

広島大学学術情報リポジトリ
Hiroshima University Institutional Repository

Title	岩石学の論理構造 : 特に花崗岩問題に寄せて
Author(s)	小島, 丈寛
Citation	広島大学地学研究报告 , 22 : 1 - 70
Issue Date	1979-09-05
DOI	
Self DOI	10.15027/52881
URL	https://ir.lib.hiroshima-u.ac.jp/00052881
Right	
Relation	



岩石学の論理構造

—特に花崗岩問題に寄せて—

小 島 丈 晃

Logical Structure of Petrology

—With Special Reference to the Granite Problem—

By

George KOJIMA

ABSTRACT: The science of Japan is characterized by reading papers, interpretation, and smuggling foreign ideas, as disclosed by one of the most ingenious reviewers of Japan, Takaaki Yoshimoro. If that be the situation, where is to seek the originality of scientist?

Among them, problems related to the interpretation in petrology are discussed from the standpoint of the **logical structure of petrology**. The petrology is situated between descriptive geology and theoretical physical sciences. In the petrology are used various technical terms belonging either to descriptive geology or physical sciences. For instance, the term "magma" is a descriptive one, denoting a kind of flowing rock-forming mass which gives rise to a volcanic rock through solidification or cooling, and it must not be identical with "liquid", a kind of phase of material. When the term "magma" is equalized to "liquid", abstraction based on an assumption is implied. The problem is not that of assumption, but of the fact.

The most typical case of **interpretation** in geology has been provided by the Old Testament, the tale of the Deluge. It has been the most effective public fantasy of the Western people, as the Tennô (the Emperor of Japan) fantasy stands for the Japanese. The Testamental interpretation can be traced even up to E. SUSS: "*Das Antlitz der Erde*". The interpretation in the present geological science can be divided into two categories; that is, the abstractive and the inductive interpretations. In the abstractive interpretation, one side of things and affairs is picked up, interpreted after some models, and generalized. For example, if the assemblage of jadeitic pyroxene and quartz is found in a rock, the rock is interpreted to have been formed about 30 km below the surface. On the other hand, in the inductive interpretation, one starts from experiments or principles, forms models, then picks up one side of facts and affairs as the informations fitted to the models. Examples are afforded by papers of geophysicists.

In this connection, the inductive method is discussed from the standpoint not of J. S. MILL, but of E. HUSSERL and M. MERLEAU-PONTY: the induction is to read the essentials of things and affairs directly. The induction is not "power", but "light" clarifying the future.

As the most prominent work of petrology, "*The Evolution of the Igneous Rocks*" (N. L. BOWEN, 1928) is analysed with respect to its logical structure. BOWEN's inductive chain

of inference is as follows: petrographic province→rock association→community of origin (consanguinity)→differentiation of a single original magma (=basaltic magma)→fractional crystallization of basaltic liquid. The arrow in this series represents the inductive leap, not the logical consequence. In this chain structure, the term begins from geological one to that of physical science. Therefore, the inductive chain represents the sequence of abstraction. Geological sciences, including petrology, are constructed of many domains of different level (order) of abstraction, that being the fundamental difference from physics, so to speak, the idealizing fiction. About the role of the experiment BOWEN's words should be noticed; that is, "... since the investigated systems are always much simpler than magmas, it is not possible to use directly the actual quantitative values of concentrations, temperatures, etc., of the experimental results. The principal service of these must be rather to point the road."

The present writer names the epigones of BOWEN the **bowenists**. One of problems in the works of bowenists is the transgression of border between branches of science. When they infer the mechanism of magmatic differentiation as gravitational sinking of crystals within a magma chamber or squeezing of magmatic liquid through a narrow passage in the Crust, the problem enters into the field of dynamic side of geology, in which it must be discussed dynamically based mainly on the fabric in the nature.

The latter half of the paper is devoted to **the granite problem**. In the beginning, it is noticed that naming of granite based solely on the mineralogy and texture of the rock is impossible. The classification of natural things and affairs, including rocks, should be based on the form of phenomenon, as exemplified by the natural water, which is classified as river water, lake water, groundwater, etc., according to its form of phenomenon. In this connection, the granite problem should be one of field geology, as pointed out by H. H. READ. The granite problem must begin with clarifying the genesis or the history of formation of individual granitic mass. From this standpoint, the history of the granite problem is reviewed briefly.

Then, **experiments** on granitic substances are reviewed. Important results are summarized as follows:

- 1) Under the condition of H_2O saturation, the minimum temperature of liquidus-solidus becomes lower with increase of P_{H_2O} , and the rate of the lowering is distinct up to $P_{H_2O} = ca\ 1\ kb$.
- 2) In the case of H_2O undersaturation, the temperature interval between liquidus and solidus is conspicuously larger than in the case of H_2O saturation. This suggests that, in the granite magma of moderate temperature, much crystal grains of refractory minerals, such as pyroxene, intermediate to calcic plagioclase, hornblende, would be suspended in the liquid magma.
- 3) In the peraluminous haplogranitic system, excess alumina can melt into haplogranitic liquid only in a limited amount, that excluding the possibility of peraluminous granitic liquid magma. On the other hand, in the peralkaline haplogranitic system (mole ratio alkali: alumina > 1), peralkaline hydrous solution persists down to such lower temperature as about $300^\circ C$, and the H_2O content attains to about 50 wt. percent in the solution. The gas phase in equilibrium with this solution becomes gradually enriched in silicate contents, and the immiscible gap between the liquid and the gas disappears at $P_{H_2O} = 1.25\ kb$, $320^\circ C$. These results are very significant to change our view on the nature; that is, from the discontinuity view to the continuity one.

History of formation is reflected on the **fabric** of granitic rocks. It is characterized by the "Kristalloblastese". The granitic texture is no more than the granoblastic one. Several characteristics which appear to be significant to clarify the genesis of granitic rocks

are listed as follows:

1) Plagioclase having An-rich core with normal zoning is occasionally included. Magmatic type of twinning is observable in the core. It represents the crystal of refractory character in experiment.

2) Glomeroporphyroblastic megacrystals of plagioclase, consisting of several crystals of commonly andesine-oligoclase arranged subparallel to each other, are often found. Zoning and turbid An-rich core are only rarely observed. This type of plagioclase is often found in metamorphic rocks, representing an intermediate stage of growth of large porphyroblast.

3) Plagioclase forms sometimes porphyroblastic crystals including granoblastic crystals of pyroxene, hornblende, and biotite, which resemble porphyroblasts in amphibolite, often in the course of feldspathization or anatexis. The host plagioclase appears heterogeneous in the extinction position, that suggesting the absorption of included plagioclase which had formed granoblastic aggregate with hornblende.

4) Alkali-feldspars occur ① as phenocrystic large crystals, ② as porphyroblastic megacrystals of irregular shape, ③ forming granoblastic aggregate with plagioclase and quartz, ④ filling interstices, and ⑤ as patches in plagioclase crystals (not always anti-perthite). At least, some of these features must be attributed to the metasomatism or replacement at rather lower temperatures, probably by the action of hydrous alkaline solutions.

5) Quartz occurs, as is the case for alkali-feldspars, ① as possible phenocrysts, ② as porphyroblast-like crystals, ③ as granoblastic aggregate with oligoclase and alkali-feldspar, and ④ interstitially. The formation may have lasted from the early-magmatic to the later hydrothermal stages.

6) K-feldspar, Na-feldspar, and quartz form such textures as ① graphic — micropegmatitic — granophyric — spherulitic intergrowth, ② myrmekite, ③ perthite, and ④ intergranular albite. Some of these textures may be related to metasomatism.

7) There is a tendency of mafic and felsic mineral groups to collect into separate melanocratic and leucocratic parts, forming gneissic or network structure. Mafic minerals form lenses, seams, and clots. These features are comparable to those of metamorphic differentiation; that is, the contrast between melanosome~restite~palaeosome and leucosome~mobilizate~neosome.

8) Deformation structures are observed selectively among mineral species. Deformation structures of minerals are commonly found in more basic varieties of granitic rocks, such as granodiorite, quartz-diorite, quartz monzonite, and tonalite. Minerals of earlier stages or inherited from the origin before granitization, namely, those having refractory behaviour show deformation structures, whereas those of later formation, such as alkali-feldspar and quartz show no traces of deformation. Especially, plagioclase megacrystals have been fractured to form glomeroporphyritic aggregates, and the trace of twinning is often distorted. Such features of deformation can well be explained by the hypothesis that, before the crystallization (probably recrystallization) of K-feldspar, Ab-rich plagioclase, and quartz, the crystal mush mainly consisting of hornblende and plagioclase, presumably in some cases with alkali-feldspar, quartz, and biotite, flowed to the upper part of the Crust. The presence of intergranular fluid phase is not excluded, but it is needed that there prevails enough level of stress to give rise to intragranular flow of crystals consisting the crystal mush. The flowing material having these characteristics must be quite different from the so-called "magma", the molten volcanic material. Therefore, there cannot always exist any correlation between the rhyolite magma and the flowing granitic material. In this respect, is significant H. RAMBERG's experiments, which concluded $1 \sim 10^8$ poises of viscosity difference between the country rocks and the flowing granitic material, which forms dome-shaped or batholithic plutons. To cause fracturing and fragmentation of country rocks

along the magma channel is needed large values of the viscosity difference.

J. J. SEDERHOLM and afterwards E. WEGMANN has stressed the significance of **metamorphic basic dykes** in granitic and gneissic masses (the "Sederholm effect" named by P. ESKOLA). The role of the metamorphic dykes is twofold; that is, the "vertical synchronization" and "die Stockwerkanalyse". The inference is based upon the assumption that the intrusion of the dyke occurs when the country rocks are situated under the "Oberbau" conditions — lower temperature and pressure —, while the ductile deformation and metamorphism take place under the "Unterbau" or "Zwischenzone" conditions — higher or intermediate temperature and pressure. The assumption cannot be held in the presence of recent knowledges about the visco-elastic behaviour of rock materials. Even the hot molten magma can be fractured by a shock. Therefore, it can safely be said that the flowing granitic material can be fractured, and intruded by basaltic magma. The basaltic magma may be quenched down to the temperature of the granitic material. Afterwards, the dyke may be deformed — sheared and boudinized —, and metamorphosed by the surrounding granitic material, including anatexis. While, the granitic rocks surrounding the basic dyke may be partially melted (transfusion, mobilization, rhemorphism) to form acid dykes and veins, which penetrate the dyke itself. It is suggested that the activity of granitic material would be related to the ascent of basic magma into the Crust.

Lastly, it is stressed that there exists a spectrum from liquid magma to solid flow through all variations of crystal mush. On the other hand, with respect to the nature of intergranular fluid, there exists also a spectrum from magmatic liquid to hydrothermal solution. There should not be any discontinuity between flowing "magma" and rigid rock mass. Generally speaking, the trend of view on the nature is on the road to the continuity view, as shown in the history of sciences.

目 次

I. 前 書	1. 序論——初中教育における「花崗岩」
付論 1——文献について	2. 「花崗岩」の定義
II. 解釈論	B. 花崗岩地質学の歩み
A. 公害問題において果たした解釈学の役割	1. 花崗岩地質学の課題
B. 地質学における解釈学	2. HUTTON の場合
1. 聖書「大洪水」説	3. 花崗岩問題の展開
2. ボーエン主義者	C. 花崗岩物質の物理化学的実験の歩み
3. 抽象型解釈学	1. TUTTLE-BOWEN まで
4. 演繹型解釈学	2. TUTTLE-BOWEN 以後
付論 2——帰納法について	D. 花崗岩体生成史を読む
C. ボーエンの学問	1. 花崗岩の組織を読む
1. 地質学における実験・理論の役割	2. 花崗岩質流動体の性質
2. "The Evolution" の構造	3. 花崗岩体中の変成岩脈の意義
付論 3——解釈学の越境性	4. 花崗岩質変成岩から花崗岩マグマへの
付論 4——変成相概念について	スペクトル
III. 花崗岩問題	5. エピローグ
A. 花崗岩のとらえ方	後 記

I. 前 書

1968年東京大学および日本大学において勃発して1969年にかけて全国の大学をその渦中にまき込んだいわゆる大学〈紛争〉は、行政と政治の権力側からまさに紛争として圧殺された。「角を矯めて牛を殺す」といった情況が今はどこかの大学をも支配している。といってもこのばあい、「牛」は〈暴力〉学生ではなくて大学そのものではなかったのであろうか。

もちろん本稿は大学〈紛争〉について議論する場ではない。しかしわたくしにとりて、もし大学闘争とのかかわりがなかったとしたら、このような形での本稿は生まれなかったとおもわれるので、〈紛争〉にふれないわけにはいかない。大学闘争において学問（それは大学における学問だけに限らないが）は二重の意味で問われた。一つは、科学者によって担われた学問が、科学技術者の社会的活動を通じて社会の中で生きられているその生きざまであった。その生きざまに対して大学人にはどのような責任が問われるべきかということであった。いいかえれば、現代の高度に組織化された社会体制＝テクノストラクチャの中で、大学が産み出した科学技術者はいかなる役割を担わされているのか、それは個々の科学技術者が自ら意識するか否かに拘わらない問題である。この問題とのかかわりにおいて、大学教育はいかなる役割を果たしてきたか。それは中央政治権力側からは「社会の要請に応える」という表現をとって押しつけられた（たとえば「中教審答申」）。しかし他方、体制のシステム＝テクノストラクチャに組込まれる運命にある学生の側からみれば、自らをこの構造体の部品として非人間化（疎外）することに他ならない。テクノストラクチャの非（反）人間化への自己運動がますます強化されるであろうという将来展望に立てば立つほど、学生側の展望はますます非個性的な灰色なものにならざるをえない。そうした展望に立って、〈知的労働力生産工場〉としての大学に対して学生達の拒否反応が爆発したということもできよう。現代のテクノストラクチャが反人間的抑圧構造になっているということは、その底辺で生活している一般庶民にとってそうであるというばかりでなく、この構造体の中枢に位置する高級官僚・技術者・経営者にとっても、また彼等によって民衆の抑圧弾圧に使用される暴力構構（たとえば機動隊）に所属する者達にとっても、同じく反人間的抑圧構造になっているのである。こうした点が鋭く直視されたのが大学闘争であった。知的選別機構の頂点に位置する大学に学ぶ学生は、将来の上級官僚・技術者・経営者として養成されており、いわば一般庶民に対する加害者の役割を担わされていることになり、そこから（とりわけ東大闘争において）自己否定の思想が生まれたのである。

大学闘争において学問が問われたもうひとつの側面は、学問性（創造性）の空洞化、学問の形骸化という現実の姿であった。すなわち授業が教師と学生との創造的活動によってその持続性が支えられるのではなく、入学試験によって手に入れたパスポートにのっかった学生の排他的特権意識と裏腹に、教師の側においては、学問的努力の低い、内容の乏しい授業が、単位認定権という強権のみに支えられて学生に押しつけられていた。外国論文の輪読でお茶を濁すといったことが〈授業〉として大学院でまかり通っていた。大学〈紛争〉後もこうした事態は相変わらずである。単位認定権によって裏付けられた授業強行や試験強行が今なお行なわれている（たとえば1972年春の広大教養部期末試験強行）。しかもこのような教師側

の姿勢に呼応する形で、学生側にも授業を単位取得の手段としか見ないという姿勢が支配的となり、両者相俟って大学教育の空洞化を進めているのが現実である。

本稿は大学〈紛争〉およびその後のこうした状況を背景にして生まれたものである。〈紛争〉後10年間のわたくしの広大大学院における講義を核として本稿は書かれている。もっともわたくしのこの10年間の講義がほんとうに上記の問題に答えたものであったかどうかは別問題であるが。

本稿は「特に花崗岩問題に寄せて」という表題にあまりそぐわないとおもわれる方も多いであろう。というのは花崗岩をめぐる問題に直接的に関係しない部分が多いからである。しかし学界内だけで完結するような花崗岩問題はあまりに狭過ぎるともいえよう。たとえば「文献論」であるが、日本の学界における花崗岩問題という形で問題をとらえる限り、「文献論」は避けて通れないようにわたくしにはおもえるのである。わたくしは状況を離れて問題は考えられないと考えている。だからあるばあいには「情況」のほうが「花崗岩」にとって代わってもいいのではないであろうか。

付論1——文献について

文献をめぐる情況 数年前わたくしの教室に來訪したあるコノドント専門家が、関係論文が毎月90は出るのでそれを読むだけでも大変だと言っていたが、この頃のコノドントばかりではいよいよ大ごとであろう。20年前には岩石学の論文が載る外国雑誌といえば5本指程であったが、今では表題を見るだけでくたびれてしまう。日本では学会誌の他に紀要類がある。単行本も、戦前には引用される変成岩のテキストブックといえば HARKER か GRUBENMANN-NIGGLI の本しかなかった。今では毎年何冊ということなく岩石学の本が出版される。そのほか何とかシンポジウム報告というのが出る。わたくしにはそれを読む暇も力もないので、ほとんど読まないが、どうも読まないでもすむような気がしている。日本の特別事情だけではなさそうであるが、論文の数を揃えないと研究費がもらえない仕組みになっており、大学社会では採用や昇進にさしつかえる。これが学問にとって情況が無視できない所以のものである。だからじっくりと練り上げてから論文にするなどといったことができなくなってきている。

今やコンピューターと EPMA とゼロックスは科学者の「三種の神器」といわれている。講座の研究費は一向にふえないが、コピー費用は般のほりである。わたくしの研究室の計算では1971年度に教員・院生・卒論学生一人当り2400頁分のコピーをしている。あまりコピーを作らない人もいるので、多い人ではこの倍にもなったであろう。1年に5000頁もの論文を読んでいるのであろうか。また読まなければ学問ができないとでもいうのであろうか。

日本の学問の特徴 吉本隆明（「心的現象論序説」）は次のように言っている。

わたしの言語の考察に対して、言語学者、外国文学者、外国哲学者、あるいはその予備留学生たちからの〈外国ではもっと進んだ言語の考察がなされている。それに比べればこの試みはかくべつの新味も水準もない〉という反響が関心をそそった。——わたしは、かれらが文献よみと解釈と知的密輸の専門家であることをしているが、みずから創りあげるべき能力も水準もないこともよく知っている。そこでわたしのようなものが、逆説的な世界に歩み入らなければならなくなる。

文献読み、密輸入、解釈学は三つともいずれも昔から指摘されてきたことである。「論語読みの論語知らず」は文献学者、密輸入者、訓詁学者を諷したものであろう。祖述家とか銜学者、ペダゴグというのもこの部類である。水俣病やイタイイタイ病の公害事件などで政府側証人として出て来た中央学界の学者諸君にその典例が見られる¹⁾。この人々は文献をよく読んでいて（文献しか読んでいなくて）、それからえた（すなわち「密輸入」した）原則やステレオタイプをそのまま具体的な事象に押しつける（すなわち「解釈」する）。たとえば塩水くさび現象というモデルないしステレオタイプを知っているだけで、それを無媒介的に阿賀野川有機水銀事件に持ち込んで、新潟地震の時こわれた新潟の倉庫から流出した農業水銀が川を遡行したのだというような手合である。こんなぐあいに、文献読み、密輸入、解釈学は別々のものでなく、一つものちがった側面にすぎないのである。

文献読みの学問 文献読みのする研究とはどんなものかという前に、一体文献読みをしないで学問ができるかという問が先であろう。本当はむしろ文献といったもののない分野の研究ほど独創性を文字通り示す筈なのである。こういったことを寺田寅彦の随筆の中で読んだことがある。（寺田にとって随筆は学問の一つの表現型式であった。）寺田は文献を読まない学者の典例として彼の師田丸卓郎（物理学者）をあげ、その独創力を讃えた。久野久も狭い分野の少数の文献しか読まなかったが、彼の足で稼いだ学問は広くて独創性に富んでいた。William SMITH (1769-1839) は「英国地質学の父」と呼ばれ、層序学の基礎をきずいたが、彼は独学で測量法を学び、測量士の助手となり、実学を通して地質学の原理に到達したのであって、彼はほとんど文献を知らなかったという²⁾。文献を読まなければ学問が出来ないというのは、文献読みの学者側からの根拠のない宣伝にすぎない。

それでは文献読みの学問——文献を集めて頭で作りあげた〈学問〉とはどういうものであろうか。その好例は“*The Geologic Developments of the Japanese Islands*” (1965)、特にその中の西南日本の古生界に関する部分に見ることができる。これは具体物から作りあげたものでなく、文献からでっちあげたものというべきであろう。たとえばその中の“Sambagawa metamorphic belt” (p. 111-115) を、市川・藤田・島津編「日本列島地質構造発達史」(1970)の中の「三波川変成帯」と比べながら読んでいただきたい。

なおこの本に関して付言しておけば、この本はその基本的地質観において、それが対抗するものとして念頭に置いた小林貞一の“*The Sakawa orogenic cycle*” (1941) と何等変わらないという点である。小林はモデル化的思考家であり、その基本的地質観は H. STILLE の“*Die Grundfragen der Vergleichenden Tektonik*” (1924) によって代表されていた Katastrophentheorie と世界同時造山説であった。彼はこの枠組の中に文献から大量の中味を詰め込んだ。“*The Geol. Dep.*” もこの地質観から脱しておらず（たとえば日高造山＝アル

1) 宇井 純：公害原論 I, II, III, 亜紀書房, を参照されたい。

2) 実学と理論的抽象的学問との区別を原理ないし基礎学と応用学とのちがいでとらえる仕方では、実学の中で学問が生きられているという現実具体的生活世界における本質が見失われてしまいはすまいか。生きられている現実具体的生活世界から理論学が抽象されていくというのが、実際の歴史である。生活世界が媒介しない科学史は頭で作られた擬似歴史としかいえない。理論から応用へという思考形式と、モデルないしステレオタイプで具体的事実を解釈するという思考形式とは同類である。

プス造山), 内容の品質についても小林に及ばない所が少なくない¹⁾。

文献か実物か 事実学においてはことばを実物について理解しないと大変な誤解を産みやすい。その好例が日本で使われている花崗岩の種々のパリエティに因することばである。たとえばミグマタイトということばがあるが、わたくしは自分の目で実際に南西フィンランドでミグマタイトなるものを見て、それがマグマティスト (SEDERHOLM はマグマティストだった) の立場で用いられていることばであり、その立場に立っていう¹³⁾ 進入片麻岩 (injection gneiss), すなわち magmatic "ichor" が lit-par-lit に注入したものをいうということを知った。そうすると日高のいわゆるミグマタイトなる花崗岩体はミグマタイトでなくなる。もう一例あげれば、正片麻岩 (orthogneiss) ということばであるが、日本でも明治から大正にかけて使われていたが、その後使われなくなっていたのを、10年あまり前からわたくしが使いだして復権した。それも自分で北欧・中欧の花崗岩源片状変成岩を実際に見てきてからであった。日本でしばしば使われる片麻状花崗岩ということばはかえって事態を曖昧にしておくことになるわたくしは考える。このような例は枚挙にいとまがないほどで、それからわたくしは自分で確認するまで文献を安易に信用しないことにしている。いずれにせよ文献は実物の代用にならないということはいえよう。その理由は、ことば・記号・数量やモデルで客観化されたもの (文献) と現実具体物 (経験) との間には永久に埋めきることのできない距離があるということである。

II. 解 釈 論

前章では日本の学問稼業の特徴として文献読み、密輸入、解釈学の三位一体をあげたが、その有害性を極めて鮮明に露わしたのは、この十数年激化しつつある公害あるいは環境汚染問題で<専門家>なる者が果たした役割である。そこで解釈論のイントロダクションとして、公害問題における解釈学の役割にまずふれることにする。

A. 公害問題において果たした解釈学の役割

新潟水俣病の場合 水俣病がチッソ水俣工場の廃水中のメチル水銀に原因があるということがほぼ確実になってきた1964年に、新潟県阿賀野川下流域に水俣病に酷似する患者が発見された²⁾。その後阿賀野川中流鹿瀬に工場をもつ昭和電工側は種々の反論を準備したが、横浜国大教授北川は「原因は結果の10km以内にある」という独断論を踏まえ、現地調査なしに、新潟地震 (1964年6月) による倉庫の破壊で含水銀農薬が海に流れ出し、それが河口から上流に向けての塩水くさび現象で阿賀野川を逆行して水銀汚染が起こったという説を唱えた。しかしよく調べると症状は新潟地震以前に出たのである。問題は次のような事情にある。つまり現象の直接観察から出発したばあいでも、農薬流出と塩水くさび説に到達するかどうかという点である。現象 (経験) が理論を引き寄せるか、理論が現象を引き寄せる

1) 文献学者の称号に「ではの守」ということばがある。「ソビエトでは……」、「アメリカでは……」等々、いつでも目が足下から離れて外国を向いている。「欧米では高温高压実験が進んでいるのに日本では設備がないのでとり残されてしまう」といったナショナリズム (実物取り) に転化する。

2) 宇井 純：公害原論 I. p. 130 以下参照。

のかというちがいである。後者が解釈学なのである。

三島・沼津コンビナート反対運動 くわしくは宇井や星野の本にゆずるが¹⁾、このばあいには、静岡県・通産省という中央からの線上にある調査団が模型実験とモデル計算に基づいて、対策を立てればコンビナート公害は起こらないとしたのに対して、三島市の依頼で地元の沼津工高の教員と国立遺伝研のスタッフ等が結集した調査団は、鯉のほりによるくわしい風向調査など具体的事実の観察を重ね、遂にコンビナート計画を引っ込めさせたのである²⁾。

解釈学者の論理と役割 解釈学者が公害事件などで好んで用いる論理は、第一に、あるモデルに立てばこう考えることが可能だという possibility の論理を肯定的方向に用いることであり、第二には、具体的事物に基づいて帰納した結論が蓋然的であるということを手にとって、probability を今度は形式論理的に否定することである。この論理についてはあとでくわしく検討してみたい。

宇井純は公害問題の四段階説を出している³⁾。第一段階は公害発生から原因の研究という段階で、原因がわかるのが第二段階、次いで反論が出るのが第三段階。この段階では中央から派遣された〈専門家〉(〈学識経験者〉=解釈学者)が活躍し、第四段階が中和の段階で、どれが正しいのかさっぱりわからなくなってしまう、といっている。この第三段階以降が解釈学者の活躍する段階である⁴⁾。しかし新潟水俣病地裁判決以降、こうした解釈学者の論理をしりぞけて疫学的帰納法を採用する傾向が出てきたのは歓迎すべきことである。わたくしは第四段階は住民闘争(訴訟も含めて)の段階だと考えたい。

B. 地質学における解釈学

地質学における解釈学の古典は旧約聖書の「創世紀」に基づく解釈学である。近代地質学は聖書的解釈学を現実の事物によって打破することから始まったといっよいであろう。これに対し現代解釈学は物理学・化学の適用から始まり、より抽象的なレベルから具体物を解釈するという形式をとっている。これを近代合理主義信仰あるいは物理帝国主義とも表現できる。

1. 聖書の「大洪水」説

旧約聖書の神話は欧米キリスト教国における根強い共同幻想と考えてよいであろう。その内容を抄録する(「創世紀」第7章以下より)。

- 1) 宇井 純：公害原論 II。p. 135 以下；星野芳郎編：日本の科学者。勁草書房，p. 269 以下。
- 2) このほか、小林 純：水の健康診断。岩波新書；宇井 純：公害の政治学。三省堂新書，をおすすめする。
- 3) 宇井：公害原論 I。p. 98。
- 4) 三島・沼津コンビナート反対闘争で住民達は、「東から来る学者は信用できないが、西から来る学者は信用できる」といっていたという。わたくしは愛媛県伊方原発の訴訟に生越忠と一緒に参加したが、住民側に立つのはほとんど西の人で、政府や四国電力側の証人は東から来ていたという経験をした。東京とその近辺のメガロポリスはそういう風土の所産、というより風土がないのだ。東京の学者は風土から絶たれ、フィールドから離れ、現実具体物との結び付きを断たれてしまっている。一般論は器用にまとめるが、現物にぶちあたると手も足も出ない。日本の学界の中心が東京にあり、各種審議会の委員の大部分が東京の学者で占められているということ、しかも地方の学者の行動様式が東京に対して求心的であるということは、日本の学問にとって不幸なことである。

