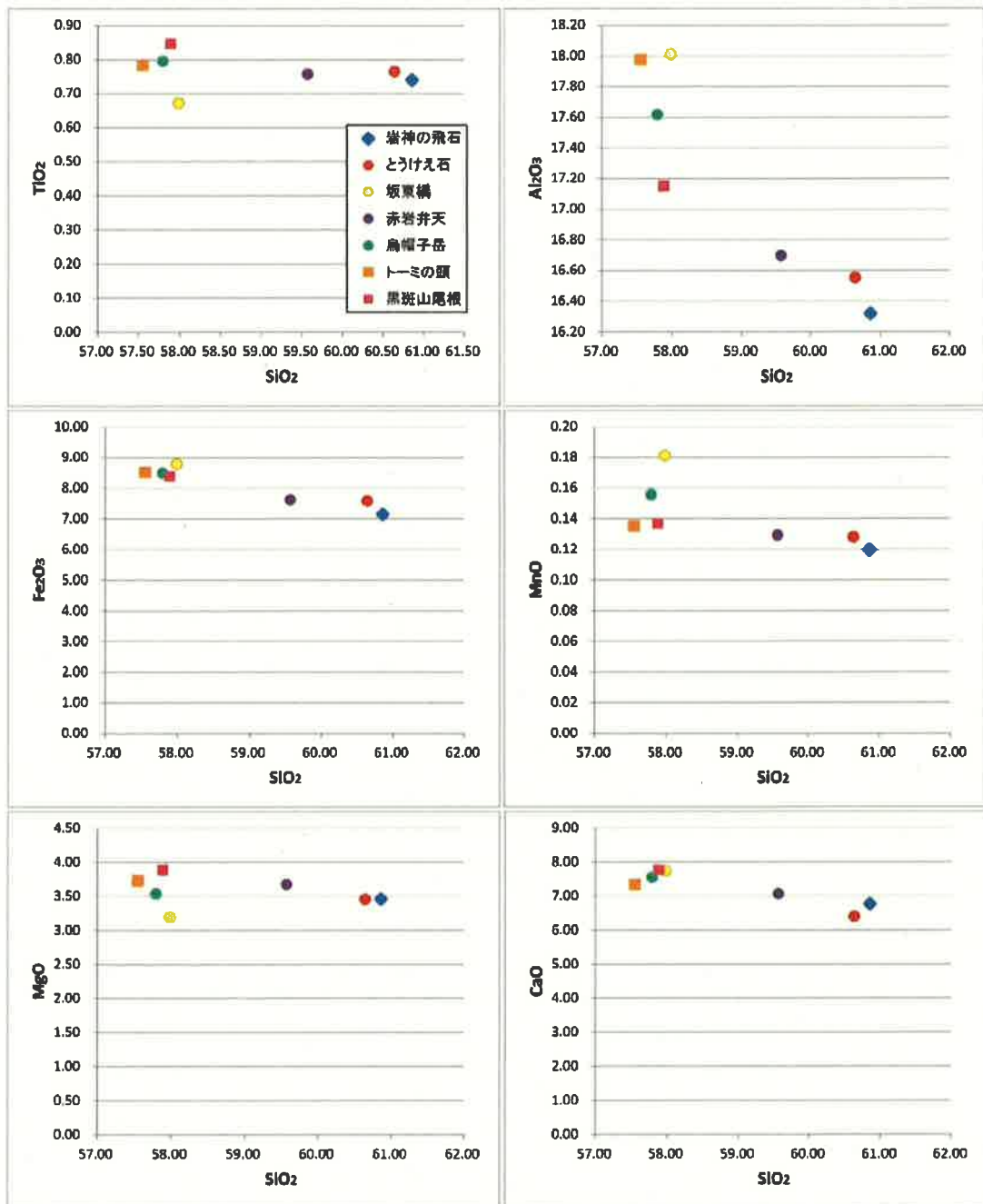


図 8. 岩神の飛石およびこれに類似する岩石試料の全岩化学組成分析のうち、TiO、Al₂O₃、Fe₂O₃、MnO、MgO および CaO のハーカー図。単位は全て重量%。

