

2024年3月27日

報道機関 各位

国立大学法人東北大学

## サルの脳に足し算、引き算細胞を発見 足し算は右手、引き算は左手と関連

### 【発表のポイント】

- サルの脳から足し算、引き算に関連する細胞を発見しました。
- 足し算、引き算細胞の多くは手の運動にも関与しており、足し算細胞は右手の動作と、引き算細胞は左手の動作と強く関連していました。
- 脳には計算を実行する特殊な細胞が存在するのではなく、手の運動を制御する細胞を再利用することにより、計算という抽象的な操作を可能にしていることが示唆され、脳機能から見た数学の学習法など教育分野への応用が期待されます。

### 【概要】

私たちの生活において数学は欠かせないものであり、コンピューターの普及により我々の文化は目覚ましい発展を遂げてきました。コンピューターは計算が得意ですが、人間の脳ではそこまで速く正確に計算をすることはできません。私たちは足し算、引き算といった計算をどうやって認識するのでしょうか？

東北大学大学院医学系研究科生体システム生理学分野の虫明 元(むしあけ はじめ)教授、奥山 澄人(おくやま すみと)非常勤講師(兼 将道会総合南東北病院脳神経外科副部長)らの研究グループは、サルを用いた実験で、脳に足し算、引き算を実行する際に強く反応する細胞があることを世界で初めて発見しました。これらの大半の細胞は左右の手の運動にも強く関与しており、足し算細胞は右手の運動と、引き算細胞は左手の運動と関連していることが明らかとなりました。このことから計算という抽象的な操作を実行するにあたっては、大脳の手の運動を調節する細胞を再利用(リサイクル)していることが示唆されます。今回の結果は言語を持たない霊長類においても基本的な足し算、引き算が可能であることを示し、我々がどのように数学を理解するか、そのメカニズムの理解につながる可能性があります。

本研究成果は2024年3月28日午前10時(ロンドン時間、日本時間3月28日(木)午後7時)Scientific Reports オンライン版に掲載されます。

## 【詳細な説明】

### 研究の背景

数の認識や計算に言葉は必要でしょうか？数の認識は動物界で広く発見されており、哺乳類、鳥類、魚類にとどまらず、最近ではハチなどの昆虫においてもその能力が明らかになっています。一方、簡単な足し算、引き算を反映した行動もサルやチンパンジー、オランウータンなど人間以外の哺乳類で確認されており、人の計算と類似した特徴があることが分かっています。これらのことから足し算、引き算といった計算には言葉は不要で種を超えた計算を可能にする脳細胞の存在が示唆されてきました。しかし、未だそれらの活動は脳細胞レベルで発見されておらず、不明な点が多く残されてきました。

### 今回の取り組み

今回の研究では、数操作課題を訓練したサルが足し算、引き算を実行している瞬間の脳(運動前野)の神経活動を調べました。数操作とは、モニター画面に最初に提示された白丸の数を記憶し、次に与えられた白丸の数を両手に持ったハンドルで増やしたり(足し算)、減らしたり(引き算)することで、最初の数に合わせる課題です(図 1)。例えば、最初の目標数が 3、次に提示された数が 1 であれば、白丸を増やす操作(足し算)を 2 回行い、 $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$  として目標数 3 に合わせます。最初の目標数に正しく合わせると報酬としてジュースがもらえます。また、最初の目標数が 1 で次に提示された数が 3 であればサルは白丸を減らす操作(引き算)を 2 回行い、 $3 \rightarrow 2 \rightarrow 1$  として目標数の 1 に合わせます。サルは 74%の正解率でこの課題を行うことができました。

このような課題を行なっているサルの脳から神経細胞活動を電氣的に記録したところ、驚くべきことに、足し算や引き算に強く反応する神経細胞が多数見つかりました。さらに検討を進めたところ、これらの細胞は、当初演算を表現しているのですが、後に動作する際には左右の手の動きにも関連していることがわかり(図 2)、具体的には足し算細胞は、右手の動作に、引き算細胞は左手の動作に応答するように細胞の表現している情報に変化していることが明らかになりました(図 3)。このことは計算を実施するのに特別な細胞があるのではなく、元々運動前野に存在した手の動作に関連した細胞群を再利用(リサイクル)して、計算を可能にしていることが示唆されます。指を使って数えたり、そろばんを使ったり、計算と運動の密接な関係性は脳機能から説明できるといえます。

