

箱根火山産灰長石巨晶の結晶化学的研究

松井智彰*

(2022年11月16日 受理)

Crystal Chemistry of Anorthite Megacrysts in Volcanic Rocks from Hakone Volcano, Japan

MATSUI Tomoaki

Abstract

Anorthite megacrysts from Tonosawa, Hakone Volcano, Japan, were studied by electron probe microanalyzer, X-ray powder diffractometry, X-ray single-crystal analysis, infrared spectrometry, and inductively coupled plasma analysis. The pyroxene-andesite lava series contain anorthite megacrysts with the composition $Ab_4An_{94}Ot_2$ (Ab: albite; An: anorthite; Ot: other minor end-members). Ideal anorthite is $CaAl_2Si_2O_8$; however, the present colourless and yellow anorthite megacrysts can also host minor amounts of Mn, Zn, and $-(CH_2)_n$. Yellow anorthite is a new variant for feldspar groups. Moreover, the crystal structure establishes excess Si and Al cations as $\square Si_4O_8$ and $AlAl_3SiO_8$ endmembers, respectively.

Chromium-fused salites (clinopyroxenes) rich in Al_2O_3 are observed as inclusions tens of micrometers in size encompassed by yellow anorthite megacrysts. This additional solubility of Al_2O_3 points to crystallization of the present clinopyroxene under high-pressure conditions. The natural formation and observation of the present anorthites clarifies that metallogenesis related to hydrocarbons maybe contributed to the far-reaching effects of the mixing of basaltic magma with seawater and slab sediments on the crystallization of these megacrysts from the melt under high-pressure conditions.

Keyword : anorthite, megacryst, Hakone Volcano, yellow colour

* 鹿児島大学 法文教育学域 教育学系 教授

1. はじめに

メガクリストは、その母岩よりも深部で生成されたため、地表付近の鉱物では得られぬ情報が潜在しており、その鉱物学的・地質学的重要性に注目されてきた。Murakami *et al.* (1991), Arakawa *et al.* (1992), Nishida *et al.* (1992)により、伊豆諸島に属する八丈島及び三宅島産の灰長石巨晶の成因に関する研究が報告され、その巨晶が地球的規模で極めて重要な意義を持つことが指摘された。

灰長石は、長石類の斜長石系列に属し、Ab (NaAlSi₃O₈)₁₀An (CaAl₂Si₂O₈)₉₀から An₁₀₀の範囲を占める固溶体である。その巨晶は、日本では小笠原・伊豆諸島、東北日本脊稜帯、北海道、千島列島にかけて産するが、世界的には産出例は非常に稀である (Ishikawa, 1951)。特に八丈島、三宅島の両島からは赤色灰長石 (サンストーン) が発見されており、伊豆大島、大月 (山梨県) (Fig. 1)からも同様の結晶が産出されることが判明した (Kimata *et al.*, 1995)。

今回新たに、箱根火山塔之沢産輝石安山岩中から無色巨晶以外に、黄色巨晶として産する灰長石が発見された。黄色灰長石も、またその巨晶も、世界的に記載例がなく、長石の発色原因と考えられる遷移金属の結晶化学的挙動についても、長石の化学組成としては通常それが極微量のため、多くの不明の点が残されてきた (e.g., Kuno, 1950)。また、箱根火山を構成する火山岩については、Kuno (1950)によりその構成鉱物の研究が詳細になされた。しかしながら、EPMA やX線回折装置 (XRD) が地球科学に導入されて以来、輝石に対して地質温度計への応用が試みられたものの (Ishii, 1991)、この灰長石巨晶を結晶化学から論じた研究はなされなかった。

そこで本研究では、箱根火山塔之沢産灰長石巨晶の鉱物学的・結晶化学的記載を行い、その生成機構を推定し、その地質学的意義を考察することを目的とした。

2. 地質学的背景

箱根火山は、古期外輪山、新期外輪山、中央火口丘を擁する三重式火山で、内外2つの外輪山が2つのカルデラの陥没に伴って形成された。箱根火山の噴出物の下には、湯ヶ島層群、早川凝灰角礫岩と須雲川安山岩類、足柄層群などの基盤があるが、塔之沢においては、輝石カンラン石安山岩の岩脈が早川凝灰角礫岩を貫いて露出している (Kuno, 1950)。本岩脈は須雲川安山岩類と同時期のものと考えられ、同岩質の溶岩も見つかっている。灰長石巨晶は、この岩石中に直径1~2 cmの大



Fig. 1. Distribution of localities of red anorthite megacrysts and Hakone Volcano.

きさで存在する。研究に使用した試料は、塔之沢、熊野神社横の崖と、早川北岸水力電気前の河原で確認することができる。ともに、似たような岩質の溶岩であるが、無色巨晶は前者から、黄色巨晶は後者から多く出る傾向にある。

箱根火山塔之沢産灰長石巨晶は、日本列島島弧、伊豆弧に分布する一連の灰長石巨晶産地の一つと見られ、以前からその存在は知られていた(原田, 1936)。本地域の灰長石巨晶を含む安山岩は、第四紀と新第三紀の境界に位置する火山岩と考えられ、箱根火山を構成する岩石の中では最も古い安山岩に相当する。これは、八丈島産及び伊豆大島産灰長石巨晶が各島を構成する火山岩の中で最も古い、玄武岩やその溶岩から産出することに類似する。

