

# 海洋における炭素循環の変動に関する観測的研究 II

○緑川 貴（地球化学研究部）

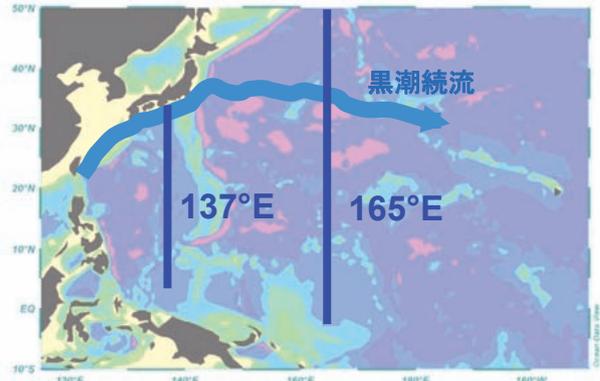
## 1. はじめに

海洋は、地球表層における二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）の重要なリザーバーの一つである。化石燃料の消費によって排出された人為起源のCO<sub>2</sub>についても、海洋は長期的に吸収し続けており、大気中CO<sub>2</sub>濃度の増加を緩和する重要な役割を担っている。海洋が今後も人為起源のCO<sub>2</sub>を吸収し続けるのか、その吸収量がどう変化していくのが、地球温暖化の予測精度を向上させる観点から注目されている。

大気から吸収されたCO<sub>2</sub>は、海洋内部で生物活動により有機物に換えられたり、水の移動と共に下層に輸送されるなど、様々な海洋過程の作用を受ける。そして、海洋内部に運ばれたCO<sub>2</sub>は、主に弱酸の性質を持つ炭酸の形で蓄積される。このため、炭酸としての蓄積量が増加するにつれて、海水を酸性化したり、溶存するイオン種の割合を変えるなどの変化を起こす。その結果、大気-海洋間のCO<sub>2</sub>のやり取りや生物によって摂取される程度も変化すると考えられているが、これらの変化が実際にどの程度起きるのかについてはまだよくわかっていない。

さらに、近年、地球温暖化やエルニーニョ現象等の気候変動に関連して海洋内部における海洋循環や生態系の変化を指摘する報告が相次ぎ、これに伴う海洋炭素循環の変化やその大気中CO<sub>2</sub>濃度への影響が懸念されている。海洋によるCO<sub>2</sub>吸収量の動向を予測するためには、気候変動に伴って海洋内部の炭素循環系に何が起きているのか等、その変動の実態とメカニズムを定量的に解明する必要がある。

気象研究所地球化学研究部と気象庁地球環境・海洋部は、地球温暖化が社会に広く認識される以前の1960年代から、観測手法の開発と改良を進めながら、大気と海洋におけるCO<sub>2</sub>の調査を続けてきた(第1図)。平成16年度からは3年計画で融合型経常研究「海洋における炭素循環の変動に関する観測的研究」を実施し、北太平洋の表層と内部における炭酸系および関連物質の変動プロセスの解明に取り組んできた。平成19年度から本研究をさらに2年間延長して、海洋表層の炭酸系変化の実態解明を目指した。本発表では、5年間の研究から明らかになった、北太平洋西部海域における海洋炭素循環変動の実態について報告する。

