

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*

安達秀男**・山下廣幸***・大庭昇****

(1969年9月30日 受理)

Paragenesis of metamorphic minerals in the Shibisan contact aureole (northern part), Japan*

Hideo ADACHI**・Hiroyuki YAMASHITA***・Noboru ÔBA****

Abstract

The Shibisan contact aureole, where the Tôgô group consisting mainly of pelitic rock and psammitic rock is thermally metamorphosed by the intrusion of the Shibisan granodiorite which was emplaced during the Miocene, is zoned into three zones; i.e. the outer zone, the intermediate zone and the inner zone respectively according to the paragenesis of the metamorphic minerals in pelitic hornfelses. The inner zone is characterized by the appearance of garnet, potassium feldspar and amphibole in addition to sillimanite, cordierite and biotite. The paragenetic association of potassium feldspar and cordierite and that of garnet rich in almandine-composition and cordierite are discussed. These mineral assemblages are assigned to the higher part of the hornblende hornfels facies.

まえがき

鹿児島県北西部にある紫尾山（標高1066.8 m）には、南九州に広く分布する四万十累層群の一部を占める東郷層群が分布しており、これを貫いて紫尾山花崗閃緑岩が露出している。東郷層群の層相・地質構造などについては橋本（1962 a）の研究があり、紫尾山花崗閃緑岩の岩石学的性質・化学組成などについては、大庭（1957, 1962）の研究がある。また、紫尾山花崗閃緑岩体周辺部には、接触変成帯が形成されており、大庭（1968）はこれを紫尾山接触変成帯と呼び、変成帯と花崗閃緑岩との間での成分移動について論じている。本報では、紫尾山接触変成帯の北部について、変成鉱物の共生関係、それに基づく変成分帯を述べ、また、変成鉱物類中、特にザクロ石および黒雲母について、それらの物理化学的性質を述べ、この変成帯にお

* 鹿児島大学理学部紀要, 第2号, pp. 1-13, 1969. Reprinted from Reports of the Faculty of Science, Kagoshima University, No. 2, pp. 1-13, 1969. Received September 30, 1969.

** 九州大学理学部地質学教室

Department of Geology, Faculty of Science, Kyushu University, Fukuoka, Japan.

*** 鹿児島県明治百年記念館建設調査室

Constructive Investigation Room of Meiji Centennial Commemoration Hall, Kagoshima Prefecture, Kagoshima, Japan.

**** 鹿児島大学理学部地学教室

Institute of Earth Sciences, Faculty of Science, Kagoshima University, Kagoshima, Japan.

