評論・雑録

カムチャッカにおける第三紀花崗岩類の研究の展望

Review of studies on the Tertiary granitoids in Kamchatka

生出慶司 (Keiji Oide)*

1. はじめに

花崗岩一般のばあい、大ざっぱにみて、その起源が岩しよう性 (magmatic) のものであるか、あるいは交代性 (metasomatic) のものであるか、というところに焦点がしぼられている。しかし、いわゆる第三紀花崗岩になると、いささか問題は特殊である。もちろん、第三紀花崗岩が花崗岩一般の問題 (granite problem) に通じるものを包含していることはいうまでもない。そのため、第三紀花崗岩を epizone granite の典型と考え、これを突破口として、花崗岩一般の問題に近づこうとしている学者も少なくない。現在、第三紀花崗岩にかぎって、その大部分が岩しよう起源のものであることを疑う人はいない。たゞ、このばあい問題になるのは、その岩しようが玄武岩質岩しように起源を有するものなのか、あるいは、玄武岩質岩しようとは独自に、何らかの作用を通して他の物質から誘導されたものなのか、ということである。第三紀花崗岩類は、多くのばあい、玄武岩その他の塩基性岩類と、時間的にも空間的にも、密接な関係を保って産出するので、このような問題を解明するための好適な材料として扱われている。さらに、第三紀花崗岩が花崗岩一般に通じる性格をそなえているにしても、それが地下きわめて浅いところ、いわば深成岩の名に値しないようなところにおいて進入・固結したものである点に疑う余地はない。そこで、第三紀花崗岩が深成岩と火山岩のあいだをつなぐ役割を果たしているものとして、いゝかえると、それが両者の missing link の正体を提供するものにちがいない、という見とおしのもとで、そこに関心をよせている研究者も少なくない。

以上のような第三紀花崗岩の問題点と、それについての論争は、スコットランドのスカイ島、およびその周辺に広く分布する岩体の成因に関して、最も典型的具体的な形で現われている。たとえば、スカイ島の第三紀火成複合岩体は、主として結晶分化作用と混成作用の立場から、Harker (1904) 以来多くの研究者たちによつてその成因が追究されてきたことは、すでに衆知のところである。ところが、最近にいたつて、さらに新たな観点から、かなりつゝこんだ実験的・理論的考察がおこなわれ、その結果、それぞれの研究者たちによつて興味のある結論がみちびき出されている。いま、そのうちの主な 2, 3 をとりあげてみよう。

Tuttle と Keith (1954) は、「どれだけの花崗岩が岩しよう性であり、どれだけの花崗岩が交代性のものであるか」という花崗岩一般の問題にこたえる目的で、スカイ島の第三紀花崗岩をとりあげ、造岩鉱物の性状について 2, 3 の実験的考察を試みている。その結果、彼らは、主として石英の転移点と長石の温度型に関する考察にもとづいて、これらの花崗

* 東北大学教養部

(昭和 40 年 9 月 13 日受理)

岩類が、真の花崗岩と流紋岩のあいだの漸移型で、しかも、それらの missing link を代表するものであり、明らかに花崗岩質岩しよの結晶作用による産物であると断定している。

一方、Brown およびその他の人たち (1963) によると、スカイの第三紀花崗岩質岩類を形成した岩しよは、基盤岩類の部分的溶融によつて生じたものである。すなわち、彼らは Tuttle と Bowen (1958) の研究になる $\text{Ab-Or-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 系に関する実験結果に考察の基礎をおきながら、自ら花崗岩類と基盤岩類 (Torridonian arkose と Lewisian basic gneiss) の溶融実験をおこない、上記のような結論をみちびいている。そして、この地域の第三紀花崗岩質岩石の大部分が、1つの型の岩しよ、すなわち玄武岩質岩しよの分別結晶作用の産物であるという見解に強く反対している。さらに彼らは、これらの岩石が地下約 1,000m のところに進入し、そこで固結したものと推定している。

