

阿蘇カルデラ形成後に活動した多様なマグマと
それらの成因関係について

三好雅也*・長谷中利昭**・佐野貴司***

(2004年7月8日受付, 2005年8月1日受理)

Genetic Relationships of the Compositionally Diverse Magmas
from Aso Post-caldera Volcanism

Masaya MIYOSHI*, Toshiaki HASENAKA** and Takashi SANO***

Between 270 and 90ka, Aso volcano produced four large caldera-forming pyroclastic flows, all of which probably derived from a single zoned magma chamber, as suggested by previous geological and geochemical studies. On the other hand, after 90ka, for the post-caldera activities, it is difficult to create a wide compositional range of post-caldera magmas from a single magma chamber model, when the following observations are considered. (1) Seven distinct magma groups with distinct petrographic and compositional characteristics are found; I. 2px-rhyolite, II. bt-rhyolite, III. hb-dacite, IV. 2px-dacite, V. aphyric andesite, VI. porphyritic andesite, VII. basalt-basaltic andesite. (2) Incompatible trace element plots show that the seven magma groups were formed by at least four end-member magmas that do not show parent-daughter relationships. (3) Vents extruding basaltic magmas are centered in the caldera, whereas those extruding andesitic, dacitic, and rhyolitic magmas are distributed around them. These observations indicate that several (at least four) magma chambers are developed during the post-caldera activities, and that the compositional diversity of the magmas can be explained by magma mixing among the end-member magmas in addition to fractional crystallization.

Key words: Aso caldera, post-caldera volcanic products, compositional variation of magma, vent distribution

1. はじめに

大型陥没カルデラを有する火山の活動は、カルデラ形成前後で大きく2つの噴火ステージからなることが多い。一つはカルデラ形成の引き金となる非常に爆発的な噴火、もう一つは、カルデラ形成後の中央火口丘からの溶岩流の流出などの比較的静穏な火山活動である。この噴火様式の変化は地下のマグマ供給系の変化を示していると考えられる (Hunter and Blake, 1995)。中部九州に位置する阿蘇火山は南北約 25 km, 東西約 18 km のカルデラを有する世界最大級のカルデラ火山であり、その火山活動もカルデラ形成時の大規模火砕流噴火とカルデラ形

成後の複数の成層火山及び単成火山を形成する火山活動によって特徴付けられる (小野・渡辺, 1985)。カルデラ形成期 (Aso-1~Aso-4) には、噴出物組成に珪長質から苦鉄質, または苦鉄質から珪長質といったサイクルが存在したことから、小野・渡辺 (1983) は大規模な単一の zoned magma chamber モデルを提案した。さらに Hunter (1998) の岩石学的研究は、そのモデルの妥当性を裏付けた。

一方、カルデラ形成後の火山活動でも多様な組成のマグマが活動しているが、カルデラ形成期のような噴出物組成サイクルは明瞭ではない。現在地表で見られる給源

* 〒860-8555 熊本市黒髪 2-39-1
熊本大学大学院自然科学研究科
Graduate School of Science and Technology Kumamoto
University, Kurokami 2-39-1, Kumamoto 860-8555,
Japan.

** 〒860-8555 熊本市黒髪 2-39-1
Faculty of Science, Kumamoto University, Kurokami
2-39-1, Kumamoto 860-8555, Japan.

*** 〒417-0801 富士市大淵 325
富士常葉大学環境防災学部
College of Environment and Disaster Research, Fuji
Tokoha University, Ohbuchi 325, Fuji 417-0801, Japan.

Corresponding author: Masaya Miyoshi
e-mail: miyoshim@es.ssi.kumamoto.ac.jp

火山は 17 個以上あり、それぞれ火山ごとに組成幅が限られた火山噴出物を生産している。小野・渡辺 (1983) は、カルデラ形成時の山体陥没によって大規模マグマ溜りが分断され、そのことによって小さなマグマ溜りが複数個でき、それらが個々に分化したことによって、複数の火山から多様な組成のマグマが噴出したと主張した。つまり単一であったカルデラ形成前のマグマ溜りモデルに対して、後カルデラ形成期は複数のマグマ溜りが存在したというモデルである。しかしその後岩石学的議論によって定量的にその妥当性を評価した研究や、異なるモデルを提唱した研究は無い。そこで筆者らは、後カルデラ形成期火山噴出物を記載岩石学的特徴と全岩化学組成を基に分類し、それらの親子関係およびカルデラ形成後のマグマ供給系について考察を行った。

2. 地質の概要

阿蘇火山は、九州における火山フロントのやや背弧側に位置するカルデラ火山である (Fig. 1)。また、阿蘇火山は中部九州を横断する別府-島原地溝帯 (松本, 1979) の南縁である大分-熊本構造線と、小倉-田川断層帯の延長の交点、すなわち豊肥火山地域の南西端に位置する (鎌田, 1992)。別府-島原地溝は沖縄トラフの一部であり、沖縄トラフの拡大によって中部九州は現在年間 1.4 cm の割合で南北に引き裂かれている (多田, 1985)。東方から沈み込むフィリピン海プレートに加え、この著しい引張応力場は阿蘇火山の活動に大きく影響していると考えられる。

阿蘇火山の活動はカルデラ形成期 (270–90 ka; 渡辺, 2001) の大規模火砕流噴火 (Aso-1~Aso-4) と、その後の後カルデラ形成期 (90 ka 以降; 渡辺, 2001) のカルデラ内で複数の成層火山及び単成火山が形成される活動に大別される。地形、火山層層によって識別できる後カルデラ形成期火山噴出物はおよそ 30 ユニットに及ぶ (鮎返ノ滝溶岩, 栃ノ木溶岩, 立野溶岩, 吉岡溶岩, 乙ヶ瀬溶岩, 長野溶岩, 刈迫溶岩, 赤瀬溶岩, 沢津野溶岩, 赤水溶岩, 中方野溶岩と、御竈門山火山, 白水火山, 本塚火山, 中岳火山, 高野尾羽根火山, 松の木火山, 烏帽子岳火山, 草千里ヶ浜火山, 夜峰山火山, 丸山火山, 高岳火山, 檜尾岳火山, 杵島岳火山, 往生岳火山, 米塚火山, 蛇の尾火山, 鷲ヶ峰火山, 古期小火山体の噴出物: 小野・渡辺, 1985, 渡辺, 2001, 増田・他, 2004, 宮縁・他, 2004)。カルデラ形成期, 後カルデラ形成期の両噴火ステージでは玄武岩から流紋岩まで多様な組成のマグマが活動している。カルデラ形成期では、大規模噴火毎に時間に伴った噴出物組成変化が存在するのに対し、後カルデラ形成期ではこのような年代に対応した組成変化は

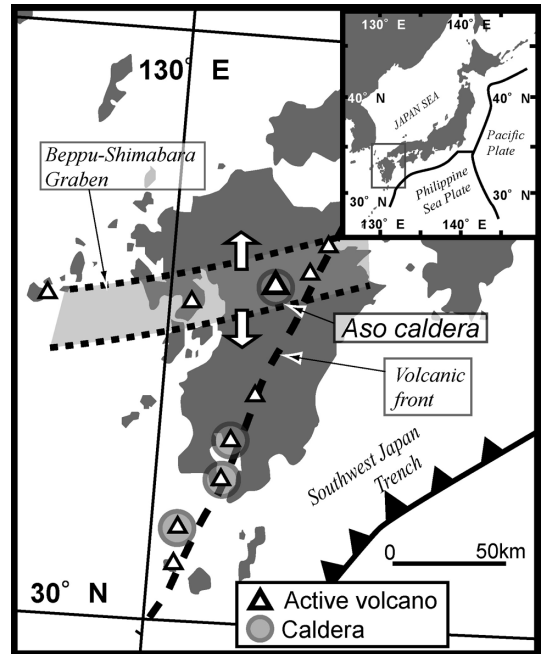


Fig. 1. Index map of the Beppu-Shimabara graben (Matsumoto, 1979) in the central Kyushu and the volcanic front (broken line) associated with the subducting Philippine Sea Plate. Shaded circles indicate large calderas in Kyushu. Open triangles show active volcanoes.

