愛知教育大学教育創造開発機構紀要　vol. 4　pp. 37 ～ 46, March, 2014

理科の教材としてのメダカの適切な活用
―五年生の理科「メダカのたんじょう」―

岩松 鷹司

愛知教育大学名誉教授

The Proper Use of the Medaka as a Teaching Material for Natural Science
―Science「Birth of Medaka」for the Fifth-Year Student―

Takashi IWAMATSU

Professor Emeritus of Aichi University of Education, Kariya 448-8542, Japan

要　　約

生き物のからだを理解するためには,「動物の誕生」の学習を通して“からだのでき方”を観察するのがより効果的な方法である。透明なメダカの受精卵を用いれば，日を追ってからだができ上がる過程を観察できる。現在，小学校五年生の理科での「メダカのたんじょう」の授業において，まずメダカの性徴を確認して，おすとめすを同棲飼育させ，産卵した卵を採取する。そして受精卵の中で様々な組織や器官ができ上がり，胚が自立生活できるからだになってから孵化する様子を児童に解剖顕微鏡で不適切な観察をさせている。その授業を首尾よく展開するためには，メダカ卵の観察専用スライドガラスを用いて透過光による総合倍率100倍の顕微鏡下で観察させる。まず，発生段階の異なるメダカ受精卵の変化を予め顕微鏡カメラを通してモニターテレビ画像で解説した後，児童たちに通常の光学顕微鏡で観察させる。その観察の仕方と卵を準備するためのメダカの性徴の観察，飼育及び採卵する方法について報告する。

Keywords：メダカ，性徴，卵発生

序論

地球は太陽の光エネルギーによって誕生し，その地球上の古代の海で生き物が誕生したと考えられている。そうした生き物も太陽の光エネルギーを活用しながら生き続けている。光エネルギーを化学的結合エネルギーとして分子間に蓄積できる植物が出現して以来，急増した光合成物質を餌にして原始的な細菌類や動物などが生存できるようになった。したがって，動植物には光がエネルギーの源泉として重要であって，それらはその他無機物や細菌を含む土，物質の化学反応に不可欠な水や大気，そして反応を促進する熱（温度）などが周期的に変化する環境の中で生息している。動物の一員である私たちは，そのことを踏まえ，エネルギーの循環をなす多様な生物と共存することの大切さを理解するためにも自然環境の事物を観察して学び，科学的思考力と理解力，さらには洞察力を養うよう努めることが肝要である。ここでいう「理解」とは，自然現象や事物に含まれている筋道をつかむこと（文部省，1952）であり,「観察」とは可視的な事物を詳細に見ることによってその背景にある不可視的な本質を察知することである。

また，生き物の特徴は，自らからだを同じに保持する活動，そして生殖よって寿命を超えて同じからだを遺伝・存続するところにある。そうした活動が生命である。当然, 変温動物である魚類の生殖は, ヒトを含む他の脊椎動物の生殖と同様に，主たる外的環境の光，温度，水，栄養(餌)，そして生物間の相互作用などによって著しく影響を受ける。言い換えれば，これらの体外の開放的自然環境の要素が“からだ”という閉鎖的体内環境に刻々と様々な変化をもたらしているのである。したがって，生き物たちは途方も無い長い時間をかけて様々な自然環境に多様な適応をなしてきた生存様式や生殖活動の仕方を先祖から連綿と受け継いでいるのであり，自然環境とは切り離しがたい存在であ

る。そのことを誰もが十分学ばなければならない。すなわち，生き物を知るためには，生体内物質の動態と生殖はもとより，自然環境の動態との関係すべてを理解することが重要である。

自然を科学的に把握・活用できる能力を修得させる理科教育において，可視的な事物の背景にある事象（本質）を巨視的，微視的レベルで観察する機会を与え，自然の法則･真理の概念conceptを理解する能力を養うことを主軸として指導すべきであろう。その目標達成のために，「子供の成長に即応して自然に関する概念を理解させる方法及び教材」が理科の重要な課題であろう。わが国において，文部省は1942年の「自然の観察」で，オタマジャクシやメダカ（目高）の採集と飼育を通して動物の生態と生育に関心をもたせ，それらの理解を目的に「第一課　めだかすくい」を設けている（板倉，1987）。しかし，第二次大戦後1947年に出された文部省の新たな小学校指導要領理科編（試案）をみても，まだ「動物の誕生」に関連する内容は扱われていない（岩間・松原，2010）。1958年に入って1977年までの学習指導要領の改訂版には動物の卵から育ち方が扱われるようになった。そして，1988年以降には「メダカおよびヒトの発生」に関した内容が取り上げられるようになったのである。「動物の誕生」というタイトルで扱われるようになったのは2008年からである。

胎生であるヒトの発生は体内で進行するので直接見られない。また，入手しやすいコイ，キンギョやカエルなどの卵は体外で発生するが，不透明であるから反射光による顕微鏡観察が不可欠で，しかも卵の中を直接見ることができない。かつて，発生の観察にニワトリの卵が扱われたが，教材として問題が多い。これらと違って，体外発生するメダカ卵は入手しやすく，透明であるため，透過光によって顕微鏡観察することが可能であり，からだのできる過程を直接見られる利点がある。「メダカのからだのでき方」を観察させることによって，「ヒトの誕生」を推察させることができる。また，何といってもメダカは教材として多くの特長があり，メダカを通して生き物に接し親しみをもつ機会にもなる。

わが国において，江戸時代から庶民が愛着を持っていたメダカは初・中・高等学校で，自然環境や生命を理解させるのに優れた理科教育の教材であることが述べられて久しい。また，メダカは生物科学の研究材料としても明治時代からの100年以上の歴史があり，活用のための紹介も数多い（内田，1978；江上，1985；岩松，1974，1975，1976，1977，2006）。それらに述べられているように，ヒトを含む脊椎動物の原型である魚類は理科教材として活用するのに適切であることもよく認識すべきであろう。教材は，指導者の「ものの理解と見方･捉え方（教育理念）」の教授レベルによって活かされるか否かが決まる。したがって，指導者はまず教材とする生き物のからだと生活だけでなく，その生い立ちの歴史，他の生き物との関係（食物網，食物連鎖）と自然における進化的変遷に関心をもってより深く学ぶことが求められる。そして，指導者自身が，メダカを飼育して生き物のすばらしさに感動し，授業で児童たちにその同様な体験をさせることによって児童の生き物に対する探求意欲を湧かせるようにするのが何より大切である。

