

島根県隠岐島後における黒曜石の全岩化学組成

～黒曜石製石器の原産地解析システムの構築に向けて～

隅田 祥光^{1*}・稲田 陽介²・亀井 淳志³・及川 穰⁴

要 旨

島根県隠岐島後における黒曜石原産地の調査で採取された黒曜石試料についての全岩化学組成分析を実施した。波長分散型蛍光 X 線分析装置を用いた定量分析値から隠岐島後の黒曜石は9つの組成の異なったグループに分類することができる。また、これらグループごとの原産地の地点分布から、黒曜石原産地は組成的に久見、加茂、津井の3つの地域と、愛宕山、神尾、沖ノ浦の3つの地点に分けられる。すなわち、元素組成に基づいて黒曜石製石器の原産地推定を実施する場合、少なくとも9つのグループのいずれかが相当するものであることが特定できれば、隠岐島後を原産地としたもので、さらに具体的にどこの地域や地点を原産地としたものか推定することができる。この9つの組成的な区分は、同じ黒曜石原産地の個体試料を用いることで、エネルギー分散型蛍光 X 線分析装置 (ED-XRF) による半定量分析値によってもおおそ可能であり、黒曜石製石器の ED-XRF を用いた非破壊分析による原産地解析への応用が期待できる。

キーワード：黒曜石原産地、隠岐島後、蛍光 X 線分析装置、元素分析、原産地研究

1. はじめに

隠岐島後は九州の腰岳とともに西日本における主要な黒曜石の原産地であり、旧石器から縄文に至る先史時代においては、石器の原材料として広く利用されたことが、遺跡から出土した石器の原産地研究により明らかとなっている（例えば、明治大学古文化財研究所 2009, 2011）。一般に、石器石材の原材料の産地 (Source) を特定することを目的とした研究を原産地研究 (Provenance study) と呼び、この種の研究は機器分析による元素組成に基づいたものが多い。日本における原産地研究は、望月 (1997) 以来、エネルギー分散型蛍光 X 線分析装置 (ED-XRF) を用いた黒曜石製石器の非破壊分析による手法が広く一般的に実施されるに至っている。また、装置の性能向上により短時間で、精度や正確度の高い分析値が得られるようになり、多くの黒曜

石製石器遺物の原産地の推定結果が得られるようになった（例えば、明治大学古文化財研究所 2009, 2011）。

しかし、どれだけ分析装置が進歩したとしても、石器の原産地研究は、莫大な数の黒曜石原産地のデータベースの中から、分析対象とした石器と同じ元素組成を持つものを探すことにあり、全ての原産地が特定され、その情報がデータベースとして格納されているということが前提となる。このため、原産地の「特定」ではなく「推定」という用語が用いられ、絶えずデータベースをアップデートし、同時にその解析手法についても更新していく必要がある。ここでは、原産地の推定や特定のためのデータ解析のことを「原産地解析」と呼ぶ。

及川ほか (2014, 2015) は、2013 年から 2014 年にかけて実施された隠岐島後の黒曜石原産地に関する地質学的・考古学的な野外調査の結果について報告した。これらの調査で採取した黒曜石原産地の試料についての定量分析を実施し、全岩化学組成に基づいた原産地の分類や

1 長崎大学教育学部地学教室 〒852-8521 長崎県長崎市文教町 1-14
2 島根県古代文化センター 〒690-0087 島根県松江市殿町 1
3 島根大学大学院総合理工学研究所 〒690-8504 島根県松江市西川津町 1060
4 島根大学法文学部考古学研究室 〒690-8504 島根県松江市西川津町 1060
* 責任著者：隅田祥光 (geosuda@nagasaki-u.ac.jp)

区分, さらに, それらの地理的な分布状況から, 隠岐島後における黒曜石製石器の原産地解析の手法について検討した. 同時に, ED-XRF を用いた半定量分析を実施し, 非破壊分析法による黒曜石製石器の分析値をどのように原産地解析に適用していくことができるか検討した.

2. 黒曜石の産状と試料採取

隠岐島後は, 中生代から古生代の隠岐変成岩類・片麻岩類, 古第三紀前期から中期の島後南谷花崗岩を基盤とし, それらに古第三紀から中新世の中性~酸性岩類を主とした火山岩, 火砕岩類(火山砕屑岩類), さらに, 鮮新世から更新世前期にかけてのアルカリ玄武岩類が古

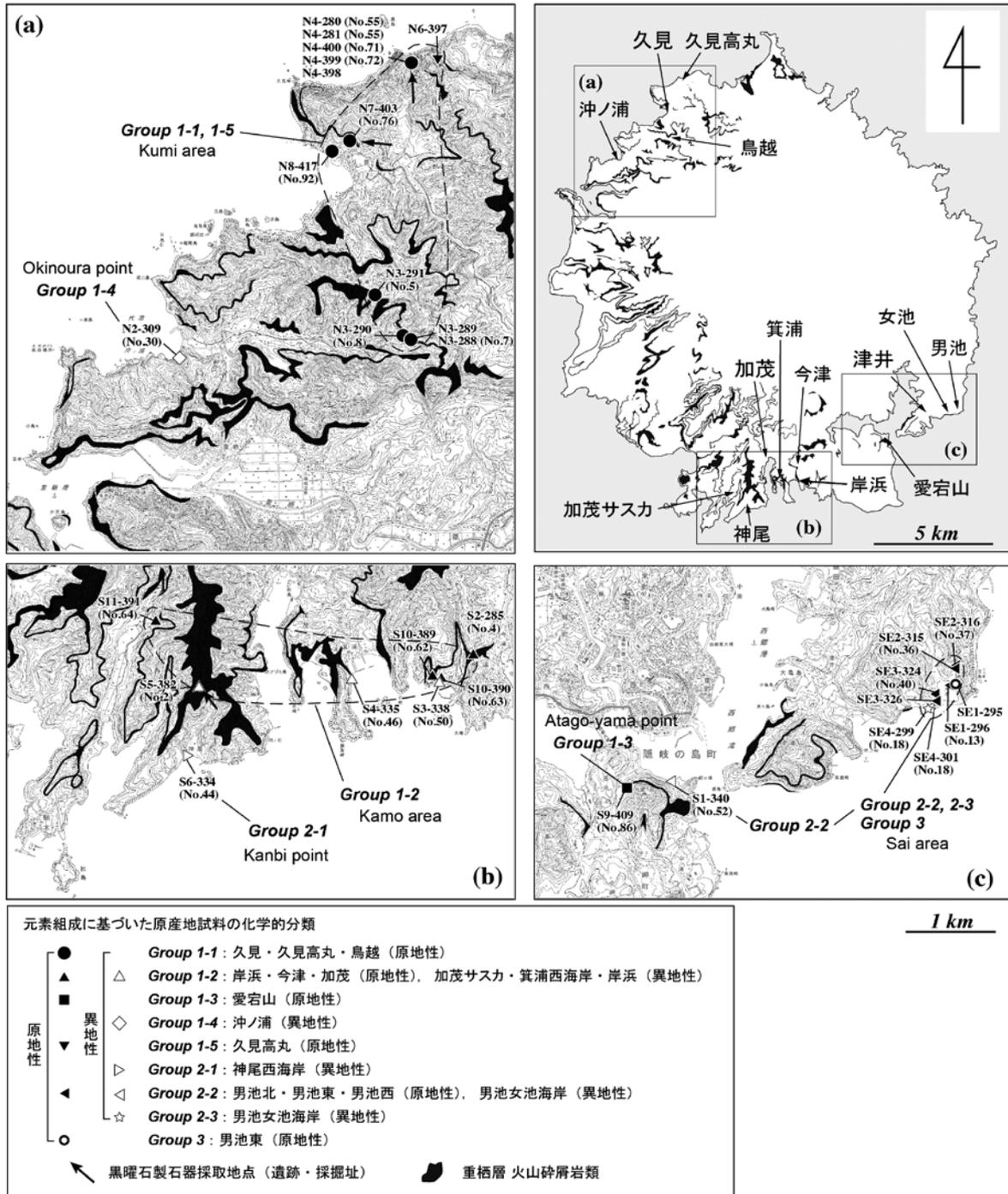


図1 隠岐島後における黒曜石原産地の分布

い基盤岩類に貫入、または覆う（山内ほか2009）。隠岐島後の北部～東部～南部にかけては、古第三紀から中新世の流紋岩、粗面岩、火山砕屑岩類から成る重栖層が広く分布し、黒曜石は、この層の火山砕屑岩類中の礫や岩片として含まれる（山内ほか2009）。実際に、本研究で分析した黒曜石原産地の試料は、その全てが火山砕屑岩類中の礫として産し、採取した地点は、ほぼこの重栖層の火山砕屑岩類の分布範囲に一致する（図1）。本研究で分析した試料の大きさや石質については、及川ほか（2014, 2015）に取りまとめられている。

