

タイタン大気の窒素起源：氷地殻模擬物質への衝突脱ガス実験

The origin of N₂ in Titan's atmosphere: the role of impact devolatilization of Titan's icy crust

福崎 翔 [1]; 関根 康人 [2]; 杉田 精司 [3]; 門野 敏彦 [4]; 黒澤 耕介 [3]; 松井 孝典 [5]

Sho Fukuzaki[1]; Yasuhiro Sekine[2]; Seiji Sugita[3]; Toshihiko Kadono[4]; Kosuke Kurosawa[3]; Takafumi Matsui[5]

[1] 東大・新領域・複雑理工; [2] 東大・新領域・複雑理工; [3] 東大・新領域・複雑理工; [4] レーザー研; [5] 東大・院・新領域
[1] Frontier Science, Tokyo Univ.; [2] Dept of Complexity Science and Engineering, Univ of Tokyo; [3] Dept. of Complexity Sci. & Eng., Univ. of Tokyo; [4] ILE; [5] Grad. Sch. of Frontier Sci., Univ. of Tokyo

土星系最大の衛星タイタンは、窒素を主成分とする分厚い大気に覆われている他に類を見ない特異な天体である。タイタンの形成、進化を理解する上でこの大気中の窒素の起源の解明は最も重要な研究の1つであり、これまで多くの研究がされてきている (McKay et al 1988, Atreya et al 1978)。近年のカッシーニ探査により、この問題に重要な手がかりとなる観測結果が得られた。それは、Ar や Xe などの希ガスがタイタン大気において著しく欠乏していることである。このことは、タイタンを形成する材料物質である周土星系原始星雲内の微衛星に、希ガス成分が含まれていないことを意味し、同様の温度・圧力条件で凝縮する窒素分子も微衛星に取り込まれていないことを示唆する (Niemann et al 2005)。したがって、現在のタイタン大気の窒素分子は、その進化段階のどこかでアンモニア等、窒素より高温で凝縮する化学種から生成したと考えられる。しかしながら、そのプロセスや生成時期などはよく分かっていない。

本研究では、タイタン大気中の窒素分子がタイタン形成後の彗星等による天体衝突によってアンモニア等を含む地殻・マントルから生成された可能性を評価する目的の下、衝突脱ガス実験を行った。

天体衝突によって生成される気体の化学組成は、地殻やマントルの構成物質に大きく依存し、さらにその地殻やマントル構成物質は周土星系原始星雲の温度・圧力条件に大きく依存する。周土星系原始星雲内の圧力が低い場合、その化学組成は酸化的になり (e.g., CO/CH₄~5, N₂/NH₃~3) (Mousis et al 2002)、硫酸アンモニウムが地殻やマントルに含まれると考えられている (Fortes et al 2007)。我々は、硫酸アンモニウム塩への衝突脱ガス実験を行い、硫酸アンモニウムが熱分解されて生成する窒素分子の生成量を調べた。一方、周土星系原始星雲内やそこで形成される微衛星に、硫酸塩が含まれない場合、アンモニア氷がタイタンの地殻やマントルの構成物質となる。本研究では、アンモニア氷にも同様に衝突脱ガス実験を行い、窒素分子の生成量を調べた。実験は東大・新領域に設置されているレーザー銃を用い、高出力 Glass-レーザー (10-40 J) を金箔 [厚さ: 2.5, 5.0, 10.0 μm] に照射し、箔表面の蒸発を推進力に金箔を標的物質に衝突させる。衝突によって生成したガスは四重極質量分析計 (QMS) によって質量分析を行う。レーザー照射により生成する一酸化炭素と、生成した窒素分子を分別するため、硫酸アンモニウム塩とアンモニア氷は、同位体 (¹⁵N) によりラベリングする。本実験で達成された衝突速度は毎秒 1.1 km ~ 3.5 km である。さらに、実験系内のコンタミを評価するためにガラス標的への衝突も行った (blank shot)。

実験を行った結果、QMS 測定データ (マススペクトル) から、硫酸アンモニウム塩やアンモニア氷への衝突による窒素分子の生成が見られた。また、金箔衝突時のターゲット内の最大衝撃波圧力に対する窒素分子の生成量の関係から、窒素分子の生成が 10 GPa で開始し、最大衝撃波圧力の増加に伴い直線的に増加することも分かった。

本実験結果を、タイタンへの彗星等の衝突時の窒素生成量に応用するため、本実験で達成された最大衝撃波圧力と同じ衝撃波圧力を達成する水氷同士の衝突速度を計算した。その結果、本実験条件は、水氷同士の衝突で、毎秒 4-10 km に相当することが分かった。この結果と、タイタン形成中に衝突すると考えられる周土星系円盤由来の微衛星 (毎秒 4 km)、周土星系円盤の端 (フィーディングゾーン) 由来の微惑星 (毎秒 8 km)、天王星、海王星、カイパーベルト領域由来の彗星 (毎秒 8 km) の平均衝突速度と比較した結果、タイタン集積中の微衛星の衝突では硫酸アンモニウムから窒素分子はほとんど生成しないということ、一方彗星衝突では非常に効率良く窒素が生成されることが分かった。さらに、得られた実験データを使い、タイタン形成後 45 億年間の彗星の累積衝突頻度から窒素分子生成量を見積もった。その結果、実験から得られた彗星衝突による累積の窒素生成量は、現在の大気中の窒素量の数倍程度になり、その起源の候補として有力であることが分かった。