

## 鹿児島県紫尾山花崗閃緑岩体の岩相変化

著者	山本 温彦, 大庭 昇, 富田 克利
雑誌名	鹿児島大学理学部紀要. 地学・生物学
巻	21
ページ	35-49
別言語のタイトル	Compositional Variation of the Shibi-san Granodiorite Body, Kagoshima Prefecture, Japan
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10232/00006943">http://hdl.handle.net/10232/00006943</a>

## 鹿児島県紫尾山花崗閃緑岩体の 岩相変化

山本温彦\*・大庭 昇\*・富田克利\*

(1988年9月10日受理)

Compositional Variation of the Shibi-san Granodiorite Body,  
Kagoshima Prefecture, Japan

Masahiko YAMAMOTO\*, Noboru ŌBA\*, and Katsutoshi TOMITA\*

### Abstract

The Shibi-san granodiorite body, Kagoshima Prefecture, is a discordant stock of the Miocene age, which intruded the Cretaceous sedimentary rocks with anticlinal folding in the northern belt of the Shimanto Terrane. Bulk chemical analyses and electron-probe microanalyses of biotites and amphiboles are presented, and a compositional variation of the body and a formation of the marginal facies of the body are discussed.

Bulk composition becomes slightly basic and aluminous from the core facies (the Kusubae-type) to the marginal facies (the Hirabae-type) of the granodiorite body. Biotites are compositionally  $Fe^{+2}$ -biotites throughout the body, and their  $Mg/Mg+Fe^{+2}$  ratios slightly increase from the core facies to the marginal facies. Similarly, amphiboles are compositionally ferro-hornblendes in the core facies and actinolitic hornblende to actinolite in the marginal facies, and their  $Mg/Mg+Fe^{+2}$  ratios increase from the core facies to the marginal facies.

An essential granitic magma had a chemical composition of the most acidic and normative corundum-free rock occurring in the southern part of the granodiorite body. Water-content of the granitic magma increased in the marginal part, and the compositionally heterogeneous marginal facies were formed by that the surrounding rocks were partially fused into the granitic magma by stoping during the intrusion or by contamination *in situ*.  $Mg/Mg+Fe^{+2}$  ratios of biotites and amphiboles in the marginal part of the granitic magma increased by a lowering of solidus temperature or by subsolidus reactions, based on increasing water-content. As a result, slight differences in grain-size, mineral assemblage and chemical composition of bulks, biotites and amphiboles were zonally formed in the Shibi-san granodiorite body.

### ま え が き

鹿児島県西部には、四万十累帯北帯を貫く新第三紀中新世の花崗岩質岩体が散点的に分布している。これらの岩体には、主に深成岩相の花崗閃緑岩～花崗岩からなる紫尾山・向江山・金

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

峰山などの岩株状岩体、および主に半深成岩相の花崗閃緑斑岩～石英斑岩からなる薩摩半島中～南西部の多数の岩脈状小岩体がある。前者の深成岩相の岩体は、四万十累帯北帯の帯状構造に沿って南北方向に直線状に分布している。紫尾山花崗閃緑岩体は、これらの岩体の中で最も露出面積の大きい岩体である。

紫尾山花崗閃緑岩体の地質学および岩石学的研究は、大庭（1957）によって報告がなされて以来ほとんど皆無である。最近、道路の拡張、林道の発達、碎石場の開発などによって新しい露頭が増えてきた。今回、本岩体の地質調査を行ったので、岩石、黒雲母、および角閃石の化学的性質について報告し、岩相変化と周縁相の形成について考察することとする。

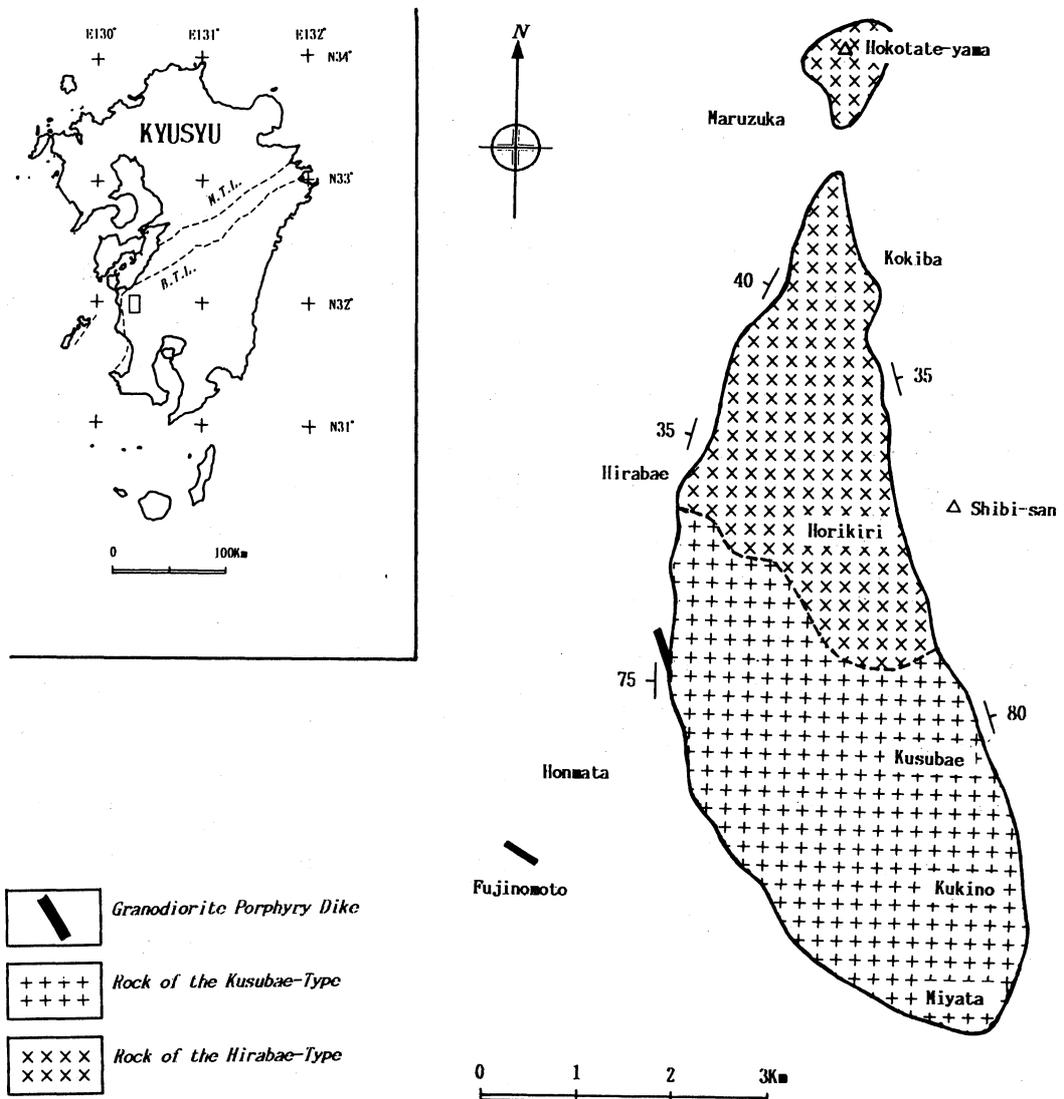


Fig. 1. Index and geologic maps of the Shibi-san granodiorite body, Kagoshima Prefecture.

