防医大進学紀要　第 47 号　29－41　2024

二枚貝（軟体動物）の多様性
―教材開発のための研究―

Teaching material development : Diversity of Bivalves (Mollusca)

野口立彦
（生物学科目）

（2023 年 12 月 27 日受理）

Ⅰ．はじめに

ヒトと環境とのかかわりについて学ぶ生物学の講義において、生物多様性は中心的なトピックスであり、生物多様性を生み出す適応と種分化について学生の理解を促進するような良質の体験型教材の開発が求められる。高校生物や大学の初学者向けの教科書にも、生物種の集団内で、変化し続ける環境に適応的な遺伝形質が自然選択によって選ばれ、世代を経て種が変化し種分化することで生物多様性が増大していくプロセスが説明されている。また、生物がこのような連続的な変化の中にいることは、例えば魚の前鰭から変化して鳥の翼や哺乳類の前肢が生じたこと、また、馬の前肢、クジラの前鰭や私たちの上肢には明らかな骨格的共通性が確認されることで明快に説明されている [1)]。このような生物の連続性や適応の証拠を学生が自分で考えて発見できるような教材を提供するにはどうすればよいか。1 つの明確な答えは比較解剖学の実習である。

解剖は生き物の命をいただいたうえで、その身体の構造や機能を学び取る作業であるため、学生の取り組みは真剣である。また自らの作業で次々と展開していくライブ感から、教育効果は常に高い。小学校から高校までの生物材料の解剖実習の経験を学生に聞くと 8 ～ 9 割の学生が何らかの解剖を経験している。中には豚の眼やマウスの解剖など、哺乳類の解剖を経験している者もいる。一方で、異なる種で比較解剖をした経験のある学生は非常に少ない。

軟体動物に属する複数の二枚貝の種どうしの比較解剖を通して、共有する形質と各種がそれぞれの生息環境に適応して獲得した固有の形質について、学生たちが自ら議論しながら発見し記録するプロセスを体験するような実習をデザインした。以下に述べる二枚貝の比較解剖実習の教材開発と、3 回（令和 3 年度～ 5 年度）の実習を通して改善点をまとめたので報告する。

Ⅱ．本研究の目的

1．二枚貝類の教材としての研究。入手と管理方法の確立、学生にとって容易で的確な解剖方法の確立、軟体動物の二枚貝の持つ形態と機能を深く理解し、学生に伝えるための材料研究や組織切片標本などの資料づくり。

2．学生が生物多様性をより良く理解できるようにするための教育の方策や実習展開の工夫と分析。

Ⅲ．実習のねらい

1．生物学の初学者（防衛医科大学校では、医学科及び看護学科の第一学年）を対象とし、ヒト以外の生物種（軟体動物の二枚貝類）の身体の構造とその機能を学習し、生物が生存するための摂食、防御、代謝、移動などの基本的身体機能の中にヒトとの共通点や相違点を見出し、生物の多様な在り方について、またその巧妙さについての気づきを促すこと。
2．生態の異なる複数種の比較解剖を行い、多様な生物種は共通の祖先種から種分化によって生ずるため、共有している形質と、各生物種が異なる生息環境に適応するため変化した固有の形質の両方を持ち合わせることについて、理解を促すこと。

Ⅳ．実習の流れ

1．生物の進化と適応、その結果起こる種分化と生物多様性の創出の関係性を、概念図を用いて説明。
2．軟体動物の一般的な身体の構造と系統関係を説明。
3．ハマグリ（二枚貝）を例に挙げて、二枚貝類の身体の構造の説明。
4．学生に 3 種の二枚貝を手に取って観察させる。海底の砂地に深く潜るもの、砂地に潜ったり出たりを繰り返すもの、砂地の上で生活するものがあることを伝え、それぞれの外部形態から生息環境について考えさせる。学生にこの時点での考えを一度述べさせる。
5．各種の貝の漁の様子や生態に関する YouTube 動画やウェブサイトから、3 種の生態を確認させて答え合わせを行う。検索のキーワードや見るべき動画の QR コードを与えて、学生にスマートフォンで視聴させる。
6．生態を理解した上で、1 種ずつ解剖を実施。学生は教員の誘導のもと、軟体動物に共有の形質、二枚貝に共有の形質、そして、それぞれの生息環境に適応している固有の形質を確認しながら解剖の作業を進める。学生には同時にあらかじめ用意しておいた解剖手順の説明動画をプロジェクターで提示する。
7．解剖が終わった時点では、貝殻を開いた 3 種の二枚貝が並んだ状態になる。観察しながら、以下のポイントを学生にまとめさせる。①種名、②3 種に共通する形質、③他種とは異なり、各種の独自の生態に適応的と思われる形質。
8．学生に自分たちで気がついたことを発表してもらい、全員で情報を共有する。
9．最後に、教員より補足の説明や組織学観察をした場合に見えてくる形質の説明をし、共通する形質と適応により変化した形質、そして進化の連続性という概念の再確認を行う。

Ⅴ．教材の特徴（教材としての二枚貝の可能性）

1．材料とした3種の二枚貝

● ウバガイ
（通称：ホッキ貝、図 1a）、
学名 *Pseudocardium sachalinense*
分類：軟体動物門二枚貝綱異歯亜綱バカガイ上科バカガイ科ウバガイ属ウバガイ
海産で、潮間帯下～水深 50 m の砂泥地に浅く潜って生息（内棲性）。植物プランクトンやデトリタス（生物の死骸などの有機物）を餌としている。入手できるのは主に北海道産で、底曳網漁が主流である。軟体部はすべて食べられるが、主に足を食する。

