

小笠原諸島父島,
三日月山火山岩類の角閃石石英デイサイト

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2008-01-25 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 黒田, 直, 白木, 敬一, 中野, 鉄也, 伊藤, 純一, 浦野, 隼臣 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.14945/00000371

小笠原諸島父島, 三日月山火山岩類の 角閃石石英デイサイト

黒田 直¹・白木敬一²・中野鉄也³・伊藤純一⁴・浦野隼臣⁵

A hornblende quartz dacite from the Mikazuki-yama volcanic rocks in Chichi-jima, Bonin Islands

Naoshi KURODA¹, Keiichi SHIRAKI², Tetsuya NAKANO³,
Jun-ichi ITO⁴ and Hayaomi URANO⁵

Abstract The hornblende quartz dacite is one of the very rare hornblende-bearing rocks in the Bonin Islands. The dacite has a high SiO₂ content of 72.0 wt.% corresponding to rhyolite, but the Cr content is high, 50 ppm, a value of average andesite. It consists of phenocrysts of plagioclase (8.6 vol. %), quartz (3.9%), orthopyroxene (2.2%), green hornblende (1.8%), clinopyroxene (1.2%) and magnetite (0.4%) in the groundmass of feldspar, pyroxene, amphibole, iron ore and glass. The majority of the hornblende phenocrysts are magnesio-hornblende with 9.29~5.67% Al₂O₃, 1.12~0.45% TiO₂, 1.77~0.93% Na₂O, <0.05% Cr₂O₃ and 58.5~68.4 Mg#, which are similar to those in diorite from Palau. The clinopyroxene phenocrysts have Mg# and Cr₂O₃ as high as 84.4 and 0.45%, respectively, suggesting that they have crystallized from a more primitive magma with higher MgO and Cr, whereas the orthopyroxenes are mostly hypersthene. The dacite also contains plagioclases having unusually high An contents of 86.8 to 42.6, despite its high SiO₂. The hornblende quartz dacite seems to have derived from a high-Mg andesite magma crystallizing clinopyroxene prior to orthopyroxene, which is different from most boninite magmas that have crystallized protoenstatite and/or bronzite following olivine. Crystallization of the magnesio-hornblendes suggests that the hornblende quartz dacite has been cooled slowly in a magma chamber at depth, in the sharp contrast with rapid quenching from >900°C of the boninite series rocks.

Key words: hornblende, pyroxene, trace element, dacite, boninite, Chichi-jima, Bonin Islands

はじめに

父島北西部の三日月山周辺に分布する三日月山累層 (Umino, 1985) には, 父島・聳島列島の主体をなすボニナイト系列の火山岩とは性質のやや異なる火山岩が存在し, 三日月山火山岩類と名付けられた (白木ほか,

1999a). 三日月山火山岩類は主として複輝石安山岩からなり, その中にはごく稀に角閃石を含むものが見出される (Umino, 1985). 近藤 (1983MS) はただ一個のみであったが角閃石石英デイサイトを発見した. 父島・聳島列島をつくるボニナイトはかんらん岩の含水下の部分溶解によって生じる (例えば, Kushiro, 1972). 事実, ボ

¹静岡大学理学部地球科学教室, 422-8529 静岡市大谷836.

¹Institute of Geosciences, Shizuoka University, 836 Oya, Shizuoka, 422-8529 Japan.

²山口大学理学部地球科学教室, 現住所 498-0017 愛知県海部郡弥富町前ヶ須午新田535

²535 Maegasu-Umashinden, Yatomi, Ama-gun, Aichi, 498-0017 Japan.

E-mail: hiromi@bl.mmtr.or.jp

³山口大学理学部地球科学教室, 現所属 帝国コンサルタント(株).

⁴山口大学理学部地球科学教室, 現所属 神戸大学理学部地球惑星科学教室.

⁵愛知教育大学地学教室, 448-8542 刈谷市井ヶ谷町広沢1.

⁵Department of Earth Science, Aichi University of Education, 1 Hirosawa, Igaya, Kariya, 448-8542 Japan.

