

メダカの形質遺伝について探る

2020.3月—2022.5月
愛媛県立今治西高等学校 生物部 メダカ班 越智勇成

- 1.研究動機
- 2.実験・結果
- 3.今後の展望
- 4.謝辞・参考文献
- 5.生物系三学会島根大会2022(2022.5.21開催)における質疑応答

1. 研究動機

近年、メダカは数多くの交配が行われ、その品種数はおよそ770種類にも及んでいる。メダカは、黒色素胞(図1)、白色素胞、黄色素胞(図2)、虹色素胞(図3)の4種類の色素胞を持っており、4種類の色素胞の発現の仕方や有無によってこれほどまでの品種数を作り出すことができている。数多くいるメダカの中で、特に近年注目されているのが、緑色のメダカである。しかし、メダカにおいて緑色素胞というものは確認されていない。それなのに緑色のメダカがいることを不思議に思った。また、今回の研究で緑色の体色が発現するメカニズムを解明することで、今後の品種改良に大きく貢献できると考え、研究を行った。

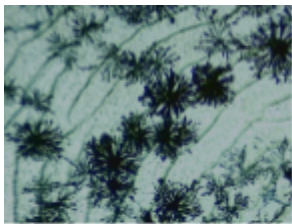


図1 黒色素胞

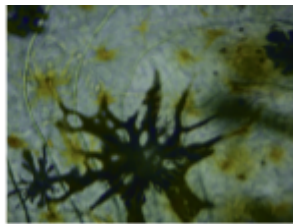


図2 黄色素胞

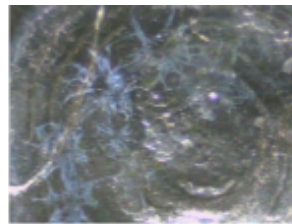


図3 白色素胞

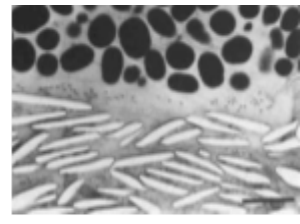


図4 虹色素胞

虹色素胞写真引用元「Deficiency of the Gene *B* Impairs Differentiation of Melanophores in the Medaka Fish, *Oryzias latipes*: Fine Structure Studies」

2.実験・結果

緑色の体色が発現するメカニズムを知るために、緑色のメダカを作ることから始めた。

「緑色の体色を発現させるためには、絵の具のように、青色と黄色を掛け合わせるとよいのではないか。」という仮説を立て、以下の実験①を行った。

実験①

仮説より、青系のドラゴンブルーメダカ(青体外光ヒカリメダカ 補足:ヒレ光)(図6, 7)とレモンスカッシュメダカ(黄半透明鱗ヒカリメダカ)(図7, 8)を交配させ、生まれたF₁の体色を撮影、評価した。

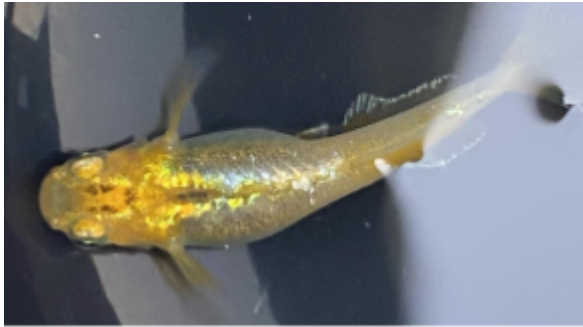


図5



図7



図6

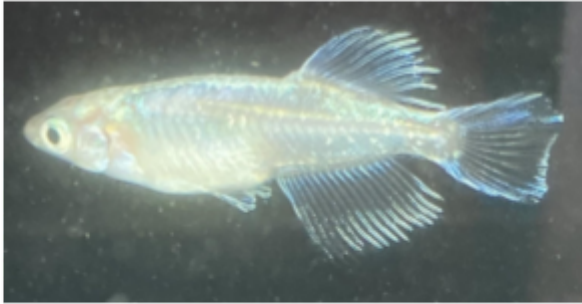


図8

【撮影・評価方法】ライトは対象から15cm、カメラは20cmライトから離して撮影した。(図9)撮影時はカーテンを閉めて蛍光灯を消し、照明はスタンドライトの光のみであった。使用カメラ FUJIFILM-X-T100-3704 設定:マニュアルモード・ホワイトバランス:電球 ISO 感度1200・シャッター速度1/640・F値 5.6 評価方法は、一眼レフで撮った写真をスマートフォンのアプリ「色彩ヘルパー」で3箇所(10ピクセル)の平均RGBデータを20回計測しその値を記録した。※頭部、胸鰭の付け根の間(背部)、背鰭の頭側から5mmの範囲から測定した。(図10)

