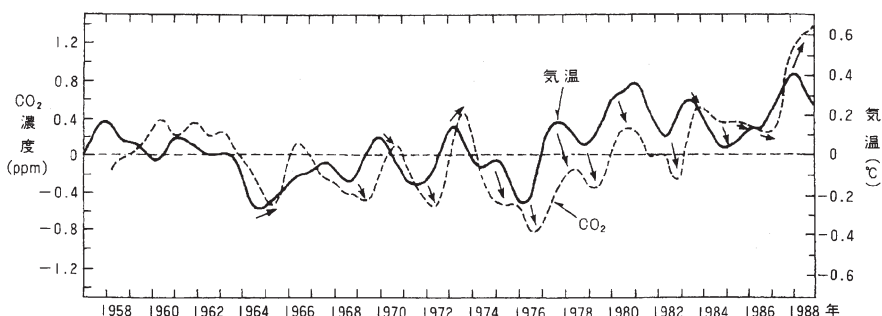


質問：気温の変化が二酸化炭素の変化に先行するのはなぜ？

二酸化炭素を含む温室効果ガスの増加を原因とする気候の温暖化が騒がれていますが、二酸化炭素の経年変化を示した第1図 (Keeling et al., 1989の p. 210の Fig. 63; 根本, 1994の p. 151の図7-4)によれば、気温の変化が二酸化炭素の変化に1~1.5年先行しているように見えます。これはどのように考えたら良いのでしょうか？



第1図 気温の変化と二酸化炭素の変化の対応。CO₂は気温の上昇よりは遅れて変化していることがわかる。根本 (1994) の図8-12より引用。

ここで、第1図の気温の変化は、Hansen and Lebedeff (1988) のデータを一部更新したもので、全球平均の月平均気温をスプラインでつないだものを1951-1970年の平均値からのずれとして示したもので、CO₂はマウナロアと南極観測点の平均値で、長期的な上昇曲線と季節変化は抜いてあり、年々変動のみを見ているものです。

参考文献

Hansen and Lebedeff, 1988 : Global surface air temperatures : Update through 1987, Geophys. Res. Lett., 15, 323-326.
 Keeling, C. D., R. B. Bacastow, A. F. Carter, S. C. Piper, T. P. Whorf, M. Heimann, W. G. Mook and H. Roeleffzen, 1989 : A three-dimensional model of atmospheric CO₂ transport based on observed winds, Aspects of Climate Variability in the Pacific and the Western Americas, Ed. by D. H. Peterson, AGU Monogr., 55, 165-363.
 根本順吉, 1994 : 超異常現象, 中公新書, 中央公論社, 235pp.

回答：問題とされている図に関してまず注意しなければいけないのは、質問文中でも指摘されている通り、二酸化炭素の長期的な上昇傾向が除いてあるという点です。地球温暖化の原因となるのは正にこの長期的な上昇傾向です。それが取り除かれたこの図で表されているのは自然起源の変動であり、人間活動に端を発する地球温暖化とは比較的關係の少ないものと言えます。

図に表されているように、自然起源による二酸化炭

素濃度変動振幅は0.5 ppm程度、変動の特徴的なタイムスケールは数年程度です。例えば大気大循環モデルを用いた地球温暖化実験において、100年程度のタイムスケールで二酸化炭素濃度が350 ppmから700 ppmに倍増したときの典型的な昇温幅が2~6°Cである(IPCC, 2001)ことを考えると、図の振幅・タイムスケールは非常に小さなものであり気温にはほとんど影響を与えないレベルです。このような場合、二酸化炭素は

受動的な大気成分として振る舞い、気温や降水といった環境条件の変動の影響を受けそれらより位相の遅れた変動を示します。一方地球温暖化問題の場合は、大きな濃度変化が長期間にわたって続くため放射バランスの変化を通じ気温を能動的に変える要因として働きます。

図の自然起源の二酸化炭素の変動が、具体的にどのような環境条件の変動によってもたらされるのかについては、完全に合意が得られた状態ではありません。ただし、エルニーニョの発生が深く関連していることは間違いなく考えられています (Steffen *et al.*, 2004)。エルニーニョは全球平均気温にも影響を与えますから、エルニーニョ発生と二酸化炭素濃度の変動との関係を考えることで、図の気温と二酸化炭素濃度との関係にも示唆が得られます。

全球規模で見たとき、エルニーニョは気温上昇と降水低下をもたらすと言われています。そうした変動が二酸化炭素濃度に影響を与える機構として、代表的なものを3つ挙げる事が出来ます。すなわち、旱魃による陸域生態系の生産力低下、昇温による土壌有機物の分解促進、乾燥による森林火災の増加です (Steffen *et al.*, 2004)。ここで大気-海洋間における二酸化炭素交換量の変動は主たる原因ではないと考えられています。エルニーニョ発生ののち二酸化炭素濃度は増えることが知られていますが、エルニーニョ発生時には太平洋赤道域の湧昇流が減って高濃度の全炭酸を含む深層水が海面に到達しにくくなり、海洋から大気への二酸化炭素放出が減少し大気中二酸化炭素濃度を逆に下げる方向に働くことが知られているため、またその変動の振幅自体も大きくはないと考えられています (Le Quere *et al.*, 2000)。なお上記3つの機構の相対的寄与の大きさについては、現在研究者の間で議論が行われており定説は得られていません (例えば Zeng *et al.*, 2005)。

以上で述べたことをまとめます。図の自然起源の二酸化炭素濃度変動の機構は現在活発な議論の対象と

なっており、陸域における炭素循環過程の変動が主な原因と考えられています。しかし地球温暖化で問題とされる人為起源の二酸化炭素増加に比べ、こうした自然起源の二酸化炭素濃度の変動は、放出源・濃度変化の大きさ・タイムスケール、いずれの点でも異なっています。気候との関係を考える場合、基本的にはこの2つを分けて考える必要があります。

(海洋研究開発機構 河宮未知生)

謝辞

本稿執筆にあたり海洋研究開発機構・地球環境フロンティア研究センターの加藤知博士にはコメントをいただきました。ここに謝意を表します。

参考文献

- IPCC, 2001: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J. T., Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C. A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881pp.
- Le Quere, C., J. C. Orr, P. Monfray and O. Aumont, 2000: Interannual variability of the oceanic sink of CO₂ from 1979 through 1997, *Global Biogeochem. Cycles*, 14(4), 1247-1265.
- Steffen, W., A. Sanderson, P. D. Tyson, J. Jager, P. A. Matson, B. Moore III, F. Oldfield, K. Richardson, H. J. Schellnhuber, B. L. Turner and R. J. Wasson (eds), 2004: *Global Change and the Earth System: A Planet Under Pressure*, IGBP Global Change Series, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 336pp.
- Zeng, N, A. Mariotti and P. Wetzel, 2005: Terrestrial mechanisms of interannual CO₂ variability, *Global Biogeochem. Cycles*, 19, 1016, doi: 10.1029/2004GB002273.