不明瞭であり、同時期に広範囲において多様な組成のマグマが活動している。ただし、後カルデラ形成期では AT 火山灰 (約 29,000 年前; 奥野, 2002) よりも下位のもの珪長質噴出物が多いが、上位では玄武岩の噴出が顕著になり、上位になるに連れて組成多様性は減少しているという特徴がみられる (Fig. 2)。宮縁・他 (2003) は、中央火山口丘群起源の約 9 万年前以降の 36 層に及ぶ降下軽石層の存在を基に、現在地表で最も多くみられる玄武岩～玄武岩質安山岩を主体とした山体直下には多量の珪長質火山岩が存在することを指摘している。このことは、年代が新しくなるにつれて玄武岩質マグマの活動が卓越したということを裏付けている。

Aso-1~Aso-4 より古い火山岩類は、カルデラ壁を形成している先阿蘇火山岩類 (小野, 1965) であり、阿蘇火山の活動とは区別して考える (渡辺, 2001)。

3. 分析手法および試料について

後カルデラ形成期噴出物のうち、中方野溶岩と蛇の尾火山, 鷲ヶ峰火山, 古期小火山体の噴出物の 4 ユニットを除く全てのユニットから 76 試料を採取して岩石記載

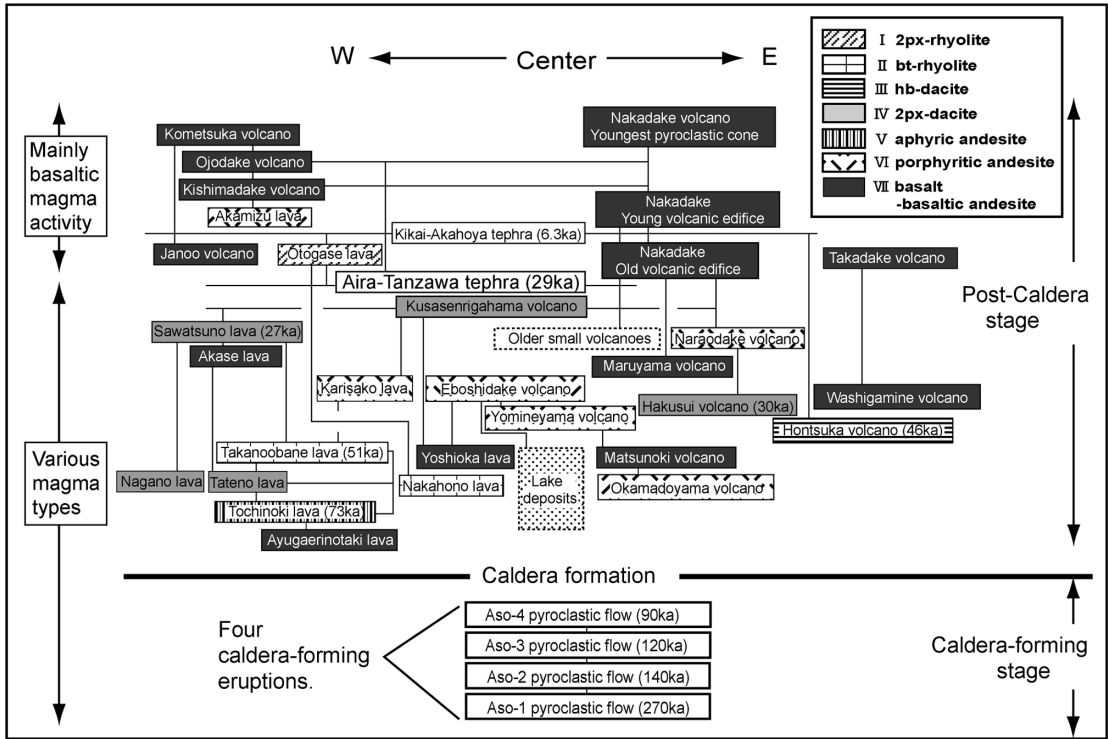


Fig. 2. Block diagram showing the history of the development of Aso volcano. This diagram is based on Ono and Watanabe (1985), Watanabe (2001), Masuda *et al.* (2004) and Miyabuchi *et al.* (2004).

および全岩化学分析を行った。岩石記載では、偏光顕微鏡を用いて各火山噴出物の斑晶鉱物組合せ、組織の記載、斑晶粒径の測定、斑晶モード組成の測定を行った。各ユニットの代表的な薄片の斑晶モード組成及び斜長石斑晶の平均最大粒径のデータを Table 1 に示す。斜長石斑晶の平均最大粒径の値は、1枚の薄片について10個以上の長柱状斜長石斑晶の短軸（C軸に垂直方向）を測定し、平均することによって求めた。全岩化学組成の測定には、富士常葉大学の蛍光X線分析装置（株式会社リガク製 RIX2100）を使用した。分析手順は、主成分元素、微量元素ともに佐野（2002）に従った。その結果を Table 2 に示す。

後カルデラ形成期火山噴出物は記載岩石学的特徴、全岩化学組成に基づいて7つのグループに分類できる。本研究の分類を基に小野・渡辺（1985）、増田・他（2004）、宮縁・他（2004）に加筆した地質図と分析試料採取地点を Fig. 3 に示す。また、分類の基準および結果を Table 3 に示す。以下に本研究で行った火山噴出物の分類基準について述べる。まず、後カルデラ形成期火山噴出物は、斑晶量が 35 vol.% 以上、斜長石斑晶平均最大粒径 0.8

mm 以上のものと、斑晶量 20 vol.% 未満、斜長石斑晶平均最大粒径 0.8 mm 未満のもの2つに大別することができる（Fig. 4a, 4b）。さらに斑晶量が 35 vol.% 以上の火山噴出物は、かんらん石斑晶を 1 vol.% 以上含むものと、極稀に含むものとに分けられる。前者は SiO₂ 含有量 54 wt.% 未満、後者は 55–62 wt.% である。各々、basalt-basaltic andesite グループ（グループVII）、porphyritic andesite グループ（グループVI）と定義した。斑晶量が 20% 未満の火山噴出物のうち、斜長石斑晶平均最大粒径が 0.5 mm 以下のものを aphyric andesite グループ（グループV）、斜長石斑晶平均最大粒径が 0.7 mm 以下のものを 2px-dacite グループ（グループIV）と定義した。SiO₂ 含有量は、各々 59–64 wt.%、65–67 wt.% である。また、デイサイト組成の溶岩のうち、普通角閃石斑晶を 1 vol.% 含み、斜長石斑晶平均最大粒径が 0.5 mm 以下のものを hb-dacite グループ（グループIII）と定義した。SiO₂ 含有量は 68–69 wt.% である。斑晶量 20 vol.% 以下の火山噴出物のうち、斜長石斑晶平均最大粒径が 0.6 mm 以下のものは、黒雲母斑晶の有無によって2つに分類できる。それらのうち黒雲母斑晶を含むものを bt-rhyolite グ

Table 1. Modal analyses and averaged grain size of plagioclase phenocrysts of representative rock samples from each group in the post-caldera stage of Aso volcano.

Sample	AS2837	ASK217	ASHT01	ASK3463	AS1017	AS025	AS044
Lava name	Otg	Tkn	Hnt	Ttn	Ngn	Swt	Hks
Group	I	II	III	IV	IV	IV	IV
ol (vol. %)	-	-	-	-	-	-	-
opx	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
cpx	<1	<1	<1	<1	1	<1	<1
hb	-	-	<1	-	-	-	-
bt	-	1	-	-	-	-	-
pl	4	9	5	7	7	7	9
opq	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
gm	94	89	93	92	91	91	90
ph	6	11	7	8	9	9	10
Grain size of pl (mm)	0.6	0.4	0.5	0.7	0.6	0.6	0.6
1 σ	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2
Sample	ASK501	AS083	ASTS60	AS035	AS030	ASKS02	AS060
Lava name	Kss (W)	Tch	Krs	Okm	Ebs	Kss (c)	Nrd
Group	IV	V	VI	VI	VI	VI	VI
ol (vol. %)	-	-	-	-	-	-	<1
opx	<1	<1	2	2	3	1	<1
cpx	2	2	3	5	5	4	8
hb	-	-	-	-	-	-	-
bt	-	-	-	-	-	-	-
pl	12	8	34	28	38	31	32
opq	1	<1	<1	2	2	3	2
gm	84	89	60	63	52	60	57
ph	16	11	40	37	48	40	43
Grain size of pl (mm)	0.5	0.5	1.4	1.0	1.0	1.1	0.9
1 σ	0.1	0.1	0.6	0.2	0.2	0.3	0.3
Sample	AS050	AS040	AS065	AS039	AS1029	AS047	AS046
Lava name	Akm	Ymn	Ayg	Mtn	Ysh	Mry	Tkd
Group	VI	VI	VII	VII	VII	VII	VII
ol (vol. %)	<1	<1	2	3	4	1	3
opx	3	<1	<1	<1	<1	<1	<1
cpx	9	3	7	11	8	7	10
hb	-	-	-	-	-	-	-
bt	-	-	-	-	-	-	-
pl	30	39	39	29	37	42	26
opq	2	1	<1	1	<1	3	1
gm	55	57	52	55	51	46	60
ph	45	43	48	45	49	54	40
Grain size of pl (mm)	1.2	0.9	0.9	0.8	0.8	1.1	1.0
1 σ	0.4	0.3	0.2	0.3	0.2	0.4	0.3
Sample	AS026	AS028	AS051	AS077	AS045	AS043	Vb-01
Lava name	Ksh	Kmt	Ojd	Aks	Nkd (O)	Nkd (Y)	Nkd (Y. P. C)
Group	VII	VII	VII	VII	VII	VII	VII
ol (vol. %)	1	2	1	1	5	2	1
opx	<1	1	<1	<1	1	<1	<1
cpx	9	7	7	9	5	7	9
hb	-	-	-	-	-	-	-
bt	-	-	-	-	-	-	-
pl	32	33	37	28	33	35	39
opq	1	1	<1	2	<1	1	2
gm	56	56	54	60	55	54	49
ph	44	44	46	40	45	46	51
Grain size of pl (mm)	1.2	1.2	1.1	1.6	1.1	1.2	1.0
1 σ	0.3	0.3	0.3	0.6	0.4	0.4	0.2

Abbreviations ; Otg = Otogase ; Tkn = Takanoobane ; Hnt = Hontsuka ; Ttn = Tateno ; Swt = Sawatsuno ; Ngn = Nagano ; Hks = Hakusui ; Kss = Kusasenrigahama ; Tch = Tochinoki ; Krs = Karisako ; Ebs = Eboshidake ; Okm = Okamadoyama ; Ymn = Yomineyama ; Akm = Akamizu ; Nrd = Naraodake ; Tkd = Takadake ; Mry = Maruyama ; Ojd = Ojodake ; Kmt = Kometsuka ; Kkm = Kamikometsuka ; Ksh = Kishimadake ; Aks = Akase ; Mtn = Matsunoki ; Ysh = Yoshioka ; Ayg = Ayugaerinotaki ; Nkd = Nakadake. (W)=welded pyroclastic rock; (C)=central cone; (O)=old volcanic edifice; (Y)=young volcanic edifice; (YP)=youngest pyroclastic cone; ol=olivine; cpx=cpx=clinopyroxene; opx=orthopyroxene; bt=biotite; pl=plagioclase; opq=opaque minerals; gm=groundmass; ph=phenocryst. Names of volcanic products are based on Ono and Watanabe (1985), Watanabe (2001), Masuda *et al.* (2004), and Miyabuchi *et al.* (2004). ASK217, ASK3463: Drilling core samples from Takanoobane volcano. They were provided by Aso Volcanological Laboratory.

