隠岐島後の片麻岩・花崗岩の黒雲母にみられる アンモニウム含有量の特徴

田結庄良昭*・市原 優子**

Ammonium content of biotites in gneiss and granite in Oki Islands, Shimane Prefecture, Japan

Yoshiaki Tainosho* and Yuuko Itihara**

Abstract Ammonium content of biotites from metamorphic and granitic rocks of Oki Islands in Japan has been determined in order to examine the difference in the behavior of ammonium among two types of granitic rocks, older (Paleozoic) and younger (Tertiary), and metamorphic rocks. NH_4^+ content of biotites ranges from 29 to 94 ppm (average, 61 ppm) in the younger granites, 64 to 233 ppm (average, 149 ppm) in the older granites, and 67 to 88 ppm (average, 80 ppm) in the metamorphic rocks, mainly gneisses.

The difference of the NH_4^+ content between the two types of the granites is consistent with the inference drawn previously from geological studies that the older granites are metamorphic origin, and the younger granites are magmatic origin. In the older granites, the high NH_4^+ content of their biotites is due to the metamorphic fluid enriched in NH_4^+ . As compared with biotites in the Ryoke granitic rocks, the level of the NH_4^+ content of biotite is high in the older granites. On the other hand, biotites from gneisses of Oki Islands contain less NH_4^+ than those from Ryoke metamorphic rocks (amphibolite facies). These facts suggest that NH_4^+ in biotite has been liberated from the Oki metamorphic rocks during the high grade metamorphism (granulite facies) and the liberated NH_4^+ caused the enrichment of NH_4^+ in the biotites of the older granites.

Key words : Oki granite and gneiss, ammonium content, biotite, Ryoke metamorphic rock, granulite facies

はじめに

Itihara & Honma(1979)は、領家変成帯の変成岩と花崗岩について黒雲母の NH_4^+ を定量し、変成岩の値が花崗岩の値に比べ高いことを見いだした。変成岩の黒雲母がもつ高濃度の NH_4^+ は変成前の堆積岩から引き継いだものであると考えられている(市原, 1978)。また、同研究はミグマタイトの黒雲母が片麻岩のものに比

べてさらに高い NH_4^+ 含有量をもつことをも報告し、これは、ミグマタイトの形成にあずかった fluid 中に変成岩から離脱した NH_4^+ が濃集していたためであると推定した。しかし、その挙動についてはふれていない。

田結庄・市原(1988)は、オーストラリア(ラクラン褶曲帯)の S タイプ花崗岩の黒雲母の NH_4^+ 含有量が I タイプ花崗岩のそれに比べ高いことを見だし、S タイプ花崗岩が堆積岩の部分熔融で生じたマグマより形成されたという説(Chappell & White, 1974)と矛盾しないことを報告している。また、ラクラン褶曲帯のクーマ地域では変成度が高くなるにつれ、変成岩の黒雲母の NH_4^+ 含有量が減少する現象がみられ、変成温度の上昇に伴う

1990 年 9 月 4 日受付, 1991 年 2 月 25 日受理.

* 神戸大学教育学部地学教室, Department of Geology, Faculty of Education, Kobe University, Nada-ku, Kobe 657, Japan.

** 大阪府吹田市藤白台 2-5-11, Fujishirodai, Suita City, Osaka 565, Japan.

Fig. 1. Geological map of the northeastern part of Dogo, Oki Islands (after Kobayashi *et al.*, 1980).

The area bounded by solid line is the surveyed area. Fig. 2 and Fig. 3 show Fuse and Araki area, respectively.

NH_4^+ の離脱が推定されている(田結庄・市原, 1988).

隠岐の変成岩は、初期のグラニュライト相に達する変成作用と後期の角閃岩相の2回の変成作用をこらえて生じたもので、広般なミグマタイト化もみられる(太田, 1963; Hoshino, 1979; 小林ほか, 1980). 変成温度は変成岩から NH_4^+ が離脱すると考えられる 800°C に達する(Hoshino, 1979). また、泥質片麻岩はその粗粒部分から漸移してミグマタイトをへて古期花崗岩に移化するなど、変成岩からの NH_4^+ の離脱や花崗岩への NH_4^+ の添加を検討するのに都合がよい.

そこで、隠岐島後の片麻岩、ミグマタイト、古期および新期花崗岩の黒雲母の NH_4^+ 含有量を測定し、変成作用の進行から花崗岩の形成に至る一連の過程において NH_4^+ がいかに挙動するかを検討した.

