マイクロパーサイト中での加熱に伴う K, Na 及び Ca イオンの挙動*

Diffusion of K, Na and Ca ions in micropertthite on heating

中 野 聰 志 (Satoshi Nakano)**

1. は じ め に

Gehard (1861) が, Canada, Ontario, Perth 産のものを記載して以来, アルカリ長石のパーサイト構造は, 多くの研究者により解明されてきた。

1921年に, Kozu & Endo は, セイロン産と朝鮮産の月長石 (クリプトパーサイト) のラウエ写真をとり, これらが格子パラメーターを異にする二種の格子から成ることを示した。さらに, セイロン産のものを加熱していくと, 二種の格子を示す二つのラウエ斑点が次第に接近し, 1060°C と 1150°C との間では一つの斑点になることを明らかにした。この実験は, パーサイトの研究において画期的なもので, その後の Spencer (1937) に代表される多くの加熱実験, 又それ以後発展した X 線的研究の先駆となった。又, Vogt (1905) 以来考えられていたパーサイト生成における離溶の現象が, 以後広く認められるようになった。他方, Andersen (1928) は, パーサイトの起源は多様であるとの見解を示し, ペグマタイト中の各種パーサイトを分類し, それらの成因について論じた。Alling (1932) も, この所説を支持し, パーサイトの起源の多様性を論じた。又, Alling (1938) は, パーサイトをラメラの形と大きさに基いて stringlet から patch までの 8つの型に分類し, それらの生成を離溶と置換の 2つの機構をもとに論じた。

最近, 離溶の機構は, 連続, 不連続, スピノーダルの三種にさらに区別されるようになったが, パーサイトの生成・成長は, 大きく分けると, 次の 3つの機構によると考えられる (Ramberg, 1972)。

* 昭和 47・48 年度鉱物学会年会及び三鉱学会秋季連合学術講演会において発表

** 滋賀大学教育学部

(1) 離溶 (2) 置換 (3) マグマからの同時晶出。この中で、最近、電子顕微鏡によって研究されてきた (McConnell, 1969, 1971, etc.) 離溶が基本的な機構として考えられるが、より大きなより複雑なラメラを持つパーサイトの生成及び成長については未だはっきり解明されておらず、今後の問題が残されている。

さて、離溶と置換の機構においては、パーサイト形成時に、 $K \cdot Na \cdot Ca$ イオンの移動が起る。しかし、アルカリ長石中でのこれらのイオンの移動についての研究は少ない。この点を考え、パーサイトの生成機構を明らかにするため、本論ではアルカリ長石中での K, Na, Ca イオンの移動現象とその移動の機構を論ずることにする。試料として、観察が比較的容易であるマイクローパーサイトを用い、研究方法として、主に X 線マイクロアナライザー (以下 EPMA とする) 及び X 線回折・偏光顕微鏡を使用した。

2. 実 験

i) 実験試料

本実験に用いた試料は、大津市南郷の花崗岩質ベグマタイト中に産する正長石マイクローパーサイトと福島県石川の同型ベグマタイト中に産する微斜長石マイクローパーサイトである。両試料の化学組成、光軸角及びワイゼンベルグ法によって求めた格子定数は、第 1 表及び第 2 表の通りである。なお、格子定数は、かなりの diffuseness を含む回折斑点の中心を測定点として得たものである。

南郷パーサイト このパーサイトの鏡下での支配的な組織は第 1 図に示してある。しかし、全体がこの様な組織ではなく、第 2 図に模式的に示した様に、アルバイトラメラの形態、大きさ、方向は場所により違う。これは、Tuttle (1952) の分類によると、若干のパーサイトを含むマイクローパーサイトである。又、Andersen (1928) の分類によると、“vein” パーサイトにあたるとされる。ホストの K 相は、粉末 X 線回折チャートで 131 のピークの分離がないこと、格子定数及び光軸角から見て、正長石である。ラメラの Na 相は、アルバイト式集片双晶をしている。包有物として、わずかの黒雲母及び白雲母が鏡下で見られる。

