

令和 4 年 5 月 20 日現在

機関番号：82701

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2021

課題番号：17K12968

研究課題名(和文)足跡化石コレクションの構築と児童生徒が創造的、探究的に学習できる展示の開発

研究課題名(英文)Collection of fossil tracks and development of museum exhibit for students' inquiry-based learning

研究代表者

柴田 健一郎 (Shibata, Kenichiro)

横須賀市自然・人文博物館・その他部局等・学芸員

研究者番号：20443327

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：横須賀市自然・人文博物館に136点の足跡化石コレクションを構築し、5点のハンズオン展示を開発した。タブレット端末で閲覧できる足跡化石3Dモデルと足跡化石産地360°画像、足跡化石産地ジグソーパズル、化石発掘体験、床面にシールで再現した足跡化石産地である。アンケート調査とアイトラッキングで展示物に対する見学者の閲覧行動を調査した結果、成人より児童生徒のほうがハンズオン展示を好む傾向があることがわかった。また、ハンズオン展示は標本展示や解説パネルに比べて、閲覧する見学者の割合が多く、見学者の閲覧時間が極めて長かった。ハンズオン展示は見学者の学習の動機付けや探究的な学習の誘発に有効と考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

足跡化石コレクションデータベースの公開により、研究者やメディア関係者、一般の方々が足跡化石資料にアクセスしやすくなった。また、今後は足跡化石がフォトグラメトリーを用いて客観的に記録されていくと考えられる。

脊椎動物化石は児童生徒に人気の博物館資料である。今後は体化石だけでなく、この研究で開発した足跡化石を素材とした博物館展示物を用いて、児童生徒の創造性をかき立て、探究活動を啓発できる教育普及活動が展開されていくことが期待される。

研究成果の概要(英文)：A total of 136 fossil footprint specimens were collected in the Yokosuka City Museum, Japan, and five hands on exhibits were also developed based on the specimens as follows: 3D models of fossil tracks and 360-degree photos of tracksites with tablets, jigsaw puzzles of tracksites, excavation experience of a tracksite, and a tracksite reconstructed using floor stickers. Questionnaire survey and eye tracking revealed that students preferred the hands on exhibits than adults. In addition, ratios of visitors viewing and/or touching the hands on exhibits were higher, and their viewing and/or touching durations were quite longer compared with exhibits of just specimens and explanation panels. These hands on exhibits are interpreted to be useful for visitor's learning motivation and inquiry-based learning.

研究分野：堆積学

キーワード：足跡化石 博物館 展示 ハンズオン 恐竜 児童生徒 アイトラッキング

1. 研究開始当初の背景

小中学校の理科では、児童生徒が主体的に観察・実験を行うとともに、結果を考察し表現する力、すなわち問題解決の力を高めることが求められている。また、地球科学に関する理科の授業では、博物館を利用して実物を観察することが推進されている。そのため、博物館には、児童生徒が自由に発想し、創造的に学び、豊かに生きるための力を身につけられる展示や学習プログラムの提供が求められている。博物館の展示や学習プログラムは、見学者の興味・関心を引き、学習の動機付けとなるものでなくてはならない。そのためには魅力的な資料の展示・提示と、その資料の「魅力」を引き出すための基礎研究が不可欠である。

恐竜をはじめとする脊椎動物化石は児童生徒に人気の博物館資料で、これまでに多くの博物館が脊椎動物化石をテーマにした展示や学習プログラムを開発してきた。しかし、博物館で足跡化石を用いた展示や学習プログラムは稀である。足跡化石は、足跡を残した動物の行動や生態の情報が含まれているので、動物の生物的特徴、心理的背景が解析でき、児童生徒の創造性をかき立て、探究活動を啓発することができる素材である。しかし、足跡化石を多く収蔵している国内の博物館はほとんどない。

