

2024 年 11 月 5 日

報道機関 各位

Fish that fish for fish ～サカナを釣る魚の特異な“釣り運動ニューロン”を発見～

【本研究のポイント】

- ・カエルアンコウは背鰭(せびれ)を 4 つ持っており、第 2、第 3、第 4 背鰭は威嚇や遊泳に使う。第 1 背鰭は釣り竿のような棒で、皮膚が変化したゴカイのような“ルアー”が付いている。これを振って小魚をおびき寄せて捕食する。この行動を“釣り行動”と名付けた。
- ・カエルアンコウの脊髄において第 1 背鰭を動かす“釣り運動ニューロン”(“fishing motoneuron”)を発見し、第2、3、4背鰭の運動ニューロンとは全く異なる場所にあることを明らかにした。
- ・もともとは背鰭の運動ニューロンでありながら、本来の機能と全く異なる役割を果たすために分布場所が移動したと考えられる、極めて稀な例である。

【研究概要】

名古屋大学大学院生命農学研究科の山本 直之 教授、萩尾 華子 特任助教(高等研究院 YLC 教員)、西野 弘嵩 氏(当時博士前期課程学生)、中山 友哉 特任助教(高等研究院 YLC 教員)らの研究グループは、カエルアンコウが小魚をおびき寄せるために背鰭(せびれ)が変化した“釣竿”と“ルアー”を動かすニューロンを発見し、“釣り運動ニューロン”と命名しました。脊髄において、釣り運動ニューロンは他の背鰭の運動ニューロンとは全く異なる場所にあることを明らかにしました。胸鰭と体幹筋の運動ニューロンの分布についても明らかにしました。

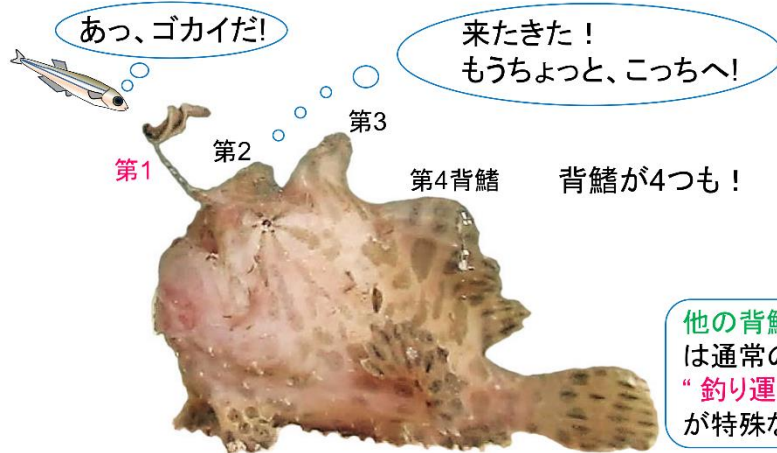
鰭(ひれ)の運動ニューロンの研究報告はわずかであり、本研究では 4 つの背鰭すべてと胸鰭、体幹筋の運動ニューロンを調べたことに加え、機能の進化に伴う鰭運動ニューロンの移動を明らかにした画期的研究です。カエルアンコウはユーモラスな姿で人気があり、釣り行動もよく知られています。知的好奇心という観点からも、釣り行動に関する新しい知見を提供した意義は大きいと言えます。ヒトには背鰭に相当する構造はありませんが、胸鰭と腹鰭は我々の手足に相当します。鰭の運動系の理解を通じて、四肢動物との比較検討による鰭／四肢を使った運動の進化の理解にも貢献が期待されます。

本研究成果は、2024 年 10 月 8 日付の神経形態学分野で最も著名な雑誌『Journal of Comparative Neurology』に掲載されました。

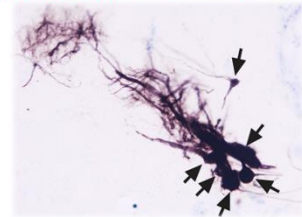
Fish that fish for fish

～サカナを釣る魚の特異な“釣り運動ニューロン”を発見～

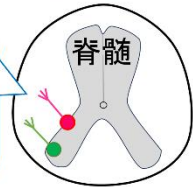
カエルアンコウの“釣り行動”



釣り行動のために特殊化した
第1背鰭を動かす
“釣り運動ニューロン”発見!



