

板海苔原材料アマノリの生活環を 70 年ぶりに完全解明

～海藻における未知で特殊な生存戦略の理解に期待～

ポイント

- ・日本人に最も身近な健康食品である海苔の原材料となるアマノリ類の生活環を完全解明。
- ・戦後発表された定説で見落とされていた問題点を 70 年ぶりに解明。
- ・植物の生活環の多様性と進化の理解や日本で定着していない海藻の基礎生物学研究の進展に期待。

概要

北海道大学大学院水産科学研究院の三上浩司准教授らの研究グループは、佐賀大学農学部との共同研究で、板海苔の原材料で日本人と関わりの深いアマノリ類の生活環*¹に関する新説を発表しました。

過去のアマノリ類における研究の中で最も重要な発見といえば、1949 年にイギリス人研究者のドリュー博士によって発表された生活環の解明です。アマノリ類は、冬に食用となる葉状の配偶体と夏に糸状の孢子体の 2 つが交互に交代する生活環を持ちます。当時、糸状体は別の海藻とされていましたが、ドリュー博士は糸状体から放出される孢子から葉状体が作られることを発見し、アマノリ類の生活環をはじめて解明しました。

一方で、アマノリ類では減数分裂*²が配偶体の成長過程で起こるとされてきましたが、これまでの研究は、これが配偶体形成は減数分裂を介するという原則に反している事実を見逃していました。自然界では環境変動などへの対応時に減数分裂に依存しない配偶体形成、すなわちアポスポリー*³が観察されますが、これは通常ほとんど見られません。しかし、研究グループは、アマノリ類では糸状体上に形成される殻孢子嚢*⁴でこのアポスポリーが常に行われており、これが減数分裂の前に配偶体形成を可能にしている原因であることを発見しました。また、これまでは糸状体と殻孢子嚢を合わせて孢子体世代としてきましたが、これらは形態に加えて遺伝子発現の様子も大きく異なっており、さらに陸上植物の世代交代を制御している遺伝子と同じものがアマノリでは殻孢子嚢で強く発現していました。

以上の研究成果により、研究グループは、アマノリでは配偶体形成が減数分裂に依存しないアポスポリーによっていること、また糸状体と殻孢子嚢は異なる世代であり、アマノリ類の生活環はそれらに葉状体を加えた三相性であること、などの新発見を取り入れた新説を提唱しました。この研究は、これまで不明な点が多かったアマノリ類を含む紅藻の生活環を完全な形での正しい理解を促すと評価されています。

なお、本研究成果は、2019 年 8 月 7 日（水）、Springer Nature 社発行のオープンアクセス・ジャーナル Communications Biology 誌に掲載されました。

【背景】

植物の生活環は、孢子体世代と配偶体世代が交互に現れる様式を取りますが、前者から後者への移行には減数分裂が必須となっています。アマノリ類の代表的な例である海産紅藻スサビノリでもそのような生活環が1949年に発見されましたが、減数分裂が配偶体の初期分裂過程で起こることが示されているにもかかわらず、現在まで何の疑問を持たれることなく受け入れられてきました。

しかし、配偶体形成と減数分裂が関連していないという事実は、スサビノリでは配偶体世代の移行が減数分裂の前に起こっており、一般的な植物の生活環では見られない特殊なものであることを示しています。これまでの海藻研究ではこの重要な点を見逃していました。すなわち、スサビノリでは、いつどのように配偶体世代への移行がなされるのか全く不明だということです。

そこで、三上准教授らの研究グループは、佐賀大学農学部の濱洋一郎教授との共同研究でこの疑問点の解明を目指し、スサビノリの生活環の全容を、1949年の世代交代の発表からちょうど70年ぶりに明らかにしました。

【研究手法】

配偶体、殻孢子嚢、孢子体における遺伝子発現パターンを比較するために3者間の比較トランスクリプトーム解析^{*5}を行いました。これはそれぞれのサンプルにおいて全ての発現遺伝子を解析し比較する方法であり、配偶体、殻孢子嚢、孢子体の中で遺伝子発現にどの程度の類似性あるいは差があるのかを明らかにすることができます。

