

# 生物学教育用の全身骨格標本の作製法

辻 大和<sup>1</sup>・高橋 堯大<sup>1</sup>・猿渡 あさひ<sup>1,2</sup>・伊藤 友仁<sup>1,3</sup>・鈴木 聡<sup>4</sup>

## Methods of preparing osteal specimens for biology education

Yamato TSUJI<sup>1</sup>, Takahiro TAKAHASHI<sup>1</sup>, Asahi SARUWATARI<sup>1,2</sup>, Tomohito ITO<sup>1,3</sup> and Satoshi SUZUKI<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Department of Biological Sciences, Faculty of Science and Engineering, Ishinomaki Senshu University, 1 Shin-Mito, Minamizakai, Ishinomaki, Miyagi 986-8580, Japan*

<sup>2</sup>*JAC Co., 1-2-7 Higashiyama, Meguro-ku, Tokyo 153-0043, Japan*

<sup>3</sup>*WDB Eureka Co., 2-3-2 Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo 100-0005, Japan*

<sup>4</sup>*Kanagawa Prefectural Museum of Natural History, Odawara, Kanagawa 250-0031, Japan*

### Abstract

Osteal specimens are useful for biology education, since the skeleton reflects diets, habitats, and behavioral traits of the animals, from which students can learn a lot. Since FY2020 we have tried to prepare the osteal specimens from animal carcasses obtained through research activities, and have established a simple method for preparing osteal specimens with sufficient strength. In this report, we describe our method for educators who have interest to prepare the osteal specimens. We hope that more educational institutions prepare their own osteal specimens using textbooks including ours, and that educators make effective use of the osteal specimens for active learning in biology.

Key words: biology education, roadkill, osteal specimen, vertebrate

### 1. はじめに

2020年4月から適用された新学習指導要領の目玉のひとつに「主体的・対話的で能動的な学び(アクティブ・ラーニング)」の導入がある。これまでの授業がテキスト内の図や資料を用いて解説を行うことが多かったのに対し、探求型の学習では、実験・実習を通じた実体験の充実を重視するという違いがある<sup>(1)</sup>。

骨格は、関節で結合した複数の骨(および軟骨)で構成される、脊椎動物のかたちの根幹である。頭・四肢・背骨・尾の機能とその特徴には、対象動物の食性や生息地、生活様式が反映されている。たとえば哺乳類のクジラ、コウモリ、イヌの前肢の形状は大きく異なるが、それは共通祖先の前肢が異なる淘汰圧のもとで進化したことに起因する(相同器官)。したがって、骨格の種間比較は、形態進化と生息環境の関連性を考えるきっかけとな

る<sup>(2)</sup>。生物学の新学習指導要領には「遺伝・生理・発生・生態・系統を進化の視点から理解させること」が盛り込まれており、骨格標本は、このテーマを主体的に学ぶうえで最適な教材といえる。

人新生(Anthropocene)に生きる我々が抱える「野生動物とヒトの共生」という問題を考える際にも、骨格標本は学習効果の高い教材となる。たとえば、全国で問題となっている野生動物の交通事故(ロードキル)<sup>(3)</sup>についていえば、交通事故の衝撃でバラバラになった動物の骨を手にすることにより、学生は事故の凄惨さを実感し、「なぜ事故が起きるのか」「事故が動物個体群に与える影響はどの程度深刻なのか」「事故を防ぐために何ができるのか」考えるようになる<sup>(4)</sup>。

しかし現在、多種かつ多数の骨格標本を所蔵している教育機関は限られ<sup>(5)</sup>、上述したプログラムの実践は、容易ではない。規模の小さな地方の私

<sup>1</sup>石巻専修大学理工学部生物科学科

<sup>2</sup>株式会社ジェー・イー・シー

<sup>3</sup>WDB 株式会社エウレカ社

<sup>4</sup>神奈川県立生命の星・地球博物館

## 生物学教育用の全身骨格標本の作製法

立大学や博物館ではなおさらである。生物学の教育のために、入手の容易な素材（例：鳥の手羽先、豚足）から作った骨格標本、あるいは動物園から借用した骨格標本を使う教育者もいるが<sup>(1), (6), (7)</sup>、教材としての多面的な利用を考えると、さまざまな野生動物の骨格標本を自前で作製し、必要に応じて使えるように、専用のスペースで保管しておくのが望ましい。

生物教育のための骨格標本を作製する場合、教育従事者が他の業務の合間に実施でき、かつ専用の施設や高価な機材／薬品がなくても実施できる簡便さが求められる。骨格標本の作製法を紹介した文献は、これまでにいくつかある<sup>(5), (8), (9), (10)</sup>。これらは有益な情報だが、簡便さの点でやや問題があった。また、独自のプロトコルに従って骨格標本の作製を行っている機関が多く、初心者がどの情報を参照すればよいのか、分かりにくいという問題もあった<sup>(11)</sup>。本格的な骨格標本を、より簡便に作製できる手法が普及すれば、より多くの教育機関がこのやり方に従って自前の標本を用意し、生物学におけるアクティブ・ラーニングに活用できるはずである。

石巻専修大学（以下、本学）の理工学部生物科学科・動物生態学研究室（以下、本研究室）では、2020年度の研究室開設以来、研究活動を通じて入手した動物死体から全身骨格標本を作製し、ノウハウを蓄積してきた。既存の骨格標本作製法<sup>(8), (9), (10)</sup>にアレンジを加え、未経験者でも作製でき、十分な強度をもつ全身骨格標本の作製法を考案した。我々のやり方は未完成なものではあるが、他大学や博物館等の研究教育機関で今後骨格標本の作製を検討している方にとって役立つ資料になると考え、本誌に報告することにした。

