

遊泳しているマス(サケ科魚類)の脳内から 神経細胞活動を無線で計測する手法を開発

背景

サケは、川で孵化し海洋で成長しますが、数年間にわたり、ベーリング海から日本近海までの数千キロもの回遊を経て生まれ育った母川へ回帰し、産卵することが知られています。サケが、この母川回帰と呼ばれる優れたナビゲーション能力をもっていることは広く知られており、母川の匂いや地磁気コンパスを手掛かりとしていると考えられています。それらの情報を処理しているはずのサケの脳活動については未だ不明です。それは、水中において、無拘束で電気的な脳神経活動を計測することが困難であったためです。また、比較的大きな魚であるサケ科魚類の脳が頭部の深い位置にあるため、脳へアクセスし難いという技術的な問題なども障害となっていました(図1)。最も大きな問題点は、主にネズミ(ラット、マウス)といった哺乳類を対象とし、脳神経活動を通じて神経メカニズムを研究する神経科学者と、サケの行動や外部環境を通じて生態を研究する生態学者あるいは水産学者には、その専門性から学術的に大きな隔たりがあり、それらを融合する学際的な研究がこれまでほとんど行われてこなかったことです。

この課題を解決するには、様々な研究分野を跨ぐ学際的な共同研究が必要でした。そこで本研究では、文部科学省 科学研究費助成事業の新学術領域研究「生物ナビゲーションのシステム科学」のサポートを受けることで、国内の様々な大学(同志社大学、日本大学、名古屋大学、東京大学、順天堂大学)に所属する神経科学、生態学、水産学の専門家を結集し、従来の学術領域を越えて共同することで本研究に取り組みました。

研究手法と成果

高橋晋 教授らは、数グラムと小型軽量かつ無線で脳活動を計測可能なニューロ・ロガーと呼ばれる計測装置に着目し、それを防水化することで遊泳するマス(サケ科魚類)の脳活動を計測するために活用しました。

独自に設計した防水ケースを3Dプリンタを活用して作製し、その中にニューロ・ロガーを封入しました。ロガーを含めた総重量は約17グラムと軽量であり、水中では浮力があるため、マスは自由に遊泳することができます。そして、ネズミ(ラット、マウス)を対象にして培ってきた電気生理学技術を組み合わせ、サケやマスの生態を専門とする日本大学の牧口講師と共同することで、水中を遊泳するマスの脳活動を記録する手法を確立しました(図2)。

この手法の性能を評価するために、1.5 m × 1.0 mの水タンク内を泳いでいるマスの終脳から脳神経細胞の電気的な活動を記録しました(図3)。その結果、頭がある一定の方向を向いているときにだけ興奮する神経細胞を発見しました(図4)。

このような頭方位細胞と呼ばれる細胞種は、ネズミなどの哺乳類だけでなく、昆虫でも見つかっており、魚類では金魚の終脳にも存在することがわかっています。このように多動物種

に跨り存在する頭方位細胞がサケ科魚類にも発見されたことは、本研究で開発された手法が、水中で遊泳するサケ科魚類の脳活動を計測する能力があることを示唆しています。

また、それが方位に関連していることから、本研究手法が今後発展し、自然の河川においても活用できるようになれば、将来的には、地磁気コンパスと脳活動の関連性などを通じて母川回帰を理解する新しい研究展開が生まれることが期待されます。

高橋教授は、「母川回帰に関するこれまでの研究では、地磁気コンパスや川の匂いといった環境にある外部手掛かりをもとにそのメカニズムに関する理解が進展してきました。我々が開発した手法は、それら外部にある環境要因と、脳内にある内的な情報を繋ぎ、母川回帰を深く理解する切っ掛けになる。」と話しています。

今回の発見

- 遊泳するサケ科魚類の脳内から無線で神経細胞活動を計測する手法を開発
- マス（サケ科魚類）の終脳には頭が向いている方向に反応する細胞が存在する

この研究の社会的意義

母川回帰は、広大な海洋の中で、数千キロメートルをあたかも地図を持っているかのように遊泳するサケ科魚類が持つ驚異的なナビゲーション能力です。地磁気コンパスや匂いに基づいて理解されてきた母川回帰が、今回の研究により脳内からも理解できることで、母川回帰のメカニズム理解がより一層進展するだけでなく、サケ科魚類の生態理解から、その保全や漁獲に関する新たな知見に繋がることが期待されます。

