

メダカの色認識とそれに伴う行動パターンについて

The killifish's recognition of colors and its behavioral patterns

福井県立高志高等学校 理数科3年

清水 美櫻 関 啓佑 近澤 笙 松本 泰輝

Mio Shimizu Keisuke Seki Sho Chikazawa Taiki Matsumoto

Abstract

We focused on killifish, which is an endangered species, and decided to study the behavioral patterns of killifish. The first experiment showed that killifish gather around a white net. Therefore, we paid attention to the killifish's recognition of colors and conducted an experiment by using fake water-weed. As a result, we could observe that killifish gather around red things in larger numbers than white things. Then we tried to research whether killifish still gather around red things if we use another material. As a result, the trend of its gathering around red things could still be observed by using a different material. Also, we deliberated that there is a possibility the orange color of its feed affected the killifish's behavior of gathering around red things.

要約

私たちは絶滅危惧種として知られるキタノメダカに注目し、行動パターンについて調べることにした。最初の実験で、メダカが白い網に寄る傾向が確認された。そこで色認識に注目し、偽水草を使った実験を行うことにした。その結果、メダカは白色よりも赤色に寄る傾向が確認された。次に赤色に寄ることが他の素材でも見られるかを調べることにした。その結果、他の素材でも同じ傾向が見られた。メダカが白色よりも赤色に寄ったのは、普段メダカに与えていた餌の色の影響や明度の違いを受けた可能性があると考えた。

はじめに

日本古来のメダカであるクロメダカは全長約4cmで主に水田などに生息しており、プランクトンに偏った雑食種である。流れが緩やかなところに生息し、普段は群れを作って行動している。メダカは遺伝的・形態的違いから、北日本集団のキタノメダカ (*Oryzias sakaizumi*) と南日本集団のミナミメダカ (*Oryzias latipes*) に分類されることが最近明らかになった (朝井俊亘ら)。

しかし近年、メダカの生息地の破壊や水質汚濁などの影響でメダカの個体数は減少しており、1999年には環境庁で絶滅危惧Ⅱ類 (VU) としてレッドリストに指定され、2003年にはレッドデータブックに絶滅危惧種として記載された。

メダカのような古くから日本に多く生息していた身近な生物が絶滅危惧種になったということは、私たちが周りに多大なる影響を与えていたことを示している。また、メダカが絶滅することで、メダカの生息地における生態系が崩れ、さらなる生物の絶滅を招く可能性がある。生態系の破壊は、最終的にはそこに暮らす私たちの生活まで困難にしてしまう。そのため、メダカのような小さな生物でも保全を行う必要があると考える。

偶然にも、私たちが生まれた1999年にメダカが絶滅危惧Ⅱ類 (VU) として指定されたことを知り、メダカをテーマとして選び、なぜメダカが絶滅の危機に瀕しているのかをフィールドワークで調べることにした。フィールドワークでは、福井県内でメダカが生息している河川と生息していない河川を調査し、各々の河川の水流、pH、植生、生息している他の生物、騒音を調べ、研究室内で各条件を再現した水槽でメダカを育て、生存率からメダカの個体数が減少した原因を探ろうとした。しかし、仁愛大学の西出和彦准教授から、自然界の要因がたくさんあり複雑に絡み合っているため特定するのは難しいのでは、というご指摘を受け、また1年半という研究期間内にすべてのフィールドワーク、実験を行えないと考えた。そこで、フィールドワーク以外の実験を行うことにした。

そこで、メダカの生息環境に異変が生じたときどのような行動の変化が見られるのか、実験室内でいくつかの条件をつくり、調べることにした。メダカは普段群れを作って行動しているので、環境の変化によってそれが崩壊するとメダカの生存率は下がってしまうだろうと考えた。そこで、私たちは、メダカが群れを作る要因、それを崩してしまう要因を探ることにした。