本論文では、その結果を報告する.

試料と試料採取地域の地質

試料を採取した隠岐諸島の島後には飛驒帯に属する片麻岩類や花崗岩類が露出する(Fig. 1). これら岩石の概略については、Tomita(1936)によりまとめられている. その後、太田(1963), Hoshino(1979), 小林ほか(1980)などにより、変成岩類を中心に詳細に検討され、花崗岩については田結庄ほか(1991)により報告された. これらによると、変成岩類は前期の角閃岩相からグラニュライト相への変成作用と、後期の角閃岩相に達する2回の変成作用により生じたと考えられている. 変成作用の温度、圧力条件は前期で約 800°C , 後期で $580\text{--}630^\circ\text{C}$ で、 $3\text{--}4\text{ kb}$ と考えられる(Hoshino, 1979).

変成岩は主に、泥質-砂質片麻岩とミグマタイト質片麻岩からなり、その他に眼球片麻岩、塩基性片麻岩および石灰質片麻岩を含む(太田, 1963; Hoshino, 1979).

Fig. 2. Sampling locality map of the Fuse area.

Geological data from Tainosho *et al.* (1991). Numbers show sample localities and correspond to those listed in Table 1. A topographic map "Saigo", 1:50,000 in scale.

泥-砂質片麻岩は主に石英、カリ長石、斜長石、ざくろ石、黒雲母、珪線石などからなる。ミグマタイト質片麻岩は泥-砂質片麻岩の粗粒部から漸移して産し、主に斜長石、石英、カリ長石、黒雲母、白雲母、ざくろ石などからなる。これまでミグマタイト質片麻岩の粗粒部や花崗岩質ミグマタイトとされてきたもの(太田, 1963; Hoshino, 1979)は、中粗粒で半自形完晶質の花崗岩組織をもち、片麻岩とは明瞭な境界をもって接しているので、ミグマタイト部分と区別して、本報告では田結庄ほか(1991)に従い古期花崗岩として扱う。

古期花崗岩は片麻岩の片麻面に沿って貫入しており、幅数 10 cm-10 数 m の脈状-岩脈状に産する。一般に粗粒、片麻状で石英やカリ長石が多く、有色鉱物の少ないアダメロ岩が主体をなす。他にカリ長石が眼球状をなす花崗岩や細粒で片麻状構造の弱い花崗岩、ペグマタイト質花崗岩などからなる。さらに、これら花崗岩が局部的に圧砕作用を受けた圧砕質花崗岩がみられる。全体に優白質岩相が卓越し、黒雲母の容量比は 3-9% の範囲にある。古期花崗岩はその産状、岩質から古生代の飛驒帯の灰色花崗岩に対比される(田結庄ほか, 1991)。

隠岐には上記の古期花崗岩のほかに、塊状で変成岩の構造を切って貫入する花崗岩がある(Fig. 2)。細粒完晶質、半自形組織をもち、岩石に方向性がない。一部の小

規模岩体では基質全体に文象組織の発達する文象斑岩である。これらの花崗岩を田結庄ほか(1991)は新期花崗岩とした。新期花崗岩はそのカリ長石の K-Ar 年代が約 20 Ma で、第三紀中新世の花崗岩と考えられる(田結庄ほか, 1991)。

一方、片麻岩の年代は K-Ar 年代から 165 Ma, 173 Ma とされてきたが(Shibata & Nozawa, 1969), 最近、田中・星野(1987)により、塩基性片麻岩の Sm-Nd の全岩アイソクロン年代が測定され、我が国で最も古い約 2000 Ma の値が得られている。

試料を採取した地域は新期および古期花崗岩が主にまとまって分布する布施村付近(Fig. 2)と、片麻岩からミグマタイトをへて花崗岩へと岩相の移行が顕著にみられる有木付近である(Fig. 3)。試料採取地点を Figs. 2, 3 に示した。

布施村付近で採取した岩石は新期花崗岩に属する細粒黒雲母花崗岩、優白質黒雲母花崗岩、文象質花崗岩、文象斑岩と、古期花崗岩に属する片麻状黒雲母花崗岩、ペグマタイト質黒雲母花崗岩、粗粒黒雲母花崗岩である。他に、ざくろ石黒雲母片麻岩、ミグマタイトを採取した(Fig. 2)。

有木付近で採取した岩石は黒雲母片麻岩、ざくろ石黒雲母片麻岩、石英長石質片麻岩、ミグマタイト、塩基性

Fig. 3. Sampling locality map of the Araki area.

