

二酸化炭素濃度上昇がもたらす海洋酸性化による海洋の生物に迫る危険

概要

独立行政法人海洋研究開発機構（理事長 加藤康宏）の地球環境フロンティア研究センター生態系変動予測研究プログラムの山中康裕サブリーダーと石田明生研究員が参加する海洋炭素循環モデルの国際プロジェクトOCMIP（注1）は、生物科学者と協力して、コンピュータによる予測計算や洋上での実験により、大気中二酸化炭素濃度上昇に伴う今世紀に予測される「海洋の酸性化とその海洋生物への影響」を明らかにした。今後も二酸化炭素濃度上昇が続けば、炭酸カルシウムでできているプランクトンの殻やサンゴの骨格が溶け出し、それらの種の生存が危ぶまれるということを示唆した。この状態変化はこれまでの研究で示唆されたような何世紀も先ではなく、数10年のうちに先ず南極海に現れ、続いて北太平洋亜寒帯域に影響が出始めると予測される。これらは、気候予測とは異なり不確かさは小さく、大気二酸化炭素濃度安定化に関する議論に影響を与えるものである。

この研究結果は、「Nature」の9月29日号に掲載される。

背景

産業革命以後、大気に放出された二酸化炭素の約半分は海洋に吸収され、海水の酸性化が進んでいる。海水は弱アルカリ性(pH~8)だが、海水に二酸化炭素が溶けることにより海水のアルカリ性が弱まるため「酸性化」と言われる（注2）。これまでもプランクトンの炭酸カルシウムの殻が溶けるなど生態系への影響が懸念されてきた。しかし、将来の海洋の酸性化の予測は、二酸化炭素が大気から海洋へどのように取り込まれ、分布するかに依存するため、酸性化の影響が出る時期や海域を精度よく特定することは困難であった。そこでこの研究では、国際プロジェクトOCMIPで行われた海洋の二酸化炭素の将来予測結果を解析し、酸性化する海域、時期を調べた。さらに洋上において、予測される酸性化条件のもとでプランクトンの変化を調べた。

結果と考察

経済活動に伴って二酸化炭素放出量が増えていくシナリオ（注3）による海洋炭素循環モデルの結果は、およそ50年後には南極海で炭酸カルシウムが溶け始める海域が現れ、続いて北太平洋亜寒帯域で影響が出ると予測した（[図1](#)）。海洋生物が作る炭酸カルシウム(CaCO₃)には、アラゴナイト（あられ石）とカルサイト（方解石）の2種類の結晶があり、アラゴナイトのほうがカルサイトより溶けやすい（注4）。動物プランクトンの1種である翼足類（注5）やサンゴはアラゴナイトを殻や骨格として作るため、カルサイトを殻として作る植物プランクトンの円石藻や動物プランクトンの有孔虫よりも早く海洋の酸性化による危機にさらされる。今後も大気中の二酸化炭素濃度が上昇し続ければ、今世紀末までには、南極海全体と北太平洋の一部の海域でこれらの生物が殻を育てることができないくらい溶けやすくなる。そのような状況は過去何百万年もの間起こったことはなく、我々が知る限り現在の海洋の酸性化の進み方は前例がない。

さらに、モデルによる予測をより確かなものにするため、洋上での実験を行い、2100年に予測される酸性化した条件のもとで、生きている翼足類が実際にどうなるかを調べた。その結果、アラゴナイトでできている殻はわずか48時間の実験にもかかわらず明らかな溶解を示した（[図2](#)）。

本研究の意義と今後の展開

より信頼性の高い予測結果を得るため、各国の海洋の炭素循環に関わる研究者が協力して行ったモデル実験結果をまとめ、数十年のうちに海洋生物に影響が出ることが予測された。これまで100年規模と考えられていた予測よりもずっと早く危機が訪れること、また、これまで議論されてきた熱帯のサンゴではなく、極域や亜寒帯域に生息するサンゴやプランクトンこそ、先ず影響を受けることが明らかとなった意義は大きい。

二酸化炭素濃度の上昇により海洋が酸性化し炭酸カルシウムが溶解することは、基礎的な化学に基づくもので、気候予測とは異なり不確かさは小さい。将来の大気二酸化炭素濃度が決ま

れば明らかだと断言できる。本研究では、大気中の二酸化炭素濃度が今世紀中頃に到達すると予想される約600ppmになると、南極海、北太平洋亜寒帯域の生物の殻を溶かし始めることが示された。海洋の酸性化による生態系への影響が明らかとなったことにより、今後どのレベルにまで二酸化炭素濃度を抑える努力が必要かという「大気二酸化炭素濃度安定化および放出量削減」に関する議論に影響を与える。

翼足類などプランクトンは、他の生物への餌と生息環境を提供するため、それらが死滅すれば海洋生態系全体に影響する可能性がある。翼足類は動物プランクトンから魚や鯨まで幅広く生物に食べられていることが知られており、酸性化によって炭酸カルシウムの溶解が始まった後、どう海洋生態系や生物多様性に影響するのかという、新たな研究に取り組む必要がある。