Table 2. Major and trace element data for samples from post-caldera volcanic stage of Aso.

Sample	AS2837	AS28372	ASK217	ASK494	ASK630	ASTS251	AS063	AS064	AS076	ASHT01
Lava name	Otg	Otg	Tkn	Tkn	Tkn	Tkn	Tkn	Tkn	Tkn	Hnt
Group No.	I	I	II	II	II	II	II	II	II	III
SiO ₂ (wt. %)	71.29	71.36	70.77	71.00	71.09	70.23	69.77	69.76	69.77	68.63
TiO ₂	0.39	0.39	0.42	0.43	0.43	0.44	0.44	0.44	0.44	0.59
Al ₂ O ₃	13.92	13.93	14.73	14.98	14.98	14.76	14.72	14.75	14.83	15.35
Fe ₂ O ₃	2.75	2.58	2.80	2.36	2.16	2.44	2.83	2.90	2.85	2.57
MnO	0.04	0.04	0.08	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.10
MgO	0.59	0.57	0.54	0.54	0.53	0.57	0.55	0.54	0.57	0.61
CaO	1.36	1.30	1.03	1.11	1.09	1.13	1.11	1.12	1.15	1.70
Na ₂ O	3.47	3.45	4.76	4.81	4.80	4.81	4.84	4.78	4.79	4.78
K ₂ O	5.54	5.57	4.87	4.81	4.83	4.80	4.69	4.77	4.75	4.24
P ₂ O ₅	0.06	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.10
Total	99.42	99.23	100.06	100.17	100.04	99.31	99.08	99.18	99.27	98.67
Ba (ppm)	627	621	755	755	781	769	807	787	764	758
Cr	8	8	8	8	5	6	7	7	7	-
Nb	16	15	16	15	15	15	15	15	15	16
Ni	9	9	10	10	9	10	10	10	12	12
Rb	203	205	165	161	163	165	161	162	161	139
Sr	143	139	118	139	136	138	133	139	138	246
V	25	30	16	15	20	20	13	14	21	41
Y	27	27	35	34	37	36	37	36	35	38
Zr	300	308	353	348	356	357	355	356	345	263
Sample	ASHT02	ASK1109	ASK1127	ASK3112	ASK3118	ASK3124	ASK3463	AST8257	AS023	AS025
Lava name	Hnt	Ttn	Ttn	Ttn	Ttn	Ttn	Ttn	Ttn	Ttn	Swt
Group No.	III	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
SiO ₂ (wt. %)	68.74	65.94	66.55	66.14	66.44	66.38	66.04	66.19	65.48	65.27
TiO ₂	0.58	0.68	0.67	0.69	0.70	0.69	0.70	0.68	0.68	0.78
Al ₂ O ₃	15.45	16.27	16.17	16.07	16.14	15.95	16.08	15.93	15.93	15.62
Fe ₂ O ₃	2.59	4.25	3.76	4.49	4.08	4.43	4.22	4.59	4.77	4.66
MnO	0.10	0.10	0.10	0.08	0.08	0.08	0.10	0.10	0.10	0.13
MgO	0.61	1.02	0.97	0.99	1.00	0.96	1.05	0.98	1.05	1.18
CaO	1.72	2.73	2.59	2.61	2.59	2.49	2.70	2.52	2.74	2.66
Na ₂ O	4.79	4.58	4.57	4.56	4.56	4.58	4.58	4.57	4.54	4.83
K ₂ O	4.24	3.96	4.06	4.01	4.03	4.08	3.98	4.06	3.96	3.79
P ₂ O ₅	0.10	0.13	0.12	0.13	0.12	0.12	0.13	0.13	0.13	0.16
Total	98.92	99.65	99.56	99.77	99.74	99.76	99.57	99.75	99.37	99.08
Ba (ppm)	788	697	688	720	713	673	687	703	681	727
Cr	-	8	6	10	8	8	8	9	8	7
Nb	16	14	13	14	14	14	14	14	14	15
Ni	11	7	6	7	4	7	9	9	7	5
Rb	136	137	139	136	138	137	137	139	135	126
Sr	249	352	326	329	330	313	337	319	331	347
V	46	53	50	60	56	47	53	51	48	47
Y	37	28	29	30	30	30	30	29	27	33
Zr	265	291	288	288	292	292	294	291	283	278
Sample	AS1017	AS044	ASKS01	AS031	AS070	AST1176	AS078	AS083	ASK1545	ASK1630
Lava name	Ngn	Hks	Kss (W)	Tch	Tch	Tch	Tch	Tch	Tch	Tch
Group No.	IV	IV	IV	V	V	V	V	V	V	V
SiO ₂ (wt. %)	64.82	66.26	66.12	63.71	63.22	60.22	61.84	63.71	63.59	64.02
TiO ₂	0.79	0.74	0.79	0.81	0.79	0.90	0.90	0.76	0.75	0.75
Al ₂ O ₃	15.90	15.72	16.09	16.73	16.57	16.17	16.51	16.00	15.98	15.98
Fe ₂ O ₃	4.99	4.39	3.78	5.18	5.01	7.76	6.82	5.58	5.94	5.95
MnO	0.13	0.11	0.13	0.16	0.17	0.15	0.12	0.13	0.15	0.19
MgO	1.16	1.00	1.12	1.35	1.51	1.97	1.64	1.36	1.44	1.20
CaO	2.63	2.35	2.74	3.27	3.34	4.41	4.05	3.14	3.22	2.95
Na ₂ O	4.77	4.81	4.41	4.48	4.71	4.24	4.43	4.47	4.43	4.42
K ₂ O	3.74	4.03	3.99	3.59	3.6	3.37	3.59	4.04	4.01	4.09
P ₂ O ₅	0.15	0.13	0.20	0.32	0.28	0.44	0.41	0.24	0.24	0.24
Total	99.08	99.55	99.37	99.60	99.20	99.62	100.28	99.42	99.76	99.80
Ba (ppm)	691	708	646	643	694	600	638	681	715	660
Cr	8	7	-	7	3	9	9	8	10	8
Nb	14	15	15	11	10	10	11	12	12	11
Ni	7	8	5	5	2	0	2	3	6	5
Rb	125	134	115	125	123	114	122	139	138	139
Sr	346	306	359	526	509	546	542	462	457	434
V	51	41	59	53	39	87	71	50	43	41
Y	31	32	34	46	30	28	29	29	29	29
Zr	279	294	229	244	258	229	246	281	277	275

Table 2. (continued)