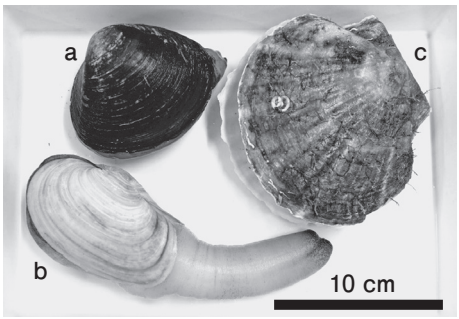

図1　3種の二枚貝

a．ウバガイ、b．ナミガイ、c．ホタテガイおよそ同じ大きさの個体を購入している。

● ナミガイ（通称：白ミル貝、図 1b）、学名 *Panopea japonica* A.Adams, 1850
分類：軟体動物門二枚貝綱真異歯類キヌマトイガイ上科キヌマトイガイ科ナミガイ属ナミガイ（旧分類では、二枚貝綱異歯亜綱オオノガイ目キヌマトイガイ科ナミガイ属とされてきたが、ここでは 18S と 28S の rRNA の塩基配列を用いた分子系統解析と形態学的分類の見直しによる新分類を示した[2)]）。海産で潮間帯下部～水深 30 m の砂泥地に深い穴を掘って生息し（内棲性）、底生を開始後は穴から出ることはないと考えられる。潜水士がジェット水流のホースを操作し砂泥を飛ばして穴から掘りだす掘削漁獲が行われる。軟体部は全身食べられるが、生食するのは収斂進化によりミルクイと類似する大きな水管である。

● ホタテガイ（図 1c）学名：*Mizuhopecten yessoensis*（Jay, 1857）
分類：軟体動物門二枚貝綱翼形亜綱イタヤガイ目イタヤガイ上科イタヤガイ科ホタテガイ亜科 Mizuhopecten 属　主に北海道産。海産で水深 10 ～ 30 メートルの砂地上に生息（外棲性）。珪藻などの植物プランクトンを餌としている。養殖方法が確立され多く流通している。主に閉殻筋（貝柱）と外套膜（紐）を食用とする。内臓嚢（ウロ）はカドミウムやヒ素を多く含む場合があるために食用に適さないとされる。

2．材料として上記3種の二枚貝を選定した理由

● メス、ハサミ、及びピンセットの操作に習熟していない初学者の学生が解剖するのに適した大きさであること。（図 1）

● 鮮魚店において生きた状態で年間を通じて手軽に購入できること。頭足類のイカは解剖教材としては代表的であるが、一般の鮮魚店では生きた状態で入手できない。3 種は購入後も人工海水等で低温に温度管理をすれば数日間は比較的容易に生きた状態で維持できることが判明した。

- それぞれが異なる生息環境に適応した特徴的な形質を持つこと。目視でも明らかな適応的な形質と、より探究的な努力によって見つけ出せるものが混在している状態が望ましい。

3．実習の導入として学生に与えるべき情報

実習前半の導入として、学生にスライドで説明する内容を概説する。導入部での適切な情報提供が後半部の解剖での理解度を大きく左右するため、学生に興味を持ってもらうよう過不足なく情報を提供していく。最初に軟体動物の紹介と、軟体動物門の生物の系統関係と共通する身体の構造を、模式図を示しながら概説する。次に二枚貝に共通する構造を学生に馴染みが深いハマグリを代表例として模式図とともに説明する。

(1)　軟体動物に共通する身体の構造[3)]

軟体動物は左右相称の体腔動物である。代表的なもので、多板類（ヒザラガイの仲間）、腹足類（巻き貝の仲間）、二枚貝類（アサリや蛤などの仲間）、頭足類（イカ、タコの仲間）などに分かれており、その形態や生態も実に多様である。柔軟な身体は、明らかな体節を持たず、4 つの区分に大別する事ができる。①頭部には眼や触角などの感覚器と口があり、口には歯舌と呼ばれるおろし金のような構造がある。②筋肉質の足は移動に使われるが、腹足類のように扁平な蹠面（sole）を持つものや、頭足類のように腕をもつものまであり、形態と機能の変化が著しい。③内臓塊は背部に位置して、消化管、循環器、生殖器、腎臓などを収める。消化管の胃には消化腺が存在し、さらに餌を粘液と分別するスリコギとして働く晶桿体と呼ばれる独特の円柱状の構造をもつ。④皮膚が特殊化した外套膜で体が背面から覆われ、その外面に石灰質を分泌することで貝殻が形成される。後方には外套膜と、足と内臓界に囲まれた外套腔と呼ばれる空所があり、左右 1 対の鰓と、腎門、肛門や生殖路が開口する。一つ付け加えると、神経系は、頭部の周食道神経環を基本として、その背側は脳神経節として発達し、腹側は口球神経節へと発達する（消化管が脳を貫いていると表現されることもある）。更に鰓や消化管を支配する腸神経節や内臓神経節へとつながっている。また、前方の腹側部に足の筋肉を支配する足神経節と、そこから後方に伸びる神経の幹に体側神経節がある。動物界全体を見渡した時に外套膜と歯舌は軟体動物特有のものとされる。

(2)　二枚貝に共通する身体の構造[4)]

二枚貝類は、外套膜が作る 2 枚の貝殻に軟体部全体が隠れ、頭部を全く欠くため眼や触角などの頭部器官や摂食に関わる口球や歯舌もなく、唇弁に囲まれた口のみが存在する。

