

『カエルの模擬解剖』 指導手順書

鈴木誠 著



数研出版

<http://www.chart.co.jp/>

1 はじめに

1) 今、なぜドライ・ラボなのか？

「知識及び技能」、「思考力・判断力・表現力等」、「学びに向かう力、人間性等」という「学力の3要素」が、生徒に育成すべき資質や能力として初等中等教育の学習指導要領にも盛り込まれるようになりました。そこには、「主体的・対話的で深い学び」の実現に向けた授業改善(アクティブラーニングの視点に立った授業)の推進が求められています。いかに動機をもって生徒が主体的に学べるようになるか、それを通して着実な知識の定着(何を知っているのか)をはかり、それに基づいた思考力の育成(それをどのように使うか)ができるようになるかが生物教育の領域でも問われています。

一方、今日の教育現場では学ぶべき教科や学習内容が多く、資質や能力の育成をねらった実験や実習を積極的に導入するのは、なかなか難しくなっています。各教科の授業時間にも限りがあり、効率のよさも求められます。せっかく行った実験が中途半端に終わってしまう場面も少なくありません。また、実験や実習は多用すればよいというものでもなく、その前後の指導(事前指導や事後指導)によって、初めて学習効果が発揮できるものでもあります。

本書は、今日扱いにくいとされる解剖実習に着目し、シートへの着色作業を通して効率よく知識やスキルの修得を目指す、ドライ・ラボ(思考実験)とよばれる教材です。解剖実習の事前指導用として、またホンモノの代替え教材として利用でき、感謝の気持ちや思いやりといった学びの姿勢も育成することができます。本ドライ・ラボは、平成3年度に東レ理科教育賞を受賞して以来、多くの教育的効果をあげてきました。本書の利用によって、「学力の3要素」の一部を、アクティブな作業を通して育成することが可能となります。

2) ドライ・ラボはなぜ効果があるのか？

外部形態や内部形態の重要な学びである形態学、特にからだのしくみを学ぶ解剖学は、ガレノス以来学問体系に位置づけられ、その教育的効果や意義についてはさまざまなところで述べられてきました。しかしながら、近年、初等中等教育において解剖に対する児童や生徒の嫌悪感や抵抗感、また教材の不足や教師側のスキルの欠如など、さまざまな問題も生じてきています。教育現場での実施は少なくなってきました。

本ドライ・ラボの利用によって、生徒や教師の不安を一掃することができます。シートへの着色や名称の記入、「動物実験者の自戒の念」などを学ぶ中で、自然と認知面やスキル、また取り組む姿勢が育成されることが報告されています。また、事前指導にドライ・ラボを用いたうえで実際に解剖実習を行うと、大幅な時間短縮とそれに伴う観察時間の確保といったメリットを生み出し、ホンモノとの直接体験による知識やスキルの向上、また実験や実習に対する態度のさらなる醸成が促進されます。

また、スタンフォード大学のバンデューラ博士らは、直接体験や代理経験、言語的支援が、自己効力(ワタシにもできる)を強化し、学習意欲を高める上で重要であることを明らかにしています。ドライ・ラボの利用やその後の解剖実習は、その意味でも教育的効果の高い教材と考えられています。

近年、生物学の学びは、ゲノムやタンパク質の構造解析などミクロな分野に注目が集まっています。一方、生物一個体を学ぶ機会は大幅に減ってきました。昆虫採集に没頭する少年も少ないと聞きます。しかし、形態を学ぶことは、「生物を正確に捉える」、「器官をこだわりをもって確認する」、「AとBを比較し分類する」といった生物学の基礎でもあります。本書を有効に利用され、児童や生徒の能力や資質の育成の補助となることを期待しています。



●ドライ・ラボ作製後の系統解剖実習風景

2 本ドライ・ラボで学ぶメリット

ドライ・ラボの利用の効果をまとめると以下の8つになります。

- ① 着色作業を含めたドライ・ラボづくりによって、外部形態や内部形態の学習に必要な知識やスキル、態度を、単元の学習内容に応じて身につけることができる。
- ② 仲間とアクティブな学びができる。
- ③ 解剖実習の代用として利用することによって模擬体験(代理経験)ができる。
- ④ 生徒一人一人に用いることができる。
- ⑤ ドライ・ラボの作製過程で、生徒個々の学習状況をメタ認知できる。
- ⑥ 解剖実習の事前指導として効果が期待できる。
- ⑦ 解剖実習時の時間短縮に効果が期待できる。
- ⑧ 児童や生徒の嫌悪感や抵抗感を事前にある程度取り除くことができる。

3 ドライ・ラボが使用できる領域と単元、及びその方法

本書には、両生類無尾目の外部形態や内部形態を学ぶうえで必要な内容をほぼ記してあります。モデルは本文に記載したとおり、日本最大種のウシガエル(*Lithobates catesbeianus*)としました。収録されているシートを全て使えば、解剖学の導入から大学学部教育まで利用できますが、生徒の発達段階や学びに合わせて必要なシートのみを選んで使用してください。学校のように限られた時間数を十分に加味して、自由に増減してください。1つの例として、導入可能な領域と単元を以下に記します。

●小学校の場合

使用できる領域と単元：第6学年「B 生命・地球」の「(1) 人の体のつくりと働き」(呼吸・消化・吸収・排出・血液循環・おもな臓器の存在について学習)における脊椎動物の体のしくみや人の体のつくりの代替え教材として用いることが可能。また、第4学年「B 生命・地球」の「(1) 人の体のつくりと運動」(骨と筋肉・骨と筋肉の働きについて学習)での比較教材として利用できます。ほかに「総合的な学習の時間」にも対応が可能です。

用いるシート：第6学年の場合は、皮膚(腹面と背面)と消化器系(雌雄別)の計3枚

第4学年の場合は、骨格(腹面と背面)と筋肉の計3枚

●中学校の場合

使用できる領域と単元：第2学年第2分野の「(3) 動物の生活と生物の変遷 イ 動物の体のつくりと働き」の「(ア) 生命を維持する働き」・「(イ) 刺激と反応」における内部形態の学びの代用、脊椎動物の代用として使用できます。ほかに「総合的な学習の時間」・「課題研究」にも対応が可能です。

用いるシート：皮膚(腹面と背面)と筋肉、消化器系(雌雄別)の計4枚

●高等学校の場合

使用できる領域と単元：生物基礎では、「(2) 生物の体内環境の維持 ア 生物の体内環境」で使用できます。選択生物ではどの単元でも対応可能です。ほかに「理科課題研究」や「総合的な学習の時間」にも対応可能です。

用いるシート：皮膚(腹面と背面)と筋肉、消化器系(雌雄別)の計4枚を基本とし、必要に応じて血管系、泌尿生殖器、骨格(腹面と背面)を使用

●大学の場合

使用できる領域：初年次教育や基礎系実験，学部導入教育に対応可能

用いるシート：全て

4 ドライ・ラボ作製での指導上の留意点

解剖実習をうまく進めるには，事前指導を充実させることが最も重要です。あらかじめ，十分な知識の獲得やスキルの習得を児童・生徒に促し，何を学ぶのか目的を明示することが大切です。それらの過程で，実習を受け入れることができるメンタルを養うことができます。また，私たち教員は解剖を伴う形態実習を学習の文脈にきちんと位置づけ，児童や生徒に動物の命から学ぶという態度を育成することが大切です。本ドライ・ラボは，それを色鉛筆を用いた着色作業で行おうというものです。指導上の留意点について，『カエルの模擬解剖』本冊の *p.4* ～ *p.6* の内容に加筆する形で以下に記していきます。特に注意すべきところは※印とゴシック書体で記してあります。

A 実習1 「My ドライ・ラボ」の作製

●用意するもの 色鉛筆(12色程度：重ね塗りができるため)，ハサミ，のり

実習 a 消化器を中心とした内臓への着色

1. *p.13* に雌の消化器系のシート(図3-1)，*p.15* に雄の消化器系のシート(図3-2)があります。まず自分が学びたいウシガエルの雌雄を決めましょう。
2. 裏表紙の裏側にある，ウシガエルの実際の解剖の写真や着色された見本，さらには，スーパーマーケットで売られている食材も参考にしながら，消化器系のシートに着色してください。食材の何が参考になるか，仲間と話し合ってみましょう。着色のポイントは，できるだけホンモノをよく見て，猫が見たら間違えてくわえていってしまうほど“そっくり”になるように正確にこだわることです。色鉛筆は，数種類を使って上塗りしていくと，驚くほどリアルなものに仕上がります。*p.35* の資料3-1と資料3-2に消化器の器官名が記載されていますので，それを参考にしながら作業を進めてください。

- ・ハサミは普通のハサミでよい。
- ・着色に関して，現在，インターネット上には，画像に関するさまざまな情報が流れています。あらかじめ教員がアクセスし，適切かを確認めたうえで生徒に情報提供するとよいでしょう。ここは生徒がアクティブに学べる場所ですから，食材の何が参考になるか，話し合わせてみましょう。正確さに対するこだわりが特に大切です。

※色鉛筆を使うと，重ね塗りによってリアルなものに上げることが可能になります。その作業過程で，着色の精度や集中力，粘りや課題達成力など，生徒はさまざまな顔を見せます。モニタリングの教材としても十分機能するので，作業過程で得られた情報を形成的評価に利用してください。