ひきつづいて、Moorbath と Bell (1965) は、全く別の観点から、Brown らの結論を裏付けするような資料と見解を発表している。すなわち、彼らは、スカイ島に産出する諸種の火成岩体における Rb と Sr の同位元素の分布をくわしく分析することによつて Faure と Hurley の仮説を引用しながら、「もしも酸性の中央進入岩体 (花崗岩質岩類) から採集した岩石の $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ が、玄武岩ないしはんれい岩質岩石についてえられたこの値にくらべて著しく大きいなら、前者は玄武岩質岩しよの分化作用によつて形成されたものではありえない」という前提の証明を試みている。

このように見てくると、古くから注目されてきた第三紀花崗岩の1つの典型を対象にして、いよいよ問題の焦点がしぼられてきた、という感じを抱かされる。それなら、問題の解明がもう一步のところに到達したのかというと、決してそうではないように思われる。むしろ反対に、こゝに至つて、第三紀花崗岩類が玄武岩質岩しよ起源のものであるという考えに対して、それとは全く独自の起源になるものであるという見解ははつきりと対立し、いわば、火成岩成因論における一元論と二元論の論争が、この種の岩石を対象にしますますはげしくなつていくさざさえうかがわれるのである。

最近におけるカムチャッカの第三紀花崗岩類の研究も、このような論争に一枚加わつた形で、新しい波紋を投じ、そして、こんごの発展が期待されようとしている。こゝでは、Prokhorov (1962a, b) の業績を中心にして、それに関連したいくつかの文献 (Vlasov, 1958; Korzhinski, 1957, 1960 など) を参考にしながら、ソビエトにおけるこの問題についての研究の傾向を概観してみよう。

2. カムチャッカにおける第三紀花崗岩類の産状

カムチャッカは、その多くの部分が、日本でいう「グリーンタフ地域」によつて占められ、ソビエトにおいて第三紀花崗岩を産出する唯一の地域である。こゝ数年来、主として鉱床探査を目的とした大規模な調査の結果、カムチャッカの地質は一段と明らかになつてきた。この地域に第三紀花崗岩類が多量に分布していることが分つたのも、この調査の一つの大きな産物である。しかし、何分にもそのかなりの部分がこれまで未踏査の地域であり、かつ、50 万分の1の地質図を作製することが調査の大きな目的である、というような状態であるから、野外の事実に関してわれわれが知りたいデータや知識は、きわめて不十分にしか与えられない。それでも、カムチャッカの第三紀花崗岩類が隆起地帯 (いわゆる複背斜)

第1図 カムチャッカにおける構造区分と下部中新統の
分布配列との関係についての略図
1～3；下部中新統，1；堆積岩類，2；噴出岩類
3；第三紀花崗岩類，4～6；構造時階，4；新第
三紀，5；古第三紀，6；先第三紀，7；実在深部
断裂，8；推定深部断裂

と沈降地帯を画している深部断裂帯に沿って分布していること（第1図），進入の時期は中新世初期，中新世中～後期，鮮新世の3つに分けることができること，そして，このような花崗岩類の活動と，気成ないし熱水性鉱床の成因とが密接に関係していること，そのうち，最も重要な鉱化作用の時期は第三紀後期であること，などの事実が指摘されているのを知るとき，日本の，とくにグリーンタフ地域の情況と合わせ考えて，少なからず興味を

さそわれるところである。しかし、時代のことに關しては、なお多くの疑問を残しているようである。

先ず、中新世初期においては、はげしい断裂と褶曲運動に結びついて、主として玄武岩ないし安山岩質の大規模な火山活動が発生し、それにともなつて、黒雲母花崗岩、花崗閃緑岩、閃緑岩、はんれい岩質閃緑岩、閃長岩などの、まれに大きな岩体が多量に進入した。さらに、これらの進入岩体にともなつて閃緑玢岩、アブライト、モンゾニ岩質斑岩などの岩脈類も活動している。しかも、この時期の火成活動に關連して、「東部カムチャッカ鉱床区」(太平洋沿岸地帯)が形成された。

鮮新世末期においては、ゆるやかな褶曲運動と大規模な断裂運動とに結びついて、大量のイグニブライトや浮石層をとまう、はげしい酸性火山活動が発生し、それと同時に、花崗閃緑岩やアルカリ岩質の小規模な進入岩体が活動した。この火成活動にともなつて、いろいろな型の熱水変質作用を含む「新第三紀二次的珪質岩帯」(カムチャッカを縦断する中央地帯)が形成され、これが同時に Cu, Pb, Zn, Fe などの硫化鉱物からなる重要な鉱床区をつくっている。

