

令和 5 年 5 月 8 日現在

機関番号：82617

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2022

課題番号：18K13650

研究課題名(和文) 小型哺乳類の化石記録から、進化における生物学的要因の重要性を解明する

研究課題名(英文) Understanding the significance of biotic factors in long-term evolution based on the fossil records of micromammals

研究代表者

木村 由莉 (Kimura, Yuri)

独立行政法人国立科学博物館・地学研究部・研究主幹

研究者番号：50759446

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、地球化学的に復元された食性と形態の時代変化を追跡することで、同一地域内での系統間の競争と孤立地域に移入種が侵入するという2つの生物学的なイベントが与える影響を明らかにすることを旨とした。飼育実験を取り入れた研究では食性と歯エナメル炭素の同位体分別の実数値を求めた。南アジアの齧歯類化石に適応した結果、固い食べ物に有利な形態を段階的に獲得していた系統に草本食の傾向が強く現れていることがわかった。また系統の分岐点を見出し、祖先-子孫関係によって新たに2種を記載した。海洋島のコウモリ集団の研究ではヒトが直接的な絶滅原因であることを初めて明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地域の生物多様性は、生態系の生物群集が互いに複雑につながりあった食物連鎖のネットワークに、生物種の進化の歴史と地球環境の変動が組み込まれることで成り立っている。近年、生物多様性の未来予測をする上で、絶滅種の挙動がモデルの制約条件などに役立つとして注目され始めている。本研究の結果は保全古生物という新しい枠組みで生物多様性の理解を促進するものである。

研究成果の概要(英文)：This study aims to reveal the significance of biotic factors in long-term evolution by monitoring dietary and morphological evolution based on fossil lineages of micromammals that experienced inter-lineage competition and introduced species in an insular system. A feeding-controlled experiment was conducted to refine an isotopic enrichment factor between diet and bioapatite, which was applied to other studies in this project. We showed that a rodent lineage that acquired dental traits more advantageous to tough diets exploited more C4 grasses through time compared to the other coexisting lineage. We recognized two new species in these evolving lineages. In the study of extirpated bat populations on an oceanic island, we evidenced that the extirpation event was caused by human activities including sugarcane plantation.

研究分野：古生物学

キーワード：進化古生態学 同位体生態学 脊椎動物化石 化石哺乳類

### 1. 研究開始当初の背景

環境変動による生息地の変化や大陸移動などの地球科学的な要因が生物進化において重要な役割を持つことは広く受け入れられている。近年、分子系統解析による分岐年代の推定によって地質学的なイベント(例えば大陸分断や海水準の変動)との比較が盛んになっている。これと対極する生物学的な要因については、種間の競争や捕食者-被食者のバランスが生物群集構成や種数に影響を及ぼすことは知られている。しかし生物学的な要因は新しい種を生み出すというようなマクロレベルの進化ではほとんど取り上げられていなかった。ただし昨今では、現生種の観察を元にした生物多様性の未来予測をする上で、絶滅種による長時間スケールでの挙動がモデルの制約条件などに利用できるとして保全的な観点からも注目を浴び出した。

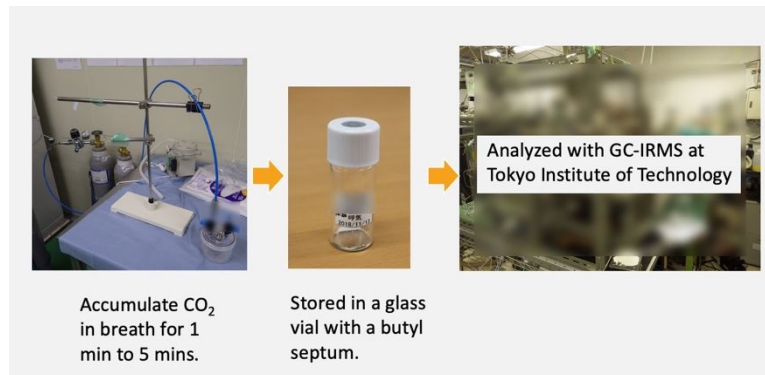
### 2. 研究の目的

本研究では、化石記録が比較的知られている小動物化石に焦点を絞り、地球化学的に復元された食性と形態の時代変化を追跡することで、同一地域内での系統間の競争と孤立地域に移入種が侵入するという2つの生物学的なイベントが与える影響を明らかにする。

