一の目瀉火山の透輝石メガクリスト

Clinopyroxene megacrysts from Itino-megata
volcano, northeastern Japan

青 木 謙一郎 (Ken-ichiro Aoki)*
亀 山 悦 子 (Etsuko Kameyama)*

Abstract : Clinopyroxene and olivine megacrysts with well-developed crystal faces up to 2 cm and 6 mm in size, respectively occur sporadically in air-fall lapilli tuff and explosion breccia of olivine-bearing titanaugite alkali basalt from Itino-megata volcano. They are accompanied by various types of accidental ultramafic and mafic inclusions derived from upper mantle and lower crust. Two clinopyroxenes have been chemically analysed.

The clinopyroxene megacrysts contain considerable amounts of Ca-Tschermak's component (7.6 and 8.9 per cent, respectively). The clinopyroxene and olivine megacrysts are thought to crystallized from enclosing alkali basalt magma as liquidus phases at a depth of about 20 to 30 km in the lower part of the crust in this region, from their mineralogy and chemistry and the experimental work at high pressures and temperatures on natural rock systems.

1. 緒 言

一の目瀉火山は秋田県男鹿半島の西端部にある約 4000 年前 (林, 1955) に生成されたアルカリ玄武岩の降下ラビリ・タフと爆発砕屑物から成る小さな火山である。火口 (径約 650m) は水をたゝえ典型的なマールを形成している。

この火山の一大特徴は多量の異質物質を抛出したことである。これらの異質物質は上部マントルと地殻下部及び上部から運ばれたものであり、岩石学的のみならず地球物理、化学的にも重要な意義をもっている。

著者等は一の目瀉火山の調査中、高圧下においてアルカリ玄武岩マグマから晶出した透輝石とかんらん石のメガクリストを発見した。こゝではそれらの成因について考察する。

なお異質物質の岩石学的研究は林 (1955), Kuno (1967), Kuno and Aoki (1969) 等によってなされている。

2. 産 状

透輝石とかんらん石メガクリストはアルカリ玄武岩の岩塊または降下ラビリ・タフ中に単独結晶として認められる。一の目瀉火山のアルカリ玄武岩マグマは上昇中に上部マント

* 東北大学理学部岩石鉱物鉱床学教室

(昭和 45 年 2 月 4 日受理)

ルや地殻の種々の構成物質を多量に取込んだため、レルゾライトやウェブスタライトから分離した単斜輝石やかんらん石を含み、更にマグマから晶出した透輝石とかんらん石斑晶も含む。従ってメガクリストとその他のものの識別は非常にむずかしい。

透輝石メガクリストは柱面と底面の良く発達した長さ 2.5cm 以下の短柱状自形を呈する。多くのものは火山爆発の前後にこわれ、結晶片となっている。劈開の発達は不良であり、黒曜石様の外観を呈する。鏡下において淡緑色、多色性を示さない。包有物として稀にかんらん石を含む。レルゾライト及びウェブスタライトから由来した単斜輝石は通常長さ 3mm 以下、斜方輝石の融溶片を有し、劈開が発達、他形であり且つしばしば波動消光をするので透輝石メガクリストと識別できる。斑晶普通輝石は 2mm 以下の自形、やや発達した累帯構造を示すことにより区別できる。

かんらん石メガクリストは長さ 6mm 以下の自形結晶である。レルゾライト起源のかんらん石は他形であり且つトランスレーション・ラメラが発達しているので区別できる。しかしながら斑晶かんらん石は長さ 2mm 以下の自形を呈するので、メガクリストとの区別は容易ではない。

3. 化学組成

一の目潟火山噴出物から採集した透輝石メガクリスト 2 個の化学組成を原子比 ($O=6$) と共に第 1 表に示した。比較のため唐津市高島、Dreisel Weiher 及び Armidale, New South Wales のアルカリ玄武岩とペイサイト中の単斜輝石メガクリストの組成を加えた。なお一の目潟透輝石メガクリストのうち、第 1 表 no. 1 は長さ 2cm の単結晶、no. 2 は数個の単結晶片の mixture である。一の目潟透輝石メガクリストはアルカリ玄武岩の斑晶透輝石に比し、 Al_2O_3 に富み、 TiO_2 , total FeO に乏しいのが特徴である。これらは高島や Dreisel Weiher のもの (第 1 表, nos. 4, 6) に類似している。一方、一の目潟レルゾライトとウェブスタライト中の単斜輝石と比較すると、メガクリストは Al_2O_3 , total FeO に富み、 MgO , Cr_2O_3 に乏しい (Kuno and Aoki, 1969)。詳細については次章において述べる。

第 2 表にはかんらん石メガクリストの Fa mol. % を示した。また比較のためレルゾライト、ウェブスタライト及び斑晶かんらん石の組成も加えた。すでに述べたように、かんらん石メガクリストはアルカリ玄武岩の斑晶かんらん石と小さな結晶では区別が困難である。従って透輝石メガクリスト中に包有物としては存在する自形かんらん石 (長さ 6mm) の屈折率を測定し、Fa mol% を求め、これをメガクリストの組成とした。かんらん石メガクリストはいずれも Fa_{12} である。第 2 表から明らかなように、かんらん石メガクリストはレルゾライトのかんらん石よりはやゝ鉄に富むが、ウェブスタライトとほぼ同一の組成であることが判る。

