

Ⅶ サッポロカイギュウ復元骨格レプリカの製作

(1) はじめに

化石になった動物の復元骨格というと、多くの博物館で展示されているような、樹脂製でしっかりと鉄骨のフレームにマウントされた物を思い浮かべるだろう。

今回のサッポロカイギュウ復元骨格製作にあたっては、最終的には前述のような固定された骨格レプリカ作製をめざす一方、各部位を固定せずに、移動した先で組み立てることのできる可搬式の復元骨格もあると便利だということになった。そこで通常復元レプリカを作製したあとは廃棄される原型も着色・仕上げをして保存・活用するという2段階の製作工程となった。

復元作業の全体統括は、札幌市博物館活動センターの古沢学芸員と随時連絡を取りながら篠原がおこなった。また、実際の作業は数多くのレプリカ製作実績のある専門家集団、辻 優子氏、小坂恵子氏、谷口真弓氏の3名の沼田町化石館臨時職員(愛称「レプリカーズ」)が担当した。また、我々の力量の及ばない鉄骨フレームの製作については、有限会社高田車両の高田勲氏にお世話になった。この場を借りて各氏にお礼申し上げる。

(2) 復元のモデル

過去の生物には、その時代で絶滅してしまったものと、形を変えて進化しながら現代に子孫を残したものがある。

今復元しようとする動物が絶滅動物である場合には、たとえほぼ完全な全身骨格が見つかったとしても、それを生きていたときの状態に組み立てようとするれば、様々な骨の形状や筋肉の付き方など、解剖学の専門知識を駆使しなければ行えない。

一方その動物の直接の子孫または類縁関係にある現世種が存在する場合は、その骨格を復元のモデルとして使うことができる。また、今回のように見つかった化石の欠損部位を補うためにも使うことができる。

サッポロカイギュウの場合は産出部位が脊椎と肋骨の一部であったため、頭骨をはじめほとんどの部位を新たに作らなければならなかった。そのため、どうしてもモデルとなる現世動物または化石が必要となった。

サッポロカイギュウが属すると考えられるジュゴン科のヒドロダマリス属には18世紀まで生存

していたことがわかっているステラーカイギュウ(*Hydrodamalis gigas*)があり、このなかまでは唯一生きた姿が観察されており(Steller, 1899)、ほぼ完全な全身骨格とともに多くの解剖学的な情報も残されている(Kaiser, 1974)。しかし、サッポロカイギュウが生息していた年代を考えると、それに近いものとしてタキカワカイギュウ(*Hydrodamalis spissa*)があげられる。幸いタキカワカイギュウもほぼ全身の骨格が見つかった上、Furusawa(1988)により詳しい研究がなされ復元骨格が作られている。そこでここではサッポロカイギュウ復元のモデルとして、タキカワカイギュウを用いることとした。

(3) 復元の方針

骨格の復元に先立ち、実際に産出している部位の精密な複製(レプリカ)をポリエステル樹脂にて作製した。それをタキカワカイギュウと比較したところ脊椎はほぼ同じ大きさであるが、肋骨はタキカワカイギュウよりもやや細めで湾曲は大きいことがわかった。

椎骨と肋骨の数については未知数なのでタキカワカイギュウと同じと仮定した。その結果、サッポロカイギュウはタキカワカイギュウとほぼ同じ体長で胴体はやや細身という全体像を描くことができた。

そこで、復元の進め方として、椎骨については硬質ウレタンでタキカワカイギュウのレプリカを作り、未発見の部位はそのまま、また産出部位のあるものはそのレプリカをタキカワカイギュウに当てはめ、その後未発見部分の表面全体に石粉粘土をぬりつけ、形を整えたり表面を平滑にすることとした。

肋骨の産出部位については、そのレプリカを硬質ウレタン製のタキカワカイギュウに当てはめ、全体が自然なカーブになるようウレタンをナイフで削ることとした。また、未発見部位についてはタキカワカイギュウのレプリカを硬質ウレタンで作製した後、産出部位を参考にしながらナイフで削って太さを整えることとした。

