

「温暖化 vs 寒冷化」論争について

日大生産工 ○篠原正明
情報システム研究所 篠原健

1. はじめに

地球気候変動に関しては、IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) に代表される「人間活動に起因する CO₂ 等温室効果ガスの増加による地球温暖化説」と「観測データによれば逆に年々地球は寒冷化しているという寒冷化説」と大きく分けて2つの主張が存在し、表題でもある「温暖化 vs 寒冷化」論争が地球的規模で議論されている。後者の地球寒冷化説を主張するのは、例えば、海外ではデンマーク国立宇宙センター所長 Henrik Svensmark（文献 [2]）に代表される研究者集団である。本論文では既存の温暖化説と寒冷化説の主張点をまとめると共に、温暖化説と寒冷化説を我々が主張する「温暖化進行が寒冷化遷移の原因説（文献[3]）」の枠組で理解する提案を行う。

2. 温暖化説と寒冷化説

2007 年の IPCC 第 4 次報告書によれば、「全球平均温度の上昇、雪氷の融解、海面水位の上昇などの観測データにもとづき、地球温暖化は疑う余地がなく、今や明白（[1]より抜粋）」……以上が温暖化論支持者の大雑把な見解である。さらに、IPCC 報告書は、人間活動に起因する CO₂ 増加が温暖化の主要因の 1 つであり、全世界的規模での CO₂（温室効果ガス）削減の必要性を提唱している。一方、寒冷化論者は、地球寒冷化が現在進行中であると主張している。すなわち、太陽活動が不活発になると、太陽磁場と地球磁場が弱体化し、地球の銀河宇宙線に対する遮蔽効果も弱体化し、より多くの宇宙線が地球にふりそそぐことになる。地球への宇宙線照射量が増加すると雲を作る種（seed）の形成が促進され、その結果として雲（特

に低層の雲）の量が増加する。雲は太陽光を遮蔽するので、雲量の増加は地球寒冷化を促進する（以上は文献[2]）。

以上に説明したように、近未来の地球の気候変動という 1 つの研究テーマに対して、正反対の 2 つの仮説が議論されており、近い将来、どちらが正しいかは「論より証拠」で、結着するとの意見もあるが、時間スケール、温暖化の定義などに依存して、議論はそれほど単純ではない。そこで、本論文では筆者らが提案した「温暖化進行が寒冷化遷移の原因説」の理論枠組にそって、これら既存の温暖化説と寒冷化説を説明する試みを行う。

3. 「温暖化進行が寒冷化遷移の原因説」にもとづく考察

3.1 雲量係数を考慮したエネルギーフロー収支の方程式

地球大気層での雲による地球上での太陽光遮蔽効果ならびに地表からの反射エネルギーに対する雲の温室効果を新たに考慮した地球システムのエネルギーフロー収支を表現する方程式を以下に示す。

$$f_0 = (1-c)f_f + B(c)f_r \quad (1)$$

$$f_a = F(f_o) \quad (2)$$

$$f_r = f_o - f_a \quad (3)$$

なお、 f_0 、 f_f 、 f_a 、 f_r 等については文献[3]を参照のこと。但し、 c は雲量係数であり、雲による太陽エネルギーの遮蔽効果を表す。雲量=0なら $c=0$ である。又、雲が多くなれば、温室効果係数 B も増加するので、 $B'(c) > 0$ を仮定する。

3.2 動作点における方程式の1次近似解

非線形連立方程式(1)～(3)において、 f_o 、 f_a 、 f_r が変数パラメタ、 f_f 、 c は所与のパラメタ、 $B(c)$ は所与の関数である。方程式(1)～(3)の解は、関数 $f_a=F(f_o)$ の形状に依存して、「唯一の安定動作点」、「2つの安定動作点と1つの不安定動作点」、等の場合に分類できる(文献[3])。特に、「2つの安定動作点と1つの不安定動作点」の場合が、相対的温暖期から相対的寒冷期への非可逆的相転移(あるいは、その逆の相転移)と関連しており、 f_f 、 c 、 $B(c)$ などの所与データに対して2つの安定状態が存在する。1動作点での方程式の解を(4)式の1次近似式の下で陽解表現すると、(5)式を得る。