小学校五年生の理科「めだかのたんじょう」の授業展開

前述のように，生命とは「自分でからだを同じに保つ活動」であるが，動物には寿命があって，身代わりの同じからだの子どもを産んで生命をつなぐ。これが“子供の誕生”である。

「メダカの誕生」の授業において，生きた卵をよく観察させて，意識的に「どこ Where（空間）で」，「なに What（物）が」，「いつ When（時間）」（3W）を必ず記録する習慣づけさせるのが理科の重要な学習である。科学の特長である“再現性”ために事物を数量的に表現させるとともに，同時に3Wを記録する習慣を身につけさせることが大切である。

単元の目標：

文部省告示の小学校学習指導要領（文部省，1989，1998；国立印刷局，2006）の第5年生の目標には，「生物の発生や成長をそれらにかかわる条件に目を向けながら調べ，見出した問題を意欲的に追究する活動を通じて，生命を尊重する態度を育てるとともに，生命の連続性についての見方や考え方を養う」とある。

実際メダカを飼育し，採卵して卵内での胚のからだが一日一日とできてくるのを観察し，ヒトの発生は資料を活用して調べ，生命のすばらしさに感動するとともに生命を尊重する心を育み，生命の連続性に関する認識を深めるようにする。

(1) 観察用メダカ

ここでは，名古屋大学で山本時男博士によってヒメダカから作出されたd-*rR*系統（朝日大学の小林啓邦博士による飼育・保存）を用いた。この系統のヒメダカは遺伝的におすが赤（緋）色，めすが白色であって，体色でおすとめすを識別できて観察しやすい利点がある。発生している卵内に流れる血液がより赤く，特に肝臓や脾臓の明確に観察できる胚を選んで育種する。脊椎動物の“からだのでき方や育ち方”の教材に適したヒメダカ卵は，野生メダカ卵（Iwamatsu，2011）に比べて，諸器官の観察を妨げる黒色素胞がないので，生きたまま体内を観察しやすい。また，野生メダカが減少している現状に鑑み，乱獲による人為的絶滅を防

ぐ必要があり，この系統や市販のヒメダカの方が入手にも便利である。したがって，そうした点で，野生メダカを発生・成長の学習のための教材として用いるのは適切ではない。

(2) 飼育の準備

（第1時間目）

メダカは少しずつ水が絶えず入れ代っている池や川の水の中で棲んでいる。様々な小さい生き物がいる浅瀬には，水草や土があり，直射日光が降り注いで暖かい。こうした自然環境で生息している様子を観察し，飼育水槽を水辺に近い光と水温，水質にしておく。

メダカの飼育：

「小学校理科5年」“メダカの育ち方”に関して，教科書以外でも数多く解説書がある（柿内ら，1971；赤松，1978，1982；奥井，1982；内田ら，1984；立川，1987；武村，1991；堀，1997）。残念ながら，これらいずれの解説書をみても生き物の生存生息する自然環境に重きが置かれていないために，他の視点（分野）との関連について触れられておらず，かつメダカの教材としての特長を十分に把握・理解できていないまま記述されている。とくに，自然環境において光合成やホルモン分泌を行う生き物にとって光が重要なことについては，ほとんど言及していない。植物はもとより，種々の生き物の生殖にも光，温度および栄養（餌）などの外的要因が重要で，特に光のエネルギーによって温度が上昇し，餌としての食物網の微小な生物や種々の生き物の生殖活動も活発になる。

以上，メダカの飼育に際し，光の存在下で卵や精子が発達して繁殖していることを重視する。

(3) 飼育の管理

近年筆者は「メダカの飼育マニュアル」を記述している（岩松，2014）。以下それに準じて述べる。

給餌：

成魚の餌としてミジンコ，イトミミズのような生餌でもよいが，病原菌を多く持つものには注意がいる。安全を期すためには，種々の成分を乳鉢ですりつぶして混ぜわせた粉餌を用いる。給餌は飼育槽の水面に一様に広がる程度の量を1日数回行う。

孵化したばかり（全長4.5mm前後）の稚魚は，からだがまだ完成しておらず，全長約15mmまでに変態を完了してからだが成魚に近い若魚に成長する。孵化したばかりの稚魚の飼育については，多くの書物に「孵化したばかりの稚魚は餌を食べない」（津幡，2004）とか，「孵化したばかりの稚魚は腹部に卵黄をもっているので，餌を与えなくてもよい」（武村，1991）と記述している。稚魚は孵化後2～3日目までは肛門が開いていないので脱糞はしないが，孵化して直ぐ摂食を始める。例えば授乳中に離乳食をとらせるヒトの赤ちゃんのように，孵化したばかりのメダカにおいてお腹に卵黄をもっていても摂食を始めさせて，消化吸収の準備期間が必要である。餌を与えないと，数日後に急に餌を与えても栄養の吸収が遅れてからだが衰弱して，生存率が著しく低下する。孵化直後から飼育水にミドリムシ（ユーグレナなど）やゾウリムシを混ぜ込んで捕食させると，栄養素も補給できて稚魚の成長がよくなるし，生存率が上がる。給餌として乳鉢で良くすりつぶした粉餌を5-10分で食べつくす程度を1日数回与える。休日などでも，ミドリムシやアオミドロを餌として食べられるように飼育水に加えておく。

水槽と水質：

教師用指導書（教育出版，2001；津幡ら，2002，東京書籍，1999）に「水槽の底に砂や小石を敷き詰め，産卵用の水草を入れておけば，長期間水を換えなくてもよい」という記述がある。しかし，それは適切ではない。砂や小石の間に寄生虫や病原菌が増殖して，時としてメダカがそのため全滅することがある。したがって，繁殖のための水槽にはガラスもしくはプラステイックの水槽を用い，砂や小石は全く入れないで飼育する。清潔を保つために，食べ残しや排泄物をサイフォンで吸い取りやすくする。

飼育水として，水道水をそのまま用いてはならない。水道水には水中の微小生物を殺すために塩素などの殺菌剤が混入されており，メダカの生存にも有害な水である。メダカの飼育に支障のない水は，川・池・雨の水などで，一度沸騰させ冷ました水，あるいは入浴剤を入れないで使った風呂の残り湯などの置き水もよい。

