愛知教育大学教科教育センター研究報告
第20号，pp. 177～185（March, 1996）

野生メダカの鱗上の黒色素細胞反応の教材化の試み

岩松鷹司（生命科学領域）
森　隆（岐阜県向陽台高等学校）

The try to apply melanophore reaction of the wild medaka for a teaching material

Takashi IWAMATSU (Department of Biology)
Takashi MORI (Koyodai High School)

要　約

高等学校の生物の授業で，『神経による調節のしくみ』を理解させるために，魚の背地反応の観察実習が効果的であるかを実施して検討した。実験材料に野生メダカを用い，背地に対応した体色の変化が色素胞の変化によることを確かめさせた。色素胞の観察は，体色の変化した個体の鱗を剥がし採ってすぐ，4％グルタールアルデヒド溶液で固定したのち顕微鏡で行った。この実験授業を2時間で実施した後，1時間の事後指導で，この実験結果を『神経による生体の反応』として説明した。事後指導後に理解度をテストしたところ，実験観察を行った多くの生徒において，背地反応を『神経による調節のしくみ』の一つととらえる思考活動が高まり，実験観察をしなかった生徒と比べて，神経系の反応の特徴を理解できる学習効果が認められた。

これらのことは，メダカの黒色素胞の形態変化が，体色の変化の直接的原因であることを理解できるほか，動物の神経系による調節機構の理解につながる簡便で効果的な教材であることを示している。

緒　言

生体は，枚挙できない程の種類と量の物質からできている複雑な反応体である。従って，生体内物質の諸反応の解明及び理解は極めてむずかしい。高等学校において，個体・細胞レベルでの生体反応の誤解を招かないように，適切な学習に活用できる事例，及び教材はごく僅かに限られている。

今回は，平成6年度からの学習指導要領で設置された生物ＩＡの『神経系による調節のしくみ』をとりあげることにした。神経系による調節は，外部情報を感覚細胞がとらえ，これを神経細胞が効果器官に伝える生体の反応である。本研究では，この調節による反応が確認しやすい体色の変化，すなわち，眼を介して起こる色素胞の反応に着眼した。これまで，背地の色調の変化による体色の変化を生じさせる背地反応は，甲殻類，昆虫，魚類などの動物で知られ，教材としても扱われている。高等学校で使用されている生物の教科書や，補助教材の生物図説（第一学習社）には，背地の色調に応じて，ホルモンの調節による赤色素胞の赤色素の凝集・拡散の結果生じる（沼野井，1967）[1]ザリガニの例が写真で紹介されている。また，魚類には色彩感覚があり，特に青色付近では，弁別力がすぐれている（桧山，1948）[2]ことが調べられている。魚類の背地反応は，外敵に発見されるのを防いだり，餌を獲得するのに好都合であると考えられている（川本，1956）[3]。野生メダカの体色の変化は，鱗上に分布する黒色素胞内のメラニン顆粒の分布の変化が主な原因で生じる。その色素顆粒の移動は，ナトリウムイオン（山本，1951；岩松，1993）[4,5]や視覚による光の刺激などによっても起こるが，背色に対しても反応している（大沢，1982）[6]。このメダカでの反応系を高等学校において体験して学習させる方法及び材料の開発を試みた。

メダカは，小学校高学年にも教科書で扱われ，身近にいる動物で，親しみ深く，比較的容易に手にはいるものである。また，野生メダカの体表に分布する黒色素胞は，比較的大きな細胞で，高校生でも容易に観察できると思われるので，本研究においては，限られた授業時間内で顕微鏡の扱いに慣れさせること，及び生物の動きを細胞レベルで把握させることを実験実習の目的とした。野生メダカの鱗上の黒色素胞の反応を教材として実験実習に活用を試みたところ，比較的簡単な実験で，背地反応が『神経系による調節』の理解を助ける教材として効果的であるという結果が得られたので，ここに報告する。

材料及び方法

高等学校の生物ＩＡの授業において，メダカの背地に対する体色変化の実験観察による背地反応の理解が，神経系のしくみの学習効果を高めることに有効であることを確かめるために，2時間の実験実習と1時間の

