

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

| | |
|----------|---|
| 著者 | 中村 淳子, 山本 温彦, 富田 克利, 大庭 昇 |
| 雑誌名 | 鹿児島大学理学部紀要. 地学・生物学 |
| 巻 | 19 |
| ページ | 1-21 |
| 別言語のタイトル | Genetical Consideration for Garnets of the Southwestern Outer Zone-type Granites, South Kyushu, Japan |
| URL | http://hdl.handle.net/10232/00009980 |

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

中村 淳子*・山本 温彦**・富田 克利**
大庭 昇**

(1986年7月1日受理)

Genetical Consideration for Garnets of the Southwestern
Outer Zone-type Granites, South Kyushu, Japan

Jyunko NAKAMURA*, Masahiko YAMAMOTO**, Katsutoshi TOMITA**
and Noboru ŌBA**

Abstract

Mode of occurrence, chemical compositions, compositional variation of zonal structure, inclusions and paragenetic relations were studied for garnets from Ōsumi, Takakumayama and Shibisan rock bodies of the Southwestern Outer Zone-type granites in South Kyushu, Japan. Garnets from Ōsumi and Shibisan granodiorites are quite contrasted in many respects with those from Takakumayama granite. Such a fact indicates difference in their source and origin.

Garnets of Ōsumi and Shibisan granodiorites contain sillimanite or biotite and/or both as inclusions, and are surrounded by reaction rim composing mainly of biotite, plagioclase, quartz, and, occasionally, sillimanite at the margins. Variation pattern of the reverse zoning that Mg-content is low at core and high at rim in the analyzed garnets is similar to that in garnets from metamorphic rocks. The analyzed garnets fall within a field of metamorphic garnets on the TiO_2 -CaO diagram (KANO and YASHIMA, 1976), and their locations on both (Grossularite + Andradite)-Almandine-Pyrope and CaO-MnO-MgO diagrams suggest that they have a close relation with metamorphic rocks in their source. Thus, the garnets will possibly be considered to be xenocrysts of the metamorphic origin: it seems that metamorphic rocks were subjected to partial melting at depths, and granitic magma was generated and garnets were crystallized out; later, the granitic magma moved up and invaded into the comparatively shallow depths, then, as a result, the garnets became unstable and reaction rim was formed at the margins.

Meanwhile, garnets from Takakumayama granite contain neither sillimanite nor biotite as inclusions, and have no reaction rim. Mn-content is apparently high in chemical composition. Variation pattern in composition of zonal structure of the analyzed garnets clearly shows the compensative behavior with respect to Fe^{2+} -content and Mn-content. The analyzed garnets fall within a field of magmatic garnets on the TiO_2 -CaO diagram, and they are located in a peculiar position on the former two diagrams. Furthermore, garnet-containing host granite is extremely high in the value of $\text{Mn}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Mg})$ ratio. This fact shows that crystallizing out of garnet dominant in the Mn-content was essentially possible in magma

* 鹿児島大学工学部海洋土木開発工学科 Department of Ocean Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kagoshima University, Kagoshima, 890 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.

from which the host granite was formed. Thus, the garnets of Takakumayama granite will possibly be considered to be the magmatic origin.

ま え が き

ザクロ石は、その形成時の物理化学的条件を敏感に反映する固溶体鉱物の一つであり、結晶内での拡散が起こり難いため、一般に顕著な累帯構造をつくりやすく、形成過程における温度・圧力条件や化学環境の記録をよく残している。ゆえに、ザクロ石は、その化学組成や累帯構造のあり方を知ることによって、ザクロ石の形成過程および母岩の熱・圧力史を推定するための indicator として注目されている。

MIYASHIRO (1953) により、固溶体鉱物の安定関係に基づく変成作用の圧力を決定することが確立されて以来、変成岩や火成岩中に産するザクロ石は、その安定条件が規則的であること、結晶化学的性質が化学組成や産状を支配するものであることなどが明らかにされつつある。

変成岩の分野では、ザクロ石の包有物から、その形成以前の共生関係を推定し、ザクロ石を置き換える緑泥石 (KURATA, 1972) や、それをさらに置き換える黒雲母 (東野, 1975) 等の成因的研究を通じて、母岩の熱・圧力史を組み立てることが試みられている。

火成岩の分野では、ザクロ石の成因について、これまでマグマ起源とゼノリス起源とが指摘されている。筆者らは、それぞれの起源について、さらに2つの場合があると考えている。

すなわち、マグマ起源のザクロ石には、ザクロ石を晶出することのできる組成を有する液から直接晶出した真の結晶と、マグマがゼノリスと反応し、ザクロ石を晶出することのできる組成をもつようになった液から晶出した結晶とがある。この種ザクロ石は、Mn に富む化学組成を示すことが特徴的であり、火成岩体形成末期に安定する。

一方、ゼノリス起源のザクロ石には、ゼノリスが外来物質としてマグマ中に捕獲される以前から存在していたザクロ石が、ゼノリスのマグマ中における拡散によってマグマ中にゼノクリストとして分散したものと、ゼノリスとしてマグマ中に捕獲された後、ゼノリス中にザクロ石が形成され、ゼノリスのマグマ中における拡散によってザクロ石がマグマ中にゼノクリストとして分散したものが考えられる。この種ザクロ石には、ゼノクリストとしてマグマ中に分散する以前のゼノリスの性質が反映されているものと考えられる。

本論文では、南九州の西南日本外帯型花崗岩類 (SHIBATA, 1962) (Fig. 1) のうち、大隅・^し紫尾山および高隈山各岩体内で偏在して出現するザクロ石について、その産状・形態・反応縁・共生鉱物・包有物・累帯構造・化学組成等に関する特徴を明らかにし、ザクロ石の起源および成因について考察する。

この論文は、主として筆者らの1人中村が鹿児島大学理学研究科在籍中に行なった研究に基づいている。この研究の過程で、EPMA 分析に関し、協力下さり、かつ有益な助言を与えて下さった鹿児島大学根建心具教授および新山 透氏、また、この論文について討論下さった広島大学井ノ上幸造氏に感謝する。

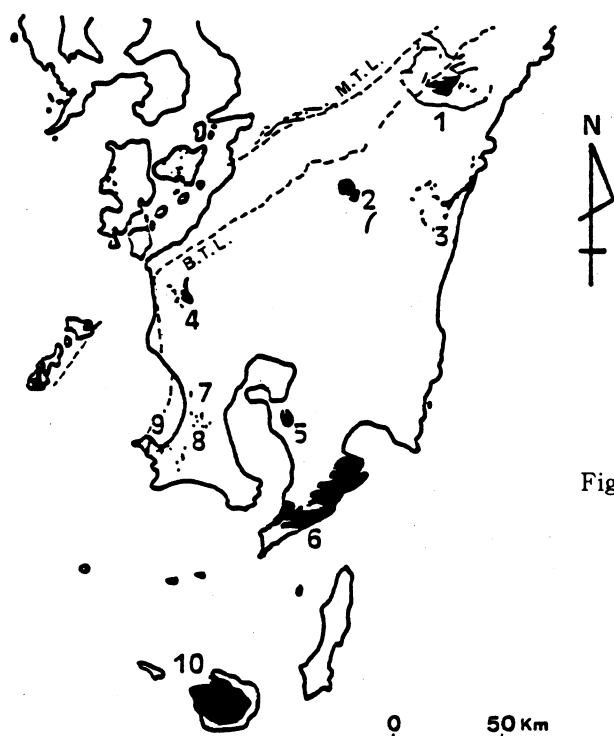


Fig. 1. Locations of rock bodies of the Southwestern Outer Zone-type granites in South Kyushu. 1, Ōkueyama; 2, Ichifusayama; 3, Osuzuyama; 4, Shibisan; 5, Takakumayama; 6, Ōsumi; 7-9, Satsuma Peninsula; 10, Yakushima. M. T. L., Median tectonic line; B. T. L., Butsuozō tectonic line.

南九州，西南日本外帯型花崗岩類，大隅・高隈山
および紫尾山各岩体におけるザクロ石の分布と産状

大隅花崗閃緑岩体

地質

大隅花崗閃緑岩体（野沢・太田，1967；大庭，1960，1961，1962 b，ŌBA，1965）はK-Ar年代 14 ± 1 Ma および 21 ± 1 Ma（MILLER and others, 1962，柴田，1978），22 Ma（河野・植田，1966）およびRb-Sr年代12 Ma（早瀬・石坂，1967），西南日本外帯型花崗岩体群中最大の露出面積を有し，北東-南西方向に伸長する岩相不均質のバソリスで，多くのゼノリスを包有する（大庭，1961）（Fig. 2）。

本体岩は，基盤を構成する暁新世～中新世前期の四万十累層群上部，日向層群に対比される（今井ほか，1980），主に砂岩頁岩互層からなり， $N40^{\circ} \sim 50^{\circ}E$ に走向し，スランプ構造の発達する堆積岩層を非調和に貫き，それに接触変成作用を与えている。泥質岩起源ホルンヘルスは，カリ長石・キンセイ石・黒雲母・白雲母などの変成鉱物の出現によって特徴づけられる。

岩石型

岩体は，主に粒度およびマフィック鉱物の種類・相対的存在量に基づき，ザクロ石含有黒雲母花崗閃緑岩の高山型，カミングトンセン石含有黒雲母花崗岩の川口型，カミングトンセン石含有花崗閃緑岩の大浦型・緑色ホルンブレンド黒雲母花崗閃緑岩の辺田大川型，斑状～粒状カミングトンセン石含有花崗閃緑岩～花崗岩の花瀬型，斑状黒雲母花崗閃緑岩～花崗岩の甫余志岳型お

よび白雲母黒雲母アプライト質花崗岩の国見型の7岩石型に区分される (Fig. 2)。これらのものは互いに漸移関係にある。各岩石型の岩石学的性質については、山本ほか (1983) および山本・大庭 (1983) の報告がある。以上のほか、バソリスを貫く岩脈群に斑状花崗岩・アプライト・電気石アプライトおよびペグマタイトがある。

ザクロ石の分布と産状

ザクロ石は、本岩体の最北部を占める高山型に特に偏在して出現する。Fig. 3 に高山～内之浦地域におけるザクロ石の分布状況を示す。川口型や国見型中にもザクロ石は出現するが、その量は少ない。

ザクロ石が偏在する高山型は、岩相不均質で、優白質中粒、主に斜長石・正長石・石英・黒雲母およびザクロ石からなり、副成分鉱物としてカミングトンセン石・斜方輝石・白雲母・電気石・チタン鉄鉱・磁硫鉄鉱・緑色スピネルおよびカツレン石を随伴し、多量のゼノリスおよびclotを包有している。

