

# 海洋酸性化がシロギスの産卵に及ぼす影響

## 1. 海洋酸性化とは

ニュースなどでよく耳にする地球温暖化現象の主要因の1つが、人間活動によって年々増加する大気中の二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)であることは広く一般的に知られています。大気中のCO<sub>2</sub>が増加することによって、海洋に溶け込むCO<sub>2</sub>の濃度も大気と同様に年々増加します。CO<sub>2</sub>は水に溶けると酸の性質を示すため、水のpHは低下します。そのため海洋に溶け込むCO<sub>2</sub>量が増加すると、海水のpHが低下する「海洋酸性化」が進んでいくことになります。すでに海表面のpHは0.1程度、産業革命前に比べて低下していると推定されており<sup>1)</sup>、特に海生生物への影響が懸念されています。これまでの研究で海洋酸性化の進行により海水の炭酸イオン濃度が減少し、炭酸カルシウムの骨格や殻を持つ棘皮動物、サンゴや貝類の成長に悪影響がでることが報告されています<sup>2)</sup>。また、魚類の成魚は、生死判定に基づいた急性毒性試験によってCO<sub>2</sub>に対する耐性が高いことが明らかになっています<sup>3)</sup>。しかし、一般的に魚類の生活史においては、産卵を含む再生産過程が環境因子の変化に対して脆弱であることが多く、今後予測される海洋CO<sub>2</sub>増加レベルにおいても魚類の産卵過程に影響が及ぶ可能性は否定できません。そこで本研究は、海洋酸性化が魚類の産卵過程に与える影響を明らかにすることを目的とし、水産有用種であるシロギスを用いて産卵実験を行いました。

## 2. 基本的な飼育実験システムの構築

一般的に水産有用魚種の産卵には大型の飼育水槽を必要とします。しかし大型水槽を用いた実験では大量の海水を必要とするため、直接実験水槽内をCO<sub>2</sub>ガスで曝気することによる従来の方法でCO<sub>2</sub>分圧をコントロールすることが困難です。そして、このことが海生生物を用いた高CO<sub>2</sub>影響評価研究において小型の生物あるいは初期発生段階の生物以外の大型生物を対象とした既往研究が非常に少ない一因となっています。

そこで、水量1t以上の大型水槽において海水のCO<sub>2</sub>分圧を安定的に制御する方法を国立環境研究所との共同研究で新たに確立しました。この方法は、100%のCO<sub>2</sub>ガスを自然海水へ吹き込んで調製した高濃度のCO<sub>2</sub>海水と自然海水を配管内で混合した後に、水槽内へ注水するものです。海水のCO<sub>2</sub>分圧は二酸化炭素測定装置により、水槽内に設置した平衡器を介して導出したCO<sub>2</sub>ガスを非分散型赤外線吸収法で連続的に測定しました(図1)。

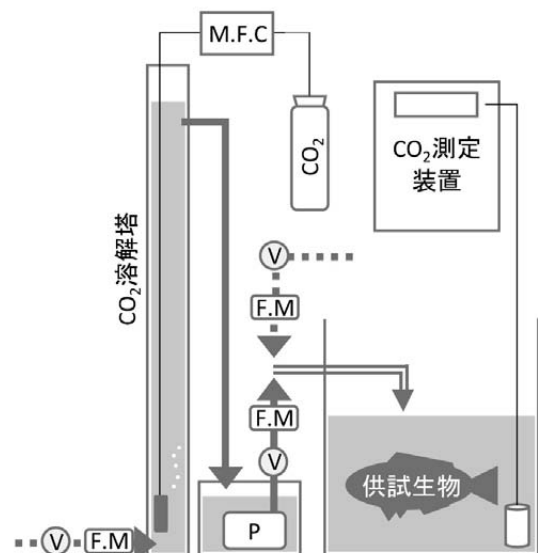


図1. 大型水槽用のCO<sub>2</sub>分圧の制御装置の概略図。点線：自然海水、実線：高濃度CO<sub>2</sub>海水、および2重線：CO<sub>2</sub>濃度調整海水。また、V：流量調整バルブ、F.M：流量計、P：水中ポンプ、M.F.C：マスフローコントローラーを示す。

## 3. 産卵試験

産卵試験は2012年7月、9月、10月の3回実施しました。供試材料は種苗生産魚および陸上水槽において1ヶ月以上飼育した天然魚とし、雄3尾、雌3尾を容量1t水槽に収容しました。CO<sub>2</sub>分圧は約500~600(現在のCO<sub>2</sub>分圧; 対照条件)、860(約100年後のCO<sub>2</sub>分圧<sup>2)</sup>)、1,500(約300年後のCO<sub>2</sub>分圧<sup>2)</sup>)、2,500および4,100 μatm(それ以降のCO<sub>2</sub>分圧)の5濃度段階に設定しました。水槽内に40W白熱灯1基を設置し、長日条件(15時間明期、9時間暗期)、産卵適水温(26℃)で飼育

