

地質学論集 第49号 9-21 ページ, 1998年3月
Mem. Geol. Soc. Japan, no. 49, 9-21, March 1998

日本列島の層序研究の現状と将来*

Perspectives on the stratigraphic research of the Japanese Islands*

Abstract

新妻 信明**

*Nobuaki Niitsuma***

1997年6月5日受付.

1997年12月14日受理.

* 日本地質学会第104年総会・討論会(1997年4月4日, 東京)にて講演

** 静岡大学理学部地球科学教室.

Institute of Geosciences, Shizuoka University
 836 Oya, Shizuoka 422-8529, Japan
 E-mail: senniit@sci.shizuoka.ac.jp

Stratigraphic research verified the theory of ocean floor spreading which is a basic assumption in Plate Tectonics, and also this was the most useful method in the recognition of accretion along the subduction zone of the oceanic plate. The basic method in stratigraphy is essentially to trace as many global datum planes as precisely as possible in given sedimentary sequences. The continuous efforts to increase the number of global stratigraphic datum planes and decrease their limits for application, will be rewarded as the most reliable key method for advancing and verifying the revolutionary theories of Earth science in the 21st century. Because the Japanese Island Arcs are located around the trench-trench-trench type triple junction of plate boundaries, their crust and mantle are deformed intensely. The stratigraphic traces of numerous datum planes interbedded in sediments on the Japanese Islands will provide precise data on crustal movement and paleo-environments. The dynamic and climatic analyses of these data with the use of super-computers will be an important way to construct a new paradigm beyond Plate Tectonics and the Global Environmental Problem.

Key words : stratigraphy, Plate Tectonics, datum plane, and Japanese Island Arc.

地質学が対象とするもの

地球は人間の大きさに比較してはるかに大きく、地質学の研究は「群盲象をなでる」に例えられることがある。また、その歴史は、人間のそれに比較してはるかに長い。このように、地球の実態を掴むこと自体に非常な困難を伴うものの、地球は古くから資源獲得の場であり、科学的好奇心の対象であった。地表の7割を占める海洋が研究対象とされるに及んで、長い間研究されてきた陸域をも包括するプレートテクトニクスが確立された。未知の対象への飽くなき挑戦と国境を越えた学際研究が地球科学に根本的な発展をもたらしたのである。

地質学における野外調査に対し、ねらいを持たない調査では研究発展に貢献しないのではないかと指摘がある。また、野外調査が盛んであった時期には「地質屋は歩く葦である」と揶揄する声も聞かれた。しかし、これまでに日本列島の野外調査がどの程度なされ、後世に利用できる形として残されているのであろうか。野外調査研究者が一つの目標とする5万分の一地質図刊行の状況からすると、刊行が日本全土を網羅するためには、今後数十年を要するとされている。しかし、現状ではこの種の地道な野外調査よりも、限られた手法を限られた対象に適用する「明確な目的を持った効率の良い」研究が好まれる傾向にある。研究の発展には、野外調査のように自然から情報を直接収集する幅広い裾野の上に、そ

れらを系統的にまとめ上げるピラミッド型の状態が理想的であるが、現在は、自然から直接情報を得る野外調査が衰退し、逆ピラミッド型のような不安定な状態になりかけているのではないかと危惧される。

層序学の発展

層序学研究の発展には、野外調査による詳細な岩相層序に基づいて、地質年代を検討する化石層序および年代層序の確立が欠かせない。岩相層序研究では、野外における岩相の分布を明らかにすることから始まり、地層の走向・傾斜や層序関係から褶曲や断層そして不整合などの地質構造を解明して岩相の三次元分布をより合理的に明らかにする。この面では構造地質学と密接な関係を有している。

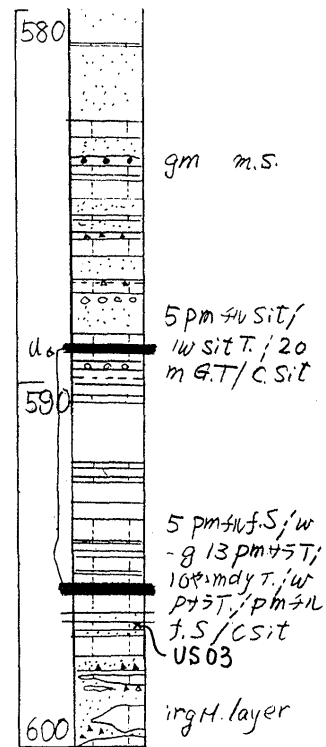
化石層序学の研究対象は、野外で化石の存在を容易に知ることができる大型化石から小型、そして顕微鏡で調べる必要がある微化石へと拡大されてきた。化石の産出は、層序に従った変遷史から地質年代代表を構築し、地球史解析の唯一の手法を編み出したが、さらに堆積環境や生物地理区の情報を与えることから、堆積地質や構造地質に基本的な資料を提供してきた。いまでは、普遍的に産出し、汎世界的な化石層序学的指標となる浮遊性微化石が研究対象の主体として取り扱われることとなり、古地磁気層序学の発展とともに汎世界的対比が可能になっている。

日本列島の地質体は、付加体と正常堆積物の2つに大きく

区分され、層序学研究において異なった発展をとげてきた。付加体は、以前、年代不祥中生層なども含め、一般に「古生層」と呼ばれ、正常な層序関係を保つ「第三紀層」から識別されていた。付加体の分布地域には、海山上の珊瑚礁石灰岩や付加体の上を覆う正常堆積物の古生層や中生層もあり、これらについての化石層序学的研究がなされた。その資料が付加体の地質年代を考える基本とされ、その周辺に分布している付加体堆積物との層序関係のみを拠り所に検討が行われていた。ニュージーランドでは、付加体を Gray Wacke として正常堆積物から区別していた。これは、保存の良い化石を豊富に産出するオーストラリア大陸の破片上の正常堆積物が存在し、化石産出が無く地質構造の複雑な付加体から容易に区別できたからであろう。

「第三紀層」についての化石層序学的研究は、二枚貝および植物化石等の大型化石の研究から Fauna (動物群) や Flora (植物群) が提唱され (例えば, Otuka, 1939; 藤岡, 1949), 地質年代の対比基準として使用されていた。地質年代の提唱はヨーロッパでなされているために、日本の地層の地質年代を決定するためには、ヨーロッパの地質時代の標式地との対比を行わなければならない。日本の「第三紀層」の年代論は、ライエルを師とする横山又次郎が行った二枚貝化石群集中の現生種の百分率法 (Yokoyama, 1926), 半沢正四郎の大型有孔虫化石 (Hanzawa, 1935), 松本彦七郎の哺乳類化石 (Matsumoto, 1926) などによる地質年代区分とともに、岩相層序を主体にして、整合・不整合に基づく時代枠の上げ下げが 1960 年代まで盛んに行われた。東北日本の「第三紀層」には火山碎屑物が頻繁に挟在しており、岩相層序区分などに使用されていた。一方、房総半島や三浦半島の「第三紀層」に挟在する火山灰を入念に一枚一枚野外で追跡するとともに数枚の火山灰を一組として命名し、岩相対比の手段として使用する手法が開発され (三梨ほか, 1959; 三梨, 1998), とすれば用法に混乱のあった化石層序と岩相層序を独立に確立する礎が築かれた (第 1 図)。

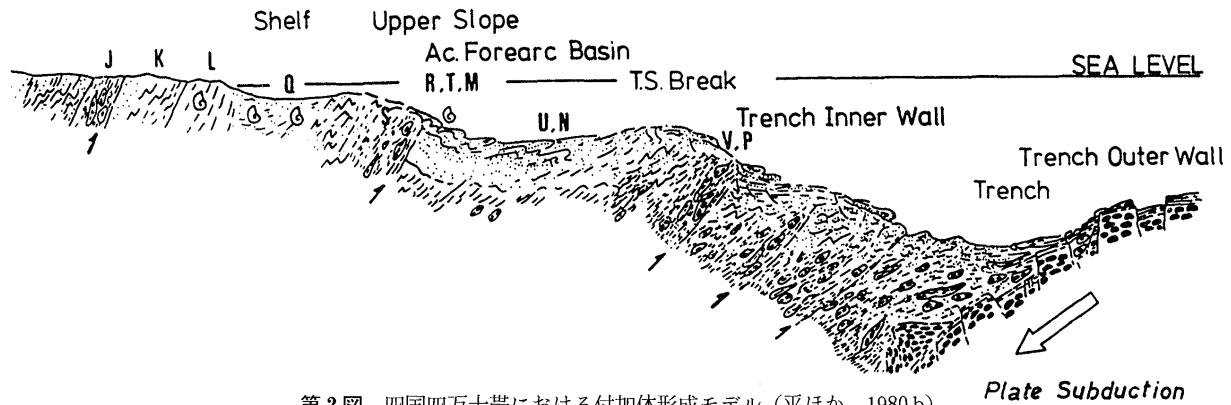
小型有孔虫研究についてみると、それまで研究の主対象であった底生有孔虫が変わって、浮遊性有孔虫の有効性が認識され (浅野, 1954), トリニダートの油田地域において Bolli (1957) が浮遊性有孔虫による層序を確立し、その実用性を指摘した。この成果は、ただちに日本の「第三紀層」に適用された (Saito, 1963 等)。また、米国を中心とした遠洋堆積物の化石層序学的研究によって、浮遊性微化石の重要性が認識されると同時に、Opdyke ほかによる地球磁場極性の正逆を層序学に導入する古地磁気層序学が併用された (Hays and Opdyke, 1967)。南水洋の堆積物の研究で用いられた浮遊性微化石は放散虫であったが、当時、日本では放散虫は古生代から現在まで進化しないと誤解されていたことから、この Hays ほかの成果は驚きをもって迎えられた。さらに放散虫による化石分帯区分は、浮遊性有孔虫よりも細分可能であり、その境界の同時性は当然のことながら古地磁気層序学的に知ることができるため、化石層序学に新たなページを開いた。浮遊性微化石と古地磁気層序を併用する方法は、直ちに房総半島 (中川ほか, 1969) そして新第三紀の標式地の分布