Sample	ASK1920	ASK1971	ASK1999	ASKS02	ASTS60	AS004	AS030	AS035	AS037	AS038
Lava name	Tch	Tch	Tch	Kss (C)	Krs	Krs	Ebs	Okm	Okm	Okm
Group	V	V	V	VI	VI	VI	VI	VI	VI	VI
SiO ₂ (wt. %)	59.97	64.23	63.88	62.60	58.40	57.57	57.45	60.65	60.07	60.59
TiO ₂	0.91	0.75	0.76	0.68	0.91	0.96	0.94	0.80	0.84	0.82
Al ₂ O ₃	16.10	16.13	16.02	16.57	16.49	16.52	17.93	17.67	17.2	17.17
Fe ₂ O ₃	8.28	5.57	5.92	4.89	8.33	8.49	7.65	6.08	6.19	6.12
MnO	0.15	0.11	0.11	0.11	0.14	0.14	0.14	0.15	0.14	0.14
MgO	1.89	1.21	1.25	1.89	2.93	3.09	3.17	2.11	2.29	2.2
CaO	4.35	2.98	3.04	4.36	5.87	6.27	6.63	5.16	4.94	5.07
Na ₂ O	4.20	4.42	4.43	3.62	3.30	3.35	3.74	4.22	4.18	4.22
K ₂ O	3.36	4.11	4.07	3.42	2.98	2.80	2.29	2.79	2.84	2.86
P ₂ O ₅	0.45	0.24	0.25	0.20	0.20	0.21	0.22	0.25	0.24	0.25
Total	99.64	99.76	99.74	98.34	99.53	99.41	100.16	99.88	98.93	99.44
Ba (ppm)	609	739	712	551	453	494	400	525	535	536
Cr	10	7	8	6	20	19	17	10	11	10
Nb	9	12	16	11	11	10	9	9	10	10
Ni	3	2	4	7	5	3	1	3	1	2
Rb	114	139	139	115	105	90	68	92	89	93
Sr	531	437	442	420	412	436	481	526	486	497
V	86	44	46	121	177	191	198	113	132	128
Y	26	27	29	30	22	25	24	26	23	24
Zr	224	274	275	197	204	196	168	197	206	205
Sample	AS041	AS040	AS027	AS050	AS060	AS046	AS047	AS051	AS028	AS048
Lava name	Okm	Ymm	Akm	Akm	Nrd	Tkd	Mry	Ojd	Kmt	Kmt
Group	VI	VI	VI	VI	VI	VII	VII	VII	VII	VII
SiO ₂ (wt. %)	58.6	54.38	55.46	54.43	58.12	51.16	53.22	51.13	50.98	52.16
TiO ₂	0.84	0.81	1.01	0.98	0.91	0.90	1.15	0.93	0.93	1.02
Al ₂ O ₃	17.64	19.45	16.39	17.37	17.83	16.83	18.13	17.75	17.24	17.38
Fe ₂ O ₃	6.45	7.81	9.86	9.26	6.83	10.83	8.98	10.89	11.06	11.30
MnO	0.15	0.15	0.16	0.15	0.17	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17
MgO	2.53	2.49	3.69	3.82	2.97	5.38	4.33	4.80	5.20	4.24
CaO	5.74	7.87	7.10	7.82	5.68	9.74	8.38	9.41	9.43	8.18
Na ₂ O	4.1	3.31	3.09	3.11	4.02	2.70	3.16	2.82	2.72	3.05
K ₂ O	2.51	2.24	2.56	2.22	2.32	1.42	1.25	1.51	1.44	1.88
P ₂ O ₅	0.26	0.34	0.23	0.27	0.25	0.22	0.20	0.19	0.19	0.23
Total	98.82	98.85	99.56	99.43	99.10	99.36	99.27	99.60	99.36	99.60
Ba (ppm)	538	412	434	387	499	333	290	303	325	366
Cr	10	10	21	21	14	39	18	24	26	22
Nb	8	7	10	9	8	5	8	7	7	7
Ni	3	0	4	2	5	12	2	9	11	9
Rb	83	66	81	68	61	37	35	42	40	54
Sr	550	709	479	525	479	620	481	593	568	597
V	138	162	235	225	158	283	241	294	303	300
Y	25	21	23	23	35	19	22	18	20	21
Zr	189	157	188	163	172	105	114	116	112	139
Sample	AS058	AS057	AS026	AS049	AS056	ASKS	AST5695	AS077	AS-1105	AS034
Lava name	Kmt	Kkm	Ksh	Ksh	Ksh	Ksh	Aks	Aks	Aks	Mtn
Group	VII	VII	VII	VII	VII	VII	VII	VII	VII	VII
SiO ₂ (wt. %)	50.73	49.94	50.66	52.02	51.47	50.83	53.22	53.33	53.424	48.18
TiO ₂	0.94	0.91	0.93	1.02	1.01	0.90	1.00	0.99	0.984	0.87
Al ₂ O ₃	16.98	17.38	16.85	17.44	17.54	18.15	17.83	17.50	17.664	17.63
Fe ₂ O ₃	11.41	11.24	10.97	11.36	11.32	9.46	9.85	10.06	9.594	11.52
MnO	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.16	0.16	0.161	0.16
MgO	5.36	5.44	5.32	4.27	4.26	4.88	4.08	4.00	4.071	6.06
CaO	9.68	9.96	9.58	8.18	8.58	9.72	8.12	8.09	8.132	11.78
Na ₂ O	2.66	2.63	2.65	3.04	2.99	2.72	3.23	3.30	3.212	2.17
K ₂ O	1.37	1.18	1.41	1.86	1.69	1.27	1.70	1.77	1.8	0.86
P ₂ O ₅	0.18	0.18	0.19	0.23	0.22	0.21	0.20	0.20	0.194	0.18
Total	99.49	99.01	98.73	99.58	99.26	98.30	99.39	99.41	99.24	99.41
Ba (ppm)	286	292	292	351	354	294	333	358	359	158
Cr	32	28	29	23	19	21	24	23	21	35
Nb	5	5	6	6	6	4	7	7	7	4
Ni	14	13	12	10	6	15	2	3	3	16
Rb	38	31	39	52	46	35	47	48	49	25
Sr	555	583	561	600	623	588	543	543	546	545
V	307	301	299	283	306	294	253	257	243	327
Y	20	19	19	22	20	18	22	23	21	16
Zr	107	97	112	137	127	99	136	135	135	71

グループ (グループ II), 黒雲母斑晶を含まないものを 2 px-rhyolite グループ (グループ I) と定義した。

Fig. 2 のうち、蛇ノ尾火山、鷲ヶ峰、古期小火山体の噴出物と中方野溶岩は試料採取の条件が悪く、試料採取が困難なため分類していない。しかし、小野・渡辺 (1985)、渡辺 (2001) の記載から、おそら、蛇ノ尾、鷲ヶ峰噴出物は basalt-basaltic andesite グループに、増田・他 (2004)、宮縁・他 (2004) の記載から、中方野溶岩は bt-rhyolite グループに属すであろうことが推測できる。小野・渡辺 (1985) の古期小火山体についての記載は少なく、どのグ

ループに属するのか、あるいは全く異なるグループに分類しなければならないのかは不明である。

4. 岩石記載

前章で分類した 7 グループについて、記載岩石学的特徴を述べる。

I. 2px-rhyolite (斜方輝石単斜輝石流紋岩)

増田・他 (2004) の乙ヶ瀬溶岩がこのグループに相当する。斑晶は斜長石 (0.6 mm 以下)、単斜輝石 (0.3 mm 以下)、斜方輝石 (0.2 mm 以下)、不透明鉱物 (0.2 mm 以

Table 2. (continued)

Sample	AS039	AS1029	AS021	AS065	AS082	AS082B	AS-091	Vb-01
Lava name	Mtn	Ysh	Ayg	Ayg	Ayg	Ayg	Ayg	Nkd (YP)
Group	VII	VII	VII	VII	VII	VII	VII	VII
SiO ₂ (wt. %)	47.64	52.04	50.80	50.91	51.50	52.69	52.18	53.17
TiO ₂	0.93	0.81	0.96	0.85	0.86	0.90	0.86	0.94
Al ₂ O ₃	18.39	18.02	19.78	18.60	18.97	19.93	19.08	17.65
Fe ₂ O ₃	11.25	9.82	10.24	9.65	9.34	7.36	8.65	9.49
MnO	0.17	0.15	0.23	0.17	0.16	0.11	0.12	0.15
MgO	5.71	4.23	2.93	3.66	3.59	2.70	3.13	4.55
CaO	11.62	9.30	9.09	10.28	9.93	10.16	10.17	8.57
Na ₂ O	2.19	2.97	3.70	2.92	2.99	3.00	2.81	2.97
K ₂ O	0.75	1.60	1.04	1.49	1.56	1.62	1.63	2.05
P ₂ O ₅	0.22	0.21	0.17	0.20	0.22	0.22	0.20	0.26
Total	98.87	99.16	98.93	98.70	99.11	98.69	98.82	99.80
Ba (ppm)	193	353	261	288	323	341	315	364
Cr	36	24	16	30	27	27	31	112
Nb	4	5	5	5	5	6	5	7
Ni	13	8	-	11	8	1	9	31
Rb	20	45	25	42	45	49	47	63
Sr	621	662	552	628	647	688	666	531
V	341	255	205	269	258	261	281	232
Y	16	19	22	18	20	21	20	21
Zr	84	116	128	112	119	126	115	150
Sample	VB02	AG01	AS036	AS043	AS055	AS061	AS054	AS045
Lava name	Nkd (YP)	Nkd (Y)	Nkd (Y)	Nkd (Y)	Nkd (Y)	Nkd (O)	Nkd (O)	Nkd (O)
Group	VII	VII	VII	VII	VII	VII	VII	VII
SiO ₂ (wt. %)	53.28	52.64	52.18	52.21	51.53	53.97	51.46	50.53
TiO ₂	0.93	0.94	0.93	0.97	0.99	1	0.99	0.93
Al ₂ O ₃	17.82	17.87	16.97	17.48	16.89	17.93	16.74	17.74
Fe ₂ O ₃	9.15	9.84	10.39	10.31	10.63	8.7	10.65	11.19
MnO	0.15	0.16	0.18	0.16	0.17	0.16	0.17	0.18
MgO	4.43	4.27	5.12	4.51	5.36	4.28	5.72	5.21
CaO	8.64	9.10	9.34	8.98	9.31	7.8	9.34	9.71
Na ₂ O	3.00	2.89	2.81	2.86	2.69	3.34	2.62	2.96
K ₂ O	2.05	1.71	1.55	1.76	1.51	1.73	1.49	0.99
P ₂ O ₅	0.26	0.24	0.24	0.24	0.22	0.2	0.22	0.19
Total	99.71	99.66	99.71	99.48	99.30	99.11	99.40	99.61
Ba (ppm)	378	362	336	314	309	391	326	283
Cr	112	22	38	21	43	21	44	34
Nb	6	6	6	8	6	8	6	5
Ni	28	3	8	5	7	2	10	9
Rb	66	50	41	51	42	46	43	21
Sr	543	601	548	575	525	534	517	643
V	223	273	272	273	290	236	291	304
Y	22	20	22	21	22	23	20	18
Zr	151	132	117	130	118	129	113	88

Abbreviations are the same as Table 1. ASK217, ASK494, ASK630, ASK1109, ASK1127, ASK3112, ASK3118, ASK3124, ASK3463, ASK1545, ASK1630, ASK1920, ASK1971, ASK1999: Drilling core samples from Takanoobane volcano. They were provided by Aso Volcanological Laboratory.

