

福井県勝山市における「第四次福井県恐竜化石発掘調査」報告

関谷 透・柴田正輝・湯川弘一・築地祐太

福井県立恐竜博物館 福井県勝山市村岡町寺尾 51-11

要旨

本報告では、福井県立恐竜博物館が主体となって2013年から2023年まで実施した第四次福井県恐竜化石発掘調査（以下、第四次調査）の概要と、この調査によって採集された化石資料の研究成果（学術論文、学会発表）および発掘成果に関する企画展等で公表された情報を取りまとめた。この調査により、新種の非鳥類型獣脚類1種（ティラノミムス・フクイエンス）と化石鳥類1種（フクイプテリクス・プリマ）が命名されたほか、新種として命名するには至らないまでも、これまで未発見であった分類群の恐竜（スピノサウルス科とヨロイ竜類）の化石が発掘された。また、カメ類の中でも従来報告されていなかった分類群（プロアドクス属）や、トカゲ類やワニ形類（ゴニオフォリス科）といった既出の分類群であっても未発見だった部位の産出によって古生物地理的な研究が進化したほか、恐竜を始めとする様々な脊椎動物の足跡化石も発見された。さらに、昆虫、貝類、植物などの化石や堆積相の研究も通して、北谷層が堆積した当時の生態系への理解が深まり、本発掘調査の当初からの目的である前期白亜紀の東アジアに関する生態系、古環境、古生物地理などの総合的な解明がさらに進んだと言える。

キーワード：恐竜化石発掘調査、手取層群、北谷層、前期白亜紀

SEKIYA, Toru, Masateru SHIBATA, Hirokazu YUKAWA, Yuta TSUKIJI (2025) Report of the 4th Dinosaur Excavation Project in Katsuyama City, Fukui Prefecture. Mem. Fukui Pref. Dinosaur Mus. 24: 87-105.

This report summarizes the 4th Dinosaur Excavation Project, conducted by the Fukui Prefectural Dinosaur Museum from 2013 to 2023, as well as the research results (article papers and conference presentations) of the fossil materials collected during this project and information published in temporary exhibitions and other events. The survey led to the naming of one new non-avian theropod species (*Tyrannomimus fukuensis*) and one fossil bird (*Fukuipteryx prima*), and the discovery of fossils of dinosaurs hitherto unknown from the Kitadani Dinosaur Quarry (Spinosauridae and Ankylosauria), though not yet sufficient to be named as new species. Furthermore, paleobiogeographical research were advanced by the discovery of previously unreported taxa of turtles (*Proadocus*), and by the identification of newly unearthed skeletal elements of taxa already documented from the site, including lizards and crocodyliforms (Goniopholididae). In addition, various vertebrate footprints, including dinosaurs, were also uncovered. Research on fossils—such as insects, shells, and plants—and on sedimentary facies has deepened our understanding of the ecosystem at the time the Kitadani Formation was deposited. These advances further contribute to the primary objective of achieving a comprehensive understanding of eastern Asia during the Early Cretaceous.

はじめに

福井県勝山市北谷町での杉山流域における恐竜化石発掘調査は1989年に始まった第一次調査を皮切りに、1995～1999年の第二次調査、2007～2010年の第三次調査と続き、恐竜骨化石等が密集する2層の骨化石含有層（以下、ボンベッドと呼ぶ）と足跡化石層から貴重な学術的成果を得てきた。それらの成果を受け、2011年と2012年に予備調査を行い、第四次調査実施地を第三次調査の下流側に選定した（Fig. 1）。これは従来の調査で発掘したボンベッドの側方延長が存在し、それよりも下位の地層を掘

削することにより、さらなる骨化石含有層の発見が期待できるためであった。Fig. 1に図示した2016年（H28）から2023年（R5）の範囲は各年度の主な掘削範囲である。調査面積は総計約1,800㎡、参加人数は延べ約700名に及ぶ。

2013年から行われた第四次調査は、新種の恐竜や足跡化石の発掘、化石鳥類、営巣地の発見を目指し、北谷層の古環境の総合的な解明および復元を目的として実施された。第四次調査の発掘現場での掘削は当初4か年計画だったが、骨化石密度の高いエリアであったため通常より発掘作業に時間を要した。そのため延長を重ねて、2023年まで11年間にわたって実施された。本調査では新種の鳥類フクイプテリクス・プリマや新種の非鳥類型の獣脚類ティラノミムス・フクイエンスの発見を始め、数々の成果を挙げた。ここに詳細を報告する。

なお、2020年は新型コロナウイルスの感染拡大防止のため学生を中心とした調査補助員の雇用を中止し、博物館

2025年9月23日受付、2025年12月9日受理。

Corresponding author – Toru SEKIYA

51-11, Terao, Muroko, Katsuyama, Fukui 911-8601, Japan

E-mail : t.sekiya@dinosaur.pref.fukui.jp

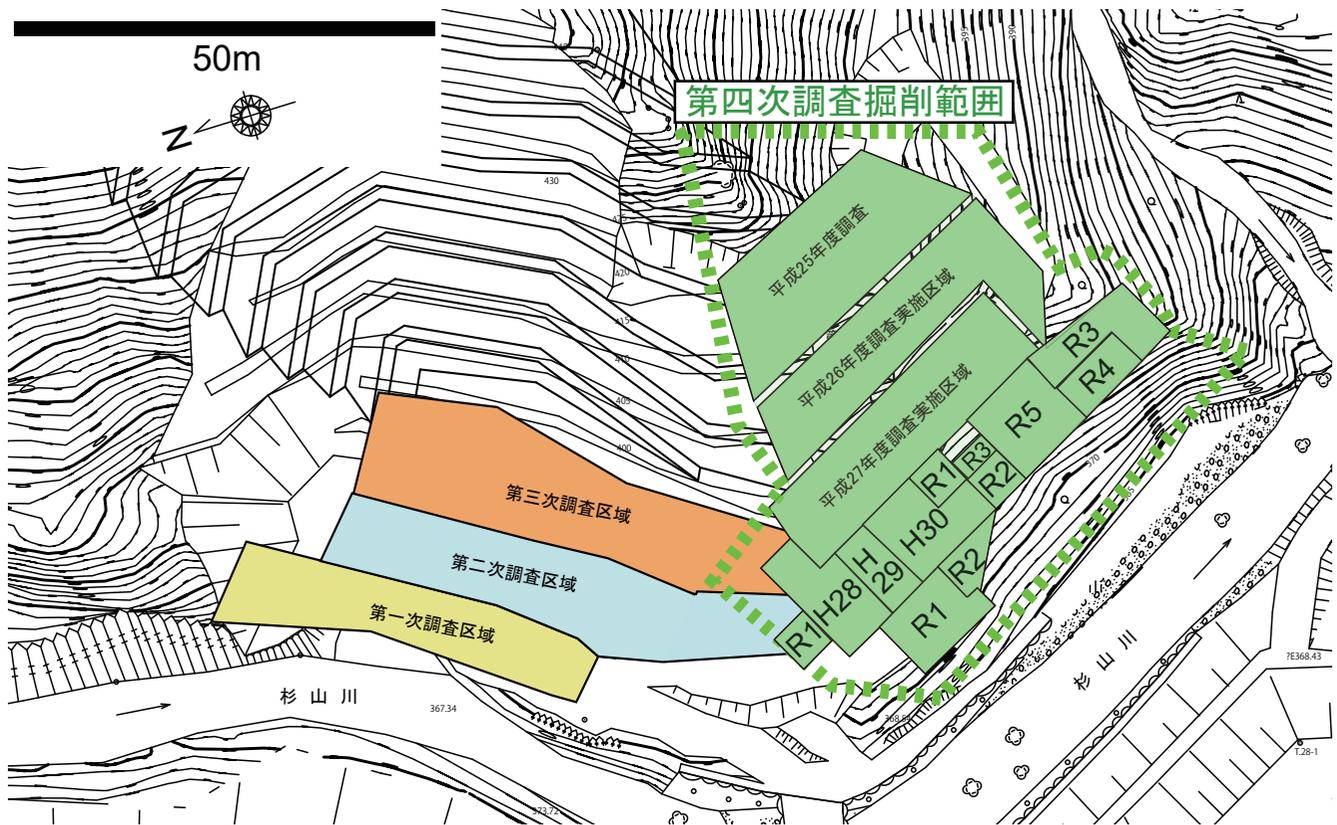


FIGURE 1. Excavated area of the Kitadani Dinosaur Quarry.

職員のみで実施した。2021年と2022年については大学院生や福井県立大学の学生など限られた人員のみに協力してもらった。また、2022年は8月4日の記録的な水害により発掘現場への林道が被災し、発掘現場へのアクセスが不可能になったため、その日以降は博物館内での岩割り作業を行った。2023年にも大雨により発掘現場へ渡る橋が流されたが、復旧したのちに現場での作業を再開した。第四次発掘調査で予定していたエリアの掘削が完了したため、現場での作業は2023年をもって終了した。

地質概説

本調査地域が帰属する飛騨帯は、古期大陸地塊に由来し、日本の他の地体構造単位とは異なっている (Isozaki et al., 2024)。その基盤は先カンブリア時代の変成岩類および前期～中期ジュラ紀の花崗岩類から構成されると考えられていたが (Suwa, 1990)、近年では、変成岩については古いものでも石炭紀 (柗座ほか, 2010)、花崗岩類については三畳紀 (石原, 2005) のものであるとされている。飛騨帯は大規模な剪断帯、いわゆる飛騨外縁帯によって日本列島弧の主要部分と区分されている。手取層群は、伝統的にこれら基盤岩を覆う上部ジュラ～下部白亜系の海成～非海成層であるとみなされ、下位から九頭竜亜層群、石徹白亜層群、赤岩亜層群の三重層群に区分されていた (前田, 1961)。しかし近年では、ジュラ系九頭竜亜層群を九頭竜層群として区別する考えもあり (Yamada and Sano, 2018)、

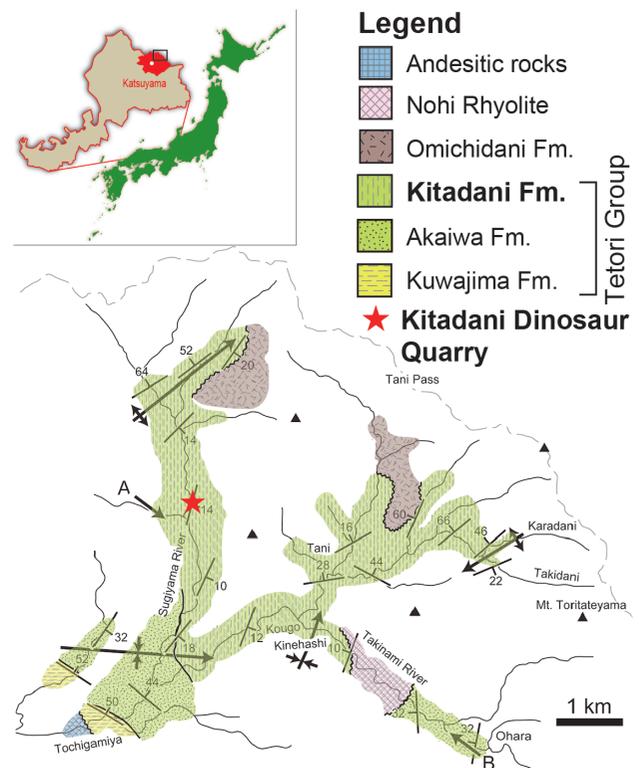


FIGURE 2. Geological map of the Kitadani Dinosaur Quarry and surrounding area (modified from Sakai et al., 2018).

