

資料 (Note)

ホベツアラキリュウの肢帯の再解釈と復元骨格の改修

Re-interpretation of the girdle bones of the plesiosaur “Hobetsu-Araki-Ryu” and a revision of skeletal reconstruction

佐藤たまき¹・仲谷英夫²・新村龍也³

Tamaki Sato¹, Hideo Nakaya² and Tatsuya Shinmura³

¹ 東京学芸大学教育学部, 東京都小金井市貫井北町 4-1-1

¹ Faculty of Education, Tokyo Gakugei University, 4-1-1 Nukui-Kita-Machi, Koganei City, Tokyo 184-8501, Japan

² 鹿児島大学理学部, 鹿児島県鹿児島市郡元 1-21-35

² Faculty of Science, Kagoshima University, 1-21-35 Korimoto, Kagoshima City, Kagoshima 890-0065, Japan

³ 足寄動物化石博物館, 北海道足寄郡足寄町郊南 1 丁目 29

³ Ashoro Museum of Paleontology, 29-1 Konan, Ashoro, Ashoro District, Hokkaido 089-3727, Japan

Corresponding author: T. Sato, tsato@u-gakugei.ac.jp

Abstract. We attempted a re-interpretation of its pectoral and pelvic girdles of “Hobetsu-Araki-Ryu” (HMG-1) which is a symbolic plesiosaur whose discovery led to the establishment of the Hobetsu Museum. Preserved girdle elements are fragmentary and found in a number of separate nodules, posing a difficulty in earlier studies. Based on morphological characteristics including the differences in surface bone textures and thickness, and assisted by the old documents related to the excavation, we propose a new interpretation. A full-scaled model for exhibition and a digital 3D model using photogrammetry were created based on this new interpretation.

Keywords: Elasmosauridae, Plesiosauria, girdle bones, photogrammetry, reconstruction

(2019 年 11 月 27 日受付, Received 27 November 2019)

はじめに

穂別博物館のエントランスに復元骨格が展示されている通称ホベツアラキリュウ、ホッピー (愛称) は、同博物館設立の契機にもなった首長竜であり (菅原, 1984), 穂別博物館の所蔵標本第一号であることを示す HMG-1 という標本番号がつけられている。ホベツアラキリュウの化石は、1975 年に穂別川の支流であるサヌシユベ川において荒木新太郎氏によって発見され、穂別町教育委員会 (当時) を中心とする発掘調査団によって発掘されたのちに、クリーニングを経て復元骨格が作成された。その経緯は、本稿の著者である仲谷によって詳しく紹介されている (仲谷, 1984; 仲谷・久家, 1984)。また、ホベツアラキリュウの記載論文 (Nakaya, 1989) は、日本で初めて出版された本格的な首長竜の記載論文である。それまでも日本では首長竜化石が発見・報告されていたものの (Tokunaga and Shimizu, 1926; 小島ほか, 1970,

1972), 化石が断片的であったり、記載論文が出版されていなかったりしたために、当時の日本産首長竜化石の形態学的な情報は非常に限られていた。

ホベツアラキリュウの発掘から当時の復元骨格の作成に至るまでの一連の作業において、特に困難であったのが肢帯 limb girdles (四肢を胴体に繋げるユニットのことで、胸帯または肩帯と腰帯からなる) の同定である。首長竜の肢帯は大きな板状の骨が組み合わさった構造が脊柱からぶら下がる形状をしており、個々の骨の形状もつながり方も、他の爬虫類とは大きく異なる。ホベツアラキリュウの標本は、沢沿いに 20 メートルに渡って分布していた総計 90 個近くのノジュールに含まれた状態で発見された。また、椎骨や肢骨の一部は関節していたが、それ以外はノジュール内でも関節が外れた状態で保存されていた。そのため、首長竜に独特な大きくて板状の肢帯を構成する骨の大部分において、個々の骨が複数に割れている



図 1. 国立科学博物館上野本館（東京都台東区）で 2019 年 7 月から 10 月まで開催された「恐竜博 2019」の会場で披露された修正版骨格標本。

Figure 1. New restoration of "Hobetsu-Araki-Ryu" (HMG-1) on exhibition at The Dinosaur Expo 2019 at the Ueno Gallery of National Museum of Nature and Science, Tokyo.

上に、ノジュール表面に露出していた破断面が摩耗していたために、割れた面をぴったり合わせることができない。このような保存状態の化石骨を当時の日本で入手できる資料に基づいて部位を同定することは、極めて困難であった。

化石の発見から 40 年以上が過ぎた 2018 年、ホベツアラキリュウの復元骨格の一部をリニューアルする機会が訪れた。著者の一人である佐藤はフタバズギリュウや国外の首長竜標本を記載した経験があることから、新しい復元骨格を作成するプロジェクトに参画することになった。そして発掘当時から記載と初代復元骨格作成までに中心的な役割を果たしていた仲谷の協力を得て、クリーニングや発掘にかかわる未公表資料と照らし合わせながら化石骨の再同定を行った。そして再同定に基づいて有限会社ゴビサポートジャパンによる実寸の復元骨格模型作成を監修し、その模型に基づいて新村がフォトグラメトリーを用いたデジタルな三次元模型の作成を行った。下記は化石骨の再同定から復元骨格模型の作成過程の概要を記すものである。

化石の再同定

復元に先立ち、HMG-1 の肢帯の化石の再同定・再記載を行った。まず佐藤が素案を作成し、仲谷が提供する発掘やクリーニング当時の情報と照らし合わせながら確認して進めた。多くのノジュールに分かれた状態で採集された断片的な化石骨であるが、国外の研究機関が所蔵する他のエラスモサウルス類の実物化石を手にとって観察した経験に基づいて、板状の骨であっても厚さの変化や骨組織の特徴（緻密骨であるか、多孔質であるか）、辺縁部の形状（エッジが丸まっているか、刃状であるか、平面を形成するか）など、既存の文献データだけでは入手できない情報を用いることで、部位を絞り込むことが可能であった。残念ながら再同定を経ても HMG-1 に保存されている化石骨は属や種の同定には不十分であるため、復元に際しては特定の既知種をモデルにはしていない。それぞれの骨の形状に共通点が多く認められる種を参考にした。

化石の再同定の結果と各骨の再記載は Appendix に示した。1982 年に作成されてエントランスホー



図 2. 実寸復元模型作成に見本として作成した HMG-1 の肢帯の縮小模型。白い部分は化石骨が保存されていた部位で、3D プリンターで製作された。色のついている部分は可塑性のプラスチック粘土で作成した欠損部分。

Figure 2. Reduced model of the pectoral and pelvic girdles of HMG-1 based on which the full-scaled model was created. The white portions represent fossilized parts, and they were created by a 3D printer. Colored portions represent missing parts and they are made of thermoplastic resin.

