

地層の多様性と地球環境

小 出 良 幸

要 旨

地層は、単層が積み重なって形成される。地層を広く調査していくと、系統的に単層の構成物や構造が変化していくことがわかる。これらの変化は表層の営力に由来している。営力は、地球環境の重要な要素である。いろいろな時代、いろいろな場所に産する地層の多様性を理解すれば、地球環境の歴史を読み解くことが可能になる。

キーワード：地層，堆積岩，地球環境，地層の多様性

1 はじめに

地表を覆っている岩石は、堆積岩（物）が一番多く、海洋域も含めるとその被覆面積の比率は90%にもなる（水谷ほか，1987）。地表はほとんど堆積岩（物）に覆われていることになる。

堆積物は地層として保存され、過去の堆積物を堆積岩として手にすることができる。堆積岩は、38億年前から現在までのものが存在している。同時代の堆積岩でも、地域が変わると明らかに産状の違うものが見つかる。それらの違いは、堆積岩の形成過程が違っていることに由来している。堆積岩は、地球表層のいたるところで、さまざまな環境で形成されており、地球史の大部分の時代のものが保存されていることから、過去の地球表層の環境記録媒体として非常に重要となる。

堆積物が溜まる場で、同じようなメカニズムが繰り返し働いたために形成されたのが地層である。地層は、堆積した場という空間と、堆積した時という時間によって成立する。そのような時空間が連続的に積み重なり、変容したものが地層といえる。地層とは連続性をもった時空間記録媒体ともみなせる。

詳細に観察すると個々の地層は、一つとして同じものがないほど多様である。一見どれも同じようにみえる地層中に見られる個々の多様性は、記録媒体のなかに何らかの異なる情報が保存されているため生じるものである。そのような多様性がどのようにして形成されるのかを解き明かすことは、過去の地球環境と、過去の時空間の復元となるはずである。それを整理して

いくのが本研究の動機である。

本論では、連続性の高い時空記録媒体としての地層を対象にし、どのような多様性があり、どのような地質学的情報、環境情報が記録されるのか、それをどこまで読み取ることができるかを概観していく。本研究は、札幌学院大学の研究促進奨励金（個人研究）（研究課題番号 SGU-S09-202005-03）の援助を受けて行ったものである。

Ⅱ 地層から読みとる

まず地層の定義について確認していく。次に、一般的な地層の形成過程を考え、その過程を露頭の地層からどのように復元していくのかを、いくつかの実例を挙げて考えていく。

1 地層の定義

湊（1973）によれば、“formation”（地層）とは、そもそも「岩質や化石の上での共通性を有する一群の岩石に与えられた名称であり、別に堆積岩に限るものではなかった」とされている。元来の地層の定義は、火成岩や堆積岩などの岩石種の区別に基づくものではなく、「共通性」を基準に定義されていたものである。したがって、「地層は堆積岩でできている」は偽となる。湊は、ここで岩石という術語を用いているが、地層が必ずしも固結していないものを含むことは、湊も承知していたであろうから、「岩石」を用いたのは言葉のあやであろう。

「しかるに、わが国の地質学界では、地層なるものについて、元来の意味を忘れ、それを、もっぱら堆積岩上の用語であると誤解するものも多くなったようである」と嘆いている。

現在では、たとえば地学辞典によれば、地層とは「厚さに比べて水平方向の広がり大きい層状の堆積物・堆積岩など。ある地層は上下の他の地層と区別され、水平方向にも広がりをもつものとして空間的・層序学的に定義される」（紺野、1996）とされている。ここで、「層状の堆積物・堆積岩など」と表現されており、あたかも地層は堆積岩からできていると記述されている。また、地層の定義で「ある地層は上下の地層と区別され」と書かれており、地層の定義をするのに地層という用語を持ち出しているのは、一種のトートロジーとなっており、定義としてはふさわしくない表現となっている。ただし、実際には、地層の中に、火成岩や変成岩も含まれて運用されている。

地層は、英語では“formation”という用語が使われている。しかし、地質学では、“formation”は「地層」という意味以外にも、地層を細分したときの「層」として使われるため混乱しやすい。

地層の階層的区分は、「国際層序ガイド」（日本地質学会訳編、2001）によれば、表1のようになっている。

単層（a bed, a stratum, beds, strata）が、地層における最小の区分となっている。単層とは

表1 地層の階層区分

階層	英名	説明
単層	bed	部層あるいは層の中の命名された明確に区分できる層 溶岩 (lava) や火砕流など (流堆積物, flow deposit) も含む
部層	member	層をやや細分したもの。
層	formation	第1義的な岩相層序単元。累層ともいう。
亜層群	subgroup	層群をいくつかの部分に分ける場合に使う。
層群	group	2つまたはそれ以上の層
超層群	supergroup	複数の層群を含むまとまり
複合岩体	complex	異なった岩石種を含む岩相層序単元で、複雑な構造関係を持つ

「国際層序ガイド」(日本地質学会編纂, 2001) による。太字は公式に使用可能な区分で、それ以外は必要性のある場合のみ使用可能。

地層の一層一層のことをいう。単層は、一度の沈積作用によって形成されるため、同一時間面を成している。単層で見つかった化石による年代は、その単層全体の年代となる。一般に単層は個別名称をつけられることはない。ただし、特徴的な層、基準となりうる層には名称がつけられることがある。個別名称が付く単層には、炭層などの際立った特徴を持っているものや、火山成層体の中の溶岩流 (lava flow) や火砕流 (pyroclastic flow) などがある。溶岩流や火砕流は、一般的な単層と区分するために、「層」の代わりに「流」を用いることがある。

単層が集まって地質学的区分するときの基本単位が、層 (formation, 累層ともいう) となる。層は、岩相層序区分における「第一義的」な単元となる。層を細分したものとして、部層 (member) が設定され、部層は単層の集合となる。

共通の岩相上の特徴を持つ複数の層を層群 (group) に区分する。必要に応じて例外的に層と層群の間に亜層群 (subgroup) を区分する場合がある。

層群より上の階層は整理されて、従来の累層群は用いず、複数の層群が集まった超層群 (supergroup) が用いられる。異なった岩石種が集まったものには、複合岩体 (complex) が用いられる。ただし、これらの層群より上の階層は、必要性のある場合という限定付での使用が可能となる。

上述のような定義によって、地層区分のなかには、溶岩などの火成岩、変成岩も含まれていることがあり、堆積岩のみが地層を構成しているわけではない。本論文では、地層の定義を追究するのが目的でない。地層とは堆積岩だけで構成されているのではないが、その多くは堆積岩であることを前提に、以下の議論を進めていくことにする。ただし、堆積岩でない地層を考慮すべきことがあれば、そのつど考えていくことにする。

2 地層の形成過程

地層の形成は、堆積場で一層の地層がたまることから始まる。以下で述べるのは、日本列島で見られる典型的な地層の堆積を想定した一般論である。この範疇に入らない地層もあるが、多くの地層は以下のようなプロセスを経ていることになる。

地層の基本的な構成物は、岩石が風化、浸食作用によって分解された碎屑物と呼ばれるものである。碎屑物は、運搬作用によって磨耗や溶解、淘汰などを受け、沈積作用で堆積場に溜まり、続成作用により固化して、碎屑性堆積岩 (clastic sedimentary rocks) となる。このような一連の作用によって一層の地層 (単層) が形成される。これが地層形成の概略だが、地層が形成されるまで、さまざま過程を経ることになる (図1)。それぞれの過程がどのような要素から構成されているかを検討していく。