## 地 質

紫尾山花崗閃緑岩体の位置図と地質図をFig. 1に示す。

紫尾山花崗閃緑岩体は、九州外帯の古生界と中生界とを分かつ延岡-紫尾山構造線のすぐ南東側に、また、背斜性の北薩の屈曲軸付近に位置している。南北約11km、東西約4kmで、南北に細長く露出している。岩体北方の鉾立山にも小さな露出がある。行政区画上、出水市、出水郡高尾野町、および薩摩郡東郷町・宮之城町に含まれる。

紫尾山花崗閃緑岩体は、四万十累帯北帯の砂岩・頁岩・砂岩頁岩互層などからなる白亜系の地向斜性堆積岩類を不調和に貫く。両者の直接の接触面は数箇所を観察される。接触面の平均的な傾斜角は、岩体南部では75~80°と大きく、逆に、岩体北部では35~40°と小さい。とくに、岩体の最北端では露出が分離されており、接触面の傾斜角はかなり小さいと考えられる。接触面の傾斜の方向は岩体を通して外側に向かって傾斜しており、岩体の形態は岩株状である。岩体近くの被進入堆積岩類は、接触変成作用を蒙っており、ホルンフェルス化している。

紫尾山花崗閃緑岩体の西方には、花崗閃緑斑岩の小岩脈が分布している。東郷町本俣~藤ノ元間の岩脈はN60°Wの走向を、また、堀切峠西方の岩脈はN25°Wの走向をもつ。これらの岩脈の走向は四万十累帯の一般的な走向にほぼ直交する方向である。堀切峠西方の岩脈は花崗閃緑岩体の貫入によって接触変成作用を蒙っており、また、岩脈の近くの花崗閃緑岩体中に花崗閃緑斑岩の捕獲岩片が認められる。これらの岩脈の地質年代は、これまでに明らかにされていないが、花崗閃緑岩体の進入の直前であったと考えられる。

紫尾山花崗閃緑岩体は、全体として花崗閃緑岩~花崗岩からなっているが、大庭(1957)によって、岩相上、楠八重型と平八重型とに分けられている。楠八重型岩石は、普通角閃石-黒雲母花崗閃緑岩~黒雲母花崗岩からなっており、岩体南部に分布し、見掛け上、岩体の中心部を構成している。一方、平八重型岩石は、普通角閃石含有黒雲母花崗閃緑岩~黒雲母花崗閃緑岩からなっており、岩体北部に分布し、楠八重型岩石のルーフを構成している。両岩型の間の関係は互に漸移的である。岩体北部の小木場では、アプライト質花崗岩の岩脈が平八重型岩石を貫く。アプライトや石英の細脈は岩体を通して見られる。

紫尾山花崗閃緑岩体の貫入の時代は、黒雲母のK-Ar法によって13.6Ma(河野・植田, 1966)および15.0±4.0Ma(MILLER *et al.*, 1962)の報告がなされており、新第三紀中新世である。

## 岩 石

Fig. 1に示したように、紫尾山花崗閃緑岩体は、岩相上、楠八重型と平八重型とに分けられる。

楠八重型岩石は、灰白色、やや斑状で、中粒の普通角閃石-黒雲母花崗閃緑岩~黒雲母花崗岩からなっている。主成分鉱物は、斜長石・カリ長石・石英・黒雲母・普通角閃石からなる。自形のカリ長石の巨斑晶が含まれることが多い。副成分鉱物としては、単斜輝石・ザクロ石・カミングトン閃石・アクチノ閃石・ジルコン・燐灰石・チタン鉄鉱・磁硫鉄鉱などが認められる。岩相上、全体として均質である。

平八重型岩石は、灰白色、やや斑状で、中~細粒の普通角閃石含有黒雲母花崗閃緑岩~黒雲母花崗閃緑岩からなる。主成分鉱物は、斜長石・カリ長石・石英・黒雲母からなる。自形のカリ長石の巨斑晶が含まれることがある。副成分鉱物としては、普通角閃石・単斜輝石・ザクロ

石・カミングトン閃石・アクチノ閃石・ジルコン・燐灰石・チタン鉄鉱・磁硫鉄鉱などが認められる。岩相上、全体として不均質であり、部分的に汚染された様相を示す。

自形のカリ長石の巨斑晶は、両岩型の岩石中に含まれるが、量的には両岩型の漸移部で最も多く認められる。また、ザクロ石は、両岩型の岩石中にごく少量含まれるが、量的には両岩型の漸移部で最も多く認められる。

両岩型の岩石中には、ゼノリスとオートリスが含まれる。ゼノリスは、量的には少なく、四万十累帯の堆積岩起源のホルンフェルス、および花崗閃緑斑岩の岩脈起源のものが認められる。前者は両岩型の漸移部で多く見られる傾向がある。オートリスは、量的には比較的多く、粒状火成岩起源の岩石と斑状火成岩的組織をもった岩石の2種類が認められ（山本ほか，1981，1986），岩体を通して認められる。岩体全体に粗い節理が発達しているが、流状構造や片状構造は顕著ではない。

紫尾山花崗閃緑岩体に貫かれる斑岩の岩脈は、帯緑灰色、斑状で、中粒の角閃石-黒雲母花崗閃緑斑岩からなっている。主成分鉱物は、斜長石・カリ長石・石英・黒雲母・アクチノ閃石からなる。副成分鉱物としては、ジルコン・燐灰石・チタン鉄鉱などが認められる。堀切峠西方の岩脈は、花崗閃緑岩体の貫入によって接触変成作用を蒙っており、石基が赤紫色を呈しホルンフェルス化している。本脈岩中には、比較的少量のゼノリスとオートリスが含まれる。ゼノリスには、四万十累帯の堆積岩起源のホルンフェルスが認められる。オートリスは斑状火成岩的組織をもった岩石である（山本ほか，1981，1986）。

