



食習慣で鱗食魚の顎が左右非対称になることを実証

～右利き・左利きの形成メカニズムの解明に期待～

ポイント

- ・ アフリカに棲む鱗食魚が持つ下顎骨の左右差が、摂食経験で顕著化することを実験的に実証。
- ・ 摂食経験は捕食行動もアクティブにすることを AI による行動解析で解明。
- ・ 種内で見られる右利き・左利きの形成・維持機構の理解に期待。

概要

北海道大学大学院理学研究院の竹内勇一准教授、富山大学医学部（研究当時）の丸林菜々子氏、福井県立大学海洋生物資源学部 先端増養殖科学科の八杉公基准教授からなる研究グループは、動物の右利き・左利きの教科書的な例として知られる、タンガニイカ湖産の鱗食性シクリッド科魚類 *Perissodus microlepis*（鱗食魚^{*1}）の利きが、他の魚のウロコをはぎ取って食べるという摂食経験によって顕著化されることを突き止めました。

ヒトの利き手に代表される「利き」は、遺伝と生後環境の両方の影響を受けて形成されますが、その因果関係はいまだによく分かっていません。「利き」、すなわち左右性のモデルとして知られるこの鱗食魚は、個体ごとに下顎骨の形態に左右差があり、左側の下顎骨が大きい左利きは獲物の左側から、右側の下顎骨の大きい右利きは獲物の右側から襲うという、形態と行動に一貫性のある明瞭な左右非対称性を示します。下顎骨の左右差は遺伝要因によって生じることが示唆されているものの、生後環境が及ぼす影響はこれまで不明でした。本研究グループは、ウロコを摂食する経験を実験的に操作することで、人工の粉餌をつまんで食べるサカナよりも、鱗を摂食するサカナの方が捕食行動が活発化し、下顎骨が可塑的かつ左右非対称に成長していくことを明確に示しました。

固い物を食べる食習慣で顎の形が変化するという可塑性は多くの動物で見られる現象ですが、鱗食魚では鱗食によって顎が強靱になり左右差が拡大するという初めての知見です。顎が非対称になることは、うまくウロコを剥がして食べられるという摂食効率につながります。右利きと左利きが一つの種類の中でなぜ維持できるのか、その仕組みの全容はまだ謎が多く残されていますが、今回の成果から、利きは遺伝プログラムで生じて摂食経験という生後環境で強化されることが示唆されました。今後は、鱗食魚の利きの形成メカニズムの全貌を明らかにし、ヒトの利き手のメカニズムと比較することで、動物における左右性の仕組みの共通基盤に対してより深い理解が得られると期待されます。

なお、本研究成果は、日本時間 2025 年 7 月 4 日（金）公開の *Evolution* 誌（Oxford University Press）に掲載される予定です。

【背景】

私たちは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」と呼びます。右利き・左利きといった「行動の左右性」*²は、ヒト以外にも様々な動物に広く見られる馴染み深い現象です。利きは遺伝と環境の両方で形成されると考えられていますが、実験的検証の難しさから、両者の因果関係についての理解はいまだ不十分です。今回、研究グループは左右性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、食習慣という生後環境が利きにどのように影響するかを調べました（図 1）。

鱗食魚はタンガニイカ湖に生息し、獲物となる魚のウロコをはぎ取って食べて栄養源としています。興味深いことに、口が右側に向かって開く個体と左側に向かって開く個体が、同種の中に存在します。左側の下顎骨が大きくて口が右側に向かって開く「左利き」個体は専ら餌魚の左側から、右側の下顎骨が大きい「右利き」個体は餌魚の右側から餌魚を襲います。ヒトの利き手も鱗食魚の利きも、両極端な表現型が同種内に存在するため、その制御システムや維持機構には共通した点が多いと推察されています。

【研究手法と成果】

本研究では、4 ヶ月齢の鱗食魚に対して、異なる三つの採餌条件（人工飼料群を与えた「鱗食未経験群」、餌魚を 1 匹 10 分間与える「餌魚 1 匹群」、2 匹 10 分間与える「餌魚 2 匹群」）で 4 ヶ月間飼育し、捕食行動と下顎骨形態の変化を分析しました。捕食行動の解析については、自動運転などにも利用されている物体検出用のニューラルネットワーク YOLO*³を用いました。このニューラルネットワークに鱗食魚と餌魚のデータを学習させることで、捕食実験の際に撮影された映像内で両者の位置を自動検出する AI を作成しました（図 2）。この「鱗食魚 & 餌魚検出 AI」に実験映像を解析させ、両者の個体間距離と遊泳運動量を算出しました。