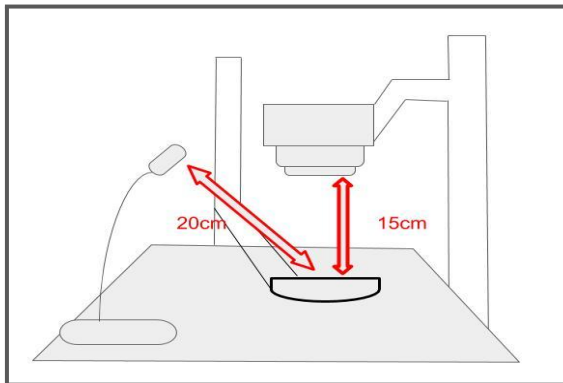


図9 撮影の様子

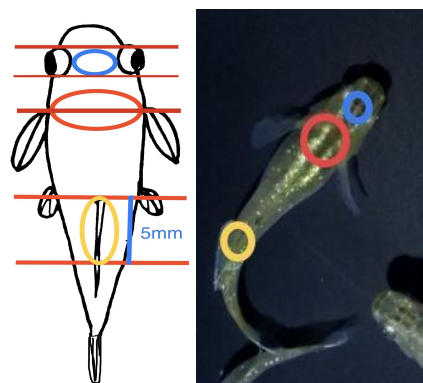


図10 撮影箇所

結果

今回の実験によって生まれてきたF₁は、茶系(図11)と青系(図12)に分かれ、その比率は茶系:青系=17:6(170:60)となった。また、茶系の中には背中の一部に黄緑色の光沢(図13)が発現した個体が確認できた。



図11 茶系



図12 青系



図13 黄緑色の光沢

考察

- ・茶系と青系の比が約3:1となっているから、茶系が優性の体色であると考えられるが、メンデル遺伝では、 F_2 において3:1に分かれるため、 F_2 においても茶系と青系の比を調べる必要がある。
- ・内臓の上(頭部の後ろ)に黄緑色の光沢が発現していたため、青色体外と黄色素胞が同時に発現したときに緑色に見えるのではないかと考えられる。

次に、実験①から得られた、黄緑色の光沢が発現した茶系どうしを交配すると、それらの光沢が体全体に広がっていくのではないかと仮説を立て、以下の実験②を行った。

実験②

黄緑色の光沢が発現した個体どうしを交配し、生まれた F_2 を実験①と同様の方法で撮影、評価した。

結果

・背中に黄緑色の光沢が発現している個体は生まれたが、光沢が伸びている個体は確認できなかった。 F_2 は10種類の体色に分かれた(図14)

・ F_2 で最も緑色に見えた個体(図15)と、 F_1 の茶系個体(図16)のRGBデータを比較すると、 F_2 の個体のほうが緑色(グラスグリーン)(図17)に近い値が確認できた。