水換えは，できれば毎日あるいは隔日に水槽の底の汚れをサイフォンで吸い取り，減った水量を補充する。水換えを行うと水質がよくなり，産卵数が増す。補充する水は,上記の飼育水が最適である。なお, 水換えの水量は1/5-1/3にとどめ, 温度差を5℃以上にしないことはもちろん, 水換えによって水温が20℃以下にならないようにすることも大切である。

水量と飼育密度：

水面が広く，もちろん水量は多い方がよい。1匹/10リットル程度の飼育密度をめどに，毎日あるいは隔日に少しずつ水換えを行えば，水槽には浄化用の濾過装置は必ずしも設置しなくてもよい。例えば, 水量50-60リットルのガラス水槽であれば, おす2匹とめす3-4匹で飼育する。おすがめすの摂食を妨げるので，おすの数を少なくしておくと，産卵数が増す。

メダカは小さいからペットボトルなどでも飼育させられると云って，狭いところに閉じ込めて飼育するのはストレスを与える動物虐待に当たる指導であって，もってのほかである。

光：

日照時間が長い夏季に繁殖する長日性のメダカにお

いて，長時間の光の刺激を受けると，脳の指令に従って脳下垂体から卵や精子の発達を刺激する生殖刺激ホルモンや成長ホルモンが分泌される。とくに，めすメダカが産卵するには，十分な餌（栄養）のほかに卵成分をつくるためのホルモンを分泌させるのに必要な光（13時間以上），水温（25-26℃），水質（隔日の水換え），それに加えて交尾でめすの産卵を刺激するおす（めすの1/3-1/2の匹数）の同棲が不可欠である。したがって，飼育水槽は光に依存して産卵するメダカにとって，光（日光，あるいは人工照明）が長時間当たるところに設置することが大切である。多くの教科書や指導書には，「直射日光の当たらないところに水槽を設置する」とか，「直射日光を避けるように」との記述があるが，それらは大切な光を当てないようにという誤解を招くので不適切である。

水温：

ニホンメダカ以外の20数種のメダカすべては，アジアの熱帯域の比較的高い水温で生息している。上記のように，光の刺激で分泌されたホルモンの働きや体内の物質代謝のための水温は，メダカでは20℃以上（最適25-26℃）である。すなわち，日光が当たることによって水温が上昇しホルモンの分泌やその作用が活発になる。適温下であれば，肝臓で活発に合成された卵の成分が血液によって卵巣に運ばれて卵が発達する。また，メダカは私たちと同じように体温が少なくとも致死温度41℃を超えなければ死ぬようなことはない。昼間では，直射日光が当たるところでも水槽が大きければ水温が37-38℃以上が長時間に及ぶことがないし，41℃を超えることはない。

一方，20℃より低い飼育条件下にあっては，食欲の減衰，体調を崩して病気を招き，産卵しなくなるし，死を早めることになる。水温を20℃以下にすると体調を崩すだけではなく，病原菌や水カビが繁殖しやすくなるし，体力を低下させてウイルス感染に対する抵抗力をなくすことになる。病気になったら，水温を30℃よりやや高めで数日間浴薬させる。

以上，メダカの飼育は児童・生徒の観察力，洞察力を養うためにも大切である。たとえば，“一匹のメダカが死んだ”という観察を通して，不可視的なその原因に気づかせ，連続して死なせないように指導する。

(4) おすとめすの準備

（第2時間目）

メダカのめすは産卵するのに，おすの交尾刺激が必要である。産卵のとき，おすはめすの産卵を促すとともに自分の生殖口とめすのそれとが互いに接するようにからだを交わらせて精子を放出する。こうして，放出されたばかりの卵の中に精子が入って受精する。したがって，産卵させるために，同棲させるおすとめすを識別する必要がある。

おすとめすの特徴（性徴）：

メダカの性徴に関して記述した資料は多く，学術的文献も列記できないほどある（参照，岩松，2006）。

メダカは全長が30mm以上になると,下記のような外観的性徴がみらる。その特徴を一度顕微鏡で観察しておくと，おすとめすを見分ける鋭い目が養われる。その詳しい観察は，予め軽く麻酔しておいたメダカを麻酔に用いた液をからだが横になる程度少量入れたペトリー皿に移して，透過光の解剖顕微鏡（10-20倍）を使って行う。観察中麻酔が深くなり，鰓蓋運動や口の動きが弱くなると，メダカをスプーンで掬って素早く水に戻す。メダカの麻酔に際して，メダカの入れてある少量（50ml程度）の水に麻酔薬（フェニールウレタンの飽和溶液7：エタノール3の混合液）を麻酔状態を確認しながら滴下する。こうした観察で気づくメダカの性徴は次の通りである。

ア．外からは見えないが，お腹の中にはおすは精子をつくる精巣をもち，めすは卵が沢山入っている大きい卵巣をもっており，腹部が膨らんでいる。

イ．めすには，おすの腹ビレより長い腹ビレがある。また，腹部を拡大してよく見ると肛門の後ろに尿や卵を出す泌尿生殖口のまわりに乳房のような膨らみ（泌尿生殖隆起urogenital protuberance, UGP）がある。（肛門がヒトとは違って泌尿生殖口の前にあることに気付かせる）

ウ．おすは交尾のときにめすを抱くための長い尻ビレと背ビレをもつ。それらの後端には切れ込み（notch）がある

エ．おすの眼から鼻にかけて及び尾ビレの先端は，白色素胞が多いため白く見える。

オ．おすは急に比較的高い水温（35-40℃）に入れたり，麻酔状態にすると，一般に腹を上にする。

カ．麻酔したおすを顕微鏡で見ると，尻ビレの後ろから約8軟条の節間に小突起（乳頭状小突papillar processes, PP）がある。おすは交尾のとき，それらでめすの尾部の肌を刺激して産卵を促す。

キ．大きいめすの尻ビレ軟条の先端が分岐しているが，おすのその先端は分岐しておらず突出している。

ク．おすは肛門部分の体高（側面から見たからだの幅）がめすより大きい。

ケ．おすの口の両端には大きい牙がある。

(5) 産卵と採卵

（第3時間目）

夏季メダカは午後9時ごろ卵成熟を始め，まだ暗い午前2-4時に産卵する。メダカのめすはおすの交尾刺

激がないと，産卵しない。産卵行動を観察するためには，毎日産卵しているめすを前日の下校時（産卵前）に網ですくって水温が同じ別の水槽（あるいは仕切りして接しないよう）におすと分けて餌を与えておく。