石川パーサイト このパーサイトの鏡下での組織は第 1 図の様である。

第 1 表 化学組成 (R=Al, Fe⁺³, Ti)

	NANGO	ISHIKAWA
SiO ₂	62.33%	64.45%
R ₂ O ₃	22.57	20.26
MgO	0.14	0.18
CaO	0.81	0.71
K ₂ O	12.89	13.24
Na ₂ O	2.45	2.05
H ₂ O ⁻	—	0.10
Total	101.19	100.99
mol%	Or ₇₄ Ab ₂₂ An ₄	Or ₇₈ Ab ₁₈ An ₄

分析者：中野聰志

第 2 表 格子定数及び光軸角

		a (Å)	b (Å)	c (Å)	α	β	γ	2V
NANGO	K-phase	8.54 ±0.04	12.92 ±0.06	7.20 ±0.01	90°01' ±5'	115°55' ±10'	89°55' ±10'	(-)56°±2°
	Na- *	8.12	12.73	7.20	93°55'	117°04'	87°56'	(-)81.5°±1°
ISHIKAWA	K-	8.55 ±0.04	12.96 ±0.06	7.22 ±0.01	90°41' ±5'	115°58' ±10'	87°21' ±10'	(-)80°±1°
	Na- *	8.10	12.72	7.22	94°07'	117°06'	87°52'	(-)82°±2°

* Na 相の格子定数は c 軸回転の層線が K 相と分離できなかったため、K 相と同じとして算出した。

南郷パーサイト同様、アルバイトラメラは、場所により形態、大きさ、方向に変化が見られる。そして、一つのラメラからは支脈が何本も伸びそれらが別のラメラとつながっていることが多い。それらを模式的に示したのが第 2 図である。このパーサイトは、Tuttle (1952) の分類によると、パーサイトを含むマイクロパーサイトである。又、Andersen (1928) の分類によると、

patch パーサイトにあたると思われる。ホストの K 相には、鏡下で微斜長石構造が認められる。このホスト相は、粉末 X 線回折チャートでの 131 と 131 のピークの分離、格子定数及び光軸角から、明らかに微斜長石である。ラメラは、アルバイト式集片双晶をしている。包有物として、鏡下で微小な白雲母が所々認められる。

第 1 図 鏡下で観察される支配的な組織 —クロスニコルー
Or=正長石, Mi=微斜長石, Ab=アルバイトラメラ

ii) 実験方法

使用した EPMA は、島津製作所製 EMX-SM である。実験条件は次の通りである。加速電圧 25 KV, 試料電流 0.02 μ A, ビーム径約 6 μ , 走査速度 24 μ /min 及び 96 μ /min, 時定数 1 秒及び 2 秒。線分析の走査方向は、(001) 面・(010) 面共にほぼ a 軸方向である。本論文中的線分析チャートのうちで、第 4 図のみが、実際のデータのままのものである。第 4 図以外のチャートは、

第2図 アルバイトラメラの模式的なスケッチ

- (A) (a) (b) の矢印はラメラの成長方向（推定）を示す
 (b) の点線は成長後のラメラ（推定）を示す
 (B) 点線はラメラ中に見られる割れ目を示す
 (A)～(D) 実線はラメラ及び劈開を示す

各イオンについて走査距離 6μ ごとの平均濃度をプロットして作成したものである。

試料は、カーボランダム 1500 メッシュ粉で研磨の後、布上で酸化第二鉄を用いて研磨した。加熱試料として取扱いを容易にするため、主に数ミリ立方の結晶を使用した。加熱時の炉材からのアルカリ汚染を防ぐ目的で、試料を白金箔で包み、シリカガラスで裏打ちされた炉を使用した。加熱は常圧下大気中で行い、試料を水銀中に落として急冷した。

