

持ち運べる角竜類トリケラトプス頭部レプリカキット

松本幸英・御船文慈・園田武晴・藤山佳人・河原康浩・実吉玄貴

林原生物化学研究所, 古生物学研究センター

A portable replica kit of Ceratopsian *Triceratops* skull

Yukihide Matsumoto, Bunji Mifune, Takeharu Sonoda, Yoshito Fujiyama, Yasuhiro Kawahara and Mototaka Saneyoshi

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

はじめに

角竜類トリケラトプスは子供から大人まで人気が高い。その頭部は恐竜では最大級で、1mにもなる目の上の大きな角や盾のような大きな襟飾りは、その迫力で観た者に驚きと感動を与えてくれる。しかし、観る側にとって魅力となるその大きさが、展示する側にとっては逆に問題となる。その大きさと重さ故に標本の移動や設置が容易でなく、これまで標本を展示できる場が博物館などの決まった場所に限られてきたのはそのためである。そこで著者らはトリケラトプス頭部を博物館以外の様々な場所でも観ることができるようにするため、林原自然科学博物館が所有するトリケラトプス頭部実物化石を複製し、トラックやフォークリフトを使用しなくても一人でも容易に移動設置できる組み立て式のレプリカキットを考案・作製した。本解説ではその特徴、組み立て方、作製方法について紹介する。

レプリカキットの特徴

組み立てられたレプリカキットは、長さ205 cm、高さ135 cm、幅135 cmとなり、架台（125 cm角の架台ベース、架台支柱、架台フレーム）の上に乗せて全高が205 cm程になる（図1）。架台支柱の部品（パイプ）を短いものに換えることで、150 cm程の高さにまで低くすることもできる。総重量は、実物標本が約300 kgであったのに対し、このレプリカキットは88 kgとなった。

このレプリカキットは持ち運びを容易にするため、19の部品に分けられ、各部品の大きさが135 cm以内、重さが3 kg～9 kg以内に収められている（図2）。そのため組み立て前の状態では、ワゴンタイプの自家用車の荷台に積み込める程度の大きさと容積になる。

19の部品の内訳は、複製された頭部（39 kg）を構成する9つの部品（図2d～l）と、それらを支える架台（49 kg）を構成する10の部品（図2a～c）である。頭部レプリカが9つの部位で構成される理由は、実物標本が

初めから9つの部位に分かれていたものを、そのまま別々に複製したためであるが、この特徴がレプリカキットの利点となった。

実物標本において架台は全て金属製で複雑な構造であったが、このレプリカキットにおいてはその作製と組み立て解体を容易にするために、架台の部品のうち、直接レプリカに連結する部分の架台フレーム（図2-b, c）をFRP（fiberglass reinforced plastics）製にし、4つの部品（合計18 kg）で構成した。そして架台の残りの部分（架台ベースと架台支柱、合計31 kg）は6つの金属製の部品