他の背鰭を動かすニューロン
は通常的位置にあるが
“釣り運動ニューロン”だけ
が特殊な位置に移動!!



【研究背景と内容】

研究背景

カエルアンコウの頭の上には釣竿のような棒(誘引突起^{注1)})があり、その先端にはゴカイのようなもの(エスカ^{注2)})が付いています。誘引突起は背鰭が、エスカは皮弁^{注3)}が変化したものであることがわかっています。誘引突起の後ろには、遊泳や威嚇に使う3つの背鰭があります。すなわち、カエルアンコウには第1～第4まで4つの背鰭があり、誘引突起は第1背鰭に相当します。誘引突起は遊泳や威嚇には使われず、振り回して小魚をおびき寄せ捕食する“釣り行動”に特化しています。この行動はサカナのファンの間では有名ですが、その制御系については何もわかっていませんでした。釣り運動ニューロン^{注4)}は威嚇や遊泳と関係なく、餌となる小魚を発見したときに上位中枢から運動指令を受け取るはずで、他の背鰭の運動ニューロンとは異なる形態・生理学的特性をもつと思われますが、全くの不明でした。

研究内容

カエルアンコウは背鰭を4つ持っており、第1背鰭は釣竿のような棒で、皮膚が変化したゴカイのような“ルアー”が付いており、これを振って小魚をおびき寄せて捕食します。この行動を“釣り行動”と名付けました(図1,2)。行動観察により、第2、3、4背鰭は威嚇行動、第4背鰭は遊泳行動にも使うことがわかりました。

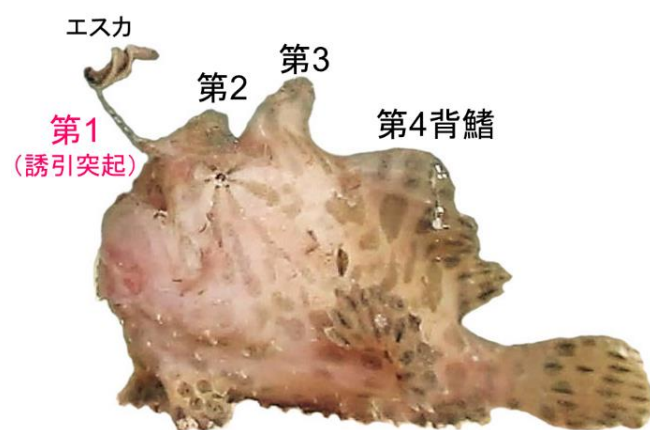


図1. 釣り行動中のカエルアンコウの
4つの背鰭

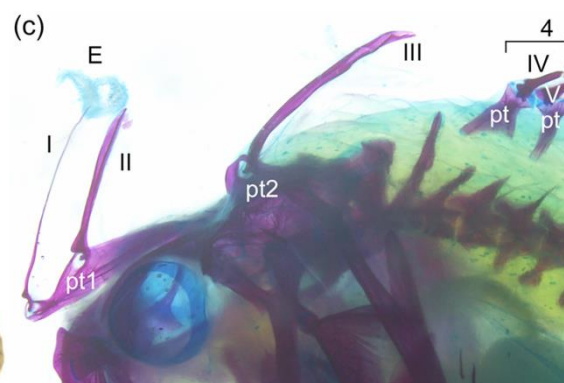


図2. カエルアンコウ頭部の骨格標本
E:エスカ, I:第1背鰭, II:第2背鰭,
III:第3背鰭, IV:第4背鰭.

