

解 説

椎骨化石の型取り技法について (2)

松本幸英

林原生物化学研究所, 古生物学研究センター

Molding Method for Vertebral Fossils 2

Yukihide Matsumoto

Center for Paleobiological Research, Hayashibara Biochemical Laboratories, 1-2-3 Shimoishii, Okayama 700-0907, Japan (y-mts@hayashibaramuseum.jp)

はじめに

椎骨化石は形が複雑で多様なため, これらの型取り技法については詳しい記載がなく, これまで初歩的な技法の紹介に留まっていた (化石研究会, 2000). しかし, 松本 (2008) は椎骨の型取り技法を椎骨の形別に検討し, 代表的な形として十字形 (十字構造) の椎骨を分類してその型取り技法を実例で紹介した. 十字形は椎骨のなかで最も多く見られる形であるが, 他にも特徴的な形が分類できる. それは, 頸椎に見られるように棘突起, 関節突起, 横突起とそれに癒着した頸肋骨が椎体と椎弓の周りに刺状になって突き出し, 全体として多数の突起が放射状に並んだ形 (放射状構造) である.

長短様々な突起がそれぞれの方向に突き出た椎骨は, 型取りを断念したくなる程の複雑さがある. このような椎骨の型取りは, 従来使用されているような単純に前後或いは左右半分ずつで型取りする技法 (two piece mold (Clarke, 1938)) や多数の型で型取りする技法 (piece mold (Clarke, 1938); multipiece flexible molds (Goodwin and Chaney, 1994)) では, オーバーハングができて化石が外れなくなつて壊れたり, 型の構造が複雑になりすぎたりして問題がある. また, 十字形の椎骨の型取り技法でもこの形の型取りはできない.

しかし, このような椎骨の型取りは, その複雑さから想像する程には難しくはない. オーバーハングを作らないという従来からある型取りの基本原則 (Clarke, 1938; Parsons, 1973; Smith and Latimer, 1989) に従うだけである. にもかかわらずこれまで型取りができなかったのは, 著者自身がそうであったように, 椎骨の複雑さに惑わされて, その形やオーバーハングしている部分についての分析ができていなかったからだと思われる. 実際, 椎骨の形の分析ができていないと, 多様な形を1つの形のバリエーションとして単純にとらえられないままとなる. そしてオーバーハングしている部分の分析ができていないと, オーバーハングを作らないという型取りの基本原則を守

ることができない.

多数の突起が放射状に並んだ椎骨をオーバーハングを作らないで型取りするためには, 突起同士が重ならないような面を選んで型取りすればよいのである. 本解説では, 十字形の椎骨の型取り技法に続いて, 突起が放射状に並んだ椎骨の型取り技法を実例で紹介する.

放射状構造の型取り技法

型の種類と特徴

本技法による型は表と裏の2つの型で構成され, multipiece flexible mold (Goodwin and Chaney, 1994) のうちの two-piece mold に分類されるものである. 更に, 2つの型はそれぞれ, ゴム型, プラグ, 支持型の部品からなる. ゴム型は化石の印象を型取りするゴム状の印象剤で, プラグはオーバーハングを埋める硬めの詰め物, 支持型は柔軟なゴム型とプラグを固定する硬い支えである (松本・橋本, 2007). また, 本技法による型は, レプリカの材料を流し込む注型用の型でなく塗り重ねる積層用の型であるが, 注ぎ口を2つの型の間に設けることにより注型用の型として使用することもできる. 型の数を2つと少なく設定したのは, 型の数が多くなればなるほど, 型がゆがみ, 複製が不正確になりやすく, 型取りの作業時間も材料費も増え, 中・小型標本への適用も技術的に難しくなるためである (松本, 2008).

