堆積岩無機物の研究

歌 田 実*

Studies on sedimentary inorganic rocks : A review

Minoru UTADA*

Abstract During the last fifteen years, the study on sedimentary inorganic rocks has made remarkable progress in Japan.

The genetical studies have been emphasized, especially on weathering and diagenesis. The Japanese weathering researchers have mainly studied the weathering envelopes produced in Quaternary volcanic ash deposits and granitic rocks. They showed that the kaolin-bearing ones cover the entire Japanese Islands, and clarified the detailed mineralogical and chemical changes in weathering process. Diagenesis has been studied on several categories of the sediments. The Neogene to Cretaceous pyroclastic sediments were classified into five diagenetic zones which are characterized by authigenic zeolites or albite. Zonal distribution of them has been regionally recognized and was classified into four types which were formed under different geothermal gradients. The sediments were changed chemically accompanying the zeolitization. The silica diagenesis was clarified in the Neogene siliceous sediments; siliceous organisms change diagenetically from amorphous to quartz through opal-CT. Clay mineral diagenesis also occur in the Neogene argillaceous sediments. A gradual change of mixed layered clay minerals was commonly found in the intermediate facies from the smectite facies to the chlorite-illite facies. The study on carbonate nodules in fresh water environments was successful in clarifying their genetical conditions based on the mode of occurrence and chemical analyses.

近年における堆積岩無機物研究の国際的動向

「堆積学の現状と将来への展望」(庄司ほか, 1968)に総括されているように, 1960年代後半には堆積岩無機物の研究の国際的な流れは記載岩石学的研究から岩石成因論的研究へと重点が移りつつあった。すでに微量成分やアイソトープの研究などもみられ, 地球化学的側面もかなり顕著になってきたが, これに対するわが国の研究の状態はかなり立ち遅れていたといえる。しかしながら, 周辺には粘土鉱物学などすでに国際的地位を確立した部門もあり, 1967年には国際学会がわが国で開催されたのと前後して, 続成作用や風化作用などにわが国独自の研究が芽生えてきた。その後の15年間の国際的研究の動向はそ

の前を継承しながらも, 目まぐるしく研究方法や対象が変化し, 多様化してきたといえる。学会活動も4年毎に開かれる国際堆積学会の他に, 水-岩石相互作用に関するシンポジウムや堆積環境における鉱物生成のシンポジウムなどが種々開催されている。関連する論文は“Journal of Sedimentary Petrology”や“Sedimentology”などの専門誌をはじめ, 地球化学, 鉱物学, 岩石学, 石油関係など多方面の雑誌に掲載され, その全貌はなかなか把握しがたい現状であるが, 一般的には実験的研究や理論的研究も年々増加する傾向にある。また, 研究対象には国際経済の動きも関連し, とくに石油, 石炭, ウランなどのエネルギー資源としての消長ははっきりと論文数として表われてきている。このような状況下で堆積岩無機物の研究に直接大きな影響を与えたものは, IGCP(国際地質対比計画)とDSDP(深海底掘削計画)であった。前者ではいろいろな分科会が堆積学に

* 東京大学理学部地質学教室, Geological Institute, Faculty of Science, University of Tokyo, 3-1, Hongo 7 chome, Bunkyo-ku, Tokyo, 113 Japan.

関連しているが、とくに「太平洋珪質堆積物」と「カオリン」はわが国においても国際集会在開かれ、前後の研究活動に大きな刺激を与えている。後者は1968年より現在まですでに90国を越える航海により、全海域においてボーリングを行なっている。これにより海域の堆積物については鉱物組成、主要化学組成、微量成分組成、有機物量、および層間水の化学的性質などに関するデータが莫大に蓄積された。これにより現世堆積物はもとより、地質時代の堆積物、初期続成作用などについての従来の知識は一変したといえる。この計画にはわが国の研究者も多数参加しており、これもわが国の堆積学が国際的な研究レベルに達したことを示すものとして意義深いことである。また、日本列島近海を掘削したものとしては Leg 19, 31, 32, 56, 57, 87 などの航海があり、わが国の地質学への寄与は大きい。

「日本の地質学」(1968)以後の 堆積岩無機物の研究

1. 砕屑岩の岩石化学的研究

堆積物の供給源を推定し、堆積環境の解析や古地理の復元を目的とする堆積岩研究にとって、岩石学的アプローチは基本的に重要である。この方面の学界活動としてはまず、1967年から1968年に松本達郎を代表者とする総合研究「地向斜堆積物の総合的研究」が組織され、その成果は1968年地質学論集第1号として刊行されている。1970年代に入るとそれぞれ別個に研究対象とされてきた、鉱物組成、堆積構造、堆積相などが総合的に解析される傾向が強まった。この方面の初期の成果は、松本達郎・勲米良亀齡編「地向斜堆積物の研究」が1971年に地質学論集第6号として刊行されている。

礫岩については加納博による薄衣式礫岩の長年の研究成果が総括されたり、足立守により上麻生礫岩中に先カンブリア時代を示すオルソコーツァイト礫が発見されてきたなど、日本列島の基盤問題と関連して注目を集めた。これを契機にオルソコーツァイト礫は全国のいろいろな時代の地層中から発見されることになった。とくに四万十団研が報告している「黒潮古陸」は牟婁層群中のオルソコーツァイト礫の存在が重要な論拠となっている。しかしながら、これらに関しては岩石学的検討が十分でないまま起源な