### 2. 骨格標本の作製道具

安価に骨格標本を作製するため、我々は入手が容易な機材・薬品を中心に使用した。

- a. 作業全般に使用する道具：ピンセット、三角コーナーネット（100円ショップで入手可能）、ステンレス容器、プラスチックトレイ、新聞紙、キムタオル、ピーカー、ゴミ袋、使い捨て手袋（ラテックス／ニトリルゴム製）、マスク、ハンドソープ、消毒用アルコール、布テープ、油性

マーカーペン、木工用ボンド

- b. 剥皮用の道具：ナイフ、解剖用ハサミ、カッター、剃刀
- c. 煮込み用の道具：寸胴鍋、投げ込みヒーター、家庭用両手鍋、IHヒーター、洗濯ネット、ステンレスザル
- d. 骨のクリーニングに用いる道具：入れ歯洗浄剤（タンパク質分解酵素入り）、ミルワーム（ゴミムシダマシ科の甲虫の幼虫）、注射器、歯ブラシ
- e. 冷凍庫（採材から処理までの保管用）、乾燥機（ない場合は自然乾燥でも可）
- f. 骨の補修に用いる道具：木工パテ、アルミ板、アクリル塗料、面頬筆
- g. 骨の結合に用いる道具：替え刃式の電動ミニルーター、ドリル替え刃、ステンレス針金（ドリル替え刃と針金はφ0.5mm・1mm・2mm・3mmの4サイズを用意し、部位に応じて使い分ける）、真鍮板（幅10mm×厚さ2mm）、真鍮棒（φ8mm）、ゴムパッド（厚さ2mm）、ラジオペンチ、ネジ（M4）、六角ナット（M4）、ネジ棒（φ3mm）、蝶ネジ
- h. 骨格のプロポーシオン調整、漂白用の道具：展翅針、展翅用ウレタンスポンジ、瞬間接着剤、過酸化水素水（濃度30%）
- i. 展示台・支柱：合板（厚さ10mm）、パイプスタンド（φ28mm）、イレクターチューブ（φ28mm）、突っ張り棒（100円ショップで入手可）、五寸釘、糸ノコギリ、ウレタンニス、刷毛、アセトン（刷毛の手入れ用）

### 3. 採材

骨格標本作りは、状態の良い（骨が破損していない）死体の確保から始まる。肉や皮は処理の過程で廃棄するため、骨格標本づくりにおいて死体の鮮度は問題とならない。本研究室では、以下の3つの方法で採材した。例外として、ニホンカモシカ（*Capricornis crispus*）の骨格標本は、福島県によって保護された後に死亡した個体を、文化庁からの許可を得たうえで標本化した。

- a. 交通事故死体：我々は2020年度より、石巻市内の野生動物の交通事故に関する調査を実施している<sup>(4), (12)</sup>。石巻市内を通る三陸自動車



図1. 交通事故で死亡したニホンアナグマ (*Meles anakuma*)。道路管理事務所から許可を得て採材した。



図2. 有害駆除されたイノシシ (*Sus scrofa*)。本学卒業生の保護者からご寄贈いただいた。

道で回収された交通事故死体の中で比較的状态が良いものを、道路管理事務所の許可を得て採材した(図1)。ペット動物(主にイエネコ *Felis silvestris catus*)は、倫理上の問題から採材対象としなかった。

- b. 寄贈された死体: 本学の教職員、学生の保護者、本学OB / OG、他の研究者から寄贈された死体(有害駆除個体を含む)を、骨格標本の材料とした(図2)。有害駆除個体は銃撃の衝撃で頭蓋骨や頸椎が損傷している場合が多く、これらの部位の補修が必要だったものの、他の部位の状態は良好だった。
- c. 調査中に採集した死体: 野外調査の際、自然死した動物を発見する場合がある。輸送可能な場合、それを回収して骨格標本の材料とした(図3)。ネズミ類については、シャーマントラップを用いた生け捕り中に不慮の事故で死



図3. 宮城県金華山島で自然死したニホンジカ (*Cervus nippon*)。死亡直後にカラスやウジ虫に採食され、数週間でこのような状態になる。

亡した個体があった場合、持ち帰って標本化した。なお、鳥獣の捕獲は「鳥獣の保護及び管理並びに狩猟の適正化に関する法律(鳥獣保護管理法)」で規制されているため、実施には注意が必要である。我々は、学術捕獲の許可を得て捕獲を実施した(鳥獣捕獲許可証: 2021年度は宮城県3号、2022年度は宮城県15号)。

採材したサンプルは、表面の汚れを落とし、体長と体重を計測後、処理まで冷凍庫(-20℃)で保管した。採材の際、感染症予防<sup>(13)</sup>のために手袋とマスクを着用した。作業後は石鹸でよく洗い、採材に使用した機材はすべて消毒用アルコールで拭いた。

#### 4. 全身骨格標本の作製法

全身骨格標本の作製法は、対象動物の体サイズによって工程が異なる。本報告でいう「大型」「中型」「小型」の区分は、それぞれ「体重5 kg以上」「0.5 - 5 kg」「0.1 - 0.5 kg」を意味し、以下の記述は、基本的には大型哺乳類の全身骨格作製についてのものである。中・小型哺乳類の全身骨格作製に関しては、必要に応じて説明を追加する。ネズミ類の全身骨格標本の作製法は、本節で解説されているものと大きく異なるため、次節で解説する。作業工程のチャートを図4に示した。