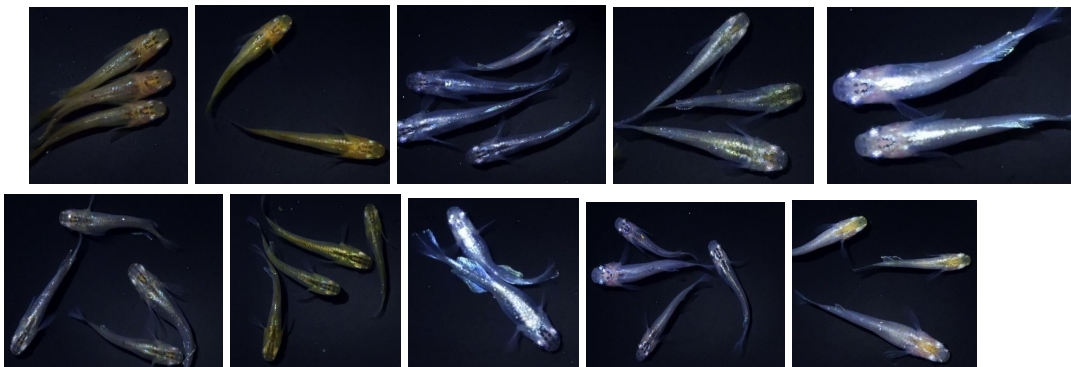


図14: 10通りに分かれた F_2

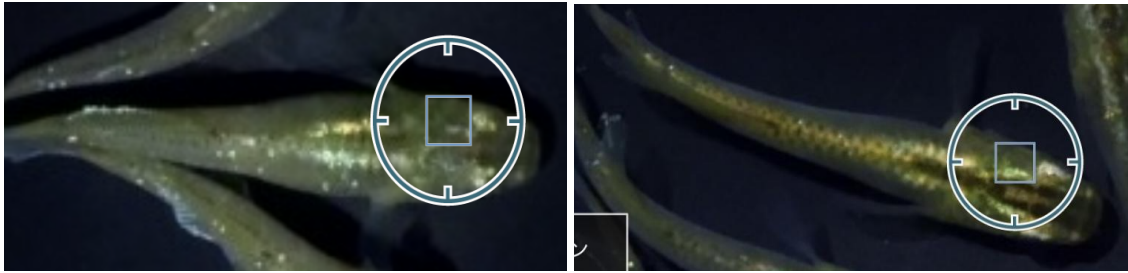


図15: F₁(茶系) R,G,B=72,84,48 図16: F₂(黄緑) R,G,B=110,125,65
 ※RGBデータは図中の□内の範囲による。



図17: グラスグリーンの色見本 R,G,B=112,128,68

考察

- ・緑の体色は遺伝し、累代すると色が濃くなっていくと考えられる。
- ・F₂の個体の茶系、青系の個体の比はほぼ1:1であったため、どちらの体色が顕性であるかを特定することはできなかった。F₂の個体数を増やすと共にF₃において、比率を調べる必要がある。

実験②の結果より、F₃においても緑色の体色が発現し、緑色の体色が濃くなっているのではないかという仮説を立て、以下の実験③を行った。

実験③

F₂で緑色の体色が発現している個体を交配し、生まれたF₃の体色を評価した。又、得られたRGBデータをもとに分布図を作成し、体色の変化の傾向を確認した。

結果

- ・F₃の個体(図18)にも緑色の体色が発現した個体を確認できた。
- ・F₂の個体よりも緑色が濃くなっていた(図19)。
- ・茶系と青系の生まれた割合は約3:1(79:26)であった。
- ・体色は茶系、青系、レモンスカッシュの3種類の体色に分かれた。



図18 茶系F₃

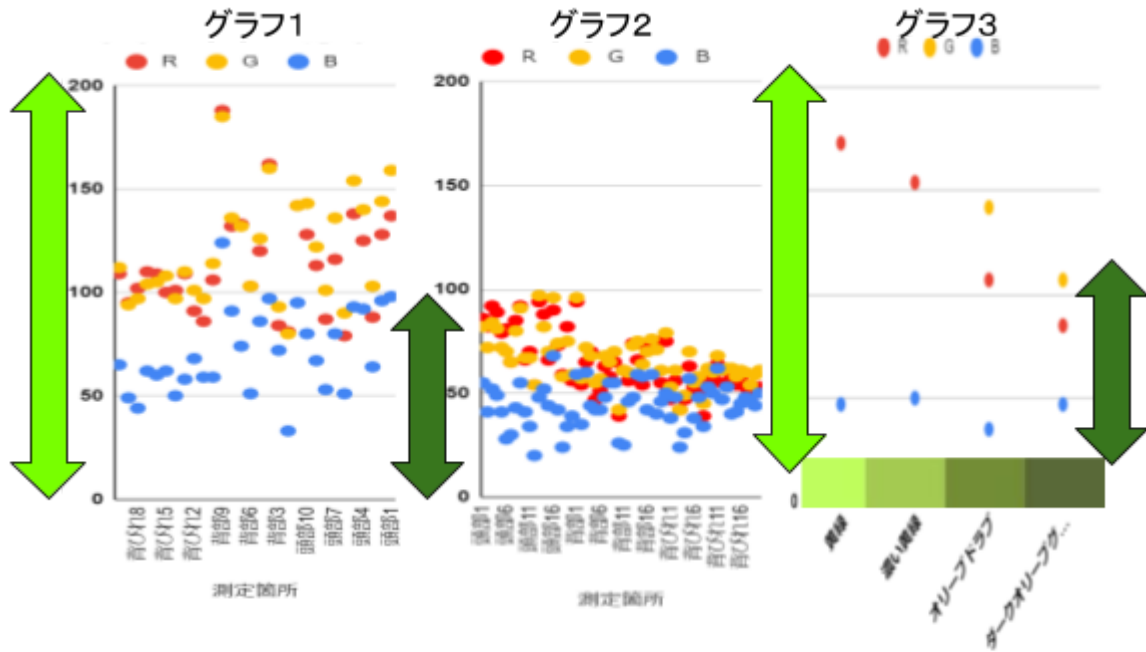


図19 左から茶系F₁、茶系F₂、緑色のRGB分布(左から、黄緑、濃い黄緑、オリーブドラブ、ダークオリーブグリーン)