鱗食魚と餌魚の個体間距離の平均値は、実験日数を重ねるとともに短縮し、一方で遊泳運動量は両者とも増加していました（図 2）。これは、鱗食魚は常に餌魚を追い回すように泳ぐようになったことを意味します。10 分間における襲撃回数は、実験開始 10 日頃から大幅に増加し、実験 50 日頃には餌魚 1 匹群は約 150 回、餌魚 2 匹群は約 270 回に達するように大きく変化しました。したがって、餌魚の数の違いは、鱗食経験の豊富さの違いとして反映されたといえます。

4 ヶ月にわたる捕食実験後に下顎骨を取りだして、幾何学的形態測定法*⁴に基づき下顎骨の形を定量化して解析した結果、餌魚 2 匹群は鱗食未経験群と比較して、歯骨の前後軸が特に伸長していたことが分かりました（図 3）。また、利き側の下顎骨の高さ（歯骨上端から後関節骨下端まで）は非利き側よりも有意に長くなっていました。興味深いことに、未鱗食経験群のサカナの下顎骨にも、小さいながら左右差が観察され、左右差の創出には遺伝的背景があることが示唆されました。以上から、鱗食経験によって捕食活性が向上し、口部骨格が強靱になるのに加えて、左右の下顎骨が非対称に成長することを見出しました。同様に、鱗食経験が豊富な野外採集個体、それと同等の体長の鱗食未経験の飼育個体で、下顎骨の高さの左右差を比較したところ、野外採集個体の方が約 3 倍も左右差が大きいことも確認しました。固い物を食べる食習慣で顎の形が変化するという可塑性はヒトを含む多くの動物で見られる現象ですが、鱗食魚では鱗食によって顎が強靱になり左右差が拡大するという形で現れることが分かりました。すなわち、動物の利きの形成に表現型可塑性*⁵が関与することを初めて実証した重要な知見です。

【今後への期待】

種内で見られる右利きと左利きの形成がどのように制御されるのか、というのはいまだ解かれていない大きな謎です。今回の研究で、鱗食魚では利きに関係する形態の左右非対称性は遺伝プログラムで生じて、摂食経験という生後環境で強化されることを突き止めました。今後は、鱗食魚の利きの遺伝システムを明らかにするとともに、生後環境との関係性をより精微に紐解くことを目指しています。その上で、ヒトの利き手の形成メカニズムと比較することは、動物で見られる左右性の仕組みの共通基盤や進化的起源の理解を大きく前進させると考えています。

【謝辞】

本研究は JSPS 科学研究費助成事業 基盤研究(C) (JP23K05960)、学術変革領域研究(A) (JP24H01418)、国際共同研究加速基金(海外連携研究) (JP23KK0131)、三菱財団自然科学研究助成、大隅基礎科学創成財団研究助成、東レ科学技術研究助成、旭硝子財団研究奨励、日本生態学会中部地区会研究助成を受けたものです。

論文情報

論文名	Phenotypic plasticity drives the development of laterality in the scale-eating cichlid fish <i>Perissodus microlepis</i> (表現型可塑性によって促進される鱗食性シクリッドの利き)
著者名	丸林菜々子 ¹ (研究当時)、八杉公基 ² 、竹内勇一 ³ (¹ 富山大学医学部医学科、 ² 福井県立大学海洋生物資源学部 先端増養殖科学科、 ³ 北海道大学大学院理学研究院)
雑誌名	Evolution (進化生物学の国際専門誌)
DOI	10.1093/evolut/qpaf131
公表日	日本時間 2025 年 7 月 4 日 (金) 午後 9 時 1 分 (協定世界時 2025 年 7 月 4 日 (金) 午後 0 時 1 分) (オンライン公開)

お問い合わせ先

北海道大学大学院理学研究院 准教授 竹内勇一 (たけうちゆういち)

T E L : 011-706-4448 メール : ytake@sci.hokudai.ac.jp

U R L : <https://neuroecology.web-ac.jp/>

<http://www.neuroecology-takeuchi.com>

福井県立大学海洋生物資源学部 先端増養殖科学科 准教授 八杉公基 (やすぎまさき)

T E L : 0770-52-7305 メール : myasugi@fpu.ac.jp

U R L : <https://sites.google.com/g.fpu.ac.jp/zoocs-lab/>

配信元

北海道大学社会共創部広報課 (〒060-0808 札幌市北区北 8 条西 5 丁目)

T E L : 011-706-2610 F A X : 011-706-2092 メール : jp-press@general.hokudai.ac.jp

福井県立大学かつみキャンパス企画サービス室 (〒917-0116 小浜市堅海 49-8-2)

T E L : 0770-52-7305 メール : j-miyata@fpu.ac.jp (宮田)

