

令和 6 年 6 月 4 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K21860

研究課題名（和文）サンゴが雲を作り気候を変化させているのか？遺伝子解析技術を用いた検証

研究課題名（英文）Genomic analysis of DMSP lyase-like genes in scleractinian corals

研究代表者

新里 宙也（Shinzato, Chuya）

東京大学・大気海洋研究所・准教授

研究者番号：70524726

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：植物プランクトンが浸透圧調節物質であるジメチルスルホニオプロピオン酸（DMSP）は、主に細菌や植物プランクトンが持つDMSPリアーゼという酵素によって硫化ジメチル（DMS）へと転換される。DMSは大気中で水蒸気の凝結核となることにより、地球冷却効果の役割を果たしていると考えられている。通常動物はDMSPリアーゼを持たないが、特定のサンゴ（ミドリイシ属）においてDMSPリアーゼに似た遺伝子、DMSPリアーゼ様遺伝子の数が、ゲノム上で大きく増加していた。本研究は、サンゴ及び真核生物におけるDMSPリアーゼ様遺伝子の進化的背景の解明と、サンゴにおける役割の推定を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

DMSPリアーゼ様遺伝子はサンゴの共生藻からも確認されたので、当初はサンゴのDMSPリアーゼ様遺伝子は共生藻からの遺伝子水平伝播が疑われた。現在利用可能な遺伝子データベースを網羅的に解析したところ、共生藻からの水平伝播ではなく、刺胞動物の共通祖先でDMSPリアーゼ様遺伝子を獲得したことが示唆された。その他に、刺胞動物以外の動物からは確認されない、動物のDMSPリアーゼ様遺伝子は他の真核生物のDMSPリアーゼ様遺伝子や原核生物のDMSPリアーゼとは起源が異なる、ことも明らかにした。DMSPリアーゼ様遺伝子がサンゴにおいてどのような役割を果たしているのか、その詳細の解明が今後期待される。

研究成果の概要（英文）：Dimethylsulfoniopropionate (DMSP) functions in osmoregulation and oxidative stress protection, etc. in phytoplankton and algae, and DMSP lyase mediates cleavage of DMSP into acrylate and dimethyl sulfide (DMS). DMS is a volatile substance that activates cloud formation, reducing solar radiation and ocean temperatures and contributing to atmosphere-ocean feedback. Thus, DMSP lyases in marine organisms may influence local climate. Although DMSP lyases were first identified in marine bacteria, they or genes similar to them, DMSP lyase-like, have been found in eukaryotes, not only in unicellular phytoplanktons, but also in scleractinian corals. Interestingly, DMSP lyase-like genes are the most diverse gene family in Acropora genomes and gene expansions have occurred specifically in the genus Acropora. In this project, we investigated the evolutionary background of DMSP lyase-like genes in the animal kingdom and eukaryotes and elucidated the possible function of these genes in corals.

研究分野：ゲノム科学

キーワード：サンゴ DMSP DMS 遺伝子

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

海岸で感じる「磯の香り」は、硫化ジメチル (DMS) という揮発性の硫黄化合物である。さまざまな植物プランクトンが浸透圧調節物質として生成するジメチルスルホニオプロピオン酸 (DMSP) から、主に細菌や植物プランクトン自身が持つ DMSP リアーゼという酵素により、DMS へと転換される。DMS は大気中で水蒸気の凝結核となり雲を形成するので、太陽光を遮ることによる地球冷却効果の役割を果たす可能性が示唆されている。DMSP リアーゼ遺伝子は主に海洋細菌が保持しているが、真核生物においては稀で、藻類のみから存在が確認されている。しかし DMSP リアーゼに似たアミノ酸配列を持つ遺伝子、DMSP リアーゼ様遺伝子が、動物である造礁サンゴと、サンゴと共生する微細藻類、褐虫藻から確認された。我々は造礁サンゴのゲノム情報の比較解析から、特定のサンゴの系統 (ミドリイシ属) において、DMSP リアーゼ様遺伝子の数がゲノム上で大きく増加していること、ミドリイシ属のゲノム上で最も多様化した遺伝子ファミリーである、ということを発見した。

2. 研究の目的

真核生物においてその存在が稀である DMSP リアーゼ様遺伝子を、なぜサンゴは持っているのだろうか。なぜミドリイシ属のゲノム上で最も多様化した遺伝子ファミリーとなったのであろうか。そしてサンゴにおいてどのような役割を果たしているのだろうか。その解明を目指し、以下の2つの項目を行った。