試料採取においては、採取した試料が地質学的に原地性と判断できるものか、それとも異地性と判断できるものかを、明確に区別することとした。試料の採取方法や試料番号の付け方は、隅田・土屋（2015）に従った。採取した試料は、地点ごとに小箱に整理し、長崎大学教育学部（長崎市）にて保管している。

原地性の試料とは、露頭として産する地点から採取したものであることを意味し、それらは火山砕屑岩類中の礫として産するものを指す。さらに、斜面や尾根に、数百から数千点の礫として、表層に集中している地点も、地質図上で表せられる露頭と判断できることから、原地性の試料に含めることとした。一方、異地性の試料とは、河床や谷底に礫として産するものや、斜面や海岸の表層に、数点から数十点程度の少量の礫として点在するものものを指す。

原地性の試料とは、間違いなく、人類活動以前から定置していた黒曜石であり、人為的な攪乱の影響を受けていない初生的（primary）な黒曜石原産地であることを意味する。一方、異地性の試料とは、近現代も含めた、河川などの自然現象や人為的な攪乱の影響を受けた可能性を含む、二次的（secondary）な黒曜石原産地であることを意味する。また、異地性、原地性に関わらず、原産地においては、原石の礫に混じって石器が含まれていることも少なくない。このような原石とともに石器が伴われる地点は、人為的な攪乱を受けている原産地ではあるが、確かに石材の獲得行動があったことを示す一つの証拠であり、非常に重要度の高い原産地として認定していくことができる。よって、石器を含む原産地における試料採取においては、石器であることが疑わしいもの

は、全て排除し、その地点において最も卓越した石質の原石のみを採取することとした。原産地において採取された石器については、及川ほか（2014, 2015）にて、詳細に報告されている。

3. 全岩化学組成と黒曜石の組成区分

黒曜石原産地で採取した試料の定量分析は、明治大学黒曜石研究センター（長野県長和町）の波長分散型蛍光X線分析装置（Rigaku PrimusII+）を用いて実施した。分析は、隅田・土屋（2015）に従い、原石試料を分割、粉碎したのち、融剤（Merck Spectromelt A12）と希釈率5.000になるよう混ぜ合わせ、高周波溶融装置を用いてガラスビード化して実施した。分析は、31の地点で採取した試料から、代表的な1点の個体を抽出して行った。分析元素は、主要元素（ SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , $\text{T-Fe}_2\text{O}_3$, MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 ）と微量元素（ Zn , Rb , Sr , Y , Zr , Nb , Th ）である。これらの定量分析結果を表1に示す。

隠岐島後における黒曜石の主要元素の合計を100wt.%として再計算し、TAS図（Plot of total alkalis against SiO_2 : Le Maitre et al. 2002）上にプロットすると、アルカリ流紋岩に分類される（図2）。この再計算後の SiO_2 の含有率は71.96～75.11wt.%、 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ の含有率は9.33～10.39wt.%である。

次に、隠岐島後に産する黒曜石を元素組成に基づいて、どのように分類できるか検討した。ここでは、始めに、含有率の分散（最大値と最小値の差の割合）が大きい元素を指標とし、分析試料全体の化学的な特徴について確認した。すると、Srの含有率が最も分散（0.7～15.6ppm）が大きく、これらの中間値（8.15ppm）に対する最大値と最小値を差し引いた値（14.9ppm）の割合は183%である。続いて、分散の大きい元素はMgOの含有率（0.02～0.18wt.%）で、これらの中間値（0.10wt.%）に対する最大値と最小値を差し引いた値（0.16wt.%）の割合は160%である。

以上の結果に基づいて、Srの含有率に対するMgOの含有率を示す散布図を作成した（図3）。この散布図上で、分析試料のSrとMgOの含有率は、おおよそ

表 1 黒曜石原産地試料の定量分析結果

Chemistry	Group 1-1									
Sample No.	N-3-288-1	N-3-289-1	N-3-290-1	N-3-291-1	N-4-280-1	N-4-281-1	N-4-398-1	N-4-399-1	N-4-400-1	N-7-403-1
*GPS No.	No.7	-	No.8	No.5	No.55	No.55	-	No.72	No.71	No.76
Lat. (N°)	36.30286	36.30268	36.30303	36.30712	36.33043	36.33047	36.33043	36.33043	36.33046	36.32263
Long. (E°)	133.23918	133.23935	133.23838	133.23468	133.23904	133.23909	133.23916	133.23929	133.23940	133.23176
Locality	Torigoe	Torigoe	Torigoe	Torigoe	Kumi-takamaru	Kumi-takamaru	Kumi-takamaru	Kumi-takamaru	Kumi-takamaru	Kumi
Occurrence	primary (outcrop)									
<i>in wt.%</i>										
SiO ₂	74.76	74.85	74.78	74.75	74.75	74.72	75.00	74.94	74.90	75.02
TiO ₂	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Al ₂ O ₃	12.72	12.73	12.71	12.75	12.78	12.76	12.77	12.77	12.77	12.76
T-Fe ₂ O ₃	1.96	1.96	1.96	1.97	1.97	1.97	1.97	1.97	1.97	1.98
MnO	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
MgO	0.03	0.04	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03
CaO	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57
Na ₂ O	4.20	4.20	4.19	4.20	4.21	4.20	4.23	4.20	4.19	4.21
K ₂ O	5.17	5.16	5.16	5.17	5.15	5.16	5.11	5.13	5.12	5.12
P ₂ O ₅	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
total	99.60	99.70	99.58	99.63	99.65	99.59	99.87	99.80	99.74	99.88
<i>in ppm</i>										
Zn	78.7	78.9	78.2	78.6	78.8	78.8	78.8	79.7	78.6	77.9
Rb	228	227	229	228	227	227	222	221	222	222
Sr	1.5	1.3	1.0	0.9	1.2	1.1	1.1	1.5	1.0	0.7
Y	50.7	50.9	51.1	50.9	51.7	50.6	50.8	51.5	50.9	51.6
Zr	316	315	313	315	321	318	317	322	320	321
Nb	79.5	78.1	78.4	79.6	78.3	78.0	79.0	78.6	78.5	78.0
Th	27.4	25.7	27.4	26.8	26.8	26.4	27.1	26.4	26.6	26.5