さらに詳しい内容は以下のサイトを参照

<http://www.ipsl.jussieu.fr/~jomce/acidification>

問い合わせ先：独立行政法人海洋研究開発機構

●地球環境フロンティア研究センター研究推進室長 増田勝彦

Tel:045-778-5746 Fax:045-778-5497 URL: <http://www.jamstec.go.jp/frcgc/jp/>

●経営企画室報道室長 大嶋真司

Tel:046-867-9193 Fax:046-867-9199 URL: <https://www.jamstec.go.jp/>

注釈

注1：海洋炭素循環モデル相互比較研究計画(OCMIP: Ocean Carbon-Cycle Model Intercomparison Project)。各国で開発されている海洋炭素循環モデルを用いて現在の海洋炭素循環の再現や将来の予測実験を行い、相互比較を通してモデルの改良や精度向上を目指すプロジェクト。ヨーロッパ7、米国4、オーストラリア1、日本1の13グループが参加。気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第3次報告書の中で、海洋による人間活動に伴う二酸化炭素の吸収量の見積りに用いられた。

OCMIPプロジェクト参加機関（順不同）

仏国：原子力庁-国立科学研究センター混成研究ユニット 気候・環境科学研究所

独国：マックスプランク気象研究所

独国：アルフレッドウェゲナー極域海洋研究所

スイス：ベルン大学 物理学研究所 気候・環境物理部門

ベルギー：リエージュ大学 天体・地球物理学研究所

英国：国立サザンプトン海洋センター

ノルウェー：ナンセン環境・リモートセンシングセンター

米国：マサチューセッツ工科大学

米国：国立大気研究センター

米国：プリンストン大学 大気海洋科学プログラム

米国：ローレンスリバモア国立研究所

濠国：連邦科学工業研究機関 共同研究センタープログラム

日本：独立行政法人海洋研究開発機構/地球環境フロンティア研究センター

本研究における研究協力機関（順不同）

仏国：ブルターニュ開発研究所 海洋・気候

仏国：ピエールマリーキュリー大学 海洋気候研究所

米国：ウッズホール海洋研究所

米国：海洋大気庁/太平洋海洋環境研究所

米国：カリフォルニア大学ロサンゼルス校 地球惑星物理研究所

米国：カリフォルニア州立大学サンマルコス校 生物科学学科

米国：ペンシルバニア州立大学 気象学科

米国：海洋大気庁/地球流体力学研究所

注2：二酸化炭素(CO₂)は、水に溶けると



のように、水素イオン(H⁺)を放出する弱酸として振る舞う(HCO₃⁻は重炭酸イオン、CO₃²⁻は炭酸イオン)。海水は、二酸化炭素・重炭酸イオン・炭酸イオンが、およそ<1%・90%・10%ずつ含み、pHが約8の弱アルカリ性となっている。大気中二酸化炭素濃度が上昇すると共に、弱酸である二酸化炭素が海水中に溶け、pHが少し低下する。これを「海の酸性化」と呼ぶ。大まかに言って、21世紀中にpHが0.3低下すると共に炭酸イオン濃度が半分程度に減少すると予測される。

注3：IPCCの定めたIS92aに基づく見通し。IS92aとは1992年に定められた6つのシナリオのうち中庸なもの(温室効果ガスを二酸化炭素に換算すると二酸化炭素濃度がほぼ年+1%ずつ

増えるシナリオ)である。2001年に出されたIPCC第3次報告でも、2000年に定められたシナリオであるSRESとともに標準的シナリオとして用いられ、数多くの温暖化に伴う影響予測のもととなるシナリオとして、最も広く用いられている。また、研究では大気中二酸化炭素濃度650ppmで安定化させるS650シナリオや、SRESシナリオについても調べている。

注4：海洋生物が作る炭酸カルシウム(CaCO_3)には、アラゴナイト(あられ石)とカルサイト(方解石)の2種類の結晶がある(例えば炭素の結晶として黒鉛やダイヤモンドがあるように、組成が同じでも複数の結晶があるものがある)。研究で述べられているように、翼足類やサンゴはアラゴナイトを、植物プランクトンの円石藻や動物プランクトンの有孔虫はカルサイトの外殻を作る。海水中の炭酸イオン濃度が、それぞれの飽和濃度以下(未飽和状態)になると、それぞれの結晶は溶ける。アラゴナイトの飽和濃度がカルサイトのものに比べて高いために、アラゴナイトを作る生物の方がより影響を受けやすくなる。二酸化炭素濃度がより高くなっていけば、50~100年遅れてカルサイトを作る生物にも影響が現れる。このような未飽和状態になるのは、少なくとも過去40万年間、おそらく過去2000万年間なかったことである。

