



2025 年 9 月 30 日

報道機関 各位

サカナもヒトの手足同様に鰭を支配する脊髄領域が太い ～魚類から四肢動物への進化の道筋に新たな視点～

【本研究のポイント】

- ・四肢動物は四肢を支配している脊髄領域が太くなっている(脊髄膨大部)。
- ・サカナには脊髄膨大部はなく、四肢がないからだと思われてきた。
- ・詳細に調べた結果、サカナも鰭(ひれ)を支配する脊髄領域が太いことが明らかになった。

【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、高岡 涼 博士前期課程学生(研究当時)、萩尾 華子 助教らの研究グループは、四肢動物(四つ足の動物)の前肢と後肢を支配している脊髄の領域が他よりも太くなっているのと同じように、魚の脊髄でも鰭を支配している領域が太くなっていることを新たに発見しました。

四肢動物には前肢と後肢があり、体幹と比べると筋肉の種類が多く皮膚感覚も鋭敏です。そのため、四肢の運動と感覚をつかさどる脊髄領域は他の脊髄領域より太くなっていて、頸膨大(前肢の支配)と腰膨大(後肢の支配)と呼ばれています。

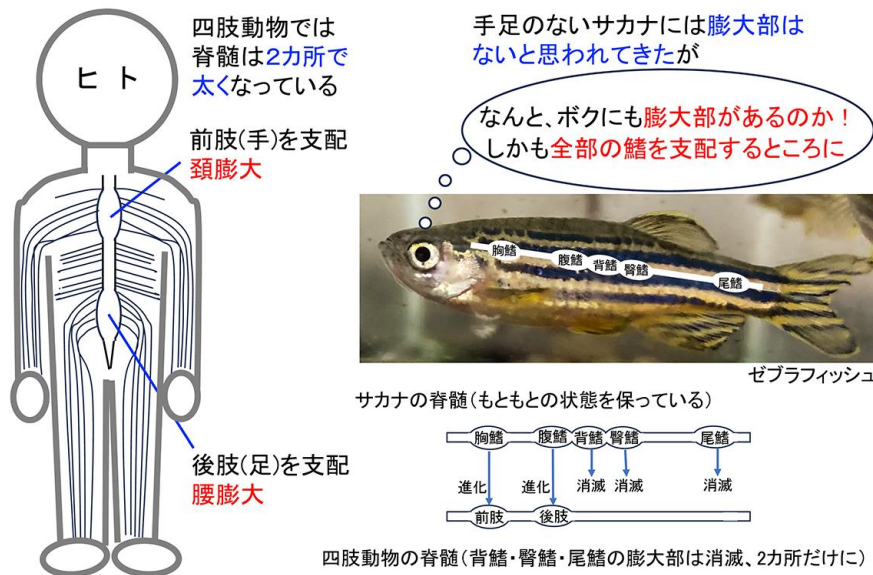
一方、サカナには膨大部はなく、一般的にこれは四肢がないからだと思われてきました。しかし、左右対になっている胸鰭と腹鰭は四肢に相当する(相同)ので、詳しく調べることで膨大部の存在が明らかになる可能性があると考えました。

そこで、ゼブラフィッシュを対象に、鰭を支配している脊髄領域を明らかにした上で、太さの変動を脊髄全長にわたって組織切片を作成して調べました。その結果、前肢と後肢と相同の胸鰭と腹鰭を支配する脊髄領域が太くなっていることが明らかとなりました。さらに、対になっていない背鰭、臀鰭(しりびれ)、尾鰭を支配する脊髄領域も太くなっていることも明らかとなりました。

脊髄はもともとすべての鰭を支配する領域が太くなっていたのが、四肢動物では胸鰭と背鰭に相同な前肢と後肢だけしかいないため、膨大部も2カ所のみ存在するようになったと考えられます。この発見は脊髄膨大部の存在意義とその進化に関して、これまでにない考え方を提供した点で画期的といえます。

