

鹿児島県大隈花崗閃緑岩体北東部の鉛直組成変化

著者	西村 光史, 山本 温彦
雑誌名	鹿児島大学理学部紀要. 地学・生物学
巻	27
ページ	101-111
別言語のタイトル	Vertical Compositional Variation in the Northeastern Part of Osumi Granodiorite Batholith, Kagoshima Prefecture, Japan
URL	http://hdl.handle.net/10232/00009992

鹿児島県大隅花崗閃緑岩体北東部の鉛直組成変化

西村光史*・山本温彦**

(1994年9月12日受理)

Vertical Compositional Variation in the Northeastern Part of
Osumi Granodiorite Batholith, Kagoshima Prefecture, Japan

Koshi NISHIMURA* and Masahiko YAMAMOTO**

Abstract

The vertical compositional variation from the sea level to about 900 meters level in the northeastern part of Osumi granodiorite batholith of the Miocene age was petrologically studied. Rocks exposed in the present area are mainly composed of a granodiorite to a granite, containing garnet, orthopyroxene and/or cummingtonite as an accessory mineral. The characteristic accessory mineral association varies vertically as follows: the garnet-bearing rock occurs along the sea coast; the cummingtonite-bearing rock occurs in the higher level; and the orthopyroxene-cummingtonite-bearing rock occurs in the middle level. The bulk compositions are fairly uniform throughout the rocks, but the FeO^*/MgO ratio of the garnet-bearing rocks is slightly higher than that of the other rocks.

It can be suggested that the characteristic accessory minerals were recrystallised by the metamorphic reactions during ultrametamorphism with partial melting in the deeper depths. With increasing the metamorphic grade the characteristic accessory minerals change from cummingtonite through orthopyroxene to garnet. It can be also suggested, therefore, that a cummingtonite-bearing granitic melt intruded first and a garnet-bearing one was supplied later.

はじめに

西南日本外帯には、紀伊半島から屋久島までの約700kmにわたり新第三紀花崗岩類が点在し

* 九州大学理学部地球惑星科学教室 (Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Science, Kyushu University, Fukuoka 812, Japan)

** 鹿児島大学理学部地学教室 (Institute of Earth Sciences, Faculty of Science, Kagoshima University, Kagoshima 890, Japan)

ている。中新世大隅花崗閃緑岩体は、鹿児島県大隅半島の東部の約 $15 \times 50 \text{ km}^2$ の広い範囲に分布しており、西南日本外帯型花崗岩体中最大の露出面積をもつバソリス状岩体である。

大隅花崗閃緑岩体についての岩石学的及び岩石化学的研究には、KAWANO *et al.* (1966), 野沢・太田 (1967), 大庭 (1960, 1961, 1962), ŌBA (1965), 山本ほか (1983) などがある。山本ほか (1983) は、本岩体を粒度及びマフィック鉱物の種類と相対的存在量に基づいて7つの岩型に分け、辺田大川型・大浦型・高山型・花瀬型の4主岩体からなり、川口型・甫与志岳型・国見型の小岩体を伴うと報告している。

今回、大隅花崗閃緑岩体の北東部、高山型岩体の分布地域に相当する範囲の調査を行った。高山型の岩石は、ザクロ石含有黒雲母花崗閃緑岩～花崗岩からなり、副成分鉱物としてザクロ石を含むことによって特徴づけられている。しかしながら、本調査範囲の岩石には、ザクロ石のほか、副成分鉱物として含まれる斜方輝石及びカミングトン閃石の分布に偏りが見られ、海拔0 mから約900 mまでの岩相の鉛直変化が見られる。本報では、大隅花崗閃緑岩体北東部における岩石のモード組成及び化学組成に基づいて、岩相変化の成因について考察することとする。

本研究の過程において、鹿児島大学理学部の富田克利教授には有益な助言を頂いた。ここに厚く御礼申し上げる。

大隅花崗閃緑岩体

Fig. 1 に山本ほか (1983) による大隅花崗閃緑岩体及びその周辺地域の地質図を示す。なお、Fig. 1 では、今回の調査による岩体北東部の岩型区分を一部改定してある。今回の調査は岩体北東部のみであるが、ここでは岩体全体を概観することとする。

大隅花崗閃緑岩体は、暁新世～中新世前期の日南層群を非調和に貫いて、北東－南西方向に伸びた帯状の分布を示している。岩体近くの被進入堆積岩類は、接触変成作用を受けホルンフェルス化している。被進入堆積岩類と花崗閃緑岩体との境界面は、岩体の外側に向かって傾斜しており、その傾斜は岩体の西部では急で、岩体の南部ではやや緩くなっている (山本ほか, 1983)。花崗閃緑岩体の黒雲母によるK-Ar年代は、 $14 \pm 1 \text{ Ma}$ (MILLER *et al.*, 1962; 柴田, 1978) であり、Rb-Sr年代は12 Ma (早瀬・石坂, 1967; YANAGI *et al.*, 1971) である。

