

# ジュラ紀付加体地質学：序論

## Geology of Jurassic accretionary complex: An Introduction

### はじめに

1980年代初頭の「放散虫革命」以後、日本列島の中で従来「本州地向斜」とされていた地質体についての微化石層序学的研究が飛躍的に発展し、プレートテクトニクス、付加体地質学研究の進展を背景として、西南日本内帯や秩父累帯の諸岩石がジュラ紀に形成された付加体（以下、付加コンプレックス）であると考えられるにいたった。1990年代初頭までに、ジュラ紀付加コンプレックスに関する研究は、微化石層序学を軸として、構造地質学・堆積岩岩石学・古地磁気学・放射年代学・地球化学などの多様な手法を用いて遂行され、数多くの成果を生んだ。それらの概要については、すでに、水谷・小澤（1993）、八尾・水谷（1993）で総括されている。地質学会年会の個人講演では、ジュラ紀付加コンプレックスに関する研究発表はそれまで「中生代」のセッションの中に一括されていたが、1990年代後半には「付加体」のセッションが新設され、付加コンプレックスが独立の研究課題であることが広く認知されるようになった。

しかし、これまで、ジュラ紀付加コンプレックス研究全体を総括する論文集が編集されたことはなく、研究の現状や今後の課題、および異なる専門分野間の共通課題が見通しにくい状況にあった。また、これまでのジュラ紀付加コンプレックス研究を通じて、付加体地質の基本的特徴として理解されている海洋プレート層序・覆瓦構造・メランジュの典型的な例の存在が具体的に実証され、微化石層序や層序区分の方法などが活発に議論されてきた。したがって、ジュラ紀付加コンプレックス研究全体を総括することは、今後の研究課題を明確にするだけでなく、一般的な付加体地質学研究方法の体系をも示すことができると期待される。

こうした状況を踏まえて、ジュラ紀付加コンプレックスの研究成果や研究手法の全体を総括し、今後の研究課題や方向性を明らかにすることを目的として、1997年10月、福岡で開催された日本地質学会において、「ジュラ紀付加体の起源と形成過程」（世話人：木村・佐野・小嶋）と題するシンポジウムが企画され、10の講演がなされた。これに先立ち、1997年4月に東京学芸大学にて、「ジュラ紀付加コンプレックスの研究の現状」と題する討論会や、また、1998年9月に、信州大学にて付加体の層序区分の方法や命名法に焦点を当てた討論会が、上記の福岡シンポジウムの講演者を中心として開催された。

本論集では、これらシンポジウムと討論会の趣旨に基づき、シンポジウムの内7つの講演内容と、シンポジウムで

は触れなかった研究課題も新たに付け加え、計13の論説および総説が掲載されている。

以下、各研究課題について、本論集に掲載された論文の内容の紹介を中心に概説する。ただし、緑色岩の岩石学、古地磁気学、付加体の熱構造・熱履歴などについては、総括することができなかったことは残念であり、その点をお断りする。

### 付加体地質学の手法

さまざまな研究手法の中で、本論集では、層序区分法、放散虫化石層序学、地球化学、K-Ar法の放射年代学について総括されている。

### 層序区分の方法

付加体相当の地質体では、地層の層序的累重関係がさまざまな程度で破壊されているため、従来の岩相層序に基づいた層序区分の概念や基準は適用しがたいとみなされる。しかしこれまで、付加体の層序区分については、特に取り決めがなく様々な層序区分が併存している。そのため層序単元の命名に関しても少なからず混乱が生じている。付加コンプレックスについて、地層の岩相層序区分に対置できるものとして、どのような層序区分の概念が適当であるのか、その設定法や命名法について整理する必要がある。中江は、付加体の層序区分に有効と判断される構造層序単元の概念を解説し、その設定や命名法を丹波帯の例に基づいて具体的に提示している。こうして設定された構造層序区分は、海洋プレート層序の性質や付加過程および付加後の造構運動の違いを反映していることを示した。

