

令和 6 年 6 月 6 日現在

機関番号：23401

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H02012

研究課題名（和文）極限温暖化時に生じた森林大崩壊の全容解明

研究課題名（英文）Forest devastation during extreme greenhouse climate

研究代表者

西 弘嗣（Nishi, Hiroshi）

福井県立大学・恐竜学研究所・教授

研究者番号：20192685

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,600,000円

研究成果の概要（和文）：北海道の蝦夷層群に観察される2つの海洋無酸素事変（OAE1a, OAE2）を対象に、バイオマーカーなどの新しい環境指標を駆使して、急激な温暖化が生じた時期の陸域生態系の変化を解明することを目的とした。OAE1aについては、その地質年代が119.45Maから118.44Maとなり、従来よりも約100万年も若いことが明らかとなった。OAE2については、その区間では7回の火成活動があり、活動の活発化と同期して、東アジアの降水量が大幅に増加し、針葉樹林の拡大、地衣類の増殖など植生にも大きな変化が現れたことが明らかとなった。それに対応して、東アジアの草食恐竜にも変化が現れたことが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的な意義として、OAE1aに関してはこれまで提唱されてきた地質年代がことを大きく異なることを指摘し、AptianからAlbianにかけての境界の認定にも大きな影響を与えることになった。OAE2に関しては、数万年単位で環境変動を追跡することが可能となり、第四紀の研究レベルの解像度で白亜紀環境の変化を語るができる可能性を示唆した。白亜紀の環境変動の解明は、将来の温暖化が進んだ地球の環境を理解することにつながり、急激な温暖化が生じたときに陸上の植生がどのように変化するか、その基本データを提供することができた。

研究成果の概要（英文）：The objective of this study is to reveal the change in terrestrial ecosystems during a period of rapid warming by using new environmental proxy such as biomarkers for two marine anoxic events (OAE1a and OAE2) observed in the Yezo Group in Hokkaido, Japan. For OAE1a, the geological age is assigned from 119.45 Ma to 118.44 Ma, which is about 1 million years younger than the previous age. For OAE2, there were seven igneous activities in that interval, which synchronized with a significant increase in precipitation in East Asia, and with significant changes in vegetation, including the expansion of coniferous forests and the proliferation of lichens. Correspondingly, it is suggested that this also affected herbivorous dinosaur groups in East Asia.

研究分野：地質学、古生物学

キーワード：白亜紀後期 極限温暖化 海洋無酸素事変 陸上生態系 蝦夷層群 バイオマーカー

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

中期白亜紀は過去 5 億年間で最も温暖化した時期で、この期間には海洋無酸素事変 (Oceanic Anoxic Event: OAE) とよばれる短期間で急激な環境変動が起こった。OAE では、海洋で無酸素水塊が拡大し、有機物の多い黒色頁岩の堆積や海洋生物の絶滅につながったことが知られている。しかし、同じ時期に陸域でどのような環境変動があったのかは、依然として明らかとなっていない。一方、先行研究から海洋無酸素事変の時期には、陸域で湿潤化と植生の劇的な変化 (森林崩壊とコケ類大発生) が生じた証拠がみつき、陸域でも海洋と同時に大きな変化があったことが示唆される。

そこで、白亜紀の環境変動を理解するためには、陸域の環境変動も海洋と同じ解像度で明らかにすることが必要である。白亜紀の環境変動の解明は、将来の温暖化が進んだ地球の環境を理解することができ、重要な基本データとなることが期待される。

2. 研究の目的

北海道の蝦夷層群は陸棚から大陸斜面に堆積した地層で、海洋と陸域の両方の情報を含んでいるので、海陸イベントの同時性や連動性も検証でき、環境の変動を地球規模で捉えることができる。そこで、本研究は、蝦夷層群に観察される温暖化が急速に進行した 2 つの海洋無酸素事変 (OAE1a と OAE2) を対象に、バイオマーカー (生物指標化合物) などの新しい環境指標を駆使して、急激な温暖化が生じた時期の陸域生態系の変化を解明することを目的とした。

3. 研究の方法

先行研究から、北海道の蝦夷層群で海洋無酸素事変が生じた OAE1a と OAE2 の層準は明らかとなっているので、最初にこれらの期間に対して、炭素同位体比層序と凝灰岩の U-Pb 放射性年代測定により高解像度の年代指標を確立する。次に、それらの地層に対して、陸域の環境変動を明らかにするためにバイオマーカーを主体とする分析を行い、環境変化と植生関係の関連を検討する。また、植生環境の変化とともに陸上生態系の変化を推定するために、東アジア地域の脊椎動物化石の変化もあわせて検証する。

