

新潟県北部, 蒲萄山塊に分布する岩船花崗岩類中の斑状黒雲母花崗岩の2段階分別結晶作用

Two stage fractional crystallization of the porphyritic biotite granite from the Iwafune granitoids in the Budo Mountains, Niigata Prefecture, Japan

Abstract

加々島慎一* 志村俊昭**

Shin-ichi Kagashima and
Toshiaki Shimura***

2000年9月25日受付
2001年5月14日受理

* 新潟大学大学院自然科学研究科
Graduate School of Science and Technology,
Niigata University, Niigata 950-2181, Japan
** 新潟大学理学部地質科学科
Department of Geology, Faculty of Science,
Niigata University, Niigata 950-2181, Japan

The Late Cretaceous to Paleogene Iwafune granitoids are distributed around the border between Niigata and Yamagata Prefectures, Japan. The Budo Mountains is located in northern part of Niigata Prefecture and is exposed in an area covering more than 250 square kilometers. It consists of Iwafune granitoids, which are divided into six lithological types; porphyritic biotite granite (PBG), biotite granite (BG), garnet two-mica granite (GTMG), two-mica granite (TMG), quartz diorite (QD) and granodiorite (GD). The six rock types can be assigned to three rock groups on the basis of petrological observations as follows: biotite granite group (BG-group; PBG and BG), and two-mica granite group (TMG-group; GTMG and TMG) and diorite group (D-group; QD and GD).

Most of the granitoids in this area are attributed to BG-group. This group is composed of quartz, plagioclase, potassium feldspar, biotite and minor amounts of accessory minerals. Especially, the PBG contains potassium feldspar megacrysts and sometimes shows schlieren layering owing to the concentration of biotite and plagioclase. BG-group has medium SiO₂ content ranging from 69 to 77 weight percent and is peraluminous.

Modal and bulk chemical compositions show that BG-group has curved trend. Mass balance calculation indicates that the BG-series magma can be derived from common parental magma through two-stage fractional crystallization of potassium feldspar, biotite and plagioclase. The first stage is characterized by plagioclase- and biotite-rich fractionation, and the second stage is characterized by fractionation of biotite and potassium feldspar more than plagioclase.

Key words: Iwafune granitoids, porphyritic biotite granite, peraluminous granite, fractional crystallization, Cretaceous, Budo Mountains, Niigata Prefecture.

はじめに

羽越地域には、後期白亜紀から古第三紀の花崗岩類が広く分布し、地体構造区分上、西南日本の足尾帯に属するとされている (Chihara, 1959; 島津, 1964a, b; 茅原, 1982 など)。これら花崗岩類のうち、「小川型 (Chihara, 1959)」に相当するものは「岩船花崗岩」と呼ばれ、朝日山地西方および日本国マイロナイト帯の南方に広く、また北方にも狭く分布する (資源エネルギー庁, 1982; 高橋, 1998)。石原ほか (1983) は、岩船花崗岩は主に黒雲母花崗岩からなるが、若干活動時期が異なると思われる苦鉄質岩やアプライト質岩を含むことから、花崗岩質複合体と呼ぶべき性質のものとの指摘をし、「岩船花崗岩類」を用いている。本論においても広義の意味で

「岩船花崗岩類」を用いる。資源エネルギー庁 (1982) において、岩船花崗岩類は岩石記載により 11 岩相に区分され、主成分元素組成の分析がなされているが、各岩相の成因的關係についての詳細は明らかになっていない。石原ほか (1983) は、微量元素ならびに鉍化作用について検討し、羽越地域の花崗岩類は Rb, Sn などの微量成分を多く含む点で山陽地方と類似するが、付随する金属鉍床の比較では相違点がみられ、独自の大陸地殻であったことを示唆している。一方、花崗岩質マグマの発生上昇機構は、西南日本内帯と同様と推定している。

棚倉構造線は足尾帯と阿武隈帯とを境する構造線である。高橋 (1998)、Takahashi (1998) は、日本国マイロナイト帯を棚倉構造線の北西部に位置する内部剪断帯であると定義し

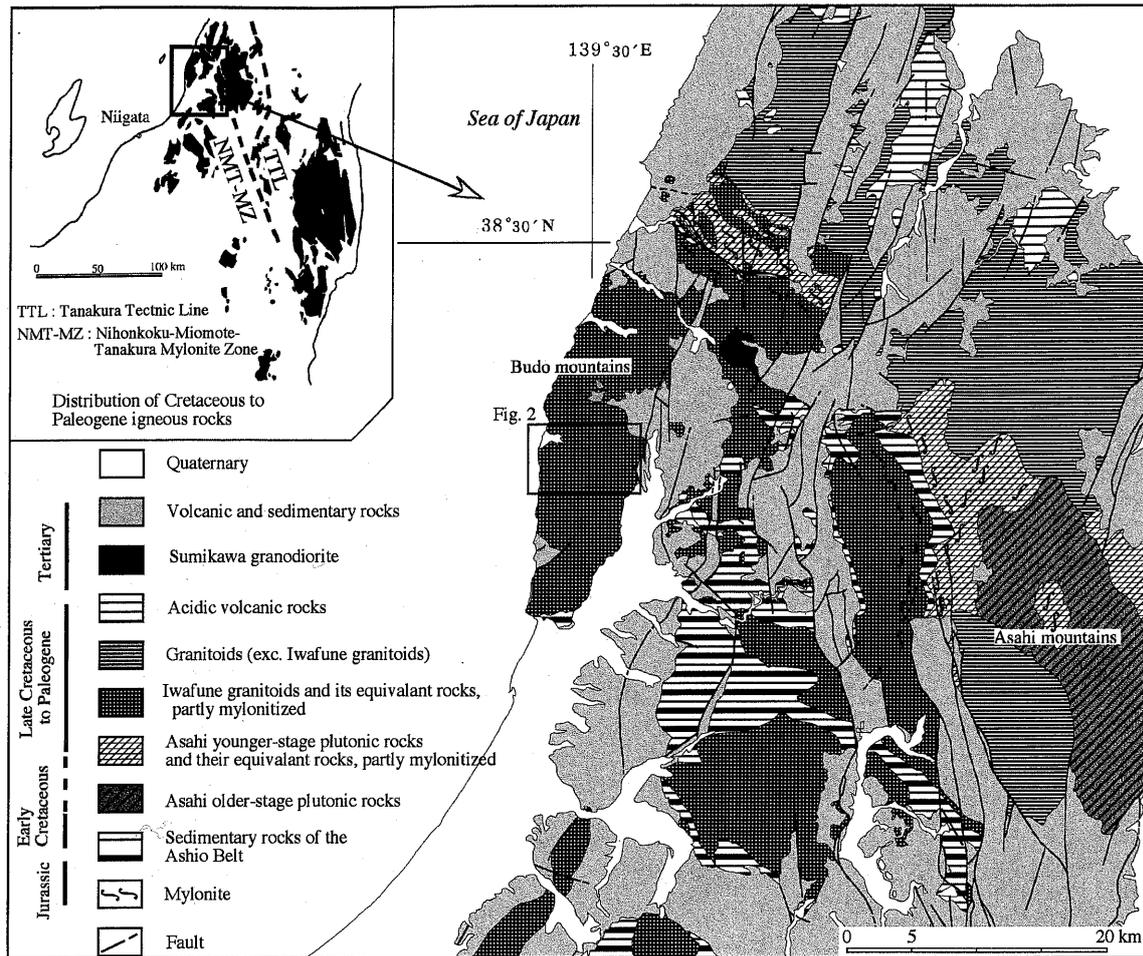


Fig. 1. Simplified geological map around the border between Niigata and Yamagata Prefectures. Modified from Tsuchiya et al. (1999).

た。また日本国マイロナイトの原岩の一部は岩船花崗岩であるとしている。このことから岩船花崗岩は西南日本的性質を持つといえる。

蒲萄山塊は、朝日山地西方および日本国マイロナイト帯の南方に位置する東西約9 km、南北約24 kmの山塊であり、岩船花崗岩類が広く分布する。資源エネルギー庁(1982)は、蒲萄山塊南部に分布する岩船花崗岩類を斑状黒雲母花崗岩、黒雲母花崗岩、含ざくろ石両雲母花崗岩、両雲母花崗岩、両雲母花崗閃緑岩、黒雲母花崗閃緑岩、閃雲花崗閃緑岩、石英モンゾニ閃緑岩、アプライト質花崗岩、アプライトに区分した。

蒲萄山塊にはざくろ石や白雲母を伴うパーアルミナスな花崗岩が部分的に分布する。また蒲萄山塊の北東部に位置する第三紀の澄川花崗閃緑岩体には変成度がグラニュライト相に達する泥質変成岩ゼノリスが見いだされている(大塚・島津, 1981; 川井・志村, 1997; 志村ほか, 1999)。一方、これより北部では、はんれい岩類の包有物を主体としたメタルミナスな花崗岩が分布する。このことは中・下部地殻構成岩石の相違を反映している可能性が大きい。

羽越地域は基盤岩類に関して、東北日本と西南日本の境界部にあたり、日本列島の形成過程を論じる上で重要な地域で

あるが、基盤岩類の成因や帰属に関して明らかではない部分が多い。羽越地域の花崗岩類の成因および中・下部地殻構成岩石の解明は、日本列島の形成過程を論じる上で重要な限定条件を与える。この地域では岩船花崗岩類の分布する範囲は広い。特に蒲萄山塊には多様な岩相がみられ、それぞれの成因の解明によって、複合岩体を形成する過程を明らかにできる。このことは西南日本弧東端における地殻の形成を論じることへとつながる。本論では、岩相変化に富む蒲萄山塊南部の岩船花崗岩類の岩石記載、鉱物化学組成、全岩化学組成について報告し、主要岩相である斑状黒雲母花崗岩の2段階の分別結晶作用について議論する。また岩体の形成史について考察する。

地質概説

新潟県北部から山形県南西部にかけて岩船花崗岩類が広く分布する(Fig. 1)。それらの上部には台島～西男鹿階の蒲萄層(陸成酸性火砕岩)、天上山層(安山岩質火山岩・礫岩)、西黒沢階の朝日層(鈴谷層に対比される各種火山岩・海成碎屑岩)、大須戸頁岩層(日倉山層に対比される海成碎屑岩・酸性火山岩)、女川階以降の黒田層(海成砂岩・泥岩)、鮮新世の明神岩安山岩層が順次累積する(資源エネルギー庁、