なお、250 時間加熱は、10 時間加熱、65 時間加熱、175 時間加熱の繰り返し合計である。

iii) 実験結果

南郷、石川両パーサイトは、2・3 の点を除いて似た結果であるので、主に南郷パーサイトの例を示した。

a) 天然試料 (未加熱試料) における K, Na 及び Ca イオンの分布様式

立体的なイオンの分布様式を知る目的で、(001) 面と (010) 面でのイオンの分布を検討した。

イ) 南郷パーサイト

(001) 面 アルバイトラメラは、第 3 図の通り若干の組成変化が見られる。第 3 図中、1・2 のチャートは 1 つのアルバイトラメラを (001) 面で a 軸方向 (ラメラの伸びの方向と直交) に走査したもので、約 50μ の間隔がある。3 のチャートは、同じラメラを b 軸方向 (ラメラの伸びに平行) に線分析したものである。Ca イオンは、第 3 図にも見られる通り、全走査範囲を通じほぼ均一に分布しているが、稀にはアルバイトラメラにも多少濃集している。

ホストの K 相では、後で述べる第 5 図中に黒矢印で示してある様に、アルバイトラメラに向って K イオンが増加 Na イオンが減少する組成勾配が認められる。これは、Tainosho & Banno (1973) の指摘する所であり、「diffusion concentration gradient」と解釈されている。これについては、さらにホストとラメラの接合の仕方などの検討も必要と思われる。又、図から、アルバイトラメラは、K イオンが非常に少なくほぼ純粋な Na 相であることがわかる。

(010) 面 この面での、K, Na 及び Ca イオンの分布は、(001) 面での分布とはほぼ同じであった。

第3図 アルバイトラメラの組成的性質 —南郷パーサイトの(001)面—

ロ) 石川パーサイト

(001) 面 K, Na イオンについては、南郷パーサイト中における分布様式と同じである。Ca イオンの分布は、南郷パーサイトのそれと異なる。即ち、第4図に示す通り、Ca イオンはアルバイトラメラに濃集していることが多く、その分布はかなり不規則である。

(010) 面 この面での K, Na 及び Ca イオンの分布は、(001) 面での分布とほぼ同様であった。

b) 南郷パーサイトの同一試料片による加熱変化

南郷パーサイトの同一試料片について、EPMA 走査と 24 時間加熱とを交互に繰り返した。加熱試料についてはほぼ同一箇所を観察し、加熱に伴う K, Na 及び Ca イオンの移動の様式を確かめた。なお、未加熱試料 (natural) の走査箇所は、加熱試料のものとは別である。その結果が、第5図に示してある。第5図も、他のチャート同様、横軸が走査距離、縦軸が各イオンについての cps 値 (カウント数/秒) である。なお、cps 値は、含まれているイオンの含有量 (濃度) に比例する。第5図から、次のことが認められる。

イ) 未加熱試料 (natural) 加熱試料共、図中に黒矢印で示した所に、K・

第 4 図 石川パーサイトについての
天然試料の線分析チャート
—(001) 面において a 軸方向に走査—

Na イオンの組成勾配が認められる。
この勾配は、600°Cにおいて最も大き
くなっている様である。

ロ) 図中に、L. 1 及び L. 2 と記号
を付けた比較的大きいアルバイトラメ
ラには、次の様な加熱に伴う組成変化
が認められた。即ち、K イオンと Na
イオンの移動が激しく起る場所がで
き、アルバイトラメラのピークは鋸状に
変化しながら、ラメラが消失していく。
この現象は、後で述べる特性 X 線像で
もわかるように、ラメラ部における
K イオンの脈状の侵入と Na イオンの
脈状の逸散である。

ハ) 高温加熱試料では、ホストの
K 相において K イオンの濃度が減少
し逆に Na イオンの濃度が増加する。
アルバイトラメラでは、ホストと反対
の現象が起きている。