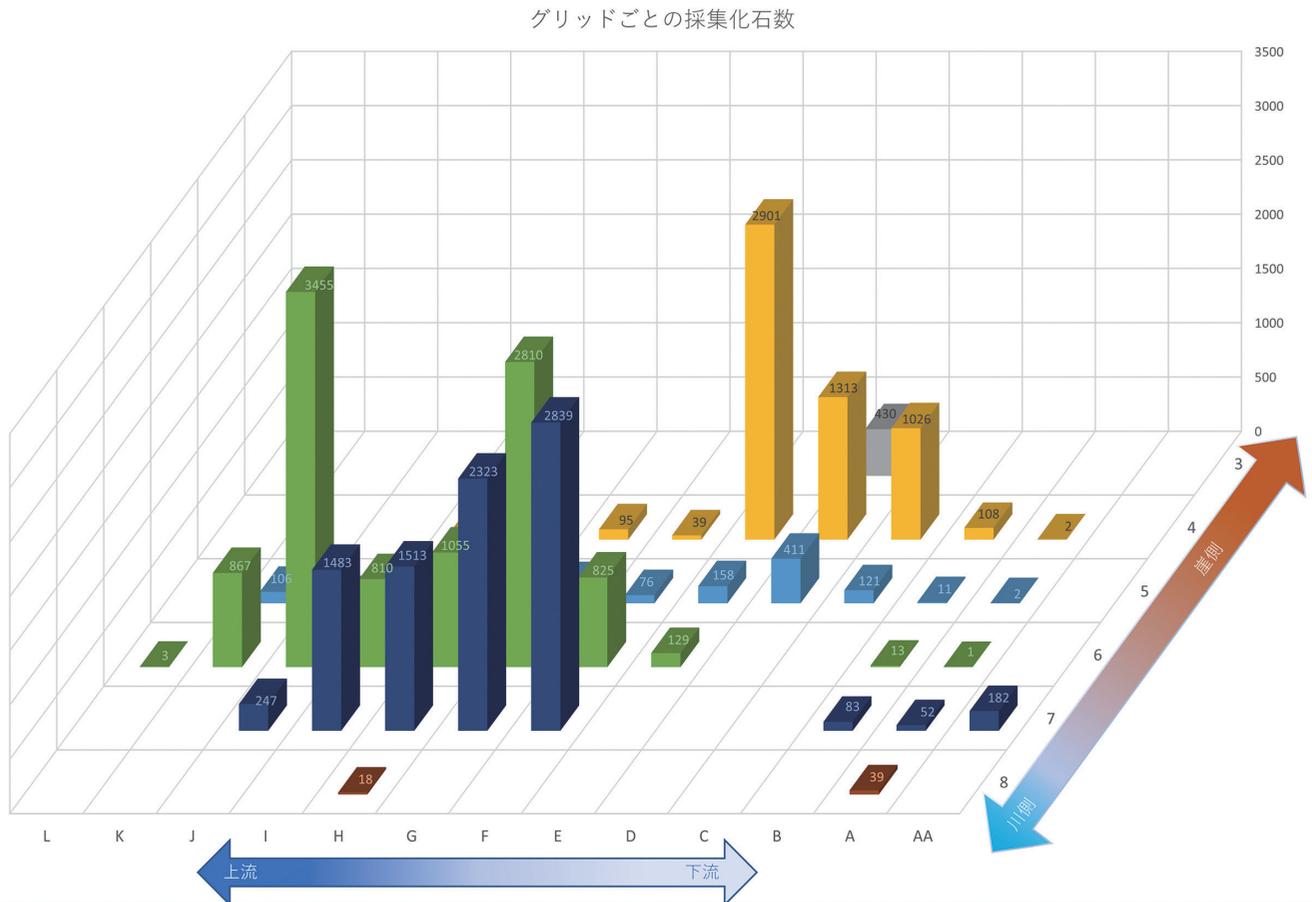


FIGURE 3. Number of collected fossils form each grid.

現在ではその提案が受け入れられつつある。本地域には Fig. 1 のように汽水～淡水成の桑島層、赤岩層、北谷層が分布している（前田，1958）。赤岩層は Aptian 期の礫岩、砂岩、泥岩の互層から、北谷層は緑色泥岩優勢の砂岩泥岩互層からなる（酒井ほか，2018）。発掘現場ではそのうち北谷層の下部が露出している（酒井ほか，2018；Fig. 2）。第四次調査では、杉山川左岸の第一次から第三次まで調査したエリアの下流側に隣接する区域を調査した。この区域は第三次調査までに発掘した層準の側方延長にあたる。

調査区域の層序と堆積相

発掘現場は、30年を超える継続的な発掘調査により、北向き、西向きおよび一部南向きの法面全面に北谷層が露出している。したがって地層の三次元的な解析が可能となり、詳細な堆積学的研究がなされている。Suzuki et al. (2015) では、第四次調査で露出させた露頭について詳細な調査を行い、突洲堆積相 (i)、オーバーバンク堆積相 (ii)、放棄流路埋積相 (iii) の少なくとも三つの堆積相に分けられることを示した (Fig. 5A)。

Suzuki et al. (2015) によると、突洲堆積相 (i) は、淘汰の良い粗粒～中粒砂岩を主体とし、厚さ3～5mのユニットとして発達する。基底には侵食面を伴い、側方付加を示

す大型のイプシロン型斜交層理やトラフ型斜交層理が特徴的である。オーバーバンク堆積相 (ii) は、泥岩を主体としつつ砂岩を頻繁に挟在し、氾濫原に堆積したと解釈される。中でも堤防決壊堆積物である砂岩はシート状に分布し、洪水時に破堤により供給された砂が氾濫原に急速に堆積したことを示す。また、灰緑色泥岩中に認められる炭酸塩ノジュールや粘土鉱物に富む層準は古土壌化作用を反映しており、氾濫原での土壌形成過程を記録している。放棄流路埋積相 (iii) は、幅約35m、深さ約7mに及ぶ旧河道を充填する細粒堆積物から構成されている。この相には、さらにスランプ変形を示す泥岩を伴うレンズ状の砂岩層、無構造有機質泥岩などが識別され、これらの堆積構造や堆積物の組み合わせは、河道のネックカットオフによって形成された三日月湖の堆積史を記録しており、時間の経過とともに湖が埋積されていった過程が読み取れる。以上の堆積相の組み合わせは、発掘現場で観察できる北谷層が蛇行河川システムの典型的な堆積物で構成されていることを示している。

また、フクイラプトルやフクイサウルス、ティラノミムスといった恐竜やその他の脊椎動物の骨化石が密集するボーンベッドは、主に細粒砂や泥から構成されるが、炭酸塩ノジュールや材片、粗粒砂、削剥された土砂の一部などが含まれ、淘汰の悪い岩相を呈しており、化石も遊離した

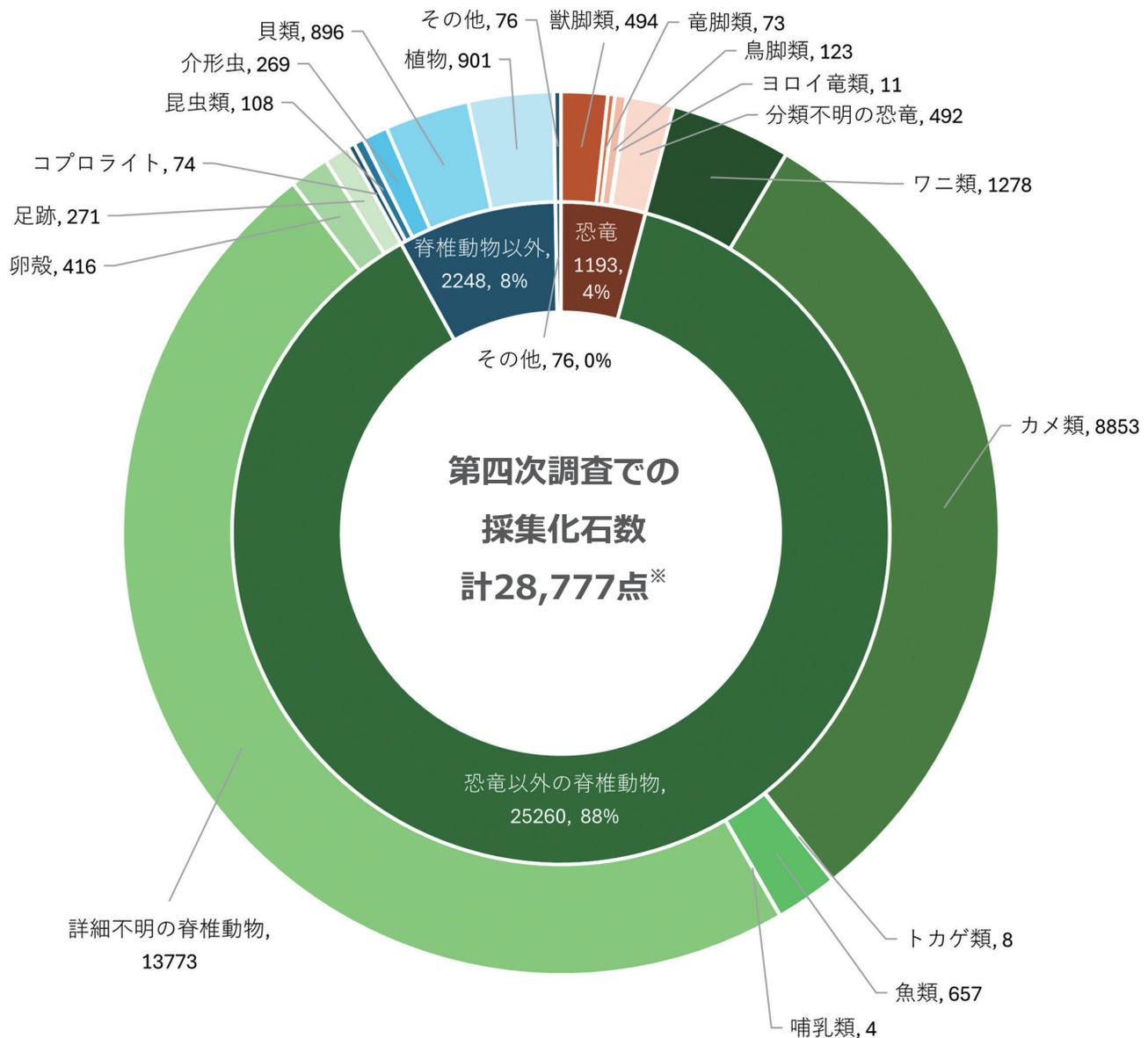


FIGURE 4. Number of collected fossils by category. ※Exclude unlisted fish scale and shell fossils.

り破損したりしたものが多い。これらの特徴から、氾濫原堆積相中にみられる破堤堆積物などとは違い、大規模な洪水の影響下で一気に流されてきたもので構成されている堆積物であると考えられる。

採集標本数

第四次調査で採集した動植物化石は約 79,000 点に及ぶ。採集にあたっては第三次調査の手法を踏襲して、重機による掘削と大割りした岩石から化石を探して採集する“前線”と、この岩石を手作業でさらに小さく割りながら化石を探す“ハンマー隊”とに分かれて調査した。その際、大まかな産出地点を追えるようにするため、発掘現場を 5 m 間隔のマス目状のグリッドに区切り、数字とアルファベッ

トで区別した。数字は露頭の前縁を基準として崖側から杉山川側へ向かって大きくなり、それと直行する方向に下流から上流に向かって AA から L までのアルファベットを与えた (Fig. 5)。各グリッドからの産出化石数には Fig. 3 に示すような偏りが見られた。グリッド C4 ~ E4 を中心とする多産域は上記 (iii) の層準からで、グリッド F6 から J6 および F7 から I7 を中心とする多産域はボーンベッドからの産出である。

発掘現場での採集リストを集計した結果を Fig. 4 に示す。一部、化石のクリーニング結果を反映させたため、これまで当館の年報等で公表してきた数値とは異なっている。また、採集した全ての化石のクリーニング作業が完了したわけではないため、ここで示す数値も今後多少の変動があることが予想される。判別できた脊椎動物化石 (魚類

