

海洋のCO₂増加と酸性化

—西部北太平洋の熱帯・亜熱帯域における実態—

○石井雅男、笹野大輔、小杉如央(海洋・地球化学研究部)、緑川 貴(東京管区気象台)
高谷祐介、飯田洋介、小嶋 淳、延与和敬、中野俊也(気象庁地球環境・海洋部)

1. はじめに

化石燃料の燃焼や森林破壊によって人為的に排出された二酸化炭素(CO₂)のうち、およそ25%は海洋に吸収されていると推定されています(Le Quéré et al., 2013)。海洋は、多くのCO₂を吸収することで大気中のCO₂濃度の上昇を抑え、地球温暖化の進行を遅らせているのです。しかし、CO₂は海水に溶けると「炭酸」として振る舞います。そのため、海水に溶けたCO₂は、弱アルカリ性の海水を中和する方向に「酸性化」し、サンゴ、貝、有孔虫、円石藻など、さまざまな海の生物が持つ炭酸カルシウムの骨格や殻を溶けやすくして、その生育・繁殖や生態系を脅かしています。

日本列島の南部や、そのさらに南に広がる北太平洋西部亜熱帯域と熱帯域の島々には、生物多様性の宝庫のサンゴ礁が多く分布しています。特にフィリピン、インドネシア、パプアニューギニアにかけての海域は、“Coral Triangle”と呼ばれています。これらの国々の沿岸では、世界のサンゴのうち76%の種が見つかっており、2200種以上もの魚類がいて、何億人もの人々がその水産資源に依存して暮らしています。しかし、その豊かな生態系は、すでに開発や乱獲、そして温暖化による白化現象の打撃を受けており、今後数十年の間には、酸性化の影響も広域で顕われてくと危惧されています。

私たちは、海洋のCO₂測定技術を発展させながら、観測を展開し、大気と海洋の間のCO₂の出入りや、海洋のCO₂増加・酸性化と自然変動の動向を把握し、そのメカニズムを解明してきました。それらの成果は、気象庁「海洋の健康診断表」*や報道を通じて発表するとともに、多くの学術論文誌や「気候変動に関する政府間パネル(IPCC)」の評価報告書にも掲載され、地球環境の科学的理解の増進や、温室効果ガスの排出抑制に向けた国際的な政策決定に役立っています。

(*海洋の健康診断表: <http://www.data.kishou.go.jp/shindan/>)

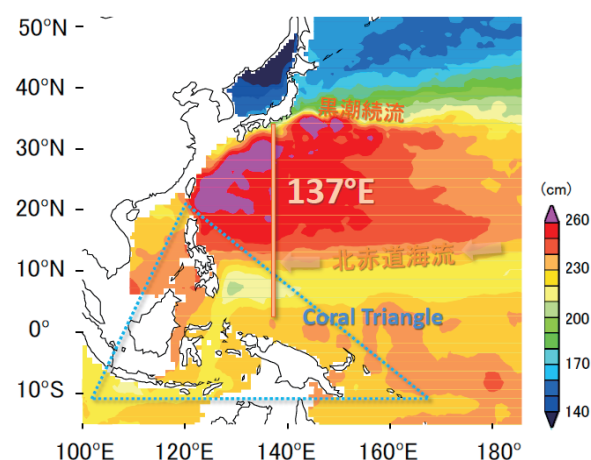
2. 西部北太平洋における海洋CO₂変化

2. 1. 東経137度における観測

海洋のCO₂変化とその原因を理解するためには、海水中のCO₂分圧(海水と気液平衡にある空気中のCO₂分圧で、海水のCO₂飽和度の指標となる)、全炭酸濃度(海水に溶けている炭酸物質の総濃度)、全アルカリ度(海水に溶けている強ア

ルカリ性物質の総濃度)、pH(水素イオン濃度指数:7が中性で、値が小さいほど酸性)、Ω(炭酸カルシウム飽和度、値が小さいほど炭酸カルシウムが溶けやすい)を、海洋の表面水やさまざまな水深で測定する必要があります。

気象庁は観測船「凌風丸」と「啓風丸」により、東経137度で海洋の定期観測を実施しています(第1図)。この観測線は、本州南岸からインドネシア沖まで、西部北太平洋の亜熱帯域と熱帯域を南北に横切り、世界でも数少ない重要な海洋の時系列データを提供しています。ここでは研究観測として1983年にCO₂分圧の観測を、また1994年に全炭酸濃度の観測を開始し、順次、業務化してきました。2000年代にはpHや全アルカリ度の測定も開始しており、これらの観測データや計算値から、海洋CO₂変化の実態を明らかにしています。