第 1 図 三梨ほか (1959) の養老川流域の柱状図の原図。上総層群梅ヶ瀬層の U6 火山灰鍵層。厚さの正確な測定と重なる火山灰の詳細な記載がなされている。縦軸が層準 (m)。US03 は中川ほか (1969) の古地磁気試料採取層準。

する地中海地域 (Nakagawa et al., 1971), ニュージーランド (Kenneth and Watkins, 1974) などの陸上に露出する堆積物について適用され、汎世界的地質同時時間面の追跡が開始されることとなった。一方, Blow (1969) は始新世から現在までの浮遊性有孔虫化石帯区分を行い、新第三紀を N, 古第三紀を P の頭文字に番号を付ける命名法を提唱し、化石層序を広く普及させる道を開いた。この用法は、ナノ化石 (Martini, 1971; Okada and Bukry, 1980) や珪藻化石 (Akiba, 1986) の化石帯区分にも用いられている。この微化石層序学の発展は、海洋底生成直後の堆積物の年代決定に大きく貢献し、地球科学最大の革命と言われるプレートテクトニクスの根幹を握っている海洋底拡大説を証明したのであった。

一方、「古生層」の層序学的研究は日本の近代地質学誕生と時を同じくして、いまでいう付加体の中に取り込まれた珊瑚礁石灰岩について開始された。化石層序学の研究は、もっぱらサンゴ・腕足貝・二枚貝・巻貝などの大型化石から、小型のフズリナ化石について研究が進められた。秋吉台石灰岩についての化石層序学に基づいた小沢儀明による横臥褶曲の発見 (小沢, 1923) は有名である。その後、コノドントの化石層序学の進展に伴い、それまで微化石産出の報告が無かった付加体内の石灰岩やチャートから三畳紀のコノドント化石が各地で報告されるようになった (小池・猪郷, 1970)。また、付加体に大量に含まれるチャートの岩石学的研究により、その起源は珪質生物殻が集積したものであることが判明し (Imoto and Saito, 1974), 放散虫化石層序の研究が開始され



第2図 四国四万十帯における付加体形成モデル (平ほか, 1980 b).

た(中世古ほか, 1979). 地質年代は, 岩相層序学的研究や稀に産する大型化石からみても, 地質構造の見かけ上, 下位の方が若いことや, 極めて狭い範囲で岩相が切断されていたり, block-in-matrix と呼ばれる産状が認識されるようになり, 付加体の認定の準備が整えられていった(例えば, 勘米良, 1976; 佐野ほか, 1979).

地球科学革命「プレートテクトニクス」への層序学の貢献

第二次大戦後, 未知の領域であった海洋域について, 従来の地質学や地球物理学などの古い枠にとらわれない地球科学研究が米国を中心に学際的協力のもとで実施され目覚ましい成果をあげていった. 海洋底の化石層序学に基づく地質年代が大陸の年代よりも遙かに若いことは, 当時常識となっていた太平洋の初源説(例えば, ベロウソフ, 1958)を完全に否定するものであり, これに代わって登場したのが海洋底拡大説(Hess, 1962; Dietz, 1961)である. その後, 陸域をも含む地球全体の構造運動を明快に説明するプレートテクトニクスが登場し(McKenzie and Parker, 1967; Isacks et al., 1968; Morgan, 1968; LePichon, 1968), その正否を証明することが急務とされた. 米国は, 海洋掘削船グローマーチャレンジャー号を建造して証明を試みたのである.

プレートテクトニクスの証明は, 「海洋底が中央海嶺で拡大生成されるのであれば, 海洋底には拡大生成以後の堆積物しか存在しない」はずであるという推論に基づいて試みられた. 深海掘削船グローマーチャレンジャー号による南大西洋の掘削航海で, プレートテクトニクスは海洋底玄武岩直上の深海堆積物の微化石層序によって証明されたのであった(Maxwell et al., 1970 a, b). この証明は, 十分な精度で汎世界的時間面を堆積物中に認定できるまで成長した層序学の発展と, 多くの人が容易に納得する問題の立て方がうまく組み合わせられた成果と言えよう(斎藤, 1998).

このプレートテクトニクスの証明は, いち早く地球物理学者に受け入れられたが, 地層が褶曲や断層によって大規模に変形している様子を入念に調べてきた地質研究者には容易に受け入れられなかった. 日本の「第三紀層」地質研究者の反応の多くは, プレートテクトニクスは全地球的には成り立っているであろうが, 自分の調査している地域では成立していないとするものであった. 「古生層」地質研究者は, 調査地域にある地層は, 地向斜に堆積したものであり, 海洋底に堆積

したものではないとの反応を示した. 当時の反論は, 地球規模の変動と局地的な変動の篩い分けの必要性が認識されていなかったことによるのであろうが, このような地質研究者の異論が, 後の地球科学発展のためにどれだけ貢献したであろうか.

付加体の認定

日本の地質研究者を長い間悩まし続けてきた堆積物に, 年代不祥中生層とされていた四万十超層群がある. タービダイトを主体とする四万十超層群には化石の産出が乏しく, 生痕化石が報告されている程度であった(Katto, 1960). 四万十超層群は堆積学的な研究に基づいて, 1) 遠洋あるいは深海底起源のもの, 2) 全体として陸側(北側)傾斜の地質構造を持ち複雑に変形したタービダイト, および 3) これらを覆う大陸縁辺の正常堆積物の3つに大きく区分できることが判明した(甲藤・平, 1978). このような岩相の組み合わせは, 「古生層」でも同じであったが, 互いに近接して分布することから, 従来は, 大陸縁辺部に発達した地向斜に堆積したものとされていた.

四万十超層群中の遠洋性のもは, 玄武岩の枕状溶岩, 石灰岩, チャート・遠洋性泥岩などで, 複雑に変形・剪断されていることから「メランジェ」と呼ばれた(平ほか, 1980 a). このメランジェ中のチャートや泥岩そして周囲のタービダイトから抽出された多量の放射虫化石の年代が詳細に検討された. 一見側方に連続して見えるチャート岩塊の放射虫年代が異なっていること, この岩塊の間に幅数 mm の泥質物があり, その泥質物の放射虫年代がこれら岩塊の年代よりも若く, 周囲に露出するタービダイトの年代とほぼ同じであることが判明した(平ほか, 1980 b). この結果は, 海洋域起源の岩塊が block-in-matrix で陸源物質中に産出していることを示しており, このような産状を微化石層序学によって解析できることを明らかにした. こうして確かめられた岩相と地質年代の関係は, 海洋底が海溝で沈み込み, その一部が剥ぎ取られて陸側に付加していることを明らかにした. そして, 遠洋性泥岩の上部に挟在する火山灰は, 深海底が火山弧を背後に持つ海溝に次第に近づいてきたことを支持したのである. また, 全体として陸側に傾斜する構造を持ち, 陸側程古い地質年代を持つ変形したタービダイトは, 海溝域から陸側斜面で形成された付加体と考えられるようになった(第2

図). この付加体の認定は, 日本の地質学に大きな影響を与えた. すなわち, これまで「古生層」とされてきたものは, 古生代後期の海山の上に発達した珊瑚礁の破片を含む中生代の付加体であり, 日本列島の大部分が付加体によって構成されていることが明らかになったからである (平, 1998).

