

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25年 5月17日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22403016

研究課題名（和文）多細胞生物萌芽期の生態系と酸素環境の激変解読

研究課題名（英文）Origination of multicellular organisms and oxygen

研究代表者

海保 邦夫 (KAIHO KUNIO)

東北大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：00143082

研究成果の概要（和文）：

多細胞動物の台頭期であるエディアカラ紀から多細胞動物の爆発的進化期であるカンブリア紀初期に渡る海洋溶存酸素環境をバイオマーカーのプリスタン/ファイタン比により、storm wave base より浅い水深と深い水深に分けて求めた。海洋溶存酸素は、遺伝子からみた多細胞動物の多様化期、大型のエディアカラ生物群の出現、カンブリア紀の多細胞動物の爆発的進化期で増加した。酸素が生物の進化をコントロールした。

研究成果の概要（英文）：

Organic-molecular dissolved-oxygen index above and below storm wave base, from Ediacaran to Cambrian marine sedimentary rocks in Australia and China records three rises in dissolved oxygen levels. The first rise in dissolved oxygen levels coincides with molecular diversification of animals in the early Ediacaran, the second rise with appearance of large Ediacaran animal fossils, its drop with extinction of Ediacaran metazoa, and the third rise is coeval the explosion of Cambrian metazoa.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	3,000,000	900,000	3,900,000
2011年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2012年度	2,100,000	630,000	2,730,000
年度			
年度			
総計	7,200,000	2,160,000	9,360,000

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：大進化、酸素、原生代、新原生代、エディアカラ紀、カンブリア紀、全球凍結

1. 研究開始当初の背景

氷河作用によりできた漂礫岩が7億1000万年前と6億年前の当時の赤道域の堆積物

も含めて世界的に確認されており、このことは、当時、赤道域の大陸も氷床に覆われていたことを意味する。氷は太陽光を宇宙へ反射

するので、氷床が拡大すればするほど地球の表面温度は低くなり、氷河が赤道からおよそ30度以内の緯度まで達すると、冷却に歯止めが利かなくなり、地球全表層が凍結（全球凍結）した。この説はカーシュヴィングにより提唱され、スノーボールアースと呼ばれた（Kirschvink, 1992）。地球が氷に覆われると風化が止まり、一次生産が停止する。風化と生物は大気から二酸化炭素を除去する2大プロセスであるから、二酸化炭素が除去されなくなり、二酸化炭素が増えていく。二酸化炭素が大量に大気中にたまと氷床が解け始め、海水温が一気に上昇し、化学的風化が進行し、大量のカルシウムが供給された結果、キャップ炭酸塩岩が堆積した（原生代後期の氷河堆積物の上には必ずと言ってよいほど特異な層理構造を示す炭酸塩岩（キャップ炭酸塩岩）の地層が乗っている）。風化は大気から二酸化炭素を奪い、地球はもとの状態にもどった。

この全球凍結時代直後の温暖化期に、エディアカラ生物群と呼ばれる原始的な多細胞生物の痕跡が、世界各地の6億年前から5億4000万年前の浅海堆積物中から発見されている（Fedonkin, 1990; Runnegar, 1995; Narbonne, 1998）。エディアカラ生物群は、現生刺胞動物の特徴をもった初期の動物と一般には考えられている。エディアカラ生物群は現生生物の特徴を有するカンブリア動物群の諸特性が現れ始めた初期段階に位置づける古生物学者が多い。原生代後期の全球凍結時代と動物の初期進化には何らかの関連があると考えられる。先カンブリア紀末のエディアカラ化石群で特徴付けられる時代をエディアカラ紀という。エディアカラ紀は、多種類の原始的動物が出現したという意味で生物の革新期である。原生代後期には少なくとも4回の氷河時代があり、そのうち2回は全地球規模であった。その2回の内、後者にのみ動物の大型化と複雑化が見られるのはなぜか？原生代末期になってこれらの動物の生理機能を維持できるだけの酸素濃度に達したからと考えられている。この時代は

炭素同位体比が高い。有機物の堆積量が多いと ^{12}C が除去され、炭素同位体比が高くなる。有機物の堆積量が多いと大気と海洋の酸素量は増える。

エディアカラ生物群の出現により、シアノバクテリアや藻類などの生産者とバクテリアの分解者からなる海の生態系は、藻類などの生産者、動物の消費者、分解者の小型動物とバクテリアからなる生態系へ変わった。しかし、その間の生態系変化の過程と環境変化の証拠は乏しい。

2. 研究の目的

後期原生代最終全球凍結期からエディアカラ紀にわたる温暖化期へのドラマティックな気候変動、地球環境変化、海洋化学的狀態、酸素濃度上昇、および多細胞生物の台頭（主にエディアカラ型化石群）を背景とする大気海洋酸素環境と生態系の変革の実態解明を行う。

