

薄い周惑星円盤内で集積する巨大氷衛星の原始大気 Proto-atmosphere of a giant icy satellite accreted in a gas-starved circumplanetary disk

岡田 英誉^{1*}, 倉本 圭¹

Hidetaka Okada^{1*}, Kiyoshi Kuramoto¹

¹ 北海道大学大学院理学院宇宙理学専攻

¹Hokkaido Univ.

ガニメデ、カリスト、タイタンの内部は分化しているが、いつ、どのようにして分化が起こったのかは未だにわかっていない。この問題に対し、分化が衛星集積期に起こったとする説と、衛星形成後に起こったとする説が存在する。

集積期における主な熱源は微衛星衝突による集積エネルギーである。集積エネルギーによって、微衛星から供給された氷成分が蒸発すると、それによって原始大気が形成される可能性がある。その場合、原始大気による保温効果によって集積中の衛星表面温度は原始大気を保有しない場合よりも高くなる。もし保温効果が十分強ければ、衛星の氷成分が融解し、分化を引き起こす可能性がある。

集積中の巨大氷衛星の原始大気に関する先駆的な研究には、Lunine and Stevenson (1982), Kuramoto and Matsui (1994) がある。衛星の集積する環境として、前者は濃い周惑星円盤内を仮定し、後者は真空中を仮定している。しかし、近年の有力な集積モデルでは、衛星が薄い周惑星円盤で集積することが示唆されている (Canup and Ward, 2002, 2006)。このモデルでは、衛星集積時間が従来の理解に比べて長く、集積中には分化が起こらない可能性が指摘されている。しかし、その診断には、真空中集積を仮定した原始水蒸気大気モデルの結果が用いられており、周囲に存在する円盤ガスの影響が考慮されていない。円盤ガスと氷の蒸発物が混合した原始大気の特徴は従来の大気モデルと異なる可能性がある。

本研究では、衛星ヒル半径において薄い周惑星円盤と静水力学的に接続している原始大気の放射対流平衡構造を求め、成長中の衛星サイズと集積エネルギーフラックスの関数として、衛星の地表面温度を推定する。そして、薄い周惑星円盤内で集積する巨大氷衛星の分化条件を明らかにすることを試みる。

予察的な計算として、衛星サイズとして現在のガニメデを想定し、星雲の温度、圧力が 180 K, 12 Pa の場合について、地表面において解放される熱エネルギーフラックスを様々に与え、それぞれ放射対流平衡構造を求めた。熱エネルギーフラックスが 300 W/m^2 を超えると、主に H_2O の吸収によって、赤外放射に対する大気的全光学的厚さが 1 を超える。この場合、強い保温効果が発生し、地表面温度は H_2O の融点を超える。この熱エネルギーフラックスの値はガニメデが 10^6 年弱で集積した場合の集積エネルギーフラックスの値に等しい。

熱エネルギーフラックスが約 600 W/m^2 を上回ると、対流圏界面の位置が衛星の重力圏半径を超える。この場合、水蒸気に富む原始大気が重力圏外へ流出することが考えられる。これと同様の結果は、真空中集積を仮定した Kuramoto and Matsui (1994) によっても示されているが、今回周囲に星雲ガスが存在していても、大気流出が起こる可能性があることがわかった。講演においては境界条件や衛星の質量により広いパラメータを与えた計算結果を示し、それに基づいて集積期の巨大氷衛星がどのような原始大気を獲得し、またどのような熱史と分化過程を経るのか議論する。