3. 実験方法

鉍物の同定は、筑波大学地球科学系に設置されていた理学電機社製の強力X線粉末回折装置(RU-200、RU-300)を用いて行われた。X線単結晶回折データは筑波大学分析センターに設置されていた Enraf Nonius 社製の4軸単結晶自動X線回折装置(CAD4SDP)を使用し、約 0.1 mm^3 の単結晶を用いて $20^\circ < 2\theta < 30^\circ$ での25個の回折線が観測された。それを基に最小二乗法で格子定数を決定した。X線粉末回折装置(RU-200)を使用して、灰長石の構造決定をするのに必要な $21^\circ < 2\theta < 33^\circ$ ($\text{CuK}\alpha$)の範囲を測定して回折データを得た。測定条件は、陽極、フィルター、加速電圧、電流の順で、Cr, V, 40 kV, 140 mA (RAD-C システム)、Cu, Ni, 40 kV, 100 mA (RU-200)である。

鉍物の単結晶化学分析は、筑波大学分析センターに設置されていた日本電子社製のJXA-8621電子プローブ・マイクロアナライザー(EPMA)を使用し、定性分析、定量分析を行った。加速電圧、照射電流、プローブ径の順に、20 kV, $1.0\text{E-}7\text{ A}$, $10\text{ }\mu\text{m}$ (以上定性分析)、20 kV, $1.0\text{E-}8\text{ A}$, $10\text{ }\mu\text{m}$ (以上定量分析)である。全岩組成及び微量元素(Mg, Mn, Cu, Znなど)分析には、同じく筑波大分析センターに設置されていた Jarrel-Ash 社製の誘導結合プラズマ質量分析装置を使用した。

赤外線吸収分光分析は、試料をKBr-ペレット法によって、筑波大学地球科学系に設置されていた日立製作所社製の赤外線分光光度計260-30を使用して分析した。

4. 実体顕微鏡観察

塔之沢産輝石安山岩中の灰長石巨晶には、無色と黄色の2つのタイプがあり(Fig. 2)、肉眼では黄色透明で結晶中に一様に着色しているように見える。いずれも直径1~2 cm程で自形結晶している。黄色結晶の母石は濃緑褐灰色で、それ以外の斑晶として4 mm前後の大きさの普通輝石が目立つ。無色巨晶の母岩は灰色で、同じく斑晶として普通輝石が目立つが、これは前者よりやや小さい。

Fig. 3aにある黄色灰長石巨晶を母岩から摘出すると、Fig. 3bに示すような結晶形態をしていることがわかった。(010), (001), (110), ($1\bar{1}0$), (021), ($02\bar{1}$), (201)が発達した自形結晶で、特に(010)がよく発達している((010)はへき開面でもある)。この結晶形態は、噴火に際して遊離結晶として放出されたとされるベスビオ火山産の灰長石(Smith, 1974)と非常によく類似したものである。

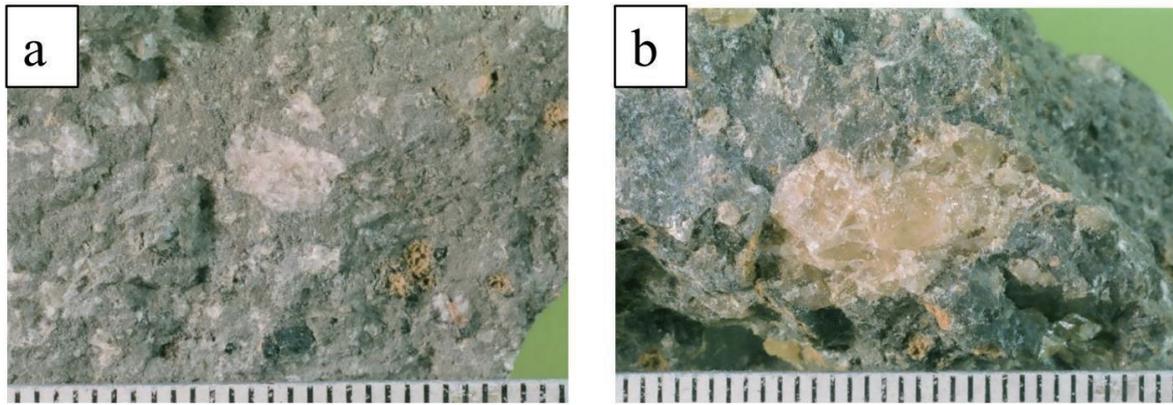


Fig. 2. (a) Colourless and (b) yellow anorthite megacrysts from Tonosawa in Hakone Volcano.
Minimum scale is one millimeter.