### 放散虫化石

放散虫化石層序学は付加体地質学の門戸を開く原動力となった。日本では、数多くの放散虫化石研究者が輩出し、現在でも一層精密になった放散虫年代が付加体地質学研究の展開に大きく寄与している。松岡は、付加体研究における放散虫化石の役割について、これまで10年間の研究成果を総括し、著者の現在検討しつつある事例を紹介する中で、次の3点を指摘している。それらは、(1) 放散虫年代学の進展によって付加体の成長速度や成長様式を定量的に議論することが可能になったこと、(2) 古生物地理学的研究が進み、今後付加体形成場の相対的位置関係を議論できるまでに進展すると期待できること、そして(3) 放散虫化石の含有量が堆積岩の物性を強く制御するという付加テクトニクス上の重要性である。

## 放射年代学

1990年代初頭に、日本では弱変成の泥質岩から微細な変成白雲母を抽出し、その K-Ar 年代を測定する手法が開発された。その手法は、放散虫化石の保存が悪い変成岩からなる地質体の地体構造上の位置づけや、付加体の形成史に高精度の時間尺度を導入するという点で重要な貢献をした。高見は、まず変成白雲母の K-Ar 年代測定法について、付加・変成履歴の解明や地体構造境界の決定、そして碎屑性白雲母の影響に関する総括をし、採取試料の岩質によっては続成段階の堆積岩を対象とする可能性を示した。その上で、西南日本のジュラ紀付加コンプレックスの付加・変成履歴について、著者の未公表データも含めて検討し、付加年代と変成作用のピーク年代との間に最大 1300-4900 万年の年代幅があること、隣接したユニット間の付加年代の差が少なくとも 700 万年以上ある場合には、変成年代にも明らかな差が認められることを示した。

## 地球化学

1980年代の初頭、MnO/TiO<sub>2</sub>値に基づいて層状チャートの堆積場が大陸縁辺域であるという仮説が出された。しかしその仮説は海洋プレート層序が示す堆積環境の変遷モデルと整合しない結論であり、地球化学的視点からの再検討が必要であった。また、海底貧酸素事件など、層状チャートに記録された地球環境の大規模な変化を示す地球化学的解析結果がこれまで数多く報告されてきているが、それらの概要を把握することは専門分野以外のものにとっては容易でなかった。堀ほかは、主に1980年以降の地球化学的研究を総括するとともに、化石層序学的・堆積学的視点から層状チャートの化学組成が意味するところを吟味している。上記の問題については、チャートの MnO/TiO<sub>2</sub>値は堆積場や続成段階での酸化・還元状態の変動を反映したものであると結論づけている。彼女らが検討した項目は、上記の Mn/TiO<sub>2</sub>比を始め、REE パターン、同位体組成、有機化学的組成など多岐にわたる。

### ジュラ紀付加コンプレックスの地域地質と広域対比

1980年代以降、西南日本のジュラ紀付加コンプレックスの大半について、岩相・地質年代・地質構造の詳細が5万分の1縮尺ないしそれ以上の精度の地質図を基礎として解明されてきた。こうした地質図を基礎にした詳細な地質学的データは、付加体の形成過程や付加物質の起源・堆積環境を復元する上で重要な役割を果たしている。

日本列島だけでなく、東アジア東縁に広くジュラ紀に形成された付加コンプレックスが分布していることが知られている。日本列島のジュラ紀付加コンプレックスの起源を考える上で、東アジアのジュラ紀付加コンプレックスとの対比は重要である。しかしこれまでその詳細な地質の総括や各地域間の層序対比がなされていなかった。本論集で、小嶋・亀高は、著者らの未公表データも含めて、東アジア東縁部のジュラ紀付加コンプレックスについて、分布・岩相組合せ・産出化石・年代・構造などに関して総括し、そ

れらには、古生代後期の石灰岩・緑色岩複合体の存在、三畳紀を主体としペルム紀からジュラ紀にわたる放散虫層状チャートの含有という共通した特徴があることを明らかにしている。

日本のジュラ紀付加コンプレックスについての全域にわたる地質の総括と統一的層序区分は、秩父帯では松岡ほか(1998)によって最近まとめられたが、西南日本内帯に関してはこれまで十分になされていなかった。中江は1980年代以降に公表された文献に基づき、各地域毎のジュラ紀付加コンプレックスの岩相組合せ・堆積年代・地質構造を編集・総括し、それらが6つの固有の海洋プレート層序をもつ構造層序単元に分類・対比でき、その分布には規則性が認められること、さらにそれらが整然相・混在相の特徴に基づいて細分できることを示している。そして、時代の経過とともに、付加作用が起きる場所や整然相/混在相の割合、付加された粗粒碎屑物の量が変化することを指摘している。