本研究成果は、2025 年 9 月 29 日付国際学術雑誌『Brain, Behavior and Evolution』に掲載されました。

サカナもヒトの手足同様に鰭を支配する脊髄領域が太い ～魚類から四肢動物への進化の道筋に新たな視点～



【研究の背景】

前肢(ヒトの上肢:手)と後肢(ヒトの下肢:足)をもつ四肢動物の脊髄には、肉眼的に見て明らかに太くなっている場所が2カ所あることは古くから知られていました。これは四肢には体幹に存在しない筋肉が多数存在することと、体幹と比べて皮膚の感覚が遥かに鋭敏であるため、筋肉を動かす運動ニューロンと脊髄に送られてくる感覚を処理するための感覚ニューロンが、体幹を支配している脊髄領域よりも多数存在するためです。

一方、魚類の脊髄には太くなった場所は見当たりません。これは一般的には手足がないからと考えられてきました。手足のないヘビの脊髄にも太くなっている場所は見当たりません。しかし、魚類にも前肢に相当する胸鰭と後肢に相当する腹鰭があります。これらの鰭は四肢と同様、左右で対になっています。鰭を動かす筋肉は体幹よりも種類が多く複雑であり、鰭は表面積が大きく感覚も発達していて、鰭を支配する脊髄領域は、体幹を支配する脊髄領域よりも多くの運動ニューロンと感覚ニューロンが存在する可能性があります。そのため、肉眼で見えてははっきり分かるほどではないにしても、鰭を支配している脊髄領域が太くなっているのではないかと考えました。そこで、鰭を支配する脊髄領域を特定した上で、脊髄の組織切片を作成して、脊髄と脊髄の灰白質^{注1)}の面積を調査しました。

【研究内容】

鰭を支配する脊髄領域が太くなっているかどうかを調べるためには、鰭を支配する脊髄領域が吻尾(ふんび)に長い脊髄のうちどの場所なのか分かっている必要があります。研究対象としたゼブラフィッシュでは、胸鰭、背鰭、尾鰭を支配する脊髄領域はすでに研究報告があるため、腹鰭と臀鰭を支配する脊髄レベルを調査しました。近年発達してきた標本を透明化する手法を応用して、魚体丸ごとを神経線維が特異的に染まる免疫組織化学染色^{注2)}によって染色し、その後組織を透明化することによって体の深い場所にある神経も見えるようにしました(図1)。

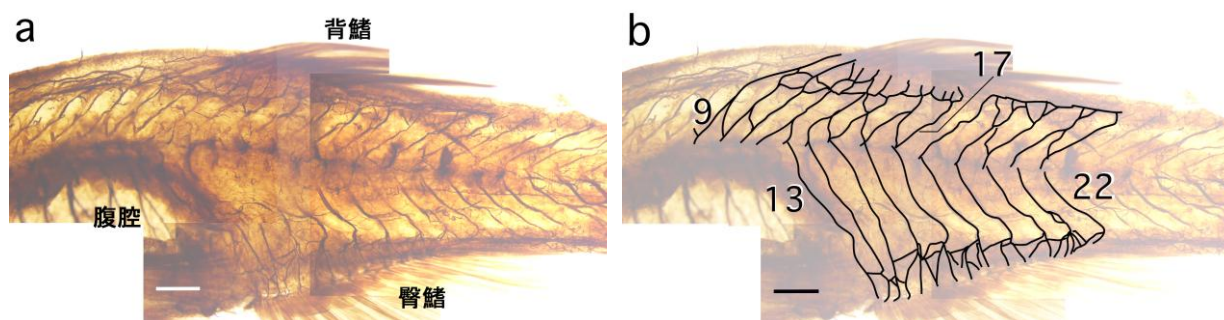


図1 a)神経線維を染色したのち、組織を透明化したセブラフィッシュの標本。濃い茶色に染まっている糸のようなものが脊髄神経(上に向かう枝[背側枝]と下に向かう枝[腹側枝]の 2 本に分かれている)。b)背鰭と臀鰭に向かう脊髄神経をわかりやすいように黒い線でトレースしたもの。背鰭は第 9-17 脊髄神経の背側枝が、臀鰭は第 13-22 脊髄神経の腹側枝が支配している。スケールバーは 1mm。

