

地球温暖化と二酸化炭素との関係に関する一考察

山下 明 博

A Consideration of the Relationship between Carbon Dioxide and Global Warming

Akihiro YAMASHITA

はじめに

筆者は「国際協力」という講義において、地球の環境問題というテーマの中で、地球温暖化について政府・企業・NGO等がどのような姿勢をとっているかについて論じてきた。

地球の環境問題は非常に重要なテーマである。しかし、政府・企業・NGO等の「人類がこれ以上二酸化炭素を排出し続ければ、地球は温暖化する」という、地球温暖化二酸化炭素原因説の妥当性には疑問を感じている。また、二酸化炭素の排出削減という名目で、発電過程において二酸化炭素を排出しないとされる原子力発電の導入が促進されていることにも懸念を抱いている。

本稿は、地球温暖化二酸化炭素原因説の誕生から普及までを俯瞰するとともに、その根拠とされる内容を明らかにする。そして、地球温暖化二酸化炭素原因説に対する疑問を提示して問題点を論じるとともに、二酸化炭素の排出削減という名目で推進される原子力発電導入の問題点について指摘するものである。

I. 地球温暖化二酸化炭素原因説の誕生から普及まで

世界で初めて二酸化炭素の温室効果を指摘したのは、スヴァンテ・アレニウス (Svante August Arrhenius) で¹⁾、1896年のことである。しかし、これは二酸化炭素により大気が保温されるというもので、現在の地球温暖化二酸化炭素原因説より単純な仮説であった。

現在の地球温暖化二酸化炭素原因説を最初に主張したのは、NASA 宇宙飛行センターの大気学者ジェームズ・ハンセン (Hansen, James) である。1982年にサイエンスに投稿された「増大する大気二酸化炭素の気象への影響」という題の論文で、彼は、

「次の世紀 (21世紀) に予想される地球温暖化はほとんど例のないもので、エネルギー消費の伸びを低下させ、化石燃料と非化石燃料の併用を進めても最大2.5℃の温度上昇が見込まれる。これは恐竜が生きた中生代の暖かさに近づくほどのものである。この温暖化によって南極の氷が溶け、その結果海面が上昇して世界の多くの都市が水没し、内陸部は砂漠化するおそれがある。」

と述べている²⁾。

1) 丸山茂徳「『地球温暖化』論に騙されるな！」講談社、2008、p. 25.

2) 矢沢 潔「地球温暖化は本当か？」技術評論社、2007、p. 18.

そして、1992年に国連が開催した「環境と開発に関する国際連合会議（地球サミット）」では、「気候変動に関する国際連合枠組条約（UNFCCC）」が合意された。その内容は、

「大気中の二酸化炭素等の温室効果ガスの増加が地球を温暖化し、自然の生態系等に悪影響を及ぼすおそれがあることを人類共通の関心事であると確認し、大気中の温室効果ガスの濃度を安定化させ、現在及び将来の気候を保護することを目的とする。」

というものである。

この条約に実効性を持たせるため、1997年に京都で開催された「地球温暖化防止京都会議」で「京都議定書」という行動計画書が議決された。

「2008～2012年の実施期間に先進国全体で、二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素を1990年と比べて、また代替フロンなど3種（HFC、PFC、SF₆）のガスを1995年に比べて、5.2パーセント削減する。」

という内容で、先進各国が温室効果ガス排出量を1990年より6～8パーセント削減する目標を掲げた³⁾。

次に、地球温暖化二酸化炭素原因説を全世界に広めたのが、アル・ゴア（Albert Arnold "Al" Gore, Jr）が地球温暖化の危機を訴えた映画「不都合な真実」である。2006年に公開されたこの映画で、彼は、人類が石炭・石油などの化石燃料を燃やし、活発な経済活動を行い始めた産業革命以降、20世紀までの間に地球の平均気温は0.6℃上昇し、急激な上昇カーブを描いていること、その原因が温室効果ガスであること、なかでも私たちが排出する二酸化炭素が主犯であることを主張している⁴⁾。