図1. 組み上げられたトリケラトプス頭部レプリカキット。頭部の長さは205 cmである（本文参照）。

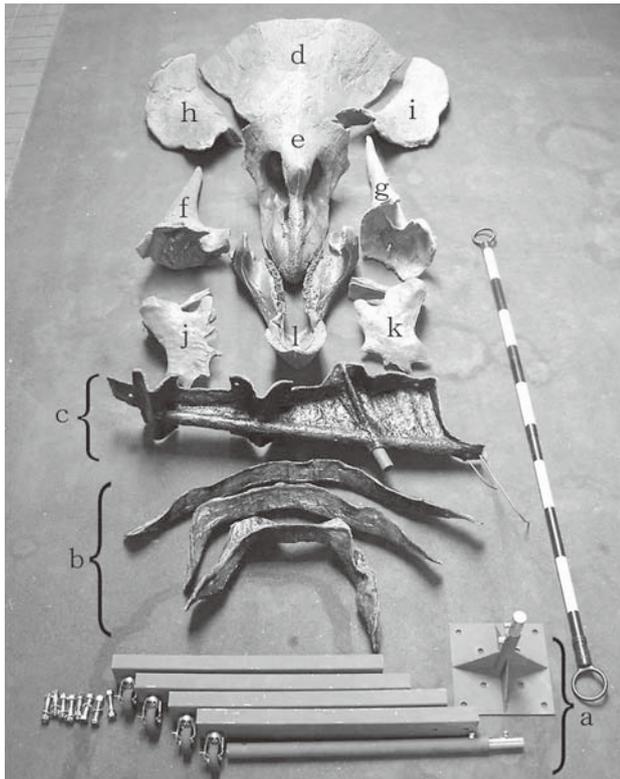


図2. レプリカキットの全部品。(a) 金属製架台の部品(架台ベースと架台支柱)；(b) FRP製架台の横フレーム, 前列・中列・後列の3本；(c) FRP製架台の縦フレーム. 架台支柱との連結部位には金属製のパイプが埋め込まれている；(d) 中央フリル；(e) 上顎；(f) 右角；(g) 左角；(h) 右横フリル；(i) 左横フリル；(j) 右頬骨；(k) 左頬骨；(l) 下顎。

(図2-a)で構成した。

以上のような特徴により, 特別な運搬車両や機械を使うことなく一人で運搬し一人で展示することが可能である。また, 組み立てた後も, 架台ベースにキャスターが付いているため容易に移動が可能である。

レプリカキットの組み立て方

組み立ては下部から上部, そして末端に向けて行い, 決められた順番があるのでこれに従う。頭部レプリカの組み立ては各部位が複雑に組み合わせるので, 順番通りに行うことが必須である。順番通りに行えば, 一人でも十分に組み立て可能で, 15分から20分程度で組み上がる。慣れてくれば10分程度の組み上げも可能である。最初に架台ベース(図2-a)を組み立て, それに架台支柱(図2-a, 最前列), 縦フレーム(図2-c), 横フレーム(図2-b), 中央フリル(図2-d), 上顎(図2-e), 左右角(図2-f, g), 左右フリル(図2-h, i), 左右頬骨(図2-j, k), 下顎(図2-l)の順番に連結させる。

架台ベースの組み上げは, 金属製の5つの部品をレンチやスパナなどの工具を使い, 8組のボルト・ナット・

ワッシャー(図2-a, 左端)で連結固定して行く。架台支柱は架台ベースに差し込み, 回転しないようにボルトで固定する。架台支柱の上に更に縦フレームを差し込みボルトで固定する(図3-1)。縦フレームの上面には楔形の溝が3本刻まれているので, そこに3角形の断面を持つ横フレームを3つ乗せる(図3-2)。縦フレームと横フレームの連結部位は互いの凹凸が雄型雌型の関係になっているので, 定位置で噛み合うようになっている。この段階では縦フレームと横フレームは重力のみによって連結されているが, この後の頭部レプリカと縦フレームの連結の際にボルトで更にしっかりと固定される仕組みになっている。

最初に架台フレームに連結させるレプリカは, 中央フリルである。中央フリルの腹側面にはボルトが3本埋め込んであり(図3-3, 矢印), それを縦フレームに開いた3つの穴に差し込み手締めでナットをゆるく締めて固定する(図3-4)。これ以降のナット締めは手締めのみで, レンチ等の工具を使用しない。この段階で, 後ろ2本の中列と後列の横フレームが, 縦フレームと中央フリルとの間に挟まれて固定される。

次に上顎を縦フレームの上面に連結させる。上顎の腹側面には3本のボルトが埋め込まれているので(図3-5, 矢印), これを縦フレームに開いた3つの穴に差し込んでナットで固定する(図3-6)。このとき前列の横フレームが縦フレームと上顎との間に挟まれて固定される。そして, この前列の横フレームに左右の角が連結する。角の基底部に1本のボルトが埋め込んであるので(図3-7, 矢印), 前列の横フレームに開いた穴に差し込んでナットで固定する(図3-8)。ただし, この後の段階になると各部位が干渉し合うことで組み立てに支障が出るため, 角の取り付け以降のナット締めは各部位の可動性を確保しつつ, ナットは外れない程度に仮留めのみ行う。