時に世神のまへに乱れて暴虐世に満盈ちたりき、神世を視たまひけるに視よ乱れたり。そは世の人皆其道をみだしたればなり。神ノアに言たまひけるは……視よ我彼等を世とともに剪滅さん。汝松の木をもて汝のために方舟を造り方舟の中に房を作り瀝青をもて其内外を塗るべし。(以下方舟に入るべきものをあげる)。……ノアの齢の六百歳の二月即ち其月の十七日に当り此日に大淵の源皆潰れ天の戸開けて、雨四十日四十夜地に注げり。……水甚だ大いに地に瀰漫りければ天下の高山皆おほわれたり。……凡そ地に動く肉なる者鳥家畜獸地に俯諸の昆蟲および人皆死り。……神ノアおよび彼とともに方舟にある諸の生物と諸の家畜を思ひたまひて神乃ち風を地の上に吹しめたまひければ水減りたり。亦淵の源と天の戸閉塞りて天よりの雨止め。是に於て水次第に減て退き百五十日を経てのち水減り、方舟は七月に至り其月の十七日にアララテの山に止まりぬ。……二月の二十七日に至りて地乾きたり。

この神話は日本人にとっての天皇家神話に比すべき根強い共同幻想になっていた。それは大洪水 (the Deluge) という事実についての確信と激変観 (Catastrophism, 地学に限らない) とに表明される。

大洪水説はヨーロッパ更新統の融氷流水堆積物や化石の説明(解釈)にあらわれる。英国近代地質学がすでに確固たる歩みを始めてかなり経ったころの1823年に、Oxfordの鉱物学と地質学の教授であったWilliam BUCKLANDは、「洞窟・裂罅・洪積礫層中の生物遺骸やその他の地質現象の観察、世界的な大洪水の働きを証するものとして」と記して“*Reliquiae Diluvianae*”を出版した。ただしこれは彼の先任者であるJohn KIDDにたしなめられたということである。彼はいう。

チョークやその他の硬い地層中の化石は大洪水以前のものであることはごく一般的に承認されていることで、それが聖書の信頼性を傷つけるようなことは全然ないのである。

これがイギリス地質学の「英雄時代」の話なのである。ところが更に驚いたことは、かの高名なEduard SUSS (1831-1914) が次のように大洪水の事実性を議論の前提にしていることである(“*Das Antlitz der Erde*”, 1885-1909)。

ノアの洪水は人間が立証した最大の自然界の事件である。……大洪水はユーフラテス河下流域に起こったもので、その原因はペルシャ湾かあるいはその南方で起きた大地震で、同時に湾外からサイクロンが襲ったのである。

化石をノアの洪水に結びつける解釈を直ちに教会権力に結びつけてよいものかどうか。権力というものは民衆の共同幻想に支えられてこそ権力でありうるということはヘーゲルを俟つまでもなく、天皇制が身近に示しているとおりでである。人々の思考を内から規制する共同幻想の根深さを思い知らされる。

激変観も聖書幻想の名残りといえればそれまでだが、わたくしのみるところでは、激変観はあらゆる神話や民話に共通して存在するようで、人間の思維現象ないし思惟構造を考える上で極めて本質的な興味深い問題であるように思う。革命観も案外その一つかも知れない(人間幻想から沈澱したものとして)。その点からいえば、斉一観(uniformitarianism)は近代精神が激変観に対してかちとったものということができよう。このことについては後述する。

2. ボーエン主義者

19世紀前半は科学思想上は機械観 (Mechanismus) と粒子観 (Atomistik) の時代であった。地質学の中では層序学や古生物学において大きな進歩があったが、岩石学においては植民地主義の背景で記載的知識は増えつつあったが、理論的には見るべきものがほとんど無かった。岩石学の展開には次代のエネルギー観 (Energetik) の完成を俟たなければならなかった。特にエネルギーに基づく熱力学はエネルギー保存則の提出 (J. R. von MEYER, 1842; H. L. F. von HELMHOLTZ, 1847) から始まり、19世紀後半における内燃機関の開発、化学工業の発達を通じて完成された。その間岩石学の分野では、H. C. SORBY (1826-1908) が1850年ごろに偏光顕微鏡による岩石の観察を始め、R. W. E. von BUNSEN (1851), J. M. E. DUROCHER (1857) らはその頃開始された岩石の定量化学分析の結果に基づいて、火成岩を酸性と塩基性とはに分ち、境を SiO_2 60パーセントに置いて、それぞれ二つのマグマから由来したと考え、それらの中間に位置する岩型はこの二つのマグマの混合によるとして説明した。しかしその根拠はあまり事実によったものでなく、むしろ思弁的なものというべきであった。19世紀後期になると岩塩・合金等に関する相平衡の実験的研究が興り、それらの成果を岩石学に移入しようという試みが始まった (共融系平衡に基づく J. H. L. VOGT, 1903-4)。そうした気運の中で設立されたのがカーネギーのワシントン地球物理学実験所 (Geophysical Laboratory of Washington, Carnegie Institution) であった。カナダ生まれで M. I. T. 出の気鋭の俊才 N. L. BOWEN は、設立の初期から無水珪酸塩溶融体の相平衡に関する定量的実験を進め、この未開の分野を急速に開拓したことはまことに驚異としかいようがない。その岩石学的成果は彼が35才の時の "The reaction principle in petrogenesis" (*Jour. Geol.*, 30, 1922) に発表され、その岩石学の体系化は彼の41才の作 "The Evolution of the Igneous Rocks" (1928) においてなされた。彼の説は、地殻の部分再溶融による花崗岩質マグマの生成は認めていたものの、根本的には一元説で、玄武岩質マグマを母岩漿としてその分別結晶作用で火成岩の多様性を説明した。

BOWEN の学問は極めて緻密で、論理的、構成的であり、その実験は当時独壇場で、精度が高く厳密で、彼の当時の学界における巨峰的権威は現在では想像しえないほどのものであった。彼は、後にくわしくのべるように、決して単純な解釈学者ではなかったのであるが、その権威は多くの亜流——エピゴーネンを産み出した。そこから現代解釈学が発生したので、彼等をボーエン主義者 (Bowenist) と呼ぶことにしよう。加藤武夫 (東大鉱床学教授) は当時、これを諷して「望遠鏡時代」と呼んだ。

ボーエン主義者で代表される現代解釈学には大きく分けて二つの論法がある。一つは実物から出発はするが、そのある一側面を抽象してそれを理論やモデルで解釈するという論法で、これを抽象型解釈学と呼ぼう。第二は理論やモデルから出発してそれに適合するような情報だけを渉り出し、その理論やモデルの中に包摂するという論法で、これをここでは演繹型解釈学と呼ぶことにしよう。

3. 抽象型解釈学

BOWEN が反応原理を提称した後、競ってこの原理を用いて、分別結晶作用による岩漿分化というモデルで、ある火成岩体の不均一性やある岩石区の火成岩の多様性を解釈すること

が流行した。日本では1923年に留学から帰国した坪井誠太郎が反応原理を定着させ、当時多くの火成岩体が調べられたことがある。

この時期の論法はたとえばこういうものであった。あるはんれい岩体（例えば山口県須佐町高山^{こうやま}）で高所に単斜輝石が低所にカンラン石が見付かると、これは重力場での分別結晶作用があったと解釈する。こういう論法で最も問題になる点（弱み）は、重力場で結晶がマグマ溜りを沈下したという過程（それは物理化学的過程ではなく力学的過程である）の根拠を、力学的視点に立って追求するという意欲が全くないということである（こうした問題については後述する）。「結晶が沈下したとすれば解釈がつく」というだけのことでしかない。それで果して事実学（自然学）における真理探究の態度といえるだろうか。有名な Skaergaard はんれい岩体の研究¹⁾は結晶がマグマ溜り中を運動する過程を力学的に追求しており、上述のような「研究」と同日の談ではない。BOWEN の書いたものをよく読んでみるとそういった「越境」は慎重に避けている。彼はいう。

実験的研究の役目はそれが、どこに反応関係が期待されるか、ということを示す点にあるのでなければならぬ。（“*Evolution*”, p. 57）

彼は天然の岩石界で反応関係の徴標として、固溶体鉱物の存在、累帯構造、反応線（コロナ）、および火成岩系列を通覧した場合の「現出と消滅の順序」（order of appearance and disappearance, sequences of minerals and rocks）を指摘した。おそらく彼の本来の意図は、実験から抽象したモデルからこれらの事実を分別作用で解釈しようとしたのではなく、むしろこれらの事実注目する機縁として実験的研究があったと考えるべきではなかろうか。だからこれらの事実から反応関係を証明するということが目的なのではなく、実験は反応関係モデルを設定し岩石学的事実を相互に関連づけるための出発点だったとおもわれる。この点が BOWEN その人と Bowenists=Epigonen との根本的なちがいの点である。ちょうど MARX と Marxists とのちがいと同様な。

当然のことながら Bowenists の活躍が下火になると、今度は岩石学界で花崗岩化作用の議論が栄えてきた（1930年代後半をピークとして）。これは Bowenism に対する修正主義ないし反動の意味をもっていたとおもわれる。これには “magmatists” と “transformists” (“dry” と “wet”) の分派があったが、前者は抽象型解釈学の傾向が強く、後者は19世紀的思弁的解釈学の傾向を示していた（たとえば D. L. REYNOLDS や PERRIN 等²⁾）。

1) L. R. WAGER & W. A. DEER: The petrology of the Skaergaard intrusion, Kangerdlugssuak, East Greenland. *Medd. om Grønland*, 105, 1939, p. 1-352.

2) 戦後日本で一時唱えられた cordierite-anthophyllite rock を対象とした Mg metasomatism も、思弁的解釈学の一例といえよう。この考えは P. ESKOLA の Orijärvi 地方の同種岩石の研究 (On the petrology of the Orijärvi region in Southwestern Finland. *Bull. comm. géol. Finlande*, no. 40, 1914) の結果を輸入したものとおもわれるが、ESKOLA には考えの基礎に化学反応の仮説があった。すなわち普通の酸性の leptites (アーコース質変成岩) のアルカリと石灰がマグネシアに交代されたと考える。それが、anthophyllite-cordierite rock の出現イコール Mg 交代作用といった図式で輸入された感がある。ところが本家のほうでは H. V. TUOMINEN & T. MIKKOLA (Metamorphic Mg-Fe enrichment in the Orijärvi region as related to folding, *Bull. comm. géol. Finlande*, no. 150, 1950, p. 67-92) によって、微斜長石花崗岩 (Svecofennide の late-kinematic granite) による→

BOWEN という。

It is but a poor recommendation for an hypothesis that it can be checked against observation to such a limited extent that it is difficult to prove wrong. ("Evolution", p. 64)

こういった、間違いだと証明することが困難というだけの仮説、これをここでは「貧困仮説」(poor hypothesis) とかりにいっておこう。さきに述べた公害の第三段階で出てくる仮説がこの好例である。阿賀野川水銀汚染のばあいの塩水くさび現象説をおもいだしていただきたい。上の脚注の Mg 交代作用はどうであろうか。Bowen-Epigenon の解釈も、BOWEN の権威という支えを取拂ったらどうなるであろうか。

ここで考えさせられるのは高温高压実験の適用から出てくる推論が貧困仮説ではないだろうかという点である。

科学もそれぞれの時代の社会生活の中に組み込まれた科学活動から沈澱したものであるから、科学の〈進歩〉には内発的な側面と、社会の他の部面、特に政治と経済の進展からの影響と見られる側面とがありうるわけである。科学の〈進歩〉を科学者の内発性だけから説明するのはその意味で一面性を免れない¹⁾。このように見たばあい、1950年代をピークとしてなされた高温高压実験は、第二次大戦における超強度材質の開発その他の技術的波及効果の一つと見ることができる。高温高压下での変成鉱物合成が先で、実際の変成岩の観察がそのあとをついていくという時期が1960年前後に現われることになった。たとえばこういう議論が出てくる。ある変成域にヒスイ輝石と石英の共生が見いだされると、その変成域は地表下30数 km の深所で変成作用を受けたという。このばあい、ヒスイ輝石の固溶体効果、変成温度、地下増温率、岩石密度、圧力と地殻内応力との関係などすべてに仮定がなされていることに注意しなければならない。これらのあるものは仮定ですませるものでないであろう。またその変成域が30数 km の深所にありえたかどうかは、地質学的に検討される必要がある。もちろんこうした推論が将来の問題点を指示したということについては異論はないであろうが、それが結論として扱われるならば、解釈学といわなければならない。なおこの場合にも物理化学的領域から力学的領域への「越境」があることにも注意したい。上の結論に対して造構加圧 (tectonic overpressure) の議論が出てくるのも当然であった。戦後の高温高压実験を金科玉条とする解釈論は、「新ボーエン主義」(neobowenism) とでも呼ばるべきものである。こうした解釈論が BOWEN の学問と縁もゆかりもないということについては、いずれ述べるはずである。

1960年代以降になると圧力の実験可能領域がますます拡大し、マントル領域に及んでくる。

広域の変成以前に、褶曲に伴って tectonic transport と分化が起こり、これによって緑泥石に富んだ部分が、後の変成作用(角閃岩相)によって Mg に富んだ anth.-cord. rock になったとされた。わたくしが Orijärvi の露頭で観察した印象でも変成前の分化構造を残している状態がうかがわれた。日立も柵原も花崗岩に伴う変成作用以前に低変成度の広域変成作用を受けた所である。ただし Mg 交代説の方々による訂正は未だうかがっていない。

- 1) 〈進歩〉と括弧でくくったのは、それが社会という地平における価値用語なので、一義的にきめられないからである。進歩ということばは没価値的に使うべきではない。社会史から切り離れた科学史がないのと問題は同じである。

そこでマントルについての種々の推論が現われることになる。しかしマントル物質は直接観察できないので推論はいよいよ思弁的となり、貧困仮説の色合いが濃くなる。とりわけ自分では実験しない人々が他人の実験結果をあやつって解釈遊戯にふけるばあいがそうである。これは旧ボーエン主義時代以来の日本の学界の伝統ではないかとおもわれる。超苦鉄質岩がしきりにマントルから由来させられるが、これはその定置条件について力学的証明があることなのである。

プレートテクトニクス輸入以来の貧困仮説の氾濫については、もう枚挙に暇がないのでここではふれぬことにしよう。

抽象型解釈学は具体的事物の一面をひろいあげて、それをモデルにあてはめて推論し、その結果を全体におし拡げるというやり方であるが、こうした抽象型解釈学の一亜種としてこういう例がある。それはある地域の變成岩類を一括して単一の變成相系列を樹立し、それから變成作用のPT条件を推論するやり方である。このばあい気を付けなければならないことは、いくつかの變成岩地帯が一つの變成相系列に統一できるのかどうかという、事実に関する具体的吟味と、複變成作用の各フェーズがきちんと識別されているかどうかという点である。一例をあげれば、熊本市南東の¹間ノ谷變成岩と肥後變成岩（これ自体が複變成岩）とを一つの變成相系列にするばあいが前者である。複變成作用を無視したための困惑はほとんどすべての變成帯でおこりつつある。これらの問題の検討をぬきにした變成相議論の結果は、貧困仮説というより明らかに「誤りの仮説」というべきものである。

以上が旧ボーエン主義・新ボーエン主義で代表される抽象型解釈学である。これらの共通的性格をあげると次のようになる。

- 1) 他人の実験や仮説の密輸入である（「他人の裾で相撲をとる」！）。
- 2) 実物を自分で調べないで文献で議論する（「机上の空論」！）。
- 3) 出発点の假説の支えをとり去ると、解釈結論の証明が困難である（「貧困仮説」）。
- 4) 出発点の事実の側面、実験、仮説とは違った分野に解釈結論が踏み込む（「超境」,「物理帝国主義」）。
- 5) 学界でのカッコ良さ=先進的学者を気どっているが、自分のフィールドをもたないので、流行を追って次々とテーマを変えないとやっていけない（「浮草稗業」）。

これらの特徴は吉本隆明が指摘した日本的学問の特徴をあますところなく示している。何故このような行動と思考の様式が支配的なのであろうか。

第一に考えられることは、学者の思考と行動のこのような様式が目立つのは、どうも日本と米国とではないかとおもわれるのである。英国などでは相変わらず地味な記載的研究が続けられてきて、ボーエン主義はあまり目立たなかったようである。大陸移動説の観点からの研究も英国では流行の盛衰と無関係につき重ねられており、プレートテクトニクスの爆発的流行以前にすでにそうした考え方を、HOLMESらは出していたのである。一国の地質学の伝統が育成されず、科学を出来合いのものとして、国の政治・経済体制の必要に応じて接木した国との違いであろうか。

第二には、後進国から一気に先進国へという高度成長の過程で、国民の階層分解がたえず進行し、そのため職業倫理ないし職業観の伝統が確立していないわが国のようなばあい、科学者に関していえば、科学研究が学問の内発性に支えられず、自分にとって身分や収入の向

上の手段となっている。論文の数が雇用や昇進、あるいは研究費獲得の条件となっているわけで、そこに解釈学といった科学の形骸化が巣くうのである。地質調査所の科学者が地質図作成に興味をもたないのも、そうした基本的記載的労作が正しい評価を受けにくい国柄だからなのである。

4. 演繹型解釈学

これは、まず抽象度の高い原理や実験結果のモデルから出発して、事実からその中に包摂できるような形（概念や数値）で情報を抽象し、それをモデルから解釈するやり方である。見掛けは BOWEN, THOMPSON, KORZHINSKII, RAMBERG らと同類に見えるかも知れないが、これらの人々は事実的世界の謎を自らの問題として取り上げ、そこから必然的に要請される理論や実験の領野を自らが開拓したのであって、自然探究の問題意識性が本質的に異なっていて、同日の論ではないのである。たとえば H. S. YODER¹⁾ が H₂O の量のちがいで、異なった変成相の指標的鉱物組合わせが同一の温度・圧力で生じるとし、変成相のちがいは岩石の化学組成のちがいと結論したことはその例である。実験結果を演繹してそれに適合するように自然の中の情報を拾いあげ、その解釈を一般化したわけである。

1950年代から60年代前半にかけて盛んに行なわれた高温高压変形実験はほとんどがひずみ速度が 10^{-4} sec⁻¹ 程度までの instant strain のものであって、封圧も温度も自然について考えられるものより多くは高く、その他の条件 (solution effect など) も考慮されておらず、そのままの形で演繹的に自然に適用して自然の変形現象を解釈するには無理が多かった。そのような一例をあげてみよう。H. C. HEARD²⁾ は Solenhofen 石灰岩 (細粒緻密等方) の 10^{-4} sec⁻¹ での変形実験でその脆性—延性転移が、乾燥伸張のばあい、(25°C, 7300atm)—(700°C, 700atm), 乾燥圧縮のばあい、(25°C, 1000atm)—(480°C, 1atm) であるという実験結果をえたが、彼はひずみ速度のちがいに留保をつけてではあるが、地殻中の石灰岩が乾燥状態で、地下増温率を 25°C/km, 岩石の平均比重を 2.7 としたばあい、正断層 (脆性伸張) は深さ 15km まで、逆断層 (脆性圧縮) は 3.5km までの領域で起こり、それ以深では石灰岩は延性の変形挙動を示すと推論した (間隙流体があればこの深さはもっと大きくなる)。これはこの種の解釈学の一例であろう。

次に演繹型解釈学としての地球物理学者の仕事をしこし見てみよう。

第二次大戦後の地学界の一つの大きな特徴は、地球物理学者・地球化学者の発言が勢力をえてくる点にある。米国の Department of Geophysics の中に岩石学その他の地質学が含まれたり、geochemist を自称する岩石学者も多い。日本では UMP から GDP へと地球物理学者のヘゲモニーが顕著になってきている³⁾。日本のばあい、昔の物理学者には地学的関心

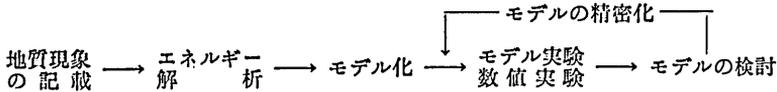
-
- 1) H. S. YODER: The MgO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O system and the related metamorphic facies. *Am. J. Sci.*, Bowen Vol., 1952, p. 569-627. この適用誤謬はよく知られるように J. B. THOMPSON (The thermodynamic basis for the mineral facies concept, *Am. J. Sci.*, 253, 1955, p. 65-103) によって指摘された。
 - 2) H. C. HEARD: Transition from brittle fracture to ductile flow in Solenhofen limestone etc. *G. S. A. Mem.* 79, "Rock Deformation", 1960, p. 193-226.
 - 3) ひとつには地球物理学者には行政府で顔の利く人が多いためでもある。UMP でも GDP でも地質学者はだしに使われ、おこぼれを頂戴しているようである。

の深い人がいて、地学の記載的知識に興味をもっている人がかなりおった。田中館愛橘・中村清二・寺田寅彦・藤原咲平といった名前がすぐ思い浮かんでくる。それが底流となって関東大地震後東大地震研究所の創設をもたらし、やがて東大理学部に地震学科ができることになる。地震学科のばあい、必修課目の中に地質学野外巡検や地史学など地質学科の課目がかかり含まれており、地震学科出身者には地質学の記載的知識に興味をもつ人々がかかり居った。しかしこうした状況は地球物理学科に拡充改組されるとともに薄れていった。そうした事態の反映であろうか、地球物理学的方法を用いて地質学的記載に貢献するといった仕事よりも、物理学的原理と概念で構築されたモデルに地質学的事実を数値的情報あるいは物理学的概念に還元して（物理学的還元主義）、包摂するという演繹型解釈学が目立つようになってきた。前者は地球という現実具体物と自分自身とのかかわりあいの中から問題意識を汲み上げたが、後者は物を名前だけで知っているということになる。たとえば島津康男（「地球の進化」, 1967, p. i）にいわせると、「地震計や X線回折計やハンマーを持っての山歩きを一人でやるのが広い視野なのでなく、共通の言葉（頭）が存在することが広い視野なのである」。だから、彼にとっては（「広い視野をもった地球物理学者」にとっては）、「玄武岩」は密度が 3.0g/cm^3 、化学組成何々、ほか物性何々といった数量やことばに置換えられたもの（情報）に還元されてしまう。彼等の仕事は地球という場でなされる必要はなく、情報さえ与えられていればどこかの宇宙にいてもできることになる。こういった発言を平気でする地球科学の modernists には「ことばを作る」という作業の困難さが見えていない。EINSTEIN のいわゆる第一次概念や第一次命題を産み出す苦しみを経験していないからである。この人々の仕事は、数値化された情報や理念化されたことばを用いて、それを物理学の原理と数学的処理の枠内で、全体として consistent な体系に納めるという所に主眼がある。自然の具体的・現実的 Totalität に向かう前進性でなく、後向きの傾向が強い。それだけ事実学としての地質学への貢献度は小さい。いわばモデルの自己完結性・整合性といったことが主眼になっているのである。

島津にとって、「岩石学は、鉱物の集合状態を情報にして、生成のプロセスにおける温度・圧力の環境を推定する。しかし、往々にして状態方程式の推定に主眼を置きすぎる (p. 106)。……本来の岩石学は、場の問題の一環として、野外における岩石の分布状態の情報を扱うべきである (p. 107)」。そうすれば彼の仕事の材料が手にはいるということなのである。こうした願望は岩石学に対してばかりでない。「生物の発生・進化は、地殻の発生経路を知るための手段と考える限り、地震計の開発手段としての電子工学と同等の手段である (p. 107)」。古生物学は事実学でなく技術学だということになる。

わたくしがここで島津を引き合いに出したのは、このような物理学還元主義が今や彼だけのものでないからである。物理学還元主義に立てば、島津が正直にいうように、個別科学の独自性はすべて捨象され、物理学的に翻訳可能な側面だけが抽象され、物理学の地平の中で見掛け上自己完結的な体系を作るのである。そうすれば当然のことであるが、造山作用は力学的仕事に解消され、火成作用は熱エネルギーの集積移動に他ならず、変成作用は化学エネルギーの議論になってしまう。島津にとって造構作用とは、「地質現象の場の問題としてみると、重力平衡からのずれが沈降・上昇運動であり、力学平衡からのずれが褶曲・断層であり、熱平衡からのずれが火成作用、化学平衡からのずれが変成作用であり、この4作用の相

相互作用を一括して tectogenesis とよぶ」(p. 122) ということになる。島津の考え方を図示すれば次のようになる。これは地球物理学の工場におけるフローチャートである。



この図では記載の前の事物がなく、モデルから実物への回帰がない。いわば地質学が第一次産業で、その餌で第二次・第三次産業としての地球物理学が成り立っている形である¹⁾。

次にこの種の演繹的解釈学の亜種として、negativeなものについて触れておこう。このばあい何かの原理・原則（数理的物理学的に演繹されたものであっても経験的に帰納したものであってもよい）に立って批判し否定するのであるから、演繹的解釈学を含めてもよいであろう。この顕著な事例の一つとして WEGENER の大陸移動説²⁾ に対する否定論があげられる。WEGENER の大陸移動説は多くの経験的事実に支えられた帰納仮説であるが、彼はそれを力学的地球モデルの中で演繹的に説明するため、Polflucht（極からの逃走）モデルを考え、その力学的根拠として地球の赤道部での張り出しに因係した重力の効果を考えた。また彼は西方への一般的移動を考え、それによって米大陸西岸山脈や西インド諸島, Southern Antilles, 西太平洋の島弧・海溝を説明しようとし、この西方移動を月と太陽の引力差で説明しようとした。WEGENER にとって不幸であったのは、彼の帰納仮説そのものではなく、その理想化によって構想された力学的モデルが当時の物理学界の権威たちによって否定されたことであつた。実はこの力学的モデルの存立が否定されたからといって、帰納仮説の成立はそれとはちがった次元のことであつたが、このほうは当時の地質学界の権威が陸橋説という貧困仮説に権威の衣をきせて否定し去つたのである。

おわりに演繹的解釈学の特徴をあげておく。

- 1) 自分の実験や物理学的理論に立っているばあいには、「自分の禪で」、「自分の土俵で」相撲をとっているともし、その点は抽象型解釈学とはちがうが、自然の具体的事象については文献から情報をえるだけである（「机上の空論」）。
- 2) 出発点になる実験や理論で仮定した条件が成立しない自然的事実にまで推論を拡大することが多い（「お門違い」・「侵略主義」・「帝国主義」）。このばあい、事実の世界では貧困仮説に陥る。
- 3) 自己完結性（理論・モデル→実物情報→理論・モデルに包攝）、一般化で終り、何一つ発見が無い。自己満足的で驚きが欠けている。
- 4) 学界の modernists, 先進学者であるため、テーマが次々と変わる（「浮草稼業」）。

1) わたくしは地球物理学者を代表するものとして島津をとりあげているのではなく、物理学還元主義のチャンピオンとして代表させただけである。日本の地球物理学者が地質学者のとはちがった独自の研究手段と方法を駆使して、すぐれた記載を行なっていることは申すまでもないことである。わたくしの見るところでは、すぐれた地球物理学者ほど記載の事実に関心をもつようである。

2) A. WEGENER: *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*, 1915.

付論 2——帰納法について

N. L. BOWEN の学問は、“*The Evolution of the Igneous Rocks*” (1928) を精読すればわかるのだが、抽象型・演繹型いずれの解釈学でもない。それは彼が科学の階層構造を正しく理解しており、その問題設定が、岩石区・同源性・血族性・分化といった帰納的仮説に基づいているからである。

一般に自然法則は経験法則の性質をもち、帰納によって知られる。ところでまず ARISTOTELIS の完全帰納法についてみてみよう。これは定言的三段論法に従う。すなわち、 $M_1 \cdot M_2 \cdot M_3 \dots$ は P であり、 $M_1 \cdot M_2 \cdot M_3 \dots$ は S である。ゆえに、すべての P は S である。この形式は単純枚挙的帰納法である。これをたとえば岩石区の概念（経験法則を含む経験概念）に適用してみよう。ここに含まれる経験法則とは、「ある一定地域である一定時代に生じた火成岩（主概念 P）は、ある一定の岩石学的特徴をもつ火成岩（述語 S）である」という判断（命題）で示されよう。たとえば長浜の霞石玄武岩、隠岐のアルカリ玄武岩、ウルルン島の粗面玄武岩・粗面岩・フォノライト、吉州・明川の火山岩等（ $M_1 \cdot M_2 \cdot M_3 \dots$ ）は、環日本海地域の新世代後期の火山岩（P）である。これら（ $M_1 \cdot M_2 \cdot M_3 \dots$ ）はアルカリ（特に Na）に富み、アルカリを含む鉱物で特徴づけられる火山岩（S）である。ゆえに、「環日本海地域の新世代後期の火山岩は、アルカリに富みアルカリを含む鉱物で特徴づけられる火山岩である」。そしてこの経験判断に基づいて、「環日本海アルカリ岩石区」という経験概念がえられることになる。

しかしこうした判断はことばの次元では論理的に成り立つとしても、山陰地方の新世代後期の火山岩にはカルクアルカリ岩系のものもあるから、事実の世界では不当（虚偽）であるといわなければならない。その理由は、 $M_1 \cdot M_2 \cdot M_3 \dots$ が P の外延全部を盡くしていないからである。注意しなければならないことは、この不当性はことばの世界では示されず、自然の具体的事実の探求を通じて曝露されるほかないという点である。さらに、もし $M_1 \cdot M_2 \cdot M_3 \dots$ が P の外延全体を網羅したばあいには、この命題そのものは単に既知の事実をまとめたに過ぎず、その段階では将来性のない不活性の法則として沈澱するだけである。そこで John Stuart MILL (1806-73; “*A System of Logic*”, 1843) は、「不完全帰納法こそ其の帰納法である」とした。「不完全」ということ、完結していないということにこそ、その帰納命題の有用性を見いだしたわけである。しかしそれが不完全である以上、特殊から普遍への飛躍をなさざるをえない。そしてその学的根拠として彼は、「自然は同一事情のもとでは同一の現象を生ぜしめるような統一ある秩序を保っている」といった形而上学的大前提（公理）を持ち出さざるをえなかったのである。これが「自然の斉一性」(uniformity of nature) である。この帰納法窮極の原理そのものも帰納の結果なのである。またこれは19世紀イギリス資本主義下での産業革命を支えた時代思想でもあり、地質学における斉一観 (uniformitarianism) はその一つの反映と見ることもできよう。

帰納法をそれが生きられている現実具体的な生活世界 (Lebenswelt) での営みから切り離して、静的抽象的論理として考えている以上は、その論理的不完全性＝論理的飛躍にあくまで拘泥しているほかない。それだからこそ帰納法を生きている事実の世界に引き戻して見直すことが必要になるのである。事実、科学者は論理学の桎梏下の理念的世界において思考しているのではなく、科学は事実の世界で活動している科学者によって産み出されているので

ある。

Edmund HUSSERL (1859-1938) は彼の「論理学研究」¹⁾ を、「認識作用の主観性と認識内容の客観性との相互関係についての一般的な批判的反省」、「論理的意識の中で、すなわち論理的体験連関の中で遂行される Sinngebung (意味付与) und Erkenntnisleistung (認識能作) へ還帰して、論理学の純粹理念を解明せんとする努力の成果」として位置づけているが、その中で経験的法則についてこうしている (I, p. 91f).