そして、アル・ゴアの主張の基礎にあるのが、国連のIPCC⁵⁾の報告書である。2007年にIPCCが発表した第4次評価報告書においては、

「20世紀半ば以降に観測された世界平均気温の上昇は、その大部分が人為的な温室効果ガスによる可能性が非常に高い（90パーセント以上）⁶⁾。2004年の人為起源の温室効果ガス総排出量に占めるガス別排出量の内訳で、（二酸化炭素換算ベース）温室効果ガスのうちの56.6パーセントが、化石燃料由来の二酸化炭素である。」

と記されている。

また、アル・ゴアの映画のヒットにより、二酸化炭素排出量を削減すべしという動きが全世界を席卷し、アル・ゴアとIPCCは、2007年度のノーベル平和賞を受賞することになる。

II. 地球温暖化二酸化炭素原因説の根拠

地球温暖化二酸化炭素原因説とは、二酸化炭素の温室効果によって、地球の温暖化が進んでいるのだという説であり、ほぼ定説のように語られている⁷⁾。

3) 矢沢 潔, 前掲書, pp. 42-43.

4) 丸山茂徳, 前掲書, p. 16.

5) Intergovernmental Panel on Climate Change の略称。日本語では「気候変動に関する政府間パネル」と呼ばれ、1988年に、世界気象機関と国連環境計画が、温室効果ガスと地球温暖化について調査する目的で設置した国連機関である。

6) 丸山茂徳, 前掲書, p. 21.

7) 丸山茂徳, 前掲書, p. 56.

太陽から地球に届く光エネルギーのうち、約3分の1は大気や地面に反射されて宇宙に出て行く。そして、残り約3分の2が地表や海面に到達し、地球を暖めると同時に、大気自体も暖かくなる。この大気中の水蒸気、二酸化炭素、メタンなどには、一度入ってきた熱を外に出て行きにくくする働き（温室効果）があり、これらを「温室効果ガス」と呼んでいる。もし、この温室効果が存在しなければマイナス18℃に下がるはずの地球上の温度が、温室効果ガスのもたらず温室効果のおかげで15℃になり、人間が地球上で生活することができる。ところが、人間が工業化に伴い大量の化石燃料を消費したことにより、二酸化炭素の排出量が増加し、大気中の二酸化炭素濃度が、過去1世紀に290 ppm から355 ppmへと65 ppm増加し、その結果、気温が0.75℃上昇したとIPCC報告は語っている⁸⁾。

地球温暖化二酸化炭素原因説の証拠とされるのは、以下のようなものである。図1は、ジェームズ・ハンセンらが1988～1996年に提出した論文をもとに作成された、1880～1990年の気温と二酸化炭素濃度の推移を示すグラフである。約1世紀にわたって、二酸化炭素濃度の上昇と気温の上昇が相関を保って並行しているこのグラフは、人間活動による二酸化炭素の放出が気温を上昇させている証拠とされた。これは、IPCCの報告と合致しており、「京都議定書」の策定にも決定的に影響を与えた⁹⁾。

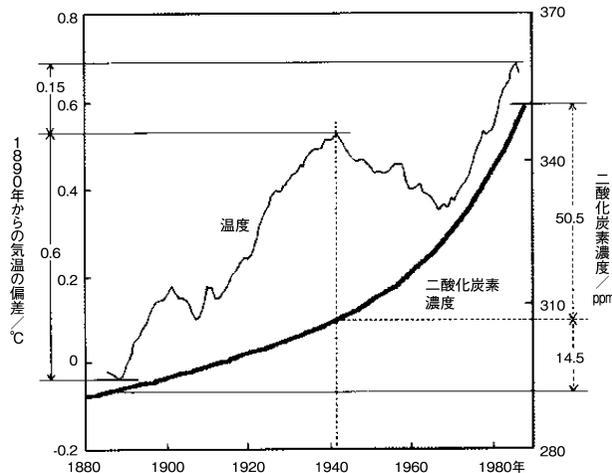


図1. 気温と二酸化炭素濃度の上昇の関係
出典：矢沢 2007, p. 138

さらに、IPCCの報告書では、スーパーコンピュータのシミュレーションにより、2100年には最悪6.4℃気温が上昇し、海面が59 cm上昇すると予測しており¹⁰⁾、この結果が、地球温暖化の二酸化炭素原因説で多く引用される。

8) 矢沢 潔, 前掲書, p. 140.

