

地球環境の生物学的恒常性 - ひな菊世界を例にとつて

Tellus (1983), 35B, 284-289

A. J. Watson and J. E. Lovelock

要約

ある時代の植物と動物は、そのときの地球の表面環境に大きな影響を及ぼす。同時に、その環境は、植物・動物にも3も3の束縛を課す。すなわち、生命と環境は、一つの結合した系の2つの部分と見とられる。残念ながら、そのシステムは、それを十分にモデル化するためには複雑すぎ、あまりにも未知の部分が多い。その結合系に附与されているであろう特性を調べるために、われわれは、きわめて単純な生物圏をもつ想像上の惑星をモデル化することにする。それは、Lovelockによつて最初に述べられたように、色が異なつた2種のひな菊からなつてゐる。ひな菊の成長率は、^(ひな菊は、)只一つの変数である温度にのみ依存する一方、^(ひな菊は、)異なる量の幅射を吸収することを通じて、温度を変化させる。その相互作用の11が人にかかわらず、ひな菊の存在は温度を安定化させる。その結果は、成長率-温度曲線がピークをもつことから生じ、動植物がどのようにして温度を変化させるかというメカニズムには関係ない。われわれは、地球の温度の調整を助けることが期待されるある生物学的フィードバックシステムを素描する。

1. はじめに

地球上の生物とその環境の2つの要素は、一つの密接にかさみ合ったシステムを構成してゐる。しかし、この2つは、きわめて複雑に連結されており、いつの方程式でとても言ひあはされるものではない。そこで、ここでは人工的な世界を舞台に、生物と環境の相互作用を取り扱うことにする。

2. ひな菊世界のための方程式

② モデル

① 温室効果が存在しない惑星

② 存在する植物は2種のひな菊のみ $\Rightarrow$ 黒色のひな菊 (black) と 明るい色のひな菊 (white) $\Rightarrow$ アルベドは, black (0.25), white (0.75), 裸地 (0.5)

③ 生長率を示す式 (個体群生態学理論より借用)

$$\frac{da_i}{dt} = a_i (\alpha \beta - \gamma) \quad \dots (1) \quad a_i: \text{blackの占有面積の割合を示す } a_b \text{ と whiteの割合を示す } a_w, \text{をそれぞれ示す.}$$

 α : 裸地の面積比率 (a_g)

$$(\sum a_i = a_w + a_b + \alpha = 1)$$

 γ : 死亡率

$$\beta = 1 - 0.003265(22.5 - T_e)^2 \quad \dots (3) \text{ と仮定する.}$$

 θ : 単位時間当りの生長率 T_e : 局地温度 (例えば white 領域では T_w)④ 惑星の平均幅射温度, T_e , を決定する式

$$\sigma(T_e + 273)^4 = SL(1 - A) \quad \dots (4)$$

 σ : ステファン定数 S : 流量単位の変数 L : この惑星の太陽の照度 A : 惑星全体のアルベド⑤ T_e の決定

$$(T_e + 273)^4 = \theta(A - A_e) + (T_e + 273)^4 \quad (A = a_g A_g + a_b A_b + a_w A_w) \quad \dots (6)$$

⑥ A を (4) と (6) 式から消却

$$(T_e + 273)^4 = \theta(1 - A_e) + (T_e + 273)^4 \times (1 - \theta/\sigma L) \quad \dots (8)$$

⑦ $q = 0$ のとき, $T_e = T_e$ (瞬間的に平衡)

⑧ $q = \frac{SL}{\sigma}$ のとき,

$(T_e + 273)^4 = \frac{SL}{\sigma} (1 - A_e)$ となり, 表面で高い温度領域と低い温度領域が孤立して存在する。

3. システムの定常状態での振舞

① 定常状態では $\frac{dq}{dt} = 0 \Rightarrow \epsilon^* \beta^* = \gamma \Rightarrow \beta_w^* = \beta_b^*$ (*は定常状態を示す)

(3)式から $T_b^* - 22.5 = 22.5 - T_w^*$

② また, T_e, T_w, T_e の間に線形関係を設定し, (8)式を微分すると,

$$\frac{dT_e^*}{dL} = \frac{-q\sigma(T_e^* + 273)}{4SL^2(1 - q\sigma/SL)}$$

上式を用いて 太陽の照度と定常状態での幅射温度 T_e^* の関係が計算できる。
 そして, T_e^* を用いて (5)式が 照度と各ひな菊地の占有比率面積が決定できる

