

$p\text{CO}_2$ データベースに基づく沖縄本島周辺の海洋酸性化現状把握と将来予測

An evaluation of current and future ocean acidification based on $p\text{CO}_2$ database around Okinawa Island

*小杉 如央¹、辻野 博之¹、石井 雅男¹

*Naohiro Kosugi¹, Hiroyuki Tsujino¹, Masao Ishii¹

1. 気象研究所

1. Meteorological Research Institute

【緒言】

海洋酸性化は大気中へ排出された人為起源 CO_2 が海水に溶け込むことで起こり、気候変動と並ぶもうひとつの CO_2 問題とされている。海水に CO_2 が溶けるとpHが低下し、化学平衡の移動によって炭酸イオン濃度が低下する。海洋生物の中には炭酸カルシウムを殻や骨格などの硬組織の主成分とするものがある。炭酸イオンは炭酸カルシウムの原料であるため、これらの生物の成長は海洋酸性化によって阻害されることが懸念される。

熱帯域でサンゴ礁を形成する造礁サンゴは炭酸カルシウムの一種であるアラゴナイトを主成分とした骨格を持つため海洋酸性化に対して脆弱であると考えられている。サンゴ礁は多くの生物にとって産卵・養育・生息の重要な拠点であり、貧栄養の熱帯域における生物多様性を支えている。従って海洋酸性化が及ぼす影響はサンゴ礁のみに留まらず、熱帯域の生態系全般に及ぶ可能性がある。

沖縄周辺には多くのサンゴ礁が存在し、多くの恩恵を当地にもたらしている。その景観は重要な観光資源である上に、サンゴ礁の生物多様性は漁業を支えており、経済への貢献は計り知れない。地理的に見ると沖縄周辺のサンゴ礁は高緯度域に位置しており、冬季の水温低下が大きい。

本研究では海洋表層の二酸化炭素分圧($p\text{CO}_2$)のデータベースを使い、1980年代から現在に至るまでの沖縄周辺における海洋酸性化の進行を評価する。また、その結果をもとに将来の大気中二酸化炭素濃度変動に対する酸性化を予測する。 CO_2 排出シナリオを用いた日本全体から全球規模での海洋酸性化予測やサンゴ礁への影響評価は既に行われているが、本研究では沖縄周辺で測定された $p\text{CO}_2$ のデータベースを利用することによって当該海域の $p\text{CO}_2$ の季節変動をより正確に再現し、より精度の高い将来予測を目指す。

【手法】

Surface Ocean CO_2 Atlas (SOCAT)データベースから、沖縄周辺(北緯24-30度、東経123-130度)の水温(SST)、塩分(SSS)、 $p\text{CO}_2$ データを抽出した。また、塩分と全アルカリ度(TA)の関係式を作成するために、気象庁が2010-2017年に同海域で行った海洋観測の結果を利用した。この関係式を使用してSOCATの塩分データからTAを推定し、 $p\text{CO}_2$ や水温と組み合わせて CO_2 SYSプログラムでアラゴナイト飽和度(Ω_A)、pH、全炭酸濃度を計算した。

【結果】

SOCATデータベースから抽出した1982-2016年の $p\text{CO}_2$ は長期的な増加傾向を示した(図a)。また、 $p\text{CO}_2$ は水温と強く連動しており、冬季に低く夏季に高い亜熱帯域に特徴的な傾向を示した。 $p\text{CO}_2$ の変動を年々・季節変動と長期変動に分けるため、Ishii et al. [2011]の方法を使用したところ長期変動成分は $+1.49 \pm 0.26 \mu\text{atm}$ (平均と95%信頼区間)であり、同期間のハワイ・マウナロアにおける CO_2 濃度から求めた大気中 $p\text{CO}_2$ の増加速度 $+1.73 \pm 0.04 \mu\text{atm}/\text{年}$ と近くなった。

TAは基本的に塩分と比例関係にあったが、東シナ海の陸棚に近い海域ではこの関係式からずれるものがあった。これは長江の河川水起源のTAの影響とみられる。TAの推定には $\text{TA} = 2297.1 / 35 * \text{SSS}$ の式を採用したが、6-9月・北緯26度以北・ $\text{SSS} < 34.2$ の海水にのみ河川水の影響を考慮した $\text{TA} = 1347 + 897.6 / 34.2 * \text{SSS}$ の式を用いた。

TAと $p\text{CO}_2$ から計算した Ω_A について、 $p\text{CO}_2$ と同様の方法で長期変化傾向を求めたところ、 -0.0102 ± 0.0018 /年の低下傾向を示した。サンゴ礁の生息域は季節的に Ω_A が3.0を下回らない海域と一致するという報告結果[Kleympas et al., 1999]があるが、現状では沖縄本島付近(冬季のSST $>21^\circ\text{C}$)の Ω_A は一年を通じて3.0以上に保たれていた(図b)。

【将来予測】

現在の気候海洋間の二酸化炭素分圧差(大気-海洋; $\Delta p\text{CO}_2$) が将来にわたり長期的に変化しないと仮定すると、大気中 $p\text{CO}_2$ 予測に沿った海洋の $p\text{CO}_2$ や Ω_A の変動を推定できる。SOCATデータベースから過去の $\Delta p\text{CO}_2$ を平均して月別の $\Delta p\text{CO}_2$ 気候値を作成した。2100年までの大気 $p\text{CO}_2$ は代表濃度経路シナリオ(RCP)に対応する濃度[Meinshausen et al., 2011]から計算した。SST・SSSは北西太平洋海洋長期再解析データセット(FORA-WNP30)の1982-2014年の月別気候値を用いた。

RCP2.6シナリオでは予測期間を通じ Ω_A は3.0以上を保っていた。しかし、RCP8.5シナリオでは2030年頃に沖縄本島北部沿岸で季節的に Ω_A が3.0未満になり、2060年頃に年間を通じて Ω_A が3.0未満になるという結果が得られた(図c)。現状の CO_2 濃度増加が続いた場合、沖縄周辺のサンゴ礁は近い将来酸性化による深刻な影響を受けるが、排出削減次第ではサンゴ礁にとって適した環境を保つことができる可能性がある。

【図キャプション】

(a) SOCATデータベースによる沖縄周辺の海面 $p\text{CO}_2$ 時系列、点は個別の $p\text{CO}_2$ データで色は水温を示す。黒線は水温・塩分の変動を除去した長期変化成分のみの回帰直線。

(b) SOCATデータベースを使って計算した沖縄周辺の海面アラゴナイト飽和度(Ω_A)、色は水温を示す。黒線は水温・塩分の変動を除去した長期変化成分のみの回帰直線。

(c) RCP2.6シナリオとRCP8.5シナリオに基づいた沖縄本島北部沿岸(北緯26.8度、東経128.1度)における Ω_A の予測値(2015-2100年)。

キーワード：海洋酸性化、サンゴ礁、SOCATデータベース、将来予測

Keywords: ocean acidification, coral reef, SOCAT database, Future prediction

