

令和 6 年 6 月 21 日現在

機関番号：13101

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2021～2023

課題番号：21K20302

研究課題名(和文)脊椎動物の高度な認知能力の進化的起源の探求：魚類における社会的認知能力の検証

研究課題名(英文) Studies on social recognition in fish: evolutionary origin of sophisticated cognitive ability in vertebrates

研究代表者

川坂 健人 (Kawasaki, Kento)

新潟大学・佐渡自然共生科学センター・特任助教

研究者番号：60908416

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：協力や欺きといった社会行動が知られているカワスズメ科魚類(ブルチャー)やホンソメワケベラを対象に、個体識別や鏡像自己認知の基盤となる認知プロセスの検証を行った。その結果、ブルチャーは別地域と比べて同地域の顔パターンの識別に優れること(異人種効果)や、ホンソメワケベラの鏡像自己認知において、自己の再認に重要なのは顔であることが明らかとなった。これらの結果はヒトや霊長類の自己・他者の認知プロセスと類似しており、社会的認知能力の認知的基盤や進化プロセスの検証において、魚類を含む非霊長類に注目する重要性を示すものである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、魚類をはじめとする様々な動物で協力や欺き、共感、罰など、従来はヒトなどの高度な動物のものと考えられてきた社会認知能力の証拠が見つかっています。本研究では、それらの社会認知能力の前提となる個体識別や自己認知が、魚類の頭の中でどのような情報処理によって実現されているかを検証しました。その結果、魚類が他個体を見分けたり、鏡像を自分であると認識したりする際の情報処理はヒトとよく似た方法をとることが明らかになりました。これらの結果は、ヒトのもつ高度な社会関係の起源をめぐる考えに、新たな視点を提供するものになります。

研究成果の概要(英文)：We examined cognitive processes underlying individual recognition and mirror-self recognition in Cichlid fish (*Neolamprologus pulcher*) and cleaner wrasse (*Labroides dimidiatus*). These species exhibit sophisticated social behaviour such as cooperation, punishment or intentional deception. Our results show that *N. pulcher* exhibits the "other-race effect", where fish discriminate between familiar and unfamiliar individuals from their population better than from the other population. Moreover, we show that cleaner wrasse recognize themselves via self-face. These results are like those of humans or primates in conspecific or self-recognition. It indicates the importance of spotlighting non-primates, including fish, for understanding the evolutionary processes of our social cognitive abilities.

研究分野：行動生態学

キーワード：社会認知能力 顔認知 個体識別 鏡像自己認知 認知プロセス カワスズメ科魚類 ホンソメワケベラ

1. 研究開始当初の背景

近年、ヒトや類人猿のみが持つと信じられてきた協力や欺き、援助といった社会行動が魚類を含む他の脊椎動物でも報告されるようになり、ヒトに至る社会認知能力の起源に関する議論は盛んになっている。

魚類は脊椎動物で最も古い系統群であり、ヒトの知的行動を司るとされる大脳皮質などの脳部位をもたないと考えられてきた。しかし、近年になり脊椎動物の脳の基本的な構造はよく保存されていることが示されている(O'Connell & Hofmann, 2012)。また、視覚などの感覚器官も共通であり、幾何学模様の錯視に対してヒトと同様の知覚をすることから、視覚認知プロセスも共通である可能性が占められている(Agrillo et al., 2020)。また、魚類ではアフリカや南米に広く生息するカワスズメ科魚類や掃除魚であるホンソメワケベラを中心に、協力や欺き、罰といった社会行動が報告され、一般的なイメージと異なり魚類も他者との間に巧妙な駆け引きを行っていることが明らかになりつつある(Naef & Taborsky, 2020; Pinto et al., 2011)。

一方で、それらの魚類が他個体や自己をどのように認識しているのか、つまり認知プロセスについては、なわばり性もしくは順位性の種を対象に同種他個体の識別能力が検証される程度にとどまり、ヒトや他の脊椎動物と社会認知能力の比較を行うには不十分といえる。

2. 研究の目的

以上の背景を受けて、本研究課題は協力や欺き、罰などの社会行動が報告されているカワスズメ科魚類やホンソメワケベラなどを対象に、社会行動の基盤となる個体識別や自己認識に関する認知プロセスを検証する。

脊椎動物における社会的認知能力の起源は魚類にあると仮定し、水槽実験から魚類の他者認知プロセスを明らかにする。具体的には、以前に申請者が顔に基づく個体識別認知能力について検証したカワスズメ科魚類 *Neolamprologus pulcher* (プルチャー) を主な対象とし、ヒトにおける顔認知との共通の特徴(倒立効果、異人種効果)がみられるかを検証する(3. (1))。また、鏡像自己認知能力が報告されているホンソメワケベラを対象に、どのような視覚情報に基づいて鏡像を自分であると再認するかを検証し、自己認識プロセスを明らかにする(3. (2))。

