小笠原諸島, 硫黄島に産する"ウヅラ石"の鉱物学的研究

若林将輝*

キーワード:ウヅラ石,硫黄島,粗面岩,アンデシン,鉱物化学分析

I. はじめに

東京の南方約1,250 kmに位置する硫黄島には,世界 的にみても産出が稀なウヅラ石(本間,1925)と呼ば れる火山岩礫が多数存在する.ウヅラ石は,径1cm前 後の礫であり,大型斜長石集合斑晶の周囲を火山ガラ スで埋められているという特徴を有する(長井・小林, 2015).なお,現時点では,日本国内の他地域において 同様の礫の産出報告を見出すことはできない. 硫黄島は、伊豆小笠原弧南端部の火山フロント上に位 置する火山島で、千鳥ヶ原と呼ばれる隆起した砂州に よって結ばれた元山と南西端にある摺鉢山から構成され る(第1図;長井・小林、2015).本島における火山岩 類の岩石学的研究は既に行われ、構成する岩石が伊豆小 笠原弧の中では異質な性質をもつことが指摘されている (本間、1925).岩崎(1937)は、伊豆小笠原弧上に分布 する火山岩の岩石化学的性質は主に非アルカリ岩である のに対し、本島の火山岩がアルカリ岩の性質であること



Figure 1 Geological and locality map of loto based on Nagai and Kobayashi (2015) and Ossaka et al. (1990a). In order to indicate geological formations and rocks with extremely small exposure scale, the names are added to individual locations.

* 立正大学地球環境科学部

を見出した.また,小坂ほか(1990a;b)は,本島と 隣接し,現在活動の認められない北硫黄島と南硫黄島の 火山岩が,SiO₂およびNa₂O+K₂Oに乏しい非アルカリ岩 の性質であるのに対し,近年も活発な火山活動を行う本 島の火山岩では,SiO₂およびNa₂O+K₂Oに富んだ粗面岩 質のアルカリ岩であると述べ,アルカリ岩の産出する原 因が噴出の位置だけでなく時期にも関連があると述べて いる.さらに,長井・小林(2015)は,報告例に乏し かった火砕物の化学分析を行い,主成分および微量成分 組成を求め,岩石化学的な特徴を明らかにしている.

一方,年代学的な研究も行われており,元山火砕堆積物(長井・小林,2015)中の炭化木や摺鉢山地区周辺の 海岸段丘および礫浜などに産するサンゴの礫から放射性 炭素(¹⁴C)年代が報告されている(大八木・熊谷,1977).

前述のように,硫黄島の火山岩に関する岩石学的研究 は多数行われており,本島各地に産する火山岩の包括的 な主成分組成や微量成分組成などは報告されている(岩 崎,1937;一色,1976など).しかしながら,ウヅラ石 についての岩石学的あるいは鉱物学的研究はなされてお らず,その成因を検討することは,伊豆小笠原弧におい て岩石化学的に異質な硫黄島火山のマグマ成因を議論す る上で重要となる.そこで,本論では岩石および鉱物の 主成分,微量成分,希土類成分組成を明らかにし,ウヅ ラ石の成因について検討を行った.

Ⅱ. 地質概略

硫黄島は、北東部の元山地区、南西部の摺鉢山地区、 これら二つの地域を繋ぐ千鳥ヶ原地区、北西部の釜岩地 区、千鳥ヶ原南東部の二ッ根地区に大別される(第1 図;長井・小林、2015).各地区の主な岩種は、元山地 区が火砕岩や溶岩、摺鉢山地区が溶岩を伴う火砕岩、千 鳥ヶ原地区が砂や礫、釜岩地区が火砕岩や溶岩、二ッ根 地区が凝灰角礫岩である(第1図;長井・小林、2015). 以下、長井・小林(2015)の記述に基づき硫黄島の地質 について説明する.

本島南西部の海岸線に位置する二ッ根地区は,パッチ ワーク状の粗面安山岩質溶岩塊,成層した凝灰岩塊,ス コリア礫等からなる二ッ根凝灰角礫岩の小規模な露出が 認められる.

北西端の釜岩地区には, 粗面安山岩質の釜岩溶岩と監 獄岩溶岩, 凝灰角礫岩を主体とした釜岩火砕堆積物と監獄 岩火砕堆積物, 凝灰質の火山砂礫である釜岩砂礫層, そ してそれらを部分的に覆う釜岩ビーチロックが分布する. 本島北東部の大部分を占める元山地区には,粗面安山 岩の離岩溶岩,それを覆う凝灰質の離岩砂層,粗面岩質 の溶結凝灰岩からなる日出浜火砕流堆積物が分布する. さらに,元山東側の中腹には粗面安山岩からなる元山溶 岩(一色,1976)が,東側の海岸付近には大型の枕状溶 岩岩塊を含む無層理な火山角礫岩ないし凝灰角礫岩から なる金剛岩火砕堆積物が,また全域には軽石凝灰角礫岩 ないし火山礫凝灰岩,凝灰岩層からなる元山火砕堆積物 がそれぞれ露出している.加えて,空港西側の旧海食崖 周辺には,軽石質な砂礫層である元山西軽石質砂礫層が 分布している(長井・小林,2015).