型取り手順の流れ

オーバーハングを作らないという基本原則に従って型取りを進める. そのためにまず, 突起同士が重ならない型取り面を選ぶことで, 型取りを困難にし標本を危険にさらす大きなオーバーハングを回避する. 次に, シリコン積層 (ゴム型作成) により標本表面の凹凸など小さなオーバーハングを処理する. 最後に, ゴム型外表面に残った中程度のオーバーハングをプラグにより処理して, 支持型を作るまでに全てのオーバーハングを処理する. ゴム型と支持型

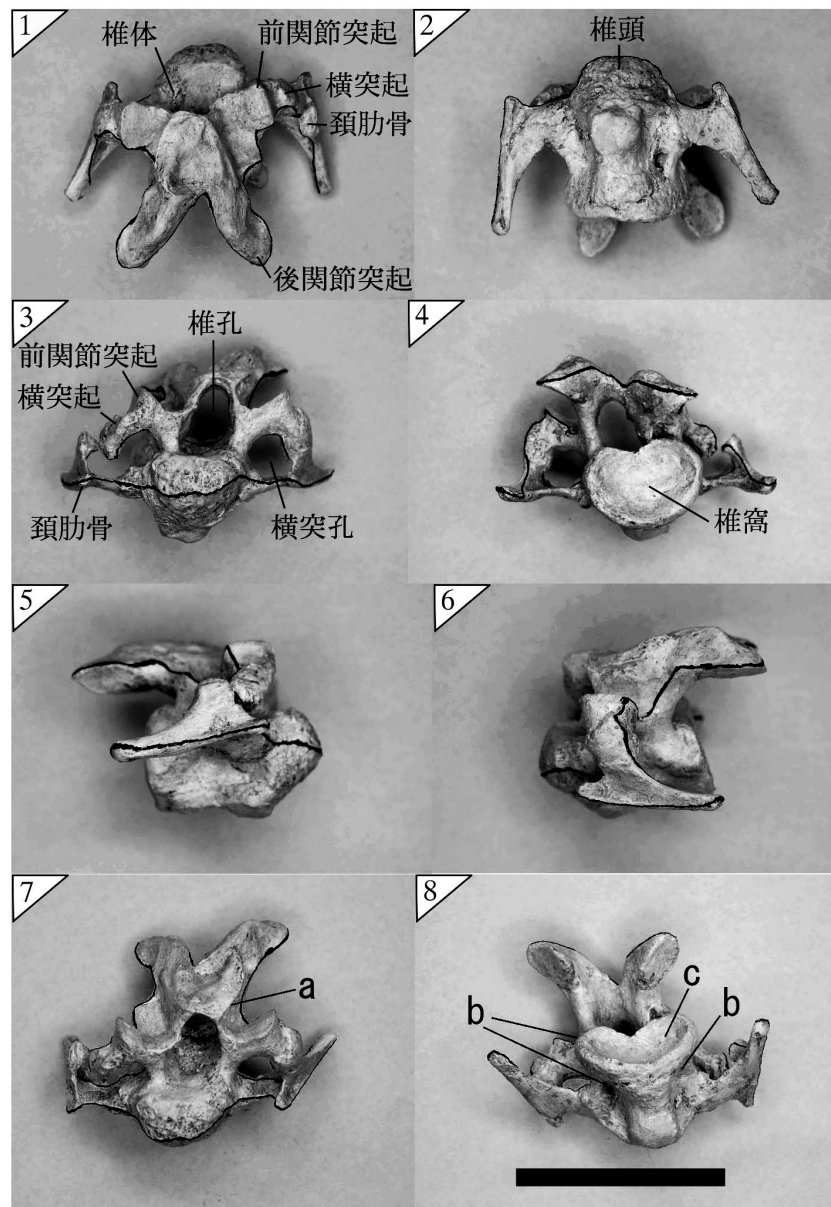


図1. *Bactrosaurus* 第5頸椎（レプリカ）の表面を2つに分ける分割線。（1）背側面；（2）腹側面；（3）前面；（4）後面；（5）右側面；（6）左側面；（7）前背側面．前面を約45度前傾させた面；（8）後腹側面．前背側面の反対側の面；（a～c）オーバーハング a～c．スケールバーは5 cm.