加えて、野外での行動観察(3. (1))や種間比較、認知能力に関係する脳領域の探索を行うことで、脊椎動物における社会的認知能力の共通性および進化要因の解明することを目指す。

3. 研究の方法

(1) プルチャーの顔認知プロセスの検証

顔の全体処理

先行研究から、プルチャーは倒立顔の識別が困難であること(倒立効果)が示されている(Kawasaki et al., 2019)。倒立効果は、顔を1つのパーツの色や形といった特徴ではなく、パーツ間の位置関係といった全体的な印象から記憶し、それに基づいて識別するために起こると考えられている。加えて、ヒトや他の霊長類においては、顔を顔であると知覚し、顔に特異的な認知プロセスが働くうえで目や鼻、口といった要素が正しい位置関係にあることも重要であると示されている。

本研究では、本種の顔を構成すると考えられる種々の要素(眼、模様、鰓蓋、輪郭など)を追加・除去したモデルを複数作成し、それらのモデルに対するプルチャーの社会行動を記録した。これにより、モデルにどのような要素があるときプルチャーはそれを顔、つまり他個体であると認識して反応するかを検証した。

異人種効果

ヒトの顔認識には他人種顔よりも白人種顔の識別に優れる性質があり、異人種効果と呼ばれている。その原因として、発達過程でよく接する顔が白人種であることから、白人種顔に特有のパターンの認識に特化することが考えられているが、顔認知が示されている他の動物で、自集団と他集団の識別を比較するような同様の研究はない。

プルチャーはタンガニイカ湖全域に生息するが、地域によって顔の模様のパターンが大きく異なることが知られている(Duftner et al., 2007)。そこで本研究では、2本の模様がT字型に直行する湖北産個体に、同地域の既知/未知個体、および2本の模様が平行な湖南地域の既知/未知個体の写真モデルを提示し、それぞれのモデルに対する攻撃回数を計測した。

(2) ホンソメワケベラの自己鏡像認知の手掛かりの検証

ホンソメワケベラは鏡像を自己と認識することがはじめて示された魚類であるが(Kohda et al., 2019)、いったん鏡像を自己と認識したあと、鏡に再び対面してそれが自己であると認識する際の手掛かりが何であるかは不明である。ヒトでは鏡像を自己と認識する際に顔に注目すること、また本種が他個体を見分ける際に顔の違いに注目していることから、鏡像自己認識においても顔の果たす役割は大きいと考えて以下の実験を行った。

まず、鏡を経験していない個体に自身 / 未知個体の全身写真を提示し、両者に対する攻撃行動を計測した。次いで先行研究同様に鏡を提示し、ミラーテストを実施した。ミラーテストに合格した個体に、鏡提示前と同様の自身 / 未知個体の全身写真、およびそれらの頭部と胴体を交換した全身写真を提示し、それらに対する攻撃を計測した。

(3) プルチャーの生活史と顔認知能力の発達の関係

プルチャーの生活史と顔認知能力の発達の間を明らかにするため、本種が生息するタンガニイカ湖に面するザンビア共和国北部州ムプルング市に渡航し、スキューバ潜水による調査を実施した。

本種は共同繁殖種であり、生まれた子供が両親のなわばりに留まり、成長するとヘルパーとして子育てを手伝うことが知られている。また、本種は全長約 3 cm ほどでヘルパーとなり、ヘルパーには順位関係があることも報告されている。そのような背景から、本種において個体識別が必要となるのはヘルパーへの転換以降であり、それ以前の稚魚には個体識別能力やその手掛かりとなる模様がないと考えた。

これを検証するため、ムプルング沖合のクンプラ島沿岸に調査区を設けて、各なわばりから稚魚をランダムに捕獲して体長および模様の明瞭さを計測し、標識ののち再放流した。数日後、標識個体を目視にて行動観察し、手伝い行動、および劣位行動、被攻撃などの社会的相互作用の回数を計測した。