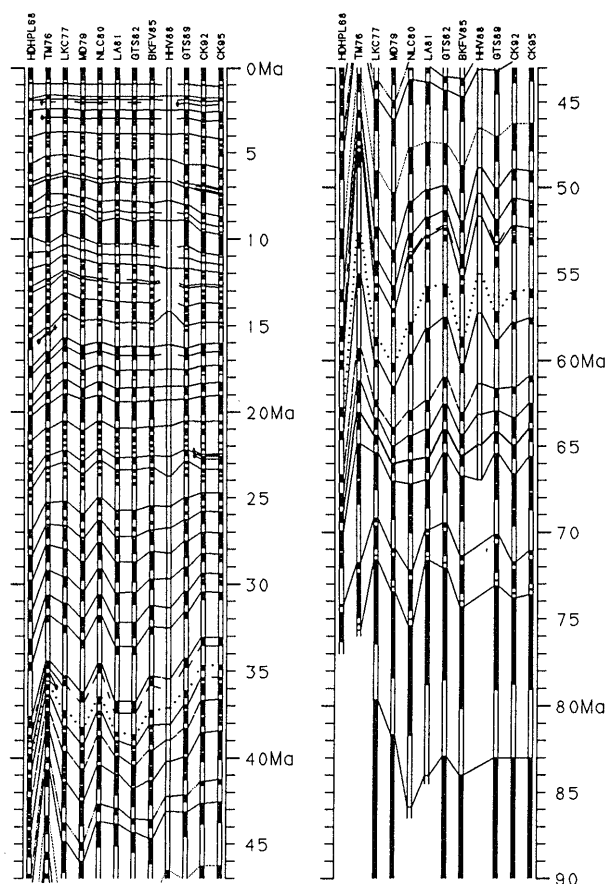
海嶺において拡大・生産された海洋底は, 海溝において地球内部に沈み込むために, 海洋底は常に更新されており, 現在の海洋底をいくら探しても古い海洋底の記録を見出すことはできない. しかしながら, そういった古い海洋底の破片が, 付加体の中に存在することが地質学的事実に基づいて明らかになった. 付加体内に取り込まれた海洋底断片を用いることによって, 既に地球深部に沈み込み, 現在, 地球上では見出すことができない海洋底の情報を得ることが可能になり, 海洋底研究の年代範囲は一挙に数十億年前まで拡大された. また, 付加体の存在は, 高圧変成岩の存在とともにその時期から地球上でプレートテクトニクスが成立していた証拠としても使用されている. 深海掘削計画で現在の海洋底から得られた掘削試料はコアラボに多量に保存されているが, 付加体内にはそれよりもはるかに長い年代にわたる大量の海洋底試料が保存されていることになる.

層序学の精度

1950年代から1960年代にかけて飛躍的に発展した層序学はその後も着実な発展をとげており, より広範囲により詳細な時間精度で堆積物を対比することが可能になってきている. 層序学的方法の適用範囲と時間精度はどの程度の限界を持っているのであろうか.

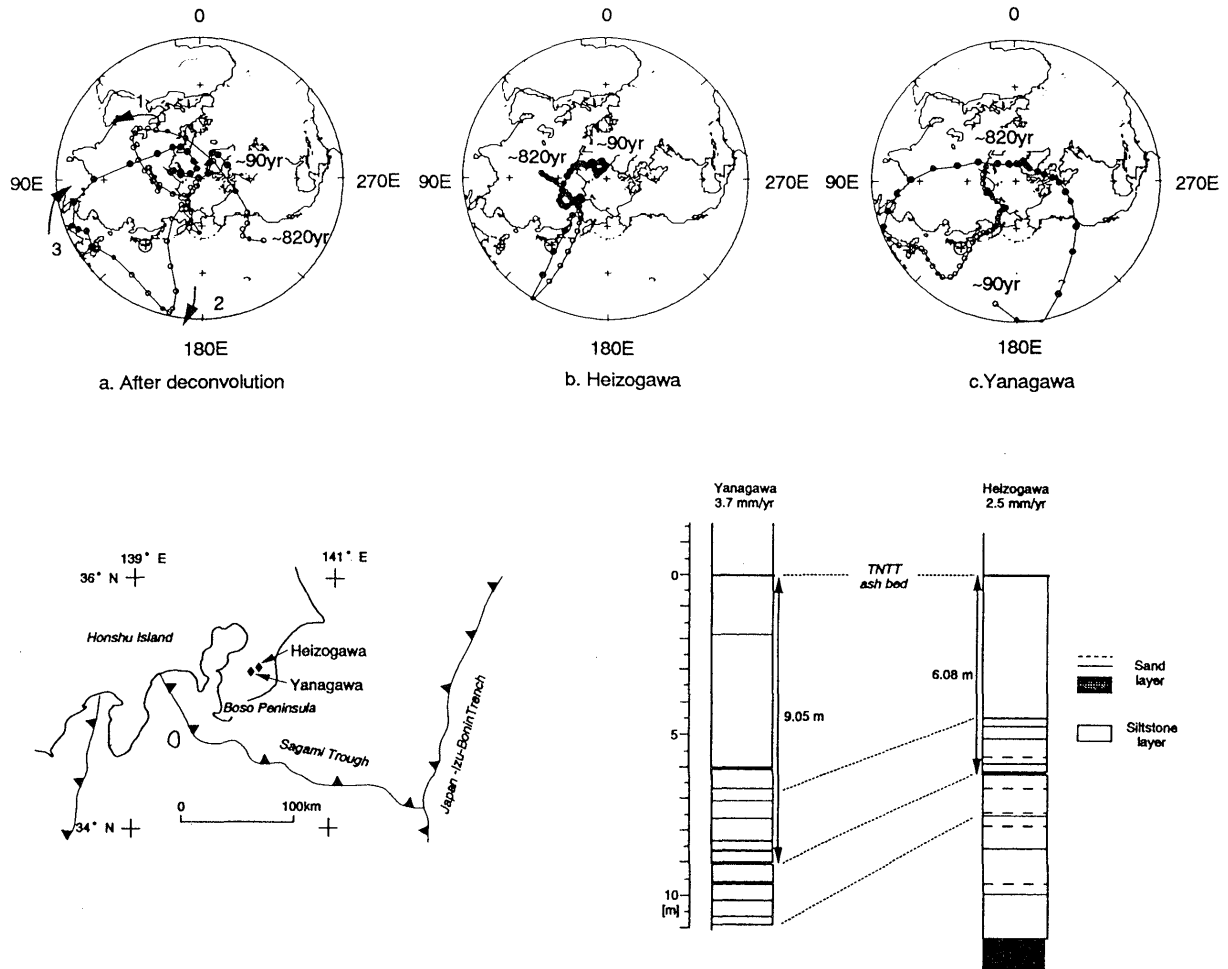
地球全域に渡り同時期面を追跡できる最も優れた方法として, 地球磁場極性を対比する古地磁気層序学をあげることができる. 地球磁場は地球中心核の電磁流体力学的作用によって形成されるが, 核内のカオス的振る舞いに起因する地球磁場逆転は, 地球上何処でも地磁気を急変させることから, 地質年代層序表の基準として用いられている. ただし, 測定可能なのは正逆の地球磁場極性変化であるため, その正逆の縞模様を地球磁場逆転史の何処に位置づけるかは, 他の層序学的手段に頼る必要がある. 海成堆積物については浮遊性微化石層序が, 火山岩については放射年代が主要な補助手段として使用されている. 標準とされる地球磁場逆転史は, 海洋底拡大の際に海洋底が当時の地球磁場を残留磁気として獲得したとする Vine and Matthews (1963) の仮説に従って, 海洋の地磁気異常の縞模様から作成されている (第3図). この地磁気逆転史は, 世界各地で行われた古地磁気層序学の結果と調和的であることから標準として使用されているが, 海洋地磁気異常の起源は DSDP・IPOD・ODP の深海掘削計画における検証においても, 海洋底のどの部分によって担われているのか判明していないのが現状であり, 見かけ上の合致は, 循環論に陥っている可能性も否定できない.

最も時間精度の良い層序学的手段としてあげられるのは, 火山灰層序である. 火山の噴火には種々の様式があり, その噴火様式に応じた火山灰を噴出する. 一回の火山灰の放出は, 数時間から数日程度であり, 地質学的時間からすると破



第3図 過去9000万年の古地磁気極性層序年代の検討 (Mead, 1996). 海洋地磁気異常に基づき提案された12の年代尺度の対比. 黒が正磁極で, 白が逆磁極. 海洋底における地球磁場の記録機構が判明していないにもかかわらず, この一致は驚くほどであり, 古地磁気層序は汎世界的層位学的基準として第一級の手段である.