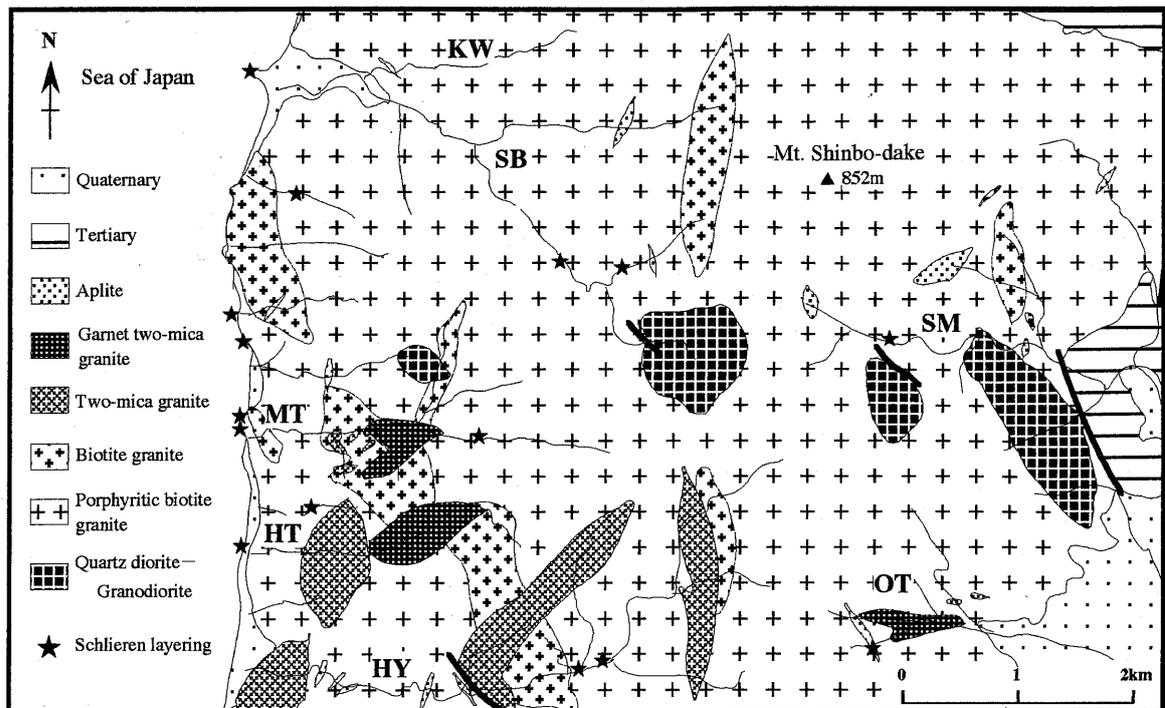


Fig. 2. Geological map of the southern part of the Budo Mountains. KW : Ku wagawa, SB : Shinbogawa, MT : Mutanigawa, HT : Hontsubakigawa, HY : Hayakawa, SM : Shionomachigawa, OT : Otokogawa.

1982).

蒲萄山塊南部の花崗岩類は斑状黒雲母花崗岩を主体として、細粒および中粒黒雲母花崗岩、ざくろ石両雲母花崗岩、両雲母花崗岩、石英閃緑岩、花崗閃緑岩、アプライトの8岩相に区分される。また安山岩、流紋岩、石英斑岩がこれら花崗岩類に小規模に貫入し、東側の一部では岩船花崗岩が第三紀の流紋岩質溶結凝灰岩に覆われる (Fig. 2)。

羽越地域の花崗岩類からは、いくつかのRb-Sr全岩年代が報告されている。朝日山地西方の三面ダム付近の花崗岩からは91.4 Ma、朝日山地南～南西方の荒川流域では71.4 Ma、81.5 Ma、100.2 Ma、107.5 Maが得られている (Shibata and Ishihara, 1979; Rezanov et al., 1999)。この107.5 Maは岩船花崗岩類の中で最も古い年代である。一方、最も若い年代は、蒲萄山塊東方に位置する高根地域の花崗岩より43.8 Maの年代が得られている (Rezanov et al., 1999)。蒲萄山塊に分布する岩船花崗岩類からは、斑状黒雲母花崗岩体に見られる結晶集積構造部よりRb-Sr全岩アイソクロン年代として89.5 Ma (加々島, 1999)、また斑状黒雲母花崗岩の黒雲母K-Ar年代として、89 Maから50.7 Ma (河野・植田, 1966を再計算; 資源エネルギー庁, 1982)があり、蒲萄山塊の南部ほど古い年代を示す傾向にある。また、北部の大部分は黒雲母花崗岩からなり全体として粗粒岩相が卓越し、南部では岩相変化が著しく細粒相やアプライト、白雲母を含む岩相の分布頻度が高い。前者は深所で、後者は浅所で固結したと思われる岩相であることから、蒲萄山塊は南部に比べて北部が相対的に大きく隆起した傾動地塊であると考えられている (資源エネルギー庁, 1982)。

花崗岩類の分布と産状

1. 斑状黒雲母花崗岩

桑川から蒲萄山塊南端部までの広範囲に分布し、本地域の主体をなす岩相である。粗粒の岩石で、多くは明灰色から青灰色であり、カリ長石のモード比が高いものは肌色を呈する。特徴としてカリ長石の斑状結晶がある。一般に粗粒塊状であるが、本地域全域に小断層が発達しているため、小片状に破碎あるいはカタクレーサイト化した産状がみられる。また局所的に黒雲母と斜長石が濃集した層状構造がみられる。これらは斑状黒雲母花崗岩の塊状部と連続する (加々島, 1999)。

2. 黒雲母花崗岩

桑川北方に広く分布する (資源エネルギー庁, 1982) 他に、本調査地域では斑状黒雲母花崗岩と漸移関係にある中粒のタイプと、それに貫入する細粒のタイプがある。前者は、カリ長石の粒径と自形性によって、斑状黒雲母花崗岩と区別される。5~20cmの小片状に破碎されている産状が多くみられる。

3. ざくろ石両雲母花崗岩

無谷川から本 榎川および男川に分布する細粒～中粒の岩石である。無谷川の岩体は本榎川の岩体に比べてざくろ石と白雲母の量比が若干多い。無谷川において、黒雲母花崗岩の組織を切って貫入する産状がみられる (Fig. 3)。また貫入脈の一部には黒雲母花崗岩との境界が不明瞭なものがみられた。多くが小片状に破碎され、一部風化が著しいものがみられる。無谷川の岩体には、母岩との境界が不明瞭である径2 cm程度の暗緑色包有物が多量に包有されている。

4. 両雲母花崗岩

無谷川から南方にかけて分布する細粒～中粒の岩石である。細粒の岩石はアプライト質であり、中粒の岩石はざくろ石両雲母花崗岩に類似する。無谷川において、黒雲母花崗岩に貫入する産状がみられるが、黒雲母花崗岩が両雲母花崗岩を包有するような産状もある。

5. 石英閃緑岩

新保川上流、無谷川上流に分布する中粒の岩石である。その他、調査地域中央部の上流域で転石がみられることから、稜線近くに分布すると思われる。斑状黒雲母花崗岩と両者の関係は直接観察できないが、斑状黒雲母花崗岩中に本岩石に類似する径数十 cm の包有物がある。

6. 花崗閃緑岩

塩野町川に分布する中粒の岩石である。斑状黒雲母花崗岩から派生する細脈が貫入している産状や、ブロック状に取り込まれている産状を示す。一般に、他岩体に比べて変質の程度が強い。本岩よりざくろ石+珪線石+ヘルシナイト+黒雲母を構成鉱物に持つ泥質変成岩の捕獲岩が見いだされた。

7. アプライト

本研究では、極細粒で緻密な岩石で有色鉱物をほとんど含まないものをアプライトとした。各花崗岩類に貫入し、岩脈として分布する。小片状に破碎されていることが多い。北部に比べて南部でより多く分布する。

資源エネルギー庁 (1982) の区分でアプライトとしているものの多くは、本研究において両雲母花崗岩あるいはざくろ石両雲母花崗岩に区分した。

花崗岩類の岩石記載

花崗岩類の鏡下観察結果について、各岩相ごとに記述する。これらの岩石のモードを Table 1 と Fig. 4 に、構成鉱物の化学組成を Appendix 1 にそれぞれ示す。鉱物の化学分析

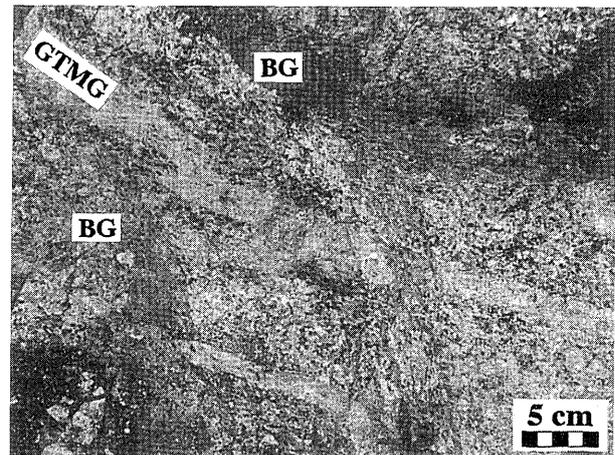


Fig. 3. Occurrence of the intrusive boundary between biotite granite and garnet two-mica granite. Garnet two-mica granite (GTMG) occurs as light gray colored vein and marginal part shows dark gray color (biotite granite; BG).

は、新潟大学大学院自然科学研究科に設置の波長分散型 EPMA (JXA-8600SX) を用いて、加速電圧 15 kV、試料電流 13 nA、ビーム径 1 μm の条件で測定し、oxide ZAF 補正を行った。

1. 斑状黒雲母花崗岩

主要構成鉱物は、石英・斜長石・カリ長石・黒雲母であり、少量のイルメナイト・アバタイト・ジルコン・モナズ石・電気石・スフェーン・ルチルを伴い、稀に極少量の白雲母を伴うことがある (Figs. 5A, B)。

石英は 2~6 mm の他形で、斜長石・黒雲母・カリ長石斑状結晶の粒間を埋める。一部、細かい球状を呈するもの、他の鉱物にポイキリティックに包有される丸みを帯びたものが認められる。斜長石は 2~10 mm の自形~半自形で、正累帯

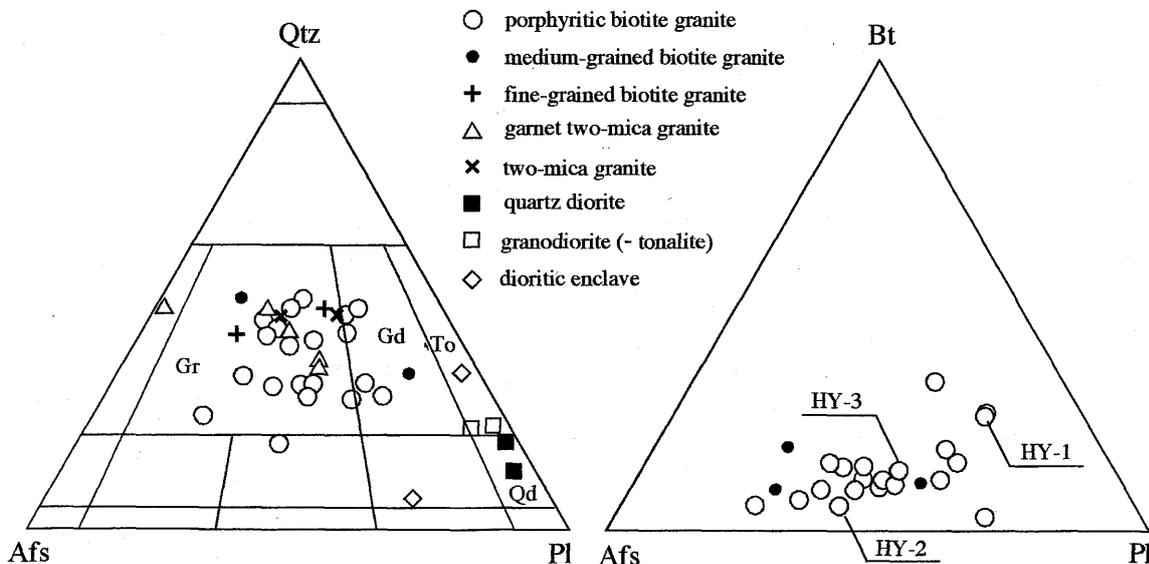


Fig. 4. Modal compositions of the Iwafune granitoids. Classification of granitic rocks are after IUGS (1973). HY-1, -2, and -3 are samples from Hayakawa region. Gr: granite, Gd: granodiorite, Qd: quartz diorite, To: tonalite, Qtz: quartz, Afs: alkali feldspar, PI: plagioclase, Bt: biotite.