実習 b 泌尿生殖器への着色

1. *p.21* に雌の泌尿生殖器のシート(図5-1)，*p.23* に雄の泌尿生殖器のシート(図5-2)があります。実習 a で選択したものと同じ雌雄のものを選んでください。
2. 裏表紙の裏側にある，ウシガエルの実際の解剖の写真や泌尿生殖器の着色された見本を参考にしながら，泌尿生殖器のシートに着色してください。*p.36* の資料5-1と資料5-2に記載された腎臓や副腎などの器官名をインターネットで検索すると，さまざまな画像を見ることができますので，先生と確認し，それらも参考にしてください。

- ・対象は，中学生以上。
- ・実習 a と同じ雌雄を，間違えないように選ばせてください。
- ・インターネットで検索される画像に関しては，あらかじめ教員がアクセスし，適切かを確認めたうえで生徒に情報提供するとよいでしょう。

実習 c 血管(動脈・静脈)への着色

1. *p.17* に雌の血管系のシート(図4-1)，*p.19* に雄の血管系のシート(図4-2)がありますので，実習 a と同じ雌雄のものを選んでください。*p.36* の資料4-1と資料4-2に各血管の名称が記載されていますので，どの血管が動脈なのかを確認しながら，動脈を赤く塗りましょう。
※事前に図1，図2，図6～9をコピーしておけば，「My ドライ・ラボ」を雌雄両方作製することができます。
2. 資料4-1，4-2を参考にしながら静脈を青く塗りましょう。(残っている血管が静脈です。)
(参考) 実際のウシガエルの動脈の表面には，黒い色素(メラニン)が点在していることが多く，その斑点で動脈と静脈をおおよそ見分けることができます。

- ・対象は，中学生以上。
- ・ここは，家庭学習用に適しています。
- ・動脈を赤，静脈を青で塗り分けるのは便宜上です。理容室の赤青のシンボル(昔，髪切りは外科の仕事で，赤青の色表示は動脈と静脈を示した名残であること)などを説明するとよいでしょう。

実習d 脳・神経への着色

p.25に脳・神経のシート(図6)があります。p.37の資料6に記載された神経系の各名称と、裏表紙の裏側にある着色された見本を参考に、第1脊髄神経から第10脊髄神経までの10対の脊髄神経、および交感神経を確認し、クリーム色(または薄黄色)に着色しましょう。

(参考) 脳、脳神経系(10対)、および第1脊髄神経は、頭蓋骨や筋肉でおおわれており、直接確認することはできません。

- ・対象は、高校生以上。
- ・神経は、薄い橙色＋クリーム色に近い色をしています。

オプション実習

図鑑などを参考に、p.9の皮膚1(腹面)、p.31の皮膚2(背面)、p.11の筋肉についても着色し、裏から見ても表から見てもホンモノそっくりなカエルに仕上げて構いません。

- ・生徒に塗らせてみると、時には思いもよらぬ成果が得られることがあります。

着色の参考となる図書については、児童用のものを含めて市販の図鑑類なら何でも利用できます。以下に代表的なものを記しておきますが、可能であればホンモノを見ながら着色を進めたいところです。

- 1) 松橋利光・奥山風太郎：『山溪ハンディ図鑑9 日本のカエル＋サンショウウオ類』 2002, 山と溪谷社
- 2) 松井正文・前田憲男：『日本産カエル大鑑』 2018, 文一総合出版
- 3) 前田憲男・松井正文：『改訂版 日本カエル図鑑』 1999, 文一総合出版
- 4) 日高敏隆 監修：『日本動物大百科 5 両生類・爬虫類・軟骨魚類』 1996, 平凡社



●ドライ・ラボの作製風景

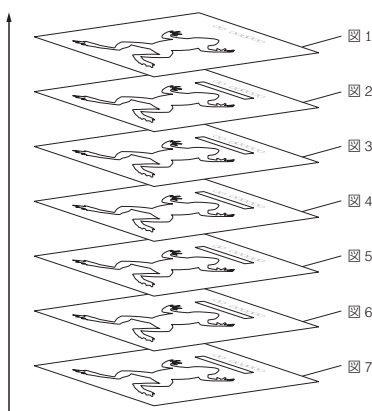
実習 e シートの貼りつけ

1. 実習 a～d で着色したシート、および、「図1 皮膚1 (腹面)」、「図2 筋肉」、「図7 骨格1 (腹面)」、「図8 骨格2 (背面)」、「図9 皮膚2 (背面)」の、計9枚のシートを本書から切り離してください。

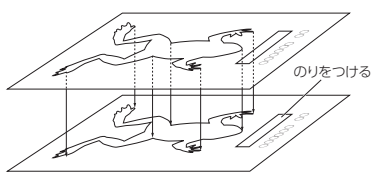
2. 切り離したシートを、腹側から見た「図1 皮膚1 (腹面)」が一番上になるようにして、上から図1～図7の順になるようにそろえましょう。

「図8 骨格2 (背面)」、「図9 皮膚2 (背面)」のスケッチは、実習 e の5. で用いますので、脇に置いておきましょう。

3. シートをのりづけします。まず、「図7 骨格1 (腹面)」のシートを下にして、その上に「図6 脳・神経」のシートをのせ、カエルの輪郭を光にかざしながら正確に合わせましょう。前肢の指先と後肢の指先を合わせるとうまくなります。そして、ピッタリと合ったところで、上部の「のりしろ」をしっかりとのりづけし、2枚のシートを貼り合わせましょう。このとき、くれぐれもカエルの輪郭がずれないようにチェックしましょう。



下から順番にのりつけていく

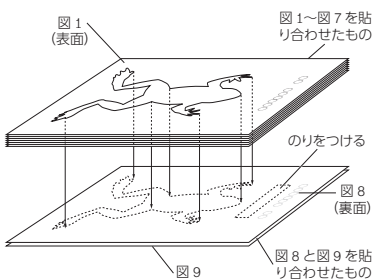
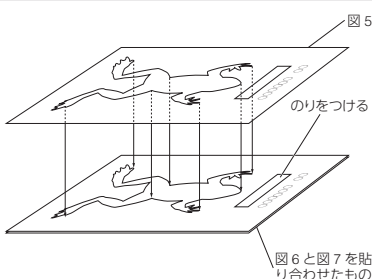


のりづけするときには、カエルの輪郭を正確に合わせる

4. 3. の作業で、「図6 脳・神経」が上にくる2枚重ねのシートができあがります。次に、全く同じ要領で、「図5 泌尿生殖器」のシートをその上に貼り合わせましょう。以下、すべて同じ手順で図1まで進めると、「図1 皮膚1 (腹面)」が一番上にくる7枚重ねのシートが完成します。

5. 残っている「図8 骨格2 (背面)」、「図9 皮膚2 (背面)」のシートを3. と同じ手順で、今度は「図9 皮膚2 (背面)」が上にくるように貼り合わせ、2枚重ねのシートをつくります。

6. 最後に、4. でつくった7枚重ねのシートと5. でつくった2枚重ねのシートを貼り合わせます。このとき、4. でつくった7枚重ねの最も下にある「図7 骨格1 (腹面)」のシートの裏側と5. でつくった2枚重ねの下側の「図8 骨格2 (背面)」のシートの裏側がうまく合わさるように、輪郭がずれないようにします。9枚重ねになっているか、順序が間違っていないか、必ず確認しましょう。図8と図9は裏返しになっていますが、図1から図9まで順番に重なっています。表にしても裏にしても、カエルの皮膚が見えていれば成功です。
7. のりがかわいたら、ハサミを用いて図1の点線に沿ってまわりの余分な部分を切り落としましょう。そして、各シートに、これからの学びに必要な器官名だけを、p.35～p.37の資料を参考に記入しましょう。これでちゃんとカエルの輪郭が合っていれば、自分だけの「My ドライ・ラボ」の完成です。名前もつけてあげましょう。



- ・「図1 皮膚1 (腹面)」、「図9 皮膚2 (背面)」に加え、例えば、「図3-1または図3-2 消化器・内臓」、「図4-1または図4-2 血管系」、「図5-1または図5-2 泌尿生殖器」など今回用いるシートのみを本書から切り離すよう指示してください。「図2 筋肉」、「図7 骨格1 (腹面)」、「図8 骨格2 (背面)」のシートは必要に応じて切り離してください。例えば、小学生なら皮膚 (腹面と背面) と消化器・内臓 (雌雄別) の計3枚で十分です。高校生なら、可能な範囲でシートを増やすことをお勧めします。
- ・半透明のシート (ユボ紙) を破かないようにご指導ください。

- ・ここは、間違えることがよくありますので注意が必要です。

※切り離したシートの貼り付けは、生徒に読ませたうえで教員は指示せず、自分の力で、または仲間と相談しながら進めていくのがベストです。うまくいかなかった場合には指示するとよいでしょう。

5 ウシガエルの解剖手技での指導上の留意点

本書では、正式なウシガエルの解剖手技について記してあります。生徒に「模擬解剖」まで行わせる場合は、この手順を十分に理解させることが必要です。ここも前項と同じように、『カエルの模擬解剖』本冊の p.7 ~ p.8 の内容に加筆する形で以下に記していきます。特に注意すべきところは※印とゴシック書体で記してあります。

B ウシガエルの解剖手技

ここでは、ウシガエルを解剖する手順を以下に記します。p.33 ~ p.34 に示した「模擬解剖」の手順はこれとほぼ同じですので、注意事項を含めてしっかり学んでください。