ルに展示されている復元骨格や Nakaya (1989) との主要な違いは、以下の通りである。肢帯を構成するとされていたすべての骨化石は、再同定後も肢帯の一部であるものの、部位や方向の解釈が異なる。また、これまで部位不明とされていた骨片 #13-1-1 が肩甲骨の一部であることが明らかになった。

1) 胸帯最前部正中線上に位置するブーメラン状の骨は *clavicular arch* (左右の鎖骨が癒合した構造) であり、腹面が凸になって左右後方端が肩甲骨前部の内側に入る。間鎖骨 *interclavicle* は保存されていないと判断した。

2) 左肩甲骨においては、以下の3つの部位が保存されている：腹側前方に広がる部位 *ventral plate*, 上腕骨頭が入る関節窩 *glenoid* の前方を構成する部位、側面から背側に伸びる突起 *dorsal blade*. 右肩甲骨(の部位)と同定できた化石骨はない。

3) 左烏口骨は大部分が欠損している。関節窩の最深部から肩甲骨との関節面を経て、肩甲骨と烏口骨が形成する開口部 *pectoral fenestra* の後縁の一部を含む部分は、肩甲骨と母岩で連結している。関節窩の残りの部分を含む化石骨は別のブロックに含まれていたが破断面の形状が一致し、肩甲骨と合わせてほぼ完全な関節窩の形状が復元できる。右烏口骨(の部位)と同定できた化石骨はない。

4) 右の恥骨は、大腿骨頭と坐骨と関節する寛骨臼 *acetabulum* (ただし、恥骨と腸骨は関節しない) から側縁に沿った部分が保存されている。保存部位だけでは左右の判断が難しいが、左の恥骨が別にあることから右側と判断した。

5) 左の恥骨においては、以下の3つの部位が保存されている：正中線上で左右の恥骨が接する *median symphysis* から恥骨と坐骨が縁取る開口部 *pelvic fenestra* の辺縁部に続く部位、大腿骨との関節面と側縁後方を含む部位、前側方に広がる部分。

6) 左の坐骨のうち、寛骨臼を形成する部分は *pelvic fenestra* の後縁の大部分を含み、左の恥骨の一部と母岩でつながっているが、関節が外れて斜めになっている。左右の坐骨が接する *median symphysis* を含む部位は別にあるが、この2つの部位の間の欠損が大きいため破断面が一致しない。右の坐骨(の部位)と同定できた化石骨はない。

展示用実寸模型の修正

HMG-1 の展示用実寸模型の修正は、有限会社ゴビサポートジャパン穂別工場が担当した。穂別博物館は HMG-1 の全身復元骨格を2体所蔵しており、1つは博物館のエントランスに常設展示されているが、もう1体は貸し出し用である。今回

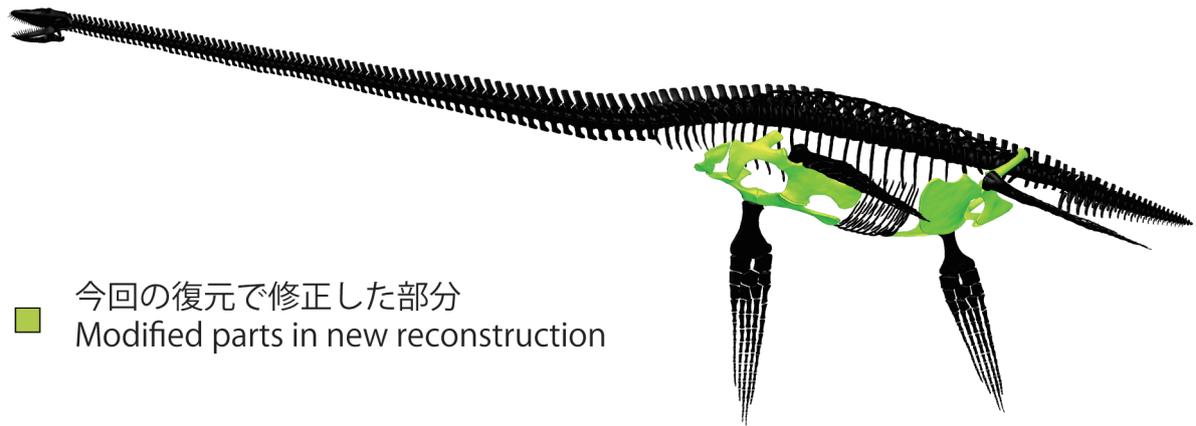


図 3. フォトグラメトリーを用いたエラスモサウルス類首長竜の全身骨格の三次元デジタル復元に、今回の復元で修正した胸帯と腰帯の位置を示す。なお、実際の標本の形状に基づいて作成したのは胸帯と腰帯だけであり、それ以外の骨格は別標本などを用いて作成したエラスモサウルス類首長竜のおおまかなモデルであり、HMG-1 の実寸模型を反映したものではないことに注意。

Figure 3. Digital 3D model of a whole skeleton of an elasmosaurid plesiosaur using photogrammetry, showing the position of the pectoral and pelvic girdles modified in the new reconstruction. Note that only the pectoral and pelvic girdles are based on the actual shape of HMG-1. The remaining parts of the skeleton are not based on HMG-1 but were modeled as a generalized elasmosaurid plesiosaur skeleton based on other specimens.

は後者の胸帯・腰帯を新しく作成した。修正が完成してから 2019 年 6 月に同工場で報道機関向けに紹介し、その後に東京・上野の国立科学博物館で同年 7 月から 10 月まで開催された「恐竜博 2019」の会場で披露された（図 1）。

実寸模型の修正に先立ち、再同定した化石骨に基づき、欠損している部位や立体的な組み立て方を示すための縮小模型を見本として作成した（図 2）。これは、道外在住の監修者が北海道の模型作成現場で作業に立ち会える時間が非常に限られていたため、個々の骨の形状を伝えるためには二次元の画像や文字では不十分であると考えたからである。まず、HMG-1 の肢帯に由来する化石骨の実物標本を 3D スキャンにかけ、化石が保存されている部位の樹脂製の縮小版レプリカを 3D プリンターで作成した。3D スキャナーと 3D プリンターは、北海道立総合研究機構の設備を使用した。次に、市販の熱可塑性樹脂（プラスチック粘土）を用いて欠損部分を手でこねて作成し、縮小版レプリカに貼りつけた。熱可塑性樹脂はコンロで沸騰させた湯につけて柔らかくし、手で形状を整えているうちに冬の北海道の外気温に近い室温ですぐに固まった。縮小版レプリカと熱可塑性樹脂で作成した部位を繋げる際には、当初は接着剤を用いて貼り付けようとしたが接着面が小さくてすぐ

に外れるため、熱可塑性樹脂で包み込んで補強する方法に変更した。

こうして作成した縮小模型を手本にして、個々の骨の実寸の模型が作成された。なお、熱可塑性樹脂は冷えると縮小する上に、可塑性が残っている時点でゆがみが生じたりするため、監修者が意図した形状を完全には復元できない。そのため、実寸の模型を作成した後も修正が必要であった。また、首長竜の胸帯は脊柱や肋骨などに接着面がなく、腰帯も細長い腸骨の近位端（背側端）が仙椎にわずかに触れているだけで固定されないため、模型作成者の立会いの下で胸帯と腰帯の実寸模型を既存の脊柱の模型にあてがって、個々の骨の相対的な位置や傾きを確認した。

なお、修正前の骨格は肩と腰の部分を支柱で支えて地面に置く構造になっていたが、修正後の骨格ではこれらの支柱を外し、天井から吊り下げるスタイルで展示された。

三次元デジタル模型の作成

実寸模型がほぼ完成してから、フォトグラメトリーという手法を用いた三次元のデジタル模型の作成が始まった。フォトグラメトリーは、三次元の物体を異なる角度で撮影した複数の写真をコン