その結果、すべての鰭の支配神経が判明して、胸鰭は第 1-2 脊髄神経、腹鰭は第 7-10 脊髄神経、背鰭は第 9-17 脊髄神経、臀鰭は第 13-22 脊髄神経、尾鰭は第 27-31 脊髄神経が支配することが明らかになりました(図2b)。

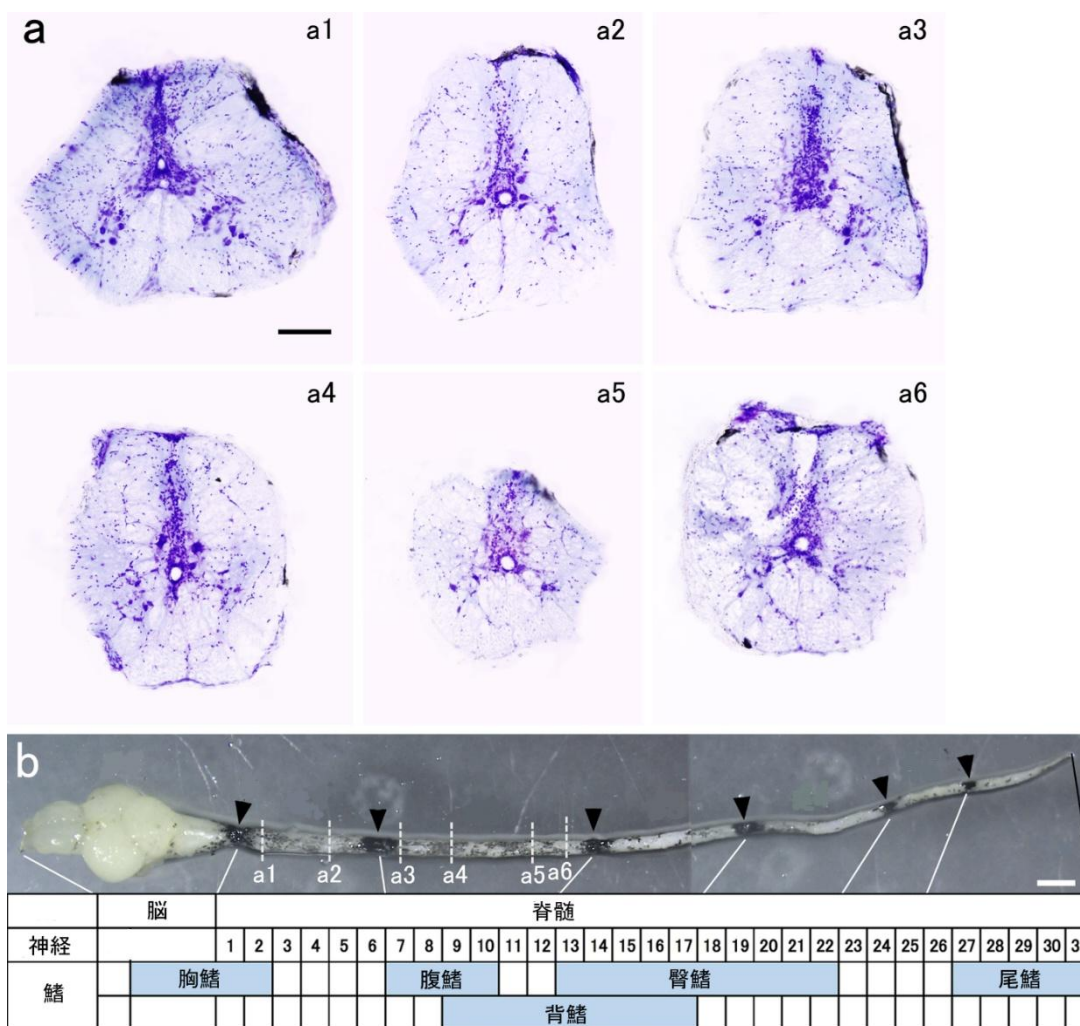


図2 a)6 つの吻尾レベルでの脊髄切片。Nissl 染色^{注 3)}により細胞が青紫色に染まっている。脊髄の中央部で漢字の“人”のような形をした紫色の領域が脊髄の灰白質である。b に白い点線で切片がど