次に左右のフリルを連結する。左右のフリルにはそれぞれ2本のボルトが埋め込んであるので(図3-9, 矢印), 後ろ2列の横フレームに開いた穴に差し込む。このとき, 角とフリルが干渉してしまうとフリルがはまらないことがあるが, 緩く連結した角の位置を少し変えると両者はきれいに関節し, 横フレームの穴にしっかりとボルトがはまる(図3-10)。フリルのナットを緩く手締めをしてから, 今度は前列の横フレームに左右の頬骨を固定する。それぞれの頬骨の内側面には1本のボルトが埋め込んであるので(図3-11, 白矢印), 前列の横フレームに開いた穴に差し込んでナットで固定する(図3-12)。この段階で緩く固定されていた各部位がうまく噛み合っているかを確かめながら, 手締めでナット締めをしてしっかりと固定する。

最後に下顎を取り付ける。下顎の連結固定は, 左右の顎関節部分の2箇所と下顎体腹側面の中央部を下から支持することでなされる。顎関節部分での連結には, 下顎

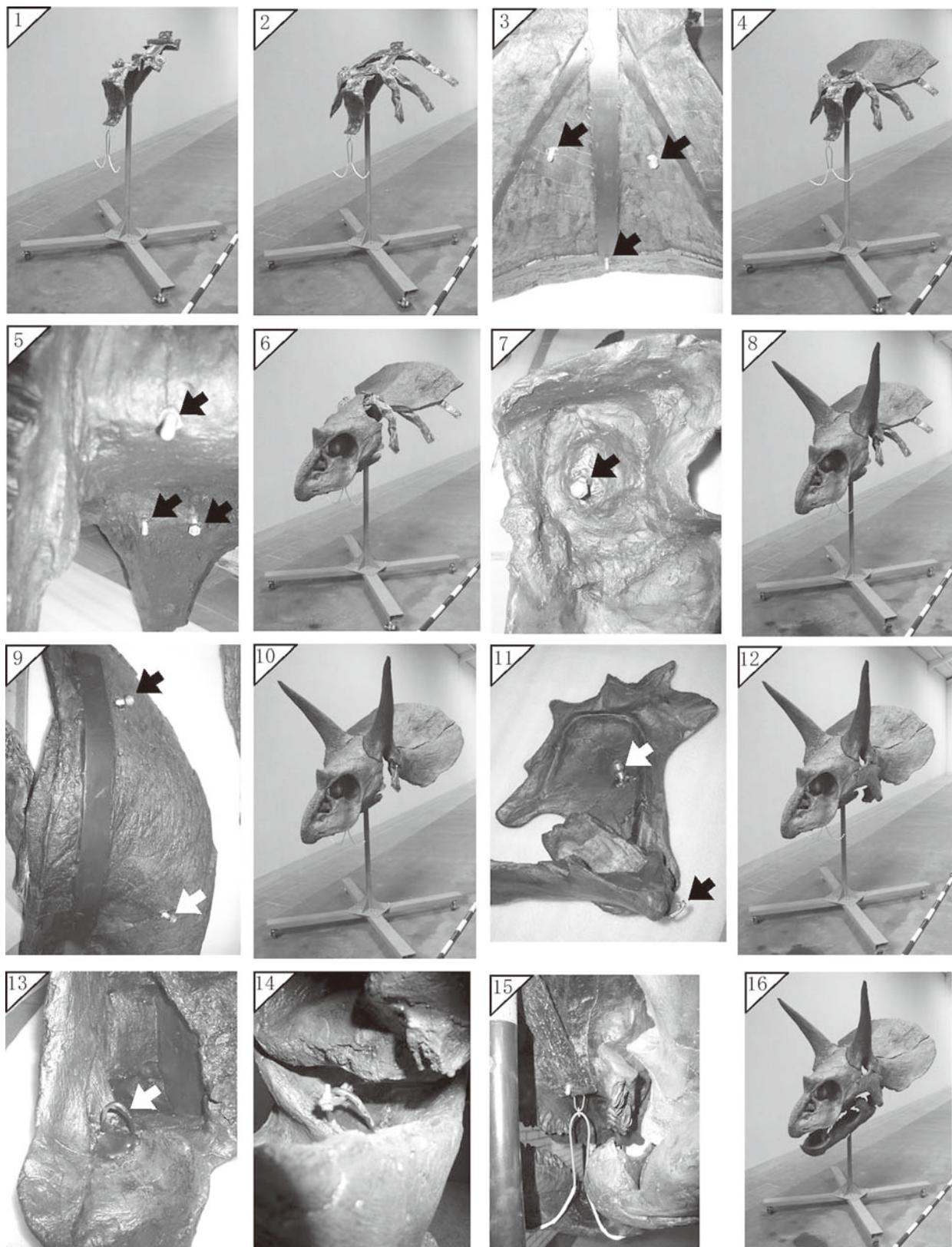


図3. 組み立て方。(1) 金属製架台(架台ベースと架台支柱)に連結した縦フレーム；(2) 縦フレームの溝に連結した3本の横フレーム；(3) 3本のボルト(矢印)が埋め込まれた中央フリル腹側面；(4) 縦フレームに連結した中央フリル；(5) 3本のボルト(矢印)が埋め込まれた上顎腹側面；(6) 縦フレームに連結した上顎；(7) 1本のボルト(矢印)が埋め込まれた左角の基底部；(8) 前列の横フレームに連結した左右の角；(9) 2本のボルト(矢印)が埋め込まれた右横フリル；(10) 後ろ2列の横フレームに連結した横フリル；(11) 内側面に1本のボルト(白矢印)が埋め込まれた頬骨、顎関節部位にはフック(黒矢印)が埋め込まれている；(12) 前列の横フレームに連結した頬骨；(13) 下顎の顎関節部位に埋め込まれたハンガー(矢印)；(14) 左顎関節部位で連結したフックとハンガー；(15) 下顎を吊るすフック；(16) 下顎が連結して組み立て完了。

側の関節面に埋め込んであるハンガーと(図3-13, 矢印), 上顎側の関節面に埋め込んであるフック(図3-11, 黒矢印)を連結させる(図3-14). このとき一度, 下顎を吊るす金具を下顎の下へくぐらせ, 上下の顎を咬合させると, 顎関節での連結がしやすくなる. 顎関節が連結したら下から支えるフックまで下顎を下ろして固定する(図3-15). 以上で組み上げが完了する(図3-16). 解体は組み上げと逆の順番で行う.

