

2025 年 2 月 20 日

報道機関 各位

国立大学法人東北大学
国立遺伝学研究所

生命のゆりかごで渦が踊る 受精卵の細胞質流動の反転現象を解明

【発表のポイント】

- 線虫の受精卵における細胞質流動が特定の渦方向に固定されず、時折反転するメカニズムを特定しました。
- 数値シミュレーションで予測された小胞体の弾性が実験結果と一致したことで、反転現象の物理的根拠を立証しました。
- 反転する渦が細胞内の物質を効率的に混合する仕組みを明らかにし、胚発生などの生命現象の理解を深める成果です。

【概要】

細胞内で起こる「細胞質流動」は物質輸送を促進し、代謝や成長において重要な役割を果たしています。多くの細胞では、この流れが一定の方向に決まっていますが、一部の細胞では流れの向きがランダムに変わることが知られています。特に線虫の受精卵では、細胞質流動の方向が時折反転することが観察されています。この反転現象のメカニズムは未解明でした。

東北大学、国立遺伝学研究所、立命館大学の共同研究チームは、線虫受精卵の細胞内で発生する「細胞質流動」が自発的に回転方向を切り替える仕組みを解明しました。この現象は、小胞体の弾性と微小管の相互作用によるものであることを、計算モデルと実験データを組み合わせて明らかにしました。また、反転する流れが細胞内の物質を効率的に混合する仕組みを明らかにし、胚発生を支える「絶妙な力学的バランスの重要性」を示しました。この成果は、受精卵を外界の刺激から守るバリア機能の仕組みを解明する手がかりとなり、生命科学と物理学の両分野に新たな視点を提供します。

本成果は 2 月 5 日に米国物理学会の学術誌、PRX Life に掲載されました。

【詳細な説明】

研究の背景

細胞内での「細胞質流動」は、細胞の内部を流れる原形質の動きであり、細胞のさまざまな機能において重要な役割を果たしています。多くの細胞では、この流れが一定の方向に決まっていますが、一部の細胞では流れの向きがランダムに変わることが知られています。特に、線虫の受精卵では、細胞質流動の方向が時折反転することが観察されています。この反転現象のメカニズムは未解明であり、本研究グループはその解明に挑戦しました。

今回の取り組み

本研究では、線虫の受精卵における「細胞質流動」の方向転換が、細胞内の小胞体と微小管との相互作用によって引き起こされることを明らかにしました。3次元の計算モデルを用い、細胞内で微小管がどう組織化され、流れがどのように形成されるかを解析しました。その結果、反転する渦の形成が小胞体の弾性によって調節され、細胞内の物質の移動にも重要な役割を果たしていることが分かりました。「絶妙なバランスで調節された力の均衡」によって、渦の反転というドラマチックな生命現象が生み出されていたのです。

今後の展開

今回発見された「絶妙なバランスで調節された力の均衡」は、受精卵を守る物質を分泌することに役立っていることが示唆されており、さまざまな細胞における流動の理解、さらには再生医療などの分野にもつながると予想されます。本研究は細胞質流動を予測し、制御するための新たな手法を提供するものであり、将来的にバイオテクノロジーや医薬品開発にも大きな影響を与えると考えられます。