〈経験的法則〉はある事実内容 (Tatsachengehalt) を有する。それらは偽似 (unrecht) 法則であるから、粗雑ない方をすれば、〈経験によれば、ある状況のもとでは、通常、しかしかの共存または継起が現われるのであり、また、それらは状況次第で、大小様々な蓋然性で期待される〉ということ述べているに過ぎない。それには、〈そのような状況、そのような共存ないし継起が事実として成立する〉ことが含蓄されている。しかし経験科学の厳密法則も事実内容を伴わぬわけではない。それらは単に事実についての法則であるばかりでなく、事実の存在をも含んでいるのである。

この文章の前半については前記の岩石区に関する経験法則を思いだしていただきたい。後半の経験科学の厳密法則については、たとえば落体の法則には重力場という〈状況〉の実在が含蓄されている。HUSSERL は万有引力の法則に言及している。これを $F = \gamma mm' / r^2$ という形式で表現したとする。この形式を彼は “Die exakten Gesetze in ihrer normalen Formulierung” という (このばあいの “normal” とは岩石学におけるノルムのばあいと同じく基準的、規範的、standard といった意味である)。彼は、このように定式化した精密法則は「勿論、純粹法則の性格を有し、なんらの実在内容をも含まない」という。しかし、かかる法則の学問的基礎づけを考えてみれば明らかなように、ほんとうには純粹法則 (純粹に——すなわち理念的・先験的に構成された法則) として正当化されてはいないのである。彼はこれについて次のようにいう (I, p. 92)。

真に基礎づけられているのは、天文学が表現しているような万有引力の法則ではなく、〈現在の補助手段で獲得される経験の領域にとってはニュートンの定理が妥当し、あるいは一般に、不可避的な観察誤差の範囲内でしかニュートンの法則と違っていないような、数学的には思考可能な、無限に多様な法則のうちどれか一つが妥当するというは、われわれのこれまでの認識を基準にすれば、理論的に基礎づけられた、最高の権威をもつ蓋然性である〉という形式の命題だけである。この真理は多くの事実的内実を負わされているのであり、したがってこの真理自身は決して真の語義での法則ではない。明らかにそれは限定の曖昧な諸概念をも内蔵しているのである。

このように事実に関する精密科学の法則はすべて確かに真の法則ではあるが、しかし認識論的に考察すれば——事物に根拠をもつ虚構²⁾ ではあるが——理想化的な虚構であるに過ぎない。

1) “Logische Untersuchungen”; Ier Bd., Prolegomena zur reinen Logik; IIer Bd., Untersuchungen zur Phänomenologie und Theorie der Erkenntnis, 1900, 1901. 立松弘孝訳、フッサール「論理学研究」, I-IV。みすず書房。本文中の引用は翻訳本による。

2) Fiktion cum fundamento in re. このばあい “Fiktion” は「虚構」と訳されるが、「虚」にとらわれてはいけない。次の「理想化的」(idealisierend) と同じような意味で「創られる」ことに重点がおかれたことばである。

すなわち、個別性と一般性の経験の領域から、まず、現実に関してえられる一切の知識を包攝するかかる蓋然性を引き出し、次いでこれらの蓋然性を、真の法則的性格を有するなんらかの精密な思想へ還元する。そうした体系が、たとえば力学・音響学・光学・理論天文学・熱力学等である。これらはしかし、事実根拠をもつ理念的可能性だというのである。¹⁾

HUSSERL はここでは、自然法則(経験法則)はあくまで蓋然的な命題であって、それに相応じる状況と事実内容を負うということ、そして精密科学の法則といわれるものは“idealisierende Fiktion”だといっている。これを MILL 的にいえば不完全帰納法における普遍化への飛躍ということになる。その根拠を彼は後向きに自然の uniformity に求めた。しかしそれを事実性の世界に向けて前向きにとらえようとすればどうなるであろう。その方向において Maurice MERLEAU-PONTY (1908-1961) は多くの示唆にとんだ労作を残している。その一つを引用しよう(訳著 p. 49f.)²⁾。

フッサールはしばしば、本質を直観するには、まず知覚することから始めなければならないといっている。(具体的全体的感性経験が知覚である)。知覚が本質の直観の Fundierung なのである。本質直観とは具体的に経験されたものを、知的な仕方できりあげなおし、それを解明し顕在化することにほかならない。フッサールの思索の中には、<二重の包攝関係>という考えが育ってきていた。つまり、本質や意味を決定する反省的思考が、ついにはその対象を所有しつつ、包みこむということも本当なら、また他方で、ここで今なされている経験の具体的知覚がいつも本質直観の目標になっており、しかもその本質直観に先行しているものとして、したがってそれを包みこむものという形で目標になっているということも本当である。本質というものは、個体にかかわる「直観の或る重要な部分」(フッサール)をその土台として持っている。つまり個体が現われ、それが瞥見されること(可視性 *Sichtlichkeit*)を予想している。更にいいかえれば、それに対応する個体への視線が向けなおされる可能性のない場合、つまり本質を例示するための「実例の意識」を形づくりえない場合には、本質直観は存在しないことになるわけである……。

ここでは「帰納」ということはとりあげられていないが、ここでいう「本質」を前出の「事実に関する精密科学の法則」に置き換えてみれば、この「実例の意識」あるいは「個体への視線」が、前述のフッサールの「状況・事実を負う」ということに当ることがわかる。「本質直観」は *Idealisierung* である。彼はつづける。

それでは、この「実例の意識」と、いわゆる「帰納法」とは、厳密にいったどのような関係にあるのか。ここでまずフッサールが帰納法一般に加えたきわめて意味深い考察を思い起こしておく必要がある。

- 1) 自然科学の理想化的精密法則と論理学や数学の純粹法則とのちがいについて、HUSSERL は次のようにいう。「真の法則性が事実認識の領域では単なる理想にすぎないとしても、その反面、<純粹に概念的な>認識の領域ではその法則が実現していることがみられる。純粹論理学的法則や純粹数学の諸法則は後者に属する。これらの諸法則は、その<根拠>を——一層正確に言えば、それらを正当化する基礎づけを帰納からうるのではなく、したがってまたそれらは、<一切の蓋然性そのものに付帯し、最高の最も価値ある蓋然性にさえも付帯する実在的内容>を具えてもいない。
- 2) M. MERLEAU-PONTY: *Les sciences de l'homme et la phénoménologie*. Les cours de Sorbonne, Centre de documentation universitaire, 1962. 邦訳 滝浦静雄・木田元訳「眼と精神」。みすず書房、人間の科学と現象学。

る。もともと彼は、19世紀の末に流行していた帰納理論、要するにミル流の帰納理論には深い反感を抱いていた。この理論によれば、帰納とは、多くの事実を考察し、その多様な事実の中に或る共通の性格を発見して、それを抽象的に取り出し、そしてそれを一群の事実の〈本質〉とみなす操作であり、あるいはまた、或る現象のさまざまな先行条件のなかから恒常的でないもの、無条件的でないものを取除くというだけで、当該現象の〈原因〉を発見させてくれる選別作業ということになる。しかし、フッサールの考えでは、帰納とはそうしたものではないし、かつてそうしたものであったためしもないということになる。

例としてガリレイをとりあげよう。彼は物体落下のさまざまな事例を考察し、ミルのいうようにそれらをつき合わせるという方法で、それらさまざまな事例に共通するものを取り出したのであろうか。彼のやり方はこれとは全く別であった。ガリレイは、物体落下について彼が根拠とした考え方を事実の中から発見したのではない。彼はそれを自分から考え出し、組立てたのだ。彼は、およそ経験のうちにはその例が見いだされることのない〈物体の自由落下〉という純粋な事例を自由に構想した。こうした考えを組立てた上で、そうした純粋な状態での自由落下などは見せてくれない複雑な混乱した経験的事実も、事実と理論とのくい違いを説明してくれるさまざまな付帯条件（摩擦・抵抗その他）を考慮に入れば、この純粋概念から理解できるということを示して、その正しさを証明してみせた。さらに、自由落下から出発して、傾斜面での物体落下の理論も組立てられる。¹⁾

ここでいう「純粋概念」は HUSSERL の “Die exakten Gesetze in ihrer normalen Formulierung” に対応しよう。そして彼はそれに到達することを、「これらの蓋然性を真の法則的性格を有するなんらかの思想へ還元する」ことだといっている。「事物に根拠をもつ理念的可能性」を実現することであり、“Idealisierende Fiktion”である。これを MERLEAU-PONTY は、一挙に直観される（〈本質直観〉）のだという。

したがって、物理学者たちによって実際に行われている帰納操作は、すでにそのまま本質を読みとることなのである。傾斜面での物体落下のごとき不純で不完全な現象を通じて、私は物体の自由落下を読みとるわけであるから、これは実は理論的に構想され、精神によって鑄造されたものに他ならない。帰納操作にその蓋然的価値を与え、イデア化的虚構をして本当に事実のうちに足場を持つものたらしめてくれるのは、結局、それを裏づけるために引合いに出される事実の〈数〉ではなく、このようにして鑄造された理念が、理解さるべき当の現象に投げかける〈固有の明さ〉である。帰納は必ずしも多数の事例の調査にもとづかなくてもかまわないのであって、帰納とはむしろ知的な分析の操作であって、その正しさの検証は、このようにして作られた概念群が当該現象に全面的な、或いは少なくともそれに必要なくらいの照明を与えるかどうかによって決まるということ、フッサールも認めている。結局、法則とは、ある〈力〉を持ち、さまざまな事実を統御するような〈実在〉ではない。それは〈光〉であって〈力〉ではないのだ。

以上みてきたように、MERLEAU-PONTY は HUSSERL の〈帰納的認識〉——Idealisierende Fiktion への指向を更に〈本質直観〉にまで押し進めた。ただ留意したいことは、HUSSERL は事実に基づく帰納法則＝経験法則をそのまま Idealisierende Fiktion＝純粋法則というく

1) ガリレイ物理学については、E. HUSSERL: “Die Krisis der Europäischen Wissenschaften und die Transzendente Phänomenologie”. *Husserliana* Bd. VI, 1954 (邦訳、細谷恒夫・木田元訳：ヨーロッパ諸学の危機と超越論的現象学。中央公論社など)を参照されたい。

あい短絡してはいない。その過程、すなわち世界における経験と法則との間にはいくつもの不透明な壁があり、それが帰納を決して完全なものにはしないのである。純粹法則とはいわば *Idealisierung* の極としてしか存在しない。しかし、その不透明性の中にこそ〈状況〉と〈事実内容〉が背負われているのである。完全な純粹法則は〈実在的内実〉を欠いている。むしろこの〈不透明性〉・〈不完全性〉にこそ、事実学という学問の秘儀があると考えねばならない。

C. ボーエンの学問

1. 地質学における実験・理論の役割

地質学の叙述の中におけることばあるいは表現は、その抽象化された（理念化された）背景に、ある物理学・化学の領域を予料せしめることが多い。たとえば、「ある花崗岩体に接する古生層はホルンフェルスになっている」というとき、「花崗岩体」・「古生層」・「ホルンフェルス」ということばは事実学における低次の静的概念を意味しているが、「ホルンフェルスになる」という表現の中には変成作用というやはり低次だが動的な概念が含意されている。そしてこのばあい、「ホルンフェルス」のいかなる側面を抽象化するかに応じて、「なる」の内容が規定されることになる。もし、岩石を鉱物集合体（多成分多相系）という形式に抽象すれば、この「なる」は鉱物の種類・組合わせ・量比・組成の変化という化学的側面を表わすことになるであろう。そうすれば、すでにこうした化学的物質変化を扱う高い抽象度の領野として存在している熱力学との関係が問題になってくる。ここに地質学に対する物理学・化学的実験や理論の役割が意味をもってくる。ただし、地質学に役立つような出来合いの実験や理論はほとんどのばあいに存在しない。たとえば、多成分多相系に関する熱力学の一般的理論はあっても、珪酸塩鉱物に関する相平衡実験や造岩鉱物についての熱化学的測定がなければ、具体的問題を処理することはできない。しかもそうした領域は物理学者や化学者が切り開いてはくれない。地質学者が自分で開拓しなければならないのである。こうした実例として、Geophysical Laboratory の実験をはじめ、GRIGGS, TURNER 等による岩石鉱物の変形実験、RAMBERG らのモデル実験、RAMBERG, BIOT 等の変形理論、THOMPSON, KORZHINSKII の開放系の熱力学理論等々をあげることができる。機器についても、偏光顕微鏡や自在回転台の発明、珪酸塩分析法技術の開発があげられる。

この点で近年の機器や技術の進歩は、外部からの波及効果とみなされるばあいが多くなってきている。それだけ科学者の内発性に基づく度合が減じてきているといわなければならない。EPMA・質量分析器・コンピューター等がそれである。そこから、「機器があるからする」といった仕事かふえてくる。それは「仕事があるから機器を作る」といった内発性を失わせることになってきている。しかもこれらの大型機器は経常研究費の枠をはるかにはみだす高価なものであるだけ、その獲得は正常の科学に内在する必然性をはみ出したところでしか成功しえない。こうして科学は経済政治社会内化していく。そしてそれだけ経済政治権力からの科学の独立性を減ぜしめ、科学の批判的精神を鈍化せしめることになるわけである。

同様のことが今日の巨大科学についてもいわれる。宇宙科学や海洋科学は国の戦略や政策と無関係に存在しえないのである。しかしそういったことについてはここでは論じない。

2. “The Evolution” の構造

“*The Evolution of the Igneous Rocks*” は、BOWEN が1927年の春、40才という最も油の乗った年代に、Princeton 大学で行なった講義をもとにして、1928年に出版したもので、彼の体系的思索が岩石学研究の重層的構造を明示した傑作である。経験主義的思弁に流れず、かといって物理学還元主義におぼれず、その重層的構造は強靱な論理性に貫かれており、その点で岩石学における最高の古典といっても過言ではないであろう。ここで“*The Evolution*” をとりあげる理由は、この書の体系的構造を明らかにすることを通して、岩石学という学問の論理構造を論じようと思図したわけである。

BOWEN はまずこう論じている。

火成岩の鉱物学的ならびに化学的知識が詳細に蓄積された結果、一つの一般化 (generalization=経験的法則性) がここ40年間にわたって岩石学者によって承認されてきた。すなわち、ある一定の地域である一定の時代にはいつてきた (intruded) 岩石は、その多様性にかかわらず、鉱物あるいは化学組成に関して或種の類似性を示し、このことがそれらの岩石を、他の地域の岩石から、また同一地域でも他の時代に生じた岩石から、程度の差こそあれ明瞭に区別させている。……岩石学者は、相互に関連した火成岩の地域的 grouping を、便宜上「岩石区」(“petrographic province”) とよんでいる。

「岩石区」という概念は JUDD (1886) 以来すでに40年余の歴史でためされてきた。この概念は岩石記載の進展につれて形成された経験則にもとづく (経験則の实在を含蓄した) 純粋に記載的な概念であって、いかなる成因論にも拘束されないいわば中性的な概念なのである。しかし BOWEN はこのすぐあとで一つの抽象を行なっている。それは“petrographic province” ということばは地域性を強調することになるので、この概念から地域性 (と時間性) を捨象して、“rock association” (「岩石群集」) ということばにおきかえたのである。この地域性の捨象がボーエン主義を産み出す一つの契機になっている。

BOWEN は岩石群集の存在から次のように推論する。

岩石群集についての事例が蓄積するにつれて、ある一定の群集において示される性質の類似性は起源の共同性 (community) に結びつくはずだということを、岩石学者たちは認めるようになった。起源の共同性ということについては、それらの岩石が単一の根源マグマ (a single original magma) から、外部条件に呼応しながら由来した、というのがふつうの仮定である。単一のマグマから種々の岩石が由来するという仮説が分化作用 (differentiation) とよばれる。

この論旨は次のようになっている。すなわち、岩石区の存在という経験法則から、その原因仮説として起源の共同性=血縁共同性 (consanguinity) が想定され、この共同体成立の機構として単一の根源マグマからの分化作用という仮説が考え出されるのである。注意されることは、岩石区→岩石群集→起源の共同性→血縁共同性→単一マグマの分化作用という連鎖が、形式論理的連鎖ではなく、帰納的飛躍 (inductive leap) の関係にあるということである。この矢印は抽象ないし飛躍の方向を示すものであり、矢印の反対方向はいわば<照明>をあらわすのである。飛躍は論理ではないから、矢印は決して一義的 (eindeutig) ではない。たとえば、岩石区の存在は必ずしも起源の共同性を導きはしない。じっさい

A. HARKER は、岩石区の特徴のちがいを太平洋と大西洋の周縁地帯の地質構造スタイルの違いに帰属せしめ、前者は褶曲山脈、後者は断層・地溝で特徴づけた。彼のばあい、血縁共同性よりも外部条件（環境条件）に重点がおかれている。プレート造構論以来この考え方が復活していることは興味深い。逆説的になるが、こうした帰納的推論のいわばルーズさ、飛躍性にこそ科学の発展が宿っているのであり、科学者の独創性がそこに発揮されるのである。

さらに上記の帰納系列で注目すべき点は、火成岩の分布・時代・記載といった具体的事物に接着した概念——抽象度の低いという意味での低次概念から出発して、岩石区——岩石群集——起源共同体——血縁共同体——マグマ分化作用という系列でしだいに抽象度を高めていき、その意味で高次の概念が作られていくということである。これが“*Idealisierende Fiktion*”であり、モデル化である。「本質直観」の系列ということもできよう。本質直観とは論理でなく飛躍だからである。最後に到達した分化のモデルは、HUSSERL 流に言えば、最高とまではいえなくても *Dignität* をもつ蓋然性だということになる。ただしそれは1928年の時点でのことである。

さて BOWEN の帰納系列で、今から見て最も問題になるリングは、——起源共同体——血縁共同体の推論である。それは実は岩石区——岩石集合というリングにおける地域性と時間性の捨象に問題があったのである。岩石区からの推論は先ず「状況の共通性」(*Community of situation*) に導かれるべきだったとおもわれる。もちろん彼のいう“*community of origin*”の“*origin*”の意味を広くとればそれでもよいのであるが、“*origin*”——「単一根源マグマ」では狭すぎたのであった。BOWEN はいう (p. 3)。

分化作用の概念は種々の岩石群集を説明するために提称した仮説である。これに対抗して提出された唯一の仮説は、二つの基本的マグマ（玄武岩質および流紋岩質）の混和という学説である。しかし、この学説は完全に失敗だということがわかってきたので、分化作用の概念は今や、観察された岩石群集自身と同じ程度に確立された事実と見なされるにいたっている。ただ、分化作用をもたらす過程だけが、ふつう、仮説的性格をもつとみなされている。

ここには40才の自信に溢れた学者の気負いが見られる。今日では、「この学説は完全に失敗だということがわかってきた」のは、単一根源マグマからの分化作用のほうである。それは HUSSERL のいうように、帰納によってえられた法則性というものは、「現在の研究手段でえられる経験の領域にとっては……」とか、「我々のこれまでの認識を基準にすれば……」といった現実的・時代的限定の中でのみ「最高の権威をもつ蓋然性」なのである。どんな学説もモデル・法則も必ず状況と事実を担っているのである。いいかえれば歴史的産物である。

BOWEN は根源マグマの性質については DALY に言及し、彼が玄武岩質マグマがすべての岩石群集に共通で、しかも玄武岩質マグマの性質がほぼ共通であることを示した点を評価し、こうのべる。

この議論においては、玄武岩質マグマが母岩漿の性質をもっている点を基本的命題とみなし、他の岩型は基本的に分別結晶作用で生じたと考える。

ここで単一マグマの分化作用——玄武岩質本源マグマという帰納連鎖の一つのリングが付

け加えられ、「分化作用は分別結晶作用による」という仮説が現われるのである。この仮説の帰納は後段で行なわれている。

以上が第1章（火成岩の多様性の問題）の内容である。次の第2章（珪酸塩マグマ中での液体不混和）では、マグマが冷却過程で異質で不混和のマグマに分離し、これによって火成岩の多様性を説明しようという仮説を徹底的に反駁している。彼はいう。

いずれにせよ、このプロセスを擁護する岩石学者は、この仮説がいかなる特定の岩石系列にどのように適用されるかを正確に指摘することができなかった。ただいふことは、はじめのマグマがこのマグマとあのマグマに分裂するというだけなのだ。彼等はプロセスを記述したり議論したりしたのではなく、この岩石とあの岩石とがあるフィールドで相伴うという観察事実を、極端に間接的なしかたで繰り返して言ったのに過ぎないということがわかっていないのである。

いいかえれば、この仮説は「貧困仮説」であり、〈現象に投げかける光〉を持たないというわけである。彼は同じような意味で、二つの基本的マグマの混和、温度差に基づくマグマ溜り内部での組成差 (Soret effect)、重力場におけるマグマの組成差、単一のマグマの冷却による不混和といった仮説をあげて反駁を加えている。しかしマグマ生成の場における分別溶融、depletive partial melting はとりあげていない。これはもちろん当時の実験技術的限界の反映である。このことは、事実の仮説に対する包摂関係は将来に向かって開かれていることを示すものである。いいかえれば、事実と理論の関係は現在の時点で完結してはいないということである。

第3章（分別結晶作用）では、分別結晶作用の帰納についてのべている。彼はいう (p. 20)。

分別結晶作用あるいは結晶分化作用の証拠は、多くの人が信じているらしいこととはちがって、ある火成岩体でその下部に一定の鉱物が集積していることが観察されるということではない。……真の証拠は、火成岩に普遍的に見られる mineral associations and antipathies である。

……結晶作用における同じ時期に属する鉱物は随伴傾向を示し、離れた時期に属する鉱物は随伴しにくい。ちょうど、“London Bridge” 遊びをふつう女の子はほかの女の子とするが、時には母親とすることもある。しかし祖母とするのは稀だし、曾祖母と遊ぶことはないようなものだ。

BOWEN は分別結晶作用のメカニズムを代表する二つの物理モデルを考えた。一つはある一定の相または複数の相の結晶作用が局所化されること、第二は結晶と液との相対的運動である。彼はこれらのモデルを物理学的に（理念的に）構成した。いいかえれば、重力分化作用あるいは変動分化作用と累帯構造である。これらのうち重力分化作用のメカニズムは後に Skaergaard や Muskox の岩体で実証されたわけであるが、BOWEN においては、このモデルは理念的に構成されたモデルであり、物理学的無矛盾性、可能性しか要請されていないものであった。彼はいう (p. 24)。

分別結晶作用の証拠は、そのプロセスから期待される結果を、岩石中の特性とくわしく比較することの中にある。この比較を試みるのが此の書物の目的である。火成岩分化作用を制約する要因に関する

他のいかなる仮説についても同様な比較がなされ、同じ程度の対応関係がみいだされるならば、その仮説は同様の蓋然性に基づいているとみなしうる。ただしそうしたあいにおいてだけである。

ここで彼が念頭に置いているのは gaseous transfer のプロセスであった¹⁾。

ここまでの進展で立てられた理念化の系列は、以上のように系列の各リングは一義的にきまっているのでなく、それぞれのリングで rival hypotheses が存在しており、そのどれを選択するかによって、そこにいろいろな枝分かれが成立する。ということは、MERLEAU-PONTY によって指摘された HUSSERL の「二重の包摂関係」のうちの「事実からの仮説に向けた包摂関係」を示しているのである。この系列の後のものは先のものに対して十分条件になっている。逆に系列の→を逆にたどってみると、より抽象的・理念的なものがより具体的なものを包摂する（解釈する）という「理念から事実へに向けた包摂関係」が示されているわけである。

このような理念化系列で留意すべき点は、より具体的な次元からより抽象的なものへと「上昇」していくとともに、具体的事物の多面性が一面的なものへと抽象されていく点である。BOWEN でみると岩石群集から分別結晶作用へと移行するにつれて、地質学のことばが姿を消して化学のことばに置き換えられていくことがわかる。それは化学的側面が抽象されているということである。ところが、分別結晶作用→重力・変動分化作用というリングでは、一転して化学の領域から力学の領域への「越境」がなされている。この点は E. WEGMANN²⁾ がしばしば指摘したボーエン主義の弱点であり良なのである。力学的仮説は力学的側面の features から立証されなければならないはずである。上記の引用文の中で、BOWEN は「そのプロセスから期待される結果を岩石中の特性とくわしく比較すること」が証拠になるといっているとおりである。

BOWEN は次いで第4章（珪酸塩系における結晶作用）において更に理念化＝抽象化を進める。

火成岩マグマの結晶作用の general problem は、多成分系における結晶作用の問題である。

ここで“general problem”といったのは、一般化された、すなわち普遍化された、あるいは理念化（理想化された）問題という意味であろう。こうして、上述の理念化系列の化学的領域における抽象化の末端に位置する分別結晶作用が、更に岩石・鉱物という自然物の具体性が捨象されて、理想化されることになる。彼は当時の合金や塩類に関する実験にふれ、多成分共融系における結晶作用は頼りにならないとし、そしてすでに集積した珪酸塩系に関

1) 近ごろ同位体地球化学の観点から地殻中で広く流体相の移動が行なわれていることが要請され、火成岩体から放出される気体中かなりの部分が地殻中を滲透する水に由来するといわれている。しかしこの“gaseous transfer”の petrographic features は追求されていないようである。その段階では、これは一種の postulate でしかない。プロセスに対応するモデルがたてられ、それから期待される結果が petrographic features として探究されなければ、その蓋然性を高めることにならない。その仕事こそ岩石学者の領分——存在意義ではないであろうか。

2) たとえば、E. WEGMANN: Stockwerktektonik und Modelle von Gesteinsdifferentiation, *Geotekt. Symp. H. Stille*, 1956, p. 3-19.