作製方法

本解説で紹介しているレプリカキットは, (1) 9つの部位に分かれている頭部実物化石を部位ごとに複製し, (2) それらを実物化石と同じ形に組み上げ, (3) 固定する架台を作る, という3つの作業を経て作製した. 中でも難しかったのは(2)の作業で, この作業のためにそれぞれのレプリカを実物化石と同じ位置に固定する枠組みの作製が別途必要となった. そのため, 上記3つの作業に先立ち, 組み上げられた実物化石の一部を型取りして枠組みを作製した. そして実物化石を9つに解体して型取り・複製し, 枠組みへレプリカを固定した. 次にレプリカ裏側に架台フレームを作り, 連結金具を取り付けて, 着色するという順番で作製した. 架台のうち, 溶接溶断等の作業が必要な金属製の部分は, 設計図を書いて第三者に製作委託した.

枠組みは, 組み上げられた実物化石の表面をFRPで型取りして作製した. その際, レプリカを実物化石と同じ位置に支持固定できる最小限の大きさとし形を持ち, かつ型取りした後に実物化石から容易に外れるように, 3つに分割した. 枠組み作りは, まず実物化石の表面の型取り範囲と型の分割位置を決め, それらが分かるように粘着力の弱いテープで目印を付けることから始めた(図4-1). 次にFRP成型時の実物化石への汚れを避けるために, 全体を透明の包装用ラップフィルムで養生した(図4-2). 透明のラップフィルムを使用したのは, 型取り範囲を示した目印を確認できるようにしておくためである. ラップフィルムは密着性に乏しく実物化石の表面から浮き上がってしまうので, 両面テープを用い固定密着させた. そして次に, 台所用アルミ箔で作った枠組みの型紙をラップフィルムの上に貼り付けた(図4-3). その型紙の上にFRPを成型し, 更に枠組みに縦と横の補強を施し(図4-4), 硬化後分割部位にビス留め用の穴を開けて脱型した.

次に実物化石を解体し, 9つの部位を別々に型取りした. 実物化石の9つの部位にはそれぞれ頑丈な金属製の支えが埋め込んであるため(図4-5), その部分を避けて型取りを行った(図4-6). 型取りの方法や使用した材料の使い方は, 松本・橋本(2007), 松本(2008), 松本(2009)と同様である.

