

アカハライモリの教材化について
(「胚の発生」を扱った授業展開例)

How to Utilize Urodela as Educational Materials for the Study of
Developments at the Embryo Stage

秋 山 繁 治

AKIYAMA Shigeharu

アカハライモリの教材化について (「胚の発生」を扱った授業展開例)

秋山繁治

はじめに

有尾類を教材として教材として利用するために基盤知識として、種の特徴、生態、飼育方法などを中心に報告¹⁾したが、今回は、2004年度の生物研究会（岡山県高等学校教育研究会理科部会）の研究授業を担当する機会を得たので、その実践を具体的な授業例として報告する。単元は「動物の発生」で、両生類の胚の観察、その胚を用いての歴史的な実験（シュペーマンの結紮実験）を扱った。準備及び授業後の反省をふまえて、有尾類を教材化するにあたって参考となる事項をまとめた。

1 実験材料としてのアカハライモリ

今回の授業では、アカハライモリ *Cynopus pyrrhogaster*を実験材料に用いて、両生類の発生過程の観察及び結紮実験を行なった。両生類の発生過程の観察で、多くの高校生用の実験書に扱われているのは、無尾類（カエル目）である。今年度の岡山県高教研理科部会作成の実験書でも、アフリカツメガエルが用いられているが、今回は有尾類（サンショウウオ目）のアカハライモリを用いた。

アカハライモリは、北海道・沖縄を除く広い範囲に分布し、比較的容易に入手できる代表的な有尾類の種である。「イモリ」という名は、「井守」と書くが、「井」が「井戸」や「水田」を表すことから、「井戸を守る」「水田を守る」を意味するといわれるよう、池や水田側溝、小川のゆるやかな流れ、山地の湿地などに生息している。アカハライモリの北限地である下北半島がイモリ科全体の北限になっている。体長

は雌が10~13cm、雄が8~10cmで雌に比べて雄がやや小ぶりである。

有尾類は、学校の実験では使われていないが、生物学史上重要な発見につながる実験材料として紹介されている。教科書（「高等学校 生物I」第一学習社）では、シュペーマンがイモリを用いて2細胞期の胚を卵割面に沿って細い髪の毛でくくり、発生の様子を調べた結紮実験（今回の授業で実施）、同じくシュペーマンのスジイモリ（褐色の胚）とクシイモリ（白色の胚）を用いての交換移植実験やイモリ胚を用いての移植片（原口背唇部）の胞胚腔への移植実験、ニューコープによるメキシコサンショウウオを用いての胞胚による中胚葉誘導の実験などを扱っている。また、最近の生物科学の研究では、脊椎動物の中で再生力が大きい（カエルは四肢が再生しないが、イモリは再生するなど）ことが注目され、脱分化や再生に関わる遺伝子を解明する実験動物として、再認識されつつある。

2 実験の準備について

今回の実験で使用したアカハライモリは、県北で実験の1ヶ月前に採取し、餌は冷凍アカムシを与えて保持した。産卵はゴナトロピン注射によって産卵を誘発する方法を用いた。カエル類では、産卵後人工的に受精させるか、産卵時に雄による抱接が必要だが、アカハライモリでは貯精囊中に精子を保持し、産卵時に体内で受精させる仕組みになっているので、産卵時を発生のスタート（受精時）と考えて観察することができる。したがって、生徒に初期胚を観察させるには、第1卵割までに要する時間をさかの

ぼった時刻に産卵するようにゴナトロピン注射をすればよい。

授業日の4日前（10月13日）に注射し、受精卵を得た（室温約20℃で保持）。注射後、イモリを入れた水槽に細いビニール紐を入れておけば、その紐に卵を包む形で1つずつ産み付けるので、ピンセット（尖GGタイプ）でゼリーをしごくようにして採取すれば卵を痛めることはない。また、卵を1個ずつ産むことから、1匹の雌が産む卵であっても、受精に時間的ななぞれが生じるので、異なった発生段階の胚を観察することができる。孵化までに要する日数は、飼育水温が上がるにつれて短くなる。15℃で約35日、20℃で約20日である。