Chemistry	Group 1-1	Group 1-2	Group 1-2	Group 1-2	Group 1-2	Group 1-2	Group 1-2	Group 1-2	Group 1-2	Group 1-3	Group 1-4
Sample No.	N-8-417-1	S-10-389-1	S-10-390-1	S-11-391-1	S-2-285-1	S-3-338-1	S-4-335-1	S-5-382-1	S-9-409-1	N-2-309-1	
*GPS No.	No.92	No.62	No.63	No.64	No.4	No.50	No.46	No.2	No.86	No.30	
Lat. (N°)	36.32137	36.17736	36.17715	36.18313	36.17987	36.17671	36.17694	36.17636	36.19616	36.30069	
Long. (E°)	133.22968	133.29893	133.29997	133.26449	133.30402	133.30006	133.28888	133.26978	133.32680	133.21063	
Locality	Kumi	Kishihama	Kishihama	Kamo	Imazu	Kishihama	Minoura-nishi-kaigan	Kamo-sasuka	Atagoyama	Okinoura	
Occurrence	primary (outcrop)	primary (outcrop)	primary (surface)	primary (outcrop)	primary (outcrop)	secondary	secondary	secondary	primary (outcrop)	secondary	
<i>in wt.%</i>											
SiO ₂	74.96	74.46	74.80	74.81	74.53	74.57	74.39	74.97	72.40	72.53	
TiO ₂	0.12	0.15	0.14	0.14	0.14	0.15	0.15	0.14	0.19	0.17	
Al ₂ O ₃	12.76	12.86	12.84	12.87	12.81	12.91	12.91	12.72	13.99	13.70	
T-Fe ₂ O ₃	1.98	2.15	2.09	2.12	2.11	2.16	2.18	2.06	2.39	2.37	
MnO	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	
MgO	0.03	0.04	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.10	0.07	
CaO	0.57	0.60	0.59	0.59	0.59	0.60	0.60	0.58	0.71	0.70	
Na ₂ O	4.20	4.28	4.22	4.24	4.26	4.28	4.26	4.18	4.48	4.40	
K ₂ O	5.12	5.17	5.17	5.13	5.21	5.19	5.17	5.16	5.63	5.57	
P ₂ O ₅	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	
total	99.81	99.78	99.94	100.00	99.74	99.96	99.76	99.90	99.98	99.59	
<i>in ppm</i>											
Zn	79.5	83.7	82.6	82.4	82.2	82.5	82.8	82.4	69.5	70.8	
Rb	223	215	216	215	220	215	214	218	200	207	
Sr	1.1	1.4	0.8	0.9	0.8	1.3	1.0	1.0	1.9	2.0	
Y	51.1	51.8	51.5	51.5	50.3	51.6	50.5	51.9	44.4	44.8	
Zr	321	405	392	396	397	407	421	376	411	396	
Nb	78.5	76.8	78.0	77.2	77.7	76.9	76.1	76.7	69.3	71.1	
Th	27.0	27.4	26.6	26.5	25.8	26.7	27.1	26.6	24.1	24.8	

*after Oyokawa et al. (2015); Table 1, and Oyokawa et al. (2014); Table 2.

表 1 (続き)

Chemistry	Group 1-5	Group 2-1	Group 2-2	Group 2-2	Group 2-2	Group 2-2	Group 2-2	Group 2-2	Group 2-2	Group 2-3	Group 3
Sample No.	N-6-397-1	S-6-334-1	S-1-340-1	SE-1-296-1	SE-2-315-1	SE-2-316-1	SE-3-324-1	SE-3-326-1	SE-4-301-1	SE-4-299-1	SE-1-295-1
*GPS No.	-	No.44	No.52	No.13	No.36	No.37	No.40	-	No.18	No.18	-
Lat. (N°)	36.33086	36.16962	36.19683	36.20639	36.20803	36.20847	36.20575	36.20482	36.20434	36.20436	36.20671
Long. (E°)	133.2429	133.26879	133.33257	133.36684	133.3675	133.3676	133.36511	133.36548	133.36472	133.36493	133.3672
Locality	Kumi-takamaru	Kanbi-nishi-kaigan	Atago-yama-kita-kaigan	Oike-higashi	Oike-kita	Oike-kita	Oike-nishi	Oike-nishi	Oike-meike-kaigan	Oike-meike-kaigan	Oike-higashi
Occurrence	primary (outcrop)	secondary	secondary	primary (outcrop)	primary (outcrop)	primary (outcrop)	primary (surface)	primary (surface)	secondary	secondary	primary (outcrop)
<i>in wt. %</i>											
SiO ₂	74.57	72.27	72.28	72.04	72.15	72.22	72.24	72.36	71.99	72.04	71.51
TiO ₂	0.12	0.20	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.22	0.25
Al ₂ O ₃	12.71	14.29	14.28	14.22	14.20	14.25	14.23	14.25	14.23	14.30	14.45
T-Fe ₂ O ₃	1.98	2.25	2.10	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.12	2.17
MnO	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
MgO	0.05	0.14	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.18
CaO	0.58	0.71	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.70	0.69	0.72	0.75
Na ₂ O	4.21	4.44	4.34	4.20	4.35	4.35	4.34	4.32	4.35	4.34	4.35
K ₂ O	5.07	5.76	5.84	5.88	5.89	5.90	5.89	5.84	5.88	5.90	6.01
P ₂ O ₅	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03
total	99.36	100.14	99.96	99.55	99.80	99.93	99.91	99.99	99.66	99.87	99.75
<i>in ppm</i>											
Zn	79.1	62.1	55.3	54.9	55.1	54.3	55.1	55.2	55.1	54.6	53.6
Rb	219	197	198	203	204	202	204	196	201	199	197
Sr	3.5	5.1	9.1	9.3	9.4	9.0	9.3	9.5	9.0	11.0	15.6
Y	51.2	39.8	36.0	36.8	36.2	36.6	35.8	36.5	36.8	35.8	33.8
Zr	316	383	352	351	352	353	351	352	352	363	384
Nb	78.8	60.4	54.1	52.9	53.7	54.1	54.2	52.4	53.4	52.0	49.4
Th	26.8	22.8	22.8	23.7	23.7	23.0	23.6	23.0	22.5	22.0	21.2

*after Oyokawa et al. (2015); Table 1, and Oyokawa et al. (2014); Table 2.

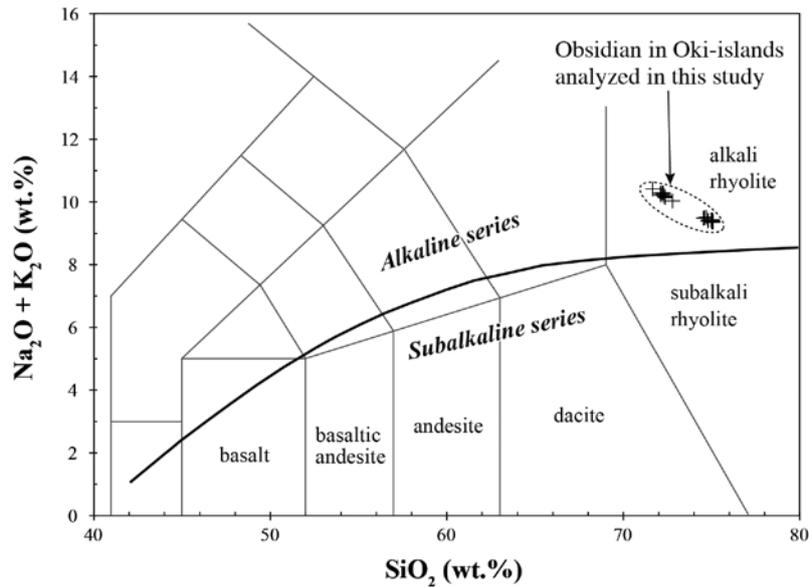


図 2 隠岐島後黒曜石原産地試料の SiO₂ に対する Na₂O+K₂O の含有率の散布図

正の相関を示し、これら元素の含有率と分散に基づいて、low Sr-Mg (Sr < 4 ppm, MgO < 0.12 wt.%), mid Sr-Mg (Sr = 4 ~ 14 ppm, MgO = 0.12 ~ 0.16 wt.%), high Sr-Mg (Sr > 14 ppm, MgO > 0.16 wt.%) の3つの組成グループ (chemical group, chemistry) に分けた (図3)。なお、high Sr-Mg に相当するものは1試料であり、試料番号 SE-1-295-1 (男池東) である (表1)。これら3つのグループごとの分析試料の Sr と MgO の含有率や含有率の範囲は、以下になり、Group 1 ~ 3 と示した。

Group 1 : Sr = 0.7 ~ 3.5 ppm, MgO = 0.2 ~ 0.1 wt.%

Group 2 : Sr = 5.1 ~ 11.0 ppm, MgO = 0.14 ~ 0.15 wt.%

Group 3 (SE-1-295-1) : Sr = 15.6 ppm, MgO = 0.18 wt.%

上記の3つのグループを区分する Sr と MgO 以外の元素を見出すため、Sr に対する幾つかの元素の含有率についての散布図を作成した (図4)。すると、Sr と MgO 以外に TiO₂, K₂O, Y, Nb, Th の含有率でも、これら3つのグループを区別していくことができることが確認された。さらに、Sr に対し TiO₂, K₂O の含有率に正の相関が、一方、Sr に対し Y, Nb, Th の含有率に負の相関が見られた。これら元素は、図3の結果から、Sr だけでなく MgO の含有率に対しても正の相関、あるいは負の相関を示すものと言える。

