

所属	職位	研究代表者	応募年度	研究期間	タイプ (○をして下さい)
古生物学・年代学 研究センター	教授	豊田 新	2020 年度	2020～2021	A・B・C <b>○D</b>
1. 研究プロジェクト名					
モンゴル国ゴビ砂漠の地質・化石調査から解明するアジア内陸域における生物多様性とその変遷					
2. 予算額及び支出額 (単位：円)					
2020 年度予算	3,000,000 円		2021 年度予算	1,500,000 円	
2020 年度執行額	1,015,210 円		2021 年度執行額	1,445,458 円	
3. 研究費で購入した機器備品 (単位：円)					
年度	品名	型式等	数量	金額	
	なし				
4. 研究組織					
	所 属	職位	研究者名	研究プロジェクトにおける研究課題	
1	研究・社会連携機構	教授	豊田 新	ESR を用いた堆積物石英の特徴化と後背地推定	
2	生物地球学部	教授	能美 洋介	ジルコンを用いた堆積物の特徴化と後背地推定	
3	研究・社会連携機構	教授	石垣 忍	足跡化石による恐竜の歩行様式の解明	
4	研究・社会連携機構	教授	兵藤 博信	K-Ar 法による堆積層鉱物の分析	
5	工学部	教授	衣笠 哲也	数理モデルによる恐竜類の運動様式の復元	
6	生物地球学部	准教授	高橋 亮雄	小型脊椎動物化石の分類	
7	生物地球学部	准教授	實吉 玄貴	地質調査による古環境復元	
8	教育推進機構	准教授	青木 一勝	LA-ICP-MS を用いた U-Pb 年代測定	
9	研究・社会連携機構	准教授	今山 武志	二次的な元素移動の観察と年代測定への影響評価	
10	生物地球学部	講師	林 昭次	骨組織に基づく恐竜類の古生態復元	
11	生物地球学部	講師	千葉 謙太郎	化石の分類学的手法による動物種の適応放散	
12	モンゴル科学アカデミー古生物学研究所	所長	Khishgiav Tsogtbaatar	化石の分類学的手法による動物種の適応放散	
13	モンゴル科学アカデミー古生物学研究所	研究員	Buuvei Mainbayar	足跡化石による恐竜の歩行様式の解明	
14	研究・社会連携機構	教授	畠山 唯達	古地磁気層序の確立と年代推定	

## 5. 研究目的及び計画の概要

モンゴル国ゴビ砂漠は、大陸内陸部の地層と化石記録を保存しており、沿岸部を中心とした欧米の化石産出域とは異なるという意味で、白亜紀末の大量絶滅に向かう重要な生態系の変遷を調べるのに重要である。しかし、化石種の生息年代は詳細に決定されておらず、北米などの化石記録と対比する大きな障壁となってきた。本研究グループでは、プロジェクト研究推進事業、私立大学研究ブランディング事業などにより、ゴビ砂漠での継続的な野外調査を進めてきた。レーザー-ICP 質量分析計を用いて化石含有層の新たな年代測定法を開発し、実際に絶対年代を求めるいった成果を得た。こうした経緯を踏まえ、本申請研究では、ブランディング事業において目標とし、かつ成果を挙げつつあった課題に取り組む。

### (1) 化石及び化石含有層の年代決定

本申請研究では、骨化石を対象としたアパタイトの直接年代測定の問題点抽出と、さらなる可能性の模索を行うとともに、今回有用性が確認された土壌性炭酸塩岩の年代測定手法をより広範な年代といわれる地層へ適用する。

### (2) 化石種の生理・生態の復元と現生生物との比較

化石として発見される絶滅動物の生理・生態を復元するために、現生種の骨の構造、足跡と生理、生態との関係を解明する。恐竜足跡を中心としてデータを蓄積し、数理モデルの再構成、ロボット工学における知見などにより、現生動物と対比させて、竜脚恐竜を中心とした大型四足生物の特殊な歩行様式、特に旋回動作に焦点をあてた歩行様式の解明をすすめる。

恐竜類と系統的に近いワニ類や鳥類の骨内部構造のデータをもとに、これら現生動物と恐竜類の骨外部・内部構造の比較、同位体の分析による恐竜類の成長・性差・脳容積のデータを蓄積し、化石種の生理・生態の復元を進める。さらに、恐竜化石の病理標本に対し X 線 CT スキャナーを用いて観察し、骨組織の復元過程を明らかにするといった挑戦的な研究課題に取り組む。