9) 矢沢 潔, 前掲書, pp. 138-140.

10) 丸山茂徳, 前掲書, p. 30.

Ⅲ. 地球温暖化二酸化炭素原因説に対する疑問

筆者は「国際協力」という講義において、地球温暖化について政府・企業・NGO 等が二酸化炭素原因説を採用し、二酸化炭素排出量の削減こそが、地球温暖化を防ぐことにつながると考えていることを示してきた。

しかし、この「地球温暖化二酸化炭素原因説」の妥当性には3つの疑問を感じている。本章では、その疑問を指摘する。

1. 二酸化炭素濃度の上昇が原因で気温が上昇するのか？

地球温暖化二酸化炭素原因説では、二酸化炭素濃度の上昇が原因で、気温の上昇が引き起こされるとされている。はたして、これは正しい考えであろうか？

前章で示した図1のグラフでは、確かに、1世紀にわたって、二酸化炭素濃度の上昇と気温の上昇が相関を保って並行している。

しかし、グラフをよく見ると、この1世紀に起こった温度上昇0.75℃のうち、約80パーセントに相当する0.6℃は第二次世界大戦以前である1940年に達成されており、それ以後現在までの温度上昇は約20パーセント(0.15℃)でしかない。これとは対照的に、この1世紀に起こった二酸化炭素濃度上昇 65 ppmのうち、1940年以前には全体の22パーセント(14.5 ppm)しか増加しておらず、残りの大部分に相当する78パーセント(50.5 ppm)は第二次世界大戦以降に増加していることがわかる¹¹⁾。これは、二酸化炭素濃度の上昇が原因で、気温の上昇が引き起こされるのではなく、気温の上昇が原因で、二酸化炭素濃度が上昇したことを示している。

また、図2のグラフは、短期的な気温変動と二酸化炭素濃度の関係について研究した、ハワイ・マウナロア観測所のキーリング(C. D. Keeling)らのデータであり、30年間の観測値から長期的な変動傾向を取り除き、大気中の二酸化炭素濃度の変動と気温変動の二者関係を抽出したものである。この観測結果を見ると、気温の曲線と二酸化炭素の曲線が少しずつずれており、「ずれ」がすべて同じ方向であること、二酸化炭素の曲線が、気温の曲線のピークに比べて数ヶ月右に位置していることから、気温の変動が先行し、半年から1年遅れで大気中の二酸化炭素濃度が追従して変動していることがわかる¹²⁾。このように、二酸化炭素濃度の上昇が原因で気温が上昇するという仮説には疑問がある。

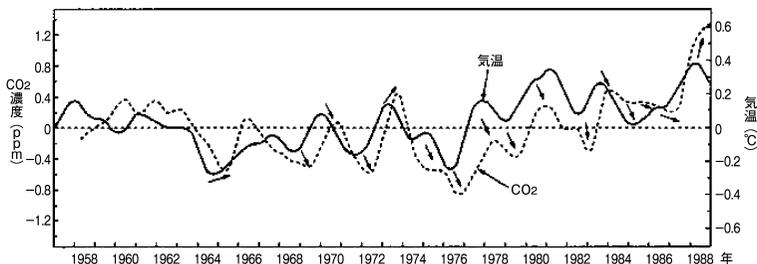


図2. 平均気温と二酸化炭素濃度の推移

出典：丸山 2008, p. 59

11) 矢沢 潔, 前掲書, p. 140.

12) 丸山茂徳, 前掲書, p. 59-60.

2. 大気中の二酸化炭素の温室効果が地球温暖化の最大の原因か？

IPCC の第 4 次評価報告書には、2004年の人為起源の温室効果ガス総排出量に占める温室効果ガスのうちの56.6パーセントが、化石燃料に由来する二酸化炭素であると記されており、地球温暖化を効果的に防ぐには、温室効果ガスの中の二酸化炭素排出量を削減すべきであるという考えが広く流布している。しかし、この考え方には疑問を抱く。

温室効果ガスとは、分子内結合の振動と双極子モーメント変化（つまり分極）が可能であり、赤外線エネルギーを分子内に蓄えることができる気体のことである。このような気体が、地球の大気内にあるかを考えてみる。