背鰭を動かす運動ニューロンは神経トレーサー^{注5}によって可視化する方法で同定しました。トレーサーを筋肉に投与する実験によって、第2および第3背鰭の運動ニューロンは延髄と脊髄の境界領域の腹角^{注6}の腹外側領域に位置していることがわかりました(図3)。

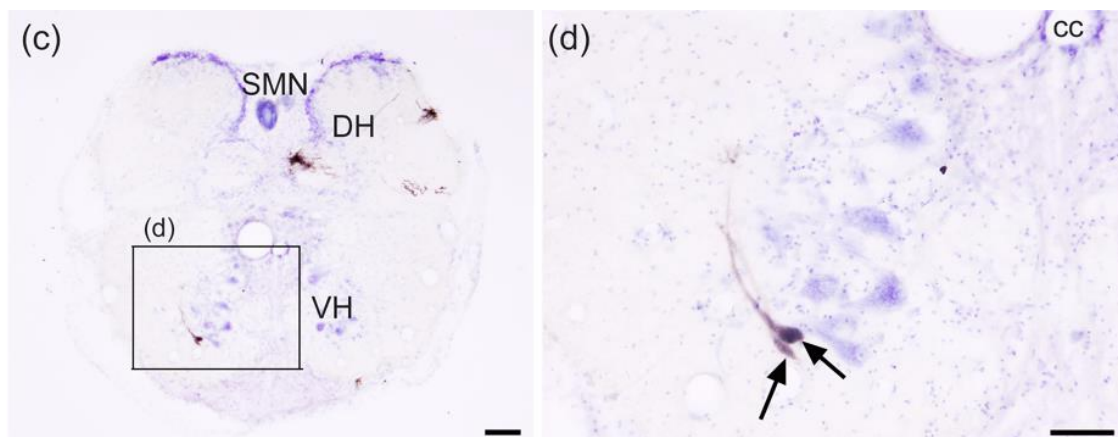


図3. 第2背鰭を動かす運動ニューロン

(c)脊髄内の第2背鰭運動ニューロンの分布 VH:腹角

(d)第2背鰭運動ニューロン集団, (c)の四角枠内の拡大写真

第4背鰭の運動ニューロンはより後方の脊髄にありますが、やはり腹角の腹側領域に位置していました。これはゼブラフィッシュにおける背鰭の運動ニューロンの分布についての報告と一致していました。胸鰭の運動ニューロンも腹角の腹側領域に位置していましたが、第2-3背鰭の運動ニューロンよりも内側にありました。胸鰭の運動ニューロンに関しては、ホウボウの一種で腹角の腹側領域に存在するという報告があり、それと一致していましたが、背鰭の運動ニューロンとの分布の違いについては本研究が初めて明らかにしました。体幹筋の運動ニューロンは腹角の背側領域に存在しており、これもホウボウの一種での報告と一致していました。

第1背鰭が変化した“釣竿”と“ルアー”を動かすニューロンを発見し、“釣り運動ニューロ

ン”と命名しました(図 4)。釣り運動ニューロンは、腹角の背側領域で、しかも体幹筋の運動ニューロンよりも外側の場所に固まって存在していることがわかりました。すなわち、他の鰭(ひれ)の運動ニューロンが腹角の腹側領域にあるのとは全く異なり、体幹筋と同じように背側に位置していて、しかも体幹筋の運動ニューロンとも異なって、外側にあることがわかりました。