下)である。斜長石, 単斜輝石, 斜方輝石は半自形~他形を示し, 周縁部に溶融組織が見られるものが多い (Fig. 5a)。単斜輝石+斜長石+不透明鉱物, 斜方輝石+斜長石+不透明鉱物の集斑状組織が認められる。

II. bt-rhyolite (斜方輝石単斜輝石黒雲母流紋岩)

渡辺 (2001) の高野尾羽根溶岩がこのグループに相当する。カルデラ西部の高野尾羽根の丘の上面を覆う流理構造の発達した岩石である。斑晶は斜長石 (0.5 mm 以下), 黒雲母 (0.3 mm 以下), 単斜輝石 (0.2 mm 以下), 斜方輝石 (0.3 mm 以下), 不透明鉱物 (0.2 mm 以下) である。単斜輝石, 斜方輝石ともに半自形~他形を示し, 周縁部に溶融組織が見られるものが多い。黒雲母は本溶岩にのみ観察できる。黒雲母斑晶はほとんどが自形~半自形を示す。内部に斜長石や不透明鉱物を包有するものや, オパサイトリムをもつ黒雲母斑晶も存在する。斜長石は半自形~他形であり, 周縁部や内部に溶融組織をもつものもある。2種類の集斑晶が認められ, 黒雲母+斜長石+不透明鉱物からなるものと, 単斜輝石+斜方輝石

+斜長石+不透明鉱物からなるものがある。石基は斜長石, 不透明鉱物, ガラスからなり, 石基ガラス中にはしばしばスフェルライトがみられる。

III. hb-dacite (普通角閃石含有斜方輝石単斜輝石デイサイト)

小野・渡辺 (1985) の本塚火山噴出物がこのグループに相当する。斑晶は斜長石 (0.5 mm 以下), 普通角閃石 (0.1 mm 以下), 単斜輝石 (0.4 mm 以下), 斜方輝石 (0.2 mm 以下), 不透明鉱物 (0.2 mm 以下) である。普通角閃石は, 黒褐色~暗黒色を呈する。単斜輝石, 斜方輝石, 斜長石は半自形~他形であり, 内部や周縁部に溶融組織を示す。単斜輝石+普通角閃石+斜長石, 斜方輝石+斜長石+不透明鉱物の集斑晶が認められる。

IV. 2px-dacite (斜方輝石単斜輝石デイサイト)

小野・渡辺 (1985) の立野溶岩, 沢津野溶岩, 白水溶岩, 草千里ヶ浜火山噴出物 (溶結火砕岩), 増田・他 (2004) の長野溶岩がこのグループに相当する。斑晶は斜長石 (0.7 mm 以下), 単斜輝石 (0.4 mm 以下), 斜方輝石

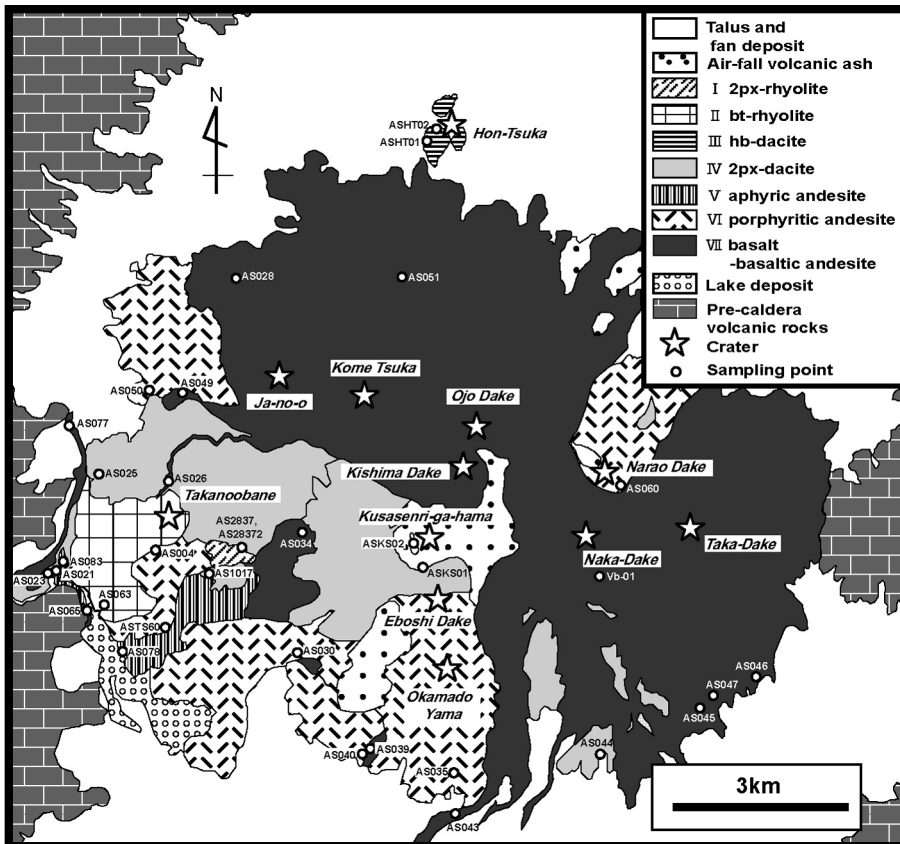


Fig. 3. Simplified distribution map of the post-caldera volcanic products of Aso volcano (adapted from Geological Survey of Japan Map Series 1: 50,000, Ono and Watanabe, 1985).

(0.4 mm 以下), 不透明鉱物 (0.3 mm 以下) である。単斜輝石, 斜方輝石ともに半自形~他形のものほとんどであり, 内部または周縁部に溶融組織をもつ。不透明鉱物, 斜長石の微斑晶を包有する単斜輝石がみられる。斜長石は半自形~他形であり, 内部や周縁部に溶融組織をもつものもある。まれに波状消光を示す斜長石斑晶も存在する。輝石, 不透明鉱物, ガラスの微粒包有物を含むものもある。単斜輝石+斜方輝石+斜長石+不透明鉱物からなる集斑晶を形成する。石基は単斜輝石, 斜長石, 不透明

明鉱物, ガラスからなるハイアロオフィティック, またはハイアロピリティック組織を示す。

V. **aphyric andesite (無斑晶質斜方輝石単斜輝石安山岩)**

小野・渡辺 (1985) の^{とちのき}木溶岩がこのグループに相当する。斑晶は斜長石 (0.5 mm 以下), 単斜輝石 (0.2 mm 以下), 斜方輝石 (0.3 mm 以下), 不透明鉱物 (0.1 mm 以下) である。単斜輝石, 斜方輝石ともに半自形~他形で存在し, 内部や周縁部に溶融組織をもつものが多い。斜

Table 3. Criteria for classifying the post-caldera volcanic products into seven groups.

Group No.	I	II	III	IV	V	VI	VII
Group Name	2px-rhyolite	bt-rhyolite	hb-dacite	2px-dacite	aphyric andesite	porphyritic andesite	basalt-basaltic andesite
Phenocryst abundances (vol. %)	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	35-55	35-55
Grain size range of Plagioclase phenocryst (mm)	< 0.6	< 0.5	< 0.5	< 0.7	< 0.5	0.8-1.4	0.8-1.6
Phenocryst assemblage	opx, cpx, pl, opq	opx, cpx, bt, pl, opq	hb (tr), opx, cpx, pl, opq	opx, cpx, pl, opq	opx, cpx, pl, opq	ol (tr), opx, cpx, pl, opq	ol, opx, cpx, pl, opq
SiO ₂ wt. %	69 <	69 <	68-69	65-67	59-64	55-62	< 54
Names of volcanic products	Otogase	Takanoobane	Hon-tsuka	Tateno Nagano Sawatsuno Hakusui Kusasenri (w)	Tochinoki	Karisako Okamadoyama Eboshidake Kusasenri (c) Naraodake Akamizu Yomineyama	Ayugaeriotaki Matsunoki Yoshioka Maruyama Takadake Kishimadake Kometsuka Ojodake Akase Nakadake (O) Nakadake (Y) Nakadake (Y. P. C)

Wavy lines show boundaries. Names of volcanic products are based on Ono and Watanabe (1985), Watanabe (2001), Masuda *et al.* (2004) and Miyabuchi *et al.* (2004). Abbreviations are the same as Table 1.

