

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 14 日現在

機関番号：82706

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26870916

研究課題名(和文)「サンゴ粘液」がサンゴ礁生態系の微生物食物連鎖に果たす役割を定量的に理解する

研究課題名(英文)The role of coral mucus in the microbial loop of coral reef ecosystems

研究代表者

中嶋 亮太 (NAKAJIMA, Ryota)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・海洋生物多様性研究分野・ポストドクトラル研究員

研究者番号：20546246

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：サンゴは透明で粘性のある有機物(サンゴ粘液)を海水中に分泌する。本研究では、サンゴ粘液が存在する系と存在しない系(コントロール)において、細菌、鞭毛虫の培養を行い、各微生物の成長速度・生産量を調べ、サンゴ粘液単位量あたりにどれだけ微生物食物連鎖の炭素フローが促進されるかを定量的に調査した。実験の結果、サンゴ由来の有機物が、細菌と鞭毛虫を経由して微生物食物連鎖の炭素フローを促進することが定量的に示された。

研究成果の概要(英文)：Scleractinian corals release mucoid organic matter (coral mucus) to the surrounding seawater. This study examined the effect of coral mucus to the carbon flow through the microbial loop in a coral reef ecosystem. Microorganisms (heterotrophic bacteria and nano flagellates) were incubated with and without coral mucus for up to 120 hours. The production rates of both bacteria and flagellates were significantly increased with coral mucus. These results suggest that coral mucus enhances the carbon flows through microbial loop in coral reef ecosystems.

研究分野：複合新領域

キーワード：サンゴ粘液 微生物 細菌 鞭毛虫

1. 研究開始当初の背景

(1) サンゴ礁は全海洋面積のたった 0.1%しかしめないが、極めて高い生物多様性および生物生産を有する学術上極めて貴重な海洋生態系である。しかし、近年の全球的な気候変動(温暖化や海洋酸性化)や富栄養化、魚の乱獲といった人間活動による強いストレスの影響を受けて、世界中の多くの造礁サンゴ群集は衰退している。サンゴ礁生態系を効果的に保全する上で、サンゴ礁生態系の物質循環を理解することは極めて重要である。サンゴ礁生態系においてはこれまでに高い有機物生産について数多くの研究成果が報告されてきたが、一方で生産された有機物の流通過程に関する知見は乏しい。そこでサンゴ礁における有機物循環の主要なスタートの1つである「サンゴ粘液」の動態について明らかにする必要がある、本研究を行うに至った。

(2) 「サンゴ粘液」とは、サンゴ礁において造礁サンゴ(岩場を形成するサンゴ)が体外に分泌する有機物の総称で、サンゴに共生する藻類(褐虫藻)の光合成産物に由来する。この粘液はサンゴの生育に欠かせない生理的機能に関与しており、例えばストレスに対する防御(乾燥、堆積物除去など)などの理由から分泌される。このように、サンゴ粘液については、化学・生物学の面では比較的進んできたが、サンゴ粘液が生産された後の流通過程といった生物地球化学的・生態学的な視点からアプローチした研究は極めて乏しい。

(3) サンゴ表皮から放出されたサンゴ粘液の大部分は溶存態の形で水中に放出される。そのため従属栄養性細菌(以下、細菌という)の成長を促すことが知られている。一般的な海洋生態系においては、植物プランクトンが溶存有機物の主な生産者であり、これが細菌に始まる微生物ループのスタートとして知られるが、サンゴ礁においては植物プランクトンが生産する溶存有機物では細菌生産を説明できないことが知られている。したがってサンゴ礁ではサンゴなどの底生生物に由来する溶存有機物が微生物ループの主な炭素源として考えられている。サンゴ粘液の放出による細菌の増殖は、細菌を捕食する原生動物の増殖を促し、結果的に微生物ループにおける物質の流れを促進すると考えられる。そこでサンゴ粘液に始まる微生物食物構造を明らかにする必要がある。過去の研究でサンゴ礁における微生物食物連鎖(溶存態有機物-細菌-鞭毛虫)の研究はいくつか報告されているが、サンゴ粘液は考慮に入られていない。

2. 研究の目的

本研究では、サンゴ粘液の分解実験を行い、

細菌による利用を解明、粘液の放出に伴う細菌と細菌捕食者(原生動物)の応答を調べ、サンゴ粘液に始まる微生物食物構造の物質フローを定量化し、サンゴ粘液がサンゴ礁生態系の物質循環に果たす役割を生物地球化学・生態学の視点から解明する。