Geological data from Tainosho *et al.* (1991). Numbers show sample localities and correspond to those listed in Table 1. A topographic map "Saigo", 1 : 50,000 in scale.

片麻岩である。他に、古期花崗岩に属する眼球状花崗岩と圧碎質花崗岩を採取した(Fig. 3)。

黒雲母の分離と NH_4^+ 含有量の測定

黒雲母は岩石からハンドピックで取り出し、電磁分離機と重液を用いて精製した。純度は90%以上である。これを分析試料とした。黒雲母のアンモニウム含有量はStevenson(1960)の方法によって測定した。ただし、アンモニウムイオン濃度の比色に際しては、ネスラー試薬を用いず、インドフェノールを用いた。アンモニウムの分析誤差は約1 ppmである。

分析結果

試料の NH_4^+ 含有量を Table 1 に示す。

花崗岩類：新期花崗岩類から分離した黒雲母は8試料で、29-94 ppm、平均 61 ppm の NH_4^+ を含有する (Table 1)。布施村付近では、新期花崗岩の主岩相である細粒黒雲母花崗岩は 70, 72, 76 ppm であるのに対し、文象質花崗岩や文象斑岩では 45, 66 ppm とやや主岩相に比べ低い。古期花崗岩からの黒雲母は7試料で 64-233 ppm の幅広い NH_4^+ 含有量を示す。そのうち布施村付近から採取した試料(4試料)の NH_4^+ 含有量は 64, 167, 171, 233 ppm と同地域の新期花崗岩に比べ、著しく高い値を有する。有木地域の3試料の値は 76, 98, 191 ppm で、新期花崗岩に比べるとやはり高い。古期花崗岩類全体の平均は 149 ppm である。

変成岩類：泥-砂質片麻岩の黒雲母の NH_4^+ 含有量は4試料で 67-88 ppm で、平均は 80 ppm である。ま

Table 1. NH_4^+ content of biotites with description of the rocks.

Sample No.	Description	NH_4^+ (ppm)	Average
Younger granitic rocks			
F-1	fine-grained biotite granite (Fuse Mura)	76	
M-12	fine-grained biotite granite (Fuse Mura)	72	
M-17	fine-grained biotite granite (Fuse Mura)	70	
U-4b	leucocratic biotite granite (Fuse Mura)	94	61
U-15	leucocratic biotite granite (Fuse Mura)	48	
U-19	leucocratic biotite granite (Fuse Mura)	29	
U-5	granophyric biotite granite (Fuse Mura)	66	
U-7	granophyre (Fuse Mura)	45	
Older granitic rocks			
U-2	coarse-grained biotite granite (Fuse Mura)	233	
M-7	pegmatic biotite granite (Fuse Mura)	171	
U-9	gneissose biotite granite (Fuse Mura)	167	
M-9	gneissose biotite granite (Fuse Mura)	64	149
A-2	gneissose biotite augen granite (Araki)	191	
A-4	gneissose biotite augen granite (Araki)	76	
H-4	sheared granite (Araki)	98	
Metamorphic rocks			
M-19	garnet biotite gneiss (Fuse Mura)	88	
A-5	garnet biotite gneiss (Araki)	75	80
A-3	biotite gneiss (Araki)	67	
A-7	quartz feldspathic gneiss (Araki)	88	
U-3	migmatite (Fuse Mura)	165	127
A-6	migmatite (Araki)	89	
H-3	amphibolite (Araki)	39	

た、ミグマタイト2試料の値は 89 ppm と 165 ppm で、165 ppm という値は古期花崗岩の高い値に匹敵する。塩基性岩源の変成岩(角閃岩)の黒雲母は 39 ppm と低い値をもつ。

Fig. 4. NH_4^+ content of biotites from granitic and metamorphic rocks. Data for Australian granitic and metamorphic rocks are from Tainosho & Itihara (1988). Data for Ryoke granitic rocks are from Itihara & Honma (1979).