④ 計算結果 - 図-1

① 横軸は太陽照度; 縦軸は 上方が占有面積比率, 下方が T_e^* 。

② 下方の図中の実線は, ひな菊が存在しないときの T_e^*

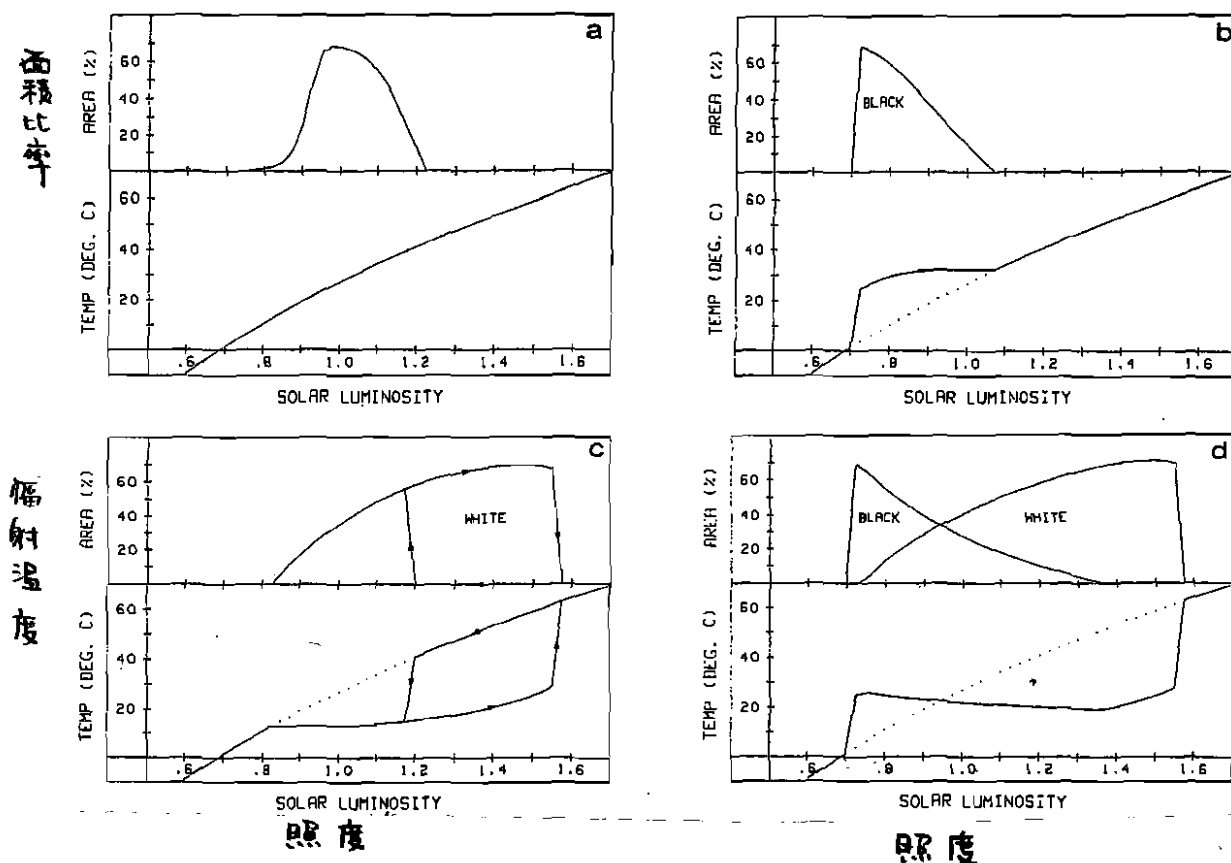
③

Fig. 1a: 裸地と同じアルベドをもつひな菊のみが存在する場合, 実線と実線が一致。

Fig. 1b: black ひな菊のみ存在 $\Rightarrow T_e^*$ の恒常性 (照度の変化があっても, T_e^* が変化しない部分がある)。

Fig. 1c: White ひな菊のみ存在 $\Rightarrow$ 恒常性が発現するとともにヒステリシスがある。

Fig. 1d : blackひな菊とwhiteひな菊が並存。恒常性の領域が広がるとともに、照度の増加にかかわらず T_e^* が減少する領域が存在。



4. 負のフィードバックの除去

Blackの部分はwhiteの部分より温度高い。したがって、平均温度が低いほど生長盛んになる(22.5℃との差小さくなる)。そこで、生長が盛んになると、平均温度を高めてしまう。whiteの場合はその逆である。こうして、平均温度の恒常性が保たれる。