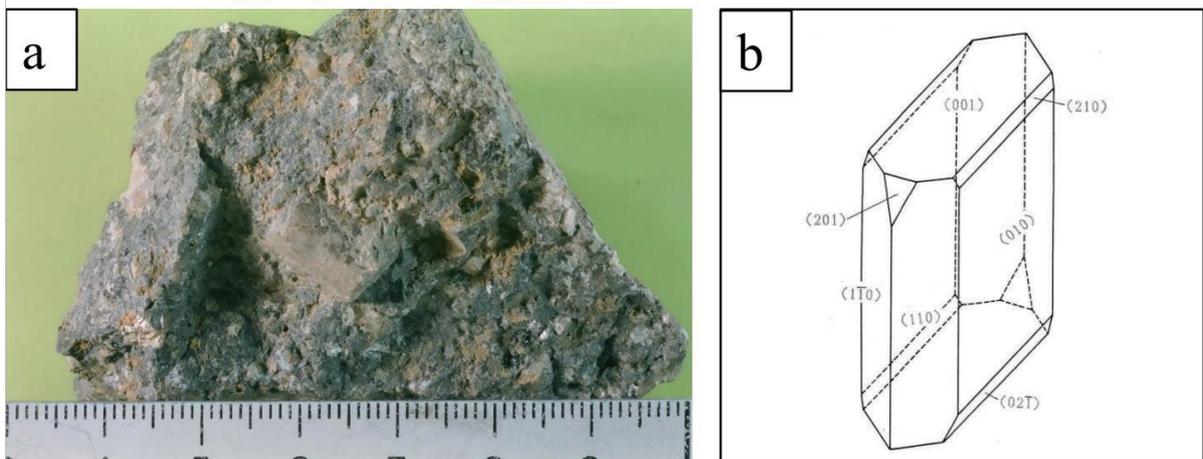


Fig.3. (a) An euhedral crystal and (b) the habit of yellow anorthite megacryst.
Minimum scale is one millimeter.

5. 偏光顕微鏡観察

偏光顕微鏡により、塔之沢産灰長石巨晶を薄片で観察すると、長石特有のへき開とともに島弧産の灰長石組織に共通する裂開 (Ishikawa, 1951)が見られる。これは八丈島産及び三宅島産赤色灰長石巨晶にも普通に見られる組織である。累帯構造は見られないが、Fig. 4のような数10～数100 μm の融食形をした鉱物及びその他の包有物がしばしば認められる。



Fig. 4. An inclusion enclosed within a yellow anorthite megacryst with polars crossed.

6. 単結晶及び粉末X線回折分析

鉱物の同定は、単結晶及び粉末X線回折法で行い、ICDD のファイルとのコンピューター照合を用いた検索により、灰長石と同定された。その格子定数は、4軸自動X線単結晶回折装置を使用して、得られた25個の回折線データに基づいて最小二乗法によって決定された (Table 1)。箱根火山産灰長石は、無色巨晶も黄色巨晶もほとんど同じ格子定数を示し、従来報告されていた灰長石のそれと等しい (Wainwright and Starkey, 1971)。

Table 1. Cell dimensions of natural anorthite megacrysts

	Colourless An Tonosawa ¹⁾	Yellow An Tonosawa	Red An Miyakejima ²⁾	Red An Hachijojima ³⁾
a (Å)	8.179(2)	8.179(1)	8.179(1)	8.179(3)
b (Å)	12.877(2)	12.881(2)	12.885(1)	12.876(5)
c (Å)	14.177(4)	14.180(2)	14.177(1)	14.176(4)
α (°)	93.17(1)	93.18(1)	93.21(1)	93.20(2)
β (°)	115.90(1)	115.91(1)	115.89(1)	115.88(2)
γ (°)	91.22(1)	91.24(1)	91.19(1)	91.19(2)
V (Å ³)	1339.4(5)	1339.9(2)	1340.3(1)	1339.4(8)

1) Kimata *et al.* (1995), 2) Murakami *et al.* (1992), 3) Nishida *et al.* (1992).

また、灰長石の多形を判定するためにCaに富んだ斜長石の構造状態決定図 (Scheidegger, 1973)を用いた。X線粉末回折装置 (RU-200)を使用して測定された各回折線 ($1\bar{1}2$), ($\bar{2}02$), (132), (220), ($1\bar{3}2$)のピークの位置を測り、それらを用いて $B (= 2\theta_{(1\bar{1}2)} - 2\theta_{(\bar{2}02)})$ 、 $\Gamma (= 2\theta_{(132)} + 2\theta_{(220)} - 4\theta_{(1\bar{3}2)})$ の二つの因子を作成し (Table 2)、 B/Γ のグラフにプロットした (Fig. 5)。この図によると、塔之沢産灰長石は、無色巨晶も黄色巨晶もほとんど同じ位置で、火山岩起源の中間型 (II)の結晶構造を持つ可能性が示唆される。

Table 2. Relationships between B and Γ function for anorthite megacrysts

	Colourless An Tonosawa	Yellow An Tonosawa	Red An Miyakejima	Red An Hachijoujima
B	0.705	0.71	0.72	0.72
Γ	1.51	1.505	1.48	1.505

$B = 2\theta_{(1\bar{1}2)} - 2\theta_{(\bar{2}02)}$, $\Gamma = 2\theta_{(132)} + 2\theta_{(220)} - 4\theta_{(1\bar{3}2)}$ (Scheidegger, 1973)