紫尾山花崗閃緑岩体北部の平八重型岩石を貫くアプライト質岩石の岩脈は、優白色、やや斑状で、細粒の黒雲母アプライト質花崗岩からなっている。主成分鉱物は、斜長石・カリ長石・石英・黒雲母からなる。副成分鉱物としては、ジルコン・燐灰石・チタン鉄鉱・磁硫鉄鉱などが認められる。本脈岩中には、ゼノリスやオートリスがほとんど認められない。

### 岩石の化学組成

紫尾山花崗閃緑岩体の11個の岩石の全岩化学組成およびノルム組成をTable 1に示す。Table 1中、分析値は、岩体の南から北に向って並べてある。

紫尾山花崗閃緑岩体のSiO<sub>2</sub>含有量は、楠八重型岩石で66~68wt.%および平八重型岩石で64~66wt.%で、わずかに楠八重型岩石の方が酸性である。また、花崗閃緑斑岩岩脈では63wt.%、アプライト質花崗岩では76wt.%である。K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O比は、高いものが多く、柴田(1958)の西南日本外帯型花崗岩質岩類、大庭(1967)の九州外帯型花崗岩質岩類の化学的特徴を示す。その他の成分では、楠八重型岩石が、平八重型岩石に比べ、total FeとMgOに富む傾向がある。花崗閃緑斑岩岩脈の化学組成は、花崗閃緑岩体と異なっており、MgOとCaOに富み、SiO<sub>2</sub>、total Fe、Na<sub>2</sub>Oに乏しい。

ノルム鉱物では、楠八重型岩石の1つでノルムDiが算出される。その他の楠八重型岩石と平八重型岩石ではノルムCが算出されるが、量的には楠八重型岩石より平八重型岩石の方が多し。すなわち、平八重型岩石の方がよりaluminousである。また、花崗閃緑斑岩岩脈およびアプライト質花崗岩にもノルムCが算出される。

紫尾山花崗閃緑岩体の岩石のtotal FeO\*-(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)-MgO三角図をFig. 2に示す。Fig. 2中の破線は、花崗閃緑岩体からアプライト質花崗岩岩脈に至る組成変化曲線を示す。楠八重型岩石は、平八重型岩石より、わずかにalkaliによった側にプロットされる。Fig. 2におい

Table 1. Chemical analyses and CIPW norms of rocks of the Shibi-san granodiorite body

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sp. No.	S0902	S2603	S1602	S1601	S1406	S1403	S2503	S2706	S2702	S2701
SiO <sub>2</sub>	62.95	66.64	66.42	67.34	67.58	65.78	66.04	66.46	64.04	75.86
TiO <sub>2</sub>	0.79	0.67	0.72	0.64	0.81	0.83	0.72	0.71	0.80	0.13
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.53	15.28	15.02	15.38	14.60	15.39	15.35	15.54	16.21	13.66
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	0.86	0.54	0.46	0.37	0.54	0.46	0.28	0.50	0.29
FeO	4.66*	3.48	4.09	3.81	4.06	4.49	4.44	4.19	4.59	0.95
MnO	0.10	0.07	0.09	0.08	0.08	0.10	0.09	0.08	0.11	0.04
MgO	2.58	1.28	1.31	1.18	1.26	1.40	1.41	1.31	1.81	0.11
CaO	3.83	3.22	2.71	2.79	2.47	2.53	2.69	2.71	3.01	0.59
Na <sub>2</sub> O	2.76	3.61	3.43	3.47	3.31	3.26	3.37	3.53	3.43	3.09
K <sub>2</sub> O	3.37	3.30	4.40	4.08	4.17	4.21	3.83	3.70	3.55	4.25
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	n.d.	1.09	1.02	0.85	0.93	1.14	1.27	1.04	1.51	0.81
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	n.d.	0.22	0.16	0.10	0.04	0.06	0.22	0.06	0.12	0.10
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.16	0.06	0.07	0.07	0.07	0.10	0.06	0.11	0.08	0.03
Total	96.73	99.78	99.98	100.25	99.75	99.83	99.95	99.72	99.76	99.91
Q	19.01	22.23	19.40	21.40	22.68	20.46	21.01	21.38	18.44	39.65
Or	19.92	19.50	26.00	24.11	24.64	24.88	22.63	21.87	20.98	25.12
Ab	23.36	30.55	29.02	29.36	28.01	27.59	28.52	29.87	29.02	26.15
An	17.96	15.58	12.59	13.38	11.80	11.90	12.95	12.73	14.41	2.73
C	0.76	0.06	-	0.35	0.32	1.11	0.91	1.06	1.44	2.98
DiWo	-	-	0.16	-	-	-	-	-	-	-
DiEn	-	-	0.06	-	-	-	-	-	-	-
DiFs	-	-	0.11	-	-	-	-	-	-	-
HyEn	6.43	3.19	3.20	2.94	3.14	3.49	3.51	3.26	4.51	0.27
HyFs	7.44	4.70	5.93	5.71	5.96	6.61	6.75	6.44	6.90	1.36
Mt	-	1.27	1.37	1.22	1.54	1.58	1.37	1.35	1.52	0.25
Il	1.50	1.25	0.78	0.67	0.54	0.78	0.67	0.41	0.72	0.42
Ap	0.37	0.14	0.16	0.16	0.16	0.23	0.14	0.25	0.19	0.07

Analyst: M. Yamamoto.

No. 1: Granodiorite porphyry dike.

No. 2-5: Rocks of the Kusubae-type.

No. 6-9: Rocks of the Hirabae-Type.

No. 10: Aplitic granite dike.

\* Total Fe as FeO.

て、花崗閃緑岩体はFeに富むトレンド(ソレイアイト岩質)を、また、花崗閃緑斑岩岩脈はFeに乏しいトレンド(カルク-アリカリ岩質)を示し、両者が異なる組成トレンドをもっていることがわかる。

### 黒雲母の化学組成

紫尾山花崗閃緑岩体の岩石中の黒雲母のEPMA分析を行った。黒雲母の化学組成と構造式をTable 2に示す。構造式は、FOSTER (1960)を参考にして、単位胞をO=22 atomとして計算した。