山本ほか (1983) は、大隅花崗閃緑岩体を主に粒度及びマフィック鉱物の種類と相対的存在量に基づいて7つの岩型に区分しており、主岩体は辺田大川型・大浦型・高山型・花瀬型の4岩体からなり、川口型・甫与志岳型・国見型の小岩体を伴うと報告している (Fig. 1)。辺田大川型岩石は、やや暗色、中～細粒、やや斑状の普通角閃石含有黒雲母花崗閃緑岩～花崗岩からなり、花瀬型岩石と漸移する。普通角閃石を含むことによって特徴づけられる。大浦型岩石は、やや暗色、中～細粒、斑状～やや斑状の斜方輝石カミングトン閃石含有黒雲母花崗閃緑岩～花崗岩からなり、花瀬型・高山型・川口型・甫与志岳型・国見型の各岩石と漸移する。斜方輝石・カミングトン閃石を含むことによって特徴づけられる。高山型岩石は、やや明色、中粒、斑状～やや斑状のザクロ石含有黒雲母花崗閃緑岩～花崗岩からなり、大浦型・川口型・国見型の各岩石と漸移する。ザクロ石・尖晶石を含むことによって特徴づけられる。花瀬型岩石は、明色、粗～中粒、斑状～粒状のカミングトン閃石含有黒雲母花崗岩～花崗閃緑岩からなり、辺田大川型・大浦型・甫与志岳型の各岩石と漸移する。カミングトン閃石を含むことによって特徴づけられる。川口型岩石は、暗色～やや暗色、粗～細粒、斑状～やや斑状の斜方輝石カミングトン閃石含有黒雲母花崗閃緑岩～花崗岩からなり、まれにザクロ石・白雲母・電気石を含む。甫与志岳型岩石は、明色、

中～細粒，斑状の黒雲母花崗閃緑岩～花崗岩からなり，まれに白雲母・ザクロ石・尖晶石を伴い，多量の捕獲岩を含む。国見型岩石は，細粒の白雲母黒雲母アプライト質花崗岩からなり，ザクロ石を伴い，多量の捕獲岩を含む。

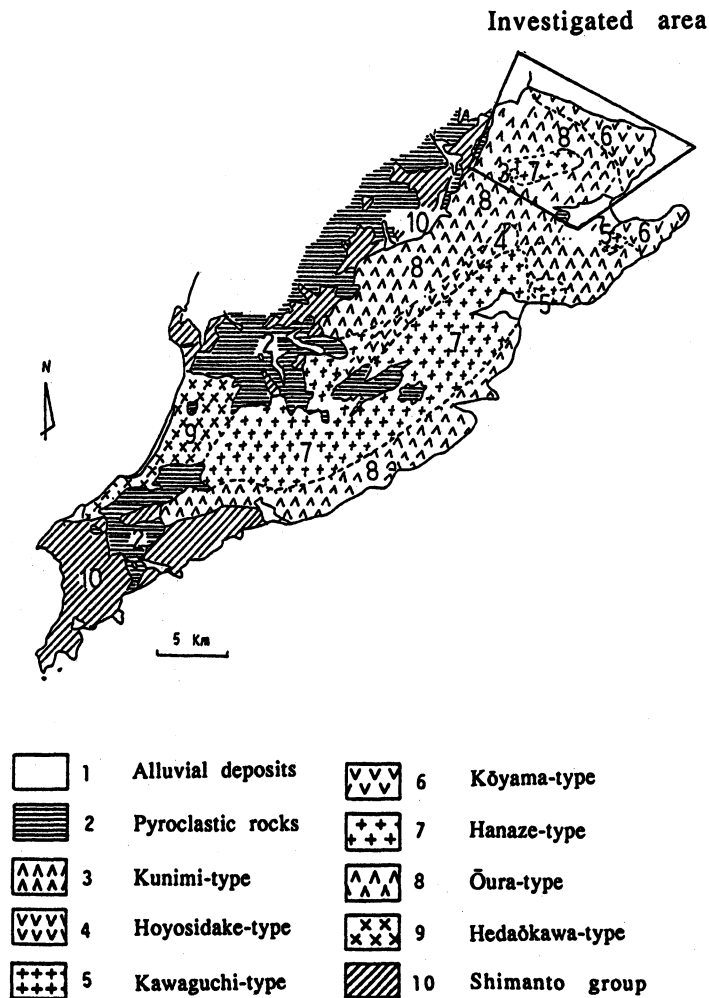


Fig. 1. Geologic map of the Osumi granodiorite batholith.

