

マウスの運動学習時の脳活動と 行動を同時記録した大規模データセットを公開 ～行動変容生物学を加速する国際標準形式のオープンデータ～

本研究成果のポイント

- ◆マウスがレバー引き課題を学習する15日間の脳活動と詳細な行動を同時記録した大規模データセットを構築
- ◆国際標準規格（Neurodata Without Borders 形式）でデータを整備し、世界中の研究者が利用可能なオープンデータとして公開
- ◆すでにハッカソンを開催して新たな研究展開を促進。今後も継続的な取り組みで行動変容生物学分野の発展を推進

概要

福井大学学術研究院工学系部門の中江健准教授、東京大学大学院医学系研究科の近藤将史助教、松崎政紀教授らを含む複数機関からなる研究グループは、マウスの運動学習過程における脳活動と行動の変化を包括的に記録した大規模データセットを構築し、国際標準形式で公開しました。本データセットは、マウスが水報酬を得るためにレバーを引く課題を15日間学習する過程で、大脳皮質全体のカルシウム活動と、3台の高速カメラによる身体・顔面・眼球運動を同時記録したものです。さらに、課題遂行中の環境パラメータ（温度、湿度、CO2濃度等）も記録しています。データは国際標準規格である Neurodata Without Borders (NWB) 形式で整備され、約8テラバイトの生データと解析済みデータがオープンアクセス可能です。これにより、世界中の研究者が共通のツールを用いてデータを解析できるようになり、行動と脳活動の関係解明から行動変容生物学を推進し、AIを用いた脳機能研究の発展が期待されます。

〈研究の背景と経緯〉

私たちの日常的な行動は、脳の複雑な神経回路の働きによって制御されています。新しい技能を学習する際、脳がどのように変化し、行動が最適化されていくのかを理解することは、神経科学の根本的な課題であり、脳疾患の解明、人工知能開発など幅広い分野への応用が期待される重要なテーマです。

本研究は、科学研究費助成事業学術変革領域研究 (A)「行動変容生物学」の一環として実施されました。行動変容生物学は、生物の行動がどのように変化し、その変化が脳や身体でどのように実現されるかを、分子レベルから個体レベル、さらには集団レベルまで統合的に理解することを目指す新しい学問分野です。この領域では、従来の個別的な研究アプローチを超えて、分野横断的な共同研究と、研究資源の共有による新たな研究スタイルの確立を推進しています。

近年の技術革新により、生きたマウスの脳活動を観察しながら、同時に詳細な行動を記録することが可能になりました。特に、カルシウムイメージング法 (注 1) により大脳皮質 (注 2) の広い領域の神経活動を同時に観察できるようになり、深層学習を用いた動物行動解析技術により、ビデオ映像から動物の微細な動きまで自動的に追跡できるようになりました。

しかし、このような包括的なデータの取得には高度な技術と膨大な労力が必要であり、個々の研究室での実施は困難です。また、異なる研究室で取得されたデータは形式が統一されておらず、比較や統合が困難という問題もありました。行動変容生物学領域の総括班として、これらの課題を解決し、領域全体の研究を加速させるため、標準化された大規模データセットの構築と公開を推進することにしました。

〈研究の内容〉

研究グループは、神経活動を可視化できる遺伝子改変マウスを用いて、15 日間にわたる包括的な記録実験を実施しました。マウスは音が鳴ったらレバーを引いて水報酬を得るという運動学習課題に取り組み、その過程での脳活動と行動の変化を詳細に記録しました (図 1)。

脳活動の記録では、大脳皮質全体を視野に収める広視野 1 光子蛍光顕微鏡 (注 3) を用いて、各個体の脳画像から視覚野、聴覚野、運動野、体性感覚野など 44 の皮質領域を Allen Brain Atlas (注 4) との精密な位置合わせにより同定し、同時に観察しました。カルシウムイメージング技術により、神経細胞が活動する際の蛍光変化を捉えることで神経活動の信号を検出しました。

行動記録では、3 台の高速カメラで上半身、顔面、眼球の動きを毎秒 100 枚撮影し、深層学習技術の DeepLabCut (注 5) を用いて 20 箇所以上の身体部位を自動追跡しました (図 2)。レバーを操作する前肢はもちろん、ひげや瞳孔の動きなど、従来は見過ごされがちだった微細な動きも定量化しました。さらに、レバー位置、舐め行動、体動などを物理センサーで精密に記録し、温度や湿度などの環境データも同時に取得しました (図 3)。

