深 成 岩 中 に お け る 長 石 類 の 進 化

村上允英*・久保田恵彬**

(1963 年 3 月 7 日受理)

Evolution of Feldspars in Plutonic Rocks

Nobuhide MURAKAMI and Shigeyoshi KUBOTA

(Abstract)

The chemical compositions and crystal structure of the potash-feldspars and plagioclases in plutonic rocks have intimate relation with their condition of formation. The variation in the chemical compositions and crystal structure of the coexisting feldspars from some rock types which belong to the same series of evolution, was studied in connection with the evolution of the rocks. It was found that the ratio (K_0) of An mole per cent in plagioclase to Or mole per cent in the coexisting potash feldspar and the value of lattice parameter in feldspars are useful to estimate the relative relation between water pressure and temperature of formation in plutonic rocks. The trend of evolution in the value of K_0 of the feldspars in the migmatitic granites is different from that in the granites of magmatic origin.

I. は じ め に

含有長石の鉱物学的性質を利用して、火成岩や変成岩類の生成温度を求めようとする試みは幾つかある (BARTH, 1951; 1956)。しかし、これ等の試みも長石の生成条件の中、圧力・蒸気圧等の影響を考慮に入れていないため、更に検討*** を要すると思われる。筆者達は、最近行なわれた長石に関する幾つかの研究結果 (YODER, et al, 1957; MACKENZIE, 1957; その他) を基にして、それを含む岩石の生成温度と水蒸気圧との相対的關係の推定を試みた。この研究は未だ初歩的の段階にあるが、本邦産深成岩類の生成条件を推定し、更に深成岩類に関連する地質学的問題の解明に有用であると考え

II. 火成岩中における長石の化学組成および結晶構造と生成条件との関係

A) 化学組成と生成条件との関係

斜長石およびカリ長石の化学組成はその晶出温度・蒸気圧と密接な関係を有している。(YODER, et al, 1957) は種々の温度・水蒸気圧下において、互に平衡関係にある斜長石とカリ長石とを合成して、次のような興味ある結論を得た。

1) 水蒸気圧が一定であると、晶出する斜長石およびカリ長石の化学組成は低温におけるほど Ab 分に富む。また An—Ab—Or diagram 上において、斜長石と、平衡関係にあるカリ長石とを結ぶ tie line が Ab—Or 辺となす角は、水蒸気圧が一定であると、晶出温度が低いほど小さくなる。

* 山口大学文理学部地学教室

** 株式会社三井工作所

*** BARTH (1956) は火成岩・変成岩中に含まれるカリ長石の Ab-fraction と、共存する斜長石の Ab-fraction との比 K をその生成温度の函数と考えた。 K の値は温度の上昇に伴い増加している。然し YODER, et al (1957) が人工合成した共存長石の生成温度と K との関係を求めると次の通りである。 $K=0.09$ (770°C), 0.24 (720°C), 0.66 (698°C)。即ち K の値は温度の上昇に伴い減少している。

地質学雑誌 第 69 巻 第 817 号 1963 年 10 月

2) 上述の tie line と Ab-Or 辺とのなす角は、低温高水蒸気圧下において合成が行なわれた場合の方が、高温低水蒸気圧下において合成が行なわれた場合より小さい。この関係を Fig. 1 に模式的に示す。この tie line と長石の生成条件との関係は YODER, et al (1957)・ORVILLE (1958) に

Fig. 1

Fig. 1: Schematic diagram showing the tie lines connecting the pairs of coexisting feldspars formed under a high (full line) and low water pressure (broken line).

Fig. 2

Fig. 2: Diagram illustrating the evolution of coexisting feldspars synthesized at 5000 bars water pressure by Yoder, et al.

より、天然の岩石中に含まれる長石類についても成立することが確められた。

天然産のほぼ同一化学組成を有する岩石において、斜長石とカリ長石との間に晶出時平衡が成立し、その後も引きつづき平衡が保たれているならば、上述の関係を利用して、その長石の化学組成と An-Ab-Or diagram 上における共存長石の tie line の性質とより、その生成温度と水蒸気圧との相対的關係を知り得ると考えられる。筆者達は上述の tie line と Ab-Or 辺とのなす角の代りに、互に平衡関係にある斜長石の An 成分 (mole%) とカリ長石の Or 成分 (mole %) との比をとり、これを K_0 とした。即ち、 $K_0 = \text{Mole An per cent in plagioclase} / \text{Mole Or per cent in potash}$

feldspar. この K_0 の値を縦軸に、カリ長石の Or 成分を横軸にしたグラフ* をつくり、YODER, et al (1957) の実験結果に基いて次のような考察を行なった。