する実験結果は、それらよりも遙かに頼りになる基礎を、岩石の結晶作用の議論に供給すると断言する。

ここで BOWEN は実験の意義について次のようにいう (p. 25)。

珪酸塩系に関して蓄積されたデータは二つの仕方であれわれに役立つ。第一にそれらは、或る珪酸塩およびその混合物が温度・圧力の変化する条件下で示す挙動に関する明確な事実を与える。第二にそれらは、珪酸塩によって通常示される相互関係のタイプと、それらを制約する基本的要因とを明らかにし、このようにしてわれわれは、一層一般的な適用性をもつ原理を引き出すことができるのである。

すなわち、実験についても事実としての地平と理念化への可能性とが指摘できるのである。これを実験の“dual service”と BOWEN はいっている。実験は直ちに法則や原理を示すものではなく、やはりそこへ導くには帰納を経なければならないのである。

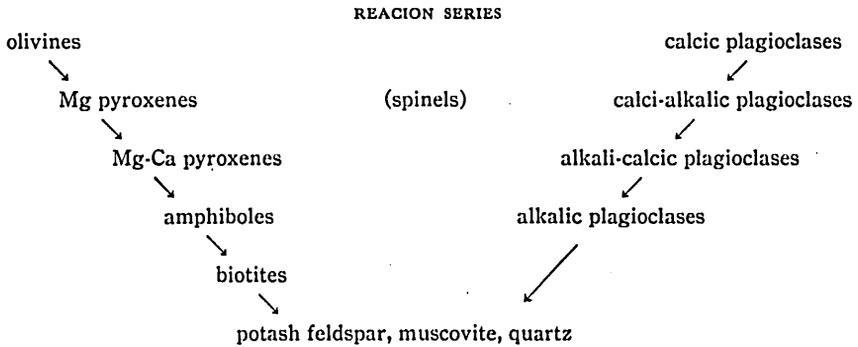
BOWEN はこれだけの慎重な議論をした上ではじめて2成分系・3成分系のいくつかのタイプを記述しているのである。ここでは BOWEN の主要な目標は珪酸塩類の個々の知識ではなく、相互関係 (inter-relationship) の諸形式を明らかにすることに置かれていたことがわかる。こうして最も重要な意味をもつ形式として反応関係を取り出し、かの有名な反応原理 (The reaction principle) ——第5章——という「一層一般的な適用性をもつ原理」に到達する。

BOWEN は、反応系列が共融系とちがひ、結晶作用に flexibility を導入することを指摘する。この反応系列の関係から演繹的にいろいろな分別結晶作用のモデルを構築することが可能になる。こうして、一方では帰納系列を通して分別結晶作用に到達し、他方では実験から帰納した反応系列からの演繹によって、分別結晶作用のモデル化が可能になり、この二つの系列が自然の petrographic features を介して結ばれることになるわけである。反応原理——すなわち、「火成岩の多様性は反応関係に基づいて説明される」という命題は、以上の背景の下に提称された帰納的根本原理ということができよう。

反応系列の実験から反応原理への推論が帰納であることは、彼の次のことばにもあらわれている (p. 57)。

実験的研究の効用は、それが限られた数の成分について行なわれているかぎり、どこに反応関係が期待されるかということを示す点にあるのでなければならない。

こうして彼は現実の岩石中でどこに反応関係が期待されるかという判断規準の問題にはいっていく。それには、固溶体鉱物の存在、累帯構造、反応縁やコロナがあげられ、更に mineral associations and antipathies を重要視し、A. HARKER (1909) による Garabal Hill の例をあげ、こうしてよく引用されている反応系列 (reaction series) という帰納的モデルに到達するのである。すなわち (p. 60, Table II),



この反応系列表を反応原理そのものとして金科玉条のように考える人や、その裏返しとして誤りを指摘して得々としている人などがあるが、BOWEN の真意は次のとおりである (p. 60)。

かかる sequences (of minerals and rocks) の検討と鉱物の組織関係の観察からの情報をつきあわせることによって、岩石中の反応系列に関する一つの結論に到達する。証拠の詳細には立ち入ることなしに、通常の subalkaline rocks の鉱物を試みに反応系列の形式で並べてみよう。事情はこんな単純な形で示すにはあまりにも複雑である。しかし、単純さということは、それが誤解にみちびくおそれはあるにしても、問題を具体的形式で示す役には立つであろう。

これから以下では BOWEN は、帰納によってえられた仮説 (原理やモデル) から出発してその演繹体系の中で岩石界の事実を再構成しようと試みる。いわば仮説が事実を包摂する方向に歩みだす。まず、第 6 章 (玄武岩質マグマの分別結晶作用) の初めに、彼自身のやり方をのべている (p. 63)。

われわれは、通常の subalkaline series of rocks が玄武岩質マグマからの分別結晶作用で生じうるという命題をまず展開しよう。その際、研究した珪酸塩系のデータを多くとりあげるであろう。しかしこの系はマグマよりずっと単純なので、実験結果における濃度等の実際の定量的な値を直接用いるわけにはいかない。これらの実験の主要な効能は、むしろ方向を指し示す点にあるのでなければならない。われわれはある一定の系について結晶作用の一定の経路と、分別結晶作用による分化の一定の可能性を見いだすとする。次にわれわれは研究した系の或る液にできるだけ近い実際のマグマ¹⁾に目を転じ、かかるマグマの結晶作用が研究した液となんらかの平行性を示すかどうか問うてみる。この問いに答えるために、われわれは、単純な系からのはずれがどの程度期待されるかについて、物理化学的理論の中に何か指示するものがないかどうかを考慮するであろう。われわれは次に岩石から決められたマグマの結晶作用の経路についての証拠をふり返ってみる。そして単純系との平行性をしらべ、またその違いが期待された種類のものとは違う程度をしらべる。もしわれわれの期待との対応が十分よいと思われれば、単純

1) ここでことわるまでもないが、BOWEN は天然のマグマ (造岩流動体) という低次の事物に対して名づけられたことばを、液体という物理化学的な高次の地平で用いられることばにすりかえているのである。このことは、後にのべるように、特に花崗岩問題でいちじるしい混乱を招来することになった。

な液からの証拠を用い、更に物理化学的理論に照らして適当と考えられるような変更を加えて、自然のマグマの分別結晶作用の結果を推論しようとしてもよいであろう。この分別作用の推論経路を次に実際の岩石の系列についてチェックし、もしも岩石が予想された種類のものであれば、それらが分別結晶作用で生じたものだということが十分ありうること (considerable likelihood) になる。

これはいわゆる“trial and error”の方法である。実験結果という経験的帰納的モデルと物理化学理論とをもって、自然の岩石系列を横目に見ながら、天然マグマにおける分別結晶作用を再構成しようというのである。いわば、自然に合うように構成したものと自然の事実とがよく合えば、後者は前者のプロセスによって生じたとされる。これはもちろん形式論理学上は成り立たない論証なので、“considerable likelihood”だというのである。彼はつけくわえる (p. 63f)。

ここには少しばかり循環論法めいたものがある。しかしすべての科学的一般化はこの種の循環論法に基づいているのである。科学のやり方で共通していることは、もし或る一定の一般的関係が真なりということが示唆されたならば、それが真なりと仮定し、演繹をあらゆる方向に終局まで押し進め、そして観察と演繹との対応の程度を以て、初めの仮定の真理性についての蓋然性を示す尺度とみなすことである。

以上の引用からわかることは、BOWEN の学問が単に結論を求めてつっ走るような場当りのなものでなく、深く学問の論理構造にまでわけいったものであったということである。ただ彼はあくまで古典的科学論ないし認識論の枠内に止まっていた。そのため、観察・実験・理論が自己完結的な静的なものではなく、未来に向かって開かれているということが彼の論述の主題にはならなかった。自然の事実はいつまでたっても<不透明さ>から脱却することではなく、科学が自然を透明化することは永久にないのである。そのことは、科学にとって欠陥ではなく、未来への推進力になっているのである。BOWEN のこういった静的な認識論がその後のボーエン主義という解釈論の萌芽にもなっているということもできよう。以下にそうした問題点のいくつかをあげる。

まず第一の点は、抽象度の高い地平から出発して、抽象度の低次の事実を抽象度を高めて、情報として包摂する側面の問題である。上に引用した中にもあるように、実験系について分別結晶作用の一定の経路を可能な経路としてひき出し、それに自然の岩石系列の事実をつき合わせるというやり方である。これは、実験のなまの事実から反応系を TX-diagram として抽象するという帰納のプロセスと、そうしてえられた物理化学の地平から、こんどは低次の地平を見おろしながら、自然の事実から情報を物理化学の地平での概念と数量に還元して拾い上げるという二つのことがらを含んでいる。このとき理念が優位に立って事実を包摂することになる。すなわち、自然の事実からは<不透明さ>がとり除かれて、物理化学の地平に還元された(透明化された)情報に化する。そうすれば、透明化した事実は未来の閉ざされた静的なものに化し、解釈学の後向きの性格があらわれるのである。これが先に述べた演繹型解釈学である。

第二の問題は、モデルや理論からの演繹に合致するように自然の事実が選別され情報化されるという点である。こうした選別を前提にしたモデル・理論と<自然>との整合性という

のは、自己完結的で未来に開かれていない。これもボーエン主義という解釈学の一つの側面である。こうして、本来は科学的営為の推進力であるべき自然的事物の不透明性・不完全性というペールがはぎとられ、透明・完全な体系が出来上がることになる。しかしそこでは未来が失なわれている。

第三点は、単一の理論から物を見るということと、事実が理念を包摂するという形で未来に開かれているということとを、どう調整するかという点である。「貧困仮説」必ずしも誤りとはいえないということは、われわれが歴史から学んでいるところである。BOWEN 自身は分別結晶作用による分化作用以外の学説を貧困仮説とみていたが、今日では gaseous transfer も fractional fusion も貧困仮説と決めつけるわけにはいくまい。大陸移動説も60年前には貧困仮説として葬り去られたのであった。ただし、事実から考え出された貧困仮説と、物理学や化学の領域から（密）輸入された貧困仮説とは区別する必要がある。事実の未来に開かれた不透明性から出発するかぎり、事実に基づいた仮説は安易に否定すべきではあるまい。

一言にしていえば、BOWEN の学問は解釈学的傾向を色濃くもっていた。いわば壮大な解釈学的体系ということができよう。

付論3——解釈学の越境性

BOWEN の体系において、分別結晶作用を説明するための機構のモデルとして重力分化ないし変動分化作用が語られるとき、そこには化学の領域から力学の領域への越境あるいは踏み越しが起こることについては、すでにふれた。このことを明確に指摘したのは E. WEGMANN (前出) である。

どうしてこういった越境が起こったかということをつり返してみよう。BOWEN の帰納系列(理念化の系列でもあり抽象化系列でもある)、すなわち、岩石区→岩石群集→起源共同性→単一根源マグマの分化→玄武岩質根源マグマ→分別結晶作用による玄武岩質マグマの分化、をたどると、地域性と時間性が捨象されて物理化学の領域でのことばに抽象されていくことがわかる。岩石区から岩石群集への抽象は既述の如く問題を含んでいるが、たとえば、「単一根源マグマ」と取り出したとき、すでに、マグマ=造岩物質流動体(「流動体」は液体を含意せず、固体でも可!)を物理化学的意味での液体にすりかえているし、「玄武岩質根源マグマ」というとき、それはもう具体的な活動するマグマではなく、化学分析値におきかえられた液体になっているのである。いずれにせよ、抽象化は化学のことばで行なわれる。ところが第3章(分別結晶作用)になると、分別結晶作用の二つの mechanical models が提出される。一つは“the localization of the crystallization of a certain phase or phases”, 第二は“the relative movement of crystals and liquid”である。この二つの句中に、いったい、地質学特有の概念が一つでもあるだろうか。すべては物理化学の術語で構成されている。すなわち、これらは彼が物理化学の領域(地平)で理念的に構成したもの(“idealisierende Fiktion”)にほかならないのである。そのために満たすべき条件は、Max WEBER の Idealtypus におけるのと等しく、無矛盾性でしかない。しかしそれを具体的事物にまで適用しようとしたとき、単なる無矛盾性ではすまない。さすがに BOWEN はこういつている。「分別結晶作用の証拠は、そのプロセス(mechanical models)から期待される結果を、岩石

中の features と詳細に比較することの中にある」。しかしそれでは、そこまで彼が進めてきた論法を逆転することになりはすまいか。ここからひきだした“gravitational and deformational differentiation”と“zonal effect”は、力学的・運動学的・幾何学的モデルである。それは、化学的抽象によって岩石界の事実から分別結晶作用を導いたように、岩石界にみられる幾何学的事実（構造・組織）から力学的抽象系列をへて導き出されねばならないはずである。

この種の越境にかかわる最近の問題の一つは超苦鉄質岩の貫入（運動）機構についての議論である。BOWEN (1928, p. 166f.) は超塩基性岩の成因を論じているが、ガラス質岩石がないこと、対応する噴出岩がないこと、また同質の液が極めて高温でなければならぬことなどから、結晶集積ないし塩基性マグマの貫入後の液体の絞り出しで解釈した。これはそれなりに自然の観察や実験事実から帰納したことであり、論法については問題はない。またその後、Skaergaard や Muskox 岩体で地質学的にその構造・組織から、マグマ溜り中あるいはマグマの通路における流動、結晶集積の仕方が力学的に帰納されるにいたった。しかしこれに対して超苦鉄質岩の定置機構として固体貫入を要請する根強い考え方が出されている。それが、岩石鉱物の化学的側面での研究からいわれるとき、越境がおこるのである。このばあいは一つの要請としか認められないのである。超苦鉄質岩は密度が地殻の岩石中で最も高いのであるから、固体の形で地殻中を上昇するには何か特別の条件がなければ不可能である。そうした条件は地質学的に推論していかなければならないのである。

付論 4 — 変成相概念について

変成相概念が抽象化系列（理念化系列）のいかなる次元における概念かという点に混乱がある。この概念の歴史的意味についてはここではふれないことにして、混乱の状況が科学の論理構造に関係している面だけをとりあげることにする。

たとえば P. ESKOLA¹⁾ は次のようにいっている (p. 339)。

南西フィンランドのオリエールヴィ (Orijarvi) 地方の変成岩を研究した際、ESKOLA (1915) は鉱物組成について同様な (V. M. GOLDSCHMIDT が研究したオスロ地方のばあいと同様な) 規則性を見いだした。しかし安定な相としてはちがった鉱物を伴っている。特筆される点は、オスロ地方の内側の接触帯での輝石の代わりに、ここでは角閃石が出現する。この違いは変成作用の際の PT 条件の差に帰された。そして次のような一般的原則が立てられた。

すなわち、一つの変成岩層において、その岩石が同一不変の温度・圧力条件下で化学的平衡に達しているとき、それぞれの岩石の鉱物組成はその総化学組成によって決まる。

この原則に基づいて変成相概念は次のように定義された：岩石が同一の総化学組成の際には同一の鉱物組成を示すが、総化学組成が変わるばあいには鉱物組成が一定の規則に従って変わるとき、そういう岩石（複数）は一つのきまった（変成）相に帰属される (Zu einer bestimmten Fazies werden die Gesteine zusammengefügt, welche bei identischer Pauschalzusammensetzung einen identischen Mineralbestand aufweisen, aber deren Mineralbestand bei wechselnder Pauschalzusammensetzung gemäß bestimmten Regeln variiert). この原理の意味はそれゆえ次のような経験的事実にもついでい

1) P. ESKOLA: Die Metamorphen Gesteine. Die Entstehung der Gesteine, 1939, IIIer Teil.

る。すなわち、変成岩の鉱物共生は多くのばあい化学平衡論の法則に従うということである。しかし(変成)相の定義は、化学平衡が成立していたという仮定はまったく含んでいない。

この引用文で奇怪なのは、前半と後半とが論理的に続いているわけではないことである。オリエールヴィとオスロの鉱物組成の違いは P, T だけではないし、そのあとの「一般的原则」なるものは前文を受けて確立したものでなく、せいぜい狭義の相律から導きうるもので、物理化学の演繹法則とはいっても、地質学的帰納法則ではない。ところが、本文の変成相原理は典型的な帰納法則の形式である。この定義文はしかし「変成相」を正面から定義していない。その点「岩石区」の定義と大差がない。“welche”以下の従属文は経験法則を表現しており、それをうけた“die Gesteine”が「一つのきまった変成相に帰属する」というのである。そうすると「変成相」は岩石の類を示すクラス名辞なのだろうか、それとも岩石の一群の属性を示す名辞とみなすべきであろうか。

ESKOLA 以外の代表的岩石学者の定義にあたってみよう。W. S. FYFE & F. J. TURNER¹⁾によると、

変成相とは、鉱物組成と化学組成との間に一定の、したがって予言可能な関係が存在するといった一組の変成鉱物組合わせで、空間的にも時間的にも繰返し相伴うものをいう。

この構文は“.....is a set of metamorphic mineral assemblages, such that (経験法則)”というぐあいになっており、経験法則を前提にした文脈的定義の一種である。ただここでは、「変成相」=「一組の変成鉱物組合わせ」となっている。こんどは岩石のクラス名辞でも属性名辞でもなく、岩石群集の構成内容になっている。むしろその属性こそが「相」を示すとされるべきものが述語名辞にされているわけで、論理的にはナンセンスとしかいいようがない。

もう一例だけあげておく。都城秋穂²⁾はやや内容の違う二様の表現を行なっている。

ESKOLA は、一群の変成岩の化学組成と鉱物組成とのあいだに一定の関係があるのは、その岩石群が温度と圧力の一定の範囲でできたためと考え、その一定の関係によって特徴づけられるような温度と圧力の一定の範囲を一つの変成相とよんだ (p. 40)。

このばあい、化学組成と鉱物組合わせとの間に一定の関係がある一群の変成岩が見いだせるということは、「岩石区」の成立するような抽象度の次元での経験的法則であり、それが一定範囲の温度・圧力下で変成したためとみなすのは、「分別結晶作用」といった抽象度の次元での帰納(推論)なのである。その両方を組合わせて「変成相」=「温度・圧力の一定範囲」としてしまったのである。これでは変成相の解釈にはなっても、抽象度の一定の次元での定義にはならない。高次の次元での解釈がちがってくると、低次の次元での定義も変わっ

1) W. S. FYFE & F. J. TURNER: Reappraisal of the concept of metamorphic facies. *Beit. Mineral. Petrog.*, 12, 1966, p. 354-364.

2) 都城秋穂: 変成岩と変成帯。1965

てくるのでは困るわけである。

同一の温度と圧力のもとで変成された変成岩は、その化学組成が同一でありさえすれば、過去の歴史と無関係に、同一の鉱物組成をもち、化学組成が異なれば一定の規則にしたがって鉱物組成も変化するはずである。ESKOLA は、このように同一の温度と圧力のもとで変成したと考えられるいろいろな岩石を、一つの変成相に属すると定義した (p. 232)。

ここでの論法は、物理化学的原理からおりてきて、化学組成と鉱物組成との間にある規則性(経験則)を解釈し、それにもとづいて、同一の温度・圧力で変成した一群の岩石は一つの変成相に属するという。前の文章では、一定の温度・圧力範囲を「変成相」としたのであるから、この文章は「一定の変成相下で変成した一群の岩石は一つの変成相に属する」といった同義反復になってしまう。

変成相の定義文中に“welche”, “such that”, “そのような”, “このように”といったことばがはいり、従属文の経験法則を主文に結びつけて、文脈的に定義を完成させているということは、変成相概念がこの経験法則に密接に結びついて現われたことを物語っている。したがって、この経験法則が認識されなければ変成相という概念も現われなかったはずであり、またこの経験法則の存在する抽象次元で定義されるべきものなのである。上にのべた混乱はすべて、抽象度のことなる次元の概念を一つの命題の中にまぜこぜにしていることから起こっている。また、こういった混乱の原因は、岩石学に解釈学(特に演繹型解釈学)の傾向が色濃く影を落としているという現状にもとめられるであろう。

III. 花崗岩問題

A. 花崗岩のとらえ方

1. 序論——初中教育における「花崗岩」

学問的に確立していないことを初中教育でとりあげてはいけないうのではない。むしろ、学問が育っていく姿が教えるものなら、それにこしたことはないであろう。次の引用はどう考えればいいか。ある小学校教科書の六年生用からの引用である。

火成岩¹⁾ とそのでき方

火山のある所には、黒っぽい色をしてたくさんのあながあいている岩石が多く見られる。これらの岩石は、たい積岩とはちがったつくりをしている。このような岩石のつくりを調べてみよう。(つづいて表面の色・手ざわり・かたさ・もろさ、われ口のつぶのようすやつやの観察がもとめられる)。

火山では、下の写真(櫻島・三原山の溶岩流の遠望)のように、岩石が火口からふもとのほうに向かって続いて、ねばりけのある液体が流れ出して固まったように見えるところがある。

冗談ではない。櫻島や三原山の遠望写真を見て、「ねばりけのある液体が流れ出して固まっ

1) ここで生徒ははじめて「火成岩」ということばに出会う。問題は「出会い」のあり方なのだ。

たように見える」人などがいるのだろうか。わたくしは1946年初め桜島の噴火を見に行き、溶岩流の先端が崩壊しつつ前進するのを実見して、これが「液体」だなどとは全く思いもよらなかった。それは大小の岩塊がガツガツとぶつかり合いながら、1日30mぐらいのはやさで動いている姿であった。

火山の下や地下の深いところどころには、高温でどろどろした岩石のもとになるものがある。これをマグマという。マグマが火山のふん火などで地上に流れ出て、冷えて固まったものがよう岩である。

これは居直りである。火山の地下には「どろどろした岩石のもとになるもの——マグマがある」のだ、とおほえさせられるだけである。そこには、物の本質に目を開かせられる喜びなどというものはない。物を識るということは喜びであり、光明である以外の何ものでもないはずだ。

マグマが地上に流れ出ると、表面の部分は空気にふれて急げきに冷える。よう岩に見られる多くのあなは、マグマにふくまれていた水分やガスなどが、空気中に急にだしたあとである。

マグマは、よう岩のように、地表に流れ出して固まる場合のほか、地表近くや地下の深い所で、冷えて固まる場合もある。いっばんに、マグマが冷えて固まってできた岩石を火成岩という。

火成岩には、安山岩や花こう岩などの種類がある。

安山岩は、よう岩としてよく見られる岩石で、マグマが地表や地表近くで急に冷えて固まったものである。このようなものには、ほかに、げん武岩などの岩石がある。また、花こう岩は、マグマが地下深くでゆっくりと冷えて固まったもので、ほかにせん緑岩などがある。

かりに生徒は火山の地下にマグマというどろどろにとけたものがあることを知っているとして（漫画や火山噴火のテレビやSFで想像はしているであろう）。それでも、これでどうして花こう岩（と呼ばれるこの標本）が、「地下の高温でどろどろした岩石のもとになるもの」が「地下深くでゆっくりと冷えて固まったもの」だと納得できるだろうか。こうした知識の強制が、このあと中学・高校と繰返されて、「花崗岩はマグマから生じた」という神話（＝偏見・先入観）が形成されてしまうのである。花崗岩の標本をどんなに調べたところで、それが液体から結晶して出来たという結論は出さないのである。後述するように、「花崗岩問題はフィールドジオロジーの問題である」。¹⁾

このような押しつけ、すなわち、岩石を具体的自然の中で、時空的に定位された現象として理解しようとする態度が欠落したままで、物理化学的な抽象的次元に還元するやり方が、実は初中教育における地学教育を毒し、地学のSF化に手をかしているといわなければならない。

こうした教育の位相を示唆するもう一つの例をあげてみよう。

わたくしは1971年12月5日に、小・中・高校の生徒達50人程と一緒に広島・山口県境の小

1) H. H. READ: Granites and granites. *Geol. Soc. Amer., Mem.* 28, 1948, p. 1-19. (H. H. READ: *The Granite Controversy*. 1957 に再録)。"I see the granite problem as essentially one of field geology — it is not primarily one of petrography, mineralogy, physical chemistry, or of any other ancillary discipline" ("Controversy", p. 170).

瀬川沿岸の花崗岩類を見学する機会をもった¹⁾。見学地の花崗岩は広島花崗岩西端に近い晶洞質黒雲母花崗岩である。参加した教師達は一切説明ぬきで、この花崗岩の岩塊を生徒達に観察させ、彼等に自分の観察で気付いた点と疑問を書かせた。その内容は以下のものであった。

小学生 (10名)

- 「いろいろな形や大きさの穴がある」(10名)
- 「穴の中に水晶がある」(8)
- 「穴の奥には大きい水晶がある」(6)
- 「この穴はどうしてできたか」(5)
- 「もともと穴の中には水が入っていたのか」(1)

中学生 (11名)

- 「石に穴がある」(2)
- 「穴の中に水晶がある」(4)
- 「穴の中の水晶は大きい」(2)
- 「穴はどうしてできたか」(3)
- 「穴のまわりは他の部分にくらべて色がちがう。どうしてか」(5)

高校生 (26名)

- 「空洞中の水晶の形は完全な六角柱ではない」(2)
- 「空洞はどのようにしてできたか」(6)
- 「空洞が小さいのに多くの水晶ができています。この水晶をつくった SiO_2 はどこから供給されたか」(1)

また、帰りのバスの中で生徒から質問を受けたが、「晶洞はどうしてできたか」、「なぜ形のいい水晶が成長したのか」といった「○○はどうしてできたのか」といった形式の質問がほとんどであった。このばあいの「どうして」という問は、より低次の現象をより高次の概念をつかって説明することを求めていると解される。たとえば、「晶洞はどうしてできたか」という問に対しては、「花崗岩マグマという液体中の水分が残液に濃集し、それがあつた部分に集まってきて、そこから水晶が自由に成長した」といった、化学の概念を使った説明がなされ、一応の納得をみる。これは前出の「物理化学的抽象次元に還元する」やり方である。それが不可だというのではもちろんない。しかしなぜ、「水晶を含む晶洞はどの花崗岩にもあるのか」とか、「水晶はいつもこうした出方をするのか」といった、自然の現象形態を精確にとらえようとする質問が出てこないのであろうか。こうしたところに、現在の地学教育で自然現象の時空的定位という観点が欠落している面があらわれているようにおもわれるのである。たとえば、安山岩がどんな鉱物から構成され、玄武岩質マグマの分別結晶作用で出来るとまで教えていながら（大学入試によく出る！）、どの山が安山岩でできているかを教えないというところにも見られる。こうした結果が、「花崗岩はマグマという液体がゆっくり冷えて出来た」といった、うそとまではいえないまでも、自信を持って断言できそうな

1) 文部省科研特定研究「中等教育における地学領域のカリキュラム研究」、広島班主催。班代表恩藤知典氏。

いことを、頭ごなしに生徒に教えこむことになってしまうのである。

「水晶を含む晶洞はどの花崗岩にもあるのか」とか、「水晶はいつもこうした出方をするのか」といった、具体的自然の現象形態を問う内容をもった質問に対しては、〈物理学や化学の次元では答えることができない〉。(だから物理学や化学の専門家ないしそのエピソードたちは、こういう質問は低次元な質問だといって軽蔑することでごまかす)。こういってもいいだろう：〈物理学や化学を知らなくても答えられる〉。じっさいはどうかというと、生徒たちが観察した花崗岩は、わたくしのいう「広島花崗岩複合岩体」の一部で、この付近や宮島などでは cm オーダーの晶洞が一面に散点した晶洞質花崗岩の岩相になっているのである¹⁾。このような経験的帰納的事実に内在している法則性(岩体がいくつもの岩相をもつ部分に分けられるということ)、岩相の分布や拡がりという空間性の範疇、随伴という範疇など、地質学の基本的範疇の教育がまったくなされていないのが現状である。

2. 「花崗岩」の定義

Encyclopaedia Britannica (14ed., 1929) の “granite” は、

“Plutonic and deep-seated acidic igneous rocks” の科 (family) に対するグループ名称。主として石英・長石(正長石・微斜長石・ペルト石・アノソクレス・酸性斜長石)と、ある種の苦鉄質鉱物(雲母・角閃石・輝石)の存在で特徴づけられる。花崗岩 (granites) は通常、全体として結晶質で、典型的な半自形あるいは不規則で粒状-花崗岩様 (granular-granitoid) の組織を有する。ここから、その名称がラテン語の *granum* (=grain) に由来する。

この定義には、“plutonic” (おそらく地下の熱の作用を意味しているであろう) とか “igneous” という、仮説に基づいて、到底全具一致のえられそうもない概念が含まれており、花崗岩の一義的・直接的定義にはならない。しかしその点を除けば、“granite” という概念の内包は鉱物構成と組織であり、直接知覚の可能な属性である(ルーペや顕微鏡などの補助手段を使うとしても)。

次に二三の定義を批判することによって、花崗岩の定義という問題を深めてみよう。まず A. HOLMES²⁾ である。

Phanerocrystalline の岩石で、主に石英とアルカリ長石から成り、黒雲母・白雲母・角閃石・輝石などのどれかを伴う。

- 1) 広島花崗岩体はきわめて多様の岩相を示す。すなわち、drusy facies, contaminated facies, aplite 脈の多い岩相, aplite の大岩体を含む岩相, pegmatite の多い岩相, 細粒岩相, 変成斑岩の多い岩相, 等粒状岩相, タングステン脈を含む岩相, カリウム長石大品を含む岩相, Q-Kf-Pl 比の異なる岩相, カリウム長石が赤みを帯びる岩相, 全体として深層風化をする岩相, 玉石状風化をする岩相, 角閃石を含む岩相と含まない岩相, マイロナイト脈を含む岩相, cataclastic 組織のある岩相など。岩相概念は属性概念であって、岩体の部分を示すものではない。「岩体の或る部分はその岩石学的特徴或いは随伴関係によって他の部分と区別され、このような部分は或る一定の岩相をもつという」といった、経験的帰納的法則性に基づく文脈的定義がなされよう。岩相概念の誕生には、経験的帰納的法則性、空間的・時間的実在性(分布・拡がりの範疇)、随伴の範疇が必要なのである。
- 2) A. HOLMES: *Nomenclature of Petrology*. 1920.

