

地球型水惑星の地表水分布と暴走温室限界

新田光(東大理)、阿部豊(東大理)、大石龍太(極地研・東大大海研)、阿部彩子(極地研・東大大海研)

液体の水は惑星気候に大きく影響を与えることに加えて、生命の生存可能性を議論する上でも重要な物質である[e.g. Kasting et al., 1993]。この液体の水を地表にもつ惑星が、ある閾値をこえる中心星放射を受け取った時、水が全て蒸発してしまうことが知られている。これは強い温室効果気体である水の正のフィードバックが原因で、このような状態を暴走温室状態と呼ぶ。暴走状態に達する閾値(=暴走温室限界)については現在に至るまで数多く議論がなされている[e.g. Abe and Matsui, 1988; Nakajima et al., 1992; Leconte et al., 2013]。

この暴走温室限界の値が、惑星表層における大気循環に大きく依存することが、近年明らかになってきている[Abe et al., 2011]。

惑星スケールの地表水分布は、大気循環による水蒸気輸送と、地表で液体水が流れることによる地表面水輸送とのバランスによって決定される。地球においては地表面の海洋が十分多く、全体の地表水分布を支配している。

一般に大気循環は水を極域に運び、地表面はその水を極域から赤道方向に流す役割をもつ。地表面水輸送によってどの程度低緯度まで水が運べるか(=地表面水輸送の限界緯度)は、水の量と地形によって決まる。この地表面水輸送の効果が小さい場合、水は両極域に局在化され、非常に限定的な水分布を持つ。このような惑星を陸惑星と呼び、一方で地表面水輸送の効果が十分大きく、常に赤道域まで水が運ばれるような惑星を海惑星と呼ぶ。

Abe et al. [2011] では、3次元モデルを用いて初めて陸惑星が再現され、暴走温室状態に陥る条件が計算された。その結果、地球サイズの惑星では、海惑星が相対太陽放射で130%程度の中心星放射を受け取ると暴走状態に陥るのに対し、赤道域が良く乾燥した陸惑星は170%の強度

の放射を受け取っても地表の水分布は維持された。この暴走温室限界の違いは、陸惑星において大気中に水の存在する領域が極域付近に限られ、水の正のフィードバックがはたらく領域が海惑星に比べ非常に狭くなることに起因する。

但し、ここでは地表面水輸送の効果が極小の場合と十分大きい場合の2つ場合のみの計算に留まっている。地表面水輸送の程度に依存する水分布の多様性やそれに対応した暴走温室限界の包括的な理解には到っていない。

そこで我々は、地球型惑星の地表水分布が暴走温室限界に与える影響を系統的に知ることとを目的とし、3次元モデルとしてGCMを用いた数値実験を行った。

今回我々はCCSR/NIES AGCM 5.4g [Numaguchi, 1999]を用い、大気中の水蒸気輸送を計算した。これは、地球の大気循環、気候をよく再現している[Numaguchi, 1999]。但し、このGCMでは水の量や地形による地表面水輸送の効果を計算することが出来ない。そこで我々は[1]直接地表面水輸送の限界緯度をパラメータとして与え、様々な地表水分布を再現、[2]太陽放射を徐々に上げていき、暴走温室状態に陥らず地表の水が維持できる上限を導出、という手法で地表面水分布と暴走温室限界の関係を調べた。

上記手法による実験の結果、地表面水輸送の限界緯度によって暴走温室限界が、現在の地球に対する相対太陽放射で180%(限界緯度：約80度)から130%(限界緯度：30度以下)まで連続的に変化することが分かった。また、この連続的な変化は、地表面水輸送の限界緯度がハドレー循環領域に達するか否かで2つのレジームに分けられることが明らかになった。これは、それぞれのレジームで大気循環による水蒸気輸送の向きが異なることに起因する。