格の短さである. 野外における火山灰鍵層の追跡には, 類似した岩相の火山灰層をそれぞれ識別するために, 複数の火山灰層を組み合わせ命名追跡することで, 他の火山灰と混同を避ける方法が考案された (三梨ほか, 1959; 三梨, 1998). 野外の肉眼的性質のみならず, ガラスや鉱物の屈折率や化学組成を比較測定する方法が火山灰の認定に取り入れられ (町田・新井, 1992), 第四紀の火山灰である広域テフラを日本列島全域に追跡できることが示された (第4図). 日本列島の堆積物を研究していると, 世界の何処でも火山灰が挟んでいるものとの誤解しがちであるが, 日本と同様な海洋プレートの沈み込み帯で活火山のあるイタリア, インドネシア, ニューージーランドにおいてですら, 堆積岩中の火山灰の挟在は限られており, 岩相層序の確立に困難を伴う. その点, 日本列島の堆積物には火山灰が豊富に含まれており, 層序研究にとっては大変好都合である. この恵まれた条件を地域層序研究に最大限に生かし, 第四紀はもとより新第三紀以前の挟在火山灰の中から広域火山灰を認定・対比する作業を推進することは, 日本列島に多くの地質同時面を与えることとなり, 層序研究のみならず火山・堆積地質・構造地質・環境地質の研究へも第一級の基準を与えることになろう. 火山灰は

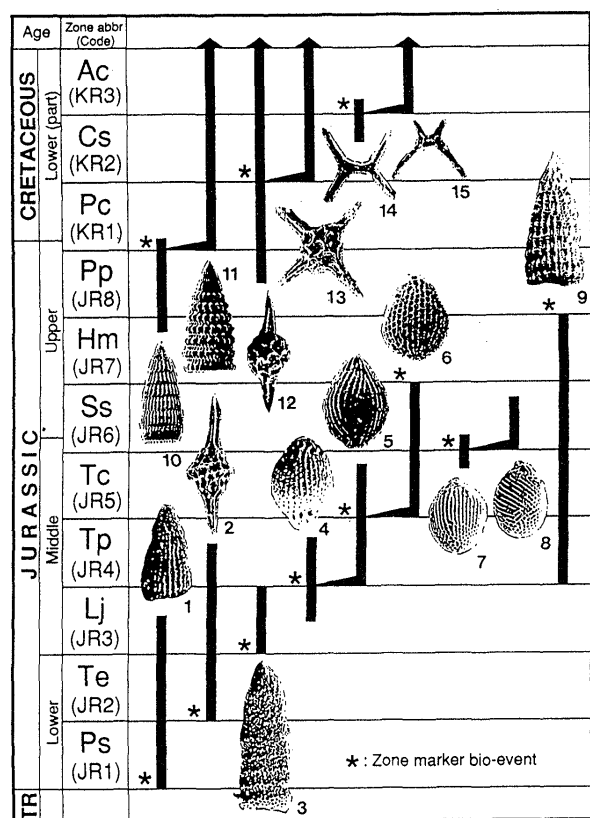


第5図 房総半島本層上部の火山灰鍵層 TNTT 直下に存在する Brunhes/Matuyama 地球磁場逆転層準の古地磁気連続測定結果 (Tsunakawa et al., 1996). 堆積速度の異なる平蔵川 (b) と柳川 (c) における磁極移動経路と帯状磁化モデルによって復元した真の磁極移動経路 (a).

序が解明し易く、化石を豊富に含み、長期間連続的に堆積した地域について行われている。化石層序の研究報告では、扱う化石が産出した場合には記載されるが、産出しない場合には報告しないのが通例であり、産出しない地域については研究が行われたかどうかわからない。産出しないことも化石の保存・生物地理・堆積環境などを知るために重要な地質学的資料となることを考えると、今後は試料を検討したが産出なかった場合の記載も行う必要がある。同一層序について古地磁気層序が検討されるなら、化石種の出現や消滅時期を汎世界的に比較することが可能になる。

各種の化石層序学的手法の確立に当たって、日本の研究者が世界的に貢献していることは、国際深海掘削計画における活躍によっても明らかである。これらの研究者の目はあくまでも汎世界的層序学マーカーに向けられ、局地的なものに囚われないようにする傾向があった。しかし、地球環境変動の研究には局地的な化石種の出現や消滅も重要な意味を持つと考えられるので、今後は局地的相違についての研究の発展が期待される。

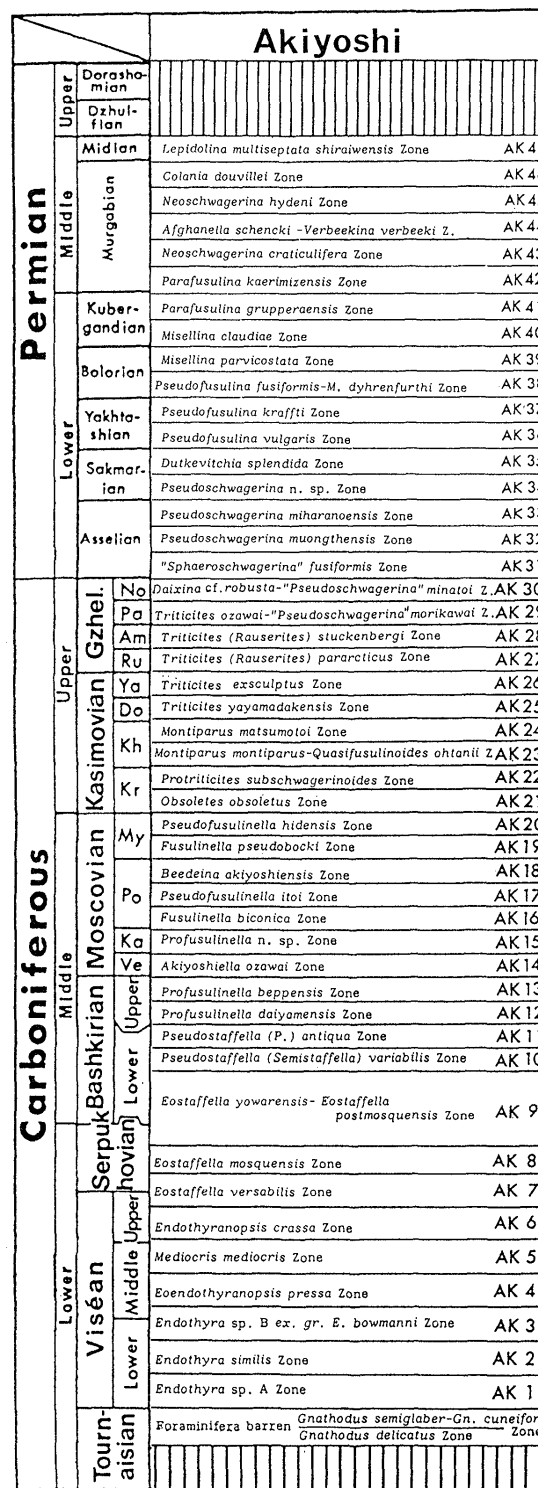
酸素同位体層序は、酸素同位体比が化石殻の形成水温および海水の同位体比によって変動する性質を利用する。海水の同位体比は極域の水床量変動によって支配されているために、海水温が変化しない場合には汎世界的な対比に使用できる。特に、氷期・間氷期を繰り返す過去 50 万年間に関しては水温変化による同位体比変動幅よりも水床量変動による幅が大きく、最も重要な対比手段となっている。氷期・間氷期の繰り返すは、地球軌道要素の変動によるミランコビッチ時計によって支配されていると考えられており、放射年齢とは独立に千年単位の天文学的年代を地質時代に付けることを可能にした (Berger et al., 1984; 新妻, 1995)。この方法は、日本周辺から採取される海洋底堆積物に定期的適用されて詳細な年代対比に使用されているが、陸上に露出する堆積岩に対する適用は極めて限られている。今後、酸素同位体比測定ができる石灰質殻化石を産出する堆積物について、その手法を系統的に適用することが望まれる。同位体比記録は、層序学的な対比の他に、水温分布や水塊分布など地球環境変動に関する情報も提供する。



第6図 日本列島の付加体から復元したジュラ紀・白亜紀の放射虫化石層序 (Matsuoka, 1995).