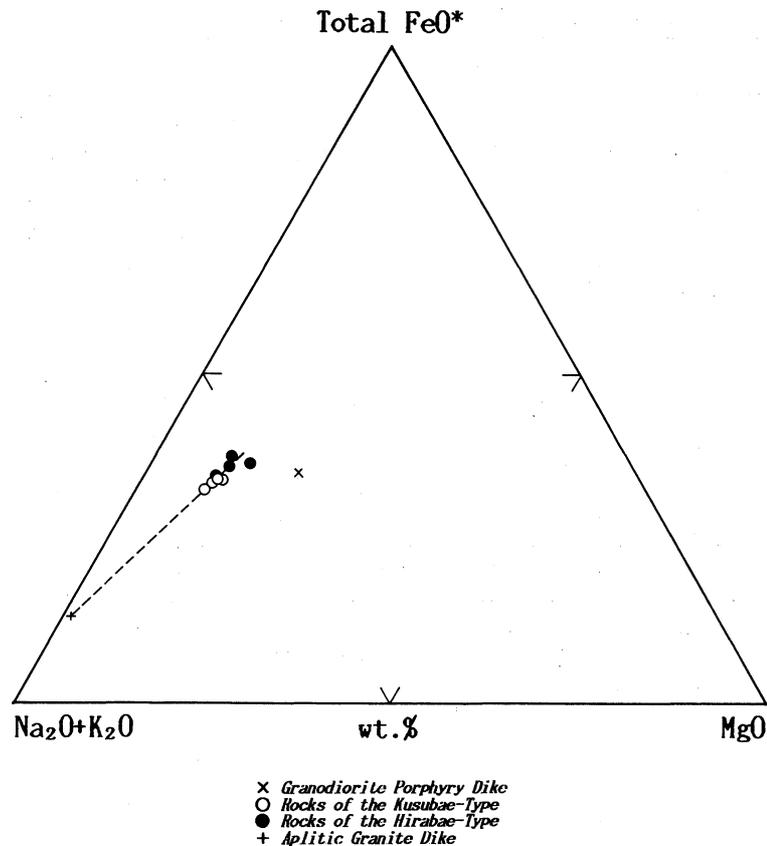


Fig. 2. Total FeO\* - (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) - MgO diagram of rocks of the Shibi-san granodiorite body.

楠八重型岩石中の黒雲母は、tetrahedral siteが8.00未満のものがあり、 $Mg/Mg+Fe^{+2}=0.35\sim0.36$ である。一方、平八重型岩石中の黒雲母は、すべて $Al^VI$ が算出され、 $Mg/Mg+Fe^{+2}=0.37\sim0.42$ である。花崗閃緑斑岩岩脈中の黒雲母は、 $Mg/Mg+Fe^{+2}=0.50$ で、花崗閃緑岩体中の黒雲母に比べ、Mgに富む。また、アプライト質花崗岩岩脈中の黒雲母は、 $Mg/Mg+Fe^{+2}=0.14$ で、 $Al^VI$ に富み、siderophylliticである。

点分析した紫尾山花崗閃緑岩体の岩石中の黒雲母のoctahedral site中のMg-R<sup>+3</sup> ( $Al^VI + Ti$ ) - ( $Fe^{+2} + Mn$ ) 三角図をFig. 3に示す。Fig. 3において、楠八重型と平八重型の岩石中の黒雲母は、ともに $Fe^{+2}$ -biotiteの領域にプロットされる。両者を比べたとき、わずかに、前者が( $Fe^{+2} + Mn$ )成分に、後者がMgと( $Al^VI + Ti$ )成分に富む傾向が見られる。花崗閃緑斑岩岩脈中は黒雲母は $Mg : Fe^{+2}=1 : 1$ 線の近くにプロットされる。また、アプライト質花崗岩岩脈中の黒雲母は $Fe^{+2}$ -biotiteとanniteの中間の領域にプロットされる。

点分析した紫尾山花崗閃緑岩体の岩石中の黒雲母のTi- $Al^VI$ 図をFig. 4に示す。Fig. 4から明らかのように、黒雲母中のTiと $Al^VI$ は逆の相関を示す。楠八重型の岩石中の黒雲母では、 $Al^VI$ が低く、Tiの高いものが多い。逆に、平八重型の岩石では、 $Al^VI$ が高く、Tiの低いものが多い。組成的に不均質になっている。

Table 2. Electron-probe microanalyses and structural formulae (O=22) of biotites from rocks of the Shibi-san granodiorite body

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sp. No.	S0902	S2603	S1602	S1601	S1406	S1403	S2503	S2706	S2702	S2701
SiO <sub>2</sub>	37.18	34.95	34.92	34.91	35.12	34.78	35.02	35.12	35.25	34.78
TiO <sub>2</sub>	4.63	4.72	4.94	4.89	4.51	4.42	4.70	3.28	4.53	3.40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.85	13.84	13.55	13.50	15.71	15.85	14.62	15.76	15.35	15.35
FeO*	19.79	25.23	25.38	25.22	24.30	23.48	24.16	23.57	22.41	29.56
MnO	0.34	0.48	0.70	0.38	0.55	0.29	0.33	0.37	0.54	1.05
MgO	11.01	7.90	7.56	7.82	7.56	7.80	7.85	8.21	8.95	2.75
CaO	0.09	0.05	0.08	0.06	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05	0.04
Na <sub>2</sub> O	0.16	0.18	0.16	0.22	0.21	0.24	0.14	0.18	0.18	0.12
K <sub>2</sub> O	8.88	8.88	8.98	8.80	9.01	8.95	8.91	8.84	8.94	8.78
Total	96.93	96.23	96.27	95.80	96.99	95.84	95.77	95.38	96.20	95.83
Si	5.574	5.467	5.476	5.486	5.409	5.399	5.464	5.473	5.426	5.574
Al <sup>IV</sup>	2.426	2.533	2.505	2.500	2.591	2.601	2.536	2.527	2.574	2.426
Z Site	8.000	8.000	7.981	7.986	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
Al <sup>VI</sup>	0.198	0.019	0.000	0.000	0.261	0.299	0.153	0.368	0.211	0.473
Ti	0.522	0.555	0.583	0.578	0.522	0.516	0.551	0.384	0.524	0.410
Fe <sup>+2</sup>	2.481	3.301	3.329	3.314	3.130	3.048	3.152	3.072	2.885	3.962
Mn	0.043	0.064	0.093	0.051	0.072	0.038	0.044	0.049	0.070	0.143
Mg	2.461	1.842	1.767	1.832	1.736	1.805	1.826	1.907	2.054	0.657
Y Site	5.705	5.781	5.772	5.775	5.721	5.706	5.726	5.780	5.744	5.645
K	1.698	1.772	1.797	1.764	1.771	1.773	1.774	1.758	1.756	1.795
Na	0.047	0.055	0.049	0.067	0.063	0.072	0.042	0.054	0.054	0.037
Ca	0.014	0.008	0.013	0.010	0.003	0.005	0.007	0.008	0.008	0.007
X Site	1.759	1.835	1.859	1.841	1.837	1.850	1.823	1.820	1.818	1.839
Mg/Mg+Fe <sup>+2</sup>	0.498	0.358	0.347	0.356	0.357	0.372	0.367	0.383	0.416	0.142

Analysts: M. Nedachi and M. Yamamoto.