グラフ3より、各値の差が小さいほど緑色が濃くなっていることがわかり、グラフ1,2より、F₃はF₂の個体よりも各値の差が小さくなっていることがわかる。

考察

- ・F₃の緑色の体色はF₂に比べて濃くなっていることから、緑色の体色は遺伝し、同系統間交配を重ねると濃くなると考えられる。
- ・茶系と青系の体色の比が約3:1になっていることから茶系が顕性の体色だと考えられる。

実験③までは茶系の緑色の体色にのみ着目していたが、青系においてはどのような体色が発現するのか、茶系と同様に緑色の体色が発現するのではないかと仮説を立て、以下の実験④を行った。

実験④

F₁の青系を交配し、生まれたF₂の体色を実験③と同様の方法で評価した。

結果

- ・F₂の個体(図20)は、青系とドラゴンブルーメダカの体色になった。
- ・体色の比率は、青系:ドラゴンブルー=57:7に分かれた。
- ・青系には背びれの部分に緑色の体色が発現しており、背部のRGBデータは灰色に近い値となった(R,G,B=162,175,154)(図21)。

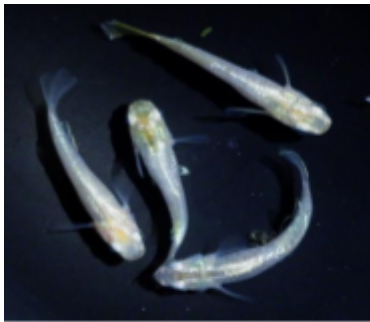


図20 青系F₂

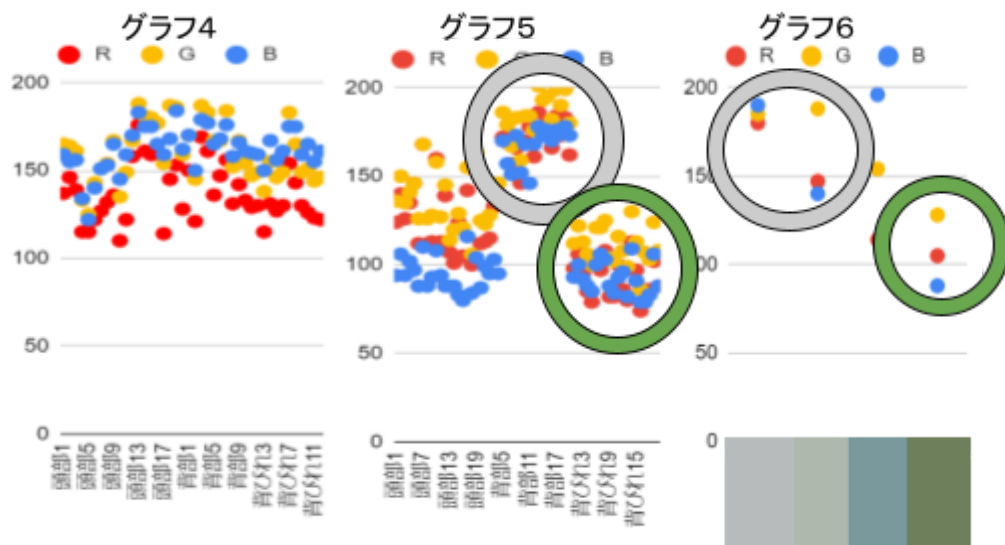


図21 左から青系F₁・青系F₂・体色の類似色(左から、スカイグレー、ダークシーグレー、浅葱色、松葉色)のRGB分布(縦軸はRGB値、横軸は測定箇所を表している。)

グラフ5,6より、青系F₂の背部はスカイグレーやダークシーグレー、背びれの部分は松葉色のRGBデータの分布に近くなっていることがわかる。

考察

- ・F₂で緑色の体色が発現していたことから、青系においても同系統間交配を重ねると緑色が濃くなっていくのではないかと考えられる。
- ・青系の個体を同系統間交配した結果、茶系の個体は生まれなかったことから、青系は潜性の体色であると考えられる。
- ・F₃の個体の背部のRGBデータが灰色に近い値になった原因は黄色素胞を持たない青系が背地反応を起こしたためだと考えられる。

3. 今後の展望

- ・今後も茶系、青系において同系統間交配を行い、体色の変化について調べていく。
- ・体色の評価では、今までの評価基準を見直し、色相・彩度・明度の違いについて考慮したうえでやっていく。

