

炭酸ガス問題

岡山大学教養部

大 滝 英 治

1. はじめに

大気中の炭酸ガス (CO_2) 濃度は CO_2 の大気-海洋, 大気-植物間の交換量のバランスによって決まる。最近, この交換のバランスが乱れ, 大気中の CO_2 濃度が着実に増加している。1956 年, プラスは, 大気中の二酸化炭素濃度が現在の 2 倍になると, 温室効果で地球上の平均気温が 3.8°C 上昇すると発表した。地球の平均気温が 1°C 変化すると, 氷河が大きく発達したり, 後退するという過去の例を考えれば, プラスの指摘は地球環境に重大な変化をもたらすことを意味している。それ以後, 地球の温暖化問題に対する関心が高まり, いろいろな研究結果が発表されるようになってきた。ここでは, CO_2 問題のうち, 私の仕事に関わりが深い話題を紹介する。

2. 大気中の CO_2 濃度の変化

1958 年, スクリップス海洋研究所のキーリングは, 大気中の CO_2 濃度をモニターするために, ハワイのマウナ・ロア山頂近くに観測所を開設し, CO_2 濃度の連続測定を開始した。彼は都会や工場から排出されるガスの影響を避けるために, 太平洋の真ん中のマウナ・ロア島を選んだ。また, ハワイ島の付近では, 高度が 2000 m の大気中に気温の逆転層があつて, それより下の空気が観測所の高さの空気に混じり難いことも, この場所が選ばれたもう一つの理由である。現在では, この種の CO_2 濃度のモニターステーションが, 南極から北極にいたるまで数多く展開されている。

モニターステーションの代表的な存在であるマウナ・ロア観測所のデータを図 1 に示す。マウナ・ロアのデータには 2 つの特徴がある。その一つは, CO_2 濃度は 4~5 月に高く, 8~9 月に低くなる規則正しい季節変化をしていることである。この

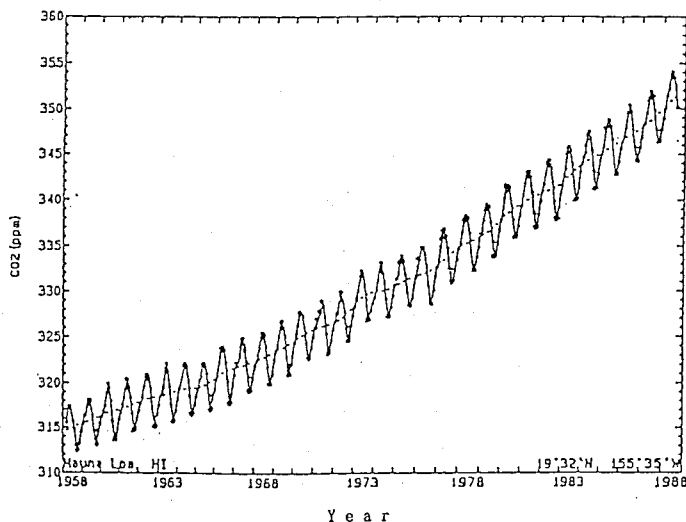


図 1 マウナ・ロアで観測された CO_2 濃度の経年変化

変化は、植物の炭酸同化・呼吸作用に起因している。夏季、マウナ・ロアの植物は炭酸同化作用が活発となり、呼吸で放出するより多量の CO_2 を吸収するので、大気中の CO_2 濃度は減少する。一方、冬季には、炭酸同化作用の能力が衰え、植物から呼吸で放出される CO_2 が優勢となり、大気中の CO_2 濃度が増加する。

マウナ・ロアデータのもう一つの特徴は、 CO_2 濃度の年々の増加である。産業革命前の18世紀半ばまでは、大気中の CO_2 濃度は約280 ppmではば一定であったことが、南極の氷床の中に閉じ込められていた気泡の分析によって確かめられている。それが、1950年代の後半では315 ppmに増加し、現在では354 ppmになっている。このようなマウナ・ロアでの CO_2 濃度の増加傾向は他のモニターステーションの北極や南極での増加傾向とも同じであり、大気中の CO_2 濃度は地球的な規模で変化しているといえる。その CO_2 濃度の増加率は1.5 ppm/年である。このままの勢いで増加して行けば、21世紀の後半には CO_2 濃度は600 ppmとなり、プラスが心配していた状況になる可能性がある。

