

気候変化と地球温暖化

☞「ヒートアイランド」p. 582

climate change and global warming

「地球温暖化」問題とは何か? 「地球温暖化」問題とは、図1に示すように、20世紀後半以降、地球全体の平均気温が急激に上昇している事実に対し、二酸化炭素に代表される温室効果ガスの人間活動による増加が主たる原因ではないか、もしそうならば温室効果ガス増加を今後どう抑制すべきか、という対策を含む問題群としてとらえられている。さらに、今後、温室効果ガス増加が続けば、全球的な気温はどのように変化(上昇)するか、また、気温だけでなく、降水量などの他の気候要素もどう変化するか、地域的な変化傾向はどのようになるかなど、気候の将来予測の問題も含めて、「地球温暖化」問題は議論されている。ただ、この問題には、以下に述べるようないくつかの不確定な部分があり、それらをめぐって多くの議論がなされている。

●**全球的な気候変化の推定における不確定性** まず図1に示した全球平均の気温変化の信頼度はどの程度か? 地上気温のデータは、各大陸で19世紀後半から20世紀初め以降で観測しており、この気温データは全球の陸上での平均気温としてはかなり信頼度が高いと考えられる。20世紀後半以降の気温の急上昇については、都市化による気温上昇の影響が懸念されるが、IPCC第4次報告書(IPCC, 2007)では、都市化によるヒートアイランド効果を明らかに示す大都市の気温データを統計から除外することや、都市化の影響が表れやすい日最低気温も日最高気温と同様の長期傾向を示していることなどの分析により、最近(1970年代以降)の全球平均気温に見られる顕著な気温上昇傾向は、都市化の影響を受けた結果ではないと結論づけている。

また、20世紀以降の海面水温の変化傾向も、図1と同様の傾向を示していることが明らかになっている。図2には、ヨーロッパ地域を中心に、木の年輪や歴史的資料などのデータから復元した、紀元700年以降のより長期的な気温変動傾向を示す。当然、このようなデータには推定誤差も大きい。ただ、中世の温暖

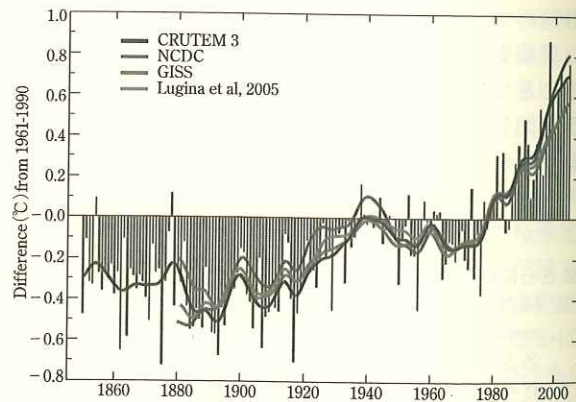


図1 地球全体の平均気温の年次変化
[出典: IPCC 2007]

期といわれる1000~1100年頃はやや気温が高く、小氷期といわれる1600~1850年頃は比較的低温な時期があったことが推定される。中世の温暖期と比較しても最近数十年の全球的な平均気温は高いことが図2からは推定されるが、中世の温暖期は現在と同程度かそれ以上に温暖であったとの主張もある。

●**気候変化に関与する人為要因と自然要因** では、気温を代表とする気候要素の長期的な変化を引き起こす要因にはどのようなものがあるか? この要因は、大きく分けて、人間活動がもたらしている人為要因と、人間活動が関与していない自然要因に分けられる。人為起源で最も大きいとされるのが、二酸化炭素などの温室効果ガスの増加である。人間活動で増加しているとされる温室効果ガスである二酸化炭素(CO₂)、メタン(CH₄)、一酸化窒素(N₂O)の大気中濃度の過去約2000年の変化データによると、例えば二酸化炭素濃度は、280 ppm前後でほぼ一定であったのが、産業革命による工業活動の活発化が始まったとされる1800年代の中頃からの増加し、特に1900年以降、非常に顕著に増加しており、他の二つの温室効果ガス濃度も、同様の傾向を示している(IPCC, 2007)。

