

## 豊肥地域の先第三紀基盤岩類

笹田 政 克\*

SASADA, M. (1987) Pre-Tertiary basement rocks of Hohi area, central Kyushu, Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 38 (7), p. 385-422.

**Abstract:** The pre-Tertiary basement rocks from deep drill holes in the Hohi geothermal area and small outcrops at Kashinomure and Kosono near the Aso caldera were studied geologically and petrographically. The Hohi area is characterized by the thick pile of the Cenozoic volcanic rocks and a negative Bouguer anomaly. The basement penetrated by the geothermal drill holes DW-7, DY-2 and DY-3 is situated 800 to 1000 meters under the sea level. It consists of metamorphic and plutonic rocks of Cretaceous age. The metamorphic rocks are composed mainly of mica schist with subordinate of quartz schist and hornblende schist. The plutonic rocks are foliated tonalite and small amount of aplite and pegmatite. Basement structure is generally gentle under the drilling sites.

The mica schist and granitic rocks are exposed locally at Kashinomure, where the 160 meter corehole was drilled. The foliated tonalite and quartz-tourmaline rock crop out at Kosono. The structural trend is east-west at the both outcrops.

The metamorphic rocks are derived from pelitic and basic rocks and chert. Mineral assemblage of biotite-muscovite-quartz-plagioclase-garnet is common in the mica schist. Potassium feldspar, cordierite and fibrolite are also present at Kashinomure. Common mineral assemblage of the basic schist is hornblende-biotite-plagioclase-(clinopyroxene). These assemblages indicate that they were metamorphosed under high temperature and low pressure condition during the Cretaceous plutonic activity.

The plutonic rocks consist of foliated and non-foliated facies of granitic to tonalitic composition. They have higher  $Al_2O_3$  and lower MgO than those in northern Kyushu. They are also chemically similar to those from the Ryoike Belt in Chubu district. The K-Ar ages of the plutonic rocks range from 78 to 112 Ma. The metamorphic rocks also have similar radiometric ages.

The geological and petrographical characteristics of the metamorphic and plutonic rocks and their K-Ar ages indicate that the basement of the Hohi geothermal area is presumably a western extension of the Ryoike Belt.

## 1. はじめに

本研究は九州中部豊肥地熱地域の地下深部を構成する先第三紀基盤岩類(以下基盤岩類と略す)の地質構造を明らかにするために行われたものである。本報告では、九重山周辺で掘削された DW-7, DY-2, DY-3 井で得られた基盤岩類、合戦群<sup>かしのむれ</sup>の地表および地下に分布する基盤岩類、阿蘇カルデラの地下および東部に分布する基盤

岩類について、それらの地質、岩石記載、化学組成、K-Ar 年代を報告し、基盤岩類の地質構造について考察するとともに、本地域の地体構造上の位置づけについて論及する。なお、本報告で述べる豊肥地域とは、日本地熱資源賦存分布図(角・高島, 1980)による地域区分に依拠し、さらに阿蘇カルデラおよびその周辺地域も含めることとする。また、本報告における花崗岩類の区分は IUGS (1973) に従ったが、引用した岩石名は原著者による名称を踏襲している。

本研究は、地熱探査技術等検証調査(総合解析の研究)

\* 地殻熱部

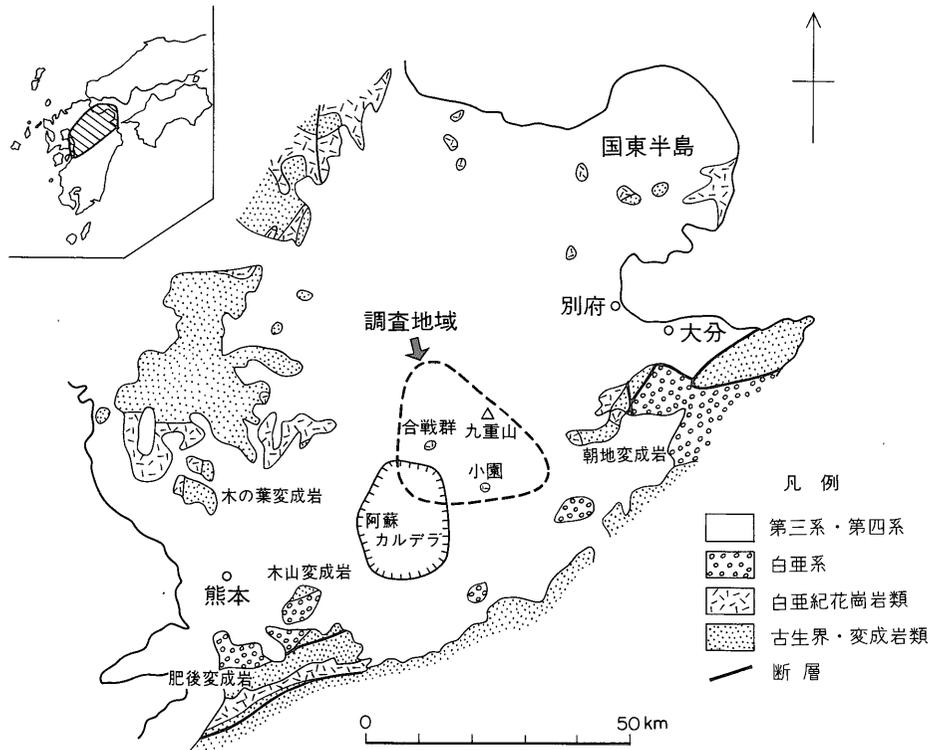
の中で進められたもので、同時期に通商産業省により実施された大規模深部地熱発電所環境保全実証調査(以下大規模深部地熱調査と略す)と関連して、坑井試料等が研究された。本研究を進めるにあたり地質調査所長谷絃和、小川克郎、金原啓司、角清愛(現東北工業技術試験所)高島 勲(現秋田大学)、故沢 俊明、山田敬一(現同和工営株式会社)、小野晃司の各氏および新エネルギー総合開発機構馬場健三氏(現住鉱コンサルタント)には、有益な助言および励ましをいただいた。電源開発株式会社立林 久、藤田武俊、阿部 信、磯山泰造、河野啓幸の各氏および三菱金属中央研究所高島薫朗、伊藤和男、白井政幸の各氏には、本研究遂行にあたり、多大な便宜をはかっていただき、また有益な討論をしていただいた。西南学院大学唐木田芳文氏には、草稿に目を通していただき、数多くの有益な助言をいただいた。地質調査所加藤甲壬氏(現大手開発株式会社)には、一部の試料の化学分析をしていただいた。花崗岩類の帯磁率の測定にあたっては、同所物理探査部金谷 弘氏に助言をいただいた。技術部大野正一、安部正治両氏および故村上 正氏には多数の岩石薄片を作っていただいた。元

総務部正井義郎氏には岩石研磨片の写真を撮影していただいた。九州電力株式会社田中耕基氏は、八丁原の地熱調査井で得られた基盤岩類の観察の機会を与えて下さった。豊栄土地株式会社西山半二氏には、竹田市福原での試錐試料の一部を提供していただいた。熊本県一の宮町からは、阿蘇カルデラ内に掘削された試錐試料の一部を提供していただいた。以上の方々に厚くお礼申し上げる次第である。

なお、本研究の一部については、その概要がすでに笹田(1984)により報告されている。

## 2. 基盤地質概説

基盤岩類の分布を見ると、九州中部には大分県から熊本県にかけて大きな空白域がある。同地域は負の大きな重力異常域となっており(KUBOTERA, et., al., 1969, 駒沢・鎌田, 1985), 地表は新第三紀以降の火山岩類に広く覆われている(松本, 1979; 鎌田, 1985)。今回報告する地域(第1図)は、この空白域のほぼ中央部に位置していることもあって、基盤岩類の露出は、阿蘇カルデラ周辺の合戦群(籾倉ほか, 1979)と小園(広川ほか,



第1図 九州中部での調査地域の範囲および周辺に分布する基盤岩類



図). これらの坑井で見出された基盤岩類は、いずれも変成岩類と花崗岩類の両者からなる。このほか九州電力株式会社により掘削された HT-5-1 (田中・江島, 1982), H-21 (YOSHIDA *et al.*, 1985) でも基盤岩類に到達しており、同じく H-17 では結晶片岩・花崗岩質岩等からなる礫岩が見つかっている (渡辺ほか, 1982)。なお、大規模深部地熱調査で掘削された 3000 m 級坑井のうち、DY-1, DY-5, DY-6 では、基盤岩類に到達しなかった (通商産業省, 1981, 1985)。

### 3.2 DW-7 坑井

#### 3.2.1 位置

本坑井は、熊本県阿蘇郡小国町中尾の国鉄宮原線沿いの標高 647 m の地点 (33°9.4'N, 131°7.4'E) で掘削された (通商産業省, 1983) (第2図)。地表には山川凝灰角礫岩が分布する (太田ほか, 1968)。

#### 3.2.2 基盤岩類の地質柱状

本坑井は、201~501 m, 1473~1800 m (坑底) の両区間でコアが採取された。1607 m 以深の基盤岩類では、100%に近いコア採取率のところが大部分であるが、1610~1613 m, 1618~1619.5 m, 1631~1633.5 m および 1747.9~1750 m の各区間では、コアが採取されていない (第3図)。

本坑井では、新第三系と基盤岩類との境に、安山岩質の岩脈が貫入しているため、両者の直接の不整合関係は見えないが、そのすぐ上位の火山岩類中には、1565.7~1571.2 m に基盤岩類の礫からなる円礫岩が、1583.7~1586.6 m, 1587.5~1593.3 m の両区間には、基盤岩類の礫からなる角礫岩が存在する。

基盤岩類は、1607.3~1668.0 m および 1737.6~1795.6 m の区間が主として変成岩類からなり、1668.0~1737.6 m および 1795.6~1800.0 m (坑底) の区間が主として花崗岩類からなるが、変成岩類中には花崗岩類のはさまが頻繁に認められ、また花崗岩類中にも変成岩類の小規模なはさまが見られる。変成岩類は、雲母片岩を主とし、石英片岩・角閃石片岩を伴う。花崗岩類は大きくみて、黒雲母トータル岩と、角閃石黒雲母トータル岩に分けられ、1668.0~1737.6 m の区間では両者が交互に出現する。

#### 3.2.3 礫岩類

1565.7~1571.2 m の円礫岩は、礫のほとんどが花崗岩、変成岩といった基盤岩類に由来しており、最大粒径は 2 cm 程度である。花崗岩は主として石英・カリ長石・斜長石からなる優白質等粒状中粒の岩石で、石英の容量比が比較的高い。変成岩類は、石英・斜長石・白雲母、石英・白雲母・ざくろ石の鉱物組合せをもつ結晶片岩で

あり、後者の鉱物組合せをもつ岩石では、石英が著しく引延ばされた形態を示す。

1583.7~1586.6 m および 1587.5~1593.9 m の角礫岩も、上述の円礫岩同様、基盤岩類の礫が圧倒的に多く、最大粒径は 3 cm 程度である。礫として含まれる花崗岩は、主として石英・カリ長石・斜長石から構成される優白質な岩石で、石英とカリ長石の連晶が見られる。連晶は鏡下で十分識別できる程度の大きさのものである。変成岩の礫は、上述の円礫岩中のものと同様の石英・斜長石・白雲母の鉱物組合せをもつ、細粒な結晶片岩である。

#### 3.2.4 変成岩類

変成岩類は、雲母片岩・石英片岩・角閃石片岩からなり、これらのうち雲母片岩の占める割合が最も高い。

雲母片岩は、雲母に富む部分と石英に富む部分が数 mm から数 cm の単位で繰返す縞状構造をとっている (図版 I-1)。

片状構造は全般に緩傾斜であり、20°以下の傾斜を示す部分が多い。このうち 1633.5~1637.9 m の区間では、本岩は細かく剪断されて、粘板岩状の外見を呈しており、剪断面に沿っては緑泥石が生じている。

雲母片岩の鉱物組合せは、1750 m 深までが、石英・斜長石・白雲母・黒雲母・ざくろ石 (±) であり、1750 m 以深では、石英・斜長石・カリ長石 (±)・白雲母・黒雲母・ざくろ石 (±) である (図版 II-3)。

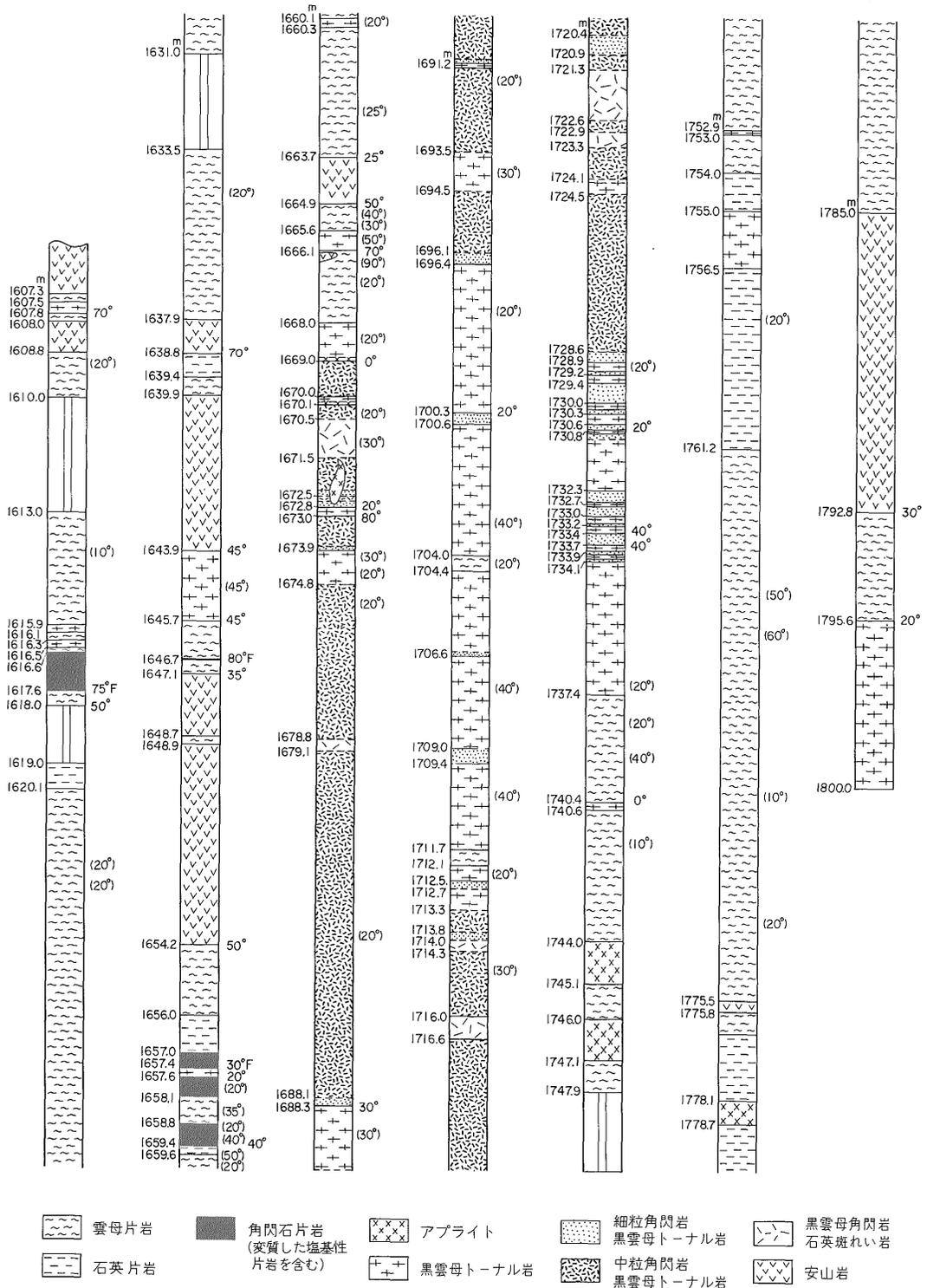
石英片岩は、数 10 cm から 5 m 程度の厚さで、雲母片岩中にしばしばはさまっており、20°前後の傾斜を示す。岩石はほとんどが石英からなる 1~2 cm 程度の層と黒雲母・白雲母・斜長石・石英からなる数 mm の薄層が繰返す縞状構造をもっている。

角閃石片岩は、1657.0~1659.4 m の区間内に 3 か所で見出されており、いずれも厚さ 1 m 以下の小規模なものである。これらの鉱物組合せは、いずれも斜長石・角閃石・黒雲母・ざくろ石で、角閃石は連晶関係にある普通角閃石と無色角閃石からなる。ざくろ石は数 mm 大の斑状変晶をつくる。このほか 1616.6~1617.6 m の区間は、二次的な変質が進んでいるが、石英に乏しく主として苦鉄質鉱物 (黒雲母の一部は残存) と斜長石からなる塩基性の結晶片岩である。

#### 3.2.5 花崗岩類

1668.0~1737.6 m の区間にまとまって分布する花崗岩類は、大きくは黒雲母トータル岩と角閃石黒雲母トータル岩に分けられる。黒雲母トータル岩 (図版 II-2) は一般に片状構造を示し、またしばしばざくろ石を含む。色指数は 10 前後である (第4図)。一方角閃石黒雲母トータル岩 (図版 II-1) は、塊状を呈し、数 m から 10 m

豊肥地域の先第三紀基盤岩類 (笹田政克)



第3図 DW-7号井 1607-1800 m間の地質柱状図

左側の数字は掘削深度を、右側の数字は、岩相境界面の傾斜 (無印)、断層の傾斜 (F)、面構造の傾斜 (カッコつき) を示す

程度の大きさで黒雲母トータル岩中に存在し、変成岩類と直接接することはない(第3図)。色指数は25前後である(第4図)。そしてこの角閃石黒雲母トータル岩が黒雲母トータル岩の上位となって、両者が接する場合には、角閃石黒雲母トータル岩側に、幅数cmの細粒岩相が部分的に見られる(図版I-2)。また角閃石黒雲母トータル岩中には、色指数30前後の黒雲母角閃石石英斑れい岩(第4図)が含まれ、一部は不均質な様相を呈している。以上の産状からみて、角閃石黒雲母トータル岩は、黒雲母トータル岩中の、比較的規模の大きな暗色包有物ではないかと推察される(第5図)。

黒雲母トータル岩の片状構造は、一般に20°~30°の傾斜を示す。角閃石黒雲母トータル岩と黒雲母トータル岩の接触面も、同様の傾斜を示し、両者の構造は調和的である。また黒雲母トータル岩と雲母片岩の接触面は0°~20°の傾斜を示し、コアの観察から、両者の構造は調和的であるといえる。小規模に変成岩類を貫く花崗岩類も、変成岩類の構造と調和的になっており、接触面の傾斜は20°前後のことが多い。DW-7で見られる変成岩