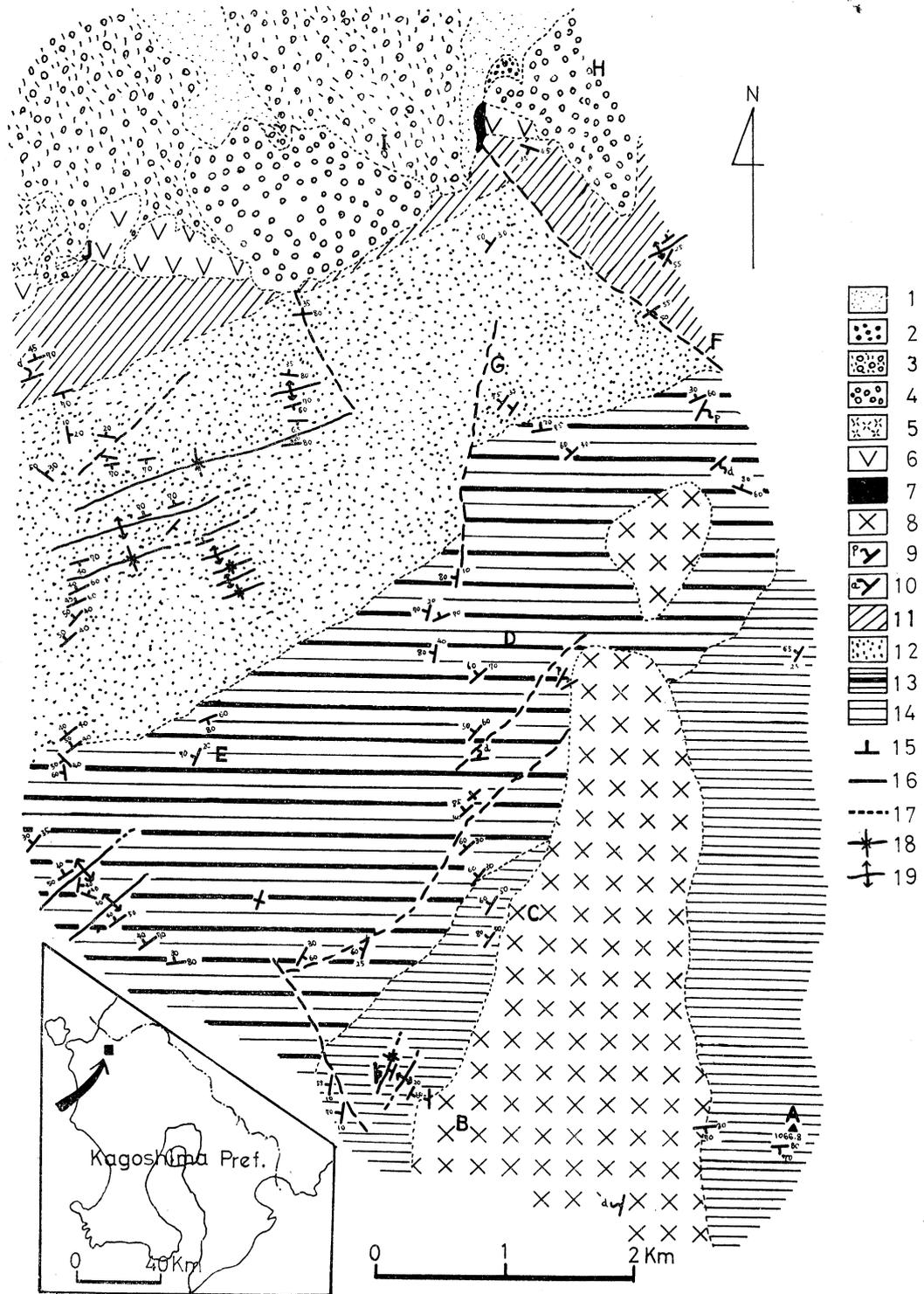


Fig. 1. Geologic map of northern part of the Shibisan district.

1, Alluvial deposits; 2, River terrace deposits; 3, Upper fan deposits; 4, Lower fan deposits; 5, Aira pyroclastic flow deposits (slightly welded or non-welded part); 6, Aira pyroclastic flow deposits (welded part); 7, Tuff breccia; 8, Shibisan granodiorite; 9, Pyroxene porphyrite (dike); 10, Metadiabase (dike); 11, 12, 13 and 14, Tôgô group, 11, Siltstone; 12, Sandstone; 13, Alternation of sandstone and siltstone (siltstone-dominant alternation); 14, Alternation of siltstone and sandstone (sandstone-dominant alternation); 15, Dip and strike; 16, Fault; 17, Estimated fault; 18, Syncline; 19, Anticline. A, Mt. Shibisan; B, Hirabae; C, Hiraiwa; D, Marutsuka; E, Nakayashiki; F, Yukawauchi; G, Kurigeno; H, Inuyamadera; I, Matsuyama; J, Sunoura.

る変成過程を考察することにする。

この研究の過程で、種々有益な助言を与えて下さり、討論して下さいました鹿兒島大学富田克利博士に感謝する。研究費の一部に文部省科学研究費を使用した。

紫尾山北部地域の地質概要

紫尾山北部地域の地質は、地域の基盤岩類を構成する東郷層群、これを貫く変質輝緑岩脈、輝石玢岩岩脈、紫尾山花崗閃緑岩、以上のものをおおひ凝灰角礫岩、始良火砕流堆積物、扇状地堆積物、河岸段丘堆積物および沖積層からなる。本地域の地質を第1図に、層序区分を第1表に示す。以下、下位のものから上位のものへの順に述べることにする。

