

R009-11

B会場：11/6 AM2 (10:45-12:30)

11:45~12:00

## 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>4)</sup>, 土屋 史紀<sup>2)</sup>, 木村 淳<sup>3)</sup>

<sup>(1)</sup> 東京理科大,<sup>(2)</sup> 東北大・理・惑星プラズマ大気,<sup>(3)</sup> 阪大・理・宇宙地球,<sup>(4)</sup> JAXA

## 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>4)</sup>, Fuminori Tsuchiya<sup>2)</sup>, Jun Kimura<sup>3)</sup>

<sup>(1)</sup> Tokyo Univ. of Science,<sup>(2)</sup> Planet. Plasma Atmos. Res. Cent., Tohoku Univ.,<sup>(3)</sup> Earth & Space Science, Osaka Univ.,<sup>(4)</sup> JAXA,

Jupiter's icy moon Europa potentially has the interior water ocean with the 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 transported between the ocean and surface. Europa's surface materials are continuously irradiated with Jovian plasmas, UV, and micrometeorites from the space. The irradiated energy drives the space weathering process. In particular, Jovian plasmas are dominant energy sources of the space weathering at Europa. Europa's materials are sputtered from the surface by the plasma irradiation and create the tenuous atmosphere. The residual unsputtered surface material may change in the elemental and molecular compositions by the irradiation. However, since this process comprises complex physics and chemistries that are hard to theoretically estimate, 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 quantitatively associates the tenuous atmospheric sputtering with the surface composition at Europa for the first time. We also measured the number of the sputtered Na and Cl particles by the mass spectrometer during the irradiation experiment. We irradiated energetic H<sub>2</sub><sup>+</sup>, O<sub>2</sub><sup>+</sup> ions and electrons at 10 keV with a fluence of 5e+18 /cm<sup>2</sup> to NaCl samples to model the sputtering by Jupiter's plasma irradiation to Europa's surface materials. 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<sup>2</sup>/s, while that by the electron irradiation is to be 2.7e+5 /cm<sup>2</sup>/s. We also found that the yield of Cl (8.7e-1 ejected particles/incident particle) is greater than that of Na (2.8e-2 ejected particles/incident particle). These results suggest that the surface NaCl is decomposed predominantly by the 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 estimated the column density of Europa's Na atmosphere by our 0-dimensional atmospheric model with constraints on the sputtering yield obtained by our irradiation experiment. The estimated column density is found to be comparable with that estimated by the ground-based telescope observation of Na atmosphere (Brown and Hill 1996), which corresponds to the total Na atmospheric mass of 770 kg.

Our Na atmospheric model assumed 100% NaCl on Europa's surface. The estimated column density is consistent with the ground-based observational one, which suggests a high concentration of NaCl on Europa's surface. The interior ocean brain is likely concentrated during the upwelling process or by the space weathering after geysering to the surface.

We are going to conduct the experiment of H<sub>2</sub><sup>+</sup>, O<sub>2</sub><sup>+</sup>, Ar<sup>+</sup> ions and electron irradiations to the icy sample that comprises NaCl and H<sub>2</sub>O at about 100 K to model a more realistic surface environment at Europa. Our irradiated samples will be compared with the previous spacecraft and telescope observations to uncover the surface and interior ocean compositions.

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<sub>2</sub><sup>+</sup>, O<sub>2</sub><sup>+</sup>, 電子を同条件(10 keV, 5e+18 個/cm<sup>2</sup>)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再現した。また、照射中にNaClからスパッタされたNaとClの粒子数を質量分析器で測定した。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 個/cm<sup>2</sup>/sである一方、電子照射による生成率は1.1e+6 個/cm<sup>2</sup>/sであった。また、Cl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 ejected particles/incident particleであり、同照射によるCl大気の生成率は8.7e-1 ejected particles/incident particleであった。上記より、エウロパ環境下では、NaClが主に電子照射により解離し希薄大気を生成するが、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 0 次元大気モデリングに基づき、エウロパ Na 大気の柱密度を見積もった結果、Na 希薄大気の地上望遠鏡観測による柱密度の見積もり [Brown and Hill,1996] と同程度になった。この柱密度は 770 kg の大気総量に相当する。我々の Na 大気モデリングが表層の Na 濃度を 100% を前提として行っており、それが地上観測結果と整合していることから、実際のエウロパ表層で NaCl が高濃度で存在することを示唆する。NaCl を含む海水が、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あとの宇宙風化により濃縮されている可能性がある。

今後は、エウロパ表層温度下 (約 100 K) で、NaCl と水の氷を混ぜた、より実環境に近いサンプルに対して  $H_2^+$ ,  $O_2^+$ ,  $Ar^+$ , 電子照射を行い、Na 大気密度および表層 NaCl 濃度を推定する。また、照射後サンプルのスペクトルと探査機や望遠鏡で観測した表層スペクトルとの比較により、表層と内部海物質の組成を推定する。