

資料 (Note)

Phosphorosaurus の等倍骨格復元の制作

Skeletal reconstruction of a mosasaur *Phosphorosaurus*

新村龍也¹・小西卓哉²

Tatsuya Shinmura¹ and Takuya Konishi²

¹ 足寄動物化石博物館, 北海道足寄郡足寄町郊南 1 丁目 29

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

² Department of Biological Sciences, University of Cincinnati, PO Box 210006, Cincinnati, OH 45221-0006, USA

Corresponding author: T. Shinmura, shinmura@ashoromuseum.com

Abstract. In 2015, the first halisaurine mosasaur fossil was reported from Japan and was named *Phosphorosaurus ponpetelegans*. In 2016, a skeletal illustration of the mosasaur was made, and a skeletal model was reconstructed subsequently in 2018–2019, based on the illustration. Casts were made of all the preserved bones to be used in the skeletal model. Where only one of the paired elements was preserved, the missing counterpart was produced by first generating a 3D digital model of the preserved element, mirroring the model, and then 3D printing the mirrored model. The rest of the skeleton was reconstructed with clay. The skeletal model overall shows a subcarangiform swimming posture. Furthermore, the head is turned left and upwards with jaws open, and with the abducted left front paddle, the model depicts the mosasaur chasing prey that just turned to the left. It took half a year to create the skeletal model.

Keywords: *Phosphorosaurus*, Skeletal reconstruction, mosasaurs

(2019 年 12 月 7 日受付, Received 7 December 2019)

I はじめに

Phosphorosaurus ponpetelegans は 2009 年に ノジュールにつつまれた状態で発見され, 2015 年に新種記載がされたハリサウルス類 (モササウルス類) である。現在は, むかわ町穂別博物館で HMG-1528 として登録され, 所蔵・展示されている。

2016 年, むかわ町穂別博物館からの依頼で足寄動物化石博物館を運営している NPO 法人「あしよろの化石と自然」が全身骨格復元図 (新村・小西, 2018 の図 6 参照) の制作をした。全身骨格復元図制作の詳細は新村・小西 (2018) にまとめられている。2018–2019 年には同じく穂別博物館からの依頼で, NPO 法人「あしよろの化石と自然」が当倍の全身骨格復元模型を制作することになり, 足寄動物化石博物館内で作業を行った。この制作には, すでにある全身骨格復元図を立体化させることを目標として制作が進められた。

この骨格復元模型の制作では, デジタル 3D 技

術を応用した手法を用いつつ, 従来通り粘土や樹脂で原型を作り, それを FRP (Fiber-Reinforced Plastics, 繊維強化プラスチック) に置き換えて全身の骨格復元を制作した。本報告では, その制作工程を記述し, 本復元骨格の解説や同様なものの制作の際の参考資料にしていきたいと思う。なお, 著者の新村が制作し, 小西が監修した。

II 頭部骨格の制作

この標本では, 本来互いに関節しあっている頭部骨格 (頭蓋・下顎骨) が, バラバラの状態で作出した。そのため, 復元する第一段階として, それらの骨を正しい位置で組み立て, 立体的な位置関係を把握する必要がある。しかし, 重力がある空間で, ゆるく関節していた複数の骨化石 (レプリカ) を, 関節した状態に組み上げてイメージを固めることは難しい。そこで今回は, 産出した骨化石 (レプリカ) の写真を様々な方向から