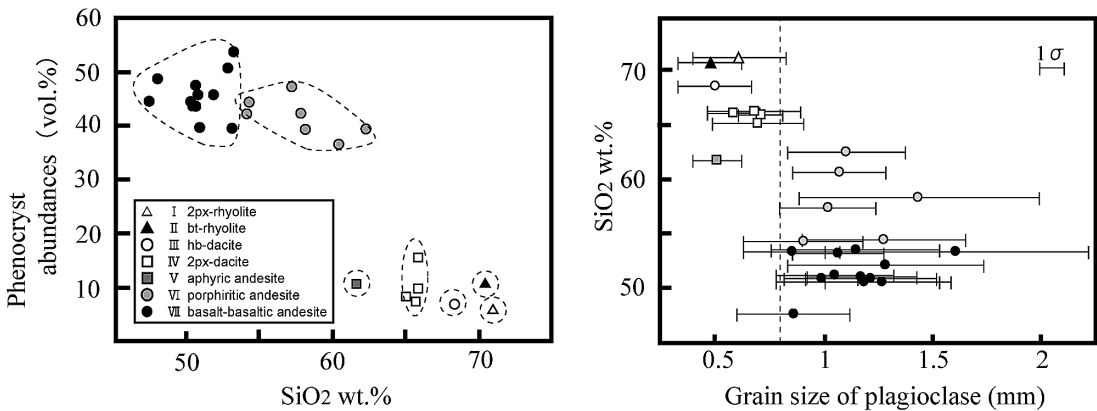


Fig. 4. (a) Phenocryst abundances vs. SiO₂ contents for the seven groups from Aso volcano. (b) Averaged grain size of plagioclase phenocryst vs. SiO₂ contents for the seven groups from Aso volcano.

長石は半自形で長柱状のものが多く、単斜輝石+斜方輝石+斜長石+不透明鉱物からなる集斑晶が存在する。石基は大部分がガラスからなるが、脱ガラス作用が顕著な部分では斜長石微晶、隠微晶が一定方向に配列しており、ハイアロピリティック組織を示している。また、しばしば黒褐色ガラス部とミングリング組織 (Fig. 5b: 周藤・小山内, 2002) を形成している部分がみられる。

VI. porphyritic andesite (斑状斜方輝石単斜輝石安山岩)

小野・渡辺 (1985) の御竈山火山、烏帽子岳火山、榎尾岳火山、夜峰火山、草千里ヶ浜火山の噴出物 (中央火口丘)、赤水溶岩、宮緑・他 (2004) の茹迫溶岩がこのグループに相当する。斑晶は斜長石 (0.8–1.4 mm)、単斜輝石 (1.5 mm 以下)、斜方輝石 (0.8 mm 以下)、不透明鉱物 (0.4 mm 以下) である。単斜輝石、斜方輝石ともに半自

形~他形で存在し、内部や周縁部に溶融組織をもつものが多い。斜長石は半自形~他形で、内部や周縁部に溶融組織をもつもの、波状消光を示すもの、破片状のもの、不定形を示すもの (Fig. 5c) がある。まれにかんらん石微斑晶が存在する。単斜輝石+斜方輝石+斜長石+不透明鉱物からなる集斑晶が存在する。

石基は輝石、斜長石、不透明鉱物、ガラスからなり、ハイアロフィティック、またはインターサタル組織を示す。石基鉱物をあまり含まない黒色ガラス部とのミングリング組織を示す試料もある。

VII. basalt-basaltic andesite (斜方輝石かんらん石単斜輝石玄武岩-玄武岩質安山岩)

小野・渡辺 (1985) の鮎返ノ滝溶岩、吉岡溶岩、赤瀬溶岩、松ノ木火山、丸山火山、杵島岳火山、往生岳火山、

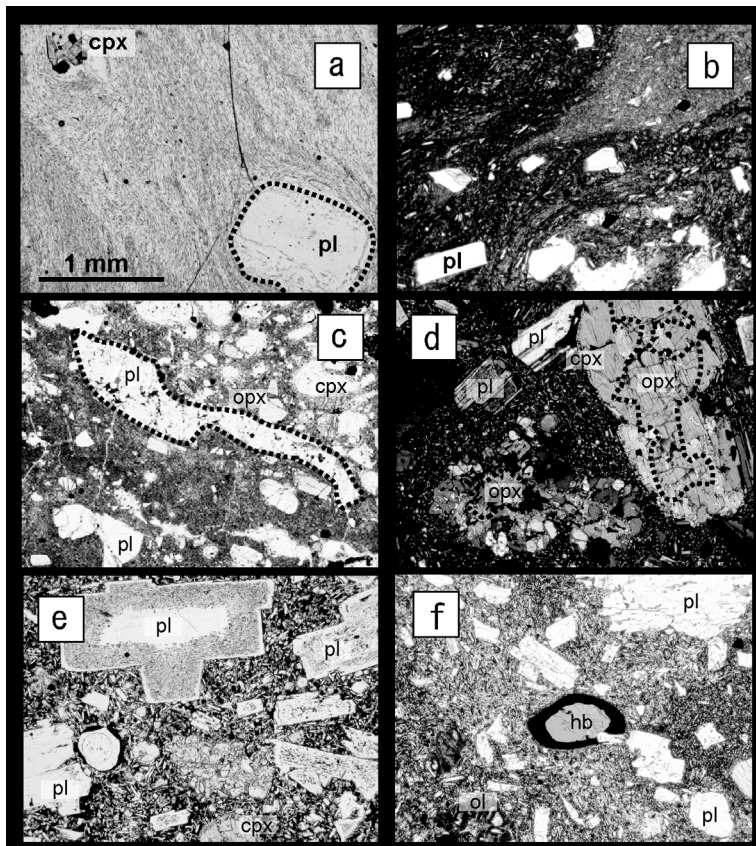


Fig. 5. Microscopic photographs of the post-caldera volcanic products. (a) Plagioclase phenocryst with corroded rim in Otogase lava. (b) Mingling texture in Tochinoki lava. (c) Irregular-shaped aggregate of small plagioclase fragments indicated by the surrounding dashed line in Naraodake lava. (d) Opx phenocrysts surrounded by cpx in Kishimadake lava. The areas surrounded by the dashed lines indicates opx phenocrysts. (e) The coexistence of plagioclase phenocrysts surrounded by dusty zones and those having clear rims in lava from Nakadake old volcanic edifice. (f) Hornblende phenocryst surrounded by opacite rims in Ayugaerinotaki lava.

こみつか
米塚火山, 高岳火山, 中岳火山^{なかだけ}の噴出物がこのグループに相当する。斑晶は斜長石 (0.8–1.6 mm), かんらん石 (1 mm 以下), 単斜輝石 (1.2 mm 以下), 斜方輝石 (1.2 mm 以下), 不透明鉱物 (0.6 mm 以下) である。かんらん石斑晶は, イディングス石化したものと, 周縁部に単斜輝石の反応縁をもつものが多い。単斜輝石は, 半自形〜他形で存在する。斜方輝石斑晶は必ず単斜輝石の反応縁を伴う (Fig. 5d)。斜長石は半自形〜他形, 破片状で存在し, 周縁部や内部に溶融組織を示すものがある。清澄な斜長石斑晶はまれに存在し, 周縁部や内部汚濁帯をもつ斜長石斑晶と共存する (Fig. 5e)。まれではあるが, 厚いオパサイトリムをもった丸みを帯びた角閃石捕獲斑晶がみられる。かんらん石+単斜輝石+斜長石+不透明鉱物からなる集斑晶が存在する。石基はかんらん石, 輝石, 斜長石, 不透明鉱物からなり, インターサタルまたはインターグラニューラー組織を示す。

5. 全岩化学組成

SiO₂ 組成変化図 (Fig. 6) の中で, TiO₂, Al₂O₃, MnO, Na₂O, P₂O₅, Sr, Ni, Cr を除く各元素は, およそ直線的な組成変化を示す。グループ I から VII へと番号が大きくなるにつれて SiO₂ 含有量は減少する。VII と VI の境界は, SiO₂ 含有量 54 wt.% 付近である。VI と V の境界部は, SiO₂ 含有量 62–64 wt.% 付近で一部重複する。V と IV, IV と III, III と II の境界は, それぞれ SiO₂ 量 64–65 wt.% 付近, 69 wt.% 付近である。グループ I である乙ヶ瀬溶岩 (増田・他, 2004) は今回扱った試料の中のどれよりも SiO₂ 含有量が高い。同じく流紋岩組成であるグループ II 高野尾羽根溶岩と比較すると, Al₂O₃, Na₂O, MnO, Ba, Zr, Y に乏しく K₂O, Rb に富む。Fig. 6 に示したとおり, 岩石記載に基づいて分類したグループは, 一部が重複するだけで, それぞれが異なる化学組成範囲に落ちることがわかる。