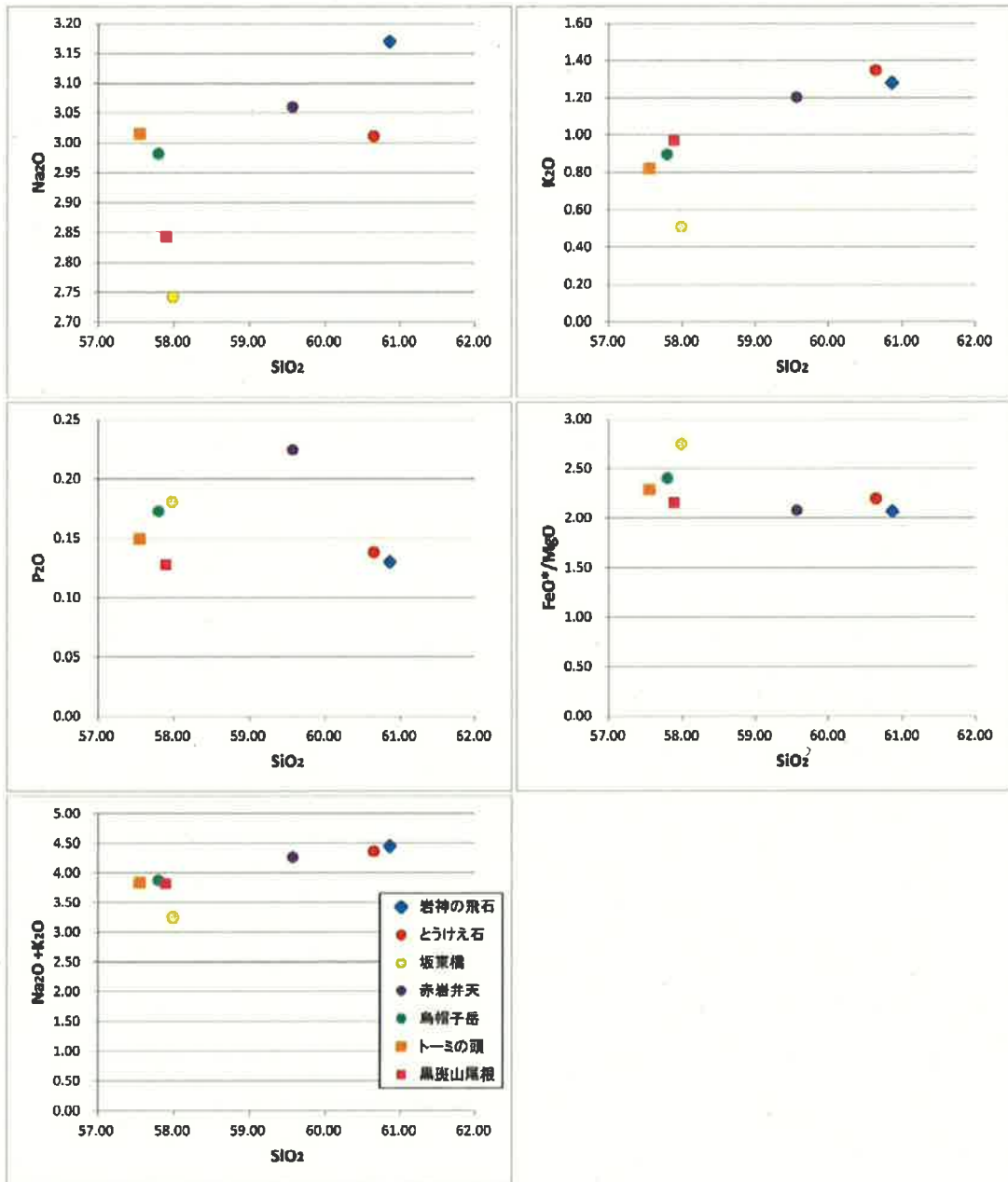


図9. 岩神の飛石およびこれに類似する岩石試料の全岩化学組成分析のうち、 Na_2O 、 K_2O 、 P_2O 、 FeO^*/MgO (Feは全て2価として計算) および $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ のハーカー図。単位は全て重量%。