##### 【工程 A. 剥皮】

A-1 冷凍庫から死体を取り出し、室温で自然解凍する。

## 生物学教育用の全身骨格標本の作製法

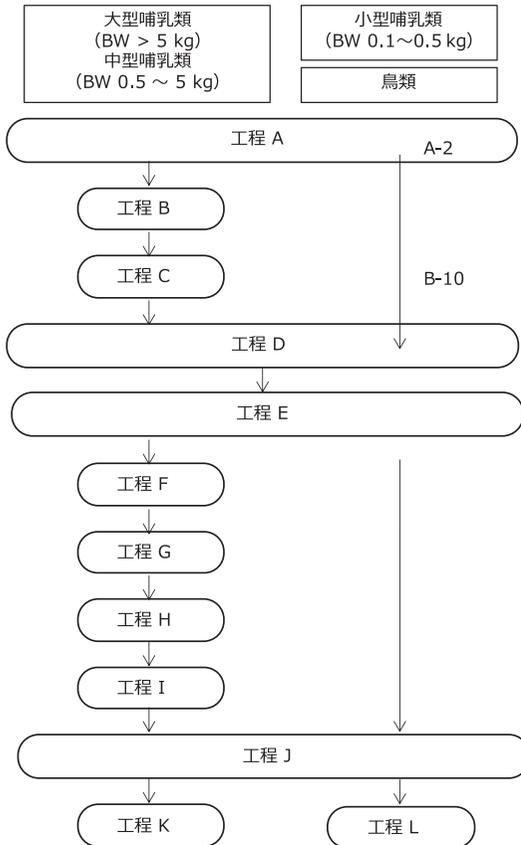


図4. 作業工程のフローチャート。詳細は本文を参照。ネズミ類の骨格標本の作製は第5節を参照のこと。

A-2 ナイフ、解剖用ハサミ、カッター等で剥皮する。死体の表皮をつまんで持ち上げ、垂れた部分に刃を当てると剥がしやすい(図5)。(鳥類の場合) 解凍後にぬるま湯につけて羽をむしる。(小型哺乳類の場合) 骨が細く折れやすいため、指や尾の剥皮はできる範囲にとどめる。

以下の作業は、対象動物のサイズによって異なる。中・大型哺乳類の場合はA-3に、小型哺乳類、鳥類の場合はB-9に、それぞれ進む。

A-3 皮下脂肪をできるだけ除去する。

A-4 四肢を胴体から切り離す。前肢は、肩甲骨と胴体の間に水平方向にナイフを入れると切断しやすい。

A-5 剥皮した部分を洗濯ネットに入れる。完



図5. アカギツネ (*Vulpes vulpes*) の剥皮。

了後、【工程B】に進む

### 【工程B. 除肉】

B-1 寸胴鍋に水を張り、投げ込みヒーターを入れて沸騰させる。

(小型哺乳類の場合) IHヒーターならびに小型の鍋を用いてもよい。

B-2 骨の入った洗濯ネット(A-5)を寸胴鍋に入れる。湯温設定を90℃に下げ、煮込みを開始する。煮立たせないよう注意すること。鍋表面の脂肪分は、随時除去する。

(注意) 骨格標本作製に関する過去の解説書<sup>(8),(9)</sup>では、アセトンを用いた脱脂を行っている。我々は作業工程の簡略化のため、郡司(2015)<sup>(7)</sup>と同様、十分に煮込むことで脱脂することにした。

B-3 煮込み開始から約3時間後に洗濯ネットをいったん引き上げ、肋軟骨と胸骨を本体から切り離す。切り離したパーツはB-10で処理する。本体部分は洗濯ネットに戻し、煮込みを続ける。

(注意) 肋軟骨は脆いため、長時間煮込むとバラバラになり、組み立てが困難になる(図6)。胸部の形状が全身骨格のプロポーシオンに影響することを考慮し、我々はこの部分をあらかじめ切り離すこととした。

B-4 煮込み開始から約12時間後、洗濯ネットを鍋から取り出し、中身をプラスチックトレーに広げる。死体の腹部を開き、内臓を取り除く(図7)。この処理を行う最大の理由は、動

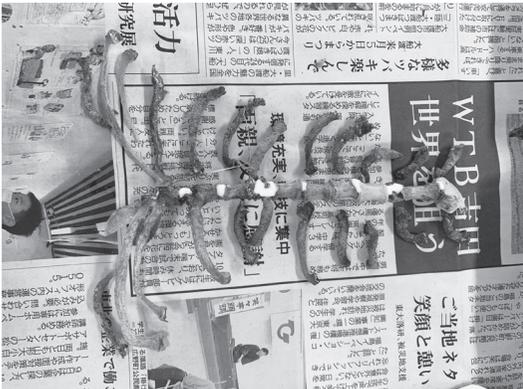


図6. ツキノワグマ (*Ursus thibetanus*) の胸骨と肋軟骨。この写真の場合、肋軟骨が胸骨から外れてしまっており、全身骨格組み立ての際に廃棄せざるを得なかった。胸骨と肋軟骨はひとまとめにして、煮込みの段階で取り外しておくことを勧める。

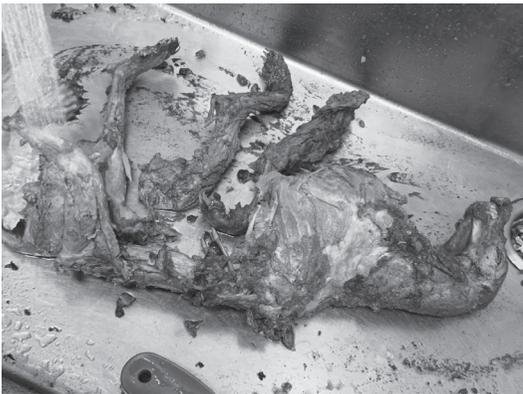


図7. 煮込みの後に内臓を除去したニホンアナグマ (*Meles anakuma*)。

物体内の寄生虫の駆除である。エキノコックス (*Echinococcus* spp.) など一部の寄生虫の卵は低温に強く、 $-20^{\circ}\text{C}$ でも死滅しないことが分かっているため<sup>(13)</sup>、熱による駆除は適切な方法と考えられる。解体の際に腹部を開けて内臓を取り除くよりも処理時間の短縮になるという、副次的なメリットもある。