を作る段階で、オーバーハングの処理の程度がそれぞれ異なるのは、ゴム型は柔軟なゴムでできているので多少のオーバーハングが残っていても問題にならない事が多いのに対し、支持型は硬い樹脂でできているので小さなオーバーハングも完全に処理しなければならないからである。

型取りに使用した椎骨標本の特徴

本技法の型取り例に使用したのは、植物食恐竜の *Bactrosaurus* の第5頸椎（レプリカ）である。サイズは約7 cmで、前後左右の関節突起、左右の横突起とそれに癒着した頸肋骨が椎体と椎弓の周りに刺状になって突き出し、全体として多数の突起が放射状に配置している（図1）。

本頸椎に見られるオーバーハングは、全てが突起、椎弓、

椎体の重なり合いか、それぞれの表面の反りによって形成される。オーバーハングは標本を見る角度によってできたりできなかったりするが、本技法に特に関ってくるのは、椎孔（椎体と椎弓の重なり）にできるオーバーハング、左右の横突孔（椎体と横突起と頸肋骨の重なり）にできるオーバーハング、椎弓左上面の変形によるオーバーハング（a）、椎体側面の反りによるオーバーハング（b）、椎窩の反りによるオーバーハング（c）である。

分割線の設定

本技法は two piece mold であるので標本表面を2分割して型取りする。そのため、型取りする面を1つ決めると自動的にもう片面（反対側の面）も決まりその境界線が分

割線となる(松本, 2008)。面の選び方は無限にあり、どの面を選ぶかによりオーバーハングの状態が変わるので、オーバーハングが最小となるような面を探す。突起が放射状に並んだ形(構造)でオーバーハングが最小となる面とは、突起同士の間が重なりが少ない面である。

本頸椎では、仮に背側面/腹側面(図 1-1, 2)、そして右側面/左側面(図 1-5, 6)を選ぶと、突起、椎弓、椎体がまともに重なることになる。背側面/腹側面では、椎体と椎弓、横突起と頸肋骨が重なり、それらの間の椎孔と横突孔が型取り困難なオーバーハングを形成する。また、右側面/左側面では、椎体と頸肋骨、椎弓の左右同士、後関節突起の左右同士、前関節突起と椎弓が重なり、それぞれの間に大きなオーバーハング(椎孔と横突孔を含む)を形成する。

一方、前面/後面(図 1-3, 4)と前背側面/後腹側面(図 1-7, 8)を選ぶと、突起、椎弓、椎体がまともに重ならない。そのため、生じるオーバーハングがより小さくなる。更に両者を選んだ場合を比較すると、前者は印象面の起伏が大きくなって型が深くなり、後者は印象面の起伏が小さくなって型が浅くなるので後者の前背側面/後腹側面が型取りによりふさわしい面であると言える。前背側面(図 1-7)は前面(図 1-3)の位置から前下方へ約 45 度傾斜させた時の面で、後腹側面(図 1-8)は前背側面を反対側から見た面である。

以上のようにして本頸椎の表面の分け方を前背側面/後腹側面に決めると、その境界線が分割線となる(図 1 の黒い線)。この時、分割線は型取り面の輪郭にほぼ等しくなっている(図 1-7, 8)。ただし、前背側と後腹側のどちらの側からも見えないオーバーハングした部分の分割線は、オーバーハング部分をどちらか片方の面か両方の面に割り振ることで位置が決まる。どちらに割り振っても型取りは可能であるが、基本的にオーバーハングが向いている側に面を割り振る。そのようにするとゴム型外表面のオーバーハングがより小さくなる。そして椎孔と横突孔の内表面の分割線は、前背側と後腹側のどちらからも見えないオーバーハング部分の中央を通るようにして、型が完成した時の表裏のゴム型の印象が均等になるように割り振る。できた分割線は結局椎孔を均等に対角線に分けるような楕円形になる。そのようにすると完成したゴム型が負担なく脱型できる。また、分割線はこの後に設定する分割面を標本にできるだけ直角にそして末広がりにするために便宜上、若干標本の輪郭からずらして設定する。そのことが分割線が型取り面の輪郭と全く同じではない主な理由である。

分割面の設定

分割線が決まると、次は分割面(仲谷・久家, 1984)を設定する。この面は最初は粘土などで一時的に作られる面であるが、型が完成した時には、2つの型の合わせしろとなる。まず、分割線より向こう側の面を粘土で覆い、

次に分割線から側方に広がった粘土の面を作る。この粘土面はオーバーハングしないようにできるだけ末広がりに作る(図 2-1)。そして粘土面に2つの型の合わせを作るために溝やキー(松本・橋本, 2007)を刻印する(図 2-1)。ワセリンなどで標本表面や分割面の離型処理を行い、シリコンゴムとガーゼを交互に積層してゴム型を作る。更にゴム型と支持型の合わせとしてゴム型の外表面にシリコンゴムのキーを取り付ける(図 2-2)。