したがって、全体としてみると塩基性岩源変成岩、新期花崗岩、片麻岩、ミグマタイト、古期花崗岩の順に NH_4^+ 含有量が高くなる傾向がある (Fig. 4)。

変成岩と古期花崗岩が最も顕著に分布する有木付近に限って分析値を検討すると、 NH_4^+ 含有量は塩基性変成岩で 39 ppm、泥-砂質の片麻岩では 67, 75, 88 ppm、ミグマタイトで 89 ppm、古期花崗岩で 76, 98, 191 ppm と、塩基性変成岩、泥-砂質片麻岩、ミグマタイト、古期花崗岩の順に、含有量が増加するようすが明瞭に認められる。

考 察

1. 新期・古期花崗岩間での黒雲母の NH_4^+ 含有量の相違

新期花崗岩の黒雲母の NH_4^+ 含有量は 29-94 ppm の比較的狭い範囲で変化し、平均 61 ppm を示すのに対し、古期花崗岩の黒雲母のそれは 64-233 ppm と広い範囲にわたり、しかも、その平均は 149 ppm と高い値を有する。この違いを両花崗岩の生成条件と関係づけて考察すると次のように解釈できる。

古期花崗岩は片麻岩中に脈状、網状に産し、一部ではミグマタイト質片麻岩へと漸移している。また、片麻岩には熱変成を与えていない。これらの産状を重視して太田(1963)は古期花崗岩を、hydrous な物質が片麻岩に供給され、片麻岩の斜長石、黒雲母が消費されて、新たに白雲母、カリ長石、石英、緑泥石が加わり形成された一種の交代変成岩としている。柳井地域領家帯におい

て、交代作用を進める hydrous 物質には、ミグマタイトが高い NH_4^+ を有することから推察されるように、変成岩から離脱した NH_4^+ が濃集していると考えられている (Itihara & Honma, 1979)。隠岐島後の古期花崗岩は hydrous 物質を伴う変成岩類の交代作用で形成されたため、交代作用の過程で NH_4^+ に富む hydrous 物質が添加され、高い NH_4^+ 含有量をもつに至ったと考えられる。

古期花崗岩では黒雲母の NH_4^+ 含有量に大きい幅がある (Fig. 4)。特に、明らかに hydrous 物質が多量に関与して形成されたペグマタイト質花崗岩では 171 ppm、また、交代作用がより進んだ塊状の粗粒黒雲母花崗岩で 233 ppm と高い値をもっている (Table 1)。これは古期花崗岩がその交代作用の程度により、片麻状構造の著しい片麻岩様の細粒岩から、交代作用が進み塊状、粗粒を呈する岩石まで種々の段階の岩石からなっていることに関係している。すなわち、原岩石への hydrous 物質の添加の程度により、新しく形成される黒雲母の NH_4^+ 含有量が異なると考えられる。

一方、新期花崗岩は中新世の花崗岩で、深部で形成されたマグマが地表近くで貫入した火山-深成岩体と考えられている (田結庄ほか, 1991)。そのため、新期花崗岩は変成岩との相互作用もあまりなく、変成岩からの NH_4^+ の添加もごく軽微と予想される。それ故、新期花崗岩の黒雲母は古期花崗岩のものに比べ低い NH_4^+ 含有量をもつに至ったと考えられる。

このように、古期花崗岩と新期花崗岩の黒雲母間にみ

られる NH_4^+ 含有量の差は両花崗岩の形成条件の差と考えると矛盾なく解釈できる。

2. 変成岩から花崗岩への NH_4^+ の濃縮

市原(1978), Itihara & Honma(1979)は領家変成岩の中で特にミグマタイトの黒雲母が高い値を有することを報告している。その原因として、変成作用がより進行する過程で変成岩から離脱した NH_4^+ が hydrous 物質中に濃集し、それらがミグマタイト形成にかかわったため、ミグマタイトの黒雲母の NH_4^+ 含有量が著しく高くなったとしている。同様の現象は隠岐島後のミグマタイトでもみられる。片麻岩からミグマタイトをへて花崗岩へと岩相の移行が顕著にみられる有木付近の試料の分析値をみると、黒雲母の NH_4^+ 含有量は片麻岩の 67, 75, 88 ppm(平均 77 ppm)からミグマタイトの 89 ppm をへて古期花崗岩の 76, 98, 191 ppm(平均 122 ppm)へと岩相が変わるにつれ高くなる傾向が認められる。これは変成作用が進むにつれ、変成岩類の NH_4^+ の離脱が進み、離脱した NH_4^+ が hydrous 物質中に濃縮されてミグマタイトに添加され、さらに変成作用が進み花崗岩化作用へと転じたとき、 NH_4^+ は hydrous 物質を媒体として花崗岩へと添加していったことを示す。このように、古期花崗岩の黒雲母が変成岩の黒雲母よりも高い NH_4^+ 含有量を示すのは、変成岩から離脱した NH_4^+ の hydrous 物質への濃縮によって説明することができる。

