

岡山理科大学 研究・社会連携機構

古生物学・年代学研究センター 事業報告

The Bulletin of Institute of Paleontology and Geochronology,
Okayama University of Science

第2号

岡山理科大学 古生物学・年代学研究センターについて	1
恐竜学博物館について	5
2021 年度事業運営報告	7
事業計画と事業報告（自己点検評価の概要）	10
2020 年度岡山理科大学プロジェクト研究推進事業申請書	12
岡山理科大学プロジェクト研究推進事業 実施報告書（1 年目）	16
2021 年度岡山理科大学プロジェクト研究推進事業進捗状況（中間）報告	21
岡山理科大学プロジェクト研究推進事業実施報告書（最終年度）	22
2021 年度教育改革推進事業申請書	27
2021 年度教育改革推進事業報告書／2022 年度申請書	30
日本古生物学会 2021 年年会 プログラム	34
2020 年度古生物学・年代学研究センター第 2 回セミナー	43
2021 年度岡山理科大学恐竜学博物館活動報告	44
研究報告	
小畑直也・豊田 新：石英の ESR 年代測定の確立に向けて	49
中田昇吾・難波杜夫・田口栄次・鈴木茂之・石垣忍：岡山県高梁市川面町に分布する中新統と軟体動物化石群の研究	56
田辺美羽・伊達勇輝・青木一勝：タルボサウルス歯化石の希土類元素および U-Pb 年代測定	57
今山武志：東ネパール角閃岩類の角閃石の過剰アルゴン年代	59
高橋亮雄・久保 風人・齋藤 北斗・島田 将徳・Purevsren Byambaa・Igor G. Danilov・Buuvei Mainbayar・實吉玄貴・石垣 忍・Khishigjav Tsogtbaatar：	

モンゴル国ゴビ砂漠の上部白亜系より産した恐竜類、カメ類および条鰭類化石に関する分類学的検討	63
能美洋介・榎丸優香：宝伝海岸における岡山県南部山陽帯花崗岩 I 型／II 型の露頭について	66
伊東和輝・檜田紗耶香・出射潤也・衣笠哲也・奥田ゆう・千葉謙太郎・大須賀公一：ワニ類のハイウオークにおける膝関節ロック機構と後肢内協調による立脚姿勢維持のメカニズムー筋骨格系の形態と機能に基づく恐竜類の自然な歩行の復元をめざしてー	67
兵藤博信・澤田順弘：円筒モデルで近似した貫入マグマの冷却過程ーExcel による差分法ー	71
林昭次・石井紗智：ピナコサウルスから考察する鎧竜類における歯の交換様式	73
稲葉勇人・千葉謙太郎・實吉玄貴・辻極 秀次：備讃瀬戸産ゾウ類化石中の残存タンパク質の検討	74
井上れな・辻極秀次・千葉謙太郎・高崎竜司・實吉玄貴：現生爬虫類の産卵期における骨組織学的研究	77
畠山唯達，北原優・横田大峻・森伊吹：今年度の地磁気と関連した年代学的研究について	79
共同研究報告	
石橋純一郎・富田麻起子・豊田新：信号再生法を用いた重晶石の ESR 年代測定法の試み	81
林昭次・秦はるか・芳賀菜月：骨内部構造から考察するペンギン類の水棲適応	89
Man-Yin Tsang, Shin Toyoda, Jun-Ichiro Ishibashi, Satoshi Tonai, Yuki Morono, Yuzuru Yamamoto, Ages of underthrust barite crystals of the Nankai Accretionary Prism (IODP Exp 370 Site C0023)	90
発表論文リスト	91
書籍リスト	92
学会発表リスト	92
開催された学会	94
マスメディアへの掲載リスト	94
論文別刷リスト	
論文別刷	
マスメディアへの掲載	

岡山理科大学 古生物学・年代学研究センターについて

2021年4月に設立された、岡山理科大学古生物学・年代学研究センターは2年目の活動を終えた。本報告書では、本センターの組織についてまとめ、そして今年度の活動について報告する。

1. 設立の経緯と古生物学・年代学研究センターの構想

岡山理科大学では、1980年代に蒜山研究所に先駆的なK-Ar年代測定システムが稼働して以来、年代測定を行うことができる研究機関として、日本の地球科学および惑星科学の重要な研究拠点の地位を保ってきた。これはオープンリサーチセンター「地球型惑星の物質科学と歴史探究」（平成17年度から21年度）、私立大学戦略的研究基盤形成支援事業「鉱物の物理化学特性から読み取る地球、惑星の環境変遷史」（平成23年度から27年度）として結実し、質の高い実績を残したことからも明らかである。

一方、平成25年、林原自然科学博物館（岡山市）が親会社の経営危機によって閉鎖された際、本学は恐竜に関わる標本、研究事業及び研究者を承継すると共に、モンゴル科学アカデミー古生物学地質学研究所との協力関係も引き継いだ。この古生物学的研究に、本学がそれまでに培ってきた地質年代学および物性物理学的手法を組み合わせることにより、さらに大きな研究拠点となり得ることを確信し、私立大学研究ブランディング事業「恐竜研究の国際的研究拠点形成」（平成28年度から31年度）へ申請そして採択に至った。

このように、物質科学的分析による地球年代学に裏打ちされた恐竜化石をはじめとする古生物学研究は、他大学にはない独自性があり、まさに岡山理科大学ビジョン2026にある“個性的で魅力ある研究”となっている。そこで、私立大学研究ブランディング事業によってその基礎を築いた研究拠点をさらに発展させ、「年代学を基礎とした古生物学」を本学の特色としてアピールするとともに強固なものとし、得られる研究成果を学生の教育および社会に還元するため、「岡山理科大学古生物学・年代学研究センター」を令和2年4月に設置することになった。

本研究センターは、年代学的手法及び分析学的手法を組織的に密接に古生物学の研究に取り入れ、融合させて、年代学的研究を基礎とした古生物のマクロ進化を研究目的とする新たな研究分野の構築と進展を図る。古生物学を専門とする研究者の在籍する研究機関は国内に複数存在するが、年代学を基礎とする形で組織的に古生物学の研究を行う研究機関は、この研究センターが設立されれば国内で唯一のものとなり、世界的に見ても数少ない極めて特色のある研究機関となる。また、本研究センターを共同利用研究施設と同様の方式で運営し、国内外を問わない学外との共同研究をこれまで以上に積極的に推進する。そして、最新の研究成果を取り入れた学部教育を行うと共に、大学院教育においては国内外の研究者との国際的な共同研究に参加させる。

本研究センターのもう一つの特長は、恐竜学博物館を組織として持ち、ここを通して最新の研究成果を広く社会へ直接還元できる点にある。特にこの博物館は、恐竜研究の現場を「展示」することを主たる目的としているところに大きな特徴があり、研究のプロセスを大切に大学ならではの社会貢献の機会を持つ。

本研究所は今後、成果を積み重ね、数年以内に文部科学省による共同利用・共同研究拠点として認定されることを目指す。

このために、次のような活動を行う（図1）。

- (1) 学部の垣根を越えて、学内の様々な分野の教員との学内共同研究を推進する。
- (2) 国内及び国際共同研究を推進する。
- (3) 共同研究は、公募により提案を募り、審査委員会を経て採択する。
- (4) 共同研究は、(兼任を含む)所属教員が責任者として推進できる課題とする。提案者と研究グループを作り、基本的には学外の研究者側が本学を訪問して本学の研究資源を利用するかたちで行う。
- (5) 研究シンポジウムをはじめ、積極的に国内学会、国際学会を招致する。
- (6) 恐竜学博物館において、展示を充実させ、学内外に公開すると共に、教育プログラムを行い、社会への情報発信を行う。



図1 古生物学・年代学研究センターの構想

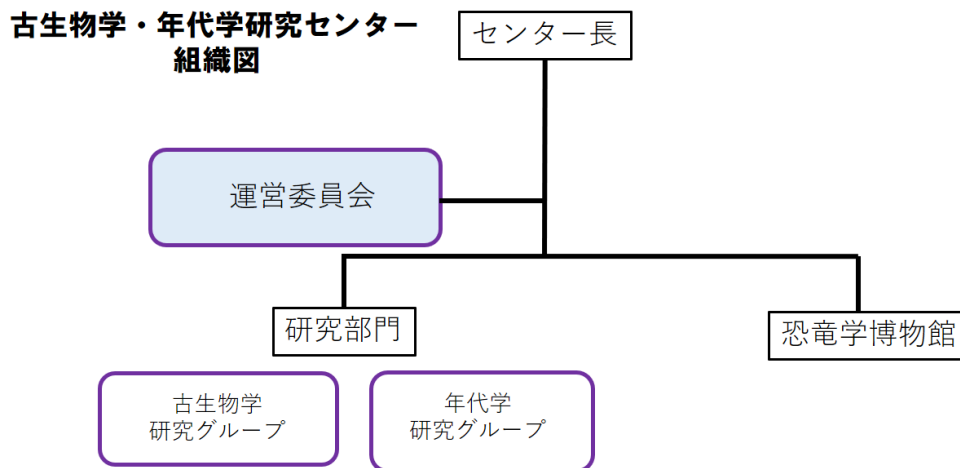


図2 古生物学・年代学研究センター組織図

研究では、次のような課題に取り組む。

- (1) モンゴル恐竜化石の絶対年代測定
- (2) モンゴル産恐竜化石研究を中心とした古脊椎動物の系統分類と古生態
- (3) 年代にもとづく地球表層環境と生物との共進化
- (4) 地球史を通じた大陸の形成と進化
- (5) 新しい年代測定手法の開発とその応用

次のようなことが実現できることを目指す。

- (1) 学内教員間の共同研究、特に学際的な研究を奨励し、活気のある学風を形成するとともに、古生物学・年代学研究を大学ブランドに押し上げる。
- (2) 国内、国外との共同研究を推進し、年代測定による時間軸に裏付けられた古生物学研究の世界的拠点になるための基礎を作る。
- (3) 国内の共同利用・共同研究拠点として広く学界から認定され、学外資金を得られる組織を目指して、

現在できる整備と実績作りを行う。

- (4) 恐竜学博物館での研究・教育・普及活動を推進し、積極的に成果を発信する。

2. 実施体制

専任教員及び兼任教員合わせて10-15名程度によって研究センターを組織する。

研究センターには、研究推進部門及び恐竜学博物館を置く。研究推進部門は、古生物学研究グループと年代学研究グループからなる(図2)。運営委員会を置き、古生物学・年代学研究センターの運営に必要な事柄を検討する。

3. 規程

岡山理科大学古生物学・年代学研究センター規程

(趣旨)

第1条 岡山理科大学古生物学・年代学研究センター規程(以下「本規程」という。)は、岡山理科大学学則第67条に基づき、古生物学・年代学研究センター(以下「本センター」という。)に関して必要な事項を定めるものとする。

(目的)

第2条 本センターは、古生物のマクロ進化に関する研究の進展を図ると共に、地質学的研究、年代学的研究とあわせて新たな研究分野を構築し、その最新の研究成果を広く社会へ直接還元すること目的とする。

(構成員)

第3条 本センターに、センター長を置く。

- 2 センター長を補佐する目的で、副センター長を置くことができる。
- 3 センター長及び副センター長の任期は、岡山理科大学教育職員役職者の任命についての細則の定めによる。
- 4 必要に応じて、専任教員を置くことができる。

(研究員)

第4条 本センターは、次の各号に定める研究員を受け入れることができる。

- (1) 本センターに所属しない岡山理科大学教員(以下、「兼務研究員」という。)
 - (2) 岡山理科大学研究員規程に定める研究員
 - (3) 岡山理科大学客員研究員規程に定める客員研究員
- 2 兼務研究員の任期は1年とし、再任を妨げない。
 - 3 兼務研究員に関して必要な事項は、別に定める。
 - 4 兼務研究員は、年度当初の研究・社会連携機構会議及び第1学部運営委員会にて承認を得なければならない。

(附属施設)

第5条 本センターに、次の附属施設を置く。

- (1) 恐竜学博物館
- 2 附属施設に必要な事項は、別に定める。

(重要事項の審議)

第6条 本センターの管理及び運営に関する重要事項は、研究・社会連携機構会議及び大学協議会の審議を経て、学長が決定する。

(センター会議)

第7条 本センターの管理及び運営、研究の施策及び施行に関する事項を協議するために、センター会議を置く。

- 2 センター会議の運営については、別に定める。

(利用・共同研究)

第8条 本センターの利用及び共同研究については、別に定める。

(研究成果の公表)

第9条 本センターは、研究成果を「岡山理科大学古生物学・年代学研究センター年報」として毎年度発行

する。

(事務局)

第10条 本センターの事務は、岡山理科大学事務組織規程に基づき研究・社会連携部が担当する。

(改廃)

第11条 本規程の改廃は、研究・社会連携機構会議及び大学協議会の審議を経て、学長が決定する。

附則 この規程は、令和2年4月1日から施行する。

4. 中期計画

次のように中期計画を立て、関連の研究、教育を推進している。

- ・年代学的手法及び分析学的手法を組織的に密接に古生物学の研究に取り入れ、融合させて、年代学的研究を基礎とした古生物のマクロ進化を研究目的とする新たな研究分野の構築と進展を図る。
- ・恐竜学博物館を組織として持ち、ここを通して最新の研究成果を広く社会へ直接還元する。
- ・共同利用・共同研究拠点として認定されることを目指した実績をつくり、そのための方策を検討する。

(1) モンゴル中生代恐竜化石の年代を求める。

(1 a) ヒドロキシアパタイト、炭酸カルシウムのU-Pb年代測定の手法を確立し、化石の直接年代測定、産出層の堆積層の年代測定を行う。

(1 b) モンゴル砂泥層を用いた古地磁気層序年代測定について手法を確立し、具体的に測定を行う。

(2) 年代測定の新手法を開発し、その応用的研究を進める。太古代から第四紀にわたる確立した年代測定手法が利用できることを目指す。

(2 a) 苦鉄質火山岩類などに含まれる低カリウム鉱物(輝石など)のK-Ar年代測定

(2 b) 石英を用いた堆積層のESR年代測定

(2 c) 重晶石を用いた海底熱水域堆積物のESR年代測定

(2 d) 完新世における伏角、偏角、磁化強度を用いた古地磁気年代推定法

(3) U-Pb年代測定、K-Ar年代測定、ESR年代測定、ルミネッセンス年代測定を用いた地球科学的研究を進める。

(3 a) 大陸周辺域の形成史を議論する。北東アジアの先カンブリア紀地塊の形成史を通して、日本列島の起源を考察し、日本と中国大陸・韓半島の地質学的関係を議論する。

(4) 年代測定に用いられる手法を転用した新しい応用的手法の開発とその応用：石英のESR信号、CL信号を用いて堆積物の起源を求める研究

(4 a) モンゴルゴビ砂漠恐竜化石産出層の層序の推定への応用

(4 b) 日本列島周辺などに運ばれる風送塵の量や起源地の変動

(4 c) 河川堆積物への応用

(5) モンゴルでの継続的な化石発掘調査を行い、その成果をもとに東アジアの白亜紀動物相の多様性やその変遷、世界の他地域との間の大陸間移動史を明らかにする。

(6) 古脊椎動物化石の形態や骨化石の内部構造をもとにして、分類学、比較形態学、生理学の研究を進める。

(7) 生痕化石により、恐竜から鳥類への社会的行動の進化を解明する。

(8) 恐竜学博物館での研究・教育・普及活動を推進し、成果を発信する。

(9) 博物館活動を通して社会教育の振興に貢献する。

(10) 学内教員間の共同研究、特に学際的な研究を奨励し、活気のある学風を形成するとともに、古生物学・年代学研究を大学ブランドに押し上げる。

(11) 国内、国外との共同研究を推進し、年代測定による時間軸に裏付けられた古生物学研究の世界的拠点になるための基礎を作る。

(12) 国内の共同利用・共同研究拠点として広く学界から認定され、学外資金を得られる組織を目指して、体制の整備と実績作りを行う。

(2020年11月7日)

恐竜学博物館について

1 使命

本博物館の使命は以下の3点である。

- ・ 岡山理科大学が恐竜研究の国際的拠点となることを支える。
- ・ このために、標本の管理・研究・教育・展示・国際協力・若手研究者の育成・研究成果の社会普及・広報を行う。
- ・ 恐竜研究によって生まれるコンテンツを、岡山理科大学全学部の多様な分野で、おもしろい研究・教育に活用することを促進し、岡山理科大学のブランドとして社会に波及する。

2 理念

本博物館の理念は以下の通りである。

- ・ 恐竜に関連する標本の保管、学術研究・教育普及・展示・広報の機能を持ち、その活動を推進する。
- ・ 大学の二つの強みである「研究者集団の研究力」「学生の力」を博物館中心に組織しチームワークをもって活動する。
- ・ 岡山理大の恐竜研究現場と成果を、現在進行形で学内外に公開する。
- ・ 展示制作や対外教育活動は教員と学生が協力して実施し、内容を常時更新する。小さな博物館としてスタートするが、学生と教員が協力しともに力を発揮して大きく育ててゆく。
- ・ 実際に恐竜を研究している大学にしかできない展示と教育活動により他館と差別化し、学生及び恐竜に興味を持つ一般入館者の好奇心や探究心を喚起する。
- ・ アジアの学生や若手研究者の国際教育交流拠点として機能する。
- ・ 恐竜研究を、岡山理科大学の「おもしろい研究をやる」という学風の「アイコン（象徴的イメージ）」として打ち出し、一般社会や人々の意識の中に明確なイメージを形成することに貢献する。

3 運営について

博物館運営のため、以下の会議を組織する。

・ 博物館会議

構成は恐竜学博物館構成員全員とする。原則として年に古生物学・年代学研究センターの年間報告会の時に合わせて行う。

・ 博物館運営会議

構成は、博物館長・博物館技術職員・博物館担当教員で構成する。古生物学・年代学研究センター運営委員会開催の前の数日以内、および運営に関する検討事項が生じた際に行う。

4 規程

○岡山理科大学恐竜学博物館規程

(趣旨)

第1条 岡山理科大学恐竜学博物館規程は、岡山理科大学（以下「本大学」という。）学則第76条第2項に基づき、恐竜学博物館に関して必要な事項を定めるものとする。

(目的)

第2条 恐竜学博物館（以下「本博物館」という。）は、本博物館の理念に沿い、恐竜に関する学術研究・教育・展示・社会普及の発展に寄与することを目的とする。

(職員)

第3条 本博物館に、館長、研究員、技術職員、教育職員及び事務職員を置くことができる。

(館長)

第4条 館長は、理事長が任命する。

- ・ 館長の任期は、2年とする。ただし、再任は妨げない。

(研究員)

第5条 研究員は、博物館専任教員と本大学教員の兼務研究員の2種とし、兼務研究員の任期は2年とする。ただし、再任は妨げない。

- ・ 兼務研究員に関することは、別に定める。
- ・ 兼務研究員は、年度当初の第1学部運営委員会にて承認を得ること。

(重要事項の審議)

第6条 本博物館の管理・運営に関する重要事項は、研究・社会連携機構運営委員会及び大学協議会の審議を経て、学長が決定する。

(所員会議)

第7条 本博物館の管理運営、事業の施策及び施行に関する事項を審議するために、館員会議を置く。

- ・ 館員会議の運営については、別に定める。

(共同利用・研究)

第8条 本博物館の利用・共同研究については、別に定める。

(事務局)

第9条 本博物館の事務は、研究・社会連携室及び学部運営事務室が行う。

(改廃)

第10条 本博物館規程の改廃は、研究・社会連携機構運営委員会及び大学協議会の審議を経て学長が決定する。

附 則

この規程は、平成30年4月1日から施行する。

5 運営方針

1. 研究と学生教育を推進し、大学の博物館として充実した研究教育拠点を形成する。
2. 1.を推進する現場を、科学研究に興味を持つ一般の人々に公開し、科学研究の理解を促し、好奇心・探求心を喚起する。
3. 学生と教員が協力して運営し、活動を通じてともに成長する博物館を目指す。
4. 成果や標本を利用して、オール理大の人々がおもしろい科学を実行し、発信できる場とする。

6. 危機管理対策

1. 標本盗難、破損・汚損等防止対策

- ・ 標本はその重要度に応じた固定やカバーによる防犯対策を行う。
- ・ C2号館一階 標本室・研究室・化石処理室・展示室：外側の窓には、防犯ベルを取り付ける。これにより本館が閉鎖中における外部からの侵入に対応する。
- ・ C2号館一階 展示室・化石処理室には防犯カメラを設置する。これによりループ画像記録を行う。防犯カメラ記録中と表示し、盗難を未然に防止する。
- ・ C2号館一階 技術職員によるほぼ毎日の目視による標本確認を行う。異常があれば防犯カメラ記録画像による確認を行える状態とする。
- ・ C2号館三階図書室とA1号館四階図書室の展示物においては、開館中は司書が目視できる範囲に標本があるため、目視によって防犯対策を行う。また、防犯カメラを設置する。これによりループ画像記録を行う。防犯カメラ記録中と表示し、盗難を未然に防止する。

2. 火災・地震等の危機対応

- ・ 標本棚を固定し、地震による標本の転倒を防止する。
- ・ 標本を地震動によるずれや落下の危険ができるだけないように配置する。
- ・ 火災対策は本学で別に定められた規定に基づいて従って実施する。

2021年度事業運営報告

1. 構成員

今年度の構成員は下記の通りであった。

専任教員

豊田 新 古生物学・年代学研究センター 教授 (センター長)
石垣 忍 古生物学・年代学研究センター 特担教授 (恐竜学博物館館長)

兼務研究員

青木一勝 教育推進機構 基盤教育センター 准教授
今山武志 研究・社会連携機構 フロンティア理工学研究所 准教授
高橋亮雄 生物地球学部 生物地球学科 教授
能美洋介 生物地球学部 生物地球学科 教授
衣笠哲也 工学部 機械システム工学科 教授
兵藤博信 研究・社会連携機構 フロンティア理工学研究所 教授
林 昭次 生物地球学部 生物地球学科 講師
實吉玄貴 生物地球学部 生物地球学科 准教授
千葉謙太郎 生物地球学部 生物地球学科 講師
畠山唯達 研究・社会連携機構 フロンティア理工学研究所 教授
辻極秀次 理学部 臨床生命科学科 教授

技術職員

奥田ゆう 恐竜学博物館専属

2. 運営委員会

2-1 研究センター運営委員会

メンバー： 豊田 石垣 實吉 高橋

原則として月1回(2021年3月から2022年2月までに12回)開催した

予算、調査の対応、成果の報告、事業計画と事業報告、運営に関する諸課題の検討などを行った。

2-2 博物館運営委員会

メンバー： 石垣 高橋 林 奥田

博物館の状況、運営について検討を行った。

3. セミナーの開催

次の2回(予定を含む)開催した。(前年度第2回セミナーのプログラムを掲載)

第1回セミナー 2021年11月18日(木) 13:00-14:00

場所 D4号館1階セミナー室/オンライン

「ハドロサウルス科の採餌適応と放散」

高崎竜司(生物地球学部・日本学術振興会特別研究員)

要旨：ハドロサウルス科とは最も繁栄した恐竜類の一群で、日本からも数多くが報告されています。彼らは白亜紀後期(約1億5000万年～6600万年前)において世界中に存在した一次消費者で、恐竜時代の生態系を支える存在です。本発表ではハドロサウルス科の大繁栄の背景にあるとされる高度な繁殖戦略と高い消化能力に加え、我々の研究により明らかになりつつある採餌適応を紹介します。また、日本に所蔵される三種(ニッポノサウルス、カムイサウルス、ヤマトサウルス)によって新たに明らかになった生物地理学的知見を紹介致します。

第2回セミナー 2022年3月18日(予定)

専任教員、兼務研究員の研究報告(予定)

4. 今年度の研究・教育活動

(1) 2020年度より継続する岡山理科大学プロジェクト研究推進事業「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」に関する研究を進めた。前年に続き、新型コロナウイルス感染拡大が終息せず、現地の調査を行うことができなかった。すでに取得している試料の分析、解析を進めた。成果について後述する。

(2) 日本古生物学会2021年年会の運営を行った。

対面で開催し、モンゴル科学アカデミー等から研究者を招聘して国際シンポジウムを開催する予定であったが、残念ながら実現しなかった。モンゴル科学アカデミー研究者の特別講演、日本の研究者の講演をオンラインで行ったほか、本学恐竜学博物館のオンライン見学会も行い、一般の参加者も得て好評であった。参加者360名であった。

(3) 新たに、岡山理科大学教育改革推進事業「大学構内『地球史の名所』オリエンテーリングコースの開発と普及」に採択され、大学内の露頭や植物、建材を観察することで地球史を学ぶことのできる教材の開発を推進した。

(4) 今年度から新設した基盤教育科目「自然を読みとくー様々な分野の視座から恐竜をよみとくー」及び、「自然を読みとくー物理で読みとく星と地球ー」の運営を行った。

(5) 各構成員がそれぞれ組織した研究、共同研究を進めた。

5. 広報活動

博物館を中心に広報活動を行った。博物館の項で後述する。

HPを運営した。

<http://dinosaur.ous.ac.jp/ipg/>



センターの目標

2020年4月、岡山理科大学に古生物学・年代学研究センターが設立されました。

6. 資料の掲載 以下に資料を掲載する

(1) 古生物学・年代学研究センター2021年度事業計画進捗状況報告

(2) 岡山理科大学プロジェクト研究

2020年度申請書

- 2020年度実施報告書
- 2021年度中間報告
- 2021年度最終実施報告書
- (3) 岡山理科大学教育改革推進事業
 - 2021年度申請書
 - 2021年度実施報告書／2022年度申請書
- (4) 日本古生物学会プログラム
- (5) 古生物学・年代学研究センター2021年度第2回セミナープログラム

2021 年度 自己点検評価の概要

11. 古生物学・年代学研究センター
2021 年度の事業計画
<p>①モンゴル科学アカデミー古生物学研究所との研究協力協定を基礎とした、モンゴルゴビ砂漠の恐竜化石についての研究を進める。【35】</p> <p>(1)炭酸塩堆積物を用いて、同位体による絶対年代の測定を進める。</p> <p>(2)歯化石の同位体年代測定を行い、測定点選定基準の妥当性や得られた年代の地質学的・古生物学的意味を議論する。</p> <p>(3)日本古生物学会及び、国際シンポジウムを主催して開催する。</p> <p>(4)被子植物の多様化に伴う動物相の変化の議論を目的として、モンゴル東部 Bayin Shire 層の調査を行う。</p> <p>(5)研究協力協定を実質的に機能させ、継続的な研究協力関係を築く。</p> <p>②研究の中期計画を具体化し、年度ごとの達成目標の設定を試みる。【33】</p> <p>③新装なった恐竜学博物館を運営し、研究・教育・広報に活用する。</p> <p>③-1 学内の研究・教育に活用する。【38】</p> <p>③-2 授業・実習での利用を促進するとともに、対外的には年間 210 日以上展示一般公開を行う。【38】</p> <p>④恐竜学博物館に、研究に使用する試料を受け入れる。標本登録データベースを恒常的な運営を開始する。</p> <p>⑤学外との共同研究の体制を確立し、正式な公募の形で共同研究を開始する。【33】</p>
2021 年 10 月現在の実施状況、課題等《達成状況》
<p>① (1)コロナ禍のため現地調査が行われなかったため、新たな炭酸塩岩の試料が入手できず、分析は行っていない(0%)</p> <p>(2)タルボサウルスの歯の化石5点について元素分布を調べているところである。変質の影響の少ない部分を探して、U-Pb 年代測定を試みる予定である。(25%)</p> <p>(3)7月に本学が主催して日本古生物学会を開催した。参加者は 360 名であった。(100%)</p> <p>(4)コロナ禍のため、実施を見送った。(0%)</p> <p>(5)協定に基づいてモンゴル科学アカデミー古生物学研究所から提供された化石試料を用い、化石に保存されたたんぱく質の検出、カメの分類学的検討、鎧竜が群れをつくっていたことの発見など研究成果を上げつつある。コロナ禍により行き来ができず、研究交流が十分にできないことが課題である。(75%)</p> <p>② 未着手(0%)</p> <p>③-1 博物館の施設、試料を用いて上記①(5)の研究、また修士課程、学部学生の教育が行われた。(50%)</p> <p>③-2 博物館所蔵試料を活用した授業を行っている。博物館は、コロナ緊急事態宣言等で開館できなかった日を除き開館してきている。9月末現在の開館日数 122 日、外部の来館者 3820 名である。</p> <p>④標本登録作業を開始できるように標本庫となる部屋の既存の什器や物品を移動し受入れ態勢を整えた。2 名の方より多数の化石試料の提供の申し出があり、これらの寄贈者から標本を実際に受け入れ、研究教育に使用できるように整理を進めた。(50%)</p>

⑤学外との共同研究は進めているものの、今年度に関しては正式な公募の形をとることができなかった。次年度に向けて、どのように行うかを今後検討する。(25%)

2021 年度事業の成果と自己点検評価

①(1)コロナ禍のため現地調査が行われなかったため、新たな炭酸塩岩の試料が入手できなかったが、これまでの調査で採取した炭酸塩岩の分析を進めた。しかし、今年度分析分については環境からの鉛の混入のため年代値は得られなかった。C

(2)タルボサウルスの歯の化石5点について元素分布を調べ、変質の影響の少ない部分を探して、U-Pb 年代測定を試みた。一部の試料から年代が数値として得られたが、信頼性を検討した上での議論が必要となっている。B

(3)7月に本学が主催して日本古生物学会を開催した。参加者は 360 名であった。事後の評判もよかった。A

(4)コロナ禍のため、実施を見送った。D

(5)協定に基づいてモンゴル科学アカデミー古生物学研究所から提供された地質試料、化石試料を用いて研究を進めた。化石由来タンパク質の抽出については、作業を進めているが、シーケンス解明には至っていない。Bayin Shire 層産哺乳類化石に関する新たな知見を得て学会発表を行った。特に魚類・爬虫類を中心とした分類と同定を進めた。コロナ禍で交流が制限されていることは支障となっているが、上記のように協定に基づく活動は軌道に乗っているといえる。A

②兼務研究員募集の際に中期計画との関連を記載してもらうこととし、これを年度ごとの達成目標として中期計画を推進することとした。B

③-1 博物館の施設・標本資料を用いて、上記①(5)の研究、修士生・卒論生の研究・教育が行われた。A

③-2 授業(恐竜学Ⅲ,古脊椎動物学Ⅱ, 古生物学概論、古生態学)および実習(古生物学実習、野外博物館実習)に博物館を利用した。今年度はコロナ禍による臨時休館が多く4月以降の一般公開日数は2月10日現在201日、同期の一般入場者数は〇〇〇〇人。新聞・雑誌・マスメディアの取り扱いは〇〇件。標本貸出はなぎびカリアミュージアム、アスエコ、サイピア、兵庫県立人と自然の博物館など。A

④ 標本庫として使用する部屋に什器を配置し、標本類を移動・整理する作業を進めた。4名の標本収集家より寄贈の申し出があり、移管を進めた。また、アフリカゾウ骨格をはじめとする現生骨格標本の作製と受入を進めた。標本データベース構築は基本的な仕組みを検討中である。B

⑤学外との共同研究は進めているものの、今年度に関しては正式な公募の形をとることができなかった。次年度に向けて、どのように行うかを今後検討する。D

2022 年度以降の課題

(a) 本研究センターの事業において、現地調査は必須である。コロナ禍が容易に収まりそうにない状況の中でいかに機会を確保するかを検討する必要がある。

(b) 年代測定のための分析は、きわめて難しいことが判明してきている。様々な要因を検討しつつ、挑戦し続けるが、安易に成果を挙げられるという目標の立て方にならないよう、事業計画を見直す必要がある。

(c) 博物館の担当職員の交替に伴う、博物館の運営方法の見直しが必要である。

(d) 標本のデータベース構築に関して、体制を考える必要がある。

(e) 学外との共同研究の構築に関して、すべての分野について行うのではなく、年代測定に関するみのテーマを受けつけるなどの工夫が必要である。この場合も、兼務研究員の負担増をどのように考えるか、といった課題がある。

【自己評価5段階】

S:達成しており目標以上の成果を上げている。A:達成し成果を上げている。B:ほぼ達成したが、課題がある。

C:達成状況が不十分であり課題が多い。D:未達・未実施であり計画の再検討が必要である。

2020 年度岡山理科大学プロジェクト研究推進事業 申請書

所属	職位	申請者(研究代表者)	申請額(詳細は7)	
古生物学・年代学 研究センター	教授	豊田 新	1年目 5000千円	2年目 2500千円
1. 研究課題区分(該当するものを■としてください)				
<input type="checkbox"/> (A) 社会的要請の強い研究 <input type="checkbox"/> (B) 大型競争的資金に申請予定の研究 <input type="checkbox"/> (C) 若手研究者が代表の研究 <input checked="" type="checkbox"/> (D) 協定を締結している大学等との共同研究				
2. 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				
3. 研究目的と協働から期待できる効果				
①背景と経緯、②研究期間内の目標、③特色及び独創性、④協働効果、⑤上記研究課題区分を選択した理由について、具体的かつ明確に記述すること				
<p>① 背景と経緯</p> <p>白亜紀末の大量絶滅により、多くの脊椎動物が絶滅したが、絶滅を免れたグループもあり、絶滅した種とそうでない種を分けた要因については明らかではない。また先行研究によれば、白亜紀末の絶滅以前、既に恐竜類の多様性は低下していたとの報告もある。このような白亜紀を通した化石記録は、当時沿岸部で堆積した地層、あるいは欧米を中心に研究されてきた。一方で、モンゴル国ゴビ砂漠は、陸域の生態系を考える上で重要な大陸内陸部での地層と化石記録を保存している。本地域の白亜紀生物相研究は、アジアかつ内陸部より産出する白亜紀陸上生物相を知る上で極めて重要な情報を提供する(図1)。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。この過程で、本学に導入されたレーザー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との成果も得ている(文献1)ほか、化石の生化学的分析や恐竜のロボット工学的歩行復元といった、これまでにない視点の化石研究も進めてきた。ところが今年(2019)度に、予定より1年早く私立大学研究ブランディング事業が打ち切られることになり、研究成果を上げてきているこれら事業の研究計画は完遂していない。</p>				
<p>② 研究期間内の目標</p> <p>以上の経緯を踏まえ、本申請研究では、<u>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とともに、これまでの成果を踏まえて、新たな研究目標を次のように設定する。</u></p> <p>(1) 化石及び化石含有層の年代決定</p> <p>モンゴル国ゴビ砂漠の白亜紀化石記録に対して、特にその変遷について議論が深まらない要因として、化石記録を除く白亜系の年代が明らかになっていないことがある。本申請研究では、骨化石を対象</p>				



図1 白亜紀後期の代表的な化石産地(沿岸域 ●)とモンゴル(内陸域★)

としたアバ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。すでに測定用試料（年代測定用骨化石標本と土壌性炭酸塩岩）はゴビ砂漠より採取されており、本学への輸送を完了している。これらの試料に対し、レーザーICP質量分析計によって分析し年代を得ることで、ゴビ砂漠後期白亜紀全体の年代軸確立を目指す。

（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は、現生種の骨の構造、足跡と生理、生態との関係を解明し、そのデータを基に化石へ応用する必要がある。研究ブランディング事業において、足跡化石のデジタルデータ化と取得効率の迅速化を達成し、現生動物や、力学シミュレーション結果との比較が可能になった。本申請研究においては、さらにデータを蓄積し、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。また、古生物の生理生態学的情報を理解するため、恐竜学博物館に導入されたX線CTスキャナーを中心に、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収集している。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、この時期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、生態系の一大変革期の詳細を明らかにする。

③ 特色及び独創性

恐竜などの古生物の研究では、形態学的あるいは地質学的側面のどちらかに研究対象を絞って行われることが多く、「生物としての恐竜」という総合的な成果が得られていない。本申請研究においては、地質学・地球化学・古生物学・生物学・工学というさまざまな側面の学問領域から研究を進め、総合的に後期白亜紀の脊椎動物相を解明する点が特色であり、独創性である。前述の通り、土壌性炭酸塩岩に基づく年代測定法は、約100年の間切望されてきた年代決定を可能にするだけでなく、これまで年代測定が不能であった世界各地の地層への応用も可能にする。また、発見した化石密集層は、その一部を発掘したに過ぎず、今後さらなる新種化石の発見が見込まれる。このような年代学と古生物学の先進的な取り組みを同時に実現できるのは本研究グループをおいて他にない。

④ 協働効果

本申請研究のプロジェクトメンバーは、学内の複数機関に所属する教員、研究協力協定先の研究機関の研究者から構成され、地質学・鉱物学・年代学・古生物学・工学・生化学などを合わせた学際的なアプローチを可能するとともに、現地をよく知るモンゴル側の協力を得て行われるものである。古生物に関するこれらのアプローチで得られた成果を総合することによって、これまでにはない、新しい次元の成果が得られることが期待できる。さらに研究成果については古生物学・年代学研究センターの恐竜学