主な身体のパーツの構造と機能

- 外套膜：二枚貝類では外套膜が作る左右の貝殻で体全体が守られ、外套腔にすっぽりと軟体部が入っている。外套膜は最も後方で左右が癒合して水管を形成し、腹側の入水管と背側の出水管となっている。
- 足：足は内臓嚢の腹側延長上に位置して、海底の砂泥をかき分けて潜るのに適した斧型（あるいは“ヒレ”のような形）をしている。

- 閉殻筋（貝柱）：二枚貝に特有の閉殻筋は、外套筋から分化したもので、硬い貝殻を閉じて捕食者からの攻撃に耐える、あるいは干潮時に乾燥から身を守る上でなくてはならない筋肉である。貝殻を急速に閉じる横紋筋部と、殻を閉じた状態に維持する平滑筋部に分かれる。貝殻の蝶番の部分には弾力性に富む靭帯があり、これが閉殻筋に拮抗して 2 枚の貝を開く方向にはたらく。
- 鰓：外套腔には左右に一対ずつ鰓軸から鰓葉が広がる。鰓表面に無数に並んだ繊毛のはたらきで、入水口から鰓を通過して出水口に至る水流が生じる。粘液―繊毛濾過摂食を行う二枚貝類では、鰓はガス交換の器官であると同時に、プランクトンなどの餌を粘液に吸着して捕捉し、繊毛の働きで粘液ごと口に運ぶ役割も担っている。
- 消化器官：鰓の繊毛で運ばれ、唇弁で選別された食物は、口に入り、食道から胃に入る。胃の内壁に並んだ繊毛が晶桿体と呼ばれるゼリー状の棒を回転させ、食物粒をすり潰しながら腸へ引き入れる陰圧を生み出すと考えられている[5)]。同時に晶桿体の先端が回転によりすりつぶされることで各種消化酵素が放出されるとも考えられている。腸は非常に長く内蔵嚢内を蛇行した後、出水管付近に肛門が開口している。
- 生殖器官：大部分の二枚貝類は雌雄異体であり、成長に伴い性転換を行う種が多い。

Ⅵ．解剖と観察の実際

1．ウバガイの解剖

貝の外部の形態観察：貝殻の前後方向は対称に近いが、後方がややなだらかな勾配になっている（図 2A）。左右の貝殻はほぼ対称となって大きく膨らんでおり、黒褐色の色素で染まっている（図 2B）。（因みに小さい個体は色が薄く安値で取引される。）

貝殻を開く：ウバガイは閉殻筋の力で貝殻を強力に閉じるので、まず貝殻の背側の隙間から細いピンセットを挿しれてメスを入れる隙間を確保する。その上で貝殻の背側の前後の隙間からメスを入れて前閉殻筋と後閉殻筋（強く抵抗を感じる部分）を切断すると貝殻を開くことができる。更に左殻の外套膜をメスで貝殻から切り剥がし、蝶番の靭帯を内側から切断すると貝殻を大きく開くことができる。左外套膜をハサミで切除すると外套腔内の軟体部を観察することができる（図 2C）。

内部の形態観察：前閉殻筋と後閉殻筋の双筋型である（図 2C-a,f）。頭部はなく細長い唇弁が鰓の前方に垂れ下がる（図 2C-b）。左右に 2 葉ずつ特有の縞模様の弁型鰓がある（図 2C-c）。膨らんだ内臓嚢につながって斧型に大きく発達した足が見える（図 1C-d,e）。水管は短く、貝殻の中に格納することができる（図 2C-g）。内臓嚢を取り出し、背側の後半部を正中線に沿ってメスを入れる（図 2D 点線部）と容易に晶桿体を取り出すことができる（図 2E）。晶桿体は前方の形態がやや曖昧であるが、後方に行くほど細くなっている。

貝殻の形態観察：軟体部を全て切除する。殻の背側を鋏線とよび、やや厚くなった部位を鋏板と呼ぶ。左右の殻をかみ合わせる鋏歯があり、これが左右で異なるものが「異歯型」である。二枚の貝殻は弾力のある靱帯で結び付けられている。閉殻筋

が収縮すると貝殻は閉じ、弛緩すると靱帯の力で開く。外靱帯と内靱帯があり、内靱帯は靱帯受に付着する。閉殻筋を切除した際に靭帯が貝殻を開く力はあまり大きくなく、小さな隙間から足を伸ばすのに必要な程度である。これは外的から身を守るためにも、砂地に潜るためにも、貝殻を大きく開くことがないからであると考え