Table 1. Modal compositions of the Iwafune granitoids.

	PBG 4HY30	PBG 4HY65	PBG 4HY122	BG 4TB10	f.BG 4TA01	GTMG 4MT08	TMG 4MT45	QD 4MT16	GD 8SM02
Qtz	37.4	37.1	28.5	46.3	36.6	41.1	42.3	10.4	16.0
Pl	36.6	30.3	28.9	14.6	16.0	18.4	32.6	69.4	52.6
Kfs	11.5	24.8	37.9	33.9	36.0	28.2	18.8	3.1	5.3
Bt	14.5	7.8	4.4	4.5	11.0	3.9	6.1	12.6	11.9
Hbl	-	-	-	-	-	-	-	4.2	13.3
Grt	-	-	-	-	-	2.1	-	-	-
Ms	-	-	-	-	-	6.0	0.1	-	-
Ap	+	+	+	0.2	0.2	0.2	+	+	+
Zrn	+	0.1	+	+	0.2	+	+	0.2	0.1
Opq	+	+	+	0.5	+	0.1	0.1	0.1	0.8
Spn	-	-	-	-	-	-	-	-	+

+ :small amount - :not observed

Qtz: quartz, Pl: plagioclase, Kfs: potassium feldspar, Bt: biotite, Hbl: hornblende, Grt: garnet, Ms: muscovite, Ap: apatite, Zrn: zircon, Opq: ilmenite and magnetite, Spn: sphene.
 PBG: porphyritic biotite granite, BG: biotite granite, GTMG: garnet two-mica granite, TMG: two-mica granite, QD: quartz diorite, GD: granodiorite.

構造を示し、核部がソーシャライト化しているものが認められる。An=Ca/(Ca+Na+K)×100 (mol%) は、離溶していないものは38%、離溶したものは4%である。カリ長石は自形性の強い斑状結晶と他の鉱物粒間を埋める他形結晶とが存在する。自形結晶は平均2~3cm、大きいものでは10cmをこえる。自形結晶は正方形に近い形状を示し、また多くはパーサイトをなす。粒径の小さなものには微斜長石も認められる。カリ長石のOr=K/(Ca+Na+K)×100 (mol%) は、88~97%である。一部、斜長石とカリ長石との接点に、ミルメカイトが認められる。黒雲母は0.1~2mmで褐色を呈し、劈

開の明瞭なものも多く、稀に鱗片状に存在する。他の鉱物粒間を埋める他形結晶や、カリ長石・斜長石に包有される自形結晶が認められる。X_{Mg}=Mg/(Fe+Mg)は0.21~0.47である。

2. 黒雲母花崗岩

主要構成鉱物は、石英・斜長石・カリ長石・黒雲母であり、少量のイルメナイト・アパタイト・ジルコン・モナズ石・電気石・ルチルを伴う (Figs. 5C, D).

石英は斑状黒雲母花崗岩と同様であり、細粒黒雲母花崗岩では、細かい球状形態の石英が多数みられる。斜長石は1~10mmの半自形で、弱い正累帯構造を示し、核部がソーシャライト化しているものも認められる。Anは、中粒岩は27%以下、細粒岩は20%以下である。カリ長石は1cm程度の自形結晶と他の鉱物粒間を埋める他形結晶が存在する。多くはパーサイトをなし、また微斜長石やミルメカイトも認められる。他の鉱物とほぼ同じ粒径であることが斑状黒雲母花崗岩と異なる点である。Orは、中粒岩は91~96%、細粒岩は96~97%である。黒雲母も斑状黒雲母花崗岩と同様であるが、中粒岩には比較的自形性の強い結晶が多数みられ、細粒岩には細長い形態の結晶がみられる。黒雲母のX_{Mg}は、中粒岩は0.28~0.33、細粒岩は0.31~0.33である。

3. ざくろ石両雲母花崗岩

主要構成鉱物は、石英・斜長石・カリ長石・黒雲母・白雲母・ざくろ石であり、極少量のイルメナイト・アパタイト・

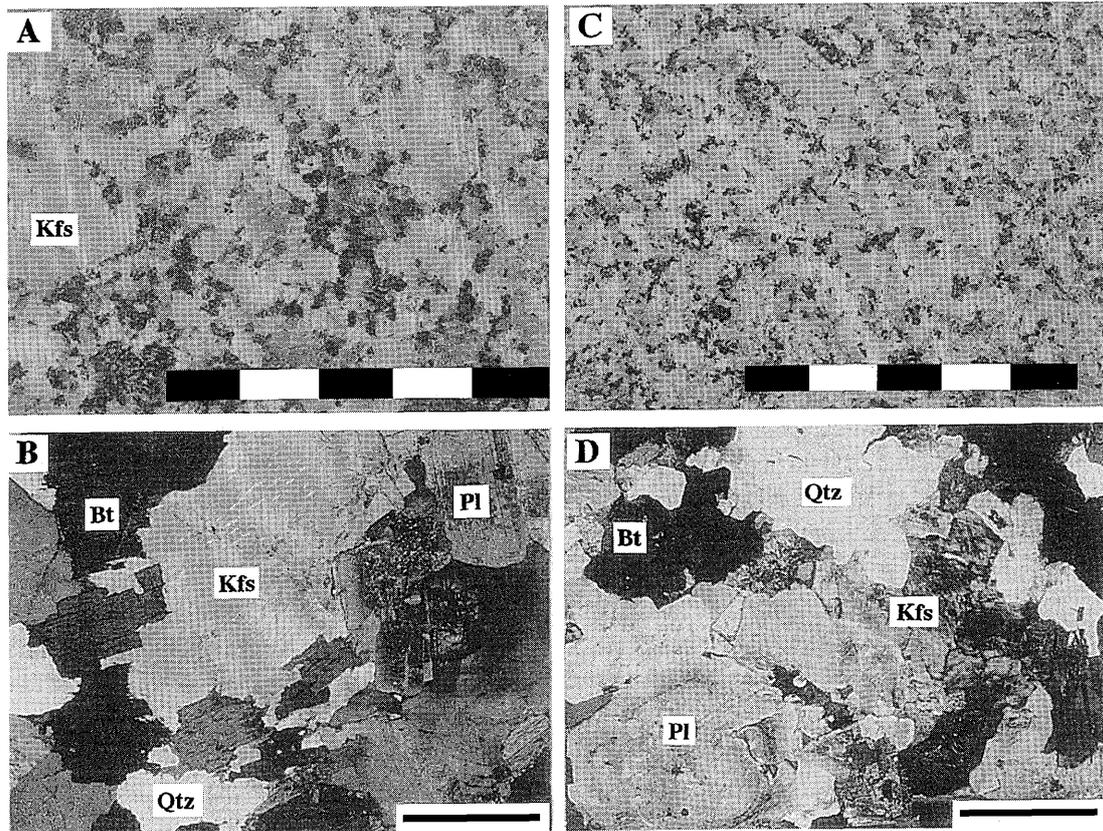


Fig. 5. Polished slabs (A, C) and photomicrographs (B, D) of the porphyritic biotite granite (A, B) and biotite granite (C, D). Scale bars are 5 cm (A, C) and 1 mm (B, D). Qtz : quartz, Pl : plagioclase, Bt : biotite, Kfs : potassium feldspar.

ジルコン・ルチルを伴う。

石英は0.1~10 mmの他形で、細かい球状の形態を示すものが多い。斜長石は0.1~10 mmの半自形で、弱い正累帯構造を示し、核部がソーシライト化しているものが認められる。 An は、26~27%である。カリ長石は1~10 mmの自形結晶と他の鉱物粒間を埋める他形結晶が認められる。多くはパーサイトであり、微斜長石も少量あり、またミルメカイトもわずかに認められる。カリ長石の Or は、90~98%である。黒雲母は褐色で0.1~2 mm。 X_{Mg} は0.11~0.27である。ざくろ石は0.1~2 mmの透明感のある自形性の強い結晶で、まれに集斑状形態を示す。包有物をほとんど含まず透明感があるものと、イルメナイトと黒雲母の微細な包有物をわずかに含むものがある。 X_{Mg} は0.01~0.06である。白雲母は無色透明で0.1~5 mm、Alに富み、Tiに乏しいものが多い。鉱物粒間を埋める細粒他形のものと同形性の強い比較的大きなものがあり、またカリ長石の包有物として認められる。

本岩石に包有される暗緑色包有物は、鏡下において母岩と漸移的である。構成鉱物にざくろ石やヘルシナイトがみられる。ざくろ石の多くは半自形から他形で、コアに多量の包有物をもち集斑状のものがやや多い。一部、コア部分の包有物が定向配列する。累帯構造は不明瞭である。

4. 両雲母花崗岩

主要構成鉱物は、石英・斜長石・カリ長石・黒雲母・白雲母であり、少量のイルメナイト・アパタイト・ジルコンを伴う。

各鉱物はざくろ石両雲母花崗岩と同様の形態を示す。斜長石の An は、17%以下である。カリ長石の Or は、92~94%である。黒雲母の X_{Mg} は0.21~0.24である。白雲母はざくろ石両雲母花崗岩中のものと比べて、よりFeに乏しく、Alに富む。

5. 石英閃緑岩

主要構成鉱物は、石英・斜長石・カリ長石・黒雲母・角閃石であり、多量のイルメナイト・マグネタイトおよび少量のスフェーン・アパタイト・ジルコン・ルチルを伴う。

石英は0.1~5 mmの他形で、少量認められる。斜長石は0.1~3 mmで自形性が強く、アルバイト式双晶とカールスバット式双晶とがあり、明瞭な正累帯構造が認められる。 An は、56%以下である。カリ長石は他の鉱物粒間にわずかに存在する。 Or は、83%である。黒雲母は0.1~2 mmで褐色を呈し、劈開の明瞭なものが多く、稀に鱗片状に存在する。 X_{Mg} は0.46~0.53である。普通角閃石は褐色~緑色を呈し、5~10 mmで自形性が強く劈開が明瞭であり、 X_{Mg} は0.56~0.60である。

6. 花崗閃緑岩

主要構成鉱物は、石英・斜長石・カリ長石・黒雲母・角閃石であり、多量のイルメナイト・マグネタイトおよび少量のスフェーン・アパタイト・ジルコン・ルチルを伴う。

石英は0.1~5 mmの他形で、少量認められる。斜長石は0.1~3 mmでやや自形性が強い。 An は、56%以下である。カリ長石は他の鉱物粒間にわずかに存在する。 Or は、81~97%である。黒雲母は0.1~2 mmで褐色を呈し、劈開は明瞭では

ないが細長い形状を示す。多くは緑泥石に置換されている。黒雲母の X_{Mg} は0.44~0.59である。普通角閃石は褐色~緑色を呈し、5~10 mmで自形性が強く劈開が明瞭であり、 X_{Mg} は0.48~0.55である。カリ長石や石英は粒間を埋める細粒なものが多い。一部トータル岩の領域にプロットされる。

7. アブライト

主要構成鉱物は、石英・斜長石・カリ長石・黒雲母であり、極少量のアパタイト・ルチルを伴う。

石英・斜長石・カリ長石は0.1~5 mmで他形を示し、黒雲母は0.01~0.5 mmで少量認められる。斜長石の An は、17%以下であり、カリ長石の Or は、92~97%である。黒雲母の X_{Mg} は0.22~0.35である。

