

マントル・メタソマティズム

理学部 永尾隆志・牧野内志保・阪口美子

1. はじめに

マントル・メタソマティズムについての重要性は、1980年代にはいって急速に認識されるようになった。それは、始源的なマントル物質の極めて少量の部分融解を考えても説明できない特殊なマグマの存在や、火山岩中の異常な鉱物組み合わせや化学組成をもつ超苦鉄質捕獲岩の存在などが明らかになり、このような現象を説明するためには特異なマントル物質の存在が要請されるからである。そのような特異なマントルを形成する作用をマントル・メタソマティズム(mantle metasomatism)とよんでいる。マントル・メタソマティズムは、地球深部に由来する特異な組成をもつ(特殊な元素に富んだ)液相または気相(metasomatic fluid or vapor)が、マントルを構成する鉱物の化学組成を変化させたり鉱物そのものを別の鉱物に変えてしまう反応や、メタソマティックな液相または気相が冷却し新たな鉱物を晶出させマントルの構成を変えてしまう、つまり特殊な元素がマントルに濃集する過程である¹⁾(表1)。

マントル・メタソマティズムの研究は、記載岩石学、同位体岩石学、地球化学など様々な分

野から進められている²⁾が、現時点でも多くの問題点が未解決のまま残されている。

筆者らは、特異な組成の火山岩や、マントル構成鉱物(おもに輝石)の顕微鏡観察、EPMAによる組成の測定、面分析(color mapping analysis)によりマントル・メタソマティズムの進行過程を明らかにする研究を続けている³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾。

本報告では、西南日本のアルカリ玄武岩中に含まれる緑色のFe, Al, Naに富むコアを持つ"green-core clinopyroxene"(以下GCP)や、冠高原デイスサイト中の"green-core orthopyroxene"(以下GOP)とマントル・メタソマティズムとの関連について述べる。

2. "green-core clinopyroxene" の起源

世界中のKに富むアルカリ玄武岩やランプロファイヤーなどに、上記のGCPが記載され、その成因が議論されている。代表的な説は、以下の通りである⁷⁾。

A. アルカリ玄武岩と同源

1. f_{O_2} の増加で逆累帯構造ができた
2. 対流のあるマグマ溜りへの単斜輝石の沈降
3. 高压下の分化トレンド(Mgに富むリムは、チタン磁鉄鉱が先に晶出したため)

B. ゼノクリスト

1. 上昇するアルカリ玄武岩マグマが運搬してきたマントル物質

表1 metasomatic fluidから晶出した鉱物と濃集した元素

Location	Mineralogy	Chemistry
(a) Ataq, South Yemen	pargasitic amphibole, mica	REE
(b) Vulcan's Throne, Arizona	Fe-Ti kaersutite, richterite, pargasite apatite	Na, Ti, Fe
(c) Victoria, Arizona	amphibole, apatite, mica	P, K, T, LREE, Th, U
(d) Uganda and Eifel, Germany	amphibole, mica, sphene, perovskite, apatite, calcite, feldspar, diopside	Na, Al, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Rb, Sr, Y, Zr, Ba La, H ₂ O and CO ₂
(e) South Africa	phlogopite, garnet, K-richiterite	K, Ti, H ₂ O, F, Cl, Fe
(f) Nunivak, Alaska	mica, phlogopite, pargasite, kaersutite	Na, K, Ca, Rb, Sr, Ba, LREE, Ta, U
(g) San Carlos, Arizona	amphibole, phlogopite	P, Rb, Sr, Ba, LREE, Ta, U
(h) Dish Hill, California	kaersutite, pargasite, apatite, mica	Na, K, Ca, Ti

Menzies and Murthy (1980)