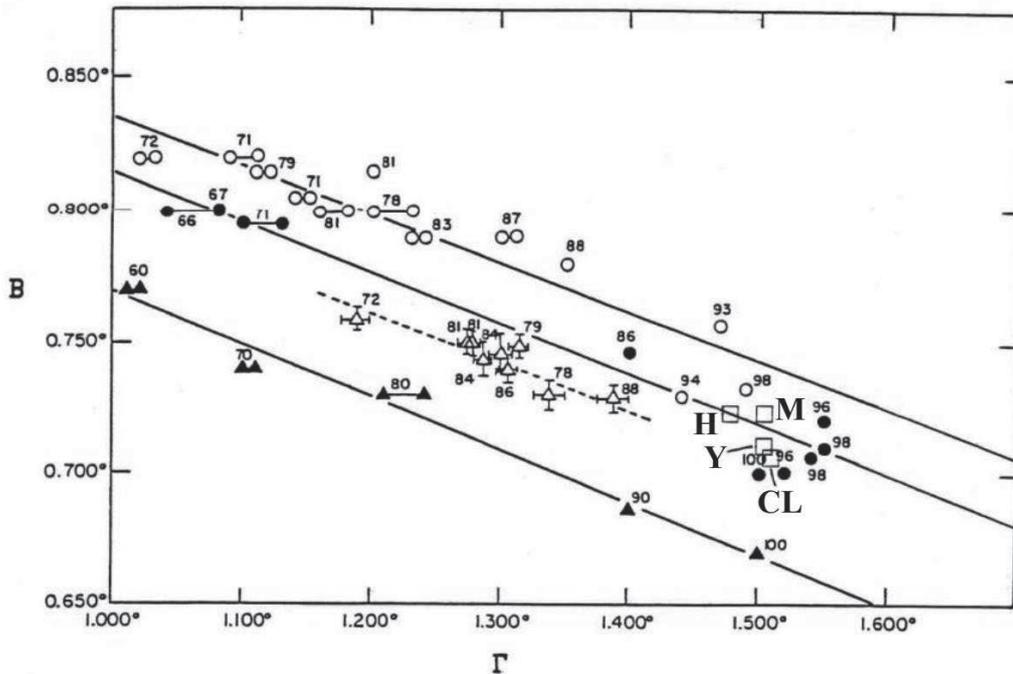


Fig. 5. A plot of B ($2\theta_{(1\bar{1}2)} - 2\theta_{(202)}$) and Γ ($2\theta_{(132)} + 2\theta_{(220)} - 4\theta_{(1\bar{3}2)}$) for calcic plagioclases.

The feldspars have been grouped into 4 groups on the basis of their origin, with the following symbols: ○ (hypabyssal, plutonic, pegmatitic, metamorphic, charnockitic, and those from large basic igneous complexes); ● (volcanic); △ (volcanic ash layers); ▲ (synthetic); and □ (anorthite: CL (colourless An megacryst from Tonosawa), Y (yellow An megacryst from Tonosawa), H (red An megacryst from Hachijojima), M (red An megacryst from Miyakejima)). All data on volcanic ash layers and anorthite, was taken from Smith and Gay (1957). Diagonal lines represent regression lines through the various groups of data. Vertical and horizontal lines drawn through symbols for volcanic ash plagioclases represent plus and minus two Standard deviations on the means of B and Γ , respectively. Horizontal lines connecting two symbols represent those samples for which more than one Γ value was given by Smith and Gay (1957). Numbers above symbols denote wt percent $An/(An+Ab)$. (modified after Scheidegger, 1973)

7. 化学分析

(1) EPMA 分析

灰長石巨晶の化学組成は EPMA (電子プローブ・マイクロアナライザー) を用いて定性分析と定量分析の両方を検討した。定性分析の結果、無色巨晶からは、Si, Al, Ca, Na, Fe の各元素が検出され、黄色巨晶からも、Si, Al, Ca, Na, Fe がはっきりと測定された。定量分析の結果は Table 3 上部に示す。

両巨晶とも、ほとんど同じ組成であることがわかる。次に、これらの分析値を基にして、酸素8個に対する陽イオンの数を、Si と Al が測定値に等しくなるように端成分に分解すると、Table 3 下部のようになる。An, Ab 成分については、ほとんど同じで、その他に微量の端成分で構成されている。このことは、八丈島及び三宅島産赤色灰長石巨晶の傾向に一致している。また、無色巨晶は Si に富み、黄色巨晶は Al に富んで、Fe が四面体席に入ることも特徴である。

Table 3. Representative microprobe analyses of anorthite megacrysts from basaltic rocks

	Colourless An		Yellow An		Red An		Red An	
	Tonosawa		Tonosawa		Miyakejima ¹⁾		Hachijoujima ²⁾	
SiO ₂	44.83		44.43		44.47		44.04	
Al ₂ O ₃	35.30		35.43		35.08		35.23	
FeO*	0.41		0.35		0.39		0.43	
MgO	-		-		0.07		0.10	
CaO	19.24		19.35		19.28		19.12	
Na ₂ O	0.41		0.44		0.44		0.40	
Total (wt.%)	100.19		100.00		99.73		99.32	
Cations per 8 oxygens								
	obs. calc.**		obs. calc.**		obs. calc.**		obs. calc.**	
Si	2.067	2.068	2.054	2.057	2.062	2.064	2.051	2.050
Al	1.918	1.919	1.930	1.930	1.918	1.916	1.934	1.934
Fe	0.016	0.016	0.013	0.013	0.015	0.015	0.017	0.017
Mg	-	-	-	-	0.005	0.005	0.007	0.007
Ca	0.951	0.951	0.958	0.958	0.958	0.958	0.964	0.964
Na	0.037	0.037	0.040	0.040	0.040	0.040	0.036	0.036
Total	4.989	4.991	4.995	4.998	4.998	4.998	4.999	5.000
Designation by feldspar end-members								
CaAl ₂ Si ₂ O ₈	93.8		94.5		93.8		93.0	
NaAlSi ₃ O ₈	3.7		4.0		4.0		3.6	
CaFeSi ₃ O ₈	1.3		1.3		1.5		1.7	
CaMgSi ₃ O ₈	-		-		0.5		0.7	
FeAl ₂ Si ₂ O ₈	0.3		-		-		-	
□Si ₄ O ₈ ***	0.9		0.2		0.2		-	
AlAl ₃ SiO ₈	-		-		-		1.0	
Total (mol%)	100.0		100.0		100.0		100.0	

* Total ions as FeO.