本島南西端の摺鉢山地区には,軽石凝灰角礫岩ないし 軽石火山礫凝灰岩かなる擂鉢山下部火砕堆積物,砂質凝 灰岩と黒灰色のスコリア質火山礫に富む擂鉢山中部火砕 堆積物,粗面安山岩質の擂鉢山溶岩,凝灰岩・火山礫凝 灰岩とスコリア火山角礫岩・集塊岩である擂鉢山上部火 砕堆積物がそれぞれ分布している.なお,国土地理院の 地形図では「摺鉢山」と表記されているが,本論では岩 石名および地層名については長井・小林(2015)を踏襲 し「擂鉢山」と表記する.

本島中央部に広がる千鳥ヶ原地区には、淘汰のよい未 固結の砂や火山ガラス岩片に富む砂からなる千鳥ヶ原砂 層・海岸段丘堆積物・表層堆積物が分布しており、表層 堆積物には本論で取り扱うウヅラ石(本間, 1925)の礫 が含まれる。

釜岩ビーチロック中の貝殻試料からは2475±20 yBP (1 σ 暦年較正年代2172~2080 cal yBP) および2395±20 yBP (1 σ 暦年較正年代2070~1981 cal yBP) の¹⁴C年代 が,日出浜火砕流堆積物に含有される炭化木片からは 2550±20 yBP (1 σ 暦年較正年代2744~2711 cal yBP) および2550±20 yBP (1 σ 暦年較正年代2745~2710 cal yBP) の¹⁴C年代が,元山火砕堆積物に着床していた 造礁サンゴからは約500~800 yBPの¹⁴C年代がそれぞ れ報告されている (大八木・熊谷,1977;長井・小林, 2015).また,摺鉢山地区周辺の海岸段丘や礫浜などに 産するサンゴの礫からは,約3000 yBPおよび約500~ 300 yBPの値が¹⁴C年代によって得られており,この年 代値は摺鉢山付近に浅海ないし海岸があった時期を示す (大八木・熊谷,1977)と解釈されている.

Ⅲ. 試料観察

Ⅲ-1. 肉眼観察

本論では、立正大学地球環境科学部環境システム学科



Figure 2 Photographs of the Uzura stone samples. A ; The sample owned by Rissho University,
B ; Taken from a direction parallel to the platy plagioclase phenocrysts,
C : Volcanic glass contained in the plagioclase phenocrysts, D ; Olivine exposed on the sample surface.

の環境岩石学研究室に所蔵されていた試料に加え,硫黄 島から採取されたことが明らかなウヅラ石を通信販売で 購入したものを研究に用いた.

以下にウヅラ石の肉眼的特徴を述べる. ウヅラ石は斜 長石の斑晶とガラス質の石基を含む火山岩であり,全体 的に石基火山ガラスよりも斜長石斑晶の占める割合が 多い. 表面は摩耗して角が取れており,長径10~15 mm, 短径5~10 mm,重量0.5~1.6 gである(第2図A).

斜長石斑晶は、白色~灰白色の自形、板状を呈してお り、小さいものは長径5mm程、大きいものは長径15mm 程に達し、厚さは1~2mmである。風化の激しい試料で は淡褐色に変色している。斜長石斑晶は、1試料につき 4個以上確認でき、これらはほとんどの試料において複 雑に集合した塊状を成している。しかし、一部の試料で は結晶が平行に重なるような様子も認められる(第2図 B).また、斜長石斑晶を砕くと内部には濃緑色の微細 な火山ガラスが多数含まれており、筋状を呈しているも のもある(第2図C).

石基は、斜長石斑晶を取り囲む黒色~灰黒色、または 濃緑色の火山ガラスであり、空隙が多数認められる.表 面はガラス光沢を示すが、光沢を失っている部分や黄褐 色に変色している部分もあり、風化が認められる.肉眼 では斜長石以外の鉱物はほとんど確認できないが、一部 の試料では、ルーペで観察した場合に長径0.5 mm程の淡 黄色のカンラン石が認められる(第2図D).

Ⅲ-2. 鏡下観察

本論におけるウヅラ石の鏡下観察は、デジタル顕微鏡

写真およびSEM-EDSで取得した反射電子像(BSE)を 用いて行った.観察用の試料は,硬質ガラス板および卓 上研磨機で平滑な面を削り出し,さらにイオンスパッ ターでカーボン蒸着を施して調整した.薄片による観察 は,後述するXRF分析およびLA-ICP-MS分析に用いる 試料を十分に確保できないため断念した.