花崗岩類の全岩化学組成

蒲萄山塊南部に分布する花崗岩類のうち、斑状黒雲母花崗岩・黒雲母花崗岩・ざくろ石両雲母花崗岩・両雲母花崗岩・石英閃緑岩・花崗閃緑岩の6岩相に関して、主成分および微量成分組成について全岩化学分析を行った。カリ長石巨晶が目立つ粗粒岩は2 kgを目安にして、試料をハンマーで砕き4分法を繰り返して粉碎用試料とした。その他の試料に関しては、中粒岩は1 kg、細粒岩は500 g程度を目安にした。岩石カッターにて切断後、ダイヤモンド製グラインダーで表面を削り、粉碎にはタングステンカーバイト製ボールミルを用いた。分析は新潟大学理学部に設置の蛍光X線分析装置(ガイガーフレックス3064, RIX3000)を用いて行い、分析法は田村ほか(1989)、川野ほか(1992)、高橋・周藤(1997)に従った。またFeOの定量は過マンガン酸カリウム滴定法により行った。本論文における主成分元素の記述には、無水100%に換算した値を用いる。分析結果をAppendix 2に、ハーカー図をFigs. 6, 7に示す。

主成分元素において、全岩相の TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MgO , CaO , P_2O_5 は一つの変化トレンドにのるように見えるが、 MnO , Na_2O , K_2O は分散する。

斑状黒雲母花崗岩と黒雲母花崗岩は、 SiO_2 が69~77 wt.%の範囲にある。 SiO_2 の増加に伴い、各元素は一つの変化トレンドを示さず分散する傾向がある。ざくろ石両雲母花崗岩・両雲母花崗岩は、 SiO_2 が73~78 wt.%の高い範囲に集中するが、 Na_2O , K_2O , P_2O_5 で両者の変化トレンドが異なる。また MnO は前者の方が明らかに高く、 MgO は低い。ざくろ石両雲母花崗岩は SiO_2 の増加に伴い、 MnO が増加し、 Na_2O は増加の後に減少、 Al_2O_3 , K_2O , P_2O_5 は減少する。一方、両雲母花崗岩は SiO_2 の増加に伴い、 MnO が減少し、 CaO , Na_2O は減少の後に増加し、 K_2O , P_2O_5 は減少した後に増加する。花崗閃緑岩は石英閃緑岩と斑状黒雲母花崗岩との中間的な組成を示す(Fig. 6)。

微量元素において、 SiO_2 に対する各元素の変化は各岩相ごとに異なる。花崗閃緑岩は直線的な変化トレンドを示すが、斑状黒雲母花崗岩は主成分元素と同様にばらつく傾向がある。ざくろ石両雲母花崗岩は他岩相に比べて、Sr, Baが非常に低く、Rbが高い。両雲母花崗岩はざくろ石両雲母花崗岩と斑状黒雲母花崗岩との中間的な組成を示す。特にRbは、

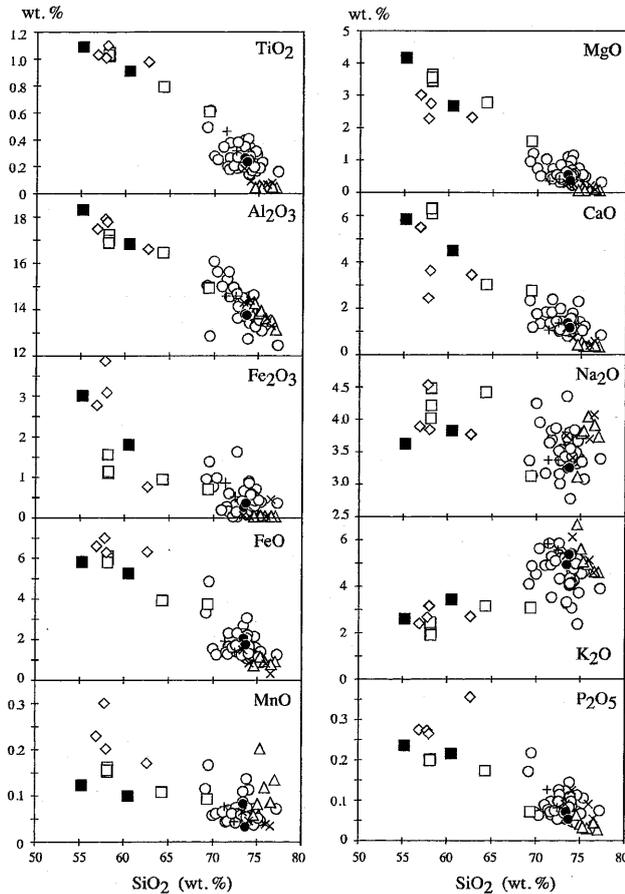


Fig. 6. Major elements variation diagrams for the granitoids. Symbols are the same as in Fig. 4.

ざくろ石両雲母花崗岩では SiO₂ の増加に伴い、555 ppm から 442 ppm と減少するのに対して、両雲母花崗岩は 264 ppm から 281 ppm へと緩やかに増加する。また Sr, Ba, Nb, Y においても両者の変化トレンドが異なる (Fig. 7)。

ACF 図 (Fig. 8) には、測定した構成鉱物の組成範囲も示した。石英閃緑岩・一部の花崗閃緑岩・閃緑岩質包有物がメタアルミナスであり、他の花崗岩類はパーアルミナスの領域にある。

考察

蒲萄山塊南部に分布する花崗岩類 (アプライトを除く) は、野外での産状および構成鉱物から、大きく3つのタイプに区分することができる。主要構成鉱物が黒雲母・斜長石・カリ長石・石英からなり、本地域全域に広く分布する斑状黒雲母花崗岩と漸移関係にある中粒黒雲母花崗岩からなる「黒雲母花崗岩類」、白雲母を含み、黒雲母花崗岩類に貫入するざくろ石両雲母花崗岩と両雲母花崗岩からなる「両雲母花崗岩類」、角閃石を含み、黒雲母花崗岩類の捕獲岩体と考えられる石英閃緑岩と花崗閃緑岩からなる「閃緑岩類」である。各岩類と SiO₂ の範囲は対応しており、SiO₂ の少ない方から、閃緑岩類 (SiO₂, 55~68 wt.%), 黒雲母花崗岩類 (SiO₂, 69~77 wt.%), 両雲母花崗岩類 (SiO₂, 73~77 wt.%) である。ここでは本地域の主体をなす黒雲母花崗岩類について検討を行う。

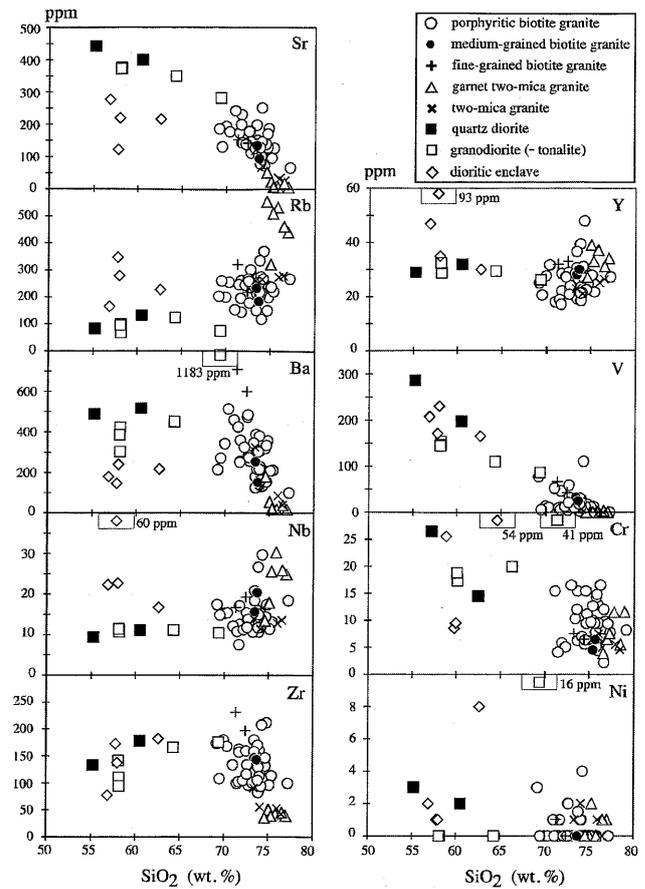


Fig. 7. Trace elements variation diagrams for the granitoids.

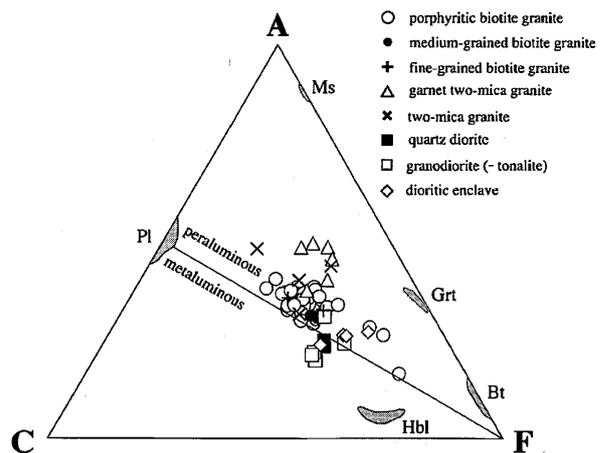


Fig. 8. ACF (A=Al₂O₃-Na₂O-K₂O, C=CaO, F=FeO+MgO in mole ratio) diagram for the granitoids with the boundary between the peraluminous and metaluminous fields. Compositional ranges of minerals in these rocks are also shown.

1. 2段階の結晶作用

黒雲母花崗岩類は、ASI=1.0~1.15 とパーアルミナスな組成を示し、イルメナイト系列 (Ishihara, 1977) に属する花崗岩である。主要岩相である斑状黒雲母花崗岩の SiO₂ は 69~

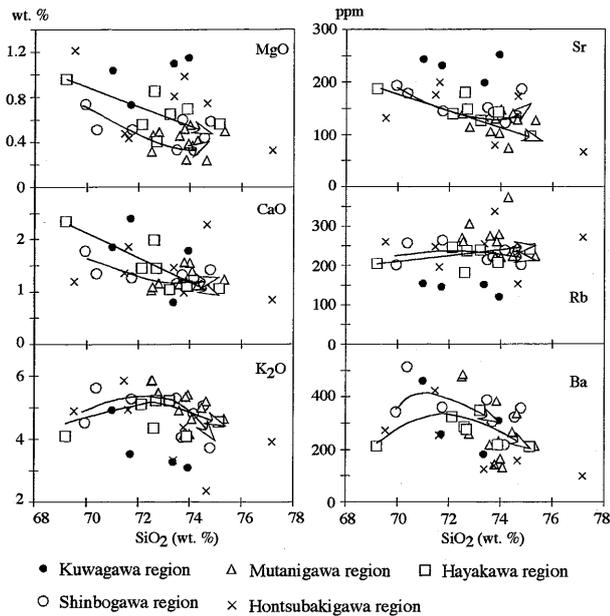


Fig. 9. Major and trace elements variation diagrams for porphyritic biotite granite. The arrows indicate the variation trends for Shinbogawa and Hayakawa regions. Solid circle : Kuwagawa region, open circle : Shinbogawa region, open triangle : Mutanigawa region, cross : Hontsubakigawa region, open square : Hayakawa region.

