

# 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

柚原 雅樹<sup>1)</sup>・松田 芳諒<sup>1)</sup>・平塚 晃大<sup>1)</sup>・宮崎 桂輔<sup>1)</sup>

(平成 22 年 5 月 31 日受理)

## X-ray Fluorescence Analysis of Volcanic Glass and Pumice from the Aso-4 Pyroclastic Flow Deposits

Masaki YUHARA<sup>1)</sup>, Yoshiaki MATSUDA<sup>1)</sup>, Akihiro HIRATSUKA<sup>1)</sup>, and Keisuke MIYAZAKI<sup>1)</sup>

(Received May 31, 2010)

### Abstract

We analyzed for major and trace element compositions of volcanic glasses and pumices from the Aso-4 pyroclastic flow deposits collected from Antoku, Chugangi and Fukui, Fukuoka Prefecture, from Jikumaru and Funagawa, Oita Prefecture, by using X-ray fluorescence spectrometry. The volcanic glasses were separated by magnetic separation. The chemical compositions of volcanic glasses and pumices are within range of reported data. Thus, we consider them to be good chemical data. The volcanic glasses indicate narrow range chemical composition. This suggests that silicate liquid had uniform chemical composition in magma just before Aso-4 eruption.

Key words : X-ray fluorescence analysis, Aso-4 pyroclastic flow deposits, volcanic glass, pumice, major and trace element.

### はじめに

火山ガラスの化学組成は、テフラの同定に大きく貢献するだけでなく、給源マグマの化学的性質を知る上でも重要なデータである。火山ガラスの化学分析の主流となっている EPMA による分析は、ごくわずかな量の試料で測定が可能であるが、主成分元素測定が中心であり、若干の微量元素が測定可能であるに過ぎない。蛍光 X 線分析法では、ある程度の純化した試料が必要であるが、主成分元素に加えて多数の微量元素の定量が可能である。理学部に設置されている蛍光 X 線分析装置では、現在のところ 17 微量元素の測定が可能である (柚原・田口, 2003a, 2003b, 2006; 柚原ほか, 2004; 高本ほか, 2005)。EPMA による分

析では、個々の火山ガラス片の化学組成やそのばらつきの程度の把握が可能であるが、蛍光 X 線分析では、数 g の分析試料を調製するため、対象とする火山灰の火山ガラスの平均組成しか把握できない。この火山ガラスの平均組成は、マグマの液体相の組成を近似していると考えられている (黒川, 2005)。そこで、阿蘇 -4 火砕流堆積物を対象として、蛍光 X 線分析法による火山ガラスの化学分析の有効性と、それに基づいたマグマの化学組成の検討を試みた。阿蘇 -4 火砕流堆積物を対象としたのは、北部九州に広く分布すること (Watanabe, 1978; Fig. 1) や、比較的層厚が厚いため野外において容易に認定しやすく、試料も多量に採取可能なこと、などの理由による。また、阿蘇 -4 火砕流堆積物およびそれと同時に形成された降下火山

<sup>1)</sup> 福岡大学理学部地球圏科学科, 〒 814-0180 福岡市城南区七隈 8-19-1

Department of Earth System Science, Faculty of Science, Fukuoka University, 8-19-1 Nanakuma, Jonan-ku, Fukuoka, 814-0180, Japan

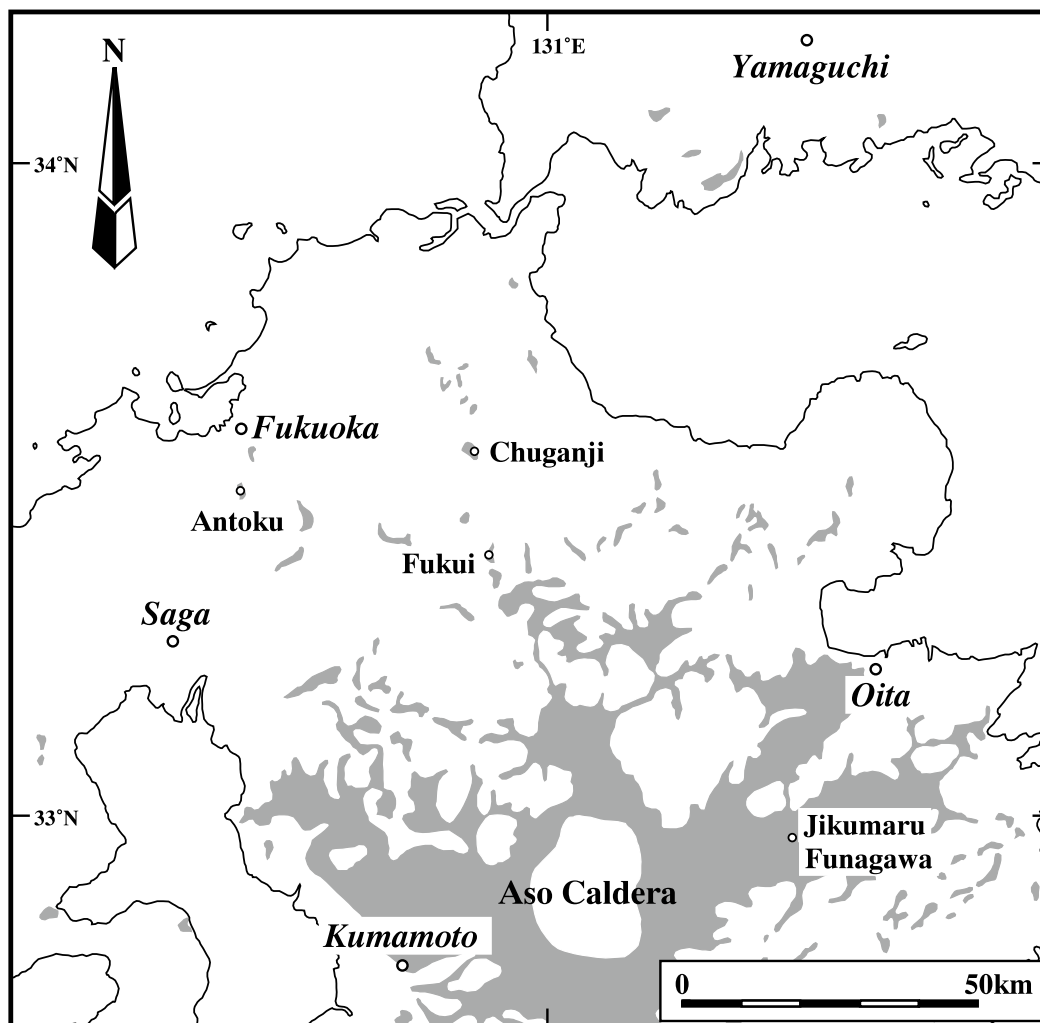


Fig. 1. Distribution of the Aso-4 pyroclastic flow deposits and location of sampling points (modified from Machida and Arai, 2003).