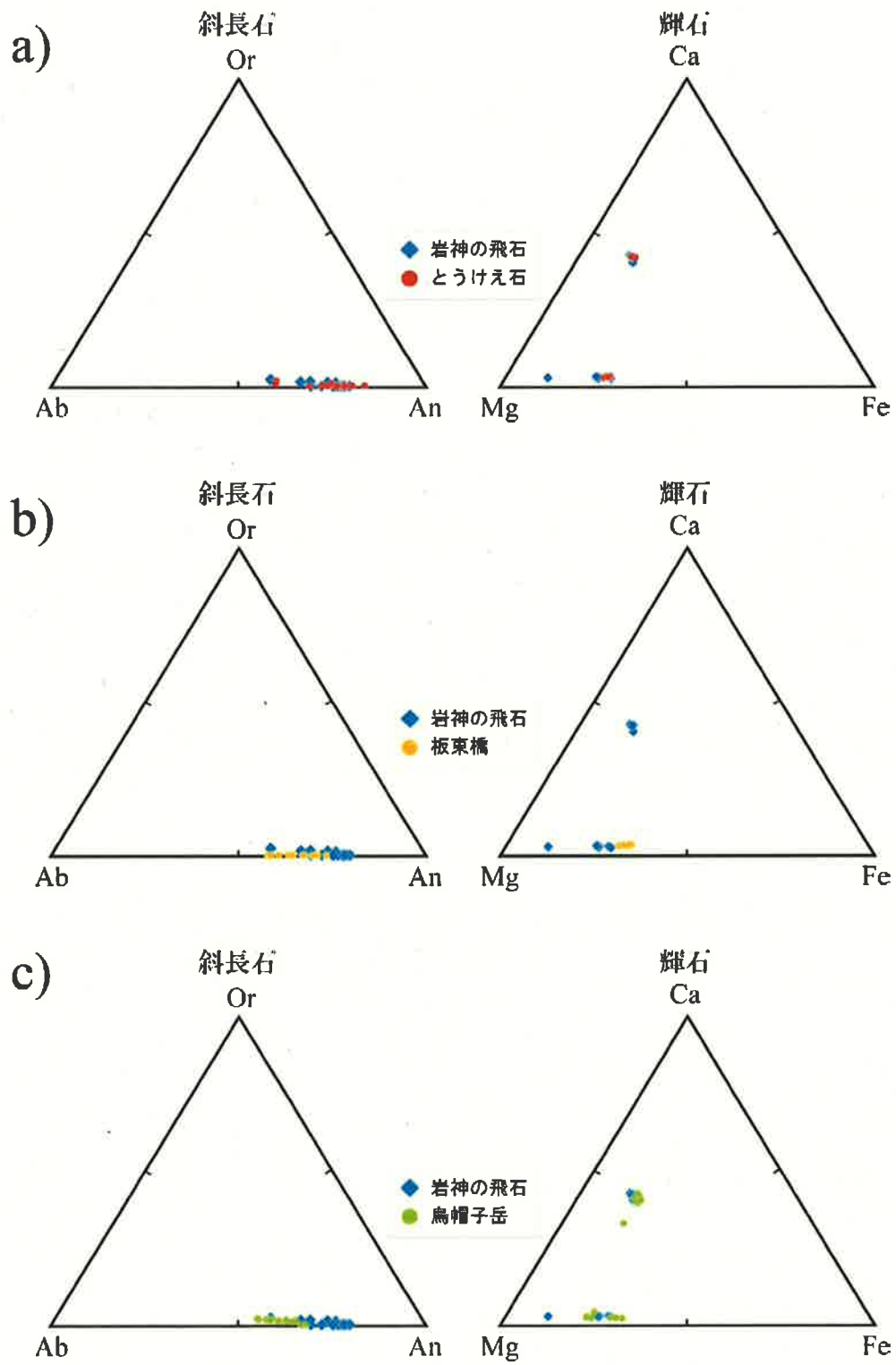


図 10. 岩神の飛石および a)とうげえ石、b)坂東橋、c)烏帽子岳に含まれる斜長石・輝石の三角図。

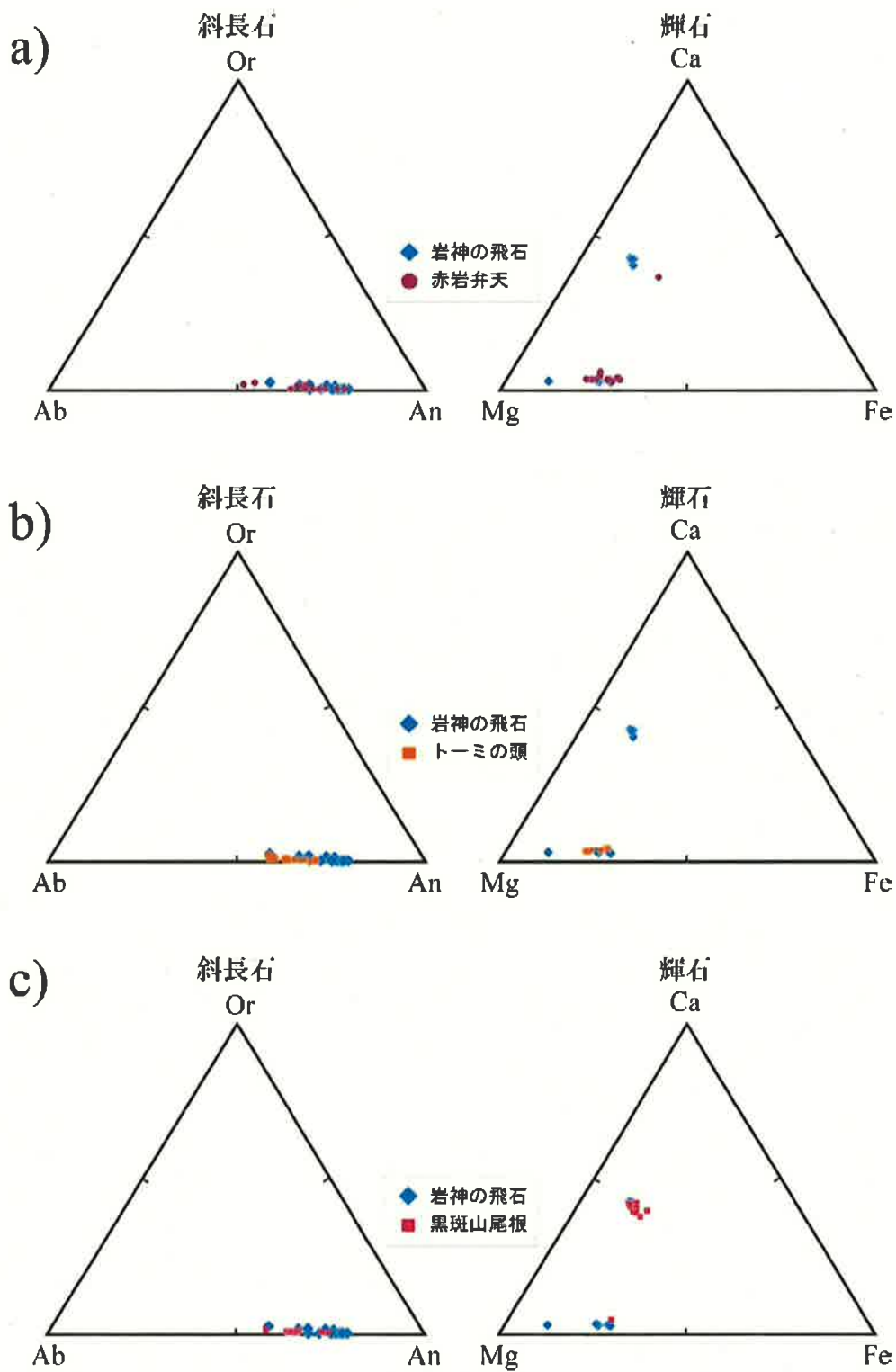


図 11. 岩神の飛石および a) 赤岩弁天、b) トーミの頭、c) 黒斑山尾根に含まれる斜長石・輝石の三角図。

6. 熱ルミネッセンス法による「岩神の飛石」の分析

立正大学地球環境科学部 下岡順直

(1) はじめに

「岩神の飛石」に関連した、いわゆる赤石について、熱ルミネッセンス (TL) 法を用いて分析を行った。測定試料には、「岩神の飛石」および4種類の赤石の岩石片を供した。

TL 法は、加熱されることでそれまでに蓄積している放射線量がゼロになり (タイムゼロイング)、そこから現在までに蓄積した放射線量 (蓄積線量) を TL グローブから評価する。TL 法による年代測定は、1 年間に吸収する放射線量 (年間線量) で蓄積線量を除することにより年代に換算する。なお、赤石に関しては、長友・下岡 (2003) が高崎市烏川聖石橋下流に所在する「聖石」と佐野橋南の溶結した紫色集塊岩 (通称「赤石」) の TL 年代測定を行った経緯がある。