No. 1: Biotite from the granodiorite porphyry dike.

No. 2-5: Biotites from the rocks of Kusubae-type.

No. 6-9: Biotites from the rocks of Hirabae-type.

No. 10: Biotite from the aplitic granite dike.

\* Total Fe as FeO.

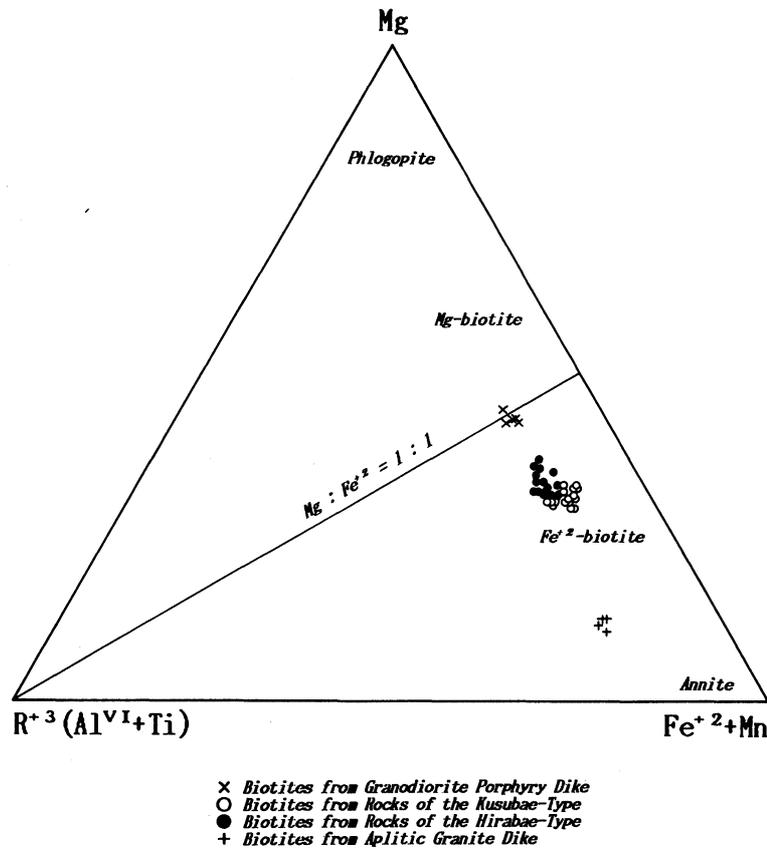


Fig. 3. Relation among Mg,  $R^{+3}$  ( $Al^{VI}+Ti$ ) and ( $Fe^{+2} + Mn$ ) in the octahedral site of biotites from rocks of the Shibi-san granodiorite body.

### 角閃石の化学組成

紫尾山花崗閃緑岩体の岩石中の角閃石のEPMA分析を行った。角閃石の化学組成と構造式をTable 3に示す。構造式は、LEAKE (1978a, b)の方法に従い、単位胞を $O=23$  atomとして計算した。分析したすべての角閃石についてoctahedral site中の $Al^{VI}$ が算出された。

楠八重型岩石中の角閃石は、 $Si=7.00\sim 7.09$ ,  $Mg/Mg+Fe^{+2}=0.41\sim 0.43$ ,  $Al^{VI}=0.11\sim 0.16$ ,  $Na+K=0.49\sim 0.51$ である。一方、平八重型岩石中の角閃石は、 $Si=7.48$ ,  $Mg/Mg+Fe^{+2}=0.52$ ,  $Al^{VI}=0.09$ ,  $Na+K=0.21$ で、楠八重型のものとは明らかに異なる組成を示す。また、花崗閃緑斑岩岩脈中の角閃石は、 $Si=7.76$ ,  $Mg/Mg+Fe^{+2}=0.62$ ,  $Al^{VI}=0.06$ ,  $Na+K=0.12$ で、花崗閃緑岩体中のものとは明らかに異なる組成を示す。

点分析した紫尾山花崗閃緑岩体の岩石中の角閃石の $Si-Mg/Mg+Fe^{+2}$ 図をFig. 5に示す。Fig. 5において、楠八重型岩石中の角閃石はferro-hornblendeの領域に、また、平八重型岩石中の角閃石はactinolitic hornblende~actinoliteの領域にプロットされる。さらに、花崗閃緑斑

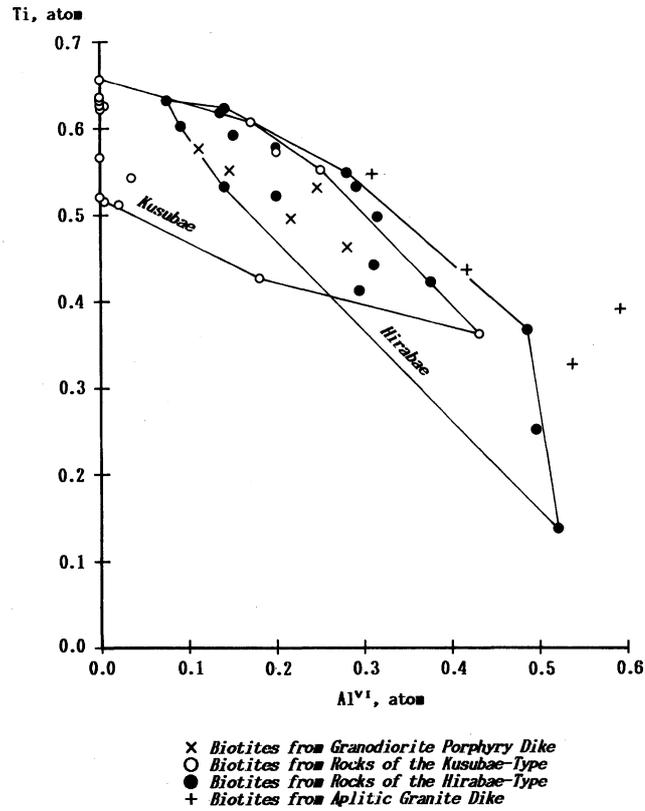


Fig. 4. Relation between  $Al^{VI}$  and Ti of biotites from rocks of the Shibi-san granodiorite body.