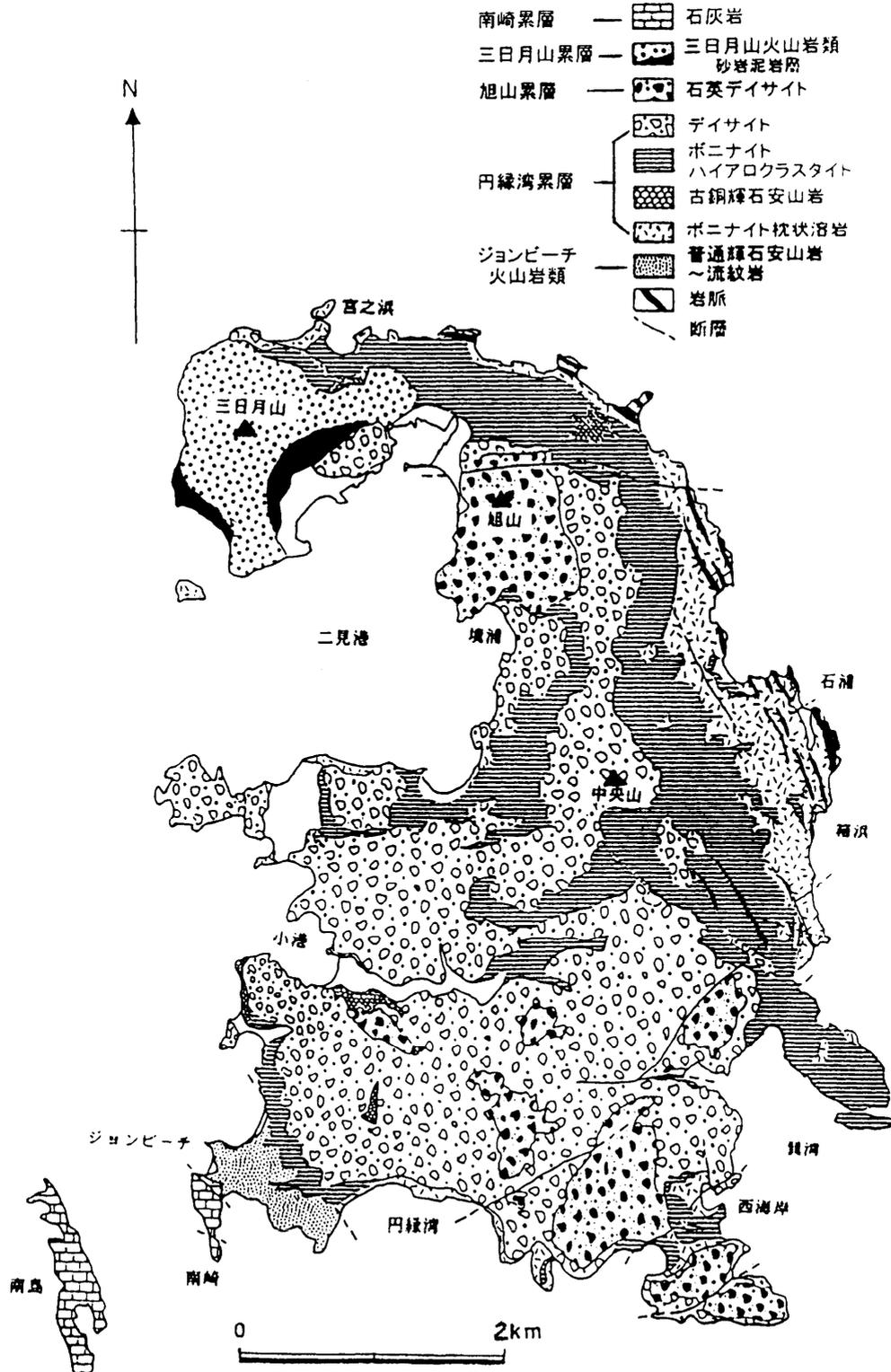


図1 三日月山火山岩類の分布を示す父島の地質略図 (Umino, 1985; 斎藤, 1990MSを一部修正).
 Fig.1 Generalized geological map of Chichi-jima showing Mikazukiyama volcanic rocks (adapted from Umino, 1985 and Saito, 1990MS).

ニナイトのガラスは常に5%以上の水を含み、枕状溶岩には揮発性成分が抜けた跡と思われる孔隙が多い(例えば、白木・黒田, 1977)。しかし、ボニナイト系列火山岩から現在までのところ角閃石は見出されず、また、島弧の火山岩に角閃石の存在することは非常に稀である。

そこで小笠原諸島で唯一見出された角閃石石英デイサイトについて詳しく記載し、この極めて稀な角閃石を含む火山岩の生成条件について考察する。

表1 角閃石石英デイサイトと関連岩の化学組成. FeO*はFeOとした全Feを示す. 1-5: 三日月山火山岩類; 1, 角閃石石英デイサイト (QD11; 黒田, 1992); 2, 角閃石石英デイサイト (Hb-1; 白木ほか, 1999a); 3, 角閃石安山岩 (CH79; Umino *et al.*, 1992); 4, 細粒閃緑岩 (CH457; Umino *et al.*, 1992); 5, 複輝石安山岩 (N257W; 白木ほか, 1999a); 6-9: ボニナイト系列石英デイサイト; 6, 旭山 (中野, 1996MS); 7, 小港 (中野, 1996MS); 8, 巽湾南 (小野, 1993MS); 9, 小港南 (斎藤, 1990MS); 10: 母島デイサイト (中野, 1998MS); 11-12: パラオ島; 11, 閃緑岩 (26; 白木ほか, 2000); 12, デイサイト (22; 白木ほか, 1999b), 13, 丹沢山地トナル岩 (ISH-3; Kawate & Arima, 1998).

Table 1 Chemical compositions of hornblende-quartz dacite and related rocks. FeO* represents total Fe as FeO. 1-5: Mikazuki-yama volcanic rocks; 1, hornblende quartz dacite (QD11; Kuroda, 1992); 2, hornblende quartz dacite (Hb-1; Shiraki *et al.*, 1999a); 3, hornblende andesite (CH79; Umino *et al.*, 1992); 4, microdiorite (CH457; Umino *et al.*, 1992); 5, two pyroxene andesite (N257W; Shiraki *et al.*, 1999a); 6-9: boninite series quartz dacite; 6, Asahi-yama (Nakano, 1996MS); 7, Ko-minato (Nakano, 1996MS); 8, south of Tatsumi Bay (Ono, 1993MS); 9, south of Ko-minato (Saito, 1990MS); 10: Hahajima dacite (Nakano, 1998MS); 11-12: Palau Island; 11, diorite (26; Shiraki *et al.*, 2000); 12, dacite (22; Shiraki *et al.*, 1999b); 13, tonalite, Tanzawa Mts. (ISH-3; Kawate & Arima, 1998).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
SiO ₂ wt.%	70.23	71.97	55.22	56.57	55.67	71.28	73.17	73.53	72.08	69.85	53.36	71.02	70.09
TiO ₂	0.20	0.20	0.66	0.64	0.36	0.20	0.24	0.19	0.26	0.58	0.85	0.48	0.40
Al ₂ O ₃	14.66	14.11	14.26	13.65	14.06	13.15	13.10	12.86	15.30	15.69	14.24	15.10	14.71
Fe ₂ O ₃	2.10	3.51	8.11		10.62	4.73	4.33	4.91	3.66	2.86	12.23	3.06	3.94
FeO	1.09			7.11									
MnO	0.04	0.03	0.10	0.10	0.12	0.04	0.03	0.08	0.01	0.05	0.27	0.10	0.10
MgO	1.36	1.23	7.76	7.34	6.53	1.25	0.58	0.48	0.48	0.53	7.15	0.31	1.22
CaO	4.59	4.83	10.53	10.44	9.58	5.57	3.69	3.18	3.85	4.57	8.92	4.51	4.27
Na ₂ O	2.73	3.18	3.56	0.53	2.04	2.65	3.76	3.20	3.27	4.17	2.71	4.06	3.93
K ₂ O	0.83	0.88	0.35	0.29	0.25	1.07	1.03	1.51	1.02	1.61	0.12	1.22	1.25
P ₂ O ₅	0.03	0.05			0.06	0.05	0.06	0.06	0.06	0.09	0.15	0.14	0.07
H ₂ O(+)	1.52												
H ₂ O(-)	0.82												
Total	100.20	100.00	100.55	96.72	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
FeO*/MgO	2.19	2.56	0.94	0.94	1.46	3.40	6.69	9.25	6.80	4.85	1.54	8.87	2.89
Ba ppm		67.7			30.4	41.2	52.5	73.8	102	135	40.6	120	251
Co		9.0									41.7	8.2	6.7
Cr		49.7	406	480	149	27.9	6.9	7.5	20	32.4	88.8	10.4	3.5
Cu		30.4									11.9	13.3	
Ga		13.2									15.1	14.4	
Nb		0.2			2.1	0.8	0.8	1.4	0	4.6	1.5	2.0	0.8
Ni		9.1	71.6		72.7	8.6	3.2	7.6	8	8.8	33.3	1.4	1.1
Rb		11.5			6.7	29.0	21.3	22.8	0	24.4	4.4	13.9	23.7
Sr		205			161	108	117	110	118	189	228	309	183
V		105			240	154	19.7	18.6	195	123	354	91.4	67.5
Y		8.1			17.5	14.3	11.9	16.2	5	31.1	30.5	19.9	16.4
Zn		27.2			75.3	36.5	67.0	79.2	64	33.8	93.4	35.0	
Zr		53.0	24.7		46.5	42.9	51.2	61.9	51	190	85.0	112	84.0