レプリカ作りは樹脂とガラスマットを2回から3回繰り返して積層して行った. 樹脂の粘性の調整は適量のエアロジル(ガラスの粉)を樹脂に混ぜ込むことによって行った. また, 樹脂には化石と同系色の粉絵具を練りこんだ. これにより, 表面の塗装が剥げ落ちて目立ちにくくなる.

できあがったレプリカを上下逆様にした枠組みにはめ込み(図4-7), レプリカに直接連結する架台フレームをその上に作製した. 複製したレプリカには, 実物化石の金属製の支えのあった部分が複製されていないため穴が開いていたり(図4-8, 右矢印), 不要な金具の複製があったりするので(図4-8, 左矢印), 穴は塞ぎ, 架台フレームを作るのに邪魔になる金具の複製は取り除いた.

レプリカを直接支える架台フレームは, 横に横断する横フレームを前列, 中列, 後列の3本と, それらの上を縦に横断する縦フレーム1本で構成される. 枠組みにはめ込んだレプリカの裏側面上に横フレームの位置をテープで示し, ラップフィルムで養生し, その上に油粘土で樹脂が流れないように土手を作った. それからテープで示した設置位置にFRPで横フレームの土台を成型し, その上に横フレームの断面が3角形になるよう厚紙で作った山形の型紙を貼り付けて, 更にその上に山形のFRPを成型した. この作業を3本の横フレームのそれぞれで行った(図4-9).

次に3本の横フレームの上を縦に横断するかたちで縦フレームを作った. 縦フレームの作製に先んじて, 設置位置をレプリカと横フレームの上にテープで示し, ラップフィルムで養生した. それから油粘土で樹脂が流れないように土手を作ってFRPで縦フレームの土台を成型した. その上に, 横フレームと同様に厚紙で作った型紙を貼り付け, FRPを成型した(図4-10). またこのときに, 縦フレーム内に架台支柱との連結固定のための構造も作製した. 架台支柱側に設けられた連結脱着の仕組みのうち, 縦フレームに埋め込まれ固定される部位(パイプ)の雌型をあらかじめFRPで作っておき, それを縦フレームの中で頭部レプリカの重心に近い位置に埋め込んだ. 縦フレームとこれに埋め込まれる金属製のパイプを固定する際には, 組み上げたレプリカと架台ベースとの位置関係のバランスを確認してから樹脂で接着した.

架台フレームができたら, 次にレプリカの連結脱着の仕組みを作った. レプリカの連結は, 下顎以外の部位においては, レプリカに埋め込んだボルト(図3-3, 5, 7, 9, 11)を架台フレームに開けた穴に通し, ナット締めして行った. 頭部レプリカの9つの部位のうち, 2つ以上のボルトが埋め込まれる6つの部位では, レプリカの連結脱着の際にボルトが引っかからないようにするため, それぞれに埋め込まれるボルトが同じ方向を向くように設置した(図3-3, 5, 9). 大きなレプリカを1本から

3本のボルトで固定しなければならないので、ボルトの固定は以下の要領でしっかりと行った。まず、レプリカにボルトのねじ山が通る最小限の穴を開けた。次に穴を下に向け、チョップドストランドなどの短いガラス繊維を混入したパテ状あるいはペースト状の樹脂を穴を通して挿入し、レプリカの内側に穴を覆うように盛り付けた。その際、樹脂の硬化前にボルトのねじ山が入る空間を作った。樹脂の粘性が低くて空間ができない場合は、樹脂の

硬化後に盛り付けた樹脂を削ってボルトのねじ山の空間を作った。樹脂の硬化後、穴を上に向け、ボルトを固定したい方向に向けて穴に設置し、ねじ山と穴の隙間を樹脂で埋めて接着固定した。

前述のように、下顎の連結は顎関節部分のフックとハンガーによる連結(図3-14)と下顎体を縦フレームから吊り下げたフックで下から支える仕組み(図3-15)になっている。フックやハンガーはピアノ線等を加工し