4. 研究成果

(1) プルチャーの顔認知プロセス

顔の全体処理

実験の結果、顔要素を除外したモデルでは未変更のモデルと比べて注視や攻撃といった社会行動が少ないことが示された。顔を全体的な印象から知覚している場合、除外された要素の種類に関係なく顔の構成が崩れるため、どのモデルであっても同程度に社会行動は減少すると予想したが、予想に反して眼を除外したモデルにおいて社会行動の減少が顕著であった。この結果は、本種の顔の検出、知覚といった顔や他個体であるとの認知プロセスにおいて、眼が重要な要素となっていることを示すものであり、加えて、ヒトや霊長類に備わる「眼、鼻、口の三点をもって顔と知覚し、それらの微妙な配置から識別する」認知プロセスとは異なる可能性を示唆するものである点で注目すべき成果であると考えられる。

異人種効果

モデル提示の結果、プルチャーは同地域のモデルにおいては未知個体に対して頻繁に攻撃行動を示す一方で、別地域では既知個体 / 未知個体で攻撃頻度に差は見られなかった。先行研究から本種が既知個体よりも未知個体に対して攻撃を行うことが報告されており、本実験でも同地域では同様の結果が得られた。先行研究を踏まえると、この結果は同地域では既知 / 未知個体の識別ができた一方で、別地域では識別できていなかったことを示唆している。

実験に用いたプルチャーは成魚であるため、このようなバイアスが生得的に生じるのか、または発達過程での経験によって生じるのかは本研究からは明らかでない。そこで現在、稚魚の段階から同地域および別地域のプルチャーと同じ水槽で飼育した個体を用意し、異人種効果の検証を行っている。本研究が完了すれば、霊長類以外の動物において顔認知の発達過程をはじめ明らかにする成果となることが期待できる。

(2) ホンソメワケベラの自己鏡像認知

鏡未経験のホンソメワケベラでは、自身 / 未知個体のモデル間で噛みつきや押し合い、突進といった攻撃行動の回数に違いは見られなかった。これら 10 個体のうち、9 個体がミラーテストをクリアし、鏡像自己認知していることが示された。ミラーテストをクリアした 9 個体に 4 種類のモデルを提示したところ、未知個体および頭部-未知・身体-自身のモデルに対して、自身と同じ顔を持つモデルと比べて噛みつきや押し合いといった激しい攻撃行動を示した。

このことは、ホンソメワケベラがモデルを自己であると認識する際に顔を手掛かりにしていること、つまり、鏡像から自己のイメージを形成し、また鏡像や写真を再認するとき顔に注目していることを示すものである。魚類において同種他個体の識別に顔が重要であるという報告は少なくないが、自己イメージの再認にも顔が重要であることを示したのは本研究が初めてである (Kohda et al., 2023)。このような研究を鏡像自己認知が報告されている他の動物群で展開することで、動物が鏡像を自己と認識する過程や、動物がもつ自己イメージが明らかになるだけでなく、自己意識といった高次な認知能力の進化プロセスに新たな知見をもたらすことが期待できるだろう。

(3) プルチャーの生活史と顔認知能力の発達の関係

観察の結果、プルチャーの手伝い行動の有無には全長が影響する一方で、模様の明瞭さは影響しないことが明らかになった。一方、社会行動の有無については全長と模様の明瞭さの双方が影響し、全長が大きく模様のはっきりとした個体ほど他個体と頻りに順位を示す行動（劣位行動、攻撃など）をみせることがわかった。プルチャーにおいては模様が個体識別の手掛かりの一つで

あること、またその濃さは攻撃性のシグナルとなることが知られている。本研究から、順位性において必要となる個性性、攻撃性といった情報を伝えるシグナルは、実際にそれが必要となる生活史段階で発達することが明らかになった。これまで個体識別に関するシグナルの有無は鳥類における卵殻の斑点の多様性と繁殖環境の関係といった種間レベルの比較が主であり、種内の生活史段階での比較は、シグナルの進化の研究に新しい視点を提供するものである。

そのほか、タンガニイカ湖にてプルチャーと近縁な他のランプロロギニ族の予備的な観察や脳サンプルの採集を行ったが、新型コロナウイルスの流行による渡航制限等により、本研究課題の実施期間中で十分な成果を得ることはできなかった。これらの研究については期間終了後も継続することで、カワスズメ科魚類における社会認知能力と生態的要因の関係を明らかにし、またその基盤となる脳神経領域を探索する。これらの進展によって、カワスズメ科魚類が社会認知能力の進化プロセスの検証における有力なモデルとなることが期待できるだろう。