まずは、メダカは流れに逆らって泳ぐ習性があることを利用して、水流があるところにメダカを放つと、メダカは群れを作るのかを調べることにした。水流装置は神奈川県教育センターに資料をいただき、ペットボトルとホースを使ったサイフォン型装置を自作した(写真①)。

しかし、実験に使用する水は、害の少ないカルキ抜きした水であり、作ることができる水の量が限られて

いた。したがって多量の水が必要であるこの実験において安定的に水を流すことができず、またメダカは泳ぎ自体があまり得意でないことから、水流以外の条件で実験を行うこととなった。

その後、アユは個体群の密度が高くなると群れを作りやすくなることを知り、そのことがメダカにおいても当てはまるかもしれないと考えた私たちは、メダカの集団行動を形成するメカニズムについて調べることにした。

実験Ⅰ メダカの集団形成と個体数

・材料

水槽（縦×横×奥行＝45×90×45cm³）
カルキ抜きした水道水（底から 38cm）
砂利（底から 4cm）
キタノメダカ 35 匹*1
白色の網*2

*1:今後の実験で使用するメダカは実験後飼育水槽に戻し、実験終了時から数日期间において、無作為に抽出した。

*2:白色の網は白色の金網に無地でメダカが出ないような粗さの目の網をかぶせ、結束バンドで固定したものを使用した。水槽は飼育用のものを用いた。（写真②）

・実験方法

白色の網を縦 45cm、横 25cm、奥行 45cm となるように水槽内に設置する。そこに、メダカを 5 匹入れ、30 分おきに 10 分間観察する。観察が終わったらさらにメダカを 5 匹入れて観察する作業を 7 回繰り返す。

・結果

メダカの集団行動は見られなかった。しかし、メダカが白色の網に近づき、網をつつく行動が観察された。（写真③）

そこで、メダカは色に反応して網に寄った、または網の素材に反応して網に寄ったという仮説を立てた。

今回は色に着目して実験を行った。

実験Ⅱ メダカの色認識

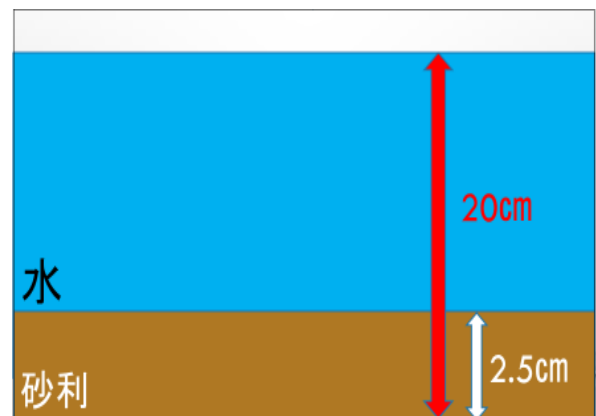
ビニールテープを用いた実験

・材料

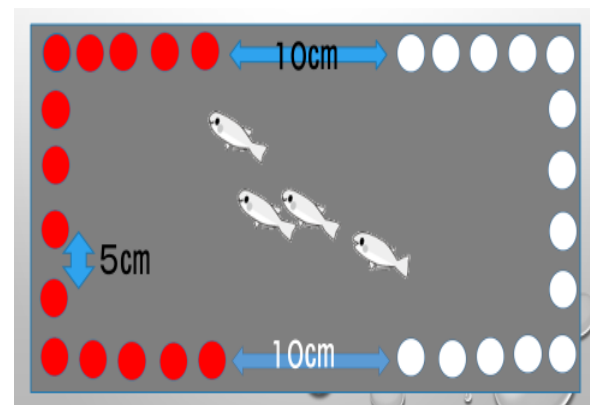
水槽（縦×横×奥行＝35×60×30 cm³）*3
カルキ抜きした水（底から 20cm 分）
キタノメダカ 10 匹
偽水草（赤・白ビニールテープ製）
砂利（底から 2.5cm 分）