●**使用器具** 外科用ハサミ(160mm 直尖刀がたいへん使いやすく便利)、眼科用ピンセット(先のとがったもの)、スパーテル(必要に応じて)、大形解剖皿、丸形水槽(丸形のほうが麻酔時にカエルの吻端部(鼻先)を保護することができる)

※少し高価ですが、オペで用いる外科用のハサミを購入すると、時々研ぐことによって 20 ~ 30 年は使用することができます。外科用ハサミは 1 本 5000 円程度、眼科用ハサミは 1 本 1000 円程度で医療器具メーカーから購入することができます。前者は切開及び器官の剖出用として、後者は器官や組織の細かい切開用として適しています。特に前者は切れ味、耐久性とも解剖ハサミよりはるかに優れており、通常はこれだけで十分実習が行えます。ただし、両者とも取り扱いには注意が必要です。

解剖皿は、30cm 程度のもので軽い白地のプラスチック製のバットで十分です。スパーテルは、器官の表裏を観察するときに使いますが、できれば素手で触れさせたいところです。細かい操作には、眼科用ピンセットの利用価値が高いです。ピンは特に必要ありません。

●**使用薬品など** ジエチルエーテル($(C_2H_5)_2O$: 麻酔薬として使用)、脱脂綿、カエル用生理食塩水(蒸留水 1L 当たり、NaCl 6.5g、 $NaHCO_3$ 0.2g、KCl 0.25g、 $CaCl_2$ 0.3g)

I 麻酔のかけ方

1. 丸形水槽に、ウシガエルと、ジエチルエーテルを適量しみこませた脱脂綿を入れ、ふたをします。麻酔に必要なジエチルエーテルの量は、気温と、ウシガエルの大きさによって変わります。麻酔薬が多すぎるとショックを起こし、心臓が停止してしまいます。一方、少ないと実習中に覚醒する場合があります、これは絶対に避けなければなりません。なお、ジエチルエーテルは沸点が約 35℃ と低く、非常に引火しやすいので、麻酔をかけるときは必ず屋外で行います。
2. 密閉状態で 30 分ほどようすを見ます。眼球やのどの動きに注意し、刺激を与えても動かなければ麻酔がかかっています。特に、眼球にある瞬膜が下から上に上がり、眼球全体をおおった状態である(目が白く濁ったように見える)なら、完全に麻酔がかかっていると考えてよいです。
3. 麻酔のかかったカエルを水槽から取り出し、外部形態を確認しながら十分に水洗し、エーテル臭を除去します。万一実習中に覚醒した場合は、必ず屋外に運び出し、外鼻孔をジエチルエーテルを染みこませた脱脂綿でくるみ、吸引させてしばらくようすを見ます。

・直接カエルに触ることができない生徒には、使い捨ての医療用手袋をつけさせてください。

※生体を用いて観察するときには、麻酔が必要です。実習中に覚醒しないように、かつ動物がショックを起こさない程度に深く麻酔をかけることが重要です。実習中に覚醒しますと、教育的効果が半減してしまい、事後のメンタルケアが必要になります。

薬品はジエチルエーテルを用いるのが一般的です。昔はクロロホルムを使った場合がありますが、発がん性が指摘されています。また、柄付き針を用いた、いわゆるピスは、その行為自体が生徒に受け入れられない場合が多いです。基本は麻酔薬で対応し、カエルに苦痛が無いように、生徒と一緒に配慮することが重要です。

麻酔は必ず屋外でかけ、火気には十分気をつけます。使用する麻酔薬の量は、個体の大きさや外気温、風向き、直射日光の有無等によってコントロールする必要があります。例えば、外気温 25℃で、体重 500g のウシガエルの場合、手のひらサイズの脱脂綿にジエチルエーテルをたっぷり染みこませ、30cm 程度の丸形水槽に入れてふたをして 30 分程度ようすを見ます。

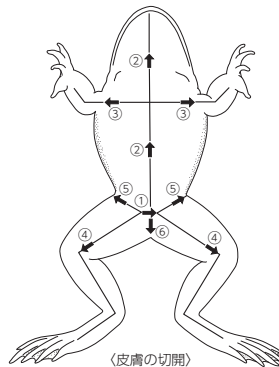
麻酔のかかり具合には、4 つのステージがあるとされており、カエルの視線があやしくなり、白濁した半透明の瞬膜が下から眼球をおおってきたら適切な麻酔がかかった状態(第 3 ステージ)と判断します。瞬膜が上がった状態でも、心臓は拍動を続けています。麻酔がかかっていくようすを生徒といっしょに観察することは、たいへん意味のあるものです。

その後十分に水洗し、からだについているエーテル臭をできるだけ落とします。

万一、実習中にカエルの後肢が動き始め覚醒してしまったら、実習をすぐに中止し、速やかにカエルの外鼻孔をジエチルエーテルがしみこんだ脱脂綿で包み、室内の換気に注意しながらしばらくようすを見ます。後肢に動きがなければ実習を再開します。完全に覚醒してしまった場合には、教材を生徒から一時切り離し、原則教師だけで対応することをお勧めします。

Ⅱ 皮膚の切開

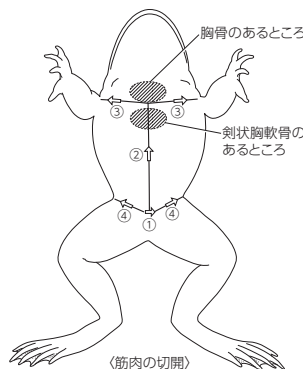
1. ウシガエルをあお向けにして、下腹部の①(右図を参照、以下同様)を 1cm ほど、矢印の方向に切開します。
2. 下腹部から②の矢印の方向(これを正中線の方向という)に向かって下顎まで切開します。その際、ハサミは丸みがついた刃先を下にして、皮膚の裏に接着している下顎下筋と舌下筋を切らないように、皮膚を引っばりはがすように切開します。その後、③、④、⑤の方向に、長掌筋やアキレス腱周辺までハサミを進めます。



3. 皮膚の裏は、一部が半透明な白いリンパ組織を介して筋肉と接続しています。このリンパ組織をハサミの先を使ってきれいに切り取ると、皮膚が左右によく広がって見やすくなります。なお、このとき、外腹斜筋から前肢付近を通る筋皮静脈(皮膚の毛細血管が集合した太い血管)を切らないように注意します。
- ※ 切開では、深く麻酔をかけ、出血を抑え、きれいに解剖することが重要です。実験動物に苦痛を与えないためです。

Ⅲ 筋肉の切開

1. 下腹部を 1cm ほど①(右図を参照、以下同様)のように切開します。このとき、内部にある膀胱を傷つけないように筋肉を引っ張りながら少しずつハサミを進めます。
2. ②の方向へ、ハサミの先をもち上げるようにして切開します。このとき、正中線上にある前腹静脈を避けて、その 1 ~ 2mm 脇を切開していきます。前腹静脈の出血が気になる場合は、腹壁下部と上部の前腹静脈両脇に眼科用ピンセットで穴を開け、糸を通して血管を結紮する方法もあります。剣状胸軟骨まで切開を進めると、その先には硬い鳥口骨、鎖骨があります。硬くてすべりやすいので、ハサミの根元を使って慎重に切断します。
3. ③、④の方向に向かって腹壁を左右に切開し、広げます。ウシガエルの場合は、ピンで固定する必要はありません。



※生体を解剖するときには、対象となる動物をなるべく傷つけないように注意しなければなりません。不要な傷や出血は、生徒のメンタル面で大きなマイナス要因となります。それには、

- ① 外科用ハサミは先を持ち上げて切る
- ② 皮膚の裏や筋肉にある主要な血管は切らない

の2点が鉄則です。例えば、ウシガエルの解剖で見られる生徒の失敗に、「膀胱が見当たらない」、「肺が小さくしぼんでいる」といったものがあります。これは、切開の際にハサミの先で器官を傷つけてしまったからです。膀胱は腹直筋下部の裏側にあり、普通は尿を含んだ膨らんだ状態で筋肉と接しています。したがって、筋肉を切開するときには、腹直筋下部をしっかりと指で引っ張りながら、ハサミの先で正中線と直角の方向に慎重に切りこみを入れます。その1cm程の穴から、膀胱の位置を確認します。そして、筋肉を引っ張りながらハサミの先を入れ、正中線の方向にハサミの先をもち上げながら、剣状胸軟骨まで切開します。このようにすれば、内部の器官を傷つけることはまずありません。刃先が下を向いていると、肝臓を傷つけてしまい、かなり出血することもあります。これらは、他の動物でも用いる基本的な手技であり、生徒にぜひ身につけさせたいところです。

また、前肢の皮膚の裏には太い筋皮静脈があり、皮膚を切開するときには注意が必要です。同様に、皮膚を指で引っ張りながら、筋肉と皮膚が接する1～2mm皮膚側を切開します。腹直筋には、正中線の方向に走る前腹静脈があり、やはり注意が必要です。すでに血管の下部は、筋肉の切開のときに切断していますが、血管は避け1～2mm脇を正中線の方向に切開します。このように、対象となる動物の主要な血管については、あらかじめ後述する書籍類で調べておき、正確な位置やそれに対応するスキルを、事前指導の中で生徒に示すことが大切です。