大気中には、質量比で、75.35パーセントの窒素 (N_2)、23.07パーセントの酸素 (O_2)、1.283パーセントのアルゴン (Ar) が存在するが、これらの気体には、温室効果はない。温室効果があり、赤外線エネルギーを分子内に蓄えることができるのは、0.330パーセントの水蒸気 (H_2O)、0.054パーセントの二酸化炭素 (CO_2)、0.00064パーセントのオゾン (O_3) である。これはすなわち、温室効果ガスの8割以上は水蒸気であり、二酸化炭素は約1割であることを意味している。

しかし、地球温暖化二酸化炭素原因説では、温室効果ガスに水蒸気を含めない扱いをしており、京都議定書や法律の規定でも同様である。科学的には、温室効果ガスとして最も大きな影響を持っているのは水蒸気である。それなのに、京都議定書や法律の規定で、最も温室効果をもたらしている水蒸気が削減対象とされておらず、二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素のみの排出量を削減することになっているだろうか。これは、人為的に大気中の水蒸気量を制御するのが困難なためであるとされている。

また、IPCC の報告書では、「放射強制力」という考え方が取り入れられている。これは、気温変動に関与するだろうと考えられる要因に便宜的な数値を与えたものである。具体的には、地球の平均気温が15℃を保っているのは、水蒸気による温室効果であるということを前提とし、この15℃を基準点として、そこからの気温変動を水蒸気の温室効果以外の要因で相対的に表現しようという尺度である。そして、地球の気象を予測するスーパーコンピュータによるシミュレーションにおいても、放射強制力という考え方が取り入れられて計算が行われている。

ここで疑問なのは、放射強制力はいくまでも便宜的な数値であり、実証的に求めた数値ではないということである。地球の平均気温が15℃を保っているのは水蒸気による温室効果であるということを前提としているということは、水蒸気の温室効果を無視していることを意味し、水蒸気による温室効果が大きな役割を果たしているかどうかについて考察を加えていないことを意味している。また、水蒸気は雲を発生させ、太陽光線を遮断するために気温を冷却する役割も持っているが、地球の気象を予測するスーパーコンピュータによるシミュレーションにおいては、雲の量は一定として扱われており、雲の量の変化が気象に及ぼす影響について考察していない。

筆者は、大学時代にシミュレーション言語 tiny-GPSS を開発し、航空機離発着モデルについての研究を行った。このとき、現実世界を反映させるシミュレーションモデルをどのように構築するか、境界条件となるパラメタをどのように調整するかによって、コンピュータによるシミュレーション結果というものは大きく変化し、自分に都合の良い結果が求まるようにパラメタを操作することは困難なことではないということを知った。水蒸気による温室効果や雲による冷却効果といった、本来はモデルの中に組み込むべきパラメタを、放射強制力という便宜的な数値にして計算するということは、シミュレーション結果にも大きな影響を与えると考えるべきであり、スーパーコンピュータによるシミュレーション結果に全幅の信頼を寄せることはできない。

このように、大気中の二酸化炭素の温室効果が地球温暖化の最大の原因であるという仮説は、温室効果ガスの8割以上を占める水蒸気の働きを無視しているという点で疑問がある。

3. 大気中の二酸化炭素の濃度が上昇し続けると温室効果がさらに増加し続けるのか？

地球温暖化二酸化炭素原因説では、大気中の二酸化炭素濃度が上昇し続けると、温室効果ガスである二酸化炭素が、地球放射¹³⁾の赤外線をより一層多く吸収し、温室効果が高まるために地球温暖化が進行するとされている。

温室効果ガスは、分子内結合の振動と双極子モーメント変化（つまり分極）が可能であり、赤外線エネルギーを分子内に蓄えることができる気体であると述べた。しかし、温室効果ガスには個々の赤外線吸収特性があり、それに応じて、地球放射の特定の波長帯の赤外線を吸収する¹⁴⁾。二酸化炭素が、あらゆる波長帯の赤外線を吸収するわけではない。