胸骨については剣状突起が見つかったいため、樹脂で作製したレプリカにウレタンを付け加えて形を整えることとした。

一連の前肢(肩甲骨から指骨まで)は、まったく発見されていないためタキカワカイギュウ復元レプリカをそのまま使用することにした。

頭骨もまったく見つかっていないため、タキカワカイギュウを使うことにしたが、時代差を考慮してウレタン製のレプリカに石粉粘土を付け足して修正することとした。

最後に、組み立てをおこなう際に必要な鉄骨製のフレームは頭部、胸・腹部、尾部の3分割とし、胸・腹部の頸椎、胸椎は平行な2本のフレーム上に並べ、腰椎から尾椎にかけては細長い鉄板の上に並べることにした。そして、それぞれを高さの調節できる支柱で自立させるように考えた。

(4) 復元骨格製作過程第1次(平成17年度)

復元骨格製作の1年目は、復元のモデルとしたタキカワカイギュウのレプリカから、可搬式のサッポロカイギュウ復元骨格の作製までをおこなった。

1) 産出部位レプリカの作製

まずはじめに、産出標本の保存のため兼ねて産出部位の精密レプリカを作製した。

レプリカ製作の第1段階は母型の作製だが、型取りの印象剤としてはシリコンを使用した。基本的なレプリカ製作工程はタキカワカイギュウの復元骨格製作をおこなった西村(1984)のいわゆる滝川方式に従った。

母型作りではまず標本を硬質ウレタンの板にのせ、上半面だけが露出するようにまわりに割面を作る。そこへシリコンを2回塗布し、2回目にはガーゼを当てて補強した。さらにそのまわりを石こうで固めた。その後反対側の面も同様に作製すると、2つの型が合わさって1個の母型となる。

次に完成した母型の内面に不飽和ポリエステル樹脂を塗布してレプリカを成型した。樹脂は合計3回塗布して積層した。1回目は樹脂のみを塗布してレプリカの表面を形成した。2回目は樹脂に増粘材とガラスチップを加えて塗布した。3回目はガラスチップは混ぜずにガラスクロスをあてながら樹脂を塗布して補強した。このようにガラス繊維によって強化されたプラスチックを一般的にFRPと呼んでいる。

レプリカへの着色には二通りの方法がある。ひとつはポリエステル樹脂にあらかじめ調色した樹脂用インクを混入しておく方法であり、もう一つはレプリカ完成後にアクリル系塗料で着色する方法であるが、前者は全体を同じ色調にする場合に用い、後者は実物の色をリアルに再現する場合に用いる。今回は実物の色を再現するのが目的で

はないので前者を用いた。

この産出部位レプリカについては保存用と復元骨格用に2個ずつ作製した。



図VII-1 ウレタンにより成型された復元の原型(脊椎)

2) 原型レプリカ作製

復元の原型となるモデルにはタキカワカイギュウを選んだ。母型はタキカワカイギュウを所蔵している滝川市美術自然史館より借用し、硬質ウレタンでレプリカを成型した。硬質ウレタンは2液性で、混合すると直ちに発泡を始めるので、あらかじめ発砲後のボリュームを予想して混合する液の量を決めなければならない。混合液を母型内に塗布した後、膨張によって型が開いてしまわないようしっかりとゴムバンドで縛った。



図VII-2 ゴムバンドで縛られた母型

3) 原型の加工

次に硬質ウレタンで成型された復元の原型をサッポロカイギュウにあわせて加工したので、各部位ごとにその行程を述べる。

《肋骨》

サッポロカイギュウの肋骨産出部位の大きさを

タキカワカイギュウと比較すると、およそ 80%ほど細いことがわかった。

サッポロカイギュウの肋骨は脊椎に関節する近位部が残っていたため、ウレタンで成型したレプリカの近位部に産出部位のレプリカをあわせてウレタンの不要部分を切除した後産出部位のレプリカを接合した。接合部分は産出部位のレプリカにあけた穴に竹箸を差し込み接着剤で固定した後、ウレタンに突き刺し接着剤で固定した。このあとウレタン部分を産出部位にあわせてナイフで削り、全体が調和的になるよう加工した。

肋骨の未発見部位については産出部位から復元した肋骨を参考にして漸移的に太さが増えるよう、ウレタンで成型した肋骨をナイフで削っていた。



図VII-4-3 未発見部位の肋骨を削ったもの

ウレタンを発泡させる際に内部に空洞ができることがある。太さを調節するために表面を削っていくと、空洞によって表面に穴があくことがある。この穴には石粉粘土を練ったものを詰めた。