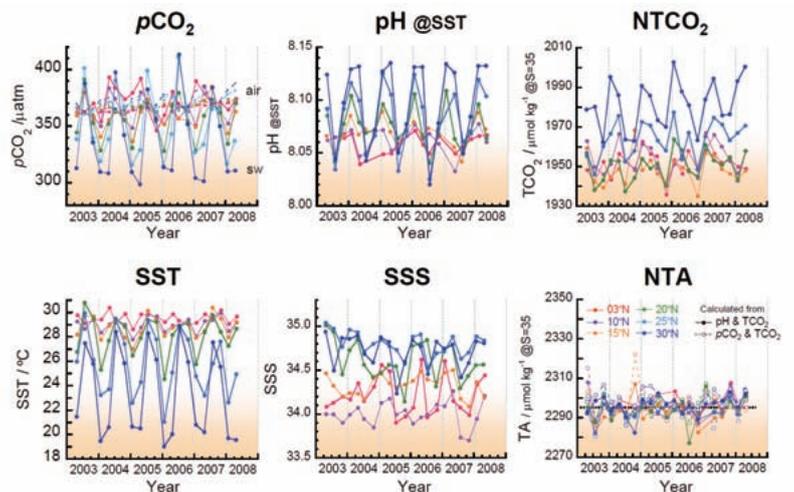


第1図 時系列観測の海域。

## 2. 成果の概要

### 2. 1. 海洋表層の季節変動

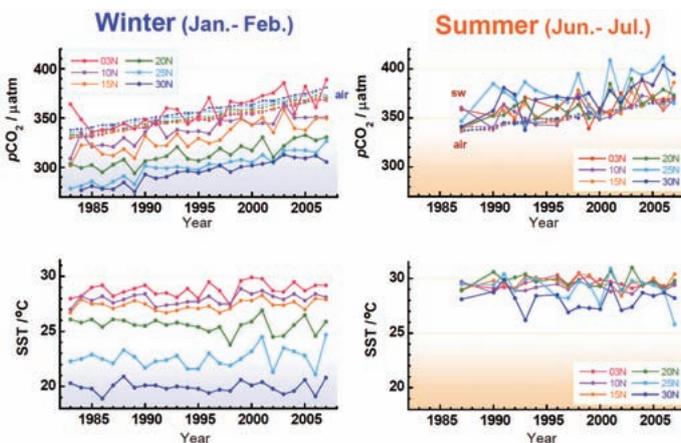
北太平洋西部の東経137度(第1図)で取得した年4回の時系列観測データから、日本の南岸から赤道付近にわたる広い海域における炭酸系の季節変動を捉えることができた(第2図)。特に、北緯20度以北の亜熱帯域北部の表層において、全炭酸(NTCO<sub>2</sub>)濃度やpH(水素イオン濃度指数)などが明確な季節変動を示した。これらの変動は、海面CO<sub>2</sub>分圧の季節変動の要因であり、大気-海洋間のCO<sub>2</sub>フラックスに影響を及ぼしていると考えられる。冬季の全炭酸濃度やpHは表層水温と相関があり、鉛直混合の度合いがこれらの変動に影響していることがわかった。一方、夏季の全炭酸濃度の低下とpHの上昇は生物活動によるCO<sub>2</sub>固定に起因し、窒素固定によるCO<sub>2</sub>消費が起きていることが確認できた。



第2図 東経137度の各緯度における海面CO<sub>2</sub>分圧(pCO<sub>2</sub>)、pH、全炭酸濃度(NTCO<sub>2</sub>)、水温(SST)、塩分(SSS)及び全アルカリ度(NTA)の変動

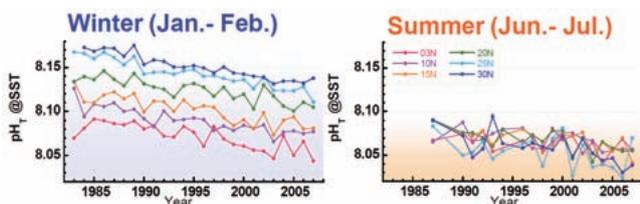
## 2. 2. 海洋表層の長期的変化傾向

20年以上にわたる東経137度での海洋CO<sub>2</sub>観測データから、夏季・冬季とも、海面水温には長期的に顕著な変化傾向は見られないが、大気中CO<sub>2</sub>分圧の増加 (1.54~1.65 μatm yr<sup>-1</sup>) に追従して、海水中CO<sub>2</sub>分圧が長期的に増加していることがわかった(第3図)。海水中CO<sub>2</sub>分圧の年平均増加率は、冬季に 1.6 ± 0.1 μatm yr<sup>-1</sup>、夏季に 1.4 ± 0.3 μatm yr<sup>-1</sup>で、冬季より夏季の変動性が大きく、緯度による違いは小さい。全炭酸濃度の高精度観測は1990年代半ばから実施しているが、1.1 ± 0.4 ~ 2.1 ± 0.6 μmol kg<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> の長期的な増加傾向が見られた。これらの変化傾向の主要因は、人為起源CO<sub>2</sub>の大気からの吸収であると考えられた。



