海水淡水化により生成する高濃度塩水に対する底生有孔虫 *Calcarina gaudichaudi* の光合成活性の応答

茨城大学大学院理工学研究科　学生会員　○李琳娜　　茨城大学大学院理工学研究科　非会員　三浦七海
茨城大学大学院理工学研究科　正会員　　藤田昌史

1. はじめに

ツバル等の太平洋の環礁州島では, 底生有孔虫などの石灰化生物による砂生産・運搬・堆積という一連のシステムで国土の維持をしている. しかし, 人口の増加, 生活の都市化が進むことによって, 地下水（淡水レンズ）の水質が悪化している. また, 砂の供給源としてサンゴ礁や底生有孔虫の生息環境も影響を受けている [1]. 一方, 淡水不足の問題を解決するため, ツバルなどでは海水淡水化装置が導入されている. 既報では, 海水淡水化の副産物は, 主に生成された高濃度塩水（44～90psu）と, 淡水化プロセスの様々な段階で使用される化学物質（スケール防止剤, 塩酸など）である [2]. 未処理の高濃度塩水がそのまま沿岸に排水されるため, さらにサンゴ礁や底生有孔虫に影響を及ぼすことが懸念されている. 底生有孔虫は殻内の共生藻類と共生している生物である. 環境ストレスが加わると共生関係のバランスが崩れる. そのため, 光合成活性を測定することで, 底生有孔虫への影響を把握することができる.

そこで本研究では, 海水淡水化により生成する副産物の高濃度塩水に着目し, 底生有孔虫 *Calcarina gaudichaudi* の光合成活性への影響を明らかにすることを目的とする.

2. 方法

(1) 人工海水を用いた応答実験

沖縄県伊計島で採取した *C. gaudichaudii* を塩分 28psu, 水温 20℃, 照度 80lum/ft^2（12 時間の明暗サイクル）で室内飼育した. その後, 同じ照度, 水温を 20℃と 25℃, 塩分濃度を 44psu と設定した. 曝露の実験をする前に, 3 日間馴致を行った. そして, *C. gaudichaudii* を 30mL ガラスバイアルに入れ, 8 日間曝露した. また, *C. gaudichaudii* の個体数を 15 個体とした. そして, 測定時点における瞬間的な光合成活性を示す *Y*(II)（*n*=10）と, 30 分間の暗順応によって光合成活性ポテンシャルを示す Fv/Fm（*n*=10）を毎日測定した. *Y*(II)と Fv/Fm は, 光化学系IIの指標として, 底生有孔虫の殻表面を測定することで, 殻表面付近の共生藻類の光合成活性を評価できる. また, 全体共生藻類の光合成活性を評価するため, 実験開始日と, 曝露最終日の 8 日目にクロロフィル a (Chl. a) (*n*=5)を分析した.

(2) 底生有孔虫の光合成活性の評価

パルス振幅変調蛍光光度計（Junior-PAM, Walz, Germany）を用いて, *C. gaudichaudii* の *Y*(II)と Fv/Fm を評価した. 直径 1.5mm の光ファイバーを *C. gaudichaudii* の殻表面に当て, 光合成活性を測定した.

Chl. a は, Jeffery and Humphrey (1975)の手法にしたがって分析した [3]. 2mL チューブに 90%アセトン 2mL と *C. gaudichaudii* 5 個体を入れ, 冷蔵庫（4℃）で 24 時間静置した. その後, 遠心分離した上澄み液を採取し, 分光光度計（UV-1600, Shimazu）で, 630nm, 663nm, 750nm の吸光度を測定し, 以下の式で Chl. a 濃度を算出した.

$$\mathrm{Chl}\,a = 11.47 \times (A_{663} - A_{750}) - 0.40 \times (A_{630} - A_{750})$$

Chl. a 濃度を測定した後, *C. gaudichaudii* を 60℃で 24 時間乾燥し, 乾燥重量を測定した. *C. gaudichaudii* の乾燥重量あたり Chl. a 重量を以下の式で算出した.

$$\mathrm{Chl}\,a(ng/g) = \mathrm{Chl\,a}(ug/L) \times 0.002L \times 1000 \Big/ \mathrm{dry\ weight}(g)$$

3. 結果・考察

3.1 高濃度塩水に対する *Y*(II)と Fv/Fm の応答

44psu 人工海水に曝露した *C. gaudichaudii* の *Y*(II)の結果を**図**-1 に示した. control（20℃, 28psu）は 1 日目に低下したが, その後は回復し 8 日目まで変化はなかった. 20℃, 44psu の条件では, 2 日目から *Y*(II)が下がった（$p<0.05$）. また, 25℃, 44psu の条件では, 3 日目から *Y*(II)が下がった（$p<0.05$）. 底生有孔虫の殻表面に分布する共生藻類の光合成活性が低下したと言える. そして, 25℃, 44psu よりも 20℃, 44psu の方が *Y*(II)は低い結果となった. また, 既報では, 塩分濃度が高いとき, 海水温が高い方が, サンゴの光合成活性への損傷を低下できると報告されている [4]. 本研究で得られた *C. gaudichaudii* の *Y*(II)も, 同様の結果となった.