1) Fig. 2 は YODER, et al (1957) が 5000 bars の水蒸気圧下において合成した共存長石の組成を K_0 -Or diagram 上に示したものである。図上において共存長石の組成を示す点は温度の低下に伴い、右上方から左下方に移動している。今ある火成岩岩漿中より温度の低下に伴い、一定水蒸気圧下で、二長石が平衡を保ちつつ晶出してゆくならば、それらの組成を示す点は K_0 -Or diagram 上において、Fig. 2 におけると同一方向、即ち右上方から左下方に連なると考えられる。この各点を結ぶ線をその火成岩中における共存長石の成分変化線と称することにする。

2) YODER, et al (1957) の実験結果から明らかなように、 K_0 -Or diagram 上において低温高水蒸気圧下で晶出した共存長石の成分進化線は高温低水蒸気圧下で晶出した共存長石の成分進化線よりも右下方に位置すると考えられる。

3) 晶出温度の低下に伴い水蒸気圧が著しく増加するならば、共存長石の成分進化線は左上方から右下方に向かう線となるであろう。なお、既に一たん固結した岩石中の長石が、ガスあるいは熱水液の交代をうけて成分変化を行なう場合 (SCHERMERHORN, 1961; TUTTLE and BOWEN, 1958; その他) も、温度の低下に伴う共存長石の成分進化線は左上方から右下方に向かうであろう。これはカリ長石の組成が固相線以下の温度においては、生成温度の低下に伴い固相分裂曲線 (Solvus line) に沿って変化し、次第に Or 分に富んでくると考えられるからである。しかし、この場合と水蒸気圧の著しく増加の下における進化の場合との区別は困難で、現在のところ野外における岩石の産状・顕微鏡下における岩石の組織等の研究以外に方法がないと考えられる。

4) 晶出温度の低下に伴う水蒸気圧の増加が余り著しくない場合には、共存長石の成分進化線は 1) と 3) との中間の方向に向かう線となるであろうと考えられる。

* K_0 -Or diagram と称する。

B) 結晶構造と生成条件との関係

カリ長石においては Sanidine は Al-Si 原子の配列が不秩序的 (disorder) なもの, microcline は秩序的 (order) なもの, Orthoclase は両者の中間的性状のものと考えられている (SMITH, 1960)。MacKENZIE (1957) は種々の温度条件下において albite を合成し, その秩序度を示す値, 即ち $2\theta_{131}-2\theta_{1\bar{3}1}$, (CuK α) の値が生成温度により一定に決まることを発見した。この関係* はカリ長石にも適用されると思われる。即ち化学組成が一定であれば, カリ長石はその生成温度** に応じて定まった triclinicity 値 (GOLDSMITH and LAVES, 1954) をとることになる。従つて, 逆に triclinicity よりカリ長石の晶出温度の推定*** が可能で, また triclinicity と密接な関係にあると考えられている光軸角 (2Vx) の値もその晶出温度の推定に有用であると考えられる。

しかしながら, MacKENZIE (1957) の実験において albite はある温度において構造的に安定化する場合, より高温において安定な $2\theta_{131}-2\theta_{1\bar{3}1}$ の値, 即ちより disorder な状態を経て, 漸次安定化してゆく。この構造変化は水蒸気圧の高いほど促進され, 水蒸気圧の低い場合, 特に低温で水蒸気圧の低い場合には構造安定までに著しく長い時間を要する。カリ長石は albite に比べ構造転移が極めて緩慢で, 安定な microcline 構造が得られるには極めて長い時間を要すると考えられている。従つてその triclinicity 値は水蒸気圧の大きさおよび冷却時間の長さ (冷却度) に左右される。水蒸気圧が高くて冷却時間が長いと, カリ長石の構造はその温度において安定な秩序度をとるようになるが, 水蒸気圧が低く冷却時間が短いと, その構造は安定状態に達せず, 秩序度の低い状態, 即ちより小さい triclinicity 値をとると考えられる。従つて, カリ長石における triclinicity 値および斜長石における $2\theta_{131}-2\theta_{1\bar{3}1}$ の値は化学成分が同じでも晶出温度のみの函数でなく, その水蒸気圧にも左右されることになる。

以上の性質により, カリ長石における Or(wt %)-2Vx diagram・Or(wt %)-triclinicity diagram, 斜長石における An(mol. %)-(2 $\theta_{131}-2\theta_{1\bar{3}1}$) diagram は, それ等の晶出温度と水蒸気圧との相対関係を求めるのに有用であると考えられる。