77 Wt. % の範囲にわたり、各元素はやや分散し一つの直線的な変化トレンドを示さない。

加々島 (1999) では、斑状黒雲母花崗岩にみられる層状構造の検討を行った。これはマグマ流動による結晶の集積によるものであり、その形成場としては、早期貫入マグマと後期貫入マグマとの境界部で形成されたと考えられた。このことは時代の差異をあらわしており、間接的に親マグマの組成や分化トレンドの違いを示唆する。断続的な浅所への貫入・定置は、斑状黒雲母花崗岩全体としては一つの変化トレンドを示さず分散することの原因の一つと考えられる。

Fig. 9 のハーカー図は、流域ごとに記号を変えて示した。北より、桑川流域、新保川流域、馬下周辺、本椿川周辺、早川流域である。そのうち組成範囲の広い新保川流域と早川流域について、大まかなトレンドを示してある。全体の傾向とこのトレンドは比較的一致しており、これら二つの変化トレンドを検討することで、全体の組成変化の傾向を知ることができる。

より未分化なマグマからより分化したマグマへの組成変化と構成鉱物との関係を検討する。Fig. 10 は、縦軸に黒雲母の $Mg/(Mg+Fe+Mn)$ 値 (原子比)、横軸に全岩組成における $MgO/(MgO+FeO^{total}+MnO)$ 値 (モル比)、および縦軸に斜長石の $Ca/(Ca+Na+K)$ 値 (原子比)、横軸に全岩組成における $CaO/(CaO+2Na_2O+2K_2O)$ 値 (モル比) をとり、分析値をプロットしたものである。

黒雲母と全岩組成の間には正の相関が認められる。斜長石と全岩組成の間にも、正の相関が認識できる。以上のこと

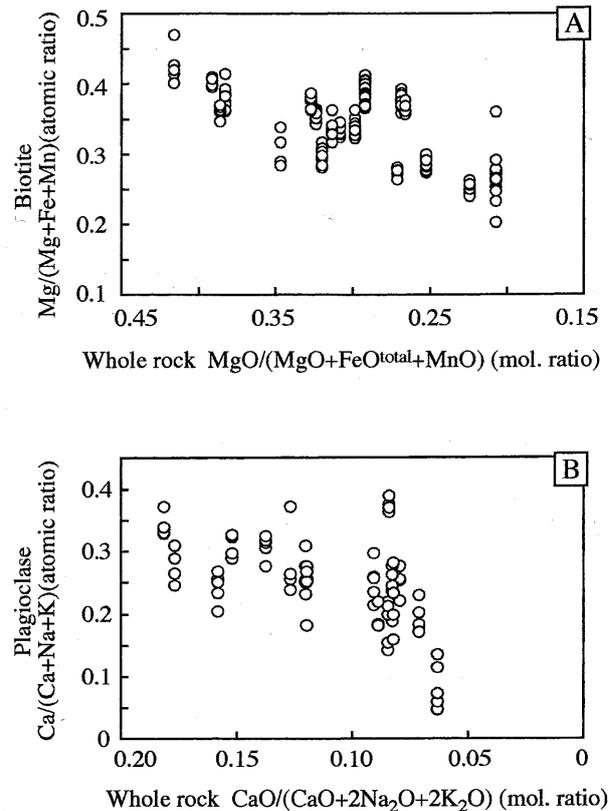


Fig. 10. A : Relationship between $Mg/(Mg+Fe+Mn)$ (atomic ratio) of the biotite and $MgO/(MgO+FeO+MnO)$ (molecular ratio) of whole rock for the porphyritic biotite granite. B : Relationship between $Ca/(Ca+Na+K)$ (atomic ratio) of the plagioclase and $CaO/(CaO+2Na_2O+2K_2O)$ (molecular ratio) of whole rock for the porphyritic biotite granite.

は、これらのトレンドの形成に黒雲母と斜長石の分別結晶作用が関与していたことを示している。また縦軸に CaO (wt. %), 横軸に MgO (wt. %) の組成変化図を示した (Fig. 11)。この際、新保川流域と早川流域から採取した試料の記号を変えて示してある。両者とも下に凸の変化トレンドを示す。全岩の MgO は黒雲母の分別により減少し、全岩の CaO の減少は斜長石に規制されている。 MgO が少なくなると逆に CaO が微増している特徴があり、斜長石の分別量よりも黒雲母とカリ長石の分別量が多かった事が予想される。

このことから2段階の分別結晶作用を経ていると考え、新保川流域と早川流域の試料それぞれについて、最も未分化と考えられる MgO が高く SiO_2 が低いものを親マグマ、より分化したと考えられる MgO が低く SiO_2 が高いものを孫マグマ、中間的なものを娘マグマと仮定した。親マグマから娘マグマへの分別結晶作用を第1段階、娘マグマから孫マグマへの分別結晶作用を第2段階とする。Fig. 4 には、黒雲母-斜長石-カリ長石のモード三角図を示してある。モードはやや下に凸の変化傾向がみられる。早川流域の親・娘・孫マグマと仮定した試料に関して、それぞれ HY-1, HY-2, HY-3 と図中に描き記した。モードに関しても、第1段階で斜長石が減少し、第2段階ではややカリ長石が減少する傾向が、早川の

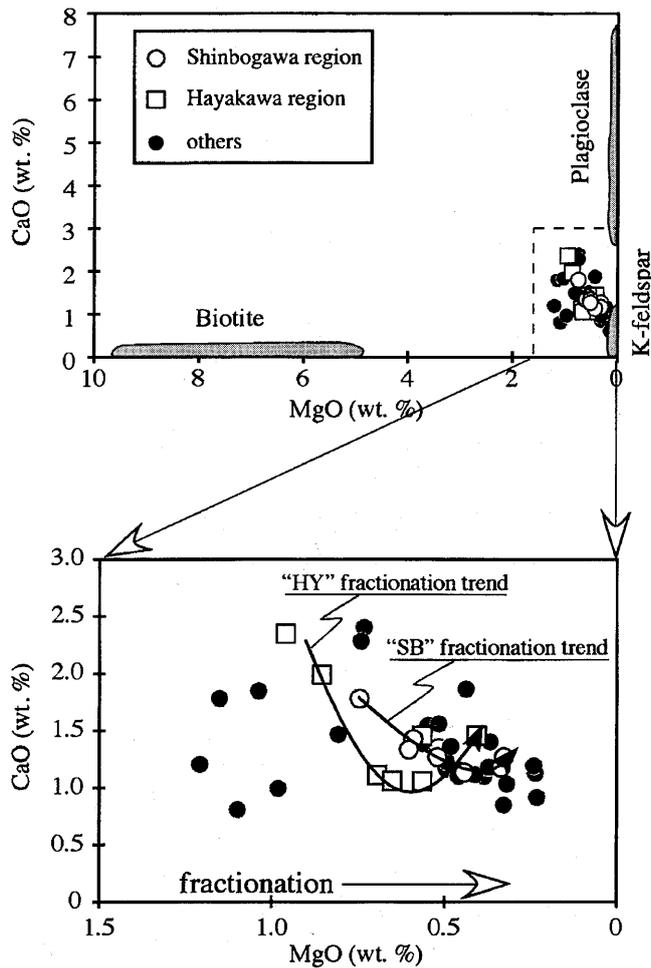


Fig. 11. MgO versus CaO diagrams for the porphyritic biotite granite with compositional ranges of minerals in these rocks. Open circles, open squares and solid circles indicate Shinbogawa region, Hayakawa region and other regions, respectively.

試料から得られた。モデル計算にはそれぞれに含まれる鉱物の分析値を使用した。黒雲母は X_{Mg} , 斜長石は $An\%$ が高い分析値を用いた。一方, カリ長石はパーサイトのため晶出時の組成を保持していないことから, 自形~半自形カリ長石のコアの正長石部分と離溶により生じた Na 長石を分析し, それぞれの面積比を求め計算した値を用いた。主成分元素による最小二乗マスバランス計算から分別される鉱物の量比を求め, 分別により形成される液相中の微量元素濃度をレイリー分別モデルによって算出し実測値と比較した。

計算に用いた鉱物-液間の分配係数は次のように仮定した。長石類の Ba や Rb の鉱物-液間の分配係数は, その長石中の Or 成分の量により規制される事が知られている (Icenhower and London, 1996)。彼らは, 泥質岩の部分溶融実験を行い, 長石中の Or 成分 (mol. %) から Ba と Rb の分配係数を求める式を提示している。これを用いて, 親マグマと娘マグマに含まれる斜長石とカリ長石の分析値からそれぞれの Ba と Rb の分配係数を求めた。これら以外の分配係数に関しては, 全岩または鉱物の化学組成が, モデル計算に用いる分析値に近い値を提示する文献から引用した。対応し

ない元素に関しては, 土谷ほか (1999) に使用されている値を参考にした。第1段階における計算と第2段階における計算では使用した分配係数が異なる。マスバランス計算結果を Table 2 に, 使用した分配係数を Table 3 に, レイリー分別モデルによる計算結果を Table 4 に示した。得られた計算値と実際の分析値との比較には, 澄川花崗閃緑岩体中の捕獲岩 (志村ほか, 1999) の微量元素濃度を用いて規格化した (Fig. 12)。志村ほか (1999) は, この捕獲岩の Sr 同位体比初生値が岩船花崗岩のそれに近いこと, 捕獲岩の全岩化学組成に基づくバッチ溶融のモデル計算結果から, 当地域の花崗岩マグマを供給した後のレスタイトであると考えている。以上のことから, 岩船花崗岩の原岩の可能性がある黒雲母片麻岩質捕獲岩の値で規格化することとした。

新保川の試料の場合, 親マグマから娘マグマ (4SB12→4SB42) への分別結晶作用は, 黒雲母 1.54%, 斜長石 12.98% の分別により導き出せる。この計算による残差の二乗和は良い値が得られた。また分別により形成された液相中の微量元素濃度は, 実際の娘マグマの分析値と非常に一致している (Fig. 12A)。第2段階の娘マグマから孫マグマ (4SB42→4SB27) へは, 黒雲母 3.16%, 斜長石 5.83%, カリ長石 7.08% の分別により導き出せ, この計算による残差の二乗和も良い値が得られた。Fig. 10 で示したように, 第2段階において斜長石の分別量よりも黒雲母+カリ長石の分別量が多かったとする考えと一致する。Fig. 12B による計算値と分析値との比較では, わずかにずれがみられるが比較的一致している。

早川の試料の場合, 親マグマから娘マグマ (4HY30→4HY122) への分別結晶作用は, 黒雲母 9.56%, 斜長石 4.67% の分別により導き出せるが, この計算による残差の二乗和はあまり良い値が得られていない。計算された娘マグマの微量元素濃度と実際の娘マグマの分析値との比較では, Nb, Zr, V, Cr でややずれが大きい (Fig. 12C)。第2段階の娘マグマから孫マグマ (4HY122→4HY65) へは, 黒雲母 1.99%, 斜長石 11.45%, カリ長石 11.00% の分別により導き出せる。この計算による残差の二乗和は第1段階よりやや良い値が得られ, Fig. 12D による計算値と分析値との比較では, ほぼ一致する。新保川の試料と同様に第1段階では計算上カリ長石の分別が無く, 第2段階でカリ長石の分別が行われる結果となった。

Fig. 13 に斑状黒雲母花崗岩のデータと共に, 4つのモデル計算において分別の程度を変えた場合の計算値を示した。分別の程度を変えることによる組成変化の範囲は, 黒雲母花崗岩の組成範囲と大体一致する。なお V, Nb, Zr, Y で計算値の方が狭い範囲にプロットされているが, これはこれらの元素が多く分配される分別鉱物相 (アパタイト, ジルコン, ルチル等) を計算に考慮していないためであろう。よって, 第1段階では黒雲母と斜長石が主に分別し, 第2段階では斜長石の分別量よりも黒雲母+カリ長石の分別量が多いという結果は, 斑状黒雲母花崗岩全体を支配する分別結晶作用プロセスと考えられる。

2. 岩体の形成史

広範囲に分布するこの黒雲母花崗岩類は, 河野・植田

Table 2. Results of mass balance calculation investigating by the model of crystallization differentiation for the Shinbogawa region (4SB12 to 4SB42, 4SB42 to 4SB27) and Hayakawa region (4HY30 to 4HY122, 4HY122 to 4HY65).

