

物体の動きに関する柔軟な座標表現の脳機能を解明

—自他の動きを正確に判断する脳の仕組み—

概要

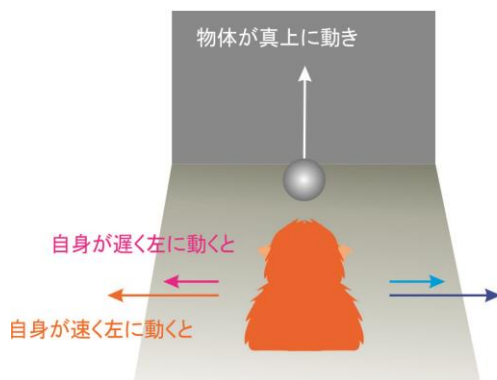
京都大学大学院医学研究科の佐々木亮 助教（本研究遂行当時：米国ロチェスター大学）、米国ロチェスター大学の Greg DeAngelis 博士、Akiyuki Anzai 同博士、米国ニューヨーク大学の Dora Angelaki 博士らの研究グループは、物体の動きに関する柔軟な座標表現の脳機能を明らかにしました。

我々ヒトを含む動物は、自他の間合いを巧みに取りながら空間内を自由に動きまわることができます。自他の動きを正確に検出し、自身に対して外界の物体がどのように動いているか（自身中心座標）、あるいは外界に対して自身がどのように動くか（世界中心座標）、そしてそのどちらがその瞬間に重要かを判断する必要があります。本研究では、このような物体の動きに関する座標表現について取り上げ、覚醒行動下のサルを用いて、心理行動、神経生理及び計算論的アプローチから得られた総括的な理解を目指しました。これまでの研究では、脳内には網膜、眼、頭部、体幹といった様々な座標系が独立に存在しているというのが定説でしたが、本研究は脳のある領野（腹側頭頂野）の一つひとつの神経細胞が物体の動きに対する複数の座標表現を有し、状況に応じて実に柔軟に判断を切り替えていることを発見しました。

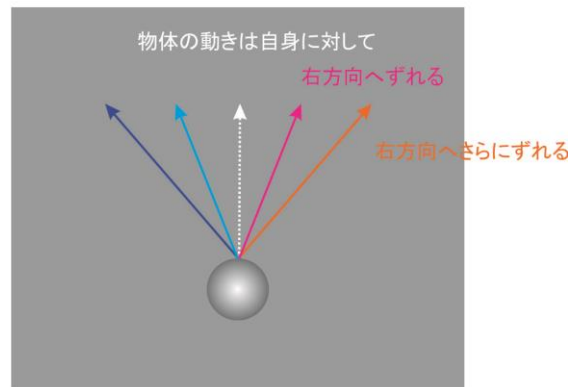
本成果は、2020年6月16日に国際学術誌「Nature Neuroscience」にオンライン掲載されました。

自身と物体が同時に動くとき 脳はどうやって正しく動きを計算するの？

世界中心座標でのイメージ



自身中心座標での物体の動き



1. 背景

ヒトの日常生活において、自身の動きおよび外界の物体の動きを正しく認識し、自身と他者との位置及び速度関係を正確に判断することは重要な能力の一つです。とりわけスポーツなどではこのような状況が仕切りなしに切り替わり柔軟な判断が問われます。例えば、サッカーをしているときを想像してみてください。あなたがヘディングシュートを試みる時、自身の動きとともに、自身に対するボールの動きの軌跡を計算する必要があります。このときは、自身中心の座標システム（自身中心座標）が有効になります。一方、他のプレイヤーやボールが、ゴールに対してフィールドのどこに位置しているかを計算するには、外界中心の座標システム（世界中心座標）が求められます。ヒトが、いとも簡単にこれらのことを達成できるのとは裏腹に、脳神経システムは非常に複雑な計算問題に直面しています。網膜から入力される、視覚情報に基づく脳神経細胞の活動を、ヒトはいかにして知覚、判断へと結び付けているのでしょうか。この様な座標系の柔軟な切り替えの脳機能は明らかではありませんでした。