岩体北東部における鉱物組み合わせの変化

今回の調査地域である大隅花崗閃緑岩体北東部 (Fig. 1) において，国見型小岩体を除いた地域は，これまで高山型岩体として一括されてきた。本地域の岩石は，主成分鉱物として石英，斜長石，カリ長石，黒雲母を含み，副成分鉱物としてザクロ石，カミングトン閃石，斜方輝石，リン灰石，ジルコン，チタン鉄鉱，磁硫鉄鉱，黄銅鉱，電気石，スピネルを含む。また，後生鉱物として緑泥石，方解石，スフェーン，黄鉄鉱，沸石が認められる。主成分鉱物の量比や組織などは，本地域の岩石全体を通してほぼ均質であるが，副成分鉱物のうち，ザクロ石，斜方輝石及びカミングトン閃石の分布には，鉛直的な変化が見られることが分かった。

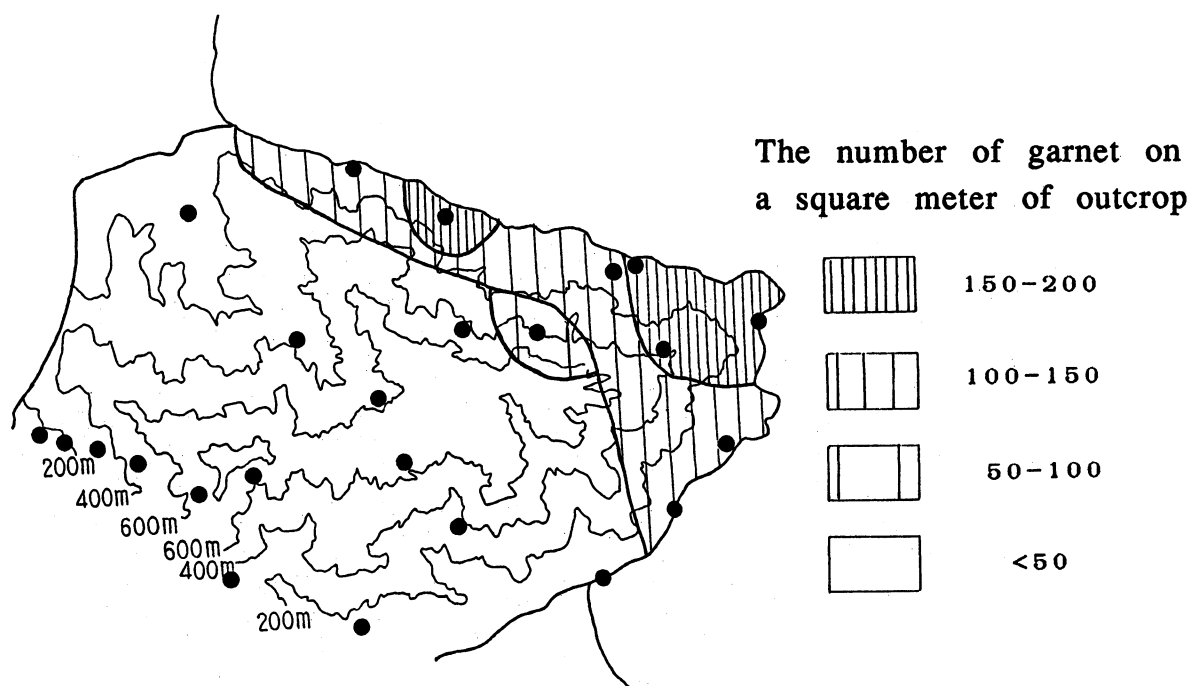


Fig. 2. Map showing the amount of garnet crystals.