そこで、わざと、徹底的にひな菊世界を安定化させる負のフィードバックを変化させたとき、何がおこるか見てみよう。そこで、black領域がwhite領域より暖かいという条件を維持しながら、black領域の温度を下げる工夫をしてみる。

いま、気候の微妙な変化により、雲がblack領域の上にものみ発生すると仮定しよう。この仮定は、その領域には上昇気流が発生し易いので、おかしな仮定ではない。このことにより、

black 領域は、温度を増加させる傾向をもたらし、すなわち、black 領域が増えることは、より多くの雲が発生し、惑星をより冷凍にする。

② Fig. 2 について

① Fig. 1d と同じ条件で、雲のアルベドを 0.8 とした。
?

② White ひな菊は、人為的に抑制しなかったにもかかわらず、消滅した。その理由は、どちらの種の増加も、惑星の温度を低下させるが、black は、平均温度 T_e^* が 22.5°C より低い限り、White より生長率が高くなるからである。

③ このように black のみになっても、恒常性は保たれている。

④ 負のフィードバック (black 増加 $\Rightarrow$ 温度上昇 $\Rightarrow$ black の生長率の低下 $\Rightarrow$ 温度低下)

を除去したとき (black 増加 $\Rightarrow$ 温度低下)、最も好ましくないことは、環境適応が弱い種が消滅するおそれがあることである。以上、フィードバックの正負にかかわらず、生物の存在は、温度の安定化・恒常化をもたらす。このことは、生長率-温度曲線が、ピークをもち、両端で生長率がゼロになるという二次関数であることにより帰因する。

5. 地球への適用

現在の段階では、この論文の地球への直接的適用は困難であろう。ただ、生長率-温度曲線がピークをもつことは、生物の普遍的特性である。さらに、生物は、大気における温暖化ガスの量を通して地球の温度に重要な影響をもたらし、

最近、Owen ら (1979) と Walker ら (1981) は、大気中の CO_2 の量が、地質学的スケールで、
(を推測している) 地球の温度の決定に大きく関わってきたらしいこと、一方、その場合、生物は全体として CO_2 の量を減少させることにより、地球の温度を地球の死の温度以下に押し下げつつあるように見

うるとの見解も出されてゐる (Lovelock and Watson, 1982)。

これらの見解との奥意が言へば、生命が左右する温度の方向もそのメカニズムも、どちらもそれ自身重要ではない。生物が温度に影響を及ぼすという仮定が必要とされるのみである、しかしながら、説明のために、地球上の生命の正味の作用が二酸化炭素を減少させ、その時代の動植物の生存が温度により制限されると考えてみよう。

そのとき、温度の減少は、その極地地域の面積を増大させ、全体として、地球全域にわたる生物的平均活性を低下させるであろう。一方、温度の上昇は、逆の影響をもたすであろう。そして、全体としての生活活性の減少は、多少、 CO_2 を低下させる諸活性をも低下させるであろう。こうして、 CO_2 は従来の変化と反対に増加しはじめると思われる。

このようなとき、われわれは、ここで述べたひな藁の世界に似た、地球上の温度の安定化システムの基礎をもつことになる。われわれは、この論文で提起したメカニズムが、温度および地球の長い歴史にわたって作用してきた他の環境変動の抑制に一定の役割を演ずるであろうことを考えている。

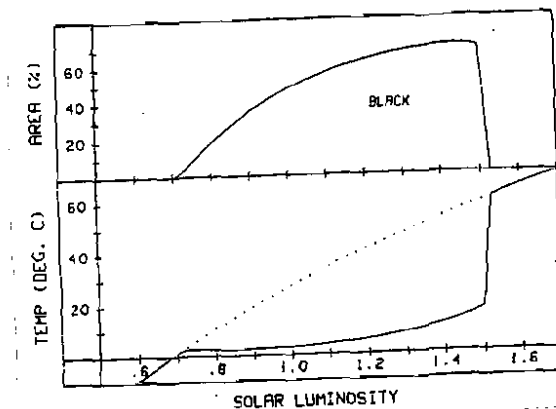


Fig. 2