産卵の観察：

産卵の観察は卵が過熟にならない朝早い授業時間に行う。前日におすと分けておいためすをおすの入っている水槽に入れる。観察者は，メダカを刺激しないように，できる限り身動きをしないようにする。

おすの水槽にめすが入れられると，おすは下方からめすに接近して寄り添う。めすは交尾行動を受けないとき，頭をあげて拒否する。めすが交尾体勢に入るまで，おすはめすの鼻先で「円舞」を繰り返えしては接触を試みる。めすがおすと交接すると，おすは背ビレと尻ビレでめすの尾部を抱き，尾部を振動させて尻ビレの突起（PP）でめす肌を刺激する。すると，おすが放精するのとほぼ時を同じくして，めすは尾部を折り曲げて力んで泌尿生殖口（糞を出す肛門ではない）から産卵する（岩松，2001）。

採卵の仕方と観察卵の準備：

産卵して泌尿生殖口から卵塊をぶら下げているめすをゆっくりタモですくって，そのタモの水の中にそっと手を入れてめすを水と共にすくい卵塊だけを指でつまんでめすを水に泳がす。その卵塊を濡らした二重のガーゼの上に置き，水道の蛇口から少し水を垂らしながら卵をもみ洗いしてバラバラにする。卵を指につけて薄青い程度の濃さのメチレンブルー水が入ったペトリー皿に移す。10ml（深さ約5mm）のメチレンブルー水に約10個の卵を入れて発生させる（25-28℃）。そのペトリー皿に日時を記したラベルを貼っておく。5日目ぐらいでメチレンブルーが入っていない飼育水に水換えすると孵化しやすい。殺菌作用もあるメチレンブルーは酸素の代用をするので，胚の発生にはよいが，ふ化を遅らせる傾向がある。

(6) 未受精卵と受精卵の観察

（第4時間目）

卵の観察：

前述のように，「メダカの誕生」の授業の多くにおいて，卵の中でからだができる様子を十分に観察させることができていないのが現状である。原因は，観察に用いる卵を準備する技術と時間的余裕がないためできないこと，そして適切な顕微鏡および観察用スライド，それに顕微鏡カメラからの画像を投影するカラーのモニターテレビなどの設備がないところに問題がある。殆どの教科書では，花粉を普通の光学顕微鏡で見させているのに，なぜかメダカ卵の中でからだができる様子を十分に観察させることができない「解剖顕微鏡（最大倍率20倍）」を用いさせている（葵生川，2012；内田，1978；内田ら，1984；大隅ら，2012；教育出版，2001；津幡ら，2002；東京書籍，2004；星野ら，2011；堀，1997；毛利ら，2010；養老ら，2012）。そのためか，「メダカのたんじょう」の授業においてメダカの飼育や採卵の失敗に加えて，こうした不適切な観察機器類の使用ことによって卵の観察実習が十分できないまま，単に教科書を解説するだけで終わっている。これでは，児童たちにいかに能力があってもメダカのからだのでき方を観察体験できないし，生き物に対する興味や意欲も湧かない。効果的，かつ感動的な授業を展開するには，美しい卵とその観察ための機器類が揃っていることと，豊富な知識をもつ教師の適切な指導が大切である。因みに，この5年生の授業目的の背景には，次の6年生において学ぶ脊椎動物の“からだの成り立ち”を理解させるための外延的目的がある。

顕微鏡の使い方とメダカの未受精卵および受精卵の観察の仕方は，光学顕微鏡とメダカ卵観察専用のスライドガラス（図1）を用いて必ず透過光で実施する。まず，卵をスポイトで吸ってメダカ卵の観察用のスライドガラスの上に水と共に滴下する。そして，カバーガラスをその上にかぶせて顕微鏡のステージに置く。卵が視野いっぱいに見えるように10倍の対物レンズと10倍の接眼レンズの総合倍率100倍で，ステージの下からの光（透過光）を通して観察する。指でカバーガラスをずらせば，カバーガラスに接している卵は転がるので卵の中がよく見えるようにする。そうして，顕

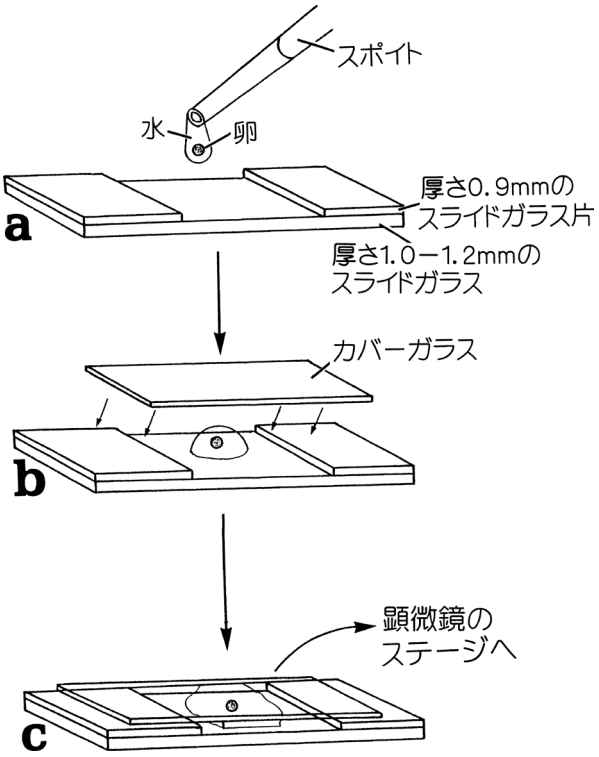

図1　メダカ卵の観察用スライドガラスと卵のマウンティング（岩松，2006）

微鏡カメラを通してモニターテレビに発生段階の異なる受精卵を投影して子供たちに見せて，卵内でからだのできる様子を解説する。その後，生徒たちにそれらの卵を顕微鏡で観察・スケッチさせる。そのとき，スケッチノートには，顕微鏡の倍率，何日目の卵，観察日時を必ず記録させる。