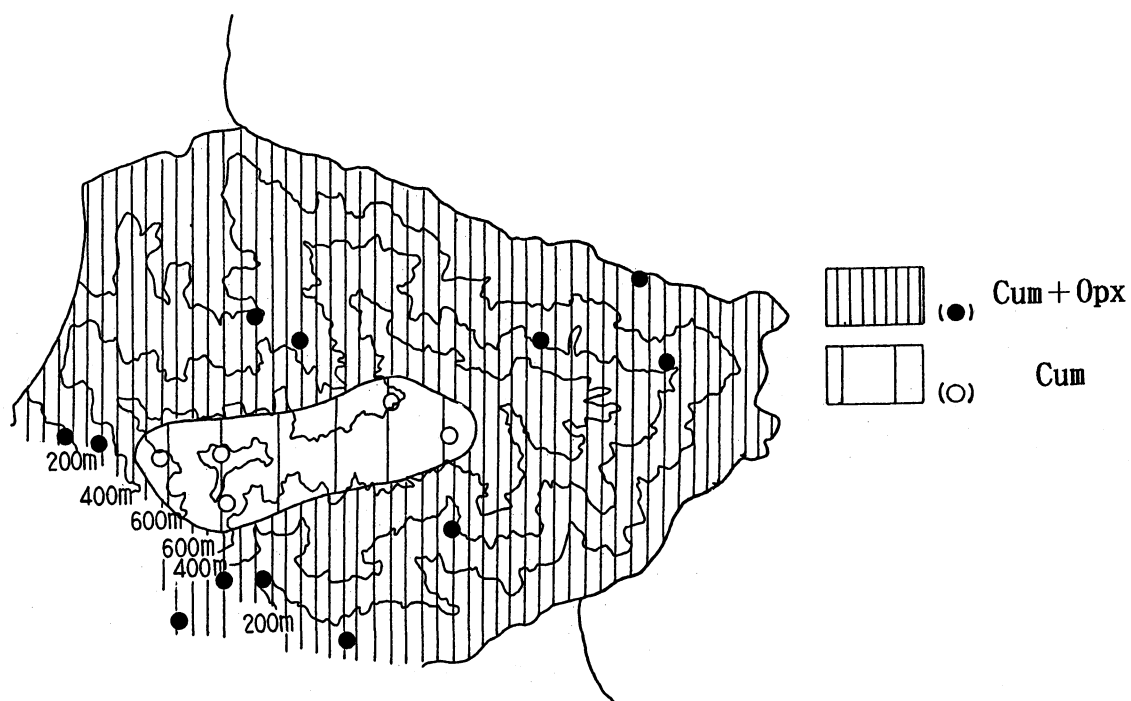


Fig. 3. Map showing distribution of orthopyroxene-cummingtonite-bearing rocks and cummingtonite-rocks.

1. ザクロ石の分布

ザクロ石は絶対量が少ないため、出現頻度を調べる方法として、露頭1 m²中の個数を数えることとした。Fig. 2 にザクロ石の頻度分布図を示す。ザクロ石は明らかに北東部の低位置に偏在しており、100~200個/m²のザクロ石を含む岩石が海岸に沿うように分布している。一方、高度の高い中央部付近になると、ザクロ石の量は激減し殆どゼロになってしまう。

2. 斜方輝石及びカミングトン閃石の分布

Fig. 3 に鏡下観察により確認された斜方輝石とカミングトン閃石の分布を示す。カミングトン閃石は、繊維状で、黒雲母とともにクロットを形成することが多く、本地域の岩石全体で見ることができる。斜方輝石は、自形で、カミングトン閃石に伴って産出し、海拔0mから約600mまで確認することができる。高度約600mからトップの約900mまでは、斜方輝石は見られず、カミングトン閃石のみが見られる。

これらの3つの副成分鉱物に着目すると、本調査地域の岩石は、高度の低い地点から高い地点へ向かって、ザクロ石の多い岩石、ザクロ石が殆どなく斜方輝石+カミングトン閃石で特徴づけられる岩石、カミングトン閃石のみが見られる岩石の順に変化していく。よって、山本ほか(1983)の分類に従い、調査地域の岩型区分を分類しなおすと、下部から上部に向かって、高山型岩石、大浦型岩石、花瀬型岩石の3つの岩型岩石が分布することになる(Fig. 1)。なお、小岩体の国見型岩石は、花瀬型岩体を貫いて露出している。

Fig. 4 に色指数と高度との関係を示す。国見型岩石はアプライト質の岩石であり、10%以下の低い色指数をもつ。また、花瀬型岩石は国見型岩石と漸移しているため、その境界付近では色指数が低くなっている。これらのアプライト質岩石を除くと、高山型岩石の色指数が他のものに比べて2%ほど低くなっていることがわかる。これは、高山型岩石が大浦型、花瀬型岩石に比べてクロットに乏しいことによると思われる。クロットは主に黒雲母・斜長石・カミングトン閃石・斜方輝石よりなっている。

化 学 組 成

1. 岩石の化学組成

岩石の化学組成と高度との関係をFig. 4 に示す。Total FeO・MgO・TiO₂の含有量は、黒雲母の量比に強く支配されるために似かよった挙動を示している。国見型のアプライト質岩石を除くと、これら3元素の含有量は、本調査地域の岩石を通してほぼ一定で、高度による変化は見られない。また、CaOとK₂Oは互いに補償的な挙動を示しており、国見型のアプライト質岩石は、CaOに乏しく、K₂Oに富んでいる。国見型のものを除くと、CaO・K₂Oの含有量にも目立った高度による変化は認められず、殆ど一定である。CaOのグラフでややばらつきがあるのは、斜長石のモードに違いがあるためと思われる。Total FeO/MgO比は、国見型のアプライト質岩石のものが著しく大きく、分化とともにマフィック鉱物のTotal Fe/(Total Fe+Mg)比が増大するというISHIHARA(1977, 1981)のチタン鉄鉱系列の特徴を反映しているものと思われる。また、Total FeO/MgO比は、大浦型岩石や花瀬型岩石に比べて、高山型岩石で大きいことがわかる。

