

本論文は既に公開されています
 本情報はすぐにご利用いただけます

2021年6月28日

マリモ巨大化の謎に迫る —阿寒湖のマリモを育む微生物たち—

■ 概要

球状の集合体を作る緑藻の一種、マリモ(稔藻)⁽¹⁾は北半球に広く分布するものの、30センチを超える巨大なマリモは世界でも阿寒湖でしか見られません。なぜ阿寒湖のマリモは巨大化できるのでしょうか？

情報・システム研究機構 国立遺伝学研究所の中井亮佑研究員(研究当時。現所属は産業技術総合研究所 研究員)、仁木宏典教授、釧路国際ウェットランドセンター 阿寒湖沼群・マリモ研究室の若菜勇博士らは、大きさの異なるマリモの内部に生息している細菌の種類を比較研究することで、その謎に迫りました。

マリモは、直径が10センチを超えると中心部に空洞が形成されるため、大きくなるほど壊れやすくなってしまいます。ところが大きく成長したマリモでは、球体を形づくっているマリモ藻体に共生する細菌の層状構造が作られ、それらの細菌群集が藻体を相互に密着させて構造を強化していることを見出しました。さらに、細菌は藻体の成長に必要な栄養を供給していると考えられます。成長してさらに巨大化したマリモは、やがて波によって壊されてしまいますが、生じた破片は内部の細菌を受け継ぎ、巨大なマリモへと再生してゆくのです。

今年、阿寒湖のマリモが1921年に天然記念物に指定されてから100年を迎えます。本研究結果は今後のマリモの保護や生息域の回復に役立つ手掛かりとなることが期待できます。

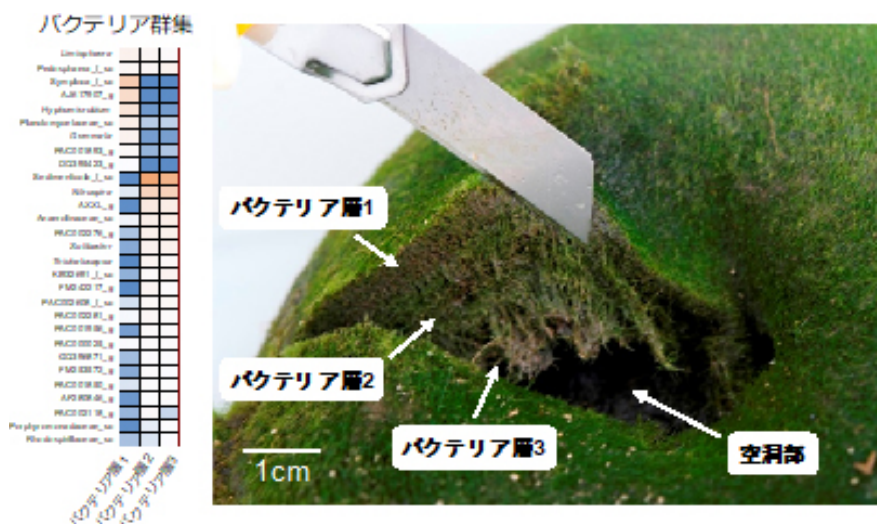


図 1: マリモの切断面

湖底の砂礫を含み茶色味を帯びた細菌層が認められる。左の表はそれぞれの細菌層から見出された細菌分類群。色の濃淡で細菌の量を示し、赤くなるほど増え、青くなるほど減っている。

■ 成果掲載誌

本研究成果は、米国科学雑誌「iScience」に2021年6月13日(日本時間)に掲載されました。
(<https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.102720>)



論文タイトル: Internal microbial zonation during the massive growth of marimo, a lake ball of *Aegagropila linnaei* in Lake Akan

(巨大化に伴いマリモの内部に形成されるバクテリア叢の層状構造)

著者: R. Nakai, I. Wakana, H. Niki

(中井 亮佑、若菜 勇、仁木 宏典)

