

氏か育ちか？ 鱗食魚の「利き」の獲得

我々が、字を書いたりボールを投げたりなど、精巧で力強い動作をするときにはどちらか片方の手を使い、その手を「利き手」といいます。名古屋大学(総長:松尾 清一)の小田 洋一(おだ よういち)名誉教授(元名古屋大学大学院理学研究科教授)および富山大学大学院医学薬学研究部(医学)の竹内 勇一(たけうち ゆういち)助教は、「右利き」「左利き」が発達段階でどのように獲得されるかについて、タンガニイカ湖の鱗食魚を用いて研究し、捕食時にみられる襲撃方向の利きは経験依存的な学習によって確立されるが、運動能力の左右差は生まれつき決まっていることを突き止めました。

鱗食魚は、個体ごとに口部形態に左右差があり、獲物の魚のウロコをはぎとって食べる捕食行動において、獲物の右から狙う「右利き」と左から狙う「左利き」が、同種の中に、ほぼ半数ずつ存在します。私たちは、繁殖で得た鱗食魚の幼魚や成魚を用いて、捕食行動の利きの獲得メカニズムを分析しました。その結果、鱗食魚には生得的に捕食に有利な方向があり、鱗食経験から有利な襲撃方向を学習することを明らかにしました。

ヒトの利き手を代表として、様々な動物において利きが報告されていますが、実は、その獲得機構は、ほとんど明らかになっていませんでした。鱗食魚の利きは非常に明瞭で、それを制御する入力から出力までの神経回路が想定できます。今後は、いまだ明らかとなっていない「利きの脳内制御機構」の全容が解明できると考えています。

本研究成果は、英国科学雑誌「Scientific Reports」(英国時間 8 月 21 日付)にて公開されました。

【ポイント】

- 極めて難しいとされる鱗食魚の繁殖に成功し、そこで得た幼魚を用いて、生まれて初めての鱗食行動を観察しました。鱗食未経験の幼魚は獲物に対して両方向から襲い、実験を重ねると襲撃方向は口部形態と対応した一方向に偏っていくことが明らかになりました。
- 鱗食経験(数日おきに5回実験)のある幼魚の利きの強さは、鱗食未経験の成魚や同じ日齢だが未経験の幼魚に比べて有意に高いことから、捕食行動の利きは鱗食経験に依存して強化されることを突き止めました。
- 襲撃時に見られる胴の屈曲運動(屈曲変化量、最大角速度)は、生まれて初めて行う捕食実験から、口部形態と対応した方向で高い能力が発揮されて、実験を繰り返しても、その左右差は維持されていました。すなわち、屈曲時の運動能力の左右差は、生まれつき存在することが分かりました。

【研究背景と内容】

我々が字を書いたりボールを投げたりなど、精巧で力強い動作をするときには、どちらか片方の手を使い、その手を「利き手」といいます。「右利き・左利き」といった行動の左右性は、ヒト以外にも様々な動物に広く見られる現象ですが、発達段階でどのように獲得されるかは、実験的検証の難しさから、これまで、ほとんどわかっていませんでした。今回、我々は左右性行動のモデルとして注目される、鱗食性シクリッド科魚類 *Perissodus microlepis* (鱗食魚) を対象にして、利きの獲得過程を調べました。

Perissodus microlepis (鱗食魚) はアフリカ・タンガニイカ湖に生息し、獲物の魚の鱗を食べて栄養源としていますが、口が右にねじれて開く個体と左にねじれて開く個体が同種の中に存在します(図1)。右顎が大きくて左に口が開く「右利き個体」は獲物の右体側の鱗を、左顎が大きくて右に口が開く「左利き個体」は獲物の左体側を好んで狙います。ヒトの利き手も鱗食魚の左右性も、両極端な表現型を同種でもつため、その制御システムは共通した点が多いと推察されています。

この鱗食魚の利きの発達過程を調べるために、我々は「アクアトぎふ」(各務原市)の協力のもと、まず、この魚の繁殖に世界で初めてトライし、個体の成長や経験と利きの発達の関係を詳しく解析することに成功しました(図2)。ふ化してから固形飼料のみで個別飼育した鱗食魚を用いて、以下の実験を行いました。