岩岩脈中の角閃石はすべてactinoliteの領域にプロットされる。

### 岩 相 変 化

Fig. 1に示したように、紫尾山花崗閃緑岩体は、岩相上、中心部を構成する楠八重型とそのルーフを構成する平八重型とに分けられる。本岩体の32個の岩石に対するtotal  $Fe_2O_3^*$ の頻度分布図をFig. 6に示す。Fig. 6において、total  $Fe_2O_3^*$ が4.4~4.6wt.%と5.2~5.4wt.%にbimodalなピークが存在する。Fig. 7にtotal  $Fe_2O_3^*$ のchemical mapを示す。岩体南部の久木野と楠八重を中心にtotal  $Fe_2O_3^*$ が4.5wt.%以下の部分があり、逆に、岩体北部の小木場付近にはtotal  $Fe_2O_3^*$ が5.5wt.%以上の部分がある。また、岩体南部の被侵入岩類との接触部付近では、total  $Fe_2O_3^*$ に富む。全体として、total  $Fe_2O_3^*$ が5.0wt.%以下のものを楠八重型、また、total  $Fe_2O_3^*$ が5.0wt.%以上のものを平八重型としたとき、実際の岩相とほぼ一致する部分がある。このように、楠八重型岩石はFeに乏しいものが多く、逆に、平八重型岩石はFeに富むものが多く、岩体の中心相から周縁相に向ってFeが増加している。すなわち、本岩体は、中心相から周縁相に向って、岩石の化学組成上、塩基性かつaluminousになる岩相変化をもっていることがわかる (Table 1)。

鉱物組成上、黒雲母は岩体全体を通して含まれているが、角閃石は、Fig. 7に示した岩体南

Table 3. Electron-probe microanalyses and structural formulae (O=23) of amphiboles from rocks of the Shibi-san granodiorite body

No.	1	2	3	4	5
Sp. No.	S0902	S2603	S1602	S1601	S2503
SiO <sub>2</sub>	53.02	46.66	45.08	46.08	49.87
TiO <sub>2</sub>	0.16	1.01	1.15	1.08	1.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.73	5.99	6.37	5.70	3.46
FeO*	15.80	22.84	23.03	22.31	19.21
MnO	0.98	0.42	0.82	0.51	0.47
MgO	14.70	9.04	8.80	9.28	11.50
CaO	10.60	10.54	10.40	10.53	10.93
Na <sub>2</sub> O	0.29	1.33	1.28	1.24	0.55
K <sub>2</sub> O	0.21	0.63	0.62	0.62	0.26
Total	97.49	98.46	97.55	97.35	97.26
Si	7.764	7.091	6.958	7.081	7.478
Al <sup>IV</sup>	0.236	0.909	1.042	0.919	0.522
Z Site	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
Al <sup>VI</sup>	0.063	0.164	0.117	0.113	0.090
Ti	0.018	0.115	0.133	0.125	0.114
Fe <sup>+2</sup>	1.720	2.673	2.800	2.667	2.225
Mg	3.209	2.048	2.025	2.126	2.570
Y Site	5.010	5.000	5.075	5.031	4.999
Fe <sup>+2</sup>	0.215	0.230	0.173	0.200	0.184
Mn	0.122	0.054	0.107	0.066	0.060
Ca	1.663	1.716	1.720	1.734	1.756
X Site	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Na	0.082	0.392	0.383	0.369	0.160
K	0.039	0.122	0.122	0.122	0.050
A Site	0.121	0.514	0.505	0.491	0.210
Mg/Mg+Fe <sup>+2</sup>	0.624	0.414	0.405	0.426	0.516

Analyst: M. Yamamoto.

No. 1: Amphibole from the granodiorite porphyry dike.

No. 2-4: Amphiboles from the rocks of Kusubae-type.

No. 5: Amphibole from the rock of Hirabae-type.

\* Total Fe as FeO.

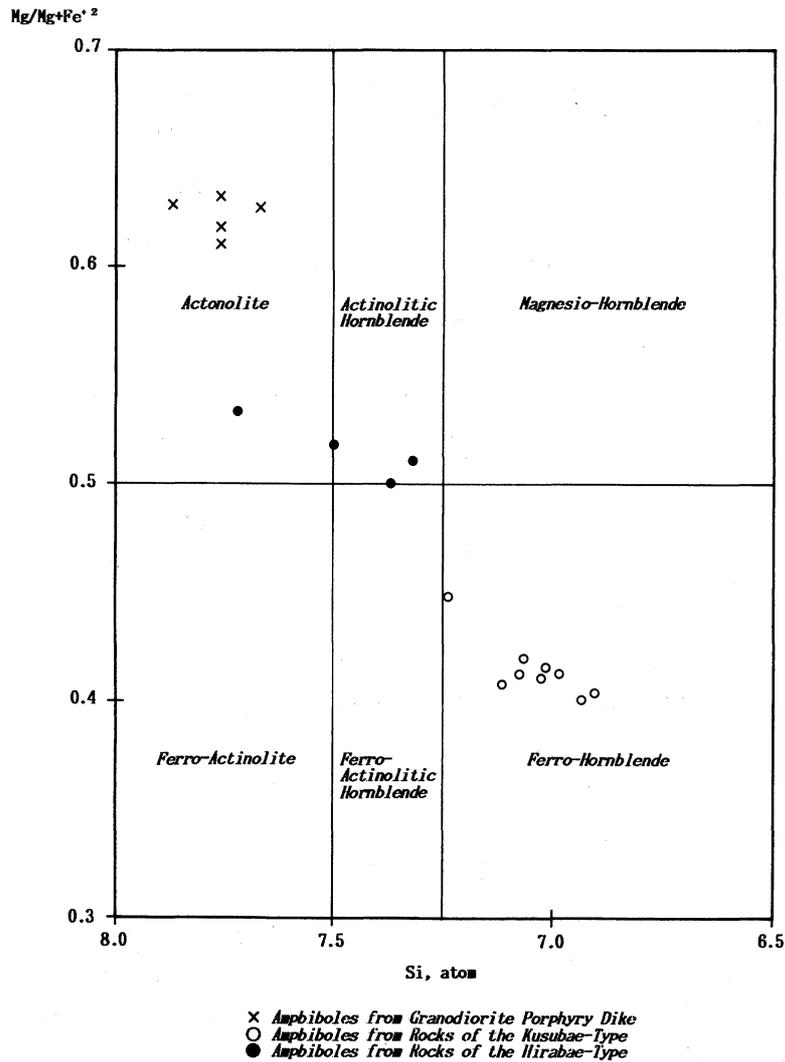


Fig. 5. Relation between Si and  $Mg/Mg+Fe^{+2}$  ratio of amphiboles from rocks of the Shibi-san granodiorite body.

