

合成実験と地球化学

天然での鉱物 ひいては岩石や鉱床の形成は たいへん複雑な系や変動する条件の下で 長い時間をかけて行なわれる。また それらの形成過程をわれわれが直接にみるチャンスはきわめてまれである。そのためすでにできあがっている鉱物や岩石の産状や共生関係 あるいは物理的・化学的な性質を研究して それから天然でおこった状態や条件を推測するというのが 昔から地球科学者たちがとってきた研究方法であった。しかしこの方法ではいつまでも憶測の域をでることはできない。そこで 熱力学のような理論的な検討もおこなわれるようになったが 一方 実験室で種々に条件をかえて鉱物を合成し 鉱物の安定領域をきめ その上にたつて天然の現象を解釈しようという研究方法も1900年代の初頭から起こってきた。

この2つの研究方向が 地球に関する学問の内容を飛躍的に発展させたことは誰の目にも明らかであろう。地球化学の場合も例外ではない。天然の条件を実験室内で再現することは不可能ではあるが 実験室の結果と天然とは違うという理由で 実験的方法を否定することはできないであろう。将来の地球化学 ひいては地球に関する科学は 合成実験を無視してはなりたたなくな

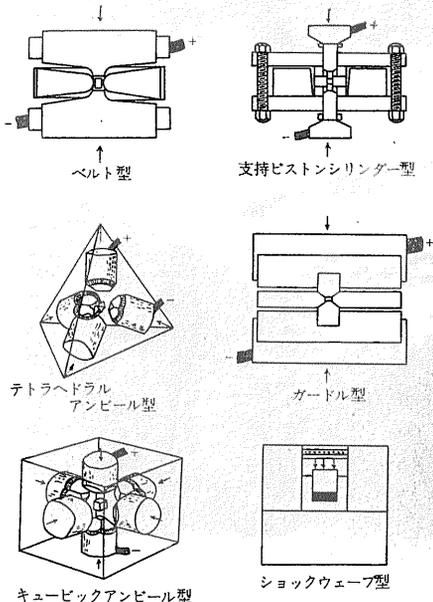
るであろう。日本では合成実験は鉱物学 あるいは岩石学の領域と考え 地球化学の領域ではあまり関心を示してこなかったようであるけれど アメリカでは 合成実験は地球化学の主要な1部分と考えられている。

さて 地球科学と関連した合成実験は 1900年代の初頭に創設されたカーネギー地球物理研究所ではじめられた。この研究所の核が最初 アメリカの地質調査所に設けられたことは あまりよく知られていないけれども たいへん興味深い事実である。カーネギー研究所は まず珪酸塩鉱物の合成実験から出発した。これらは H_2O や CO_2 を含まない系の実験であったが その結果がボーエンの結晶分化説や 火成岩の多様性を説明する学説の体系を完成する基礎になったのである。カーネギーの地球物理研究所はその後も合成実験の研究で世界の主導的役割を果たしてき その研究内容も珪酸塩鉱物だけではなく 硫化鉱物の合成実験や 高温高压下での合成にまでおよんできている。しかし合成実験の研究機関は カーネギー以外にも漸次つくられていき ことに1950年代以降の各種の実験技術の進歩にともなって 研究成果も研究機関も飛躍的に増大した。もっともこの面での世界の中心は依然財力豊かなアメリカにありたとえばカーネギーのほかにも ペンシルベニア州立大学やカリフォルニア大学などが新興の中心としてあらわれてきている。日本でも 主としてこれらの研究機関で学んだ人々が この種の研究を推進している。たとえば大阪大学産業科学研究所(硫化鉱物 珪酸塩鉱物) 東大物性研(高温高压) 北大鉱物(珪酸塩鉱物) 山口大学(硫化鉱物) などである。

