

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月 5日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2011

課題番号：21540482

研究課題名（和文） 小型有殻化石群と生痕化石から探るカンブリア爆発の初期段階の古生物学的研究

研究課題名（英文） Paleontological study on the early phase of Cambrian Explosion based on the small shelly fossils and ichnofossils

研究代表者

大路 樹生 (OJI TATSUO)

名古屋大学・博物館・教授

研究者番号：50160487

研究成果の概要（和文）：カンブリア紀最初期に起きた多細胞動物の急速な進化の実態を化石記録から探るため、カナダ・ニューファンドランド、中国貴州省・雲南省、そしてモンゴル・ゴビアルタイの各地域に分布するカンブリア系最下部とそこから産出する生痕化石群、小型有殻化石を採集、観察した。その結果、以下の事項が明らかとなった。1. ニューファンドランドのカンブリア系基底付近の *Treptichnus pedum* 帯と *Rusophycus avalonensis* 帯で、生痕化石の多様度、密度分布は2段階の増大を示すことが分かった。またこのころ異なる環境に対応した生痕相は成立していないこと、微生物マットの表面に付着するタイプの生痕は生じていないことが明らかとなった。2. 中国雲南省のカンブリア系基底部付近の小型有殻化石を詳細に観察し、その中に有顎動物（ヤムシ）の顎器と考えられる化石が含まれることが明らかになった。このことから、当時の中層水に捕食動物であるヤムシが存在していたことが示される。3. 中国貴州省に分布するカンブリア紀初期の後期の地層である Chintingshan 層（浅海成）と、同時期の Balang 層（前者よりやや沖合の地層）の生痕相を比較した結果、異なる生痕相が認識され、このころまでに異なる環境に対応した生痕相が成立していたことが示唆された。

研究成果の概要（英文）： We investigated pattern of rapid evolution of metazoa occurred in the Early Cambrian, based on the ichnofossils and small shelly fossils sampled or observed from Newfoundland, Canada, Guizhou and Yunnan provinces, China and Gobi-Altai, Mongolia. As a result, following three things were clarified. 1. Two-staged, stepwise increase in the diversity and bedding plane bioturbation index were detected in the *Treptichnus pedum* and the *Rusophycus avalonensis* zones, the lowest biozones in the Lower Cambrian. In these zones, there were no development of a clear differentiation of ichnofossils according to different sedimentary facies, and also there is no clear ichnofossils detected on the upper surface of microbial mats. 2. Based on the detailed morphological studies on the protoconodonts from the lower Meishucun Stage in Yunnan Province, some of these are considered as grasping spines of chaetognaths (arrow worms). This discovery in turn suggests that there were predatory animals present in the mid-water column of the pelagic environment in the Early Cambrian. 3. We compared ichnofossils from two late Early Cambrian formations (Chintingshan and Balang), the former formation deposited slightly shallower environment than the latter. In this time, there was already differentiation of ichnofossils according to the different environments, which character was not detected in the ichnofossils from the earliest Cambrian of Newfoundland.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・層位・古生物学

キーワード：カンブリア紀、多細胞動物の多様化、進化、生痕化石、小型有殻化石、ニューファンランド、貴州省、ゴビ・アルタイ

### 1. 研究開始当初の背景

小型有殻化石群 (Small Shelly Fossils, SSF) はカンブリア紀初期に特徴的に見られる、小型 (1mm 前後) の多様な形態の殻からなる化石群の総称である。従来シベリア、オーストラリア、ヨーロッパ、中国等のカンブリア紀の地層の基底部付近 (Nemakit-Daldynian 階と Tommotian 階、すなわち三葉虫などの大型動物が多く産出する層準の下位) に特徴的に産することが知られている。これらは先カンブリア紀最後期 Vendian から知られている、扁平で奇妙な生物群を除けば、最初に現れた多細胞動物の確実な化石で、しかも鉱物化した殻をもつ動物群といえる。従来、これらの小型有殻化石群は多様な動物群の一部、あるいは小型の動物体の主要部分をなすものと考えられてきた。例えば、最も多く産する錐状の殻は Protoconodonts, Conodont-like animals の一部と考えられたり、毛顎動物 (ヤムシ) の顎器 (Grasping spine) とされたり、また軟体動物、腕足動物の硬組織の一部であると考えられてきた。しかしこれらの小型有殻化石の実態はほとんど分かっていないのが実情である。