まず、堆積物の原料となる既存の岩石がある場 (後背地) が存在しなければならない。後背地はさまざまな時代のさまざまな起源の岩石 (原岩) によって構成されている。後背地は、長い時間をかけて形成されたものである。

流水などによる侵食・運搬作用にかかる時間は、地質学で扱われる時間の中では、比較的短時間で起こるものである。短時間での運搬作用によるため、生物の遺骸や植物の破片などが、すべてが捕食されたり腐敗したりするわけではなく、堆積場に運ばれ埋没されるものも生じる。埋没の条件がよければ、化石として地層中に残存することが可能になる。

堆積場での単層の形成は、一回の沈積作用によるもので、短時間で終わってしまう。地層と

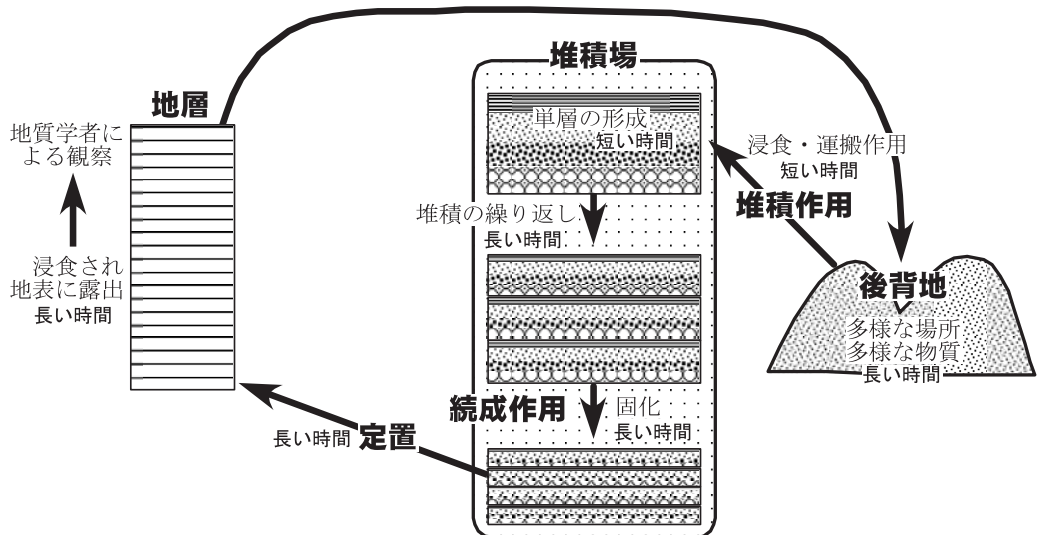


図1 地層の形成過程

地層の形成過程において重要な要素である後背地、堆積作用、堆積場、続成作用、定置に分けて、それぞれにおける特徴とかかる時間を示した。

は、沈積作用がある一定の期間、繰り返し働く堆積場で形成される。単層の形成は短時間ではあっても、次の単層が形成されるまでには長い時間が経過することになる。地層と地層の境界に多くの時間が折りたたまれていることになる。幾重にも積み重なる地層が形成されるためには、数万年以上の長い時間が必要となってくる。

地層の下位では、上に地層が載るために圧力が上昇していく。また、地層が上に多数重なることは、下の地層は相対的に地下深部にもぐりこむことになり、地温勾配（地下深部になるほど温度が上昇するという現象）による温度上昇も起こる。地層下部では、表層に比べて高温高圧状態に置かれることになり、堆積物に変化が起こる。このような作用を続成作用（diagenesis）という（岡田，1998）。続成作用には長い時間がかかることになる。

固化して堆積岩となった地層は、長い時間かけた地殻変動によって、隆起し、現在の位置にもたらされる（定置と呼ぶ）ことになる。定置した地層は、表層の凸部が地表に存在する営力（風、雪、雨、流水、酸素、寒暖差など）によって削剥を受けることになる。長い時間をかけて風化作用、浸食作用を受け、やがて現在見えている地層が地表に露出することになる。露出した地層が、地質学者の観察対象の露頭となる。露頭は現時点で露出しているものであって、時間が経過すれば、削剥されていずれはなくなる。

露頭は浸食によって、次の地層のための後背地となる。地球表層で少なくとも38億年間（最古の堆積岩が38億年前のものだから）も継続してきたように、今後も地球の地殻変動と地表の営力が続く限り、地層は形成され続けることになる。

上述のように、地層形成における重要な要素として、後背地、堆積作用（広義）、堆積場、続成作用、定置が挙げられる。

3 露頭から形成過程の復元

地質学者は、野外調査で多数の露頭を観察していくことになる。野外調査から、上で述べたような地層形成のプロセスを復元することで、地球の歴史を読み解いていく。露頭で地層（岩石になっているとする）を観察する場合、実際にどのような情報を読み取り、どのような解析作業がなされていくのかを、以下では概観する。

露頭の地層は、どのような岩石（鑑定、分類）からできているのか、それらがどのようなでき方（成因、起源）をしたのか、それぞれの岩石がどのような関係（貫入、被覆、整合、不整合、断層など）にあるのか、その関係がなぜ成立したのか（起源、由来）などを考慮しながら、地質学者は、記載していく。露頭ごとにそのような観察記載作業を繰り返していく。

野外調査後は、持ち帰った試料を顕微鏡で観察したり、分析、解析などをしたりしながら、地層の後背地、堆積作用、堆積場、続成作用、定置などを復元していくことになる。

地質調査の結果は、地形図上に地層の分布とその関係を示した地質図が作成される。地質図の作成は、その地域の履歴、つまり地質構造発達史を配慮したものととなる。そのため、あらか

じめ地質構造発達史を意識しながら野外調査がなされることになる。

露頭ではまず、地層がどのような岩石からできているかが肉眼、もしくはルーペを用いて鑑定される。岩石名が野外で決定されるが、もし決められないときでも、仮の名称（野外名、field name）をつけて、調査に支障がでないようにされる。

地層は、堆積岩のみだけではなく、変成岩や火成岩も含まれている。それらの成因に基づく区分は、野外で決めていくことになる。成因が決定できれば、成因ごとにすでにある分類体系に基づいて細分化された名称をつけ、記載していくことになる。

次にそれぞれの岩石や地層がどのような関係を持っているかを、露頭で判別していく。関係とは、火成岩に見られる貫入関係、堆積岩にみられる被覆、整合、不整合などの関係、断層や褶曲などの構造運動に伴う関係のことである。それらの関係が、局所的なものなのか、広域的なものかなど地質学的意義を区別して、重要性によって取捨選択がなされ、必要なものは地質図上で表現されていく。

