

光トラッピングで脳を騙す

外耳道にある極小の炭酸カルシウムの結晶は大きな仕事をしている。それは、体の態勢変化によって転がることで、体の位置や直線加速度、空間を脳に知らせる。生存に必須であるこの結晶は耳石と呼ばれ、前庭系の一部である。ところが前庭系は、刺激するのに必要とされる運動が障壁となり、あまり理解が進んでいない。「運動する脳における活動を研究することは難しい」と、オーストラリアのクイーンズランド大 (University of Queensland) 生物医学部のイーサン・スコット准教授 (Ethan Scott) は言う。

しかし、この障壁を克服する大きなイノベーションのなかで、スコット准教授と彼の仲間は、小さな結晶を光トラッピングの標的にした^{(1), (2)}。蛍光顕微鏡の結果を観察することで、脳がどのようにして重力や運動を検出しているかが明らか

かになり、2018年のオーストラリア博物館エウレカ賞の学際的科学研究の優秀賞 (Australian Museum Eureka Prize for Excellence in Inter disciplinary Scientific Research) に選ばれた (図1)。

彼らは赤外 (IR) レーザ光を用いて、固定したゼブラフィッシュの耳石を動かした。それにより脳内で運動感覚が発生し、誘発される行動を、カスタマイズしたイメージングシステムで観察した。「脳を固定させたまま運動していると動物を騙すことで、進歩した顕微鏡を初めて使えるようになり、運動プロセスに反応する脳の細胞や回路を研究できる」と同准教授は言う。

設定

チームの顕微鏡のアプローチは、タンパク質工学と蛍光イメージングの進展によって可能となった。これは、遺

伝子でコードされるカルシウムインジケータ (GECI) と、選択的平面照明顕微鏡法 (SPIM) と呼ばれる。このシステムは、2つの走査光シートと蛍光放射チャンネルをもたらし、動物内の反応をカメラで描写する。光トラッピングを実施するため、1064nmビームのペアを、ジンバル搭載のミラーを用いて個々に操作し、正中圧と横圧をそれぞれ、生きた魚に2つある55 μmの耳石に当てる。光シートを走査するためにガルバノミラーを用い、トラッピングビームを届けるために使われたのと同じ対物レンズを用いて、蛍光放射を検出した。

ガルバノミラーと同調した、電気的に同調可能なレンズによる焦点面のイメージングを調節することで、ゼブラフィッシュもイメージング対象も動かさずに容積測定イメージングを可能とした。より安定したことで、サブミ

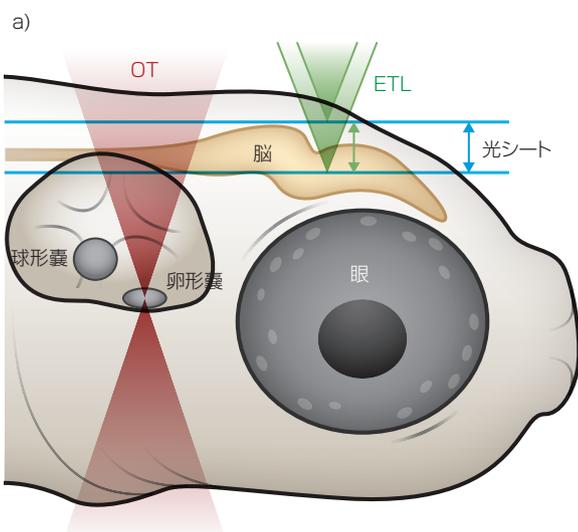


図1 球形嚢 (sac) と卵形嚢 (ut) は、ゼブラフィッシュの稚魚において重力と運動感覚に関わる内耳の臓器である。ここにある耳石を光トラッピングするとき、脳の中に向けて300 μm領域の容積測定の選択的平面照明顕微鏡法 (SPIM) を実施した。2Dのガルバノミラーと、制御調整するための電気的に同調可能なレンズを用いて、イメージング技術としてz軸に沿って2つの488nm光シートを走査する。1つはゼブラフィッシュの前方から、もう1つは側方からである(a)。イーサン・スコット准教授、イチア・A・ファーブル・ビュル博士 (Itia A Favre-Bulle)、ハリーナ・ルビンシュティン・ダンロップ教授 (Halina Rubinsztein-Dunlop) は、この研究を指揮するクイーンズランド大の神経科学光物理学チームの一員だ。この研究は2018年のオーストラリア博物館エウレカ賞の学際的科学研究の優秀賞を受賞した。

クロン精度が要求される連続的なトラッピングの力を与えることが可能となった。運動を認識しているという証拠は魚の尾や眼を見ることでわかるため、標本直下に低電力の対物レンズを用いて尾を、蛍光イメージングカメラを用いて眼を描写した。結果は先行研究と一致しており、この装置による光トラッピングは代償となるもので、尾と眼の動きに比例した。

細胞解像度の全脳マップ

次に、どの脳領域が前庭の認知や処理に関与するのかを明らかにするため、光トラッピング中に、脳の広い領域でカルシウムイメージングを実施した。さまざまな刺激に対する個々の神

経細胞の反応を解析し、前庭刺激によって興奮されるものと、逆に抑制される2つの機能的な神経細胞に分類できた。また、一貫した前庭反応を生み出す10の異なる脳領域を同定できた。それぞれに対して機能的プロフィールを生成したところ、登録された解剖学的位置と反応のタイプ、そして前庭神経細胞の左右差が示された。さまざまな方向からの刺激によって生じる細胞反応も報告された。

チームの成果はおそらく、前庭処理

のカルシウムイメージングを実施した最初の例であり、この処理を脳の広い領域で、かつ細胞解像度でマップした最初の例だ。しかしながら研究者は、より学ぶべきことが明らかになったとして、さらなる研究の扉を開いている。「すべての観察を通じて、反応の幅広さと豊富さから、ゼブラフィッシュの稚魚の脳を介した前庭処理に対するシステムは、以前に考えられていたよりも広範囲であると示唆される」。

(Barbara Gefvert)

参考文献

- (1) I. A. Favre-Bulle, G. Vanwallegem, M. A. Taylor, H. Rubinsztein-Dunlop, and E. K. Scott., Biorxiv. (2018); <https://doi.org/10.1101/302752>.
- (2) I. A. Favre-Bulle, A. B. Stingoe, H. Rubinsztein-Dunlop, and E. K. Scott., Nat. Commun., 8, 630 (2017).

LFWJ

THE FUTURE DEPENDS ON OPTICS



NEW

TECHSPEC® DA広帯域 レーザー用ビームエキスパンダー

- チューナブルレーザー用の広帯域デザイン
- $\lambda/10$ の透過波面精度
- ねじ込み式のビーム拡がり調整機能により、入射ビームの発散性を補償



エドモンド・オプティクス・ジャパン株式会社

〒113-0021 東京都文京区本駒込2-29-24

パシフィックスクエア千石 4F

TEL: 03-3944-6210 E-mail: sales@edmundoptics.jp

EO Edmund
optics | japan

詳しい情報はこちらへ:

www.edmundoptics.jp/039-8156