未受精卵と受精卵：

メダカの卵をよく見ると，卵膜の一ヶ所（植物極）に長さ5mm程度で伸びる付着糸（約26本）があり，卵膜全表面に長さ0.15-0.25mm付着毛が約190本ある。付着糸が付いている植物極の反対側（動物極）の卵膜には精子が入る小さい穴，卵門が1つある。卵の中に精子が入ることを受精といい，受精した卵を受精卵という。受精すると，卵の表面の泡粒（表層胞，図2）が消える。時間がたつにつれて，油滴もくっつき合って大きくなって数が少なくなる。卵膜は受精して30分もすると硬くなり，胚は透明で硬くなった卵膜に護られて発生する。受精卵は指でもんでも潰れないので，生徒に触れさせる。

受精していない卵は，未受精卵といい，発生しない。未受精卵を顕微鏡でみると，卵の全表面に油滴と泡粒があり（図2），白っぽく濁って見える。そのため，未受精卵はあまり透明ではなく，指でつまむとつぶれるほど柔らかい。その未受精卵はやがて死んで，カビや細菌を増やすことになるので取り除く。

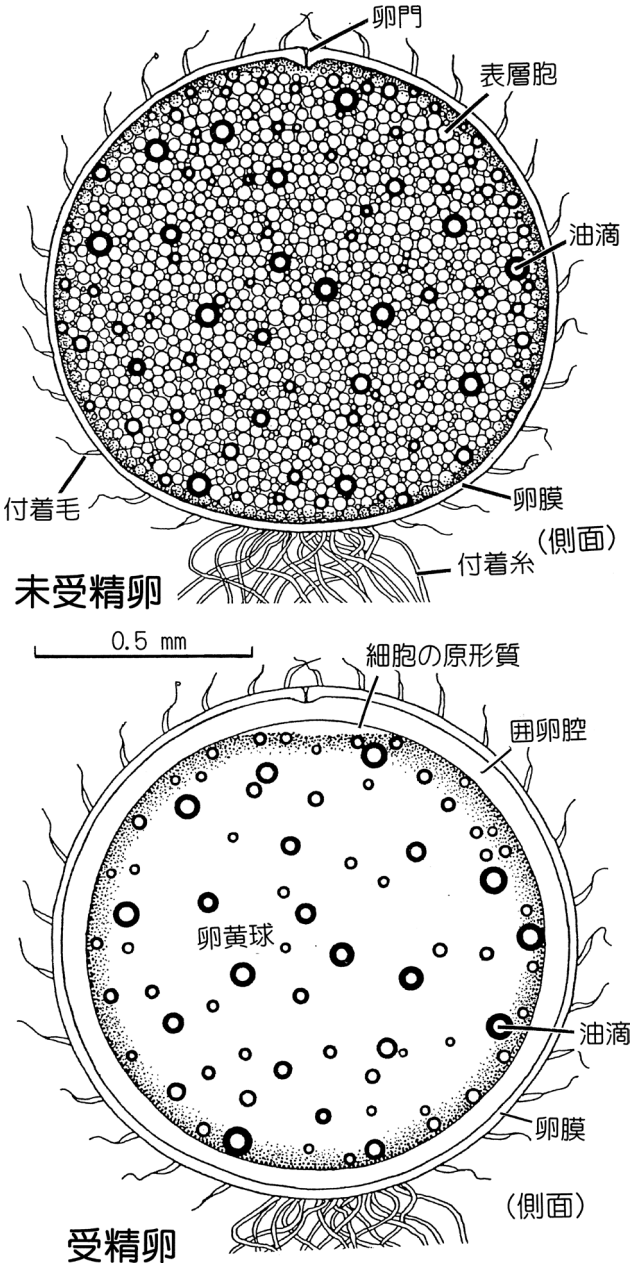

図2　未受精卵と受精後約3分の卵のスケッチ

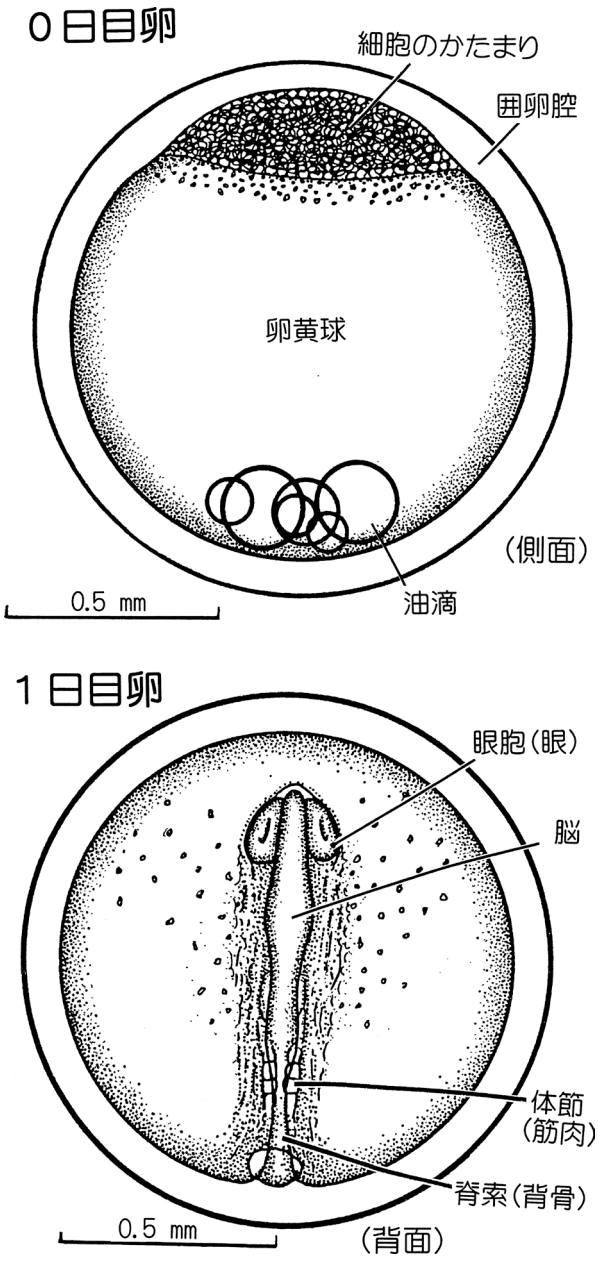

図3　受精後0日目の卵（胞胚期）と1日目の卵（2体節期）のスケッチ

(7) 受精卵の孵化までの変化の観察

（第5～7時間目）

A. メダカ卵の発生について

ヒトと同じ背骨のあるメダカは卵生であって，胎生であるヒトとはからだのでき方が違う。しかも，恒温動物のヒトの赤ちゃんのからだは37℃の体内で280日間もかかってでき上がるのに，メダカの赤ちゃんのからだは水の温度が26℃であれば9日という短い期間ででき上がる。こうしたメダカにおいて，卵の中でからだ（胚）ができ上がる様子を把握するためには，卵の発生過程（発生段階表，Iwamatsu, 1994，2004；岩松，2006）を孵化するまで日を追って観察するのが最善である。しかし，それら全発生過程の観察は授業時間数の都合上難しいので，からだができる様子を捉えられやすい0日目（産卵当日），1日目，2日目，4日目，8日目，それに孵化直後の6グループを観察すれば十分であろう。ここに用いた発生図は26℃で観察した岩松(2006)のスケッチを改変したものである。これらの発生段階の異なる卵（胚）を準備するために，生徒を指導して準備に協力させれば，観察する教材に興味を持たせ，理解を深めるためにも役立つ。

B. 受精卵の変化

a) 0日目と1日目，2日目の受精卵の観察

（5時間目）

0日目の受精卵：

「採卵の仕方」のところで述べたように，ペトリー皿（シャーレ）のメチレンブルー水（深さ5-10mm）に入れ，卵がゆっくり発生するように，そのペトリー皿を授業開始の時間まで冷蔵庫に保管しておく。産卵された日（0日目）の受精卵の中には，メダカの姿は見られ

