

中部九州，今市火砕流堆積物中の黒曜石レンズの化学組成： 阿蘇 -4 火砕流との識別

Major and Trace Element Compositions of Obsidian Lenses in the Imaichi Pyroclastic-flow Deposit, Central Kyushu, SW Japan as Distinguished from the Aso-4 Pyroclastic-flow Deposit

坂本房江¹⁾ 角縁 進²⁾
木戸道男³⁾ 松村秀喜⁴⁾
熊本智之⁵⁾ 澤田武美⁶⁾
奥野 充⁷⁾ 英彦山団研グループ

*Fusae SAKAMOTO*¹⁾,
*Susumu KAKUBUCHI*²⁾,
*Michio KIDO*³⁾,
*Hideki MATSUMURA*⁴⁾,
*Tomoyuki KUMAMOTO*⁵⁾,
*Takemi SAWADA*⁶⁾,
*Mitsuru OKUNO*⁷⁾ and
Hikosan Collaboration Group

令和元年5月31日受理

Received May 31, 2019

- 1) 福岡大学大学院理学研究科地球圏科学専攻
Graduate School of Science, Fukuoka University, 8-19-1
Nanakuma, Jonan-ku, Fukuoka 814-0180, Japan
- 2) 佐賀大学教育学部
Saga University, 1 Honjo-machi, Saga 840-8502, Japan
- 3) 久留米大学
Kurume University, 1635 Miimachi, Kurume 839-8502, Japan
- 4) 福岡県田川郡在住
Resident of Tagawa-gun, Fukuoka Prefecture
- 5) 大和ボーリング工業株式会社
Daiwa Boring Industry, 5301-2 Nakatsuemura, Hita, Oita 877-
0301, Japan
- 6) 福岡県立山門高等学校
Yamato High School, 1730-1 Setaka-machi Kaminosho,
Miyama, Fukuoka 835-0025, Japan
- 7) 福岡大学理学部地球圏科学科 (地球科学分野)
Fukuoka University, 8-19-1 Nanakuma, Jonan-ku, Fukuoka
814-0180, Japan

Corresponding author: M. Okuno,
okuno@fukuoka-u.ac.jp

1. はじめに

中部九州の豊肥火山地域(Fig. 1: Kamata, 1989)には、多数の火砕流堆積物が分布しており、そのうち大規模火砕流として、下位より耶馬溪火砕流堆積物(星住ほか, 1988), 今市火砕流堆積物(鎌田ほか, 1994a), 由布川火砕流堆積物(星住ほか, 1988), 阿蘇 -4 火砕

Abstract

We analyzed the major and trace element compositions of obsidian lenses in the Imaichi pyroclastic-flow deposit from Kagonodai and Ota, Oita prefecture, by X-ray fluorescence using low dilution glass disk. The SiO₂ content of the obsidian lenses was 64.3 to 69.3 wt. % (approximately 5% width). The compositional changes of compatible elements (e.g. MgO) with SiO₂ content may be due to magma mixing. The SiO₂ concentration of the obsidian samples in Locs. A and B plot on the high silica range of Loc. C samples. Comparing obsidian samples against the chemical composition of the pumice from the Aso-4 pyroclastic-flow deposit, both deposits plot within the SiO₂ range of the content. However, the obsidian in the Imaichi pyroclastic-flow deposit is distinguished by the concentration of major elements (TiO₂, P₂O₅, Al₂O₃, MnO) and trace elements (Ba, Nb, V, Zn, Ga). The integration of the mean value and standard deviation of the SiO₂ content in Loc. C implied that the value converges with approximately 30 samples.

Keywords: Imaichi pyroclastic-flow deposit, obsidian lenses, X-ray fluorescence analysis, major and trace element compositions

流堆積物(小野ほか, 1977)が知られている(以下、地層としての火砕流堆積物のことを単に火砕流と略記する)。耶馬溪火砕流と今市火砕流の噴出年代は、 0.98 ± 0.02 Ma と 0.83 ± 0.02 Ma の Ar-Ar 年代がそれぞれ得られている(宇都ほか, 1999)。由布川火砕流は、火山層序と古地磁気層序、さらに上下の火山岩の K-Ar 年代から約 0.6 Ma と推定されている(星住・鎌田,

1991). 阿蘇-4火砕流は 0.089 ± 0.007 Ma の K-Ar 年代が感度法により得られている (松本, 1996).

これらの火砕流堆積物のうち, 今市火砕流と阿蘇-4火砕流の強溶結部が野外で識別困難な場合が多い. 両者は斑晶組み合わせや岩石の磁化方位の違いによる識別も可能であるが, 化学的特性がわかっておらず, 化学組成による識別・対比の必要性も指摘した (例え

ば, 木戸道男・英彦山研グループ, 2015). そのため, まずは今市火砕流の化学組成を得る必要がある.

今回, 今市火砕流の模式地 (鎌田ほか, 1994a) 周辺から採取した溶結部の試料を用いて, その中に含まれる黒曜石レンズの化学組成を検討した. 本質物質である軽石の化学組成は, 液体相とその中に存在していた結晶粒からなるマグマ全体を示すと考えられる. 一