4. 参考文献・謝辞

【参考文献】

- ・メダカの館「メダカの見分け方解説」<https://www.medakanoyakata.jp/?mode=f81>
- ・「The 色素胞」メダカ通販 め組<https://medaka1medaka.ocnk.net/page/42>
- ・日本メダカ協会 品種分類マニュアルhttp://jma-medaka.jp/headquarters_event.html
- ・岡村 直道 2004「【総説】メダカの色素胞と体色変化—生物学実験:実験6について」
- ・『全訂増補版メダカ学全書』岩松 鷹司 大学教育出版,2018
- ・『100年めだか』めだかの館出版,2021
- ・「Deficiency of the Gene *B* Impairs Differentiation of Melanophores in the Medaka Fish, *Oryzias latipes*: Fine Structure Studies」Euichi Hirose. Jiro Matsumoto Volume 6, Issue 1 Pages: 45-51 February 1993
- ・「Exploring the trait inheritance of medaka」Yusei Ochi 霊長類研究 Supplement 37(0), 57-58, 2021

【謝辞】

虹色素胞画像の提供・色素胞の判定・撮影方法を助言してくださいました名古屋大学大学院理学研究科生命理学専攻器官機能学助教 橋本寿史様、メダカの管理・体色判定に関してご指導いただきました、JMA(日本メダカ協会)理事 大場幸雄様、メダカの館のスタッフの皆様にお礼申し上げます。

5. 生物系三学会島根大会2022(2022.5.21開催)における質疑応答

※質疑応答はチャット形式で行われ、その内容をQ&Aの形でまとめました。自分自身の見解も多く、不確実な応答もありますが、参考程度にご覧いただけると幸いです。

Q① 広橋 教貴 様 (島根大学)

かなり面白いと思います。4種類の色素胞が各部位でどのように分布しているのでしょうか。それがF1からF2でどう変化し、体色が変わるのでしょう。遺伝するのは何でしょうか、色素胞の数でしょうか。各色素胞の数や分布で個体差はどの程度ありそうですか？

A①

ご指摘ありがとうございます。

虹色素胞については、電子顕微鏡を使用できる期間が限られており、確認できませんでした。今回実験に使用している、「ヒカリメダカ」が「腹部を保護する虹色素胞が背中側に転写移ったことで背鰭より前方が光る。」ことから名付けられたことを踏まえると、背中部分には虹色素胞が存在していることが考えられます。

茶系では、F₁、F₂、F₃の個体において、胸鰭以外の鰭、頭部、背部で黒色素胞と黄色素胞が重なっているように見えました。同世代間における体の部位での色素胞の分布の違いはみられませんが、世代間における分布の違いは、世代が進んでゆくほど、黒色素胞の割合が多くなっていることが確認できました。

また、F₁、F₂の青系では白色素胞、黄色素胞、黒色素胞が確認できました。黒色素胞の分布はただで、背中の中鱗に分布している黒色素胞に注目すると、頭から尾に近づくにつれて黒色素胞の数が少なくなっていました。どちらの世代の個体も、背部では黄色素胞は確認できず、頭部と胸鰭以外の鰭で確認できました。

同じ部位で白色素胞と黄色素胞が確認できなかったのは、黄色素胞と白色素胞が、pax7aの発現に続いてsox5が発現すると黄色素胞、発現しないと白色素胞に分化するということが関係していると思われます。

また、茶系と青系のどちらにも、腹鰭、尻鰭、背鰭の先端部にヒレ光(鰭に虹色素胞が存在している状態)が確認できました。世代間におけるヒレ光の分布の差はありませんでした。この形質は、親であるドラゴンブルーメダカ(青色体外光ヒカリメダカ 補足:ヒレ光)から遺伝したものであると考えられ、茶系と青系の双方に同じ形質が発現していたことから、ヒレ光の形質は完全優勢であると考えられます。

先行研究で、緑色の体色に対する黒色素胞の関与を調べるため、白色容器に入れて背地反応を起こさせ、黒色素胞が収縮した状態での体色を評価した際、茶系においては、すべての世代の体色で緑色の体色は確認できず、F₁、F₂、F₃ともに黄土色に近いRGB値が得られました。しかし、肉眼で見た場合は、世代が進んでいくにつれて黄色みが強くなっていったと感じました。

これらのことから、遺伝するのは黒色素胞と黄色素胞、そして背部と胸鰭以外の鰭に存在する虹色素胞で、同系統間交配を重ねていくと、黒色素胞と黄色素胞の数が増えると考えられます。

個体差については、茶系ではそれほど差はなく、青系は差が大きかったです。ほとんど黒色素胞が確認できず、視野に黒色素胞が入らない場合もありました。原因として、「青」という表現の定義が、青色素胞(ニシキテグリのみが持つ)によるものではなく、黒色素胞と白色素胞の存在によるものであることが考えられます。今回は定義にのっとり、白い体色に見えても、黒色素胞が確認できれば、青系としました。