### (3) Bayn Shire 層の年代層序確立と化石動物相の解明

Bayn Shire 層は、ゴビ砂漠の他のより新しい地層に比べ、産出する化石標本は量・質ともに劣っていると思われてきたが、本研究グループは、保存状態の良好な恐竜化石や、新種の可能性の高い哺乳類化石を含む小型動物化石の密集層を発見した。一方、研究ブランディング事業の成果として土壌性炭酸塩岩から得られた Bayn Shire 層の年代（約 9000 万年前後）は、被子植物の多様化に伴い、様々な動物で現代型の分類群が適応放散した時期に相当する。前述のように、この時代の陸上化石記録は世界的にも乏しいため、本層で得られる化石動物相は、この時代の動物の進化史における最大の空白期を埋める鍵となる可能性が高い。本申請研究では、土壌性炭酸塩岩の年代測定をさらに積み重ね、本層から新たに発見される動物化石の分類学的検討を組み合わせることで、生態系の一変革期の詳細を明らかにする。

## 2020 年度研究計画

(1) モンゴルゴビ砂漠東部、中央部、西部から採取されている試料を対象に分析を進める。

a) 歯を中心とした化石の U-Pb 年代測定を行う。

b) 土壌性炭酸塩岩の U-Pb 年代測定を行う。

c) 堆積物の石英、ジルコンの分析により、堆積層の対比や、環境変動と対応した供給源の変動を議論するのに必要なデータを得る。

(2) モンゴルゴビ砂漠東部、Bayn Shire 層の分布する複数地域より化石を採取するとともに、年代測定用試料の採取、古環境復元に用いる地層記載を行う。本学で分析する試料を選別し、梱包、送付作業を行う。

(3) すでに取得している足跡化石のデジタルデータの整理を行う。大型四足生物の特殊な歩行様式数理モデルの再構成、ロボットの実現を図る。すでに取得している化石を用いて、現生爬虫類等と恐竜類の骨外部・内部構造の比較、同位体の分析を進める。

## 2021 年度

(1) 年代測定、後背地推定に関するデータをまとめ、モンゴルゴビ砂漠恐竜化石産出堆積層全体について相互の関係、年代を議論する。

(2) 2020 年度に採取した試料の分析を行う。動物化石の分類学的検討を行い、被子植物の多様化に伴って起きたと考えられる、各動物種の適応放散について考察する。

(3) 必要があれば追加でゴビ砂漠や相手研究機関での試料採取、調査を行う。

(4) 足跡化石データと比較することにより、恐竜の歩行様式の考察を行う。

(5) 各研究ユニットの成果をまとめ、白亜紀後期における陸域の生態系の変遷の議論を行う。

(6) 年度末にモンゴル側を訪問し、これまでの成果のまとめの議論を行う。

## 6. 研究成果の概要

### 2020 年度

(1) 恐竜歯化石を用い U-Pb 年代測定を行うための標準試料を選定し、年代測定が行えることを確認した。実際の試料では、化石化の後、元素が移動していると思われ、年代を求められなかった。炭酸塩岩についても、今年度分析した試料については、岩石の生成後、元素が中で移動したと思われ、初生の年代を得ることはできなかった。堆積物の石英の ESR 測定が、モンゴル化石産出域全体についてほぼ終了し、ほぼこれまでの年代区分ごとにそれぞれを信号の組み合わせで特徴づけることができることがわかった。計画にはなかったが、ゴビ砂漠の第三系に対し、古地磁気を用いた編年が有効に働く可能性を示すことができた。

(2) 本年度は、モンゴルにおける現地調査、試料採取を行うことができなかった。

(3) これまでに知られている竜脚類の旋回行跡について文献調査をするともに、軌道差の見られる旋回行跡について操舵様式の解析を行った。また、福山市立動物園の協力を得てアジアゾウの足跡を採取した。その結果、大型の四足歩行動物の旋回動作に見られる軌道差が直進時にも確認され、旋回動作と同様に四輪操舵車両との類似性を示した。また、恐竜類やゾウの旋回動作を水平面上のモデルで再現し、操舵比が荷重の逆比を取るとき慣性モーメントが最小になることをシミュレーションでも確認した。現地における試料採取はできなかったが、手元にある化石試料の解析を進めた。前年度に採取され、本学に送付された堆積物のジャケットを開封し、化石の取り出し作業を行ったところ、哺乳類、爬虫類、魚類化石を新たに発見した。