- (1) 鱗食未経験の幼魚と餌魚を1匹ずつ水槽に入れて、生まれて初めての鱗食行動を観察しました。生まれて初めての鱗食では、獲物に対して両方向から襲い、捕食実験を重ねると襲撃方向は徐々に口部形態と対応した一方向に偏りました(図3、4)。
- (2) 鱗食経験(数日おきに5回実験)のある幼魚の利きの強さは、鱗食未経験の成魚や同じ日齢だが未経験の幼魚に比べて有意に高いことが分かりました。したがって、襲撃方向の偏りは、鱗食経験に依存して強化されることが明らかになりました(図5)。また、捕食実験を繰り返すと、襲撃成功率が向上し、襲撃成功率は口部形態の利きと対応する方向からの襲撃の方が非利き側からよりも高いことが見出されました。したがって、襲撃方向と捕食結果を関連づけて学習し、次の捕食行動を修正すると考えられます(図6)。
- (3) しかし、驚いたことに、襲撃時に見られる胴の屈曲運動(屈曲変化量、最大角速度)は生まれて初めて行う捕食実験から、口部形態と対応した方向で高い能力が発揮され、実験を繰り返しても、その左右差は維持されていました(図7)。利き側の屈曲運動を優位とする制御システムは、鱗食開始前に、すでに形成され、鱗食経験で変化しないと示唆されます。

これら3つの実験結果から、鱗食魚には生得的に捕食に有利な方向があり、鱗食経験からの学習を通じてランダムであった襲撃方向が有利方向へと統一され、効率的に鱗食できるようになると考えられます(図

8)。

【成果の意義】

本研究は、(1)動物の右利き・左利きの獲得メカニズムを初めて実験的に検証し、鱗食魚の利きが、学習で獲得されること

(2)運動の左右差は生まれつきであること

を明らかにしました。

ヒトの利き手も、幼少期においては利き手は曖昧であることや、年齢を経ると利き手の度合いが強くなる、といった報告があります。また、行動と形態にも対応関係があり、利き手側の方が上腕骨が大きくて重いことが知られており、マウスでも同様の知見があります。理論上、同じ種内に 2 タイプが存在するには、遺伝的な問題や発生上の制約を乗り越える必要があるため、様々な動物の利きの仕組みには共通性があると考えられます。鱗食魚で得られた知見は、「利き」がどのように脳内で制御されているのか、という長年の謎を統合的に理解する手がかりになると期待されます。最近、本種と同科であるティラピアのゲノム情報が公開され、近縁なシクリッド 7 種のゲノムも解読されました。これを受けて、我々は、左右性の分子遺伝基盤の研究に着手しています。右利きと左利きの研究を進めることは、いくつもの生物学的に重要な問題の解決に繋がると考えています。

【図表】

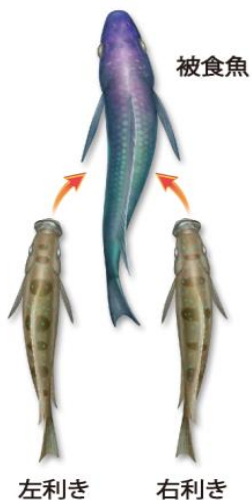


図 1. 鱗食魚の右利き・左利き。左あごが大きい個体が「左利き」、右あごが大きい個体が「右利き」と定義される。左右の唇端を結ぶ線は、体軸に対し傾いている。下のイラストは口部形態の利きと獲物に対する襲撃方向の関係を表す。

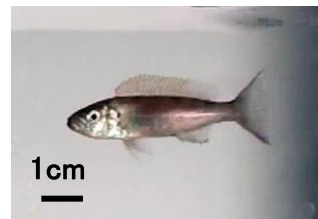


図 2. タンガニイカ湖に生息する鱗食魚 *Perissodus microlepis* (上) (撮影者: 太田和孝)。鱗食を開始した頃の幼魚 (中)。ふ化したばかりの仔魚 (下)。