Q② 松崎 貴様 (島根大学)

それぞれの実験ごとに検証したい仮説を提示しており、説明文も簡潔で図も見やすく、参考文献をしっかりと示しているなど、ポスターの構成が秀逸です。図12で、頭部、背部、背びれの値をプロットしていますが、同じ個体の値を示してもらうほうがわかりやすいです。おそらく、良いポジションの写真を撮ることが難しいため、うまく数値化できたものを示したのだろうと推察しますが、個体ごとに示すのが難しいなら集団としてまとめて、部位ごとにRGBそれぞれの箱ひげ図を示す方法でもよいかもしれません。

黒色素胞の拡散についてポスター内で触れているので、光に対する応答時間などにも十分注意して実験しているものと思いますが、写真の撮影条件やライティングの種類や照射角度によって見え方が変わるので、「色」を評価するのは簡単ではないですね。例えば、メラニン色素しか持たない鳥類でもセキセイインコやクジャクのように緑色に見えるものがありますが、これらは色素の違いではなく構造色によるものです。メダカの場合も、構造色の出方に関わる虹色素胞などの構造の違いが遺伝するということになるのでしょうか

(<http://www.yoshioka-lab.com/kaisetsu/neontetra.html>)。カメレオンが虹色素胞内部のグアニン結晶の隙間を変えて色を変えているという研究結果も参考になるかと思います

(<https://www.chem-station.com/blog/2016/01/chameleons.html>)。

実験2ですが、緑色が薄いか濃いかについて、「色」の違いをどう考えるかは少し注意が必要だと思います。「色」を決める特性には「色相」「彩度」「明度」がありますが、図16の一番右に示されている色見本はその3つがすべて変わっているように思います。メダカがより緑色に見えるという

時、上にも書きましたが色素の組み合わせや量の問題ではなく、おもに光の反射量と屈折率の揃い具合によって決まる可能性が高いです。したがってR,G,Bの値の差が大きい小さい(色相や彩度が変わる)ということよりも、全体的に数値が小さい(明度が低い)ことが大きく影響しているように思います。

A②

ご指摘、参考文献のご紹介ありがとうございます。

図12の値についてはご推察の通りです。容器の底や水面の反射については、艶消しの容器を使用したり、スタンドライトの角度を工夫するなどして対応しましたが、メダカたちの動きの制御については、水温を下げることも考えましたが、条件が変わってしまうことを考慮して行いませんでした。少しでも環境に慣れさせようと思い、容器に入れて五分程度待って(黒色素胞の拡散にも関係あり)から撮影しましたが、かなりメダカたちが動いたため、うまく数値化できたものを使用しました。メダカの動きを抑えるには、容器を自作して形や大きさを工夫するとよいのではないかと考えています。

集団としてのデータを部分ごとに箱ひげ図にするという考えはありませんでした。是非、今後の評価の際に活用していこうと思います。

背地反応(黒色素胞の拡散の場合)については五分程度で体色が白から黒に変化したという研究が出ていたため、参考にして、

([https://www.md.tsukuba.ac.jp/cnmt/Medtec/TJMS/TJMS1\(3\)-6\(okamura\).pdf](https://www.md.tsukuba.ac.jp/cnmt/Medtec/TJMS/TJMS1(3)-6(okamura).pdf))。黒色素胞を十分に拡散させるために、撮影する個体を黒色容器に入れてから5分待ちました。また、塩化カリウム溶液を用いた実験でも、生理的塩類溶液から換えて5分で黒色素胞指数(黒色素胞が示す状態を5段階に分けて、その最も拡散した状態を5とし、最も凝集した状態を1として この凝集の中間の過程を4、3、2と規定する)が5を示していた研究結果も参考にしました。(全訂増補版メダカ学全書 岩松鷹司 大学教育出版 p157上図参照)

構造色を発色するメダカの虹色素胞は以下の3つに分けられます。

- ・銀色虹色素胞(プリンの捍状、ないしは針状平板(0.2~数 μm):黒色素胞と黄色素胞の分布とは無関係に体表及び体腔壁に分布しており、皮膚の虹色素胞は皮下の粗な結合組織に位置しています。その細胞質内にもつグアニン小板は概して体表に対してでたらめに配列していますが、中には平行して配列しているものもあるようです。