図VII-4 削り終えた中位の肋骨

《脊椎骨》

脊椎骨は胸椎の左の横突起が見つかったため

め、まずのその産出部位を該当する胸椎のウレタン製レプリカにあわせてみてから、ウレタンの不要部分を切除し、肋骨と同じ要領で産出部位を胸椎本体に接合した。

胸椎については産出した横突起がタキカワカイギュウのものとはほぼ同じ大きさだったため、接合した後もとくに全体を削る必要はなかったため、そのまま仕上げの段階に進んだ。他の未発見の胸椎やそれより後ろの脊椎についても同様とした。



図VII-5 胸椎 色の明るい部分が産出部位

頸椎についてはタキカワカイギュウのものが地層内で圧力を受けたために変形していたので、つぶれている部分は一度ウレタンを切り離して他のウレタン片を付け足した後石粉粘土を盛りつけて修正した。



図VII-6 第6頸椎 上部のアーチ(椎弓)を修復

《前肢骨》

サッポロカイギュウの前肢部分は未発見であったため、すべてタキカワカイギュウの母型を使って成型した

肩甲骨と上腕骨については、それぞれをウレタンで成型した。前腕部は橈骨と尺骨が一体となっ

た形で成型した。掌骨は手根骨から5本の指骨までを一体にして成型した。前肢骨についてもタキカワカイギュウと大きさは同じと考えそのまま次の段階に進んだ。

《胸骨》

胸骨は剣状突起の部分だけが発見されていたので、残る部分についてはタキカワカイギュウを参考にしながらおよその大きさと形を決め、ウレタン片で大まかな形を作った後石粉粘土を盛りつけて成形した。

《寛骨》

カイギュウ類の寛骨は、左右に分かれた棒状の骨になっていて形状が単純であることから、他のカイギュウ類の寛骨を参考にしてウレタン片で大まかな形を作った後、石粉粘土を盛りつけて成形した。



図VII-7 胸骨 色の明るい部分が産出部位



図VII-8 寛骨

《頭骨と下顎骨》

頭骨についてはタキカワカイギュウも後頭部しか見つかっていないため、この時代のヒドロダマリス属の完全な頭骨は国内には存在しない。この

作業については重要な部位であるために札幌市博物館活動センターの古沢学芸員の指示を受け、米国のサンディエゴより産出したヒドロダマリス属標本を参考にした。

まずタキカワカイギュウの復元された頭骨をウレタンで成型した後、サンディエゴ標本を参考にしながら切削や粘土の盛りつけなどの修正を施した。



図VII-9 頭骨と下顎骨 着色前の段階

4) 仕上げ

ウレタンを削って成形したレプリカは、この後仕上げ段階に入った。

まず、これまで発泡ウレタンを削っただけなので表面には削り跡が残っている。これを、ハンドサンダーやサンドペーパーを使い、目の粗いものからはじめて順次細かくしていき、表面をきれいにならしていった。

発泡ウレタンは内部に小さな気泡や大きな空洞ができているため、表面を削るとたくさんの穴ができる。そこでまず大きな穴はウレタン片を詰めした後、上に石粉粘土を塗りつけた。

さらに全体にも細かい穴ができているので、水と混ぜた石粉粘土をミキサーにかけてどろどろにしたものをハケで全体に塗った。その後約半日かけて乾燥させるが、この作業を行った時期が冬期間であったため自然乾燥では時間がかかるので暖房用ストーブの熱で乾燥させた。しかし、急激に熱を加えると内部のウレタンが変形してしまうので注意しなければならなかった。

乾燥した後必要に応じて何度か同じ工程を繰り返して、表面を作っていた。

次に表面ができあがったものから、磨きの段階

に入った。ここでもサンドペーパーを使い表面がツルツルになるまで磨くが、このとき細かい粉塵が大量に発生するため大型の集塵機を使って粉塵を除去し作業を行った。



図VII-10 表面仕上げはマスクをつけながら作業

ように前後端と途中の2カ所に鉄筋を溶接したことで、鉄パイプの間隔を固定するとともに、これが椎骨がずれないようにするためのストッパーの役目も果たした。



図VII-12 横から見た前半身のフレーム

5) 仮組み立て

仕上げが終わった段階で一端仮組み立てをおこない、全体のバランスを見て必要な修正点を見いだした。この作業には古沢学芸員にも立ち会っていただき、助言をいただいた。

仮組み立ての前段階として骨格レプリカをのせる鉄骨フレームの形状は、高田氏にイメージスケッチを提示した後逐一議論をしながら決定した。

頭部は頭骨を支持台に載せ下顎骨をぶら下げる形状とした。さらに、下顎骨を支持するアームの長さを変えることで口を開いたり閉じたりもできるようにした。



図VII-13 前から見た前半身のフレーム



図VII-4-11 口を閉じた状態

頸椎から胸椎にかけての前半身は2本の平行な鉄パイプを脊柱のカーブにあわせて曲げる加工をした。さらにこのパイプに肋骨を取り付けるためのピンを溶接した。2本の鉄パイプの間をつなぐ