灰（阿蘇-4火山灰）は阿蘇-4テフラと呼ばれ、ほぼ日本全域に分布し、周辺海域においても確認されている（町田・新井，2003）ため、阿蘇-4テフラは第四紀後期における重要な示標テフラの一つとされている（町田・新井，2003）。阿蘇-4テフラの同定・対比において、それに含まれる火山ガラスの化学組成が数多く報告されている（Furuta et al., 1986；八木・早田，1989；白井ほか，1997；青木ほか，2000；青木・新井，2000）。一方、阿蘇-4火砕流堆積物中の火山ガラスの分析値の報告は非常に少なく、今後は阿蘇-4火砕流堆積物中の火山ガラスの化学分析値の蓄積も必要であると考えられる。

#### 阿蘇-4火砕流堆積物のユニット区分

阿蘇火山は九州中央部に位置し、直径約20kmの

カルデラと中央火口丘群からなる複成火山である。阿蘇カルデラを給源とする火砕噴火サイクルが約30万年前以降4回あり、古い方からAso-1, Aso-2, Aso-3, Aso-4と呼ばれている。Aso-4サイクルの噴出物である阿蘇-4火砕流堆積物は、噴火中心から180km以上も離れたところまで到達しており（Fig. 1; Watanabe, 1978；小野・渡辺，1983；渡辺，1986）、九州における第四紀後期編年の示標層として重要視されている（郷原，1963）。主に斜方輝石普通角閃石デイサイト質軽石火山灰からなり、数十mをこえる厚い層厚をなすところでは、下部が溶結凝灰岩となっている場合が多い。阿蘇-4火砕流堆積物は岩相・岩質からいくつかのサブユニットに区分されている（Fig.2）。阿蘇カルデラの西側では8つのサブユニットに（Watanabe, 1978）、阿蘇カルデラ東側の竹田地域では4A, 4Bの2つのサブユニットに（小野ほ

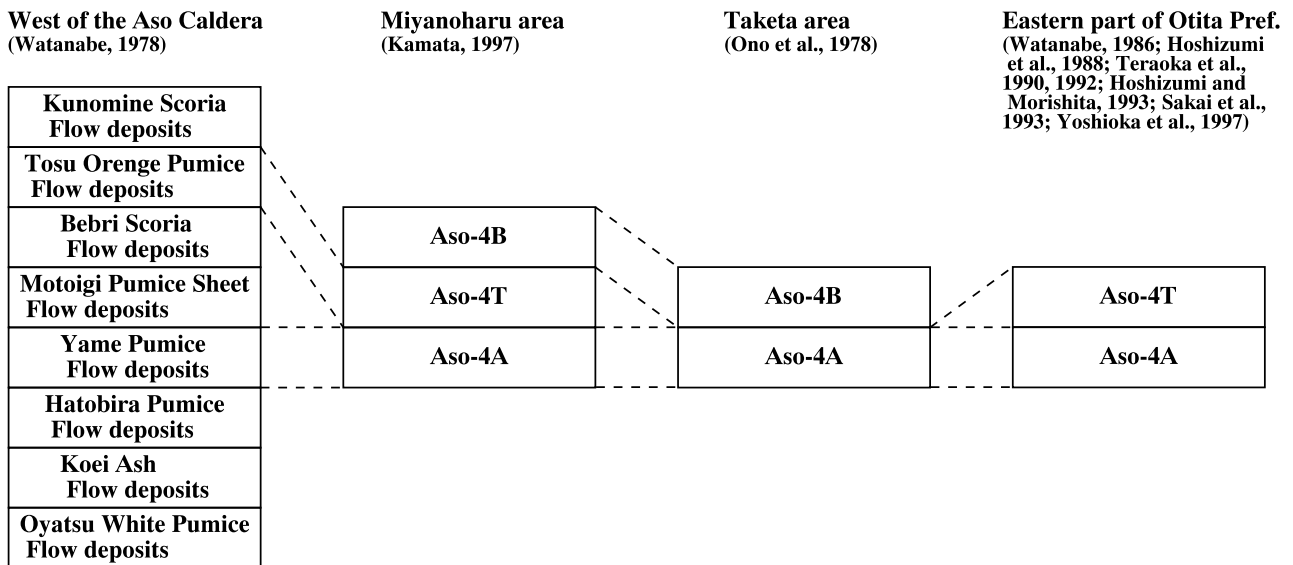


Fig. 2. Summary of eruptive units in the Aso-4 pyroclastic flow deposits based on previously published works.

か, 1977), 大分県東部地域 (渡辺, 1986; 星住ほか, 1988; 寺岡ほか, 1990, 1992; 星住・森下, 1993; 酒井ほか, 1993; 吉岡ほか, 1997) では 4A, 4T の 2 つのサブユニットに区分されている (Fig. 2)。阿蘇カルデラの北側の宮原地域では, 4A, 4T, 4B が分布する (鎌田, 1997)。このうち, 4A は Watanabe (1978) の八女軽石流堆積物に, 4T は Watanabe (1978) の鳥栖オレンジ軽石流堆積物に相当する (星住ほか, 1988; 寺岡ほか, 1990, 1992; 星住・森下, 1993; 酒井ほか, 1993)。宮崎県北部にも 4A が分布する (今井ほか, 1982)。Watanabe (1978) の残りの 6 つのサブユニットは主にカルデラ西側に, 小野ほか (1977) の 4B は主にカルデラ東側に分布する。カルデラ北部では, 4T の直上に九ノ峰スコリア流堆積物が分布する (鎌田, 1997)。また, 大分地域では, 4A の一部に肥猪火山灰流堆積物である可能性が高い層準が認められている (吉岡ほか, 1997)。しかしながら, カルデラ西部地域においても, Watanabe (1978) のサブユニットに対比させず, 一括して阿蘇-4 火砕流堆積物として記載する場合 (唐木田ほか, 1994) や溶結部と非溶結部に区分する場合 (富田ほか, 2008) もある。

## 試料および分析方法

### 1. 試料採取および調整法

火山ガラスを分離するため, 非溶結の阿蘇-4 火砕流堆積物を採取した。

試料採取は, 福岡県筑紫郡那珂川町安徳, 田川郡添

田町中元寺, 朝倉郡東峰村福井, 大分県竹田市緒方町軸丸および鮎川で行った (Fig. 1)。以下に, 各試料採取地点における産状を記述する。

#### (1) 安徳

07090801 : (N33°29.756', E130°25.786')

層厚 3m+ の暗灰色の軽石質火山灰で, 5mm 以下の軽石を多量に含み (Fig. 3), 最大 5cm に達する軽石も含まれる。本質岩片も含まれる。N86°W, 25°N のラミナが認められる。試料は露頭下部から 1m 上部付近で採取した。

07092201 : (N33°29.592', E130°25.560')

層厚 6m+ の暗灰色の軽石質火山灰で, 5mm 以下の軽石を多量に含み (Fig. 3), 最大 5cm に達する軽石も含まれる。本質岩片も含まれる。N76°W, 11°N のラミナが認められる。試料は露頭下部から 1.5m 上部付近で採取した。

07092202 : (N33°29.795', E130°25.624')

層厚 2.5m+ の暗灰色の軽石質火山灰で, 5mm 以下の軽石を多量に含み (Fig. 3), 最大 2cm に達する軽石も含まれる。本質岩片も含まれる。N9°E, 12°W のラミナが認められる。試料は露頭下部から 1m 上部付近で採取した。

#### (2) 中元寺

07090301 : (N33°33.127', E130°51.007')

層厚 7m+ の暗灰色の軽石質火山灰で, 10 mm 程度の軽石を多量に含み (Fig. 3), 最大 13cm に達する軽石も含まれる。本質岩片も含まれる。N34°E, 18°NE のラミナが認められる。試料は露頭下部から 1.5m 上

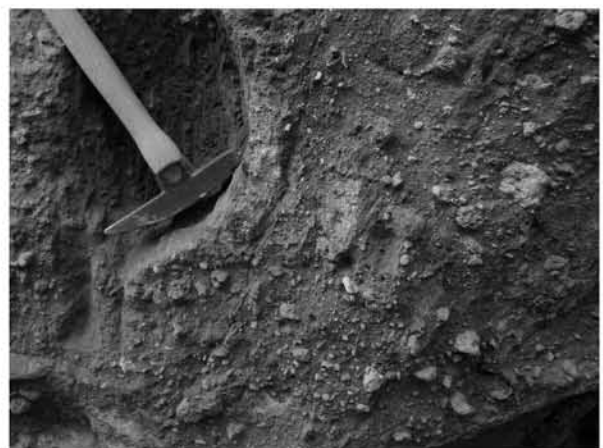


Fig. 3. Photographs of the Aso-4 pyroclastic flow deposits at outcrops.