博物館を中心に社会に向けて発信することを予定している。

⑤ 上記研究課題区分を選定した理由

本学はモンゴル科学アカデミー古生物学研究所と2017年に研究協力協定を締結した。モンゴルでの野外調査の実施や、化石標本の管理、岩石試料や化石標本の輸出許可は、このモンゴル科学アカデミー古生物学研究所によって一元的に統括される。また、当研究所とプロジェクトメンバーは長期にわたり共同調査・研究を行っており、強固な協力関係を構築している。本申請研究は、以上のように、モンゴル科学アカデミー古生物学研究所との研究協力協定を基礎として行われることから、本研究課題区分を選定した。

4. 研究計画・研究方法

① 研究体制

2020年4月に開設される古生物学・年代学研究センターが中心的に取り組む研究プロジェクトとして位置づける。研究センターの運営体制に組み込み、研究センター長が研究全体を統括する形で本研究プロジェクトに取り組む。

(1) 研究ユニットの編成 本研究に関わる研究実績に基づき研究ユニットを編成する。

- a) 現地調査ユニット (豊田・高橋・石垣・實吉・林・千葉・Tsogtbaatar・Mainbayar)
- b) 年代測定ユニット (豊田・能美・兵藤・實吉・青木・今山)
- c) 古環境復元ユニット (豊田・能美・實吉)
- d) 化石分類ユニット (高橋・林・千葉・Tsogtbaatar)
- e) 古生態復元ユニット (石垣・衣笠・林・千葉・Mainbayar)

(2) 各研究ユニットのミーティングを毎月1回程度開催し、研究の打ち合わせを行う。

(3) 各ユニットの代表者による研究推進会議を毎月1回程度開催し、研究の進行状況の確認を行う。

(4) 全体の研究報告会を年間3回程度開催し、研究成果の議論を行う。

② 年次計画(申請予定の外部資金も記載すること)

2020年度

(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。

本申請研究プロジェクトの枠組みでの他の外部資金の申請予定はない。

5. プロジェクトメンバー(人数に応じて行を追加・削除して下さい。学外プロジェクトメンバーがいる場合は記載。)

	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	生物地球学部	教授	石垣 忍	足跡化石による恐竜の歩行様式の解明
4	理学部	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	理学部	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	理学部	准教授	青木 一勝	LA-ICP-MS を用いた U-Pb 年代測定
9	理学部	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	助教	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

岡山理科大学プロジェクト研究推進事業 実施報告書（1年目）

様式II

所属	職位	研究代表者	応募年度	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	A・B・C・ ○D
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. 2020 年度研究費の支出状況（執行予定も含む）				(単位：円)
2020 年度予算	3,000,000 円	2020 年度執行額	1,015,210 円	
3. 2020 年度研究費で購入した機器備品				(単位：円)
品名	型式	数量	金額	
なし				
4. 2021 年度研究費の予算額				(単位：円)
(原則、1年目の1/2以下。ただし、研究推進上必要不可欠であれば、以下に必要理由を記載してください。)				
	金額	具体的な内容		
設備備品費	0 円			
消耗品費	685,000 円	ガラス器具 (150 千円) 分析用ガス (200 千円) 標準試料 (50 千円) 試料処理試薬 (145 千円) 調査用車両消耗品 (140 千円)		
旅費	1,950,000 円	現地野外調査旅費 6 名 1500 千円 標本調査旅費 2 名 300 千円 研究打合せ旅費 1 名 150 千円		
その他経費	850,000 円	調査現地謝金 200 千円 車借上料 200 千円 論文投稿費 100 千円 標本輸送料 250 千円		
合計	3,485,000 円			
※ 2021 年度研究費が 1 年目の 1/2 を超える場合は、必要理由を記載してください				
<p>本研究プロジェクトでは、モンゴルゴビ砂漠東部の Bayn Shire 層において、本研究グループが発見した、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対象に、系統的に発掘調査を行い、年代測定用の試料を採取することを重要な目標として、2020 年度の予算を計上した。ところが、新型コロナウイルスの感染拡大に伴い、この調査を 2020 年度には行うことができなかった。これを 2021 年度に行うことができるよう、準備を進めてきており、この重要な調査を行うために上記の費用を必要とする。現在、モンゴル国では、国の機関からの要請があれば、待機期間は必要とはなるものの、外国人の入国を許可するようになっており、日本側の新型コロナウイルス感染状況が著しく悪化するということがなければ、現地調査は行えるとの見通しとなっている。</p>				
5. 2021 年度研究プロジェクトメンバー（追加・辞退等がある場合、左欄○をしてください）				
	所属	職位	研究者名	研究プロジェクトにおける研究課題
辞退・追加	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
辞退・追加	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
辞退・追加	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

辞退・追加	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
辞退・追加	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
辞退・追加	理学部	准教授	高橋 亮雄	小型脊椎動物化石の分類
辞退・追加	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
辞退・追加	理学部	准教授	青木 一勝	LA-ICP-MS を用いた U-Pb 年代測定
辞退・追加	理学部	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
辞退・追加	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
辞退・追加	生物地球学部	助教	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
辞退・追加	モンゴル科学アカデミー古生物学研究所	所長	Khishgjav Tsogtbaatar	化石の分類学的手法による動物種の適応放散
辞退・追加	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
辞退・追加	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
2021 年度プロジェクト人数		14 名		<input type="checkbox"/> 変更なし <input checked="" type="checkbox"/> 13 名 → 14 名

6. 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、この時期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、生態系の一大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。

7. 研究実績の概要

(1) 歯の化石の 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、年代を求めることには成功していない。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はほぼ終了し、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。今後、年代未知の層序の同定に応用できる可能性がある。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) 今年度は、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るとともに、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。東部バインシレ層の卵化石の解析から、化石の発見されていないトロオドン類が生息していた可能性を示した。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、新種である可能性の高い哺乳類化石を新たに発見した。

8. 2021 年度の研究推進計画

2020 年度に行うことができなかった、モンゴルゴビ砂漠東部における現地調査を 2021 年度に行うように研究計画を変更する。現在、モンゴル国では、国の機関からの要請があれば、外国人の入国を許可するようになっており、現地調査は行えるとの見通しとなっている。

- (1) 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。本学に試料を送付して解析を行うことを基本とするが、年度内に成果をあげられるよう、可能な作業をモンゴル側の研究所内で解析を行う。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。
- (2) 採取試料の一部についてはすぐに年代測定、後背地推定に関する分析を行う。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、年代をできる範囲で議論する。
- (3) 足跡化石データ、採取した足跡データ、およびシミュレーション結果を比較することにより、恐竜の歩行様式の考察を行う。また、物理モデルとしてのロボットを実現するための検討をおこなう。恐竜化石の内部構造を解析することで、恐竜類の生理生態の解明を目指す。

- (4) 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。
 (5) 年度末にモンゴル側とこれまでの成果のまとめの議論を行う。成果を論文として発表する。

9. 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

- 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

土屋 健, 木村 由莉, 林 昭次, ACTOW (2020) 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, 平凡社.

学会発表

- Chiba, K., Ryan, M. J., Saneyoshi, M., Konishi, S., Yamamoto, Y., Mainbayar, B., Tsogtbaatar K.: Taxonomic re-evaluation of *Protoceratops* (Dinosauria: Ceratopsia) specimens from Udyn Sayr, Mongolia, The Society of Vertebrate Paleontology 80th Annual Meeting Virtual 2020, October 12-16, 2020.
- Kobayashi, Y., Chiba, K., Chinzorig, T., Ganzorig, B., Tsogtbaatar, K.: A large non-ceratopsid neoceratopsian from the Upper Cretaceous Bayanshiree Formation in Mongolia, The Society of Vertebrate Paleontology 80th Annual Meeting Virtual 2020, October 12-16, 2020.
- 高橋亮雄・嘉手納安顕 (2020) 沖縄島南部の近代遺跡 (首里真珠道跡) より発見されたクサガメ(カメ目イシガメ科)の骨遺存体とその考古動物学的意義. 日本爬虫両棲類学会第59回大会 (オンライン).
- 高橋勇人・網本真奈・豊田新・Tsogtbaatar Kh.・Buyantegsh Ba.・実吉玄貴, 石英の酸素空孔を用いた上部白亜系Nemegt層の層序解析, 日本堆積学会2020 オンライン大会
- Matsumoto, M and Aoki, K., Alkaline magmatism in a fore-arc region: igneous activity in relation to the Ashizuri igneous complex, SW Japan. JpGU-AGU Joint meeting 2020.
- S. Toyoda, Dating to provenance: ESR signals in quartz, JpGU – AGU Joint Meeting 2020, July 12-19, 2020, Online.
- S. Toyoda, ESR dating of quartz: issues on sediment dating and on thermochronometry, JpGU – AGU Joint Meeting 2020, July 12-19, 2020, Online.
- D. Haranosono, S. Toyoda, K. Nagai, T. Naruse, Detection of loess in the sedimentary sequence at Tsujita Site, JpGU – AGU Joint Meeting 2020, July 12-19, 2020, Online.
- Hyodo, H.: Diffusion model of excess argon observed around an intrusive. JpGU – AGU Joint Meeting 2020, July 12-19, 2020, Online.
- 豊田新, 青木一勝, 青木翔吾, 石垣忍, 西戸裕嗣, 能美洋介, 実吉玄貴, 林昭次, 千葉謙太郎, 高橋亮雄, 小林祥一, 辻極秀次, 衣笠哲也, 今山武志, 兵藤博信, K. Tsogtbaatar, B. Mainbayar, モンゴルゴビ砂漠恐竜化石産出層の年代測定の試み, 岡山理科大学OUSフォーラム2020, 2020年11月24日-30日, オンライン. (奨励賞受賞)

新聞記事

- 2020年4月1日 山陽新聞 社会面 化石年代決定詳細に
 2020年5月12日 山陽新聞 社会面 恐竜2属 同属だった
 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

10. 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 : 豊田新 (代表) 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			
	年度	期間	予算	採否
	2020-2022	2020 年 4 月～2023 年 3 月	3,400 千円	採択
2	プロジェクト名 : 夷吉玄貴 (代表) 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)			
	年度	期間	予算	採否
	2020-2022	2020 年 4 月～2023 年 3 月	4,900 千円	採択
3	プロジェクト名 : 千葉謙太郎 (代表) 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 B			
	年度	期間	予算	採否
	2019-2021	2019 年 4 月～2022 年 3 月	3,300 千円	採択
4	プロジェクト名 : 夷吉玄貴 (代表) 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			
	年度	期間	予算	採否
	2021-2022	2021 年 4 月～2023 年 3 月	4,000 千円	申請中

2021年度岡山理科大学プロジェクト研究推進事業 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

進捗状況 2021年9月30日

(1) 現地調査

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計画であったが、コロナ禍のため、現地調査を行うことができていない。

(2) 化石及び化石含有層の年代決定

タルボサウルスの歯化石5試料に対し、顕微鏡観察とEPMAを用いた主要元素測定を行った。その結果、どの試料もFeの含有量に僅かな違いはあるが、基本的には均質な組成であることが確認された。今後、LA-ICP-MSを使った微量元素測定から変質の影響の少ない箇所を選定し、U-Pb年代法を適用する。

化石産出層の石英を電子スピン共鳴で測定することで、モンゴルゴビ砂漠の各堆積層の常磁性格子欠陥の特徴を明らかにした。これを用いた対比により、各層の同定がどこまで行えるかについてデータを検討中である。

(3) 恐竜の歩行様式の考察

これまでに得られた旋回行跡の解析とシミュレーション結果を論文として執筆中である。また、恐竜の歩行を再現するために、ワニと烏骨鶏の解剖を実施し、得られた知見に基づいて筋骨格系の数理モデルを構築した。

(4) 化石の分類学的検討

昨年度までに本学に送られてきている化石の分類学的検討を行った。バインシレ層産のカメ化石については、未記載のアドクス科(スッポン上科)の一種およびリンドホルムエミス科の一種が確認された。シャケミス亜科についての形態形質にもとづく系統解析の結果は、当該化石がシャケミス亜科のFerganemys属に帰属することを示した。これらの新知見は、バインシレ層のカメ相が、従来考えられていた以上に多様なものであったことと、ほぼ同時代の中央アジアや日本のものとの類縁性を示すことを示唆する。

バインシレ層から産出した鎧竜タルルスのボーンベットを調べたところ、タルルスは幼体で群れを作っている可能性が高いことが明らかとなった。鎧竜タルルスのボーンベット化石の薄片を作成し、ボーンベットを構成するそれぞれの個体の年齢査定を行うことで群れの年齢構成を解明し、鎧竜類の生態解明を目指す。

岡山理科大学プロジェクト研究推進事業 実施報告書(最終年度)

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 ・D
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	Khishgjav 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壤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、保存状態の良い恐竜化石や、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壤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、この時期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、土壤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、生態系の大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) 土壤性炭酸塩岩の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はできなかった。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., Yumaldi 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: Geomydidae) from the Wajak site, East Java, Indonesia, and its paleozoogeographic 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！—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：ピ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・実吉玄貴・千葉謙太郎・Kirstin S. Brink・Buuvei Mainbayar・Khishigjav Tsogtbaatar (2021) 獣脚類恐竜 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・実吉玄貴・高橋 亮雄・名取真人・メインバイラル プーベイ・ツォクトバー 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 ツォクトバートル ブンレイ・メインバイラル・実吉玄貴 (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・実吉玄貴 (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・実吉玄貴・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 ブヤンバ・平山 廉 (2021) モンゴルの後期白亜紀パ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

林昭次：恐竜も発熱やのどの痛みに悩む？ 朝日新聞2022年2月11日.

林昭次：新種の鎧竜化石、チリで発見 読売新聞2021年12月2日.

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

【様式1-1】

2021年5月6日

岡山理科大学学長 殿

教育改革計画書

教育改革のテーマ名 (新規提案 継続提案) ←いずれかをチェック■する

大学構内「地球史の名所」オリエンテーリングコースの開発と普及

実施体制: グループテーマ 個人テーマ

代表者名・所属・職名

豊田 新 (研究・社会連携機構 古生物学・年代学研究センター センター長 教授)

分担者名・所属・職名と役割 (分担者の役割をはっきり明記すること)

能美洋介 生物地球学部 生物地球学科 教授 (教材の解説作成、講義での活用と評価・改善)

今山武志 研究・社会連携機構 フロンティア理工学研究所 准教授 (教材の解説作成、講義での活用と評価・改善)

石垣 忍 研究・社会連携機構 古生物学・年代学研究センター 特担教授

(教材の解説作成、講義での活用と評価・改善、解説看板作成の実行、パンフレット作成の実行)

西戸裕嗣 生物地球学部 特任教授 (教材の解説作成、講義での活用と評価・改善)

テーマの要約 (全角150文字以内)

自己と環境の存在背景を知るために、日本史・世界史と並んで、地球史を学ぶことは重要な意義がある。しかし地球史を学べる場は、特別の場所ととらえられがちである。本計画は学内という身近な場所にある、露頭、石材、「生きている化石植物」等を活用し、地球史を楽しみながら学ぶ場を構築して教育改革に貢献する。

関連する科目等と担当者

地学基礎論 I, II, 基盤地学 1, 2 (基盤教育) 今山

科学を読みとく—様々な視座から恐竜を読みとく— (基盤教育) 石垣、豊田、今山

科学を読みとく—物理で読みとく星と地球— (基盤教育) 豊田、能美

生物地球概論 I, II, III, IV (生物地球学科) 能美、石垣

天文地学実習 (生物地球学科) 能美

古生物学実習 (生物地球学科) 石垣

地質学 (生物地球学科) 能美

希望する補助金額 (上限は グループ 100 万円/年間, 個人 30 万円/年間)

令和3年度 26 万円/令和4年度 44 万円

【様式1-2】

(1) 教育改革テーマの内容	関連する中期計画連番（該当する場合）
<p>背景と教育改革テーマの目的</p> <p>現在、学生はネット情報に頼るあまり、好奇心をもって実物に接するという原体験が不足しているといわれる。日本史・世界史とともに自己の存在の背景を知るために重要な科学リテラシーである「地球史」においても、原体験は重要であり、大学教育では現場に行く実習（巡検）や催しが企画される。しかしそうした機会は専門の学生に限られており、参加できない学生は多い。</p> <p>本計画は、地球史を肌で感じる原体験が不足しがちな学生に、地球史を語る素材に接する機会を手軽に提供することを目的とする。大学構内という身近で何度でも訪れることができる場所と素材を使い、それら実物を見て観察し、感じ取って想像することの重要性を学ぶ。そして、改めて自分の存在と環境を考える契機とすることを目指す。テレビ等で報じられる派手なCG画像にあらわされるような地球史イベントも、地球上の何の変哲もない地層や岩石の観察によって編み出されていることの再認識を促すものである。</p> <p>取り組みの課題解決への着眼点と解決方法</p> <p>岡山理科大学構内には、地球史の教材として活用できる教育資源が多数ある。</p> <p>例えば、A2号館の南側の崖は約3億年前に、当時大陸の一部だった日本の大陸斜面に堆積した砂岩泥岩層である。また同館の基石となっているのは恐竜時代末期の7千万年前に貫入固化したとされる花崗岩である。学内のあちこちにみられる円礫層は2700万年前にこの付近に存在した河川の河原の堆積物である。</p> <p>このほか、数千万年前の貝や有孔虫の化石を含む石灰岩が50周年記念館やC2号館で使われている。また学内には地質時代の生き残り植物で「生きている化石」と呼ばれるメタセコイア、セコイアメスギ、トクサ、イチョウなどが植栽されている。こうした素材は学生が地球史をつぶさに体験できる有効な教材となる。</p> <p>これらを観察して回るといふ、行動を喚起するために、学内の、普段学生が往来するところを中心にして、オリエンテーリングコースを作る。ポイントには適切な看板を設置し、QRコードからアクセスできる専門教員による解説システムを構築する。また、これらポイントをつなぐためのパンフレットを作り、授業や、新入生の学内地理を学ぶためのグループワークなどで使用する。時間を競う競技オリエンテーリングと異なり、ポイントをめぐって理解を深めることが目的である。</p> <p>新規性・独創性</p> <p>学内の素材を使い「どこか遠くの特別の場所にあるもの」と考えられがちな地球史の観察場所が、毎日眺める風景の中にあることを認識してもらい、学生が「地球史を身近に感じる」ようにできることが新規性である。観察を促すために、作成した解説看板をつなぎ、オリエンテーリングコースとすることが独創性である。これによって本計画は学生の好奇心を高めることに役立つだけでなく、一緒にコースを回る学生同士の親睦をはかることも期待できる。</p>	
(2) - 1 1年目における目標と実施計画	
<p>1年目の目標</p> <p>オリエンテーリングコースの内容を検討し、モデルコースを作ったうえで、解説パネルの試作品を作って、学生の評価をもとに改善するところまで行う。</p> <p>1年目の実施計画（グループ課題の場合、分担者の役割を含めて記載すること）</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 広島大学及び京都教育大学の先行事例の調査を行う（石垣）。 ② オリエンテーリングのポイントとなる場所を選定し（石垣）、その解説コンテンツの原稿を作成する（石垣、今山、西戸）。解説板のモックアップ（試作品）を設計作成する（石垣）。 ③ 解説板に説明用のQRコードを設置し、解説システムをネット上に立ち上げる（石垣）。スマートフォンによって実際に解説を聞けることを確かめる（全員）。 ④ オリエンテーリングコースを研究室所属の学生に、実際に利用してもらい、問題となる点や改善提案を挙げてもらう。また総合的にシステムの使いやすさなどを評価してもらう（豊田、能美、今山）。 ⑤ 評価結果と改善提案を受けて原案を修正し、コンテンツの最終版を作る（石垣、今山、西戸）。 	

(2) - 2 1年目の達成度 (※新規提案の場合は記入不要)
(2) - 3 2年目の目標と実施計画
<p>2年目の目標 コンテンツを確定して最終版として、実際に看板の実物を発注設置する。授業や新入生オリエンテーションで活用をはかる。</p> <p>2年目の実施計画 試作品が設置されている段階であるが、生物地球学科の新入生オリエンテーションで活用してもらい、チューターより改善提案を受ける。 それをもとに、さらにコンテンツを修正した上で、各ポイントの解説看板の正式版を発注、設置し、コースを完成させる。それらをつないだコースガイドのパンフレットを制作し、以下の要領で活用する。</p> <p>① 授業の一コマまたは、その予習や復習課題として、ポイントをめぐる課題を設定し、学生に学習を促す。 実施する授業の例は以下のとおりである。 地学基礎論 I, II, 基盤地学 1, 2、 科学をよみとくー様々な視座から恐竜を読みとくー、 科学をよみとくー物理で読みとく星と地球ー (基盤教育科目) 生物地球概論 I. II. III. IV、 天文地学実習、古生物学実習、地質学 (生物地球学科科目)</p> <p>② 生物地球学科をはじめとする学科の新入生歓迎レクリエーションなどの場で、グループワークのゲームなどとして利用を促す。</p> <p>③ 恐竜学博物館と連携し、恐竜学博物館を見学に利用した学生、市民が、オリエンターリングを通じて博物館の展示内容のより深い理解を得られるように参加を促す。</p> <p>④ 野外看板は比較的簡易に更新可能なものとし、研究の進展に応じて随時更新する。</p>
(3) 成果の公表と期待される効果
<p>教育実践研究誌に製作過程と成果を発表する。 コンテンツを利用した講義の学習内容が深まると共に、学生がこの体験を通じて身近な自然物（ビルの石材、街中の街路樹、自然風景の中の露頭など）に目が行くようになり、身近な風景を通して、地球史に好奇心を覚えるようになることが期待される。これらの点について、授業アンケート等で確認評価する。</p>
(4) 予算の妥当性
<p>令和3年度 先行事例の調査として広島大学及び京都教育大学を訪問する旅費（それぞれ日帰り各1回）を計上した。 単管や合板を利用して簡易な説明用の試作看板を 13～15 か所に設置する。製作には工作センターの協力を得る。 コンテンツの配信をする Web サイト利用料を計上した。</p> <p>令和4年度 看板の内容とデザインについては教員が研究室所属の学生とともに協力して行う。製作には工作センターの協力を得る。パンフレットのデザインは業者に依頼し、2000 枚程度を印刷する。 コンテンツの配信をする Web サイト利用料を計上した。</p>

【様式1-1】

2022年2月28日

岡山理科大学学長 殿

教育改革計画書

1. 教育改革のテーマ名 (新規提案 継続提案) ←いずれかをチェック■する

大学構内「地球史の名所」オリエンテーリングコースの開発と普及

2. 代表者名・所属・職名

豊田 新 (研究・社会連携機構 古生物学・年代学研究センター センター長 教授)

3. 分担者名・所属・職名と役割 (分担者の役割をはっきり明記すること)

能美洋介 生物地球学部 生物地球学科 教授 (教材の解説作成、講義での活用と評価・改善)

今山武志 研究・社会連携機構 フロンティア理工学研究所 准教授 (教材の解説作成、講義での活用と評価・改善)

石垣 忍 研究・社会連携機構 古生物学・年代学研究センター 特担教授

(教材の解説作成、講義での活用と評価・改善、解説看板作成の実行、パンフレット作成の実行)

西戸裕嗣 生物地球学部 特任教授 (教材の解説作成、講義での活用と評価・改善)

4. テーマの要約 (全角150文字以内)

自己と環境の存在背景を知るために、日本史・世界史と並んで、地球史を学ぶことは重要な意義がある。しかし地球史を学べる場所は、特別の場所ととらえられがちである。本計画は学内という身近な場所にある、露頭、石材、「生きている化石植物」等を活用し、地球史を楽しみながら学ぶ場を構築して教育改革に貢献する。

5. 関連する科目等と担当者

地学基礎論 I, II, 基盤地学 1, 2 (基盤教育) 今山

科学を読みとくー様々な視座から恐竜を読みとくー (基盤教育) 石垣、豊田、今山

科学を読みとくー物理で読みとく星と地球ー (基盤教育) 豊田、能美

生物地球概論 I. II. III. IV (生物地球学科) 能美、石垣

天文地学実習 (生物地球学科) 能美

古生物学実習 (生物地球学科) 石垣

地質学 (生物地球学科) 能美

古環境学 (生物地球学科) 西戸

野外調査法実習 I (生物地球学科)

野外博物館実習 D (西戸・石垣・能美)

6. 希望する補助金額 (上限は 100 万円/年間)

700,000 円 / 2年間, 令和3年度 26万円 (支出済み) 令和4年度 44万円

【様式1-2】

(1) 教育改革テーマの内容	関連する中期計画連番（該当する場合）
<p>背景と教育改革テーマの目的</p> <p>現在、学生はネット情報に頼るあまり、好奇心をもって実物に接するという原体験が不足しているといわれる。日本史・世界史とともに自己の存在の背景を知るために重要な科学リテラシーである「地球史」においても、原体験は重要であり、大学教育では現場に行く実習（巡検）や催しが企画される。しかしそうした機会は専門の学生に限られており、参加できない学生は多い。</p> <p>本計画は、地球史を肌で感じる原体験が不足しがちな学生に、地球史を語る素材に接する機会を手軽に提供することを目的とする。大学構内という身近で何度でも訪れることができる場所と素材を使い、それら実物を見て観察し、感じ取って想像することの重要性を学ぶ。そして、改めて自分の存在と環境を考える契機とすることを目指す。テレビ等で報じられる派手なCG画像にあらわされるような地球史イベントも、地球上の何の変哲もない地層や岩石の観察によって編み出されていることの再認識を促すものである。</p> <p>取り組みの課題解決への着眼点と解決方法</p> <p>岡山理科大学構内には、地球史の教材として活用できる教育資源が多数ある。</p> <p>例えば、A2号館の南側の崖は約3億年前に、当時大陸の一部だった日本の大陸斜面に堆積した砂岩泥岩層である。また同館の基石となっているのは恐竜時代末期の7千万年前に貫入固化したとされる花崗岩である。学内のあちこちにみられる円礫層は2700万年前にこの付近に存在した河川の河原の堆積物である。</p> <p>このほか、数千万年前の貝や有孔虫の化石を含む石灰岩が50周年記念館やC2号館で使われている。また学内には地質時代の生き残り植物で「生きている化石」と呼ばれるメタセコイア、セコイアメスギ、トクサ、イチヨウなどが植栽されている。こうした素材は学生が地球史をつぶさに体験できる有効な教材となる。</p> <p>「これらを観察して回る」行動の動機付けをするために、学内の、普段学生が往来するところを中心に、オリエンテーリングコースを作る。ポイントには適切な看板を設置し、QRコードからアクセスできる専門教員による解説システムを構築する。また、これらポイントをつなぐためのパンフレットを作り、授業や、新入生の学内地理を学ぶためのグループワーク等で使用する。時間を競う競技オリエンテーリングと異なり、ポイントをめぐって理解を深めることが目的である。</p> <p>新規性・独創性</p> <p>学内の素材を使い「どこか遠くの特別の場所にあるもの」と考えられがちな地球史の観察場所が、毎日眺める風景の中にあることを認識してもらい、学生が「地球史を身近に感じる」ようにできることが新規性である。観察を促すために、作成した解説看板をつないでオリエンテーリングコースとすることが独創性である。また、オリエンテーリングコース化は学生の好奇心を高めることに役立つだけでなく、一緒にコースを回る学生同士の親睦をはかることも期待できる。</p>	
(2) - 1 1年目における目標と実施計画	

<p>1年目の目標 オリエンテーリングコースの内容を検討し、モデルコースを作ったうえで、解説パネルの試作品を作って、学生の評価をもとに改善するところまで行う。</p> <p>1年目の実施計画（グループ課題の場合、分担者の役割を含めて記載すること）</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 広島大学及び京都教育大学の先行事例の調査を行う（石垣）。 ② オリエンテーリングのポイントとなる場所を選定し（石垣・豊田・能美・西戸・今山）、その解説コンテンツの原稿を作成する（全員）。解説板のモックアップ（試作品）を設計作成する（石垣）。 ③ 解説板に説明用のQRコードを設置し、解説システムをネット上に立ち上げる（石垣・豊田）。スマートフォンによって実際に解説を聞けることを確かめる（全員）。 ④ オリエンテーリングコースを研究室所属の学生に、実際に利用してもらい、問題となる点や改善提案を挙げてもらう。また総合的にシステムの使いやすさなどを評価してもらう（豊田、能美、今山）。 ⑤ 評価結果と改善提案を受けて原案を修正し、コンテンツの最終版を作る（石垣、今山、西戸）。
<p>（2）－2 1年目の達成度（※新規提案の場合は記入不要）</p>
<p>1年目に取り組んできた内容の総括と達成度</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 他大学の先行事例調査は、コロナ禍の影響で広島大学のみ調査を行った。広島大学はキャンパスが広大で、構内に地質・動植物・考古・歴史などの素材が多数ある点は本学と共通している。またいくつかの学部・学科が小規模な展示を学内に設けており、それらをつないでいる。上記素材に関する野外展示の設置の仕方などが参考になった。 ② ③ オリエンテーリングポイントを約58か所選定し、パネルと音声解説を作成した。また、「中生代から生き残っている植物」を選定し、園芸業者から取り寄せて構内に植栽してパネルづくりをした。パネルを設置するための看板と立札の作成においては工作センターの多田様・篠原様にお世話になった。 ④ 現在25か所に音声解説のQRコードをつけた展示パネルを設置し、音声解説はYoutubeにアップしている。残りの33か所は現在作成中で、3月10日までに設置予定である。設置分についてはスマートフォンで説明を聞けることを確認した。これらの作成は、野外博物館実習Dを選択している25名の学生が分担して担当し、立て札の設置・パネルの作成と設置・音声解説の原稿作成と実際の吹込みを行い、学生の成長と工夫を促す実習となった。⑤オリエンテーリングコースのパネルについては古環境学のアクティブラーニングとして内容の評価と改善店の提案を学生に行ってもらった。指摘をもとにパネルと音声解説の改善などを行い、パネルの最終版を作って設置した。 <p>以上の通り、当初の設置目標であった13-15か所から大幅に増やすことができた。達成度については100%である。</p>
<p>（2）－3 2年目の目標と実施計画</p>
<p>2年目の目標 春学期授業での利用をはかり、学生に内容や設置環境を評価・改善提案をしてもらう。それを受けてコンテンツを改善し、確定して最終設置する。「オリエンテーリングコース」として整備し、パンフレットを作成し秋学期授業で活用をはかる。利用方法の改善を図り、毎年安定した利用が継続するような「仕組み」を作って定着を図る。</p> <p>2年目の実施計画 試作品が設置されている段階であるが、生物地球学科の新入生オリエンテーションで活用してもらい、チューターより改善提案を受ける。改善修正した上で、全ポイントの解説看板の正式版を制作設置してコースを完成させる。コースガイドのパンフレットを制作し、以下の要領で活用する。</p> <ol style="list-style-type: none"> ⑤ 授業の一コマまたは、その予習や復習課題として、ポイントをめぐる課題を設定し、学

生に学習を促す。

実施する授業の例は以下のとおりである。

地学基礎論 I, II, 基盤地学 1, 2, 科学をよみとく－様々な視座から恐竜を読みとく－、
科学をよみとく－物理で読みとく星と地球－ (基盤教育科目)

生物地球概論 I. II. III. IV、天文地学実習、古生物学実習、地質学、古環境学 (生物地球学科科目)

⑥ 生地学科の新入生歓迎レクリエーションなどの場で、グループワークのゲームなどとして利用を促す。

⑦ コースを「学生向け(地球史探訪)」と「恐竜学博物館見学者向け(学生・一般向け 矢や初心者向けの簡単なコースとし、サテライト展示をつなぐことも兼ねる)」の二つに編みなおす。博物館を見学する学生、市民が、迷わずに展示をめぐり、さらに展示内容のより深い理解を得られるように参加を促す。

野外看板は比較的簡易に更新可能なものとし、研究の進展に応じて随時更新する。

(3) 成果の公表と期待される効果

教育実践研究誌に製作過程と成果を発表する。

コンテンツを利用した講義の学習内容が深まると共に、学生がこの体験を通じて身近な自然物(街のビルの石材、街路樹、自然風景の中の露頭など)に目が行くようになり、身近な素材や風景を通して、地球史に好奇心を覚えるようになることが期待される。これらの点について、授業アンケート等で確認評価する。

(4) 予算の妥当性

令和4年度

最終的なパネルと、オリエンテーリングコースとして必要な案内を作成するための材料代を計上した。製作には工作センターの協力を得る。パンフレットのデザインは業者に依頼し、印刷する。コンテンツの制作作業費用と配信をするための Web サイト利用料を計上した。



Abstracts with Programs
The 2021 Annual Meeting
The Palaeontological Society of Japan
(July 2-4, 2021, Online, Okayama)

日本古生物学会 2021 年年会

講演予稿集

2021 年 7 月 2 日-4 日

オンライン



日本古生物学

表紙の図の説明

Protoceratops andrewsi Granger & Gregory, 1923

Protoceratops andrewsi は、モンゴル国ゴビ砂漠に分布する上部白亜系 Djadokhta 層から産出する全長 2 m 程の小型植物食恐竜である。 *Triceratops* などを含む Ceratopsidae に含まれる恐竜であるが、後頭部のフリルはよく発達するものの、吻部や眼窩の上に角は発達しない。 これまでに数百体を超える標本が発掘されており、その成長や個体差、性差などが最もよく研究されている恐竜の一つである。

本標本が発掘された Tugrikin Shire は、本種と小型獣脚類恐竜 *Velociraptor* の「格闘化石」も発掘された産地として有名である (Kielan-Jaworowska & Barsbold, 1972)。 Tugrikin Shire では、非常に厚く砂丘堆積物が分布し、多くの個体が砂丘の頂上方向に吻部を向けうずくまったような姿勢で発見されることが多い。 このことから、これらの個体は砂嵐で生き埋めになって死亡した可能性が示唆されている (Fastovsky et al., 1997)。 また、本産地から見つかる *Protoceratops* の骨格には、昆虫や小型哺乳類に齧られた痕跡がよく見られることから、砂漠環境で本種の遺骸が小型動物の貴重な栄養源となっていたと考えられている (Saneyoshi et al., 2010)。

(図と解説：石垣 忍 岡山理科大学)

日本古生物学会 2021 年年会開催実行委員会

委員長：石垣 忍

委員：高橋亮雄・實吉玄貴・林 昭次・千葉兼太郎

R <学協会著作権協議会委託>

本誌からの複製許諾は、学協会著作権協議会 (〒107-0052 東京都港区赤坂 9-6-41, 電話 03-3475-4621 ; Fax. 03-3403-1738) から得て下さい。

(講演予稿集編集：生形貴男・伊藤泰弘)

日本古生物学会 2021 年年会

2021年7月2日（金）～7月4日（日）

オンライン

ホスト校：岡山理科大学

***** 1. プログラム 概要 *****

7月2日（金）会場：Zoom A会場

- 【13:00-16:10】 シンポジウム「モンゴル恐竜研究最前線—高精度年代層序の確立と白亜紀化石動物相の解明をめざして—」 ii
- 【16:30-17:40】 総会 iii
- 【18:00-20:00】 オンライン懇親会 iii

7月3日（土）会場：Zoom

- 【10:00-11:30】 一般講演 口頭発表 1 (A, B 会場) iii
- 【11:45-12:45】 ランチョン小集会 (A 会場ブレイクアウトルーム 1) iv
- 【12:45-13:45】 一般講演 ポスター発表コアタイム (B 会場) iv-v
- 【14:00-15:30】 一般講演 口頭発表 2 (A, B 会場) vi
- 【16:00-17:15】 一般講演 口頭発表 3 (A, B 会場) vi

7月4日（日）会場：Zoom

- 【10:00-11:30】 一般講演 口頭発表 4 (A, B 会場) vii
- 【13:30-14:30】 普及講演会 (A 会場) vii
- 【14:45-15:45】 岡山理科大恐竜学博物館バーチャルツアー vi

発表方法と機器についての注意事項など（必ずお読みください） viii
 その他（Zoom の準備等） viii

2021 年年会参加費：一般会員 5,000 円，学生会員 1,500 円，友の会会員 1,000 円，
 一般非会員 6,000 円，学生非会員 2,500 円，高校生以下無料

2021 年年会（オンライン）は事前登録制です。参加される方は、講演の有無に関わらず、以下のサイトにアクセスして例会専用アカウントを作成し、送られてくる参加仮受付完了メールに記載の URL からログインして、参加登録とクレジット決済を行ってください。

