

# 実験岩石学とその応用

八木 健三 (北星学園大学)

Kenzo YAGI

## はじめに

「実験岩石学」“Experimental Petrology” と申しますとこの頃では言葉として定着しておりますが この言葉を最初に使いだしたのは カーネギーの Geophysical Laboratory でした。私の記憶によればこの訳語を日本で最初に言い出したのは私が1962年に「実験岩石学の発展」(岩鉱48, 153-166, 1962)という総説を書いた時ではないかと思えます。その頃は実験岩石学といっても岩石学実験と間違えられまして「顕微鏡をみたり 岩石を調べることでですか?」というような質問も出てきたりしたわけです。最近ではもうすでに「実験岩石学」というのはすっかり定着した言葉であると思っています。

今日 お話するアウトラインについてまず申しておきたいと思えます。最初に Why Experimental Petrology? なぜ 実験岩石学なのか? という問題。それから2番目に実験岩石学が現在まで進歩してきた状況について紹介したい。3番目に現在 非常に発展してきたプレートテクトニクスとの関係について少し述べてみたい。4番目に資源探査における役割について。5番目に実験岩石学的な発想 つまり高額な実験装置がないと研究はやれないのか といった問題。そしてしめくりといたしまして 実験岩石学のすすめ ということを述べさせていただきたい と思っているわけでございます。

## 1. Why Experimental Petrology?

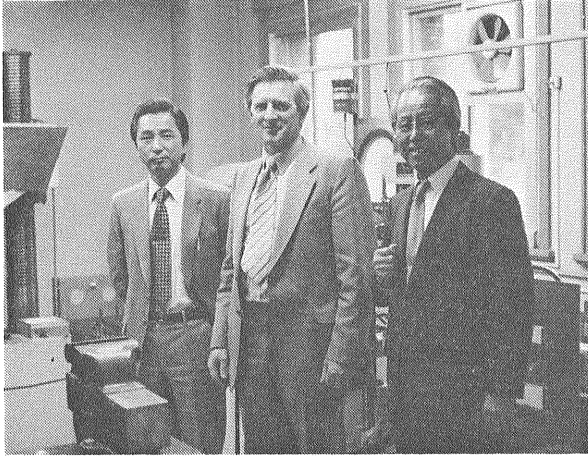
私は東北大学・岩鉱教室を1938年に出ましたが その時の私の恩師は神津叔祐先生でありました。神津先生はセイロン島からもってこられたムーンストーンに見られる非常にきれいな schillerization に興味を持たれた。これをなんとかしてはっきりさせたいということで このムーンストーンの X-ray をとったところ double spots がでてきた。つまり大きさが少し違う格子があることに気がつかれた。つぎに 神津先生はムーンストーンを熱したあと それを quench してみた。するときれいな schillerization がなくなって 普通の feld-



第1図 神津叔祐先生 (1880~1955).

spar のようになった。今度 それをまた X-ray でとってみると double spots が全部消えて single spots だけになっていた。これはもともと格子が2種類あったものが 加熱によって1つになってしまったことを示している。このことから神津先生は「ムーンストーンは miscibility gap のため K長石と Na 長石の2相に分離し schillerization を示しているが 加熱によって miscibility が増大して one phase をつくった」と結論されたわけです。この研究は世界的に評価されました。これについての神津先生の名講義をよく覚えております。これが私が実験岩石学に対して興味を持つにいたった原因となったわけでありました。神津先生は日本における Experimental Petrology の先駆者と申し上げることができましょう。

実はつい二週間前にオーストラリアで Workshops on high pressure and high temperature geochemistry というテーマの 比較的小さな国際学会に私も出席しました。久城さん 大沼さんや日本からの30代の若い人達がりっぱな研究を発表し Ringwood や Green など そうそうたる連中とさかんにディスカッションしている。



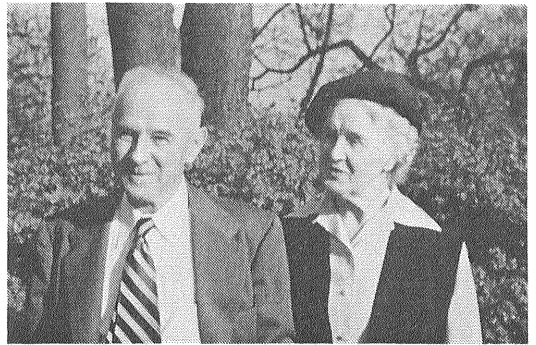
第2図 北大実験室を訪れた D.H. GREEN 教授。  
左は針谷教授 右は筆者 (1982年)。