Shinbogawa region											
1st stage											
Composition (wt. %)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO ^{total}	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Total
Reactant											
Parent (4SB12)	69.84	0.27	16.05	2.43	0.06	0.74	1.78	4.24	4.52	0.07	100.00
Products											
Daughter (4SB42)	71.63	0.25	14.87	2.39	0.07	0.51	1.27	3.68	5.27	0.06	100.00
Bt	37.26	3.92	16.87	24.84	0.82	7.37	0.08	0.03	8.82	0.00	100.00
Pl	61.88	0.00	24.07	0.07	0.00	0.00	5.68	8.19	0.12	0.00	100.00
Kfs	64.95	0.00	18.13	0.04	0.00	0.00	0.01	1.83	15.04	0.00	100.00
Composition×Mass balance											
Products											
Melt	61.21	0.21	12.71	2.04	0.06	0.44	1.09	3.14	4.50	0.05	85.46
Bt	0.57	0.06	0.26	0.38	0.01	0.11	0.00	0.00	0.14	0.00	1.54
Pl	8.03	0.00	3.12	0.01	0.00	0.00	0.74	1.06	0.02	0.00	12.98
Kfs	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	69.82	0.27	16.09	2.43	0.07	0.55	1.82	4.21	4.65	0.05	99.98
Reactant-Products	-0.02	0.00	0.04	0.00	0.01	-0.19	0.04	-0.03	0.13	-0.02	R ² =0.060
2nd stage											
Reactant											
Parent (4SB42)	71.63	0.25	14.87	2.39	0.07	0.51	1.27	3.68	5.27	0.06	100.00
Products											
Daughter (4SB27)	74.02	0.19	14.04	1.78	0.06	0.32	1.27	3.48	4.79	0.05	100.00
Bt	37.35	3.24	14.80	28.44	0.84	6.33	0.03	0.02	8.94	0.00	100.00
Pl	63.90	0.00	22.41	0.09	0.00	0.00	3.85	9.60	0.16	0.00	100.00
Kfs	65.02	0.00	18.49	0.00	0.04	0.00	0.06	2.77	13.60	0.00	100.00
Composition×Mass balance											
Products											
Melt	62.12	0.16	11.78	1.49	0.05	0.27	1.07	2.92	4.02	0.04	83.92
Bt	1.18	0.10	0.47	0.90	0.03	0.20	0.00	0.00	0.28	0.00	3.16
Pl	3.73	0.00	1.31	0.01	0.00	0.00	0.22	0.56	0.01	0.00	5.83
Kfs	4.60	0.00	1.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.96	0.00	7.08
Total	71.63	0.26	14.87	2.40	0.08	0.47	1.30	3.68	5.27	0.04	100.00
Reactant-Products	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	-0.04	0.03	0.00	0.00	-0.02	R ² =0.003
Hayakawa region											
1st stage											
Composition (wt. %)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO ^{total}	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Total
Reactant											
Parent (4HY30)	68.96	0.48	14.97	4.59	0.11	0.95	2.34	3.35	4.07	0.17	100.00
Products											
Daughter (4HY122)	72.06	0.20	14.93	1.76	0.06	0.56	1.45	3.86	5.05	0.07	100.00
Bt	37.00	3.41	15.53	24.92	0.70	8.23	0.04	0.06	10.08	0.03	100.00
Pl	60.82	0.01	24.69	0.03	0.01	0.00	6.42	7.70	0.33	0.00	100.00
Kfs	65.19	0.01	18.09	0.11	0.02	0.00	0.02	2.05	14.51	0.00	100.00
Composition×Mass balance											
Products											
Melt	62.35	0.17	12.92	1.52	0.05	0.48	1.26	3.34	4.37	0.06	86.53
Bt	3.54	0.33	1.48	2.38	0.07	0.79	0.00	0.01	0.96	0.00	9.56
Pl	2.84	0.00	1.15	0.00	0.00	0.00	0.30	0.36	0.02	0.00	4.67
Kfs	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	68.73	0.50	15.55	3.91	0.12	1.27	1.56	3.71	5.35	0.06	100.76
Reactant-Products	-0.24	0.02	0.58	-0.68	0.01	0.32	-0.78	0.36	1.28	-0.11	R ² =-3.352
2nd stage											
Reactant											
Parent (4HY122)	71.00	0.24	15.74	2.10	0.07	0.76	0.66	3.72	5.62	0.09	100.00
Products											
Daughter (4HY65)	75.06	0.18	13.50	1.66	0.05	0.56	1.05	3.34	4.53	0.07	100.00
Bt	35.60	3.23	17.44	26.84	0.66	8.78	0.10	0.10	7.18	0.07	100.00
Pl	67.82	0.00	19.95	0.05	0.00	0.00	0.92	11.15	0.09	0.00	100.00
Kfs	65.19	0.03	18.31	0.07	0.05	0.00	0.12	2.11	14.12	0.00	100.00
Composition×Mass balance											
Products											
Melt	56.43	0.14	10.15	1.25	0.04	0.42	0.79	2.51	3.41	0.05	75.18
Bt	0.71	0.06	0.35	0.53	0.01	0.17	0.00	0.00	0.14	0.00	1.99
Pl	7.77	0.00	2.28	0.01	0.00	0.00	0.11	1.28	0.01	0.00	11.45
Kfs	7.17	0.00	2.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.23	1.55	0.00	11.00
Total	72.07	0.20	14.80	1.80	0.06	0.60	0.91	4.02	5.11	0.05	99.62
Reactant-Products	1.08	-0.04	-0.94	-0.31	-0.01	-0.16	0.25	0.30	-0.51	-0.04	R ² =-2.586

Table 3. Mineral-melt partition coefficients for trace elements used in the calculation.

Shinbogawa region, 1st stage (4SB12→4SB42)									
	D-Sr	D-Rb	D-Ba	D-Nb	D-Zr	D-Y	D-V	D-Cr	D-Ni
Pi	13 ^d	0.04 ^a	0.24 ^a	0.06 ^c	0.2 ^c	0.19 ^c	0.01 ^e	0.01 ^e	0.01 ^e
Kfs	7.3 ^c	0.87 ^a	21.16 ^a	0.00	0.04 ^c	0.00	0.00	0.6 ^b	0.6 ^b
Bt	0.52 ^c	3.2 ^c	29 ^c	5.6 ^c	1 ^c	1.4 ^c	50 ^f	8.3 ^c	19 ^b
Shinbogawa region, 2nd stage (4SB42→4SB27)									
	D-Sr	D-Rb	D-Ba	D-Nb	D-Zr	D-Y	D-V	D-Cr	D-Ni
Pi	7.3 ^d	0.04 ^a	0.36 ^a	0.06 ^c	0.36 ^d	0.07 ^d	0.01 ^e	0.01 ^e	0.01 ^e
Kfs	4.5 ^d	0.79 ^a	19.1 ^a	0.00	0.05 ^d	0.00	0.00	0.6 ^b	0.6 ^b
Bt	0.53 ^d	2.3 ^d	36 ^d	9.5 ^d	1.8 ^d	1 ^d	50 ^f	4.2 ^b	19 ^b
Hayakawa region, 1st stage (4HY30→4HY122)									
	D-Sr	D-Rb	D-Ba	D-Nb	D-Zr	D-Y	D-V	D-Cr	D-Ni
Pi	13 ^c	0.04 ^a	0.32 ^a	0.06 ^c	0.2 ^c	0.19 ^c	0.01 ^e	0.01 ^e	0.01 ^e
Kfs	7.3 ^c	0.85 ^a	20.62 ^a	0.00	0.04 ^c	0.00	0.00	0.6 ^b	0.6 ^b
Bt	0.52 ^c	3.2 ^c	7 ^h	0.00	1 ^c	1.4 ^c	50 ^f	8.3 ^c	19 ^b
Hayakawa region, 2nd stage (4HY122→4HY65)									
	D-Sr	D-Rb	D-Ba	D-Nb	D-Zr	D-Y	D-V	D-Cr	D-Ni
Pi	7.3 ^d	0.04 ^a	0.20 ^e	0.06 ^c	0.36 ^d	0.07 ^d	0.01 ^e	0.01 ^e	0.01 ^e
Kfs	4.5 ^d	0.84 ^a	20.35 ^a	0.00	0.05 ^d	0.00	0.00	0.6 ^b	0.6 ^b
Bt	0.53 ^d	2.3 ^d	7 ^h	0.00	1.8 ^d	1 ^d	50 ^f	4.2 ^b	19 ^b

Source of data: ^a Icenhower and London (1996), D(Ba)/fsp/gi = 0.07 + (0.25) orthoclase, D(Rb)/fsp/gi = 0.03 + (0.01) orthoclase, ^b Francalanci et al. (1987), ^c Nash and Crecraft (1985), Sp. no. 20, ^d Nash and Crecraft (1985), Sp. no. 8, ^e Rollinson (1993), ^f Bornhorst (1980), ^g Gill (1981), ^h Mahood and Hildreth (1983).

(1966)と資源エネルギー庁(1982)により、黒雲母のK-Ar年代が求められている。本調査地域より南部では、89 Ma (Steiger and Jäger, 1977: $\lambda_e=0.581 \times 10^{-10}/\text{yr}$ を用いて再計算)、83.9 Ma、北部では62.9 Maである。Rb-Sr全岩アイソクロン年代は、結晶集積による層状構造部から、89.5 Ma、85 Ma、63 Maの報告がある(加々島, 1998, 1999)。本地域の岩体の冷却速度は明らかになっていないが、Ishihara et al. (1998)では山形県小国町金丸の岩船花崗岩(金丸ペグマタイト)から冷却年代を求めている。それによると、およそ15~20 Maの期間で、700℃から200℃へと冷却していることを示している。蒲萄山塊は南部にくらべて北部が相対的に大きく隆起した傾動地塊であり、南部ほどより浅所で固結した岩相が露出していると考えられている(資源エネルギー庁, 1982)。そのため、南部に分布する花崗岩類は北部に分布するものに比べて冷却するのが早く、古い黒雲母K-Ar年代を示すと考えられる。しかし、黒雲母のK-Ar年代で30 Maの開きがあり、金丸の花崗岩の冷却速度を参考にすると、若干のギャップがある。また、近接した層状構造から得られた89.5~63 Maの25 Maの差は、地殻浅所への断続的な貫入・ positioningを示唆する(加々島, 1998, 1999)。断続的に貫入したマグマには分化トレンドの違いによる組成のばらつきがあったと考えられることにより、本岩体全体として一つのトレンドを示さないことを説明できる。花崗岩質マグマにおいて結晶の集積構造が形成される場合は、主に岩体周縁部や岩相境界部であ

Table 4. Result of the melt compositions by the fractional crystallization model.