** Calculated on the basis of end-member.

*** Excess silica component; □ stands for a defect at M site.

1) Murakami *et al.* (1992), 2) Nishida *et al.* (1992).

また、先に偏光顕微鏡下において観察された融食形の包有物を EPMA により定性分析と定量分析を行った結果、Table 4 のような値が得られた。この包有物は Al と微量の Cr を含む単斜輝石 (Cpx)、すなわちサーラ輝石である。この値を輝石の端成分の分解すると (Cebria, 1990)、チェルマーク端成分 ($\text{CaAl}_2\text{SiO}_6$) を固溶する Cpx であることがわかった。これと同様な CPX は八丈島産赤色灰長石巨晶に含まれるオリビンの包有物、あるいは、一ノ目瀧産の超塩基性岩に巨晶として産出される。このことは、この包有された Cpx が高圧条件下で灰長石よりも先に結晶化したことを示す。

Table 4. Compositions of inclusions in anorthite megacrysts and pyroxenes in groundmass

	(1)	(2)	(3)
SiO ₂	49.19	50.34	50.03
TiO ₂	0.42	0.30	0.54
Al ₂ O ₃	4.33	4.58	4.86
Fe ₂ O ₃	-	-	2.15
Cr ₂ O ₃	0.13	0.21	0.18
FeO	7.00	6.17	4.10
MnO	0.23	0.10	0.08
NiO	-	0.07	-
MgO	14.91	15.33	15.57
CaO	21.78	22.23	21.63
Na ₂ O	0.25	0.15	0.35
K ₂ O	-	-	0.02
Total (wt%)	98.24	99.48	99.51
End-member indication of clinopyroxenes			
NaFeSi ₂ O ₆ *	1.82	1.07	2.62
CaTiAl ₂ O ₆	1.18	0.83	1.49
CaFeAlSiO ₆ *	10.07	6.86	3.82
CaAl ₂ SiO ₆	3.34	5.70	7.08
CaSiO ₃	36.40	37.26	36.18
MgSiO ₃	41.61	42.26	42.42
FeSiO ₃	5.58	6.02	6.39
Total (mol%)	100.00	100.00	100.00

* Fe³⁺

(1) Clinopyroxene in yellow anorthite megacryst from Tonosawa.

(2) Clinopyroxene in red anorthite megacryst from Hachijoujima (Kimata, *et al.*, 1993).

(3) Clinopyroxene megacryst from Ichinomegata (Aoki, 1990).

(2) ICP 分析

ICP (誘導結合高周波プラズマ発光分析装置) を用いて灰長石巨晶を分析すると、EPMA 分析では明瞭ではなかった Mg, Mn, Ti を少量含むことが明確となり、さらに Zn が確証をもって検出された。特に Zn は灰長石巨晶ばかりではなくその母岩にも確実に含まれることが明らかとなった。黄色巨晶からは、最高で約 1000 ppm 即ち 0.13% の ZnO が検出された (Table 5)。しかも黄色灰長石巨晶に包有されるサーラ輝石は、EPMA の定性分析では Zn を含んでいないことが示された。従って、Mn や Zn が灰長石の結晶構造席を占めるとしたら、それが結晶学的データに反映することが考えられる。その後の合成研究により、灰長石では M 席の 19.6% を Mn が分割して占有することが結晶構造的に証明された (Matsui and Kimata, 1997)。

Table 5. Representative inductively coupled plasma analyses of bulk volcanic rocks and anorthite megacrysts

	Host rock		Megacryst		
	Colourless An	Yellow An	Colourless An	Yellow An	Red An
	Tonosawa	Tonosawa	Tonosawa	Tonosawa	Hachijoujima
MgO (wt.%)	4.83	4.79	0.13	0.57	0.39
MnO	0.16	0.15	0.01	0.01	0.01
TiO ₂	0.68	0.65	-	0.03	0.04
ZnO	0.03	0.04	0.02	0.04	0.05

8. 赤外線吸収分光分析

赤外線分光光度計による吸収スペクトルの測定から、八丈島産及び三宅島産赤色灰長石において炭化水素が検出された (Kimata *et al.*, 1993)。このことに着目して、塔之沢産灰著石巨晶についても吸収スペクトルを測定したところ、無色長石、黄色長石ともに 2800~3000 cm⁻¹ の領域で同様の級数帯を示し (Fig. 6) どちらにも炭化水素に帰属される吸収帯のピークと同定された。従って、塔之沢産灰著石巨晶も八丈島産灰長石巨晶と同様に酸素分圧の低い還元環境下で生成されたものと思われる。特に黄色灰長石巨晶の吸収強度は、無色灰長石巨晶より大きく、より多くの炭化水素が含まれていることがわかる。

9. 考察

箱根火山は、Fig. 1 より、赤色灰長石巨晶が産出される八丈島、三宅島、伊豆大島、山梨県大月、を通る線上にあることがわかる。このことから、箱根火山を形成した古い溶岩中に、赤色灰長石が見つけられるだろう、という予想が今回の研究の発端となったが、赤色灰長石は発見できず、代わ