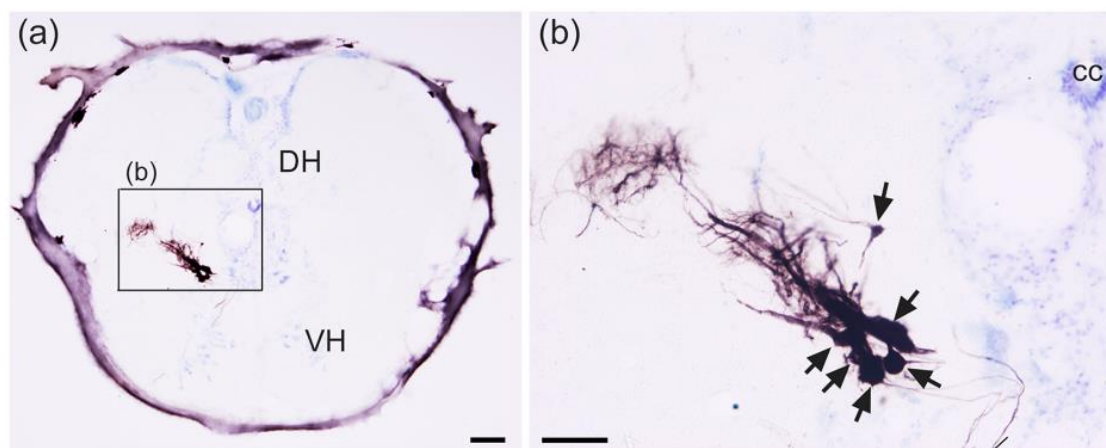


図 4. 釣り運動ニューロン

(a) 脊髄内の釣り運動ニューロンの分布 VH: 腹角

(b) 釣り運動ニューロン集団, (a)の四角枠内の拡大写真

なぜこのような位置にあるのかについては、正確な理由は現時点では不明ですが、機能的な違いに起因する可能性が高く、釣り運動ニューロンと第2-4背鰭の運動ニューロンはニューロンの本体(細胞体)が分布する位置が異なるのは前述のとおりですが、細胞体から伸びている樹状突起の分布も異なっています。

釣り運動ニューロンの樹状突起は第2-4背鰭の運動ニューロンの樹状突起よりも背側に分布しています。樹状突起は情報を受け取る場所であり、運動ニューロンの場合は上位の脳の中枢からの指令を受けとる場所です。第2-4背鰭は威嚇行動に使われ、第4背鰭のみは遊泳時にも使われます。多くの魚種で一般的に、背鰭は遊泳や威嚇行動に使用され、上位中枢からこれらの行動を行うための指令を運んでくる軸索が終わる場所に樹状突起が広がっています。

釣り運動ニューロンの場合は、餌となる小魚を発見したときに“釣竿を振っておびき寄せろ!”という指令が降りてくるはずですが、このような指令を運んでくる軸索は、遊泳や威嚇の指令を運んでくる軸索とは別の上位中枢から来ている、異なる脊髄の場所に終わっていると考えられます。すなわち、遊泳や威嚇の指令よりも背側に来ていると考えられます(図5)。進化に伴って、受け取りたい情報が来る場所の近くにニューロンが移動するという現象(neurobiotaxis)が知られており、カエルアンコウの釣り運動ニューロンはこのような原因によってニューロンの所在場所が進化したと思われます。

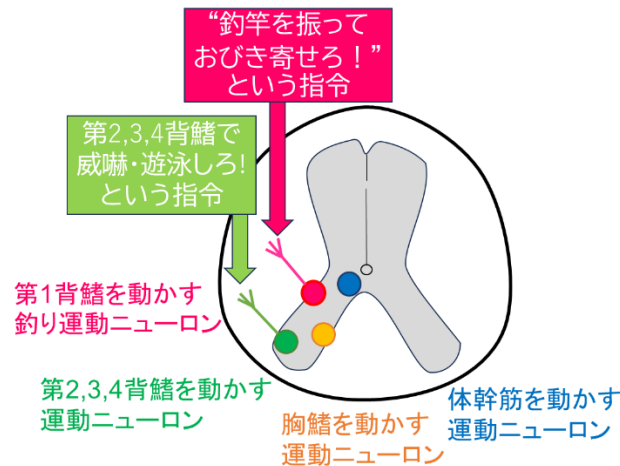


図 5. 背鰭、胸鰭、体幹筋を動かす運動ニューロンの脊髄内の分布

【成果の意義】

本研究は、カエルアンコウの釣り行動を制御する中枢についての世界初の研究です。釣り行動を行う運動ニューロンが、もともとは背鰭の運動ニューロンであったのにも関わらず、背鰭運動ニューロンとしては異例の場所に移動したことを明らかにしました。これまでにない新奇な発見であり、世界的にも注目される研究成果です。