今回用いた試料は、「岩神の飛石」を赤石 1、その他を赤石 2 (NNJ)、赤石 3 (BDB)、赤石 4 (AIB)、赤石 5 (EBS) とした。赤石 2~5 の4種類の赤石について採取位置など詳細情報は、菅原の報告文 (菅原 2016) を参照されたい。菅原によると、赤石 2、赤石 4、赤石 5 は浅間山起源、赤石 3 は赤城山起源の試料である。

(2) 試料の前処理および測定

試料の前処理

光曝している岩石表面を除去するために、岩石片を 20%フッ化水素酸溶液中に 3 時間浸した。その後、水道水で洗浄後乾燥させ、岩石片表面に生成したフッ化物についてブラシを用いて削り落としした。次に、万力を用いて粉碎した。粉碎後、20%塩酸溶液で 60 分間洗浄し乾燥後、約 10~50 μm の粒度を抽出して測定用試料 (以下、ナチュラル試料) とした。

年間線量用には、粉碎後の岩石片を 20 g、所定のケースに封入した。

TL 測定

TL 測定は、立正大学に設置してある OSL/TL 測定装置 NRL-99-OSTL2-KU (図 1) (下岡ほか 2015) を用いて行った。蓄積線量評価には、付加線量法を用いた。まず、ナチュラル試料のほかに、装置に装着してある X 線管球を用いて、ナチュラル試料に 10、20、30 Gy 付加照射して TL 測定を行った。低線量域補正には、一度 TL 測定した後に 10、20、30 Gy 照射して、再度 TL 測定を行った。赤石 3 は赤城山起源の試料であり、蓄積線量が他の試料に比べて大きいことが想定されたので、再現法を用いて線量評価を行った。ナチュラル試料を TL 測定後に 30、60、90 Gy を照射して TL 測定を行った。

測定条件は、昇温速度 5°C/sec で 100°C~500°C まで連続昇温法で TL 測定を行った。検出波長は、310~440 nm (半値幅) とした。

年間線量測定

γ 線スペクトル法を用いて、各試料の年間線量を評価した。まず、キャンベラ製モデル 7229P-7500S の Ge 半導体検出器 (図 2) を用いて、岩石中の U、Th、 ^{40}K から放出される γ 線を計測した。その計測値を産業技術総合研究所が提供する岩石標準試料を用いて、放射性元素濃度を見積もった。そして、Adamiec and Aitken (1998) の換算式を用いて、年間 α 線量、年間 β 線量、年間 γ 線量を計算した。ま

た、年間宇宙線量は現在の地表面と同程度と仮定して、 0.15 mGy/年 とした。なお、試料とした岩石片中の含水比は 0% と仮定した。

(3) 結果と考察

今回 TL 測定した試料はポリミネラル試料であり、TL 測定では主に長石からのルミネッセンスが観察されたと想定される。よって、試料の TL 強度にはアノーマラスな減衰が生じる可能性を考慮しておいたほうがよい。そのため、ここで見積もられる蓄積線量は、現段階では「みかけの総被ばく線量」としておく。

「みかけの総被ばく線量」は、赤石 3 以外については付加照射した試料による線量応答曲線を外挿することで求まる等価線量と、低線量域補正の和で求めた。赤石 3 は、照射した試料を用いて線量応答曲線を作成し、ナチュラル試料の TL 強度を内挿した。各試料の、「みかけの総被ばく線量」を表 1 に示す。

表 1 より、赤石 1、赤石 2、赤石 4、赤石 5 はそれぞれ約 $4\sim 24 \text{ Gy}$ と見積もられた。これに対して、試料 3 のそれは約 103 Gy となり、その他の試料とは明らかに大きな線量値となった。以上の結果より、浅間山起源とされる赤石 2、赤石 4、赤石 5 のみかけの総被ばく線量は、赤城山起源の試料とされる赤石 3 とは異なり、同じような挙動を示すことから、同一起源であることを支持する。そして、赤石 1 の「岩神の飛石」は、赤石 2、赤石 4、赤石 5 と同様に浅間山起源と考えられる。