なお、血管を1本1本結紮し、止血しながら進める方法もありますが、小学生や中学生では技術的に難しく時間もかかります。

6 何を観察すればよいのか

1) どこを見るのか：その視点

剣状胸軟骨や胸骨の切断後、心臓をおおっている心嚢膜を切除すれば、観察できる状態となります。まず、ウシガエルを十分に水洗し、解剖皿にカエル用生理食塩水をバットの3分の1ほど入れます。これにより、肝臓や脂肪体などの裏側に隠れていた器官が浮き上がり、各器官の位置関係を立体的に把握することができるようになります。そこで、学習の目的に応じて、消化器系、泌尿生殖器系、心臓血管系などの各器官の観察に入ります。

小学生では、肺、心臓、食道、胃、肝臓、胆嚢、小腸、大腸の位置関係をしっかり学習したいところです。また、各器官に触れながら、色や形、大きさや柔らかさを実感することも大切です。中学生や高校生では、胃、小腸、大腸等の消化器官を切開し、内容物と構造を比較検討するとよいでしょう。内容物については、取り出したものをピンセットで細かく崩しながら、どのようなものがどのような状態で入っているのかを調べます。これは学習を「食物連鎖」に発展させるうえで重要なところで、生徒から驚きの声が上がることもあります。また、内部の構造については、胃が硬い筋肉でできていることや、中にゼリー状の胃粘膜があることに気づかせ、なぜそれが必要なのかを考えさせます。小腸と大腸については、その色と内部の違いを比較しながら、小腸のビロードのような柔毛の存在を実感させ、消化のしくみについて学習を発展させていきます。



●胃と小腸内部のようす
(腸間膜と腸間膜静脈が見える)

高校生以上では、進化や恒常性といった学習へ発展させるために、以下の点は押さえておきたいところです。

- ① 腸間膜とその中を走る血管を調べる。また、その血管を探りながら肝臓に入る門脈を調べ、消化の流れを確認する。
- ② 心房と心室の内部構造の違いを確認する。また、心臓に出入りする各動脈や静脈を調べ、動脈弓の存在を確認する。
- ③ 消化器の裏側にある生殖器を調べ、卵巣や精巣を確認する。また、卵巣をもちながら矮化した精巣をもつ間性がいないかを調べる。腎臓に出入りする腎生殖動脈と腎生殖静脈を確認する。
- ④ 背骨から出る 10 対の脊髄神経(目視では第 2 脊髄神経の上腕神経以下)と交感神経を確認する。



●腎臓に出入りする血管群と、脊髄神経・交感神経が見える

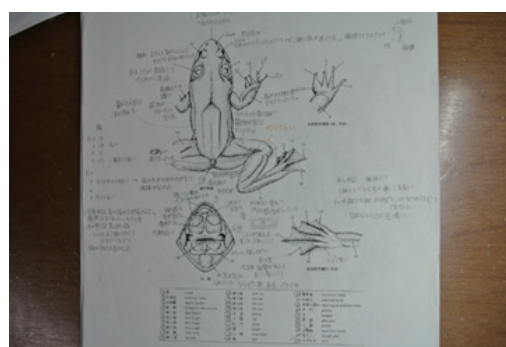
例えば、まず、胃間膜や腸間膜を広げてそこに出入りする静脈や動脈を確認し、その後、胃間膜にそうように位置する薄橙色の長い脾臓、腸間膜付近に存在する脾臓を確認し、胃間膜にある胃腸静脈や腸間膜静脈を手繰っていくと、3 葉の肝臓の裏に潜りこんでいる肝門脈を確認することができます。さらに、消化器系を片側に寄せたあとに見える腎臓や副腎、そこに出入りする腎生殖静脈や腎生殖動脈、末端が Y 字形の後大動脈、さらにその裏に見え隠れする脊髄から出る 6, 7, 8, 9 番の脊髄神経、そこに縦に走る交感神経などはできれば確認したいところです。甲状腺は肺の上部にある赤い粒のような器官で、直ぐに確認できます。

前後しますが、筋肉については、『カエルの模擬解剖』本冊の p.35 の資料 2 と同じように確認することができます。ここはヒトの筋肉とからめて学習することをお勧めします。生徒の関心は高いです。なお、静脈は血管が薄く血液が透けて赤く見えます。動脈は血管が厚くて白っぽく見え、表面にメラニン色素が点在することが多いです。このように、静脈と動脈はある程度見分けることができます。

2) 観察時の指導はどうすべきか

以下に箇条書きにします。

- ① 正確に各器官の位置と名前を確認させる。
- ② 確認した器官の特徴を、ドライ・ラボや解剖用の資料(写真参照)になるべくたくさん書きこませる。
- ③ スケッチはなくてもよい(正確に見る、こだわって探すことを徹底させる)。
- ④ ドライ・ラボに記入された器官名に、1 つずつチェックを入れさせる。また、不思議に思ったこと、疑問に思ったことについては全て解剖用の資料に書きこませる。これがレポート作成の資源になります。



●解剖用資料に生徒が書きこんだ例

3) 終了時間がきてしまったときの対処法

実際の実習では、予想以上に時間がかかって決められた時間中に終わらないことがあります。そのときは、解剖皿ごと水を張ったまま冷凍します。次の時間に流水で解凍しておけば、色彩は抜けていますが十分観察に用いることができます。ホルマリン処理による変色や、組織の硬化もありません。

7 「My ドライ・ラボ」を使った模擬解剖指導上の留意点

模擬解剖の指導上の留意点について、ここも同じように、『カエルの模擬解剖』本冊の p.33 ~ p.34 の内容に加筆する形で以下に記していきます。特に注意すべきところは※印とゴシック書体で記してあります。

※模擬解剖は、ホンモノの代用として、また実際の解剖実習の事前指導として行います。したがって、たとえドライ・ラボであれ感謝の気持ちで臨むことが大前提となります。きちんと生徒の気持ちの整理が落ち着いたところで始めてください。「動物実験者の自戒」を読みあわせると、効果があります。

C 実習2 「My ドライ・ラボ」を使った模擬解剖

これから、ウシガエルの解剖手技にしたがって、皆さんがつくった「My ドライ・ラボ」の解剖実習を行います。事前に、スキルや器官の名称、注意事項を各自再確認しておいてください。

実習 a 皮膚の切開から筋肉の観察

1. p.7 「Ⅱ 皮膚の切開」と同じように、「図1 皮膚1（腹面）」の切開を始めましょう。
(注意)・ハサミは常に先をもち上げるように使いましょう。
・筋皮静脈や前腹静脈を切らないように注意しましょう。筋皮静脈や前腹静脈の位置を確認し、あらかじめ印をつけておくとういでしょう。
2. 切開によって見えてきた以下の主要な筋肉の位置を確認し、不足している器官名があれば書きこみましょう。
① 腹直筋 ② 胸筋 ③ 上腕三頭筋 ④ 長掌筋 ⑤ 下顎下筋
⑥ 舌下筋 ⑦ 縫工筋 ⑧ 長内転筋 ⑨ 大腿三頭筋 ⑩ 大内転筋
⑪ 大内直筋 ⑫ 腓腹筋 ⑬ アキレス腱

課題1 ウシガエルとヒトの骨格筋を比べてみましょう。何が同じでどこが異なるのか、それがそれぞれの生活とどのように結びついているのかを考え、仲間と議論してみましょう。

- ・切開の手順と位置が正しくできたかどうか、もう一度解剖の手順を参考にしながら各自で確認させてください。
- ・対象は、高校生以上。

※模擬解剖では、ハサミの先をもち上げることや膀胱周辺のハサミの進め方など、実際の解剖と同じように、注意すべきところやスキルに気を配りながら、皮膚そして筋肉の順番に切開するように指示してください。皮膚の切開が終わったら、両脇に皮膚を広げると、筋肉の切開が容易になります。筋肉は実際に、このドライ・ラボとほぼ同様な位置関係で確認することができます。高校生以上であれば、十分学ぶことができますが、勤務校の実態にあわせてあまり深入りしないことも必要です。



●模擬解剖が終わったドライ・ラボ

実習 b 筋肉の切開から消化器系の観察

1. p.8 の「Ⅲ 筋肉の切開」と同じように、「図2 筋肉」の切開を始めましょう。
(注意)・膀胱を切らないように注意しましょう。下腹部を引っぱりながら、ハサミをこまめに用いて1cmほど切開するのがポイントです。
・胸帯(剣状胸軟骨や胸骨本体、鳥口骨や鎖骨、上胸骨があるところ)を慎重に切開しましょう。ハサミの根元を使ってしっかり切断しましょう。
2. 筋肉の切開が終わると、着色した「図3 消化器・内臓」が見えてきます。筋肉をしっかりと広げてから以下の各器官を確認し、不足している器官名を書きこみましょう。
① 左心房 ② 右心房 ③ 心室 ④ 甲状腺 ⑤ 肺 ⑥ 胃 ⑦ 胃間膜
⑧ 脾臓 ⑨ 肝臓 ⑩ 胆嚢 ⑪ 腸間膜 ⑫ 小腸 ⑬ 膀胱 ⑭ 大腸