また、孵化までに約1ヶ月を要するので、生きた初期胚の観察でも、発生を動的なものとしてイメージできないので、別に発生の全体像を把握させるために映像教材も作成した。産卵直後からの卵をタイムラプスピデオで撮影（480倍設定）し、さらにパソコンソフト（Adobe Premier）で、孵化までを約15分で完結するように処理して作成した。

3 研究授業について

授業は、次の①～④の順に進めた。

① アカハライモリの種としての特徴及び生態についての紹介

雌雄の区別、春の繁殖期と冬の越冬期の野外での様子と繁殖行動を紹介した。積雪下の溜りで「イモリだま」と呼ばれるくらい多数のイモリが群れているシーンや、一連の配偶行動（配偶行動の後、雄が産み落とした精包を雌が受精囊に取り込み、卵は総排出腔から産卵する直前に精子を受け取り受精する）の面白さ、そして、貯精の仕組みや受精のさせ方などに興味を示した生徒が多くかった。

② 初期胚の観察及びスケッチ

アカハライモリの卵は直径が約2mmあるので、カエルの卵に比べて観察しやすい。今回は、観察に生きた胚を用いた。発生過程の中で2細胞期や4細胞期は時間的に短いので、ちょうど授業時間内に観察できるようにするには、周到な計画を要するが、固定胚の観察に比べて比較にならないほど生徒の感動は大きいと実感した。透明なゼリーを通して、はっきりと発生段階が確認できる。今回の授業では、スケッチに十分な時間が取れなかったのが残念であった。

③ 発生過程の全体像の把握(映像教材を利用)

教科書や副教材の図や実体顕微鏡による観察だけでは、時間の経過に伴う胚の変化は把握できないので、今回作成した“早まわし”的映像（Fig.1～24）を利用した。作成したAviファイルをパソコンソフト（Media Player）で再生すると、タイムスケール上に時間進行の位置が表示されるので、初期発生（桑実胚まで）がいかに早く進んでいるかを提示できる。また、考察で、映像に表示された時刻を使って、それぞれの発生段階（2細胞期、4細胞期、神経胚）にどれくらいの時間を要したかを計算させ、数値化することによって、発生の理解をより深めることができると考えた。

映像を見て、「図説と同じだ」と改めて声を上げる生徒もいたので、動きのある映像によって、発生過程のイメージを実感するのに役立ったことが想像できる。また、考察の計算については、動きのある映像から発生段階を判断する際にずれがあり、そのことが反映して数値的なばらつきはあったが、ほとんどの生徒は計算を完了し、初期の段階に要する時間が短いことは理解していた。

