

## 自己評価報告書

平成 23 年 4 月 20 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2011

課題番号：20540223

研究課題名(和文) 同期回転する地球型惑星上の気候に関する数値的研究

研究課題名(英文)

A numerical study on the climate of synchronously rotating terrestrial planets

研究代表者

石渡 正樹 (ISHIWATARI MASAKI)

北海道大学・大学院理学研究院・准教授

研究者番号：90271692

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：惑星大気、系外惑星、気候多様性、大気大循環モデル、暴走温室状態、全球凍結状態、自転角速度、太陽定数

## 1. 研究計画の概要

本研究では、中心星の近傍に存在する系外惑星を念頭におき、同期回転している(公転周期と自転周期が等しい)地球型惑星において存在しうる気候状態の探索を行なう。大気大循環モデルを用いて、自転角速度・太陽定数を変化させたパラメータ実験を行ない湿潤同期回転惑星に生じる気候状態の多様性、その遷移メカニズムを明らかにする。

まず、放射特性が波長に依存しない灰色大気の場合について、入射放射量と自転角速度を変化させたパラメータスタディを行い、全球凍結状態・海洋存在状態(部分凍結状態もしくは氷無し状態)・暴走温室状態の気候状態が現れるパラメータ範囲、同時に気候状態の遷移を起こすメカニズムについて考察を行う。

次に、赤色矮星の周囲の同期回転惑星を念頭においた場合について、地球とは異なる場合に対する惑星放射スキームを作成し、それを用いたパラメータ実験を行ない、赤色矮星の周囲の同期回転惑星において温暖

な気候が発生する条件を求める。

これらの数値計算により、同期回転惑星表層で液体の水が存在できる条件を明らかにし、系外惑星における生命存在可能性を考える手がかりを提供することを目指す。

## 2. 研究の進捗状況

同期回転惑星の気候状態を探索するパラメータ実験を遂行中である。使用するモデルは静水圧を仮定した3次元球殻モデル、地球流体電脳倶楽部 dcpam5 である。大気は、水蒸気を想定した仮想的な凝結性成分と乾燥空気を想定した非凝結性成分から成る。水蒸気だけが長波放射を吸収、射出し、その吸収係数は波長によらない定数であるとする。乾燥空気は放射に対して透明であるとする。地表面の比熱は0と仮定する。太陽定数、重力加速度、惑星半径などは地球の値を用いる。自転角速度の値として、 $\Omega = 1$  から 0 までの 20 通りを用いた( $\Omega$ は地球の値で規格化した自転角速度)。太陽定数として、1380(地球の値)、1450、1500、1550、1600W/m<sup>2</sup> の 5 種類を用いた。

太陽定数の値を  $1380\text{W/m}^2$  に固定し、 $\Omega$  のみを変更した実験により、 $\Omega$  の値に応じて 3 種類の気候レジームが存在することがわかった。 $\Omega > 1/3$  の場合、昼半球から夜半球への熱輸送は赤道域における波動運動と中高緯度域における傾圧不安定擾乱に伴って起こる。 $\Omega < 1/20$  の場合、太陽直下点における上昇流と対蹠点における下降流から成る昼夜間対流によって熱輸送が起こる。 $1/20 \leq \Omega \leq 1/3$  の場合には、赤道波動・傾圧不安定擾乱と昼夜間対流の両方によって昼半球から夜半球に熱が輸送される。

更に、太陽定数を変化させたパラメータ実験により、太陽定数が地球の値のおおむね 1.1 倍程度になると暴走温室状態が発生するという結果を得た。暴走温室状態が発生する太陽定数の値は、自転角速度の値によって  $100\text{W/m}^2$  程度変化した。また、 $\Omega$  を固定した条件下では太陽定数の値が変わっても循環構造は同様となり、循環構造は太陽定数よりも  $\Omega$  に強く依存することもわかった。

### 3. 現在までの達成度

#### ③やや遅れている

(理由) 太陽定数を増加させた場合、鉛直方向の 2-grid noise の振幅が増大し長時間積分が困難であることがわかったのでその対応策を模索する必要が生じたため。

### 4. 今後の研究の推進方策

当初の研究計画に比較すると、全球凍結状態に関する数値実験および赤色矮星の周囲の惑星に関する数値実験が遅れている。しかし、全球凍結状態の数値計算を行なうための地表面過程のプログラム実装は終了しており、赤色矮星の周囲の惑星を念頭においた放射スキームの開発も一通りは終了している。最終年度において、数値実験数を増

加させれば計画通り研究を遂行することができると思われる。

### 5. 代表的な研究成果

[雑誌論文] (計 1 件)

石渡正樹、中島健介、森川靖大、高橋芳幸、小高正嗣、倉本圭、林祥介、2009: 同期回転惑星大気における循環構造. 第 23 回大気圏シンポジウムプロシーディング, [http://www.isas.ac.jp/j/researchers/symp/2009/image/0226\\_proc/5-5.pdf](http://www.isas.ac.jp/j/researchers/symp/2009/image/0226_proc/5-5.pdf) 査読無

[学会発表] (計 3 件)

① 納多哲史、石渡正樹、中島健介、高橋芳幸、森川靖大、他 2 名: 同期回転惑星における太陽定数増大実験. 第 25 回大気圏シンポジウム, 2011 年 2 月 21 日, JAXA 宇宙科学研究本部

② 納多哲史、石渡正樹、中島健介、高橋芳幸、森川靖大、他 2 名: 同期回転惑星における太陽定数増大実験. 気象学会秋季大会, 2010 年 10 月 29 日, 京都テルサ.

③ 納多哲史、石渡正樹、中島健介、高橋芳幸、森川靖大、他 2 名: 同期回転惑星の大気大循環とその自転角速度依存性. 気象学会春季大会, 2010 年 05 月 26 日, 国立オリンピック記念青少年総合センター.