西南日本内帯のジュラ紀付加コンプレックスの地域地質に関する現時点での総括が、限られた範囲ではあるが本論集で以下のようになされている。指田・堀は八溝山地に分布するジュラ紀付加コンプレックスについて、これまでの層序区分に関する研究を総括し、八溝山地全域に適応できる新しい構造層序単元区分を提示している。その他、鎌田、脇田、木村は足尾帯、美濃帯、丹波帯に関する最新の地域地質をそれぞれ概説している。

### 構成岩石の起源と古環境解析

ジュラ紀付加コンプレックスは塩基性火山岩類・石灰岩・層状チャートなどの海洋性岩石と陸源碎屑岩類から構成されている。それらの堆積環境や起源に関する問題はジュラ紀付加コンプレックスの起源を考える上で根幹をなしている。

### 粗粒碎屑物

1980年代までに礫種や砂岩のモード組成の研究は一段落したが、1990年代に入って、特に CHIME 年代法によるモナザイトやジルコンの碎屑粒子年代解析が後背地解析の新時代を作りつつある。竹内は、ジュラ紀付加コンプレックス中の粗粒碎屑物について、礫種、砂岩のモード組成、碎屑粒子年代、堆積相や古流向に関する研究を総括した。その中で特に、CHIME 年代や著者が進めているザクロ石の化学組成のデータを駆使することにより、ジュラ紀の粗粒碎屑物の後背地が大陸縁辺部の火山弧および接触変成帯から、先カンブリア紀の高度変成岩からなる大陸基盤へと変化したことを指摘した。その変化は北中国地塊と南中国地塊との衝突に起因すると解説している。

### 海洋性岩石

ジュラ紀付加コンプレックスの海洋性岩石は、メランジュ中の孤立したブロックとして産することが多いが、陸源碎屑岩類と一連の海洋プレート層序をなして産すること

も少なくない。海洋性岩石は海洋環境の変遷、古地理、沈み込んだ海洋プレートの年齢などを記録する重要な研究対象である。佐野・小嶋は、西南日本内帯のジュラ紀付加コンプレックス中の石炭系～ジュラ系海洋性岩石の起源を解明する目的で、浅海成と深海成の両海洋性岩石の形成時における相互関係に注目し、その分布・産状・岩相層序・化石相・年代に関するこれまでの研究を幅広く総括した。その中で、浅海成・深海成海洋性岩石が海山頂部から下部斜面にかけて堆積した同時異相の堆積物であること、そして層状チャート中に挟まれる浅海起源の碎屑性炭酸塩岩と碎屑粒子が両者をリンクしていることを強調している。

### 地質構造と変形過程

#### スラスト・覆瓦構造

ジュラ紀付加コンプレックスの地質構造は、ナップ構造と覆瓦構造で特徴づけられることが各地域の地質研究で実証されてきた。ナップ構造は、日本列島の骨格をなす付加コンプレックス全体を特色づける構造でもあり、それは太平洋型造山帯の特徴であるとする見解が有力である（例えば、磯崎・丸山, 1991）。しかし、ナップ構造は付加体形成とどのように関連しているのか、ナップ構造と覆瓦構造との関連はどのようなのかについては、これまで解析的研究がほとんどなされていない。木村は、丹波帯に典型的に発達する低角ナップ構造とその内部の覆瓦構造について、3次元的な幾何学像と運動像を解析した。そして、ナップが付加体内部で out-of-sequence thrust（順序外スラスト）の活動で形成された構造であり、現世付加体の順序外スラスト帯内部の地質大構造に相当することを示し、スケールを入れた構造断面図を使って付加体の構造発達モデルを提示している。鎌田は、足尾帯のチャート-碎屑岩シーケンスに関して、詳細な放散虫化石層序に基づいて、覆瓦構造の実態とデコルマ面の存在を示し、その付加過程を議論している。

