

令和 2 年 6 月 29 日現在

機関番号：63801

研究種目：新学術領域研究（研究領域提案型）

研究期間：2014～2018

課題番号：26106001

研究課題名（和文）冥王代生命学の創成

研究課題名（英文）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） 88,030,000 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」における総括活動では、地球惑星科学と生命科学を基盤とする5つの計画研究班に跨がる相互依存的研究を主導するとともに、各計画研究班の成果をフィードバックする事で、冥王代地球の表層地質・岩石・鉱物および電離放射線が駆動する生命誕生場モデルである原子炉間欠泉モデル、すなわち生命誕生にいたる段階的進化モデルを導く事に成功した。生命の起源研究という超学際研究をまとめあげ、これまでにない全く新しい学術領域「冥王代生命学」を創成する事ができた。

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）：It is impossible to elucidate where, when, and how primitive life emerged with life science alone. In the Hadean-Bioscience research area, with the Habitable-Trinity model (a model for the birth place of life) as the core working hypothesis of our research, we could identify the essential conditions (nine requirements) for the emergence of life on the Hadean Earth. We have also succeeded in leading a next-generation research, which includes establishing the new academic discipline "Hadean Bioscience".

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

本研究では、地球誕生から約6億年間(46~40億年前)の「冥王代」に焦点をあて、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。冥王代の地球では、大陸、海洋、大気の三要素が循環的に相互作用し、生命誕生場となる極めて多様な環境「Habitable Trinity」が作り出された。そこでは、様々な「あり得た」生命が生まれ、ふるいにかけて、最も頑健な生命のみが生き残った。それが、現存する生命の祖先となった「コモノート」である。しかし、冥王代の研究は、地球科学ではこれまで **missing link** とされてきた。冥王代の岩石記録は欠如しており、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であったからである。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、原始的な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、**missing link** 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。1994年に東京工業大学地球惑星科学教室が設立されて以降、文部省重点領域研究「全地球史解説」(1994~1998年)、科学技術振興調整費「スーパーブルーム」(1998~2004年)、21世紀COEプログラム「地球:人の住む惑星ができるまで」(2005~2009年)とそれに続くグローバルCOEプログラム「地球から地球たちへ」(2009~2014年)により学際融合研究が継続されてきた。これらを通して、1.太陽系惑星形成理論の定式化、2.地球史世界標準モデルの提唱、3.地球中心部(圧力 360GPa, 温度 6000K)に至る状態図の確定、4.原始太陽系宇宙化学モデルの提唱、5.冥王代表層環境のモデルの提唱、6.生命惑星の初期条件の導出、7.生命誕生場としての **Habitable Zone** モデルを発展させた **Habitable Trinity** モデルの提唱、8.冥王代類似環境に生息する微生物の発見、などの成果を挙げ、地球惑星科学と生命科学の学際融合研究が本格化した。2012年、JSPS 世界トップレベル研究拠点プログラム(WPI)に採択され、「地球生命研究所(ELSI)」を設立し、国内外から総勢40~50名の若手主体の研究者が集まり、「地球と生命の起源」をゴールにした研究が始まった。本研究領域は、以上のような成果を積上げてきた歴史を踏まえ、その更なる発展を目指すものである。国外でも、J. Szostak(Harvard 大, ELSI)の **Origins of Life Initiative**、NASA の **Astrobiology** 計画などが立ち上がっており、本研究領域が世界的に急速に活性化しつつある。

### 2. 研究の目的

本研究領域では、地球惑星科学と生命科学を基盤とする以下の計画研究から得られる成果を、中核的作業仮説とする **Habitable Trinity** モデルにフィードバックする。A01 班:生命誕生場となった冥王代地球表層環境を復元し、惑星形成理論と統合的な生命誕生場モデルを示す。A02 班:多様で動的な環境条件を再現する複数のリアクターを接続することで、生命始原分子から高次構造体の前生物的合成に至る、多段階の化学進化を連続的に実現する。A03 班:冥王代類似環境微生物の培養化・ゲノム解読・分子進化解析・ゲノム操作等を通じて原始的な生命体のゲノムを再構成し、半人工生命実験により原始的ゲノムをもつ生命体を創出し、原始的な生命機能を推定する。A04 班:世界中で35カ所ある太古代地殻分布域において、網羅的に地質調査および岩石採取を実施し、冥王代地質証拠を確保する。A05 班:**Habitable Trinity** が成立する惑星形成条件を明らかにする。全計画班の相互依存的な研究により、**Habitable Trinity** モデルを深化させ、原始生命誕生に必須の条件を特定することで、地球科学と生命科学における2つの **missing links** を克服する。

### 3. 研究の方法

上述した本研究領域の目指す分野を超えた相互依存的な連携を達成するためには、総括班の役割が非常に重要であり、戦略的かつ組織的に、しかし柔軟な考え方で領域を運営していく必要がある。以下に総括班における主要な活動を挙げる。

