



## 見えない CO<sub>2</sub>を見てみよう

### 目に見えない CO<sub>2</sub>

大人にとっては昔に学校で習ったことの復習になりますが、そもそも二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)とは一体何でしょうか？炭素の原子ひとつと酸素の原子ふたつが結び付いてできた化合物です。

さて、わたしたちが CO<sub>2</sub>を意識するのはどんなときでしょうか？たとえば、わたしたち人間が生きていくために欠かせない呼吸。酸素を吸って CO<sub>2</sub>を吐き出す行為です。人間だけでなく、ほとんどの生き物が呼吸を必要としています。植物も例外ではありません。

しかし、日頃の生活で CO<sub>2</sub>を意識することはあまりないかもしれません。その理由のひとつは、わたしたちが生活する環境(常温常圧状態)では CO<sub>2</sub>が目に見えないからでしょう。

もっとも、わたしたちが CO<sub>2</sub>をはっきりと目で見られることもあります。ひとつは、ドライアイスという固体の状態のときです。CO<sub>2</sub>が摂氏マイナス 79 度(1 気圧の場合)以下になると気体から個体に昇華(液体を経ずに変化)してドライアイスになります。



ほかに、ビールやコーラなどの炭酸飲料に含まれる泡、これも CO<sub>2</sub>です。この泡自体は透明な気体ですが、液体に囲まれた状態となることで「見える化」されるわけです。この泡のように気体の状態の CO<sub>2</sub>は炭酸ガスと呼ばれます。

以上のような例外を除けば見えないはずの CO<sub>2</sub>。しかし、それを巧みに「見る」生き物がいます。蚊です。産卵前のメスの蚊は、動物の血液を必要とするため、動物を見つけるためにまず CO<sub>2</sub>を感知します。ご存知のとおり人間もターゲットになり、口や皮膚から発せられる CO<sub>2</sub>を蚊が感知して接近します。近づいたら目視や温度の感知などによってさらに場所を特定して吸血するのです。

蚊と目的は違いますが、CO<sub>2</sub>を感知して見える化するという点では、CONTRAIL プロジェクトも共通点をもっています。



### 体のなかの CO<sub>2</sub>

先ほど呼吸で酸素を吸って CO<sub>2</sub>を出すと言いましたが、私たち人間が吐く息のなかに CO<sub>2</sub>はどのくらい含まれるのでしょうか？安静時なら1%程度ですが、非常に激しい運動をすると9%程度まで上昇します。通常の空気では 0.04%程度であることを考えると、割合の高さが分かります。また、運動すると蚊に刺されやすくなるのは、息や皮膚から CO<sub>2</sub>が多く出されるようになるためです。

吸った空気より高い濃度の CO<sub>2</sub>が吐く息に含まれるということは、人間の体内に CO<sub>2</sub>が常にあることを意味します。そもそも呼吸とは、わたしたちが食べ物などから摂った栄養分を、酸素を使ってエネルギーに変え、その結果として作られる CO<sub>2</sub>を体外に出すために必要な行為です。酸素や二酸化炭素は、口、気管、肺、血管を通過して体内を巡ります。

体内の CO<sub>2</sub>は多すぎても少なすぎても問題です。多いと血液の酸性度が上がり、減ると反対にアルカリ度が上がります。適度な濃度を保つため、血液中の CO<sub>2</sub>濃度によって脳が呼吸を調節します。例えば、濃度が低ければ、CO<sub>2</sub>が体外に吐き出されることを抑えるために呼吸のペースがゆっくりになります。しかし、呼吸が抑えられると酸素の取り込みも少なくなるので、バランスを取るような調節がなされます。この調節がうまくいかなくなると、過呼吸症候群などの苦しい症状が発生することもあります。基本的には不要なので体外に吐き出す CO<sub>2</sub>ですが、一定量は常に体内にあることが人間の生存に必要なのです。

### 大気の中の CO<sub>2</sub>

その CO<sub>2</sub>は、われわれの周りにある空気一体どのくらい含まれているのでしょうか？大気成分のなかでもっとも多いのは窒素(N<sub>2</sub>)で、約8割を占めています。次に多いのは約2割の酸素(O<sub>2</sub>)です。この2種類の成分でほぼ 10 割に達する計算ですが、これに加えて約 1%ほどのアルゴン(Ar)もあります。そして、話題の



## CONTRAIL をドキュメントする(DoCONTRAIL)



CO<sub>2</sub>はというと、全体の 0.04%ほどの割合です(水蒸気(H<sub>2</sub>O)も空気中に含まれますが、条件によって大きく変動するので、ここでの割合には含まれていません。また、ネオン(Ne)やヘリウム(He)などごく微量だけ含まれる他の成分もあります)。