#### 2021年度

(1) 恐竜歯化石を用いた測定によって、上部白亜系の年代として生層序学的年代と整合的な絶対年代を得ることができた。一方で、土壌性炭酸塩岩を用いた絶対年代測定では、相対年代と整合的な絶対年代を得ることができなかった。コロナ感染症の影響で、追加試料を得ることができず、年代測定を行うことができなかったため、モンゴルゴビ砂漠恐竜化石産出堆積層全体について相互の関係、年代に対する詳細な議論を行うことはできなかった。

(2) 2020年度の発掘調査を行うことができなかったが、2019年度調査で得られた試料を精査し、新種の哺乳類化石が含まれていることを明らかにした。また、モンゴル初産出の魚類化石や、Bayn Shire 層初の恐竜種が含まれている可能性を示した。このように、小型動物化石の密集層には分類学的に重要な化石が数多く含まれることが明らかになった。また、鎧竜類の歯の交換が垂直方向から水平方向に変化させていたことが明らかとなった。鎧竜類の咀嚼様式がその系統進化に伴って複雑化したことを示している。以上のように、当時の陸上生態系における生物多様化イベントの一端が明らかになりつつある。

(3) コロナ感染症の影響により、発掘調査を行うことはできなかったが、年度内に追加の化石試料を日本へ送付するため、双方の期間で協力している。

(4) 前年のシミュレーションに加え、足跡化石との比較を通して、竜脚類恐竜の歩行様式における超大型脊椎動物としての物理的制約について考察した。また、恐竜類における歩行様式を明らかにするため、現生主竜類の解剖学的データを収集するとともにCTデータによる3Dモデルを用いてワニ後肢ロボットを構成し、筋骨格系の自由度低減及び歩行時の膝ロックメカニズムを部分的に明らかにした。

(5) 脊椎動物化石の分類学的検討の結果、対象とした複数の分類群において、モンゴルの後期白亜紀にはより多様な脊椎動物相が存在していたことが明らかとなった。これらの本研究で見出された化石種により、当時の他地域の動物相との比較が可能になりつつある。