以上のことから、low Sr-Mg (Group 1), mid Sr-Mg (Group 2), high Sr-Mg (Group 3) という3つのグループは、Sr と MgO を含めた複数の元素を用い、Sr+MgO+TiO₂+K₂O を合計した含有率に対する、Y+Nb+Th を合計した含有率の散布図で効果的に区分することができる。ただし、これら元素の含有率を、そのままプロットしては、例えば、主要元素 (MgO, TiO₂) と、微量元素 (Sr, K, Y, Nb, Th) とでは、散布図上での重みが大きく異なる。また、微量元素においても全体的に含有率の低い Sr (0.7 ~ 15.1ppm) と、全体的に含有率の高い Y (33.8 ~ 51.9ppm) とでは、散布図上における元素ごとの重みが異なる。よってここでは、地球化学標準試料 (産業技術総合研究所発行) である JR-2 の推奨値 (Imai et al., 1995) を用いて、各元素

の含有率を規格化し、散布図に示される元素の重みをできるだけ均一化した。なお、ここで用いた JR-2 の推奨値は、TiO₂ = 0.07wt.%, T-Fe₂O₃ = 0.77wt.%, MgO = 0.04 wt.%, Zn = 27.9ppm, Rb = 304ppm, Sr = 8.1ppm, Y = 51.2ppm, Zr = 96.5ppm, Nb = 18.7ppm, Th = 31.5ppm である。

JR-2 の推奨値で規格化した Sr+MgO+TiO₂+K₂O に対する Y+Nb+Th の含有率の散布図を図5aに示す。この散布図上で、横軸 (=X) と縦軸 (=Y) の値は、おおよそ反比例の関係で示され、Group 1 ~ Group 3 は、以下の横軸と縦軸の値の比 (Y/X) で、特徴づけられる。

Group 1 : Y/X ratio = 1.17 ~ 2.54

Group 2 : Y/X ratio = 0.64 ~ 0.84

Group 3 (SE-1-295-1) : Y/X ratio = 0.52

Sr に対する MgO の散布図 (図3) において、Group 2 (mid Sr-Mg) は、大きく3つの組成や組成範囲に区分され、ここでは、それらを Sr の含有率の低いものから Group 2-1, Group 2-2, Group 2-3 のサブグループに区分することとした。なお、Group 2-1 と Group 2-3 に相当するものは、それぞれ1試料のみである。試料番号は、Group 2-1 が S-6-334-1 (神尾西海岸^{かんび})、Group 2-3 が SE-4-299-1 (男池女池海岸) である (表1)。

図4の散布図に基づくと、Group 2-1 ~ 2-3 は、Sr の含有率のほかに、TiO₂, T-Fe₂O₃, Zr の含有率でも区分が可能である。これら元素のうち TiO₂ は、Sr の含有率に対して正の相関を示す。一方、T-Fe₂O₃ と Zr の含有率は、いずれも低いものから Group 2-2, Group 2-3, Group 2-1 という順番にある。これらのことから、Group 2 における3つのサブグループは、Sr+TiO₂ の含有率 (=X) に対する、T-Fe₂O₃+Zr の含有率 (=Y) の散布図を用いて効果的に区分できると言える。標準試料 JR-2 の推奨値で規格化した散布図を図5bに示す。この散布図に示す、Group 2 における3つのサブグループの X 軸と Y 軸の値の範囲は以下である。