地球放射のうち、8~12 μm の帯域は大気の窓と呼ばれ、大気に吸収されることなく大気圏外へと放射される。12 μm 以上の広い帯域では水蒸気が大部分の赤外線を吸収する。二酸化炭素が赤外線を吸収する波長帯は 15 μm 付近である。

図3は、人工衛星ニンバス4号が、夏の真昼にサハラ砂漠上で観測した地球放射のスペクトルを示したグラフである。このグラフで、8~12 μm の帯域は大気の窓に相当し、地球放射そのものになる。（ただし、10 μm がへこんでいるのは、オゾンによる吸収を意味している。）この8~

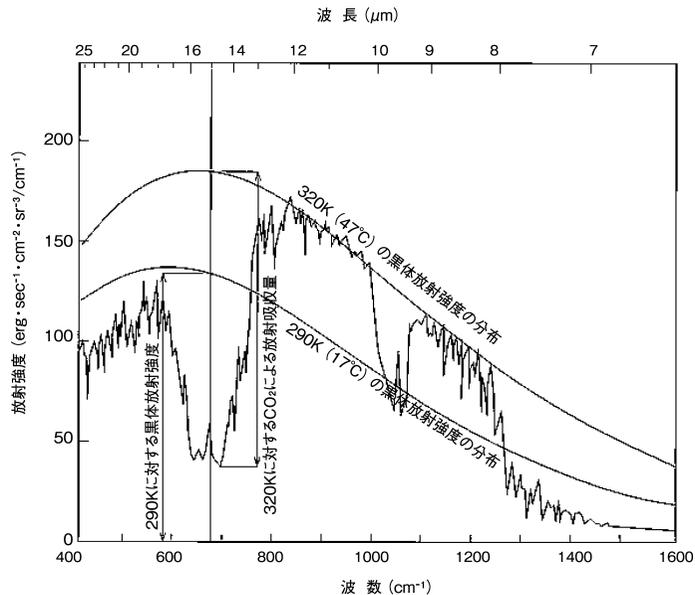


図3. 人工衛星ニンバス4号から見た地球放射のスペクトル
出典：近藤 2006, p. 62

- 13) 「地球放射」は、「太陽放射」と対になる用語である。「太陽放射」は、太陽からエネルギーが放射され地球に到達することをいい、「地球放射」は、地表へ到達した太陽放射によって温められた地表が、大気に向かって赤外線を放射することをいう。
- 14) 近藤邦明「温暖化は憂うべきことだろうか」不知火書房, 2006, p. 61.

12 μm の帯域で放射強度がほぼ同じになる黒体放射強度の分布を探すと、絶対温度320 (47 $^{\circ}\text{C}$) の黒体放射強度の分布が該当するので、サハラ砂漠の表面温度は47 $^{\circ}\text{C}$ と考えられる。

サハラ砂漠上で観測したのは、二酸化炭素が赤外線を吸収する 15 μm 付近の波長帯では、水蒸気も赤外線を吸収するため、乾燥して大気中に水蒸気がほとんど存在しない夏の砂漠の上空で観察し、二酸化炭素の赤外線吸収効果のみを測定するためである。そして、このグラフの 15 μm 付近の波長帯で、観測された放射強度が絶対温度320 (47 $^{\circ}\text{C}$) の黒体放射強度の分布より下がっていることがわかる。これは、二酸化炭素により赤外線が吸収されたことを意味し、約75パーセント程度の赤外線を吸収していることがわかる¹⁵⁾。

同じグラフに、地球の平均温度に近い絶対温度290 (17 $^{\circ}\text{C}$) の黒体放射強度の分布が重ねてある。気温が17 $^{\circ}\text{C}$ といった地域での地球放射はサハラ砂漠上に比べてかなり低く、波長帯 15 μm 付近では、絶対温度290 (17 $^{\circ}\text{C}$) の黒体放射強度よりも、サハラ砂漠での地球放射に対する二酸化炭素の赤外線吸収量のほうが大きいことがわかる。このことから、地球温度15 $^{\circ}\text{C}$ の平均的な環境においては、波長帯 15 μm 付近の地球放射の吸収に働く二酸化炭素の大気中濃度は、すでに飽和状態にあると考えられる¹⁶⁾。

