

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 その前にまず鉱物科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。

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。

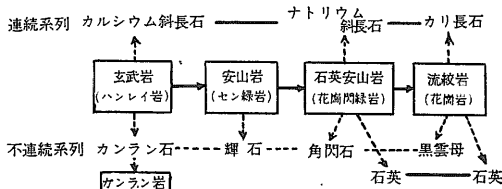
古くからこれらの問題を解決するために きわめて多数の火成岩の化学分析がなされ 同時に岩石学的な記載も行なわれた。このような基盤にたつて1928年Bowenは有名な“反応原理”を提唱し 火成岩成因論の基礎を築いた。Bowenは多くの珪酸塩溶融体による相平衡の実験を行ない 玄武岩その他の化学組成 鉱物組成の検討から 天然にみられる火成岩の多様性を玄武岩質本源マグマから晶出した結晶が 残液と反応して分化生成したと結論した。このマグマの分化作用を支配する原理が“反応原理”である(第1図)。深成岩の代表とされた花崗岩も玄武岩質マグマが結晶分化作用の結果 最末期に残った液の組成を代表しているとした。

火成岩・変成岩 と地球化学

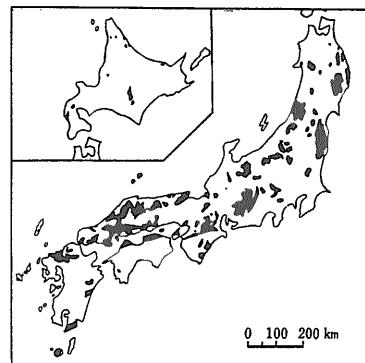
1. 火山岩と深成岩

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。

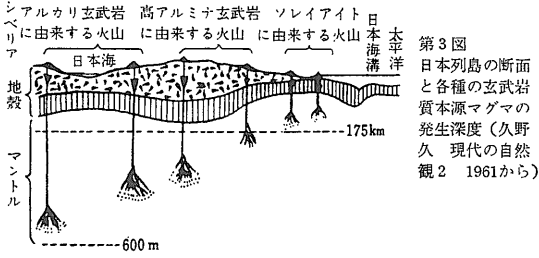
このような火成岩がどのようにしてできたかについて



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



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)



第3図
日本列島の断面
と各種の玄武岩
質本源マグマの
発生深度(久野
久 現代の自然
観 2 1961から)

しかし、その後シェルゴードの斑岩貫入岩体の分分化作用の研究では、結晶分化作用の結果生じた花崗岩は2%以下であることが明らかとなり、世界各地に広く分布している花崗岩の成因として玄武岩マグマの結晶分化作用以外のものが考えられるようになった。すなわち

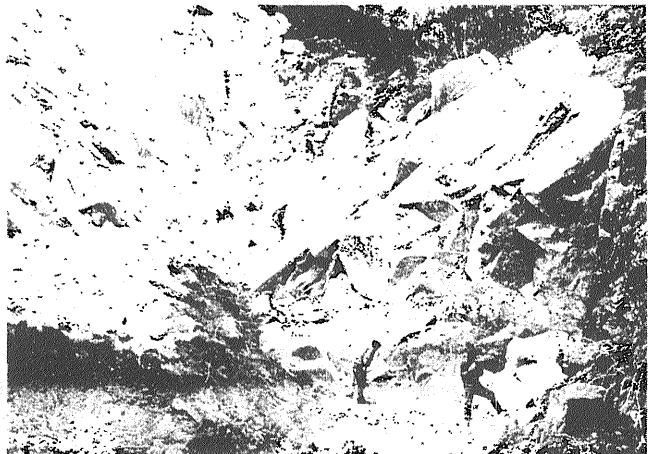
- 1) 地殻の下部の主要な岩石である花崗岩層が再融解して花崗岩マグマを作り再び地殻の上部に上昇して固結した場合と
 - 2) 厚い地向斜堆積物が圧縮されて地下深く押し込まれたために再融解するか
 - 3) 固体のまましだいに交代作用を受けて花崗岩化する場合などであり
- 火成岩というよりは、変成岩と成因的な結び付きをもつ