3. 研究の方法

(1) 実験は沖縄県瀬底島にある琉球大学瀬底実験施設で行われた。生海水を常時流した野外水槽で1年間以上飼育されたミドリイシ属のサンゴを実験に用いた。

(2) サンゴ粘液を含む海水を得るため、濾過海水を満たした20リットルの透明ボトルにサンゴを入れ、現場水温、光量に調整した状態で数時間培養した。培養中は水中スターラーを用いて海水をゆるやかに攪拌した。数時間後にサンゴを取り出し、粘液を含む海水を得た。対照区としてサンゴを入れないボトルも用意し、粘液を含まない海水を得た。各培養液は直ちにGF/Fガラスフィルター(目合い0.7 μ m)で濾して溶存有機物のみを含む状態とし、次の微生物培養実験に用いた。

(3) 上記で作成したサンゴ粘液を含む海水および粘液を含まない海水を、細菌のみ、または細菌と細菌捕食者(鞭毛虫)が含まれる海水と混合し、a. 細菌のみ海水+粘液含む海水、b. 細菌のみ+粘液なし海水、c. 細菌と鞭毛虫+粘液含む海水、d. 細菌と鞭毛虫+粘液なし海水、の計4条件を作成した。これら4条件を複数の培養容器に分注し、暗所でゆるやかに攪拌しながら最大120時間培養した。24時間毎に、細菌数、鞭毛虫数、溶存有機物量(炭素量)の変化を観察した。

(4) 試料中の溶存有機物量は全有機炭素測定機を用いて測定した。細菌ならびに鞭毛虫は蛍光顕微鏡を用いて計数とサイズ測定を行った。得られた細胞のサイズ値を体積ならびに体重に換算し、培養期間中における生物量の変化を調べた。

4. 研究成果

(1) 培養0時間における溶存有機物濃度(炭素量)は、対照区よりも粘液添加区のほうが約20 μ Mほど高かった。培養実験を通して、溶存有機物濃度の減少は、サンゴ粘液を含む海水のほうが対照区よりも大きく(図1)、これは粘液添加区の細菌による溶存有機物の消費がより高いためと考えられた。細菌数の最大値は対照区と粘液添加区ともに培養開始から24時間後に観察されたが、その最大値は粘液添加区のほうが高かった。

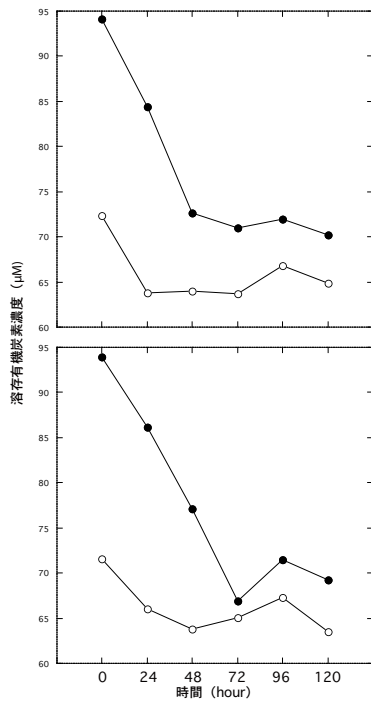


図 1. 培養期間中における溶存有機物量の変化. 黒塗りと白抜きのシンボルはそれぞれサンゴ粘液添加区と対照区を示す. 上図は細菌のみで培養した実験, 下図は細菌と鞭毛虫を含む海水で培養した実験結果を示す. 結果は繰り返し行われた実験の平均値を示す.

(2) 細菌の成長速度は, 粘液添加区のほうが対照区よりも 1.4-1.6 倍高い値を示した (図 2). また, 細菌の成長効率も, 粘液添加区の方が対照区よりも 1.8-1.9 倍高い値を示した. これらの結果から, サンゴ粘液は細菌の良い増殖基質として働いていることが推察された. そしてサンゴ粘液は細菌にとってより易分解性の性質を持つことも考えられた.

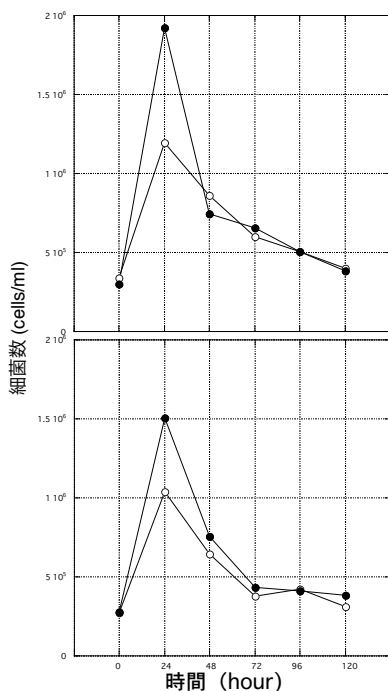


図 2. 培養期間中における細菌数の変化. 黒塗りと白抜きのシンボルはそれぞれサンゴ粘液添加区と対照区を示す. 上図は細菌のみで培養した実験, 下図は細菌と鞭毛虫を含む海水で培養した実験結果を示す. 結果は繰り返し行われた実験の平均値を示す.