プラグによるオーバーハングの処理

最後に残った中程度のオーバーハングをプラグで埋めて、全てのオーバーハングがこの段階で消える。ただし、プラグによる処理は、標本の形が全く同じでもサイズが異なると違ってくる。本頸椎はサイズが小さいので、シリコンゴムの積層だけで標本表面のわずかな反りやへこみなどの小さなオーバーハングは埋められてなくなってしまう。一方、大きな標本では、相対的にシリコンゴムの厚さが薄くなりより多くのオーバーハングが埋められず残ることになるので、プラグによって処理しなければならないオーバーハングが多くなるのである。

本頸椎の場合、ゴム型の表面に残るオーバーハングには、1つ目のゴム型(図 2-2)では椎孔(椎体と椎弓の重なり)にできるオーバーハング、左右の横突孔(椎体と横突起と頸肋骨の重なり)にできるオーバーハング、椎弓左上面の変形によるオーバーハング(図 1-7-a)があり、2つ目のゴム型(図 2-6)では椎孔(椎体と椎弓の重なり)にできるオーバーハング、左右の横突孔(椎体と横突起と頸肋骨の重なり)にできるオーバーハング、椎体側面の反りによるオーバーハング(図 1-8-b)、椎窩の反りによるオーバーハング(図 1-8-c)がある。ゴム型外表面の離型処理後、これらをプラグによって埋める。この時プラグとゴム型の合わせをより正確にするためオーバーハングしていない部分にまで、更に確実にオーバーハングを消すために気になる箇所にもプラグを延長させ、余裕をもってプラグ処理を行う。プラグは互いにつながっているほうが安定し正確な合わせが可能になるので、このケースでは一続きのプラグとなっている(図 2-3, 7)。

プラグ処理が終わったら、離型処理して、不飽和ポリエステル樹脂と補強材の硝子マットで支持型を作る(図 2-4)。支持型の硬化後、裏返して裏面を埋めた全ての粘土を取り去る(図 2-5)。1つ目のゴム型の合わせしろの離型処理後にシリコン積層してキーを取り付けて2つ目のゴム型を作る(図 2-6)。2つ目のゴム型のプラグ処理と離型処理の後、支持型を作成、脱型して型取りが終了する。

完成した型の構造と成型

完成した型は、two piece mold としては印象面の起伏が最小限に留まった浅い型になり、全体的に開放された型となった(図 3-1, 2)。ただし、表側からも裏側からも見えない標本のオーバーハングは必ず奥まった印象面を作