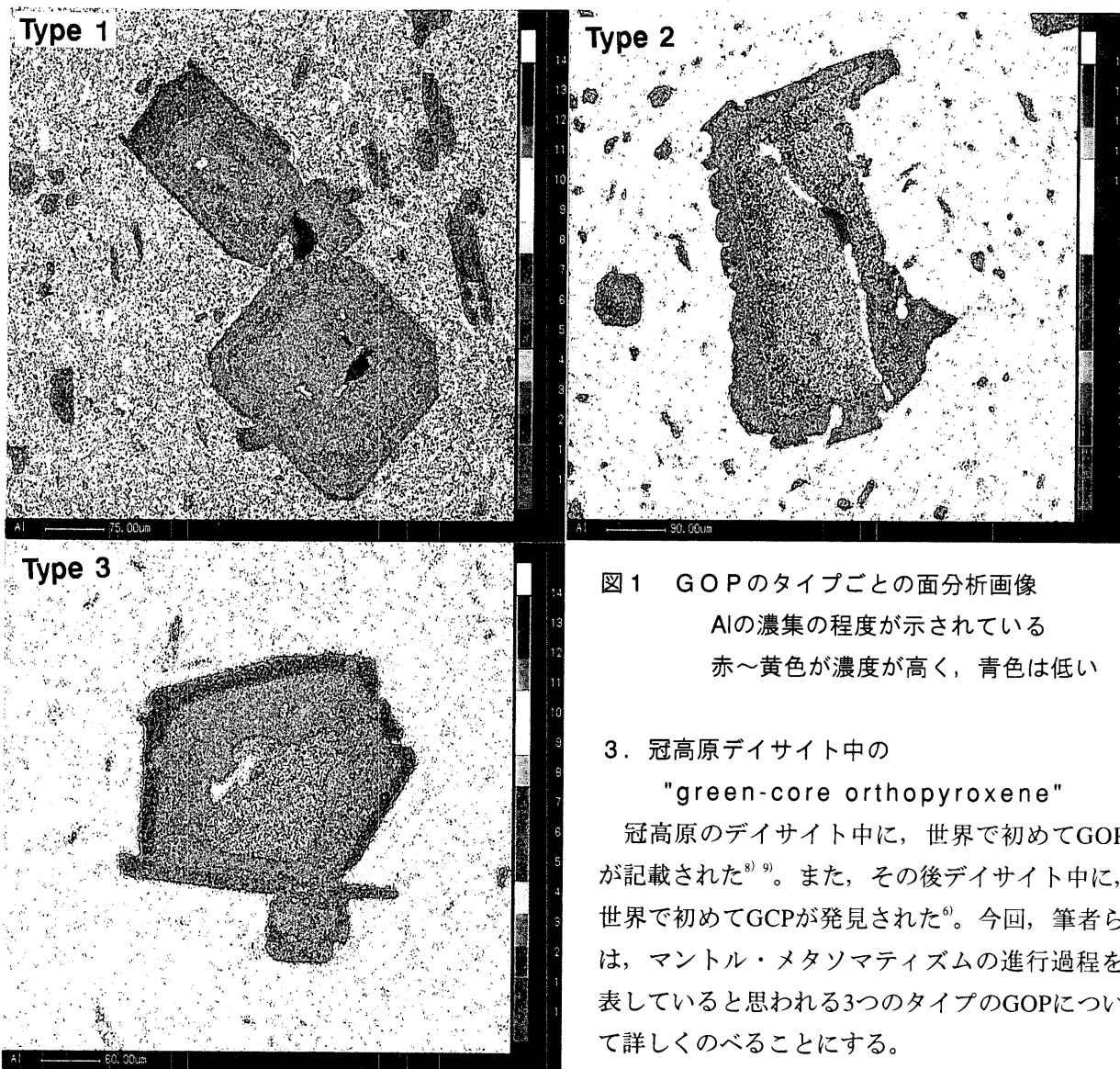


図1 GOPのタイプごとの面分析画像
Alの濃集の程度が示されている
赤～黄色が濃度が高く、青色は低い

3. 冠高原デイサイト中の "green-core orthopyroxene"

冠高原のデイサイト中に、世界で初めてGOPが記載された^{8) 9)}。また、その後デイサイト中に、世界で初めてGCPが発見された⁶⁾。今回、筆者らは、マントル・メタソマティズムの進行過程を表していると思われる3つのタイプのGOPについて詳しくのべることにする。

なお、構成鉱物の化学分析は、山口大学機器分析センターのX線マイクロアナライザー(島津製作所EPMA-V6, 取り出し角52.5°)を用いて行った。測定条件は、加速電圧15KV, 試料電流15nA, 補正法はBance and Albee¹⁰⁾にしたがった。それぞれのタイプの特徴は以下の通りである。