三日月山火山岩類の概要

父島の地質と三日月山火山岩類の分布を図1に示す。父島は主に海底に噴出したボニナイト系列の火山岩, 即ち, ボニナイト・古銅輝石安山岩・紫蘇輝石安山岩〜デイサイト・石英デイサイトからなり, 下位の円縁湾累層はボニナイト枕状溶岩およびハイアロクラスタイト, 上位の旭山累層はデイサイトおよび石英デイサイト角礫岩が多い (白木・黒田, 1977; Umino, 1985; Kuroda *et al.*, 1988; Umino *et al.*, 1992)。ボニナイト系列火山岩は極端に液相濃集元素に乏しい。特にLILE (large ion lithophile element) に比べてHFSE (high field strength element) が枯渇し, LILE/HFSE比が非常に高い。しかし父島の南西部および北西部には, ボニナイト系列岩よりやや液相濃集元素に富む火山岩が分布し, それぞれジョンビーチ火山岩類および三日月山火山岩類と呼ばれている。ジョンビーチ火山岩類は島弧ソレアイトに似るが, 三日月山火山岩類はカルクアルカリ岩的な特徴を示す (斎藤ほか, 1989; Umino *et al.*, 1992; 白木ほか, 1999a)。

三日月山火山岩類をもつ三日月山累層は主として塊状の火山角礫岩からなり, 火山岩角礫を含む砂岩・泥岩層を挟在する。塊状角礫岩は主に複輝石安山岩であるが, 角礫には旭山累層以下を構成するボニナイト・古銅輝石安山岩・デイサイト・石英デイサイトも見られる。

三日月山の東麓には, 三日月山累層最下部の厚さ20

m以上の砂岩・泥岩層が存在し, 東西ないし北東の走向で南に10~20°の傾斜を示す。径10cm以下のボニナイト系列岩の礫を含み, 泥岩のCr含有量は315ppmと高く (Shiraki, 1981), 堆積物は主に下位のボニナイト系列火山岩に由来すると考えられる (白木ほか, 1999a)。

三日月山火山岩類にはごく稀ではあるが, 角閃石を含むものが見出される。角閃石石英デイサイトのほかに, Umino (1985) は数mm~1cmほどの細粒閃緑岩を含む岩片を報告した。その細粒閃緑岩とともに1個の角閃石安山岩の分析値も得られている (Umino *et al.*, 1992)。

角閃石石英デイサイトの記載

本岩は近藤 (1983MS) の卒業研究により三日月山北東山麓の凝灰角礫岩中から径20cmほどの岩片として発見され, 黒田 (1992) によって記載された。その斑晶ないし微斑晶のモード組成 (vol. %) は次の通りである: 斜長石 8.6, 石英 3.9, 斜方輝石 2.2, 緑色角閃石 1.8, 単斜輝石 1.2, 磁鉄鉱 0.4, 石基は, 完全に変質した斜方輝石, 単斜輝石, オパサイト化した緑色角閃石, 鉄鉱, および稀な燐灰石, オリゴクレス, 真珠岩組織を示す淡褐色ガラスからなる。

角閃石斑晶 (2Vx=73~81°) は径2mm以下で, 緑色のZ軸色を示す。しばしば縁でオパサイト化している。斜方輝石と連晶し, 稀に斜方輝石と集合物をつくる。斜

方輝石斑晶 ($2V_x=69^\circ$) は1.5mm 以下で、ほとんどが変質してフィロ珪酸塩で交代されている。単斜輝石と連晶することがある。単斜輝石 ($2V_x=41, 53^\circ$) は1.5mm 以下で、ほとんどが微斑晶として産する。磁鉄鉱は0.5 mm以下の微斑晶として見られる。

石英斑晶は径1 mm以上に達し、丸みを帯び、しばしば湾入を示すが、はじめの高温石英の外形をなお残している。緑色角閃石と斜長石の微晶を包有する。斜長石斑晶は長さ2.5mm以下で、反覆累帯がしばしば認められる。単斜輝石および鉄鉱と集合物をつくる。

なお、角閃石、磁鉄鉱、石英、斜長石の結晶は破碎されている。

全岩化学組成

微量元素を含む角閃石石英デイサイトの分析は山口大学機器分析センターの全自動蛍光X線分析装置(理学/RIX3000)を使用し、永尾ほか(1997)の方法によって行った。

角閃石石英デイサイトの組成を、三日月山火山岩類の

表2 角閃石石英デイサイトの角閃石の代表的電子線マイクロプローブ分析値。C: 核, R: 縁, Class: Leake (1978) による分類, mg-hb: マグネシオ-ホルンブレンド, ac hb: アクチノライト質ホルンブレンド, edn: エーデナイト。

Table 2 Representative electron microprobe analyses of hornblende in hornblende-quartz dacite. C: core, R: rim, Class: classification by Leake (1978), mg-hb: magnesio-hornblende, ac hb: actinolitic hornblende, edn: edenite.

	1	2-C	2-R	3	4-C	4-R	5-C	5-R	6-C	6-R	7	8	9
SiO ₂ wt.%	48.55	48.89	49.04	48.36	48.79	49.67	49.08	49.03	49.16	48.38	48.88	47.07	45.60
TiO ₂	0.55	0.67	0.85	0.45	0.57	0.53	0.72	0.74	0.69	0.79	0.76	0.84	1.12
Al ₂ O ₃	6.50	7.50	6.39	6.33	6.16	6.16	5.67	5.76	6.32	6.71	6.41	7.63	8.96
FeO	12.66	12.90	13.45	13.05	13.63	14.53	14.74	14.78	14.78	14.94	15.06	16.39	15.91
MnO	0.23	0.46	0.29	0.28	0.23	0.24	0.29	0.29	0.25	0.31	0.26	0.33	0.29
MgO	15.37	15.19	14.58	15.00	14.57	14.50	13.83	14.05	13.92	13.32	13.87	12.94	12.53
CaO	11.03	10.20	10.78	10.83	10.94	11.08	10.48	10.66	10.84	10.82	10.74	10.40	10.76
Na ₂ O	1.28	1.32	1.24	1.18	1.22	1.12	0.94	0.96	1.04	1.08	1.42	1.30	1.77
K ₂ O	0.08	0.11	0.10	0.10	0.08	0.11	0.06	0.07	0.09	0.11	0.11	0.10	0.13
Cr ₂ O ₃	0.00	0.05	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V ₂ O ₃	0.03	0.10	0.12	0.02	0.06	0.07	0.00	0.00	0.03	0.03	0.03	0.09	0.14
NiO	0.02	0.05	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04
Total	96.31	97.43	96.84	95.65	96.35	98.01	95.80	96.38	97.11	96.49	97.54	97.07	97.24
Mg#	68.40	67.72	65.89	67.20	65.58	64.01	62.58	62.90	62.68	61.38	62.16	58.46	58.40
Class	mg-hb	mg-hb	mg-hb	mg-hb	mg-hb	mg-hb	ac hb	ac hb	mg-hb	mg-hb	mg-hb	mg-hb	edn