Group 2-1 (S-6-334-1) : X = 3.49, Y = 6.89

Group 2-2 : X = 4.11 ~ 4.17, Y = 6.35 ~ 6.37

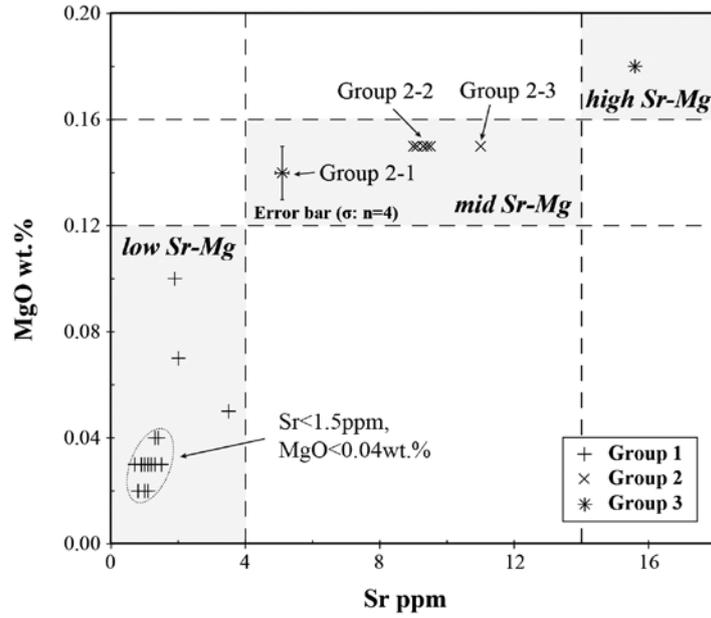


図3 隠岐島後黒曜石原産地試料のSrに対するMgOの含有率の散布図

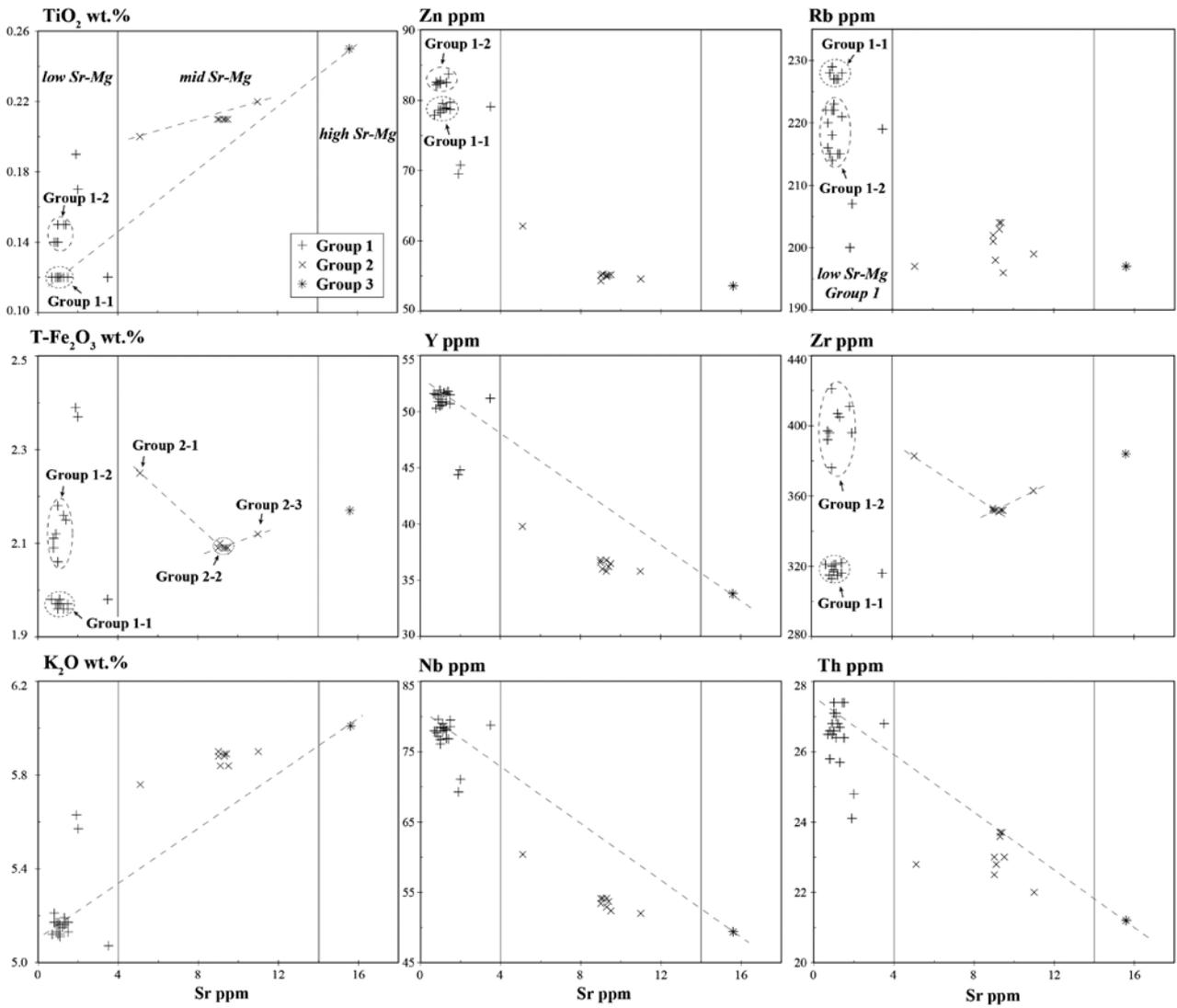


図4 隠岐島後黒曜石原産地試料のSrに対する主要・微量元素の散布図

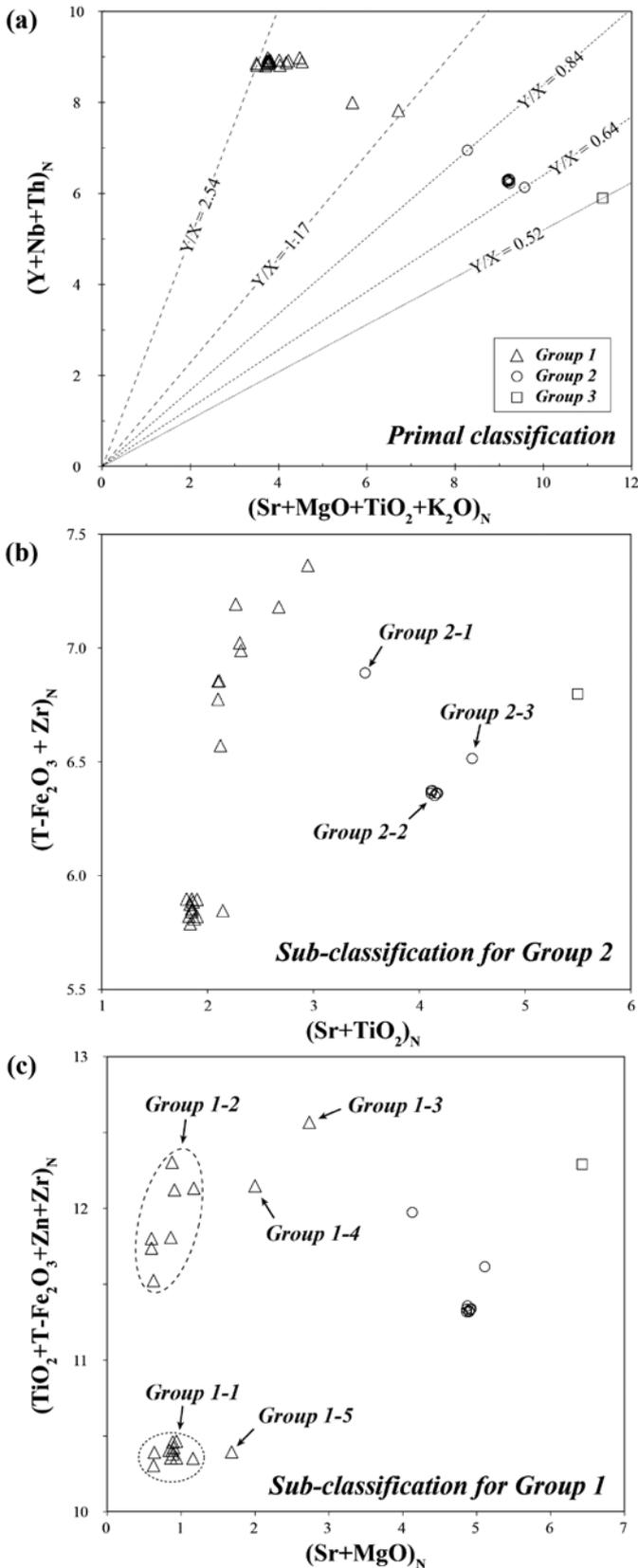


図5 定量分析結果に基づいた原産地試料の化学的分類 (a~c)

Group 2-3 (SE-4-299-1) : $X = 4.50$, $Y = 6.51$

Sr に対する MgO の散布図 (図 2) において, Group 1 のプロットは, 大きく 4 つの組成や組成範囲に区分されるが, この中で Sr と Mg の含有率が最も低いクラスター (図 3 : $Sr < 1.5\text{ppm}$, $MgO < 0.04\text{wt.}\%$) は, Sr に対する TiO_2 , $T-Fe_2O_3$, Zn , Rb , Zr の散布図 (図 4) において, さらに 2 つのクラスターに分けられる. これら 2 つのクラスターは, TiO_2 , $T-Fe_2O_3$, Zn , Zr の含有率の低いものと高いものに分けられ, ここでは, これら元素の含有率の低いクラスターを Group 1-1, 高いクラスターを Group 1-2 と区分することとした (図 4).

これらのことから, Group 1 の組成は, 合計 5 つのサブグループに分類することができ, これらサブグループは, Sr+MgO の含有率 (=X) に対する $TiO_2+T-Fe_2O_3+Zn+Zr$ の含有率 (=Y) の散布図 (JR-2 の推奨値で規格化) を用いて, 効果的に区分できる (図 5c). ここでは, Group 1-1 と Group 1-2 以外のサブグループは, X 軸と Y 軸の値の高いものから Group 1-3, Group 1-4, Group 1-5 とした. なお, Group 1-3 ~ Group 1-5 に相当するものは, いずれも 1 試料のみで, それぞれ試料番号 S-9-409-1 (愛宕山), N-2-309-1 (沖ノ浦), N-6-397-1 (久見高丸東) である (表 1). 図 5c の散布図に示される, Group 1-1 ~ Group 1-5 の 5 つのサブグループの X 軸と Y 軸の値や範囲は, 以下である.

- Group 1-1 : $X = 0.62 \sim 1.16$, $Y = 7.50 \sim 7.61$
- Group 1-2 : $X = 0.60 \sim 1.17$, $Y = 8.57 \sim 9.17$
- Group 1-3 (S-9-409-1) : $X = 2.73$, $Y = 10.08$
- Group 1-4 (N-2-309-1) : $X = 2.00$, $Y = 9.61$
- Group 1-5 (N-6-397-1) : $X = 1.68$, $Y = 7.56$

以上のことをまとめると, 隠岐島後における黒曜石原産地は, 合計 9 つの組成的なグループに区分することができると言える. その区分の方法は, まず, 図 5a に示す散布図により Group 1 ~ Group 3 に区分する. そして, Group 1 と Group 2 に区分されたものは, それぞれ図 5c と図 5b に示す散布図を用いて, それぞれのサブグループ (Group 1-1 ~ Group 1-5, Group 2-1 ~ Group 2-3) に区分する.

全岩化学組成を用いて、ある黒曜石の原産地を明らかにしたい場合、これら散布図を用い、9つのグループのいずれかに相当するものであるか否かを確認する。そして、どのグループに相当するものかが確認できれば、図1に示す、グループごとの原産地の地点の分布情報から、その黒曜石の原産地が隠岐島後内の具体的にどこの地点や地域なのか、より細かな情報を得ることができる。

4. 半定量分析値を用いた黒曜石の組成区分

鳥根県古代文化センター設置のエネルギー分散型蛍光X線分析装置(ED-XRF; SII SEA 1200VX)を用い、WD-XRFによる定量分析と同じ個体試料についての半定量分析を実施した。なお、測定は平面研磨した面を用い、コリメーターは8mmに設定、測定時間は300秒を4回とした。分析値の算出にはFP法を用い、標準試料は使用していない。分析結果を表2に示す。分析元素は、主要元素(SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, T-Fe₂O₃, MnO, CaO, Na₂O, K₂O, P₂O₅)と微量元素(Rb, Sr, Y, Zr, Nb)である。

まず、得られたED-XRFによる半定量分析結果の信頼性を確認するため、分析値をWD-XRFによる定量分析値と比較し、元素ごとの正確度を求めた。結果、測定値が得られた元素の中で、最も相関係数(R)が低い元素はP₂O₅(0.06111)である。その他のSiO₂(0.83590), TiO₂(0.99040), Al₂O₃(0.98942), T-Fe₂O₃(0.86437), MnO(0.94930), CaO(0.95266), K₂O(0.94355), Rb(0.92459), Sr(0.99526), Y(0.97068), Nb(0.95118), Zr(0.87973)の元素は、相関係数が0.8以上となった。ただし、相関係数が0.8を超えるものの中でも、T-Fe₂O₃, CaO, K₂O, Sr, Y, Nbは、定量分析値に対する誤差が10%を大きく超える。すなわち、ED-XRFによる半定量分析値とWD-XRFによる定量分析値との直接比較はできないが、P₂O₅を除く、測定結果が得られた元素に関しては、ED-XRFによる分析値のみを用いるならば、WD-XRFによる定量分析値と同様の化学組成に基づいた区分を実施することがおおそ可能と示唆される。