この定義も内包は組織と鉱物構成とである。しかし“phanerocrystalline”（顕晶質）という組織に関する形容詞は、「“igneous”な岩石において主要鉱物一つ一つが肉眼で識別しうるばあい用いる」とされていて、ここでもまた“igneous”という仮説に基づく名辞がでてきてしまう。

H. ROSENBUSCH¹⁾ は典型的なドイツ風「整理箒筒岩石学」で、Ier Teil, Die Eruptivgesteine 中の Tiefengesteine の中に「花崗岩科」(“Granitfamilie”)を設けて、次のように定義した。

花崗岩科のすべてのメンバーは、半自形・粒状で、しばしば斑岩状の傾向をもつ組織をしていて、アルカリ長石・石英の鉱物組合わせて特徴づけられる。

このばあいも概念の内包は組織と鉱物構成であるが、すでに“eruptiv”とか“Tiefengesteine”といった仮説概念が前提されている。

H. H. READ²⁾ は花崗岩のいろいろな定義を検討して、次のように定義した。

花崗岩 (a granite) は深く定置した火成岩 (a deep-seated igneous — or eruptive — rock) で、石英・アルカリ長石および黒雲母・角閃石・輝石のような苦鉄質鉱物から成り、肉眼で識別しうるほどの十分に大きい粒をしており、全体として、結晶が互いに自由な成長を妨害しあってできた組織を有する。

彼はのちに (1951), “igneous” (=consolidated from a magma) なる仮説概念に基づく名辞をとり去ったが、「結晶が互いに自由な成長を妨害しあってできた」といった、直接の知覚にははいてこない解釈的=仮説的語句がはいっている。

岩石の定義は mineralogical であるべし、という通説がある。しかし、上に引いた若干例でもわかるように、鉱物構成と組織という mineralogical な内包の他に、何かの仮説のプロセスに関係した名辞が必ず混入している。それは岩石の出来方に関係する。純然たる mineralogical な分類・定義が果して可能なものであろうか。たとえば、変成アーコース砂岩と花崗岩とが同じ鉱物構成をもっているとき、組織がともに等粒状であったならば、両者を標本だけでどうやって区別するのだろうか。片状ないし片麻状構造をもった花崗岩（いわゆる片麻状花崗岩）と、花崗岩を原岩として変成して出来た片麻岩（正片麻岩=花崗片麻岩）とが、標本だけから区別できないことから、日本で正片麻岩が正しく認識されてこなかったのではなかろうか。じっさい、岩石学者でも、現出状態や産地をふせて標本だけで岩石鑑定をさせられたら、しばしばお手上げになるにちがいない。

このような事情は何も「火成岩」にかぎったことではない。たとえば、砂岩とか礫岩であるが、流水などの営力で侵食・運搬・堆積というプロセスを経たことを定義中に加えないで、純粋に mineralogical に定義しているのであろうか。北欧の leptite の原岩が「砂岩か酸性凝灰岩か」という問題が起こったり、あるいは、岐阜県大野郡清見村の一ツ梨礫岩のばあいであるが、この「礫岩」は花崗岩・花崗斑岩を「礫」として含み、南側はシルル紀檜谷層群

1) H. ROSENBUSCH: *Elemente der Gesteinslehre*. 1910.

2) H. H. READ: *Meditation on granite*, Part I, 1943, *Proc. Geol. Assoc.*, 54; “Controversy”, p. 44-85.

(清見層群)に平行に接し、北側は麦島片麻岩 (<片麻状花崗岩>)に断層で接するので、シルル紀基底礫岩説と花崗岩質マイロナイト説とが出てきた。「礫岩か擬礫岩か」という間は、いったい、出来方を問題にしないで出てくるであろうか。そうでなければ、「砂岩には sedimentary と igneous とがある」とか、「礫岩には sedimentary と tectonic とがある」といわなければなるまい。

そこで問題を整理すると次のようになるであろう。物質を化学の次元で考えたとする。そのばあい、その物質の形とか大きさとか向きとかいった現象形態は捨象され、質だけが問題になる。したがって、物質は質だけで定義しなければならない。花崗岩を化学的物質として考えるだけなら、一塊のサンプルについてその質で定義できなければならない。それができないのである。このことはどのように考えるべきであろうか。

実は、このような事情は、具体的世界に現象している物質すべてに通ずることなのである。たとえば水をとりあげてみよう。自然界に存在する<水>は純粋な H_2O ではもちろんない。水には、河川水・湖沼水・地下水・海水、更には空気中の水(雨・霧)などがある。それらすべては溶液であり、懸濁物や生物のような固体まで含んでいる。(だから水質の SS, BOD, COD が問題にされるのである)。しかしこれらの水をコップに入れて、それだけから河川水・湖沼水・雨水等々を区別して定義せよといわれても、それはできないであろう。あるいは、極端に濃い塩湖の水だったら、コップの水だけでわかるかもしれない。しかしそれが塩湖水だといえるのは、「湖」という現象概念が既に前提されているからなのである。花崗岩のばあいも水と同じで、陸水・海水・雨水の区別があるように、○○、△△という現象概念を冠して、○○花崗岩、△△花崗岩と称してしかるべきなのである。じっさいにそうっていないのは、人間の知覚野における身近さの違いにすぎないのではないであろうか。われわれにとって、水のばあいには、自然界における水の現象形式——河川・湖沼・地下水体・海——が、日常経験世界の中で了解されているのである(砂漠しか知らぬ人でないかぎり)。ところが花崗岩の現象形式は知覚しえないし、その現出状況ですら容易には知覚することができない。花崗岩という石材や岩塊は見えていても、岩体は見えてこない。花崗岩体というものは「見えない風景」の中に隠されてしまっている。河川でも湖沼でも、それは「図」として「地」から浮き出して見える。しかし花崗岩体という「図」は、地殻という「地」から識別されて見えてこない。地質学者が断片的資料から岩体を構成し、それを地質図やブロックダイアグラムに描いたとき、はじめて花崗岩体は「地」から現われてくるのである。例外的に、たとえば J. HALLER¹⁾ が示した東グリーンランドのフィヨルド壁などに、自然のまま花崗岩体が「見える」にすぎない。

結論的にいえば、岩石を化学的物質として分析的に考察する以前に、自然界における現象形式としてとらえられていなければならないということである。具体的自然の事物では物質と現象とを切り離しえないのである。

H. H. READ (1943, op. cit., p. 58 f.) はおよそ次のようにいっている。

1880年ごろまでは、一つの“igneous” rock を別の“igneous” rock から導いたり、花崗岩がいくつ

1) J. HALLER: *Geology of the East Greenland Caledonides*. 1971.

かの違った仕方で生じたということ否定するといったことは、強制されていなかった。花崗岩は多様であった (“There were granites and granites”)。それは自由で気楽な時代だったということを銘記しておくべきだ。その後まもなく顕微鏡的岩石記載学が急に興ってきた。それはドイツの ZIRKEL と ROSEBUSCH, 英国の TEALL と HARKER, 米国の WILLIAMS らの手によってなされた。こうして岩石分類の偉大でかつ複雑な体系が樹立された。わたくしはもちろん、これらの草分けの記載岩石学者たちの仕事を過小評価するつもりはない。しかしその結果、岩石がますます整理箒筒の引出しの中に現われるようになり、フィールドにはいよいよ現われなくなったのではないかと思う。

B. 花崗岩地質学の歩み¹⁾

1. 花崗岩地質学の課題

花崗岩をその現象形式から切離して定義することはできない、ということになると、室内のサンプルについてその造岩鉱物を調べたり、化学的特徴を調べるといった〈学問〉は、妙なものになってしまう。しかし現実にはそういう〈学問〉——「岩石学」の専門家が立派に存在しており、各種のダイアグラムが通用しているのである。それは、暗黙のうちに花崗岩の現象形式が仮定されているからである。花崗岩は “igneous” = “consolidated from a magma” であり, “magma” = “rock-forming liquid” というのである。その仮定がなければ、慣用の Q-Or-Pl 図とか Q-A-P 図²⁾ や “variation diagram” といったものは、何のことかわからなくなってしまう。わたくし自身は「すべての花崗岩は “igneous” だ」とは考えていないし, “magma” は広義の flow (流動) を行なう造岩物質であっても、決して liquid なんかではないと考えているので、こうした図は、考えれば考えるほどナンセンスにおもわれてくるのである。

そういうことになると、花崗岩研究の対象の単位は、その現象形式が時空的に定位された具体的実在物でなければならない。すなわち、花崗岩体である。それも、頭に描いたモデルとしての〈花崗岩体〉ではなく、地殻という「地」の中に「図」として実在する個々の花崗岩体である。ここで「地」をつくりあげているのが地質状況 (geological situation) であり、「図」と「地」の関係が現象形態あるいは「現出様式」 (“mode of occurrence”) である。花崗岩の現象形式はその現象形態と地質状況から推論帰納される。それは花崗岩体を主対象とした地質学である。それが「花崗岩問題は本質的にフィールドジオロジーの問題である」(READ) といわれる所以なのである。花崗岩についての地球化学——化学的物質としての研究側面も、花崗岩岩石学——鉱物ないし鉱物集合体としての研究側面も、花崗岩体の現象形式の解明という目的意識が前提になっていなければならない。それは自明のものでもないし、仮定ですませられるものでもなく、地質学的に探求さるべきテーマなのである。

- 1) この節以下の大要は「花崗岩地質学の問題」と題して、1978年10月4日広島大学において開催された三鉱学会の連合学術講演会の特別講演で発表した。
- 2) Plutonic rocks, classification and nomenclature recommended by the IUGS Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks. *Geotimes*, 1973. この提案は “igneous” であることが立証されたかぎりでは有効なのである。ただし、それはあくまで一つの提案としてであって、IUGS の名のもとに authorize されたかの如き発想はとらないし、ましてや強制さるべきでもない。そういったことはすべて反学問的で、有害な思想に根ざしているといわざるをえない。

花崗岩地質学の課題とは、具体的実在物としての花崗岩体を形成したプロセスの現象形式を地殻の場の中で明らかにすることである。具体的にいえば、たとえば、この花崗岩体はどのような条件下で、どんなふうにして定置 (emplace) されたのか、そのとき粘性流動 (広義) を行なった花崗岩物質の状態 (Aggregatzustand) はどうだったのか——珪酸塩溶融体か；大部分が固体で粒間流体を含んでいたのか；どんな粒間流体だったのか；気相はどうだったか；温度や圧力は；またそれらは時間とともにどう変わっていったかなど。さらに、定置から完全固化までの条件や状態の変遷が、岩脈や石脈や晶洞などで代表されるミネラリゼーションの内容と変遷や、それと岩体の種々の性格・オーダーの構造要素との間の関係に、どのように反映し記録されているか。こうした具体的現象形式および現出状態の諸関係の追求が、花崗岩地質学の第一次の課題である。そのばあい、物理学や化学の領域における実験や理論に対する無矛盾性 (consistency) が検討されなければならないが、逆に後者の領域から解釈を強制されるべきではない。事実は理論に向けて開かれていなければならないからである。

このような花崗岩地質学の本質的課題——一口にいえば具体的花崗岩体についての生成史の解明は、地質学の歴史とともに始まり、発展してきた。それが今日における花崗岩成因論という一般化された課題 (しかし花崗岩地質学にとっては第二次的な課題) の形に転化したといえよう。

2. HUTTON の場合

James HUTTON (1726・6・3-1797・3・26) はひとことでいえば、19世紀後半という第一次産業革命と資本主義勃興期を先導したイギリスの産んだ一つの幸運なめぐり合わせであった。もちろんここで「幸運」というのはイギリスとか HUTTON にとっての偶然性の側面であって、“The Founder (or Father) of Modern Geology” の出現という必然性の視点からいうことではない¹⁾。

幸運なめぐり合わせというのは、HUTTON の出身と職業、彼の教師・友人たち、それとその時代と学問の思想の組み合わせである。

HUTTON の父は相当の商人で、一時エジンバラ市の収入役を勤めたこともあったが、彼の幼い時に死に、母に育てられた。彼は大学で化学に興味を持ち、彼の友人の Joseph BLACK (1728-1799, エジンバラ大学化学教授) は、LAVOISIER の燃焼説 (1774) に賛成しており、その融解と蒸発の潜熱測定は HUTTON に強い印象を与えたという。また BLACK は、圧力によって揮発性成分の散逸が阻まれ、それが化学反応に影響することをみいだしたが、このことも HUTTON の考えに強く影響を及ぼしたということである。しかしどういいうわけか、彼は医学を学ぶことになり、やがて農学に転じた。これは父が逝した Berwickshire の農場の経営を意図してのこととおもわれる。彼は農場回りを始めるが、その際地質学に興味をもつようになった。1754年にはオランダと Flanders の農業を見て回り、1754年から68年までの青壮年期には自身の農場の経営に専心している。当時はイギリスにおける農業の資本主義

1) おもに次の書物を参照した。E. B. BAILEY: *James HUTTON — the Founder of Modern Geology*. Elsevier, 1967.

化の時期にあたっており、彼が農業経営を断念してエジンバラに移ったことは、何かそういった事情と関係があったのかもしれない。エジンバラでは、Adam SMITH や BLACK らと“Oyster Club”をつくり、また沸石中のアルカリの同定の仕事をしたり、友人の James WATT と岩塩鉈山の見学に行ったりしている。このような近代資本主義の思想の草分けになった人々との親交と自らの社会的体験が、HUTTON の晩年に属する地質学の形成に大きな力となっていることは疑いない。

HUTTON の最初の地質学関係の論文は1777年、51才のときのものであり、“*Theory of the Earth*”は1785年、59才になって Royal Society of Edinburgh で発表されたのである（印刷公表は1788年）。

HUTTON の世界観・自然観は、目的論（神の智慧の実現としての秩序と繁栄）と機械観（地球は一つの機械である）であり、地質学者としては地球内部の“heat”をエネルギーの根幹に据えた。「機械」としての地球はたえずくずされてゆくが、それは自然に修復される。しかし回復は非常に長い時間がかかり、とても人間の歴史の中で明らかになるというものではない。そこで極めて古い時代の岩石が示す evidence をどう解釈するかということが問題になる。それに対する答えは、“In examining things present, we have data from which to reason with regard to what has been”, すなわち、「現在は過去の鍵である」ということであり、BAILEY はこれが「斉一観」(uniformitarianism) と呼ばれるようになる原理の最初の表明だとしている。しかしこれらの思想は、18世紀後半のイギリス社会の産業革命の思想であり、当時の科学の機械論的自然観の反映とみなすことができよう。また、斉一観についてもそれは彼の独創というより、本質的にはイギリス経験論の postulate とみなすべきである¹⁾。

HUTTON の「火成説」はこれだけの思想と時代の背景の上で理解されねばならない。彼の火成説は極めて徹底していて、地層の固結も、硬化チョークも、チョーク中のフリントもみな“heat”による“fusion”の結果だとしている。したがって玄武岩や花崗岩の火成説もきわめて当然なのである。しかし、玄武岩の火成説については全く楽観的であった一方、花崗岩については非常に苦心している。その点についてすこしくわしく見ていこうとおもう。

1788年版の“*Theory of the Earth*”, Part II, An Investigation of the Natural Operations Employed in Consolidation of the Strata of the Globe の中で次のように述べている。

大地の構造の部分としての花崗岩の本質はここで考察するにはあまりに人組んだ主題である。ここでは物体中で観察されうる明白なしから物質の溶融を証明しようと求めているだけなのである。われわれはそこで、今は花崗岩のある特定種を考察するにとどめよう。そしてもしこれが、溶融した流動状態にあったというように見られるとしたならば、われわれはこの性質をすべての種類におし拡げることが許されることになる。

ここで調べようとしている種類 (species) は北の地方から来たもので、Portsoy の 4, 5 マイル西方で、Huntly への道にある。わたくしはその地点に行ったことはないが、この岩石はこの地方の一般的な花崗岩に直接に結びつか、あるいは連続すると教えられている。このことはわたくしがえた標本についてみてもそうらしいことがわかる。というのは、それらのいくつかは、規則的な種類から不規則な

1) たとえば、J. S. MILL: *A System of Logic*, 1843, の“uniformity of nature” (付論 2 を参照)。

種類への移り変わりが見られるからである。

問題の岩石は Banffshire coast の花崗岩で、BAILEY によると graphic ないし pegmatitic な組織がよく見られるという。その記載は四ツ折版2頁にわたり、10枚の図版がそえられていた。しかし BAILEY が指摘しているように、組織からする花崗岩の溶融体起源論は当時の人々を納得させることは困難であった。じっさい、花崗岩はしばしば堆積岩で蔽われていたし、また、もし花崗岩がかつては溶融していたというならば、どうしてその組織が現在の溶岩とこうも違うのか、といった疑問ももたれた。HUTTON は冷却による節理形成をあげたが、節理は地層にも見られるのである。こうした事情が、客観的状况からも彼自身の主観的意図からも、60才という老年になってから、1785-88年の間に何度も旅行に出て、フィールドで花崗岩を観察させることになったようである。彼はフィールドで何を見ようとしたか、その二三の例をあげよう¹⁾。

自然史 (natural history) の最も興味深い部分が見られるのは、特に Glen Tilt においてである。

川の南側では岩層は結晶片岩 (Alpine schistus)、特に粒状石英と雲母質の石灰岩から成り、南下がり山側に傾斜する。川の反対側では山の急な斜面はすべて美しい赤い花崗岩の岩塊で蔽われており、その一塊すら南側では見られない。それゆえ、こここそわれわれが期待していた場所なのであり、調査につごうのいいことに、川は硬い部分が十分に露出していて、昔の時代に行なわれた事を最も満足のいく程度に見せてくれている。

ここで思い出しておかねばならないことは、いま問題になっているのは花崗岩について、それが結晶片岩との関係でどこまで初生的な岩体と考えられるかという点である。そのばあいには、花崗岩の破片が結晶片岩に包有されて見出されるであろうし、逆に結晶片岩の一片たりとも花崗岩中には見られないであろう。……しかし今や花崗岩は岩層を考うるかぎりの仕方では破ったり変位させたりして現われており、破られた岩層の破片を包有し、見られるかぎりの岩層中にあらゆる可能な方向に向かって貫入して (interjected) いる。このことが観察できるのは谷の中の一か所だけでなく、岩石があらわれている多くの場所で、また川によって岩層が洗い出されている所で見られる。

HUTTON の晩年の巡検からもう一つ引用しよう。Ayrshire と Galloway の海岸地帯で、Southern Uplands of Scotland の西海岸にあたる。その Cairns Muir (Cairnsmore of Fleet) での観察に引続いて次のようにのべている²⁾。

……ここでは花崗岩が、破壊されて持ち上げられた岩層の端を包み込んでいるのが見出されただけでなく、花崗岩が岩層中に貫入して、その中に石脈様に下に続いていたり、もはや先へ貫入しえない所では糸のようになって終わっているのが見られた。

- 1) これらのフィールドワークの手記は、A. GEIKIE の編集で1899年に出版された Vol. III のっている。以下の引用は、Chap. IV “Observations made in a journey to the north Alpine part of Scotland in the year 1785” からのもので、Glen Tilt 地方への旅行記である。Scottish (Grampian) Highlands の中央部で、“Alpine schistus” といわれているのはおもにザクロ石帯の結晶片岩で、“granite” は “the Newer Granite” とみなされる。
- 2) “Theory”, Vol. III, Chap. V, “Observations made in a journey to the south Alpine parts of Scotland in the year 1786”。

全体としてみると、われわれは次のように結論してよいであろう。すなわち、花崗岩が実際に流体状態にあるのを見ることがなくても、その事実が可能であるというあらゆる証拠をわれわれは持っている。いわば、花崗岩が、地下の力で破壊され、あらゆる仕方と程度で変形された岩層中に熔融状態で、強制的に流動させられたという証拠を持っている。

わたくしはこの問題についていよいよ気がかりであった。というのは長い間花崗岩に関して疑いをもっていたのだ。花崗岩は海底に集積した地層が後にその場所で熔融によって固化したものとみなされるべきものなのか、あるいは地下の溶岩のかたまりが、われわれの whinstone か玄武岩のような仕方で流動させられたものとみなすべきなのかどうか、わたくしには確かでなかった。

わたくしは今ではただ更に次のことをつけ加えておかねばならない。成層した花崗岩 (stratified granite) といったものはないと主張するつもりはない。

これが HUTTON のいわゆる火成説なのであり、naturalist としての真骨頂を示しているというべきである。彼は初め化学に関心があり、化学の概念によって理念的に地質現象を解釈しようとする傾向が強い。“*Theory of the Earth*”, Vol. I & II はそうした傾向を示しており、熱・圧力・溶解（融解）・蒸発といった物理化学的概念が主役を演じている。こうしてみると、“*Theory*” 発表後になってから老軀をひきさげてフィールドワークをしたということは、彼の学問の太い発展の糸の上に正しくのった必然事と考えざるをえない。“*Theory*”, Vol. III の手記は John PLAYFAIR の手許にあったらしいが、彼は数学者であり、HUTTON の地質学を評価しなかったらしい。BAILEY はそれを残念がり、この Vol. III は HUTTON をその best において示しているとのべている。ここで彼が示したものは花崗岩地質学そのものである。「花崗岩問題はフィールドジオロジーの問題である」ということを、HUTTON は彼の一生の学問を通して示したといえよう。

3. 花崗岩問題の展開

N. L. BOWEN は花崗岩のマグマ起源（「火成説」）に関して、年とともにそのマグマ論者 (magmatist) 的性格を強めていったようにおもわれる。“*The Evolution of the Igneous Rocks*” (1928) では次のようにいう (Chap. 17. Petrogenesis and the physics of the Earth, p. 319).

玄武岩質マグマの種々の分化物がその時々を生じたのか、あるいはばあいによっては、原初的の分化作用 (primordial differentiation) によって生じたのかという点については、問題としてあけておく必要がある。多くの花崗岩質マグマはその直接的起源を再溶融作用にもとめられよう。たとえば、ずっと以前に塩基性物質から由来した花崗岩が深所に埋没することによるとか。

彼はいよいよ、玄武岩質マグマの結晶分化作用に確信を持ってくるのであるが、なお、地質学的考察が決定的に重要であることを忘れてはいなかった。彼は次のようにいう (p. 319)。

すべてのマグマは玄武岩質マグマから結晶分化作用で生じたのだらうということが、ますます蓋然性が高くなってきている。しかしそれがたとえ証明された事実であるとしても、いろいろなマグマがそのようにして由来したという結論にはならないであろう。この点に関する決定はなお主として地質学的考察に依存していると考えられるのであって、じっさい、玄武岩が親としての性格をもっているというこ

とを示唆することになったのは、岩石学よりはおもにそのような考察だったのである。

その後20年を経て、1930年代からの花崗岩論の締め括りの意味をもった“Ottawa Symposium”で、彼は次のようにいう (p. 80)¹⁾。

“Igneous”の特に花崗岩質の物質がときどき他の岩石中に付加されてそれを置きかえ、遂にそれが花崗岩の組成をもつに到ることがあるということ、信じないようなマグマティストはおそらくないであろう。彼はしかし、大部分の花崗岩質岩石がこの花崗岩化作用というプロセスによって形成されたという主張ははねのける。同様に、変成論者の中で、時に応じて少量の花崗岩質マグマが生じ、このマグマの直接的な固結で成種の花崗岩が生ずるという可能性を承諾しない者はおそらくないであろう。現実的な問題はだからこうなる：どれだけの花崗岩がマグマ成でどれだけが変成源か。

問題は“how much”という量の問題ではなく、「この花崗岩はマグマ成か変成源か」ということを知る基準は何かということであろう (後述の GOODSPEED 参照)。また BOWEN は此の論文の中で、R. PERRIN, M. ROUBAULT, H. RAMBERG 等の提称した固体拡散に基づく“dry granitization”に対しては、理論的に (物理学の現段階の実験・理論にてらして) 大規模な固体拡散は起こり難いとし、「彼等はいわば、すべての岩石学的現象を包括するのにたった一つの方程式を書こうとしている」と非難している (p. 83)。また他方、「壺液」(“ichor”) の浸潤を前提にした“wet granitization”に対しては、それに要する莫大なエネルギーの供給に問題があるとした。BOWEN はもはやこの段階では、“The Evolution”当時の「地質学的考察」を柱とする考え方に立っていないのである。より抽象的理念的地平から演繹的に経験的帰納的地平を見おろしている。彼は多くの岩石学者は次のように考えるという。

多くの岩石学者の意見では、われわれが見ている大部分の花崗岩質岩石は貫入性の溶融したマグマの結晶作用で生じたものである。そしてそのマグマは性質上、流紋岩質溶岩になる噴出溶融物質に密接に類似するが、水およびその他の揮発性成分を大部分の噴出岩より多く含んでいた。

ここではもはや“how much granite”が“most of the granitic rook”にいつのまにかすりかえられている。これが典型的なマグマ論者の考えである。しかしその中でも花崗岩質マグマの生成に関しては意見が分かれる。BOWEN はどうかというと (p. 87),

われわれの知識の現状では、花崗岩質マグマ生成のこれらすべての仕方を可能なものとして受け入れなければならない。それにもかかわらず、今あなたに話しかけている最低のグループの恥ずべき代表者は、次のように問うことをやめることができない：「再溶融して花崗岩質マグマになった最初の花崗岩はどこからきたのか?」。そしてまた、珪ばん質堆積物は珪ばん質の地帯の侵食によってのみ産出されるのであるから、「再溶融を受けて花崗岩質マグマとなった最初の珪ばん質堆積物はどこからきたのか?」。これらの質問に対する満足いく答を求めても何一つえられないので、見捨てられた者はこう信ぜざるをえなくなる。初めには少なくとも、花崗岩質マグマと最初の花崗岩は地球の塩基性 (苦鉄質)

1) “Origin of Granite”. Chairman, J. GILLURRY, *Geol. Soc. Amer., Mem.* 28, 1948. N. L. BOWEN: The granite problem and the method of multiple prejudices. p. 79-90.

物質の純然たる分化作用で生じたのであると。分化の仕方でも蓋然性があるのは、後の時代の多くの有底貫入体で広く示されており、かつ珪酸塩の実験的研究において広範な賛同をえている仕方、すなわち分別結晶作用である。花崗岩の若干解けだしたものやまた玄武岩質マグマ中のその他の珪ばん質物質は、後代の玄武岩質貫入体の花崗岩質分化生成物の量を増やすことにはなりそうもない。花崗岩質マグマのあるものは花崗岩または珪ばん質堆積物の再溶融の直接の結果でもあろう。しかしこのばあいでは、これが永続的な原因によるかどうか疑問がある。そうではなくて、深部からの高温の玄武岩質マグマの貫入という、よりカストローフ的な作用によるのではなからうかと疑われるのである。そのばあい、玄武岩質マグマはそれ自身、溶融作用の行なわれるゾーンにはいってこなくても、そのゾーンへ付加されるべき必要な熱を寄与したのである。

「最低のグループの恥ずべき代表者」とか「見捨てられた者」といういささか自虐的で皮肉っぽい表現は、“Ottawa Symposium”のムードを反映していて興味深い。それがより強く演繹型解学的姿勢をとらせたのかもしれない。ここで彼が最後に示唆した点は、しかし重要である。ただしそれは地質学の問題である。このことについては後にわたくしの考えを述べることになる。

同じシンポジウムで、1930年代の花崗岩化作用のチャンピオンの一人であった G. E. GOODSPEED は次のようにのべている (p. 56)。

最近の10年間に花崗岩の起源に関する三つの違った様式が展開された。それはマグマ成、変成源、流動化 (rheomorphic) ないし新マグマ成 (neomagmatic) の三つである。……花崗岩質岩石が異なった仕方でも生じうることを許容した上で、なお問題として残ることは、生成のどのプロセスがある特定の花崗岩体を最も美事に説明しうるか、あるいは、どのプロセスが大部分の花崗岩体を説明しうるかという点である。この問題は困難なものである。というのは、一つとして際立った判断基準はなく、ある基準はいかなる解釈にも役立てられるので診断に役立つものでないからである。岩石成因論の多くの問題に対してはフィールドでの判断基準がいくつか必要である。そしてフィールドと岩石記載と多分さらに化学的な判断基準の組み合わせが、満足いく解釈にとって必要なものといえよう。

これは常識的といえればそれまでであるが、正しい指摘といえよう。

さらに同じシンポジウムで、H. H. READ¹⁾ は英国地質学の歴史をふまえて花崗岩地質学の重要性を強調している。「花崗岩問題は本質的にフィールド地質学の問題である」という発言はここでなされた。彼は Charles LYELL に立返る。

わたくしにとっては、花崗岩の形成、ミグマタイト形成、広域変成作用はすべて、一つのプロセスの部分である。——それらは LYELL が1世紀前に「深成」(plutonic) とよんだ作因 (agency) の結果なのである。

……花崗岩自身ならびに変成した岩層 (altered strata) もまたいずれも、その結晶質組織を plutonic agency からえている (LYELL)²⁾

1) H. H. READ: Granites and granites. "Origin of Granite", *Geol. Soc. Amer., Mem.* 28, 1948, p. 1-19.