2. 研究の目的

この研究では、足跡化石を用いて児童生徒が創造的、探究的に学習できる博物館展示物を開発することを目的とする。このため、以下の項目を設定した。

1. 足跡化石コレクションの構築：収集対象とするのは国内外の古生代の爬虫類、中生代の恐竜類、鳥類、新生代の哺乳類、鳥類等の足跡化石の実物とレプリカである。資料数は100点を目標とする。足跡化石資料のデータベースを構築し、広く公開する。
2. 足跡化石の記載、古環境・古生態系の復元：足跡化石を同定し、未記載の資料を記載する。足跡を残した動物の種類、大きさ、行動などを明らかにする。
3. 展示物の製作と評価：児童生徒の興味・関心を引く足跡化石を素材とした展示物を開発する。展示物の見学者への誘因度・魅了度、見学者が探究的な学習ができたか、を明らかにする。

3. 研究の方法

1. 日本国内と米国ユタ州のフィールド調査と、国内と米国の博物館資料の調査・レプリカ作成により、足跡化石資料を収集する。横須賀市博物館資料集に収集した足跡化石資料カタログを掲載し、同館のホームページでもデータベースを公開する。
2. 日本国内と米国ユタ州の足跡化石産地の調査を実施する。未記載の足跡化石を記載・計測し、歩行跡の計測値から過去の動物の歩行速度を見積もる。
3. 複数視点から撮影された写真を基に撮影物の三次元的な形状を復元する手法、フォトグラメトリーによって、足跡化石標本の形状を三次元的に復元する。
4. 足跡化石を素材とした展示物を開発し、特別展示を横須賀市博で開催する。アンケート調査とアイトラッキングによって展示物を評価する。

4. 研究成果

足跡化石コレクションの構築とデータベースの公開

106点の足跡化石資料を収集し、横須賀市自然・人文博物館の古生物資料(YCM-GP)として登録した。収集したのは主に米国コロラド高原から産出した恐竜足跡化石レプリカ、ならびに日本国内から産出した哺乳類足跡化石のレプリカと実物である。資料のデータベースは横須賀市博物館資料集第45号(Shibata et al., 2021)に掲載した。これにより、横須賀市博の足跡化石資料は既存の資料と合わせて139点となった。それらのデータを横須賀市自然・人文博物館ホームページ資料データベースに掲載した

(<https://www.museum.yokosuka.kanagawa.jp/library/documentdatabase>)。

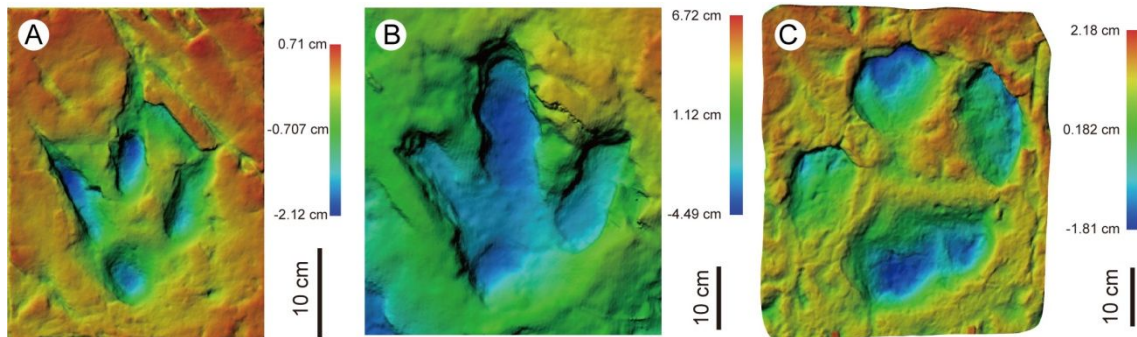
足跡化石の記載

米国ユタ州モアブ北に露出する上部三畳系チンレー層の最上部からは、多くの四足動物の足跡化石が産出する。これまでの研究では多くの肉食恐竜の足跡化石グララター *Grallator* isp. とアエトサウルス類の足跡ブラキキロテリウム *Brachychirotherium* isp. が報告されていた。今回の研究により、さらに多くのグララターが確認された。また、初期の鳥盤類の足跡であるアノモエプス *Anomoepus* に似た足跡が確認され、新生痕属・新生痕種エオアノモエプス・ラトゥス *Eoanomoepus latus* として記載した(Lockley et al., 2018)。

