

地球化学と関連分野

鉱物学と地球化学

鉱物学は天然に産する鉱物（その大部分は無機化合物の結晶体）の物理的・化学的性質を正確に記載分類することから出発した。記載の内容が測定法の発達や新しい方法論の開拓によって時代とともに精密化してきたことはもちろんである。分類の基礎もデータの集積知識の体系化とともに変ってきた。最初色や硬さや触感で分類されていたものが結晶の外形についての知識が体系化されたり化学分析のデータが集まってくるにつれてそれらを基礎にした分類が行なわれるようになるという変化がみられた。しかし鉱物学の歴史の中でもっとも大きな変革をもたらしたのは1912年ラウエによる結晶によるX線の回折現象の発見であった。

この発見は鉱物学だけでなくその関連する分野とくに地球化学にも著しい貢献と変革をもたらしたのである。ラウエの発見を出発点として結晶中での原子配列を解析する方法が開発され鉱物の結晶構造が次々と解析されていった。過去約50年間にわたる研究によって現在ではおもだったほとんどの鉱物の結晶構造が解析されている。同時に結晶中での化学結合の状態やイオン半径などについての知識が体系化されて結晶化学という学問分野がうたてられた。これらの学問の創設に貢献したのはブラッグ父子やゴールドシュミットたちである。

結晶中の原子配列や化学結合が明らかにされてくると鉱物のもつ外形や物理的性質などがその上にとって説明されるようになりまた鉱物の分類も結晶化学の基礎の上に行なわれるようになった。

一方元素の分布や移動に関する法則をさぐりだすことを目的とする地球化学も結晶構造や結晶化学についての知識の集積によってはじめて体系化した近代科学の

形態を整えることができたのである。この体系化はゴールドシュミットによって行なわれた。

地球化学的なデータは鉱物や岩石の化学分析という形で古くから集積されていた。それが集大成されたものがクラークの Data of Geochemistry であろう。

しかしこの本はあくまでデータの集大成であり化学元素が地球の中で（とくに岩石圏で）どのように分配されてゆくかの法則をみつけた本ではなかった。

岩石圏が鉱物で構成されている以上その中で元素の分布・移動を律する重要なファクターは鉱物の結晶化学的性質であることはいまでもなかりう。ゴールドシュミットはラウエの発見から数年もたたないうちにその重要さに着目して精力的に無機化合物の構造解析を行ない結晶化学のパイオニアになった。この基礎の上にとって岩石圏での元素の分配を律する法則をうちだしたのである。彼のこの研究によって地球化学ははじめて体系化されたといっても過言ではない。このころ鉱物学と地球化学とは密接にむすびついており鉱物学者や地質学者が積極的に地球化学の建設に参与していた。その伝統はヨーロッパやアメリカでは今でもひきつがれている。アメリカなどでは鉱物学と地球化学の間にはほとんど境がないようですらある。たとえばアメリカ地質調査所の組織などそれを反映する1つの例であろう。ところが日本の場合2つの学問分野の間にはあまり深いむすびつきがないばかりかほとんど無縁のようにすらおもわれていた。地球化学界では水圏の地球化学が主流で鉱物学と関係のありそうな研究といえば岩石や鉱物の分析データをだすことや微量成分の研究あるいは同位体元素の地球化学が行なわれているぐらいである。一方鉱物学の分野でも地球化学に深くむすびついた研究は少なかった。この状態は日本人のもつ専門分野に対する潔癖からきているのかもしれないが明らかに正常なものではない。欧米の場合のように鉱物や岩石・鉱床などの研究者が積極的に地球化学的方法を勉強してゆく必要があるしまた地球化学者が謙虚に鉱物科学の成果をとりいれてゆく必要があろう。

余談になってしまったが岩石圏での元素の分配を律するものは単に結晶化学だけではなく系の物理化学的

条件も重要である。この面での解析もゴールドシュミットによって端緒がきられた。変成作用における鉱物的変化に相律の考えを適用しそれが化学的平衡の原理で解釈できることを示したのである。この研究を出発点として エスコラの鉱物相の原理が生まれ さらに1950年代以後 コルジンスキー トンプソン 都城秋穂などによって変成岩の成因論が熱力学的な基礎の上に理論化されてゆく基礎を与えたのである。一方1900年代の初頭に創設されたカーネギー地球物理学研究所の合成実験が火成岩の成因論に与えた貢献ははかりしれないものがある。それ以後高温高压実験技術の発達にともなうて行なわれた各種の条件下での鉱物合成の研究も莫大な量の地球化学的情報をもたらしている。この点については後に述べるが 将来の地球化学が鉱物の合成研究を無視しては発展しえないだろうことを強調しておきたい。

