

## 1 はじめに

多細胞生物の場合、個体のからだは細胞の集合体として存在する。従って、個体の様々な生命現象は各細胞が協調して働いた結果であり、この概念は生命現象を理解する上で非常に重要な概念である。多くの細胞は小さく、肉眼では見えない。見えないものを身近に感じるには、その存在が単なる知識ではなく、具体的な実感と経験を伴った「もの」として把握されることが望ましい。個体の生命活動が個々の細胞の活動により起こっていることを実感させるためには、個体が生きた状態で細胞の様子を観察できる教材がよい。植物の場合、オオカナダモやムラサキツユクサのおしべの毛のように既に教材として活用されている例がいくつかみられるが、動物の場合、ゾウリムシなどの単細胞生物は別として、多細胞生物では個体が生きた状態で細胞を観察できる教材はほとんど見つからない。その点、メダカの色素細胞（色素胞）は、動物細胞を生きた状態で個体から採取し、観察することができる。また、細胞内の色素の運動が顕微鏡下で顕著に観察できるため、個体の生命活動が個々の細胞の活動により起こっていることを生徒に掴ませるには非常に適した教材である。

本研究では、メダカの体色変化の実験や観察を通して、個体レベル（行動、からだの活動）から組織・細胞レベル（細胞の活動）へと視点を変化させ、生命現象を一連の流れとして理解できる教材にしたいと考えた。体色変化は外界からの光の刺激を眼で受容し、神経やホルモンの働きによって皮膚や鱗上に分布する色素胞中の色素顆粒が凝集、拡散することで起こる変化である。これら一連の生命現象を、メダカの体色変化をテーマとして理解できる教材として提示することを目的として研究を行う。

## 2 研究方法

### (1) 魚類の体色変化に関する先行研究の調査

ア メダカの体色変化について      イ 教科書の体色変化の実験について

### (2) メダカの体色変化の教材開発

### (3) 教材としての有効性の検証

ア 指導計画      イ 授業の実践

## 3 研究内容

### (1) 魚類の体色変化に関する先行研究の調査

ア メダカの体色変化について

魚類の中には外界の環境刺激に応じて体色を変化させるものがある。これは捕食者から自己をカムフラージュする隠ぺいのためや婚姻色に代表される同種異個体間のコミュニケーション手段のためとされる。特に、メダカのように小型の魚にとっては、隠ぺい色は捕食者から逃れるために重要な役割を持っている（図1）。野生



図1 野生メダカとシロメダカ (左)

のメダカのからだを観察すると、背中側が黒く、腹側が銀白色をしている。捕食者が上からメダカを見た場合、川底が暗色であるため個体を発見し難くなり、逆に下から見た場合、水面の光の乱反射によって個体を見え難くする効果がある。これをカウンターシェーディングという。また、メダカは体色を背地の状態によって変化させる。例えば水草が茂り、光が届きにくいところに生息する個体は体色が暗褐色をしている。しかし、浅瀬で光がよく届くところに生息する個体は体色が淡褐色になる。これら体色とその変化は、体表面の上皮組織にある数種類の色素胞とよばれる細胞の分布と活動によって起こる生命現象である。

メダカの色素胞は中に含まれる色素顆粒によって、黒色素胞、黄色素胞、白色素胞、虹色素胞の四つに分けられる。これらの色素顆粒の量と分布がメダカの体色や模様を決める因子である。野生メダカは、クロメダカ、カワメダカなどとも呼ばれ、4つの色素胞を全てもっており、体色は灰褐色をしている。一方、ヒメダカは愛玩用に作られたもので、遺伝的に黒色素胞中のメラニン色素を失っており、体色が橙色をしている。また、シロメダカは体表に黒色素胞及び黄色素胞をもたず、体色は血液の色が透けて見えるため淡い虹色を帯びた白色である。その他にも品種改良によって、アオメダカや灰メダカ、クリームメダカ、ミルクメダカ、透明メダカなど様々な体色のメダカが生みだされている。

体色変化は背地の色彩や明るさに応じて色素胞内の色素顆粒を凝集させたり、拡散させたりすることにより起こる。黒色素胞の場合、メラニン顆粒が色素胞内に一様に拡散すると体色は暗色になり、中心部に凝集すると淡色になる。この反応は、甲殻類、昆虫、魚類などの動物で知られ、教科書や副教材の図説において、ザリガニやメダカが教材として取り上げられている。

#### イ 教科書の体色変化の実験について

いくつかの「生物Ⅰ」の教科書では、魚類の体色変化の実験が取り上げられている。材料としては、メダカやモツゴが扱われている。取り上げられている実験は、次の二つである。

- ① 個体を明るい場所と暗い場所に置き、体色を比較する。明るい場所では体色は淡色となり、暗い場所では体色は暗色となる。
- ② 個体を明るい場所と暗い場所に置き、採取した鱗をそれぞれ淡水魚用リンガー液（以下、リンガー液と表記）で封入して色素胞を観察する。明るい場所に置いたメダカから採取した鱗は黒色素胞が凝集し、暗い場所に置いたメダカから採取した鱗は黒色素胞が拡散している。