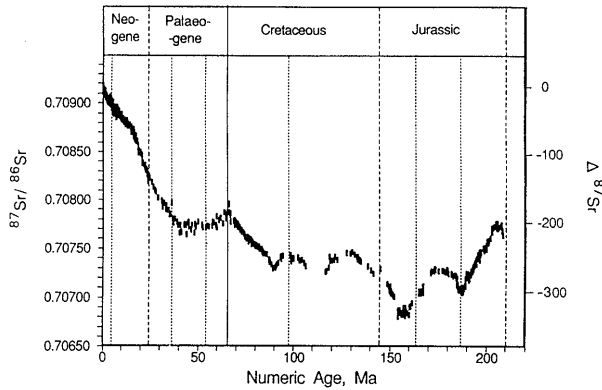
氷床量の変動は、直接海水準変動を起こして浸食・堆積基準面を変動させる。この汎世界的な基準面変動に伴う堆積環境・堆積体形態の変動を使用するのがシーケンス層序である。堆積地質学においては、堆積相の詳細な観察から海底扇状地における堆積場の位置づけができることから、日本においてもシーケンス層序の研究が盛んに行われるようになった。この堆積岩の岩相解析に加えて、氷床量の直接的指標である酸素同位体比層序との対応が得られれば、堆積場の変動が氷床性海水準変動に起因するのか、それとも地殻変動や気候変動に起因するのか、循環論に陥らない「生き生きとした」日本列島像を得ることができるようになる。このような対応が可能になれば、化石を産出せず断片的に露出する堆積岩についても、その岩相から層序学的に位置づける道を開くこともできよう。氷床量の変動は、地球全体の気候変動によって起こるが、気候そのものの変動を各種化石群集変化から調べる環境変動層序との対応も重要である。

陸域が浸食されて碎屑物が海域に供給されると、それに伴い供給されるストロンチウムが、海水のストロンチウム同位体比を変動させる。この同位体比変動を用いるのがストロンチウム同位体比層序である (McArthur, 1994; 加藤ほか, 1997)。この方法は、汎世界的な大陸侵食とテクトニクスの関係や、ストロンチウム同位体の変動過程と地球環境変動の関係を解明するためにも重要であり、今後わが国でも推進していく必要がある (第8図)。



第7図 付加した海山の上に乗る秋吉台石灰岩の詳細な石炭紀・ペルム紀紡錘虫化石層序 (Ozawa and Kobayashi, 1990).

古地磁気層序学の研究は、化石層序・放射年代・シーケンス層序などと組み合わせられ、活発に行われるようになってきた。海洋磁気異常から復元できる地球磁場逆転史は、現在の地球上に存在する海洋底の年代までに限られるが、それよりも古い年代範囲まで地球磁場逆転史を明らかにする努力が進



第8図 過去2億2000万年のストロンチウム同位対比の変動 (McArthur, 1994).

められている。米国東部の Newark Basin には三畳紀の湖成堆積物が連続的に露出しており、その層序を詳細に解明するための学術ボーリング計画が実施され、地磁気逆転層序が明らかにされている (Kent et al., 1995; 新妻, 1998)。この掘削では、バイカル湖の湖底堆積物の記録に匹敵するプレート境界湖の長期間連続記録が得られており、古地磁気層序記録とともに乾燥・湿潤のミランコビッチ周期と対応するような堆積サイクルが保存されている。この時期の日本の地層には、海洋プレートに沈み込まれる大陸縁辺部に堆積した、淡水・浅海の堆積サイクルを持つ美祿層群などがある。Newark Basin の古地磁気から求められた磁極の位置は、従来の研究から求められたものと調和的であり、当時の日本の位置は北極圏にあったとされており (例えば, Habicht, 1979), 全地球テクトニクスや当時の古気候を検討するために重要な位置を占めている。古地磁気層序の研究は岩石の残留磁気ベクトル測定に基づいて行われるが、一般には汎世界的に追跡できる地球磁場逆転層準の対比のために残留磁気の方角のみに関心が持たれている。しかし、ベクトルの大きさである磁気強度は試料に含まれる磁性鉱物の種類と量によって数桁に及ぶ変動があり、磁性鉱物の供給源・運搬・堆積状態を知るために重要な地質学的情報を担っており、今後は層序対比に大いに活用するべきである。近年、ODP などにおいては、掘削で得られた柱状試料について帯磁率強度を定常的に測定し、層序対比に使用している。帯磁率強度は粒径の大きい磁性鉱物の量的変化に対応しており、実際に層序対比に役立っている。岩石には形成時の地球磁場が残留磁気として記録される他に、その後その岩石が、現在までの間に二次的に獲得した残留磁気も保持されており、古地磁気学の研究ではこの二次的磁化をいかに消磁するかが重要となる。二次的磁化は、試料内の磁性鉱物の種類と量によって異なり、層準によって差があるのは当然である。したがって、これらの磁気的性質を着実に記載し、岩石の磁性・残留磁気の性質を把握し、その基礎の上に立って、古地磁気方位を検討し、地球磁場逆転層準の対比や、磁極移動の研究を展開すべき段階にきている。

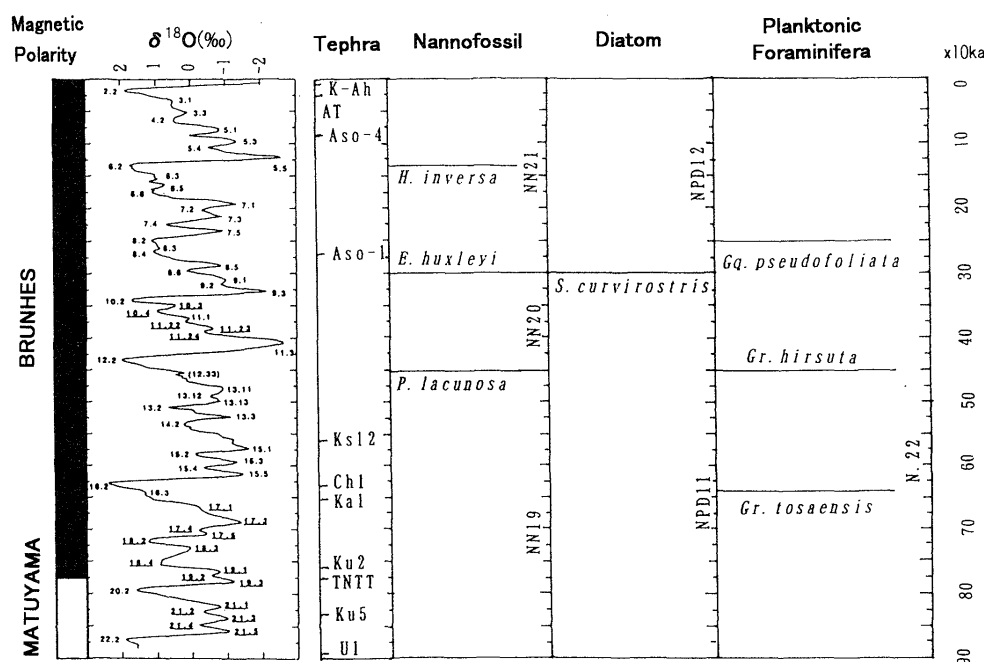
日本列島の層序学の将来

近年の層位学的发展によって、過去数百万年間については、万年単位の精度で汎世界的比較が可能になってきており、更に精密化への努力が続けられている。この時間解像度が向上すれば、地殻変動や環境変動をより詳細にかつ定量的に解析することができるであろう。現在、汎世界的な同時面が捉えられているのは、岩相層序が明確な限られたルートに限定されており、日本列島全域の地殻変動や環境変動を定量的に解析するためには、日本列島全域をできるだけ均等に覆う同時面の追跡と環境に関する資料が必要になる。これまで確立されている層位学的手法を徹底的に適用し、侵食などで地質記録が失われている部分については、失われている時間間隔を明確にし、地質記録を読み尽くす体制の構築が必要であろう。

このようにして追跡された地層中の同時面の標高と同時面が形成された時の水深 (あるいは標高) がわかれば、その同時面が形成されてから現在までの地殻変動量が直接与えられる。多くの同時面が追跡できれば、それぞれの同時面について地殻変動量が定量的に見積もられ、日本列島全域にわたる地質時代の地殻変動の変遷を定量化できることになる。この長期間にわたる地殻変動資料は、地殻やマントルの力学を構築することを可能にするであろう。また、同時面形成時の堆積環境を化石試料や堆積物の性質から知ることができれば、日本列島全域について環境変動を地球環境変動と対応させて詳細に解析することが可能になる。

地質記録の保存率や調査のし易さからみても、現在から次第に過去に遡るのが順当であろう。このような計画の好例としては、1960年代から1970年代にかけて実施された最終氷期の汎世界的気候復元計画である CLIMAP があげられる (CLIMAP, 1976)。この計画では、残念ながら日本周辺は網羅されていなかった。その後、日本近海から採取された深海堆積物の研究から、氷期における海水準の低下によって日本海が外洋から隔離されたことなどが明らかにされている (例えば, Oba et al., 1991)。ただし、日本各地の沖積平野下に埋積された記録についての研究は余り進められていない状況にある。広域テフラ、酸素同位体比、各種化石層序を用いて詳細な堆積環境の変遷を描きだすことができれば、地球環境変動や現在進行中のテクトニクスを理解することに役立ち、地球環境問題や防災に十年から千年オーダーの時定数を持ち込んだ議論への基礎資料を提供することとなる。現在行われているこの種の研究例としては、活断層の活動経歴の推定をあげることができる (杉山, 1998)。調査対象と範囲が飛躍的に拡大され日本全土を覆うことを期待したい。