表１　実習授業及び事後指導の内容

＜実験授業指導計画＞
１．教　　材：メダカの鱗上の色素細胞。
２．実 施 日：平成７年10月の第１回目の授業（生物ＩＡ）から３回目の授業まで。
３．対象生徒：向陽台高等学校岐阜石井学園のＡクラス24名とＢクラス22名の生徒。
４．学習のねらい
　色素細胞の顕微鏡観察の実施によって，顕微鏡の扱い方を修得させると共に，野生メダカの体色の変化が色素細胞の形態の変化によることを理解させる。環境に応じた動物細胞の生理的な変化が神経系によって調節されていることを同時に理解させる。
５．指導の内容
⑴　野生メダカを黒い容器に10分間入れた後に白い容器に移したとき，黒色化した体色が白色化する様子を観察させる。
⑵　黒色と白色の容器に少量の水と共にメダカを入れて，体色が変化した後，それぞれのメダカの鱗をスポイドの吸引力を利用して剥がし採り，別々に即時グルタールアルデヒド溶液に入れて室温で約５分間固定する。その鱗を小量の固定液と共にスライドガラスの上に置き，カバーガラスをかけて検鏡させ，両メダカの黒色素胞の形態の違いを観察させる。
⑶　メダカの体色が環境の背色によって変化するしくみを神経情報に応じた色素胞の形態の変化によることを，実験実習後概念図のスライドを用いて理解させる。
６．使用する材料・器具・薬品
　材　　料：野生メダカの成魚（一人に２匹ずつ配布）。
　器　　具：顕微鏡，スライドガラス，４％グルタールアルデヒド，カバーガラス，ピンセット，スポイド，黒い色の容器，白い色の容器。
　補助教材：スライド『メダカ体色変化の実験結果』，『黒・白色化時の黒色素胞の形態』，『黒色素胞』，『メダカの随意運動の反応と背地反応の比較のための概念図』。
７．展開
　実験実習は，観察実習１及び２の２回に分けて，各実習は，ａ～ｃの流れで実施させる。
＜観察実習１＞（１時限目）
ａ．各自持参した，内壁が黒と白のコーヒーカップ等の容器に水を３㎝まで満たし，野生メダカを入れ，10分間体色の変化の様子を観察させる。
ｂ．黒い容器のメダカを水ごと白い容器のメダカに加え，その瞬間の両方のメダカの体色の差異と，加えたメダカの黒色化した体色が白色化する様子を観察させる。
ｃ．次の指示により，実験結果を記録させる。

両方のメダカを白い容器に合わせた直後の体色の違いを観察し，気づいたことを書きなさい。また，そのまま10分間放置して，両方のメダカの体色はどのように変化したか書きなさい。

＜観察実習２＞（２時限目）
ａ．水を３㎝まで入れた黒い容器に野生メダカを入れ，10分間背地反応させた後，容器の水を極力除き，メダカの動きを止めさせる。その状態で，スポイドの吸引力によって，メダカの鱗を剥がし取り，グルタールアルデヒド溶液に入れて固定させる。充分に観察できる数の鱗を得ることができれば，次にそのメダカを白い容器に10分間背地反応させ，同じ方法で，鱗を別の容器に固定させる。
ｂ．固定した鱗上の黒色素胞の形態をスケッチし，比較させる。
ｃ．次の指示により，実験結果を記録させる。

それぞれの色の容器のメダカの鱗を観察して，メダカの体色の違いの原因となっていると思われるものがあれば，書きなさい。

＜事後接導＞（３時限目）次のａ～ｂの流れで学習させる。
ａ．スライド『メダカ体色変化の実験結果』，『黒・白色化時の黒色素胞の形態』，『黒色素胞』によって，体色の違いとなった黒色素胞の形態の変化について認識させる。
ｂ．メダカの背地反応のしくみとヒトの随意運動の反応をスライド『メダカの随意運動の反応と背地反応の比較のための概念図』で比較し，理解させる。

事後指導を実施（表１）し，その学習効果を調べた。

本研究においては，岐阜県の向陽台高等学校岐阜石井学園で平成７年度に生物ＩＡを履修，学習している２クラス（Ａ・Ｂ）46名の生徒を調査対象とした。

調査対象の生徒には，教科書として，啓林館《生物ＩＡ（平成７年度用)》単元：調節の主役－神経系による調節－（pp.56～58）を他の教材資料を用いないで説明した後，実験実習（表１）を実施した。

１．野生メダカの背地反応の観察

野生メダカの背地反応を観察させるために，実験室でふ化後１年の雄成魚メダカを一人に２匹ずつ与えた。それぞれの個体を約３㎝の深さまで水を入れた黒と白のコーヒーカップなど各自持参した容器に10分間室温で背地の色調に反応させた後，体色の変化を観察させた。次に，いったん黒色化したメダカが白い色調に背地反応する様子を観察させるために，黒い容器で背地

反応したメダカを水ごと白い方の容器に移して，体色がどのように変化したかを白い色調に背地反応したメダカの体色と比較・観察させた。また，黒色化したメダカの体色が白色化するのに要する時間を記録させた。

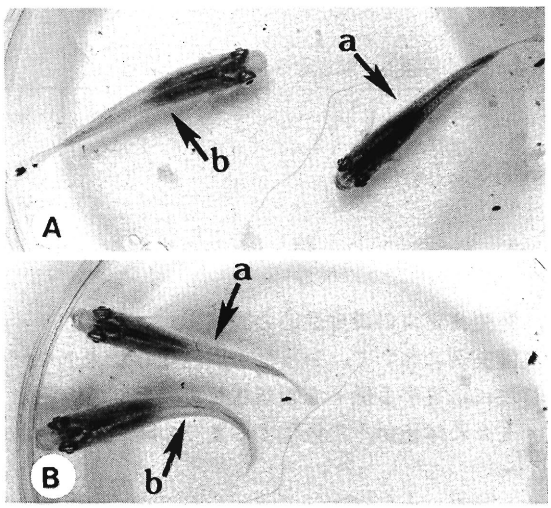


図1　野生メダカの背地反応
A：黒い容器に１０分間入れたメダカ（a）を白い容器に１０分間入れたメダカ（b）と白い容器の中で一緒にした直後。
B：Aの状態で１０分後。　（×２）