Table 1. Geological succession in northern part of the Shibisan district

| | |
|-------------|--|
| Recent | Alluvial deposits |
| | River terrace deposits |
| Pleistocene | Fan deposits |
| | Aira pyroclastic flow deposits |
| | Tuff breccia |
| ? | Shibisan granodiorite |
| Miocene | Pyroxene porphyrite (dike) |
| Miocene? | Metadiabase (dike) |
| | |
| Cretaceous? | Tôgô group { Siltstone Sandstone Alternation of sandstone and siltstone (Sandstone-dominant alternation) Alternation of siltstone and sandstone (Siltstone-dominant alternation) |
| } | |
| Jurassic? | |
| | |

~~~~~ Unconformity      ===== Intrusion

### 東郷層群

東郷層群中には、鍵層として利用できるものがなく、調査地域の北部では、始良火砕流堆積物および扇状地堆積物によっておおわれ、南部の紫尾山花崗閃緑岩体周辺部では、ホルフェルス化しているため、層序関係を明らかにすることが困難である。そこで、便宜上、見かけ上の下位から上位への順に、つぎのように岩相区分を行なった。

- (1) シルト岩砂岩互層（砂岩優勢互層）
- (2) 砂岩シルト岩互層（シルト岩優勢互層）
- (3) 砂岩層
- (4) シルト岩層

第2図に東郷層群の柱状図を示す。なお、シルト岩と呼んでいるものの中には、砂質シルト岩、泥質シルト岩、シルト質粘板岩（シルト質頁岩）なども含まれる。また、各層は粘板岩～頁岩を随伴している。

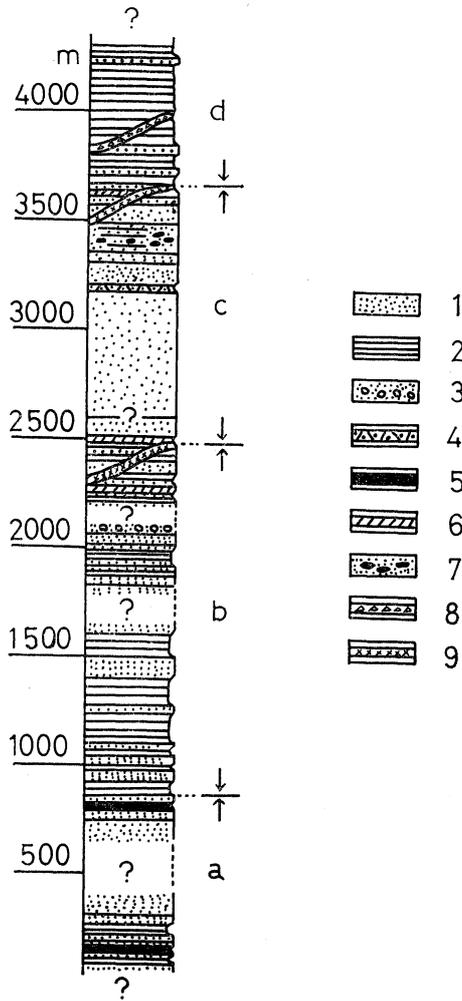


Fig. 2. Geological succession of the Tôgô group in northern part of the Shibisan district.

1, Sandstone; 2, Siltstone; 3, Conglomeratic sandstone; 4, Tuffaceous sandstone; 5, Carbonaceous shale; 6, Alternation of sandstone and shale; 7, Shale patch-bearing sandstone; 8, Metadiabase (dike); 9, Pyroxene porphyrite (dike). a, Alternation of siltstone and sandstone (Sandstone-dominant alternation); b, Alternation of sandstone and siltstone (Siltstone-dominant alternation); c, Sandstone; d, Siltstone.

### (1) シルト岩砂岩互層 (砂岩優勢互層)

シルト岩砂岩互層は厚さ数mの黒色シルト岩および砂岩からなる砂岩優勢の互層で、高尾野町平八重および出水市平岩付近に分布し、下限不明であるが、層厚870m以上に達するものと推定される。砂岩は青灰色中粒で、無層理塊状または成層をなし、時に直径数cmのシルト岩角礫または亜円礫を含むことがある。

### (2) 砂岩シルト岩互層 (シルト岩優勢互層)

砂岩シルト岩互層は厚さ数10mの黒色シルト岩と砂岩からなるシルト岩優勢の互層で、高尾野町中ノ屋敷および出水市丸塚付近に分布し、層厚約1600mに達する。本互層は前記シルト岩砂岩互層に対し、見かけ上、上位に位置する。シルト岩は葉理の発達がよく、断層付近では、部分的に干枚岩質となっている。砂岩は粗粒石英質で、しばしば直径数mm~数cmの黒色シルト岩角礫を含んでいる。本互層の上部では、厚い砂岩や礫質砂岩を挟在しており、また、本互層を貫く輝石玢岩脈が認められる。礫質砂岩は層厚約1mで、青灰色砂質のマトリックス中に、直径数mm~20mmのチャート、砂岩およびシルト岩の円礫~亜円礫を含むものである。

### (3) 砂岩層

砂岩層は主として中~粗粒青灰色無層理砂岩からなり、高尾野ダム、出水市栗毛野および湯

川内付近に分布し、層厚約 1100 m に達する。本層の上部および下部では、砂岩シルト岩細互層を挟在している。また、高尾野付近では、本層中に褐色凝灰質砂岩を挟在している。

#### (4) シルト岩層

シルト岩層は黒～黒灰色粘板岩質シルト岩からなり、高尾野町砂原<sup>ずのはら</sup>付近に分布し、上限不明であるが、層厚 750 m 以上に達する。本層中には、厚さ数 m～数 10 m の砂岩がシルト岩と互層をなす部分もみられる。本層は上位ほどシルト岩優勢になる。時に干枚岩質になっているところも認められる。本層の下部では、本層を貫く変質輝緑岩脈が認められる。

東郷層群は調査地域の北部で走向 N50°～60° E、北側または南側に 60° 前後傾斜し、地域の中央部では、走向 N30°～50° E、西側または北側に 60° 前後傾斜し、また、南部では、走向 N～S ないし N10° E、西側に 60° 前後傾斜する。このような走向傾斜の著しい変移は橋本 (1962 a) により“北薩の屈曲”と呼ばれ、注目されているところである。

本層群中、褶曲構造は調査地域の西部で多く見られ、高尾野ダム<sup>たけやま</sup>付近および岳山<sup>たけやま</sup>林道で認められる褶曲は、褶曲軸の方向が付近の東郷層群の一般走向と平行である。本層群中の断層群には、走向断層群と N～S 系断層群が認められ、後者は急峻な断層崖を形成している。東郷層群は、橋本 (1962 a, b) により川辺層群相当層とされ、ジュラ紀～白亜紀のものとされている。

### 貫入岩類

調査地域内で、東郷層群を貫く貫入岩類には、変質輝緑岩、輝石玢岩および紫尾山花崗閃緑岩がある。

#### (1) 変質輝緑岩

厚さ約 1 m の暗緑色変質輝緑岩脈が、東郷層群中のシルト岩層下部で貫入している。変質輝緑岩は、主に長さ 1.3 mm 前後の斜長石斑晶と填間輝石および短冊状斜長石よりなる。斜長石の大部分は方解石および絹雲母により、輝石の大部分は緑泥石によって交代されている。なお、本岩中に方解石および蛇紋石細脈が認められる。

#### (2) 輝石玢岩

東郷層群中の砂岩層上部および砂質シルト岩互層上部では、それらを貫く幅数 m の輝石玢岩が認められる。輝石玢岩は灰緑色を呈し、主に斜長石および輝石の斑晶と同種の填間鉱物類よりなる。

変質輝緑岩および輝石玢岩の貫入時期は、橋本 (1962 a) によれば、紫尾山花崗閃緑岩の侵入以前である。

