

デージーワールドモデルにおける温室効果と植生パターン形成



陰山真矢 (Maya KAGEYAMA)

➤ 経歴

- 2018年3月 大阪大学大学院情報科学研究科 情報数理学専攻非線形数理講座 修了
2019年4月 関西学院大学理工学部数理科学科 契約助手
2021年4月 関西学院大学理学部数理科学科 助教

➤ 研究について

私たちにとって身近な（生物・環境・物理...などの）様々な現象を書き表す数理モデルに興味があり，それらのモデルについて数値シミュレーションなどを用いて研究しています．

ミツバチの営巣



2018 大崎研究室撮影

植生分布パターン



温暖化



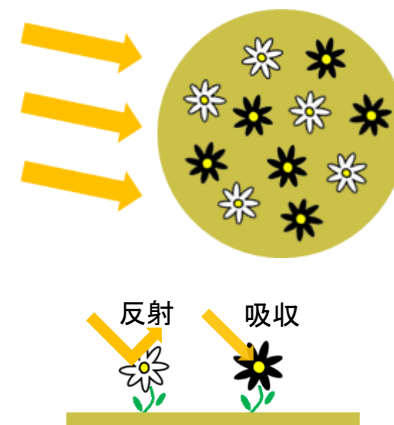
... etc.



本発表では，**デージーワールドモデル**という非常に単純な惑星モデルについて紹介します．私の研究では，このデージーワールドモデルを使って，植生と環境の相互作用メカニズムや地球温暖化と植生分布パターンの関係性について新たな知見を得ることを目標としています．

デージーワールド (Watson-Lovelock 1983 *Tellus*)

- デージーワールドは白と黒の2種類のデージー（ヒナギクの花）のみが生息する仮想的な惑星.
- 惑星は太陽からの光を受けていて、**白色デージー**は光を反射しやすく、**黒色デージー**は光を吸収しやすい.
- 2種類のデージーが、太陽光が次第に強まっていく惑星で生育域を争う.



2次元デージーワールドモデル (Kageyama-Yagi 2020 *Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simul.*)

$$\frac{\partial u}{\partial t} = [(1 - u - v)\Phi(u, v, w) - f]u + d\Delta u, \quad (x, y, t) \in \Omega \times (0, \infty),$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = [(1 - u - v)\Psi(u, v, w) - f]v + d\Delta v, \quad (x, y, t) \in \Omega \times (0, \infty),$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} = (1 - g(u, v))SL - \sigma w^4 + D\Delta w, \quad (x, y, t) \in \Omega \times (0, \infty).$$

$\Omega = (-\ell_x, \ell_x) \times (0, \ell_y)$, x 方向: 周期境界条件, y 方向: Neumann境界条件.