露頭での地層観察から読み取れることを、前述の地層形成の過程とあわせて整理すると、図2のようになる。

地層の構成物（堆積岩の場合）の記載から、後背地の岩石構成が推定されていく。化石が産

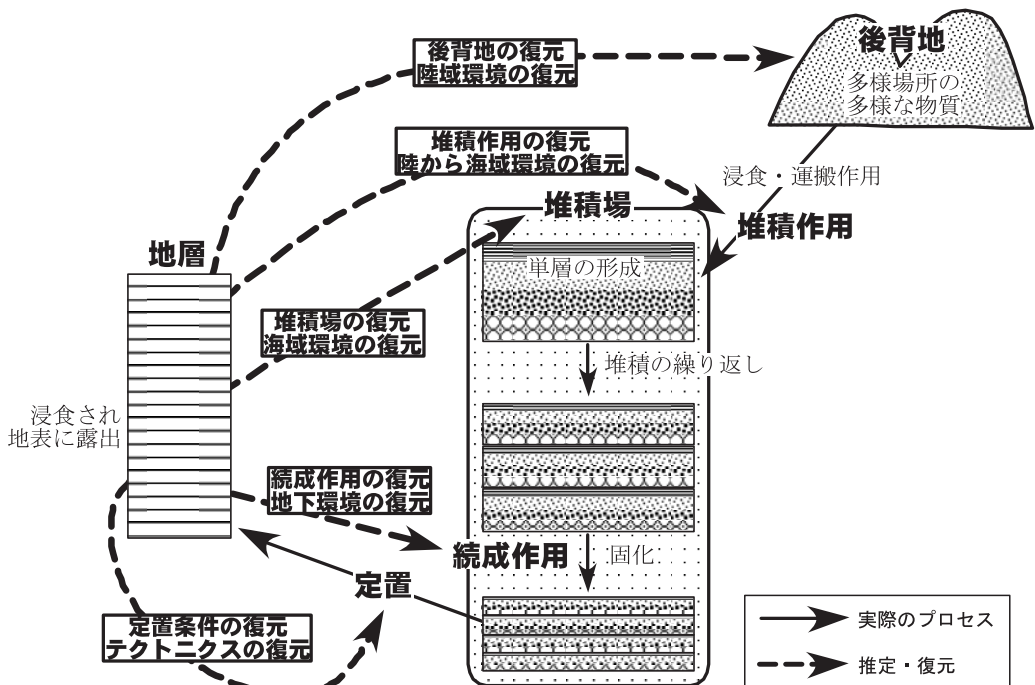


図2 地層形成過程とその復元

地層の形成過程の後背地、堆積作用、堆積場、続成作用、定置において行われる復元によって、どのようなことが復元が可能かを示した。

出すれば年代や生息環境を、地層中に火山灰や火成岩、植物体が含まれていれば、放射性年代(絶対年代)を決めることが可能となる。そのような記載情報を束縛条件として、後背地の環境を復元していくことになる。後背地の環境は、陸域を意味し、そのような作業をより広域におこなっていけば、その時代における、ある地域の陸域環境、さらに地球環境の復元へとつながる。

堆積物の詳細な記載から堆積作用の復元が、地層の岩相変化から堆積場への堆積物の供給量や種類の変化が復元でき、堆積岩の鉱物の組み合わせから続成作用の復元ができ、地質学的環境の変化を読み取れる。堆積作用の復元とは陸から海域環境の復元を、堆積場の復元とは後背地近くの海域の環境の復元で、その方法はさまざまなものが提案されている(たとえば、Fritz and Moore, 1988; 保柳ほか, 2004; 2006など)。これらの環境復元は、他地域の同時代の環境がすでに分かっている場合は、それらが重要な束縛条件となる。逆に今後の同時代への環境復元に重要な束縛条件となる。

続成作用の復元は、定置までその地層が置かれていた地下環境を復元することになる。定置時に形成された構造から、地層がそこに至るまでの広域的な造山運動、つまりテクトニクスを明らかにすることになる(植村, 1998b)。プレートテクトニクスやプルームテクトニクスのモデルに基づいて、復元を行っていくこととなる。

地質図は、ある範囲の野外調査という事実記載に基づいた地層分布を2次元的に表現したものである。日本のように複雑な地質学的背景をもち、なおかつ豊かな植生や腐食などの被覆によって地表に露出していない部分が多く、地質分布の一部しか確認できない地域では、複数の点(露頭、観察地点)の集まりから、地質学者が解釈し、推定を交えて2次元的な地質図に表現していくことになる。

観察するのは地質学者であるから、露頭におけるデータ収集や取捨選択にも個性が反映されるはずである。同じ地域の野外観察データに基づいたとしても、解釈にも個性が生じ、異なった地質図ができることもありうる。

さらに地向斜論(植村, 1998a)からプレートテクトニクスなどへのパラダイム転換があると、同じ地域でも全く違った見方や地質図が作成されることが起こりうる。露出のよい大陸地域では、航空写真と野外での岩石記載ができれば、一義的に地質図が作成できるようなところもある。そんな地域であったとしても、パラダイム転換があれば、地質図は変わらないとしても解釈、つまりその地域の地質構造発達史は変わってくる。

4 地層の復元例

同じようにみえる地層でも、そこから得られる地質情報は、違ってくる。高知県土佐清水市竜串の地層と宮崎県宮崎市青島の地層は、いずれも海蝕で平になっていて観察のしやすい場所である(図3)。地理的には、海をはさんで近接している地域である。両地域とも砂岩と泥岩

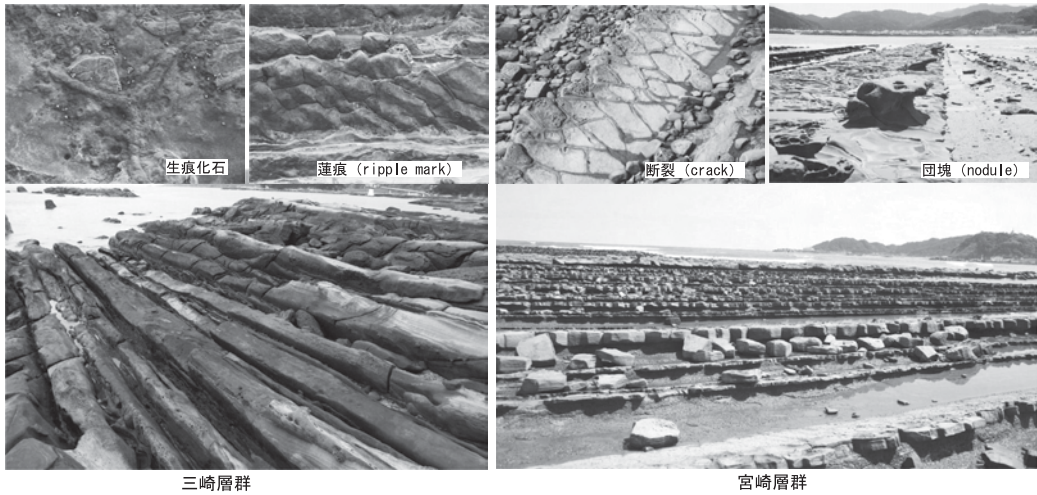


図3 実際の地層

海岸の海蝕台でみられる連続地層の露頭の例。

左（高知県土佐清水竜串）：三崎層群の砂岩優勢の地層。混濁流によって大陸斜面に堆積したタービダイトで、四万十帯に属する付加体。生痕化石や漣痕が特徴的に見られる。

右（宮崎県宮崎市青島）：沿岸で堆積した砂岩と泥岩が等量の宮崎層群。広域的に観察すると海進によって層序変化をしていることがわかる。断裂や団塊が特徴的に見られる。

の互層からなる。一見似た産状に見えるが、砂岩と泥岩の量比は、竜串のほうが砂岩の占める比率は大きいことが写真からもわかる。ただし、広域的にみるといずれの地域でも砂岩泥岩の量比は変化する。