■ 研究の詳細

● 研究の背景

マリモは北海道阿寒湖の特産と思われがちですが、富士五湖など国内の20か所の湖沼で生育が確認されていて、さらに、ヨーロッパや北米など北半球にも広く分布しています。一方で、30センチを超える巨大なマリモは、世界中を探しても阿寒湖にしか生育していません。その意味ではマリモは阿寒湖の「特産」と言ってよく、1921年に天然記念物に、さらに1952年からは特別天然記念物に指定され、100年にわたって手厚く保護されてきました。

マリモの生態の概要は徐々に明らかになってきました。マリモが巨大化するには、波動によってマリモが回転しながら光資源の豊富な浅瀬で活発に光合成を行って成長することが不可欠なのです。一方で、マリモが大きくなるほど波動によって壊されるリスクが高まります。なぜ阿寒湖のマリモが波動によって壊されずに巨大化できるのか、その理由は明らかになっていませんでした。

● 本研究の成果

本研究では、「球状マリモの成長と構造の維持に対する細菌の関与」という全く新しいアプローチから、「マリモ巨大化」の謎に迫りました。

マリモには2種類の集合体があります。一つは、藻の長い糸状体が絡まってできた「纏綿(てんめん)型」、もう一つは、糸状体が中心から放射状に整列している「放射型」です。生息環境で纏綿型と放射型が決まり、巨大化するのは放射型のマリモだけです。また、マリモの巨大化に伴い、中心部は空洞化します。

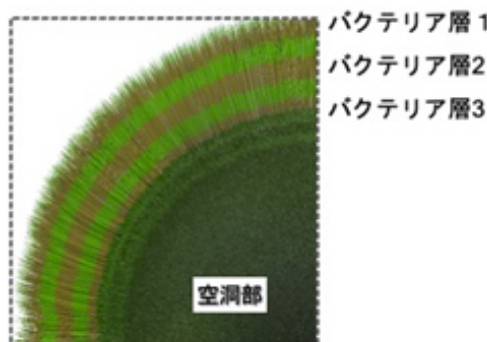


図2: マリモの切断面の模式図 藻の繊維状の糸状体は中心部から放射状に並んでいて、巨大化に伴い中心部は空洞となる。

今回、本研究グループは、阿寒湖に生息している大、中、小の大きさの異なるマリモを現地で調査し、その内部に共生しているバクテリアのリボソーム RNA 遺伝子の塩基配列⁽²⁾を網羅的に読み取ることで、塩基配列の

違いと特徴をもとにバクテリアの種類について調べました。その結果、マリモの大きさにより、内部に生息するバクテリアの違いがあることがわかりました。特に直径 20cm 以上に巨大化したマリモでは、深層から表層に層状にバクテリアが分布をしていることがわかりました。深層には、重要な栄養素である窒素の循環にかかわる亜硝酸酸化バクテリア、火山性の湖である阿寒湖に多い硫黄化合物をエネルギー源とするバクテリアが生息していました。一方で、表層には、シアノバクテリア類が見られ光合成による二酸化炭素や窒素の固定を通して、マリモなど周りの生き物に炭素源や栄養素を供給していると考えられます。

特に注目すべきことは、シアノバクテリア類などのバイオフィーム⁽⁴⁾形成能です。マリモの内部には、湖底の砂礫が取り込まれた茶色い縞模様の層ができています。この層内には粘着性のバイオフィームをつくるシアノバクテリア類などがみられ、そのバイオフィームによって砂礫が取り込まれたと考えられるのです。

マリモの空洞の内部は湖水で満たされています。放射状の糸状体の層は水を通しやすいにもかかわらず、実際には内部の湖水はわずかずつしか漏れません。また、水を抜いたマリモは、水に浮かび、沈めても空洞に水が入りづらいのです。このようなマリモの気密性は以前から知られていましたが、今回の調査からこのマリモの気密性はバクテリアによるものである可能性が示されたのです。おそらく、バクテリアの形成するバイオフィームが気密性とともにより巨大化を支える機械的な強度にも貢献していると考えられます。

