

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 4 月 3 日現在

機関番号：24405

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K20154

研究課題名（和文）ホンソメワケベラの鏡像自己認知能力を利用した魚類におけるメタ認知の確認

研究課題名（英文）Meta recognition in fish: Confirm by using the ability of mirror self-recognition in cleaner wrasse

研究代表者

十川 俊平（SOGAWA, Shumpei）

大阪公立大学・大学院理学研究科・特任研究員

研究者番号：70854107

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：ホンソメワケベラは鏡を見ることで自身の正確な体長を把握し、同種他個体との闘争にその情報を利用できるが、もし自身の体長に関する記憶があいまいになっているのを自覚していたなら、鏡を見ていない時間が長ければ長いほど、鏡を使って再度自身の体長を確認する頻度も増えるはずだ。実験の結果、対象はモデルに対して6時間鏡を見なかったときより18時間鏡を見なかったときの方が、より高い頻度で鏡を確認した。これは、自身より大きい可能性のあるモデルに対し、自身の体長を再確認していることを示唆している。つまり、ホンソメワケベラは鏡で見た自身の正確な体長に関する記憶が曖昧になっていることを自覚し、メタ認知していると言える。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在、メタ認知のような最高時の自己意識はヒトか大型霊長類にしか備わっていないというのが、自己意識研究の一般的な考え方である。そして、自己意識の進化もその考えを前提に予想されている。しかし、魚類の時点で自己意識の自覚が出来ることが示されれば、今までの前提がすべてひっくり返り、動物行動学の基礎である生得的解発機構や学習理論といったものを見直しも必要になってくる。つまり、少なくとも脊椎動物の祖先である魚類の時点でヒトと同じレベルの自己意識は進化していたということである。この結果は、アニマルウェルフェアや哺乳類の優位性、哲学や宗教の基礎に大きな影響を与えることが期待される。

研究成果の概要（英文）：By looking in a mirror, cleaner wrasse can determine its exact body length and use this information to fight against conspecifics, but if it were aware that its memory of its own body length was becoming vague, the longer they don't look in the mirror, the more often they will need to check their body size again. The results of experiments showed that the subjects looked at the mirror more often when they did not look at the mirror for 18 hours than when they did not look at the mirror for 6 hours. This suggests that it is reconfirming its own body size against a model that may be larger than itself. In other words, cleaner wrasse can be aware that its memory of its exact body length as seen in the mirror is vague (meta cognition).

研究分野：動物社会学

キーワード：自己意識 メタ認知 ホンソメワケベラ 鏡像自己認知

1. 研究開始当初の背景

メタ認知とは、自己の知識や記憶、自信の有無などの状態を認識できる認知のことである。この認知は様々な場面の意思決定における判断に必要なと言われており、ヒト以外の動物においてはハンドウイルカで初めて確認された(Smith et al., 1995)。その後、アカゲザル(Smith et al., 2013)やチンパンジー(Call and Carpenter, 2001)でもこの能力は確認されたが、その例数は極めて少なく、脊椎動物の起源である魚類においては全く発見されていない。そもそも魚類はこのような高度な認知が発達しておらず、生得的解発機構に基づく本能行動(Tinbergen and van Iersel, 1947)によって生きておりと長年考えられてきた。しかし、近年になって魚類においても霊長類・哺乳類・鳥類と同等の個体識別(Saeki et al. 2018)、推移的推察(Hotta et al. 2015)、他者の視点取得(Bshary, 2006)といった高次の認知が発見されてきた。特に最近報告されたホンソメワケベラにおける鏡像自己認知(Kohda et al., 2019)は、魚類の認知における認識を大きく変えた。鏡像自己認知とは文字通り、鏡に映った自身鏡像を自己だと認識できることを指すが、これは自己意識の傍証の一つであると言われている(Gallup, 1970)。つまり、魚類において少なくともホンソメワケベラは生得的解発機構に基づいてのみ行動しているわけではないということが示されたのだ。今まで自己意識の起源については様々な議論がなされていたが、この発見はその議論に大きな影響を与えるものとなった。

