

## II. 気候変動による沿岸域の環境と生態系への影響

### II-3. 海生研における海洋酸性化研究

林 正裕

#### 1. はじめに

近年の気候変動に伴い、海生研では従来の温排水研究や海洋環境放射能調査などに加え、気候変動関連の研究に着手している。ここでは、海生研がこれまでに実施してきた海洋酸性化の研究概要を紹介する。海生研では、大きく分けて沿岸海域の実態調査と生物影響調査を実施している。

#### 2. 沿岸海域の実態調査

外洋海域においては、海洋酸性化の観測を世界各国で実施しており、日本でも気象庁が30年以上に渡って北西太平洋の表面海水中のpHを長期観測している(気象庁, 2018)。それによると、観測点の表面海水中のpHは、10年あたり約0.02低下しており、海洋酸性化の進行が明確に観測されている。

一方、沿岸海域においては、pHの長期観測例が乏しく、海洋酸性化の実態が把握されていない。海生研では、取水している海水のモニタリングを毎日実施しており(中央研究所では1982年から、実証試験場では1992年から継続している)、沿岸海域の長期の水質データが記録されている。そこで、これらのデータが沿岸海域における海洋酸性化の実態把握に適用できるのではないかと考えて、データを解析した。その結果、解析途中ではあるが、沿岸海域でも海洋酸性化が進行している可能性が示された。

#### 3. 生物影響調査

海洋酸性化は、海洋生物や海洋生態系に対して様々な影響を及ぼすことが懸念される。海洋酸性化がもたらす生物影響については、大きく分けて石灰化への影響と代謝への影響の二つが考えられる。石灰化への影響については、前項で原田氏が詳しく説明しているので、ここでは割愛し、生物の代謝への影響について説明する。

水生動物(水呼吸をする動物)では、環境と体内のCO<sub>2</sub>分圧差が、陸上動物(空気呼吸をする動物)と比べて小さくなっている(水や空気のCO<sub>2</sub>分圧は約380 μ atm, 水生動物の体液のCO<sub>2</sub>分圧は1,300–5,300 μ atm, 陸上動物の体液のCO<sub>2</sub>分圧は20,000–53,000 μ atm)。このため、水生動物では、環境のCO<sub>2</sub>分圧の上昇により環境水と体液間におけるCO<sub>2</sub>分圧勾配が、陸上動物に比べて逆転し易

く、環境水中からCO<sub>2</sub>が体内に拡散するようになる。生物の体内では、代謝によってCO<sub>2</sub>は絶えず産生されているため、体内でのCO<sub>2</sub>産生と環境水へのCO<sub>2</sub>排出が新たな平衡に達するまで体液のCO<sub>2</sub>分圧は上昇を続ける。体内でのCO<sub>2</sub>分圧の上昇は、海水と同様に体液を酸性化させ、アシドーシス(acidosis)と呼ばれる体内環境異常を引き起こす。

海洋酸性化の生物影響について、IPCC(気候変動に関する政府間パネル)の報告書(AR5: IPCC, 2014)で既往知見がまとめられ、生物群別の影響について分析された(Wittmann and Pörtner, 2013)。その分析によると、海洋酸性化に対して石灰化生物が一般的に脆弱であり、中でも軟体動物、棘皮動物および造礁サンゴ類は酸性化に対して比較的感受性が高く、甲殻類の感受性は低いとされている。また、初期生活期における脆弱性が高い例がある。

海生研においても海洋酸性化の生物影響調査に着手したが、既往知見を調べると水産有用種の知見が乏しいことから、日本で重要な水産有用種への影響を中心に調査を開始した。

#### 1) 魚類に対する調査

現在、海洋酸性化の魚類への影響評価は、熱帯性小型魚類の行動を対象とした研究に偏っており、実験例不足で中長期的な影響が不明とされている(Wittmann and Pörtner, 2013)。また、繁殖や成長への影響といった慢性的影響については未だ知見が乏しく、その充実が望まれている。そこで、我々は魚類の繁殖に対する海洋酸性化影響を明らかにすることを目的として、シロギス*Sillago japonica*及びマダイ*Pagrus major*を用いた繁殖試験を行った。

シロギスを、対照海水(CO<sub>2</sub>分圧が約530 μ atm)から最高でCO<sub>2</sub>分圧を4,100 μ atm(≒pH 7.1)まで上昇させた試験海水中で繁殖させた結果、最高の4,100 μ atmでも産卵が確認され、産卵回数や産卵数に対してCO<sub>2</sub>分圧の変化による有意な違いは認められなかった。また、産卵で得られた受精卵の正常発生率及び孵化率は、ともに90%以上と高く、CO<sub>2</sub>分圧の変化による有意な差は確認されなかった。一方、マダイでも同様の繁殖試験を行った結果、2,000 μ atm(≒pH 7.5)で孵化率の有意な低下が認められたことから、酸性化に対する感受性はシロギスに比べてマダイの方が高いことが推察された。このことから、種によって酸性化に対する感受性が変わることが示唆された。

