

世界の海はいつまで二酸化炭素を吸収するのだろうか？

話題提供者

石井雅男

気象研究所地球化学研究部 主任研究官



大気中のCO₂濃度

気候と二酸化炭素(CO₂)についての議論が始まったのは19世紀終わりのことで、ノーベル化学賞受賞者で近代物理化学の父といわれた、スウェーデンのアーレニウスの論文に始まります。彼は、1896年に発表した論文のなかで、氷期と間氷期の気候変化が大気中CO₂濃度の変化によって引き起こされたとの仮説を発表しています。さらに数年後、石炭の消費による人為的な地球温暖化を予言し、大気中のCO₂濃度に対して海が重要な役割を果たしていることも予測しています。そして、彼は地球温暖化について「我々の子孫は、今ほど厳しい気候ではなく、もっと穏やかなよい環境の中で過ごすことができるに違いない」と言っています。

また、宮沢賢治の自伝的童話「グスコブドリの伝記」に、次のような一節があります。ブドリがクーボー大博士に「気層の中に炭酸ガスが増えてくれば暖くなるのですか」とたずねると、博士は「それはなるだろう。地球のこれまでの気温は、たいてい空気中の炭酸ガスの量で決まっていたといわれるくらいだから」と答えています。宮沢賢治が生まれた1896年は、奇しくもアーレニウスが先述の論文を発表した年で、おそらく賢治はこの文献を読んでいたのでしょう。

国際地球観測年である1957年、チャールズ・キーリングにより、ハワイのマウナロアと南極点において大気中のCO₂濃度の観測が始まりました。言うまでもなく、大気中のCO₂濃度は明らかに増加しています。1957年には315ppm前後でしたが、現在は370ppmぐらまで増加してきています。また、両地点におけるCO₂濃度(年平均)は、初めは差がありませんでしたが、北半球で放出されるCO₂の増加により、その差が年々拡大してきています。現在こうした観測は、世界各国の協力により、北極から南極まで100箇所ほどの観測点で行われています。

1980年代以降、南極氷床コアから過去の大気中CO₂濃度を再現する試みが活発に行われています。それによる

と、CO₂濃度は西暦1000年から1700年代後半までは280ppm程度で推移してきましたが、産業革命以降、急激に増加してきています。過去40万年にわたる記録を見ると、CO₂濃度は高い時でも280~300ppmでしたが、ここにきて一気に370ppmまで増加してきています。現在のような高い濃度状態は、少なくとも過去数十万年間地球が経験したことのないもので、その上昇速度は、数十万年の時間スケールから見て、ほとんど瞬間的に起こったものといえます。そして、これらが地球の炭素循環にどのような影響を及ぼすかが重要な研究テーマの一つになっています。

大気中CO₂濃度の増加と地球温暖化

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)が2001年に発表した報告書によれば、世界の地表平均気温は、1860年代から今日まで年々上昇傾向にあることが示されています。では、これが本当にCO₂濃度の増加によるものなのでしょうか？最新の気候モデルを使った研究によると、こうした大幅な気温上昇は太陽放射や火山活動の変化では決して説明できず、地球の温暖化はCO₂濃度の増加に原因があると考えられています。また、積雪面積の世界的な減少や氷河の後退、北半球の海水面積の減少が明らかになっており、地球温暖化は今や疑いようのないものとなっています。

近年、北半球の中高緯度では降水量や大雨の発現頻度が増加し、また、アジアやアフリカの一部では干ばつの発現頻度と厳しさが増加傾向にあります。また、世界各地に異常気象を引き起こすエルニーニョ現象の発現頻度や持続期間、強度も増大傾向にあります。今や地球の温暖化は、地球規模の水循環を変化させ、気候の凶暴化などによって様々な危機を引き起こしています。さらにもう一つ深刻化している問題は、海面水位の上昇です。1950年代以降、海洋の貯熱量は年々増大し、平均海面水位が20世紀に10~20cm上昇していることが明らかになっています。世界人口の大半は、海岸沿いに分布していま

すが、海面水位の上昇によって、その居住域が脅かされてきています。赤道近くには、平均海拔5mぐらいの環礁島が数多くありますが、例えば、ナウルではニュージールランドへの移住がすでに現実問題になっています。