4. 討 論

火山岩中に取込まれて地表に運ばれた種々の同源及び異質包有岩やメガクリストを研究することにより、我々は地下深所の構成物質の物理、化学的性質やマグマの分化作用を考察することができる。最近高温、高圧下における相平衡の実験と包有岩やメガクリストの岩石学的研究が急速に進歩し、新しい事実が次々と判ってきた。種々の玄武岩マグマの

Table 1. Chemical analyses and atomic ratios of clinopyroxene megacrysts from alkali basalts and basanites

	1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂	50.03	49.90	46.56	50.38	48.05	50.43	48.12
TiO ₂	0.54	0.51	1.25	0.60	1.76	0.88	1.95
Al ₂ O ₃	4.86	5.31	8.79	4.93	8.02	5.76	8.76
Fe ₂ O ₃	2.15	2.09	3.08	1.60	2.60	1.77	2.20
Cr ₂ O ₃	0.18	0.28	—	—	0.11	0.40	0.00
FeO	4.10	4.01	5.68	5.31	3.11	3.24	6.30
MnO	0.08	0.08	0.19	0.14	0.10	0.11	0.15
MgO	15.57	15.68	14.31	18.81	13.96	16.12	14.21
NiO	—	—	—	—	—	—	0.05
CaO	21.63	21.62	18.91	17.43	21.15	19.45	16.68
Na ₂ O	0.35	0.35	0.89	0.49	0.83	0.93	1.55
K ₂ O	0.03	0.04	0.03	tr	0.04	0.02	0.05
H ₂ O+	—	—	0.62	0.29	0.40	0.34	0.06
H ₂ O—	—	—	0.02	0.20	—	—	0.02
P ₂ O ₅	—	—	0.04	0.08	—	—	0.05
Total	99.52	99.87	100.37	99.63	100.13	99.54	100.16
Si	1.849	1.838	1.731	1.855	1.769	1.852	1.770
Al	0.212	0.230	0.385	0.214	0.448	0.249	0.379
Ti	0.015	0.014	0.035	0.017	0.049	0.024	0.054
Fe ⁺³	0.060	0.058	0.086	0.044	0.072	0.049	0.061
Cr	0.005	0.008	—	—	0.003	0.011	0.000
Fe ⁺²	0.127	0.123	0.177	0.163	0.096	0.099	0.194
Mn	0.002	0.002	0.006	0.004	0.003	0.004	0.005
Mg	0.857	0.860	0.792	0.997	0.766	0.882	0.778
Ni	—	—	—	—	—	—	0.002
Ca	0.856	0.852	0.753	0.687	0.834	0.765	0.657
Na	0.025	0.025	0.064	0.035	0.059	0.066	0.110
K	0.001	0.002	0.001	0.000	0.002	0.001	0.002
XYZ	4.009	4.012	4.030	4.016	4.001	4.002	4.012
Ca atm. %	45.1	45.0	41.5	36.3	47.1	42.5	38.8
Mg	45.0	45.4	43.7	52.6	43.2	49.1	45.9
Fe	9.9	9.7	14.8	11.1	9.7	8.4	15.3

1. in alkali basalt, Itino-megata (single crystal). Anal. K. Aoki.
2. in alkali basalt, Itino-megata (mixture of few crystals). Anal. K. Aoki.
3. in alkali basalt, Taka-sima (mixture of few crystals). Anal. H. Haramura (Kuno, 1964).
4. in alkali basalt, Taka-sima (a clot of crystals). Anal. H. Haramura (Kuno, 1964).
5. in basanite, Dreisel Weiher (single crystal). Anal. K. Aoki (Aoki and Kushiro, 1968).
6. in basanite, Dreisel Weiher (single crystal). Anal. K. Aoki (Aoki and Kushiro, 1968).
7. in basanitoid, Armidale, New South Wales (single crystal). Anal. G. I. Z. Kalocsai (Binns, 1969).

Table 2. Fa contents in olivines from Itino-megata

	1	2	3	4	5	6	7	8
Fa mol. %	12*	12*	12*	8.8**	9.5**	10.7**	13.8**	24*

* estimated from refractive indices. ** determined by chemical analysis.
 1-3. megacrysts, 4-6. from lherzolites (Kuno and Aoki, 1969), 7. from
 olivine websterite (Kuno and Aoki, 1969), 9. phenocryst (Hayashi, 1955).

Fig. 1. Relative proportions of Al in the tetrahedral site and Al in octahedral site of clinopyroxenes of cognate ultramafic and mafic inclusions and megacrysts in alkali basalts and related rocks. (after Aoki and Kushiro, 1968) Open circles: from Itino-megata volcano.