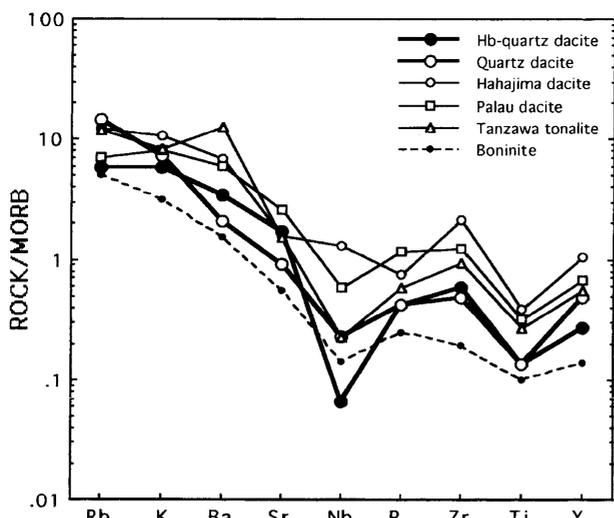


図2 三日月山火山岩類角閃石石英デイサイト(表1の2)、ボニナイト系列石英デイサイト(表1の6)、母島デイサイト(表1の10)、パラオ島デイサイト(表1の12)、丹沢トータル岩(表1の13)、及びボニナイト(白木ほか, 1991)の中央海嶺玄武岩(MORB: Pearce, 1983)で規格化した液相濃集元素パターン。

Fig. 2 MORB-normalized incompatible element patterns for Mikazukiyan hornblende quartz dacite (2 in Table 1), boninite series quartz dacite (6 in Table 1), Hahajima dacite (10 in Table 1), Palau dacite (12 in Table 1), Tanzawa tonalite (13 in Table 1) and boninite (Shiraki et al., 1991). MORB normalization values from Pearce (1983).

他の角閃石含有岩および関連岩とともに表1に示す。図2に角閃石石英デイサイト、ボニナイト系列石英デイサイト、母島デイサイト、パラオ島デイサイト、丹沢トータル岩、及びボニナイトの中央海嶺玄武岩で規格化した液相濃集元素パターンを示す。

角閃石石英デイサイト(表1の1, 2)はSiO₂が高く、GILL (1981) の分類ではSiO₂ 70%以上で流紋岩に相当する。しかし、アルカリ含有量が低いのでデイサイトとした。ボニナイト系列石英デイサイトも同様にSiO₂が高くアルカリが低い(表1; Kuroda et al., 1988)。角閃石石英デイサイトはSiO₂が高いにもかかわらず、MgO, CaO, Cr, Ni, Vが高い。特に、Cr含有量50ppmは安山岩の平均値(55ppm; Shiraki, 1997)にほぼ等しい。

三日月山火山岩類の角閃石安山岩(表1の3)と細粒閃緑岩(表1の4)はいずれも高Mg安山岩組成を示し、CaOが高いことにおいてボニナイト系列の高Mg安山岩と異なり、三日月山火山岩類の複輝石安山岩と類似する(表1の5; 白木ほか, 1999a)。

ボニナイト系列の石英デイサイト(表1の6~9)と比較して、角閃石石英デイサイトは、FeO*/MgOが低いことを除いて、主成分元素組成ではあまり差はない。微量元素ではSrが特に高く、Ba, Zrが高い傾向がある。しかし、RbとKは角閃石石英デイサイトがボニナイト系列石英デイサイトよりむしろ低い(表1, 図2)。三日月山火山岩類とボニナイト系列の安山岩類の間に見られたTiO₂, P₂O₅, Yにおける相違(白木ほか, 1999a)は、石英デイサイト類の間ではあまり明らかでない。

三日月山火山岩類とボニナイト系列の石英デイサイト

とともに、母島の最もSiO₂の高いデイサイト(表1の10)に比べ、SiO₂が高く、ほとんどの液相濃集元素が低い(図2)。なお、母島には今までのところ角閃石を含む火山岩は見出されない。また同様に、父島石英デイサイトはパラオ島弧(表1の12)や丹沢山地(表1の13)のSiO₂量の似たデイサイトやトータル岩より液相濃集元素が一般に低い(図2)。

鉱物化学組成

鉱物化学組成の測定には東京大学海洋研究所の電子線プローブマイクロアナライザー(EPMA)(JEOL JCSA-733)を使用した。角閃石石英デイサイトの角閃石、輝石、斜長石、磁鉄鉱の組成を表2, 3, 4, 5に、角閃石のSiに対する(Na+K)AとMg#=100Mg/(Mg+total Fe)(原子比)の関係を図3と4, Mg#とTiの関係を図5に示す。

角閃石

角閃石石英デイサイトの緑色角閃石斑晶の大部分はSi<7.25, (Na+K)A<0.50のマグネシオ-ホルンブレンドに属し、一部がSi>7.25のアクチノライト質ホルンブ

レンド、ごく少数が(Na+K)A>0.50のエーデナイトに入る(表2, 図3)。Al₂O₃は9.29~5.67 wt.%, Na₂Oは1.77~0.93%である。角閃石の分類は、Leake(1978)に従い、水を除いた酸素の原子数を23として示した。

図3に見られるように、角閃石石英デイサイトの角閃石斑晶は、Si-(Na+K)A関係において、パラオ島弧の閃緑岩の角閃石に似ている。伊豆マリアナ島弧最南端のパラオ諸島は海洋性島弧としては珍しく角閃石をもつ火成岩が多い(白木ほか, 1999b)。また、三日月山石英デイサイトの角閃石は丹沢山地深成岩体の角閃石の範囲内にある。しかし、大山火山帯青野山の角閃石デイサイトの角閃石とは全く異なる。大山火山帯の火山岩はアルカリに富み、その角閃石にはエーデナイト~パーガサイト質のものが多く含まれる(例えば、Tsukui, 1985; 太田ほか, 1990; 伊藤, 1990)。

角閃石石英デイサイトの角閃石のMg#は、68.4以下とあまり高くない。また、Cr₂O₃も0.05%以下と低く、分化したマグマからの晶出を示す。しかしそれでも、三日月山石英デイサイトの角閃石のMg#は、よりFeO*/MgOが低く高Mg安山岩組成を示すパラオ閃緑岩(表1の11)の角閃石のMg#の最高値とほぼ同じである(図4)。

三日月山角閃石石英デイサイトの角閃石のTiO₂含有

表3 角閃石石英デイサイトの輝石の代表的電子線マイクロプローブ分析値。Cpx: 単斜輝石, Opx: 斜方輝石, C: 核, R: 縁。

Table 3 Representative electron microprobe analyses of pyroxene in hornblende quartz dacite. Cpx: clinopyroxene, Opx: orthopyroxene, C: core, R: rim.