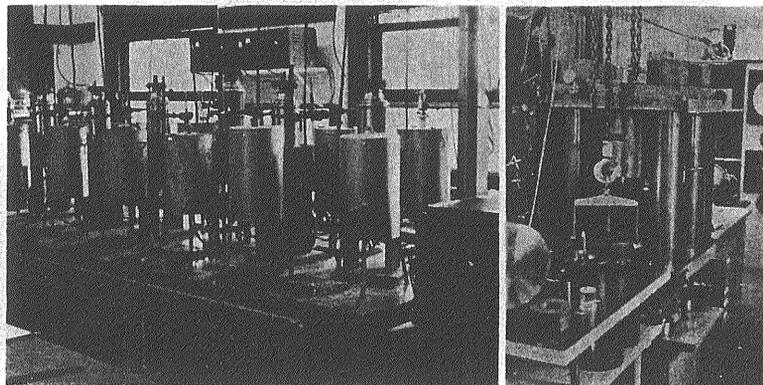
さて (カーネギーにおける) 初期の珪酸塩鉱物の合成による状態図の研究以後 最近までに行なわれてきたおもな合成実験の方向と その地球科学上への応用を大きくあげてみると 次のようである。

1. 高温高压下の珪酸塩鉱物合成実験

アメリカ M.I.T. のブリッジマンが高压物理学を開拓



高温高压合成装置の各種 矢印は圧力の加わる方向 +は電流 (Giardini 1962 より)



ドライの合成炉 1000~1500°Cで圧力はかかっていない カーネギー研究所 シャイラーの実験室 (鈴木淑夫氏 提供)

超高压実験装置 10万気圧まで カーネギー研究所のポイド イングランドの実験室

して以後 とくに第2次大戦中から現在までの間に急速に高压技術が発達した。このおかげで 従来は想像することもできなかったような超高压の下で鉱物を合成することができるようになった。そのよい例がダイヤモンドの合成であり また SiO_2 の各種の変態の発見やカンラン石の合成成功である。この結果 上部マントルにおける状態についての理解がたいへん深められてきている。一方 高压技術の発達のおかげで 従来困難視され かつ地球科学にとって最も大切であると考えられてきた系 たとえば H_2O や CO_2 を含む系が つぎつぎと研究され また OH を含む鉱物の合成が可能となり 珪酸塩鉱物について無数の実験が行なわれてきた。これらの実験は 広範な温度・圧力条件下で各種の系について行なわれているので その結果にたつて解釈できる地球上の現象も広範囲にわたっている。たとえば マグマの発生にはじまって 火成作用 変成作用 さらには鉱床周辺の母岩の変質作用にまでおよんでいるのである。

2. 硫化鉱物の合成

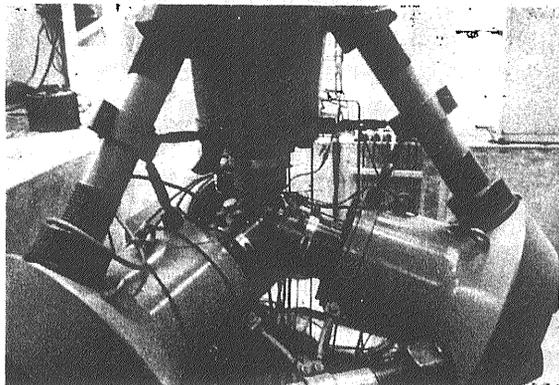
珪酸塩鉱物の合成実験が過去60年間に広範囲の系について行なわれ おもだった系についてはほぼ完了したと いうてよい状態であるのに対して 硫化鉱物の合成は出発は珪酸塩鉱物の合成にわずかにおくれた程度であるが (1910年ごろからカーネギーにおいて) その成果は珪酸塩の場合ほどめざましくはなく 今後の研究に期待されるところが大きい。これは実験技術上ドライの系での合成が中心となり 天然の現象にあつたような系での合成が まだその緒についたばかりであるためであろう。しかし過去50年にわたつて数多くの硫化鉱物の合成が行なわれてきた。たとえば Cu-Fe-S Ni-Fe-S Cu-S Fe-S Fe-Zn-S $\text{CuFeS}_2\text{-ZnS}$ その他数多くの 金属—硫黄 (あるいは Se As) 系の合成が行なわれている。これらの結果から鉱物あるいは鉱物共生の安定領域についての知識を得 (たとえば黄鉄鉱 コペライト 硫砒鉄