4. 研究成果

1) 層序学研究成果

本研究では、OAE1a 層準に関しては北海道惣芦別川および惣芦別川北支流の上流域、OAE2 に関しては北海道大曲沢地域を主たる対象にした。OAE1a については、炭素同位体比層序と凝灰岩の U-Pb 年代測定により、その地質年代が 119.45Ma から 118.44Ma となり、従来よりも約 100 万年も若いことが明らかとなった。

OAE2 については、北海道苫前地域において世界で最も厚い OAE2 を含む地層を発見したので、炭素同位体比層序、微化石層序、堆積物の化学組成、バイオマーカー分析を実施した。その結果、OAE2 区間ではオスミウム同位体比および 192-0s の含有量の変化から 7 回の火成活動があり、活動の活発化と同期して、東アジアの降水量が大幅に増加したことが明らかになった (図 1)。

当時最大の大陸であったアジア大陸から、雨によって大量の栄養塩が河川を經由して太平洋に供給された結果、最初の火成活動開始から約 6 万年後に海洋が富栄養化して無酸素水塊が拡大した可能性を指摘した。これは世界でも最高の時間高解像度解析の OAE2 の研究となった。

2) 有機地球科学分析の結果

有機地球科学分析では、最初に予察的な研究を行い、植生の検討に使用できるバイオマーカーを選定した。これらのバイオマーカーを使用して各 OAE の層準でも変化を検討した。OAE2 の北海道大曲沢地域では、通常は被子植物が優勢な植生が示唆されたが、OAE2 層準の環境擾乱期には針葉樹の増加が記録されており、針葉樹が気候変動に鋭敏に反応したことが示唆される。また、これらの層準では火災頻度の増加もみられた。つまり、OAE2 時の東アジア (北海道) 域では通常は被子植物が優勢であったが、OAE2 の環境擾乱時期になると針葉樹林の拡大に有利となった。

さらに、OAE2 時には比較的短期間に急激な寒冷化イベント (Plenus Cold Event) が生じている。この層準では菌類バイオマーカーに変化が敏感に現れることから、急激な寒冷化による陸上生態系の衰退に対して、強い耐性を示した地衣類が相対的に増大した可能性が示唆される。これら陸上の変化と対応して、浮遊性有孔虫のターンオーバーも OAE1a と OAE2 の周辺で起こったことも確認された。

3) 恐竜学研究成果

一方、Aptian 後期から Albian になると草食恐竜であるハドロサウルス上科がアジアで多様化している。手取層群北谷層の上部がその年代に相当すると推定されるが、ここでは進化的な種と原始的な種が共存していたことがわかった。このデータを追従するため、本研究では中国から発見されたハドロサウルス上科の記載、タイ王国イグアノドン類においても追加標本の記載も行った。

さらに、脊椎動物の歯と骨に含まれるリン酸塩とアパタイト結合炭酸塩の酸素同位体組成と炭素同位体組成を分析により、白亜紀の日本の堆積物に記録されている大陸生態系の環境条件を明らかにした。これらのデータによると、気候は冷温帯から暖温帯へと変化し、Hauterivian 後期と Baramian は比較的寒冷で乾燥していたが、Aptian と Albian は温暖で季節的に湿度が高くなり、Cenomanian から Coniacian はさらに温暖であったことが示唆された。これらのデータから、やはり OAE の時期には植生変化が生じ、恐竜化石の進化にも影響があったことが強く示唆される。

恐竜に関してはデータの蓄積が重要であるので、中国東北部の龍井層から竜脚類の上顎骨、吉林省延吉市の龍井層からヨロイ竜類の化石などの記載を行い、OAE1a 温暖化後の研究を進めた。また、福井県の手取層群北谷層（白亜紀下部）から新しいワニ類化石の記載も行い、陸上生態系の変化を解明するための新しいデータを蓄積した。

