化学地質学の展望

飯 山 敏 道*

Géologie chimique, sa nature et ses perspectives

par J. T. IIYAMA

Résumé

Les études des phénomènes géologiques rencontrent de plus en plus de questions que l'on ne peut résoudre par simple combinaisons de résultats d'observations de roches naturelles et les théories fondamentaux existantes. Les recherches expérimentales de la pétrologie et de la géochimie restent empiriques malgré les progrès remarquables que l'on a accomplie. La manque des données sur les propriétés physico-chimiques des matériaux d'intérêts géologiques empêche de prédire les réactions qui se produiront dans l'écorce et la partie plus profonde de notre globe.

L'auteur évoque la nécessité de créer, surtout au Japon où l'enseignement de la géologie est encore trop naturaliste, une branche qui approfondit les aspects chimiques et physiques des phénomènes géologiques. Elle consacrera également à l'acquisition des données physico-chimiques des diverses phases qui participe à ces phénomènes. L'obtention des données thermodynamiques précises des minéraux et des magmas, des renseignements sur l'état des solutions aqueuses à hautes températures et sous hautes pressions de divers sels et celle des données sur les propriétés mécaniques des silicates sont quelques exemples à traiter dans cette branche.

Les résultats de tels travaux pourront aboutir à de nouvelles conceptions qui pourront fournir aux géologues de terrain des nouveaux points d'observations. L'auteur insiste, de ce fait, que les chercheurs de cette spécialité doivent posséder à la fois des connaissances de bases et les attitudes fondamentaux d'observations de la géologie et de la physico-chimie.

I. 緒 言

たしか、1950年代の初期の頃、米国のシカゴ大学では、地質学教室の分科を物理地質学、化学地質学、生物地質学の三つに組み直したと云う様に記憶する。今も尚、この分科を適用して居るかどうか、同大学の消息にうとい私は知らない。

従来、地質学は、岩石、鉱物、鉱床、地史、古生物、構造地質、堆積等、扱う対象によって分けられていた。これに対し、上記の分け方は、地質学的諸現象を研究する時に用いられる原理を主として分類したものである。何れの分科法がよいかは、人によって、その研究傾向、好みによって意見が異なるであろう。

筆者は、何れの方法をとっても、地学の健全な発達には、実現され得ると思う。しかし、若し研究者が、各自の分野の既成概念に固執したならば、どんな分科法を用いても、大差ない結果となるであろう。化学

* 東京大学理学部地質学教室 Institut de Géologie, Faculté des Sciences, Université de Tokyo

地質学を最初に提唱したシカゴ大学が、その成果をよく収めたかどうか、判定は仲々難しい。

数年前から、オランダの Elsevier 書店から、Chemical Geology と云う名の雑誌が発行されている。近頃の論文、出版の洪水の世相の故か、この雑誌は岩石学及び地球化学の雑誌と云った感がする。まだ充分に、この雑誌の特性が出ていない様に見える。

筆者はこの程、学部3年生の選択課目として、化学地質学を開講することを提案し、認可された。この様に、私の考える化学地質学の概念をまとめ、説明して、来るべき21世紀の地質学と、その社会性を考える資料を提供して見たい。

II. 岩石学の発達をふり返って

化学地質学とは如何なるものか、或はこれを如何に育てて行くべきか、と云う事を考えるための一つの資料として、変成論発達史をふり返って見よう。史実は、都城秋穂著“変成岩と変成帯”¹⁾によくとめられている。

時は18世紀の末にさかのぼる。今日我々が持っている変成岩に関する諸知識はまだ存在していないことを頭において、考えねばならない。当時の人々が見ていた岩石は、今日我々が見るものと同じであった事は確かである。露頭の状況は、当時の方がよかったかも知れないのである。

水成論者の WERNER やその弟子達も、火成論を唱えた HUTTON も、彼等の前にある岩石やその産状を当時の技術でよく観察した。この点に関し、両者に優劣の差をつける事は出来ないと思う。我々は、WERNER は、当時、時代おくれの技術で物を見ていたのではないかと考え易い。しかし、彼は、岩石、鉱物の分類に、その化学組成をとり入れていたし、鉱物、岩石の物性に関して、詳細な研究と記載をしていた事を忘れてはならない²⁾。

では何が HUTTON と WERNER をこの様にまで対蹠的な立場に追いやってしまったのであろうか。私には、HUTTON は、“若し、地下深所が高温であったとしたら、どのような事が起るだろう”と云う疑問を発し得た人であり、WERNER は、現在目前にある岩石の状態にのみとらわれてしまった点に一つの原因がある様に思われる。更に HUTTON の場合には、想定した条件に対し、岩石はどのような挙動をするかと云う事を考える、論理の道筋を立てる目安に、当時の物理、化学の結論を利用する事をためらわなかったと云う事をあげ得ると思う。