また、陸上植物で明らかになっている生活環制御遺伝子がスサビノリにもあるのか、あるとしたら配偶体、殻孢子嚢及び孢子体どのような発現パターンを示すのかを解析しました。もし特定のサンプルで特定の生活環制御遺伝子が発現していた場合、そのサンプルは世代交代において他のサンプルとは違う世代と言うことができます。

さらに殻孢子嚢から強制的に細胞を取り出し、その発生過程を調べました。

【研究成果】

比較トランスクリプトーム解析の結果は、配偶体、殻孢子嚢、孢子体における遺伝子発現パターンはお互いに異なることを示していました。これら三者は形態的にも異なっており、生活環の中でそれぞれ別の世代なのではという疑問が生じました。これに関連して、陸上植物で同定されている生活環制御遺伝子がスサビノリにも存在することを発見したのでその発現を調べたところ、その遺伝子が殻孢子嚢で強く発現していました。そのため、殻孢子嚢は配偶体や孢子体とは違う生活環上の第三の世代と言えます。さらに、殻孢子嚢から強制的に取り出した細胞が全て配偶体になりました。これらのことは、配偶体世代への移行が減数分裂前に殻孢子嚢の中でアポスポリーにより行われことを示しています。

以上の実験結果により、スサビノリの生活環における配偶体世代への移行が殻孢子嚢中でアポスポリーにより行われること、また、配偶体、殻孢子嚢、孢子体はそれぞれ異なる世代であることがわかりました。これらを踏まえて、三上准教授らはスサビノリやそれが属するアマノリ類における三相世代交代説を提唱し、従来の二相世代交代をより詳しく正しい内容に改定しました。

【今後への期待】

スサビノリなどのアマノリ類が三相世代交代を行うこと、つまり殻孢子嚢が独立した世代であることが明らかとなりました。しかし、それぞれの世代がどのように成立しているのか、それに関わる制

御遺伝子は何か、さらにその遺伝子がどのように働いているのかなど、疑問点はまだまだ多数あります。今後はそのような世代交代の制御機構の解明を進めることで、なぜ紅藻は三相世代交代を必要とするのか、その植物の世代交代の進化における意義や形態形成・環境応答における意義は何か、などが明らかとなり、海藻の未知で特殊な生存戦略の理解が深まると期待されます。

論文情報

論文名 A unique life cycle transition in the red seaweed *Pyropia yezoensis* depends on apospory
(紅藻スサビノリにおけるアポスポリーに依存するユニークな生活環移行)

著者名 三上浩司¹, 李 成澤², 入江隆乃介², 濱洋一郎³ (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佐賀大学農学部)

雑誌名 Communications Biology (生物学の専門誌)

D O I 10.1038/s42003-019-0549-5

公表日 日本時間 2019年8月7日(水)(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 准教授 三上浩司(みかみこうじ)

T E L 0138-40-8899 F A X 0138-40-8899 メール komikami@fish.hokudai.ac.jp

佐賀大学農学部 教授 濱洋一郎(はまよういちろう)

T E L 0952-28-8783 メール hamay@cc.saga-u.ac.jp

配信元

北海道大学総務企画部広報課(〒060-0808 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 kouhou@jimu.hokudai.ac.jp

