

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 26 日現在

機関番号：38005

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2022～2023

課題番号：22K19339

研究課題名（和文）ワニの給餌実験による新食性復元手法の開発およびその化石への適用

研究課題名（英文）Development of a paleodietary reconstruction method for crocodylians through feeding experiments and its application to extinct crocodylians

研究代表者

久保 泰（Kubo, Tai）

沖縄科学技術大学院大学・大進化ユニット・スタッフサイエンティスト

研究者番号：40719473

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、ワニの給餌実験により与えた餌の物性と歯に残される微細な傷の関係を明らかにすること、その関係性を利用することで絶滅したワニの歯化石から、そのワニの食性を明らかにする事、の二つの目的をもって行った。まずについては、ペレット、イワシ、ウズラ、ラット、ザリガニを与えたワニの遊離歯を分析することでザリガニのように硬い餌を与えたワニの歯にはより深く密度の高い傷が残され、一方でイワシのような柔らかい餌では傷が形成されにくいことを明らかにした。では岩手県久慈市から産出する後期白亜紀のワニの歯化石を分析し、魚だけでなく陸上四肢動物も餌として利用していた可能性が高いことを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

歯に残された微細な傷（マイクロウェア）の三次元形状から食性を復元する研究は近年盛んになってきているが、給餌実験により実証的には傷の形状と食性の関係を明らかにする研究は、まだ少ない。本研究はそのような研究として、肉食動物あるいは爬虫類を題材とした世界でも初めての例である。さらに本研究の成果を岩手県久慈市から産する後期白亜紀のワニに適用する事で、当時の日本の生態系や古環境の復元をおこない、日本におけるワニ相の移り変わりについても明らかにすることができた。最新の手法を日本産の化石に適用し国際的に発信していくことで、同時に地元の方々にも地元の化石の重要性を理解していただくと考えている。

研究成果の概要（英文）：This budget was used for the research plan with two aims: (1) to elucidate the relationship between the physical properties of the given food and the dental microwear left on the teeth through feeding experiments of Alligator, and (2) utilize this relationship to determine the diet of extinct crocodiles from their fossilized teeth. Regarding objectives (1), the analysis of the isolated teeth of crocodiles that were fed pellets, sardines, quail, rats, and crayfish revealed that harder foods like crayfish left deeper and more denser dental microwear, while softer foods like sardines were less likely to form microwear. For objective (2), the analysis of crocodylian tooth fossils from the Late Cretaceous period, found in Kuji City, Iwate Prefecture, suggested that these crocodiles were not obligate piscivore but also fed on terrestrial tetrapods.

研究分野：進化生物学

キーワード：マイクロウェア ワニ 食性 白亜紀

## 1. 研究開始当初の背景

歯の摂食時の傷であるマイクロウェアから食性を復元する研究は 1970 年代から行われてきた。従来は電子顕微鏡などで撮影した二次元画像に基づいた研究が行われてきたが、この十年ほどで歯の表面の微小領域の三次情報を活用した三次元マイクロウェア解析が絶滅哺乳類の食性復元に広く用いられるようになった。私たちは、この手法の信頼性を検証するために、モルモットの給餌実験や、胃内容物が判明しているカモシカ、および食性が既知のニホンジカ集団を用いた研究を行い、植物中のプラントオパール量などがマイクロウェアのパラメーターと有意な相関を示すことを明らかにしてきた。

研究代表者の久保泰と研究分担者の飯島博士はこれまでに、絶滅ワニ類の記載や、現生ワニ類の食性と骨格形態の関連についての研究を重ねており、絶滅ワニ類の三次元マイクロウェア解析による食性復元に大きな興味を持っていた。しかし、爬虫類における食物とマイクロウェアの関係は十分に調査されていなかった。

2019 年にウインクラ博士が、現生爬虫類の三次元マイクロウェアと食性に関連があることを示す世界初の論文を発表した。しかし、この研究では文献から各種の食性情報を得ていたため、ワニ類のようにオポチュニストで同種でも体サイズによって食性が大きく変わる生物に対しては、より精度の高い食性復元のために給餌実験を通じた餌の特性とマイクロウェアパラメーターの関連付けが不可欠であった。