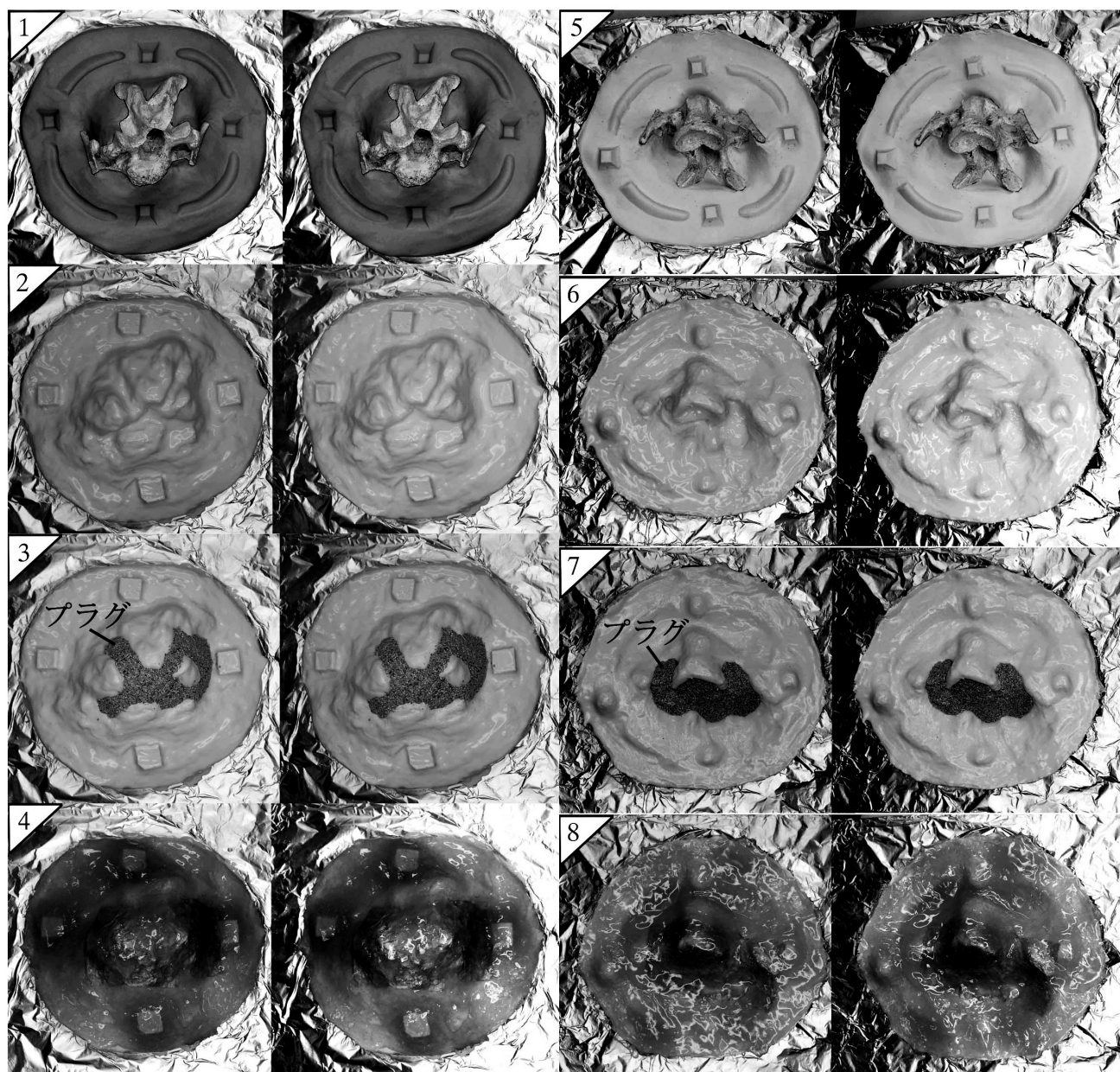


図2. 型取り工程 (ステレオ写真). (1) 油粘土による分割面の作成, 1つ目の型の型取り面; (2) 1つ目のゴム型の作成; (3) 1つ目の型のプラグ処理; (4) 1つ目の支持型の作成; (5) 2つ目の型の型取り面; (6) 2つ目のゴム型の作成; (7) 2つ目の型のプラグ処理; (8) 2つ目の支持型の作成.

るので、本頸椎の場合においても椎窩周辺部の印象面がオーバーハングして奥まった面になった (図3-2)。しかし、本技法によるゴム型は全体的には奥まったところが少ない上、開放されて展開しやすいので、このような奥まった部分も隣接部分が開くことで、容易に広がって展開する。そのため、標本やレプリカから型を外すことが容易で、標本、レプリカ、型が安全である。また、同様の理由によりレプリカ材の積層も容易でゴム型の印象面の気泡を押し出しやすいので複製の失敗が少なく、two piece mold であるので正確な複製が可能である (図3-3)。本技法によりこれまでに 45 cm までの椎骨の複製にも成功している。

型取り材料とその使い方

離型処理: パラロイド B-72, 錫箔 (厚さ 7 mμ), ワセリン。パラロイドのアセトン溶液は 15 % 前後で使用する。ただし、ゴム型の離型処理では室温が低いと溶液が弾かれることがある。その場合は溶液の濃度を高めにすると弾かれにくくなる。一方、濃度の高い溶液は注意して使用しないと、標本の細部の形状を消してしまったりレプリカに大きなバリを作る原因になる。錫箔は単独ではなくワセリンを塗布した後に貼り付ける。ワセリンは低温では固形状態であるので熱で液状にして使用する。これも低温環境で使用するするとワセリン層が分厚くなるので注意が必要である。