Type 1: 無色のリムと、緑色のマントルで囲まれた無色のコアをもつ斜方輝石斑晶である。コアの組成はブロンザイトで西南日本のマントル起源の斜方輝石の組成と類似している。緑色のマントルは、コアに比べFeOに富んでいる。リムはデイサイトの斑晶の組成と同じである。

Type 2: 緑色のコアの部分は、光学的に均質な斑晶のマントルとリムとはっきり境されている。

① 部分的にメタソマティズムを受けた上部マントル

② 完全にメタソマティズムを受けた上部マントル (herzoliteがメタソマティズムを受けてsalite-apatite-phlogopite noduleに変化した)

2. 分化したアルカリ玄武岩マグマから晶出したFeに富む単斜輝石がより未分化なアルカリ玄武岩マグマと混合した

① 地殻の中で起こる

② 上部マントルで起こる

現在のところ、多くの研究者はB2を支持している。

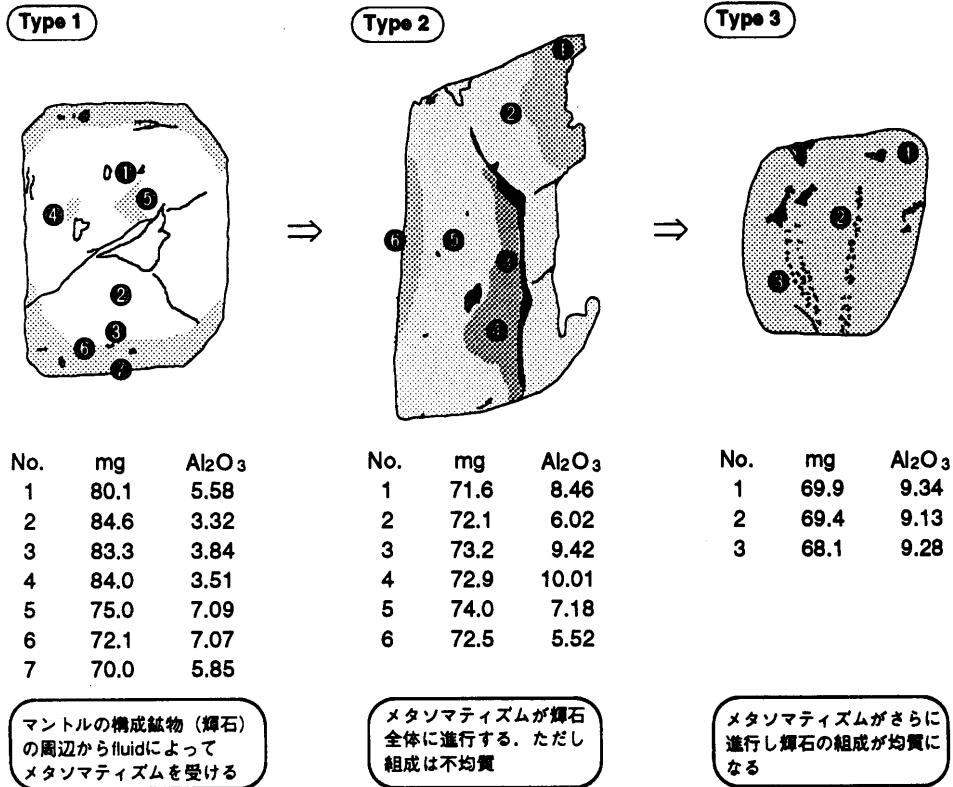


図2 GOPのタイプ分けとメタソマティズムの進行過程 (GOPのmg値とAl₂O₃の関係も示している)

コアは、淡緑色～淡褐色の強い多色性を示し、光学的に不均質である。コアの部分は、mg値(100Mg/Mg+Fe)やAl₂O₃量が場所毎に異なっている。mg値は、71.4～76.8まで、Al₂O₃は、2.45～10.01wt%まで変化する。また、mg値とAl₂O₃量の間には、相関関係はない。緑色のコアを取り巻くマントルとリムは、ブロンザイトでmg値は、82.5～85.02、Al₂O₃は1.61～2.09 wt. %いずれも