しかし、①、②の実験を教科書の方法で実験した場合、次のような問題点がある。

- |  |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"><li>① メダカは、水面からの光と周囲の反射光を、視覚的に感知して体色を変化させることが分かっている。従って、体色変化を確かめるには、実験条件として周囲と底面を黒い背地にし、上部から十分に光を入れる必要がある。完全に光のない暗い場所に置いた場合、夜と同じ状態になるので、体色変化はみられない。</li><li>② 鱗を摘出して観察を行う際、メダカは相当に暴れ、体色が暗くなった個体もストレスによって体色が淡くなってしまふことがある。また、鱗をリンガー液に浸すと、黒色素胞中のメラニン顆粒は次第に拡散する。従って、背地の明るさの条件の違いによる黒色素胞の状態を観察するためには、鱗の採取後、短時間のうちにホルマリン等の固定液で細胞を固定しなければならない。</li></ol> |
|--|

## (2) メダカの体色変化の教材開発

これらの教科書の方法の問題点を踏まえて、以下のような一連の実験を考えた。

### 実験1 背地による体色変化の観察

ア 実験の目的 背地を変化させ、メダカの体色が変化する様子を観察する。

イ 実験材料と実験器具

野生メダカ、内側の白い容器、内側の黒い容器

ウ 実験方法 (図2)

- ① 白い容器に底から3cm程度の水を入れ、2匹の野生メダカを入れ、体色の明るさがほぼ同じであることを確認する。(メダカは興奮すると、胸ビレの運動が速くなる。メダカを容器に入れてからしばらく静かに置き、胸ビレの運動がゆっくりと落ち着いてから実験を開始する。)
- ② 黒い容器に底から3cm程度の水を入れ、①のメダカのうち1匹を黒容器に移し、体色が暗く変化する様子を観察する。5分程度静かに置く。
- ③ 黒い容器のメダカを水ごと白い容器に移し、2匹のメダカの体色の差を確認する。
- ④ 2匹の体色の差がもとの状態に戻るまでの時間を測定する。
- ⑤ 黒い容器にメダカを一匹だけ移し、5分程度静かに置く。
- ⑥ 白い容器のメダカを水ごと黒い容器に移す。
- ⑦ 2匹の体色の差がなくなるまでの時間を測定する。

エ 実験結果

図3は体色変化の実験の様子である。容器に入れてしばらくすると、黒い容器に入れた個体は体色が暗くなる。一方、白い容器に入れた個体は体色が淡くなる。2匹を同じ白い容器に入れるとその違いがよく分かる(図4)。個体や飼育環境にもよるが、暗色から淡色へ変わる時間はおよそ1~2分、淡色から暗色へ戻る時間はおよそ2~3分で、暗色から淡色への変化の方が速い。



図3 体色変化の実験の様子



図4 体色が暗くなったメダカ



図2 操作の手順

## オ 指導のポイント

背地に合わせた体色変化は、周囲の明るさの変化が視覚的に受容され、情報が中枢である大脳で統合され、神経系および内分泌系を介して皮膚の色素胞に伝えられることを考察させる。また、暗色への変化より淡色への変化が速いのは、色素胞内の顆粒の凝集が、拡散より速く起こることを反映していると考えられる。メダカは背地の明るい環境で長期間飼育し続けると、色素胞の数が減少し、体色が淡色となるので、実験に使う個体は容器の周囲と底を暗色のボール紙などで覆い、背地を暗くして飼育する。

## 実験2 体色のもつ意味を調べる

ア 実験の目的 体色が背地に対してどんな意味を持つかを確かめる。

イ 実験材料と実験器具

野生メダカ、内側が黒い容器、内側が白い容器、プラスチック鏡

ウ 実験方法

- ① 内側が黒い容器と内側の白い容器に野生メダカを入れ、上から個体を観察する。
- ② プラスチック鏡を容器の底に敷き、屋外で個体を腹側から観察する。

エ 実験結果

野生メダカは背が暗褐色で、腹が銀白色である。図5のように、黒と白の容器に入れて上から個体を見ると、背側の暗褐色のため、黒い容器では個体が目立ちづらく、白い容器では逆によく目立つ。一方、腹側は銀白色をしているため、空を背地にしてプラスチック鏡で腹側から見ると、図6のように個体が目立ちにくくなる。



図5 容器に入れたメダカ

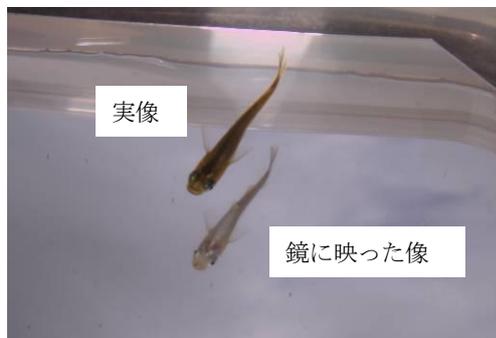


図6 鏡に映った腹側の像

## オ 指導のポイント

メダカの体色のもつ意味を、実験を通して考察させたい。メダカのような小型の魚にとっては、自然界のなかで捕食者から身を隠して防御することは非常に重要である。さらに、動物の体色には隠ぺい色とは反対に、標識色とよばれる目立たせる効果を持つ場合があることをここで扱うとよい。