【参考図】

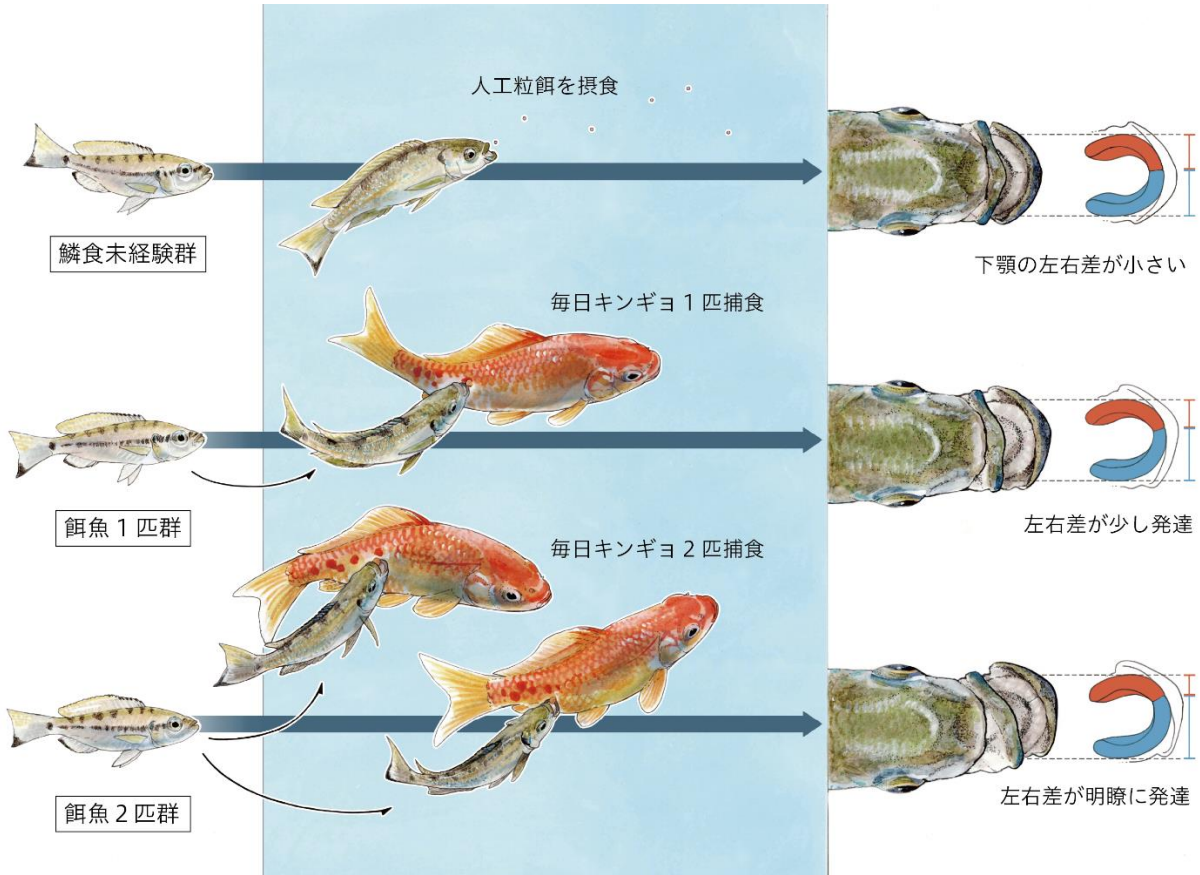
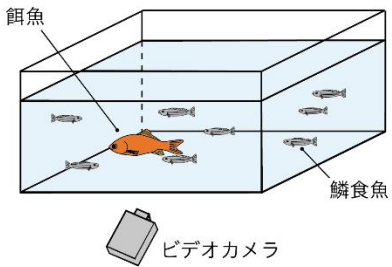


図 1. 研究成果の概略図（右利きの場合）



捕食実験の様子



画像内のタグ付け

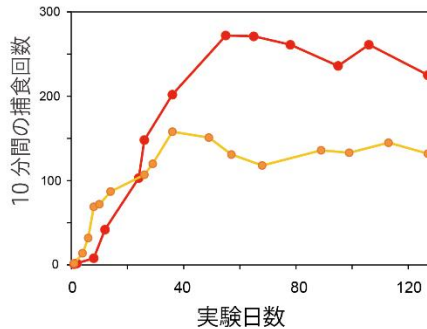
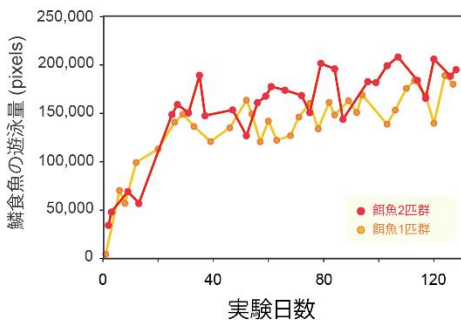