そこで、図4や図5に示した定量分析値に基づいた黒

曜石の組成的な区分が、どこまで半定量分析値を用いて再現可能か検討した。まず、SrとMgOの含有率に基づいたGroup 1～Group 3を区別するため、図5aに示す元素から分析値の得られていないThとMgOを取り除いて、JR-2の推奨値で規格化したYb+Nb(=Y)に対するSr+TiO₂+K₂O(=X)の含有率の散布図を作成した(図6a)。Group 1～3のグループごとのX軸とY軸の比は以下である。

Group 1 : Y/X ratio = 2.19 ~ 3.16

Group 2 : Y/X ratio = 0.13 ~ 0.19

Group 3 (SE-1-295-1) : Y/X ratio = 0.10

元素組成からGroup 2に区分されたものを、さらに3つのサブグループ(Group 2-1～2-3)に区分するため、図5bと同じ、T-Fe₂O₃+Zr(=Y)に対するSr+TiO₂(=X)の含有率の散布図(JR-2の推奨値で規格化)を図6bに示す。この散布図におけるGroup 2-1～Group 2-3のサブグループごとのX軸とY軸の値や範囲は、以下である。

Group 2-1 (S-6-334-1) : X = 2.94, Y = 6.20

Group 2-2 : X = 3.19 ~ 3.40, Y = 5.39 ~ 6.00

Group 2-3 (SE-4-299-1) : X = 3.79, Y = 6.11

組成的にGroup 1に区分されたものを、さらに5つのサブグループ(Group 1-1～1-5)に区分するための散布図を図6cに示す。ここでは、図5cに示す元素から分析値の得られていないZnとMgを取り除いて、JR-2の推奨値で規格化したTiO₂+T-Fe₂O₃+Zr(=Y)に対するSr(=X)の散布図を作成した(図6c)。この散布図上におけるGroup 1-1～1-5のサブグループのX軸とY軸の値や範囲は、以下である。

Group 1-1 : X = 0.00, Y = 6.40 ~ 6.88

Group 1-2 : X = 0.00, Y = 7.30 ~ 8.30

Group 1-3 (S-9-409-1) : X = 0.10, Y = 8.38

Group 1-4 (N-2-309-1) : X = 0.10, Y = 8.60

Group 1-5 (N-6-397-1) : X = 0.10, Y = 6.77

表2 黒曜石原産地試料の半定量分析結果

Chemistry	Group 1-1										
Sample No.	N-3	N-3	N-3	N-3	N-4	N-4	N-4	N-4	N-4	N-7	N-8
	-288-1	-289-1	-290-1	-291-1	-280-1	-281-1	-398-1	-399-1	-400-1	-403-1	-417-1
<i>in wt.%</i>											
SiO ₂	76.22	76.08	74.00	76.30	76.04	76.18	76.23	76.24	76.61	76.28	76.27
TiO ₂	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.10	0.10
Al ₂ O ₃	12.81	12.83	12.57	12.90	12.88	12.86	12.93	12.91	12.92	12.89	12.90
T-Fe ₂ O ₃	1.62	1.63	1.59	1.60	1.60	1.63	1.59	1.55	1.56	1.59	1.52
MnO	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
CaO	0.43	0.43	0.47	0.42	0.45	0.46	0.44	0.42	0.41	0.43	0.43
Na ₂ O	4.73	4.88	7.08	4.67	4.90	4.75	4.71	4.95	4.55	4.68	4.78
K ₂ O	3.90	3.85	3.77	3.82	3.84	3.81	3.80	3.65	3.68	3.83	3.81
P ₂ O ₅	0.00	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>in ppm</i>											
Rb	203	204	198	200	202	201	198	195	193	198	192
Sr	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Y	69.3	68.5	66.9	66.9	67.7	67.7	66.9	65.4	65.4	66.9	64.6
Zr	315	321	307	309	314	317	309	301	305	318	294
Nb	129	129	122	129	129	127	127	124	124	126	123

Chemistry	Group 1-2	Group 1-3	Group 1-4	Group 1-5						
Sample No.	S-10	S-10	S-11	S-2	S-3	S-4	S-5	S-9	N-2	N-6
	-389-1	-389-1	-391-1	-285-1	-338-1	-335-1	-382-1	-409-1	-309-1	-397-1
<i>in wt.%</i>										
SiO ₂	74.05	76.26	75.74	74.10	75.68	75.80	76.08	72.19	74.43	76.16
TiO ₂	0.11	0.11	0.12	0.11	0.12	0.12	0.11	0.15	0.14	0.10
Al ₂ O ₃	12.73	12.99	12.96	12.74	13.00	13.03	12.84	13.88	13.90	12.84
T-Fe ₂ O ₃	1.63	1.66	1.73	1.63	1.76	1.70	1.65	1.83	1.90	1.61
MnO	0.05	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.05
CaO	0.47	0.42	0.45	0.46	0.45	0.45	0.45	0.55	0.52	0.43
Na ₂ O	6.89	4.74	4.92	6.78	4.88	4.92	4.83	6.85	4.75	4.82
K ₂ O	3.68	3.62	3.86	3.75	3.91	3.78	3.85	4.12	4.15	3.84
P ₂ O ₅	0.26	0.00	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00	0.24	0.00	0.00
<i>in ppm</i>										
Rb	184	193	197	190	194	185	198	169	182	199
Sr	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.8	0.8
Y	63.0	66.1	67.7	65.4	67.7	63.8	67.7	55.1	59.8	66.9
Zr	344	358	372	351	414	388	372	374	398	312
Nb	115	125	126	120	128	122	125	109	120	126

Chemistry	Group 2-1	Group 2-2	Group 2-3	Group 3						
Sample No.	S-6	S-1	SE-1	SE-2	SE-2	SE-3	SE-3	SE-4	SE-4	SE-1
	-334-1	-340-1	-296-1	-315-1	-316-1	-324-1	-326-1	-301-1	-299-1	-295-1
<i>in wt.%</i>										
SiO ₂	74.06	74.01	72.23	73.98	72.06	73.98	73.96	73.93	73.72	73.48
TiO ₂	0.18	0.18	0.17	0.19	0.17	0.19	0.18	0.19	0.20	0.22
Al ₂ O ₃	14.41	14.40	14.15	14.50	14.20	14.43	14.42	14.40	14.46	14.69
T-Fe ₂ O ₃	1.78	1.71	1.62	1.74	1.58	1.66	1.65	1.70	1.76	1.79
MnO	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05
CaO	0.55	0.54	0.54	0.54	0.51	0.52	0.52	0.52	0.54	0.56
Na ₂ O	4.46	4.61	6.75	4.50	6.89	4.65	4.75	4.70	4.64	4.54
K ₂ O	4.37	4.37	4.12	4.36	4.19	4.40	4.35	4.38	4.48	4.53
P ₂ O ₅	0.00	0.00	0.24	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>in ppm</i>										
Rb	173	177	173	182	165	173	171	178	180	175
Sr	3.4	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	7.6	11.8
Y	53.5	52.0	50.4	52.8	47.2	49.6	49.6	52.0	52.0	49.6
Zr	375	345	341	361	322	333	332	353	369	386
Nb	109	105	97.2	106	94	97.2	97.9	104	102	100