ニ) この図での加熱試料のチャート
には、Ca イオンの走線は省略されて
いる。これは、次項で述べる現象以外、
加熱しても Ca イオンの分布の様相に
は殆んど変化がなかったからである。

c) 加熱による Ca イオンの挙動

南郷パーサイト 同一試料片による 24 時間加熱では、Ca イオンは殆ん
ど移動しないように思われる。なお、高温長時間加熱試料では、急冷によっ
て割れ目が発生し、そこにバルサムが入る結果、Ca イオンが多量に検出され
る。第 6 図中、10 時間加熱のものについては、この割れ目による Ca イオン
の濃集と、稀に見られる元の Ca イオンの濃集とが区別できる。但し、元の
濃集部については、包有物の影響の可能性もある。割れ目によるものを、

第5図 南郷パーサイトの同一結晶片による加熱変化
(natural 以外の Ca の分布については省略してある)

第6図 南郷パーサイトの各種温度・各種時間加熱による組成変化の線分析チャート
—(001) 面において a 軸方向に走査—

1000 cps の値は、K, Na イオンに対してのもので、Ca イオンについてはこの高さが500 cps に相当する。白矢印は、急冷による割れ目である。K・Na・Ca イオンを表わす線は、第7図と同じである。

第7図 石川パーサイトの10時間加熱による組成変化

—(001) 面において a 軸方向に走査—

K, Na, Ca イオンの表わす線は第7図と同じである。

走査距離のスケールは第8図と同じである。

第 8 図 石川パーサイト の 250 時間加熱による組成変化

—(001) 面において a 軸方向に走査—

白矢印は急冷による割れ目である。

K, Na, Ca イオンを表わす線は第 7 図と同じである。

走査距離のスケールは第 8 図と同じである。

1000°C 加熱のものについて白矢印で例示した。250 時間加熱では、最終的に Ca イオンの分布がどうなるのか、殆んど読みとれない。

石川パーサイト 天然試料では、Ca イオンは大体アルバイトラメラに濃集していた。加熱に際しては、第 7 図及び第 8 図を見る限り、特に第 7 図の 10 時間加熱の場合は、Ca イオンは移動していない様に思える。しかし、天然試料において Ca イオンの濃集部での分布が不規則であり、その上、高温長時間加熱試料では、割れ目におけるバールサム中の Ca イオンの影響も出てくる。そのため、南郷パーサイト同様、Ca イオンの移動について最終的な結論は得られなかった。なお、第 8 図に、割れ目が白矢印で例示してある。

d) 加熱変化における温度と時間の影響

南郷・石川両パーサイトの加熱変化において、加熱温度と加熱時間とがどのように影響するか検討した。なお、この観察においては、条件ごとに全部別の試料を使用した。その結果は、既に引用した第 6～8 図に示してある。加熱時間の同じものについては、同じ実験条件で EPMA 線分析をおこなった。

いずれも (001) 面で a 軸方向に走査している。

10 時間加熱 850°C 以下においては、両パーサイト共アルバイトラメラに殆んど変化を認めることは出来ない。しかし、1000°C では、共にアルバイトラメラのピークが鋸状の分裂を起こして明瞭に変化している。ホストの K 相での変化を見ると、石川パーサイトでは明瞭で南郷パーサイトでは不明瞭であるが、共に加熱温度が上昇するにつれて Na イオンの濃度が増し K イオンの濃度が減じている。(第 6, 7 図)

250 時間加熱 南郷・石川パーサイト共、700°C まではさしたる変化は認められないが、700°C になると、アルバイトラメラのピークが少し鋸状に変化したものもある。850°C に加熱した南郷パーサイトでは、1000°C 10 時間加熱の場合と同程度のアルバイトラメラのピークの分裂が見られる。しかし、後にも述べるように X 線的に比較すると、850°C 250 時間加熱試料の方が、ホスト・ラメラ両相の格子がより近似してきている (第 10 図)。これは、K・Na 両イオンの移動の結果、850°C 250 時間加熱したものの方が、パーサイトがより均一化してきているためと考えられる。850°C に加熱した石川パーサイトは、南郷パーサイト程に著しくは変化しない。1000°C で加熱した場合には、両パーサイト共、アルバイトラメラはほぼ消失しパーサイトは均一化している。

