

同期回転水惑星大気構造の惑星半径依存性に関する数値実験

増田 和孝,* 石渡 正樹 (北大・理)

はじめに

地球程度の質量を持つ系外惑星における生命存在可能性を考察することを目的として、それらを模した設定における大気大循環モデル (GCM) 計算が行われている。その中の 1 つである Heng and Vogt (2011) では、当時発見報告がなされた Gliese581g の気候に関する数値実験がおこなわれた (現在では、その存在は疑問視されている)。彼らは、同期回転惑星を想定した平衡温度分布を用いたニュートン冷却を与えた計算を行った。自転角速度として、Gliese581g の推定値である $?? \text{ sec}^{-1}$ (30? 日周期) を用い、惑星半径と重力加速度の値に関してはそれぞれ地球の 1.46 倍、1.69 倍、1.71 倍の値を与えた。その結果、循環パターンの惑星半径と重力加速度依存性は小さいものとなっていた。しかし、より大きな惑星半径を用いた場合についても考察を行うことが望ましいと考えられる。スーパーアースと呼ばれる系外惑星には、地球の 10 倍の質量を持つものも存在するからである。自転角速度を固定して惑星半径を増加させると惑星半径に対する変形半径の比は減少するので、それに応じて循環構造も変化すると考えられる。実際に、惑星半径を地球の値に固定して自転角速度を変更した同期回転水惑星実験 (納多他, 2011; 石渡他, 2014) においては自転角速度の値に応じて循環パターンは変化することが示されている。また、Heng and Vogt (2011) では放射過程としてニュートン冷却が用いられており、これによって大気の放射加熱分布の表現が不十分である可能性もある。

ここでは、石渡他 (2014) と同一の地球用放射スキームを用いて更に広い範囲で惑星半径を変化させたパラメータ実験を行い、昼夜間熱輸送および循環場の惑星半径依存性を調べることにする。

モデルおよび実験設定

用いたモデルは、惑星大気大循環モデル DCPAM5 (高橋他, 2013) である。その力学過程は 3 次元球面プリミティブ方程式系から成り、水平方向には球面調和函数変換によるスペクトル法、鉛直方向には σ 座標系での差分法を用いる。放射過程に関しては、Chou and Lee (1996), Chou et al. (2001) のスキームを用いて、水蒸気、 CO_2 、雲による放射の吸収と散乱を考慮する。積雲対流については、Relaxed Arakawa-Schbert スキーム (Moorthi and Suarez, 1992) を用いた。雲水量の時間発展は、積雲対流スキームの結果から計算される生成

項、モデルに与える消滅時間に基づく消滅項、移流を考慮した時間発展方程式を解くことにより求めた。全球の地表面に対して沼条件 (swamp condition) を仮定した。重力加速度、表面気圧、太陽定数などは地球の値を用いた。自転角速度に関しては、Gliese 581g の予測値を用いた。入射放射分布として、赤道上的の経度 90 度の点を恒星直下点とする固定した分布を与える。惑星半径の値として、 $R^* = 0.5$ から $R^* = 8$ までの 8 通りの値を与えた (R^* は地球の値で規格化した惑星半径)。モデルの解像度は基本的に T42L26 とし、 $R^* = 8$ の場合については T170L26 までの高解像度計算を行った。

結果

惑星半径 R^* の増加に従い、表面温度の夜半球平均値は単調減少した (図)。 $R^* = 1.0$ の場合に比べて、 $R^* = 8.0$ の場合では 15 K 低くなっていた。表面温度の水平分布においては、夜半球の高緯度域における値が R^* の増加とともに減少していた。対流圏上層における水平風の平面分布では、東西波数 1 のロスビー波動的な応答パターンが現れた。これは納多他 (2011) で得られた分布と良く似たものとなっている。 R^* の増加に応じて応答パターンの振幅は増加しており、夜半球高緯度における低気圧回転の渦の強度が強くなる傾向にあった。昼夜間熱輸送量は R^* の増加に応じて単調減少しており、夜半球表面温度の減少と整合的なものとなっていた。同期回転惑星における昼夜間熱輸送量は、自転角速度依存性に比べると惑星半径依存性は大きなものであると言えそうである。

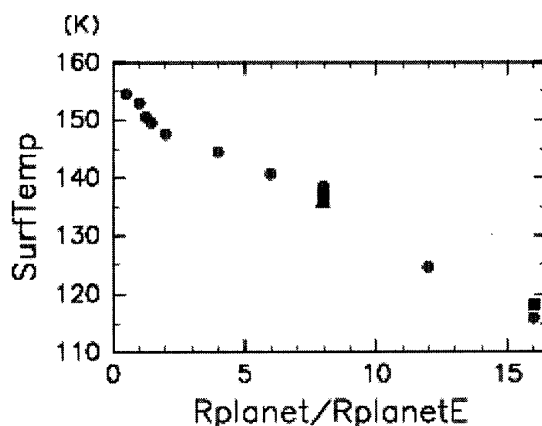


図: 表面温度の夜半球平均値。縦軸は温度 [K], 横軸は R^* 。● は T42L26 の結果, ■ は T85L26 の結果, ▲ は T170L26 の結果を示す。