

令和 6 年 6 月 11 日現在

機関番号：13301

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K18650

研究課題名(和文)生態系進化学への挑戦：化石アミノ酸窒素同位体比分析を用いた生態系復元モデルケース

研究課題名(英文)Challenge to reveal ecosystem evolution: Compound specific isotope analysis on fossilized amino acids

研究代表者

ジェンキンス ロバート (Jenkins, Robert)

金沢大学・地球社会基盤学系・准教授

研究者番号：10451824

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、過去の生態系における古生物の位置関係(すなわち、生態系ピラミッドにおける栄養段階)を具体的な証拠に基づいて推定するために、化石試料への残存する各アミノ酸の窒素同位体比分析法を試み、その適応可能性を評価することにある。研究では、世界各地の三畳紀から新第三紀までの保存良好な化石を採取し、それらの化石の保存状態を吟味して、化石殻から抽出した各アミノ酸の窒素同位体比を分析した。その結果、ポーランド・コリトニカ地域産の中新世(約1500万年)の腹足類(巻貝)の栄養段階が二次捕食者と推定でき、これまでの古生物学的研究と整合的な結果を得ることに成功し、古生態系ピラミッドの推定に一步前進できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

持続可能な人間社会の構築には、地球環境や生態系への理解が欠かせない。そのために生物多様性変動や各生物の生態系における役割とその時代変化を過去にも遡って捉える必要がある。過去の生態系変動を捉えるための具体的な手がかりは、生物(化石)の形態的特徴や胃内容物の解析に重きが置かれていた。本研究は化石中のアミノ酸の地球化学分析に着目し、1000万年スケールで古生物の遺骸(化石)から直接的に過去の生態系における生態的位置関係を推定する具体的な手法と適用方法を示した。これにより、生態系全体の環境への応答性を長い時間軸で具体的に検証可能となり、地球全体の持続可能性のための基礎的情報を提供への道筋を示した。

研究成果の概要(英文)：The current research investigated how to apply relatively new method of the compound-specific isotope analysis of amino acids in fossilized shells to estimate ancient ecosystem pyramids. We collected well- and excellently preserved molluscan shells from the world. After checking of preservation state of the fossil shells, we analyzed isotope of each amino acid in fossil gastropod from Miocene of Poland. As a result, the isotopic composition indicates the gastropod was secondary consumer. The result is reasonable, because the gastropod has been strongly suggested by classical paleontological investigations that the gastropod was a predator of sea urchin.

研究分野：古生物学

キーワード：生態系 栄養段階 化石 アミノ酸 同位体分析

## 1. 研究開始当初の背景

生物界における「食う」、「食われる」という関係は生物進化の原動力の一つであるため、古生物学においても、化石として残された胃内容物や糞、歯などの摂餌器官の形状、被食痕の解析から古生物の食物連鎖網の解析が盛んに試みられ、「植物食」や「肉食」であるなどのおおまかな推定がなされてきた。しかし、生態系全体における各生物の位置関係の具体的な証拠に基づく推定はあまり実施できていなかった。しかし、近年の地球化学分析手法の発達により、古生物においても生態系における位置関係、すなわち、栄養段階を復元できる可能性が出てきた。それは生物を構成する各アミノ酸の窒素同位体比分析に基づく栄養段階推定法である (**Chikaraishi et al. 2009** など)。

2000年代に入り、ガスクロマトグラフと同位体比質量分析計を接続して生体を構成する約 **20** 種のアミノ酸の窒素同位体比をアミノ酸ごとに分けて測定する技術が発展してきた。その結果、アミノ酸には摂食によって大きな同位体分別を起こすアミノ酸と、ほとんど分別が起きないアミノ酸があることがわかってきた。つまり、一つの生物個体の中に、一次生産者の窒素同位体比をほぼ保持したアミノ酸と摂食によって大きく濃縮した同位体比を持つアミノ酸とが存在することが明らかになった。さらに、これらの同位体分別は多くの生物系統で同じように起きているため、一定の計算式によって栄養段階(生態系ピラミッドにおける位置)を数字で表すことができるようになってきた。すなわち、古生物の硬組織に含まれる各化石アミノ酸の窒素同位体比を分析することで、個々の古生物の栄養段階の推定をして過去の生態系ピラミッドを復元できる可能性が出てきた。実際に、**Naito et al. (2010; 2020)** などでは数千年前の化石試料を用いて本手法の有効性を示している。しかし、さらに長大な、数百万、数千万年という時間スケールでの本手法の適用事例がほぼなかった。