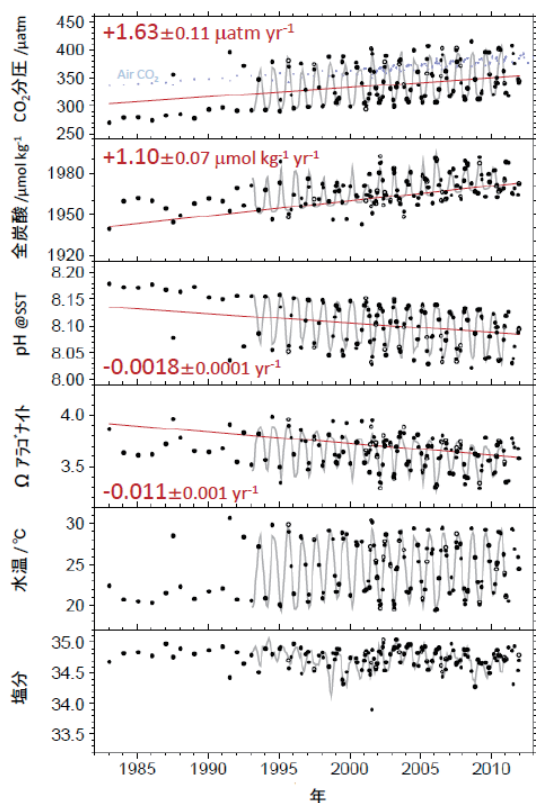


第1図: 東経137度線。背景色は海洋循環場を反映する海面力学高度を表し、赤色部分が亜熱帯循環域に相当する。

2. 2. 北緯27度の表面水におけるCO₂変化

観測結果の例として、沖縄諸島や小笠原諸島が位置する北緯27度の海洋CO₂変化を第2図に示します。

海洋表面水のCO₂分圧は、夏に高く、冬に低い大きな季節変化と年々変化を繰り返しながら、大気CO₂濃度の増加速度とほぼ等しい $+1.63 \pm 0.11 \mu\text{atm yr}^{-1}$ の平均速度で増加しています。海水中の全炭酸濃度も増加しており、CO₂分圧の増加傾向が海洋へのCO₂蓄積に起因していることが分かりました。これに伴って、pHやΩも長期に低下する傾向が見られます。



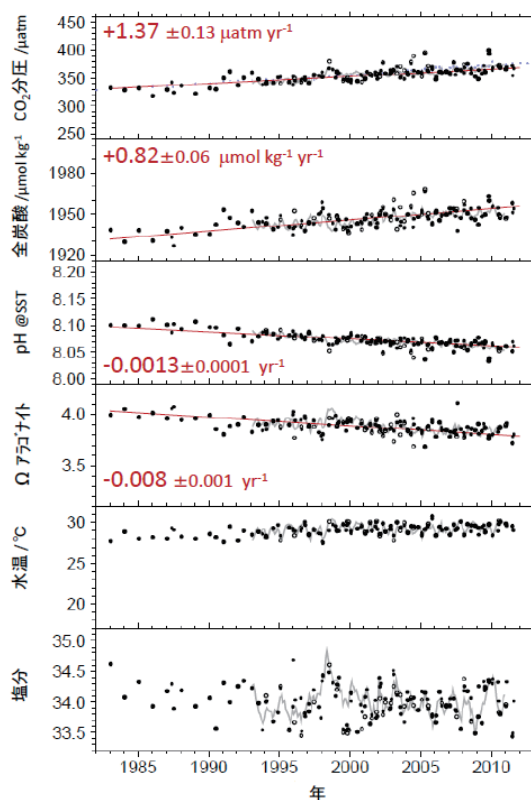
第2図 海洋表面水のCO₂変化(東経137度・北緯27度)

CO₂分圧の季節変化は、水温の変化によるCO₂溶解度の変化と、光合成や鉛直混合による全炭酸濃度の変化によって引き起こされています。これらの変化は、pHやΩの季節変化の原因にもなっており、東経137度やハワイ近海の亜熱帯海域で広く観測されています(Keeling et al., 2010)。しかし、これらの海域では、生態系を支える植物プランクトンの生産に不可欠な硝酸塩やリン酸塩といった栄養塩が、いつも枯渇しています。亜熱帯海域はCO₂の強い吸収域ですが、その要因に表層水の全炭酸濃度が低いことが挙げられます。しかし、植物プランクトンがどのように栄養塩を調達して生産し、全炭酸濃度を下げているのか、まだ解明できていません。

2. 3. 北緯7度の表面水におけるCO₂変動

もうひとつの観測例として、ミクロネシアの島々が分布する北緯7度の海洋CO₂変化を第3図に示します。

熱帯域では、亜熱帯域のような季節変化は見られません。そのため、CO₂分圧と全炭酸濃度の増加傾向や、pHとΩの減少傾向が、はっきりと分かります。この海域のCO₂分圧の増加速度は $+1.37 \pm 0.13 \mu\text{atm yr}^{-1}$ で、大気中のCO₂濃度の増加速度に比べて、やや低くなっています。全炭酸濃度の増加速度やpHやΩの減少速度も、亜熱帯域に比べると低くなっています。また、これらの変化速度は、10年ほどの時間スケールで変化しています。



第3図 海洋表面水のCO₂変化(東経137度・北緯7度)

3. おわりに

2. 3に示した海洋CO₂の長期変化には、大気中のCO₂濃度の増加に加えて、海洋循環の変化も関与していると考えられます。私たちはまた、海洋の内部でもCO₂増加と海洋酸性化が進行していることや、本州東方の黒潮続流域が大気から海洋の内部にCO₂を送り込む海域として重要なこと、海洋循環の変化によって海洋内部で酸素濃度の低下が起きており、これがより多くのCO₂を海中に溜め込ませることで、海洋酸性化を加速させていること、なども明らかにしました。

私たちは今、東京大学、筑波大学、国立極地研究所、海洋研究開発機構など、多くの大学や研究機関と協力して、太平洋の赤道域、南大洋、北極海でも、海洋のCO₂変化と酸性化の動向やメカニズムを調査しています。今後も測定方法の高度化やデータ品質の向上に努め、自動観測装置を導入しながら、海洋の炭素循環と物理循環の変化はもちろん、台風通過などの極端現象の影響も考慮しつつ、海洋のCO₂変化と酸性化に関する調査・研究を多面的に展開してゆきます。

参考文献

- Le Quéré, C., et al., 2013: Global carbon budget 2013. Earth Syst. Sci. Data Discuss., 6, 689-760.
- Keeling, C. D., et al., 2004: Seasonal and long-term dynamics of the upper ocean carbon cycle at Station ALOHA near Hawaii. Global Biogeochem. Cycles, 18, GB4006.