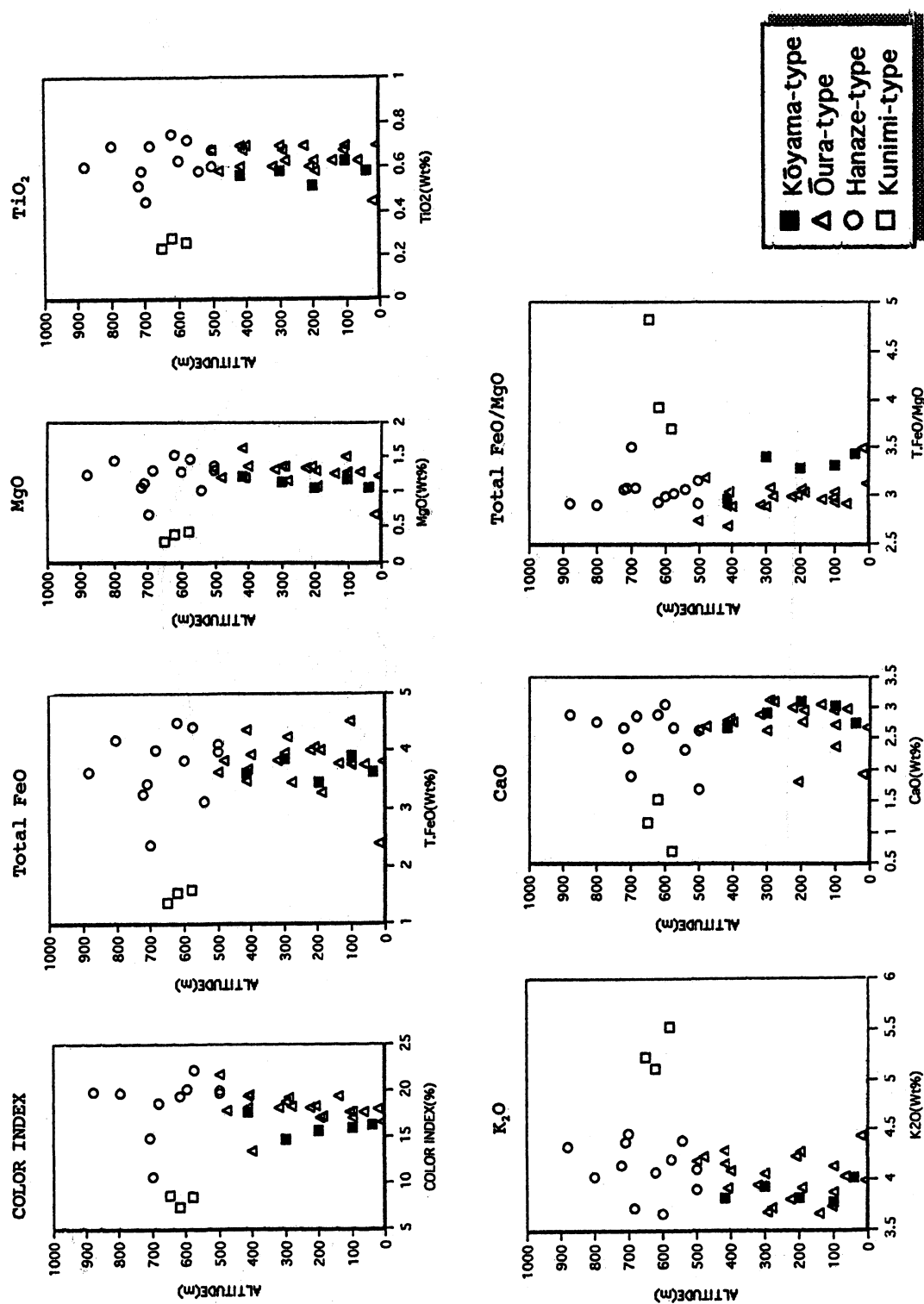


Fig. 4. Vertical variation of color indices and chemical compositions.