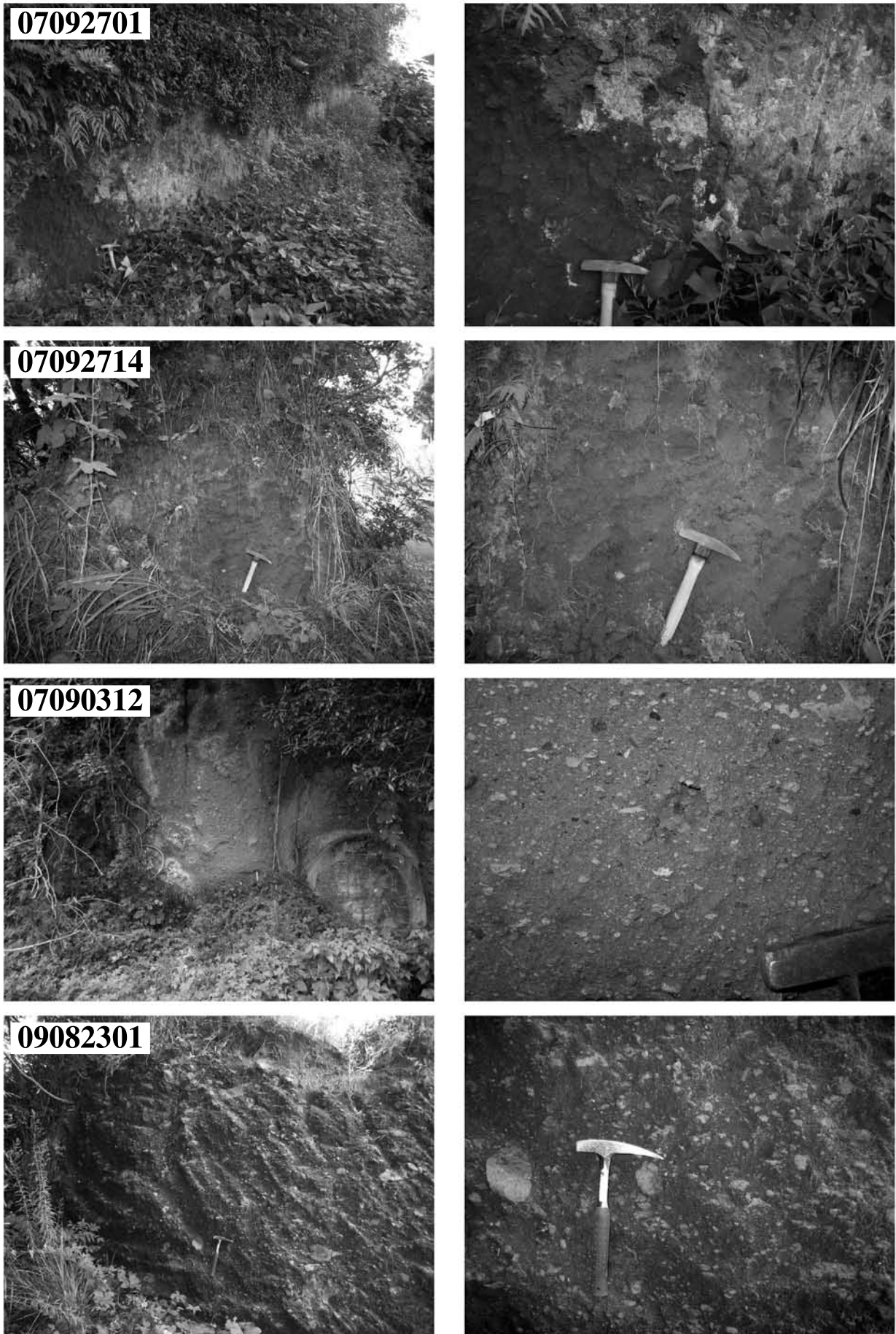


Fig. 3. (continued)



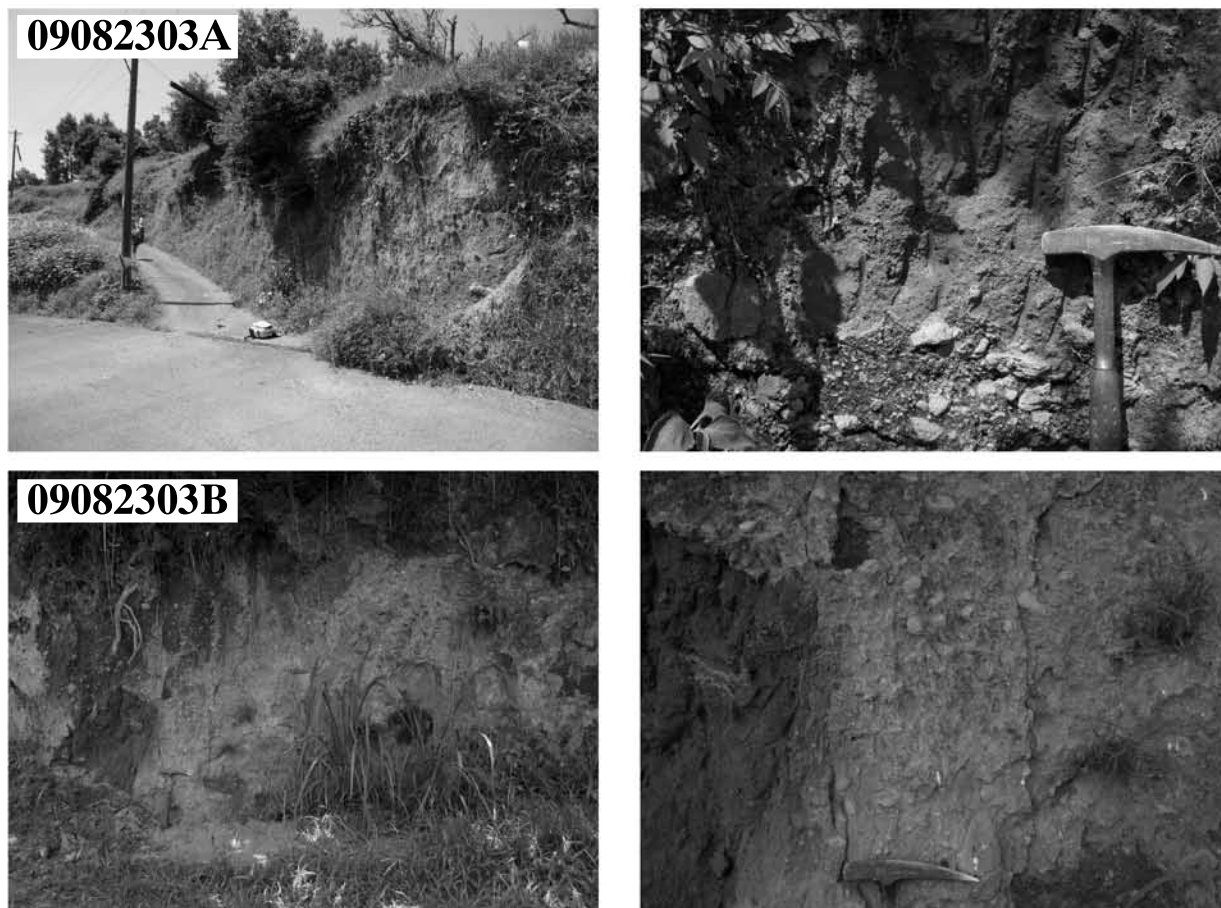


Fig. 3. (continued)