どが議論されてきたきらいがあったが、近年ようやく岩石学研究がみられることはよろこばしいことである。

砂岩の記載岩石学的研究にはオーソドックスなものが多く、充実した時期であったといえる。砂岩の分類は1960年後半になっても種々のものが提案され混乱していたが、岡田博有は北海道や九州地方の砂岩の分析結果をもとに、マトリックス量によってアレナイトとワッケに二分し、それぞれを石英・長石・岩片比で分類する方法を提案した(岡田, 1968; OKADA, 1971)。これは従来提案されていたものと思想的にとくに異なるものではないが、わかりやすく実際的であるため、国際的にかなり広く受け入れられているようである。また、具体的に砂岩の鉱物組成や粒度組成を明らかにした精力的な研究も多く発表された。すなわち、北海道の白亜系や先白亜系、北上山地の古生層、山中地溝帯の白亜系、四国・九州の古第三系～白亜系などの研究である。これらの研究結果に基づき後背地の変遷を考察した結果は、わが国の地史解明への貢献が大きい。また、大上和良による珪石鉱床の石英質砂岩の研究も詳細なものとして特筆される。

一方、1960年代に盛んに研究された重鉱物の研究は、1970年代初期の研究を最後にほとんど姿を消している。総じて言えば、砂礫岩については記載岩石学的で成因に関する基礎的研究が少なく、化学的な面からのアプローチはあまり試みられていない。造岩鉱物や変質作用などに関する知識の増大や近代的分析機器が利用しやすくなった状況を考えると、今後工夫が望まれるところであろう。

これに対し泥質岩の研究方法はここ15年間に一変し、粘土鉱物や化学組成などが詳しく研究されている。日本近海の堆積物については、生沼郁、青木三郎らにより精力的に研究された。また、すでに述べたDSDPの報告書にも多くの研究がまとめられている。これらのデータは風化殻の鉱物組成と比較しながら、第四紀における日本列島周辺の気候条件や造構造運動を考察する上に重要である。また、石狩湾の粘土鉱物組成から沈澱と運搬の機構を考察した優れた研究(塩沢, 1970)や、宍道湖における後背地の粘土鉱物組成が堆積盆のそれにどのように反映するかを検討した研究(星野ほか, 1982)も興味深い。

油田地域の新第三系～白亜系泥質岩については青柳宏一、風間利栄らによって精力的に研究された。青柳らはXRDによる鉱物の定量化を試み、主として層序区分に役立てることを意図したものとみられるが、後述するようにこれらの研究結果はむしろ続成作用を考察する上で重要なものである。先白亜系の泥質岩についての鉱物組成の研究は断片的で今後の研究にまたねばならないが、前述の研究はいずれもわが国の粘土鉱物学の高いレベルに支えられており、この面での須藤俊男の貢献は大きい。

日本近海の現世堆積物は近年杉崎隆一を中心に化学組成と堆積速度の面からも活発に研究されている(SUGISAKI, 1984)。北海道の瀧湖および湾などについての研究もあり、各元素の分布に関する基礎的データが蓄積されてきた。同様に地質時代の堆積物については、片田正人ら地質調査所の研究者を中心に多数の化学分析値がまとめられてきた。この結果は1960年代初頭の原村寛、都城秋穂による結論をほとんど追認している。これらの研究ではそれぞれの時代の堆積区における平均化学組成の特徴をみるにとどまっており、後背地の原岩物質、風化状態、堆積環境などの深い考察にはまだ至っていない。また、続成分化など岩石の成因に関りのある問題にはほとんど触れられず、今後の研究課題として残されている。微量成分の分析例も二、三あるが、諸外国でのこの面の急速な発展と比較するとかなり立ち遅れが感じられる分野であった。

2. 化学岩・生化学岩の岩石化学的研究

1960年代における世界の炭酸塩岩の研究は石油鉱業の発展と呼応し急速に発展したのに対し、わが国の研究状態は寒々としたものであった。しかし、1965年に秋田油田の福米沢鉱床に炭酸塩貯溜層が発見されるに及んで、この研究の重要性が認識されるようになった。青柳宏一らは1970～75年の短期間に新第三系の炭酸塩岩の鉱物組成や孔隙率などのデータを集積し報告している。また、この時期はわが国の石油鉱業は国外の油田の探鉱にも精力を費やしており、大島(1977)のムバラス油田における炭酸塩岩の研究などはその一端をのぞかせるものである。一方、石灰岩やドロマイトは工業原料として重要なものであり、これに関連しての研究は五十嵐俊雄、藤貫正らにより1960年代より現在まで進められ

ており、各地の炭酸塩岩について主要成分から微量成分におよぶ化学組成が詳しく検討されてきた。また、久保(1971)は葛生地方の石灰岩およびドロマイトの中のリンの賦存状態を調べ、その地質学的意義を述べるなど、本格的な岩石化学的研究もみられる。同じ葛生地域の炭酸塩岩については小林(1979)とYANAGIMOTO (1979)の詳細な岩石学的研究があり、ドロマイト化作用解明へ向けての基礎的研究として重要である。大船渡市長岩層石灰岩については武蔵野(1973)が、生相、化学組成、不溶残渣など堆積相を総合的に検討した特筆すべき研究がある。主として後背地や堆積環境の解析を目的とした不溶残渣の研究は鹿島愛彦により精力的に行われた。琉球列島などの西南諸島の地質調査は1970年代に入って活発に行われたが、第四紀～現世石灰岩の研究は主要テーマの一つであり、小西健二、大林明夫、鹿島愛彦などにより多くの成果が報告されている。また、1970年代後半には堆積岩岩石学の研究対象として炭酸塩洞穴の研究が加わり、この分野でも鹿島の活躍はめざましかった。