B-5 体を構成する骨を一本ずつ切り離す。骨についた大きな肉片を水洗したのち、肉眼で確認できる肉片を、手ないしピンセットで取り除く。骨の窪みにこびりついた肉片も、可能な限り除去する。



図8. 煮込みが終わったクリハラリス (*Callosciurus erythraeus*) をミルワームに食べさせているところ。

(中型哺乳類の場合) 骨が小さくバラバラになると組み立てが困難になるので「頭骨」「脊椎(尾椎を除く)」「尾椎」「右前肢」「左前肢」「右後肢」「左後肢」というパーツに分けて管理し、細かい部分の除肉は行わない。

B-6 指骨、中手骨/中足骨、手根骨/足根骨は、「左前肢」「右前肢」「左後肢」「右後肢」に分けて三角コーナーネットに入れる。部位を明記したラベルを貼る。

B-7 頭蓋骨、脊椎骨の孔に水を注ぎ、脳や脊髄をピンセット等がかき回して洗い落とす。

B-8 種子骨、膝蓋骨、尾椎等の小さな骨や、爪、歯牙は散逸を防ぐため、三角コーナーネットに入れる。

B-9 処理した骨 (B-5, B-6, B-7, B-8) をステンレス容器に入れる。完了後、【工程C】に進む。

B-10 小型哺乳類・鳥類の骨と、中型/大型哺乳類の胸骨・肋軟骨 (B-3) は、風乾後にミルワームの入った容器に入れ、数日間採食させて除肉する (定期的には骨の状態を確認する) (図8)。除肉完了後、胸骨と肋軟骨の間に木工用ボンドを流し込み、プロポーションを固定する。必要に応じて針金で補強する。完了後、【工程D】に進む。

#### 【工程C. 骨のクリーニング】

C-1 ステンレス容器 (B-9) に水道水を入れ、入れ歯洗浄剤を溶かす (水1Lに対して1錠)。常温で数日間静置する (図9)。

## 生物学教育用の全身骨格標本の作製法



図9. タンパク質分解酵素の溶液に入れた骨。



図10. ツキノワグマ (*Ursus thibetanus*) の脊椎骨の連結。

C-2 処理終了後、骨を溶液から取り出し、ステンレスのザルにあける。骨を一個ずつ点検し、歯ブラシでこすって表面のぬめりを落とす。  
C-3 C-1 と C-2 を数回繰り返し、骨の表面からぬめりを完全に取り除く。完了後、【工程 D】に進む。

### 【工程 D. 骨の乾燥と補修】

D-1 クリーニングが終わった骨をプラスチックのトレーに並べ、乾燥機に入れて40℃で1-2日間乾燥させる。  
D-2 乾燥後、骨の状態をひとつずつチェックする。破損箇所がみられる場合、木工パテ、アルミ板等を使って補修する。修復箇所はパテが乾燥した後にアクリル塗料で着色し、色合いを周囲の骨となじませる。  
D-3 強度に問題があると思われる部位（細い骨、薄い骨、ひび割れ）は、必要に応じて木工パテで補強する。乾燥後に塗料、木工用ボンドを塗る。完了後、【工程 E】に進む。

### 【工程 E. 展示台と支柱の準備】

E-1 合板を対象動物の体サイズに合わせてカットし、展示台を作る。幅・長さともに、やや大きめにカットしたほうが、骨格標本の姿勢の調整 (J-7) が容易になる。合板の表面にウレタンニス塗る。  
E-2 展示台に支柱を立てる。  
(大型哺乳類の場合) パイプスタンドを2個、展示台にネジ止めする。取り付けたスタンドに、

イレクターチューブを一本ずつ差して支柱にする。2本の支柱が、それぞれ①頸椎と胸椎の間、②仙骨に当たるように位置を調整する。  
(中型哺乳類・鳥類の場合) 展示台の裏側から五寸釘を2本打ち、表側に突き出た部分に突っ張り棒を一本ずつ刺して支柱とする。  
(小型哺乳類の場合) 支柱は設置しない。

以降は、対象動物のサイズにより工程が異なる。作製対象が中・大型哺乳類の場合は【工程 F】へ、小型哺乳類の場合は【工程 K】へ、鳥類の場合は【工程 L】へ、それぞれ進む。なお、とくに断りがない限り、骨同士の結合にはステンレス針金を使用する。骨の末端部にドリルで穴を開けて針金を通し、針金の末端部はドリルの芯に巻き付け、コイル状に5周ほど巻いて抜けを防止する<sup>(8)</sup>。

### 【工程 F. 脊椎の連結】

脊椎骨は、頸椎・胸椎・腰椎・仙骨・尾椎から構成される。脊椎骨のゆがみは標本の見栄えを悪くするので、連結の途中で左右に曲がらないよう気を付ける。

F-1 脊椎骨を一行に並べ、体軸に沿って鉛筆で2本の直線を引く。各脊椎骨の椎体中央部に、2本の直線と水平方向に2つの穴 ( $\phi 2\text{mm}$ ) を開ける。

F-2 ゴムパッドを丸く切り抜き、2つの脊椎骨の間に挟む。F-1 で開けた穴に、針金 ( $\phi 2\text{mm}$ ) を通す (ゴムパッドは貫通させる) (図10)。

