

灰色大気に覆われた惑星の全球凍結条件

The ice ball condition for the planet with gray atmosphere.

石渡 正樹[1], 中島 健介[2], 竹広 真一[2], 林 祥介[3]

Masaki Ishiwatari[1], Kensuke Nakajima[2], Shin-ichi Takehiro[3], Yoshi-Yuki Hayashi[4]

[1] 北大・地球環境, [2] 九大・理・地惑, [3] 北大・理・地球惑星

[1] Graduate School of Environmental Earth Science, Hokkaido University, [2] Dept. of Earth & Planetary Sci., Faculty of Sci., Kyushu Univ., [3] Earth and Planetary Sci., Kyushu Univ., [4] Earth and Planetary Sci., Hokkaido Univ.

<http://www.woa.ees.hokudai.ac.jp/people/momoko/>

惑星の全球凍結条件について検討するため、大気大循環モデルによる数値計算を行った。用いたモデルは球面3次元プリミティブ方程式系に簡単な物理過程：灰色放射、湿潤対流調節などを組み込んだものである。表面は全て海洋であるとし、海氷の存在も考慮する。海氷の成長・熱収支は、Semtner (1988)のモデルにより計算する。氷のアルベドは0.2、その他の領域のアルベドは0とする。日射分布は年平均分布を与え太陽定数の値を変化させたパラメータスタディを行ったところ、太陽定数の値が 1100W/m^2 以下になると全球凍結状態が得ることがわかった。この結果は南北1次元エネルギーバランスモデルの結果とおおむね一致している。

1. はじめに

新生代後期には、地球が全球的に凍りついた可能性が示唆されている(Hoffman et al, 1998)。惑星表面が凍り付く条件に関しては、これまで南北1次元のエネルギーバランスモデルを用いて議論がなされてきた(Budyko, 1969 など)。それらの結果が示唆していたことはアイス-アルベドフィードバックの効果により、太陽定数がわずかに減少(モデルによっては2の減少)しただけで全球凍結状態が発生する、というものであった。しかし、エネルギーバランスモデルでは、南北方向の熱輸送はパラメタライズされた形で取り扱われており、循環まで考慮した3次元大気における全球凍結条件についてはこれまであまり真面目に考えられてこなかった。本研究では、3次元の大気大循環モデルを用いたパラメータスタディを行うことにより、全球凍結条件がどのように決定されるのかを理解することを目指す。

2. モデル

使用するモデルは、地球流体電脳倶楽部版 agcm5 である(<http://dennou-h.gfd-dennou.org/arch/agcm5/>)。球面上の3次元プリミティブ方程式に基づいている。大気は乾燥空気と水蒸気のみから成ると仮定する。乾燥空気は放射に対しては透明、水蒸気は赤外放射に対してのみ灰色の放射特性を持つとする。積雲対流は湿潤対流調節によりパラメタライズする。表面は全球にわたって海で覆われているものとし、表面温度が結氷温度よりも低くなると氷ができる。海氷の成長・熱収支は、Semtner (1988)のモデルによって計算する。氷が無い場合には、熱バランスすることを仮定して表面温度を決定する。氷のアルベドは0.2、海洋のアルベドは0とした。日射分布は、常に年平均分布を与え続ける。太陽定数の値は、 1000W/m^2 から 1800W/m^2 まで変化させて計算を行う。水平方向の離散化は球面調和関数展開により行い全波数21で三角形切断

する。鉛直方向には方程式を差分化し、32 層をとることにする。

3. 結果

太陽定数の値を増減させたパラメータスタディにより、以下の結果が得られた。まず、当然のことながら太陽定数が 1570 W/m^2 を越えると暴走温室状態が発生し、氷のモデルをいれない場合(石渡ら, 1998)と同一の結果が得られた。太陽定数が減少し、その値が 1100 W/m^2 以下になると全球凍結状態が得られた。全球凍結状態では、東西方向の温度差はほとんどなくなり、南北温度差も氷モデルを入れない場合に比べて小さくなる。現在の地球の太陽定数を与えた場合では緯度 30 度付近まで氷で覆われる結果となった。3 次元モデルと南北 1 次元モデルの結果を比較するため、大気大循環モデルと同一の放射スキームをもつエネルギーバランスモデルによる計算も行った。その結果、3 次元モデルと同様に太陽定数の値が 1100 W/m^2 以下になると全球凍結状態が得られた。1 次元モデルと 3 次元モデルの結果がほとんど同じになったのは、偶然なのかあるいは何らかの理由によるものなのかは現在のところ十分に解析されていない。

4. 今後の展望

3 次元大気循環モデルと南北 1 次元のエネルギーバランスモデルの結果がおおむね一致したことは、全球凍結状態が発生する条件を単純化したモデルにより記述することが可能であることを示唆しているのかもしれない。今後はエネルギー輸送の解析などを行うことにより、1 次元モデルの有効性に関して検討を重ねていく予定である。