

平成 31 年 3 月 15 日
気象庁気象研究所
国立研究開発法人海洋研究開発機構

人為的に排出された二酸化炭素の31%を吸収し続ける海 ～観測船による精密な国際共同観測によって明らかに～

気象庁気象研究所や海洋研究開発機構など世界17機関の国際共同研究チームは、観測船による精密な国際共同観測によって得られたデータを用いて、1994年から2007年までの13年間に、海が吸収した二酸化炭素の総量を評価しました。その結果、海は、人類が産業活動によって排出している二酸化炭素のおよそ31%を吸収し、大気中の二酸化炭素濃度の上昇を弱めていることが分かりました。

海は、地球温暖化の原因となる二酸化炭素を吸収して海中に蓄えることで、温暖化の進行を抑制していることから、その吸収の実態や変化を把握し、温暖化の将来予測に活かすことがとても重要です。二酸化炭素などの海洋観測の技術と、広大な海を網羅する国際的な観測の連携は、1990年代に飛躍的に発展し、観測船による海洋観測によって、海面から海底付近まで海中の二酸化炭素を含む様々なデータを正確に取得できるようになりました。

今回、気象庁気象研究所と海洋研究開発機構は、世界の17の海洋調査・研究機関との共同研究により、1990年代の海水中の二酸化炭素の観測データと、最近の国際共同観測「GO-SHIP」の観測データを比較しました。その結果、1994年から2007年までの13年間に、海は炭素に換算しておよそ340億トンもの二酸化炭素を大気中から吸収しており、そのおよそ1/6は北太平洋に蓄積していることが分かりました。

このことは、同じ期間に石油・石炭の燃焼や森林破壊などによって排出された二酸化炭素のおよそ31%を海が吸収し、大気中の二酸化炭素の増加を抑制していたことを示しています。また、海の二酸化炭素吸収が、海の内部でも海水の酸性化を引き起こしていることや、北大西洋や南極海などでは、気候変化による海水循環の変化によって、二酸化炭素の吸収量が大きく変化していることも分かりました。

得られた新しい知見（別紙参照）は、地球温暖化予測の不確かさを低減し、海の酸性化による生態系への影響や、気候変動の影響といった地球規模の課題解決に貢献することが期待されます。

この研究成果は、3月15日発行の科学誌「Science」に掲載されました。

気象庁気象研究所と海洋研究開発機構は、今後も、二酸化炭素や海水の循環に係る精密な国際共同観測に貢献していきます。

< 発表論文 >

掲載誌：Science

タイトル：The oceanic sink for anthropogenic CO₂ from 1994 to 2007

著者名：Nicolas Gruber^{1*}, Dominic Clement¹, Brendan R. Carter^{2,3},
Richard A. Feely², Steven van Heuven⁴, Mario Hoppema⁵, 石井 雅男⁶,
Robert M. Key⁷, Alex Kozyr⁸, Siv K. Lauvset^{9,10}, Claire Lo Monaco¹¹,
Jeremy T. Mathis¹², 村田 昌彦¹³, Are Olsen¹⁰, Fiz F. Perez¹⁴,
Christopher L. Sabine¹⁵, Toste Tanhua¹⁶, Rik Wanninkhof¹⁷

所 属：1 ETH, Switzerland. 2 NOAA PMEL, USA. 3 University of Washington, USA.
4 University of Groningen, the Netherlands. 5 Helmholtz Centre for Polar
and Marine Research, Germany. 6 気象庁気象研究所. 7 Princeton
University, USA. 8 NOAA NCEI, USA. 9 Bjerknes Centre for Climate
Research, Norway. 10 University of Bergen and Bjerknes Centre for
Climate Research, Norway. 11 Sorbonne Universite, France.
12 NOAA ARP, USA. 13 国立研究開発法人海洋研究開発機構, 14 Instituto
de Investigaciones Marinas, Spain. 15 University of Hawaii, USA.
16 GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel, Germany.
17 NOAA AOML, USA.

問合せ先：気象庁 気象研究所 海洋・地球化学研究部 石井

電話 029-853-8727 FAX 029-853-8728

気象庁 気象研究所 企画室 丸本

電話 029-853-8535 FAX 029-853-8546

国立研究開発法人海洋研究開発機構 広報部 報道課 上田

電話 046-867-9194 FAX 046-867-9055

産業活動によって排出された CO₂ を吸収する海

1994 年から 2007 年の 13 年間に、海が大気から吸収した人為起源 CO₂ の総量を、気象庁や海洋研究開発機構など、世界の 7 か国 17 の海洋調査・研究機関が参加した国際研究プロジェクトによって評価することができました。

化石燃料の燃焼や森林破壊などによって、大量の二酸化炭素 (CO₂) が人為的に大気中へと排出されています。しかし、そのすべてが大気中に残り、地球温暖化を引き起こしているわけではありません。排出された CO₂ の多くは、海や陸の植生に吸収されています。

人為起源の CO₂ の海への吸収は、二段階で進みます。まず初めに CO₂ が大気から海面付近の海水に溶け込みます。次に海水の上下混合や大循環がそれを海中へと運んでゆきます。海の奥深くに運ばれた CO₂ は、長い年月にわたってそこに蓄えられます。