中新世中期の構造段階に対応する進入岩と鉱床に關しては、まだ十分には明らかにされていないようである。

3. 第三紀花崗岩類の岩石学的研究

Prokhorov は、主として、東南カムチャッカに広く分布する中新世初期の花崗岩類(古第三系と下部中新統を貫き、中部中新統におゝわれていることが確認されている)に注目し、それらの岩石学的な性質をくわしく記載し、その成因を追究している。

こゝで、彼がどのような方法と目的でこの研究を進めようとしているのか、そして、その結果、どのような結論をみちびき出したのか、ということについて前もつてかんたんに記しておこう。

そもそも、ソビエトにおける火成岩成因論の底流には、混成作用を重視する傾向があるように思われる。Prokhorov もこの流れをうけつぎ、第三紀花崗岩類の多様性の起源に關して、進入岩しようと母岩との相互作用が無視できないことをはつきりとのべている。このような観点に立つかぎり、当然、岩しよう論を開放系としてあつかう方法を要求することになり、したがつて、彼の国が生んだその道の大家、Korzhinskii の理論を考察のよりどころとしていることはいうまでもない。また、彼は、第三紀花崗岩類に關するかぎり、同じ場所で同時に活動した火山岩類と、その成因を切りはなして考えることはできない、すなわち、両者は同源であることを強調している。このように、意識的にせよ無意識的にせよ、深成活動と火山活動とを統一的にとらえようとする傾向が、ソビエトにおいてばかりではなく、世界的にも盛んになつてきているように思われる。たとえば、大量の酸性火山噴出物(イグニブライトや浮石流)と花崗岩質しようとの結びつき、あるいは、環状複合岩体(ring complex)における深成岩体と火山岩体との関係などが大きく注目されてきている。もつとも、このような問題はむしろ、古くして新しいテーマというべきものかもしれない。事実、ソビエトにおける岩石学の育ての親である Levinson-Lessing は、かつて、コーカサスにおけるある種の地表近くの餅盤を、不成功に終つた、すなわち、地表にむかつて突破できなかつた火山岩と名づけたが、最近、Ustiyev(1961)は、この思想にな

らつて、大量のイグニブルライトが地表に突破しえた花崗岩質深成岩体であると推定している。私たち（生出・折本、投稿中）も、東北日本における第三紀花崗岩類の産状を総括するに当たつて、その大部分が、同時に活動した粗粒玄武岩や玄武岩類、および大量の石英安山岩類と成因的に切りはなしえないことを予測して、それらを火山深成-複合岩体（volcano-plutonic complex）なる概念のもとに統一した。

こゝまで発展してくると、ひきつゞいて、第三紀花崗岩類と先第三紀花崗岩類との比較考察が、自ずと問題になつていくわけである。Prokhorov はこの点にまで研究をひろげ、その結果、彼は、両者のあいだには明らかに本質的な差異が認められると結んでいる。

そこで、再びもとにもどつて、このような考察の方法を、彼が具体的にどのように展開しているかを見てみよう。

Prokhorov が対象にした花崗岩類は、東南カムチャッカにおいて、主として塩基性ないし中性の噴出岩類よりなる下部中新統に包まれて産出し、先第三系からなる隆起帯と新生代以降の沈降帯との境界を画する巨大な断裂に沿つて、しかも、短軸背斜上に分布している。岩体の大きさは平均 $20\sim 30\text{km}^2$ で、まれには $100\sim 200\text{km}^2$ に達するものもある。進入の深さは 500m をこえないものと推定されている。岩質はきわめて変化に富み、閃緑岩、石英閃緑岩、花崗閃緑岩、アラスカイトあるいは花崗岩などに分類されるが、その主体は石英閃緑岩である。また岩型相互の関係はすべて漸移であることが強調されている。粒度の変化もいちじるしく、一般に中心部において粗粒、外縁部ほど細粒である。岩体内部には多くのアブライト脈が発達している。さらに、母岩から導入された捕獲岩が多量に含まれている。母岩に対しては接触変成作用を与え、巾 $20\sim 50\text{m}$ の角閃石—輝石—斜長石—ホルンフェルス帯を形成している。化学組成と造岩鉱物の性質からみて、これらの花崗岩類はアルカリ土系列* に属するものである。これは、この地方の第三紀火山岩類の属する系列に対応している。