一方、人為要因で気温を下げる効果として指摘されているのが、大気中のエアロゾルの増加である。エアロゾルとは、粒径が0.01 μm~10 μm程度の大気中の浮遊微粒子の総称であり、工場や車などから煙や排ガスに多く含まれている。このエアロゾルが増えると大気の混濁度が増え、日射を直接さえぎる効果(直接効果)と、雲の凝結核となることにより雲を増加させ、やはり日射をさえぎる効果(間接効果)により、地表面付近の大気加熱を弱めて気温を下げることになる。また、森林破壊などの土地利用改変も地表面のアルベド(日射を反射させる割合)を変化させ、放射収支の変化を通して気温を変える可能性がある。自然要因としては、太陽活動の変化に伴う地球への全放射量の変化の他、火山活動によるエアロゾルの増加などが考えられる。

温室効果ガス増加やエアロゾル増加による気候影響を定量的に見積もるとどうなるであろうか。IPCC(2007)では産業革命以前の18世紀中頃と比較してそれぞれの増加が地表面での放射収支をどの程度変化させたかという(放射強制力とよばれる)量を見積もった結果、温室効果ガスはプラス、エアロゾルはマイナスだが、合計すると、温室効果ガスのプラス効果が最も効いており、地表面を暖め

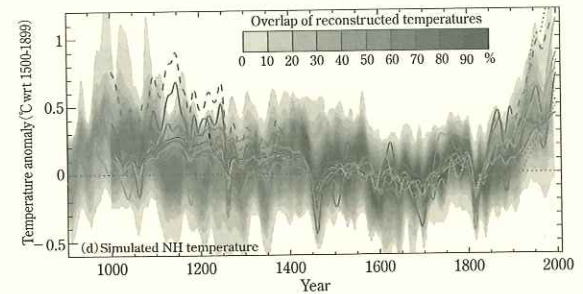


図2 過去1000年の北半球気温の推定値(IPCC2007)
[出典: IPCC 2007]

る方向に働いている。

温室効果ガスもエアロゾルも20世紀以降、特に顕著に増加している。これらのトータルの効果として、実際に地球の気温はどう変化してきたか？ 図3は、世界のいくつかの大気海洋結合気候モデルにより、これらの人間活動の影響を評価した結果である。太陽活動や火山噴火などの実際に生じた自然変動の要因による強制だけの1900～2005年の全球平均の気温変動の再現（下図）では、現実の顕著な上昇傾向の気温変動（黒実線）とは合わないが、人間活動の影響（温室効果ガス+エアロゾル）を含めた再現（上図）は、ほぼ再現されることが示された（IPCC 2007）。すなわち、特に1960年頃からの顕著な温暖化傾向は、温室効果ガス増加の影響を考慮しないと説明できないことになる。1960～70年頃に、実際の気温がやや下降傾向になっているが、これはアグン火山の噴火の影響に加え、人間活動起源のエアロゾルが非常に増えた時期にも対応している。温暖化傾向の強い最近30年の気温変化の分布は、北半球の中・高緯度、特にユーラシア大陸上での温暖化傾向が強いことがわかるが、気候モデルによる再現でも、かなり似たような傾向の空間分布が再現されている。

●**気候変化の将来予測における不確実性** これらの気候モデルで、今後の温室効果ガス増加を想定して、その放射強制を計算して気温の将来予測をすることができる。温室効果ガスの増加は、今後の人間活動そのものがどうなるかで、大きく変わってくるわけで、IPCC（2007）では、グローバルスケールでのいくつかの産業活動の規制（計画）に基づく温室効果ガス排出の今後のシナリオをつくって、予測を行っている。それらのシナリオによる2100年までの全球平均気温の予測では、最も規制の厳しいシナリオでは、2050年までは緩やかに温室効果ガス濃度は増加するが、その後は減少し、2100年には、1980年頃のレベルに戻るといえる。それでも、0.6℃程度気温は上がることになっている。もっと現実的なシナリオに沿った予測では、2～3℃程度も上がることになる。

これらの気温変化（地球温暖化）シナリオは、政府間の温室効果ガス規制に関する国連の条約（気候変動に関する国際連合枠組条約：UNFCCC）の締約国会議（COP）の議論で、良くも悪くも、議論の元になる数値となっている。