両地域は、化石や堆積構造、層序解析から、明らかに別の環境で形成されたものであることが判明している。

竜串の三崎層群は、四万十帯に属する付加体として形成されたものである。四万十帯のなかでも最も新しい漸新世後期から中新世にかけて堆積した地層である。付加体と呼ばれる機構は、海溝付近の堆積物が、海洋プレートの沈み込みに伴って、陸側のプレートの下面に押しつけられたものである。そのため地層累重の法則を破る逆転を起こしながら陸側のプレートに付加されていく（小川・久田，2005）。堆積物は、陸源の堆積物が混濁流（turbidity current）として、大陸斜面から海溝近くまで流れ込んだもの（タービダイトと呼ぶ）を主とする（八木下，2001）。さらに、海洋底を構成していた、玄武岩やチャートなどもブロックとして取り込まれていることがある。このような付加体という形成場の特徴を竜串の三崎層群は持っている。

一方、青島の地層は沿岸で海進によって形成された堆積物である。青島の地層は、宮崎層群青島層に属し、中新世末から前期鮮新世にかけて堆積したものである。竜串の地層より新しい時代に形成されている。沿岸域に形成され堆積場（前弧海盆と呼ばれる）にたまったものである。その堆積場で海進が起こり、堆積物の供給量が減少してきたことが復元されている（氏家・

大木, 1993)。この復元は、半深海ないし深海性生痕化石からも支持されている。

このように一見似ているように見える地層も、詳細な調査に基づいて観察していくと、その形成過程の違いが見えてくる。そして、その違いは形成環境の違いを反映していることがわかってくる。

Ⅲ 地層形成過程での多様化

地層の形成を考える場合の重要な過程として、後背地、堆積作用、堆積場、続成作用、定置を挙げた。それらの過程で堆積物にどのような多様化が起こるのか、それがどのような視点で読み取ることが可能なのかを、以下では概観していく。堆積作用から続成作用で働く主な作用とその内容を表2にまとめた。

1 後背地

堆積岩全体から見ると構成物の大半を占めているのは、堆積作用によってもたらされた岩石や鉱物の破片である。それらをもたらししている後背地 (backland) が、堆積岩の原料となるので、堆積岩の多様性形成には重要となる。

地質学における後背地とは、堆積場までの堆積物がもたらされる全地域のことで、その範囲は限定されたものとなる。河川の営力による堆積岩では、浸食、運搬、沈積という堆積作用が及ぶ範囲で、その流域全体が後背地となる。風や海流による営力では、その範囲は限定できないほど広域におよぶことがある。ただし、どれほど堆積岩の形成場と近い場所であっても、後背地にならなければ、堆積岩の構成物にはなり得ない。後背地は、定義上、限定されたものとなる。

堆積物はすべて後背地から由来しているが、後背地を構成している岩石がすべて堆積物になるとは限らない。後背地の岩石や鉱物であっても、磨耗に弱いもの、水に溶けやすいものなどは、堆積作用の過程で選別 (淘汰と呼ばれる) を受け、堆積場にもたらされないものもある。堆積岩は後背地を忠実に反映しているわけではない。

多様な原岩の後背地であると堆積岩の多様性は大きくなり、単調な原岩構成であれば堆積岩の多様性は小さくなる。後背地の原岩の多様性が堆積岩の構成物に反映されてくる。

後背地が、島弧や大陸地域、あるいは特徴的な岩石を産する地域から由来した構成物は、構成物からだけでなく、全岩化学組成などでも限定できる (たとえば、君波ほか, 2009など)。後背地の原岩の成因や構成を束縛条件として、後背地の環境を復元していくことになる。後背地の環境とは、浸食作用を受ける陸域を意味する。環境復元をより広域的におこなっていけば、その時代における陸域環境、さらには地球環境の復元へとつながる。

表2 堆積作用と続成作用

作用	内容
堆積作用 (sedimentation)	【地表および浅所】
風化作用 (weathering)	物理的風化作用 (physical weathering) 化学的風化作用 (chemical weathering) : 地球化学的風化作用 (geochemical weathering) 土壤化学的風化作用 (pedochemical weathering)
浸食作用 (erosion)	物理的浸食作用 (physical erosion) 化学的浸食作用 (chemical erosion)
運搬作用 (transportation)	溶存 (solution) : 溶流 (solution)
沈積作用 (deposition)	固体 (solid) : 懸濁 (suspension), 躍動 (saltation), 掃流 (irraction), 転動 (rolling), 滑動 (sliding) ニュートン流体 (Newtonian fluid) : 剪断応力のもとに強さがないもの レイノルズ数 (Reynolds number) : 流れの性質を示す値で, ある値を越えると乱流 ストークス方程式 (Stokes equations) : 同じ条件なら粒径の大きいものが速く沈降 溶液の条件変化により溶解度が変わり溶質が晶出したもの 溶媒 (淡水や海水) の蒸発により溶質が晶出したもの
沈殿作用 (precipitation) 蒸発作用 (evaporation)	
続成作用 (diagenesis)	【浅所: 200°C以下, 200MPa以下の条件】
物理的続成作用	圧密作用 (compaction) : 上載圧による間隙の減少, 間隙水の排水
生化学的続成作用	土壤生成作用 (pedogenesis) : 地表付近の浅所で起こる
化学的続成作用	膠結作用 (cementation) : 日生鉱物による間隙の充填 再結晶作用 (recrystallization) : 既存結晶の成長 交代作用 (replacement) : 別の鉱物による置換る 日生物作用 (authigenesis) : 新しい鉱物の生成
変質作用 (alteration)	【熱水循環域】
熱水変質作用 (hydrothermal alteration)	
変成作用 (metamorphism)	【深所: 200°C以上, 200MPa以上の条件】
低度変成作用 (lower grade metamorphism)	沸石相, ぶどう石, アクチノ閃石相, パンペリアイト相, アクチノ閃石相
高压変成作用 (high-P metamorphism)	藍閃石片岩相, エクロジヤイト相
中圧変成作用 (medium-P metamorphism)	緑色変岩相, 角閃岩相, グラニユライト相
低圧変成作用 (low-P metamorphism)	曹長石緑簾石曹相, ホルンブレンド・フォルンフェルス相, サニデザイン・フォルンフェルス相
超高压変成作用 (ultrahigh-P metamorphism)	エクロジヤイト相

Pはpressure, 変成作用は中島ほか(2004)などを参照した。

2 堆積作用

後背地にある岩石が、堆積作用によって堆積場にもたらされることにより、地層が形成される。堆積作用とは、熱、大気、水などの地表付近に存在する営力によって、既存の岩石が、風化・浸食、運搬、沈積作用（堆積作用とも呼ばれるが混乱するので本論では沈積作用を用いる）によって堆積物が形成されるプロセスのことをいう（水谷, 1987）。

堆積作用の過程は、現世の河川での研究や人工水路によるモデル実験、計算機シミュレーションなどによってかなり解明されている。洪水や土石流、地すべり、津波などによる稀な現象による堆積作用も、同様に解明されている。一見稀に見えるこれらの現象も、堆積作用では重要な役割を果たすことがある。日常的な営力と比べ、土石流や津波などは激しい営力で、地層形成に至ることもあり、重要な営力でもあることがわかっている。タービダイトを形成する海底の混濁流は、付加体中の堆積岩の主要な成因となっている（小川・久田, 2005）。

地層を構成する堆積岩に、解明されている過程を適用して、堆積作用の特徴やその地域性、特性を割り出し、原岩や後背地の特徴を復元していくことが可能になる。

風化や浸食においては、機械的、物理的過程において抵抗力のある鉱物や岩石、また化学的過程において耐性のあるもの、あるいは化学的過程で変化しても耐性をもった化合物にかわった物質などが堆積場にもたらされる。風化や浸食が強く働けば、抵抗力、耐性の強い物質だけが残っていくことになる。