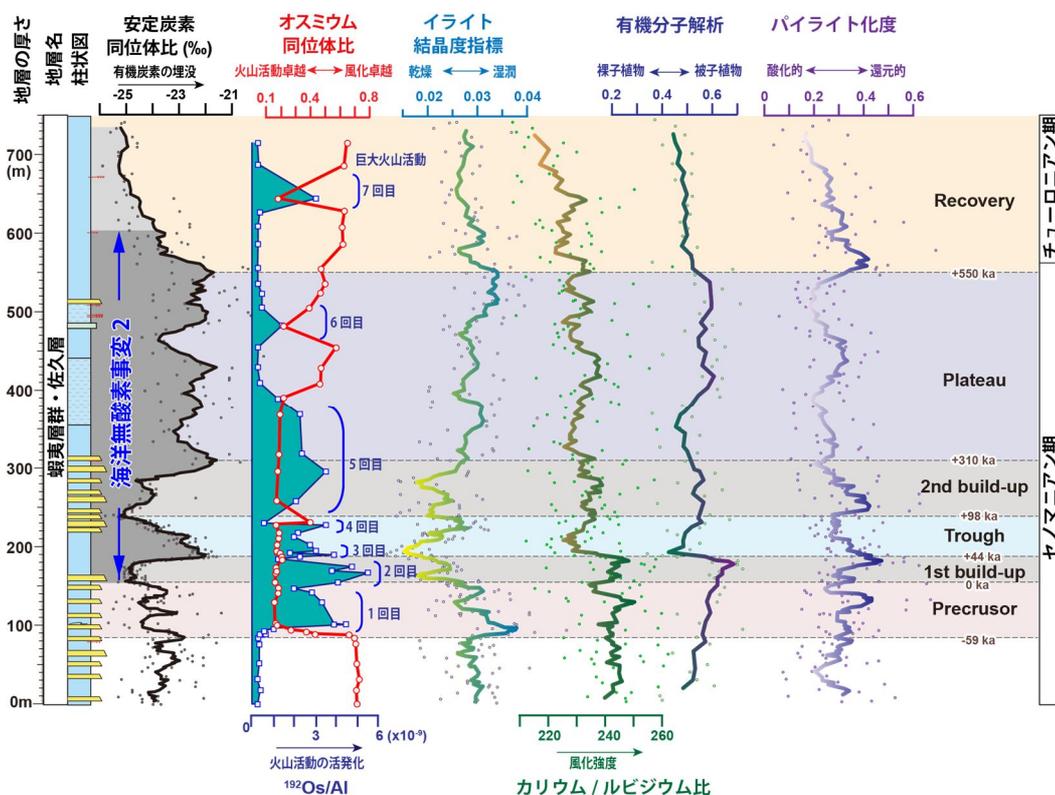


図1 蝦夷層群の分析の結果

(Takashima et al., 2024 Communications Earth and Environment より)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件／うち国際共著 4件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Ikeda, M. A., Nakamura, H. and Sawada, K.	4. 巻 179
2. 論文標題 Aliphatic hydrocarbons in the lichen class Lecanoromycetes and their potential use as chemotaxonomic indicators and biomarkers.	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Organic Geochemistry	6. 最初と最後の頁 104588
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.orggeochem.2023.104588	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ando, T., Sawada, K., Okano, K., Takashima, R. and Nishi, H	4. 巻 586
2. 論文標題 Marine paleoecological variations during the mid-Cretaceous oceanic anoxic event 1a in the Vocontian Basin, southeastern France	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology	6. 最初と最後の頁 110779
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.palaeo.2021.110779	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Liao, C. C., Moore, A., Jin, C., Yang, T. R., Shibata, M., Jin, F. & Xu, X	4. 巻 129
2. 論文標題 A possible brachiosaurid (Dinosauria, Sauropoda) from the mid-Cretaceous of northeastern China	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 PeerJ	6. 最初と最後の頁 11957
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7717/peerj.11957	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Zheng, W., Shibata, M., Liao, C. C., Hattori, S., Jin, D., Jin, C., & Xu, X.	4. 巻 127
2. 論文標題 First definitive ankylosaurian dinosaur from the Cretaceous of Jilin Province, northeastern China	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Cretaceous Research	6. 最初と最後の頁 11957
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.cretres.2021.104953	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Amiot, R., Kusuhashi, N., Saegusa, H., Shibata, M., Ikegami, N., Shimojima, S., Sonoda, T., Fourel, F., Ikeda, T., L'ecuyer, C., Philippe, M. and Wang	4. 巻 205
2. 論文標題 Paleoclimate and ecology of Cretaceous continental ecosystems of Japan inferred from the stable oxygen and carbon isotope compositions of vertebrate bioapatite	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Asian Earth Sciences	6. 最初と最後の頁 104602
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jseaes.2020.104602	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Ikeda, M. A., Nakamura, H., and Sawada, K.	4. 巻 2021
2. 論文標題 Long-chain alkenes and alkadienes of eight lichen species collected in Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Phytochemistry	6. 最初と最後の頁 112823
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.phytochem.2021.112823	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Soki Hattori, Masateru Shibata, Soichiro Kawabe, Takuya Imai, Hiroshi Nishi & Yoichi Azuma	4. 巻 -
2. 論文標題 New theropod dinosaur from the Lower Cretaceous of Japan provides critical implications for the early evolution of ornithomimosaurs	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 104570
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-023-40804-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Azumi Kuroyanagi, Hodaka Kawahata, Kazumi Ozaki, Atsushi Suzuki, Hiroshi Nishi, Reishi Takashima	4. 巻 161
2. 論文標題 What drove the evolutionary trend of planktic foraminifers during the Cretaceous: Oceanic Anoxic Events (OAEs) directly affected it?	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Marine Micropaleontology	6. 最初と最後の頁 101924
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.phytochem.2021.112823	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 R. Takashima, D. Selby, T. Yamanaka, Y. Kuwahara, H. Nakamura, K. Sawada, M. A. Ikeda, T. Ando, K. Hayashi, M. Nishida, T. Usami, D. Kameyama, H. Nishi, A. Kuroyanagi & B. R. Gyawali	4. 巻 -
2. 論文標題 Large igneous province activity drives oceanic anoxic event 2 environmental change across eastern Asia	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 COMMUNICATIONS EARTH & ENVIRONMENT	6. 最初と最後の頁 104570
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s43247-024-01214-z	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する