コアよりも低い値を示している。また、fluid inclusion trainに沿ってAl₂O₃量が高くなっている。Type 3: 産状はType 2と同じであるが、緑色のコアは、光学的にも化学的にも均質である。また、mg値とAl₂O₃量の組成幅は小さい。

上記の3タイプのGOPの面分析を行ったので、それを図1に示す。また、mg値とAl₂O₃量をスケッチとともに図2に示した。

以上のことから、マントル・メタソマティズムの進行過程を復元する。

Type 1: マントルの構成鉱物、ここでは斜方輝石の周辺からfluidによってメタソマティズムを受け始める。その部分が、緑色のマントルである。コアの部分は、マントルの斜方輝石の組成を示している (図3)。

Type 2: メタソマティズムが、結晶全体に進行するが、完全ではなく組成は極めて不均質である。また、割れ目やfluid inclusion train (metasomatic fluidの通り道)¹¹⁾に沿ってAl₂O₃量が高い。

Type 3: メタソマティズムが完全に進行し、組成が均質になる。結晶中にfluid inclusion trainが数多く観察される。

以上のような過程でメタソマティズムを受けた

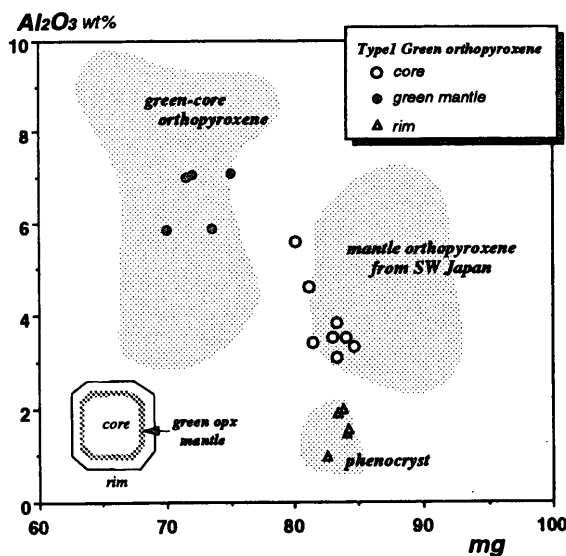


図3 タイプ1のGOPのmg値 - Al₂O₃(wt%)の関係

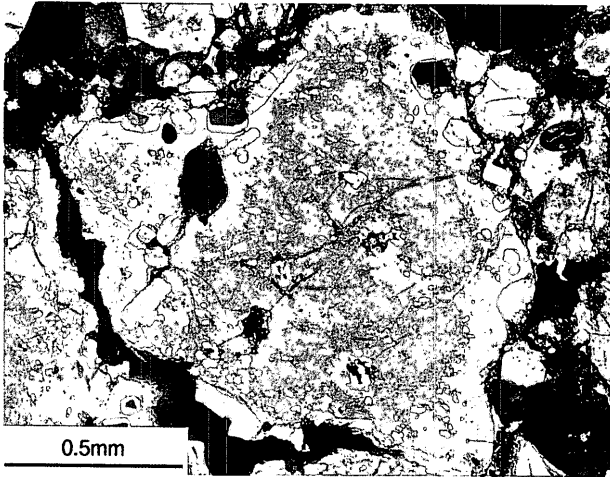


図4 超苦鉄質捕獲岩中の単斜輝石の
Crossed polars の顕微鏡写真

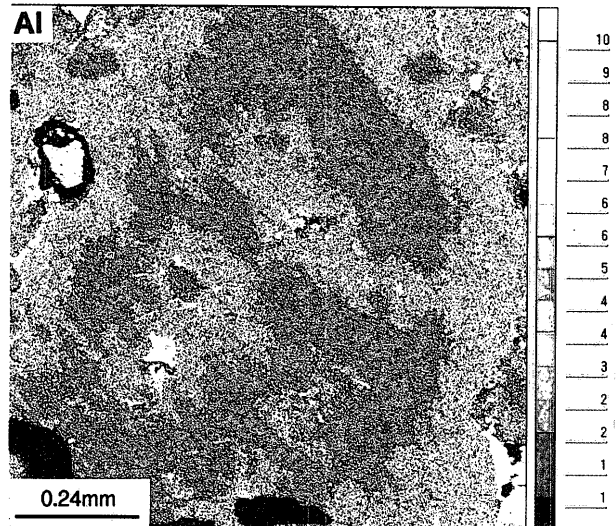


図5 図4の単斜輝石の面分析画像
Al濃集の程度が示されている
赤～黄色が濃度が高く、青色は低い

マントル物質が、母岩のデイサイトマグマに捕獲され、その時または上昇過程でバラバラにされた。メタソマティズムを受けたFeに富む緑色の斜方輝石の周囲に、デイサイト・マグマからの斜方輝石が結晶し、GOPが形成されたと考えられる。