運搬作用は、溶存 (solution) した物質は溶流 (solution) となる。固体 (solid) 物質は、そのまま懸濁 (suspension, 浮遊, 浮流とも呼ばれる)、躍動 (saltation)、掃流 (traction)、転動 (rolling)、滑動 (sliding) などの運動様式で、移動していく (Fritz and Moore, 1999)。運搬作用によって、堆積物の淘汰が起こる。淘汰とは、流水の影響で、粒径や比重、形態などによって選別を受けることである。淘汰がいいと、粒径や形態、礫質などがそろった堆積物になる。粒子の様子 (球形度、円磨度、表面構造) から運搬作用の様子を推定することができる。運搬作用が長くあるいは強く作用した堆積場では、淘汰のいい堆積物が供給される。

堆積岩は、堆積作用がよく働いた場合は、風化、浸食に強く、淘汰を受けた岩石や鉱物が、地層の主要成分となる。一方、浸食作用や運搬作用が弱ったり、短かったりすると、より後背地の特性を反映した堆積物になる。たとえば、特徴的な気候条件の陸地、短い河川、地すべり、洪水、津波などの営力が関与した堆積物などは、その特異性が反映された堆積物が形成される。

堆積物は、後背地の特性に加え、堆積作用の程度、状態を反映して多様化していることになる。

3 堆積場

堆積場とは、堆積作用のうち、沈積作用が主として起こるところである。陸域では、湖沼や河川、砂漠などが堆積場となる。また、沈殿、蒸発作用が起こる乾燥地も特異な堆積場となる。

これらの陸域の堆積場は、堆積岩の特徴から比較的簡単に見出せる。

堆積場は、日本列島のような島弧では海域の場合が多く、周辺のテクトニクスの変化に応じて変動していく。たとえば、水深が浅くなったり深くなったり、あるいは河川の流路や海流の変化があれば、堆積場への堆積物の供給量や種類に変化が起こる。そのような変化は、シーケンス層序と呼ばれ、地層の岩相変化として記録されていく（保柳ほか、2006）。

堆積構造（fabric, ファブリックと呼ばれる）から沈積作用の様子が復元できる（公文・立石、1998）。構造とは、肉眼で見たり、地質図で表現されたりするような比較的サイズの大きなもので、ルーペや顕微鏡サイズのものには組織という術語を用いること（水谷、1987）があるが、厳密な適用、定義があるわけではない。構造には、沈積時に形成されたもの（初生構造）と、定置時や定置後に形成された構造があり、見分けることが可能である。堆積岩の構造の多様性を見分けることで、地層が経てきた変遷を読み取ることができる（中島ほか、2004）。

沈積作用において、流体の動きが重要になってくる。流体は、粘性（流体のねばりの度合、粘度ともいう）の有無によって非粘性（微小粘性）流体と粘性流体に分類されるが、地表で営力として働く水や空気は粘性を持っているので、粘性流体である。

流れの剪断応力（接線応力）と流れの速度勾配（ずり速度、剪断速度）が比例した粘性、つまり粘性が一定の流体をニュートン流体（Newtonian flow）と呼ぶ。一方、粘性が流れの速度勾配に依存するような流体を非ニュートン流体という。

粘性を持つ流体は、レイノルズ数（Reynolds number）によってその特徴が示される。レイノルズ数は慣性力と粘性力（密度当たりの粘性）との比で定義される無次元数で、値が小さいうちは層流となり、大きくなりある閾値を越えると（臨界レイノルズ数という）乱流となる。層流は流体の流線が常に管軸と平行なものをいい、乱流は層流ではないものをいう。

流体の運動はナビエーストークス方程式（Navier-Stokes equations）で記述される。しかしこの式は、非線型偏微分方程式であるため一般解がなく、流体の速度が遅いとき（非線型項を無視できる）は、ストークス方程式（Stokes equations）で近似可能になる。沈積作用の場合は、ストークス方程式を用いて記述でき、物質が流体中を沈降するときは、同じ条件なら粒径の大きいものが速く沈降することになる。その結果、堆積物はサイズの大きいものから小さいものへと堆積する。このように並んだ状態の堆積物を級化層理といい、多くの堆積物で見られる特徴である。

堆積場は、地層形成においては、もっとも重要な要素で、次に述べる続成作用へと移行していくことになる。

4 続成作用

堆積場で堆積したばかりの物質は、粒子間に隙間も多く、波や流れによって移動することもある。また、そのような堆積物は、流動性も残っていることがあり、何らかの営力が加わると

流体として振舞うこともある。

堆積場で堆積物が上に累重し時間が経過していくと、未固結の堆積物から固結した堆積岩へと変化していく。このような変化を続成作用 (diagenesis) と呼ぶ。

続成作用は、堆積場に堆積物がもたらされた時点よりはじまる。まず、圧密 (compaction) によって、粒子間の間隙の減少し、間に存在する流体 (多くは水で間隙水と呼ばれる) が徐々に抜けていく。そのとき、塑性変形を伴う粒子の再配列も起こる。このような作用を物理的続成作用と呼ぶ。

生物が関与する生化学的続成作用 (biochemical diagenesis) が比較的初期段階に、短い時間で起こる。地表における土壌形成 (pedogenesis) は、この作用による効果も大きい。土壌は陸上堆積物にはよく見られ、火山砕屑岩に覆われることで地層に夾在されることもある。海底でも生物による生化学的続成作用がおこる。底生生物による活動によって、堆積物の擾乱、採食活動によって他生物の有機物が分解されたり、腐敗による成分の再編がされたりする。このような作用が化石形成への大きな障害となる。

地層の累重によって、埋没深度が深くなると、物理的続成作用によって、粒子相互の接触面積が増えたり、接触部の圧力 (応力と呼ばれる) が上昇したりする。その結果、膠結 (こうけつ) 作用 (cementation)、再結晶作用 (recrystallization)、交代作用 (replacement)、自生作用 (authigenesis) などの化学的続成作用 (chemical diagenesis) が起こる (勘米良ほか, 1991)。

膠結作用とは、堆積物の粒子の隙間に鉱物が沈澱して粒子を結合する現象である。再結晶作用は、既存の鉱物が新たな鉱物 (別の鉱物でも同じ鉱物でもよい) ができる作用で、溶融部は縫合関係が形成される。交代作用とは、ある物質が別の物質によって置き換えられることである。自生作用とは、水に溶けた成分によって既存の鉱物が二次的に成長したり、新しい鉱物が生成したりしていくことである。他にも、粒子の接触部の圧力が上昇することによってその部分の鉱物が選択的に溶解していく圧力溶解作用なども起こる。

このような化学的続成作用は、何万年もの長い時間をかけて起こり、岩石の固化が進むことになる。

埋没深度が深くなり地温勾配が上がっていくと、再結晶作用が進むようになり、続成作用は変成作用に推移する。続成作用と変成作用の境界がどこになるかは難しい。一般的に続成作用が起こっている条件は、温度200℃、圧力200MPa (水谷, 1987) あたりまでとされているが、確定しているわけではない。

堆積岩の孔隙率や含水量、変質鉱物、膠結物などから、続成作用の様子が読み取られる。続成作用の様子やその変化から、堆積場の深部、あるいは堆積物が持ち込まれた地下環境を復元することが可能となる。