変成岩の存在が広く世に認められるまでには更に半世紀を要した。岩石の研究が単なる記載と分類と云う立場から脱却し、岩石を一つの化学系と見做して、その構成相(鉱物)の状態を、系がおかれた物理条件に対応させて見ようとする発想に到達する頃には、19世紀も終ろうとしていたのである。物理化学の分野では、この頃には、熱力学の基礎は確立され、GIBBS の相律も漸く、化学者達に認識され始めていた。

GRUBENMANN, NIGGLI, BARROW 等は、経験的に、広域変成岩を、その鉱物組合せに従って分類する事が可能であり、これ等の岩石の分布に規則性がある事を見出していた。しかし、相律が岩石学にとり入れられ、研究推進の有力な武器となるためには、VOGT, HARKER 等の先駆的知見と、変成岩では、V.M. GOLDSCHMIDT の Oslo 地方の研究(1911)、火成岩では、N.L. BOWEN の Reaction principle(1928)が出て来なければならなかったのである。

最近の話題に飛躍するが、1950年代頃から、岩石学では漸く、元素の共存鉱物間への分配の問題の重要性が、T.M.F. BARTH, H. RAMBERG 等によって指摘され、1960年代から今日迄、学会誌をかなり賑やかにして居る。この問題に関する理論は、H.W. NERNST や P.E.M. BERTHELOT が19世紀末には、展開して居たものである。

岩石学をはじめ、地質学の諸部門は、野外に出て、地質を調査し、岩石の産状を観察し、持ち帰った標

1) 都城秋穂, 変成岩と変成帯, 岩波書店 1967

2) Scapolite の別名として、Wernerite の名で彼の鉱物学上の貢献を記念して行こうという動きがあって、今日でも、詳しい鉱物学の本には、この名も記されている。

本を研究して、これ等の結果を総合して、岩石の成因、地質構造、地史等を明らかにする学問であると教えられている。従って、我々の研究手段の助けとなる、化学、物理学、或は生物学の今日の理論が、我々の中に入って来るのはかなり先のことになるのは当然だと考える人もかなり多い様に思われる。

しかし、我々の物の考え方、見方がそれ程遅れをとってはいよいものであろうか。新奇を衒い、生かじりの学説を出せと云っているのではない。今日の化学、物理学が得ている見解を我々が消化し、研究の道具としてのみでなく、我々の物の見方の中にとり入れるに至るまでに50年も100年もかかってよいものか、反省して見る必要がある。

III. 科学進歩の形態

すべての学問について同じ事が云えると思うが、科学の進歩は、新しい概念がその分野に入って来る事によって、段階的に進歩するものであって、同種類の資料の質がよくなり、量が多くなる事によって進歩する度合いは比較的少ないものである。この事は、前章で二、三取りあげた、岩石学の歴史上の道程標とも云うべきものを見ても、解ることである。詳細を述べる事は避けたいが、1950年から今日に至る間の、本邦における岩石学、鉱床学の歩んだあとをふり返って見ても、如実にこのことを感ずる。

では、新しい概念、或は物の見方はどの様にして生れて来るのであろうか。進歩の里程標をたてた人それぞれによってその経緯は異っている。これ等の人に通じている要素を抽出して見ると(1) 研究対象に関する旺盛で論理をわきまえた疑問心又は好奇心、(2) 疑問を解くに当たっての活発な想像力、(3) 想像された幾つかの可能性から最も真理に近いものを選び出すための正しい論理の進め方³⁾の体得があげられる。

研究者は常に、既存の理論や、自分の現在の物の見方、考え方に不安を持つことが大切なのである。ストレス鉱物の考えの否定と圧力に対する鉱物の安定性の変化の重要性の認識(都城, 1949)によって、変成鉱物に対する見解が如何に変わり、これに端を発して、変成論や実験岩石学が前進し得たことは、我々の記憶に新しい。

如何に疑問心、想像力が旺盛でも、論理を正しく進める力が欠如して居たなら折角のよい着想も、その場限りの説明にしか役立たず、実りの多い新しい概念として成長して行く事が出来ない。岩石、鉱物に於てしばしば見られる交代作用は、P. ESKOLA (1914) によって提唱され、又鉱床学に於てはスカルン化作用としてよく知られている事である。しかし、この作用に対する定量的な理論が欠如して居たため、我々は長い間、実りの少ない議論に時を費し、又多くの放漫な岩石成因論の出現を見た。

