

二酸化炭素による海洋の酸性化

はじめに

気候変動に関する政府間パネル (IPCC)*は、米国のゴア元副大統領とともに2007年のノーベル平和賞を「人間活動による気候変化についての重要な知識を確立・普及させ、その変化に対する必要な対応策の基盤を築くという努力に対して」授与されました。同年、IPCCは第4次評価報告書 (Fourth Assessment Report, AR4)を公表しています。AR4では、地球環境の観測結果から、温暖化は確実に進行していること、このような急激な気候変動は地球上のあらゆる地域において人類発展の脅威であること、さらにこの温暖化傾向を防止することが我々の大きな課題であることが示されています。



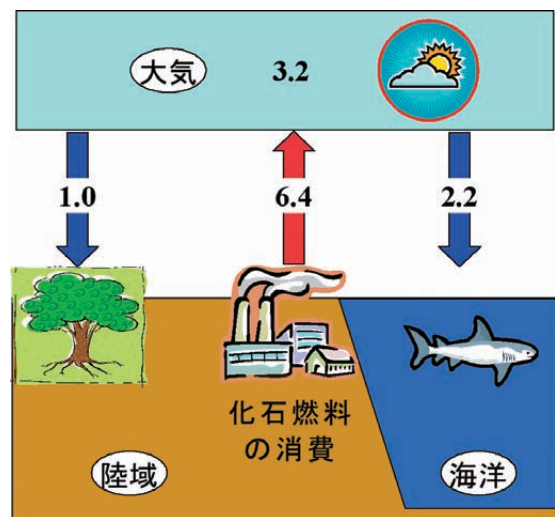
IPCC第4次評価報告書

ここで紹介する「二酸化炭素による海洋酸性化」は、AR4でも言及されています。この問題については、2004年5月にパリのUNESCO本部に18カ国125名の科学者が集まり、「International Science Symposium on the Ocean in a High-CO₂ World」が開催されました。このように、大気中二酸化炭素濃度の上昇による地球温暖化に加えて、海洋酸性化の問題が指摘されていますが、これによる生態系への影響については十分に解明されていません。こ

こでは、海洋酸性化のメカニズムとその生物影響について概説します。

海と二酸化炭素

地球規模の炭素収支からみると海が二酸化炭素 (CO₂)と大きなかわりをもつことがわかります。1990年代に人類が排出したCO₂の80%は化石燃料の消費によるものであり、これによってCO₂は炭素換算で年間約6.4 Gt(Gtはギガトン、すなわち10億トン)が大気中へ放出されています。この大気中へ放出されたCO₂のうち、約1.0 Gtが陸へ、約2.2 Gtが海へ吸収され、約3.2 Gtが大気中に残り地球温暖化ガスとして増加していると考えられています。すなわち、海は人為活動によって大気中に放出されたCO₂のおよそ30%を吸収していることになります。

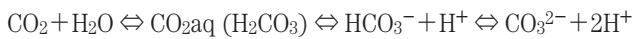


地球規模の炭素収支 (IPCC第4次評価報告書に基づく)

このように海にCO₂が吸収されるのは、主に「溶解ポンプ」、「生物ポンプ」、「アルカリポンプ」と呼ばれる過程によっています。溶解ポンプとは、大気と

海洋間のCO₂分圧差によって大気から海洋表層へCO₂が物理的・化学的に溶け込む過程です。生物ポンプは、表層に溶け込んだCO₂が植物プランクトンなどの光合成によって有機物となり、食物連鎖の過程を経てその有機物が海底に向かって沈降する過程です。アルカリポンプは、海洋に生物の殻やその遺骸として多量に存在する炭酸カルシウムが溶解して、海水のアルカリ度が上昇しCO₂を中和し、さらにCO₂を吸収する過程です。

海水にCO₂が溶け込むと、下の反応式で示されるように、CO₂は水と反応しさらに解離して水素イオン(H⁺)を放出するので、海水が酸性化すなわちpHが低下します。また、溶存態二酸化炭素(CO₂aq, 解離せず酸素などと同じように海水中に分子として存在する二酸化炭素)も増加するので、海水のCO₂分圧(pCO₂)が高くなります。



産業革命以前の大气中のCO₂濃度(280ppm)では海の平均的なpHは8.17程度でしたが、現在の大气中CO₂濃度(380ppm)ではpHは8.06程度にまで低下しており、近年のpHは10年でおおよそ0.02低下しています。このまま大气中へのCO₂排出が続けば、海のpHは特に表層からさらに低下すると考えられています。

