

同期回転惑星における太陽定数増大実験

Numerical experiments of synchronously rotating planets with increasing solar constant

納多 哲史^{1*}, 石渡 正樹², 中島 健介³, 高橋 芳幸⁴, 森川 靖大⁵, 西澤 誠也⁴, 林 祥介¹

Satoshi Noda^{1*}, Masaki Ishiwatari², Kensuke Nakajima³, Yoshiyuki O. Takahashi⁴, Yasuhiro MORIKAWA⁵, Seiya Nishizawa⁴, Yoshi-Yuki Hayashi¹

¹ 神戸大学, ² 北海道大学, ³ 九州大学, ⁴ 惑星科学研究センター, ⁵ 情報通信研究機構

¹Kobe University, ²Hokkaido University, ³Kyushu University, ⁴Center for Planetary Science, ⁵NICT

これまでに発見された系外惑星の多くは中心星の近傍に存在し、中心星の潮汐力により同期回転している、すなわち昼半球と夜半球が固定されていると予想されている。M型星のように低質量であり輝度が小さい中心星の周囲には、惑星表面に液体の水を有する、同期回転する地球型惑星が存在する可能性がある。

これまでに我々は同期回転惑星の気候を探ることを目的として、地球の太陽定数の値において、公転角速度を変更したパラメータ実験を行ってきた。その結果、公転角速度の値に応じ、昼半球から夜半球への直接循環が卓越する平衡状態、降水を伴う擾乱や赤道波等が卓越する平衡状態が得られることがわかった。

しかし、太陽定数が増加した場合には平衡状態に達することができずに暴走温室状態が発生し、惑星表面に液体の水が存在できなくなると考えられる。ここでは、暴走温室状態が発生する太陽定数の値(以降、暴走限界と呼ぶ)が公転角速度の値によって異なるかどうかを調べるため、公転角速度と太陽定数を変化させた数値実験を行った。

実験に使用した大気大循環モデルは地球流体電脳倶楽部 大気大循環モデル dcpam5

(<http://www.gfd-dennou.org/library/dcpam/>) である。大気は乾燥大気(非凝結性成分)と水蒸気(凝結性成分)とから成る。

短波放射に対しては乾燥大気、水蒸気ともに透明であり、惑星放射に対しては水蒸気のみが灰色吸収を行う。大気や雲による放射の散乱の効果は考慮していない。積雲パラメタリゼーションには対流調節(Manabe et al. 1965)を用いた。地表面は、全て熱容量ゼロの海面に覆われており、アルベドはゼロとした。惑星半径、平均地表面気圧は現在の地球の値を用いた。

入射放射分布として2種類のものを用いた。ひとつは赤道上の一点を恒星直下点として固定した同期回転日射分布(SR)、もうひとつは地球の日平均年平均日射分布(nonSR)である。公転角速度()はゼロもしくは地球の自転角速度の値を用いた。これら2種類の に対して、地球の太陽定数の値を与えて同期回転日射分布を用いた場合には、それぞれ異なる平衡状態が得られている(納多他, 2010)

太陽定数は地球の値およびそれ以上の5種類を用いた。実験数は全部で18である(表を参照)。

水平解像度については、格子点の数は経度方向に64、緯度方向に32である。鉛直層数は48である。等温静止大気から2000地球日間の積分を行った。

結果として、太陽定数1600 W/m²では全ての場合で平衡状態が得られなかった(表)。平衡状態が得られない場合では時間経過とともに全球平均地表面温度が単調増加し、全球平均惑星放射フラックスが単調減少している。暴走温室状態が発生していると考えられる。

暴走限界の値は、SR, nonSRのどちらの日射分布を用いた場合でも、 をゼロとした場合の方が大きくなる傾向を示した。また、 が等しい場合には、nonSRに比べてSRの方が暴走限界が小さくなる結果となった。

各日射分布 ('Pattern', 'SR' は同期回転条件, 'nonSR' は地球の日平均年平均日射条件を示す), 自転角速度 (Ω , 地球の値で規格化), 太陽定数 (S , W/m^2) における結果一覧. 平衡に達した場合は丸印, そうでない場合はバツ印で示している. 空白の箇所の実験は行っていない.

Pattern	SR		nonSR	
$S \setminus \Omega$	0	1	0	1
1600	×	×	×	×
1550	×	×	○	×
1500	○	×	○	○
1450	○	○		
1380	○	○	○	○

キーワード: 同期回転惑星, 大気大循環モデル, 系外惑星, 暴走温室状態, 太陽定数

Keywords: synchronously rotating planet, general circulation model, exoplanet, runaway greenhouse state, solar constant