1) 火成岩中において, 一定水蒸気圧下で温度の低下に伴い長石類が順次晶出してゆくなれば, カリ長石の 2Vx・triclinicity 値は Or % の減少に伴い次第に大きくなり, 斜長石の $2\theta_{131}-2\theta_{1\bar{3}1}$ の値は An % の減少に伴い次第に小さくなると考えられる。しかし既述のように, 長石類が一たん固結後ガスあるいは熱水液の交代によつて組成を変化する場合はこれと異なり, カリ長石の 2Vx・triclinicity 値は Or % の増加に伴つて大きくなると考えられる。

2) 上述の温度の低下に伴い水蒸気圧が高くなれば, カリ長石の 2Vx・triclinicity 値の増加・斜長石の $2\theta_{131}-2\theta_{1\bar{3}1}$ 値の減少は更に著しくなるであろう。なお水蒸気圧が著しく高くなれば, カリ長石の 2Vx・triclinicity 値の増加は, Or % の増加に伴われることもあると考えられる。

3) 化学組成に殆んど差のない場合, 高温・低水蒸気圧下で晶出したカリ長石の 2Vx・triclinicity 値は, 低温・高水蒸気圧下で晶出したカリ長石の 2Vx・triclinicity 値より小さく, また斜長石の $2\theta_{131}-2\theta_{1\bar{3}1}$ の値はこれとは逆に大きいと考えられる。

* FERGUSON, et al (1958)・FERGUSON (1960) は高温で生じたカリ長石の構造は, 漸次冷却されても orthoclase 状態になるのみで, microcline 状態にはならないと述べている。しかし MacKENZIE and SMITH (1959) はこれに反対している。

** 純粋な単斜カリ長石と三斜カリ長石との境の温度は略々 500°C と 600°C との間と考えられる (GOLDSMITH and LAVES, 1954; EULER und HELLMER, 1961)。しかしこの温度値はカリ長石の化学組成に関係し, 固溶 Ab 分が多くなれば低くなると考えられている (SMITH, 1960)。

*** microcline の構造を人工的に安定化させる試みは現在の所成功していない。又カリ長石の化学組成と結晶構造との関係も完全には明らかにされていない。

III. 岩漿性深成岩体中における長石類の進化と生成条件

A) 理論的考察

多くの深成岩体においては、主岩体形成後引きつづいてアプライト・ペグマタイト等の貫入が行なわれている。前者と後者とは同一岩漿進化系列に属していて、後者は温度の低下に伴い形成されたものと考えられる。筆者達はこのような同一進化系列に属すると考えられる幾つかの異なつた岩型を伴う深成岩類中より、含有長石を分離して、その化学組成*・結晶構造値・光学恒数等より、その生成条件の推定を試みた。

今岩石が形成後も引きつづいて形成時の平衡関係を保っているならば、次のような考察を行なうことが出来る。

1) 同一進化系列に属する各岩型中の共存長石の化学組成を K_0 -Or diagram 上に示すと、多くの場合図上の点は岩石の進化に伴い一定方向に列る。この各点を結ぶ線** をその深成岩体における共存長石の成分進化線と称する。この進化線は火成岩体の生成条件により、図上の位置・進化の方向を異にすると考えられる。生成条件との関係は II 章における考察と全く同様になると考えられる。なお深成岩中において、カリ長石と平衡にあると考えられる斜長石の組成は推定が困難である。それは多くの深成岩中の斜長石には累帯構造が著しいからである。筆者達は累帯構造の著しい斜長石についてはその外殻 (shell) 部の組成の平均値、累帯構造の極く弱いものについては、その全平均成分値をとることにしたが、 K_0 -Or diagram 上における点の散乱が比較的少ないことからみて、多くの場合この考えは正しかつたと思われる。

2) 同一進化系列に属する各岩型中のカリ長石について、 $2Vx$ -Or・triclinicity-Or・斜長石についての $(2\theta_{131}-2\theta_{151})$ -An の関係を求めると、この関係は生成条件により左右される。その理論的考察は II 章において行なつたものと同じになる。後述の例に示されるように、これらの図上の点は可成り散乱する。これは長石類が構造的に安定化し難いことに基因していると思われるが、詳細は今後の問題として残されている。

B) 本邦産 2・3 の深成岩体中における長石類の生成条件

1) 山口県吉部産ヒペライト—アプライト (白堊紀)

