

クライオプラズマにより生成した天文関連赤色物質がもたらす 外太陽系氷天体に見られる色分布への説明可能性

A possible explanation for color distribution in icy bodies in outer solar system

by astronomy-related reddish compounds synthesized with cryoplasma

東大院新領域¹, 学振特別研究員² ◯榑原 教貴^{1,2}, ポア ユーユー¹, 伊藤 剛仁¹, 寺嶋 和夫¹

The Univ. of Tokyo¹, JSPS Research Fellow², ◯Noritaka Sakakibara^{1,2}, Phua Yu Yu¹, Tsuyohito Ito¹,

Kazuo Terashima¹

E-mail: n.sakakibara@plasma.k.u-tokyo.ac.jp

【背景・目的】低温プラズマは非平衡性ゆえに低温を維持しながら反応場への反応活性種の供給を可能とする。我々は、プラズマのパルス化 (~ns) および微小化 (代表長さ < 1 mm) によりガスの熱化を抑制することで、ガス温度を室温以下の数 K に至る幅広い極低温領域に制御可能なクライオプラズマを開発し、極低温における活性種の長寿命化や高反応性の付与を実現してきた[1]。極低温環境では普遍的な凝縮相として氷が存在し、特異的な表面反応が進行することが知られており[2]、プラズマ由来の反応活性種を氷表面に付与することでさらなる特異的な界面反応場の形成やプロセス展開が期待できる[3, 4]。特に、極低温宇宙環境に存在する天体はその表面が氷で覆われていると同時に多種の高エネルギー粒子に曝されており、言わばプラズマと共存した状態で存在している。例えば、太陽系の惑星は太陽から離れるにつれて 40 K に至る幅広い極低温領域に温度分布を持つ[5]。クライオプラズマと氷の共存により、極低温で温度を制御しながら多種の励起種を包括した反応系の生成が可能となり、極低温環境におけるプラズマ宇宙物質科学の展開が期待できる。本発表では、氷天体表面で進行し得る極低温宇宙環境に特有な物質生成過程を模索すべく、氷へのクライオプラズマ照射実験を行った。

【実験方法】氷天体の一つである冥王星は、高度に応じて 40–110 K の極低温環境を成し、窒素および炭化水素を主とした大気と氷で覆われている[6]。そこで、窒素源としての 3% の窒素を含むヘリウムガスで真空容器内を充填し、温度と圧力を 85 K および 2×10^3 Pa に維持しながら、炭素水素源としてのメタノールを含む氷を誘電体としたバリア放電を生成し、12 時間維持した。

【結果】前回報告では、クライオプラズマ照射箇所においてのみ赤色の呈色が確認され、また、得られた赤色は加熱により 120 K 以上で徐々に薄くなり 150 K で消失した[7]。また、本呈色に対する比較実験および質量分析による温度応答性の解析から、赤色は極低温環境においてのみ安定な窒素含有の有機化合物に由来すると考えられ、昇温により脱着もしくは無色な物質への変化することで赤色が消失したと示唆された。本報告では、得られた赤色の実際の観測結果との対応関係を考察した。太陽系において赤色を呈する氷天体は数多く存在し、赤色の性質や生成機構の解明が太陽系の形成過程への理解に貢献すると考えられる。そのため、従来の宇宙環境の模擬実験においても赤色の呈色は数多く報告されている[8]。しかし、全て室温においても安定な不揮発性の有機化合物であり、低温環境にて温度依存性を示す赤色の報告は本研究が初めてである。詳細は当日の発表で報告するが、本結果は、氷天体が太陽系の外側から内側に移動するにつれて温度上昇に伴い極低温環境においてもその赤色を失い得る、という新たな可能性を提示しているという点で意義深い[9]。極低温宇宙環境で進行する化学反応の理解に向けたプラズマ宇宙物質科学としての更なる展開が期待できる。

References [1] S. Stauss *et al.*, *Plasma Sources Sci. Technol.* **27** (2018) 023003. [2] D. J. Burke and W. A. Brown, *Phys. Chem. Chem. Phys.* **12** (2010) 5947. [3] N. Sakakibara and K. Terashima, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **50** (2017) 22LT01. [4] N. Sakakibara *et al.*, *Langmuir* **35** (2019) 3013. [5] I. C. F. Mueller-Wodarg *et al.*, *Space Sci. Rev.* **139** (2008) 191. [6] S. A. Stern *et al.*, *Science* **350** (2015) aad1815. [7] N. Sakakibara *et al.*, 第 67 回応用物理学会春季学術講演会, 15p-A304-3. [8] W. M. Grundy, *Icarus* **199** (2009) 560. [9] N. Sakakibara *et al.*, *Astrophys. J. Lett.* **891** (2020) L44.