(3) 鞭毛虫の数の最大値は, 細菌数の最大値から 24 時間-48 時間後に見られた (図 3). 細菌で見られたパターンと同じく, 粘液添加区における鞭毛虫の数は対照区よりも増大し, 培養開始から 72 時間後における鞭毛虫の増大数は粘液添加区のほうが有意に高かった. 鞭毛虫の成長速度は, 粘液添加区のほうが対照区よりも 1.5-2.4 倍高い値を示した. これらの結果より, 鞭毛虫は粘液添加区の溶存有機物を利用して増大した細菌を捕食し, 自身の密度を増大させたことが示された. また鞭毛虫の数が最大のときに, 細菌数は最小値を示した.

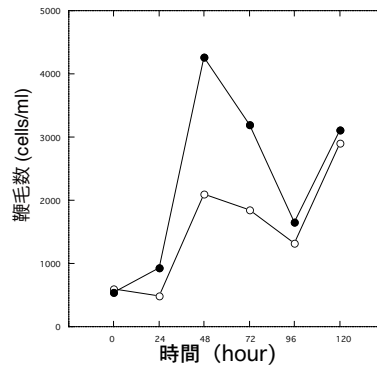


図 3. 培養期間中における鞭毛虫数の変化. 黒塗りと白抜きのシンボルはそれぞれサンゴ粘液添加区と対照区を示す. 結果は繰り返し行われた実験の平均値を示す.

(4) 細菌と鞭毛虫の生産量と物質フローを対照区と粘液添加区で比較すると, 細菌と鞭毛虫の生産量は, 粘液添加区において対照区よりもそれぞれ 1.8-1.9 倍, 2.5-3.0 倍高かった. これらの結果より, サンゴ由来の溶存有機物が, 細菌と鞭毛虫を経由して微生物ループの物質フローを促すことが定量的に示すことに成功した. これまでの研究より, サンゴの被覆率が高い海域ほど水柱への粘液の投入量が増大するため, 海面ではより多くの細菌と鞭毛虫が存在することが報告されている. したがって, 健康なサンゴ礁, すなわち被覆率の高いサンゴ礁では, より効率のよい物質循環が成り立っていると予想される.

(5) ミドリイシ属サンゴの溶存有機物の放出速度は 1 時間あたりサンゴ表面積 (cm²) あたりに約 84 nmol と見積もられた. 実験施設周辺サンゴ礁のサンゴ被覆率を 30% とし, 日間放出時間を 8 時間, 投影面積-立体面積比を

3.8 とした場合、サンゴ由来の溶存態有機物の放出速度はおよそ $91 \text{ mgC/m}^2/\text{d}$ と計算される。海域の水深 (2m) を考慮すると、サンゴ由来の溶存有機物の生産速度はおよそ $46 \text{ mgC/m}^3/\text{d}$ である。この値を用いて、本研究で得られた溶存有機物-細菌の関係から推定される細菌生産速度は $18 \text{ mgC/m}^3/\text{d}$ となった。この値は、本調査地で過去に実測された細菌生産速度 ($18.2 \text{ mgC/m}^3/\text{d}$) と極めて近く、本研究の推定炭素フロー値が現場にも応用できることが考えられた。

(6) 全球的に危惧されている温暖化や海洋酸性化といった気候変動や、海域の富栄養化や赤土の流入、乱獲といったローカルスケールの人為的な活動によるストレスを受けて、サンゴ礁生態系は急速に衰退しつつあることが報告されている。本研究で明らかになったように、サンゴは、サンゴ粘液の生産を通して効率の良い物質循環を実現しているが、ひとたび強い人為的ストレスを受けてサンゴが衰退すれば、この効率の良い物質循環プロセスは失われると予想される。本研究では溶存有機物の放出源としてサンゴに着目したが、本研究で対象にしたサンゴ以外にも溶存有機物を放出する底生生物は数多く知られており、今後はこれら底生生物による溶存有機物に端を発する微生物ループも考慮に入れることで、サンゴ礁の物質循環をより総合的な視点から捉えることが出来ると期待される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計2件)

①中嶋亮太、田中泰章、栗原晴子、サンゴ粘液は微生物食物連鎖の炭素フローを促進する、日本サンゴ礁学会第18回大会、2015年11月28日、慶応大学、東京都港区

②中嶋亮太、サンゴ礁生態系の物質循環におけるサンゴ粘液の役割、地球惑星連合2015年大会「熱帯亜熱帯沿岸生態系セッション」、2015年05月27日、幕張メッセ、千葉県千葉市

[その他]

日本サンゴ礁学会「川口奨励賞」を受賞
http://www.jamstec.go.jp/j/jamstec_news/award/2015.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中嶋 亮太 (NAKAJIMA, Ryota)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・海洋生物多様性研究分野・ポストドクトラル研究員

研究者番号： 20546246