りに無色巨晶と黄色巨晶が見出された。分析の結果、これらの巨晶は、結晶構造的にも化学組成的にも非常に似た灰長石であるということがわかった。特に、SI や Al 成分に富んでいることが特徴的な共通点である。Ishikawa (1951)によると、一般的に、弧状列島の火山帯では、海溝側に SiO_2 が多くアルカリの少ない玄武岩質マグマに由来する火山が並ぶとされ、さらに東北日本外側帯の火山岩は、比較的 Ca や Al 成分に富んでいる。また、このような火山帯では、マグマ中に地殻構成物質を取り込み易い。さらに、これが元々この地域に An 成分の高い斜長石を生む原因で、Al 成分に富む地殻物質を取り込むことによって灰長石巨晶が晶出すると考えた。箱根火山もそのような火山帯に位置することから、塔之沢産灰長石巨晶の成因にも同様の説明が適用できるかもしれない。

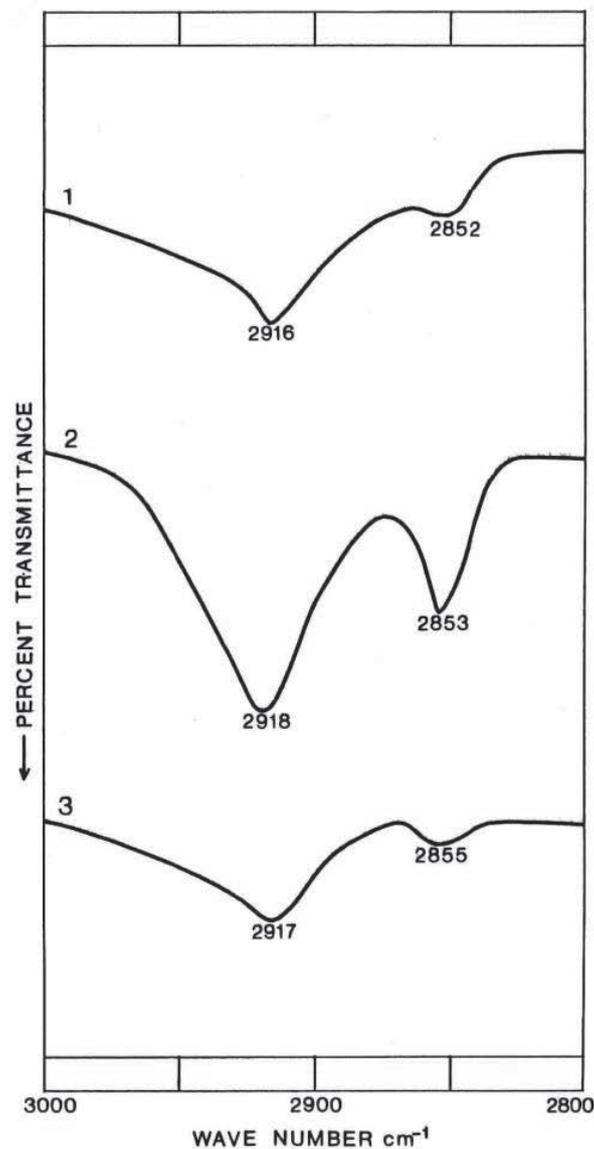


Fig. 6. Infrared absorption spectra ($2800 - 3000 \text{ cm}^{-1}$) of anorthites (An): 1, colourless An from Tonosawa; 2, yellow An from Tonosawa; 3, red An from Hachijojima.

黄色巨晶の包有物である Cpx とよく似た化学組成の Cpx が東北日本背稜帯の日本海側に位置する一ノ目湯産の超塩基性岩ゼノリスの中に存在する (Aoki, 1987) ことも興味深い。また、無色、黄色のいずれの巨晶からも炭化水素が検出されたことから、これらの巨晶を生成したマグマは、スラブ堆積物を取り込んでいると考えられる。炭化水素の少量の含有量から考えて、黄色巨晶においては還元作用が不十分であったと推測できる。黄色の原因については Fe^{3+} が長石の結晶構造の四面体席を占有することによると報告され (Hofmeister and Rossman, 1983)、バイトウナイト、ラブラドライトにおいては、約 0.5 (wt%) の FeO があれば黄色になることが知られている (Schurmann and Hafner, 1972)。さらに、オレゴンのレイクカウンティ産の黄色ラブラドライト中には、FeO に換算して約 0.4 (wt%) の鉄が Fe^{3+} , Fe^{2+} の両方で存在することが報告されている (Bell and Mao, 1973a, b)。しかし無色巨晶にも FeO は 0.41 (wt%) あることから、発色原因はほかにもあると考えられる。Isshiki (1958) は、八丈島産灰長石巨晶の着色原因を微細な赤鉄鉱包有物の存在によるとした。しかし、Nishida *et al.* (1992) は、八丈島産赤色灰長石巨晶の赤色は微細な自然銅の胚胎による反射光を一因とすることを指摘し、稀に Zn の自然亜鉛として検出されると報告している。塔之沢産灰長石巨晶からも亜鉛は検出されており、特に黄色巨晶において最高で 0.13 (wt%) 検出されている。長石中の亜鉛は、多くてせいぜい 100 (ppm) 程度で (Smith and Brown, 1988)、結晶構造内に入る可能性もある。もし Zn が結晶構造席に入ったとしても、それによって色のついた Zinc Silicate は見あたらないことから、無色の可能性が強い。しかし、Zn が自然亜鉛として微粒子として存在すれば発色原因になり得るかも知れない。無色巨晶においては、その母岩に Zn が多いことから、巨晶生成の過程で巨晶中に自然亜鉛として包有され、その後母岩に排出されたと考えられる。従って亜鉛の挙動から考えれば、黄色巨晶は無色巨晶より早い時点で急冷作用を受けたと推測できる。次に無色巨晶と黄色巨晶はその生成過程が全く別であると仮定してみる。これは、着色の有無、産出場所が若干異なること、肉眼観察において母岩に差異が認められること (ICP 分析では顕著な差は認められない)、微量ではあるが無色巨晶は Si に富み黄色巨晶は Al に富んでいること、黄色巨晶に炭化水素が多く検出されることなどによって支持される。この仮定は、前述の Ishikawa (1951) や、本研究における分析結果に基づいて、黄色巨晶の初生マグマが地殻物質や堆積物を取り込んだ時点で既にこれらの組成をより強く反映したものであったと考えたと妥当である。だとすると、黄色巨晶はあらかじめ無色巨晶よりも遷移金属元素や炭化水素に富んでより塩基性の強いメルトから成長したと考えられる。母岩が安山岩であるにもかかわらず Ca に富む斜長石を産するものこのためであろう。以上のことを踏まえて灰長石巨晶の生成プロセスを Fig. 7 に示す。塔之沢産黄色灰長石巨晶中の Cpx は、八丈島産赤色灰長石巨晶中の Cpx と同様に融食形をしているが、本研究の巨晶には融食形をしたオリビンが存在しない。従って、この Cpx は灰長石巨晶に取り込まれる前のどの時点で融食作用を受けたかは定かではない。Cpx は合成研究から $\text{CaZnSi}_2\text{O}_6$ 輝石の存在が知られているが、巨晶中の Cpx は、EPMA の定性分析で Zn を含んでいないことから、巨晶を生成したマグマとは異なったメルトから晶出したものと思われる。