【参考図】

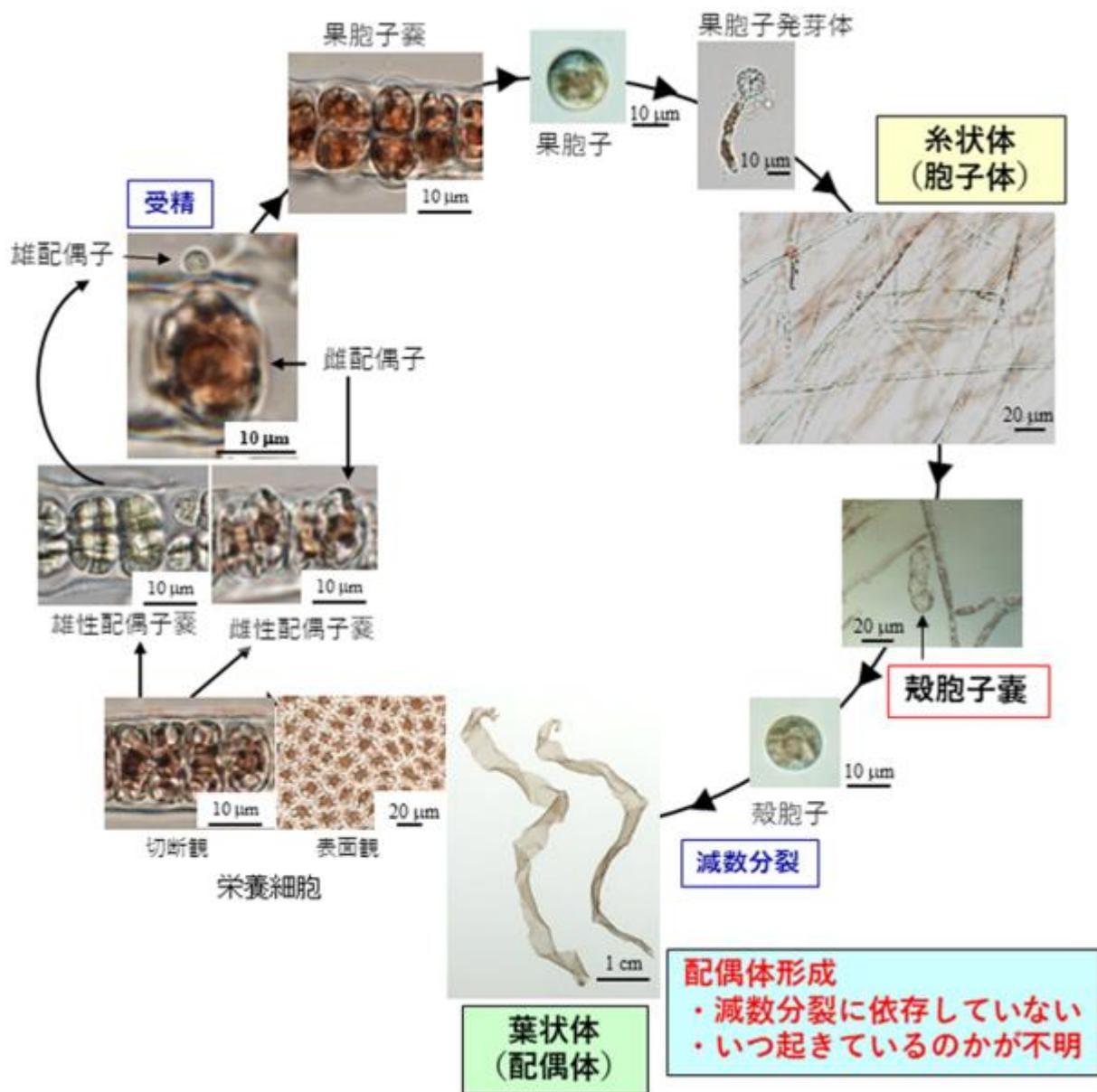
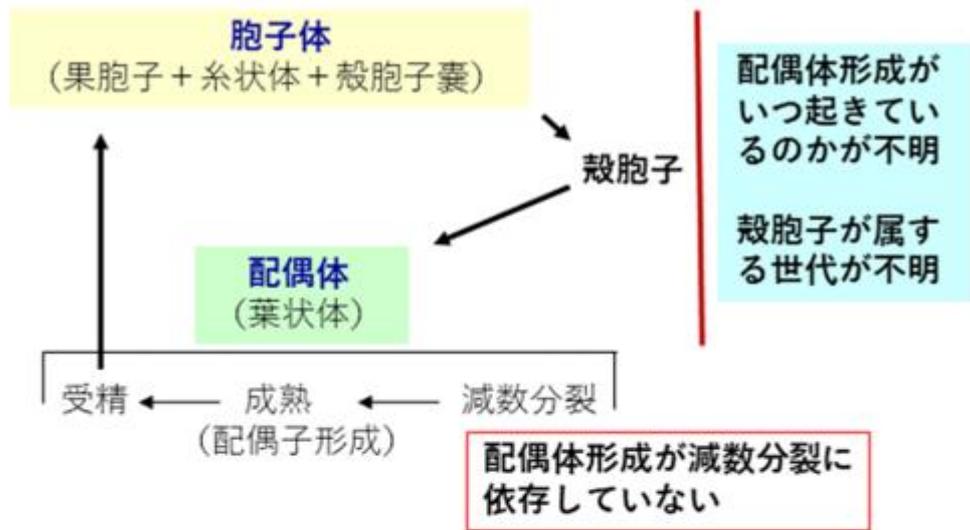