- ・玉虫色虹色素胞(グアニン顆粒をもち、やや玉虫色):体腔壁の虹色素胞は大きく、その細胞器官である長いグアニン小板は平行配列を示す。銀色と玉虫色の虹色素胞は、黒色素胞と共に内蔵諸器官を光から保護する役割を果たしており、例えば、眼球の強膜は、毛細血管層、2種類の虹色素胞からなる虹色素胞層、黒色素胞層の3層からなっています。虹彩の虹色素胞は大きく無数にあり、厚い層をなしています。また、尾部の両体側の皮下には、玉虫色虹色素胞の薄い層が見られます。ヒカリメダカの背部に見られる虹色素胞は、腹部の虹色素胞が移ったことを踏まえると、玉虫色虹色素胞であると考えられます。

- ・青色虹色素胞(格子状に配列するグアニン顆粒の抜け殻):主に鰓蓋骨に分布しており、格子状外観を呈す長いグアニン小板が平行に配列しています。

(全訂増補版メダカ学全書 岩松鷹司 大学教育出版 p166参照)

虹色素胞の構造の違いが遺伝するかについては、茶系 F_1 (図5)の背部に確認できる、光沢のある黄緑色(玉虫色虹色素胞による構造色と考えられる)の体色は、 F_2 、 F_3 の世代では確認できませんでした。しかしながら、胸鰭と尾鰭以外の鰭に発現した構造色(どの虹色素胞によるものかは不明)は、 F_2 、 F_3 の世代でも遺伝が確認できました。これらのことから、虹色素胞の種類(発現する部位)によって、遺伝率は変化する可能性が高いと考えられます。

親として交配に使用したドラゴンブルーメダカ(青色体外光ヒカリメダカ 補足 ヒレ光)(図11)は、背部の構造色だけでなく、胸鰭以外の鰭に構造色が発現し、特に背鰭や尻鰭において鰭全体に構造色が発現するのが特徴です。また、この種の構造色の遺伝率はほぼ100%です。そして、頭

部においてはメスの方が構造色が発現しやすいことも、全国のブリーダーの方々の経験で分かっていますが、そのメカニズムについては詳しくわかりません。これを踏まえると、構造色(虹色素胞)の遺伝率は、虹色素胞の種類(発現する部位)だけでなく、品種、雌雄によっても大きく変化することが考えられます。

実験2について、自分自身、色の特性について深く考察できていませんでした。確かに、指摘されたとおり、RGBの値の差よりも、明度が低いことが影響していると考えられる可能性が高いです。しかしながら、色素の組み合わせや量の関連性も完全には否定できないと考えています。今後の体色の評価では、今までの評価基準を見直し、色相・彩度・明度の違いについて考慮したうえで行っていきます。大変貴重なご意見ありがとうございました。

A②に対するコメント 松崎 貴様 (島根大学)

すでにいろいろわかっているんですね。それでもまだわからない部分があるようなので、今後の研究が楽しみです。とくに「構造色(虹色素胞)の遺伝率は、虹色素胞の種類(発現する部位)だけでなく、品種、雌雄によっても大きく変化する」というところをきちんと調べるのは結構大変と思いますが、雌雄差に着目して調べるのは、メダカでは性ホルモンを使った性転換も可能なことから面白いように感じました。

コメントに対する応答

メダカの性転換については、雌のメダカに緑色の光を照射することにより、性別が雌へと誘発されることも知られており、(<https://www.nature.com/articles/s41598-019-38908-w.pdf>) 自身の研究と上記の性転換には、「緑色」という共通の言葉があるため、何かしらの関連があるのではないかと考えています。

Q③ 佐藤 伸様 (岡山大学 異分野融合先端研究コア)

スゴイ詳細な検討を加えており、お世辞ではなく素晴らしいものであると思いました。色に関する事項で、私は専門外ですが、緑色は虹色素胞に由来する色だと考えてよいのでしょうか？だとするとグアニンの結晶(？不確かです)の反射による色だったように思います。そう考えると、緑色は上から見たら緑で横から見たら違う色に見えたりしますか？

ちなみに鱗と周辺の皮下組織をはいで、方向を同じにして顕微鏡観察したときに緑色は観察されるのでしょうか？結晶方向の問題なのか、色素胞(鱗の下にあるのか？)の偏りなのか...そういうことを具体的に示せる絵があるともっと見栄えがする研究成果になると思いました。遺伝的にどんだん緑色が濃縮されている原因(要因？)までたどり着くことができれば最高ですね！ いずれにせよ、素晴らしい研究だと思います。頑張ってください。

A③

ご指摘、激励のお言葉ありがとうございます。

自分の見解では、F₁(図5)の背部に発現している黄緑色の光沢は虹色素胞による構造色であると考えています。以前、F₁の黄緑色の光沢が発現している部分の鱗を観察したところ、黄色色素胞が多く確認されました。また、鱗をはいだ後も同部位に黄緑色の光沢が発現していました。このことから、緑色の光沢は、鱗ではなく皮膚下に存在する虹色素胞による構造色だと考えられますが、虹色素胞とは別に鱗に存在していた黄色色素胞も何かしら関係しているのではないかという思いもあります。黄緑色の光沢を真上からではなく斜め方向や横方向から見ると、青色や水色に見えました。このことからF₁の背部にある黄緑色の光沢は虹色素胞による構造色であるといえます。