深成岩体はヒペライト・石英閃緑岩・花崗閃緑岩・アプライト脈より成る。いずれも同一進化系列に属していると考えられ、後記のものほど後期に貫入している (村上, 1960 A)。構成岩石はいずれも半深成岩に近い斑状組織を示し、岩石の組織・鉱物組成等より、岩漿進化の間に水蒸気圧の大きい増加は行なわれなかつたと考えられる。 K_0 -Or diagram 上における共存長石の成分進化線は Fig. 3 の通りで、岩漿進化中水蒸気圧の増加のあまり行なわれなかつたことを示している。カリ長石は岩漿進化とともに sanidine 質から orthoclase 質、更に microcline 質となり、光軸角は次第に増加している (Fig. 4)。また triclinicity 値はヒペライト・花崗閃緑岩においては 0 であるが、アプライトにおいては 0.08~0.63 で、triclinicity 値の大きいものほど岩石中に含まれる量が少ないように思われる (Fig. 7)。岩体は全体として高温・低水蒸気圧下の生成と考えられる。

2) 島根県真砂産花崗岩—ペグマタイト (白堊紀)

黒雲母花崗岩・黒雲母アプライト・ペグマタイト・白雲母アプライトより成る。いずれも同一進

* カリ長石については炎光光度計により求められた $Na_2O \cdot K_2O$ の値より Ab・Or 成分を推定し、CaO については一般に量の少ないため、測定を行なわなかつた。斜長石の化学組成は光学的方法 (屈折率・消光角の測定) により推定した。

** 点の散乱している場合には統計的方法で線を引くことにした。点の散乱する原因としては、長石の分離の不完全なこと、分析或いは測定の誤差、二長石の平衡が完全でないこと、長石類の晶出条件が必ずしも一定方向に沿つて変化しなかつたこと、等があげられる。

化系列に属し、後記のものほど後期に貫入している(村上, 1960 A)。岩石の組織・含有鉱物の性質より、岩漿進化の間に水蒸気圧のかなり増加したことが考えられるが、 K_f -Or diagram 上における共存長石の成分進化線は Fig. 3 の通り左上方から右下方に向かい、水蒸気圧の増加の著しかったことを示している。岩石の進化に伴いカリ長石の光軸角は次第に増加し、また *triclinicity* 値も増加するが、白雲母アプライトにおいては、*triclinicity* 値の大きい *microcline* が *orthoclase* と共存している (Fig. 7)。斜長石の $2\theta_{131}-2\theta_{1\bar{3}1}$ の値は岩石の進化とともに小さくなっている (Fig. 6)。岩体は全体として低温・高水蒸気圧下の生成と考えられる。

3) 岐阜県河合地域産花崗岩—アプライト (二疊紀あるいは三疊紀初期?)

いわゆる船津型花崗岩に属し、岩体は黒雲母花崗岩とこれを貫くアプライトより成る。いずれも同一進化系列に属していると考えられる。含有斜長石は一般に Ab 分に富み、またカリ長石は殆んど *triclinicity* 値の大きい *microcline* で、鏡下において *microcline* 構造が顕著に認められる。しかし同一岩体中の岩石で、やや An 分に富む斜長石を含有するものには、*triclinicity* 値の大きい *microcline* とともに *triclinicity* 値の小さい *microcline* が伴われている。恐らくこの岩石は他の岩石よりやや高温で形成されたものと考えられる。 K_f -Or diagram 上における共存長石の成分進化線は右上方から左下方に向かい、通常の岩漿進化岩体中のものと同じ傾向を有している。岩石は全体として低温・高水蒸気圧下の生成と考えられる。

IV. 変成岩中における長石類の化学組成および結晶構造と生成条件との関係

A) 化学組成と生成条件との関係

変成岩において、変成度の進むとともに含有カリ長石の Or 分が減少し、逆に共存斜長石の An 分が増加することは一般に良く知られている事実である。最近 ORVILLE (1960) は熱水条件下においてアルカリ長石とアルカリ塩化物との間のイオン交換の実験を行ない、温度の上昇あるいは圧力の減少とともにアルカリ長石の成分が Ab 分に富んでゆくことを発見し、上述の地質学的現象を実験的に証明した。

Fig. 3

Fig. 5

Fig. 4

Fig. 3: Diagram illustrating the evolution of coexisting feldspars from the Kibe plutonic rocks (A: open circles), granitic rocks of the Masago area (B: solid circles), and granitic rocks of the Kawai area (C: crosses). Arrows show the trend of evolution of coexisting feldspars.

Fig. 4: Relation between Or contents and optical angles in potash feldspars from the same rocks as Fig. 3. Lines represent three series of alkali feldspar after Smith and MacKenzie (1958). Symbols are the same as Fig. 3.

Fig. 5: Relation between Or contents and triclinicity in potash feldspars from the same rocks as Fig. 3. Symbols are the same as Fig. 3.