ここで問題になるのが、予測に用いられているこれらの気候モデルの信頼性、あるいはモデルのもつ「不確実性」がどの程度であるかということである。図3からわかるように、全球スケールの平均気温の予測については、モデル間のばらつきはあるものの、長期的な傾向については、かなりいいパフォーマンスをもっているといえる。ただ、さらに細かい地域的な変化の予測はまだかなり問題がある。特に、地球全体が温暖化した時、降水を含む水循環が地域的にどう変化するかという問題は、今後の重要な課題であるが、不確定な問題も大きい。例えば、積乱雲系の雲と降水が卓越する熱帯やモンスーン地域は、放射や潜熱のエネルギー過

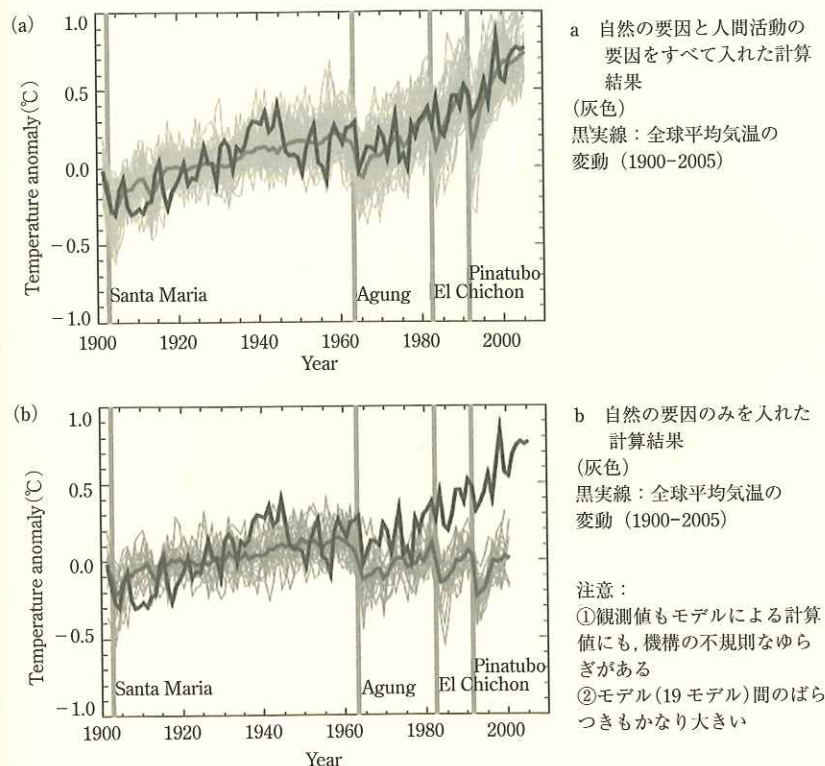


図3 人間活動の影響評価 (大気海洋結合気候モデルによる)
[出典：IPCC 2007]

程についてもモデルの格子点以下の (1～100 km 程度) の小さなスケールでの現象が卓越するが、現在のモデルは、これらのプロセスの再現について、限られた観測データに基づく「パラメタリゼーション」という近似を行っているため、系統的な再現・予測での不精確さ、不確実性がつきまとう。当然、これらの地域での降水現象の再現と予測の精度は大きな問題として残されている。 [安成哲三]

■さらに詳しく知るための文献

- [1] 安成哲三 2011. 「第10章：地球の気候とその変動のしくみ、第11章：地球気候におけるアジアモンスーン、第12章：近年の「地球温暖化」と異常気象」川上伸一・藤井直之編著『現代地球科学』放送大学教育振興会、pp. 168-228.
- [2] 安成哲三 2011. 「水循環システムとしてのアジアモンスーンとその変動」清水裕之他編『水の世界学一人との関わりから考える』第2章、名古屋大学出版会、p. 328.
- [3] 安成哲三 2010. 「過去の気候変化から学ぶ「地球温暖化」の意味 変化する地球環境に對峙する新たな知の創出」総合地球環境学研究所編『地球環境学辞典』弘文社、p. 22-23.