一方、メタ認知能力も鏡像自己認知と同様に自己意識の傍証の一つである(Morin, 2006)と言われている。もし魚類が普遍的にメタ認知をできるなら、これは自己意識の起源が魚類までさかのぼることができる可能性を示す大きな発見となる。そしてホンソメワケベラが鏡像自己認知を示したことで、本種がメタ認知できる可能性も高いと予想される。本種はクリーナーフィッシュとして数百種他種と繰り返し交互作用を持つ関係を維持する生活を送り、その中で意図的だましまで行っているという報告がある(Bshary, 2006)。これは本種の生活する社会においてメタ認知が適応的であることを示している。

本研究は、ホンソメワケベラがメタ認知をできるかを探ることによって、単に本種が鏡像に特化して認知能力が高かったのではなく、魚類でもヒトやチンパンジーのような自己意識を持ちうる可能性があるのか確かめるものであり、その起源に関する議論に一石を投じるものである。

2. 研究の目的

本研究の目的はホンソメワケベラが鏡を道具利用でき、またその意図をメタ認知していることを示すことである。魚類において鏡の道具利用の例は報告されていない。鏡の道具利用は鏡像自己認知におけるマークテストと異なり、自己指向行動を示すことができないので、これ自身が自己意識の証拠だとは言えない。しかし、本研究における道具利用は単なる視覚情報の利用ではなく、本種が鏡を用いて自身の大きさを把握するという自己情報を利用し、それをメタ認知して行動できるかの確認である。つまり、鏡を道具として本種の自己指向行動を引き出す研究である。本種は自身より少し大きな他個体に対しては攻撃的にふるまうが、鏡を見た後では自身の大きさを正確に把握し、非攻撃的にふるまうと予想される。このように鏡を用いて自身の情報を確認する研究はマークテスト(Gallup, 1970)以外での初めての研究である。

また、本種が鏡を用いて自身の体長を正確に把握できることを用いてメタ認知能力のテストを行う。鏡を見て自身の体長を把握した個体を用い、一定期間鏡を除去して自身の体長に関する記憶をあいまいにさせる。この除去している期間を操作してあいまいさに強弱をつけ、より長時間鏡を除去、よりあいまいに自身の体長を記憶している個体ほど、他個体に出会った際に自身の体長を再確認するために再提示された鏡に確認しに行くと予想される。従来のメタ認知の実験は全てオペラント条件付けを含むトレーニングによってなされてきた(Smith et al., 1995, 1997, 2013; Call and Carpenter, 2001; Kornell et al., 2007)。しかし、本研究はトレーニングなしで行われ、野生で見られる攻撃行動を解析することでメタ認知の有無を確認できる。つまり、今までのメタ認知研究が学習の産物であってヒトのような自己意識を示すものではないという批判を回避することができる。また、この実験方法はトレーニングが困難で今までメタ認知の実験が確認できなかった他の動物にも応用できる可能性があり、少なくとも縄張り性の魚類においては汎用性のある方法である。

3. 研究の方法

予備実験：まず、ホンソメワケベラが自身の大きさを本来どの程度把握しているかを確認するために実験を行う。そのために、実験個体の体長を100%とし、そこからプラスマイナス数パーセントずつのサイズの他個体の写真を用意し、それらを提示した際に、それらに対してどのようふるまうかを観察する。予備実験では自身より20%大きな他個体に対しては鏡を見ていなくても逃避行動をとる様子が確認されている。一方、10%大きな相手に対しては非常に攻撃的な行動が確認されている。また、10%小さい相手に対しても非常に攻撃的な行動が確認されている。これは本種がある程度の自身の大きさを普段から把握していることを示している。しかし、正確には把握しきれないことも示している。

実験 1: 次に、先で確認した鏡を見ない状態で攻撃的にふるまう最大サイズの写真(最大写真)を用いて、鏡を見た後にそのサイズの写真に対してどのようにふるまうかを観察する(図 1)。順番としてまず鏡を見たことのない実験個体に、最大写真・同サイズ写真・小さいサイズの写真の 3 つをランダムな順番で 1 日 1 回 3 分間、3 日おきに提示する。この実験パラダイムは写真とい