珪質岩の研究は1970年代から1980年代にかけて最もめざましい成果をあげた分野の一つである。とくに新第三系の珪質頁岩や中生代・古生代のチャート層の起源物質が珪藻、放散虫、海綿の針などの生物遺骸であることが明らかにされたが、この発展にはSEMの普及に負うところが大きい。前者についてはINOUE (1973)、後者についてはIMOTO & SAITO (1973)の研究を嚆矢とするが、この事実はその後の多数の研究により、現在では疑う余地のないまで明らかにされたといえる。これらの珪質岩の鉱物組成や組織も齋藤靖二、井本伸広、飯島東らを中心に研究されてきた。また、後述するように珪質頁岩の続成変化でも国際的な研究がみられるようになった。このような背景のもとに、1979年からはIGCP 115として「環太平洋珪質堆積物の研究」が行なわれた。この計画は飯島が提案し、HEINを代表者として1981年まで行われたが、わが国からも多数の研究者が参加し、珪質岩の時代、産状、分布、堆積環境、続成変化、地球化学など多方面の研究が行われた。この計画の最終年度である1981年にわが国において研究集会がもたれた。この成果はIJIMA, HEIN & SIEVER ed., (1983) "Siliceous deposits in the

Pacific region" Elsevier として出版されたが、その中でわが国の研究者の論文は全 26 編中 13 編を数えている。その成果は多数にわたるが、珪質堆積物の堆積環境として現世の深海底相とともに、地質時代にはより浅海相も存在することが指摘されたことが注目される。一方、チャート層の時空分布をプレートテクトニクスモデルに基づき解釈しようとする試みも多数あり、近年の研究動向をよく反映したものといえよう。また、YOSHIDA (1982) はチャート質葉層と泥質葉層が繰り返すものをチャートラミナイトと定義し、従来千枚岩、準片岩、黒色片岩、泥質片岩とされてきたものにこれが含まれることを指摘した。葉理は明らかに堆積作用によるもので海成の "varve" の可能性が強いという。地球化学的研究はまだ比較的少ないが、MATSUMOTO & IJIMA (1972) や山本(1983)の堆積速度と微量成分濃度との対応関係についての研究は注目されるものの一つである。

マンガン団塊は資源的観点から、近年最も社会的な関心を集めたものの一つであろう。この岩石化学的研究は島誠、岡田昭彦をパイオニアとして 1960 年代から研究が進められてきたが、1970 年中期からは内尾高保、臼井朗、溝田忠人、藤井雄二郎らの研究が加わって、産状、鉱物組成、化学組成、金属元素の濃集などについて明らかにされた。さらに、海水中からマンガンおよび金属元素が沈積し濃集する機構については野原真人により詳しく考察され、優れたモデルが提案されている (NOHARA, 1976)。また、1982~1983 年には大町北一郎を代表者として「深海底多種金属の生成環境と鉱物鉱床学的研究」の総研 A が組織された。

3. 風化作用の鉱物化学的研究

わが国の第四紀火山灰やローム層の風化作用についての研究は、粘土鉱物学の進歩に伴い 1960 年代後半にはすでに高い水準に達していた。1970 年以降にも、北海道支笏降下軽石、関東ローム、愛鷹ローム、信州ローム、大山・三瓶ローム、口永良部島ロームなどの研究がつけ加わった。この結果日本列島全域にわたり第四紀における風化作用を概観することができる。すなわち、ときにギブサイトの生成もあるが、本質的には同じカオリン-モンモリロン石型風化殻が生じていることが明らかになった。また、風化

の進行が地形、雨量や温度などの気候条件、植生などに規制されていることも明瞭に示された。風化速度をローム層の露出時間から推定しようとした岡田 (1973) の試みは野心的であったし、湖底や海底に堆積したロームと変質速度を比較した研究 (渡辺, 1972; 田崎, 1973) も目新しい。多くの研究は鉱物単位での変質系列に集中していたが、この面での田崎和江の活躍はめざましかった。カオリン鉱物、14 Å 鉱物、ギブサイトなどの鉱物的研究も進み、イモゴライトの産状や鉱物的性質も詳しく明らかにされた。化学組成変化については研究が少ないが、関東ロームの場合には溶脱帯と集積帯が区別され、前者ではアルカリ、アルカリ土類、シリカなどが大量に溶脱してカオリン鉱物が生成し、後者ではマグネシウム、鉄、シリカなどが集積してモンモリロン石が生成していることが明らかになった (歌田ほか, 1981)。わが国の特殊な条件として地表付近に熱水溶液の関与がみられることがあり、この場合にも軽石層などを選択的にカオリン化するため産状からだけでは区別が難しい。このような例について湊秀雄らがいっつか報告しており、今後鉱物化学的な面から検討すべき課題であろう。