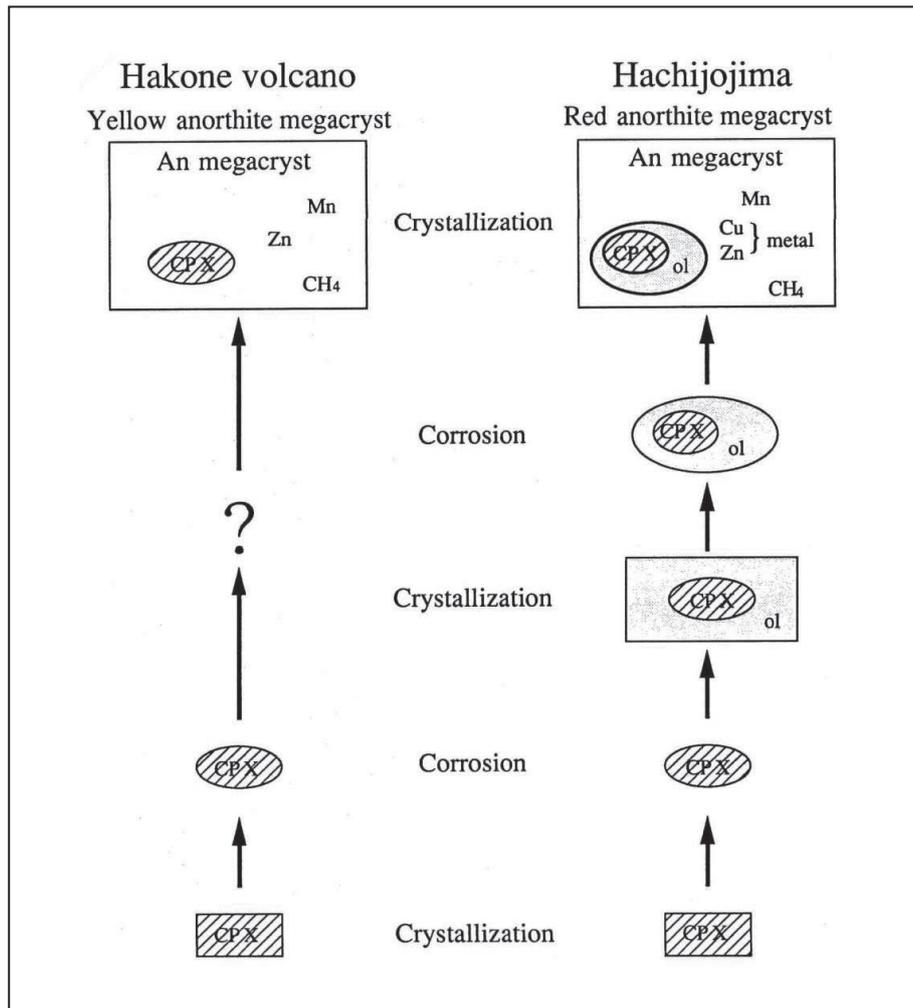


Fig. 7. Genesis of yellow anorthite megacryst from Tonosawa in Hakone Volcano.

