

メダカの走流性を用いた色覚情報の識別限界

静岡県立清水東高等学校
自然科学部生物班 2年 曽根啓佑

1 動機

刺激によって生物が進む習性を走性といい、水流の刺激に向かって進む習性を正の走流性という。メダカの場合は特異的で周囲の景色が動いてもこの習性を示す。これはメダカの視覚に関係している。この習性を用いることによって、メダカの視覚情報の識別の仕組みを調べることができ、色覚情報の識別の限界を探ることができると考え、本研究を始めることにした。

2 研究方法

(1) 走流性が縞模様の間隔によって変化するか検証する実験

- ア 直径 32cm、円周が 1m で底面がない円柱を厚紙、プラスチックで作製し、モーターを取り付けた。(写真 1)
- イ 円柱の装置をメダカの水槽に覆いかぶさるように支持台に固定し、電源装置とモーターを導線でつなぐ。
- ウ 電圧を 5V、1A に固定し、回転速度を 20rpm に固定する。
- エ 円周 1m、白と黒の縞模様で間隔が異なる 9 種類の紙を円柱の内部に取り付けて回転する。
14.5cm、10cm、8.5cm、7.5cm、5cm、3.7cm、2.5cm、1.6cm、0.8cm の間隔を用意した。
- オ 6 個体のメダカ (*Oryzias*) の泳ぎをカメラで撮影し、走流性を示すかを検証して分析する。

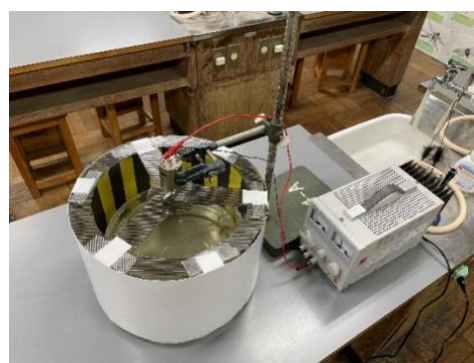


写真 1 実験装置

(2) 走流性が色によって変化するか検証する実験

- ア 実験 (1) のアからウを行う。
- イ 3cm 間隔の縞模様を円柱の内部に取り付けて回転する。黒と白、赤と白、青と白、緑と白、黄と白、紫と白、ピンクと白の 7 つの縞模様を用意した。
- ウ 実験 (1) オと同様に行う。



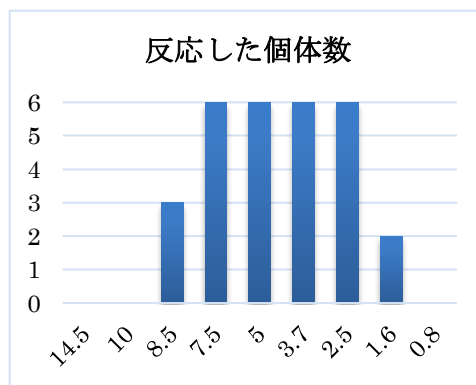
写真 2 実験している様子

(3) メダカの色覚において、赤、緑、青、紫、黄が及ぼしあう関係を検証する実験

- ア 実験 (1) のアからウを行う。
- イ 縞模様の間隔を 3.0cm に固定し、黄と赤、黄と緑、赤と緑、緑と青、青と紫の 5 種類の縞模様を用意し、円柱の内部に取り付け、回転させた。
- ウ 実験 (1) オと同様に行う。

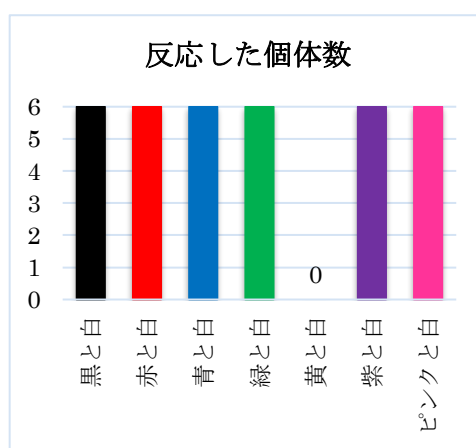
3 結果

- (1) 縞模様の間隔が密になるほど速く泳ぎ、間隔が疎になるほど、遅く泳ぐ習性を示した。間隔が 14.5cm、10cm になると走流性を示さなかった。間隔が 8.5cm の時は、3 個体が走流性をかすかに示し、ほかの 3 個体は示さなかった。反応した個体は間隔が 1.6cm のときは 2 個体、0.8cm のときは 0 個体だった。他の間隔では全 6 個体が反応した。(グラフ 1)