考え方である(第2図)。

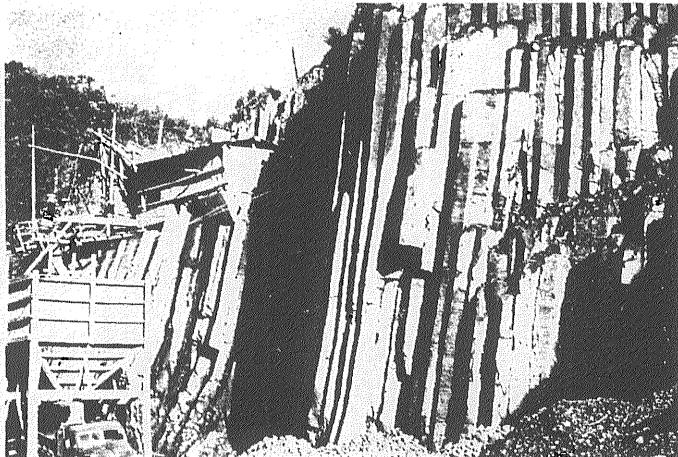
Bowenの火成岩成因論を指導原理として、主としてカーネギー実験物理研究所では、珪酸塩熔融体の実験が行なわれ、玄武岩質マグマに関連した長石族、カンラン石族や輝石族などを含む無水系の研究が行なわれた。近年さらに珪酸塩の高温高压実験が進むにつれて、玄武岩質本源マグマはモホロビッチ不連続面より深い部分、いわゆるマントル上部で生ずると考えられるようになった(第3図)。それでマントル上部を構成している岩石が何であるか、どのような状態であるかを知ることが、玄武岩質マグマ生成の機構を知る鍵となっている。地震波速度やいん石組成からマントルが苦土カンラン石にとむ超塩基性岩石からなることが類推されており、これにもとづいてMgO-SiO₂系の鉱物が高压下でどのような鉱物になるかは、多くの実験からマントル上部ではカンラン石-輝石であり、下部ではスピネル型Mg₂SiO₄、イルメナイト型MgSiO₃、ペリクレス(MgO)、スティショパイト(SiO₂)などに変っていると想像されているが、なお不明の点が多い。



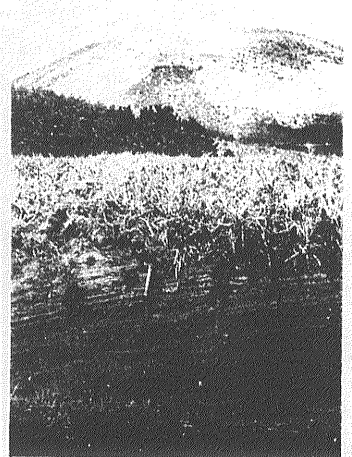
現地での玄武岩の残留磁性の傾向の測定(シュミットの磁力計)
(北西九州玄武岩類の火山層序の確立のために数多くの残留磁性の測定も行なわれた)



筑波山北方稲田花崗岩(60~70×10⁶年; K-Ar法)



長崎県佐世保付近(妙観寺峠)のアルカリカンラン石玄武岩の石切場



五島列島福江島鬼岳とスコリア(第四紀火山活動の一例)

第1表 鉱物相とおもな鉱物の組み合わせ

鉱物相	玄武質岩	頁岩質岩
緑色片岩相	ソウ長石-緑ダイヤ石-陽起石-緑レン石	石英-ソウ長石-緑ダイヤ石-白雲母
角セシ岩相	斜長石-普通角セシ石	石英-斜長石-ザクロ石-黒雲母 白雲母(正長石)-ケイ緑石(ラン晶石)
白粒岩相	普通角セシ石-斜長石-輝石	石英-斜長石-ザクロ石-黒雲母
ランセシ片岩相	ランセシ石-ローソン石-ヒスイ輝石-緑ダイヤ石	石英-ヒスイ輝石-緑ダイヤ石-白雲母
緑レン石角セシ岩相	ソウ長石-緑れん石-普通角セシ石	石英-ソウ長石-黒雲母-ザクロ石-白雲母
エクロジャイト相	ザクロ石-輝石	頁岩質岩なし
輝石ホルンフェルス相	斜長石-輝石	紐柱石-堇青石-斜長石-正長石
ハリ長石相	斜長石-輝石	ハリ長石-堇青石-ケイ緑石

