

島の内部から西海岸にかけて、島中央部には黒雲母花崗岩が広く分布する。この花崗岩は巨大な正長石を含むことで有名であり、本邦ではこのような花崗岩を産することは稀である。この正長石については木下・滝本(1939)、石川・黒田・浜口(1962)によって研究が行なわれた。その結果、この巨大な正長石を含む花崗岩は岩漿の結晶作用の過程における極端な **volatile** の濃集により、ペグマタイト形成に近い特殊な状態下で形成されたものであることが明らかにされた。花崗岩については柴田・岡田・石川(1960)による研究によって、本邦の他地域の花崗岩に比べ、とくに鉛含有量およびカリウム

に対する鉛含有量の高いことが指摘されている。

島の周辺部には頁岩・アルコース・シルト岩および砂岩からなる熊毛層が分布し、花崗岩周辺部において2~2.5kmの巾でホルンフェルスになっている。すなわち、非変成の熊毛層より花崗岩体に近づくにつれ、堇青石がスポット状に形成され、堇青石ホルンフェルスとなる。この堇青石ホルンフェルスは黒雲母を含む堇青石・黒雲母ホルンフェルスであるが、花崗岩との接触部付近では白雲母が形成され、堇青石・黒雲母・白雲母ホルンフェルスになる。

花崗岩は熊毛層に対し、非整合的に貫入している(橋本1956)が、ホルンフェルスは一般にやや片状構造を示し、走向N20~50°E、傾斜40~90°SEのものと、走向N40~60°W、傾斜40~90°SWのものが多い。一般にその片理の走向・傾斜は原岩のそれと一致している。

この度の研究の対象になった地域はとくに屋久島北東部のホルンフェルス地帯である(第1図参照)。

Ⅲ 分 析 法

主成分の定量は大木・大木・柴田(1962)によるイオン交換樹脂による化学分析によった。微量成分の定量には、浜口・黒田・根岸(1959)の方法による複内部標準を用いる発光分析法を採用した。すなわち、粉末にした岩石試料1部に対し、 Sb_2O_3 および金属パラジウムを含む黒鉛粉末2部を加えて陽極励起した。標準試料としては U. S. Geological Survey によって調整されたG—1およびW—1を使用し、試料と同様に処理した検量線作製に供した。使用した分光器は Adam Hilger E₂, 乾板校正は Pfund の鉄アーク (Ion Globule Arc) を用い、二段ステップセクター法により予備曲線を作って行なった。分析線対はつぎの通りである。

Cr 3593.488/Pd 3481.152

V 3183.982/Pd 3481.152

Ni 3414.765/Pd 3481.152

Co 3453.505/Pd 3481.152

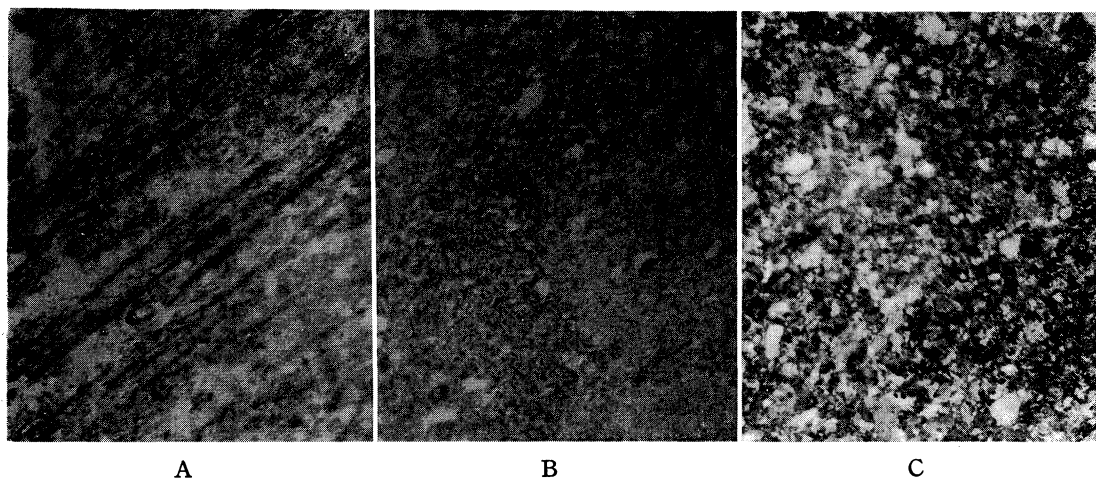
Pb 2833.069/Sb 2877.915

Ga 2943.637/Sb 2877.915

Ⅳ 分 析 試 料

分析試料は一湊川流域(第1図 a, b 間)と安房川流域(第1図の c, d 間)の約2kmにわたり採取したもので、なるべく原岩の差異のない同一岩源の頁岩を用いた。No. 1~4 は未変成頁岩、No. 5~17 は堇青石・黒雲母ホルンフェルスで、No. 18~22 は堇青石・黒雲母・白雲母ホルンフェルスである。