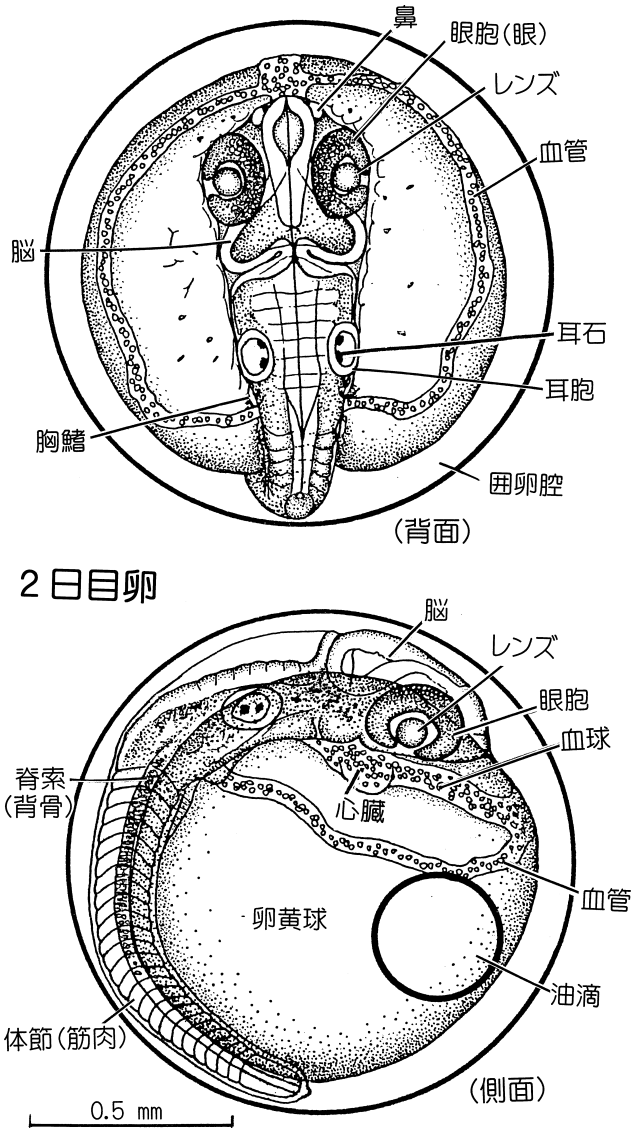

図4　受精後2日目の卵のスケッチ

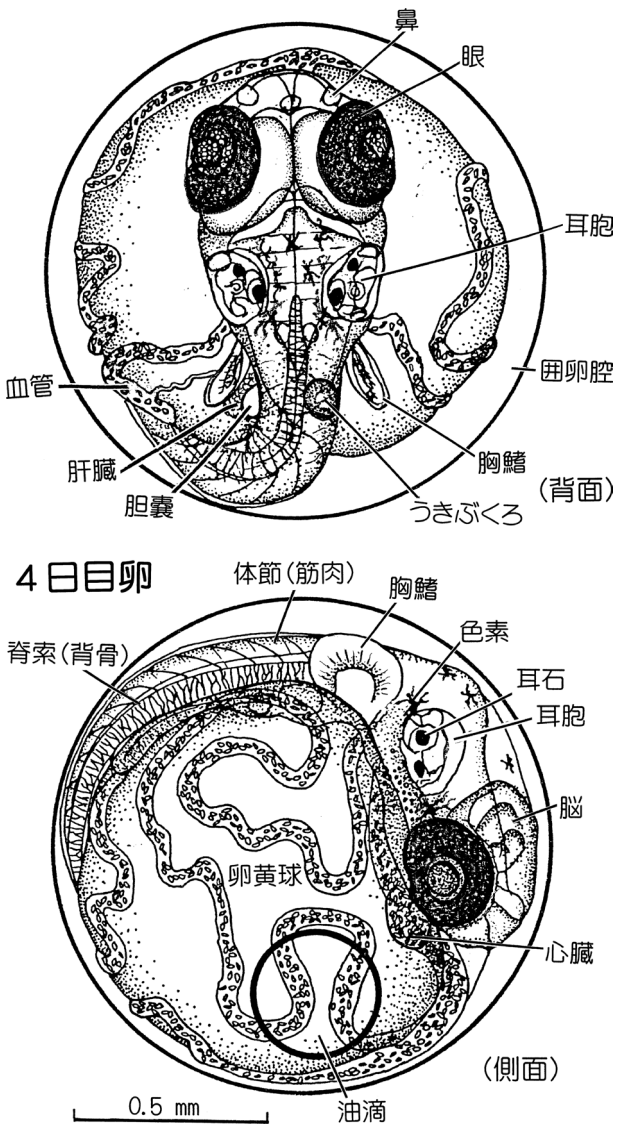

図5　受精後4日目の卵のスケッチ

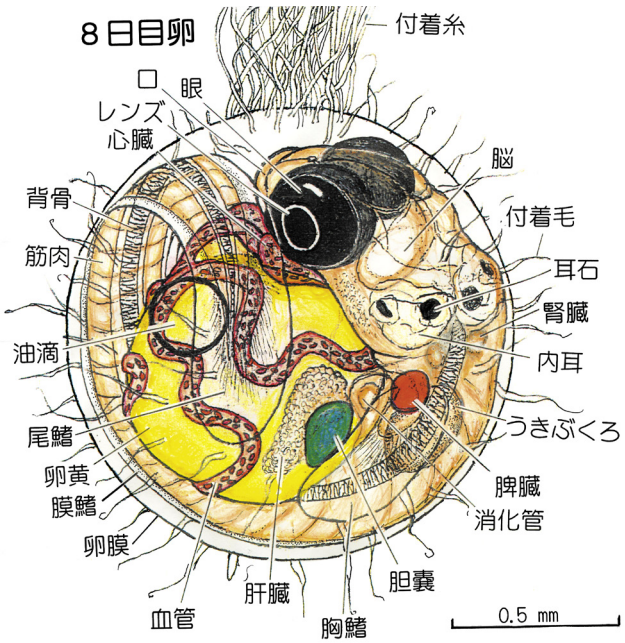

図6　受精後8日目の卵のスケッチ

なく，小さい細胞（卵割球）というたくさんのツブツブの塊りと互いにくっ付きあって大きくなった油滴しかない（図3）。小さい細胞（直径約0.01mm）が分裂して増えて，からだの部分をつくることを説明する。その観察によって，卵の中に小さいからだの赤ちゃんがいて，それが大きくなるという考え（前成説）は正しくないことを理解させる。

1日目の受精卵：

前日採った卵は1日目の受精卵として観察する。この産卵24時間後の卵には，赤ちゃんのからだが棒状にできているのが見える。よく見ると，棒状のからだの一方の端が太くなって頭部をなし，そこには脳と膨らんだ眼のもとの眼胞ができている（図3）。こうして，からだの前後軸と左右軸が決まり，からだの卵黄側が腹になり，その反対側が背中になる。そして，尾の方には，からだの節（筋肉）が両体側にいくつか数えられる。このほか，互いに融合して大きくなった球状の油滴が数個見える。

2日目の受精卵：

産卵（受精）して48時間（2日）後の卵には，大きくなったからだの頭部の決まった位置に脳と眼，耳（耳胞）が見られ，体節（筋肉）も数が増えている（図4）。眼にはレンズ，耳の中には耳石が見える。耳の後ろには，ヒトの手に当たる胸鰭ができ始めている。最も目立つのは頭の下方で心臓が拍動していることである。その拍動ごとに押し出される血液ができたばかりの血管内を流れている。それらを児童に見させるとともに，心拍数を数えさせる。