<https://palaeo2021.award-con.com/LOGIN.php>

******* 2. プログラム 詳細 *******

7月2日（金）

【13:00-16:10】Zoom A会場

シンポジウム「モンゴル恐竜研究最前線

—高精度年代層序の確立と白亜紀化石動物相の解明をめざして—

コンピナー：石垣 忍・実吉玄貴（岡山理科大）

ゴビ砂漠は世界有数の恐竜化石の産地としてよく知られており、陸生化石動物群の種多様性や進化などに関する多くの重要な知見をもたらしてきた。一方で、これらの化石を含有する堆積層は、火山灰や火成岩類を挟在せず、また露頭にも連続性がないため、多くの化石産地の詳細な年代は明らかになっていない。このような背景から、ゴビ地域に分布する地層の年代層序の確立が強く求められてきた。今回のシンポジウムでは、モンゴルの化石含有層の絶対年代と恐竜を中心とした脊椎動物化石に関する最新の研究成果を紹介するとともに、今後の、モンゴルと他地域、特に北米との間の化石脊椎動物相対比に関する将来展望を俯瞰したい。

13:00-13:10 趣旨説明 石垣 忍・実吉玄貴（岡山理科大）

13:10-13:35 Intercontinental relationship and evolution of Hadrosauroids emphasizing the importance of Mongolian study

Khishigjav Tsogtbaatar（モンゴル科学アカデミー古生物学研究所）

13:35-14:00 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
高橋亮雄（岡山理科大）・プレヴスレン プヤンバ（モンゴル科学アカデミー古生物学研究所）・平山 廉（早稲田大）

14:00-14:25 モンゴル国ゴビ砂漠に分布する古脊椎動物化石含有層の年代制約
青木一勝（岡山理科大）

【14:25-14:40】—休憩—

14:40-15:05 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

実吉玄貴・林 昭次・千葉謙太郎・青木一勝（岡山理科大）

15:05-15:30 大型植物食性獣脚類（テリジノサウルス類とオルニトミモサウルス類）の繁栄と移動

小林快次（北海道大）

【15:30-15:40】—休憩—

15:40-16:10 総合討論

石垣 忍・実吉玄貴（岡山理科大）

【16:30-17:40】総会 Zoom A会場

【18:00-20:00】オンライン懇親会 Zoom A会場

オンライン懇親会に予約は必要ありません。2021年年会に参加登録された方ならどなたでも参加できます。参加される方は、年会専用サイトからA会場にお入りください。飲食物等は各自でご準備下さい。なお、オンライン懇親会ではブレイクアウト・ルーム（パーティクルな小部屋）を多数用意して使用しますので、参加を希望される方はZoomを最新版にアップデートしておいてください（viiiページ記載事項参照）。5.3.0より古いバージョンで参加された場合、どのブレイクアウトルームにも移動できず、プレナリ用のメイン会場に取り残されてしまうことになります。

7月3日（土）会場：Zoom

【10:00-11:30】一般講演 口頭発表1（A, B会場）

A会場	B会場
古脊椎動物の部（1） 座長：松岡廣繁	古生態・形態解析の部 座長：田中源吾
A01 小林快次・高崎竜司・久保田克博・アントニー・フィオリロ 白亜紀最末期の北阿万層から産出した新たな基盤的ハドロサウルス科の恐竜がもたらすハドロサウルス科の起源に関する新知見	B01 海野 奏 カプトガニ類生痕化石 <i>Kouphichnium</i> の形態の時代的変遷～生痕化石から見た行動の進化～
A02 石川亜郷・柴田正輝 中国下部白亜系義県層陸家屯部層のプシッタコサウルス科とその系統関係	B02 石寄美乃・小倉誠也・高橋千絢・金子真弥・井村朱里・椎野勇太 なぜスナガニはY字形の巣穴をつくるのか？
A03 築地祐太・服部創紀・東 洋一 福井県勝山市の下部白亜系北谷層から産出した大型獣脚類の行跡	B03 吉野嵯楽・大路樹生 下部オルドビス系 Fezouata 層より産出した二枚殻の節足動物：Isoxyidae のカンブリア紀以降の生存と大型化
A04 植松里菜・田中康平・高津翔平・伊左治鎮司・下島志津夫 岐阜県高山市荘川町から産出したカメ類・恐竜類の卵殻化石	B04 齋藤めぐみ・長井裕季子・豊福高志 珪藻の殻と細胞小器官の三次元形態の解明にむけての試み
A05 今井拓哉・伊左治鎮司・平山廉・菌田哲平・大塚健斗 石川県白山市の手取層群桑島層 (Barremian) から産出したカメ類卵殻化石群の報告	B05 上栗伸一・渡辺理世・河瀉俊吾・相田吉昭・鈴木紀毅 中期始新世における放散虫 <i>Podocyrtes</i> (<i>Lampterium</i>) 属の形態進化
A06 町田悠輔・楠橋 直・鈴木 直・佐藤 篤 福島県の上白亜系双葉層群足沢層から産出した小型脊椎動物化石群	B06 千徳明日香・名嘉 翼・徳田悠希・同前万由子・鈴木 淳 形態解析及び分子系統解析による無藻性イシサンゴ <i>Deltocyathoides orientalis</i> の生活様式の解明

【11:30-12:45】休憩（A会場ブレイクアウトルーム）

【11:45-12:45】ランチョン小集会 古生物学若手のための会主催「求む！新たな交流会」(A会場ブレイクアウトルーム1)

世話人：新山颯大(金沢大)・今井拓哉(福井県大・恐竜学研究所)・大山 望(九州大)

趣旨：新型コロナウイルス感染症流行の影響を受け、日本古生物学会の開催は2021年第170回例会、2021年年会共にオンライン開催となった。これまでオンサイトで開催されていた学会の会場では、全国各地の研究機関に所属する研究者や学生が集い、所属を越えて活気ある交流・議論が行われてきた。しかし、そうした対面での交流の機会はオンライン化に伴い減少している。一方、対面での大人数の集いが制限される中、オンラインにおける交流会は、各地の研究者・学生がいつでもどこでも交流できる場として期待されている。本ランチョンセミナーでは、古生物学に携わる特に若手研究者・学生諸氏の求める交流会の形(開催形式・テーマの設定等)について意見交換を実施する。オンライン交流会の企画にあたって、全国各地の研究機関に所属する若手研究者や学生のニーズを把握し、より良い交流会を企画するための礎としたい。なお、本会の開催に際し、オンライン交流会の開催形式・テーマ等についてアイデアやご意見がある場合は、事前に若手のための会メールアドレス(youngpaleo2018@gmail.com)宛にお送りいただくと幸いである。いただいたメール内容については、ランチョン小集会にて、時間の許す限り取り上げていきたい。話題提供：古生物学若手のための会

【12:45-13:45】一般講演 ポスター発表(コアタイム:奇数番号 12:45-13:15, 偶数番号 13:15-13:45 B会場各ブレイクアウトルーム)

- P01 土屋祐貴・大江文雄・氏原 温 下部中新統一志層群産の深海魚類耳石化石
P02 藪本美孝 長崎県壱岐産の体高の低い中新世コイ科魚類
P03 針谷一樹・柴田正輝 手取層群北谷層から産出した新しいトカゲ類化石
P04 松本 藍・對比地孝亘・小松俊文・高橋 修・長谷川浩二 北海道北西部古丹別地域から産出した翼竜類化石
P05 酒井佑輔・中山健太郎・築地祐太・藪田哲平・大塚健斗 石川県白山市目附谷上流域の下部白亜系手取層群桑島層より新たに発見された軟体動物および恐竜足印化石
P06 宮田真也・平山 廉・大倉正敏・滝沢利夫・新田久男 上部白亜系久慈層群玉川層産ヒボドゥス科の古生物地理と古生態
P07 Guo Zixuan・甲能直樹 ケントリオドン類(鯨目ハクジラ類)の系統と放散パターンの解明
P08 関谷 透・柴田正輝・築地祐太 *Fukuittan nipponensis* の四肢骨復元
P09 陣内香苗・柴田正輝 *Edmontosaurus annectens* の頭骨の記載および標徴の考察
P10 堀 智彦 *Neosaimiri* と現生リスザル(霊長目)の大白歯に共通してみられる形態的特徴
P11 坂上莉奈・河部壮一郎・鄭 文傑・金 幸生 角竜類 *Psittacosaurus* の脳・内耳形態の解析
P12 杉本征弥・實吉玄貴・千葉謙太郎・Kirstin S. Brink・Buuvei Mainbayar・Khishigjav Tsogtbaatar 獣脚類恐竜 *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
P13 Ikuko Tanaka, Peter L Falkingham, William Sellers The avian foot's joint motion of vertical and planter correlated with its function by locomotor pattern—Application to extinct avian and dinosaur—
P14 伊東和輝・衣笠哲也・藤本大樹・石垣 忍・林 良太・吉田浩治 大型四足歩行生物の旋回運動に関する力学的考察
P15 上田裕尋・對比地孝亘 ソーシャルネットワークを利用したフォグラメトリーによる3Dモデル作成の有用性と問題点

- P16 朝倉侑也・河部壮一郎 ネットワーク分析を用いたトカゲ類の頭骨における形態学的統合とモジュール性の解析
- P17 河野秀晴・前田晴良 白亜系蝦夷層群から産出する *Gaudryceras* 属の殻表面に保存された黒色殻皮の解析
- P18 山田晋之介 貝形虫の大類は何を感知するのか?
- P19 小山嵩斗・神谷隆宏・上原賢治・山田 桂・中村彰男 鮮新世～更新世 *Cythere* 属貝形虫とその意義
- P20 新山颯大・神谷隆宏・田中源吾・藤田和彦 沖縄県中城湾の現生浅海性介形虫群
- P21 岩谷北斗・河野航平・近藤康生・池原 実・岩井雅夫 鮮新統穴内層の貝形虫化石群集の垂直変化
- P22 久保健太郎・入月俊明・瀬戸浩二・青島祥太 青森湾の現生貝形虫群集と環境の変化
- P23 酒井恵祐・大串健一・芝原暁彦 完新世の底生有孔虫群集による北西太平洋の OMZ の変動記録および将来予測に向けた研究
- P24 石川牧子・重田康成・遠藤一佳・鍵 裕之 ラマン分光法を用いたアンモナイトの色素起源物質の同定
- P25 吉村太郎・佐々木猛智・高栞祐司 化学合成細菌宿主貝類における硫黄解毒機能の獲得機構
- P26 海野 奏 カプトガニ類はどのような「痕」を残すのか?
- P27 佐野晋一・海野 奏・牧村祐樹・立石 良・伊藤綾花・丸山湧己・望月ちほ・橋本勇一・布施悠汰 水中ドローンによる水深 200 m での現生生痕その場観察の試み
- P28 菊池 優・中島保寿・李 強・劉 俊 糞石の時空分布から解明するペルム紀-三畳紀境界後の海洋食物網
- P29 高畑輝起・赤羽久忠・佐野晋一 石川県能登半島北部の段丘堆積物産筒状珪質コンクリーションからのマイクロプロライト *Palaxius* の発見とそのタフオノミー
- P30 猪瀬弘瑛・久保貴志・菜 花智・いわき自然史研究会 福島県いわき市の双葉層群玉山層から産するコンボウガキ *Konbostrea konbo* の産状
- P31 伊藤綾花・佐野晋一・伊庭靖弘・P. W. Skelton・Y. M. Aguilar・R. De Ocampo・加瀬友喜 赤道太平洋域からの新たなヒップリテス科厚歯二枚貝とその起源
- P32 大林 瑛・島口 天・杉沢典孝・佐野晋一 青森県尻屋地域産後期三畳紀メガロドン科二枚貝の分類再検討
- P33 坂井洸太・溝淵富弘・佐野晋一 鳥巢層群からのメソヒポリテス科ベレムナイトの発見とその古生物地理学的意義
- P34 松岡 篤 太平洋-アジア地域における遠洋域、浅海域、陸域のジュラ・白亜系境界の広域対比に向けて
- P35 高橋 修・前川 匠・Paulian Dumitrica・Phong D. Nguyen・小松俊文 ベトナム北東部下部三畳系 Lang Son 累層のスミシアン亜階下部 から産出する *latentifistularian* 放散虫化石
- P36 荻野慎譜 自然科学者の雇用問題へのあらたな取組み・2

高校生ポスターセッション

- HP1 高山蒼梧 群馬県に分布する茶屋ヶ松層（中新統）の化石と古環境
- HP2 中野裕基・天野勇牙・桑山圭輔・溝口 宙 淡路島南東部における「*Nostoceras hetonaiense* 帯」の化石群集
- HP3 有川慶彦 鳥類における叉骨-胸骨間に見られる形態の種間比較

【13:45-14:00】休憩

【14:00-15:30】一般講演 口頭発表 2 (A, B 会場)

A 会場	B 会場
古脊椎動物の部 (2) 座長: 木村由莉	分類・古環境の部 座長: 小松俊文
A07 松原尚志・境 智洋・佐藤杏佳・前田寿嗣・古沢 仁 北海道釧路地域の下部更新統達古武層からのヒゲクジラ類化石の発見について	B07 山口麻菜・徳田悠希・千徳明日香・江崎洋一・板木拓也・兼子尚知・片山 肇・杉崎彩子・鈴木 淳 奄美大島周辺海域における無藻性イシサンゴの多様性の解明
A08 森田直樹・村上瑞季・中島保寿・嶋田智恵子・疋田吉識・田島木綿子・鈴木久仁博・田尻理恵・鈴木大輔・松石 隆・小林万里 北海道中新統最上部-鮮新統声間層より産出したネズミルカ科化石の棘突起の特異な形態とその機能的意義	B08 大山 望・前田晴良 上部三疊系美祿層群の昆虫化石層の堆積相解析
A09 大越 司・小平将大・千葉謙太郎・實吉玄貴・高橋亮雄・名取真人・マインパヤル プーベイ・ツォクトバートル ヒングジャウ 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	B09 吉村太郎・佐々木猛智・中山健太郎・安里開士・野田芳和・中井克樹・山川千代美 イシガイ科二枚貝における有機質化石を用いた古環境復元
A10 伊藤麻佑子・半田直人・仲谷英夫・鏑本武久 鹿児島県種子島の中新統茎永層群から産出したサイ科切歯化石	B10 松原尚志 北海道根釧地域の霧多布島に分布する 暁新統根室層群霧多布層の貝類化石群
A11 田中郁子・Jens Lallensack・桂 嘉志浩 中・上部更新統の大桑層から発見された世界最大級のシカ足跡化石:化石種と現生種の比較に基づく身体推定	B11 坂本航汰・畠山唯達・北原 優・実吉玄貴・Khishigiav Tsogtbaatar モンゴル国古第三系 Ergilin Dzo 層の地質年代学的研究
A12 宮本一輝・河村 愛・河村善也 岡山県新見市足見 NT 洞における中期更新世哺乳類化石研究—研究史と現状、そして今後の展望—	B12 岡西政典・三井翔太・幸塚久典・金子 稔 神奈川県横須賀市馬堀の上部更新統横須賀層より産出したクモヒトデ骨片化石

【15:30-16:00】休憩

【16:00-17:15】一般講演 口頭発表 3 (A, B 会場)

A 会場	B 会場
古脊椎動物の部 (3) 座長: 藤原慎一	古環境の部 座長: 齋藤めぐみ
A13 尾崎 薫・福嶋 徹・長岡 徹・宮田真也・樽 創 東京都日野市上総層群連光寺層から産出した魚類化石群	B13 豊田めぐみ・岩谷北斗 鮮新—更新世における北西オーストラリア沖の海洋環境変遷
A14 河村 愛・河村善也 中国の哺乳類化石を含む洞窟・裂罅堆積物—その分布、特徴、時代および日本のものとの関係—	B14 林 広樹・岡本志津香 三陸沖 ODP Site 1151 における上部新第三系の有孔虫群集
A15 犬塚則久 手にみる進化法則	B15 倉本大雅・岩谷北斗 中新統宮崎層群田野層の貝形虫化石群集
A16 平山 廉・藺田哲平 非海生カメ類化石の多様性と古気候との関連	B16 須永健人・入月俊明・瀬戸浩二 高根県隠岐島後における中新世貝形虫群集
A17 佐野晋一 檜ノ木大学士はどうして白亜紀の海岸で雷竜と出会ったのか—明治期後期～昭和期前半の日本における地史学的新情報受容の一事例—	B17 久保 観・岩谷北斗・佐々木聡史 沖縄県石垣島及び西表島周辺海域の現生貝形虫群集

【17:30-17:45】ポスター賞表彰式 (A 会場)

7 月 4 日 (日) 会場 : Zoom

【10:00-11:30】一般講演 口頭発表 4 (A, B 会場)

A 会場	B 会場
古脊椎動物の部 (4) 座長: 田中康平	古植物学の部 座長: 矢部 淳
A18 河部壮一郎・服部創紀 ティラノサウルスの歯骨に見られる複雑な血管神経系	B18 馬場美邑・ルグラン ジュリアン・西村智弘・池田昌之 上部白亜系蝦夷層群函淵層ハドロサウルス産出層の古花粉学的研究
A19 佐野瑞穂・藤原慎一・河部壮一郎 アノールトカゲにおける近位尾椎の形態とエコモルフの関係	B19 Ahmed Maher・Toshihiro Yamada・Julien Legrand Palynostratigraphy of the Permo-Carboniferous succession in two wells from the Gulf of Suez, Egypt
A20 田村朝紀・藤原慎一 リンモリブデン酸含浸法を用いて明らかにした主竜形類の肩・肘関節における軟骨・靭帯の三次元分布	B20 Julien Legrand・山田敏弘・小松俊文・Mark Williams・Tom Harvey・Tim De Backer・Thijs R.A. Vandembroucke・Phong Duc Nguyen・Hung Dinh Doan・Hung Ba Nguyen 初期陸上植物の微化石群集から解明する北部ベトナム Si Ka 層の地質年代と古環境
A21 高崎竜司・小林快次 主竜類の胃の進化: 胃石の形状変遷	B21 西野 萌・寺田和雄・植村和彦・山田敏弘 下部中新統瑞浪層群中村層における" <i>Alangium</i> " <i>aequalifolium</i> の産状と分類学的意義
A22 服部竜士・石村豊徳・岩井紀子・西田 梢・白井厚太郎 両生類の微小骨組織に含まれる微量炭酸塩の安定同位体分析の実 現: 古生物の生態解明への応用をめざして	B22 平松 頼・矢野興一・実吉玄貴 河川内における葉遺骸の集積と植物タフオミー
A23 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 ツォクトバートル プンレイ・マインバヤル・實吉玄貴 モンゴル国産脊椎動物化石からのタンパク質の抽出	

【11:30-13:30】休 憩 (B 会場 ブレイクアウトルーム)

【13:30-14:30】普及講演会 Zoom (A 会場)

「モンゴルと岡山の絆が育んだ恐竜共同研究」

講師: 石垣 忍 (岡山理科大学) 事前申し込み不要

【14:45-15:45】岡山理大恐竜学博物館ツアー Zoom (A 会場)

案内者: 石垣 忍・高橋亮雄・林 昭次・千葉謙太郎 (岡山理科大学)

ビデオ・オンデマンドのバーチャルツアー (前半) とライブでの質疑応答 (後半)

岡山理科大学
古生物学・年代学研究センター
第2回セミナー

(年度末発表会)

2021年3月18日 13:00-17:30 D4号館1階セミナー室

- 13:00 今年度のセンターの歩みについて センター長 豊田
13:05 ジルコン結晶形態解析2020年度の記載結果 能美洋介
13:20 歯化石が示す U-Pb 年代値の意味：測定領域選定の重要性 青木一勝
13:35 モンゴル・ゴビ砂漠恐竜化石産出層の石英の ESR 信号の特徴 豊田新・網本真奈
13:50 竜脚類と現生するゾウ目の軌道差に着目した大型四足歩行生物の旋回に関する力学的考察 伊藤和輝・衣笠哲也
14:05 モンゴル国ゴビ砂漠上部白亜系 Bayn Shire 層から産出した哺乳類化石の分類学的研究 大越司・千葉謙太郎・實吉玄貴・高橋亮雄
14:20 坂本航汰（生地・4年生）ほか モンゴル古第三系 Ergilin Dzo 層の地質年代学的研究
14:35 主竜類の胃の進化—『胃石』の変遷— 高崎竜司（岡山理大・PD）・小林快次（北大博物館）
14:50 モンゴル国ゴビ砂漠上部白亜系 Bayn Shire 層から産出したアドクス科カメ類について 高橋亮雄・Purevsren Byambaa・Igor G. Danilov・Buuvei・Mainbayar・實吉玄貴・石垣忍・Khishigjav Tsogtbaatar
(休憩)
- 15:20 モンゴル国ゴビ砂漠上部白亜系バインシレ層より産出した恐竜卵殻化石の分類学的研究について 野田昌裕・林 昭次・Buuvei Mainbayar・Khishigjav Tsogtbaatar
15:35 特殊染色法を用いた恐竜化石からの有機物検出 小平将大、千葉謙太郎、實吉玄貴、稲葉勇人、辻極秀次
15:50 モンゴル国産脊椎動物化石における骨基質タンパク質保存の可能性 稲葉勇人、實吉玄貴、千葉謙太郎、小平将大、辻極秀次
16:05 平松 頼（生地・4年生）ほか 現生河川内における葉遺骸の集積と植物タフノミ
—
16:20 Neoproterozoic and middle Paleozoic geological events in the eastern Wolhyeonri complex of the southwestern Gyeonggi Massif, South Korea, and their tectonic correlations in northeastern Asia 今山武志
16:35 古地磁気年代推定法に関する2020年度研究進捗報告 畠山唯達
16:50 2種の鉱物による過剰アルゴンの形成過程 兵藤博信
17:05 博物館について 石垣忍
17:15 古生物学・年代学研究センターのホームページについて 林／豊田

2021年度岡山理科大学恐竜学博物館活動報告

石垣忍^{*}・奥田ゆう^{**}・高橋亮雄^{***}・林昭次^{***}

^{*}岡山理科大学 古生物学・年代学研究センター, 恐竜学博物館

^{**}岡山理科大学恐竜学博物館

^{***}岡山理科大学生物地球学部生物地球学科

1. 概観

2021年度は、新型コロナウイルスの新規感染者数の波が、4波（4-6月）、5波（7-9月）、6波（1-3月）と押し寄せ、日本社会はそれに翻弄された。岡山理科大学恐竜学博物館も社会一般と同様に、緊急事態宣言やまん延防止の措置に従わざるを得ない。このような状況下で、研究と教育・資料保管を軸とした恐竜学博物館の使命を果たすために模索を続けた。ふりかえってみれば、研究や学生教育については通常の利用にこたえることはできたが、学外・一般の展示室の利用については、大きく制限された一年であった。

2. 研究

学術的な面で特筆すべきこととして、岡山理科大学をホスト校として日本古生物学会の年会が開催されたことが挙げられる。コロナ禍のためにオンラインでの開催になったとはいえ、モンゴルの恐竜学をテーマにシンポジウム「モンゴル恐竜研究最前線—高精度年代層序の確立と白亜紀化石動物相の解明をめざして—」を設定し、本学と北海道大学およびモンゴルの研究者による5題の研究発表をもとに、活発な議論が行われた。また、最終日に開催した恐竜学博物館のオンライン見学ツアーや岡山の地における恐竜研究の歴史に関する普及講演会には、多くの参加者が得られた。この学会の参加者は360名にのぼり、たいへんな盛況のうちに幕を閉じた。本学だけでなく、岡山における古生物学会の開催は、今回が初めてのものであり、日本の「古生物学界」に対して当館及び古生物学研究拠点としての岡山理科大学の存在を示すマイルストーンになったことは間違いない。



図 1. コロナ禍に伴いオンラインで様々なことが実施された。古生物学会の普及行事でもオンラインで館の案内等を行った。一般の講演や、一部の授業も博物館に机を据えて標本をカメラで映しながら行うことで対応した。(写真は普及講演風景)

本年度はこの学会の開催のほか、館所蔵標本の研究利用（北海道大学、筑波大学、東京大学、兵庫県立人と自然の博物館、北九州市立いのちのたび博物館、福島県立博物館）や館内研究室1Fに設置されているCTスキャナーを利用した各種の研究が大いに進んだことも重要な成果であった。外部の研究者の依頼によるこれらの館内資源の利用や、本学教員と外部研究者との共同研究による利用も増えていることを特筆したい。

モンゴルとの共同調査は昨年度に引き続いて今年度も野外調査はもとよりウランバートルの古生物学研究所（IP: Institute of Paleontology）訪問もコロナ禍でできなかった。2019年度借り出し標本の返却は行った。2月末現在分析用標本のモンゴルからの送付と到着を待っているところである。

3. 資料収集・保管

コロナ禍は悪いことばかりではない。コロナ禍中の進展として特記すべきことは、標本の物理的な整理が進んだことと、標本の寄贈・作成と受入が増えたことである。収蔵スペースについてはB1号館1階標本保管スペースの整備が進み、分離保管されていた標本群を一ヶ所に集約することができた。また生物地球学部の植物標本の移動によってC2号館5階に空調等の保存環境が良い保管スペースが確保できた。こうした受け入れ

環境の整備を経て、田邊章氏、松田嗣朗氏・西戸博嗣氏の大型コレクションをはじめ田口栄次氏、福本和久氏、鈴木茂之氏ほか数名の研究者・コレクターの標本寄贈を受入れ、現在、さらに数名の方より寄贈についての打診を受けている。こうした取り組みにより、地元岡山の勝田層群・備北層群・成羽層群から産した化石や岩石標本についての研究資料の集積が進んだ。岡山県内には岡山県の化石について相談できる「拠点」がなかったが、今後その役割を岡山理大が果たしていくことが求められており、学生の研究の実践も含めて、対応していく必要がある。

また岡山産化石以外の集積されたコレクションには、重要な示準化石等も多く含まれており、教育用標本が充実した。

さらに博物館と本学教員が、本年も取り組み続けた現生骨格標本の作製や受入により、脊椎動物研究の基礎資料の蓄積が進んだ。標本整理は大変な時間と労力がかかる一方で、地味で成果が表に出にくい、研究の振興・推進には不可欠な作業である。来年度以降は、この業務を博物館全体のタスクとして位置づけ、効率的かつ恒常的に行う必要がある。来年度は登録システムの整備と登録作業の推進をはかりたい。



図 2. 寄贈された田邊コレクション（奥）松田コレクション（手前）

4. 展示公開

学生・教員の展示利用への対応は、基本的に大学全体のコロナ対策指針に従い、それに合わせて感染予防措置や休館措置をとった。対外的には県内他館の状況を調べ、12月まではおおむねそれと歩調を合わせながら対応した。第6波では県内をはじめ国内の博物館の対応はまちまちであったが、若年層への感染や教育機関でのクラスターが発生したため、大学に歩調を合わせて慎重な対応を行っている。そのような中で、今年度（4月以降）の展示室の一般公開日数は201日、利用者は6722人に達した（2月28日現在）。臨時休館期間は5月14日～6月20日、8月23日～9月30日、1月20日～2月28日であった。開館中の、土曜・祝日の外部からの予約入場者は100人程度、平日は30人程度で、これらのデータは、恐竜学博物館への一般からの期待が、昨年度までと変わらず依然として高いことを示している。

今後コロナ禍が終息した場合、博物館の利用者数の増加が予想される。増加に伴い、以下の二点について対応を検討する必要がある。

一つは外部利用者に対して大学全体（教員職員すべてを含め）が寛容かつ親切になる必要がある。つまり博物館利用者を、大学全体の来客として対応することが求められるだろう。「恐竜学博物館の利用者であるため、対応責任は博物館にある」という全体認識では、博物館ないし本学における快適な学習経験の提供が難しい段階にさしかかりつつある。もう一つは、利用者数が増えると観客は多様になり、これに伴いマナーのよくない方の来館・来学例も増えることが予想される（幸いなことに、現時点では極めて稀にしか見られないが）。博物館利用者の拡大路線をはかるならば、こうした問題への予防策・対策は不可欠であり、人手とコストとのバランスをとりながら対処していかなければならない。博物館の利用者であると同時に大学全体のお客でもあるというとらえ方への改善は、来年度以降の課題である。

今年度の取り組みの中で良かったこととして、昨年度に続き学生アルバイトを「コロナ禍における学生救済措置としてのアルバイト雇用促進」という方針のもとで雇用することができたことも挙げておきたい。この取り組みは、現状の博物館の運営上において非常に重要で、学生諸氏の助力がなければ本年度の展示室の一般公開はできなかった。予約入場者のほぼすべての組に対し学生アルバイト1～2名を配置し、個別に展示解説、学内の各サテライト展示への案内等を行った。解説を担当する前に、できるだけ展示物に対する学習を意識づけ、学術的解説の質を保つよう心掛けている。この取り組みで入場者の満足度は非常に高くなっており、さらに、学生の学習意欲やコミュニケーション能力の向上にも高い影響を与えていることが実感される。こうした、観客と共に学生も成長する場となりうるものが「大学博物館」らしさであり、そうした大学博物館の良い点を今後も育ててゆきたい。

5. 展示作成

展示スペースの動きとしては、C2号館1階の足跡化石の展示を50周年記念館に移設し、このスペースに淡路島で発見され新種記載されたヤマトサウルス（鳥脚類恐竜の一種；本学学振研究員の高崎竜司氏がしかかわった研究）に関する展示を新たに設置した。恐竜学博物館メイン展示室の北側には生物地球学部のコアミュージアムが位置するが、コアミュージアム内から恐竜学博物館廊下の展示スペースを縦断するように、天文学系の展示を新設した。また、大学との話し合いを経て得られた2箇所の新たな展示スペースのうち、C1号館7



図3. C2号館の新たな展示の写真 左：ヤマトサウルス展示（C2号館化石処理室内） 右：C2号館東側の外構に植栽された恐竜時代の植物構の「恐竜時代の植物」群。手前はジュラシツツリー。

階に勝田層群産化石とデスモスチルス模型の展示を、A1号館エスカレーター横の新展示スペースにEisen Fossil株式会社の恐竜化石をモチーフにした鉄製の恐竜骨格オブジェを設置した。またA1号館一階エスカレーター下には、プレストクスと2体の小型恐竜（ヘレサウルス・ドロマエオサウルス）の交連（組み上げ）標本を設置した。また博物館（C2号館）の建物を取り巻く外構部分に植えこんであったサツキの枯死に伴い、跡地を「恐竜時代の植物」を植え込む許可を学園本部から得てソテツ・ジュラシツツリー・ナンヨウスギ・センリョウ・モクレンなどを植栽した。

6. アウトリーチ・校外学習等の受入・学外連携プロジェクト

要請を受け、なぎビカリアミュージアムと岡山県生涯学習センター人と科学の未来館サイビアで出張展示を行った。その他、兵庫県立人と自然の博物館への標本の貸出と、講演会やワークショップといったアウトリーチ活動を県内の学校や公民館を中心に13回実施した。博物館の団体見学や教員・学芸員による案内対応を求められる見学者も増加の一方である。小学校の校外学習は3校（岡山市立興除小学校、奈義町立奈義小学校、津山市立南小学校）を受入れ、奈義町立奈義小学校については事前授業を担当、津山市立南小学校は骨学のワークショップも行った。また、コロナの関係で中止になったが、特別支援学校2校の受け入れも予定されていた。学童クラブおよび放課後等デイサービス施設の学習利用も今年度は増加し、計5施設の見学を受け入れた。その他、近隣公民館のイベント受け入れ、中高等学校の個別学習やグループ学習、職場体験なども受け入れた。岡山県、および岡山市の観光局からの依頼も今年度は増加し、夏休み期間中にワークショップを5日間開催、また、観光局が運営しているホームページ等へ当館の情報が掲載されるようになった。岡山県文化連盟からの依頼で、おかもま県民文化祭にも参加協力を行った。

このほか、恐竜をモチーフにした手ぬぐい制作（くらし器てぬぐいGocha）や、鉄アートに取り組むアーティスト（Eisen Fossil



図4. 岡山県生涯学習センターサイビアでの展示。モンゴル調査の写真や道具類を中心に、展示骨格はプロトケラトプスだけで構成した。

株式会社)との連携展示制作も行った。また、倉敷市立自然史博物館の要請にこたえて、漂着クジラの処理(9月)に協力した。さらに、生物地球学部野外博物館実習(昆虫コース)の一環として、環境学習センター「アスエコ」の特別企画展昆虫展示「絶滅しそうな昆虫たち」への展示協力(倉敷市立自然史博物館・伊丹市昆虫館と協働)やイオンショッピングモール岡山への展示協力も行った。また、地元の日本文教出版とコラボレーション事業として、同社刊行の「岡山文庫」より当館の展示解説書の出版計画も、来年度5月完成を目指して進行中である。

こうした外部からの要請対応やコラボレーションプロジェクトは年々増加しており、それぞれ教育

面においても広報面においても本学の発展に大いに寄与することが期待される。一方、こうした要請対応やプロジェクトの推進は、教員と学芸担当技術職員の負担も増加させ、基本業務を大きく脅かすことになる。当館は大学博物館で、大学の研究と学生の教育に資することが最優先であることを再確認する必要がある。人員や予算を増やすことができない現在の状況とバランスをとりながら、業務の選択と集中を行い、原点を見失わないようにしたい。

7. 学生教育

学生教育に資するという面で特記すべきことが二つある。

一つは姫路サファリパークで死亡したアフリカゾウの全身骨格を本学の標本として活用するために、恐竜学博物館を中心に学部横断型・学生参加型の組織による教育改革推進事業を立ち上げ、無事に骨格を得ることができたことである。これは関連する教員・学生・そして重機作業や重量物運搬の専門業者とのコラボレーションがなければ、とても実現できなかった。来年度は、動物園等との連携によって得られた他の動物骨格標本と合わせて、全学的に利用できる教育研究コンテンツとして整備・活用していきたい。

もう一つは同じ教育改革推進事業として大学構内地球史オリエンテーリングのコースづくりが採択され、授業での活用とタイアップしながらコース設置が進んだことである。こちらも方法を確立したうえで、教育に活用できるように進めていきたい。

実は、恐竜学博物館は、生物地球学部の学生や博物館学芸員課程に関係する学生はよく見ているが、それ以外の、例えば工学部や理学部・経営学部などの学生の多くは「見たことがない」というアンケート結果がある。上記の2つのプロジェクトなども利用しながら、授業・実習などでの博物館の利用を振興し、学内の学生・教職員にとっても親しみやすい博物館になっていくことを目指したい。

その他、授業(古生物学概論、恐竜学I・II、古脊椎動物学、古環境学、自然を読みとく など)および実習(野外博物館実習、野外調査法実習I・II、古生物学実習など)での利用も定着した。



図5. ぐらし器手ぬぐい Gocha で販売されることになった手ぬぐい。モチーフになったのはA1号館1階のタルボサウルス全身骨格標本。手にするのは同店の代表青山典雅氏。



上: 野外博物館実習の一環で行われたアフリカゾウの骨格標本掘り上げ。作業前の学生指導。
中: 作業風景(頭部を掘り上げている)
下: 標本化された左右の切歯(牙)

8. 博物館界の中で

さて、そろそろ、恐竜学博物館も、ただ単に自分の存在と運営のことで精一杯という段階から、次のステップを考える時期に来ている。

たとえば、岡山理科大学恐竜学博物館は「日本の博物館」であり、「岡山県の博物館」であり「大学博物館」であり、「自然史系博物館」であるが、現時点では日本博物館協会にも、岡山県博物館協議会にも大学博物館等協議会にも全国科学博物館協議会にも科学博物館連携協議会にも所属していない。最初の数年のうちはそれでも良い。しかし10年たった時にそれではよくないだろう。当館がユニークな博物館であると同時に、日本の博物館界で、連携や相互交流しながら活動してゆくことも大事なことで、そろそろこうした活動も始めていく必要がある。これらの団体はあまり活動していない団体もあるし、加入することが必ず必要というわけでもない。加入することはまた新たな仕事を生じさせることもある。ただ、社会的な連携を持つておくことは、当館が孤立せず、普通の博物館スタンダードを守るためには良いことである。当館のマンパワーや体制を考慮しつつ、当館としてどうするかを討議し、加入する場合は担当者を決めて、当館の代表として参加し、情報は学内で共有すること、およびそのプロセスが重要なことであろう。

またモンゴルとの関係が当館の重要な特徴であり、その維持発展のためにはモンゴルの古生物学博物館やモンゴルの地方博物館、モンゴルの大学などとの連携も模索すべきである。

9. 使命と理念の確立

最後に、当館設立の際の合言葉は「小さく生んで大きく育てる」であった。2018年3月の開館以来、丸4年が経過し、様々な芽が育ってきたことは事実で、事業としても拡大しつつある。しかし前述したが、拡大は、それを支える予算やマンパワーとのバランスの上に立たねば必ず無理や矛盾が生じる。当館としてあるべき選択を行い、独自の「育ち方」をするのが、当館らしさを進展させ、無理を生じない経営である。そのためには恐竜学博物館の使命・理念・方針などの「性格付け」をいま一度吟味しなおし、館にかかわる人々の共通認識を確立する必要がある。それがしっかりと機能することで、優先課題を選別する「ふるい」の役割が機能し、目標設定・問題解決がスムーズになる。来年度は時間をかけてその共通認識を作り上げたい。