## 実験3 色素胞の分布の観察

ア 実験の目的 体色がからだの表面の色素胞の分布により決まっていることを観察する。

イ 材料と実験器具

野生メダカ、ペトリ皿、双眼実体顕微鏡（または×10以上のルーペ）、顕微鏡照明装置、氷、ラップ、遠心管（スピッツ管）

## ウ 実験方法

メダカを生かした状態で体表面を実体顕微鏡で観察するには、個体を動かさないように固定する必要がある。固定の方法として、ジッパー付きポリビニール袋に少量の水とともに入れる方法がよく知られているが、メダカの呼吸を制限してしまいダメージが大きいので、長時間の観察には適さない。そこで、二つの固定の方法を工夫した。

### 【固定法1】 氷冷で麻酔して固定する

ペトリ皿に砕いた氷を敷き、その上に濡らしたガーゼまたは濡らしたキムワイプを敷く。水槽からすくったメダカを、速やかにその上におく（図7）。3分ぐらいで動かなくなるので、双眼実体顕微鏡で観察する。照明は落射光で行う。

### 【固定法2】 遠沈管で固定する。

遠心分離に用いる遠沈管は先端が細くなっており、メダカを動かさないように固定するのに適している。図8のように、メダカの頭部が遠沈管の先端部にくるようにして入れ、メダカの体が入るぐらいまで水を入れる。メダカの向きを定めて遠沈管に入れてやるには、中華料理用のレンゲでメダカを扱うと具合がよい（図9）。遠沈管をペトリ皿などで倒れないようにして、しばらく置くとメダカは落ち着いてくるので、双眼実体顕微鏡で観察する。この固定方法ではメダカが多少動くが、与えるダメージは最も少ない。

## エ 実験結果

野生メダカの頭部から背びれにかけての背部周辺に黒色素胞が多数観察される（図10）。特に、黒色素胞は背中側に網目状に集中して分布しており（図11）、腹側にはほとんど見られない（図12）。

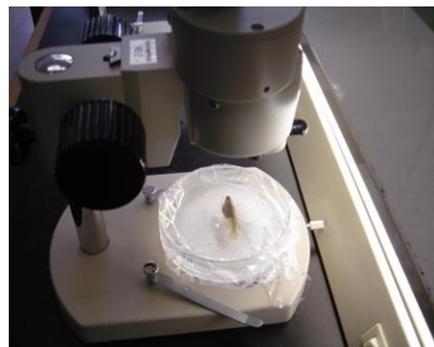


図7 氷冷による麻酔固定

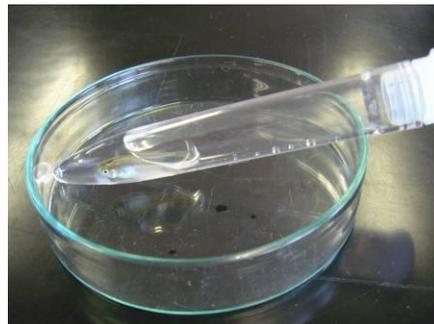


図8 遠沈管による固定



図9 レンゲでメダカを扱う



図10 頭部の黒色素胞



図11 背びれ付近の黒色素胞

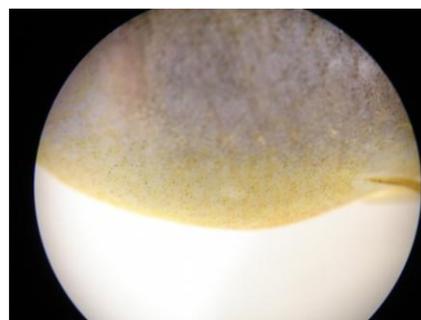


図12 腹部の色素胞

## オ 指導のポイント

体色は体表の上皮組織にある四種類の色素胞の分布によって決まる。背中が暗褐色であるのは黒色素胞と黄色素胞が背中側に分布が集中するためである。一方、腹が銀白色であるのは、腹部には虹色素胞が分布しているためである。また、繁殖期の野生メダカのオスでは腹ビレが黒くなるが、これは、その時期に腹ビレに黒色素胞が多く現れるためである。また、種類の違うメダカを用いた場合、これらのことをさらに確かめることができる。ヒメダカでは、黒色素胞がほとんど見られず、黄色素胞が目立つ。シロメダカでは、黒色素胞、黄色素胞が全く見られない。その代わりに白色素胞が非常によく目立つ。これらを用いると、メダカの体色が4つの色素胞によって成り立っており、体色の変化にはこれら色素胞が関与していることを確認することができる。

## 実験4 黒色素胞の生理学的変化を調べる

ア 実験の目的 黒色素胞に生理的の刺激を加え、黒色素胞が凝集・拡散することを確認する。

### イ 材料と実験器具と薬品

野生メダカ、実体顕微鏡、光学顕微鏡、マイクロメーター、鱗用チャンバー、カバーガラス、淡水魚用リンガー液（以下、リンガー液と表記）、等張カリウム液（以下、Kリンガー液と表記）

表1 淡水魚用リンガー液（1 L）

NaCl	7.32g
KCl	0.20g
CaCl <sub>2</sub>	0.20g
MgCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	0.37g
Tris-HCLbuffer (pH7.4)	25mL
D-glucose	1.0g
D.W.	975mL