データの品質保証のために行った感覚刺激実験では、想定される感覚領野で信号を検出し、各脳領域が統合的に同定されていることを確認しました。ビデオ解析の精度も検証し、推定されたレバー位置と物理センサーの測定値が高い相関を示すことを確認しました。

すべてのデータは国際標準規格の Neurodata Without Borders (NWB) 形式で整備し、生データ (約 8TB) と解析済みデータをオープンアクセス可能な形で公開しました (<https://dandiarchive.org/dandiset/001425/>)。データ処理パイプライン (図 4) のソースコードも GitHub で公開し、チュートリアルも提供することで、世界中の研究者が直ちにデータ解析を開始できる環境を整えました。これらの情報は BraiDyn-BC データベース (<https://braidyn-bc-database.netlify.app/>) を介してアクセスすることが

可能です。

〈今後の展開〉

行動変容生物学領域として、本データセットの公開を研究コミュニティ形成の重要な基盤と位置づけています。2025年2月に開催したハッカソン (<https://braidyn-bc.jp/news/2025/03/post-2915205.html>) では、領域内外から多様な分野の研究者が参加し、新たな解析手法の開発や異分野融合研究の可能性を探りました。今後も定期的にハッカソンやワークショップを開催し、データ活用の促進と研究者ネットワークの拡大を図ります。

さらに、今後は行動変容生物学領域内の他の研究グループとも連携し、異なる実験パラダイムのデータも同様の標準形式で公開することで、研究データの再利用・活用を促進し、行動変容の普遍的原理の解明を目指します。このようなオープンサイエンスの取り組みを継続的に推進することで、行動変容生物学の発展だけでなく、統合失調症などの精神疾患への理解、人工知能研究による新たな視点の提供などにつながるような成果の創出が加速すると考えています。