ウヅラ石は半晶質で、ガラス質斑状の組織を呈する粗 面岩ないしは粗面安山岩である. 斑晶を構成する鉱物と して, 斜長石, 磁鉄鉱, 単斜輝石, 燐灰石, カンラン石 が認められる(第3図A, D). ウヅラ石の内部はほと んど変質しておらず新鮮である. 斜長石斑晶は自形であ り、5~6mmの長辺を有する板状結晶として複数含まれ ている(第3図A).斜長石斑晶内部には筋状の火山ガ ラスを確認できる.また、わずかに微細な粒状の磁鉄鉱 を含んでいるものもある.磁鉄鉱は半自形や他形で産出 しており、0.2~0.5 mmの大きさである、多くは粒状の他 形だが、一部は半自形のひし形を呈している。また、内 部には多数の微細な燐灰石を含むものが多い(第3図 B). 単斜輝石は多くが不定形の他形で、わずかに短柱 状の自形を呈するものがあり、0.2~1mmの長辺をもつ. 内部には磁鉄鉱や微細な燐灰石を含むものが多数認めら れる. また, 結晶周縁部に石基の火山ガラスが入り込み, 融食されたような痕跡も一部認められる. 燐灰石は針状 あるいは柱状の自形で、長辺は針状のものが0.3~1mm, 柱状のものが0.1 mm程である(第3図C). 後述する石基 に包有された燐灰石と比べて、斑晶の燐灰石はごくわず かである.カンラン石は紡錘形の自形を呈し,0.3 mm程 の大きさである(第3図D).内部にほかの鉱物は含ま



Figure 3 Photographs of texture and BSE images of the Uzura stone samples. A ; Internal structure of the Uzura stone, B~D; BSE images. PI: Plagioclase ; Mag: Magnetite ; Cpx: Clinopyroxene ; Ap: Apatite ; OI: Olivine ; Gls: Volcanic glass.

れていない.また,鏡下観察で確認できたカンラン石結 晶は2個のみであり,ほかの鉱物と比べてカンラン石の 含有量はごくわずかである.

石基は、火山ガラスを主体とし、燐灰石、磁鉄鉱を伴う、燐灰石は自形であり短柱状を呈する、大きさは0.1 mm以下で、斑晶の磁鉄鉱や単斜輝石中に多数産出しているが、石基火山ガラス中にも認められる.また、結晶周縁部の一部が引き延ばされ、融食されたような痕跡があるものもわずかにみられる.磁鉄鉱は他形であり粒状を呈する、大きさは0.1 mm以下で、石基火山ガラスや斜長石斑晶中にわずかに産出している。石基火山ガラスは、割れ目が多く、清涼であり、ほかの鉱物間を充填している(第3図A).空隙が多数みられ、その大きさは0.5~1 mmのものが多い.また、試料周縁部付近では、0.1 mm以下~0.2 mmの多数の空隙が一方向に配列する場合がある.石基火山ガラス中に含まれている石基鉱物は、斑晶鉱物の周囲に集積する様相を呈する.

Ⅳ. 化学分析

1. 分析方法および試料作成方法

SEM-EDSによるウヅラ石の鉱物化学分析は、立正大 学地球環境科学部環境システム学科設置の日立ハイテク 社製走査型電子顕微鏡(S-3400N)とOxford Instruments 社製エネルギー分散型X線分析装置(x-act,分析ソ フト: INCA)を用いて行った.分析方法は小暮ほか (2014)に基づくが、測定条件は奥山ほか(2020)に準 じ、加速電圧15 kV,照射電流0.3 nA,ワーキングディス

タンス10 mm, 対物可動絞り2とした. 試料には鏡下観 察に用いたウヅラ石3試料(No.1~3)を用いた.各 試料について, 斜長石斑晶では斑晶ごとにライン分析お よび元素マッピング分析を行い.火山ガラスでは石基と 斜長石斑晶に含まれているものを分けてポイント分析を 行った、ライン分析は、斜長石斑晶1粒子につき、コア を通る直行方向に2本実施した.なお、各ライン分析は 基本的に0.1 mmの間隔ごとに分析しているが、試料表面 の状態が悪く分析できない箇所については、その部分を 除外して分析した. また. 元素マッピング分析は試料 ごとに代表的な斜長石斑晶を選んで実施した. 主成分お よび微量元素分析は、立正大学地球環境科学部環境シ ステム学科設置の蛍光X線分析装置(XRF, リガク社 製ZSX Primus Ⅱ)を用いて行った。分析方法は、基本 的に川野(2010)に基づいた. 試料は複数のウヅラ石を 粒径0.5 mm程に粉砕し、斜長石斑晶と石基火山ガラスを それぞれ分離したものを用いた.ただし、分離した試 料は、ガラスビードの作成に必要な1.3gに満たなかっ たため、110℃で12時間以上乾燥させた二酸化ケイ素 (高純度化学研究所製)を加えた添加法(試料0.6 g, 二 酸化ケイ素0.8 g) によって分析した。測定した元素は、 主成分元素であるSi, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, Pと微量元素であるBa, Cr, Co, Cu, Ga, Nb, Ni, Pb, Rb, Sc, Sr, Th, V, Y, Zn, Zrの合計26元素で ある.なお、主成分元素は酸化物として測定している. 希土類元素分析は, XRF分析で使用した斜長石斑晶お よび石基火山ガラスのガラスビード試料を用いて行っ た、分析は、立正大学地球環境科学部環境システム学科

