

地球温暖・寒冷期モード相転移・気候変動現象のミクロ的仮説シナリオ

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

地球温暖・寒冷期モード相転移については、地球本体の太陽エネルギー吸収特性 $y=F(x)$ が図1に示すように、加わるエネルギー x の増加と共に飽和し、その後一時的に減少する「性能低下現象」にCO₂等を主因とする「温室効果」の相乗効果を考慮した非線形システムでの動作点の遷移としてマクロ的には説明することができる（[1], [2], 等）。

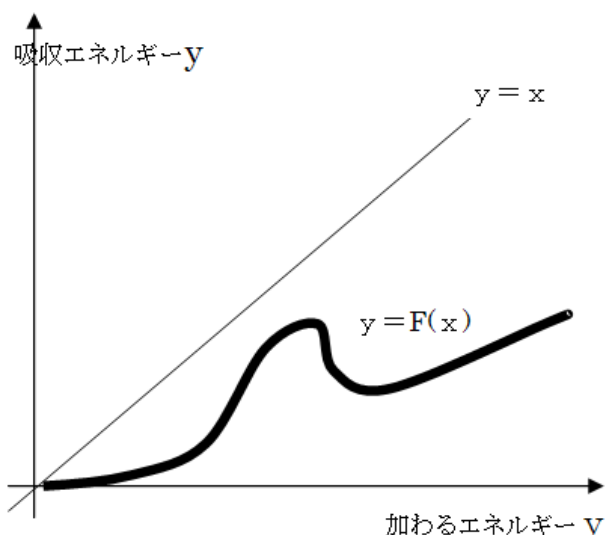


図1：地球本体のエネルギー吸収特性

本論文では、[2]の図2における温室効果直線1に沿った遷移と温室効果直線2に沿った遷移について、地球環境のミクロレベルにおいてどのような現象が発生するかを仮説シナリオとして推測・提起する。

なお、本論文では太陽エネルギーの変化とか地球軌道の変化などの地球外要因説ではなく地球内要因説の立場からの説明を試みる。

2、温暖期モードから寒冷期モードへの遷移

ハリウッド映画「The Day After Tomorrow」の描写にもあるように、急激な寒冷化現象が局地的に発生する場合の仮説シナリオとして、以下の正フィードバック（ $(a1) \rightarrow (a2) \rightarrow (a3) \rightarrow (a1) \dots$ ）が考えられる。

- (a1) 高緯度帯の氷原の中緯度帯への（微少な）拡大
- (a2) 地球のアルベド(albedo, 反射能)の増加
- (a3) 地球の気温低下

(a1) ～ (a3) の現象は摂動現象として、どこからスタートしてもこの正フィードバックは成立する。具体的には熱循環ベルトコンベアとしての海洋深層水の流れによる地球全体の気温平滑化の働きの鈍化による高緯度帯の海水温度の低下もその原因となりうる。

(a1) $\rightarrow$ (a2) $\rightarrow$ (a3) $\rightarrow$ (a1) の一連の正フィードバックは地球規模で見れば、瞬間的には生起しないが、局地的に見れば、かなりのスピードで、寒冷型台風などの気象現象をとまって、生起すると考えられる。この局地的な急激な寒冷化現象の繰り返しのによって、地球全体でも寒冷化が進行する。

3、寒冷期モードから温暖期モードへの遷移

寒冷期としての極端な場合として、「全球凍結」を想定しよう。地球が、一度、全面的に凍結すると、アルベドの上昇とあいまって、温暖な地球へ復帰することは不可能と考えられてた時があったが、仮説シナリオとして以下の正フィードバック（ $(b1) \rightarrow (b2) \rightarrow (b3) \rightarrow (b1) \dots$ ）を想定すれば、それが可能である。但し、

そのためには、水蒸気・大気・火山ガスなどの温室効果ガスが地球をおおう必要がある。

- (b1) 温室効果ガスの増加
- (b2) 地球の気温上昇
- (b3) 氷の融解による水蒸気の増加

以上の仮説シナリオは、全球凍結という極端な場合でなくとも、寒冷期モードから温暖期モードへの遷移を説明するためにも有効である。

又、2章と同様に、(b1)～(b3)の現象は摂動現象として、どこからスタートしてもこの正フィードバックは成立する。具体的には、火山活動の活発化により、大気中の温室効果ガスの増加もその原因となりうる。ところで、火山ガスなど温室効果ガスの一部は雲量の増加につながり、雲は保温効果と冷却効果をあわせ持つため、総合的数量評価は[2]の3.3節「雲量が地表気候に与える影響」で与えた評価式を用いるべきと思う。

(b1) → (b2) → (b3) → (b1)の一連の正フィードバックは地球規模で見れば、瞬間的には生起しないが、局地的に見れば、かなりのスピードで、温暖型台風などの気象現象をともなって、生起すると考えられる。この局地的な急激な温暖化現象の繰り返しによって、地球全体でも温暖化が進行する。