顕微鏡観察によれば、未変成頁岩は主に石英・斜長石からなり、そのほか、絹雲母・褐鉄鉱・緑泥石および炭質物が含まれる(第2図A)。堇青石・黒雲母ホルンフェルスになると、石英・斜長石のほ



第2図 非変成岩およびホルンフェルスの顕微鏡写真(×50)

A……非変成頁岩(平行ニコル)

B……堇青石・黒雲母ホルンフェルス(偏光ニコル)

C……堇青石・黒雲母・白雲母ホルンフェルス(偏光ニコル)

か堇青石が **porphyroblastic** に発達してくる。そのほか黒雲母・緑泥石・褐鉄鉱および磁鉄鉱を含んでおり、黒雲母は細粒で **porphyroblastic** に発達した堇青石の輪かくに沿っている。斜長石は粒状でほとんど双晶をしているものはない(第2図B)。堇青石・黒雲母・白雲母ホルンフェルスは鏡下において、完全なホルンフェルス構造を示し、石英・斜長石・黒雲母・堇青石のほか白雲母が黒雲母より形成されている。炭質物はさらに少なくなる(第2図C)。

以上の非変成岩およびホルンフェルスの22試料について、化学分析と分光分析により主成分と微量成分を定量した。

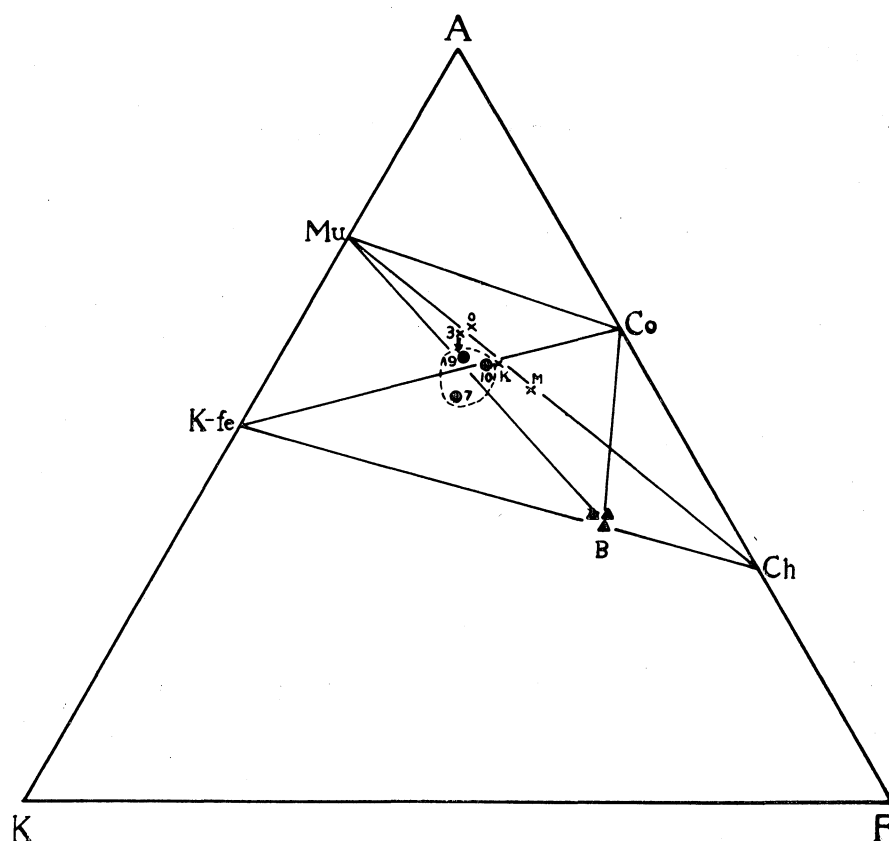
V 分析結果とその考察

(1) 鉱物成分と主化学成分との関係

変成岩の鉱物組合せは岩石の総化学成分によって強く支配されるが、この両者の関係を **AKF** 図についてみてみよう。ここで述べる鉱物組合せは、石英と斜長石がつねに存在している場合のものである。