### 3. 研究の方法

#### (1) 食性と歯エナメル炭素の同位体分別の実数値の決定

化石として保存される歯エナメル中の炭素の安定同位体比から食性を復元する手法では、食べ物の炭素が血中に溶解し歯エナメルとして晶出する過程で生じる非平衡の同位体分別値(isotopic enrichment factor)を考慮する必要がある。大型の草食性哺乳類については化石に利用されている信頼できる実数値があるものの、小動物についてはこれまでの数少ない研究でいずれも異なる実数値が示され、誤差が大きいという問題点があった。本研究では飼育実験下で誕生~授乳~離乳の期間を通じてと仔のペアの呼気中の二酸化炭素の安定炭素同位体比をモニタリングし、仔の歯エナメルと食べ物の同位体比と比較することで化石種に用いるための実数値を求めた。呼気のサンプリングは実験対象の齧歯類4種をそれぞれの体重に見合ったチャンパーに入れ、窒素と酸素の混合ガスで空間をフラッシングした後閉鎖系にし、数分以内に溜まったチャンパー内の呼気をシリンジで回収した。呼気は東工大学で分析を実施した。



#### (2) 種分化後における系統内の食性および形態進化

絶滅生物における種間競争と長期間の共存期間の例として、南アジア(パキスタン)の小型哺乳類グループ(ネズミ亜科、キヌゲネズミ科)を分析の対象とした。パキスタン北部地域はヒマラヤ山脈と当時東ヨーロッパまで広がっていた地中海によって他地域から隔てられ、動物の流入出がある程度制限されていたと考えられ、豊富な化石に基づき約1400万年前から約900万年前までの500万年間という長いインターバルで形態・食性の変遷を追跡することができる。化石の持ち運びには制限があるため、歯化石の高精度のレプリカを製作し、これを基に分類学的な検討を実施し、食性の指標を含めた形態解析を行った。系統内の形態進化を定量化するために形態解析には形質の線形測定と幾何学的形態測定を用いた。

#### (3) 海洋島におけるコウモリ集団の地域絶滅の原因

南西諸島の海洋島は果実食者のリュウキュウオオコウモリの亜種の生息地で、移住者による開墾事業によって生態系が大きく乱された歴史の中で同種が唯一の在来種である。同島の洞窟からこれまでに一切の観察記録がない食虫性コウモリの骨化石が発見された。調査で得られた追加サンプルはいずれもDNAが残存しなかったため頭骨や前腕の特徴を比較し種構成を調べた。亜熱帯性の洞窟環境にさらされていたのでコラーゲンも残存しないことから、ヒトに関連した絶滅であるかを検討するために骨アパタイトの安定炭素同位体比を分析した。島の歴史事実としてヒトの移住と同時に島の森林が伐採されサトウキビ畑の開墾事業が開始したことから、サトウキビの同位体シグナルがあればヒトが関連したと考えられる。

