

## 謎の腕振り原生生物「メテオラ」の特異な細胞構造と系統的位置を解明

腕のような突起を前後に振りながら移動する奇妙な原生生物「メテオラ」について詳細な解析を行いました。その結果、メテオラは複雑な細胞骨格を持っており、真核生物の最も深い分岐の一つであると考えられている生物群のヘミマスチゴフォラと近縁であることが明らかになりました。

*Meteora sporadica* (メテオラ) は2002年に地中海の深海の堆積物中から発見された小型の単細胞性の真核生物(原生生物)です。細胞の前後左右に細長い突起を持ち、左右の突起を腕のように前後に振りながら底面を滑るように移動するという、既知の原生生物とは異なる特徴を有しています。しかし、細胞内部の微細構造や系統的な位置付けは分かっていませんでした。

本研究では、海洋堆積物中からメテオラの培養株を2株確立し、詳細な解析を行いました。微細構造の観察から、メテオラは複雑な細胞骨格を持ち、前後左右の突起は細胞の中心に位置する複数の微小管形成中心(MTOC)から伸びる微小管によって支持されていることが分かりました。また、254遺伝子のアミノ酸配列を用いた大規模分子系統解析から、メテオラはこれまでに知られている真核生物の主要な系統(スーパーグループ)には含まれず、真核生物の最も深い分岐の一つと考えられている生物群のヘミマスチゴフォラと近縁であることが明らかになりました。

面白いことに、ヘミマスチゴフォラは多数の鞭毛を持つ大型の原生生物によって構成されており、メテオラのような突起やMTOCは観察されていません。本研究は、ヘミマスチゴフォラ-メテオラ系統群の存在を示すとともに、本系統群が他のスーパーグループに匹敵する形態的多様性を有することを示唆しています。メテオラのような、研究があまり進んでいない原生生物について研究することは、真核生物の系統や多様性の解明のために重要です。

### 研究代表者

筑波大学生命環境系

白鳥 峻志 助教

## 研究の背景

真核生物は動物・植物・菌類など多様な多細胞生物を含みますが、内部の系統のほとんどは、原生生物と呼ばれる微小な単細胞生物が占めています。原生生物の多様性についての研究は未だに不十分であり、近年においても「界」や「門」レベルの新規系統が次々に見つかっています。これらの新規系統は、新種の原生生物の発見を通して明らかになることもあります。詳細な研究が行われていない原生生物の再調査によって認識されることもあります。

*Meteora sporadica* (メテオラ) は 2002 年に Hausmann らが地中海の深海の堆積物中から発見した小型の原生生物です。本生物は細胞の前後左右に計 4 本の突起を持ち、左右 2 本の突起を「腕」のように前後に振りながら、底面を滑るように移動します (参考図 A-C)。Hausmann らによる報告は、光学顕微鏡による観察結果のみに基づいており、微細構造や遺伝子配列の情報は明らかにされませんでした。また、形態や動きが既知の真核生物とは異なるものであったことから、メテオラは分類学的な所属が不明な原生生物として扱われました。2022 年に Galindo らが初めてメテオラの遺伝子配列を決定し、分子系統解析を行ったものの、系統的な位置を明らかにするには至りませんでした。

## 研究内容と成果

本研究では、宮古島およびキューバの沿岸で採取した堆積物中から、それぞれメテオラの培養株の確立に成功し、それら 2 株を用いて、透過型電子顕微鏡を用いた微細構造観察とトランスクリプトーム<sup>注1)</sup> データを用いた大規模分子系統解析、さらにミトコンドリアゲノムの配列決定を行いました。

微細構造観察からは、メテオラが複雑な細胞骨格を有し、前後左右の突起は、細胞の中心に位置する複数の微小管形成中心 (MTOC) から伸びる微小管<sup>注2)</sup> によって支持されていることが分かりました (参考図 D)。また、突起の中には射出装置<sup>注3)</sup> と思われる顆粒が存在しており、これを用いてバクテリアを捕まえて食べている可能性が示唆されました。254 遺伝子のアミノ酸配列を用いた大規模分子系統解析では、メテオラは既知の真核生物の主要な系統 (スーパーグループ) には含まれず、真核生物の最も深い分岐の一つであり、「界」レベルの新規系統であることが最近の研究で示唆された原生生物のグループであるヘミマスチゴフォラと近縁であることが明らかになりました。また、メテオラのミトコンドリアゲノムは、一部の分類群を除いて、真核生物で最も遺伝子が豊富なものの一つであることが明らかとなりました。

本研究によって、メテオラとヘミマスチゴフォラの近縁性が初めて明らかになりましたが、ヘミマスチゴフォラは比較的大型で多数の鞭毛を持つ原生生物によって構成されている一方、メテオラは小型で鞭毛を持たず、複数の MTOC から伸びる微小管によって支持される突起を有するなど、形態や微細構造が大きく異なります。このことから、ヘミマスチゴフォラ-メテオラ系統群は、他のスーパーグループに匹敵する形態的多様性を有すると考えられます。