図VII-14 肋骨を取り付けるためのピン

腰椎から後ろの部分は肋骨がないので1枚の鉄板を前半身同様脊柱の形状に合わせてカーブさせ、その上に脊椎骨を並べる形状を採った。しかし、

それだけでは上に載せた椎骨が不安定なため、下からピンを出してそこに椎骨を刺すことにした。



図VII-15 後半身の脊椎を並べる

フレームができたところで、その上に椎骨を並べてみて不具合を修正した。すると、2本のフレームの間隔は平行なので、後ろへ行くほど胸椎が下がってしまうことがわかった。そこで一度胸椎とフレームの間にウレタン片を詰めて位置を調整した後、隙間のできる部分に鉄骨を付け足して溶接することにした。



図VII-16 胸椎の位置を調整中

肋骨は胸椎を載せているフレームから突き出たピンに肋骨頭を突き刺し、遠位部は胸郭の外形に沿う形に曲げた細い鉄筋で支えることとした。肋骨頭を突き刺すピンは角度を変えやすいようにある程度柔軟性のある素材を使用した。

仮り組みでは肋骨の遠位部は位置を調整した後ゴムバンドでフレームに縛り付け、一時的に固定した。この状態で肋骨全体の流れを見て、遠位端の位置や曲がり具合がおかしいものは後で修正することとした。



図VII-4-17 肋骨を支持するフレームの取り付け状態



図VII-18 肋骨を仮組みした状態

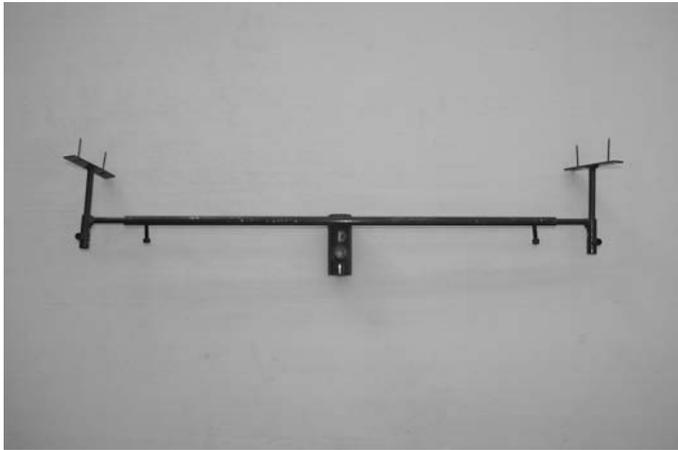
胸骨は頸椎の下にアームを下げ、その先に四角い枠を取り付け、胸骨をその中を通してぶら下げる形を採った。このアームを前後に振ることができるようにして胸骨の取り付け位置を調整できるようにした。



図VII-19 胸骨の取り付け状態

寛骨は仙椎の位置にある支柱から横にアームを伸ばし、その先にピンの出た台を取り付け、そこ

に寛骨を突き刺して固定する方式とした。台はアームを中心に回転するようにし、寛骨の角度を調節できるようにした。また、アームの位置も高さを変えられるように支柱に対してボルトで固定することとした。



図VII-20 寛骨の支持金具

前肢はこの段階では各部位ごとに分かれていたが胴体への取り付けのためにすべてつなげることとした。肩甲骨は最前位の支柱から横にアームを張り出し、その先に取り付けた金具で支持させた。さらにもう1ヵ所前腕部分の支持具を肋骨のフレームに取り付け合計2点で前肢を支える構造とした。



図VII-21 肩甲骨の支持金具



図VII-22 前腕部の支持金具

このように仮組みをしながら各パーツの取り付け方法を検討し、その都度支持具を作製した。

6) 修正と着色

仮組みをした後、主に肋骨について修正を施した。組み立てた状態で肋骨遠位端がそろっていなかったため、長すぎる肋骨については再度先端を削って調整した。また、前後の肋骨と比べて曲がり具合が不均一になる部位があったため、突出した部分を削り取り反対側に石粉粘土を盛りつける大幅な修正をおこなった。

