

# M 型星周りの同期回転惑星における全球凍結条件

複雑理工学専攻 指導教員：田近英一 教授

47-166113 宗廣 拓磨(2018年3月修了)

キーワード：ハビタブルゾーン, ハビタブルプラネット, 同期回転惑星, 全球凍結

## 1. 序論

系外惑星の中から「生命居住可能惑星(ハビタブルプラネット)」を探すために、「ハビタブルゾーン(HZ)」内に軌道を持つ地球質量程度の惑星が注目されている。HZとは、惑星表面に液体の水が存在しうる軌道範囲のことをいう。

近年、太陽(G型星)よりも質量が小さく、温度が低く、暗い、M型星と呼ばれる恒星のHZ内を周回する惑星が注目を集めている。M型星は暗いため、M型星のHZは中心星のすぐ近くに位置する。M型星のHZ内に存在する惑星の多くは、中心星の潮汐力のため、地球を周回する月のように、自転と公転が同期し、常に中心星と同じ面を向いている「同期回転惑星」であると予想されている。M型星のHZ内には、すでにいくつもの惑星が見つかっており、そうしたハビタブルプラネット候補天体に関する研究が近年盛んに行われている。そして、もし同期回転惑星の表面全体が海洋に覆われていると仮定すると、赤道域には強い東西熱輸送が生じ、“ロブスター型”の温度分布を示すことが示唆されている。

しかし、実際に存在する系外惑星を想定して個別の検証は行われているものの、M型星周りの同期回転惑星の気候システムの挙動、とりわけ全球凍結条件に関する系統的な研究はこれまでない。

そこで、二酸化炭素分圧や中心星放射を変

化させて、系統的かつ定量的に、M型星のHZにおける同期回転惑星の全球凍結条件を明らかにすることを目的として、本研究を行った。

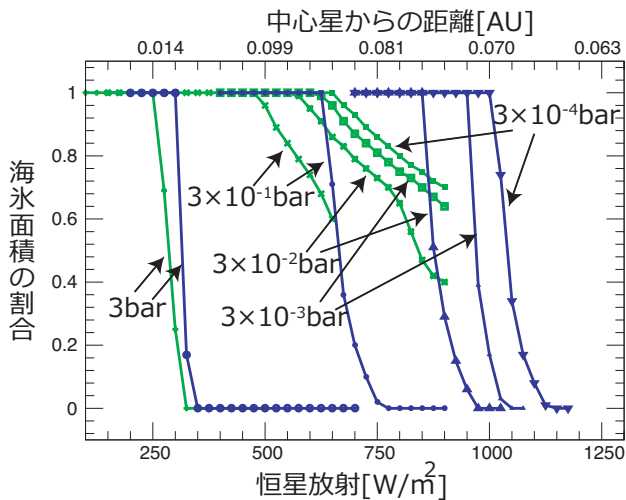
## 2. モデル

本研究では、中心星から入射する正味恒星放射と惑星から出ていく惑星放射のエネルギーの釣り合いに基づくエネルギーバランス気候モデル(Energy balance model; EBM)を用いる。EBMは、大気や海洋の運動は扱わないが、気候システムの挙動を理解するために有効なモデルであり、計算コストが小さいことから系統的な数値実験を行うことに適している。そこで、同期回転惑星の気候システムの特徴である、昼面と夜面からなる惑星気候を再現するため、2次元のエネルギーバランスモデルを用いる。

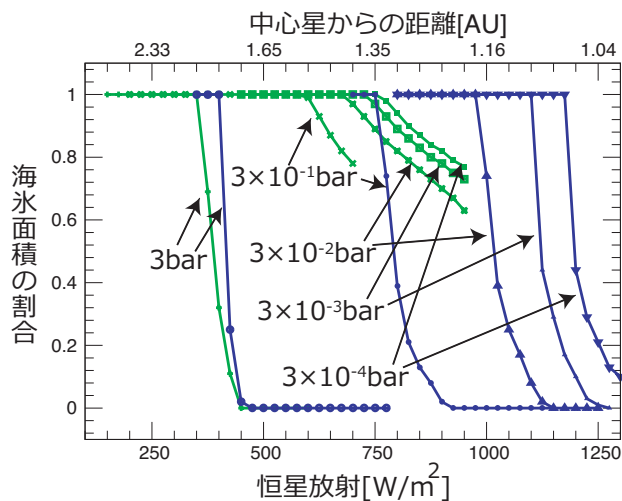
まず、M型星周りの同期回転惑星について、3次元の気候モデルを用いて行われた先行研究の温度分布を再現するように、熱輸送に関するパラメータを設定する。そして、そのパラメータを用いて、M型星周りの同期回転惑星における全球凍結条件を調べるための系統的な数値実験を行う。比較のために、G型星周り及び自転惑星についての数値実験も行う。

## 3. 結果と考察

図1に、(a) M型星周り、(b) G型星周りの同期回転惑星と自転惑星についての恒星放射と海水面積の割合の関係を示す。



(a) M 型星周り



(b) G 型星周り

図 1 : (a) M 型星周り, (b) G 型星周りにおける同期回転惑星(緑線)と自転惑星(青線)の恒星放射  $[W/m^2]$  と海水面積の割合の関係。二酸化炭素分圧  $3 \times 10^{-4} \sim 3 \text{ bar}$  について計算したもの。上軸は、恒星放射を中心星からの距離 [AU] (太陽から地球までの距離=1AU) に換算したもの。海水面積の割合=1 が全球凍結状態を表す。

まず図 1 から、同じ二酸化炭素分圧条件では、同期回転惑星は自転惑星よりも全球凍結に陥り難いことが分かる。これは、同期回転惑星では、恒星直下点は常に中心星放射が当たっており、凍結し難い条件になっているためである。

次に、M 型星周り及び G 型星周りの自転惑星では、どの二酸化炭素分圧条件でも、不連続的な変化(気候ジャンプ)によって全球凍結に陥っているのに対し、同期回転惑星では、基本的に、連続的かつゆるやかに全球凍結に陥っていることが分かる。これは、同期回転惑星の恒星直下点における強い日射により、急激な海水面積の変化が抑制されているためだと考えられる。

また、G 型星周りの惑星に比べて M 型星周りの惑星では、中心星スペクトルの違いにより惑星アルベド(反射率)が下がるため、同じ放射条件では、M 型星周りの惑星の方が暖まりやすく、全球凍結に陥りにくい。現在の地球と同程度の二酸化炭素分圧条件( $3 \times 10^{-4} \text{ bar}$ )では、M 型星周りの同期回転惑星における全球凍結条件は、恒星放射約  $650 \text{ Wm}^{-2}$  (中心星からの距離約  $0.09 \text{ AU}$ ) であるのに対して、G 型星周りの同期回転惑星における全球凍結条件は、恒星放射約  $750 \text{ Wm}^{-2}$  であることから有意に小さい。

#### 4. 結論

M 型星周りの同期回転惑星における全球凍結条件は、本研究によって初めて定量的に示された。M 型星周りの同期回転惑星は G 型星周りの同期回転惑星よりも全球凍結に陥りにくいことが明らかになった。そして、自転惑星との比較から、同期回転惑星の全球凍結条件は、自転惑星の全球凍結条件よりも恒星放射が有意に低いこと、また、同期回転惑星が全球凍結する際には、自転惑星のような不連続的な変化(気候ジャンプ)が起きず、連続的に全球凍結に陥ることが分かった。これらは、M 型星に限らず、G 型星周りの同期回転惑星でも同様であったことから、同期回転惑星の気候学的特徴であるといえる。