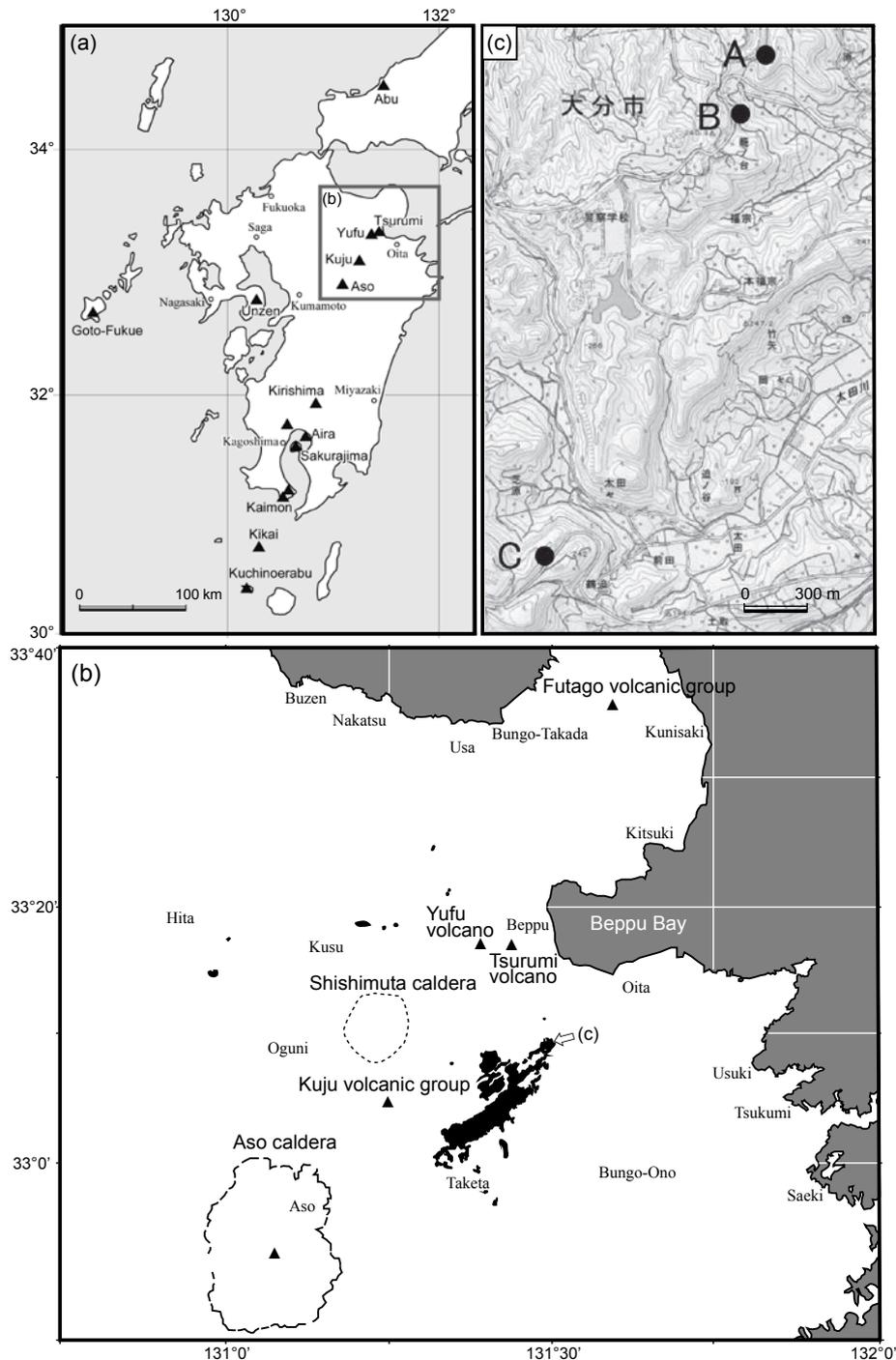


Fig. 1. Index maps. (a) Distribution of active volcanoes in and around Kyushu Island. A square frame indicates the range of map (b). (b) Distribution of the Imaichi pyroclastic-flow deposit shown by filled black (compiled by Hoshizumi *et al.*, 2004, 2015; Ishizuka *et al.*, 2009). Open arrow indicates position of map (c). (c) Location of sampling sites. Topographic map is part of the 1: 25,000 map “Bungo-Imaichi” of the Geospatial Information Authority of Japan.

方，曾根原・原山（2006）は，火砕流堆積物の基質部と含まれる本質物質（軽石や黒曜石レンズ）との比較から，基質部の化学組成はマグマの平均組成を捉える上で有用であると指摘している。しかし，一般に火砕流堆積物の基質部は，流走中に細粒火山ガラス片が co-ignimbrite ash-fall deposit（Sparks and Walker, 1977）として排出されることで結晶粒が濃集し，さらに岩片も取り込まれるため，それらによる化学組成への影響が考えられる（Hildreth and Mahood, 1985）。そのため，非溶結の火砕流堆積物では，軽石粒のみを分離して分析される（例えば，柚原ほか，2010）。また，溶結した火砕流堆積物でも基本的に同じであり，溶結に伴って軽石から生じる黒曜石レンズ（Smith, 1960）のみを分離して分析される。今回，今市火砕流はそのほとんどが溶結しているために黒曜石レンズを対象として，蛍光 X 線（XRF）分析（WDS）によりその化学組成を測定した。本稿ではその結果を予察的に報告する。

2. 今市火砕流堆積物の地質概略と採取試料

2.1. 地質概略

今市火砕流は，小野（1963）により久住地域に分布する強溶結火砕流堆積物に対して定義された。今市火砕流は逆帯磁し（松山逆磁極期），ハラミヨ・イベントに噴出（宇都・須藤，1985）した耶馬溪火砕流を覆う特徴を持ち，堆積物中の火山ガラス，斜方輝石，単斜輝石などの屈折率から，竹田地域（小野ほか，1977），別府地域（日出生台火砕流，柚ノ木火砕流：星住ほか，1988），犬飼地域（寺岡ほか，1991），三重町地域（酒井ほか，1993）などで対比されている（Fig. 1：鎌田ほか，1994a）。

今市火砕流の co-ignimbrite ash-fall deposit は，大阪北部が模式地である大阪層群アズキ火山灰（横山・楠木，1967），ならびに千葉県市原市に産する上総層群 Ku6C 火山灰（町田ほか，1980）などに対比され，給源から 900 km 以上も飛来したと考えられる（鎌田ほか，1994b）。今市火砕流は，輝石デイサイト質－輝石安山岩質の火砕流であり，その大部分は強溶結の溶結凝灰岩台地を形成する（小野，1963）。体積約 90 km³ におよぶ大規模火砕流である（鎌田ほか，1994a）。今市火砕流は，大分市西部から竹田市中東部にかけてまとまっの分布する他，大分県北部・東部に点在するにすぎず（Fig. 1），大部分は浸食されて失われたものと考えられる。今市火砕流を含む一連の噴火堆積物の層序は，下位から降下軽石層，非溶結－弱溶結－強溶結（ガラス質）－強溶結（脱ガラス化）－弱溶結－非溶結と変化する火砕流堆積物からなる（Fig. 2：星住・鎌田，1996）。

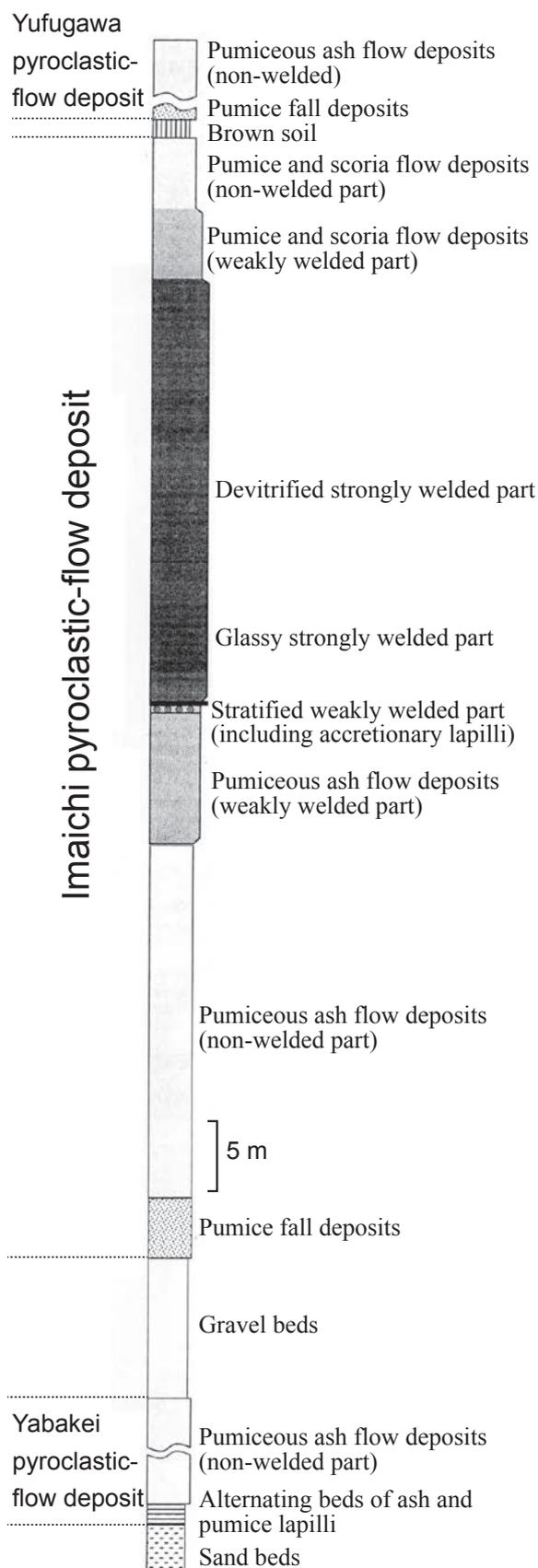


Fig. 2. Composite columnar section for the Imaichi pyroclastic-flow and other deposits (after, Hoshizumi and Kamata, 1996).