椎骨については並べてみた状態で前後の関節突起がうまくかみ合っていない部分が見られたため、削ったり粘土を盛りつけて修正した。また、椎骨の横突起がきれいに並んでいない部分と、棘突起についても横から見て傾斜が不調和な部分を修正した。

修正が終わった部位から着色の工程に移った。着色にはアクリル系塗料の地塗り剤(ジェッソ)を用いた。色は産出部位に対してコントラストがはっきりするよう濃色のバーントアンバーを選択した。またそれぞれの部位を支持する金具にも同色系の塗料を塗った。

また、前肢についてはこの段階で発泡ウレタンを用いて接合した。



図VII-23 肩甲骨と上腕骨を接合



図VII-25 フレームが組み上がった状態

7) 本組み立て

本組み立ては平成18年3月4日に札幌市で開催された大型動物化石総合調査公開報告会の会場で、その前日におこなった。発表会場は体育館も兼ねた講堂で床がフローリングであったため、傷を付けないようにカーペットを敷いた上に復元骨格を設置した。作業は古沢学芸員の指示のもと、篠原、沼田町化石館レプリカーズ3名と沼田町教育委員会職員3名でおこなった。

組み立ての要領はほとんどの部位は仮り組み立てと同じであるが、肋骨は位置をずらしやすいように細いゴムバンドとS字型のフックを使ってフレームに固定する方式を採った。その際ゴムバンドが目立たないようにするため固定した後レプリカと同じ塗料で着色した。

以下時間を追って写真で説明する。



図VII-26 脊椎を並べ終えて位置を調整中



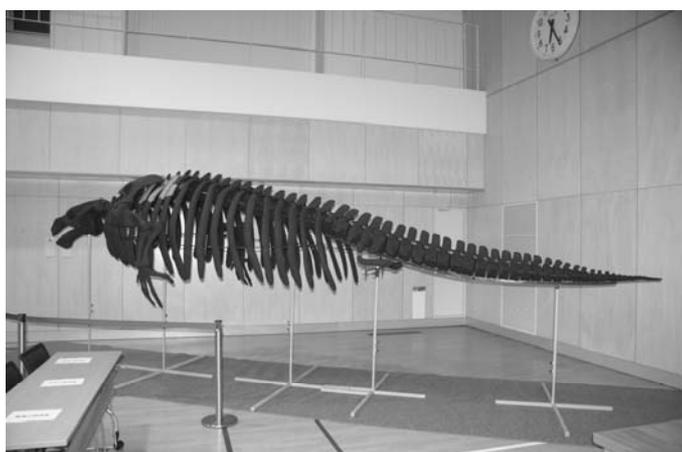
図VII-24 発表会場前での荷とき作業



図VII-27 肋骨を取り付け終えた状態。明るい色の部分が産出部位



図VII-28 胸骨と前肢を取り付けた状態



図VII-29 支柱を伸ばして完成した状態。ゴムバンドには着色済み。



図VII-30 前方から見た様子

8) 一部改造

サッポロカイギュウ復元骨格は報告会終了後、ポリエステル樹脂による次の段階の作業のため、再び沼田町化石館に持ち帰ったが、その前段に後半身部分の形状について改良を加えた。

報告会までの段階で、後半身の脊椎は鉄板の上

に並べただけだったため不安定であり、それを安定させるために尖ったピンが多数ついていたので、保管の際に危険であった。そのため、後部の脊椎についても横から支える枠を作りその上に並べる形状に改良した。



図VII-31 改造後の後半身。第2腰椎の下にぶら下がっているのはV字骨。

(5)復元骨格作製(第2次)

次は第2段階としてポリエステル樹脂によるレプリカ作りに着手した。この作業は平成18年10月現在進行中であり、現段階までの進行状況について述べる。

1) 母型の作製

前の段階ではタキワカイギュウの既成の母型を使用できたが、この段階では新たに作製した復元レプリカを原型として、母型作りを始めた。

樹脂によるレプリカ作りの大まかな流れについては、産出部位レプリカのところで述べたので、ここでは若干方法が異なる大きな部位のレプリカ作りについて述べることにする。

小さな部位の場合は板の上に標本を置いてそのまわりに平面的な断面を作るが、3次元構造をもつ大型の部位については断面も立体的なものになる。以下、前肢を例に作業の流れを述べる。