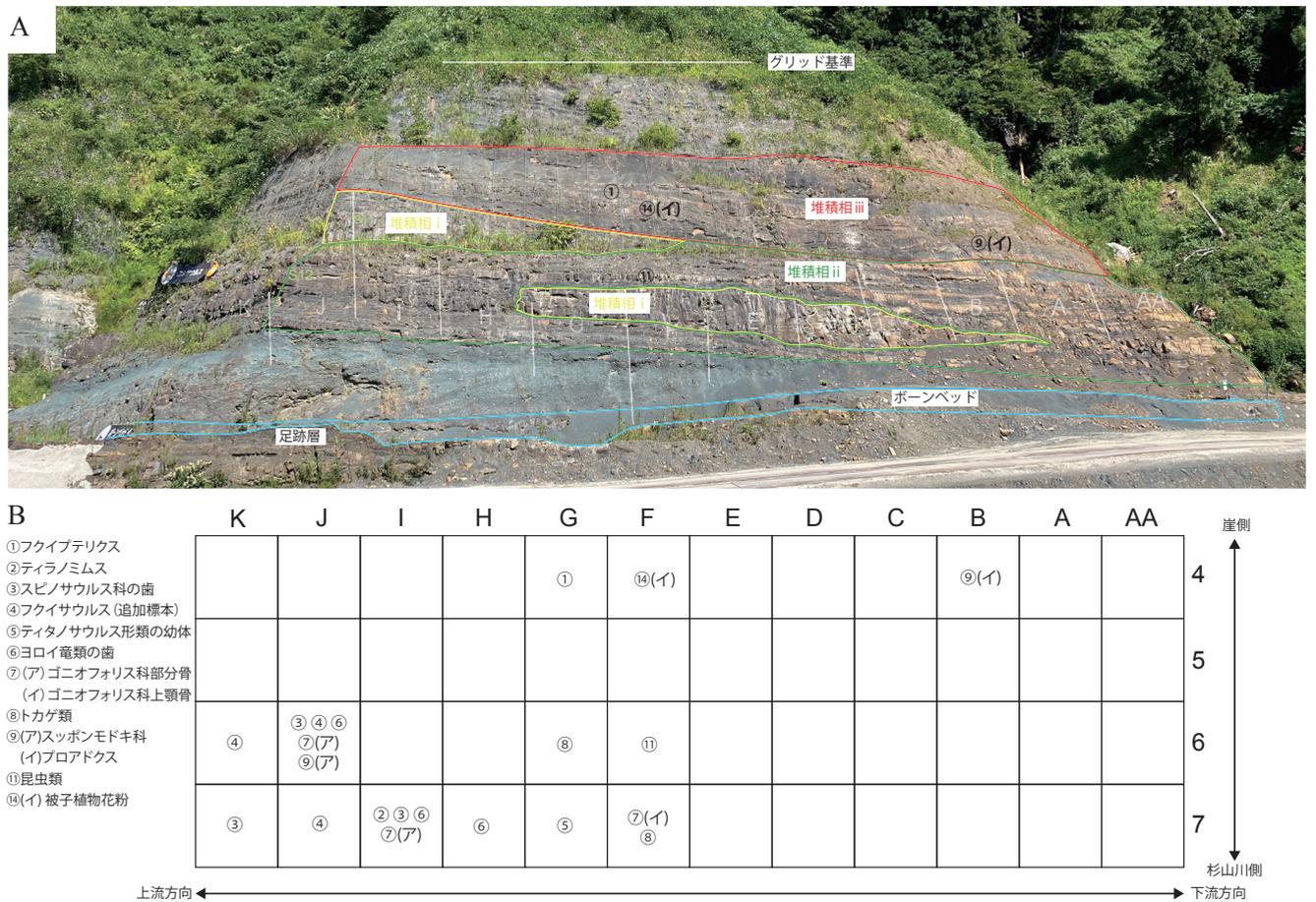


FIGURE 5. **A**, Sedimentary facies and grid division of the fourth excavation area; **B**, Occurred grid for each fossil (Note: only fossils with known locations. Circled numbers correspond to fossils outlined in this section).

のウロコを除く)のうちカメ類が約3割を占めるが、これは大半が甲羅の化石であり、破片であっても表面装飾や断面構造により判別が容易なことが要因として考えられる。なお、大量に産出する硬鱗魚のウロコ化石と貝類化石については Fig. 4 に示した標本以外にも多量に採集しており、概算でウロコ化石は 18,000 点以上、貝類化石は 32,000 点以上に及ぶ。

主な産出化石の研究成果

第四次調査の中で採集・研究された化石に関する研究成果とその概略を以下に挙げる。詳細については引用した学術論文や学会発表要旨を参照されたい。また、各化石資料について、第四次調査中に採集されたもののうち、上述の産出グリッドを特定できるものについては Fig. 5 にまとめた。

① フクイプテリクス・プリマ (*Fukuipteryx prima* ; Fig. 6)

2013年7月に緑灰色の細粒砂岩層(グリッドG4)から1個体分がまとまって産出した骨化石を模式標本として、2019年に命名された (Imai et al., 2019)。その分岐分析で

は鳥翼類 (*Avialae*) の中で始祖鳥に次ぐ基盤的な位置を示しており、U字形の鎖骨、細くて比較的短い尺骨、融合していない中手骨および中足骨といった原始的な特徴を有している。フクイプテリクスは鳥類の初期進化過程を解明する手掛かりとなる重要な標本である。

② ティラノミムス・フクイエンシス (*Tyrannomimus fukuensis* ; Fig. 7)

2017年にグリッドI7から採集された脳函の骨や胴椎骨、仙椎骨、尾椎骨および断片的な腸骨を模式標本として命名された (Hattori et al., 2023)。副模式標本および参考標本には第二次調査(1998年)や第三次調査(2008年, 2009年, 2010年)で採集された標本も含む。従来ティラノサウルス類の特徴とされていた、腸骨の外側面のリッジがみられることから本属名が付けられた。

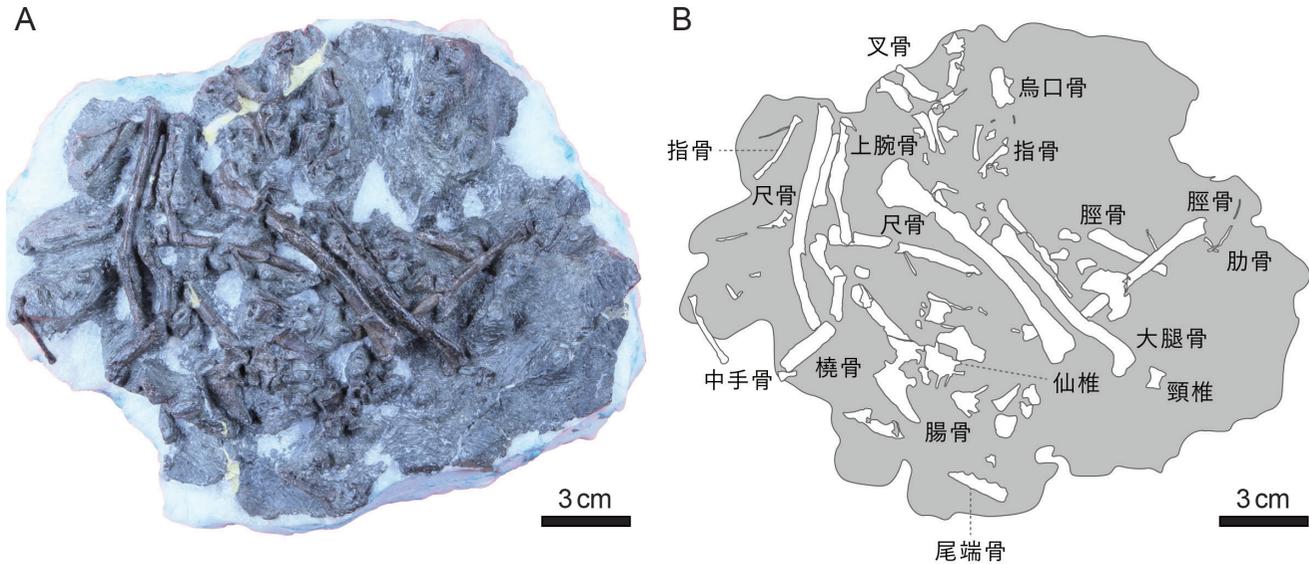


FIGURE 6. *Fukuapteryx prima*. A, Skeletal occurrence; B, explanation of the occurrence.



FIGURE 7. Holotype and referred specimens of *Tyrannomimus fukuensis*.

③ スピノサウルス科 (Fig. 8)

1991年(第一次調査)から2019年(第四次調査)にわたって、Fig. 8に示す歯化石が断続的に発見されてきた。Hattori and Azuma (2020)により、スピノサウルス科と同定できる特徴としては、断面が前後に長い楕円形、わずかに後方に曲がる、縦方向に多数の条線が発達、条線が先端付近で弱まる、表面に細かいシワが発達するといった形態が挙げられる。

④ フクイサウルス・テトリエンシス (*Fukuisaurus tetoriensis*) の追加標本 (Fig. 9)

F. tetoriensis は部分的な頭骨および胸骨を模式標本として記載された鳥脚類恐竜 (Kobayashi and Azuma, 2003) だが、2016年に、これまで見つかっていなかった前頭骨や後眼窩骨、眼瞼骨などを始め、尺骨や橈骨、中手骨などの前肢、中足骨などの後肢の一部が、非常に保存のよい状態で発見された。これらは近接するグリッドから発見されており (Fig. 5)、各骨のサイズを鑑みると単一個体に由来する可能性が高い (柴田, 2024)。上顎骨からは前眼窩窓の消失と歯槽内の歯が確認された。また、模式標本の前歯骨は先端が欠損しているが、新たな化石の発見によって先端がV字形に尖っていることが判明した (柴田, 2024)。



FIGURE 8. Spinosaurid teeth from the Kitadani Formation. Note: Specimens collected in previous (2nd and 3rd) projects are included.

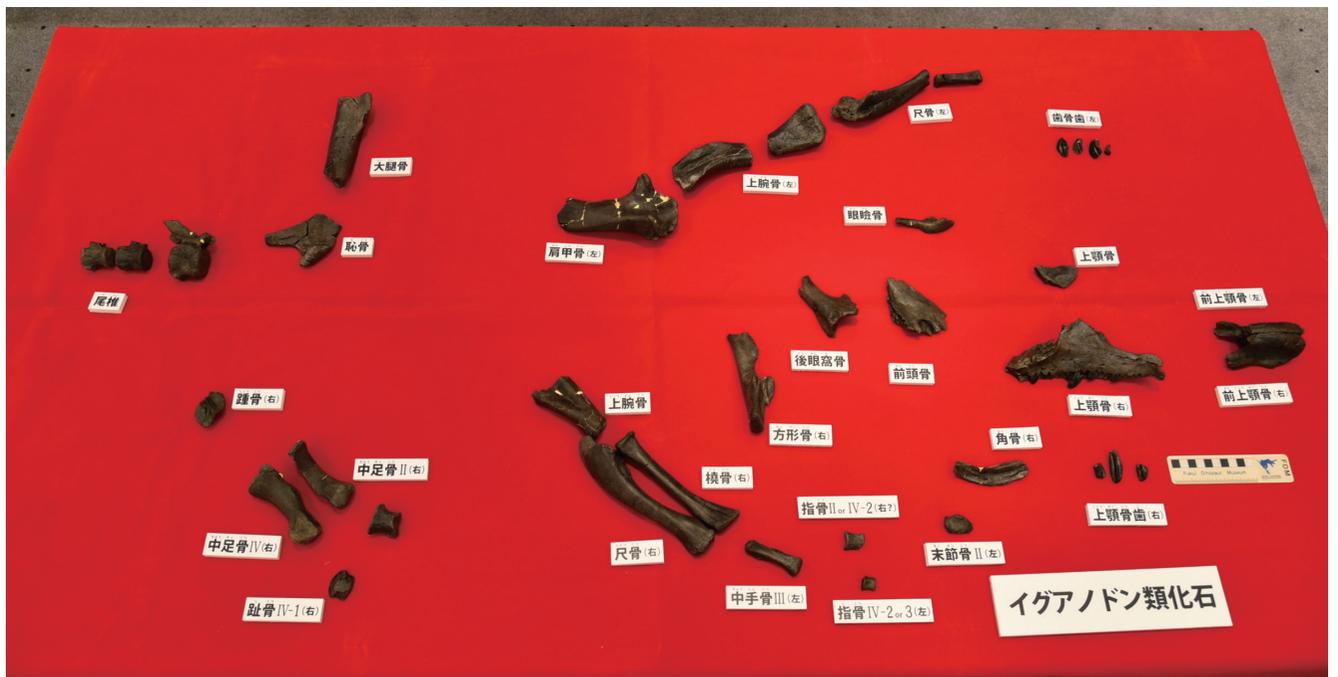


FIGURE 9. Additional materials of *Fukuisaurus tetoriensis*.

⑤ ティタノサウルス形類(竜脚類)の幼体神経弓 (Fig. 10)

発掘現場から産出する竜脚類としては、第三次調査で発見された *Fukuititan nipponensis* (Azuma and Shibata, 2010) のほか多数の遊離歯が発見されている。2019年の調査で、グリッド G7 から幼体の神経弓が発見された。*Fukuititan* の神経弓には、横突起・前関節突起・傍突起からなる含気孔の中に付属的な板状骨構造をもつが、この幼体標本にはこの板状骨が見られないことから、*Fukuititan* とは異なるティタノサウルス形類である可能性がある (関谷・柴田, 2024)。

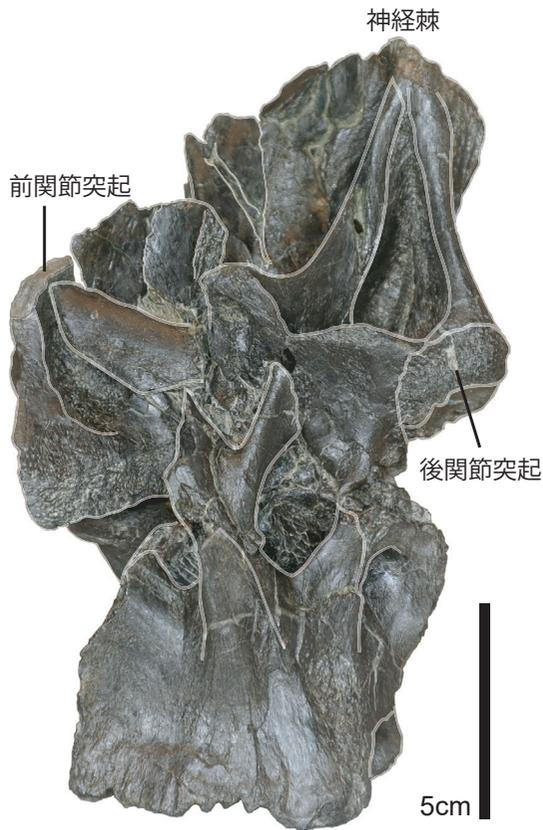


FIGURE 10. The neural arch of a juvenile Titanosauriformes (Sauropoda), left lateral view.