Shinbogawa region, 1st stage (4SB12→4SB42)						Shinbogawa region, 2nd stage (4SB42→4SB27)							
	observed	Degree of fractional crystallization(%)						observed	Degree of fractional crystallization(%)				
		5	10	14.52	15	20			5	10	15	15.62	20
Sr	145	187.2	180.3	173.9	173.3	166.1	Sr	122	147.0	149.2	151.6	151.9	154.1
Rb	264	212.0	223.2	234.3	235.6	249.5	Rb	238	276.0	289.3	304.0	306.0	320.5
Ba	359	352.3	362.4	372.3	373.4	385.4	Ba	217	332.3	306.2	280.9	277.8	256.4
Nb	17	15.7	16.5	17.3	17.4	18.4	Nb	15	17.6	18.3	19.0	19.1	19.9
Zr	158	189.1	199.1	209.2	210.3	222.9	Zr	122	165.6	174.1	183.5	184.7	194.0
Y	29	29.4	31.0	32.5	32.7	34.6	Y	31	30.5	32.1	33.9	34.2	36.0
V	11	14.2	14.3	14.5	14.5	14.7	V	18	10.7	10.3	10.0	10.0	9.7
Cr	7	6.3	6.6	6.9	6.9	7.3	Cr	6	7.3	7.6	8.0	8.1	8.4

Hayakawa region, 1st stage (4HY30→4HY122)						Hayakawa region, 2nd stage (4HY122→4HY65)							
	observed	Degree of fractional crystallization(%)						observed	Degree of fractional crystallization(%)				
		5	10	14.23	20	25			15	20	24.44	30	35
Sr	139	191.3	194.9	198.2	203.0	207.5	Sr	97	131.5	128.8	126.3	123.1	120.0
Rb	246	211.4	219.4	226.9	238.1	249.0	Rb	241	282.8	297.9	312.8	334.0	355.9
Ba	324	216.5	220.2	223.6	228.6	233.3	Ba	209	258.0	237.0	218.8	196.6	177.2
Nb	11	18.4	18.9	19.3	20.0	20.6	Nb	11	12.5	13.2	13.8	14.7	15.6
Zr	105	182.2	191.2	199.6	212.5	225.1	Zr	97	121.9	128.9	135.8	145.6	155.9
Y	27	26.1	27.4	28.5	30.3	32.0	Y	28	31.6	33.5	35.5	38.2	41.0
V	12	64.3	52.4	43.7	33.6	26.3	V	11	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
Cr	8	16.2	16.4	16.5	16.8	17.0	Cr	10	9.2	9.7	10.1	10.8	11.5

Normalized by the average data for biotite gneiss of Sumikawa xenolith

elements	Sr	Rb	Ba	Nb	Zr	Y	V	Cr
ppm	386	158	640	11	162	21	99	70

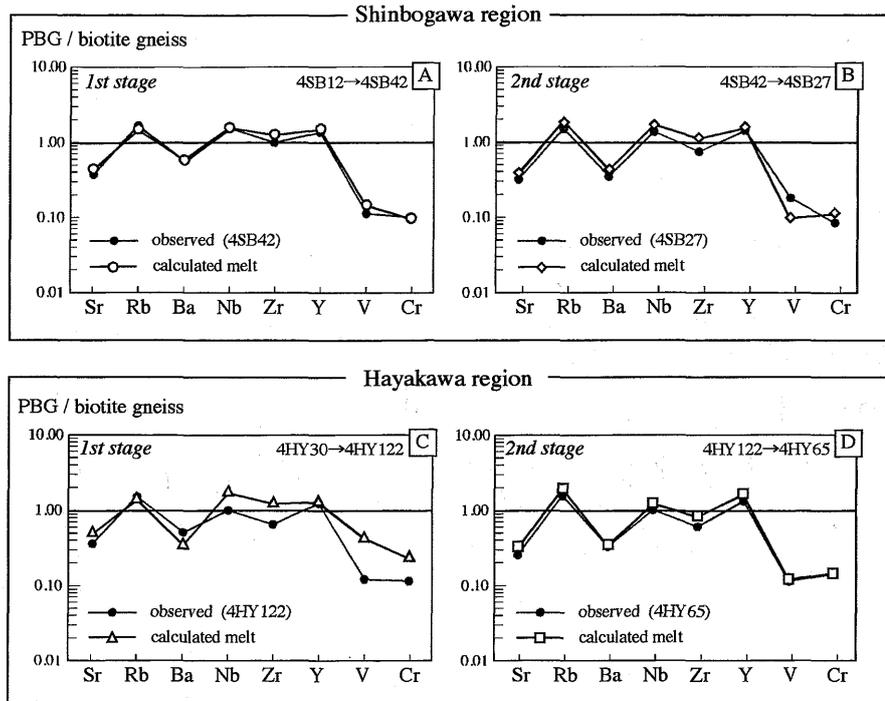


Fig. 12. Calculated results of four trace elements modelings of the porphyritic biotite granite, normalized by the average compositions for biotite gneiss of Sumikawa xenolith (Shimura et al., 1999). The original data of this figure are shown in Table 4.

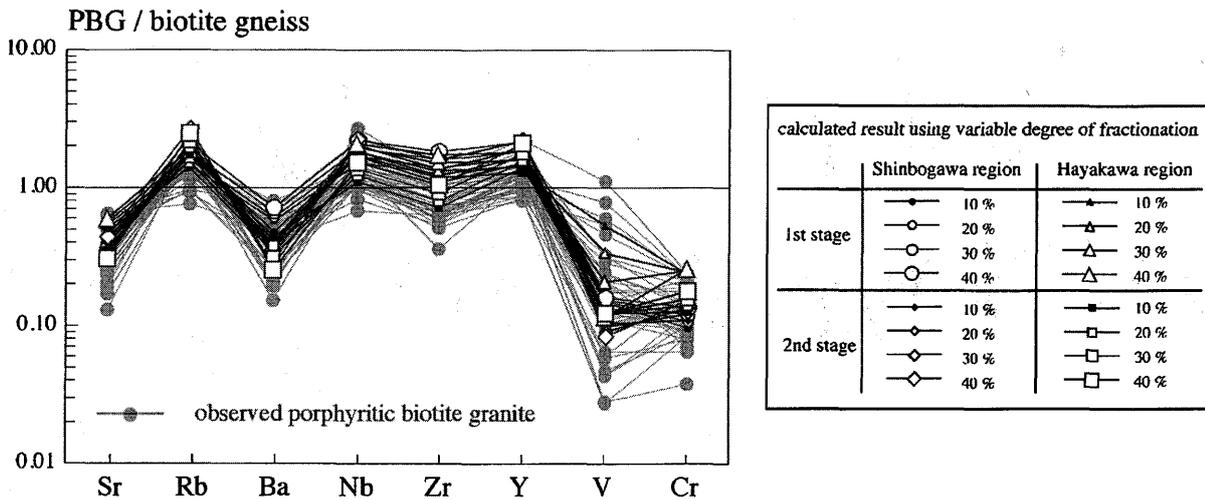


Fig. 13. Trace elements spidergram for the porphyritic biotite granite of the Shinbogawa and Hayakawa regions, normalized by the average compositions for biotite gneiss of Sumikawa xenolith (Shimura et al., 1999). The original data of this figure are shown in Table 4.

ることから (久保, 1987, 2000 ; Sawka et al., 1990), 黒雲母花崗岩類は一つの均質な岩体ではなく, ある種の累帯深成岩体である可能性が高い。今後, 傾動隆起による冷却年代の連続的な差異の他に, 断続的な貫入定置による形成年代の違いを検討することが必要となろう。

ま と め

1. 蒲萄山塊南部に分布する岩船花崗岩類は, 主要岩相である斑状黒雲母花崗岩と黒雲母花崗岩からなる黒雲母花崗岩

類, 白雲母およびざくろ石を含む両雲母花崗岩類, 角閃石を含む閃緑岩類の3つのタイプに大別される。黒雲母花崗岩類, 両雲母花崗岩類はパーアルミナス組成であり, 閃緑岩類はメタアルミナス組成である。

2. 新保川と早川地域から得られた試料によって, 全岩-鋳物化学組成を検討した結果, 斑状黒雲母花崗岩は2段階の分別結晶作用が考えられる。第1段階は主に斜長石と黒雲母の分別, 第2段階は斜長石よりも黒雲母+カリ長石の分別が多く。モデル計算結果と実際の組成は比較的一致している。

3. 斑状黒雲母花崗岩体は、断続的なマグマの貫入により形成されたある種の累帯深成岩体であると考えられ、分化トレンドの違いによる組成のばらつきがあったと考えられることにより、本岩体全体として一つのトレンドを示さないことを説明できる。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、新潟大学の加々美寛雄教授、宮下純夫教授、豊島剛志助教授、産業技術総合研究所の高橋 浩博士には御教示・御助言を頂き、有益な討論をしていただいた。新潟大学大学院の高橋俊郎、川井稔子の両氏には全岩化学組成の分析においてお世話になった。野外調査の折には新潟県朝日村早稲田の菅原義孝氏、同村塩野町の中山太一郎氏の両御家族の方々に、長期にわたりお世話になった。神戸大学の田結庄良昭教授ならびに茨城大学の高橋正樹教授には原稿を丁寧に査読していただき、有益な御指摘・御助言を頂いた。また編集幹事の岩手大学の土谷信高助教授にも大変お世話になった。以上の方々に記して感謝します。