### 4. 研究成果

( 1 ) 食性と歯エナメルの炭素の同位体分別の実数値の決定

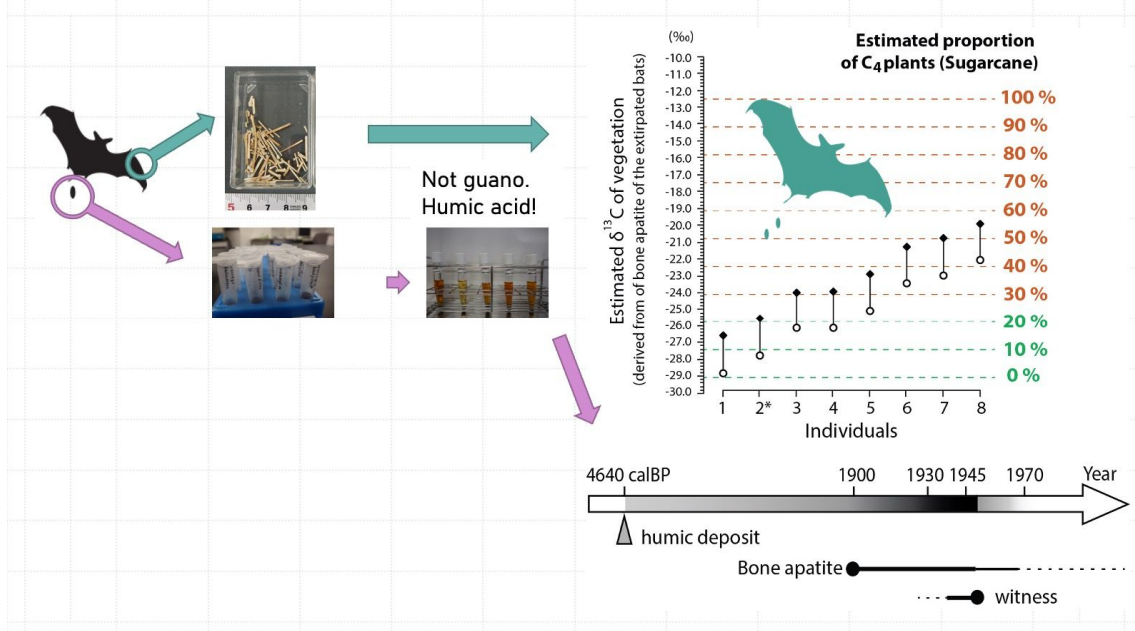
齧歯類 4 種 ( ラット , ハムスター , スナネズミ , ネズミ ) の母仔ペアの呼気を連続的に分析したことで , 授乳初期から離乳までの母乳効果を可視化することができた . 母体の呼気の同位体比はいずれの種も変わらないものの , 授乳中の仔の同位体比は有意な差が見られた . 砂漠環境に適応したスナネズミは他種に比べて低く , 母乳の主要なエネルギー源である脂質に富んだ母乳であることがわかった . 一般にヒトでは 1 回の母乳中の脂質の量が増えるとされている . スナネズミおよびハムスターの呼気には似たような傾向があったが , ラットとネズミでは対数関数上に変化していく様子が認められた . 歯エナメルの炭素同位体比には母乳効果をはっきりと見られ , 先に萌出した第一大臼歯は離乳後に萌出する第三大臼歯よりも低い値を示す . これも対数関数として表現できることが明らかになった . ここから求められる同位体分別係数と本研究の結果は国際学会で発表し , 現在投稿論文を準備中である .

( 2 ) 種分化後における系統内の食性および形態進化

パキスタンの齧歯類化石を解析した結果 , ネズミ類化石の形態に見られる主要な 2 分岐がネズミ族とサバンナネズミ族の分岐に相当することがわかった . これまでの申請者の研究からネズミ族に相当する系統が保守的な形態を保持し , サバンナネズミ族に相当する系統が草本を摂取するのに有利な形態を段階的に獲得していたことが示されていた . この安定炭素同位体分析の結果から草本を選択的に摂取していたという食性に歯の形態が呼応していることが明らかになったのだが , データを追加し , ( 1 ) で検討した同位体分別値を適応することで , 摂取物全体のうち草本類の割合を定量化することが可能となり , 従来の研究では 10-15% 程度過小評価されていることがわかった . 古生物学では形態に基づいて種を定義するため , 集団の中に複数種いたとしても形態に差異がなければ 1 種として扱うことになる . そのため分岐したタイミングに近い集団から古生物学的な種を認める方法が難しく , 30 数年間 , 扱いにくい化石となっていた . 本研究ではベイズ法に基づくクラスター解析により時系列的に集団を分け , その結果新たに新種 2 種を記載し , 形態で分けることに限界がある集団にグレードとして呼称を与え , 祖先-子孫関係の系統分岐での位置付けとして定義した . これらは複数の国際誌として公表し , 2021 年にはオープンアクセス誌に総まとめを発表した . ただし当初の予定からの変更した点としてはキヌゲネズミ類のデータを追加しなかったことを挙げる . これは 2019 年から 3 年近くにわたる不安定な情勢下において渡航を必要とする分析を回避したためで , 今後も研究を推進し成果の公表につなげたいと考えている .