(1) サンゴを含む真核生物における DMSP リアーゼ様遺伝子の進化的背景

DMSP リアーゼ様遺伝子がミドリイシ属サンゴのゲノムに数多く存在することが確認されたが、どの系統のサンゴにこの遺伝子は存在するのだろうか。サンゴ以外の動物の系統に DMSP リアーゼ様遺伝子が存在するのだろうか、さらには他の真核生物の系統には見られるのか、DMSP リアーゼ様遺伝子の進化的背景の解明を目的とした。

2) サンゴにおける DMSP リアーゼ様遺伝子の役割の推定

DMSP はサンゴにおいて熱、光、浸透圧などのストレス応答に関わっている可能性が示唆されている。そのため、DMSP リアーゼ様遺伝子はこれら様々な環境変化への応答に関わっている可能性がある。サンゴにおいて DMSP リアーゼ様遺伝子はどのような役割を果たしているのだろうか。DMSP リアーゼ様遺伝子のサンゴにおける役割の推定を目的とした。

3. 研究の方法

(1) サンゴを含む真核生物における DMSP リアーゼ様遺伝子の進化的背景

これまでに解読されているサンゴや褐虫藻のゲノム情報や、様々な真核生物のトランスクリプトーム情報を登録しているデータベース (NCBI TSA) で現状利用可能な全てのデータを用いて、DMSP リアーゼ様遺伝子の相同遺伝子の配列を探索した。収集した配列は、既知の海洋バクテリアの DMSP リアーゼとともに分子系統解析を行った。

(2) サンゴにおける DMSP リアーゼ様遺伝子の役割の推定

サンゴの DMSP リアーゼ様遺伝子が、様々な環境ストレスにどのように応答するのかを確認するため、高水温や塩分変化などの環境変化に曝したサンゴの遺伝子発現応答について、過去に公開したデータを含めて解析を行った。特に DMSP リアーゼ様遺伝子が多様化しているミドリイシ属に注目した。

4. 研究成果

(1) サンゴを含む真核生物における DMSP リアーゼ様遺伝子の進化的背景

解析時点で利用可能なゲノム、トランスクリプトームのデータから DMSP リアーゼ様遺伝子の候補を収集し、分子系統解析を行った。幅広いサンゴ種から DMSP リアーゼ様遺伝子の存在が確認された。当初は、DMSP リアーゼ様遺伝子は動物では造礁サンゴのみから報告されており、さらに褐虫藻からも確認されているので、サンゴの DMSP リアーゼ様遺伝子は褐虫藻からサンゴへの遺伝子水平伝播の可能性が疑われた。しかし、様々なサンゴ種に限らず、スナギンチャクやホネナシサンゴ、さらには同じ刺胞動物の遠い系統であるクラゲの一種など、幅広い刺胞動物から当該遺伝子の存在が確認された。海洋細菌の DMSP リアーゼ遺伝子や藻類など他の真核生物から得られた DMSP リアーゼ様遺伝子の配列と共に分子系統解析を行った結果、サンゴとクラゲを含む刺胞動物の全ての DMSP リアーゼ様遺伝子は同一の起源を持ち、褐虫藻の DMSP リアーゼ様遺伝子とは全く異なる遺伝的背景を持つことが明らかになった。サンゴや刺胞動物に見られる DMSP リアーゼ様遺伝子は、共生する褐虫藻からの水平伝播が由来ではなく、刺胞動物の共通祖先ですでに DMSP リアーゼ様遺伝子が存在していた可能性が高いと考えられる (図 1)。