赤石 4 の「みかけの総被ばく線量」は蓄積線量と評価され、それを年間線量 (表 1) で除すると、 $21\pm 4 \text{ ka}$ (ka : 千年前) の TL 年代が得られた。浅間山起源の赤石では、高崎市聖石橋下流にある「聖石」と佐野橋南の「赤石」の TL 年代が微粒子法を用いてそれぞれ $23\pm 4 \text{ ka}$ 、 $32\pm 4 \text{ ka}$ (表 2) と求められている (長友・下岡 2003)。赤石 4 の TL 年代はこれに比べて若干若い、矛盾する年代ではない。よって、これらは同一年代の地質的イベントで生じたものだろう。ちなみに、赤石 4 以外の試料についても同様に年代を計算したが、過小評価した TL 年代が求められた。このことから赤石 4 の蓄積線量と比較して、赤石 4 以外の「みかけの総被ばく線量」は、アノーマラスな減衰による過小評価が起こっている可能性がある。もしくは、岩石片中の含水比が 0% 以上である可能性や、 Rn の損失、放射性元素の溶出など複数の要因が重なっていることが、年代が過小評価される原因だろう。

(4) 小結

今回、「岩神の飛石」に関連した赤石の試料を用いて、TL 測定を行った。「岩神の飛石」は、浅間山起源の赤石 2、赤石 4、赤石 5 と「みかけの総被ばく線量」が同じような挙動を示すことから、「岩神の飛石」は浅間山起源と考える。そして、「岩神の飛石」の数値年代は直接求められなかったが、「みかけの総被ばく線量」が同じような挙動を示した赤石 4 や、高崎市の「聖石」と「赤石」の TL 年代を参考にすると、「岩神の飛石」の数値年代も約 $2\sim 3$ 万年前と推定するのが妥当であろう。

謝辞: 本分析にあたり、群馬県立自然史博物館の菅原久誠博士と火山灰考古学研究所の早田 勉博士からは、火山噴火史や岩石について示唆に富むご教示をいただいた。立正大学の川野良信教授と立正大学大学院の清水隆一氏には、岩石カッターの使用などで便宜をはかっていただいた。また、立正大学地球環境科学部からは、試料を分析する機会をいただいた。(株) ネオアークの波多野智博士と田邊和明氏、アーサ技研の森美比古氏には、ルミネッセンス装置の微調整でご協力いただいた。蒜山地質年代学研究所の小畑直也氏からは、TL 測定の方法について改善点をご指摘いただいた。以上の皆様に、末尾ながら記して感謝申し上げます。

参考文献 (著者名のアルファベット順)

- Adamiec, G. and Aitken, M.J. 1998 Dose-rate conversion factors: update. *Ancient TL*, 16 : 37-50
- 長友恒人・下岡順直 2003 「高崎市「聖石」に関連した熱ルミネッセンス年代測定」『新編高崎市史 通史編 I』, pp. 80-81
- 下岡順直・波多野智・田邊和明・森美比古・青木智史・阪江 修 2015 「OSL/TL自動測定装置 NRL-99-OSTL2-KU の設計製作と X線管球の線量率校正」『地球環境研究』, 17 : 107-110
- 菅原久誠 2016 「「岩神の飛石」の起源に関する岩石学的調査と分析」『国指定天然記念物岩神の飛石環境整備事業報告書』, 群馬県前橋市教育委員会, pp.77-91

表 1. TL 測定結果

	みかけの総被ばく線量 (Gy)	U (ppm)	Th (ppm)	⁴⁰ K (wt%)	年間線量 (mGy/a) ^{*1}	TL年代 (ka)
赤石1	11	0.29 ± 0.36	2.36 ± 1.33	0.77 ± 0.15	1.40 ± 0.20	-
赤石2	4	0.43 ± 0.24	0.45 ± 1.84	0.33 ± 0.15	0.76 ± 0.21	-
赤石3	103	0.23 ± 0.24	2.08 ± 1.87	0.87 ± 0.15	1.44 ± 0.21	-
赤石4	24.2 ± 3.1	0.23 ± 0.31	3.37 ± 1.21	0.43 ± 0.15	1.17 ± 0.18	21 ± 4
赤石5	18	0.50 ± 0.33	4.67 ± 1.86	1.24 ± 0.15	2.31 ± 0.22	-

*1 含水比補正無

表 2. 高崎市における聖石と赤石の TL 年代測定結果 (高崎市史 p.81 表 4 より引用)