#### (3) 紫尾山花崗閃緑岩

大庭 (1957, 1962) が詳細に報告しているので、ここでは省略する。K-Ar 法による年代測定の結果では、紫尾山花崗閃緑岩の活動時期は 1360～1500±400 万年前 (MILLER et al., 1962, 河野ほか, 1966) である。

### 凝灰角礫岩

出水市江川野町平良川<sup>たいら</sup>河床に、小規模に凝灰角礫岩が露出している。この凝灰角礫岩は安山岩類の中～大角礫と凝灰質マトリックスよりなるもので、始良火砕流堆積物（熔結部）によっておおわれるものと推定される。出水市役所水道課保管の出水市山崎におけるボーリング資料によれば、凝灰角礫岩は山崎地区の地下 170 m までの間で、矢筈岳安山岩（中新世～更新世）と推定される安山岩熔岩と累重関係をなす。

## 始良火砕流堆積物

始良火砕流堆積物は、標高 60~100 m の地域で東郷層群を直接おおい、扇状地堆積物によっておおわれている。熔結部は厚さ約 100 m、灰紫~黒紫色、多孔質安山岩質のもので、黒曜石質レンズを有し、板状節理が発達している。非熔結~弱熔結部、いわゆる“シラス”は熔結部（熔結凝灰岩）をおおって、高尾野町砂原付近に小規模に分布している。

## 扇状地堆積物

本調査地域内には、高尾野川および平良川流域に沿って発達する 2 段の扇状地堆積物が認められる。すなわち、高尾野町内木場<sup>うちこぼ</sup>および出水市犬山寺を含む標高 100~150 m の丘陵地に発達するもの、および高尾野町昭興<sup>しょうこう</sup>、野平および出水市江川野を含む標高 100 m 以下の台地に発達する 2 段の扇状地堆積物で、便宜上、前者を高位扇状地堆積物、後者を低位扇状地堆積物とする。いずれも東郷層群あるいは始良火砕流堆積物をおおって分布するもので、主に花崗閃緑岩、砂岩、頁岩、シルト岩およびホルンフェルスの垂円礫と砂および褐色粘土を主とするマトリックスからなり、淘汰不良である。

以上のほか、各所に河岸段丘砂礫層が分布している。

## 紫尾山接触変成帯（北部）における変成鉱物の共生

筆者の 1 人安達は、紫尾山接触変成帯の変成分帯を目的として、また、変成条件を考察することを目的として、紫尾山の北部地域の各所、主に下記のコースに沿い、10~70 m 間隔で、泥質岩および泥質ホルンフェルスを採取した。

- 平岩—栗毛野コース (4 km)
- 平八重—砂原コース (5 km)
- 平岩—平八重コース (2 km)
- 小木場—平八重コース (1.5 km)
- 金床—栗毛野コース (1.5 km)
- 湯川内コース (1.5 km)

| Facies      | Hornblende-hornfels facies |                   |            |
|-------------|----------------------------|-------------------|------------|
|             | Inner zone                 | Intermediate zone | Outer zone |
| D (m)       | 0                      20  | 1300              | 3000       |
| K-feldspar  | Orthoclase                 | ?                 |            |
| Sillimanite |                            |                   |            |
| Hornblende  |                            | ?                 |            |
| Almandine   |                            |                   |            |
| Cordierite  | Sericite   Pinite ?        |                   |            |
| Biotite     | Hornblende   Chlorite      |                   |            |
| Quartz      |                            |                   |            |
| Plagioclase |                            |                   |            |
| Muscovite   |                            |                   |            |
| Graphite    |                            |                   |            |
| Chlorite    |                            |                   | ?          |

Fig. 3. Stability range of minerals in pelitic facies of the Shibisan contact aureole (northern part).



Fig. 4. Progressive metamorphic zones in the Shibisan contact aureole (northern part).

1, Outer zone; 2, Intermediate zone; 3, Inner zone; 4, Shibisan granodiorite; A, Mt. Shibisan; B, Hirabae; C, Hiraiwa; D, Marutsuka; E, Nakayashiki.

接触変成帯は、紫尾山の北側の地域で、花崗閃緑岩体との直接接触部から地図上の水平幅3.2 km まで追跡できるが、それ以上離れると砂質岩層になるため、明瞭でなくなる。

接触変成帯は、泥質ホルンフェルスにおける変成鉱物組合せに基づいて、累進的に

外帯  
中間帯  
内帯

の3帯に分帯できる。変成鉱物の共生関係を第3図に、変成分帯図を第4図に示す。

#### 外帯

外帯は熱変成鉱物としての黒雲母の出現によって特徴づけられる。外帯のホルンフェルスは、

外観上、原岩（粘板岩～頁岩）に近いもので、黒雲母は微小であり、外形もやや不規則で、多色性は顕著でない。鉱物組合せは、

黒雲母—白雲母—緑泥石

で、このほか斜長石・石英・石墨などを含んでいる。出水市丸塚で採取された泥質ホルンフェルス No. 43031001 の化学分析値を第2表に、AKF 図上の位置を第5図に示す。

#### 中間帯

中間帯は堇青石の出現と緑泥石の消失とによって特徴づけられる。堇青石は斑状変晶をなし、集合双晶をなすものが多く、黒雲母・白雲母・石英などの包有物を有している。鉱物組合せには、つぎのようなものがある。

堇青石—白雲母—黒雲母—石英—石墨—斜長石

堇青石—黒雲母—白雲母—石英—斜長石