b）4日目と8日目の受精卵，孵化直後の稚魚の観察
（6時間目）

4日目の受精卵：

産卵（受精）して4日後の卵には，卵黄の表面を蛇行している血管，左から右に拍動する心臓，そして消化管，胆嚢，肝臓が決まってからだの左側に見え，うきぶくろがからだの右側に見える（図5）。メラニンができて黒くなった眼が左右2つ，大きくなった2つずつの耳石をずつもつ左右2つの耳胞がある。頭から背中に向けて脳・脊髄，そして筋肉，背骨のもと（脊索）ができている。産卵3日目の眼にすでに認められる角膜がよりはっきり見える。心臓の拍動を数えさせると，2日目の受精卵のものより拍動回数が多くなっていることがわかる。

8日目の受精卵：

卵黄の養分が血管から吸収されてからだの発達に使われて卵黄が小さくなっており，尾端は耳胞の後ろにまで伸びている。血液は心臓の左側（心房）から右側（心室）に向かって押し出され，さらに心室から全身に送り出されるのが見える。頭に近いからだの右側にうきぶくろがあり，その左側の腹側を迂回して後方に向かう消化管の背面には脾臓の赤い小球が見える。からだの左側にはぶつぶつに見える肝臓と青っぽい緑色の球状の胆嚢がある（図6）。

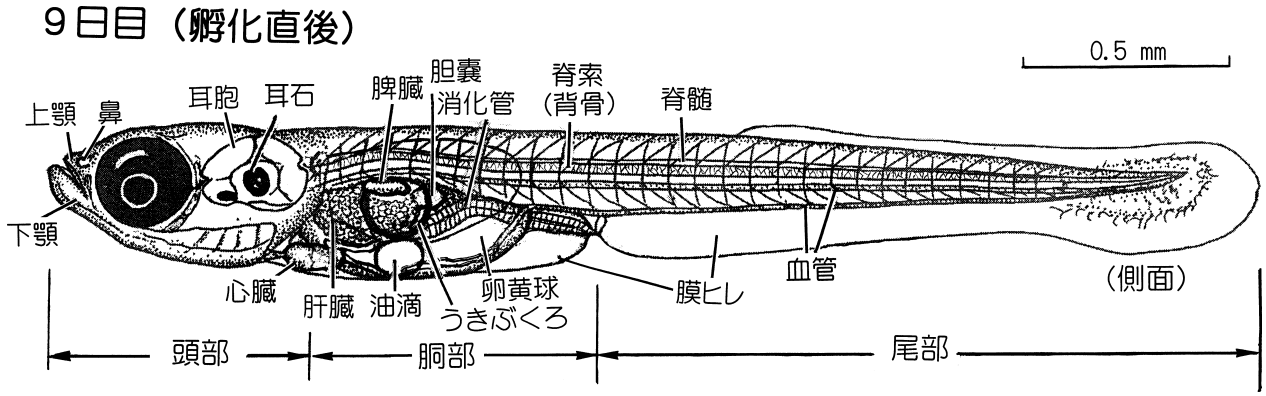

図7　受精後9日目の孵化直後の稚魚のスケッチ

c）孵化直後の子メダカ（稚魚）

（第7時間目）

夏季において，メダカ卵は産卵後9日足らずの日数で孵化する。その間，卵の中で棒状のからだができ，卵黄の栄養を使っていろいろの内臓や器官が日を追って決まったところにできてくる。孵化のときには，口から卵膜を溶かす酵素（孵化酵素）が出され，溶かされて薄くなった卵膜を尾の力で破って自由に泳ぎだす。