う動かない刺激に実験個体が飽きないようにするためである。また、生きた個体の提示やマジックミラーを用いた提示を行わないのは、提示個体の動きをコントロールできないのと、サイズをそろえるのが困難だからである。写真であれば簡単にこれらの問題を解決でき、加えて先行研究より写真に対する本種の行動もわかっている。次に、実験個体に 1 週間鏡を見せ、マークテストを行い鏡像自己認知できているかを確認する。その後、先と同様の方法で 3 パターンの写真を見せ、それぞれの写真に対する反応を観察する。この時、同時にモデルとは直接見比べられない位置に鏡も提示する。実験個体は最大写真に対してのみ攻撃性が下がると予想される。これが示されれば、本種が鏡を使って自身の正確なサイズを把握できることを示すことができる。

実験 2: 先の実験に加え、今度は鏡を除去する期間を設け、再度鏡を提示したときの実験個体の最大写真に対する反応を観察する。この際、どれくらいの期間鏡を除去すれば再び最大写真に対して攻撃的にふるまうかを確認する。予備実験では 2 週間鏡を提示しないと、最大写真に対して再び攻撃的にふるまうことが観察されている。また、10 分間鏡を提示しなかった場合は、あまり攻撃的には振舞わなかったことも確認されている。このことから、鏡がなくても 10 分なら自身の大きさを正確に記憶しているが、2 週間たつと正確に記憶できていないことがわかる。この実験では 10 分から 2 週間の間で対象個体の記憶が完全ではないがある程度曖昧になっている区間を 2 地点探し出す。上記の結果をもとに 2 つの鏡除去期間(短期間・長期間)を設け、実験個体の記憶のあいまいさに強弱をつけた状態で最大写真に対する実験個体の行動を観察する。長期間の方が短期間に比べてより記憶があいまいであると予想される。ただし、長期間は先に確認した最大写真に対して再び攻撃的にふるまうまでの期間よりは短いものにする。そうすることで、そして最初の 1 分間は鏡なしの状態、その後 3 分間は鏡ありの状態で最大写真を提示する。実験個体は最初 1 分間、鏡があった時と比べて短期間・長期間の両期間の実験でより攻撃的にふるまう、あるいは逃避行動を取らないと予想される。しかし、短期間の方がより逃避的に、長期間の方がより攻撃的になる。その後、鏡を再提示して 3 分間で短期間・長期間の両期間で鏡があった時に比べてより鏡の前に滞在すると予想される。しかし、短期間より長期間の方がより長く鏡の前に滞在する。

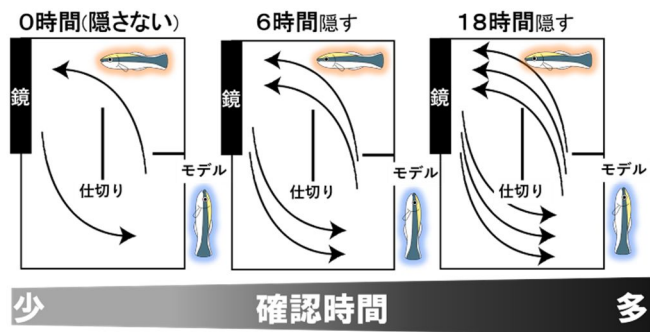
これらの結果が示されれば、ホンソメワケベラは鏡を利用して自身の体長を正確に把握し、鏡が除去されるとその記憶があいまいになり、あいまいになったことを認知(メタ認知)できるために再提示された鏡の前に長く滞在して体長を確認する可能性が示唆される。

4. 研究成果

実験 1 について: 実験の結果、ホンソメワケベラは鏡像自己認知できるようになった後、自分より 10% 小さいモデルと自分と同じ大きさのモデルには攻撃をし続けたが、自分より 10% 大きいモデルにはあまり攻撃しなくなった。加えて、実験個体は鏡像自己認知後に自分より大きいモデルを見たときに有意に鏡に沿って並行に泳ぐ頻度と、鏡とモデルの間を行き来する頻度が増えた。これらの結果は、実験個体が鏡像を自己と認知し、自己の正確な大きさを把握した結果、自己より 10% 大きなモデルに対してより慎重に自己とモデルの大きさを比べたことを示唆している。つまり、本種は自己情報を得るために鏡を道具として利用した、言い換えると自己指向行動をしたことになる。この結果は、本実験手法がマークテストに代わる自己意識を確かめる方法として十分であることを意味する。さらに、この手法は自己の体サイズを視覚的に獲得できる動物なら、大抵のもので応用できる body-awareness の発展形の実験と言える。今後は、脊椎動物に限らず、マークテストに失敗した種や、より広い分類群で自己意識研究が進むことが期待できる。これら結果は国際学会 ISBE2022 で口頭発表をし、現在論文を投稿中である。