課題2 肝臓の役割はたくさんあります。どんなものがあるか、仲間と調べてみましょう。

※「図3 消化器・内臓」については、小学生から高校生以上まで、学びに必要な器官を確実に確認させてください。

実習 c 消化器系器官の剖出から血管系を経た泌尿生殖器の観察

1. 泌尿生殖器と血管を調べるために、消化器系のシートを膀胱付近から正中線にしたがって心房まで切開し、上部と下部をそれぞれ横方向に切開し広げて血管系が見えるようにしましょう。実際の解剖では、剖出といって各器官を慎重に引っぱりながらハサミで切開し、裏側にある泌尿生殖器や血管を観察します。
2. 「図4 血管系」の半透明のシートを通して、泌尿生殖器がうっすら見えています。まず、以下の血管を確認し、不足している器官名があれば書きこみましょう。
① 大動脈弓 ② 肺動脈 ③ 肺静脈 ④ 胃動脈 ⑤ 前腸間膜動脈
⑥ 前腹静脈 ⑦ 大腿動脈 ⑧ 大腿静脈
3. 1. で切り開いた消化器系のシートを開閉しながら、消化器系各器官に出入りする上記の血管との位置関係を確認しましょう。不足している器官名があれば書きこみましょう。
4. 血管系のシートをめくりながら、以下の泌尿生殖器を確認し、不足している器官名があれば書きこみましょう。
① 腎生殖動脈 ② 腎生殖静脈 ③ 副腎 ④ 腎臓 ⑤ 脂肪体
⑥ 尿管 ⑦ 卵巣 ⑧ 卵管 ⑨ 精巣 ⑩ 背部大動脈 ⑪ 後大静脈

課題3 カエルの尿管と膀胱の関係は、ヒトと何が違うのでしょうか。それはどのような点で有利、もしくは不利なのでしょうか。仲間と考えてみましょう。

・対象は、高校生以上。

※血管名は、高校生以上であれば十分学ぶことができますが、勤務校の学びにあわせることが大切です。副腎や腎臓、卵巣や精巣以外は「理数探究」や「課題研究」で扱うほうがよいでしょう。

実習 d 脳・神経系の確認

1. p.37 の資料6を参考にしながら、10対の脊髄神経と交感神経、特に太い第2脊髄神経(上腕神経)、第7・8・9番の脊髄神経が集合した座骨神経を確認しましょう。また、神経がどこへ向かい、どのように位置しているかを確認しましょう。
2. 10対の脳神経の位置を確認しましょう。

課題4 ヒトの脳神経や脊髄神経はそれぞれ何対あり、どの器官や組織につながっているのでしょうか。仲間と調べてみましょう。

・対象は、高校生以上。

※脳神経はあくまでも参考です。高等学校以上で触れるとよいでしょう。

実習 e 外部形態と骨格の観察

1. 「My ドライ・ラボ」を裏返しにして、「図9 皮膚2 (背面)」を上にししましょう。
2. 以下の点を中心に外部形態を調べましょう。不足している器官名を書きこみましょう。
① 鼓膜 ② 眼 ③ 外鼻孔 ④ 前肢・後肢の指の数 ⑤ 水かき ⑥ 総排出口
3. 「図9 皮膚2 (背面)」を、実習cの1. と同じ手順で切り開き、「図8 骨格2 (背面)」のシートが見えるようにしましょう。背中の正中線を口へ向けて切るときは、頭骨まで見えるように、口先までハサミを入れます。以下の骨を確認し、不足している器官名を書きこみましょう。
① 上腕骨 ② 椎骨 ③ 橈尺骨 ④ 尾骨(第10椎骨) ⑤ 腸骨
⑥ 大腿骨 ⑦ 脛腓骨

課題5 「My ドライ・ラボ」やp.37の資料8を参考に、カエルの骨格は、サンショウウオやイモリなど他の両生類とどこが異なるのか、なぜそうなのか、仲間と考えてみましょう。

・3. については、対象は、高校生以上。

・課題5の他の両生類との比較では特に椎骨の数と腸骨に注目させてください。
・この比較により進化の学びにつなげることができます。

※個体を学ぶうえで、外部形態の観察は重要です。生徒のほとんどが、ホンモノのカエルに触れた経験がありません。あくまでもこれはドライ・ラボではありますが、2. に示した鼓膜、眼、外鼻孔、前肢・後肢の指の数、水かき、総排出口の6つの位置は確実に確認させてください。

8 事後指導は何をすべきか

解剖実習では、事前指導だけでなく事後指導も重要です。例えば、動物の遺体を無造作にバケツに入れてしまうといったことは絶対に避けなければなりません。生徒は、自分たちが解剖した動物がその後どうなるのか、とても気にしています。教員も生徒も、動物から学ぶ感謝の気持ちで臨むことが大切です。筆者は実習が終了すると、各班が担当した遺体を可能なかぎりていねいに整復し、用意したプラスチック製のボックスに集めます。その後ふたをして全員で合掌し、その場はお別れします。

その後きちんと動物を埋葬するところまで、授業の文脈に位置づけます。グループ単位で事前によく話し合い、献花の準備をします。埋葬が教員主導によるものでなく、生徒の自主性によって進められるか否かが、解剖実習の教育的効果を測るバロメーターであり、教科経営の到達度を示すものといっても過言ではありません。

また、実習後に課す生徒のレポートはとても重要です。ドライ・ラボづくりから始まった模擬解剖実習、解剖実習の成果が形になって出てくる瞬間だからです。ここは教員は徹底的にこだわってください。全員が提出できるまで、粘り強く指導する必要があります。

書式や内容については割愛しますが、帰宅後、生徒の頭の中で、学習場面を再構成させ、自分の考えや感じたことをきちんと残し、具体的にメタ認知させる(振り返らせる)ことが能力や資質を育成するうえでとても大切です。

教員はレポートの内容には十分に目を通し、必要であれば面接も行います。また、なるべくコメントをつけて速やかに返却することも大切です。レポートができた段階で、グループごとに自分は何がわかったか、何を疑問に思ったかをそれぞれ発表しながら、全員で情報の共有を行うとよいでしょう。よいレポートは実態投影機やパワーポイントに組みこんで、次の授業で全員にフィードバックすると効果があります。



●実験動物慰霊碑に献花する学生たち
(ボックスに遺体が入っている)

9 ドライ・ラボをどのように評価するか

生徒のドライ・ラボは、その作製過程から、評価したいさまざまな情報を得ることができます。以下に2つのフェイズから評価方法について記します。

1) ドライ・ラボ作製中の評価

ドライ・ラボをつくっている中で、着色の精度や集中力、忍耐力や課題達成力など、生徒からさまざまな情報が発信されてきます。特に着色過程において、そのようすから意欲的でない生徒の状態が手にとるようにはわかります。そこには必ず原因があります。家庭学習にする場合や授業中に実施する場合、できあがりを確認したうえで、問題があれば、授業終了後に個別で、ドライ・ラボをもとにしながら本人に直接原因をたずねることが大切です。生徒のメタ認知(振り返り)にも効果があります。そこで得られた情報を、生徒にフィードバックしてください。ときには教員の指導方法の改善にも生かすことができます。生徒のモニタリング用としてドライ・ラボはとても有効ですし、診断的評価や形成的評価に威力を発揮します。

逆に進んでいる生徒については、「ホンモノそっくりだね」、「その調子」、「もっと調べてみよう」といった言語的支援を行うと、さらに学習に対して意欲的になり、教員の予想を上回るドライ・ラボをつくり上げることがあります。

2) ドライ・ラボ作製後の評価 (1)

ドライ・ラボの作製を通して何を学んだか、何がわかったかといった知識や技能の到達度を測る必要があ

ります。そこで、ドライ・ラボの作製時に用いた資料編(『カエルの模擬解剖』本冊 p.35 ~ p.37)や、「実習 2 My ドライ・ラボを使った模擬解剖」(同 p.33 ~ p.34), 「カエルの模擬解剖 振り返りシート」(同 p.38 ~ p.39)を利用し、器官名や位置を確認したり、スキル上の注意事項を含んだ認知テストを実施したりしてください。これは、ホンモノで実習するときの事前指導にもなります。

3) ドライ・ラボ作製後の評価 (2)

完成したドライ・ラボの何を評価するかは、教員の指導理念や教科経営の方針に準拠します。例えば、「① 生徒の着色の正確性」を評価基準にすえても構いません。「② 提出期限厳守」も基準となるでしょう。また、「③ こだわりをもって取り組めていたか」、「④ 必要な器官名を漏らさずドライ・ラボに記入できたか」、「⑤ シートの接着は正確にできているか」、「⑥ 模擬解剖でのハサミの使い方は正しかったか」、「⑦ 作製したドライ・ラボの仕上がり具合はどうか」なども、評価基準となりえるものです。3 ~ 5 項目程度を設定し、それぞれ3段階(優れている・普通・劣る)、もしくは5段階(たいへん優れている・優れている・普通・劣る・たいへん劣る)で評価を行います。下表のようなマトリックスをつくと作業がしやすくなります。

評価基準	大変劣る	大変優れている													
	1	5													
評価項目															
ドライ・ラボ						レポート									
名前	1)	2)	3)	4)		1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)			
	着色の正確性	器官名の記入	模擬解剖の正確性	全体の仕上がり	合計(ドライ・ラボ)	実習での求める情報を収集したか	得た情報が正確か	得た情報の処理が妥当か	新たに文献類で情報を収集したか	考察のロジックは破たんがないか	レポートの書式にのっているか	創意工夫がなされているか	合計(レポート)		総合計
鈴木	2	3	2	1	8	3	2	1	2	2	2	2	14		22
岸端	4	5	5	4	18	5	4	4	4	5	4	4	30		48
白鷺	5	4	4	4	17	5	5	4	4	4	3	4	29		46