なお、(010) 面についても、南郷・石川両パーサイト共、第 6~8 図の (001) 面で見られたと同様の結果が得られた。

e) 特性 X 線像による加熱変化の検討

第 9 図は、南郷・石川両パーサイトの (001) 面での加熱に伴う K・K α 特性 X 線像の変化を示したものである。観察に用いた試料は、全部別試料である。線分析によって認められたアルバイトラメラのピークの鋸状の分裂は、この X 線像から、アルバイトラメラ部における K イオンの脈状の侵入と Na イオンの脈状の逸散であることがわかる。第 9 図において、その脈状の部分を矢印で示した。特に 850°C 以上では、この脈状部が良く発達する。急冷によって生ずる人工的な割れ目も、後で論ずるこの脈状のイオンの通路となることが考えられるが、実験結果から見て大きな寄与をしたとは考えられない。例えば、1000°C 10 時間加熱試料でも、人工的な割れ目と無関係にアルバイトラメラの線分析走線ピークの分裂が起っている。前項で述べたように、

第9図 加熱変化の $K \cdot K_{\alpha}$ 特性X線像による検討 —(001) 面—
 矢印は、本文中で述べている脈状部を示す。
 黒色部がアルバイトラメラ部である。

南郷パーサイトについて 1000°C 250時間加熱でほぼ均一化するのが、第9図でも確認できる。石川パーサイトについても同様であった。なお、(010)面についても(001)面と同じような結果が得られた。

f) X線回折斑点の加熱変化

第10図は、南郷パーサイトについて、未加熱試料(natural)及び各加熱試料のワイゼンベルグ法による $400 \cdot 010 \cdot 0 \cdot 002$ の各回折斑点を模式的に示したものである。回折斑点には、南郷・石川両パーサイト共、diffusenessやsplitなどの現象が見られるが、これらについては別の機会に報告したい。この結果によると、400°C及び550°Cでの加熱では、ホストとラメラの回折斑点の位置関係には殆んど変化が見られない。700°Cに加熱しても回折斑点の位置変化はないが、アルバイトラメラの回折斑点の濃度が加熱時間が増すと弱くなっているようである。775°C以上に加熱すると、回折斑点の位置が変化する。850°C 1000時間及び1000°C 250時間加熱では、ホストのK相とアルバイトラメラの回折斑点がほぼ重なり、試料はほぼ1相になっていること

第 10 図 X線ワイゼンベルグ回折斑点の加熱変化の模式図
—南郷パーサイト—

がわかる。775°C 930 時間、850°C 250 時間及び 1000°C 10 時間加熱の試料においては、1 相になるまでの途中の過程を示す回折斑点が見られる。

ここには示されていないが、石川パーサイトについても似たような結果であった。

3. 討 論

1) 拡散の機構

本実験において、加熱に伴うマイクロパーサイトの均一化をもたらすアルカリイオンの移動の機構として、いわゆる表面拡散と体積拡散とが認められた。即ち、実験の章の iii) 実験結果の b) の ハ) の現象は体積拡散によるものであり、b) の ロ) の現象は何らかの“通路”による表面拡散によるものであると、実験結果より考えられる。後者の異常な拡散については、粒界の果す役割も考えられるが、アルバイトラメラ全体の一様な組成変化をもたらした体積拡散と対照的な拡散として、一括して表面拡散として議論する。転位を媒介とするパイプ拡散についても、ここでは議論しない。

パーサイトの均一化の過程を概念的に説明するのが第 11 図である。この図の A は、表面拡散のみがアルバイトラメラの消失をもたらすと考えた場合の過程であり、それに対応する X 線ワイゼンベルグ法による 600 回折斑点の変化が下に示してある。この過程によると、アルバイトラメラの一部が直接ホストの K 相になるから、ラメラの回折斑点の位置は変化せず強度が弱くなっていくはずである。これに対して、B は体積拡散のみがアルバイトラメラの消失をもたらすと考えた場合の過程であり、アルバイトラメラにおける K イ

