

シャコガイの巧みな生存戦略を解明

～なぜ栄養の乏しいサンゴ礁で大型のシャコガイが繁栄するのか？～

ポイント

- ・ヒメジャコガイの組織に褐虫藻特有の膜脂質 DGCC*¹が分布することを発見。
- ・シャコガイは褐虫藻から DGCC を受け取り、自らの膜脂質に変換・利用していることが判明。
- ・リンや窒素が少ないサンゴ礁でシャコガイが繁栄するメカニズム解明に期待。

概要

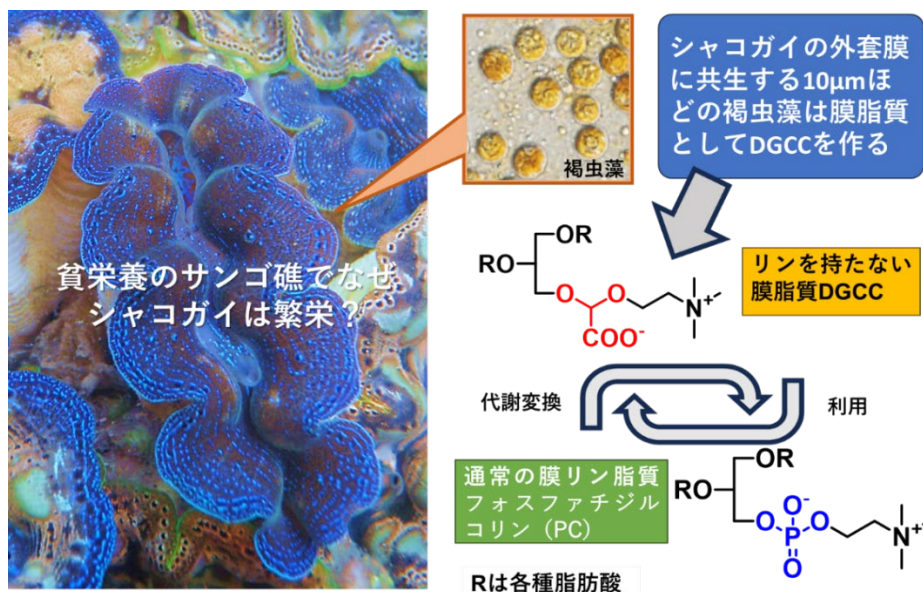
北海道大学大学院水産科学研究院の酒井隆一教授、水産研究・教育機構水産技術研究所の山下洋主任研究員、日本大学生物資源科学部海洋生物学科の井上菜穂子准教授、北里大学の丸山 正客員教授らの研究グループは、サンゴ礁で繁栄する生物がどのような物質を作り、それをどのように利用しているのかを分析しました。

サンゴ礁海域には多種多様な生物が生息しています。しかし、サンゴ礁は「海の砂漠」といわれるほどリンや窒素などの栄養素が少なく、これらの生物を支える物質の流れの全容はいまだ解明されていません。この謎はチャールズ・ダーウィンが最初に提唱したことから「ダーウィンのパラドクス」とも呼ばれています。

そこで本研究グループは、サンゴ礁に生息する代表的な動物の一つであるシャコガイを用い、細胞膜を構成する成分である脂質(膜脂質)の分析を行いました。その結果、シャコガイは共生する褐虫藻からリンのない膜脂質である DGCC を借りて、利用していることが明らかになりました。

本研究の成果は、微細藻特有の生存戦略をシャコガイも何らかの形で獲得したことを示唆しており、今後、他の貝類やサンゴにおいて同様の代謝が存在するのか、シャコガイにおける DGCC の生理的意義、DGCC 代謝の生化学的過程などを解明することで、サンゴ礁の生物がどのような進化の過程を経て「ダーウィンのパラドクス」に対峙してきたのかを解き明かすことが期待されます。

なお、本研究成果は、2023年7月10日(月)公開の *iScience* 誌にオンライン掲載されました。



【背景】

熱帯海域の海は過酷な日光にさらされ、窒素やリンなどの栄養塩の供給が乏しいことから、海の砂漠とも形容されますが、サンゴ礁海域はオアシスの如く多種多様な生物を育てています。「なぜサンゴ礁では生物がここまで繁栄できるのか」という疑問はダーウィンが最初に提唱したといわれ、「ダーウィンのパラドクス」とも呼ばれています。これまでに世界中の研究者がこの謎に挑み、種々の仮説を生み出してきました。今回、研究グループはサンゴ礁によく見られる大型の二枚貝であるシャコガイに着目し、化学的手法でこの謎に挑みました。その結果、シャコガイは共生する光合成生物である褐虫藻の作り出すリンを持たない脂質を代謝し、取り込み、利用する能力を持つことを発見しました。この能力がリンの少ない海域でも大型のシャコガイが繁栄できる鍵なのかもしれません。