文 献

- Bornhorst, T. J., 1980, Major- and trace-element geochemistry and mineralogy of upper Eocene to Quaternary rocks of the Mogollon-Datil volcanic field, southern New Mexico. Ph.D. Dissertation, University of New Mexico, Albuquerque, N. M. (Unpublished).
- Chihara, K., 1959, Geology and petrology of granitic rocks and gneisses in the northern district of Niigata Prefecture. Part I. Granitic rocks. *Jour. Fac. Sci. Niigata Univ., Ser. II*, **3**, 111-169.
- 茅原一也, 1982, 新潟積成盆地および周辺地域の基盤構造と新生代火成活動史. *地質雑*, **88**, 983-999.
- Francalanci, L., Peccerillo, A. and Poli, G., 1991, Partition coefficients for minerals in potassium-alkali rocks: Data from Roman province (Central Italy). *Geochem. Jour.*, **21**, 1-10.
- Gill, J. B., 1981, *Orogenic Andesites and Plate tectonics*. Springer-Verlag, New York, 390p.
- Icenhower, J. and London, D., 1996, Experimental partition of Rb, Cs, Sr, and Ba between alkali feldspar and peraluminous melt. *Amer. Mineral.*, **81**, 719-734.
- Ishihara, S., 1977, The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks. *Mining Geol.*, **27**, 293-305.
- Ishihara, S., Hamano, K. and Ikegami, A., 1998, Isotopic evaluation on the genesis of the Kanamaru Pegmatite Deposit, Niigata Prefecture, Japan. *Resource Geology*, **48**, 1-6.
- 石原舜三・佐々木 昭・寺島 滋, 1983, 羽越地域の花崗岩類と鉍化作用. *地調月報*, **34**, 11-26.
- I. U. G. S. Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks, 1973, Plutonic rocks: Classification and nomenclature. *Geotimes*, **18**, 26-30.
- 加々島慎一, 1998, 岩船花崗岩中の結晶集積構造とその年代. 日本地質学会第105年学術大会演旨, 179.
- 加々島慎一, 1999, 新潟県北部、岩船花崗岩中の層状構造とその Rb-Sr アイソクロン年代. *地質学論集*, no. 53, 261-268.
- 川井稔子・志村俊昭, 1997, 新潟県北部、澄川花崗岩体に見られる変成岩ゼノリスについて. 日本地質学会第104年学術大会演旨, 196.
- 河野義礼・植田良夫, 1966, 本邦産火成岩の K-Ar dating (IV) - 東北日本の花崗岩類. *岩鉍*, **56**, 41-55.
- 川野良信・渡部直喜・山本和広・周藤賢治, 1992, 蛍光 X 線分析装置による珪酸塩岩中の Ba, Co, Cr, V の定量分析. 新潟大理地鉍研究報告, no. 7, 111-115.
- 久保和也, 1987, 花崗岩の結晶集積構造. *地質ニュース*, **398**, 口絵.
- 久保和也, 2000, 累帯深成岩体の貫入固結過程. *月刊地球*, no. 30, 153-160.
- Mahood, G. and Hildreth, W., 1983, Large partition coefficients for trace elements in high-silica rhyolites. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **47**, 11-30.
- Nash, W. P. and Crecraft, H. R., 1985, Partition coefficients for trace elements in silicic magmas. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **49**, 2309-2322.
- 大塚富男・島津光夫, 1981, 新潟県北部の花崗閃緑岩中の珪線石-ざくろ石片麻岩ゼノリス. *地質雑*, **87**, 833-836.
- Rezanov, A. I., Shuto, K., Iizumi, S. and Shimura, T., 1999, Sr and Nd isotopic and geochemical characteristics of Cretaceous-Paleogene granitoid rocks in the Niigata area, the northern part of the Southwest Japan. *Mem. Geol. Soc. Japan*, no. 53, 269-286.
- Rollinson, H., 1993, *Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*. Longman, London, 352p.
- Sawka, W. N., Chappel, B. W. and Kistler, R. W., 1990, Granitoid compositional zoning by side-wall boundary layer differentiation: evidence from the Palisade Crest Intrusive Site, Central Sierra Nevada, California. *Jour. Petrol.*, **31**, 519-553.
- Shibata, K. and Ishihara, S., 1979, Rb-Sr whole rock ages and K-Ar mineral ages of granitic rocks in Japan. *Geochem. Jour.*, **13**, 113-119.
- 資源エネルギー庁, 1982, 広域調査報告書, 羽越地域 (I). 164p.
- 島津光夫, 1964a, 東北日本の白亜紀花崗岩 I. *地球科学*, no. 71, 18-27.
- 島津光夫, 1964b, 東北日本の白亜紀花崗岩 II. *地球科学*, no. 72, 24-29.
- 志村俊昭・川井稔子・加々島慎一, 1999, 羽越地域における下部地殻グラニュライト相変成作用. 日本地質学会第106年学術大会演旨, 66.
- Steiger, R. H. and Jäger, E., 1977, Subcommission on geochronology: convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **36**, 359-362.
- 高橋俊郎・周藤賢治, 1997, 蛍光 X 線分析装置 RIX3000 による、珪酸塩岩石中の主成分元素および微量元素の定量分析. *理学電機ジャーナル*, **28**, 25-37.
- 高橋 浩, 1998, 新潟・山形県境、日本国マイロナイト帯の地質と構造. *地質雑*, **104**, 122-136.
- Takahashi, Y., 1998, Geochemistry of the Nihonkoku Mylonite along the border between Niigata and Yamagata Prefectures, Northeast Japan. *Jour. Min. Petr. Econ. Geol.*, **93**, 330-343.
- 田村真一・小林 豊・周藤賢治, 1989, 蛍光 X 線分析による珪酸塩岩中の微量元素の定量分析. *地球科学*, **43**, 180-185.
- 土谷信高・古川聡子・木村純一, 1999, 北上山地古第三紀浄土ヶ浜流紋岩類の岩石学的研究. *地質学論集*, no. 53, 57-83.
- 土谷信之・高橋 浩・柳沢幸夫・山元孝広・久保和也・駒澤正夫・広島俊男・内藤一樹, 1999, 20 万分の 1 地質図幅「村上」.

(要 旨)

加々島慎一・志村俊昭, 新潟県北部, 蒲萄山塊に分布する岩船花崗岩類中の斑状黒雲母花崗岩の2段階分別結晶作用. 地質雑, 107, 515-530 (Kagashima, S. and Shimura, T., 2001, Two stage fractional crystallization of the porphyritic biotite granite from the Iwafune granitoids in the Budo Mountains, Niigata Prefecture, Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, 107, 515-530.)

新潟県北部の蒲萄山塊には, 後期白亜紀から古第三紀の岩船花崗岩類が分布する. 蒲萄山塊南部の岩船花崗岩類は, 斑状黒雲母花崗岩, 黒雲母花崗岩, ざくろ石両雲母花崗岩, 両雲母花崗岩, 石英閃緑岩, 花崗閃緑岩に区分された. これらは産状, 構成鉱物, 全岩-鉱物組成から3つの岩類に分けられる. 主要岩相である斑状黒雲母花崗岩の結晶作用を検討した. モード組成および全岩化学組成から屈曲したトレンドが得られ, 2段階の分別結晶作用が考えられる. マスバランス計算により, 第1段階では斜長石と黒雲母が主な分別鉱物であり, 第2段階では斜長石よりもカリ長石+黒雲母の分別が多かったことが導き出された.

Appendix 2. Bulk chemical compositions of Iwafune granitoids in the southern part of the Budo Mountains.

Rock type	PBG	PBG	PBG	PBG	PBG	PBG									
Sp. No.	4SB06	4SB10	4SB12	4SB21	4SB25	4SB27	4SB41	4SB42	4HY18	4HY21	4HY30	4HY43	4HY65	4HY122	4HY125
(wt. %)															
SiO ₂	72.98	73.67	68.76	69.52	73.55	73.15	72.66	70.73	71.56	72.69	68.66	72.37	74.03	70.42	71.99
TiO ₂	0.20	0.28	0.26	0.24	0.18	0.18	0.23	0.25	0.37	0.24	0.48	0.27	0.18	0.19	0.18
Al ₂ O ₃	13.93	13.17	15.80	15.43	13.49	13.88	13.93	14.68	13.43	14.13	14.91	13.62	13.32	14.58	14.25
Fe ₂ O ₃	0.19	0.67	0.73	0.94	0.49	0.17	0.51	0.57	1.58	0.00	0.92	0.09	0.40	0.00	0.39
FeO	1.51	1.60	1.53	1.24	1.05	1.43	1.49	1.64	1.38	2.32	3.29	2.21	1.14	1.58	1.21
MnO	0.05	0.06	0.06	0.06	0.04	0.06	0.06	0.07	0.07	0.06	0.11	0.07	0.05	0.06	0.06
MgO	0.33	0.58	0.73	0.51	0.44	0.32	0.59	0.51	0.84	0.40	0.95	0.68	0.55	0.54	0.64
CaO	1.16	1.40	1.75	1.33	1.13	1.25	1.31	1.25	1.96	1.46	2.33	1.09	1.04	1.42	1.04
Na ₂ O	3.68	3.35	4.18	3.90	3.28	3.44	3.75	3.63	2.97	3.37	3.34	3.45	3.30	3.77	3.37
K ₂ O	5.25	3.67	4.45	5.55	4.99	4.74	4.00	5.20	4.27	5.21	4.06	3.99	4.47	4.97	5.13
P ₂ O ₅	0.05	0.07	0.07	0.06	0.04	0.05	0.06	0.06	0.12	0.11	0.17	0.11	0.07	0.07	0.07
L.O.I	0.43	0.66	0.82	0.55	0.56	0.34	0.72	0.64	0.42	0.44	0.43	1.10	0.77	1.31	0.96
TOTAL	99.75	99.17	99.13	99.34	99.24	98.99	99.31	99.23	98.97	100.44	99.65	99.05	99.30	98.93	99.27
(ppm)															
Sr	151	187	194	179	130	122	143	145	180	148	188	143	97	139	127
Rb	214	202	202	258	236	238	222	264	181	237	204	208	241	246	239
Ba	388	356	343	514	321	217	303	359	285	274	213	217	209	324	346
Nb	12	17	15	15	12	15	16	17	14	14	18	15	11	11	11
Zr	120	212	180	168	125	122	149	158	134	107	174	130	97	105	100
Y	19	27	28	32	29	31	28	29	23	24	25	24	28	27	28
V	25	14	14	11	4	18	4	11	59	32	78	15	11	12	10
Cr	7	10	6	6	7	6	8	7	16	10	16	15	10	8	10
Ni	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1	n.d.	n.d.	2	2	3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
ASI	1.01	1.09	1.06	1.04	1.05	1.06	1.08	1.06	1.03	1.02	1.06	1.14	1.10	1.03	1.10

Rock type	m.BG	m.BG	f.BG	f.BG	GTMG	GTMG	TMG	TMG	QD	QD	GD	GD	DE	DE
Sp. No.	4TB10	4MA07	4TA01	4TB11	4MT08	4HT25	4HY86	6MT11	4MT16	4HY109	8SM01	8SM08	4KW24	4HY17
(wt. %)														
SiO ₂	73.05	73.01	71.36	70.82	76.70	75.74	74.62	75.52	55.72	59.97	57.00	57.22	55.71	62.20
TiO ₂	0.26	0.23	0.30	0.45	0.03	0.04	0.06	0.07	1.09	0.89	0.99	1.00	1.00	0.96
Al ₂ O ₃	13.72	13.62	14.36	14.48	13.08	13.35	13.36	13.11	18.46	16.67	16.90	16.62	17.14	16.49
Fe ₂ O ₃	0.23	0.33	0.48	0.83	0.00	0.00	0.00	0.41	3.02	1.76	1.06	1.52	2.69	0.73
FeO	2.05	1.72	1.34	1.91	0.92	0.75	0.79	0.31	5.88	5.22	6.09	5.78	6.48	6.29
MnO	0.08	0.03	0.04	0.08	0.13	0.08	0.04	0.03	0.12	0.10	0.16	0.15	0.22	0.17
MgO	0.56	0.37	0.40	0.36	0.08	0.10	0.21	0.10	4.20	2.65	3.58	3.49	2.95	2.30
CaO	1.38	1.16	1.34	1.06	0.36	0.41	0.40	0.57	5.90	4.46	6.21	6.21	5.38	3.44
Na ₂ O	3.23	3.23	3.32	3.35	3.72	3.87	3.63	4.02	3.65	3.80	4.13	3.96	3.82	3.74
K ₂ O	4.91	5.32	5.47	5.79	4.58	4.57	5.04	4.53	2.62	3.39	1.87	2.40	2.36	2.69
P ₂ O ₅	0.07	0.05	0.08	0.13	0.03	0.04	0.09	0.05	0.24	0.21	0.20	0.20	0.27	0.35
L.O.I	0.33	0.26	0.69	0.73	0.22	0.19	0.87	0.87	1.03	1.22	1.50	0.91	1.45	1.02
TOTAL	99.87	99.32	99.20	99.98	99.86	99.15	99.11	99.59	101.94	100.35	99.69	99.46	99.48	100.38
(ppm)														
Sr	135	95	142	153	6	17	33	23	442	400	376	374	279	217
Rb	235	187	220	324	442	462	277	282	83	133	69	96	164	227
Ba	255	151	599	709	18	37	85	41	488	518	302	387	181	218
Nb	16	20	19	17	25	26	13	14	9	11	11	11	22	17
Zr	147	144	197	231	39	45	53	43	133	178	111	142	77	182
Y	28	30	33	32	34	31	25	26	29	32	29	32	47	30
V	33	25	43	66	n.d.	2	0	n.d.	286	197	153	144	208	165
Cr	5	7	7	8	12	6	6	5	27	15	18	19	26	54
Ni	n.d.	n.d.	n.d.	1	1	1	1	n.d.	3	2	n.d.	n.d.	2	8
ASI	1.04	1.03	1.04	1.06	1.12	1.11	1.10	1.04	0.94	0.92	0.84	0.81	0.92	1.08

PBG; porphyritic biotite granite, m.BG; medium-grained biotite granite, f.BG; fine-grained biotite granite, GTMG; garnet two-mica granite, TMG; two-mica granite, QD; quartz diorite, GD; granodiorite, DE; dioritic enclave, L.O.I.; loss on ignition, ASI; Al₂O₃/(CaO+Na₂O+K₂O) in mole ratio.