

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 16 日現在

機関番号：12102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25870095

研究課題名(和文)沈降粒子生成量に対する海洋酸性化の影響-酸性化は生物ポンプを停滞させるのか？-

研究課題名(英文)Effect of ocean acidification on production of sinking particles

研究代表者

和田 茂樹(WADA, Shigeki)

筑波大学・生命環境系・助教

研究者番号：60512720

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：第二のCO2問題と呼ばれる海洋酸性化は、海洋生態系に多大なる影響を与える。その中でも、海洋の炭素隔離機構の一つである生物ポンプへの影響は、酸性化の進行にフィードバックを及ぼすため、早急に影響を解析する必要がある。そこで我々は、大容量閉鎖培養系であるメソコスムを作成し、沈降粒子の生成量への酸性化の影響を検証した。その結果、酸性化は沈降粒子の生成を低下させる傾向があり、その影響メカニズムとして小型の植物プランクトンの優占が示唆された。すなわち、沈降粒子の生成量の低下は生物ポンプを停滞させ、酸性化をさらに加速させる可能性があることが示された。

研究成果の概要(英文)：The second CO2 problem; ocean acidification will have various effects on marine ecosystems. If biological pump which is a carbon sequestration mechanism is affected, feedback to progress of ocean acidification is expected. Therefore, we carried out mesocosm experiments which is closed vessel with large volume with manipulation of pH. As a result, production of sinking particles would decrease due to ocean acidification, and the mechanism would be a shift of phytoplankton community structure into a dominance of small-sized microalgae. The decrease in the production of sinking particles will result in acceleration of ocean acidification.

研究分野：生物海洋学

キーワード：海洋酸性化 生物ポンプ 沈降粒子 植物プランクトン

1. 研究開始当初の背景

人類の放出した二酸化炭素(CO₂)の約 1/4 は、海に吸収されている。海への CO₂ の吸収は従来、地球温暖化の抑制効果を有するとして、ポジティブにとらえられてきたが、近年になって、溶け込んだ CO₂ によって引き起こされる海洋の酸性化が問題視されている。

海洋には元来、酸性化を抑制する自然のメカニズムが備えられており、その主要メカニズムの一つが生物ポンプである。生物ポンプとは、植物プランクトンが光合成で固定した炭素が、沈降粒子となって深層へ輸送されるプロセスである。粒子が沈降する際に、その大きさが重要となってくるが、応募者らの先行研究において、酸性化が植物プランクトンの小型化を引き起こすことが報告されている。粒子の小型化は、沈降速度を低下させ、生物ポンプの駆動を妨げる。すなわち、酸性化が生物ポンプを停滞させ、さらに酸性化が加速する可能性が考えられる。

2. 研究の目的

以上を踏まえて本研究では、酸性化が沈降粒子形成に及ぼす影響を評価することを目的とした。特に、自然の植物プランクトン群集を対象としたメソコスム実験を実施し、生成した沈降粒子を沈降速度で分画する。そこでまず、沈降粒子を採取することが可能なメソコスム培養器および沈降速度で粒子を分画するためのエルトリエーターを作成する。さらに、メソコスムに海水を導入し、pH を調整して培養を行い、酸性化が沈降粒子生成性に及ぼす影響を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) メソコスム培養器・エルトリエーターの作成

培養器内で生成した沈降粒子は容器の下方に沈降し、蓄積する。そこで、培養器は下部が漏斗型となった形状にし、集積した粒子を回収できるようにした。

下方に集積した粒子は沈降粒子を多く含むものの、沈降速度の低い懸濁態の粒子も混在する。そこで、得られた試料を沈降速度ごとに分画し、真に沈降粒子として生物ポンプに寄与する画分のみを評価することを可能にした。

(2) 作成したメソコスム培養器・エルトリエーターを用いた試験培養

2014年6月に、下田臨海実験センター内に培養器を設置し、ポンプアップして採水した海水を導入して自然光下で培養を行った。実験開始時には栄養塩を添加し、植物プランクトンの増殖期から衰退期にかけて、経時的な変化をモニターすることとした。