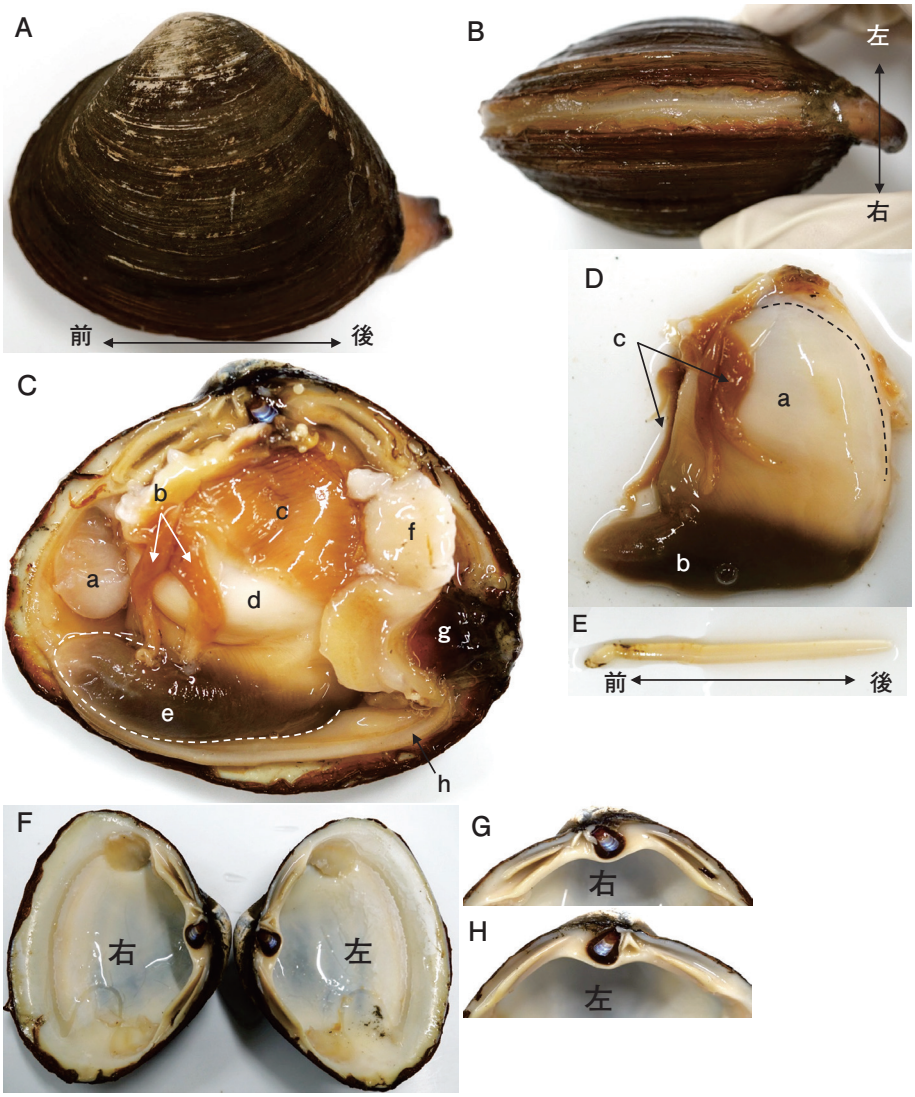

図２　ウバガイの解剖

A．左側の貝殻、B．腹側からの外部形態。閉殻筋が収縮すると２枚の貝殻は完全に閉じることができる。
C．左殻を除き、外套膜を取り去った内部軟体部
　　a．前閉殻筋、b．唇弁、c．鰓、d．内臓嚢、e．足、f．後閉殻筋、g．水管、h．外套膜
D．摘出した内臓嚢（a）と足（b）。左右に一対の唇弁（c）がある。点線部を切開し晶桿体を取り出す。
E．内臓塊から取り出した晶桿体
F．開いた状態の貝殻
G，H．２枚の貝殻の鋏板と、左右の殻をかみ合わせる鋏歯

られる。

適応的な形質：強固でかつ完全に閉じることができる貝殻、強力な閉殻筋、貝の中に完全に格納される水管、足の大きさは、ウバガイが穴から海底の砂の上に出たり、また砂に潜ったりする生活に適応した形質だと考えられる。貝の色が黒いのもより深い場所で目立たなくするためであろう。

2．ナミガイの解剖

貝の外部の形態観察：水管は著しく発達して大きく長い（図 3A）。筋肉性で入水管と出水管の 2 つの管が並走している。写真は海水から出されて時間が経っているため水管が最も縮んだ状態を示しているが、ナミガイを海水に入れると水管は 40 cm 以上に伸びる。外套膜は貝殻から常に露出するほど肥厚し、かつ露出面は堅牢である。左右の外套膜が大部分の領域で癒合して体の腹壁を作り外界と外套腔を仕切っている（図 3B）。また外套膜の前方腹側には足を出すための小さな開裂がある。

貝殻を開く：解剖にあたっては、貝が強く閉じないので、貝殻の背側に沿って、蝶番を挟んだ前後の方向にメスを走らせると比較的容易に閉殻筋を切断することができる。ただし、湾曲した貝殻に上手にメスを沿わせないと内臓嚢などが迫っているので傷つけてしまう恐れがあり、注意が必要である。

内部の形態観察：貝殻に付着している部分の外套膜は薄く、切り剥がすと外套腔内部の軟体部を概観することができる（図 3C）。前後に小さな閉殻筋を持つ双筋型であり（図 3C-a,g）、分厚い外套膜をもつ（図 3C-c）。足はウバガイに比較すると非常に小さく（図 3C-d 点線部）、上述の外套膜に開いた穴より外部に延び出ることができるものと推察される。左右に 2 葉の比較的厚い弁型鰓を持つ（図 3C-e）。鰓はウバガイほど明確な縞模様を持たない。鰓の前方背側の末端付近に唇弁がある（図 3C-b）。内臓嚢を切り出して背側を正中線に沿って切り開くと晶桿体を取り出すことができる（図 3E）。

貝殻の形態観察：貝殻は他の 2 種に比べると薄く、はるかにもろい。貝の名称の由来である波模様がある。形状から貝殻は完全に閉じることはできず、外敵の攻撃を防御する役割をもたないことが明らかである（図 3F-H）。蝶番の靭帯は他の 2 種に比較すると小さく、2 枚の貝を留めている程度である。貝殻を合わせると後方には水管が通るべき大きな空間ができる（図 3G,H）。