論文情報

本研究の成果は、2021年2月12日に、英科学誌「Animal Biotelemetry」にオンライン掲載されました。

<https://animalbiotelemetry.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40317-021-00232-4>

短縮 URL: <https://rdcu.be/cfcjP>

Takahashi, S. Hombe, T., Takahashi, R., Ide K., Okamoto S., Yoda, K., Kitagawa, T., Makiguchi, Y., "Wireless logging of extracellular neuronal activity in the telencephalon of free-swimming salmonids", Animal Biotelemetry

著者：高橋晋、所属：同志社大学大学院脳科学研究科

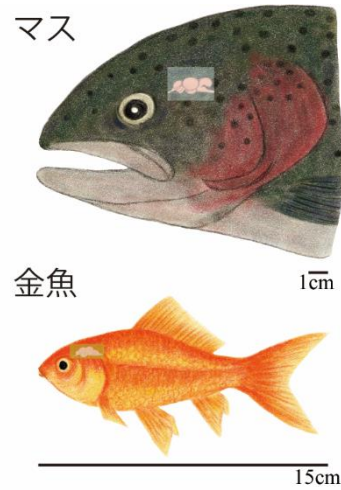
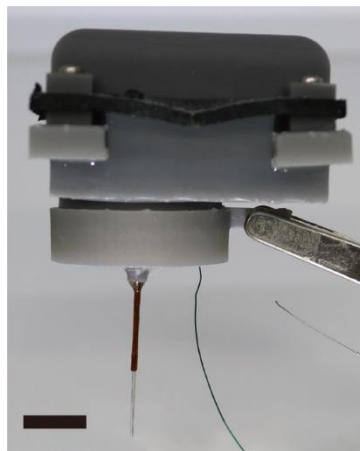


図 1. マスと金魚の脳位置の違い

マスの体重は約 2kg で、その脳（上）は、頭部表面から 3～4cm 程深い位置にある。魚類の脳位置は、一般的には体サイズに比例して深くなる。例えば、体重 100g 程度の金魚の脳位置は、頭部表面から 1cm 未満の深さになり、アクセスしやすく、これまでも脳神経活動についての研究が数多く行われてきた。しかし、この金魚で培われた技術は、脳位置や体重差によるトルクなどの増加により、そのままの形でサケ科魚類に転用することはできなかった。