図 2. 捕食行動実験の様子と捕食行動の時間的変化

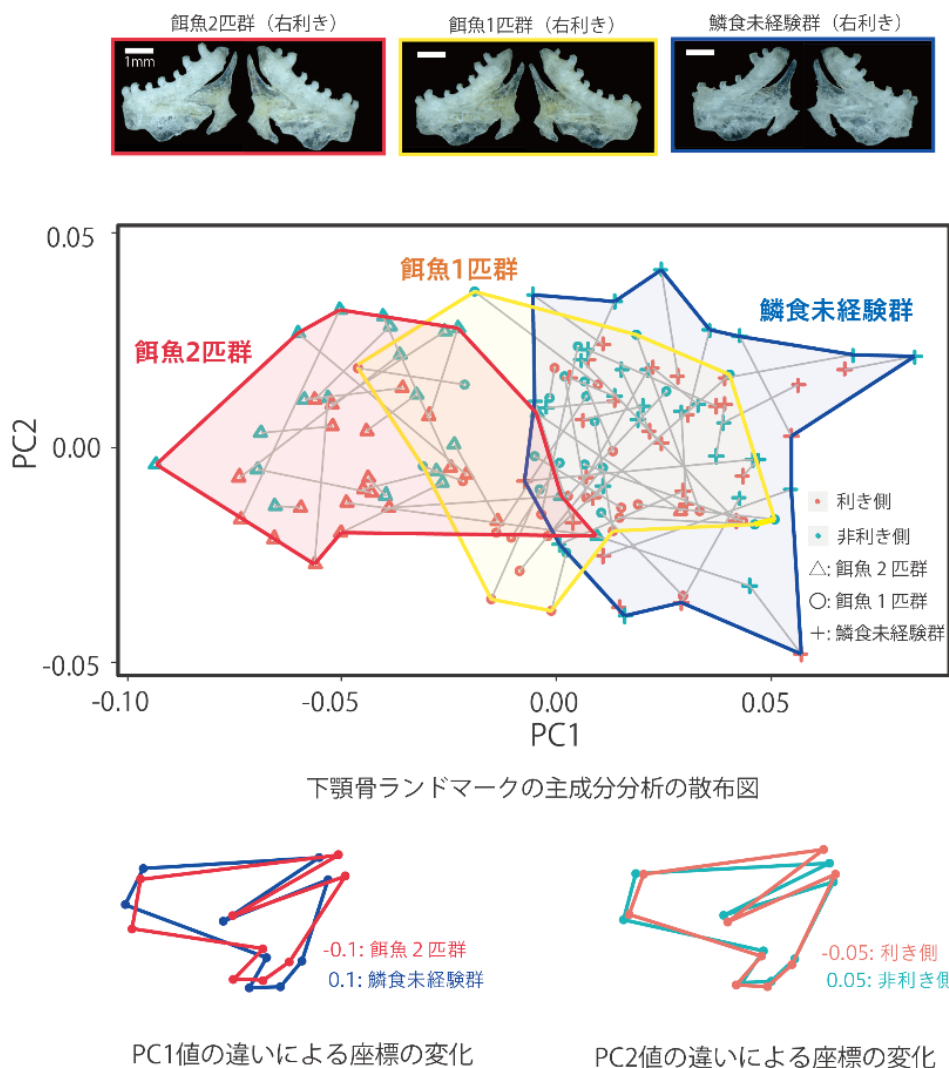


図 3. 摂餌条件群間における下顎骨形態の違い

【用語解説】

- *1 鱗食魚 … タンガニイカ湖には他の魚のウロコを食べる魚は7種棲息しているが、研究に用いたのは *Perissodus microlepis* で、本種を便宜上、鱗食魚と呼んでいる。口部の左右非対称な形態は、より広く口を獲物の体表に押し当てることで、ウロコを効率的にはぎ取れる有益な構造と考えられている。ちなみに、魚のウロコはケラチンでできており、消化さえできればタンパク源になり得る。
- *2 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）や反応速度が高いことが知られている。
- *3 YOLO … 画像や動画に映っている物体を高速で検出できる高性能の画像認識アルゴリズムのこと。この方法を適用することで、水槽内におけるサカナの座標を自動的に検出し、サカナの動きや他個体との位置関係を客観的に評価できるようになった。
- *4 幾何学的形態測定法 … 二次元形態の特徴点に標識点（ランドマーク）を打ち、異なる個体同士のランドマークから、形態の違いを検討する方法のこと。形態を「形状」と「大きさ」に分離して解析を行う。今回は各下顎骨に九つの標識点を設置して分析を実施した。
- *5 表現型可塑性 … 生物がその表現型を環境条件に応じて変化させる能力のこと。同じ遺伝子を持っていても、生後環境の影響によって、異なる姿や性質を持つようになる。