

陸惑星における完全蒸発状態の発生に関する大気大循環モデル実験

*吉田 哲治 (北大理), 石渡 正樹 (北大理)

1 はじめに

系外惑星が多数発見されており, 生命存在可能性の検討を念頭に置いた気候推定が行われている (Noda et al, 2017 など). Abe et al. (2011, 以下 AASZ2011) は, 系外惑星の 1 つの姿だと考えられる陸惑星の気候に関する大気大循環モデル (GCM) 実験を行った. 陸惑星とは, 地球に比べて表層に存在する水が極端に少ない惑星である. AASZ2011 は太陽放射吸収量が 415 W/m^2 になるまで惑星表層には少量ながらも液体の水が存在し得ることを示した. 惑星全体が水で覆われた水惑星の場合, 太陽放射吸収量が $330 - 350 [\text{W/m}^2]$ を越えると暴走温室状態が発生し, 液体の水は存在できなくなる. 水の量が少ない陸惑星の方が広い太陽定数の範囲で表面に液体の水が存在可能なのである. 更に, AASZ2011 は, 太陽放射吸収量が 415 W/m^2 を越えると土壤水分が全て蒸発する完全蒸発状態が得られることを示した. 本研究では, 当初, 陸惑星において完全蒸発状態が発生する条件の自転軸傾斜・自転角速度依存性を調査することを旨としていた. しかし, AASZ2011 と同様の設定を用いた再現実験を実施したところ, 彼等が示した入射放射量の臨界値を越えても完全蒸発状態が発生しない可能性があることがわかってきたので, その報告を行う.

2 モデル, 実験設定

本研究で用いたモデルは惑星大気大循環モデル DCPAM5 (<http://www.gfd-dennou.org/library/dcpam/>) である. その基礎方程式はプリミティブ方程式である. 放射過程では地球を想定した放射スキームを用いる. 短波放射では H_2O , 雲による吸収・散乱を考慮する (Chou and Lee, 1996; Chou et al., 1998; Chou and Lee, 1996). 長波放射では H_2O , CO_2 , 雲による吸収を考慮する (Chou et al., 2001). 凝結過程では氷晶を考慮した, Relaxed Arakawa-Schubert による積雲対流スキームを用いている. 鉛直乱流混合過程では Meller and Yamada level 2.5 スキームを用いている. 土壤水分の計算には Manabe (1969) のパケツモデルを用いており, 深さは十分大きい値をとっている. 水平解像度は

T21, 鉛直層数は 26 とした. 水平解像度は AASZ2011 と同等であるが, 鉛直解像度は彼らのモデルよりも高い. 簡単のために惑星の自転軸傾斜角, 及び離心率はともに 0 とした. 惑星半径, 自転角速度, 重力などは地球と同じ値を用いた. 初期状態として, 水惑星に太陽定数 $1365 [\text{W/m}^2]$ を与えて 15 年積分した結果を用いた. 太陽定数として $1365, 2400 [\text{W/m}^2]$ を用いた.

3 結果

図 1 は太陽定数が 2400 W/m^2 の場合の全球平均した土壤水分量 (実線) と鉛直積分大気水蒸気量 (破線) の時間変化を表している. 図の左端が陸惑星の計算を開始した時刻である. 計算開始から 300 日目までの期間では鉛直積分大気水蒸気量は増加し, 全球平均土壤水分量は減少した. 300 日以降では逆の傾向となっている. まだ定常状態に達してはいないが, 計算開始から 2000 日目の時点で全球平均土壤水分量は 220 kg/m^2 となっており, 依然として増加傾向を示している. 太陽放射吸収量 (図は示さない) は計算開始から 2000 日目の時点で 450 W/m^2 となっており, AASZ2011 の完全蒸発が起こる入射量を超えている. 以上の結果は, 完全蒸発状態が発生する太陽放射吸収量の値が AASZ2011 で示された値よりも大きくなる可能性があることを示唆するものである. 今後は完全蒸発が起きていない状態における水の挙動の調査, 太陽定数の値を更に増加させた実験を行う予定である.

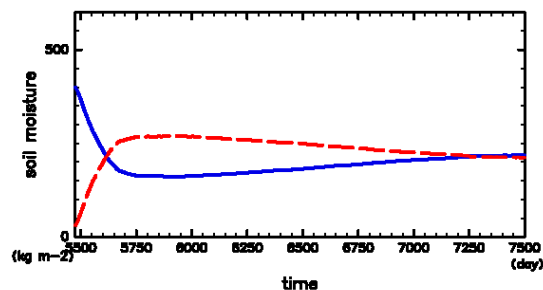


図 1 水分量の全球平均値の時間変化. 横軸は時間 [day] であり 5475 [day] (図の左端) が陸惑星実験を開始した時刻である. 土壤水分量が実線, 鉛直積分大気水蒸気量が破線である.