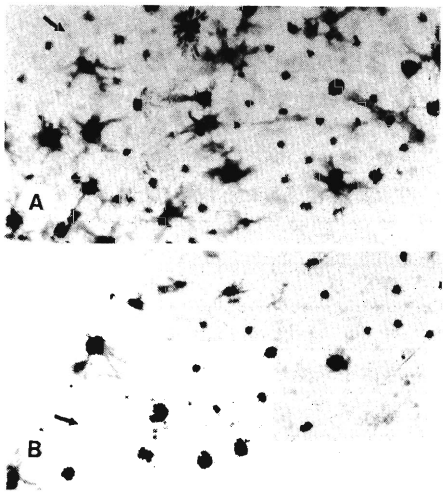


図2　黒・白色化時の鱗上の黒色素胞及び黄色素胞の形態
A:黒色背地に応答したメダカの鱗上の色素胞。
B:白色背地に応答したメダカの鱗上の色素胞。矢印は黄色素胞を示す。　（×150）

観察で背地反応を確認できたか否かを調査するために，『両方のメダカを白い容器に合わせた直後の体色の違いを観察し，気づいたことを書きなさい』と投問して文章で解答させ，さらにメダカの体のどの部分が黒色化していたと認識したかについても調査した。

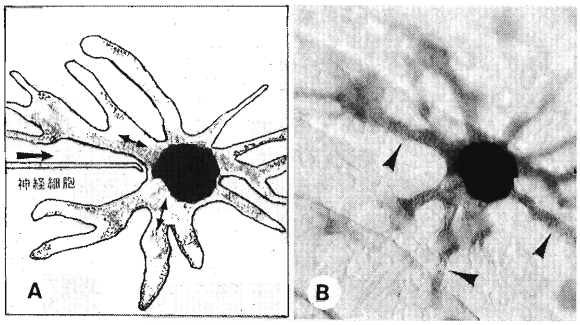


図3　メダカの黒色素胞
A：黒色素胞の模式図：両矢印の方向にメラニン顆粒が動く。神経細胞の矢印は刺激方向を示す。
B：鱗上の黒色素胞の顕微鏡写真。
色素細胞は、不定型に伸長した突起（矢じり）をいくつかもち，その中に黒色のメラニン顆粒がある。そのメラニン顆粒が細胞の突起部分に広がると，細胞全体が黒くなる。　（×400）

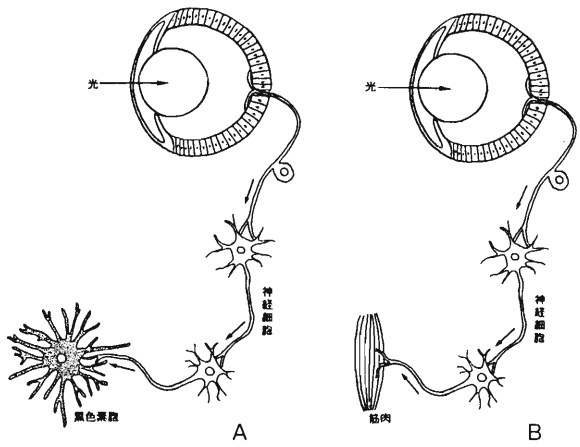


図4　メダカの視覚の刺激から反応までの概念図
A　背地反応：視覚からの刺激によって色素胞が反応する系。
B　随意運動：視覚からの刺激によって筋肉が反応する系。

2．背地反応した野生メダカの鱗の黒色素胞の観察

体色変化に伴う鱗上の黒色素胞の形態変化を理解させるために，背地反応したメダカの鱗を剥がし採って，その表面の色素胞を顕微鏡で観察させた。はじめに雄メダカを黒い容器で背地反応させた後，その容器の水を減らして，メダカを泳げなくし，背側中央部の鱗をピペットの吸引力を利用して剥ぎとり，４％グルターアルデヒド溶液に入れて固定させた。５分以上固定した鱗をピペットで，重ならないようにスライドガラス上に広げ，カバーガラスをかけて検鏡，スケッチさせた。次に，同じメダカを白い色調に背地反応させ，同じ方法で，同じ場所の鱗を観察させた。

体色変化に伴う鱗上の黒色素胞の形態の変化を理解

表２　背地反応の理解度を確かめるための設問

問１．周りの背色が黒色か白色によってメダカの体色は黒色化または白色化する。これは，体表の黒色素胞の黒い色素粒が凝集したり，拡散したりすることによる。このような反応を背地反応と呼んでいる。この背地反応は，黒・白以外の色（たとえば赤・黄・青）に対しても生じると思うか。その理由を書きなさい。
問２．メダカは，暗闇の中でも，背地反応を生じると思うか。また，その理由を書きなさい。
問３．脳を破壊すると背地反応は生じると思うか。また，その理由を書きなさい。
問４．背地反応時に，体色がよく変化する体の部分と，そうでない部分がある。なぜそのようになると思うか。その理由を書きなさい。
問５．メダカが敵を見て逃げる反応のしくみと背地に反応するしくみとの間の共通点と相違点を書きなさい。

したか否かを確かめるために，生徒に『白・黒の色の容器のメダカから剥がし採った鱗を観察して，メダカの体色の違いの原因となっていると思われるものがあれば，書きなさい』の問いについて文章で解答させ，生徒が何を体色の黒・白色化の原因と判断したかを調査した。