●ドライ・ラボとレポート評価の一例

10 おわりに

ドライ・ラボの作製をフル・バージョンで行うのは、なかなか時間がなく難しいかもしれません。本文でも触れましたが、学びに必要なシートをそこから選択して行ってください。例えば、皮膚(腹面)と筋肉系、消化器系の3つを扱うだけでも、また、例えホンモノでの実習を行わなくても、ドライ・ラボには十分な教育的効果があることが知られています。

子どもたちの生物との直接体験が減少し、「形」を学ぶ機会が減ってしまった今日、「解剖実習」を含む外部形態や内部形態の学びはとても重要です。本ドライ・ラボは、それを補ううえで効果があること、またその際、教員の指導理念が大切であることを最後に復唱しておきます。

■ 引用文献

《指導方法》

- ・鈴木誠：「解剖実習をうまく進めるためには、どのような指導が必要かーPart 1ー」 『理科の教育』，(4)，1999，東洋館出版社
- ・鈴木誠：「解剖実習をうまく進めるためには、どのような指導が必要かーPart 2ー」 『理科の教育』，(8)，1999，東洋館出版社
- ・鈴木誠：「解剖実習をうまく進めるためには、どのような指導が必要かーPart 3ー」 『理科の教育』，(12)，1999，東洋館出版社

■ 参考文献

《スキル》

- ・岡村周諦 著：『動物実験解剖の指針』 1964，風間書房
- ・宇津木和夫・玉野井逸朗・吉田治 共編：『生物の実験法Ⅱ 動植物の解剖』 1982，培風館
※『動物実験解剖の指針』，『生物の実験法Ⅱ 動植物の解剖』では，代表的な動物の比較解剖とそのスキルが解説されており，生物の系統的な理解が可能となります。
- ・渡辺強三・佐々木史江 訳：『比較解剖手技 カエル・ラット・ウサギ編』 1984，西村書店
※ Rowett の『*Dissection Guides*』の第3巻を訳したもので，カエル，ラット，ウサギについて解説されています。
- ・浦野明央・石原勝敏 編著：『ヒキガエルの生物学』 1987，裳華房
※図版・解説ともわかりやすいです。
- ・森於菟・吉岡俊亮 共編：『生物学者・医学者用総合動物学』 1932，金原商店
※トノサマガエルを中心に非常に詳細な内容が記述されています。

《解剖図》

- ・広島大学生物学会 編：『日本動物解剖図説』 1971，森北出版
※脊椎動物9種，無脊椎動物33種の正確な図版が収められており，解剖学や形態学を学ぼうえで，また身近な動物の解剖を通して動物の系統を学ぶときに参考になります。
- ・日本動物学会 編：『動物解剖図』 1990，丸善
※脊椎動物10種，無脊椎動物17種の正確な図版が収められており，『日本動物解剖図説』とは動物種が重複しないように編集されています。解剖学や形態学を学ぼうえで，また身近な動物の解剖を通して動物の系統を学ぶときに参考になります。

《その他》

- ・市川衛 著：『蛙学』 1951，裳華房
※解剖だけでなく，総合的な蛙の学習書としてたいへん優れている古典的名著です。

参考 形態学を学ぶ意義

1999年に、「動物の内部形態に関する中学生の認識状態」という研究がありました。その中で、消化器系の内臓についてその位置関係を正確に捉えている生徒がきわめて少ないという事例が報告されています。前述したように、児童や生徒の生物との直接体験、ホンモノとの出会いが大きく減ってきました。それは生物の「形」との遊びや学びが減ってきたことを意味しています。

右図は、生物の階層構造を示したものです。進化する生物学の学びは、高等学校の教科書の内容を大きく変えました。近年は、細胞内に存在するタンパク質の構造や、それによって引き起こされる生命活動が学びの主役になってきました。なかなか、生物一個体を観察したり1つの種を探究したりする場面は少なくなってきました。

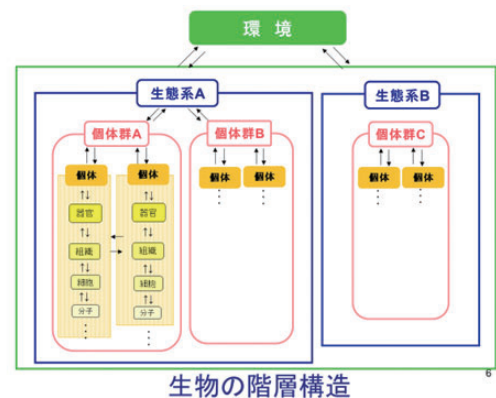
例えば、ウシガエルの前肢外側の第1指は痕跡的であり、外見上は4本の指が認められるだけです。多くの生徒は、「脊椎動物は指が5本」と思っています。5本指のカエルとしては琉球地方に生息するオットンガエルがありますが、その骨の形状は鋭く曲がり、通常の指の骨のイメージとは大きく異なるものです。また、児童や生徒は、「カエルは水辺に生息しており、みな水掻きをもっている」という誤概念をもっています。これらは、外部形態を観察すれば一目瞭然です。

また、蛙も口から水を摂取すると多くの生徒は思っていますが、神社や校庭などで縄張りをもっているアズマヒキガエル(*Bufo japonicus formosus*：おもに鳥取・兵庫以東、北海道道南まで生息)は、産卵期以外は水に入ることはありません。また、アフリカにすむ砂漠ヒキガエルも乾燥に強く、彼らは口で水を摂ることはありません。腹部から後肢大腿部、長内転筋周辺の皮膚の裏側に網目状に広がる毛細血管網があり、表面には無数のアクアポリンが存在することが確認されています。皮膚を切開すれば、こちらもよくわかります。

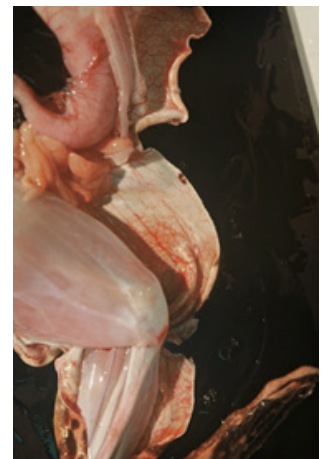
ところで、近年、教科書の記載はだいぶ正確になりました。以前は両生類以上は肺呼吸と学んでいました。両生類の肺はうきぶくろが変化したものといわれており、ヒトの肺と異なりガス交換効率がきわめて悪いものです。実際、内部形態を観察してみると、ヒトのように肺胞に満ちたそれとは異なるかなり効率の悪い器官であることがわかります。では、彼らはどこから酸素の不足分を補っているのか、その代表が先に示した皮膚裏の毛細血管網です。

また、両生類は多様な繁殖戦略をとることで知られており、モリアオガエルやシュレーゲルアオガエルは、ウシガエルに比べて大きな精巢をもつことが知られています。また、ウシガエルの中には、雌の個体にもかかわらず矮化した精巢をもつ個体(間性)や、外見上は雄でありながら内部に卵巣をもっている個体などが出現することがあります。これらのことも、実際に解剖し、器官を剖出しながら内部形態を確認していくとわかります。器官は各組織の集合体であり、それら器官が集まって1つの生物としての個体をつくり上げています。それらの知見は、生態や進化、環境や個体群の学びに発展できるものでもあります。形態学は、それらの入り口にもなる大切な学びでもあります。

なお、形態学の魅力のもう1つは、独創性や創造性、問題解決能力を構成する情報収集や情報処理、また、そこで見られる「正確性」や「こだわり」といった能力や資質を強化できる学問であることも付記します。



●生物の階層構造



●皮膚裏の毛細血管群

《解答・解説編》

A 『カエルの模擬解剖』本冊 p.33 ～ p.34 課題の解説

課題1 ウシガエルとヒトの骨格筋を比べてみましょう。何が同じでどこが異なるのか、それぞれがそれぞれの生活とどのように結びついているのかを考え、仲間と議論してみましょう。

成人男性の筋肉の数は、約 640 (体重の約 2/5 の重さに相当)あるといわれています。ヒトは直立二足歩行で生活しており、体幹や脚、腕や指などの伸展や屈曲、回転などバランスをとりながら細かい動きを可能とする筋肉が、生きるうえで必要だからです。一方、両生類無尾目(以下カエル)は、四足を用いた樹上もしくは地上での生活を主としており、二足歩行での細かい動きは必要としません。その代わりに、例えば跳躍に適したからだをつくるために、巨大な腸骨や長い尾骨、また、大きな縫工筋のように、一部の骨や筋肉が大きく発達し、特異な外部形態をつくり出しています。サンショウウオなど有尾目と比べても、下肢は大きく発達しています。

ヒトの筋肉をカエルの腹面から比べてみると、類似点は多いものの、ヒトの筋肉が浅層、中層、深層と3つの筋層でできているのに対し、カエルはヒトの中層までの筋肉は確認できますが、ヒトのような複雑さはありません。