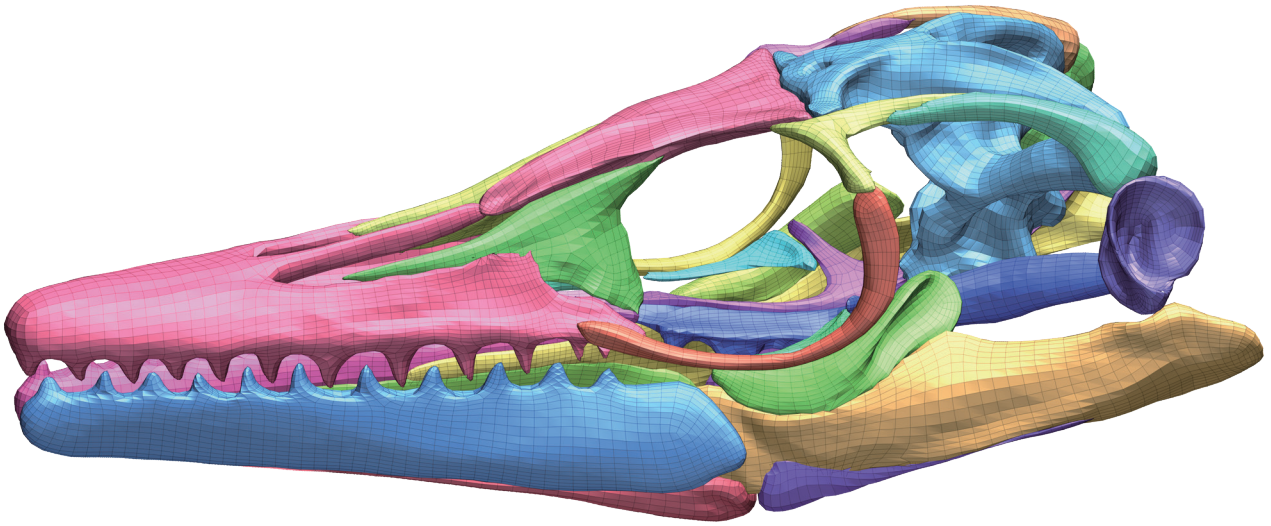


図 1. デジタルで復元された *Phosphorosaurus ponpetelegans* の頭部骨格.

Figure 1. Digital three-dimensional reconstruction of a skull of *Phosphorosaurus ponpetelegans*.

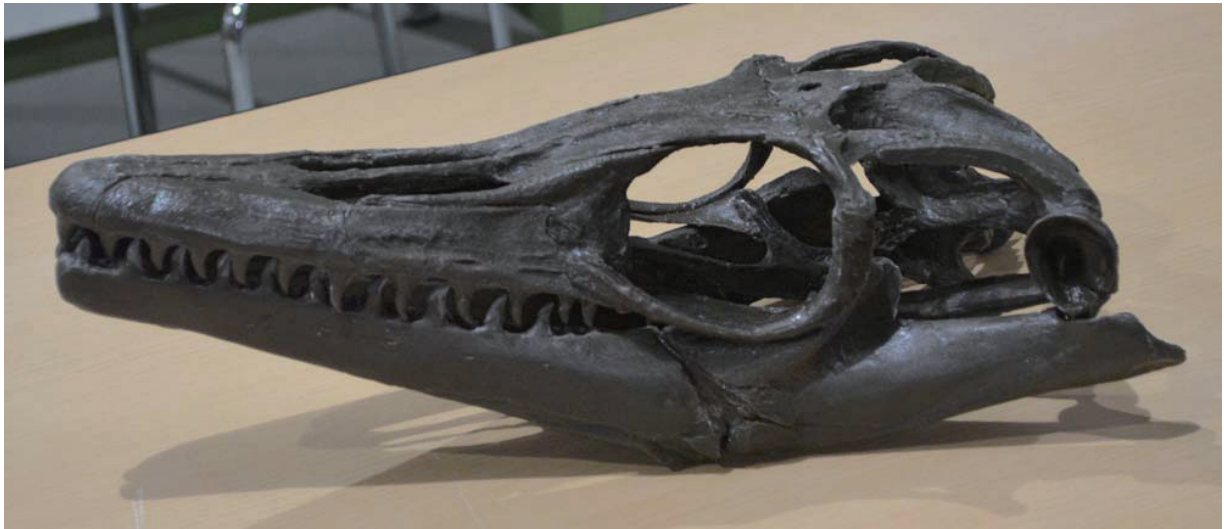


図 2. 復元された *Phosphorosaurus ponpetelegans* の頭部骨格 (頭蓋と下顎).

Figure 2. Reconstructed skull model of *Phosphorosaurus ponpetelegans*.