それを聞きながら私は大変うれしく思いました。 　　こう  
いう次第で Experimental Petrology は我が国におい  
て現在非常に発展しつつある分野であります。 　　このよ  
うな考え方をもう少しいろいろな方面に取り入れ 　　これ  
を研究のアイデアにしていくということがこれから行  
なわれるべきではないかと思われるわけであります。

## 2. 実験岩石学の進歩

地学的な現象というものは 人間が生きている歴史の  
中に必ず繰り返すというわけではないわけでありませ  
すが 　　このような天然現象を理解しようとするど  
うしても実験によって比較的簡単な条件下における現  
象というものをつかみだす必要がある。 　　そのために私  
達はまず温度 圧力 composition を自由にかえ 　　さら  
に酸素 二酸化炭素 フッ素などのガス体の fugacity を  
いろいろに変化させ 　　できるだけ天然の条件に等しいよ  
うな条件を実験室内につくり 　　その中における反応を確  
かめる。 　　このようにして私達は鉱物・岩石あるいはマ  
グマが地球の中でどのようにしてできたかということ  
をはっきりつかみだすことができる。 　　この研究方法は  
1907年 Geophysical Laboratory が創設されて以来3/4  
世紀以上にわたって脈々と続いているわけでありませ  
す。

つぎに実験方法の進歩というような点でみてみましょ  
う。 　　私がカーネギーに行きましたのが1950年だったの  
ですが 　　それまではほとんど1気圧の研究が主体をなし  
ていた。 　　私が直接指導していただいたのは SCHAIRER  
博士だったわけですが 　　BOWEN 先生や SCHAIRER さん  
が非常に精力的にやっていた1気圧の急冷実験 　　これが  
戦前までのカーネギーの研究を代表するものであります。  
それが1950年を境として高压の分野にはいっていった。



第3図 N. L. BOWEN 博士 (1887~1956).  
Geophysical Laboratory の庭で夫人と (1951  
年 八木撮影)。



第4図 J. F. SCHAIRER博士 (1904~  
1970).  
(1970年 北海道にて大場博  
士撮影)。



第5図

L. COES (前列左端) が 自身の考案による  
 高压合成装置を FAIRBAIRN, BIRCH, YODER,  
 VAN VALKENBERG (右端) らに説明している  
 ところ

(1953年 Am. Min. Soc. 年会にて)

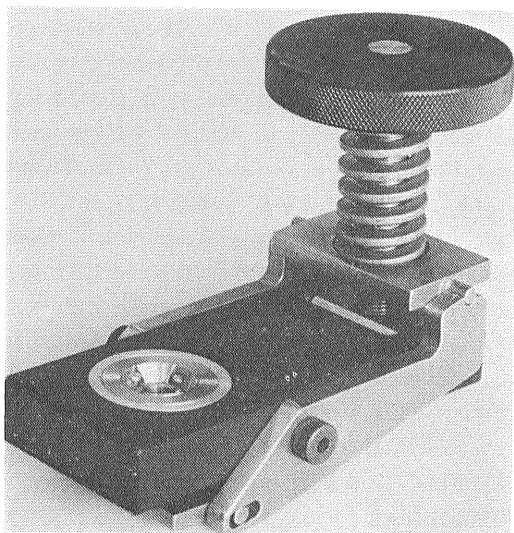
その高压の1つの突破口を開いたのは Tuttle であります。以前は Morey の Morey bomb によって hydrothermal の実験をやっていた。これは非常に大がかりな装置で 中にガッチリとしたオートクレーブのようなものが収められ ネジでとめてあるために 実験の終わったあとそれを開ける時に苦労したものです。それを Tuttle は非常に簡単ないわゆる Tuttle bomb “試験管型ポンペ” というものを考案し 開閉口を cone のすり合わせにして密封する という新しいアイデアをとり入れた。圧力はより高まり しかも実験が終わればすぐあけられるわけです。そして 材質の性能が段々あがるにつれて 10Kbar とか 15Kbar 温度も 1000°C を越えるような実験も可能になってきました。このように手軽につかえ しかも価格が低廉でしたから 恐らく実験岩石学の分野でこれだけ世界的に広く使われるようになった実験装置はないだろうと思います。

なお このころ 私も SCHAIRER や YODER らとともに  $\text{FeO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  系の平衡研究で almandine の合成を試みましたが どうしても成功しませんでした。ところがその直後に Coes が garnet jadeite coesite などの高压合成に成功したニュースをきき 大きなショックをうけたことが思い出されます。