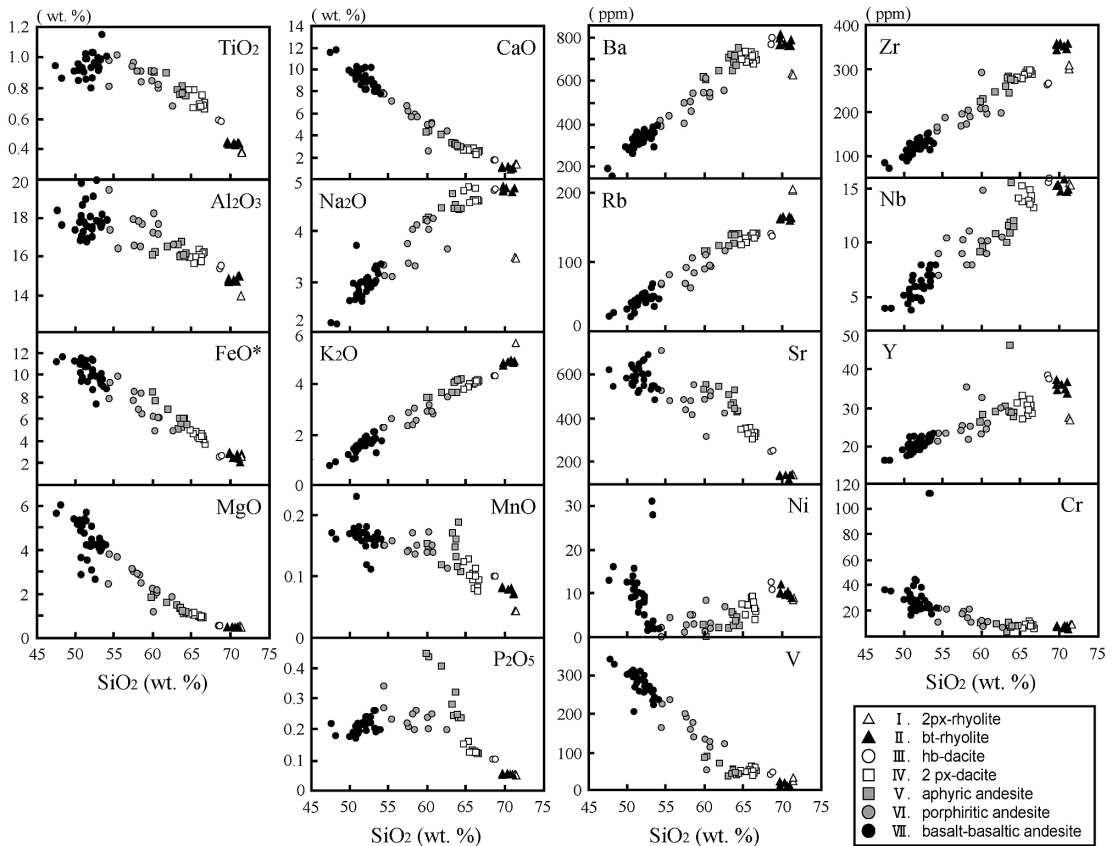


Fig. 6. Major elements (TiO₂, Al₂O₃, FeO*, MgO, MnO, CaO, Na₂O, K₂O and P₂O₅) and trace elements (Ba, Rb, Sr, Ni, V, Zr, Nb, Y and Cr) vs. SiO₂ for volcanic rocks from Aso volcano.

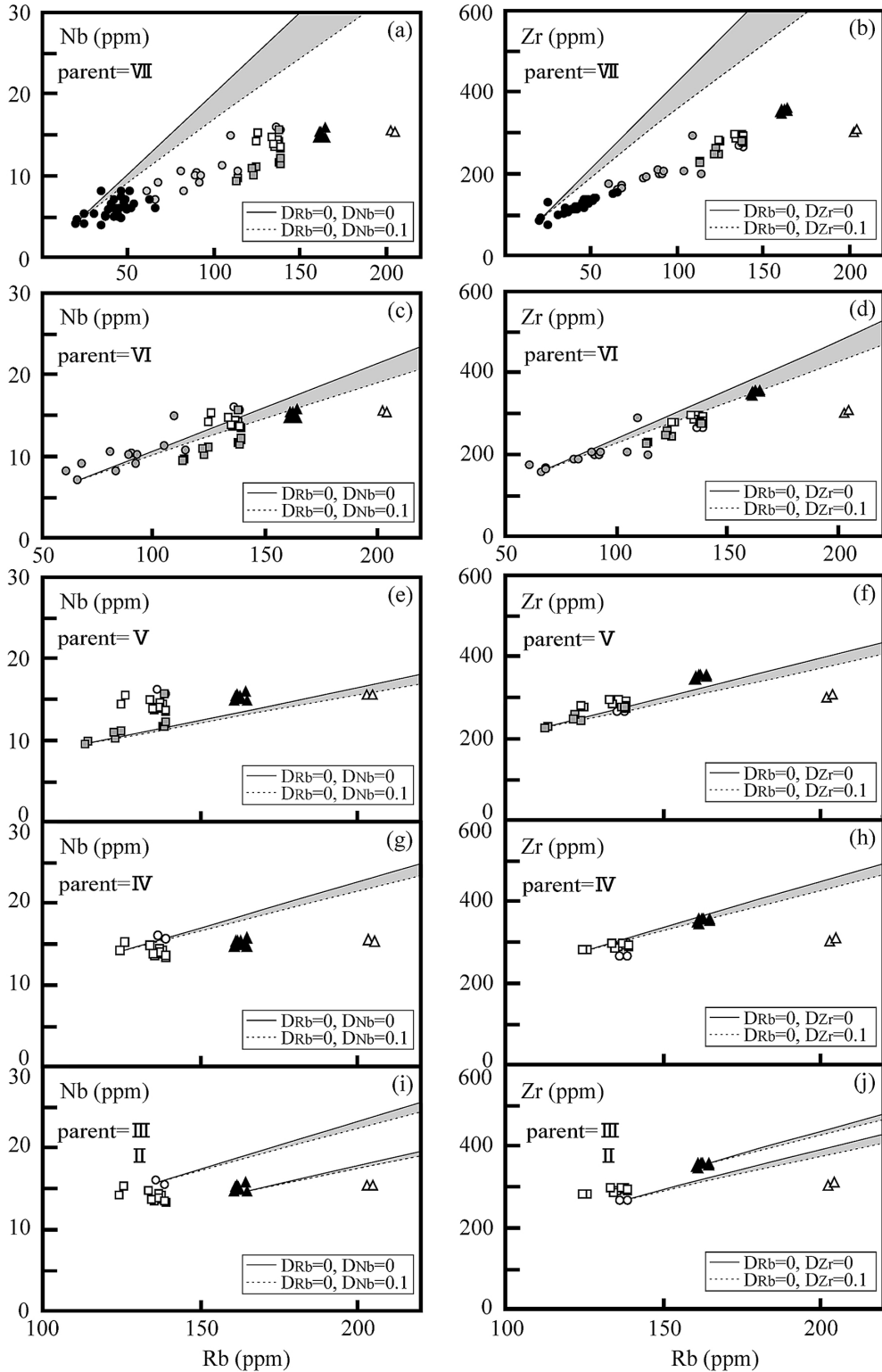


Fig. 7. Rb-Nb and Rb-Zr diagrams for the seven groups from Aso volcano. Shaded areas show the compositional ranges formed by simple fractional crystallization. Symbols are the same as Fig. 6.

Daughter

	VII	VI	V	IV	III	II	I
Parent	×	×	×	×	×	×	×
		○	×	○	△	○	×
			○	×	×	×	×
				△	△	×	×
					△	×	×
						△	×
							△

Fig. 8. Parent-daughter relationships among the seven groups of post-caldera volcanic products. Open circle = parent-daughter relationship; Cross = not in parent-daughter relationship; Open triangle = unclear.

6. 議 論

6-1 7グループ間の親子関係の評価

七つのグループに分類した後カルデラ形成期火山噴出物の親子関係を、Rb-Nb 図、Rb-Zr 図を用いて検討する (Fig. 7). 各火山噴出物の斑晶鉱物組合せ (かんらん石, 単斜輝石, 斜方輝石, 普通角閃石, 黒雲母, 斜長石) の鉱物-メルト間の分配係数 (Green, 1994, Rollinson, 1993) を考慮した結果, 全ての火山噴出物の Rb, Nb, Zr の全岩分配計数値 *D* は 0.1 以下になると考えられる. そこで最も液相濃集度の高い Rb の *D* 値を 0, Nb, Zr の *D* 値を 0~0.1 とした場合に, 単純な分別結晶作用によって形成されると考えられる組成範囲を Fig. 7 中に影で示した. Fig. 7a から j はそれぞれ, 各グループ内で最も液相濃集元素含有量に乏しいものを親マグマと仮定した場合の図である.

Fig. 7a, b は, 最も液相濃集元素含有量に乏しいグループ VII の火山岩から, 単純な分別結晶作用によってその他のグループを生成することは出来ないということを示している. また VII の中で最も液相濃集元素に乏しい岩石と, その他の多くの VII の岩石の間には親子関係が無いこともわかる. Fig. 7c, d は, 最も液相濃集元素に乏しい VI と, II, IV, その他の VI の大部分の間に親子関係が成り立つ可能性があること, 最も液相濃集元素に乏しい VI と I, V との間には親子関係が成り立たないということを示している. III は VI の分別結晶作用で得られる組成範囲付近にプロットされるが, 範囲からわずかに外れるため VI との親子関係は不明瞭である. Fig. 7e, f は, 最も液

相濃集元素に乏しい V の分別結晶作用によってその他の V が生成されうるということを示している. Fig. 7e では分別結晶作用で得られる線上に I が乗るが, III, IV は線上にプロットされない. f では I は分別結晶で予想される組成から大きく外れ, II もわずかに外れる. 従って, V と I, II, III, IV との間に親子関係は無い. 同様に, Fig. 7g, h から, 最も液相濃集元素に乏しい IV と III の間の関係は不明瞭であるが, 最も液相濃集元素に乏しい IV と II 及び I との間に親子関係は成り立たないことがわかる. Fig. 7i, j は, III と II および I, II と I の間に親子関係が成り立たないことを示している. 以上述べた様に, 7グループ間全てに親子関係が成り立つわけではない. 各グループの親子関係 (Fig. 8) から, 後カルデラ形成期では少なくとも VII, VI (= II, III, IV), V, I という 4 つの端成分を想定する必要がある. II, IV は VI からの分別結晶作用により説明可能である. データが少ないために議論は難しいが, III も VI と親子関係にあると思われる. なお, グループ II, III, IV, VI は, この火山地域のあらゆる場所に分布し, なおかつ後カルデラ形成期の様々な時期に噴出しており, 時間的, 空間的なシステムティクスは確認出来ない. 後カルデラ形成期火山岩中にしばしば観察される非平衡組織の存在も, 単純な分別結晶作用のみによってマグマの組成多様性が生じたわけではないことを裏付けている. また, 同時期に複数グループのマグマが活動していたという事実は, 異なるグループ間でマグマの混合が起こりえた可能性を示唆している. これらのことは, 後カルデラ形成期のカルデラ直下