④ 胚の結紮実験

シュペーマンは胚の結紮に毛髪を用いたが、今回は綿糸で代用した。綿糸は3本の糸をよっているので、それを解いて、そのうちの1本を

タイムラプスビデオで作成した映像教材

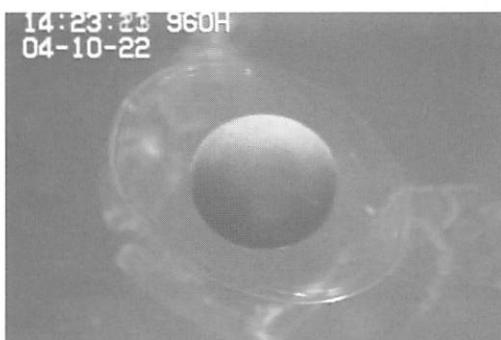


Fig.1

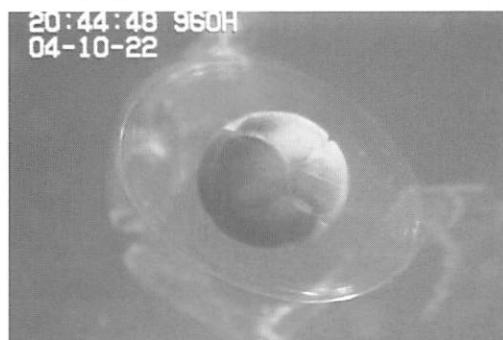


Fig.5



Fig.2

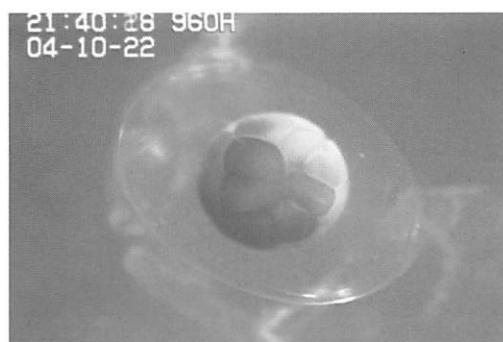


Fig.6

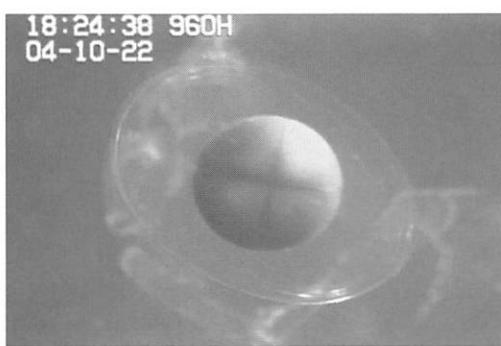


Fig.3



Fig.7



Fig.4



Fig.8



Fig.9



Fig.13



Fig.10



Fig.14



Fig.11



Fig.15



Fig.12



Fig.16



Fig.17



Fig.21



Fig.18

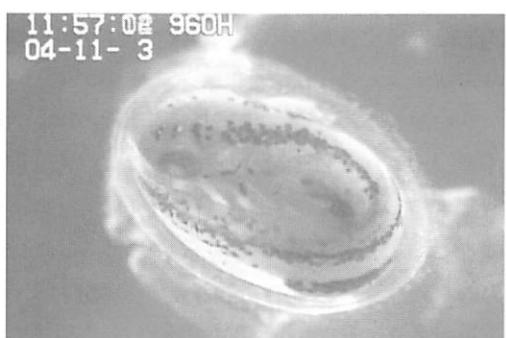


Fig.22



Fig.19



Fig.23



Fig.20



Fig.24

取り出して使う。最初に、糸で卵より少し大きめのループをつくり、その中央に卵をはめ込むように入れ、それから糸をピンセットで引っ張るようにして縛ればよい。授業では15分しかなかったので、成功した生徒は1割程度であったが、放課後にもう一度試みた生徒も数人いたことから、生徒にとって好奇心をそそる実験であったと考えられる。

4 最後に

生徒の自己評価をみると、意欲的に取り組めた生徒がほとんどで、前向きに取り組んだことがうかがえる。また、実験技術については、実体顕微鏡の操作は十分身についていたが、卵の結紮については、「うまく縛れた」という生徒は少なかった。しかしながら、感想には、「歴史的な実験を体験できて、楽しかった」という意見が多く、多少、技術的には難しい実験でも、導入の仕方により、生徒にとって興味のある授業へと展開していくことは可能だと実感した。

発生教材として、一般的にアフリカツメガエルがよく用いられるが、受精率が高いことと胚が大きく観察しやすいことでは、アカハライモリの方が優れている。しかしながら、野生生物の保護の視点から考えるとその扱いに注意しなければならない点がある。それは、野生の両生類の個体数が急速に減少している状況にあるということである。両生類の「両生」とは、陸上でも水中でも生きることができるという意味ではなく、陸上と水中の両方がないと生きていけない、つまり陸上生活に移行したものの完全に適応できず、陸上と水中の両方の環境を必要とする仲間であることを意味する。「両生類」は、もともと水辺という不安定な場所に生息しているため、環境変化や捕獲によるダメージを受けやすい生物なのである。そのため、実験終了後の成体をもとの場所にもどす配慮や、残った胚

