

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 14 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H05214

研究課題名(和文) 全球凍結からカンブリア爆発へ：地球環境変動と生態系進化のリンケージ解明に向けて

研究課題名(英文) From Snowball Ice to the Cambrian explosion: toward better understanding of the linkage between earth's environmental dynamics and biotic evolution

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 8,100,000円

研究成果の概要(和文)：モンゴル西部ズーン・アツのエディアカラ系より藻類化石を発見し、その特徴的な保存状態に関して化学分析と考察を行った結果、バージェス頁岩タイプの堆積岩であることが判明した。またバヤンゴル渓谷のエディアカラ系より垂直構造を持つ生痕化石を発見した。これは海底下4cmまで潜りU字状の形態をもった生痕で、おそらく前後に伸びた体制と深く底質を掘り込むことが可能な筋肉組織をもった左右相称動物によって形成されたもので、また捕食動物の存在も示唆される。このようにカンブリア紀より前に深く潜る生痕化石を報告し、左右相称動物と捕食動物の存在を示唆する成果が得られたことは、従来の学説を大きく変えるものとなった。

研究成果の概要(英文)：Two species of fossil algae were discovered from the Ediacaran of Zuun Arts, western Mongolia. The beds that contained these algae were concluded as special type of sedimentary rock known as "Burgess-type deposit" based on the chemical analysis and the mode of preservation. In addition, vertical trace fossils were discovered from the Ediacaran of Bayan Gorge. These trace fossils show U-shape that penetrate down to 4cm below the uppermost opening, suggesting that the producer was a bilaterian animal that was elongate in form and could burrow deep into the sediment, thus possessed ample musculature. Also this burrow suggests existence of predatory animals. This discovery was contradictory to the existing interpretation about Ediacaran life, firstly giving possible evidence of the existence of bilaterian animals and also predatory animals.

研究分野：古生物学

キーワード：エディアカラ紀 カンブリア紀 生痕化石 藻類化石 左右相称動物 捕食動物 古生態学

### 1. 研究開始当初の背景

原生代末期のエディアカラ紀から古生代初期のカンブリア紀にかけては、「全球凍結イベント」に代表される大規模な氷河期の終了後、生命史上他に例を見ない急速な進化が行われ、多様な多細胞動物群が誕生した時期として知られている。しかし地質・古生物記録の乏しさから、その実態、すなわち多細胞動物がどの時期から出現し、どのような進化を遂げたのかに関して、十分な理解が得られていない。特にカンブリア紀の古生物記録からはかなり短期間に脊椎動物に至る進化が急速に進行したことが明らかにされているが、それ以前のエディアカラ紀とカンブリア紀最初期に多細胞動物がどのような進化を行ったのかについては、化石記録の少なさから未解明の点が多く残されている。

### 2. 研究の目的

当研究では、モンゴル西部のゴビアルタイ地域に分布するエディアカラ系～下部カンブリア系の連続層序をターゲットに、全球凍結時の氷河発達期以降からカンブリア紀前期に至る地球環境変動と生物進化事変を、フィールド調査と得られた資料、それらの観察と化学分析から実証的に明らかにすることを目指す。特に従来注目されてこなかった、動物体の行動の化石である「生痕化石」と、藻類や小型有殻化石群に焦点を当て、多細胞動物の初期進化がどのように行われたのかを明らかにする。また当時熱帯地域に位置したモンゴルの生命進化と他地域との比較を生物地理学的に行う。さらにこれらの生命進化の証拠より、当時の生態系の進化を復元することを目指す。