３．『メダカの背地反応の実験実習』の事後指導と理解度の調査

実験実習を実施した後，生徒に実験結果の意味を正しく理解させるために，事後指導を行った。

この指導を助ける目的で，教材用スライドとして『メダカ体色変化の実験結果』（図１），『黒・白色化時の黒色素胞の形態』（図２），『黒色素胞』（図３），『メダカの随意運動の反応と体色変化の比較のための概念図』（図４）を作成した。

スライド『メダカ体色変化の実験結果』及び『黒・白色化時の黒色素胞の形態』は，実験実習の結果に適切な記号を加えて作成した。スライド『黒色素胞』は，黒色素胞で，色素粒の凝集途中または，拡散途中の状態の顕微鏡写真に，それを説明するための模式図を加えて作成した。

事後指導の内容は，スライド『メダカ体色変化の実験結果』で，背地反応によってメダカの体色が変化したことを確認し，その原因が黒色素胞の黒色色素の移動にあることをスライド『黒・白色化時の黒色素胞の形態』及び『黒色素胞』で，さらに，背地反応のしくみとそれが神経系の調節作用の一つであることをスライド『メダカの随意運動の反応と体色変化の比較のための概念図』で説明した。

実験実習の終了後，実験授業を受けた全生徒（実習群）とそれを受けなかった生徒（対象群）に『背地反応の理解度を確かめるための設問』（表２）について解答させ，その学習効果を調べた。対照群は，実験実習を実施した同じ高等学校の生徒で，生物ＩＡを履修している生徒の２クラス（Ｃ・Ｄ）75名の生徒であった。対照群の生徒には，実習群の生徒と同じように，教科書を他の教材資料を用いないで学習させた後，実験実習の事後指導で用いたスライドを利用して，メダカの背地反応について事後指導で行ったのと同じ内容の説明をした。

結　果

１．野生メダカの背地反応の観察

実験実習において，いったん黒色化したメダカが白色背地に応答する様子を観察させた。そして黒色化したメダカの体色が，白色化するまでの時間を記録させた。

その結果，白色容器に一緒にした直後の黒色背地に応答したメダカと白色背地に応答したメダカは，それぞれ顕著な体色の違いを示した（図１Ａ）。黒色化したメダカの体色は，白い色調の容器の中では次第に白色化に向い，１～２分後には濃い黒色部分が殆どなくなった。一緒にして10分後の時点では，両方のメダカの体色との差異が認められなくなった（図１Ｂ）。一部の生徒は，黒と白の容器に交互にメダカを何度も移し変えて，体色の変化を観察したり，容器に蓋をした場合のメダカの体色変化を調べていた。

表３　生徒が黒色化したと判断したメダカの体の部分

体の部分	人数（46名中%*）
背　び　れ	57 %
背 面 全 体	33 %
背面中央部分	30 %
頭　　部	4 %

＊%は複数解答で，少数以下四捨五入で算出したもの。

表４　体色黒化の原因についての生徒の考え

体色黒化の原因	人数（46名中%*）
鱗上の黒色素胞が広がったため	85 %
鱗上の黒色素胞の数が増えたため	43 %

＊%は複数解答で，少数以下四捨五入で算出したもの。

生徒は，『両方のメダカを白い容器に合わせた直後の体色の違いを観察し，気づいたことを書きなさい』に対して，全員が黒い容器のメダカの体色が黒色化したことを確認していた。また黒くなった体の部分については，背びれ（57%），背面全体（33%），背面中央部分（30%），頭部（４%）と解答した（表3）。また，『そのまま10分間放置して，両方のメダカの体色は，どのように変化したか書きなさい。』については，全員が，片方の黒っぽいメダカが白っぽくなり，２匹の体色が同じになったことを確認し，黒色化したメダカが白色の背地に応答して，白色化することを理解した。

２．背地反応した野生メダカの鱗の黒色素胞の観察

メダカの体色の変化の主な原因と考えられている黒色素胞の形態を，顕微鏡で観察させた結果，生徒の観察していた黒色化した野生メダカの鱗上の黒色素胞の半数以上で黒色色素が拡散しているのが認められたが，同一鱗上の黒色素胞でもその状態は一様ではなく，個体差がみられた（図２Ａ）。また，色素が細胞中心に凝集途中と見られる黒色素胞もあった（図３Ｂ）。一方，同じメダカを白色背地に応答させて，同じ方法で鱗を調べさせた結果，生徒の観察していた鱗でほとんどの黒色素胞の色素が凝集していた（図２Ｂ）。両者の観察結果の比較から，明らかに黒色背地に応答したメダカから得た鱗上の黒色素胞が，白色背地に応答したメダカから得た鱗上の黒色素胞よりも，拡大しているように見えた。また，鱗上には，黒色素胞以外に，黄色素胞の分布が観察された。以上のような結果を，すべての生徒が得ていたことを机間巡視によって，確認した。

『それぞれの色の容器のメダカの鱗を観察して，メダカの体色の違いの原因となっていると思われるものがあれば，書きなさい』の問いについて生徒に文章で解答させた結果，メダカの体色の黒色化の原因として，生徒の85%が『黒色素胞が広がったため』と黒色素胞の形態の変化に着目することができた（表４）が，生徒の43%は『黒色素胞の数が増えたため』と解答し，黒色素胞の数の変化に着目する誤認識が見られた。