3. 研究の方法

オーストラリアの後期原生代最終全球凍結時から原生代末の地層について、地質調査を約20日間、3年に渡り3回計約60日行い、化学分析用堆積岩試料（泥岩と石灰岩）を採取した。地質調査所のコア試料の採取も行った。バイオマーカー分析、TOC分析、一部の炭素同位体比分析、一部の硫黄同位体比分析を行った。

4. 研究成果

図1のキンバレー、アマデウス、オフィサー、アデレードの4地域の堆積岩試料を採取した。平成22年度と23年度は、キンバレー地域で地質調査と堆積岩試料採取を行った。24年度はアマデウス地域とアデレード地域で地質調査と堆積岩試料採取を行った。これらの地域とオフィサー地域のコア試料採取も行った。これら観察した地層は、岩層と炭素同位体比と化石情報に基づき、図2のように対比した。

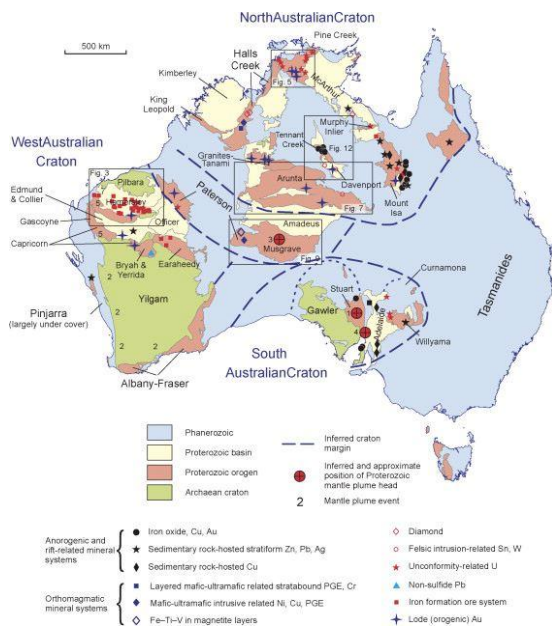


図1 試料採取地域：キンバレー（北西オーストラリア）、アマデウス（中央オーストラリア）、オフィサー（西オーストラリア）、アデレード（南オーストラリア）の4地域。

Mt House Area	Mt Ramsay Area	East Kimberley Area	Amadeus Basin	Adelaide Geosyncline	Eastern Officer Basin
Chundie Fm	Amara Fm	Amara Fm	Amara Fm	Amara Fm	Amara Fm
Amara Fm	Amara Fm	Amara Fm	Amara Fm	Amara Fm	Amara Fm
Amara Fm	Amara Fm	Amara Fm	Amara Fm	Amara Fm	Amara Fm
Amara Fm	Amara Fm	Amara Fm	Amara Fm	Amara Fm	Amara Fm
Amara Fm	Amara Fm	Amara Fm	Amara Fm	Amara Fm	Amara Fm
Amara Fm	Amara Fm	Amara Fm	Amara Fm	Amara Fm	Amara Fm
Amara Fm	Amara Fm	Amara Fm	Amara Fm	Amara Fm	Amara Fm
Amara Fm	Amara Fm	Amara Fm	Amara Fm	Amara Fm	Amara Fm
Amara Fm	Amara Fm	Amara Fm	Amara Fm	Amara Fm	Amara Fm

図2 試料採取地域の対比結果

多細胞動物の台頭期であるエディアカラ紀から多細胞動物の爆発的進化期であるカンブリア紀初期に渡る海洋溶存酸素環境をバイオマーカーのプリスタン/ファイタン比により、storm wave base より浅い水深と深い水深に分けて求めた。海洋溶存酸素は、エディアカラ紀前期とエディアカラ紀後期とカンブリア紀初期に増加し、それらの間で減少したことを明らかにした（図3）。3回の海洋溶存酸素の増加は、それぞれ、遺伝子か

らみた多細胞動物の多様化期、大型のエディアカラ生物群の出現、カンブリア紀の多細胞動物の爆発的進化期に相当している。2回の減少は、ガスキアス氷期とエディアカラ生物群の絶滅期に相当している。酸素が生物の進化絶滅をコントロールしている。