表2 等張カリウム液（1 L）

KCl	9.54g
CaCl <sub>2</sub>	0.20g
MgCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	0.37g
Tris-HCLbuffer (pH7.4)	25mL
D-glucose	1.0g
D.W.	975mL

### ウ 実験方法

- ① 氷冷麻酔の方法で、メダカを動かないように固定する。
- ② メダカの頭部に近い背中部分から2～3枚の鱗を摘出する。（鱗の大きさが非常に小さいので、**図13**のように細工をした先鋭ピンセットを用いるとよい。）
- ③ 摘出した鱗を、直ちにリンガー液（**表1**）を満したペトリ皿に入れる。
- ④ **図14**のように、作成した鱗用チャンバーの凹部にリンガー液を数滴落とし、ピペットで吸い取った鱗を封入し、カバーガラスをかける。
- ⑤ 光学顕微鏡で色素胞を観察し、1つの鱗に見られる色素胞の様子を観察する。
- ⑥ マイクロメーターを用いて黒色素胞が最大に拡散したときの大きさを測定する。

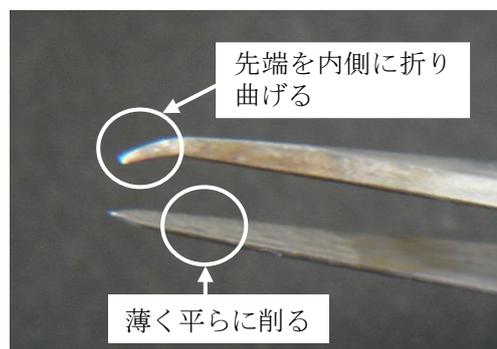


図13 先端部を細工したピンセット

- ⑦ チャンバー上のカバーガラスの縁にKリンガー液（表2）を数滴たらし，反対側の縁からろ紙でリンガー液を吸い取る。この操作を数回繰り返すと，小さなプール内のリンガー液がKリンガー液に置換される。
- ⑧ Kリンガー液に置換されたところで，黒色素胞の凝集の様子を観察する。
- ⑨ ストップウォッチで黒色素胞が凝集する速度を計測する。凝集が終わったところで，マイクロメーターを用いて凝集した黒色素胞の径を測る。
- ⑩ ⑦と同様の操作で，小さなプール内のKリンガー液をリンガー液に置換して黒色素胞が再び拡散することを確認する。

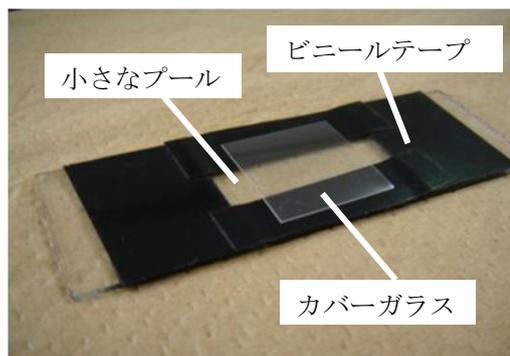


図14 自作した鱗用チャンバー

スライドガラスにビニールテープを2枚ずつ重ね張りし，スライドガラス上に小さなプールを作る。

## エ 実験結果

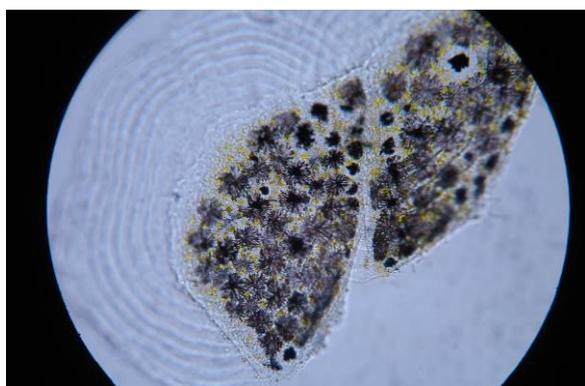


図15 リンガー液中の色素胞（倍率40倍）

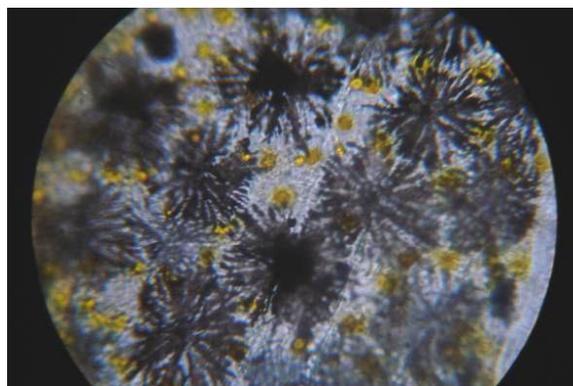


図16 リンガー液中の色素胞(倍率400倍)

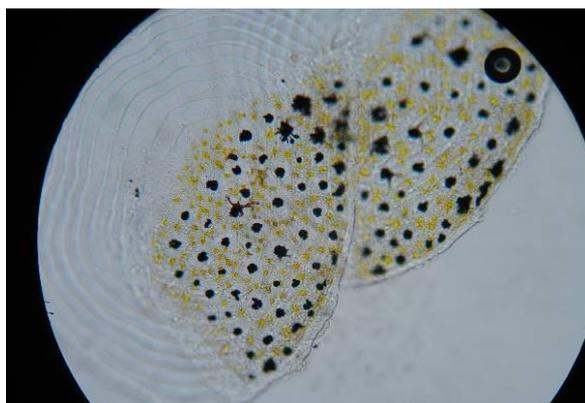


図17 Kリンガー液中の色素胞(倍率40倍)