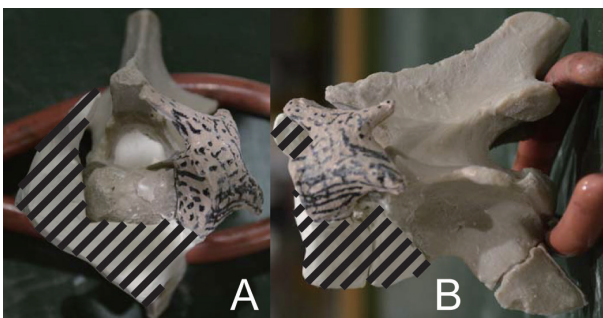


図 3. 復元された *Phosphorosaurus ponpetelegans* の第一第二頸椎. 斜線部分が復元した部位. **A**, 第一第二頸椎の前面観. **B**, 第一第二頸椎の左側面観.

Figure 3. Reconstructed atlas-axis of *Phosphorosaurus ponpetelegans*. The hatched portions are restored. **A**, Anterior view. **B**, Left lateral view.

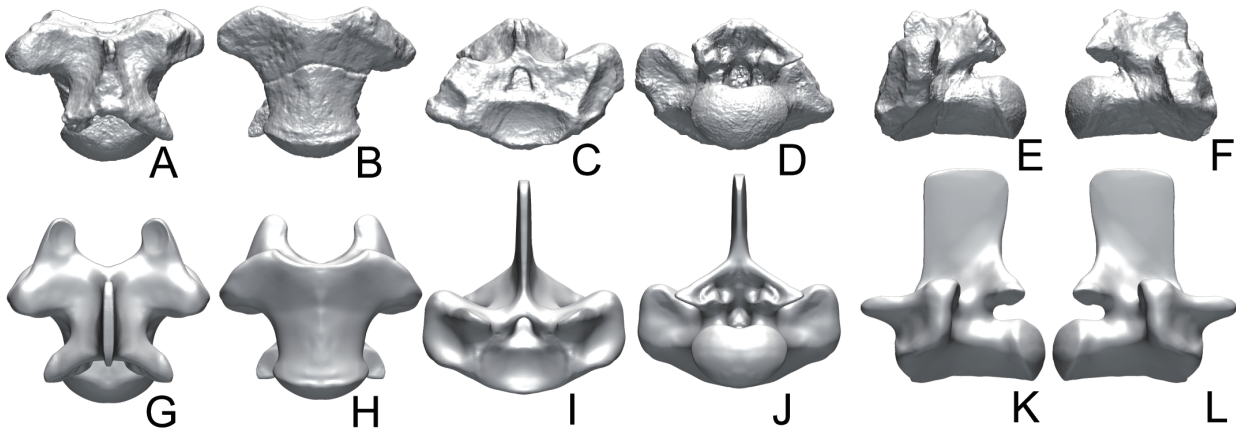


図4. 小平町産胴椎(OTBE Obr-3609)の復元. A-F, オリジナルの胴椎. A, 背側観. B, 腹側観. C, 前面観. D, 後面観. E, 左側面観. F, 右側面観. G-L, 復元された胴椎. G, 背側観. H, 腹側観. I, 前面観. J, 後面観. K, 左側面観. L, 右側面観.
Figure 4. Reconstruction of the dorsal vertebra (OTBE Obr-3609). A-F, original dorsal vertebra. A, dorsal view. B, ventral view. C, anterior view. D, posterior view. E, left lateral view. F, right lateral view. G-L, reconstructed dorsal vertebra. G, dorsal view. H, ventral view. I, anterior view. J, posterior view. K, left lateral view. L, right lateral view.

複数枚撮り, それをフォトグラメトリーソフト (Metashape Standard, Agisoft 社製) で 3D モデルにし, 3D CG ソフト (ZBrush, Pixologic 社製) 上で組み上げて, 全体のイメージを固めるところから始めた. その際, 小西によってすでに組み上げられている頭蓋のレプリカ (西村・櫻井, 2018 の図5) や同じハリサウルス亜科の *Halisaurus arambourgi* の頭蓋 (Bardet et al., 2005) を参考にした.