$$f_r = f_o - F(f_o) = R(f_o) \doteq a + bf_o \quad (4)$$

$$f_o = \frac{(1-c)f_f + aB(c)}{1-bB(c)} \quad (5)$$

3.3 雲量が地表気候に与える影響

(5)の分子第1項 $(1-c)f_f$ の効果のみに注目すると、(6)式を得る。

$$f_o \doteq \frac{(1-c)f_f}{1-bB(c)} \quad (6)$$

分子 $(1-c)f_f$ は雲量増加により減少、地表照射エネルギー f_o も減少、分母 $1-bB(c)$ も雲量増加により減少するが、地表照射エネルギー f_o を増加させる。分母をTaylor展開1次近似すると、(7)式を得る。

$$\begin{aligned} f_o &\doteq (1-c)f_f(1+bB(c)) \\ &\doteq f_f(1+bB(c)-c) \quad (7) \end{aligned}$$

すなわち、雲量増加により南極の氷原の様に太陽光を反射する度合いが多い地域では(b 大)、地表照射エネルギー f_o が増加し、相対的に温暖化傾向、それ以外の地域では(b 小)、地表照射エネルギー f_o が減少し、相対的に寒冷化傾向になるという観察データを裏付けている(文献[2]、3章7節「南極だけは雲で温暖化する」参照)。

以上の考察より、文献[3]では全地球に対して1つのエネルギー吸収関数 $f_a=F(f_o)$ を想定したが、地表の太陽光反射度合、雲量係数の度合に依存した複数地域に分割した地球システムに対してエネルギーフロー収支方程式を連立することにより、より詳細な検討が可能となると考えられる。今後の研究課題である。

3.4 現状認識

それでは、現在の地球は温暖化傾向、それとも寒冷化傾向のどちらであろうか?……短期的に見れば(あるいは局所平衡的には)、温暖化の過程にあり、長期的に見れば(あるいは局所平衡点間の遷移という立場からは)、寒冷化への相転移の過程にあると言える。すなわち、前者の視点に立てば、地球は年々温暖化しており、IPCC 報告書の内容を裏付けている。一方、後者の視点に立てば、地球温暖化進行と共に動作点是不連続遷移直前の状態に近づいており、いつ寒冷状態への不連続遷移が生じても不思議ではない。無摂動の非線形システムとして考えるならば、不連続遷移発生前までは動作点は温暖状態にあると考えられる。現実の地球気候システムは確率的摂動を含んでおり、不連続遷移発生前においても、確率的摂動として寒冷状態をとる頻度が増加する。このことは、大きな気候変動として観察され、平均的に見れば寒冷化傾向が観測されうる。すなわち、寒冷状態への遷移の前兆現象として、寒冷状態への確率的摂動型気候変動により、近年の地球寒冷化傾向を説明することができる。確率的摂動型気候変動が具体的にどのような現象となるか、例えば、台風の大型化・寒冷化?、雲量の増加?、時間的/地理的な寒暖差の増大?、等々、は今後の研究課題である。又、地球気候システムの持つ時定数の大きさ(あるいは安定性)からすれば、この不連続遷移発生前の確率的摂動型気候変動はある程度の期間(数十年あるいは数百年オーダー)は持続すると予想され、その後の適当な時期に温暖状態から寒冷状態への非可逆的遷移モードに移行すると考えられる。とこ

ろで、以上に説明した「寒冷化遷移への前兆現象」としての寒冷化の説明に対して、2章の寒冷化支持論者は賛成であろうか？文献[1]によれば、温暖化による海洋大循環の停止については懐疑的である。前兆現象の1つとして、雲量の増加等が説明できれば、「寒冷化遷移への前兆現象」の寒冷化論と2章の寒冷化論に共通点が見い出されるが、この点についての検討は今後の研究課題である。

3.5 温暖期と寒冷期の間の遷移

過去直近45万年間における気温変化の概略を図1に示すが、温暖期(間氷期)から寒冷期(氷期)への遷移では、ノコギリ歯状に気温が上下しながら、5～9万年かけて段階的に気温が低下している。一方、寒冷期から温暖期への遷移では、段階的な気温上昇は見られず、約1万年かけて一気に気温が上昇している。これらの過去45万年間の気温変化データ(図1)より、大気層を除く地球本体の持つ性能曲線 $y=F(x)$ を逆推定すると、図2に示す形状を持つことが予想される(多段複数深層流)。