一方 Tommotian 階に続く Atdabanian 階からは、最近澄江 (帽天山泥岩層) から複数の毛顎動物 (ヤムシ) の化石が 2 個体発見され、そのうちの 1 個はすでに記載された (Chen and Huang, 2002)。また最近澄江から発見された 2 個体目の化石は、頭部に数対の顎器 (grasping spines) を明瞭に持ち体側部には細長いひれを持っている。このことからカンブリア紀初期 (520Ma) に確実に毛顎動物 (ヤムシ) が存在していること、そして中層水に適応したタイプのヤムシも当時存在していたことが示された。問題は同様の毛顎動物が澄江の時代 (約 520Ma) 以前にも存在して、重要な生態系の構成要因となっていたかどうかである。このヤムシの顎器 (Grasping spines) とこれらの錐状の化石が非常に形態的に似ていることが分かってきた。しかしこれらの比較形態的な検討はまだほとんど行われていない。

カンブリア紀初期の地層には、多くの場所で底質がソフトな状態と微生物によってセメントされた状態 (微生物マットの存在) の両者が存在する (Seilacher and Pflüger, 1994 ほか)。後者は生痕化石の出現が稀とされるが、実際には微生物マットの表面に棲管を残す動物も存在する。これらに加え、海岸

付近の流れの速い環境下の粗粒砂堆積物、レベルボトム泥底、そして浅海性の石灰岩堆積相のそれぞれで、底生動物がどのような多様化拡大を見せたのかはまだ十分に解明されていない。

### 2. 研究の目的

「カンブリア爆発」、すなわち多細胞動物が短期間に出現したという現象についてはいまだに確実な説明がされていない。しかしこの現象は最も重要な生命進化の課題の一つである。現在海洋環境に存在する多様な動物群が、カンブリア紀初期にどのような過程を経て誕生したのかを実証的に解明することは生物学、古生物学の大きなテーマであり、かつ最も挑戦的な課題である。今までカンブリア紀の有名な化石群 (澄江、バージェスなど) が主に研究されてきたが、これらは既に多様な動物群が出現した後の姿を見ている。中国貴州省・雲南省に分布するカンブリア紀最前期の地層を調査することにより、多細胞動物 (左右相称動物) の初期進化とその古生物地理的パターンという未解決の問題に答えを出せる可能性がある。

中国貴州省中部、および雲南省中部のカンブリア紀初期の地層を調査し、産出する生痕化石の多様度、出現密度、サイズ変化を追跡し、カンブリア紀初期にどのような動物がどのようなパターンで多様化したのか、そして多様化のパターンに地理的な違いが存在するかどうかを明らかにすることが第一の目的である。さらにカンブリア紀初期の地層に含まれる小型有殻化石を採集し、それがどのような動物の一部であるのかを解明する。これらのデータに基づき、カンブリア紀初期の海洋生物の生態系を復元し、当時の食物連鎖が現在のものと比べてどの程度の複雑さを持っていたのかを明らかにする。

過去の生物の多様化と絶滅という現象は、生物進化の歴史の中で何度も起きた重要なイベントであり、これを理解することは将来人類と人類を含む生態系の将来を長いタイムスケールで考える上で重要である。その生物の多様化の中で最も重要な現象である「カンブリア爆発」は上記のように未解明の点が多く存在する。カンブリア爆発の初期段階を化石記録と地層に残されたデータから実証的に解明し、当時の海洋生態系を復元することを目指す。