Table 1: Feldspars from the hyperite-aplite of the Kibe area, Yamaguchi Prefecture.

Specimen No.	Rock	Potash feldspar			Plagioclase		K_θ
		Or content (mole per cent)	2Vx	Triclinicity	An content (Shell part)	$2\theta_{131}-2\theta_{1\bar{3}1}$	
1	Hyperite	79.1	42	0	34	1.87	0.43
2	Granodiorite	77.6	51	0	24	1.71	0.31
3	Aplite	70.2	81	0.08-0.23-0.63	14	1.44	0.20

Table 2: Feldspars from the granitic rocks of the Masago area, Shimane Prefecture.

Specimen No.	Rock	Potash feldspar			Plagioclase		K_θ
		Or content (mole per cent)	2Vx	Triclinicity	An content (Shell part)	$2\theta_{131}-2\theta_{1\bar{3}1}$	
1	Biotite granite	78.3	60	0	20	1.61	0.26
2	Biotite aplite	88.7	51-66	0.07	19	1.38	0.21
3	Pegmatite	88.9	63-66	0.06	12	1.17	0.13
4	Muscovite aplite	89.7	61-76	0-0.76	11	1.11	0.12

Table 3: Feldspars from the granitic rocks of the Kawai area, Gifu Prefecture.

Specimen No.	Rock	Potash feldspar			Plagioclase		K_θ
		Or content (mole per cent)	2Vx	Triclinicity	An content (Shell part)	$2\theta_{131}-2\theta_{1\bar{3}1}$	
1	Biotite granite	84.8	68-83	0.70	16	—	0.19
2	"	88.1	73-79	0.86	18	—	0.20
3	"	86.6	68-78	0.01-0.59	22	1.50	0.25
4	Aplite	84.2	74-81	0.87	9	—	0.13
5	Muscovite aplite	80.8	79-84	0.78	12	1.16	0.15

Fig. 6

Fig. 6: Relation between An content and $2\theta_{131}-2\theta_{1\bar{3}1}(\text{CuK}\alpha)$ in plagioclases from the same rocks as in Fig. 3. The line represents the low temperature plagioclase series after Smith and Yoder (1956). Symbols are the same as in Fig. 3.

Fig. 7

Fig. 7: Parts of the X-ray spectrometer patterns of the potash feldspars from two granitic specimens. (A): Aplite from the Kibe plutonic mass, (B): Muscovite aplite from the Masago granite mass.

もし、既述の火成岩中における長石類の場合と同様にカリ長石と斜長石との間に平衡関係が成立しているとする、 K_θ -Or diagram 上において共存長石の組成を示す点は次のようになると考えられる。

1) 上述の地質学的事実から明らかなように、水蒸気圧が一定であれば K_θ -Or diagram 上の点は温度の上昇とともに右下方から左上方に列ると考えられる。

2) 温度の上昇に伴い水蒸気圧が高くなれば、水蒸気圧の低い場合に比べ、Or % の増加に伴う K_θ 値の増加率は小さくなるものと考えられる。

B) 結晶構造と生成条件との関係

かなり複雑である。次の3つの場合に分けて考察する。

1) 低温・低水蒸気圧下にある岩石中の長石が累進変成作用を受ける場合カリ長石の構造は安定状態に達することが出来ず、その **triclinicity** 値は小さいか、0 で、変成度の上昇するとき水蒸気圧の増加があまりなければ、**triclinicity** 値の変化は小さいか全くないと考えられる。水蒸気圧の増加が著しければ **triclinicity** 値は一般に大となる。しかし温度が相当に高くなり、三斜カリ長石と単斜カリ長石との転位点に近づけば **triclinicity** 値は逆に減少するであろう。

2) 低温・高水蒸気圧下にある岩石中の長石が累進変成作用を受ける場合カリ長石の構造は安定状態に達しているかあるいはそれに近いと、**triclinicity** 値は一般に大きい。しかし変成度が高くなり温度が上昇して、三斜カリ長石と単斜カリ長石との転位点に近づけば、**triclinicity** 値は小さくなると考えられる。

3) 低温・中程度の水蒸気圧下にある岩石中の長石が累進変成作用を受ける場合、即ち1)と2)との中間の場合には、カリ長石の **triclinicity** 値の変化は複雑で、温度の上昇・水蒸気圧の変化に伴い大きくなる場合も小さくなる場合もあると考えられる。その詳細については別紙に報告する。

斜長石の $2\theta_{131}-2\theta_{1\bar{3}1}$ 値についても、その生成条件との間にはカリ長石の場合と同じような関係が考えられるが、その詳細は省略する。