部付近で採取した。

07092701 : (N33°33. 321', E130°50. 479')

層厚 2.5m+ の暗灰色の軽石質火山灰で、最大 6cm の軽石を多量に含む (Fig. 3)。本質岩片も含まれる。N34°E, 18°NE のラミナが認められる。試料は露頭下部から 1m 上部付近で採取した。

07092714 : (N33°33. 230', E130°50. 565')

層厚 2.5m+ の暗灰色の軽石質火山灰で、最大 6cm に達する軽石を多量に含む (Fig. 3)、本質岩片も含まれる。試料は露頭下部から 1m 上部付近で採取した。

#### (3)福井

07090312 : (N33°22. 735', E130°52. 677')

層厚 5m+ の暗灰色の軽石質火山灰で、2cm 程度の軽石を多量に含む (Fig. 3)、最大 10cm に達する軽石も含まれる。本質岩片も多量に含まれる。N86°W, 32°N のラミナが認められる。試料は露頭下部から 1m 上部付近で採取した。

#### (4)軸丸

09082301 : (N32°52. 111', E131°27. 193')

層厚 6m+ の暗灰色の軽石質火山灰で、4 ~ 5cm の軽石を多量に含む (Fig. 3)、最大 70cm に達する軽石

も含まれる。本質岩片も多量に含む。弱溶結の火砕流堆積物である。ほぼ水平のラミナが認められる。試料は露頭下部から 3 ~ 4m 上部の部分から採取した。

#### (5)鮎川

09082303A, B : (N32°57. 597', E131°28. 322')

層厚 6m+ の暗灰色の軽石質火山灰で、1 ~ 2cm の軽石を多量に含む (Fig. 3)、最大 25cm に達する軽石も含まれる。本質岩片も含まれる。ほぼ水平のラミナが認められる。試料は露頭下部から 50cm 上部付近 (A)、および 4m 上部付近 (B) の 2ヶ所で採取した。

今回採取した試料は、分布から八女軽石流堆積物ならびに 4A に相当すると思われる。採取した試料 (約 2kg) を風乾後、ふるいにかけ、180 ~ 125 $\mu$ m の部分からアイソダイナミックセパレーターを用いて、火山ガラスを分離・精製した。この際、一部の試料については、軽石型火山ガラスに富むフラクションとバブル型火山ガラスに富むフラクションに分離した。また、採取試料に含まれる軽石も分析試料とした (Fig. 4)。ほとんどの軽石試料は、単体の軽石を用いたが、07092714 および 07090312 は分析に必要な大きな軽石を含んでいなかったため、小型の軽石を集め分析試料

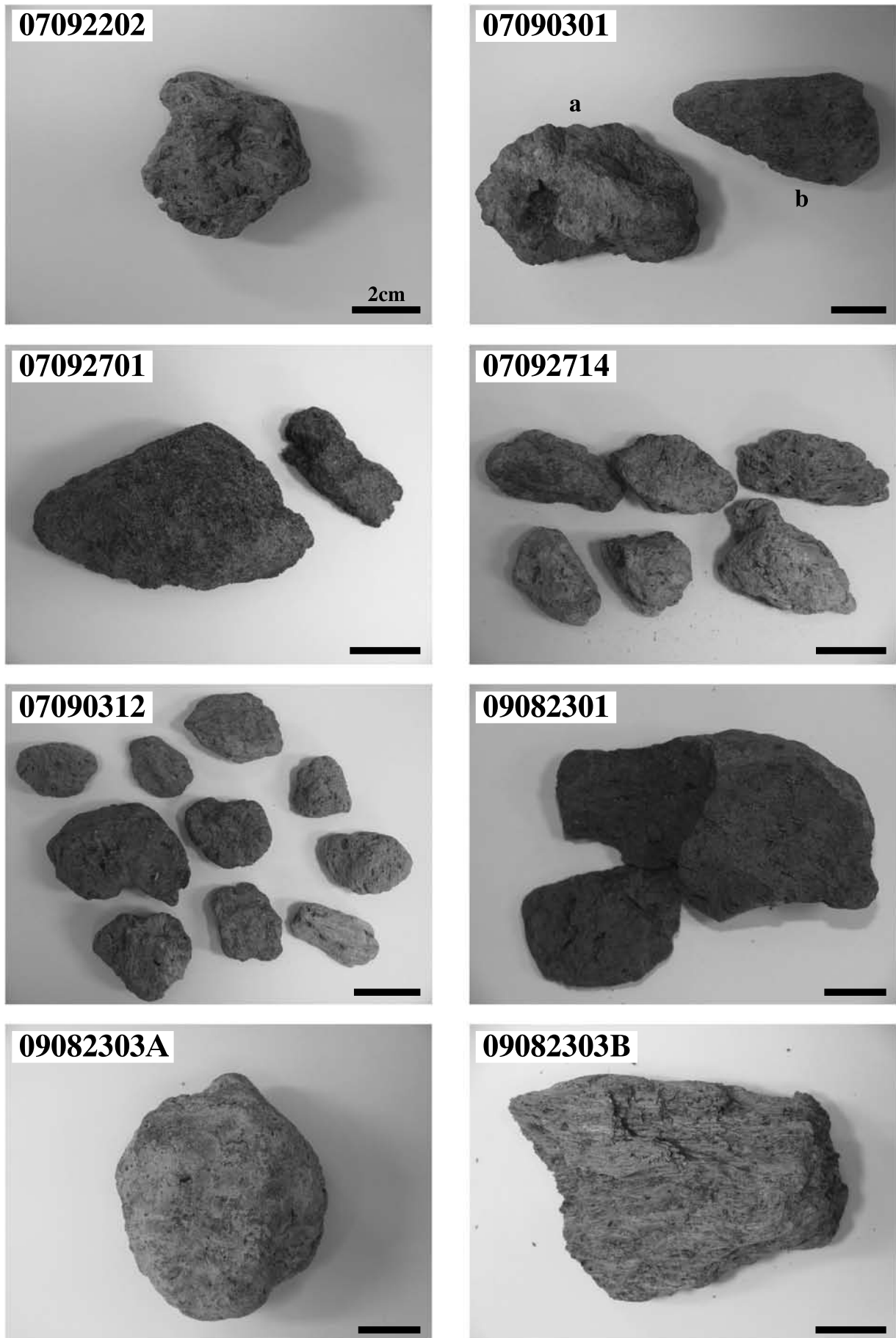


Fig. 4. Photographs of pumices in the Aso-4 pyroclastic flow deposits.