4、寒冷期モードの継続時間

[2]の図1を見てわかるように、過去45万年間の気候変動に注目すると、温暖期（間氷期と言う）と寒冷期（氷期と言う）が擬似周期的にくりかえし発生している。温暖期の継続時間は（オーダーで）約1万年前後、寒冷期の継続時間は（オーダーで）約10万年前後である。なぜ、温暖期が1万年で寒冷期が10万年なのだろうか？以下に寒冷期が10万年継続する仮説シナリオを提起する。

寒冷期には地表のより多くの部分が氷によりおおわれ、その結果として地殻の上層に氷層が形成される。極端な場合として、全球凍結を想定してほしい。硬い

氷層が形成されるため、一時的に地球内部のマグマは外部放出の道が断たれ、地球内部で局所的かつ全域でも対流する。

マグマが対流する理由は熱平衡の実現にあり、地球を内側から均等に温める役目をこなす。海洋大循環が地表温度の一様化をになっているのと同じである。

マグマの対流の速度は、地球一周に0.2万年のオーダーとされる海洋大循環よりも、さらに遅く、地球一周が1～2万年のオーダー位、あるいはそれ以上であろう。

そうであれば、地球内部でマグマが一様にかくはんされ、さらなる地球内部からの熱エネルギーにより、マグマが地殻と氷層を突破して、地上に噴出するまでに10万年のオーダーが必要となると考える。人間の例えで言うならば、いろいろと理由をつけて（対流）、内面にストレスをある期間ため込むとある日突然爆発するといった現象に相当する。

5、温暖期モードの継続時間

温暖期の継続時間は約1万年のオーダーである。温暖期には様々な動植物が地球上の海洋、陸地で繁栄し、光合成作用、呼吸作用等によりある種の平衡が保たれている。過去45万年間の気候変動において、いずれの温暖期（間氷期）でもCO₂の急激な増加が観察される。現間氷期では人間による産業革命などにより、一応の説明がつくが、過去の間氷期ではその説明は成立しない。間氷期の初期段階では、動植物の種類・数量ともにごくわずかであったのが、時間経過と共に希少

(rarity) 事象の重畳により光合成・呼吸作用の平衡を保ちながら両者共に数量と質の両面で巨大化し、最終段階では動物による呼吸作用の出力であるCO₂が増加すると予想される。この最終段階に到達するのに、約1万年のオーダーがかかると推測するが、そのモデル作成・詳細検討は今後の課題である。又、両者が飽和状態の温暖期最終段階では動物と植物では、やはり動くことのできる動物が優越してしまうと考えられる。

6、地球システムと人間システムの比較研究

6.1 周期性

地球は円周長で4万kmなので、大雑把に言えば1次元の大きさ(長さ)で1万kmのオーダーである。同様に人間は1mのオーダーである。地球が過去45万年に経験した10万年オーダーを擬似周期とする氷期と間氷期の繰り返しは人間に例えると、どのような時間経過であろうか？

地球と人間の1次元の大きさと時間経過が比例すると仮定し、両者の対応を以下に計算する。地球システムの擬似周期10万年に対応する人間の周期をx(年)としよう。すると、比例関係を仮定すると(1)式が成立し、従って、xは(2)となる。

$$1\text{万K} : 1 = 10\text{万} : x \quad (1) \quad x = 0.01(\text{年}) \quad (2)$$

1年=365日とすれば、 $x=3.65$ (1週間の約半分)となり、オーダー的には1週間(=7日)と同じと言える。

さらに、温暖期である間氷期の継続時間は1万年のオーダーであるが、地球システムの1万年は人間システムでは0.365日(約8時間)に対応する。人にもよるが人間は通常(?)、16時間位活動して(温暖期)、8時間位睡眠等の休憩をとる(寒冷期)。すなわち、地球システムに例えれば、2万年の温暖期(活動期)と1万年の寒冷期(休憩期)の繰り返しである。

地球システムが過去45万年に経験した1万年の温暖期と10万年の寒冷期の繰り返しとは相対的比率では

「2 : 1」と「1 : 10」の数値が示すように一致はしていないが、人間システムと地球システムの組成の差異等を考慮すれば、絶対値の大きさとしての比率(「2万年 : 1万年」と「1万年と10万年」)は類似性を示していると言える。

6.2 寿命

人間の寿命は100年のオーダーである。それに対応する地球の寿命y(年)を6.1節と同様の論理で以下に推定する。

$$1\text{万K} : 1 = y : 100 \quad (3) \quad y = 10\text{億}(\text{年}) \quad (4)$$

すなわち、地球の寿命は10億年のオーダーと推定される。地球物理学によれば、地球誕生は約46億年前であ

り、さらに今後約50億年間、あるいはそれ以上、存続すると考えられるので、地球の寿命は100億年のオーダーである。本推定値は10億年のオーダーであり、10倍ほどオーダーを異にするが、おおまかなオーダー的には同じと言える。