の場所のものであるのか示してある。スケールバーは 100 μ m。b 上)脳と脊髓の全長を背中側から撮影した写真。黒い場所(矢頭)は、そのままでは脊髓は長すぎて切片を作成しにくいので、6 つに分割するための目印として油性ペンで黒く塗ってある。スケールバーは 1mm。b 下)鰭を支配する脊髓領域を示した図。上の脊髓の写真との対応関係が白線および黒線で示されている。

脊髓全長の連続組織切片を作成して(図2a)、脊髓全体の面積と灰白質の面積の変動を調査したところ、いずれに関しても面積が大きくなるピーク、すなわち脊髓膨大部が複数存在することが分かりました。鰭を支配する脊髓領域との対応関係を調べたところ、ピークはすべて鰭の支配領域に存在していて、特に鰭の支配の開始から少し後方までがピークとなっていることが分かりました(図3)。鰭の前方部は鰭の鰭条(きじょう)^{注4)}が硬くて鰭を動かす時に最も重要な場所であるため、鰭支配の開始から少し後方までが特に太くなると考えられます。脊髓膨大部は前肢と後肢に相同な胸鰭と腹鰭だけでなく、左右対になっていない背鰭、臀鰭、尾鰭を支配する脊髓領域にも存在していました。つまり、脊髓膨大部は四肢に相同な胸鰭と腹鰭だけでなく、すべての鰭に対して存在することが分かりました(図3)。