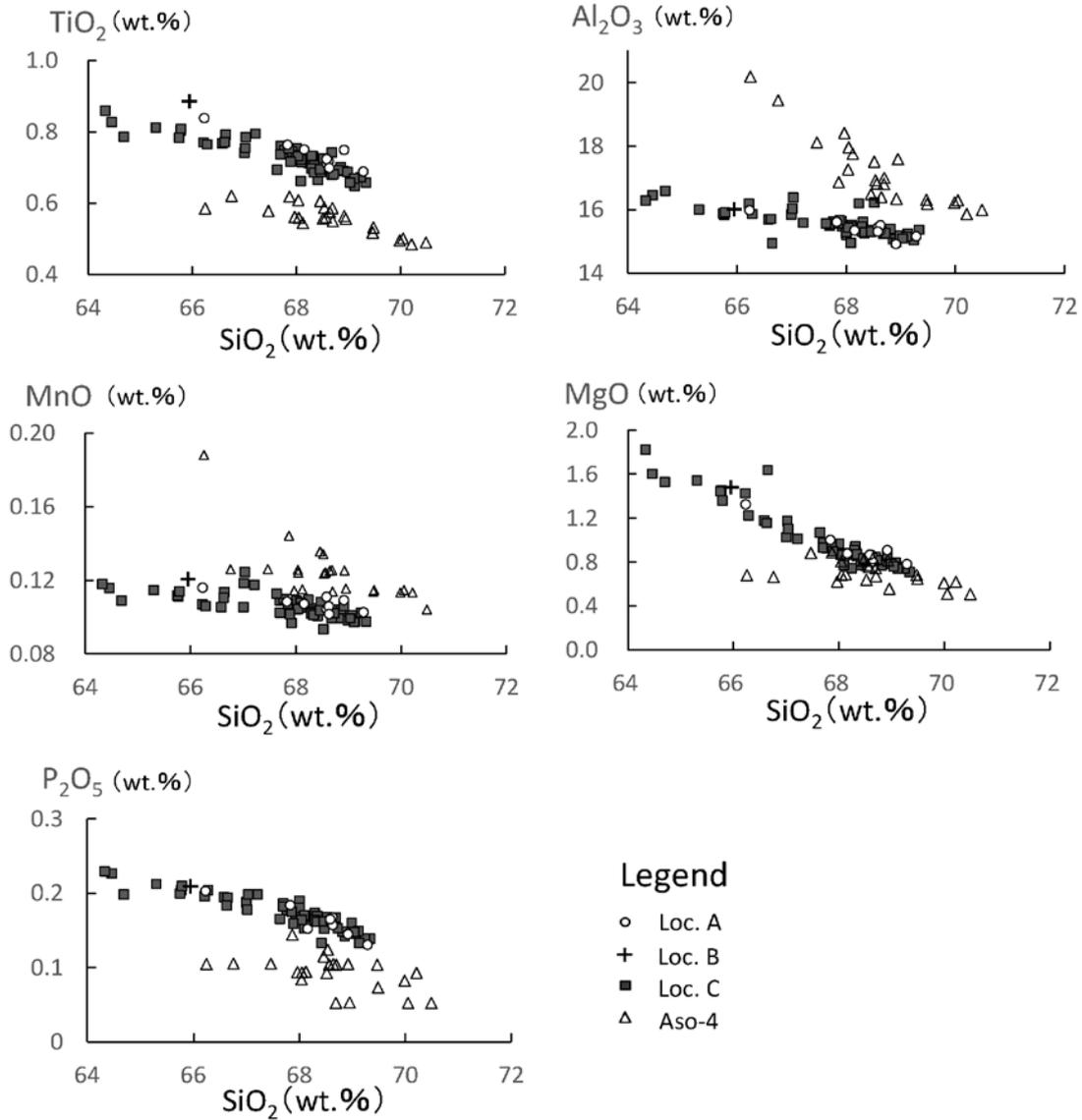


Fig. 3. Representative SiO₂-oxides diagrams of the Imaichi pyroclastic flow-deposit. All data were recalculated on a water free basis of the original analyses.

2. 2. 採取試料

今市火砕流の模式地（鎌田ほか，1994a）である大分県大分市福宗籠ノ台の Locs. A, B と大分市太田の Loc. C (Fig. 1) の強溶結部 (Fig. 2) から採取した黒曜石レンズ計 64 試料を分析した。

- (1) Loc. A (9 試料) 大分市福宗 (標高約 210 m)。層厚 10 m + で、10 cm 以下の黒曜石レンズを多数含む。
- (2) Loc. B (1 試料) 大分市福宗 (標高約 210 m)。Loc. A から露頭が連続している。層厚 10 m + で、強溶結部の一部に黒曜石レンズを含む。
- (3) Loc. C (54 試料) 大分市太田 (標高約 240 m)。層厚 30 m + で、10 cm 以下の黒曜石レンズを多数含む。

3. 黒曜石レンズの主成分および微量元素の XRF 分析

本研究では分析手法として、黒曜石レンズの主成分元素と微量元素を測定できる XRF 分析を用いた。以下にその手順について記述する。

3. 1. 試料調製

採取試料をハンマーで砕き小片にして、タンガロイ乳鉢中で軽く叩きながら黒曜石レンズの部分だけをピンセットで取り上げて、周囲の基質部分から分離した。集めた黒曜石レンズは、蒸留水で超音波洗浄し 110°C で乾燥した。乾燥した黒曜石レンズをタングステンカーバイト乳鉢で粉碎し、その後、メノウ乳鉢で微粉末になるまで擦った。試料 1.8 g と融剤

