

R009-08

B会場：9/26 AM2 (10:45-12:30)

11:00~11:15

## 塩化ナトリウムへのプラズマ照射実験と物理化学モデリングによるエウロパの希薄大気生成と表層組成の解明

#星野 亮<sup>1)</sup>, 木村 智樹<sup>1)</sup>, 大槻 美沙子<sup>1)</sup>, 北野 智大<sup>1)</sup>, 仲内 悠祐<sup>2)</sup>, 土屋 史紀<sup>3)</sup>, 木村 淳<sup>4)</sup>, 丹 秀也<sup>5)</sup>

(<sup>1)</sup> 東京理科大, (<sup>2)</sup> 立命館大, (<sup>3)</sup> 東北大・理・惑星プラズマ大気, (<sup>4)</sup> 阪大, (<sup>5)</sup> 海洋研究開発機構)

## Europa's surface composition uncovered by the plasma irradiation experiment for NaCl samples

#Ryo Hoshino<sup>1)</sup>, Tomoki Kimura<sup>1)</sup>, Misako Otsuki<sup>1)</sup>, Tomohiro Kitano<sup>1)</sup>, Yusuke Nakauchi<sup>2)</sup>, Fuminori Tsuchiya<sup>3)</sup>, Jun Kimura<sup>4)</sup>, Shuya Tan<sup>5)</sup>

(<sup>1)</sup> Tokyo University of Science, (<sup>2)</sup> Ritsumeikan University, (<sup>3)</sup> Planetary Plasma and Atmospheric Research Center, Graduate School of Science, Tohoku University, (<sup>4)</sup> Osaka University, (<sup>5)</sup> JAMSTEC)

Jupiter's icy moon Europa potentially has an interior water ocean with a habitable environment for life. Elemental and molecular compositions of Europa's surface materials tell us that of the interior ocean because the materials may be exchanged between the ocean and the surface. Europa's surface materials are continuously irradiated with Jovian plasmas, UV, and micrometeorites from space. The irradiated energy drives the space weathering process. In particular, Jovian plasmas are dominant energy sources of space weathering at Europa. Europa's materials are sputtered from the surface by plasma irradiation, creating a tenuous atmosphere. The residual un-sputtered surface material may change in the elemental and molecular compositions by irradiation. However, since this process comprises complex physics and chemistries that are difficult to be theoretically estimated, it has been a big unsolved problem to quantitatively associate the tenuous atmosphere with the surface compositions accompanying the space weathering.

Here we present the laboratory experiment that irradiates a potential surface material NaCl with energetic  $H_2^+$ ,  $O_2^+$  ions, and electrons under the same condition (10 keV particle energy with a fluence of  $5e+18 /cm^2$ ) to simultaneously model Europa's surface material alteration and atmospheric sputtering. We found that the electron more efficiently sputters Europa's surface than the ions under Europa's environment. For example, the total Na production rate by the hydrogen and oxygen ion irradiations is estimated to be  $1.1e+6 /cm^2/s$ , while that by the electron irradiation is to be  $2.7e+5 /cm^2/s$ . We also found that the yield of Cl ( $8.7e-1 /incident\ particle$ ) is greater than that of Na ( $2.8e-2 /incident\ particle$ ). These results suggest that the surface NaCl is decomposed predominantly by electron irradiation and forms the resultant tenuous atmosphere, while on Europa's surface, Na is concentrated more effectively than Cl because of the small volatility of Na.

We numerically modeled the 3-dimensional structure of the Na tenuous atmosphere, subject to constraints from experimental Na yields. The total mass of the Na tenuous atmosphere is estimated to be about 700 kg, which is comparable to estimates obtained from previous ground-based telescope observations [Brown and Hill 1996]. The NaCl sample used in the irradiation experiment was found to have a concentration of 85%, consistent with telescope observations, indicating the possibility of a high concentration of NaCl on Europa's surface. This observation suggests that NaCl originating from the subsurface ocean may have been concentrated on the surface by the upwelling process from the subsurface ocean to the surface or by space weathering after the eruption.

In the future, we plan to conduct similar irradiation experiments and modeling on saltwater ice to further constrain the surface concentration and to more realistically reproduce Europa's surface environment.

木星の氷衛星であるエウロパは、内部海を持つことから生命の存在可能性が示唆されている天体の1つである。その内部海と表層の間では水や塩などの物質の輸送が行われている可能性があり、エウロパ表層の物質組成等の理解は内部海環境の理解につながる。エウロパでは、宇宙空間からのプラズマや紫外線などが表層物質に照射され、宇宙風化が起こる。木星氷衛星で宇宙風化の主要因とされるプラズマは表層でスパッタリングを引き起こし、それにより弾き出された粒子はエウロパの希薄大気を生成する一方、表層物質の組成は変化すると考えられる。しかし、その一連の生成過程は物理・化学的に複雑で、プラズマスパッタリングによる希薄大気生成と表層風化に伴う組成の変化について、定量的な関連付けは未だなされていない。

そこで、本研究では、エウロパ表層候補物質である NaCl に  $H_2^+$ ,  $O_2^+$ , 電子を同条件 (10 keV,  $5e+18 /cm^2$ ) で照射し、初めてエウロパ環境におけるスパッタリングと表層物質の組成変化を同時に再現した。その結果、エウロパ環境下ではイオンに比べ、電子の方が効率的に Na のスパッタリングを起こすことが明らかになった。例えば、水素イオンと酸素イオンの照射による Na 大気の生成率の合計が  $2.7e+5 /cm^2/s$  である一方、電子照射による生成率は  $1.1e+6 /cm^2/s$  であった。また、塩素原子は Na 原子よりも効率的にスパッタリングされることがわかった。例えば、水素イオンと酸素イオンの照射による Na 大気の yield の合計は  $2.8e-2 /incident\ particle$  であり、同照射による Cl 大気の生成率は  $8.7e-1 /incident\ particle$  であった。上記より、エウロパ環境下では、NaCl 中の Na は主に電子照射により乖離し希薄大気を生成する一方、Na よりも Cl が効率よく揮発することで Na が表層に濃縮されることが示唆された。

実験で得た Na の yield を制約条件とした 3次元希薄大気モデリング [Leblanc et al., 2002] を行い、エウロパ周囲の Na 希薄大気の総量を計算した。その結果、地上望遠鏡観測による大気総量の見積もり [Brown and Hill 1996] と同程度の

約 700 kg となった。照射実験に用いたサンプルの NaCl 濃度は 85 % であり、このサンプルから得られた yield による希薄大気生成が、観測と整合していることから、表層の NaCl は高濃度で存在している可能性がある。これは内部海中に溶解している NaCl が内部海から表層に湧昇する過程、もしくは表層へ噴出した後の宇宙風化により濃縮されていることを示唆している。

今後は、食塩水の氷に対して同様の照射実験とモデリングを行い、よりエウロパ環境に近い条件での表層濃度の制約を行う。