出水市丸塚で採取された泥質ホルンフェルス No. 43030904 の化学分析値を第2表に、AKF 図上の位置を第5図に示す。

Table 2. Chemical analyses of pelitic hornfelses from the Shibisan contact aureole (northern part)

|                                | 1     | 2     | 3     |
|--------------------------------|-------|-------|-------|
| SiO <sub>2</sub>               | 58.79 | 62.74 | 63.28 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 18.79 | 17.98 | 17.80 |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.74  | 0.60  | 0.69  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1.19  | 0.98  | 0.22  |
| FeO                            | 4.23  | 3.95  | 6.03  |
| MgO                            | 2.42  | 2.14  | 2.74  |
| MnO                            | 0.01  | 0.09  | 0.22  |
| CaO                            | 2.10  | 1.21  | 0.73  |
| Na <sub>2</sub> O              | 3.50  | 1.90  | 1.20  |
| K <sub>2</sub> O               | 4.50  | 3.80  | 4.00  |
| H <sub>2</sub> O <sub>+</sub>  | 2.78  | 3.20  | 2.12  |
| H <sub>2</sub> O <sub>-</sub>  | 0.56  | 0.56  | 0.20  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.26  | 0.25  | 0.05  |
| Total                          | 99.46 | 99.34 | 99.32 |
| A                              | 45.8  | 37.8  | 34.5  |
| K                              | 15.1  | 16.8  | 13.8  |
| F                              | 39.2  | 45.8  | 51.5  |

A=Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O+CaO), K=K<sub>2</sub>O, F=FeO+MgO+MnO.

1. Biotite-muscovite-chlorite-quartz-plagioclase hornfels (Spec. No. 43031004), Marutsuka, Izumi City, Kagoshima Prefecture.
2. Cordierite-biotite-muscovite-quartz-graphite-plagioclase hornfels (Spec. No. 43030904), Marutsuka, Izumi City, Kagoshima Prefecture.
3. Garnet - cordierite - biotite-muscovite-quartz-plagioclase-potash-feldspar hornfels (Spec. No. 43040401), Hiraiwa, Izumi City, Kagoshima Prefecture.

Analyst: H. Adachi,

内帯

内帯はカリ長石，珪線石，ザクロ石および角閃石の出現によって特徴づけられる。内帯の泥質ホルンフェルスに観察される鉱物組合せには，つぎのようなものがある。

ザクロ石—普通角閃石—黒雲母—斜長石—石英—堇青石

ザクロ石—堇青石—黒雲母—カリ長石—石英—斜長石

直閃石—普通角閃石—堇青石—石英—斜長石—黒雲母

珪線石—黒雲母（斜緑泥石）—石英—白雲母—斜長石

黒雲母—堇青石（白雲母）—石英—斜長石

ザクロ石—堇青石（白雲母）—石英—斜長石—黒雲母

直閃石—カリ長石—黒雲母—堇青石—石英—斜長石

ザクロ石は微小な斑状変晶をなし，石英・黒雲母などの包有物を包有している。珪線石は繊維状集合体として現われることが多い。紅柱石は認められない。角閃石類は斑状変晶として現われ，黒雲母を交代している。黒雲母は外帯，中間帯を経て内帯の花崗閃緑岩との接触部に近づくにつれて，赤味を帯びるようになり，多色性も顕著になる。出水市平岩で採取された No. 43040401，ザクロ石—堇青石—黒雲母—白雲母—石英—斜長石—カリ長石ホルンフェルスの化学分析値を第2表に，AKF図上の位置を第5図に示す。

第5図 AKF 図上で，1，2 および 3 は接触変成帯の，それぞれ外帯，中間帯および内帯から採取されたホルンフェルスの占める位置を示す。外帯を代表するホルンフェルス 1 は，緑泥石—黒雲母—白雲母のフィールド内に，中間帯を代表するホルンフェルス 2 は，堇青石—黒雲母—白雲母のフィールド内に，また，内帯を代表するホルンフェルス 3 は，黒雲母—カリ長石—ザクロ石のフィールド上，カリ長石とザクロ石を結ぶ線上にプロットされる。すなわち，外帯，中間帯および内帯を代表するホルンフェルス 1，2 および 3 は，AKF 図上での鉱物組合せと実際の鉱物組合せとがほぼ一致している。

変成鉱物の性質および変成条件についての考察

同一ホルンフェルス中で共存する黒雲母およびザクロ石の化学組成を明らかにし，かつ X線データを得る目的で，接触変成帯の内帯に属するカリ長石—堇青石—ザクロ石—黒雲母—石英—斜長石の鉱物組合せをもつ泥質ホルンフェルス No. 43040401 から，黒雲母および斑状変晶

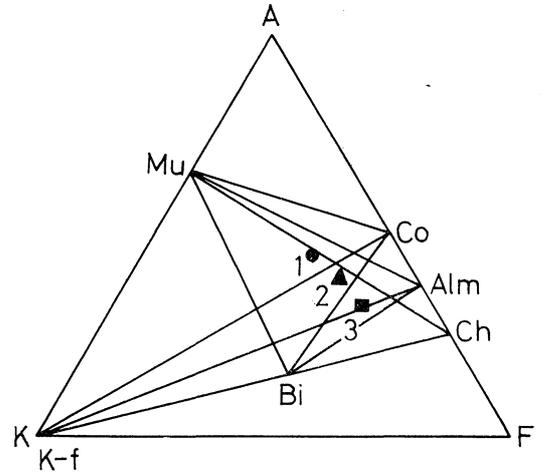


Fig. 5. AKF diagram for pelitic hornfelses of the Shibisan contact aureole (northern part).

A =  $Al_2O_3 + Fe_2O_3 - (Na_2O + K_2O + CaO)$ , K =  $K_2O$ , F =  $FeO + MgO + MnO$ .

Mu: Muscovite, Co: Cordierite, Ch: Chlorite, Alm: Almandine, K-f: K-Feldspar.

1. Biotite-muscovite-chlorite-quartz-plagioclase hornfels.