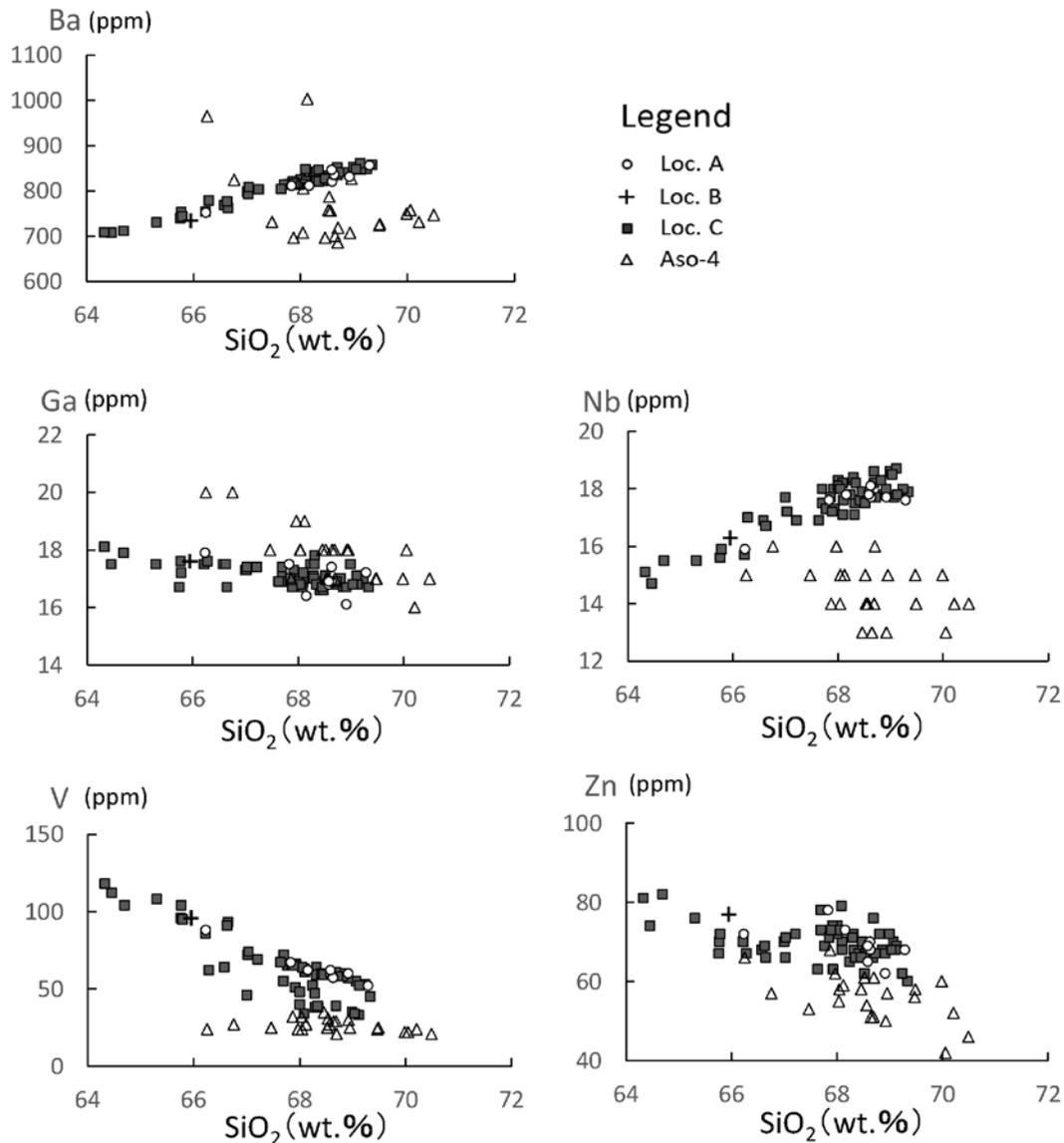


Fig. 4. Representative trace elements diagrams of the Imaichi pyroclastic-flow deposit. All data were recalculated on a water free basis of the original analyses.

3.6 g (Merck 社製蛍光 X 線分析用混合融剤 [Li₂B₄O₇ = 66 wt.%, LiBO₂ = 34 wt.%] である Spectromelt A12 を事前に 450°C で 12h 乾燥させ、デシケータ中で保管したものを用いた。酸化剤として和光純薬特級 LiNO₃ (110°C で乾燥) を 0.54 g 加えよく混ぜたのち、Au-Pt 合金るつぼ (Pt = 95 wt. %, Au = 5 wt. %) に移して、東京科学株式会社製ビードサンプラ装置 NT-2100 で 1 : 2 希釈の低希釈ガラス円板を作成した。加熱条件は 800°C で 150 秒、1200°C で 180 秒、揺動加熱 1200°C で 300 秒であり、剥離剤 (キンダ化学 LiI, 少量) は、揺動加熱が始まって 240 秒後に投入した。

3. 2. XRF による分析方法

火山ガラスに含まれる主成分 10 元素 (SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, P₂O₅) と微量

元素 22 元素 (Ba, Ga, Nb, Pb, Rb, Sr, Th, V, Y, Zn, Zr, La, Ce, Nd, Sm, Hf, Co, Cr, Sc, Cu, Ni, U) を、佐賀大学教育学部に設置されている蛍光 X 線分析装置 (RIGAKU ZSX-Primus II :Rh 管球 50 kV-60 mA) により測定した。測定方法の詳細は角縁 (2019) による。微量元素のうち Co, Cr, Sc, Cu, Ni は、含有量が低いため今回は検討する元素から除外した。

4. 結果と予察的検討

分析結果を Table 1 に示す。全鉄は FeO として再計算し、I_g.loss を除いて 100 wt.% になるように規格化した値で以下議論する。主成分元素のデータの SiO₂-酸化物図を Fig. 3 に、微量元素を Fig. 4 に示す。

Table 1 Major and trace chemical compositions of obsidian glasses in the Imaichi pyroclastic-flow deposit

Sample number	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	A-8	A-9	B-1	C-1	C-2	C-3
SiO ₂ (wt.%)	65.65	66.25	66.88	65.75	67.51	66.86	65.45	67.38	64.02	63.32	63.93	62.98	66.74
TiO ₂	0.68	0.72	0.70	0.74	0.67	0.68	0.72	0.71	0.81	0.85	0.78	0.75	0.72
Al ₂ O ₃	14.77	14.34	14.94	15.13	14.77	15.10	14.73	15.04	15.44	15.37	15.38	15.20	14.85
Fe ₂ O ₃ *	3.45	3.54	3.56	3.65	3.25	3.36	3.48	3.58	4.38	4.69	4.53	4.36	3.49
MnO	0.100	0.105	0.103	0.105	0.100	0.099	0.103	0.109	0.112	0.116	0.108	0.107	0.101
MgO	0.80	0.87	0.84	0.97	0.76	0.78	0.84	0.85	1.28	1.42	1.41	1.38	0.82
CaO	2.48	2.27	2.48	2.80	2.26	2.53	2.52	2.53	3.40	3.42	3.70	3.63	2.42
Na ₂ O	3.58	3.39	4.01	3.68	3.99	3.86	3.59	4.04	3.86	3.55	3.40	3.41	3.76
K ₂ O	4.40	4.86	4.14	4.29	4.32	4.33	4.80	4.20	3.60	3.55	4.22	4.21	4.45
P ₂ O ₅	0.155	0.139	0.163	0.178	0.127	0.153	0.146	0.162	0.196	0.201	0.198	0.191	0.162
Total	96.07	96.48	97.82	97.29	97.76	97.75	96.38	98.60	97.10	96.49	97.66	96.22	97.51
Ba (ppm)	820	831	835	811	856	836	811	846	752	734	753	740	835
Ga	16.8	16.1	16.9	17.5	17.2	17.4	16.4	16.9	17.9	17.6	17.6	16.7	16.8
Nb	17.9	17.7	18.1	17.6	17.6	17.7	17.8	17.8	15.9	16.3	15.9	15.6	18.2
Pb	16.9	17.2	18.2	16.9	19.2	17.4	17.8	18.3	16.2	16.2	15.7	14.7	18.1
Rb	118	132	120	118	126	120	126	124	108	107	118	135	127
Sr	316	282	316	346	294	325	318	318	389	386	375	368	307
Th	14.1	15	13.7	13.4	14.7	14.3	13.6	14.3	12.3	11.9	12.5	12.2	14.4
U	1.3	1.1	1.5	1.5	1.4	1.6	1.4	1.9	1.1	1.5	1.5	1.5	1.5
V	59	60	58	67	52	57	62	62	88	96	104	96	61
Y	36	38	37	36	38	37	37	38	34	36	35	37	38
Zn	65	62	70	78	68	68	73	69	72	77	70	67	76
Zr	273	274	279	267	285	278	272	281	248	246	251	248	283
La	37.6	38.9	40.0	37.5	39.2	39.3	43.7	38.7	24.5	28.0	34.2	34.5	39.2
Ce	79.8	80.7	80.7	77.4	82.4	81.5	77.4	82.2	72.4	73.6	72.4	71.9	81.8
Nd	36.9	35.8	37.0	35.9	37.0	37.1	35.0	37.4	34.0	35.8	33.4	33.0	36.9
Sm	6.3	6.4	6.6	6.5	6.5	6.6	6.5	6.8	6.0	6.7	6.0	6.3	6.5
Hf	7.0	7.5	8.0	7.5	8.0	8.0	7.8	8.0	7.2	7.1	7.3	7.2	7.8