実験 2 について: 実験の結果、鏡を 6 時間隠すと実験個体の正確な体長に関する記憶があいまいになっていることがわかった。さらに 18 時間隠すとより記憶があいまいになっていた。そこで、自分より 10% 大きいモデルと小さいモデルを見せた後に、鏡像自己認知をさせ、鏡を隠さないで各モデルを見せた場合と、6 時間隠した後に各モデルを見せた場合と、18 時間隠した後に各モデルを見せた場合の行動の違いを比較した。結果、自分より 10% 小さいモデルに対しては、鏡を隠した時間に関わらず、鏡と並行に泳いだ時間は短く、並行に泳ぎ始めるまでの時間は長く、モデルと鏡の前を行き来した頻度は少なかった。一方、自分より 10% 大きいモデルに対しては、

鏡を隠した時間が長ければ長いほど、鏡と並行に泳ぎ始めるまでの時間が長くなり、モデルと鏡の前を行き来した頻度が高くなった(図2)。これらの結果は、単に鏡を隠された時間が長いほど鏡をよく見るのではなく、ホンソメワケベラが自分より大きいと思われるモデルに対して、自分の体長に関する記憶のあいまいさに応じて、よりあいまいなほどより慎重に鏡を使って自分の体長とモデルを見比べたことを意味している。



以上の結果より、ホンソメワケベラは自身の体長に関する記憶のあいまいさを自覚し、メタ認知できていたことが示唆された。しかも、この実験は訓練していないので、このメタ認知は学習の産物ではなく、ヒトのような自己意識の自覚である。つまり、少なくとも脊椎動物の起源である魚類の段階でヒトのような自己意識は進化していたと言える。そうなると、今までオペラント条件付けのような学習理論で説明されていた様々な動物行動が因果関係の理解というものに置き換わるかもしれない。また、同様にオペラント条件付けが確認されている無脊椎動物でも同じような結果が見られれば、自己意識に脊椎動物の脳は必要なく、神経系そのものが今後のキーになることも予想される。今回の研究は、現在までのヒトを頂点とした認知研究や知性の進化の捉え方に大きな影響を与えることが期待される。今後は、より普遍的に自己意識が見られることを実証していく研究を通し、認知能力をヒトの特別性から解放していくことが必要になってくるだろう。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 2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 7
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 Kohda M., Sogawa S., Jordan A., Kubo N., Awata S., Satoh S., Kobayashi T., Fujita A. and Bshary R.	4. 巻 -
2. 論文標題 Further evidence for the capacity of mirror self-recognition in cleaner fish and the significance of ecologically relevant marks	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 PLOS Biology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1371/journal.pbio.3001529	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

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Kobayashi T., Kohda M., Awata S., Sogawa S.
2. 発表標題 Cleaner fish recognize their accurate body-size based on the mental image of self-body
3. 学会等名 ISBE 2022（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小林大雅 幸田正典 安房田智司 十川俊平
2. 発表標題 ホンソメワケベラは鏡を見て自分の体長を認識できるのか？
3. 学会等名 第39回日本動物行動学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kobayashi T., Kohda M., Awata S., Sowersby W., Sogawa S.
2. 発表標題 Can cleaner fish recognize their own body size from a mirror-reflection ?
3. 学会等名 Animal Behavior Society (ABS2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kobayashi T., Kohda M., Awata S., Sogawa S.
2. 発表標題 Cleaner fish recognize their own body-size by using their mirror-reflection.
3. 学会等名 日本動物心理学会第81回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Taiga Kobayashi, Satoshi Awata, Masanori Kohda, Shumpei Sogawa, Redouan Bshary.
2. 発表標題 Do fish metacognitively make an optimal choice?
3. 学会等名 日本動物心理学会第83回大会
4. 発表年 2023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
---------	---------