

木星型惑星の形成：様々なパラメータに対する限界コア質量の依存性

Formation of Giant Planets: Dependences of Some Parameters on the Critical Core Mass

生駒 大洋[1], 中澤 清[1], 榎森 啓元[2]

Masahiro Ikoma[1], Kiyoshi Nakazawa[2], Hiroyuki Emori[3]

[1] 東工大・理・地球惑星, [2] 東工大・理・地惑

[1] Earth and Planetary Sci., Tokyo Inst. Tech., [2] Earth and Planetary Sci., Tokyo Inst. Tech., [3] Earth and Planetary Sci., Tokyo Tech.

木星型惑星の大量の水素・ヘリウム大気は、固体中心核がある限界質量に達した時に、周囲の星雲ガスを重力的に捕獲し形成されたと考えられている。過去の限られた研究より、この限界質量は約10地球質量であるとされてきた。しかし、最近の観測によって発見されている太陽系外の木星型惑星の全ては、小惑星領域より内側に存在し、そのような領域では元々固体材料物質が少ないため10地球質量の固体核は形成されない。本研究では、形成モデルに含まれるパラメータに関して広範囲に渡って限界質量の値を調べた。その結果、1地球質量の固体核でも、星雲ガスを捕獲できる場合があることが分かった。

木星型惑星（太陽系で言えば、木星、土星、天王星、海王星）の大量の水素・ヘリウム大気の形成は、水野不安定モデルに基づいて説明されている。それによれば、まず原始太陽系星雲の中で微惑星の集積により固体原始惑星（以後「コア」と呼ぶ）が形成される。そのコアの周囲には、コアの重力によって捕らえられた星雲ガス起源の原始大気が存在する。この原始大気の質量は現在の質量に比べて非常に小さい。その後、コアがさらに成長しある限界質量（以後「限界コア質量」）に到達すると、原始大気は重力的に収縮を始め、それに伴って惑星周囲の星雲ガスが急速に惑星へ流れ込む。その結果、現在の大量大気（以後「エンベロープ」）が形成されたと考えられている。

この形成過程から分かるように、木星型惑星の形成にとって最も重要なプロセスは、コアの限界コア質量への到達である。1980年代の研究によって、限界コア質量の値は約10倍の地球質量であるとされてきた。この値は(1)当時の木星型惑星の内部構造モデルが示唆するコアの質量が全ての木星型惑星に関して約10地球質量であったこと、(2)太陽系の木星型惑星は小惑星領域より遠くに存在し、10地球質量の固体コアは、元々固体材料が多く存在した小惑星以遠の領域でしか形成されないということと合致し、広く受け入れられてきた。

しかし近年、木星型惑星の内部構造理論は木星と土星において10地球質量という大きなコアの存在を必ずしも示唆しない結論を導いている。また最近発見されている太陽系外の巨大惑星の全ては内惑星領域に存在する。こうした事実を説明するために、我々は水野不安定モデルの再検討を必要としている。

水野不安定モデルに含まれるパラメータは、微惑星の集積率、エンベロープ中に存在するダストの吸収係数と星雲ガスの密度、温度である。微惑星集積率と吸収係数は、熱の輻射輸送を考えた場合、エンベロープの温度構造と関係する量である。一方、星雲ガスの密度と温度はエンベロープの構造の境界条件となる。

まず我々は微惑星集積率とダストの吸収係数に着目した。微惑星はコアに向けて落下する際にその運動エネルギーをエンベロープに解放する。従って微惑星集積率は熱の供給率を決定する。一方吸収係数はエンベロープ中の熱輸送効率を決定する。どちらの量もその値が大きい程、エンベロープが効率良く温まり重力に対抗する圧力を保つことができるため、結果的に限界コア質量は大きくなる。これらの量は、非常に不定性が大きいにも関わらず、これまでの研究では限られた値しか考慮されていない。そこで我々はこれらの量に対して、理論的あるいは観測的に予想される範囲内で、広範囲に渡って限界コア質量の値を調べた。その結果、微惑星集積率と吸収係数が小さい場合に、1地球質量のコアでも星雲ガスを捕獲できることが分かった。

次に境界条件、特に星雲ガスの密度に着目した。過去の研究によって、エンベロープ表面の温度構造が輻射熱輸送で決まっている場合は、限界コア質量の値は星雲ガスの密度にほとんど依存しないことが知られている。現在の太陽系の固体総質量から推測される比較的密度の小さい原始太陽系星雲では、エンベロープ表面の熱構造は輻射で決まる。しかし、この密度を数倍大きくするだけで、表面对流が実現されることが簡単な見積りから分かる。実際、若い恒星の周囲の星雲ガス円盤の観測から、我々の原始太陽系星雲の質量の推測値より10倍大きい質量を持つとされる星雲ガス円盤が多く見ついている。そこで、我々は星雲ガスの密度を大幅に振って、限界コア質量の値を調べた。その結果、エンベロープ表面に対流が現れると、限界コア質量の値は星雲ガスの密度に非常に敏感になり、密度を大きくすると限界コア質量は大幅に小さくなることが分かった。

本講演では、これらのパラメータに対する限界コア質量の値の依存性をまとめ、内部構造モデルが示唆する小さいコア質量および太陽系外の木星型惑星の形成の可能性を議論する。