第1表に示した原岩およびホルンフェルスの主化学成分の重量パーセントから、**Barth** の方法に従って、陽イオンの百分率に計算し、 $A = (Al + Fe''') - (Na + 2Ca)$, $F = (Fe'' + Mn + Mg)$, $K = K$ とし、 $A + K + F = 100$ になるように再び計算したものを **AKF** 図(第3図)に示す。

No. 3 はややシルト質の非変成シルト質頁岩であるが、**AKF** 図において、一般の粘土質岩と大差なく、絹雲母・緑泥石線の上にのり、日本古生代粘板岩その他の粘板岩の傾向と一致している。No. 10, 19の堇青石ホルンフェルスは白雲母・堇青石・黒雲母の三角形内に位置し、化学成分と鉱物成分の組合せがほぼ一致する。No. 7 は白雲母・カリ長石・緑泥石の三角形内に位置するが、期待されるカリ長石は鏡下において検出されない。しかし、全般的な非変成岩より堇青石ホルンフェルスへの成分変化は **AKF** 図中の矢印の方向でほぼ示される。



第3図 屋久島変成岩および非変成岩の鉱物組合せと
総化学成分との関係を示すAKF図

× 3 : 非変成頁岩 ● : 堇青石ホルンフェルス ▲ 粘板岩起源のホルンフェルス中の黒雲母 (山田, 1953)
× M : 日本古生代粘板岩の平均化学成分 (南, 1935) × K : 秩父古生層粘板岩の平均化学成分 (小出, 1958)
× O : 木曾山脈北部の粘板岩の平均化学成分 (大木, 1958)
A : 紅柱石、B : 黒雲母、Ch : 緑泥石、Co : 堇青石、K-fe : カリ長石、Mu : 白雲母

第1表 非変成岩およびホルンフェルスの主化学成分

試料 化学成分	No. 3	No. 10	No. 7	No. 19
SiO ₂	72.73	68.16	69.00	76.52
TiO ₂	0.35	0.44	0.37	0.16
Al ₂ O ₃	13.95	15.81	14.91	13.28
Fe ₂ O ₃	0.66	0.62	0.81	0.33
FeO	2.27	3.37	3.12	1.53
MnO	0.02	0.02	0.02	0.01
MgO	1.22	1.46	1.05	1.05
CaO	0.90	0.88	1.05	0.94
Na ₂ O	1.92	2.35	2.94	3.20
K ₂ O	2.48	2.65	3.35	1.84
H ₂ O+	2.53	3.53	2.22	1.24
H ₂ O-	0.72	1.00	0.52	0.36
P ₂ O ₅	0.06	0.09	0.04	0.04
Total	99.80	100.38	99.40	100.50

No. 3 非変成シルト質頁岩 (大木靖衛分析)
No. 7, No. 10, No. 19 堇青石ホルンフェルス

(2) 主 化 学 成 分

分析した試料は4つであるが、一般的傾向についてみてみよう。

(A) シリコン・アルミニウム

シリコンにはあまり著しい変化はみとめられないが、ただNo.19はとくにシリコンの量が増加している。この試料は花崗岩との接触部付近よりのもので、珪化作用を受けており、花崗岩よりシリコンの供給があったと考えられる。アルミニウムについて小出(1958)は段戸変成岩類生成の際に、アルミナエマネーションを受けたと述べており、また岡田(1956)は越喜来地方の熱変成岩は花崗岩よりアルミニウムの供給があったとしている。本地域においては一般にホルンフェルスにおいて、やや増加する傾向がみとめられるが、ただNo.19においてやや低くなっている。これはこの岩石が他のホルンフェルスに比べ珪化作用によりシリコンがもっとも多くなっている事実から考えて、おそらく、シリコンが多く供給されたため、シリコンがアルミニウムを置換して結晶格子中に入り、その結果としてアルミニウムが少なくなったと考えられる。

(B) 鉄・マグネシウム

鉄は2価、3価の鉄ともあまり顕著な変化はみとめられないが、2価の鉄および全鉄において、非変成岩No.3よりホルンフェルスNo.10、7でやや増し、No.19において減少している。この傾向は鉄と結晶化学的に性質の近似するクロム・ニッケル・コバルトにも同様の傾向がみられる。マグネシウムにはあまり規則的な変化はみとめられない。