類と花崗岩類の産状を模式的に示すと第5図のようになる。

### 3.2.6 安山岩

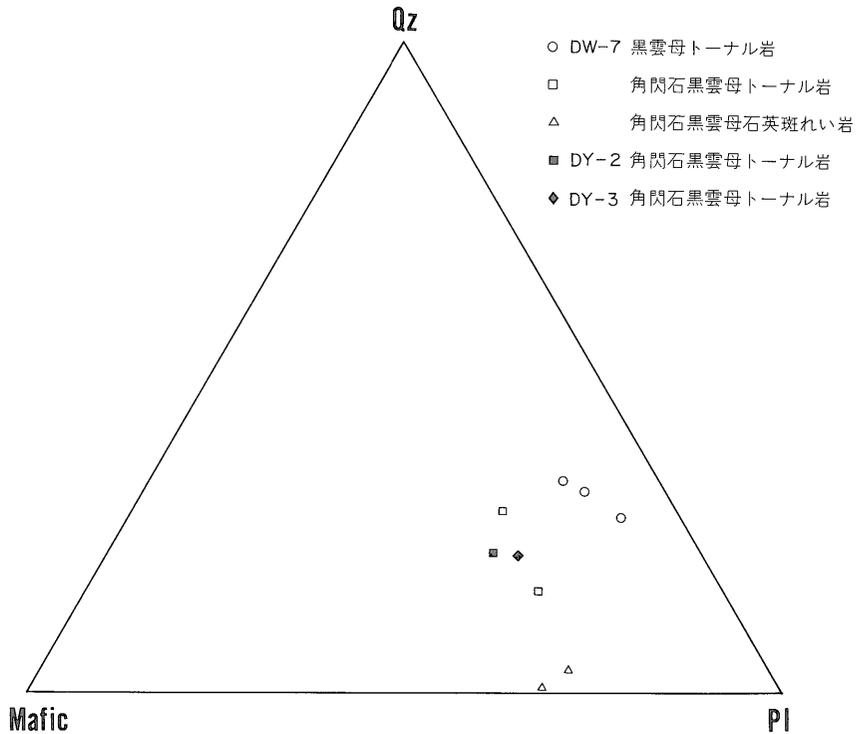
基盤岩類および基盤岩類と新第三系の間に入入している安山岩の岩脈は、いずれも輝石・斜長石の斑晶を有し、この地域の地表に見られる豊肥火山岩類(豊肥地熱地域地質図編集グループ, 1982)に対比されるものであろう。

この岩脈は、基盤岩類のコア中7か所で認められる。貫入面の傾斜は様々で、20°といった低角のものから垂直に近いものまでである。これらの岩脈は、その周辺で基盤構造に明らかに変形を与えており、とくに急傾斜で貫入する岩脈の周辺の変成岩類では構造のみだが、容易に識別できる。また岩脈の周辺では、数cmの範囲で基盤岩類が緑色化していることが多い。そのような場所では、黄鉄鉱がしばしば伴われる。また岩脈周辺の基盤岩類が、角礫化する現象も認められる。

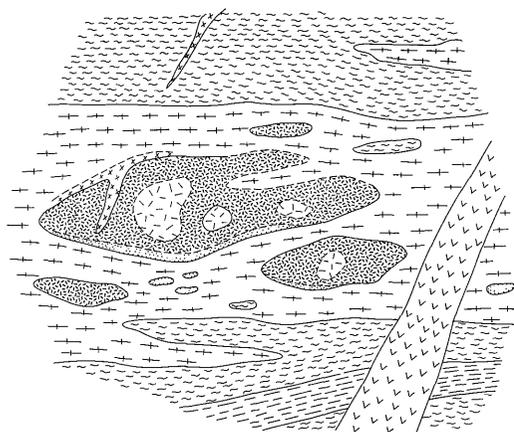
### 3.3 DY-2 坑井

#### 3.3.1 位置

本坑井は、熊本県阿蘇郡小国町<sup>わいた</sup>の涌蓋山の西南西約2.5



第4図 DW 7, DY 2, DY 3の花崗岩類のモード Qz(石英)-Mafic(黒雲母+角閃石)-Pl(斜長石)図  
なお、これらの岩石中にはカリ長石は含まれていない



第5図 DW-7号井にみられる基盤岩類の模式断面図  
凡例は第3図と同じ。大きさは、図の上下がおおよそ50m程度

km, 標高 866 m の地点 (33°7.8' N, 131°8.3' E) で掘削された (通商産業省, 1982 a) (第2図)。

### 3.3.2 基盤岩類の地質柱状

本坑井は 2401.5 m の深さまで掘削され、このうち 1880 m 以深が基盤岩類からなる。岩石試料は、5 m 間隔でカッティングスが採取されたほか、1500~1504 m, 1984~1987.5 m, 2398~2401.5 m の区間で、スポット・コアが採取された。

1880 m から 2300 m までは、主として雲母片岩からなるが、その中で 2075~2090 m に石英片岩、2180~2190 m に黒雲母トータル岩、2240 m 付近に角閃石片岩がはさまれている。2300 m から坑底の 2401.5 m までは、角閃石黒雲母トータル岩から構成されている (第6図)。

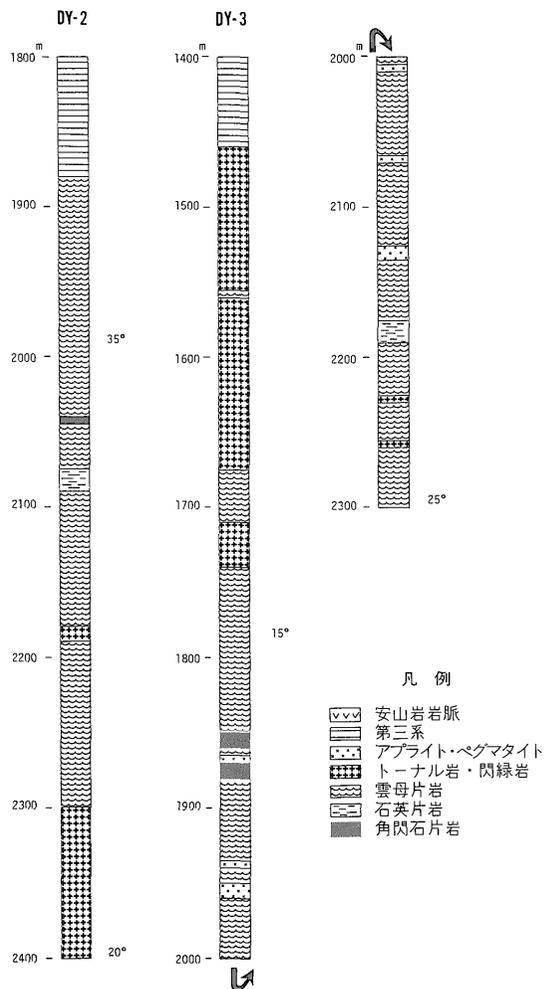
### 3.3.3 1984~1987.5 m のコア

この区間のスポット・コアは、暗灰色~灰白色を呈する片状構造の顕著な雲母片岩からなる。片理面の傾斜は 30°~40° であり、数 mm の波長の微褶曲構造がよく発達している (図版 I-4)。

片状構造と高角度で交わる割れ目が、数か所で認められ、それらの周辺は数 mm の幅で緑色化している。また片状構造を切る、幅 1~5 mm の方解石脈および濁沸石脈がみられる。

### 3.3.4 2398~2401.5m のコア

この区間のスポット・コアは、片状構造の発達した等粒状の角閃石黒雲母トータル岩からなる (図版 II-4)。色指数は 25 前後であり (第4図)、片状構造は 20° 前後の傾斜を示す。本岩中には、幅数 mm から 1 cm 程度の石英脈が見られる。この石英脈は、片状構造と斜交す



第6図 DY-2号井 1800-2401.5 m 間および DY-3号井 1400-2303.4 m 間の地質柱状図

るが、同脈の周縁部に含まれる角閃石・黒雲母が、母岩の片状構造と調和的に配列することから、片状構造の形成に先立ってできたものであろう。

### 3.3.5 変成岩類

1984~1987.5 m の雲母片岩のコアでは、黒雲母に富む暗灰色を呈する部分が、

石英-斜長石-白雲母-黒雲母の鉱物組合せとなっており、黒雲母の一部は緑泥石化している。また石英に富む白色の部分は、石英を主とし、少量の斜長石および白雲母を伴う。

一方、1880~2300 m の区間のカッティングスは、2040 m および 2075~2090 m を除くと、次の鉱物組合せとなっている。

- 石英—斜長石—白雲母—黒雲母—ざくろ石(±) (1)
- 石英—斜長石—黒雲母 (2)
- 石英—白雲母 (3)

多くの場合カッチングスは、(1)あるいは(2)と(3)の組合せとして得られており、ざくろ石は、1880 m, 1950 m, 2045 m の各深度で含まれている。また黒雲母は、かなりの割合で緑泥石に変質している。これらの鉱物組合せは上述した雲母片岩のコアのものによく似ていることから、1880~2300 m の区間の主な部分は、コア同様の雲母片岩と考えられる。なお、2065 m, 2200 m, 2260 m の各深度では、白雲母のかわりにカリ長石が含まれ、

石英—斜長石—カリ長石—黒雲母という鉱物組合せをもつカッチングスが、かなりの割合で含まれている。

2040 m のカッチングスは、次の鉱物組合せをもつ角閃石片岩である。

斜長石—黒雲母—角閃石—スフェン

石英—斜長石—黒雲母—角閃石—単斜輝石—方解石  
ここで角閃石は短柱状で、軸色 Z が帯褐緑色の普通角閃石である。角閃石中にはシーブ構造が発達しており、斜長石の微小結晶が含まれている。

なお、角閃石片岩のカッチングスは、次の深度でも下記の鉱物組合せで、少量ながら認められる。

- 2010 m 石英—斜長石—黒雲母—角閃石
- 2100 m 石英—斜長石—角閃石—スフェン
- 2130 m 石英—斜長石—角閃石—不透明鉱物
- 2155 m 斜長石—角閃石—スフェン
- 2230 m 石英—斜長石—黒雲母—角閃石—単斜輝石
- 2260 m 石英—斜長石—黒雲母—角閃石

このほか、2075~2090 m の区間では、カッチングスはほとんど石英からなり、少量の白雲母を伴うきわめて珪質な岩石からなる。

### 3.3.6 花崗岩類

花崗岩類としては、2180~2190 m の区間に黒雲母トータル岩が、2300~2401.5 m の区間に角閃石黒雲母トータル岩が見られる。

黒雲母トータル岩は、カッチングスでしか試料が得られていないので、片状構造の有無等の産状はわからない。このカッチングスは、主として石英・斜長石・黒雲母から構成される中粒の岩石で、斜長石にはセリサイト化が認められる。また岩石の一部は、破碎されて細粒化している。

角閃石黒雲母トータル岩は、コアの記載のところで述べたように片状構造がよく発達している。主な構成鉱物は、石英・斜長石・黒雲母・角閃石で、黒雲母の軸色 Z

は褐色、角閃石の軸色 Z は帯褐緑色である。斜長石は新鮮な部分はアンデシンで、累帯構造は微弱である。変質している部分では、セリサイト等の2次鉱物が生じている。石英はほとんどの結晶が波動消光を示す。副成分鉱物としては、褐れん石・スフェンが伴われる。

## 3.4 DY-3 坑井

### 3.4.1 位置

本坑井は、熊本県阿蘇郡南小国町の獵師山の西方約 2 km、標高 954 m の地点 (33°5.0'N, 131°10.3'E) に掘削された(通商産業省, 1982b) (第2図)。

### 3.4.2 地質柱状

本坑井は 2303.4 m の深さまで掘削され、このうち 1460 m 以深が基盤岩類からなる。岩石試料は、5 m 間隔でカッチングスとして採取されたほか、1791.9~1795.4 m, 2300~2303.4 m の2区間で、スポット・コアとして採取された。

1420~1455 m の区間には、火山岩類に混じって、変成岩類と花崗岩類のカッチングスが少量含まれており、このうち変成岩類は、1460 m 以深に産する本地域の基盤とは、鏡下での性質をやや異にしている。この区間からはコアが採取されていないので、正確なことはわからないが、上記のことからみて、基盤岩の異質礫を含む火砕岩あるいは基底礫岩が存在しているものと推察される。

1460 m 以深の基盤岩類は、花崗岩類および変成岩類から構成される。花崗岩類は、1460~1675 m の区間に角閃石黒雲母トータル岩が、1555 m に雲母片岩の薄いはさみを伴って分布し、また 1710~1740 m に黒雲母トータル岩がまとまって分布するほか、1865 m, 1935 m, 1950~1960 m, 2005 m, 2065 m, 2125~2130 m にペグマタイト・アプライトが、2225 m, 2255 m に角閃石黒雲母トータル岩が、それぞれ小規模に分布する(第6図)。

変成岩類は、主として雲母片岩からなり、1850~1860 m, 1870~1880 m の2区間が角閃石片岩、1790 m, 2175~2190 m, 2300 m が石英片岩となっている。

### 3.4.3 1791~1795.4 m のコア

この区間のコアは、1791.9~1793.8 m が乳白色の石英片岩からなり、1793.8~1795.4 m が主として暗灰色の黒雲母片岩から構成されている(図版 I-5)。

石英片岩中には、数 cm 間隔で主として白雲母からなる薄層が、数枚はさまっている。また石英片岩の一部はやや斑状の見かけをもつ灰白色の岩石となっており、その部分には、長石・白雲母・ざくろ石・電気石が伴われる。

雲母片岩は、黒雲母に富む薄層と石英に富む薄層が、ともに数 mm の厚さで繰返す構造をもつ岩石で、片理面の傾斜は 10°~20 程度である。また 1 cm 前後の波長をもつ微褶曲構造がよく発達しており、軸方向に現れる線構造は、10°~20° の落としとなっている。また、黒雲母に富む部分には、径 3 mm 以下の淡紅色のざくろ石斑状変晶がしばしば含まれている。

このスポット・コア中には、また片理面と斜交する約 45° の傾斜の割れ目が、規則的に発達している。1794.7 m には、60° の傾斜の小さな断層があり、断層面に沿って幅 5 mm の方解石脈が見られる。

#### 3.4.4 2300~2303.4 m のコア

このコアは、全体がやや褐色を帯びた乳白色の石英片岩からなる (図版 III-2)。石英片岩中には、雲母に富む薄層が数枚認められ、片理面は 20°~30° 程度の傾斜となっている。また 2301.5 m には、75° の傾斜の割れ目が、片状構造を切って生じており、方解石・黄鉄鉱が伴われている。

#### 3.4.5 基盤面上の変成岩礫

1420~1455 m の区間で礫として産する変成岩類は、次の鉱物組合せをもつ。

石英—斜長石—白雲母—黒雲母

石英—白雲母—黒雲母

後者の鉱物組合せをもつ岩石は、全体が細粒であるが、石英に富む部分が 1 mm のスポットをつくる。また黒雲母の軸色 Z は帯褐色である。

#### 3.4.6 基盤の変成岩類

本坑井においては、雲母片岩が変成岩類全体の 90% 以上を占めている。その鉱物組合せは、1675~1710 m の区間では、

石英—斜長石—カリ長石—黒雲母

石英—カリ長石—黒雲母

石英—斜長石—黒雲母—ざくろ石 (±)

石英—斜長石—白雲母—黒雲母

となっており、カリ長石の出現で特徴づけられる。一方 1740~2303.5 m では、カリ長石は出現せず、雲母片岩は次の鉱物組合せとなる。

石英—斜長石—白雲母—黒雲母—ざくろ石 (±)

石英—斜長石—黒雲母—ざくろ石 (±)

ここで、ざくろ石はこの区間のほぼすべての深度で見出されている。また黒雲母は、軸色 Z が褐色を呈しており、1760~1790 m の区間では、一部が緑泥石に変質している。

石英片岩は、上記したいずれの深度においても、主として比較的粗粒な石英から構成されており、少量の斜長

石・白雲母・黒雲母を伴う。

1850~1860 m, 1870~1880 m の両区間の角閃石片岩は、下記の鉱物組合せをもつ。

斜長石—角閃石—スフェン (±)

ここで、斜長石はアンデシンであり、角閃石は軸色 Z が褐色の普通角閃石である。

このほか角閃石片岩のカッチングスは、下記の深度で少量伴われる。

1675~1710 m, 石英—斜長石—カリ長石—黒雲母—角閃石—単斜輝石

2185 m, 石英—斜長石—角閃石

2205 m, 2270 m, 石英—斜長石—黒雲母—角閃石

#### 3.4.7 花崗岩類

本坑井に産する花崗岩類は、トータル岩およびペグマタイト・アプライトからなる。

トータル岩は 5 m おきのカッチングスとして得られているほか、1580 m で孔さらいを行った際に、明瞭な片状構造を示す角閃石黒雲母トータル岩 (図版 III-1) および黒雲母トータル岩が得られている。両トータル岩は、鏡下での性質もよく似ているので、ここでは、両者を一括して記載する。

斜長石はアンデシンで、弱い累帯構造をもつものが多い。以降累帯構造の記載にあたっては、中心部をコア、縁部をリムと表現する。2225 m, 2255 m のトータル岩中には、ラブラドライトのコアもしばしば見出される。石英はどの深度のものも、波動消光が顕著である。カリ長石は、消光方位が一定しない個体が多い。黒雲母は新鮮なことが多いが、1500~1570 m の区間では、かなりの割合で緑泥石化している。新鮮な結晶では、軸色 Z は褐色である。角閃石は軸色 Z が褐色の普通角閃石である。色指数は 25 前後である (第 4 図)。

ペグマタイトは、コアで確認されたものはないが、カッチングス全体の色調がきわめて優白質であり、しかもかなりの割合で、2~3 mm のカッチングスが 1 つの鉱物からできているので、このカッチングスは、ペグマタイトに由来するものと考えられる。またそのような部分では、珪長質鉱物のみからなる細粒な岩石が伴われるので、その細粒岩はアプライトに由来するものと考えられる。

ペグマタイト・アプライトを構成する鉱物は、いずれの深度においても、石英・カリ長石・斜長石・白雲母であり、石英とカリ長石はしばしば連晶関係にある。カリ長石は、比較的幅の広いアルバイト・ラメラをもつパーサイトで、格子状構造がよく発達している。また劈開の発達している結晶では、劈開に沿ってセリサイト化が認

められる。斜長石は、累帯構造に乏しいオリゴクレスあるいはアルバイトである。

#### 4. 合戦群の基盤岩類

##### 4.1 地表地質

##### 4.1.1 基盤岩類の分布

阿蘇カルデラ北部に広がる起伏の緩やかな牧草地は、ほとんどの部分が阿蘇火砕流に覆われているが、その中で合戦群集落の南西約1kmのところには、基盤岩類が顔をのぞかせている(杉倉ほか, 1979; 笹田, 1982)。ここの基盤岩類は、変成岩類・花崗岩類からなり、両者は東西方向に伸びた形で、東西約600m、南北約300mの範囲に分布している(第7図)。なお、基盤岩類の露出は841m高地の北側にある3本の沢に限られているので、ここではこれらを便宜的に、東側の沢・中央の沢・西側の沢と呼ぶことにする。

##### 4.1.2 変成岩類

変成岩類は、ほとんどが雲母片岩よりなり、中央の沢に一部角閃石片岩が見出されている。これらの片理面は走向が東西で、 $60^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 北へ傾斜する。また、これらには微褶曲構造がしばしば発達しており、その軸方向が示す線構造は、落しの方向が走向と同じく東西で、その傾斜は緩い(第7図)。また東側の沢の転石として、主としてトレモラ閃石からなる超苦鉄質岩が見出されてい

る。

雲母片岩の鉱物組合せは、

石英—斜長石—白雲母—黒雲母—董青石(±)

であり、董青石は中央の沢にのみピナイト化したものが見出されている。

角閃石片岩の鉱物組合せは、

石英—斜長石—黒雲母—角閃石—単斜輝石—スフェン—不透明鉱物

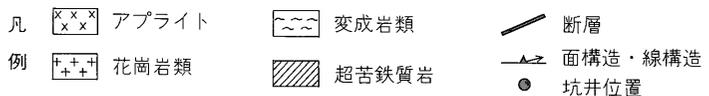
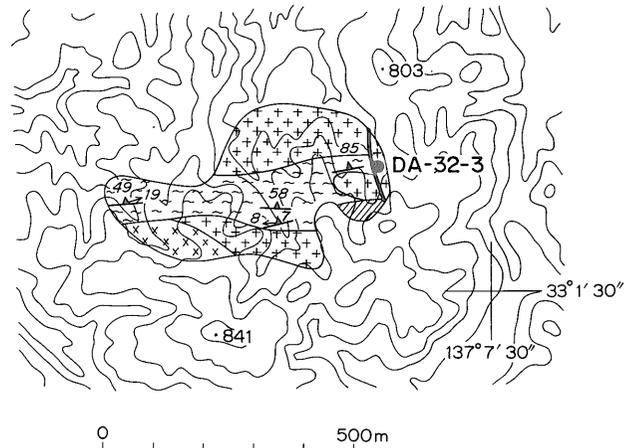
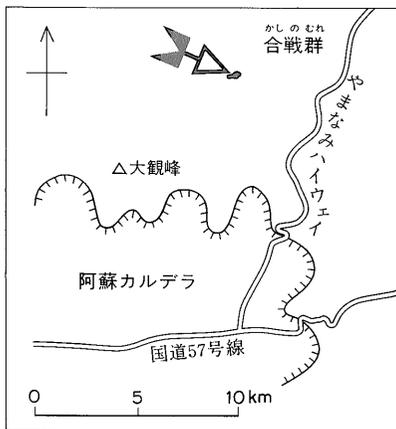
で、角閃石は軸色Zが帯褐緑色の普通角閃石である。