第3図 東経137度の各緯度における海面CO<sub>2</sub>分圧(pCO<sub>2</sub>)および水温(SST)の経年変動。左側が冬季、右側が夏季における結果。

これらの観測データの解析から、pH データが取得されていない期間の pH の推定を行った。pH は、北から南に向かって低下する南北勾配を持った分布となっている。長期的には、夏季・冬季とも、すべての緯度において主に全炭酸濃度の増加により有意な減少傾向を示した。その平均変化率は、夏季 (-0.0019 ~ -0.0008 yr<sup>-1</sup>; 平均, -0.0013 ± 0.0003 yr<sup>-1</sup>) に比べて冬季 (-0.0021 ~ -0.0015 yr<sup>-1</sup>; 平均, -0.0018 ± 0.0002 yr<sup>-1</sup>) に大きめの低下傾向を示した(図4)。その原因は、水温の変化傾向の違いによると考えられた。冬季の亜熱帯南部では、有意ではないものの水温の上昇傾向が相対的に大きく、このために pH の低下傾向を13~44%加速させたとい

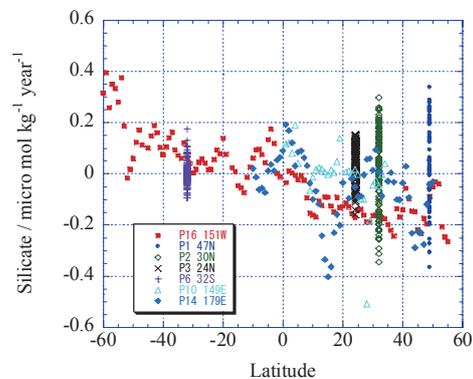


第4図 東経137度の各緯度で見積った pH の経年変動。左側が冬季、右側が夏季の観測結果。

積られた。一方、夏季には、水温の低下傾向が pH の低下傾向を減速させた海域も見られた。

## 2. 3. 海盆規模での物質循環の変動

1980年代および1990年代の航海と2000年代の航海で取得された栄養塩データについて、航海間の補正を行って太平洋全体の整合性を取り、各年代間の比較を行った。太平洋深層水(水深約3,000~5,000 m)中の栄養塩は、濃度の低い南太平洋(深層における流れの上流側)で濃度が高くなり、濃度の高い北太平洋(深層水の下流側)で濃度が低くなる傾向が検出された。8~20年の期間におけるケイ酸塩の年平均変化率は、南北高緯度側で大きかった(第5図)。こうした栄養塩濃度の南北勾配の低下から、長期的に南極海から北太平洋への栄養塩の輸送量が低下している可能性が示唆された。



第5図 太平洋の各緯度・経度線上の深層水(ポテンシャル水温 1.0~1.2°C)における1990年代(P03, 24°Nのみ1980年代)から2000年代にかけてのケイ酸塩の年平均変化率の緯度分布(負の緯度は、南半球を示す)。

## 3. まとめ

本研究では、標準物質の整備や測定手法の高精度化により取得した高品質時系列データから、海洋炭酸系の変動を検出すると共に、溶存酸素や栄養塩等の関連物質の変動と併せた解析から、変動要因について研究を進めることができた。大気中CO<sub>2</sub>濃度の増加や地球温暖化等の気候変動に起因した海洋炭酸系の変化を正確に把握するためには、一層の測定手法の高度化を進めるとともに、時系列観測データを蓄積し、季節変動およびその年々変動などの短期的な変動の要因を十分に解析して、長期的な変化傾向を抽出する手法の開発を進める必要がある。

\*本研究は、融合型経常研究「海洋における炭素循環の変動に関する観測的研究 II (H19-20)」として行われた。主任研究者: 緑川 貴、研究分担者: 石井雅男、青山道夫、斉藤秀、時枝隆之、笹野大輔、廣瀬勝己、松枝秀和