海の CO₂ 吸収

海の CO₂ 吸収は、大気中の CO₂ 濃度にとっても大きな影響を及ぼします。海が CO₂ を吸収しなければ、現代の大気中の CO₂ 濃度は格段に高く、それによって引き起こされる気候変動は、より大きくなっていましたことでしょう。

海が人為起源の CO₂ をどれほど吸収しているのか。これを評価することは、長い間、気候変動について研究する科学者にとって重要な課題でした。スイス・チューリッヒ工科大学環境システム科学部教授の Nicolas Gruber 氏が率いる国際科学者チームは、1994 年から 2007 年までの 13 年間に海が吸収した人為起源 CO₂ の総量を評価しました。そして、海がこの期間に炭素換算で 34 ギガトン (340 億トン) もの人為起源 CO₂ を大気から吸収したことを見出したのです。この吸収量は、同時期に人為的に排出された CO₂ の 31 パーセントに相当します。

海の CO₂ 吸収率は今のところ変化していない

大気中の CO₂ 濃度が急激に上昇するにつれて、海が吸収する CO₂ も大幅に増加する傾向にあります。しかし、1994 年から 2007 年の 13 年間に排出された人為起源 CO₂ のうち海が吸収した比率を、産業革命から 1994 年までのおよそ 200 年間の比率と比べると、あまり変化はありませんでした。これは、大気に排出された CO₂ が増えて大気中の CO₂ 濃度が上がると、それに比例して海に吸収される CO₂ も増えるためです。しかし、CO₂ の場合、理論的には化学的な作用によって、将来、その吸収率は減ってゆくはずですが、

今のところ、吸収率の減少が明らかに分かるほどではありません。「この 13 年間、大気中の CO₂ 増加に合致する速さで、世界の海は CO₂ を吸収し続けました」と Gruber 教授は説明しています。

この知見は、観測船による精密かつ世界的な海洋観測によって得られた結果です。これは、スーパーコンピューターを使った様々な数値モデル計算によって推定された海の CO₂ 吸収量と矛盾がなく、将来予測に利用する数値モデルに大きな問題がないことを示唆しています。「これは重要な知見です。私たちのアプローチが正しいという自信を与えてくれたのです」と Gruber 教授は付け加えます。この研究結果からは、評価がより難しい陸上生態系による CO₂ 吸収量が、海の CO₂ 吸収量と同程度だったと推定することもできました（注 1）

吸収率の海域差

この研究結果は、海が 1994 年以前と同じように、人為起源 CO₂ の大きな吸収源だったことを示しています。しかし、大気中の CO₂ 増加から予想される吸収量とはかなり異なっていた海域があったことも分かりました。たとえば北大西洋では、1994 年から 2007 年の間、予想より 20%も少ない CO₂ しか吸収されていませんでした。「1990 年代後半に北大西洋の子午面循環（注 2）が減速したためでしょう」と Gruber 教授は説明します。しかし、北大西洋での吸収量の減少は、南大西洋での吸収量の増加によって相殺されていたので、大西洋全体の吸収量は、ほぼ予想通りでした。

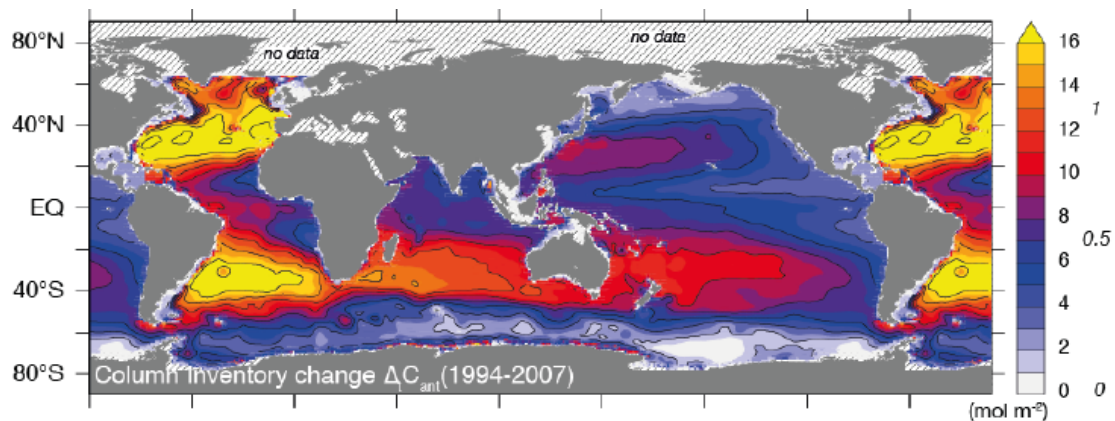
研究チームは、南大洋や太平洋で起きた変動にも注目しました。Gruber 教授は次のように強調しています。「海洋の CO₂ 吸収量は、大気中の CO₂ 増加に応答するだけでなく、海の循環の変動にも影響を受けていることが分かりました。このことは、地球温暖化による気候変動によっても、今後、海の CO₂ 吸収量が大きく変化し得ることを示唆しています。」