Sample number	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9	C-10	C-11	C-12	C-13	C-14	C-15	C-16
SiO ₂ (wt.%)	67.30	62.39	66.18	66.17	65.88	67.18	67.48	66.93	67.24	66.84	67.00	65.92	66.13
TiO ₂	0.72	0.80	0.69	0.70	0.74	0.64	0.64	0.65	0.63	0.68	0.67	0.64	0.70
Al ₂ O ₃	15.07	15.92	15.71	15.12	15.08	14.73	14.96	14.54	14.83	14.62	14.56	14.80	15.66
Fe ₂ O ₃ *	3.68	4.79	2.90	3.14	3.87	3.31	2.88	3.26	3.26	3.51	3.52	3.57	2.88
MnO	0.103	0.112	0.106	0.100	0.106	0.098	0.095	0.099	0.095	0.101	0.103	0.097	0.090
MgO	0.87	1.55	0.72	0.91	0.95	0.77	0.69	0.71	0.73	0.78	0.84	0.74	0.78
CaO	2.60	4.23	2.57	2.64	2.82	2.30	2.17	2.13	2.32	2.25	2.29	2.39	2.36
Na ₂ O	3.77	3.20	3.62	3.42	3.80	3.70	3.57	3.49	3.97	3.46	3.60	3.35	3.73
K ₂ O	4.60	4.06	4.61	4.82	4.27	4.73	4.99	5.05	4.39	5.04	4.85	5.07	4.31
P ₂ O ₅	0.163	0.219	0.164	0.161	0.181	0.141	0.135	0.134	0.129	0.138	0.143	0.128	0.162
Total	98.88	97.27	97.27	97.18	97.70	97.60	97.61	96.99	97.59	97.42	97.58	96.71	96.80
Ba (ppm)	840	707	832	825	813	847	858	849	847	841	838	822	833
Ga	17.8	17.5	17.5	17.5	17.1	16.8	16.7	17	16.8	16.7	16.7	16.6	17.1
Nb	17.5	14.7	17.8	17.1	17.5	17.7	17.9	18	17.8	17.8	18	17.6	17.5
Pb	17.3	15.5	18.1	17.9	17.3	17.3	18.1	15.3	17	17.5	17.2	15.1	17.4
Rb	130	117	126	135	119	133	140	142	140	151	147	153	122
Sr	317	420	348	321	344	289	292	278	295	286	280	306	316
Th	14.5	12.3	14.4	14.3	13.5	14.9	15	15.1	14.9	15.2	14.8	14.7	14.5
U	1.4	1.2	1.6	1.7	1.3	2.1	2.1	1.7	2	1.3	2	1.4	1.4
V	64	112	52	59	72	55	45	53	52	60	57	60	59
Y	38	34	37	38	37	39	40	40	39	41	41	40	37
Zn	68	74	65	72	73	70	60	62	69	68	67	67	62
Zr	280	235	278	274	270	285	289	286	284	285	285	277	284
La	44.1	28.7	34.5	36.3	34.2	37.6	39.6	33.4	40.5	40.7	39.6	40.2	39.3
Ce	83.4	69.4	82.2	79.6	80.3	83.8	82.1	80.9	82.5	82.4	83.7	78.7	80.5
Nd	38.7	32.0	35.9	36.2	36.7	37.5	37.1	36.0	37.4	36.8	37.8	35.1	35.9
Sm	7.6	5.8	6.3	5.6	6.1	6.2	6.2	6.3	6.0	6.3	6.3	6.0	5.9
Hf	7.7	6.8	7.8	8.4	7.1	7.5	7.3	7.8	8.0	7.5	8.0	7.6	8.3

*: total iron as Fe₂O₃

Table 1 (Continue)