### 3. 研究の方法

【カンブリア紀初期の小型有殻化石群と生痕化石の研究】

カンブリア紀初期の地層の分布する、昆明南方梅樹村周辺のリン鉱石採石場を中心とした地域で、先カンブリア系～下部カンブリア系の地質調査（柱状図作成）と小型有殻化石を含む資料採取を行う。事前調査の結果と従来の研究から、当地は先カンブリア系から下部カンブリア系が連続して露出するすぐれた地域であり、小型有殻化石群はカンブリア基底の数 m 上位から初めて観察され、上位に向かって産出頻度を増し、かつ大まかに3つの Assemblage に分けられることが分かっている。また生痕化石はカンブリア系の基底から約 10m 上位のリン灰岩層下部付近に多くが見られ、それから上位に様々なものが存在することをあらかじめ確認している。そこでこの最下部カンブリア系の下位から上位へ産出層準からほぼ連続的にサンプリングを行い、構成生物化石の変化を把握する。特に通常の碎屑岩の表面と微生物によるセメントを受けた表面（微生物マットの表面）という底質の違い、炭酸塩岩と碎屑岩との違いなどに着目し、生痕化石の構成種、出現頻度、サイズ分布を観察・計測し、層準を追ってどう変化するかを把握する。

同じくカンブリア紀初期の地層が連続して厚く分布するニューファンドランド南部 Fortune Head 地域において、カンブリア系基底付近からカンブリア紀最初の生痕化石帯である *Treptichnus pedum* 帯、そしてその上に重なる *Rusophycus avalonensis* 帯の生痕相を観察し、その多様度変化、サイズ変化、生物攪乱の程度の定量化とその変化を記録した。

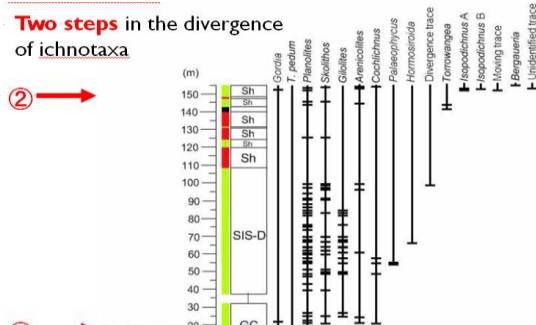


図 1. ニューファンドランド、Fortune Head のカンブリア系基底に見られる 2 段階の生痕化石の多様化

4. 研究成果

4-1. ニューファンドランド南部、Fortune Head に分布するカンブリア系最下部の 2 化石帯 (*Treptichnus pedum* 帯と *Rusophycus avalonensis* 帯) において、生痕化石の多様度、密度分布は 2 段階の増大を示すことが分

かった (図 1)。

る。*Rusophycus avalonensis* 帯の生痕が示す Bedding plane bioturbation index は時に中部カンブリア系の Wolsey shale (ワイオミング州) に匹敵する強さを示している。またこのころ異なる環境に対応した生痕相は成立していないこと、微生物マットの表面に付着するタイプの生痕は生じていないことが明らかとなった。