３．『メダカの背地反応の実験』の事後指導と理解度の調査

実験実習後の指導において，スライド『メダカ体色変化の実験結果』（図１）を使用し，黒い色調に背地反応したメダカと白い色調に背地反応したメダカの体色が明瞭に異なっていることと，前者は背面全体の特に背面中央部の黒色化が著しいことを説明した。

次に，スライド『黒・白色化時の黒色素胞の形態』（図２）を使用し，実験観察の結果，黒い色調の背地に応答した時の鱗と白い色調の背地に応答した時の鱗の間に黒色素胞の形態に著しい違いがあることを理解させ，それが体色変化の原因になっていることを説明した。ここで，『体色の黒色化が黒色素胞の数が増えたため』との考え方が誤認識であることを指摘した。

さらに，スライド『黒色素胞』（図３）によって，黒色素胞の形態の変化は，色素胞自体の形態が変化するのではなく，色素胞の中の黒色素の拡散・凝集によって生じることを説明した。

最後に，『メダカの随意運動の反応と体色変化の比較のための概念図』（図４）を使用し，背地反応が神経系の調節作用の結果であることを説明した。

事後指導終了後，『背地反応の理解度を確かめるための設問』５問に答えさせ，実験実習の学習効果を確かめるために，事後指導と同じ指導のみを行った対照群と比較，検討した（表５）。

その結果，問１の『背地反応は，黒・白以外の色に対しても生じると思うか』に対しては，実習群の生徒は46%が『黄色素胞があったので，黄色にも反応する』，７%が『黒色以外の色素胞があったので，他の色に反応する』と顕微鏡観察の結果を判断理由にして解答した。

これに対して，対照群の生徒は『他の色にも反応する』と24%が解答していたが，その理由として，１名が『他に色素があればそれが反応する』，もう１名が『カメレオンの体色変化と同じ仕組み』と答えたほかは『敵から逃れるため』と答えて，関連した事実をあげることができずに根拠のない推測をしていた。

問２の『メダカは，暗闇の中でも，背地反応を生じると思うか』については，実習群の生徒のうち50%が『色の判断ができないから生じない』と解答し，対照群の生徒は11%が『敵から身を守る必要がないから生じない』，４%が『色の判断ができないから生じない』と解答した。

問３の『脳を破壊すると背地反応は生じるか』について，実習群の生徒の87%，対照群の生徒の71%が『色の判断と細胞への命令ができないので生じない』と答えた。

問４の『背地反応によって体色がよく変化する部分と，そうでない部分がある。なぜそのようになると思うか』について，『黒色素胞がある場所とない場所がある』（実習群の生徒の59%，対照群43%）と『黒色素胞まで，神経が通じている場所と通じていない場所がある』（実習群の生徒１%，対照群４%）との２種類の解答が，背地反応が神経系の反応であって，その条件の一部が欠けていたので反応が悪くなったと考えていた。また，『細胞によって反応の早さが異なるため』（実習群の生徒51%，対照群４%）と『脳に近い部分は早く反応し，遠い部分の反応は遅い』（対照群３%）は，反応の差を反応の伝わる早さの差によると考えた解答であった。

問５の『メダカが敵を見て逃げる反応のしくみと背

表5　背地反応の理解度を確かめるための問いに対する解答

問1	周りの背色が黒色か白色によって，メダカの体色は黒色化または白色化する。これは，体表の黒色素胞の黒い色素粒が凝集したり，拡散したりすることによる。このような反応を背地反応と呼んでいる。この背地反応は，黒・白以外の色（たとえば赤・黄・青）に対しても生じると思うか。また，その理由を書きなさい。		
解答	実習群		46% 黄色に反応する（顕微鏡観察で，黄色素胞があったから)。 7% 他の色でも反応する（顕微鏡観察で，黒以外の色素胞もあったから)。 7% 他の色では反応しない（黒色素胞が背地反応の原因だから)。 41% 理由が無記入の解答，問題の意味を取り違えている誤答，無解答。
	対照群		20% 他の色にも反応する（敵からのがれるために，色々な色になると思う)。 1% 他の色にも反応する（他の色素があれば，反応すると思う)。 1% 他の色にも反応する（カメレオンと同じ仕組みで体色が変化すると思うから)。 1% 他の色には反応しない（水の中で，そんなに色々な色になる必要がない)。 1% 他の色には反応しない（青い水槽でメダカを飼っても，青くならなかった)。 75% 理由が無記入の解答，問題の意味を取り違えている誤答，無解答。
問2	メダカは，暗闇の中でも，背地反応を生じると思うか。また，その理由を書きなさい。		
解答	実習群		2% 生じる（明るさと色は関係ないため)。 50% 生じない（色の判断ができないから)。 48% 理由が無記入の解答，問題の意味を取り違えている誤答，無解答。
	対照群		11% 生じない（暗い場所では，敵から身を守る必要がないから)。 4% 生じない（色の判断ができないから)。 85% 理由が無記入の解答，問題の意味を取り違えている誤答，無解答。
問3	脳を破壊すると背地反応は生じると思うか。また，その理由を書きなさい。		
解答	実習群		2% 生じる（細胞だけでも生きているから，反応はできる)。 87% 生じない（色の判断と，細胞への命令ができない)。 11% 理由が無記入の解答，問題の意味を取り違えている誤答，無解答。
	対照群		1% 生じる（細胞だけでも生きているから，反応はできる)。 1% 生じる（背地反応は，身を守るためのものだから，脳が破壊されても反応はするはずである)。 71% 生じない（色の判断と，細胞への命令ができない)。 27% 理由が無記入の解答，問題の意味を取り違えている誤答，無解答。
問4	背地反応時に体色がよく変化する部分と，そうでない部分がある。なぜそのようになると思うか。理由を書きなさい。		
解答	実習群		59% 黒色素胞がある場所とない場所があるため。 1% 細胞によって反応の早さが異なるため。 1% 黒色素胞まで，神経が通じている場所と通じてない場所がある。 40% 理由が無記入の解答，問題の意味を取り違えている誤答，無解答。
	対照群		43% 黒色素胞がある場所とない場所があるため。 4% 細胞によって反応の早さが異なるため。 4% 黒色素胞まで，神経が通じている場所と通じてない場所がある。 3% 脳に近い部分は早く反応し，遠い部分の反応は遅い。 3% 血液の循環がいい場所はよく反応し，悪い部分の反応は悪い。 3% 敵に見られやすい背中側はよく反応し，腹側はあまり反応しない。 41% 理由が無記入の解答，問題の意味を取り違えている誤答，無解答。
問5	メダカが敵を見て逃げる反応のしくみと背地に反応するしくみとの間の共通点と相違点を書きなさい。		
解答	実習群	共通点	76% 目の情報が脳を経由して起こる反応である。　24% 無解答・誤答。
		相違点	61% 筋肉が働くのと，黒色素胞が変化する点。　39% 無解答・誤答。
	対照群	共通点	16% 目の情報が脳を経由して起こる反応である。　84% 無解答・誤答。
		相違点	11% 筋肉が働くのと，黒色素胞が変化する点。　89% 無解答・誤答。