また単斜輝石中には、シーブ構造が発達している。

超苦鉄質岩は、肉眼的には淡緑色を呈しており、主としてトレモラ閃石からなり、少量の滑石および不透明鉱物を伴う(図版Ⅲ-4)。トレモラ閃石は、長さ1mm程度の長柱状結晶が放射状に集合して産する。なお、全岩の化学分析値(第1表)は、トレモラ閃石の化学組成と比べて近い値となっている。

##### 4.1.3 花崗岩類

本地域の花崗岩類は、白雲母含有黒雲母花崗岩・白雲母黒雲母花崗閃緑岩・ペグマタイト・アプライトからなる。白雲母含有黒雲母花崗岩は、後述するDA-32-3号井の掘削地点付近に分布し、雲母片岩を貫く(第8, 9図)。また同地点では石英に富むペグマタイトが、花崗岩を貫いている。白雲母黒雲母花崗閃緑岩は、中央の沢に転石として見出されている。中央の沢には花崗岩類



第7図 合戦群における基盤岩類の地質図

等高線は10m間隔

の露頭が、数か所見出されているが、いずれも風化がひどく、岩質を決めるに至っていない。アプライトは西側の沢の上流部に見出されている。地質図上では、白雲母含有黒雲母花崗岩と白雲母黒雲母花崗閃緑岩を一括して花崗岩類とし、アプライトをこれと区別して表現した。

白雲母含有黒雲母花崗岩は、中粒等粒状の岩石で、色

指数は1~2程度である。カリ長石はパーサイトであり、しばしば光学的に顕著な累帯構造を示す。斜長石はコアにパッチゾーニングがしばしば見られる。また斜長石のカリ長石と接する部分にはミルメカイトが見られる。白雲母は斜長石どうしの接触部付近および黒雲母の周囲に少量認められる。副成分として、ジルコン・モナズ石を含む。

白雲母黒雲母花崗岩は、黒雲母の配列に弱い定向性の認められる岩石で、色指数は3前後である。カリ長石はパーサイトで、しばしば顕著な累帯構造を示す(2Vx: 59°-65°, アプライト質となっている部分では、2Vx: 47°-96°) 斜長石は全体にわたりセリサイト化している場合が多いが、新鮮な結晶ではコアにパッチゾーニングが見られる。白雲母はカリ長石の内部、斜長石どうしの接触部、黒雲母の周囲等に認められる。副成分として、ジルコン・モナズ石を含む。

アプライトは、主として石英・カリ長石・ざくろ石から構成され、少量の斜長石・白雲母を含む。カリ長石は他の花崗岩類と同様に、パーサイトであり顕著な累帯構造を示す。ざくろ石は、自形性のよい径数mmの結晶として産する。またその内部は、虫食い状に石英が埋められている。副成分として、ジルコン・モナズ石が含まれる。

#### 4.2 DA-32-3 坑井

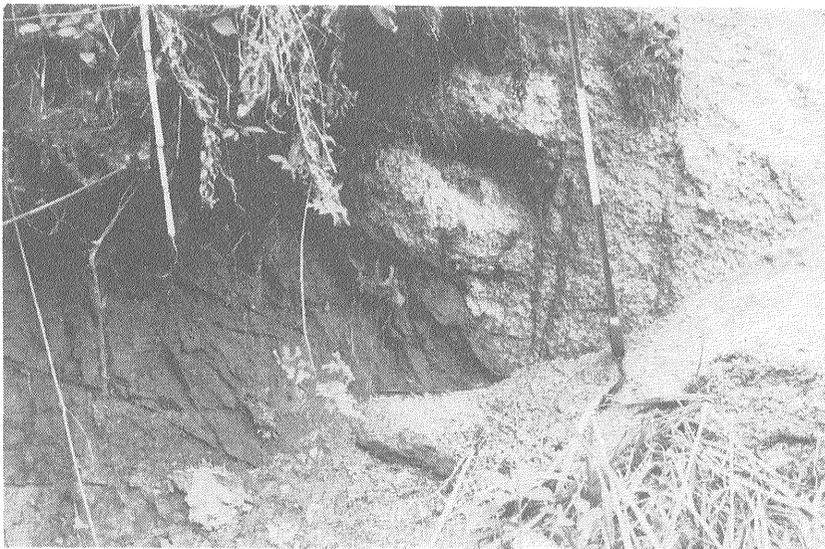
##### 4.2.1 位置

本坑井は、熊本県阿蘇郡一の宮合戦群の南西約1km

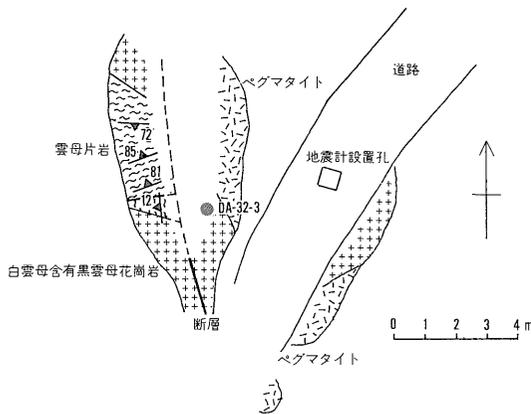
第1表 合戦群およびAso-4の異質礫にみられる超苦鉄質岩の分析値および比較のために掲げたトレモラ閃石の分析値

	1	2	3
SiO <sub>2</sub>	57.63	46.15	56.54
TiO <sub>2</sub>	0.05	0.09	tr
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.38	1.79	2.28
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.64	10.73	0.07
FeO	3.66	2.48	3.35
MnO	0.13	0.16	tr
MgO	22.66	29.80	22.89
CaO	12.19	0.20	12.01
Na <sub>2</sub> O	0.10	0.07	0.86
K <sub>2</sub> O	0.02	0.10	0.38
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.01	0.04	—
H <sub>2</sub> O(+)	0.80	6.60	1.59
H <sub>2</sub> O(-)	0.14	1.14	0.24
Total	99.41	99.35	100.29*

1: 79123 KA-4; 合戦群, 2: 80-Aso-4-4; Aso-4の異質礫, 3: トレモラ閃石 (PIRANI, 1951. \*: 上記のほかCr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を0.08%含めた合計  
分析: 東京石炭鉱物研究所



第8図 合戦群 DA-32-3 坑井掘削地点付近で見られる雲母片岩と白雲母含有黒雲母花崗岩の接触部  
スケールは、20 cm 単位



第9図 合戦群 DA-32 3号井掘削地点付近の地質

の地点 (33°1.6'N, 131°7.4'E) に掘削された (第7, 9図). 同地点は基盤岩類分布域の東縁にあたる.

4.2.2 地質柱状

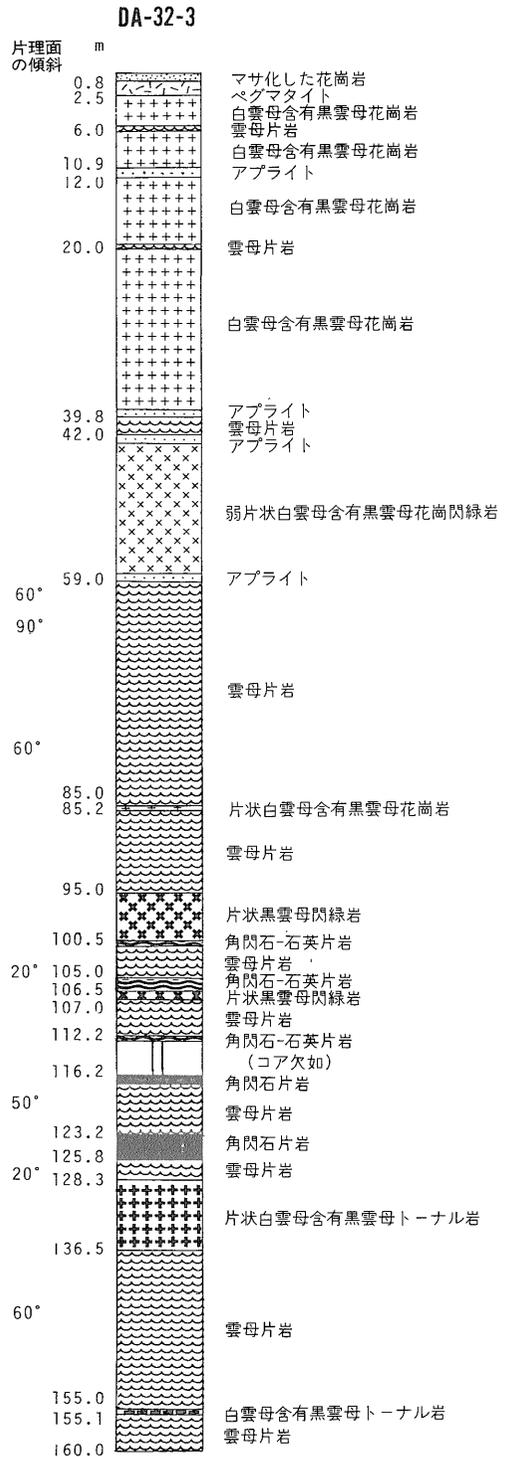
本坑井では地表から坑底の160mまでの全区間でコアリングが試みられたが, 112.6~116.2mの区間では, コアが採取されていない (第10図).

本坑井の掘削地点付近は, 雲母片岩を白雲母含有黒雲母花崗岩が貫き, さらに花崗岩をペグマタイトが貫く状況が10m四方の狭い範囲で認められ, しかも雲母片岩の東縁は南北性の高角度の断層で切られるという, 複雑な地質環境にある (第9図). 掘削地点そのものは, 風化した白雲母含有黒雲母花崗岩中に位置する.

地表から39.8mまでは, 色指数4程度の白雲母含有黒雲母花崗岩が分布する. この岩石は全体に塊状の見かけを呈しているが, 一部では黒雲母に弱い定向性が認められる. なお, 地表から0.8mの区間は, 風化がきわめて顕著である. 本岩中には, ペグマタイト・アプライトがはさまれるほか, 雲母片岩も2か所で見られる. 雲母片岩は, 柱状図上でそれぞれ50cm, 20cmと規模が小さいこと, およびその上下で花崗岩の岩相変化が認められないことから, 捕獲岩と考えられる.

39.8mから42.0mまでは, 雲母片岩が分布し, それ以下59.0mまでが, 色指数4程度の弱片状白雲母含有黒雲母花崗岩となり, それ以下は変成岩類を主体とした部分になる. この花崗岩と変成岩類との接触面は, 花崗岩の上側と下側でそれぞれ50°, 60°となっており, 接触部の花崗岩側はアプライト質となっている.

59.0mから坑底の160.0mまでの区間に分布する変成岩類は, 雲母片岩, 角閃石片岩, 角閃石-石英片岩からなる. 59.0mから95.0mまでは雲母片岩 (図版I-3)



第10図 DA-32-3号井の地質柱状図

からなり、片理面は 60° 前後あるいはそれ以上の傾斜を示す。ここでは微褶曲構造が認められ、とくに 89 m 付近が顕著である。100.5 m~128.3 m の区間には、雲母片岩のほか、角閃石-石英片岩、角閃石片岩が分布する。片理面は、傾斜が 50° 前後となる 118 m 付近を除くと、全般に緩傾斜で、20° 以内である。この区間では、微褶曲構造はほとんど認められない。なお 112.6~116.2 m の区間ではコアが採取されていないが、そのすぐ上側の角閃石-石英片岩が破碎されていることから、この区間断層が存在するものと考えられる。136.5~160.0 m (坑底) は、雲母片岩よりなり、片理面の傾斜は 60° 前後で、微褶曲構造がしばしば見られる。

これらの変成岩類中には、片状構造の顕著な花崗岩類がいくつか、小規模にはさまっている。それらは、片状白雲母含有黒雲母花崗岩 (85.0~85.2 m, 片状構造の傾斜: 50°)・片状黒雲母閃緑岩 (95.0~100.5 m, 106.5~107.0 m, 40°)・片状白雲母含有黒雲母トーナール岩 (128.3~136.5 m, 50°)・白雲母含有黒雲母トーナール岩で、これらの構造は周囲の変成岩類の構造と調和的になっている。

#### 4.2.3 変成岩類

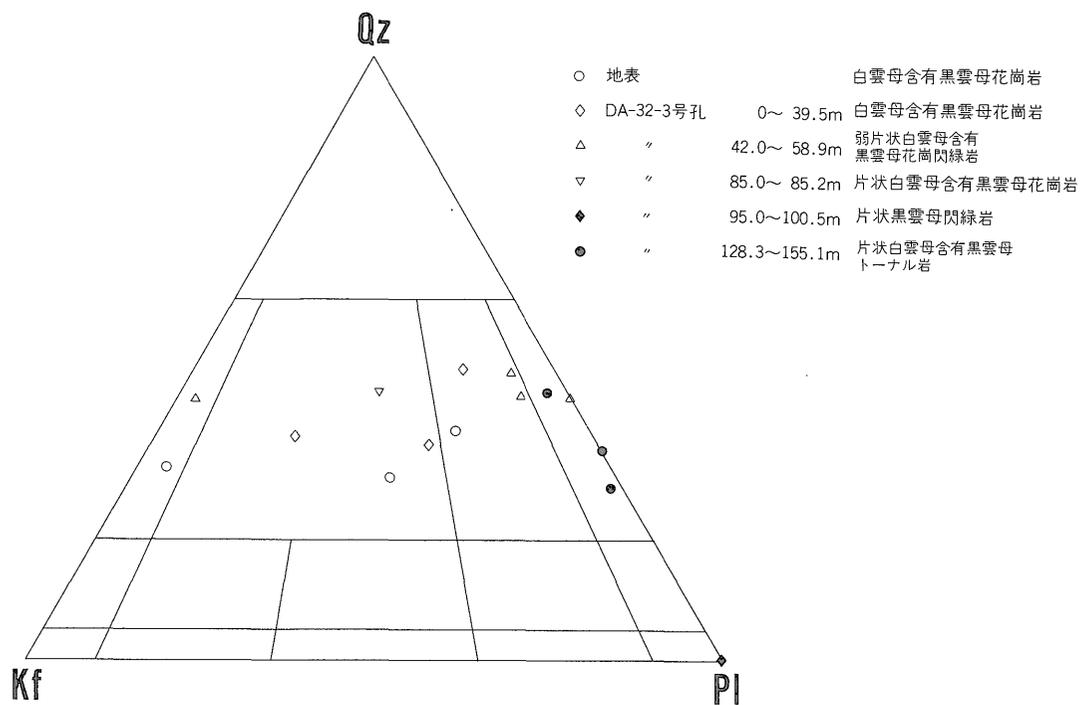
雲母片岩は、次の鉱物組合せをもつ。

- 石英-斜長石-黒雲母 (1)
- 石英-斜長石-カリ長石-白雲母-黒雲母-堇青石 (±) (2)
- 石英-斜長石-カリ長石-白雲母-黒雲母-堇青石-珪線石 (3)

雲母片岩の多くは、(2) の鉱物組合せとなっており、(1) は 39.8~42.0 m の区間に、(3) は 145.8 m の深度のところのみ確認されている。堇青石は、ほとんどがピナイト化しているが、64.4 m と 145.8 m では新鮮な結晶が見られる。珪線石はフィブロライトである (図版 III-3)。白雲母はしばしば数 mm 大の斑状変晶をつくり、そのような結晶中には、ヘリサイト構造が認められる。

角閃石-石英片岩は、主として角閃石・斜長石からなる薄層と主として石英からなる薄層が繰返す岩石である。角閃石・斜長石の薄層には、少量の黒雲母・不透明鉱物が伴われることがある。角閃石は軸色 Z が帯褐緑色の普通角閃石である。

角閃石片岩は、主として角閃石・斜長石から構成される塩基性の岩石で、緑泥石化した黒雲母に富む層をはさむことがある。角閃石は軸色 Z が褐緑色の普通角閃石



第 11 図 合戦群の地表および DA-32-3 号井から得られた花崗岩類のモード Qz (石英)-Kf (カリ長石)-Pl (斜長石) 図 岩石の分類は IUGS (1973) による

である。

#### 4.2.4 花崗岩類

本坑井に産する多様な花崗岩類につき、以下深度を追って記載する。珪長質鉱物の容量比については、地表の試料とあわせて第11図に一括して表示した。白雲母含有黒雲母花崗岩は、構成鉱物の特徴および組織とも、地表に産するものによく似ている。1.5 m 付近でこの花崗岩を貫くペグマタイトは、主として石英・カリ長石よりなり、少量の斜長石・白雲母を伴う。石英・カリ長石とも、数 cm 大の結晶として産する。カリ長石はパーサイトで、しばしば双晶が認められる。

弱片状白雲母含有黒雲母花崗岩は、黒雲母および黒雲母と斜長石の小結晶のつくるクロットにより弱い定向性が認められる。斜長石は自形性がよく、カリ長石と接する部分にミルメカイトが発達する。カリ長石は間隙充填状に産し、斜長石の小結晶を包有する。白雲母は斜長石の内部および斜長石どうしの接触部に認められる。副成分として、ジルコン・モナズ石・アパタイトが含まれる。また、この花崗岩と変成岩類との接触部(58.9 m)に存在するアプライトは、主として石英・カリ長石・ざくろ石から構成され、少量の斜長石・白雲母・黒雲母を伴う。

片状白雲母含有黒雲母花崗岩は、主として等粒状の石英・カリ長石・斜長石および細粒で集合して産する黒雲母から構成される。斜長石には、コアにパッチ・ゾーニングが、マントルにオシラトリー・ゾーニングが認められる。またコアには、石英・黒雲母の小結晶が含まれる。カリ長石との接触部には、ミルメカイトが発達する。白雲母は黒雲母の小結晶が集合している部分および斜長石どうしの接触部に産する。副成分として、ジルコン・モナズ石・アパタイトが含まれる。

片状黒雲母閃緑岩は、主成分鉱物が斜長石と黒雲母からなる特異な岩石である。斜長石では、コアにパッチ・ゾーニングが、マントルからリムにかけてオシラトリー・ゾーニングが認められる。斜長石はかなりの部分が変質し、セリサイトを生じているが、黒雲母は新鮮であり、緑泥石化は一部に認められるにすぎない。副成分鉱物としては、ジルコン・モナズ石・アパタイトを含む。

片状白雲母含有黒雲母トータル岩では、石英・斜長石・黒雲母のそれぞれの結晶の配列に定向性が認められる。斜長石は、コアにパッチ・ゾーニングが、マントルからリムにかけてオシラトリー・ゾーニングが認められる。カリ長石は間隙充填状に産する。黒雲母は軸色 Z が赤褐色である。白雲母は斜長石どうしの接触部に産する。

白雲母含有黒雲母トータル岩は、主として等粒状の

石英・斜長石・カリ長石と細粒の黒雲母から構成される。斜長石は変質が顕著で、セリサイト化している。黒雲母は軸色 Z が赤褐色であるが、多くは緑泥石に変質している。白雲母は斜長石の内部および斜長石どうしの接触部に産する。副成分として、ジルコン・モナズ石・アパタイト・不透明鉱物が含まれる。