第 11 図 パーサイトの均一化のプロセスの概念図。

黒色部はホスト (K 相) を示す。

Na-, K- はそれぞれアルバイトラメラ (Na 相), ホスト (K 相) による X 線ワイゼンベルグ法 600 回折斑点を示す。

オンの漸次的増加に対応して、ラメラによる回折斑点の強度は変わらずその位置が少しずつホストの K 相の斑点に近づくはずである。

実際に観察された X 線回折斑点の変化は、南郷パーサイトについてのものが、既に述べたように第 10 図に示してある。

本実験で認められた過程は、B の過程も認められるが A の過程が支配的なものであった。即ち、南郷・石川両パーサイトは、各加熱温度各加熱時間に対応する体積拡散を伴いながら、主として高温における表面拡散によって均一化する。

この表面拡散については、既に Sippel (1963) が、天然の鉱物では表面拡散の効果を特に留意する必要があるとしている。Bailey (1971) は、長石中での Na イオンの自己拡散の実験より、低温では表面拡散、中間温度ではパイプ拡散、高温では体積拡散が重要であると述べたが、本実験では高温における表面拡散がパーサイトの均一化に重要な役割を果たした。なお、Lin & Yund (1972) は、Na イオンは interstitial な移動をし、K イオンは vacancy による移動をすると指摘したが、本実験ではそれらの違いを認めることは出来なかった。

ii) 本実験の結果からのパーサイトの生成機構の一考察

一般に表面拡散は体積拡散に比して短時間により大量のイオンの移動をもたらす。天然の鉱物には、劈開・裂開及びその他の割れ目さらに包有物など

の不完全性が大なり小なり存在し、それらが加熱の際のイオンの移動に貢献すると考えられる。事実、本実験でこれを確認した。従って、表面拡散の果す役割はパーサイト生成を考える上でも重要と思われる。

次に、鉍物の不完全部の生成する過程を考察する。Andersen (1928) は、長石がマグマから固結して冷却する過程では、いかに徐冷の場合でも冷却によるひずみで “contraction crack” という割れ目が出来ることを理論的に提起しており、Ramberg (1972) もこれを支持している。Petrović (1973) は、アルカリイオンの交換の際に “coherency stress” により遂には破面 (fracture) が出来ること、そしてそれがアルカリイオンの置換による “book” 長石の形成につながることなどを明らかにした。この様な内的要因に加えて、外的歪力による破面、裂開などの発生が考えられる。

従って、Alling (1932) 及び Tuttle (1952) が、アルバイトラメラの大きさの違いは 1 つの冷却系列を示すものとしたように、又 Laves (1952) の solvus の考察に見られるように、ラメラの組織の解析には冷却時間、冷却速度を見逃す訳にはいかないが、本研究で見出したものも重要なイオンの移動機構の 1 つと思われる、アルバイトラメラの生成及び成長を考察する上で欠かせないものと思われる。

物質の移動する通路を仮定して、パーサイトの生成及び成長を考察した論文はいくつかある。Andersen (1928) は、元のマグマに由来する溶液が “contraction crack” を通って移動する結果大きなラメラが出来るとした。Ramberg (1972) は、霞石閃長岩ベグマタイト中に隣接して同時に存在するクリプトパーサイト・(861)(86 $\bar{1}$) ラメラをもつマイクロブレイドパーサイト・(110)(1 $\bar{1}$ 0) ラメラをもつマクロブレイドパーサイトの成因を考察し、ブレイドパーサイト生成の要因として crack を挙げている。

このような見解は、南郷・石川両マイクロパーサイトの組織の観察によっても支持される。両パーサイトは、第 2 図に示してあるように、(001) 面で b 軸方向に伸びる針状の小さく規則的なラメラからそれがより大きなより不規則なラメラに成長していく過程がたどれる。このことから、両試料共に離溶によってパーサイトが形成され则认为られる。この場合、ラメラの形成及び成長に何らかの通路による表面拡散が働いたことは、第 2 図に示されているアルバイトラメラの形態やアルバイトラメラと割れ目などの関係からも支持される。しかし、劈開について見ると、アルバイトラメラとの方向の共通