### 3. 研究の方法

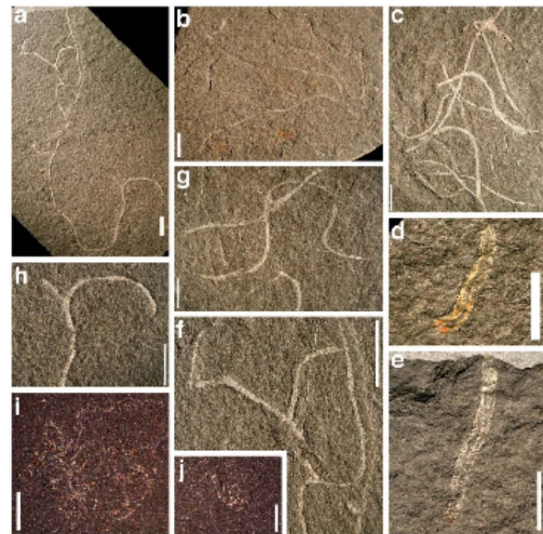
モンゴル西部のズーンアツ、バヤンゴル渓谷を中心に、エディアカラ紀～カンブリア紀前期の地層が連続して観察できる場所で地層の記載、炭素同位体比と生命記録に基づく地層の対比、堆積環境の推定を行い、これらを研究の基礎資料とする。含まれている生痕化石の記載と微化石の抽出を行い、どの層準でどのような生物が出現するのかを把握する。さらにこれらの生命記録から、エディアカラ紀にどの程度の動物進化が起こっていたのかを把握し、多細胞動物の進化がどの時期にどのように行われたのかに関するデータを得る。最終的にはこれらのデータから当時の生態系の進化に関する復元を行う。

### 4. 研究成果

モンゴル西部ゴビ・アルタイ地域およびザブハン地域のエディアカラ系、カンブリア系の地質調査と古生物調査を行い、下記の新たな発見を行った。

ザブハン地域ズーンアツのエディアカラ系から藻類化石の発見：

(1)エディアカラ系からの藻類化石は中国、アメリカ等から報告されているが、モンゴルからは初めての発見された(図1)。この藻類が含まれている堆積岩は、「バージェス頁



岩

図1. ズーンアツのエディアカラ系から発見された藻類化石。(a-h) *Chinggiskhaania bifurcata*, (i,j) *Zuunartsphyton delicatum*.

タイプの堆積岩」、すなわち通常保存されにくい生物の軟組織が急速に粘土鉱物に置換され保存される堆積岩であることがわかった。「バージェス頁岩タイプの堆積岩」はカンブリア系には良く見つかっているが、エディアカラ系からは珍しく、今後この堆積岩から動物体化石の発見が期待される。この結果は Scientific Reports 誌に共同で発表した。(2)ゴビ・アルタイ地域バヤンゴル渓谷のエディアカラ系から垂直構造を持つ生痕化石の発見：

エディアカラ系上部の層状石灰岩の11層準から垂直構造を持つ、直径1cmに達する大型の生痕化石を多数発見した。まず炭素同位体比を用いて他地域との対比を行うため、2m間隔でサンプルを採取し、同位体比を測定したところ、顕著な負の同位体比が見られ、これが PC/C 境界付近に存在する BACE イベントであると解釈された。またこの生痕化石はその BACE イベントより下位に存在し、エディアカラ系であることが確かめられた。

この生痕自体の構造を水平、垂直方向の断面で多数観察し、その立体構造を把握することができた。その結果、生痕の大半は垂直方向のシャフトから成ること、一部がU字状の構造を持つことが明らかになった(図2)。



図2 . バヤンゴル溪谷のエディアカラ系から発見された、U字状の形態を持つ生痕化石。スケールは1 cm。

この化石の発見により、従来エディアカラ紀には存在しないと考えられてきた、深く潜る動物の存在、このような行動を行うことのできる左右相称動物の存在、そして深く潜る巣穴を掘り身を隠す動物の存在が推察される。さらに捕食動物の存在も推定することができた。これらはすべて従来の考えを大きく変えるものである。この結果はRoyal Society Open Science に発表し、内外のマスコミを含め、大きな反響を得ることができた。

モンゴル西部のエディアカラ系から、他の地域に見られない多細胞動物のより早い出現が確認されたことから、当時の世界全体の古地理を考察し、当時の熱帯地域に存在したモンゴルがより早い動物進化をもたらした可能性を考察した。この結果は従来我々がカナダ、南中国、モンゴル西部で調査した生痕化石の多様性、活動度、サイズ分布の比較から示された、モンゴルでの早い進化の結果と整合的である。

#### 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 3件)

Oji, T., Dornbos, S.Q., Yada, K., Hasegawa, H., Gonchigdorj, S., Mochizuki, T., Takayanagi, H. and Iryu, Y. 2018. Penetrative trace fossils from the late Ediacaran of Mongolia: early onset of the agronomic revolution. Royal Society Open Science, DOI: 10.1098/rsos.172250. 【査読有り】