扱う年代を最終氷期から氷期・間氷期の繰り返す90万年前まで拡大すると、地殻変動によって隆起した海成堆積物が日本各地に露出している。これらの研究成果を系統的に日本列島を覆う面として接続することが21世紀の主題となる。この年代範囲では各種の層序学的資料が揃っており、多くの同時面が追跡できる (第9図)。この年代範囲についての詳細な同時面の追跡と堆積環境の変遷が記述できれば、地球環



第9図 日本列島における過去90万年間の各種層序学的鍵層準。

地磁気極性は黒が正、白が逆。酸素同位体比曲線は、赤道インド洋の浮遊性有孔虫 *Globigerinoides ruber* による (Basinot et al., 1994)。

境変動や地殻変動に十年から十万年の範囲の時定数を導入することが可能になる。陸域は隆起しているが、沈降している地域は海域となっているため海域の堆積物の調査とも密接な連携のもとに進める必要がある。この程度の年代範囲を明確にできれば、現在の日本列島の地殻・マントルを支配している力学の解明も射程に入ってくるであろう。

更に年代範囲を数百万年から1千万年前まで拡大すると、海洋プレートの沈み込みの様相変化について百万年オーダーでの解析が可能になる。過去のテクトニクスについての理解は、プレートテクトニクスの出現によって、おおいに進展した。プレートテクトニクスは、全地球規模において地球表層が変形しないプレートの運動によって記述できることを示したが、そこに働く力学的記述ではない。また、現実の地球表層は変動帯では変形しており必ずしも剛体のプレートではないことから、プレートテクトニクスを超える理論の登場が望まれてきた。既存のパラダイムを超えるためには、そのパラダイムの基本教義の破れが顕著な所や、パラダイムから予言される特異点を集中的に研究することが常套手段とされている。日本列島は、変形の著しい変動帯にあり、しかも房総沖にプレートテクトニクスの枠組みでは安定に存在できない世界唯一の海溝・海溝・海溝型三重会合点 (McKenzie and Morgan, 1969) が存在し、その周辺では、伊豆・小笠原弧と西南日本弧が衝突し、中央構造線に代表される本州弧の構造を大きく変形させている (Niitsuma, 1996)。これらに関する詳細な記載は、海洋底の研究がプレートテクトニクスを誕生させたのと同様に、プレートの変形像の詳細を明らかにし、変形を担っている力学を構築するための鍵となるであろう。

年代範囲を2千万年-3千万年前まで溯ると、日本列島がア

ジア大陸縁部から分離誕生した詳細な地殻変動の様子が解明できる。日本列島を誕生させた日本海の拡大は、現在のプレート運動よりも著しく速い速度で起こったことが古地磁気学的に示されているが (Otofuji and Matsuda, 1984)、この拡大の様子を詳細に明らかにすることは、テクトニクスの力学を構築するために必要である。

日本列島の骨格を成し、帯状構造を構成する付加体についての層序学研究は、海洋プレートの沈み込みを理解するために大きな貢献をしてきた。21世紀を目指して建造が計画されている掘削船とこれを利用するOD21計画でも、海洋プレートの沈み込み境界で現在起こっている諸現象の解明が行われるであろう。海洋掘削などから得られる限られた資料の他にも、日本列島に広く分布する付加体は、前弧域で起こっている現象を解明するための資料の宝庫と言える。海溝陸側の前弧域には、付加体の上に形成される前弧海盆埋積堆積物があるが、陸上に露出する付加体においては、その後の地殻変動のために変形・剪断されており両者の区別は容易でない。今後はこれらを明確に区別してそれぞれの層序を確立し、付加機構解明のために着実な基礎資料を積み上げる必要がある。海溝における付加機構そして付加体の変形・剪断・破碎機構は、現在の海溝型地震の発震機構と密接に関係しているはずであり、防災の面でも地質学が社会に貢献する土台を提供するものである。前弧海盆は連続的に遠洋性堆積物が堆積する場であり、その堆積物は種々の層序学の基準として使用できると同時に下位の付加体の構造変形の影響も受けていることから (例えば、三梨, 1998)、付加機構の解明にとっても重要である。

上述のような研究を推進するために、従来は、野外におい

て試料を採取し、実験室に持ち帰って分析を行い層序を組み立てる方式が一般に行われてきた。ただし、深海掘削計画ではそれぞれの層序学専門家が世界から掘削船に乗船して、掘削された試料をその場で並行して分析し、多大な成果を上げている。試料採取層準に疑問が出れば直ちに試料を取り直して再検討することが可能である。また、対象とする化石などが産出しなない場合には、産出しそうな岩相から試料を取り直し、その有無を確認することも可能である。この種の再検討は、層序学の質を著しく向上させるので、陸上に露出している堆積岩についても、現地あるいは調査用の宿において分析できる体制を確立することが望まれる。古地磁気測定においては、消磁装置を内蔵し、コンピュータ制御された自動古地磁気測定装置が開発され(新妻・小山, 1994)、宿における古地磁気測定が実施されている。岩石磁気的性質と岩相の関係を野外調査と並行して知ることができるので、古地磁気学的に有効な試料を採取するために威力を発揮するとともに、大量の試料を採取する際に発生する試料番号や方向付けの誤りを宿における測定で見いだすなど、再度試料採取を行うことができる。顕微鏡を宿に持ち込んで、微化石の存否や保存状態などをスミアスライドを作成して検討する時期にきているのではなからうか。

堆積物中に同時面を着実に追跡するという手段を駆使する層序学の研究は、過去の長期間の地殻変動に対し豊富な資料を提供している。堆積物の性質や堆積物に含まれる化石からは堆積環境の情報が提供され、テクトニクスや地球環境変動研究の基礎を築く最も重要な分野となっている。また、地球科学の他の分野から提唱される諸仮説を最も端的に検証することができるのも層序学である。我々は20世紀における層序学の実績を背景に、21世紀にも、できるだけ多くの同時面を見出し、それを徹底的に追跡する計画を組織的に推進すべきである。

地球シミュレーター計画と層序学

層序学研究によって得られる日本列島全域の地殻変動に関する詳細な資料が、21世紀の固体地球科学においてどのような役割を果たすかを考察してみる。

固体地球科学の分野では、地球表層から地殻、マントルそして中心核を扱うが、資料が最も豊富なのは地球表層部である。地殻下部やマントルには、直接測定器を送ったり直接試料を採取することができないために、間接的な手段による探査や地下深部の状態を作り出す高温・高圧実験が地殻・マントル研究の主要な手段となっている。諸技術の発展に伴い、地下深部に関する資料が増加しているとはいえ、圧倒的に多い地球表層の資料に比べるべくもない。地球表層の地殻変動は、地殻やマントルの力学的性質や応力・熱などの諸状態によって支配されており、それらの性質や状態が複雑な相互作用をしていることが予測されるが、我々は地殻やマントルについて極めて限られた間接的資料しか持ち合わせていない。

近年の計算機技術の進歩とシミュレーション技術の進歩によってこのような閉塞的な状況を改善できる可能性が出てきた。日本では科学技術庁が、これまでのスーパーコンピュー

タよりも1000倍の演算速度と1000倍の記憶容量を有する超スーパーコンピュータを開発して地球科学関係のシミュレーションを行おうとする地球シミュレーター計画を1997年から開始した。地球シミュレーターのような大容量・高速度の計算機が実現できれば、極めて限られた地下の地殻・マントルの情報を使用して、資料の豊富な地球表層部の力学シミュレーションを行い、その結果を地球表面の地殻変動と比較しながら、より現実的な地殻・マントルのモデルを構築する方法を使用することができる。

日本列島の骨格は、海洋プレートの沈み込みに伴って形成された付加体とそれを貫く火成岩によって構成されており、多くの構造線によって区切られている。これらの地質学的背景は、日本列島の地殻構造と直接対応しているはずであるが、従来の計算機シミュレーションではこのような地質構造区を考慮することができなかった。計算機能力を飛躍的に充実した地球シミュレーターの出現によって、地質構造区をも解像できる詳細なシミュレーションの可能性が生まれてきたのである。

現在進行中の地殻変動は、測地学によって詳細にしかも系統的に計測されているが、取り扱える時間範囲は100年程度であり、地殻やマントルとの相互作用を解明するためには短かすぎる。一方、層序学研究によって得られる資料には、地球形成以後現在までの地球表層の情報が含まれており、固体地球の諸相互作用を特徴付ける種々の長さの時定数の影響を抽出することが可能である。そこで、測地学から得られる現在進行中の地殻変動を層序学資料と整合化させ、100年程度の地殻変動が層序学資料としてどのように残されているかを明らかにし、より長期間の地殻変動の解析に進展させる必要がある。ただし、層序学資料の難点は、資料の地域的偏在である。地球シミュレーターによる、日本列島の地殻変動についてのシミュレーション結果と比較検討できる層序学資料の充実が望まれる。また、削剝などで資料の欠如している地域の取り扱い法を確立する必要がある。