	Cpx-1C	Cpx-1R	Cpx-2C	Cpx-2R	Cpx-3C	Cpx-3R	Cpx-4C	Cpx-4R	Cpx-5C	Cpx-5R	Opx-1C	Opx-1R
SiO ₂ wt.%	52.55	53.11	53.00	53.40	52.85	50.22	52.59	52.17	52.46	52.44	52.31	51.94
TiO ₂	0.04	0.05	0.16	0.06	0.11	0.25	0.08	0.05	0.16	0.16	0.05	0.05
Al ₂ O ₃	1.45	1.16	2.13	1.69	2.25	3.66	1.97	1.31	1.68	1.35	0.44	0.66
FeO	5.82	7.37	8.38	6.36	6.48	11.18	7.66	8.22	8.60	9.50	27.36	25.27
MnO	0.16	0.20	0.17	0.14	0.18	0.28	0.24	0.28	0.30	0.24	1.00	1.05
MgO	17.69	17.98	19.69	18.29	17.05	13.91	16.61	14.35	14.05	14.04	18.04	18.52
CaO	19.71	18.24	15.66	18.50	20.23	18.39	19.67	21.86	21.80	21.11	0.87	0.82
Na ₂ O	0.18	0.16	0.17	0.20	0.17	0.24	0.18	0.20	0.23	0.28	0.04	0.00
K ₂ O	0.02	0.01	0.01	0.02	0.00	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00
Cr ₂ O ₃	0.45	0.34	0.16	0.26	0.08	0.00	0.13	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
V ₂ O ₃	0.00	0.03	0.06	0.03	0.01	0.05	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
NiO	0.11	0.00	0.08	0.07	0.01	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03
Total	98.18	98.65	99.67	99.02	99.42	98.20	99.21	98.46	99.28	99.13	100.13	98.37
Mg#	84.39	81.33	80.72	83.66	82.42	68.91	79.45	75.69	74.45	72.49	54.03	56.64
Wo	40.32	37.23	31.57	37.82	41.28	39.58	40.34	45.32	45.35	43.93	1.85	1.76
En	50.37	51.03	55.24	52.03	48.40	41.64	47.40	41.39	40.68	40.65	53.04	55.64
Fs	9.32	11.74	13.19	10.16	10.32	18.78	12.26	13.30	13.96	15.43	45.12	42.59

表4 角閃石石英デイサイトの斜長石の代表的電子線マイクロプローブ分析値。C: 核, R: 縁。

Table 4 Representative electron microprobe analyses of plagioclase in hornblende-quartz dacite. C: core, R: rim.

	1-C	1-R	2-C	2-R	3-C	3-R	4-C	4-R	5-C	5-R	6-C	6-R
SiO ₂ wt.%	45.83	46.52	49.19	53.06	50.99	54.88	51.74	51.46	56.60	54.46	54.89	57.37
Al ₂ O ₃	33.88	33.62	31.77	30.28	30.32	28.11	29.77	30.00	27.50	28.53	27.70	26.68
FeO	0.54	0.35	0.33	0.32	0.24	0.30	0.57	0.48	0.26	0.22	0.30	0.24
MgO	0.04	0.02	0.00	0.02	0.04	0.01	0.03	0.02	0.00	0.01	0.02	0.04
CaO	17.60	17.45	15.17	12.36	13.53	10.80	13.04	13.49	9.82	11.09	10.61	8.91
Na ₂ O	1.47	1.75	3.06	4.34	3.68	5.57	4.15	3.97	5.91	5.06	5.72	6.53
K ₂ O	0.01	0.03	0.06	0.08	0.05	0.12	0.09	0.06	0.09	0.09	0.09	0.15
Total	99.37	99.74	99.58	100.46	98.85	99.79	99.39	99.48	100.18	99.46	99.33	99.92
An	86.81	84.51	73.02	60.91	66.85	51.37	63.13	65.02	47.61	54.51	50.36	42.63
Ab	13.10	15.29	26.65	38.65	32.87	47.92	36.35	34.61	51.86	44.98	49.15	56.54
Or	0.08	0.20	0.33	0.44	0.28	0.70	0.53	0.36	0.53	0.51	0.49	0.83

表5 角閃石石英デイサイトと関連岩の磁鉄鉱の代表的電子線マイクロプローブ分析値. C: 核, R: 縁, MH: 三日月山火山岩類の角閃石石英デイサイトの磁鉄鉱, MA: 三日月山火山岩類紫蘇輝石普通輝石安山岩, ND: 中山峠デイサイト, OD: 大神山デイサイト, MQD: 宮の浜南石英デイサイト, OQD: 大神山石英デイサイト.

Table 5 Representative electron microprobe analyses of magnetite in hornblende quartz dacite and related rocks. C: core, R: rim, MH: magnetite in hornblende quartz dacite, Mikazukiyama volcanic rocks, MA: hypersthene-augite andesite, Mikazukiyama volcanic rocks, ND: dacite, Nakayama touge, OD: dacite, Oogamiyama, MQD: quartz dacite, south of Miyano-hama, OQD: quartz dacite, Oogamiyama.

	MH-1C	MH-1R	MH-2C	MH-2R	MH-3C	MH-3R	MH-4	MA-1	ND-1	OD-1	MQD-1	OQD-1
TiO ₂ wt. %	5.81	6.10	5.30	5.81	5.16	4.91	5.24	5.65	4.12	13.11	12.94	11.97
Al ₂ O ₃	1.41	1.27	1.51	1.29	2.21	2.27	1.42	2.89	3.21	2.42	2.30	2.35
Cr ₂ O ₃	0.08	0.02	0.03	0.05	0.00	0.00	0.00	1.26	0.06	0.00	0.01	0.01
V ₂ O ₃	0.67	0.65	0.66	0.65	0.68	0.65	0.66	1.21	1.75	0.02	0.11	0.04
Fe ₂ O ₃	55.43	53.54	54.86	55.24	55.40	55.96	56.06	53.13	55.44	40.30	40.87	42.03
FeO	34.73	34.34	33.48	34.66	33.84	33.84	34.07	34.15	32.49	42.11	41.45	40.85
MnO	0.39	0.45	0.41	0.42	0.33	0.34	0.34	0.22	0.24	0.38	0.43	0.40
MgO	0.79	0.76	0.78	0.76	0.98	0.90	0.72	1.51	1.39	0.40	0.73	0.44
CaO	0.03	0.00	0.04	0.03	0.02	0.01	0.04	0.10	0.16	0.17	0.12	0.05
NiO	0.17	0.13	0.28	0.07	0.14	0.12	0.22	0.09	0.07	0.00	0.00	0.01
Total	99.51	97.26	97.35	98.98	98.76	99.00	98.77	100.21	98.93	98.91	98.96	98.15
Mg/Mg+Fe ²⁺	0.039	0.038	0.040	0.038	0.049	0.045	0.036	0.073	0.071	0.017	0.030	0.019
Cr/Cr+Al	0.037	0.010	0.013	0.025	0.000	0.000	0.000	0.226	0.012	0.000	0.003	0.003

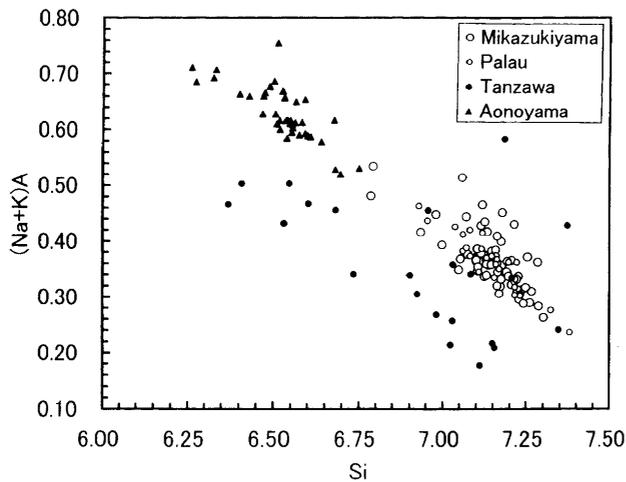


図3 三日月山火山岩類の角閃石石英デイサイト (大きい白丸), パラオ閃緑岩 (小さい白丸; 白木ほか, 2000), 丹沢深成岩体 (黒丸; Kawate & Arima, 1998; 滝田, 1980), 青野山デイサイト (黒三角; 河内山, 1996MS) の角閃石のSiに対する (Na+K)Aのプロット.