## 5. 阿蘇カルデラの基盤岩類

### 5.1 カルデラ内での試錐

阿蘇カルデラでは、これまで掘削された試錐のうち5本が、基盤岩類に到達している。阿蘇町内牧湯山の試錐では、深度154 m から坑底の170 m までが花崗岩からなり、細粒塊状の含白雲母黒雲母花崗岩が認められている(種子田, 1963 唐木田ほか, 1969)。一の宮町片隅の試錐では、482 m から坑底の600 m までが含角閃石黒雲母花崗岩となっており、この間523 m に厚さ4 m のアプライトがはさまっている(松本・藤本, 1969)。また一の宮町山下の試錐では、420 m から坑底の712 m までが黒雲母花崗閃緑岩(図版IV-1)で、480 m, 515 m, 585 m にアプライト脈が見られる(一の宮町未公表資料)。この試錐の位置は、小野・渡辺(1985)に記載されている。なお山下の試錐については、花崗閃緑岩の岩石記載、化学分析、K-Ar 年代の測定を行ったので、これらの結果については後述する。これらのほか詳しい岩石記載の報告はないが、内牧でほぼ300 m から深部で花崗岩類および変成岩類が(1985年5月12日付熊本日々新聞による)、またカルデラ南部では白亜紀堆積岩類が、基盤として見つかっている(小野・渡辺, 1985)。

### 5.2 Aso-4 火砕流中の基盤岩類

阿蘇カルデラ内では、根子岳の溶岩中に、中粒珪岩・縞状黒雲母片岩～ざくろ石片麻岩質岩・塩基性片岩・砂質片岩・中粒花崗岩・粗粒角閃石斑れい岩・蛇紋岩・石灰岩(多い順)の基盤岩片が捕獲されている(唐木田, 1966)ほか、カルデラ内から噴出したと考えられているAso-4 火砕流中にも、角閃石斑れい岩・角閃片岩・角閃石岩・輝岩・ダンかんらん岩などの塩基性・超塩基性岩、黒雲母片岩・圧砕花崗岩などが異質礫として含まれることが、報告されている(小野, 1965, 小野ほか, 1977)。

今回の調査では、阿蘇カルデラ北部の小柏から新宮牧場にかけての地域で、Aso-4 火砕流の中から、花崗岩質マイロナイト・花崗閃緑岩質マイロナイト・礫岩・閃緑岩・超苦鉄質岩(多い順)といった基盤岩類の礫が見出された。短時間の調査だったため、礫の総数は33個にすぎないが、それらのうち、約8割が、マイロナイト

類からなる。礫のほとんどは、数 cm 大の角礫で、最大のものが長径 15 cm であった。

### 5.2.1 花崗岩質マイロナイト

珪長質鉱物からなる薄層と黒雲母に富む薄層の繰返す縞状構造をもつ岩石である (図版IV-2)。主な構成鉱物は、石英・カリ長石・斜長石・黒雲母・白雲母で、少量のざくろ石を伴う場合もある。色指数は5以下である。

本岩石中、圧砕されて細粒化した部分は、全体のほぼ半分程度である。カリ長石・斜長石は、2~8 mm 程度の大きさのポーフィロクラストをつくる。これらポーフィロクラストは肉眼では白色から乳白色に見える。鏡下では、カリ長石に格子状構造が顕著に認められる。斜長石には集片双晶がよく発達しており、またカリ長石と接する部分にはミルメカイトが見られる。石英は全体としてレンズ状に伸びた形態をとる小結晶の集合体として産する。副成分鉱物として、ジルコン・モナズ石が含まれる。

### 5.2.2 花崗閃緑岩質マイロナイト

長柱状角閃石の定向性が顕著な岩石で、縞状構造の発達程度は、礫により異なる。主な構成鉱物は、石英・カリ長石・斜長石・黒雲母・角閃石で、少量のスフェンおよび不透明鉱物が伴われる。圧砕されて細粒化した部分は、岩石全体の20~50%で、細粒化した部分の多い岩石ほど、縞状構造がよく発達している。圧砕の進んだ岩石では、カリ長石・斜長石・角閃石が、1 mm 程度のポーフィロクラストとなっている。

カリ長石は、消光位の一定しない結晶が多く、1つの鉱物粒内で5°程度の不規則な消光位の変化が、よく観察される。カリ長石中にはまた格子状構造が発達している。斜長石は、コアがアンデシン、リムがオリゴクレスからなり、オシラトリー・ゾーニングが発達している。石英はレンズ状の集合体として産し、しばしば顕著な波動消光が認められる。黒雲母は、ほとんどの個体が撓曲しており、比較的大きな結晶では、周縁部が細粒化している。角閃石は、圧砕の進んだ岩石では、周縁部が細粒化し、周囲に緑れん石を伴う。

### 5.2.3 礫岩

数 mm から数 cm 大の礫を含む岩石で、礫種は泥岩・砂岩・珪質岩からなる。礫の配列には、弱い定向性が認められる。

### 5.2.4 閃緑岩

細粒塊状の岩石で、主としてアクチノ閃石・斜長石から構成され、少量の緑れん石を伴う。アクチノ閃石は、1 mm 以下の長柱状あるいは針状の結晶で、一部は放射状に産する。アクチノ閃石には累帯構造が認められ、

周縁部ほど緑色の多色性が強くなっている。斜長石は変質して、アルバイトとなっている。緑れん石は、斜長石に伴われる場合と、細脈を構成する場合とがある。

### 5.2.5 超苦鉄質岩

2つほど礫で見出された超苦鉄質岩は、ともにカミングトン閃石と蛇紋石からなり、少量の不透明鉱物を含む。化学分析値は第1表に示す。

## 6. 阿蘇カルデラ東部の基盤岩類

### 6.1 小園の花崗岩類

#### 6.1.1 産状

阿蘇カルデラ東方約8 kmの波野村小園の小高い丘の麓に、花崗岩類が小規模ながら露出していることは、地質調査所小野晃司氏により見出され、その存在ははじめに100万分の1日本地質図第2版(広川ほか, 1978)に示された。その後50万分の1地質図「鹿児島」(今井ほか, 1980)にも、その分布が示されているが、その産状についての報告は出されていないのでここに露頭の状況および岩石について記載する。

小園の花崗岩類の露頭(第12図)は、南北方向に11 m 伸びた高さ2 m ほどの崖で、北側3 m ほどは堅硬な岩石が露出しているが、あとの部分は、ハンマーがたやすく突きささる程度に風化が進んでいる。この露頭は南側4 m が中粒トータル岩、北側7 m が石英-電気石岩からなり、両者の接触面は、N 80°E, 44°N である。石英-電気石岩は片状の部分と塊状の部分とがあり後者が前者を貫いている。片状石英-電気石岩中には、N 88°W, 31°N 方向の面構造が認められる。

#### 6.1.2 中粒トータル岩

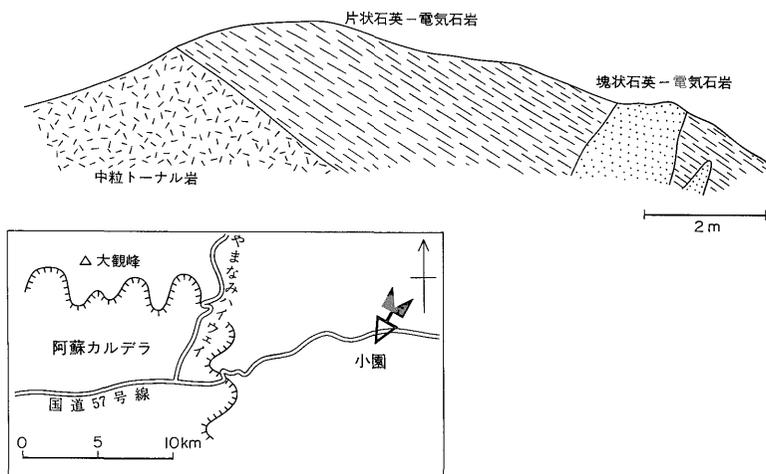
主な構成鉱物は、石英・斜長石・黒雲母からなる。石英は小結晶のレンズ状集合体として産する。斜長石は数 mm の短柱状および卓状の結晶と、1 mm 以下の小結晶からなり、ともに風化変質が顕著である。黒雲母は長径1 mm 以下の細片からなり、かなりの部分が風化変質している。石英の集合体・斜長石・黒雲母の配列に、定向性が認められる。

モード分析の結果は、不完全であるが、次のようになっている。石英: 27%, 斜長石: 26%, 黒雲母: 19%, 初生鉱物の推定できない風化鉱物: 23%, 薄片中の空隙: 5%。

なお、本岩中には、径数 cm の卵形の暗色包有物が含まれている。

#### 6.1.3 石英電気石岩

本岩は、主として石英・電気石からなる細粒緻密な岩石である(図版IV-3)。石英は小結晶のレンズ状集合体



第12図 小園の基盤岩類の露頭  
露頭ののびの方向はほぼ南北で、右が北

第2表 小園の石英電気石岩の分析値

SiO <sub>2</sub>	57.40
TiO <sub>2</sub>	0.04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.43
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.81
FeO	3.62
MnO	0.12
MgO	23.76
CaO	10.13
Na <sub>2</sub> O	0.12
K <sub>2</sub> O	0.04
Li <sub>2</sub> O	0.00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.02
CO <sub>2</sub>	0.00
SO <sub>3</sub>	0.02
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.36
F	0.13
H <sub>2</sub> O(+)	2.85
H <sub>2</sub> O(-)	0.09
Total	99.94

分析：加藤甲子

として産する。電気石は径 0.2 mm 程度の球類をつくり、鏡下では無色・淡褐色・淡緑色を呈する。石英および電気石を集合体として見ると、それらには定向性が認められる。

本岩の化学分析結果(第2表)を見ると、電気石が少量に含まれることを反映して、B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> が 4.68% 含まれるほか、微量の F, Li<sub>2</sub>O が検出されている。また、本

岩は Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O には乏しい組成のものとなっている。

## 6.2 福原の試錐

### 6.2.1 位置

朝地の基盤岩類分布域の 5 km 西方で、豊栄土地株式会社により掘削された試錐は、129 m の深さで基盤岩類に到達している。試錐地点は、大分県竹田市福原の久住川の河原にある(33°0.1'N, 131°19.2'E)。

### 6.2.2 地質柱状

本坑井では、地表から 68.8 m までが阿蘇溶結凝灰灰岩よりなり、その下位に 30 cm ほどの砂層があり、灰色の安山岩がそれ以下 129.0 m まで分布する。それ以降は基盤岩類で、231.3 m までが変成岩類、それ以降 600.8 m の坑底まで花崗岩類が続く(松下, 1974)。

### 6.2.3 変成岩類

変成岩類は、雲母片岩を主とし、170.9~174.2 m に塩基性片岩の薄いはさみが存在する(松下, 1974)。今回試料の得られた雲母片岩は、石英-斜長石-カリ長石-白雲母-黒雲母-董青石の鉱物組合せをもつ。この岩石は石英に富む薄層と雲母に富む薄層が繰返す構造をとっている。董青石は雲母に富む薄層中にのみにみられ、白雲母・黒雲母の小結晶を包有している。カリ長石は、両薄層の境界部に沿って産するほか、石英に富む薄層中にも少量ながら、白雲母を伴って産する。

### 6.2.4 花崗岩類

今回の調査で得られた試料では、花崗岩類は中粒塊状の黒雲母花崗閃緑岩(図版IV-4)である。主な構成鉱物は、石英・カリ長石・斜長石・黒雲母であり、少量のス

フェンが伴われる\*。

カリ長石には、しばしば格子状構造が見られる。斜長石は、コアがアンデシン、リムがオリゴクレスからなり、累帯構造を示す。また一部はセリサイト・アルバイト・方解石へと変質している。黒雲母は一部緑泥石に変質している。石英等の割れ目に沿って方解石の細脈が認められる。

### 7. 花崗岩類の主化学組成

調査地域の地表および坑井から得られた花崗岩類および国東半島・朝地・玉名の各地域の K-Ar 年代を測定した花崗岩類、計 26 試料について主成分の化学分析を行った (第 3 表)。

今回分析した試料の中で最もシリカに乏しかったのは、DW-7 坑井 1716.3 m からの黒雲母角閃石石英斑れい岩 ( $\text{SiO}_2 = 49.43\%$ ) で、最もシリカに富む岩石は、DA-32-3 坑井 55 m からの白雲母含有黒雲母花崗閃緑岩 ( $\text{SiO}_2 = 74.90\%$ ) であった。全般的に見ると、九重山地域の坑井 DW-7, DY-2, DY-3 からの試料が、他の地域からのものに比べてシリカに乏しい傾向にある。

ノルム鉱物についてみると、コランダム (C) と珪灰石 (Wo) との関係では、今回分析した花崗岩類のうち DY-2 の 2401 m からの角閃石黒雲母トータル岩、DW-7 の 1671.1 m および 1716.3 m からの黒雲母角閃石石英斑れい岩でノルム珪灰石が算出されたほかは、すべての試料でノルム・コランダムが算出されている。また上述した DW-7 からの 2 試料および DA-32-3 の 97.5 m からの黒雲母閃緑岩では、ノルム石英 (Q) が算出されていない。これらのうち黒雲母閃緑岩は、モード組成で斜長石 76%, 黒雲母 24% という特異な岩石で、シリカに不飽和な黒雲母が多量に含まれることを反映して、ノルム鉱物として、ネフェリン (ne) が算出されている。これらの岩石の主化学組成上の特徴については、後に議論する。

### 8. 花崗岩類の帯磁率

九重山地域の DW-7, DY-2, 合戦群の DA-32-3, 一の宮町の試錐、竹田市福原の豊栄試錐から得られたコアのうち、花崗岩類 11 試料の帯磁率を Bison 帯磁率計 Model 3101 により測定した。測定結果は第 3 表に示す如く  $\chi = 4 \sim 2.9 \times 10^{-6} \text{emu/g}$  で、いずれも花崗岩類としては低い値となっている。このことは、鏡下で、これら花崗岩類中に不透明鉱物がきわめて少ないこ

\*モード分析を行うと、石英: 21.8%, カリ長石: 13.1%, 斜長石: 54.4%, 黒雲母: 10.6%, スフェン: 0.1% である。

と対応しているようにみえる。

### 9. 基盤岩類の K-Ar 年代

九重から阿蘇にかけての調査地域のほか、国東半島、朝地、玉名の周辺地域も含めて、基盤岩類 16 試料につき、20 の鉱物試料で K-Ar 年代が測定された (第 4 表, 第 13 図)。また大規模深部地熱調査においても、K-Ar 年代が測定されているので、あわせて紹介したい (通商産業省, 1980 a, 1980 b, 1982 a, 1982 b, 1983)。

九重山周辺で掘削された DW-7, DY-2, DY-3 では、花崗岩類・変成岩類あわせて 7 試料につき、K-Ar 年代が測定されている。DW-7 では 1761.7 m の雲母片岩で、 $93.2 \pm 4.7 \text{ Ma}$  (黒雲母),  $93.0 \pm 4.7 \text{ Ma}$  (白雲母) の年代が (第 4 表), また 1722.5 m の黒雲母角閃石石英斑れい岩で、 $91.0 \pm 2.8 \text{ Ma}$  (黒雲母),  $95.8 \pm 3.3 \text{ Ma}$  (角閃石), 1748.5 m の雲母片岩で  $94.9 \pm 4.0 \text{ Ma}$  (黒雲母) の年代が得られている (通商産業省, 1983)。これら 5 つの年代値は、鉱物種の違いはあるものの、5 Ma 以内の比較的狭い年代幅におさまっており、これらの年代は同地域における深成・変成作用の年代を示すものと解釈できる。

DY-2 では、1984 m の雲母片岩で  $68.1 \pm 2.0 \text{ Ma}$  (全岩), 2398 m の角閃石黒雲母トータル岩で  $97.3 \pm 2.9 \text{ Ma}$  (黒雲母) (通商産業省, 1982 a), 2399 m の角閃石黒雲母トータル岩で、 $98.3 \pm 4.9 \text{ Ma}$  (黒雲母),  $96.2 \pm 4.8 \text{ Ma}$  (角閃石) (第 4 表) の年代が得られている。1984 m の試料は前述したように緑色化しており、方解石脈・濁沸石脈もみられることから、後の熱変質による若返りの可能性が考えられる。2398 m と 2399 m の試料は、連続する岩相から採取されており、ここでは黒雲母・角閃石で、ほぼ同じ年代となっている。本岩中には後生的な変質も認められないことから、これらの年代が角閃石黒雲母トータル岩の形成年代を表わしているものとみてよいだろう。

DY-3 では、1610 m の角閃石黒雲母トータル岩で  $91.9 \pm 4.6 \text{ Ma}$  (黒雲母), 1795 m の雲母片岩で、 $99.1 \pm 5.0 \text{ Ma}$  (黒雲母) の年代が (第 4 表), また 1791.9 m の雲母片岩で、 $77.7 \pm 2.3 \text{ Ma}$  (全岩), 2300 m の石英片岩で  $68.0 \pm 2.0 \text{ Ma}$  (全岩) という年代が出されている (通商産業省, 1982 b)。黒雲母の年代は、DW-7, DY-2 の花崗岩類・変成岩類の年代とよく似た値となっているが、全岩年代はそれらより著しく若くなっている。

DY-3 から北東に 2 km ほど離れたところで九州電力により掘削された HT-5-1 では、角閃石、黒雲母に

第3表 花崗岩類の主化学組成,

	1	2	3	4*	5*	6*
SiO <sub>2</sub>	73.47	65.86	69.78	62.65	73.28	71.70
TiO <sub>2</sub>	0.18	0.61	0.04	0.73	0.03	0.25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.18	15.98	15.73	18.29	15.64	14.89
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.67	0.99	0.52	0.91	0.54	0.62
FeO	1.40	3.73	2.69	3.87	0.32	1.91
MnO	0.02	0.07	0.32	0.06	0.04	0.05
MgO	0.20	1.49	0.18	2.23	0.08	0.60
CaO	1.51	4.00	0.73	4.38	0.50	1.57
Na <sub>2</sub> O	3.24	3.25	2.75	3.28	4.03	3.61
K <sub>2</sub> O	1.79	2.11	6.45	2.37	5.08	4.27
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.04	0.19	0.04	0.21	0.02	0.06
H <sub>2</sub> O(+)	1.60	1.28	0.03	0.14	0.14	0.33
H <sub>2</sub> O(-)	0.36	0.02	0.24	0.20	0.16	0.23
CO <sub>2</sub>						
Total	99.66	99.58	99.50	99.32	99.86	100.09
Q	43.55	26.28	25.08	19.99	29.19	29.05
C	5.26	1.53	2.99	2.87	2.65	1.62
or	10.58	12.47	38.12	14.01	30.02	25.23
ab	27.42	27.50	23.27	27.75	34.10	30.55
an	7.23	18.60	3.36	20.36	2.35	7.40
ne	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
wo } di	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
en } di	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
fs	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
en } hy	0.50	3.71	0.45	5.55	0.20	1.49
fs } hy	1.76	5.15	5.04	5.26	0.17	2.68
fo } ol	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
fa } ol	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
mt	0.97	1.44	0.75	1.32	0.78	0.90
hm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
il	0.34	1.16	0.08	1.39	0.06	0.47
ru	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ap	0.09	0.44	0.09	0.49	0.05	0.14
Total	97.70	98.28	99.23	98.98	99.56	99.53
D.I.	81.55	66.25	86.47	61.75	93.31	84.83
$\chi$ ( $\times 10^{-6}$ emu/g)	—	—	—	—	—	—
Sample No.	79123 KA-3	7912405	8022509	8022905	8022908	8030203

主化学組成の分析は東京石炭鉱物研究所。

ただし\*は通商産業省(1980 a)による。

1: 熊本県合戦群“東側の沢”からの白雲母含有黒雲母花崗岩(79123 KA-3), 2: 熊本県菊池市虎口からの角閃石黒雲母花崗閃緑岩(7912405), 3: 熊本県合戦群“西側の沢”からのザクロ石アブライト(8022509), 4: 大分県国東町黒津崎からの片状黒雲母トーナル岩(8022905), 5: 大分県武蔵町行者岬からのザクロ石含有白雲母アブライト(8022908), 6: 大分県大野町沢田からの黒雲母花崗岩(綿田花崗岩)(8030203), 7: 大分県野津原町山中からの角閃石黒雲母花崗閃緑岩(山中花崗閃緑岩)(8030204), 8: 大分県山香町倉成からの黒雲母花崗岩(8261501), 9: 大分県武蔵町行者岬からの黒雲母トーナル岩(8261509), 10: 大分県杵築市三方庚申鼻からの白雲母黒雲母花崗岩(8261510), 11: 熊本県菊池市兵戸峠からの黒雲母花崗閃緑岩(8261801), 12: 熊

豊肥地域の先第三紀基盤岩類 (笹田政克)

CIPW ノルムおよび帯磁率.