( 3 ) 海洋島におけるコウモリ集団の地域絶滅の原因

洞窟調査で得られた骨化石の形態観察の結果 , 海洋島には 2 種の食性コウモリが認められた . つまり現在の哺乳類相 ( 1 種のみ ) は 3 種中 2 種が絶滅した結果であることが明らかとなった . 骨アパタイトの炭素同位体比によると , 分析された 8 個体はレンジが 7‰ 近くと大きく , これを植生に換算するとサトウキビ畑のシグナルが 10-50% 程度あることになった . これによりこのコウモリ集団は開拓初期から開発が急進した時代 ( 1900 年から 1930 年 ) に生息していたものの , 観察記録に残らないままヒトによる開発が原因となって絶滅したことが明らかとなった . コウモリ 2 種のうち 1 種は近隣の島には生息していない種と考えられ , 島に生息していた集団に何かしらのボトルネック現象が見られるかは今後の検討課題である . 形態についての研究成果は国際学会で発表し現在投稿論文を準備中である . 炭素同位体比の研究結果については 2022 年にオープンアクセス誌で発表した . SNS を利用した成果公表に大きな反響があり , それがかげとなって国際学会の招待講演に招かれた .



## 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 7件/うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Kimura, Y., D. Fukui, M. Yoshiyuki, K. Higashi	4. 巻 10
2. 論文標題 Conservation paleobiology on Minami-Daito Island, Okinawa, Japan: Anthropogenic extinction of cave-dwelling bats on a tropical oceanic island.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 PeerJ	6. 最初と最後の頁 e12702
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7717/peerj.12702	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 -
1. 著者名 Matsui, K. and Y. Kimura	4. 巻 12
2. 論文標題 A “mammalian-like” pycnodont fish: Independent acquisition of thecodont implantation, true vertical replacement, and carnassial dentitions in carnivorous mammals and a peculiar group of pycnodont fish	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Life	6. 最初と最後の頁 250
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/life12020250	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 -
1. 著者名 Kimura, Y., I. Casanovas-Vilar, O. Maridet, D. C. Kalthoff, T. Mors, Y. Tomida	4. 巻 76
2. 論文標題 The Eomyidae in Asia: Biogeography, diversity and dispersals.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Fossil Imprint	6. 最初と最後の頁 181-200
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.37520/fi.2020.012	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 Kimura, Y., L. J. Flynn, L. L. Jacobs	4. 巻 9
2. 論文標題 Tempo and Mode: Evidence on a protracted split from a dense fossil record	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Ecology and Evolution	6. 最初と最後の頁 642814
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fevo.2021.642814	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 Flynn L. J., Y. Kimura, L. L. Jacobs	4. 巻 NA
2. 論文標題 Chapter 15 The Murine Cradle	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Biological consequences of Plate Tectonics: New Perspectives on Post-Gondwana Break-up;A Tribute to Ashok Sahni, Springer	6. 最初と最後の頁 347-362
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-49753-8	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 Kimura Y., Y. Tomida, D. C. Kalthoff, I. Casanovas-Vilar, T. Mors	4. 巻 64
2. 論文標題 A new endemic genus of eomyid rodents from the early Miocene of Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Acta Palaeontologica Polonica	6. 最初と最後の頁 303-312
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4202/app.00558.2018	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 Flynn L.J., L. L. Jacobs, Y. Kimura, E. H. Lindsay	4. 巻 75
2. 論文標題 Rodent Suborders	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Fossil Imprint	6. 最初と最後の頁 292-298
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2478/if-2019-0018	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 Flynn L.J., L. L. Jacobs, Y. Kimura, L. H. Taylor, Y. Tomida	4. 巻 12
2. 論文標題 Siwalik fossil Soricidae: A calibration point for the molecular phylogeny of Suncus	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Paludicola	6. 最初と最後の頁 247-258
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 Yuri Kimura, Yukimitsu Tomida, Daniela C. Kalthoff, Isaac Casanovas-Vilar, and Thomas Mors	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 A new endemic genus of eomyid rodents from the early Miocene of Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Acta Palaeontologica Polonica	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4202/app.00558.2018	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9件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 木村由莉・福井大
2. 発表標題 多面的アプローチにより明らかとなった沖縄県大東諸島の洞穴性コウモリ類の人新世絶滅.
3. 学会等名 日本古生物学会第171回例会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 デンジャーフィールドエマ・木村由莉
2. 発表標題 現生カンガルーの歯エナメル質中の酸素および炭素の安定同位体比とアイソスケープモデルの構築
3. 学会等名 日本古生物学会第171回例会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Matsui, K. and Y. Kimura
2. 発表標題 Mammalian-like tooth replacement in a pycnodont fish jaw. Society of Vertebrate Paleontology
3. 学会等名 81st Annual Meeting. Virtual Meeting Conference Program (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松井久美子・木村由莉
2. 発表標題 モロッコ Oulad Abdoun 盆地上部暁新統から産出した“哺乳類”化石
3. 学会等名 日本古生物学会第170回例会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Casanovas-Vilar, I., Kimura, Y., Flynn, L.J., Alba, D.M., Pilbeam, D., Moya-Sola, S
2. 発表標題 Rodent stable isotopes provide new data on Miocene ape environments in the Siwaliks and the Valles-Penedes Basin
3. 学会等名 American Association of Physical Anthropologists (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kimura, Y., K. Yamada, I. Casanovas-Vilar, T. Cerling, A. Seki, N. Suzuki
2. 発表標題 Breath and tooth enamel of small mammals from feeding-controlled experiments for stable carbon isotopes
3. 学会等名 Meeting Program and Abstracts, Virtual meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木村由莉・鈴木希実・石丸拓実・大曾根達則・山田桂太
2. 発表標題 齧歯類の歯エナメル-餌および飲水間の同位体分別の決定のための飼育実験の開始：呼気，血液
3. 学会等名 日本古生物学会 2019年年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Casanovas-Vilar, I., Y. Kimura, L. J. Flynn, D. Pilbeam, S. Moya-Sola, D. M. Alba
2. 発表標題 Stable isotopes of rodent tooth enamel provide new evidence on Miocene ape environments in the Valles-Penedes Basin (Catalonia)
3. 学会等名 The Paleontological Association, 63rd Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木村由莉・山田桂太・席あずみ・鈴木希実・清家一馬
2. 発表標題 小動物の呼気中の炭素安定同位体比に認められる母乳効果と同位体古生態学への意義
3. 学会等名 日本古生物学会第169回例会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計4件