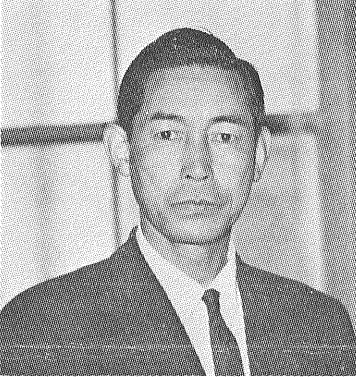
つぎに高压の方で興味のあるのはダイヤモンド・アンビルであります。このダイヤモンド・アンビルは最近注目されてまいりましたが 実はすでに 1950 年頃 National Bureau of Standards アメリカの度量衡局の研究室で盛んに使っておりました。宝石用のきれいなダイヤモンド結晶2つの間に試料をはさみ これを加圧しながら反応を顕微鏡でみるということだったわけでありす。ただ泣きどころは 当時は圧力は上げられるが温度を上げることができない。温度は外側からヒーター

で加熱する外熱式になっていまして せいぜい数 100°C しか上がらない。したがって この頃は氷の変態などを研究していましたが silicate のような高温を要する研究はぜんぜん行なわれていなかった。ところが 最近になりますと 今度はレーザー光線を当てることによって非常に高温にすることができる。このために実験範囲が広がってきた というわけです。

それから いろいろな物性を identify するテクニックも進歩してきた。例えば 強力な X 線をあてることによって数ミクロンオーダーの微小結晶を解析することも可能になってきたわけでありす。その点では筑波の高エネルギー物理学研究所におけるフォトン・ファクトリーが非常によく活用されているのはよろこばしい次第で



第6図 ダイヤモンド・アンビル



第7図 久野 久教授 (1910~1969)。

あります。

### 3. 実験岩石学とプレートテクトニクス

それでは プレートテクトニクスとの関係で実験岩石学を眺めてみたいと思います。プレートテクトニクスのアイデアが 実験岩石学に対して大きな刺激を与えてそのアイデアを確かめるために実験が行われる。あるいは 逆にその実験を基にしてプレートテクトニクスのアイデアが作られてきた ところというフィードバックの関係にあるわけでありませう。

その1つの例を申し上げますと 久野さんがこの日本列島のマグマ・プロヴィンスの図をかいた。1番外側太平洋側にソレライト その内側の方にハイアルミナ・バサルト 日本海側にはアルカリ・バサルトがある。恐らく 和達先生が見つけれられた和達・ベニオブゾーンのところでマグマが発生し 深い方の melting によってはアルカリ性なマグマ そして 浅い方の melting によってはソレイティックなマグマができるのではないかとこのような1つの hypothesis を出したのであります。これが1つの刺激となってこの考え方を確かめるために RINGWOOD GREEN あるいは YODER TILLEY O'HARA こういった人達が多くの実験を行った。

また これにともなって olivine-enstatite の high-pressure の実験が BOYD によって行われるようになってくる。こうして high-pressure のもとにおいては enstatite の incongruent melting という現象がなくなって congruent melting になってくるということがわかってきた。これが今度は岩石の成因論に結びついてくるというわけでありませう。