5 定 置

定置 (emplacement) とは、ある地質体が、現状の位置にもたらされるための造構運動のことで、一時期や一度の運動ではなく、時に非常に複雑になることもある。しかし、現在の地質学は、そのような定置過程をかなり詳しく説明する手法を導きだしつつある。

地層における連続関係は堆積場で形成され、不連続関係は定置時やその後の造構運動で形成される。このような連続と不連続の関係から、定置から現在にいたるプロセスを復元することが可能になる。

小出 (2006) は、地層やその他の岩石に記録されている連続と不連続が、地質学においてどのような意味をもっているかをまとめた。そこでは、過去に形成された岩石に記録されている時間、空間、物質における連続と不連続の組み合わせごとに、地質学的意味合いが違っており、それぞれに対する地質学的対象としての扱いが変わってくることを示した。不連続や連続の形成が地球表層の営力を反映していることを示した。

地層における定置過程は、地層の固結後に形成された不連続な構造に残されている。そしてその構造の前後関係は、読み取れることも多い。たとえば、新しい断層は、古い断層を切るが、逆はありえない。また、褶曲や変形においても同様の前後関係を見出すことができる。また、不連続関係を量的に収集して、解析することで、その地質体が置かれた応力場を復元することも可能となっている (天野・狩野, 2009)。

このような不連続関係の広域的な解析によって、地層が現在の位置に至るまでの広域的な造構作用、つまりテクトニクスを明らかにすることがなされている (たとえば、竹下, 2010や植田, 2010など)。

テクトニクスのモデルとして、プレートテクトニクスとブルームテクトニクスがある。両モデルは別物ではなく、一連のものである。これらのモデルでは、一般的なプロセスが提示されているので、それらのモデルを用いて復元していくことになる。そして、モデルによって事実を矛盾なく説明できれば、その復元結果は了承されやすくなる。もし、問題があれば、例外的であるという解釈やテクトニクスのモデル自体の修正が加えられ、やがてはモデルの更新へとつながる。

IV 地層の多様性解明に向けて

地層の構成物やその構造の多様性を生むさまざまな条件の組み合わせによって多様性が生み出される。地層にみられる多様性は、多様な要素の総合的な結果である。その多様性解明へのいくつかアプローチについて考えていく。

1 要素還元主義的アプローチ

地層をみると、似たような単層が多数積み重なって形成されている。しかし、個々の単層は、似ているが異なるものもある。それぞれの単層を詳細に比べれば、それぞれ固有の特徴を持つものである。地層の多様性形成を探るための基本は、観察である。露頭における単層を構成する岩石と構造の記述と、単層ごとの境界や地層の変化、構造、露頭内にみられる不連続境界を記載することである。

地層の構成物は、もともと存在していた場所（後背地）、後背地から浸食、運搬、堆積作用の過程やその程度、堆積場での堆積物の組み合わせ、固結して堆積岩になる条件などが、さまざまに組み合わされて多様性が形成される。また、構造とは地層内にみられる構成物の組織、配列、変化、組み合わせ、断裂、ずれなどのことで、それらを形成する仕組みによって多様性はもたらされる。

地層の構成物と構造の記載から、多様性の成因や原因となった要素を還元主義的に見出し、メカニズムを理解できれば、地層の多様性の解明となる。地層とは、過去に形成されたものの一部で、さらに観察記載されるものはそのまた一部にすぎないである。そのため、復元には不確かさが常に付きまとうことになる。

しかし、もし独立したいくつかのアプローチによって、同じ原因が示唆されるのであれば、その復元は確からしさを持つであろう。たとえば、ある時代のある地域の地層の解析結果が、近隣地域と同時代の地層と類似の結果になれば、その結果の信頼性は高くなる。また同じ地層の化石の年代と放射性同位体による年代が一致すれば、その年代は確かなものとなるであろう。

地層とは、既存の岩石が、地球表層に存在し現在も働いている大気、流水、海洋などの物理的・化学的営力、言い換えるとその時代の表層環境を反映して形成されたものである。結果としての地層から、原因としての地球環境を還元的に読み取ることができれば、過去の地球表層の営力や地球環境を復元したことになる。その意味において、地層は、ある時代、ある場所（時空間）の地球表層の記録媒体となりえるのである。

2 情報の喪失と補完

地層とは表層環境の記録媒体であるが、注意が必要なのは、地層が形成時のすべての情報を現在まで保存しているわけではないということである。堆積場の堆積物が、さまざまなプロセスを経た後、地層として露頭になる。その露頭を研究者が記載したものだけが、地質情報として解読される。

時間の経過やさまざまな過程、作用によって、多くの情報は失われている。さらに、研究者が自分の研究テーマや興味にあるものだけを読み取り、それ以外の情報は捨てられることになる。たとえ残された情報があったとしても、読み取る技術や知恵がわれわれになければ読み取れないのである。限られた残存情報から、限られた手法によって、興味をもたれたものだけが読み

取られるのである。

要素還元主義的手法を突き詰めたとしても、素材が不完全であり、読み取る技術が不完全である現状を考えれば、不完全な復元しかできないはずである。したがって現在示されている地球の歴史や過去の環境は、現時点でもっともらしい不完全なシナリオに過ぎないことを認識しておくべきである。

時間経過に伴って今後も露頭は新たに生まれるし、解読技術は進歩していくので、新たな素材や情報は増え続けていく。新たな情報が得られれば、よりよいシナリオへと書き換えられることになる。ただ、どんなに努力をしても、上述のように消失した情報は再現することはできない。その欠損を補完するのは、科学者の知恵や想像力である。その知恵や想像力の検証は、論理性の高さによることになるであろう。欠損した情報からの解読作業を創造的に繰り返すことにより、地球史をより精度の高いものへと書き換えることも地質学の重要なテーマである。

3 時間の認定

古い堆積物の上に新しい堆積物が溜まっていくことになる。これは地層累重の法則と呼ばれるもので、地層の累重順序が形成順序、つまり形成時間の新旧を示している。連続した地層では、上下関係さえ見極めれば、地層形成の新旧を判別したことになる。

一つの露頭や限られた地域であれば、地層の累重関係によって時間変化を記載することは可能である。地層形成の前後関係は重要な情報ではあるが、露頭が連続していないところ、あるいは他地域と対比するには、連続性や上下関係を示す情報が必要になる。

そのような情報として、同一時間面を示す地層が重要になる。そのような地層を鍵層 (key bed) と呼ぶ。鍵層は、離れた地点の対比や連続を知るために重要となる。鍵層は、際立った特徴を持つ連続性のよい地層や、識別の容易な特徴を持つ広域に分布する火山灰層などがある。

火山活動が活発な地域では、広域に分布する火山灰層が多数夾在され、その火山灰層の中には特徴が明瞭なものも多数ある。噴火地点と時代が正確に決められている火山灰は、同一時間面を示す鍵層として非常に有用になる。日本ではこれらの火山灰層は、広域テフラとして、多数の鍵層が見出されている (町田・新井, 2003)。

そのような鍵層がない場合でも、示準化石 (相対年代) を見出すか、放射性同位体による年代測定 (絶対年代) によって時代年代を決めることができれば、他地域との対比が行える。化石は、熟練さえすれば、野外でも年代を知ることはできる。放射性年代では、実験室で労力を使って測定していかなければならない。そのため、重要性があると判断されたものだけが、絶対年代の測定がなされることになる。化石年代や放射性年代にしても、鍵層より、時間の同一性の認定において誤差が大きくなる。つまり、完全に同一時間であるという決定はできない。しかし、年代値は、適用範囲が広く、世界中のどこの地層とも対比が可能となるという利点がある。