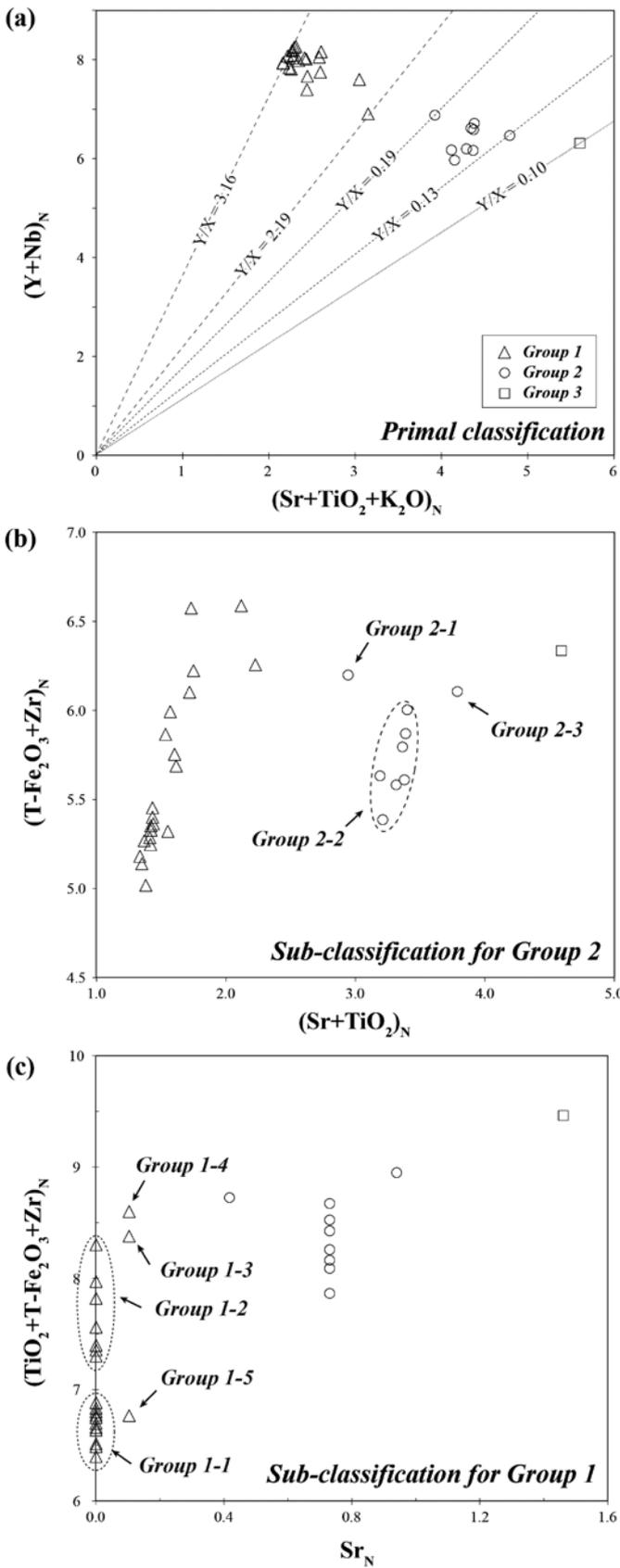


図6 半定量分析結果に基づいた原産地試料の化学的分類 (a～c)

以上のことから、ED-XRF を用いた半定量分析値は、図 6a～c に示す 3 つの散布図にプロットすることで、WD-XRF による定量分析値を用いた場合と同様に、元素組成に基づいた 9 つのグループに区分的ことができる。また、ある黒曜石の原産地を、この半定量分析によって求めたい場合、どの組成グループに相当するものかを確認することができれば、図 1 に示すグループごとの原産地の地点の分布情報から、隠岐島後内の具体的にどの地点や地域が原産地なのか特定や推定を実施していくことができる。

5. 隠岐島後における黒曜石の原産地解析

隠岐島後では、南東部の津井、南部の加茂、北部の久見の 3 つが黒曜石の主要な原産地として知られている (鎌木ほか 1984, 平野 1986)。ただし、これらの原産地がどの程度の地理的な範囲を示すか、それとも地点として区分的できるか不確かな点が多い。ここでは、原地性・異地性などの原産地の産状の情報とともに、全岩化学組成に基づいて、黒曜石原産地を、どの程度、地理的な範囲や地点として認識できる可能性があるか検討した。元素組成に基づいて区分的された Group 1-1～1-5, Group 2-1～2-3, Group 3 についての試料位置を図 1 に示す。

及川ほか (2015) では、ED-XRF による測定結果に基づいた判別図上 (望月 1997) で、隠岐島後の黒曜石原産地の試料を、箕浦群、岬地区群 (津井)、久見群の 3 つに区分的した。しかし、判別図上で、また地理的な領域や範囲として、これら 3 つの群を明確に区分的するに至らなかった。ここでは、WD-XRF による定量分析を実施した試料の位置の情報から、津井、加茂、久見という 3 つの地域を中心とした、元素組成に基づいた、黒曜石原産地の地理的な範囲や分布について確認した (図 1)。

久見地域には、組成的には Group 1-1 と Group 1-5 に相当する原地性の黒曜石が産出し、この組成を持ったものが分布している範囲は「鳥越」に及ぶ。津井地域 (男池女池周辺) には、異地性と原地性を合わせ、組成的には Group 2-2, Group 2-3, Group 3 に相当するものが分布し、Group 2-2 に相当するものは、愛宕山の北の海岸にあった転石 (1 点) から産出する。ただし、この

海岸において採取された試料は、表層上の1点ものであり、その産状から近現代も含めた人為な攪乱を受けた原産地である可能性が窺える。加茂地域には、異地性と原地性のものを合わせ Group 1-2 に相当するものが広く分布し、この組成のものが産出する範囲は「岸浜・今津・箕浦」に及ぶ。以上のことをまとめると、津井、加茂、久見という黒曜石原産地は、それぞれ、以下の地理的範囲や化学的特徴で示される可能性が高いと言える。

久見地域 (久見高丸・久見・鳥越) : Group 1-1, Group 1-5

加茂地域 (加茂サスカ・箕浦・今津) : Group 1-2

津井地域 (男池・女池) : Group 2-2, Group 2-3, Group 3

また、上記のグループ以外の化学的特徴をもった黒曜石として、津井の西にある「愛宕山」に Group 1-3 に相当するものが、加茂地域の南の「神尾」に Group 2-1 に相当するものが、久見の南西に位置する「沖ノ浦」に Group 1-4 に相当するものが産出する。これらの地点は、いずれも、上記の津井、加茂、久見という地域の区域外に位置する。すなわち、化学的特徴から見ると、以下の地点も、津井、加茂、久見とは別の黒曜石原産地として区別することが可能と言える。

愛宕山 : Group 1-3

神尾 : Group 2-1

沖ノ浦 : Group 1-4

以上のことから、隠岐島後における黒曜石の原産地は、化学的特徴に基づくと、大きく、3つの地域 (Area) と、3つの地点 (Point) に分けられる。そして、ある黒曜石の原産地を求めたい場合、正確な定量分析値が得られるならば、図5a～cに示す散布図を用いて、一方、ED-XRFなどの非破壊法による半定量分析値しか得られないならば、図6a～cに示す散布図を用いて、どの組成的なグループに相当するものかを確認する。もし、いずれのグループにも相当しないと確認された場合は、隠岐島後以外の地域を原産地とする可能性が高い。一方で、どのグループに相当するかを特定することができれば、少なくとも、隠岐島後を原産地とする。そして、具

体的に、隠岐島後内のどこの地域や地点を原産地とするか、久見 (Kumi area)、加茂 (Kamo area)、津井 (Sai area) の3つの地域、あるいは、愛宕山 (Atago-yama point)、神尾 (Kanbi point)、沖ノ浦 (Okinoura point) の3つの地点のいずれかに絞り込むことができる (図1)。

また、上記で述べたことは、あくまでも、隠岐島後以外に、隠岐島後と同じ組成を持った黒曜石が周辺地域に産しないというのが前提である。隠岐島後周辺におけるアルカリ流紋岩の組成を持った黒曜石は、長崎県壱岐に産することが報告され、隠岐島後の黒曜石の組成とは、Zn (89～92ppm)、Nb (105.0～105.7ppm)、Y (56ppm)、Zr (289～294ppm) などの元素の含有率が異なる (小値賀町教育委員会編 2003)。また、韓半島の白頭山にも、アルカリ流紋岩の組成を持った黒曜石 ($\text{SiO}_2 = 74.53\text{wt.}\%$, $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O} = 9.38\text{wt.}\%$) が知られ、これについても、本研究と同じ手法による WD-XRF を用いた定量分析結果によると、Zr (236ppm)、Sr (32.7ppm)、Rb (236ppm)、Zn (96.3ppm) などの幾つかの微量元素の含有率が異なる (未公表値)。これらのことから、図5や図6を用いて、9つの組成的なグループのいずれかに区分されるものであると分かれば、それは、隠岐島後を原産地としたものである可能性は極めて高いものと言える。