適応的な形質：著しく発達した水管、貝殻の薄さや閉じない形状、足の小ささなどは、ナミガイが海底の穴から出ることや、砂泥を掘って進むには適しておらず、専ら穴の中での生息に適応した形質だと考えられる。

3．ホタテガイの解剖

貝の外部の形態観察：翼型亜綱のイタヤガイ科に属するホタテガイは膨らみの弱い平らな左殻と膨らみが強い右殻をもっていて、砂地に右殻を下にして生息している。左殻は赤褐色をしており、海藻などが付着する（図 4A,F）。一方、右殻は白く貝の肌が見える。年輪の様に見える成長の障害輪を数えると年齢を知ることができる（図 4B では 4 本の年輪がある）。

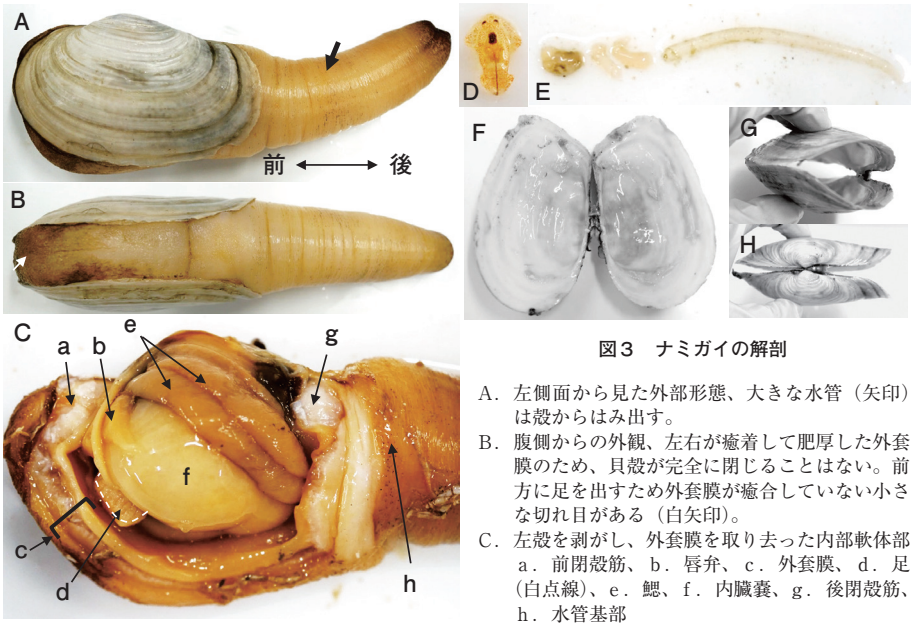

図３　ナミガイの解剖

A．左側面から見た外部形態、大きな水管（矢印）は殻からはみ出す。
B．腹側からの外観、左右が癒着して肥厚した外套膜のため、貝殻が完全に閉じることはない。前方に足を出すため外套膜が癒合していない小さな切れ目がある（白矢印）。
C．左殻を剥がし、外套膜を取り去った内部軟体部　a．前閉殻筋、b．唇弁、c．外套膜、d．足（白点線）、e．鰓、f．内臓嚢、g．後閉殻筋、h．水管基部
D．貝の体内から出てきた甲殻類
E．内臓嚢から取り出した晶桿体
F．軟体部分を取り除き、開いた貝殻
G．後方から見た閉じた貝殻。不完全にしか閉じない。
H．背側から見た閉じた貝殻

貝殻を開く：閉殻筋の力が強いので、貝が閉じてしまうとメスは入らない。しかし、ホタテガイの性質として、ゆっくり貝殻を開いて急に閉じるということを周期的に繰り返しているので、開いたタイミングで急いでピンセットや薬さじを蝶番の両方から差し込んでしまうのが良い。そのうえでできた隙間から視認しながら貝中央の大きな閉殻筋を切断すると貝を開くことができる。

内部の形態観察：左殻に付着している部分の外套膜を切り剥がすと外套腔内部の軟体部を概観することができる（図 4C）。前閉殻筋を完全に失い、後閉殻筋が大きく発達した単筋型である。円形の閉殻筋のうち大部分は円形の横紋筋部（図 4C-f）であるが一部三日月型の平滑筋部を持つ（点線部）。外套膜は貝殻に広がっているが、刺激を与えた部分は収縮する。また、外套膜の外縁部には感覚器官が発達し、多数の眼が黒色の斑点部分に存在し、無数の触手も生えている（図 4C-c, 図 6）。外套膜の辺縁部は襟が立つようになっており、ヒトデなどの捕食者から逃走する際、貝が急激に閉じることでおこる水流（ジェット噴射）を逃がす方向を調節する。砂地に潜らないホタテガイの足は小さく管状（図 4C-b）で、生殖巣の背側端付近から生えている。閉殻筋の周囲に大きな三日月型の生殖巣がある（図 4 は精巣、雌雄異体であり、先に精巣ができ、成長すると性転換して卵巣ができる雄性先熟である）。その外側に左右一対ずつの大きな鰓がある。他の 2 種では鰓は内臓嚢にかかるように位置しているが、ホタテガイではより広く外套腔内部に展開している。内臓嚢は暗色で比較的小さく、前方には凸凹した（カリフラワー状と表現されることもある）