ヒトとカエルが類似するおもな筋肉の機能について以下に記してみると、

- ① 三角筋：上腕を体幹から離し、前や外側にあげるときに使う。
- ② 大胸筋(カエルは胸筋)：腕を体幹に引き寄せ、上腕を回すときに使う。
- ③ 上腕三頭筋：腕や肘を伸ばしたりするときに使う。
- ④ 外腹斜筋(カエルは腹斜筋)：体幹の曲げや回転するときに使う。
- ⑤ 腹直筋：脊柱を曲げ、ヒトの場合は骨盤を前に出すときに使う。
- ⑥ 縫工筋：股関節での脚の曲げ伸ばしと大腿の回転、膝関節以下の曲げ伸ばしに使う。
- ⑦ 腓腹筋：足を足裏に曲げるときに使う。
- ⑧ 長内転筋(中層の筋肉)：大腿を回転するときに使う。

などがあります。

また、ヒトにありカエルでは確認できないものとしては、

- ① 前鋸筋：脊柱から肩甲骨を遠ざけるときに使う。
- ② 腕橈骨筋：肘を曲げて前腕を屈曲するときに使う。
- ③ 浅指屈筋：手や手首の関節を曲げるときに使う。
- ④ 大腿筋膜張筋：膝をまっすぐにするときに使う。
- ⑤ 薄筋：下腿を屈曲または回転させ、大腿を体軸のほうへ引き寄せるときに使う。
- ⑥ ヒラメ筋：足を足底に曲げ、歩行時に足を踏み出すときに使う。
- ⑦ 長趾屈筋：足の第2～5趾を屈筋させて、足の足底への屈曲を助けるときに使う。
- ⑧ 長母趾伸筋：母趾を伸ばし足を裏側に曲げるときに使う。
- ⑨ 短趾伸筋：足の第2～4趾の伸展を助けるときに使う。

などがあります。特にヒトの場合、各指に向かう筋肉や腱はとても精密にできており、生活するうえで必要となるさまざまな動きを可能とする細かい筋肉(指伸筋など)が存在しています。なお、ヒトもカエルも、骨格筋は両端が細くなりながら腱となり、各骨と結合し関節をつなげている点は同じです。

課題2 肝臓の役割はたくさんあります。どんなものがあるか、仲間と調べてみましょう。

肝臓はヒトの最大の臓器であり、体重の約 1/50 に相当します。そのおもなはたらきは以下の通りです。

- ① **解毒**：消化吸収の過程で、ヒトの体内には多くの有害なものが侵入してきます。肝臓には、上腸間膜静脈や脾静脈が合流した門脈から血液が入ってきます。血液中には細菌が潜んでおり、血流に乗って肝臓内に侵入しますが、肝臓内の血管の壁にはクッパー細胞がありこれらを食菌してしまいます。また、タンパク質が消化するときに発生するアンモニアなどの有害物質も、無害な尿素などに合成して尿中に排泄します。その他、万一有害物質が侵入したときも肝細胞にあるグルクロンに結合させて無害化します。
 - ② **グリコーゲンの貯蔵**：小腸から消化・吸収したグルコースをグリコーゲンに重合し、肝細胞内に貯蔵します。からだが必要なときにグルコースにもどしてエネルギー源として全身に補給します。肝臓の 1/10 はグリコーゲンといわれています。
 - ③ **胆汁の生成**：肝臓は消化液の 1 つである胆汁をつくります。これが十二指腸の開口部に放出されます。胆汁は赤血球が肝臓で分解されたときに生じるビリルビンという色素を含んでいます。便や尿の色は、これが酸化したもの(黄土色なる)によって着色されたものです。
 - ④ **血液の貯蔵**：ヒトのからだには体重の約 1/13 の血液があるといわれており、肝臓にはその 1/10 が貯蔵されていると考えられています。例えば、食後、腸管からの消化吸収が必要になったとき、貯蔵していた肝臓から血液が供給されます。出血の際も同じです。
 - ⑤ **ビタミンやタンパク質の合成**：肝臓はビタミンの合成に深く関与しています。例えば、腸管から吸収されたビタミン A は肝細胞に取りこまれた後、肝細胞で合成される血漿タンパク質の 1 つである RBP (ビタミン A 結合タンパク質)と結合した後放出され、肝星細胞に取りこまれて貯蔵されます。体内にあるビタミン A の約 8 割が肝臓に貯蔵されています。また肝臓は、血液中にあるアルブミン、グロブリン、フィブリノゲンなどの血漿タンパク質も合成しており、1 日あたり 25g 合成するともいわれています。
- なお、カエルの場合は、体重比ではヒトほどではありませんが、肝臓はやはり最大の器官です。

課題3 カエルの尿管と膀胱の関係は、ヒトと何が違うのでしょうか。それはどのような点で有利、もしくは不利なのでしょうか。仲間と考えてみましょう。

ヒトとカエルでは、膀胱に尿管が開いているか否かが異なります。ヒトは膀胱に尿管が開いており、これにより尿を一時的にためることが可能となりました。他の哺乳類と同様、地上生活では有利にはたります。一方、カエルは水辺に生息するものが多く、尿をためる必要はありません。実際にカエルの膀胱は、水をためておく貯蔵庫のような役割をしていると考えられています。進化の過程において、どのように尿管が膀胱に開口していったかは興味深いところです。

課題4 ヒトの脳神経や脊髄神経はそれぞれ何対あり、どの器官や組織につながっているのでしょうか。仲間と調べてみましょう。

ヒトの脳神経は、視神経、動眼神経、滑車神経、外転神経、内耳神経、舌咽神経、舌下神経、迷走神経、副神経、顔面神経、三叉神経、嗅神経が1対(2本)ずつ、計12対(爬虫類以上は12対)あります。ヒトの場合、視神経は網膜の錐体細胞と桿体細胞で感受した情報を脳の視覚中枢に伝えるはたらきがあります。動眼神経、滑車神経、外転神経の3つは、眼球の随意運動をコントロールし、眼球や眼瞼の運動を制御します。また動眼神経は、虹彩による瞳孔の収縮や毛様体筋による視力調整を司っています。内耳神経は、頭部の位置情報や平衡に関する情報を内耳から獲得して脳に伝えるほか、耳で感受した音等の信号を伝えています。舌咽神経や舌下神経は、舌の運動や咀嚼嚥下をコントロールし、味覚、温度感覚、触覚などの情報を脳に伝えています。迷走神経は、文字通り迷走する神経ともいわれるほど長く、神経の分岐が多い神経です。頭頸部、胸部、腹部へと分布し、呼吸や心拍などの生命機能の維持にかかわっています。副神経は、頭頸部や肩の筋肉の動き、また咽頭の筋肉にも作用し嚥下のコントロールもしています。顔面神経は、味覚情報を脳に伝える感覚性のものと、唾液や涙腺、また表情筋のコントロールなど運動性のものからなっています。三叉神経は、眼、顔、歯から情報を脳に伝え、咀嚼に必要な筋肉を制御し、下顎から得た情報を脳に伝えています。嗅神経は、鼻の奥や鼻腔上部でにおいに関する情報を収集し、脳の周縁系中枢に伝えています。このように、ヒトの12対の脳神経がそれぞれ生命活動を維持するうえで重要なはたらきを担っています。

カエルの脳神経は、嗅神経、滑車神経、三叉神経、内耳神経、視神経、外転神経、迷走神経、動眼神経、顔面神経、舌咽神経が1対ずつ計10対あります。このほかにヒトと同じように副神経も1対ありますが、第1脊髄神経とあわさり、脊髄神経と同じように第1・第2椎骨にある椎間孔から出ています。三叉神経と外転神経は途中で合流し、三叉神経節をつくっています。また舌咽神経と迷走神経も同じように迷走神経節をつくっており、この2つを交感神経が結び、後述する脊髄神経をつなぎ、簡単なネットワークをつくっています。神経の感受の程度や作用には差はあれ、ほぼヒトと同じはたらきをしていると考えられています。

ヒトの脊髄神経は、頸神経8本、胸神経12本、腰神経5本、仙骨神経5本、尾骨神経1本が1対ずつ、計31対あります。これらの神経は椎骨と椎骨の間にある椎間孔からそれぞれ出ており、いくつかの枝に分岐しながらからだの後ろ側(後枝)やからだの前(前枝)に分布し、他の脊髄神経と網目状につながりながら神経叢をつくっています。

頸神経は頸神経叢と腕神経叢の2つに分かれ、それぞれネットワークを形成し、頭頸部、胸部、肩部、前腕、上腕、手に分布しています。胸神経は、肋骨や肋間神経、深部背筋を司っています。腰神経は、5本のうち4本で神経叢を形成し、大腿部や下腿部、下腹部壁に分布しており、その一部は仙骨神経と結合しています。仙骨神経は、大腿部や臀部、下肢の筋肉や皮膚、外性器や肛門に分布しています。尾骨神経は、後枝が付近の皮膚に分布し、前枝は肛門尾骨神経となって尾骨下端の皮膚に分布しています。また、からだの後ろ側から出る脊髄神経1対が皮膚のどの領域をおよそコントロールしているかを模式的に明らかにした「皮膚分節図」も明らかになっています。

