



AI が解き明かした脳の階層構造：機械学習により運動野から海馬へと洗練される情報処理プロセスを定量化

～『成功』と『失敗』の記憶は海馬で最も鮮明に刻まれる？～

本研究成果のポイント

○「おいしい」や「甘い」といった味覚は生体にとって報酬としての意味を持ち、ある行動が報酬の獲得につながるかどうかは生存に不可欠な情報です。しかしながら、**報酬の獲得の成否につながる情報**が脳の中でどのように処理されているかは十分に明らかではありませんでした。

○サッカリン甘水を報酬として、左右の手を使い分ける課題を遂行中のラットの脳活動を記録し、得られた膨大なデータから**行動の結果（成功・失敗）**を予測する解析を行いました。

○16種類のAI（機械学習）アルゴリズムを用いた結果、いずれのアルゴリズムでも高精度な予測に成功しました。さらに、**運動野から海馬にかけて予測精度が段階的に上昇し、海馬において成功・失敗が最も鮮明に区別される「階層的洗練」**を発見しました。

○この結果は報酬に関する情報が脳内で階層的に処理され、**エピソード記憶を司る海馬で極めて明快に「二値化」**されることで、**過去の経験が将来の適切な行動選択へと結びつく可能性**を示唆しています。

京都府立医科大学大学院医学研究科 細胞生理学 助教 相馬祥吾、同大学医学部医学科 三村由依、福島県立医科大学医学部 システム神経科学講座 助教 岡本真拓、東京科学大学大学院医歯学総合研究科 細胞生理学分野 教授 礪村宜和ら研究グループは、脳内の報酬に関わる情報が、運動野から海馬に至る経路でどのように洗練されていくかを AI 技術を駆使して解明しました。本研究成果は、科学雑誌『eNeuro』に 2026 年 1 月 27 日付けで掲載されました。

本研究は、最新の機械学習（デコーディング解析）を用いることで、これまで定量的評価が困難だった脳領域間の「情報の鮮明さ」の違いを浮き彫りにしました。本研究成果をもとに、今後は味覚にもとづいた報酬記憶がどのように行動へと変換されるかの全容解明や、脳の学習アルゴリズムを応用した新たな AI 開発への貢献が期待されます。

【論文基礎情報】

<p>掲載誌情報</p>	<p>雑誌名 eNeuro 発表媒体 ■ オンライン速報版 □ ペーパー発行 □ その他 雑誌の発行元国 米国 オンライン閲覧 可 (URL) https://doi.org/10.1523/ENEURO.0256-25.2026 掲載日 2026年1月27日 (日本時間)</p>
<p>論文情報</p>	<p>論文タイトル (英・日) 英語: Hierarchical distribution of reward representation in the cortical and hippocampal regions (日本語: 皮質および海馬領域における報酬表現の階層的分布) 代表著者 京都府立医科大学大学院医学研究科 細胞生理学 相馬祥吾 共同著者 福島県立医科大学医学部 システム神経科学 岡本真拓 京都府立医科大学医学部医学科 三村由依 東京科学大学大学院医歯学総合研究科 細胞生理学分野 礒村宣和</p>
<p>研究情報</p>	<p>研究課題名 代表研究者 京都府立医科大学大学院医学研究科 細胞生理学 相馬祥吾 共同研究者 福島県立医科大学医学部 システム神経科学 岡本真拓 資金的関与 (獲得資金等) 相馬祥吾 ・日本学術振興会科研費 (JP23K24514/JP24K22276/JP25H01746/JP25H02624) ・武田科学振興財団、千里ライフサイエンス振興財団 岡本真拓 ・日本学術振興会科研費 (JP21K02980) 礒村宣和 ・日本学術振興会科研費 (JP23H02589/JP20H05053/JP21H05242)</p>

【論文概要】

1 研究分野の背景や問題点

私たちは、過去の「成功」や「失敗」の経験を記憶し、それを次の行動に役立てています。このプロセスには、運動を司る「運動野」や、記憶の中核である「海馬」が関わっていることが知られていました。しかし、多くの研究ではそれぞれの脳領域を調べる際に異なる手法や課題を用いており、報酬に関する情報が各領域でどのように表現されているかを包括的、定量的に比較することはこれまであまり行われてきませんでした。

2 研究内容・成果の要点

本研究グループは、甘い報酬を獲得するために左右の手を使い分ける課題を行っているラットの複数の脳領域から多細胞同時発火記録法¹⁾を用いて神経活動を記録しました(図1)。得られた膨大なデータに対し、16種類の異なる機械学習アルゴリズム²⁾(AI)を適用し、脳活動から「その試行が成功したか失敗したか」を予測する「デコーディング解析」³⁾を行いました。