3. 領家帯の岩石との比較

この研究で得られた分析値を、変成度の異なる領家帯の変成岩・花崗岩について得られた値(Itihara & Honma, 1979, 1983)と比較すると、変成岩からの NH_4^+ の離脱や、花崗岩への NH_4^+ の添加のようすがはっきりする。変成岩と花崗岩とにわけて以下に比較する。

3-1. 変成岩

隠岐の泥質片麻岩の黒雲母の NH_4^+ 含有量をみると、平均 80 ppm で、この値は領家帯の変成岩の大部分が 150 ppm 以上の高い値を有するのに比べ(Itihara & Honma, 1979), かなり低い(Fig. 4)。

Karyakin *et al.*(1973)は雲母の加熱実験から雲母中の NH_4^+ の離脱は 800-900°C で最高であると報告している。一方、Higashi(1982)は砥部石の示差熱分析から、 NH_4^+ の離脱は 500°C から 650°C の間にあると報告している。したがって、雲母鉱物の NH_4^+ はかなりの高温に耐えるけれども 600°C を越すような熱には不安定であると思われる。

隠岐の片麻岩は 600-800°C のグラニュライト相-角

閃岩相上部に達する変成作用を受けており(Hoshino, 1979), 変成岩の一部は部分溶融を起こし、黒雲母中の NH_4^+ は不安定となったと思われる。一方、領家帯の変成岩は角閃岩相に相当する変成作用を受けており、その温度・圧力条件は伊那-塩尻地域(領家帯の中で比較的高い変成作用を受けた地域)で、約 650°C 前後、約 2.5-3.5 kb, あるいは 4-5 kb と推定されている(Ono, 1977; Hayama, 1981)。この変成作用は隠岐の変成作用より明らかに変成温度が低い。650°C 前後の温度条件では黒雲母の NH_4^+ は不安定になり結晶から離脱してよいが(Higashi, 1982), 領家帯の多くの変成岩類はこれより低い温度で形成されているので、黒雲母中の NH_4^+ の多くは黒雲母中にとどまりやすかったと思われる。このような変成作用の温度条件の差異が隠岐の変成岩類の NH_4^+ 含有量が領家帯の変成岩類のものに比べ低い主な理由と考えられる。

ミグマタイトは隠岐の試料も領家の試料も片麻岩より高い値をもつ。前述したようにこれはどちらの場合も、堆積岩・変成岩から離脱した NH_4^+ の添加によるのであろう。

なお、オーストラリアのクーマ地域の変成岩の黒雲母の NH_4^+ 含有量は片岩の 113 ppm から片麻岩の 88 ppm をへて、ミグマタイトの 43-51 ppm へと移り変わり(Fig. 4), 逆にミグマタイトの方が、片麻岩より低い値をもつ(田結庄・市原, 1988)。これは変成作用が進むにしたがって、黒雲母中の NH_4^+ が不安定となり変成岩から離脱するため、その NH_4^+ 含有量が低くなりミグマタイトで最低となったことを示している。

NH_4^+ の挙動に関してはおそらく地質条件に関係して、堆積岩や変成岩から離脱した NH_4^+ が散逸して岩石に残らない場合と、hydrous 物質中に溶けてミグマタイトの形成に使われる場合があるのであろう。

3-2. 花崗岩

領家帯の花崗岩 10 試料の黒雲母の NH_4^+ 含有量は平均 67 ppm である(Fig. 4)(Itihara & Honma, 1979)。一方、隠岐の古期花崗岩の黒雲母の値は平均 149 ppm である。このように、隠岐の古期花崗岩の黒雲母は領家花崗岩のものより明らかに高い NH_4^+ 含有量を示す。

隠岐の古期花崗岩の高い NH_4^+ 含有量は、前述(3-1)したように、この花崗岩が変成岩の交代作用により形成された一種の交代変成岩であることに起因する。もし、古期花崗岩が単純に変成岩の部分溶融によりマグマから形成されたとするなら、オーストラリアの S タイプ花崗岩にみられるように(Fig. 4), 変成岩中の NH_4^+ の多くは散逸し、古期花崗岩のように高い NH_4^+ をもつに