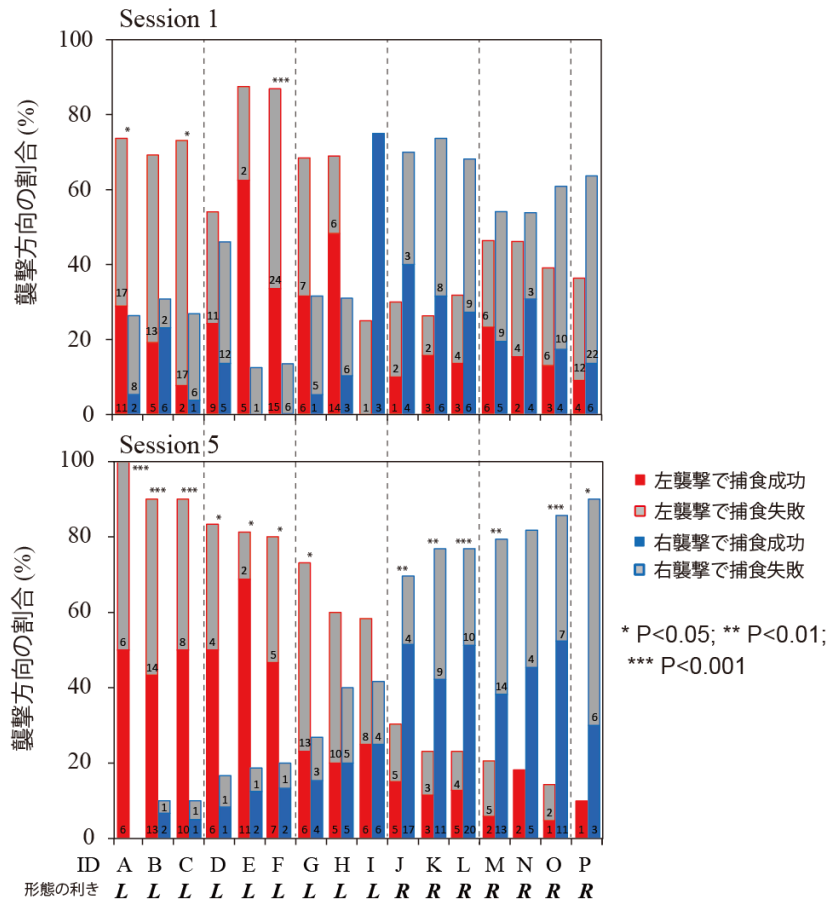


図3. 捕食実験1回目と5回目における各個体の襲撃方向の比率。1回目は獲物に対して両方向から襲うが、5回目では多くの個体は襲撃方向が口部形態の左右差に対応した方向に偏る。