2 回の国際共同観測のデータを比較

これらは、世界の様々な海域で行われた CO₂ やその他の海洋化学・物理観測の多くのデータを解析して分かったことです。それらの海洋観測では、統一した基準を使って、海の表面から海底近くまで、深いところでは水深 6000m まで測定が行われました。7 カ国 17 機関の科学者たちは、2003 年に始まったこの国際共同観測に参加しました。以後、世界で 50 回以上の研究航海を行い、その測定結果をデータベースにまとめています。そしてこれらのデータを、1980 年代後半から 1990 年代にかけて実施した国際観測プロジェクト（注 3）の観測データと比べることで、人為起源 CO₂ の吸収による海中の CO₂ 増加量を評価したのです。

この評価を行うために、Gruber 教授と、博士課程の大学院生だった Dominic Clement は、新しい統計的な手法を考案しました。この方法によって、人為起源 CO₂ の増加による海水中の CO₂ の総濃度の変化を、生物活動や海洋循環の変化による自然の CO₂ の変化と区別することができました。

Gruber 教授は、主に 1990 年代に行われた全海洋規模の CO₂ 調査によって得られたデータを利用して 2000 年頃に行われた国際共同研究にも参加していました。その研究では、産業革命から 1994 年までのおよそ 200 年間に、海が炭素換算で 118 ギガトン（1180 億トン）もの CO₂ を吸収していたと推定されました。今回の新しい研究では、Gruber 教授はじめ国際研究チームはこの解析を 2007 年まで延長しました。これにより、1994 年から 2007 年までの人為起源 CO₂ の収支を評価できただけでなく、海が CO₂ を吸収する能力に変わりがなかったことも分かったのです。



図の説明：1994 年から 2007 年の間に蓄積された人為起源 CO₂ 量（海洋表面から深さ 3000m までの合計）の分布図。増加が大きかった海域は赤や黄色で示されています。北太平洋でも日本近海の亜熱帯域を中心に、およそ 1/6 が蓄積されています。

増加する CO₂ は海の生物の生息環境を酸性化する

CO₂ を吸収する海には、地球温暖化の進行を和らげるとも重要な役割があります。しかし、それには大きな代償を伴います。海水に溶けた CO₂ が海水を酸性化させているのです（注 4）。「この研究によれば、海洋酸性化は海の奥深くに及んでおり、海域によっては水深 3000m にまで達しています」と Gruber 教授は言います。

海洋酸性化は、多くの海洋生物に深刻な影響を与えるおそれがあります。酸性化が進むと炭酸カルシウムが溶けてしまうために、貝類や、骨格が炭酸カルシウムできているサンゴなど、海の多くの生物が危険に晒されるのです。海の化学組成の変化は、魚の呼吸などの生理的なプロセスにも影響を及ぼします。Gruber 教授は、「人間活動によって海で起きている化学変化を記録することは、きわめて重要です。これらの変化が海の生物や生態系に及ぼす影響も理解しなければなりません。」と確信しています。



写真 1 : 水温や塩分の深度分布を連続的に測りながら、海水中の CO₂ 濃度など様々な成分の測定に必要な海水を様々な水深から採取する CTD ロゼット採水システムを、観測船からクレーンで海中に下す（気象庁凌風丸）。



写真 2 : 海洋研究開発機構の海洋地球研究船「みらい」に搭載されている大型 CTD 採水システムを使用した観測の様子。



写真 3 : 様々な水深から採水した海水を、CO₂ ほか様々な成分について、高性能の分析機器を使って船上で速やかに分析する（気象庁凌風丸）。

- (注 1) 人為起源の CO₂ 排出量から、大気中の残存量と海への吸収量を差し引いた値を、陸の植生への吸収量と見なすことができます。
- (注 2) 北大西洋では暖流のメキシコ湾流によって北部に運ばれた海水が、アイスランド沖で強く冷やされて重くなり、海の深層へ沈んでいます。深層に沈んだ海水は、ゆっくりと南下し南大洋や太平洋などでゆっくりと湧昇しています。こうした海水の南北と上下の大きな循環を、子午面循環と呼んでいます。日本近海でも、亜熱帯域から暖かい海水を運んできた黒潮が冷やされて、房総半島の沖合や三陸沖で冷やされて沈降し、「モード水」と呼ばれる水塊になって、北太平洋の広域に広がっていきます。より詳しくは気象庁「海洋の健康診断表」の解説をご覧ください。
https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/shindan/b_1/stmw/stmw.html
- (注 3) 日本からも気象庁、海上保安庁、水産庁、東京大学、海洋科学技術センター（海洋研究開発機構の前身）が参加しました。
- (注 4) 海水は弱アルカリ性で、その水素イオン濃度指数（pH）はおよそ 8 です。海水に CO₂ が溶けると炭酸になるため、海水を少しずつ酸性方向に変化させます。このことを「海洋酸性化」と呼んでいます。より詳しくは気象庁「海洋の健康診断表」の解説をご覧ください。
https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/shindan/index_co2.html