設置のLA-ICP-MS (LA装置は New Wave Research 社 製 Nd-YAG レーザー装置UP-213, ICP-MS装置は パー キンエルマー社製 NexION2000)を用いた.分析方法 は川野・清水 (2017) に準じ, XRFで求めたY定量値 を内標準元素として,希土類元素定量値の補正を行った. 測定した希土類元素は,La,Ce,Pr,Nd,Sm,Eu, Gd,Tb,Dy,Ho,Er,Tm,Yb,Luのランタノイド 14元素である.また,LA-ICP-MSにおける分析値の正 確さを確認するために,川野 (2010)に基づいて調整し た地質標準試料JR-1 (産業技術総合研究所製)の分析を 行った.

2. 分析結果

SEM-EDSによって得られた,ウヅラ石3試料に含ま れる斜長石斑晶のライン分析結果について,第1表に代 表的な斜長石斑晶のリムとコアの分析値を,第4図に斜 長石斑晶の端成分の三角組成図を示した.なお、第4図 の三角組成図には、XRFによるバルク分析で得られた 斜長石斑晶の端成分も併せて示した. 斜長石斑晶はどの 粒子においても類似した組成を有しており、明瞭な違い は認められない.いずれもAb成分は55~70%の範囲を, Or成分はほとんどが10%以下の範囲を示し、ほぼすべ ての分析値がアンデシン組成(Ab:70~50%, An: 30~50%)を有している(第4図).また、わずかでは あるがAb成分が増加するにつれてOr成分が増加する 傾向が認められる。第5図にSEM-EDSによって得られ た, 試料No.1に含まれる斜長石斑晶のライン分析結果 を示す. 図をみると、コアからリムにかけてAn成分の 変動は25~45 %の範囲で不規則に変動しており、Line4 のみコアのAn組成がわずかに低くなるが, 顕著な組成 累帯構造は認められない。特にLine5と6においてはAn 組成の最大値と最小値の差が8%以内に収まっており.

Table 1	Selected chemical compositions of plagioclase phenocrysts in three Uzura stone samples
	by SEM-EDS line analysis.

No. 1		o. 1	No. 2		No. 3	
	Liı	ne 2	Li	ne 1	Li	ne 1
Serial No.	Rim	Core	Rim	Core	Rim	Core
Major oxides	(wt%)					
SiO_2	58.53	58.10	58.91	57.67	58.14	58.21
TiO_2						
Al_2O_3	25.51	25.92	25.47	26.62	26.12	25.97
FeO*	0.58	0.71	0.86	0.47	0.57	0.77
MnO						
MgO				0.09		
CaO	7.07	7.57	7.12	7.97	7.72	7.63
Na_2O	7.27	6.76	6.92	6.66	6.85	6.82
K_2O	1.04	0.93	0.71	0.51	0.61	0.60
P_2O_5						
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Cations based	on O=8					
Si	2.632	2.613	2.643	2.588	2.610	2.614
Ti						
Al	1.352	1.374	1.346	1.408	1.382	1.374
Fe	0.022	0.027	0.032	0.017	0.021	0.029
Mn						
Mg				0.006		
Ca	0.341	0.365	0.342	0.383	0.371	0.367
Na	0.633	0.589	0.602	0.579	0.596	0.594
K	0.059	0.053	0.041	0.029	0.035	0.035
Р						
Total	5.039	5.021	5.006	5.012	5.014	5.013
An	33.0	36.2	34.8	38.6	37.1	36.9
Ab	61.3	58.5	61.1	58.4	59.5	59.6
Or	5.8	5.3	4.1	3.0	3.5	3.5

*Total Fe as FeO. Normalized to total 100 wt%. End-member: An, anorthite ; Ab, albite ; Or, orthoclase.



Figure 4 An-Ab-Or diagrams of plagioclase phenocrysts in three Uzura stone samples by SEM-EDS line analysis and XRF analysis.

Two line analyses were performed on each particle of plagioclase phenocrysts. Dashed lines in the legend show the boundary of each particle of plagioclase phenocrysts. Excerpted from plagioclase phenocrysts with large number of analyses. An: anorthite; Ab: albite; Or: orthoclase.



Figure 5 Variations in An component of plagioclase phenocrysts by SEM-EDS line analysis (No. 1). Two line analyses were performed on each of three plagioclase phenocrysts in almost orthogonal direction.



Figure 6 Chemical composition of plagioclase phenocrysts in three Uzura stone samples by SEM-EDS mapping analysis. This is displayed by replacing with RGB. Na: red ; K: green ; Ca: blue.

極めて均質な組成を有している.

第6図にSEM-EDSによって得られた, ウヅラ石3試 料に含まれる斜長石斑晶の元素マッピング分析結果を示 す. 元素マッピング分析の結果からは, ライン分析と同 様に組成累帯構造は認められないが, 斜長石斑晶内部に 火山ガラスが筋状に包有されていることがわかる. 特に 試料No.2の斜長石斑晶に含まれる火山ガラスには一定

Table 2	Selected chemical compositions of	of
V	olcanic glass in the samples	
	by SEM-EDS point analysis.	