孵化して泳ぎだした稚魚をスポイトで吸って観察専用のスライドガラスに少量の水と共に滴下し，カバーガラスをかけて倍率10-20倍の顕微鏡で観察する。稚魚の腹部には，まだ油滴と卵黄がある（図7）。腹部の前端に心臓があり，腹部の背中側にうきぶくろがある。尾部には，動脈と静脈が見える。まだ歯が生えていないし，鱗も肋骨もない。胸ビレは早くからあるのに，腹ビレはまだない（図7）。背ビレ，尾ビレや尻ビレも，ひと続きの膜ビレのままでまだでき上がっていない。

以上，卵は産み出されると，受精してから孵化する時までに，卵の中で胸鰭，しっぽ，骨，筋肉，脳，耳，鼻，などの他に甲状腺，心臓，肝臓，胆嚢，腎臓，膀胱などが決まった位置に順序良くできてきて，自立生活が可能になって孵化する。しかし，まだ成魚のようなからだはできておらず，全長が約15mmになるまでの成長期に，オタマジャクシのように変態して，腹や尾の膜ビレが縮んでなくなり，後ろ肢に当たる腹ビレが生え，肋骨や鱗ができてくる。こうした観察によって，メダカは成魚になっても，ヒトのような肺や胃，盲腸，大腸もなく，肛門が泌尿生殖口の前方にあり，皮膚には鱗があるが毛はない。一方，ヒトも先祖が魚と同じであることを示すかのように，胎児のからだができる途中で卵から孵化し，鰓弓ができる。これらのことから，メダカとヒトは，それぞれ違った進化を遂げた脊椎動物であることも理解できる。

謝辞

筆者は原稿を校閲して下さった小林啓邦博士に感謝の意を表します。

文献

葵生川武次（2012）新編楽しい理科5年．pp. 42-46，信州教育出版社．

赤松弥男（1978）能力を伸ばす理科の単元構成と展開　5学年．pp. 29-43，初教出版．

赤松弥男（1982）理科単元別　授業の構成と能力の評価．pp. 78-126，初教出版．

板倉聖宣（1987）理科教育史資料．第1編　低学年理科教材史．pp. 70-72，東京法令．

岩間淳子・松原静郎（2010）小学理科における生命観育成及び科学的概念形成のための生物教材の分析―「動物の誕生（人）」を例に―．科学教育研究，34（4）：322-337.

岩松鷹司（1974）生物教材としてのメダカ *Oryzias latipes*．I．分類学的位置と一般形態．愛知教育大学研究報告，23：73-91.

岩松鷹司（1975）生物教材としてのメダカ．II．卵母細胞の成熟及び受精．愛知教育大学研究報告，24：113-144.

岩松鷹司（1976）生物教材としてのメダカ．III．発生過程の生体観察．愛知教育大学研究報告，25：67-89.

岩松鷹司（1977）生物教材としてのメダカ．IV．組織学的観察．愛知教育大学研究報告，26：85-113.

Iwamatsu, T. (1994) Stages of normal development in the medaka *Oryzias latipes*. Zool. Sci., 11: 825–839.

岩松鷹司（2001）メダカの交尾行動中の放卵放精．Animate，第2号，37-40.

Iwamatsu, T. (2004) Stages of normal development in the medaka *Oryzias latipes*. Mech. Develop., 121: 605–618.

岩松鷹司（2006）「新メダカ学全書」．pp. 473，大学教育出版（岡山）．

Iwamatsu T. (2011) Developmental stages in the wild medaka, *Oryzias latipes*. Bull. Aichi Univ. Educat., 60 (Nat. Sci.): 71–81.

岩松鷹司（2014）メダカの飼育マニュアル．Animate，第11号．（印刷中）

江上信雄（1985）野生メダカと研究用につくり出したメダカ ―環境教育とメダカ―．生物教育，26（3）：151-155.

大隅良典・石浦章一・鎌田正裕ほか43名（2012）わくわく理科5上．pp. 20-23，新興出版社啓林館．

奥井智久（1982）小学校観点別評価の生かし方シリーズ．理科学習状況の診断指導事例5年．pp. 42-57，明治図書．

内田早苗・小川 格・菊池武夫（1984）理科授業研究〈4・5・6学年〉［現代小学校学級担任辞典 第10巻］．pp. 252-271，ぎょうせい．

内田鉄雄（1978）メダカの受精卵の採集・飼育法とその教材化．採集と飼育，40（6）：507-513.

柿内賢信・蛯谷米司・武村重和・荻須正義（1971）小学校理科指導辞典．pp. 194-196，第一法規出版．

教育出版（2001）小学理科5上．教師用指導書研究編．3新しいいのち，pp. 79-113.

国立印刷局（2006）小学校学習指導要領．pp. 55-58，国立印刷局．

津幡道夫ほか10名（2002）たのしい理科5年上　教師用指導書．生命のつながり（3）．生命のたんじょう4．pp. 113-146，大日本図書．

津幡道夫ほか10名（2004）新版たのしい理科5年上　教科書解説　本編．生命のつながり（3）．たんじょうのふしぎ4．pp. 111-135，大日本図書．

立川雄一（1987）日本の初等理科シリーズ/19．人間を育てる生物の学習．pp. 166-187，初教出版．

武村（1991）新理科授業づくりの指導事例6．5年「生物の発生と成長の学習」．pp. 79-106，明治図書．

東京書籍（2004）新編新しい理科5上（教師用指導書資料編）．pp. 62-75.

星野昌治ほか33名（2011）たのしい理科5年-1　教師用指導書研究編．pp. 81-88，大日本図書．

堀（1997）子どもを変える小学校理科．第2巻　昆虫・動物・飼育・環境の授業．III．メダカの育ち方の授業．pp. 92-113，地人書館．

毛利衛・黒田玲子ほか20名（2010）新しい理科5．pp. 35-41，東京書籍．

文部省（1942）めだかすくひ.「自然の観察」五（教師用），pp. 1-8.
文部省（1952）小学校学習指導要領　理科編（試案）. pp. 3-22, 大日本図書.
文部省（1989）小学校学習指導要領　全文と改訂の要点. 第4節 理科. pp. 71-75.
文部省（1998）小学校学習指導要領. pp. 54-123, 時事通信社.
養老猛司・角屋重樹ほか24名（2012）地球となかよし小学理科. pp. 30-37, 教育出版.

（2013年11月15日受理）