キーワード：海水淡水化, 底生有孔虫, 光合成活性
連絡先：〒316-8511　茨城県日立市中成沢町 4-12-1　Tel:0294-38-5170　E-mail: Masafumi.fujita.wenv@vc.ibaraki.ac.jp

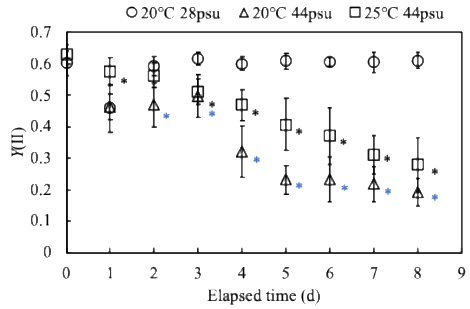

図-1　44psu 人工海水に曝した *C. gaudichaudii* の *Y*(II) の応答

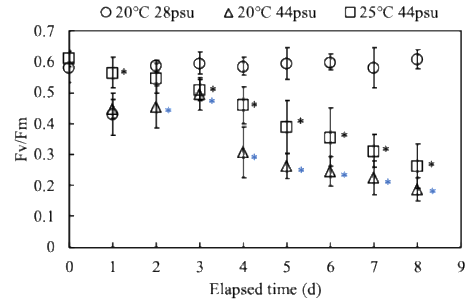

図-2　44psu 人工海水に曝した *C. gaudichaudii* の Fv/Fm の応答

図-2 に示した Fv/Fm の結果は，**図**-1 の *Y*(II)と同様の傾向が見られた（p<0.05）. *Y*(II)は，光化学系 II における光合成活性の瞬間値を示す. 一方，Fv/Fm は, 30 分間の暗順応によって光阻害の影響を取り除いた状態で測定するため, 光合成活性の最大値を示す. また, Fv/Fm は, 光化学系IIの全体の光合成活性が損傷を示す指標として使われている. これを踏まえると, 44psu 人工海水に曝露した *C. gaudichaudii* の Fv/Fm は著しく低下したため, 底生有孔虫の共生藻類の光化学系IIの光合成活性が損傷を受けたと解釈される. また, 水温によって光合成活性への損傷の程度が異なることがわかった.

3.2 高濃度塩水に対する Chl. a の応答

44psu 人工海水に曝露した *C. gaudichaudii* の Chl. a の結果を**図**-3, **図**-4 に示した. control (20°C，28psu)の Chl. a の含有量は 8 日間変化していなかった（p<0.05）. 20°C, 44psu の条件では, Chl. a 含有量が 8 日目に減少した（p<0.05）. Chl. a は底生有孔虫の全体から抽出しているため, 底生有孔虫の全体に分布する共生藻類の光合成活性が低下したと言える. 25°C, 44psu の実験開始日の Chl. a 含有量が, control (20°C)よりも高かった理由は, 3 日間の馴致期間の水温条件の違いが関係していると考えられる. 25°C, 44psu の条件では, Chl. a 含有量が 8 日目に減少していた（p<0.05）.

クロロフィルの損傷により, 色素タンパク質複合体

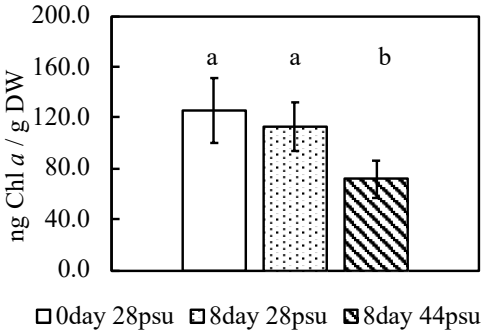

図-3　*C. gaudichaudii* の Chl. a の応答（20°C）

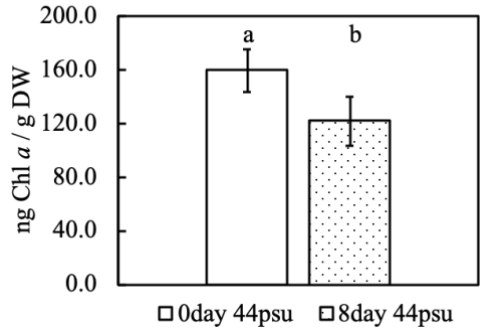

図-4　*C. gaudichaudii* の Chl. a の応答（25°C）

は不安定になり, 光化学系II（Fv/Fm）が低下することが報告されている [5]. そのため, Chl. a の低下と前述した Fv/Fm の低下は対応していたと考えられる.

44psu の人工海水に曝した *C. gaudichaudii* を顕微鏡で観察したところ, いずれの水温でも *C. gaudichaudii* が白化していることを確認した. 底生有孔虫の殻内から共生藻類が外へ出たか, 殻内の共生藻類が死滅したかについては, 本研究のデータでは明らかではないが, Chl. a や Fv/Fm の減少と対応していた.

4. まとめ

本研究では, 海水淡水化装置により生成する高濃度塩水を想定して 44psu の人工海水を底生有孔虫 *C. gaudichaudii* に短期的に曝露した. その結果, 共生藻類の光合成活性（*Y*(II), Fv/Fm, Chl. a）が減少した. また, 水温が低い方がこの影響は顕著であった. 以上のことから, 海水淡水化装置により生成される高濃度塩水は, 太平洋環礁の生態系において重要な砂生産者である *C. gaudichaudii* に負の影響を及ぼす可能性がある.

参考文献

1) Fujita et al.: Chemosphere 95, 628–634, 2014. 2) Ferna´ndez-Torquemada and J Sa´nchez-Lizaso: Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 320, 57–63, 2005. 3) Jeffery and Humphrey: Biochem. Physiol. Pflanzen 167, 191−194, 1975. 4) Hagen et al.: BiologyOpen, 6, 1943−1948, 2017. 5) Hao et al.: Ecological Indicators 129, 107987, 2021.