

## タイタン初期大気的全散逸

## Complete escape of the earliest atmosphere on Titan

中神 雄一 [1]; # 倉本 圭 [1]

Yuuichi Nakagami[1]; # Kiyoshi Kuramoto[1]

[1] 北大・理・地球惑星

[1] Earth and Planetary Sci., Hokkaido Univ.

<http://www.ep.sci.hokudai.ac.jp/~keikei>

本研究では、タイタンが集積段階で周土星系星雲のガスを捕獲し H<sub>2</sub> を主成分とする厚い初期大気を形成した可能性に着目し、その流体力学的散逸過程について調べ、カッシーニ/ホイヘンスによる最新の観測結果と調和的な大気進化モデルの構築を試みた。

土星最大の衛星タイタンは N<sub>2</sub> を主成分とする厚い大気を持つ特異な衛星である。地表面気圧は 1.5bar に達し、微量成分として CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, その他 CH<sub>4</sub> の光化学反応から派生する様々な有機化合物が含まれている。タイタン大気の起源と進化を理解する上で重要な問題は、大気 N<sub>2</sub> の起源と、タイタンに大量にもたらされたと予想される炭素の行方である。土星系最小質量星雲モデル (Mosqueira and Estrada, 2003; 以下 ME2003) の温度圧力条件下では炭素と窒素はそれぞれ CH<sub>4</sub> および NH<sub>3</sub> として存在すると予想される (Prinn and Fegley, 1989)。原始タイタン大気は星雲ガスを重力的に捕獲した成分と、微衛星から脱ガスしたこれらの揮発成分が混合して形成されたと考えられる。そのような初期大気は光学的に厚く対流による熱輸送が卓越する。そして、微衛星の集積加熱と大気の毛布効果によって集積後期段階では表面の H<sub>2</sub>O 氷が融解していたと予想される。このとき CH<sub>4</sub> は H<sub>2</sub>O への溶解度が小さいため大気中に放出される。H<sub>2</sub>O の飽和湿潤断熱大気を仮定し、圧力 P<sub>0</sub> をパラメータとして与え大気質量を見積もった。大気組成は H<sub>2</sub> と He の割合を太陽存在度、CH<sub>4</sub> のそれはタイタン原材料物質から見積もられる大気混合比 0.01-0.1 を与えた。重力圏境界での星雲温度に 100 K、圧力に 0.01-0.1 bar (ME2003) を与えると、水蒸気に飽和した断熱大気の総質量は 10<sup>21</sup>-10<sup>22</sup> kg、地表面気圧は 10<sup>3</sup>-10<sup>4</sup> bar、大気中の CH<sub>4</sub> 体積混合比は 0.01-0.1 と見積もられる。ここでメタン混合比は微衛星中の CH<sub>4</sub> 量から評価した。

このような初期大気の流体力学的散逸について一次元流体数値モデルを構築し解析を行った。このモデルでは外部放射として周土星系星雲が完全に消失する前後を想定して、星雲温度に対応する 100 K の赤外放射 (以下 IR) と、原始太陽からの極端紫外線 (EUV) 放射をそれぞれ考慮する。赤外線の吸収は H<sub>2</sub>-H<sub>2</sub> および H<sub>2</sub>-He の衝突誘起による不透明度 (CIA, Brinbaum et al., 1996) と CH<sub>4</sub> の線吸収 (HITRAN データベース) を、EUV のそれは H<sub>2</sub> の電子状態の遷移による吸収 (Hudson, 1971) を考慮した。一方、熱放射による冷却はどちらも対空間近似を仮定した。外部放射が大気層内で全て吸収される大気では、大気上端からの光学的厚さ  $\tau = 1$  の大気層よりも下部では大気は断熱的に膨張する。CIA による冷却は散逸フラックスを一桁低下させるが、CH<sub>4</sub> による冷却率は EUV 加熱率に比べて 3-4 桁小さくほとんど効かない。一方、大気全層が熱放射に対して不透明で外部放射がヒル圏内に侵入しないより初期の段階では、大気は周土星系星雲の消失に伴って断熱的に流出すると考えられる。なぜなら初期の飽和湿潤断熱大気の熱エネルギーは全層にわたってその場の重力エネルギーよりも大きいと評価されるためである。

周土星系星雲の散逸が 10 万年程度で起きたとすると、この断熱的な流出は大気が熱放射に対して一部透明になる (大気圧約 0.1bar) まで続く。その後 IR と EUV 加熱によりさらに大気が散逸し、EUV に対して大気が透明になるまで続く。最終的には地表面気圧は 10<sup>-10</sup> bar 以下となる。つまりタイタンは形成初期の段階で原始大気のほとんど全てを失ったと考えられる。この結果は現在の大気は内部からの連続脱ガス起源であることを強く示唆する。カッシーニ/ホイヘンスの観測によると、現在のタイタン大気は星雲ガス起源の Kr や Xe に欠乏している一方、内部の岩石に含まれる放射性同位体 40K 起源の 40Ar が検出されている。これらの観測事実は初期大気的全散逸を強く裏付けるものである。現在の大気中に存在する CH<sub>4</sub> は未分化コアに由来する成分からの CH<sub>4</sub> の脱ガスで説明することができる。一方 N<sub>2</sub> についてはトリトンで指摘されている珪酸塩コア-氷マントル境界での熱水作用による NH<sub>3</sub> からの N<sub>2</sub> 合成とその脱ガスによって説明できるかもしれない。