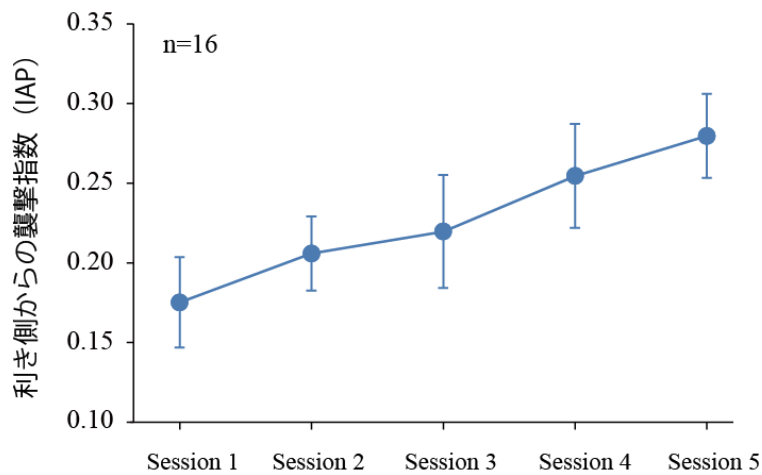


図4. 実験回数と襲撃方向の偏りの変遷。捕食実験をする度に襲撃方向は徐々に偏りが強くなっている (実験1→5 : 1.6倍)。

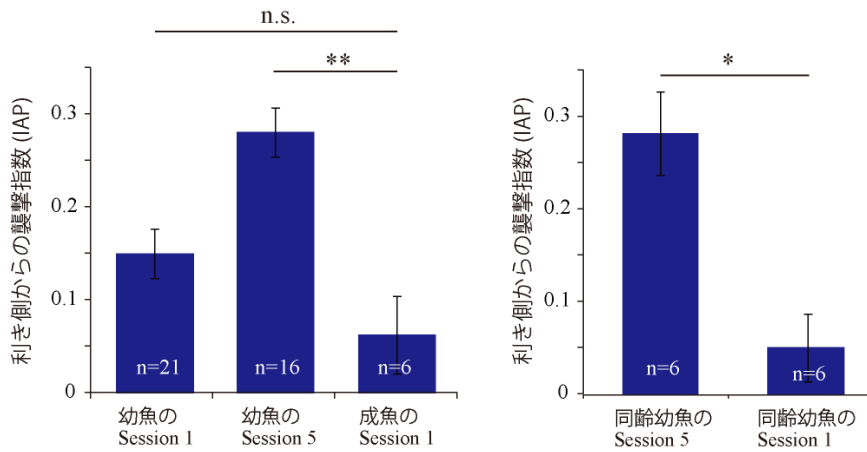


図5. 鱗食経験のある群とない群での襲撃方向の偏りの比較。鱗食未経験では、幼魚でも成魚でも偏りが小さい(左)。同じ日に生まれた兄弟間でも、鱗食経験のある幼魚の方が、経験のない幼魚よりも偏りが大きい(右、5.7倍差)。捕食行動の左右性の強化には、鱗食経験が重要であることが実証された。

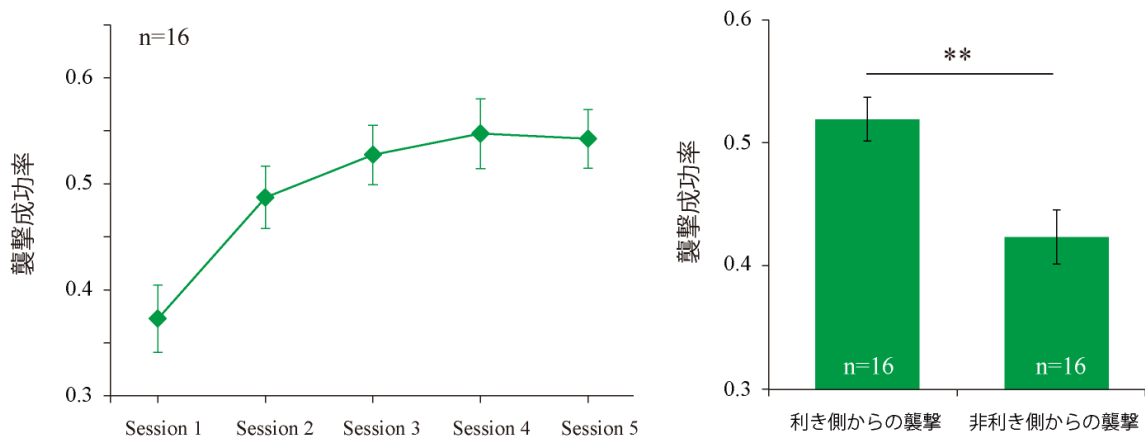


図6. 実験回数と襲撃成功率の関係。捕食実験を繰り返すと、襲撃成功率が有意に向上した(左)。襲撃成功率は、形態の利きと対応する方向からの襲撃の方が、非利き側からよりも高かった(右、1.2倍差)。したがって、襲撃方向と捕食結果を関連づけて学習し、次の捕食行動を修正すると考えられる。