4. 冠高原デイサイト中の苦鉄質捕獲岩

次に、メタソマティズムを不完全に受けた上部マントル起源の超苦鉄質捕獲岩の特徴について述べる。

冠高原のデイサイト中には輝石が主要構成鉱物であるパイロクシナイト類、角閃石が主要構成鉱物であるホルンブレンダイト類の2種類の超苦鉄質捕獲岩が認められる。それらの構成鉱物の一つである単斜輝石には一つの結晶内で干渉色の異なった部分が認められる。例えば図4の様にウェブスタライト中の単斜輝石の干渉色は、中心部で青色であるが、周辺部や中心部の割れ目に沿った部分では赤紫色になっている。これは一般的に火成岩中に認められる規則的な干渉色の変化を示す累帯構造とは異なっている。このような干渉色の不均質は後生的な原因、すなわちメタソマティズムによって生じている可能性が考えられる。そこでこれらの単斜輝石のEPMAでの面分析を行い、元素の分布を明らかにした(図5)。Alについて見ると干渉色が青色の部分では面分析画面では乏しく(青色)干渉色

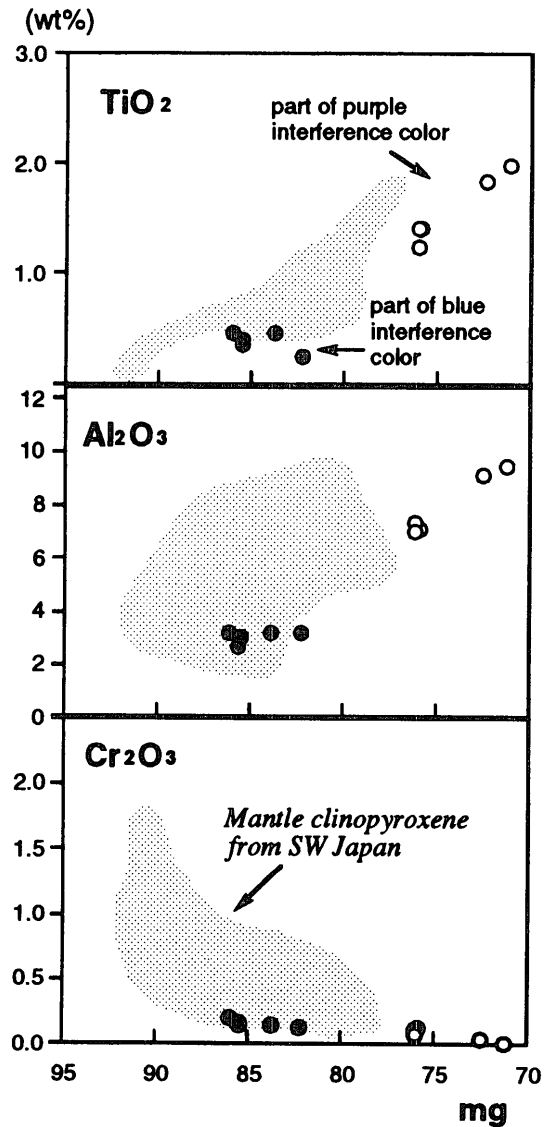


図6 苦鉄質捕獲岩中の単斜輝石の
mg値と酸化物の関係

が赤紫色の部分では富んでいる（黄色から赤色に近い色）ことがわかる。さらにこの単斜輝石の干渉色が青色の部分と赤紫色の部分の定量分析を行ないTiO₂, Al₂O₃, Cr₂O₃について比較を行った。干渉色が青色の部分はmg値82~86, TiO₂ 0.3~0.5wt%, Al₂O₃ 2.6~3.2wt%, Cr₂O₃ 0.13~0.19wt%とほぼ西南日本のマントルゼノリス中の単斜輝石の領域の中に入る（図6）。干渉色が赤紫色の部分はその領域からはずれmg値71~76, TiO₂ 1.2~2wt%, Al₂O₃ 7~9.5wt%, Cr₂O₃で0.01~0.13wt%とTi, Al, Feに富む傾向が認められる。以上のようなEPMAでの面分析, 定量分析の結果から, 先に述べた冠高原デイサイト中の"green-core orthopyroxene"の成因と同様に上部マントルを構成していた単斜輝石が割れ目や結晶の周辺からメタソマティズムを受けTi, Al, Feに富む過程が読みとれる。

5. おわりに

筆者らのGOP, GCPの研究は, 現在主流となっている説（分化したアルカリ玄武岩が比較的高圧下のマグマ溜り中で結晶作用をおこない, それらの結晶が, 新たに注入された未分化なアルカリ玄武岩と混合した）と異なっている。筆者らの今回の研究成果に加えて, 世界中の様々なテクトニック・セッティングで活動した種々のアルカリに富む苦鉄質岩石中に, 緑色~褐色をしたFeに富むGCP, GOPが見いだされ, それらの組成は, 互いに類似した特徴を有していることは, GOP, GCPの成因を考える上で極めて重要である。さらに, 最近筆者らは, マントルで生成されたと考えられている瀬戸内地域の高マグネシア安山岩とその分化岩中にもGCPを発見した。これらのことからGCP, GOPは上部マントルを構成しているメタソマティズムをうけた物質の破片と考えたほうが良いように思われる。