V. ミグマタイト質深成岩中における長石類の進化とその生成条件

A) 理論的考察

いわゆるミグマタイト地域においては、堆積岩はホルンフェルス・片麻岩等の段階を経てミグマタイト質花崗岩に変化する。この場合ミグマタイト化の進むにつれ温度は上昇すると考えられる。もしミグマタイト化の間、カリ長石と斜長石との間に化学組成上の平衡が保たれているなら、変成岩中における共存長石の理論から次のような考察が行なわれる。

1) K_f -Or diagram 上における共存長石の組成を示す点は右下方から左上方に列るであろう。この各点を結ぶ線をミグマタイト化における共存長石の成分進化線と称する。水蒸気圧の影響については変成岩中の共存長石の場合と同じである。

Fig. 8に ENGEL and ENGEL (1960) による Adirondack 地域の片麻岩—ミグマタイト中の共存長石、および SUBRAMANIAN (1959) による Madras 地域のチャーノカイト (charnockite)—エンダーバイト (enderbite)* 中の共存長石の成分進化線を示す。進化線はいずれも上述の通り右下方から左上方に引かれる。なお、後述の本邦におけるミグマタイト類に関する例をも含め、 K_f -Or diagram 上における共存長石の成分進化線はいずれもその位置をかなり異にしている。この位置の差を生じた原因は水蒸気圧の影響以外に、カリ長石中の $\text{CaO} \cdot \text{BaO}$ 等の成分・構造の秩序度の固相分裂曲線におよぼす影響、等にあると考えられるが、詳細は不明である。これは今後に残された

Fig. 8

Fig. 8: Diagram illustrating the trend of evolution in coexisting feldspars from two migmatite series. (A): Gneiss-migmatite series from the Adirondack area (solid circles), (B): Charnockite-enderbite series from the Madras area (open circles).

Fig. 9

Fig. 9: Diagram illustrating the trend of evolution in coexisting feldspars from two Ryôke migmatite series of the Yanai area. (A): Gneiss-Gamano granodiorite series (solid circles), (B): Kibegranites (open circles).

* チャーノカイトに関連するミグマタイト質岩石

重要な研究問題と考えられる。

2) カリ長石の光軸角・triclinicity 値の変化については、変成岩中のカリ長石の場合と同じように考えられる。

B) 本邦産 2・3 のミグマタイト質岩石中における長石類の進化

1) 山口県柳井地域における領家片麻岩—ミグマタイト質花崗岩類

OKAMURA (1960)・NUREKI (1960) により報告されているように、この地域の変成岩類はホルンフェルス・片麻岩・ミグマタイト質花崗岩に分けられ、北部から南部にゆくにつれて変成度が高くなっている。ミグマタイト質花崗岩は大畠花崗閃緑岩と呼ばれ、READ (1949) の *autochthonous granite* に対比されている (OKAMURA, 1960)。この地域には以上の岩石を貫いて蒲野花崗閃緑岩が広く分布している。この岩石は流状構造を有し、READ の *paraautochthonous granite* に対比されている。従って岩石形成の温度はホルンフェルス・片麻岩・大畠花崗閃緑岩・蒲野花崗閃緑岩の順に高くなっていると考えられる。これらの岩石中における共存長石* の成分進化線は Fig. 9 に示す通りで、既述の Adirondack 地域のものに似ている。カリ長石はいずれも *orthoclase* か *triclinicity* 値の小さい *microcline* である。これは既述のように低温・低水蒸気圧下の生成を示しているものと考えられる。BARTH (1956) も南 Norway の片麻岩中より同じような成因のカリ長石を記載している。

2) 山口県木部花崗岩類

岩体はモンゾニ岩質黒雲母花崗岩とこれを貫くアプライト・pegmatite・優白質花崗岩等よりなり、OKAMURA (1960)・NUREKI (1960) によればこの花崗岩類は領家古期のミグマタイト化作用が更に進み、完全な岩漿状態となつて形成されたものと考えられた。しかしこれらの岩石中における共存長石の成分進化線は右下方から左上方へ引かれ (Fig. 9), ミグマタイト質岩石中のものに似ている。これはこの岩体においては、アプライト・pegmatite 等の後期岩脈ほど、含有カリ長石が Ab 分に富み、同時に共存斜長石が An 分に富むからである。

Table 4: Feldspars from the Ryôke gneisses and granitic rocks of the Yanai area, Yamaguchi Prefecture.