1960 年代後半から 1970 年代前半にかけて、花崗岩の風化作用とこれを起源とするカオリン鉱床に関する研究が進み、名古屋瀬戸地区の鉱床についての成果が藤井紀之と長沢敬之助らにより相次いで公表された。FUJII (1968) は風化殻および "真砂"、"木節"、"蛙目" などの鉱石の成因的關係をよく明らかにしている。また、ここでも鉱物単位の風化系列が詳しく検討された。NAGASAWA (1969) は風化殻における長石や雲母を出発物質とし、カオリン鉱物に至る鉱物化学的変化と共に、削剝から続成に至る堆積過程におけるカオリン鉱物の aggradation と degradation を明らかにしている点は注目に値する。この他花崗岩起源の風化殻を研究したのものとして三浦清らによる山陰地方のものと、木宮一邦らの三河高原の風化作用の研究が特筆される。ともに鉱物化学的な風化尺度と土木地質で用いられている物理的な尺度とを対応させる意図がみえ、応用地質や災害研究などへの貢献が大きい。多くの研究者は鉱物化学的風化尺度としては黒雲母の変質系列を指標としているが、三浦 (1973) は化学組成による風化度を提

案した。これには風化作用による化学組成変化は、基本的に諸元素の溶脱と加水であるという思想がみられる。一方、木宮(1981)による非整形圧縮引張強度を用いて段丘礫と比較しながら風化時期を特定した方法も新しいものであった。花崗岩の場合にも、先に熱水変質を受けると風化の進行が速められることを三浦(1973)が鋭く指摘している。従来“深層風化”と呼ばれていたものにはこの例にあたるものが多く、地表水による厚い風化殻と熱水関与のものは区別されるべきで、これに関する北川・柿谷(1979)の研究も重要である。

岩手県岩手粘土鉱床は上質のカオリンを産するわが国としては特異なものであるが、この鉱物組成、産状、成因に関して二つの論文が発表された(藤井, 1970; IJIMA, 1972)。両者には成因に関してわずかな意見の相違がみられるが、鉱物化学的研究としては特筆に値する詳しいものである。鉱床は白亜紀～古第三紀凝灰岩類を原岩とする風化殻およびこれに由来する堆積性粘土で、カオリナイトを主体にゲーサイト、ギブサイト、ダイアスポアを伴うラテライト型である。化学組成変化についても詳しく論じられている。その他のラテライト型風化殻としては、南西太平洋地域の含ニッケルラテライトに関する研究が二、三ある。これらの研究に加え、ラテライト型風化殻に関する全く新しい視点の研究が岩生周一によってはじめられた。すなわち、岩生は新木浦鉱山のエメリー鉱中にラテライト構造を発見し(岩生, 1972)、北上山地中に分布するAl-質変成岩類がラテライト型風化殻の変成したものである可能性を示唆した(IWAO, 1973)。さらに、これらの変成岩類について産状、化学組成、変成相などを検討し、その確度が高いことを示した(IWAO, 1978)。地質時代の風化殻からは古地理の復元や古気候の解析など、地質学にとって重要な情報が得られることを考えるとその意義は大きい。今後いろいろな程度の続成～変形を受けた風化殻にメスが入られ、この問題が大きく発展していくことが期待される。

総じて近年の風化作用に関する研究はよく発展し、1979～1981年には武司秀夫を代表者とする総合研究「風化作用と層状ケイ酸塩鉱物の生成」が組織された。また、関連するものとしてIGCP「カオリン」の研究集会在湊秀雄を代表者としてわが国で開かれ

た。しかしながら、まだ研究対象は限られたものであり、応用地質や災害と関連する研究は十分とはいえない現状である。

また、理論的研究や実験的研究は諸外国に比べ少ないが、水谷(1976)による頁岩の風化殻の研究は野外観察を速度論モデルにより考察しようとしたものであり、TSUZUKI & MIZUTANI (1971) や TSUZUKI *et al.* (1973) の実験的研究と合わせて特記されるべき重要なものである。

4. 続成作用の鉱物化学的研究

グリーントフの変質作用については諸説が入り乱れた時期もあったが、最近15年間は着実な研究成果を挙げてきた。すなわち、ここではいろいろな成因のものが重複して現われているが、広域的かつ基本的なものが続成作用であることはもはや異論のないところであろう。とくに1960年代後半から1970年代前半においては、多くの研究者の努力はこの分野に集中した。すでに、1960年代からいくつかの地域で火山ガラスの続成変質岩が沸石を特徴鉱物とするいくつかの帯に分けられることが予測されていたが、これが広域的なものであることが確認されたといえる。たとえば、UTADA (1970, 1971) は主として東北地方の新第三系を中心にグリーントフ地域全域の続成変質岩を5帯に分帯し、その組み合わせと分布形態から続成作用の型を四つに分けた。また、この4型は主として地下増温率の違いにより生じたと推論した。この推論は藤岡一男・飯島東・歌田実らにより油田地域のボーリングコアを用いての研究により確実なものとなった。すなわち、秋田油田、新潟油田、関東平野など現在も沸石化が進行しつつある地域で、沸石帯と埋没深度、ボーリング孔での温度との対応が検討された。沸石化作用に伴う化学組成変化については主として歌田実により研究された。その結果、続成作用の過程でいろいろの規模の化学成分移動が行われていることが明らかにされた。グリーントフ地域では続成作用の場にしばしば花崗岩類の貫入がみられ、その影響については関陽太郎・島津光夫・吉村尚久・歌田実らを中心に研究された。とくにSEKI *et al.* (1968) の研究は岩石学的によく考察されており、丹沢山地はこのような接触変成～続成変質の世界的タイプとされている。同様に続成変質の場に熱水変質が加わった例として道南地方、