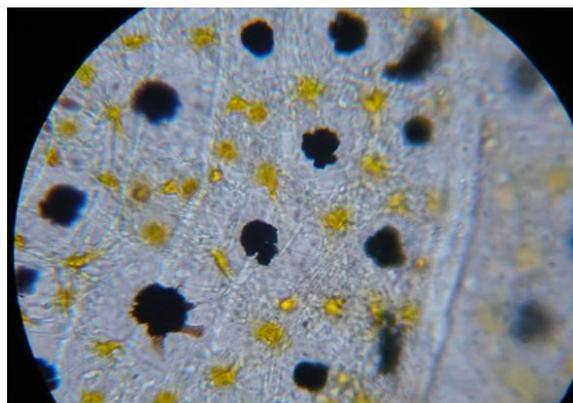


図18 Kリンガー液中の色素胞(倍率400倍)

鱗をリンガー液中で観察すると多くの黒色素胞でメラニン顆粒の拡散が見られる（図15，図16）。メラニン顆粒は中心部から周辺部にかけて拡がっていき，やがて図16のように樹状の突起をもつ状態へと変化する。十分に広がった状態で突起の直径をマイクロメーターで測定すると約 $300\ \mu\text{m}$ ～ $400\ \mu\text{m}$ である。リンガー液からKリンガー液に置き換えると，黒色素胞のメラニン顆粒は急速に凝集を始める。凝集が終了すると，メラニン顆粒は中心部に球状になる（図17，図18）。

この状態で再びマイクロメーターで直径を測定する。ストップウォッチを用いて、Kリンガー液に置き換えてから凝集の終了までの時間を測定し、黒色素胞中でのメラニン顆粒の動きを定量的に観察すると、およそ 100  $\mu\text{m}$ /分の速度でメラニン顆粒の移動が起こっていることが分かる。

#### オ 指導のポイント

メダカの体色変化は、黒色素胞では色素胞にあるメラニン顆粒が運動することによって起こる。この色素胞の運動は、アメーバ運動とは異なり、細胞自体の変形によるものではない。メラニン顆粒が細胞内に一様に拡散すると体色は黒くなり、細胞中心部に凝集すると体色は白くなる。この皮膚色の変化は数分以内に見られる。