7*	8	9	10	11	12	13
65.45	71.95	65.49	74.34	69.14	71.24	73.53
0.58	0.33	0.50	0.08	0.38	0.24	0.09
16.96	15.58	16.96	14.59	16.14	14.87	14.10
1.76	0.47	1.95	1.08	0.75	0.35	1.23
3.65	1.08	2.30	0.04	2.08	1.58	1.27
0.09	0.03	0.06	0.02	0.09	0.05	0.05
1.72	0.34	1.35	0.19	0.72	0.67	0.24
4.00	1.54	3.67	1.20	1.96	2.32	0.60
3.21	3.52	3.56	3.65	3.69	4.06	3.83
2.65	3.40	2.68	3.85	3.21	2.82	4.26
0.12	0.10	0.15	0.04	0.09	0.13	0.06
0.22	0.95	0.47	0.03	0.90	0.82	0.03
0.26	0.10	0.06	0.32	0.12	0.04	0.22
100.67	99.39	99.20	99.43	99.27	99.19	99.51
23.81	34.43	24.21	35.63	29.12	30.18	32.90
1.83	3.55	1.89	2.33	3.25	1.23	2.24
15.66	20.09	15.84	22.75	18.97	16.67	25.18
27.16	29.79	30.12	30.89	31.22	34.35	32.41
19.06	6.99	17.23	5.69	9.14	10.66	2.58
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.28	0.85	3.36	0.47	1.79	1.67	0.60
4.46	1.11	1.90	0.00	2.74	2.31	1.26
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.55	0.68	2.83	0.00	1.09	0.51	1.78
0.00	0.00	0.00	1.08	0.00	0.00	0.00
1.10	0.63	0.95	0.13	0.72	0.46	0.17
0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
0.28	0.23	0.35	0.09	0.21	0.30	0.14
100.19	98.34	98.67	99.08	98.25	98.33	99.26
66.63	84.31	70.17	89.27	79.32	81.20	90.48
—	—	—	—	—	—	—
8030204	8261501	8261509	8261510	8261801	8261809	80-Aso4-1

本県玉名市観音岳からの白雲母黒雲母トータル岩 (8261809), 13; 熊本県阿蘇郡小柏の Aso-4 の異質礫としての花崗岩質マイロナイト (80 Aso 4-1), 14; DA-32-3, 55 m からの弱片状白雲母含有黒雲母花崗閃緑岩, 15; DA-32-3, 58.9 m からのアブライト, 16; DA-32-3, 97.5 m からの片状黒雲母閃緑岩, 17; DA-32.3, 129.4 m からの片状白雲母含有黒雲母トータル岩, 18; DY-2, 2401 m からの角閃石黒雲母トータル岩, 19; DW-7, 1669.8 m からの角閃石黒雲母トータル岩, 20; DW-7, 1671.1 m からの黒雲母角閃石石英斑れい岩, 21; DW-7, 1672.7 m からの細粒角閃石黒雲母トータル岩, 22; DW-7, 1696.4 m からの黒雲母トータル岩, 23; DW-7, 1716.3 m からの黒雲母角閃石石英斑れい岩, 24; DW-7, 1728.9 m からの黒雲母トータル岩, 25; 大分県竹田市福原の豊栄試錐 457.9 m からの黒雲母花崗閃緑岩 (80303-457.9), 26; 熊本県-の宮町山下の試錐 661 m からの黒雲母花崗閃緑岩 (82-AS-BM-661).

第3表

	14	15	16	17	18	19
SiO <sub>2</sub>	74.90	72.87	53.71	65.11	56.63	59.17
TiO <sub>2</sub>	0.23	0.11	0.63	0.47	0.81	0.72
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.81	12.47	22.68	17.46	18.40	17.63
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.03	0.84	1.48	0.88	1.09	1.12
FeO	0.93	3.99	4.99	3.13	5.37	4.56
MnO	0.03	0.32	0.11	0.08	0.13	0.13
MgO	0.09	0.16	1.45	1.16	4.01	2.47
CaO	1.93	0.48	3.59	3.50	7.70	6.11
Na <sub>2</sub> O	4.00	1.23	5.84	3.88	2.86	3.33
K <sub>2</sub> O	1.86	6.66	2.87	2.44	1.52	1.15
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.03	0.19	0.33	0.19	0.15	0.14
H <sub>2</sub> O(+)	0.74	0.28	1.88	1.27	0.53	1.13
H <sub>2</sub> O(-)	0.04	0.12	0.22	0.18	0.31	0.26
CO <sub>2</sub>						1.22
<b>Total</b>	<b>99.62</b>	<b>99.72</b>	<b>99.78</b>	<b>99.75</b>	<b>99.51</b>	<b>99.14</b>
Q	40.09	36.29	0.00	22.51	9.48	16.06
C	1.78	2.82	4.23	2.53	0.00	0.13
or	10.99	39.36	16.96	14.42	8.98	6.80
ab	33.85	10.41	47.66	32.83	24.20	28.18
an	9.38	1.14	15.65	16.12	32.88	29.40
ne	0.00	0.00	0.94	0.00	0.00	0.00
wo } di	0.00	0.00	0.00	0.00	1.81	0.00
en }	0.00	0.00	0.00	0.00	0.98	0.00
fs	0.00	0.00	0.00	0.00	0.77	0.00
en } hy	0.22	0.40	0.00	2.89	9.01	6.15
fs }	0.53	7.05	0.00	4.39	7.09	6.50
fo } ol	0.00	0.00	2.53	0.00	0.00	0.00
fa }	0.00	0.00	5.49	0.00	0.00	0.00
mt	1.49	1.22	2.15	1.28	1.58	1.62
hm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
il	0.44	0.21	1.20	0.89	1.54	1.37
ru	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ap	0.07	0.44	0.76	0.44	0.35	0.32
<b>Total</b>	<b>98.84</b>	<b>99.32</b>	<b>97.57</b>	<b>98.30</b>	<b>98.67</b>	<b>96.53</b>
D.I.	84.93	86.06	65.56	69.76	42.66	51.03
$\chi$ ( $\times 10^{-6}$ emu/g)	4	—	—	10	13	11
Sample No.	DA-32-3-55	DA-32-3-58.9	DA-32-3-97.5	DA-32-3-129.4	DY-2-2401	DW-7-1669.8

豊肥地域の先第三紀基盤岩類 (笹田政克)

(つづき)

20	21	22	23	24	25	26
51.34	57.43	63.88	49.43	65.25	69.14	70.37
0.69	0.82	0.59	0.69	0.46	0.38	0.32
21.06	18.79	17.62	23.16	17.22	15.53	15.63
1.28	1.04	0.88	1.08	0.76	0.83	0.55
4.71	4.67	4.02	4.85	3.41	1.76	1.65
0.14	0.11	0.14	0.17	0.09	0.06	0.05
4.89	2.55	1.45	4.37	1.12	0.82	0.77
8.62	5.73	4.51	9.78	4.47	2.72	2.72
3.10	3.43	3.62	3.24	3.69	3.62	3.85
1.74	1.63	1.34	1.41	1.45	3.69	2.57
0.12	0.17	0.21	0.17	0.19	0.15	0.09
1.23	1.99	1.02	1.41	1.01	0.88	0.52
0.24	0.14	0.08	0.08	0.10	0.10	0.22
0.54	1.29			0.35		
99.70	99.79	99.36	99.84	99.57	99.68	99.31
0.00	12.65	23.76	0.00	25.23	26.41	30.44
0.00	1.37	2.52	0.00	1.91	0.99	1.78
10.28	9.63	7.92	8.33	8.57	21.81	15.19
26.23	29.02	30.63	27.42	31.22	30.63	32.58
38.41	27.32	21.00	44.49	20.93	12.51	12.91
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.49	0.00	0.00	1.22	0.00	0.00	0.00
0.91	0.00	0.00	0.70	0.00	0.00	0.00
0.50	0.00	0.00	0.46	0.00	0.00	0.00
8.78	6.35	3.61	0.29	2.79	2.04	1.92
4.84	6.57	5.94	0.91	5.04	2.03	2.14
1.75	0.00	0.00	6.93	0.00	0.00	0.00
1.06	0.00	0.00	5.05	0.00	0.00	0.00
1.86	1.51	1.28	1.57	1.10	1.20	0.80
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.31	1.56	1.12	1.31	0.87	0.72	0.61
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.28	0.39	0.49	0.39	0.44	0.35	0.21
97.69	96.37	98.26	98.35	98.11	98.70	98.57
36.51	51.31	62.31	35.75	65.02	78.85	78.21
11	12	10	10	11	4	29
DW-7-1671.1	DW-7-1672.7	DW-7-1696.4	DW-7-1716.3	DW-7-1728.9	80303-457.90	82-AS-BM-661

第4表 花崗岩類および変成岩類のK-Ar年代一覧

Table 4.

Sample No.	Rock	Mineral	K (%)	<sup>40</sup> Ar rad (10 <sup>-5</sup> ccSTP/g)	Atm <sup>40</sup> Ar (%)	Age (Ma)
78Z0301	Tonalite	Biotite	4.68	1.42	83.6	78.2±3.9
			4.78	1.53	83.2	
7912301KA-1	Schist	Biotite	6.74	2.06	79.2	82.6±4.1
			6.69	2.36	82.3	
8022905	Tonalite	Biotite	6.90	2.52	94.0	91.1±4.6
			6.98	2.52	93.3	
8030203	Granite	Biotite	5.31	2.02	89.3	92.4±4.6
			5.28	1.89	88.6	
8030204	Granodiorite	Biotite	3.32	1.51	92.7	112.0±5.6
			3.29	1.46	92.0	
8261508	Schist	Biotite	6.81	2.39	88.3	88.0±4.4
			6.88	2.41	85.1	
		Muscovite	6.34	2.18	78.4	86.2±4.3
			6.39	2.19	78.7	
8261509	Tonalite	Biotite	6.24	2.12	74.9	85.5±4.3
			6.33	2.16	73.7	
8261801	Granodiorite	Biotite	4.28	1.61	77.1	95.3±4.8
			4.32	1.66	77.7	
8261809	Tonalite	Biotite	4.58	1.73	72.4	95.0±4.8
			4.62	1.76	76.3	
		Muscovite	6.60	2.49	79.9	95.1±4.8
			6.62	2.53	80.9	
DA-32-3-55	Granite	Biotite	6.90	1.68	80.7	80.7±4.0
			6.98	1.68	78.1	
DW-7-1761.7	Schist	Biotite	6.61	2.45	82.1	93.2±4.7
			6.64	2.48	90.3	
		Muscovite	6.73	2.50	88.3	93.0±4.7
			6.79	2.52	85.9	
DY-2-2399	Tonalite	Biotite	3.76	1.48	69.3	98.3±4.9
			3.79	1.49	67.1	
		Hornblende	0.98	0.372	55.4	96.2±4.8
			0.99	0.385	58.7	
DY-3-1610	Tonalite	Biotite	6.98	2.56	88.4	91.9±4.6
			7.07	2.59	88.0	
DY-3-1795	Schist	Biotite	5.53	2.16	79.1	99.1±5.0
			5.58	2.24	75.4	
82-AS-BM-539	Granodiorite	Biotite	3.52	1.30	67.1	92.7±4.6
			3.54	1.31	71.2	
80-Aso-4-2	Mylonite	Hornblende	1.16	0.025	4.4	5.9±4.5
			1.16	0.028	3.8	

測定: テレデザイン・アイソトープ社

年代の計算においては,  $\lambda_s = 0.581 \times 10^{-10} \text{Yr}^{-1}$ ,  $\lambda_b = 4.962 \times 10^{-10} \text{Yr}^{-1}$  の壊変定数が用いられており, K中の<sup>40</sup>Kの存在比としては,  $^{40}\text{K}/\text{K} = 0.01167 \text{ atm}\%$  の値が用いられている。

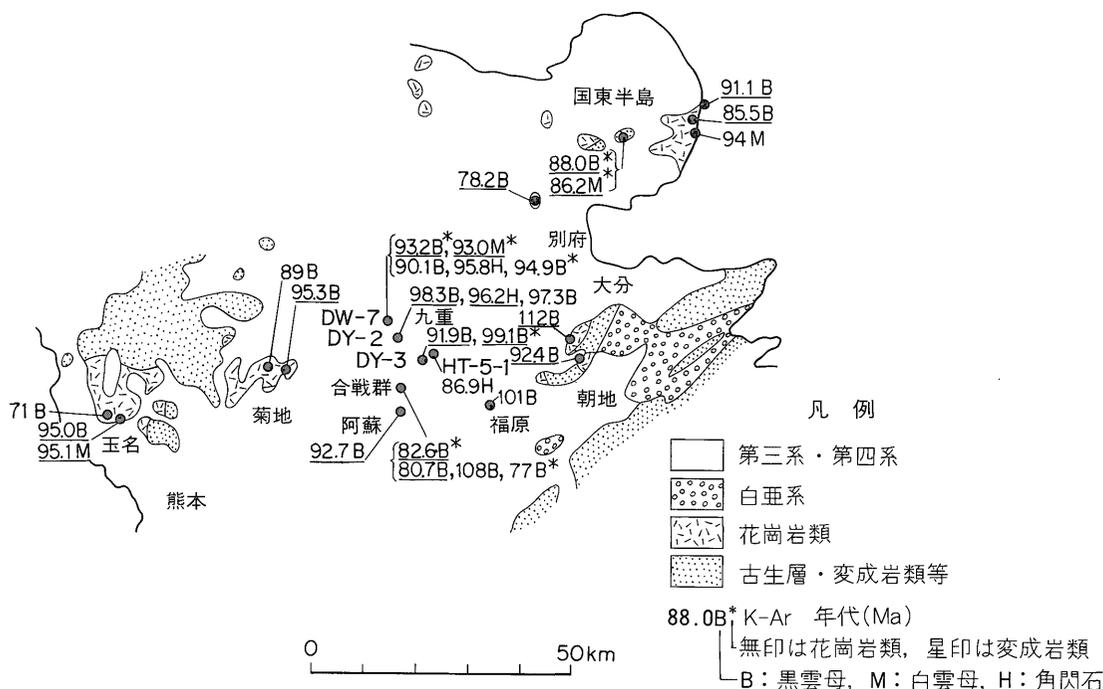
富む花崗閃緑岩で  $62.5 \pm 3.1 \text{ Ma}$  (全岩),  $86.9 \pm 4.3 \text{ Ma}$  (角閃石) の K-Ar 年代が得られている (山崎ほか, 1983)。

合戦群では, 地表に分布する雲母片岩 (7912301 KA-1) で,  $82.6 \pm 4.1 \text{ Ma}$  (第4表), DA-32-3 からは, 55 m の弱片状白雲母含有黒雲母花崗岩で  $80.7 \text{ Ma}$  (黒雲母) (第4表), 131 m の片状白雲母含有黒雲母トータル岩で  $108 \text{ Ma}$  (黒雲母), 152 m の雲母片岩で  $77 \text{ Ma}$  (黒雲母) (通商産業省, 1980 b) の年代が得られている。

これらは同一坑井およびその近傍からの試料で, また測定鉱物も黒雲母と共通しているが, 坑井内のトータル岩が明らかに古い年代となっている。

阿蘇カルデラからの試料では, 一の宮町山下の試錐の 539 m 深の黒雲母花崗閃緑岩 (82-AS-BM-539) で,  $92.7 \pm 4.6 \text{ Ma}$  (黒雲母) の年代が得られた (第4表)。

また Aso-4 火砕流の異質礫のうち花崗閃緑岩質マイロナイト (80-Aso-4-2) からは,  $5.9 \pm 4.5 \text{ Ma}$  (角閃石) という年代が得られた。これは Aso-4 のマグマの熱に



第13図 変成岩類・花崗岩類の K-Ar 年代およびそれら試料の採取位置

本報告の年代値(第4表)については下線をほどこしてある。その他の年代値は、河野・植田(1966)、山崎ほか(1983)、通商産業省(1980 a, 1980 b, 1982 a, 1982 b, 1983)による。

よる若返りの年代を示すものと考えられるが、Aso-4 火砕流中の黒曜石フィッシュン・トラック年代  $0.029 \pm 0.014$  Ma (岡口, 1978) よりは古い年代となっている。

竹田市福原の豊栄試錐の 457.9 m の黒雲母花崗閃緑岩では、101 Ma の年代が得られている(通商産業省, 1980 a)。

これらのほか、大分県側では朝地地域および国東半島、熊本県側では菊地から玉名にかけての地域で基盤岩類の年代が求められた。朝地の花崗岩類では綿田花崗岩(8030203)で  $92.4 \pm 4.6$  Ma (黒雲母)、山中花崗閃緑岩(8030204)で  $112.0 \pm 5.6$  Ma (黒雲母)の年代がそれぞれ得られている(第4表)。また国東半島では、大分空港に近い行者岬の黒雲母トータル岩(8261509)で  $85.5 \pm 4.3$  Ma (黒雲母)、大田村芋尾の雲母片岩(8261508)で、 $88.0 \pm 4.4$  Ma (黒雲母)、 $86.2 \pm 4.3$  Ma (白雲母)の年代が求められている(第4表)ほか、黒津崎(33°32.4'N, 131°44.8'E)の片状構造の顕著な黒雲母トータル岩(8022905)で  $91.1 \pm 4.6$  Ma (黒雲母)(第4表)、行者岬(33°28.9'N, 131°44.3'E)のアプライト(8022908)で 94 Ma (白雲母)の年代が得ら

れている(通商産業省, 1980 a)。また別府北西の丸田花崗閃緑岩(78 Z 0301)では、 $78.2 \pm 3.9$  Ma (黒雲母)という年代が求められている(第4表)。

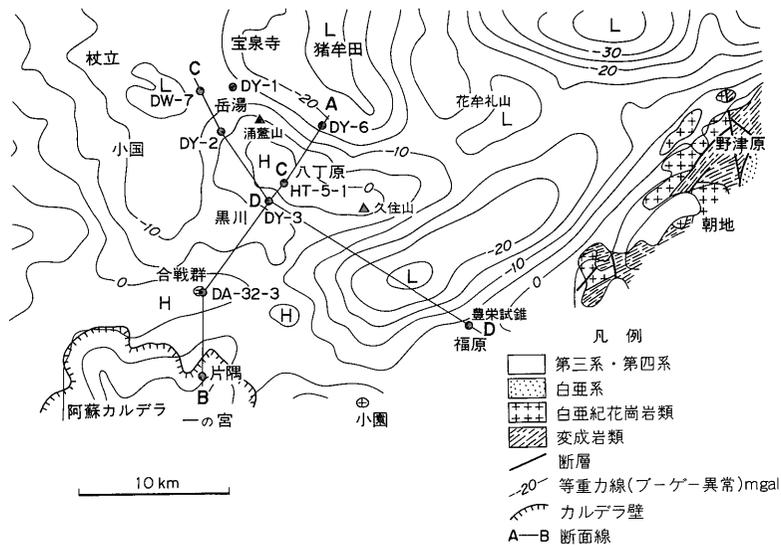
一方、調査地域の西側では、大分・熊本県境にあたる兵戸峠の黒雲母花崗閃緑岩(8261801)で、 $95.3 \pm 4.8$  Ma (黒雲母)、熊本県玉名の白雲母黒雲母トータル岩(8261809)で、 $95.0 \pm 4.8$  Ma (黒雲母)および  $95.1 \pm 4.8$  Ma (白雲母)の K-Ar 年代が得られた(第4表)。