⑥ ヨロイ竜類の歯 (Fig. 11)

2017年から2023年までに発見されたもので、歯冠が葉のような三角形の形状であることや、鋸歯が粗い、非常に長い歯根といった点でヨロイ竜類の歯と同定された(柴田・蘭田, 2020)。歯冠は比較的細長く、表面がややふくらんで滑らかである点がイギリスの下部白亜系産のヨロイ竜類と類似するため、詳細な比較や古生物地理的な研究が待たれる。今後は頭骨や体骨格化石およびヨロイなどの発見が期待される。



FIGURE 11. Ankylosaurian teeth from the Kitadani Formation.

⑦ ワニ形類

(ア) ゴニオフォリス科の上顎骨、歯骨など (Fig. 12)

Obuse and Shibata (2024) は第三次および第四次調査で採集されたゴニオフォリス科の化石について記載・報告し、分岐分析による系統関係を提示した。同科は原始的な種が北米で、進化的な種がヨーロッパで発見されているが、北谷層のゴニオフォリス科は原始的な形質と進化的な形質を併せ持つことが判明した。これは、ゴニオフォリス科が北米からヨーロッパへと移動する経路としてアジアを通過したことを示していると考えられる。

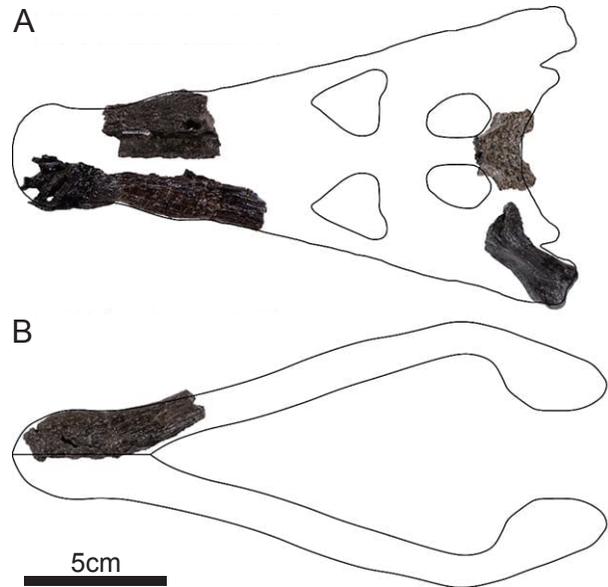


FIGURE 12. Partial skull specimens of Goniopholididae. A, dorsal view of the skull; B, ventral view of the mandible.

(イ) ゴニオフォリス科の上顎骨 (Fig. 13)

2021年の調査で、歯が付随したワニ形類の左上顎骨化石が発見された(グリッド F7)。外側面に見られる窪みからゴニオフォリス科に分類される。特に大きな2本の歯においては、頬側部が口蓋側よりも張り出す段差状の断面を示しており、ゴニオフォリス科でこのような歯をもつ顎化石は初めての発見である(関谷ほか, 2022)。

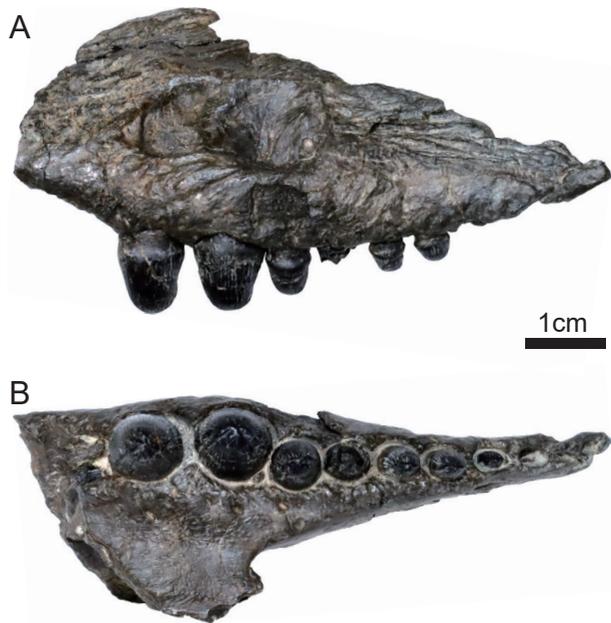


FIGURE 13. Left maxilla of Goniopholididae. **A**, lateral view; **B**, ventral view.

⑧ トカゲ類 (Fig. 14)

発掘現場から 2020 年にはほぼ完全な左上顎骨と、2019 年に左歯骨が発掘されたほか、2018 年に野外恐竜博物館で左歯骨 1 点が採集された。歯が比較的大きく、本数が少ない点がモンゴル産のトカゲ類化石に類似しており、石川・岐阜・兵庫県産のものとは異なっている。今後、食性などの生態についての解明が待たれる。なお、第三次調査での発掘化石の再検討によりトカゲ類の脳函化石 1 点が含まれていたことが判明した (針谷・柴田, 2021)。

⑨ カメ類

(ア) スッポンモドキ科 (Fig. 15)

2016 年にかつやま恐竜の森 (長尾山総合公園) にある体験施設「どきどき恐竜発掘ランド」で見つかった化石がスッポンモドキ科の腹甲であることが判明した。また、2017 年に発掘現場でも腹甲が採集されたほか、1997 年に第二次調査で発掘された化石にも右第 7 縁板が確認された (Sonoda et al., 2018)。これらの甲羅表面にはすべて、細かい結節が密集し、一部がつながり畝状になるという本科に特有の凹凸模様が見られる。また、本科の発見により、北

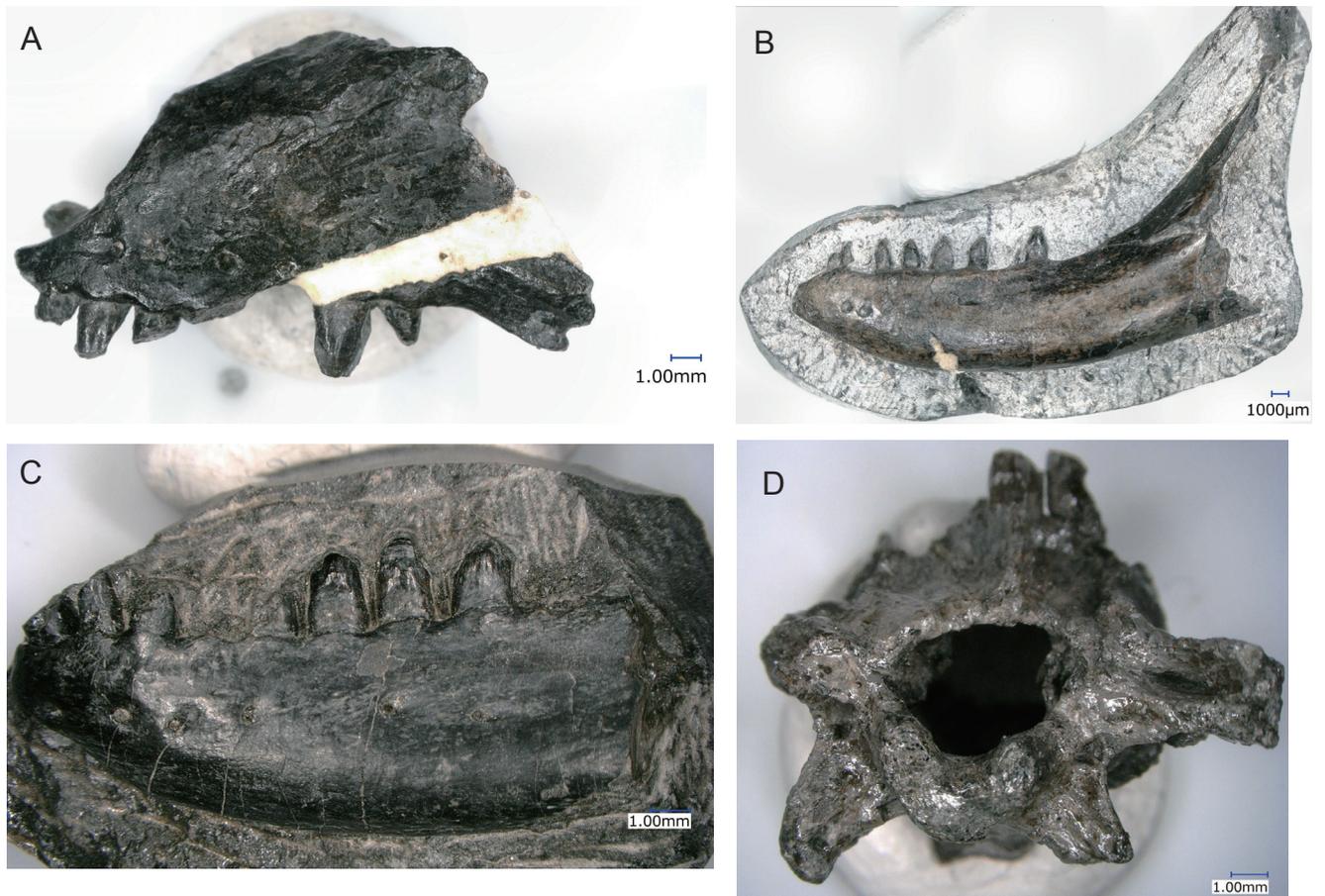


FIGURE 14. Lizard fossils. **A**, lateral view of left maxilla; **B**, lateral view of left dentary; **C**, lateral view of left dentary; **D**, braincase in caudal view.

谷層ではスッポン科, アドクス科, ナンシュンケリス科, スッポンモドキ科と, 汎スッポン類を構成する4科全てが揃ったことになる. 下部白亜系の汎スッポン類化石は, 中国や韓国, タイ, ラオス, キルギスからも報告されているが, 4科すべてが産出するような多様性のある産地は知られていない.

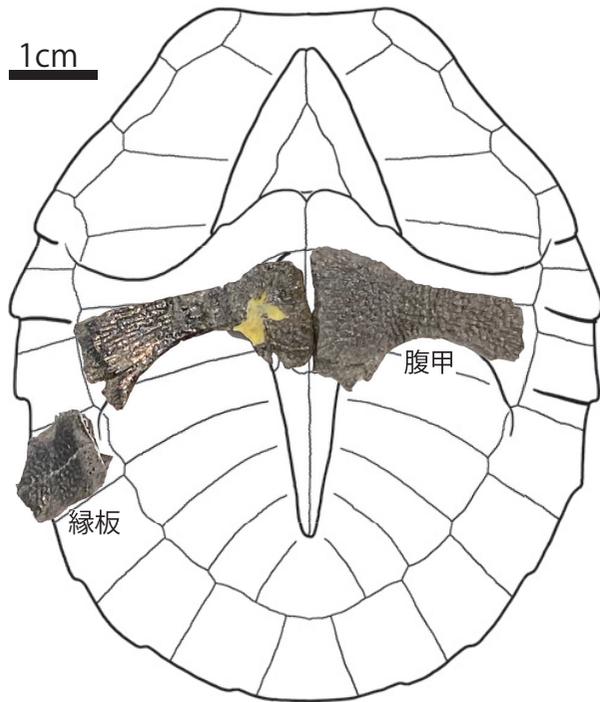


FIGURE 15. Carettochelyids' three disarticulated shell elements including a peripheral and right and left hypoplastron.

(イ) プロアドクス (*Proadocus* sp.; Fig. 16)

2021年8月に発見されたカメ類化石が, 国内初(世界で2例目)となるプロアドクス属であることが判明した(藪田・柴田, 2025). 第6・7・11・12縁鱗が肋板骨の遠位部を顕著に覆う一方で, 第9・10縁鱗が縁板骨の約半分のみを覆うという特徴は, 韓国の *Proadocus hadongensis* (Kim et al., 2023) と共通しており, 本標本も同属であると考えられる. 一方, 第8縁鱗が第5肋板骨の遠位部を覆うことや腹甲中央部の鱗板溝が顕著に蛇行することなど, *P. hadongensis* とは異なる形質も見られることから, 本標本は *Proadocus* 属の別種である可能性が高いと考えられる(藪田・柴田, 2025).