カエルの脊髄神経は10対ですが、ヒトのような複雑な神経叢は認められていません。第2脊髄神経は前肢の方向に分布しながら上腕神経、橈骨神経、尺骨神経に分岐していきます。第4～第6脊髄神経は、腹壁の皮膚や筋肉に分布し、第7～第9脊髄神経が下肢に分布する途中で合流して腰仙骨神経叢を形成し、第8～第9脊髄神経は座骨神経を形成し、後肢に入り膝関節の直前で腓骨神経と脛骨神経に分岐します。また、尾骨先端近くの小孔から体腔に出た第10脊髄神経の一部がそこに合流し、簡単な神経叢をつくっています。

前述した迷走神経節から出た交感神経が、これら 10 対の脊髄神経を縦につないでいるのもカエルの特徴です。

課題 5 「My ドライ・ラボ」や p.37 の資料 8 を参考に、カエルの骨格は、サンショウウオやイモリなど他の両生類とどこが異なるのか、なぜそうなのか、仲間と考えてみましょう。

無尾目と有尾目の骨格は大きく異なります。サンショウウオやイモリを代表とする有尾目は、その祖先である魚類と同様、多くの椎骨で背骨が構成されています。移動のようすを上から観察すると、魚類と同様に体軸を波打たせながら前進していくのがわかります。一方、無尾目のウシガエルやヒキガエルは、椎骨が 10 あります。例えばウシガエルは、環椎(第 1 椎骨)から仙骨(第 9 椎骨)まで 9 と少なく、またそれらは胴部 1/2 の前部に集中しています。下肢にあたる残り 1/2 のスペースに細長い尾骨(第 10 椎骨)が 1 本配置されるというきわめて特異な形態をしています。また、尾骨に沿う形で巨大な腸骨が 2 つ脇を固めており、地上での跳躍を含めた生活に適合した形になっています。ちなみにヒトの椎骨は 36 です。

また、無尾目は、前肢の尺骨や橈骨、後肢の脛骨や腓骨が癒合しています(ただし、ジュラ紀の無尾目の化石には癒合は見られない)。しかし、有尾目は前肢の尺骨や橈骨、後肢の脛骨や腓骨は分離しています。これは、無尾目が跳躍などの地上の生活に適したからだへと変化していったためと考えられています。一方、有尾目は、尺骨や橈骨、脛骨や腓骨の分離によって手首や足首の回転が可能になりました。それによって、水中での生活により有利にはたらいっていったと考えられます。この前肢の尺骨や橈骨、後肢の脛骨の分離は回転を可能とし、その後の生物の空への適応放散に大きな意味をもたせることになりました。

B 『カエルの模擬解剖』本冊 p.38 課題の解答

① 麻酔に使用する薬品の名称と化学式を書きましょう。

ジエチルエーテル, $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}$ / $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$

② 麻酔をかける手順を説明し、そのときに注意しなければならない点を5つあげましょう。

【麻酔をかける手順】

1. 丸形水槽に、ウシガエルと、ジエチルエーテルを適量しみこませた脱脂綿を入れ、ふたをする。
2. 密閉状態にして、眼球やのどの動き、瞬膜に注意しながら麻酔がかかるまでようすを見る。

【注意点の例】

- ・麻酔は必ず屋外で行う。
- ・ジエチルエーテルの気化と関連する外気温に留意する。
- ・ジエチルエーテルには引火性があるため、火気に十分気をつける。
- ・ジエチルエーテルをこぼしたりして気体を吸いこまないよう注意する。
- ・麻酔が深くかかりすぎて死亡しないよう、30分を目安にウシガエルのようすを観察する。
- ・ウシガエルが逃げ出さないように監視する。

③ カエルに十分に麻酔がかかったと判定する基準を述べましょう。

刺激を与えても反応しなくなる。瞬膜が完全に上がり、眼球全体をおおった状態になっている。

④ 皮膚を切開する前に行うことを3つあげましょう。

【例】

- ・カエルのからだを十分に水洗いし、可能な限りジエチルエーテルの臭いを取り除く。
- ・外部形態を観察(性別判定や形態異常の確認を含む)し、記録する。
- ・麻酔の状態を確認する。
- ・腹部を触診し、何か異常がないか確認する。

⑤ 皮膚を切開するときにはどこから切開しますか。また、ハサミで切開を進めるときに最も気をつけなければならないことを、その理由も含めて述べましょう。

【例】下腹部の恥骨付近の皮膚から切開する。このとき、ハサミの刃の先端部で筋肉などを傷つけることのないように、丸みがついたほうの刃を下にし、ハサミ先端をもち上げながら切開を進める。

⑥ 胸部から吻端の皮膚を切開するときには気をつけることは何ですか。

【例】皮膚の裏に密着している下顎下筋、舌下筋を傷つけないように、十分に皮膚を引っ張りながら、皮膚をはがすように切開していく。

⑦ 腹部の筋肉の切開をはじめるとき、どのように切開しますか。また、そのときに注意することは何ですか。

【例】腹直筋下部をしっかりと指で引っ張りながら、正中線と直角に慎重にハサミを入れて1cmほど切開する。このとき、内部にある膀胱などの臓器を傷つけないように、空いた穴を覗きながら筋肉を手でしっかりともち上げ、ハサミの先をもち上げながら慎重に切開する。

- ⑧ 正中線で腹部の筋肉を切開するときに、注意しなければならない血管をあげましょう。また、その部分の切開を進めるときの注意事項を2つあげましょう。

【注意しなければならない血管】前腹静脈，筋皮静脈

【注意事項の例】

- ・正中線上にある前腹静脈を傷つけないように，1～2mm 脇を切開する。
- ・腹腔内の臓器を傷つけないように，ハサミの先端をしっかりと持ち上げて切開する。
- ・前腕下部の皮膚を開くときに見られる筋皮静脈には十分留意する。前腹静脈と同じように1～2mm 脇を切開する。

- ⑨ 胸部を切開するときの注意事項をあげましょう。

【例】胸腔を開くために，剣状胸軟骨，胸骨，烏口骨などを切断しなければならないので，ハサミの根元を使って慎重に切断する。このとき，内部にある心臓や肺を傷つけないようにハサミの先端に注意しながら行う。

- ⑩ カエルの肝臓は何葉構造ですか。その裏には何がありますか。

3 葉構造，裏にあるのは胆嚢

- ⑪ カエルの膀胱を切らずに残すために，気をつけなければならないことを述べましょう。

【例】最初に筋肉を切開するときに腹腔内の膀胱の位置をしっかりと確認し，これをハサミで傷つけないように腹部の筋肉を十分にもち上げて切開する。(⑦参照)

- ⑫ 「動物実験者の自戒」に含まれる意味をどのように解釈していますか。仲間と話し合ってみましょう。

【ポイント】自分自身の考えをもって話し合うことができればよい。

- ⑬ ヒトの肺とカエルの肺の違いについて，それぞれが生活するうえでの利点を，仲間と話し合ってみましょう。

【ポイント】横隔膜を発達させた哺乳類であるヒトと横隔膜が発達していない両生類のカエル，陰圧呼吸と陽圧呼吸などについて比較し，陸上生活をするヒトと水域で生活するカエルがそれぞれの適応の過程での肺について考え，話し合うことができればよい。

- ⑭ 心房と心室の色の違いを簡単に述べてください。また，その理由を話し合ってみましょう。

【ポイント】観察した色の違いを述べ，その違いから，心室壁は血液を送り出す駆動力が必要なために心房壁に比べて厚くなっていることについて話し合うことができればよい。

- ⑮ 胃と小腸，大腸の色の違いについて，理由を含めて仲間と話し合ってみましょう。

【ポイント】筋層が発達しているために白く見える胃や大腸と，比較的壁が薄く，多くの毛細血管に覆われて黄色～褐色に見える小腸との違いについて話し合うことができればよい。

⑩ 肝門脈がなぜ肝臓に入っていく必要があるのか、仲間と話し合ってみましょう。

【ポイント】肝門脈内を流れる血液の特徴と肝臓の役割を関連づけて考え、話し合うことができればよい。

⑪ 後肢の裏に集中している毛細血管について、なぜそこに集中しているのか、その理由を仲間と話し合ってみましょう。

【ポイント】毛細血管網を、カエルの呼吸および飲水と関連づけて考えられればよい。また、カエルのアクアポリンがどこに集中しているか(下肢)、カエルツボカビ症などの文献類で調べさせると、より理解が深まるであろう。

⑫ カエルの心臓の構造(2心房1心室)を、哺乳類や魚類の心臓の構造と比べたときの優劣について仲間と話し合ってみましょう。

【ポイント】えら呼吸のみを用いる魚類、えら・皮膚・肺呼吸を用いる両生類、肺呼吸のみを用いる哺乳類それぞれの、呼吸の様式による血液循環、動脈血、静脈血の違いなどから、それぞれの心臓の構造について考え、話し合うことができればよい。

⑬ ウシガエルにヒトやイヌなどのような外耳がないことは、生活するうえでどのような利点があると考えられるか、仲間と話し合ってみましょう。

【ポイント】ウシガエルは空気中と水中で音を聞く必要があることなどから、外耳をもたない構造であることの利点を考え、話し合うことができればよい。また、カエルの鼓膜の位置の有利・不利について話し合うことができればよい。

⑭ 実験動物に苦痛を与えない解剖とは、具体的にどのようにすればよいのでしょうか。自分の考えをまとめた後で、仲間と話し合ってみましょう。

【ポイント】麻酔薬の使用や安楽殺後の解剖など、苦痛を与えずに解剖を行う具体的な手段についての自分自身の考えをまとめ、話し合うことができればよい。