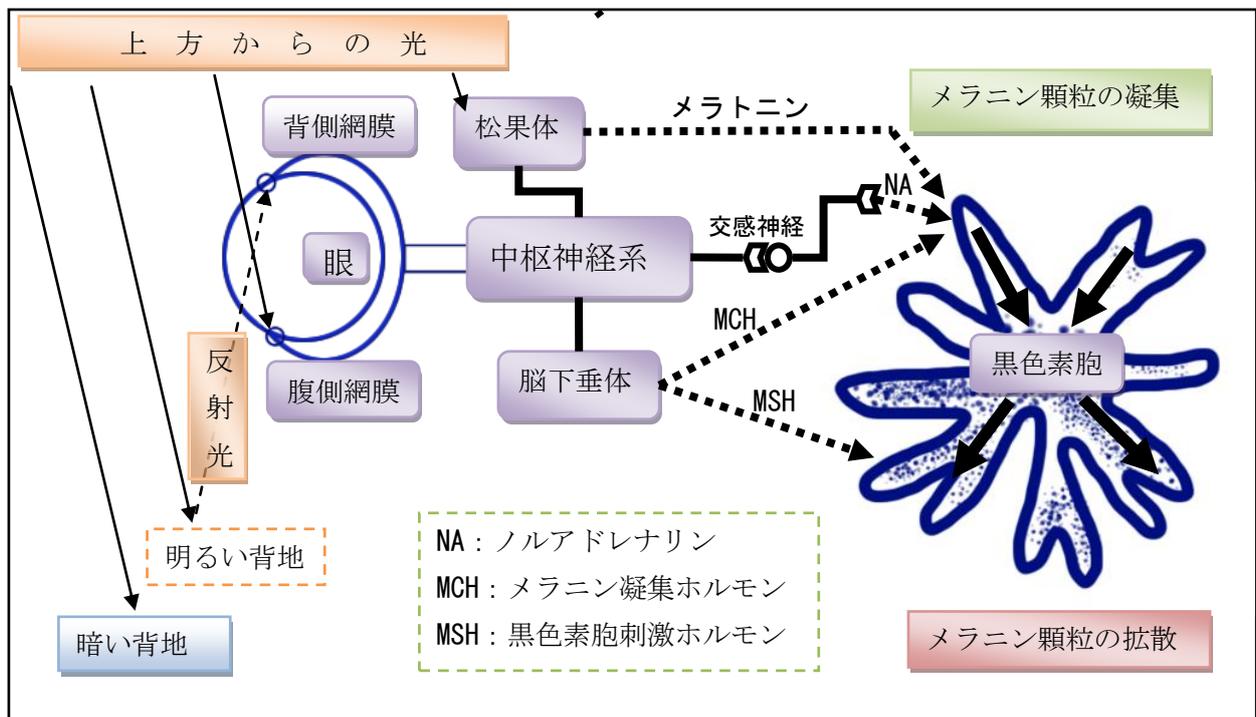


図 19 メダカの鱗における黒色素胞の主な神経系と内分泌系の制御

図 19 のように、体色変化は自律神経系および内分泌系により制御されている。この実験で扱った体色変化は、主に自律神経系の制御によるものである。色素胞の運動は、ホルモンや神経伝達物質が色素胞の表面にある特異的な受容体（レセプター）と結合し、情報伝達が行われることによって起こる。メダカの色素胞は、交感神経節後繊維（以下、節後繊維と表記）の支配を受けていることが知られており、この系の神経伝達物質はノルアドレナリンである。鱗をはぎ取ると鱗の背面に皮膚組織が付着して採取することができる。この皮膚組織には、色素胞だけでなく節後繊維の一部がくっついた状態で採取される。これらをリンガー液中に置くと、細胞が生きた状態で観察できる。色素胞の生理的な刺激による凝集・拡散を観察することを通じて、神経細胞の末端部とシナプス、色素胞内の運動が眼の前で起こっていることを実感させることができる。Kリンガー液を加えてメラニン顆粒が凝集するのは、 $\text{K}^+$ が節後繊維に働きシナプス末端よりノルアドレナリンを放出させるため、 $\text{K}^+$ が直接に黒色素胞の受容体に結合して作用するのではないことが明らかになっている。ここは、生徒の誤解をまねきやすいので、指導する上で十分に留意する必要がある。

色素胞のメラニン顆粒の動きを定量的に観察させるには、顕微鏡のレンズにデジタルカメラや携帯電話のカメラを直接押し当てる方法（コリメート法）で撮影するとよい。機種によって使い

勝手は違うが、メラニン顆粒が凝集した状態と拡散した状態が比較しやすい。また、この方法で撮影するとマイクロメーターも写りこませることができるので、計測も容易である。

この実験では、細胞が死んでしまうと色素胞の変化が見られなくなることから、細胞を生きた状態で保つことにも触れたい。鱗を取り出し、プレパラートをつくる時にリンガー液を用いるが、「なぜリンガー液を用いるか」を考察させることで、細胞を生かしておくためには、浸透圧やpHを一定に保ち、酸素、塩類、栄養などを供給してやる必要があることを理解させることができる。

#### 実験5 メラニン顆粒の運動機構を調べる

ア 実験の目的 細胞内のメラニン顆粒の移動に微小管が関与していることを確かめる。

イ 材料と実験器具と薬品

野生メダカ、光学顕微鏡、鱗用チャンバー、カバーガラス、リンガー液、Kリンガー液、  
コルヒチン溶液（コルヒチン 20mg を 10mL のリンガー液に溶解したもの）

ウ 実験方法

前述と同様の方法で鱗を採取し、30分～40分コルヒチン溶液に浸す。その後、Kリンガー液で処理して、メラニン顆粒の凝集の様子を観察する。同様にリンガー液に30分～40分浸しておいた鱗を用いて対照実験を行う。

エ 実験結果

コルヒチンで処理をすると、Kリンガー液で処理したメラニン顆粒の凝集が起こらなくなったり、遅くなったりする。対照実験と比較すると、メラニン顆粒の凝集が遅くなるのは細胞の活動自体が弱まったのではないことが分かる。

オ 指導のポイント

コルヒチンは微小管のタンパク質チューブリンに結合して重合を阻害したり、解離を引き起こす作用があることが知られている。コルヒチン処理によってメラニン顆粒の凝集が見られなくなるということは、メラニン顆粒の凝集に微小管が関与していることを示している。微小管は色素胞の細胞体のほぼ中央部から放射状に枝状部内に多数存在し、それらの末端にまで達している。メラニン顆粒の凝集・拡散運動は微小管の構成タンパク質チューブリンとメラニン顆粒の間にあるモータータンパク質ですべりがおこることによると考えられている（すべり説）。このモータータンパク質は、凝集の際にはダイニン、拡散の際にはキネシンが使われている。これらモータータンパク質がATPaseの活性を介して、移動のための運動エネルギーを生ずるといわれる。こうしたメカニズムは原形質流動と同じであり、体色変化に関わる色素胞において、細胞内の物質輸送と同じしくみが使われていることを理解させたい。

### (3) 教材としての有効性の検証

ア 指導計画

高等学校の生物Iの授業において、体色変化の一連の実験観察が、個体レベル（行動、からだの活動）から組織・細胞レベル（細胞の活動）へと視点を変化させ、生命現象を一連の流れとして理解できる教材として有効であることを確かめるため、3時間の実験観察実習と実習後に1時間の事後指導を実施した。

### <指導計画>

1. 教材：メダカの体色変化
2. 実施日 平成23年10月～11月に実施した4回の生物Iの授業。
3. 対象生徒：普通科2年生の生物選択3クラス（計120名）の生徒。
4. 学習のねらい

身近な生物であるメダカに興味・関心をもたせ、メダカの体色変化が色素細胞の変化により起こることを理解させる。また、環境に応じて動物のからだに生ずる生理的な変化が、神経系および内分泌系によって調節され、細胞内部の変化を生ずるメカニズムについて理解させる。