これら K-Ar 年代が測定された試料のうち、本文中で触れられていないものについては、その採取位置および簡単な岩石記載を、補遺にまとめている。

## 10. 考 察

### 10.1 九重—阿蘇地域の基盤地質構造

調査地域での基盤岩類の露出はきわめて限られているため、今回坑井から得られた試料は、同地域の基盤地質構造を考える上で、たいへん貴重なものといえる(第14図)。坑井間隔に比べると、調査できたコラムの長さは、短かすぎるかもしれないが、ここでは坑井調査および合戦群の地表調査の結果に基づいて、九重から阿蘇にかけ



第14図 調査地域およびその周辺での基盤岩類の分布およびブーゲー異常  
等重力線は豊肥地熱地域地質図編集グループ(1982)による

ての基盤岩類の地質構造を予測してみたい。

変成岩類の構造および花崗岩類の産状に着目すると、九重から阿蘇にかけての地域は、①緩傾斜の変成岩類中に片状トナール岩が調和的に貫入している九重山周辺地域、②構造が急で、変成岩類中に各種花崗岩類が調和的に貫入している合戦群、③塊状花崗閃緑岩で特徴づけられる阿蘇カルデラ・福原の3つに区分けできる。

九重山周辺で掘削された DW-7, DY-2, DY-3 では、変成岩類はいずれも雲母片岩が主体で、面構造は全般に 15°-25° の傾斜となっている。花崗岩類は、片状構造のはっきりした角閃石黒雲母トナール岩・黒雲母トナール岩が主体で、これらの K-Ar 年代も、いずれも 90 Ma 台でよく似ている。HT-5-1 の基盤岩類も岩質・年代からみてこのグループに属すものと考えられる。

合戦群では、変成岩類は九重山周辺地域と同様雲母片岩が主体となっているが、それらの面構造は全般に 60° 以上の急傾斜を示し、かつまた DA-32-3 では微褶曲構造がよく発達している。花崗岩類は変成岩類に調和的に貫入している。岩質から見ると九重山地域で見られたような角閃石を含む岩石はまったくなく、それとは対照的に白雲母が頻繁に認められる。また進入单元毎の岩質の変化が大きいのも特徴である。

阿蘇カルデラ東部一の宮町山下の試錐と竹田市福原の試錐では、互によく似た塊状黒雲母花崗閃緑岩が得られている。両者とも黒雲母の一部が緑泥石に変質してい

るという産状もよく似ている。K-Ar 年代は、それぞれ  $92.7 \pm 4.6$  Ma, 101 Ma である。なお両地点のほぼ中間に小園のトナール岩と石英-電気石岩からなる露頭がある。小園の花崗岩類は、少なくともこの塊状黒雲母花崗閃緑岩とは異なるようにみえるが、岩石の風化が顕著であることから、他の花崗岩類との対比は困難である。

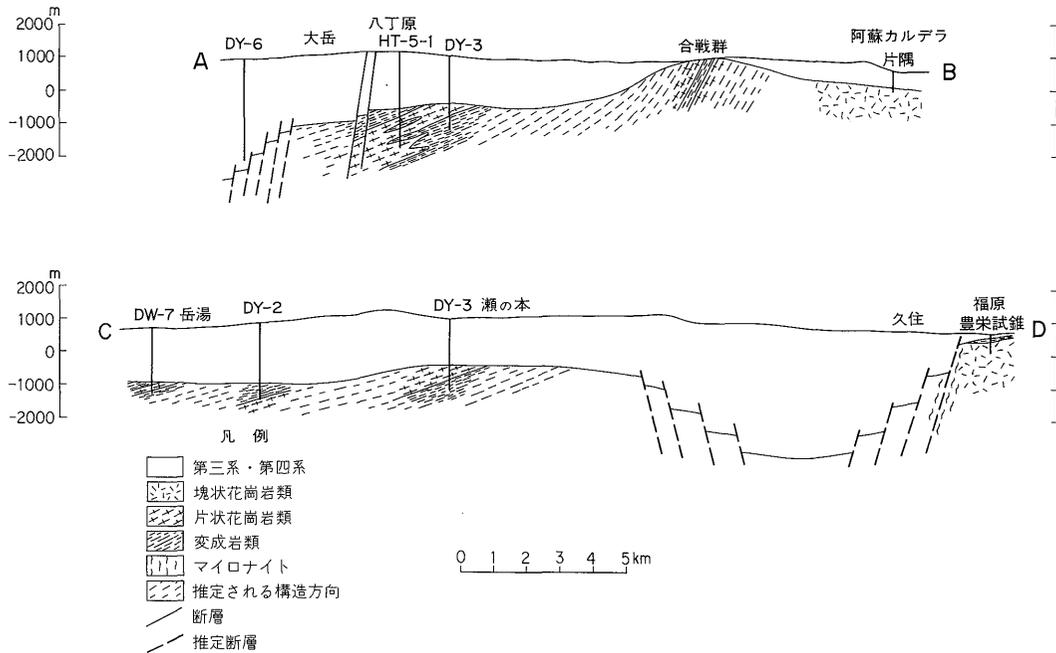
以上述べてきた基盤岩類の地質構造を、断面図として表現すると第15図のようになる。なお、本地域の基盤地質構造断面図は、すでに笹田(1984)により岳湯-阿蘇間のものが公表されているが、今回はそれをベースにし、その後公表された重力基盤深度(駒沢・鎌田, 1985)および深部坑井データ(通商産業省, 1985)を考慮して、DY-6-阿蘇(A-B)、岳湯-福原(C-D)の2断面を作成した。

## 10.2 変成岩類

本地域の変成岩類の原岩、変成鉱物、K-Ar 年代について検討し、領家帯との関係について以下考察したい。

本地域の変成岩類は、雲母片岩を主とし、少量の角閃石片岩、石英片岩を伴う。これまで地域毎、坑井毎に記載してきたこれらの岩石の特徴は、次のようにまとめられる。

雲母片岩は、黒雲母・白雲母に富む暗灰色部と、石英に富む優白色の部分とが、ともに薄層をなして繰返す岩石である。それぞれの薄層の厚さは数 mm である場合が多いが、ところにより数 cm 厚の石英に富む層が繰



第15図 九重-阿蘇基盤地質断面図

断面線の位置は第14図を参照

断面図作成手順は笹田(1984)に従った。久住の地下のマイロナイトは、荷尾杵花崗岩のマイロナイト帯が阿蘇カルデラの下へと連続するという仮定(本文参照)の下で推定されている

返しはさまれている。これらの原石は泥質岩あるいは一部は泥質岩と砂質岩の互層であろう。

角閃石片岩は、主として普通角閃石と斜長石とからなる塩基性の岩石で、暗緑色を呈している。厚さはいずれも数 m 程度であり、10 m を越えるものはない。

石英片岩は、数 cm の厚さの石英に富む層と、数 mm の厚さの白雲母・黒雲母に富む薄層が繰返す縞状の岩石で、全体の厚さは数 10 cm から 10 数 m 程度である。本地域の石英片岩と類似した縞状の岩石は、領家帯ではしばしば見出されており、層状チャート起源のものと考えられる(狩野, 1978; 東元ほか, 1983)。

以上まとめると、本地域の変成岩類の原岩は、泥質岩を主とし、少量の塩基性岩およびチャートを伴うものであるといえる。これを九州中部の変成岩類の原岩層序からみると、松本(1958)による C 層群(珪質・粘土質片岩を主とし、緑色片岩・石灰岩を伴う)に対比される。ちなみに領家帯の国東半島、朝地変成岩も C 層群に対比されている(唐木田ほか, 1969)。

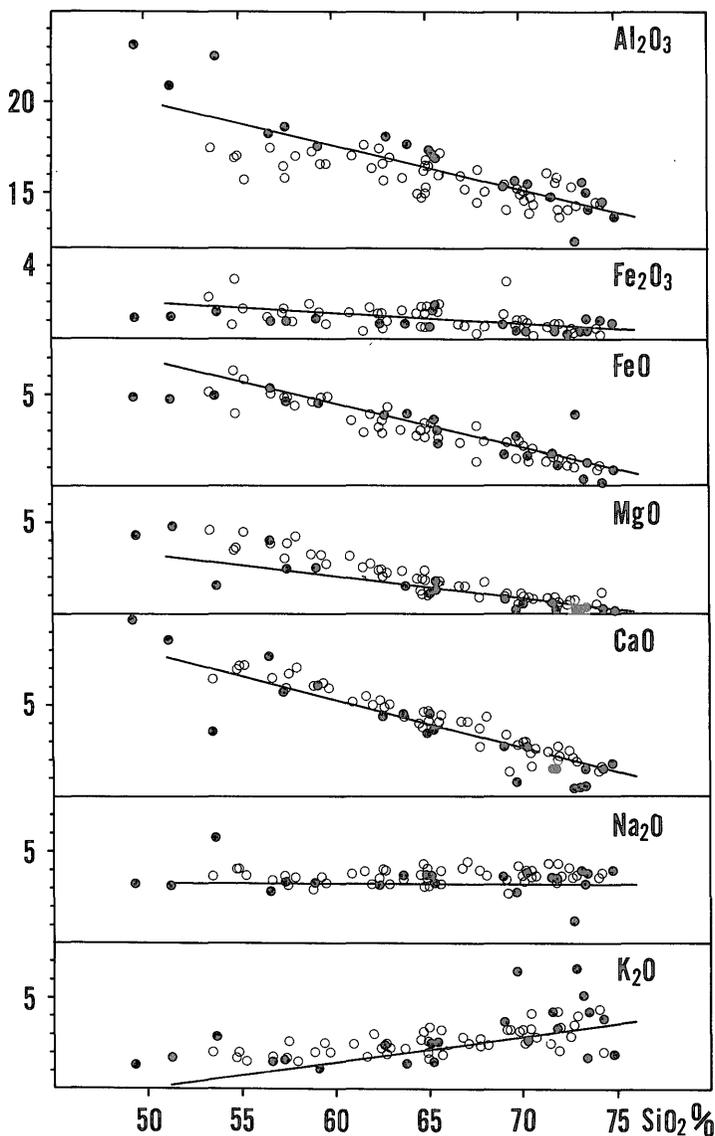
さて領家帯の原岩について、中部(磯見・片田, 1959; HAYAMA, 1960; 片田, 1967; 小野, 1969, 1981; 狩

野, 1978), 近畿(大平, 1982), 中国(豊原, 1976; 濡木ほか, 1982; 東元ほか, 1983)の各地方での記載に基づくと、いずれの地域でも、卓越する岩相は砂岩・泥岩・チャートのいずれかであり(複数の場合もある)、また少量の塩基性岩、石灰岩が伴われることがある。このことからみると、本地域の変成岩類の原岩は領家帯の岩石と類似点が多い。

本地域で最も卓越する岩相である雲母片岩の変成鉱物についてみると、九重山地域の合戦群でそれらの組合せが多少異なっている。九重山地域では、石英-斜長石-白雲母-黒雲母-ざくろ石(±)という組合せが最も多いが、DW-7 の 1750 m で深および DY-3 の 1700 m 以浅でこれにカリ長石が加わる。また DY-2 では数か所で白雲母が認められず、石英-斜長石-カリ長石-黒雲母という鉱物組合せとなっている。

一方、合戦群では、石英-斜長石-カリ長石-白雲母-黒雲母-珪線石(フィブrolait), および石英-斜長石-カリ長石-白雲母-黒雲母-董青石という鉱物組合せがしばしば認められる。

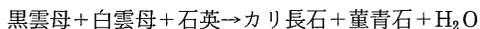
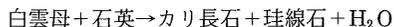
両地域の雲母片岩における鉱物組合せのちがいは、合



第16図 花崗岩類の Harker 図

黒丸は本調査地域および朝地・関東地域の花崗岩類(第3表)。白丸は北九州の白亜紀花崗岩類(柴田編, 1967)。直線は中部地方領家帯の花崗岩類(柴田編, 1967)から求めた回帰直線

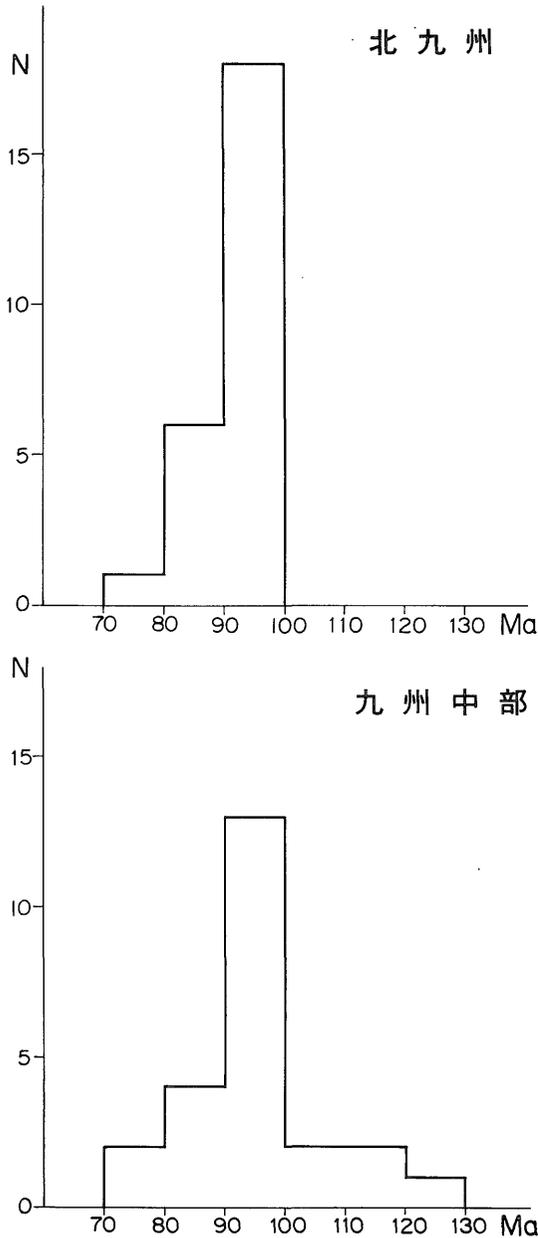
戦群地域では、温度の上昇に伴い次の2つの反応が進行したことによるものと考えられる。すなわち、



今回得られたデータは坑井からのものが主であるため、本地域の平面的な変成分帯は困難であるが、雲母片岩中の鉱物組合せをみるかぎり、合戦群地域の方が九重山地域より高温であったようにみえる。

さて、領家帯は高温低圧型の変成帯といわれている(SUWA, 1961; HAYAMA, 1964; KATADA, 1965 小野, 1969)。ここで検討した雲母片岩中の変成鉱物の組合せおよび反応関係は、領家変成岩ではしばしば認められており、変成相から見ても本地域が領家帯の西方延長部にあたると考えて矛盾はないといえる。

変成岩類の K-Ar 年代は、最近の地熱活動等後生的な熱の影響が考えられる全岩年代を除くと、九重山地域



第 17 図 九州中部および北九州地域の白亜紀花崗岩類の K-Ar 年代

本報告以外のデータは、河野・植田 (1966), SHIBATA and KARAKIDA (1965), 斎藤ほか (1961), 通商産業省 (1980 a, b, 1982 a, b, 1983) による。なお前 3 者については、STEIGER and JÄGER (1977) により、年代値を再計算してある。

で 93-99 Ma, 合戦群で 77-83 Ma, 国東半島では 86-88 Ma となっており, それぞれの地域の花崗岩類の K-Ar 年代に近い値となっている。このことは, これら高温低圧型の変成岩類の形成が, 白亜紀の花崗岩類の活動と大きく関係していたことを意味する。領家変成作用は基本的には白亜紀の花崗岩質マグマの熱によるものと考えられている (沓掛, 1977) ので, K-Ar 年代からみても国東半島から本地域までの変成岩類が領家帯に属すと考えて矛盾はしない。

### 10.3 花崗岩類

国東半島, 朝地地域を含めて豊肥地域の花崗岩類について, これまで述べてきたことのまとめを行うとともに, 北九州地域および領家帯の花崗岩類と比較検討し, それらの地質構造上の位置づけについて検討したい。

花崗岩類は, 産状から見ると塊状, 片状の岩相およびマイロナイトからなる。塊状の岩石は, 国東半島, 朝地地域の一部および, 福原, 阿蘇カルデラ内一の宮町付近の地下に分布しており, 花崗閃緑岩から花崗岩質のものである。片状の岩石は, 九重山の地下および合戦群で変成岩類の構造と調和的に産するほか, 小園, 丸田, 黒津崎等に露出している。岩質はトータル岩質のものが多く, 合戦群では, 花崗岩から花崗閃緑岩質のものが主体となっている。塊状, 片状両岩相の分布域はいりくんではあるが, 南東側に塊状の岩石がまとまっているように見える。マイロナイトは, 朝地の荷尾杵花崗岩 (小野, 1963) のほか, Aso-4 火砕流の異質礫から阿蘇カルデラの地下にも分布することが予測される。

さて, 塊状および片状の花崗岩類およびマイロナイトという組合せは, 中部から近畿にかけての領家帯と共通するものであるが, 中部から近畿にかけての地域では, 中央構造線沿いにマイロナイトが分布している (HAYAMA and YAMADA, 1980)。それが近畿西部の泉南地域で花崗岩類の南縁が, 中央構造線から北へ離れるようになると, 花崗岩類の南縁部では, 片状構造が見られないか, あるいは弱くなる (山田ほか, 1979)。領家帯が中央構造線から離れている中国・四国地方では, マイロナイトは見られない。しかし九州にはいると白亜紀花崗岩類の分布域は南へとさがり, 四国西部の中央構造線を単純に西に延ばしたところにマイロナイトが現れている。これが朝地地域におけるマイロナイト (荷尾杵花崗岩) である。これは鹿塩時階の中央構造線 (KOBAYASHI, 1941) の九州における姿の 1 つであり, 寺岡 (1970) はこのマイロナイトを, “古中央構造線” に沿うものと解釈している。今回 Aso-4 火砕流の中に多量に見出されたマイロナイトの供給源 (阿蘇カルデラ

内のどこか)も、この構造線の延長上にあるかもしれない。

花崗岩類の主化学組成については、九重、阿蘇、朝地、国東からの24試料(ここでは、これらを豊肥およびその周辺地域と呼ぶ)を、Harkerの変化図を用いて、北九州地域および中部領家のものと比較検討した(第16図)。まず北九州の花崗岩類と比較すると、次のような特徴が認められる。①  $Al_2O_3$  では、豊肥およびその周辺地域の花崗岩類の方が、北九州のものに比べて高い。②  $MgO$  は、北九州に比べてやや低い。③  $Fe_2O_3$ 、 $FeO$ 、 $CaO$ 、 $Na_2O$ 、 $K_2O$  では両者に明瞭な差異は認められないが、 $K_2O$  では  $SiO_2$  が70%以上の領域で、豊肥およびその周辺地域の分析値のばらつきが、北九州のものに比べて大きい。

この  $Al_2O_3$ 、 $MgO$  にみられる南北方向での差異は、白亜紀花崗岩類の主化学組成の検討が行われた東中国において、南側の領家帯と北側の山陰・山陽・瀬戸内地域の間で同様に認められている(杵掛ほか, 1979)。