- ①地球生命研究グローバルセンターの設立:地球惑星科学と生命科学からなる学際融合研究の連携の核としてWPI-ELSIを拠点として設立する。センターでは、短期・長期滞在型海外研究者の招聘や、中規模・国際・若手WSの開催、共同巡検などの研究交流を通して、研究者全員が「一人学際」を実践可能な研究環境の構築を推進するとともに、国内外に本研究領域の普及を図る。
- ②地球生命アーカイブの構築:上記センター内に、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、最終年度まで継続的に管理・運用する。また、本研究領域(計画研究・公募研究)で得られた成果も速やかにアーカイブに集積し、国内外から広く活用できるようにする。
- ③各種委員会制度:総括班には運営・情報・広報の委員会制度を設け、領域全体での研究ロードマップの設定、指示、リスク管理、情報の一元化などのマネジメントシステムを構築し、戦略の立案および戦術の指示をトップダウンで実施する。中規模WSでの内部評価、またアドバイザリーボードによる外部評価を実施する。
- ④若手研究者の育成:異分野を勉強し「一人学際」を実践できる若手研究者を育成するために、若手主体WSの開催、分野を横断した共同研究の指示など、領域全体で育成に取り組む。

### 4. 研究成果

目的1:地球生命研究グローバルセンターの設立

達成度1:100%。地球惑星科学と生命科学からなる学際融合研究の連携の核として地球生命研究グローバルセンターをWPI-ELSIを拠点として設立した。本領域全体の活動を駆動する中核として、領域代表の黒川のもと運営された。国際ワークショップ、横断型ワークショップ等開催のための準備、また、総括班の活動補佐チームとして機能し、領域全体の研究・運営活動の効率化に役割を果たした。

目的2:地球生命アーカイブの構築

達成度2:70%。上記センター内に、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、最終年度まで継続的に管理・運用することを目指した。研究者らの異動に伴い、物理的な観点で1点に集約することは困難になったため、バーチャル展開を可能にするための総合データベース整備を進めている。冥王代類似環境微生物を含む微生物統合データベースはMicrobeDB.jpとして活用可能であり、現在、地球史試料データベースとの統合化を進めている。また、最新の研究成果の映像ライブラリを制作し、ネット配信により公開している。

目的3:総括班に運営・情報・広報の委員会制度を設け、領域全体での研究ロードマップの設定、指示、リスク管理、情報の一元化などのマネジメントシステムを構築し、戦略の立案および戦術の指示をトップダウンで実施する。

達成度3:100%。中間評価後には、総括班会議を2か月に1度の割合で実施し、領域全体の研究ロードマップの検討、リスクの早期発見、研究情報の共有などを進めたことが、本領域を成功に導いた。当初は各委員会制度(運営、広報等)による運営を計画していたが、議論ならびに決定の場を総括班会議に集約させたことにより、効率的かつ機能的なマネジメント体制を構築した。このことによって、領域代表や研究代表者らの負担は増えたことは否めないが、領域内の研究を有機的に結びつけ、研究を推進する効果を得た。トップダウン方式のマネジメント体制を敷くことで、領域全体を活性化し、全体を牽引することに成功した。また、当初予定していた中規模WSや内部評価、アドバイザーリーボードによる外部評価等はすべて予定どおり実施した。

目的4:異分野を勉強し「一人学際」を実践できる若手研究者を育成するために、若手主体WSの開催、分野を横断した共同研究の指示など、領域全体で育成に取り組む。

達成度4:100%。各班に配置されていた若手研究者は、より経験をもつシニア研究者らとの闊達な議論を体験し、共同で研究を進めることによって、異分野を勉強し「一人学際」を実施しながら、学際研究の難しさや厳しさを知るとともに実践することができたと思われる。特に50回にもおよぶ分野横断型ワークショップにおける自由な議論は、専門外の多様な知見を必要とする学際研究を実施するためには不可欠であり、特に特定の専門分野に固執しがちな若手研究者らにとって良い学びの機会となった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 0件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 黒川顕	4. 巻 11(3)
2. 論文標題 冥王代生命学の創成	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Japan Geoscience Letters	6. 最初と最後の頁 5-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 黒川顕	4. 巻 32(16)
2. 論文標題 生命誕生場の謎に挑む冥王代生命学の創成	5. 発行年 2014年
3. 雑誌名 実験医学	6. 最初と最後の頁 2656
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 黒川顕
2. 発表標題 冥王代生命学の創成
3. 学会等名 第10回日本ゲノム微生物学会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

冥王代生命学の創成  
<http://hadean.jp/>  
 YouTubeチャンネル「冥王代生命学の創成」  
<https://www.youtube.com/channel/UCeEjL4xAlFOXxCPgdpB6g>  
 YouTubeチャンネル「Hadean Bioscience」  
<https://www.youtube.com/channel/UCCToEEPIF7ur1m0efQTHG4g>

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	戎崎 俊一  (Ebisuzaki Toshikazu)  (10183021)	国立研究開発法人理化学研究所・開拓研究本部・主任研究員    (82401)	
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	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	クリーヴス ヘンダーソン  (Cleaves Henderson)  (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・生命工学領域・研究部門付    (82626)	

## 6. 研究組織（つづき）

	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	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・准主任研究者    (12608)	