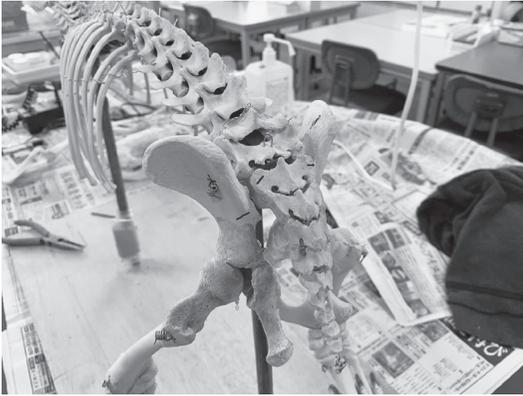


図 11. ツキノワグマ (*Ursus thibetanus*) の仙骨と寛骨の結合。



図 12. ニホンカモシカ (*Capricornis crispus*) の脊椎骨を支柱に結合したところ。

- F-3 第一頸椎から仙骨にかけて、椎孔に真鍮の棒を通す。余った部分はカットする。第一頸椎と仙骨に、体軸と垂直方向に穴を開け ( $\phi 1\text{ mm}$ )、針金を通して真鍮の棒を固定する。(大型哺乳類の場合) 頭蓋骨が重いので、真鍮棒 ( $\phi 8\text{ mm}$ ) を頸椎部分に差し込んで補強する。
- F-4 連結した脊椎を手で曲げ、背骨のプロポジションを調整する。
- F-5 寛骨と仙骨を、針金 ( $\phi 3\text{ mm}$ ) で結合する (図 11)。
- F-6 完成した脊椎を、【工程 E】で作った支柱に取り付ける。2本の支柱の上部に穴を開け ( $\phi 1\text{ mm}$ )、ここに通した針金 ( $\phi 0.5\text{ mm}$ ) を第一胸椎周辺と仙骨に引っ掛けて固定する (図 12)。
- F-7 尾椎はすべての骨に軸方向に沿って穴を開



図 13. a) ツキノワグマ (*Ursus thibetanus*) の肋骨を並べた状態と、b) ニホンカモシカ (*Capricornis crispus*) の肋骨の結合。肋骨の補強用に、2本の針金を互い違いに通す。

け ( $\phi 1\text{ mm}$ )、これらを通すように針金 ( $\phi 0.5\text{ mm}$ ) を通す。完成した尾椎を仙骨に結合する。完了後、【工程 G】に進む。

#### 【工程 G. 肋骨の結合】

- G-1 胸椎の肋骨頭関節面と肋骨の脊椎側にそれぞれ穴をあけ ( $\phi 1\text{ mm}$ )、第一肋骨から最終肋骨まで、左右すべての肋骨を胸椎と結合する。
- G-2 補強用の針金 ( $\phi 0.5\text{ mm}$ ) を、1本は第一肋骨から最終肋骨まで「表・裏・表・裏…」と互い違いに、もう一本は第一肋骨から最終肋骨まで「裏・表・裏・表…」と互い違いに通す (図 13)。2本の針金をより合わせて固定する。第七頸椎と第一腰椎の突起部に穴を開け ( $\phi 1\text{ mm}$ )、補強用の針金の末端部を固定する。
- G-3 肋骨の胸骨側末端部と肋軟骨 (B-10) の肋骨側に穴を開け ( $\phi 1\text{ mm}$ )、肋骨と肋軟骨を結合する。完了後、【工程 H】に進む。

#### 【工程 H. 四肢の組み立て】

- H-1 (前肢) 肩甲骨―上腕骨―尺骨・橈骨のそれぞれ末端部 (関節部) に穴を開け ( $\phi 2\text{ mm}$ )、隣接する骨と結合する (図 14)。
- H-2 (後肢) 大腿骨―腓骨・脛骨のそれぞれ末端部 (関節部) に穴を開け ( $\phi 2\text{ mm}$ )、隣接する骨と結合する (図 15)。完了後、【工程 I】に進む。
- (注意) 八木・大泰司<sup>(8)</sup>では、前肢と格子の結合の際に、一本の針金をすべての骨に通し、端部を展示台に固定するよう指示があるが、我々は作業簡略化のため、構成する骨を一つ一つ結合

生物学教育用の全身骨格標本の作製法

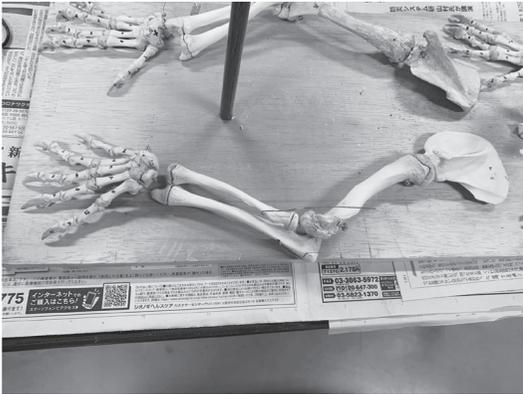


図 14. ツキノワグマ (*Ursus thibetanus*) の前肢の結合。



図 15. ツキノワグマ (*Ursus thibetanus*) の後肢の結合。

する方式に変更した。

【工程 I. 手根骨／足根骨と指骨の組み立て】

I-1 手根骨／足根骨は、木工用ボンドで仮止め(図 16a)してから穴を開け ( $\phi$  0.5 mm)、ステンレス針金 ( $\phi$  0.5 mm) を通してパーツを結合する。

