

令和 3 年 8 月 18 日現在

機関番号：12601

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化(B））

研究期間：2018～2020

課題番号：18KK0097

研究課題名（和文）超大陸と超海洋から読み解く中生代の地球環境変化とその生態系への影響

研究課題名（英文）Mesozoic environmental dynamics and its influence on ecosystem decoded from Super-continent and Super-ocean

研究代表者

池田 昌之（Masayuki, Ikeda）

東京大学・大学院理学系研究科（理学部）・准教授

研究者番号：10635882

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,200,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では、中生代の地球環境変化とその生態系への影響について、超大陸と超海洋の地質記録と物質循環モデルを統合することにより検討を進めた。特に、地球環境変化の要因として重要なミランコビッチ・サイクルにおける日射変化の長期的な蓄積に伴い、モンスーン動態や海水準や風化速度、大気CO₂濃度が大きく変わり、生態系へも影響した可能性がある。そこで、超大陸パンゲアの陸成層と超海洋パンサラッサ浅海層、深海層を検討し、これらの結果を制約とした物質循環モデルにより、日射が地球環境に与えた影響を定量評価した。さらに、これらの結果を化石記録との比較することにより生態系への影響について検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、中生代の生態系と地球環境の変化を超大陸の陸成層と超海洋の海成層の層序記録、古環境記録を統合して新しい仮説を提唱した。特に、陸域の環境変動、特に大陸風化が海洋への栄養塩供給量を変化させると共に、大気二酸化炭素濃度変動を引き起こした結果、陸域や海洋の生態系に影響を与えたことを示した。その過程で、深海層チャートの年代層序を最新の化石記録と統合して天文学的年代層序を再構築した（Ikeda et al., 2020）。その結果、ミランコビッチサイクルの長周期変動のカオス的挙動の新たな制約を提示し、これが北米Newark盆地陸成層からも確認できたという、天文学的示唆も行うことができた。

研究成果の概要（英文）：We investigated Mesozoic environmental change and its impact on ecosystems by integrating the geological record and material cycle models of the supercontinent and the superocean. The long-term accumulation of solar radiation changes in the Milankovitch cycle, which is an important factor of global environmental change, may have caused significant changes in monsoon dynamics, weathering rate, and atmospheric CO₂, which may have affected ecosystems. In this study, the terrestrial succession of the supercontinent Pangaea and the shallow and deep marine strata of the superocean Panthalassa were examined, and the effects of solar radiation on the global environment were quantitatively evaluated using a material circulation model constrained by these results. The effects of insolation on the global environment were quantitatively assessed using a material cycle model constrained by these results, and these results were compared with the fossil record to examine the effects on ecosystem.

研究分野：地質学

キーワード：超大陸 超海洋

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年の国際海洋/陸上掘削により、地球環境が様々な時間スケールで多様に変動したことが明らかになってきた(Zachos et al., 2001Science)。このうち数万年～数10万年スケールの気候変化は地球軌道要素変化(ミランコビッチサイクル)がペースメーカーだったことが示され、検出した周期を時間目盛とする天文年代層序により古環境研究が進展した。さらに長期的な変動については地殻変動や銀河宇宙線強度変動等に由来するという説もあるが、年代論や定量性に大きな不確実性があった。一方、地球軌道は数100万年周期でも僅かに変化し、これに連動した $\delta^{13}\text{C}$ 変動が報告された(Boulila et al., 2012EPSL)。さらに、無氷床時代の中生代温室環境においても、同様に報告され(Martinez&Dera, 2014PNAS; Ikeda et al., 2017)、氷床ではなくモンスーンが日射変化の影響を増幅した可能性が示唆された。特に、現在は数100万年周期の離心率極小期であるため、このメカニズムについて、注目され始めた。しかし、この仮説を検証できる数100万年の長期に及ぶモンスーン記録がなく、地球環境や生態系がどう応答したかは未解明であった。