米国ユタ州メルステーションは、前期ジュラ紀の恐竜足跡化石を豊富に産する。この足跡化石産地はナバホ砂岩の最上部に相当し、肉食恐竜の足跡ユーブロンテス *Eubrontes* isp. が約130個と、それらが構成する24の歩行跡が認められた。それらの歩行跡のうち、4つは疾走した肉食恐竜が残したと考えられ、最大で49km/毎時の速度が見積もられた。この速度は、ジュラ紀の肉食恐竜では最速のものである(Lockley et al., 2020; 2021)。

フォトグラメトリーによる足跡化石の3Dモデルの構築

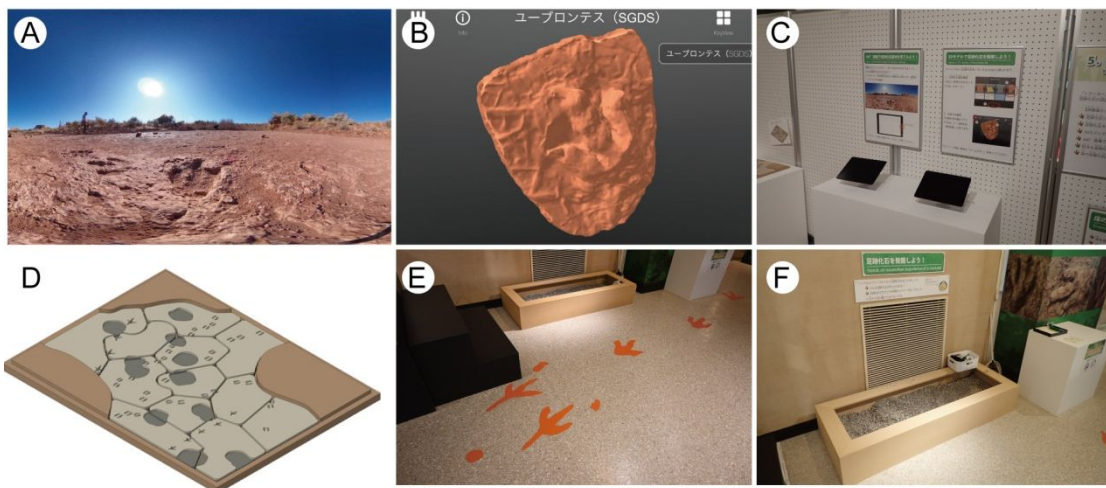
フォトグラメトリーによって、足跡化石標本の形状を三次元的に復元した(第1図)。この手法は足跡化石の形状を客観的に記録するために有効と考えられる。また、この手法は植物食恐竜である鳥脚類の足跡化石に残された皮膚の跡を復元するのに十分な解像度を有することが明らかとなった。さらに、復元した三次元画像上で、足跡化石の長さや幅、歩行跡のステップやストライドが1 cm 未満の精度で計測された(柴田ほか, 2021)。



第1図. フォトグラメトリーによる足跡化石の深度マップ. A: 肉食恐竜の足跡アジアノボダス・プルビニカルクス *Asianopodus pulvinicalx* (YCM-GP1845). B: 肉食恐竜の足跡ユーブロンテス *Eubrontes* isp. C: 皮膚の跡がある植物食恐竜(鳥脚類)の足跡カリクニウム・レオナルディアイ *Caririchnium leonardii* (YCM-GP1813). 柴田ほか(2021)を改変.

展示物の開発と評価

児童生徒が探究的に学習できるハンズオン展示を5点开発した。タブレット端末で足跡化石産地の360°画像を自由に閲覧できる「360°画像で足跡化石産地を見てみよう!」、同じくタブレット端末でフォトグラメトリーによる足跡化石の3Dモデルを閲覧できる「3Dモデルで足跡化石を観察しよう!」、足跡化石産地の木製ジグソーパズル「足跡化石ジグソーパズルに挑戦しよう!」、実物大の足跡シールによって展示室床面に足跡化石産地を再現した「床の足跡化石産地を見てみよう!」、砂利をスコップや刷毛でどかして足跡化石(レプリカ)の発掘を体験できる「足跡化石を発掘しよう!」である(第2図)。



第2図. A: 「360°画像で足跡化石産地を見てみよう!」の端末画面. B: 「3Dモデルで足跡化石を観察しよう!」の端末画面. C: AとBの閲覧用のタブレット端末. D: 12ピースの「足跡化石ジグソーパズルに挑戦しよう!」. E: 「床の足跡化石産地を見てみよう!」. 肉食恐竜の歩行跡に加えて、しゃがんだ跡を再現している. F: 「足跡化石を発掘しよう!」.

