

地球型系外惑星気候のモデリングと数値実験

石渡正樹¹, 河合佑太², 松田幸樹², 高橋芳幸², 中島健介³, はしもとじょーじ⁴,
倉本圭¹, 杉山耕一郎⁵, 小高正嗣¹, 林祥介²

¹ 北海道大学・理, ² 神戸大学・理, ³ 九州大学・理,
⁴ 岡山大学・理, ⁵ 松江高専・情報工,

系外惑星での生命存在可能性を念頭に置き、惑星表面における液体の水の存在条件に関する議論が行なわれている (例えば, Kasting et al., 1993). その中の主要テーマの 1 つが暴走温室状態の発生条件に関する考察である. 暴走温室状態とは、表面に海洋が存在する惑星の湿潤な大気において、入射放射フラックスが大気によって射出可能な赤外放射量上限値 (射出限界) を上回り、熱収支が均衡しえなくなる状態である (Nakajima et al., 1992). 近年の大気大循環モデル (AGCM) を用いた研究では、全球が海洋で覆われた水惑星の場合には、大気循環の効果や雲のアルベド効果が暴走温室状態の発生条件に強く影響すると議論されている (Leconte et al., 2013; Yang et al., 2013; Wolf and Toon, 2015 など). また、地球に比べて表層の水量が非常に少ない陸惑星設定の場合には暴走温室状態が発生する太陽定数閾値は水惑星の場合に比べて大きくなる可能性が示されている (新田ら, 2014). これらの結果に対して、我々は、どのような場合でも暴走温室状態の発生条件は全球平均日射吸収量が赤外放射量最大値を上回ることであると予想している. この予想を確かめるため、大気大循環モデルを用いた数値実験を行ない、水惑星・陸惑星、地球を想定した日射分布・同期回転惑星を想定した日射分布を与えた場合などの多様な場合における太陽定数の増加に対する気候状態の変化を調べた.

用いたモデルはこれまで我々が開発をおこなってきた大気大循環モデル DCPAM5 (<http://www.gfd-dennou.org/library/dcpam>) である. サブグリッドスケールの物理素過程は気象学分野で標準的なパラメータ化の方法を用いて表現する. 雲水量は、生成・移流・乱流拡散・消滅 (雲水量に比例し、消散時間をパラメータとして与える) を考慮した時間発展方程式を解くことにより求める. 以下の 2 シリーズの実験を行なった. (1) 水惑星実験: 地表面は全て比熱が 0 の沼地であると仮定する. 日射分布として、年変化・日変化が生じる地球的な分布と昼半球と夜半球が固定された同期回転惑星を想定した分布の 2 種類を用いる. 太陽定数 S として 1366W/m^2 から 2200W/m^2 までの 5 通りの値を与える. 自転角速度は 0.0 から地球の値までの 4 通りの値を用いる. (2) 陸惑星実験: 地表面にパケツモデル (Manabe, 1969) を適用する. 初期において表面に深さ 20cm の水を与える. 日射分布として年変化・日変化が生じる地球的な分布を用いる. S は $1366\text{W/m}^2 \sim 2800\text{W/m}^2$ の 8 通りの値を与える. 自転角速度は地球の値を使用する.

水惑星実験の結果、大気放射が灰色であるか否か・雲の有無・日射分布によらず、太陽定数が増大した場合に惑星放射の水平偏差が小さくなった. どの場合でも、赤外放射量最大値を全球平均日射吸収量が越えると暴走温室状態が発生するようである. 赤外放射最大値は系の設定に応じて異なるけれども、暴走温室状態が発生するか否かを決定する機構自体は共通であることが示唆された. 一方、陸惑星実験については、暴走温室状態が発生する太陽定数を決定するには至らなかった. $S=2800\text{W/m}^2$ とした場合に 12 年の積分を行なったところ入射放射量と外向き赤外放射がバランスした状態が得られた. この結果は、暴走温室状態が発生する太陽定数閾値は新田ら (2014) が議論した値よりも大きなものになる可能性があることを示すものである.

今後は、表面アルベドの変化も考慮した数値実験も実施し、暴走温室状態・氷無し状態・部分凍結状態・全球凍結状態それぞれの発生条件を求め、気候の太陽定数依存性を明らかにする予定である.