謝辞 機器分析センター長の飯石一明教授には, 本報告の発表の機会を与えていただきました。同 森福洋二氏には, EPMA分析にあたりご援助いただきました。厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) Menzies, M.A. and Murthy, V.R., (1980); Nd and Sr isotope geochemistry of hydrous mantle nodules and their host alkali basalts: implications for local heterogeneities in metasomatically veined mantle. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 46, 323 - 334.
- 2) Menzies, M.A. and Hawkesworth, C.J.,(eds.) (1987); *Mantle Metasomatism*. Academic Press, pp472, London.
- 3) 永尾隆志, 藤林紀枝, (1989); 中国山地、世羅台地のKに富むランプロファイヤー. *岩鉱*, 84, 270-277.
- 4) 永尾隆志, 藤林紀枝, 加々美寛雄, 田崎耕市, 高田小百合, (1990); 中国山地、横田地域のSrに富む新生代アルカリ玄武岩の起源. *地質雑*, 96, 759-803.
- 5) Nagao, T., Fujibayashi, N. and Kagami, H., (1992); Sr-rich basalt and highly potassic lamprophyre in SW Japan: Evidence for mantle metasomatism. *Abstracts for 29th International Geological Congree*, 570.
- 6) 牧野内志保, 永尾隆志, 池田正道, (1994); 冠高原のデイサイト中の"green-core pyroxene"と超苦鉄質捕獲岩の起源. *日本火山学会1994年度秋季大会講演予稿集*, 207
- 7) Duda, A. and Schmincke, H.-U., (1985), Polybaric differentiation of alkali basaltic magmas; evidence from green-core clinopyroxene (Eifel, FRG). *Contrib. Mineral. Petrol.*, 91, 340 - 353.
- 8) 池田正道, (1987); 広島・山口県境の新生代アルカリ火山岩類と捕獲岩の岩石学的研究. *山口大学理学部卒業論文(手記)*, p205.
- 9) 池田正道, 永尾隆志, (1987); 広島・山口県境、冠高原の新生代アルカリ玄武岩と非アルカリ質安山岩・デイサイト. *日本火山学会講演予稿集*, 1, 80.
- 10) Bence, A.E. and Albee, A.L., (1968); *Empirical*

correction factors for the electron microanalysis of silicate and oxides. *J. Geol.*, 76, 382 - 403.

- 11) Lloyd, F.E., (1981); Upper mantle metasomatism beneath a continental rift: clinopyroxenes in alkali mafic lavas and nodules from South West Uganda. *Mineral. Mag.*, 44, 315 - 323.