

コンブやワカメを含む巨大生物群の系統関係を解明
～ストラメノパイル生物群の初期進化の理解が進む～

研究成果のポイント

1. 真核生物の主要系統群(スーパーグループ^(注1))の一つであるストラメノパイル生物群^(注2)が、誕生初期の段階で、どのように枝分かれし、進化していったのかを解明しました。
2. ストラメノパイル生物群はコンブやワカメなどを含む巨大系統群の一つで、進化的、生態的、産業的に重要な生物群です。真核生物の主要系統群の一つについて、初期進化の理解が飛躍的に進んだ点で大きな意義のある研究成果です。

国立大学法人筑波大学生命環境系石田健一郎教授、筑波大学大学院生命環境科学研究科のRabindra Thakur氏(現:マサチューセッツ大学)、筑波大学生命環境系研究員の白鳥峻志博士(現:海洋研究開発機構)らの研究グループは、真核生物の主要系統群(スーパーグループ)の一つであるストラメノパイル生物群の初期進化の一端を解明することに成功しました。

ストラメノパイル生物群は、コンブやワカメなどの褐藻類や珪藻類などを含む巨大系統群の一つで、進化的、生態的、産業的に重要な生物群です。しかし、ストラメノパイル生物群については、進化的系統の根元(ルート)の特定も含めて初期進化について不明瞭な点が多く残り、この生物群の進化を理解する上での課題となっていました。

研究グループは、本系統群の初期に分岐したと考えられる3種類の捕食栄養性原生生物^(注3)(*Incisomonas marina*, *Pseudophyllomitus vesiculosus*, *Platysulcus tardus*)のトランスクリプトームデータ^(注4)を取得し、120個のたんぱく質コード遺伝子を用いて系統解析をやり直しました。その結果、*Pl. tardus*がストラメノパイル系統群において最も初期に分岐したことが明らかになりました。また、ストラメノパイル生物群のルートが*Pl. tardus*とその他のストラメノパイルの間にあること、*Ps. vesiculosus*が、これまで実体不明の初期系統群の一つとされていたMAST-4系統群^(注5)の姉妹群であること、などが強く示されました。

これにより、ストラメノパイル生物群を特徴付ける主要形質(管状マスティゴネマ(鞭毛^(注6)に付随する毛状構造)や鞭毛移行帯^(注7)にらせん構造が存在すること、細胞腹面の溝がないことなど)が進化のどの段階で獲得されたかが明らかになりました。本研究成果は、系統関係解明の鍵となる三つの生物を見極め、確実なデータ取得と詳細な系統解析によりもたらされたもので、真核生物の主要系統群の一つであるストラメノパイル生物群の初期進化の理解に大きく貢献しました。

本研究の成果は、2019年9月27日付で「Protist」誌にてオンライン公開されました(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1434461018300865>)。

* 本研究は、日本学術振興会が助成する科学研究費補助金事業・特別研究員奨励費(研究期間:2013~2015年度)、基盤研究(B)(研究期間:2011~2013年度)の一部によって実施されました。

研究の背景

ストラメノパイル生物群は、コンブやワカメ、モズクなどの褐藻類、地球上で最も繁栄している藻類である珪藻類、オйл産生で有名な従属栄養性藻類オーランチオキトリウムなどを含む真核生物の巨大系統群の一つで、進化的、生態的、産業的に重要な生物群です。しかし、ストラメノパイル生物群の一部の系統では、これまでゲノムやトランスクリプトームデータが利用できませんでした。このため、進化的ルート(系統の根元)の特定も含め、初期進化については不明瞭な点が多く残り、その解明がこの生物群の進化を理解する上での大きな課題となっていました。

研究内容と成果

本研究ではストラメノパイルの根元の系統に近いことが推定されていたものの、これまで十分なDNA配列データがなかった三つの捕食性原生生物について、トランスクリプトームデータを取得しました。系統関係を推定するために十分な量のDNA配列データを得たことになります。

これら三つの原生生物(*Incisomonas marina*, *Pseudophyllumitus vesiculosus*, *Platysulcus tardus*)と、公共データベース上にあるストラメノパイル生物のDNA配列データを用い、たんぱく質をコードする120個の遺伝子の分子系統解析を行いました。その結果、ストラメノパイル生物群の系統関係を高い解像度で明らかにすることができ、*Ps. vesiculosus*がこれまで実体不明の初期系統群の一つとされていたMAST-4系統群の姉妹群であること、*Pl. tardus*がストラメノパイル生物群の最も初期に分岐した系統であることが示されました。

また、今回新たに明らかになったストラメノパイル生物群の系統関係は、ストラメノパイルの初期進化についても重要な知見をもたらしました。

多くのストラメノパイルの鞭毛には中空の毛(管状マスティゴネマ)が無数に生えていますが、その進化的な起源についてはよくわかってきませんでした。*Pl. tardus*の鞭毛には管状マスティゴネマが生えていることが知られています。今回、*Pl. tardus*が最も初期に分岐した系統であることが分かったことで、管状マスティゴネマはストラメノパイル生物群の共通祖先で獲得されたと考えられます。また、ストラメノパイル生物は一般的に鞭毛移行帯に螺旋状の繊維構造があり、カップ状の捕食装置をもちますが、*Pl. tardus*は螺旋状の繊維構造を欠き、細胞腹面にある溝状の構造が捕食装置となっています。このことは、*Pl. tardus*がより祖先的な捕食装置をもっており、*Pl. tardus*が分岐したあとで、ストラメノパイル生物群はカップ状の捕食装置を進化させたことを示唆しています。