Specimen No.	Rock	Potash feldspar			Plagioclase		Kθ
		Or content (mole per cent)	2Vx	Triclinicity	An content (Shell part)	$2\theta_{131}-2\theta_{1\bar{3}1}$	
1	Banded gneiss	90.7	51-54	0	34	1.55	0.38
2	Biotite gneiss	92.2	50	0	35	1.73	0.38
3	Banded gneiss	92.2	56-62	0	34	1.68	0.37
4	"	85.3	56-66	(131) diff.	32	1.70	0.38
5	"	86.1	55-64	(131) diff.	33	—	0.38
6*	"	85.3	56-62	0.14	14	—	0.16
7	Ôbatake granodiorite	87.5	59	0	34	1.75	0.39
8	"	88.7	52-63	0	34	1.78	0.38
9	"	92.3	59	0	32	—	0.35
10	"	90.6	47-62	0	35	—	0.39
11	Gamano granodiorite	79.1	51-55	0	32	—	0.40
12	"	81.9	58-65	0	31	1.69	0.39
13	"	88.5	56-62	0	33	—	0.37
14	"	88.7	58-60	0	34	1.78	0.38

* This rock is considered to have been formed under the higher water pressure than the other rocks.

* ホルンフェルス中にはカリ長石が殆んど含まれない。

Table 5: Feldspars from the granitic rocks of the Kibe area, Yamaguchi Prefecture

Specimen No.	Rock	Potash feldspar			Plagioclase		Kθ
		Or content (mole per cent)	2Vx	Triclinicity	An content (Shell part)	$2\theta_{131}-2\theta_{1\bar{3}1}$	
1	Granodiorite	82.8	52-71	0-?	27	—	0.33
2	"	80.8	51-71	0-?	29	—	0.36
3	"	89.4	54-73	0-?	27	—	0.30
4	"	89.7	50-71	0-0.89	29	—	0.32
5	"	83.9	54-83	0-0.88	30	—	0.36
6	"	88.0	54-83	0-0.93	28	—	0.32
7	"	86.5	63-82	0-0.89	29	—	0.34
8	"	87.5	52-81	0-0.94	30	—	0.34
9	"	84.7	57-81	0-0.94	30	1.68	0.35
10	Aplitic granite	81.0	59-70	0-0.43	32	1.68	0.40
11	Pegmatite	74.0	85	0.96	32	—	0.43

Fig. 10

Fig. 10: Relation between Or contents and optical angles in potash feldspars from the same rocks as Fig. 13. Symbols are the same as Fig. 13.

Fig. 11

Fig. 11: Relation between Or contents and triclinicity in potash feldspars from the same rocks as Fig. 13. Symbols are the same as Fig. 13.

Fig. 12

Fig. 12: Relation between An contents and $2\theta_{131}-2\theta_{1\bar{3}1}$ in plagioclases from the same rocks as Fig. 13. Symbols are the same as Fig. 13.

Fig. 13

Fig. 13: Parts of the X-ray spectrometer patterns of the potash feldspars from the Kibe granite.

一方カリ長石の光軸角・triclinicity には著しく巾があり (Fig. 10; Fig. 11), 同一岩石中に orthoclase と triclinicity 値の大きい microcline とが共存している (Fig. 12)。この microcline は orthoclase よりも後期に形成されたと考えられる。それは次の理由による。

a) 花崗岩中のカリ長石には斑状のものと間隙充填状のものとある。前者には microcline 質のものが多くは後者は常に orthoclase である。斑状晶はしばしば間隙充填晶を交代している。

b) ペグマタイト中のカリ長石は triclinicity 値の大きい microcline のみで, orthoclase を全

く伴わない。ペグマタイトは花崗岩を貫く後期の岩体である。

従つて花崗岩体はその形成の後期において急に水蒸気圧の高い条件下におかれたものと考えられる。

以上述べた共存長石の成分進化線・カリ長石の *triclinicity* 等について総合的に考察すると、木部花崗岩体は全体としてミグマタイト質花崗岩体* であると推定される。即ち領家古期のミグマタイト化に引きつづき、木部花崗岩形成時に至つても温度は更に上昇をつづけていたものと考えられる。花崗岩中の *orthoclase* はより低温・低水蒸気圧下において形成されたもので、*microcline* は更に後期において岩石がより高温・高水蒸気圧下におかれて形成されたと考えられる。

VI. 結 論

1) 岩漿性深成岩の生成温度・水蒸気圧は含有カリ長石・斜長石の化学組成・結晶構造より相対的に推定出来る。この場合岩石の進化に伴う長石類の化学組成・結晶構造値の変化を調べることが必要で、特に共存するカリ長石と斜長石の成分変化の関係を示す共存長石成分進化線の利用が有用である。