Sample number	C-17	C-18	C-19	C-20	C-21	C-22	C-23	C-24	C-25	C-26	C-27	C-28	C-29
SiO ₂ (wt.%)	62.19	63.72	66.05	65.80	66.57	65.85	62.74	65.17	63.51	67.12	66.76	66.87	66.67
TiO ₂	0.83	0.74	0.73	0.72	0.67	0.69	0.78	0.77	0.78	0.72	0.74	0.69	0.73
Al ₂ O ₃	15.74	15.58	15.22	14.98	14.89	15.01	15.37	15.11	15.36	15.06	14.93	14.92	15.35
Fe ₂ O ₃ *	4.68	3.67	3.76	3.64	3.28	3.59	4.51	3.96	4.51	3.85	3.94	3.69	3.93
MnO	0.114	0.103	0.107	0.103	0.096	0.102	0.110	0.114	0.110	0.100	0.107	0.100	0.095
MgO	1.76	1.37	0.90	0.88	0.74	0.82	1.48	0.98	1.31	0.89	0.93	0.83	0.89
CaO	4.25	3.61	2.79	2.66	2.30	2.64	3.77	2.86	3.61	2.75	2.68	2.62	2.79
Na ₂ O	3.06	3.20	3.95	3.50	3.52	3.80	3.09	3.50	3.37	3.99	3.47	3.54	3.93
K ₂ O	4.30	4.41	4.16	4.78	4.86	4.39	4.47	4.70	4.23	4.02	4.82	4.79	4.00
P ₂ O ₅	0.222	0.188	0.172	0.162	0.143	0.162	0.204	0.192	0.202	0.170	0.186	0.165	0.169
Total	97.15	96.59	97.84	97.23	97.07	97.05	96.52	97.36	96.99	98.67	98.56	98.22	98.55
Ba (ppm)	708	754	815	816	841	823	730	803	744	822	825	820	815
Ga	18.1	17.5	16.9	17.1	17	16.9	17.5	17.4	17.2	17.1	17.1	16.9	17.3
Nb	15.1	15.7	17.3	17.3	18.3	17.6	15.5	16.9	15.9	18.3	18.3	18.2	18
Pb	15.2	15.2	17.8	15.6	18.1	17	14.9	16.7	16.5	16.2	17.7	16.7	15.7
Rb	125	134	122	129	131	122	127	130	114	127	133	139	125
Sr	408	371	344	330	296	338	383	357	378	324	333	320	335
Th	11.5	13	13.6	14	15	13.9	12.5	13.4	13.1	14.1	13.8	14.5	14.7
U	1.1	0.9	1.8	1.7	1.7	1.8	1.5	1.3	1.3	2.2	2.5	2.6	2.7
V	118	86	65	66	58	61	108	69	95	47	40	38	51
Y	36	37	37	38	38	37	36	38	35	35	35	35	34
Zn	81	70	69	63	72	70	76	72	72	71	74	66	74
Zr	235	253	272	273	286	275	248	267	253	259	259	260	259
La	36.2	35.0	37.9	37.8	38.9	36.8	26.9	27.9	26.7	38.7	38.3	38.9	38.4
Ce	70.6	74.6	79.8	78.0	82.0	78.6	70.7	78.2	73.6	80.0	79.4	82.4	80.5
Nd	30.8	34.1	35.5	35.5	35.7	34.6	32.8	35.4	33.5	36.1	36.8	36.9	38.0
Sm	6.0	6.0	6.2	6.3	6.2	6.3	5.9	6.3	6.1	7.8	7.6	7.7	6.9
Hf	6.7	6.4	7.0	7.6	8.0	7.5	7.0	7.3	6.7	8.3	7.7	8.0	7.4

Sample number	C-30	C-31	C-32	C-33	C-34	C-35	C-36	C-38	C-39	C-40	C-46	C-47	C-48
SiO ₂ (wt.%)	68.28	67.75	66.90	67.56	65.02	66.89	66.10	66.18	68.24	65.06	68.25	66.77	65.81
TiO ₂	0.68	0.67	0.65	0.69	0.75	0.67	0.73	0.72	0.66	0.75	0.65	0.72	0.66
Al ₂ O ₃	15.03	15.03	14.69	15.30	15.56	14.96	15.63	15.19	14.95	15.33	14.92	15.01	14.76
Fe ₂ O ₃ *	3.55	3.55	4.89	3.67	4.20	3.61	3.94	3.89	3.47	4.26	3.53	4.00	3.53
MnO	0.097	0.098	0.106	0.101	0.104	0.099	0.104	0.100	0.096	0.103	0.098	0.102	0.104
MgO	0.77	0.80	0.76	0.86	1.20	0.85	1.01	0.91	0.73	1.15	0.75	0.95	0.79
CaO	2.42	2.51	2.35	2.71	3.53	2.60	3.19	2.85	2.42	3.37	2.38	2.77	2.35
Na ₂ O	3.96	3.77	3.78	4.03	3.28	3.51	3.54	3.58	4.09	3.23	3.86	3.85	3.42
K ₂ O	4.38	4.65	4.47	4.21	4.67	4.89	4.62	4.55	4.28	4.70	4.63	4.24	4.89
P ₂ O ₅	0.158	0.165	0.150	0.162	0.200	0.158	0.185	0.178	0.147	0.190	0.146	0.177	0.146
Total	99.33	98.99	98.75	99.29	98.51	98.24	99.05	98.15	99.08	98.14	99.21	98.59	96.46
Ba (ppm)	853	851	848	842	779	846	798	814	861	768	848	815	828
Ga	17.5	16.8	16.7	17.0	17.6	16.8	17.3	17.4	17.1	17.5	16.8	16.9	16.6
Nb	18.6	18.6	18.2	18.4	17.0	18.2	17.7	18	18.7	16.9	18.5	18.1	17.9
Pb	18.5	17.3	19.2	18.7	15.3	16.5	17.4	17.3	18.9	15.1	18.2	17.9	17.4
Rb	130	131	127	127	139	138	130	133	130	142	134	127	132
Sr	307	314	294	332	374	314	379	335	303	363	300	329	302
Th	14.7	14.7	14.8	14.2	12.8	14.4	13.7	14.1	14.9	13.3	14.6	14.4	14.2
U	2.8	2.7	2.5	2.7	2.5	2.8	2.6	2.6	2.9	2.6	2.7	2.7	1.7
V	35	39	34	38	62	39	46	55	33	64	34	48	59
Y	36	35	35	35	32	34	33	34	36	33	36	35	39
Zn	72	66	79	71	67	66	70	78	68	68	68	72	70
Zr	270	269	268	264	244	264	250	260	272	243	271	260	282
La	40.5	40.1	39.5	38.7	36.4	27.9	27.2	37.8	40.0	36.0	39.4	39.1	29.9
Ce	84.1	82.4	79.6	80.8	75.5	78.6	75.9	78.3	82.9	75.3	81.6	80.3	80.4
Nd	38.5	37.0	37.6	37.7	36.7	36.2	34.9	36.7	38.2	35.4	37.5	36.8	34.9
Sm	7.5	7.5	7.4	7.2	6.7	6.3	6.2	7.2	7.2	6.9	8.2	7.4	6.3
Hf	8.3	8.1	7.5	7.1	6.7	7.0	7.1	7.5	8.2	6.9	8.2	7.7	7.8

*: total iron as Fe₂O₃

Table 1 (Continue)