⑩ 哺乳類 (Fig. 17)

2014年に「どきどき恐竜発掘ランド」で発掘現場から運び込まれた北谷層の泥岩層から発見された. 頭骨の後半部, 首, 肩, 腕, 胸, 腹部にかけての骨が保存され, 膝の骨の一部も見られる. 生息時の姿を保った中生代哺乳類の骨格化石は日本で初めての発見である(宮田ほか, 2016). 本標本は多丘歯類に分類されるが, このグループの初期の骨格化石はほとんど知られておらず, その進化や多様性を解明する上で重要な資料となる.

⑪ 魚類 (Fig. 18)

第四次調査中に採集された硬鱗魚のウロコの化石の研究により, *Lepidotes* 型と *Sinamia* 型に分類できることが判明した(Deyama et al., 2025). 前者はペグと呼ばれる背側方向の突起を有し, 隣接するウロコの腹側にあるソケットと関節するが, 後者にはこのような構造が見られない(Fig. 18). また, 2020年には頭骨の一部が発見され, 研究が進められている(Saito et al., 2025).

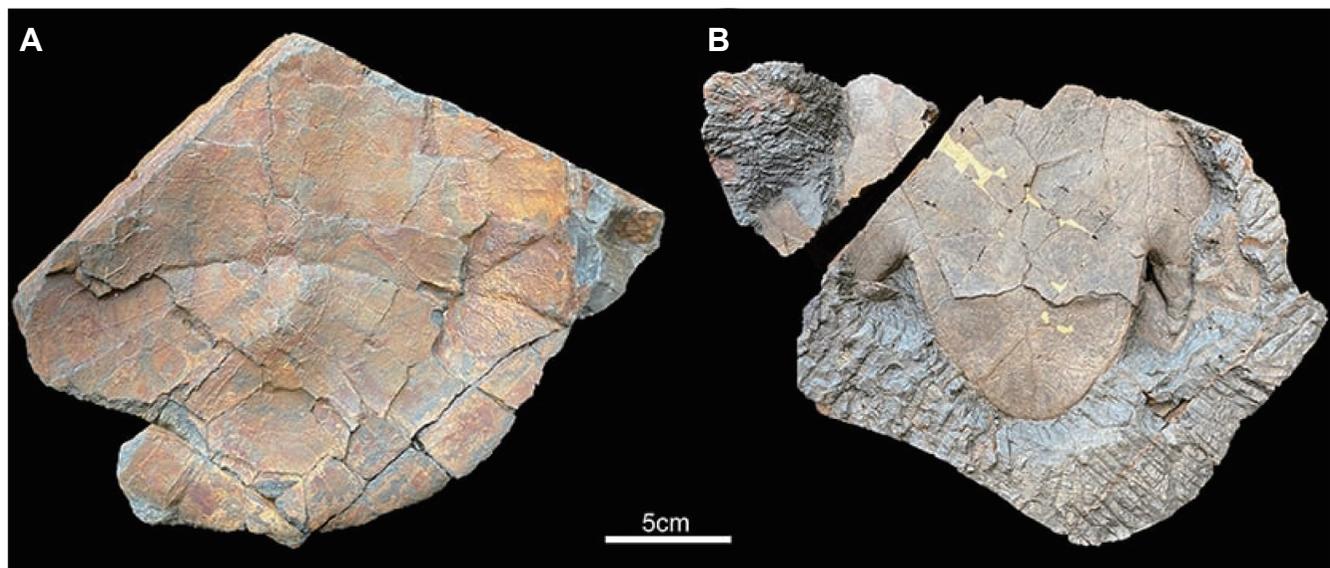


FIGURE 16. *Proadocus* sp. A, carapace; B, plastron.

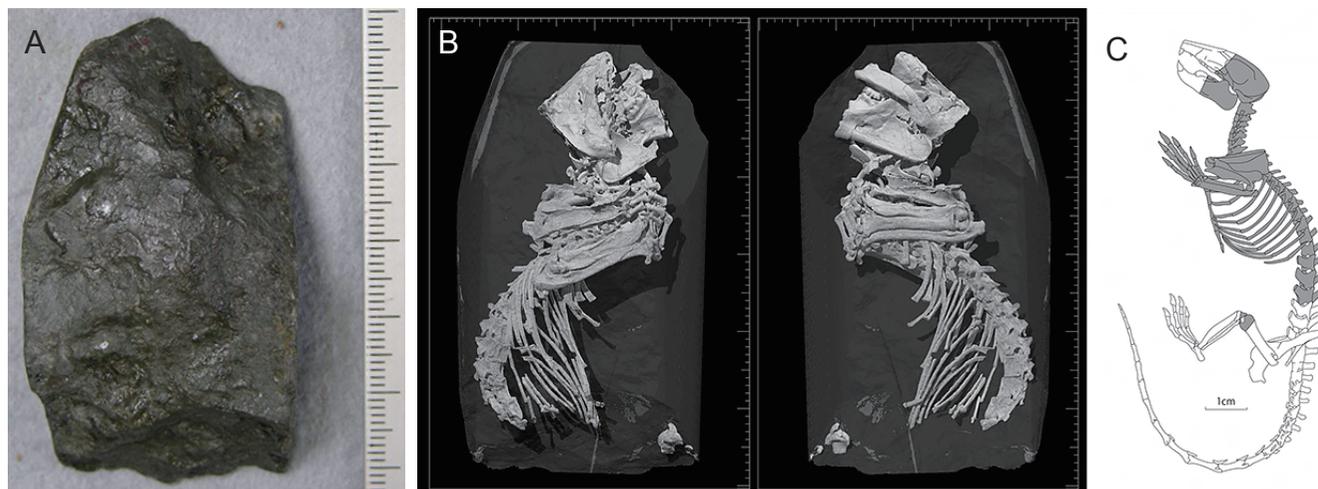


FIGURE 17. Multituberculata fossil skeleton. **A**, Rock material containing a skeleton; **B**, CT images of a multituberculata fossil skeleton in rock (left and right sides); **C**, Preserved parts (gray areas).

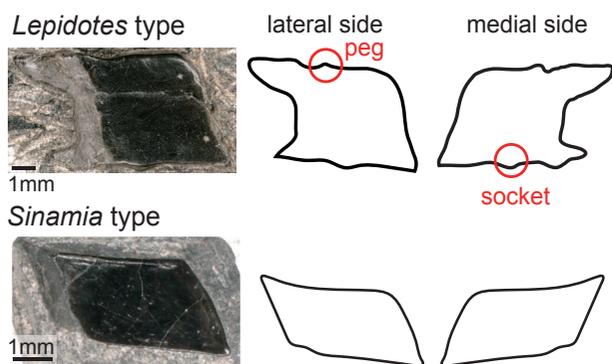


FIGURE 18. Photographs and outline drawing of fish scales.

⑫ 昆虫類 (Fig. 19)

当館と九州大学、および福井県立大学との共同研究により、北谷層からゴキブリ類の化石を少なくとも5種確認した。そのうち3種 (*Praeblattella inexpecta*, *P. arcuata*, *Petropterix fukuensis*) が新種であることが判明した (Oyama et al., 2022)。 *P. arcuata* は発掘現場から約 500 m 上流の北谷層で採集されたが、同じ地層からの複数種のゴキブリ類の報告は、日本の白亜紀の地層からは初めてである。北谷層のゴキブリ化石群集は、地理的に近い東アジア (中国や北朝鮮) のゴキブリ化石群集よりもむしろ、北アジア (特にモンゴルやロシア) の前期白亜紀のゴキブリ化石群集と高い一致を示していることが明らかとなった。

⑬ 貝類

第四次調査中に採集された二枚貝類化石について、サンドブラスター (高圧の空気ですり材を吹き付ける装置) を用いて殻表面の堆積物を除去することにより、殻化石に生息時の色彩模様が保存されていることが判明した (Fig. 20)。淡水生二枚貝化石に模様が保存されている例は世界

的にも極めて珍しく、北谷層からの発見は世界最古で日本初、化石記録として世界2例目である。化石の色彩模様は現在生きている淡水二枚貝類の模様とほぼ同じであることから、捕食者から身を守るためのカモフラージュとして進化した可能性が高い (Asato et al., 2022)。また、二枚貝類の薄片観察から殻皮が保存されていることがわかり、それらの分類と陸水域への進出史が再検討されている (吉村ほか, 2022)。

巻貝化石のCT解析により、内部に胎児殻が残っているためタニシ科に分類されることが判明したほか、フッ酸処理により消化管に相当する部位から植物プランクトンや擬糞様の有機質が検出され、食性の研究が進められている (吉村ほか, 2023)。

⑭ 足跡

(ア) 鳥脚類の足跡化石 (Figs. 21, 22)

第一次から第四次調査にかけて断続的に発見された。広島大学との共同研究によって、これらの足跡化石は2種類に分けられることが判明した (Tsukiji et al., 2018)。また、2015年に採集された足跡化石 (長さ 9.3 cm, 幅 9.8 cm) は、北谷層から産出する他のイグアノドン類の足印 (多くは 20 ~ 30 cm) に比べて極端に小さいため、幼体のものと考えられる (築地ほか, 2024)。四足歩行の足印としては世界最小である。

(イ) 獣脚類の足跡化石 (Fig. 23)

第一次調査から第四次調査にかけて断続的に発見された。広島大学との共同研究によって、これらの足跡化石が少なくとも5種類に分けられることが確認された (Tsukiji et al., 2019)。なお、1991年に採集された足印が国内初となるデイノニコサウルス類の足印であることが判明し (Tsukiji et al., in press)、現在獣脚類の足跡化石は6種類となっている。2020年には、国内で最長クラスとなる大型獣脚類の行跡が産出した (築地ほか, 2021)。

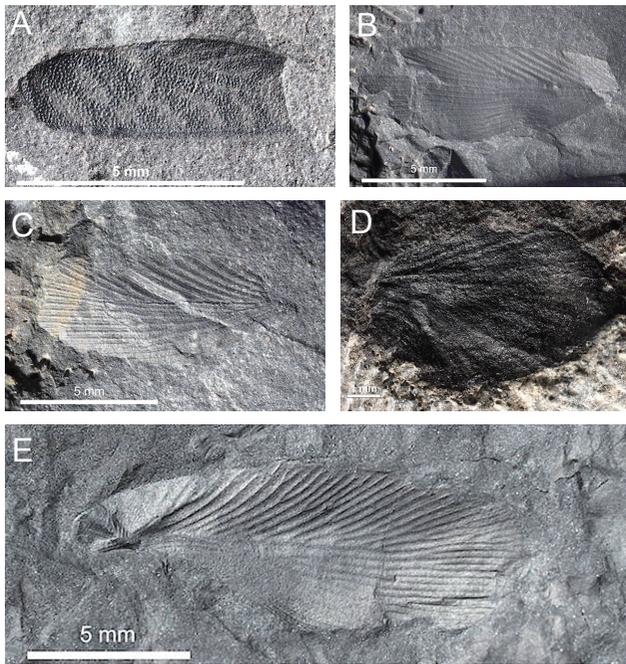


FIGURE 19. Photographs of the forewings of **A**, *Petropterix fukiensis*; **B**, *Praeblattella inexpecta*; **C**, *Praeblattella arcuata*; **D**, *?Vitisma* sp.; **E**, *?Morphna* sp.

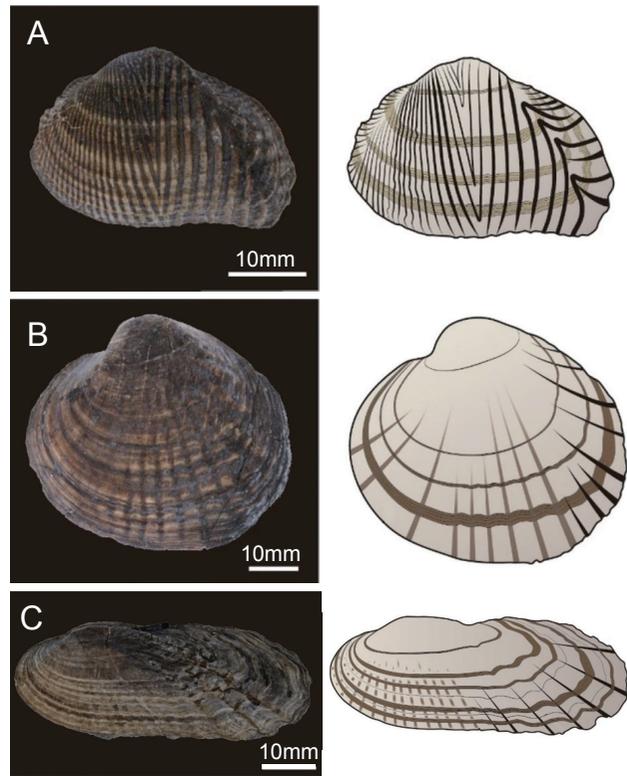


FIGURE 20. Photograph (left) and schematic diagram of the pattern (right) of bivalves. **A**, *Trigonioides tetoriensis*; **B**, *Plicatounio nactongensis*; **C**, *Matsumotoina matsumotoi*.