を育てて放すというような配慮も必要である。

卵という1個の細胞が、2つに割れ、4つに割れ、さらに割れていって、体全体を作っていくという「発生」は、生命の不思議を感じさせる現象である。発生のしくみを研究する「発生学」は、19世紀の終わりから20世紀の始めにかけて、「実験発生学」として出発し、結紮、移植、局所染色、再生などの実験などによって進められた。その「実験発生学」で大きな成果をあげたシュペーマンは、1935年に「胎児成長における器官授与効果の研究」で、ノーベル医学・生理学賞を受賞した。その後、「実験発生学」は多くの分野に分かれ、新しい時代に突入していった。しかしながら、「発生学」そのものは発生現象があまりにも複雑すぎ、当時の研究レベルではそれ以上解明することができない状況で、衰退していかざるをえなかった。再び、注目されるのは、1980年代の生化学、分子生物学の発展があつてからである。

現在、「発生学」では、発生に関わる多くの遺伝子が見つかり、分子レベルで発生現象を研究することができるようになり、過去の研究と現在の研究が融合した新しい分野として発展してきている。そして、「発生学」を含めた生物科学の技術が医療や農業などの幅広い分野に応用され、我々の生活にも影響を与えている。このような状況を考えると、私たちが現代社会で生きるために必要なサイエンス・リテラシーを持つためには、生命科学の一翼を担う「発生学」を理解することは重要だと考えられる。両生類を使った発生実験は、動物の維持・管理や実験準備に多くの労力と時間を要するので、学校の授業でおこなわれていることは少ないと考えられるが、実習する価値を再認識するべきである。

理科（生物ⅠB）学習指導案

清心女子高等学校 普通科 3年F組

平成16年11月17日（水）第3校時（10：35～11：20）

使用教室：生物教室（特別教室棟1階） 指導者：秋山繁治

使用教科書：高等学校改訂生物ⅠB（第一学習社）副教材：総合図説生物（第一学習社）

単元	動物の発生	
目標	1. 卵割から組織・器官へと分化する過程を理解させる。 2. いろいろな動物の初期発生を取り上げ、共通点とそれぞれの動物の特徴について考察させる。 3. 実体顕微鏡を使って観察や作業をする技能を身につけさせる。 4. 発生に関する研究の歴史を知り、その一部を実体験することによって興味をもたせる。	
指導計画	第一次 卵割と胚の発生 3時間 第1時 卵割、ウニの発生 第2時 カエルの発生 第3時 両生類（アカハライモリ）の胚の観察・実験【本時】 第二次 胚葉の分化と器官形成 2時間 第三次 発生のしくみ 3時間	
指導上の立場	単元観（教材観） 動物の発生は、「生殖」の結果として、次代の成体になっていく過程であり、その生物を本当の意味で理解するには、その種の特徴を理解する必要がある。 発生を観察する教材として多くの教科書がカエルを扱っているが、ここでは発生学史上の有名な実験の多くがイモリの仲間を使ってなされていることと、環境教育の視点（有尾類の保護が問題になっている）を考慮して、アカハライモリを利用することにした。胚の観察だけでなく、シュペーマンの実験の一部を体験することによって、歴史的な実験への親しみを喚起することを目指した。 アカハライモリでは、成体を殺傷して精巣を摘出することなく、ホルモンによる産卵誘発だけで受精卵が得られ、また、管理の仕方によれば年間を通して利用できるので、発生の実験材料として優れていると考えられる。 生徒・学級の実態（学級観） 理系クラスで、薬学系、農学系への進学希望者も多く、本校の中では生物学への興味関心が高い集団である。高校3年のこの時期に、歴史的な実験を体験することで、将来の進路を考える材料になると考えた。しかしながら、実習・実験の経験が少なく、実体顕微鏡による観察は今回で二回目であり、技術が習熟しているとはいえない。 指導・支援上の基本方針や留意点（指導観） イモリの胚を観察に利用するという視点だけでなく、その生物の種としての特徴や生態を意識させるために映像を使って、野外での生態を理解させるように工夫した。	