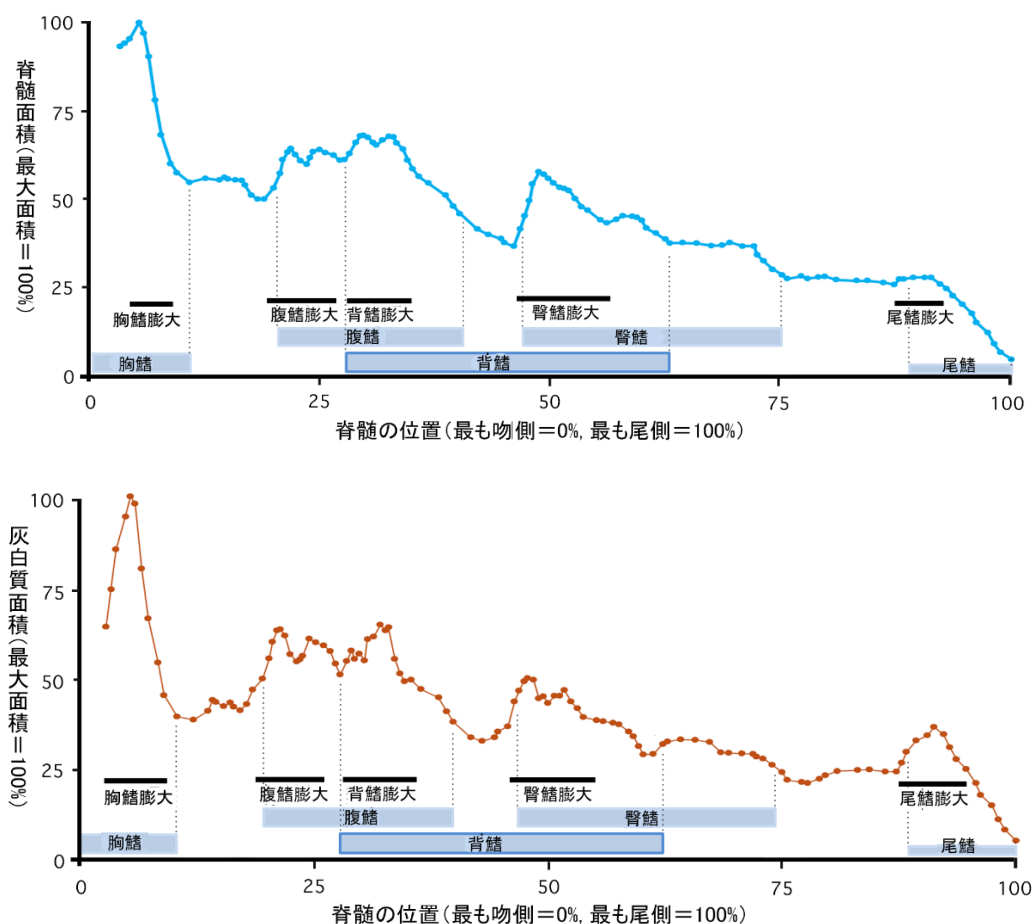


図3 上)脊髓の面積の変動。鰭の支配が始まる高さからそれより少し後方までが特に太くなっていることが分かる。下)灰白質の面積の変動。脊髓面積とほぼ同じ変動パターンを示し、鰭の支配が始まる高さからそれより少し後方までが特に太くなっていることが分かる。

【成果の意義】

四肢動物の脊髓膨大部は顕著であるのに対して、手足のないサカナには一見すると脊髓膨大部はないため、その存在は全く考慮されていませんでした。本研究により、ゼブラフィッシュの5種類の鰭のすべてに対応した膨大部が存在することが分かりました。これを進化学的な視点からみると、それまで魚タイプの姿をしていた脊椎動物が四肢動物として陸上に進出した時の変化を反映していると言えます。移動するために使うことができる左右対になっている鰭だけが発達して四肢となり、左右対になっていない鰭は無くなったため、四肢動物では前肢と後肢を支配する脊髓領域に形成される頸膨大と腰膨大のみが存在するようになった、という進化の道筋を明確にした点で大きな意義を持ちます。

また、これまでの「脊髓膨大部＝頸膨大＋腰膨大」というステレオタイプな認識は、脊髓膨大部とは何かを十分に反映したものではなかったことも明確となりました。脊髓膨大部はすべての鰭に対応して形成されるものであり、四肢類の状況は、その一部だけが残された、元来とは異なった姿です。本研究は、脊髓膨大部とは一体何なのかという認識を一変させる成果と言えます。

【用語説明】

注 1) 灰白質:

脳と脊髓には灰白質および白質と呼ばれる領域がある。灰白質は神経細胞(ニューロン)がたくさんある場所で、生体では灰色に見える。白質は電気的信号を遠くに運ぶニューロンの長い突起(軸索)が通る場所で、生体では白く見える。脊髓の表面側は白質で、中心部が灰白質である。

注 2) 免疫組織化学染色:

抗体は特定の分子構造に特異的に結合する性質がある。組織内に存在する特定の分子に抗体を結合させたのち、蛍光色素や酵素をその抗体に付けることによって、蛍光によって観察したり、酵素反応によって発色させたりして問題の分子の局在を観察することができる。これにより、分布を知りたい分子が組織内のどこにあるのかを明らかにすることができる染色法。

注 3) Nissl 染色:

クレシルバイオレットなどの塩基性色素が、主に粗面小胞体に豊富に存在するリボソームRNAに結合することによって青紫色に染まる染色法。ニューロンには粗面小胞体が豊富に存在するので、好適な染色像を得ることができる。

注 4) 鰭条(きじょう):

硬骨魚の鰭は、団扇(うちわ)のような作りになっていて、団扇の骨に相当するスジは鰭条と呼ばれ、鰭条と鰭条の間は柔らかい膜が張っている。鰭の前方部の鰭条は硬くなっていて棘条(きょくじょう)と呼ばれ、後方部の鰭条はもっと柔らかくて軟条(なんじょう)と呼ばれる。

【論文情報】

雑誌名: Brain, Behavior and Evolution

論文タイトル: Identification of “spinal enlargements” correlating with paired and unpaired fins in zebrafish

Press Release

著者:Ryo Takaoka, Hanako Hagio, Naoyuki Yamamoto*

*責任著者

DOI: 10.1159/000548184



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/>