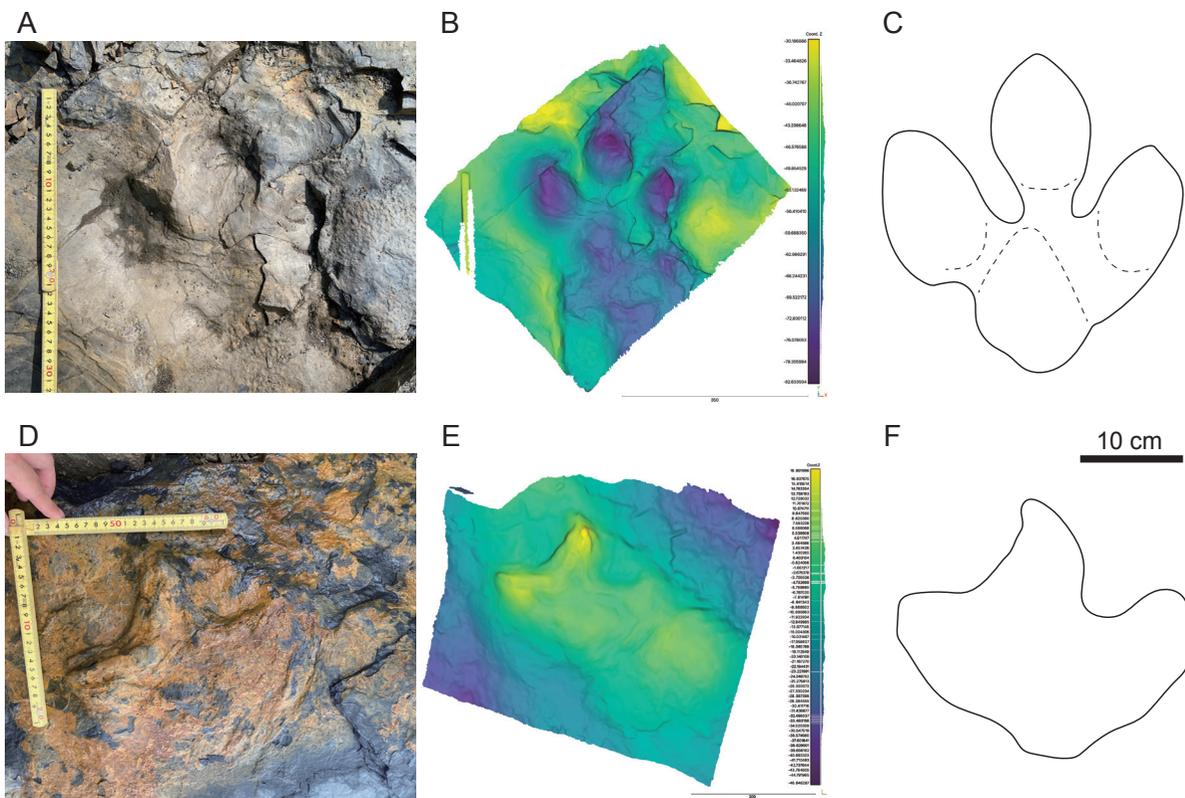


FIGURE 21. *Caririchnium* isp. (**A**: photo of the fossil, **B**: 3D analysis, **C**: outline drawing of the track) and *Amblydactylus* isp. (**D**: photo of the fossil, **E**: 3D analysis, **F**: outline drawing of the track).



FIGURE 22. Juvenile iguanodontid track.

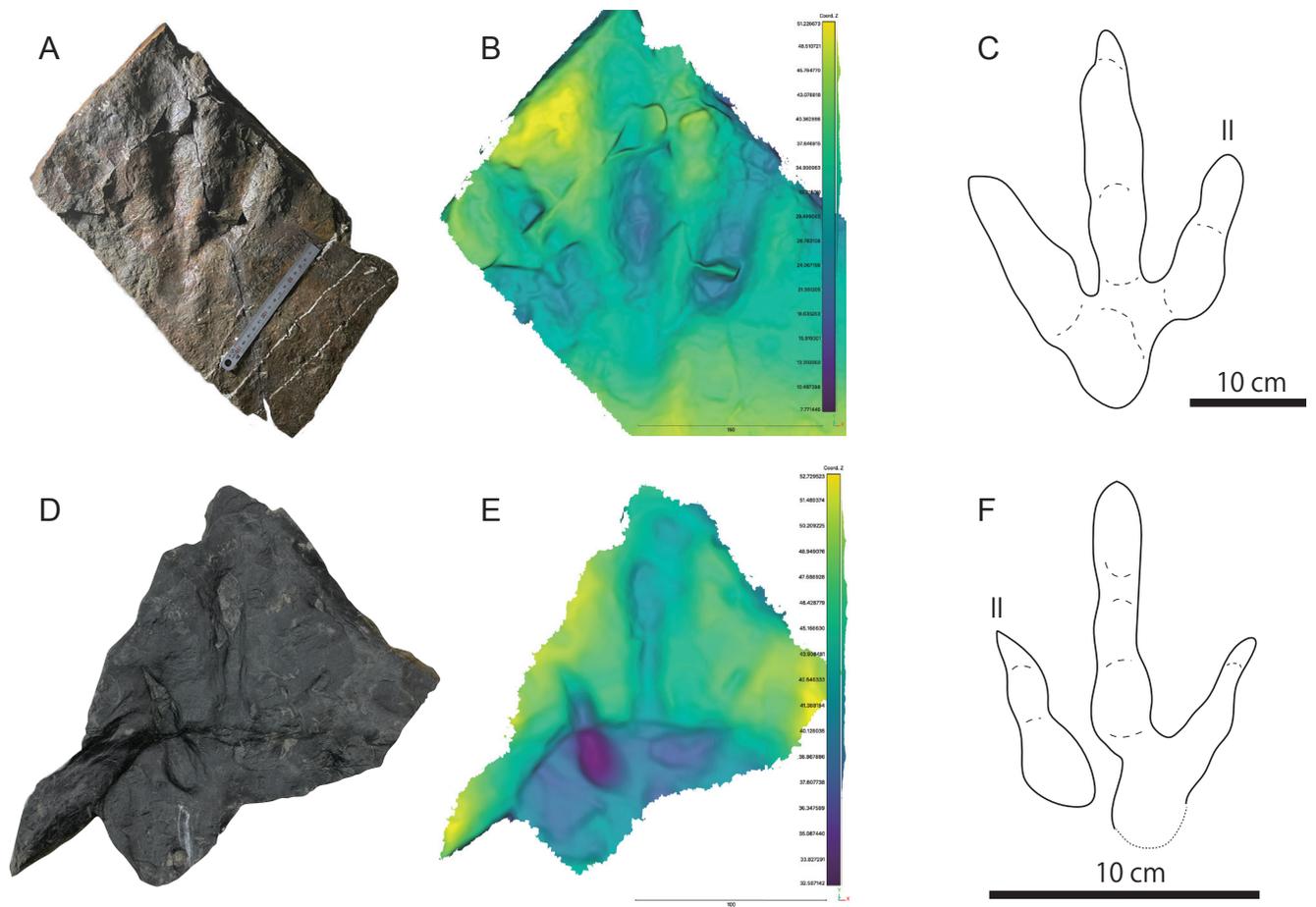


FIGURE 23. A species of Eubrontidae (A: photo of fossil, B: 3D analysis, C: outline drawing of track) and a species of Grallatoridae (D: photo of fossil, E: 3D analysis, F: outline drawing of track).

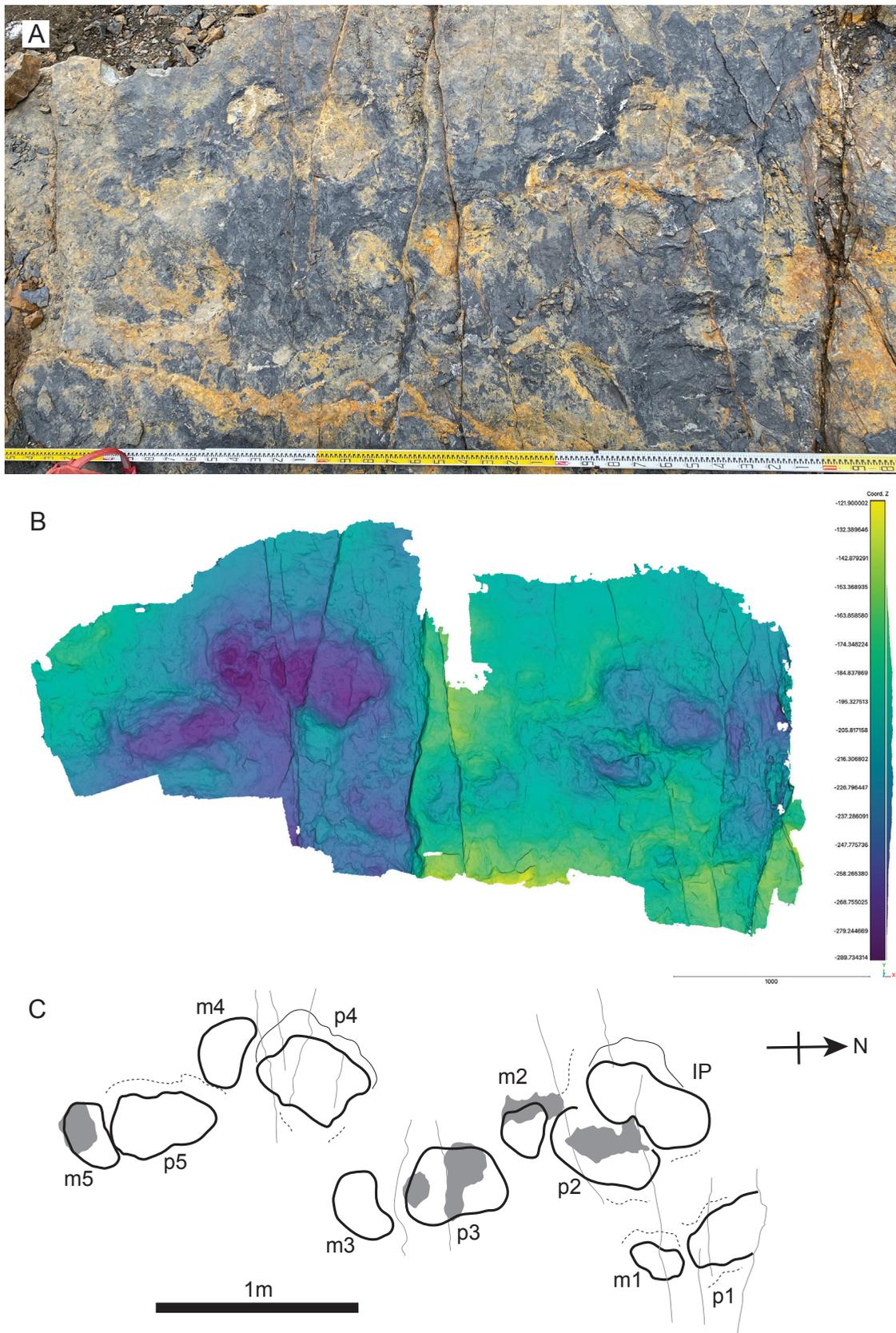


FIGURE 24. Sauropod trackway (A: photo, B: 3D analysis diagram, C: outline drawing of trackway).

(ウ) 竜脚類の足跡化石 (Fig. 24)

第一次調査および第三次調査で見つけていたが、第四次調査で初めて同一ステップの前足と後足がセットになった足印が発見された(築地ほか, 2016). 2021年には国内で2例目となる竜脚類の行跡が産出した(築地・東, 2022). 一般的な竜脚類の行跡は、両足の幅が狭くかつ前足がやや小さいタイプと、両足の幅が広くかつ前足がやや大きいタイプに分けられるが、北谷層の行跡は、

が狭くかつ前足がやや大きいという特徴を示している.

(エ) ヨロイ竜類の前足と思われる足跡化石 (Fig. 25)

2015年にヨロイ竜類の前足と思われる足印が採集された(築地ほか, 2016). その後も、同様な足印が数点採集されている. ヨロイ竜類の足跡だった場合、国内では2例目の発見となる.