すなわち、マリモ内部のバクテリア叢がマリモの巨大化に必要な栄養源や物理的な強度の維持に貢献していると考えられるのです。巨大化の末にマリモが壊れても、放射型の並びやバクテリア叢がその断片として受け継がれることによってマリモは再生し巨大化し、また数を増やしていくと考えられます。

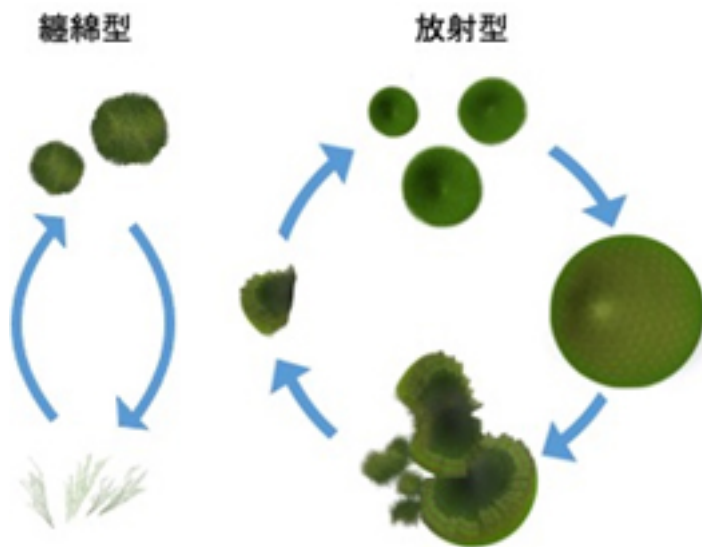


図 3: マリモの再生模式図

纏綿型マリモは糸状体が絡まり集合体となる。放射型は 30 センチ程度まで巨大化する。その後には壊れても、それぞれの断片が再生し球状のマリモへと再生するため、放射型の構造や内部のバクテリア層も継承することになる。

● 今後の期待

これまでの手厚い保護活動にもかかわらず、阿寒湖のマリモの生息域は減少して来ました。本研究は現在のマリモの生息域を守り、さらに今後の生息域の回復に役立つ手掛かりとなることが期待できます。

■ 用語解説

(1) マリモ(毬藻)

緑藻のなかまで学名 *Aegagropila linnaei*。ヨーロッパなど北半球に広く分布する藻である。藻として浮遊状態また岩に付着して生育する。これが何らかの作用で絡まりあって球状となる。いわゆる、マリモとして知られている形態である。国内では阿寒湖のマリモが有名であるが、富士五湖にも生育する。

(2)リボソーム RNA 遺伝子の塩基配列

リボソームはタンパク質を合成する細胞内の装置で、全てのバクテリアが持っている。リボソームは RNA とタンパク質から構成されており、その RNA 遺伝子の塩基配列はバクテリア毎に僅かながら異なっている。この違いを手がかりにバクテリアを特定することができる。

(3) バイオフィルム

下水などの「ぬめり」として知られる。バクテリアが粘着性の物質を産出してかたまりを作ることによって形成される。菌のプラークもバイオフィルムの一種である。

■ 研究体制と支援

本研究は情報・システム研究機構の新領域融合プロジェクト「地球生命システム学」の支援を受けておこなわれました。また一部は、科学研究費補助金 (JP15H05620) の支援を受けておこなわれました。

■ 問い合わせ先

<研究に関すること>

- 国立遺伝学研究所 微生物機能研究室
教授 仁木 宏典 (にき ひろのり)
- 釧路国際ウェットランドセンター 阿寒湖沼群・マリモ研究室
若菜 勇 (わか な いさむ)

<報道担当>

- 国立遺伝学研究所 リサーチ・アドミニストレーター室 広報チーム

※時節柄、Zoom 会議での取材にも対応できますので、Zoom 会議をご希望の場合には、その旨お知らせください。