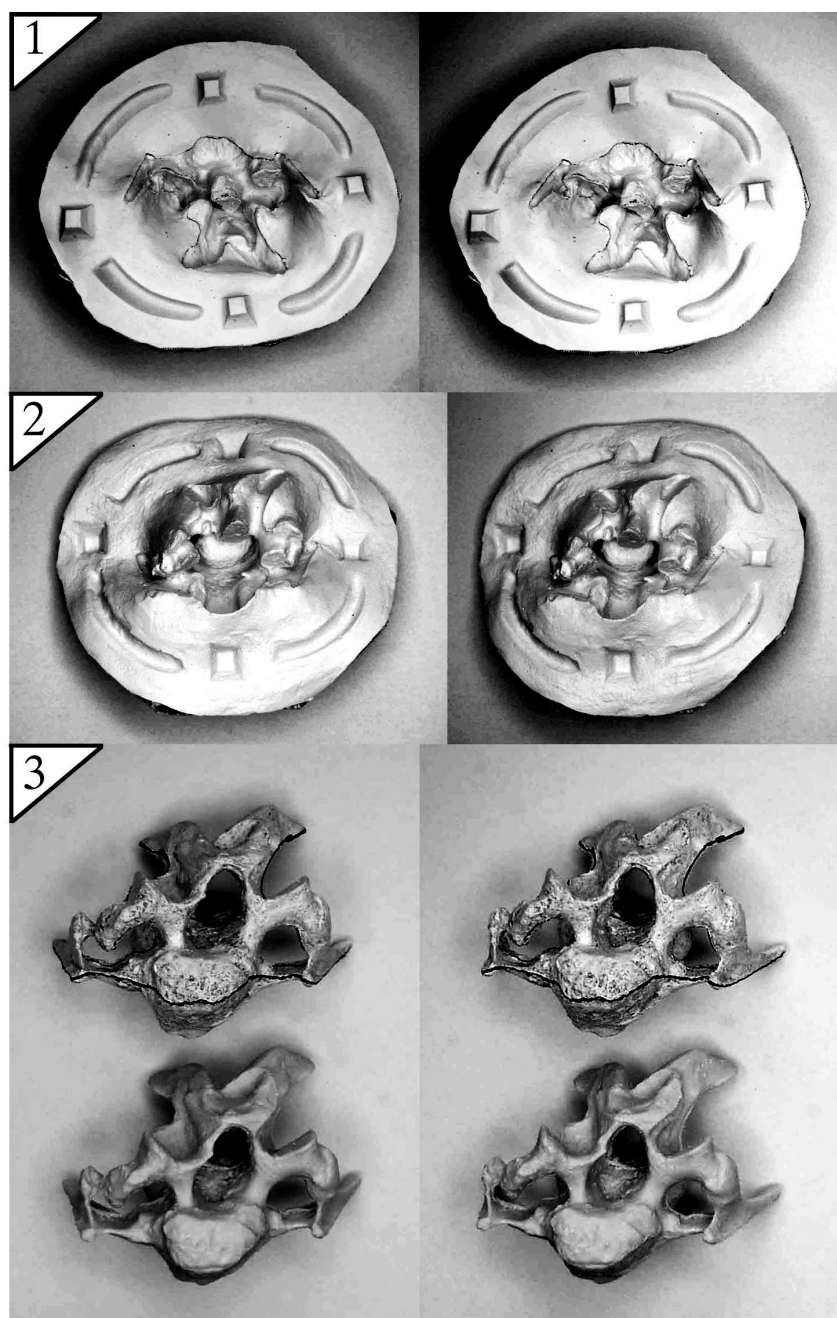


図 3. 完成した型とその型による複製 (ステレオ写真). (1) 1つ目の型の印象面; (2) 2つ目の型の印象面; (3) 元の頸椎 (上) と複製された頸椎 (下).

ゴム型：主剤シラスコン RTV8600 (東レ・ダウコーニング株式会社), 硬化剤キャタリスト (東レ・ダウコーニング株式会社), ガーゼ. 硬化剤キャタリストにはFタイプとMタイプがあり硬化時間と粘度の違いがある. 室温や硬化剤の量にもよるがMタイプを使用した場合, シリコンの粘性が低くなって扱いやすい上, 1時間以上は固まらないので作業性がよい. そのため通常Mタイプを使うが, すぐに固まって欲しい時はFタイプを使用する. また, 塗布後にシリコンが垂れてしまわないように増粘剤 (DK Q4-4164, 東レ・ダウコーニング株式会社) を少量使う.