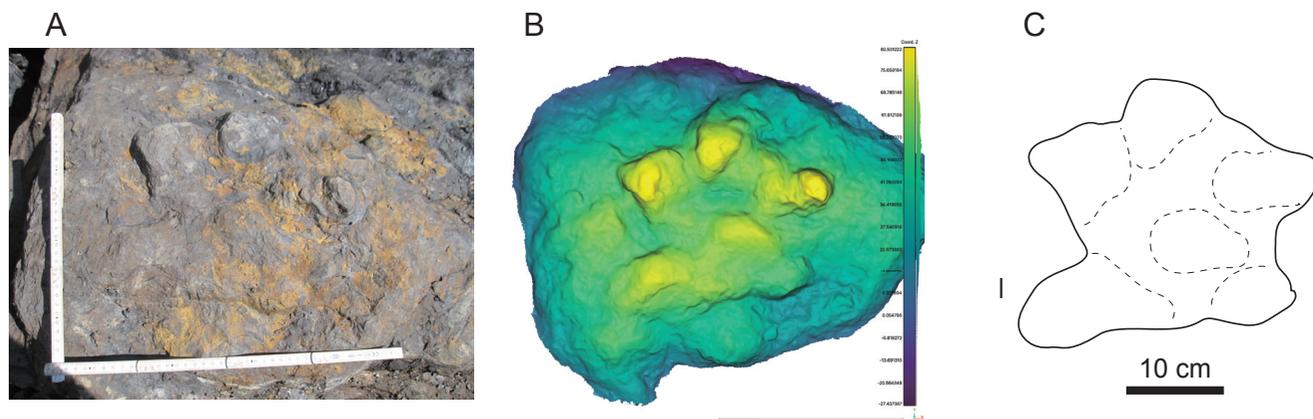


FIGURE 25. A track thought to be formed by manus of an ankylosaurian dinosaur (A: photo of the fossil, B: 3D analysis, C: outline drawing of the track).

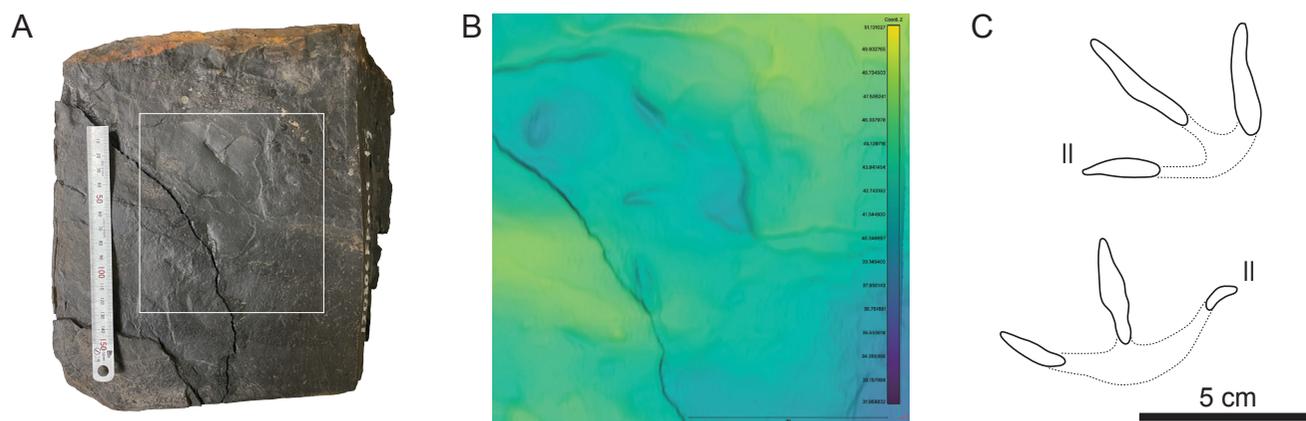


FIGURE 26. Bird tracks (A: photo of the fossil, B: 3D analysis, C: outline drawing of the footprints).

(オ) 鳥類の足跡化石 (Fig. 26)

2015年に2つの足印が残る標本が採集された. これまでに、2種類の鳥類の足跡化石が確認されているが (Imai et al., 2018), この標本はいずれとも異なる特徴を示している (Tsukiji and Azuma, 2025).

(キ) カメ類の足跡化石 (Fig. 28)

2019年と2021年に多数の標本が発見された(築地ほか, 2020). カメ類の足跡化石としては国内初であり、中国の新疆ウイグル自治区や四川省などの前期白亜紀の地層から報告されているカメ類の足跡と類似している.

(カ) 翼竜類の足跡化石 (Fig. 27)

翼竜類の足跡化石は第一次調査 (1990年) で初めて発見され、2010年に新種の *Pteraichnus nipponensis* として記載された (Lee et al., 2010). 第四次調査 (2014~2015年) でも非常に類似する足跡化石が多数発見されたが、現在研究中であり同種との同定には至っていない (築地ほか, 2016).

⑮ 植物

(ア) ナンヨウスギ科の新種 (Fig. 29)

2014年および2015年に採集された植物化石が、当館と国立科学博物館との共同研究によりナンヨウスギ科の新種 *Araucarites kitadaniensis* と命名された (Yukawa and Yabe, 2019). 北谷層からは、花粉化石でしかナンヨウスギ

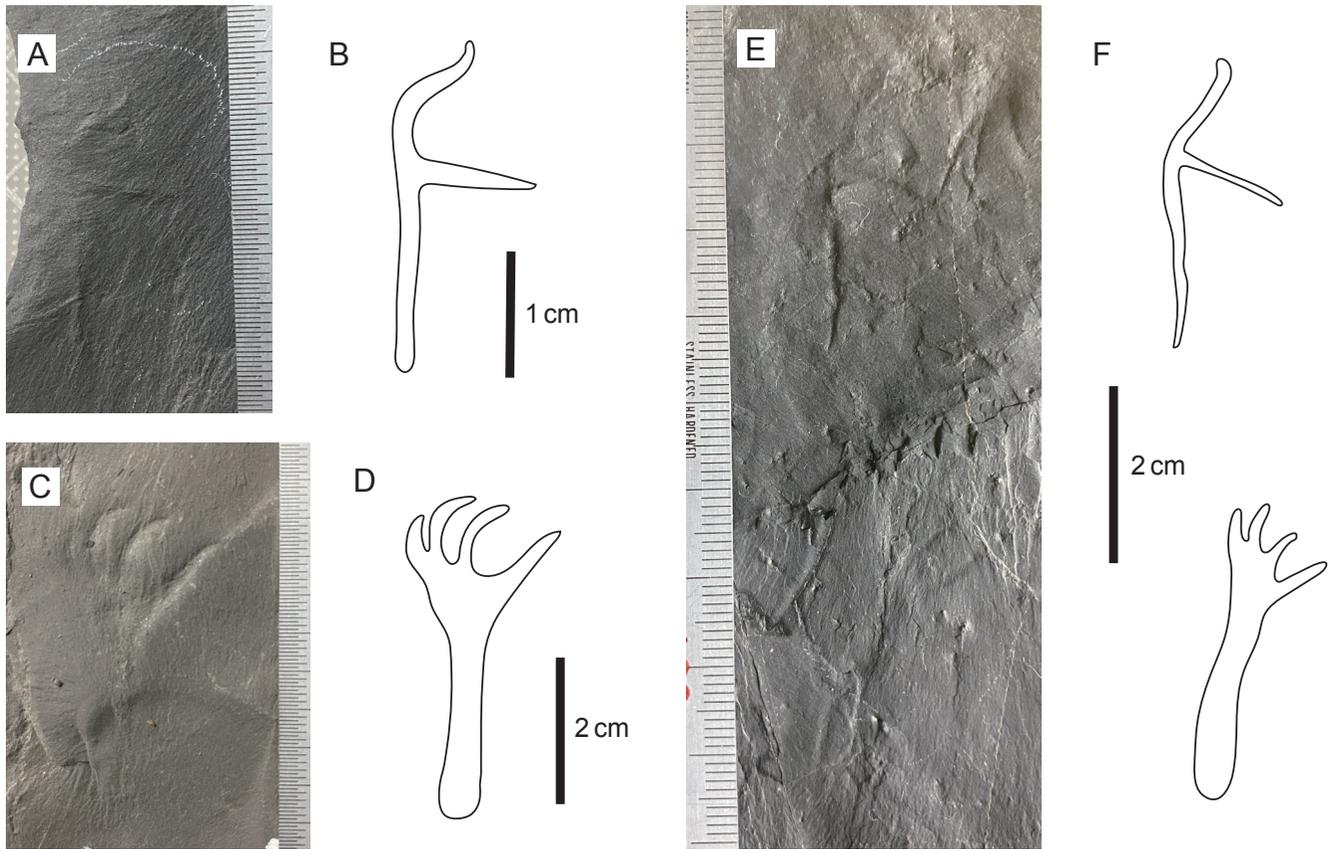


FIGURE 27. Pterosaur tracks. **A**, photo and **B**, outline drawing of a manus track; **C**, photo and **D**, outline drawing of a pes track. **E**, photo and **F**, outline drawing of manual and pes tracks showing the same step.

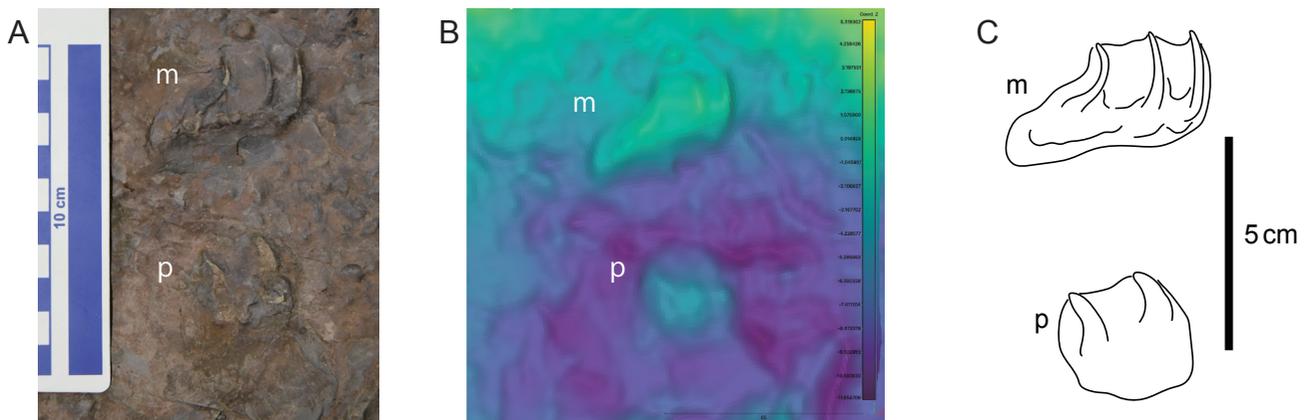


FIGURE 28. Manus (m) and pes (p) tracks of a turtle, showing the same step (**A**: photo of the fossil, **B**: 3D analysis, **C**: outline drawing of the tracks).

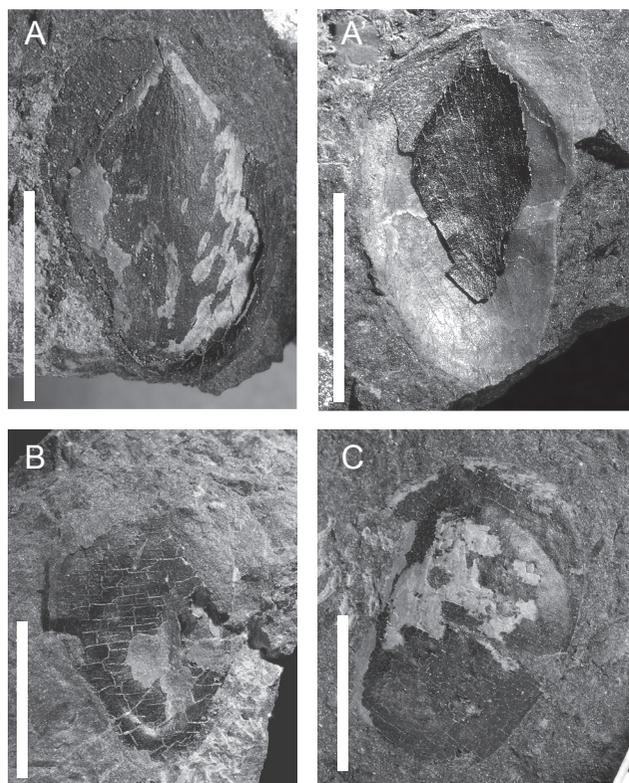


FIGURE 29. Adaxial side of the cone-scale complexes of *Araucarites kitadaniensis*. A, holotype; B, paratype; C, paratype. Scale bars: 5mm.

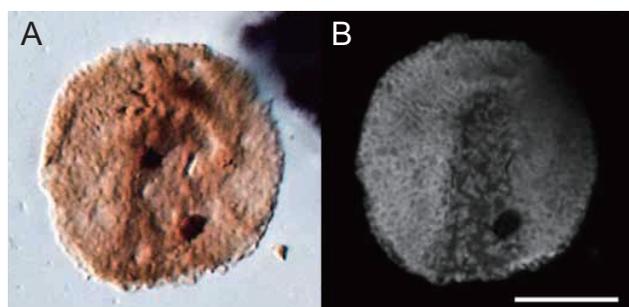


FIGURE 30. *Clavatipollenites hughesii* observed under the light (A) and confocal laser scanning (B) microscopes (2013.06.11-12a, B29/4). Scale bar: 10 μ m.