I-2 すべての指骨について、軸方向に穴を開ける

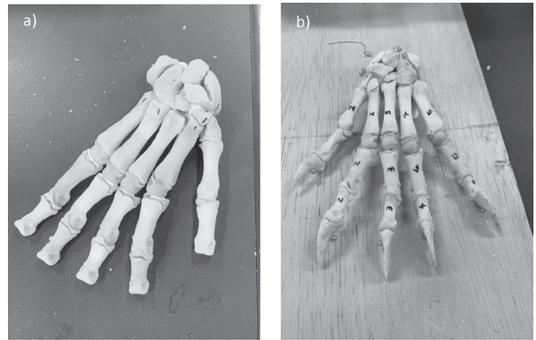


図 16. ツキノワグマ (*Ursus thibetanus*) の指骨と手根骨を a) 仮組した状態と b) 針金を通した状態。

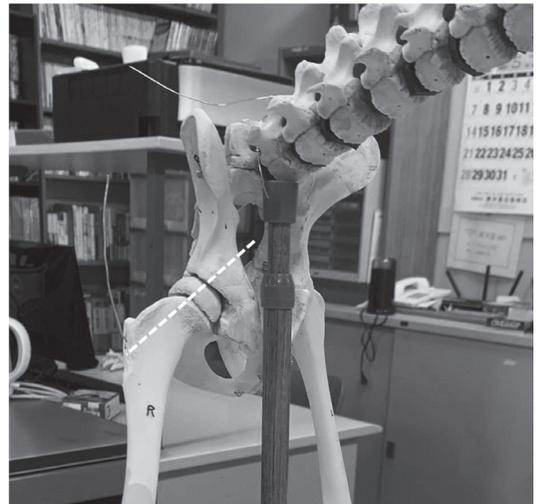


図 17. ツキノワグマ (*Ursus thibetanus*) の大腿骨と換骨の結合。結合する間接を“...”で示す。

( $\phi$  0.5 mm)

I-3 末節骨・中節骨・基節骨・中手骨／中足骨を一本の針金で結合する。

I-4 手根骨／足根骨に穴を開け ( $\phi$  0.5 mm)、指骨 (I-3) と結合する。

I-5 木工用ボンドで結合部を補強する (図 16b)。完了後、【工程 J】に進む。

【工程 J. 四肢の結合とプロポーションの調整】

J-1 大腿骨頭と寛骨 (股関節) に穴を開け ( $\phi$  3 mm)、針金で結合する (図 17)。

(注意) 股関節は高い強度が必要なため、太い針金を用いた。端部はコイル巻きせず、折り曲げるだけでよい。



図 18. ニホンカモシカ (*Capricornis crispus*) の前肢と胴体の結合。



図 19. ツキノグマ (*Ursus thibetanus*) の頭蓋骨と下顎骨をバネで連結したところ。頭蓋骨と下顎骨のバネの結合部はネジ止めしてある。

J-2 肩甲骨の中央部に穴を開ける ( $\phi 3\text{ mm}$ )。ネジ棒 ( $\phi 3\text{ mm}$ ) を、第三肋骨と第四肋骨の間に、胴体を横断するように通す。胴体からはみ出たネジ棒の両サイドに肩甲骨を通し、末端部を六角ナット (M4) と蝶ネジ (M4) で止める (図 18)。

J-3 イレクターチューブの下部を糸ノコギリでカットし、骨格が自然な姿勢 (対象動物の歩行様式をあらかじめ調べておくこと) で展示台に立つ高さに調整する。背骨が自重で垂れ下がる場合は、展示台と腰椎の間に突っ張り棒を立て、脊椎部を補強する。高さの調整後、パイプスタンドとイレクターチューブを木工用ボンドで固定する。

J-4 四肢の固定後、種子骨 (草食獣の場合は副蹄も) を結合する。

J-5 爪を末節骨にはめ込み、木工用ボンドで固定する。

(注意) (爪は【工程 D】の時点では乾燥して固く収縮しているが、水につけて一晩置いておくと元の柔らかい状態に戻る)。

J-6 脛骨粗面に穴を開け ( $\phi 2\text{ mm}$ )、膝蓋骨を結合する。

J-7 図鑑や写真を参考に骨格標本の姿勢を決め、四肢の指骨の位置を調整する。位置が決まったら展示台に穴を開け ( $\phi 1\text{ mm}$ )、針金を通して指骨を固定する。

J-8 標本全体をチェックし、体幹のゆがみを矯正するとともに、関節部の穴に木工用ボンドを注いで補強する。完了後、【工程 K】に進む。

#### 【工程 K. 頭蓋骨と下顎骨の組み立て】

K-1 下顎骨と頭蓋骨の歯槽部に、歯牙 (B-8 で処理したもの) をはめ込み、木工用ボンドで固定する。

K-2 側頭部と下顎骨後部のくぼみ (咬筋窩) に穴を開け ( $\phi 0.5\text{ mm}$ )、ここにネジを締める。

K-3 頭蓋骨と下顎をバネで結合する (図 19)。

K-4 頭蓋骨を胴体に結合する (図 20)。

#### 【工程 L. 小型哺乳類、鳥類の骨格の組み立て】

小型哺乳類、鳥類は、自重で骨が歪む恐れがないため、骨格標本にそれほどの強度は求められない。ゆえに、より簡便な方法で作製可能である。

L-1 頸椎・胸椎・腰椎・仙骨に針金 ( $\phi 2\text{ mm}$ ) を通し、手で曲げて形を整え、第一頸椎と仙骨の位置で支柱と固定する。各骨の関節部分を、木工用ボンドで固定する。