## 2. 研究の目的

生物種の生態系内での位置づけを理解する上で、その食性は極めて重要である。しかし、食性を反映する同位体組成が失われた化石では、胃内容物が残っているような特殊な場合を除き、その化石生物の食性を推定するのは難しい。顎や歯の形状に基づいた大雑把な推定になってしまう。

ワニ類は、水辺で暮らす捕食者であり、世界中に分布しているが、現在ではその生態的多様性は高くない。しかし、過去には、ヒレのような手足を持ち海中で生活する種、鈍い歯を持ち草食と推定される種、陸生に適応した種など、多様な生態を示していた。そのため、ワニ類の食性を正確に復元する手法は、ワニの進化史の解明や過去の生態系の再現にとって非常に重要である。

本研究は、世界初の現生ワニ類の給餌実験を通じて、摂食時に歯に残る微細な傷(マイクロウェア)の三次元情報と食物の特性の関連性を探ることを目的としている。これまでマイクロウェアの研究は主に哺乳類で行われており、爬虫類に対するコントロールされた給餌実験は世界初である。本研究の成果は、ワニ類のみならず、類似した歯や顎を持つ獣脚類にも応用可能である。獣脚類とワニ類は陸上の生態系で長期間頂点捕食者の地位を占めていた。したがって、この新たな信頼性の高い食性復元手法の確立は、肉食爬虫類の食性進化を理解する上で重要な一歩となる。

## 3. 研究の方法

マイクロウェアの三次元情報と食物の特性の関連性を探る研究では、米国・クレムソン大学で飼育しているアメリカンアリゲーター(*Alligator mississippiensis*)の 5 個体に異なる餌を継続的に与えた。飼育槽の定期的なチェックにより、日付等を記録して脱落歯を採集し、東京大学への郵送をお願いした。この作業は当時はクレムソン大学で博士研究員を行っていた分担者の飯島博士をお願いした。郵送された歯は東京大学新領域の久保麦野研究室で管理しているレーザー顕微鏡 VK-9700 でスキャンし、マイクロウェアの三次元形状を ISO25178 等の表面性状パラメーターを算出して定量化し、餌との対応関係を調べた。

化石への応用としては、研究分担者である平山教授が発掘を主導する岩手県の白亜紀後期の久慈層群から多産する正鱗類の歯化石を利用した。30 点以上の歯化石について、表面をアセトンで綺麗にした上で、レーザー顕微鏡 VK-X3000 によりスキャンを行った。給餌実験のワニと同様に表面性状パラメーターを算出し、それを上記の給餌実験で得られた歯の表面性状パラメーターと比較した。さらに既に出版済みの論文で公表されている、野生のワニや肉食トカゲの歯の表面性状パラメーターとも比較を行った。

## 4. 研究成果

初年度には、米国クレムソン大学で分担者の飯島博士研究員が実施したワニの給餌実験の結果をまとめ、餌の硬さがマイクロウェアに与える影響を明らかにし、論文として発表した(Winkler et al. 2022)。最終年度には、分担者である早稲田大学の平山廉教授が主導する岩手

県久慈市の後期白亜紀のワニのマイクロウェアをスキャンし、現生肉食爬虫類のマイクロウェアとの比較を行った。また、クレムソン大学での給餌実験で使用した現生ワニの歯を用いて突き刺し実験を進めた。これらの研究は、分担者である東京大学の久保麦野准教授の修士学生が中心となって進めた。

歯の突き刺し実験では、歯の先端部が根本よりも傷がつきやすく、餌の物性を反映することが確認された。また、給餌実験と同様に餌の硬さによって傷の深さが異なることが確認できた。久慈のワニ化石の研究では、魚食のワニに比べて明らかに傷が深く、哺乳類なども食べる現生ワニの傷に類似していることから、白亜紀の久慈のワニは魚だけでなく陸上脊椎動物なども食べていたと推測された。