このような時間の認定という作業は、地層の多様性解明とは直接は関係がないように見えるが、多様性解明の最終目標が環境復元であるので、環境復元に時間認定は不可欠になる。時間認定を経た後、地層の連続性や不連続性、他地域の対比、時間変遷などを解析することによって、環境復元がなされていくのである。

4 時空間のスケール認識

堆積場において、単層は一度の沈積作用で形成されるが、単層を越えた構成物や構造の変化は、より大きな時間経過によって形成される。単層の中での構成物や構造は、一枚の地層の復元だが、それは後背地や堆積作用の特性が反映されたものとなる。単層を越えた構成物や構造における大きなスケールでの変化(層序変化)は、後背地や堆積作用、堆積場の変化、つまり地球表層の変化を反映していると推定される。さらに構造には、続成作用の条件や定置時の変動によるものも記録されている。より多くの地層に影響を与える構造変化は、より広域におよぶ造構運動による定置であると推定できる。

つまり地層のサイズスケールは、時間スケールと定性的にみなすことができる。サイズを意識して地層を見れば、多様な時空変遷を読み取ることができる。したがって、地層の多様性を読み取るとき、さまざまなスケールで記述していくことが重要となる。単層ごとの記載においては、構成物や構造の特性を明らかにするためには、実験室で顕微鏡や電子顕微鏡を用いるようなミクロの観察も必要になることもある。ミクロや肉眼的な観察から、km オーダーに及ぶ地質図的なスケールまで、多様な視点で地層を見ることが要求される。

5 形成環境へのアプローチ

これまでの記述は、碎屑性堆積岩を中心に述べてきたが、碎屑性でないものもある。生物の遺骸が集積してできた有機的堆積岩 (organic sedimentary rocks)、火山碎屑物から構成される火山碎屑岩 (pyroclastic sedimentary rocks)、化学的沈殿による化学的堆積岩 (chemical sedimentary rocks)、蒸発乾固などによる蒸発岩 (evaporite) などがある。それらも含めて以下では、堆積環境の概略をまとめる (図4)。

堆積環境は、大きく陸域と海域に分けることができる。堆積物は海成でできた地層(海成層)を主とすることから、陸でできた陸成層を非海成層と呼ぶことがある。

陸と海で分けると地理的境界は明瞭であるが、堆積場として考えると、境界は必ずしも明瞭でなく、境界領域というべき場も存在する。それは、地理的境界である海岸や河口付近となる。そこで問題になるのが、水の営力ではあるが、海の波浪や海流によるものか、河川の流水によるものかは、堆積環境として大きな違いとなる。

境界領域で、河川の影響を受けると、陸域の堆積物が加わる沈積作用の強い場となる。一方波浪や海流は、既存の堆積物の浸食や運搬も起こる場となる。堆積物の構成や構造は異なった

水の関与 営力		場所	おもな作用	形成される堆積物・堆積岩や地形
陸域	火山	火山	火山噴火	火山砕屑岩 (溶岩, 火山角礫岩, 凝灰角礫岩, 火山礫凝灰岩, 凝灰岩)
	風	砂漠, 海岸		風成岩, 砂丘堆積物, レス, 岩塩, 石膏
		崖	浸食	崖錐堆積物
	水河	山岳	浸食, 堆積	水堆積, U字谷, 圏谷, エスカカー, 水礫岩, 氷河擦痕礫
		大陸	浸食(弱), 堆積(弱)	迷子石, ドロップストーン, 氷縮粘土, 羊背岩
	流水	湖沼	蒸発・沈殿, 堆積	湖沼堆積物
		河川 上流	浸食, 運搬	河谷, V字谷
		中流	浸食, 運搬, 堆積	河岸段丘, 谷底平野, 扇状地
		下流	堆積, 運搬	河川堆積物
	海域	沿岸流	河口付近	堆積, 運搬(弱), 浸食(弱)
海岸			浸食, 堆積	海岸地形 (潟湖, 砂州, 砂嘴, 砂丘, 陸繋島, 海岸段丘, 海食崖, 波食台)
タービダイト		大陸斜面	浸食(弱), 堆積	正常堆積岩
		海洋島・海山	堆積	タービダイト, 半遠洋性堆積物
生物		生物	生物, 浸食	造礁性サンゴの遺骸, 石灰岩
		深層流	大洋底	堆積(弱), 沈殿(弱)

図4 堆積岩の形成場の分類

堆積岩形成場を、水の関与の有無、営力の種類、形成場所、主な作用によって区分し、そこで形成される特徴的、代表的な堆積物や堆積岩、地形を示した。

ものとなり、差異を見出すことは、堆積環境の復元においては、重要な手がかりとなる。

短時間の営力である洪水や津波、海底地すべりなどは、単層にその特徴が反映される。また、長期間におよぶ営力である海進や海退などの変動は、層序変化や海岸段丘や河岸段丘などの地形を形成していく。このような堆積場の層序解析や時間変遷は、近年かなり詳細に解析できるようになってきた（保柳ほか，2004；2006）

陸域の堆積環境は、水の関与の有無で分けることができる。

陸域で水の関与のない地層として、風の営力による堆積物から形成されることがあり、風成堆積岩 (aeolianites)、地層なら風成層と呼ばれる。大陸内部に大規模な砂漠堆積物 (レス, loess) として分布し、海岸では小規模に形成される砂丘堆積物などがその典型となる。大陸の環境復元には重要な役割をもっている。

水の関与した陸成層を陸水成層と呼ぶことがある。陸域で水の関与する営力として、湖沼と河川があり、それらに対応した堆積物がある。

湖沼では、湖沼堆積物が形成され、陸棲の動植物の化石を含むことがある。また季節変化による周期的な層、地震や洪水などの陸上の環境異変を記録していることがある (Fukuzawa et al., 1995)。乾燥地の湖沼では、水が蒸発することで、水に溶けていた成分が沈積してきた蒸発岩 (岩塩, 石膏) が特徴的である。

河川では、上・中・下流域によって、浸食、運搬、沈積の堆積作用の程度が異なり、固有の地形を形成し、河口周辺では堆積物が多く沈積する。そのような堆積物は、河川堆積物と呼ばれ、陸域周辺に形成される地層の重要な形成プロセスとなる。

高緯度や高地などの寒冷地域、あるいは寒冷化によって、降水が液体の雨ではなく固体の雪として降る。降雪は密度の小さいものだが、堆積し圧密を受けて固結して氷となる。堆積物の続成作用と同じようなプロセスが起こる。雪が氷河や氷床となると、ゆっくりとだが重力にしたがって流れることによって、氷河固有の浸食作用を及ぼしていく。氷河はやがて融解して、河川や湖になり、海にもどっていく。氷河の営力は水とは違ったもので、物理的、機械的作用が強く働き、氷河の融解による堆積作用も流水とは違ったものとなる。

氷河のよって形成されたものを氷成堆積岩 (glacial sedimentary rocks) と呼ぶ。特徴的な堆積物として、氷礫岩 (tilite)、氷縞粘土 (varve)、ドロップストーン (dropstone)、羊背岩 (Sheepback rock)、氷河擦痕 (glacial scratch) を持った擦痕礫 (glacial scratch boulder)、迷子石 (erratic boulder)、氷堆積 (moraine) があり、氷河地形として、U字谷 (U-shaped valleys) や圏谷 (カール, Kar, Cirque)、エスカー (esker) がある。氷成堆積岩は量的には少ないが、特徴があるので容易に区分できる。