こゝで主な造岩鉱物についてみると、斜長石は一般に normal zoning を示し、とくに石英閃緑岩と花崗閃緑岩において著しい。花崗岩とアラスカイトにおいては、それがほとんど消失している。組成範囲は、石英閃緑岩における $An_{70}\sim 25$ から、アラスカイトにおける $An_{20}\sim 10$ にわたっている。輝石は石英閃緑岩と若干の花崗閃緑岩に含まれる。斜方型と単斜型の両方存在するが、前者がふつうのしそ輝石に属するのに対して、後者は $Wo_{50}En_{40}Fs_{10}$ の平均組成を有し、透輝石—サーライトに属するものであることが特異である。しかも、しそ輝石はつねに透輝石—サーライトによつて包まれており、残留性の粒としてのみ存在する。角閃石は緑色の普通角閃石で、石英閃緑岩から花崗岩にいたるまで普遍的に存在し、最も主要な有色鉱物である。黒雲母は副次的な成分としてかなり広く含まれているが、とくにアラスカイトにおいては、これが唯一の有色鉱物である。石英とカリ長石は、後期晶出物として、ほとんどすべての岩相に普遍的に存在する。これらのうち、有色鉱物は、それらの組織的・形態的な相互関係から、しそ輝石→透輝石—サーライト→普通角閃石→黒雲母の順序に晶出したことが明らかである。

なお、これらの鉱物の結晶過程を第 I 階程と第 II 階程の 2 つに分けることができ、そのうち前者は、石灰質斜長石と普通角閃石とが自形ないし半自形の結晶として同時に晶出

* ソビエトにおいて広く用いられていることばで、ほゞカルクアルカリ岩系に相当する。

する時期であるのに対して、後者は、ソーダ質斜長石、黒雲母、カリ長石、石英などが反応縁として、または粒状充填の産状を呈して晶出する時期であり、両者のあいだには明瞭な組織的境界が区別される点が強調されている。そして、このような2つの階程の区別は、閃緑岩、石英閃緑岩、花崗閃緑岩などにおいては、はつきりしているが、花崗岩やアラスカイトにおいては不明瞭である。さらに、第Ⅰ階程で結晶する岩石は組成的に閃緑岩であることが指摘されている。

そこで、Prokhorov は、いくつかの理由をあげて、閃緑岩、石英閃緑岩、および花崗閃緑岩などが、花崗岩質岩しようとその母岩である下部中新統の塩基性噴出岩とのあいだの相互作用の結果形成された混成岩であることを証明しようと試みている。その理由は、

- (1) 閃緑岩系統の岩石は一般に小さな岩体として産出する傾向を有し、しかも、これらの岩体は無数の花崗岩質アブライトによつて貫かれている。このことは、下部に大きな花崗岩の mass がかくされていることを物語っていること。
- (2) 大きな岩体のばあい、外側から中心に向かつて、閃緑岩、石英閃緑岩、花崗閃緑岩などを経て花崗岩へと、岩質が累帯状に漸移していること。
- (3) 岩体の周縁部に、輪郭の不明瞭で、しばしば taxitic texture の発達した捕獲岩が存在すること。
- (4) 正規の花崗岩やアラスカイトにくらべて、燐灰石や磁鉄鉱の含有率が高いこと。
- (5) 同様に、不平衡的な鉱物組合せがより多く観察されること。

この他にも、2,3 の余りはつきりしない理由がのべられているが、こゝでは省略する。要するに、Prokhorov は、この地域の諸種の侵入岩体を形成した岩しよの分化系列として、つぎの2つを区別しようとしている。すなわち、