6. 今後の課題

WD-XRF による定量分析値により隠岐島後の黒曜石原産地を9つの組成グループに区分されたが、Group 3, Group 2-1, Group 2-3, Group 1-3, Group 1-4, Group 1-5 に相当するものは、それぞれ1つの原産地から採取した1個体試料の分析結果によるものである。このため、これらの分析値が、それぞれの組成グループの元素組成を代表値として扱えるものかを検証するため、今後、特に、これらグループの試料が産出する地点においては、複数個体について定量分析を実施する必要がある。また、その結果に基づいて、組成区分の方法や解析法についてもアップデートしていく必要がある。

ED-XRF による黒曜石製石器の元素分析と、その結果に基づいた原産地解析と推定は、石器を非破壊で分

析できるため、考古学の研究において、広く利用されている手法である。しかし、WD-XRFで求めた定量分析値との直接的な比較ができないため、今のところED-XRFの分析装置ごとに基準となる黒曜石原産地の個体試料が必要となる。このため、隠岐島後における黒曜石原産地の調査を継続的に実施し、採取試料の定量分析と産地情報のデータベースをアップデートする。同時に、原石試料をアーカイブ化し、研究者間で共有できるようなシステムを整備していく必要がある。一方で、正確な定量分析値が求まっている標準試料を、FP法を用いて分析値を算出する際の補正計算や感度曲線の更新に使用し、ED-XRFによる半定量分析値そのものの信頼性(正確度)を改善していくことも可能であろう。

本研究で実施したED-XRFを用いた半定量分析では、平面研磨した面を測定しているため、実際の石器とは表面の形状が異なり、この形状変化の影響がFP法を用いた分析値の計算にどれだけ反映されるかの検証が必要である。そのためには、黒曜石の様々な形状面を繰り返し測定し、分析値がどのくらいばらつくのか(精度)を検証し、Suda(2014)などで紹介されている散乱線を用いた形状補正についても検討する必要がある。これらを検証した上で、改めて、定量分析値に基づいた組成区分に基づいて、ED-XRFを用いた黒曜石製石器の原産地解析がどこまでの信頼性で可能か検討する必要がある。

謝辞

本研究は、科学研究費補助金若手研究(B)「黒曜石製石器石材の原産地解析システムの新構築」(研究代表:隅田祥光)、同じく「黒曜石原産地の開発行動からみた先史社会の複雑化」(研究代表:及川 穰)、文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業「ヒト-資源環境系の歴史の変遷に基づく先史時代人類誌の構築」(研究代表:小野 昭)、鳥根大学古代出雲プロジェクト経費(研究代表:大橋泰夫)からの助成を得て実行した。鳥根県古代文化センター、隠岐の島町教育委員会事務局、明治大学黒曜石研究センターから調査や分析の協力を得た。島田和高氏(明治大学博物館)、野津哲志氏(隠岐の島町教育委員会事務局)、八幡浩二氏(隠岐ジオパーク戦略会議)、大橋泰夫教授(鳥根大学法文学部)には踏査に参加して頂いた。これらの方々に記して感謝いたします。

引用文献

平野芳英 1986 「隠岐産の黒曜石—鳥根県内出土黒曜石の蛍

光 X 線分析から—」『山本清先生喜寿記念論集 山陰考古学の諸問題』山本清先生喜寿記念論集刊行会編, pp.65-95

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.

鎌木義昌・東村武信・藁科哲男・三宅 寛 1984 「黒曜石、サヌカイト製石器の産地推定による古文化交流の研究」『古文化財の自然科学的研究』古文化財編集委員会編, pp.333-359, 京都, 同朋舎出版

Le Maitre, R.W., Streckeisen, A., Zanettin, B., Le Bas, M.J., Bonin, B., Bateman, P., Bellieni, G., Dudek, A., Efremova, S., Keller, J., Lameyre, J., Sabine, P.A., Schmid, R., Sørensen, H., Wooley, A.R., 2002 *Igneous rocks: A classification and glossary: recommendation of the International Union of Geological Sciences. In Subcommission on the systematics of Igneous Rocks* [2nd ed.], edited by R.W. Le Maitre, p. 236, Cambridge (UK), Cambridge University Press.

及川 穰・隅田祥光・稲田陽介・伊藤徳広・今田賢治・川井優也・河内俊介・角原寛俊・藤川 翔・川島行彦 2014 「鳥根県隠岐諸島黒曜石原産地の調査報告」『鳥根考古学会誌』31: 1-23

及川 穰・隅田祥光・池谷信之・稲田陽介・今田賢治・川井優也・河内俊介・竹内 健・角原寛俊・藤川 翔・高村優花・灘 友佳・野村克弘・藤原 唯 2015 「鳥根県隠岐諸島黒曜石原産地の調査報告」『鳥根考古学会誌』32: 3-24

小値賀町教育委員会編 2003 「長崎県五島列島 野首遺跡における石器の石材と原産地の推定」『野首遺跡』小値賀町文化財調査報告書 17, pp. 附 1- 附 71, 長崎, 小値賀町教育委員会

明治大学古文化財研究所 2009 「蛍光 X 線分析装置による黒曜石製遺物の原産地推定—基礎データ集<1>—」294p. 東京. 明治大学学術フロンティア推進事業事務局

明治大学古文化財研究所 2011 「蛍光 X 線分析装置による黒曜石製遺物の原産地推定—基礎データ集<2>—」294p. 東京. 明治大学学術フロンティア推進事業事務局

望月明彦 1997 「蛍光 X 線分析による中部・関東地方の黒曜石産地の判別」『X 線分析の進歩』28: 157-168

Suda, Y. 2014 Application of internal standard method to non-destructive analysis of obsidian artifacts by Wavelength dispersive X-ray fluorescence Spectrometry. *BAR International Series* 2620, pp. 33-45.

隅田祥光・土屋美穂 2015 「長野県霧ヶ峰地域における黒曜石原産地試料の元素分析と広原遺跡群の黒曜石製石器の原産地解析(予報)」『資源環境と人類』5: 65-82

山内靖喜・小室裕明・小林伸治・村上 久・田山良一・高須晃・沢田順弘 2009 『地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)西郷地域の地質』, 121p., つくば, 産業技術総合研究所地質調査総合センター

(2015年9月26日受付/2016年1月12日受理)

Geochemical classification and characterization of obsidian sources in the Oki-Dogo Island: Application of sourcing analysis on archaeological obsidian artifacts

Yoshimitsu Suda ^{1*} Yosuke Inata ², Atsushi Kamei ³, Minoru Oyokawa ⁴

Abstract

The Oki-Dogo island is one of the major obsidian source complexes in southwestern Japan. In this study, we present the whole-rock chemistry of the obsidian from the island's sources. The analysis was performed using the WD-XRF and ED-XRF methods. Quantitative data from WD-XRF analysis indicate that the obsidian can be classified into nine groups on the basis of their geochemistry. The relation between this geochemical classification and the distribution of the sources within each geochemical group revealed that the obsidian sources in this island can be divided into three regions: Sai area, Kamo area and Kumi area, and three sites: Atagoyama, Kanbi and Okinoura. This geochemical classification is also possible by the semi-quantitative data produced by the ED-XRF method. The results of our study confirm that the non-destructive method of ED-XRF geochemical classification is suitable for the provenance study of archaeological obsidian artifact.

Keywords: obsidian sources; Oki-Dogo island; X-ray fluorescence spectrometer; elemental analysis, provenance study

(Received 26 September 2015 / Accepted 12 January 2016)

1 Department of Geology, Nagasaki University, 1-14 Bunkyo-machi, Nagasaki 852-8521, Japan
2 Center for Ancient Culture, Shimane prefectural government, 1 Tono-machi, Shimane 690-0084, Japan
3 Department of Geoscience, Shimane University, 1060 Nishikawatsu-cho, Shimane 690-8504, Japan
4 Department of Socio-Cultural Studies, Shimane University, 1060 Nishikawatsu-cho, Shimane 690-8504, Japan
* Corresponding author: Y. Suda (geosuda@nagasaki-u.ac.jp)