1. 著者名 木村由莉 (分担監修)	4. 発行年 2021年
2. 出版社 ブックマン社	5. 総ページ数 240
3. 書名 恋する化石 「男」と「女」の古生物学	

1. 著者名 木村由莉 (分担監修)	4. 発行年 2020年
2. 出版社 日本文芸社	5. 総ページ数 127
3. 書名 眠れなくなるほど面白い 図解 古生物	



1. 著者名 木村由莉 (監修)	4. 発行年 2020年
2. 出版社 笠倉出版社	5. 総ページ数 160
3. 書名 パンダの祖先はお肉が好き! ?-動物園から広がる古生物の世界と進化-	

1. 著者名 木村由莉 (著者)	4. 発行年 2020年
2. 出版社 ブックマン社	5. 総ページ数 312
3. 書名 もがいて, もがいて, 古生物学者!!	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究協力者	山田 桂太 (Yamada Keita)  (70323780)	東京工業大学  (12608)	

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		
米国	Southern Methodist University	Harvard University	University of Utah
スペイン	Institut Catala de Paleontologia	Universitat de Barcelona, Barcelona	
スイス	Jurassica Museum		
スウェーデン	Swedish Museum of Natural History		

共同研究相手国	相手方研究機関			
米国	University of Utah	Smithsonian Institutions		
スペイン	Institut Catala de Paleontologia			
米国	Southern Methodist University	Harvard University		
スウェーデン	Swedish Museum of Natural History			
スペイン	Institut Catala de Paleontologia			
スペイン	Institut Catala de Paleontologia			
米国	Southern Methodist University	Harvard University	University of Utah	
スウェーデン	Swedish Museum of Natural History			
スペイン	Institut Catala de Paleontologia			