(6) コロナの影響があるため、モンゴル側との研究成果の恐竜は、オンライン会議を通して適宜行った。さらに、年度末にオンラインでの報告会開催を検討している。

#### 7. 研究発表 (記載方法は、科研費報告書の記載に準ずる)

##### 発表論文

- 鹿野雄一・菊川裕幸・奥田ゆう・林 昭次・三橋弘宗：絶滅種ミマミトミヨの古標本の3Dモデル化の試み、湿地研究 12号, p.1-5. (2021)
- Kaifu Y., Kurniawan I., Yurnaldi D., Setiawan R., Setiyabudi E., Insani H., Takai M., Nishioka Y., Takahashi A., Aziz F., Yoneda M. (2022) Modern human teeth unearthed from below the ~128,000-year-old level at Punung, Java: A case highlighting the problem of recent intrusion in cave sediments. *Journal of Human Evolution*, Volume 163: 103122.
- Cullen, T. M., C. M. Brown, K. Chiba, K. S. Brink, P. J. Makovicky, and D. C. Evans. 2021. Growth variability, dimensional scaling, and the interpretation of osteohistological growth data. *Biology Letters* 17:20210383.
- Setiyabudi, E., Kurniawan, I., Insani, H., Takahashi, A. (2021) Late Pleistocene fossil record of *Cuora amboinensis* (Testudines: Geoemydidae) from the Wajak site, East Java, Indonesia, and its paleogeographic and archeozoologic implications, *Paleontological Research*, 25, 25-31. (有)
- Brown, C., Herridge-Berry, S., Chiba, K., Vitkus, A. R., and Eberth, D. A. (2020) High-resolution (cm-scale) GPS/GIS-based 3D mapping and spatial analysis of in-situ fossils in two horned-dinosaur bonebeds in the Dinosaur Park Formation (Upper Cretaceous) at Dinosaur Provincial Park, Alberta, Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*, cjes-2019-0183. (有)
- Ekhtiari, S., Chiba, K., Popovic, S., Crowther, R., Wohl, G., Wong, A. K. O., Tanke, D. H., Dufault, D. M., Geen, O. D., Parasu, N., Crowther, M. A., and Evans, D. C. (2020) First case of osteosarcoma in a dinosaur: a multimodal diagnosis. *The Lancet Oncology*, 21(8), 1021-1022.
- Ishigaki, S., Tsogtbaatar, K., Tsujigiwa, H., Mainbayar, B., Takahashi, A., Aoki, K., Aoki, S., Buyantegsh, B., Byambaa, P., Bayardorj, C., Otgonbat, B., Saneyoshi, M., Hayashi, S. and Chiba, K. (2020) Report of the Okayama University of Science – Mongolian Institute of Paleontology Joint Expedition in 2019. *Bulletin of Institute of Frontier Science and Technology, Okayama University of Science*, 1, 1-5. (無)
- Wosik, M., Chiba, K., Therrien, F., and Evans, D. C. (2020) Testing size-frequency distributions as a method of ontogenetic aging: a life-history assessment of hadrosaurid dinosaurs from the Dinosaur Park Formation of Alberta, Canada, with implications for hadrosaurid paleoecology. *Paleobiology*, 46(3), 379-404. (有)
- Isozaki, Y., Tada, R., Sun, Y., Zheng, H., Toyoda, S., Sugiura, N., Karasuda, A., Hasegawa, H. (2020) Origin of aeolian dust emitted from the Tarim Basin based on the ESR signal intensity and crystallinity index of quartz: the recycling system of fine detrital material within the basin. *Geological Magazine*, 157, 707-718. (有)
- 網本真奈, 豊田新, 実吉玄貴, 高橋勇人, 寺田 智也, 石垣 忍, Tsogtbaatar Khishigjav, Mainbayar Buuvei, Buyantegsh Batsaikhan (2020) モンゴルゴビ砂漠の恐竜化石を産する白亜系堆積物の石英の酸素空孔量と堆積環境, 岡山理科大学紀要 A, 56, 59-65. (無)
- Kurumada, Y., Aoki, S., Aoki, K., Kato, D., Saneyoshi, M., Tsogtbaatar, K., Windley, B. F., Ishigaki, S. (2020) Calcite U-Pb age of the Cretaceous vertebrate-bearing Bayn Shire Formation in the Eastern Gobi Desert of Mongolia: Usefulness of caliche for age determination, *Terra Nova*, 32, 246-252. (有)
- Aoki, S., Aoki, K., Tsujimori, T., Sakata, S., Tsuchiya, Y. (2020) Oceanic-arc subduction, stagnation, and exhumation: zircon U-Pb geochronology and trace-element geochemistry of the Sanbagawa eclogites in central Shikoku, SW Japan, *Lithos*, 358-359, 105378. (有)

**書籍**

林 昭次・野田昌裕：骨組織学から迫るオオサンショウウオの成長と年齢査定，広島市安佐動物公園50周年記念 オオサンショウウオを知る守るそして共に，116-117．（2021）  
 土屋 健，木村 由莉，林 昭次，ACTOW（2020）パンダの祖先はお肉が好き！？ー動物園から広がる古生物の世界と進化，平凡社。