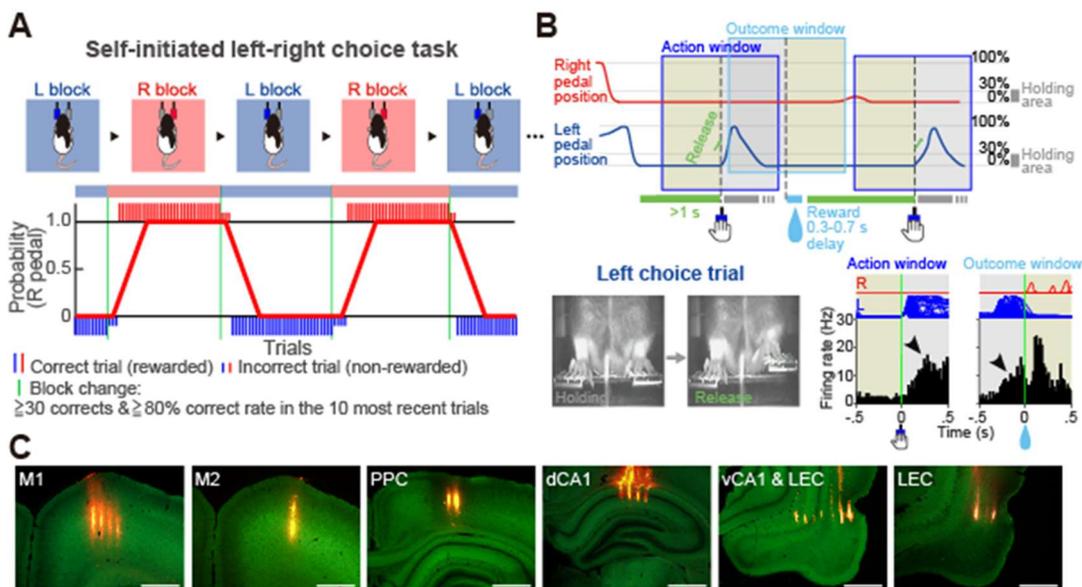


図1. 甘い報酬を獲得する行動課題遂行中のラットにおける多領域神経活動記録

A. 行動実験課題の模式図。ラットは左右いずれかのペダルを選択することで甘い水（報酬）を獲得できます。どちらのペダルで報酬がもらえるかはブロックごとに変わります（赤は右ペダル、青は左ペダル）。

B. ラットは一定時間以上、両前肢でペダルを押し続けた後、自身のタイミングでペダルを離すことで報酬を得ることができます（上段）。左前肢のリリース時および報酬獲得時における神経活動の代表例を示します（下段）。

C. 6つの脳領域からの同時神経活動記録部位を示す組織学的再構成図。赤色は電極挿入痕を示します。

その結果、運動野（一次運動野 [M1], 二次運動野 [M2]）から皮質（頭頂連合野 [PPC], 外側嗅内皮質 [LEC]）、そして海馬（背側海馬 CA1 領域 [dCA1], 腹側海馬 CA1 領域 [vCA1]）へと、AI による予測精度が段階的に向上していくことを突き止めました（図 2）。特に海馬では、成功と失敗の情報が極めてクリアに「二値化（0か1かの明快な区別）」されており、運動野などの他の領域と比べて圧倒的に鮮明な情報として保持されていることがわかりました。これは、脳が情報を単に伝えるだけでなく、海馬へ向かうにつれて「経験の質（成功か失敗か）」を研ぎ澄ませていることを意味します。