2. Cordierite-biotite-muscovite-quartz-graphite-plagioclase hornfels.

3. Garnet - cordierite-biotite - muscovite - quartz - plagioclase - potash - feldspar hornfels.

The numbers correspond to those of table 2.

Table 3. Chemical analysis and physical properties of granet from pelitic hornfels of the shibisan contact aureole (northern part)

|                                | Wt. %  | Atomic ratio     | (O=12) |
|--------------------------------|--------|------------------|--------|
| SiO <sub>2</sub>               | 37.10  | Si               | 2.98   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 20.42  | Ti               | 0.01   |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.06   | Al               | 0.02   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4.71   | Al               | 1.92   |
| FeO                            | 27.29  | Fe <sup>+3</sup> | 0.28   |
| MgO                            | 2.93   | Fe <sup>+2</sup> | 1.84   |
| MnO                            | 5.63   | Mn               | 0.38   |
| CaO                            | 1.53   | Mg               | 0.39   |
| Na <sub>2</sub> O              | 0.20   | Ca               | 0.13   |
| K <sub>2</sub> O               | —      | Na               | 0.03   |
| H <sub>2</sub> O <sub>+</sub>  | —      |                  |        |
| H <sub>2</sub> O <sub>-</sub>  | 0.40   |                  |        |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.07   |                  |        |
| Total                          | 100.36 |                  |        |
|                                | Mol. % |                  |        |
| Alm.                           | 68.0   |                  |        |
| Spes.                          | 14.1   |                  |        |
| Pyr.                           | 13.1   |                  |        |
| And.                           | 4.8    |                  |        |

Unit cell edge:  $a_0=11.534\pm 0.003$  (Å)  
 Refractive index:  $n=1.818\pm 0.003$  (19°C)  
 Specific gravity:  $D_{cal.}=4.18\pm 0.02$

(Alm<sub>68.0</sub> Spes<sub>14.1</sub> Pyr<sub>13.1</sub> And<sub>4.8</sub>)  
 Analyst: H. Adachi

ザクロ石を純粋に分離し、化学分析および X線回析を行なった。黒雲母およびザクロ石の分析用試料は、粒径 150~250 メッシュの母岩の粉末試料について、フランツ社アインダイナミック・セパレーターを用いて磁力分離し、鏡下で不純物の有無を検討しながら、クレリチ重液をくり返し使い、重液分離を行なって試料を精製純化した。

化学分析は SiO<sub>2</sub> および H<sub>2</sub>O<sub>±</sub> については、通常の重量法により、これら以外の酸化物については、イオン交換樹脂法—キレート滴定法 (柴田ほか, 1960, 大木ほか, 1962) に従って行なった。ザクロ石および黒雲母の化学分析値をそれぞれ第 3 表および第 4 表に示す。また、これらの X線データおよび屈折率を第 3, 4 表に付記してある。

上のザクロ石と共存する黒雲母の化学構造式中の Mg<sup>+2</sup>, Fe<sup>+2</sup> および R<sup>+3</sup> (Al, Fe<sup>+3</sup>, Ti) の比を求め、FOSTER (1960) の Mg<sup>+2</sup>—Fe<sup>+2</sup>—R<sup>+3</sup> 三角ダイアグラム上にプロットすれば、第 6 図に示すように、2 価の鉄イオンに富む黒雲母のフィールド内に入る。

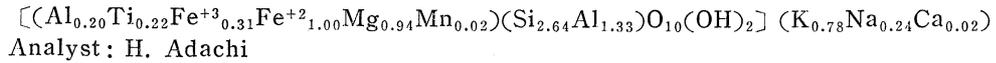
熱変成帯の泥質ホルンフェルスにおけるカリ長石と堇青石の共生関係は、日本では、これまで橋本ほか (1954), 河田ほか (1955), 加納 (1957), 大木 (1958, 1961), 島津 (1958, 1962), 大庭 (1967) その他の人々により各地で認められ、報告されている。また、カリフォルニアのシェラ・ネバダ・バソリスのルーフ・ペンダントにおいても、FYFE et al. (1966) により、堇青石—黒雲母—正長石ホルンフェルスが普通角閃石—斜長石ホルンフェルスと共に普通に存在していることが報告されている。結局、紫尾山接触変成帯の泥質ホルンフェルスにおける堇青

Table 4. Chemical analysis and physical properties of biotite from pelitic hornfels of the Shibisan contact aureole (northern part)