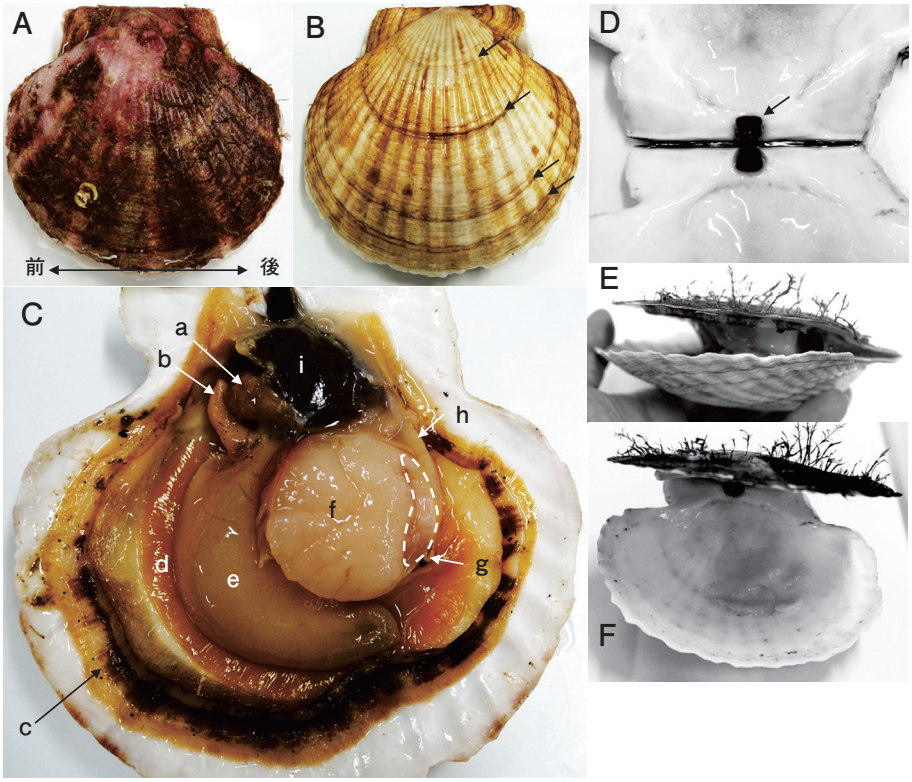

図４　ホタテガイの解剖

A．左側（上面）の貝殻。色素が沈着し、海藻が表面に生えている。
B．右側（下面）の貝殻。冬場に成長が遅れてできる線により年齢がわかる（矢印）
C．左殻を剥がし、外套膜を取り去った内部軟体部の様子
　ａ．外唇弁、ｂ．足、ｃ．外套膜、ｄ．鰓、ｅ．精巣、ｆ．閉殻筋（点線部は平滑筋）、ｇ．肛門、ｈ．直腸、ｉ．内臓嚢
D．２枚の貝殻を繋ぐ蝶番と鉸板部は直線状になっている。内靱帯が大きく発達している（矢印）。
E．２枚の外殻は非対称で上面が平らであるのに対し、下面が緩やかに膨らむ。閉殻筋が弛緩すると貝殻は自然と開く。
F．発達した内靱帯の弾力のため、閉殻筋を取り除くと貝殻は 30 度程度の角度で開いた状態になる。

口唇が一対ある（図 4C-a）。

貝殻の形態観察：蝶番の部分に内側靱帯の硬く弾力性のある構造があり（図 4D）、貝を閉じる力に対して反発する。閉殻筋を取り除いてしまうと 30 度程度の角度で貝殻が開くようになっている（図 4F）。閉殻筋に拮抗して常に貝を押し開ける方向に働いている。

生息環境や生態に適応的な形質：砂地に潜ることはしないため、貝は常に外部に晒されている状態である。上面はカモフラージュのために褐色になっている。移動や潜入に足は使わないので小さく退化しており、稚貝の際に固着するために使用される。外套膜の辺縁部に感覚器官を配置して、視覚、嗅覚と触覚で捕食者の存在を素早く察知できるようになっている。逃避のための遊泳に適応的な形質が多くみられる。一つの大きな閉殻筋はより俊敏に強く貝を閉じることを可能にし、蝶番の鉸板

や鉸歯が退化し直線的なことや、内側靱帯が閉殻筋に対しては拮抗する方向に強く反発することで、貝殻を速やかに繰り返し開閉することが可能になっている。外套膜の辺縁に襟が立つようになっており一過的に２枚の貝殻の間に海水を貯め、かつ襟を寝かせる領域を調節することで貝を一気に閉じたときに水流を逃す方向を調整し、捕食者から離れることを可能にしている。

４．鰓の形態の組織学的比較

- 異歯型亜綱のウバガイの鰓は弁型鰓であり、内部に海水を通す管（water tube）と並走する血管がある（図 5A）[6]。その周囲には輪状の筋層が走り、収縮して鰓を動かしたり、water tube 内に水流を作る機能があると考えられる。鰓の表面のひだ状の突起を常鰓糸といい、一つ一つの突起には繊毛（側繊毛）が並んでいる（図 5B）[5]。粘液－繊毛濾過摂食を行うので、繊毛部が粘液で覆われており、粘液に絡め取られて餌の粒子は整列した繊毛の働きにより、食溝に集められてから口の近くまで輸送される。