翼状骨 (右), 頬骨 (右), 方形骨 (左) は片側しか産出していなかったため, 骨化石の 3D モデルをパソコン上で反転させて組み上げた. 反転させたそれぞれの骨は 3D プリンタ (ダヴィンチ 1.0AiO, XYZprinting 社製) で出力した. 出力に使った樹脂は ABS 樹脂でアセトンに溶解する. そのため 3D プリンタで出力したものを, アセトンで表面を溶かして滑らかにし, 従来のレプリカを作る手法で FRP に置き換えた. 方形骨と翼状骨は一部が破損していたため, プリントアウトしたものに石粉粘土で復元して, FRP に置き換えて使用した. 産出していない部位 (上顎骨前方部・前上顎骨・翼状骨の方形骨突起・鱗状骨・鋤骨) は, 3D CG ソフト上で大まかに 3D モデルとして造形し, 筆者間のメールのやり取りで頭蓋の全体のイメージを固めつつ (図1), 時間短縮のため石粉粘土 (Fand Soft, アートクレイ社製) による制作を並行し行い, それを FRP に置き換えた. 下顎も同様に制作した (図2). FRP 製のパーツが完成した後, それぞれのパーツの関節部分に穴をあけ, 紐で骨同士を緩

く結び, 紐が最も短くなる場所で固定した.

すべての骨格を 3D モデルとして制作し, それを 3D プリンタで出力することも可能であったが, 産出した部位はそのレプリカを使用したかったことと, 制作を行った新村が大型の骨の 3D プリントに不慣れであり, ほぼ半年間という決められた納期の中でかかる時間を見積もることができなかったため, 従来の粘土による造形も行うことにした.

III 頸椎の制作

本標本において, 頸椎とされる標本は 7 個見ついているが, 第一, 第四, 第五頸椎は, 部分的にしか保存されていない. そこで第一頸椎は別のモササウルス類である *Clidastes propython* の第一頸椎の図 (Russell, 1967 の figure39) を参考に, 産出している骨 (レプリカ) に, 欠損部位を石粉粘土で造形した (図3). 第四, 第五頸椎はその前後の頸椎を参考に, 石粉粘土で造形した.

これら造形した頸椎は, FRP に置き換えて全身骨格復元模型に使用し, それら以外のほぼ完全に産出した頸椎はレプリカをそのまま (または一部破損を復元して) 使用した.