とした。これらの分析試料は、蒸留水による超音波洗浄後、110℃で乾燥した。火山ガラスはメノウ乳鉢で、軽石はタングステンカーバイト製のボールミルで粉碎した。

## 2. 分析方法

火山ガラスおよび軽石に含まれる主成分10元素(SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)と微量成分17元素(As, Ba, Co, Cr, Cu, Ga, Nb, Ni, Pb, Rb, S, Sr, V, Th, Y, Zn, Zr)を、福岡大学理学部に設置の理学電機工業社製蛍光X線分析装置ZSX100eにより測定した。試料調整および測定方法は、柚原・田口(2003a, b, 2006), 柚原ほか(2004), 高本ほか(2005)に従った。軽石は試料粉碎の際にタングステンカーバイト製ボールミルを使用したため、Coの測定はおこなっていない。測定結果をTables 1, 2に示す。

## 結果と考察

### 1. 蛍光X線分析の有効性

火山ガラスのSiO<sub>2</sub>含有量は67.6～69.3wt%で、試料09082301はSiO<sub>2</sub>含有量がやや低いが、その他のものは68.3～69.3wt%であり、これまでEPMA測定により報告された火山ガラスの組成範囲(町田ほか, 1985; 八木・早田, 1989; 富田ほか, 2008)や軽石、溶結凝灰岩および溶結凝灰岩中の本質レンズの組成範囲(小野ほか, 1977; Watanabe, 1979; 木村ほか, 1991; 鎌田, 1997; Hunter, 1998)に比べて、非常に狭い範囲に集中する(Table 1; Fig. 5)。同一試料から分離した軽石型火山ガラスに富むフラクションとバブル型火山ガラスに富むフラクションでは、一部試料のFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\*, Sを除き、極めて類似した化学組成を示す(Table 1)。これに対して、軽石のSiO<sub>2</sub>含有量は65.0～67.7wt%で、これまでに報告された分析値の組成範囲に重複し(Figs. 5, 6)、火山ガラスの組成範囲よりも広い。今回蛍光X線分析により測定した火山ガラスの化学組成は、EPMAにより測定された火山ガラスの組成範囲に一部重複し、これらと軽石、溶結凝灰岩および溶結凝灰岩中の本質レンズの間にプロットされる(Fig. 5)。火山ガラスの水和によってNa<sub>2</sub>Oが減少することが指摘されている(Watanabe, 1979)が、分離した火山ガラス中に白く濁った火山ガラスはほとんど含まれず、L.O.Iも約3 wt%と一定で、またNa<sub>2</sub>O含有量も非常に狭い範囲内にあることから、水和した火山ガラスは分離過程で除去されていると考えられる。したがって、今回得られた分析値は、火山ガラスの平均化学組成を良く示していると考えられる。

### 2. 阿蘇4噴火時のマグマの化学組成

黒川(2005)によっても指摘されているように、火山ガラスの平均組成は、噴火直前のマグマの液体相の組成を近似していると考えられている。これに対して、軽石や溶結凝灰岩の化学組成は、液体相とその中に存在していた結晶粒(すなわち斑晶)からなるマグマ全体の組成を示していると考えられる。これまでに報告されている分析値を含めると、軽石は幅広い組成範囲を示すのに対し、今回得られた火山ガラスの平均組成は、採取地点がかなり広範囲にわたる(Fig. 1)にもかかわらず極めて狭い範囲に集中する(Figs. 5, 6)。このことは、阿蘇4火砕流として噴火したマグマの液体相の化学組成は、極めて均質であったことを示唆する。軽石や溶結凝灰岩が火山ガラスよりもSiO<sub>2</sub>含有量が低く、幅広い組成範囲を示すのは、均質な液体相とよりSiO<sub>2</sub>含有量の低い輝石や角閃石などの結晶粒が任意の割合で混合しているためであろう。

## 謝辞

本論文は松田芳諒の福岡大学理学部地球圏科学科における平成21年度の卒業研究の一部を発展させたものである。研究を進めるにあたり、福岡大学理学部地球圏科学科の田口幸洋教授、奥野充准教授、鮎沢潤博士には様々なご意見、御討論をいただいた。佐賀大学文化教育学部角縁進准教授には査読をしていただき、有益な助言をいただいた。以上の方々に、記して感謝の意を表します。

## 文献

- 青木かおり・新井房夫, 2000, 三陸沖海底コア KH94-3, LM-8の後期更新世テフラ層序. 第四紀研究, 39, 107-120.
- 青木かおり・山本浩文・山内守明, 2000, 「みらい」MR98-03次航海及びMR99-K04次航海で採取された海底コアの第四紀後期テフラ層序. 海洋科学技術センター試験研究報告, no. 41, 49-55.
- Furuta, T., Fujioka, K. and Arai, F., 1986, Widespread submarine tephra around Japan -petrographic and chemical properties. *Marine Geol.*, 72, 125-142.
- 郷原保真, 1963, 九州地方のTephrochronology. 第四紀研究, 3, 123-138.
- 星住英夫・森下祐一, 1993, 豊岡地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅). 地質調査所, 75p.
- 星住英夫・小野晃司・三村弘二・野田徹郎, 1988, 別



Table 1. Chemical compositions of volcanic glass from the Aso-4 pyroclastic flow deposits.

Location	Antoku					Chuganji	
Sample No.	07090801g	07092201pg	07092201bg	07092202bg	07092202pg	07090301pg	07090301bg
SiO <sub>2</sub> (wt.%)	68.88	68.50	68.85	69.16	68.54	68.67	69.12
TiO <sub>2</sub>	0.43	0.45	0.44	0.43	0.44	0.44	0.42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.83	15.07	14.85	14.70	14.80	15.00	14.71
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	1.90	1.92	1.77	1.62	2.10	1.82	1.63
MnO	0.08	0.10	0.09	0.09	0.12	0.10	0.09
MgO	0.41	0.48	0.43	0.45	0.45	0.47	0.45
CaO	1.17	1.41	1.26	1.26	1.34	1.35	1.26
Na <sub>2</sub> O	4.28	4.33	4.34	4.45	4.38	4.33	4.37
K <sub>2</sub> O	4.45	4.38	4.44	4.45	4.39	4.43	4.47
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.03	0.05	0.04	0.03	0.04	0.05	0.05
L.O.I.	3.27	2.95	2.99	2.82	2.86	2.91	2.84
Total	99.73	99.64	99.50	99.46	99.46	99.57	99.41
As (ppm)	11	n.d.	<4	12	12	n.d.	n.d.
Ba	740	755	778	755	777	765	757
Co	<5	n.d.	<5	<5	<5	<5	<5
Cr	<4	<4	<4	<4	<4	<4	n.d.
Cu	4	6	6	4	3	6	4
Ga	17	17	18	18	17	18	18
Nb	13	13	14	13	14	13	14
Ni	6	5	6	7	5	5	5
Pb	18	11	10	20	20	10	10
Rb	153	149	151	150	148	151	153
S	156	262	210	198	245	252	194
Sr	179	226	200	199	216	218	194
Th	17	6	6	17	17	6	6
V	21	20	17	19	16	17	17
Y	36	34	34	34	34	34	34
Zn	51	57	51	50	53	50	51
Zr	303	283	293	293	285	285	293