Fig. 3 Plots of Si vs (Na+K) A for hornblende in Mikazukiyama hornblende quartz dacite (large open circles), Palau diorite (small open circles; Shiraki *et al.*, 2000), Tanzawa plutonic complex (solid circles; Kawate & Arima, 1998; Takita, 1980) and Aonoyama dacite (solid triangles; Kouchiyama, 1996MS).

量は1.12~0.45%で, パラオや丹沢山地の閃緑岩の角閃石より低い (図5). これは三日月山角閃石石英デイサイトの低い全岩TiO₂量を反映しているであろう.

輝石

角閃石石英デイサイトは苦鉄質鉱物として角閃石のほかに輝石を含む. 単斜輝石より斜方輝石の方が多く, 斜方輝石のほとんどは変質している. 単斜輝石は, 表3に示すように, Mg#の最高値が84.4と高く, 玄武岩や高Mg安山岩の単斜輝石のMg#とほとんど同じである. Cr₂O₃も最高値が0.45%と高い. Mg#-Cr₂O₃関係図にお

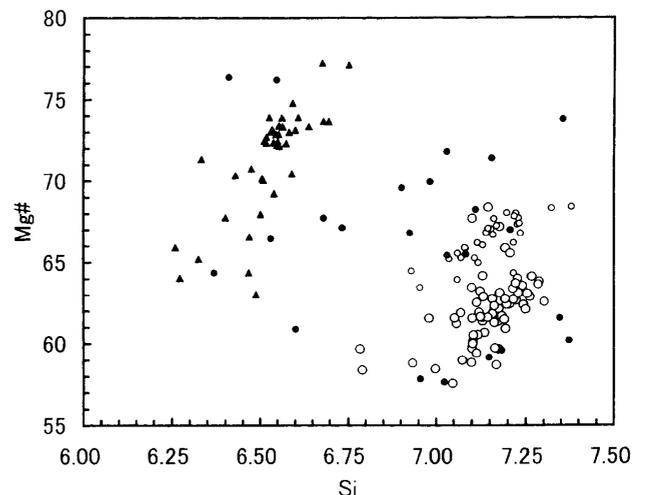


図4 三日月山火山岩類の角閃石石英デイサイト, パラオ閃緑岩, 丹沢深成岩体, 青野山デイサイトの角閃石のSiに対するMg#のプロット. シンボルは図3に同じ.

Fig. 4 Plots of Si vs Mg# for hornblende in Mikazukiyama hornblende quartz dacite, Palau diorite, Tanzawa plutonic complex and Aonoyama dacite. Symbols are the same as in Fig. 3.

いて, 角閃石石英デイサイトの単斜輝石は, 三日月山火山岩類の高Mg安山岩組成を示す複輝石安山岩の単斜輝石と同じ領域にプロットされる (白木ほか, 1999aのFig. 2). このことは角閃石石英デイサイトの単斜輝石が, より高いMgOとCrをもつ複輝石安山岩の単斜輝石と同じマグマ由来であることを示唆する.

組成を決定し得た角閃石石英デイサイトの斜方輝石はFeの高い紫蘇輝石であった (表3). 三日月山火山岩類の複輝石安山岩の斜方輝石は, Mg#とCr₂O₃の最高がそれぞれ78.0と0.12%で, 単斜輝石より低い (白木ほか, 1999a). 従って, 三日月山火山岩類では, ボニナイト系列岩と異なり, 単斜輝石が斜方輝石より早く晶出した可能性がある.

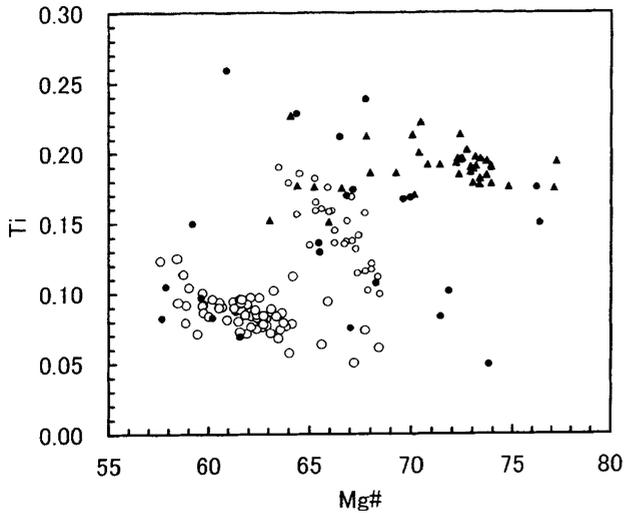


図5 三日月山火山岩類の角閃石石英デイサイト, パラオ閃緑岩, 丹沢深成岩体, 青野山デイサイトの角閃石のMg# に対するTiのプロット. シンボルは図3に同じ.

Fig. 5 Plots of Mg# vs Ti for hornblende in Mikazukiyama hornblende quartz dacite, Palau diorite, Tanzawa plutonic complex and Aonoyama dacite.

斜長石

角閃石石英デイサイトの斑晶斜長石のAnは86.8~42.6 (表4)とSiO₂の高い火山岩として異常に高く, 玄武岩の斜長石のAnに相当する. ボニナイト系列火山岩の斜長石のAnも, 母岩のSiO₂に比べ一般に高く, 紫蘇輝石普通輝石デイサイトの中には90を越えるものがあり (Umino *et al.*, 1992), ボニナイト系列石英デイサイトはAn75~50の斜長石が多い (Kuroda *et al.*, 1988).

角閃石石英デイサイトの斑晶斜長石のOrは0.08~0.85と低いが, ボニナイト系列の安山岩・デイサイトの斜長石もOrは低く, 母岩の低K₂O量を反映する.

斜長石には反覆累帯がしばしば認められるが, 表4に見られるように, 外縁部に比べて中心部でAnが高いものが多い.

磁鉄鉱

角閃石石英デイサイトの微斑晶磁鉄鉱の組成を, 三日月山火山岩類の紫蘇輝石普通輝石安山岩, ボニナイト系列デイサイト, ボニナイト系列石英デイサイトの磁鉄鉱とともに表5に示す. 角閃石石英デイサイトの磁鉄鉱はCr₂O₃をほとんど含まない (<0.08%). これは磁鉄鉱がマグマ分化過程の後期において晶出し始めたことを示す. ボニナイト系列火山岩では, ボニナイトは地球上の火山岩の中で最もCr₂O₃に富むクロマイトをもつが (Shiraki, 1997), 磁鉄鉱はデイサイトで始めて微斑晶として見られる (白木ほか, 1981). これらの磁鉄鉱は, 角閃石石英デイサイトの磁鉄鉱と同様に, Cr₂O₃をほとんど含まない (表5). しかし, 三日月山火山岩類の紫蘇輝石普通輝石安山岩の磁鉄鉱はCr₂O₃がやや高く (1.26%), デイサイトより高いCrをもつマグマから晶出したことを示す.