Table 1. Chemical composition of biotites

Rock type	Koyama	Oura			Hanaze	
Sample No.	8032315-1*	R1-10	R1-100	R1-300	R1-685	R3-575
T.FeO	23.61	21.24	20.97	20.75	20.88	20.58
MgO	7.78	7.04	7.30	7.03	6.91	6.94
TiO ₂	4.78	4.91	5.33	5.54	5.61	5.75
T.FeO/MgO	3.03	3.02	2.87	2.93	3.02	2.96

*Yamauchi (1978)

2. 黒雲母の化学組成

Table 1 に高山型岩石、大浦型岩石及び花瀬型岩石中の黒雲母の化学組成を示す。化学分析は黒雲母を等磁力線分離機で分離・純化したものを用いて行った。なお、高山型岩石中の黒雲母のデータは、山内 (1978) のものを OBA *et al.* (1982) から引用した。いずれの岩型岩石中の黒雲母も化学組成に大差はなく、Total FeO/MgO比は3付近に集中している。この値は、大浦型岩石及び花瀬型岩石の全岩のTotal FeO/MgO比 (Fig. 4) にほぼ等しい。

このように、高山型岩石のTotal FeO/MgO比は、大浦型岩石及び花瀬型岩石のものより大きいにもかかわらず、高山型岩石中の黒雲母のTotal FeO/MgO比は、大浦型岩石及び花瀬型岩石中のものとほぼ同じ値になる。このことから、高山型岩石のTotal FeO/MgO比は、黒雲母以外のマフィック鉱物によって増大させられていることが考えられる。Table 2 に山本ほか (1983) による大隅花崗閃緑岩中のマフィック鉱物の化学組成を示す。高山型岩石に多量に含まれるザクロ石は、Total FeO/MgO比が最も大きく、コアでは10.2にも達する。よって、このザクロ石の存在が高山型岩石のTotal FeO/MgO比を僅かに増大させていると考えられる。

高山型岩石、大浦型岩石及び花瀬型岩石の成因

高山型、大浦型及び花瀬型の岩石は、全岩化学組成においてはほぼ均質であるが、特徴的副成分鉱物の種類及び組み合わせは、各岩型により異なり、高山型岩石はザクロ石、大浦型岩石は斜方輝石+カミングトン閃石、及び花瀬型岩石はカミングトン閃石によって特徴づけられる。ここでは、副成分鉱物の種類に違いを生じた原因を考察してみることとする。

Table 2 でこれらの副成分鉱物の化学組成を見てみると、いずれも変成作用によって形成可能な組成をしていることが分かる。WHITE and CHAPPELL (1977) は、S-typeの花崗岩質マグマを、既存の堆積岩類が超変成作用 (ultrametamorphism) を受け、部分熔融した結果生じた液相とその熔融残渣 (restite) との混合物であるとした。本地域の花崗閃緑岩は、S-typeに相当し (中田・高橋, 1979), このモデルに従うと、ザクロ石・斜方輝石・カミングトン閃石は、熔融残渣と見なすことができる。このように変成岩的な見方をすると、本地域のザクロ石と斜方輝石は、いずれもMgOがコアで低くリムで高いという累進的な組成をしている (Table 2) こと

Table 2. Chemical compositions of mafic minerals from rocks of Osumi granodiorite batholith (after YAMAMOTO *et al.*, 1983)

	Orthopyroxene		Cumming- tonite	Garnet		Biotite	Biotite
	Core	Rim		Core	Rim		
SiO ₂	50.08	50.53	51.94	36.82	37.16	35.61	34.56
TiO ₂			0.09	0.11	0.02	3.73	4.78
Al ₂ O ₃	0.32	0.76	0.44	21.95	22.78	14.14	16.39
Cr ₂ O ₃				0.26	0.26		
FeO*	36.24	33.55	30.24	28.27	30.18	21.88	23.61
MnO	2.60	1.03	1.28	4.13	0.34	0.16	0.65
MgO	10.90	13.82	12.92	2.77	8.02	10.46	7.78
CaO	0.22	0.46	0.72	6.35	1.72	0.10	0.06
Na ₂ O			0.17			0.23	0.21
K ₂ O			0.01			9.02	9.05
Total	100.36	100.15	97.81	100.66	100.48	95.33	97.08
Fe/Fe+Mg	0.651	0.577	0.568	0.851	0.679	0.539	0.633
FeO*/MgO	3.32	2.43	2.35	10.2	3.76	2.09	3.03

* Total Fe as FeO.