IV 胴椎の制作

本標本には胴椎は一切含まれていない. そこで第七頸椎と, ハリサウルス類を含む基幹的なモ

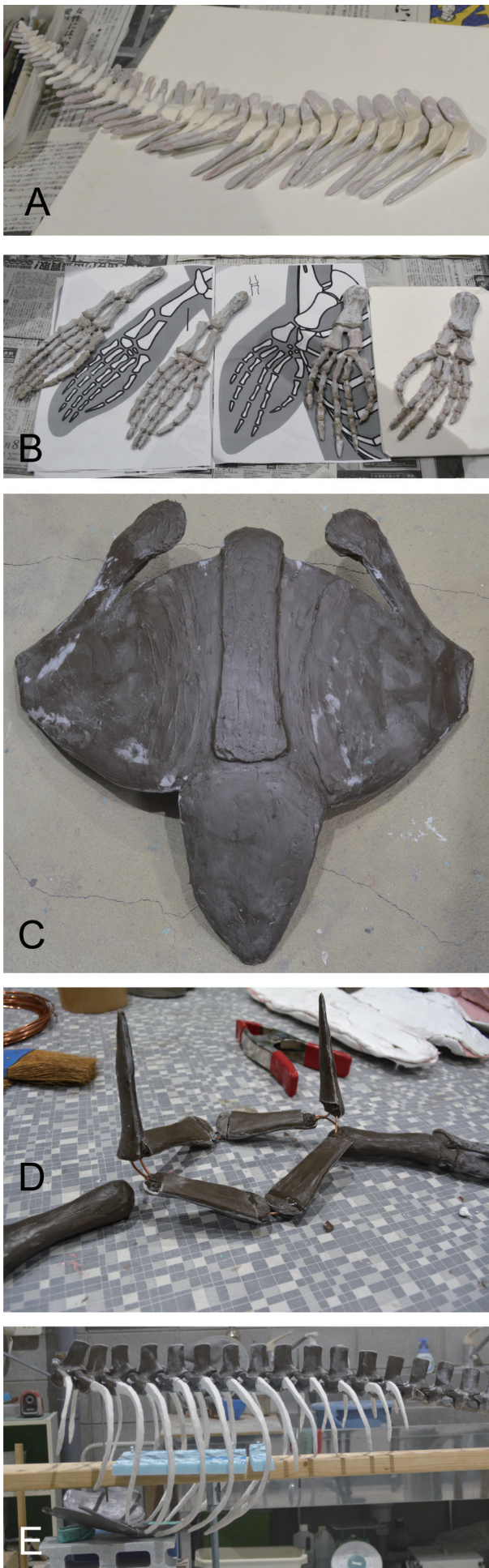


図 5. 制作途中の頭より後ろの骨格. A, 尾椎. B, 四肢. C, 肩帯. D, 腰帯. E, 肋骨.
Figure 5. Components of postcranial skeleton before assembling. A, caudal vertebrae, B, paddles, C, shoulder girdle, D, pelvic girdle, E, ribs.

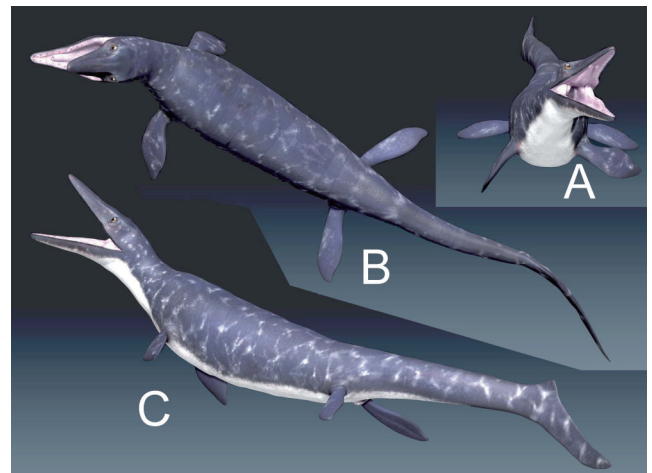


図 6. 姿勢の決定に用いた生体復元 3D モデル. A, 前面観. B, 背側観. C, 外側観.
Figure 6. Life restoration 3D model used to determine posture. A, anterior view, B, dorsal view, C, lateral view.

ササウルス類である小平町産の胴椎 (OTBE Obr-3609) から (Sato et al., 2018), 頸椎から連続する胴椎を復元することにした. 第七頸椎はほぼ完全な状態で産出している一方, 小平町産の胴椎は不完全で, 右側の後関節突起と前後の椎体の関節面が保存されているのみである. そこで, まず穂別博物館に所蔵されている小平町産胴椎のレプリカをフォトグラメトリーで 3D モデルにした後, 3D CG ソフト上で破損部位の復元を行うことにした. 制作には胴椎が左右対称であることを利用して, 小平町産胴椎の 3D モデルとその左右反転させたものを合成し, 残された右後関節突起から左後関節突起を復元し, さらに前後の胴椎がほぼ同じ形であることを利用し, 胴椎を 2 つ前後に関節させ, 復元された後関節突起から前関節突起を復元した. 棘突起の高さは第七頸椎を参考に復元した (図 4).