〈参考図〉

図 1 : マウスのレバー引き課題における包括的な行動と神経活動の計測

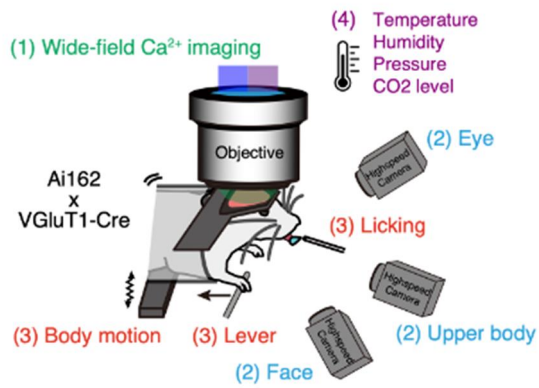


図 2 : DeepLabCutにより同定された身体部位一覧

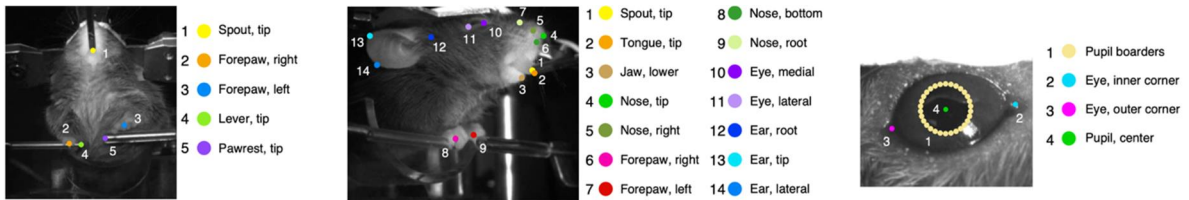


図 3 : 計測された神経活動、DeepLabCut (DLC) による身体部位の自動追跡、リックやレバーセンサーの時系列

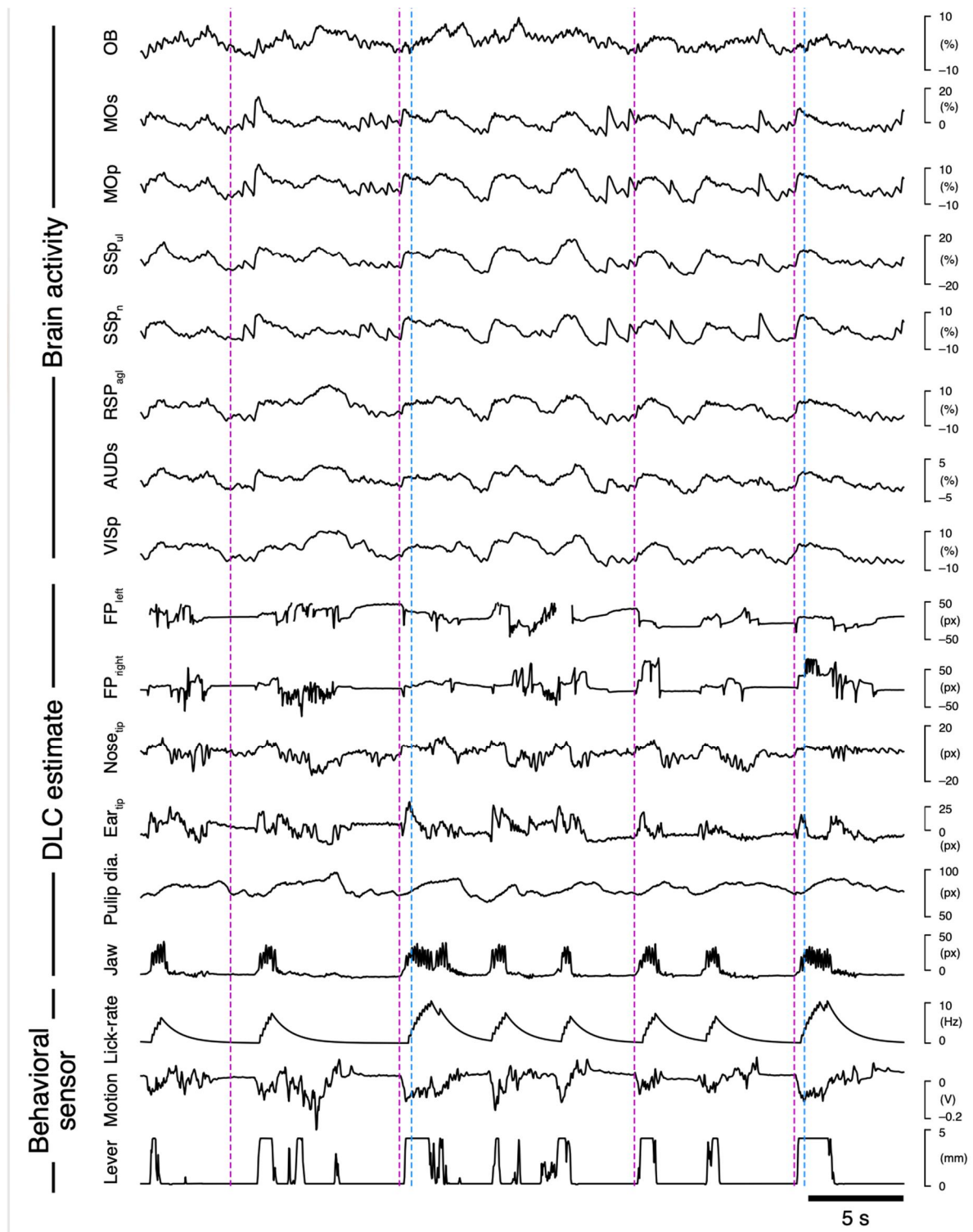
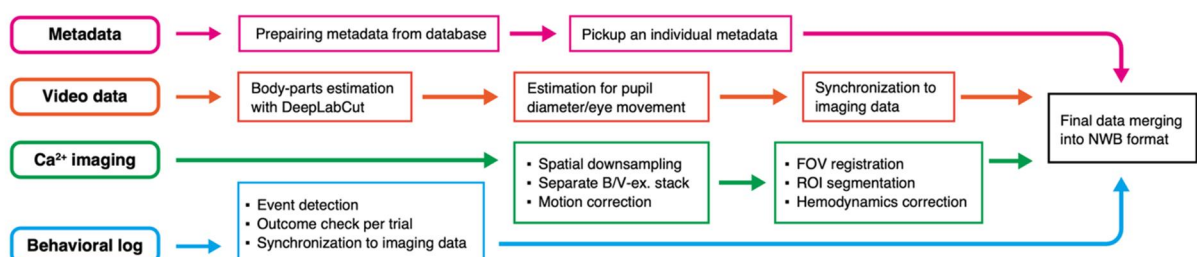