ところで 結晶構造の解析が鉱物学のみならず 地球化学にも大きな変革をもたらしたと書いた。しかし結晶構造のモデルは いわば原子配列を理想化したもので 現実の結晶はこのモデルから大部へだたっている。

現実の結晶の中には各種の不純物 空孔 格子間原子 転位などの不完全性を含んでいる。これらが結晶の物理的性質に著しい影響を与え また結晶の成長や多形変態にあたって大事な役割りを果たしていることが最近わかってきた。結晶不完全性の研究は固体物理や金属物理 あるいは半導体工学の分野で大きな変革をもたらしたが鉱物学の分野でも 深い関心をまきおこしている。なぜなら鉱物の形成機構 転移の機構 物理的性質などを理解する上で それは無視することができない存在であるからである。元素の分配を追求する地球化学にとっても 将来当然考慮に入れなければならない時機がこよう。完全結晶のモデルの上にてたてられた結晶物理が不完全性を考慮に入れることによって大きく書きかえられたように 完全モデルの上にてたてられた結晶化学 あるいはゴールドシュミット流の地球化学も書きかえられる時がくるかも知れない。

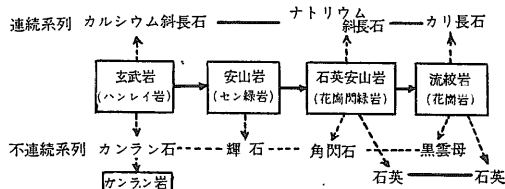
すでに 1, 2 の地球化学の教科書 (Fife: Geochemistry of Solids, Smith: Physical Geochemistry)には結晶不完全性の問題が一部とりあげられているようである。もともと 日本の場合 その前にまず鉱物学者と地球化学者の親類関係が樹立されることが肝要であろう。

火成岩・変成岩 と地球化学

1. 火山岩と深成岩

地殻を構成している岩石は火成岩 堆積岩 変成岩である。火成岩の母体はマグマと考えられている。地下のある深さに珪酸塩を主成分とする融解物であるマグマが存在することは ほとんど誰も疑わない事実である。マグマが固結し火成岩を形成した深さにより 地表に噴出して急速に固まったものを火山岩 深いところでゆっくり冷却したものを深成岩と呼んで分類している。

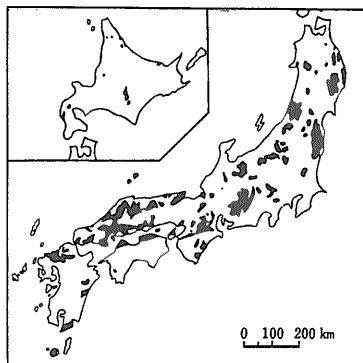
このような火成岩がどのようにしてできたかについて



第1図 Bowenの反応原理にもとづく玄武岩質マグマの分化経路と各時期に晶出する鉱物

はもととなるマグマの起源やその性質 マグマから多くの火成岩が生成する過程などが大きな問題となる。

古くからこれらの問題を解決するために きわめて多数の火成岩の化学分析がなされ 同時に岩石学的な記載も行なわれた。このような基盤にたつて1928年Bowenは有名な“反応原理”を提唱し 火成岩成因論の基礎を築いた。Bowenは多くの珪酸塩溶融体による相平衡の実験を行ない 玄武岩その他の化学組成 鉱物組成の検討から 天然にみられる火成岩の多様性を玄武岩質本源マグマから晶出した結晶が 残液と反応して分化生成したと結論した。このマグマの分化作用を支配する原理が“反応原理”である(第1図)。深成岩の代表とされた花崗岩も玄武岩質マグマが結晶分化作用の結果 最末期に残った液の組成を代表しているとした。



第2図 日本における花崗岩の分布 花崗岩の分布に比べて 玄武岩の分布はきわめてせまい (服部 仁 野沢 保 1960から)