下北半島, 北鹿地方, 山形吉野地方, 会津地方, 北島根地方などの黒鉱鉱床地域で詳しく研究された。この場合も世界に研究がほとんどなく, 鉱床の探鉱上からも注目されている。これらの凝灰岩類および火山岩類の続成変質に特徴的な沸石類, 粘土鉱物, およびシリカ鉱物に関する鉱物学的研究も多数行われた。とくに沸石類については関陽太郎の精力的な研究があり, 実験的研究は中島和一, 阿部宏, 青木守弘, 富田克利, 原田一雄, 草部博達などを中心に行われた。粘土鉱物については吉村尚久, 本多朔郎, 金原啓司, 下田右, 富田克利らによって変質系列が詳しく研究された。とくにスメクタイトから雲母・緑泥石へと変化する中間に生成する混合粘土鉱物の鉱物学的研究に重点がおかれていることに, この期の研究動向が読みとれる。沸石相に関してはニュージーランド三疊系について COOMBS の研究以来, 火山性物質を多く含む地向斜堆積物の世界的研究テーマであったが, わが国研究者による産状・分布・成因などの研究は世界のイニシアティブをとってきたといえる。これには研究成果をまとめ国外に広く紹介してきた飯島東の功績が大きい。

珪質岩の続成作用の研究は凝灰岩類よりやや遅れたが, 1960年代中頃から水谷伸治郎を中心に進められてきた。とくに初期続成作用におけるシリカ鉱物の研究と速度論的考察は, 国際的な評価を得ている (MIZUTANI, 1970, 1977)。近年における珪質岩の研究としては新第三系中の珪質頁岩と古生代~中生代のチャートが主としてとりあげられた。前者としては北海道天北地方, 釧路地方, 秋田県女川層相当層, 福井地方などの地表およびボーリングコアを用いて詳しく研究された。この結果, 珪質頁岩の続成変化は主として珪藻を原物質とし, 鉱物相はオパール A → オパール CT → (オパール C) → 石英の系列をとっていること, オパール CT の面間隔は続成作用の進行とともに 4.11 Å から 4.05 Å まで漸移的に変化すること, この変化の地域差は地下増温率の違いによると考えられることなどが明らかにされた (本多, 1978; MITSUI & TAGUCHI, 1977; KANO & TAGUCHI, 1983; TADA & IJIMA, 1983)。これは MIZUTANI (1977) や KANO & TAGUCHI (1983) による実験結果や, 地質条件の酷似している米国西海岸のモンテレー頁岩の研究結果ともよい一致がみら

れる。古生代~中生代のチャートの鉱物相としては石英だけが知られており単調である。続成作用の問題としては生物遺骸の保存状態や夾在する頁岩の構成鉱物などが主要な研究テーマとしてとり上げられている。すでに述べたとおり IGCP とも関連して珪質岩の岩石学的研究は大変盛り上っているが, 新第三系珪質岩と中生代チャートとの間には研究上のギャップもみられ, 今後検討されるべき課題も多い。この意味では古第三系チャート (IJIMA *et al.*, 1979, 1981) などの研究も貴重である。続成作用に伴う化学組成変化などに関しては研究が少なく, 微量成分濃度などの面からの検討も望まれるところであろう。

炭酸塩岩の続成作用に関しては新第三系中の炭酸塩ノジュールの産状, 鉱物組成, 化学組成, 成因などを考察した優れた論文がみられた (WATANABE, 1970; HIRABAYASHI, 1977; 鹿野ほか, 1981)。また, 化石マンガン殻をもつめずらしい産状の炭酸塩ノジュールの報告もある。汽水環境での炭酸塩鉱物の生成に関しては松本良の詳しい研究がある (MATSUMOTO, 1968)。松本の研究では Ca-Mg-Fe 系炭酸塩鉱物の産状と化学分析をもとに, 古第三紀夾炭層が形成される付近の環境変化に対応しての炭酸塩の組成変化, および続成時の変化を詳しく検討したもので, 地球化学的研究として国際的水準にあるものの一つにあげることができよう。

碎屑岩の続成作用は石油地質関係者にとって最も関心のあるところで, 孔隙率などの物理的変化とともに鉱物化学的変化が研究されてきた。わが国では青柳宏一を中心に主として新第三系泥質岩の粘土鉱物について検討された。泥質岩の場合, 原物質を特定することが難かしく, 初期続成作用については不明な点も残っているが, モンモリロン石相以後の続成作用は凝灰岩の場合と同じで, 混合層粘土鉱物相をへて雲母・緑泥石相へと漸移的に変化していることが明らかにされた (青柳・風間, 1977; AOYAGI *et al.*, 1975)。また, この中間段階に現われる混合層粘土鉱物の構成成分比の変化は続成過程の細分化の目盛として使える可能性があり, 近年, 須藤 (1982) により新潟油田の坑井について詳しく研究された。この方面の発展には佐藤満雄, 渡辺隆, 井上厚行らの鉱物学的基礎研究が大変寄与している。