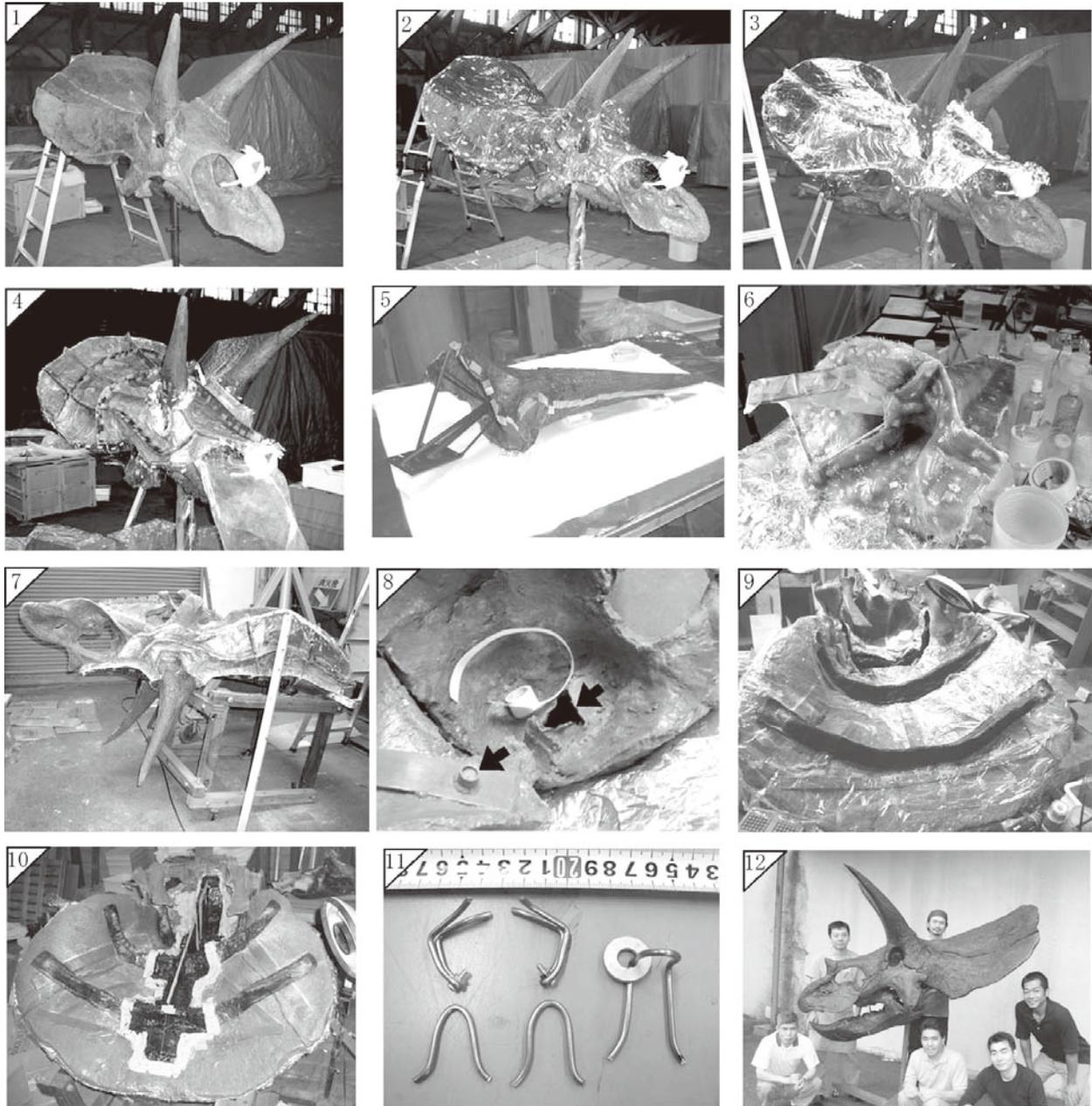


図4. レプリカキットの作製方法。(1) 枠組みの作製。実物化石表面上に型取り範囲を設定したところ；(2) 化石にラップフィルムをかけて養生しているところ；(3) アルミ箱の型紙を貼り付けたところ；(4) FRPの成型；(5) 金属製の支えが埋め込まれた状態の実物角化石；(6) 支えをよけて角化石を型取りしているところ；(7) 逆にした枠組みに複製されたレプリカを設置したところ；(8) レプリカの裏面に残る穴と出っ張り（金具の複製）；(9) レプリカ裏面を養生して横フレームを作製しているところ；(10) 縦フレームを作製しているところ；(11) 各種連結金具。左上の2つはフック、左下の2つはハンガーでこれらは顎関節に埋め込まれる。右端は下顎体を吊るすハンガーの一部；(12) 着色して完成。