本 時 案 (第1次の第3時)			
本時の目標	1. イモリの胚の観察によって、発生過程とその特徴を理解する。[知識・理解] 2. 生きた胚を抵抗なく適切に扱えるようになる。[技術・表現] 3. 直接、生きた胚に触れ、観察することを通して「生命」を実感し、発生のしくみに興味をもたせる。[関心・意欲・態度]		
	学習内容	指導過程	留意事項・評価基準
導入	1.これまでどのような動物の胚の発生を学んできたかを再認識する。 2.本時の実験の目的を知る。	1.ウニ、カエルの発生を学んできたことを確認する。 2.イモリの胚の観察と卵の結紮実験を行うことを知らせる。	
発展	1.イモリの特徴を知る。 2.実習プリントにより、実験操作の手順を理解する。 3.実体顕微鏡の使って生きた胚を観察して、スケッチする。 4.タイムラプスピデオで記録した映像を見て、孵化までの胚の変化を実感する。 5.イモリ卵の結紮作業に取り組む。 6.使用した器具を片付ける。	1.イモリの形態、受精様式の特徴について説明する。 2.実体顕微鏡の使い方を説明する。 3.ビデオで発生過程を提示する際に、発生段階の時間経過を記録するように指示する。 4.卵の結紮実験では、綿糸の使い方だけ指示する。うまく二つに縛れた胚をモニターに投影して紹介する。 5.机間指導により、どのように工夫して卵を結紮しているかを確認する。	<p>評価 [技能・表現] 机間指導で、実験の技能を評価する。卵の結紮ができたらBを与える。</p> <p>評価 [知識・理解] 観察、工夫したことが、正確に記録されているかどうかを評価する。観察した胚2例を記入できていればBを与える。</p> <p>評価 [関心・意欲・態度] 自己評価欄の記載で、平均値で2を越えていればBを与える。</p>
まとめ	実験プリントを用いてまとめる。		
参考資料	脊椎動物の発生・上 岡田節人編(培風館) 遺伝 1989年9月号 Vol.43.No.9(裳華房)		

実習 アカハライモリの胚の観察と卵の結紮実験

目標

脊椎動物のアカハライモリを使って、胚発生過程の観察と卵の結紮実験を体験する。

準備

[材料] 成熟した雌雄のアカハライモリ

アカハライモリの胚（卵）

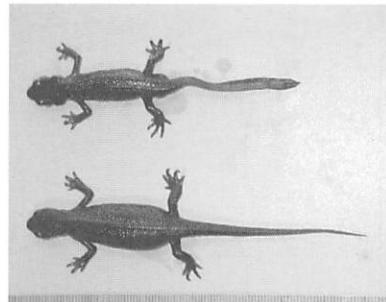
[器具] 実体顕微鏡・照明装置

バット、ピンセット、シャーレ、ピペット

絹糸

[薬品] ゴナトロピン

(胎盤性性腺刺激ホルモン)



事前準備

アカハライモリの雌にゴナトロピンを 100 単位注射し、水槽に荷造り用のテープ（80cm）を入れた水槽で維持しておくと、3,4 日後、卵を一個ずつテープに産み付ける。その卵を採取して、観察及び結紮実験に使用する。