から、しだいに変成度が高くなっていくような環境で形成されたものであると考えることができる。これを説明するには、上部マントル又は下部地殻起源の高温マグマから堆積岩類に熱が供給され、部分溶融が盛んに起こり出すとともに超変成作用の変成度も高くなっていったと考えると最もうまくいく。なぜなら、花崗岩類を形成するに至ったマグマは800℃以上の高温を示し、地温勾配の上昇による超変成作用の結果生じたものとは考えにくく、どうしても他からの熱の供給を必要とするからである。また、本岩体に多量の塩基性捕獲岩が含まれる（山本ほか、1983；立石ほか、1986）こともこのことを支持するものである。

このように、本岩体中の特徴的副成分鉱物を部分溶融に伴う超変成作用によって形成されたものであると考えると、その種類の違いは変成度の違いによって説明できる。すなわち、Fig. 5に示すように、化学的に均質な泥質起源物質が部分溶融し、超変成作用が起こる場合を考えると、浅いところでは温度・圧力とも小さいため、低変成度のカミングトン閃石が形成され、深さが増すにつれて斜方輝石からザクロ石へと、しだいに高変成度の鉱物が形成されるようになる。このときの変成作用は、グラニュライト相～エクロジャイト相のものに相当すると考えられる。このようにして生じた花崗岩質マグマが、上のものから順次、地下浅所に進入していくと、Fig. 6のように高度の高い位置にカミングトン閃石によって特徴づけられる花瀬型岩石、中間の位置に斜方輝石+カミングトン閃石で特徴づけられる大浦型岩石、そして低位置にザクロ石で特徴づけられる高山型岩石を形成することになる。

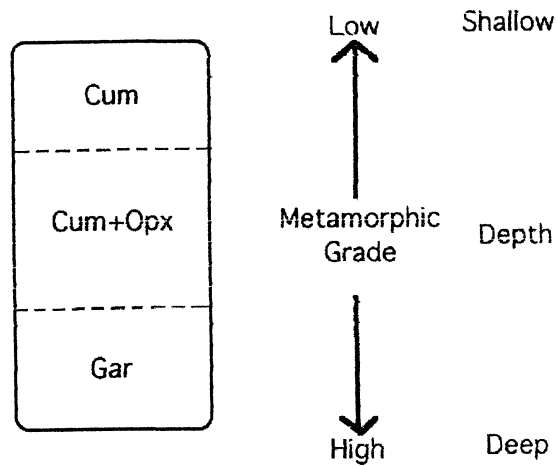


Fig. 5. Vertical variation of metamorphic mineral species with ultrametamorphism.

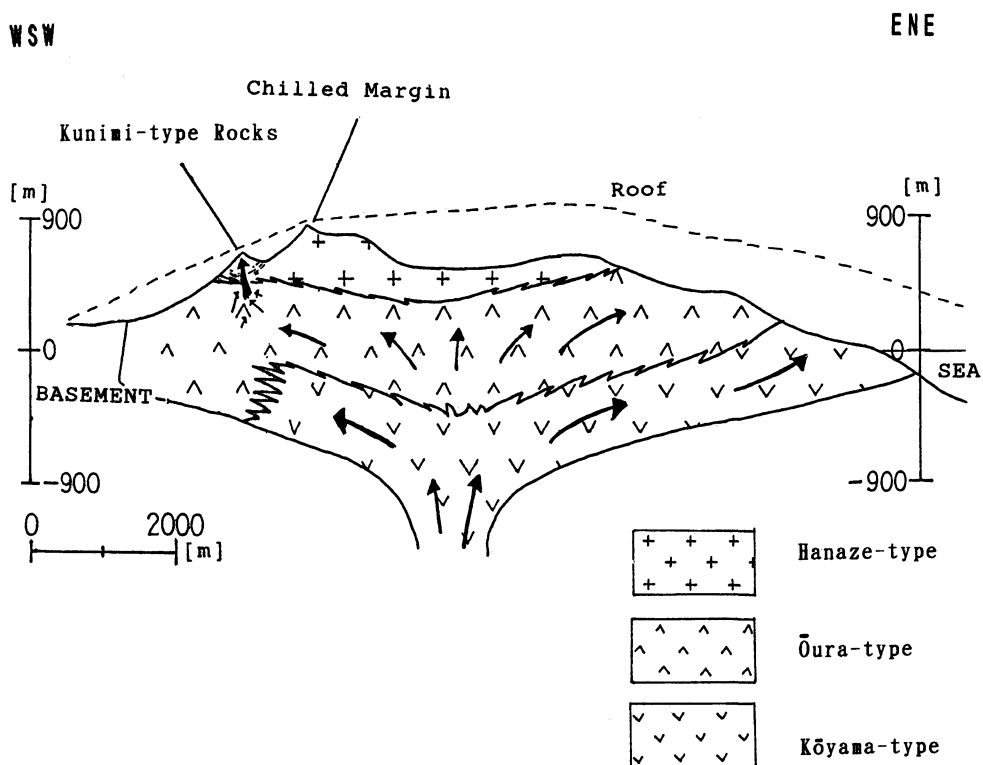


Fig. 6. A genetical model in the northeastern part of Osumi granodiorite batholith.