<引用文献>

- Agrillo C., et al. (2020). Everything is subjective under water surface, too: Visual illusions in fish. *Animal Cognition*, 23(2), 251-264.
- Duftner N., et al. (2007). Parallel evolution of facial stripe patterns in the Neolamprologus brichardi/pulcher species complex endemic to Lake Tanganyika. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 45(2), 706-715.
- Kawasaka et al. (2019). Does a cichlid fish process face holistically? Evidence of the face inversion effect. *Animal Cognition*, 22(2), 153-162.
- Kohda et al. (2019). If a fish can pass the mark test, what are the implications for consciousness and self-awareness testing in animals? *PLOS Biology*, 17(2), e3000021.
- Kohda M., et al. (2023). Cleaner fish recognize self in a mirror via self-face recognition like humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 120(7), e2208420120.
- Naef J. and Taborsky M. (2020). Commodity-specific punishment for experimentally induced defection in cooperatively breeding fish. *Royal Society Open Science*, 7(2), 191808.
- O'Connell LA. and Hofmann HA. (2012). Evolution of a Vertebrate Social Decision-Making Network. *Science*, 336(6085), 1154-1157.
- Pinto A. et al. (2011). Cleaner Wrasses *Labroides dimidiatus* Are More Cooperative in the Presence of an Audience. *Current Biology*, 21(13), 1140-1144.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kohda Masanori, Bshary Redouan, Kubo Naoki, Awata Satoshi, Sowersby Will, Kawasaki Kento, Kobayashi Taiga, Sogawa Shumpei	4. 巻 120
2. 論文標題 Cleaner fish recognize self in a mirror via self-face recognition like humans	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences	6. 最初と最後の頁 e2208420120
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1073/pnas.2208420120	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Sogawa Shumpei, Fukushima Rio, Sowersby Will, Awata Satoshi, Kawasaki Kento, Kohda Masanori	4. 巻 40
2. 論文標題 Male Guppies Recognize Familiar Conspecific Males by Their Face	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Zoological Science	6. 最初と最後の頁 168 174
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2108/zs220088	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Satoh Shun, Nishida Yuusuke, Saeki Taiga, Kawasaki Kento, Kohda Masanori, Awata Satoshi	4. 巻 32
2. 論文標題 The functional role of sibling aggression and “best of a bad job” strategies in cichlid juveniles	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Behavioral Ecology	6. 最初と最後の頁 488 ~ 499
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/beheco/araa150	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件/うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Kawasaki Kento, Awata Satoshi, Kohda Masanori
2. 発表標題 Facial components in cichlid fish: Study of first-order relations information
3. 学会等名 International Society for Behavioral Ecology Congress 2022（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kohda Masanori、Bshary Redouan、Kubo Naoki、Sowersby William、Kawasaka Kento、Kobayashi Taiga、Sogawa Shumpei
2. 発表標題 Fish recognize self in a mirror via self-face recognition not kinesthetic visual-matching
3. 学会等名 International Society for Behavioral Ecology Congress 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西田光希、十川俊平、幸田正典、安房田智司、川坂健人
2. 発表標題 顔の模様に地域変異をもつカワスズメ科魚類 <i>Neolamprologus pulcher</i> における異人種効果の検証
3. 学会等名 2022年度日本魚類学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 幸田正典、Bshary Redouan、久保直樹、安房田智司、Sowersby William、川坂健人、小林大雅、十川俊平
2. 発表標題 ホンソメワケベラは自己顔認知により鏡像を自己と認識している
3. 学会等名 2022年度日本魚類学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 川坂健人、幸田正典、安房田智司
2. 発表標題 カワスズメ科魚類における同種の顔を示す要素とその配置
3. 学会等名 2022年度日本魚類学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西田光希、川坂健人、十川俊平、幸田正典、安房田智司
2. 発表標題 カワスズメ科魚類 <i>Neolamprologus pulcher</i> における顔の地域変異と異人種効果
3. 学会等名 日本生態学会 第70回全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 川坂健人、幸田正典、安房田智司
2. 発表標題 協同繁殖魚 <i>N. pulcher</i> の顔の様子は稚魚からヘルパーへの移行期に発達するか？
3. 学会等名 日本生態学会 第70回全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kawasaka Kento, Awata Satoshi & Kohda Masanori
2. 発表標題 Evidence of the Face Inversion Effect in Cichlid Fish
3. 学会等名 Animal Behavior Society, ABS 2021 Virtual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kohda Masanori, Bshary Redouan Bshary, Kubo Naoyam Sowersby William, Kawasaka Kento, Kobayashi Taiga, Awata Satoshi, Sogawa Shumpei
2. 発表標題 Fish identify their mirror reflection through self-face recognition like humans.
3. 学会等名 Animal Behavior Society, ABS 2021 Virtual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西田光希、川坂健人、十川俊平、安房田智司、幸田正典
2. 発表標題 ブルチャールにおける顔の異人種効果
3. 学会等名 日本生態学会, 第69回全国大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------