高山型花崗閃緑岩のモードおよび化学分析値を Table 1 に示す。ザクロ石はモードで最大0.5%に達する。Clotはゼノリス起源と考えられ、主に黒雲母のみからなるもの、黒雲母と斜長

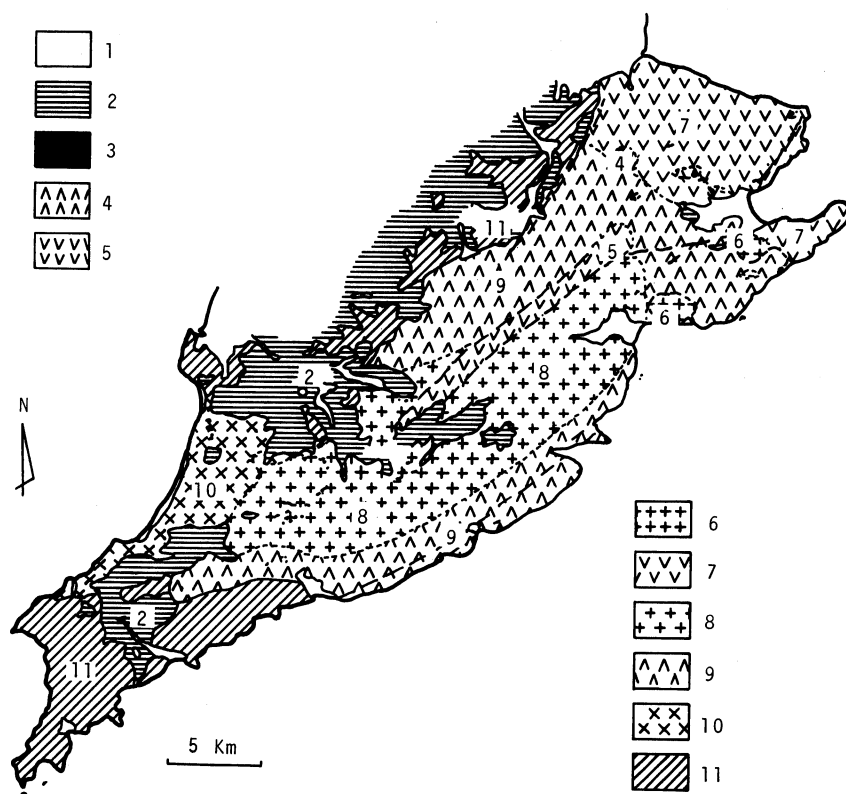


Fig. 2. Generalized geologic map of Ōsumi granodiorite batholith and its adjacent areas. 1, Alluvial deposits; 2, pyroclastic flow deposits; 3, dikes; 4-10, Ōsumi granodiorite batholith (granodiorites: 4, Kuni-mi-type; 5, Hoyoshidake-type; 6, Kawaguchi-type; 7, Kōyama-type; 8, Hanaze-type; 9, Ōura-type; 10, Hedaōkawa-type); 11, sedimentary complex, Nichinan group of Palaeocene to early Miocene. After an original figure of YAMAMOTO and others (1983).

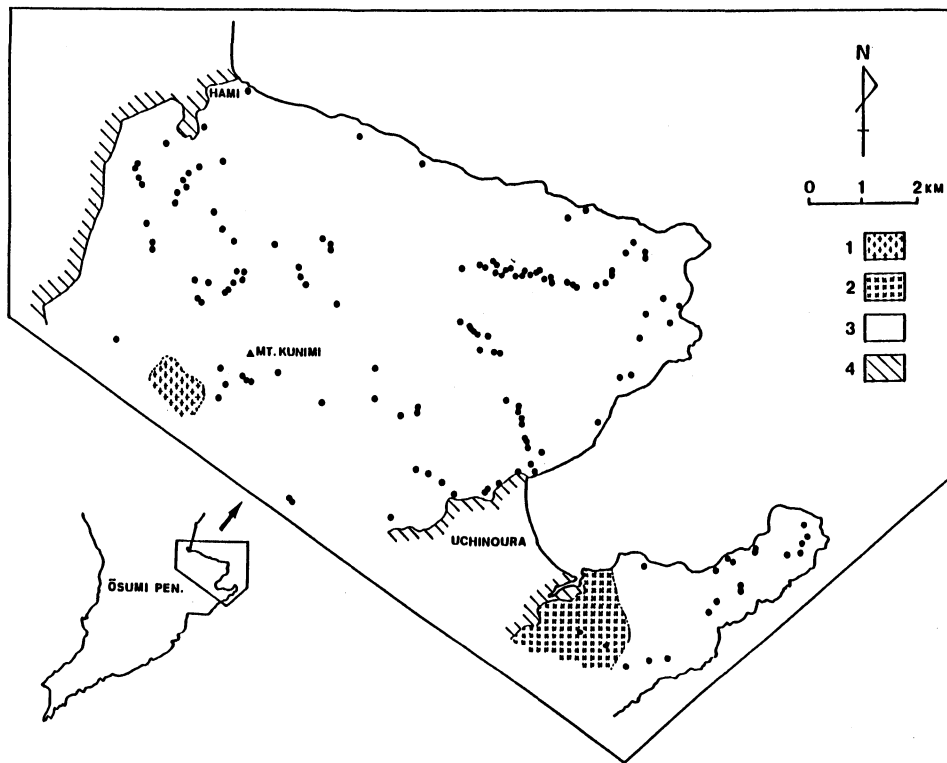


Fig. 3. Distribution of garnets in the northern part of Ōsumi granodiorite batholith. 1-3, Ōsumi granodiorite batholith (granodiorites: 1, Kunimi-type; 2, Kawaguchi-type; 3, Kōyama-type); 4, sedimentary complex.

石からなるものおよびこれに緑色スピネルやザクロ石を随伴するものなどがある。

大隅花崗閃緑岩体のザクロ石に関し、鏡下で観察されたその産状・形態、包有物の有無・種類、反応縁の有無・構成物、他鉱物との共生関係等に関する記載を Table 2 に示す。

ザクロ石は、鏡下の特徴からつぎの3グループに大別される。

(a) 斜長石に包有される自形性強いザクロ石 (Table 2, OK-1~OK-4)

斜長石に包有されるザクロ石は、自形性強く、融食部では、斜長石+黒雲母+(緑泥石)の反応縁が認められ (Plate 1, A), ケイセン石・黒雲母を包有するもの、識別不可能な微細な針状結晶および不透明鉱物を包有するものなどが観察される。

(b) 明瞭な反応縁で囲まれたザクロ石 (Table 2, OK-5~OK-11)

このグループのザクロ石は、黒雲母または黒雲母+斜長石の明瞭な反応縁によって囲まれ (Plate 1, B), 石英・リンカイ石・ジルコンおよび不透明鉱物を随伴する。ケイセン石または黒雲母あるいはそれらの両者を包有し、裂開よく発達し、裂開部分に黒雲母または緑泥石あるいはそれらの両者の形成が認められる。

(c) Clot中の島状分散形態のザクロ石 (Table 2, OK-12~OK-18)

高山型花崗閃緑岩中には比較的多くの clot が認められる。Clot は黒雲母からなるもの、黒雲母と斜長石からなるもの、およびこれらのほかにまれに緑色スピネルを随伴するものなどが認められる。発達する裂開に沿い、上記鉱物によって交代されたザクロ石は、島状に分離した不規則

Table 1. Modal and chemical analyses of Kōyama-type granodiorites, Ōsumi granodiorite batholith

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--------------------------------|--------|-------|-------|--------|------|--------|
| Qz | 26.9 | 28.9 | 29.6 | 25.8 | 25.1 | |
| Pl | 33.7 | 39.2 | 36.8 | 39.6 | 37.0 | |
| K-f | 20.1 | 17.1 | 17.8 | 17.7 | 21.3 | |
| Bio | 17.3 | 12.4 | 13.6 | 14.6 | 14.1 | |
| Chl | 0.7 | 1.5 | 1.0 | 0.7 | 1.1 | |
| Opx | p | - | - | - | - | |
| Amp | - | - | - | - | p | |
| Gar | 0.2 | 0.3 | p | 0.5 | p | |
| Ore | 0.4 | 0.3 | 0.2 | 0.3 | 0.6 | |
| Zir | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.4 | |
| Ap | 0.4 | p | 0.4 | 0.4 | 0.3 | |
| Sp | - | - | - | 0.1 | - | |
| Tour | - | - | 0.4 | 0.1 | - | |
| Rut | p | - | - | - | - | |
| Mus | - | p | p | p | - | |
| Sil | - | - | - | p | - | |
| Cal | - | - | p | p | - | |
| SiO ₂ | 66.06 | 65.62 | 67.18 | 66.46 | | 66.14 |
| TiO ₂ | 0.42 | 0.40 | 0.30 | 0.24 | | 0.50 |
| Al ₂ O ₃ | 15.62 | 16.19 | 15.62 | 16.02 | | 16.07 |
| Fe ₂ O ₃ | 0.13 | 0.13 | 0.04 | 0.15 | | 0.21 |
| FeO | 4.85 | 4.80 | 4.49 | 5.00 | | 4.76 |
| MnO | 0.10 | 0.10 | 0.09 | 0.11 | | 0.10 |
| MgO | 1.55 | 1.31 | 1.30 | 1.36 | | 1.55 |
| CaO | 2.73 | 2.85 | 2.81 | 2.78 | | 2.66 |
| Na ₂ O | 3.40 | 3.14 | 3.03 | 2.94 | | 3.05 |
| K ₂ O | 4.38 | 4.05 | 3.65 | 3.82 | | 3.92 |
| H ₂ O+ | 1.15 | 0.86 | 1.01 | 1.00 | | 0.98 |
| H ₂ O- | 0.20 | 0.08 | 0.08 | 0.14 | | 0.08 |
| P ₂ O ₅ | 0.09 | 0.08 | 0.07 | 0.09 | | 0.08 |
| Total | 100.68 | 99.61 | 99.67 | 100.11 | | 100.10 |

Analyst. J. NAKAMURA. Analyzed samples.-1, Sample no. 82040606; 2, sample no. 82032906; 3, sample no. 82033005; 4, sample no. 82043008; 5, sample no. 82033114; 6, sample no. 82040819.

Abbreviations .-Qz, Quartz; Pl, plagioclase; K-f, potash feldspar; Bio, biotite; Chl, chlorite; Opx, orthopyroxene; Amp, amphibole; Gar, garnet; Ore, ore minerals; Zir, zircon; Ap, apatite; Sp, sphene; Tour, tourmaline; Rut, rutile; Mus, muscovite; Still, sillimanite; Cal, calcite; p, present; -, not present.