さらに、日射の影響の増幅機構の仮説として、乾燥化による風成塵増加・植生縮退が水循環を抑制して、さらに乾燥化する乾燥化フィードバック(Tierney et al., 2017Science)が働いた可能性がある。この影響の長期的な蓄積に伴い、海水準や風化速度、大気 CO_2 濃度が大きく変わり、生態系へも影響したと考えられる。しかし、乾燥-湿潤域の時空間変遷や、これが炭素循環に与えた影響、これらと陸域-海洋生態系との対応関係について、年代論や定量性に大きな不確実性があった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、長期的なモンスーン記録が保存されている超大陸パンゲアの陸成層と超海洋パンサラッサ浅海層、深海層を高精度で対比し、長周期モンスーン動態とその地球環境と生態系への影響を解明することである。そこで、陸域環境の時空間変遷を、超大陸パンゲア陸成層と超海洋パンサラッサ深海層の古環境記録と化石記録を天文-古地磁気-放射年代層序対比により比較検討し、この結果を制約として物質循環モデルにより日射が地球環境に与えた影響を定量評価して、化石記録との比較により群集変化や生物分布への影響の検討を行う。

3. 研究の方法

超大陸パンゲアの陸成層と超海洋パンサラッサ浅海層、深海層の現地調査を世界各国で行うと共に、採集した岩石の詳細観察や地球化学分析を行い、モンスーンに伴う降水量変動や砂漠分布変化、海洋への栄養塩供給量変動や生物源シリカ埋没速度変動を復元する。さらに、この結果と改良版物質循環モデル GEOCARBSULF_{volc} モデルの結果を比較することで、モンスーンが炭素循環に与えた影響を定量評価する。これらの結果と化石記録を比較することで、群集変化や生物地理動態など生態系への影響を評価する。

4. 研究成果

超大陸パンゲアの陸成層と超海洋パンサラッサの浅海層、深海層に記録されたモンスーンを反映した古水位変動や酸化還元度変動、大気 CO_2 濃度変動や砂漠分布、海面表層水温、生物源シリカ堆積速度変動から、ミランコビッチ・サイクルの10万年から3000万年の周期で大きく変化し、それらが複数セクションでほぼ同期していたことを明らかにしました。この成果は、地球軌道要素変化のミランコビッチサイクルが中生代においても長期的な地球環境変動のペースメーカーだったことを示すと共に、中生代における太陽系惑星運動の制約にも応用できることを示唆した(Ikeda and Tada, 2020EPSL)。

さらに、物質循環モデル(改良版 GEOCARBSULF_{volc} モデル)を用いて計算した大気 CO_2 濃度変動と古気候記録との差について、モンスーンが全球風化効率に与えた影響 f_{monsoon} を仮定することによって、全球風化効率が1-2割変化していたことを示した。この結果は、ミランコビッチ・サイクルに伴うモンスーンが地球環境に与えた影響を定量的に示すと共に、何らかの増幅メカニズムが必要であることを示した。

特に1000万年周期の極大期・極小期は超大陸パンゲアと超海洋パンサラッサの化石群集変化

時期に対応し、極端な環境変動が生物群集変化のペースメーカーとなった可能性を示した。さらに、1000 万年周期の湿潤期・寒冷期に北米 Newark 盆地の獣脚類の足跡化石サイズ増加時期で恐竜の生息域拡大期に対応したことも示し、恐竜の初期進化にミランコビッチサイクルに伴うメガ モンスーンが重要なペースメーカーだった可能性を示唆した(Ikeda et al., 2020Scientific Reports)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 1件）