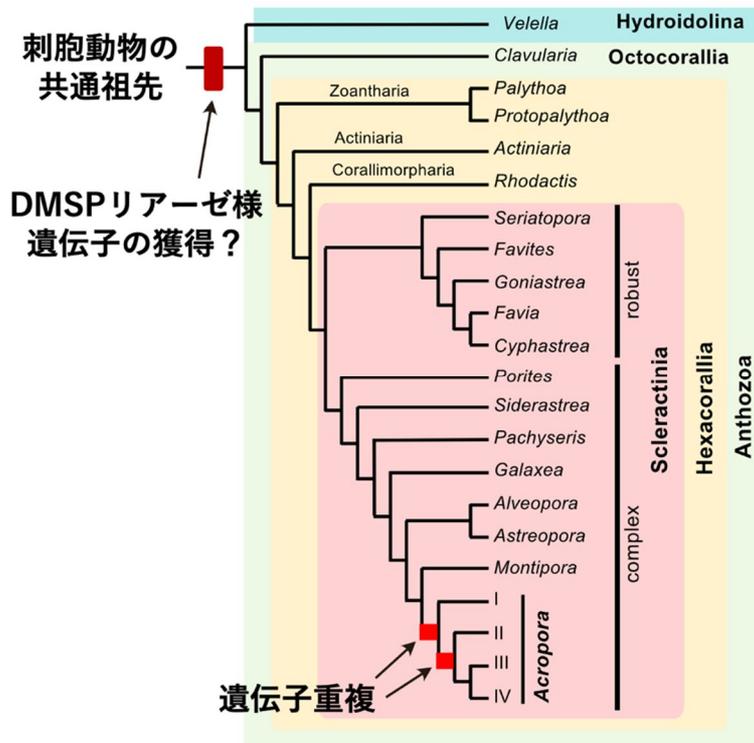


図 1：刺胞動物における DMSP 様遺伝子の進化

DMSP リアーゼ様遺伝子の存在が確認された、造礁サンゴ(Scleractinia)を含む刺胞動物の系統を示している。刺胞動物の共通祖先で、DMSP リアーゼ様遺伝子はすでに存在したと考えられる。ミドリイシ属(*Acropora*)のみで確認された 2 回の遺伝子重複イベントを、系統樹上で赤で示す。

その他に、a)ミドリイシ属以外の刺胞動物は 1,2 個の DMSP リアーゼ様遺伝子しか持たない、b)刺胞動物以外の動物からは DMSP リアーゼ様遺伝子は確認されない、c)刺胞動物の DMSP リアーゼ様遺伝子、褐虫藻・円石藻など他の真核生物の DMSP リアーゼ様遺伝子、原核生物の DMSP リアーゼ遺伝子は全て起源が異なる、ことも明らかになった。

ミドリイシ科複数種のゲノム情報を向上させ、ミドリイシ属サンゴとの比較ゲノム解析を行った結果、ミドリイシ属特異的に見られる DMSP リアーゼ様遺伝子の遺伝子数の増加は、コモンサンゴ属(*Montipora*)との分岐後に起こったことも明らかになった(図 1)。

(2) サンゴにおける DMSP リアーゼ様遺伝子の役割の推定

温度上昇や浸透圧変化など、様々なストレスにさらしたミドリイシ属サンゴの網羅的遺伝子発現解析の結果を精査した。ミドリイシ属では DMSP リアーゼ様遺伝子が 10 個以上ゲノム上に存在するが、ストレスにより発現を上昇させた遺伝子は確認されなかった。当初の想定に反し、DMSP リアーゼ様遺伝子が高水温や塩分ストレスへの応答に関わっていない可能性が示唆された。しかし本研究で解析を行った実験でのストレス条件が、ミドリイシ属サンゴの DMSP リアーゼ様遺伝子の発現を誘導するのに適切でなかった可能性もある。ミドリイシ属の幼生段階の網羅的遺伝子発現解析から、DMSP リアーゼ様遺伝子はかなり高発現していることが明らかになり、幼生段階において何らかの重要な役割を果たしている可能性も示唆された。本研究では DMSP リアーゼ様遺伝子と環境変化の関連性について直接的な証拠は得られなかったが、DMSP リアーゼ様遺伝子のサンゴにおける役割を解明するためには、今後も様々な条件下での遺伝子発現変化に注目していく必要があると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 Chiu Yi-Ling, Shinzato Chuya	4. 巻 9
2. 論文標題 Evolutionary History of DMSP Lyase-Like Genes in Animals and Their Possible Involvement in Evolution of the Scleractinian Coral Genus, Acropora	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Marine Science	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fmars.2022.889866	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Shinzato Chuya, Khalturin Konstantin, Inoue Jun, Zayasu Yuna, Kanda Miyuki, Kawamitsu Mayumi, Yoshioka Yuki, Yamashita Hiroshi, Suzuki Go, Satoh Noriyuki	4. 巻 38
2. 論文標題 Eighteen Coral Genomes Reveal the Evolutionary Origin of Acropora Strategies to Accommodate Environmental Changes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Molecular Biology and Evolution	6. 最初と最後の頁 16 ~ 30
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/molbev/msaa216	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Shinzato Chuya, Yoshioka Yuki	4. 巻 16
2. 論文標題 Genomic Data Reveal Diverse Biological Characteristics of Scleractinian Corals and Promote Effective Coral Reef Conservation	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Genome Biology and Evolution	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/gbe/evae014	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 2件）

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	山下 洋 (Yamashita Hiroshi) (00583147)	国立研究開発法人水産研究・教育機構・水産技術研究所(長崎)・主任研究員 (82708)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	鈴木 豪 (Suzuki Go) (30533319)	国立研究開発法人水産研究・教育機構・水産技術研究所(長崎)・主任研究員 (82708)	
研究分担者	亀山 宗彦 (Kameyama Sohiko) (70510543)	北海道大学・地球環境科学研究院・准教授 (10101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関