図 4 : 実装されたデータ処理のためのパイプライン



〈用語解説〉

（注1）カルシウムイメージング法：ニューロンが活動するときに細胞内カルシウム濃度が増加する性質を利用し、蛍光標識でその変化をリアルタイム撮影する技術。

（注2）大脳皮質：脳の表層部にあり、多くの神経細胞が何層にも積み重なって複雑な情報処理を行うシート状の構造。高次認知、感覚処理、運動制御など哺乳類などの柔軟な行動に重要な役割を担う。

（注3）広視野1光子蛍光顕微鏡：可視光を照射して蛍光タンパク質を励起させ、比較的広い視野で生体組織の活動を観察できる顕微鏡。

（注4）Allen Brain Atlas：米国アレン脳科学研究所が提供する、マウスの脳解剖学的マップのこと。この研究では、マウスの標準脳として広く使われている Common Coordinate Framework version3 を利用した。

（注5）DeepLabCut：動物や人間の姿勢をビデオ映像から自動で高精度に追跡・解析できる、深層学習ベースのオープンソースソフトウェア。

〈論文タイトル〉

“Multimodal dataset linking wide-field calcium imaging to behavior changes in operant lever-pull task in mice”

(日本語タイトル:「マウスのオペラント・レバー引き課題における広視野カルシウムイメージングと行動変化を結びつけるマルチモーダルデータセット」)

〈著者〉

Masashi Kondo, Keisuke Sehara, Rie Harukuni, Ryo Aoki, Shoya Sugimoto, Yasuhiro R. Tanaka, Masanori Matsuzaki, Ken Nakae

近藤 将史 (東京大学 大学院医学系研究科 助教)

瀬原 慧祐 (東京大学 大学院医学系研究科 特任助教)

春國 梨恵 (東京大学 大学院医学系研究科 学術専門職員)

青木 亮 (玉川大学 脳科学研究所 特任助教)

杉本 翔哉 (玉川大学 脳科学研究所 嘱託研究員)

田中 康裕 (玉川大学 脳科学研究所 教授/ 大学院脳科学研究科 教授)

松崎 政紀 (東京大学 大学院医学系研究科 生理学講座 教授/ 理化学研究所 脳神経科学研究センター チームリーダー/ 東京大学 大学院理学系研究科 教授/ 国際高等研究所ニューロインテリジェンス国際研究機構 教授)

中江 健 (福井大学 学術研究院工学系部門 准教授)

〈発表雑誌〉

「Scientific Data」(サイエンティフィック・データ)

(現地時間: 2025年7月29日10時に掲載)

DOI 番号: 10.1038/s41597-025-05482-y

〈研究助成〉

本研究は、科研費学術変革領域研究(A)『行動変容生物学』(課題番号: JP22H05154; 22H05160; JP22H05162; 22H05163)などの支援により実施されました。

〈お問い合わせ先〉

(研究に関すること)

中江 健 (なかえ けん)

国立大学法人福井大学 学術研究院工学系部門

〒910-8507 福井市文京3丁目9番1号

TEL: 0776-27-4830 E-mail: nakae@u-fukui.ac.jp

近藤 将史 (こんどう まさし)

国立大学法人東京大学 大学院医学系研究科

〒113-0033 文京区本郷7丁目3番1号

TEL: 03-5841-3471 E-mail: kondo@m.u-tokyo.ac.jp

(報道担当)

国立大学法人福井大学 広報センター

〒910-8507 福井市文京 3 丁目 9 番 1 号

TEL : 0776-27-9733 E-mail : sskoho-k@ad.u-fukui.ac.jp

国立大学法人東京大学 大学院医学系研究科 総務チーム

〒113-0033 文京区本郷 7 丁目 3 番 1 号

Tel : 03-5841-3304 E-mail : ishomu@m.u-tokyo.ac.jp