人間が活発に活動している場所では、世界的なモニターステーションでの変化とは少し異なった CO_2 濃度の変化を示すことがある。一例として、岡山大学環境計測共同利用施設で計測している岡山県玉野市渋川での CO_2 濃度の経年観測の結果を図2に示す。渋川では、 CO_2 濃度は夏季に高く、冬季に低くなるような季節変化を示し、マウナ・ロアとは逆位相の変化をしている。これは、渋川では4月から10月にかけて、終日、大気が温度逆転の状態になっているため、空気塊の鉛直混合が弱まり、観測点周辺の工場、船舶、民家あるいは海水浴客から放出された CO_2 が大気下層に蓄積されていることを反映しているものと考えられる。しかし、渋川での CO_2 濃度が観測

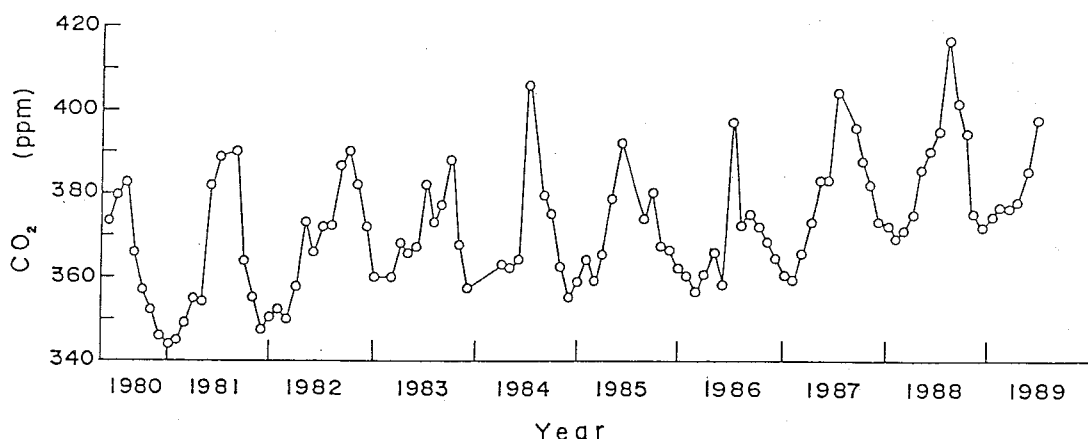


図2 岡山県玉野市渋川で観測された CO_2 濃度の日最低値の経年変化

場の局地的な影響を受けているとはいえ、大気が不安定成層をなし、空気塊の鉛直混合が大きくかつ、海水浴客の影響が少ない冬季のデータを選べば、渋川での CO_2 濃度の変化から備讃瀬戸地域の大気環境の変化に関する情報が得られる。そこで、渋川の冬季（12月～3月）の CO_2 濃度に

注目すると、 CO_2 濃度は年によって多少の乱れはあるが、着実に増加していることがわかる。

1980年から1989年にかけて、冬季の CO_2 濃度の年々の増加率は3ppmである。この値はマウナ・ロアでの増加率の約2倍に相当しており、備讃瀬戸地域の気環境が急速に変化していることを示している。

3. CO_2 の気と植物、海洋との交換

CO_2 の主な貯蔵庫は気と植物と海洋である。気中の CO_2 濃度は、 CO_2 の気-植物、気-海洋間の交換のバランスによって決まる。したがって、気中の CO_2 濃度を求める最も直接的な方法は、気中に放出された CO_2 のうち、植物に吸収される分と海洋に吸収される分とを明確にすることである。

図3は、岡山大学農学部附属八浜農場で測定した水稲群落が一日に固定した CO_2 の季節変化を示している。固定される CO_2 は水稲群落の発育段階によって異なる。田植後、固定される CO_2 は徐々に増加して、出穂期の8月下旬に最大となる。その値は4mg/cm²である。9月以降、固定される CO_2 は急速に低下し、