うち、アルカリ玄武岩マグマ類が最も多種多様の捕獲岩類やメガクリストを含み、研究に適している。

単斜輝石中の4配位と6配位のAlは、マグマから単斜輝石が晶出するときの物理、化学的条件に大きく支配される。わかり易いように輝石の端成分で示すと、玄武岩マグマから低圧下で晶出した単斜輝石は CaSiO_3 , MgSiO_3 及び FeSiO_3 に少量の $\text{CaTiAl}_2\text{O}_6$, $\text{CaFe}_2\text{SiO}_6$, CaFeAlSiO_6 等を含む、一方圧力の増加と共に $\text{CaAl}_2\text{SiO}_6$, $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$ が増加する。第1図に最近10年間に発表されたアルカリ玄武岩類中の同源捕獲岩の単斜

Fig. 2. Relative proportions of $\text{CaAl}_2\text{SiO}_6 + \text{NaAlSi}_2\text{O}_6$ components and $\text{CaTiAl}_2\text{O}_6 + \text{CaFeAlSiO}_6 + \text{CaFe}_2\text{SiO}_6$ components in clinopyroxenes ($O=6$) of various occurrences in basic alkaline rocks of Japan (Aoki, 1970). Solid circles: clinopyroxenes of phenocrysts and groundmass. Open circles: clinopyroxenes of megacrysts and ultramafic inclusions. Numbers refer to Table 1.

輝石，単斜輝石メガクリストの Al^{IV} と Al^{VI} ($O=6$) を示した。原図は Aoki and Kushiro (1968) から転用した。この図から明らかなように，同源捕獲岩やメガクリストは種々の深さで生成されたことが判る。また一の目潟単斜輝石メガクリストは通常みられる斑晶よりも深いところで生成されたことを示している。

次に久城の方法 (Kushiro, 1962) によって計算した輝石成分を $\text{CaTiAl}_2\text{O}_6 + \text{CaFeAlSiO}_6 + \text{CaFe}_2\text{SiO}_6 - \text{CaAl}_2\text{SiO}_6 + \text{NaAlSi}_2\text{O}_6$ 図に点示する (第2図)。この図に於て横軸の成分は主として輝石晶出時のマグマの化学組成に支配され，縦軸の成分に圧力に支配される (Aoki, 1970)。本邦アルカリ玄武岩類の斑晶と石基輝石はすべて横軸と 1:1 の線の間に分布する。一方，最近の高温，高圧実験のデータ及び，包有岩とメガクリスト類の鉱物組合せと化学組成から，ほぼ 20~30km よりも深いところで晶出したと考えられる単斜輝石は 1:1 の線よりも上に点示される。一の目潟のメガクリストも高圧区域に示され，少くとも 20km よりも深いところで晶出したと考えられる。Green and Ringwood (1967) によると，アルカリ玄武岩マグマから，13.5Kb の圧力下においては単斜，斜方両輝石が晶出し，かんらん石は現われない。しかし，9Kb においてはかんらん石が先づ多量に晶出し，つづいて単斜輝石が現われる。一の目潟の単斜輝石メガクリストはか

んらん石メガクリストを包有し、9Kb より浅いところで晶出したことを示している。

一の目瀉の透輝石の $\text{CaAl}_2\text{SiO}_6$ 分子は 25~35km の深さで晶出したと推定される沓岐や高島のもの (Aoki, 1968, Green and Ringwood, 1967) よりもやや少ない、従って 20~30km の深さ (地殻の最下部) においてアルカリ玄武岩マグマから晶出した。

引 用 文 献

- Aoki, K. (1968), Petrogenesis of ultrabasic and basic inclusions in alkali basalts, Iki Island, Japan. *Am. Min.*, **53**, 241~256.
- (1970), Petrology of kaersutite-bearing ultramafic and mafic inclusions in Iki Island, Japan. *Contr. Mineral. and Petrol.*, **25** 270~283.
- and Kushiro, I. (1968), Some clinopyroxenes from ultramafic inclusions in Dreiser Weiher, Eifel. *Contr. Mineral. and Petrol.*, **18**, 326~337.
- Binns, R. A. (1969), High-pressure megacrysts in basanitic lavas near Armidale, New South Wales. *Am. Jour. Sci.*, Schairer Vol. **267-A**, 33~49.
- Green, D. H. and Ringwood, A. E. (1967), The genesis of basaltic magmas. *Contr. Mineral. and Petrol.*, **15**, 103~190.
- 林 宏 (1955), 秋田県男鹿半島一の目瀉周辺の火山抛出力について, *地質雑*, **61**, 240~248.
- Kuno, H. (1964), Aluminian augite and bronzite in alkali olivine basalt from Taka-sima, north Kyusyu, Japan. *Advancing Frontiers Geol. Geophys.* (Krishnan vol.), *Indian Geophys.* 205~220.
- (1967), Mafic and ultramafic nodules from Itino-megata, Japan: Ultramafic and related rocks, edited by P. J. Wyllie, Wiley, New York, 337~342.
- and Aoki, K. (1969), Chemistry of ultramafic nodules and their bearing on the origin of basaltic magmas. *Phys. Earth Planet. Interiors*, **5** (in press).
- Kushiro, I. (1962), Clinopyroxene solid solutions. Part 1. The $\text{CaAl}_2\text{SiO}_6$ component. *Japan. Jour. Geol. Geogr.*, **33**, 213~220.