議 論

三日月山火山岩類の角閃石石英デイサイトは, 流紋岩

に相当する高いSiO₂をもつが, FeO*/MgOが比較的低く, 安山岩の平均値に等しいCrを含む. これは玄武岩や高Mg安山岩に見られるような高いMg#とCr₂O₃をもつ単斜輝石の存在により説明され, これらの単斜輝石は, よりFeO*/MgOが低くCrが高いマグマから晶出したと推定される. また, 角閃石石英デイサイトの斜長石も玄武岩に相当する高いAnを示し, よりCa/Naの高いマグマからの晶出を示唆する. これらのことから, 角閃石石英デイサイトは, 高いSiO₂をもつにもかかわらず, 分化程度は低いといえるかもしれない. 角閃石石英デイサイトは, もともとSiO₂に富む高Mg安山岩マグマから導かれたのであろう.

三日月山累層の主体をなす塊状火山角礫岩の中には高Mg安山岩組成を示す多くの複輝石安山岩が含まれ (白木ほか, 1999a), ごく少量ではあるが高Mg安山岩組成の細粒閃緑岩や角閃石安山岩も知られている (Umino *et al.*, 1992). 三日月山火山岩類の高Mg安山岩や複輝石安山岩は, CaOがボニナイト系列のボニナイトや古銅輝石安山岩より一般に高い. また, 単斜輝石は斜方輝石よりMg#やCr₂O₃が高いから, 三日月山火山岩類の親マグマと考えられる高Mg安山岩は, 単斜輝石が斜方輝石より先に晶出した単斜輝石高Mg安山岩 (巽, 1981)であったろう. 単斜輝石高Mg安山岩はボニナイト系列岩の親マグマであるボニナイトと異なる. 多くのボニナイトでは, かんらん石の晶出に続いて, 最もCaとFeに乏しいプロト輝石から斜方輝石 (古銅輝石)・ピジョン輝石・低Ca普通輝石と次第に輝石中のCaとFeが増加し, 最後に最もCaとFeに富む単斜輝石 (普通輝石)が晶出する (Shiraki *et al.*, 1980; 白木ほか, 1981; Umino, 1986).

三日月山火山岩類の角閃石石英デイサイトは単斜輝石高Mg安山岩の最終分化物としてつくられたものであろう. 一方, ボニナイト系列岩の最終分化物は, 極めて珍しい鉄ピジョン輝石斑晶をもつ石英デイサイトである. Kuroda *et al.* (1988)は, 鉄ピジョン輝石石英デイサイトの鉄ピジョン輝石斑晶が900°C, デイサイトの輝石が1050°Cで晶出したことを示した. これらの温度は, 流紋岩やデイサイトに相当する高いSiO₂をもち, 恐らく水を含むマグマの温度としては極めて高い. 高Si安山岩における角閃石の晶出温度は, 水に飽和しているとしても, 950°Cを越えない (Eggler, 1972)から, ボニナイト系列火山岩に角閃石が存在しない理由の一つは, その高温からの急冷にあるだろう (白木・黒田, 1977). ボニナイト系列火山岩は一般にガラスに富む. 特にボニナイトは急冷結晶の発達が著しく, 19世紀末にはすでに詳しい記載が行われた (Kikuchi, 1889). さらに, ボニナイトは地球上の岩石では最もMg#の高い (88~87)ピジョン輝石を有し (白木ほか, 1981; Umino, 1986), ピジョン輝石晶出時においてさえ, 含水マグマとしては異常に高い1200°C以上の温度 (Ishii, 1975)をもっていた. 対照的に, 三日月山火山岩類は一般にガラスに乏しい.

ボニナイト系列火山岩の清澄なガラスは常に5%以上の水を含むので, ガラスの量は含水量に関係する. 黒田 (1989)は三日月山火山岩類がボニナイト系列火山岩に比べH₂O (+)の少ないことを示した. ただし, 三日月山火山岩類がボニナイト系列火山岩より, もともと水が少なかったかどうかは定かではない. 図2に見られるように, 最も水に伴って移動し易いLILEのRbとKが, 三日月山火山岩類はボニナイト系列火山岩に比べ低いから, 三日月山火山岩類はもともと水が少なかったといえるか

もしれない。しかし一方では、黒田 (1989) が指摘したように、三日月山火山岩類は下位のボニナイト系列火山岩より浅海に噴出し固結したため、水を失った可能性もある。

三日月山火山岩類の角閃石石英デイサイトの角閃石は、苦鉄質鉱物としては単斜輝石に次いで晶出した。この角閃石は比較的Siが多くAlと (Na+K) Aが少ないマグネシオ-ホルンブレンドである。同様な組成の角閃石はパラオ閃緑岩や丹沢山地深成岩体からも知られている。角閃石のAl量は圧力によって増加する (例えば、高橋, 1993) から、角閃石石英デイサイトのAlに比較的乏しいマグネシオ-ホルンブレンドは、低圧下で晶出したといえるかもしれない。しかしただ単に、このSiの比較的高いマグネシオ-ホルンブレンドは、角閃石石英デイサイトの高いSiO₂量を反映しているだけかもしれない。角閃石は低圧下では著しく不安定になる。Sato *et al.* (1999) は、雲仙デイサイトの石基組成において、バーガサイトが安定に存在し得る最高温度が、196MPaでは930°C、98MPaでは900°C、49MPaでは820°Cであることを示した。三日月山角閃石石英デイサイトは雲仙デイサイトに比べ、SiO₂が高くアルカリが少ない。これらは角閃石の安定性を下げるから、角閃石石英デイサイトの角閃石は雲仙デイサイトより高圧低温でしか晶出しなかったであろう。三日月山火山岩類の親マグマである単斜輝石高Mg安山岩の中には、比較的深所のマグマ溜りで900°C以下にまでゆっくりと冷却し結晶分化作用を行ったものがあり、そのようなマグマから角閃石石英デイサイトはつくられたのであろう。

結論と総括

1. 父島北西部の三日月山火山岩類には小笠原諸島で極めて稀な角閃石を含む石英デイサイトが存在する。
2. この角閃石石英デイサイトは、流紋岩に相当する高いSiO₂ (72.0 wt. %) をもつが、FeO^{*}/MgOが比較的低く、安山岩の平均値に等しいCr (50ppm) を含む。
3. 角閃石石英デイサイトは、玄武岩の単斜輝石と同様な、最高Mg# 84.4, Cr₂O₃ 0.45%の単斜輝石をもち、単斜輝石高Mg安山岩から導かれた。
4. 角閃石石英デイサイトの斜長石も、Anが86.8~42.6とSiO₂の高い火山岩として異常に高い。
5. 角閃石石英デイサイトの緑色角閃石斑晶の多くは、比較的Siが多くAlと (Na+K) Aが少ないマグネシオ-ホルンブレンドで、パラオ産閃緑岩の角閃石と類似する。
6. 角閃石石英デイサイトの角閃石は、単斜輝石高Mg安山岩マグマが比較的深所のマグマ溜りで900°C以下にまでゆっくりと冷却して形成された。
7. 対照的に、ボニナイト系列火山岩は900°C以上から急冷された結果、角閃石が晶出しなかった。