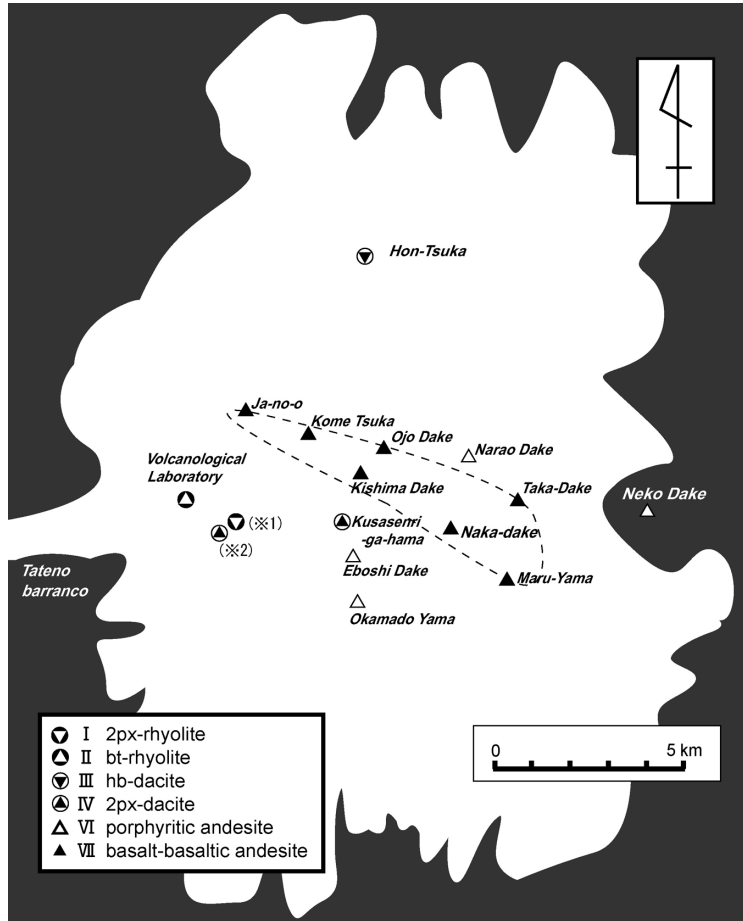


Fig. 9. Distribution map of the intra-caldera vents indicating that younger basaltic products were erupted from the central vents of the caldera area surrounded by dotted line. ※1 indicates the possible vent of Otogase lava and ※2 indicates the possible vent of Nagano lava, both as suggested by Miyabuchi *et al.* (2004).

は、単純な結晶分化が主体的に起こっている場ではなかったということを示している。AT火山灰以降に噴出物組成の多様性が減少し、VIIのみが卓越する原因は現時点では明らかではないが、一つの可能性として地下深部から供給されるVII（玄武岩質マグマ）と混合しうる他の端成分マグマの減少または消滅が考えられる。

6-2 火口の分布とその噴出物の関係

現在地表で確認することができる各噴出物の給源火口の位置を Fig. 9 に示す。複数の火道の存在は、阿蘇火山が引張応力場に位置していることと調和的である。グループVIIの活動は西北西から東南東方向の火口の列に集中している。その周囲にはグループVI、IV、III、II、Iを噴出した火口が分布している。つまり、カルデラ中心部で玄武岩質マグマの活動が活発であり、その周囲でより珪長質なマグマが活動しているという傾向がある。も

しカルデラ直下に大規模な珪長質マグマ溜りが存在すると考えた場合、深部から供給される玄武岩質マグマのうち、珪長質マグマ溜りでトラップされたものは珪長質マグマとの混合によって玄武岩組成では噴出出来ないが、珪長質マグマ溜りにトラップされず、その周囲を通過して地表に達したものは玄武岩組成のまま噴出することが予想される (Huppert and Sparks, 1988)。このとき給源火口の分布とそれらの噴出物組成の関係は、中央部でより珪長質、その周囲で苦鉄質になり、阿蘇の場合とは逆になると考えられる。このことから後カルデラ形成期では、カルデラ形成期の単一の大规模マグマ溜りは存在しなかったと考えられ、小規模な複数のマグマ溜りが存在したという小野・渡辺 (1983) の主張と調和的である。

7. ま と め

1) 阿蘇火山の後カルデラ形成期噴出物の大部分は、記載岩石学的特徴と全岩化学組成に基づいて、以下の7グループに分類できる; I. 2px-rhyolite, II. bt-rhyolite, III. hb-dacite, IV. 2px-dacite, V. aphyric andesite, VI. porphyritic andesite, VII. basalt-basaltic andesite

2) 全岩化学組成を用いた考察により、グループVIとIV, III, II間には親子関係が成り立つ可能性があることが判明した。一方、グループI, V, VIはお互いに親子関係が成り立たず、最も液相濃集元素含有量の低いVIIからは他のどのグループも生成することが出来ない。従って、少なくともI, V, VI, VIIという4つの親子関係に無い端成分が存在したことが明らかになった。

3) 後カルデラ形成期では、苦鉄質火山噴出物の供給火口がカルデラ中央部に分布し、その周囲により珪長質な火山噴出物の給源火口が分布する傾向がある。この火口分布は大規模な珪長質マグマ溜りがカルデラ直下に存在する場合に想定される分布とは異なるため、カルデラ形成期に存在した大規模な単一のマグマ溜りは後カルデラ形成期には存在しなくなったと考えられる。

謝 辞

京都大学火山研究センターの須藤靖明助教授には高野尾羽根火山のボーリングコア試料を観察、採取する機会を与えていただき、データ公表に関しても快く承諾していただきました。論文の改善にあたって、山形大学理学部の伴 雅雄助教授および匿名査読者の方、編集委員の東宮昭彦博士には重要な問題点のご指摘を受けた上、有益なコメントをいただきました。以上の方々に心から感謝いたします。

引用文献

- Green, T. H. (1994) Experimental studies of trace-element partitioning applicable to igneous petrogenesis—Sedona 16 years later. *Chemical Geol.*, **117**, 1–36.
Hunter, A. G. (1998) Intracrustal controls on the coexist-

ence of tholeiitic and calc-alkaline magma series at Aso volcano, SW Japan. *J. Petrol.*, **39**, 1255–1284.

Hunter, A. G. and Blake, S. (1995) Petrogenetic evolution of a transitional tholeiitic calc-alkaline series: Towada volcano, Japan. *J. Petrol.*, **36**, 1579–1605.

Huppert, H. E. and Sparks, R. S. (1988) The generation of granitic magmas by intrusion of basalt into continental crust. *J. Petrol.*, **29**, 599–624.

鎌田浩毅 (1992) 中央構造線の西方延長としての大分—熊本構造線の右横ずれ運動とフィリピン海プレートの右斜め沈み込み. *地質学論集*, **40**, 53–63.

増田直朗・渡辺一徳・宮緑寿夫 (2004) 阿蘇中央火口丘群西側斜面において新たに発見された流紋岩～デイサイト質溶岩流. *火山*, **49**, 119–128.

松本徳夫 (1979) 九州における火山活動と陥没構造に関する諸問題. *地質学論集*, **16**, 127–139.

宮緑寿夫・星住英夫・高田英樹・渡辺一徳・徐 勝 (2003) 阿蘇火山における過去9万年間の降下軽石堆積物. *火山*, **48**, 195–214.

宮緑寿夫・増田直朗・渡辺一徳 (2004) 溶岩流とテフラとの層序関係からみた阿蘇火山中央火口丘群西部地域の発達史. *火山*, **49**, 267–282.

奥野 充 (2002) 南九州に分布する最近3万年間のテフラの年代学的研究. *第四紀研究*, **41**, 225–236.

小野晃司 (1965) 阿蘇カルデラ東部の地質. *地質雑*, **71**, 541–553.

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

小野晃司・渡辺一徳 (1985) 阿蘇火山地質図 (5万分の1). *火山地質図4*, 地質調査所.

Rollinson, H. R. (1993) *Using geochemical data; evaluation, presentation, interpretation*. Longman Singapore Publ. Ltd., 352 pp.

佐野貴司 (2002) 蛍光 X 線分析装置を用いた火成岩中の主成分および微量成分の定量. *富士常葉大学研究紀要*, 第2号, 1–59.

周藤賢治・小山内康人 (2002) 記載岩石学. 共立出版, 272 p.

多田 堯 (1985) 沖縄トラフの拡大と九州地方の地殻変動 (2). *地震*, **38**, 1–12.

渡辺一徳 (2001) 阿蘇火山の生い立ち—地質が語る大地の鼓動—. 一の宮町史自然と文化阿蘇選書7, 一の宮町史編纂委員会, 242 pp.

(編集担当 東宮昭彦)