

同期回転惑星の大気大循環とその自転角速度依存性

The Atmospheric General Circulation of a Synchronously Rotating Planet and its Dependence on Rotation Rate

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, ⁴CPS, 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惑星であると予想されている。中心星が低質量であり輝度が小さければ(例: M型星)、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。

Joshi et al. (1997)は純粋なCO₂大気を有する同期回転惑星の昼半球から夜半球への大気循環について、大気大循環モデル(General Circulation Model, GCM)を用いて調べた。その結果、地表面気圧が100 hPa以上の場合であれば惑星の夜側の温度が比較的高く保たれることが示された。しかしながら、彼らのモデルには水の効果が含まれておらず、水の存在が大気構造に与える影響が考慮されていない。そこで我々はGCMを用いて大気中に水蒸気を含んだ同期回転惑星の熱輸送について調査を行った。大気循環の変化によって温度分布がどのように影響を受けるかを調べるため、大気循環を変えるパラメータとして自転角速度を変更した。

本研究で用いたGCMは我々の開発しているdcpam (<http://www.gfd-dennou.org/library/dcpam/>)である。地表面は全て海で覆われていて、熱容量はゼロであるとした。大気は短波放射に透明、長波放射には灰色であり、凝結成分は水蒸気のみである。自転軸傾斜角、離心率はゼロとし、惑星半径、平均地表面気圧、太陽定数などは地球の値を用いた。格子点数は経度方向に64、緯度方向に32、鉛直層数は16である。自転角速度はゼロから地球と同じ値まで変更した。以降、自転角速度(Ω)は地球の値で規格化した値を用いることにする。

Ω を変更したパラメータ実験の結果、夜半球の平均地表面温度はいずれの実験でも250 K程度であり、10 K程度の幅に収まっている。しかし最低地表面温度は70 K以上の幅を持ち、また Ω の単調関数ではないことが分かった。以下では、 Ω の値による大気構造の変化に関する記述をする。温度および熱輸送のパターンは3つに大別できる。

$\Omega = 1$ の場合、中緯度の熱輸送が卓越している。地表面温度の極大値は恒星直下点のほかに昼側の中緯度にもある。夜側の中緯度でも周辺よりも温度が高い領域が帯状に存在する。この領域が傾圧渦による降水が多い領域に対応していることから、水の潜熱輸送、凝結加熱が夜側への熱輸送に重要であると考えられる。

$\Omega = 1/50 - 4/5$ の場合、恒星直下点から赤道に沿った東向き熱輸送、および極をまたいだ熱輸送が特徴的である。例えば $\Omega = 1/3$ では夜側の赤道付近の全ての場所で温度が285 K以上であ

った.最低温度は極ではなく夜側の緯度60-70度付近に存在する.

$\Omega = 0 - 1/100$ の場合,下層で夜半球から昼半球へ,上層で昼半球から夜半球へ風が吹く直接循環による熱輸送が卓越している.地表面温度の最小値は恒星対蹠点である.夜半球の地表面温度は240-255 Kの範囲に収まっている.

キーワード:同期回転惑星,自転角速度,大気大循環モデル,熱輸送,系外惑星

Keywords: synchronously rotating planet, rotation rate, general circulation model, heat transport, exoplanet