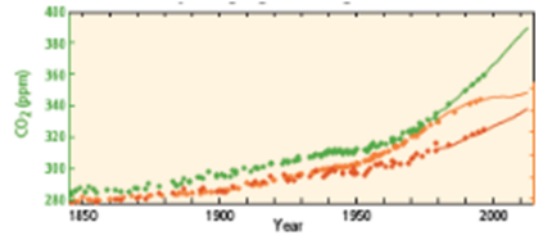
例えば 0.04%は別の単位では 400ppm と表現されま  
す。地球温暖化の議論でもこの単位で議論されることが  
が多いので、これ以降は ppm で表現することにします  
(詳しくは次節「CO<sub>2</sub>濃度や上空でもどんどん増えている！」をご覧ください)。

さて、大気中の CO<sub>2</sub>濃度の変化は地球の歴史のなかで常に変化してきました。それが、いま大きな問題として議論されるのはなぜでしょうか？

まず、過去 80 万年くらいの期間で見ると、合計 8 回のサイクルで CO<sub>2</sub>濃度が上下に変動したことが分かっています。その幅は、高いときで 280ppm、低いときで 180ppm くらいでした。そして、CO<sub>2</sub>濃度が高いときには気温も高くなる温暖期に、濃度が低いときは寒冷期になっていたことも分かっています。これらの知見は、グリーンランドや南極などに残っている氷を筒状に掘り出し(「氷床コア」と呼ばれます)、各年代の部分の氷に含まれる気泡を分析することで得られます。

これらの気候変動のメカニズムはまだ完全には解明されていませんが、例えば温暖期への移り変わりのきっかけとしては、まず太陽光(日射量)の変化などによって気温が上がり、それに応じて CO<sub>2</sub>濃度も上がり、さらに気温を上昇させるという相乗効果が働いたという説があります。

過去 1 万年ほど前から現在に至るまでは温暖期になっています。そして、CO<sub>2</sub>濃度はその間ほぼ 280ppm で安定していました。しかし、18 世紀の産業革命以降、人間が石炭、石油、天然ガスなどの化石燃料をエネルギー源として用いた活動によって、その安定は終止符を打ちました。過去 250 年の間に CO<sub>2</sub>濃度は 120ppm 近くも上昇しました。そして、上昇のスピードは明らかに速まっています。過去 250 年で約 120ppm 上昇したうちの 3 分の 2 にあたる最後の 80ppm 近くは、過去わずか半世紀ほどで起こりました。



大気中のCO<sub>2</sub>濃度(緑色)の変化。19世紀半ばから増加し、20世紀後半に増加が加速していることが分かる。(IPCC第5次評価報告書(Synthesis Report)より)

ところで、生物の呼吸において対になっていた酸素とCO<sub>2</sub>。近年の CO<sub>2</sub>濃度が高くなっていることは分かりましたが、一方の酸素はどうなのでしょう？ 酸素全体のなかで増減の比率がとても小さい(一年で 10 万分の 1~2 程度)ので正確に測ることは難しいものの、酸素濃度は毎年 3~4ppm 程度のペースで確実に低くなっています。これは、化石燃料を燃やしてエネルギーに変えるときに、大気中の酸素を使うためです。元々地中奥深くに留まっていた二酸化炭素が大気中に放出され、元々大気中にあった酸素が消費されます。したがって、化石燃料を大量に使うと、森や海など自然界の働きで相殺できる範囲を超えたレベルで、大気のなかの酸素を減らし、二酸化炭素を増やすことになるのです。

これが温室効果を高めることにつながります。温室効果については次節で改めて触れますが、実感できる例えを国立環境研究所の広兼克憲さんからお聞きしました。「わたしたちが服を着て体の熱が逃げのを防いでいるのを想像すると分かりやすいと思います。服がないと体が寒くなるので、衣服による保温は必要です。どんどん厚着していくと、熱がこもりやすくなります。地球にとっての衣服のようなものが CO<sub>2</sub>などの温室効果ガスと呼ばれる気体で、これらの気体が増えて温室効果が高まることは、地球が厚着しているような状態です。」

### 「見える化」への挑戦

わたしたちの生存に切っても切れない CO<sub>2</sub>。その見えないCO<sub>2</sub>を見えるようにするのがCONTRAILプロジェクトということを先ほど言いました。これは、ドライアイスのように凍らせたり、液体のなかに混ぜたりして見える



## CONTRAIL をドキュメントする(DoCONTRAIL)



ようにするというわけではなく、空気のなかの濃度を測って、データという形で見えるようにするという意味です。

それを、地上付近から成層圏付近のはるか上空まで三次元でおこなうために、定期運航する民間旅客機が活躍することになったのです。この CONTRAIL プロジェクトが、どのような新しい発見をもたらしたのか、そして、そもそもこの難しい挑戦を支えるためにどのような人たちが働いているのか、それを「見える化」しようというのが DoCONTRAIL の狙いです。本家 CONTRAIL を見習って、具体的な資料や証言をもとにして、読者のみなさんに少しでも分かりやすく、興味を持って読んでいただけるよう努めます！