| | |
|--|-------------------------------|
| 1. 著者名 Ikeda Masayuki, Tada Ryuji | 4. 巻 537 |
| 2. 論文標題 Reconstruction of the chaotic behavior of the Solar System from geologic records | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Earth and Planetary Science Letters | 6. 最初と最後の頁 116168 ~ 116168 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.epsl.2020.116168 | 査読の有無 有 |
| 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 Kuma Ryusei, Hasegawa Hitoshi, Yamamoto Koshi, Yoshida Hidekazu, Whiteside Jessica H., Katsuta Nagayoshi, Ikeda Masayuki | 4. 巻 9 |
| 2. 論文標題 Biogenically induced bedded chert formation in the alkaline palaeo-lake of the Green River Formation | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Scientific Reports | 6. 最初と最後の頁 - |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-52862-7 | 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 BOLE, Maximilien, IKEDA, Masazuki, BAUMGARTNER, Peter O., HORI, Rie, BOUVIER, Anne-Sophie and KUKOC, Duje | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 SIMS analysis of Si isotope for radiolarian test in Mesozoic bedded chert (Inuyama, Japan) | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Bulletin of the Geological Survey of Japan | 6. 最初と最後の頁 - |
| 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 有 |
| 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 該当する |
| 1. 著者名 Ikeda Masayuki, Hori Rie S., Ikehara Minoru, Miyashita Ren, Chino Masashi, Yamada Kazuyoshi | 4. 巻 170 |
| 2. 論文標題 Carbon cycle dynamics linked with Karoo-Ferrar volcanism and astronomical cycles during Pliensbachian-Toarcian (Early Jurassic) | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Global and Planetary Change | 6. 最初と最後の頁 163 ~ 171 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gloplacha.2018.08.012 | 査読の有無 有 |
| 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 Kuroyanagi Azumi, Kawahata Hodaka, Ozaki Kazumi, Suzuki Atsushi, Nishi Hiroshi, Takashima Reishi | 4. 巻 161 |
| 2. 論文標題 What drove the evolutionary trend of planktic foraminifers during the Cretaceous: Oceanic Anoxic Events (OAEs) directly affected it? | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Marine Micropaleontology | 6. 最初と最後の頁 101924 ~ 101924 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.marmicro.2020.101924 | 査読の有無 有 |
| 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 尾崎和海 | 4. 巻 54 |
| 2. 論文標題 物質循環モデルで探る地球大気と生命の共進化 | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 地球化学 | 6. 最初と最後の頁 153-172 |
| 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 有 |
| 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 Planavsky Noah J., Reinhard Christopher T., Isson Terry T., Ozaki Kazumi, Crockford Peter W. | 4. 巻 20 |
| 2. 論文標題 Large Mass-Independent Oxygen Isotope Fractionations in Mid-Proterozoic Sediments: Evidence for a Low-Oxygen Atmosphere? | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Astrobiology | 6. 最初と最後の頁 628 ~ 636 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1089/ast.2019.2060 | 査読の有無 有 |
| 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 Ozaki Kazumi, Thompson Katharine J., Simister Rachel L., Crowe Sean A., Reinhard Christopher T. | 4. 巻 10 |
| 2. 論文標題 Anoxygenic photosynthesis and the delayed oxygenation of Earth 's atmosphere | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Nature Communications | 6. 最初と最後の頁 - |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-019-10872-z | 査読の有無 有 |
| 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 Ozaki Kazumi, Reinhard Christopher T., Tajika Eiichi | 4. 巻 17 |
| 2. 論文標題 A sluggish mid-Proterozoic biosphere and its effect on Earth's redox balance | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Geobiology | 6. 最初と最後の頁 3~11 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/gbi.12317 | 査読の有無 有 |
| 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10件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 4件)