ま と め

大隅花崗閃緑岩体北東部では、アプライト質岩石の国見型小岩体を除くと、全岩化学組成がほぼ均質であるが、副成分鉱物の種類に高度変化が見られる。山本ほか(1983)の特徴的副成分鉱物による岩石の分類に従うと、高度の高い位置にカミングトン閃石で特徴づけられる花瀬型岩石、中間の位置に斜方輝石+カミングトン閃石で特徴づけられる大浦型岩石、そして高度の低い位置にザクロ石で特徴づけられる高山型岩石が分布することになる。これらの副成分鉱物は超変成作用を受けた溶融残渣と考えられる。斜方輝石・ザクロ石の累帯構造は、累進的な組成変化を示しており、これらの副成分鉱物が次第に変成度の高くなっていく環境で生成したことを示唆している。このことから、上部マントル又は下部地殻起源の高温マグマからの熱の供給により堆積岩質起源物質に部分溶融が大規模に起こり出し、超変成作用の変成度が上がっていったと考えることができる。超変成作用を受ける場所が深くなるほど高変成度の鉱物が出現し、浅い場所から深くなるに従ってカミングトン閃石、斜方輝石、ザクロ石がそれぞれ形成される。これらの副成分鉱物を含む花崗岩質マグマが上のものから順次進入し、上下関係を変えずにそのまま固結すれば、花瀬型岩石・大浦型岩石・高山型岩石を形成し得る。

文 献

- 早瀬一・石坂恭一 (1967): Rb-Srによる地質年代 (I), 西南日本. 岩鉱, **58**, 201-212.
- ISHIHARA, S. (1977): The Magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks. *Mining Geol.*, **2**, 293-305.
- (1981): The granitoid series and mineralization. *Econ. Geol.*, 75th Anniversary Vol., 458-484.
- KAWANO, M., TAKAHASHI, K., and NOZAWA, T. (1966): Petrochemistry of Minami-osumi granite in the Uchinoura area, Kyushu, Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **17**, 533-543.
- MILLER, J. A., SHIBATA, K. and KAWACHI, Y. (1962): Potassium-argon ages of granitic rocks from the Outer zone of Kyushu, Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **13**, 712-714.
- 中田節也・高橋正樹 (1979): 西南日本外帯・瀬戸内区における中新世の中性～珪長質マグマの化学組成広域的变化. 地質雑, **85**, 571-582.
- 野沢 保・太田良平 (1967): 5 万分の 1 地質図幅「内之浦」および同説明書. 地質調査所, 37p.
- 大庭 昇 (1960): 南大隅花崗岩. 資源研彙報, Nos. 52-53, 127-135.
- (1961): 大隅花崗岩の岩石化学的研究, 特にその不均質性と片状構造. 資源研彙報, Nos. 54-55, 191-201.
- (1962): 大隅花崗岩における汚染影響. 資源研彙報, Nos. 56-57, 148-152.
- ŌBA, N. (1965): The heterogeneity on the Osumi granodiorite. *Sci. Rep. Kagoshima Univ.*, No.14, 59-70.
- , TOMITA, K., YAMAMOTO, M., YAMASHITA, H., OGURA, J., HARADA, T., MURATA, M., NAKAMURA, T. and INOUE, K. (1982): Structural formulas and polymorphs of bitotes from the Southwestern Outer Zone-type granitic rocks, Japan. *Rep. Fac. Sci., Kagoshima Univ. (Earth Sci., Biol.)*, No. 15, 1-39.
- 柴田 賢 (1978): 西南日本外帯における第三紀花崗岩貫入の同時性. 地調月報, **29**, 551-554.
- 立石賢二・大庭 昇・山本温彦・富田克利・中村淳子・金井敏正 (1986): 南九州, 大隅花崗閃緑岩バソリスに包有されるゼノリスの起源と成因. 鹿児島大理紀要 (地・生), No. 19, 23-44.
- WHITE, A.J.R. and CHAPPELL, B.W. (1977): Ultrametamorphism and granitoid genesis. *Tectonophysics*, **43**, 7-22.
- YANAGI, T., YAMAGUCHI, M., and NOZAWA, T. (1971): Rb-Sr whole-rock ages of the granites of Minami-osumi and Amami-oshima, Southwest Japan. *Mem. Fac. Sci., Kyushu Univ., Ser. D, Geol.*,

21, 163-175.

山本温彦・中村俊文・大庭 昇 (1983): 大隅花崗閃緑岩の分化について. 日本地質学会90年学術大会討論会資料, 環状累帯深成岩と輪状複合火成岩の分化と貫入, 29-36.

山内祐二 (1978): 鹿児島県高山地域の大隅花崗閃緑岩の地質学的-岩石学的研究. 鹿児島大理卒論 (手記).