部の最も酸性な岩石中に量的に多く、北部に向うにつれて少なくなる。黒雲母は、すべて $Fe^{+2}$ -biotiteであるが、岩体の中心相から周縁相に向って、 $Mg/Mg+Fe^{+2}$ 比が高くなり (Fig. 3),  $Al^VI$ が増加し、Tiが減少し、組成的に不均質になっていく (Fig. 4)。角閃石は、岩体の中心相から周縁相に向かっ、 $Mg/Mg+Fe^{+2}$ 比が高くなり、ferro-hornblendeからactinolitic hornblende~actinoliteに変化し、組成的に不均質になっていく (Fig. 5)。 $Mg/Mg+Fe^{+2}$ 比が最も低い $Fe^{+2}$ -biotiteとferro-hornblendeは、Fig. 7に示した岩体南部の酸性な岩石中のものである。

以上のように、Fig. 7に示した岩体南部の最も酸性なノルムCの算出されない楠八重型の岩石が、紫尾山花崗閃緑岩体の本質的な花崗岩質マグマであり、それが岩相変化を起こすことによって不均質になったものが、平八重型岩石であると考えられる。

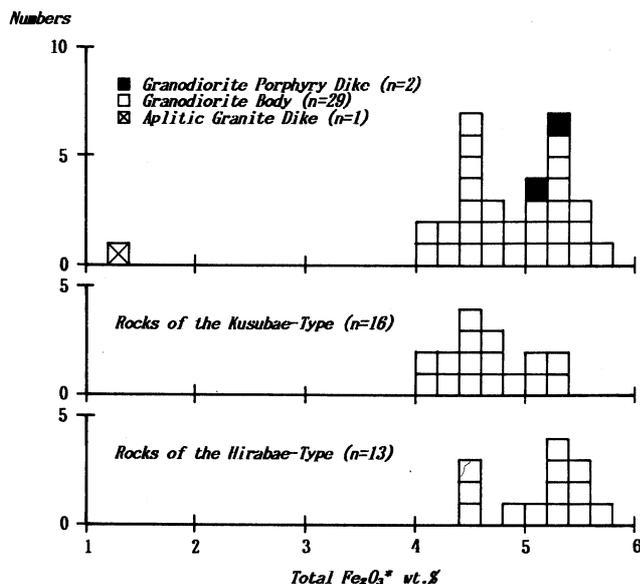


Fig. 6. Histogram for total  $\text{Fe}_2\text{O}_3^*$  contents of rocks of the Shibi-san granodiorite body.

### 周縁相の形成

紫尾山花崗閃緑岩体の中心相から周縁相に向って、黒雲母と角閃石の $\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe}^{+2}$ 比がともに高くなって行くことは、biotite (WONES and EUGSTER, 1965) -annite (EUGSTER and WONES, 1960)系, tremolite (BOYD, 1959) -ferro-tremolite (ERNST, 1966)系, およびpargasite (BOYD, 1959) -ferro-pargasite (GILBERT, 1966)系などの実験結果から、それらの形成の過程において、(1)花崗岩質マグマ中の酸素分圧が増加したか、(2)花崗岩質マグマの固結温度が低下したか、の2つの可能性があることを示している。

紫尾山花崗閃緑岩体の岩石は、Fe-Ti-O-S系の鉱物として、チタン鉄鉱+磁硫鉄鉱の鉱物組み合わせをもつことから、花崗岩質マグマ中の酸素分圧が増加したとは考えにくい。酸素分圧が上昇する過程で形成されたとされるNorwayのOslo地域の花崗岩質岩体 (CZAMANSKE and WONES, 1973) などとは、黒雲母や角閃石の組成変化の様式が異なっている。以上のように、本岩体の周縁相における黒雲母と角閃石の $\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe}^{+2}$ 比の増加は、花崗岩質マグマの固結温度が低下する状況下で起こったものと考えられる。

安達ほか (1969) は、紫尾山花崗閃緑岩体の北部における累進的接触変成岩が珪線石+ザクロ石の鉱物組み合わせをもつことを報告している。また、中村ほか (1986) は、本岩体中の副成分鉱物のザクロ石が、珪線石を包有し、逆累帯の組成を示すことを報告している。このように、本岩体はかなり高温の状況下で貫入したことが暗示されている。ROBERTSON and WYLLIE (1971a, b) などのgranite- $\text{H}_2\text{O}$ 系の実験から判断すると、周縁相における花崗岩質マグマの固結温度の降下は、 $\text{H}_2\text{O}$ 含有量の増加に起因していると考えられる。また、周縁相において $\text{H}_2\text{O}$

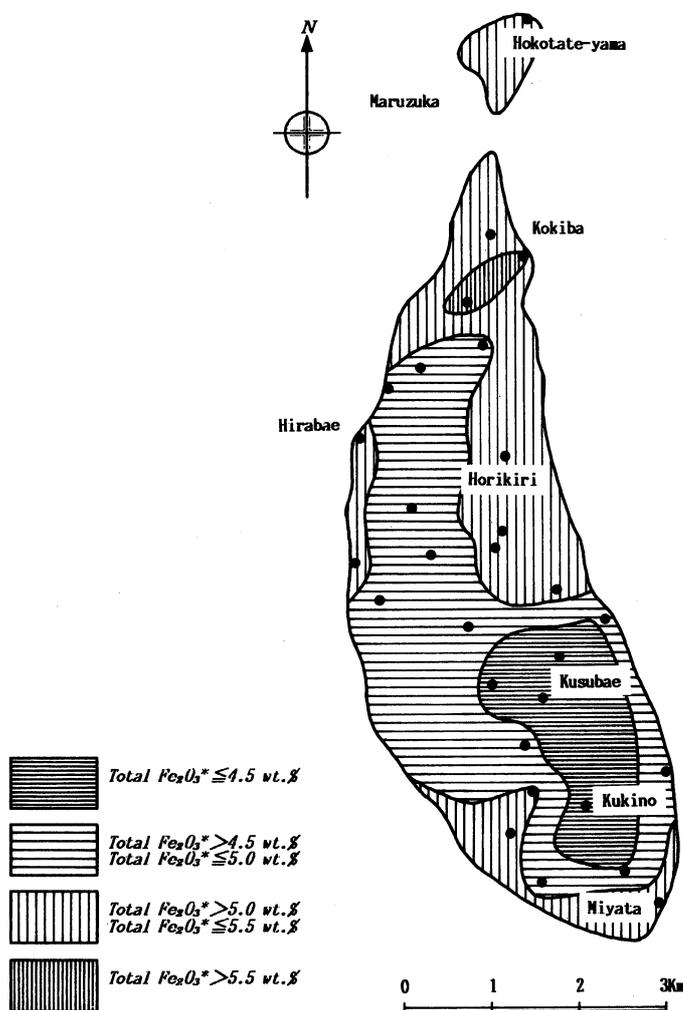


Fig. 7. Chemical map showing total  $\text{Fe}_2\text{O}_3^*$  contents of rocks of the Shibi-san granodiorite body. Solid circles represent localities of samples analyzed.