房総沖には、世界唯一の海溝・海溝・海溝型プレート三重会合点が存在し、その周囲では、阪神・淡路大震災や関東大震災、丹沢・伊豆の衝突、中部日本の帯状構造の屈曲(Niitsuma, 1996)、そして富士山の噴火(新妻, 1997)などが起こっている。これらの激しいテクトニクスは、プレートテクトニクスを超えるパラダイムを形成するための格好の対象と言えよう。扱う年代範囲として、まず現在からフィリピン海プレートが沈み込みを開始した数百万年前(Niitsuma, 1988)の期間のシミュレーションの実現が望まれる。丹沢・伊豆の衝突を含むこの地域について、在来の資料に基づき、堆積深度の変動とプレート運動についての過去数百万年前までのキネマティクスのコンピュータグラフィクス復元が試みられている(神奈川県立博物館, 1995)。この復元で用いられている層序学的資料は、この地域に存在する堆積物記録と比較すると限られており、今後、本格的に充足させてゆく必要がある。

また、地球シミュレーターは、層序学によって読み出された堆積環境の変遷資料を、気象学的、気候学的、海洋学的に

解析するために使用することができ、現在、人類がかかえている地球環境問題に新たな光明を与えることが期待される。

21 世紀の層序学と日本地質学会

21 世紀においては人類の活動範囲が拡大し、層序学のみならず地質学に対する状況は急激に変化することが予測される。地質学会においてもそのような状況に対応する体制の整備が望まれている。その体制整備の一環として、設立された層序部会は、上述のような日本列島の層序学的解明を担い、日進月歩している調査法や測定技術、そして堆積性地質体形成についての成果を取り入れ、常に最新の層序体系を作り上げるとともに適用範囲を拡大することを目的としている。各種放射年代、古地磁気層序、各種化石層序、酸素同位体層序、Sr 同位体層序、テフラ層序、シーケンス層序、環境変動層序等を含み、日本の地質体に適用しやすい最新の地質年代表を常に提供する計画が層序部会において検討されている。また、層序部会は、自然に謙虚に学ぶ姿勢を保持するとともに、そのような研究を進展させるために後継研究者の養成を行う。現在、社会に要求されている人類生活空間に直結する地表についての地質学的思考を発展させ、自然から学んだ成果を積極的に還元するための橋渡しを層序部会は目指している。これらの成果が防災対策や土木工事に反映されれば、地質学の社会的評価は高まり、地質学が人間生活に直結する国家施策に大きな影響力を持つことになろう。

自然状態における露頭は、20 世紀の層位学的研究の主な対象であったが、21 世紀には災害防止工事のために急速に減少することとあいまって、ボーリング試料や工事現場の人工露頭の重要性が増加するものと予想される。この種の人工露頭は、切り出し後直ちに建造物で覆われることから、短期間内に適切な観察と研究用試料の採取を系統的に行わなければならない。そこで必要なのは、工事のための調査業者や工事施工業者との密接な関係の構築と、これらの調査・研究を系統的に推進するための組織および行政あるいは立法処置であろう。考古学の近年の新発見の数々は大規模土木工事の事前調査によっていることは我々に多くの示唆を与える。このような観点に立つと、地質学の発展を担うのは、大学の研究者のみの体制では難しいことは明らかである。幸い、現在の日本地質学会は大学の研究者・官公庁・調査業界・教師と均衡のとれた会員構成を有しており、21 世紀に向けて、これらの利点を大いに活かした新たな発展を期待することができる。

文 献

Akiba, F., 1986, Middle Miocene to Quaternary diatom biostratigraphy in the Nankai Trough and Japan Trench, and modified lower Miocene through Quaternary diatom zones for middle-to-high latitudes of the north Pacific. *Initial Rep. Deep Sea Drill. Proj.* **87**, 393-451.
 浅野 清, 1954, 化石層位学の諸問題. 有孔虫, **3**, 16-51.
 Basinotet, F.C., Labeyrie, L.D., Vincent, E., Quidelleur, X., Shackleton, N.J. and Lancelot, Y., 1994, The astronomical theory of climate and the age of the Brunhes-Matuyama magnetic reversal. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **126**, 91-108.
 Berger, A., Imbrie, J., Hays, J.D., Kukla, G. and Saltzman, B., 1984

eds., *Milankovich and Climate*. Reidel, Dordrecht, *NATO ASI Series C*, **126**, part 1, 510 p.
 Blow, W.H., 1969, Late Middle Eocene to Recent planktonic foraminiferal biostratigraphy. *Proceedings of First International Conference on Planktonic Microfossils, Genova 1967*, **1**, 199-422.
 Bolli, H.M., 1957, Planktonic foraminifera from the Eocene Navet and San Fernando formations of Trinidad, B. W. I. *Bull. U.S. Nat. Mus.*, **215**, 97-123.
 CLIMAP Project Members, 1976, The surface of the Iceage Earth. *Science*, **191**, 1131-1137.
 Dietz, R.S., 1961, Continental and ocean basin evolution by spreading of the sea floor. *Nature*, **190**, 854-857.
 Habicht, J.K.A., 1979, Paleoclimate, paleomagnetism, and continental drift. *AAPG Studies in Geology*, **9**, 31 p., 11 fold-outs.
 Hanzawa, S., 1935, Some *Operculina* and *Miogyopsina* from Japan and their stratigraphic significance. *Tohoku Imp. Univ., Sci. Rep., 2nd Ser. (Geol.)*, **18**, 1-29.
 Hays, J.D. and Opdyke, N.D., 1967, Antarctic Radiolaria, magnetic reversals and climatic change. *Science*, **158**, 1001-1011.
 Hess, H.H., 1962, History of ocean basins. In Egel, A.E.J. et al. eds. *Petrologic studies: a volume in honor of A.F. Buddington*, Geol. Soc. Amer., 599-620.
 藤岡一男, 1949, 東北日本内帯台島期植物群の 2 型. 地質雑, **55**, 648-649.
 Imoto, N. and Saito, Y., 1973, Scanning electron microscopy of chert. *Bull. Natn. Sci. Mus. Tokyo*, **16**, 397-400.
 Isacks, B., Oliver, J. and Sykes, L.S., 1968, Seismology and the new global tectonics. *Jour. Geophys. Res.*, **73**, 5855-5899.
 磯崎行雄, 1997, 分裂する超大陸と生物大量絶滅. 科学, **67**, 543-549.
 神奈川県立生命の星・地球博物館, 1995, 丹沢の衝突, 伊豆の衝突. 展示解説書, 神奈川県立生命の星・地球博物館, 100-101.
 勘米良亀輪, 1976, 過去と現在の地向斜性堆積体の対応 I・II. 科学, **46**, 287-291; 371-378.
 加藤 進・田澤孝一・中村孝教, 1997, 基礎試錐「相馬沖」における新生代ストロンチウム同位体層序. 地質雑, **103**, 1046-1052.
 Katto, J., 1960, Some Problematica from the so-called unknown Mesozoic strata on the southern part of Shikoku, Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. 2. Spec. Vol.*, **4**, 323-334.
 甲藤次郎・平 朝彦, 1978, 室戸半島層群の岩相と堆積環境. 地質ニュース, no. 287, 21-31.
 Kenneth, J.P. and Watkins, N.D., 1974, Late Miocene-early Pliocene paleomagnetic stratigraphy, paleoclimatology, biostratigraphy in New Zealand. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **85**, 1385-1398.
 Kent, D.V., Olsen, W.K. and Witte, W.K., 1995, Late Triassic-earliest Jurassic geomagnetic polarity sequence and paleolatitudes from drill cores in the Newark rift basin, eastern North America. *Jour. Geophys. Res.*, **100**, 14965-14998.
 小池敏夫・猪郷久治, 1970, 日本産三疊紀コノドントによる新発見. 地質雑, **76**, 267-269.
 LePichon, X., 1968, Sea-floor spreading and continental drift. *Jour. Geophys. Res.*, **73**, 3661-3697.
 町田 洋・新井房夫, 1992, 火山灰アトラス [日本とその周辺]. 東京大出版会, 東京, 286 p.
 Martini, E., 1971, Standard Tertiary and Quaternary calcareous nannoplankton zonation. *Proceedings II Planktonic Conference Roma 1970*, **2**, 739-785.
 丸山茂徳, 1997, 全地球ダイナミクス—もっと新しい地球観をめざして. 科学, **67**, 498-506.
 丸山茂徳, 1998, 21 世紀の日本の地質学. 地質学論集, no. 49, 167-183 (本論集).
 Matsumoto, H., 1926, On two new Mastodonts and an Archetypal *Stegodon* of Japan. *Tohoku Imp. Univ., Sci. Rep., 2nd Ser. (Geol.)*, **10**, 6-9.
 Matsuoka, A., 1995, Jurassic and lower Cretaceous radiolarian zonation in Japan and in the western Pacific. *Island Arc*, **4**,

