

令和 2 年 7 月 1 日現在

機関番号：63801

研究種目：国際共同研究加速基金（国際活動支援班）

研究期間：2015～2019

課題番号：15K21723

研究課題名（和文）冥王代生命学の国際研究ネットワーク展開

研究課題名（英文）International Research Network for the Hadean Bioscience

研究代表者

黒川 顕（Kurokawa, Ken）

国立遺伝学研究所・情報研究系・教授

研究者番号：20343246

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 44,000,000円

研究成果の概要（和文）：新学術領域研究「冥王代生命学の創成」における国際活動支援班は、本研究領域で進められている先端研究を国外に展開・推進し、国際的なプレゼンスの確立とその向上のための支援を行う事を目的としている。世界トップレベルの知見を動員して国際共同で研究を加速させる「ピーク研究推進」、計画研究ならびに公募研究から生まれる成果を通して冥王代生命学の裾野を拡大する「裾野拡大推進」を実施した。また、本研究領域の研究成果を分野外の研究者にもわかりやすく伝えるための映像集「全地球史アトラス」英語版を制作した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

生命の起源研究はすべての学問に関係する研究テーマであり超学際研究と言える。本研究グループは、生物学、化学、地球科学、物理学に跨る議論に挑戦し、その結果として生命起源の原子炉間欠泉モデル、タンデム惑星形成モデル、地球のABEL形成モデル、生命三段階進化モデルなどのユニークなモデルを提案した。また、冥王代類似環境微生物のゲノム解読の結果が、仮説から予想された必須代謝回路と一致した事は、異分野融合研究だからこそ得られた重要な成果である。これらの結果や仮説検証は今後に委ねられる部分もあるが、全く新しい分野を創成しつつあることは明らかであり、「新学術領域研究」にふさわしい成果を挙げる事ができた。

研究成果の概要（英文）：The purpose of the "International Activities Support Group" is to assist the Hadean-Bioscience research area to establish and enhance its international presence by expanding its advanced researches abroad. The "Peak Research Promotion" program is designed to accelerate international joint research by recruiting the world's top-level intelligence, and the "Field Expansion" program is designed to lead to the advancement of the Hadean Bioscience. In addition, we produced a collection of the English version of movies entitled "The Whole History of the Earth and Life" to communicate our research results to overseas researchers.

研究分野：ゲノム科学

キーワード：地球起源 化学進化 生命起源 ゲノム 惑星起源・進化

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

冥王代 (Hadean) を対象とする研究は、1996 年頃から始まる世界的にも非常に新しい研究分野である。これまでに約 400 報の論文が国内外で公表されているが、最近その引用数は指数関数的に増加しており、冥王代に着目した研究が分野を問わず興隆しつつある。このような情勢の中、「冥王代生命学の創成」研究における最大の強みは、我々が綿密な地質調査を経て発見した長野県白馬村の蛇紋岩熱水系の研究環境と、そこで採取された原始的な微生物サンプルを保有している世界で唯一の研究グループであるという点にある。この陸上蛇紋岩熱水系および微生物の利用により、前生物的「化学進化」研究を通じたボトムアップアプローチのみならず、現行の生物から最も古い時代の生物へと遡るトップダウンアプローチが可能となり、双方向から生命の起源に迫る研究を進めることができる。その一方で、原始的生命の誕生をもたらすために必要な環境条件を明らかにする冥王代地球表層環境進化の研究を並行して進めており、実験と理論の両面から冥王代地球を復元し、生命誕生に至るプロセスを解説しつつある。生命構成要素の合成過程を部分的に再現するに留まるような前生物的化学実験や、パンスペルミア説 (生命は宇宙から飛来したとする) や深海熱水系起源説といった証拠不十分な生命誕生モデルの提唱に留まる研究とは異なり、本領域では実験および理論に基づく結果を示すことで生命起源に迫る実証的研究を展開している。そこから既に世界の研究グループを一歩リードした研究成果が生まれつつある。