Table 2. Modes of occurrence, inclusions and reaction rims of garnets from Ōsumi, Takakumayama and Shibisan rock bodies of the Southwestern Outer Zone-type granites in South Kyushu

| Garnets | Modes of occurrence | Inclusions | Constituent minerals reaction rims |
|---------|--|--|---|
| OK-1 | Euhedral. Enclosed by Pl. | n.p. (Ap) | n.p. |
| OK-2 | Corroded. Enclosed by Pl. | Ap | Bio+(Chl)+Ap+Zir |
| OK-3 | " | Ap+Ore | Bio+(Chl)+Pl+Ore |
| OK-4 | " | Bio+Sil+Ap+Ore | Bio+Pl+Zir |
| OK-5 | Corroded and grain-shaped. | Microspherules+Ap | Bio+Pl+Ap |
| OK-6 | " | Bio+(Sil)+Ap+Zir+Ore | Bio+Pl+Qz+Ap+Zir+Ore |
| OK-7 | " | Bio+Ap+(Zir)+Ore | Bio+Pl+Ap+Ore |
| OK-8 | " | Bio+Ap+(Zir)+Ore | Bio+Pl+Ore |
| OK-9 | Grain-shaped. Enclosed by Bio. | Sil+Ap+Zir+Ore | Bio |
| OK-10 | " | Sil+Ap+Zir+Rut+Ore | Bio |
| OK-11 | Corroded and grain-shaped. | Ap+Zir | Duplicated. Inner zone: Bio+(Chl)+Pl+Ap+Zir+Ore; outer zone: Bio. |
| OK-12 | Irregular shaped and isolated. | (Bio)+Ap+Ore | Bio+Pl+Zir+Ore |
| OK-13 | " | Orientated spherules and ascicular crystals. | Bio+(Chl)+Sil+Pl+Qz+Ap |
| OK-14 | Corroded. | (Ap)+Ore | Bio+Pl+Ore |
| OK-15 | Irregular shaped and isolated garnet from clot composing of Bio, Sp, Pl, Gar and Ore. | Sil+Ap | n.p. |
| OK-16 | Irregular shaped and isolated garnet from clot composing of Bio, Pl, Gar, Zir and Ore. | Sil | n.p. |
| OK-17 | Irregular shaped and isolated. | Orientated micrograins | Bio+Pl+(Qz)+Ap+Zir+Ore |
| OK-18 | Irregular shaped and isolated garnet from clot composing of Bio and Pl. | Undiscriminated micrograins | n.p. |
| OU | Corroded and grain-shaped. | Bio+Ap+Zir+Rut in core | Bio |
| OH | " | Undiscriminated micrograin abundant | Tripled. Inner zone: Bio+(Chl); intermediate zone: Bio+Sil+Pl+Ore; outer zone: Bio. |
| OKX | " | Bio+Sil+Zir+Ore | Bio+(Chl)+Sil+Pl |
| TS-1 | Euhedral to subhedral. | Orientated arrangement of undiscriminated micrograins | n.p. |
| TS-2 | Subhedral. | Bio+Ap+Zir+Ore | n.p. |
| TS-3 | " | n.p. | n.p. |
| TS-4 | " | n.p. | n.p. |
| TS-5 | " | Qz | n.p. |
| TS-6 | " | Qz+Ap | n.p. |
| TS-7 | " | Qz+Ap | n.p. |
| TS-8 | " | n.p. | n.p. |
| TS-9 | " | Qz | n.p. |
| TS-10 | " | n.p. | n.p. |
| TS-11 | " | Ap | n.p. |
| TGR-1 | " | Ap | n.p. |
| TGR-2 | " | Ap | Bio |
| SH-1 | Corroded and grain-shaped. | Sil+Qz | Bio+(Chl)+Qz+Ore |
| SH-2 | Isolated in part. | Bio+Sil+Qz | Bio+Pl+Qz+Ap+Ore |
| SH-3 | Corroded and grain-shaped. | Sil+Qz+Ore | Bio+Pl+Qz |
| SH-4 | " | Bio+Sil+Qz+Ore. Orientated arrangement of undiscriminated micrograins. | Duplicated. Inner zone: Bio+Pl; outer zone: Bio+Qz+Ore. |
| SH-5 | Irregular shaped and isolated. | Qz. Undiscriminated micrograins. | Duplicated. Inner zone: Pl; outer zone: Bio+Ore. |

Abbreviations. —OK, OU, OH and OKX, garnets from Kōyama-type, Ōura-type, Hanaze-type and biotite schist xenolith of Ōsumi granodiorite batholith; TS and TGR, garnets from Sarugajō-type and the gradational zone of Takakumayama granite stock; SH, garnets from Hirabae-type of Shibisan granodiorite stock. n. p., not present (scarcely or nothing); (), few. Other abbreviations are the same as those in Table 1.

な形態を呈する。反応縁の形成はほとんど認められない。また、ザクロ石中にケイセン石を包有するものがある (Plate 1, C)。

以上に掲げた3グループのザクロ石のフィールドにおける出現頻度は、高いものから低いものへの順に、(b)→(c)→(a)である。比較のため、高山型中の黒雲母片岩ゼノリスのザクロ石に関する記載を Table 2, OKX に、また、その鏡下の写真を Plate 1, D に示す。

高隈山花崗岩体

地質

高隈山花崗岩体 (河内, 1961; 大庭, 1958; YAMAMOTO, 1975) は、K-Ar 年代 16 ± 2 Ma (MILLER and others, 1962) で、白亜紀前期の四万+累層群下部の八戸層に対比される (今井ほか, 1980) 主に砂岩粘板岩互層からなる高隈山層 (太田・河内, 1965) を非調和に貫くルーフペンダントを有するドーム状岩株である (Fig. 4)。岩体周辺部には接触変成帯が形成されており、その内帯の変成鉱物はザクロ石の出現によって特徴づけられる (太田・河内, 1965)。

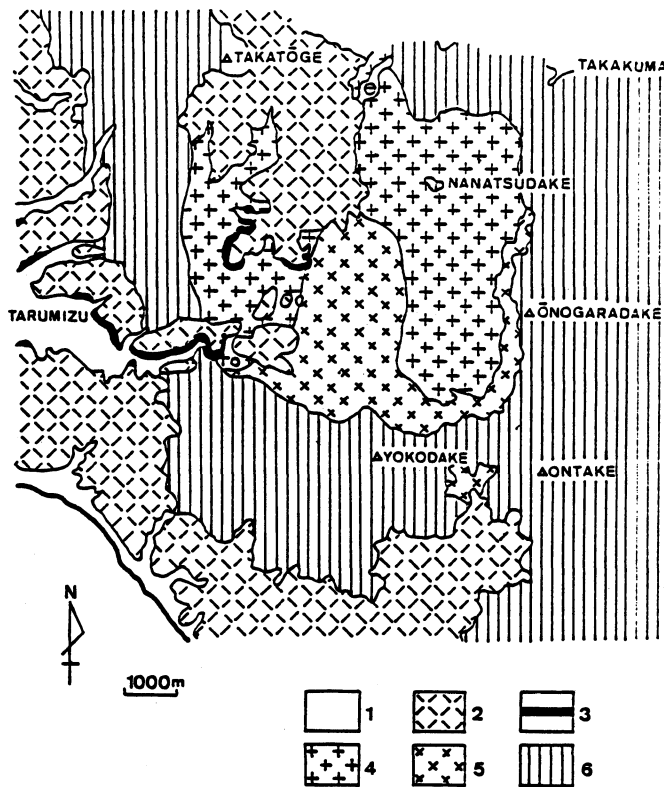


Fig. 4. Generalized geologic map of Takakumayama granite stock and its adjacent areas. 1, Alluvial deposits; 2, pyroclastic flow deposits; 3, Ōnohara sandstone and conglomerate, and Tarumizu sand and gravel bed; 4-5, Takakumayama granite stock (granites: 4, Shinkōji-type; 5, Sarugajō-type); 6, sedimentary complex, Takakuma Formation of early Cretaceous. After an original figure of YAMAMOTO (1975).

岩石型

岩体は、そのほぼ中心部を構成する粗粒~中粒黒雲母花崗閃緑岩~黒雲母花崗岩の^{しんこうじ}新光寺型と、岩体の周縁部およびルーフを構成する優白質細粒ザクロ石含有黒雲母花崗岩 (ザクロ石含有アプロ花崗岩, ŌBA, 1977) の^{さるがじょう}猿ヶ城型とに区分される (河内, 1961)。両者は互いに漸移関係にあり、岩相、鉱物組成および化学組成上の特徴は、新光寺型に対し、猿ヶ城型が分化のより進んだ段階のものであることを示す。アプライトおよびペグマタイトの岩脈は岩体を貫き、岩脈中

にしばしばザクロ石の存在が認められる。

猿ヶ城型中には特徴的な暗緑色球状の clot が普遍的に包有されている。Clot は主にキンセイ石・正長石および石英からなり、少量の黒雲母・ザクロ石および緑色スピネルを随伴する(石原・河内, 1961)。

ザクロ石の分布と産状 (Table 2, TS-1~TS-11, TGR-1~TGR-2)

ザクロ石は、猿ヶ城型に偏在し、モードで0.2~1.2% (大庭, 1958; YAMAMOTO, 1977) 含有される。猿ヶ城型から新光寺型への漸移帯で比較的粒径の大きなザクロ石の出現が認められる。

ザクロ石は、正長石や斜長石に対しては自形性強く、石英とは他形で接し、反応縁は認められず、包有物もほとんど認められない (Plate 1, E)。裂開は一定方向に顕著に発達し、隣接石英の割れ目に連続している。この事実は、岩体固結後に構造運動の影響をこうむったことを示す。

紫尾山花崗閃緑岩体

地質

紫尾山花崗閃緑岩体 (大庭, 1957, 1962a) は、K-Ar 年代 $13.6\sim 15.0\pm 4$ Ma (河野・植田, 1966; MILLER and others, 1962) で、基盤の四万+累層群の一部、主にシルト岩砂岩互層からなるジュラ紀~白亜紀(?)の東郷層群を非調和に貫く、南北方向に伸長するレンズ状岩株である (Fig. 5)。岩体周辺部には接触変成帯が形成されており、その内帯泥質岩起源ホルンヘルスはカリ長石・ケイセン石・ザクロ石・角閃石等の変成鉱物によって特徴づけられる (安達ほか, 1969; ŌBA, 1968)。

岩石型

紫尾山花崗閃緑岩体は、偽斑晶正長石を有する優白質斑状花崗閃緑岩からなる楠八重型と、岩相不均質なやや暗色の花崗閃緑岩からなる平八重型とに区分される (大庭, 1957, 1962)。両者は互いに漸移関係にある。岩体中に普遍的に球状~回転楕円体状ゼノリスが包有されている (大庭, 1957)。

ザクロ石の分布と産状 (Table 2, SH-1~SH-5)