国内外を問わず、サカナが好きなファンは数多く、中でもカエルアンコウは鰭を使って海底を“歩く”行動や本研究でも取り上げた“釣り行動”によって著名な種です。他の生物と異なり、我々ヒトがヒトたる所以の1つは知的好奇心をもつことであり、本研究はこのようなサカナファンの知的好奇心を満たす成果でもあります。

鰭は我々陸上動物にはありませんが、前肢と後肢(手足)は胸鰭と腹鰭と相同であり、我々ヒトの祖先もかつては背鰭をもっていました。鰭の運動制御系を理解することは哺乳類を含め脊椎動物の運動系を理解する上で重要であり、本研究の成果は脊椎動物の中枢運動制御系の進化を理解する上でも貴重な知見を提供したといえます。

本研究は、科研費(17K07934)の支援を受けて実施しました。

【用語説明】

注1)誘引突起:

多くのアンコウ類は第1背鰭が変化して棒状になっている。餌生物をおびき寄せるために使われるので誘引突起と呼ばれる。

注2)エスカ:

皮弁が非常に特殊な進化を遂げ、ゴカイ、オキアミ、小魚などにそっくりな形になったもの。和名は擬餌状体。

注3)皮弁:

多くの魚で体の輪郭をカモフラージュするために、皮膚が伸びて突起になっていることがある。このように特殊化した皮膚を皮弁と呼ぶ。

注4)運動ニューロン:

筋肉は脳や脊髄のニューロン(神経細胞)から送られてくる軸索を伝わる信号によって収縮する。筋肉の収縮を支配するニューロンを運動ニューロンという。運動ニューロンはより上位の中枢からの指令によって、その活動が制御されている。

注 5)神経トレーサー:

ニューロンは細胞の本体(細胞体)と信号を伝える長い突起(軸索)、および信号を受け取る突起(樹状突起)から構成されている。細胞体と軸索の間で物質をやり取りするための輸送システム(軸索輸送)がある。このシステムによって運ばれる、本来神経系には存在しない物質(トレーサー)を投与することにより、投与した場所がどこと連絡しているのかを特異的に明らかにすることが可能で、この実験法を神経トレーサー実験という。

注 6)腹角:

脊髄の中心付近にはニューロンの細胞体が集まる灰白質があり、その周囲は脊髄を上下する軸索が通る白質がある。灰白質には背側に伸び出した背角と、腹側に伸び出した腹角があり、運動ニューロンは腹角の中に位置している。

【論文情報】

雑誌名:Journal of Comparative Neurology

論文タイトル:Fish That Fish for Fish—A Peculiar Location of “Fishing Motoneurons” in the Striated Frogfish *Antennarius striatus*

著者:Hanako Hagio^{§1,2}, Hiroataka Nishino^{§1}, Kenta Miyake¹, Nene Sato¹, Kei Sawada¹, Tomoya Nakayama¹, Naoyuki Yamamoto^{*1}.

§共筆頭著者 *責任著者

(萩尾華子、西野弘嵩、三宅健太、佐藤寧々、沢田慧、中山友哉、山本直之)

1:名古屋大学大学院生命農学研究科動物科学専攻水圏動物学研究室 Laboratory of Fish Biology, Department of Animal Sciences, Graduate School of Bioagricultural Sciences, Nagoya University, Nagoya, Japan

2:名古屋大学高等研究院 Institute for Advanced Research, Nagoya University, Nagoya, Japan

DOI: 10.1002/cne.25674

URL:<https://doi.org/10.1002/cne.25674>



東海国立大学機構は、岐阜大学と名古屋大学を運営する国立大学法人です。
国際的な競争力向上と地域創生への貢献を両輪とした発展を目指します。

東海国立大学機構 HP <https://www.thers.ac.jp/>