鉱—黄鉄鉱 Cu-Fe-S 系など) て天然の産状との比較がおこなわれたり 固溶体の成分 (たとえば閃亜鉛鉱中の Fe の量 FeS-FeS_2 系 $\text{Cu}_5\text{S}_8\text{-Cu}_9\text{FeS}_4$ 系など) を地質温度計に用いたり 地質圧力計に利用したり (硫砒鉄鉱や閃亜鉛鉱) などの試みが行なわれている。しかし硫化鉱物の合成実験を本当に天然の現象に応用するためには 合成技術の開発が是非とも必要であろう。

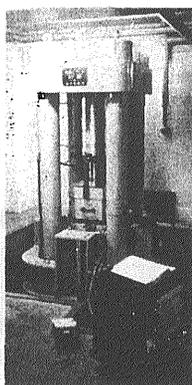
3. 同質多形の研究

さて これまでの合成実験では 鉱物あるいは鉱物共生の安定領域をきめるだけで 実験中におこっている現象や反応の機構を知ることはできなかった。この方面の研究の1つの突破口として合成実験による同質多形の X線的研究があげられる。同質多形とは同一物質が2つ以上の結晶相をとる現象で 物質が与えられた温度圧力条件下で自由エネルギーが最低になるような結晶構造をとるために起こる。たとえば SiO_2 には低温水晶 高温水晶 鱗珪石 方珪石 コーサイト ステイショバイトなどの異なつた結晶相をそれぞれに適応する温度圧力下でとる。この現象は天然の鉱物にひろくみとめられ それから温度圧力条件の推定が可能である。しかし天然の鉱物の場合 不純物の存在などで 転移 (ある結晶相から P.T 条件の変化に応じて別の結晶相に変化する) の正確な条件や機構を知ることがむずかしい。純粋な試料による合成実験の産物を X線的に検討して この問題を追求する研究が 最近とくに硫化鉱物について詳しく進められて成果をあげている。この種の研究あるいは結晶化過程の反応速度論的な研究が今後の合成実験の重要な課題の1つにならう。

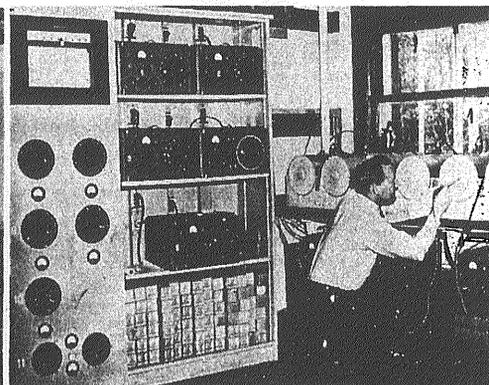
合成実験はモデル実験である。その成果をうのみのままで天然の現象に応用すると危険が大きい。しかしこれを完全に無視すると危険はさらに大きく 神がかりか哲学になってしまうであろう。合成実験の結果と天然の現象の謙虚な研究とが 両々あいまって進んでゆくのが望ましいことは多語を要しないであろう。



テトラヘドラル・アンビル型超高压実験装置
4方向から加圧される



変型キュービック・アンビル型超高压実験装置 10万気圧 3000°C
外見は上下方向から加圧する型のものに似ているが 試料への加圧は6軸になっている (鈴木淑夫氏提供)



カーネギーの硫化鉱物合成実験室
と クレラード博士 (森本信男氏 提供)