

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 5 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K07934

研究課題名(和文)カエルアンコウの釣り行動—魚類の鰭運動制御系の研究

研究課題名(英文)Motor control system of the modified dorsal fin in frogfish

研究代表者

山本 直之(YAMAMOTO, NAOYUKI)

名古屋大学・生命農学研究科・教授

研究者番号：80256974

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：カエルアンコウは棒の先端にゴカイのようなものがついた(それぞれ誘引突起とエスカと呼ばれる)、特殊化した背鰭をもち、これを動かすことによって誘引された小魚を捕食する。誘引突起とエスカは遊泳には関与しない。この特殊化した背鰭の運動制御機構は不明である。通常の鰭の運動制御系の研究もまた少ないため、カエルアンコウおよび他の魚種の鰭運動制御機構を幅広く調査した。その結果、カエルアンコウの誘引突起の運動ニューロンは通常の鰭の運動ニューロンとは異なる中枢内分布をすることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

カエルアンコウの特異な捕食行動は特殊化した背鰭を用いた小魚の誘引に依存している。この遊泳には関与しない背鰭の運動制御機構は不明であったが、本課題の成果により通常の鰭の運動ニューロンとは異なる中枢内分布がその背景にあることが初めて明らかとなった。また、通常の鰭の運動制御系の研究自体もわずかであったが、運動ニューロンの中枢内分布や細胞形態について明らかとなった。通常の鰭は魚類にとって重要な遊泳制御に深く関わっており、魚類の運動系を理解するために必須の知見ももたらした。

研究成果の概要(英文)：Frogfish possess a specialized dorsal fin, which is like a rod with sandworm-like ornaments on its tip. Frogfish use the dorsal fin to attract small fish and engulf the victim. The specialized dorsal fin is not used for swimming, unlike other fins. In the present project, the motor control system of the specialized dorsal fin in comparison with other fins in the frogfish as well as fins in other species. The localization of the motor neurons involved in the control of the specialized dorsal fin was peculiar in comparison with those of other ordinary fins, suggesting evolutionary changes occurred with the specialization of that dorsal fin.

研究分野：魚類神経学

キーワード：真骨魚 鰭 運動制御 神経系

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

カエルアンコウは“釣り行動”を行う。棒の先端にゴカイのようなものがついた装置(それぞれ、誘引突起とエスカと呼ばれる)が頭部にあり、これを動かすことによって誘引された小魚を瞬時に捕食する。この装置は骨学的および筋学的な知見から背鰭が特殊化したものであることがわかっている。すなわち特殊化した第1背鰭である。しかし、誘引突起とエスカは“釣り行動”の時のみに使われ、遊泳には関与しない。このため、遊泳に関わる通常の背鰭とは異なる神経制御を受けていると思われる。しかしながら、誘引突起の運動制御機構については全くの不明である。さらに、比較対象となるべき通常の鰭の運動制御系に関する知見も断片的であるため、誘引突起の運動制御機構の特殊化に関して論じるためには、カエルアンコウの通常の背鰭(遊泳に関与する通常の背鰭が後方にある)および他魚種のさまざまな鰭の運動制御系についても総合的な調査する必要がある。

2. 研究の目的

本研究は、カエルアンコウの誘引突起を動かす筋の運動ニューロンと遊泳に関わる通常の背鰭の運動ニューロンの中枢内分布や個々のニューロンの形態を比較することを第一の目的とする。この比較によって、背鰭が特殊化して誘引突起となったことと関連して中枢にも変化が生じたかどうか明らかとなる。背鰭が特殊化している(さらに、腹鰭の位置も極めて特異である)カエルアンコウでは、鰭の運動ニューロンの中枢内分布パターンが一般的ではない可能性もある。そのため、キングヨなどを対象として鰭の運動ニューロンの分布についても幅広く調査を行った。さらに鰭の運動制御は、運動ニューロンが単独で独立的に行っているのではなく、中脳や小脳といったさらに上位の中枢による調節も受けている。そのため、中脳から発して延髄から脊髄にいたる下行性の神経路や小脳についての研究を行うことによって、鰭運動制御に関してより広汎な知見を得ることも目的とした。カエルアンコウのエスカは、その形態が微妙に変化することも研究代表者の研究室における観察で示唆されているため、エスカの神経支配についても明らかとすることも目的とする。

3. 研究の方法

鰭の筋を支配する運動ニューロンの分布や形態は、筋にいたる神経にトレーサー物質を投与することによって調査した。トレーサー物質は軸索内を輸送されて、運動ニューロンの細胞体まで運ばれる。脳および脊髄の組織切片を作成し、酵素反応を利用してトレーサー物質を可視化することができる。これによって運動ニューロンを例えば黒く染めて、中枢内のどの位置に分布するか、細胞体の形態がどのようなものであるかを観察することが可能となる。