さて、領家帯の花崗岩類のうち、公表された分析値の多い中部地方のものを、柴田(1967)の編集したものから128個の分析値につき、同じHarkerの変化図(第16図)上で回帰直線を求め、豊肥およびその周辺地域のものと比較すると、次のような点が指摘できる。①  $Al_2O_3$ 、 $Fe_2O_3$ 、 $FeO$ 、 $MgO$ 、 $CaO$  の各成分は、両者よく似た傾向にある。ただ  $CaO$  では  $SiO_2$  に富む領域で、豊肥の方がやや低目となっているように見える。②  $Na_2O$  は豊肥の方がやや高目にみえる。③  $K_2O$  はばらつきが大きく、比較がむずかしい。

帯磁率についてみると、今回測定した坑井試料では、いずれも低い値となっており、 $\chi = 29 \times 10^{-6}$  emu/g 以下であった。国東半島・朝地の花崗岩類には、一部に高いものもあるが、多くは  $\chi < 50 \times 10^{-6}$  emu/g である(石原ほか, 1979)。これらの低い値は西南日本内帯では、領家帯・山陽帯の特徴である(金谷・石原, 1973)。なお、北九州の花崗岩類は、南縁および、小倉一田川断層以東を除くと帯磁率は  $\chi > 50 \times 10^{-6}$  emu/g となっている(石原ほか, 1979)。

このほか、花崗岩類の造岩鉱物では、朝地地域で角閃石・黒雲母が領家帯の他地域のこれらの鉱物の組成とよく似ていると報告されている(唐木田・山本, 1982)。

さて、九重から阿蘇、朝地にかけての地域の花崗岩類は 81-112 Ma の K-Ar 年代を示しており、国東半島および玉名地域からのものも、ほとんどのものがこの範囲にはいる。またこれらのうち九重山地域の深部坑井 DW-7、DY-2、DY-3 から得られた片状トータル岩 6

個の K-Ar 年代値は、91-98 Ma の狭い範囲におさまっている。一方合戦群では試料採取位置が近接しているにもかかわらず、黒雲母の K-Ar 年代が 81-108 Ma となっており、年代差が大きい。なお、朝地地域の山中花崗閃緑岩で、今回測定したものの中で最も古い 112 Ma という年代が得られている。

これら九州中部地域の花崗岩類を、これまでに報告されているものとあわせて、北九州地域のものと比較すると、第17図に示すように、九州中部では 90 Ma 代に多くのものが集中する一方、全体の年代幅が広く、北九州では同じく 90 Ma 代に多くのものが集中するが、九州中部のように 100 Ma を越えるものはない。さらに領家帯の花崗岩類と比較すると、山口県柳井地方では K-Ar 年代は 86-89 Ma (MILLER and SHIBATA (1961)、河野・植田, (1966) を STEIGER and JÄGER (1977) の壊変定数で再計算した値)となっており、これは九州中部のものとの若い部分に一致する。

以上、産状、主化学組成、K-Ar 年代等からみて、豊肥地域の花崗岩類は、領家帯のものと考えて大きな矛盾はないといえる。

## 11. ま と め

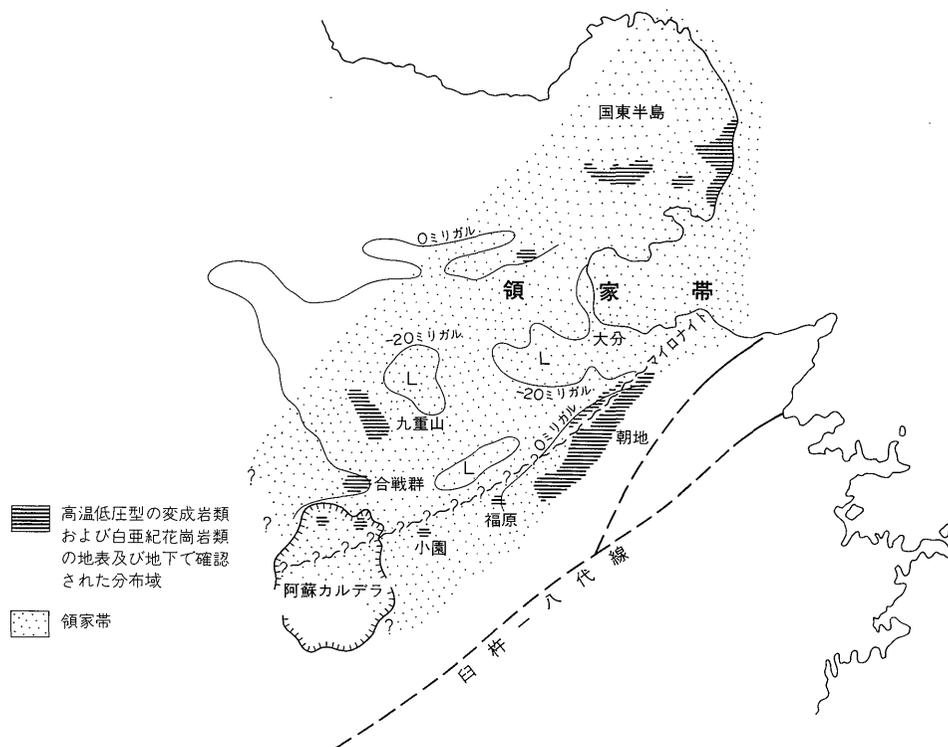
九重山から阿蘇カルデラにかけての地表および地下に分布する基盤岩類の調査結果は、次のようにまとめられる。

① 九重山周辺で掘削された深部坑井、DW-7、DY-2、DY-3 では、海水準下 800-1000 m 以深が基盤岩類となっている。基盤岩類は雲母片岩等の変成岩類とそれを調和的に貫く片状トータル岩から構成され、全体に緩傾斜の構造をとっている。

② 阿蘇カルデラ周辺では合戦群<sup>かしのむれ</sup>と小園に基盤岩類の露頭があり、合戦群ではまた 160 m の坑井(DA-32-3)が掘削された。合戦群の基盤岩類は雲母片岩等の変成岩類とそれを貫く各種花崗岩類から構成されている。構造は走向東西で、60°以上の急傾斜となっている。小園では、風化の著しい片状トータル岩と石英-電気石岩が露出している。

③ 上記地域の変成岩類の原岩は、泥質岩を主とし、少量の塩基性岩およびチャートを伴う。変成鉱物の組合せからみると、高温低圧型の変成岩といえる。

④ 花崗岩類は、上記地域のほか阿蘇カルデラ内および竹田市福原でも得られており、それらは塊状、片状の岩相およびマイロナイトから構成されている。これら花崗岩類の主化学組成および帯磁率は、領家帯のものとの類似点が多い。



第 18 図 国東半島から九重・阿蘇にかけての地域の領家帯  
ブーゲー異常は豊肥地熱地域地質図編集グループ (1982) による

⑤ 花崗岩類の K-Ar 年代は、90 Ma 台のものが多く、変成岩類もその前後の K-Ar 年代を示す。

⑥ 変成岩類、花崗岩類の岩相、岩石学的な特徴および K-Ar 年代からみると、九重山から阿蘇カルデラ北部にかけての地域の基盤は、九州における領家帯の西方延長部にあたるものと考えられる (第 18 図)。

#### 文 献

- 藤本雅太郎・橋本光男 (1960) 熊本県木葉山および国見山を中心とする地域の深成岩および変成岩 (予報) 地質雑, vol. 66, p. 27-34.
- HASHIMOTO, M. and FUJIMOTO, M. (1962) The Konoha metamorphic rocks, Kyushu. *Bull. Nat. Sci. Museum*, no. 50, p. 17-36.
- HAYAMA, Y. (1960) Geology of the Ryōke metamorphic belt in the Komagane district, Nagano Pref., Japan. *Jour.*

*Geol. Soc. Japan*, vol. 66, p. 87-101.

端山好和 (1962) 三郡・三波川・領家各変成帯相互の関係. 地球科学, no. 63, p. 25-31.

HAYAMA, Y. (1964) Progressive metamorphism of pelitic and psammitic rocks in the Komagane district, Nagano Prefecture, central Japan. *Jour. Fac. Sci., Univ. Tokyo*, sec. II, vol. 15, p. 321-369.

HAYAMA, Y. and YAMADA, T. (1980) Median Tectonic Line at the stage of its origin in relation to plutonism and mylonitization in the Ryōke belt. *Mem. Geol. Soc. Japan*, no. 18, p. 5-26.

東元定雄・濡木輝一・原 郁夫・佃 栄吉・中島 隆 (1983) 岩国地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 79 p.

広川 治 (1976) 北部九州の地質構造—長崎三角地域にまつわる問題—. 地調報告, no. 256, 78 p.

- 広川 治ほか編(1978) 100万分の1日本地質図. 第2版. 地質調査所.
- 豊肥地熱地域地質図編集グループ(1982) 10万分の1豊肥地熱地域地質図および同説明書. 地質調査所, 23 p.
- 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地質図幅「鹿児島」. 地質調査所.
- 磯見 博・片田正人(1959) 木曾山地北部の非変成古生層ならびに領家変成岩の堆積相についての考察. 地調月報, vol. 10, p. 1037-1052.
- 石原舜三・唐木田芳文・佐藤興平(1979) 北九州—西中国地域の磁鉄鉱系とチタン鉄鉱系花崗岩類の分布—とくに小倉—田川断層帯の再評価—. 地質雑, vol. 85, p. 47-50.
- IUGS (1973) Plutonic rocks, classification and nomenclature recommended by the IUGS subcommission on the systematics of igneous rocks. *Geotimes*, Oct., 1973, p. 26-30.
- 金谷 弘・石原舜三(1973) 日本の花崗岩質岩石にみられる帯磁率の広域的变化. 岩鉱, vol. 68, p. 211-224.
- 鎌田浩毅(1985) 九州中北部における火山活動の推移と地質構造. 地調報告, no. 264, p. 33-64.
- 狩野謙一(1978) 愛知県下の領家変成岩の層序と構造. 地質雑, vol. 84, p. 445-458.
- 唐木田芳文(1966) 根子岳熔岩の捕獲岩. 西南学院大学文理論集, vol. 6, p. 117-130.
- ・山本博達・宮地貞憲・大島恒彦・井上 保(1969) 九州の点在変成岩類の特徴と構造地質学的位置. 地質学論集, no. 4, p. 3-21.
- (1982) 大分県朝地変成岩地域の花崗岩類. 地質雑, vol. 88, p. 523-533.
- 笠間太郎(1953) 速見火山区の地質. 地質雑, vol. 59, p. 161-172.
- KATADA, M. (1965) Petrography of Ryoke metamorphic rocks in northern Kiso district, central Japan. *Jour. Japan. Assoc. Min. Pet. Econ. Geol.*, vol. 53, p. 76-90, p. 155-164, p. 187-204.
- 片田正人(1967) 長野県木曾地方北部の領家変成帯. 地調報告, no. 223, 43 p.
- 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.
- KOBAYASHI, T. (1941) The Sakawa orogenic cycle and its bearing on the origin of the Japanese Islands. *Jour. Fac. Sci., Univ. Tokyo*, sec II, vol. 5, p. 219-578.
- 駒澤正夫・鎌田浩毅(1985) 豊肥地域の重力基盤構造. 地調報告, no. 264, p. 303-333.
- KUBOTERA, A., TAJIMA, H., SUMITOMO, N., DOI, H. and IZUTAYA, S. (1969) Gravity surveys on Aso and Kuju volcanic region, Kyushu district, Japan. *Bull. Earthquake Res. Inst.*, vol. 47, p. 215-255.
- 沓掛俊夫(1977) 領家帯の深成・変成作用の性格. 地団研専報, no. 20, p. 37-44.
- ・白川頼子・先山 徹・岩井秀治(1979) 東中国における花崗岩類の主化学組成. 地質学論集. no. 17, p. 73-86.
- 松本幡郎・藤本芳男(1969) 阿蘇カルデラ内の注目すべきボーリング結果について. 火山第2集, vol. 14, p. 1-7.
- 松本徳夫(1979) 九州における火山活動と陥没構造に関する諸問題. 地質学論集, no. 16, p. 127-139.
- 松本達郎(1958) 筑紫山地変成岩地域の地質. 鈴木醇教授還暦記念論文集, p. 141-161.
- 松下久道(1974 MS) 竹田市笹川豊栄試錐調査報告. 4 p.
- MILLER, J.A. and SHIBATA, K. (1961) Potassium-argon age of Ryoke granite from Obatake, Yamaguchi Prefecture. *Bull. Geol. Survey Japan*, vol. 12, p. 653-654.
- 初倉克幹・相場瑞夫・宮島吉雄・稲本 暁・藤井 厚(1979) 阿蘇カルデラ北麓および東麓の地質図. 九州農政局.
- 森山善蔵・種子田定勝(1966) 別府市利水墜道産黒雲母片麻岩の岩塊. 岩鉱, vol. 56, p. 75-77.
- 濡木輝一・浅見正雄・柴田次男・大平恵一(1982) 瀬戸内海塩飽諸島南西部の領家帯. 地質雑, vol. 88, p. 499-510.
- 岡口雅子(1978) 阿蘇火砕流堆積物中の黒曜石のフィッション・トラック年代. 火山第2集, vol. 23, p. 231-240.
- 小野 晃(1969) 長野県高遠—塩尻地方に分布する領家変成帯の地質. 地質雑, vol. 75, p. 491-

498.

- 小野 晃 (1981) 領家変成帯, 高遠—鹿塩地方の地質. 地質雑, vol. 87, p. 249-257.
- 小野晃司 (1963) 5 万分の1 地質図幅「久住」および同説明書. 地質調査所, 106 p.
- (1965) 阿蘇カルデラ東部の地質. 地質雑. vol. 71, p. 541-553.
- ・松本禎夫・宮下三千年・寺岡易司・神戸信和 (1977) 竹田地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の1 地質図幅), 地質調査所, 145 p.
- ・渡辺一徳 (1985) 阿蘇火山地質図 1: 50,000. 火山地質図, no. 4, 地質調査所.
- 大平芳久 (1982) 紀伊半島中央部・高見山北方地域の領家帯の地質. 地質雑, vol. 88, p. 467-481.
- 大分県 (1972) 大分県の地質—新版 20 万分の1 大分県地質図説明書. 大分県., 140 p.
- 太田良平・松野久也・西村嘉四郎 (1968) 熊本県岳の湯及び大分県大岳付近地質調査報告. 地調月報, vol. 19, p. 481-486.
- PIRANI, R. (1951) I minerali del gruppo dell'Ortler.—II. Actinolite di Malga Mont in val di Rabbi e di Celledizzo in val di Peio. *Atti (Rend) Accad. Naz Lincei, Cl. Sci. fis. mat. nat.*, ser. 8, vol. 10, p. 315 (M.A. 12-29).
- RICHTHOFEN, F.V. (1903) Geomorphologische Studien aus Ost-Asien. (V. Gebirgsstellungen im Japanischen Bogen) Sitzungsber. der König-preuss. *Akad. der Wiss., phys.-math. Cl.*, X, p. 39-40.
- 斎藤信房・増田彰正・長沢 宏 (1961) カリウム・アルゴン法による岩石の年令決定 (演旨). 地質雑, vol. 67, p. 425-426.
- 笹田政克 (1982) 阿蘇カルデラ北部の合戦群に分布する花崗岩類および変成岩類. 三鈹学会演旨, p. 92.
- (1984) 豊肥地域の基盤地質構造. 地熱, no. 81, p. 1-11.
- 柴田秀賢編 (1967) 日本岩石誌 II, 深成岩 (2), 花崗岩類. 朝倉書店, 377 p.
- SHIBATA, K. and KARAKIDA, Y. (1965) Potassium-argon ages of the granitic rocks from the northern Kyūshū. *Bull. Geol. Survey Japan*, vol. 16, p. 443-445.
- STEIGER, R.H. and JÄGER, E. (1977) Subcommis-sion on geochronology: Conversion on the use of decay constants in geo- and cosmochronology. *Earth Planet. Sci. Lett.*, vol. 36, p. 359-362.
- 角 清愛・高島 勲 (1980) 日本地熱資源賦存分布図. 地質調査所.
- SUWA, K. (1961) Petrological and geological studies on the Ryoke metamorphic belt. *Jour. Earth Sci., Nagoya Univ.*, vol. 9, p. 224-303.
- 田中耕基・江島康彦 (1982) 八丁原地区 3000 m 調査井の掘削について, 地熱エネルギー, vol. 19, p. 93-103.
- 種子田定勝 (1963) 阿蘇カルデラに関する一知見 (要旨). 火山第 2 集, vol. 8, p. 46.
- 寺岡易司 (1970) 九州大野川盆地付近の白亜紀層, 地調報告, no. 237, 84 p.
- TOMITA, T. and KARAKIDA, Y. (1958) Source identification of some granitic xenoliths in volcanic rocks. *Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ.*, ser. D (Geol.), vol. 8, p. 25-34.
- 豊原富士夫 (1976) 山口県東部の三郡—山口帯—“領家帯”の地質構造. 地質雑, vol. 82, p. 99-111.
- 通商産業省 (1980 a) 昭和 54 年度大規模深部地熱発電所環境保全実証調査報告書 (豊肥地域) 地質構造調査. 62 p.
- (1980 b) 昭和 54 年度大規模深部地熱発電所環境保全実証調査報告書 (豊肥地域) 熱流量調査. 230 p.
- (1981) 昭和 55 年度 (後期) 大規模深部地熱発電所環境保全実証調査報告書 (豊肥地域) 調査井検層 (DY-1 坑). 131 p.
- (1982 a) 昭和 56 年度大規模深部地熱発電所環境保全実証調査報告書 (豊肥地域) 調査井検層 (DY-2 坑). 119 p.
- (1982 b) 昭和 56 年度大規模深部地熱発電所環境保全実証調査報告書 (豊肥地域) 調査井検層 (DY-3 坑). 134 p.
- (1983) 昭和 56 年度大規模深部地熱発電所環境保全実証調査 (豊肥地域) 構造試錐・検層 (DW-6, DW-7 坑). 235 p.
- (1985) 昭和 59 年度大規模深部地熱発電所環境保全実証調査 (豊肥地域) 調査井検層 (DY

-5坑, DY-6坑). 145 p.

- 渡辺公一郎・林 正雄・木下保美・藤野敏雄(1982)  
八丁原地熱帯 H-17号井で見出された礫岩.  
地質学会西日本支部会報, no. 74, p. 11.
- 山田哲雄・端山好和・加々美寛雄・杵掛俊夫・前野伸一  
・政岡邦夫・仲井 豊・吉田 勝(1979)  
泉南地域の領家帯. 地質学論集, no. 17, p.  
209-220.
- 山崎達雄・林 正雄・田口幸洋(1983) 広域的な地熱  
地質構造および総括. 自然エネルギーの研究,

- 昭和57年度研究成果報告書, p. 169-172.
- 山下 昇(1957) 中生代(上). 地学双書, no. 10, 地  
団研, 94 p.
- YOSHIDA, K., EJIMA, Y. and SHIMOIKE, T. (1985)  
Recent understanding of the reservoirs  
of Otake and Hatchobaru geothermal  
area. *International Volume*, Geother-  
mal Resources Council, p. 405-410.

(受付: 1986年11月13日; 受理: 1987年4月15日)

### 補 遺

K-Ar年代測定を行った岩石のうち, 本文中で採取  
位置および岩石記載が述べられていないものについて,  
以下に簡単に記述する. なお, 岩石記載が本文中にある  
場合は, 採取位置のみを記す.