(C) アルカリ

アルカリにおいて、ナトリウムとカリウムはそれぞれ異なった挙動を示している。すなわち、ナトリウムは一般に非変成岩より変成度の高くなるにつれて増すが、カリウムには規則的な傾向はみとめられず、接触部に近い変成度の高い試料で低濃度となっている。一方 K_2O/Na_2O についてみると、一般に変成度の高くなるにつれ減少する。この傾向は段戸変成岩類の場合と同じであり、これについて小出(1958)はアルカリエマネーションの変成帯への付加によるものでエマネーションは花崗岩に由来するとしている。それに対し、加納(1957)は濃集するナトリウムは逆に変成帯の比較的外側からカリウムと置換交替的に変成帯の内側および接触部にもたらされたと考える方が妥当であるとしている。

本地域の場合、カリウムとナトリウムは互に置換交替的な挙動を示し、migrationが行なわれたことを示しているが、その移動方向については鉛にも関係があるのでつぎの項で述べる。

(3) 微 量 化 学 成 分

第2表に微量成分の分析結果を示し、第4図に一湊・安房両地域における各微量元素の分布を示す。

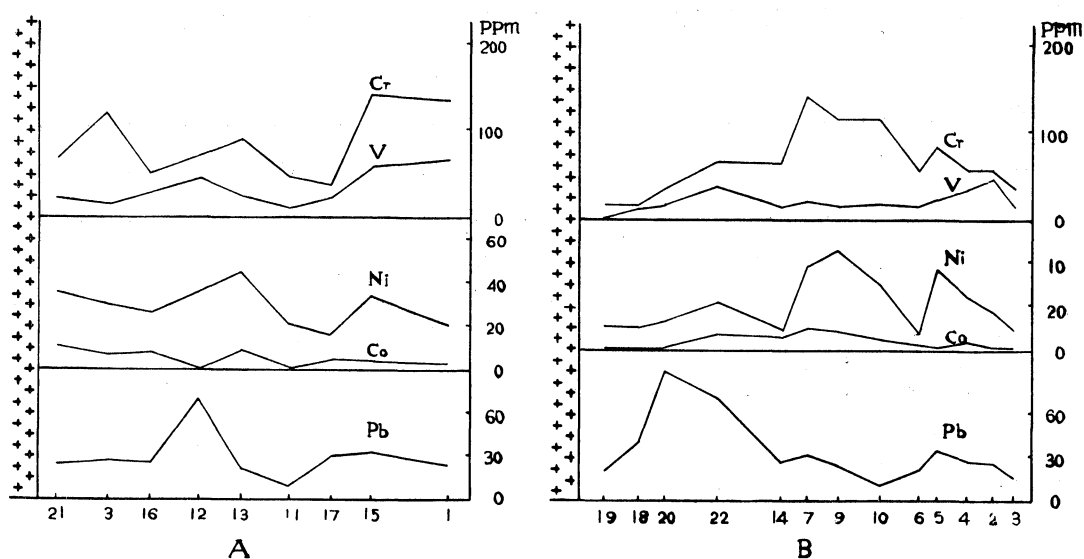
(A) 鉛

鉛は非変成岩よりホルンフェルスにおいて一般に高濃度となっている。とくに一湊地域においてはその傾向は顕著である。しかし、ごく接触部近においてやや低濃度となる傾向は両地域でみとめら

れ、これは如何なる理由によるか興味ある問題である。

平均含有量についてみると、非変成岩では 22ppm を示している。Goldschmidt (1954) は海成の頁岩の平均鉛含有量は 20ppm であるとし、また Shaw (1954) は粘土質岩石において 16.1ppm としているが、これらの値とほぼ近似している。ホルンフェルスでは堇青石・黒雲母ホルンフェルス 29ppm、堇青石・黒雲母・白雲母ホルンフェルス 47.6ppm であり、非変成岩より順次変成度の高くなるにつれ、鉛は増加している。

なお、Shaw (1954) も粘土質岩石より結晶片岩、片麻岩へと変成度の高くなるにつれ、鉛は増加すると述べている。



第4図 安房および一湊地域における Cr・V・Ni・Co・Pb の分布
A…安房地域 B…一湊地域

しかして、本地域の場合はとくにホルンフェルスにおいて鉛は濃縮しており、一方、 Pb/K_2O も同様に変成度に比例して順次、値が高くなっている。これは、花崗岩体に近づくにつれ、すなわち、変成度の高くなるにつれ、順次ホルンフェルスは花崗岩の化学的性質に近似してくることを示している。因みに、本地域の花崗岩の化学的特徴は、柴田・岡田・石川 (1960)、石川・黒田・浜口 (1962) が明らかにしたように、本邦の他地域の花崗岩に比べ、とくに鉛含有量が高く、また Pb/K_2O も高いものである。さらに、さきに述べたナトリウムのこれと同様の挙動を考え合わせると、変成過程において明らかにアルカリエマネーションの影響があったことが示される。しかして、アルカリエマネーションの由来であるが、本地域の非変成岩における鉛は一般の粘土質岩石に比べ、とくに多くないことから、明らかに花崗岩から由来したものであると考えることができる。