## 2. 研究の目的

以上を踏まえ、本研究では有機物の保存良好で、かつ、従来の手法による古 **20** 学的研究が進んでいる約 **1500** 万年前の化石群集をモデルケースとして本手法の適用可能性の検討と実際の適用を試みた。

## 3. 研究の方法

研究開始前までに、化石硬組織中の結晶内アミノ酸抽出法(**Takano et al. 2010**)の改良、軟組織と硬組織中のアミノ酸同位体比に基づく栄養段階が同一になることの確認、化石試料へのコンタミ有無を判別する **2** 手法 (**1**. 現生アミノ酸のコンタミの有無をアミノ酸のラセミ化率を基準にした判別、および **2**. 硬組織中アミノ酸組成が系統と殻微細構造に則して決定されることを利用した判別)を構築済みであった。これらの手法を、従来の古生物学的研究によって、古生物間の被食 - 補食関係が明瞭になっている種に適用して、個別アミノ酸窒素同位体比分析に基づく栄養段階推定法(以後、個別アミノ酸法)に適した試料の選別を実施した。その上で、個別アミノ酸法を適用した。

試料としては、世界各地の化石保存が良好な産地の化石を検討し、最終的にポーランドの**コリトニカ**に分布する新第三紀中新世の約 **1500** 万年前の地層から産した化石に個別アミノ酸法を用いることとした。このコリトニカ産の化石群集試料を対象に、(**1**)化石試料の採

集 (2) 採集試料から保存状態が最良の試料を選別し、外部からのアミノ酸混入(コンタミ)の有無の判別を行った上で、(3) 各個体における個別アミノ酸窒素同位体比分析および分析値を元にした生態系ピラミッドの復元とその検証を行った。具体的には、コリトニカ産の化石試料の内、詳細な古生物学的研究によって藻類食のウニを摂食していたことが確認されている *Semicassis milaevigata* を用いた。

#### 4. 研究成果

殻微細構造観察の結果、*Semicassis* は微細組織の保存が極めて良く、微生物などによる死後の殻体内への浸潤なども認められなかった。構成鉱物もアラゴナイトであり、これらは殻構成鉱物が現在まで改変されなかったことを示している。また、殻体の鉱物中から抽出したアミノ酸組成は、本種が属する系統における標準的なアミノ酸組成と整合的であった。アミノ酸のラセミ化率(D/L)をアラニンとプロリンで評価したところ、1に近く、少なくとも現世におけるコンタミはほぼないと判断された。つまり、利用した *Semicassis* 試料は、死後直後における微生物などによる浸潤や続成による地層中でのアミノ酸の過度の改変、現世のコンタミのいずれも認められず、1000万年規模の化石試料として最良の保存状態であると判断できた。

このような保存良好な試料について、個別アミノ酸法を実施し、同位体比分析結果から栄養段階を導出したところ、約 3.1 という値を得た。これは二次消費者を示す値である。コリトニカの化石群集については古生物学的研究が詳細になされており、*S. milaevigata* は藻類食のウニを選択的に補食していたことが明らかになっており、*S. milaevigata* が二次消費者であるとの本研究結果は整合的である。

まとめると、化石および化石中のアミノ酸の保存状態などを詳細に吟味して得た化石試料においては、約 1500 万年前の化石であっても個別アミノ酸窒素同位体比分析に基づく栄養段階推定が可能であることを示している。

一方で、上述していないが、本研究の過程で得た様々な地域・時代・保存状態の化石試料において、一見すると保存良好に見えても、電子顕微鏡レベルで観察すると微生物による対象生物殻体への浸潤が認められるものが多数あることが明らかとなり、本手法を適用できる化石試料の探索と選別評価が重要である。信頼度の高いデータを得るための化石試料選別法は本研究により具体的になった。今後、多様な化石試料について評価を行い、個別アミノ酸法の適用を試みていくことで、数千万年 数百万年規模の長大な時間軸における生態系の変動を捉えられると期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔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 ロバート・ジェンキンス
2. 発表標題 個別アミノ酸窒素同位体比分析に基づく栄養段階推定法の化石への応用に向けて
3. 学会等名 日本古生物学会第174回例会
4. 発表年 2025年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

ジェンキンス研究室ウェブサイト <a href="https://www.geobiology.jp/">https://www.geobiology.jp/</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	長谷川 卓  (Hasegawa Takashi)  (50272943)	金沢大学・地球社会基盤学系・教授    (13301)	

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
---------	---------