## 今後の展開

ヘミマスチゴフォラとメテオラが異なる形態を持っていることは、ヘミマスチゴフォラ-メテオラ系統群が潜在的に多様な原生生物を含んでいる可能性を示唆しています。今後、本系統群に属する原生生物を新たに発見されれば、メテオラとヘミマスチゴフォラがそれぞれどのような進化の過程を歩んだのかを明らかにできると考えられます。メテオラのような、研究があまり進んでいない原生生物について研究することは、真核生物の多様性を解明するために重要です。

## 参考図

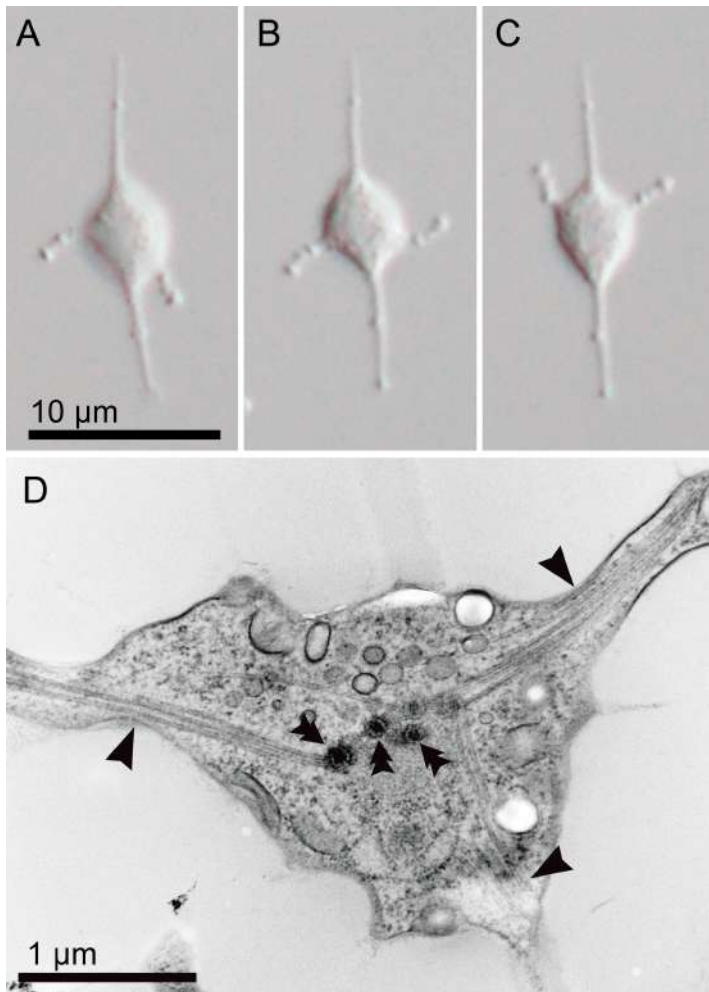


図 *Meteora sporadica* の顕微鏡写真

A-C は光学顕微鏡写真。左右の突起が前後に運動している様子を示している。D は電子顕微鏡写真。微小管（矢頭）が複数の微小管形成中心（二重矢頭）から出現し、突起へと伸びている様子を示している。

## 用語解説

注1) トランスクリプトーム

特定の生物や細胞における全ての転写産物の総体。

注2) 微小管

真核生物特有の細胞骨格の一つ。管状の構造で、鞭毛や仮足の形成、細胞の支持、細胞内輸送や細胞分裂などさまざまな機能を担う。

注3) 射出装置

原生生物が持つ刺激等によって細胞外に射出される構造の総称。生物ごとに大きさや構造はさまざまで、捕食や捕食回避に関わるものも知られている。

## 研究資金

本研究は、科研費による研究プロジェクト（13J00587、18J02091）の一環として実施されました。

## 掲載論文

【題名】 *Meteora sporadica*, a protist with incredible cell architecture, is related to Hemimastigophora.

(*Meteora sporadica* は驚くべき細胞構造を持つ原生生物で、ヘミマスチゴフォラに近縁である。)

【著者名】 Y. Eglit, T. Shiratori, J. Jerlström-Hultqvist, K. Williamson, A. J. Roger, K. Ishida and A. G. B. Simpson

【掲載誌】 *Current Biology*

【掲載日】 2024年1月22日

【DOI】 10.1016/j.cub.2023.12.032

## 問い合わせ先

【研究に関すること】

白鳥 峻志 (しらとり たかし)

筑波大学 生命環境系 助教

URL: <https://tshiratoriprotist.wixsite.com/my-site/home>

【取材・報道に関すること】

筑波大学広報局

TEL: 029-853-2040

E-mail: [kohositu@un.tsukuba.ac.jp](mailto:kohositu@un.tsukuba.ac.jp)