今世紀に入って、実験岩石学が実り始め、1950年頃から、この方面の研究に従事する者の数は世界的に多くなった。これによって、造岩系の相関関係や造岩鉱物に関する基礎的資料は急激に増加した。しかし、そのかなり多くは、全く経験的な系の記載であり、実験数の割には、そこから岩石学の新しい指導原理が導かれた率が少ない。その原因を考察してみると、実験の計画段階で、対象とする問題の分析が不十分であり、系を無用に複雑化し、結果から応用又は予見に役立つ基本的資料を抽出する事を非常に難しくしている事にある様に思う。実験岩石学及び実験地球化学に従事している筆者が反省して止まない点である。

IV. 基礎科学と地学の間の溝

地学のどの分野をとってみても、その研究の出発点は、野外における地学現象の観察と観測である。地球物理学では、その現象が現在起っている場合が多いのに対し、地質学では、多くの場合、過去に地球内部で起った現象の産物を見るのである。両者の研究対象もそれが天然であると云う点では共通して居る。

天然物は、実験室で見られる変化に比し、現象に参加する役者の数が多く複雑である。地殻構成物質をとってみても、無機化学が取扱う化合物より組成や構造が複雑であり、これ等の物質の間に起る反応機構

3) この点に関する、我国と欧州の中等教育の差は甚しいように思う。一例をあげれば、フランスにおいては、高校1年(16歳)の頃からデカルトの方法序説を読まさせられ、それについての作文を課せられる。理科系のクラスにおいてである。事の適否は別として、考えさせられることである。

を解明することも容易ではない事が多い。

複雑な現象の産物から、その過程を解析するのであるから、或る仮説を立て、現象の機構の筋道をたて、その結果と、観察された事実とが一致するかどうかによって仮説の妥当性をたしかめて行くより他に方法はない。これは何も地学独特の事ではなく、他の分野でも日常とられている手段である。量子力学と、原子物理学の実験結果との関係や地震波や重力異常の測定結果から、地球の内部構造を推定する事等はその例である。

この様な場合、研究の優劣は、勿論最も妥当な仮説やモデルを早く見出すことで決まるが、その仮説の妥当性を確かめるに当って、対象としている現象や物質のどの様な面、どの様な性質を観察すべきかについて正しく、有効な判断、選択をする事も決定的である。

鉱物の性質を記載する事を例にとって考えて見ても、20~30年前には、化学組成、産状、結晶系、比重、硬度、光学的性質、格子定数それに結晶構造等の限られた性質を決めれば、その鉱物の記載は完全に終ったと考えられて居た。しかし、最近の固体科学の進歩は、物質の性質を特徴づける事に関して、非常に多くの見方を提供している。我々は、問題の鉱物をどの様な面から研究するかに従って、測定、観察すべき性質の厳密な選定を余儀なくされているのである。その際、取扱うべき性質として、比重とか光学的性質の様な古典的な性質が最適である場合もあれば、メスバウアー効果の様な新しく発見された性質を測る必要がある場合もある。場合によっては、我々自身、新しい見方を考案し測定法の確立から始めなければならない場合もある。

物理学や化学の様な基礎科学では、捉えようとする現象が出来るだけ簡単な形で現れる様に実験を計画して観察する。又理論的計算も、単純化したモデルを作って行い、現象の理解を助ける。従って、地学が対象としている天然物や天然現象の研究に、これ等の基礎科学が得た方法や帰結をそのまま利用出来ない場合も少くない。利用出来ないと投げ棄てた場合はまだ害が少ないが、生かじりの応用はしばしば、結論を誤らせたり、現象を支配している主要素でないものを過大評価させたりする。この点に、基礎科学と地質学の間に一つの溝が存在する様に思えてならない。

近時化学熱力学が岩石学、鉱床学等化学色の濃い分野に取り入れられている。これ等の分野に於て、この学問は非常に有力な考察手段であり、よろこばしい傾向である。しかし、物質の熱力学的諸関数の物理的意義や、これと物質の構造との関連性の認識が不足していると結論を誤る。

固溶体の熱力学的性質に関する研究や理論は、構造が不規則な液体の溶液に関する理論の拡張として、先ず構造が簡単な化合物の固溶体について発展し、これが金属の場合に適用されて成果をおさめている。しかし、この理論を珪酸塩の様な複雑な化合物の固溶体にとり入れる時には、珪酸塩鉱物の構造が持つ特性をこの理論の中に組み込まなければならない。又珪酸塩鉱物固溶体の熱力学的性質を知る目的で、特別な実験を計画し、実行しなければならない。斯様な研究は、物理学者や化学者にとっては、あまり面白い問題ではなからうし、彼等に、こう云った問題に時間を費してもらうことは本筋ではない。彼等にはもっと、やってもらわなければならない問題が沢山あるのである。