新村・小西 (2018) では, *Phosphorosaurus ponpetelegans* の胴椎を 20 個と想定している. そこで後位胴椎である小平町産の胴椎を第 13 胴椎と仮定し, 頸椎から少しずつ形を変えながら 5 個の胴椎を造形し, 3D プリンタで出力, その後ア

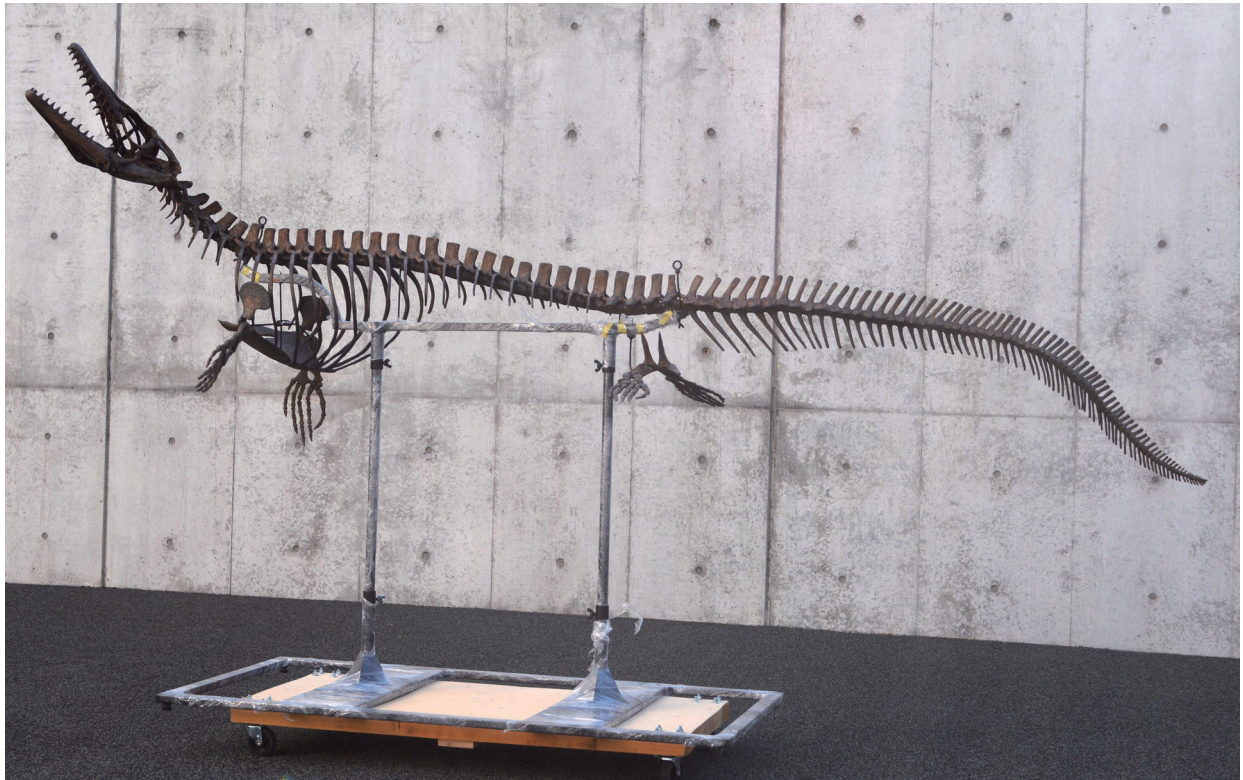


図 7. 完成した骨格復元模型.

Figure 7. Mounted skeletal restoration model of *Phosphorosaurus ponpetelegans*.

セトンで表面を溶かして滑らかにし、FRPに置き換えたものをそれぞれ4つ作った。その後、樹脂を盛って個別に形を変えながら連続するように造形し、20個の胴椎を仕上げた。

V 尾椎，前肢と肩帯，後肢と腰帯，肋骨の制作

尾の基部を構成する pygal vertebrae と血道弓を伴う尾椎は、全身骨格復元図を基本とした。pygal vertebrae は 3D プリンタで出力し、FRPに置き換えたものを全身骨格復元模型に用いた。pygal vertebrae より後の尾椎は 3D モデルの制作は行わずに、石粉粘土と樹脂を用いてアナログ的に制作し (図 5A)，その都度小西の指摘を受けて修正した。その後 FRP に置き換えた。

前肢と後肢は、全身復元骨格図をプリントアウトした紙上に石粉粘土や樹脂を用いて造形した (図 5B)。肩帯と腰帯は、角度や関節の仕方などの指示を受けつつ修正し、石粉粘土と樹脂で造形した (図 5C, D)。肋骨は関節させた胴椎に、胸郭の断面が円形になるように、石粉粘土で制作した (図 5E)。これらの骨格はその後 FRP に置き換えた。