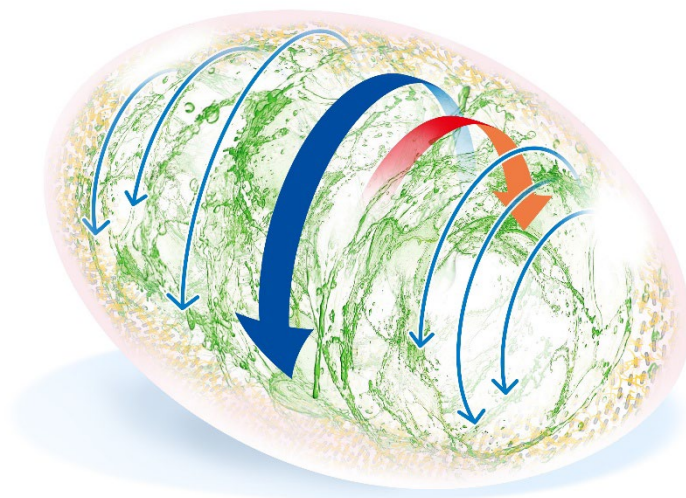


図 1. 受精卵の中で反転する細胞質流動のイメージ図

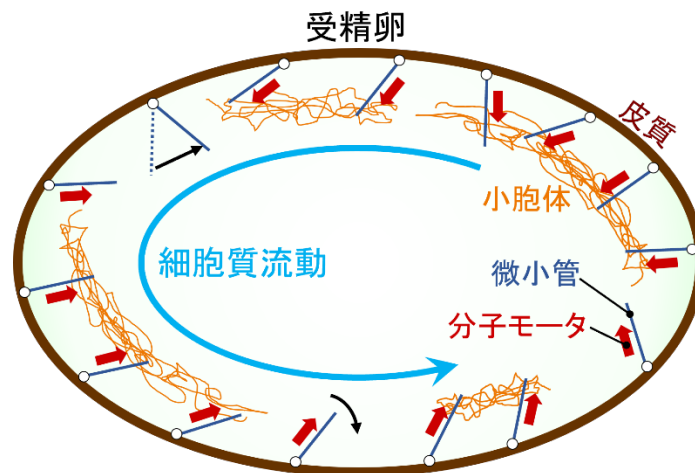


図 2. 受精卵の中で回転する細胞質流動が現れる仕組み

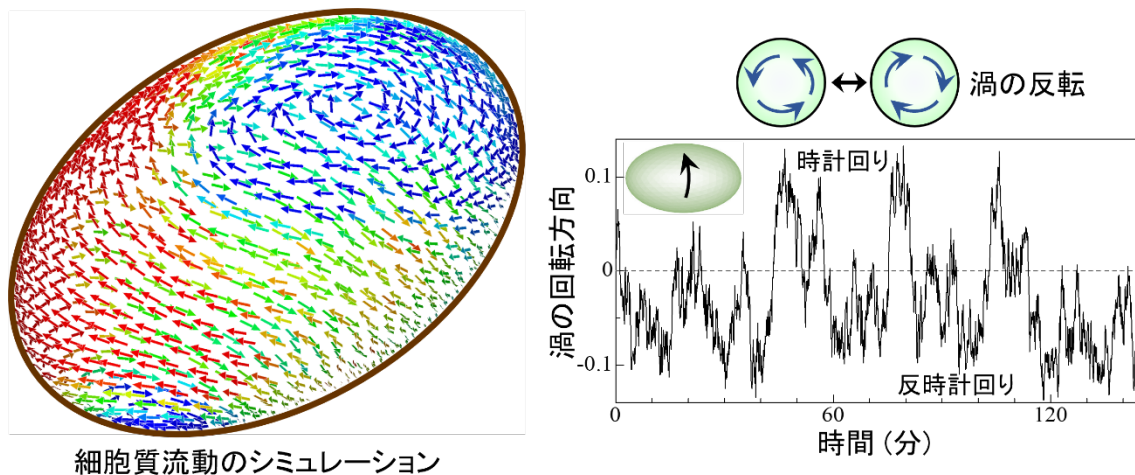


図 3. (左) 細胞質流動の数値シミュレーション結果。(右) 時折回転方向が反転している様子

【謝辞】

本研究は、科研費（JP21H04999, JP21H05308, JP18H02414, JP18KK0202, JP22H05067）の支援を受けて行われました。

【用語説明】

注1. 細胞質流動：細胞の内部で、原形質が流れるように動く現象

注2. 小胞体：細胞小器官の一つであり、生体膜で囲まれた板状あるいは網状の形態を有する

注3. 微小管：直径約 25 nm の管状の構造体であり、主にチューブリンと呼ばれるタンパク質からなる

【論文情報】

タイトル : Swirling Instability Mediated by Elastic and Hydrodynamic
Couplings in Cytoplasmic Streaming

著者 : *責任著者

石川 拓司* (東北大学大学院医工学研究科・教授)

鳥澤 嵩征 (国立遺伝学研究所・助教)

和田 浩史 (立命館大学理工学部・教授)

木村 暁* (国立遺伝学研究所・教授)

掲載誌 : PRX Life

DOI : 10.1103/PRXLife.3.013008

URL : <https://link.aps.org/doi/10.1103/PRXLife.3.013008>

【問い合わせ先】

(研究に関すること)

東北大学大学院医工学研究科

教授 石川拓司

TEL: 022-795-4009

Email: t.ishikawa@tohoku.ac.jp

(報道に関すること)

東北大学大学院医工学研究科

TEL: 022-795-7491

Email: bme-pr@grp.tohoku.ac.jp

情報・システム研究機構

国立遺伝学研究所 広報室

Email: prkoho@nig.ac.jp