研究テーマ 雲の自己組織化に向けた2次元格子モデルの構築

所属 都市デザイン学系

特命助教 神野 拓哉
https://researchmap.jp/takuyajinno

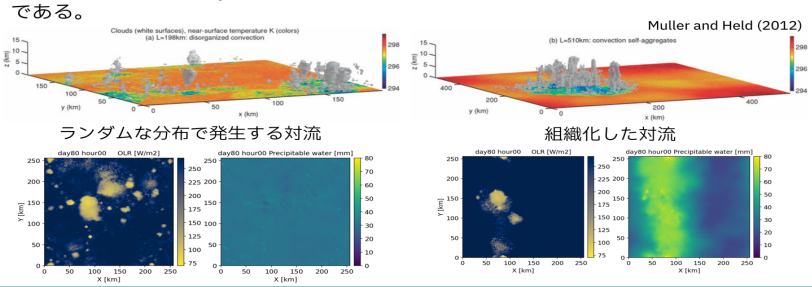
研究分野	大気物理学
キーワード	数値気象予測、熱帯の積雲対流活動

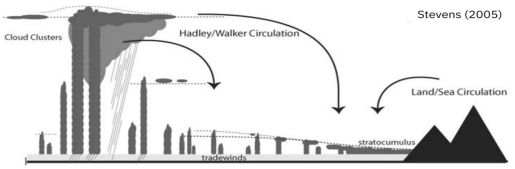
研究室URL：

Introduction

大気のエネルギーサイクルの中で、積雲対流はラージスケールの強制に応答して熱・水・運動量を鉛直方向に輸送する役割を担う。

深い積雲対流は自由対流圏の下端から上端まで貫く鉛直構造を持ち、地球大気の大規模な循環（Hadley/Walker）において赤道付近の上昇運動の主要な構成要素である。

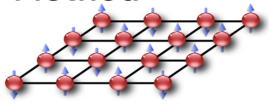




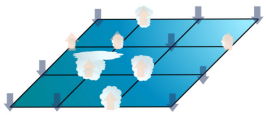
高解像度の数値計算モデルを用いて理想化した熱帯大気の放射対流平衡実験では、水平一様な境界条件を設定しても個別の対流同士が時間的・空間的に相関したクラスターを自発的に形成する := **自己組織化現象**

雲の自己組織化は熱帯低気圧や線状降水帯といった激しい雨を伴う現象とも関係が深いが、その発生と維持のメカニズムは多数の物理過程が絡み合っており、不明な点が多い。本研究では複雑な自己組織化の問題を理解するためのシンプルな概念モデルを提案する。

Method



https://nedo-quantum.aist.go.jp/ising-machine.html



熱帯大気に対してミクロな積雲同士の局所的な相互作用からマクロな構造としての雲クラスターが形成される様子を、統計物理の分野で用いられてきたイジングモデルに着想を得た二次元格子モデルによって表現する。

格子点 $\mathbf{r}$ での対流の発生しやすさを表す条件付き不安定の大きさを $J(\mathbf{r})$ で表す。対流の近傍では新しい対流の発生を促進し(f_c)、対流から離れた位置では弱い下降流によって対流の発生を抑制する効果(f_s)を取り入れる。

- 対流強度は0または1の二値とする

$$I(\boldsymbol{r}) = \begin{cases} 1 & \text{if } J(\boldsymbol{r}) > 0 \text{ and } \gamma(\boldsymbol{r}) < p \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

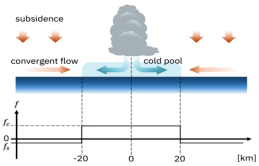
- Jの時間発展式

$$\frac{dJ(\boldsymbol{r})}{dt} = F(\boldsymbol{r}) + \alpha - \frac{1}{\tau_d} J(\boldsymbol{r})$$

- 相互作用項

$$F(\boldsymbol{r}) = \sum_{i=1}^{N} F_i(\boldsymbol{r}, \boldsymbol{r_i})$$

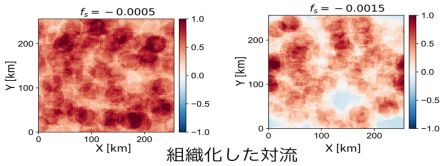
$$F_i(\boldsymbol{r}, \boldsymbol{r_i}) = \begin{cases} f_c > 0 & (|\boldsymbol{r} - \boldsymbol{r_i}| < 20\,\mathrm{km}) \\ f_s < 0 & (|\boldsymbol{r} - \boldsymbol{r_i}| \geq 20\,\mathrm{km}). \end{cases}$$



