



(0) 研究分野

分科会：生物、工学

キーワード：運動制御、神経生理、ショウジョウバエ

(1) 研究背景と研究目標

体の運動を制御することは脳のもっとも基本的な機能のひとつである。しかしながら私たちの脳では複数の領域の多数の神経細胞が関与しておりその計算機構は明らかでない。昆虫のショウジョウバエは1mmに満たない脳で器用に運動する。例えばハエは6本の足を規則的に動かして素早く歩行しており、これまでの研究により、彼らの脳のなかで想像以上に高度な計算がなされていることが明らかになった。当研究室ではこのショウジョウバエを用いて、生物種に普遍的な運動制御の計算機構の解明に取り組む。ショウジョウバエでは発達した遺伝子組み換え技術により、単一細胞レベルで自在に神経活動を計測したり操作できる。また、近年公開された電子顕微鏡画像再構築データにより神経回路マップを単一細胞レベルで追跡できる。これらショウジョウバエならではのツールと工学技術を駆使して、運動中のハエから神経活動と運動状態をmm, msオーダーの高時空間解像度で同時計測することで、新たな運動制御機構を明らかにする。

(2) 2024年度成果と今後の研究計画

1) 行動実験による運動制御機構の調査

生物は感覚フィードバックを用いて正確かつ高速に運動を制御する。また、感覚フィードバックの遅延

を補償するために予測・適応的にフィードフォワード信号を生成し運動を制御する。

感覚フィードバックを用いた高速な運動制御機構を調べるために穴回避行動実験系を確立し、ハエが高速に穴を回避する行動機構を調査した。ハエは感覚情報を用いて高速に穴を回避する一方で、感覚フィードバック処理だけでは説明できない適応的な制御も存在することが示唆された。ハエの将来の運動を予測するニューラルネットワークを構築し、ニューラルネットワークの構造を調べることで、ハエがどのようにして特定の運動を選択するか調べた。

ハエの運動情報をより詳細に取得するために、3Dモーションキャプチャを用いて三次元の足関節情報を取得できる行動実験装置を構築した。数学的手法を用いてハエがどのように三次元的に運動を制御しているか調べた。

また、視覚ディスプレイとフィードバック価値信号を用いて適応的な運動制御機構を調べるための視覚運動適応タスクを確立した。

今後の研究計画) 確立した行動実験系、機械学習ニューラルネットワーク、歩行運動計測系を用いて、光遺伝学等の遺伝子組み換え技術を組み合わせ、ハエがどのようにして高速にかつ適応的に運動を制御しているのか調べる。

2) 神経生理実験による運動制御機構の調査

高速な運動制御機構を調べるためには、ハエの運動と神経活動をミリ秒オーダーで同時に計測する必要がある。まずは、同時神経活動計測が可能な形でハエの運動情報を高速に計測できる行動実験装置を開発した。また、高速な神経活動を計測するためのカスタム2光子顕微鏡を構築し、運動中のハエから光学イメージングにより神経活動の取得を試みた。

今後の研究計画) 構築した計測系を改良し、ハエの運動と神経活動をミリ秒オーダーで同時に計測する技術を確立する。この計測系を用い、脳がどのようにして高速に運動を制御しているか調査する。

(3) 研究室メンバー

(2024年度)

(主任研究員)

藤原 輝史

(特別研究員)

James Begeng

峯岸 諒

(JSPS外国人特別研究員)

Cesar Hernandez-Reyes

(テクニカルスタッフII)

Audrey Kawoon Wong

Houda Semmoumy

(研究パートタイマー)

山崎 昌子

西村 和貴

Eugenio Bertolini

(国際プログラム・アソシエイト)

Wiktoria Wysocka

(アシスタント)

鈴木 祐子

(4) 発表論文等

1. T. Fujiwara, "Neurophysiological mechanisms of rapid and precise motor control in insects", **The 8th International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics 2024** (2024)
2. T. Fujiwara, “ダイナミックな情報を活用する神経生理機構” 日本比較生理生化学会 第46回名古屋大会 (吉田奨励賞受賞記念講演) (2024).

Laboratory Homepage

<https://sites.google.com/view/fujiwaralab-flybrain>

https://www.riken.jp/research/labs/hakubi/f_amc/

<https://cbs.riken.jp/jp/faculty/t.fujiwara/>