L-2 肩甲骨と第三胸椎周辺にそれぞれ穴を開け

## 生物学教育用の全身骨格標本の作製法



図 20. 台座に固定したニホンカモシカ (*Capricornis crispus*)。

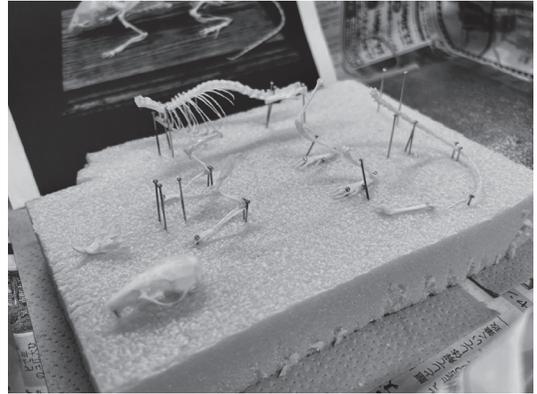


図 22. アカネズミ (*Apodemus speciosus*) の骨格標本の製作過程。

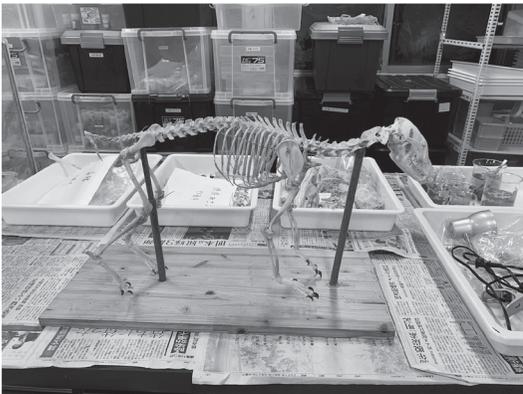


図 21. 完成したタヌキ (*Nyctereutes procyonoides*) の全身骨格標本。

( $\phi$  1 mm)、前肢と胴体を結合する。

L-3 大腿骨頭と寛骨臼にそれぞれ穴を開け ( $\phi$  1 mm)、後肢と胴体を結合する。

L-4 頭蓋骨を胴体に結合する。

L-5 湿らせたキムタオルを四肢の関節に当て、姿勢を調整する。位置を決めたら木工用ボンドで固定する (図 21)。

### 5. ネズミ類の全身骨格の作製

体の小さなネズミ類は骨が非常に細く、また脆いので、長時間の煮込みやミルワーム処理を行うとバラバラに分解し、組み立てが不可能となる。そこで、ネズミ類は鎌田 (2009) <sup>(5)</sup> にアレンジを加えた方法で標本化した。

① 死体のサイズを計測後、死体の腹部から胸に向かって剃刀を入れて腹部を開き、内臓を除

去したのちに剥皮する。

② 70 - 80℃ のぬるま湯につけて肉を軟化させ、ピンセットで慎重に除肉する。

③ 頭部、胴体、四肢、尾に分離する。それぞれの部位を別々に三角コーナネットに入れる。

④ ③をポリドント溶液に入れて一日静置し、骨に付着した軟組織を分解する。

⑤ ④から標本を取り出し、風乾後にピンセットでゲル状の軟組織を取り除く。脳や脊髄は、注射器にポリドント溶液を含ませ、頭蓋骨と脊髄に注射すれば水圧で除去できる。④と⑤を複数回繰り返す、除肉を完了させる。

⑥ 骨を過酸化水素水 (濃度 30%) に約 3 時間浸して漂白する。

⑦ 瞬間接着剤を使い、後肢 → 胴体 → 尾 → 前肢 → 頭部の順に結合する。肩甲骨は、第 3 胸椎 - 第 5 胸椎に接着する。

⑧ 頭部を結合後、プロポーシヨンの微修正を行う (図 22)。方法は L-5 に準ずる。

### 6. 骨格標本づくりの意義と、体制の充実

全身骨格標本は、動物のかたちを理解し、対象の生活や進化の歴史を考えるうえで優れた教材になる。骨格標本の作製法は、これまで散発的に公表されてきたが<sup>(5), (8), (9), (10)</sup>、作成に当たって専用の施設や、高価な機材・薬品が必要とされるケースもあり、気軽に手を出せるものではなかった。また、作成のプロトコルが機関ごとにバラバラで、初心者がどの情報を参照すればよいのか分



図 23. 本学の骨格標本室（学生会館 2F）で展示されている全身骨格標本の一部。標本室は施設されておらず、自由に見学できる。



図 24. 骨格標本を組み立てる本学生物科学科の有志学生。

かりづらい、という問題もあった<sup>(11)</sup>。本報告では、一般家庭にある器具、入手の容易な薬品、安価な資材を用いる、簡便な骨格標本作成法を紹介した。実用的な骨格標本を、より簡便に作製できる手法が普及すれば、より多くの教育機関が自前の標本を用意し、生物学におけるアクティブ・ラーニングに活用できるはずである。今後、より簡便な骨格標本の作製法への改善を検討していきたい。

我々が作製した骨格標本は、本学の実習教材として、またオープンキャンパスの展示物として利用されている。大学構内に標本展示・保管用の部屋が用意され、作製した標本を長期にわたって管理できる体制が整っているため、本学は生物学のアクティブ・ラーニングを実践しやすい状況にあり（図 23）、近隣の教育機関よりも一歩進んだ教育プログラムを提供できると思われる。

ただ、作製した全身骨格標本の展示に関しては、課題が残されている。我々が作製した全身骨格は現在、系統関係とは無関係に、大きさごとに並べられているだけであり、明瞭な展示コンセプトは存在しない（学名・種名・英名等の簡単なラベルは付いている）。舟橋ら（2013）<sup>(14)</sup>は、「動物の骨格標本そのものが十分に観覧者の興味を引きつけるものであり、その展示は鑑賞展示たり得る」と述べているが、同時に形態比較に焦点を絞った説示型展示の実践例も紹介している。全身骨格の展示に際して、系統関係を意識したレイアウトに改