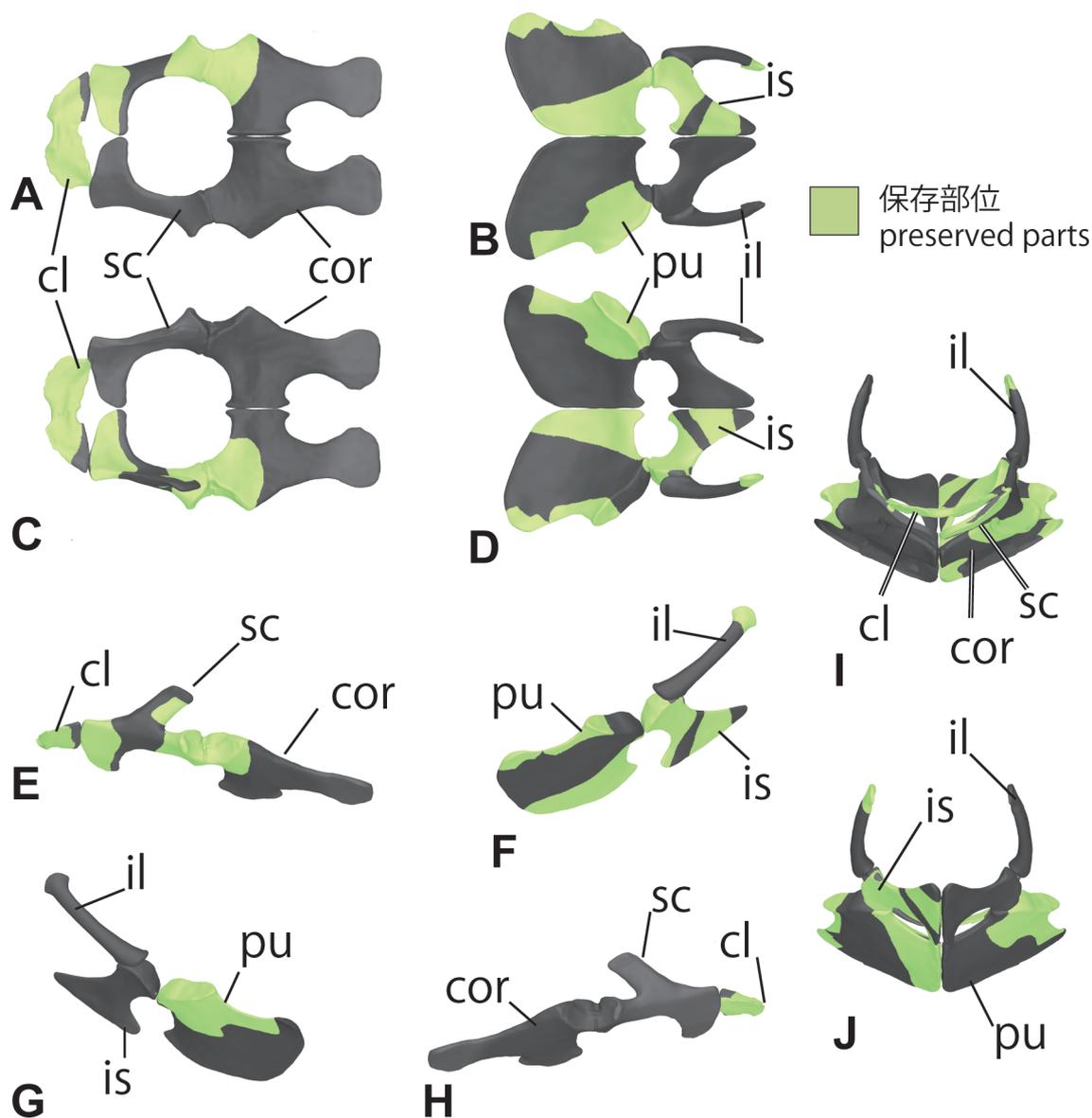


図 4. ホベツアラキリュウ HMG-1 の胸帯・腰帯のデジタル三次元復元に化石骨が保存されていた部位を示す。背側 (A, B), 腹側 (C, D), 左側 (E, F), 右側 (G, H) から胸帯 (A, C, E, H) と腰帯 (B, D, F, G) を見た様子, および胸帯と腰帯を前方 (I) と後方 (J) から見た様子。濃い灰色の部分は欠損を復元した箇所を示す。略称: cl, 鎖骨; cor, 鳥口骨; il, 腸骨; is, 坐骨; pu, 恥骨; sc, 肩甲骨。

Figure 4. Digital 3D reconstruction of the pectoral and pelvic girdles of the plesiosaur "Hobetsu-Araki-Ryu", HMG-1, showing the preserved parts. Dorsal (A, B), ventral (C, D), left (E, F) and right (D, H) views of pectoral (A, C, E, H) and pelvic (B, D, F, G) girdles, and the girdles in anterior (I) and posterior (J) views. Missing and restored parts are in dark grey. Abbreviations: cl, clavicles; cor, coracoid; il, ilium; is, ischium; pu, pubis; sc, scapula.

コンピューターで解析し、デジタルな 3D モデルを作成する技術である (新村ほか 2016)。

まず最初に、ゴビサポートジャパン穂別工場が作成した HMG-1 の胸帯と腰帯の実寸模型の写真デジタルカメラ Nikon D5200 と標準ズームレンズ AF-S DX NIKKOR 18-55mm f/3.5-5.6G VR を用いて多数撮影した。次に、その画像をソフトウェア Metashape Professional (<https://oakcorp.net/agisoft/>) に取り込んでデジタル 3D モデルの素案

を作成し、化石骨が保存されている部位と欠損部を色分けした。最初のバージョンは復元の概要を示す図として 6 月の報道機関向け資料 (プレスリリース) に用いられたが、骨の表面に見られる凹凸や辺縁部の形状が表現しきれていないなどの問題があった。そこで、作成者と監修者が並んでコンピューターの画面を見ながら修正を加えて完成させたのが図 3 及び 4 で、使用した 3D CG ソフトウェアは ZBrush 2019 (<https://oakcorp.net/>)

pixologic/) である。

なお、いずれの 3D デジタル復元図でも修正箇所的位置や方向を示すために全身骨格を示しているが、実際の標本の形状に基づいて 3D モデルが作成されたのは、今回修正の対象になった胸帯と腰帯だけである。胸帯と腰帯以外の部位は Sato et al. (2006) に掲載されているフタバスズキリュウ *Futabasaurus suzukii* の骨格図などを参考にして作成したおおまかなモデルであり、HMG-1 の実寸模型を反映したものではないことに注意されたい。

おわりに

今回の化石の再解釈においては、発掘時やクリーニング前の情報を保持しておくことの重要性を改めて思い知らされた。HMG-1 に含まれる個々の化石骨には、含まれていたノジュールごとの番号が記されている。今回の再解釈では、生体では近隣にあるはずの骨が異なる番号を振られたノジュールに含まれているケースがかなりあることが判明したため、当初は戸惑いもあった。しかし、発掘当時のノジュールの産出状況や、ノジュールのクリーニング前・途中・後を撮影した写真などと照らし合わせたところ、問題ないことがわかった。ほとんどのノジュールは転石として見つまっているため、地層に含まれていた時点でのノジュールの位置関係と番号は無関係であることと、ノジュールの中でも関節が外れた状態で保存されていた骨が多いことが確認できたのである。例えある時点での最善を尽くした研究であっても、科学的知見を得るための情報や手法は常に更新されるものであることを考えると、温故知新のきっかけを与えてくれるこうした古い未公表資料の果たす役割について再認識するきっかけとしたい。