| |
|---|
| 1. 発表者名 M Bole, M Ikeda, RS Hori, PO Baumgartner |
| 2. 発表標題 Silicon Isotopes Of The Mesozoic Radiolaria: Implications For Carbon-Silicon Cycle Coupling. |
| 3. 学会等名 American Geophysical Union 2019 (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Ryusei Kuma, Hitoshi Hasegawa, Koshi Yamamoto, Masayuki Ikeda, Hidekazu Yoshida, Nagayoshi Katsuta, Jessica Hope Whiteside |
| 2. 発表標題 Non-marine paleoclimatic response of Early-Middle Eocene "hothouse" interval evidence from a lacustrine record of the Green River Formation in Utah, USA |
| 3. 学会等名 American Geophysical Union 2019 (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|----------------------------|
| 1. 発表者名 池田昌之 |
| 2. 発表標題 中生代の地球環境と生態系の変遷 |
| 3. 学会等名 日本古生物学会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 池田昌之、ルグラン ジュリアン、古賀多聞 |
| 2. 発表標題 陸域脊椎動物の群集変化要因としてのモンスーン：三畳紀の例 |
| 3. 学会等名 日本古生物学会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 池田昌之 |
| 2. 発表標題 氷室地球と温室地球の遷移期における地球軌道要素が表層環境に与えた影響 |
| 3. 学会等名 日本地球惑星連合大会（招待講演） |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 M Ikeda, K Ozaki, R Tada |
| 2. 発表標題 Chaotic behaviour of the Solar System over the past 250 Ma |
| 3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2018（国際学会） |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 R Tada, T Irino, A Seki, K Mitake, M Ikeda, M Murayama |
| 2. 発表標題 Millennial-scale Variability of East Asian Winter Monsoon Intensity during the Last 2.8 Ma based on Ventilation Changes of the Japan Sea using a Depth Transect of Marine ... |
| 3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2018（国際学会） |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 池田昌之, 尾崎和海 |
| 2. 発表標題 顕生累代の地質時代境界の生物群集変化と天文周期の炭素循環変動 |
| 3. 学会等名 日本古生物学会2019年例会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 池田昌之 |
| 2. 発表標題 氷室地球と温室地球の遷移期における地球軌道要素が表層環境に与えた影響 |
| 3. 学会等名 日本地球惑星連合大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|----------------------------|
| 1. 発表者名 池田昌之 |
| 2. 発表標題 中生代の地球環境と生態系の変遷 |
| 3. 学会等名 日本古生物学会2019年大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

〔図書〕 計2件

| | |
|-------------------------------------|-----------------|
| 1. 著者名 岩田孝仁・北村晃寿・小山真人編, 池田昌之一部分担 | 4. 発行年 2020年 |
| 2. 出版社 静岡新聞社. | 5. 総ページ数 256 |
| 3. 書名 静岡の大規模自然災害の科学. | |

| | |
|------------------------------------|-----------------|
| 1. 著者名 ふじのくに地球環境史ミュージアム | 4. 発行年 2019年 |
| 2. 出版社 丹青社 | 5. 総ページ数 112 |
| 3. 書名 企画展図録 大絶滅 地球環境の変遷と生物の栄枯盛衰 | |

〔産業財産権〕

〔その他〕

| |
|---|
| <p>Masayuki ikeda's website https://sites.google.com/site/masayukiikedaswebsite/ 東京大学 理学系研究科 地球惑星科学専攻 地球惑星システム科学講座 池田昌之 https://secure.eps.s.u-tokyo.ac.jp/jp/member/index.php?_urid=4432&_lang=ja Masayuki Ikeda's website https://sites.google.com/site/masayukiikedaswebsite/ikeda-s-website 静岡大学教員データベース - 教員個別情報：池田 昌之 (IKEDA Masayuki) https://tdb.shizuoka.ac.jp/RDB/public/Default2.aspx?id=11134&l=0</p> |
|---|

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 | 尾崎 和海 (Ozaki Kazumi) (10644411) | 東邦大学・理学部・講師 (32661) | |

| | 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 |
|-------|-------------------------------|-----------------------|----|
| 研究協力者 | シャ ジンジェン (Sha Jingeng) | | |
| 研究協力者 | オルセン ポール (Olsen Paul) | | |

6. 研究組織（つづき）

| | 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 |
|-------|--------------------------------|-----------------------|----|
| 研究協力者 | ファン ヤナン (Fang Yanan) | | |
| 研究協力者 | カイ チェンヤン (Cai Chenyang) | | |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 | | | |
|---------|-----------|----------|------|--|
| | | | | |
| 中国 | 南京大学 | 中国地質大学武漢 | | |
| スイス | ローザンヌ大学 | | | |
| 米国 | コロンビア大学 | イエール大学 | ユタ大学 | |
| 英国 | サウザンプトン大学 | | | |
| | | | | |