*3:飼育用とは別の水槽に底から 2.5cm の高さになるように砂利を敷き詰めまる。そこに、カルキ抜きした水を水槽の底から 20cm の高さになるように入れる。そして、右側に白、左側に赤の偽水草を白と赤の間は 10cm、それぞれの間隔を 5cm ずつ横に 5 本、奥行方向に 6 本植える。

（写真④・図①・図②）



（図①）



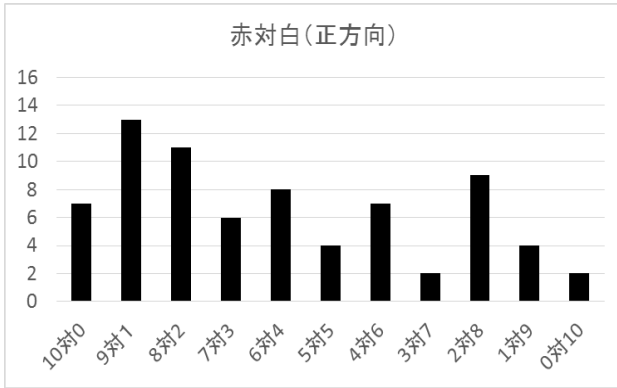
（図②）

・実験方法

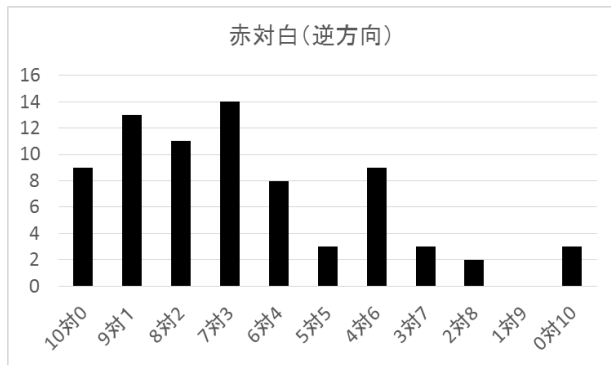
*3の水槽の中にメダカを入れ、4分ごとに1回、計15回メダカがどちら側にいるか数える。また、中央付近にメダカがいた場合、近い方の偽水草側に寄っていることとして数える。この作業を5回繰り返す。また実験は1日1回のみとする。その後の実験室内での水槽の設置位置の影響も考慮し、水槽を反対向きにして同じ実験方法でさらに5回繰り返す。

・結果

メダカは赤色の水草寄りに泳ぐ傾向が見られた。グラフ①・②横軸は赤と白のそれぞれの個体数を表し、縦軸は観察した回数を表す。



(グラフ①) 赤対白 正方向)



(グラフ②) 赤対白 逆方向)

ここで正方向と逆方向の分散の差が統計的に有意か確かめるために有意水準 5%で両側検定のT検定を行ったところ、

T値-0.45805 P値 0.323795

であり、正方向と逆方向の平均の差に有意差は見られなかった。

そこで今回のデータからメダカが赤寄りに泳いだという有意性を確かめるために二項検定を行った。帰無仮説を「色の違いとメダカの泳いでいる位置に関係性はない」とした。正方向5回と逆方向5回、合わせて10回の実験をおこない、それぞれの実験の中で10匹のメダカの位置を15回記録したので、延べ1500匹のメダカの位置を記録したと考えた。このとき赤色に寄ったメダカの総数は1040匹となった。