性は観察されないから、劈開がアルバイトラメラ形成時のイオンの通路であったとは考えられない。これについては、劈開の発生の時期あるいは劈開自体のさらに細かいオーダーでの性質などの問題を検討する必要がある。そこで、裂開その他何らかの割れ目がイオン拡散の通路として重要な役割を果たしたと思われるが、詳細は明らかでない。

この場合、通路を通る物質として溶液を仮定する必要はないと思われる。つまり、離溶が行なわれている時にも、表面拡散を許す通路があれば、より大きなより複雑なラメラが形成されると推測し得る。もちろん、転位などの不完全性も、ラメラの核となったりイオンの移動を促進するものと思われる。

iii) パーサイトの均一化とその加熱温度、加熱時間

南郷・石川両マイクロパーサイト共、1000°C 250 時間、850°C 1000 時間加熱によってアルバイトラメラが消失しパーサイトはほぼ均一化した。マイクロパーサイトが、上記の条件による加熱によって均一化するの、Spencer (1937) の実験、Bachinski & Müller (1971) の所説などと一致している。つまり、クリプトパーサイトであれば、もっと短時間で均一化する。

ところが、高温長時間加熱によっても均一化しないクリプトパーサイトもある (Tuttle & Bowen, 1958; Tatekawa *et al.*, 1973)。又、Heald (1950) は、60° 以上の光軸角をもつ正長石マイクロパーサイトでは、1000°C 以上に長時間加熱しても、ラメラにあまり変化がないという結果を報告している。

パーサイトの均一化に要する加熱温度と加熱時間の試料ごとの違いについて、Bachinski & Müller (1971) は、ラメラの大きさ以外に、結晶構造・双晶様式・包有物などの違いをその原因として考え、又、Müller (1971) は、Si・Al イオンの ordering の違いをパーサイトの均質化に際し重要と考えている。本実験においては、アルカリイオンの移動の際に表面拡散が重要な働きをしていることを見出したが、これをもとに考えると、加熱によって均一化しなかったクリプトパーサイトの場合には、表面拡散を許すような裂開その他の割れ目や他の不完全性が少なかったとも推測できる。Heald (1950) の実験は、光学的な観察のみによるもので、さらに詳細な検討が必要と思われる。

4. ま と め

マイクロパーサイトを加熱することによって、K, Na 及び Ca イオンの移動について次の結果を得た。

- i) 天然試料において、南郷・石川両マイクロパーサイト共、ホストの K 相にはアルカリイオンの組成勾配が見られた。Ca イオンは、南郷試料では Na イオンとほぼ無関係に、石川試料では相関をもってラメラ中に分布している。
- ii) 本実験によるアルバイトラメラの消失過程で起るアルカリイオンの移動の機構中、最も重要なのは、イオンの通路を媒介とする表面拡散であった。
- iii) ラメラは、850°C 1000 時間及び 1000°C 250 時間加熱によってほぼ消失し、パーサイトは均一化した。
- iv) Ca イオンの挙動については、天然試料における分布状態、急冷による割れ目の影響などの理由で明らかにし得なかった。
- v) 本実験の結果より、裂開及びその他の割れ目などが、パーサイトの生成・成長に重要な役割を果すものと推測される。劈開については、検討が必要である。

謝 辞

本研究にあたり、終始御指導いただき又有益な御批判と御助言をいただいた滋賀大学立川正久教授に、ここに深く感謝し心からお礼を申し上げます。又、EPMA の使用の便宜を計っていただき御指導いただいた京都工芸繊維大学吉田直次郎博士及び八戸啓氏、試料作製に御協力いただいた滋賀大学八里正三氏に深く御礼を申し上げます。