石英のESR年代測定の確立に向けて

— 石英を用いたテフラの年代測定 —

小畑直也*・豊田 新**

*岡山理科大学大学院理学研究科材質理学専攻

**岡山理科大学古生物学・年代学研究センター

1. はじめに

石英は電子スピン共鳴（ESR）年代測定の対象となる鉱物の1つである。地球表層に最も普遍的に存在する鉱物の1つであるため、石英を含むさまざまな試料に適用でき、これまで、断層ガウジ¹⁾、テフラ²⁾、堆積物³⁾、フリント⁴⁾、焼成土器⁵⁾といった試料に適用されてきている。

電子スピン共鳴年代測定は、自然放射線によって鉱物中に生成した不対電子を検出することによって行われるため、年代を求めようとするそのイベントによって不対電子が消滅している必要がある。応力や加熱、太陽光の照射などの過程によって不対電子が消滅するとされているが、必ずしも完全な消滅が保証されるとは限らない。この点、テフラは消滅のメカニズムが火成活動の際の加熱であるため、他の年代測定とは異なり、不対電子の消滅は最も確かであると考えられる。こうした意味で、テフラの石英を用いた手法を確立することが、他の石英を用いたESR年代測定法の基礎となることが期待できる。

2. 石英中に見られる不対電子をもつ常磁性格子欠陥

石英中に、さまざまな常磁性格子欠陥が報告されている。そのモデルが提唱され、広く受け入れられている種も多い⁶⁾。自然の石英中に観測される信号との対応は必ずしも明確ではない場合もあるが、ここで議論するAl中心、Ti-Li中心は、単結晶を用いてg値やその異方性を求めた研究と整合的である。

石英（SiO₂）のSiをAlが置き換えると、まわりの4個のOと結合するため、負の電荷を帯びることになる。これを相殺するため、1価の陽イオンを伴って、[AlO₄/M]⁰となる（Mは1価の水素またはアルカリ元素）。γ線などの放射線照射は、結晶中に電子と正孔の対を作り、室温ではこれらが動き回ることになる。このAlがホールをとらえると、正に帯電することになるので、1価の陽イオンは離れ、不対電子をもつ[AlO₄]⁰が形成される。これがAl中心である。Tiは最外殻に電子を4個持っており、Siをそのまま置き換える。照射を受けると電子をとらえるが、負に帯電するため、1価の陽イオンを伴ってTi中心 [TiO₄/M]⁰を形成する。伴う陽イオンによってg値が異なると共に、信号の形も異なるため、区別することができるが、測定しやすく、一般的に観測されるLiを伴ったTi-Li中心が最もよく用いられる。

3. 石英を用いたESR年代測定の問題点

石英に、年代測定に利用できる少なくとも2つのESR信号が存在することは、大きな利点がある。これまでも多くの研究で、熱安定性や光曝に対する安定性が異なることが示されており^{7,8)}、安定性の異なる複数の信号を用いて年代が一致すれば、年代を求めようとしているイベントにおいて信号が完全にリセットされたことを測定結果が保証することになるからである。

ところが実際には、自然はそうには単純ではなく、信号消滅の過程がもっとも単純なはずのテフラで、2つの信号から求めた年代が一致しないことが起きる場合があるのに加えて、同一の試料を用いて熱ルミネッセンス年代測定と比較した研究では、熱ルミネッセンスでは文献値と整合的な年代が得られているにもかかわらず、ESR年代が外れる事例も報告されている⁹⁾。この事例は、年代を計算する際の年間線量率ではなく、総被曝線量を求めるところにESR年代測定の問題があることを示していることになる。

こうした問題が起きる可能性の1つは、信号の熱安定性であると考えられる。不対電子をもつ常磁性格子

欠陥は準安定な状態であるため、熱活性化過程によって消滅する。同じ種類の常磁性格子欠陥であっても、熱的に安定なものと不安定なものがある可能性があり、自然の試料では不安定なものが消滅しているのに対して、付加線量法、信号再生法などでガンマ線照射を行うと不安定な成分を含めて生成するために、総被曝線量の過小評価につながることになる。これを避けるためには、照射の後に人為的に加熱を行い、不安定な成分を消去が必要であると考えられる¹⁰⁾。問題は、どのような条件(温度)で加熱(preheat)を行うかであるが、ルミネッセンス年代測定においては、加熱の温度を上昇させていって、温度によらず総被曝線量が一定になる条件(preheat plateau)を求めるということが一般的に行われている。これに従えば、石英のE SR年代測定手順においても、温度によらず総被曝線量が一定になる条件を求める手順を導入すればよいことになる。そこで、今回の研究においては、その基礎実験として、テフラの石英と堆積物の石英にみられるE SR信号の熱安定性を組織的、定量的に比較検討することにした。

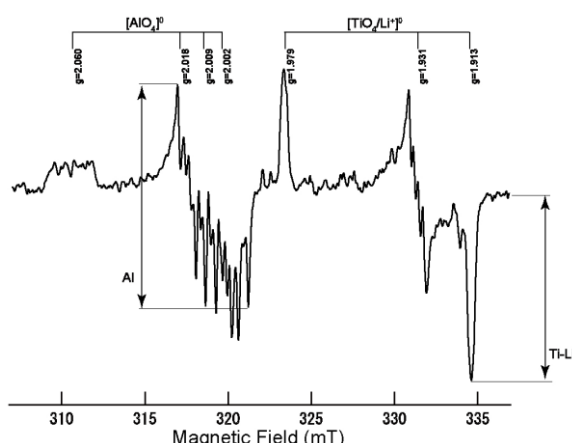


図1 石英中に観測された、典型的なE SR信号。矢印で示すピーク高さを信号強度とした。

4. 試料と実験方法

始良岩戸テフラ (A-Iw)、白河天栄テフラ (Sr-T)、また、オーストラリア、ブリスベン市内のブリスベン川現河床堆積物から抽出した石英を用いた。

そのままの試料 (natural)、また400℃で加熱して信号を消去した試料について、1 kGy、5 kGy の照射を行った。照射をしないものを含め、5種類の試料について、段階加熱実験(各段階の加熱時間15分)を行い、Al中心、Ti-Li中心のE SR信号を観測した。また、naturalの試料、加熱して信号を消去した試料について、1000 Gy までの範囲でガンマ線照射を行い、信号強度の線量応答を調べた。そして、それらの試料を340℃までの範囲で加熱(preheat)し、それぞれの温度での線量応答を調べた。

ガンマ線照射は、量子科学技術研究開発機構高崎量子応用研究所のコバルト60ガンマ線照射施設を利用し、およそ100 Gy/h で照射を行った。E SR測定には、岡山理科大学総合機器センターのE SR測定装置 JEOL PX-2300 を使用した。温度可変装置 CT-470 を使用し、液体窒素で冷却して、およそ81K で測定を行った。マイクロ波出力を5 mW、磁場変調周波数100 kHz、磁場変調幅0.1 mT、スキャンの時間を30 s、時定数0.03 sとして、信号の部分のみを繰り返しスキャンし、信号強度によって選択した拡大率で適切なSN比になるように測定を行った。

5. 結果と考察

5-1 信号の熱安定性の検討

観測された典型的な信号を図1に示す。図に示したピーク高さを信号強度として取った。段階加熱によってAl中心、Ti-Li中心の信号強度は減少した。その様子を図2および図3に示す。

Al中心(図2)については、いずれの試料でもテフラでは280℃までの加熱で信号強度はノイズレベルになるまで減少した。naturalに照射した試料と加熱後照射した試料の信号強度の差は、naturalにみられるもとの信号強度の差である。A-Iwは年代が若いため、そのnaturalの信号強度が小さく、Sr-Tは古いため、信号強度が大きいことを反映している。一方、ブリスベン川の堆積物では400℃を越える温度まで信号が残った。また、naturalに照射した2試料に関しては、280℃以上の温度で、信号強度がnaturalとほとんど同じレベルになった一方、加熱して信号を消去した後に照射して信号を再生させた試料では300℃付近でほとんど信号が消滅している。つまり、照射によって生成した信号の熱安定性が、naturalに見られる信号より有意に低いことを示している。また、この照射によって生成した信号の熱安定性は、テフラにみられる信号の熱安定性と整合的であることが興味深い。

Ti-Li中心(図3)については、また別の特徴がみられた。照射したテフラの試料にはっきり表れて

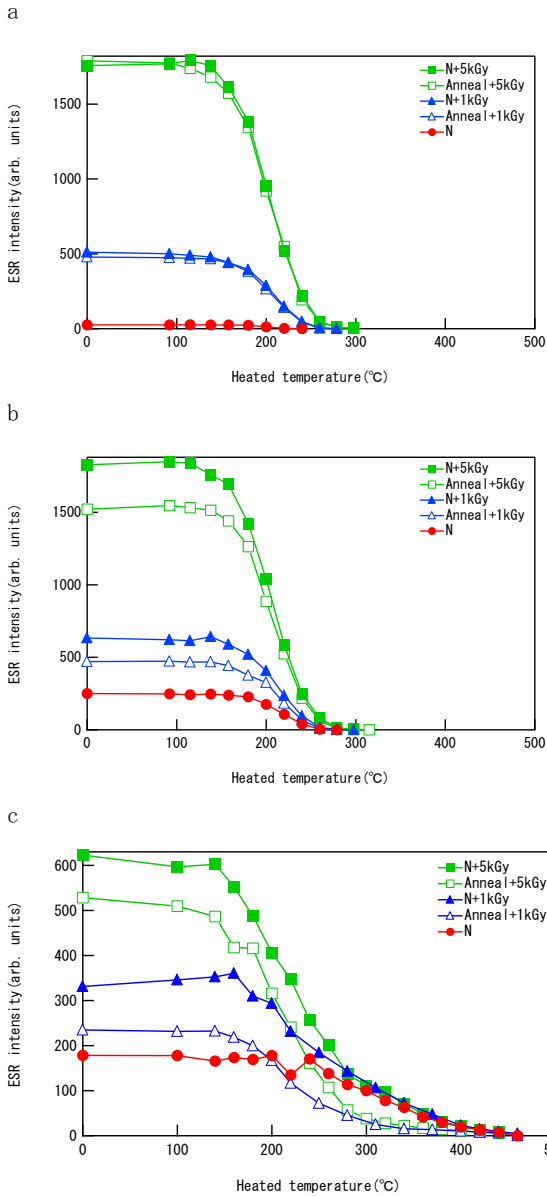


図2 段階加熱によるAl中心の信号強度の減衰
a: A-Iw, b: Sr-T, c: プリスベン川堆積物

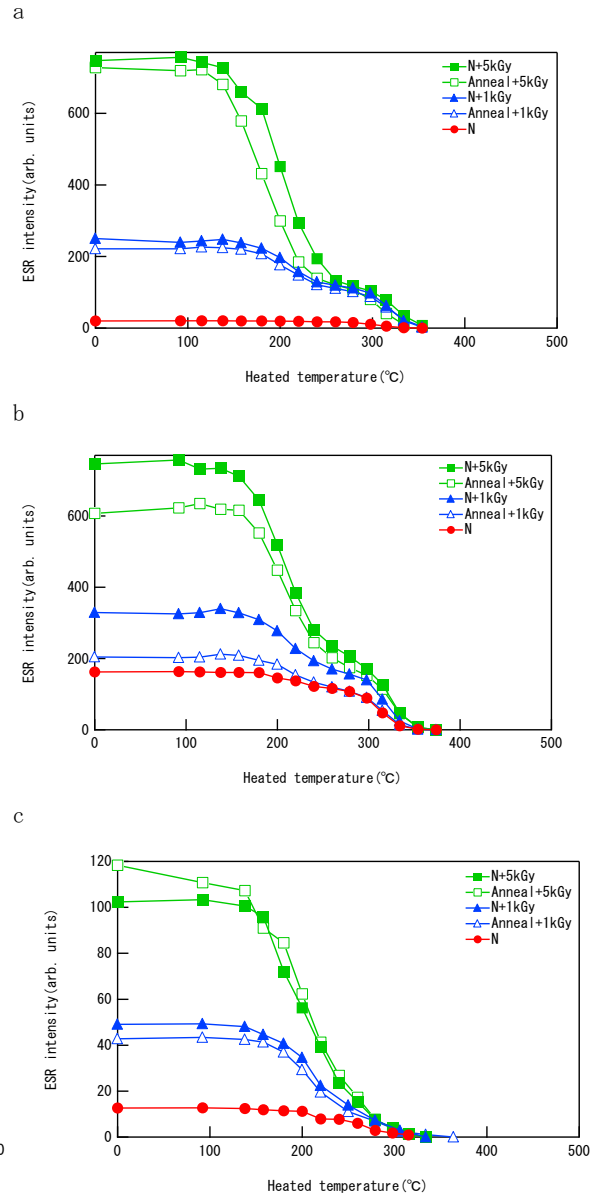


図3 段階加熱によるTi-Li中心の信号強度の減衰
a: A-Iw, b: Sr-T, c: プリスベン川堆積物

いるように、260°C付近で信号強度の減少がいったん止まり、300°C以上で再度減少している。これは、Ti-Li中心に、260°Cまでに消滅する熱的に不安定な成分(低温成分)と260°Cまで安定な成分(高温成分)があることを示唆する。低温成分が減少し始める180°C以下の部分では、naturalと照射した試料との信号強度の差はnaturalの信号強度分に相当しているように見える一方で、260°C以上の高温の成分が残る領域ではその差はnaturalより小さくなっているように見える。また、低温成分が減少し始める180°C以下の部分では、1kGyと5kGyで大きな差があるのに、高温成分ではほとんど差がない。このことは、低温成分と高温成分の線量応答が異なっており、高温成分の方が低い線量で飽和することを示唆している。そしてこのことは、高線量では低温成分が多く生成するが、高温成分はほとんど生成しないことを示していることになる。一方、河川堆積物の石英では、このような2段階の減少の様子ははっきりとは見えない。また、テフラより低い温度でノイズレベルまで信号強度が減少しているように見える。

5-2 preheat による線量応答の変化

試料に γ 線を照射すると、信号は増大した。その様子をA-IwのA1中心について図4に、Ti-Li中心について図5に示す。照射後に加熱をしないでそのまま測定した場合、340°Cまでの範囲の各温度で加熱 (preheating) をして測定した場合についてそれぞれの図に示している。これを、照射前に加熱していないnaturalの試料の場合を MAAD (multiple aliquot additive dose)、加熱して信号を消去してから照射を行って信号を再生させた場合を MAR (multiple aliquot regenerative) として示している。MARにおいて、線量0の点の三角のシンボルは、naturalの信号強度を示している。また、線量応答を飽和曲線

$$y = a + b(1 - e^{-cx})$$

に当てはめ、得られた曲線を実線で示した。また、 b の逆数を D_0 として図中に示している。

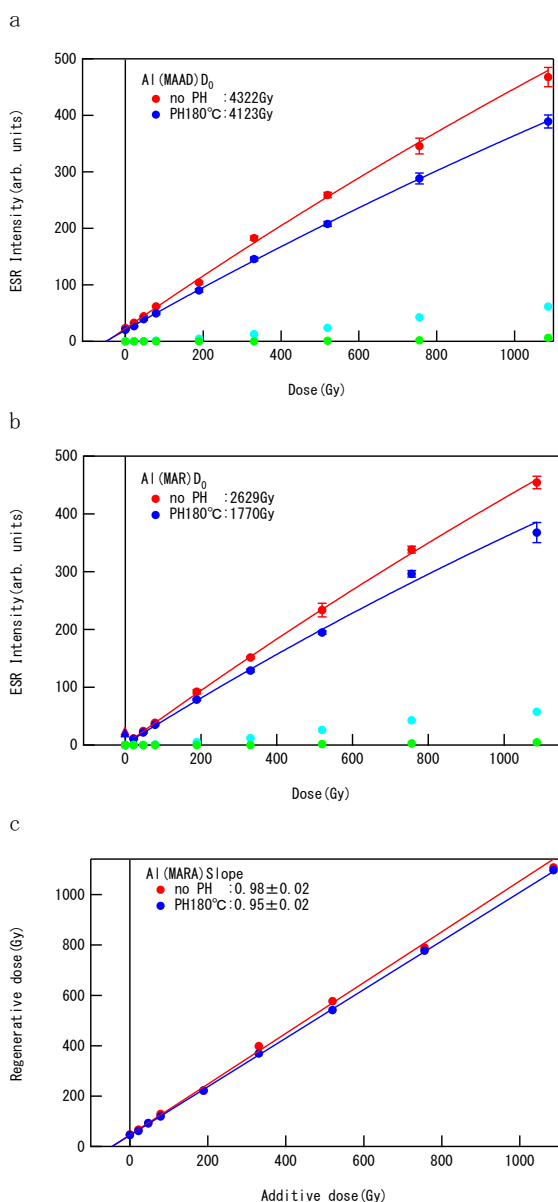


図4 A-Iw のA1中心についての線量応答
a: MAAD (付加線量法) b: MAR (信号再生法)
c: MARA (再生付加線量法)

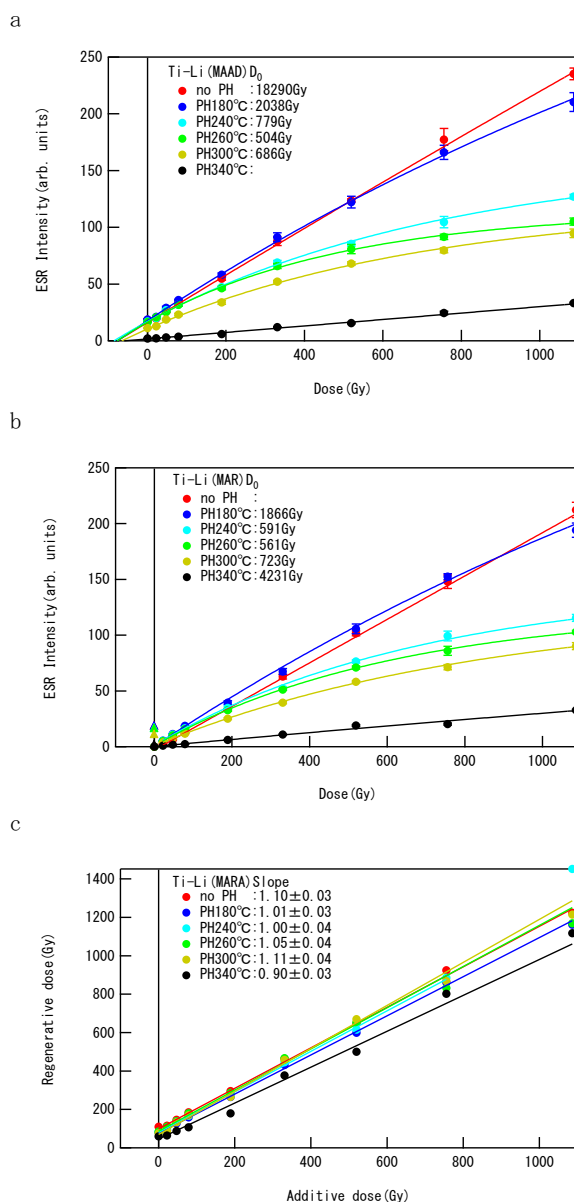


図5 A-Iw のTi-Li中心についての線量応答
a: MAAD (付加線量法) b: MAR (信号再生法)
c: MARA (再生付加線量法)

MAADの各点の信号強度に対応する、MARによって求められた曲線上の線量(x座標)を「見かけの線量」としてy軸にとり、MAADにおける線量をx軸に取った図を MARA (multiple aliquot regenerative additive)¹¹⁾ として示す。この図の傾き(図中のslope)が加熱による信号生成の感度変化を示し、1であれば感度変化がないことを示す。ほとんど0.9から1.1の範囲にあり、感度変化は無視できることを示している。この結果は他のテフラについての同様の研究¹²⁾と整合的である。

A1中心(図4)については240°C以上の加熱によって信号が小さくなってしまい、何かしらの議論のできる結果とはなっていない。Ti-Li中心(図5)については、MAADでもMARでも、線量の高いところで加熱による減少が大きい。これは、低温成分が加熱によって消去されたことに伴って線量応答の様子が変化したことに対応しているが、線量の低いところでは高温成分が生成し、低温成分がほとんど生成しないのに対し、線量が高くなると低温成分がより多く生成することを示している。

5-3 被曝線量推定に対するpreheatingの効果

図4及び5から総被曝線量を求めた。付加線量法(MAAD)では、当てはめた飽和曲線がx軸を切る点の原点からの距離として、信号再生法(MAR)では、naturalの信号強度に対応する、当てはめた飽和曲線の信号強度に対応する線量(x座標)として、また、再生付加線量法(MARA)では、当てはめた直線がx軸を切る点の原点からの距離としてそれぞれ求め、それを加熱(preheat)の温度の関数として示すと図6のようになった。この図で、総被曝線量が加熱温度に対して一定となるところが、ルミネッセンス年代測定法におけるpreheat plateauに相当する。一般的な考え方としては、naturalの試料については不安定な成分が含まれないが、照射した試料については不安定な成分が含まれるため、preheatがなければ、線量応答直線の傾きが大きくなり、線量を過小評価してしまう。Preheatを行うことによって、安定な成分のみで線量応答を作ることができ、preheatに伴って推定される総被曝線量は大きくなって、ある温度範囲ではそれが一定になる、ということになる。

A1中心から求めた総被曝線量は、A-Iwについても、Sr-TについてもTi-Li中心から求めた総被曝線量より有意に低い値となった。Ti-Li中心から求めた総被曝線量は、MARの未加熱を除いて、加熱温度の増大に伴って、260°Cに向かってわずかに増大しているが、有意であるようには見えない。ほぼ一定値のように見え、MAAD, MAR, MARAで有意な差が見られてはいない。つまり、MARの未加熱を除いて、preheatによる差異がみられないように見える。

一方、未加熱のMARで線量が大きく得られた原因であるが、次のようなことが原因として考えられる。図5で、MARでははっきり見られるように、180°Cの加熱によってグラフの中ほどの線量範囲で未加熱よりも信号が大きくなっていることがわかる。これは、加熱によって結晶中で電子が動き回り、Siを置換したTiの近くにとらえられてTi-Li中心が増大した可能性が考えられる。このような過程は自然の環境下でも起きているはずであり、そうであれば、naturalの試料についてはこの過程が起きた後の信号強度を観測していることになる。従って、この過程をシミュレートしない状態で総被曝線量を求めたため、こちらでは総被曝線量を過大評価してしまったことになる。

このことからすれば、照射を行った試料に対して、自然に起きているのと同様の熱活性化過程を経ること

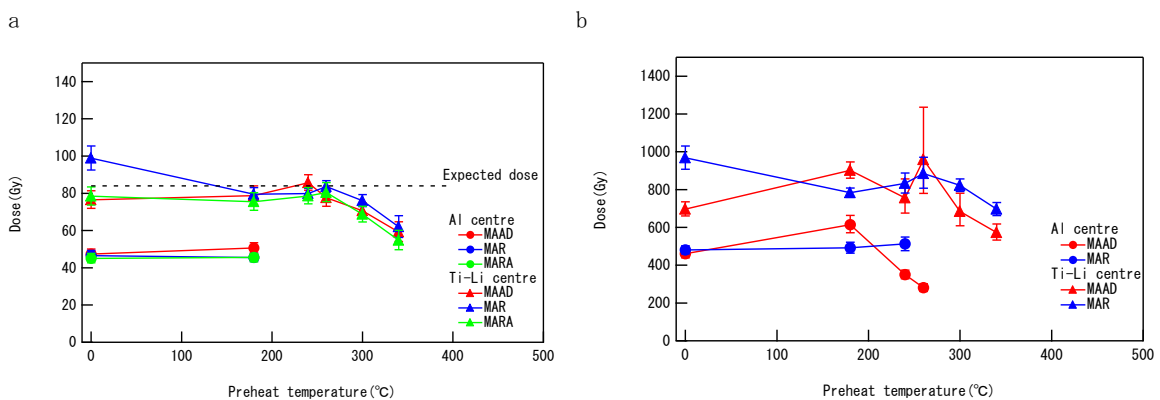


図6 加熱による総被曝線量の変化 a: A-Iw, b: Sr-T

で、「正しく」線量応答をシミュレートすることが必要であると言えるであろう。であるとすれば、見かけ上、preheatingに対して、総被曝線量が変動しないとしても、preheat を行って総被曝線量を求めるのが「正しい」方法であるということになる。

A-IwのTL年代から推定される総被曝線量を図6に破線で示した。これに合う、という観点からは、Ti-Li中心から求めた総被曝線量が正しく、A1中心から求めた総被曝線量は過小評価していることになる。この原因として考えられるのは信号の熱安定性である。本研究では信号の寿命を求めるという定量的な評価を行っていないが、少なくとも本研究で調べた2つの日本のテフラではA1中心は熱的に不安定なために総被曝線量を過小評価してしまった可能性が考えられる。

図2に示すように、A1中心は15分の加熱で280℃までに消滅している。この温度で消滅する信号が年代測定に使用できないのであれば、Ti-Li中心の低温成分はやはり年代測定に使用できないということになる。そう考えれば、低温成分を除去し、高温成分のみで年代測定を行うべきであるということになり、低温成分が除去される260℃でpreheatを行うのがよい、ということになる。

そうすると、図6に示される、総被曝線量の推定値に対してpreheatの効果があまり見られないという結果についての説明が必要となる。低い線量で飽和が始まる高温成分と、高い線量まで応答する低温成分が合計されることにより、たまたま総被曝線量の推定値が似た値になった、ということになるのかもしれない。これについては、別の試料を分析して検証する等の必要があると考えられる。

6. 高線量照射の経験の影響

図7及び8は数千万年分の自然放射線に相当する96 kGyのガンマ線を照射した試料に生成した信号の

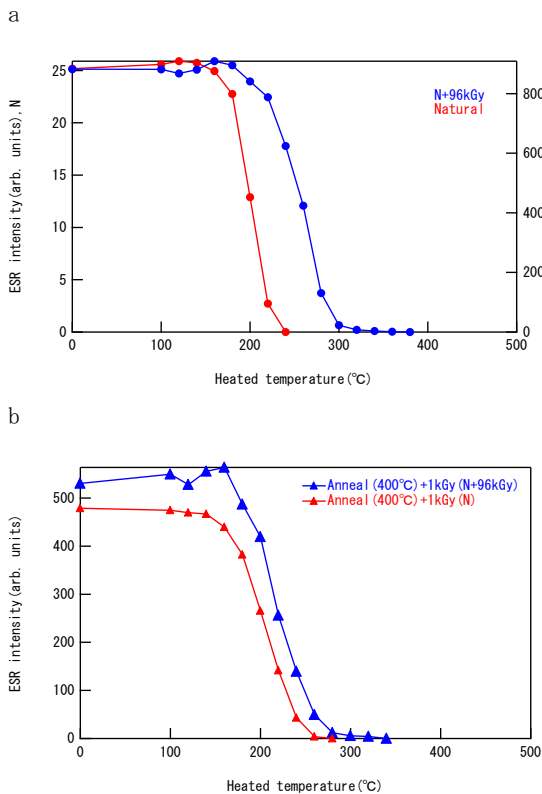


図7 A-Iw に96 kGy を照射した場合のA1中心の段階加熱実験での信号の減少
a: 照射のみをした場合 b: 照射後加熱し信号を消去し再度照射して信号を再生させた場合。

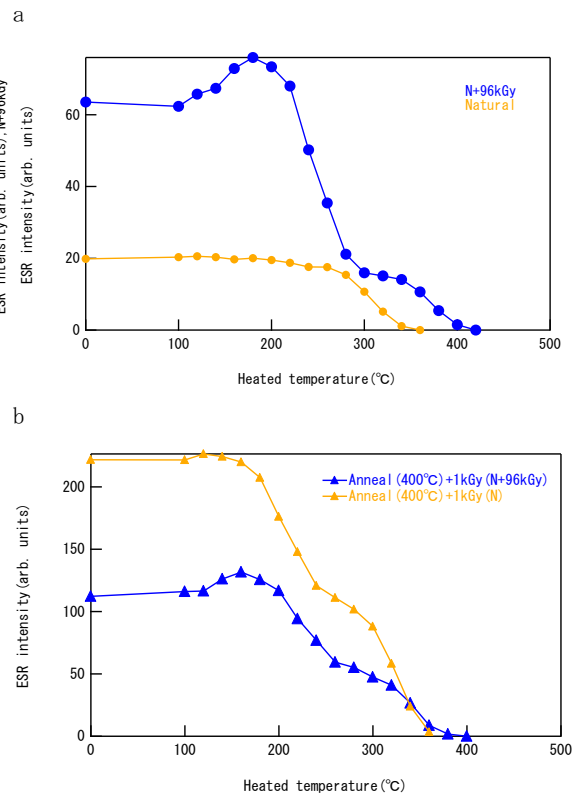


図8 A-Iw に96 kGy を照射した場合のTi-Li中心の段階加熱実験での信号の減少
a: 照射のみをした場合 b: 照射後加熱し信号を消去し再度照射して信号を再生させた場合。

段階加熱実験の結果を照射しない試料と比較して示したものである。A 1 中心についてはより高温まで信号が残っていることがわかる。T i — L i 中心についても同様の傾向が見られるが、naturalの試料について低温成分がないことを考えると、本質的には図 2 と同じ結果となっている。

一方、96 kGy 照射した後に、400℃で加熱して信号を消去し、さらにその試料に γ 線を照射した試料について、96 kGy の照射がない試料を同様に加熱して照射した場合と熱安定性を比較したところ、図 8 に示す結果を得た。興味深いことに、A 1 中心がより熱的に安定になっていることがわかる。また、T i — L i 中心については感度が低下している。

これらの結果は、ブリスベン川の河川堆積物の石英にみられる信号の熱安定性が、テフラと異なる理由を説明するかもしれない。少なくとも、A 1 中心については、古い大線量を経験した石英を含むことで高温まで信号が安定になっている可能性が高いと考えられる。

7. まとめ

日本のテフラ 2 試料とブリスベン川河川堆積物の石英について、観測される A 1 中心、T i — L i 中心の熱安定性を、naturalと照射した試料について比較し、年代測定プロトコルの妥当性を検討した。日本のテフラについては、A 1 中心を用いた場合には年代を過小評価している可能性が高いことがわかった。T i — L i 中心については、照射によって熱的に不安定な成分が生成することがわかった。Preheat の効果は小さいものの、原理的には preheat を行って、高温まで安定な成分を用いて年代測定を行うのが適切であろう。

引用文献

- 1) Ikeya, M., Miki, T., Tanaka, K. (1982) Dating of a fault by electron spin resonance on intrafault materials, *Science*, 215, 1392-1393.
- 2) Imai, N., Shimokawa, K., Hirota, M. (1985) ESR dating of volcanic ash, *Nature*, 314, 81-83.
- 3) Yokoyama, Y., Falguères, C., Quaegebeur, J. P. (1985) ESR dating of quartz from quaternary sediments: first attempt. *Nuclear Tracks and Radiation Measurements*, 10, 921-928.
- 4) Porat, N., Schwarcz, H. P., Valladas, H., Bar-Yosef, O., Vandermeersch, B. (1994) Electron spin resonance dating of burned flint from Kebara cave, Israel, *Geoarchaeology*, 9, 393-407.
- 5) Bartoll, J., Ikeya, M. (1997) ESR dating of pottery: a trial, *Applied Radiation and Isotopes*, 48, 7, 981-984.
- 6) Weil, J. A. (1984) A review of electron spin spectroscopy and its applications to the study of paramagnetic defects in crystalline quartz, *Physics and Chemistry of Minerals*, 10, 149-165.
- 7) Toyoda, S., Ikeya, M. (1991) Thermal stabilities of paramagnetic defect and impurity centers in quartz: Basis for ESR dating of thermal history, *Geochemical Journal*, 25, 437-445.
- 8) Toyoda, S., Voinchet, P., Falguères, C., Dolo, J. M., Laurent, M. (2000) Bleaching of ESR signals by the sunlight: a laboratory experiment for establishing the ESR dating of sediments, *Applied Radiation and Isotopes*, 52, 1357-1362.
- 9) Toyoda, S., Tsukamoto, S., Hameau, S., Usui, H., Suzuki, T. (2006) Dating of Japanese Quaternary tephras by ESR and Luminescence methods, *Quaternary Geochronology*, 1, 320-326.
- 10) Tsukamoto, S., Toyoda, S., Tani, A., Oppermann, F. (2015) Single aliquot regenerative dose method for ESR dating using X-ray irradiation and preheat, *Radiation Measurements*, 81, 9-15.
- 11) Toyoda, S., Miura, H., Tissoux, H. (2009) Signal regeneration in ESR dating of tephra with quartz, *Radiation Measurements*, 44, 483-487.
- 12) Asagoe, M., Toyoda, S. (2016) ESR dating of volcanic quartz with impurity centers : comparison of regeneration protocols and dose recovery tests, *Advances in ESR Applications*, 32, 11-18.