謝 辞

蛍光X線分析では山口大学機器分析センターの永尾隆志助教授、EPMA分析では東京大学海洋研究所の石井輝秋助教授、原口 悟氏、佐藤 暢氏に大変お世話になった。研究費の一部は文部省科学研究費補助金基盤研究 (A) (2) 島弧形成過程の研究 (課題番号: 07404027) を使用した。記して深く感謝の意を表す。

引用文献

- Eggler D. H. (1972), Water-saturated and undersaturated melting relations in a Paricutin andesite and an estimate of water content in the natural magma. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **34**, 261-271.
- Gill J. (1981), *Orogenic Andesites and Plate Tectonics*. Springer-Verlag, Berlin, 390p.
- Ishii T. (1975), The relations between temperature and composition of pigeonite in some lavas and their application to geothermometry. *Mineralogical Journal*, **8**, 48-57.
- 伊藤純一 (1990), 姫島火山群の岩石学. 岩鉱, **85**, 541-558.
- Kawate S. & Arima M. (1998), Petrogenesis of the Tanzawa plutonic complex, central Japan: Exposed felsic middle crust of the Izu-Bonin-Mariana arc. *The Island Arc*, **7**, 342-358.
- Kikuchi Y. (1889), On pyroxenic components in certain volcanic rocks from Bonin Island. *Journal of College of Science, Imperial University of Japan*, **3**, 67-89.
- Leake B. E. 1978, Nomenclature of amphiboles. *American Mineralogists*, **63**, 1023-1052.
- 近藤志津雄 (1983MS), 小笠原諸島, 父島三日月山周辺の火山岩. 静岡大学理学部地球科学科卒業論文, **68**, 63p.
- 河内山高志 (1996MS), 中国地方西部青野山火山群の岩石学的研究. 山口大学卒業論文.
- 黒田 直 (1989), 父島の無人岩系火山岩. 日本の高マグネシア安山岩 (白木敬一編), 27-32.
- 黒田 直 (1992), 小笠原諸島, 父島のデイサイト類. 松本徹夫教授記念論文集, 321-326.
- Kuroda N., Shiraki K. & Urano H. (1988), Ferropigeonite quartz dacites from Chichi-jima, Bonin Islands: Latest differentiates from boninite-forming magma. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **100**, 129-138.
- Kushiro I. (1972), Effect of water on the composition of magmas formed at high pressures. *Journal of Petrology*, **13**, 311-334.
- 永尾隆志・角縁 進・白木敬一 (1997) 全自動蛍光X線分析装置 (理学/RIX3000) による岩石中の主成分および微量元素組成の定量. 山口大学機器分析センター報告, **5**, 10-15.
- 中野鉄也 (1996MS), 小笠原諸島父島のボニナイト系列火山岩. 山口大学卒業論文.
- 中野鉄也 (1998MS), 小笠原諸島第三紀火成活動. 山口大学修士論文.
- 小野秀史 (1993MS), 小笠原諸島父島の普通輝石ボニナイト-ボニナイトの多様性に関する一つの考察一. 山口大学修士論文.
- 太田岳洋・長谷中利昭・藤巻宏和 (1990), 大分県中部, 由布・鶴見火山群の地質と岩石. 岩鉱, **85**, 113-129.
- Pearce J. A. (1983), Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In: Hawkesworth C. J. & Norry M. J. (eds.) *Continental Basalts and Mantle Xenoliths*, Shiva, Nantwich, 230-249.
- 斎藤聡一 (1990MS), 小笠原諸島の無人岩. 山口大学修士論文.
- 斎藤聡一・白木敬一・黒田 直・浦野隼臣 (1989), 小笠原諸島父島の島弧ソレライト. 火山, **34**, 325-326.
- Sato H., Nakada S., Fujii T., Nakamura M. & Suzuki-Kamata K. (1999), Groundmass pargasite in the 1991-1995 dacite of Unzen volcano: phase stability experiments and volcanological implications. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **89**, 197-212.
- Shiraki K. (1982), Basement rocks of the Japanese Islands: inference from chromium in the sedimentary rocks. *The Memoirs of the Geological Society of Japan*, **21**, 309-320.
- Shiraki K. (1997), Geochemical behavior of chromium.

- Resource Geology*, **47**, 319-330.
- 白木敬一・伊藤純一・新田 全・宮本光隆・河野雅代・浦野隼臣 (2000), ミクロネシア, パラオ諸島の玄武岩, 高Mg安山岩および閃緑岩. *地学雑誌*, **109**, 774-783.
- 白木敬一・黒田 直 (1977), 無人岩再訪. *地学雑誌*, **86**, 174-190.
- 白木敬一・黒田 直・中野鉄也・伊藤純一・沖永健司・浦野隼臣 (1999a), 小笠原諸島父島の三日月山火山岩類. 島弧形成過程の研究 (白木敬一編), 文部省科学研究費補助金基盤研究 (A2) 報告書, 15-19.
- Shiraki K., Kuroda N., Urano H. & Maruyama S. (1980), Clinoenstatite in boninites from the Bonin Islands, Japan. *Nature*, **285**, 31-32.
- 白木敬一・丸山茂徳・黒田 直・浦野隼臣 (1981), 無人岩成因論. *月刊地球*, **3**, 160-166.
- 白木敬一・長尾憲治・永尾隆志・角縁 進・松本徂夫 (1991) 瀬戸内海西部産瀬戸内火山岩の微量元素の特徴. *岩鉱*, **86**, 459-472.
- 白木敬一・新田 全・伊藤純一・宮本光隆・河野雅代 (1999b), ミクロネシア, パラオ諸島の火山岩—予報. 島弧形成過程の研究 (白木敬一編), 文部省科学研究費補助金基盤研究 (A2) 報告書, 21-30.
- 高橋裕平 (1993), 角閃石中のAl量—花崗岩類に有効な地質圧力計. *地質調査所月報*, **44**, 597-608.
- 滝田良基 (1980), 丹沢山地の斑れい岩質岩類の岩石学的研究—特にトーナラル岩との成因関係について—. *地質学雑誌*, **86**, 369-387.
- 巽 好幸 (1981), 高マグネシウム安山岩の成因. *月刊地球*, **3**, 166-174.
- Tsukui M. (1985), Temporal variation in chemical composition of phenocrysts and magmatic temperature at Daisen volcano, southwest Japan. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **26**, 317-336.
- Umino S. (1985), Volcanic geology of Chichijima, the Bonin Islands (Ogasawara Islands). *Journal of the Geological Society of Japan*, **91**, 505-523.
- Umino S. (1986), Magma mixing in boninite sequence of Chichijima, Bonin Islands. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **29**, 125-157.
- Umino S., Shiraki K., Kuroda N. & Urano H. (1992), Boninite and related rocks. *29th IGC Field Trip C15*, 149-182.