1cm

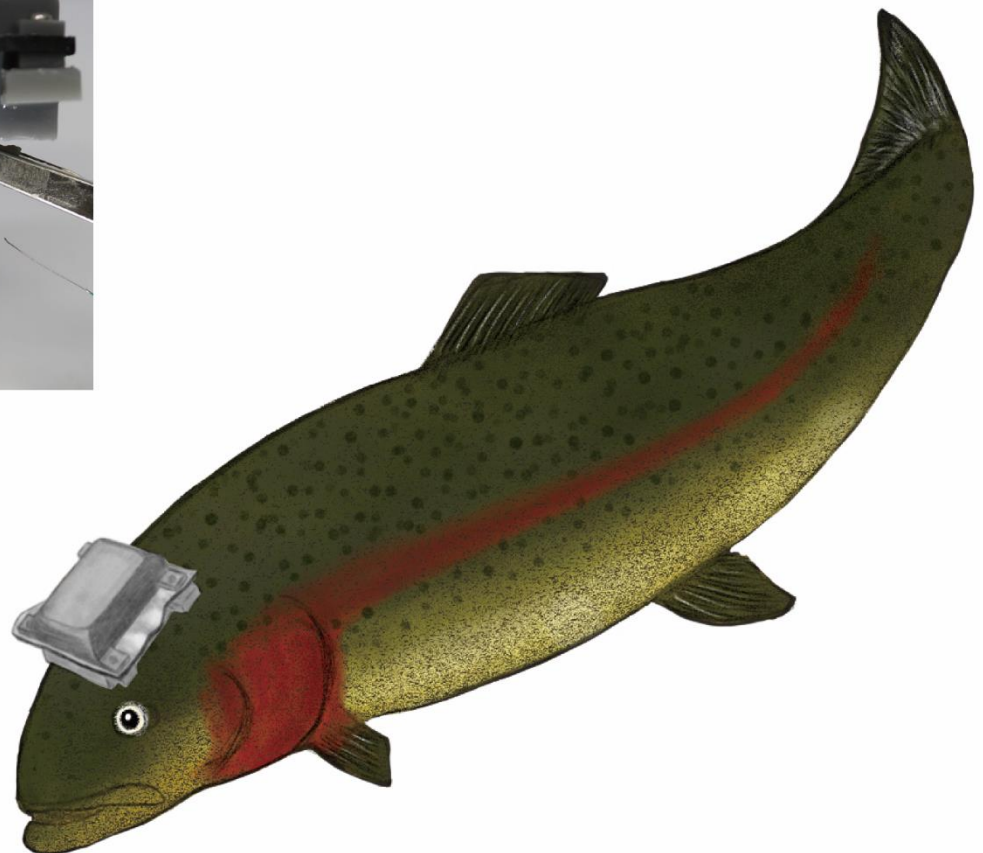


図 2. 防水化したニューロ・ロガーを頭部に搭載したマスのイメージ

左上：3Dプリンタを活用して作製した独自設計の防水ケース付き計測装置（ニューロ・ロガー）。下部の細いチューブ（茶色）に通された、16チャンネルの電極で、複数の神経細胞活動を同時に記録することができる。右下：頭部にニューロ・ロガーを搭載したマスのイメージ。