しました。実験期間は4週間とし、期間中は毎日、実験水槽の側面に設置した集卵水槽において産卵の有無を確認しました。シロギス卵は分離浮性卵であり、産卵直後の卵は浮いているので容易に確認できます。卵が認められた場合、集卵器から全卵を回収して5Lの海水中で均一に分散させた後、50mLのサブサンプルを分取し、その中の沈下卵数(死卵)、浮上卵数および浮上卵の正常発生卵数を計測しました。これらの計数値より、産卵数(沈下卵数+浮上卵数)、浮上卵率(浮上卵数/産卵数×100)および浮上卵の正常発生率(浮上卵中の正常発生卵数/産卵数×100)を求めました。また、各実験水槽で産卵された受精卵を引き続き孵化まで曝露し孵化率を測定しました。

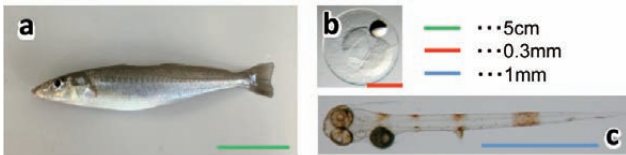


図2. 実験に用いたシロギス。a: 親魚, b: 受精卵, c: 孵化1日後の仔魚。

#### 4. 結果

3回の産卵実験において、対照、860、1,500、2,500および4,100  $\mu\text{atm}$ のいずれのCO<sub>2</sub>分圧でも産卵が観察されました。平均産卵数は17,974±6,987(対照区)、26,095±8,594(860  $\mu\text{atm}$ )、19,110±5,131(1,500  $\mu\text{atm}$ )、23,553±1,327(2,500  $\mu\text{atm}$ )、28,856±785(4,100  $\mu\text{atm}$ )であり、濃度区間で有意な差は認められませんでした。各濃度区における卵の浮上卵率は全て60%以上であり、それらの正常発生率、孵化率はともに90%以上と高く、各濃度区間で有意差は確認されませんでした(図3)。

以上の結果、産卵数、浮上卵率、卵の正常発生率および孵化率に酸性化の影響は認められなかったことから、シロギスの産卵過程は海洋酸性化に対して強い耐性を持つことが示唆されました。しかしクマノミでは、産卵数と仔魚の卵囊の大きさが酸性化の影響を受けることが報告されている<sup>4)</sup>ため、種によって酸性化に対する感受性が異なるものと推察されます。また、魚類

はCO<sub>2</sub>の直接影響として海洋酸性化のみならず温暖化の影響を受け得るため、今後、それらの同時進行を踏まえた温暖化と酸性化の複合影響評価が必要であると思われます。(本研究は、環境研究総合推進費A-1203の助成を受けて実施されました。)

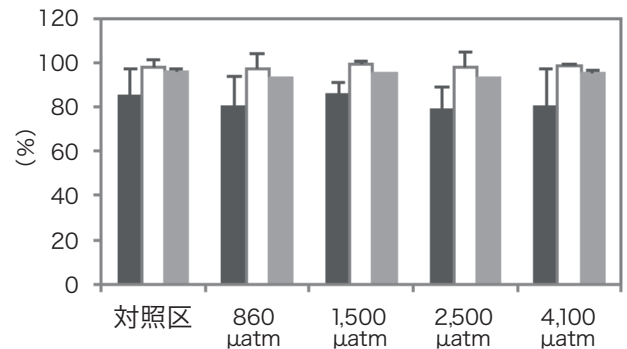


図3. 高CO<sub>2</sub>分圧下で産出されたシロギス卵の浮上卵率(■), 浮上卵の正常発生率(□)および孵化率(■)。棒グラフは3回の産卵実験の平均値、縦棒はその標準偏差を示す。(ANOVA  $p>0.05$ )。

#### 引用文献

- 1) 気候変動に関する政府間パネル (IPCC) (2013). 第5次評価報告書, 第一作業部会.
- 2) 諏訪僚太, 中村崇, 井口亮, 中村雅子, 守田昌哉, 加藤亜記, 藤田和彦, 井上麻夕里, 酒井一彦, 鈴木淳, 小池勲夫, 白山義久, 野尻幸宏 (2010). 海洋酸性化がサンゴ礁域の石灰化生物に及ぼす影響. 海の研究, 19(1), 21-40.
- 3) Ishimatsu, A., Hayashi, M., and Kikkawa, T. (2008). Fishes in high-CO<sub>2</sub>, acidified oceans. Mar. Ecol. Prog. Ser., 373, 295-302.
- 4) Miller G. M., Watson, S. A., McCormick, M. I. and Munday, P. L. (2013). Increased CO<sub>2</sub> stimulates reproduction in a coral reef fish. Global Change Biology, 19(10), 3037-3045.

(実証試験場 応用生態グループ 山本 雄三)