放出されるCO₂はどこへ

現在、人類が産業活動などによって放出しているCO₂の量は、世界中で年間6ギガトンあり、このうち約半分の3ギガトンのCO₂が大気中に蓄積されています。残りの半分がどこにいくのかは長い間不明でしたが、最近徐々に明らかになってきています。オーストラリアのレイナーが、世界CO₂の観測データと大気循環モデルを使って行った評価によると、人類が放出するCO₂の3分の1にあたる2ギガトンが海洋に吸収されていることが示されています。他の評価方法によってもこれと同様の結果が得られてきています。

海洋によるCO₂の吸収

気象研究所と気象庁では、毎年冬に日本南方の東経137度線で、大気と海洋におけるCO₂濃度の観測を行っています。それによれば、1980年から2001年にかけて、大気中、海中ともCO₂濃度が明らかに増加してきています。このような観測は、ハワイ沖や大西洋パーミューダ沖でも行われていますが、人類が放出したCO₂を海がどの程度蓄積しているか実証するにはまだ不十分な状況です。

過去数十年にわたる世界の観測データをまとめたTakahashiの報告により、大気と海洋間のCO₂の出入りには海域によって大きな差があることが示されています。赤道域ではCO₂が放出されているのに対し、亜熱帯や高緯度の太平洋、南極海ではCO₂が吸収されています。私たちの観測でも、太平洋赤道域で海から大気への莫大なCO₂の放出が確認されており、その放出量は西よりも東の海域で多くなっています。また、時間的に大きく変化するのが特徴で、エルニーニョの時には少なく、ラニーニャの時には多くなる傾向が認められており、1990年代には0.2ギガトンから0.9ギガトンもの範囲で変化したことがわかっています。しかし、他の海域でのCO₂吸収や放出の年ごとの変動は、まだよくわかっていません。

生物ポンプとCO₂

海洋に生息している植物プランクトンは光合成によっ

てCO₂を消費し、有機物を生成します。生成した有機物の大半は生態系全体の呼吸によって、またCO₂となります。しかし、有機物の一部は深海に沈み、深海生物のえさとなり、その呼吸によってまたCO₂となります。さらには、海の流れによって、混合、湧き上がりが起こり、海洋表層のCO₂濃度に影響を与えます。このような生物を介した海洋表層と深層間の流れを生物ポンプといいます。この生物ポンプの影響により、海洋中の全炭酸濃度は表層よりも深層の方が高く、海が放出しようとするCO₂を生物が低く抑える効果を果たしています。

先述のとおり人類が年間に放出するCO₂量は6ギガトンで、大気中には800ギガトンのCO₂が蓄積されていますが、海洋には深海を含め、その50倍の4万ギガトンのCO₂が蓄積されています。このため、生物活動や海水循環のわずかな変動が、大気中のCO₂濃度の変動に大きくつながってきます。地球温暖化によって気候が変化すれば、生物活動や海水循環が変化し、海水中の炭酸平衡状態の変化を通じて、大気中のCO₂濃度にも影響が及ぶと考えられます。

将来も海はCO₂を吸収するか

将来も海は人類が排出するCO₂の約3分の1を吸収するだろうかという問題です。まず、CO₂が蓄積し海水の酸性化が進むと、海の緩衝能が減少し、その吸収能力は弱まってきます。また、温暖化で海水温度が上昇すると、CO₂溶解度は減少し、その吸収低下を招きます。さらに、海水温度の上昇によって、海洋表層が成層化し、大気と作用する海洋の体積が減少するため、CO₂の吸収低下を招きます。もう一つ重要な要因として、前に述べた生物学、生態学的影响が考えられますが、残念ながらこれを定量的に予測することは未だ困難な状況です。

「世界の海はいつまで二酸化炭素を吸収するのだろうか」という疑問は、「海洋の物理的・化学的環境と海洋生態系はどのように関わり合っているか」という質問に置き換えられます。そしてこれは、「生命を生み、育ててきた地球の環境は、どのような仕組みで成り立っているか」という大きな疑問の一部ともいえます。今日的な社会問題であるCO₂問題は、そうした根源的な疑問と深く関わっています。多くの未解明な問題を解明するためには、今後さらに長期的かつ正確な時系列の観測と学際的、国際的な総合研究が必要です。(2002年10月11日開催) SAT