表中の（　）内は理由を表し，%は少数以下を四捨五入したものである。調査対象の生徒は，実習群の生徒46名（A，Bクラス）と対照群の生徒75名（C，Dクラス）であった。

地反応のしくみとの共通点と相違点を書きなさい』について，実習群では共通点76%，相違点61%が正答で，対照群では共通点16%，相違点11%が正答であった。

考　察

本研究の実験実習授業において，黒色化したメダカを白い容器に移動した後1～2分間で実験に使用したすべてのメダカで，白色化が見られた。

背地反応の実験において，背地の色調を変えるとそれに伴って明るさなど光線の他の条件をも変化させる可能性がある。また，光が眼を通さずに色素胞に刺激を与えることもあり（桧山，1948)[7]，体色変化の原因を厳密に判断するには，照度等の光に関するすべての条件を一定にして，実験する必要がある。しかし，高等学校の生徒に神経系の調節のしくみを理解させるための今回の生徒実験においては，単純に色調を変えただけで，使用したメダカすべてが速やかに共通した体色変化を生じ，その原因が背色の変化によることを容易に理解できるものであった。この結果は，野生メダカの背地反応の特徴を明瞭に示すことができる教材としての有効性を示すものである。

また，今回の実験実習授業においては，分レベルの速さでの体色変化が見られた。硬骨魚類の体色変化の早さは，神経系の反応であるために速く，種によっては１分以内に現れることが確認されている(大沢,1982;柳田,1956)[6,8]。実験実習中に観察された体色の速い変化が神経系の示す速い反応の特徴を示していると考えられる。この反応の速さについて，今後正確に調べさせるためにはストップウオッチを用いて，反応開始までの時間や終了までの時間を測定するなどの改善が必要である。

体色変化の観察の結果，生徒はメダカの体色変化した体の部分について，背びれ（57%），背面全体（33%），背面中央部分（30%），頭部（４%）の部分の体色の黒色化を確認した。生徒は短時間で生じつつある白色化の変化の中で，黒色の退色が遅い部分を黒色化の度合いが大きい部分と判断したようである。今回の観察方法によって生徒がメダカの体色の黒色化を認識できたこと，及び高校生に観察力を身につけさせられる点で，メダカが体色変化を学習させる教材として適切なものであることが示された。

すべての実験実習において，生徒が黒色背地に応答したメダカと白色背地に応答したメダカの鱗上の色素胞の観察結果の比較により，明らかに黒い背色に応答したメダカから得た鱗上の黒色素胞の多くが，白い背色に応答したメダカから得たものよりも，拡大しているように見える観察結果が得られた。

これまでにも，メダカの背地反応に関して色素胞を調べるための実験方法が報告されている（池田，1943)[9]が，今回の実験実習のように異なった鱗の色素胞を比較する場合，それぞれの鱗上の色素胞が同じ条件のもとでは，同じ反応性を示すことが重要である。体色変化の反応は，魚の年齢，性によって異なり（川本，1956)[3]，同じ個体から剥がし取った鱗でも，それを採った部分によって色素胞の反応の度合に差がある(榎並，1954)[10]。これらの要因が，結果に影響しないように，実験実習では，すべてふ化後１年のオスの野生メダカを用い，顕微鏡観察には同一の個体の背側中央部の鱗を採取して使用するように指導した。また，色素胞が生理的変化を生じやすいことを考慮し，直接スポイドを用いて鱗を剥がし採り，固定するまでの時間を10～20秒程度にとどめるように指導した。