VI ポーズ決定と組み上げ

FRPに置き換えて軽くしたものを、鉄骨で組み上げた。

「翼状骨歯が良く見えるようにしたい」とのむかわ町徳別博物館の意向があり、頭を上を持ち上げた状態を基本とし、そこに動きを感じることが出来る姿勢を検討することとなった。姿勢のイメージを共有するため、すでに制作してあった生体復元 3D モデルのポーズを変えることで試作を重ね、共通認識となる姿勢が決定した (図 6)。体のくねりは、魚の遊泳を参考にし、泳いでいる最中に獲物を見つけて、左前肢を垂直にすることでブレーキをかけつつ、左側によけた獲物を左に頭を振って、口を開けて獲物を捕らえようとしている場面になった (図 7)。本来は胴もくねっているはずだが、体を支えるために丈夫な鉄骨を添える必要があったため、まっすぐになった。

謝辞

むかわ町穂別博物館に所蔵されている *Phosphorosaurus ponpetelegans* ホロタイプの観察に際しては、同館の櫻井和彦館長と西村智弘学芸員に大変お世話になった。お礼申し上げます。

文献

- Bardet, N., Pereda Suberbiola, X., Iarochene, M., Bouya, B. & Amaghaz, M. 2005. A new species of *Halisaurus* from the Late Cretaceous phosphates of Morocco, and the phylogenetical relationships of the Halisaurinae (Squamata: Mosasauridae). *Zoological Journal of the Linnean Society*, **143**, 447–472.
- Konishi, T., Caldwell, M.W., Nishimura, T., Sakurai, K., and Tanoue, K. 2016. A new halisaurine mosasaur (Squamata: Halisaurinae) from Japan: the first record in the western Pacific realm and the first documented insights into binocular vision in mosasaurs. *Journal of Systematic Palaeontology*, **14**, 809–839.
- 西村智弘・櫻井和彦, 2018, *Phosphorosaurus ponpetelegans* ホロタイプ (HMG-1528) の発見と調査研究史. むかわ町穂別博物館研究報告, **33**, 27–31.
- Sato, T., Konishi, T., Nishimura, T. and Yoshimura, T., 2018, A basal mosasauroid from the Campanian (Upper Cretaceous) of Hokkaido, northern Japan. *Paleontological Research*, **22**, 156–166.
- 新村龍也・小西卓哉, 2018, *Phosphorosaurus* の生体復元 3D CG と骨格復元の制作 —3D CG ソフトによる古脊椎動物復元の有効性と将来性—. むかわ町穂別博物館研究報告, **33**, 37–44.
- Russel, D. A., 1967, Systematics and morphology of American mosasaurs. *Bulletin of the Peabody Museum of Natural History*, **23**, 1–241.

新村龍也・小西卓哉, 2020, *Phosphorosaurus* の等倍骨格復元の制作. むかわ町穂別博物館研究報告, **35**, 33–38.

Tatsuya Shinmura and Takuya Konishi, 2019, Skeletal reconstruction of a mosasaur *Phosphorosaurus*. *The Bulletin of the Hobetsu Museum*, **35**, 33–38.

(要 旨)

2015年に、日本から最初のハリサウルス亜科モササウルス類が報告され、*Phosphorosaurus ponpetelegans* と命名された。2016年には復元骨格図、2018年から2019年にはその復元骨格図を参考に復元骨格模型が制作された。見つかっている骨はそのレプリカを復元骨格模型に使用した。片側しか見つからない骨はデジタル3Dモデル化の後、ミラーリングをして3Dプリント出力をした。まったく見つからない骨は粘土で造形して使用した。魚類の体をくねらせて泳ぐ泳方を参考に骨格標本を組み上げた。さらに、頭を左上方にあげて口を開き、左前肢を外転させてブレーキをかけつつ、口を開けて逃げる獲物にかみつこうとしている姿にした。制作には半年間を要した。