

海惑星気候の太陽定数増減実験: 部分凍結解の初期値依存性の除去

* 河合 佑太(神大・理/理研 AICS), 高橋 芳幸(神大・理/CPS), 石渡 正樹(北大・理), 西澤 誠也(理研 AICS), 竹広 真一(京大・数理研), 中島 健介(九大・理), 富田 浩文(理研 AICS), 林 祥介(神大・理/CPS)

はじめに

系外惑星で実現される多様な気候の理解を深めるために、我々は理想化した惑星の気候を調べてきた。例えば、Ishiwatari *et al.* (2007) (以後 INTH07)では、大気大循環モデルを用いて全球が海で覆われた惑星(海惑星)の気候の太陽定数依存性を調べたが、そこでは海洋大循環を考慮しなかった。近年、地球以外の惑星の気候研究にも海洋大循環が考慮されつつある。特に、Rose (2015) は、大気海洋海水結合モデルを用いて海惑星気候の太陽定数依存性を調べ、海洋熱輸送による新たな安定平衡解の出現を示唆した。我々もまた、惑星の気候に対する海洋の役割の理解を深めるために、INTH07 の発展として、大気海洋海水結合モデルを用いた海惑星気候の太陽定数増減実験を進めている。最近の成果としては、INTH07 大気設定のもとで海洋大循環を陽に考慮した気候レジーム図を得た(図(a))。また、海洋の役割を明らかにするため、swamp/60 m slab ocean 実験も行ったが、60 m slab ocean 実験の部分凍結解(図(a)の▲)は初期値依存性が非常に大きく、海洋熱輸送が氷線に与える影響を評価することは難しかった。その後、さらに検証を進めると、(i)氷線付近の表面温度の急勾配を十分に表現できない低解像度の離散系、(ii)表面アルベドを決める層で水平熱輸送が無い系(例: slab ocean)では、部分凍結解の初期値依存性が生じ得ることが分かり、また後述する表面アルベドの計算の工夫により問題を軽減できることが分かった。本発表では、この表面アルベドの計算方法を用いた海惑星気候の太陽定数増減実験の結果を報告する。

モデルと実験設定の記述

実験には、我々が系外惑星の気候探索を念頭に開発を進めている大気海洋海水結合モデルを用いる。大気モデルは惑星大気大循環モデル DCPAM である。力学過程では、3次元プリミティブ方程式系が擬スペクトル法によって解かれる。放射過程では Nakajima *et al.* (1992) の灰色大気放射スキーム、凝結過程では Manabe *et al.* (1965) の湿潤対流調節スキームと大規模凝結スキーム、鉛直乱流混合過程では Mellor and Yamada level 2 スキームが使われる。海洋海水モデルは軸対称モデルである。海洋の力学過程では、静力学ブジネスク方程式系が擬スペクトル法によって解かれる。海洋の中規模渦や対流による混合は、Gent and McWilliams (1990) や Marotzke (1991) のスキームを用いる。海水モデルは鉛直3層熱力学モデルであり、海水輸送は水平拡散で表現する。表面アルベドの温度依

存性は階段関数(表面温度が-10度以下で0.5、それより高い場合は0)で与えられる。ただし、各格子点の表面アルベドの値には、格子セル内の表面温度分布を線形関数で表現したときの表面アルベドのセル平均値を用いる。この点が前回の実験と本質的に異なる。海洋の扱いは、swamp/60 m slab/dynamic ocean の三種類を考える。調べる太陽定数(S)の範囲は約1150~1550 W/m²である。大気モデルの解像度は、T21L16 (S ≤ 1450 W/m²)または T21L32 (S > 1450 W/m²)に設定する。海洋モデルの解像度は南北64点・鉛直60層、海水モデルの解像度は南北64点である。初期値は基本的に280 K等温の静止した大気海洋であるが、部分凍結解等を初期値にした実験も行う。時間積分は、swamp/slab ocean 実験で約300年間、dynamic ocean 実験では周期的同期結合により約1万年間行う。

計算結果

表面アルベドの計算を表面温度の格子点値のみで行う場合(これまでの計算方法で INTH07 と同じ)とセル内の表面温度分布を考慮して行う場合に得られる気候レジーム図を図(a)、図(b)にそれぞれ示す。両者を比較すると、後者では部分凍結解の初期値依存性が大幅に小さくなったことが分かる。ただし、slab/dynamic ocean 実験では、低緯度の部分凍結解に僅かながら初期値依存性が残る。今回得られた実験結果から、今まで難しかった海洋熱輸送や海洋熱容量の影響の評価が可能になってきた。例えば、図(b)から、INTH07 に基づく本実験設定では、大部分の部分凍結解の氷線緯度は、海洋熱輸送や海洋熱容量の有無にあまり依存しないことが分かる。一方、大氷冠・小氷冠不安定の近傍における解の氷線緯度は、海洋の扱いに伴う差が見られる。そのため、現在、これらの解の近傍のブランチの構造や暴走温室解・全球凍結解の探索を行っている。

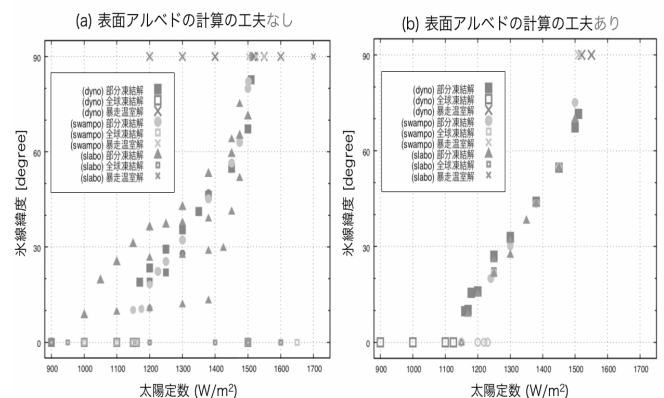


図: 海惑星の気候の太陽定数増減実験から得られた気候レジーム図。表面アルベドの計算法の (a) 工夫なし、(b) 工夫ありの場合の swamp/slab/dynamic ocean 実験に対する計算結果を示す。ただし、(b) の場合の暴走温室・部分凍結解のブランチは計算途中のため一部分のみである。