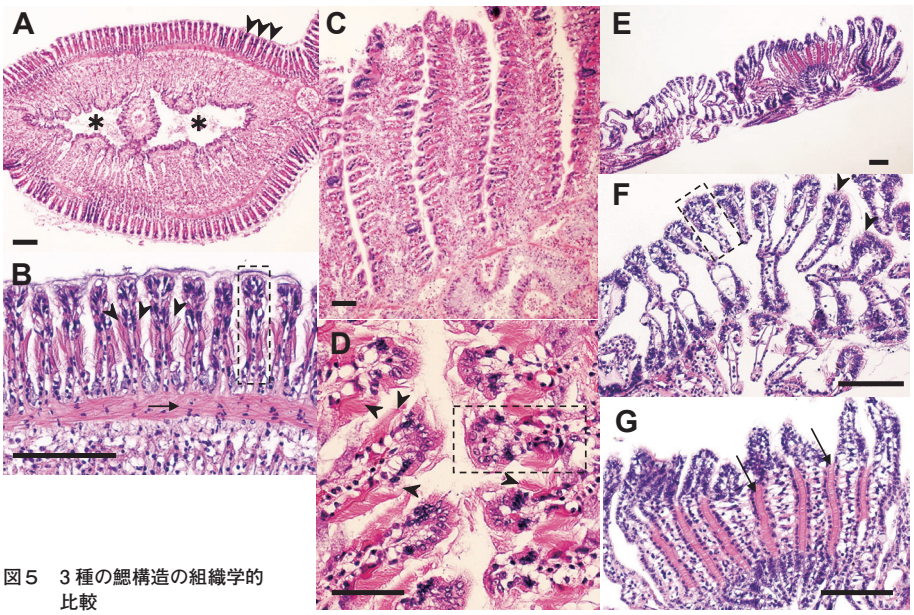

図５　３種の鰓構造の組織学的比較

A．ウバガイの弁鰓の横断面図。この管状構造が平行に並んで縞模様を作っている。中央は海水の通る water tube（＊）。表面に多数の繊毛を配したひだ状の突起が並んでいる（➤）。
B．ウバガイの鰓表面の常鰓糸（点線四角）。突起側面に側繊毛（➤）が観察され、突起基底部には筋層（→）が観察される。
C．ナミガイの弁鰓の横断面。厚い鰓の半面のみを示している。並んだ大きなひだ状の突起から、繊毛を側面に配した多数の小さな突起（常鰓糸）が並んでいる。
D．常鰓糸（点線四角）の突起の拡大図。側面に長い繊毛（➤）が密集して生えている。
E．ホタテガイの糸鰓の横断面。細い中空の糸鰓が緩やかに集合している。
F．糸鰓（点線四角）の表面には繊毛（➤）が生えている。
G．糸鰓の一部には繊毛が密集している部分（→）があり、糸鰓同士を構造的に結び付けている。
スケールバー：100μm

● ナミガイの鰓は典型的な弁型鰓とは異なっており、基部より多数のひだ状の突起が伸び、それぞれの突起表面にはさらに常鰓糸が整列している（図 5C）。常鰓糸の両側には餌粒子を運ぶための密集した側繊毛が観察される（図 5D）。ひだ状突起の基部部分にはウバガイと同様に water tube が見られる。この鰓のひだ状突起をもつ形状から、鰓の単位面積あたりが発生する水流は、ウバガイに比べ明らかにナミガイの方が大きいと予想される。これは一つの常鰓糸のもつ側繊毛の量の違いからも支持される。このような鰓機能の差がある理由としては、非常に長い水管の持つ抵抗により、水の出し入れが緩慢になるのを防ぐことが考えられる。あるいは餌となるプランクトンやデトリタスなどのサイズに差がある可能性もある。