岡山県高梁市川面町に分布する中新統と軟体動物化石群の研究

中田昇吾*・難波杜夫*・田口栄次**・鈴木茂之***・石垣忍****

*岡山理科大学生物地球学部古生物学研究室卒論生

**新見市西方982

***岡山大学理学部

****岡山理科大学古生物学・年代学研究センター

岡山県高梁市川面町井才は、吉備高原北部の標高250-290mの丘陵地で、以前から貝化石の産出が知られていた。1983年に地元のグループによる貝化石の発掘が行われた。今回、この発掘地点付近を再調査するとともに、1983年発掘時と1980年代初頭に産出した大型の二枚貝化石2個体と、共産した貝化石を検討した結果、以下のことが判明した。

1. 本地域の貝化石産出層は、基盤である風化した粗粒花崗岩上に不整合に重なる、層厚10-15mの砂岩泥岩互層からなる。泥質細粒砂岩層からは *Vicarya japonica* Yabe et Hatai, *Tateiwaia yamanarii* (Makiyama), *Rhizophorimurex capuchinus nagiensis* (Taguchi, Osafune et Obayashi), *Hataiarca kakehataensis* (Hatai et Nisiyama), *Striarca elongata* Taguchi, Osafune et Obayashi, *Striarca uetsukiensis* (Hatai et Nisiyama)などが、粗粒砂岩層からは *Vicarya japonica* Yabe et Hatai, *Crassostrea gravitesta* (Yokoyama)が産出する。動物群集としてはArcid-Potamidid動物群(津田, 1965)に対応する。本地域の地層は、これらの産出化石と層相より、備北層群相当層である中新統、有漢累層の山形泥質砂岩部層(藤原ら, 2001)に対比され、また備北層群(上田1989)の是松層にも対比できる。

2. 粗粒砂岩層から発見された *C. gravitesta*化石は、3個体の群体を示し、埋没姿勢が生活姿勢を維持し、しかも棒状のものに付着していた痕跡が見られた。層相および貝化石の産状より、本地域は、通常は潮間帯に位置する汽水域で泥がゆっくりと堆積する泥質マングローブ沼の環境であるが、時に強い水流によって粗粒砂が運び込まれるような環境であったと推定される。

3. 大型二枚貝化石2個は同種と推定され、*Eamesiella*属に近縁と考えられるが、鉸歯が観察不可能のため、詳しい属種の判定はできなかった。

本研究は日本古生物学会第171回例会(名古屋大学)においてポスター発表を行った。発表においては、日本の中新統研究者と討論を行うことができたほか、軟体動物化石の道程に関しては、栗原行人(三重大)および松原尚志(北海道教育大釧路校)と詳しい検討を行うことができた。

本研究で扱った化石は川面町の藤井洋治氏他与相談し、倉敷市立自然史博物館に寄贈・登録を行った。また、研究結果は倉敷市立自然史博物館研究報告第37巻に投稿・受理され、2022年3月25日発行予定である。

タルボサウルス歯化石の希土類元素およびU-Pb年代測定

田辺 美羽・伊達 勇輝・青木 一勝*

岡山理科大学理学部基礎理学科

*岡山理科大学教育推進機構基盤教育センター

1. はじめに

白亜紀末期アジア大陸に生息していたタルボサウルスは、北米大陸に生息したティラノサウルスとは近縁属であり、非常に似た骨格形態を示すことから、アジア-北米間における恐竜の交流や進化過程の理解に欠かせない種である。これまでの研究からタルボサウルスの生息時期はマーストリヒチアンとされているが、化石産出地域であるモンゴル国ゴビ砂漠には、年代制約に有効な鍵層が少ないため、生息年代値が求められていない。それゆえ、北米との地層間対比が困難であり、ティラノサウルス科の進化・交流の議論に関しても障壁となっている。化石（ヒドロキシアパタイト）を使ったU-Pb年代測定法は、対象化石の化石化年代の推定に使えるため、化石脊椎動物の生息時期や化石含有層の堆積年代の制約にも有効である。しかし、化石は化石化後の変質の影響を強く受けるため、測定試料の選定が重要になる。そこで、本研究ではタルボサウルスの生息年代値の制約とともに、変質の影響の少ない試料の特徴を明らかにすることを目的とし、タルボサウルスの歯化石に対しLA-ICP-MS U-Pb年代測定および化学組成分析を行った。本報告では、測定結果の概略についてのみ述べ、議論を含めたより詳しい内容については別論文にて発表する。

2. 試料

本研究では、モンゴル国ゴビ砂漠に分布する白亜紀後期ネメグト層から採取されたタルボサウルスの歯化石8試料 (sample No. STBB2018-007, -009, -026, -072 and -075, and IPG-0US2018-028, -122 and -13) を使用した。実体顕微鏡観察から、どの試料も大部分は象牙質からなり、最縁部にはエナメル部が確認された。象牙質は白色や茶色を呈す。EPMAによるBSE像観察と組成分析から、象牙質の部分に数ミクロン程度のFeO濃度が高い鉱物が象牙細管を埋めるように存在することがわかった。この粒子は象牙質内の白い部分に比べ茶色い部分のほうに高密度に存在する傾向があるため、FeO鉱物の分布密度の違いが試料の見たい目（色の違い）に反映されている。

3. LA-ICP-MS分析

本研究では、試料ごとに白い領域(W)と茶色領域(B)の希土類元素 (La~LuとY)の測定を行った。希土類元素パターンは、PAAS (Post Achaean Australian Shale) で規格化した。また、領域ごとにU-Pb年代値を求めため、縦軸を ^{207}Pb - ^{206}Pb 比(Y軸)、横軸を ^{238}U - ^{206}Pb 比(X軸)にとったTera-Wasserburg図(TW図)に測定点をプロットし、その回帰直線から年代値を求めた。なお、初期鉛値は白亜紀後期の値「 0.84 ± 0.001 」に固定して年代計算を行った。

3-1 IPG-0US 2018-028 (図1-1)

希土類元素濃度 (La~Lu) は白い領域(A-W)では6362~4972 ppm, A-B(茶色領域)では5783~5085 ppmで大きな違いは確認されなかった。またY濃度についても、A-Wでは2041~1745 ppm, A-Bでは1935~1761 ppmであり、濃度に大きな違いは確認されなかった。年代値は、A-Wでは 45.5 ± 9.2 Ma, A-Bでは 49.4 ± 4.6 Maであった。

3-2 IPG-OUS 2018-133 (図1-2)

白い領域(B-W)と茶色領域(B-B)の間で希土類元素濃度とそのパターンに違いが見られた。希土類元素濃度はB-Wでは4002~1785 ppm, B-Bでは1846~861 ppmであった。さらに、Y濃度はB-Wでは1226~819 ppm, B-Bでは589~338 ppmであった。B-Wの年代値は 33.6 ± 3.4 Ma, B-Bの年代値は 66.2 ± 2.5 Maであった。

3-3 IPG-OUS 2018-122

希土類元素濃度は、白い領域(C-W)では23~21 ppm、茶色領域(C-B)では10~11 ppmで領域ごとに違いはなかった。また、Y濃度についても、C-Wでは24~25 ppm、C-Bでは13~14 ppmであり、領域ごとに濃度の違いは確認されなかった。年代値については、どちらの領域も測定された ^{238}U - ^{206}Pb 比が横軸に平行にプロットされたため年代値は計算しなかった。

3-4 STBB2018-007

希土類元素濃度は白い領域(D-W)で6605~1389 ppm、茶色領域(D-B)では10645 ppm~1779 ppmであった。Y濃度はD-Wでは2501~1107 ppm, B-Bでは2595~962 ppmであった。年代値についてはD-Wでは 33.7 ± 2.2 Maであり、D-Bでは 28.0 ± 4.6 Maの値が得られた。

3-5 STBB2018-009

白い領域(E-W)の希土類元素濃度は16290~8850 ppmを示し、そのパターンはLREEが減少し、HREEにかけて上昇またはフラットな形状であった。茶色領域(E-B)の希土類元素濃度は9918から2898 ppmの値を示し、そのパターンはE-Wと同様の形態を示した。Y濃度に関してはE-Wは4751~3702ppm, E-Bでは4480~3100 ppmであり、領域ごとに濃度に大きな違いは確認されなかった。得られた年代値はE-Wでは 29.3 ± 2.3 Ma、E-Bでは 28.6 ± 3.1 Maであった。

3-6 STBB2018-026

希土類元素濃度は白い領域(F-W)では5269~4565 ppm、茶色領域(F-B)では6855~3863 ppmであった。Y濃度についてもF-Wでは2466~2677 ppm, F-Bでは2687~2201 ppmであり、領域ごとに濃度の違いは確認されなかった。年代値は、F-Wが 23.2 ± 3.8 Maで、F-Bが 27.4 ± 5.1 Maであった。

3-7 STBB2018-072

白い領域(G-W)の希土類元素濃度は15891~4763 ppmであり、茶色領域(G-B)では15185~3932 ppmであった。G-WのY濃度は3275~1622 ppm, G-Bでは3789~1800 ppmであり、濃度に大きな違いは確認されなかった。G-Wから得られた年代値は 24.8 ± 2.5 Maであり、G-Bでは 25.3 ± 3.7 Maの年代値が得られた。

3-8 STBB2018-075

白い領域(H-W)と茶色領域(H-B)ごとの希土類元素濃度は、H-Wでは3784~955 ppm, H-Bでは6735~488 ppmであった。Y濃度についてはH-Wは2850~1533 ppm, H-Bでは3075~573 ppmであった。H-W、H-Bそれぞれの領域から得られた年代値は、 42.1 ± 1.4 Maと、 35.8 ± 7.2 Maであった。



図1-1 測定試料 (IPG-OUS 2018-028)



図1-2 測定試料 (IPG-OUS 2018-133)

東ネパール角閃岩類の角閃石の過剰アルゴン年代

今山武志

岡山理科大学フロンティア理工学研究所

東ネパールヒマラヤ地域において、古原生代角閃岩類に含まれる角閃石の K-Ar 年代測定を実施した。これらの K-Ar 年代は 1727–80 Ma の幅広い値を示し、古原生代の原岩年代がヒマラヤ変成作用によって部分的にリセットした過剰アルゴン年代である。一方、古原生代正片麻岩類の変成ジルコン/モナザイト U-Pb 年代と白雲母 K-Ar 年代は約 20–14 Ma と約 13–7 Ma が報告されており、ヒマラヤ造山運動中の変成・冷却年代を記録する。東ネパール地域の中新世初期における角閃岩相上部–グラニュライト相下部変成作用や角閃石の産状からは、角閃石の過剰アルゴンの原因は、1) K-Ar 系角閃石の高い閉止温度、2) 熱水流体により変質した角閃石の組成変化に関連するかもしれない。

1. はじめに

K-Ar 法や Ar-Ar 法は、岩石や鉱物などを対象とした地質年代を求める際の最も有力な方法の一つである。これらの手法では、ある時間 ($t=0$) 以降の試料中のすべての放射性起源 ^{40}Ar は ^{40}K の壊変により生じた、すなわち過剰 ^{40}Ar は存在しないと一般的に仮定して年代値を求める。一方、K-Ar 系や Ar-Ar 系における過剰 ^{40}Ar の存在は広く知られており、原岩の放射性起源 ^{40}Ar 、鉱物の閉止温度、変形機構や流体の挙動などと合わせて多くの原因が議論されている（例えば、Kelley, 2002; Itaya, 2020）。過剰 ^{40}Ar が多く存在すると、得られる年代値は実際の年代値とかけ離れて古くなるため、その原因を特定することは年代学を地質学に応用する上で本質的問題である。

ヒマラヤ山脈は、約 6000-5000 万年前のインド亜大陸とアジア大陸の衝突によって形成された。一般的に、ヒマラヤ変成岩類は、始新世から中新世にかけて変成作用を広域的に被っている (Hodges, 2000)。高ヒマラヤ帯は、角閃岩相上部からグラニュライト相下部の変成岩類で構成され、主中央衝上断層 (Main Central Thrust, 以下、MCT) 帯に沿って、より低変成度の低ヒマラヤ帯の上に衝上している。高ヒマラヤ帯と MCT 帯の原岩は、砂泥質と花崗岩質変成岩類から主に構成され、それらの層間には角閃岩類が一部分布する。これらの角閃岩類において、角閃石の K-Ar 法や Ar-Ar 法がこれまでに適応されているが、原生代から鮮新世までのバラバラな不一致年代を示す (95-4 Ma: Copeland et al., 1991; 12.5 Ma, Bollinger and Jantos, 2006; 204-21 Ma, Hubbard and Harrison, 1989; 819 Ma, Krummenacher et al., 1966; 695-24 Ma, Krummenacher et

al., 1978; 1492-20 Ma, Metcalf et al., 1993; 445-40 Ma, Sorkhabi et al., 1993)。始新世から鮮新世の年代値は、ヒマラヤ変成・冷却年代あるいは MCT の(再)変形運動の時期と解釈される。一方、始新世初期のインド–アジア大陸衝突より古い年代値は、過剰アルゴン年代として解釈される。しかし、これらの角閃石の過剰アルゴンの原因については議論されていない。

本研究では、東ネパールアルン川地域下流における角閃岩類を対象にして、角閃石の化学組成および K-Ar 年代を分析した結果、過剰アルゴン年代値を得た。それらの結果を報告し、岩石学的観点を踏まえて過剰アルゴン年代の原因について議論を試みる。

2. 東ネパールの地質概要

一般的に、ネパールヒマラヤにおける高ヒマラヤ帯の原岩は、新原生代の砂泥質変成岩類と古生代初期の正片麻岩類であり、低ヒマラヤ帯の古原生代の砂泥質変成岩類と古生代初期の正片麻岩類と区分される (Hodges, 2000)。ネパールにおける古原生代花崗岩類は、1.92-1.74 Ga の年代値を示す (Imayama et al., 2019)。一方、東ネパールでは、古原生代岩体は、低ヒマラヤ帯だけでなく高ヒマラヤ帯下部にも分布し、その原岩構成は複雑である (Imayama et al., 2020)。

本研究地域のアルン川地域下流では、低ヒマラヤ帯、MCT 帯と高ヒマラヤ帯変成岩類が分布する。構造的な下位から上位へ向けて逆転温度構造が知られ、変成温度条件は、MCT 帯から高ヒマラヤ帯中部にかけて、670 °C から 760-835 °C まで上昇し、変成圧力は、7-11 kbar 程度である (Imayama et al., 2020)。Corrie et al. (2010) は、アルン地域高ヒマラヤ帯の一部は、エ

Table 1 K-Ar ages of amphibole from the Main Central Thrust zone (MCTZ) and Higher Himalayan Crystalline Sequence (HHCS) in the Arun area

Sample name	Tectonic unit	Rock type	K (wt.%, 2 σ)	Rad. ⁴⁰ Ar (10 ⁻⁸ ccSTP/g, 2 σ)	Non Rad. ⁴⁰ Ar (%)	K-Ar age (Ma, 2 σ)
224-3	MCTZ	amphibolite	0.500 ± 0.010	436.1 ± 4.5	1.9	211.9 ± 4.5
225-2	MCTZ	amphibolite	0.263 ± 0.005	2953.3 ± 39.3	0.4	1726.6 ± 26.7
225-5	MCTZ	amphibolite	0.625 ± 0.013	331.5 ± 3.4	3.0	131.7 ± 2.9
225-8	MCTZ	amphibolite	0.667 ± 0.013	412.2 ± 4.2	3.1	152.6 ± 3.3
227-3A	HHCS	amphibolite	0.327 ± 0.007	999.7 ± 10.1	1.4	653.7 ± 12.3
227-4	HHCS	amphibolite	0.270 ± 0.005	302.1 ± 3.2	2.5	267.5 ± 5.6
301-2	HHCS	amphibolite	0.718 ± 0.014	227.0 ± 2.4	5.2	79.7 ± 1.8
302-1	HHCS	amphibolite	0.363 ± 0.007	653.0 ± 6.8	1.0	412.6 ± 8.3

クロゾイト相 (~670 °C and ≥ 15 kbar) まで達するとした。しかし、これらの苦鉄質岩類中にオンファス輝石は含まれず、アルン地域上流のチベット側のエクロゾイトとは大きく異なるため、本研究地域がエクロゾイト相変成作用まで達したかは不確かである (Imayama et al., 2020)。

本研究地域の高ヒマラヤ帯ミグマタイトは、流体に富む脱水溶融反応 (白雲母+石英+斜長石+水→藍晶石+メルト) や白雲母溶融反応 (白雲母+石英+斜長石→藍晶石+カリ長石+メルト) を被っている。高ヒマラヤ帯下部の変成ジルコンとモナザイト U-Pb 年代は、約 20–14 Ma の変成年代を示す。また、MCT 帯と高ヒマラヤ帯からの白雲母の K-Ar 年代値は、約 13–7 Ma の冷却年代をそれぞれ示す (Imayama et al., 2020)。

3. 岩石記載と角閃石組成

分析に用いた試料は、東ネパールの MCT 帯と高ヒマラヤ帯から採取した角閃岩 8 試料である。角閃石組成は、岡山理科大学総合機器センター設置の電子プローブアナライザー (日本電子社製 JSM-8230) により分析した (Imayama et al., 2020)。

MCT 帯の角閃岩 4 試料 (224-3, 225-2, 225-5, 225-8) は、角閃石+黒雲母+斜長石+石英から主に構成され、少量のイルメナイトを含む。角閃石は比較的細粒である。角閃石と黒雲母の伸張方向によって定義される片理面が顕著である。4 試料の角閃石組成は、主にパーガサイトから定角閃石である。ただし、試料 225-2 は、割れ目に沿って変質したチェルマーク角閃石を多く含む (Imayama et al. 2020)。

高ヒマラヤ帯の角閃岩 4 試料 (227-3A, 227-4, 301-2, 302-1) は、角閃石+斜長石+石英±ザクロ石から主に構成され、少量の緑簾石、スフェーン、黒雲母、イルメナイトを含む。角閃石は粗粒である。角閃石や斜

長石の伸張方向によって片理面は定義される。ザクロ石は、角閃石や石英を含む。角閃石の組成は、主に角閃石からチェルマーク角閃石である (Imayama et al. 2020)。

4. 角閃石の K-Ar 年代

試料を粉砕し、篩にかけて、粉末を純粋で洗浄して、60°C で乾燥させた。黒雲母や変質鉱物を溶解するために、塩酸処理をした。磁力選別をした後に、ハンドピックで角閃石粒子を分離した。カリウムとアルゴン分析は、岡山理科大学の炎光高度計と質量分析計で実施した。K-Ar 年代の結果を表 1 に示す。

MCT 帯の 4 試料からの角閃石は、1727 Ma から 131 Ma までを示す。K の含有量は、0.26-0.67 wt.% である。試料 225-2 の K の含有量が最も低く、最も年代値が高い。

高ヒマラヤ帯の 4 試料からの角閃石は、654 Ma から 80 Ma までを示す。K の含有量は、0.27-0.72 wt.% である。

5. 過剰アルゴンの原因

全ての試料の角閃石 K-Ar 年代値 (1727–80 Ma) は、インドーアジア大陸が衝突した始新世初期より著しく古い。本研究地域の正片麻岩類の原岩年代は古原生代であり、それらと調和的に分布する角閃岩の原岩もおそらく同様に古原生代であると考えられる。したがって、角閃石 K-Ar 年代値は、古原生代の原岩年代がヒマラヤ変成作用によって部分的にリセットした過剰アルゴン年代であることで説明できる。一方、本地域は角閃岩相上部からグラニュライト相下部 (670–835 °C) の変成作用を被っている (Imayama et al., 2020)。一般的な角閃石の K-Ar 系の閉止温度は約 500°C (Harrison et al., 1981) なので、これらのヒマラ

ヤ変成作用は十分に高温である。にもかかわらず、角閃石の K-Ar 年代値が完全にリセットされずに、古い年代値を保持することは注目に値する。

同地域の白雲母の K-Ar 年代値は 13–7 Ma であることから、過剰 ^{40}Ar は角閃石でより保持されやすい傾向がある。白雲母の閉止温度は約 350 °C 程度であると従来はされていたが、最近の研究では少なくとも約 500–550 °C 以上であるとされる (Itaya et al. 2011; Villa et al. 2014)。Dobson et al. (1973) の拡散係数に基づく閉止温度仮説では、K-Ar 系では白雲母より角閃石のほうがより閉鎖系になる温度が高いため、角閃石の K-Ar 系の閉止温度も、従来考えられていた温度よりかなり高温なのかもしれない。しかし、先行研究の角閃石 K-Ar/Ar-Ar 年代も原生代から鮮新世までの幅広い範囲を示すことから、ヒマラヤ角閃岩類の角閃石の不均質な K-Ar 年代分布は、単純に閉止温度が高いことだけでは説明できない。

変成岩は上昇中に変形を被っている。(超) 高压変成岩中のフェンジャイトは、上昇中の変形に伴う動的再結晶や組成変化に伴って、過剰アルゴンを放出する可能性がある (Itaya et al., 2011)。本研究試料も、角閃石が伸張して強く変形を被っている。しかし、岩石の変形の程度と過剰 K-Ar 年代分布に直接的な関連性を見出すことはできない。Wartho et al. (2009) は、コヒスタン島弧において、角閃石の過剰アルゴンは緑色片岩相の変質作用の程度と関連があったとした。K-Ar 角閃石年代が最も古い試料 225-2 が、割れ目に沿って変質したチェルマーク角閃石を多く含むことはこの仮説を見かけ上支持する。熱水流体による変質作用に伴う角閃石の組成変化によって、過剰アルゴンが放出されるとすれば、変形作用、特に脆性破壊や岩石–流体反応の理解が過剰アルゴンの原因を特定する鍵になるかもしれない。

いずれにしても何らかの理由により、ヒマラヤ角閃岩類の角閃石は過剰 ^{40}Ar を保持しやすい。今後は、全岩組成や角閃石の微量元素などを測定して、角閃石中の過剰アルゴンの実体を理解する。

引用文献

Bollinger, L. and Jantos, E., 2006, Evidence for Mio-Pliocene retrograde monazite in the Lesser Himalaya, far western Nepal. *Eur. Jour. Mineral.*, v. 18, pp. 289–297.

Copeland, P., Harrison, T. M., Hodges, K. V., Maruéjols, P., Le Fort, P., and Pêcher, A., 1991. An Early Pliocene disturbance of the Main Central Thrust, central Nepal: implications for Himalayan tectonics. *Jour. Geophys. Res.*, v. 96, pp. 8475–8500.

Corrie S. L., Kohn M. J., and Vervoort, J.D., 2010. Young eclogite from the Greater Himalayan sequence, Arun Valley, eastern Nepal: P-T-t path and tectonic implications. *Earth Planet Sci Lett* 289:406–416.

Dodson, M. H., 1973. Closure temperature in cooling geochronological and petrological systems. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 40, 259–274.

Harrison, T. M., 1981. Diffusion of ^{40}Ar in hornblende. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 78, 324–331.

Hodges, K. V., 2000. Overview: tectonics of the Himalaya and southern Tibet from two perspectives. *Geol Soc Am Bull* 112:324–350.

Hubbard, M. S., and Harrison, T. M., 1989. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age constraints on deformation and metamorphism in the main central thrust zone and Tibetan slab, eastern Nepal Himalaya. *Tectonics* 8:865–880.

Imayama T, Arita K, Fukuyama M, Yi K, and Kawabata R., 2019. 1.74 Ga crustal melting after rifting at the northern Indian margin: investigation of mylonitic orthogneisses in the Kathmandu area, central Nepal. *Int Geol Rev* 61:1207–1221.

Imayama, T., Uehara, S., Sakai, H., Yagi, K., Ikawa, C., and Yi, K., 2020. The absence of high pressure metamorphism in the inverted Barrovian metamorphic sequences of the Arun area, eastern Nepal and its tectonic implication. *Int. J. Earth Sci.* 109, 465–488.

Itaya, T., Tsujimori, T., and Liou, J.G., 2011. Evolution of the Sanbagawa and Shimanto high-pressure belts in SW Japan: Insights from K–Ar (Ar–Ar) geochronology. *J. Asian Earth Sci.*, 42, 1075–1090.

Itaya, T., 2020. K–Ar phengite geochronology of HP–UHP metamorphic rocks –An in–depth review–. *J. Mineral. Petrol. Sci.*, 115, 44–58.

Kelly, S., 2002. Excess argon in K–Ar and Ar–Ar geochronology. *Chem. Geol.*, 188, 1–22.

Krummenacher, D., 1966. Népal Central géochronométrie des series de l’Himalaya. *Bull. Schweiz Mineral Petrogr. Mitteil.*, 46, 43–54.

Krummenacher, D., Basset, A. M., Kingery, F. A., and Layne, H. F., 1978. Petrology, metamorphism and K/Ar age determinations in Eastern Nepal. In: Saklani PS (ed.) *Tectonic Geology of the Himalaya, Today and Tomorrow’s Printers and Publishers, New Delhi.*

Metcalfé, R.P., 1993. Pressure, temperature and time constraints on metamorphism across the main central thrust zone and high Himalayan slab in the Garhwal Himalaya. In: Treloar, P.J., Searle, M.P. (Eds.), *Himalayan Tectonics*, *Geol. Soci. London Spec. Pub.* 74, 485–509.

Sorkhabi, R. B., Jain, A. K., Itaya, T., Nishimura, S., Manickavasagam, Rm., and Lal, N., 1993. K/Ar cooling ages from Zaskar Himalaya: implications for the tectonics and exhumation of Higher Himalayan metamorphic complex. *Current Science*, 65(9), 687–693.

Villa I. M., Bucher, S., Bousquet, R., Kleinhans, I. C., Schmid, S. M., 2014. Dating polygenetic metamorphic assemblages along a transect across the western Alps. *J Petrol* 55:803–830.

Wartho, J.-A., Rex, D.D., and Guise, P.G., 1996. Excess argon in amphiboles linked to greenschist facies alteration in Kamila amphibolite belt, Kohistan Island arc system,

northern Pakistan: insights from $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ step-heating and acid leaching experiments. *Geol. Mag.* 133, 595– 609.

モンゴル国ゴビ砂漠の上部白亜系より産した恐竜類、カメ類および条鰭類化石に関する分類学的検討

高橋亮雄・久保風人・齋藤北斗・島田将徳・Purevsren Byambaa^{*}
Igor G. Danilov^{**}・Buuvei Mainbayar^{*}・實吉玄貴・石垣忍^{***}
Khishigjav Tsogtbaatar^{*}

岡山理科大学生物地球学部

^{*}モンゴル科学アカデミー古生物学研究所

^{**}ロシア科学アカデミー動物学研究所

^{***}岡山理科大学古生物学・年代学研究センター

はじめに

モンゴルのゴビ砂漠一帯に分布する上部白亜系は、多様な淡水生および陸生脊椎動物を豊富に産することによく知られている。こうした化石を対象とした古生物学的研究は、当時の東アジア内陸部の陸生生物相や陸上生態系の理解の推進に大きく貢献してきた（たとえば、Benton et al., 2000）。しかしながら、従来の研究は、恐竜類など一般に注目度の高い系統の化石のなかでも、とりわけ保存の良い標本を対象としたものが多かったためか、種内変異や分布に関する評価が適切に行われておらず、問題を残してきた。こうした背景のもと、ネメグト層およびバインシレ層産の脊椎動物化石を対象として、破片として産したのものも含め分類学的検討を行ったところ、予察的なものではあるが、いくつかの新知見が得られた。本報告では、これまでの研究で得られた新知見の一部について簡潔に紹介する。

研究材料と方法

本研究では、ネメグト層から産したモンゴロケリス（カメ下綱）の頭蓋2点およびバインシレ層から産した歯と指骨からなる獣脚類（恐竜上目）化石8点と条鰭類（硬骨魚綱）化石62点を対象として、各群の分類学的帰属について検討を進めた（図1）。これらのうち、モンゴロケリスの化石は1993～1994年にブギンツァフでモンゴル科学アカデミー古生物学センター（MPC）と林原自然科学博物館（HMNS）による共同発掘調査で、そのほかのものは2019年にバインシレでモンゴル科学アカデミー古生物学地質学研究所（IPG）による共同発掘調査で発見されたもので、モンゴル科学アカデミー古生物学研究所（IP）より借用し研究を進めた。全ての標本は現在、モンゴル科学アカデミー古生物学研究所に返却・収

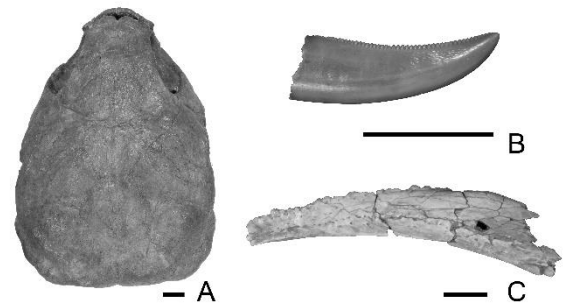


図1. 本研究で検討を行ったカメ類、獣脚類、条鰭類の化石のうち、代表的な標本の写真（A～C）。A：ブギンツァフ産のモンゴロケリスの頭蓋化石（背側観；MPC 25/105）、B：バインシレ層産の獣脚類の歯化石（唇側観；IPG-OUS 1908-178）、バインシレ層産の条鰭類の左歯骨化石（頬側観；IPG-OUS 1908-187）。スケールバーは1 cmを表す。

蔵されている。比較は岡山理科大学恐竜学博物館に収蔵されている同種もしくは近縁種のレプリカと文献情報を用いて行われた。

結果と考察

モンゴロケリスはKhosatzky (1997) により新種記載された *Mongolochelys efremovi* 1種で構成される基盤的な陸生のカメ類の一属で、最近の系統解析の結果から、シチュアンケリス科に含まれている（Joyce et al., 2016）。本種の化石はこれまでにネメグト層が分布する11地点（Nemegt [Type locality]、Bugin Tsav、Bugin Tsav II、Gurilin Tsav、East of Gurilin Tsav、Khermeen Tsav、Altan Ula II、Altan Ula III、Tsagan Khushu、Tsagan Khushu North、Ulan Khushu）

より報告されているが、模式標本（ネメグト産）についての詳細な記載はなされておらず、またそのほかの産地の標本についても分類学的な検討はほとんど行われていない（Khosatzky, 1997 ; Sukhanov, 2000 ; Suzuki and Chinzorig, 2010 ; Joyce et al., 2016）。そこで今回、ブギンツァフより産したモンゴロケリスの頭蓋2点（MPC 25/105およびMPC 25/110）を、過去に出版された論文の図（Khosatzky, 1997 : Fig.1 ; Suzuki and Chinzorig, 2010 : Figure 1 ; Sukhanov, 2000 : Figure 17.28）と比較し、比較を試みた。その結果、ブギンツァフ産の標本は少なくともネメグト産とサガンウラ産の標本とは、頭蓋が低く、上顎骨が方形頬骨と接し、さらに鱗状骨の後縁が直線状を呈すほか、頭蓋背側中央の鱗板が正六角形に近い点で明瞭に異なることが明らかとなった。これらの結果は、モンゴロケリス属がネメグト層堆積期において地理的に分化した複数の集団を形成してことを示唆している。今後、本属化石の産地ごとの網羅的な形態比較が強く望まれる。

バインシレ産の獣脚恐竜の部分化石については、バインシレ層より知られる7種を中心に文献情報（Chinzorig et al., 2018 ; Hendrickx et al., 2020など）をもとに比較を行い、当時の獣脚類相の多様性の把握を試みた。その結果、バインシレ層から知られる既知の獣脚類に加え、*Velociraptor mongoliensis*によく似たヴェロキラプトル亜科の歯化石1点が新たに確認できた。*V. mongoliensis*はこれまでジャドフタ層およびこれとほぼ同時代の東アジアに分布する地層からいくつか知られるのみであったが、今回の結果は、追加標本を加えたさらなる詳細な検討が強く求められるものの、本種ないしその近縁種が後期白亜紀の初期に東ゴビにすでに分布していたことを示唆している。

バインシレ産の条鰭類化石は、ほとんどすべてが遊離した状態のもので、保存の良い歯骨2点、前頭頂骨1点、主鰓蓋骨2点のほか、多くのガノイド鱗と椎骨からなる59点が確認された。これらのうち、とくに分類に有用な形質を伴う歯骨、前鰓蓋骨、ガノイド鱗に着目したところ、条鰭類化石のなかにアミア目の化石が含まれていることが明らかとなった。そこで、アミア目の形態分類に関する文献（Grande and Benis, 1998 ; Yabumoto, 2016 ; Tong et al., 2019など）を参照し、分類学的位置づけについて検討した。その結果、バインシレ産のアミア目化石はシナミア科に帰属し、さらに中国の上部ジュラ系から下部白亜系から知られるシナミア属*Sinamia*（Marín-Abad and Poyato-Ariza, 2013）と多くの類似性を持つことが示された。今回の研究では、種レベ

ルの位置づけに関する手掛かりは得られなかったものの、バインシレ産のアミア目の化石はシナミア属がモンゴルの白亜紀後期の初めまでの生き残っていたことを示唆している。今後、バインシレ層分布域からのアミア類化石の発見と比較形態学的研究の推進が強く望まれる。

引用文献

- Benton M. J., Shishkin M. A., Unwin D. M., and Kurochkin E. N. (2000) The age of Dinosaurs in Russia and Mongolia. Cambridge University Press. 696pp.
- Chinzorig T., Kobayashi Y., Tsogtbaatar K., Currie P. J., Takasaki R., Tanaka T., Iijima M., and Barsbold R. (2018) Ornithomimosaur from the Nemegt Formation of Mongolia: manus morphological variation and diversity. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 494: 91–100.
- Grande L. and Bemis W. E. (1998) A comprehensive phylogenetic study of Amiid fishes (Amiidae) based on comparative skeletal anatomy. An empirical search for interconnected patterns of natural history. *Journal of Vertebrate Paleontology* 18(sup. 1): 1–696.
- Hendrickx C., Tschopp E., and Ezcurra M. D. (2020) Taxonomic identification of isolated theropod teeth: The case of the shed tooth crown associated with *Aerosteon* (Theropoda: Megaraptora) and the dentition of Abelisauridae. *Cretaceous Research* 108: 104312.
- Joyce W. G., Rabi M., Clark J. M., and Xu X. (2016) A toothed turtle from the Late Jurassic of China and the global biogeographic history of turtles. *BMC Evolutionary Biology* 16: 236.
- Khosatzky L. I. (1997) Big turtle of the Late Cretaceous of Mongolia. *Russian Journal of Herpetology*, 4: 148–154.
- Marín-Abad H. and Poyato-Ariza F. J. (2013) Historical patterns of distribution in Pycnodontiform and Amiiform fishes in the context of moving plates. *Geologica Belgica* 16: 217–226.
- Sukhanov V. B. (2000) Mesozoic turtles of middle and central Asia. In: Benton M. J., Shishkin M. A., Unwin D. M., and Kurochkin E. N. (eds.), pp.309–367, *The age of Dinosaurs in Russia and Mongolia*. Cambridge University Press.
- Suzuki S. and Chinzorig T. (2010) A catalog of *Mongolochelys* collected by the HMNS-MPC Joint Paleontological Expedition. *Hayashibara Museum of Natural Sciences research Bulletin* 3: 119–131.
- Tong H., Buffetaut E., Suteethorn V., Suteethorn S., Cuny G., Cavin L., Deesri U., Martin J. E., Wongko K., Naksri W., and Claude J. (2019) Phu Din Daeng, a new Early Creta-

ceous vertebrate locality on the Khorat Plateau, NE Thailand. *Annales de Paléontologie* 105: 223–237.

Yabumoto Y. (2017) A revision of the Amiiform fish genus *Sinamia* with phylogeny of Sinamiidae. *Paleontological Research* 21: 76–92.