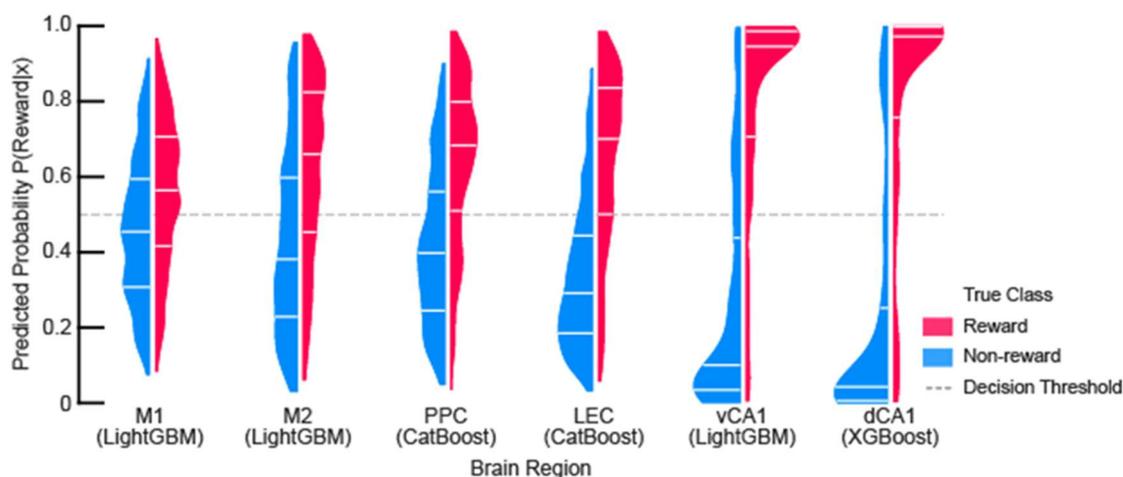


図 2. 6つの脳領域における「成功・失敗」の予測確率分布の比較

機械学習アルゴリズムが脳活動データから、その試行が「報酬あり（成功：赤）」か「報酬なし（失敗：青）」を予測した際の、確信度の分布を示しています。分布が上に偏るほどアルゴリズムがより強い確信をもって「成功」と判断したことを表し、下に行くほどより強い確信をもって「失敗」と判断したことを表します。各領域においてもっとも予測精度の高かったアルゴリズムの結果のみを示しています。分布内の白い水平線は四分位点を示し、下から順に第1四分位点、中央値、第3四分位点を表します。

海馬（右側：dCA1、vCA1）では、赤（報酬あり）と青（報酬なし）の分布が上端（報酬ありを高い確信度で予測）と下端（報酬なしを高い確信度で予測）付近に鋭く二極化しており、カテゴリー的かつ高確実性の表現がなされていることを示しています。一方、M1（左側）では分布が中央付近に集中しており、判断が曖昧（不確実）な状態であることを反映されています。M2では、M1に比べて報酬あり（赤）と報酬なし（青）の分布の四分位点がより明瞭に分離している一方で、分布の重なりは依然として大きいです。LECおよびPPCはこれらの中間的な分布特性を示しており、階層構造における移行的な役割と整合します。

3 今後の展開と社会へのアピールポイント

本研究は、エピソード記憶を司る海馬が、記憶をそのままの形で処理しているのではなく、行動の結果を「成功か失敗か」といった価値判断をもとに統合・整理する機能を備えていることを科学的に示しました。

運動野などと比べ、海馬で特異的に情報が整理・統合される仕組みを詳しく調べることで、記憶障害の病態解明や、数回の経験から瞬時に本質を抜き出して判断する（少数データ学習）効率的な演算モデルの開発に役立つことが期待されます。

4 用語解説

- (1) 神経細胞は電気信号を使って情報のやり取りを行います。そのため、脳内に電極を刺入することで神経細胞の活動を電氣的に観測することが可能です。本研究では複数チャンネルの電極を使用することで多細胞の活動を同時に記録して解析しました。
- (2) 機械学習アルゴリズム：膨大なデータの中から、コンピュータが自動的にルールやパターンを見つけ出すための計算手順のことです。これには、単純な境界線でデータを分ける「線形モデル」から、条件分岐の積み重ねによって複雑に入り組んだデータを分類する「決定木モデル」など、多様な計算タイプが存在します。本研究ではこれら 16 種類を網羅的に比較することで、解析手法の偏りに依存しない、脳情報の普遍的な性質を明らかにしました。
- (3) デコーディング解析：本研究におけるデコーディングとは、脳の神経活動パターンから行動（成功か失敗か）を「解読（デコード）」する読み取る解析手法です。ある脳領域において解読の精度が高いということは、その脳領域の神経活動が「成功か失敗か」について重要な情報を保持していることを示します。その予測精度を比較することで、脳のどの場所で情報がどれくらい整理されているかを定量化しました。

5 研究プロジェクトについて

本研究は、以下の研究費の支援を受けて行われました。

相馬祥吾

日本学術振興会科研費（JP23K24514/JP24K22276/JP25H01746/JP25H02624）

武田科学振興財団、千里ライフサイエンス振興財団

岡本真拓

日本学術振興会科研費（JP21K02980）

磯村宜和

日本学術振興会科研費（JP23H02589/JP20H05053/JP21H05242）

<取材等に関すること>

事務局企画課

電話：075-251-5804

E-mail：kouhou@koto.kpu-m.ac.jp