上述してきたとおり 1960年代から 1970年代にか

けて、沸石、粘土鉱物、シリカ鉱物などがそれぞれ独立の変化系列として研究されてきたが、近年の研究動向の一つとして、*assemblage* として鉱物相変化を検討する方向に進みつつある。また、生成条件に関しても埋没深度や地下増温率のみでなく反応溶液の化学組成、反応速度、有機物の関与など多方面から総合的に検討が加えられようとしている。このような意図に沿ったシンポジウムが1977年に日本地質学会年会(高知)に開かれ、その成果は1978年に田口一雄・飯島東・青柳宏一編「ダイヤジェネシス」が地質学論集第15号として刊行されている。近年における続成作用研究の第2の傾向は、鉱物相変化から古地温解析を行ない石油探鉱などに応用しようというものである。すでに述べてきた研究により、時代や環境に差のない堆積物中での鉱物相変化は大ざっぱに温度に規制されている事実が明らかにされており、この応用が検討されている(青柳, 1979; 風間, 1980; 佐々木ほか, 1982)。ビトリナイトの研究も同じ思想に立つもので、これに関しては田口により有機岩の項で述べられる。近年の続成作用研究の第3の傾向は鉱物相変化を地質構造解析に応用する試みである。これは鉱物相変化の連続性を基礎に、分布から堆積盆の移動や断層、不整合関係などを推定しようとするものである(西村ほか, 1980; 中田ほか, 1981; 佐々木・藤岡, 1983)。このプロセスでは普通いくつかの仮定がおかれるという論理上の問題点もあるが、一応の成功を取っており、今後の発展が期待される分野であろう。

以上述べてきたように、ここ15年間にわが国における続成作用の研究は大いに進んだが、その過程で関連する総合研究の果たした役割は実に大きかった。以下に列記する。

「天然および合成鉱物の諸性質と生成条件の関係」(1971~1973) 代表者、白水晴雄

「層状珪酸塩の産状と物性」(1974~1976) 代表者、逸見吉之助

「層状珪酸塩における混合層構造とその生成」(1977~1977) 代表者、佐藤満雄

「天然ゼオライトの産状と生成条件」(1981~1982) 代表者、本多朔郎

「堆積岩の続成作用に関する研究」(1980~1982) 代表者、田口一雄

堆積岩無機物の今後の研究展望

1970年代の碎屑岩に関する研究は、わが国の地質研究史にとって大きな意義をもっているにもかかわらず、化学的側面が少ないことと紙数の都合からほとんどの文献を省略せざるを得なかった。この多くは記載岩石学的であったが、その手法は十分に国際的に通用するものであり、わが国の地史にとってその貢献は決して小さくない。しかし、今後更に、この面での発展のためには、岩石成因論的な側面をもつ独創的な研究が待たれるのは当然のことであろう。記載岩石学的な研究にしてもその方法の改善が期待される。たとえば砂岩の場合でも鉱物粒の化学組成や組織の解明は新しい機器の活用によって従来とは比較できない精度をもつであろうし、砂粒の履歴についても詳しく考察することは可能となろう。また、重鉱物の研究も、鉱物学的研究の進展を背景に再登場してほしい分野であり、それから得られる地球科学的情報は決して少なくないはずである。泥質岩の研究も現状は鉱物組成の研究と化学組成の研究がやや遊離しており、この総合化と地質学的意義の考察に向かうことは必然の流れであろう。生物化学岩や化学岩の研究の主流は、すでに記載的なものから続成作用などの成因論的なものに移りつつあり、この傾向は益々進むものと思われる。

岩石成因論がどの方向に発展するかは予測し難い面が多いが、現状からみると当分は続成作用と風化作用に関する研究が主流となる可能性が大きい。前者は依然として石油・石炭などの鉱業と大きな関りをもち続けるであろうし、後者は土木地質・環境・災害との関係からその研究は益々社会的要請が大きくなると思われる。続成作用の研究が有機物を含む総合化への傾向をたどりつつあることはすでに述べたが、現在分化されたそれぞれの分野でも残されている問題は多い。たとえば、古生代・中生代のチャートにしても起源物質、鉱物組成、組織などはかなり明らかにされたが、続成過程については不明のままである。これと新第三系の珪質岩で明らかにされてきた続成変化との間にはまだギャップがあり、今後どのようにめられるのであろうか。先白亜系に関する堆積岩岩石学的研究の少なさはわが国における研究者層の薄さを痛感させられるものであり、この分野では記

載的な研究から精力的に積み重ねていく必要があろう。続成作用に関する大きな問題としてはドロマイト岩の研究がある。ドロマイト化作用についてはすでにいろいろなモデルが提案されているが、それらを安易にあてはめるような研究から脱皮できるかどうか、わが国における堆積岩研究の独創性が試される試金石ともなろう。これについては前に述べたように葛生地方などを中心に着実な研究が進行中であり、その発展が十分望める分野と期待している。

風化作用に関しては、これまでの研究が粘土鉱物の鉱物学的研究を主体に発展してきた。その反面、地質学的な面に関しては問題意識が薄かったとの印象を免れ得ない。今後は気候変遷や造構造運動との関係を意識した研究が進むと考えられるが、この面では天然の産状を観察するだけでは限界があり、どうしても実験的・理論的研究の発展を余儀なくされるであろう。

1960年代から1970年代にかけてマンガノジュールの研究が堆積岩岩石学の新しい分野として加わったのと同様に、1980年代にCu, Pb, Znなどのメタル鉱床が新しい分野として加わる可能性がある。たとえば、梶原良道により提晶されている黒鉄鉱床・石油鉄床同源説(PUMOS説)のように、続成作用を専攻するものとしては関心をもたざるを得ないと同時に、従来鉄床学や地球化学の分野にいた研究者が続成作用の研究に参加する状況が起り始めている。このような傾向は今後ますます強まり、他分野との融合や総合化が進むとみられる。