#### 7912301 KA-1 雲母片岩

熊本県阿蘇郡一の宮町合戦群(33°1.6'N, 131°  
7.4'E)

#### 82-AS-BM-539 黒雲母花崗閃緑岩

熊本県阿蘇郡一の宮町山下(32°58.2'N, 131°  
7.8'E)

一の宮町試錐コア 539 m 深からの試料

石英: 33.2%, カリ長石: 11.1%, 斜長石: 49.3%,  
黒雲母: 6.4%

等粒状中粒で, 塊状の見かけを呈する岩石である. 石  
英は波動消光を示し, 一部は再結晶している. 斜長石は  
累帯構造が顕著で, コアはアンデシン, リムはオリゴク  
レスからなる. またカリ長石と接する部分には, ミルメ  
カイトが発達している. 斜長石のかなりのものは, 変形  
している. カリ長石は間隙充填状に産し, 斜長石・黒雲  
母等の小結晶を包有する. 黒雲母の一部に緑泥石化がみ  
られる.

#### Aso-4-2 花崗閃緑岩質マイロナイト(礫)

熊本県阿蘇郡一の宮町小柏(33°0.6'E, 131°  
9.4'N)

#### 8030203 黒雲母花崗岩

大分県大野郡大野町沢田(33°4.6'N, 131°31.1'E)  
綿田花崗岩(小野, 1963)から採取されたもので, 径  
1 cm 大の粒状の石英が目立つ, 塊状の岩石である. 石

英中には, 斜長石・黒雲母の小結晶が, しばしば包有さ  
れている. 斜長石は累帯構造が顕著で, コアはアンデシ  
ン, リムはオリゴクレスからなる. カリ長石はパーサイ  
トで, 斜長石・黒雲母の小結晶をしばしば包有する. 黒  
雲母は全般に新鮮であるが, その一部はへき開に沿って  
緑泥石化している. 褐れん石が少量含まれる.

#### 8030204 角閃石黒雲母花崗閃緑岩

大分県大分郡野津原町山中(33°6.8'N, 131°  
28.4'E)

石英: 28.8%, カリ長石: 5.7%, 斜長石: 51.1%,  
黒雲母: 11.9%, 角閃石: 2.3%, 不透明鉱物: 0.2  
%

朝地変成岩類の北西に分布する山中花崗閃緑岩(小野,  
1963)から採取されたもので, 等粒状中粒で塊状の見か  
けを呈する岩石である. 石英には波動消光が見られる.  
斜長石は, コアがアンデシン, リムがオリゴクレスで,  
オシラトリー・ゾーニングを示す. カリ長石はパーサイ  
トで, 間隙充填状に産する. 黒雲母と角閃石は新鮮であ  
り, 内部にしばしば不透明鉱物が含まれる.

#### 8022905 片状黒雲母トータル岩

大分県東国東郡国東町黒津崎(33°32.4'N, 131°  
44.8'E)

石英: 37.1%, 斜長石: 44.6%, 黒雲母: 17.5%,  
スフェン: 0.7%, 不透明鉱物: 0.1%

混成片麻岩(大分県, 1972)とも呼ばれている岩石で,  
片状構造が顕著である. 石英は波動消光を示し, 一部は  
再結晶している. 斜長石はアンデシンで, 累帯構造は微  
弱である. 黒雲母は全般に新鮮であり, 周縁にスフェン  
を伴うことが多い.

8261509 黒雲母トータル岩

大分県東国東郡武蔵町行者岬北北西約 1 km (33° 29.4' N, 131° 43.9' E)

石英: 36.0%, カリ長石: 3.1%, 斜長石: 51.2%, 黒雲母: 9.3%, 不透明鉱物: 0.5%

等粒状中粒で、塊状の見かけを呈する岩石である。石英は波動消光を示す。斜長石はアンデシンで、弱い累帯構造を示す。カリ長石には格子状構造がよく発達している。黒雲母は軸色 Z が帯緑褐色で、周辺に不透明鉱物をしばしば伴う。

8261508 雲母片岩

大分県西国東郡大田村芋尾 (33° 28.4' N, 131° 35.0' E)

黒雲母に富む暗灰色部と珪長質鉱物に富む優白色部からなる縞状構造がよく発達している。主な構成鉱物は、石英・斜長石・白雲母・黒雲母で、少量のざくろ石・不透明鉱物を伴う。斜長石は累帯構造に乏しいオリゴクレスである。不透明鉱物は板状の微小結晶として産する。

78 Z 0301 角閃石黒雲母トータル岩

大分県宇佐郡安心院町丸田 (33° 21.2' N, 131° 24.0' E)

石英: 27.3%, カリ長石: 1.5%, 斜長石: 57.5%, 黒雲母: 10.1%, 角閃石: 3.3%, スフェン: 0.1%, 緑れん石: 0.2%

丸田花崗閃緑岩 (笠間, 1953) から採取されたもので、

角閃石・黒雲母・斜長石の定向配列が顕著な岩石である。斜長石はアンデシンで、弱いオシラトリー・ゾーニングが認められる。黒雲母・角閃石とともに新鮮で、緑泥石化はほとんど認められない。

8261801 黒雲母花崗閃緑岩

大分県上津江村兵戸峠 (33° 3.7' N, 130° 54.6' E)

石英: 23.8%, カリ長石: 13.2%, 斜長石: 53.6%, 黒雲母: 9.5%

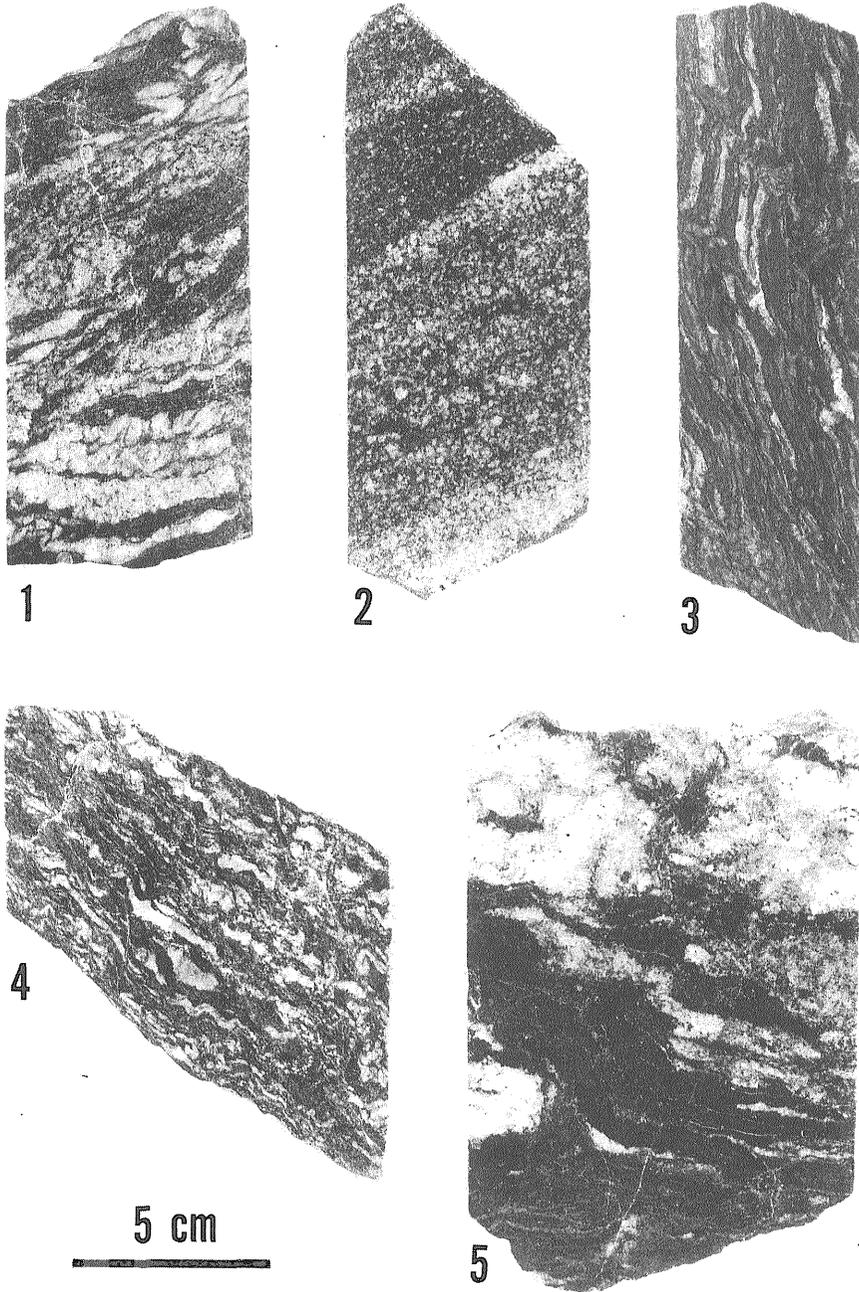
カリ長石がときおり斑状を呈する塊状の岩石である。カリ長石はパーサイトである。斜長石はアンデシンあるいはオリゴクレスで、累帯構造は微弱である。斜長石のコアは変質していることが多い。黒雲母は一部が緑泥石化に変質している。

8261809 白雲母黒雲母トータル岩

熊本県玉名市観音岳南南西約 2.5 km (32° 57.2' N, 130° 32.7' E)

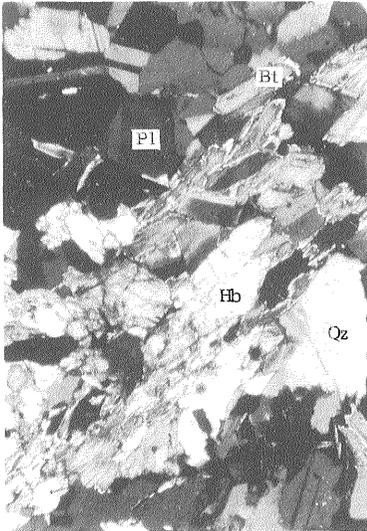
石英: 44.1%, 斜長石: 47.1%, 白雲母: 1.6%, 黒雲母: 7.3%

等粒状中粒で、塊状の見かけを呈する岩石である。斜長石はオリゴクレスで、累帯構造は微弱である。白雲母は斜長石の内部および斜長石どうしの接触部に含まれる。白雲母は周辺に方解石を伴うことがしばしばある。黒雲母は全般に新鮮であるが、一部にへき開に沿った緑泥石化が認められる。



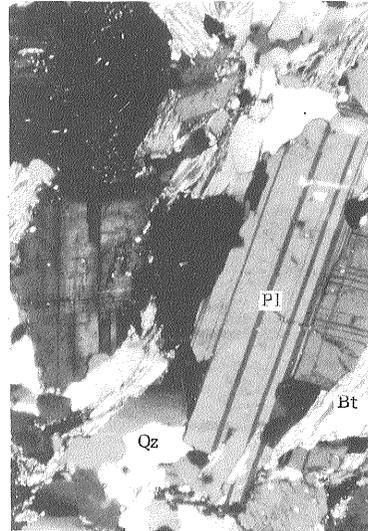
図版 I

- 1) DW-7 1667.3 m 雲母片岩
- 2) DW-7 1696.4 m 角閃石黒雲母トータル岩 (上位) と黒雲母トータル岩 (下位) の接触部.
- 3) DA-32-3 63.0 m 雲母片岩
- 4) DY-2 1985.0 m 雲母片岩
- 5) DY-3 1794.5 m 雲母片岩, 白色部は石英に富み白雲母を伴う



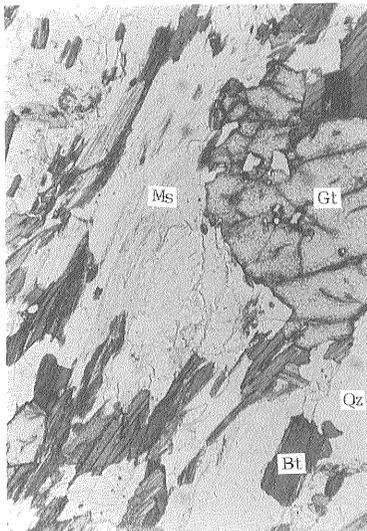
1

0.5 mm



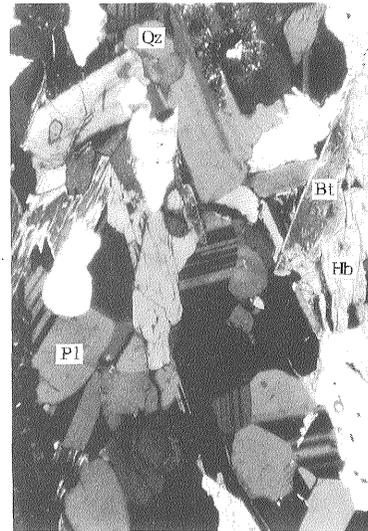
2

0.5 mm



3

0.5 mm

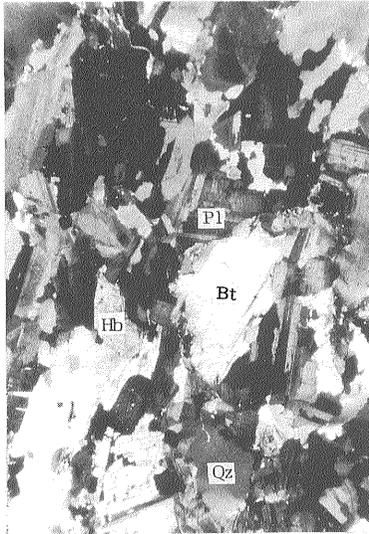


4

0.5 mm

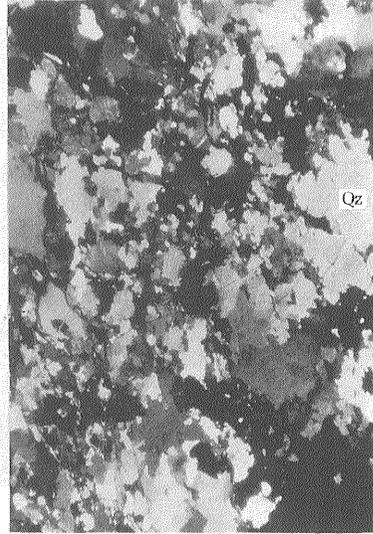
図版 II

- 1) DW-7 1669.8 m 角閃石黒雲母トータル岩. Hb: 角閃石, Bt: 黒雲母, Pl: 斜長石, Qz: 石英
- 2) DW-7 1689.4 m 黒雲母トータル岩. Bt: 黒雲母, Pl: 斜長石, Qz: 石英
- 3) DW-7 1750.4 m 雲母片岩. Gt: ザクロ石, Bt: 黒雲母, Ms: 白雲母, Qz: 石英
- 4) DY-2 2401.5 m 角閃石黒雲母トータル岩. H 6: 角閃石, Bt: 黒雲母, Pl: 斜長石, Qz: 石英



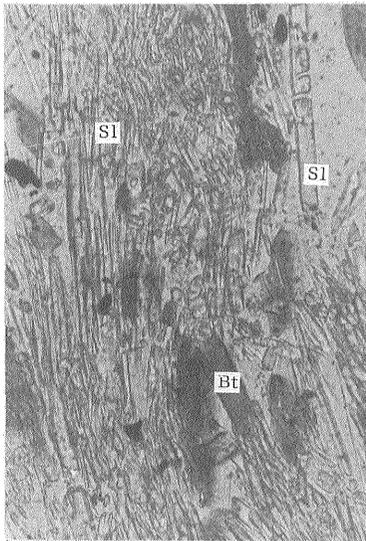
1

5 mm



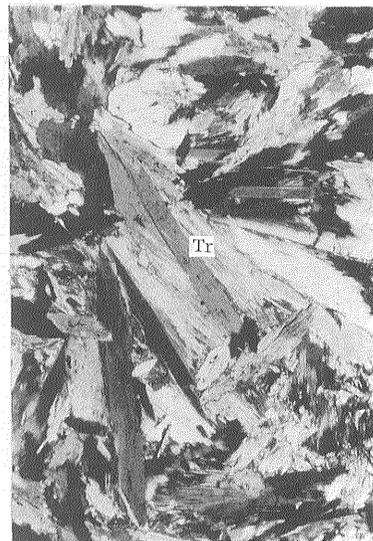
2

5 mm



3

0.1mm

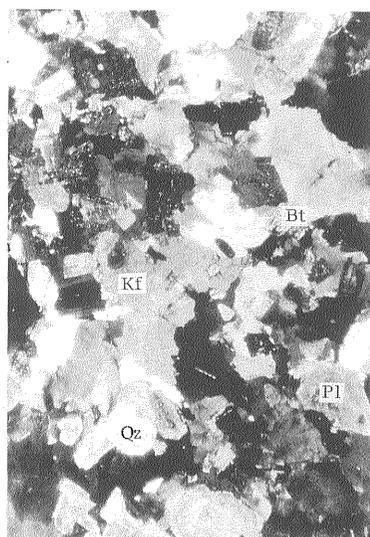


4

0.5mm

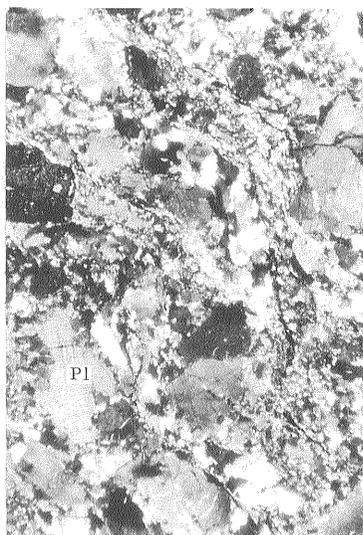
図版III

- 1) DY-3 1580 m 角閃石黒雲母トータル岩. H6: 角閃石, Bt: 黒雲母, Pl: 斜長石, Qz: 石英
- 2) DY-3 2302.5 m 石英片岩. Qz: 石英
- 3) DA-32-3 145.8 m 雲母片岩中の珪線石 (フィブライト). Sl: 珪線石, Bt: 黒雲母
- 4) 合戦群の超苦鉄質岩を構成するトレモラ閃石. Tr: トレモラ閃石



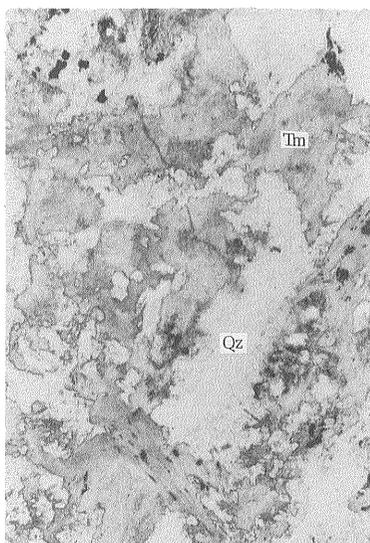
1

5 mm



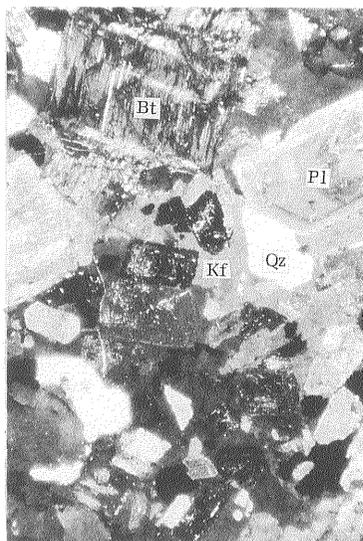
2

0.5 mm



3

0.5 mm



4

5 mm

図版IV

- 1) 阿蘇カルデラ内一の宮町の試錐 661 m からの黒雲母花崗閃緑岩. Bt: 黒雲母, Pl: 斜長石, Qz: 石英, Kf: カリ長石
- 2) Aso-4 の異質礫として産するマイロナイト. Pl: 斜長石
- 3) 小園の石英電気石岩. Qz: 石英, Tm: 電気石
- 4) 福原の豊栄試錐 457.9 m からの黒雲母花崗閃緑岩. Bt: 黒雲母, Pl: 斜長石, Qz: 石英, Kf: カリ長石