### 2. 研究の目的

本研究は、生命がいつ、どこで、どのように誕生したかを明らかにすることを目的とする。地球誕生から約 6 億年間(46~40 億年前)の「冥王代」に、原始的生命が誕生したと考えられる。冥王代地球の表層では、大陸、海洋、大気の大要素が循環的に相互作用し、極めて多様な環境が作り出された。そこでは、様々な「あり得た」生命が生まれ、ふるいにかけられ、最も頑健な生命のみが生き残った。それが、現存する全ての種の共通祖先となった「コモノート (Commonotes)」である。しかしながら、冥王代の研究は、地球科学ではこれまで「ミッシングリンク」とされてきた。冥王代の岩石記録は現在の地球表層には残っておらず、地質学の試料となる物証が極めて乏しいため、時間を遡るトップダウンアプローチが困難だったからである。一方、惑星形成論から推定するボトムアップアプローチは、端緒についたばかりである。さらに、生命科学においても、単純な分子から複雑な有機化合物や高次構造体を合成するボトムアップアプローチ「化学進化」と、原始的生命システムの誕生以降を扱うトップダウンアプローチ「生物進化」との間には、「ミッシングリンク」が存在する。両者の間には、分子量にして十萬倍から十億倍もの違いをもたらす大きな複雑性の隔りがあるためである。

そこで本研究領域では、これらの2つのミッシングリンクを克服するため、東工大・WPI 地球生命研究所 (Earth-Life Science Institute; ELSI) を中核とし、地球惑星科学と生命科学の学際融合研究を進める。さらに、本研究チームがこれまでに蓄積してきた3つの重要な研究資源 (冥王代類似環境微生物、地球史試料、微生物統合データベース) を統合した「地球生命アーカイブ」を整備し、世界中の研究者が活用できるようにする。これらの学際的研究と国際的研究を両輪とし、世界に先駆けて「冥王代生命学」を創成する。

### 3. 研究の方法

本研究領域では、H26 年度から開始した全計画班間の活発な議論を通し、生命誕生場のモデルを、当初の「淡水湖モデル」や「瀑布モデル」を経て「間欠泉モデル」へと深化させた。そして、原始生命誕生に必須の条件を絞り込み、地球科学と生命科学における2つのミッシングリンクを克服しようとしている。これを達成するために、本領域では地球科学から生命科学に至る広範な学問領域にまたがる学際的研究を進めている。しかし、「冥王代生命学」をさらに発展させていくには、そこから得られたデータや知識を本領域内メンバーのみで独占するのではなく、それらの情報を国内外の研究者と広く共有していくことが必須である。そして、本領域が国際的な研究者コミュニティを牽引していくためには、国際的な研究ネットワークやアライアンスを形成することにより、世界トップレベルの知見を動員して計画研究を補完する「ピーク研究」を加速させていくとともに、計画研究ならびに公募研究から生まれる成果・データベースの国際的な利活用を通して冥王代生命学の「裾野拡大」を推進することが必要である。

例えば、我々が冥王代地球の類似環境として位置付けている陸上蛇紋岩熱水系と、そこに生息する微生物に関する研究は、原始的生命誕生場を解明する重要な鍵を与えるものと期待されることから、現在最もホットな研究題材の一つとなっており、国際的な注目度が高い。よって、この「ピーク研究」で世界をリードするためには、日本のみならず国際的にトップレベルの研究者の力を結集し、迅速に共同研究を推進していくことが喫緊の課題である。一方、生命誕生場のモデルである「間欠泉」に関する詳細な情報を得るため、その太古代類似環境と目されるガボンの自然原始炉ならびに周辺地域の地質を研究する必要性が生じている。現在、現地の研究者と協力してモデルの検証作業を進めるなど、冥王代生命学の「裾野拡大」に資する国際共同研究の芽が生まれつつある。

このような「ピーク研究推進」と「裾野拡大推進」のため、国際活動支援班は世界から人員を募り共同研究を支援する。そして、世界のトップレベル研究者および若手研究者らの叡智を集めることにより、世界に先駆けて生命の起源に迫る「冥王代生命学の創成」を加速する。

#### 4. 研究成果

##### 目的1:ピーク研究推進

達成度1:100%。国際活動支援班と総括班から構成される事務局が、「ピーク研究推進」支援課題を決定し、領域内研究者の国外派遣、海外研究者の国内招聘により国際共同研究を進めた。

①冥王代科学進化(A02)班が主導し、自然原子炉間欠泉モデルによる化学進化を実証した。豪州ニューサウスウェールズ大学およびハーバード大学との国際共同研究により、強い電離放射線環境下において、シアン化水素からワンポットでアミノイミダゾールの合成に成功するなど、当初の想定を超える実験成果を挙げる事ができた。