文 献

- Alling, H. L.: PERTHITES, *Am. Mineral.*, 17, 43-65 (1932)
———: PLUTONIC PERTHITES, *J. Geol.*, 46, 142-165 (1938)
Andersen, O.: THE GENESIS OF SOME TYPES OF FELDSPAR FROM GRANITE PEGMATITES, *Norsk Geol. Tidsskr.*, 10, 116-205 (1928)
Bachinski, S. W. and G. Müller: Experimental Determinations of the Microcline-Low albite Solvus, *J. Petrol.*, 12, 329-356 (1971)
Bailey, A.: Comparison of low temperature with high temperature diffusion of sodium in albite, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 35, 1073-1081 (1971)

- Gehard, D.: Über lamellare Verwachsung zweier Feldspath-Species, *Z. Deut. Geol. Ges.*, **14**, 151-159 (1861)
- Heald, M. T.: THERMAL STUDY OF POTASH-SODA FELDSPARS, *Am. Mineral.*, **35**, 77-89 (1950)
- Kozu, S. and Y. Endo: X-ray analysis of Adularia and Moonstone and influence of temperature on the arrangement of these minerals., *Sci. Rep. Tohoku Univ.*, Third Ser., **1**, 1-17 (1921)
- Laves, F.: Phase relations in the alkali feldspar system, II. The stable and pseudostable phase relation in the alkali-feldspar system, *J. Geol.*, **60**, 549-574 (1952)
- Lin, T. H. and R. A. Yund: Potassium and Sodium Self-Diffusion in Alkali Feldspar, *Contr. Mineral. Petrol.*, **34**, 177-184 (1972)
- McConnell, J. D. C.: Electron Optical Study of Incipient Exsolution and Inversion Phenomena in the System $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - KAlSi_3O_8 , *Phil. Mag.*, **19**, 221-229 (1969)
- : Electron-optical study of phase transformations, *Mineral. Mag.*, **38**, 1-20 (1971)
- Müller, G.: Der Einfluss der Al, Si-Verteilung auf die Mischungslücke der Alkali-Feldspathe, *Contr. Mineral. Petrol.*, **34**, 73-79 (1971)
- Petrović, P. M.: The Effect of Coherency Stress on the Mechanism of Reaction $\text{Albite} + \text{K}^+ \rightleftharpoons \text{K-Feldspar} + \text{Na}^+$ and on the Mechanical State of Resulting Feldspar, *Contr. Mineral. Petrol.*, **41**, 151-170 (1973)
- Ramberg, I. B.: Braid perthite in nepheline syenite pegmatite, Langesundfjorden, Oslo Region (Norway), *Lithos*, **5**, 281-306 (1972)
- Sippel, R. F.: Sodium self diffusion in natural minerals, *Geochim. Cosmochim. Acta*, **27**, 107-120 (1963)
- Spencer, E.: The potash-soda feldspars, I., Thermal Stability, *Mineral. Mag.*, **24**, 453-492 (1937)
- Tainosho, Y. and S. Banno: Diffusion concentration gradient in an orthoclase from a granodiorite of Ibaragi granitic complex, *J. Geol. Soc. Japan*, **80**, 115-118 (1974)
- Tatekawa, M., M. Kanezaki and S. Nakano: On the perthitic structure of moonstone (II), High temperature form of moonstone, *Mineral. J.*, **7**, 9-28 (1972)
- Tuttle, O. F.: Origin of contrasting mineralogy of extrusive and plutonic salic rocks, *J. Geol.*, **60**, 107-124 (1952)
- and N. L. Bowen: Origin of Granite in the Light of Experimental Studies in the System $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - KAlSi_3O_8 - SiO_2 - H_2O , *Mem. Geol. Soc. Amer.*, **74** (1958)
- Vogt, J. H. L.: Physikalisch-Chemische Gesetze der Krystallisationsfolge in Eruptivgesteinen, *Tscherm. Mineral. Petrol. Mitt.*, **24**, 437-543 (1905)

(昭和 49 年 11 月 25 日受理)