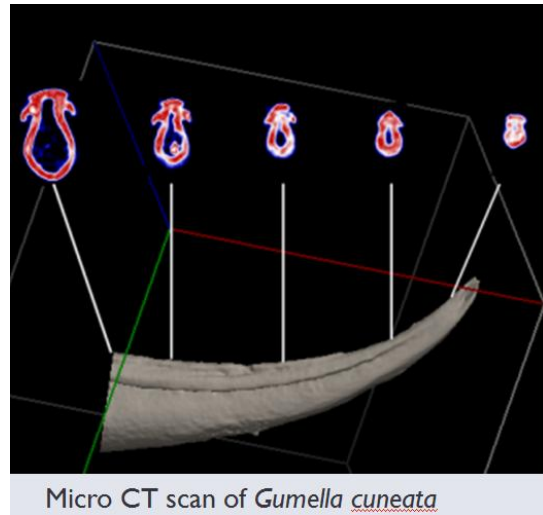


図 2. Protoconodonts の一つ、Gumella 属に見られる 3 層構造

4-2. 中国雲南省のカンブリア系基底部付近の小型有殻化石、および他地域からの小型有殻化石のうち、Protoconodonts と呼ばれる錐状の小型化石を Micro CT や EDS 等で詳細に観察し結果、その中に有顎動物 (ヤムシ) の顎器と考えられる化石が含まれることが明らかになった。図 2 には Protoconodont の一つ、Gumella 属の化石の断面が 3 層構造を持っていることを示している。このことから、この錐状の Protoconodonts の少なくとも一部はヤムシ (有顎動物) の顎器と考えられることが明らかになった。つまりカンブリア紀初期の海洋中層水には捕食動物であるヤムシが生息していたことが示される。

4-3. モンゴル西部のゴビ・アルタイ地域を調査し、カンブリア紀最初期の生痕化石群を認識した。今後当地の炭酸塩岩に含まれる小型有殻化石と比較検討し、生層序に役立てる計画である。

4-4. 中国貴州省に分布するカンブリア紀初期の後期の地層である Chintingshan 層と、同時期の Balang 層の生痕相を比較した。堆積相より Chintingshan 層は比較的浅海の地層と考えられ、Planolites isp., Cruziana isp. に加えて、Trichophycus isp., ?Treptichnus pedum, Monomorphichnus lineatus など堆積物の表面およびその内部に浅く潜る種類

が多数産出した。それに対し、Balang 層はやや沖合の環境に堆積した地層と考えられ、ここからは *Spirorhappe isp.*, *Bergaueria isp.* など、堆積物表面で活動する動物の生痕化石が多く見られた。このように、カンブリア紀初期の後期では、最初期には見られなかった、環境に応じた生痕相の分化が確認出来た。また雲南省のカンブリア紀最初期の生痕化石はニューファンドランドの生痕相と比較して高い多様度を有し、当時の気候あるいは地理の違いによる多様度の相違を認めることが出来た。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

1. Casenove, D., Oji, T. and Goto, T. 2011. Experimental taphonomy of benthic chaetognaths: implications for the decay process of Paleozoic chaetognath fossils. *Paleontological Research* 15: 146-153. (査読あり)

2. Oji, T. and Amano, K. 2011. Preface for the symposium "The Mesozoic revolution: a global biologic transformation". *Paleontological Research* 15: 53. (査読あり)

[学会発表] (計 5 件)

1. 大 路 樹 生・望月貴史、David Casenove. 「中国貴州省下部カンブリア系 Balang Formation 及び Chintingshan Formation の堆積相と生痕化石の変化」. 日本古生物学会 161 回例会 (2012 年 1 月 21 日)、於群馬県富岡市生涯学習センター.

2. 望月貴史・大 路 樹 生, Zhao Yuanlong. 「中国貴州省下部カンブリア系 Balang Formation 及び Chintingshan Formation の堆積相と生痕化石の変化」. 日本古生物学会 161 回例会 (2012 年 1 月 21 日)、於群馬県富岡市生涯学習センター.

3. 望月貴史・大 路 樹 生. 「生痕化石の多様化から探るカンブリア爆発の解明」. 日本地球惑星科学連合 2010 年大会 (2010 年 5 月 24 日、於幕張メッセ).

4. 望月貴史・大 路 樹 生. 「カンブリア紀における microbial mat 形成時の底生生物活動の進化」. 日本古生物学会第 160 回例会 (2011 年 1 月 29 日、於高知大学)

5. 望月貴文・大 路 樹 生. 「生痕化石から見るカンブリア爆発」. 日本古生物学会 159 回例会 (2010 年 1 月 30 日、於琵琶湖博物館).

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

該当なし。

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

大 路 樹 生 (OJI TATSUO)  
名古屋大学・博物館・教授  
研究者番号：50160487

##### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

##### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：