### 今後の展開

数直線は左に小さい数、右に大きい数を並べて、数を視覚的にイメージするために利用しますが、人は無意識に数字を数直線に並べて考えていることが発見されており、メンタルナンバーライン<sup>(注 1)</sup>と呼ばれています。メンタルナンバーラインは最近、足し算、引き算にも存在することが明らかにされており、足し算は右空間、引き算は左空間と関連があることが分かっています。我々の身の回りにも同様の対応が存在します。例えば、音楽プレーヤーで音量を上げるときには右側につまみを回すこと、車

のスピードを上げるときには右のアクセルペダルを踏むこと、電気をつけるにはスイッチの右側を押すことなど、数量を加えるときには右側、減らすときには左側という関係が随所に見られます。霊長類の脳から同様の表現が得られたことから、メンタルナンバーラインは人間の文化や教育によるものではなく、元々、霊長類の脳に備わっていた可能性が示唆されます。今後、脳機能に基づいた数学教育など教育分野への応用の可能性があり、さらなる発展が期待されます。

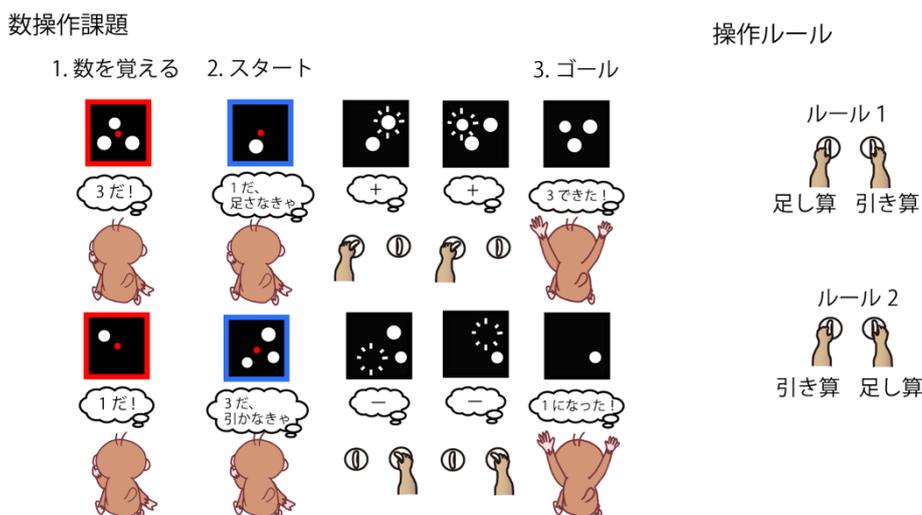


図 1. 数操作課題には 2 つの操作ルールがあり、250 試行数ごとにそれぞれの操作ルールが入れ替わります。どちらのルールでもサルは同等の成績を達成しました。

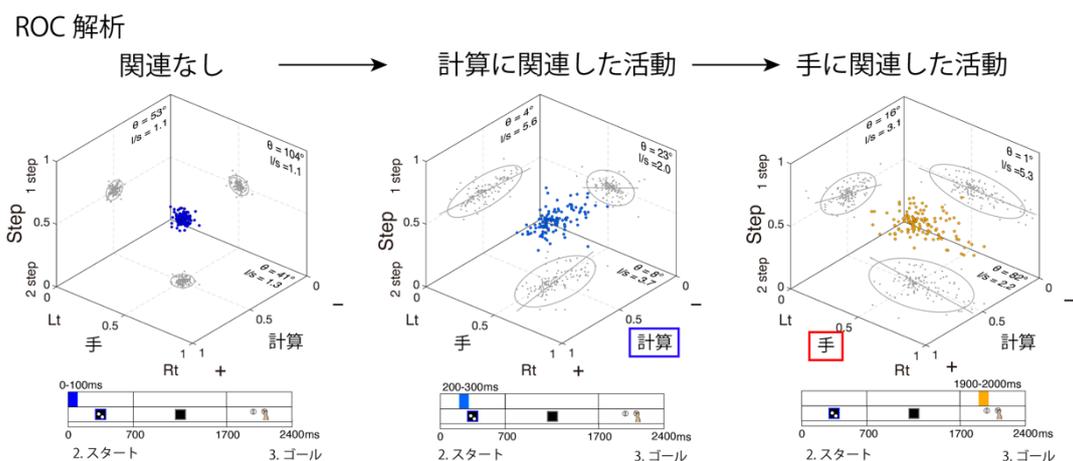


図 2. 125 個の足し算&引き算細胞は時系列で最初に計算に関連した活動を見せた後、左右の手に関連した活動に変化を認めました。

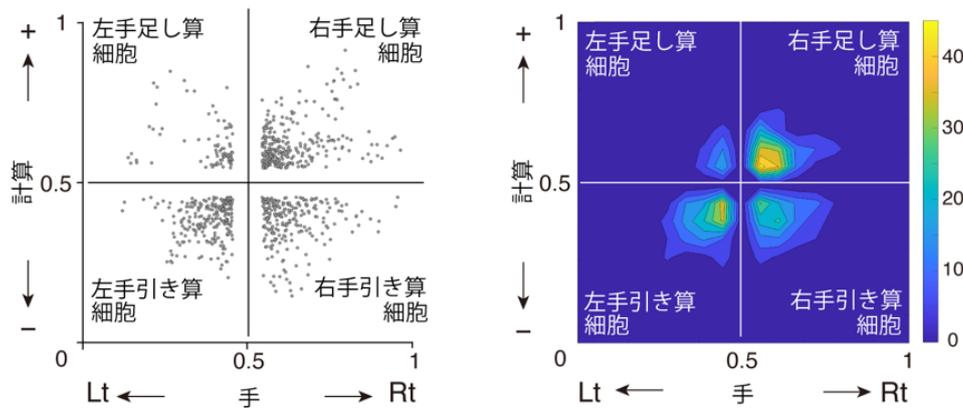


図 3. それぞれの足し算細胞、引き算細胞が左右の手のどちらに関連しているか調べると、足し算細胞では右手に関連、引き算細胞では左手に関連している割合が多かったことがわかりました。