2. 研究手法・成果

本研究では、サルを実際に動かしながら物体の動きを答えさせる課題を訓練しました。この課題では、サルは、ときとして自身に対して（自身中心座標）物体がどの方向に動いたかを答える必要があり、またあるときには外界に対して（世界中心座標）物体がどのように動いたかを答える必要があります。ポイントは、サル自身も動きながら、物体の動きを答える必要があるということです。つまり、まるで上述したサッカー選手のように、必要となる座標表現を柔軟に切り替えて、物体の動きを判断しなければなりません。

大変難しい課題でしたが、訓練によりサルは上手にふたつの座標系を切り替えて物体の動きを答えるようになりました。本研究グループは、この課題を遂行しているときのサルの脳（腹側頭頂野）活動を記録しました。その結果、腹側頭頂野の一つひとつの細胞が、自身中心／世界中心の両方の座標表現を持ち、教示によって柔軟にそれらの表現を切り替えていることが分かりました。これは、複数の座標系（脳内に存在する、例えば網膜、眼、頭部といった身体の各部位に関わる機能）が独立に存在しているという定説を覆す発見でした。さらに、一つひとつの細胞は、サルの判断を推定するに至らない情報量しか持っていませんが、細胞集団としての働きによりサルの判断に相当する精度の推定が可能となることが、計算論を用いて証明されました。

以上の結果から、我々がいとも簡単に自身と他者との位置及び速度関係の正確な検出と柔軟な判断ができるのは、脳内、とりわけ腹側頭頂野において別々の座標系が複数表現され、状況に応じて必要な座標系が切り替わる機能が働いているためである、とまとめることができます。

3. 波及効果、今後の予定

本研究は、心理行動、神経生理及び計算論的アプローチを用いて遂行したものです。したがって、複数の研究分野から幅広く総括的に証明された成果として、分野間を繋ぐ研究としての役割も期待できます。今後の展望は、本研究で導いたような知覚判断の情報が、実際に身体の運動情報とどのように統合されアクションを起こすのかという問題について、感覚入力から運動出力に至る一連の脳機能を解明することです。本研究成果を通して、脳科学への貢献のみならず、医療及びスポーツ分野におけるトレーニング療法の開発や、自動車の衝突を回避する工学応用などへの発展も期待できます。

4. 研究プロジェクトについて

本研究は、以下の研究資金の支援を受けて行われました。

- NIH grant EY01618 (筆頭研究者：Greg DeAngelis 博士)
- The Uehara Memorial Foundation (筆頭研究者：佐々木亮 博士)
- The Japan Society for the Promotion of Science (筆頭研究者：佐々木亮 博士)
- NEI CORE grant EY001319 (筆頭研究者：Greg DeAngelis 博士)
- NIH grant DC014678 (筆頭研究者：Dora Angelaki 博士)

<研究者のコメント>

実は、私は40歳を過ぎた今も真剣にスポーツに取り組む野球人です。指導者としての経験もあったことから、上手・下手の差はいったい何なのかを考え続けてきました。身体の動きそのものはどの一流選手でもそれぞれに異なるため、とりわけ重要なのは情報の使い方、特に脳の処理レベルで差があるではないかという発想に至り、本研究を立ち上げた、というのが裏話です。脳を鍛えて上手になる新たなトレーニング方法がみつければ、まだまだ私も上達するのではとひそかに期待しています。



佐々木亮 助教

<論文タイトルと著者>

タイトル：Flexible coding of object motion in multiple reference frames by parietal cortex neurons (物体の動きに関与する腹側頭頂野の柔軟な座標表現)

著者：Ryo Sasaki, Akiyuki Anzai, Dora E. Angelaki and Gregory C. DeAngelis

掲載誌：Nature Neuroscience DOI：10.1038/s41593-020-0656-0