Position	M.G.	G.I.
Major oxides(wt9	6)	
SiO_2	60.98	61.47
TiO_2	0.85	0.74
Al_2O_3	17.20	17.35
FeO*	6.15	5.51
MnO	0.27	0.26
MgO	1.77	1.07
CaO	2.49	2.79
Na ₂ O	5.40	5.88
K ₂ O	4.38	4.46
P_2O_5	0.52	0.47
Total	100.00	100.00

*Total Fe as FeO. Normalized to total 100 wt%. M.G., matrix glass ; G.I., glass inclusion in plagioclase.

方向に配列している様子が確認できる.

第2表にSEM-EDSによって得られた,試料No.1に 含まれる火山ガラスのポイント分析結果を示した.ま た,SEM-EDSによって得られた,ウヅラ石3試料に含 まれる火山ガラスのポイント分析結果について,第7図 にSiO₂に対する主成分元素含有量の変化傾向を,第8図 にSiO₂に対する総アルカリ含有量をそれぞれ示した.な お,比較のためにこれらの図には,後述するXRFによ る火山ガラスのバルク分析値を示し,第8図には奥山ほ か(2020)において報告された長野県大町市産黒燿岩礫 の全岩化学組成を示した.長野県大町市は伊豆小笠原弧 の北方延長上の大陸プレート上に位置しており,海洋プ レート上に位置する硫黄島との化学組成の違いを検討す るために比較対象とした.

第7図において、ウヅラ石3試料の石基火山ガラスと 斜長石斑晶に含まれる火山ガラスの主成分化学組成を比 較した場合、TiO₂、Al₂O₃、MgO、CaO、Na₂O、K₂Oで は互いに組成が重複し明瞭な差は認められない。FeO*、 MnO、P₂O₅は、組成範囲が重複するものの、わずかに 石基火山ガラスに多く含まれる傾向がみられる。また、 石基火山ガラスと斜長石斑晶に含まれる火山ガラスを合 わせた場合、組成幅はSiO₂が60~62 wt%、Na₂Oが5.4~ 6.2 wt%、K₂Oが3.8~4.6 wt%である。第8図において、 石基火山ガラスおよび斜長石斑晶に含まれる火山ガラス のNa₂O+K₂Oは10 wt%程になる。したがって、Irvine and Baragar (1971)によるアルカリ岩-非アルカリ岩



Figure 7 Harker diagrams of volcanic glass in the samples

by SEM-EDS point analysis and XRF analysis.

Matrix glass and glass inclusion in plagioclase are based on SEM-EDS point analysis (No. 1 ~ No.3). Boundary line of the high-K and medium-K is cited from Le Maitre (2002). *Total Fe as FeO.



- Glass inclusion in plagioclase
- Glass by XRF analysis
- Obsidian in Nagano Pref. (Okuyama et al., 2020)

Figure 8 Total alkali silica (TAS) diagram of volcanic glass in the samples

by SEM-EDS point analysis and XRF analysis. Matrix glass and glass inclusion in plagioclase are based on SEM-EDS point analysis (No. $1 \sim No.3$).

Dashed line dividing the alkaline and subalkaline fields is cited from Irvine and Baragar (1971).

Table 3	Major and trace elements of glass
bead s	amples (plagioclase phenocrysts
and v	volcanic glass) by XRF analysis.

	Plagioclase	Volcanic glass			
Major oxides (wt%)					
SiO_2	58.45	58.36			
TiO_2	0.12	1.00			
Al_2O_3	24.83	16.10			
$\mathrm{Fe_2O_3}^*$	1.02	8.05			
MnO		0.27			
MgO	0.28	1.95			
CaO	7.19	3.72			
Na ₂ O	6.77	5.73			
K_2O	1.21	4.24			
P_2O_5	0.12	0.58			
Total	100.00	100.00			
Trace elements (ppr	n)				
Ва	1161	1116			
Cr	n.d.	n.d.			
Co	6.4	13.0			
Cu	0.26	31.73			
Ga	22.3	19.4			
Nb	1.3	8.8			
Ni	n.d.	1.6			
Pb	7.0	16.2			
Rb	15.3	83.6			
Sc	2.94	9.63			
Sr	1947	430			
Th	1.3	11.5			
V	22.5	136.2			
Y	2.9	39.7			
Zn	15	136			
Zr	4.0	193.6			

*Total Fe as Fe_2O_3 . n.d., not detected. Normalized to total 100 wt%.