以上の条件下では，いずれの実験実習群においても，メダカの体色の変化が黒色素胞の形態の違いとして確認できる結果が得られたことから，黒色素胞の形態の変化が背地反応に伴った体色変化の原因であると判断できる。このことから，顕微鏡による鱗の観察は，高校生に，黒色素胞の形態的変化が体色変化の原因であることを理解させるのに効果的な教材になることが判った。事実，顕微鏡観察の結果から，実験実習を行った生徒の85%が体色変化の原因として『鱗上の黒色素胞が広がったため』と，黒色素胞の形態の変化に着目することができた。ところが，一方では，その生徒も含めた43%の生徒が『鱗上の黒色素胞の数が増えたため』と解答し，黒色素胞の数の変化に着目していた。これは，机間巡視で生徒の顕微鏡を覗いて確認した結果と異なっており，生徒が多くの鱗をよく観察しなかったために，その黒色素胞の分布に個体差があることに気づかなかったことによる誤認識で，実験実習において，このような誤認識を防ぐには意識させて注意深く観察させるための指導が必要である。

同一鱗上の神経分布の差異が色素の反応の個体差を生じるとの報告もある(石橋，1960)[11]ことから，生徒に体色と，黒色素胞の色素の拡散状態の関係を考察させるためには，鱗ごとに黒色素胞の色素の拡散の度合の違いを相対的に判断させる必要がある。そのためには，予め黒色素胞の色素の拡散状態を数段階に分けて図示したプリントを配布し，それを基準にして観察した鱗上の各段階の黒色素胞の数を数えさせるなどの指導方法を工夫する必要がある。

本研究において，実験授業の学習効果を調べるための背地反応の理解度を確かめるための設問の問１『背地反応は，黒・白以外の色に対しても生じると思うか』については，実習群の生徒の46%が『黄色素胞があったので，黄色に反応する』，７%が『黒色以外の色素胞があったので，他の色に反応する』と色素があれば反応すると考えた。これに対して，対照群では『他に色素があればそれが反応する』と答えた生徒はわずかに１%に過ぎなかった。この結果は，実験実習において，色素胞が背地反応の作働体として働いていることを理解したものであると思われる。確かに，実習群の生徒は，顕微鏡で鱗に黄色素胞があることを観察している。しかし，この結果から色素胞が，作働体として働けば，黄色の背色に対する背地反応が生じ得ることを推測できるには，ひとつの観察事実から，他の条件下での結果を類推する思考活動が必要である。このような思考活動を生じさせる体験による直感力を養うための学習効果は，非常に大きいと判断できよう。

対照群の生徒の中に，『カメレオンの体色変化と同じ仕組み』の答えがあったが，カメレオンの体色変化は一次応答と呼ばれ(柳田,1956)[8]，背地反応とは別の仕組みで生じる反応である。しかし，カメレオンの体色変化はよく知られており，この反応の違いを授業の中で解説する必要がある。

問２の『メダカは，暗闇の中でも，背地反応を生じると思うか』に対して，『色の判断ができないから生じない』と，眼からの情報が背地反応を生じさせることを理解して解答をしたのは，実習群の生徒では50%，対照群の生徒は僅か４%であった。

この設問は，実験実習で得た知識を直接解答に利用できるものではないし，実験を経験していなくても，

背地反応のしくみを理解していれば，解答が可能である。それにも関わらず実習群の生徒と対照群の生徒では正答率に差が生じた。この問いに対する実験実習の効果の一つは，実験実習中にみられた容器に蓋をした場合のメダカの体色変化を調べていた生徒の行動から，生徒の自主的，積極的な学習活動によるものと考えられる。

しかしながら，実習群，対照群ともに無解答，誤答の生徒が多くあったことは，スライド『メダカの随意運動の反応と体色変化の比較のための概念図』を使用した背地反応のしくみの説明の理解が不十分であったことを示している可能性がある。今後，実験実習後の指導において生徒の学習能力レベルに合わせての指導方法の検討が必要であろう。

問3『脳を破壊すると背地反応は生じるか』について，実習群の生徒の87%，対照群の生徒の71%が『色の判断と細胞への命令ができないので生じない』と答えた。この正答は，一般的な神経系の反応についての考え方をメダカの背地反応に当てはめて判断する演繹的な思考活動を必要とすると考えられる。本研究で，対照群でも，71%の生徒が解答できたことは，高校生にとってメダカの背地反応を神経系の調節の仕組みの一つとして考察することが容易であることを示しているとも考えられる。

問4の『背地反応によって体色がよく変化する部分と，そうでない部分がある。なぜそのようになると思うか。』に対して，『黒色素胞がある場所とない場所がある』（実習群59%，対照群43%），『黒色素胞まで，神経が通じている場所と通じていない場所がある』（実習群1%，対照群4%）のそれぞれの解答が，背地反応が生じないのが神経系の反応の要素の何かが欠けているためと仮定して演繹的に推理したものと考えられる。

このような思考活動を行った生徒が，実習群の生徒で60%，対照群の生徒で47%いたことは，前記の結果と同様に，背地反応が神経系の調節のしくみによると考えることが容易であることを示している。また，実習群の生徒が，実際に鱗上の黒色素胞の分布に個体差があることを観察した経験から容易に認識できることも『黒色素胞がある場所とない場所がある』の解答が，対照群に比べて多くなった要因と考えられる。