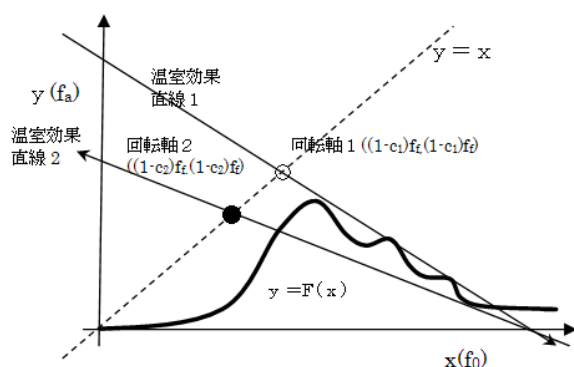


図2 予想される過去直近45万年間での地球本体のエネルギー吸収性能曲線 $y=F(x)$

図中の温室効果直線1と $y=F(x)$ の複数交点が温暖期から寒冷期への移行状況を表し、地球システムの持つ安定性ならびに確率的摂動ともあいまって、段階的な遷移となる。一方、温室効果直線2は、雲量がより増加し、かつ温室効果もより大きい状態を反映しており、この場合には一気に寒冷期から温暖期へ遷移する。この様に「行き」と「帰り」

で異なる遷移状況となるためには、例えば、寒冷期遷移後にさらに温室効果が増加し、雲量増加により回転軸が1(○)から2(●)へと移行する必要がある。

3.6 全球凍結のメカニズム

今から6～7億年前の地球においては、全球凍結(Snowball Earth)と言い「過去45万年間に周期=9万～11万年で疑似周期的に繰り返し発生した寒冷期」とは比較にならない規模の永期が複数回発生していた。地球全体が凍結し、地表温度は -50°C 前後、さらにはその継続時間も1000万年オーダーである。この全球凍結のメカニズムも基本的には過去直近45万年間での寒冷期発生・消滅のメカニズムと同じと考えられる。しかしながら、継続時間が1000万年のオーダーという安定性を考えると、その当時(6～7億年前)の地球全体エネルギー吸収性能特性は図2とは若干異なり、図3に示すように明確でシャープなエネルギー吸収性能低下部分を持つと予想される(単一超大洋での深層流)。

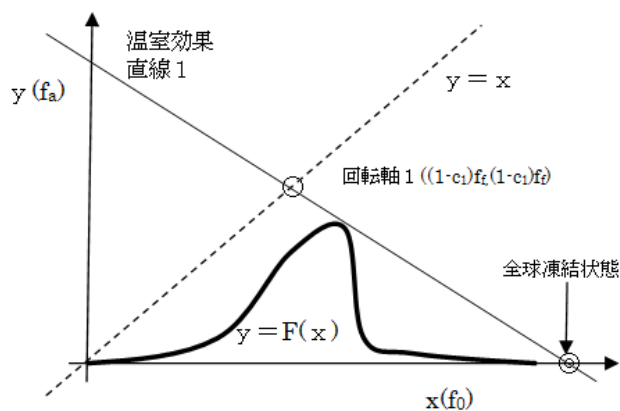


図3 予想される6～7億年前の地球本体のエネルギー吸収性能曲線 $y=F(x)$

3.7 トンネル効果

量子力学的微細な世界にある粒子が古典的ポテンシャル障壁を、時間とエネルギーの不確定原理により、透過する現象を、通常は、トンネル効果(あるいは量子トンネル効果)と言う。しかし、時間スケールを非常に拡大して考えるならば、「量子力学的な世界⇄我々人類が体感する地球気候の動作点

(年のオーダー)」、「我々人類が体感する古典的ポテンシャル障壁⇔均衡点を決定するエネルギーフロー収支の方程式(1)～(3) (万年オーダー)」の対応関係により、量子トンネル効果と同様な効果が方程式(1)～(3)の動作点でも観察される。それが、3.4節、3.5節で述べた「確率的摂動」に対応すると考えられる。すなわち、万年オーダーの長期的視点での動作点は年オーダーの短期的視点で見れば確率変動を伴っており、動作点が温暖期にあっても寒冷期へと確率的にトンネル効果が発生している。これを確率トンネル効果と呼ぶならば、量子トンネル効果では、我々人類視点がマクロ世界であるのに対し、確率トンネル効果では我々人類の視点がミクロ世界である点である。