科と推測される植物の存在が確認されていなかったが、大型植物化石でもナンヨウスギ科の存在を確認できた。東アジアでは後期白亜紀にナンヨウスギ科の多様化が最も進んでいたが、この発見により、前期白亜紀においてすでに多様化が進んでいたことが明らかとなった。

(イ) 被子植物の花粉 (Fig. 30)

2013年に採集された泥岩層から被子植物（真正モクレン類）の花粉 *Clavatipollenites hughesii* が発見された (Legrand et al., 2019)。これは内帯日本の下部白亜系から初めて産出した被子植物化石であり、この属の日本における最も古い記録である。

まとめ

福井県立恐竜博物館が主体となった2013年から2023年までの福井県勝山市北谷町における第四次調査を通じて、総計約79,000点の化石を採集した。これらの化石の研究により、新種の獣脚類恐竜1種（ティラノミムス・フクイエンス）と原始的な鳥類（フクイプテリクス・プリマ）が命名されたほか、第三次調査までは未確認だった分類群（スピノサウルス科とヨロイ竜類）を見いだすことができた。恐竜以外の動植物についても、新たに発見された化石に基づいて古生態や古地理分布についての研究が進展した。しかしながら、未同定の脊椎動物化石が多数存在しており、特に未確認の両生類を含め、種の特定に至っていない魚類やトカゲ類などについては、今後の研究の進展が待たれる。さらに、堆積学的研究においても、第四次調査エリアでは複数方向から解析できたため、従来よりも理解が深まった。

今後は、第三次調査までの範囲も含めた包括的な研究を進め、発掘現場における北谷層の堆積環境の解析を行っていく。これらの古生物学的・地質学的な新知見を踏まえ、北谷層の古環境を明らかにし、恐竜を含めた当時の“局所的”な生態を解明することを目標とする。さらに、今後継続される発掘調査においても、新たな化石の発見を目指すとともに、より多角的に北谷恐竜化石発掘現場の研究を行い、他の地域と比較することで、本発掘現場の優位性・重要性を高めていきたい。

謝辞

第四次福井県恐竜化石発掘調査に参加してくださった福井県内外の研究者や学校教員からなる調査員、および国内外の学生・大学院生からなる調査補助員、福井県立恐竜博物館の研究職員に心より感謝申し上げます。また、発掘実施に際しての事務的業務や化石クリーニング・標本整理を担当したスタッフには格別のご助力を頂いた。さらに、本報告の作成にあたり引用文献に掲載された写真などのデータの使用をご快諾頂いた原著者の皆様にお礼申し上げます。末尾となるが、当館の一鳥啓人博士と藺田哲平博士には拙稿を細部までご点検いただき、建設的なご意見を賜った。

引用文献

- Asato, K., K. Nakayama, and T. Imai. 2022. Case study of the convergent evolution in the color patterns in the freshwater bivalves. *Scientific Reports* 12: 10885.
- Azuma, Y., and M. Shibata. 2010. *Fukuititan nipponensis*, a new titanosauriform sauropod from the Early Cretaceous Tetori Group of Fukui Prefecture, Japan. *Acta Geologica Sinica (English Edition)* 84: 454–462.
- Deyama, Y., M. Shibata, and T. Sekiya. 2025. Ganoid scales morphotypes suggesting diverse fish taxa from the Lower Cretaceous Kitadani Formation of the Tetori Group, central Japan; pp. 88 in Program and Abstract. The 6th International Symposium on Asian Dinosaurs in Japan 2025.

- 針谷一樹・柴田正輝．2021．手取層群北谷層から産出した新しいトカゲ類化石．日本古生物学会 2021 年年会講演予稿集：26．
- Hattori, S., and Y. Azuma. 2020. Spinosaurid teeth from the Lower Cretaceous Kitadani Formation of the Tetori Group, Fukui, Japan. *Memoir of the Fukui Prefectural Dinosaur Museum* 19: 1–9.
- Hattori, S., M. Shibata, S. Kawabe, T. Imai, H. Nishi, and Y. Azuma. 2023. New theropod dinosaur from the Lower Cretaceous of Japan provides critical implications for the early evolution of ornithomimosaur. *Scientific Reports* 13: 13842.
- Imai, T., Y. Azuma, S. Kawabe, M. Shibata, K. Miyata, M. Wang, and Z. Zhou. 2019. An unusual bird (Theropoda, Avialae) from the Early Cretaceous of Japan suggests complex evolutionary history of basal birds. *Communications Biology* 2: 399.
- Imai, T., Y. Tsukiji, and Y. Azuma. 2018. Description of bird tracks from the Kitadani Formation (Aptian), Katsuyama, Fukui, Japan with three-dimensional imaging techniques. *Memoir of the Fukui Prefectural Dinosaur Museum* 17: 1–8.
- 石原舜三．2005．中部地方，飛騨帯花崗岩類の起源物質の多様性．地質調査研究報告 56: 117–126．
- 磯崎行雄・岩野英樹・澤木佑介・棚座圭太郎・平田岳史．2024．後期三疊紀花崗岩類を含む白亜紀後背地からみた飛騨帯の起源—手取砂岩中のジルコン U – Pb 年代と微量化学組成—．地学雑誌 133: 195–218．
- Kim, D. H., Y.-N. Lee, H. Ko, J.-Y. Park, S.-H. Kim, S. Lee, S.-H. Jung, and D.-Y. Kong. 2023. The first adocid turtle in South Korea (Lower Cretaceous) and the early evolution of the Adocidae. *Cretaceous Research* 151: 105665.
- Kobayashi, Y., and Y. Azuma. 2003. A new iguanodontian (Dinosauria: Ornithopoda) from the Lower Cretaceous Kitadani Formation of Fukui Prefecture, Japan. *Journal of Vertebrate Paleontology* 23: 166–175.
- 棚座圭太郎・清水正明・大藤 茂．2010．年代学から見た飛騨変成作用から日本海誕生を経て今日に至るまでの包括的構造発達史．地質学雑誌 116: 83–101．
- Lee, Y.-N., Y. Azuma, H.-J. Lee, M. Shibata, and J. Lü. 2010. The first pterosaur trackways from Japan. *Cretaceous Research* 31: 262–273.
- Legrand, J., K. Terada, H. Yukawa, and H. Nishida. 2019. Report of *Clavatipollenites hughesii* from the Kitadani Formation: First Angiosperm record from the Lower Cretaceous of inner Japan. *Memoir of the Fukui Prefectural Dinosaur Museum* 18: 21–30.
- 前田四郎．1958．白山地域の手取層群の層序と構造（その 1 層序）．地質学雑誌 64: 583–594．
- 前田四郎．1961．白山地域の手取層群の層序と構造（その 2 地質構造）．地質学雑誌 67: 133–142．
- 宮田和周・東 洋一・羅 哲西．2016．日本初の中生代哺乳類骨格化石．日本古生物学会 2016 年年会・総会講演予稿集：28．
- Obuse, S., and M. Shibata. 2024. New goniopholidid specimens from the Lower Cretaceous Kitadani Formation, Tetori Group, Japan. *Annales de Paléontologie* 110: 102661.
- Oyama, N., H. Yukawa, and T. Imai. 2022. New cockroach assemblage from the Lower Cretaceous Kitadani Formation, Fukui, Japan. *Palaeontographica Abteilung A* 321: 37–52.
- Saito, M., and M. Shibata. 2025. Preliminary report of Sinamiid fish fossil from the Lower Cretaceous Kitadani Formation, Tetori Group, Japan; pp. 90 in Program and Abstract. The 6th International Symposium on Asian Dinosaurs in Japan 2025.
- 酒井佑輔・関戸信次・松岡 篤．2018．石川 – 福井県境地域における下部白亜系手取層群の層序と植物化石群の層位学的意義．地質学雑誌 124: 171–189．
- 柴田正輝．2024．*Fukuisaurus tetoriensis*（鳥脚類恐竜）の追加標本について．日本古生物学会第 173 回例会講演予稿集：19．
- 柴田正輝・藺田哲平．2020．福井の恐竜新時代．福井県立恐竜博物館，勝山市，95 pp．
- 関谷 透・柴田正輝．2024．福井県勝山市の北谷層から産出した幼体の竜脚類神経弓（予察）．日本古生物学会第 173 回例会講演予稿集：19．
- 関谷 透，小布施彰太・柴田正輝．2022．下部白亜系北谷層（福井県勝山市）から新たに発見されたゴニオフォルリス科の上顎骨．日本古生物学会 2022 年年会講演予稿集：29．
- 藺田哲平・柴田正輝．2025．福井県勝山市の下部白亜系手取層群北谷層より産出した新たなアドクスコカメ類．日本古生物学会 第 174 回例会講演予稿集：11．
- Sonoda, T., Naksri, W., Shibata, M., and Azuma, Y., 2018. Carettochelyid turtle from the Lower Cretaceous of Japan and the diversification of the pan-trionychian turtles. The Proceedings of the 6th International Symposium of International Geoscience Programme IGCP Project 608 "Cretaceous Ecosystems and Their Response to Paleoenvironmental Changes in Asia and the Western Pacific": 10.
- Suwa, K. 1990. Hida-Oki Terrane; pp. 13–24 in K. Ichikawa, S. Mizutani, I. Hara, S. Hada, and A. Yao (eds.), Pre-Cretaceous Terranes of Japan: Publication of IGCP Project 224: Pre-Jurassic Evolution of Eastern Asia.
- Suzuki, S., M. Shibata, Y. Azuma, H. Yukawa, T. Sekiya, and Y. Masaoka. 2015. Sedimentary environment of dinosaur fossil bearing successions of the Lower Cretaceous Kitadani Formation, Tetori Group, Katsuyama City, Japan. *Memoir of the Fukui Prefectural Dinosaur Museum* 14: 1–9.
- 築地祐太・東 洋一．2022．福井県勝山市の下部白亜系北谷層から産出した竜脚類の行跡．日本古生物学会第 171 回例会講演予稿集：14．
- Tsukiji, Y., S. Hattori, and Y. Azuma. in press. First didactyl theropod track from the Lower Cretaceous Kitadani Formation, Tetori Group, Fukui, Japan. *Cretaceous Research* .
- 築地祐太・東 洋一・白石史人．2016．福井県勝山市における第 4 次恐竜発掘調査で産出した足跡化石群．日本古生物学会第 165 回例会講演予稿集：45．
- 築地祐太・服部創紀・東 洋一．2021．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．日本古生物学会 2021 年年会講演予稿集：10．
- Tsukiji, Y., Y. Azuma, F. Shiraiishi, and M. Shibata. 2019. A

- diverse assemblage of theropod footprints from the Lower Cretaceous Kitadani Formation, Tetori Group, central Japan. *Cretaceous Research* 97: 16–33.
- 築地祐太・藺田哲平・湯川弘一・東 洋一. 2020. 福井県勝山市の下部白亜系北谷層から産出したカメ類足跡化石. 日本古生物学会第 169 回例会講演予稿集: 25.
- Tsukiji, Y., Y. Azuma, F. Shiraishi, M. Shibata, and Y. Noda. 2018. New ornithopod footprints from the Lower Cretaceous Kitadani Formation, Fukui, Japan: Ichnotaxonomical implications. *Cretaceous Research* 84: 501–514
- 築地祐太・柴田正輝・河部壮一郎・今井拓哉・東 洋一. 2024. 下部白亜系手取層群北谷層から産出した新たな鳥脚類足印. 日本古生物学会第 173 回例会講演予稿集: 22.
- Yamada, T., and S. Sano. 2018. Designation of the type section of the Tetori Group and redefinition of the Kuzuryu group, distributed in central Japan. *Memoir of the Fukui Prefectural Dinosaur Museum* 17: 89–94.
- 山下 昇. 1957. 中生代 (上), 地学双書, Volume 10. 地学団体研究会, 東京, 94 pp.
- 吉村太郎・佐々木猛智・中山健太郎・安里開士・野田芳和. 2022. 恐竜時代の二枚貝 *Trigonioidea* は海から来たのか, 陸水から来たのか? : 有機質化石を用いた古異歯亜綱の分類学的提唱. 日本古生物学会 2022 年年会講演予稿集: 31.
- 吉村太郎・中山健太郎・安里開士・野田芳和・中川友紀・池田昌之・佐々木猛智. 2023. 白亜紀の淡水巻貝は何を食べ, どう繁殖していたか? 日本古生物学会第 172 回例会講演予稿集: 44.
- Yukawa, H., and A. Yabe. 2019. Araucarian cone-scale complexes, newly found in Aptian Kitadani Formation of Tetori Group in Fukui Prefecture, Central Japan. *Global Geology (English edition)* 22: 280–288.