善するのは必須と考えられるが、たとえば本稿の冒頭で述べたような特定の部位の比較展示を念頭に「注目してほしい部位の骨に目印のシールを貼りつける」「注目する部位を強調できるような設置法（例、天井から吊り下げる、垂直に立てる）」など、見学者が気づきを得るような工夫が必要だと考えられる。所蔵する骨格標本の点数が増えれば、食性や生息環境の違いに起因する「四肢の形態」「歯牙の数」の差異を、講義と連動して学習するプログラムも構築できると期待される。本学で作製した骨格標本を、近隣の小中高に貸し出す、あるいは骨格標本に関する出前授業を実施するというプログラムの立ち上げ<sup>(2)・(7)</sup>も、今後検討する必要がある。

本学における、骨格標本を巡るもう一つの課題は、標本の製作体制の強化である。これまでは、本研究室の学生および生物科学科の有志の学生が定期的集まって骨格標本の作製を進めてきた（図 24）。各メンバーは、講義や研究の間に少しずつ作業をすすめたが、組織の小ささ故に、作製スピードがサンプル増加のスピードに追い付かないという問題があった。現在、骨格標本の作製を目的とする公認サークルの立ち上げ準備を進めており、これが実現すれば、他学部や他大からの参加者が増加し、作製ペースが格段にアップすると期待される。骨格標本の貸し出しや出前授業といった活動にこのサークルが参画すれば、地域の子供たちに学びの機会を提供するだけでなく、サークルに所属する学生の、学外交流の機会を創出することになる。資料室における標本展示の企画を自

## 生物学教育用の全身骨格標本の作製法

分たちで考えるなど、博物館の学芸員実習のような利用もできるかもしれない。さらに、未学者への標本の説明を通じて、学生のプレゼンテーション能力やコミュニケーション能力のレベルアップも期待できよう。

このように、骨格標本の作製とその活用は、単に生物学教育にとどまらない、地域連携のモデルとなる可能性がある。本学他学部との教員や学外の専門家とも連携しながら、骨格標本の有効な使い方について模索していきたい。

### 5. 謝辞

福島県環境創造センターの小松仁博士、森林総合研究所の安田雅俊博士、山梨県韮崎市の内藤将氏、福島県会津若松市の鈴木けい子氏、国土交通省東北地方整備局南三陸沿岸国道事務所三陸維持管理出張所のスタッフには、全身骨格標本作製のための材料をご寄贈いただいた。本研究室の所属学生並びに本学理工学部生物科学科の有志学生には、骨格標本の作製にご協力いただいた。本学事務課の尾形孝輔氏には、骨格標本展示室の開設にご尽力いただいた。以上の方々に、この場を借りて感謝申し上げます。本稿で紹介した活動の実施に際しては、令和2-3年度共創研究センタープロジェクト経費（課題名：石巻圏内における野生動物のロードキルの現状調査）、令和3-4年度本学個人研究費（研究題目：石巻市の野生動物の基礎調査）、ならびに令和3-4年度本学自主活動支援制度（B）の助成を受けた。

### 6. 文献

(1) 伊藤悠, 松田義彦, 川上紳一 (2019) 鶏の骨格標本作製を取り入れた生物進化に関する探究学習: 中学校での実践. 日本科学教育学会研究会研究会報告 33: 55-60.

- (2) 山野井貴浩 (2017) 生物進化の実感を伴った理解を目指して—脊椎動物の前肢の骨格標本を利用した授業の実践—. 理科教育学研究 58: 89-97.
- (3) 柳川久 (監修), 塚田英晴, 園田陽一 (編) (2023) 野生動物のロードキル. 東京大学出版会, 340 p.
- (4) 辻大和, 高橋夢湖, 鈴木風磨 (2023) 動物の交通事故死体から作製した骨格標本を用いた生物学教育. 石巻専修大学研究紀要 34: 83-91.
- (5) 鎌田直樹 (2009) 動物の大きさに応じた教材用の骨格標本作製法の検討. 生物教育 49: 76-81.
- (6) 川畑龍史, 藤倉憲一, 細川克寿, 岡本記明, 阪本典子, 西野友子 (2019) 豚足の骨格標本を用いた授業実践およびその効果—小・中学校理科の教材化を目指して—. 生物教育 62: 150-159.
- (7) 郡司晴元 (2015) 動物園との連携による大学院授業での骨格標本作製法—地域教育システムの充実を目指して—. 科学教育研究 39: 225-232.
- (8) 八木昇, 大泰司紀之 (1994) 骨格標本作製法. 北海道大学出版会, 146 p.
- (9) 大阪市立自然史博物館 (2007) 標本の作り方—自然を記録に残そう—. 東海大学出版会, 190 p.
- (10) 盛口満, 安田守 (2001) 骨の学校 ぼくらの骨格標本のつくり方. 木魂社, 238 p.
- (11) 本橋篤 (2020) 一般家庭でも実施可能な骨格標本作製法が記載されている論文の紹介. Niche Life 8: 33-35.
- (12) Takahashi Y., Suzuki F., Tsuji Y. (2023) Spatio-temporal patterns of vertebrate roadkills in a sub-urban area in northern Japan. Mammal Research 68: 85-92.
- (13) 浅川満彦 (2021) 野生動物の法獣医学—もの言わぬ死体の叫び—. 地人書館, 254 p.
- (14) 舟橋京子, 岩永省三, 福原美恵子 (2013) 動物骨格標本展示に関する小論. 九州大学総合研究博物館研究報告 11: 13-17.