次に、魚種の繁殖に及ぼす酸性化と温暖化の複

合影響を調べた。酸性化単一影響の試験と同様に試験海水のCO<sub>2</sub>分圧を上昇させるとともに、それぞれのCO<sub>2</sub>分圧に対し水温26℃と28℃の試験区を設けた。その結果、2,000 μ atmの28℃試験区において、シロギスの産卵は影響を受けなかったが、受精卵の正常発生率は有意に低下した。このことから、シロギスの繁殖は、酸性化単一では影響が出ないレベルであっても、水温上昇が加わると影響を受けることが分かった。現在、マダイの繁殖についても同様の複合影響試験を実施しているが、マダイでも複合影響を被る傾向が示されている。

## 2) 石灰化生物に対する調査

海洋酸性化の貝類への影響に関する既往知見は充実しているが、卵期や幼生期といった初期生活史段階への影響を扱った研究例が大部分を占める。また、地球規模で考えた場合に酸性化によって石灰化生物に与える影響がより早い時期に生じると考えられているのが高緯度海域であるが(Orr *et al.*, 2005), 貝類に限らず、冷水域に生息する生物に対しての知見はまだ不足している。そこで、我々は冷水域にも生息する水産有用種であるウバガイ *Pseudocardium sachalinense* (別名:ホッキガイ) 稚貝とバイ *Babylonia japonica* 成体の成長に対する酸性化影響を調査した。

ウバガイ稚貝(当歳貝)の試験では、試験海水を対照海水(CO<sub>2</sub>分圧が約400 μ atm)から最高でCO<sub>2</sub>分圧を1,200 μ atm (≒pH 7.7)まで上昇させ、20週間の成長を調査した。その結果、ウバガイ稚貝の重量、殻長、殻高、殻幅、殻重量及び軟体部重量に有意な変化は認められなかった。しかし、CO<sub>2</sub>分圧800 μ atm以上において、試験期間中に成長した殻の厚さが薄くなった。また、バイの80日間の試験の結果、CO<sub>2</sub>分圧が5,700 μ atm以上で殻皮の維持に影響を及ぼすことが確認された(Kita *et al.*, 2013)。

貝類において、殻の形成が不完全になると、物理的な衝撃や捕食に対する耐性が低下するため、自然界では生存が危ぶまれ、資源量の減少に繋がる可能性がある。また、海生研では国立研究開発法人産業技術総合研究所と共同で、海洋酸性化のサンゴ類への影響に関する研究を進めており、酸性化はサンゴ類の成長に対して負の影響を及ぼしていることが確認されている。

## 4. 種苗生産現場での対策例

海生研では、供試生物の健全性を担保するため、多くの生物を独自に種苗生産して試験に供してい

るが、近年、シロギスの種苗生産において仔魚の生残率が低下する事例がしばしば生じた。その原因については、現在調査中ではあるが、生残率が低かった時において、仔魚養成水槽への供給水のpHが通常よりも低い場合があった。そこで、低pH緩和水槽(泡沫分離による有機物除去や強曝気によるCO<sub>2</sub>除去を用いてpHを上昇させる)を設けて、そこから仔魚養成水槽へ海水を供給したところ、仔魚の生残率の低下を防ぐことができた。このことは、海洋酸性化が種苗生産に影響を及ぼす可能性を示唆しており、早急な実態解明を行い、海洋酸性化が原因であるならば更なる対策の検討が必要である。

## 5. おわりに

日本の沿岸海域における海洋酸性化の実態を正確に把握するためには、海生研の調査だけでは当然不十分である。今後は、全国規模で高精度の観測が必要である。また、海洋酸性化の生物影響に関しては、我々の調査でもその必要性が示されたように、今後は複合影響や慢性影響の調査が重要になってくる。しかし、これらの調査は、技術的に困難な部分も多く、まずは調査手法の確立が急務である。

## 引用文献

- IPCC (2014). Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (eds. Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Meyer, L.A.). IPCC, Geneva, Switzerland, 1-151.
- 気象庁 (2018). 表面海水中のpHの長期変化傾向(北西太平洋). <http://www.data.jma.go.jp/kaiyou/shindan/a.3/pHtrend/pH-trend.html> (2018年7月2日アクセス)
- Kita, J., Kikkawa, T., Asai, T. and Ishimatsu, A. (2013). Effects of elevated pCO<sub>2</sub> on reproductive properties of the benthic copepod *Tigriopus japonicus* and gastropod *Babylonia japonica*. *Mar. Pollut. Bull.*, **73**, 402-408.
- Orr, J.C., Fabry, V.J., Aumont, O., Bopp, L., Doney, S.C., Feely, R.A., Gnanadesikan, A., Gruber, N., Ishida, A., Joos, F., Key, R.M., Lindsay, K., Maier-Reimer, E., Matear, R., Monfray, P., Mouchet, A., Najjar, R.G., Plattner, G.-K., Rodgers, K.B., Sabine, C.L.,

Sarmiento, J.L., Schlitzer, R., Slater, R.D., Totterdell, I.J., Weirig, M.-F., Yamanaka, Y. and Yool, A. (2005). Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature*, **437**,

681-686.

Wittmann, A.C. and Pörtner H.O. (2013). Sensitivities of extant animal taxa to ocean acidification. *Nat. Clim. Change*, **3**, 995-1001.