#### 5. 指導の内容

- 1回目 野生メダカの観察。事前にメダカの姿や模様のイメージを描かせ、事後にスケッチしたものと比較させてメダカの形態や体色を正確に確認する。
- 2回目 体色変化の実験。実験1と実験2を実施し、背地による体色変化の意味を考察する。
- 3回目 鱗の黒色素胞の変化を確かめる実験。実験4を実施し、生理的刺激によって色素胞が運動する様子を観察する。
- 4回目 事後指導。体色変化のしくみを理解する。外界からの光を受容して黒色素胞に変化がおこるまでのしくみについて、スライドを用いて指導する。

### イ 授業の実践

#### (ア) 野生メダカの観察

メダカは小学校や中学校で飼育、発生、血流観察の教材として取りあげられている。最初に調査をしたところ、学校や自宅でメダカを飼育した経験のある生徒はいたが、からだをじっくり観察した生徒はほとんどいないことが分かった。そこで、最初の授業は、メダカの形態を観察させ、興味関心をもたせることにした。観察する前からからだの形と模様をイメージで描かせてみたが、ほとんどの生徒は形やヒレの位置、数などを正確に描くことができず、体色について認識している生徒はほとんど皆無であった。実際に、メダカを観察させてスケッチを描かせると、形態、ヒレの数、体色の違い等を正確に把握し、中には背骨が透けてみえることやヒレの動きにも気づいた生徒もいた（図20）。事後の感想には「新たな発見があって楽しかった」、「からだのつくりに感動した」との記述が多くみられた。視点を定めてメダカを観察すると、新たな発見があったことが、生徒にとって驚きであるとともに、深い感動を与えたと考えられる。



図20 メダカの観察の授業風景

#### (イ) 体色変化の実験

最初にメダカを黒い容器に入れて観察させたところ、メダカが自分達の予想以上に黒い背地に隠ぺいされていることに驚いていた。2匹を黒い容器から白い容器に移したが、体色の変化に気付く生徒は少なかった。2匹のメダカの体色に差がなくなる時間を計測させたが、個体の状態や生徒の観察のしかたによってややばらつきが生じることが分かった。また、プラスチックミラーを用いて観察させると、腹側が白いことが背地に対して隠ぺいになること、内臓付近の黒色素胞がない部分には体色の変化がないことなどをほとんどの生徒が確認できた。図21

のプリントに感想を書かせたところ、「体色が背地によって思ったより速く反応することに興味関心をもった」「メダカが環境に適応して生きていることに感動した」との記述が多くみられた。

生物 I プリント(1119)  
**魚の体色について考える** 教科書 p.176～  
 野生メダカを観察すると、背中側が暗色で腹側が明色であることが分かった。なぜこのような模様になっているのだろう。メダカにとって体色はどのような効果をもつのだろうか、実験をして確かめてみよう。  
**実験** メダカの体色の効果を調べる  
**実験材料** 野生メダカ、ヒメダカ、白い容器、黒い容器、プラスチックミラー  
**実験方法** この実験は屋外で観察しよう！  
 ①底の黒い容器に野生メダカとヒメダカを1匹ずつ入れて背景に対する体色の様子を観察する。  
 ②野生メダカとヒメダカを白い容器に移し、①と同様に体色の様子を確かめる。  
 ③プラスチックミラーを白い容器の下に敷き、背景に対する腹側の体色の効果を確かめる。  
**結果と考察**

メダカは背景に合わせて体色を変化させる(背地反応)。これを確かめるために次の実験をして確かめてみよう。  
**実験** 体色の変化の様子を観察する  
**実験材料** 野生メダカ、白い容器、黒い容器  
**実験方法**  
 ①白い容器に3cm程度の水を入れ、2匹の野生メダカを入れ、体色の明るさがほぼ同じであることを確認する。  
 ②内側の黒い容器に3cm程度の水を入れ、①の容器のメダカを1匹だけ黒い容器に移し、10分程度静かに置いて体色の様子を観察する。  
 ③黒い容器のメダカを水ごと白い容器に移し、2匹のメダカの体色変化の様子を観察する。メダカの体色が変化する時間をストップウォッチで計測する。  
**結果**

**考察**  
 I. メダカの体色が変化したのは、光の刺激がどのようにからだに伝わり、どのような反応が起こったからだと考えられるか。メダカの図に書きいれてみよう。

II. メダカが敵から逃げる場合は、刺激がどのようにからだに伝わり、どのような反応が起こると考えられるか。

感想・気付いた点

Q1. この図はチョウチョウウオの一種である。この魚には眼のところに隠すような黒い縞の模様がある。からだの模様で眼を隠すことは、どんな効果があるだろうか。

Q2. この図はトゲウオの雄である。雄は繁殖期になると性ホルモンの働きで腹部が赤くなる。腹部が赤くなることは、トゲウオにとってどんな効果があるだろうか。

魚に限らず、動物の体の色や模様には二つの効果がある。それは、自分の存在を隠すことと反対に自分の存在を示すことである。チョウチョウウオのように眼を隠すことは、敵に対して自身の動きを察知させないために役立っていると考えられる。一方、トゲウオの場合は、雄の腹部の赤いことが刺激となり、自分の果を守るため他の雄を攻撃する指標となる。このように体色には、自分の存在を隠す効果をもつ場合(隠べい色)と自分の存在を示す効果をもつ場合(標識色)がある。