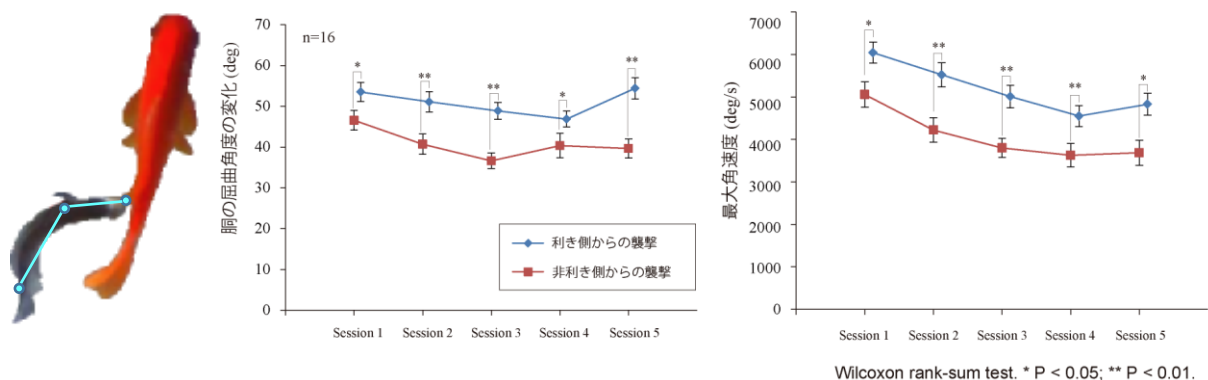


図7. 胴に噛みつく際の素早い屈曲運動における運動能力の変化。屈曲の運動能力は身体の3点から算出した(口吻端・重心・尾鰭)(左)。捕食時の屈曲角度の変化量は、形態の利き側襲撃の方が、はじめから大きく(中)、最大角速度もはじめから速かった(右、ともに1.3倍差)。左右差の傾向は、Session 1から5まで変わらなかった。利き側の屈曲運動を優位とする体内メカニズムは、鱗食開始前にすでに形成され、鱗食経験で変化しないと示唆された。

捕食行動の左右性の発達モデル（左利き）

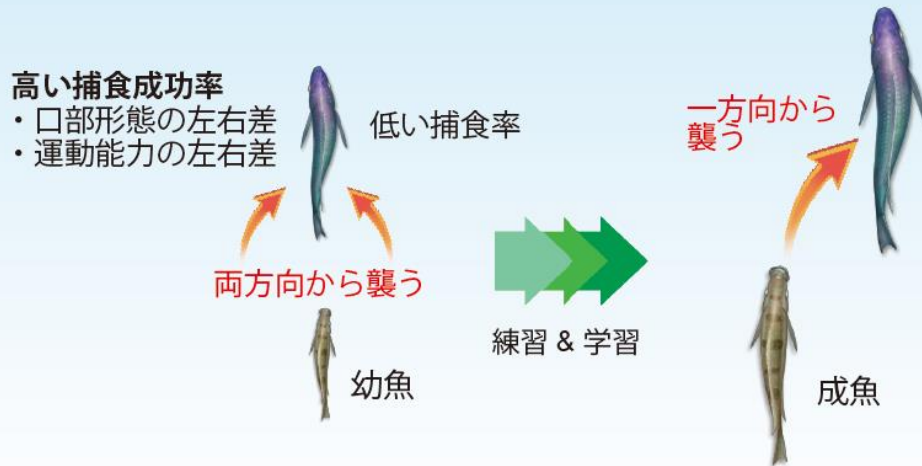


図8. 鱗食魚の捕食行動の利きの発達モデル。鱗食を開始した幼魚は両方向から襲うが、生まれつき口部形態は非対称で運動能力にも左右差がある結果、捕食成功率が左右で異なる。鱗食魚は襲撃方向と捕食の成功・失敗の関係を学習することで、口部形態と合う方向から襲うようになると考えられる。

【用語説明】

- ・行動の左右性: 「利き手(腕)」や「利き足」などのように、行動において左右どちらかの四肢を好んで使ったり、どちらか一方向から行動したりする現象のこと。一般に、利き側で行動した方が、結果として得られるパフォーマンス(たとえば成績)や反応速度が高い。

【論文情報】

掲載雑誌: Scientific Reports

URL: <http://www.nature.com/articles/s41598-017-09342-7>

論文名: Lateralized scale-eating behaviour of cichlid is acquired by learning to use the naturally stronger side.

著者: Yuichi Takeuchi, Yoichi Oda

竹内 勇一 (富山大学大学院医学薬学研究部 (医学) 助教、元・名古屋大学招聘教員、元・日本学術振興会特別研究員 SPD)、小田 洋一 (名古屋大学名誉教授・特任教授)

公開日: 2017年8月21日18時 (日本時間)

DOI: 10.1038/s41598-017-09342-7