10. 結論

明治以来その存在が知られていた箱根火山塔之沢産灰長石巨晶には、無色長石と黄色長石の2つのタイプの巨晶がある。それらの化学組成は、八丈島産及び三宅島産のそれと非常によく似ており、組織的にも同様の裂開が存在する。さらに、Ab-An系以外に、SiとAlに富む微量の端成分で構成され、炭化水素が含まれることもこれらの巨晶に共通する特徴である。黄色灰長石巨晶は、現在のところ塔之沢だけに産出するもので、その発色原因は Fe^{3+} の四面体席占有によると考えられる。また、これらの巨晶は結晶構造的には中間型であり、結晶成長後に急冷を受けたことが推定される。

以上のことから、本研究は長石中での遷移金属の挙動の解明を一步前進させたと同時に、箱根火山塔之沢産灰長石巨晶を生成したマグマには、スラブ堆積物の化学的影響を大きく受けていると結論づけることができる。

謝辞

本論は筆者が筑波大学在籍時におこなった研究の一部を再構成したものです。研究の遂行にあたり終始丁寧に御指導下さいました筑波大学名誉教授の木股三善博士に深く感謝の意を表します。また、本研究を進める過程で貴重なご助言を賜りました同大学名誉教授の下田右博士（故人）に深く感謝いたします。X線単結晶回折データの収集、鉱物の単結晶化学分析、全岩組成及び微量元素分析については、筑波大学分析センター（現筑波大学研究基盤総合センター分析部門）に設置された装置を使用しました。記して御礼申し上げます。

引用文献

- Aoki, K. (1987) Japanese island arc: xenoliths in alkali basalts, high-alumina basalts, and calc-alkaline andesites and dacites. *Mantle Xenoliths*, Edited by P.H. Nixon, John Wiley & Sons Ltd., New York, 319-333.
- Arakawa, Y., Murakami, H., Kimata, M. and Shimoda, S. (1992) Strontium isotope compositions of anorthite and olivine phenocrysts in basaltic lava and scoriae of Miyakejima volcano, Japan. *Journal of Mineralogy, Petrology and Economic Geology*, 87, 226-239.
- Bell, P.M. and Mao, H.K. (1973a) Measurements of the polarized crystal-field spectra of ferrous and ferric iron in seven terrestrial plagioclases. *Carnegie Inst. Washington Year Book* 72, 574-576.
- Bell, P.M. and Mao, H.K. (1973b) An analytical study of iron in plagioclase from Apollo 16 soils 64501, and 64802; Apollo 16 rock 66095; and Apollo 15 rock 15475. *Carnegie Inst. Washington Year Book* 72, 643-645.
- Cebria Gomez, J.M. (1990) A program for pyroxene classification and calculation of end-members. *American Mineralogist*, 75, 1426-1427.
- 原田準平 (1936) 本邦産火山岩中の灰長石に就きて. *火山*, 2, 327-349.
- Hofmeister, A.M. and Rossman, G.R. (1983) Color in feldspars. *Reviews in Mineralogy*. 2, Second Ed. *Feldspar Mineralogy*. Paul H. Ribbe, Ed., Mineralogical Society of America, 271-280.
- Ishii, T. (1991) Lava-flow and subvolcanic magma reservoir composition trends in Ca-poor pyroxenes of Hakone Volcano, Japan. *Journal of Petrology*, 32, 429-450.
- Ishikawa, T. (1951) Petrological significance of large anorthite crystals included in some pyroxene andesites and basalts in Japan. *Journal of Faculty of Science, Hokkaido University*, ser.4, 7, 339-354.
- Isshiki, N. (1958) Notes on rock-forming minerals (3) Red coloration of anorthite from Hachijo-jima. *Journal of Geological Society of Japan*, 64, 644-647.
- Kimata, M., Shimizu, M., Saito, S. and Shimoda, S. (1993) Hydrocarbons within anorthite magacrysts as a window to understanding the arc-magmatic process. *Neues Jahrbuch für Mineralogie Monatshefte*, 408-416.

- Kimata, M., Nishida, N., Shimizu, M., Saito, S., Matsui, T. and Arakawa, Y. (1995) Anorthite megacrysts from island arc basalts. *Mineralogical Magazine*, 59, 1-13.
- Kuno, H. (1950) Petrology of Hakone volcano and the adjacent areas. *Bulletin of the Geological Society of America*, 61, 957-1020.
- Matsui, T. and Kimata, M. (1997) Crystal chemistry of synthetic Mn-bearing anorthite: incorporation of $MnAl_2Si_2O_8$ end-member into feldspar. *European Journal of Mineralogy*, 9, 333-344.
- Murakami, H., Kimata, M. and Shimoda, S. (1991) Native copper included by anorthite from the island of Miyakejima: implication for arc magmatism. *Journal of Mineralogy, Petrology and Economic Geology*, 86, 364-374.
- Nishida, N. Kimata, M. and Arakawa, Y. (1993) Native zinc, copper and brass in the red-clouded anorthite megacryst as probes of the arc-magmatic process. *Naturwissenschaften*, 81, 498-502.
- Scheidegger, K.F. (1973) Determination of structural state of calcic plagioclases by an X-ray powder technique. *American Mineralogist*, 58, 134-136.
- Schurmann, K. and Hafner, S.S. (1972) On the amount of ferric iron in plagioclases from lunar rocks. 3rd Lunar Planet Science Conference, I, 615-621.
- Smith, J.V. (1974) *Feldspar Minerals. 2, Chemical and Textural properties*. Springer-Verlag, Heidelberg, pp.690.
- Smith, J.V. and Brown, W.L. (1988) *Feldspar Minerals. 1*, Springer-Verlag, New York, pp.828.
- Smith, J.V. and Gay, P. (1957) The powder patterns and lattice parameters of plagioclase feldspars. II. *Mineralogical Magazine*, 31, 744-762.
- Wainwright, J.E. and Starkey, J. (1971) A refinement of the structure of anorthite. *Zeitschrift für Kristallographie*, 133, 75-84.