Dornbos, S. Q., Oji, T., Kanayama, A. and Sersmaa, G. 2016. A new Burgess Shale-type deposit from the Ediacaran of western Mongolia. Scientific Reports, 6: 1-5, DOI: 10.1038/srep23438. 【査読有り】

Wilmeth, D., Corsetti, F., Bisenic, N., Dornbos, S., Oji, T. and Gonchigdorj, S. 2015. Punctuated growth of microbial cones within Early Cambrian oncoids, Bayan Gol Formation, western Mongolia. Palaios, 12: 836-845. 【査読有り】

[学会発表](計 6件)

Oji, T. Large penetrative trace fossils from the late Ediacaran of Mongolia: Early onset of the agronomic revolution. 2nd Joint Conference Palaeontological Society of China & Palaeontologische Gesellschaft(招待講演)国際学会) 2017年10月10日~13日、中国湖北省宜昌。

Oji, T., Dornbos, S.Q., Hasegawa, H., Gonchigdorj, S., Yada, K., Kanayama, A., Mochizuki, T., Takayanagi, H. and Iryu, Y.

Recent new discoveries from the upper Ediacaran of western Mongolia. Annual Meeting of the Palaeontological Association (国際学会) 2016年12月14日~2016年12月16日、Lyon, France.

Oji, T., Dornbos, S.Q., Yada, K., Hasegawa, H., Gonchigdorj, S., and Mochizuki, T. Do we have any evidence of the existence of bilaterian animals in the Ediacaran? New trace fossil data from the Ediacaran of western Mongolia. Japan Geoscience Union Meeting 2016, 2016年05月26日、幕張メッセ、千葉市。

金山晃大, 大路樹生, Dornbos, S., Sersmaa, G. モンゴル西部における新たなエディアカラ系生物群の発見。日本古生物学会 165回例会、2016年01月30日、京都大学。

Oji, T., Dornbos, S.Q., Yada, K., Sersmaa, G., Hasegawa, H., Mochizuki, T., Takayanagi, H. and Iryu, Y. Ediacaran-early Cambrian ichnofossils from Mongolia, China and Newfoundland show geographically asynchronous appearance and evolution of metazoans. 30th Himalaya Karakoram Tibet Workshop (HKT2015) (招待講演、国際学会) 2015年10月08日、Wadia Institute of Himalayan Geology.

矢田 圭吾, 大路 樹生, Stephen Q. Dornbos, 長谷川 精, Sersmaa Gonchigdorj, 望月 貴史, 高柳 栄子, 井龍 康文. 「カンブリア紀の農耕革命」はいつ始まったのか? 日本地球惑星科学連合 2015年大会、2015年05月24日、幕張メッセ。

[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

The world's most important explosion  
<http://www.internationalinnovation.com/the-worlds-most-important-explosion/>

名古屋大学プレスリリース 5億5千万年前の生物進化に関わる世界最古の巣穴化石を発見！

[www.nagoya-u.ac.jp/about-nu/public-relations/researchinfo/upload\\_images/20180228\\_num\\_1.pdf](http://www.nagoya-u.ac.jp/about-nu/public-relations/researchinfo/upload_images/20180228_num_1.pdf)

Digging up the Precambrian  
<https://www.sciencedaily.com/releases/2018/03/180312091407.htm>

## 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

井龍康文 (IRYU YASUFUMI)  
東北大学・理学研究科・教授  
研究者番号：00250671

### (3) 研究分担者

高柳栄子 (TAKAYANAGI HIDEKO)  
東北大学・理学研究科・助教  
研究者番号：40729208

### (4) 研究分担者

長谷川精 (HASEGAWA HITOSHI)  
高知大学・理工学部門・講師  
研究者番号：80551605

### (5) 研究協力者

Stephen Q. Dornbos (STEVEN Q. DORNBOS)  
ウィスコンシン大学ミルウォーキー校・地球惑星科学教室・准教授

### (6) 研究協力者

Sersmaa Gonchigdorj (SERSMAA GONCHIGDORJ)  
モンゴル科学技術大学・石油地質学部・准教授