の組成領域ではアルカリ岩に分類され、岩崎(1937)や 小坂(1990a,b)が行った硫黄島の火山岩類の研究結果 と調和的である.また、長野県産黒燿岩の全岩化学組 成は、ウヅラ石に含まれる火山ガラスに対してSiO₂が 15 wt%程高く、Na₂O+K₂Oが2wt%程低くなっており、 非アルカリ岩に分類される.この特徴をさらに検討す るために、K₂OとNa₂Oに分けてみると、長野県産黒耀 岩のK₂Oは4.1~4.7 wt%,Na₂Oは3.8~4.1 wt%の組成 幅を有し(奥山ほか、2020)、ウヅラ石の火山ガラスの K₂Oは3.8~4.6 wt%,Na₂Oが5.4~6.2 wt%で変化してい る.両者のK₂O組成幅にはほとんど差が認められない

Table 4 Rare earth ele	ments of glass
bead samples (plagioclas	se phenocrysts
and volcanic glass) by LA-	ICP-MS analysis.

	Plagioclase	Volcanic glass	JR-1	JR-1 recommended value
La (ppm)	3.61	23.72	19.16	19.7
Ce	5.83	43.19	46.94	47.2
Pr	0.70	6.14	6.44	5.58
Nd	2.49	23.84	24.13	23.3
Sm	0.38	4.49	6.00	6.03
Eu	0.59	0.98	0.28	0.30
Gd	0.27	3.06	5.32	5.06
Tb	0.03	0.48	1.07	1.01
Dy	0.16	2.41	5.89	5.69
Но	0.03	0.44	1.13	1.11
Er	0.08	1.32	3.69	3.61
Tm	0.01	0.19	0.57	0.67
Yb	0.08	1.35	4.15	4.55
Lu	0.01	0.22	0.72	0.71

*Recommended value of JR-1 is cited from Imai et al. (1995).

のに対して, Na₂Oは明らかにウヅラ石の火山ガラスが 富んでいる.

第3表にXRFによるガラスビード試料(斜長石斑晶 および石基火山ガラス)の主成分および微量元素の分 析結果を示す. 第7図において, 火山ガラスの主成分 元素に注目すると、XRFによるバルク分析値はSEM-EDSによるポイント分析値に対して、SiO₂が2~4wt%, Al₂O₃が1wt%程乏しく、逆にFeO*とCaOが1wt% 程, MgOが0.7 wt%程富んでいる. TiO₂, MnO, Na₂O, K₂O, P₂O₅には組成差が認められなかった. 一方, 斜 長石斑晶は、第4図においてXRFによるバルク組成と SEM-EDSによるライン分析で得られた組成がほぼ一致 しており、大きな差は認められなかった。第3表に示 したガラスビード試料のバルク分析値では、Ba、Gaは 斜長石斑晶と石基火山ガラスで大きな差はみられないが, Co, Cu, Nb, Pb, Rb, Sc, Th, V, Y, Zn, Zrは石基 火山ガラスに濃集しており、Srのみ斜長石斑晶に濃集し ている.

第4表にLA-ICP-MSによるガラスビード試料(斜長 石斑晶および石基火山ガラス)の希土類元素の分析結果 を示す.第4表には同時に測定した標準試料JR-1の値 とその推奨値も掲載している.JR-1の測定値と推奨値を 比較すると、測定値ではPrが0.86 ppm高く、Tmが0.1 ppm低くなっているが、そのほかの希土類元素におい



Figure 9 Chondrite-normalized REE patterns of plagioclase phenocrysts and volcanic glass in the samples by LA-ICP-MS analysis. Value of C1 chondrite is cited from Anders and Grevesse (1989).

ては測定値と推奨値との相対差は±10%以内を示している.

第9図にLA-ICP-MSによるガラスビード試料(斜長 石斑晶および石基火山ガラス)の希土類元素分析値を C1コンドライト(Anders and Grevesse, 1989)で規格 化した希土類元素パターンを示す.バルク組成による希 土類元素パターンは,斜長石斑晶において顕著なEuの 正異常が認められるが,石基火山ガラスでは、マグマの 分化過程で斜長石の晶出が起きた場合にみられるEuの 負異常は認められない.斜長石斑晶および石基火山ガラ スはともに右下がりの曲線を示し,軽希土類元素(La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu)に富み,重希土類元素(Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu)に乏しい変化傾向 を示す.ただし,石基火山ガラスは重希土類においてほ ぼ平坦な変化を有している.また,石基火山ガラスは斜 長石斑晶に対して,Euを除いた軽希土類元素を6~11 倍,重希土類元素を11~17倍有している.

V. 考察

ウヅラ石にみられる大型の斜長石斑晶は,肉眼観察や 鏡下観察,元素マッピング分析で確認されたように,筋 状の火山ガラスを包有する特徴がある(第2図C,第6 図).斜長石斑晶に火山ガラスが包有される現象は,結 晶が急成長することで斜長石斑晶にメルトが取り込ま れた結果である可能性が指摘されている(Kawamoto, 1992). 火山岩にみられる斜長石斑晶の多くは、結晶分 化作用が進むと An 成分がコアからリムにかけて増加し 組成累帯構造を形成するが、ウヅラ石に含まれる斜長石 斑晶はAn成分の変動が小さく, 顕著な組成累帯構造は 認められない(第5図).このことは、結晶分化作用の 過程において、ウヅラ石中の斜長石斑晶がごく短期間の うちに晶出したことを示唆する.また、斜長石斑晶中の 火山ガラスと石基火山ガラスにはほとんど組成差がない ことから(第7図),結晶分化作用においてほぼ同時期 に形成されたものと推定される。石基火山ガラスの組成 は結晶分化作用によって生じた最終的なマグマの組成で あり、同様の組成を有する火山ガラスが斜長石斑晶内部 にも包有されていることから, 斜長石斑晶の晶出は結晶 分化作用の終盤であったと推定される.