V. 化学地質学の立場

以上述べた様な点を考えると、地質学を支え、今後の発展の基礎を開発する事を分担する分野が地質学の中にどうしても必要である。

化学的な面の強い部分を担当するものが化学地質学の分野になると思う。この分野では、地質学的諸現象の内、化学反応や物質の化学的性質が重要な要素となっている部分を取りあげ、その部分を掘り下げて研究する。この場合、対象は天然現象や天然物そのものである事もあるが、これ等を理解するための基礎研究として、一見地質学とは直接関係なさそうな研究を行うこともあり得る。従って、この分野に従事する者は、天然の鉱物や岩石、そしてその中で起る諸現象の特性を充分に認識している必要がある。同時に、関

連諸科学に於て得られた種々の概念を理解し、これが適正な形で地学の諸分野で応用される様努力しなければならぬ。

今日、鉱床の生成過程を始めとする一連の所謂地球化学的運搬作用に於て、高温高压の熱水溶液の役割を無視する者は先ずないと云ってよい。しかし、高温高压下での種々の塩類の水溶液の性質については、まだ知られていない事が多い。常温、常圧下に於ける性質とは非常に異っている事は解っているが、定量的には、アルカリ金属のハロゲン化物以外については、殆ど解っていない。地球化学的運搬作用を理解するには、この問題を先ず確実に知らねばならない。現在の鉱床成因論では、この穴を Debye-Hückel の式に基いた、大胆な外挿で補って話を進めているにすぎない。これを研究するための実験は、岩石学や鉱床学で通常行う実験とは大分趣が異なる。しかしこの研究の究極目的は、上述の様に非常に地学的なもので、化学地質学が扱う基本的問題の一つであると思う。

その他、岩石の成因を解明するのに必要な、鉱物の熱力学的データ⁴⁾の取得と精度の改善、溶融珪酸塩の熱力学的性質、元素の鉱物や岩石中での拡散の問題の理論及び実験、或は、堆積岩や低温で形成された鉱床で重要な役割を果している珪酸コロイドの性質等々、ざっと見ただけでも、化学地質学が、今日及び近い将来の地質学のため明らかにしなければならない、通常の物理、化学の領域では取扱わない基礎的問題は多い。

地質の野外調査は、単に岩石の分布を示す地質図を作るためなら、忠実な野外調査を虚心坦懐に行えば一応は出来るであろう。しかし、岩石の成因や地質構造史を論ずるための調査では、それだけでは足りない場合が多い。調査者の持っている成因や構造史に関する作業仮説の豊富さによって、露頭一つ一つを見る見方や規準が異って来るからである。

化学地質学が成果をあげた暁には、天然物を見る新しい見方が当然出て来ると信じて止まない。

VI. 結 び

日本における一般社会、そして、我々自然科学に従事する者の生活形態を見る時、同種類の職業、同程度の生活水準にある人同志の交流は非常に密であるが、そうでない人同志の交流は皆無に等しいと云っても過言ではない。

将来の資源問題は、今後50~60年間の人類が解決しなければならない共通問題である。科学技術の基礎しかも、資源問題と直接からんでいる地学研究者達は、現在の様な、たて割り社会から1日も早く脱却して、広く、正しい視野で物を考える様にならねばならない。その積極的手段としても、化学地質学なる分野が、従来の扱う対象を主とした諸分野の外に存在する事は意義があると信ずる。

筆をおくに当り、化学、物理学的色彩の非常に濃いパリ大学理学部鉱物結晶学教室に、筆者を快く受け容れ、筆者の岩石学的見地から見た化学的、物理学的研究を自由に行わせて下さり、後に、フランス中央科学院 (C.N.R.S.) の鉱物の合成と化学に関する研究所設立発足に当っては、実験地球化学部門の全責任を筆者にまかせられ、前後20年近くの長期にわたり、筆者を指導し、力づけて下さった、J. WYART 教授、G. SABATIER 博士に深く感謝の意を表したい。

本稿で述べた私見は、この滞外期間中に、筆者が、自由な教室、研究所の生活を通じ思ったこと、考えたことをまとめてみたものである。

稿中引用した諸例は、なるべく地学者の常識となっているようなことを用いたつもりであるので、引用文献のリストは省略する。慣例を破っていることを御寛容願いたい。

(1977年8月30日受理)

- 4) 1例をあげれば、食塩水は常温、常圧では、殆んど全部の NaCl が Na^+ と Cl^- に分れているが、 600°C 、千気圧では含まれる食塩の 1/1000 くらいしか電離していない。