また今回は、熱可塑性樹脂を用いた復元も行ったが、当初から化石骨の 3D モデルを用いて、作成者と監修者が並んでコンピューターの画面を見ながら、3D CG ソフトウェア上で復元するという方法も可能である。コンピューター上で復元された骨格は、STL や OBJ と言った一般的な 3D モデルの形式で出力可能であるため、3D モデルの作成でもフォトグラメトリ技術を活用することで、3D スキャナを用いるよりも手軽に復元できるはずである。これからの復元骨格作成の現場では、

デジタルな 3D モデルを用いてコンピューター上で形状を確認したり、または 3D プリンターで出力して復元した部位の形状を確認しながら作業を行うことができれば、よりスムーズな作成が可能になるのではないだろうか。

謝辞

むかわ町穂別博物館の櫻井和彦館長及び西村智弘学芸員には大変お世話になった。また、ゴビサポートジャパンの高橋功氏とスタッフの皆さんには、限られた時間の中で何度も修正を重ねていただくなど、大変なお手数をおかけした。そして言うまでもなく、今回の復元骨格の作成の基礎となる化石標本の発見やクリーニング、初代骨格作成に貢献された関係者に厚く御礼申し上げたい。

文献

- 菅原康次, 1984, 創刊のことば. 穂別町立博物館研究報告, 1, 1.
- 仲谷英夫, 1984, 穂別町産クビナガリュウ (長頸竜) の復元. 穂別町立博物館研究報告, 1, 37—40.
- Nakaya, H., 1989, Upper Cretaceous elasmosaurid (Reptilia, Plesiosauria) from Hobetu, Hokkaido, northern Japan. *Transaction and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan, New Series*, 154, 96—116.
- 仲谷英夫・久家直之, 1984, 大型化石の模型製作法について—穂別町産長頸竜化石の経験から— 穂別町立博物館研究報告, 1, 38—46.
- 小島郁夫・長谷川善和・鈴木直, 1970, 白亜系双葉層群より首長竜の発見. 地質学雑誌, 76, 161—164.
- 小島郁夫・長谷川義和・大塚裕之, 1972, 北海道の白亜系産爬虫類化石. 国立科学博物館専報, 5, 213—222.
- 新村龍也・田中嘉寛・甲能直樹・山田一孝・佐々木基樹, 2016. 北海道産鰭脚類化石のデジタル生体復元—フォトグラメトリーおよび 3D CG ソフトによる制作— 化石 99, 85—92.
- Sato, T., Hasegawa, Y. and Manabe, M., 2006, A new elasmosaurid plesiosaur from the Upper Cretaceous of Fukushima, Japan. *Palaeontology*, 49, 467—484.
- Tokunaga S. and Shimizu, S., 1926, The Cretaceous Formation of Futaba in Iwaki and its Fossils. *Journal of Faculty of Science, Imperial University of Tokyo, Section 2*, 1, 181—212.

佐藤たまき・仲谷英夫・新村龍也, 2020, ホベツアラキリュウの肢帯の再解釈と復元骨格の改修. むかわ町穂別博物館研究報告, **35**, 19—32.

Tamaki Sato, Hideo Nakaya and Tatsuya Shinmura, 2020, Re-interpretation of the girdle bones of the plesiosaur “Hobetsu-Araki-Ryu” and a revision of skeletal reconstruction. *The Bulletin of the Hobetsu Museum*, **35**, 19—32.

(要 旨)

穂別町立博物館（現・むかわ町穂別博物館）の設立のきっかけともなった首長竜のホベツアラキリュウの復元骨格の肢帯（胸帯・腰帯）の修正を試みた。ホベツアラキリュウの肢帯の化石骨は、発見された時点で既に非常に断片的である上に数多くのノジュールに分かれた状態であった。今回、骨の表面組織や厚みの変化などを手掛かりにして既知のエラスモサウルス類の肢帯の骨と詳細に比較し、発掘当時の資料とも照らし合わせて新しい解釈を示すことができた。この解釈に基づいて展示用の実寸模型と、フォトグラメトリーを用いたデジタル三次元復元を試みた。

Appendix. Description of the girdle elements of HMG-1.

HMG-1 is a partial skeleton of a plesiosaur first described by Nakaya (1989) consisting of a large number of mostly isolated bones and bone fragments. Each element bears a set of three Arabic numerals separated by hyphens written on white agent directly painted on the fossil. They are included in the following description with a prefix “#” to clarify the identification.

An outline of the reconstructed pectoral and pelvic girdles is given in Figure A1.

Clavicular arch

Although much of lateral and posterior edges are damaged, the clavicular arch retains its overall shape (#18-3-2: Figure A2). It is a ventrally convex flat bone and bears a wide anterior notch at midline along which the edge is relatively thick and smoothly rounded. Except for this anterior notch region and the posterolateral corner of the right side, remaining or damaged edges are thin and irregular in shape. There are no recognizable sutures or other trace indicative of the presence of interclavicle in the arch, so we judge that this element is completely missing in HMG-1 and the preserved arch consists of the clavicles only. The left and right clavicles are completely fused without leaving any suture on either side of the arch.

Scapula

Remains of the scapula(e) consist of three parts: the ventral plate (#18-3-1: Figures A3A, B, I, J, and 4A, B) and

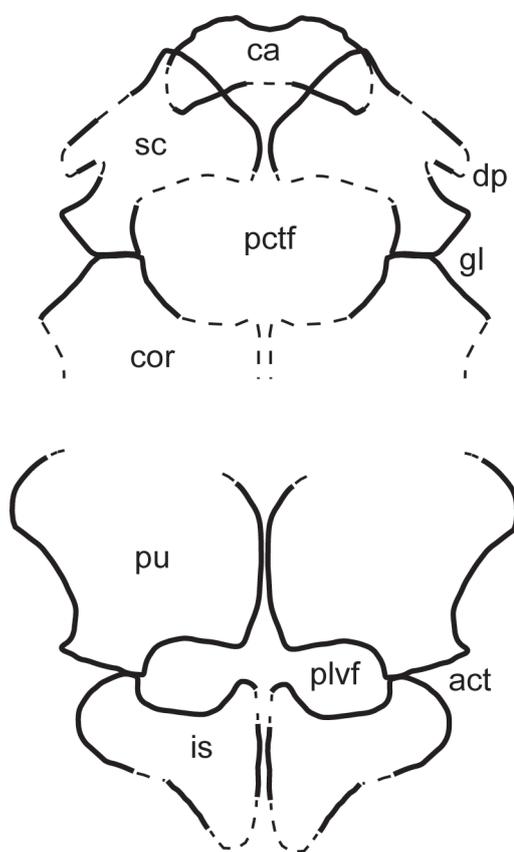


Figure A1. Outline of the new reconstruction of the pectoral (above, posterior portion abbreviated) and pelvic (below) girdles of HMG-1. The interclavicle and ilia are not included. Information of preserved left and right elements are combined to give solid lines, and dashed lines indicate missing parts. Anatomical abbreviations for Figures A1 to A6: **act**, acetabulum; **ca**, clavicular arch; **cor**, coracoid; **dp**, dorsal process of scapula; **ff**, facet for femur; **gl**, glenoid; **ilf**, facet for ilium; **is**, ischium; **isf**, facet for ischium; **pctf**, pectoral fenestra; **plvf**, pelvic fenestra; **pu**, pubis; **puf**, facet for pubis; **sc**, scapula; **sym**, symphysis.