(B) クロウム・ニッケル・コバルト

ニッケルとコバルトは一湊・安房の両地域で互に似た分布をしているが、一湊地域における花崗岩との接触部付近の珪化作用を受けたところで、やや減少している。また、一湊地域ではクロウムとニッケルの挙動は近似している。クロウムは両地域において、かなり異なった変化を示し、はっきりした傾向はみられない。非変成岩、堇青石・黒雲母ホルンフェルスおよび堇青石・黒雲母・白雲

母ホルンフェルスにおける各平均傾をみると、クロウム (69ppm・84ppm・38ppm)、ニッケル (16.8ppm・29.5ppm・13.8ppm)、コバルト (1.5ppm・4.6ppm・3.6ppm) であり、いずれも堇青石・黒雲母ホルンフェルスに濃集しており、堇青石・黒雲母・白雲母ホルンフェルスにおいては一般に減少している。

第2表 非変成岩およびホルンフェルス中の微量化学成分 (ppm)

No. 元素	I				II													III				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Pb	24	25	14	25	34	20	30	28	24	20	10	75	22	25	34	25	30	44	20	80	24	70
Cr	130	55	36	55	80	55	140	120	90	90	46	90	90	65	140	50	36	13	15	32	65	65
V	68	45	14	34	23	13	20	15	14	17	10	45	25	14	54	30	23	12	*	15	23	36
Ni	20	16	8	23	38	6	38	30	45	29	21	36	45	18	34	26	17	*	*	12	36	21
Co	3	*	*	3	*	*	10	7	8	4	*	*	9	5	4	8	5	*	*	*	11	7
Ga	69	29	15	54	90	29	58	32	22	12	36	90	45	32	36	18	22	40	10	29	36	29

I……非変成岩

*……定量限界以下を示す

II……堇青石・黒雲母ホルンフェルス

III……堇青石・黒雲母・白雲母ホルンフェルス

岡田 (1954) は越喜来地方の粘板岩源のホルンフェルスにおいて、ニッケル・コバルトは花崗岩との接触部において増すことを述べ、また Shaw (1954) は粘土質岩より片麻岩へと変成度の高くなるにつれ、クロウム・ニッケルは減少することを明らかにしている。また、石川 (1956) は丹沢南部の結晶片岩より角閃片岩へと変成度が高くなるにつれ、クロウム・ニッケルは減少することを述べた。

以上のようにこれらの元素は地域により異なった様相を示すが、一般に動力変成作用のような交代作用の著しい場合には、変成度に反比例し含有量は減少するようであり、熱変成作用のような交代作用のあまり著しくない場合にはその傾向はあまり顕著でなく、ときに局部的な増減があのではないかと考えられる。

なお、Higazy (1952) は Scottish Highlands の変成交代作用において、 $Cr > Ni > Co$ の関係のあることを述べているが、本地域の場合もこの関係が保たれている。

(C) バナジウム

バナジウムは一湊・安房地域において比較的近似した分布様相を示し、クロウムとは安房地域において比較的似た挙動を示している。含有量の平均値についてみると、変成度の高くなるにつれ、40.1ppm・23.3ppm・17.2ppmと減少する傾向がある。

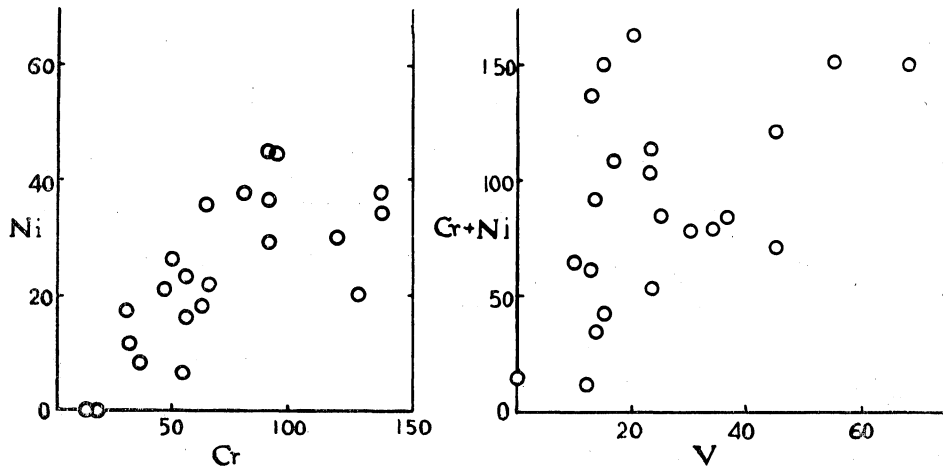
(D) ガリウム

ガリウムは変成過程において、顕著な傾向を示さない元素であるといわれているが、本地域の場合、平均値は41ppm・40.2ppm・28.8ppmと一般に変成度の高くなるにつれ減少している。