て作製し(図4-11), レプリカや架台フレームに埋め込んだ。フックとハンガーの基部の埋め込み部位には, 埋め込んだ後にレプリカに引っかかるように反りや出っ張りを付け, レプリカには埋め込み部位の引っかかり分だけ小さい切り込み口を作った。レプリカの切り込み口を下に向け, ボルトの場合と同様に樹脂を切り込み口を通してレプリカの内側に挿入し, 切り込み口を内側から覆うように盛り付けた。樹脂が硬化する前にフックとハンガーの埋め込み部位の手前をペンチなどではさみ, 切り込み口に入る程度に埋め込み部位を小さくして挿入した。樹脂の硬化後に切り込み口を上に向け, フックとハンガーの埋め込み部位と切り込み口の隙間に樹脂を流し込んで固定した。

連結の仕組みができあがったら, 一度組み立てて実際に連結脱着できるかを確認した。そして最後にレプリカを着色して完成した(図4-12)。

使用した材料

レプリカキットの製作に使用した材料の詳細は以下の通りである。

- (1) 枠組み・レプリカ・架台フレーム; 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), 樹脂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, チョップドストランド3mm(日東紡績株式会社), 増粘材アエロジル(日本アエロジル株式会社), 粉絵具(株式会社サクラクレパス), 焼石膏, 水性アクリル絵具, 台所用アルミ箔, ラップフィルム, 両面テープ。
- (2) 架台支柱; 配管用鋼管(パイプ)42.5mm径, 丸鋼35mm径, M10ボルト。
- (3) 架台ベース; 角鋼100mm×50mm, 板鋼7mm厚, キャスター車輪径75mm, M16ボルト・ワッシャー・ナット。
- (4) 連結金具; ピアノ線3mm径, M10ボルト&ナット, M3ボルト&ナット, 丸鋼6mm径。

展示実績

製作されたレプリカキットは, (株)林原社内の食堂やロビーに展示されたのを皮切りに, これまでに様々な場所で展示されてきた。以下に主だった展示実績をまとめる。

- (1) 日本科学未来館『消えた生き物の謎と秘密』平成21年7月18日～8月31日。
- (2) 日本地質学会第116年学術大会(岡山大会, 岡山理

科大学)平成21年9月4日～6日。

- (3) カフェ&アートラフェール岡山ルネサンス1F平成21年9月18日～10月19日。
- (4) 山陽放送RSK夢フェスタ(コンベックス岡山)平成21年11月7日～8日。
- (5) 台湾台北, 国立中正紀念堂『世界恐竜大展』平成21年12月12日～平成22年4月5日。

最後に

上述したように, このレプリカキットは, 平成21年6月末に完成して以来, 様々な場所で展示されてきた。これらの展示がこれまでと異なるのは, 博物館以外の場所にも展示されていることである。博物館ではない場所で, このトリケラトプスに遭遇したとき, 大人でも歓声を上げることがしばしばあった。本来展示場ではない場所での展示はインパクトが大きい。日常生活の中に突然恐竜が現れるのだから驚きが大きいのだと思われる。

今後は規模の小さい出張展示, たとえば, 地域の教育現場である幼稚園, 小学校, 中学校, 高校での教育活動, 公民館や町内会における教育普及活動や様々な講演会での利用が期待される。

地域教育への取り組みにおいて, このような特徴を持ったレプリカキットは, 研究成果を社会に還元してゆく上で重要なツールになると思われる。来てもらう展示から出向く展示への一例である。

謝辞

本解説は東京学芸大学の佐藤たまき氏と化石編集長の生形貴男氏の査読により改善された。本解説で紹介したレプリカキットを作製するための費用は株式会社林原自然科学博物館から支給された。また, レプリカキットの金属製の架台は株式会社林原設備改善部に製作して頂いた。以上の方々ならびに関係者に深く感謝する。

文献

- 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一。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), 59-63.
- 松本幸英, 2009. 椎骨化石の型取り技法について(2)。化石, (85), 63-68.

(2010年4月5日受付, 2010年5月20日受理)