【研究手法】

沖縄県に生息するヒメジャコガイを解剖し、褐虫藻が生息する外套膜と褐虫藻がない筋肉、腎臓、生殖腺、さらにえらなどを取り出し、そこに含まれる脂質を、液体クロマトグラフィー質量分析*²を用いて一斉に分析しました。また、これらの脂質の組織内の分布を、イメージング質量分析*³を用いて調べました。さらにシャコガイに含まれていた特殊な脂質の前駆物質の構造を、核磁気共鳴スペクトルを解析することで決定しました。

【研究成果】

シャコガイの組織の網羅的な脂質解析により、566種の脂質を同定しましたが、そのうち167種は細胞膜を構成するリン脂質でした。一方、リンを持たない膜脂質である DGCC が、脂肪酸種の異なる同族体として69種含まれていることがわかりました。DGCCはシャコガイの外套膜に生息している褐虫藻が作り出す脂質であることが知られていますが(図1A)、本研究では褐虫藻をほとんど含まない生殖腺などにも DGCC が高濃度に含まれることを見出しました。また褐虫藻とシャコガイの両方から DGCC の分解物もしくは前駆体である GCC を見出し、その構造を決定しました(図1A)。次に褐虫藻を全く含まない精子と卵及び受精卵について同様の分析を行ったところ、リン脂質と同等の DGCC が含まれ発生が進むにつれ、代謝されていくことを見出しました。一方で貯蔵脂質のトリグリセリド(TG)の量はあまり変化していません(図1E)。さらにイメージング質量分析により可視化したところ、外套膜や生殖腺に豊富に含まれる DGCC が消化器官である中腸線や腎臓には少なく(図1C)、GCCが高濃度で存在していることがわかりました(図1D)。

この結果は褐虫藻により作られた DGCC は、まず中腸線で消化され、GCC*⁴に変換されたのちに、脂肪酸の再構築を経て、生殖腺等に再分配されることを物語っています。この脂質を受け継いだシャコガイの幼生は再度褐虫藻と共生するまでは DGCC を使いながら発生を進めると考えられます。この間通常のエネルギー源であるトリグリセリド(TG)は温存されているようです。これらのことはサンゴ礁海域ではシャコガイが貴重なリンを節約しながら生きる術を進化の過程で身につけてきた可能性を示唆しています。

【今後への期待】

DGCCは環境における海洋生物生産に大きな役割を持っている微細藻類の渦鞭毛藻とハプト藻のみから検出されている特異な膜脂質です。DGCCは、リンの欠乏した環境で生育する微細藻類においてリン脂質の代わりになると考えられています。今回の発見は、微細藻特有の生存戦略をシャコガイも何らかの形で獲得したことを示唆しています。今後は他の貝類やサンゴにおいて同様の代謝が存在す

るのか、シャコガイにおける DGCC の生理的意義、DGCC 代謝の生化学的過程など解明すべきことがたくさんありますが、これらを紐解いていくことで、進化の過程でサンゴ礁の生物がどのように「ダーウィンのパラドクス」に対峙してきたのかを解き明かすことが期待されます。

【謝辞】

本研究は日本学術振興会の科学研究費(基盤研究 A : 21H04742)の補助を受けて実施されました。

論文情報

論文名	Smart utilization of betaine lipids in the giant clam <i>Tridacna crocea</i> (共生藻のベタイン脂質を巧妙に利用するヒメジャコガイの生存戦略)
著者名	酒井隆一 ¹ 、山下 洋 ³ 、井上菜穂子 ⁴ 、相本直哉 ² (研究当時)、北井優人 ² 、丸山 正 ⁵ (¹ 北海道大学大学院水産科学研究院、 ² 北海道大学大学院水産科学院、 ³ 水産研究・教育機構水産技術研究所、 ⁴ 日本大学生物資源科学部海洋生物学科、 ⁵ 北里大学)
雑誌名	iScience
DOI	10.1016/j.isci.2023.107250
公表日	2023年7月10日(月)(オンライン公開)

お問い合わせ先

北海道大学大学院水産科学研究院 教授 酒井隆一 (さかいりゅういち)

T E L 0138-40-5552 F A X 0138-40-5552 メール ryu.sakai@fish.hokudai.ac.jp

配信元

北海道大学社会共創部広報課 (〒060-0808 北海道札幌市北区北8条西5丁目)