平山廉教授が主導する久慈での発掘には研究費を活用し、久慈層群の絶対年代測定を進め、さらに夏や春には化石発掘により新たな研究資料も得ることができた。同時に、白亜紀の草食恐竜のマイクロウェアについても研究を進め、被子植物の放散による時代変化を探ることができた (Kubo et al. 2023)。今後もワニに限らず、中生代爬虫類全般のマイクロウェアについて研究を進め、その生態の進化や変動する環境との関連を明らかにしていきたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Winkler Daniela E., Iijima Masaya, Blob Richard W., Kubo Tai, Kubo Mugino O.	4. 巻 10
2. 論文標題 Controlled feeding experiments with juvenile alligators reveal microscopic dental wear texture patterns associated with hard-object feeding	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Ecology and Evolution	6. 最初と最後の頁 957725
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fevo.2022.957725	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 Winkler Daniela E., Kubo Tai, Kubo Mugino O., Kaiser Thomas M., T?tken Thomas	4. 巻 65
2. 論文標題 First application of dental microwear texture analysis to infer theropod feeding ecology	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Palaeontology	6. 最初と最後の頁 e12632
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1111/pala.12632	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 Kubo Tai, Kubo Mugino O., Sakamoto Manabu, Winkler Daniela E., Shibata Masateru, Zheng Wenjie, Jin Xingsheng, You Hai Lu	4. 巻 66
2. 論文標題 Dental microwear texture analysis reveals a likely dietary shift within Late Cretaceous ornithopod dinosaurs	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Palaeontology	6. 最初と最後の頁 e12681
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1111/pala.12681	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

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Kubo, T., Sakaki, H., Hirayama, R., Winkler, D. E., Uno, H., Miyata, S., Endo, H., Sasaki, K., Takizawa, T., Kubo, M. O.
2. 発表標題 Non-occlusal dental microwear texture analysis of a somphospondyli titanosauriform sauropod dinosaur from the Tamagawa Formation, northern Japan
3. 学会等名 18th International Symposium on Dental Morphology & 3rd Congress of the International Association of Paleontology (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 榊 帆希・ダニエラ E. ウィンクラー・久保 泰・平山 廉・鷓野光・宮田真也・遠藤秀紀・佐々木和久・滝沢利男・久保麦野
2. 発表標題 久慈層群玉川層（後期白亜紀）産竜脚類歯化石の三次元マイクロウェア解析
3. 学会等名 日本古生物学会2022年年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tai Kubo, Mugino O. Kubo, Manabu Sakamoto, Daniela E. Winkler, Masateru Shibata, Wenjie Zheng, Xingsheng Jin, Hai-Lu You
2. 発表標題 Temporal dietary shift toward more abrasive food among Cretaceous ornithopod Dinosaurs
3. 学会等名 International Congress for Vertebrate Morphology 13 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tai KUBO, Homare SAKAKI, Ren HIRAYAMA, Wenjie ZHENG, Xingsheng JIN, Mugino O. KUBO and Lauren SALLAN
2. 発表標題 Dental microwear texture analysis of Omeisaurus and other sauropods reveals variation in dinosaur feeding modes
3. 学会等名 2nd Asian Palaeontological Congress (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kodai Usami, Daniela E. Winkler, Tai Kubo, Mugino O. Kubo
2. 発表標題 In-vitro experiment using alligator teeth to test the relationship between diets, frequency of food contact, and dental microwear texture
3. 学会等名 International Congress for Vertebrate Morphology 13 (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

歯の微細な傷から肉食恐竜の食性を解明 三次元マイクロウェア分析で恐竜の生態に迫る  
<https://www.k.u-tokyo.ac.jp/information/category/press/9921.html>

歯の表面に残されたミクロの傷から餌の性質が明らかに ワニの給餌実験で探る傷と餌の関係 -  
<https://www.k.u-tokyo.ac.jp/information/category/press/9830.html>

白亜紀の草食恐竜はどんな植物を食べていたのか？ 歯の微細な傷が解き明かす食性の時代変化  
<https://www.k.u-tokyo.ac.jp/information/category/press/10643.html>

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	平山 廉  (Hirayama Ren)  (00238396)	早稲田大学・国際学術院・教授   (32689)	
研究分担者	久保 麦野  (Kubo Mugino)  (10582760)	東京大学・大学院新領域創成科学研究科・准教授   (12601)	
研究分担者	飯島 正也  (Iijima Masaya)  (40867892)	名古屋大学・博物館・学振特別研究員(CPD)   (13901)	

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	クレムソン大学		
ドイツ	ハンブルグ大学	マインツ大学	

共同研究相手国	相手方研究機関			
中国	IVPP	浙江自然博物館		
英国	リンカーン大学			