2) ミグマタイト化作用により生じた花崗岩類と岩漿性花崗岩類とは上述の共存長石の成分進化線に著しい差異がある。山口県木部花崗岩は従来岩漿性花崗岩と考えられていたが、共存長石成分進化線およびカリ長石の結晶構造より、ミグマタイト質花崗岩であると推定された。

VII. 謝 辞

この研究を行なうに当り、九州大学富田達教授より有益な御助言と御指導とをいただいた。また山口大学岡村義彦助教授よりは貴重な標本をいただいた。以上の方に厚く感謝の意を表する。なお研究費の一部として文部省科学研究費を使用した。

参 考 文 献

- BARTH, T. F. W. (1951): The feldspar geologic thermometers. *Neues Jahrb. f. Min.*, 82, 143-154.
- (1956): Studies in gneiss and granite. *Skr. Norsk. Vid.-Akad., Mat.-Nat. Klasse*, 1, 1-35.
- ENGEL, A. E. J. and ENGEL, C. G. (1960): Progressive metamorphism and granitization of the major paragneiss, northeast Adirondack Mountains, New York. Part II. Mineralogy. *Bull. Geol. Soc. Am.* 71, 1-57.
- EULER, R. und HELLNER, E. (1961): Hydrothermale und röntgenographische Untersuchungen an gesteinsbildenden Mineralen. VI. Über hydrothermale hergestellten triklinen K-Feldspat. *Zeitschr. Krist.*, 115, 433-438.
- FERGUSON, R. B., TRAIL, R. J. and TAYLOR, W. H. (1958): The crystal structure of low-temperature and high-temperature albite. *Acta. Cryst.*, 11, 331-348.
- (1960): The low temperature phases of the alkali feldspars and their origin. *Canad. Min.*, 6, 415-438.
- GOLDSMITH, J. R. and LAVES, F. (1954): The microcline-sanidine stability relations. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 5, 1-19.
- MACKENZIE, W. S. (1957): The crystal modification of $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$. *Am. Jour. Sci.*, 225, 481-516.
- and SMITH, J. V. (1959): Charge balance and the stability of alkali-feldspars. *Acta. Cryst.*, 12, 73-74.

* 岩体内に岩漿質部分が形成されていたか否かは不明である。又ミグマタイト化に伴う交代作用の問題も明らかにされていない。

- 村上允英 (1960A) : 中国西部における白堊紀及び第三紀火成活動, 山口大学理科報告, **11**, 21-126.
- (1960B) : 山口県八代花崗岩体の貫入機構に関する一考察, 地質雑, **66**, 202-211.
- NUREKI, T. (1960) : Structural investigation of the Ryôke metamorphic rocks of the area between Iwakuni and Yanai, southwest Japan. *Jour. Sci. Hiroshima Univ.*, Ser. C, **3**, 69-141.
- OKAMURA, Y. (1960) : Structural and petrological studies on the Ryôke gneiss and granodiorite complex of the Yanai district, southwest Japan. *Jour. Sci. Hiroshima Univ.*, Ser. C, **3**, 143-213.
- ORVILLE, P. M. (1958) : Feldspar investigations. *Year Book Carnegie Inst. Washington*, **57**, 206-209.
- (1960) : Alkali-feldspar-alkali-chloride hydrothermal ion exchange. *Year Book Carnegie Inst. Washington*, **59**, 104-108.
- READ, H. H. (1949) : A Contemplation of time in plutonism. *Quart. Jour. Geol. Soc. London*, **105**, 101-152.
- SCHERMERHORN, L. J. G. (1961) : Orthoclase, microcline and albite in granite. *Schweiz. Min. Petr. Mitt.*, **41**, 13-36.
- SMITH, J. R. and YODER, H. S. (1956) : Variations in X-ray powder diffraction patterns of plagioclase feldspars. *Am. Mineral.*, **41**, 632-647.
- SMITH, J. V. and MACKENZIE, W. S. (1958) : The alkali-feldspars IV: The cooling history of high-temperature sodium-rich feldspars. *Am. Mineral.*, **43**, 872-889.
- (1960) : Phase diagrams for alkali-feldspars. *21st Intern. Geol. Congr.*, **21**, 185-193.
- SUBRAMANIAN, A. P. (1958) : Charnockites of the type area near Madras-A reinterpretation. *Am. Jour. Sci.*, **257**, 321-353.
- TUTTLE, O. F. and BOWEN, N. L. (1958) : Origin of granite in the light of experimental studies in the system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$. *Mem. Geol. Soc. Am.*, **74**.
- YODER, H. S., STEWART, D. B., and SMITH, J. R. (1957) : Ternary feldspars. *Year Book Carnegie Inst. Washington*, **56**, 206-214.