標本を板の上に置いた後、図VII-32のように階段状にウレタンを積み上げる。これが断面を作る土台となる。この後さらに細かく切ったウレタン片を標本のまわりに詰めて大まかな断面を作る。



図VII-32 標本を固定する土台作り

次に粘土を用いて幅約3cmの割面を作り、粘土の表面をなめらかに仕上げていく。このとき、粘土と標本の間には隙間があると次の段階でシリコンをかけたときに隙間に流れ込んでしまうので注意しなければならない。



図VII-33 粘土による割面の形成

割面ができたらその外側にシリコンが流れ出ないように壁を作り、その上からシリコンをかける。この後通常はその上を石こうで固めるが、大型の母型の場合は重くなりすぎるため硬質ウレタンを使用する。シリコンの流れ止めのさらに外側に段ボールでもう一段高い壁を作る。ウレタンをかけると発泡してどんどん膨張するので、この壁の高さで蓋をして押さえないといけない。



図VII-34 シリコンの外側に段ボールで壁を付け足す



図VII-35 ウレタンが膨張しすぎないように押さえる

ここまで来ると片面完成となる。この後土台からはずしてひっくり返し、裏面にも同じようにシリコンをかけて、硬質ウレタンで固める作業を繰り返す。



図VII-36 裏面のシリコンがけ



図VII-37 完成した母型

2) ポリエステル樹脂による成型

母型ができたら次にその中に樹脂を塗る作業に移る。使用する樹脂は不飽和ポリエステル樹脂で、1%の硬化剤を加えて攪拌すると化学反応により発熱して硬化を始める。樹脂にはあらかじめ適量の着色料を混入する。その際、後で樹脂を追加して調合することになる場合にそなえ、色調が変わらないよう着色料の混合比率を厳密に決めておかねばならない。

樹脂は1層目はシリコンの表面に薄く塗り広げるが、2層目以降は厚みをもたせると硬化前に液が垂れてくるため増粘剤を添加する。また、硬度を上げるためにガラスチップも加える。これにはガラス繊維を細かく刻んだものを使用する。硬化剤は室温や作業時間により標準量より増やすことがある。しかし、作業時間を短縮しようとむやみに硬化剤の量を増やすと、過大な発熱によりプラスチックの表面にクラックが発生するなどの弊害が起きるので、通常標準量の2倍までが限界とされている。

3層目にはガラス繊維を布状に織ったガラスクロスに適当な大きさに切って貼り付けていく。これによって薄くても強度のあるプラスチックが形成される。

最後に縁の部分に細長く切ったガラス繊維（サーフェスマット）を樹脂で貼り付け、周辺部を肉厚にする。これによって両面を隙間なく完全に接着することができる。



図VII-38 樹脂の調合台。左手前は増粘剤。左奥が着色済みの樹脂。中央は調合用の容器とスケール。スケールの針は容器を載せたときゼロになるよう調節してある。右奥は各種硬化剤用のピペット。



図VII-39 樹脂を塗りながらガラスクロスを貼る



図VII-40 母型をあけたところ、中にあるのが完成品

3) 今後の作業予定

この後は順次各部位を樹脂で成型し、型から抜いたものは接合部のバリを取った後、樹脂を塗り

ながら線を目立たなくする作業を行う。

すべての部位がそろったところで、産出部位については判別がつくよう明るい色に着色する。その後いよいよ組み立て作業に進む。今回は移動させて展示することが目的ではないので、頭部と前半身の脊椎、後半身の脊椎の2分割式とし、それぞれの脊椎は中央に孔を開け、中に鉄心を通して連結する。

肋骨と前肢については、間口の狭い場所への搬入も想定し、取り外せる形状とする。胸骨と寛骨については今回同様脊柱からアームを出してその先に固定する。以上が完全復元骨格完成までの作業予定である。

(6) おわりに

レプリカは、言ってしまうえばプラスチックでできた立体コピーで、もともになるものさえあればどんなものでもコピーすることができる。しかし、その工程はここで述べたように膨大な作業時間が必要であり、また、有機溶剤の臭いとの戦いでもある。こうして手塩にかけて作り出したレプリカには、我が子のような愛着さえ感じるようになる。

しかし、このサッポロカイギュウ復元骨格が、どのような形で展示・活用されるのか、現段階では詳細ははっきりしていないようなので、1日も早く多くの札幌市民および来訪者の目に触れることができるような展示場所が決まることを、製作者として切望する次第である。

(篠原 暁)