ザクロ石は、楠八重型と平八重型の境界付近の平八重側に比較的多く認められ、融食形を呈するものが多く、裂開発達し、反応縁を有し、包有物に富む (Plate 1, F)。反応縁には、黒雲母のみからなるもの、黒雲母と斜長石からなるもの、および黒雲母(緑泥石)・石英・斜長石・チタン鉄鉱からなるものなどが認められる。包有物にはケイセン石・黒雲母・石英・ジルコン・不透明鉱物などが認められるが、ケイセン石を包有するものが多い。裂開部分に黒雲母・緑泥石などを形成しているものがある。

ザクロ石の EPMA 分析

各岩体から採取されたザクロ石について、その化学組成および累帯構造における組成変化のあり方を知る目的で EPMA 分析を行なった。

分析に用いられたザクロ石

分析に用いられたザクロ石の鏡下スケッチを Fig. 6 に示す。各ザクロ石の産状・形態・包有物・反応縁等に関する記載は Table 2 に示してある。

大隅花崗閃緑岩体のザクロ石

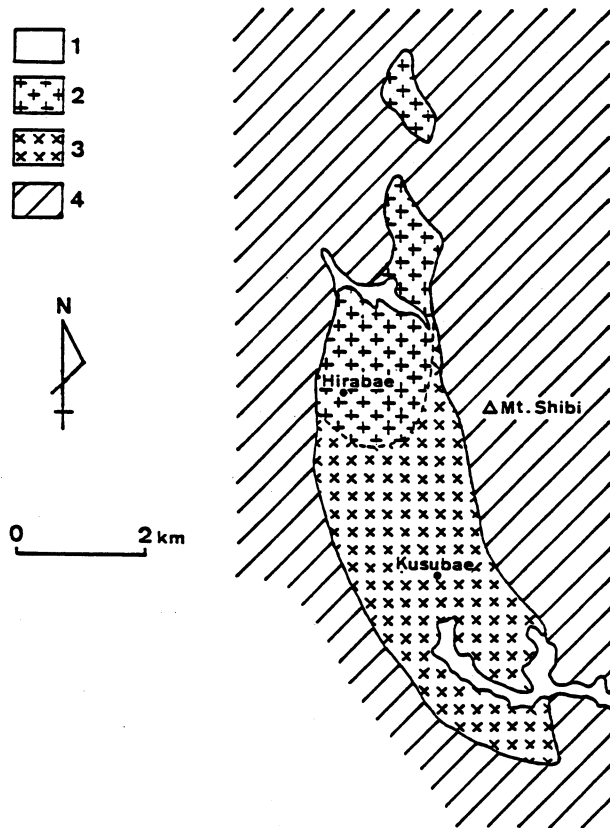


Fig. 5. Generalized geologic map of Shibisan granodiorite stock. 1, Alluvial deposits; 2-3, Shibisan granodiorite stock (granodiorites: 2, Hirabae-type; 3, Kusubae-type); 4, sedimentary complex, Tōgō Formation of Jurassic to Cretaceous (?). After an original figure of ŌBA (1956).

大隅花崗閃緑岩体高山型から採取されたザクロ石 (Table 2, Fig. 6, OK-9 および OK-10) は、自形性強く、包有物として主にケイセン石を含有し、時に微球状不透明鉱物およびジルコンをコアおよびリムに包有し、黒雲母などの反応縁を有する。微球状不透明鉱物は定向配列を示す。大浦型から採取されたザクロ石 (Table 2, Fig. 6, OU) は、斜長石・ジルコン・リンカイ石・ルチルおよび黒雲母などを包有し、黒雲母および斜長石からなる反応縁を有する。花瀬型から採取されたザクロ石 (Table 2, Fig. 6, OH) は、内側が主に黒雲母と緑泥石、外側が黒雲母、また、両者の間が黒雲母・斜長石およびチタン鉄鉱からなる3層に累重した反応縁によって囲まれている。

高隈山花崗岩体のザクロ石

高隈山花崗岩体猿ヶ城型から採取されたザクロ石 (Table 2, Fig. 6, TS-1) は、自形性強く、包有物少なく、結晶内に識別不可能な微晶の定向配列が認められる。猿ヶ城型と新光寺型の間の漸移帯から採取されたザクロ石 (Table 2, Fig. 6, TGR-1 および TGR-2) は、自形～半自形、裂開やや発達している。

紫尾山花崗閃緑岩体のザクロ石

紫尾山花崗閃緑岩体平八重型から採取されたザクロ石 (Table 2, Fig. 6, SH-1) は、包有物が多く、ザクロ石のコアに石英、コアの周囲に多数のセンイ状ケイセン石を包有し、ザクロ石の周囲は黒雲母・緑泥石・斜長石・石英およびチタン鉄鉱からなる反応縁で囲まれている。

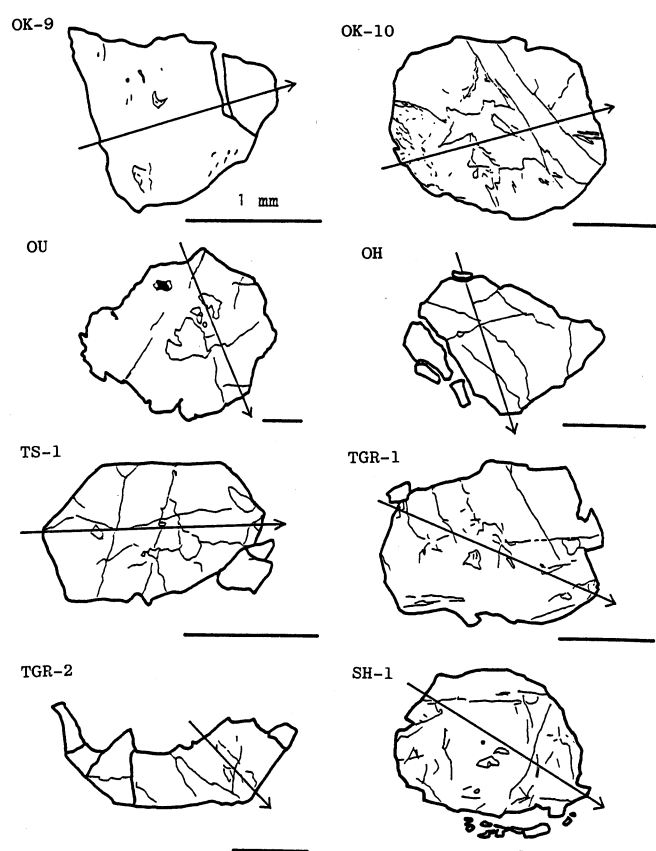


Fig. 6. Sketches of garnets used for EPMA analysis. Arrows indicate scanning lines. The scale bars represent 1 mm. Abbreviations and attached numbers agree to those in Table 2. Sketched by J. NAKAMURA.

分析方法

試料は200メッシュ研磨剤で、つぎに500ミクロン Al 粉末で研磨し、カーボン蒸着を行ない、分析に供した。各試料について、包有物や裂開に注意し、等間隔となるように分析点を選び、島津 ARL を用い分析を行なった。用いられた標準試料および測定条件を Table 3 に示す。得られた5回の強度を算術平均し、back ground 補正し、dead time 補正および Bence-Albee 補正を行ない、分析値を求めた。

分析結果

各ザクロ石の分析値、酸素24として計算した構造式中の各陽イオン数およびモル%で表わしたザクロ石の端成分 pyrope, almandine, spessartite, grossularite および andradite を Table 4 に示す。ザクロ石の累帯構造における組成変化のあり方を把握する目的で作成したザクロ石端成分による zoning profile を Fig. 7 に示す。

Fig. 7 からつぎのことが分かる。大隅花崗閃緑岩体高山型のザクロ石 OK-9 および OK-10 は、pyrope 成分に関し、コアで低く、リムで高い逆累帯を示す。Pyrope 成分と spessartite 成分と

Table 3. Standards and procedures for EPMA analysis

| Elements | Channels | Crystals | Detectors | Standards |
|----------------------|----------|----------|---------------------------|-------------|
| Si | 1 | PET | Kr exatron | Augite |
| Fe | 2 | LiF | Ar exatron | Hematite |
| Al | 3 | RAP | FPC | Corundum |
| Ca | 1 | PET | Kr exatron | Augite |
| Mn | 2 | LiF | Ar exatron | Pyrosmalite |
| Mg | 3 | RAP | FPC | Biotite |
| Ti | 1 | PET | Kr exatron | Biotite |
| Cr | 2 | LiF | Ar exatron | Augite |
| Accelerating voltage | | | 15 KV | |
| Specimen current | | | 10 mA on biotite standard | |
| Diameter of beam | | | About 1 μ | |
| Counting time | | | 10 sec x 5 times | |
| Evaporated film | | | Carbon, 200 Å | |

は互いに補償的挙動を示す。Grossularite-andradite 成分はコアで高い。また、同岩体の花瀬型のザクロ石 OH は、almandine 成分に関し、高い値を示し、spessartite 成分と almandine 成分とは互いに補償的である。

一方、高隈山花崗岩体猿ヶ城型のザクロ石 TS-1 および猿ヶ城型と新光寺型の間の漸移帯のザクロ石 TGR-2 は、spessartite 成分に関して高い値を示すが、同漸移帯の他個所から採取されたザクロ石 TGR-1 は、almandine 成分に関して高い値を示す。上記いずれの場合でも、spessartite 成分と almandine 成分とは互いに補償的挙動を示す。

また、紫尾山花崗閃緑岩体平八重型のザクロ石 SH-1 は、pyrope 成分に関し、大隅花崗閃緑岩体高山型のザクロ石 OK-9 および OK-10 の場合にきわめてよく似た逆累帯を示し、かつ pyrope 成分と spessartite 成分とは互いに補償的である。

ザクロ石の成因的考察

変成岩起源ザクロ石とマグマ起源ザクロ石との間には、化学組成、包有物の有無・種類、反応縁の有無・構成物、共生関係、累帯構造における種々の成分の挙動などについて違いが認められ、これらの諸点を検討することは、ザクロ石の起源および成因を考察する上で大きな手掛りになる。

大隅および紫尾山花崗閃緑岩体のザクロ石と高隈山花崗岩体のザクロ石とは、上記諸点について互いにきわめて対照的である。このことは、両者の起源および成因の違いを示唆している。

大隅および紫尾山花崗閃緑岩体のザクロ石の起源と成因

大隅および紫尾山花崗閃緑岩体のザクロ石は、ケイセン石または黒雲母を包有するものが多く、また、しばしばこの両者を包有し、黒雲母などの反応縁を有し、斜長石+黒雲母(緑泥石)+ザクロ石および斜長石+黒雲母(緑泥石)+ザクロ石+ケイセン石の共生関係が認められる。

ザクロ石の累帯構造におけるコアからリムへの組成変化を示す Mn-Ca-(Mg+Fe²⁺) 図 (Fig.