②冥王代類似環境微生物(A03)班が主導し、陸上蛇紋岩熱水系の研究者らとネットワークを構築し、国際共同研究を進めた。白馬ならびに米国 The Cedars の蛇紋岩熱水系メタゲノム解析が徹底的に行われ、各微生物のゲノムの不完全性ならびに相互補完性、さらには基本的なエネルギー代謝ならびに細胞骨格発物質生産に関わる Wood-Ljungdahl 経路ならびにその様々な変型代謝系を見出す事ができた。国際共同研究として、白馬八方温泉水中の微生物の解析を進め、新たな酢酸菌 WS2 の発見、WL 経路をもつ OPB41 のゲノムを明らかにした。

③生命惑星班(A05)が主導し、新たに構築したタンデム惑星形成論に関しての議論を進め、共同研究を通して新しい惑星形成理論の国際的な展開を図った。

##### 目的2:裾野拡大推進

達成度2:100%。支援課題の選定のため、計画班と公募班から国際共同研究に関する提案を募り、アフリカ・ガボン共和国、中国およびドイツとの共同研究を開始する事ができた。なかでも、デュッセルドルフ大との国際共同研究では、熱水鉱物である magnetite/greigite/awaruit を触媒として H<sub>2</sub> と CO<sub>2</sub> を 100°C で反応させることで、ギ酸、メタノール、酢酸、ピルビン酸の生成が認められ、こうした金属で acetyl-CoA 経路が低温で駆動することを初めて確認したもので、微生物代謝の地球化学的起源を論じた大きな成果となった。

##### 目的3:事務局活動

達成度3:100%。全地球史アトラス映像の国際化版制作:本研究領域の成果を海外にもわかりやすく伝えるために、全地球史アトラス映像の英語版を制作し、全12章からなる動画をYouTubeチャンネルから公開した。

国際シンポジウム開催:研究期間内に国際シンポジウムを2回開催した。本研究領域に関係する幅広い学問分野から多数の研究者が参加し、地球および生命の起源に関する議論を深めるとともに、冥王代生命学の発展系である「アストロバイオサイエンス」の体系化に関しても議論し、本研究を通して構築した研究ネットワークを今後さらに発展させるべく、共同研究等を継続することとした。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Preiner Martina, Igarashi Kensuke, Muchowska Kamila B., Yu Mingquan, Varma Sreejith J., Kleinermanns Karl, Nobu Masaru K., Kamagata Yoichi, T?ys?z Harun, Moran Joseph, Martin William F.	4. 巻 4
2. 論文標題 A hydrogen-dependent geochemical analogue of primordial carbon and energy metabolism	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Ecology & Evolution	6. 最初と最後の頁 534 ~ 542
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41559-020-1125-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Merino Nancy, Kawai Mikihiro, Boyd Eric S., Colman Daniel R., McGlynn Shawn E., Nealson Kenneth H., Kurokawa Ken, Hongoh Yuichi	4. 巻 11
2. 論文標題 Single-Cell Genomics of Novel Actinobacteria With the Wood?Ljungdahl Pathway Discovered in a Serpentinizing System	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Microbiology	6. 最初と最後の頁 1031
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fmicb.2020.01031	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

冥王代生命学の創成 <a href="http://hadean.jp/">http://hadean.jp/</a> The Whole History of the Earth and Life <a href="https://www.youtube.com/channel/UCCToEEP1F7ur1m0efQTHG4g">https://www.youtube.com/channel/UCCToEEP1F7ur1m0efQTHG4g</a>
--

## 6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	丸山 茂徳 (Maruyama Shigenori) (50111737)	東京工業大学・地球生命研究所・特命教授  (12608)	
研究分担者	クリーヴス ヘンダーソン (Henderson Cleaves) (60723608)	東京工業大学・地球生命研究所・特任准教授  (12608)	
研究分担者	鎌形 洋一 (Kamagata Yoichi) (70356814)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・その他部局等・研究員  (82626)	
研究分担者	戒崎 俊一 (Ebisuzaki Toshikazu) (10183021)	国立研究開発法人理化学研究所・主任研究員研究室等・主任研究員  (82401)	
研究分担者	磯崎 行雄 (Isozaki Yukio) (90144914)	東京大学・大学院総合文化研究科・教授  (12601)	
研究分担者	青野 真士 (Aono Masashi) (00391839)	東京工業大学・地球生命研究所・准教授  (12608)	
研究分担者	原 正彦 (Hara Masahiko) (50181003)	東京工業大学・物質理工学院・教授  (12608)	
研究分担者	澤木 佑介 (Sawaki Yusuke) (00635063)	東京大学・大学院総合文化研究科・助教  (12601)	