今後の展開

本研究によって、ストラメノパイル生物群の進化の理解が深まったものの、環境中には未だに多くの未発見のストラメノパイル生物が存在していることが示唆されています。これらの未発見の生物の実態を明らかにすることで、ストラメノパイル生物群の進化について、より高い解像度で明らかにする必要があります。

参考図



写真1. *Platysulcus tardus*: ストラメノパイル生物群の最も根元から分岐した生物

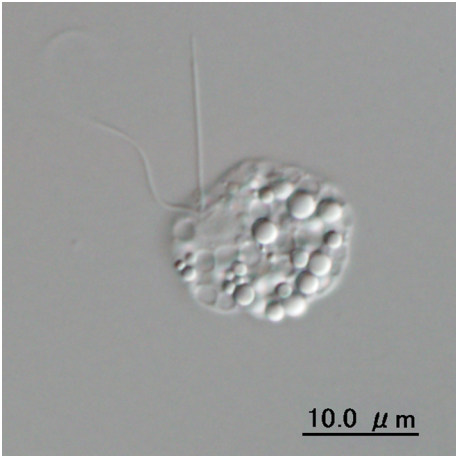
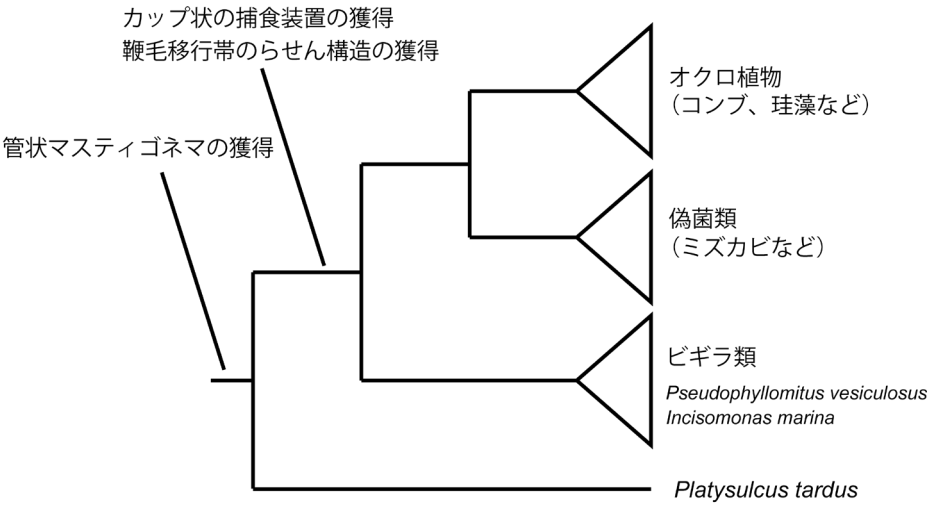


写真2. *Pseudophyllomitus vesiculosus*: これまで実体不明の系統群とされていた MAST-4 系統群の姉妹群



今回明らかになったストラメノパイル生物群の系統関係

用語解説

注1) スーパーグループ

真核生物の主要系統群のこと。例えば、オピストコンタ(動物、菌類、およびそれらに近縁な一部の単細胞原生生物を含む生物群)やアーケプラスチダ(陸上植物、緑藻類、紅藻類、灰色藻類を合わせた、一次共生により葉緑体を獲得した生物群)のような系統的にまとまりのある大きな生物群をそれぞれスーパーグループと呼ぶ。

注2) ストラメノパイル生物群

オピストコンタやアーケプラスチダ、アルベオラータなどと並ぶ真核生物の主要系統群(スーパーグループ)の一つ。コンブやワカメ、モヅクなどの褐藻類や地球上で最も繁栄している藻類である珪藻類、オイル産生をする従属栄養性藻類として有名なオーランチオキトリウムなどを含むヤブレツボカビ類、その他多くの捕食性鞭毛虫などを含む大きな生物群である。海洋など水圏での光合成生産の多くを担うなど、生態的に重要な生物群であるだけでなく、進化や産業の面でも重要な生物群の一つである。

注3) 捕食性原生生物

他の生物を食作用などにより捕食することで主要な栄養を得て生きる単細胞の原生生物。

注4) トランスクリプトームデータ

メッセンジャーRNA から得た遺伝子配列データ。細胞で発現して機能している遺伝子の配列だけを網羅的に解読したもので、系統解析に用いる場合、ゲノム中の多くの遺伝子配列を効率よく取得できる利点がある。

注5) MAST-4 系統群

MAST とは MARine STramenopiles の略。ストラメノパイル生物群には、環境 DNA 配列の解析から存在が示唆されるが、実際の生物がまだ一つも見つかっていない”未知”系統群が数多く存在する。そのうち、4番目の系統群に対して付された名称が MAST-4 である。今回、この未知系統群と *Ps. vesiculosus* が単系統群を形成することが初めて明らかになった(つまり MAST-4 の親戚が初めて見つかった)ことになります。

注6) 鞭毛

原生生物が移動するために用いる毛状の細胞小器官。

注7) 鞭毛移行帯

鞭毛と鞭毛の根元(基底小体)を繋ぐ構造。鞭毛移行帯に存在する繊維構造のパターンは分類群ごとに特徴的な構造をもつ。

掲載論文

【題名】 Taxon-rich multigene phylogenetic analyses resolve the phylogenetic relationship among deep-branching Stramenopiles

(生物種を拡充した複数遺伝子解析は初期に分岐したストラメノパイル生物の系統関係を明らかにする)

【著者名】 Rabindra Thakur, Takashi Shiratori, Ken-ichiro Ishida

【掲載誌】 Protist

問い合わせ先

氏名 石田 健一郎(いしだ けんいちろう)

筑波大学 生命環境系 教授