[学会発表] 計25件(うち招待講演 0件/うち国際学会 0件)

1. 発表者名 林和生・池田雅志・沢田健・林圭一・高嶋礼詩・西弘嗣
2. 発表標題 北海道根室層群の白亜紀/古第三紀境界堆積岩のバイオマーカー分析による古環境復元
3. 学会等名 第39回有機地球化学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 池田雅志・沢田健・安藤卓人・高嶋礼詩・西弘嗣
2. 発表標題 白亜系海洋無酸素事変層準堆積岩の菌類パリノモルフ分析による菌類フロラの変遷復元
3. 学会等名 日本地質学会第129年学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Maho Hayakawa, Masashi Ikeda, Ken Sawada, Reishi Takashima, Hiroshi Nishi, Hideto Nakamura
2. 発表標題 Reconstruction of Late Cretaceous paleovegetation based on terrestrial palynomorphs and biomarker analysis of the forearc basin sediments from the Haborogawa Formation, Yezo Group, Hokkaido, Japan
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合(JpGU)2022年大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 黒柳 あずみ, 川幡 穂高, 尾崎 和海, 鈴木 淳, 西 弘嗣, 高嶋 礼詩
2. 発表標題 白亜紀の海洋無酸素事変 (OAE) が浮遊性有孔虫の進化傾向に及ぼす影響の検証
3. 学会等名 日本古生物学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高嶋礼詩
2. 発表標題 中生界のGSSPの現状と日本の地層における国際年代層序への貢献
3. 学会等名 日本地球惑星連合2022年大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大坪 拓史, 高嶋 礼詩, 黒柳 あずみ, 山中 寿郎
2. 発表標題 宮城県気仙沼大島に分布する上部ジュラ系～下部白亜系 (鹿折層群・大島層群) の炭素同位体比層序と凝灰岩の年代.
3. 学会等名 日本地質学会第129年学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 都丸 大河, 高嶋 礼詩, 西 弘嗣, 黒柳 あずみ, 山中 寿郎, 折橋 裕二, 浅原 良浩
2. 発表標題 福島県上部ジュラ系～下部白亜系相馬中村層群の炭素同位体比層序と凝灰岩のU-Pb放射年代
3. 学会等名 日本地質学会第129年学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 村上 一成, 黒柳 あずみ, 高嶋 礼詩, 西 弘嗣
2. 発表標題 ポコンチアン堆積盆地に露出する白亜系中部の浮遊生化石層序と群集
3. 学会等名 日本地質学会第129年学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高澤 拓夢, 黒柳 あずみ, 高嶋 礼詩, 西 弘嗣, Sageman Bradley
2. 発表標題 フランス南東部, ポコンチアン堆積盆地の下部白亜系アプチアン階の浮遊性有孔虫化石層序と群集
3. 学会等名 日本地質学会第129年学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中村冬弥・柴田正輝・W. Naksri・D. Chokchaloemwong・中田健太郎・築地祐太・野田芳和・湯川弘一・P. Jintasakul・東 洋一,
2. 発表標題 下部白亜系コククルアト層(タイ王国)の翼竜類化石について
3. 学会等名 日本古生物学会第172回例会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shibata, M
2. 発表標題 History of Dinosaur Discoveries in Japan
3. 学会等名 IPC6 Thailand
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 柴田正輝, 辻野泰之, 小布施彰太, 中尾賢一, 関谷透, 築地祐太, 中山健太郎
2. 発表標題 下部白亜系立川層(徳島県勝浦町)から発見されたイグアノドン類の尾椎
3. 学会等名 日本古生物学会2022年年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 辻野泰之, 小布施彰太, 中尾賢一, 柴田正輝, 河部壮一郎, 東洋一, 関谷透, 藺田哲平, 築地祐太, 中山健太郎, 小笠原憲四郎
2. 発表標題 徳島県勝浦町に分布する下部白亜系立川層の恐竜化石発掘調査