$u(x, y, t)$: 白いデージーの被覆率, $v(x, y, t)$: 黒いデージーの被覆率, $(0 \leq u, v \leq 1)$

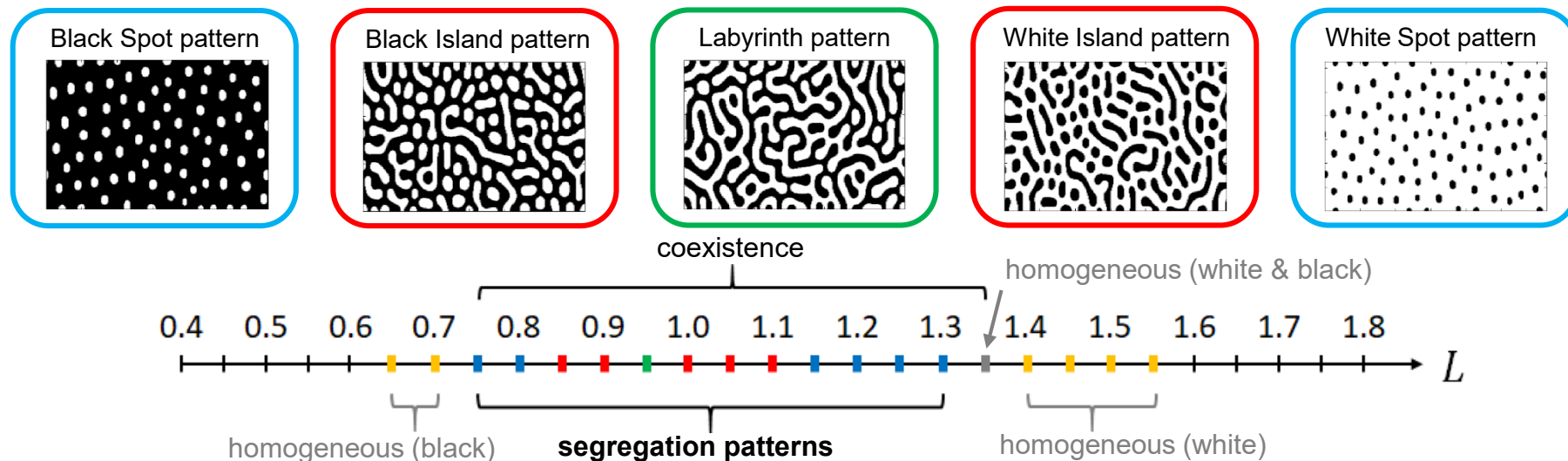
$w(x, y, t)$: 惑星の温度,

Φ, Ψ : 各デージーの成長率, f : デージーの枯死率, σ : Stefan-Boltzmann定数, g : 地表面の光反射率,

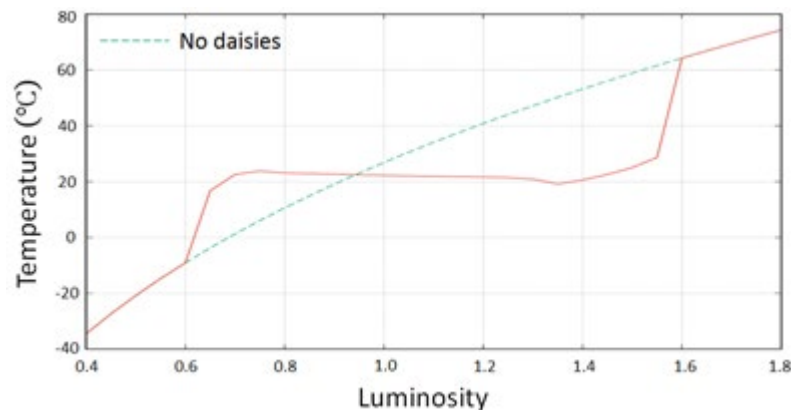
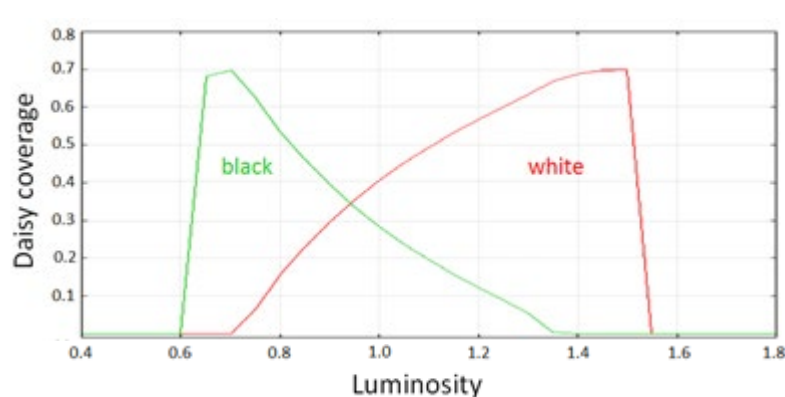
S : 太陽フラックス, L : 太陽光度, d : デージーの拡散率, D : 熱拡散率.