4. おわりに

主たる地球温暖化説と地球寒冷化説を紹介し、「温暖化進行が寒冷化遷移の原因説」の枠組みで理解する提案を行った。雲量係数を考慮したエネルギーフロー収支方程式、雲量が地表気候に与える影響、温暖期と寒冷期の間の遷移にもとづく地球本

体のエネルギー吸収性能曲線の推定、6～7億年前の全球凍結のメカニズム、確率的摂動型気候変動のトンネル効果、などを考察した。

2010年夏の猛酷暑を経験した直後では「年々地球は寒冷化しているという地球寒冷化説」はどうも実感が湧かない。地球温暖化説の方が正しいと思ってしまう今日この頃である。来年以降も今年の夏のような状況が持続するのだろうか？また、日本のみならず、地球規模での気候変動に今後注目する必要がある。

参考文献

- [1] 丸山茂徳：「地球温暖化」論に騙されるな！、講談社(2008)。
- [2] H. スベンマルク、N. コルダー：不機嫌な太陽、恒星社厚生閣(2010)。
- [3] 篠原正明、篠原健：温暖化進行が氷河期への非可逆的相転移をもたらすメカニズム、平成18年度日本大学生産工学部第39回学術講演会・数理情報部会講演論文集, pp. 1-4(2006. 12)。

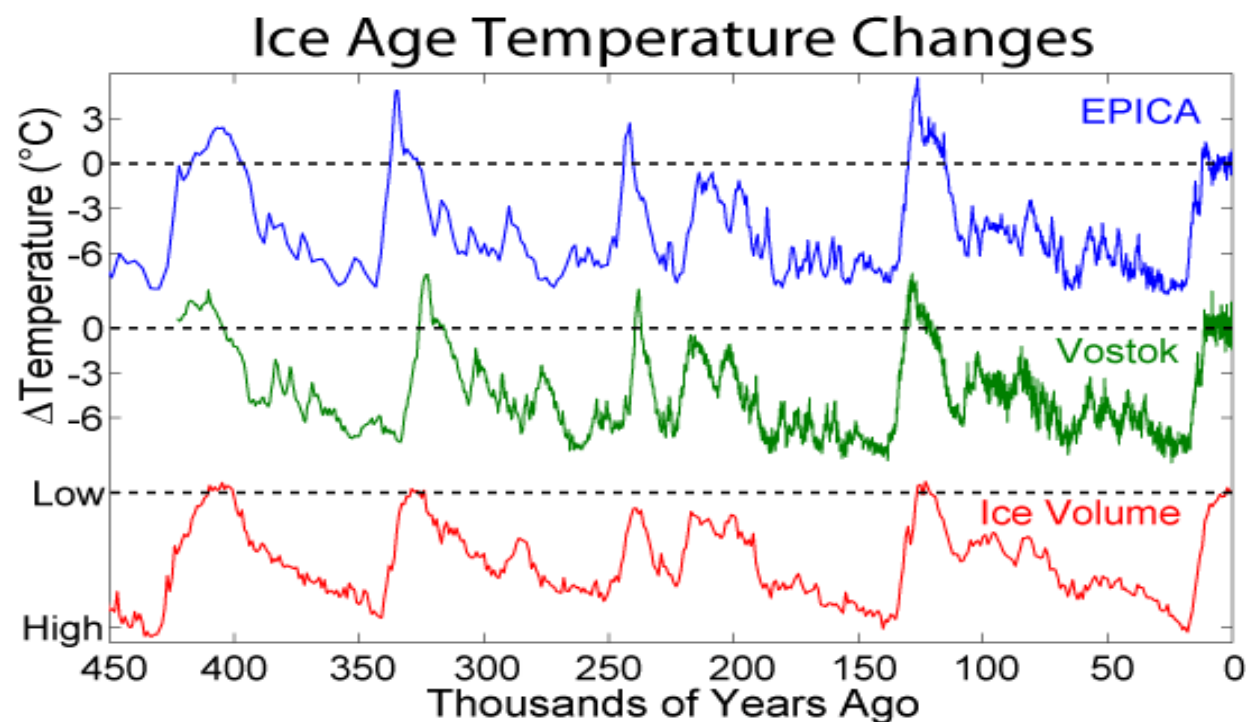


図1：過去45万年間の気候変化と氷床量の変化(Wikipedia 氷河期、氷床コア、より抜粋)