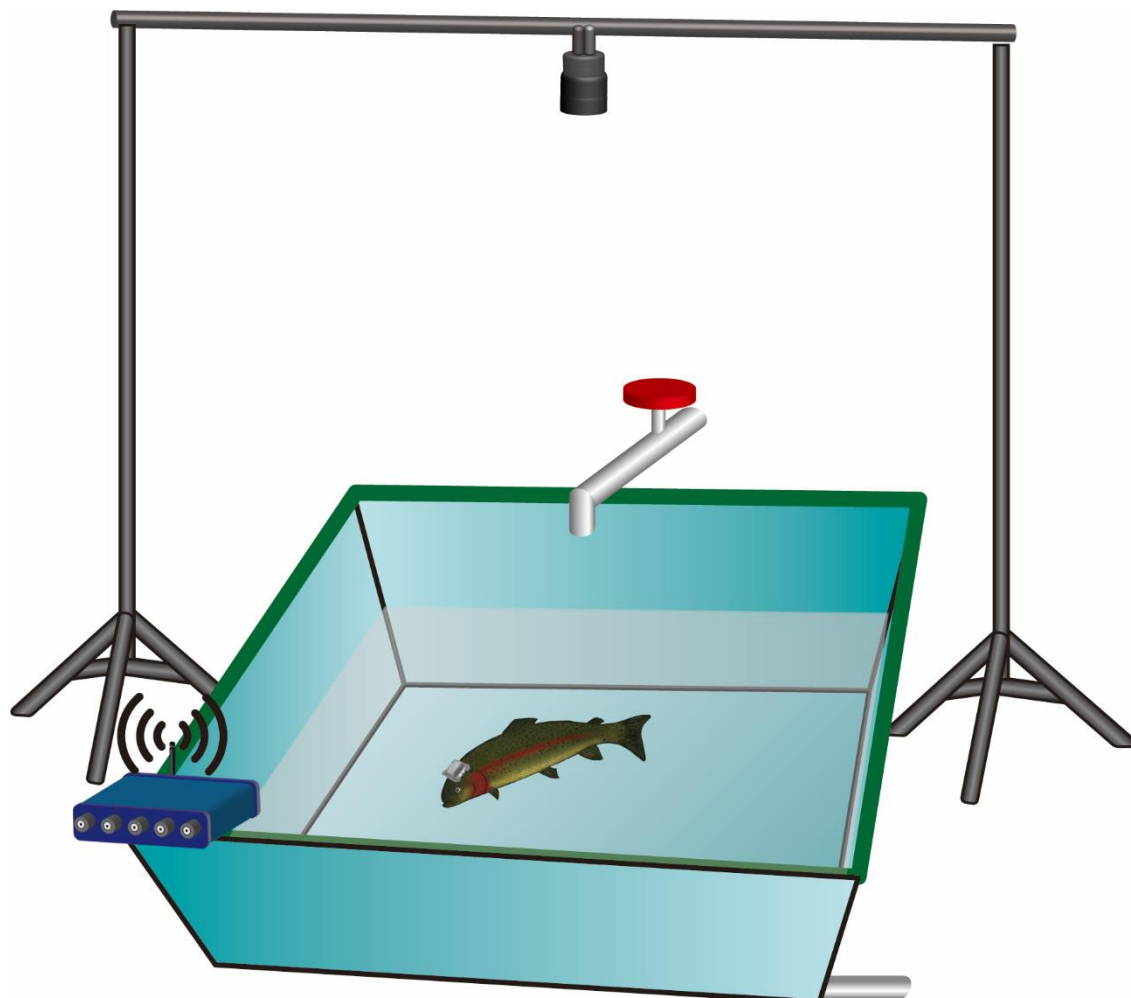


図3. 実験セットの模式図

1.5m×1.0mの水タンクの中を遊泳するマスの終脳に電極を刺入し、防水化したニューロ・ロガーで神経細胞活動を細胞外から記録する実験セット。遊泳中の動きは、上部に設置してあるデジタルカメラで記録している。左下には、同期信号を発信するトランスミッター（青箱）が設置されている。

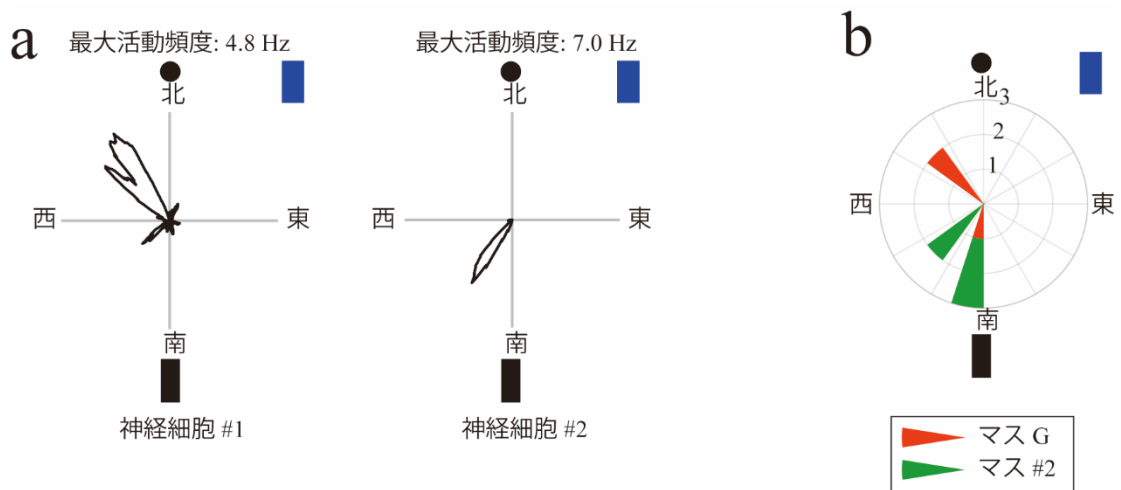


図4. マスの終脳から記録された頭方位細胞の例.

- a. 左に示した神経細胞#1は、マスの頭が北西を向いたときに、1秒間に5回程度の頻度で活動するが、ほかの方位ではほとんど活動しない。これに対して、右に示した神経細胞#2は、マスの頭が南西を向いたときに、1秒間に7回程度の頻度で活動する。目印となる、給水パイプ（黒丸）、タンク内の排水パイプ（黒長方形）、発信装置（青長方形）や、特定の方位（右下）が図示されている。
- b. 本研究で同定された頭方位細胞の方位分布を示している。数値は、細胞数を示している。すべての頭方位細胞が特定の目印や方位に反応しているわけではなかったため、個々の頭方位細胞が好む方位を持ち、その方位を頭が向いたときに活動頻度を増大させていると推察された。