文 献

- 青柳宏一, 1979: 堆積岩中の自生鉱物を用いた古地温の解析法. 石油技協誌, **44**, 367-371.
- ・風間利栄, 1977: 本邦の白亜系および第三系泥質岩中の鉱物の継変作用について. 藤岡一男教授退官記念論文集, 151-160.
- AOYAGI, K., KOBAYASHI, N. and KAZAMA, T., 1975: Clay mineral facies in argillaceous rocks of Japan and their sedimentary petrological meanings. *Proc. Int. Clay Conf. Mexico City*, 101-110.
- FUJII, N., 1968: Genesis of the fire clay deposits in Tajimi-Toki District, Gifu Prefecture, central Japan. *Geol. Surv. Jap. Rep.*, no. 230, 54p.
- 藤井紀之, 1970: 岩手鉄山産硬質粘土の成因について. 地質雑, **76**, 623-636.
- HIRABAYASHI, K., 1977: Sedimentological and geological study of carbonate concretions in the Joban Coal-Field and Oga Peninsula. *Sci. Rept. Tohoku Univ.*, (3), **13**, 183-226.
- 本多朔郎, 1978: 女川層のいわゆる硬質頁岩の組成. 地質学論集, no. 15, 103-118.
- 星野 透・青木三郎・生沼 郁, 1982: 宍道湖堆積物中の粘土鉱物. 東洋大紀要, 自然科学, no. 25, 31-50.
- IJIMA, A., 1972: Latest Cretaceous—early Tertiary lateritic profile in northern Kitakami Massif, northeast Honshu, Japan. *Jour. Fac. Sci. Univ. Tokyo*, (II), **18**, 325-370.
- , INAGAKI, H. and KAKUWA, Y., 1979: Nature and origin of the Paleogene cherts in the Setogawa terrain, Shizuoka, central Japan. *Ibid.*, (II), **20**, 1-30.
- , MATSUMOTO, R. and WATANABE, Y., 1981: Geology and siliceous deposits in the Tertiary Setogawa Terrain of Shizuoka, central Honshu. *Ibid.*, (II), **20**, 241-276.
- IMOTO, N. and SAITO, Y., 1973: Scanning electron microscopy of chert. *Bull. Nat. Sci. Mus.*, **16**, 397-400.
- INOUE, M., 1973: Crystallization and recrystallization of siliceous sponge spicules in some marine sediments of Japan. 地質雑, **79**, 277-286.
- 岩生周一, 1972: 新木浦鉄山産“エメリー鉱”にみられるラテライト構造. 鉄山地質, **22**, 359-369.
- IWAO, S., 1973: Chemical compositions of aluminous metamorphic rocks from the Kitakami mountains, Northeast Japan. A suggestion as to the occurrence of lateritic sediments in the upper Paleozoic Systems in Japan. *Jour. Fac. Sci., Univ. Tokyo*, (II), **18**, 455-474.
- , 1978: Reinterpretation of the chloritoid-, staurolite- and emery-like rocks in Japan—Chemical composition, occurrence and genesis. 地質雑, **84**, 49-67.
- 鹿野和彦・根尾定文・島田豊郎, 1981: 秋田県矢島地域の女川層炭酸塩岩に関する堆積地化学的知見. 石油技協誌, **45**, 175-182.
- KANO, K. and TAGUCHI, K., 1982: Probable existence of reworked opal-CT in Miocene sediments from the Asamai district, Akita Prefecture, Japan. 地質雑, **88**, 683-690.
- 風間利栄, 1980: 堆積岩岩石学的手法による古地温の推定. 石油技協誌, **45**, 362-366.
- 木宮一邦, 1981: 三河高原の風化殻とその形成時期—花崗岩の風化, 第3報—, 地質雑, **87**, 91-103.
- 北川隆司・柿谷 悟, 1979: 甲立カオリン鉄床とその周辺の粘土細脈. 鉄山地質, **29**, 217-226.
- 小林文夫, 1979: 栃木県葛生地域の鍋山石灰岩の岩相