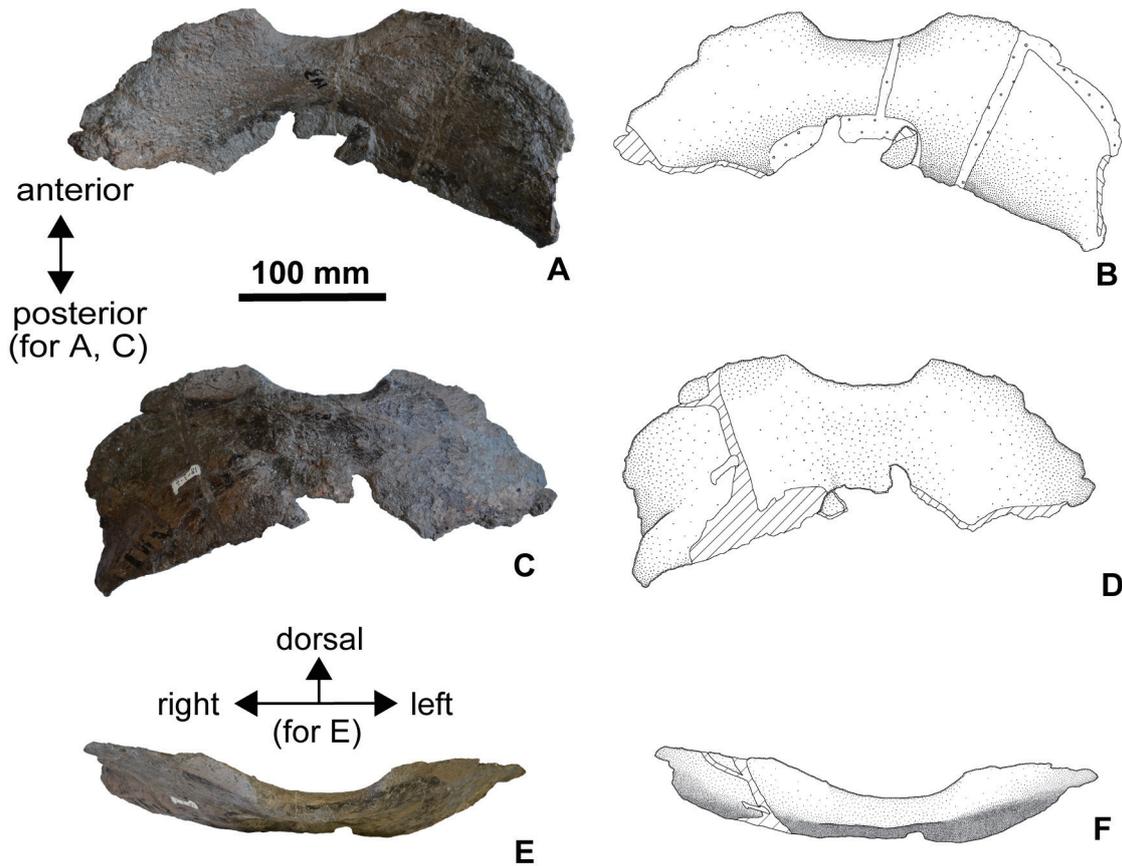


Figure A2. Photographs and interpretations of the clavicular arch of HMG-1. **A** and **B**, dorsal view; **C** and **D**, ventral view; **E** and **F**, anterior view. Scale bar = 100 mm.

the glenoid portion (part of #15-5-1, Figure A3C, D, K, L, and A4C, D) of the left scapula, and a dorsal blade which could belong to the left or right scapula (#13-1-1, Figures A4I, J).

The anteromedial edge of the ventral plate is nearly straight, and bears a narrow, cliff-like vertical facet about 1 cm thick. The facet continues to form the anterior tip of the symphysis at the midline, but the posterior extent of the symphysis cannot be determined due to the damage. Remaining anterior portion of the lateral edge of the ventral plate is nearly straight and bears no ridge or scapular shelf. The dorsal blade was broken off, but an anterior portion of its base is located at the posterior end of the edge.

A severely damaged piece is identified as a dorsal blade based on the remaining original ventral edge and the teardrop-shaped cross section, although the identification is admittedly tentative due to the poor preservation. It is missing the dorsal end and the proximal connection to the ventral plate, as well as the anterior edge; the remaining

base of the blade on the ventral plate indicates that the anterior edge was thin near the base. In life, the blade should have projected dorsally, posteriorly, and slightly laterally, although the exact angles of projection cannot be determined.

The glenoid portion is a stout bar bearing the facets for humerus and coracoid, and a thin layer of remaining matrix at the latter connects the adjacent portion of the coracoid. The dorsal surface of anterior portion of the bar is gently concave, and in cross section the bar thins medially towards the edge of the pectoral fenestra. The ventrolateral edge and the broken surface for the connection to the ventral plate are worn, but the massive glenoid portion retains the original shape of the shallow concave facet for the humerus.

Coracoid

Only the glenoid portion of the coracoid is preserved. It is separated into two blocks found in separate nodules, but fortunately they can be fitted (part of #15-5-1, #10-3-1, #10-