宝伝海岸における岡山県南部山陽帯花崗岩 I 型／II 型の露頭について

能美洋介・榎丸優香

岡山県南部の山陽帯花崗岩類は濡木他（1979）、濡木（1987）により、構成鉱物と化学組成から I から IV 型、および細粒花崗岩として区分されている。しかし、これらの花崗岩の貫入関係が直接観察された例はなく、前後関係は不明とされていた。しかし、榎丸ら（2021）の研究で、岡山市南東部の宝伝海岸において、I 型と II 型の境界の可能性が高い露頭が見いだされた。

濡木他（1979）によれば、岡山南部 I 型花崗岩は黒雲母花崗岩、II 型は黒雲母角閃石花崗岩で、いずれもアダメロ岩質な岩相を示す。宝伝海岸付近では、西側の久々井港より西に見られる花崗岩に角閃石が見いだせず、I 型が分布していると考えられる。一方、宝伝海岸露頭の東側の宝伝港より東に見られる花崗岩は、有色鉱物の多くは黒雲母であるが、それに混じって最大長2mm前後の角閃石の自形結晶が認められ、さらに正長石が集斑状を呈するものが多いことから、II 型と判断できた。したがって、久々井港と宝伝港の間の宝伝海岸に I 型／II 型の境界があると想定された。

宝伝海岸に露出している岩石は、長石を斑晶とした花崗斑岩を主体とする岩体である。部分的に花崗斑岩中に角閃石を含む花崗岩を取り囲んでいる。花崗斑岩の岩体を西から東に追っていくと、取り込まれた花崗岩の分量が徐々に増し、やがて角閃石黒雲母花崗岩中に花崗斑岩がMMEとして取り込んでいるように漸移的な岩相変化を示していた。さらに取り込まれた花崗岩中に再加熱により発泡したとみられる小ペグマタイトが見られた。これらの観察から、この花崗斑岩は、まだ固結しきっていないII型花崗岩中に貫入したものと判断される。この花崗斑岩とI型花崗岩の関係は明らかではないが、薄片観察から有色鉱物は黒雲母のみが観察されることから、現時点ではI型花崗岩に関連したものと推測している。すなわち、花崗斑岩は温度低下したII型花崗岩中に貫入してできたI型花崗岩の周辺冷却相であると解釈した。この解釈を作業仮説として、現在全岩化学分析を進めている。



花崗斑岩に取り囲まれた黒雲母角閃石花崗岩

文献

- 濡木輝一・浅見正雄・光野千春（1979）岡山県中・南部の花崗岩類. 地質学論集, 17, pp. 35-46.
濡木輝一（1987）第3章白亜紀～古第三紀の火成岩類（5）岡山県中～南部. 猪木他編 日本の地質7中国地方, pp. 83-84, 共立出版.
榎丸優香・能美洋介・土屋裕太（2021）岡山県東南部の I 型, II 型花崗岩の貫入関係-宝伝海岸露頭について-. 日本地質学会第128年学術大会（名古屋・オンライン）

ワニ類のハイウォークにおける膝関節ロック機構と後肢内協調による立脚姿勢維持のメカニズム

—筋骨格系の形態と機能に基づく恐竜類の自然な歩行の復元をめざして—

伊東和輝^{*1}，檜田紗耶香^{*2}，出射潤也^{*3}，衣笠哲也^{*3}

奥田ゆう^{*4}，千葉謙太郎^{*5}，大須賀公一^{*1}

*1大阪大学大学院工学研究科機械工学専攻

*2岡山理科大学大学院工学研究科機械システム工学専攻

*3岡山理科大学工学部機械システム工学科

*4岡山理科大学恐竜学博物館

*5岡山理科大学生物地球学科生物地球学部

1. 諸言

恐竜類の四肢を構成する筋骨格系に基づいて歩行を復元する試みが行われている。例えば、*Argentinosaurus huinculensis*の四肢の代表的な筋肉を復元した筋骨格モデルに対し機械学習により代謝コストが最小になるよう神経振動子の発火タイミングを最適化して歩行を再現したSellersらの研究¹⁾や、*Coelophysis*の後肢の筋肉を詳細に再現し、筋肉や骨格の強度に基づき地面反力が最大となるように筋力を最適化することで筋肉の役割を明らかにしたBishopらの研究²⁾などがある。脊椎動物の身体は多くの骨や筋肉などから成る超多自由度系であるため、筋骨格系の各要素を再構成しロコモーションを再現することは挑戦的な課題である。従来研究では筋活動を最適化問題として再現しているが、歩容が不自然であったり筋活動のみに注目し歩行を再現するものではない。

一方、馬など蹄行性哺乳類の多くの肢は、筋肉や腱の巧みな配置によって地面反力を受けると関節を受動的に拘束させ、平行リンクを構成することで関節だけでなく筋肉の自由度を大幅に低減する仕組み(Reciprocal apparatus)や地面反力によって関節をロックする仕組み(Stay apparatus)をもつ³⁾。このような骨格や筋肉、腱によって生み出される機械的な連動は筋骨格系がもつ歩行軌道を生成するための本質的な機能である。恐竜類の筋骨格系において、馬のように完成された連動メカニズムの存在可能性は低い、部分的には機械的な連動が可能であったと考えるのが自然である。このような骨格や筋肉、腱などが持つ力学的な作用を明らかにすることは恐竜類の自然な歩行の復元につながる。しかしながら、恐竜類の筋肉や腱などの軟組織の多くは失われているため、筋骨格系としてどのような相互作用を伴うのか観察に基づいて理解することは困難である。

そこで本研究の目的は、筋骨格系の形態と機能に基づく恐竜類の自然な歩行の復元の足がかりとして、現生する恐竜類の近縁種であるワニ類を解剖し、ワニ類のハイウォークが筋骨格系の各要素の力学的な相互作用に基づいてどのように実現するのかを明らかにすることである。本稿では、解剖により明らかとなったワニ類のハイウォーク時における後肢の膝関節ロック機構と後肢内協調により立脚姿勢を維持する仕組みを明らかにするとともに、物理モデルをもちいてその運動を再現したことについて報告する。

2. イリエワニ後肢の解剖と後肢内協調メカニズム

ワニ類の筋肉の配置や機能に関する解剖学的知見はいくつか報告^{4,5)}されているが、各筋肉が骨格を伴って地面と相互作用することでどのような力学的な機能を生み出すかは十分に知られていない。ワニ類の後肢筋骨格系が機械的に連動することで自動的に歩行軌道を生成可能かどうか明らかにするためには、筋骨格系の力学的作用を考慮した解剖学的知見を得る必要がある。そこで、イリエワニ(メス、体長2.775[m]、体重106.3[kg])を解剖し、力の作用点である筋肉や靭帯の起始停止位置を詳細に観察するとともに、各筋肉や腱に張力を与えることで脚姿勢がどのように変化するかを確認した。

まず、ワニ類の後肢筋骨格系が接地した状態で長尾大腿筋を収縮させると複数の関節が受動的に拘束されることによって立脚姿勢が維持されるメカニズムについて説明する。図1Aに立脚姿勢維持の機能に関わる主

要な骨格と筋肉、腱の配置、図2に筋肉や腱に作用する張力と各関節に作用する力のモーメントを示す。本研究では受動的後肢内協調を考察するために、長尾大腿筋(CFL)を除く筋肉と腱は自然長(伸びた状態)を維持し、バネダンパのような受動要素として動作するものと仮定する。CFLの腱(CFLT)は主要な停止位置である第4趾の手前で分岐し、腓腹筋(GE)の起始位置である大腿骨遠位端外側頭の付近でこれとY字を成すように結合する(図1B)。つまり、CFLTは大腿骨遠位端外側頭へ補助的に停止すると捉えることもできる。一方、GEは踵骨隆起上部を經由して浅短趾屈筋腱膜に停止する。CFLが収縮すると第4趾を後方に向かわせる張力を発生し股関節を伸展させる。これと同時に、分岐したCFLTに沿ってY字分岐点上斜め後方の張力を発生させる(図2中央緑矢印)。このとき、足部が路面に接し体重を支持すると背屈し、GEに受動的な張力が発生するため、Y字分岐点にはGEに沿った下斜め後方の張力も発生する(紫矢印)。この2つの張力が同時に発生することによってGEの起始である大腿骨遠位端外側頭が後方に引っ張られ(黄土矢印)、膝が伸展する方向へのモーメントが作用することでロックされる。これがハイウォーク時の立脚姿勢維持に寄与しているものと考えられる。つまり、CFLを収縮させると膝が伸展姿勢でロックされ(立脚姿勢を維持し)、同時に股関節が伸展することで推進力が発生することになる。

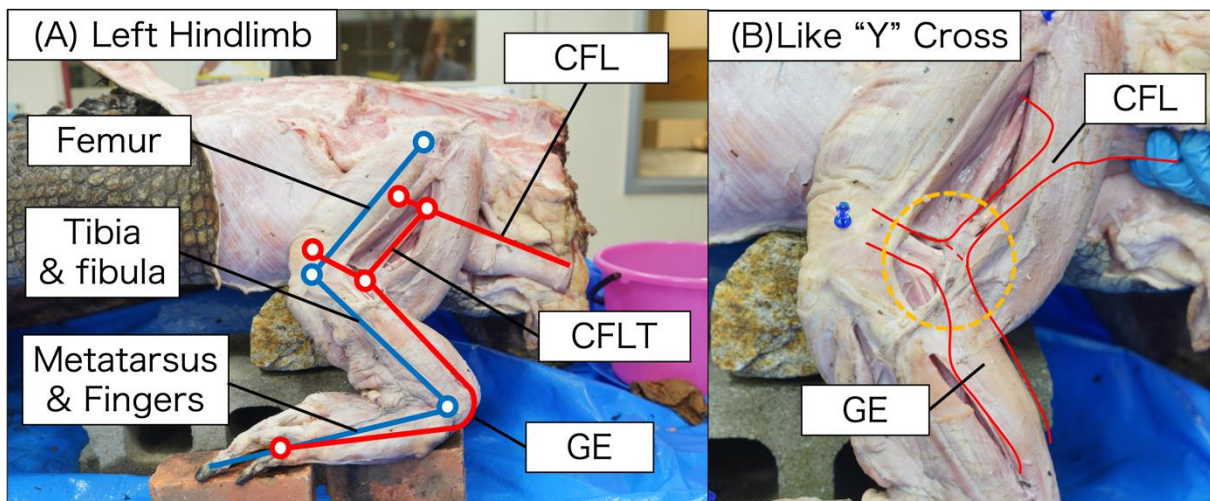


図1 後肢内協調に関わる主要な筋骨格系の構成要素と、長尾大腿筋と腓腹筋外側頭のY字交点
 CFL: 長尾大腿筋(Caudofemoralis longus), CFLT: 長尾大腿筋から分岐した腱(Caudofemoralis longus tendon),
 GE: 腓腹筋外側頭(Gastrocnemius externus)

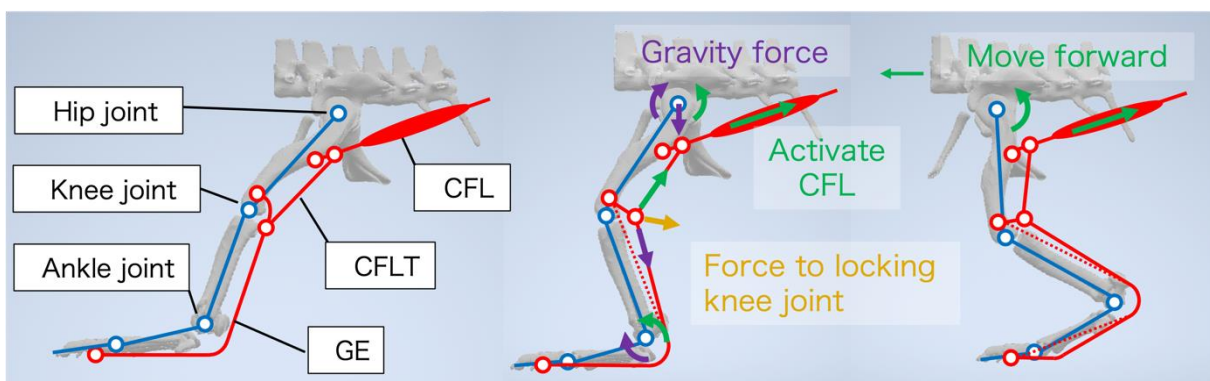


図2 膝関節ロック機構と関節内協調による立脚姿勢維持のメカニズム

3. 物理モデルによるワニ類の後肢筋骨格系がもつ立脚姿勢維持メカニズムの再現

イリエワニの解剖によって示唆されたハイウォーク時の後肢立脚姿勢維持メカニズムが実現可能かを検証するために、後肢筋骨格系の物理モデル(ロボット)を作成した(図3A)。ロボットの骨格は解剖を行なったイ

リエワニをCTスキャンすることで取得した3次元骨格データを用いている。また、各筋肉や腱は、高耐荷重かつ耐摩擦性に優れたナイロンロープ（直径3 mm）で再現し、CFLの収縮力はサーボモータ(DSSERVO RDS5160)によってロープを尻尾側に引くことで実現した。各要素(図3B)の長さを表1に示す。CFLから分岐した腱とGE起始までの長さは下腿を一直線に伸ばすことができる最短の長さに調整した。ワニ類後肢の膝および足関節は内外転や長軸回転の自由度を持つが、ハイウォークの姿勢に限定するために全ての関節は矢状面内における回転の1自由度に拘束している。各関節とサーボモータの可動域を図3Cに示す。また、右後肢における立脚動作を検証するため、転倒を防ぐ直動ガイド機構により鉛直方向のみの移動に拘束している。ロボットの総質量は鉛直方向へ拘束するガイドを除いて1.9 kgとなった。

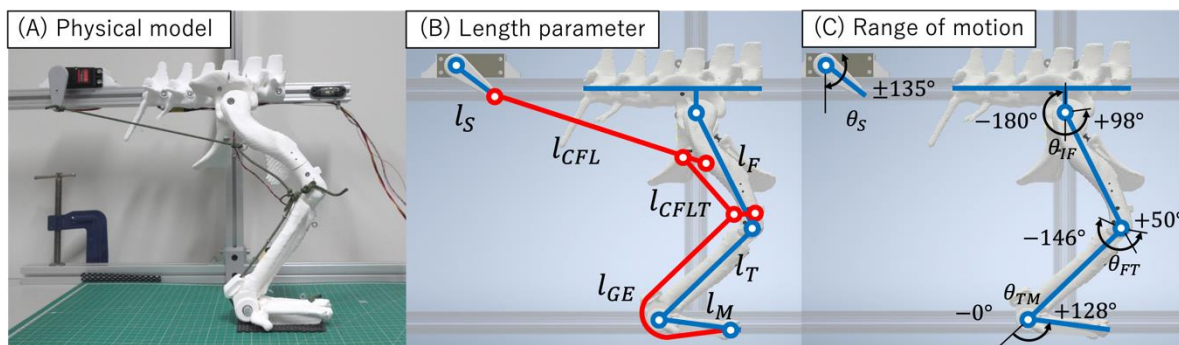


図3 物理モデルとリンクモデル，各関節可の動域

表1 物理モデルの各要素の長さ

Parts	Femur	Tibia & Fibula	Metatarsus	CFL	CFLT	GE	Servo arm
	l_F	l_T	l_M	l_{CFL}	l_{CFLT}	l_{GE}	l_S
Length [m]	0.155	0.151	0.106	0.300	0.010	0.310	0.050

CFLの収縮によって立脚姿勢を維持することができるかこのロボットを用いて検証した。図4は、CFLの張力の有無に対する姿勢の変化を比較したものである。CFLの収縮前は股関節と膝関節が屈曲し仙骨が下がっている状態であるが、収縮によって股関節と膝関節が伸展することで仙骨が上昇するとともに立脚姿勢へ移行し、その状態を維持していることがわかる。この時、体重計は1.920 kgfとなったことから自重を支持することができる。

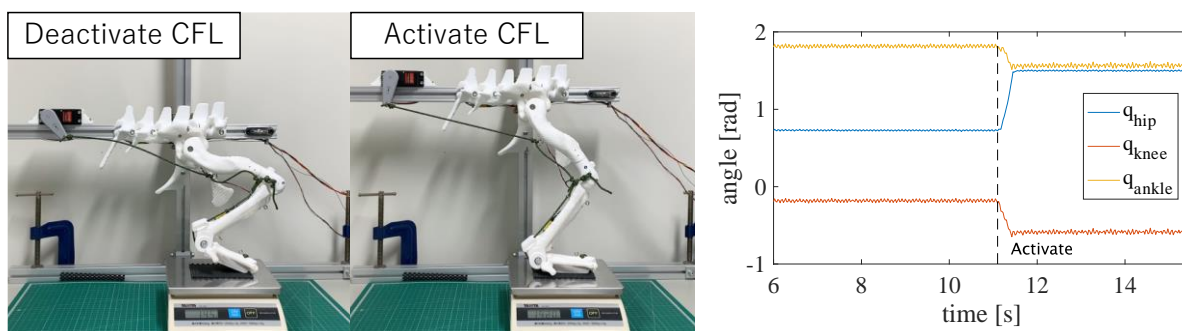


図4 サーボモータによるCFLの収縮再現と骨格姿勢の変化

さらに、図5は立脚姿勢を維持しながら、CFLを収縮を連続的に強めたときの骨格姿勢の変化を示したものである。CFLを収縮させるだけで3つの関節を拘束しながら膝関節が座屈することなく立脚姿勢を維持できていることがわかる。

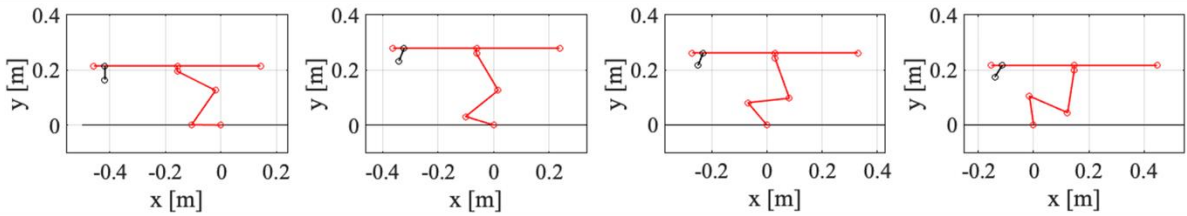
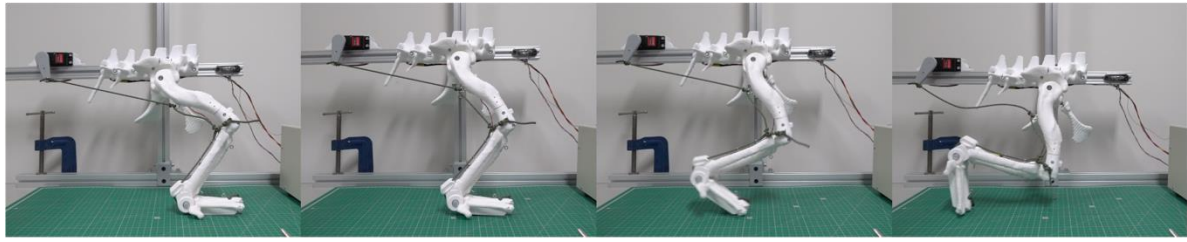


図5 立脚姿勢を維持した状態で肢全体を屈曲させる様子

4. 結言

本報告では、筋骨格系の形態と機能に基づいて恐竜類の自然な歩行を復元する足がかりとして、恐竜類の近縁種であるワニ類の後肢筋骨格系が機械的に連動することで自動的に歩行軌道を生成する機能を有するかを解剖により調査した。その結果、ワニ類は筋骨格系と地面との相互作用により実現される後肢の膝関節ロック機構と後肢内協調によりハイウォーク時の立脚姿勢を維持する機能をもつことが示唆された。さらに、ワニ類後肢の筋骨格系を構成論的に再現したロボットを作成し、示唆された立脚姿勢維持のメカニズムが実現可能であることを示した。

参考文献

- 1) Sellers WI, et al.: March of the Titans: The Locomotor Capabilities of Sauropod Dinosaurs. PLOS ONE 8(10): e78733.
- 2) Bishop, P., et al.: How to build a dinosaur: Musculoskeletal modelling and simulation of locomotor biomechanics in extinct animals, Paleobiology, 47(1), 1-38.
- 3) Hildebrand, Milton: The Mechanics of Horse Legs, American Scientist, vol. 75 (1987) no. 6, pp. 594–601.
- 4) Vivian Allen, et al.: Comparative architectural properties of limb muscles in Crocodylidae and Alligatoridae and their relevance to divergent use of asymmetrical gaits in extant Crocodylia, Journal of Anatomy, Vol.227, No.6 (2015), pp. 790–790.
- 5) 鈴木大輔, 他: ワニの筋学-古脊椎動物学者に必要な解剖- : (III). 腰帯・後肢, 化石, Vol.90 (2011), pp. 37–60.

円筒モデルで近似した貫入マグマの冷却過程

—Excelによる差分法—

兵藤 博信*・澤田 順弘**

*岡山理科大学フロンティア理工学研究所

**島根大学名誉教授

要約

差分法でマグマ貫入後の冷却過程を単純な熱伝導のみを仮定して計算した。マグマの貫入は固結の際に潜熱を放出する複雑な過程である。一方、熱伝導は非常にゆっくりとした過程であるため短時間の変化は結果的に大きな影響を受けない。得られた結果は直径約200mの円柱状の貫入で近似した場合中心部の温度は20数年程度までリキダスの上であり、中心部が溶けた状態のままであることを示す。

円柱状モデル

通常無限遠円筒の熱拡散方程式は二次元で表されるので

$$\frac{1}{\kappa} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}$$

であるが、円柱座標で表すと解に方位角依存性はないので半径 r のみの式で表現でき

$$\frac{1}{\kappa} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right)$$

と書きかえることができる。ここで κ は熱伝導率、 T は温度をあらわす。これにExcelを使った差分法を用いて計算した。

火山噴出口の上部は逆円錐状であるが周囲の岩体に及ぼす最低限の熱的影響を見積もる目的では火口の大きさを最小径とする円柱に近似することができる。火口より広い上部はさらに大きな熱容量を持つため実際の冷却過程の間はより長くなるからである。モデルでは無限遠の円柱であるが熱伝導は非常にゆっくりとした過程なので有限の大きさであっても周りからの冷却の速度は、ある程度の高さ（半径と同等）があれば中心付近では無視できる程度である。

表1に計算に用いた物性定数を示す。マグマは温度の高い玄武岩質を仮定した。1図に半径100 mの溶岩が噴出し、それ以後のマグマの供給がない場合の冷却過程を火口中心からの距離を横軸にした温度分布を示す。100 m程度で中心部の温度は20年程度貫入時の温度に保たれる。実際の噴出過程では、溶岩のが追加的噴出や固化する時の潜熱放出は温度を高く保つ方向に働く。一方周りの岩石の地下水分布等は溶けた状態を短くする方に働く、しかし実質的な流体の体積はそれを含む岩石の数%程度であり、また溶岩は最初に貫入した段階で、周囲の地下水をかなり強く気化・蒸発させるため水中のような流体の供給が連続しない

限り冷却にはあまり寄与しない。溶岩内部の冷却過程をみるのに潜熱の影響を考慮する必要がある。それには結晶化を伴うソリダスーリキダスの温度範囲の複雑な放熱過程をモデル化しなければならない。ここでは最低限の冷却過程をモデル化するため潜熱の放出は無視した。

表1 玄武岩質マグマの冷却過程に用いた物理定数

円柱の半径	d	100 m
貫入温度	T _{int}	1150 °C
母岩温度	T _{amb}	20 °C
密度	ρ	2600 kg/m ³
比熱	c	1090 J/kg
熱伝導率	κ	2.243 W/m/K
潜熱*1	L	0 J/kg
熱拡散率	α=κ/ρc	7.91×10 ⁻⁷ m ² /sec
時間ステップ	Δt	15 day
空間ステップ	Δr	2 m
無次元量	αΔt/(Δr) ²	0.260

*1 最低限の温度上昇を見積もるため溶岩の潜熱による温度上昇を無視する

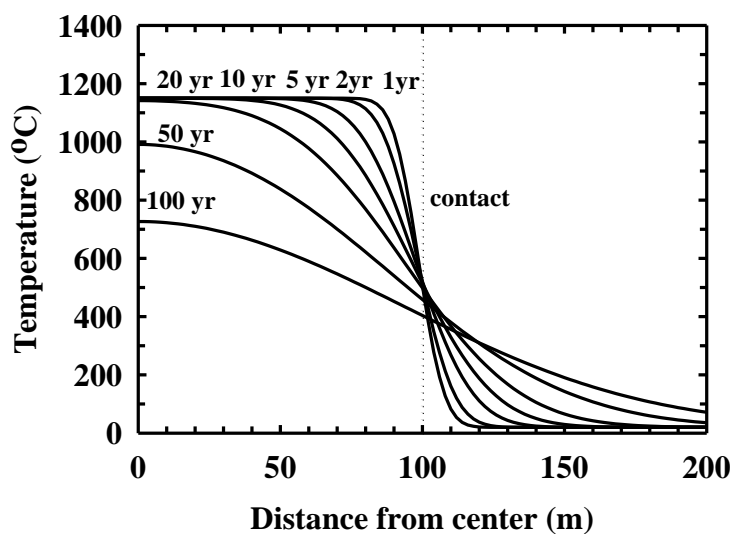


図1 半径100 m の円筒状の玄武岩質溶岩の冷却過程.

まとめ

数か月程度の噴火による溶岩主要部の冷却は熱伝導の時定数が長いために円筒状モデルで十分近似できる。今回は100mで計算を行ったが、時間は円柱の半径の二乗に比例して長くなる。半径が2倍になれば時間は4倍になると言った具合である。また玄武岩質マグマの1150°Cを仮定したが、接触部から数 m の範囲の上昇温度がちょうど古地磁気のキュリー温度にかかる前後であるため、古地磁気のコンタクトテストの判別に用いることができる。

ピナコサウルスから考察する鎧竜類における歯の交換様式

林 昭次*・石井紗智*

*岡山理科大学生物地球学部生物地球学科

鎧竜類は現生トカゲ類のような単純な咀嚼様式であったと考えられていたが、歯のマイクロウェア解析によって、従来考えられていたよりも複雑な顎運動をしていたことが明らかになってきた。一方、歯の機能歯と交換歯の入れ替わり方に着目することでも、恐竜類の咀嚼様式について新知見を得ることができる可能性がある。そこで本年度では歯の交換様式に注目し、鎧竜類の咀嚼様式について検討する研究を行った。

本研究ではモンゴル国白亜紀後期ジャドフタ層から産出した *Pinacosaurus grangeri* の頭骨(図1)を工業用マイクロX線CT撮影で撮影し、得られた断層画像をもとに機能歯及び交換歯を立体構築することで歯の交換様式について観察した。観察の結果、顎の中に舌側部から頬側部にかけて交換歯・機能歯・吸収された機能歯の3世代の歯列を識別でき、鎧竜類の歯は平行方向に歯が交換されることが明らかになった。交換歯は機能歯の舌側面に隣接して萌出し、機能歯の長軸に対して平行に成長していた。機能歯は舌側面から吸収が起こり、吸収された古い機能歯列の一部は頬側部に保存されていた。

本結果は、基盤装盾類やワニ類で報告されている交換歯が機能歯の歯髓腔内で成長する垂直方向の交換様式とは異なる。従って、装盾類の系統進化に伴い鎧竜類の歯は平行交換へと変化した可能性が高く、先行研究のマイクロウェア解析による複雑化した顎運動の結果を踏まえると、鎧竜類は装盾類の中でより複雑な咀嚼様式を持っていた可能性が考えられる。

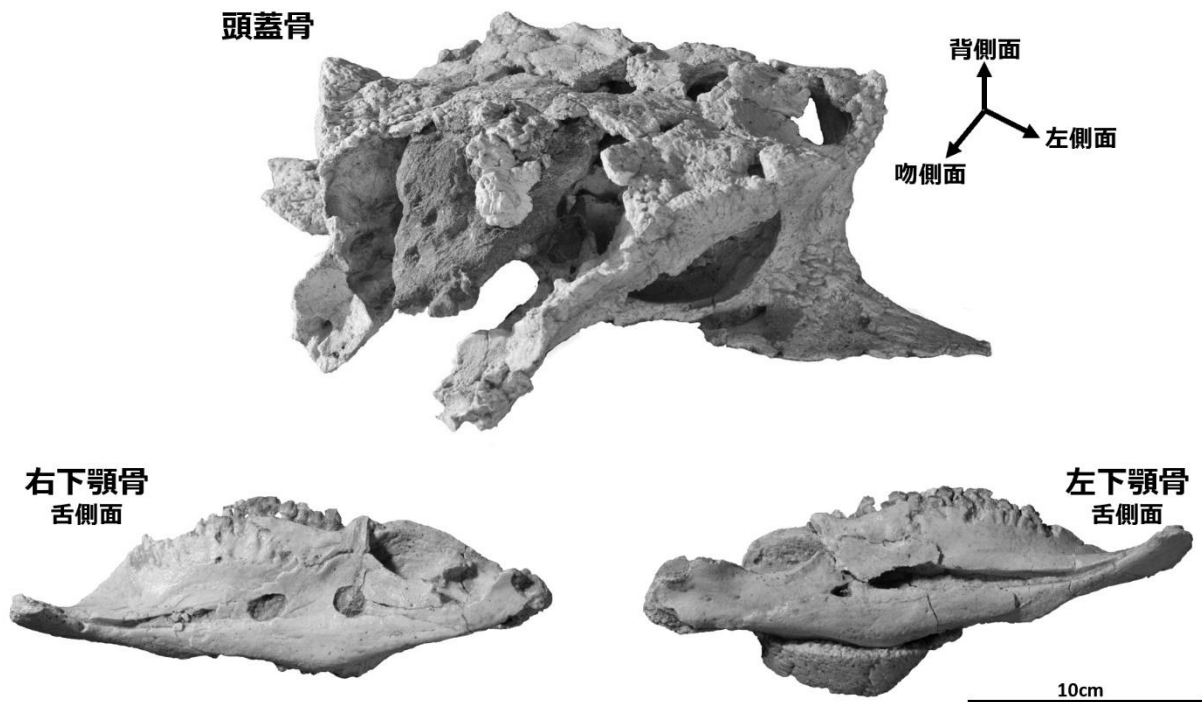


図1. 本研究で使用した *Pinacosaurus grangeri* の頭蓋標本(MPC98-16-13)

備讃瀬戸産ゾウ類化石中の残存タンパク質の検討

稲葉 勇人・千葉 謙太郎^{*}・實吉 玄貴^{*}・辻極 秀次^{**}

岡山理科大学大学院生物地球科学研究科修士課程生物地球科学専攻

^{*}岡山理科大学生物地球学部生物地球学科

^{**}岡山理科大学理学部臨床生命科学科

1. 諸言

分子生物学の発展により、それまでの形質情報に基づく系統樹が再構成され、新たな知見が得られてきた (e. g. 1). 近年、絶滅生物においても、化石中に残存するDNAの塩基配列やタンパク質のアミノ酸配列による分子系統解析が試みられており、DNAよりも保存されやすいとされるタンパク質は、様々な堆積環境や幅広い年代の化石の分子系統解析に用いられている (2).

日本で産出した第四紀のゾウ類化石に関しても、分子レベルでの進化を明らかにすることを目指した生化学的な研究が行われてきた (e. g. 3; 4). 先行研究では、電子顕微鏡や特殊染色による観察、アミノ酸組成の分析から、コラーゲンの存在が示唆された (4) が、現在までアミノ酸配列の解読には至っていない。そこで本研究は、タンパク質をバンドとして検出する電気泳動によって、備讃瀬戸産ゾウ類化石中のタンパク質の残存を検討した上で、現在広く用いられる質量分析法によって、アミノ酸配列の解読を試みた。

2. 試料と方法

倉敷市立自然史博物館所蔵のゾウ類化石の肋骨、尺骨、象牙を実験に用いた。これら化石試料は瀬戸内海に位置する備讃瀬戸地域海底から産出したものであり、瀬戸内海他地域から産出したナウマンゾウ化石には約2万4000年前のものとしてされている化石が含まれる (5)。また、実験室由来の試料汚染などを確認するためのコントロールは、試料を含まずに化石試料と同様の処理を行った。

凍結破砕によって粉末化した試料を塩酸にて脱灰し、脱灰不溶性残渣からタンパク質を可溶化した。上清を、精製して2倍に濃縮した後、電気泳動によって展開し、銀染色でタンパク質のバンドを検出した。化石試料で特異的に検出されたバンドは、ゲルから切り出してゲル内消化を行い、質量分析を行った。質量分析によって得られたスペクトルデータは、Mascot serverを用いたデータベース (Swiss-Prot) 検索による生物種とタンパク質の種類の同定、PEAKSを用いたde novo解析に

よるアミノ酸配列の解読をそれぞれ行った。

3. 結果

3-1 電気泳動

尺骨化石の上清では、コントロールと異なる37 kDa以上の濃いスメア状のバンドと、約25kDaと20kDaの濃いバンドが確認された。37 kDa以下の複数の濃いバンドは、コントロールでも検出された。肋骨化石の上清は、2倍、5倍、10倍で濃縮して分析した。この結果、上記の尺骨化石と同様、37 kDa以上の濃いスメア状のバンドと、約25kDaと20kDaの濃いバンドが確認された。また、濃縮率が高い試料ほど、全体的に濃いバンドを示した。このため、10倍濃縮した試料で確認された約25kDaと20kDaの濃いバンドを切り出し、質量分析を行った。象牙化石の上清では、全てコントロールと同じバンドが検出された。

3-2 質量分析

10倍濃縮した肋骨化石の上清から得られた約25kDaと20kDaのバンドは質量分析が行われた。データベース検索の結果、それぞれのバンドの生物種は*Mammut americanum* に同定された。しかし、タンパク質については、約25kDaのバンドがI型コラーゲンのa1鎖に同定され、同定の確からしさを示すスコアは299であった。一方、約20kDaのバンドはI型コラーゲンのa2鎖に同定され、スコアは231であった。de novo解析の結果、それぞれのバンドはデータベース検索で同定されたアミノ酸配列の2%が解読された。さらに、de novo解析で解読されたが、データベースには該当しない多くの不明な断片的なアミノ酸配列も確認された。

4. 考察とまとめ

電気泳動によって化石試料に特異的なタンパク質のバンドが検出され、質量分析ではゾウ類のI型コラーゲンが同定された。このことから、備讃瀬戸地域から産出したゾウ類化石にはコラーゲンが残存しており、抽出が可能であることが示された。しかし、質量分析に用いられた2本のタンパク質バンドの分子量は、I型コ

ラーゲンに特徴的なバンドの分子量(6;7)と異なり、低分子量であった。これら2本のバンドは、試料を処理する過程でI型コラーゲンがより断片化されて低分子量に変化した可能性がある(e.g. 8)。しかし、断片化しているものの、バンドとしてタンパク質が検出されていることから、化石残存コラーゲンの構造や性質は高度に保たれていることが示唆された。象牙化石の電気泳動像では、骨化石の結果と異なり、化石試料に特異的なタンパク質バンドが検出されなかった。これは、象牙細管で構成される象牙質の微細構造(9)が、骨に比べて多孔質で表面積が大きいため、外的環境の影響を受けやすく、残存タンパク質が分解されやすいことが考えられた。

質量分析で同定された*M. americanum*の産出報告は北米やアラスカ、メキシコであり(10)、備讃瀬戸地域から報告されているゾウ類化石は*Stegodon orientalis*と*Palaeoloxodon naumanni*である(11)。したがって上記の同定結果は、Swiss-Protに登録されているゾウ類が*M. americanum*のみであることに起因していることが考えられた。このため、今回同定されたアミノ酸配列はゾウ類共通のアミノ酸配列の可能性があり、今後、de novo解析によって取得されたアミノ酸配列を用いて分子系統解析を行う予定である。

5. 謝辞

倉敷市立自然史博物館の武智泰史氏には、化石試料のサンプリングにご対応頂いた。岡山大学自然生命科学研究支援センターゲノム・プロテオーム解析部門の宮地孝明博士、川上朝子氏、杉本育代氏には、ゲル内消化や質量分析の実施とご助言を頂いた。以上の方々に、厚く感謝の意を申し上げる。

参考文献

- 1) Stanhope, M. J. *et al.* (1998). *PNAS*, 95(17), 9967-9972.
- 2) Cappellini, E. *et al.* (2018). *Annu. Rev. Biochem.*, 87, 1029-1060.
- 3) Ijiri, S., & Fujiwara, T. (1958). *Proc. Jpn. Acad.*, 34(5), 280-283.
- 4) 象団研グループ. (1968). *化石研究会会誌*, 1, 35-69.
- 5) Kitagawa, H. *et al.* (2006). *Abstracts with Programs The 2006 Annual Meeting The Palaeontological Society of Japan*, pp. 17.
- 6) Weissman, A. M. (1969). *J. Periodontal Res.*, 40(10), 611-616.
- 7) Arrecubieta, C. *et al.* (2007). *J. Biol. Chem.*, 282(26), 18767-18776.
- 8) Matmaroh, K. *et al.* (2011). *Food Chem.*, 129(3), 1179-1186.
- 9) Virág, A. (2012). *J. Morphol.*, 273(12), 1406-1423.
- 10) Polaco, O. J. *et al.* (2001). *The World of Elephants - Proceedings of the 1st International Congress, Rome October 16-20, 2001*. pp. 237-242.
- 11) Taruno, H. (1988). In Kurashiki Museum of Natural History. *Vertebrate Fossils from the Sea Bottom of Bisan-seto, West Japan -Report of researchers on the Yamamoto Collection I-*, pp. 7-10.

Examination of the ancient proteins in the elephantid fossil from the Bisan Seto area, Japan

Hayato Inaba, Kentaro Chiba*, Mototaka Saneyoshi*, Hidetsugu Tsujigiwa**

Department of Biosphere-Geosphere Science, Graduate School of Biosphere-Geosphere Science,

** Department of Biosphere-Geosphere Science, Faculty of Biosphere-Geosphere Science,*

*** Department of Life Science, Faculty of Science,*

Okayama University of Science,

1-1 Ridai-cho, Kita-ku, Okayama 700-0005, Japan

The elephantid fossils from the Bisan Seto area of the Seto Inland Sea, Japan, were examined in the presence of ancient proteins by extracting protein and analyzing using electrophoresis, which detects proteins as bands. This study also performed mass spectrometry to identify the species and types of proteins and predict the amino acid sequences of these fossils. In electrophoresis, the demineralized supernatants of the fossilized bone samples indicated different bands from the control, which was treated the same without the fossil samples. On the other hand, both supernatants of the fossilized incisor sample indicated no sample-specific bands, suggesting that protein degradation is more progressive than in fossilized bone samples due to the porous microstructure of dentin. In mass spectrometry, sample-specific bands from the fossilized bone were identified as type I collagen of elephantid. These results suggested that the elephantid fossilized bone samples from the Bisan Seto area contain endogenous proteins, especially collagen.

Keywords: Paleoproteomics; collagen; Mammalian fossil; Pleistocene.