- (i) 正規のアルカリ土質岩しよ：

はんれい岩→石英閃緑岩→花崗岩→アラスカイト→花崗岩質アブライト

- (ii) 混成作用の影響をうけた岩しよ：

はんれい岩→閃緑岩→石英閃緑岩→花崗閃緑岩→斜長アブライト

こゝで、分化系列の出発点にはんれい岩が設定されているのは、小岩脈として閃緑岩が存在し、その斑晶の組合せがはんれい岩の構成に対応するからである。

さて、いま記したように、Prokhorov がカムチャッカの第三紀花崗岩類に関して多くのページを割いてのべているところの混成作用は、少なくともこれだけの理由では、すぐには受け入れることのできない、きわめて根拠のうすいもののように思われる。ところが、章をあらためて、Korzhinskii の理論にもとづきながら、岩石化学ないし物理化学的な側面から考察を加えている記述には、うつてかわつた迫力が感じられる。

そもそも Korzhinskii は、彼の開放系に関する熱力学を具体的に発展させ、岩しよにおけるアルカリの活動度 (activity) が、鉱物の晶出順序と分化経路とに決定的な影響を与えることを証明した。Korzhinskii によると、Bowen の反応系列は、アルカリが正規の活動度 (normal activity) をもっているようなアルカリ土質岩しよの結晶作用のばあいにきがつてあてはまるものである。

第2図は、問題の花崗岩類の化学組成に関し、 H_2O , K_2O , Na_2O など を移動性成分 (mobile components) としてとりのぞいた残りの主な塩基、すなわち主な不動成分 (inert components) について、Korzhinskii 独特の方法を用いて図示したものである。

第2図 カムチャッカの第三紀花崗岩類の結晶過程における溶液の変化

1; 下部中新世噴出岩類, 2; 第三紀花崗岩類, 3~4; 結晶作用の2つの段階における組成, 3; 石英閃緑岩, 4; 石英閃緑岩, 5~7; 組晶作用の経路, 5; アルカリ土質花崗岩類 (コルジンスキーによる), 6; 石英閃緑岩系列, 7; 花崗岩とアラスカイト系列, 8; 可動成分, 9; 余剰成分

Ab; 安山岩質玄武岩, A; 安山岩, R; 流紋岩, Dp; 閃緑玢岩, Qd; 石英閃緑岩, Gd; 花崗閃緑岩, G; 花崗岩, Pa; 斜長アブライト, Ap; アブライト, Px; 単斜輝石, Hb; 普通角閃石, Bi; 黒雲母, Pl; 斜長石, Or; カリ長石

彼がなぜこのような図示法を考案したのか, またその意義はどこにあるのか, などについては原著文献にゆずることにして, こゝでは結果だけについて検討してみたい。各点の成分比の読み方は, かたわらの小さな図に示されている。

まず, 第2図からつぎのことが明らかである。

- (1) (はんれい岩)→花崗岩→花崗岩質アブライトの系列は, 正規のアルカリ土質岩しよの経路にほど近い線を描いている。
- (2) (はんれい岩)→石英閃緑岩→斜長アブライトの系列は, アルカリ土質岩しよの経路にくらべて著しく右にかたよっている。

- (3) 下部中新統の噴出岩類は、アルカリ土質岩しよの経路と完全に一致している。
 (4) それぞれの侵入岩類の経路の出発点は、噴出岩類の経路の出発点である 安山岩質玄武岩に一致する

そこで、はじめに、石英閃緑岩や斜長アブライトがなぜに正規の経路から偏倚し、それが混成作用の産物として予測されるところの一定の化学特性を示すにいたつたのか、ということについて、著者の説くところを要約してみよう。結論を先にいうと、このような偏倚は、混成作用にともなうアルカリ体制 (alkaliregime) の変換によつてもたらされるものである。いうまでもなく、アルカリ体制は、現象的には、鉱物の共生関係や晶出順序をとおしてこそ、はじめて岩しよの分化経路を支配することになる。

第3図には、カムチャッカの花崗岩類について、アルカリ体制に対する鉱物の組合せの依存関係が示されている。図において、縦軸に概念的に示されている μK_2O という値は、 K_2O の化学ポテンシャルで、岩しよのアルカリ度 (alkalinity) の指標となりうるものである。したがつて、下段 (a) に描かれている2つの図は、アルカリの活動度が通常のばあいの鉱物の共生関係を示し、すなわち、アルカリ土質岩しよにおける鉱物の組合せ