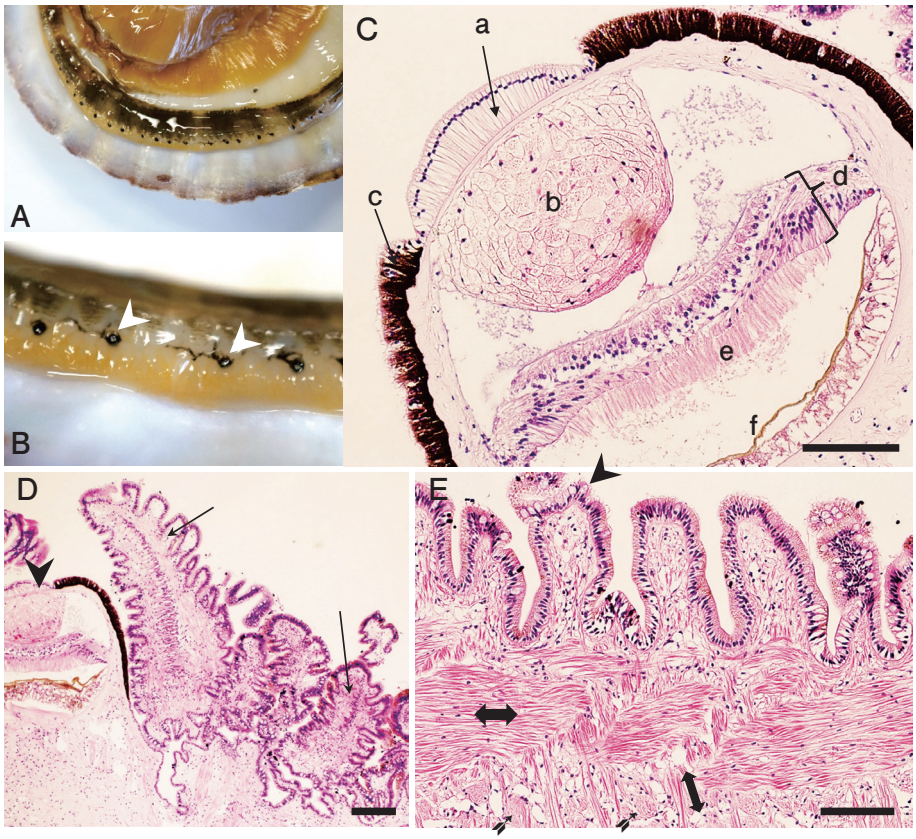

図６　ホタテガイの外套膜の感覚器官

A．ホタテガイの外套膜
B．外套膜の拡大像、黒い斑点に透明な眼（レンズ➤）が確認される。
C．眼の組織切片の顕微鏡像（HE 染色）
　a．角膜、b．レンズ（水晶体）、c．色素細胞層、d．網膜、e．桿状体、f．色素層
D．感覚触手（→）、眼（➤）
E．外套膜の組織、粘液を分泌する上皮細胞（➤）、筋繊維の方向性（横向き⬌、縦向き⬍、紙面に対して垂直➶）
スケールバー：100μm

- 翼形類のホタテガイの鰓は糸鰓型である（図 5E）[7]。糸鰓型の鰓葉は糸状の鰓糸からなり（図 5F）、鰓糸は網目状で隙間がある、隣接する鰓系は所々密集した繊毛によって支えられている（図 5G）。

5．ホタテガイの外套膜の組織学的検討

ホタテガイの外套膜辺縁部に並ぶ黒い斑点を実体顕微鏡で拡大すると、透明なレンズ（水晶体）が観察される（図 6A,B）。組織切片を HE 染色して生物顕微鏡で観察すると、暗色の色素細胞で囲まれた眼の構造が観察された（図 6C）。透明で光を集める角膜、水晶体、網膜がみられ、網膜の後ろ側に受光器の桿体も並んでおり、さらに後方には反射光を消すための色素層も配置されている。レンズの厚みを変化させて焦点位置を変える仕組みはなさそうであるが、大まかな明暗とその方向を感知するには十分な構造であると考えられる。眼の周囲には嗅覚や触覚でヒトデの襲撃を感知する触手も多く生えている（図 6D）。外套膜の外層付近の組織では表面に粘液性の分泌顆粒を抱えた無数の上皮細胞の突起があり、また、内部には筋肉繊維が 3 次元方向に配列しており、複雑な動きにも対応する構造となっていることが示唆される（図 6E）。

Ⅶ．考察と今後の展開

1．各解剖については、手順がわかるような動画を準備している。動画の効果で、学生の解剖の失敗は劇的に減少した。教員一人で最大 25 名の解剖を指導するには必須の教材となっている。基本的な解剖方法については、上記の通りで講義中に問題なく学生が自分たちで進められるようになってきている。砂地や軟底に潜る生活をするか、砂地の上で生活をするかの違いについては、水管の長さや足の大きさ、閉殻筋の機能、貝殻の形態などで比較的容易に理解できる部分である。

2．軟体動物の解剖生理はあまりにヒトのものと異なる部分がある。学生の理解を助ける導入でのスライドや動画の更なる改善が必要であると考えている。学生の反応からも、特に鰓を使った餌の輸送、摂食から消化、そして排泄に至るルートについての解剖生理学は、以下のような教材の開発を考える。①鰓の機能による微小な粒子の流れを可視化するような簡単な実験や動画などの開発。②内臓嚢は柔らかく、また消化管は長く複雑なため解剖が困難である。固定標本の解剖やその動画などの教材の開発。③晶桿体の機能はなかなか理解し難い部分である。晶桿体を回転させる消化管内部の繊毛の配列を、電子顕微鏡を用いて観察するなど、解剖実習から発展させ、さらに探求するような別実習を開発することが必要であろう。

3．これまでに使用してきた 3 種類の二枚貝には固着性のものはない。固着性のものには牡蠣のように岩礁に貝殻ごと付着するものと、平貝やムール貝のように足糸を使って固着するものがある。これらも鮮魚店で容易に入手が可能であるため、今後教材として検討する予定である。

Ⅷ．謝辞

本稿の組織標本は防衛医科大学校の共同利用研究施設の組織標本作製室の佐藤技官に作製をお願いした。普段あまり作製しない生物種の組織標本であったが、作製方法など柔軟に対応いただいたことに対し、この場を借りて感謝申し上げる。

Ⅸ．参考文献

1）高校生物　東京書籍　監修　浅島誠ほか
2）A molecular phylogeny of heterodont bivalves（Mollusca: Bivalvia: Heterodonta）: new analyses of 18S and 28S rRNA genes. J. D. Taylor, S. T. Williams, E. A. Glover, & P. Dayl. Zoologica Scripta. 36, 2007 pp587-606.
3）動物系統分類学 5 巻　軟体動物（I）総説　監修　内田淳、山田真弓　中山書店　pp1-35.
4）動物系統分類学 5 巻　軟体動物（I）第 7 綱　二枚貝類　監修　内田淳、山田真弓　中山書店　pp241-325.
5）図説　無脊椎動物学　9 章　摂食　R.S.K. Barnes, P. Calow, P.J.W. Olive, D.W. Golding, J.I. Spicer 著 本川達雄 監訳　朝倉書店　p 235-269.
6）アサリの鰓構造　山元憲一、荒木晶、半田岳志　Journal of National Fisheries University 65, 2017 pp69-111.
7）ホタテガイの鰓構造　山元憲一、半田岳志　Journal of National Fisheries University 63, 2015 pp189-208.