Table 4. Chemical analyses, structural formulas based on 24 oxygens, and compositions in term of end members of analyzed garnets

| | OK-9 | | OK-10 | | OU | | OH | | TIS-1 | | TGR-1 | | TGR-2 | | SH-1 | |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | Core | Rim | Core | Rim | Core | Rim | Core | Rim | Core | Rim | Core | Rim | Core | Rim | Core | Rim |
| SiO ₂ | 38.07 | 38.18 | 38.03 | 38.38 | 37.19 | 38.34 | 37.45 | 37.81 | 36.86 | 36.94 | 36.09 | 36.10 | 36.16 | 36.09 | 37.61 | 38.87 |
| Al ₂ O ₃ | 23.03 | 22.84 | 22.13 | 22.68 | 20.72 | 21.29 | 20.51 | 20.53 | 20.89 | 20.57 | 22.29 | 22.19 | 22.81 | 22.87 | 22.14 | 21.77 |
| TiO ₂ | 0.03 | 0.04 | 0.11 | 0.02 | 0.04 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.04 | 0.03 | 0.25 | 0.16 | 0.11 | 0.05 | 0.07 | 0.04 |
| MgO | 6.39 | 7.20 | 2.74 | 7.80 | 4.33 | 4.67 | 1.88 | 2.06 | 0.55 | 0.74 | 0.89 | 0.67 | 0.68 | 0.71 | 4.64 | 7.25 |
| FeO* | 31.82 | 31.32 | 28.41 | 30.39 | 32.22 | 31.20 | 28.62 | 30.90 | 25.69 | 29.86 | 24.39 | 25.44 | 23.65 | 24.72 | 30.64 | 30.41 |
| MnO | 1.57 | 0.85 | 4.13 | 0.33 | 3.53 | 3.22 | 6.82 | 3.86 | 15.92 | 11.69 | 16.99 | 16.82 | 18.05 | 17.52 | 4.93 | 1.49 |
| CaO | 2.05 | 1.90 | 6.57 | 1.78 | 2.83 | 3.24 | 6.09 | 6.42 | 0.54 | 0.29 | 0.45 | 0.34 | 0.50 | 0.43 | 1.33 | 1.31 |
| Cr ₂ O ₃ | 0.03 | 0.01 | 0.02 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.05 | 0.04 | 0.00 | 0.02 | 0.09 | 0.04 | - | - | 0.02 | 0.01 |
| Total | 102.99 | 102.34 | 102.17 | 101.42 | 100.86 | 102.06 | 101.51 | 101.71 | 100.49 | 100.14 | 101.44 | 101.76 | 101.96 | 102.39 | 101.38 | 101.15 |
| Si | 5.84 | 5.86 | 5.94 | 5.90 | 5.93 | 5.99 | 5.98 | 6.00 | 6.01 | 6.05 | 5.83 | 5.83 | 5.81 | 5.79 | 5.91 | 6.01 |
| Al ^{VI} | 0.16 | 0.14 | 0.06 | 0.10 | 0.07 | 0.01 | 0.02 | - | - | - | 0.17 | 0.17 | 0.19 | 0.21 | 0.09 | - |
| Al ^{IV} | 4.00 | 3.99 | 4.01 | 4.01 | 3.82 | 3.91 | 3.84 | 3.84 | 4.02 | 3.97 | 4.07 | 5.05 | 4.13 | 4.11 | 4.01 | 3.97 |
| Fe ³⁺ | 0.03 | 0.04 | - | 0.01 | 0.22 | 0.10 | 0.18 | 0.16 | - | 0.00 | - | - | - | - | - | 0.03 |
| Ti | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.10 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 |
| Cr | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | - | - | 0.00 | 0.00 |
| Mg | 1.46 | 1.65 | 0.64 | 1.79 | 1.03 | 1.09 | 0.45 | 0.49 | 0.13 | 0.18 | 0.21 | 0.16 | 0.16 | 0.17 | 1.09 | 1.67 |
| Fe ²⁺ | 4.05 | 3.98 | 3.71 | 3.90 | 4.08 | 3.97 | 3.64 | 3.94 | 3.51 | 4.09 | 3.29 | 3.44 | 3.18 | 3.31 | 4.03 | 3.90 |
| Mn | 0.20 | 0.11 | 0.55 | 0.04 | 0.48 | 0.43 | 0.92 | 0.52 | 2.20 | 1.62 | 2.32 | 2.30 | 2.46 | 2.38 | 0.66 | 0.20 |
| Ca | 0.34 | 0.31 | 1.10 | 0.29 | 0.48 | 0.54 | 1.04 | 1.09 | 0.09 | 0.05 | 0.08 | 0.06 | 0.09 | 0.07 | 0.22 | 0.22 |
| Pyrope | 24.13 | 27.27 | 10.67 | 29.73 | 16.97 | 18.08 | 7.44 | 8.11 | 2.19 | 3.03 | 3.56 | 2.68 | 2.72 | 2.87 | 18.17 | 27.88 |
| Almandine | 66.94 | 65.79 | 61.83 | 64.78 | 67.22 | 65.84 | 60.17 | 65.23 | 59.19 | 68.86 | 55.76 | 57.72 | 53.99 | 55.82 | 67.17 | 65.11 |
| Spessartite | 3.31 | 1.82 | 9.17 | 0.66 | 7.91 | 7.13 | 15.21 | 8.61 | 37.10 | 27.27 | 39.32 | 38.59 | 41.77 | 40.13 | 11.00 | 3.38 |
| Grossularite | 5.58 | 5.07 | 18.28 | 4.81 | 7.48 | 8.71 | 16.34 | 17.24 | 1.52 | 0.84 | 1.35 | 1.00 | 1.53 | 1.18 | 3.66 | 3.64 |
| Andradite | 0.04 | 0.05 | 0.05 | 0.01 | 0.43 | 0.25 | 0.85 | 0.81 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.03 |

* Total Fe as FeO. Analyst. J. NAKAMURA. Analytical data for only both core and rim of the analyzed garnets showing zonal structure are listed. Other data between both of them are omitted from this table. Abbreviations and attached numbers agree to those in Table 2. Analyzed samples.—OK-9, sample no. 82040819a; OK-10, sample no. 82040819b; OU, no sample number; OH, sample no. 83032903; TS-1, sample no. 83032803; TGR-1, sample no. 84120401I; TGR-2, sample no. 84120401II; SH-1, sample no. 84030804.

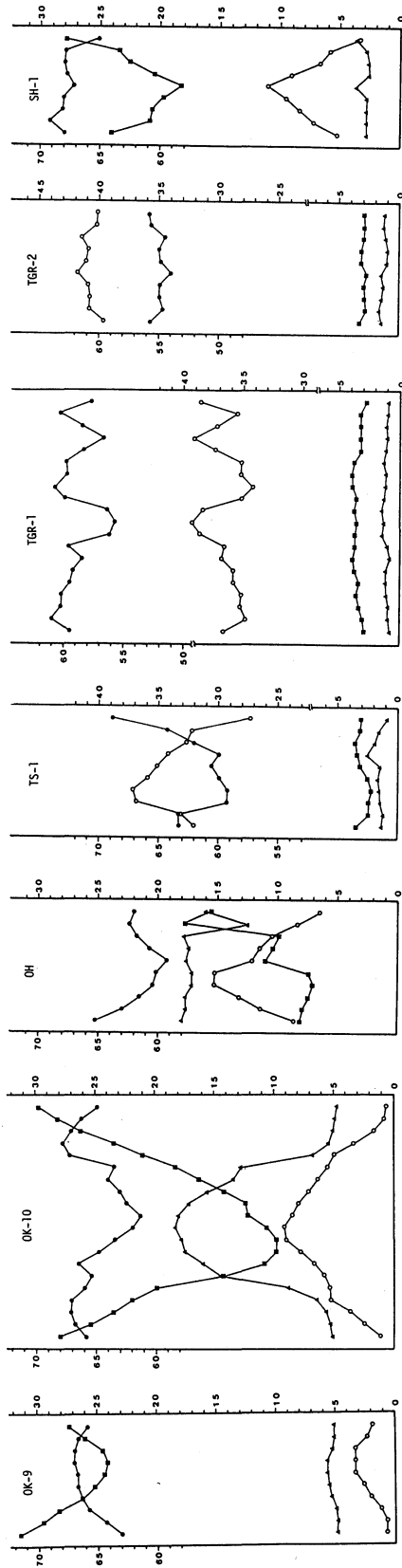


Fig. 7. Zoning profiles for compositions in terms of the end members of the analyzed garnets. Symbols.—Solid circles, almandine; open circles, spessartite; solid squares, pyrope; solid triangles, grossularite and andradite. Numbers adhered to the ordinate are molecular per cent. Abbreviations and attached numbers agree to those in Table 4.

8) 上, 大隅花崗閃緑岩体高山型から採取された黒雲母片岩ゼノリスのザクロ石の組成は, 高山型花崗閃緑岩体のザクロ石 (Table 4, OK-9 および OK-10) のリムの組成に近いことを示し, 高山型花崗閃緑岩体のザクロ石が泥質変成岩起源のものであることを示唆している。また, Table 4 および Fig. 7 に示すように, Mg または pyrope 成分に関し, コアで低くリムで高い (リムでの最大値は 8% を超える) というザクロ石における逆累帯のパターンは, 加納・八島 (1976) の変成岩起源ザクロ石の一つとよく一致し, また, このような事実は, ザクロ石が, MIYASHIRO (1953) および都城 (1955) のいう比較的高圧条件下形成のものであることを示している。

加納・八島 (1976) は, ザクロ石の CaO 含有量と TiO_2 含有量との間に正の相関関係があり, マグマ起源ザクロ石と変成岩起源ザクロ石とは, その相関に違いのあることを指摘している。 TiO_2 -CaO 図 (Fig. 9) 上, 大隅および紫尾山花崗閃緑岩体のザクロ石は, 明らかに変成岩起源ザクロ石のフィールド側にプロットされる。

ザクロ石の化学組成とその母岩の変成岩との対応関係を示す SOBOLEV (1964) の (Grossuralite + Andradite)-Almandine-Pyrope 図 (Fig. 10) 上, 大隅および紫尾山花崗閃緑岩体のザクロ石 (Table 4, OK-9, OK-10, OU, OH および SH-1) は, グラニュライト相の変成岩類および種々の変成岩類・ペグマタイトのザクロ石の占めるフィールド (Fig. 10 上, 2 および 3) にプロットされ, また, ザクロ石の化学組成とその母岩との関係を示す CaO-MnO-MgO 図 (Fig. 11) 上,