Sample number	C-49	C-50	C-51	C-52	C-53	C-54	C-55	C-56	C-57	C-58	C-59	C-60
SiO ₂ (wt.%)	65.98	65.17	65.80	65.39	66.08	66.60	61.78	64.00	64.04	64.05	65.45	64.06
TiO ₂	0.70	0.70	0.73	0.67	0.67	0.66	0.75	0.76	0.74	0.72	0.69	0.75
Al ₂ O ₃	14.99	14.78	15.09	15.04	14.77	14.79	15.84	14.34	15.09	15.32	15.10	15.65
Fe ₂ O ₃ *	3.65	3.78	3.54	3.71	3.51	3.46	4.45	4.58	4.25	3.74	3.42	3.53
MnO	0.102	0.100	0.104	0.109	0.100	0.099	0.104	0.109	0.106	0.113	0.098	0.119
MgO	0.85	0.83	0.93	1.03	0.80	0.79	1.46	1.57	1.11	1.12	0.86	1.05
CaO	2.63	2.40	2.70	2.87	2.47	2.41	4.07	3.30	3.17	2.93	2.66	2.83
Na ₂ O	3.88	3.35	3.53	3.64	3.77	4.01	3.07	3.30	3.45	3.18	3.36	3.36
K ₂ O	4.31	4.89	4.73	4.43	4.55	4.29	4.23	4.34	4.41	4.60	4.96	4.38
P ₂ O ₅	0.165	0.157	0.170	0.160	0.156	0.148	0.189	0.186	0.176	0.170	0.153	0.189
Total	97.26	96.16	97.32	97.05	96.88	97.26	95.94	96.49	96.54	95.94	96.75	95.92
Ba (ppm)	820	815	820	804	827	841	711	762	776	793	816	808
Ga	17.2	16.8	17	16.9	16.7	16.9	17.9	16.7	17.5	17.3	16.7	17.4
Nb	17.1	18	17.7	16.9	17.9	17.7	15.5	16.7	16.7	17.2	17.2	17.2
Pb	17.7	17.6	17.2	15.9	17.6	18.4	14.8	13.7	14.8	16.4	16.6	17.3
Rb	122	134	134	123	126	126	140	128	126	129	138	124
Sr	334	305	335	339	318	305	402	315	361	335	329	332
Th	14	14.7	13.9	13.3	13.8	13.9	12.4	13.7	13	13.4	13.9	13.9
U	1.8	1.8	2	1.5	2	2	1.6	1.7	2	1.7	1.8	2.1
V	63	64	66	67	59	58	104	93	91	72	65	74
Y	38	39	39	37	38	39	38	38	37	38	39	37
Zn	68	73	71	63	66	67	82	66	69	66	73	71
Zr	273	282	270	267	278	281	244	258	257	266	274	270
La	29.0	28.8	27.7	28.7	30.2	28.5	22.5	24.6	25.3	27.6	27.8	26.4
Ce	79.5	79.1	79.5	76.5	78.0	81.0	69.1	73.8	74.4	76.7	78.5	78.0
Nd	35.8	35.5	36.8	34.7	35.1	36.9	31.8	35.1	33.6	34.1	36.0	34.9
Sm	6.3	6.5	6.0	6.2	6.1	6.4	5.9	6.6	5.9	6.2	6.0	6.1
Hf	7.8	7.4	7.6	7.6	7.3	7.1	6.7	8.0	6.9	7.0	7.7	7.3

*: total iron as Fe₂O₃

4. 1. 主成分元素

今市火砕流中の黒曜石レンズの化学組成は、SiO₂の含有量が約61.8～68.3 wt.%であり、約5%の組成幅を有する。SiO₂の含有量に対する各元素の組成変化について検討する。一般にMgOやFeOなどのコンパチブル元素は、結晶分化作用で組成変化を生じたとするとSiO₂の増加に対して下に凸の曲線的な変化をする(例えばMcBirney, 1993)。しかしながら今市火砕流の黒曜石レンズの組成変化はFig. 3に示されるように、SiO₂含有量の増加に対してMgO含有量が直線的に減少するトレンドを示している。このことは今市火砕流の起源マグマ溜り内では、マグマミキシングによりマグマの化学組成が変化したことを示唆している。

Locs. A, BにおけるSiO₂含有量は、2試料(SiO₂=66.2と66.0 wt.%)を除いて、Loc. Cの組成範囲の高シリカ側(SiO₂=67.8～69.3 wt.%)に集中する(Fig. 3)。このことは、今市火砕流のマグマ溜りが不均質でその噴出口が割れ目(つまり複数の火口)である場合、Loc. Cの方向で化学組成の異なるフローユニットが合流し、一方でLocs. A, Bの方向には組成幅の狭いユニットだけが流下した可能性が考えられる。また、流走距離によって軽石の分別が生じた可能性も考えられ

る。これらを検証するためには、より広範囲にデータを集める必要がある。ただし、これまでのところLocs. A, Bは合わせて10試料しかなく、さらに試料数を増やせば、組成幅も拡大することも考えられる。どの程度の試料数があれば、組成幅を捉えることができるか、Loc. CでのSiO₂含有量の平均値および標準偏差を積算した(Fig. 5)。これでは概ね30試料で収束するように見え、Locs. A, Bの10試料は十分でないと考えられる。

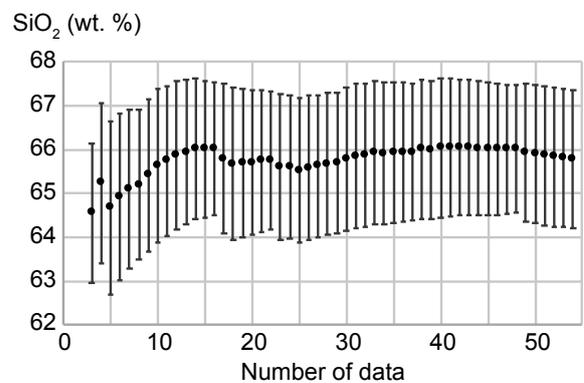


Fig. 5. SiO₂ content (wt %) versus number of measured samples from Loc. C. Average value of SiO₂ content is converged by measuring more than 30 samples.

4.2. 阿蘇-4火砕流との比較：主成分元素と微量元素

阿蘇-4火砕流の化学組成については、既にくつか報告されている。小野ほか(1977), Watanabe (1979), 鎌田 (1997) は、湿式分析によるもので分析手法が異なるため、また、Hunter (1998) は、分析対象が軽石なのか基質部分なのかといった詳細がわからないため、以下では柚原ほか (2010) の9試料および柚原・梅寄 (2017) の14試料の分析値と比較する。

阿蘇-4火砕流の軽石の化学組成は、 SiO_2 含有量の幅が約68.0～70.5 wt. %であり(柚原・梅寄, 2017; 柚原ほか, 2010), 上記の今市火砕流と重複する。したがって、両者を SiO_2 含有量で単純に識別することはできないが、他の成分で比較すると、 TiO_2 と P_2O_5 の含有量は今市火砕流が高く、 Al_2O_3 と MnO の含有量は逆に阿蘇-4火砕流が高い(Fig. 3)。さらに微量元素ではBa, Nb, V, Znの含有量は今市火砕流の方が高く、Gaの含有量は阿蘇-4火砕流の方が高い(Fig. 4)。以上のように、主成分および微量元素の含有量の比較によって、2つの火砕流堆積物を確実に識別できることを確認した。

謝辞

本論文は、英彦山団研グループが採取・分析した結果の一部であり、日本地質学会西日本支部第170回例会(長崎大)で講演した内容に加筆・修正したものである。本稿執筆に際して、福岡大学理学部地球圏科学科の田口幸洋教授、柚原雅樹博士、鮎沢潤博士をはじめとする地球物質循環研究グループの皆様にご有益なご意見をいただいた。また、鹿児島大学の小林哲夫名誉教授には原稿全般について多くの不備をご指摘いただいた。ニュージーランドのChristchurch City CouncilのHannah Terbio博士には英文を校閲いただいた。福岡大学研究推進部・推奨研究プロジェクト「斜面崩壊とその災害に関するアーカイブの構築に関する複合研究」(課題番号:167002, 研究代表者:奥野 充)を使用した。以上を記して感謝の意を表します。

引用文献

Hildleth, W. and Mahood, G. (1985) Correlation of ash-flow tuffs. *Bull. Geol. Soc. Am.*, **96**, 968-974.
 Hunter, A. G. (1998) Intracrustal controls on the coexistence of tholeiitic and calc-alkaline magma series at Aso Volcano, SW Japan. *Jour. Petrol.*, **39**, 1255-1284.
 星住英夫・鎌田浩毅(1991) 由布川火砕流の噴出年代。火山, **36**, 393-401.
 星住英夫・鎌田浩毅(1996) 今市火砕流堆積物—大阪