イモリは、雌の体内（貯精囊）に保持された精子を使って卵を受精させるので、受精時に雄は必要ない。

方法

1. 生きた胚をスパイドで吸い取り、シャーレに取り出し、実体顕微鏡で観察し、異なる発生段階の胚を二つ選び、スケッチする。カエルの段階図表を参考にして、どの時期の胚か確認する。

※ スケッチの仕方：線で書き、陰影や立体感をつける場合は点や線をつかう。ぼかしたり、塗ったりしない。特徴となる部分をはっきり書くようにする。

2. 発生の様子の映像を見て、初期発生の時間経過を 記録する。神経胚期は、神経溝がはつきりわかる時期を記録する。

3. 絹糸を解し、細い糸に分け、生きた胚をカプセルの上から縛る。実体顕微鏡でピンセットを用いて、卵を正確に二分するように縛る（目の良い人は指先でも結ぶことは可能）。

（発展的学習）

縛る方向と程度により、どのような形態の胚ができるかを 2 日後と一週間後に観察し、その理由を考える。



結果

1. 生きた胚をスケッチしよう。卵を採取したケース（　　）卵の個数（　　）個
 スケッチ1（　　期）　　スケッチ2（　　期）

--	--

2. 発生段階の時間経過を書き込もう（時間は24 hで記入）。

受精	2004年 10月 22日 13時 00分
4細胞期	2004年 10月 日 時 分
神経胚期	2004年 10月 日 時 分
孵化	2004年 11月 日 時 分

考察

1. スケッチは植物極側と動物極側からみたものか。発生初期の色素の役割はなにか。
 2. 受精から4細胞期までに要する時間と孵化までに要する時間の比、神経胚までに要する時間と孵化までに要する時間の比（%）をそれぞれ求めよ。
 3. 卵をうまく縛るのに、どのような工夫をしたか。

自己評価

1. 意欲的に実験に取り組めたか。

4	3	2	1
完全にできた	まあまあできた	あまりできなかった	全くできなかった
2. 実体顕微鏡がうまく使えたか。

4	3	2	1
完全にできた	まあまあできた	あまりできなかった	全くできなかった
3. 卵がうまく縛れたか。

4	3	2	1
完全にできた	まあまあできた	あまりできなかった	全くできなかった

反省・感想

月　日	3年　組　番　氏名
-----	-----------

参考文献

- 1) 秋山繁治：有尾類の教材化について。岡山県高等学校教育研究会理科部会会誌、47, p20-28 (1997)
- 2) 秋山繁治：アカハライモリの教材化について。山陽放送学術文化財団リポート、42, p82-86 (1998)
- 3) 秋山繁治：岡山県にすむ有尾類・幼生を中心。自然保護センターだより、4 (12), p2-3, 岡山県自然保護センター (1995)
- 4) 秋山繁治：岡山県に生息する有尾類の仲間・その1・アカハライモリ。自然保護センタだより、11 (5), p2-6, 岡山県自然保護センター (2002)
- 5) 秋山繁治：岡山県に生息する有尾類の仲間・その2・カスミサンショウウオ。自然保護センタだより、13 (1), p3-6, 岡山県自然保護センター (2004)
- 6) 秋山繁治：有尾類の保護を考える。自然保護センタだより、14 (3), p2-6, 岡山県自然保護センター (2005)
- 7) 山崎尚：人工授精法。遺伝、43 (9), p37-38, 裳華房 (1989)
- 8) 浅島誠：ツメガエル研究の現状と今後の展望。遺伝、50 (10), p12-13, 裳華房 (1996)
- 9) 梅村 二・秋山繁治：ため池の脊椎動物(魚類と両生類)。水環境学会誌、26 (5), p18-21 (2003)
- 10) 梶島孝雄・江口 吾朗：イモリの発生段階図表。脊椎動物の発生、p 333-355, 培風館 (1989)
- 11) Early Development of *Xenopus laevis*, A Laboratory Manual, Cold spring Harbor Laboratory Press (2000)