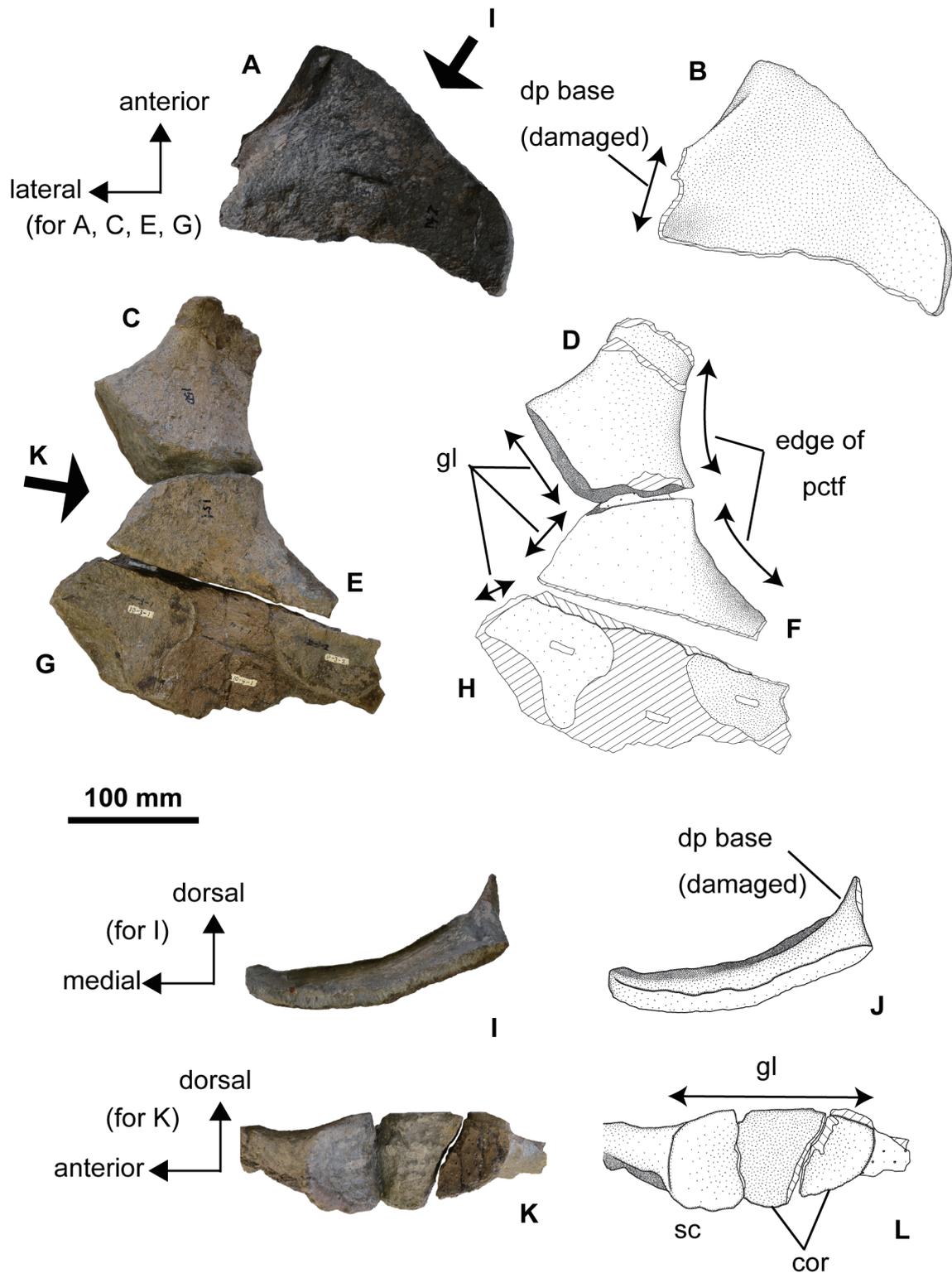


Figure A3. Photographs and interpretations of the scapula and coracoid of HMG-1, part 1. **A** and **B**, ventral plate of left scapula in dorsal view; **C** and **D**, posterior portion of left scapula in dorsal view; **E** and **F**, anterior portion of left coracoid bearing a middle part of the glenoid in dorsal view; **G** and **H**, a portion of coracoid bearing a posterior part of the glenoid in dorsal view. **I** and **J**, anteromedial view of the ventral plate of left scapula; **K** and **L**, left glenoid in lateral view. Scale bar = 100 mm.

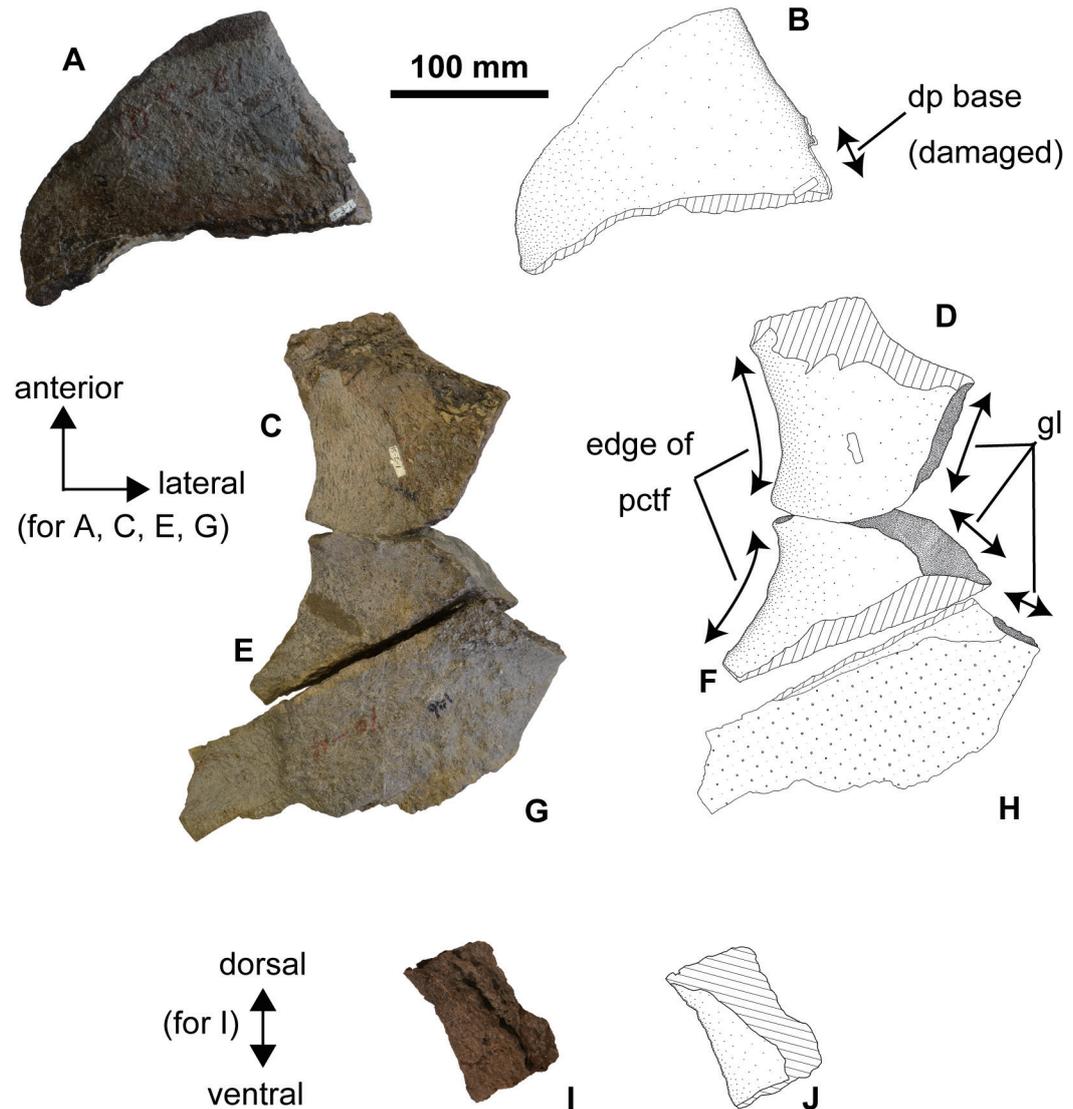


Figure A4. Photographs and interpretations of the scapula and coracoid of HMG-1, part 2. **A** and **B**, ventral plate of left scapula in ventral view; **C** and **D**, posterior portion of left scapula in ventral view; **E** and **F**, anterior portion of left coracoid bearing a middle part of the glenoid in ventral view; **G** and **H**, a portion of coracoid bearing a posterior part of the glenoid in ventral view. **I** and **J**, possible dorsal blade of left scapula. Scale bar = 100 mm.

3-2, #10-4-1: Figures A3E—H, K, L, and A4E—H). The anterior block is articulated with the scapula as described above, and bears the original edge of the pectoral fenestra and the middle portion of the glenoid. The posterior block is severely damaged excepting the glenoid, and the matrix and bone are hardly distinguished on the ventral surface, suggesting that the original surface bone was lost so that the cancellous inner bone tissue is directly exposed to the matrix. The medial symphysis of coracoid is fairly thick in more complete elasmosaurid skeletons, but we could not find any bone fragments that can be positively identified as representing this part in HMG-1.