#### 【謝辞】

本研究は、文部科学省科学研究費補助金 JSPS 科研費 課題番号:JP23K18159、JP19H03337、JP22H04922 (AdAMS)、JP22K07322 の支援によって実施したものです。

#### 【用語説明】

注1. メンタルナンバーライン: 数は脳内で線上に配列しているという考え方。小さな数字は左の空間に、大きな数字は右の空間に関連づけて脳内で処理されていることが示唆されています。計算でも足し算は右空間、引き算は左空間に関連づけられており、脳梗塞で左空間無視を認めた患者さんでは引き算の成績が落ちることが明らかになっています。

#### 【論文情報】

タイトル: Recruitment of the premotor cortex during arithmetic operations by the monkey

著者: Sumito Okuyama, Toshinobu Kuki and Hajime Mushiake\*

\*責任著者: 東北大学大学院医学系研究科生体システム生理学分野  
教授 虫明 元(むしあけ はじめ)

掲載誌: Scientific Reports

DOI: 10.1038/s41598-024-56755-2

**【問い合わせ先】**

(研究に関すること)

東北大学大学院医学系研究科

生体システム生理学分野

教授 虫明 元(むしあけ はじめ)

TEL: 022-717-8073

Email: hmushiak@med.tohoku.ac.jp

非常勤講師 奥山 澄人(おくやま すみと)

(兼 将道会 総合南東北病院 脳神経外科)

TEL: 022-717-8073

Email: okuyama@med.tohoku.ac.jp

(報道に関すること)

東北大学大学院医学系研究科・医学部広報室

TEL: 022-717-8032

Email: press@pr.med.tohoku.ac.jp