1-BINOM.DIST(1039, 1500, 0.5, TRUE)=0,
BINOM.DIST(459, 1500, 0.5, TRUE)=4.074×10⁻⁵²
0+4.07401×10⁻⁵²<<0.05

よってデータの値には有意差があることが分かった。

実験Ⅲ 明暗

また、メダカは明度の差が要因の一つと考え、明暗の実験を行った。

メダカは人間から音、外灯、振動など様々な影響を受けている。そこで、今回は外灯による影響について調べることにした。

・材料

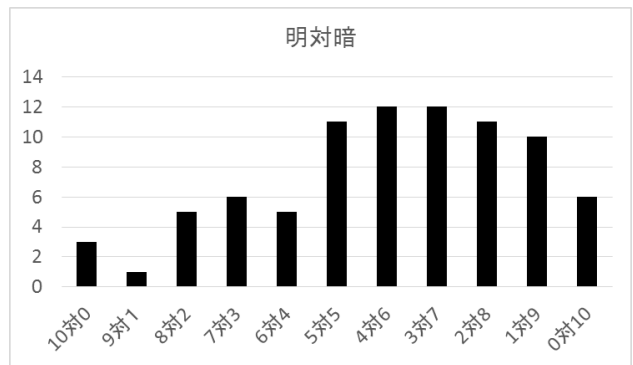
- ダンボール
- 水槽
- キタノメダカ 10匹
- カルキ抜きした水

・実験方法

水槽の中にカルキ抜きした水を入れ、その中にメダカを入れる。8時間置いた後に、5分ごとに計12回メダカが明るい方か暗い方どちらを泳いでいるのかを調べた。

・結果

メダカは暗がりによる傾向があることが分かった。(グラフ③)



(グラフ③)

ここで二項検定を行った。帰無仮説を「明るさとメダカの泳いでいる位置に関係性はない」とした。

今回は延べ820匹分のデータを取った。このとき暗がりに寄った個体数は538匹だった。

1-BINOM.DIST(537, 820, 0.5, TRUE)=0
BINOM.DIST(281, 820, 0.5, TRUE)=7.14×10⁻²⁰
0+7.14×10⁻²⁰<<0.05

よって、データの値に有意差があることが分かった。

実験Ⅳ ①赤と白の厚紙

水草の実験では、メダカが色に反応したのか、それとも、ビニールテープの素材に反応したのかわからなかったため、今回は色による影響について調べることにした。

そこで、水槽の周りに色画用紙をまき、色による影響を調べた。

・材料

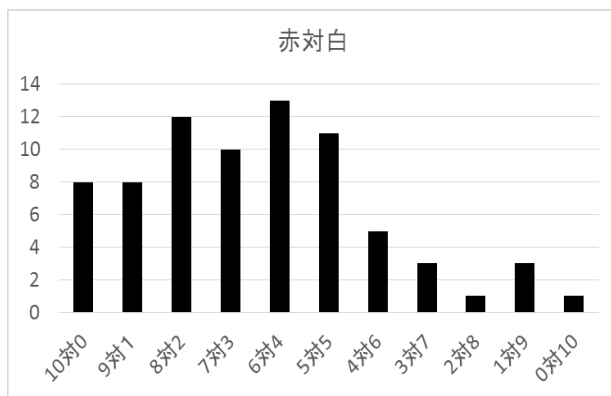
厚紙（赤と白）
キタノメダカ 10匹
カルキ抜きした水
水槽（写真⑤）
砂利

・実験方法

水槽の中にカルキ抜きした水を入れ、その中にメダカを入れる。8時間放置した後に、水槽の周りに厚紙を巻く。4分ごとに1回メダカがどちら側を泳いでいるか計15回記録する。

・結果

メダカは白色よりも赤寄りに偏って泳ぐ傾向が見られた。（グラフ④）



(グラフ④)