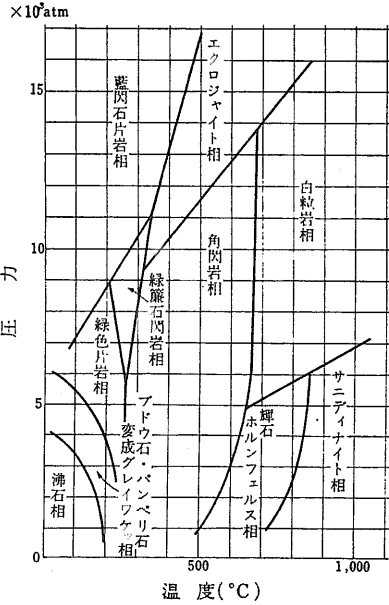
(坂野昇平 地球化学入門 P108 1964より)

将来の問題

地球化学的立場からは高温高压合成実験は 今後の火成岩とくにマグマの起源の問題の解決にきわめて重要であるが(合成実験と地球化学参照)系統的な考えのもとに火成岩やその造岩鉱物の化学組成を知ることは 玄武岩質マグマの組成を知る上に重要な手段であり またマグマの結晶作用や混成作用の過程を研究するためには 岩石学的方法とあわせて行なわなければならない。 また岩石 鉱物の年代測定法の進歩の結果 火成岩とくに花崗岩中の個々の鉱物の年代が測られ その変化を検討して花崗岩の成因を推定したり 微量成分の分布や鉛の同位体比 ストロンチウム同位体比を火山岩や花崗岩の成因に結びつけようとする研究は 今後の問題として期待されている。

2. 変成岩

変成岩は すでに形成していた火成岩や堆積岩が変成作用により変ってできた岩石である。 1920年 Eskola が「変成岩の化学組成と鉱物組成との間の関係を調べることによって 変成作用の物理的条件が同じであるか違うかを知り 変成岩をその生成の物理的条件によって経験的に分類することができる」とする 鉱物相の原理

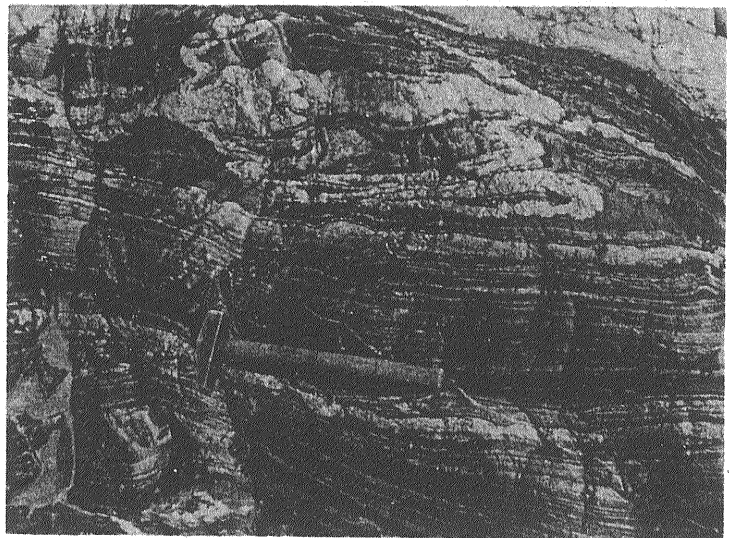


第4図 個々の変成相の表わす温度・圧力の見積りも 変成相は H₂O や CO₂ の圧力にも関係するのでだいたいの関係を示すにすぎない (都城秋穂: 変成岩と変成帯 P307. 1965より)

を発表して 変成岩に温度 圧力 化学組成という物理化学的因子の導入を示唆したが しかし1950年頃までは興味は火成岩成因論に向けられていた。 1948年 Tuttle が熱水合成のきわめて簡単な装置を考案して以来Eskolaの鉱物相の原理にもとづく 指示鉱物の安定領域を決定するという目標のために 数多くの中～高压熱水合成の実験が行なわれた。 これにより変成岩の研究は 温度 そのほかを因子とする固相間の化学反応の研究という物理化学的研究が 大きな位置を占めてきた。 しかも Korzhinskii(1959) と Thompson(1955)により変成岩が H₂O CO₂ そのほかの成分については開いた系であることを強調して それを取り入れた熱力学的理論を展開して後 Eskola の鉱物相の原理の基礎はこれによって明らかになった (第1表 鉱物相とおもな鉱物組み合わせ