の増加が起これば、黒雲母と角閃石の $\text{Mg}/\text{Mg} + \text{Fe}^{+2}$ 比の増加は、subsolidusの反応として起こることも可能であると考えられる。

周縁相において $\text{H}_2\text{O}$ の増加が起これば、花崗岩質マグマの周りの岩石は溶かし込まれやすくなる。花崗岩質マグマがstoppingを起こしながら進入したり、あるいは、花崗岩質マグマがin situに近い位置でcontaminationを蒙ったりすることが可能であると考えられる。このことは、紫尾山花崗閃緑岩体において、中心相と周縁相との漸移部にカリ長石巨晶やザクロ石が濃集していること、および周縁相が不均質になり、ゼノリスが多数包有されているという産状ともうまく調和しているものといえる。

## あ と が き

本報では、紫尾山花崗閃緑岩体の岩石、黒雲母、角閃石の化学的性質を明らかにし、岩相変化と周縁相の形成について考察した。

紫尾山花崗閃緑岩体は、新第三紀中新世に、四万十累帯北帯の背斜性の北薩の屈曲軸付近に、南から北に向かって不調和に進入した岩株状岩体である。本岩体の本質的な花崗岩質マグマは、岩体南部の最も酸性のノルムCの算出されない岩石で代表される化学組成をもっていた。花崗岩質マグマの周縁相においてH<sub>2</sub>Oの増加が起こり、進入時のstoppingか、あるいは、*in situ*のcontaminationかを蒙り、周囲の岩石を溶かし込むことによって不均質な周縁相が形成された。黒雲母や角閃石は、H<sub>2</sub>Oの増加によるsolidus temperatureの低下か、あるいは、subsolidusの条件下で反応を起こし、それらのMg/Mg+Fe<sup>+2</sup>比が増加した。以上の結果として、両相には、粒度と鉱物組成、岩石とマフィック鉱物の化学組成などにわずかな相違が見られるようになり、弱い累帯構造が生じた、とまとめることができる。

Fig. 2に示したように、花崗閃緑岩体と花崗閃緑斑岩岩脈では組成トレンドが異なるので、両者の関係を明らかにすることが必要である。花崗閃緑斑岩岩脈中の黒雲母と角閃石が、本来の化学組成を保っているかどうか疑わしいので、本報では議論しなかった。また、紫尾山花崗閃緑岩体には、ゼノリスやオートリスが含まれているので、それらを岩石学的に研究することが、本岩体の成因を明らかにするために必要である。これらは今後の課題である。

本研究の過程において、鹿児島大学教養部地学教室根建心具教授は黒雲母のEPMA分析を行って下さった。本報中で分析した黒雲母のサンプルは、NEDACHI *et al.* (1984) 中でハロゲン元素を分析したものとまったく同じである。また、黒雲母と角閃石のEPMA分析は鹿児島大学X線マイクロアナライザー室で行った。本研究の一部に文部省科学研究費補助金(課題番号63540655)を使用した。以上の方々に心から感謝する。

## 文 献

- 安藤秀男・山下廣之・大庭 昇 (1969) : 鹿児島県紫尾山接触変成帯 (北部) における変成鉱物の共生. 鹿児島大理紀要 (地・生), No.2, 1-13.
- BOYD, F.R. (1959) : Hydrothermal investigations of amphiboles. p. 377-396 in P.H. Abelson, (ed.), *Researches in Geochemistry*, John Wiley & Sons, 511p.
- CZAMANSKE, G.K. and D.R. WONES (1973) : Oxidation during magmatic differentiation, Finnmarka complex, Oslo area, Norway : Part 2, The mafic silicates. *J. Petrol.*, **14**, 349-380.
- ERNST, W.G. (1966) : Synthesis and stability relations of ferrotromolite. *Am. J. Sci.*, **264**, 37-65.
- EUGSTER, H.P. and D.R. WONES (1962) : Stability relations of the ferruginous biotite, annite. *J. Petrol.*, **3**, 82-125.
- FOSTER, M.D. (1960) : Interpretation of trioctahedral micas. *U.S.G.S. Prof. Paper*, **354-B**, 11-49.
- GILBERT, M.C. (1966) : Synthesis and stability relationships of ferropargasite. *Am. J. Sci.*, **264**, 698-742.
- 河野義礼・植田良夫 (1966) : 本邦火成岩のK-Ar dating (V). 西南日本の花崗岩類. 岩鉱, **56**, 191-211.
- LEAKE, B.E. (1978a) : Nomenclature of amphiboles. *Mineral. Mag.*, **42**, 533-563.

- (1978b) : Nomenclature of amphiboles. *Can. Mineral.*, **16**, 501-520.
- MILLER, J. A., K. SHIBATA, and Y. KAWACHI (1962) : Potassium-argon ages of granitic rocks from the Outer of Kyushu, Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **13**, 70-72.
- 中村淳子・山本温彦・大庭 昇・富田克利 (1986) : 南九州における西南日本外帯型花崗岩類のザクロ石の成因的考察. 鹿兒島大理紀要 (地・生), No.19, 1-21.
- NEDACHI, M., S. KANISAWA, and M. YAMAMOTO (1984) : Chlorine and fluorine contents of the Neogene granitic rocks in Kyushu, Japan. *Mining Geol.*, **34**, 437-446.
- 大庭 昇 (1957) : 鹿兒島県北西部の紫尾花崗閃緑岩および捕獲岩類. 鹿兒島大理報, No. 6, 83-98.
- (1967) : 四万十累帯西部の花崗岩質岩類. 柴田秀賢教授退官記念論文集, p.34-40.
- ROBERTSON, J.K. and P.J. WYLLIE (1971a) : Rock-water systems, with special reference to the water-deficient region. *Am. J. Sci.*, **271**, 252-277.
- and ———— (1971b) : Experimental studies on rocks from the Deboullie stock, northern Maine, including melting relations in the water deficient environment. *J. Geol.*, **79**, 549-571.
- 柴田秀賢 (1958) : 本邦花崗岩類の化学成分による区分. 藤本治義教授還暦記念論文集, p.420-426.
- 山本温彦・根建心具 (1986) : 花崗岩中の暗色包有物について—紫尾山岩体の例—. 日本地質学会西日本支部会報, No. 85, 16-17.
- ・———・大庭 昇・富田克利 (1981) : 紫尾山花崗閃緑岩体中の塩基性捕獲岩の地球化学. 日本鉱物学会・日本鉱山地質学会・日本岩石鉱物鉱床学会昭和56年度秋期連合学術講演会要旨集, p.158.
- WONES D.R. and H.P. EUGSTER (1965) : Stability of biotite : Experiment, theory, and application. *Am. Mineral.*, **50**, 1228-1272.