第3図 花崗岩類の鉱物の共生関係と晶出順序
 (コルジンスキーによる)

と分化経路に対応するものである。それに対して、上段の図 (b) には、アルカリの活動度が高められた条件での共生関係と分化経路が示されており、これが、とりもなおさず、混成岩しよの条件に対応し、閃緑岩や斜長アブライト系列の岩石の鉱物相を説明するものであるというわけである。これらの図の関係については、もちろん、Korzhinskii によつてすでにその原理がくわしく解明されているところである。下段の図 (a) から、正

規のアルカリ活動度をもった岩しようから誘導された岩石においては、斜長石の外帯の組成は、その塩基度が灰曹長石 ($An_{20} \sim 18$) をこえてはならないことが予測される。しかし、問題の花崗岩やアラスカイトにおいては、斜長石の外帯の組成はしばしばもつと酸性で、曹長石 (An_{10}) に達することがある。このことは、それらを形成した岩しようにおける K の活動度が若干低下していることを物語っている。一方、混成岩においては、斜長石の外帯の組成はもつと塩基性で、 $An_{31} \sim 28$ に達する。このことは、図から明らかのように、 K の活動度の上昇によつてもたらされたものである。一般に、 K の活動度の上昇は、同時に Na の活動度の上昇をもたらす。その結果、岩しようにおけるアルカリの総量が増大する。この地域の花崗岩やアラスカイトにおけるアルカリの総量は、この種の岩石の平均値にくらべて若干低下しているのに対して、石英閃緑岩と花崗閃緑岩においては、それが正規の量以上に達していることは、以上にのべたことがらに対応している。また、 K の活動度の上昇に際して、斜長石の結晶作用の領域にとつてかわつて、カリ長石の領域のわずかな拡大と同時に、有色鉱物の結晶領域の著しい拡大が生じる。このような理論的帰結も、野外での岩相変化と各岩相の相互関係をよく説明するものである。

もう1つ、輝石の結晶作用に関する考察をうかがつてみよう。かりに、 $En_{70}Fs_{30}-Wo_{50}En_{40}Fs_{10}$ の系をとつて考えれば、第4図から明らかのように、アルカリの活動度の上昇にともなつて、共融点は $Wo_{50}En_{40}Fs_{10}$ の側に移動し、このことは、しそ輝石の結晶領域を拡大すると同時に、与えられた液から最初にしそ輝石を晶出する結果をまねき、そしてまた、その結果晶出する単斜輝石がより Ca に富むことになる。このことは、天然に産出する閃緑岩系統の岩石において、しそ輝石と透輝石-サーライトとの関係に具体的に現われている。

第4図 溶液のアルカリ度の上昇にともなう輝石の晶出順序と組成の変化についての概念図

一般に、アルカリの活動度の上昇は溶液の Ca の早期分泌と、かわつて、Fe の後期溶液への濃集をもたらす。このこともまた、閃緑岩系統の岩石中における、磁鉄鉱のシュリーレン、団塊、脈などの胚胎によって証明されている、と Prokhorov は強調するのである。

この他著者は、混成作用の結果、なぜにアルカリの活動度が高められるのか、またその機構などのこまかい問題についても、いくらかのページを割いて考察を進めている。しかし、これはきわめて複雑な問題でもあり、また、他の多くの人たちの文献を参照しながら議論が進められているので、こゝでは立ち入ることをさけて、たゞ、つぎのことばを引用するに止めておきたい。「混成岩しようにおけるアルカリの活動度の上昇は、たゞ、滲透作用 (infiltration) がおこなわれるときにかぎつて可能である。」これが可能であつたことは、「岩しよう期の交代作用によつて生じた岩石と、進入岩の内接触部に直接接して、石英とカリ長石からなる薄い辺縁層が存在することによつて明らかである。これらの辺縁層は、明らかに〈撃退されたアルカリの aureole〉の縮図である。」また、「混成岩しようにおけるアルカリの活動度の上昇は、かりに、アルカリの滲透流の速度が、花崗岩質岩しようへ向う反対方向のアルカリの拡散速度をこえているばあいにかぎつて可能である。」