海域の大陸棚では、混濁流が重要な役割をもっている。混濁流とは、大量の堆積物が、地震や洪水をきっかけにして起こる海底地すべりなどの大規模な物質移動 (マスマーブメントと呼ばれる) で、重力によって堆積物が流動する (重力流とよばれる) 現象のことをいう。タービダ

イトは、地層ではよく見られる堆積形態ではあるが、人間の時間スケールからしたら大陸棚で稀に起こる現象である。そのため、認識やプロセスの確立に時間を要したが、現在では、その過程はかなり解明されている（岡田，2002）。

深海でも、海洋底固有の堆積物が形成される。遠洋性堆積物（pelagic sediments）とも呼ばれ、石灰岩（limestone）やチャート（chert）、頁岩（shale）などがある。有孔虫軟泥、ココリス軟泥など石灰質プランクトンの殻からなる石灰質軟泥（calcareous ooze）が石灰岩に、放射虫軟泥、珪藻軟泥などの珪質プランクトンの殻からなる珪質軟泥（siliceous ooze）はチャートに、10 μ m以下の粒径の赤色、褐色、チョコレート色の粘土からなる遠洋性粘土（pelagic clay）は頁岩になる。マンガン団塊（manganese nodule）や層状マンガン鉄鉱床（umber）などの特徴的な堆積物を含むことがある。黒色泥や粗粒の陸源堆積物が遠洋性粘土と混じった半遠洋性堆積物（hemipelagic sediments）は、陸の堆積物の影響を受ける場で形成される。

また、海洋島や海山では、造礁性サンゴによる石灰岩があり、そのような石灰岩は付加体内ではよく見かけられる堆積物である。

現世の堆積環境の網羅的解明は、過去の環境復元に重要な役割をもっている。現世の環境の記載が進んできたため、詳細な堆積環境の復元が可能となりつつある。タービダイトのように現世の堆積過程が稀なもので復元が難しいものでは、地層の過去の堆積物の情報が不可欠となる。このような相互補完によって、堆積環境の過程復元が進められている。

V さいごに

本論文では、地層の多様性形成における重要な過程を検討し、それらの解明に向けての視点を整理してきた。その結果、地層の多様性解明は、地球環境の現在にいたる履歴を解明するのに重要であることが再確認された。

地層は、単層が積み重なって形成されている。しかし、詳細に単層を観察すると、それぞれを構成している堆積岩に違いがあることが見えてくる。連続する上下の地層を広く調査していくと、系統的に岩石の構成物や構造が変化していくことがわかる。これらの変化は地層の多様性となり、記録されていく。その記録から、環境の変化を復元することが可能になりつつある。

さらに、近隣地域に分布する地層や、同時代の別地域の地層と対比していくと、共通性や特異性が見えてくる。それらの共通性や特異性は環境の特徴を反映している。

地層の多様性は、地層の形成過程に由来するものである。地層の形成過程とは、地球表層のいろいろな営力、特に水の営力が重要な働きをしている。表層の営力とは、地球環境の重要な要素でもある。地層は古い時代から現在にいたるまで、地球のいろいろな時代、いろいろな場所で形成され、保存されている。このような地層の多様性解明は、地球環境の歴史を解読するための非常に重要な手がかりになることは明らかである。

地層の多様性は、地球環境の多様性でもある。これらの視点は、すべて地層が多様性の解明から明らかにされてきたことに基づく。今後、地球環境問題を考えるとき、地球環境史を記録している地層の研究はさらに重要となるであろう。

文 献

- 天野一男・狩野謙一, 2009. 『Field Geology 6 構造地質学』共立出版, p.177.
- Fritz, W. J., Moore, J. N., 1988. 『Basic of Physical Stratigraphy and Sedimentology』原田憲一訳, 1999. 『層序学と堆積学の基礎』愛智出版, p.336.
- Fukuzawa, H., Koizumi, I., Okumura, M., Yasuda, Y., 1995. 「Last 2,000 Year Records of Eolian Dust Concentration Sea-level and Precipitation Changes in Fine-grained Sediment of Lake Suigetsu, Central Japan」『地学雑誌』104, 1, 69-81.
- 保柳康一・公文富士夫・松田博貴, 2004. 『Field Geology 3 堆積物と堆積岩』共立出版, p171.
- 保柳康一・松田博貴・山岸宏光, 2006. 『Field Geology 4 シーケンス層序と水中火山岩類』共立出版, p.180.
- 君波和雄・木下生一・今岡照喜, 2009. 「西南日本のジュラ紀付加体砂岩におけるジュラ紀中世の組成変化とその意義」『地質学雑誌』115, 11, 578-596.
- 小出良幸, 2006. 「物質, 時間, 空間の視点からみた地質学的境界」. 札幌学院大学『人文学会紀要』80, 21-41.
- 紺野義夫, 1996. 「地層」地学団体研究会編『新版地学事典』平凡社, 1817.
- 公文富士夫・立石雅昭編, 1998. 『地団研双書29 新版碎屑物の研究法』. 地学団体研究会, p.399.
- 町田洋・新井房夫, 2003. 『新編 火山灰アトラス 日本列島とその周辺』東京大学出版会, p.336.
- 湊正雄, 1973. 『地層学』岩波書店, p.296.
- 水谷伸治郎・斎藤靖二・勸米良亀齡, 1987. 『日本の堆積岩』岩波書店 p.226.
- 勸米良亀齡・水谷伸治郎・鎮西清高編, 1991, 『地球表層の物質と環境』地球科学選書 岩波書店, p.326.
- 中島隆・高木秀雄・石井和彦・竹下徹, 2004. 『Field Geology 7 変成・変形作用』共立出版, p.194.
- 日本地質学会訳編, 2001. 『国際層序ガイド-層序区分・用語法・手順へのガイド』共立出版, p.238.
- 小川勇一郎・久田健一郎, 2005, 『Field Geology 5 付加体地質学』共立出版, p.160.
- 岡田博有, 1998. 「続成作用」『世界大百科事典CD-ROM版』平凡社.
- 岡田博有, 2002. 『堆積学 新しい地球科学の成立』古今書院, p.219.
- 竹下徹, 2010. 「日本海拡大時の中央および西南日本前弧テクトニクス」『地学雑誌』119, 2, 347-361.
- 植田勇人, 2010, 「付加体の構造浸食による前弧の構造発達」『地学雑誌』119, 2, 362-377.
- 植村武, 1998a. 「地向斜」『世界大百科事典CD-ROM版』平凡社.
- 植村武, 1998b. 「造山運動」『世界大百科事典CD-ROM版』平凡社.
- 氏家恒太郎・大木公彦, 1993. 「上部新第三系宮崎層群宮崎相と青島相の層位的・地質構造的関係」鹿児島大学理学部紀要(地学・生物学), 26, 67-84.
- 八木下晃司, 2001. 『岩相解析および堆積構造』古今書院, p.212.

The Variation on the Strata and the Earth's Environment

KOIDE, Yoshiyuki

Abstract

The strata are consisted of many beds. When the strata are widely surveyed, it should be understood that their constituents and the structure change systematically. The systematical changes are derived from natural forces on the Earth's surface. The natural forces are a part of the Earth's environment. The strata have been formed in various places in various ages. Revealing the changes of strata should play a very important role to decode the history of the Earth's environment.

Keywords: Strata, Sedimentary rocks, Earth's environment, Formations

(こいで よしゆき 札幌学院大学人文学部教授 こども発達学科)