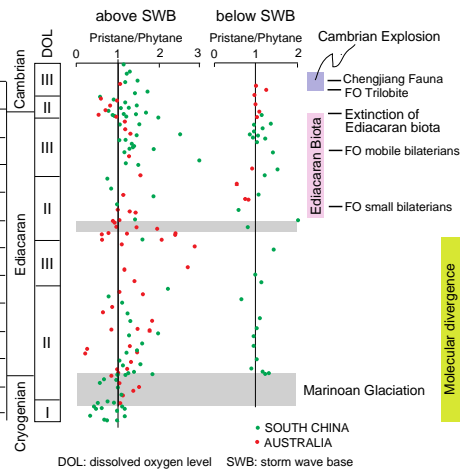


図3 溶存酸素濃度変化

堆積有機分子の分析結果から、マリノアン全球凍結～全球凍結後の北西部キンバレー地域において、海洋では貧酸素環境が繰り返し発達していたことが分かった。この地域では葉緑体に由来するプリスタン・ファイタン、緑色硫黄細菌等に由来するアルルイソプレノイド以外のバイオマーカーはほとんど検出されなかった。一方中央部アマデウス・オフィサー堆積盆の堆積有機分子を分析した結果、全球凍結後この地域の海洋には酸素が安定的に供給されていたことが分かった。バイオマーカーとしては前述のプリスタン・ファイタンに加え、原生生物の膜脂質に由来するホパンや真核生物の膜脂質に由来するステランが検出された。以上の結果から、この時代オーストラリア北西部と中央部では酸素の供給量といった海洋化学環境が異なり、それが全球凍結後のバイオマス回復に影響を与えている可能性が考慮される。中央部の方が生物回復

(あるいは進化発展)に適している環境であるというのは、後マリノアン氷期層において、北西部より中央部で多くアクリタークなどの微化石・あるいはエディアカラ生物群のような大型化石が発見されていることにも裏づけられる。

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0件)

[学会発表] (計13件)

- ①海保邦夫, 大庭雅寛, 静谷あてな, 他, Early metazoan evolution and extinction controlled by oxygen levels, 2013年日本地球惑星連合大会, 2013年05月24日, 幕張
- ②海保邦夫, 大庭雅寛, 他, Causes and process of macroevolution and mass extinctions, GCOE最終国際シンポジウム, 2012年09月27日, 仙台
- ③静谷あてな, 海保邦夫, 大庭雅寛, 他, 堆積有機分子からみた最終全球凍結期前後の北西オーストラリア古海洋環境変動, 第30回日本有機地球化学シンポジウム, 2012年08月23日, 東北大学
- ④海保邦夫, 大庭雅寛, 静谷あてな, 他, 酸素レベルによりコントロールされた初期多細胞動物の進化と絶滅, 第30回日本有機地球化学シンポジウム, 2012年08月23日, 東北大学
- ⑤海保邦夫, 大庭雅寛, 静谷あてな, 他, A two-step rise of oxygen concentration in shallow seas coinciding with the rise of animal life in the Ediacaran and Cambrian, XXXIV International Geological Congress, 2012年08月07日, ブリズベン, オーストラリア
- ⑥静谷あてな, 海保邦夫, 大庭雅寛, 他, Paleooceanographic variations during the Marinoan glaciation interval evidenced by

organic geochemistry from the East Kimberley region, northwestern Australia, XXXIV International Geological Congress, 2012年08月06日, ブリズベン, オーストラリア

⑦静谷あてな, 海保邦夫, 大庭雅寛, 他, 堆積有機分子から考察するオーストラリア・東部キンバレーにおけるマリノアン氷河期周辺の海洋環境変動, 2012年日本地球惑星連合大会, 2012年05月23日, 幕張

⑧海保邦夫, 大庭雅寛, 静谷あてな, 他, エディアカラ紀とカンブリア紀の動物の台頭と同時に起きた浅海酸素濃度の2段階上昇, 2012年日本地球惑星連合大会, 2012年05月23日, 幕張

⑨海保邦夫, 大庭雅寛, 他, Triggers and process of macroevolution and mass extinctions, 2012年日本地球惑星連合大会, 2012年05月22日, 幕張

⑩海保邦夫・大庭雅寛・谷津 進・菊池みのり・千馬直登・静谷あてな・高橋 聡・ポールゴージャン・チェン ツオンチャン・トン ジンナン, 生物の大進化と大絶滅のトリガーとプロセスの研究, その1: エディアカラ紀一前期カンブリア紀と後期デボン紀, 2012年1月21日, 日本古生物学会, 富岡

⑪静谷あてな・海保邦夫・大庭雅寛・チェン ツオンチャン・高橋 聡, 堆積有機分子から考察するオーストラリア・東部キンバレーにおけるクリオジェニアン/エディアカラ紀境界近傍の海洋環境変動, 2012年1月21日, 日本古生物学会, 富岡

⑫菊池みのり・海保邦夫・大庭雅寛, 先カンブリア時代/カンブリア紀境界近傍の真核生物と海洋酸化還元環境, BPT024-01, 2011年日本地球惑星連合大会, 2011年5月22日, 幕張

[図書] (計1件)

掛川 武・海保邦夫 (2011) 地球と生命: 地球環境と生物圏進化. 現代地球科学入門シリーズ 15, 共立出版, 109-224.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

海保 邦夫 (KAIHO KUNIO)

東北大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：00143082

(2) 研究分担者

大庭 雅寛 (OBA MASAHIRO)

東北大学・大学院理学研究科・助教

研究者番号：40436077