グラフ 1 実験 (1) で反応した個体数

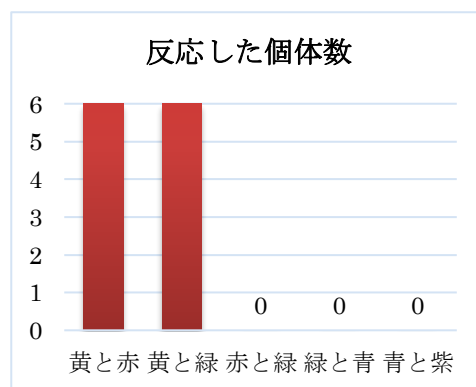
- (2) 黒と白、赤と白、青と白、緑と白、ピンクと白は 6 個体とも敏感に反応していたが、黄と白の場合は個体が静止していたり、模様の進行方向と逆方向に泳いでいたりし、走流性の習性を示さなかった。また、ピンク色は反応が鈍かった。(グラフ 2)



グラフ 2 実験 (2) で反応した個体数

※追加実験として黒と黄の縞模様も用意し実験を行った。結果は走流性を示した。

- (3) 黄と赤、黄と緑は走流性を示した。赤と緑、緑と青、青と紫の組み合わせでは、反応しなかった。(グラフ 3)



グラフ 3 実験 (3) で反応した個体数

4 考察

- (1) メダカには縞模様の間隔を識別する能力に、ある程度限界があることが分かった。今回の実験においては最大の間隔は 8.5cm、最小の間隔は 1.6cm と考えられる。

- (2) 黄色が反応しなかった原因は、黄と白のコントラスト比が小さいため、識別することができない可能性があると考えられる。またメダカは黄色を認識しづらいと考えられる。メダカは視覚の受容体として錐体オプシンが備わっており、LWS-A(赤)、LWS-C(赤)、RH2-B(緑)、RH2-C(緑)、SWS2-A(青)、RH2-A(青)、SWS1(紫)、SWS2-B(紫)がある。黄色の色覚情報を得るためには、光の三原色において、赤と緑の色覚情報を合成して黄色を感じ取る必要がある。つまり、赤と緑の色覚情報の合成を司る器官

- (3) 考察 (2) にも触れているが、赤と緑の色覚情報の合成ができていないと考え、実験 (3) を行った。赤と緑は光の波長間隔が約 100nm で、緑と青、青と紫も同様に光の波長の間隔が約 100nm だったため、これら 3 種類の組み合わせで行った結果、いずれも走流性の反応を示さなかった。つまり、縞模様の色覚情報を同一のものとして誤認していると考えられる。メダカが走流性を示さず、識別できていなかった原因を赤と緑の組み合わせを例に説明する。赤(700nm)と緑(500nm)は可視光スペクトルが近く、その中間色が黄色であるため、赤と緑を回転させることによって、見かけ上、赤と緑の色が合成されて黄(600nm)として誤認してい

と考えられる。(図1) 緑と青、青と紫の組み合わせはメダカの錐体オプシンを元に考えると波長差が約100nmなので、同様の現象が起きている可能性が高い。以上の説明を踏まえると、メダカは100nm毎の色覚の識別ができない可能性がある。おそらく、錐体オプシンで光を受容することはできるが、脳での処理が追いついていないと考えられる。しかし、赤と黄、黄と緑の方がスペクトルは近いのに反応した点は疑問に思う。メダカは黄を感じ取るためには、赤と緑の波長をそれぞれLWS-A(赤)、LWS-C(赤)、RH2-B(緑)、RH2-C(緑)の錐体オプシンで受容し、色覚情報を脳で合成する。緑と黄の光は一緒になって目に届くが、その際に赤と緑の振動数が異なるため、うなりを生じている。(グラフ4、5) このうなりが何らかの作用を引き起こし、赤と黄、黄と緑の識別を可能にしていると考えられる。ヒトでも赤と緑の識別ができない赤緑色覚障害という病気があり、今回の研究成果と似ている。これは本研究の解決の糸口になると考えられる。