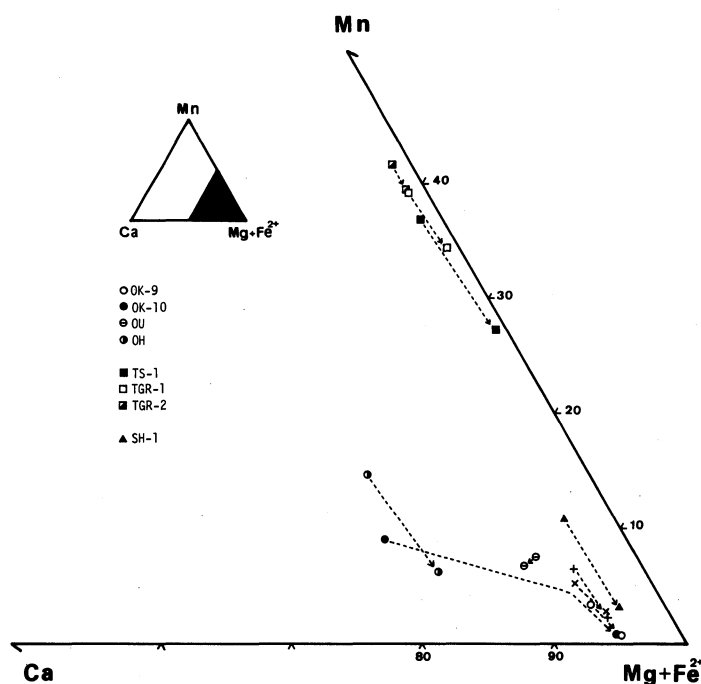


Fig. 8. Compositional variations from core to rim in zonal structure of the analyzed garnets on the Mn-Ca-(Mg+Fe²⁺) diagram. Arrows indicate the compositional variation from core to rim in the garnets. Symbols of plus and cross represent garnets of biotite schist xenoliths from Kōyama-type of Ōsumi granodiorite batholith. Abbreviations and attached numbers agree to those in Table 4.

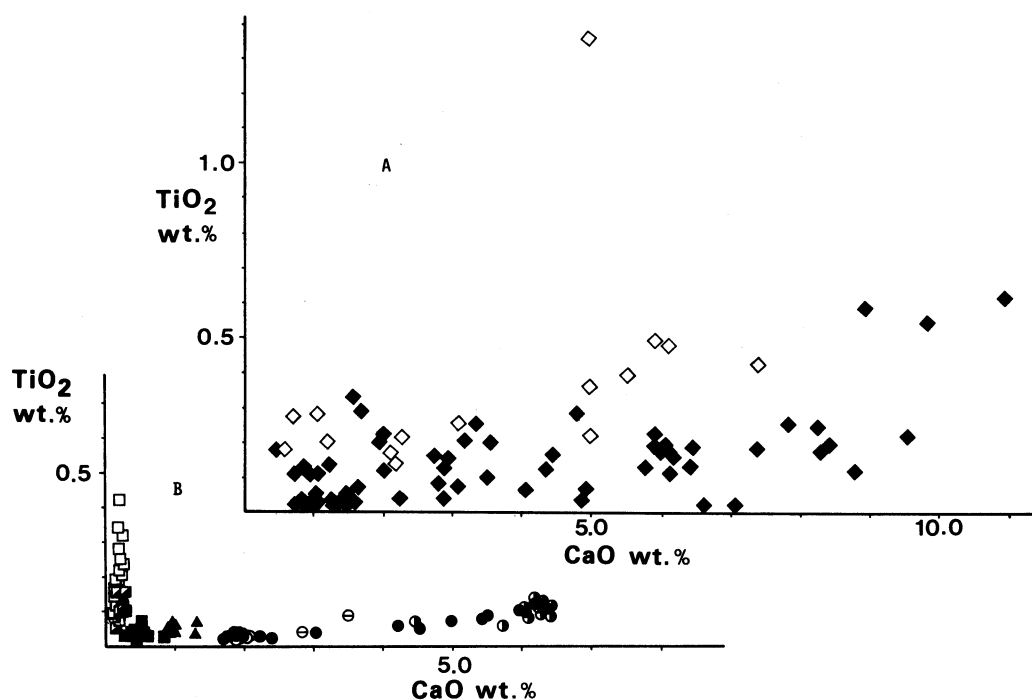


Fig. 9. Comparison of locations occupied by the plots representing garnets from Ōsumi, Takakumayama and Shibisan rock bodies (B) with those by the plots representing magmatic garnets and metamorphic garnets (A) on KANO and YASHIMA'S (1976) TiO₂-CaO diagram. Symbols on diagram A.—Open diamonds, magmatic garnets; solid diamonds, metamorphic garnets. Other symbols are the same as those in Fig. 8.

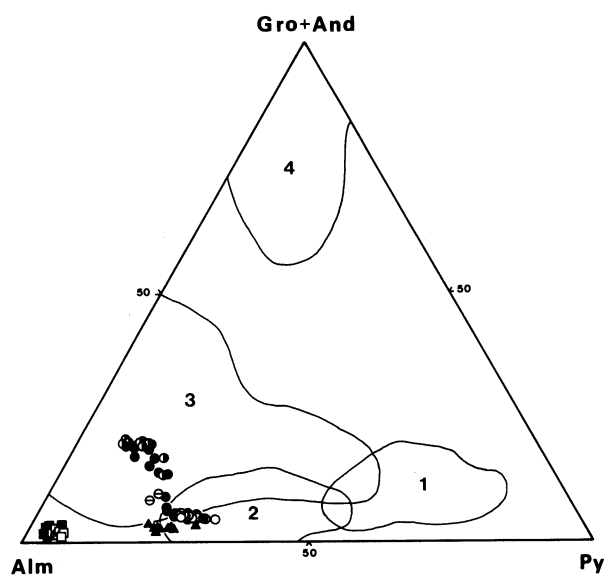


Fig. 10. Locations of the analyzed garnets on SOBOLEV'S (1964) (grossularite + andradite)-almandine-pyrope diagram. Fields 1-4 represent locations occupied by garnets from various kinds of rock.—1, Field for garnets from eclogites; 2, field for garnets from metamorphic rocks of granulite facies; 3, field for garnets from many kinds of metamorphic rock and pegmatites; 4, field for garnets from skarns. Symbols are the same as those in Fig. 8.

大隅および紫尾山花崗閃緑岩体のザクロ石は、ほぼ角閃岩相変成岩類のザクロ石の占めるフィールドと緑色片岩相～エクロジヤイト相変成岩類のザクロ石の占めるフィールドの間にプロットされる。さらに、MIYASHIRO (1953) の泥質変成岩各変成相におけるザクロ石の組成領域を示す Spessartite-Almandine-Pyrope 図 (Fig. 12) 上、大隅および紫尾山花崗閃緑岩体のザクロ石は、緑簾石-角閃岩相～角閃岩相のフィールドにプロットされ、特に大隅花崗閃緑岩体のザク

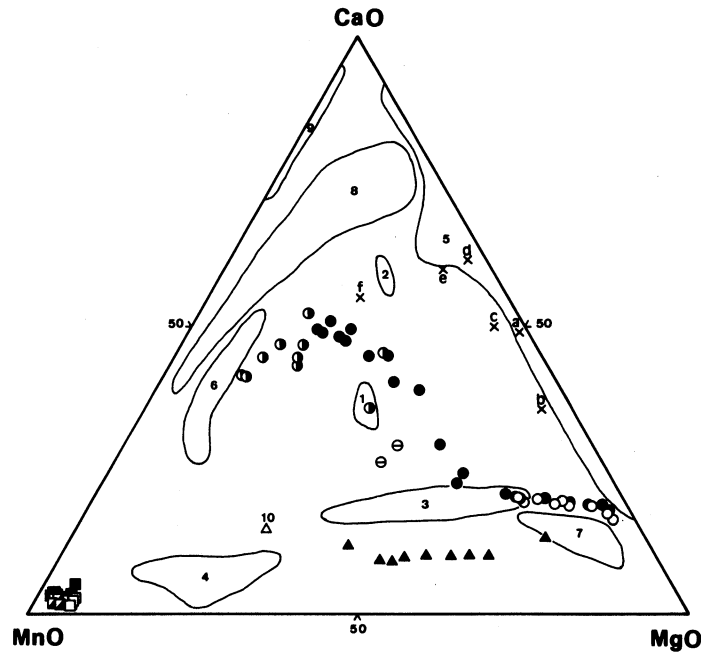


Fig. 11. Relationship between garnets and its host rocks on the CaO-MnO-MgO diagram. Fields 1-10 represent locations occupied by garnets from various kinds of rock.— 1, Field for garnets from biotite perlitites (KANŌ and YASHIMA, 1976); 2, field for garnets from hornblende dacites (KANŌ and YASHIMA, 1976); 3, field for garnets from calc-alkali rocks (GREEN and RINGWOOD, 1968); 4, field for garnets from metamorphic rocks of amphibolite-granulite facies (ONO, 1976); 5, field for garnets from metamorphic rocks of green schist-glaucophane schist facies (ŌNUKI and ISHIMOTO, 1980); 6, field for garnets from epidote amphibolite facies (MORIKIYO, 1979); 7, field for garnets from metamorphic rocks of amphibolite facies (KRETZ, 1964); 8, field for garnets from metamorphic rocks from green schist-eclogite facies (FRANCESCHELL and others, 1982); 9, field for garnets from skarns (MATSUE and ARAI, 1982); 10, field for garnets from metamorphic rocks of amphibolite facies (ADACHI and others, 1969). a-f, High pressure experimental data after GREEN and RINGWOOD (1968).—a, 27 Kb, 1340°C, 80 min.; b, 18 Kb, 920°C, 150 min.; c, 18 Kb, 880°C, 240 min.; d, 18 Kb, 890°C, 180 min.; e, 18 Kb, 840°C, 240 min.; f, 9 Kb, 820°C, 255 min. Symbols are the same as those in Fig. 8.