片状ホルンフェルス(島根県大東鉱山付近) (接触変成作用により生成された)



領家帯の片麻岩(いわゆる片麻状組織がよくみられる)

せ 第4図)。すなわち 変成作用をうけている岩石に水や炭酸ガスが入りしうる場合には その系の固相がうけている圧力とは独立に水や炭酸ガスの圧力(化学ポテンシャル)は 外部条件によって決まることがわかり多くの問題が解決した。さらに Eugster が酸化還元状態を調節する技術を発明して鉄を含んでいる いろいろな鉱物の安定関係も容易に決定できるようになった。

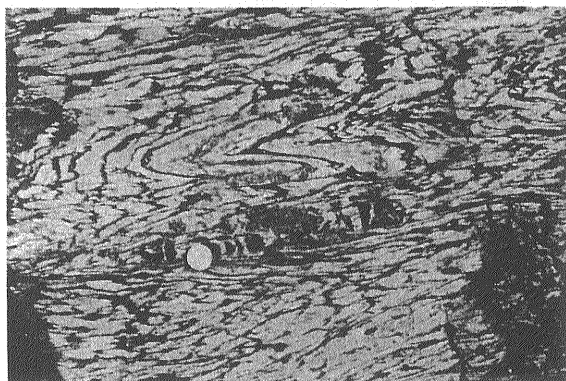
将来の問題

最近の変成岩の研究は 熱力学的な理論による化学平衡論および中一高压熱水合成実験による含水鉱物の合成でそれぞれの鉱物相における指示鉱物の安定領域の温度 圧力 化学ポテンシャルの関係を決定するという物理化学的な研究面の発展で急速に進歩した。しかし 熱水合成実験により決定されているものは ほんの一部に

過ぎず将来の問題として残されている。

しかし 上述の物理化学的な理論的 実験的な研究面とともに変成岩は地史学的 岩石学的研究面はさらになお重要である。実際の鉱物相は これらの研究で経験的に変成岩の化学組成と鉱物組成の間の関係を明らかにすることにより見出されたものであり 相対的な温度 圧力などの関係も推定できる。合成実験による研究はこの相対的データに実際の値をあてはめる役割りを果たしているともいえる。それゆえ 一つ一つの変成帯における鉱物相の分帯 その化学組成と鉱物組成との関係 多くの個々の鉱物の単離 分析 またX線マイクロアナライザーなどを使っての鉱物の微細構造の検討など 実際面で多くの解決すべき問題を残している。

また 将来は変成作用の過程を明らかにする一手段として当然種々の安定同位体比も利用されてくるであろう。



埼玉県長瀬の「とらいわが」(スチルブノメレン岩)



足尾山地の千枚岩(泥質堆積岩がやや再結晶されて生成された)

地球の年令と地球化学

~とくに最古の岩石について~

地球化学の発展において質量分析計が果たした役割りは大きいが とくに同位体地球化学と年代測定学という新しい研究分野を地球化学に与えたことは きわめて意義深いことである。とくに後者は地質学・地球物理学などの関連分野とも密接な関係を保ちながら 地球科学にとってその重要性をますます高めつつある。

アイソトープを利用する地質年代測定の研究が進むにつれて 先カンブリア紀の岩石についても数多くの測定

がなされ これまで化石による対比ということができなかった先カンブリア紀の地史が明らかにされつつある。また世界各地で20億年をこす古い岩石がいくつか発見された。これらの岩石はほとんどが花崗岩・片麻岩・ペグマタイトで 楯状地と呼ばれる安定大陸地域に露出している。年代測定は K-Ar 法 Rb-Sr法 U-Th-Pb 法のいずれか一つ 又は二つ以上の方法によって行なわれ測定に用いられた鉱物は K-Ar 法では雲母・カリ長石 Rb-Sr 法では雲母・カリ長石のほか岩石全体として U-Th-Pb 法ではジルコン・モナザイト・アパタイト等の副成分鉱物である。

次にこれらの岩石のうちとくに古いものについて地域別に紹介してみよう。

北アメリカ

カナダ楯状地で多くの古い岩石が発見されている。モンタナ州 Beartooth Mountains のペグマタイト・片麻岩等7個の岩石から分離した雲母・微斜長石について