(3) pH を操作した培養実験

2014年7月および2015年7月に、上記と同様に下田臨海実験センター内で培養試験

を実施した。栄養塩添加後に飽和 CO₂ 過海水を添加して、現在(約 8.1)と 150 年後の pH の予測値(約 7.6)に操作して自然光下で培養を行った。2015 年度には、生物影響をより増幅して観察するため、2014 年よりも高い濃度の栄養塩を添加して実験を実施した。

(4) 測定

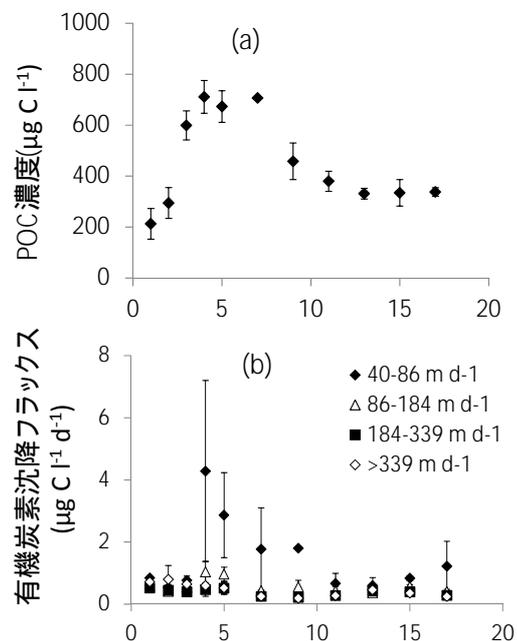
植物プランクトンへの影響に関しては、容器内の海水を採水し、フローサイトメーターで測定を実施した。クロロフィル様の波長を粒子の検出に用い、前方散乱光の測定によってサイズの解析を実施した。

有機炭素量に関しては、塩酸処理であらかじめ無機炭素を除いたのち、元素分析計を用いて測定を実施した。

4. 研究成果

(1) メソコスム培養器・エルトリエーターの作成と試験培養

作成したメソコスムで自然海水の培養を行ったところ、栄養塩添加後から 3 日目に、懸濁態有機炭素(POC: Particulate Organic Carbon)濃度が著しく増加し、7 日目まで高い濃度を維持したのち、低下した。一方で、有機炭素の沈降量(沈降フラックス)は、4-5 日目に最大となった。すなわち、POC 濃度が 3 日目にピークを迎えたのち、1 日遅れて沈降粒子の生成量がピークとなっている。培養器中の試水中の植物プランクトンのサイズ組成を解析したところ、最も小型のサイズ画分の割合は、培養前半(~10 日目)において単調に減少した。一方、やや大型のサイズ画分となる、2-6 μ m の細胞の割合が 4-5 日目にピークを迎えており、沈降フラックスのピークの時期に合致した。すなわち、小型(2 μ m 以下)の細胞が減少し、やや大型(2-6 μ m)の細胞が増加したことが、沈降粒子の生成量の増大につながったものと考えられる。



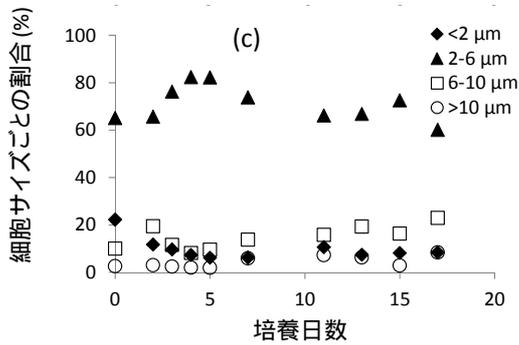


図 1. POC 濃度(a)、有機炭素の沈降フラックス(b)およびサイズごとの植物プランクトン細胞の割合(c)
横軸は培養日数を示す。

一般に、沈降粒子の生成は植物プランクトンのブルームの後半に生じるとされている。本研究においても、POC の増加に遅れて沈降粒子の増加がみられたことは、先行研究の知見とも合致するものであり、我々の作成した培養器が、海水中の沈降粒子の生成量の動態を知る上で有効であることを裏付ける。

(2) 酸性化が沈降粒子生成過程に及ぼす影響 (pH を操作した培養実験)

(1)の成果のとおり、製作した培養器が沈降粒子の生成プロセスを解析する上で有効であることが明らかとなった。そこで、pH を操作した培養実験を実施し、海洋酸性化が生物ポンプに及ぼす影響の解析を実施することとした。