図 21 体色変化の実験の授業プリント

(ウ) 鱗の黒色素胞の変化を確かめる

実験用に入手した野生メダカの個体数が少なかったため、鱗の採取はあらかじめ教師が行い、リンガー液に浸した鱗を生徒に配布した。室温 20℃で採取後 30 分以内に実験を開始したが、色素胞の反応性は失われていなかった。鱗が非常に小さく、実験操作の難易度がやや高いので、操作方法を周知させるため、あらかじめ手順を説明する写真スライドを用意して指示を徹底した。このため、生徒はチャンバー内の溶液の交換などの操作を手際よく行うことができた(図 22)。また、黒色素胞の凝集する時間を測定するために、図 23 のように黒色素胞の状態を、5 (完全に拡散)～1 (完全に凝集) の 5 段階で評価させ、完全に凝集するまでの時間を計った。K リンガー液に浸した場合、30 秒後に凝集が始まり、2 分以内には完全に凝集することが確認できた。事後にレポートを提出させ、メダカの体色変化と黒色素胞の関係について考察させたが、多くの生徒は鱗の黒色素胞の拡散や凝集によって、メダカの体色が変化することを正し



図 22 チャンバー内の溶液を交換

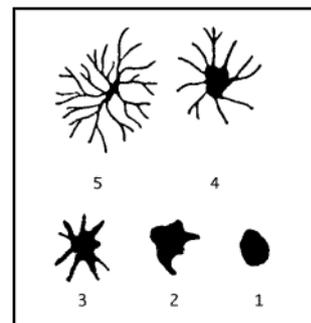


図 23 黒色素胞の状態

く説明することができた。また、黒色素胞の変化が体内に起こる生理的な変化によって引き起こされることに気付く生徒も多かった。しかし、色素胞の凝集・拡散のしくみを考察させたところ、「色素顆粒の凝集や拡散が原形質分離と同じく細胞内外の浸透圧の変化によって起こる」や「体内で $K^+$ が直接に色素胞に作用して凝集が起こる」など、誤った概念をもつ生徒が多かった。一方で、「体色変化が細胞の変化であることを実感した」、「鱗に黒色素胞が予想以上に多く存在することに驚いた」、「難しい操作をスムーズにできて達成感があった」という感想がみられ、色素胞の理解に関して一定の効果を上げた。

#### (エ) 事後指導

黒色素胞内で色素顆粒が凝集・拡散するしくみについて、スライドを用いて解説を行った。前時に生徒があげた「色素顆粒の凝集・拡散が原形質分離と同様に細胞外液の浸透圧の変化によって起こる」という誤った概念を取り上げ、色素胞の構造を示し、リンガー液とKリンガー液の組成を比較させた。その結果、生徒は色素胞が動物細胞であること、リンガー液とKリンガー液の浸透圧が等しいことに気づき、細胞内の色素顆粒の移動は原形質流動と同じ原理で凝集・拡散していることを理解することができた。また、 $K^+$ が生体内でKリンガー液中ほど高濃度になることはないこと、 $K^+$ が直接に色素胞に作用するのではなく、節後繊維を刺激したことによって起こることを理解させた。

## 4 おわりに

本研究を通じて、生命現象を個体から細胞へと通して理解させる教材として、メダカの体色変化についての一連の生徒実験を開発することができた。授業後の生徒の感想から「難しい内容もあったが、生きていくことの凄さを実感した」、「小さなメダカがこんなにも複雑なしくみを備えていることに感動した」などの声が寄せられた。細胞の活動を身近に感じ、単なる知識ではなく、具体的な実感と経験を伴った「もの」として把握することができる教材とすることを意識しながら実験の開発を行った。また、実験器具等に関しても、できるだけ安価で、身近な材料を工夫して用いるように心掛けた。その結果、授業実践後の生徒の反応より、目的を実現できた教材になったと考えられる。時間の都合上、開発した全ての実験を授業で実践することができなかったため、これらの実験について今後取り組んで行きたい。

最後に本研究を進めるにあたり、御指導、御助言をいただいた教育庁教育振興部指導課の小芝一臣先生、尾竹良一先生、前指導課の本宮照久先生、高野義幸先生、教科指導員の岡田実先生、秋本行治先生並びに教科研究員の諸先生方には心よりお礼申し上げます。

また、実験開発にあたり御指導・御助言を頂いた東邦大学理学部長の大島範子先生、実験材料の野生メダカを御提供いただいた富勢小学校の石井益雄先生に心よりお礼申し上げます。

## 5 参考文献

岩松鷹司. 新版メダカ学全書. 大学教育出版, 2006, 473p.

日高敏孝. 動物の体色 u p バイオロジーシリーズ No. 52. 東大出版会, 1983, 120p.

日高敏孝, 藤井良三, 大島範子, 杉本雅純. 特集, 魚の色と模様. 海洋と生物. 1998, vol. 20, No. 6, p. 451-494.

岩松鷹司, 森 隆. 野生メダカの鱗上の黒色素細胞反応の教材化の試み. 愛知教育大学教科教育センター研究報告. 1996, 第 20 号, p. 177~185.