収穫直前の10月下旬にはほとんどゼロとなる。図中の曲線は水稲群落が固定すると仮定した CO_2 量の季節変化を示している。曲線で囲まれる面積が水稲群落が固定した CO_2 量である。この例では、水稲群落が一シーズンに固定した CO_2 量は、1ヘクタールあたり約30ト

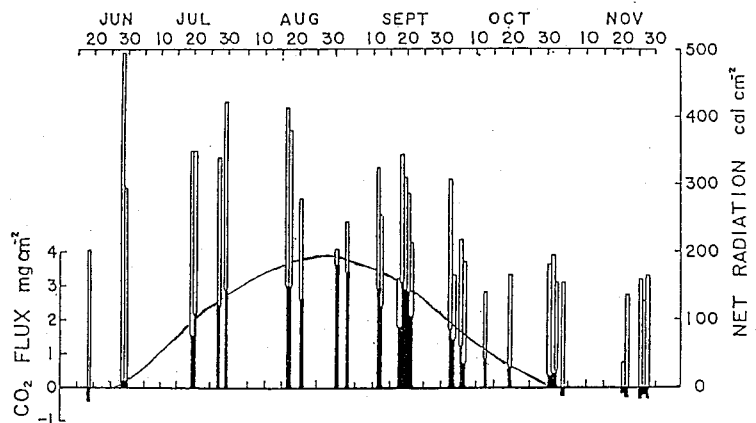


図3 水稲群落上で測定した1日当りの CO_2 固定量(■)と正味輻射(□)の季節変化

ンであった。このような CO_2 の固定量をいろいろな植物について観測すれば、植物圏が吸収する CO_2 量を推定することができる。

植物圏に蓄えられた炭素量については多くの研究者の推定がある。その代表的な例として、コーネル大学のホイッタカーとライケンスがまとめた結果を表1に示す。

陸上最大の植物集団は森林であり、全植物炭素の90%が森林に蓄えられている。植物が光合成で固定する炭素量から呼吸作用によって吐き出す量を差し引いたものが純一次生産量である。気中の全炭素量は 700×10^{15} gCと推定されているが、植物の純一次生産量は 52.8×10^{15} gCであり、気中の炭素量の約1割に達している。従って、光合成によって生成した有機物がすばやく埋没して酸化を免れるならば、気中の CO_2 濃度は10年くらいで著しい減少を示すはずである。しか

し、光合成で作られた有機物の大部分は生体の死後、分解、酸化されて元の CO_2 と H_2O に還元される。炭酸同化作用によって生じた有機物の中で酸化を免れて堆積岩中に取り込まれる割合はせいぜい1/1000 であると推定されている。

さらに、1978 年、ウッズホール海洋研究所のウッドウェルは、人間が1 年間

に森林から伐採している木材の炭素量は、大気中に含まれている炭素量に匹敵すること。森林があまり破壊されていない時代には、森林は CO_2 の吸収体として作用していただろうが、森林破壊がひろがり、枯死した植物体が増えてきた現在、それらが分解する際に放出する CO_2 が非常に大きく、森林は、もはや CO_2 を吸収しないで、放出している、と主張した。 CO_2 の大気-植物間の交換に関する知識には、未だ不確定な点が多い。

CO_2 の大気-海洋間の交換について、三宅、杉村は太平洋全域での大気と海洋間の CO_2 の分圧差を測定し（図4）、 CO_2 の交換量を計算した。計算結果は、太平洋については、海洋から大気へ放出される CO_2 は $8 \times 10^{15} \text{ gC/年}$ 、大気から海洋に吸収される量は $4 \times 10^{15} \text{ gC/年}$ となった。すなわち、太平洋では CO_2 の大気への放出量は、海洋への吸収量の約2 倍であり、海洋が大気中の CO_2 濃度を制御する力は意外に小さく、海洋が CO_2 のシンクであると単純に考えることができないことを示した。また、1979 年、コロンビア大学のブリーカたちは、海水が大気中の CO_2 を吸収する割合は、海の浅いところと、深いところの海水の混合の割合に関係している。しかし、実際の海水の混合は活発でなく、 CO_2 の深海への輸送には限界がある、と主張した。しかし、このような考え方は、最近、見直されている。