2次元ディジーワールドモデルの数値計算結果 (Kageyama-Yagi 2020)

太陽光度 L に対するディジーの空間分布. $(x, y) = [0, 2\pi] \times [0, \pi]$.



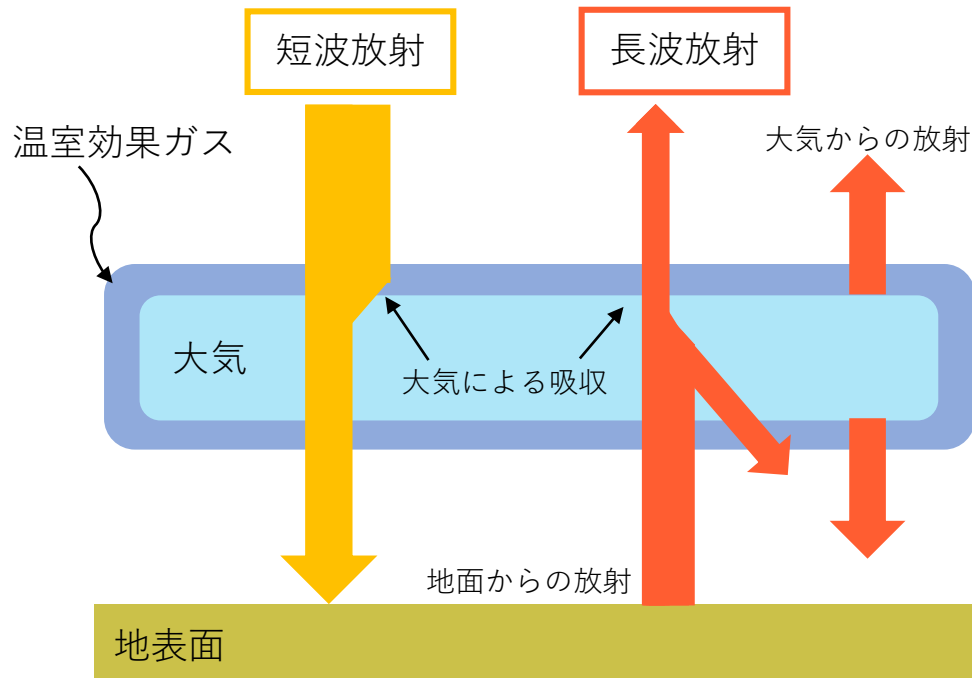
太陽光度 L に対するディジーの空間平均被覆率と空間平均温度. 太陽フラックス: $S = 917$,
太陽光度: $0.4 \leq L \leq 1.8$ ($\Delta L = 0.05$). 各パラメータは $f = 0.3, \sigma = 5.67 \times 10^{-8}, d = 10^{-5}, D = 1$ として与えている.



温室効果ガスとデイジーワールド

温室効果ガスとは...

- 短波放射（太陽からの日射）に対して透明，長波放射（地表面や大気からの赤外放射）に対して不透明な大気。
- 二酸化炭素，亜酸化窒素，メタン，対流圏オゾン...
- 温室効果ガスの増加が地球温暖化などの気候変動の大きな要因と考えられている。



- デイジーワールドモデルでは温室効果の影響を考慮していない。
- デイジーワールドでの温室効果の強さが，惑星の温度恒常性にどのような影響を与えるのか？

温室効果を考慮したデイジーワールドモデル

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial t} &= [(1-u-v)\Phi(u,v,w) - f]u + d\Delta u, \\ \frac{\partial v}{\partial t} &= [(1-u-v)\Psi(u,v,w) - f]v + d\Delta v, \\ \frac{\partial w}{\partial t} &= (1-a)(1-g(u,v))SL \\ &\quad - \sigma(1-a)\left(\frac{2-\varepsilon}{2-a}\right)w^4 + D\Delta w.\end{aligned}$$

$u(\mathbf{x}, t)$: 白いデイジーの被覆率,

$v(\mathbf{x}, t)$: 黒いデイジーの被覆率,

$w(\mathbf{x}, t)$: 惑星の温度,

ε : 長波放射に対する大気の射出率 ($0 \leq \varepsilon \leq 1$),

a : 短波放射に対する大気の吸収率 ($0 \leq a \leq 1$).