Ilium

A fan-shaped dorsal (sacral) end of the ilium is preserved (#17-3-8: Figure A5A—F), but it is unknown whether it represents left or right one. The lateral side is gently and smoothly convex, whereas the medial side is concave and the surface is uneven, likely representing the connection to the sacral ribs. The dorsal edge bears a narrow endochondral facet.

Pubis

Both pubes are incompletely preserved. The preserved part of the right pubis includes the lateral edge and the

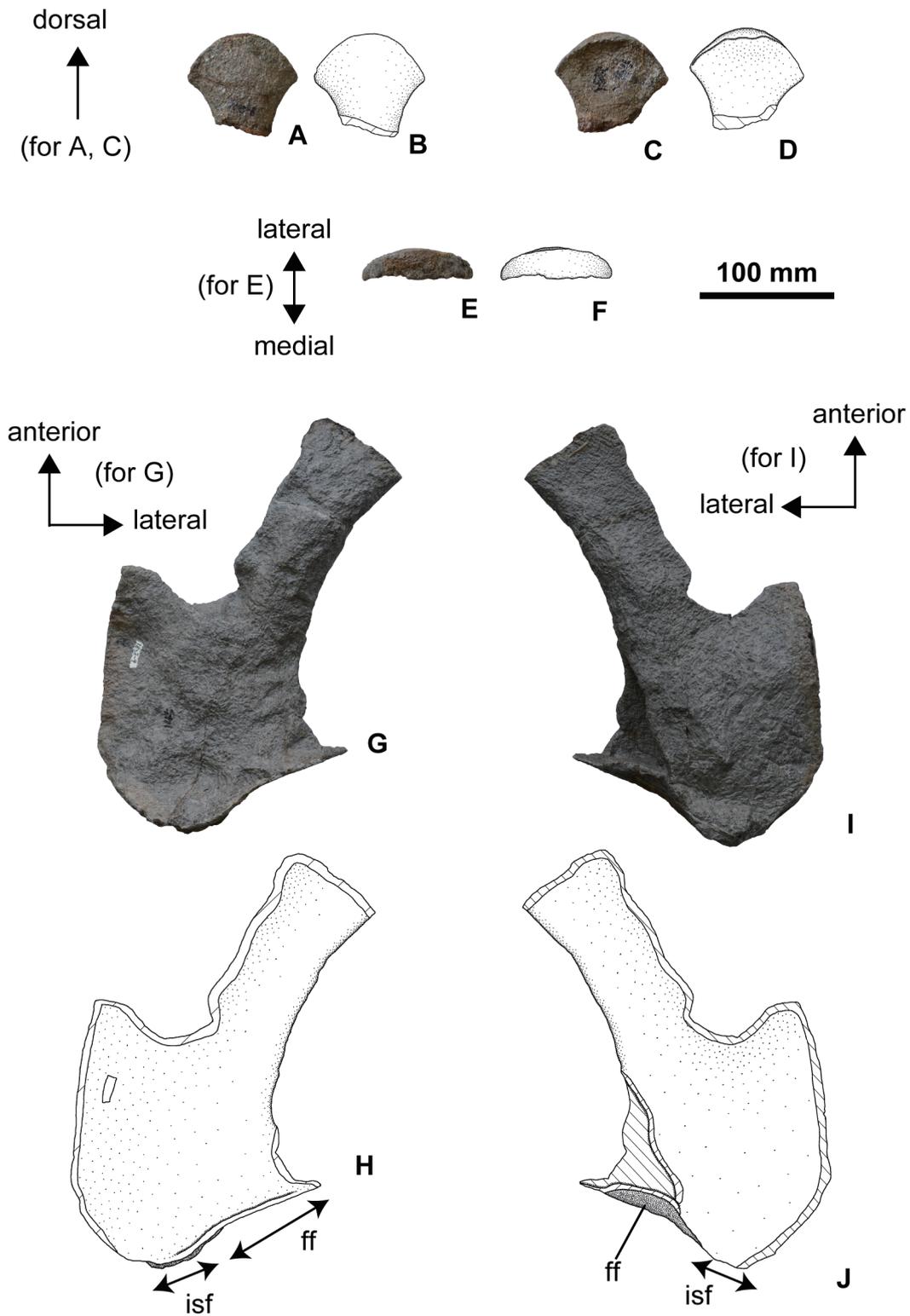


Figure A5. Photographs and interpretations of the pelvic girdle elements of HMG-1, part 1. A to F, dorsal (=sacral) end of an ilium in lateral (A, B), medial (C, D) and dorsal (E, F) views; G to J, posterolateral portion of right pubis in dorsal (G, H) and ventral (I, J) views. Scale bar = 100 mm.

facets for the femur and the ischium (#15-3-9, Figures A5G—J). The left pubis is represented by three parts: one large piece including medial symphysis and the edge of

pelvic fenestra, one small piece bearing much of the facet for the femur and a small portion of lateral edge, and a flat small piece interpreted as the anterolateral corner (#18-2-