運動制御に関わるさらに上位の中枢についても、目的の場所にトレーサー物質を投与することにより、その場所に情報を送ってきているニューロンや、その場所から情報が送られる行き先を可視化することができる。

エスカに分布する神経については、軸索を特異的に標識する抗体を用いた免疫組織化学によって可視化して、その分布を調査した。

4. 研究成果

カエルアンコウの誘引突起の運動を司る運動ニューロンは、遊泳制御に関わる通常の背鰭の運動ニューロンとは異なる特異な脊髄領域に存在することがわかった。また、遊泳に関わる通常の背鰭の運動ニューロンは、キングヨなど他の魚種の遊泳の調節に関わっている鰭の運動ニューロ

ン(学会発表済み)と同様の脊髄内分布をしていることも明らかとなった。これらの結果は、“釣り行動”の進化に伴って、誘引突起の運動を司る運動ニューロンが脊髄内において特異な分布を示すようになった可能性を支持している。ティラピアでの研究によって、中脳から発する下行性神経路が鰭運動を制御することを示す結果を得た。この成果は原著論文としてすでに報告し、関連する成果に基づく総説も公表済みである。また小脳の回路やその形成に関する共同研究も公表済みで、国際シンポジウムでの招待講演において、魚類小脳の形態や回路に関して講演も行った。

エスカの変形メカニズムに関しては、エスカ内に多数の神経線維が分布していること、およびそれらが自律神経系の神経線維であることを示唆する結果を得ている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Nakayama T, Nishino H, Narita J, Abe H, Yamamoto N	4. 巻 527
2. 論文標題 Indirect pathway to pectoral fin motor neurons from nucleus ruber in the Nile tilapia <i>Oreochromis niloticus</i>	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Comp Neurol.	6. 最初と最後の頁 957-971
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cne.24578	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 -
1. 著者名 Yamamoto N, Hagio H, Nakayama T.	4. 巻 59
2. 論文標題 Descending pathways to the spinal cord in comparison with mammals, with special attention to rubrospinal pathways.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Develop. Growth Diff.	6. 最初と最後の頁 188-193
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi: 10.1111/dgd.12355	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 -
1. 著者名 Dohaku R, Yamaguchi M, Yamamoto N, Shimizu T, Osakada F, Hibi M	4. 巻 13
2. 論文標題 Tracing afferent connections in the zebrafish cerebellum using recombinant rabies virus.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Neural Circuits	6. 最初と最後の頁 30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.3389/fncir.2019.00030	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 -
1. 著者名 Nimura T, Itoh T, Hagio H, Hayashi T, Donato V. D, Takeuchi M, Itoh T, Inoguchi F, Sato Y, Yamamoto N, Katsuyama Y, Bene F. D, Shimizu T, Hibi M	4. 巻 455
2. 論文標題 Role of Reelin in cell positioning in the cerebellum and the cerebellum-like structure in zebrafish.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 developmental Biology	6. 最初と最後の頁 393-408
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.ydbio.2019.07.010	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5件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 佐藤寧々、萩尾華子、西野弘嵩、山本直之
2. 発表標題 カエルアンコウの“釣り行動”を支配する運動系
3. 学会等名 日本水産学会 秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中惇也、山本直之
2. 発表標題 キンギョ対鰭（胸鰭・腹鰭）の運動系について
3. 学会等名 第13回水生動物の行動と神経系シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西野弘嵩、萩尾華子、佐藤寧々、三宅健太、山本直之
2. 発表標題 遊泳に関係しない背鰭の運動制御系 カエルアンコウの“釣り運動ニューロン”の特殊性
3. 学会等名 第13回水生動物の行動と神経系シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yamamoto N, Hagio, H
2. 発表標題 Diversity of cerebellum and cerebellar-like structure in teleosts
3. 学会等名 第25回小型魚類研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yamamoto N, Hagio H
2. 発表標題 The cerebellum of ray-finned fishes: specific features and diversity
3. 学会等名 75th Fujihara Seminar -Cerebellum as a CNS hub- (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計4件

1. 著者名 山本直之 (日本魚類学会編)	4. 発行年 2018年
2. 出版社 丸善出版	5. 総ページ数 704 (うち4ページ担当)
3. 書名 神経系 「魚類学の百科事典」	

1. 著者名 山本直之 (村上安則、滋野修一、野村真編)	4. 発行年 2018年
2. 出版社 一色出版	5. 総ページ数 520 (うち41ページ担当)
3. 書名 水生に最適化した脳の多様化 魚類の脳 「遺伝子から解き明かす「脳」の不思議な世界」	

1. 著者名 山本直之	4. 発行年 2017年
2. 出版社 恒星社厚生閣	5. 総ページ数 11
3. 書名 神経系 (「魚類学」における分担執筆)	

1. 著者名 山本直之	4. 発行年 2017年
2. 出版社 恒星社厚生閣	5. 総ページ数 23
3. 書名 感覚（「魚類学」における分担執筆）	

〔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
--	---------------------------	-----------------------	----