「360°画像で足跡化石産地を見てみよう!」は実際に足跡化石産地を訪れた様子を体験できる。「3Dモデルで足跡化石を観察しよう!」は、通常の展示では観察できない視点から標本を観察できるようにした。「足跡化石ジグソーパズルに挑戦しよう!」は足跡化石産地を再現した12ピースと20ピースのジグソーパズルを作成した。野外で採集した足跡化石産地のブロックを室内で復元する過程を体験するとともに、完成したパズルから足跡を残した動物の種類や個体数、動物の行動を考察できるようにした。「床の足跡化石産地を見てみよう!」では、ジグソ

ーパズルと同様に、足跡を残した動物の種類や個体数、歩く、走る、泳ぐ、しゃがむ、ジャンプする、捕食するといった動物の行動を推測できるように工夫した。「足跡化石を発掘しよう！」は、発掘のためのスコップや刷毛に加えてメジャーを備え付け、実際の発掘や化石の計測を体験できるようにした。

これらの展示物と収集した足跡化石資料に基づいた特別展示「足跡化石から探る太古の世界 恐竜からナウマンゾウまで」(令和3年7月24日～令和4年1月10日)を横須賀市自然・人文博物館で開催した。展示内容は特別展示解説書(柴田, 2021)に示した。

開発した展示物に対する見学者の閲覧行動を、アンケート調査とアイトラッキング(視線計測)によって調査した。アンケート調査では128件の回答が得られ、成人より児童生徒のほうが上記のハンズオン展示を好む傾向があることがわかった。アイトラッキングでは児童13人と成人8人の見学者にウェアラブルアイトラッカーを着用させて調査した。その結果、ハンズオン展示(第3図A, B)は展示資料や解説パネル(第3図C)と比較して、閲覧するまたは触れてみる見学者の割合が多く、見学者の閲覧時間が極めて長かった。ただし、「床の足跡化石産地を見てみよう！」は見学者が閲覧する割合、閲覧時間がいずれも少なかった。これらの傾向は、児童生徒、または児童生徒とその保護者のグループと、成人のみのグループでも大きな差はなかった。一方、完成したジグソーパズルから足跡を残した動物を推定しようと試みた児童は13人中1人、足跡発掘体験にてメジャーで足跡化石の長さや歩幅を計測した児童は同じく13人中1人であった。これらから、「床の足跡化石産地を見てみよう！」は見学者の注意を引くための工夫が必要であるものの、その他のハンズオン展示は児童生徒や成人の見学者の興味・関心を引き、学習の動機付けや探究的な学習の誘発に有効と考えられる。



