

水の散逸を伴う地球型惑星の進化 Evolution of terrestrial planets with water loss

小玉 貴則^{1*}, 玄田 英典¹, 阿部 豊¹, ザンレ ケビン²

KODAMA, Takanori^{1*}, GENDA, Hidenori¹, ABE, Yutaka¹, Zahnle, Kevin²

¹ 東京大学大学院地球惑星科学専攻, ² NASA エイムズ研究所

¹The University of Tokyo, ²NASA Ames Research Center

生命の誕生と進化を考える上で、液体の水の存在は重要であると考えられている。液体の水が惑星表面に存在できる中心星からの距離の範囲をハビタブルゾーン (HZ) と呼ぶ。Kasting ら [1] は、全球が海でつながった地球のような惑星 (海惑星と呼ぶ) の HZ を見積もり、その範囲を現在の地球軌道での太陽放射の約 90% から約 110% の範囲と見積もった。

一方、阿部ら [2] は、惑星の保持する水量がごく少量の仮想的な惑星 (陸惑星と呼ぶ) の気候について議論した。陸惑星は、惑星表面の水分布が大気中の水蒸気の循環にのみ支配される惑星であり、その重要な特徴は、降雨と蒸発が局所的にバランスし、水の局在化が起こることである。彼らは、大気大循環モデルを用いて、1 気圧の空気からなる大気をもつ陸惑星の HZ を現在の地球軌道の太陽放射の約 77% から約 170% の範囲と見積もった。その結果、陸惑星は、海惑星より広い HZ を持つ可能性が示唆された。また、彼らは、海惑星のような水を多く保持している惑星が、水の散逸を経験することによって、陸惑星へ進化するだろうと考え、新しい地球型惑星の進化の経路を提案した。

両研究により、惑星表面の水量は HZ を議論する上で重要であることが示唆された。そこで我々は、まだ詳細に検討されていない海惑星から陸惑星への進化のメカニズムを明らかにするため、惑星表面に保持する水量変化をモデル計算し、海惑星から陸惑星への進化の詳細を検討した。

我々は、大規模に水を散逸させる水の流体的散逸 [3,4] と恒星進化 [5,6,7] を考慮し、初期に様々な水量を保持している仮想的な惑星に対して、様々な距離における惑星の保持する水量の変化を計算し、その時の惑星の状態を調べた。そして、系外地球型惑星の観測に示唆を与えるために、「初期海洋質量」「恒星からの距離」の他、「恒星の質量」「惑星の質量」についてもパラメーターとして扱うことにより、海惑星から陸惑星への進化に対する影響を検討した。

海惑星から陸惑星への進化には、2つの重要なタイムスケールが存在する。1つは、中心星から受ける放射が増大するタイムスケール、もう1つは、水の散逸するタイムスケールである。前者は、恒星の質量と惑星から中心星までの距離に依存し、後者は、水の散逸によって惑星が保持する水量が陸惑星的な気候をとる水量になるまでに要する時間であるため、初期海洋質量に依存する。後者が、前者に比べ長い場合、海惑星は陸惑星へ進化することはできず、前者に比べ短い場合、海惑星は陸惑星へ進化することができる。太陽型の恒星周りの地球サイズで軌道半径 0.75[AU] の海惑星の場合、海惑星から陸惑星へ進化する境界の初期水量は、0.15 海洋質量 (現在の地球の海洋質量の 0.15 倍) と見積もれ、惑星の保持する水量がこれ以下の場合には陸惑星へ進化する可能性がある。

これまで発見された系外惑星は、様々なスペクトル型の恒星を回っており、その質量も様々である。一般に、太陽よりも軽い恒星は、暗く進化が遅い。また、地球よりも質量の大きな惑星は、重力が大きいため、水蒸気の拡散速度が遅い。そのため、軽い恒星周りの数倍の地球質量をもつスーパーアースなどは、海惑星から陸惑星へ進化しにくいと考えられる。しかしながら、海惑星から陸惑星へ進化した惑星のハビタブルな期間は、陸惑星へと進化しない惑星と比べ長い場合、惑星の水量変化を考慮したハビタブルゾーンの内側境界を適応することにより、観測によるハビタブルプラネットの検出サンプル数が増大すると考えられる。

Reference

- [1] Kasting, J. F., Whitmire D. P., and Reynolds, R. T. (1993). *Icarus*, 101, 108-128.
[2] Abe, Y., Abe-Ouchi, A., Sleep, N. H., and Zahnle, K. J., (2011). *Astrobiology*, 11, 443-460. [3] Guinan, E.F., Ribas, I., 2002. Vol. 269. *Astron.Soc. Pacific, San Francisco*, pp.85-106. [4] Walker (1977) [5] Gough, D. O (1981) *Solar Physics*, vol. 74, Nov. 1981, p. 21-34 [6] Iben, I. (1967) [7] Lammer et al. (2009). *A&A*, 506, 399-410.

キーワード: 地球型惑星, ハビタブルゾーン, 系外惑星

Keywords: terrestrial planet, habitable zone, extrasolar planet