Location	Chuganji		Fukui		Jikumaru	Funagawa	
Sample No.	07092701g	07092714g	07090312bg	07090312pg	09082301g	09082303Ag	09082303Bg
SiO <sub>2</sub> (wt.%)	69.24	68.70	69.27	68.82	67.64	68.35	68.27
TiO <sub>2</sub>	0.42	0.44	0.42	0.43	0.49	0.46	0.45
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.71	14.90	14.70	14.90	15.55	15.46	15.21
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	1.55	1.88	1.69	1.80	2.23	1.50	1.69
MnO	0.08	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
MgO	0.37	0.49	0.42	0.48	0.57	0.51	0.57
CaO	1.15	1.32	1.20	1.31	1.58	1.57	1.64
Na <sub>2</sub> O	4.37	4.26	4.40	4.28	4.13	4.07	4.14
K <sub>2</sub> O	4.51	4.43	4.52	4.47	4.31	4.36	4.26
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.03	0.04	0.03	0.04	0.07	0.07	0.07
L.O.I.	3.15	3.24	2.72	2.93	3.12	3.34	3.19
Total	99.58	99.80	99.47	99.56	99.79	99.79	99.59
As (ppm)	11	11	12	11	10	10	10
Ba	776	747	769	766	752	748	755
Co	<5	n.d.	<5	<5	<5	<5	n.d.
Cr	<4	n.d.	4	<4	<4	5	4
Cu	6	6	4	5	9	5	7
Ga	17	17	18	18	17	17	17
Nb	14	13	14	14	14	13	13
Ni	5	6	5	7	6	9	7
Pb	17	17	20	13	18	17	17
Rb	153	153	152	151	147	147	146
S	148	233	188	192	237	237	211
Sr	177	209	189	200	232	232	242
Th	17	17	17	18	17	16	16
V	15	19	17	22	25	25	26
Y	36	35	36	37	36	36	34
Zn	47	51	51	50	50	50	47
Zr	305	289	298	295	285	285	275

\*: total iron as Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, L.O.I.: loss on ignition, n.d.: not detected, p: pumice type, b: bubble type, g: glass.

**Table 2.** Chemical compositions of pumice from the Aso-4 pyroclastic flow deposits.

Location	Antoku	Chuganji			
Sample No.	07092202pm	07090301pma	07090301pmb	07092701pm	07092714pm
SiO <sub>2</sub> (wt.%)	64.97	65.58	67.68	65.62	65.65
TiO <sub>2</sub>	0.58	0.58	0.47	0.53	0.56
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.48	15.79	15.35	16.74	16.07
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	2.89	2.84	2.06	2.40	2.76
MnO	0.12	0.13	0.10	0.11	0.12
MgO	0.77	0.78	0.49	0.53	0.71
CaO	2.10	2.15	1.50	1.43	1.97
Na <sub>2</sub> O	3.95	4.24	4.14	4.12	4.02
K <sub>2</sub> O	3.84	3.88	4.38	3.88	3.94
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.08	0.11	0.05	0.05	0.05
L.O.I.	3.81	3.13	3.15	4.36	3.78
Total	99.59	99.21	99.37	99.77	99.63
As (ppm)	9	9	11	11	10
Ba	708	697	747	827	686
Cr	<4	<4	4	n.d.	<4
Cu	<4	<4	<4	<4	<4
Ga	18	18	17	18	18
Nb	14	13	14	15	14
Ni	<4	<4	5	<4	<4
Pb	16	15	12	16	15
Rb	130	127	142	132	131
S	250	269	80	279	227
Sr	338	346	246	237	325
Th	15	14	16	19	16
V	32	35	21	25	29
Y	34	34	35	40	35
Zn	55	58	46	57	51
Zr	262	247	283	315	263

Location	Fukui	Jikumaru	Funagawa	
Sample No.	07090312pm	09082301pm	09082303Apm	09082303Bpm
SiO <sub>2</sub> (wt.%)	66.61	67.12	65.72	65.98
TiO <sub>2</sub>	0.51	0.48	0.55	0.54
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.52	15.60	15.70	15.65
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	2.37	2.15	2.78	2.68
MnO	0.11	0.11	0.12	0.12
MgO	0.62	0.49	0.80	0.78
CaO	1.75	1.56	2.12	2.15
Na <sub>2</sub> O	4.31	4.13	4.12	4.07
K <sub>2</sub> O	4.23	4.34	4.01	3.93
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.07	0.05	0.10	0.10
L.O.I.	3.38	3.34	3.25	3.37
Total	99.48	99.37	99.27	99.37
As(ppm)	10	10	9	9
Ba	722	758	701	707
Cr	<4	<4	n.d.	<4
Cu	n.d.	<4	<4	<4
Ga	17	18	18	18
Nb	14	13	13	13
Ni	4	4	<4	<4
Pb	13	10	11	11
Rb	134	141	130	129
S	802	82	176	199
Sr	279	263	334	351
Th	16	16	15	15
V	25	22	29	30
Y	36	38	35	34
Zn	58	42	51	50
Zr	278	285	250	245

\*: total iron as Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, L.O.I.: loss on ignition, n.d.: not detected.

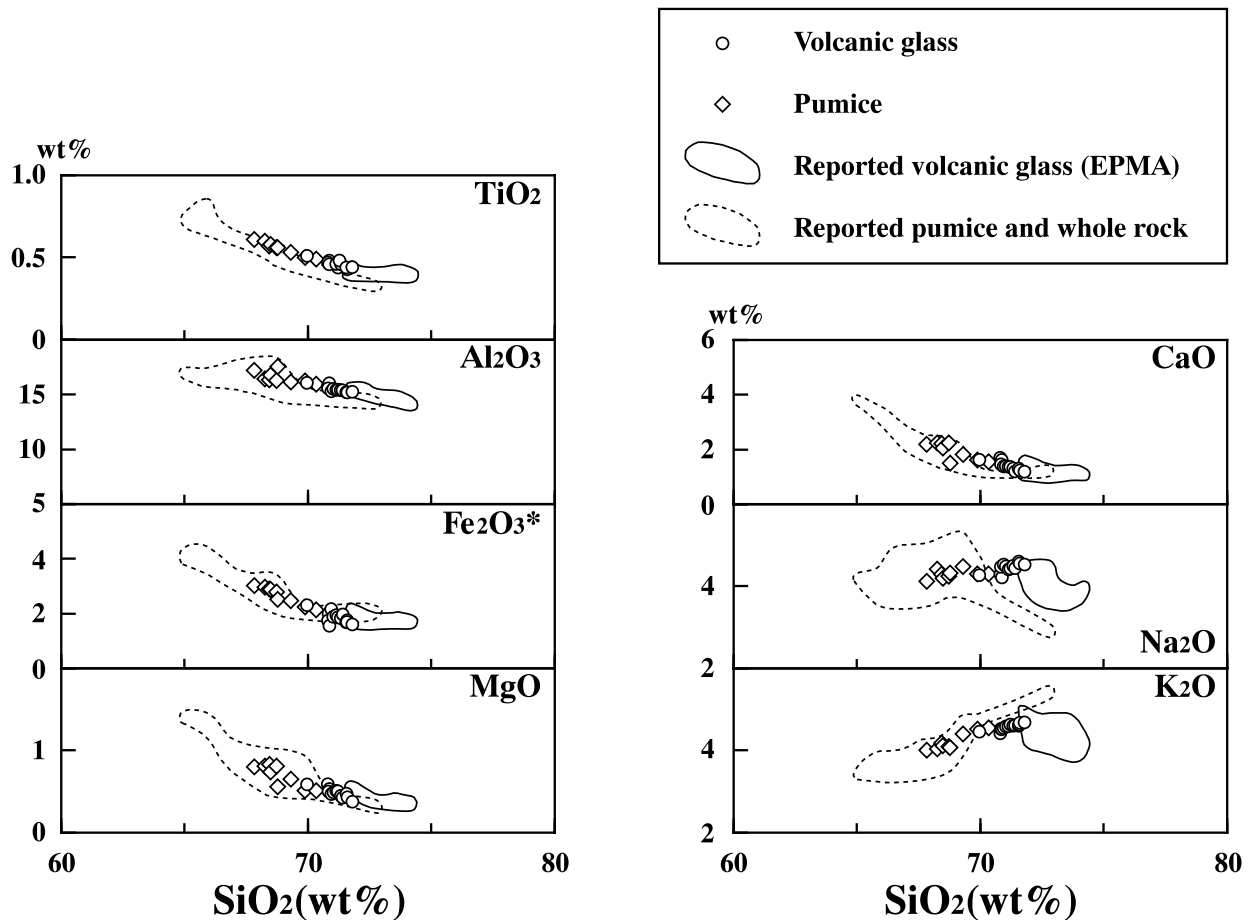


Fig. 5. SiO<sub>2</sub>-oxides diagrams of the Aso-4 pyroclastic flow deposits.