問5の『メダカが敵を見て逃げる反応のしくみと背地反応のしくみの間に，共通点と相違点を書きなさい』に対して，実習群の生徒は，共通点76%，相違点61%が正答で，対照群では，共通点16%，相違点11%が正答であった。

この問いは，『メダカが敵を見て逃げる反応』が『メダカの随意運動』であることに気づけば，スライド『メダカの随意運動の反応と体色変化の比較のための概念図』を用いた説明の内容と同じ解答を求めていることが理解できる。従って『共通点』については，実習群の生徒が，対照群の生徒よりもはるかにこのスライドの説明をよく理解でき，また，『相違点』については，対照群の理解が低い結果を示している。『共通点』・『相違点』について，実習群の生徒の理解力が高まったのも，実験による学習効果であると考えられる。前述のように，本研究ではメダカの背地反応が神経系の反応の一つであると推理することが容易であることを示している。従って，実習群の生徒は，実験実習によって，メダカの背地反応そのものの理解だけではなく，神経系のしくみ自体の特徴を理解するのに効果があったと思われる。それが，スライド『メダカの随意運動の反応と体色変化の比較のための概念図』を用いた説明だけを受けた対照群の生徒よりもよく理解できたという結果に現れたのであろう。一方，『相違点』について，実習群でも理解があまり良くなかったのは，神経系のはたらきにおいて，『筋肉』も『色素胞』も作働体という同じ範疇に分類できることを生徒が十分に理解できていない可能性がある。スライドでは，作働体として随意運動では筋肉，背地反応では黒色素胞だけが描かれているが，これらの他にも色々な作働体があることを示せば，『感覚器→神経→中枢→作働体』の基本概念がより理解でき，随意運動のしくみと背地反応のしくみの相違点を，自分の言葉で解答できる生徒を増やすことができると思われる。

以上の設問に対する解答の調査より，実習群の生徒は，実験実習を通して一つの結果から，他の現象を類推したり，新たな疑問を持って解決しようとする思考活動を行っていることがわかった。これらの思考活動においては，背地反応を神経系の働きの一つとしてとらえて，演繹的に個々の現象を推察しているものと思われる。このことは，背地反応を授業に導入することで，神経系の働きの特徴の理解が深められることを意味している。

現在，生徒の『理科離れ』の現状や原因について論議され，その対策が研究され，その成果が報告されている（鈴木，1994）[12]。生物教育における，これらの問題に対する最も有効な方策の一つは従来から指摘されているように授業に生き物を扱って生徒の興味・関心を引き出すことであり，そのある効果は本研究でも認められた。しかし，これらのメインテナンス等，現場では面倒な問題もあり（中西，1993）[13]，学習意欲を高めることで，本来実験実習を実施すべき学習内容でも，図説などを用いた説明のみで学習させることも多くある。その意味では，本研究に用いたメダカは，入手と維持が容易で，今後，有効な生物教材になり得る可能性がある。また，このような扱いやすい生物を材料とした実験・観察の開発が求められる。

しかし，一方で，観察・実験だけを実施しても，学習効果の向上が期待できない事例についても報告があ

る（鈴木，1994）[14]。本研究では，実験授業後の事後指導（実験のまとめ）に概念図を導入したが，図や説明に適切さを欠いていたためか実験結果の理解を誤れば，十分な学習効果を得られない原因となる事例が認められた。これらは，観察・実験が充分吟味されて計画・実施されること，及び実習後における概念の解説が適切になされることの必要性を示すもので，実験実習の途中で概念の理解度を把握し，その修正を適切に加える指導が必要であると考えられる。また，実験計画の作成にあたっては，このような機会を十分に見込んでの立案が必要であろうと思われる。

文　献

1）沼野井春雄，1967. 動物の生理・生化学. 現代生物学大系9，中山書店，pp.306-313.
2）桧山義夫，1948. 魚類実験生態論. 鳳応文書林，pp.71-74.
3）川本信之，1956. 魚類生理学. 石崎書店，p.221.
4）山本時男，1951. 動物生理の実験. 河出書房，pp.75-76.
5）岩松鷹司，1993. メダカ学. サイエンティスト社（東京），pp.80-81.
6）大沢一爽，1982. メダカの実験. 共立出版株式会社，pp.49-71.
7）桧山義夫，1948. 魚類実験生態論. 鳳応文書林，p.61.
8）柳田為正，1956. 一般生理学（本川弘一・奥貫一男・冨田軍二編）. 朝倉書店，pp.277-280.
9）池田嘉平，1943. 生物実験. 日本出版社，pp.137-138.
10）榎並仁，1954. 生物学実験法講座　第6巻A（岡田弥一郎著）. 中山書店，pp.17-19.
11）石橋貴昭，1960. 動物学雑誌，69: 336-343.
12）鈴木誠，1994. 理科の教育，6: 379-381.
13）中西克爾，1993. 理科の教育，5: 316-319.
14）鈴木誠，1994. 日本理科教育学会研究紀要，34: 1-5.

謝　辞

本研究にあたり，写真撮影にご協力下さいました岐阜環境衛生研究所の村瀬秀也先生と水野写真館の水野浩氏，また，実験授業の実施に協力下さいました向陽台高等学校岐阜石井学園の曽我友紀子教諭に深く感謝申し上げます。