SEM-EDSとXRFの分析値の差について検討する.両 者の石基火山ガラスの化学分析値にはSiO₂やAl₂O₃など で違いが認められるが(第7図,第8図),斜長石斑晶 の分析結果には大きな差異はない(第4図).SEM-EDS 分析に用いたウヅラ石3試料は新鮮な面を削り出して測 定したものであり,試料間の主成分組成に差はなく均質 である(第1表).一方,XRF分析に供した石基火山ガ ラスは,複数のウヅラ石を粗粉砕してその破片を集めた ものである.石基火山ガラスは褐色を呈する部分もみら れ、風化が認められることから,粉砕した破片を集めた 際にそれらが混入した結果,含有量の多いSiO₂やAl₂O₃ が低濃度側にシフトした可能性が考えられる.加えて, 石基火山ガラス中には,わずかではあるが磁鉄鉱,輝石, カンラン石,燐灰石が含まれており(第3図),石基火 山ガラスを濃集した際にそれらの鉱物を分離できなかっ たことも,XRFとSEM-EDSの化学分析結果が一致しな い理由と思われる.

今回分析したウヅラ石中の火山ガラスの主成分化学組 成を、伊豆小笠原弧の北方延長上に位置する長野県産黒 耀岩(奥山ほか,2020)の組成と比較すると、前者は SiO₂に15 wt% 程乏しく, Na₂O+K₂Oに2 wt% 程富む特 徴がみられる(第8図).また、両者のK₂O組成幅は4 wt%程でほとんど差が認められないのに対して、Na₂O は前者が5.4~6.2 wt%で変化し、後者より2 wt%程富ん でいる。一般に島弧における火山岩類のK2O量の違い は、マントル物質の部分溶融の程度の違いによって説明 されるが (久野, 1976), Na₂O量の変化についてはよく わかっていない. また. 硫黄島と同じく小笠原諸島に位 置する西之島の火山岩類にはアルカリ岩と非アルカリ岩 が認められ、前者はNa₂Oが5.6~6.5 wt%で変化し、ウ ヅラ石の火山ガラスと同様にNa₂Oに富む特徴をもって いる(伊藤, 2018).伊藤 (2018)ではアルカリ岩と非 アルカリ岩の組成差について言及しているものの、その 原因については明らかにされていない。ウヅラ石の火山 ガラスについては、共存する鉱物組成の分析を通して、 ウヅラ石を形成したマグマの発生条件を明らかにし、さ らに検討する必要があるだろう.

ガラスビード試料(斜長石斑晶および石基火山ガラ ス)のバルク分析による希土類元素パターン(第9図) に注目すると、両者ともに軽希土類に富み、重希土類に 乏しいことからウヅラ石の起源マグマは分化していたと 推定される.ウヅラ石を形成したマグマの分化過程で斜 長石の晶出が起きた場合、Euは斜長石中に濃集しやす いため、斜長石はEuに富み、メルトはEuに乏しい特徴 を示すことが想定される.しかし、第9図からは、顕 著な斜長石のEuの正異常が認められるものの、火山ガ ラスのEuの負異常はほとんど認められない.このこと は、メルトに対して晶出した斜長石の量がわずかであり メルトにEu負異常を生じなかったか、斜長石を直接晶 出したメルトに外から別のメルトが貫入することで、メ ルト同士が撹拌され、斜長石を直接晶出したメルトの組 成が均質化された可能性が考えられる.ただし、斜長石 斑晶中に含まれる火山ガラスと基質の火山ガラスでは, FeO*, MnO, P₂O₅の含有量にわずかに差が認められる ものの,それ以外の主成分元素はほぼ同じ組成を示して いることから(第7図),メルトの撹拌による可能性は 低いと判断される.

今後, ウヅラ石に含まれる斜長石以外の鉱物について も分析を進め, さらに詳細な成因について検討していく 予定である.

VI. まとめ

小笠原諸島,硫黄島に産するウヅラ石について,SEM-EDSやXRF,LA-ICP-MSを用いて鉱物学的検討を行っ た.ウヅラ石は,主として斜長石斑晶と火山ガラスから 構成され,少量の磁鉄鉱,単斜輝石,燐灰石,カンラン 石を含んでいる.化学分析の結果,斜長石斑晶はアンデ シンで,結晶分化作用の終盤に晶出したと推定された. 火山ガラスはアルカリ岩組成を有し,伊豆小笠原弧の北 方延長上の火山ガラスと比較してNa₂Oに富む特徴が認 められた.ウヅラ石を形成した起源マグマは,分化して いたと推定されるが,斜長石の晶出量はわずかであった と推定される.