Data sources: Ono et al. (1977), Watanabe (1979), Machida et al. (1985), Yagi and Soda (1989), Kimura et al. (1991), Kamata (1997), Hunter (1998), Tomita et al. (2008) and this study.

All data were recalculated on water free basis of the original analyses.

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.

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.

今井 功・寺岡易司・奥村公男・神戸信和・小野晃司, 1982, 諸塚山地域の地質, 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅). 地質調査所, 71p.

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.

唐木田芳文・富田宰臣・下山正一・千々和一豊, 1994, 福岡地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅). 地質調査所, 192p.

久保和也・松浦浩久・尾崎正紀・牧本 博・星住英夫・鎌田耕太郎・広島俊男・中島和敏, 1993, 20 万

分の 1 地質図 福岡. 地質調査所.

黒川勝己, 2005, テフラ学入門 - 野外観察から地球環境史の復元まで -. 地学団体研究会, 205p.

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・百瀬 貢, 1985, 阿蘇 4 火山灰 - 分布の広域性と後期更新世示標層としての意義 -. 火山, 第 2 集, **30**, 49-70.

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.

小野晃司・渡辺一徳, 1983, 阿蘇カルデラ. 月刊地球, **5** (2), 73-82.

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.

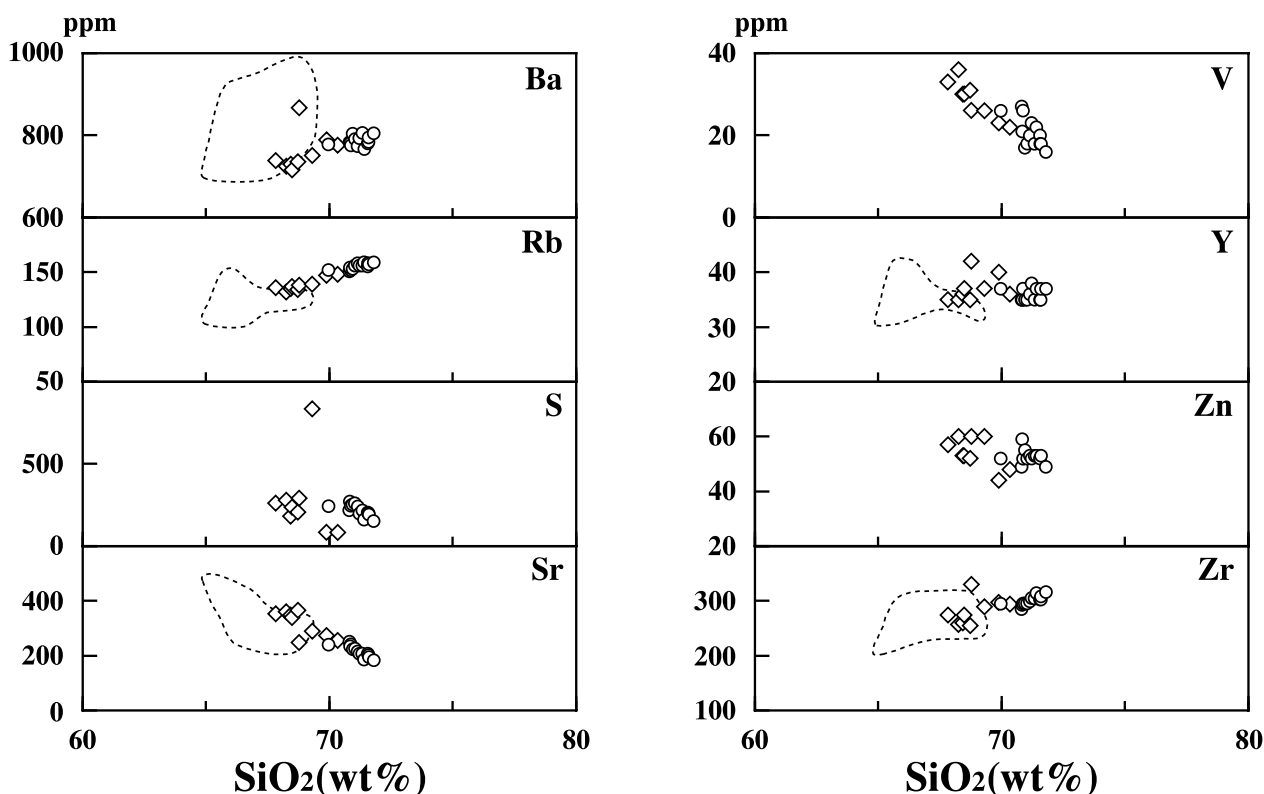


Fig. 6. SiO<sub>2</sub>-minor elements diagrams of the Aso-4 pyroclastic flow deposits.

Symbols are the same as those in Figure 5.

Data sources: Hunter (1998) and this study.

高本のぞみ・柚原雅樹・古川直道, 2005, 福岡県東部, 今川・祓川流域の元素濃度分布. 福岡大学理学集報, 35 (2), 41-66.

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.

寺岡易司・奥村公男・村田明広・星住英夫, 1990, 佐伯地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅). 地質調査所, 78p.

木村克己・巖谷敏光・三村弘二・佐藤喜男・佐藤岱生・鈴木祐一郎・坂巻幸雄, 1991, 尾鈴山地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅). 地質調査所, 137p.

白井正明・多田隆浩・藤岡換太郎, 1997, ODP日本海試料との対比に基づく男鹿半島安田海岸更新世中-後期テフラの同定と年代. 第四紀研究, 36, 183-196.

富田幸臣・下山正一・松浦浩久・宮崎一博・石橋 毅・三木 孝, 2008, 大牟田地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅). 産総研地質調査総合センター, 69p.

Watanabe, K., 1978, Studies on the Aso pyroclastic flow deposits in the region to the west of Aso caldera, Southwest Japan, I: geology. *Mem. Fac. Educ. Kumamoto Univ.*, no. 27, 97-120.

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.

渡辺一徳, 1986, 阿蘇カルデラ起源, 鳥栖オレンジ軽石流の流動・堆積機構. 文部省科学研究費自然災害特別研究, 研究計画「火山噴火に伴う乾燥粉体流 (火砕流等) の特性と災害」報告書, 115-128.

八木浩司・早田 勉, 1989, 宮城県中部および北部に分布する後期更新世広域テフラとその層位. 地学雑誌, 98, 39-53.