そこで、二項検定をおこなった。帰無仮説を「色の違いとメダカの泳いでいる位置に関係性はない」とした。このとき、赤色に寄ったメダカの合計数は485匹だった。

$$\begin{aligned} &1\text{-BINOM.DIST}(484, 750, 0.5, \text{TRUE})=0 \\ &\text{BINOM.DIST}(264, 750, 0.5, \text{TRUE}) \\ &=3.9908\times 10^{-18} \end{aligned}$$

$$0+3.99098\times 10^{-18}\ll 0.05$$

よって、データの値に有意差があることが分かった。

偽水草でも厚紙でも赤色に偏って泳ぐことが示されたので、色相環で赤に近い系統にある橙色でも同じ結果になるのかを調べた。

②橙色と白色の厚紙

・材料

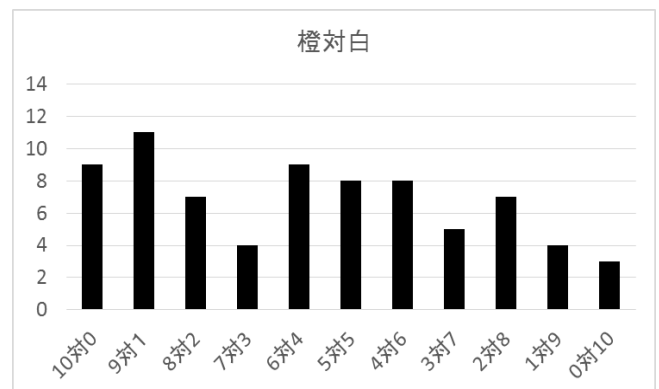
厚紙（橙と白）
キタノメダカ 10匹
カルキ抜きをした水
水槽（写真⑥）
砂利

・実験方法

水槽の中にカルキ抜きした水を入れ、その中にメダカを入れる。8時間放置した後に、水槽の周りに厚紙を巻く。4分ごとに1回メダカがどちら側で泳いでいるのかを計15回記録する。

・結果

メダカは白色よりも橙色に偏って泳ぐ傾向が示された。（グラフ⑤）



(グラフ⑤)

ここで二項検定をおこなった。帰無仮説を「色の違いとメダカの泳いでいる位置に関係性はない」

とした。このとき、橙色に寄ったメダカの個体数は432匹だった。

$$\begin{aligned} &1\text{-BINOM.DIST}(431, 750, 0.5, \text{TRUE}) \\ &=1.78574\times 10^{-5} \\ &\text{BINOM.DIST}(317, 750, 0.5, \text{TRUE}) \\ &=1.29\times 10^{-5} \\ &1.78574\times 10^{-5}+1.29\times 10^{-5} \\ &=3.07947\times 10^{-5}<0.05 \end{aligned}$$

よって、データの値に有意差があることが分かった。

ここで赤色と橙色のグラフには違いがあることを証明するためにF検定をおこなった。帰無仮説を「赤色と橙色のグラフの分散には違いがない」とした。すると、

$$0.049750714<0.05$$

となり帰無仮説は棄却され、赤色と橙色のグラフには違いがあることが示された。

考察

・実験Ⅰについて

メダカの集団行動が見られず、網をつつく行動が見られた。これは、今まで水槽内になかった網が突然現れ、好奇心から網に近寄ったためだと考えられる。これにより、メダカの集団形成を確認することができなかったと考えられる。

・実験Ⅱについて

メダカは一般に、明るい場所よりも暗い場所へ寄るため、白色よりも明度の低い赤色へ寄ったと考えられる。また、メダカは敵から隠れるときに水草などの物陰に隠れること、赤色は水草の色の緑色と補色関係にあることもメダカが赤色に寄った要因の一つであると考えられる。

・実験Ⅲについて

実験Ⅱと同様に、天敵から隠れるときに水草などの物陰に隠れるため暗い場所へ寄る傾向がある。それにより明るい場所よりも暗い場所へ寄ったと考えられる。

・実験Ⅳについて

①偽水草と厚紙どちらにおいても赤系統の色に寄って泳ぐ傾向が示されたことから、素材よ

りも色が重要なシグナルであると考えられる。白色よりも赤系統の色へ寄ったのは、メダカには天敵から身を隠すなど、明るい場所よりも暗い場所へ泳ぐ性質があり、白色よりも明度の低い赤色へ寄ったという可能性が考えられる。