謝 辞

本研究を進めるに当たり,立正大学地球環境科学部環 境システム学科の川野良信教授には,実験や論文の執筆 など様々な方面で終始多大なるご指導を賜った.同学科 の岩崎望教授には試料を提供していただいた.本学の環 境岩石学研究室に所属する院生・学生の方々には日頃か ら研究に関するアドバイスをいただいた.また,化学分 析においては環境システム学科のエネルギー分散型X線 分析装置付き走査型電子顕微鏡(SEM-EDS),蛍光X線 分析装置(XRF)およびレーザーアブレーション誘導 結合質量分析装置(LA-ICP-MS)を用いた.これらの 機器の導入および保守・管理に関しては環境システム学 科関係者各位に日頃よりご協力いただいている.以上の 方々に謹んでお礼申し上げる.

引用文献

- Anders, E. and Grevesse, N., 1989, Abundances of the elements: Meteoritic and solar. Geochimica et Cosmochimica Acta, 53, 197-214.
- 本間不二男, 1925, 硫黄島地質見聞記. 地球, 4, 290-309.
- 一色直記, 1976, 火山列島硫黄島の地質と岩石. 国立防災科

学技術センター研究速報, 23, 5-16.

- Imai, N., Terashima, S., Itoh, S. and Ando, A., 1995, 1994 compilation values for GSJ reference samples, "Igneous rock series". Geochemical Journal, 29, 91-95.
- Irvine, T.N. and Baragar, W.R.A., 1971, A guide to chemical classification of the common volcanic rocks. Canadian Journal of Earth Sciences, 8, 523-548.
- 伊藤弘志,2018,2013 年噴火直前に得られた西之島火山の 地球物理学的,地質学的特徴.海洋情報部研究報告,55, 1-19.
- 岩崎岩次,1937,本邦火山の地球化學的研究(其十)火山 列島硫黄島及び北硫黄島の熔岩の化學組成.日本化學會誌, 58,1260-1279.
- Kawamoto, T.,1992, Dusty and honeycomb plagioclase indicators of processes in the Uchino stratified magma chamber. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 49, 191-208.
- 川野良信,2010, 蛍光X線装置による珪酸塩岩石および堆積 物の定量化学分析.地球環境研究,12,85-97.
- 川野良信・清水隆一,2017、レーザーアブレーションICP-MS分析法によるガラスビード試料定量分析条件の再検討. 地球環境研究,19,11-19.

- 小暮岳実・清水隆一・川野良信, 2014, SEM-EDSによる火 山ガラスの定量分析と問題点. 地球環境研究, 16, 9-19.
- 久野 久, 1976, 火山及び火山岩(第2版). 岩波書店, 東 京, 283p.
- Le Maitre, R.W., 2002, Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms (2nd ed.). Cambridge Univercity Press, Cambrige, 236p.
- 長井雅史・小林哲夫, 2015, 小笠原硫黄島の火山形成史. 地 学雑誌, 124, 65-99.
- 奥山貴未・北沢俊幸・下岡順直・川野良信,2020,長野県大 町市,鹿島川流域に埋没する黒曜岩礫の岩石学的研究.地 球環境研究,22,11-24.
- 小坂丈予・平林顕一・松田鉱二・大島章一・土出昌一・加藤 茂,1990a,伊豆・小笠原弧海域の海底火山活動に伴って 噴出した岩石とその付近に産出する火山岩の化学成分.水 路部研究報告,26,61-85.
- 小坂丈予・松田鉱二・平林順一・土出昌一, 1990b, 南方諸 島海域の海底火山活動に伴って噴出した岩石の化学成分. 火山, 35, 57-61.
- 大八木規夫・熊谷貞治, 1977, 火山列島硫黄島の⁴C年代. 国立防災科学技術センター研究速報, 25, 5-17.

Mineralogical study of "Uzura stone" from the loto, Ogasawara Islands, Japan

WAKABAYASHI Masaki*

* Faculty of Geo-environmental Science, Rissho University

Abstract :

Mineralogical studies were conducted on "Uzura stone" from the Ioto, Ogasawara Islands, Japan using SEM-EDS, XRF, and LA-ICP-MS. Three Uzura stone samples are mainly composed of plagioclase phenocrysts and volcanic glass, and contains a small amount of magnetite, clinopyroxene, apatite, and olivine. As a result of chemical analysis, the plagioclase phenocrysts in all of the samples are andesine, which is estimated to have crystallized at the end of crystallization differentiation. The volcanic glass in the samples has an alkaline rock composition and is rich in Na₂O compared to volcanic glass on the northern extension of the Izu-Ogasawara arc. The source magma that formed the "Uzura stone" is presumed to have been differentiated, but the amount of plagioclase crystallization is presumed to be small.

Key words: Uzura stone, Ioto, trachyte, andesine, mineral chemistry