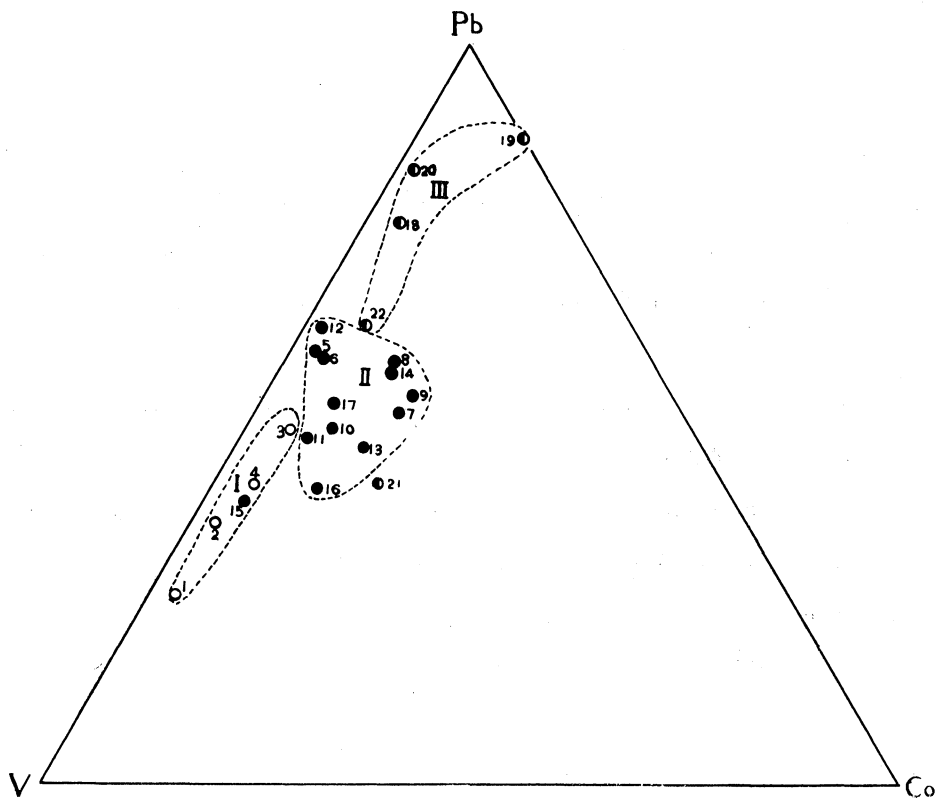
(4) 各成分元素間の相関関係

つぎに各微量成分間および微量成分と主成分との相関関係についてみると、第5図に示すように、クロムとニッケルとの間にはある程度の正の比例関係がみとめられるが、バナジウムとクロム+ニッケルとの間には、あまり規則的な相関関係はみとめられない。