著者が説くところは以上のとおりであるが、ざんねんながら、すでにふれたように、このような議論をさゝえるべき別の記載が弱い点、研究の方法が新しい試みであるだけに惜しまれてならないと同時に、こんごの発展に期待したいところである。とくに、これだけの深い議論を進めていながら、岩相図、ルートマップ、さらには地質図の 1 枚すらさえられていないことは、議論が全くの理論的な仮説だけにたよつて、余りにも演繹的にすぎる傾向のあることと合わせて、問題が感じられる。

それはともかく、Prokhorov はなおも精力的に研究を進め、つゞいて、第三紀深成岩類と噴出岩類との成因的な関係について考察を加えている。

すでにふれたように、カムチャッカの第三紀花崗岩類は、アナヴガイスク統とよばれている、厚さ 2,000m に及ぶ火山砕屑岩層を母岩としている。この地層は正規の海成堆積岩類と互層しているが、化石が産出しないので、はつきりした時代を決定することはできない。しかし、他の地層との層位的な関係から、下部中新世に属することはまちがいない。また、それが海底火山活動の産物であることも明らかである。花崗岩類は、このアナヴガイスク統を貫くと同時に、化石のデータから中部中新世であることが明らかとなるので、フリッシ型の堆積岩層によつて不整合におゝわれている。アナヴガイスク統を構成する火山岩類は、玄武岩質安山岩、安山岩、および流紋岩などであるが、主体は安山岩である。

Prokhorov は、このような火山岩類と花崗岩質進入岩類とが、つぎのような 3 つの根拠のもとづいて同源であることを強調し、したがつて、花崗岩類の根源は玄武岩質岩しようであると結論づけている。

- (1) 火山岩類と花崗岩質進入岩類とは、活動の時代とその構造的な場所とを共有していること。
- (2) 両者の岩石化学的特ちょう、とくにアルカリの組成が共通していること。
- (3) 稀有元素の分布状態が、両者を通じて一様であること。

思えば、このような根拠は、「火成輪廻」(igneous cycle) や「岩石区」(rock province) のような古くからの概念に通じるもので、火成活動の時代 (time) と場所 (space) の一致、および、岩石学的性質の共通性から、consanguinity や kindred (ともに

「同族」の意)なる概念へと導く方法論に対応するものであつて、きわめて古典的、正統的な方法である。したがつて、この際、問題は方法にあるのではなくて、著者がどのようにして火山活動と深成活動とのあいだの本質的な相関関係を解明しようとしているか、そして、どこに両者の「同族」性を根拠づける共通点を求めようとしているのか、その結果、どのような具体的データを提示しているのかというあたりに注目する必要があると思われる。

すでに何度かふれたように、下部中新世の火山岩類と侵入岩類とは、ともに、隆起帯と沈降帯との境界を画する大規模な断裂帯に沿つて分布しており、このことは、両者が共通の火道を利用して活動していることを物語っているというのである。このことをさらにこまかく見てみると、先ずはじめに、陥没運動と断裂の形成にともなつて、塩基性ないし中性の火山岩類が大量に噴出した。ひきつづいて、運動はやゝ隆起に転じ、それにともなつて流紋岩が噴出した。そして、この後半の活動に対応して、花崗岩類が侵入したものである。このような推移は、日本のグリーンタフ地域における、西男鹿期から台島期にかけての状況に対応していて、興味深いものがある。