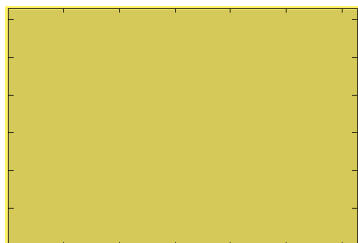
※ $a < \varepsilon$ の場合に， $\varepsilon \rightarrow 1$ で温室効果がより強まる。

数値計算結果

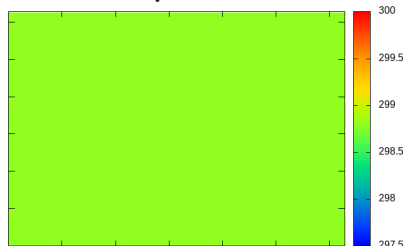
温室効果の強さを表すパラメータ $\varepsilon \in [0,1]$ を動かした場合の数値計算結果. 時間ステップ $t = 10,000$.
 $S = 2113, a = 0.2$ とする.

$\varepsilon = 0.5$

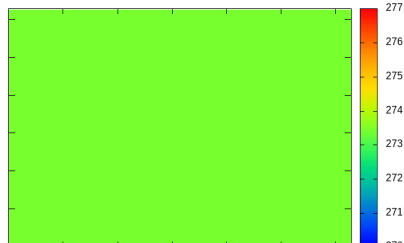
Daisy



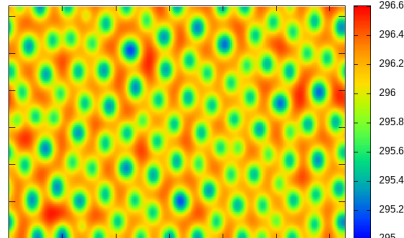
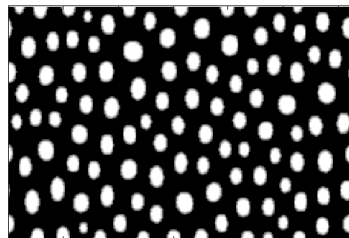
Temperature



$\varepsilon = 0.6$

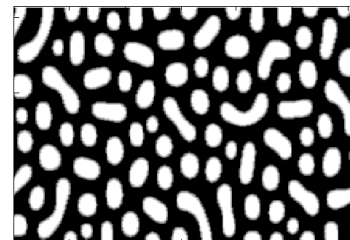


$\varepsilon = 0.7$

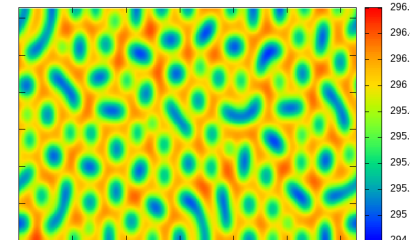


$\varepsilon = 0.8$

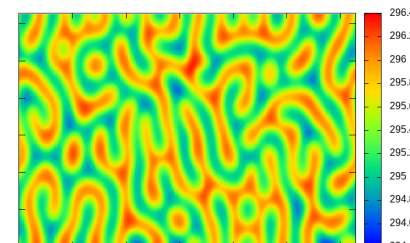
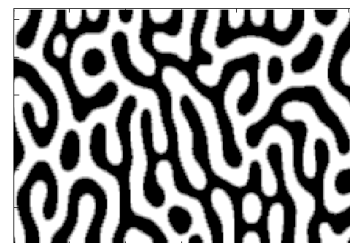
Daisy



Temperature



$\varepsilon = 0.9$



$\varepsilon = 1.0$