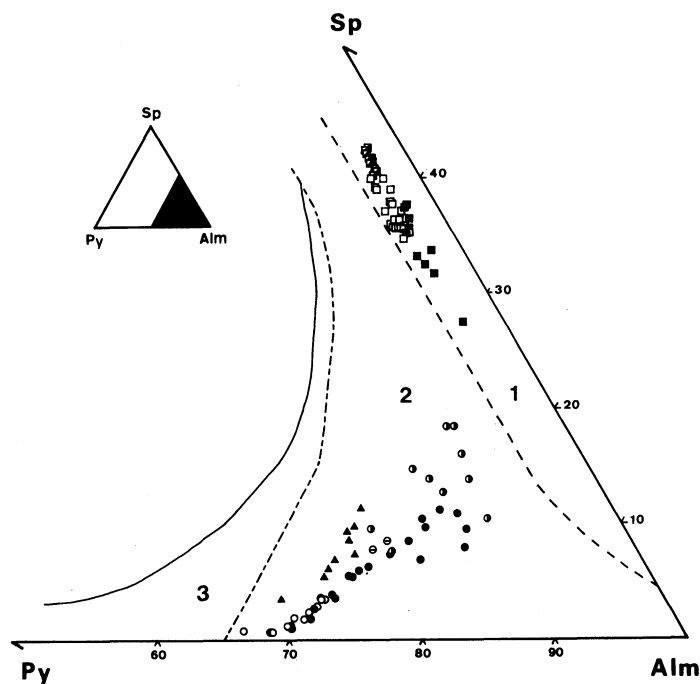


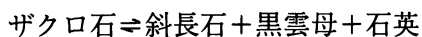
Fig. 12. Locations of the analyzed garnets on MIYASHIRO'S (1953) Sp-Py-Alm diagram for the composition fields in pyralspite group. 1, Green schist facies; 2, epidote-amphibolite and amphibolite facies; 3, granulite and eclogite facies. Symbols are the same as those in Fig. 8.

ロ石のリム部分は、グラニュライト～エクロジャイト相のフィールドとの境界に近い位置にプロットされる。

大隅および紫尾山花崗閃緑岩体のザクロ石に見られる以上の諸事実から、これらのザクロ石は、比較的高圧条件下、角閃岩相ないしグラニュライト相相当変成岩起源のゼノクリストと考えられる。

また、これらのザクロ石が変成岩起源のものであるとすれば、ザクロ石の出現は高変成相を示すことから、ザクロ石は、比較的地下深所において、変成岩起源ザクロ石としてすでに存在していたものと考えられる。

すなわち、大隅および紫尾山花崗閃緑岩体のザクロ石の成因は、つぎのように考えられる。地下深所において変成岩類等が部分溶融を行ない、マグマが形成され、その際、変成岩起源ザクロ石はゼノクリストとしてマグマ中に分散し、斜長石の晶出成長の過程でその中にとりこまれた。大隅花崗閃緑岩体（高山型）中にしばしば認められる clot は、この時の部分溶融の残りであると解釈され、同岩体（高山型）中のゼノリスや clot 中にキンセイ石の認められないことは、比較的地下深所でのマグマ発生を示唆するものであろう。その後、マグマは上昇し、比較的地下浅所に進入し、その際、ザクロ石は非平衡状態となり、



の反応で右側に移行し、ザクロ石の周囲に黒雲母などの反応縁を形成した。

水 2～5 wt % 含む泥質物質に関する GREEN (1976) の高圧下溶融実験によれば、4 Kb では

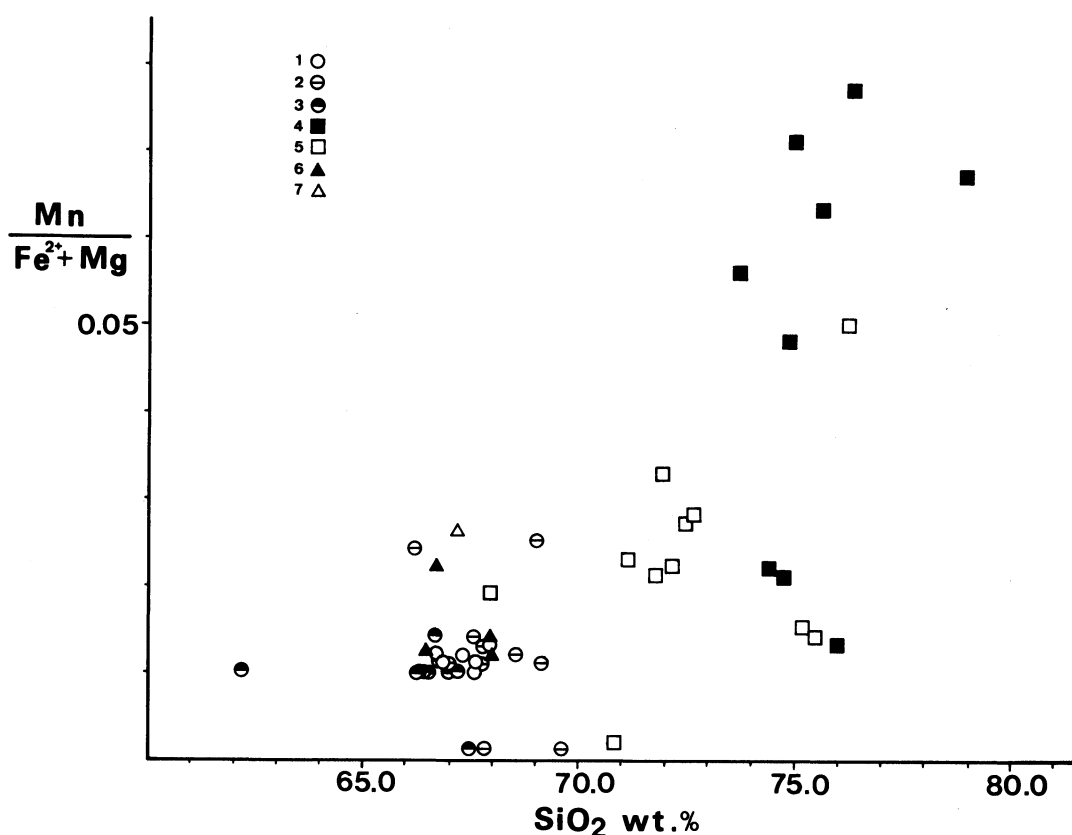


Fig. 13. Locations of the southwestern Outer Zone-type granites of South Kyushu on the Mn/(Fe²⁺ + Mg)–SiO₂ diagram. Symbols.—1–3, Ōsumi granodiorite batholith (granodiorites: 1, Kōyama-type; 2, Hanaze-type & Ōura-type; 3, Hedaōkawa-type); 4–5, Takakumayama granite stock (granites: 4, Sarugajō-type; 5, Shinkoji-type); 6–7, Shibisan granodiorite stock (granodiorites: 6, Hirabae-type; 7, Kusubae-type). Analytical data for 1–5 and 6–7 from YAMAMOTO and ŌBA (1983) and ŌBA (1962).

花崗岩液と共存する残存相はキンセイ石・石英・黒雲母・ケイセン石および斜長石であり、10 Kb ではザクロ石・石英・黒雲母・ケイセン石および斜長石であることが報告されている。また、同氏は、この2つの残存相は、東部オーストラリアにおける CHAPPELL and WHITE (1974) の S-type のキンセイ石含有花崗岩質岩類およびザクロ石含有花崗岩質岩類にそれぞれよく対応していること、前者はおそらく地下25km以浅の pelite の部分溶融、また、後者はおそらく地下25km または以深の pelite の部分溶融によるものと考えている。大隅および紫尾山花崗閃緑岩体のザクロ石の成因は、この後者に相当するものであろう。

高隈山花崗閃緑岩体のザクロ石の起源と成因

高隈山花崗岩体のザクロ石は、ケイセン石や黒雲母などの包有物を包有せず（一部黒雲母を包有するものがある）、黒雲母などの反応縁の形成は認められない。また、Table 4, Fig. 7 および Fig. 8 から分かるように、ザクロ石は、化学組成上、明らかに Mn または spessartite 成分に富み、累帯構造における組成変化は Mn と Fe²⁺ の補償的挙動を示す。このような事実は、MIYASHIRO (1953) および都城 (1955) によれば、ザクロ石が比較的地下浅所、低圧条件下で晶出

したことを意味している。

また、 TiO_2 -CaO 図 (Fig. 9) 上、高隈山花崗岩体のザクロ石は、明らかにマグマ起源ザクロ石のフィールド側にプロットされ、また、(Grossularite + Andradite)-Almandine-Pyrope 図 (Fig. 10)、CaO-MnO-MgO 図 (Fig. 11) および Spessartite-Almandine-Pyrope 図 (Fig. 12) 上、他の岩体のザクロ石とは全く異なる特異な位置にプロットされる。

MIYASHIRO (1953) によれば、マグマの分化が進むと、一般に、残漿中に Mn が濃集するようになり、従って $Mn/(Fe^{2+} + Mg)$ 比の値は増加し、もしザクロ石が晶出するとすれば、端成分 spessartite に富む組成のザクロ石が晶出する。この意味で、もしザクロ石を含む花崗岩が Mn に富むものである場合、ザクロ石はマグマ起源である可能性を示唆する。

$Mn/(Fe^{2+} + Mg)$ - SiO_2 図 (Fig. 13) 上、高隈山花崗岩体の、分化のより進んだ段階を示す猿ヶ城型は、同岩体の新光寺型に対し、また、大隅および紫尾山花崗閃緑岩体に比べ、明らかに $Mn/(Fe^{2+} + Mg)$ 比の値が著しく高い。この事実は、母岩中での Mn に富むザクロ石の晶出が、本来可能であったことを物語る。このことは、YAMAMOTO (1976) による実験結果からも裏づけられ、また、大隅および紫尾山花崗閃緑岩体を貫く岩脈群中にザクロ石の存在が認められないのに対し、高隈山花崗岩体を貫く岩脈群中ではその存在が認められるという事実からも裏づけられる。

結局、以上のことから、高隈山花崗岩体のザクロ石はマグマ起源のものであると考えられる。

文 献

- 安達秀男・山下広幸・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. 鹿児島大学理学部紀要, no. 2, p. 1-13.
- CHAPELL, B.W., and WHITE, A. J. R. (1974): Two contrasting granite types. *Pacific Geology*, 8, p. 173-174.
- FRANCESCHELLI, M., MEMMI, I., and RICCI, C. A. (1982): Ca distribution between almandine-rich garnet and plagioclase in pelitic and psammitic schists from the metamorphic basement of northeastern Sardinia. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 80, p. 285-295.
- GREEN, T. H. (1976): Experimental generation of cordierite- or garnet-bearing granitic liquids from a pelitic composition. *Geology*, 4, p. 85-88.
- GREEN, T. H., and RINGWOOD, A. E. (1968): Origin of garnet phenocrysts in calc-alkaline rocks. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 18, p. 163-174.
- 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, p. 201-212.
- 今井 功・寺岡易司・小野晃司・松井和典・奥村公男 (1980): 50万分の1地質図, 鹿児島, 地質調査所.
- 石原舜三・河内洋佑 (1961): 鹿児島県高隈山の花崗岩と垂水鉱山長尾鉱の含ウラン鉱床. 地質調査所報告, no.190, p. 333-349.
- 加納 博・八島隆一 (1976): 酸性マグマ起源の柘榴石—福島県山野川および山形県上田沢産のアルマンデイン. 岩鉱, 71, p. 106-119.
- 河内洋佑 (1961): 南九州地方の花崗岩類とこれに伴う含ウラン鉱床. 地質調査所報告, no. 190, p. 93-104.
- 河野義礼・植田良夫 (1966): 本邦産火成岩の K-A dating (V), 西南日本の花崗岩類. 岩鉱, 56, p. 191-211.
- KRETZ, R. (1964): Analysis of equilibrium in garnet-biotite-sillimanite gneisses from Quebec. *Jour. Petrology*, 5, Part 1, p. 1-20.
- KURATA, H. (1972): Local chemical heterogeneity of chlorites in the Sanbagawa pelitic schists from Sazawa area, central Shikoku. *Jour. Geol. Soc. Japan*, 78, p. 653-657.
- 松枝大治・荒井康司 (1982): 山口県藤ヶ谷鉱山向鍾西部鉱体の鉄バスタム石を伴う脈状スカルン. 鉱山地質, 32, p. 129-140.
- MILLER, J. A., SHIBATA, K., and KAWACHI, Y. (1962): Potassium-argon ages of granitic rocks from the outer zone of Kyushu, Japan. *Geol. Surv. Japan, Bull.* 13, p. 712-714.
- MIYASHIRO, A. (1953): Calcium-poor garnet in relation to metamorphism. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 4, p. 179-208.
- 都城秋穂 (1955): 火山岩のなかのバイラルスパイト・ガーネット. 地質雑, 61, p. 463-470.