- と堆積環境について. 地質雑, **85**, 627-642.
- 久保重明, 1971: 栃木県葛生町周辺の石灰岩および苦灰岩中の燐の賦存状態. 鉱山地質, **21**, 434-451.
- MATSUMOTO, R., 1978: Occurrence and origin of authigenic Ca-Mg-Fe carbonates and carbonate rocks in the Paleogene coalfield regions in Japan. *Jour. Fac. Sci. Tokyo Univ.*, [II], **19**, 335-367.
- and IJIMA, A., 1983: Chemical sedimentology of some Permo-Jurassic and Tertiary bedded cherts in central Honshu, Japan. *Siliceous deposits in the Pacific region*, 175-192, Elsevier, Amsterdam-Oxford-N.Y..
- MITSUI, K. and TAGUCHI, K., 1977: Silica mineral diagenesis in Neogene Tertiary shales in the Tenpoku district, Hokkaido, Japan. *Jour. Sed. Petrol.*, **47**, 158-167.
- 三浦 清, 1973: 深成岩の風化に関する研究(第1報), 新第三紀末の赤色風化作用による江津深成岩体の風化. 応用地質, **14**, 1-16.
- MIZUTANI, S., 1970: Silica minerals in the early stage of diagenesis. *Sedimentology*, **15**, 419-436.
- 水谷伸治郎, 1976: 頁岩の風化—その変質過程の速度論的考察. 新潟大地鉱研報, **4**, 445-457.
- MIZUTANI, S., 1977: Progressive ordering of cristobalitic silica in the early stage of diagenesis. *Cont. Min. Petrol.*, **61**, 120-140.
- 武蔵野実, 1973: 長岩層石灰岩の岩相と化学組成. 地質雑, **79**, 481-492.
- NAGASAWA, K., 1969: Kaolin minerals in Cenozoic sediments of central Japan. *Proc. Int. Clay Conf. Tokyo*, **1**, 15-30.
- 中田正隆・米谷秀雄・本間久英, 1981: 埼玉県秩父盆地第三系の沸石. 岩鉱, **76**, 80-87.
- 西村年晴・飯島 東・歌田 実, 1980: 四国淡路島の和泉層群の沸石続成帯と堆積盆解析. 地質雑, **96**, 341-351.
- NOHARA, M., 1976: A theoretical model for the mechanism of formation of ferro-manganese nodules. 同上, **82**, 675-686.
- 岡田博有, 1968: 砂岩の分類と命名. 同上, **74**, 371-381.
- OKADA, H., 1971: Classification of sandstone: analysis and proposal. *Jour. Geology*, **79**, 509-525.
- 岡田昭明, 1973: 支笏降下軽石堆積物中の粘土鉱物. 地質雑, **79**, 363-375.
- 大島一精, 1977: ムバラス油田の炭酸塩岩の地質的特徴, 貯溜岩の堆積相中のLimemudとSpariteの問題について. 石油技協誌, **42**, 387-396.
- 佐々木詔雄・藤岡一男, 1983: 秋田県能代油田地域における凝灰岩の沸石化と地質構造. 続成作用の研究, no. 3, 165-175.
- ・藤岡展介・藤岡一男, 1982: 古地温勾配の推定—自生鉱物の沸石帯を利用して. 石油技協誌, **47**, 367-373.
- SEKI, Y., OKI, Y., MATSUDA, T., MIKAMI, K. and OKAMURA, K., 1968: Metamorphism in the Tanza-wa Mountains, central Japan. 岩鉱, **61**, 1-22, 50-75.
- SHIOZAWA, T., 1970: The experimental study on differential flocculation of clay minerals — An application of its result to recent sediments in Ishikari Bay. 同上, **63**, 75-84.
- 庄司力偉・田口一雄・飯島 東, 1968: 堆積学の現状と将来への展望. 日本の地質学, 99-122, 日本地質学会.
- 須藤俊男, 1982: 地球科学における粘土の意義. 粘土科学, **22**, 94-126.
- SUGISAKI, R., 1984: Relation between chemical composition and sedimentation rate of Pacific ocean-floor sediments deposited since the Middle Cretaceous: Basic evidence for chemical constraints on depositional environments of ancient sediments. *Jour. Geol.*, **92**, 235-259.
- TADA, R. and IJIMA, A., 1983: Petrology and diagenetic changes of Neogene siliceous rocks in northern Japan. *Jour. Sed. Petrol.*, **53**, 911-930.
- 田崎和江, 1973: 中海コア試料中の火山灰および浮石の粘土鉱物—大山および三瓶山降下堆積物中の粘土鉱物, その3—. 地質雑, **79**, 79-88.
- TSUZUKI, Y. and MIZUTANI S., 1971: A study of rock alteration based on kinetics of hydrothermal experiment. *Contr. Mineral. Petrol.*, **30**, 15-33.
- , MIZUTANI, S., SHIMIZU, H. and HAYASHI, H., 1974: Kinetics of alteration of K-feldspar and its application to the alteration zoning. *Geochem. Jour.*, **8**, 1-20.
- UTADA, M., 1970: Occurrence and distribution of authigenic zeolites in the Neogene pyroclastic rocks in Japan. *Sci. Paper, Coll. Gen. Educ., Univ. Tokyo*, **20**, 191-262.
- , 1971: Zeolitic zoning of the Neogene pyroclastic rocks in Japan. *Ibid.*, **21**, 189-221.
- 歌田 実・詫摩まり子・青木正博, 1981: 大磯丘陵の立川ローム中にみられる風化断面の一例. 鉱物雑, **15**, 187-201.
- 渡辺晃二, 1972: 御岳火山灰の変質過程. 第四紀研究, **11**, 295-304.
- WATANABE, M., 1970: Carbonate concretions in the Neogene Tertiary System, northeast Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ.*, [III], **9**, 70-110.
- 山本鋼志, 1983: 岐阜県上麻生付近の三疊系層状チャートの地球化学的研究. 地質雑, **89**, 143-162.
- YANAGIMOTO, Y., 1979: Petrographical study of the Permian Nabeyama Formation in the vicinity of Kuzuu Town, central Japan. *Sci. Paper, Coll. Gen. Educ., Univ. Tokyo*, **29**, 75-92.
- YOSHIDA, S., 1983: Chert-laminite, one of the princi-

pal sediments in a geosyncline. *Siliceous deposits* Oxford-N.Y..
in the Pacific region, 441-456, Elsevier, Amsterdam-