第3図. アイトラッキングによる見学者閲覧行動のヒートマップ. 赤で示された部分がよく閲覧された展示物であることを示す. A: 「360°画像で足跡化石産地を見てみよう!」、「3Dモデルで足跡化石を観察しよう!」、「足跡化石ジグソーパズルに挑戦しよう!」、「床の足跡化石産地を見てみよう!」. B: 「足跡化石を発掘しよう!」、「床の足跡化石産地を見てみよう!」. C: 「足跡化石の世界へようこそ」(展示資料と解説パネル, 映像展示). ヒートマップの表示条件は, Type: Absolute count, Radius: 50 px, Opacity: 100%, Scale max value: 50 counts.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 7件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Lockley M. G., Breithaupt B. H., Matthews N. A., Shibata K. and Hunt-Foster R	4. 巻 52
2. 論文標題 A Lower Jurassic Eubrontes-dominated tracksite in the Navajo Formation, eastern Utah: proposed protocols for unravelling tracksite history	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Geological Society of America Abstracts with Programs	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1130/abs/2020RM-346555	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Lockley M. G., Breithaupt B. H., Matthews N. A., Shibata K. and Hunt-Foster R.	4. 巻 82
2. 論文標題 A preliminary report on an Early Jurassic Eubrontes-dominated tracksite in the Navajo Sandstone Formation at the Mail Station dinosaur tracksite, San Juan County, Utah	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin	6. 最初と最後の頁 19--208
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Shibata K., Lockley M. G., Matsukawa M. and Milner A. R. C.	4. 巻 45
2. 論文標題 Catalogue of fossil footprints in the Yokosuka City Museum II	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Miscellaneous Report of the Yokosuka City Museum	6. 最初と最後の頁 1-27
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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 柴田健一郎・松川正樹・マーチン G. ロックレイ・アンドリュー R. C. ミルナー	4. 巻 68
2. 論文標題 SfM多視点ステレオフォトグラメトリーによる恐竜足跡化石の三次元的な記録	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 横須賀市博物館研究報告（自然科学）	6. 最初と最後の頁 --14
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Lockley M. G., Foster J. R., Gierlinski G. D. and Shibata K.	4. 巻 79
2. 論文標題 Upper Triassic tetrapod track assemblages from the Chinle Group, Moab area, Utah.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin	6. 最初と最後の頁 41--427
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Adhiperdana B. G., Hendarmawan, Shibata K. and Ito M.	4. 巻 171
2. 論文標題 Relationships between discharge parameters and cross-sectional channel dimensions of rivers in an active margin influenced by tropical climate.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Catena	6. 最初と最後の頁 645-680
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.catena.2018.07.008	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 Shibata K., Adhiperdana B. G. and Ito M.	4. 巻 363
2. 論文標題 Quantitative reconstruction of cross-sectional dimensions and hydrological parameters of gravelly fluvial channels developed in a forearc basin setting under a temperate climatic condition, central Japan	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Sedimentary Geology	6. 最初と最後の頁 69-82
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sedgeo.2017.10.014	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計1件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 Lockley M.G., Breithaupt B.H., Matthews N.A., Shibata K., Hunt-Foster R. and McDonald G.H.
2. 発表標題 A Lower Jurassic Eubrontes-dominated tracksite in the Navajo Formation, Eastern Utah: proposed protocols for unravelling tracksite history
3. 学会等名 2020 GSA Rocky Mountain Section Meeting
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 柴田健一郎	4. 発行年 2021年
2. 出版社 横須賀市自然・人文博物館	5. 総ページ数 54
3. 書名 足跡化石から探る太古の世界ー恐竜からナウマンゾウまでー	

1. 著者名 Kenichiro Shibata	4. 発行年 2022年
2. 出版社 Graduate School of Science and Engineering, Chiba University (PhD thesis)	5. 総ページ数 243
3. 書名 Development of hydrological equations from modern rivers on convergent margins and applications to fluvial successions in rock records	

〔産業財産権〕

〔その他〕

関連ホームページ・You Tube 写真からつくる足跡化石3-Dモデル https://www.museum.yokosuka.kanagawa.jp/archives/news/37475 足跡化石資料データベース https://www.museum.yokosuka.kanagawa.jp/library/documentdatabase 足跡化石コレクション～恐竜・ナウマンゾウ～ https://youtu.be/ftndxCfop1c
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	ロックレイ マーチン (Lockley Martin)	コロラド大学デンバー	

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
研究協力者	ミルナー アンドリュー (Milner Andrew)	セントジョージ恐竜発見産地博物館	
研究協力者	松川 正樹 (Matsukawa Masaki)	東京学芸大学 (12604)	
研究協力者	伊藤 慎 (Ito Makoto)	千葉大学 (12501)	
研究協力者	アディプルダナ ビリー (Adhiperdana Billy)	バドジャドジャラン大学	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
	米国	University of Colorado Denver	St. George Dinosaur Discovery Site
インドネシア	Padjadjaran University		