鉛・バナジウム・コバルトの3元素間の関係を三角図表についてみてみると、非変成岩（I）、堇



第5図 Cr と Ni および V と Cr+Ni との関係

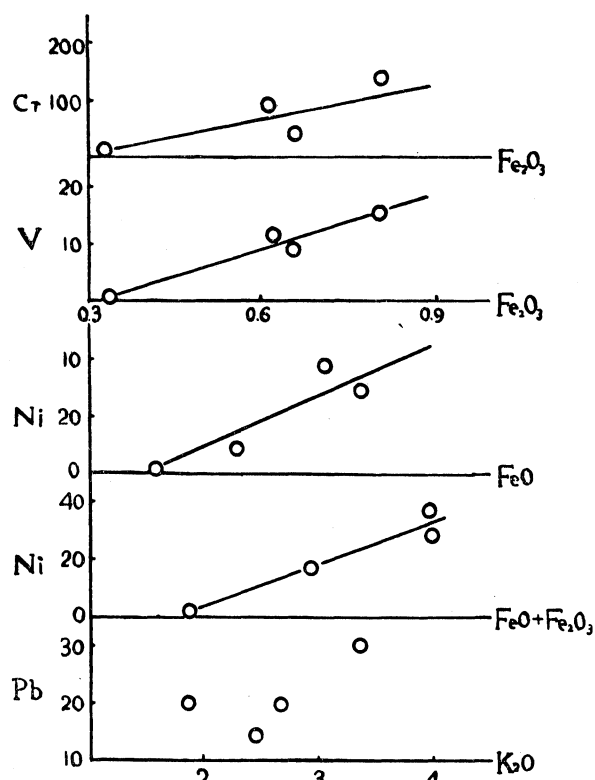


第6図 Pb, V および Co の関係を示す三角図表

- ：非変成岩 ●：堇青石・黒雲母ホルンフェルス
 ◎：堇青石・黒雲母・白雲母ホルンフェルス

青石・黒雲母ホルンフェルス (Ⅱ) 堇青石・黒雲母・白雲母 ホルンフェルス (Ⅲ) は各々個有の位置を占め、Ⅰ→Ⅱ→Ⅲと変成度の高くなるにつれ、バナジウムに対し鉛は増加し、コバルトは堇青石・黒雲母ホルンフェルスにおいてやや増加するという興味ある関係がみられる (第6図参照)。

つぎに主成分と微量成分との関係については、各元素のイオンの結晶化学的性質の互に近似する2価の鉄とニッケル、3価の鉄とクロウムおよびバナジウムとの間には、火成岩にみられると同様な



第7図 主成分と微量成分との間の相関関係

な正の比例関係がみとめられる。鉛とカリウムとは互に結晶化学的に近似する元素であり、珪化作用を受けた No.19 以外では正の比例関係がみとめられる。

以上、各化学成分の挙動について述べたが、それらをまとめて考察してみよう。

花崗岩の貫入に伴う接触変成作用は、かつて等化学的変化であると考えられていたが、近年、物質の移動、すなわち変成交代作用が行なわれることが事実として認められてきた。しかしながら、交代作用の際の物質移動の機構などに関して未だはっきり解明されていない。Dennen (1951) は接触変成作用における化学元素の migration は火成岩の冷却の歴史や母岩と火成岩の反応勾配などによって支配されると述べている。また Lapadu-Harguss (1945) は花崗岩類に関係ある変成帯における変成岩の組成は花崗岩質成分に向い原岩の如何を問わず集中していると述べている。また Barth (1952) は変成作用の過程

で排除された物質は変成帯の外側に逃げ去るのではなく、逆に花崗岩に向って移動し、花崗岩側における損失を補償するとしている。

以上のように物質の移動については種々論議がなされているが、本地域の変成作用の場合、とくにアルカリおよび鉛の地球化学的挙動の上から、変成作用の過程で花崗岩より由来するアルカリエマネーションの付加による交代作用のあったことは明らかである。その他、シリコン・アルミニウム・バナジウム・クロウムなどの各元素においても migration の行なわれたことが示されるが、その機構などについては今後に残された問題である。

VI 要 約

屋久島花崗岩の貫入により熊毛層は接触変成作用を受け、堇青石ホルンフェルスに変化し、熊毛層の非変成岩より花崗岩との接触部にかけて、変成度は順次高くなっている。

このホルンフェルスおよび非変成岩について化学分析および分光分析を行ない、その主成分と微

量成分を定量した結果、下記のような各成分元素の特徴的挙動が明らかになった。

- (1) 一般に非変成岩よりホルンフェルスにかけて変成度の高くなるにつれ、ナトリウムおよび鉛は増加し、 Pb/K_2O も高くなる。逆にバナジウム・ガリウムおよび K_2O/Na_2O は減少する。
- (2) 各試料において、クロウム・ニッケルおよびコバルトの各元素の含有量の間には、クロウム > ニッケル > コバルトの関係が保たれている。
- (3) 鉛、バナジウムおよびコバルトの間の関係を示す三角図表において、(Ⅰ) 非変成岩、(Ⅱ) 堇青石・黒雲母ホルンフェルス、(Ⅲ) 堇青石・黒雲母・白雲母ホルンフェルスは各々個有の位置を占める。また図において、(Ⅰ)→(Ⅱ)→(Ⅲ)と変成度の高くなるにつれ、鉛は増加し、バナジウムは減少し、コバルトは(Ⅱ)において、やや増す傾向がみとめられる。
- (4) 以上のことから、変成過程において、ナトリウム・鉛は付加され、バナジウム・ガリウムは取去られたものと思われる。とくに鉛とナトリウムの増加は花崗岩より派生したアルカリエマネーションの母岩への付加によるものと考えられる。

Summary

Wide development of massive biotite-granite, intruded into the late Mesozoic to early Tertiary Kumage formation, has been found in Yakushima, Kagoshima Prefecture. Around the granite mass, there are developed contact metamorphic rocks about 2 kilometers in width.