**学会発表**

石井紗智・林昭次・Nyamkhishig Tsogjargal・Khishigjav Tsogtbaatar：ビナコサウルスから考察する鎧竜類の歯の交換様式，日本古生物学会例会，名古屋大学（オンライン）2022年2月4日-2月6日  
 野田昌裕・前川和輝・石川世奈・林昭次・安西航・田口勇輝：骨組織から読み解くオオサンショウウオの成長，シンポジウム「野生生物保全と自然再生における官学民の協同」，東京大学（オンライン）2021年11月27日  
 実吉玄貴・林 昭次・千葉謙太郎・青木一勝：絶対年代決定から見るモンゴル国ゴビ砂漠から産出する後期白亜紀脊椎動物 化石相の重要性，日本古生物学会年会，岡山理科大学（オンライン）2021年7月2日-7月4日  
 杉本征弥・實吉玄貴・千葉謙太郎・Kirstin S. Brink・Buuvei Mainbayar・Khishigjav Tsogtbaatar（2021）獸脚類恐竜 Tarbosaurus の歯に見られるマイクロウェアと微細内部構造の検討. 日本古生物学会 2021 年年会，オンライン大会.  
 坂本航汰・畠山唯達・北原 優・実吉玄貴・Khishigjav Tsogtbaatar（2021）モンゴル国古第三系 Ergilin Dzo 層の地質年代学的研究. 日本古生物学会 2021 年年会，オンライン大会.  
 大越 司・小平将大・千葉謙太郎・實吉玄貴・高橋 亮雄・名取真人・メインバイラル ブーベイ・ツォクトパー トル ヒシグジャウ（2021）モンゴル国ゴビ砂漠上部白亜系 Baynshire 層から産出した哺乳類化石の分類学的検討 日本古生物学会 2021 年年会，オンライン大会.  
 稲葉勇人・辻極秀次・千葉謙太郎・宮地孝明・川上朝子・ヒシグジャフ ツォクトパー トル プンレイ・メインバイラル・實吉玄貴（2021）モンゴル国産脊椎動物化石からのタンパク質の抽出. 日本古生物学会 2021 年年会，オンライン大会.  
 稲葉勇人・千葉謙太郎・辻極秀次・宮地孝明・川上朝子・Khishigjav Tsogtbaatar・Buuvei Mainbayar・實吉玄貴（2021）脊椎動物化石の特殊染色による組織学的解析とタンパク質検出. 第29回 硬組織再生生物学会学術大会・総会，オンライン大会.  
 T. Okoshi, S. Kodaira, K. Chiba, M. Saneyoshi, A. Takahashi, M. Natori, B. Mainbayar, K. Tsogtbaatar（2021）A new mammalian fossil from the Upper Cretaceous Baynshire Formation, Gobi Desert, Mongolia. Society of Vertebrate Paleontology Annual meeting 2021, online.  
 坂本航汰・畠山唯弘・北原 優・實吉玄貴・Khishigjav Tsogtbaatar（2021）モンゴル国南東部に分布する古第三系 Ergilin Dzo 層の古地磁気学的研究. 日本堆積学会 2021 年大会，オンライン大会.  
 稲葉勇人、小平将大、辻極秀次、千葉謙太郎、実吉玄貴（2021）質量分析法と特殊染色によるモンゴル国産脊椎動物化石からのタンパク質抽出. OUS フォーラム 2021, オンライン開催.  
 高橋亮雄・プレヴスレン プヤンバ・平山 廉（2021）モンゴルの後期白亜紀バインシレ層のカメ類の種多様性と動物地理. 日本古生物学会

**新聞記事**

2021年12月2日、2021年4月28日 ヤマトサウルス命名 理大高崎竜司研究員ら 山陽ほか各紙  
 2021年5月30日 子ども記者ネットワーク 恐竜学最前線取材 山陽新聞  
 2021年11月29日 恐竜が手ぬぐいに 山陽新聞  
 2020年8月～9月 山陽、中国、毎日、朝日、日本経済、読売新聞 社会面、岡山面、全国版 恐竜のがん世界初確認  
 毎月1回 山陽新聞さんたタイムズ 恐竜調査隊が行く

**8. 外部資金申請状況（次年度応募予定含む）**

1	プロジェクト名：第四紀堆積物の ESR 年代測定法の確立			
	申請先：日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究 C			
	申請者	期間	予算	採否
	豊田 新	2020 年 4 月～2023 年 3 月	3,400 千円	採択
2	プロジェクト名：3,500 万年前の哺乳類化石を用いた化石分子系統解析手法の開発とその応用			
	申請先：日本学術振興会 科学研究費補助金 挑戦的研究（萌芽）			
	申請者	期間	予算	採否
	実吉 玄貴	2020 年 4 月～2023 年 3 月	4,900 千円	採択
3	プロジェクト名：化石動物の性差・性別判定方法の確立			
	申請先：日本学術振興会 科学研究費補助金若手研究			
	申請者	期間	予算	採否
	千葉 謙太郎	2019 年 4 月～2023 年 3 月	3,300 千円	採択
4	プロジェクト名：後期白亜紀陸上動物相大変革の解明と自然科学教育を用いた ESD の開発			
	申請先：日本学術振興会 二国間交流事業			
	申請者	期間	予算	採否
	実吉 玄貴	2021 年 4 月～2023 年 3 月	3,800 千円	採択