現生爬虫類の産卵期における骨組織学的研究

井上 れな^{*}・辻極 秀次^{**}・千葉 謙太郎^{*}・高崎 竜司^{*}・實吉 玄貴^{*}

^{*}岡山理科大学生物地球学部生物地球学科

^{**}岡山理科大学理学部臨床生命科学科

1. 緒言

鳥類の雌は、産卵期に骨髄骨を形成する。骨髄骨からのカルシウム供給は、体内カルシウム量の調整や、卵殻形成に利用される(Sugiyama, 2005)。近年、鳥類との系統関係が近いとされる複数の恐竜種から、骨髄骨の存在が示唆されている。しかし、主竜類へ分類されるワニ類は、炭酸カルシウムを主体とする卵殻を形成するものの、産卵期の雌から明瞭な骨髄骨は確認されていない(Schweitzer et al. 2007)。このため、骨髄骨は主竜類の中でも、鳥類を含む一部の恐竜類に特異的に獲得された組織と考えられている。これらのことから、石灰化した卵殻を形成するワニ類やカメ類等では、骨髄骨を用いないカルシウム供給機構が存在すると予測される。現生爬虫類の骨標本に対する特殊染色を用いることで、骨髄骨様の組織を骨組織内で検出できれば、主竜類における骨髄骨の獲得過程に関する新たな知見を得られる可能性がある。そこで本研究では、イグアナ *Iguana iguana*、シヤムワニ *Crocodylus siamensis*、ミシシippアカミミガメ *Trachemys scripta elegans*、クサガメ *Chinemys reevesii*の大腿骨および甲羅の組織標本に対して、特殊染色を用いて骨組織の代謝及び骨髄骨様組織の検出に関する解析を行った。

2. 研究方法

産卵期(6月に倉敷市内で採集)のクサガメおよびミシシippアカミミガメは、ペントバルビタールナトリウムにより全身麻酔を行い、大腿骨と背甲の一部を摘出した。なお組織摘出時に卵巣および精巣を確認し、雌雄の同定を行った。摘出した組織は4%パラホルムアルデヒドで浸漬固定し、ワニ、イグアナの標本はホルマリンで浸漬固定した。これらの組織は10%EDTAまたはギ酸で脱灰した後に定法にてパラフィンで包埋し、薄切切片を作製した。その後、薄切切片をHE染色、骨髄骨の染色を目的としたPAS染色、破骨細胞検出を目的にTRAP染色を行なった。染色後の組織標本は顕微鏡で組織学的に観察を行った。

3. 結果

産卵期のワニ、カメ2種において雌雄ともに大腿骨および背甲で骨再構築(以下、「リモデリング」と呼称)の像が確認されたが、産卵期のイグアナの大腿骨からは認められなかった。PAS染色では産卵期のワニの大腿骨に陽性所見が散見されたが、現時点でこれが骨髄骨様組織との判断は不可能であった。また、カメ2種の大腿骨および背甲ではPAS染色の陽性所見は認められなかった。TRAP染色では産卵期のカメ2種の雌雄ともに大腿骨に陽性細胞が観察されなかった。しかし、産卵期のカメ2種の背甲では、TRAP染色陽性の破骨細胞がオスに対してメスで多数認められ(図1)、破骨細胞が骨を吸収するハウシpp窩の凹みが多数存在し、骨を吸収している像が確認された(図2)。

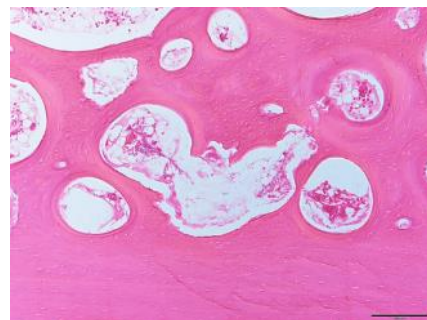


図1. クサガメ(メス)背甲のHE染色

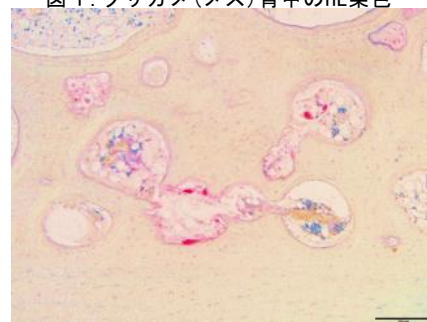


図2. クサガメ(メス)背甲のTRAP染色

4. 考察とまとめ

本研究の特殊染色による骨組織観察の結果、ワニ類の大腿骨からは、PAS染色による陽性反応が認められた。しかし、今回の実験に使用したワニの標本は試料作成の段階で完全に乾燥していた。そのため、これら陽性所見がPAS染色において骨髓骨様組織に特異的に反応したものは現時点で判断はできない。カメ類においては、産卵期のメスは、オスと比較しハウシッブ窩や破骨細胞が相対的に多く認められた。この結果は、今回観察したカメ2種が、明瞭な骨髓骨を持たず、産卵期に甲羅から特異的に卵殻へとカルシウム供給を行なっている可能性を示唆する。本可能性を検討するためには、非産卵期や冬眠期のカメ類との生理学的解析を含めた比較ならびに、今回解析した骨組織と異なる部位との比較が必要と考える。さらに、主竜類における骨髓骨の獲得やその形成プロセスについて検討するため、状態の良いワニ類の産卵期及び非産卵期における雌雄標本の大腿骨および皮骨標本を獲得し、特殊染色による解析を行う必要がある。今回の研究で産卵期における主竜類・主竜形類のカルシウムの代謝は主に骨のリモデリングによって、特異的に起こりえる可能性を示唆している。主竜類・主竜形類における産卵期のカルシウム代謝を明らかにすることは、絶滅動物の代謝システムの進化過程を明らかにすることにつながると予想される。そのため、今後も現生の主竜形類を用いて、卵殻の形成及び体内のカルシウム代謝を理解することは重要と考えられる。

謝辞

本研究の遂行にあたり、多数の標本の提供や調査にご協力頂いた動物自然史研究室の亀崎 直樹教授及び動物自然史研究室の皆様、古脊椎動物系統分類学研究室の高橋 亮雄教授に感謝いたします。最後に、古脊椎動物学研究室の稲葉 勇人氏、大越 司氏、組織病態学研究室の井原 亮太氏には、本研究の遂行にあたり多大なご助言、ご協力頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 杉山稔恵, 2005, 日本家禽学会誌, 42-4, 197-208.
- 2) Schweitzer, M. H., et al., 2007, *Bone* 40-4, 1152-1158.
- 3) Edgren, Richard, 1960, A. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 1-3, 213-217.
- 4) Schweitzer, Mary Higby, et al. "Chemistry supports the identification of gender-specific reproductive tissue in *Tyrannosaurus rex*." *Scientific Reports* 6.1 (2016): 1-10.
- 5) Dacke, C. G., et al. "Alligator osteoderms as a source of labile calcium for eggshell formation." *Journal of Zoology* 297.4 (2015): 255-264.
- 6) Donald C. Jackson: *Life in a Shell A Physiologist's View of a Turtle*, Harvard University Press(2011)

今年度の地磁気と関連した年代学的研究について

畠山 唯達*・北原 優*・横田大峻**, 森 伊吹**

*岡山理科大学フロンティア理工学研究所

**岡山理科大学生物地球学部

1. はじめに

地磁気（地球磁場）はその源を外核における電磁流体现象に求めるため、常に変動しており、地球表面の各地で異なる値を観測する。古地磁気学は地球上の1点における過去のある時点での地磁気の方位や強度の情報を記録していた岩石等の残留磁化から当時の地磁気の様子を復元する研究分野である。変動の記録に時間軸をつけることができればいわゆる「標準」となり、年代が未知の試料について古地磁気情報を求めることで年代推定をすることが可能になる（古地磁気年代推定法）。我々のグループでは古地磁気・岩石磁気測定・磁気探査を主な研究対象としているが、その中には実際に地磁気を用いた年代推定や、その基礎データたる地球磁場の時間変化（永年変化）を求める研究が含まれる。本稿では、年代学と関連した本年度の進捗について報告する。

2. 今年度の研究進捗状況

以下に示す研究状況のうち、(1)~(4)は年代推定の指標となる地磁気変動記録に関する研究、(5)は実際に地磁気を用いた年代推定を行った研究である。

(1) 陶器窯跡から得られた地磁気強度変動について

過去に作られた土器やそれを焼成した窯には最終の操業時（降温時）に着磁した熱残留磁化が保持されており、それを測定することで当時の地磁気の方位や強度を知ることができる。大阪府東部の泉北丘陵には陶器（すえむら）窯跡群と言う日本最大の須恵器（4世紀以降東北以南日本で発達した還元環境下で焼成された土器）生産遺跡があった。陶器では1960年代を中心に大規模な発掘調査があり、当時これと連動して古窯床面の古地磁気方位を測定したことで、現在の日本・極東における地磁気永年変化研究の礎が築かれた。いっぽう、古地磁気強度測定については手法上の理由から古窯体よりも土器片の方が適していると考えられてきた。今回我々はあまり用いられてこなかった窯床面について、21世紀に普及した古地磁気強度測定法（綱川-ショー法）を利用して古地磁気強度を測定し、5~8世紀の地磁気強度変動を復元した。以前の同手法を用いた研究で得られた岡山県での古地磁気強度記録や韓国の遺物データから提出されているデータを併せ、極東での2~11世紀の地磁気変動モデルを提唱した。（Kitahara et al., 2021）

(2) 弥生土器に対する古地磁気強度測定について

須恵器以前の土器、埴輪等はあまねく酸化環境で焼かれており、赤鉄鉱の影響を考慮すると古地磁気方位には適切ではない可能性があった。今回我々は、2-1の地磁気変動モデルを古い方へ拡張するために、弥生土器から綱川-ショー法による古地磁気強度記録の復元に挑戦した。別途行った岩石磁気測定、および段階熱消磁測定より、古地磁気記録のほぼすべては赤鉄鉱でなく磁鉄鉱が保持しており、「赤い」と言う理由での古地磁気強度測定に対する不適合の心配はないことが分かった。ただし、弥生土器うち古地磁気強度測定に向いていそうな器種の多くは2次的な加熱を受けていることもわかった。実際に弥生時代前~中期の土器より求められた古地磁気強度の変動は数百年間に渡り漸減しており、同期間の全球的な地磁気記録の変化と調和的であるという結果を得ている。今後は試料点数を増やし、データの集合体としての信頼性を向上させていく予定である。

(3) 富士山溶岩に対する古地磁気強度測定について

とくに21世紀になってから富士山の防災に関する関心やニーズが高まり、産業技術総合研究所を中心とした富士山火山地質の変遷に関する研究が大きく飛躍した。その成果として2016年に新たな火山地質図が完成を見たが、富士山は少なくとも過去数千年間にわたり断続的に噴火を繰り返していることが分かった。我々は2018年より山梨県富士山科学研究所の馬場章研究員と共同で、須走d期（山頂噴火が終息した約2300年前以降の噴火期）に山体側面から四方に流出した様々な溶岩を用いた古地磁気強度測定を行っている。今年度はBC4世紀前～AD10世紀の間の約10枚の溶岩流から古地磁気強度を測定することができた。これまでの結果はおおむね(1)に記した考古学試料のデータと調和的であり、また、(3)に記した弥生時代中期の古地磁気強度記録にも接続するものとなっている。今後はこれまで集積したデータの再検討を行い、結果を公表する予定である。

(4) 堆積物による相対古地磁気強度変動の絶対化について

海底・湖底にある堆積物はその堆積過程において、磁性鉱物が地磁気と平行に配列し、古地磁気記録（堆積残留磁化）を記録する。熱残留磁化と同様に、堆積物（コア）ごとに地磁気の強度変動に比例して残留磁化の強度も変化していると考えられており、その思想を利用して連続的な地磁気強度変化の記録が世界中で測定されてきた。データはスタックされ、標準的に地磁気強度（双極子磁場強度）の変動モデルが作成されている。しかし、堆積残留磁化は熱残留磁化のように実験室内で再着磁することが不可能なため、個々の記録媒体における比例係数を決定できず、この記録はあくまで相対的な地磁気強度記録として扱われている。そこで、熱残留磁化による絶対古地磁気強度記録を用いて堆積残留磁化による相対古地磁気強度変動の絶対化を図った。手法としては、日本において過去110万年間に噴出した火砕流堆積物から絶対古地磁気強度を求め、同時に噴出して海域まで到達した広域テフラをキーとし、海洋酸素同位体変動と相対古地磁気強度スタックを比較することで、それぞれの時代の絶対値と相対値の組合せを作成し相対古地磁気強度→絶対古地磁気強度の変換を行った。その結果、普及している2種類の相対古地磁気強度変動スタックを絶対化し、過去110万年間の地磁気強度変化の絶対値を提唱することができた（Mochizuki, et al., 2021）。この成果により今後期待されるものとしては、堆積物などの連続的な古地磁気記録から地磁気の絶対値を推定するだけでなく、逆に未知の年代の火山岩の持つ熱残留磁化から推定した古地磁気強度を利用して新たな「絶対古地磁気強度スタック」を利用した年代推定が可能になる、と言ったものも考えられる。

(5) 兵庫県たつの市竹原遺跡の古地磁気年代推定について

兵庫県たつの市竹原地区内における砂防工事に伴う発掘調査が行われた竹原1号および9号窯跡について兵庫県立考古博物館より依頼され、古地磁気用試料を採取して測定を行った。この2つの窯から出土した土器の形式編年によれば、1号窯の年代は11世紀終盤、9号窯は12世紀前半～中頃とされているが、古地磁気方位による最終操業の推定年代は、それぞれ10世紀終盤（1号窯）と11世紀中頃（9号窯）となった。推定に用いた標準曲線はこの年代付近で精度が良いと考えており、この差異については今後も検討が必要である（畠山・北原, 2022）。

Kitahara, Y., Nishiyama, D., Ohno, M., Yamamoto, Y., Kuwahara, Y., Hatakeyama, T., Construction of new archaeointensity reference curve for East Asia from 200 CE to 1100 CE, Phys. Earth Planet. Inter., 310, 106596, <https://doi.org/10.1016/j.pepi.2020.106596>, (2021).

Mochizuki, N., Fujii, S., Hasegawa, T., Yamamoto, Y., Hatakeyama, T., Yamashita, D., Okada, M., Shibuya, H., A tephra-based approach to calibrating relative geomagnetic paleointensity stacks to absolute values, Earth Planet. Sci. Lett., 572, 117119, <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2021.117119>, (2021).

畠山唯達, 北原優, 竹原窯跡群1, 9号窯跡の古地磁気方位と考古地磁気推定年代, 竹原窯跡群発掘調査報告書, 兵庫県教育委員会, (印刷中).

信号再生法を用いた重晶石のESR年代測定法の試み

石橋純一郎*・富田麻起子**・豊田 新***

*神戸大学海洋底探査センター

**岡山理科大学大学院理学研究科応用物理学専攻

***岡山理科大学古生物学・年代学研究センター

1. はじめに

鉱物資源の確保は、国家の戦略として重要である一方で、日本はこの鉱物資源に乏しいとされてきた。しかし、最近になって日本の排他的経済水域の海底に熱水域が存在することがわかり、そこに海底熱水鉱床が発見されるようになってきた。ここで、これらの海底熱水域の形成と進化を科学的に解明することは重要な課題となるが、この中で海底熱水活動の年代を求めることは重要である。

海底熱水活動の年代測定に関しては、これまでに硫化鉱物を用いたU-Th法が用いられた例がある¹⁾ほか、硫酸塩鉱物である重晶石 (barite, BaSO₄) を用いて、²²⁸Ra-²²⁸Th年代測定²⁾、²²⁶Ra-²¹⁰Pb年代測定³⁾、そして電子スピン共鳴 (ESR) 年代測定が試みられている⁴⁾。重晶石はこれらのうちの3つの手法が同時に適用できる鉱物であるという意味で、大変興味深い。²²⁸Ra-²²⁸Th及び、²²⁶Ra-²¹⁰Pb年代測定については、その適用範囲が娘核種の半減期によって制限され、全者でおよそ10年、後者で100年程度までであるのに対し、ESR年代測定では数年から千年以上の範囲の年代が求められる可能性がある⁴⁾。

ESR年代測定は、自然放射線によって生成され、蓄積された安定なラジカルをESRによって定量することによって行われる。ESR測定によって求められた、自然放射線による総被曝線量を年間線量率で割ることによって年代を求めるのが一般的であるが、年間線量率が変動する場合には、その積分値が総被曝線量になる年代を求めることになる。

重晶石のESR年代測定の可能性は観測される信号に線量応答が見いだされたことによってすでに指摘されていた⁵⁾が、海底熱水域の重晶石について初めて実用的に年代測定に用いられる可能性が示された⁶⁾。その後、ESR測定条件⁷⁾や熱安定性について検討がなされたほか⁸⁾、重晶石に含まれるRaから放出されるα粒子による信号の生成効率についての検討が行われ⁹⁾、また、放射非平衡による年間線量率の時間変化を考慮する方法が導入された^{10SA)}。同時に産する硫化鉱物のU-Th年代との一致が確認され¹¹⁾、沖縄海底熱水域の重晶石について組織的に年代測定が行われるようになった¹²⁾。

ESR年代測定における総被曝線量の定量はこれまで通常、付加線量法 (図1) によって行われてきた。

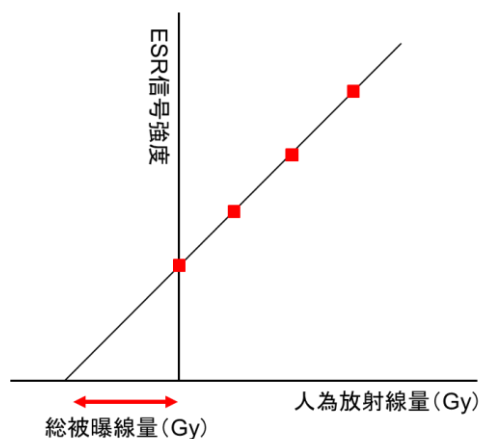


図1 付加線量法

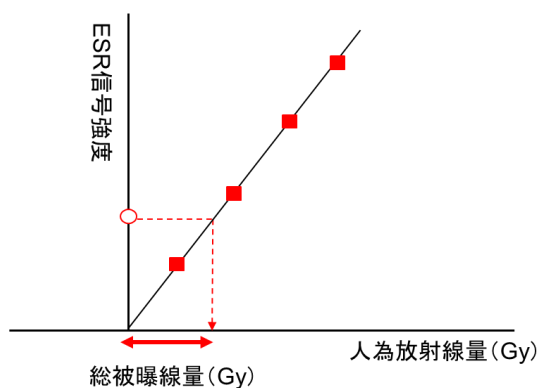


図2 信号再生法

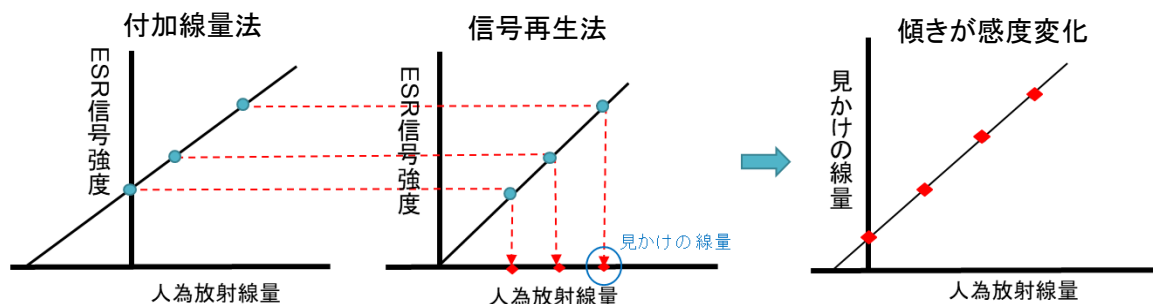


図3 再生付加線量法 (MARA)の原理

すなわち、試料に人為的に γ 線を照射し、その吸収線量の増加に伴って増加するESR信号強度を観測することによって線量応答を求め、その直線または曲線（通常は飽和曲線）を信号強度0の点まで外挿することにより、原点までの横軸の距離として総被曝線量を求める。しかし、この付加線量法の手法は、外挿するために求める総被曝線量の誤差が大きくなるという欠点のほか、外挿部分の線量応答の関数が、線量を付加している部分の関数で推定されているという仮定が正しいと言えるかどうか、という問題もある。すなわち、若い試料で、線量の付加部分で信号が十分に増大すればおそらくその関数は正しいと考えられるが、照射による信号の増大が少なく、ほとんど飽和しているような場合には、その仮定が疑問になる場合も散見される。このような場合には、信号を一旦リセット（消去）して、照射による信号の再生を観測してその線量応答を求め、もとの信号強度に相当する線量を求めて総被曝線量とする付加線量法（図2）が適していると考えられる。この方法は、ルミネッセンス年代測定法ではすでに導入されており、SAR（single aliquot regenerative）法¹³⁾が一般的に用いられている。ただ、この手法で問題になるのは、信号をリセットする操作による信号の再生の感度に対する影響である。SAR法の場合には、同一の試料を何度もリセットして観測するため、リセットのたびごとの感度変化を一定量のテスト照射（test dose）による信号生成としてモニターする。ただ、この手法にも問題があり、それは最初のリセットによる感度変化だけはモニターできないという点である。この点を考慮した手法は、最近では一般的に使用されていないが、ルミネッセンス年代測定ではすでに開発されており、SARA（single aliquot regenerative additive）法¹⁴⁾といわれている。

この手法をESRに応用した、再生付加線量法（MARA, multiple aliquot regenerative additive）法が考案された¹⁵⁾。ここでは、通常の付加線量法と同様、小分けした試料に対して線量を付加して測定すると同時に、信号を、例えば、加熱によって消滅させた小分け試料に対して、信号再生法と同様に照射を行って線量応答を調べる。ここで、信号再生の線量応答からもと（natural）の信号に対応する線量を求めれば、信号再生法によって総被曝線量を求めたことになる。ここでは、この照射なしの試料だけでなく、付加線量法で得られたすべての信号強度について、信号再生の線量応答に相当する線量を「見かけの線量」として求める。もし、信号再生前の信号のリセット（例えば加熱）によって感度変化がなければ、これは正しい線量（naturalに付加線量を加えたもの）であるが、感度変化があれば、それは正しい線量ではないからである。そして、付加線量の際の吸収線量に対して、信号再生の線量応答を使用して求めた「見かけの線量」ととり、その傾きを感度変化として求める。もちろん、この、線量-線量プロットを外挿して横軸を切る点を総被曝線量として求めることもできるが、感度変化を用いて信号再生法によって求められた線量を補正する方が誤差は小さくなる。この手法の本質は、正しい吸収線量の差（図3左図の各点の横軸の間隔）と、求められた「見かけの線量」の差（図3中図の各点の横軸の差、図3右図の各点の縦軸の差）との比を感度変化として求めることである。

今回、この手法を、重晶石のESR年代測定法における総被曝線量の測定に適用することにより、より信頼性の高い重晶石のESR年代測定法を開発することを試みた。

2. 実験手順

2-1 試料

本研究で用いた試料は、沖縄トラフの熱水活動域において、海洋研究開発機構（JAMSTEC）の研究船を用い

た熱水活動域の調査航海において採取された熱水鉱石試料である。すでにESR年代が得られている¹²⁾ NT11-20 #1333G06 (Yoron, ESR年代: 70-150 yr)、KR16-16 #722R03 (Gondo, ESR年代: 2500-3300 yr) と年代の得られていないKM18-08C #81 R01 (伊江山) の計3試料を用いた。採取された鉱石試料は、採取時に熱水噴出をしていなかったチムニー (inactive chimney)、熱水噴出をしているチムニー (active chimney)、及び沈積・形成されたマウンドである。これらの鉱石試料は、重晶石、黄鉄鉱、閃亜鉛鉱、硫砒鉄鉱、方鉛鉱などの鉱物で構成されていた。

2-2 試料処理

鉱石試料を切断した後、タングステン製の乳棒と乳鉢を用いて鉱石を軽く砕いた。粉碎後、45℃設定のスターラー上で、粉末試料1 g当たり約10 mlの塩酸 (12 M) で24時間浸し炭酸塩を溶解し、残った塩酸に対して1:3

(=硝酸:塩酸)の量の硝酸 (13 M) によって硫化物を溶解させた。上記の混酸を捨て、洗浄後にフッ化水素酸によりシリカを除去し、溶け残った重晶石を6 Mの塩酸や脱イオン水で洗浄・乾燥させた。乾燥後に重晶石とそれ以外の構成鉱物を分離するため、重液 (Sodium Polytungstate, $\text{Na}_6(\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40}) \cdot \text{H}_2\text{O}$) を溶かした水溶液を用いて比重分離を行い、比重4.5以上のフラクションを分離した。比重分離を行った試料をろ過、乾燥させ、不純物はハンドピッキングにより除去した。X線回折 (XRD: X-ray diffraction) による測定を行い、抽出した試料が重晶石であることを確認した。

抽出した重晶石の質量を測った後、ふるい分けを行って粒径100~250 μm のサイズのものを得た。ただ、抽出できた重晶石の量が少ない場合はすべての試料を使用した。この後、試料を分け、未加熱のものとは380~500℃で加熱してESR信号を消去した試料を用意した。ダーラム管にさらに小分けして入れ、 γ 線照射用試料とした。

γ 線照射には、日本原子力研究開発機構高崎量子応用研究所の⁶⁰Co線源を用いた。線量率をおよそ70 Gy/hとし、約5000 Gyまでの範囲で約10段階の照射を行った。

2-3 ESR測定

ESR測定には岡山理科大学総合機器センターの電子スピン共鳴装置 (JEOL PX-2300) を利用した。測定は室温で行い、マイクロ波の出力 1 mW、磁場変調周波数 100 KHz、磁場変調幅 0.1 mT、時定数 0.03 secとした。

3. 結果と考察

3-1 ESRスペクトル

得られたESRスペクトルの一例を図4に示す。3軸異方性のあるスペクトルであり、 g 値は、 SO_3^- ラジカルと報告されている文献値¹⁶⁾と一致した。この図に示す、ピーク高さを信号強度としてとった。

3-2 付加線量法、信号再生法による線量応答

得られた線量応答を図5及び図6に示す。

いずれの試料についても付加線量法で信号強度は増大した。年代が古くなるにつれ、照射前 (natural) の信号強度が大きくなる一方で、照射による信号強度の増大は相対的に小さくなった。特に伊江山の試料については、付加線量法で被曝線量を求めるときに単に直線を当てはめるのか、飽和曲線を当てはめるのかについて客観的な判断は難しい。

加熱によって、いずれの試料についても信号が消去され、照射によって信号が再生した。再生した信号の線量応答については、消去のための加熱温度によって多少の差があり、温度を上昇させるにつれて同じ線量

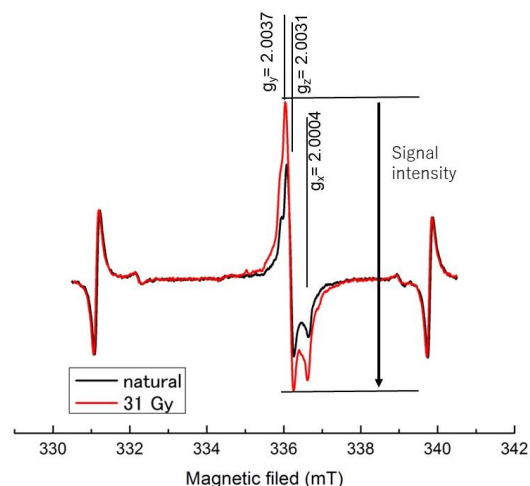


図4 観測されたESRスペクトルの例 (Yoron)

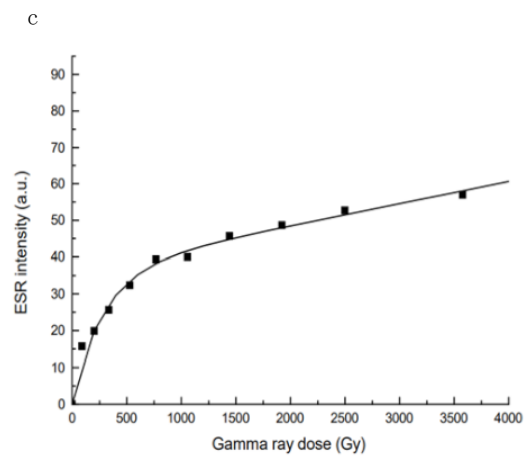
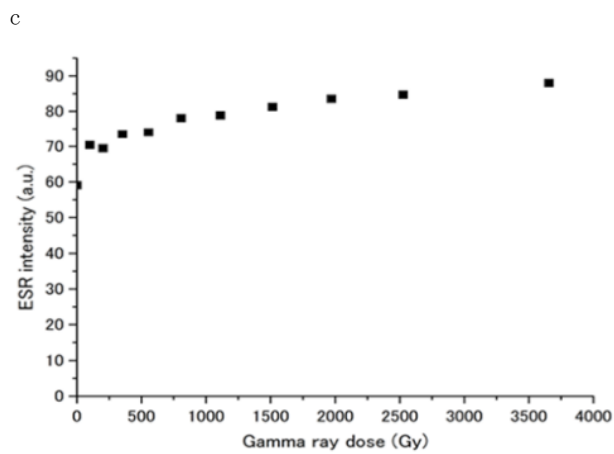
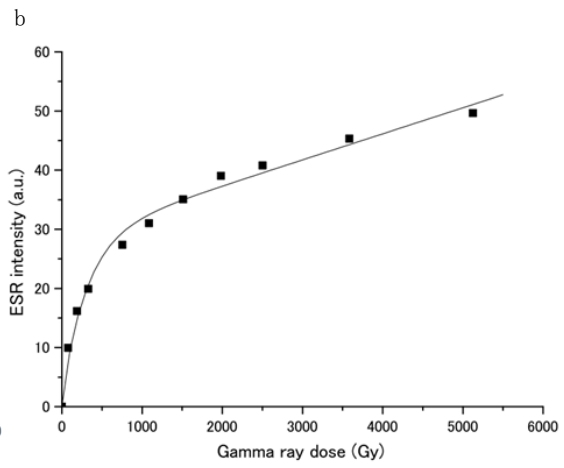
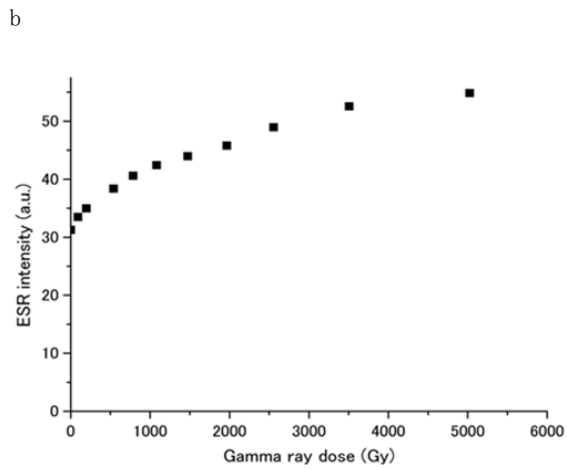
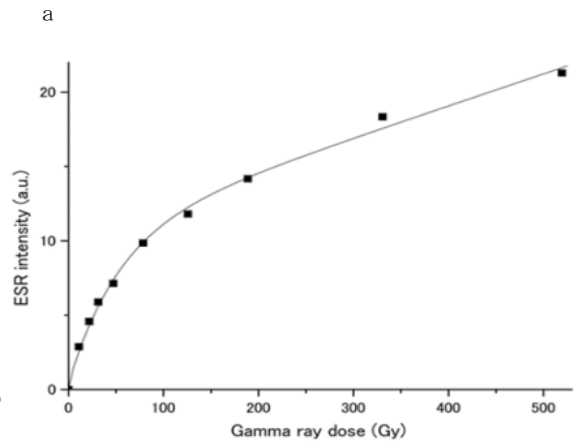
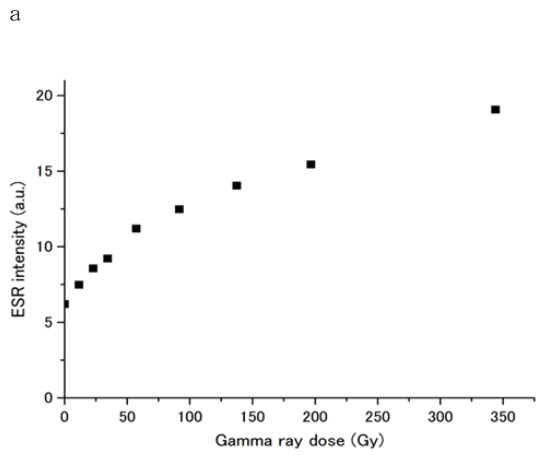


図5 未加熱 (natural) 試料の線量応答
a: Yoron, b: Gondo, c: 伊江山

図6 加熱後、信号再生の線量応答
a: Yoron, b: Gondo, c: 伊江山

に対する信号強度が小さい（すなわち感度が減少している）ように見受けられた。今回、以下では380℃によ加熱結果のみを議論する。

これまでの重晶石のESR年代測定の研究において、あてはめに飽和曲線（single saturating exponential, SSE）が用いられてきた。信号を作ることのできる“サイト”の数に限りがある、あるいはいったん信号ができるとそのまわり

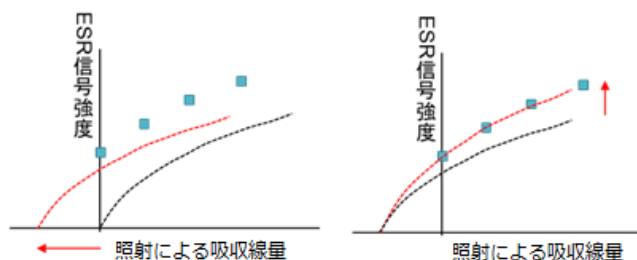


図7 改良再生付加線量法の原理

りでは信号ができない不感領域ができる¹⁷⁾といった理論に基づいては、従来この関数形が使われてきたが、最近では、歯のエナメルや石英の線量応答について、2つの飽和曲線（double saturating exponential, DSE）や、飽和曲線に直線を加えたもの（SSE+LN）が用いられる研究もある¹⁸⁾。今回得られた信号強度の線量応答は、飽和曲線に直線を加えたものに近く見えるため、この関数を当てはめてみたところ（図6）、飽和曲線よりも当てはめがうまくいくことがわかった。

3-3 改良再生付加線量法の考案

次のステップは、この信号再生の線量応答を用いて再生付加線量法を適用し、加熱による信号生成効率の変化を補正して年代を求めることであるが、これまでの再生付加線量法は、線量応答が直線である場合に適用できる。飽和曲線の場合にこれを適用した例もあるが¹⁹⁾、多少の問題が起きた原因として、線量応答が直線の場合にしか適用できないものを飽和曲線に適用したことが考えられるかもしれない。求めたいのは総被曝線量であるが、これは、付加線量法による線量応答と、再生法による線量応答を比較したときの横軸のシフト量に対応する。これに対して、感度変化は信号強度である縦軸の拡大率に対応する。線量応答が直線の場合には、縦軸の変化量（拡大率）を横軸の変化割合として校正することが可能で、これがSARA、MARAの原理となっている。しかし、SARA、MARAでは、横軸のシフト量、縦軸の拡大率を求めている、というのがそもそもの本質であるので、この2つをパラメータとして、改良再生付加線量法として、今回の付加線量法による線量応答と再生法による線量応答を重ね合わせることを試みた（図7）。

これを次の手順で行った。

- 1) 信号再生法による線量応答に、飽和曲線に直線を加えた関数（SSE+LN）を当てはめる。
- 2) この関数が、付加線量法のデータ点に最もよくあてはまるように関数のx軸のシフト量、y軸の拡大率を求める。
- 3) x軸のシフト量を総被曝線量とする。

3-4 改良再生付加線量法による総被曝線量の推定

今回分析を行った3試料についてこの改良再生付加線量法を適用した結果を図7に示す。これによって求められた総被曝線量を、従来の飽和曲線を用いて付加線量法、信号再生法によって求めた結果と比較したところ、表1のようになった。

表1 従来の付加線量法、信号再生法、そして、今回新たに用いた改良再生付加線量法によって求められた各試料の総被曝線量

	付加線量法 (飽和曲線)		信号再生法 (飽和曲線)		改良再生付加 線量法	感度補正
yoron	72	+20 -14	41	+7 -6	37	1.01
gondo	2100	+1090 -550	1100	+110 -90	773	1.10
伊江山	1800	980 -470	-	-	5400	1.03

Yoron, Gondo の 2 試料については、それなりに信頼できそうな総被曝線量が求められているように見える一方で、伊江山については何とも言えないというのが結論であろう。従来の付加線量法による被曝線量が小さくなっているのは、照射前の試料の信号強度が他に比べて小さくなっていることに原因があると考えられる。これを無視するのであれば、再生法による線量応答はほぼ直線になってしまい、縦軸の補正の任意性と合わせれば、被曝線量を決められないことになる。ただ、加熱による感度変化が非常に小さいことが、Yoron, Gondo から言えるのであれば、図7cに示されたフィッティングはそれなりに正しいかもしれないという議論も不可能ではない。いずれにせよ、確定的な議論は不可能であろう。

得られた総被曝線量に関しては、Yoron, Gondo では従来の方法より小さくなっている。もし、これが正しいのであれば、重晶石の ESR 年代測定に関して従来のデータの見直しが必要になるのかもしれない。

3-5 線量再現テスト

今回考案した、改良再生付加線量法の信頼性をチェックするために線量再現テスト (Dose recovery test) を行った。これは、試料にあらかじめ与えておいた線量が正しく求められるかどうかをテストするものである。

今回、最も若く、総被曝線量が小さい、Yoron の試料に、1000 Gy, 2500 Gy の線量のガンマ線を照射し、これを “natural” の試料とした。これに対して、付加線量法、信号再生法の手順を適用し、改良再生付加線量法を適用して従来の手法と結果を比較した。表 1 に示されている結果から、Yoron の試料については、自然に与えられている線量が最大でも 70Gy 程度であると考えられるので、1000 Gy, 2500 Gy に対してはそれなりに無視できると考えた。

得られた結果を図 8 及び表 2 に示す。図 8 に示されたプロットでは、どちらの線量に対しても、うまくフィッティングができてるように見え、感度変化もきわめて小さいことがわかる。しかし、得られた線量は、1000 Gy に対して 610 Gy, 2500 Gy に対して 1900 Gy と、正しく再現できているとは言い難い結果となってしまった。

3-6 考察

今回、重晶石の ESR 測定において、信号再生法を導入して、より信頼性の高い総被曝線量を求める手法を提案した。年代が古くない 2 試料に関しては、それなりに総被曝線量が得られているように見えるが、線

