

大気海洋結合大循環モデルを模擬する簡易気候モデルのパラメータ推定

*筒井純一（電力中央研究所）

1 背景

CO₂ 等の強制力を与えて大気海洋結合大循環モデル (AOGCM) で計算される地表面温度偏差の全球平均値 (T_s) は、鉛直二層のエネルギー収支モデルで近似的に表現することができる (e.g., Padilla et al., 2011)。AOGCM に代表される複雑な気候モデルは、気候科学を追及するツールである。一方、簡略化されたモデルは、複雑なモデルの振舞いをより良く理解するのに役立つほか、地球温暖化の対策を社会経済的な観点から検討するツールとしても使われる (e.g., Nordhaus, 2008)。AOGCM は、炭素循環等の多くの要素を取り入れて複雑化する一方で、簡易モデルの役割の重要性も増している。特に、地球温暖化の緩和策の検討では、最新の気候モデル研究の知見を簡易モデルに適切に反映することが望まれる。

2 目的と手法

本稿では、特定の AOGCM で計算される T_s を表現する二層モデルのパラメータを、瞬間的な CO₂ 濃度増加や年率 1% 漸増の実験結果 (step 応答と ramp 応答) から推定する方法を考察する。二層モデルは

$$C_s \frac{dT_s}{dt} = -\lambda_1 T_s - \lambda_2 (T_s - T_o) + F, \quad C_o \frac{dT_o}{dt} = \lambda_2 (T_s - T_o) \quad (1)$$

と表される。モデルの振舞いを決めるパラメータは、熱容量 (C_s, C_o) と熱交換係数 (λ_1, λ_2) である。また、 T_o は海洋深層の温度偏差、 t は時間、 F は CO₂ 濃度変化による放射強制力である。 F は経験式 $\alpha \log(w/w_0)$ ($\alpha = 5.35 \text{ W m}^{-2}$, w は CO₂ 濃度、 w_0 はその基準値) を仮定する。

式 (1) で表される T_s は、ラプラス変換を介して、それと等価なインパルス応答モデル

$$T_s(t) = \int_0^t F(t') G(t-t') dt', \quad G(t) = \sum_{i=1}^2 \frac{a_i}{\tau_i} \exp\left(-\frac{t}{\tau_i}\right) \quad (2)$$

に変形できる (多層モデルでも同様)。この場合は、時定数 τ_1, τ_2 と振幅 a_1, a_2 がパラメータとなり、これらは式 (1) の 4 パラメータと対応づけられる。特に、 $a_1 + a_2 = 1/\lambda_1$ は気候感度パラメータである。

目的とする AOGCM を近似するパラメータを推定するには、式 (2) の形式の方が都合が良い。ただし、

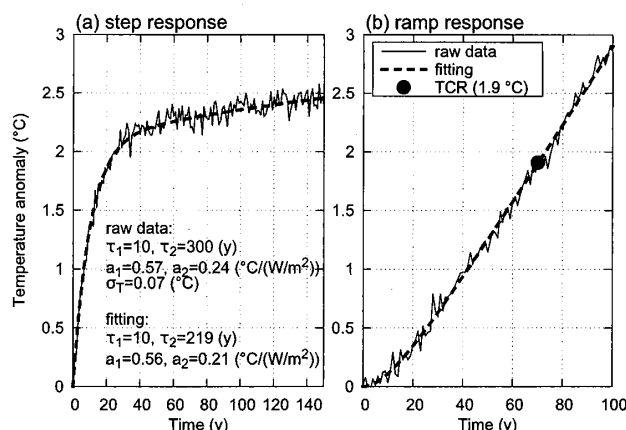


図1 CO₂ 濃度倍増の step 応答と年率 1% の ramp 応答の例。与えたパラメータとその推定結果を図中に記載。 σ_T は自然変動ノイズの標準偏差。推定には 5 メンバーのアンサンブル平均を使用 (図には 1 メンバーのみ表示)。

AOGCM の計算には自然変動によるノイズと時定数の大きい (数百年程度の) 変化が含まれることから、精度の良い結果を得るには工夫が必要となる。ポイントとなるのは、時定数の小さい変化と大きい変化のパラメータを個別に推定すること、ノイズを平滑化するためにステップ応答を時間積分する (ramp 応答と同じ式の形になる) こと、ramp 応答から得られる過渡的な気候感度 (TCR) を制約条件に使うこと、などである。

3 結果

図 1 に、適当なパラメータと自然変動ノイズを与えてシミュレートした step/ramp 応答と、その結果を近似した結果を示す。時定数の小さい応答のパラメータはほぼ正しく推定されるが、大きい方の推定精度は落ちる。ただし、150 年程度の期間であれば実用上は問題ない。対象とする AOGCM の平衡気候感度 (ECS) が既知であれば、その情報を制約条件とすることで、より正確な推定が可能となる。また、推定に用いる最適化プログラムの調整や、より長期間の多数メンバーのデータを用いることで、ある程度の精度向上が期待できる。発表では、AOGCM の相互比較に関する最新の実験データに、本手法を適用した結果を紹介する予定である。

Nordhaus, 2008: Yale University Press.

Padilla, et al., 2011: *J. Climate*, **24**, 5521–5537.