#### メランジュ

メランジュの成因論は、付加テクトニクスの根幹をなす研究課題の一つであるが、これまでジュラ紀付加コンプレックスについては、オリストストローム説、泥ダイアピル説、構造変形説など様々なものが提案されており、未だ解決を見ていない。本論集でも2つの異なるモデルが提示された。脇田は、美濃帯のメランジュについて、海洋プレート層序がどのように破壊・変形・混合されているかを、地質図規模から岩石薄片規模で検討し、それぞれの規模で剪断変形が普遍的に生じていることを示し、メランジュが付加体の造構過程に関連して形成されたとするモデルを提示した。一方、山縣は、鈴鹿山脈北部に分布するペルム紀の海洋性岩石からなるメランジュを詳細に調査し、それが玄武岩質基質とそれに包有される海洋性岩石起源の岩塊からなることを示し、岩塊に保存された岩相層序が海山と周辺の海洋底にかけての堆積環境を記録していることなどから、この地域のメランジュが海山の大规模崩壊に

伴って発生した岩屑なだれ堆積物起源であると考察している。

### おわりに

本論集の内容に関連して、特に指摘しておきたい点や今後の研究課題の一部を以下に述べる。

#### 付加体地質学の用語

付加体に関する地質学的研究の歴史は浅く、そのため基本的な専門用語についてすら、あまり整理されておらず、その意味や用法について混乱しているのが現状である。層序区分についても、本論集で中江が述べたように、その基準や命名に不統一な点が多々ある。例えば、本論集でも、西南日本内帯のジュラ紀付加コンプレックスの総称について、美濃-丹波帯、美濃-丹波-足尾テレーンなど、様々な名称が使用されている。「地学事典」など日本でよく使われる地質学の辞書でも、付加体地質に関連した用語が未掲載であったり、一般的でない解説が採用されている例もある。本論集で付加体地質の用語を整理しその解説をすることはできなかったが、その点は、掲載された各論文の用語の定義や解説を必要に応じて参照していただきたい。付加体地質学の普及・発展のためにも用語解説の現時点でのスタンダード版の作成が求められよう。

#### 付加コンプレックスの層序区分

付加コンプレックスの層序区分について、次の点をあらためて指摘しておきたい。付加コンプレックスのマッピングにおいては、各地域の特性、研究者の研究目的・手法を反映した基準に基づいて、まず第1段階としての層序区分がなされる。この段階では、地域が異なれば、また研究者が違えば、層序区分のとりえ方は異なって当然であろう。しかし次に、各層序の広域対比や付加コンプレックスのテクトニクスを考察する場合、それに有効な層序区分と基準があらためて設定されることになる。研究者間での層序区分の基準の違いは、第1段階と第2段階のいずれかに根ざす。前者については、単に区分の際の便宜的な問題にすぎないので特に問題にする必要はないが、第2段階に関連した相違は、付加コンプレックスの実態、特に初生的岩相層序と年代、メランジュなどの地層・岩石の混在化の成因や断層による変位・再配置の復元がいかに明確にできるかにかかっている。今後、より高精度で質の高い地質データを取得することによって、第2段階の層序区分をより正確に確定できるようになるものと期待される。

#### 付加過程の定性的解析から定量的解析へ

付加過程に関しては、これまで付加の機構や付加体の構造形成を示すモデルが提出されてきたが、ほとんどのモデルは概念的・定性的であり、それらの構造断面図にはスケールの明示もなく、地質構造の形成速度もあまり省みられることがなかった。

本論集で松岡と高見が総括したように、放散虫化石層序

と K-Ar 年代法が高精度化された。これらは、松岡が指摘しているように、付加体の成長速度や成長様式を定量的に議論するツールになる。さらに、地質図スケールでの正確な 3 次元的幾何学像を得ることは、付加体の成長過程を実証的に解析するために不可欠であり、木村による縮尺を入れた付加体の構造モデルは先駆的な例である。今後、付加体内部の地質大構造をより深部域にわたって明確にするためには、弱変成付加コンプレックスの P-T-t-D 経路の解析、および地震波探査や重力などの地球物理的手法との総合化が求められる。

こうした付加体の定量的解析は、プレート境界における巨大地震発生帯での断層運動や堆積物の付加と付加体の構造的侵食作用との相対的割合などの実態解明にも貢献しよう。

### 古海洋環境・古地理復元研究手法の高精度化・総合化

本論集で堀ほか記述したように、放散虫化石層序により高精度な年代尺度が与えられた海洋プレート層序は、石炭紀後半からジュラ紀にわたる詳細な古海洋環境の実証的研究を可能にしている。その際、地球化学的手法だけでなく、堆積物、特に層状チャートの堆積様式・続成作用の堆積学的吟味が必要であり、これら研究手法の併用による古海洋環境復元の研究の発展が期待される。