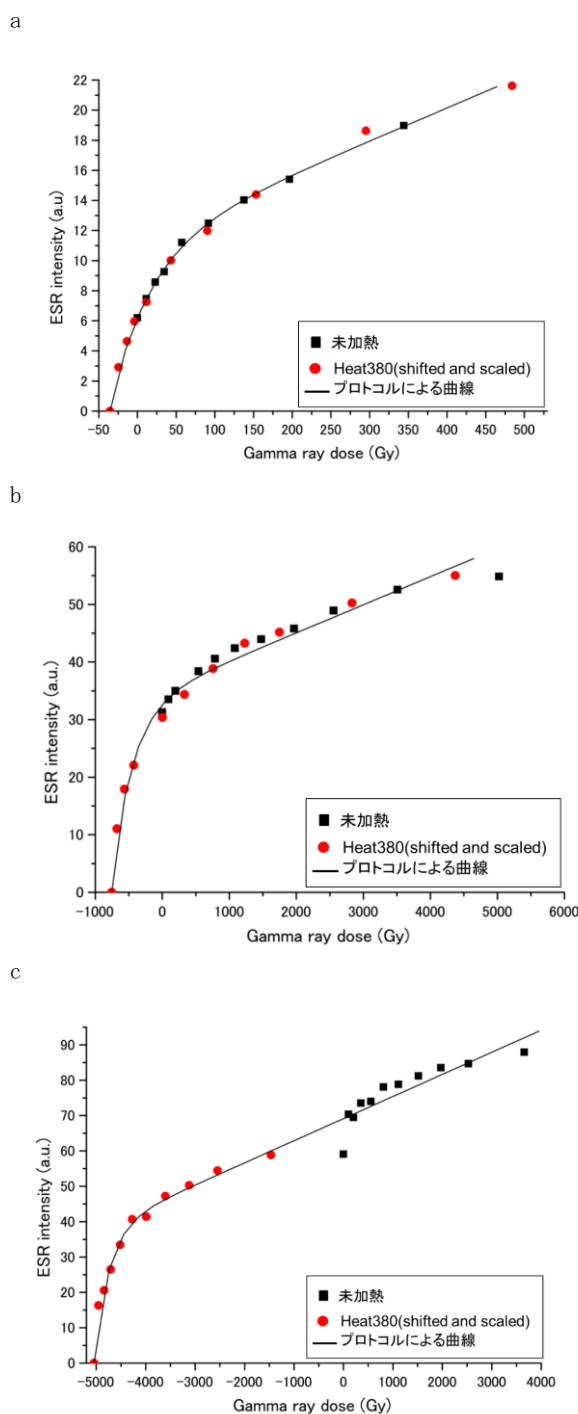


図 8 各試料に改良再生付加線量法を適用した結果
a: Yoron, b: Gondo, c: 伊江山

表2 線量再現実験 (Dose recovery test) の結果

	付加線量法 (飽和曲線)	信号再生法 (飽和曲線)	改良再生付加 線量法	感度補正
1000Gy照射した試料	2200 ⁺⁵⁰⁰ -340	840 ⁺⁸⁰ -70	610	1.03
2500Gy照射した試料	4900 ⁺³⁵⁰⁰ -1400	1700 ⁺¹⁴⁰ -120	1900	1.01

量再現テストの結果が良いとは言えず、この手法を推奨できるという結論には至らなかったと考える。

この手法の1つの問題点は、現在のところ誤差を評価できないところにある。誤差が評価できれば、線量再現実験で得られた線量が、そもそも誤差の範囲に入ってしまうのかもしれない。また、もう一つの問題は、フィッティングに選んだ関数である。飽和曲線と線形の和を今回選択したが、これが正しくない可能性もある。つまり、必ずしもうまくフィッティングしていない、再生法による線量応答にあてはめた関数を、付加線量法の線量応答の点に当てはめている、という点である。関数を当てはめないで、点の集合として傾向を再現できるかどうか、といった手法が可能であればその方がいいのかもしれない。

もう一つは、線量再現実験をさらに低い線量で行ってみる必要があると考えられる。今回改良した手法は、線量応答が飽和し始める付近のカーブをうまく当てはめられると信頼性の高い結果になると考えられるが、今回のテストで用いた1000 Gyがこのためには少し高い線量であった可能性もある。

4. まとめ

重晶石のESR年代測定の手法を改良し、求められる総被曝線量の信頼性を向上させるために、改良再生付加線量法を考案した。100年程度までの若い試料(2試料)に関しては、この手法が機能するように見えるが、1000年を超えるような試料については、本手法でも信頼性の高い年代を求めるのは難しいかもしれない。ただ、線量再現実験が成功したとは言えない状況であり、様々な要因をより詳細に検討していく必要がある。

引用文献

- 1) You, C. F., Bickle, M. J., (1998) Evolution of an active sea-floor massive sulphide deposit, *Nature*, 394, 668-671
- 2) Grasty, R. D., Smith, C. W., Franklin, J. M., Jonasson, I. R. (1988) Radioactive orphans in barite-rich chimneys, Axial Caldera, Juan de Fuca Ridge, *Canadian mineralogist*, 26, 627-633.
- 3) Noguchi, T., Shinjo, R., Ito, M., Takada, J., Oomori, T., 2011. Barite geochemistry from hydrothermal chimneys of the Okinawa Trough: insight into chimney formation and fluid/sediment interaction. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences* 106, 26-35.
- 4) Toyoda, S., Fujiwara, T., Uchida, A., Ishibashi, J., Nakai, S., Takamasa, A. (2014) ESR dating of barite in sulfide deposits formed by the sea floor hydrothermal activities. *Radiation Protection Dosimetry* 159, 203-211.
- 5) Kasuya, M., Kato, M., Ikeya, M. (1991) ESR signals of natural barite (BaSO₄) crystals: possible application to geochronology. In *Essay in Geology, Prof. Nakagawa Commemorative Volume*, 95-98.
- 6) Okumura, T., Toyoda, S., Sato, F., Uchida, A., Ishibashi, J., Nakai, S. (2010) ESR Dating of marine barites in chimneys deposited from hydrothermal vents. *Geochronometria*, 37, 57-61.
- 7) Toyoda, S., Sato, F., Banerjee, D., Ishibashi, J. (2011) Characteristics of the radiation induced ESR signals in barite, *Advances in ESR applications*, 27, 4-6.
- 8) Sato, F., Toyoda, S., Banerjee, D., Ishibashi, J. (2011) Thermal stability of ESR signals in hydrothermal barites. *Radiation Measurements*, 46, 866-870.
- 9) Fujiwara, T., Toyoda, S., Uchida, A., Nishido, H., and Ishibashi, J. (2016) The alpha effectiveness of the dating ESR signal in barite: possible dependence with age, *Geochronometria*, 43, 174-178.
- 10) Fujiwara, T., Toyoda, S., Uchida, A., Ishibashi, J., Nakai, S., and Takamasa, A. (2015) ESR dating of barite in sea-floor hydrothermal sulfide deposits in the Okinawa Trough. In Ishibashi, J., Okino, K., and Sunamura, M. eds., *Subseafloor Biosphere Linked to Global Hydrothermal Systems; TAIGA Concept*, Springer, Tokyo, 369-386
- 11) A. Takamasa, S. Nakai, F. Sato, S. Toyoda, D. Banerjee, J. Ishibashi (2013) U-Th radioactive disequilibrium and ESR dating of a barite-containing sulfide crust from South Mariana Trough, *Quaternary Geochronology*. 15, 38-46
- 12) 藤原泰誠 (2018) 海底熱水性硫酸塩鉱物を用いた電子スピン共鳴及び放射非平衡年代測定の高精度化と応用, 岡山理科大学学位論文

- 13) Murray, A. S., Wintle, A. G. (2000) Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol, *Radiation Measurements*, 32, 57-73.
- 14) Meidahl, V., Botter-Jensen, L. (1994) Luminescence dating of archaeological materials using a new technique based on single aliquot measurements, *Quaternary Science Reviews*, 7, 551-554.
- 15) Toyoda, S., Miura, H., Tissoux, H., 2009. Signal regeneration in ESR dating of tephra with quartz. *Radiation Measurements*, 44, 483-487.
- 16) Ryabov, I. D., Bershov, L. V., Speranskiy, A.V., Ganeev, I. G. (1983) Electron paramagnetic resonance of PO₃²⁻ and SO₃²⁻ radicals in barite. *Physics and Chemistry of Minerals* 10, 21-26.
- 17) 池谷元伺 (1987) ESR (電子スピン共鳴) 年代測定 アイオニクス株式会社
- 18) Duval, M., Sancho, C., Calle, M., Guilarte, V., Pena-Monne, J. L. (2015) On the interest of using the multiple center approach in ESR dating of optically bleached quartz grains: Some examples from the Early Pleistocene terraces of the Alcanadre River (Ebro basin, Spain), *Quaternary Geochronology*, 29, 58-69.

骨内部構造から考察するペンギン類の水棲適応

林 昭次*・秦はるか*・芳賀菜月*

*岡山理科大学生物地球学部生物地球学科

*本研究は海遊館・足寄動物化石博物館・ニフレル・海響館・葛西臨海水族園・須磨海浜水族園との共同研究として実施。

様々な脊椎動物がその進化史のなかで、骨内部構造を変化させることで水中生活に適応している。鳥類においては、ペンギン類がその骨内部を緻密化させることで水中生活に適応していることがよく知られている。しかしこれまでの研究では、大腿骨・上腕骨のみを観察対象とし、異なる成長段階・種間での比較が十分に行われていないため、水棲適応の度合いによって、緻密化の度合・緻密化する部位がどこまで発達するかは明らかでない。そこで本研究では様々な水族館との共同研究の下、ペンギン類を中心に鳥類における骨格の様々な部位の骨内部構造を観察することで、その水棲適応について考察した。

観察の結果、他の鳥類よりもペンギン類は四肢骨だけでなく、体のほとんどの部位（椎骨・肋骨・骨盤など）を緻密化させることが明らかとなった(図1)。この緻密化は成長に伴って起こり、入水までの短期間に顕著な変化があった。さらにペンギン種間で緻密度の違いが見られた。フンボルトペンギン・ケープペンギン・マゼランペンギン・ジェンツーペンギンなどでは骨幹で主に緻密化が起こり、髓腔が存在するが、キングペンギンでは骨全体で緻密化が起こり、髓腔が消失する。緻密度が高い種は高い潜水能力をもつことから、ペンギン類の中でも、潜水能力の度合いによってさらに緻密化させた可能性が考えられる。跗蹠骨に関してはキングペンギンとエンペラーペンギンだけが極端に海綿化するといった結果が得られた。この結果も彼らの高い潜水能力と関連している可能性が考えられる。

また今回の観察を通じて家禽などにおいて産卵期のメスにのみ形成される骨髓骨が、ペンギン類においても発見された。これまでの研究ではペンギン類は骨髓骨を持たず、卵殻形成に必要なカルシウムを皮質骨から直接吸収する可能性が指摘されていたが、本研究によって他の鳥類同様にペンギン類も骨髓骨から卵殻形成のためのカルシウムを吸収している可能性が極めて高いことが明らかとなった。

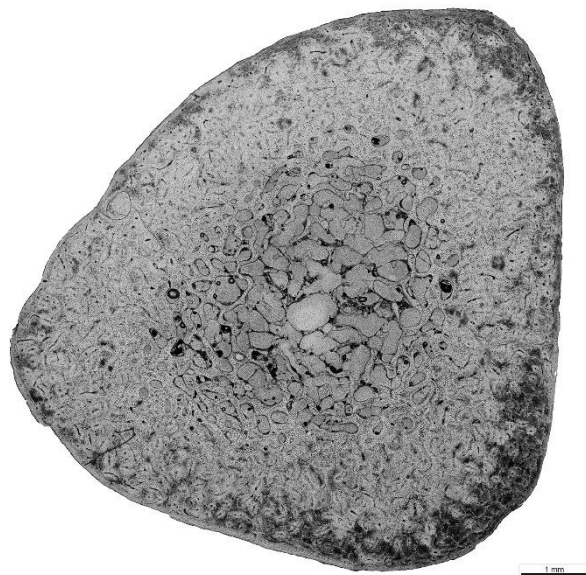


図1. ペンギン類の四肢骨の薄片写真：髓腔がなく、非常に緻密であることが分かる

Ages of underthrust barite crystals of the Nankai Accretionary Prism (IODP Exp 370 Site C0023)

Man-Yin Tsang*, Shin Toyoda**, Jun-Ichiro Ishibashi***, Satoshi Tonai****

Yuki Morono*****, Yuzuru Yamamoto*

**Department of Planetology, Graduate School of Science, Kobe University*

***Institute of Paleontology and Geochronology, Okayama University of Science*

****Kobe Ocean-bottom Exploration center, Kobe University*

*****Department of Global Environment and Disaster Prevention, Kochi University*

******Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology*

1 . Purpose of research

Fluid migration in subduction zones is envisaged to be triggered by seismic events or vice versa and involves sudden changes in the formation pressure. Thus fluid migration likely contributes to the geological evolution of subduction zones and also has individual effects at the small scale. Our project aims to identify the age and origin of the hot fluid that flowed in the Nankai Accretionary Prism, which formed barite mineralization and was discovered in Expedition 370 of the International Ocean Discovery Program.

2 . Summary of works at KCC and at OUS over the past year

We used Kochi Core Center's (KCC) gamma-ray detector to measure the amount of radiogenic U, Th, K, Ra isotopes in the barite and sediment samples from IODP Expedition 370. Measurement results are used for calculating the ^{226}Ra - ^{210}Pb ages and electron spin resonance (ESR) ages of the barite, the work of which was done at Okayama University of Science (OUS). Those ages represent the timing of fluid flow in the Nankai Accretionary Prism. The ^{226}Ra contents also give hints to the bedrock geochemistry of the fluid reservoir.

3 . Research progress

Measurement is on-going. Due to the small sample sizes of some samples, measurement time could be long and we are grateful for KCC's accommodation.

4 . Current finding

The ^{226}Ra - ^{210}Pb ages obtained from barite minerals suggest that the hot fluid flowing in the Nankai Accretionary Prism is a young event (Holocene). Ages of the barite is much younger than the hosting sediment (Mid- to Late-Miocene). Such young fluid events may be related to modern seismic events of the region. Based on the data measured at KCC, we are carrying out calculations of the ESR ages to obtain ages of the older phases of the samples.

発表論文 (2020年度報告書に未掲載のものを含む)

- S. Toyoda and M. Amimoto (2021) Dose response of the E₁' center in quartz, *Geochronometria*, 48, 191-196
<https://doi.org/10.2478/geochr-2020-0037>.
- 原之園大一, 豊田新 (2021) 萩平遺跡A地点隣接地より出土した礫群のESRによる被熱推定及び年代測定, 愛知学院大学考古学発掘調査報告31, 愛知県新城市川路萩平遺跡A地点隣接地の発掘記録7, 第8章4節, p.72-75, 愛知学院大学文学部歴史学科.
- 富田麻起子, 豊田新 (2021) 重晶石中の鉛濃度がESR信号のガンマ線照射による生成に与える影響, *ESR応用計測*, 37, 9-12.
- 小畑直也, 豊田新 (2021) ESR測定における試料管設置深度と試料量の検討, *ESR応用計測*, 37, 19-23.
- 原之園大一, 豊田新, 長井謙治, 成瀬敏郎 (2021) 辻田遺跡堆積層中の風送塵の検出, *ESR応用計測*, 37, 4-8.
- 豊田新 (2021) 石英に見られる常磁性格子欠陥とESR年代測定, *Radioisotopes*, 70, 95-105.
- 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)
- Hyodo, H., Sato, K., Kumagai, H. and Takamiya, K. (2021) Metamorphic age of Acasta gneiss and regional cooling history. *KURNS Progress Report 2020*, 156.
- 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.
- Kawabata, R., Imayama, T., Bose, N., Yi, K., and Kouketsu, Y. (2021). Tectonic discontinuity, partial melting and exhumation in the Garhwal Himalaya (Northwest India): Constrains from spatial and temporal pressure-temperature conditions along the Bhagirathi valley. *Lithos*, 404–405, 106488.
- Kawabata, R., Imayama, T., Kato, T., Oh, C. W., Horie, K., and Takehara, M. (2021). Multi-stage metamorphic history of the Oki gneisses in Japan: Implications for Paleoproterozoic metamorphism and tectonic correlations in north-eastern Asia. *Journal of Metamorphic Geology*, in press, <https://doi.org/10.1111/jmg.12627>.
- Sakai, H., Iwano, H., and Imayama, T. (2021). Thematic issue: Evolution of Nepal Himalaya, Preface, Island Arc.
- Imayama, T., Oh, C. -W., Jeon, J., and Yi, K. (2021). Neoproterozoic and middle Paleozoic geological events in the eastern Wolhyeonri complex of the southwestern Gyeonggi Massif, South Korea, and their tectonic correlations in northeastern Asia. *Lithos*, 105923, doi.org/10.1016/j.lithos.2020.105923.
- 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.
- 畠山唯達, 北原優, 大塚絃司, 倉内岳人, 森本蓮, 白石純, 齊藤大輔, 史跡周防鑄銭司跡における磁気探査および表面帯磁率を用いた被熱遺構の調査, 史跡周防鑄銭司跡, 山口市教育委員会, 山口大学山口岳研究センター, pp.176-191, (2021).
- 畠山唯達, 八木千亜希, 白石純, 岡山県瀬戸内市庄田工田窯跡出土の土器片の磁性, 備前邑久窯跡群の研究2—西日本における地方窯業生産の研究—, 岡山理科大学考古学教室, pp.123-137, (2021).
- 北原優, 畠山唯達, 庄田工田窯跡出土資料に対する考古地磁気学的分析, 備前邑久窯跡群の研究2—西日本における地方窯業生産の研究—, 岡山理科大学考古学教室, pp.88-95, (2021).
- 畠山唯達, 磁性・磁場を用いた遺構・遺物に対する調査研究, 古代テクノポリス山口—その解明と地域資産創出を目指して—研究報告書』, pp.35-40, (2021).
- 畠山唯達, 北原優, 庄田工田窯跡における磁気探査, 備前邑久窯跡群の研究2—西日本における地方窯業生産の研究—, 岡山理科大学考古学教室, pp.81-87, (2021).
- 畠山唯達, 情報処理センターにおけるICTを便利に利用する取り組みのまとめ, 岡山理科大学情報処理センター—研究報告, 41・42, pp.41-48, (2021).
- Mochizuki, N., Fujii, S., Hasegawa, T., Yamamoto, Y., Hatakeyama, T., Yamashita, D., Okada, M. Shibuya, H., A tephra-based approach to calibrating relative geomagnetic paleointensity stacks to absolute values, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 572, 117119, <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2021.117119>, (2021).
- Kitahara, Y., Nishiyama, D., Ohno, M., Yamamoto, Y., Kuwahara, Y., Hatakeyama, T., Construction of new archaeointensity reference curve for East Asia from 200 CE to 1100 CE, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 310, 106596, <https://doi.org/10.1016/j.pepi.2020.106596>, (2021).

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）

学会発表（2020年度報告書に未掲載のものを含む）

- Obata, N., Toyoda, S., Thermal stability of the ESR signals in tephra quartz and evaluation of equivalent doses, Mar. 28-30, 2022, EPR BioDose 2022, online.
- Tsang, M.-Y., Bowden, S., Toyoda, S., Ishibashi, J., and Yamamoto, Y. “Evidence for the recent migration of a deep, hot fluid in the Nankai Subduction Margin – implications from barite mineralization (IODP 370 Site C0023)”. Ocean Sciences Meeting, online, Feb 24-Mar 4, 2022.
- Tsang, M.-Y., Ishibashi, J., and Toyoda, S., Higashi-Aogashima Knoll Caldera: geochemistry and geochronology, Technical meeting at Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), online, Feb 24, 2022.
- 林昭次・秦はるか・芳賀菜月：骨内部構造から探るペンギン類の水棲適応，シンポジウム「2021年度ペンギン会議全国大会」，葛西臨海水族園（オンライン）2022年2月23日
- 小畑直也・豊田 新，熱安定性を考慮したテフラ試料の総被曝線量評価 第38回ESR応用計測研究会・2021年度ルミネッセンス年代測定研究会・第45回フィッション・トラック研究会・合同研究会 2022年2月21日-22日 オンライン
- 豊田 新・富田麻起子・廣田誠子 信号再生法を用いた重晶石のESR年代測定の試み 第38回ESR応用計測研究会・2021年度ルミネッセンス年代測定研究会・第45回フィッション・トラック研究会・合同研究会 2022年2月21日-22日 オンライン
- 石井紗智・林昭次・Nyamkhishig Tsogjargal・Khishigjav Tsogtbaatar：ピ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
- S. Toyoda, N. Obata, Component-resolved quartz ESR dating of sediments and tephra, AGU Fall Meeting, 2021, Dec. 1-17, 2021, Online.
- D. Haranosono, S. Toyoda, M. Takada, Temporal variation of dust flux to Japan in Late Pleistocene to Holocene: an attempt with an ESR signal in quartz, 2021 AGU Fall Meeting, Dec. 1-17, 2021, Online.
- Imayama, T., Kawabata, R., Bose, N., Yi, K., and Kouketsu, Y.: Tectonic discontinuity, partial melting and exhumation in the Garhwal Himalaya (Northwest India): Constrains from spatial and temporal pressure-temperature conditions along the Bhagirathi valley. 2021 AGU meeting, Dec. 1-17, 2021, Online.
- Tema, E., Santos, Y.L., Trindade, R.I.F., Hartmann, G., Hatakeyama, T., Matsumoto, N., Mitsumoto, J., Gulmini, M., Nova, F.T., Absolute Intensity Field Variations in Japan During the First Millennium CE: New Data from Kofun and Late Yayoi Archaeological Artifacts, American Geophysical Union Fall Meeting, Dec. 13-17, 2021, New Orleans & Online.
- Mochizuki, N., Fujii, S., Hasegawa, T., Yamamoto, Y., Hatakeyama, T., Yamashita, D., Okada, M., Shibuya, H., A new approach to calibrating relative geomagnetic paleointensity stacks to absolute values, American Geophysical Union Fall Meeting, Dec. 13-17, 2021, New Orleans & Online.
- 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
- 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。2021年11月22日-12月5日
- 豊田新・網本真奈・實吉玄貴・石垣忍・寺田智也・Khishigjav Tsogtbaatar，モンゴルゴビ砂漠の恐竜化石を産する白亜系堆積物に含まれる石英中の常磁性格子欠陥，OUSフォーラム2021 オンライン 2021年11月22日-12月5日
- 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。2021年11月13, 14日
- 川村紀子，畠山唯達，北原優，森伊吹，横田大峻，オーバーハウザー磁力計を用いた海岸での秘匿物の検出のための基礎的研究，日本法科学技術学会第27回学術集会，2021年11月11-12日，オンライン
- 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 81st Annual meeting 2021, online, Nov. 3-7, 2021.
- R. Takasaki, K. Chiba, A.R. Fiorillo, K. Brink, D. Evans, S. Ishigaki. A new Lambeosaurinae (Dinosauria, Hadrosauridae) specimen from the Upper Campanian Judith River Formation with its biogeographic implications. The Society of Vertebrate Paleontology 81st Annual Meeting, online, November 3-7, 2021.
- T. Tanaka, R. Takasaki, K. Chiba, S. Hayashi, K. Brink, M. Buuvei, K. Tsogtbaatar. A hesperornithiform from the Upper Cretaceous Nemegt Formation in the Gobi Desert of southwest Mongolia: implications for paleoecology of inland hesperornithiforms. The Society of Vertebrate Paleontology 81st Annual Meeting, online, November 3-7, 2021.

- 畠山唯達, 八木千亜希, 白石純, 土器片に対する岩石磁気学 – 「考古岩石磁気学」の確立に向けて – , 地球電磁気・地球惑星圏学会第150回講演会, 2021年11月1-4日, オンライン.
- 北原優, 畠山唯達, 山本裕二, 復元窯試料を用いた考古地磁気強度実験の妥当性の検討: その2, 地球電磁気・地球惑星圏学会第150回講演会, 2021年11月1-4日, オンライン.
- 小田啓邦, 山本裕二, 望月伸竜, 川村紀子, 野木義史, 木戸ゆかり, 高橋太, 清水久芳, 松島政貴, 畠山唯達, 齋藤武士, 地磁気・古地磁気・岩石磁気分野の展望と技術開発・研究環境整備の必要性, 地球電磁気・地球惑星圏学会第150回講演会, 2021年11月1-4日, オンライン.
- 北原優, 山形真理子, 畠山唯達, ベトナム中部の考古遺物を用いた考古地磁気学に関する予察的研究, 日本文化財科学会第38回大会, 2021年9月18-19日, オンライン
- D. Haranosono, S. Toyoda, K. Nagai (p) ESR dating of heated rock fragments excavated from Tsujita site, Kyushu, Japan, 16th International Conference on Luminescence and Electron Spin Resonance Dating, Sep. 13-17, 2021, Online.
- M. Tomita, S. Toyoda, J. Ishibashi, T. Fujiwara (p) ESR dating of sea-floor hydrothermal barite: use of the regenerative dose protocol, 16th International Conference on Luminescence and Electron Spin Resonance Dating, Sep. 13-17, 2021, Online.
- 畠山唯達, オーバーハウザー磁力計を用いた埋没物探査と土壌の帯磁率について, SGEPS 地磁気・古地磁気・岩石磁気分科会夏の学校, 2021年9月11-14日, オンライン
- 佐藤成修, 今山武志, Dutta Dripta, 金田泰明, 渡部将太, 長谷川健, 南雅代, 若杉勇輝, 若木重行: 北西インド Nidar オフィオライト層火成岩類の岩石学・地球化学的研究. 2021日本鉱物学会, 広島, 2021年9月, オンライン.
- Imayama, T., Kawabata, R., Kato, T., Oh, C. W., Horie, K., and Takehara, M.: Multi-stage metamorphic history of the Oki gneisses in Japan: Implications for Paleoproterozoic metamorphism and tectonic correlations in northeastern Asia. 2021日本鉱物学会 (招待講演), 広島, 2021年9月, オンライン.
- 渡部将太, 長谷川健, 小畑直也, 豊田新, 今山武志: 福島県南部, 二岐山火山の噴火史とマグマ供給系. 2021日本地質学会, 名古屋, 2021年9月, オンライン.
- 今山 武志: 南モンゴルペルム紀-三疊紀火山岩類と中央ネパール古原生代花崗岩類の起源とテクトニクス. 2021日本地質学会 (招待講演), 名古屋, 2021年9月, オンライン
- 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 硬組織再生生物学学会学術大会・総会, オンライン大会. 2021年8月28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2021年年会, 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, 岡山理科大学 (オンライン) 2021年7月2日-7月4日
- 平松 頼・矢野興一・実吉玄貴 (2021) 河川内における葉遺骸の集積と植物タフオノミー. 日本古生物学会 2021年年会, 岡山理科大学 (オンライン) 2021年7月2日-7月4日
- 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, 岡山理科大学 (オンライン) 2021年7月2日-7月4日
- 大越 司・小平将大・千葉謙太郎・實吉玄貴・高橋 亮雄・名取真人・マインバヤル ブーベイ・ツオクトバートル 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, 岡山理科大学 (オンライン) 2021年7月2日-7月4日
- 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 ツオクトバートル ブンレイ・マインバヤル・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, 岡山理科大学 (オンライン) 2021年7月2日-7月4日
- 高橋亮雄・プレヴスレン ブヤンバ・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2021年年会, 岡山理科大学 (オンライン) 2021年7月2日-7月4日
- 富田麻起子, 豊田新, 石橋純一郎 (p) 信号再生法を用いた海底熱水性重晶石のESR年代測定の試み, 日本地球惑星科学連合2021年大会, 2021年5月30-6月6日, オンライン.
- 板谷 優志, 石橋 純一郎, 富田 麻紀子, 豊田 新, 新城 竜一, 新井 和乃, 藤原 泰誠 (p) 沖縄トラフ伊江山サイト熱水域に産する重晶石の地球化学的・年代学的研究, 日本地球惑星科学連合2021年大会, 2021年5月30-6月6日, オンライン.
- 佐藤成修, 今山武志, Dutta Dripta: Multiple igneous activities recorded in the Nidar ophiolite complex, eastern Ladakh. 日本地球惑星科学連合2021年大会, 2021年5月30-6月6日, オンライン.
- 加藤千恵, 大野正夫, 桑原義博, 畠山唯達, 山田康洋, 戸塚修平, 島田和彦, 石橋純一郎, 長瀬敏郎, 沖縄トラ

フ海底熱水鉱床のisocubaniteの岩石磁気特性, 日本地球惑星科学連合2021年大会, 2021年5月30日-6月6日, オンライン.

畠山唯達, 八木千亜希, 白石純, 発掘土器片を用いた岩石磁気学 – 「考古岩石磁気学」の確立に向けて –, 海洋コア総合研究センター2020年度成果発表会, 2021年3月1-2日.

北原優, 畠山唯達, 山本裕二, 復元窯試料を用いた考古地磁気強度実験の妥当性の検討, 海洋コア総合研究センター2020年度成果発表会, 2021年3月1-2日

小畑直也, 豊田新, 起源の異なる石英のAl中心とTi中心の熱安定性, 第37回ESR応用計測研究会・2020年度ルミネッセンス年代測定研究会・第45回日本フィッション・トラック研究会研究発表会 2021年2月15日-22日, オンライン.

原之園大一, 豊田新, 長井謙治, 萩平遺跡から出土した礫群の被熱推定と年代測定, 第37回ESR応用計測研究会・2020年度ルミネッセンス年代測定研究会・第45回日本フィッション・トラック研究会研究発表会 2021年2月15日-22日, オンライン.

Imayama, T., Oh, C. -W., Jeon, J., and Yi, K. Neoproterozoic and middle Paleozoic geological events in the eastern Wolhyeonri complex of the southwestern Gyeonggi Massif, South Korea, and their tectonic correlations in north-eastern Asia. 2021変成岩などシンポジウム, 2021年3月, オンライン.

富田麻起子, 豊田新, 西戸裕嗣, 重晶石中の鉛濃度がCL発光に与える影響, 第37回ESR応用計測研究会・2020年度ルミネッセンス年代測定研究会・第45回日本フィッション・トラック研究会研究発表会 2021年2月15日-22日, オンライン.

M. Tomita, S. Toyoda, H. Nishido, CL emission in barite affected by lead, AGU Fall Meeting, 2020, Dec. 1-17, 2020, Online.

開催された学会

日本古生物学会2021年年会 2021年7月2日-4日 オンライン.

EPR BioDose 2022 国際学会 (予定) 2022年3月28日-30日 オンライン.

マスメディアへの掲載 (2020年度分を含む)

新聞 (報道記事)

2020年2月6日 山陽新聞 恐竜発掘の成果披露 (石垣館長講演会記事)
2020年4月1日 山陽新聞 時代のニーズつかみ進化
2020年4月1日 山陽新聞 化石年代決定詳細に
2020年5月12日 山陽新聞 恐竜2属同種だった
2020年5月20日 山陽新聞 恐竜学博物館内容充実
2020年5月24日 山陽新聞 恐竜学の今見せます① リニューアル
2020年5月24日 山陽新聞 恐竜学の今見せます② リニューアル
2020年6月14日 山陽新聞 恐竜学博物館リニューアルオープン
2020年6月23日 読売新聞 恐竜学博物館 今日リニューアル開館
2020年6月24日 山陽新聞 恐竜学博物館 興味津々
2020年6月26日 朝日新聞 体感 恐竜最前線
2020年7月12日 山陽新聞 コロナ 岡山の大学研究に影響 (含: 高崎氏インタビュー記事)
2020年8月06日 AFP 恐竜のがん 世界初確認
2020年8月07日 山陽新聞 恐竜のがん 世界初確認
2020年8月07日 山陽新聞 恐竜のがん 世界初確認
2020年8月14日 中国新聞 恐竜間近に 博物館新装
2020年8月18日 西日本新聞 恐竜のがん 世界初確認
2020年8月18日 日本経済新聞 恐竜のがん
2020年8月18日 四国新聞 恐竜のがん
2020年8月19日 中国新聞 恐竜のがん 世界初確認
2020年8月21日 神戸新聞 eスタイル 知の宝庫 岡山理科大学恐竜学博物館
2020年8月23日 毎日新聞 恐竜のがん 世界初確認
2020年8月25日 朝日新聞 恐竜のがん
2020年8月21日 読売新聞 展示刷新から三か月 研究者身近に感じて
2020年12月16日 山陽新聞 石垣教授講演会

2020年12月22日 山陽新聞 明日からアスエコで 岡山理大生が企画展 進化さぐるう
 2021年2月21日 山陽新聞 恐竜骨格作成 姿勢自在に 佐野さん木村さん卒業制作
 2021年2月24日 山陽新聞 科学・世界の扉を開いて (石垣館長 インタビュー)
 2021年3月14日 山陽新聞 さん太タイムズ1.2面特集 よみがえる恐竜の姿
 2021年4月26日 山陽新聞 山陽子供記者ネットワーク 初のツアーで恐竜学博物館訪問
 2021年4月28日 山陽新聞 ヤマトサウルス 高崎研究員インタビュー
 2021年5月30日 山陽新聞 さん太タイムズ1.2.3面特集 恐竜学最前線に迫る
 山陽子供記者ネットワーク

2021年7月14日 山陽新聞 カルチャープラザ 千葉健太郎講師の講座紹介
 2021年08月17日 山陽新聞 恐竜発掘調査写真展 サイピアでの展示の紹介
 2021年9月25日 山陽新聞 物事を論理的に考える 古生物学者 山陽子ども新聞特集
 (こども記者の千葉講師インタビュー記事)
 2021年11月2日 恐竜骨格 鉄で再現 倉敷のアイゼンフォッシルの紹介 (理大が協力)
 2021年11月9日 読売新聞 恐竜手ぬぐい 骨格リアル 倉敷で販売
 2021年11月9日 山陽新聞 恐竜が手ぬぐいに

新聞 (連載記事)

山陽新聞 さん太タイムズ (日曜版) 第三日曜日掲載 「恐竜調査隊が行く」
 第33回 2020年2月16日 まるで「恐竜の群れ」
 第34回 2020年03月15日 共同研究は平和をつくる
 第35回 2020年04月19日 肉食恐竜以上の怖さ
 第36回 2020年05月17日 恐竜が出てきそう
 第37回 2020年06月21日 恐竜の病名が分かるかも
 第38回 2020年07月19日 調査中止、データを論文に
 第39回 2020年08月16日 オススメの岡山県の博物館
 第40回 2020年09月20日 地球の歴史「異常」だらけ
 第41回 2020年10月18日 ハドロサウルス類の背骨
 第42回 2020年11月15日 うれしいより複雑な気持ち
 第43回 2020年12月20日 「恐竜か鳥か」それが問題だ
 第44回 2021年1月17日 鳥みたいなアビミムス、
 第45回 2021年2月21日 進化論を証明した始祖鳥
 第46回 2021年3月21日 研究はチームプレー
 第47回 2021年4月18日 科学と芸術の共同作業
 第48回 2021年5月16日 淡路島から出たヤマトサウルスの化石
 第49回 2021年6月20日 新型コロナ禍さてどう研究するか
 第50回 2021年7月18日 新型コロナ時代の博物館、
 第51回 2021年8月15日 発掘された恐竜化石、
 第52回 2021年9月19日 ツノがなくても「角竜」
 第53回 2021年10月17日 倉敷水島港にクジラが
 第54回 2021年11月21日 世界広げる3人のファン
 第55回 2021年12月19日 世界が注目「ジュラシックツリー」
 第56回 2022年1月23日 今年は恐竜研究200周年
 第57回 2022年2月20日 最も寒い首都ウランバートル
 第58回 2022年3月20日 オンラインの長所と短所

雑誌

2020年7月30日 いずみ 第7号 博物館のリニューアル 化石年代決定に新手法
 2021年1月30日 いずみ 第8号 恐竜のがん世界初確認
 2021年3月21日 パワフルキッズ 第91号 恐竜の世界にタイムスリップ 博物館紹介特集

2021年4月20日 HUGHUG 恐竜学博物館 恐竜博士（林昭次）
2021年7月20日 HUGジュニア 恐竜学博物館の紹介特集
2021年8月 月刊プラザ岡山 第33号 恐竜学博物館の紹介特集

テレビ・ラジオ
年間10件程度の放送有。

論文別刷リスト （2020年度報告書に未掲載のものを含む）

- S. Toyoda and M. Amimoto (2021) Dose response of the E₁' center in quartz, *Geochronometria*, 48, 191-196.
- 原之園大一，豊田新 (2021) 萩平遺跡A地点隣接地より出土した礫群のESRによる被熱推定及び年代測定，愛知学院大学考古学発掘調査報告31，愛知県新城市川路萩平遺跡A地点隣接地の発掘記録7，第8章4節，p.72-75，愛知学院大学文学部歴史学科。
- 富田麻起子，豊田新 (2021) 重晶石中の鉛濃度がESR信号のガンマ線照射による生成に与える影響，ESR応用計測，37，9-12.
- 小畑直也，豊田新 (2021) ESR測定における試料管設置深度と試料量の検討，ESR応用計測，37，19-23.
- 原之園大一，豊田新，長井謙治，成瀬敏郎 (2021) 辻田遺跡堆積層中の風送塵の検出，ESR応用計測，37，4-8.
- 豊田新 (2021) 石英に見られる常磁性格子欠陥とESR年代測定，*Radioisotopes*, 70, 95-105.
- 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.
- 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)

岡山理科大学
古生物学・年代学研究センター事業報告 第2号
2022年3月発行

編集・発行 岡山理科大学古生物学・年代学研究センター

岡山理科大学研究・社会連携機構
〒700-0005 岡山市北区理大町1-1
086-256-9731