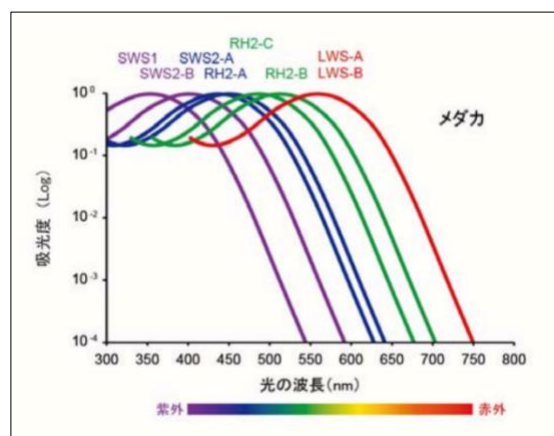
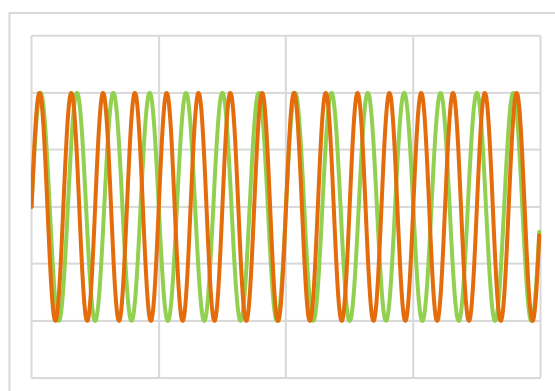
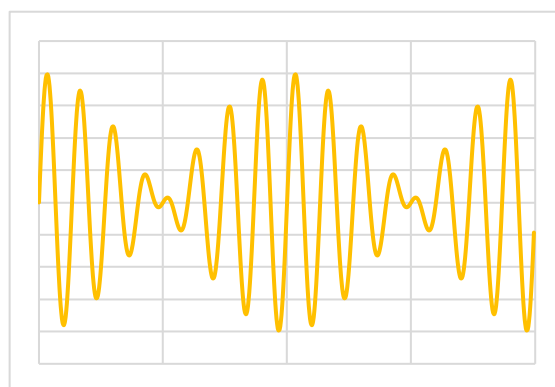


図1 メダカの錐体オプシン (名古屋大学基礎生物学研究所の参考文献⁽⁴⁾より引用)



グラフ 4 赤と緑の光波のグラフ (イメージ)



グラフ 5 赤と緑の光が合成されたうなり (イメージ)

5 展望

本研究ではメダカが走流性を示す条件として、黄色とその色に類似する色の組み合わせ以外の場合、また縞模様の間隔が1.6cmから8.5cmの範囲の場合であるので、この条件下だとメダカは識別できることが分かった。逆に受容する錐体オプシンの許容波長が100nm毎だと走流性を示さないことから、この条件下だと、メダカは識別できない可能性があることが分かった。今後は、他の色の組み合わせではどういった反応を示すか、色のコントラスト比で走流性の反応がどの程度変化するか、今回の研究成果と赤緑色覚障害との関係性とさらにメダカの発達段階における色覚識別の限界について研究していきたい。

参考文献

- (1) 魚の色覚はヒトよりカラフル! 河村 正二
- (2) 魚類の色覚 ～水中の多彩な光環境への適応～ 深町 昌司
- (3) 体色・色覚と配偶者選択-色違いメダカ間に起こる配偶前生殖隔離のメカニズム 深町 昌司
- (4) メダカの色覚が季節によってダイナミックに変化することを発見

名古屋大学基礎生物学研究所