- 森清寿朗 (1979): 北海道三石地方の変成岩中のざくろ石の累帯構造. 岩鉱, 73, p. 27-35.
- 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, 37 p.
- 大庭 昇 (1957): 鹿児島県北西部の紫尾山花崗閃緑岩および捕獲岩類. 鹿児島大学理科報告, no. 6, p. 83-97.
- 大庭 昇 (1958): 鹿児島県大隅半島高隈花崗岩体. 鹿児島大学理科報告, no. 7, p. 19-30.
- 大庭 昇 (1960): 南大隅花崗岩. 資源科学研究所彙報, no. 52・53, p. 127-135.
- 大庭 昇 (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. 資源科学研究所彙報, no. 54・55, p. 191-201.
- 大庭 昇 (1962a): 紫尾山および下甕島花崗閃緑岩における汚染影響. 地質雑, 68, p. 190-198.
- 大庭 昇 (1962b): 大隅花崗岩における汚染影響. 資源科学研究所彙報, no. 56・57, p. 148-152.
- ŌBA, N. (1965): The heterogeneity on the Ōsumi granodiorite. Sci. Repts., Kagoshima Univ., no. 14, p. 59-70.
- ŌBA, N. (1968): Interchange of chemical components between granitic intrusions and aureole rocks of South Kyushu, Japan. Jour. Geology, 76, p. 371-381.
- ŌBA, N. (1977): Emplacement of granitic rocks in the outer zone of Southwest Japan and geologic significance. Jour. Geology, 85, p. 383-393.
- ONO, A. (1976): Crystal growth and zoning of garnet from the Ryoke metamorphic rocks of central Japan. J. Japan. Assoc. Min. Petr. Econ. Geol., 71, p. 308-325.
- 大貫 仁・石本詔久 (1980): 三波川帯, 八幡浜地域のざくろ石-単斜輝石角閃岩類-川舞岩体についての予報-1. 岩鉱, 特別号, no. 2, p. 209-215.
- 太田良平・河内洋佑 (1965): 5万分の1地質図幅説明書, 鹿屋. 地質調査所, 56 p.
- SHIBATA, H. (1962): Chemical composition of Japanese granitic rocks in regard to petrographic provinces; Part 10, Petrographic provinces of Japan. Sci. Rep., Tokyo Univ. Education, Sec. C, vol. 8, no. 72, p. 33-47.
- 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. 地質調査所月報, no. 29, p. 551-554.
- SOBOLEV, N. V. (1964): Paragenetic types of garnets. Izdatel'stro "Nauka" Moscow, 216p., translated from Russian.
- 東野外志男 (1975): 四国中央部白髪山地方三波川変成帯の黒雲母帯. 地質雑, 81, p. 653-670.
- 宇井忠英・福山博之 (1972): 幸屋火砕流堆積物の¹⁴C年代と南九州諸火山の活動期間. 地質雑, 78, p. 631-632.
- YAMAMOTO, M. (1975): Potassium feldspars from the Takakumayama granite, Kagoshima Prefecture, Japan. Rep. Fac. Sci., Kagoshima Univ., no. 8, p. 15-26.
- YAMAMOTO, M. (1976): Crystallization of granitic glasses at 700°C and 1 Kbar. Rep. Fac. Sci., Kagoshima Univ., no. 9, p. 9-20.
- YAMAMOTO, M. (1977): Hydrothermal experiments and petrogenesis of the Takakumayama granite, Kagoshima Prefecture, Japan. Rep. Fac. Sci., Kagoshima Univ., no.10, p. 29-39.
- 山本温彦・中村俊文・大庭 昇 (1983): 大隅花崗閃緑岩体の分化について. 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, p.29-36.
- 山本温彦・大庭 昇 (1983): 高隈山花崗岩体・大隅花崗閃緑岩体の地質・岩石. 日本地質学会90年学術大会巡検案内書, p. 61-79.

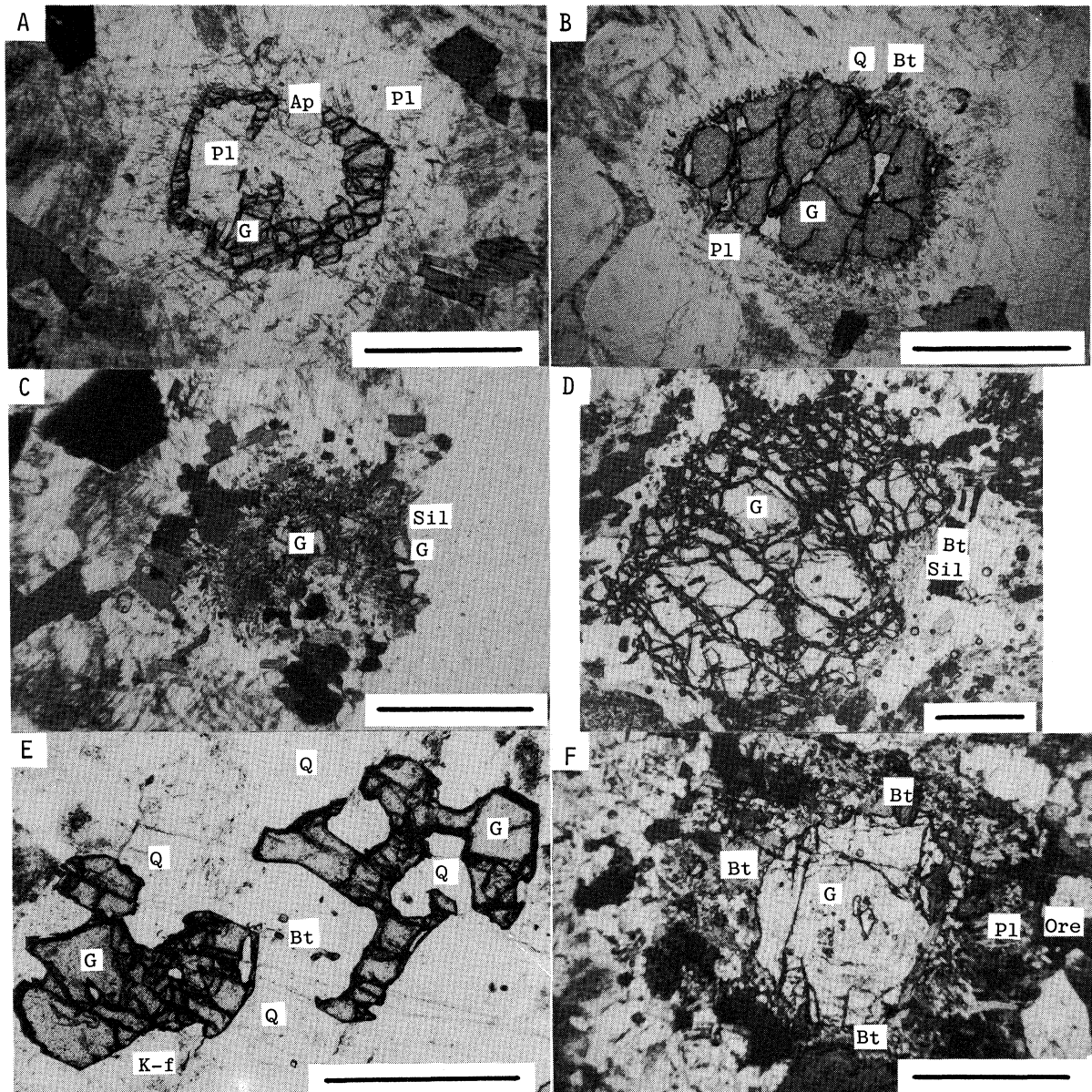


Plate 1. Microphotographs showing the mode of occurrence of garnets from Ōsumi, Takakumayama and Shibisan rock bodies of the Southwestern Outer Zone-type granites. Taken under open nicol. Abbreviations.—Q, Quartz; K-f, potash feldspar; Pl, plagioclase; G, garnet; Bt, biotite; Sil, Sillimanite; Ap, apatite; Ore, Opaque minerals.

- A. Euhedral garnet enclosed by plagioclase in Kōyama-type of Ōsumi granodiorite batholith. No reaction rim and no inclusion except apatite are recognized. Partings are developed. See OK-1 in Table 2.
- B. Corroded garnet with the reaction rim, which is composed of biotite and plagioclase and accompanied by quartz, apatite and ilmenite, in Kōyama-type of Ōsumi granodiorite batholith. See OK-6 in Table 2.
- C. Isolated and irregular shaped-garnet surrounded by the reaction rim composing mainly of biotite, sillimanite, plagioclase and quartz in Kōyama-type of Ōsumi granodiorite batholith. Spherical and ascicular micrograins are recognized as inclusions within the garnet. See OK-13 in Table 2.
- D. Corroded garnet with the reaction rim composing of biotite, sillimanite and plagioclase in biotite schist xenolith from Kōyama-type of Ōsumi granodiorite batholith. Inclusions of biotite, sillimanite, zircon and ore minerals are recognized in core of the garnet. See OKX in Table 2.
- E. Subhedral garnet without the reaction rim in Sarugajō-type of Takakumayama granite stock. See TS-6 in Table 2.
- F. Corroded garnet with the reaction rim composing of biotite, plagioclase, quartz and ore minerals in Hirabae-type of Shibisan granodiorite stock. Sillimanite and quartz are recognized as inclusions within the garnet. See SH-1 in Table 2.

The scale bars represent 1 mm. Taken by J. NAKAMURA.