2014 年の培養実験

試水の pH は、飽和 CO₂ ろ過海水を添加して調整した。培養期間中には、植物プランクトンの光合成によって CO₂ が消費され、pH が上昇することから、pH の上昇が確認された場合には、再度飽和 CO₂ ろ過海水を添加して、pH を元のレベルに戻すこととした。培養期間を通じて、概ね pH の操作については成功した。

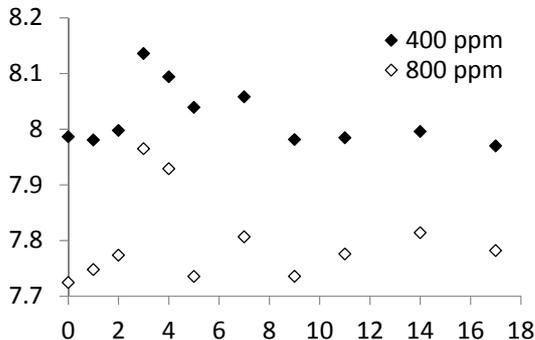


図 2. 試水の pH
現在の pH (pCO₂: 400ppm:)および酸性化した未来の pH (pCO₂: 800ppm:)

沈降粒子の生成量は、3 日目にピークを迎えた。ピーク時の沈降粒子量は、酸性化した条件下においてやや小さく、生物ポンプの駆動効率の低下が示唆された。

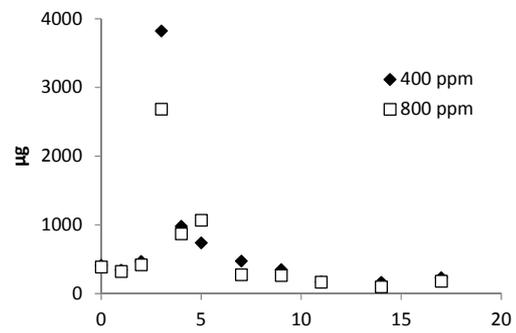


図 3. 沈降粒子生成量の時間変化
現在の pH (pCO₂: 400ppm:)および酸性化した未来の pH (pCO₂: 800ppm:)

沈降粒子生成量の違いの理由になりうる、植物プランクトンの細胞サイズを解析したところ、サイズ間で顕著な違いは認められなかった。この要因として、処理区間の差が分析誤差およびタンク間誤差よりも小さかった可能性が考えられる。

2015 年の培養実験

2014 年の実験の結果から、沈降粒子生成量が酸性化で低下する可能性が示された。しかしながら、その要因を解析するためには、pH の影響をより増幅した形で実験することが理想的である。そこで、2015 年度の培養実験では、実験開始時に添加する栄養塩の濃度を増加させ、生物量を大きくすることによって、変化の幅を増幅させることとした。

試水の pH の調整は 2014 年の実験と同様に実施した。培養期間を通じて、pH の操作は概ね成功し、明確に 2 つの処理区間で差が認められたことから、酸性化条件の再現は成功していると考えられる。

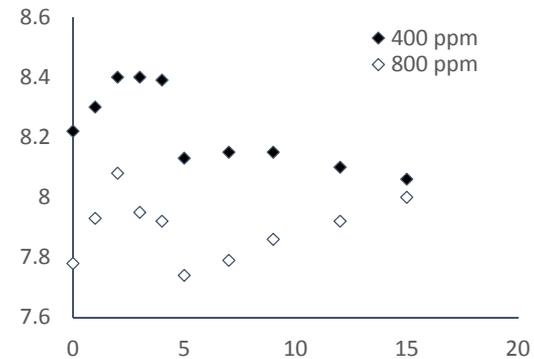


図 4. 試水の pH
現在の pH (pCO₂: 400ppm:)および酸性化した未来の pH (pCO₂: 800ppm:)

沈降粒子の量は、2014 年の結果と同様であり、ピーク時に酸性化した条件下で低下する結果が得られた。すなわち、酸性化が沈降粒子の生成量を減少させ、生物ポンプの駆動効率は低下すると考えられる。