このように、大気中の二酸化炭素の濃度が上昇し続けると温室効果がさらに増加し続けるという仮説は、すでに飽和状態にある二酸化炭素による波長帯 15 μm 付近の地球放射の吸収が飽和しているという点で疑問がある。

結 論

本論文で筆者は、「人類がこれ以上二酸化炭素を排出し続ければ、地球は温暖化する」という、地球温暖化二酸化炭素原因説の妥当性には疑問があることを示した。それは、

- (1) 二酸化炭素濃度の上昇が原因で気温が上昇するのか？
- (2) 大気中の二酸化炭素の温室効果が地球温暖化の最大の原因か？
- (3) 大気中の二酸化炭素の濃度が上昇し続けると温室効果がさらに増加し続けるのか？

という疑問である。

そして、(1) については、二酸化炭素濃度の上昇が原因で気温が上昇するのではなく、気温の上昇が原因で二酸化炭素濃度が上昇すること、(2) については、大気中の二酸化炭素の温室効果が地球温暖化の最大の原因ではなく、水蒸気のほうが地球温暖化に影響が大きいこと、(3) については、大気中の二酸化炭素の濃度が上昇し続けると温室効果がさらに増加し続けるのではなく、すでに二酸化炭素による地球放射の吸収は飽和していることを示した。

これは、地球温暖化の対策として、人為的に排出される二酸化炭素の量を削減しても、地球温暖化の抑止にはほとんど効果がないことを意味している。

また、日本が取りまとめた「京都議定書」に関しては、最大の排出国のアメリカが批准を拒否し、大排出国の中華人民共和国やインド、ブラジルは開発途上国という理由で排出削減を求められなかった。EU 各国及び日本も、排出量が議定書の目標から年を追うごとに遠ざかっており、議定書の目標達成は不可能と考えられる。そして、そもそも京都議定書は、その目標が完全に達

15) 近藤邦明, 前掲書, p. 61.

16) 近藤邦明, 前掲書, p. 62.

成できた場合でも、21世紀末に気温が2.6℃上がる所を2.42℃上げるだけの効果しかなく、地球温暖化を5年ほど遅らせることができるだけに過ぎない¹⁷⁾。

このように、現在行っている地球温暖化対策としての二酸化炭素排出量削減という努力は、莫大な費用がかかるにもかかわらず、その効果はほとんど期待できない。

そして、著者がもっとも問題であると考えるのは、二酸化炭素の排出量を削減するという名目で、二酸化炭素を排出しないとされる原子力による発電が推進されていることである。原子力発電については、技術者の細心の努力にもかかわらず、放射能汚染と核廃棄物の処理という問題が回って回る。1986年に旧ソ連のチェルノブイル原子力発電所で起こった事故は、ひとたび事故が発生し、放射性物質が大量に環境中に放出されると、一つの国のみならず、国境を越えて広範囲に被害を及ぼす可能性があることを全世界の人々に強く認識させた。

もし、地球温暖化を防ぐという名目で、原子力発電を開発途上国に技術移転し、大量の原子力発電所を建設した場合、放射能汚染という危険が一気に世界に拡散し、核廃棄物の処理問題が深刻になるのではないだろうか。

また、原子力発電を行うための関連施設や設備（特に、核廃棄物の最終処分施設など）を含めた真の「原子力発電の発電単価」を計算すると、原子力発電は、同量の電力を供給するため、石油火力と同程度かそれ以上の石油を投入していることになるという試算もある¹⁸⁾。

本稿では述べなかったが、地球が温暖化したほうが人類には住みやすい環境になるという考え方には説得力があるし、地球が温暖化ではなく、寒冷化に向かっているという考え方も存在する。

地球において人類がこれからも生きていくための最重要課題が、本当に、人為的な二酸化炭素排出量の削減なのか否かを今一度検討し、二酸化炭素排出量の削減に捉われず、人類にとって真に重要な課題を把握し、解決しようと努力することが、今、我々には必要なのではないかと考える。

[2008. 9. 29 受理]

17) ビョルン・ロンボルグ（山形浩生訳）「地球と一緒に頭も冷やせ！：温暖化問題を問い直す」ソフトバンククリエイティブ、2008、p. 41.

18) 近藤邦明、前掲書、pp. 138-140.