|                                | Wt. % | Atomic ratio     | (O=12) |
|--------------------------------|-------|------------------|--------|
| SiO <sub>2</sub>               | 34.82 | Si               | 5.34   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 16.92 | Al               | 2.66   |
| TiO <sub>2</sub>               | 3.74  | Al               | 0.40   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 5.30  | Ti               | 0.44   |
| FeO                            | 15.57 | Fe <sup>+3</sup> | 0.62   |
| MgO                            | 8.21  | Fe <sup>+2</sup> | 2.00   |
| MnO                            | 0.24  | Mg               | 1.88   |
| CaO                            | 0.23  | Mn               | 0.04   |
| Na <sub>2</sub> O              | 1.60  | Ca               | 0.04   |
| K <sub>2</sub> O               | 8.00  | Na               | 0.48   |
| H <sub>2</sub> O <sub>+</sub>  | 2.60  | K                | 1.56   |
| H <sub>2</sub> O <sub>-</sub>  | 2.60  |                  |        |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.10  |                  |        |
| Total                          | 99.98 |                  |        |

Refractive index:  $\beta=1.686\pm 0.001$  (19° C)

Chemical structural formula (half-cell):



## X-ray powder data

| hkl          | d      | I     |
|--------------|--------|-------|
| 001          | 10.163 | 100.0 |
| 002          | 5.039  | 2.7   |
| 003          | 3.351  | 42.9  |
| 11 $\bar{3}$ | 2.931  | 2.4   |
| 201, 130     | 2.637  | 4.6   |
| 004, 113     | 2.515  | 7.0   |
| 201          | 2.449  | 3.3   |
|              | 2.181  | 2.9   |
| 005          | 2.010  | 5.4   |
| 006          | 1.678  | 4.5   |
| 060          | 1.544  | 3.9   |
| 007          | 1.435  | 2.2   |

石とカリ長石の共存する鉱物組合せは、TURNER et al. (1960) の普通角閃石ホルンフェルスの高温部に相当する。

格子定数、屈折率および化学組成を組合せた SRIRAMADAS (1957) によるザクロ石の Mg—Mn—Fe<sup>+2</sup> 三角ダイアグラム上に分析したザクロ石をプロットすれば、第7図に示すように、アルマンディンに近いものである。また、都城 (1953) の Mg—Mn—Fe<sup>+2</sup> 三角ダイアグラム上にプロットすれば、角閃岩相のフィールドにプロットされる (第8図)。

HIRSCHBERG et al. (1968) の泥質岩についての高温高压実験によれば、アルマンディンと堇青石が共存する相は 625° C/5.5 kb—700° C/6.5 kb と 625° C/5.5 kb—700° C/4.0 kb の範囲

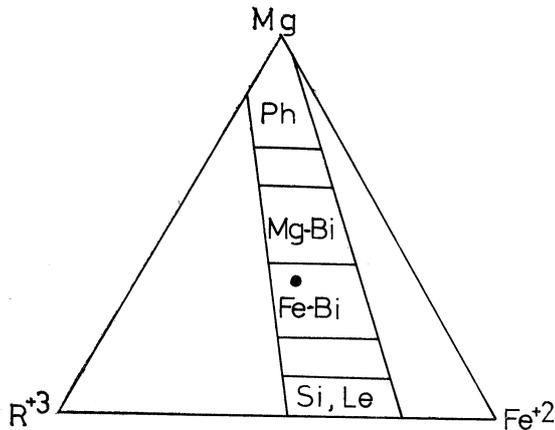


Fig. 6. Location of biotite from the inner zone hornfels of the Shibisan contact aureole (northern part) on the Mg-Fe<sup>2+</sup>-R<sup>3</sup> (Al+Fe<sup>3+</sup>+Ti) triangular diagram (after Foster, 1960).

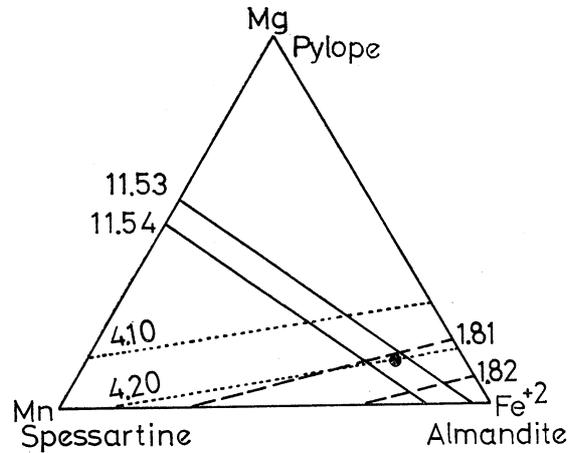


Fig. 7. Location of garnet from the inner zone hornfels of the Shibisan contact aureole (northern part) on the Mg-Mn-Fe<sup>2+</sup> triangular diagram showing the correlation of unit cell edges and refractive indices with the chemical composition (after Sriramadas, 1957).

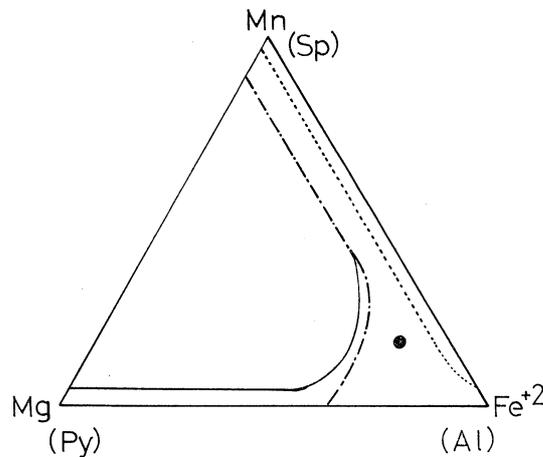


Fig. 8. Location of biotite from the inner zone hornfels of the Shibisan contact aureole (northern part) on the Mg-Fe<sup>2+</sup>-Mn triangular diagram for the composition fields in pyralospite group (after Miyashiro, 1953).