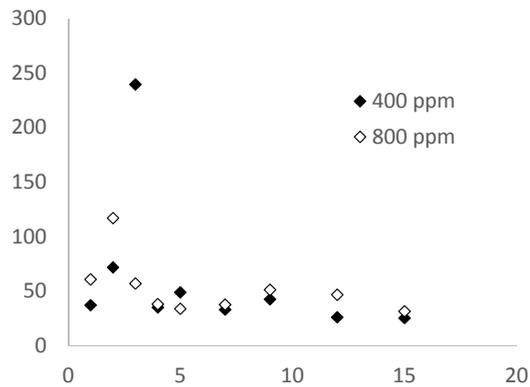


図5. 沈降粒子生成量
横軸は日数。縦軸は沈降粒子の生成量(µg)を示す。

2015年の実験では、沈降粒子の生成量の変化した要因を解析するため、植物プランクトンの種組成をフローサイトメーターで解析することとした。あらかじめ、植物プランクトンの純粋培養株を測定し、その蛍光特性との類似性から、分類群の特定を行った。その結果、酸性化した条件下において、シアノバクテリアの細胞数の割合が大きくなり、珪藻もしくはハプト藻の細胞数の割合が低下することが明らかとなった。特に、沈降粒子がピークとなる3日目において、珪藻もしくはハプト藻の細胞が、酸性化条件下において低下する傾向が示された。

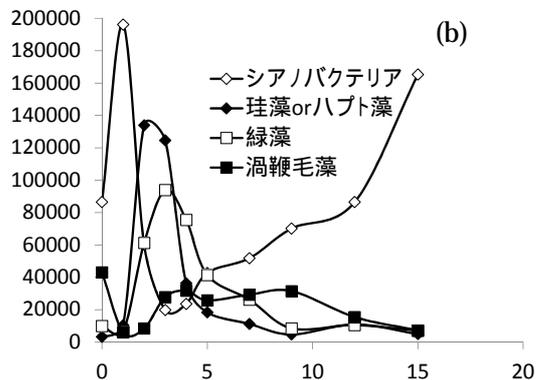
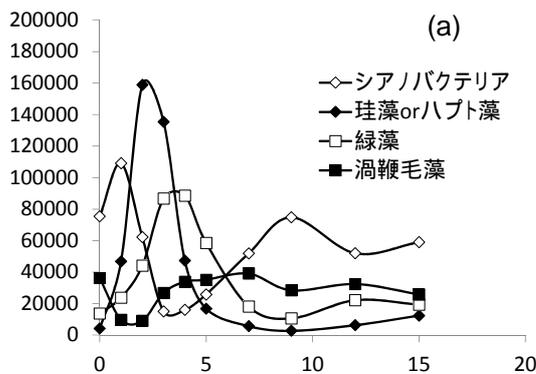


図6. フローサイトメーターで測定した、植物プランクトンのグループごとの細胞数現在のpH(a)と未来のpH(b)の結果を示す。

一般的にシアノバクテリアは、植物プランクトンの中でも小型のグループである。一方で、珪藻などは大型のグループであることから、酸性化の進行に伴って、植物プランクトン群集が小型種の優占する構造に変化することが示唆される。この結果は、我々の先行研究(Hama et al. 2015)でも同様であり、多くの海水試料に対して認められる普遍性の高い傾向と考えられる。

以上の結果から、海洋酸性化の進行は植物プランクトンの群集構造に影響を与え、その結果として小型の植物プランクトンが優占すると考えられる。小型種の優占は、海洋表層の有機物粒子の小型化を引き起こし、沈降粒子によって輸送される有機炭素の量が減少することが示唆された。

沈降粒子によって輸送される有機炭素の減少は、生物ポンプの停滞を意味している。生物ポンプは、それが無ければ大気中のCO₂が約3倍に上がると言われるほど重要なプロセスであり、その駆動効率の低下は酸性化の進行を加速させる。そのため、気候変動の将来予測において、生物ポンプへの酸性化の影響を考慮することが不可欠であることが明らかとなった。

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 1件)

自然プランクトン群集に対する閉鎖培養系を用いた沈降粒子生成過程の評価

和田茂樹、濱健夫

2014年日本海洋学会秋季大会、2014年9月16日、長崎大学(長崎県・長崎市)

6. 研究組織

(1)研究代表者

和田茂樹(WADA, Shigeki)

筑波大学・生命環境系・助教

研究者番号: 60512720