

気候・気象のモデリング：決定論的？確率論的？

渡部雅浩（東大大気海洋研）

1. はじめに

大気大循環モデル (AGCM) は全球数値天気予報にとって、また結合大循環モデル (CGCM) は気候変化シミュレーションやエルニーニョ予測にとって必要不可欠なツールである。それらモデルの中で、大気と海洋の力学場に対する支配方程式 (ナビエ-ストークス、熱力学第一法則など) は確立しており、stochastic あるいは probabilistic な変数が入る余地がないという意味でそれらは決定論的である。一方、GCM においては、空間離散化の際に直接表現できない格子以下のスケールの現象をパラメタ化することで、降水・雲・放射加熱・乱流エネルギーといった量を計算し、それらの集合効果を陽にとりこむことで比較的現実に近い気候平均場を再現する。ただし、パラメタ化の手法は一意ではなく、また近似の度合いもさまざまであるため、そこに大きな誤差要因を生じる。ここ 20 年の気候モデリングの課題はパラメタ化であるといっても過言ではなく、そこでは決定論的であることの限界がしばしば議論されてきた。本講演では、そうした決定論的/確率論的モデリングの是非を考えるための材料として、最近の研究からいくつかの試みを紹介する。

2. 最近の研究から

アンサンブル数値予報においては、発生確率の低い顕著現象 (強いブロッキングなど) をカバーすることがしばしば重要になる。メンバー数を増やして解決しない場合にはモデルの解像度や物理過程に問題があるわけだが、それを補う方法として、物理過程による時間変化項にわずかなランダム成分を加えるという stochastic physics が提案されている (例えば Palmer and Williams 2009)。これはモデルの不完全性を前提とした方法で、図 1 の Lorenz 系のアナロジーでは、完全系 (= 現実) に対して加法的ノイズを与えた不完全系 (= モデル) がある程度の近似となり得ることが分かる。同様の考え方は、例えば深い積雲対流など個々のパラメタ化にも適用されている (Stechmann and Neelin 2011)。

一方、確率過程を用いながら、最終的に解くべき方程式は決定論的であるような方法もある。GCM における放射過程などはその最たるものだし、最近の大規模凝結スキーム (例えば Watanabe et al. 2009) では、格子内部の温度・水の確率分布を予報する形が多い。GCM において、これらは「大規模場による小スケール現象のコントロールとその大規模場へのフィードバック」というパラメ

タ化の基本概念に従うものであるが、気候力学においてそれを応用している研究も増えてきた。具体的には、大気長周期変動とストームトラックの相互作用 (Jin et al. 2006ab) や ENSO と熱帯季節内じょう乱の相互作用 (Jin et al. 2007) といった問題で、そこでは stochastic physics と異なりノイズが乗法的であることが本質的に面白い点である。

3. 議論

最近の気候・気象モデリングでは、ともに stochasticity を仮定しながら片や確率論的、片や決定論的に解を求める方法が試みられている。個別に是非の評価はあろうが、気候力学との連携という点で考えると、後者の方により発展性があると思われる。すなわち、気象要素を部分的にノイズとして単純化した気候の理論構築とともに、複雑な系における「ノイズ」の実体は何か、それがどうふるまうかを理解するという探究を続けるということである。

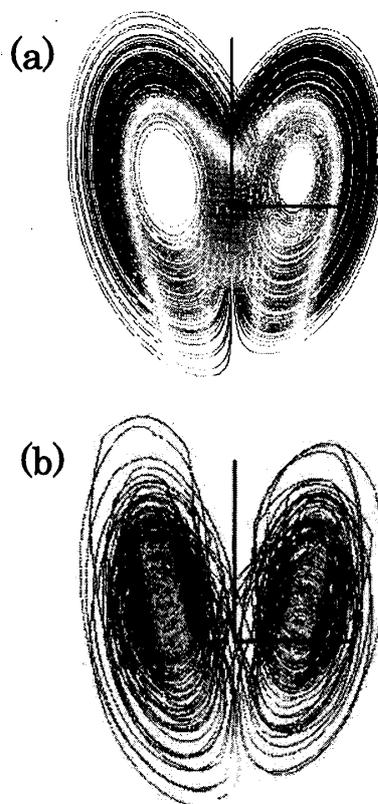


図 1 (a) Lorenz アトラクタおよび (b) 変数の一つを加法的ノイズで置き換えた確率的な系のアトラクタ。Palmer (2001) より。