注5：翼足と言われる羽のような器官を用いて浮遊することができる貝類のひとつ。洋上実験に用いたものは、有殻翼足類カメガイ科の種であるウキビシガイ(*Clio pyramidata*)である。オホーツク海の妖精として知られるクリオネも翼足類の一種(ハダカカメガイ, *Clione limacina*)で、成体は殻を持たないが、幼生はアラゴナイトの殻を持っている。

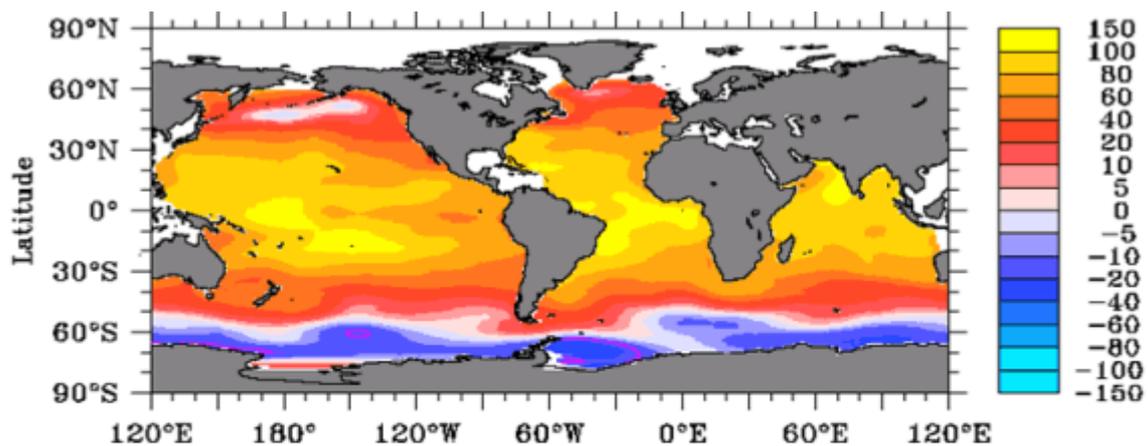


図1:2100年に予測される炭酸カルシウムの溶解度

IPCC-IS92aのシナリオに基づいて計算した結果、2100年に予測される炭酸カルシウムの溶けやすさを、炭酸イオン濃度の予測値と、アラゴナイト飽和状態における炭酸イオン濃度の差(カラー)で表したもの(「Nature」9月29日号より)。単位は海水1キログラム当りの炭酸カルシウムイオンのマイクロモル。値が負の海域でアラゴナイトは未飽和となり溶解する。南極海全体と北太平洋亜寒帯域で溶ける状態になることが分かる。

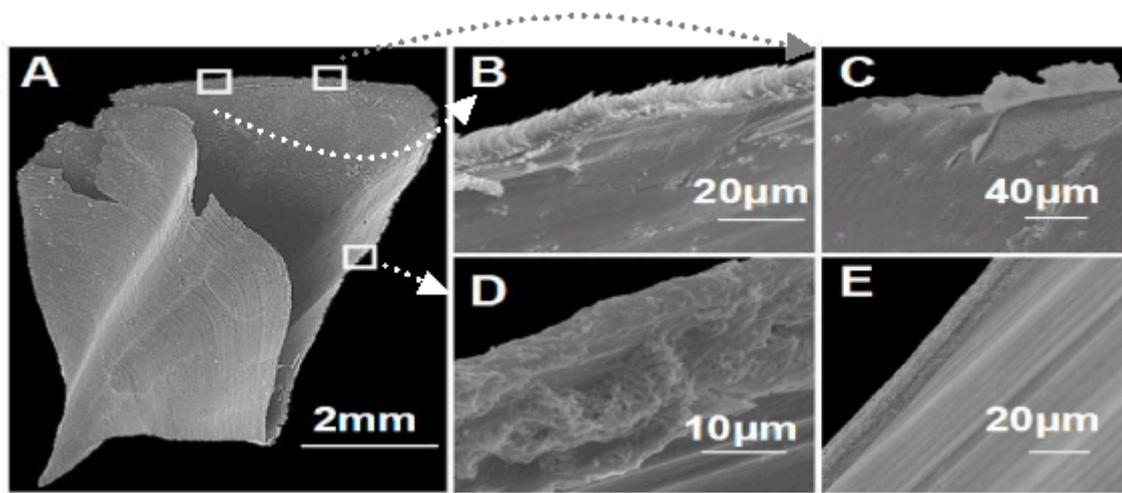


図2:ウキビシガイを48時間、酸性化した海水環境下においたときの様子

翼足類カメガイ科の種であるウキビシガイ(*Clio pyramidata*)を48時間、酸性化した海水環境下においたときの様子(「Nature」9月29日号より一部改)。A:外殻全体(3つの白く囲われた箇所はB~Dを示す)。B~D:殻の溶解を示す拡大図(それぞれは、B:表面の結晶がささくれだった状態、C:それらがめくりあがった状態、D:溶解がすすんだ状態を示す)。E:酸性化しない通常的环境にいる時の殻の結晶状態。