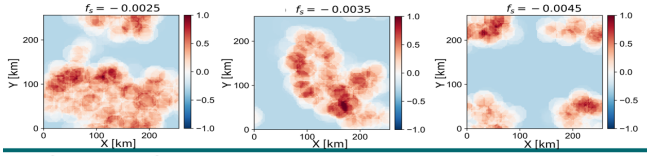
parameter	value
水平格子間隔	2 km
時間間隔	1 h
領域サイズ	水平 256 km×256 km 周期境界条件
f_c	0.1
f_s	-0.0005 ~ -0.0045 可変
α	0.1
τ_d	2 h
p	0.01

Results

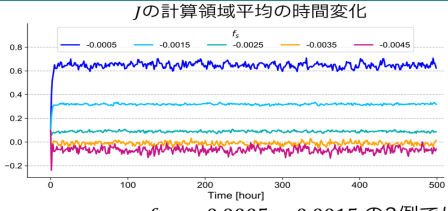
ランダムな分布で発生する対流



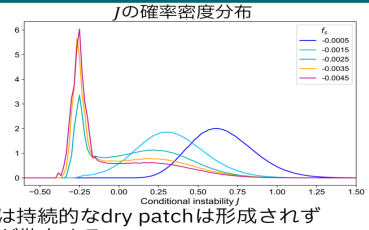
組織化した対流



Jの計算領域平均の時間変化



Jの確率密度分布



- $f_s = -0.0005, -0.0015$ の2例では持続的なdry patchは形成されず領域のほぼ全体にわたって対流が散在する
- $f_s = -0.0025$ではJ<0の乾燥域と J>0の湿潤域が分離し自己組織化を再現する

弱い下降流による対流抑制の効果が雲の自己組織化の成否を決める要因の一つであることを示唆する。

Discussions

$$\frac{dJ(\boldsymbol{r})}{dt} = F(\boldsymbol{r}) + \alpha - \frac{1}{\tau_d} J(\boldsymbol{r})$$

n_c: から半径20km以内の対流の数
N: 領域全体の対流の数

$$\frac{dJ(\boldsymbol{r})}{dt} = f_c n_c(\boldsymbol{r}) + f_s(N - n_c(\boldsymbol{r})) + \alpha - \frac{1}{\tau_d} J(\boldsymbol{r})$$

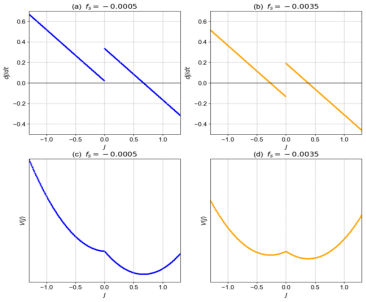
$$n_c(\boldsymbol{r}) \simeq \frac{ap}{dx^2} Y(J(\boldsymbol{r}))$$ $Y(x)$: ヘヴィサイドのステップ関数
Nは数値実験の時間平均値を外部パラメーターとして与える

$$\frac{dJ(\boldsymbol{r})}{dt} \simeq -\frac{1}{\tau_d} J(\boldsymbol{r}) + \frac{(f_c - f_s)ap}{dx^2} Y(J(\boldsymbol{r})) + \alpha + f_s N$$

- 湿潤な安定解のみの相 ($f_s > -0.0006$) と
- 湿潤・乾燥の二つの安定解を持つ相 ($f_s < -0.0006$)

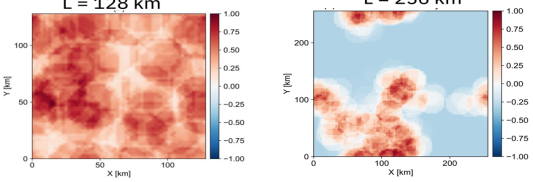
に分かれ、後者が反応拡散モデルにおける二重井戸型のポテンシャルに相当する

数値的モデルで遷移が起こる値よりやや小さいが、f_sの変化による大局的な振る舞いを説明できる



Jの時間発展を力学系として捉えることにより、雲の自己組織化現象を解の分岐の問題として議論することができる。

f_s以外のパラメータに対する依存性も、大気モデルを用いた実験と同様の傾向を示す。
e.g. モデル領域のサイズが大きいほど自己組織化が生じやすい傾向にある点などが整合的



富山大学研究者プロファイルPure URL：
https://u-toyama.elsevierpure.com/ja/persons/takuya-jinno/