2) Ch. LYELL: *Elements of Geology*, 1st Ed. p. 19.

変成作用 (transmutation) は大きい圧力の下で作用する地下の熱 (subterranean heat) の影響を受け、多孔質の岩石中に浸潤して種々の化学的分解と新しく合成作用を起こした熱水あるいは蒸気その他の気体によって助けられた。その作用全体は「深成」(“plutonic”)といわれてきた。このことばは、ひじょうな深所で、地表では決して例示されることのない条件下で作用したすべての変化原因を一語でいい表わすものである。大地の内部における花崗岩の溶融 (fusion) 自体も、また同様に堆積層中における変成組織の発達も、この plutonic action に帰せられる (LYELL)¹⁾。

W. Q. KENNEDY 等²⁾ は “volcanic association” と “plutonic association” を大別し、前者は「塩基性、主として噴出岩、真のマグマ成、非造山の」と規定し、後者は「花崗岩質ないし花崗閃緑岩質、同化作用 (assimilation) のプロセスと造山運動を伴う」とした。これはもちろん、地質学的な経験的帰納的法則性から抽象された概念である。概念の内包間の結びつきは因果性でなく帰属性 (Zugehörigkeit) というべきである。

READ³⁾ は三分法を提案している。

Neptunic — 堆積岩、主に海成。

Volcanic — マグマ成, “igneous” の岩石, 主に噴出岩で塩基性。

Plutonic — 変成岩, ミグマタイト質岩石と花崗岩質岩石。

この “plutonic” の使い方は LYELL—KENNEDY の伝統の線上にのるものである。READ は玄武岩質マグマの分化生成物は花崗岩ではなく ferro-gabbro だといっているが、これは Skaergaard を念頭においてのことで、NIGGLI や BOWEN はこれに反対した。

“Granitization” とか “anatexis” といった概念は、プロセスの現象形式を逐一とらえて命名したものでなく、結果と出発点を結んだだけのものなので、そのプロセスの過程で岩体が流動したかどうかについては何一つ含意されていない。いいかえれば、この概念の中には、流動化 (rheomorphism, mobilization) とか、溶融 (fusion, melting, remelting, transfusion), あるいは花崗岩質液体の生成などといったことは一つも含まれていないのである。流動 (flow, flowage) という物理学的現象と液体といった物質の状態とは区別して考える必要がある。この点について READ は次のようにいう (同上, p. 16)。

ある花崗岩は貫入性 (intrusive) のように見える。ちょうど或る種の岩塩や粘土やその他の流動性の

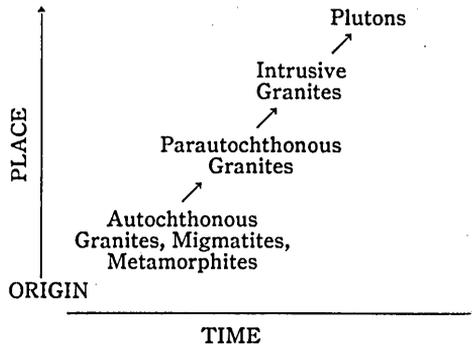
- 1) Ch. LYELL: “Principles of Geology”. 12th Ed., p. 139. LYELL は岩石の四分法を提称しており, “aqueous (=sedimentary), volcanic, plutonic, metamorphic” とし, そのうち “volcanic” というのは “igneous action” による生成物で, 溶岩とそれに密接に関係した脈岩に限られる。これに対して “primary rocks” は彼の “plutonic” と “metamorphic” rocks を包含し, そのうちの “plutonic” rocks は層理を示さない “primary rocks” のことで, 「大量の花崗岩および花崗岩に近縁の岩石から成り, 深所における “igneous action” で生じた」とされている (1833)。ただここでいう “igneous” ということばは “ignis” = fire からの造語で, 歴史的にも多義的で, magmatic と同義ではない。
- 2) W. Q. KENNEDY and E. M. ANDERSON: Crustal layers and the origin of magmas. *Bull. Volc.*, ser. ii, 3, 24.
- 3) H. H. READ: Meditations on granite. *Proc. Geol. Assoc.*, 54, 1943, p. 64-85; 55, 1944, p. 45-93. “The Granite Controversy”, 1957, に再録。

物質が貫入性であるように。いっておきたいことは、明らかなことだが、貫入性ということは igneous とか magmatic ということを含意しないということである。……流動性は花崗岩化作用の産物に対して、間隙マグマ、付加された流体、温度上昇、圧力上昇によって引き起こされる。混合物のマッシュ (mash) —REINHARDのミグマ (migma)— は体積の4分の1以下の液体で動く。

READ はその論文を次のように結んでいる。

ミグマとしてか、あるいはもし(花崗岩化の)プロセスが十分に進行したならばマグマとして、花崗岩質物質は地殻の浅いレベルへと動いていって、そこで非調和な (discordant) 花崗岩体を熱変成環を伴って形成するであろう。そこで花崗岩体のタイプの全系列が、花崗岩質物質の流動性(の違い)にしたがって出来上がるであろう。——そこには多様な花崗岩が存在することになるであろう (there might be granites and granites)。この花崗岩系列 (granite series) は一貫してフランス地質学者——1世紀前の Élie DE BEAUMONT から DELESSE, MICHEL-LÉVY, LACROIX, TERMIER をへて現代の人々へ——の教義となってきた。TERMIER はこう主張する。ある花崗岩が狭い変成環でかこまれているとき、その花崗岩がどこかからでき合いのものとしてやってきたことは確かである。もしある花崗岩が変成岩の広い環で囲まれているとき、この花崗岩はまわりの岩石が広域変成作用を受けている間にその場所で形成されたことは確かであるというのである。ずっとあとになって昨年われわれは、RAGUIN が彼の “Géologie du granite” の中で伝統を継承して、アナテクティックな花崗岩 (granites d’anatexie) と岩体の輪廓を限られた花崗岩 (granites en massifs circonscrits) の二つのカテゴリーとそれらの中間タイプを区別するのを見いだすのである。

こういった花崗岩系列は E. WEGMANN¹⁾ の Unterbau から Oberbau への造構系列に対応されるもので、次のように模式化される²⁾。



そこで READ は、歴史的に考えを展開したのち、次のように付言する (“Controversy”, p.

- 1) C. E. WEGMANN: Zur Deutung der Migmatite. *Geol. Rdsch.*, 26, 1935, p. 307. なお同様な思想は, H. CLOOS and A. RITTMANN: Zur Einteilung und Benennung der Plutone. *Geol. Rdsch.*, 30, 1939, p. 600-608 にあり, また P. ESKOLA や T. F. W. BARTH (たとえば “Die Entstehung der Gesteine”, 1939) ももっていた。
- 2) H. H. READ: A contemplation of time in plutonism. *Q. J. G. S.*, 105, 1949, p. 101-156, Fig. 17.

334)。

われわれは今や花崗岩系列を見わたすことができる。その際花崗岩は時間と空間と性格の面から連結される。場所は鉛直的にも水平的にも変化するだろうし、時間はその違いが小さかったり大きかったりするだろうし、性格はみたところ一定しないであろう。しかしそれにもかかわらず、わたくしは自分の古い見解(1944)を再び主張する。すなわち、多様な花崗岩が存在するけれども、それらの大部分は一つ種類であり、それらのすべては一つに連鎖された起源のものであるらしい。

Ottawa Symposium は1930年代をクライマックスとした花崗岩成因論の締め括りの意味をもつとあったが、むしろそれをまつまでもなく、言わなければならないことはほとんど出盡くしており、しかもそれらが「岩石学者」的地平の狭さを反映して、解釈学に墮してしまっていて、おたがいが言い合ってもそれで終って決してけりが見つからないといった食傷状態になっていたのである。だから Ottawa Symposium はほとんど実りといったものを残さなかったといってもよいであろう。ネガティブな仕方では、花崗岩問題は岩石学の問題でなく地質学の問題である、ということを示す結果となったわけである。そのころを境に花崗岩問題の岩石学のペーパーは影を薄くしていった。

花崗岩問題を正しく継承するには、花崗岩地質学を追求する以外にない。花崗岩活動を造構作用・変成作用その他の種々の地質現象と関連させて見ていくことがもとめられるのである。ただしそれは事象間に安易な因果関係を設定するといった仕方ではなく、事象の帰属性(Zugehörigkeit, Zusammenfügung)を帰納していくことが必要なのである。こうした問題意識は、たとえば、Scottish Caledonides の研究者たちによって伝統的に継承されてきている。

有名な G. BARROW¹⁾ が考えた Scottish Highlands のいわゆる広域変成作用は、その表題が示すように、“gneiss”の貫入に伴う大規模な接触変成作用であった²⁾。これは、“gneiss”の貫入を原因とし、広域変成をその結果とする因果関係で結ばれている。ところがそれから30年余り経って TILLEY や HARKER になると、ふたたび LYELL 的になる。HARKER はいう³⁾。

一つの自然的領域の範囲内に変成作用のひじょうに異なったグレードのものがあらわれているが、グレードの変化は漸移的で順序正しい種類のものであり、igneous intrusion のような付随現象(incidents)に関係があるというよりはむしろ、地域全体(region as a whole)に関係している。

一般に、造山運動と広域変成作用は、徐々に沈降する地向斜盆地において水統する堆積作用の論理的結果(logical consequence)として起こる。

- 1) G. BARROW: On an intrusion of muscovite-biotite gneiss in the southeastern Highlands of Scotland, and its accompanying metamorphism. *Q. J. G. S.*, 49, 1893, p. 330-358.
- 2) 前出の LYELL (1875) の引用では、花崗岩の溶融も堆積層中の変成組織の発達も共に“plutonic action”に帰していた。BARROW のアイディアはそれとニュアンスがちがう。もっとも一方の大陸では ROSENBUSCH の接触変成作用の論文が出されていた。これらの間の関係は科学史上興味深いものがある。(H. ROSENBUSCH: Die Steiger Schiefer und ihre Kontaktzone an der Graniten von Barr-Andlau und Hohwald. *Abh. z. Geol. Sp. Karte von Elsass-Lothringen*, 1, 1877, p. 79-393.)
- 3) A. HARKER: “Metamorphism”, 1932. p. 177.

単純な熱変成作用のばあい、熱は地球の深いレベルから貫入マグマによって運び上げられる。広域変成作用のばあいには、地球の内部に蓄えられた熱の直接の侵入を思い浮かべることになる。……等温面の広域的上昇は、いっばんに、とけたマグマの貫入に伴われるが、そういった貫入はおそらく最もホットな場所に集中するとおもわれる。……Scottish Highlands においては、BARROW は高温が igneous magmas の侵入のためとみなした。しかし貫入は、じっさいに見られるのは決して最高変成度の岩層の所に限られてはいない。このばあいのように広い領域では、変成度は plutonic rocks の分布との密接な関係というものを、ほんのわずかも示していない。より自然におもわれることは、貫入を広域変成作用の原因とみなすよりもむしろ、それにしばしば随伴する現象 (frequent incident) とみなすことである。

HARKER の “regional uprising of the geotherm” という考え方は相当徹底したもので、花崗岩の貫入がミグマタイトないし注入片麻岩をつくっているばあいでも、花崗岩質マグマの侵入以前に岩層はすでにひじょうに高い温度にまで熱せられていたとした。

HARKER や TILLEY 迄の時代と今日とで違ふのは、特に Scottish Highlands Caledonides では1950年代を中心として、構造要素の幾何学的解析が精力的に行なわれ、その結果、幾つかの変成結晶作用と変形作用の時期 (episodes) が区別され、地域毎にはあるが、両方の時期の対比がなされつつある。たとえば、Dalradian の例では¹⁾、

- F₁ 期——大規模な SW-NE 軸 (Caledonoid) の横臥褶曲。千枚岩類変成 (M₁ 期)。
- F₂ 期——小規模な非対称的交叉褶曲の重複。アルマンディン帯などの変成 (M₂ 期)。
- 静的時期——珪線石帯変成、ミグマタイト形成 (M₃ 期)、The Older Granite 形成。
- 間隙——層状はんれい岩貫入。
- F₃ 期——劈開褶曲。後退変成。
- 静的時期——The Newer Granite 貫入。

上の F は変形時期、M は変成結晶作用の時期を示す。F₁ と F₂ の褶曲は全くスタイルの違うもので、それぞれ独立の変形期であろうから M₁ と M₂~M₃ の変成作用も別のものであり、もちろん、間隙をはさんだ F₃ 期の変形・変成も別物である。問題は M₂ と M₃ が一連のものなのかという点 (dolerite の貫入がはさまる) と、M₃ 期のミグマタイトと The Older Granite の関係である。これは、温度上昇とともに差応力が解消していったと解しえないであろうか。そうすれば M₂→M₃ と一連の変成期を考えてもよいことになる。Dolerite の貫入はこの際問題にならない (後述)。

C. 花崗岩物質の物理化学的実験の歩み

1. TUTTLE-BOWEN まで

さきに述べたように、地質学的経験と物理学・化学とを無媒介的に結びつけることはできないのであって、その中間の帰納的法則性やそれに基づく概念が挿入され、それが抽象されたモデル化されて物理学・化学の理論や概念が適用されるわけである。たとえば、「マグ

1) M. R. W. JOHNSON: Some time relations of movement and metamorphism in the Scottish Highlands. *Geol. Mijnb.*, 42, 1963, p. 121-142; “The British Caledonides”, Ed. M. R. W. JOHNSON and F. H. STEWART, 1963.

マの分化作用」という複合概念は、火山岩の起源の共通性とか、玄武岩の parental nature といった帰納的法則性の延長上に現われる概念であって、「マグマ」も「分化作用」もここでは地質学的な低次概念である。「マグマ」を「液」(liquid) に抽象し、「分化作用」を「結晶作用に基づく分別作用」とモデル化してはじめて、物理化学の領域で扱いうることになるのである。したがって、地質学的経験からの帰納の行きつく端に物理化学があり、前者から後者の理論や実験を待望するという位相がここには見いだされる。しかしまた同時に、さき (p. 28) に引用した BOWEN のことばにあるように、物理化学の実験の側から “to point the road” という位相があるのである。

このように具体的自然の事物から出発する事実学は、高度に理念化された物理学・化学と相補的な位相関係にある。(弁証法的関係といってもよいであろう)。岩石学者はそうした二つの位相にたえず心を配っていることが必要である。岩石学がその時期の物理学・化学の理論や実験に大きく影響されるということは、その点で当然であり、また科学史上の事実でもある。

花崗岩問題もその例外ではない。1930年代の花崗岩成因論がしばしば思弁的で、時には “dry metasomatism” のように固体拡散の実験を直接フィールドの事実短絡するような無謀なやり方まであらわれたのは、当時の実験的背景の貧弱さを反映していると考えられる。大戦前の労作を代表するのは、SCHAIRER—BOWEN の SiO_2 - $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - KAlSi_3O_8 系の1気圧・無水の実験¹⁾ と、GORANSON の granite-water 系の研究²⁾ である。前者は Na-K-長石固溶体と SiO_2 との間の液相面の最低温度領域の存在を明らかにし、それからこの系を “petrogeny's residua system” と名づけた。多くの流紋岩類および花崗岩類のノルム比がこの低温域にプロットされることから、このことは、一方では、花崗岩がマグマの分別結晶作用の残液から品出生成する可能性を示すとともに、他方では、部分溶融でもこの組成の液体マグマが生成しうることを示すものと解釈された。また、GORANSON の実験は、比較的低い蒸気圧下で H_2O に飽和した花崗岩の融解をみつかったもので、liquidus-minimum が $P_{\text{H}_2\text{O}}$ の増加とともに急にその温度を低下することを明らかにした。この結果は、 $P_{\text{H}_2\text{O}}$ がある程度高ければ (約 1kb 以上) 700°C 前後あるいはそれ以下の温度で花崗岩がとけだすことを示すものとして、花崗岩の部分溶融起源説の強力なよりどころとされるようになった。ただ、この結果は、 H_2O の飽和条件下で地殻のある程度深い所という前提のもとでしか使えないのであって、 H_2O が散逸したり、浅所に液が上昇して圧力が低下すると、すぐ固化してしまい、浅所ないし噴出性の花崗岩質マグマはこのモデルではえられないということには、たいいてい気付かなかったのである。

戦後における花崗岩物質の物理化学的実験研究のピークをなすのは、TUTTLE-BOWEN による haplogranite system: $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - KAlSi_3O_8 - SiO_2 - H_2O 系の研究³⁾ である。この研究は、

- 1) J. F. SCHAIRER and N. L. BOWEN: Preliminary report on equilibrium relations between feldspatroids, alkali-feldspars, and silica. *Trans. Am. Geoph. Union*, 16th Ann. Meet., 1935, p. 325-328.
- 2) R. W. GORANSON: The solubility of water in granite magmas. *Am. Jour. Sci.*, 22, 1931, p. 481-502.
———: Silicate-water systems etc., *Am. Jour. Sci.*, 35-A, 1938, p. 71-91.
- 3) O. F. TUTTLE 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 . *Geol. Soc. Am., Mem.* 74, 1958.

H₂O の飽和条件下で、さきの SCHAIRER-BOWEN と GORANSON の研究を中程度の圧力 (4-6 kb) までの範囲で展開させたものとみることができる。ただこの論文は TUTTLE が執筆したものといわれており、果して BOWEN がどの程度加筆したかは疑わしい。たとえば、次のような文章があり、著者の (TUTTLE の) フィロソフィーがあらわれている。

フィールドでの花崗岩の研究は長い以前に完了したプロセスの最終の産物を扱っており、最も詳細な地質図の作成やこれら産物の研究も、それらの関係に関与したプロセスの正確な性質について説得力のある証拠を示すことはできまい。花崗岩の共通な鉱物を制御され測定された条件下で調べ、花崗岩の組成に近い組成における融解関係の性質を調べるという実験室での研究は、花崗岩問題にアタックする自然な大道である。……(殊に花崗岩では Ab, Or, Q 以外は10パーセント以下なので)、この系における平衡関係が直接に花崗岩問題に適用可能な情報をもたらすことが、それゆえに期待される。

「直接に適用可能」というのは、数値まで無媒介的に適用するという含みで、そういった無媒介的な解釈がこの論文中いたるところに見られる。これは実験家・理論家の思い上がりである。H₂O 飽和条件というのは、自然界ではやはり一つの極限の条件なのであり、したがって直接的・無媒介的な適用は誤りといわなければならない。

フィロソフィーの問題と実験結果とはまた別問題で、この論文は多くの知見をもたらしており、その点で評価されなければならない。おもな成果を次に列挙する。

1) 飽和 H₂O 条件下で、花崗岩およびその主要造岩鉱物の液相面-固相面の最低温度域や融解点の温度低下は $P_{H_2O}=1\text{kb}$ くらいまでがいちじるしく、それ以上の高い蒸気圧下では温度低下率は小さくなる。

2) 飽和 H₂O 条件下での花崗岩の融解開始温度と、研究した系の3成分最低点とは、その PT 投影がよく一致する。3成分最低点は $P_{H_2O}=3600\text{kg/cm}^2$ 以上の圧力 (温度は 600°C 以下になる) では共融点となる。したがって、アルカリ長石の one-felspar 領域は P_{H_2O} が増すほど狭隘になる。

3) 3成分最低点ないし共融点は、 P_{H_2O} が高くなるほど Q-Ab-Or 図で Ab 寄りに移る。流紋岩・花崗岩のノルム Q, Ab, Or 3成分を投影した点の集中域とのはずれは、高压ほどいちじるしくなる。

4) $K_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ 系の部分図で、 K_2O 対 Al_2O_3 のモル比が1より大きい領域では、温度が 400°C 以下にまで石英と正長石の平行晶出関係が持続し、30パーセント以上も H₂O を含む液がえられる。1より小さい領域ではすぐアルミナ珪酸塩が晶出し、 Al_2O_3 に富んだ液はえられない。

特に最後の点は重要とおもわれるので、すこしくわしく考えてみたい。というのは、マグマと熱水溶液との間は連続するか、それともその間に間隙が存在するかという点は、長く岩石学の問題になっていたからである。ESKOLA, RAMBERG, TURNER, VERHOOGEN 等多くの意見は後者であった。この実験はたとえ部分的で定性的な面はあるが、マグマから熱水溶液への連続性に道を開くものと考えられ、その点を著者も強調している (p. 85f)。たとえば、次のような展望を提出する (p. 87)

これらの液は、初め長石類と石英とに富んでいるが、長石と石英の晶出によってしだいに水とアルカ

りの割合が増加し、ついにそれらの成分にひじょうに富むようになる。冷却しつつある花崗岩からそのような液が逃げ出して、隣接する岩石が適当な組成のばあいにはその花崗岩化作用をひき起こし、あるいはその液はペグマタイト質分結物を生ぜしめる。

400°C 以下の alkaline solution が花崗岩化作用をひき起こすかどうかは問題として、考えてみなければならないのは、天然のマグマ中の液体はいつもアルカリ対アルミナのモル比が1であるという保証は全然ないということである。そうだとすれば、たとえ実験データはとほしくても、peralkaline solution の存在の可能性は忘れてはならないことである。杏仁状孔隙中に存在する初生水が NaCl を含むということは、その点で興味がある。

また、問題になることは、花崗岩質流動体（マグマ）中の液体部分の組成が、長石類の stoichiometry 以上にアルカリを含んでいるかどうかという点である。著者が指摘するところでは、WASHINGTON¹⁾ の表にある75パーセント以上のノルム Ab+Or+Q を含む1016個の分析値を調べると、ノルムで alkali-metasilicate を含むものは、花崗岩で1パーセント以下、流紋岩では5.4パーセントある。これは、花崗岩ではアルカリが結晶作用の最終時期に（どのくらい低温になるかが問題だ！）逃散したためであり、流紋岩ではそれが起こらなかったであろうという。この点をふまえて次のようにいう。

流紋岩は溶融した花崗岩に他ならず、一方、花崗岩のほうは花崗岩化作用で生じたものだと主張する人々は、流紋岩中のアルカリの過剰を説明するという問題にぶつかる。ところが分別結晶作用を花崗岩質液体生成の仕方として承認する人々はこの問題に直面することはない。（というのは）玄武岩質母岩漿の分別結晶作用で生じた液体中でのアルカリ-アルミナ比は、長石中のそれに対応する必要はないからである。

もっとも、花崗岩化作用の際の液が長石の stoichiometry を満足する必要性はないのだから、この議論はナンセンスである。こういった議論を BOWEN がするとは考えられないのである。

著者は更に、アルカリ長石の溶離現象に関連して花崗岩の組織を論じているが、これについては後にふれることになる。

2. TUTTLE-BOWEN 以後

TUTTLE-BOWEN 以後、今日まで20年を経過した。その間に多くの実験がなされてきたが、そのおもな成果をまとめると、次のようになる。なお、この間に TUTTLE-BOWEN (1958) のもののような包括的体系的な労作はなかったが、おもな実験研究の要旨は W. C. LUTH が要領よくまとめている²⁾。

1) H₂O 蒸気の飽和条件下での実験は P_{H₂O} = 20kb にも及んでいるが、定性的にはそれま

1) H. S. WASHINGTON: Chemical analyses of igneous rocks. *U. S. Geol. Surv., Prof. Paper* 99, 1917, p. 1201.

2) W. C. LUTH: Granitic rocks. Chap. 1, Sect. B Igneous rocks, Part II Experimental petrology, in "The Evolution of the Crystalline Rocks", Ed. D. K. BAILEY and R. MACDONALD, 1976. p. 335-417. なお本稿中に再録してあるものは、原著からでなく、この書中から引用した。

での読み方を変える必要はない (LUTH, Fig. 1).

2) H_2O 蒸気が存在しないばあい——液が H_2O に不飽和のばあい——の花崗岩物質の融解についての知識が豊富になった。その結果は、TUTTLE-BOWEN の H_2O 飽和条件下での結果からの推論を、かなり根本的に読み直さねばならないことになってきた。すなわち、 H_2O 不飽和条件下では、liquidus-solidus 間隔が H_2O 飽和条件下のばあいよりいちじるしく大きく、いいかえれば、花崗岩の鉱物が全部とけてしまうには、かなり高温まで熱しなければならぬ。逆に、低温の花崗岩マグマ中には相当量の鉱物が含まれていたということになる。あえていえば、マグマ=液という考え方に立ったばあいの花崗岩マグマといったものはおそらく例外的にしか存在しなかったであろう。また、同一組成の液から冷却固化が始まったばあいでも、 H_2O の飽和度の違いにより、結晶作用の経路が異なることがわかった (LUTH, Fig. 14).

3) 天然の花崗岩の融解実験では、斜長石や角閃石など難溶性のものが存在する (LUTH, Fig. 29, 30)。PIWINSKII and WYLLIE¹⁾ は花崗岩質岩石の融解実験に基づいてこうしている (p. 228).

花崗閃緑岩やトナル岩はむしろ違った特徴をもった2群の鉱物からできている。2kb 下で融解間隔は約 250°C である。K 長石、Na 質長石と石英は低温でとけて花崗岩質溶融体になりうるが、角閃石・Ca 質斜長石・黒雲母はその程度が低く、難溶性 (refractory) の鉱物群をつくっており、融解間隔の低温側の部分で花崗岩質液中にむしろとけずに残る。

彼等は、これらのマグマは斜長石と角閃石の結晶を含んだ形で定置されたと考え、それらの難溶性の鉱物は、部分溶融の際の残留物としている。同様のことは MAALØE and WYLLIE²⁾ によっても指摘されており、斜長石のコアはとけなかった変成鉱物として解釈できるとしている。このことに関しては後述しよう。

4) Peraluminous haplogranite system では過剰のアルミナは僅かしか haplogranitic liquid にとけない。したがってアルミナ過剰の花崗岩質の液はありそうもない。ところが、peralkaline haplogranite system (alkali: alumina モル比 > 1) では、peralkaline の液が低温 (300°C くらい) まで存在し、その中の H_2O は50パーセント近くまで濃集し、また、これと平衡関係にある蒸気中にもしだいに珪酸塩分がふえ、 $P=1.25\text{kb}$ では 320°C で、液と蒸気との間隙が消滅する (LUTH, Fig. 18)。これは、マグマと熱水溶液とをリンクする実験で、不連続観から連続観へという自然観の Leitbild の転換を考える上で重要な成果といえよう。

D. 花崗岩体生成史を読む

さきのべたように、花崗岩地質学の課題は第一次的には具体的な個々の花崗岩体生成史

- 1) A. J. PIWINSKII and P. J. WYLLIE: Experimental studies of igneous rocks series: a zoned pluton in the Wallowa batholith, Oregon. *Jour. Geol.*, 76, 1968, p. 205-234.
- 2) S. MAALØE and P. WYLLIE: Water content of a granite magma deduced from the sequence of crystallization determined experimentally with water-undersaturated conditions. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 52, 1975, p. 175-191.