この例に見られるように 両者は見事なフィードバックの関係にあったということができませう。このような次第でプレートテクトニクスのアイデアが出てき

てから マグマの生成に関する実験が進み また一方ではその実験の結果によってマグマの生成の理論というものが確立してきたわけでありませう。

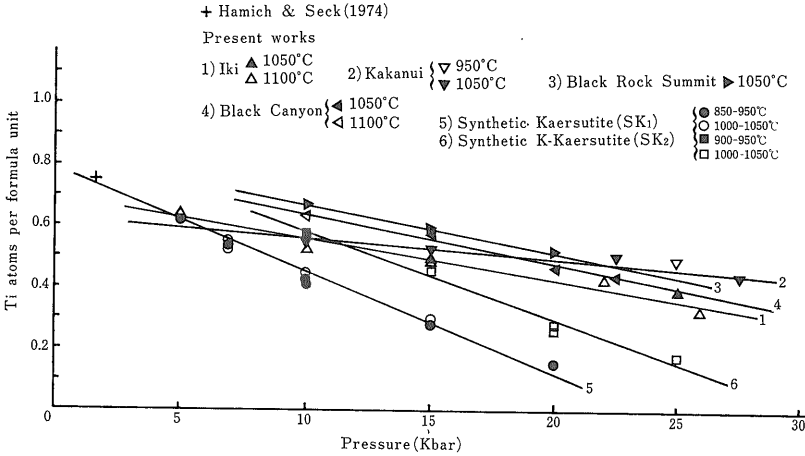
### 4. 実験岩石学と資源

それから実験岩石学がどのような点において生産に結びついてきているか というようなことがらについて少しお話をしてみたいと思います。多相平衡の研究の中で現在までに最も大きな貢献をした1つとして アルミナ-シリカ ( $Al_2O_3-SiO_2$ ) のシステムをあげることができるとおもいます。以前はシリマナイトの melting point が  $1800^\circ C$  ほどあると考えられ 溶鉱炉にシリマナイト組成のレンガを使っていた。ところが BOWEN らによってこのシステムの研究が行われると シリマナイト組成の melting point は  $1585^\circ C$  でかなり低くそれよりもう少しアルミナを加えるとムライトという化合物ができ その melting point は急に上がりまして  $1810^\circ C$  になるということがわかった。それ以来 溶鉱炉の炉材にはムライトレンガを使うようになり 溶鉱炉の寿命が大幅に伸びてきた。この系研究は理論的に興味があるだけでなく 実際的な生産面においても たいへんに役立つというわけでありませう。

最近 赤外線加熱装置をつかって無機材研の進藤さんがやった実験では やはりムライトは congruent ではなくて incongruent であり また solid solution をしているという新しい diagram を発表されました。このことは新しい装置を用いて行った 古典的な研究に対する一つの correction でありませうが 大筋として BOWEN 達の考え方は間違っていないということをサポートしているわけでありませう。

それから実験岩石学で得られたデータによって 地学的な現象の温度・圧力を推定することができる すなわち geothermometer geobarometer として応用できるといふことでありませう。その1つの例を申し上げませう。

この間 大場君と私がメルボルンで発表したものでありますが いろいろな組成の kaersutite の stability range を調べてみました。その composition をみても チタンと4配位のアルミニウムが2対1の replacement をしている状況がよくわかる。いろいろな産地の zonal structure をしているものを調べてみると やはり同じような関係がでてきている。そのチタンの量をみても pressure があるにつれてだんだん減ってくるということがわかった。したがって ここに作成した diagram によってチタンを含んだ



第8図  
Kaersutite における生成時の圧力と Ti 含有量の関係 (OBA, YAGI and NICHOLLS, 1984).

kaersutite の生成された時の pressure を明らかにすることができました。これは geobarometer の 1 例でございます。

こういうように温度・圧力を推定することは地殻内における元素の集中 すなわち鉱床生成の条件を明らかにする上で重要であります。ここに同位体地球化学と協力しつつ 実験岩石学が天然資源の探査・開発にも大きな役割を果しうる場合もでてくるのであります。

### 5. 実験岩石学的な発想

それではこのような実験岩石学というものは高価な場合によっては何億円という装置でなくてはできないかといいますと いい例が久野さんの例です。久野さんはこういうことを私におっしゃった。「ぼくは実験をやったことはないけれど 実験岩石学にもっとも貢献した 1 人だと思っている」と自信をもって言われました。久野さんはフィールドを丹念に歩き 記載岩石学を丹念にやった結果をまとめて 1 つのアイデアをだされた。それが実験岩石学に大きなインパクトを与えたわけでありませう。

そういう意味において 実験岩石学は必ずしも高価な装置を動かさなくても 手軽な装置でも ある場合には装置がなくてさえも やろうと思えばできるわけでありませう。要はやはり物の考え方というものを実験に結びつけるように努力することではないでしょうか。

実験結果を基礎に天然の現象を考え 解析する。また 天然の現象からのフィードバックで 実験を補完してゆく。このようにして 実験岩石学的な発想をひろ

げてゆくことが これから大切になってくるのではないかと思います。

### おわりに

最後に 実験岩石学の将来について 地質調査所にどのような役割を果していただきたいかということ を私の希望として申し上げたい。いま お話ししました久野さんのいい例があるわけでありませう。そのような点におきましては 地質調査所には非常に多くのデータの蓄積がありますから まず第 1 にこれを実験的な目で見て解析し 総合するというを進めていただきたいと思うわけでありませう。

つぎに地質調査所には実験岩石学をおやりになった方々もきておられますし 立派な実験装置もお持ちであります。また 近くに無機材研とか高エネルギー研とかに非常に多くの実験設備もととのっているわけでありませう。現在アメリカの USGS がかなり実験岩石学の方面においてすぐれた業績をあげていることをみますと 私はわが地質調査所においてもこういった実験岩石学的な方面へぜひ一歩踏みこんでいただきたいと思うわけでありませう。勿論これには予算とか 人事とか いろいろ問題もおありになるでしょうけれども 研究者の意欲というものがこの場合にかかなり大きなウエイトを占めてくるのではないかと思うわけでありませう。そういうような意味におきまして 地質調査所の若い研究者の中から この実験岩石学的な方面に大いに野心的な研究を進められる方がでてこられることを心から期待して 私のお話を終わりたいと思います。