6.3 Bergmannの法則

ベルグマンの法則とは「同種の恒温動物では、寒冷地(高緯度)にすむ個体のほうが温暖地(低緯度)にすむ個体よりも大きくなる傾向がある」で、1847年にドイツの生物学者、Christian Bergmann、が論文「動物の体サイズと熱生産経済との関係」において提唱した。前6.1節、6.2節において、人間システムとの時間/大きさの対比において、大きさとして、1次元の長さLを採用した。面積 L^2 、あるいは体積 L^3 を採用しても、桁のオーダーは大きくずれてしまうが、大きさとして長さLを採用するとオーダー的に同程度となる結果が得られた。人間あるいは地球の大きさとして、長さLを採用する妥当性が、Bergmannの法則を数理分析した結果の(8)式にLが「 L^2 、 L^3 」ではなく、「L」の形で現われていることに裏付けられると思う。

固体を球体と仮定して数理的にBergmannの法則を以下に分析する。

長さ(例えば、半径)をLとするならば、表面積S、体積Vは S_0, V_0 を比例定数として(5)、(6)で与えられる。

$$S = S_0 L^2 \quad (5) \quad V = V_0 L^3 \quad (6)$$

動物を、食物を栄養として体内で燃焼させ、体温を保つシステムと見るとき、単位表面積当たりの放熱量をpとするならば、同種の各個体の体温一定という前提は、(7)で表現できる。

$$pS/V = K(\text{一定}) \quad (7)$$

ここで、(7)式の左辺は、個体の単位体積当たりの体表面から体熱発散量である。

(7)に(5)、(6)を代入し、整理すると(8)式を得る。

$$pS_0/V_0 = KL \quad (8)$$

すなわち、pとLは比例関係にあることがわかる。寒冷地の個体は外気が寒冷なので、単位表面積当たりの体熱発散量pは、相対的に、大きく、(8)より、体格も大きくなると主張する。すなわち、Bergmannの法則は、

体内からの発熱（食物燃焼）に対する体熱発散に関する保温の平衡条件であり、太陽光に代表される外部からの輻射熱の体表面からの吸収は考慮していない。

このBergmannの法則を太陽系の惑星に対して適用してみよう！惑星表面に大気が存在するタイプの「同種の惑星」において、惑星中心部からの核融合・発熱により惑星の温度がある範囲内で保たれているとの前提で、Bergmannの法則の論理を適用すると、「太陽から遠い惑星ほど大きくなる」と言える。

大気を持つ惑星は、水星、金星、地球、木星、土星、等であるが、太陽から遠くなるほど大気部分も含めた規模で大きくなっていることが確認できる（表1）。

6.4 システム工学、OR、西洋医学VS東洋医学

地球の気候を決定するエネルギー量は、太陽エネルギー全体からすれば、極々微少量である。……

ここで「3.11東北地方太平洋沖地震」が発生し、原稿は一時中断する。7月15日（金）に約4ヵ月ぶりに再開する。……

本稿でとり上げた気候変動現象に対して、我々人類はいかに対処すべきであろうか？文献[3]によれば、西洋医学と東洋医学の対比の立場より、「風邪は治療すべきものか？」あるいは「風邪は経過するものか？」を論じている。気候変動現象について言うならば、積極的に気候・気象を制御して、寒冷期モード突入（＝風邪）を治療するという立場と、寒冷期モード突入は不可避で、かつ、地球の休憩と見直し、いかに寒冷期を人類が生き延びるかの立場の2つが考えられる。

いずれの立場であろうが、システム工学ならびにOR的な思考が不可欠である。システム工学の視点からは、[1], [2]で述べたように、地球システムの気候変動現象を非線形システム均衡点問題ととらえる事、ORの視

点からは、気候変動現象に関連して派生する諸問題の解決に様々なOR手法（例えば、AHP、ANP、DEA、等）を活用する事、が肝要である。

7. おわりに

地球気候の温暖期から寒冷期への相転移現象、あるいはその逆、のミクロ的議論を展開した。3.11東北地方太平洋沖地震は地球システム全体から見れば大気層の直下の地殻層に関する出来事である。地球温暖化は、地球表面のみならず、地表下においても、進行しているので、地表・海面での氷河崩壊と同様に地殻崩落（すなわち、地震）も今後は活発化すると予想される。3.11東日本大震災の被害の大きさを考えれば、プレートのアスペリティと呼ばれは固着域を何らかの手段（例えば、特定周波数の電磁波照射）により融解して、人工的に地震を発生させる「計画地震（scheduled earthquake）」も現実的な地震対策となり得る。

参考文献

- [1] 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).
- [2] 篠原正明、篠原健：「温暖化vs寒冷化」論争について、平成22年度日本大学生産工学部第43回学術講演会・数理情報部会講演論文集, pp. 111-114 (2010. 12).
- [3] 野口春哉：風の効用、ちくま文庫(2003).

	水星	金星	地球	木星	土星
太陽からの平均距離	5790	10820	14960	77830	142940
惑星半径	2440	6052	6378	71492	120700

表1. 大気惑星の軌道半径(万Km)と惑星半径(Km)

*土星の惑星半径は、環を含む。