残念ながら、 CO_2 問題についての我々の知識は不十分である。最近30 年間に化石燃料の燃焼によって大気中に放出された CO_2 は、30 億トンから60 億トンへと倍増している。毎年放出される CO_2 の約60%が大気中に残留している。しかも、その残留の割合は最近30 年間ほとんど変化していない。熱帯地方を中心にした森林の伐採が大規

表1 植物の純一次生産量と現存量

植物群落	面積 (10^6 km)	純一次生産量 (10^{15} gC/年)	植物現存量 (10^{15} gC)
熱帯多雨林	17.0	16.8	344.0
熱帯季節林	7.5	5.4	177.0
温帯常緑林	5.0	2.9	79.0
温帯落葉林	7.0	3.8	95.0
亜寒帯林	12.0	4.3	108.0
低木林	8.5	2.7	22.0
サバンナ	15.0	6.1	27.0
温帯草原	9.0	2.4	6.3
その他	68.0	8.4	28.2
陸地合計	149.0	52.8	826.5

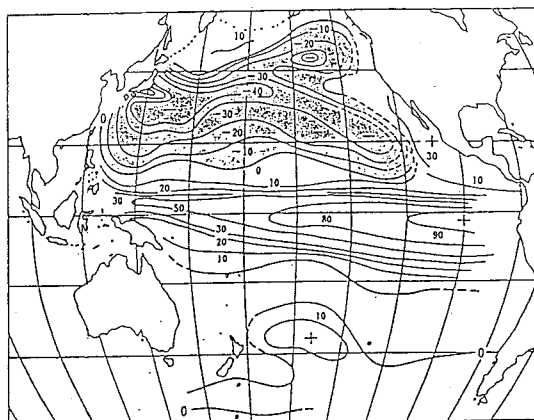


図4 大気と太平洋の CO_2 の分圧差。マイナス記号は海水中の分圧が大気中の分圧より低いことを示す(単位 10^{-6})。

模に進行している現状を考えると、私は、CO₂の吸収に果たす海洋の役割に期待している。現在、我々は、岡山大学環境計測共同利用施設でCO₂の大気-海洋間の交換についての基礎的な実験を行っている。そして、CO₂は6月から11月にかけて海中から大気中へ放出されており、12月から1月を経て5月までは、逆に、大気中から海中に取り込まれていることがわかった。また、海水中のCO₂分圧は大きな日変化や季節変化を示すなど、興味ある知見が得られている。

4. おわりに

我々は、健康で、豊かな生活をするために物質文明を発展させ、脱自然の方向に進んできた。しかし、我々にはどうしても脱自然できない点が残っている。それは、人間が生物を食物として食べなければならないことと、我々が生きていくために必要な物理的、化学的な環境条件に制限があることである。この2つの面のぶつかり合い、矛盾として現在の環境問題が生じている。我々は物質文明の路線を当分変更できそうにない。それだけに環境問題を抜本的に解決することは難しい。

最近、「かんきょう」に掲載された、東京大学の松原望氏の「90年代国際環境戦略の基礎」、松野太郎氏の「地球環境の科学とその将来」という小論を読んで、大きな刺激を受けた。

…地球環境問題の抜本的解決のためには、自然支配の思想である環境管理、環境経営、環境倫理という理性と知恵と勇気が必要…

…日本古来の心情である、人間は自然の一部、人間と自然との調和を大事にするというような考えをのり越えなければ、私たちの地球環境を守ることができない…

等々、環境政策は常に、主権者である人間の手によってつくられねばならないという積極的な考え方に接し、もやもやしていた霧が晴れるような思いがした。

CO₂問題の対策は、基本的には、防除対策、防止対策、適応対策の3つである。どれをとっても困難な問題ばかりであるが、私はCO₂吸収に果たす海洋の役割を解明する仕事を通して、問題解決に少しでも貢献したいと思っている。