で安定であることが明らかにされている。このことは従来、角閃石ホルンフェルス相について考えられている温度・圧力条件と比較して、かなり高い部分に相当する (FYFE et al. 1958)。この実験結果をそのまま紫尾山接触変成帯に適用することは妥当ではないが、アルマンディン成分に富むザクロ石と堇青石とが共存する紫尾山接触変成帯の場合、 $Al_2SiO_5$  鉱物として珪線石が認められ、紅柱石が認められないこと、およびカリ長石が存在することなどから判断して、少なくとも、この変成帯における変成作用が、かなり高温の下で進行したと考えることはできよう。このような考察は、また、紫尾山花崗閃緑岩を含む九州外帯の花崗岩質岩類が、従来、

高温（低水蒸気圧）の条件下で形成されたと推定されている（大庭，1962，1967）こととも相対応していると言える。

## 文 献

- FOSTER, M. D. (1960): Interpretation of the composition of trioctahedral micas. *Geol. Surv. Prof. Paper* 354-B, p. 11-49.
- FYFE, W. S., and TURNER, F. J. (1966): Reappraisal of the metamorphic facies concept. *Contr. Mineral. and Petrol.*, Vol. 2, p. 354-364.
- , —, and Verhoogen, J. (1958): Metamorphic reactions and metamorphic facies. *Geol. Soc. Amer. Mem.*, 73.
- 橋本 勇 (1962 a): 鹿兒島県北薩地方の時代未詳層群の層序と構造, 九州大学教養部地学研報, No. 8, p. 47-62.
- (1962 b): 九州南部における時代未詳層群研究の総括, 同, No. 9, p. 13-69.
- 橋本光男・黒田吉益・木村治郎 (1954): 山梨県神金村の石英閃緑岩の接触帯にみられる現象について, 国立科博研報, Vol. 1, No. 2, p. 30-34.
- HIRSCHBERG, A., und WINKLER, H. G. F. (1968): Stabilitäts bezieungen zwischen Chlorit, Cordierit und Almandin bei der Metamorphose. *Contr. Mineral. and Petrol.*, Vol. 18, p. 18-42.
- 加納 博 (1957): 変成帯における花崗岩の役割—とくに変成分化作用と交代作用に関連して—, 地球科学, No. 34, p. 19-28.
- 河田清雄・大沢稜 (1955): 5万分の1地質図, 足尾図幅並説明書, 地質調査所.
- 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, Vol. 56, P. 191-211.
- MILLER, J. A., SHIBATA, K., and KAWACHI, Y. (1962): Potassium-Argon ages of granitic rocks from the outer of Kyushu, Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, Vol. 13, No. 8, p. 70-72.
- MIYASHIRO, A. (1953): Calcium-poor garnet in relation to metamorphism. *Geochim. Cosmochim. Acta*, Vol. 4, p. 179-208.
- 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, 鹿兒島大学理科報告, No. 6, p. 83-97.
- ÔBA, N. (1962 a): Petrochemical Studies of the Kyushu outer zone granites, Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, Vol. 68, p. 162-171.
- 大庭 昇 (1962): 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, Vol. 68, p. 190-198.
- (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.
- Ôba, N. (1968): Interchange of chemical components between granitic intrusions and aureole rocks of South Kyushu, Japan. *Jour. Geol.*, Vol. 76, p. 371-381.
- 大木靖衛 (1958): 木曾山脈北部の熱変成岩類, 地質雑, Vol. 64, p. 1-12.
- ÔKI, Y. (1961): Metamorphism in the northern Kiso range, Nagano Prefecture, Japan. *Japan. Jour. Geol. Geogr.*, Vol. 32, p. 479-496.
- , ÔKI, S., and SHIBATA, H. (1962): The systematic analysis of silicate rocks using ion exchange resin. *Bull. Chem. Soc. Japan*, Vol. 35, p. 273-276.
- 柴田秀賢・大木靖衛・榊原雄太郎 (1960): イオン交換樹脂とキレート滴定による岩石の分析 (1), 地質雑, Vol. 66, p. 195-201.
- SHIMAZU, M. (1958): On the thermally metamorphosed rocks surrounding the Tanohata granite, northern Kitakami mountainland. *Jour. Geol. Soc. Japan*, Vol. 64, p. 109-124.
- (1962): Petrological study of the thermally metamorphosed rocks surrounding the Tanohata granite mass, northern Kitakami Mountainland, northeastern Japan. II. *Jour. Japan. Assoc. Miner. Petrol. Econ. Geologists*, Vol. 48, p. 220-234.
- SRIRAMADAS, A. (1957): Diagrams for the correlation of unit cell edges and refractive indices with the chemical composition of garnet. *Amer. Min.*, Vol. 42, p. 294-298.
- TURNER, F. J., and VERHOOGEN, J. (1960): *Igneous and metamorphic petrology*. New York, McGraw-Hill Co.