試料名	蓄積線量 (Gy)	年間線量 (mGy/年)	年代 (年前)	測定方法
聖石	43.2 ± 7.8	1.98 ± 0.11	22,000 ± 4,100	Poly-mineral
聖石	43.6 ± 6.7	1.98 ± 0.11	23,000 ± 3,600	微粒子法
佐野橋南 (赤石)	74.1 ± 19.6	2.17 ± 0.11	34,000 ± 9,200	Poly-mineral
佐野橋南 (赤石)	69.2 ± 6.9	2.17 ± 0.11	32,000 ± 3,600	微粒子法



写真 1. 自作の OSL/TL 測定装置
NRL-99-OSTL2-KU (下岡ほか 2015)



写真 2. Ge 半導体検出器とガンマ線スペクトル測定

第V章 成果と問題点

本事業は地元住民からの声で始まった。2011年3月11日に発生した東日本大震災は群馬県下でも大きな揺れを体感し、県民の恐怖も大きなものがあった。「岩神の飛石」を有する昭和町の自治会を通じて飛石の亀裂に変化があったのではという不安が寄せられたのは当然ともいえよう。前橋市教育委員会は群馬県教育委員会を通じて文化庁からの指導を受けつつ、総合的な見地から「岩神の飛石」についての整備委員会を設置し、安全対策を中心とした環境整備に着手した。

1. 見学環境の整備

事業は環境整備から始まった。飛石の凹部や亀裂に長年のあいだに堆積した土砂が起因して多くの草木が繁茂していた。安全対策や見学環境の見地からこれらの草木の除草や抜根とともに周辺にある大木の強剪定をおこない、亀裂の悪化や大木の成長を抑制する処置をおこなった。また、老朽化した囲柵などの改良をおこなった。

2. 安全対策

明治時代の写真の収集によって現状との視認観察、また震災前後の写真によっても目に見える大きな変化は見られなかった。よって、整備委員会では測量機器による亀裂の定点観測をおこなうこととした。

飛石に近接した旧前橋気象台に地震観測地点がある。ここでの2011年3月11日における震度1以上の地震は合計31回が観測されている。そのうち震度1は23回、震度2は6回、震度3は1回、震度4が1回であった。定点観測はそれ以降に開始されているために、この時の飛石の変化は不明である。定点観測開始以降の三年間では震度1が11回、震度2が5回、震度3が1回ほど観測されている。この間の定点観測の数値に変化はない。今後は、定点観測の継続と、変化が現れた緊急時の対策マニュアルの作成が喫緊の課題になる。

3. 供給源の確定

「岩神の飛石」は昭和13年の国指定時には「22万年以前の赤城火山の活動期」に伴うものだろうとの見解に立っていた。しかし、その後の地質学や岩石分析学の進展に伴って「2～3万年前の浅間火山の活動期」で「前橋泥流の発生期」ではなかろうかとの意見が出始めていた。今回の整備委員会でも理化学的な分析によって確定したいとの意見が提出されたため、各地に点在する飛石と類似する「赤石」の分析調査を実施した。その結果、「岩神の飛石」は中之条町の「とうけえ石」と同質の岩石成分であり、長野県佐久市の「赤岩」とともに、その生成年代は2万4千年以前頃であることが判明した。「岩神の飛石」は浅間火山で発生した大噴火に伴って噴出した溶岩で、その後2万4千年頃に発生した「前橋泥流」によってもたらされたものであるとの結論に達した。

4. 普及活動への展望

「岩神の飛石」の新知見は、前橋市民の郷土意識に大きな影響をもたらすものであろう。前橋市の中心街は、この時に発生した「前橋泥流」の上にある。この時代は旧石器時代であり、飛石は前橋市の歴史の原点になっていく。また、飛石は火山噴火のメカニズムを理解するための前橋市の理科教育の原点にもなっていこう。もちろん、浅間火山の活動史はそのまま防災学の基礎となる。今後は、新しい学習シートの作成など多岐にわたる教育プログラムの開発が必要になるだろう。 (小島純一)

国指定天然記念物
岩神の飛石環境整備事業報告書

印刷 平成 28 (2016) 年 3 月 4 日
発行 平成 28 (2016) 年 3 月 10 日

発行 前橋市教員委員会
群馬県前橋市総社町 3 丁目 11 番地 4
TEL. 027-280-6511 (文化財保護課)

編集 技研コンサル株式会社
印刷 朝日印刷工業株式会社