の解明である。従来の花崗岩体生成史は、花崗岩質流動体 (= マグマ) があたえられていて、それが地質学的状況のもとに定置され (emplacement—flow of magma), マグマが固結しておわるとされていた。しかし現在の知識の段階でいえば、それだけでは花崗岩体生成史を盡くしたことはならない。先ず、花崗岩体の原物質が流動を開始する場所と状況にまで、何とかして遡ろうと考え、それを示唆する証跡を探し求めようとする。花崗岩質マグマが等質の液体であるなら、いくら花崗岩を調べても、原物質の直接の証跡を見いだすことはできない。しかし、等質液体成という考え方は、前述のように実験の側からも崩れはじめている。また他方の端では、マグマの固化点という岩石生成の不連続点の存在も決して実験的に保証されなくなっている。なるほど、いわゆる pyrogenetic といわれてきた鉱物は大部分、600-700°C くらいの温度までで品出を完了したのかもしれない。しかし、石英・アルカリ長石・雲母などの一部は、さらに低温で生成した可能性を否定できない。さらに 300°C くらいまでの溶液がマグマの液体から連続的に分別されうるといえることになると、従来、花崗岩岩石学者が見ても見ないふりをしてきた鉱物——緑れん石・緑泥石やセリサイト化・カオリン化・アルバイト化、石脈鉱物等を見捨てることはできなくなろう。また、こうした花崗岩のミネラリーゼーションの進展に呼応して、花崗岩流動体の流動の仕方、機構を、残された構造要素から組み立ててみる仕事が必要になってくる。いいかえれば、花崗岩体——その周辺も含めて——のミネラリーゼーションと構造形成とを、ステージを追って対比する仕事は、これからの花崗岩体成因論のオーソドックスの研究方法にならなければならない。もちろん、現在ではこの方向を意図した研究はとほしい。こうした視点は、花崗岩を液体マグマ生成とする単純なモデル的思考からうまれてくるはずがないからである。

これから、この方向を念頭において、二三の問題と事例をのべようとおもう。

1. 花崗岩の組織を読む

さきに花崗岩の定義のところでのべたように、花崗岩の組織をその生成過程の現象形式に關係した語句を入れることなしに定義することはできない。“.....possessing a texture produced by the crystals as a whole interfering with one another's free development” といったことばである (H. H. READ, 1943, 1953; see “*The Granite Controversy*”, 1957, p. 48, p. 341). ところがこれでは “igneous” の組織ではなく、“kristalloblastisch” と呼ばれる変成組織の定義と同じものになってしまう。ESKOLA¹⁾ によれば、“Das kristalloblastische Gefüge は固体の状態で生じたものなので、およそ今見る結晶の形というものは、たえず隣りのものとふれ合いながら、空間を求める闘いにおいてのみ (nur im Kampf um den Raum) えられ、かつその形を主張してきたのである” ということになる。BECKE²⁾ があげた kristalloblastisches Gefüge の特徴の多くは、そのまま花崗岩にあてはまる。すなわち、

1) 主要成分鉱物は等価 (gleichwertig) で、どれが先に生じたというのでもない。それは、各々どれをとってみても、あるばあいには他の粒の中に包有されていることからわかる。ただし交代作用で生じたものはそうはならない。

1) P. ESKOLA: Die metamorphen Gesteine. “*Die Entstehung der Gesteine*”, 1939, IIIer Teil.

2) F. BECKE: Mineralbestand und Struktur. 1939. ただし ESKOLA (上掲) より引用。

2) 結晶面の発達是比较的稀である。結晶形はつねに単純で、その面指数は低い。隅角はしばしば円味を帯びる。一方向だけの結晶面が発達することがあり、それがしばしば劈開方向に一致する。あるいは一つの晶帯の面だけが発達することがある。

3) 骸晶を欠く。

4) 結晶形の発達に応じて、結晶力 (Kristallisationskraft) の減少する順序に並べられる。先のものは後のものに対して自形的成形 (idioblastische Ausbildung) を示す。

5) 平行ゲフェューゲまたは形態的定向性 (Formregelung) が、結晶成長とともに生ずることがある。

6) 鉱物の累帯構造は存在しないか、あるいは、認められても火成岩とは違った出来方を示す。

7) 結晶内の包有物は累帯構造に従わず、成長結晶の構成に対応するか、残留ゲフェューゲを示す。

8) 岩石はできるだけコンパクトになろうとする。

花崗岩の組織、とくに「等粒状」の Na 質斜長石・K 長石・石英、およびときに黒雲母を含めた集合体は、以上の諸特徴を明瞭に示している。“Granitic”=“granoblastic”なのである。むしろ問題は、花崗岩の中に上掲の特徴からはずれたものがあつたとき、それは起源に関して (あるいは低温期の交代ミネラリゼーションについて)、何かの証跡としてとらえられはしないかという点である。

花崗岩の主要組織が kristalloblastisch であるという点は、TUTTLE 自身これを指摘していたのである¹⁾。その考え方は TUTTLE-BOWEN (1958) で一層敷衍される。それは花崗岩の分類基準に及ぶ。

彼等によれば、花崗岩の modal classification でぐあいが悪いのは、化学組成が同じでも鉱物構成が違うことがあるという点である。その最大の理由は Ab 成分のあり方である。Ab 成分が完全に Or 成分と固溶体をつくれれば、“kaligranite” とかつていわれた岩石になる。ところが Ab 成分が An 成分と結んで斜長石になれば、“granodiorite” になってしまう。そうした点をふまえて、T.-B. は Ab 成分のあり方に注目して、“granites and rhyolites”²⁾ を次のように大別した。

(I) Hypersolvus granites, syenites, and nepheline syenites (前溶離花崗岩等; パーサイト成分以外に斜長石欠除)。

(II) Subsolvus granites, etc. (溶離下花崗岩等; K 長石と斜長石両方を含む)。

(A) K 長石の Ab > 30 wt%

(B) 同 < 30 and > 15 wt%

(C) 同 < 15 wt%

この分類は、彼等にとっては、帰納による分類というよりは (これはもちろん頭の一隅には巣くっていたにちがいないのだが)、やはり一つの genetic model であるというべきであ

1) O. F. TUTTLE: Origin of the contrasting mineralogy of extrusive and plutonic salic rocks. *Jour. Geol.*, 60, 1952, p. 107-124.

2) WASHINGTON の表 (既出) で、ノルム $Ab+Or+Q=80$ パーセント以上の岩石を、 $Ab-Or-Q$ 三角図に投影すると (T.-B., Fig. 63), $1/3 Ab-1/3 Or-1/3 Q$ の三角域 (Fig. 63 の三角形 abc) 中に集中する、いかえれば、全体の数の 75 パーセントがこの三角図の 16 パーセントの面積中にはいる。そこで T.-B. はこれらの岩石を “granites and rhyolites” と呼ぶことを提称した。

ろう。(I) と (IIA) とは “high-temperature rocks” であり, T.-B. は, “.....and therefore undoubtedly owe their origin to magmatic processes” という。(どうして “undoubtedly” などと悲しいことばを使うのだろうか)。それに対して, (IIC) は低温 (subsolidus) で crystallization または recrystallization を完了したものであり, (IIB) は (IIA) と (IIC) との中間に位置する。こうして T.-B. は離溶の系列: cryptoperthite → perthite → aggregate of discrete plagioclase and potassium feldspar を花崗岩類分類の柱に据えたのである。離溶を促進する要因としては H₂O 蒸気など揮発性成分の flux 効果を指摘した。

TUTTLE-BOWEN のモデル化的性格の強い分類図式に対して, その反対側の極に立つのは, MARMO¹⁾ の分類であり, それは経験的帰納的な彩りを強く印刻している。彼は長石族に注目している。次のようにいう (p. 214f.)。

長石類の種類と組み合わせは花崗岩の起源に関して極めて重要な関連をもつとおもわれる。たとえば, 変動同期花崗岩 (synkinematic granites) のカリ長石は, 間隙充填ないし斜長石を交代する晚期成分としてあらわれ, 交代起源の公算が大きい。変動晚期花崗岩 (late-kinematic granites) の微斜長石はいくらかより低い温度で生じたが, 変動晚期花崗岩の形成の温度は何人かの著者によって 350-500°C と決められている。微斜長石曹長石花崗岩については, その温度は 400°C 以下という値がえられている。

三斜度の小さい正長石と微斜長石は多少高目の温度に対応する。同時にカリ長石の Ab 量も急に増加する。これらのカリ長石は後変動期花崗岩 (postkinematic granites) で最も典型的であって, このばあい, 灰曹長石と伴うが, 変動晚期花崗岩のように曹長石と伴わない。ラパキビ花崗岩 (Rapakivi granites) はこのような正長石灰曹長石花崗岩である。その結晶作用の温度は 700°C に近いということが見いだされている。

単一の K-Na 長石 (アノーソクレス) の現出は最も高い形成温度を示すようである。これらの花崗岩はマグマ成 (magmatic) と解釈されうる条件を全くよく代表しているものであろう。……そのような花崗岩は花崗斑岩をへて流紋岩に移過する。……

筆者の意見では, 花崗岩の岩石学的分類はこのようなグループに基づくべきであって, 分類全体が花崗岩の成因問題の理解を容易にし, そして同時に, 明白で使い易いようになるものでありたい。そこで, そのような分類を以下に提称するが, これはおもに長石に基づいている。

- ① 単一長石花崗岩 (one-feldspar granites) —— 単一の長石を含み, それはいちじるしくペルト石質, Na 成分に富む長石である。²⁾
- ② 正長石花崗岩 (orthoclase granites) —— 正長石および三斜度の種々な微斜長石を主とする。微斜長石は通常漸移的關係で正長石中に存在する。いちじるしくペルト石質。有色鉱物はふつう褐色黒雲母・角閃石・輝石, とくに鉄に富むかんらん石。このタイプに入るものにはラパキビ花崗岩, 等粒状アプライト様花崗岩などがある。
- ③ 微斜長石灰曹長石花崗岩 (microcline-oligoclase granites) —— 微斜長石はいちじるしくペルト石

1) V. MARMO: *Granite Petrology and the Granite Problem*, 1971. 彼は Geological Survey of Finland の所長をしており, 1969年8月23日交通事故で亡くなったが, この書物は北欧と Sierra Leone を中心とした彼自身の経験を忠実にまとめたもので, 異色の書である。

2) —— 以下の説明は MARMO の本文から要約したものである。なお, TURNER-BOWEN (1958, p. 93) によると, perthite-granites は角閃石を含み, two-feldspar granites は雲母をもつという。その理由として, 後者のほうが蒸気圧が高いとした。

質，三斜度は種々，Ab 成分は10-20パーセントまたはそれ以上。変動晩期ないし後変動期花崗岩にあるが，ごく普通というわけではない。

- ④ 微斜長石曹長石花崗岩 (microcline-albite granites)——ふつうアプライト質。微斜長石は三斜度高く，格子縞模様いちじるしい。ペルト石質は例外的。Ab 成分は1-2パーセント。曹長石は独立の分離結晶をつくる。代表例は先カンブリアのミグマタイトをつくる変動晩期花崗岩である。ふつう黒雲母を欠き，白雲母を含む。この亜群に微斜長石曹長石緑れん石花崗岩がある。
- ⑤ 花崗岩化微斜長石灰曹長石花崗岩 (granitized microcline-oligoclase granites)——微斜長石は三斜度最高で，間隙充填または斜長石を交代する。組成は区々で，熱水花崗岩化作用 (hydrothermal granitization) の最終ステージを代表する。例は変動同期の等粒状花崗岩である。
- ⑥ 斑状変晶性微斜長石灰曹長石花崗岩 (porphyroblastic microcline-oligoclase granites)——上と同様であるが，ただ大型斑状変晶 (数 cm) 性微斜長石が，石英閃緑岩質の基質中に生じている。
- ⑦ アルカリ花崗岩 (alkali granites)——別枠として区別したが，K 長石の種類は分類の基準にはならない。

MARMO の分類は，成因を帰納した経験的分類として，TUTTLE-BOWEN のものにくらべて完結性や基準の一貫性に欠けるが，それだけ将来に開かれており，より興味深くおもわれる。長石類の組織は T. B. の示したような晶出・離溶の考え方では到底汲み盡くしえない多様性を示しているのである。

以下そのような組織の特徴をあげて考察を加えてみよう。

1) 正規累帯構造の灰長石分に富んだ核部を有する斜長石が含まれることがある——このばあい，①内部の An 分に富んだ部分 (曹長石くらい) は「汚れて」おり，こまかいセリサイト・緑泥石・曹長石などが変質鉱物として生じている。②pyrogenetic ないし magmatic な双晶型式が発達している。③結晶周縁部の曹長石質の新鮮な部分との境界は明瞭なことが多い。④自形性がいちじるしい。こうした斜長石が多いと，全体の組織は hypidiomorphic ないし hypidiomorphic-granular になる。多くの granodiorite—quartz-diorite, quartz monzonite (米国式の使い方でなく) は，このようなものである。この種の斜長石は花崗岩の融解実験で難溶性のものであって，塩基性の同源液から早期に晶出した斑晶斜長石かもしれないが，難溶性のために花崗岩化作用を免れた塩基性火成岩の斑晶斜長石が拡散したものと考えたい。

2) ほぼ平行に並んだ柱状斜長石のいくつかが集積して集斑状結晶体ないし集斑状変晶をつくることが多い——このばあいは，①汚れた An 質コアは存在しないことがふつうで，②灰曹長石—中性長石の組成で，③アルバイト双晶発達，ときにカルルスバード双晶みとめられ，④累帯構造は顕著でなく，⑤双晶ラメラや消光位に注意してみると，曲がったりずれていたりすることが多い。この種の集斑状斜長石は，変成岩中や花崗岩化作用の際に見られるような，小結晶が集まって，たがいに結晶学的方向をそろえながら再配列，成長して，大型の斑状結晶に成長する過程を示すものと解される。もしそうだとすれば，このばあいは集斑状変晶 (glomeroporphyroblast) ということになる。しかし，変形の特徴がいちじるしいばあいは，逆に，大型の結晶の破壊過程を示すものとみなさなければならないかもしれない (後述)。なお，この種の集斑状結晶は肉眼やルーペでは単一結晶に見える (図版 II)。

3) 包有物を多く含んだ斑状変晶様の斜長石がしばしば認められる——大型の斜長石中に角閃石・黒雲母，ときに単斜輝石などの粒状鉱物が散在し，角閃岩の花崗岩化作用で生じる

斑状変晶に酷似する。このばあいの斜長石本体は消光位にしてみると不均質であることがよくわかり、おそらく角閃石などと一緒に包有された斜長石粒は、結局 host の斜長石に吸収合体されてしまったものと考えられ、したがって一種の集斑状変晶とみなしうる。これも花崗岩生成の際にとり残されたものであろう (図版 I)。

4) アルカリ長石には、①斑晶 (phenocryst) 様大品をなすばあい (ときに数 cm の長さで見かけ上自形性)、②不定形の斑状変晶状大品 (porphyroblastic megacrystal) をなすばあい、③斜長石 (灰曹長石質)・石英と粒状 (“granoblastic”!) 集合体をなすばあい、④斜長石結晶に対してその間隙を充填するばあい、⑤斜長石中にパッチ状に散点するばあい (必ずしも antiperthite といえない) などが認められる——これらの組織上の特徴については、TURNER-BOWEN は③を除いて無視してしまったが、MARMO はそのいくつかを認めて、彼の花崗岩分類基準の中にとり入れた。アルカリ長石の大品には包有物が多いが、このことから直ちにアルカリ長石の交代起源の証拠とするわけにもいかない。というのは、流紋岩や石英斑岩中のアルカリ長石斑晶もかなり斜長石などを包有しているからである。かといって、自形柱状の見かけをもった一見斑晶状の大品 K 長石が直ちに斑晶だとするわけにもいかない。というのは、包有結晶が非常に多いこと、変成岩中の斑状変晶には自形を示すものがあるということ、また、肉眼的には自形であるが、鏡下で見ると周縁部が他の隣接鉱物と入り組んでいるなどの理由からである。今までも K 長石の大品は花崗岩化作用の議論の中で交代作用の証拠によくあげられてきたものであり、MARMO もその延長上にあるといえよう (図版 II)。READ は次のようにいう¹⁾。

正長石の大品——「馬の歯」(“dents de cheval”)——は包有岩中に見いだされ、それはとり囲んでいる花崗岩に斑状の見掛けを時に与えるものと同一のものである。これらの結晶は時には包有岩中に散在しており、またあるばあいには、自身配列して片理と調和するようになっている。

これは MICHEL-LÉVY によって Flamanville 花崗岩の交代作用の証拠に採用されたものである。広義の “feldspathization” の一種である。もう一つ MEHNERT の考えを引用しておこう²⁾。

K 長石の大品が、花崗岩の主体の固結後、ペグマタイト生成のおわりに向けて晶出したということは極めて公算が高い。心に留めておいたほうがよいとおもわれることは、ペグマタイトの結晶過程の典型的順序においては、ほとんど純粋な K 長石生成の時期は、文象石英長石迷晶の後、おそらく熱水起源の石英コアの形成前である。

これもかなり晩期の交代生成の考え方に結びつくものである。そうした晩期の溶液の性質は、珪酸塩溶融体 = マグマといったものとははるかにかけはなれたものであったろう。

5) 石英についても、アルカリ長石のばあいと同じように、①斑晶と考えられるもの、②斑状変晶状のもの、③灰曹長石質斜長石・アルカリ長石とともに粒状 (granoblastic) な集合体を形成するもの、④間隙充填的に出るものがある。これから、生成の時期については、ア

1) H. H. READ: *Meditations on granite, Part II, 1944, p. 104f.*

2) K. R. MEHNERT: *“Migmatites and the Origin of Granitic Rocks”, 1968, p. 293f.*

ルカリ長石同様、早期 (magmatic) から晩期 (hydrothermal) まで考えられるわけである。

6) K 長石・Na 長石・石英の3者の形態的関係については、以下のような種々の features がある。

① 石英と長石の文象状連晶：ペグマタイトの巨大な連晶から、micrographic, micro-pegmatitic, granophyric, ないし spherulitic な連晶組織にいたる。この組織には FESSMAN の orientation rule というものがあり、長石の柱面のエッジが、石英の二つの隣合った rhombohedral faces のエッジとしばしば平行だという。この組織は共融関係を示すといわれているが問題があろう。

② ミルメカイト (myrmekite)：これは “cauliflower-like growth of acid plagioclase (or pure albite) in close interpenetration with wormlike quartz” ということになる (MEHNERT, 1968, p. 199)。アルカリ長石に接する斜長石の縁に沿って生じている。Exsolution 説や交代説がある¹⁾。

③ ペルト石 (perthite)：K 長石と曹長石の縞状の連晶で、exsolution 説が正統派になっているが、交代説もすてがたい。おそらく両方のばあいがあるとみるべきであろう。

④ 粒間曹長石 (intergranular albite)：K 長石・斜長石の粒間を埋める曹長石粒で、rim 状である。TUTTLE (1952, T.-B. 1958) はアルカリ長石の exsolution で生じた曹長石が移動したものとしたが、交代作用も否定しえない。

7) 苦鉄質鉱物に富む部分と珪長質鉱物に富む部分とが分離して、network や片麻状構造をつくる傾向がある——花崗岩では角閃石なり黒雲母なりが点々と散点し、かすり文様を呈するが、それぞれの苦鉄質鉱物が単独で統計的一様な分布を示すばあいはめずらしく、かすり文様の一つ一つの黒斑点は、いくつかの有色鉱物の集合体——かたまり (clots) であるのがふつうである。これは magmatic と断定できる火山岩や脈岩ではほとんど無い構造で、融解・再結晶 (交代作用) というプロセスを考えないと説明しにくい構造である。いわば変成岩における変成分化 (プロセスに名づけた概念でなく形態に基づく概念である) に相当する。すなわち、mafic clots or lenses は “melanosome” ~ “restite” ~ “palaeosome” に対応し、felsic parts は “leucosome” ~ “mobilizate” ~ “neosome” に対応する。

8) 変形が鉱物種により選択的に現われる——ほとんどたいていの花崗岩質岩石、特に花崗閃緑岩・石英閃緑岩・石英モンゾーニ岩・トナール岩などに例外なしに認められることは、早期ないし難溶性の鉱物結晶には普遍的に変形構造が認められるにかかわらず、晩期成のアルカリ長石や石英は全く変形の形跡をとどめていないことである。角閃石は、柱面が曲がりたりずれたりするほどの変形が認められないばあいでも、C 軸に高角度で切断した薄片で見ると、一つの結晶がいくつかのたば (束) の集合となっていて、それぞれの束ごとに消光位がすこしずつ違うのが観察できる。輝石が存在すれば、これも同様の変形を示している。黒雲母は撓曲したり、キンクバンドをつくったりする。ただ、黒雲母のばあいには変形の形跡を示さないばあいも多い (晩期生成とおもわれる)。斜長石は一つの結晶がいくつかの結晶に分かれ、双晶ラメラが曲がりたりずれたりしているのが観察される。ただし、さきへのべ

1) ミルメカイトやペルト石構造などについて極端な交代説が、多数の興味ある顕微鏡写真を用いて提称された。S. S. AUGUSTITHIS: “Atlas of the Textural Patterns of Granites, Gneisses, and Associated Rock Types”, 1973.

た集斑状斜長石との区別は注意する必要がある。破碎結晶は汚れた An に富むコアをもつことがあるが、集斑状斜長石はおもに灰曹長石質で、双晶ラメラの変形は原則として見られない。

ところで一般に、花崗岩類が変形作用をうけると、石英がまっさきに破碎の形跡を示すようになる。弱いマイロナイトでも、石英粒はすべて圧碎・再結晶して細粒基地をつくり、長石や苦鉄質鉱物はその中に破碎構造を示しながらも porphyroclasts として残留する。上にのべた構造はこれと全くさかさまである。したがって、このような選択的変形は、K 長石、灰曹長石ないし曹長石および石英（ときに黒雲母）が形成される以前に、角閃石・（黒雲母）・斜長石などの集合体が流動したとすれば、よく説明することができる。この場合の流動は、emplacement の際の流動と考えるのが自然であろう。その際、結晶集合体中には何等かの間隙流体が存在したことが考えられるが、その量は、結晶が互いに接触し合って粒内に変形構造をつくるに足るだけの応力を生ぜしめることが可能である程度に、少量であったはずである。こういった物質の集合体は火山岩でわれわれが見るようなマグマでは全くない。それでわたくしは、「花崗岩質流動体」ということばを使っているわけである（図版Ⅱ）。

以上あげてきた広義の花崗岩質岩石（花崗岩・アダメロ岩・花崗閃緑岩・トナル岩・石英閃緑岩・石英モンゾーニ岩等）の組織構造上の特徴は、もちろん網羅したものではないが、これらの「深成岩」が決して、その化学組成上の対応物である流紋岩やデーサイトなどの火山岩のマグマ（＝珪酸塩溶融体）の徐冷生成物としては説明しきれぬものでないことを示すものといえよう。「流紋岩や石英斑岩の石基を粗粒にすれば花崗岩になる」といった単純な代物ではないのである。

2. 花崗岩質流動体の性質

「マグマ」ということばは、低次の地質学的概念であって、それには液体とか固体とかいった状態は元来必然的に付与されていたものではない。「マグマ」が具体的な地質学的物質であるならば、それを液体に同置することなどではきかない。花崗岩質流動体をもマグマというならば、それは上に述べたようにむしろ固体成分の方が多いような状態を、多くのばあい考えざるをえなくなる。液体の中に固体が懸濁して、それらが流動に伴ってわずかにふれ合うといったぐあいでは、結晶粒内に変形構造をつくるほどの応力を発生することはできないであろう。

花崗岩〈マグマ〉がおもに液体であったか、結晶粥 (crystal mush) であったか、また、その液が H₂O に富んでいたか少なかったか、結晶の量が多かったか少なかったか、それらの状態のちがいは流動体の見掛けの粘性係数の違いに反映し、その結果は RAMBERG¹⁾ が実験で示したように、岩体の形態に反映するはずである。RAMBERG の実験は scale model と similarity の原則に可能な限り忠実に添ったもので、用いた遠心機は 1.5kg のモデルを最大 3000g の加速度下で実験できるものである。彼の成果を要約すれば、底盤やドーム型の貫入体が出来るためには、〈マグマ〉の粘性が地殻の粘性にくらべてそれに近いようなもの

1) H. RAMBERG: "Gravity, Deformation and the Earth's Crust, as Studied by Centrifuged Models". 1967. 特に, H. RAMBERG: Model Studies in relation to intrusion of plutonic bodies. "Mechanism of Igneous Intrusion", Ed. G. NEWALL and N. RAST, 1970, p. 261-286.

でなければならないということである。彼はいう (p. 285).

この実験の最も重要な結果は、モデルの中で移動する物質と隣接の「地殻」との間の粘性の違いによって、全く異なったタイプの構造ができるということである。もしも粘性差が大きいと、流動のパターンは隣接「地殻」の構造によって強く支配され、「マグマ」は成層したモデルの層間やその他の弱いゾーンに沿って移動する。粘性差が小さいばあいには、上昇する擾乱はその形も径路もまわりの構造にはほとんど影響されない。反対に、まわりの構造のほうが移動する物体に接触して、多少のうがいはあるが強く変形され、二次的な適合構造 (secondary conformity) がしばしば発達する。このような構造のモデル研究は、一方において真に溶融したマグマとして貫入したプルトンと、他方において塑性結晶質物体として貫入したプルトンとを区別するのに役立つであろう。実験結果は、大きなドームや底盤は、主な部分が液体から成るマグマとして上昇することはない、ということを示唆する。かかるプルトンの形は、上昇する岩体とまわりとの間のあまりいちじるしくない粘性差を示しており、それは異なった組成の結晶質岩体の間に期待される程度の粘性差である。多くの酸性プルトンの巨大な形を説明するには、黒曜岩ガラスでさえまわりの結晶質岩石にくらべて流動的であり過ぎるのである。

ここでいうドーム・底盤形成の際の crystal mush とまわりの岩石との間の粘性差は、 $1-10^3$ poises くらいとされる。これに対しマグマの貫入はどうなるであろうか (p. 279).

「マグマ」は、まわりの岩石を押しつけてドーム状にチャンネルを拡げるには、あまりに弱い。しかしその高い流動性は、弱いゾーンに沿って狭いチャンネルの道をあまり抵抗なしに移動することを可能にする。マグマ溜りの崩壊に関連した破壊 (fracturing) と碎片化 (fragmentation) もまた、高い粘性といちじるしい脆性で特徴づけられた粘弾性的なまわりの岩石と比較して、「マグマ」が低い粘性をもっている結果である。

RAMBERG の実験に現われたようなドームやマッシュルーム型のプルトンは、東グリーンランドのフィヨルド壁や露岩地帯に美事に再現していることが HALLER¹⁾ によって示された。CLOOS²⁾ や BALK³⁾ の Granittektonik の成果も同様である。日本でも加納博等⁴⁾ によって「じずく形プルトン」が具体的に推定されはじめている。加納がこの種のプルトンとしてあげた岩手県五葉山岩体は、両輝石・角閃石・黒雲母・基性斜長石にいちじるしい変形構造が卓越し、その粒間を無変形の酸性斜長石・K 長石・石英がうずめたモーゾーニ岩質の岩体で、crystal mush としての定置運動の形跡が明瞭である。領家帯から広島花崗岩の地帯にかけても、選択的変形構造のいちじるしい花崗岩類が広く分布している。その中で、愛媛県高純半島の花崗閃緑岩質岩体については、越智秀二⁵⁾ がその変形ドーム状構造を片状構造の解析から明らかにした。

このように考えを進めてくると、何処かの花崗岩を持ってきて、はじめからマグマ成と決

1) J. HALLER: "Geology of the East Greenland Caledonides". 1971.

2) H. CLOOS: "Einführung in die Geologie; Ein Lehrbuch der Inneren Dynamik". 1936.

3) R. BALK: Structural behavior of igneous rocks. *Geol. Soc. Amer., Mem.* 5, 1937.

4) 加納 博・秋田大花崗岩研究グループ: 花崗岩プルトンの構造岩石学 (I)——北上山地のじずく形プルトン——, 岩鉱, 73, 1978, p. 97-120.

5) 越智秀二: 四国高純半島に於ける領家深成変成岩類に関する地質学的岩石学的研究。広島大修論 (MS), 1977.