② 実験Ⅳの考察①と同様にメダカは白色よりも橙色に寄る傾向が示された。これは、考察①と同様に、白色よりも明度の低い橙色に寄ったこと、普段メダカに与えていた餌の色が橙色であることも影響したと考えられる。また、メダカ的生活環境において人為的要因などで色彩が変化すると、メダカの生態に何らかの影響を与える可能性が示唆される。

今後の課題

今回の実験から、メダカが赤色寄りに泳ぐ傾向が示されたが、なぜメダカが白色よりも赤色に寄ったのかを十分に説明することはできていない。今後は、水槽を赤色と橙色の厚紙で覆った実験や、赤系統以外の色を用いた実験を行い、メダカがどのような色に寄る傾向があるのかを調べる必要がある。また、与える餌（写真⑦）の種類を変えた上で厚紙を使った実験を行い、メダカに与えていた餌と色認識に関係性があるのかを調べる必要がある。

さらに、色認識に関する実験は実験Ⅰでなぜメダカが白色の網に寄ったのかを調べる際の一要因として行ったものである。今後は水槽にある物体の影響も考慮し、物体の違いで寄り方に違いがあるのかを調べていきたい。

謝辞

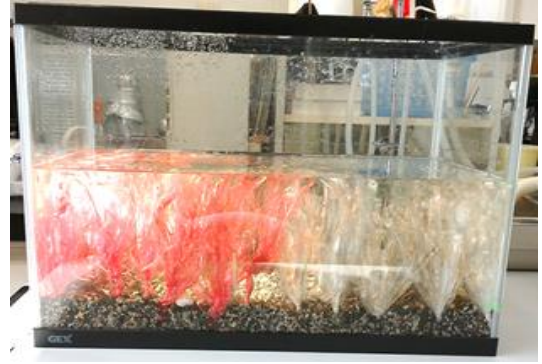
本研究を進めるにあたり、福井県立大学生物資源学部の伊藤貴文准教授、仁愛大学人間生活学部の西出和彦准教授、(株)BO-GAの関岡裕明氏、京都大学ウイルス再生医科学研究所の飯田敦夫助教、神奈川県立総合教育センター様に多くのご助言をいただきました。心から御礼申し上げます。

参考文献

- ・ 齊藤憲治 『くらべてわかる淡水魚』
山と溪谷社 2015年2月20日発行
- ・ 二項検定の例
<http://mcn-www.jwu.ac.jp/~yokamoto/ccc/stat/p3/example/>
参照年月日 2017年1月16日
- ・ 粕谷栄一
『生物学を学ぶ人のための 統計のはなし』
文一総合出版 1998年3月15日
- ・ メダカの光情報伝達システムの概要
<http://gabriel.ess.sci.osakau.ac.jp/html/hisatomi/medaka/medaka-jp.html>
参照年月日 2017年10月5日
- ・ 鈴木考仁 監修
改訂版 [フォトサイエンス] 生物図録
数研出版株式会社 2015年3月1日
- ・ 仙台市科学館 研究報告 第20号 20101-7
実験 187
「メダカの行動～刺激に対する適切な反応」の教材化
http://ci.nii.ac.jp/els/contentscinii_20171005135530.pdf?id=ART0009826276
- ・ 朝井俊亘 近畿大学 大学院生 小論文
「Taxonomic revision of *Oryzias latipes* complex, "Medaka" in Far-East Asia」
- ・ 神奈川県立総合教育センター長期研修員
県立豊田高 濱嶋渡
神奈川県立総合教育センター 研究集録
第19集 (1999年度発行)
「メダカを使った『動物の行動』の教材化の工夫」 (P57～60)
http://www.eductr.pref.kanagawa.jp/edb/syuuroku_pdf/1/ks19-14.pdf



(飼育している水槽の写真)



(写真④)



(写真①)



(写真⑤)



(写真②)



(写真⑥)



(写真③)



(写真⑦)