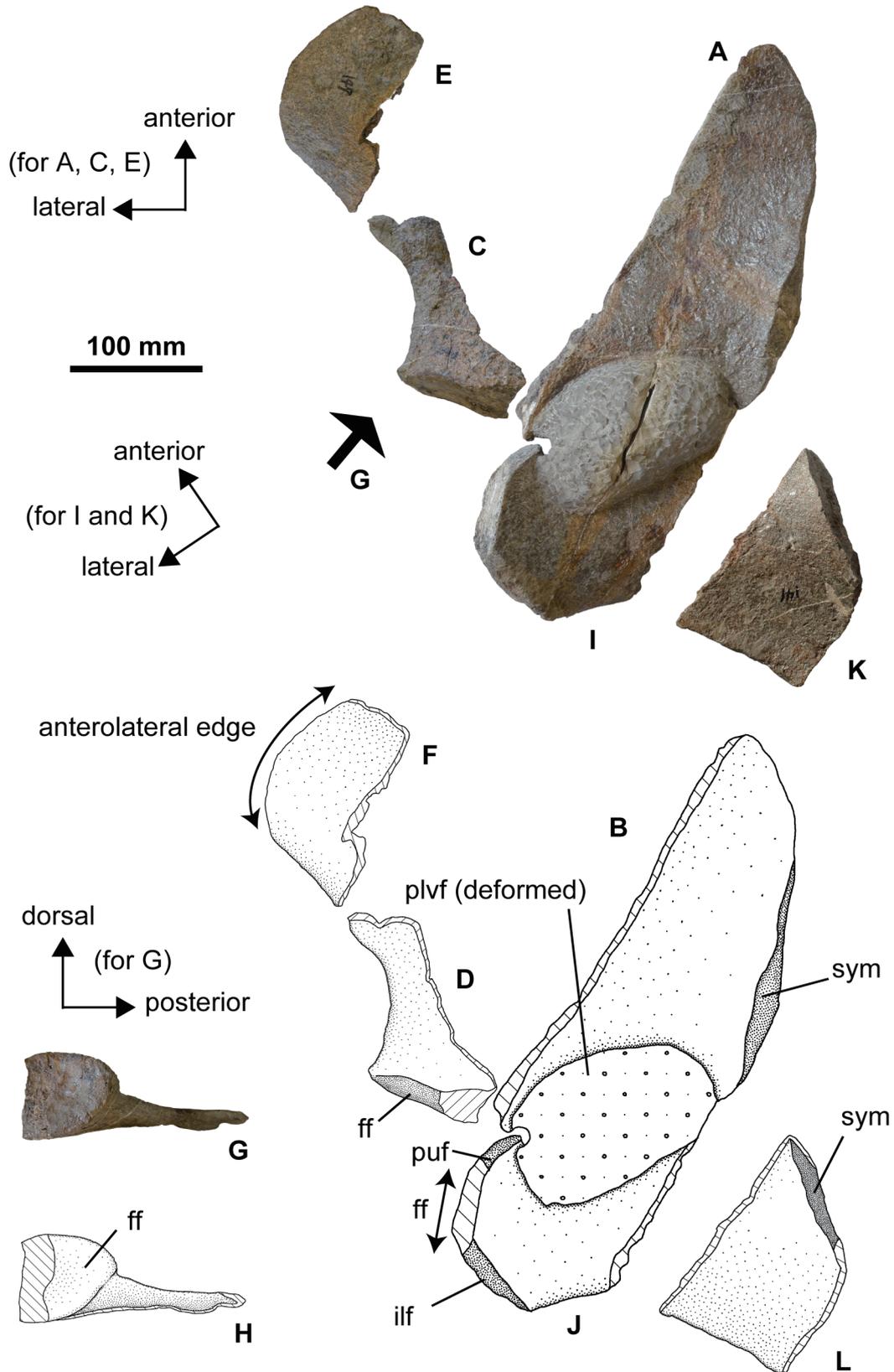


Figure A6. Photographs and interpretations of the pelvic girdle elements of HMG-1, part 2. **A** and **B**, medial portion of the left pubis in dorsal view; **C** and **D**, posterolateral portion of left pubis in dorsal view; **E** and **F**, anterolateral portion of the left pubis in dorsal view; **G** and **H**, C and D in acetabular view; **I** and **J**, anterolateral portion of left ischium in dorsal view; **K** and **L**, posterior portion of the left ischium in dorsal view. Note that left pubis and ischium are displaced relative to each other. Scale bar = 100 mm.

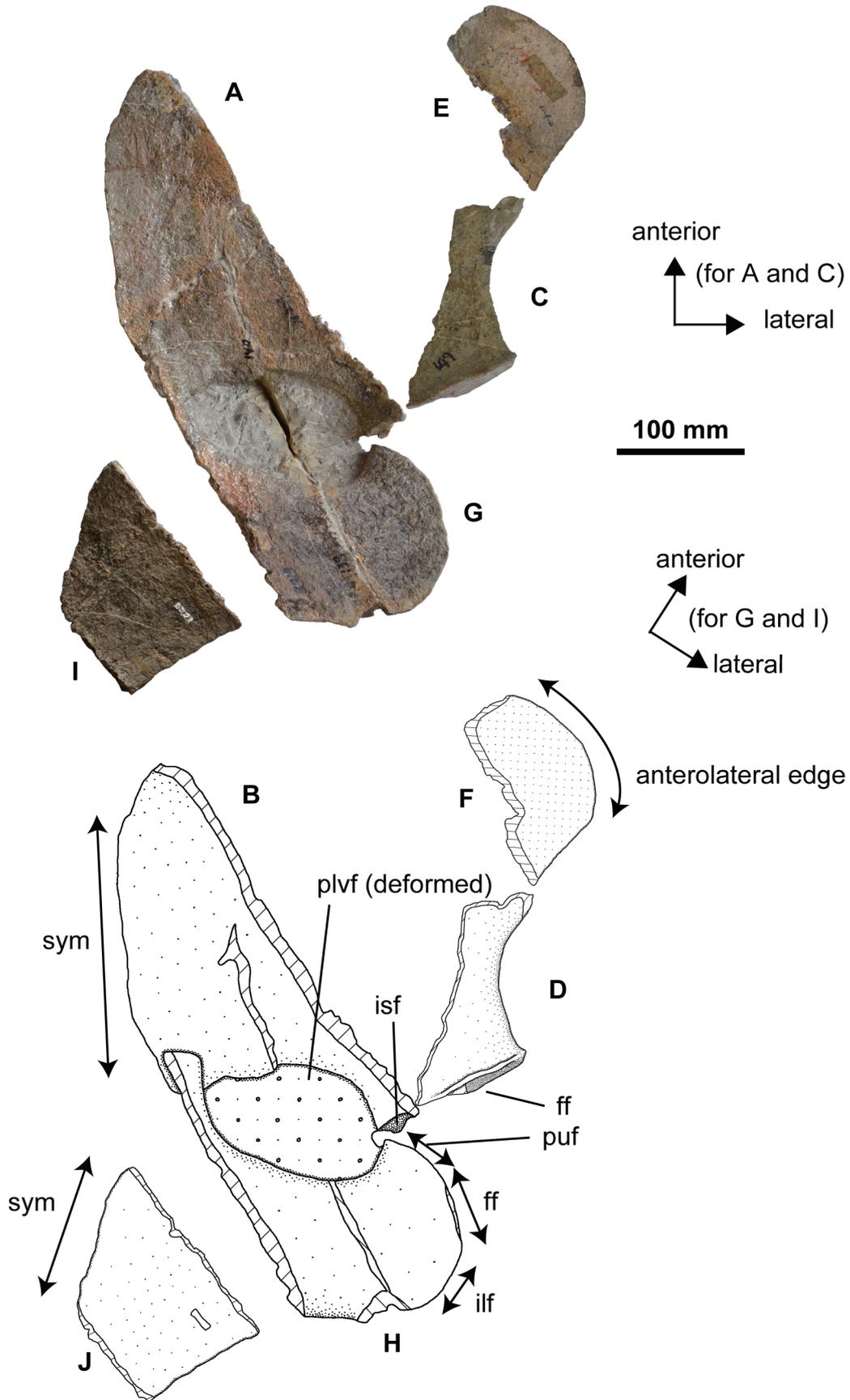


Figure A7. Photographs and interpretations of the pelvic girdle elements of HMG-1, part 3. **A** and **B**, medial portion of the left pubis in ventral view; **C** and **D**, posterolateral portion of left pubis in ventral view; **E** and **F**, anterolateral portion of the left pubis in ventral view; **G** and **H**, anterolateral portion of left ischium in dorsal view; **I** and **J**, posterior portion of the left ischium in dorsal view. Note that left pubis and ischium are displaced relative to each other. Scale bar = 100 mm.

7, 8-1-5, 17-3-7: Figures A6A—F, and A7A to F). Based on this interpretation, the maximum width of the pubis is larger than the maximum length. Remaining matrix filling the pelvic fenestra connects the former piece with the ischium.

The symphyseal facet at the midline is thickest just anterior to the pelvic fenestra then thins anteriorly then deflects laterally, implying the presence of a gap between the pubes. The location of posterior end of the symphysis suggests that the pelvic bar (a bony connection of pubis and ischium along the midline) was not formed.

Ischium

An anterior portion of the left ischium including the edge of pelvic fenestra is attached to the left pubis with matrix, but they are slightly displaced so that the medio-anterior portion of the preserved ischium underlies the ventral surface of the pubis (#18-2-9, Figures A6G, H, and A7G, H). A trapezoid bone is identified as a middle portion of the left ischium based on the outline and the thick medial symphysis (#17-8-8, Figures A6K, L, and A7I, J).