噴出岩類と侵入岩類との岩石学的な性質をくらべてみると、両者ともアルカリ土系列に属し、多くの共通性を読みとることができる。先ず、Prokhorov は誰でもやるように、両者の総化学成分をいくつかの変化図 (variation diagram) に点示し、分化の経路を比較し、その類似点に注目している。その1つが第2図に示されている。また、個々の成分について見ると、同一系列に属する他の地方の多くの岩石の平均値にくらべて、両者とも、相対的に SiO_2 と CaO に富み、鉄苦土成分とアルカリに乏しく、かつ、アルカリのうちでは Na の方が優勢である、などの点が指摘されている。さらに、20 種近くの稀有元素について、その分布を検討し、クラーク数にくらべたばあいの含有量を「未検出」を含めて4段階に分けて比較、考察している。それに加えて、このような議論は、第5図に示したデータによつてさらに補強されている。すなわち、第三紀花崗岩類のなかのチタン磁鉄鉱の含有量 (横軸) と、チタン磁鉄鉱のなかの TiO_2 と V_2O_5 の含有量 (縦軸、ただし、この図では TiO_2 のみ) の関係を検討したばあい、すでに別の研究者が発表しているところの、この種の統計的なデータとくらべてみて、むしろ玄武岩質岩しよう起源の火山岩類に類似の傾向を示すことが強調されている。このことは、一方では、かりにウラル地方の先第三紀花崗岩類に関する同じデータに比較したばあい、両者、すなわち、第三紀花崗岩類と先第三紀花崗岩類のあいだに存在する明らかな差異を承認することを要求している。こゝで、自ずと、玄武岩質岩しよう起源の花崗岩と、それとは独自の花崗岩質岩しよう起源の花崗岩の2つが存在しうることを肯定することになる。Prokhorov は、「玄武岩質系列」の花崗岩と「花崗岩質系列」の花崗岩の2つを区別することによつて、暗にこの点を認めてはいるが、この問題について、これ以上に議論を進めようとはしていない。

たしかに、こゝに提示されたデータに関するかぎり、第三紀花崗岩類と火山岩類との岩石学的共通性を否定することはできない。しかし、Prokhorov が示した以上のようなデータは受け入れるにしても、その結論までも認めようとするならば、われわれとしては、すぐさま上のような大きな問題に当面するばかりではなく、その前に先ず当惑せざるをえない。なぜならば、私たちは、身近なフィールドのあちこちにおいて、同じような現象で、しかも、さらに複雑な関係にぶつかつて、現在、問題を室内にもちこむところで、その整理

第5図 東南カムチャッカの第三紀花崗岩類におけるチタン磁鉄鉱の含有量と組成 1; 第三紀花崗岩類, 2; 花崗岩系列 (ウラル地方) の花崗岩類の領域, 3; 玄武岩系列の花崗岩類の領域

に困惑している段階だからである。結局、第三紀花崗岩には、特殊な問題と同時に、必ずや花崗岩一般に通じる問題も含まれているにちがいないので、今のところ、問題点をよく見定めながら、たえず方法論を反省しつつ、着実にデータをつみ上げていく以外に、問題解明の近道はないように思われるのである。

引用文献

- Brown, G. M. (1963), Melting relations of Tertiary granitic rocks in Skye and Rhum. *Miner. Mag.*, **33**, 535~562.
- Harker, A. (1904), Tertiary igneous rocks of Skye. *Mem. Geol. Surv., Scotland*.
- Korzhinskii, D. S. (1957), Physicochemical basis of the analysis of the paragenesis of minerals. Consult. Bureau, Inc., New York.
- (1960), Acidity-alkalinity in magmatic processes. *Rep. Intern. Geol.*

- Congr., 21st session, Nordn. part 21, 160~170.
- Moorbath, S. & Bell, J. D. (1965), Strontium isotope abundance studies and Rubidium-Strontium age determinations on Tertiary igneous rocks from the Isle of Skye, north-west Scotland. *Jour. Petr.*, **6**, 37~66.
- Prokhorov, C. V. (1962a), Evolutional features of magmatic melts in the processes of hybrid magmas crystallization as exemplified by the Tertiary granitoids in Kamchatka. (in Russian) *Izv. AN SSSR geol. ser.*, **8**, 60~77.
- (1962b), On the comagmaticity of Tertiary granitoids and effusives in Kamchatka. (in Russian) *Izv. AN SSSR, geol. ser.*, **10**, 20~32.
- Tuttle, O. F. & Bowen, N. L. (1958), Origin of granite in light of experimental studies. *Mem. Geol. Soc. Amer.*, **74**.
- Tuttle, O. F. & Keith, M. L. (1954), The granite problem: Evidence from the quartz and feldspar of a Tertiary granite. *Geol. Mag.*, **91**, 61~72.
- Ulasov, G. M. (1958), New data on the geology of Kamchatka and perspective of its ore presence. (in Russian) *Sov. Geol.*, **5**.
- Ustiyev, E. K. (1961), Some petrographical and geological aspects on the problems of ignimbrites. (in Russian) *AN SSSR, geol. ser.*, **11**, 3~15.