図1 従来の理解に基づくスサビノリの世代交代 (Takahashi and Mikami(2017)を改変)

従来の二相世代交代



新しく提唱した三相世代交代

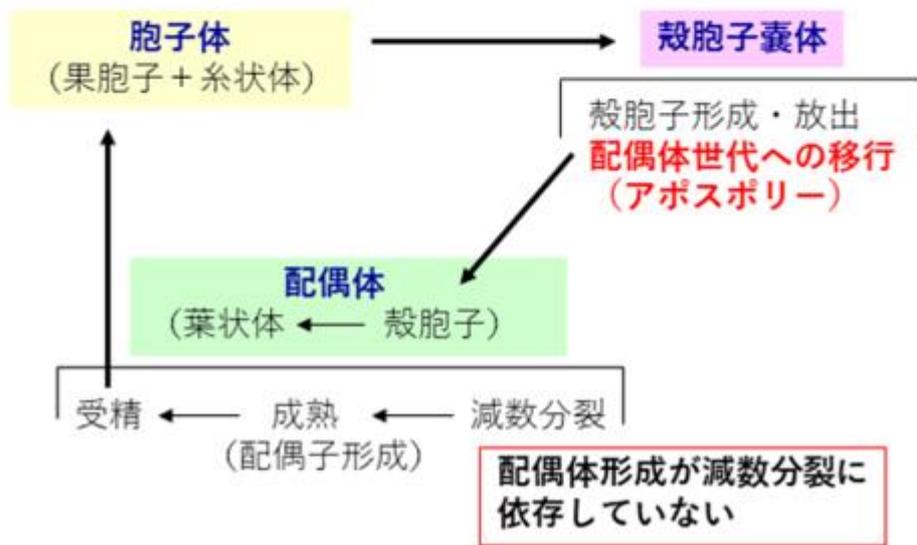


図2 スサビノリ世代交代の理解における新旧両説の比較

【用語解説】

- *1 生活環 … 配偶体から配偶子が形成され、その受精により孢子体ができる一連の過程とそのサイクルのこと。一般に、植物においては配偶体と孢子体が交互に出現するので、連続性を示すために生活環と名付けている。

- *2 減数分裂 … 体細胞（複相， $2n$ ）が配偶子（単相， n ）を産生するときに行われる特殊な細胞分裂のこと。これは生殖細胞である配偶体の形成過程で染色体数が半減するようにコントロールされていることによる。そのため、雄と雌の配偶子が受精すると複相の受精卵が生じ、それが個体へと成長していく。このように、一般的に複相世代から単相世代への意向は減数分裂によって行われるのが普通である。しかし、スサビノリでは減数分裂が配偶体世代の形成後に行われることがわかっていたが、これまでこの特殊な世代交代を理解する研究は行われていなかった。今回の研究成果は、その実態をはじめて明らかにするものである。

- *3 アポスポリー … 世代交代において、減数分裂を介さないで孢子体から配偶体へ移行する現象のこと。アポスポリーでは、染色体や DNA の量が複相のまま配偶体へ移行し、その結果生じる複相の配偶体は本体の単相での形態と類似の形態を示す。当研究が示すように、スサビノリでは、殻孢子嚢体の中でアポスポリーが行われ、それにより形成・放出される殻孢子は、配偶体としての形態を示しながら初期発生を行い、その過程で減数分裂が起こるため単相の配偶体として生長する。

- *4 殻孢子嚢 … スサビノリや近縁のアマノリ類が孢子体である糸状体上に形成する殻孢子形成器官のこと。今回の研究によって、これが従来理解とは異なり、アポスポリーによる配偶体形成とその出発点となる殻孢子の形成を担う極めて重要な独立した世代であることが判明した。

- *5 トランスクリプトーム解析 … トランスクリプトームとは、一つの細胞に存在する全ての遺伝子産物（トランスクリプト）の集合体のこと。そのため、トランスクリプトーム解析は、細胞内で発現している遺伝子を網羅的に解析する手法を示す。この方法で、配偶体、殻孢子嚢及び孢子体で発現している遺伝子が明らかになるので、それを比較することでそれぞれに特異的に発現する、あるいは2者間でのみ共通に発現する遺伝子の情報が網羅的に得られる。