ただし, 粘性を高くすると気泡を含みやすくなるので, 粘性の高いシリコンを直接標本へ塗布することは避けたほうがよい.

プラグ：パーミキュライト A-1 (ひる石, 旭工業株式会社), シリコンゴム (主剤シラスコン RTV8600, 硬化剤キャタリスト). 主剤シラスコン RTV8600 に硬化剤キャタリストを添加し攪拌した後, 直径 1 mm 大のパーミキュライトを混ぜる. パーミキュライトが少なすぎると, パテが流れてしまうので, 垂直の壁に盛っても流れない程度にまでパーミキュライトを混合する.

支持型：主剤不飽和ポリエステル樹脂リゴラック（昭和
高分子株式会社）、硬化触媒 パーメック N（日本油脂株式
会社）、強度強化材ガラスマット、副資材アエロジル（日
本アエロジル株式会社）。不飽和ポリエステル樹脂は硬化
の際に数パーセントの収縮を起こすので、型の精度が落ち
やすい。その影響を出来るだけ最小限に留めるため強度強
化材を多めに使用して対処する。

おわりに

オーバーハングを作らないという型取りの基本原則は
単純明解で、この原則に従っていれば、型取りはうまく行
くはずである。しかし、実際の型取りでは、標本の形状が
多種多様であり、たとえその原則を知っていても、実際
に標本を目の前にすると、見る角度によって変化するオー
バーハングにどう対処したらよいかわからず困惑してし
まうことが多い。そのような状況に対し、標本を形別に分
類し、それぞれの型取り方法を示すことは、型取りの現場
に、より具体的に実践的な指標や基準を提供することにな
ると思われる。

また、従来の型取り技術は職人や技術者の個人的な所有
物に留まっていたが、それらの技術を文章化し公開するこ
とで、身近に技術者がいなくとも、また技術者から直接教
わることなくとも、より高度な技術を初心者を含めた第
三者が利用可能となる。更に文章化は、技術者が自らの技
術を客観視することになるため、技術が整理され、原理化
され、より明解になるため、更なる技術に発展することにも
つながる。

本解説は、椎骨の型取りに困惑する化石研究者や技術者
の活動を支援することを目的に、より具体的ですぐに使える
簡易技術の提供を試みたものである。そのため、応用に

必要な型取りの原理については、ほとんど触れていない。
今後、より広範囲の標本に対応するためには、型取り技術
の原理の解説が必要である。

謝辞

本解説は鹿児島大学の仲谷英夫氏、および足寄動物化石
博物館の澤村 寛氏の査読により改善された。査読者なら
びに西 弘嗣氏をはじめとする編集部の方々に深く感謝
する。なお、本研究は林原自然科学博物館の研究費によっ
てなされた。

引用文献

- Clarke, C. D., 1938. *Molding and Casting*. 300p., The Standard Arts
Press, Butler, Maryland.
- Goodwin, M. B. and Chaney, D. S., 1994. Molding, casting, and
painting: techniques and materials. In Leiggi, P. and May, P.,
eds., *Vertebrate Paleontological Techniques 1*, 235-284. Cambridge
University Press, New York.
- 化石研究会, 2000. 化石の研究法. 共立出版, 388 p.
- 松本幸英・橋本 龍, 2007. 空洞を持つ化石の新しい型取り技法
—植物食恐竜プロトケラトプスの頭蓋を例に—. 化石, (81),
79-85.
- 松本幸英, 2008. 椎骨化石の型取り技法について. 化石, (83),
39-63.
- 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),
41-46.
- Parsons, K. C., 1973. Precision casting: A new method in museum
technology. *American Journal of Physical Anthropology*, **38**,
789-802.
- Smith, J. A., and Latimer, B., 1989. Making a multiple-piece
mold. In Feldmann, R. M., Chapman, R. E. and Hannibal, J. T.
eds., *Paleotechniques*, 305-317, Paleontological Society Special
Publication (4).