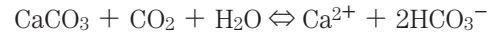
海洋酸性化の生物影響

海洋酸性化がもたらす生物影響には、炭酸カルシウムの殻をもつ生物への影響と生物の代謝への影響に大別することができます。

海洋には炭酸カルシウム(CaCO₃)の殻および骨格をもつ生物(有孔虫, 円石藻, サンゴ類, ウニ類, 貝類等)が多く生息しています。現在の海の表層で

はカルシウムイオン(Ca²⁺)と重炭酸イオン(HCO₃⁻)が豊富にあるので、生物はこれらを利用して容易に殻を作る(石灰化)ことができます。

← 石灰化



溶解 →

しかし、海水が酸性化すると、上の反応式は右側へと動き、炭酸カルシウムの生成が阻害されその溶解が促進されます。すなわち、生物は殻を形成しにくくなります。

海水が産業革命以前から2倍のCO₂濃度になると、サンゴ類では炭酸カルシウムの形成速度が大きく低下し、海洋の炭素循環に重要な役割を果たす円石藻という植物プランクトンでも炭酸カルシウムの殻の形成に異常が起こることが報告されています。これまでの知見は断片的ではありますが、わずかな海洋酸性化が炭酸カルシウムの殻をもつ生物に与える影響は広範にわたると考えられ、貝類など水産資源への影響とともに海の生態系に大きな影響を及ぼすことが懸念されます。

次に生物の代謝への影響ですが、下に示したとおり、水生動物では環境と体内のCO₂分圧差が陸上動物と較べて小さくなっています。

二酸化炭素分圧(μatm)	
陸上(空気呼吸)動物	20,000 – 53,000
水生(水呼吸)動物	1,300 – 5,300
環境(水/空気)	380

このため、環境のCO₂分圧のわずかな上昇でも、水生動物の体内のCO₂分圧におよぼす影響は陸上動物のそれより大きくなります。体内のCO₂分圧の

上昇は、海水と同様に体液を酸性化させるのですが、この状態はアシドーシス(acidosis)と呼ばれる体内環境の異常であり、この状態が極端になると死に至ることもあります。

海生研ではこれまでに、魚類、イカ類、エビ類などについてCO₂の急性致死影響を明らかにする試験を行いました。その結果、海水が産業革命以前から2倍程度のCO₂濃度になったとしても致命的影響は顕著に現れないと思われまます。しかし、成長や再生産への影響といった慢性的影響については未だ知見が乏しく、その充実が望まれます。

海洋酸性化の社会・経済への影響

以上のように、産業革命以来、海洋酸性化は進行しており、CO₂の排出がそのまま続けば、海洋の酸性化が確実に加速されます。この海洋酸性化は、温暖化ガスによる地球の温度上昇の予測より、確実性が高いと言われています。しかし、海洋生態系への酸性化影響に関する情報は断片的で、海洋酸性化により生態系がどのように変化するかを見極めるためには、さらに研究が必要です。

この海洋酸性化が及ぼす社会・経済への影響を考えてみますと、自然環境や生物生産から成り立っている人間社会や経済への信頼性に足る定量的な影響予測は、現時点ではとても難しいといえます。海洋の生態系は、人類に対して様々な利点を提供しており、これらを生態系サービスという概念で理解しようとする試みがあります。この生態系サービスは、通常の経済指標では測ることが難しく、例えば人類が海洋に廃棄する物質の浄化機能や、アメニティーとしての機能などが含まれます。海洋の生態系は複雑な系で、我々はその全貌を理解しようと試みている段階であり、海洋酸性化が生態系サービスに及ぼす

影響を明らかにすることも大きな課題です。

海の生態系サービスの中で、我が国にとって特に重要なものとして水産資源がありますが、世界の人口は増加し続けており、地球温暖化問題とともに食資源の確保は今世紀の我々に課された重要な問題です。したがって、海洋酸性化による漁業資源への影響についても早急に見極める必要があると考えられます。

おわりに

海は大気中に放出された化石燃料起源のCO₂を吸収し続けており、これによる海洋の酸性化と高CO₂化は自然環境のみならず社会・経済に重大な影響を及ぼすかも知れません。また、大気中CO₂濃度の安定化レベルを考える上でも、海洋酸性化は今後の重要な研究課題です。

なお、海洋酸性化についての国際シンポジウム(Second Symposium on the Ocean in a High-CO₂ World)が、UNESCOやIAEAの主催で2008年10月にモナコで開催される予定です。

興味のある方は、www.ocean-acidification.netをご参照ください。

(実証試験場 応用生態グループ 喜田 潤)

*IPCCは、世界気象機関(WMO)及び国連環境計画(UNEP)により1988年に設立された国連の組織で、各国の政府から推薦された科学者の参加のもと、地球温暖化に関する科学的・技術的・社会経済的な評価を行い、得られた知見を政策決定者を始め広く一般に利用してもらうことを任務としています。

第4次評価報告書として、自然科学的根拠[The Physical Science Basis]、影響、適応、脆弱性[Impacts, Adaptation and Vulnerability]、気候変動の緩和策[Mitigation of Climate Change]の3部、およびこれらとりまとめとして統合報告書[Synthesis Report]を公表しています。