T E L 011-706-2610 F A X 011-706-2092 メール jp-press@general.hokudai.ac.jp

水産研究・教育機構本部経営企画部広報課

(〒221-8529 神奈川県横浜市神奈川区新浦島町1-1-25 テクノウェイブ100 6階)

T E L 045-277-0136 F A X 045-277-0015 メール fra-pr@fra.go.jp

【参考図】

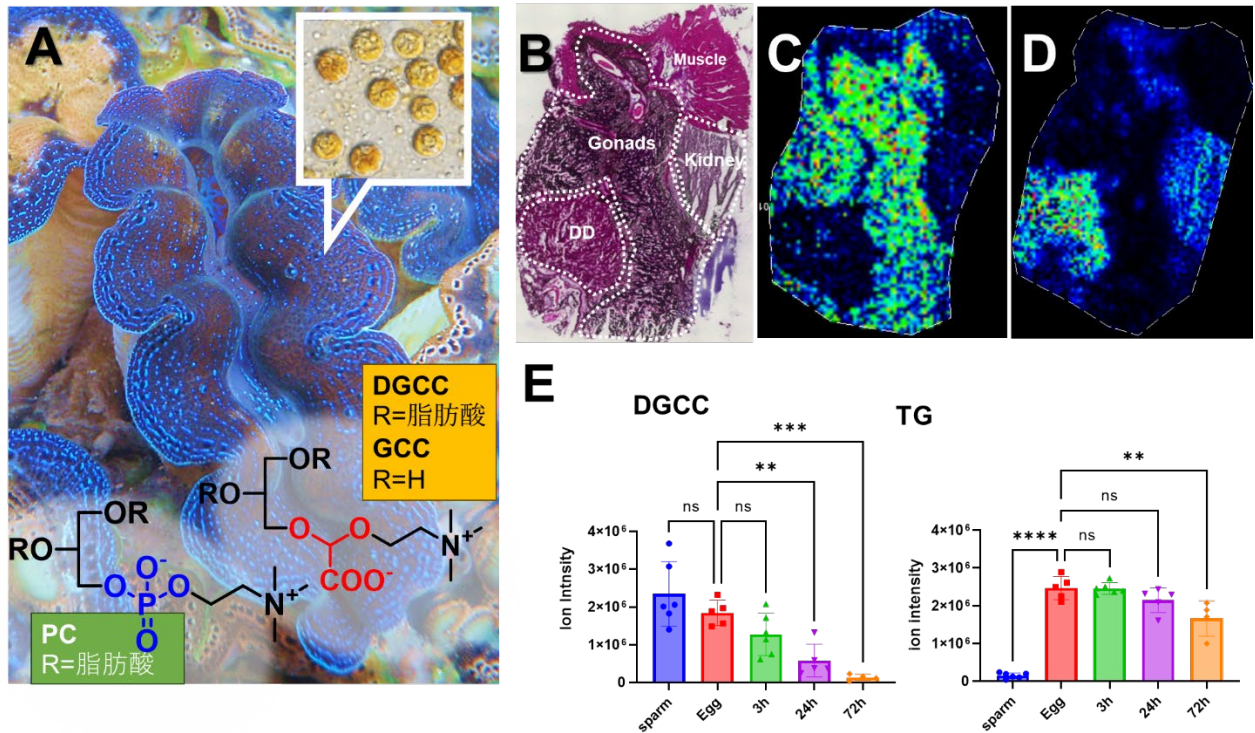


図 1. A.ヒメジャコガイ (*Tridacna crocea*) と共生褐虫藻及び検出された DGCC、PC の構造式 (R は脂肪酸) B. 内臓の切片 (DD = 中腸線、Gonads = 生殖腺、Kidney = 腎臓、Muscle = 筋、C. イメージング質量分析による DGCC (16:0-22:6) と D. GCC の分布 E. 精子、卵、受精 3 時間、24 時間、72 時間後の幼生に含まれる DGCC とトリグリセリド (TG) の変化

【用語解説】

- * 1 DGCC … diacylglycerylcarboxy-hydroxymethylcholine の略称、リン脂質同様の極性脂質で生体膜の構成成分であるがリン酸の代わりにカルボン酸を持つベタイン脂質と呼ばれる脂質群。
- * 2 液体クロマトグラフィー質量分析 … 物質を連続的に分離しながら、その分子量を質量分析装置で分析する手法。試料に含まれる化合物を一斉に分析することができる。
- * 3 イメージング質量分析 … 試料の切片に存在する物質をイオン化し、分析することでどこに何が存在するのかを可視化できる手法。
- * 4 GCC … DGCC に結合した脂肪酸が無い化合物。DGCC の前駆物質か分解産物と考えられる。