至らなかったと考えるからである。

謝辞：神戸市鶴甲の藤田智子氏には黒雲母の分離およびアンモニウム分析の援助を受けた。記して謝意を表する。

文 献

- Chapell, B. W. and White, A. J. R., 1974, Two contrasting granite types. *Pacific Geology*, 8, 173-174.
- Hayama, Y., 1981, Depth of metamorphism and granite emplacement in the Ryoke belt. In Hara, I., ed., *Tectonics of Paired Metamorphic Belts, Symposium Hiroshima 1981*, Tanishi Print Kikaku, 73-76.
- Higashi, S., 1982, Tobelite, a new ammonium dioctahedral mica. *Mineral. Jour.*, 11, 136-148.
- Hoshino, M., 1979, Two-pyroxene amphibolites in Dogo, Oki Islands, Shimane Japan. *Jour. Japan. Assoc. Min. Petr. Econ. Geol.*, 74, 87-99.
- 市原優子, 1978, 変成岩中の黒雲母にみられるアンモニウム. 地質学論集, no. 15, 233-244.
- Itihara, Y. and Honma, H., 1979, Ammonium in biotite from metamorphic and granitic rocks of Japan. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 43, 503-509.
- and ———, 1983, Content and origin of ammonium in biotites of granitic and metamorphic rocks. In S. S. Augustithis, ed., *The significance of trace elements in solving petrogenetic problems and controversies*, Theophrastus Publications S. A., Athens, 431-444.
- Karyakin, A. V., Voeynets, V. F. and Kriventsova, G. A., 1973, Investigation of nitrogen compounds in micas by infrared spectroscopy. *Trans. Geochem. Int.*, 10, 326-329.
- 小林英夫・松本徹夫・星野光雄, 1980, 隠岐島後. 日本地質学会第 87 年年会, 見学旅行案内書, 1-39.
- Ono, A., 1977, Temperature and pressure of the Ryoke gneiss estimated by garnet-cordierite geothermometer. *Jour. Japan. Assoc. Min. Petr. Econ. Geol.*, 72, 114-117.
- 太田昌秀, 1963, 隠岐変成岩類. 岩鉱, 49, 189-205.
- Shibata, K. and Nozawa, T., 1969, K-Ar ages of Hida metamorphic rocks, Amo-Tsunokawa area and Oki area, Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, 17, 410-435.
- Stevenson, F. J., 1960, Micro-determination of nitrogen in rocks and silicate minerals by sealed tube digestion. *Analyt. Chem.*, 32, 1704-1706.
- 田結庄良昭・市原優子, 1988, オーストラリアの I タイプ・S タイプ花崗岩の黒雲母にみられる NH_4^+ 含有量の違い. 地質雑, 94, 749-756.
- ・柴田 賢・内海 茂, 1991, 島根県隠岐島後の花崗岩類. 地質雑, 97, 53-60.
- 田中 剛・星野光雄, 1987, 隠岐変成岩の Sm-Nd 年代とその地質学的意義. 日本地質学会第 94 年学術大会演旨, 369.
- Tomita, T., 1936, Geology of Dogo, Oki islands, in the Japan sea. *Jour. Shanghai Sci. Inst.*, 2, 37-146.

(要 旨)

田結庄良昭・市原優子, 1991, 隠岐島後の片麻岩・花崗岩の黒雲母にみられるアンモニウム含有量の特徴. 地質雑, 97, 529-535. (Tainosho, Y. and Itihara, Y., 1991, Ammonium content of biotites in gneiss and granite in Oki Islands, Shimane Prefecture, Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, 97, 529-535.)

日本の隠岐諸島の変成岩と花崗岩の黒雲母の NH_4^+ 含有量は新期花崗岩で 29-94 ppm (平均 61 ppm), 古期花崗岩で 64-233 ppm (平均 149 ppm), 変成岩, 主に片麻岩で 67-88 ppm (平均 80 ppm) である. 花崗岩の NH_4^+ 含有量の差は, 古期花崗岩が交代作用起源で, 新期花崗岩がマグマ起源であるというこれまでの地質学的研究から導かれた結論と矛盾しない. 古期花崗岩における黒雲母の高い NH_4^+ 含有量は, 変成作用が進むにつれ, 変成岩類の NH_4^+ の離脱が進み, hydrous 物質中に濃縮され, それらが花崗岩形成にかかわったためと考えられる. 領家帯と隠岐の花崗岩を比較すると, 隠岐の古期花崗岩の黒雲母は領家帯花崗岩のものより高い NH_4^+ 含有量を示す. 他方, 隠岐の変成岩の黒雲母は領家帯の変成岩のものより低い NH_4^+ 含有量を示す. これらの事実は, 黒雲母の NH_4^+ がグラニュライト相に達する高度変成作用によって隠岐変成岩から離脱されたことを示している.