一方で、光沢ではない緑色(F₂、F₃の体色)については、特有の光沢が見られないため、虹色素胞による構造色ではなく、黒色素胞や黄色色素胞が関係しているのではないかと考えていました。しかしながら、緑色の体色に見える部分を拡大し、よく観察したところ、色素胞の下(皮下だと思われる)に散在した緑色の光沢が確認されました。

鱗と周辺の下皮組織をはいで、方向を同じにしてでの顕微鏡観察は行っていないため(今後行おうと思います。)、結晶の方向か色素胞の偏りなのかは確定できませんが、上記のF₁の黄緑色の光沢と、F₂、F₃の散在した緑色の光沢は明らかに虹色素胞の構造(もしくは配列の仕方)が異なっていることが確認できたことから考察すると、やはり、緑色の体色は虹色素胞の構造色によるものであることが一番有力な説ではないかと考えられます。

緑色の光沢が見られた部位の虹色素胞とそれ以外の色素胞を絵に示すことにも是非取り組みたいです。アドバイスありがとうございます。

緑色の濃縮については先日、松崎 貴 様から、色の特性(色相・彩度・明度)についてのご指摘をいただいたため、評価方法を改善する必要がありますが、最終的には今まで研究がされていなかった緑色の体色が遺伝するメカニズムを解明できるようにしたいです。

Q④ 児玉 有紀(島根大学)

島根大学生物資源科学部の児玉有紀と申します。多くのメダカファンが期待する素晴らしい研究ですね。実験内容、データのまとめ方はもちろんですが、質問への回答文の情報量に大変感心しました。

「構造色(虹色素胞)の遺伝率は、虹色素胞の種類(発現する部位)だけでなく、品種、雌雄によっても大きく変化することが考えられます。」とのことですね。今回の交雑実験の結果にも雌雄の情報があると良いかと思いました。

新しい改良品種のメダカの作出を期待しています。頑張ってくださいね。

A④

ご指摘、激励のお言葉、ありがとうございます。

自分の研究内容は、日本メダカ協会の理事長にも記事として取り上げていただき、自分の研究が、全国のメダカ愛好家の方々にとって、改良品種の作出過程で、参考になっている情報の1つとなっていることに喜びを感じています。

雌雄の情報についてですが、性差について自分の考えが甘く、全ての個体の雌雄選別を行えませんでした。(実験に使用しているメダカは全て高校の敷地内で飼育しており、昨年は新型コロナウイルスの影響で長期間、先生にお願いした給餌以外の管理ができない状態が続きました。そのため、水質の悪化等で多くの個体を死なせてしまいました。休校を予測するのは難しいですが、先を見越して家へ輸送するなどの対処法があったのではないかと大変後悔しています。)

今年度もそれぞれの世代において、同系統間交配を行っているため、今年生まれた個体については、全てを記録していこうと思います。

性差について、大変少数の限られた情報ですが提示したいと思います。

茶系F₁の個体の黄緑色の構造色には、性差が見られませんでした。しかしながら、胸鰭を除く鰭の先に発現している構造色は、雌に多く見られました。

茶系F₂、F₃に確認できた皮膚下(にあるように見える)に散在している緑色の構造色は、雌雄のどちらにも確認できましたが、雌雄のどちらに多く発現していたのかについては、詳細が不鮮明です。

※理科研究において、感覚で結果を示すのはタブーであることを承知で申し上げますと、選別をした際(注意深く雌雄について注視していなかった)の感覚では、雌雄の割合は同程度であったと感じました。

これをふまえると、鱗に発現する構造色(虹色素胞による)は、性差が顕著に現れ、黄緑色又は緑色に見える構造色(虹色素胞によるものだと考えられる)は、性差に関係なく発現するのではないかと考えられます。

新しい品種改良のメダカの作出についてですが、自分が実験に使用しているメダカや容器は全て自費で購入しており、私物であるため、卒業以降も交配を続け、新品種を作出したいと考えています。

A④に対するコメント 児玉 有紀 様 (島根大会)

大変ご丁寧に回答していただきありがとうございました。越智さんの情報量、観察眼、考察力に関心しています。今は研究にかかる経費は自費で購入されているとのことですね。それは大変ですね。素晴らしいご研究ですので、財団等の研究助成への申請にもチャレンジされてみるのも良いかもしれませんね。応援しています。