層群アズキ火山灰の給源火砕流—。第四紀露頭集—日本のテフラ, 日本第四紀学会, 88-89.
 星住英夫・小野晃司・三村弘二・野田徹郎(1988) 別府地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)。地質調査所, 131p.
 星住英夫・尾崎正紀・宮崎一博・松浦浩久・利光誠一・宇都浩三・内海 茂・駒澤正夫・広島俊男・須藤定久(2004) 20万分の1地質図幅「熊本」, 産業技術総合研究所 地質調査総合センター。
 星住英夫・斎藤 眞・水野清秀・宮崎一博・利光誠一・松本哲一・大野哲二・宮川歩夢(2015) 20万分の1地質図幅「大分」(第2版), 産業技術総合研究所 地質調査総合センター。
 石塚吉浩・尾崎正紀・星住英夫・松浦浩久・宮崎一博・名和一成・実松健造・駒澤正夫(2009) 20万分の1地質図幅「中津」, 産業技術総合研究所 地質調査総合センター。
 角縁 進(2019) 低希釈ガラス円板を用いた岩石試料の主成分元素・微量元素および軽希土類元素の蛍光X線分析。佐賀大学教育学部紀要, (準備中)
 Kamata, H., 1989, Volcanic and structural history of the Hohi volcanic zone, central Kyushu, Japan. *Bull. Volcanol.*, **51**, 315-332.
 鎌田浩毅(1997) 宮原地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)。地質調査所, 127p.
 鎌田浩毅・檀原 徹・林田 明・星住英夫・山下 透(1994a) 中部九州の今市火砕流堆積物と類似火砕流堆積物の対比および噴出源の推定。地質雑, **100**, 279-291.
 鎌田浩毅・檀原 徹・山下 透・星住英夫・林田 明・竹村恵二(1994b) 大阪層群アズキ火山灰および上総層群Ku6C火山灰と中部九州の今市火砕流堆積物との対比: 猪牟田カルデラから噴出したco-ignimbrite ash. 地質雑, **100**, 848-866.
 木戸道男・英彦山団研グループ(2015) ピンクタフの噴出源。大分地質学会誌, no. 21, 1-16.
 McBirney A.R. (1993) *Igneous Petrology (Second Edition)*. Jones and Bartlett Publishers, 508p.
 町田 洋・新井房夫・杉原重夫(1980) 南関東と近畿の中部更新統の対比と編年—テフラによる一つの試み—。第四紀研究, **19**, 233-261.
 松本哲一(1996) 若い火山岩のK-Ar年代測定: 初生比補正とその応用例。地調ニュース, no. 501, 12-17.
 小野晃司(1963) 「久住」5万分の1地質図幅説明書。地質調査所, 124p.
 小野晃司・松本徹夫・宮久三千年・寺岡易司・神戸信和(1977) 竹田地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)。地質調査所, 145p.

- 酒井 彰・寺岡易司・宮崎一博・星住英夫・坂巻幸雄 (1993) 三重町地域の地質, 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 115p.
- Smith, R.L. (1960) Ash flows. *Bull. Geol. Soc. Am.*, **71**, 795-842.
- 曾根原崇文・原山 智 (2006) イグニンプライトに対する全岩化学分析の意義: 後期白亜紀の濃飛流紋岩瀬戸川火山灰流シートの本質岩片とマトリックスの化学組成の比較, 地球科学, **60**, 93-111.
- Sparks, R.S.J. and Walker, G.P.L. (1977) The significance of vitric-enriched air-fall ashes associated with crystal-enriched ignimbrites. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, **2**, 329-341.
- 寺岡易司・宮崎一博・星住英夫・吉岡敏和・酒井 彰・小野晃司 (1992) 犬飼地域の地質, 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 129p.
- 宇都浩三・須藤 茂 (1985) 豊肥地熱地域の火山岩の K-Ar 年代, 地調報告, No. 264, 67-83.
- 宇都浩三・石塚 治・内海 茂・鎌田浩毅・檀原 徹 (1999) 大規模火砕流堆積物および広域テフラのレーザ加熱 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代測定: 北東九州耶馬溪火砕流 (ピンク火山灰) および今市火砕流, 地球惑星科学関連学会合同大会予稿集 (CD-ROM), Vc-015.
- Watanabe, K. (1979) Studies on the Aso pyroclastic flow deposits in the region to the west of Aso caldera, Southwest Japan, II: petrology of the Aso-4 pyroclastic flow deposits. *Mem. Fac. Educ. Kumamoto Univ.*, no. 28, 75-112.
- 横山卓雄・楠木幹浩 (1967) 大阪層群には含まれるアズキ火山灰層について—近畿地方の新期新生代層の研究, その 8—, 同志社大学理工研報, **8**, 57-75.
- 柚原雅樹・梅寄恵司 (2017) 北九州市, 城野遺跡に露出する阿蘇-4 火砕流堆積物中の軽石の全岩化学組成, 福岡大学理学集報, **47**, 105-118.
- 柚原雅樹・松田芳諒・平塚晃大・宮崎桂輔 (2010) 阿蘇-4 火砕流堆積物中の火山ガラスと軽石の蛍光 X 線分析, 福岡大学理学集報, **40**, 217-231.

(要 旨)

坂本房江・角縁 進・木戸道男・松村秀喜・熊本智之・澤田武美・奥野 充・英彦山団研グループ (2019) 中部九州, 今市火砕流堆積物中の黒曜石レンズの化学組成: 阿蘇-4 火砕流との識別. 福岡大学理学集報, 49, 79-88. (Sakamoto, F., Kakubuchi, S., Kido, M., Matsumura, H., Kumamoto, T., Sawada, T., Okuno, M. and Hikosan Collaboration Group (2019) Major and Trace Element Compositions of Obsidian Lenses in the Imaichi Pyroclastic-flow Deposit, Central Kyushu, SW Japan as Distinguished from the Aso-4 Pyroclastic-flow Deposit. *Fukuoka Univ. Sci. Rep.*, **49**, 79-88.)

本研究では, 大分市籠ノ台と太田から採取した今市火砕流堆積物中の黒曜石レンズの主成分と微量元素組成を, 低希釈ガラス円板を用いた蛍光 X 線分析法により測定した. 今市火砕流堆積物中の黒曜石レンズの SiO_2 含有量は 64.3-69.3 wt% を示し, SiO_2 含有量の幅は約 5% であった. SiO_2 含有量に対する他の元素の組成変化は, 今市火砕流堆積物のマグマはマグマミキシングによるものである可能性を示唆している. また, Locs. A, B のデータは, Loc. C のデータ範囲の高シリカ側に集中する. 既存研究の阿蘇-4 火砕流中の軽石の化学組成と比較したところ, 両者は主成分で TiO_2 , P_2O_5 , Al_2O_3 , MnO , 微量成分で Ba, Nb, V, Zn, Ga などの含有量によって識別が可能であった. なお, Loc. C での SiO_2 含有量の平均値および標準偏差の積算から, 概ね 30 試料でその値は収束することが分かった.