

ハビタブルゾーン内側境界における水の散逸による海惑星から陸惑星への進化 Evolution from aqua planet to land planet by water loss ; the inner edge of habitable zone

小玉 貴則^{1*}, 玄田 英典¹, 阿部 豊¹, Kevin Zahnle²
Takanori Kodama^{1*}, Hidenori Genda¹, Yutaka Abe¹, Kevin Zahnle²

¹ 東京大学大学院地球惑星科学専攻, ²NASA エイムズ研究所

¹University 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、HZ の内側境界を水の散逸で決め、外側境界を温室効果の維持で決めた。その結果、彼らは HZ を現在の太陽放射の約 90 % から約 110 % の範囲と見積もった。

一方、阿部ら [2] は、Kasting らが考えた全球的に海が繋がっている地球のような惑星 (海惑星と呼ぶ) ではなく、水の量がごく少量の仮想的な惑星 (陸惑星と呼ぶ) を考えた。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る。陸惑星の重要な特徴は、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持つ陸惑星の HZ を現在の太陽放射の 77 % から 170 % と見積もった。その結果、陸惑星は、海惑星よりも広いハビタブルゾーンを持つ可能性が指摘された。

したがって、惑星表面の水の量は HZ を考える上で、とても重要だという示唆が得られた。そこで、我々は、長期的な水の散逸プロセスに注目し、惑星が保持する水量の進化をモデル計算した。もし恒星の進化により効果的に水が散逸したとすると、海惑星から陸惑星へ進化する可能性がある。このような場合、海惑星が HZ の内側 (または外側) に存在しても、途中で、陸惑星へと進化し、そのままハビタブルな惑星でいつづける可能性がある。

我々は、水の流体的散逸 [3,4] と恒星の進化 [5,6] を考慮し、初期に様々な水量を持つ仮想的な惑星に対して、様々な距離における惑星の持つ水の変化を計算し、その時の惑星の状態を調べた。その結果、太陽型の恒星で初期に約 0.1 海洋質量程の水を保持している地球サイズの惑星の場合、恒星から約 0.7AU の距離から外側で海惑星から陸惑星への進化が見られた。また、我々は惑星を Water planet (水が惑星表面に存在している惑星)、Steam planet (暴走温室状態の惑星)、Dry planet (水を惑星表面に含まない惑星) に分類することが出来た。海惑星から陸惑星の進化を考える上で、水が散逸して失われるタイムスケールと恒星の進化のタイムスケールが重要である。前者が短い場合、海惑星は陸惑星に進化する。後者が短い場合、海惑星は暴走温室状態になる。

系外地球型惑星が必ずしも地球程度の水を持っているとは限らない。また、これまでに発見された系外惑星は、様々なスペクトル型の恒星の周りを回っている。一般的に、太陽よりも軽い恒星の進化は遅く、重い恒星の進化は早い。

太陽よりも軽い恒星の周りを回っている惑星の進化は、恒星の進化が遅いため効果的な水の散逸を経験するので、海惑星から陸惑星への進化が起こりやすく、太陽よりも重い恒星の周りを回っている惑星は、恒星の進化が早い為に、暴走温室状態になりやすい。今回の発表では、恒星の型、恒星からの距離、惑星サイズ、惑星が初期に持つ水量をパラメータに、惑星の状態の進化と HZ の内側境界について議論する。

Reference

- [1] Kasting, J. F., Whitmire D. P., and Reynolds, R. T. (1993). *Icarus*, 101, 108-128.
[2] Abe et al (2011, prep). [3] Guinan, E.F., Ribas, I., 2002. Vol. 269. *Astron.Soc. Pa-cific, 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)