めこみ、マグマ=液体という前提で議論を進めることはとてもできないことである。Crystal mush について DI (differentiation index) を座標軸にとるということは、いったい何をすることなのだろうか。Variation diagram とは何を意味するのか。ノルム Q-Ab-Or 図にプロットして何を論じるのであるだろうか。そうしたいわば、岩石学者にとってルーティン化した(形骸化した)作業の以前に、具体的な「この花崗岩体」が果して液体マグマ成であったのかどうかという探究が必要ではないであろうか。

花崗岩質流動体が液体マグマに近いものであれば、RAMBERG が示したように、岩脈や岩床ないし複雑な裂隙充填の形式をとるはずであるし、そうなれば、急速に浅所に侵入して急冷し、流紋岩一斑岩類を形成するであろう。したがって、マグマ成の花崗岩を求めるにはそのような現出状態を探すべきであると考えられる。じっさい、こうした研究を行なったのは SEDERHOLM¹⁾ であった。彼は南部フィンランドの岩礁地帯でいわゆるラパキビ花崗岩がこのタイプであることを示した。わたくし自身、ラパキビ花崗岩の接触部を実見する機会ももったが、まわりの岩石に対していちじるしい破壊・碎片化を及ぼし、その間隙にネットワークに貫入している。西南日本内帯では、領家帯から広島花崗岩の分布地帯にかけてこのような現出状態を示す花崗岩類は知られていない。わずかに広島花崗岩の北縁に、これによって貫入変成されているいわゆる「萬成花崗岩」が、上にのべたような浅成相を伴っており、液体マグマ成の公算がある。ただ、萬成花崗岩の本体は、その地質上の分布形から判断して裂隙充填的というよりドーム型のプルトンらしく、その点に問題が残る。なお萬成花崗岩は角閃石を含む花崗岩で、MARMO (前出) の微斜長石灰曹長石花崗岩に近く、ペルト石構造はいちじるしく、蒸気圧の低いタイプに属し (TURNER-BOWEN, 1958, p. 93), それが粘性増大に寄与していたのかもしれない。なお、西南日本外帯の第三紀花崗岩類には裂隙充填型のものがみられる²⁾。

結晶粥状マグマで結晶間隙を充たしていた流体についてふれておこう。マグマの流動は結晶の塑性変形と間隙流体の粘性流動の組合わせであり、結晶の塑性変形で碎片化した細粉は間隙流体に同化作用 (assimilation) を受けたと考えられる。間隙流体は定置後の静的条件下で長石・石英を結晶 (再結晶) させ、次いで緑れん石・緑泥石・白雲母を交代生成せしめたのであろう。間隙流体はしだいに H₂O に富むとともに、ある段階で珪酸塩を含んだ H₂O 蒸気相を分離するようになることもあろう。マグマはこの段階ではじめて H₂O に飽和することになるのである。

ここで一言つけ加えておきたいことは、さきに組織の項でのべた変形の形跡を示さない石英や長石の品出の時期であるが、花崗岩中でこのような非変形鉱物で占められている容積が、そのまま間隙流体の量を示すのではないということである。これは変形実験でふつうに認められることであるが³⁾、固体流動を行なった結晶は流動終了後、同一の封圧・温度下の静的条件下で容易に再結晶して、ひずみの形跡の全くない結晶になるのである。マグマの流動もお

1) J. J. SEDERHOLM: On migmatites and associated Pre-Cambrian rocks, etc., III, *Bull. comm. géol. Finlande*, no. 107, 1934 ("Selected Works: Granites and Migmatites", 1967, に収録)。

2) たとえば宮崎県北部、高知県の上八川一池川線に沿う小岩体、紀州酸性岩類など。

3) D. T. GRIGGS, M. S. PATERSON, H. C. HEARD, and F. J. TURNER: Annealing recrystallization in calcite crystals and aggregates. "*Rock Deformation*", *Geol. Soc. Amer., Mem.* 79, Chap. 3, p. 21-38.

そらく再結晶と破碎の繰返しであったと考えられ、定置後の静的条件下で粒状集合体として再結晶作用を完成したものであろう。一種の焼きなまし再結晶作用 (annealing recrystallization) の組織が, granitic=granoblastic texture であり, 実験でも示されたようにときには porphyroblastic texture にもなるのである。こう考えれば, RAMBERG が要請したような周囲の岩石と「マグマ」との粘性差, $1-10^3$ poises という小さい値が納得いくことになる。「急冷」ということは, このばあいには, 焼きなまし再結晶作用の温度が低く, 温度低下の速さが大きかったと読みかえればよい。

〈岩石学者〉は花崗岩の熱水鉱物を畑の中のか雑草ぐらいにしか考えない。そうすれば, 花崗岩マグマの固結は不連続的に終結し, 〈岩石学者〉の領分も確保されるわけである。その点, MARMO の分類にある微斜長石曹長石緑れん石花崗岩は異色である。わたくしはさらにカオリン花崗岩を特に第三紀の花崗岩に多く見いだしている。〈岩石学者〉はこのばあいカオリンを無視して K 長石としてしまう。ところが化学分析のほうは正直で, K_2O が抜けているのでアルカリに対してアルミナが過剰になって出てくる。そのためノルムでコランダムが多いときは5-6パーセントもあるような花崗岩になってしまう。それを peraluminous magma (=liquid) として平気で扱っている。そんな液は実験でもえられないのである。

さきにのべたように, すでに実験では珪酸塩溶融体から熱水溶液への連続性に道を開いてくれている。いつまでも〈岩石学者〉は珪酸塩溶融体 (それもときには幻の) に領分を限っているべきではなかろう。今後は花崗岩の構造要素の解析を軸としてミネラリゼーションの全ステージを明らかにしていくことが求められている。

3. 花崗岩体中の変成岩脈の意義

花崗岩類ないしミグマタイト質片麻岩中における変成塩基性岩脈の地質学的意義に注目したのは SEDERHOLM¹⁾ であった。彼の若い友人 E. WEGMANN²⁾ はその地質学的意義を敷衍し, さらに ESKOLA³⁾ はこの現象に「der Sederholm-Effect」ということばを与えた。

変成塩基性岩脈の地質学的意義は「鉛直方向同期化」(vertikale Synchronisation) と「構造階梯解析」(Stockwerkanalyse) とである。その論法は WEGMANN-SCHAER (1962) に代表的に見られる。露頭の様子は第1図のとおりである。変成塩基性岩脈は K_1, K_2, L_1, L_2 の4本が切り合い, 古期のものほど変形変成作用をいちじるしく受けている。これから次のような造構史が導かれた。

① 先花崗岩コンプレックスの最初の変形。

- 1) J. J. SEDERHOLM: On migmatites and associated Pre-Cambrian rocks of southwestern Finland. II. *Bull. comm. géol. Finlande*, no. 77, 1926 ("Selected Works: Granites and Migmatites", 1967, に収録)。論文中に多くの美事なスケッチ・写真がある。
- 2) E. WEGMANN: Stockwerktektonik und Modelle von Gesteinsdifferentiation. *Geotektonisches Symposium zu Ehren von Hans Stille*, 1956.
C. E. WEGMANN et J.-P. SCHAER: Chronologie et déformations des filons basiques dans les formations Précambriennes du sud de la Norvège. *Norsk Geol. Tidsskr.*, 42, 1962, p. 371-387.
- 3) P. ESKOLA: Granitenstehung bei Orogenese und Epirogenese. *Geol. Rdsch.*, 50, 1960, p. 105-123.

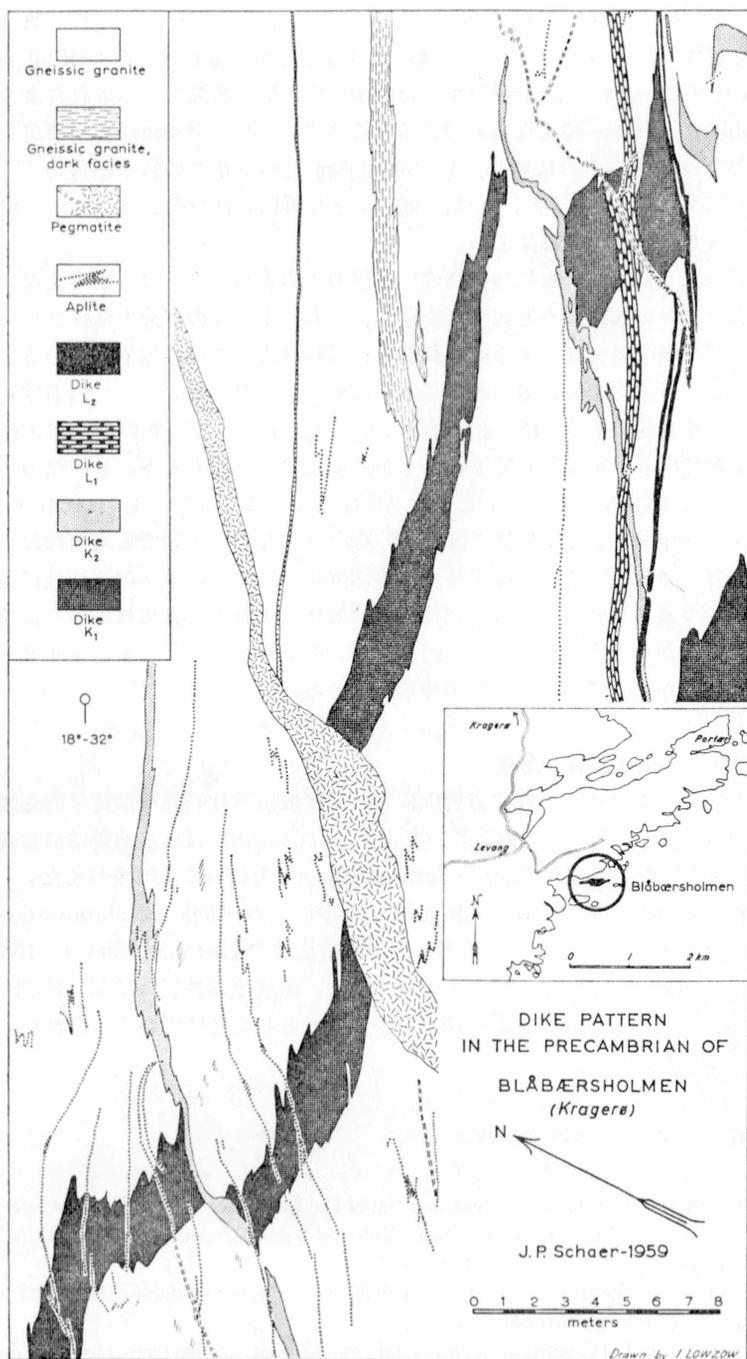


FIG. 1 Basic dykes in the Pre-Cambrian gneiss of Blåbærsholmen, South Norway. (After C. E. WEGMANN and J.-P. SCHAEER, 1962).

- ② このコンプレックスの花崗岩化作用。アグマタイトの形成を伴う。
- ③ 岩石があらためて脆性化したとき、塩基性岩脈の最初の時期のもの K が定置。
- ④ まわりの岩石及び K 中に割れ目を生じ、珪酸溶液の循環を伴う。
- ⑤ 剪断を伴うげいし褶曲。岩脈 K の破砕と変位を生じる。この造構作用はおそらく新たな花崗岩化作用に伴われた。
- ⑥ 岩石類は再び脆性となり、塩基性岩脈 L の定置があった。
- ⑦ 新期の褶曲はとりわけ岩脈 L を変形させることになり、L は伸長され、ブーディンを作り、あらたな花崗岩化作用が印刻された。
- ⑧ 微斜長石ペグマタイトの定置。
- ⑨ 岩石類はあらたに脆性となり、その割れ目に塩基性岩脈 M が定置。
- ⑩ 最後の破砕と断層の形成。そのうち最新のものは第四紀の変動に属する。

この解釈は図式的で、この露頭から一義的に導き出されるものではない。というのは、花崗岩化作用が行なわれているような状態の岩石や花崗岩「マグマ」は粘弾性物質であって、急に差応力が増大したり、ひずみ速度が急に大きくなると脆性破壊を起こすが、差応力が小さく、ひずみ速度が小さいばあいには粘性流動を行なうとみなされるからである。上例でいえば、 K_1 , K_2 の面構造は互に調和的で変形式は“gneissic granite, dark facies”と同様なので、②→⑤は一連の時期に同一の Stockwerk (深度階梯) で行なわれたのかも知れない。岩脈 K は大小多数のアプライトやペグマタイトで切られているが、これは花崗岩化作用の際の部分融解の産物か、あるいは岩脈からの熱的作用による transfusion, rheomorphism か、いずれでも解釈できる。岩脈 L の定置⑥は明らかに新期であるが、これも①→⑤の一連の時期の末期と考えられないことはない。転位の仕方も類似している。

このように見てくると、現在の知識の段階では、変成塩基性岩脈を Stockwerk の変遷の指標にそのまま短絡的に使うわけにはいかないのである。塩基性岩脈は粘性流動を行なっている最中のいかなるステージでも貫入することが可能である。そしてステージが違えば、岩脈の塩基性物質の置かれた環境条件——循環流体の化学組成、温度・圧力といったものが異なり、塩基性岩の及ぼす熱的作用の表現も、塩基性岩の受ける作用（変成作用・花崗岩化作用）も異なっていくように、塩基性岩の変形のスタイルもかわってくる。したがって、変成岩脈は花崗岩類の岩体中における条件変化や流動形式とその変遷、すなわち、花崗岩体生成史を繙くための有力な指標として使うことができるのである。

山口県東部の領家片麻岩類・花崗岩類中には数多くの変成塩基性岩脈およびそれから発展した塩基性岩塊が見いだされる。それらからおおよそ次のような発展系列が帰納できる。

1) 花崗岩マグマやミグマタイトの早期に貫入した塩基性岩脈は、ブーディン化したり切断され、また同化作用をいちじるしく受けて、塩基性パッチや「黒玉」の列を形成する。しばしば片理や縞構造を示し、斜長石角閃岩・角閃石片麻岩・黒雲母片麻岩（斜長石・石英・黒雲母より成り、泥質起源のもののように堇青石・珪線石を含むことはない）など、角閃岩相の鉱物組成を示し、輝石は残留しないのがふつうである。斜長石や石英の斑状変晶生成と粒度増大を特徴とするアナテクシスがいちじるしい。

この種の若い同化作用とブーディン化を受けた塩基性パッチは、従来、花崗岩化作用を受けた塩基性捕獲岩とされてきたものである。しかし捕獲岩が生じるためには、捕獲された

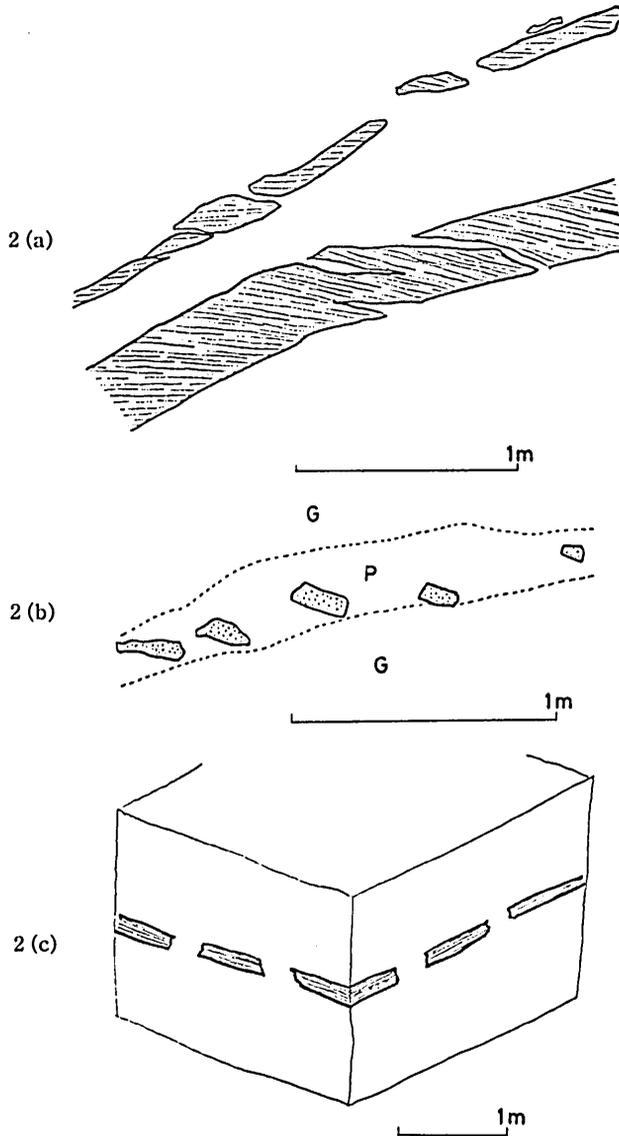


FIG. 2 Three examples of occurrence of metamorphosed basic dykes in granodiorite along the coast of the Ohsakihana Peninsula, Kuga-chō, Ohshima-gun, Yamaguchi Pref. (山口県大島郡久賀町大崎鼻半島)¹⁾. a: Metamorphosed basic dykes with schistosity. The blank part is granodiorite. The dyke has been suffered extension and fractured as the dragging effect of flowing granodiorite, and granitic material has been injected into the fracture. b: A metamorphosed basic dyke boudinized, surrounded by pegmatite. The boudin train represents the "rotated boudinage". G—granodiorite. P—pegmatite. c: A metamorphosed basic dyke showing boudinization by flattening. The blank part is granodiorite.

1) 多田光子 (山口県大島郡久賀町地域の花コウ岩——塩基性岩複合岩体について, 広島大卒論, 1972) が多くの例を記載した。

壁岩と「マグマ」との間に十分な密度差があることと、その密度差に相関的に「マグマ」の粘性が十分に小さいことが必要条件である。上にのべたように母岩との粘性の差がごく僅かなドームないし底盤型花崗岩体中に捕獲岩がとり込まれる機構は到底考えられない。それに山口県東部の領家変成帯では、領家変成岩の原岩層である玖珂層群は泥質・砂質・珪質の岩石から成っていて、塩基性岩は極めて例外的にしか含まれない。しかし花崗岩類中には塩基性岩塊が普遍的なものである。なお、これらの花崗岩類中には泥質ないし珪質の片麻岩類が含まれているが、これらも列状に配列しており、アナテクシスの際の「食い残り」あるいはセプタ状岩体とみなされる。泥質岩のばあいには、塩基性岩以上に、捕獲岩になる可能性はほとんど全くないといってよい。

2) 上記のいちじるしいブーディン化・切片化を受け、はげしいアナテクシスを受けた塩基性岩塊は、花崗岩類の現位置への定置以前に貫入していたものかもしれない。花崗岩類がほぼ現位置に移動してきた中期貫入の塩基性岩脈のばあいには、ブーディン列化をはっきりとたどることができ、鉱物組成は角閃岩相で、アナテクシスを受け、An に富むマグマ成斜長石以外の残留鉱物はほとんどなく、片状構造があることも、認められないこともある。

3) 花崗岩類の定置運動がほとんど完了し、花崗岩の再結晶作用が完了に近づくステージで貫入した塩基性岩脈は、ブーディン化が弱く、ブーディンの分離面は平面的で、ブーディンの間にはアプライトがはいっている。残留鉱物・組織が認められ、花崗岩との接触部は急冷細粒相を示すことがある。角閃石・黒雲母化を受け、ときに弱いアナテクシスを認める。周囲の花崗岩の transfusion も認められる。片理は存在しない。

以上のような塩基性岩脈の変成・変形系列に基づいて、花崗岩質流動体の流動と固化の歴史を辿ることができるわけである。

次に塩基性岩脈に酸性物質が密接に伴うことに注意したい。塩基性岩脈が花崗岩やアークコース砂岩を貫くとき、その接触部に融解現象がおこり、それがアプライト質脈としてこんどは塩基性岩脈を貫くといった現象は珍しくない。この現象は、transfusion とか rheomorphism とかいわれてきた。このばあい、塩基性マグマはまわりの岩石の温度まで急速に冷却する。その際放出される熱がまわりの岩石の加熱と部分融解につかわれるわけである。もし塩基性マグマが 700°C 前後の花崗岩流動体に貫入したとすると、そのとき放出される熱は融解のためだけにつかわれると考えてよいであろう。そうすればかなり大量の酸性液体が生ずると考えられる¹⁾。こうした現象を想像させるのは、香川県白鳥町海岸のいわゆるランプロファシアなる変成塩基性岩脈で、これはほとんど同量の酸性岩脈（グラノファシア質）に伴われ、しばしば複合岩脈をつくっている²⁾。この例など、塩基性と酸性のマグマを関連づけることなしに説明することは困難であろう。山口県東部の領家花崗岩類でも同様で、塩基性岩の多い地帯には浅成の酸性岩脈が多く見いだされている。

さきに引用したように BOWEN³⁾ は、或種の花崗岩質マグマが花崗岩あるいは珪ばん質堆

- 1) D. H. BLAKE, R. W. D. ELWELL, I. L. GIBSON, R. R. SKELHORN, and G. P. L. WALKER: Some relationships resulting from the intimate association of acid and basic magmas. *Quart. J. Geol. Soc. London*, **121**, 1965, p. 31-49.
- 2) 大原鈴美: On the relationship between coexisting basic and acidic dykes in the granite of Shirotori area, Kagawa Pref. 広島大修論 (MS), 1975.
- 3) N. L. BOWEN: The granite problem etc., 1948, *op. cit.*, p. 87.

積物の再溶融の直接結果であるかもしれないと認めた上で、この現象が“hot basaltic magma”の貫入という“catastrophic effect”ではなかろうかといひ、そのばあい玄武岩質マグマは“zone of melting”にまで侵入したのでなくても、そのゾーンへ熱を付加することに貢献しただろうとのべている。白鳥のばあいも、領家花崗岩のばあいも、酸性物質の大部分は *in situ* に生じたのでなく、“zone of melting”はもっと下のレベルにあったと考えられる。PIWINSKII and WYLLIE¹⁾も、はんれい岩質マグマが、すでに熱せられている lower crust に貫入することが、おそらく花崗岩質マグマを生成することになるだろうとのべている。わたくしもこれらの意見を評価するが、ただしそれが花崗岩質流動体生成全体を包括する考え方になるかどうかは問題であろう。

花崗岩活動のいちじるしい変成帯には、また、はんれい岩質岩類の活動もいちじるしい。領家帯や日高帯はその代表例である。領家帯では特に大和高原で顕著である。これらの塩基性岩は領家変成岩の原岩層のメンバーではなく、おそらく領家花崗岩類の活動と密接に関係したものであろう。それらは変成作用やアナテクシスまで受けているが、そのことはもちろん先領家の定置を意味するものではない。そのあるものは花崗岩類の“zone of melting”あるいは“lower crust”に侵入し、流動化した花崗岩とともに現位置にもたらされたものであろう。またあるものは、現位置で花崗岩を貫いて形成されたものであろう。たとえば、一時さかんに議論された茨城県筑波山のはんれい岩体も、接触部では花崗岩に貫かれているが、おそらく後領家花崗岩のはんれい岩であろう。そのようなはんれい岩は領家帯全域に分布しているのである。

4. 花崗岩質変成岩から花崗岩マグマへのスペクトル

花崗岩質流動体には、その状態からいって液体が主体をなすいわゆる「マグマ」の状態のものから、粒間の間隙流体をいろいろな割合で含んだ結晶粥 (crystal mush) をへて固態流動体にいたるスペクトルが考えられる。また、その状態スペクトルに重なって条件——温度・圧力・化学的環境についてのスペクトルがあるにちがいない。

こうしたスペクトルの一つの端にあるものが花崗岩源変成岩である。その実例はアルプスにおける先三畳紀花崗岩類である。ヘルベート帯の基盤をなす Aarmassif の Aar 花崗岩は、緑色片岩相以下の広域変成作用を受けた片状花崗岩の状態、やや不連続性を伴った流動を行なっている。これらは上方ないし北方へ伸長流動してヘルベートデッケの基礎構造を形成している²⁾。これより南のペンニン帯では基盤花崗岩および片麻岩類は、緑れん石角閃岩相ないし角閃岩相の変成岩であるが、いちじるしい流動構造を示し、デッケそのものを構成している。アナテクシスはほとんどなく、岩石は正片麻岩および複合片麻岩である。このデッケ形成は現在示されている変成相より低温の条件で行なわれた可能性が大きい。さきにあげた東グリーンランドカレドニア造山帯の花崗岩類のマッシルム状形態も、こうしたデッケの一種と見ることもできる。これらは、固態流動からアナテクシスによる若干の間隙流体を

1) A. J. PIWINSKII and P. J. WYLLIE: Experimental studies of igneous rock series: a zoned pluton in the Wallowa batholith, Oregon. *Jour. Geol.*, 76, 1968, p. 205-234.

2) A. KVALE: Gefügestudien im Gotthardmassiv und den angrenzenden Gebieten. *Schweiz. Min. Petr. Mitt.*, 37, 1957, p. 397-434.

含む花崗岩質流動体を代表しているとみられる。

花崗岩質流動体のスペクトルについては、ここでこれ以上敷衍する必要はないであろう。むしろ、それより、日本の岩石学者がこうした状況をとらえ得ているかどうかということのほうが問題である。特に日本の岩石学で盲点になっているのは、花崗岩や片麻岩を原岩とした変成岩（正片麻岩 orthogneiss や複合片麻岩 composite gneiss）が認識されていないことである。わたくしは山口県大島郡北部で領家花崗閃緑岩体中に正片麻岩・複合片麻岩・角閃岩から成る岩体を記載し¹⁾、同様な岩石が領家帯の他の地域にも期待できることを指摘したが、未だ学界の一般的承認をえるにいたっていないようである。また、飛騨帯の片麻岩の或種のものは片麻岩源変成岩であろう。たとえば、隠岐島後の片麻岩はミグマタイト質片麻岩が lower amphibolite facies を主とする広域変成作用を受けたものらしく、片麻岩の再褶曲構造、シアーズーンの局部的発達、塩基性岩脈の破断・ブーディン化が見られる。さらにまた、黒瀬川構造帯や夜久野岩類中のマイロナイト質花崗岩の生成には、比較的低温での固態流動を考えるべきであろう。

5. エピローグ

この章では花崗岩の地質学的研究に関して、その現在の位相についてのべてきた。これまでの花崗岩研究の指導的な自然観——“Leitbild” は不連続観であった。粘性流体としての花崗岩質液体マグマといわば剛体として扱われる花崗岩という固体との対照——それは状態に関しての不連続観であり、また物性に関しての不連続観であった。この不連続観は、液体マグマ＝珪酸塩溶融体と熱水溶液との間の不連続観によって二乗され、花崗岩生成史の上での不連続観としてあらわれた。わたくしは、花崗岩研究の現在の位相は不連続観から連続観への転換である、と考えている。すなわち、花崗岩質流動体には、液体から結晶粥をへて、変成再結晶を行なう固体までの連続的スペクトルを考えねばならない。その際関与する流体相も、濃厚な珪酸塩溶融体からむしろ熱水溶液というべきもの、またあるばあいは気体といったものが考えられる。さらに、こうした物性的スペクトルに対応して、花崗岩は液体マグマの分別結晶作用における残留液体が固結したものである、といった不連続観——固定観もとりはらう必要がある。花崗岩のミネラルゼーションは、液体からの結晶作用であったり、変成再結晶作用であったり、また交代作用のこともある。温度も 1000°C くらいの高温からおそらく 200°C 前後の低温までミネラルゼーションが行なわれたと考えられる。すなわち、生成史という時間的発展のスペクトルが考えられねばならない。

固定観から連続観へ——それがあらゆる科学史を貫く思想なのである。

後 記

本稿が1968-1969年大学闘争に触発されて構想されたという点については前書でのべた。しかし本当は、未だわたくしの思想はこのような形で書きあらわすほど練れてはいないのである。もっと醸成の時間がほしかった。しかし明年の春に迫った停年退職は、現実問題として実証的な岩石学研究の終焉を意

1) 小島丈兒：正片麻岩の地史的意義について。松下進教授記念論文集，1966，p. 161-166。
G. KOJIMA and Y. OKAMURA: On the Kitaoshima granite gneiss complex. *Jour. Sci., Hiroshima Univ.*, Ser. C, 5, (4), 1968, p. 295-306.

味するのであるから、結局、未熟なままで本稿の筆をとったわけである。

本稿では岩石学の論理構造を解体していく過程で、Leitbildを明らかにしたいと考えた。今後のわたくしの問題としては、学問が社会で生きられているその生きざま自体を、人間の経験世界——生活世界を離れることなしに追求してみたいと考えている。

いずれにせよ、これはわたくしにとって、大学に訣別する書ということになるとおもう。

おわりに、本稿の成立には広島文理科大学時代から広島大学理学部時代に亘って続いてきた岩石学研究室における教官および学生諸氏の研究が欠かせない背景になっていることを付記して、これらの研究者諸氏に心からの謝意を表わすしだいである。また、本稿の作成にあたって図・写真の製作に御協力いただいた吉田博直氏と鈴木盛久氏に感謝する。

(1979年5月7日)

広島大学理学部地学教室

図 版 I

Porphyroblastic plagioclase with the core consisting of clinopyroxene, hornblende, biotite, and plagioclase, corresponding to amphibolite. The grains of plagioclase have been absorbed into the host plagioclase, showing irregular pattern of extinction figure. (岩手県五葉山花崗閃緑岩)*

Upper: ×10

Middle: ×20

Lower: ibid. crossed nicols.

* 大塚杉夫：五葉山花崗岩体とその随伴変成岩類の地質学的岩石学的研究。広島大修士論文，1974.

図 版 II

Upper: Fractured grains of plagioclase distributed in undeformed porphyroblastic K-feldspar. (岩手県五葉山花崗閃緑岩) ×10

Middle: Fractured plagioclase or glomeroporphyritic plagioclase megacrystal. (香川県丸亀市本島花崗閃緑岩)* ×10

Lower: Deformed hornblende, biotite, and plagioclase, surrounded by undeformed quartz and K-feldspar. (岡山県倉敷市仙隨山花崗閃緑岩) ×20

* 有田正志：児島半島・塩飽諸島の花崗岩類の研究。広島大修士論文，1977.