In this paper, the behavior of chemical elements during the contact metamorphism is critically commented from the geochemical standpoint of view. Chemical and spectrochemical analyses for major and minor elements are given for 4 samples of country rocks and 18 samples of hornfelses.

The results obtained are;

- (1) Na and Pb contents and Pb/K_2O ratio increase, but V and Ga contents and K_2O/Na_2O ratio decrease with increasing metamorphic grade. It is suggested that Na and Pb emanated from the granite body into the country rocks.
- (2) Close correlation of Cr to Ni, Fe^{2+} to Ni, and Fe^{3+} to both V and Cr is pointed out.
- (3) In triangular diagram showing the ratios of Pb, V and Co, the original pelitic rocks and cordierite-hornfelses occupy respectively characteristic area.

参 考 文 献

1. Barth, T.F.W. (1952): Theoretical Petrology
2. ——— (1955): Presentation of rock analyses. Jour. Geol., No.4, P.348—363
3. Dennen, W.H. (1951): Variation in chemical composition across igneous contacts. Geol. Soc. Amer. Bull., Vol.62, P.547—558
4. Goldschmidt V.M. (1954): Geochemistry

5. Hamaguchi, H., Kuroda, R. and Negishi, R. (1959): Quantitative spectrochemical determination of minor elements in silicates. *Talanta*, Vol.3, P.207—208
6. Hanzawa, S. (1935): Topography and geology of the Riukiu Islands. *Sci. Rep. Tohoku Imp.Univ.* 2nd Ser. (Geology), Vol.17
7. 橋本 勇 (1956) : 屋久島の時代未詳層群の層序とその地質構造および種子島西部の熊毛層群に関する 1・2 の事実 九州大学教養部地学研究報告, No.2, p.23—34
8. Higazy, R.A. (1952): Behaviour of trace elements in a front of metasomatic metamorphism in the Dolradian of Co. Donegal. *Geochim. Cosmochim. Acta*, Vol.2, No.3
9. 石川 秀雄 (1956) : 丹沢南部結晶片岩類の微量元素について, 鹿児島大学教育学部研究紀要, vol.8, p.34—40
10. 石川 秀雄・黒田六郎・浜口博 (1962) : 屋久島花崗岩の斑状正長石および黒雲母中の微量元素について 岩鉱雑, vol.47, No.3, p.81—85
11. 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
12. 木下 亀城・滝本清 (1934) : 鹿児島県屋久島の正長石岩鉱雑, Vol.22, No.4, p.185—200
13. Koide, H. (1958) : Dando granodioritic intrusives and their associated metamorphic complex. Marzen
14. Lapadu—Hargues, P. (1945) : Sur l'existence et la nature de l'apport chimique dans certaines series crystallophylliennes. *Bull. Soc. Geol. France*, 5, Ser.15, P.255—310
15. Minami, E. (1935) : Selen Gehalt von Europäischen Tonschiffen. *Nachrichten von Gesellschaften zu Göttingen, Math-phy. Kl. 4. Neue Folg.* 1, 12.
16. 岡田 茂 (1956) : 花崗岩貫入に伴う接触変成作用の地球化学的研究—岩手県気仙郡越喜来地方の Regional chemistry. (その2) 地質雅, Vol.62, No.735, P.688—699
17. 大木 靖衛 (1958) : 木曾山脈北部の熱変成岩類地質雅, Vol.64, No.748, P.1—12
18. Oki, Y., Oki, S. and Shibata, S. (1962): The systematic analysis of silicate rocks using ion exchange resin. *Bull. Chem. Soc. Japan*, Vol.35, P.273—276
19. Pettijohn, F. J. (1949): *Sedimentary Rocks*
20. Rankama, K. and Sahama, Th. G. (1950) : *Geochemistry*
21. Shaw, D.M. (1954): Trace elements in pelitic rocks. Part I. Variation during metamorphism. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, Vol.65, P.1151—1166
22. ————— (1954): Trace elements in pelitic rocks. Part II. Geochemical relations. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, Vol.65, P.1167—1182
23. Shibata, H., Okada, S. and Ishikawa, H. (1960) : Chemical composition of Japanese granitic rocks in regard to petrographic provinces. Part VIII, Trace elements. *Sci. Rep. Tokyo Kyoiku Daigaku, Sec.C*, Vol.7, P.23—76