- 140-153.
- Maxwell, A.E., von Herzen, R.P., Andrews, J.E., Boyce, R.E., Milow, E., Hsu, K.J., Percival, S.F. Jr. and Saito, T., 1970 a, *Initial Report Deep Sea Drilling Project*, 3, 806 p.
- Maxwell, A.E., von Herzen, R.P., Hsu, K.J., Andrews, J.E., Saito, T., Percival, S.F. Jr., Milow, E.D. and Boyce, R.E., 1970 b, Deep Sea Drilling in the south Atlantic. *Science*, 168, 1047-1059.
- McArthur, J.M., 1994, Recent trends in strontium isotope stratigraphy. *Terra Nova*, 6, 331-358.
- McKenzie, D.P. and Parker, D.L., 1967, The North Pacific: An example of tectonics on a sphere. *Nature*, 216, 1276.
- McKenzie, D.P. and Morgan, W.J., 1969, Evolution of triple junctions. *Nature*, 224, 125-133.
- Mead, G.A., 1996, Correlation of Cenozoic-late Cretaceous geomagnetic polarity time scales: An Internet archive. *Jour. Geophys. Res.*, 101, 8107-8109.
- 三梨 昂, 1998, 火砕鍵層による変動帯の地質と基盤運動. 地質学論集, no. 49, 23-31 (本論集).
- 三梨 昂・安国 昇・品田芳二郎, 1959, 千葉県養老川・小櫃川の上総層群の層序—養老川・小櫃川流域地質調査報告一. 地調月報, 10, 83-98.
- Morgan, W.J., 1968, Rises, trenches, great faults, and crustal blocks. *Jour. Geophys. Res.*, 73, 1959-1982.
- 中川久夫・新妻信明・早坂 功, 1969, 房総半島新生代地磁気編年. 地質雑, 75, 267-280.
- Nakagawa, H., Niitsuma, N., and Elmi, C., 1971, Pliocene and Pleistocene magnetic stratigraphy in le Castella Area, southern Italy—a preliminary report. *Quater. Res.*, 1, 360-368.
- 中世古幸次郎・西村明子・菅野耕三, 1979, 四万十帯の放散虫化石研究. 大阪微化石研誌, 特別号 2, 1-49.
- 新妻信明, 1976, 房総半島における古地磁気層位学. 地質雑, 82, 163-181.
- Niitsuma, N., 1988, Neogene tectonic evolution of southwest Japan. *Modern Geology*, 12, 497-532.
- 新妻信明, 1995, ミランコビッチ時計. 小泉 格・安田喜憲編「地球と文明の周期」, 「文明と環境」, 1, 朝倉書店, 東京, 53-59.
- Niitsuma, N., 1996, The trench-trench-trench type triple junction and tectonic evolution of Japan. *Geosci. Rep. Shizuoka Univ.*, 23, 1-8.
- 新妻信明, 1997, 富士山の地質と新富士溶岩の古地磁気. 静岡大地球科学研報, 24, 27-41.
- 新妻信明, 1998, 脱皮する陸上学術ボーリング計画と21世紀の地質学. 地質学論集, no. 49, 199-225 (本論集).
- 新妻信明・小山真人, 1994, 全自動古地磁気測定装置. 静岡大地球科学研報, 21, 11-19.
- Oba, T., Kato, M., Kitazato, H., Koizumi, I., Omura, A., Sakai, T. and Takayama, T., 1991, Paleoenvironmental changes in the Japan Sea during the last 85,000 years. *Paleoceanography*, 6, 499-518.
- Oda, M., Hasegawa, S., Honda, N. Maruyama, T. and Funayama, M., 1984, Integrated biostratigraphy of planktonic Foraminifera, calcareous nannofossils, radiolarians and diatoms of middle and upper Miocene sequences of central and northeast Honshu, Japan. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 46, 53-69.
- Okada, H. and Bukry, D., 1980, Supplementary modification and introduction of code numbers to the low-latitude coccolith biostratigraphic zonation. *Marine Micropaleont.*, 5, 321-325.
- Okada, M. and Niitsuma, N., 1989, Detailed paleomagnetic records during the Brunhes-Matuyama geomagnetic reversal, and a direct determination of depth lag for magnetization in marine sediments. *Phys. Earth. Planet. Inter.*, 56, 133-150.
- Otofuji, Y. and Matsuda, T., 1984, Timing of rotational motion of southwest Japan inferred from paleomagnetism. *Earth. Planet. Sci. Lett.*, 70, 373-382.
- Otuka, Y., 1939, Tertiary crustal deformations in Japan (with short remarks on Tertiary paleogeography). *Jub. Publ. Comm. Prof. Yabe's 60th Birthday*, 481-519.
- Ozawa, T. and Kammerer, K., 1983, Tectonic terrains of late Paleozoic rocks and their accretionary history in the curium-Pacific region, viewed Fusulinacean paleobiogeography. *Stanford Univ. Publ. Geol. Sci.*, 18, 158-160.
- Ozawa, T. and Kobayashi, F., 1990, Carboniferous to Permian Akiyoshi Limestone Group. *Guidebook for field trip No. 4, prepared for Benthos '90, The 4th International Symposium on Benthic Foraminifera, Sendai, Japan*, 1-31.
- 小沢儀明, 1923, 秋吉台石灰岩を含む上部秩父古生層の層位学的研究. 地質雑, 30, 222-243.
- Saito, T., 1963, Miocene planktonic foraminifera from Honshu, Japan. *Tohoku Univ., Sci. Rep. 2nd Ser. (Geol.)*, 35, 67-122.
- 斎藤常正, 1998, 海洋掘削によるプレートテクトニクスの証明. 地質学論集, no. 49, 33-42 (本論集).
- 佐野弘好・勘米良亀齡・坂井 卓, 1979, 四万十帯の緑色岩に伴う堆積物. 地質雑, 85, 435-444.
- 杉山雄一, 1998, 活断層調査の現状と課題. 地質学論集, no. 49, (本論集).
- 平 朝彦, 1998, 付加地質学の誕生と発展. 地質学論集, no. 49, (本論集).
- 平 朝彦・岡村 真・甲藤次郎・田代正之・斎藤靖二・小玉一人・橋本光男・千葉とき子・青木隆弘, 1980 a, 高知県四万十帯北帯(白亜系)における「メラレンジェ」の岩相と時代. 甲藤次郎教授還暦記念論文集, 林野弘済会, 高知, 179-214.
- 平 朝彦・田代正之・岡村 真・甲藤次郎, 1980 b, 高知県四万十帯の地質とその起源. 甲藤次郎教授還暦記念論文集, 林野弘済会, 高知, 319-389.
- 利光誠一・斎藤 真, 1997, 放散虫化石と海洋プレート層序. グラフィックシリーズ, no. 2, 地質調査所標本館.
- Tsunakawa, H., Okada, M. and Niitsuma, N., 1996, Deconvolution of paleomagnetic directions from marine sediments in the Boso Peninsula, Japan and its implications for Matuyama-Brunhes transition field. *Jour. Geomag. Geoelect.*, 48, 1541-1552.
- ペロウソフ, V.V., 1958, 造構過程の全体像. 湊 正雄・井尻正二監修, 「構造地質学」, 築地書店, 東京, 3, 180-189.
- Vine, F.J. and Matthews, D. H., 1963, Magnetic anomalies over oceanic ridges. *Nature*, 199, 947-949.
- Yokoyama, M., 1926, Fossil mollusca from oil-fields of Akita. *Imp. Univ. Tokyo, Jour. Fac. Sci., Ser. 2*, 1, 377-389.

(要 旨)

新妻信明, 1998, 日本列島の層序研究の現状と将来. 地質学論集, 第49号, 9-21.) Niitsuma, N., Perspectives on the stratigraphic research of the Japanese Islands. *Mem Geol. Soc. Japan*, no. 49, 9-21.)

プレートテクトニクスの根幹を握る海洋底拡大説を証明した層序学は、海洋プレート沈み込みに伴って形成される付加体の認定に重要な役割を果たし、地球科学革命の担い手として発展を続けている。層序学において用いられる基本的な手法は、地質体の中に同時面を追跡することであり、今後の研究の発展のためには追跡できる同時面の数を増やして時間精度を向上させるとともに、追跡範囲を拡大させていく必要がある。地質現象の層序学的な検証は、地球科学における諸仮説を判定する最良かつ必須の手段である。日本列島は世界唯一の海溝・海溝・海溝型プレート三重会合点の周囲にあり、激しく変動している。日本列島の堆積記録中の同時面から復元された精密な地殻変動や環境変動についての資料は、スーパーコンピューターによる力学的あるいは気象学的解析によって、プレートテクトニクスや地球環境問題を超越する新たなパラダイムを構築するための重要な役割を果たすであろう。