3. 学会等名 日本古生物学会2022年年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 池田雅志・沢田健・安藤卓人・中村英人・高嶋礼詩・西弘嗣
2. 発表標題 白亜紀Cenomanian/Turonian境界期堆積岩の菌類・地衣類バイオマーカー分析：菌類フロラの変遷復元
3. 学会等名 第38回有機地球化学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐久川玄・岡野和貴・安藤卓人・沢田健・高嶋礼詩・西弘嗣
2. 発表標題 白亜紀海洋無酸素事変1b層準の黒色頁岩から分離したケロジェンの熱分解分析
3. 学会等名 第38回有機地球化学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 早川万穂・池田雅志・沢田健・高嶋礼詩・西弘嗣
2. 発表標題 北海道苫前町古丹別地域の上部白亜系蝦夷層群における花粉およびパリーノモルフ分析
3. 学会等名 日本地質学会北海道支部2021年例会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 池田雅志・沢田健・高嶋礼詩・西弘嗣
2. 発表標題 アメリカ・カリフォルニア州北部のセノマニアン/チューロニアン境界堆積岩の植物バイオマーカー分析による陸域古植生変動の復元
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合(JpGU)2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 早川万穂・池田雅志・沢田健・高嶋礼詩・西弘嗣
2. 発表標題 北海道古丹別地域における上部白亜系堆積岩の花粉およびパリーノモルフ、ケロジェン分析による古植生変動の復元
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合(JpGU)2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高嶋礼詩, 西弘嗣, 折橋裕二, 山中寿朗
2. 発表標題 北海道・蝦夷層群の層序学的研究と白亜紀の国際標準年代尺度と古環境研究への貢献
3. 学会等名 日本地球化学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 黒須弘美・柴田正輝・宮田和周・廣瀬浩司・鶴飼 宏明
2. 発表標題 姫浦層群下津深江層(熊本県天草市)から産出したマーストリヒチアンのハドロサウルス上科の歯化石
3. 学会等名 日本古生物学会第171回例会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 柴田正輝・宮田和周・中谷大輔・小平将大
2. 発表標題 上部白亜系三ツ瀬層(長崎県長崎市)から産出した ハドロサウルス上科の肩甲骨について
3. 学会等名 日本古生物学会第171回例会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 服部創紀・河部壮一郎・今井拓哉・柴田正輝・宮田和周・徐星・東 洋一
2. 発表標題 Fukuivenator paradoxus の系統的位置の再検討
3. 学会等名 日本古生物学会第171回例会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 針谷一樹・柴田正輝
2. 発表標題 手取層群北谷層から産出した新しいトカゲ類化石
3. 学会等名 日本古生物学会2021年年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 関谷 透・柴田正輝・築地祐太
2. 発表標題 Fukuititan nipponensis の四肢骨復元,
3. 学会等名 日本古生物学会2021年年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 陣内香苗・柴田正輝
2. 発表標題 Edmontosaurus annectens の頭骨の記載および標徴の考察,
3. 学会等名 日本古生物学会2021年年会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 日本古生物学会	4. 発行年 2022年
2. 出版社 丸善出版	5. 総ページ数 754
3. 書名 古生物学の百科事典	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	高嶋 礼詩 (Takashima Reishi) (00374207)	東北大学・学術資源研究公開センター・教授 (11301)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	沢田 健 (Sawada Ken) (20333594)	北海道大学・理学研究院・教授 (10101)	
研究分担者	柴田 正輝 (Shibata Masaki) (30713739)	福井県立大学・恐竜学研究所・准教授 (23401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関