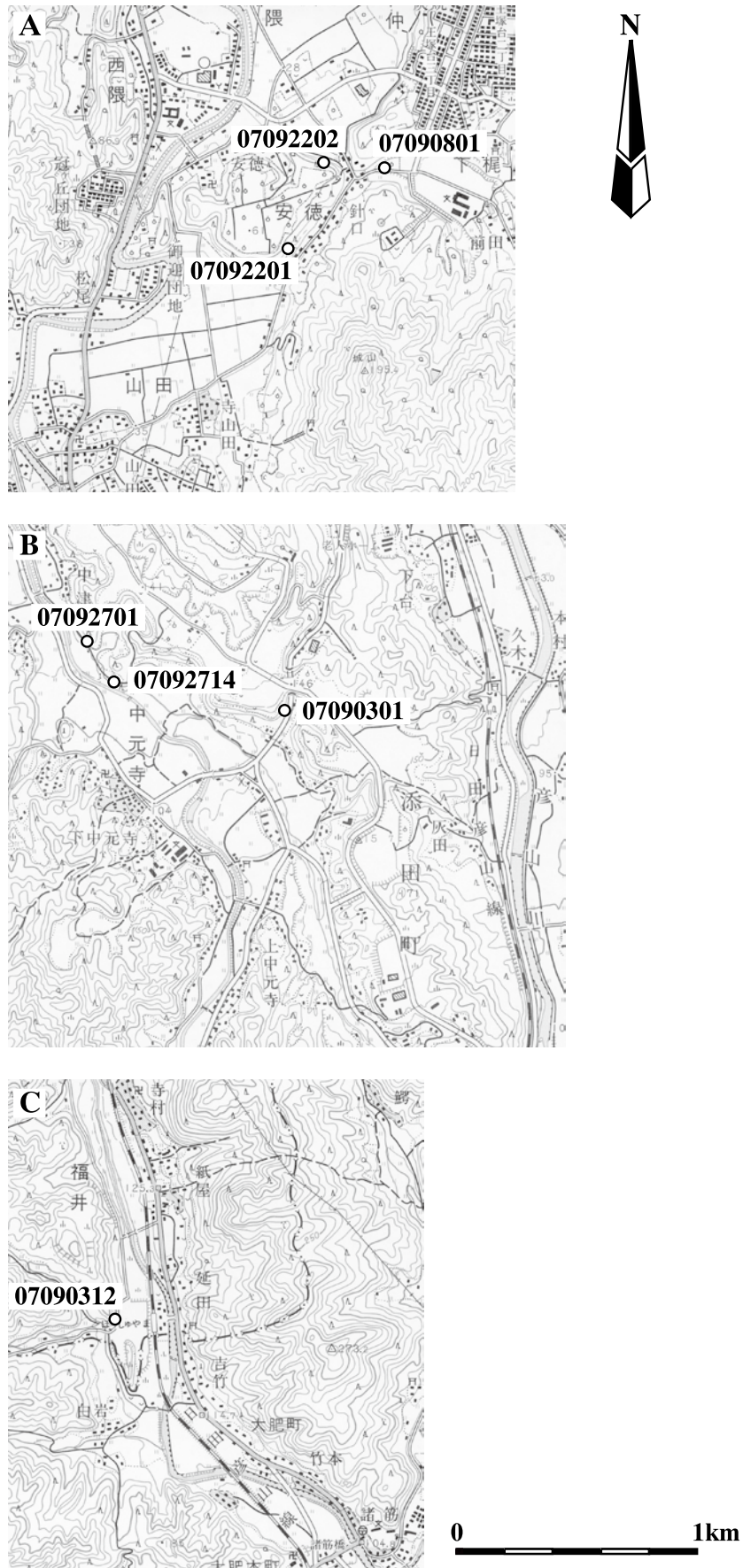
吉岡敏和・星住英夫・宮崎一博, 1997, 大分地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅). 地質調査所, 65p.

柚原雅樹・古川直道・田口幸洋, 2004, 粉末ペレット法による珪酸塩・炭酸塩岩石の微量元素の蛍光X

線分析. 福岡大学理学集報, **34** (1), 43-49.  
柚原雅樹・田口幸洋, 2003a, 蛍光 X 線分析装置  
ZSX100e による珪酸塩岩石の主成分および微量  
元素の定量分析. 福岡大学理学集報, **33** (1),  
25-34.  
柚原雅樹・田口幸洋, 2003b, ガラスビード法による

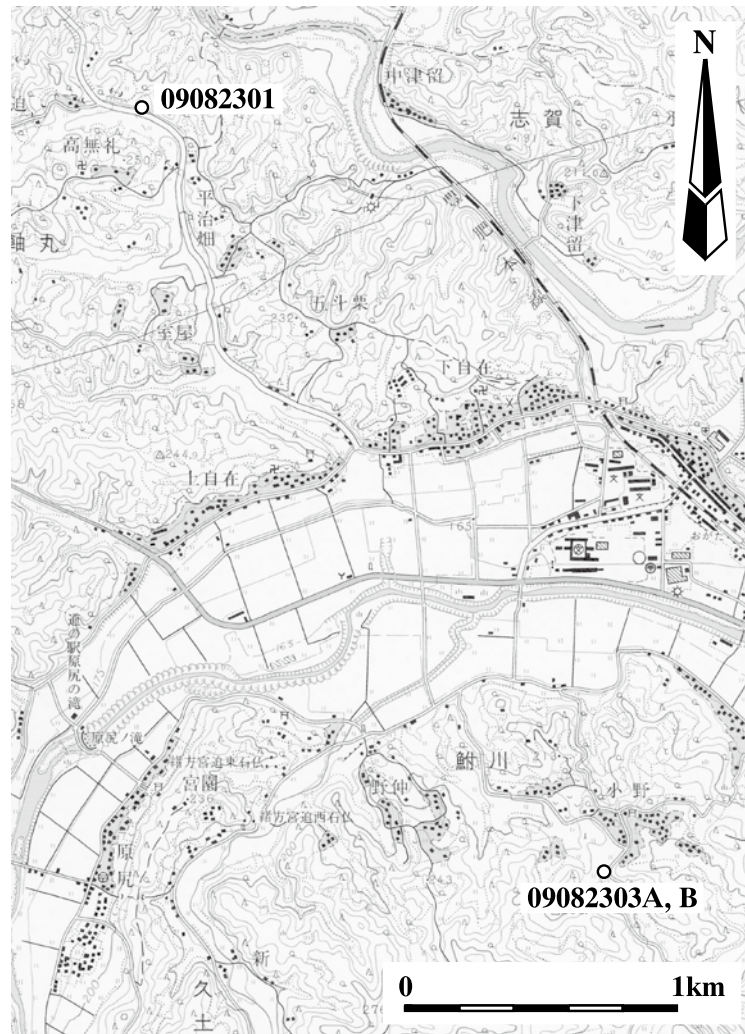
珪酸塩岩石の Co および S の蛍光 X 線分析. 福岡  
大学理学集報, **33** (2), 77-81.  
柚原雅樹・田口幸洋, 2006, ガラスビード法による  
炭酸塩岩石の主成分および微量元素の蛍光 X 線分  
析. 福岡大学理学集報, **36** (2), 29-35.





Appendix1. Location of sampling points.

These maps are adapted from the 1/25000 topographic maps “Funyudo”(A), “Chikuzenyamada” (B) and “Daigyoji”(C) published by the Geographical Survey Institute of Japan.



Appendix2. Location of sampling points.

This map is adapted from the 1/25000 topographic map “Taketa” published by the Geographical Survey Institute of Japan.

