

同期回転惑星の大気大循環とその自転角速度依存性

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

¹ 神戸大院理, ² 北大院理, ³ 九大院理, ⁴ 惑星科学研究センター, ⁵ 情報通信研究機構

1. はじめに

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) は大気大循環モデル (GCM) を用いて純粋な CO₂ 大気を有する同期回転惑星の温度分布を調べた. その結果, 地表面気圧が 100 hPa 以上の場合であれば夜半球の地表面温度が大気成分の凝結が起こらない程度に高く保たれた. しかしながら, 彼らの系では水が含まれておらず, また自転角速度は 2 つの場合しか実験されていない. 大気循環が変化すると熱輸送を担う過程やそれによる熱輸送の強さが変化するであろうから, どの場合でも十分な熱が夜半球に運ばれるかどうかは自明ではない.

我々は将来的に同期回転惑星における液体の水の存在条件を議論することを目指し, その基礎として大気中に水蒸気を含む同期回転惑星の温度分布, 循環構造, 南北・東西方向の熱輸送がどのような様相になるかを調べた.

2. モデル

モデルは我々の開発している GCM である dcpam (<http://www.gfd-dennou.org/library/dcpam/>) を用いた. 凝結成分は水蒸気のみである. 雲はない. 大気は短波放射に透明, 長波放射に灰色である. 地表面は全て海で覆われ, 熱容量はゼロとした. 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. 解像度は T21L16 (水平格子点数は 64 × 32) 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, 自転角速度は地球の値で規格化したものを用い, Ω と表記する.

3. 結果

Ω を変更した実験の結果, 最低地表面温度は約 80 K 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 の値による大気循環の変化に関する記述をする. パターンは少なくとも 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半球の中緯度にもある. 夜半球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 (図 1). 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.

$\Omega = 1/13$ の場合, 恒星直下点から赤道に沿った東向きの熱輸送, および極をまたいだ熱輸送が特徴的である. 最低温度は極ではなく夜半球の緯度 60-70 度付近に存在する (図 2).

$\Omega = 0$ 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 と他と比較して狭い範囲に収まっている (図 3).

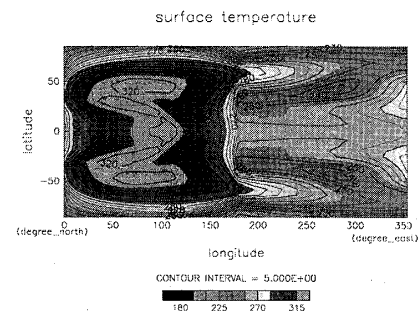


図 1: $\Omega = 1$ における, 時間平均された地表面温度.

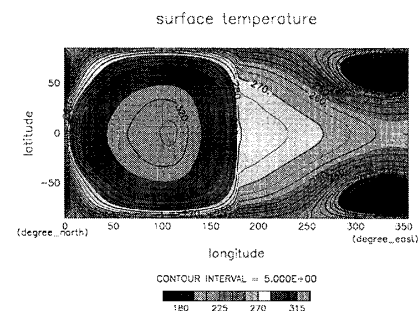


図 2: $\Omega = 1/13$ における, 時間平均された地表面温度.

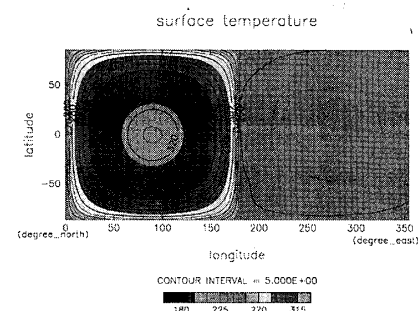


図 3: $\Omega = 0$ における, 時間平均された地表面温度.

4. まとめと今後の予定

同期回転惑星において自転角速度をゼロから地球の値までを変化させたところ, 少なくとも 3 種類の循環パターンが見られた. 夜半球の最低地表面温度は自転角速度によって大きな差 (今回の実験では約 80 K) が見られた.

今後は各過程 (傾圧渦, 赤道波, 直接循環など) による熱輸送の定量的評価や, 太陽定数の増加による各過程の熱輸送の変化や上限値を調べる予定である.