一方、古地理復元の研究課題についても、本論集で松岡は放散虫の古地理指標としての発展性を指摘しているが、さらに、藤井ほか (1993)、安藤 (1998) が示したように、放散虫化石層序と古地磁気層序とを比較・併用することによって、チャートの堆積場が南北どちらの半球であったのかを含めてより詳細に明らかにできる可能性が生まれてきている。

### ジュラ紀付加コンプレックスの非斉一的特徴

「現在は過去を解く鍵」といわれるが、ジュラ紀付加コンプレックスについてみると、現世付加体と比較して際立って異質な特徴がある。現世の海溝沈み込み帯で付加体が形成されている地域は全体の約 20% と限られており、そこで沈み込む海洋プレートの年令は 8000 万年より若く、いずれも大量の碎屑物が陸側から供給されている。一方、ジュラ紀付加コンプレックスは、東アジア東縁のほぼ全域をカバーする程広大な範囲にわたって形成されており (小嶋・亀高)、しかも沈み込んだイザナギプレートは、誕生から沈み込むまで、8000 万年から 1 億 5000 年以上を経た成熟した海洋プレート (例えば、磯崎・丸山, 1991) であった。このことは、大量の堆積物が東アジア東縁一帯にわたって供給されたことや、イザナギプレートに何らかの

非斉一的な要因が存在したことを示唆している。しかし、こうしたジュラ紀付加コンプレックスの非斉一的な特徴の要因や背景を実証的に帰納するデータはまだ不十分であるといえる。今後の重要な研究課題にあげることができよう。

本論集がジュラ紀付加コンプレックスの現状を理解し、21 世紀に向けた付加体地質学の飛躍的発展に貢献できることを期待したい。

## 謝 辞

本論集を編集する上で、編集委員以外に下記の多くの方々に原稿の査読をしていただいた。ここに記して深く感謝の意を表します。

石田啓祐 (徳島大学)、江崎洋一 (大阪市立大学)、大藤茂 (富山大学)、小川勇二郎 (筑波大学)、狩野謙一 (静岡大学)、酒井 彰 (地質調査所)、竹内 誠 (名古屋大学)、寺岡易司 (元地質調査所)、中島 隆 (地質調査所)、服部勇 (福井大学)、久田健一郎 (筑波大学)、堀 利栄 (愛媛大学)、松岡 篤 (新潟大学)、武蔵野 実 (京都教育大学)、山本鋼志 (名古屋大学)、八尾 昭 (大阪市立大学)、脇田浩二 (地質調査所)。

## 文 献

- 安藤暁史, 1998, 美濃帯犬山地域三畳紀層状チャートの古地磁気 - 特に Anisian 後期の古地磁気層序について -。日本地質学会第 105 年学術大会講演要旨, 46.
- 藤井純子・服部 勇・中島正志, 1993, 中生代初期の赤色層状チャートにおける放散虫生層序と古地磁気層序の研究。大阪微化石研究会誌, 特別号, no.9, 71-89.
- 磯崎行雄・丸山茂徳, 1991, 日本におけるプレート造山論の歴史と日本列島の新しい地体構造区分。地学雑誌, **100**, 697-761.
- 松岡 篤・山北 聡・榊原正幸・久田健一郎, 1998, 付加体地質の観点に立った秩父累帯のユニット区分と四国西部の地質。地質雑, **104**, 634-653.
- 水谷伸治郎・小澤智生, 1993, 西南日本内帯の秋吉帯と美濃帯の中・古生代テクトニクス。日本地質学会編纂, 日本の地質学 100 年, 193-201.
- 八尾 昭・水谷伸治郎, 1993, 放散虫化石の研究と中・古生界層序の再検討。日本地質学会編纂, 日本の地質学 100 年, 131-136.

木村克己<sup>1</sup>・小嶋 智<sup>2</sup>・佐野弘好<sup>3</sup>・中江 訓<sup>1</sup> (編集委員会)

Editors: *Katsumi Kimura, Satoru Kojima, Hiroyoshi Sano and Satoshi Nakae*

<sup>1</sup>工業技術院地質調査所, <sup>2</sup>岐阜大学工学部土木工学科, <sup>3</sup>九州大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