

R009-09

B会場：11/6 AM2 (10:45-12:30)

11:15~11:30

硫酸塩へのプラズマ照射実験によるエウロパ表層物質の内部海起源説の検証

#大槻 美沙子¹⁾, 木村 智樹¹⁾, 北野 智大¹⁾, 星野 亮¹⁾, 仲内 悠祐²⁾, 土屋 史紀³⁾, 木村 淳⁴⁾

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

Verification of the endogenic hypothesis for Europa's surface materials by the oxygen ion and electron irradiation experiment

#Misako Otsuki¹⁾, Tomoki Kimura¹⁾, Tomohiro Kitano¹⁾, Ryo Hoshino¹⁾, Yusuke Nakauchi²⁾, Fuminori Tsuchiya³⁾, Jun Kimura⁴⁾

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

Jupiter's icy moon Europa likely has the interior water ocean beneath the icy shell. The chemical composition of the interior ocean is the most important problem to be solved for assessing the interior ocean's habitability. Sulfur is one of the possible major constituent elements of Europa's surface materials. Two hypotheses have been proposed for the source of sulfur: the sulfates plumed from the interior ocean [Kargel et al., 2000], or the sulfur ion originating from the volcanic gasses plumed from the moon Io [Alvarellos et al., 2008]. The surface materials are suggested to be chemically altered continuously by irradiation of high-energy plasma from Jupiter's magnetosphere, which drives the radiolytic cycles between several sulfur compounds [Carlson et al., 2002]. Because such cycles prohibit understanding the source of surface sulfur, neither the endogenic nor exogenic hypotheses have been demonstrated yet. This study verifies the endogenic hypothesis for Europa's surface sulfur by modeling the radiolytic sulfur cycles based on the laboratory experiment. Oxygen ions and electrons were irradiated to the magnesium sulfate (MgSO_4) sample, which is a possible candidate for the constituents of the surface and interior ocean of Europa. We confirmed that some sulfur compounds such as octasulfur (S_8), sulfur dioxide (SO_2) and hydrogen sulfide (H_2S) were newly synthesized from MgSO_4 . This result successfully demonstrates the radiolytic sulfur cycle on Europa's surface. Numerical simulation for time variation of surface chemical composition was made with the production rates of each sulfur compound estimated by our experiments. The depletion time of MgSO_4 was found to be $3.3\text{e}+05$ years for the oxygen irradiation and $3.3\text{e}+03$ years for the electron irradiation. Assuming the simultaneous irradiation of oxygen ions and electrons to model the actual Europa's surface environment, the total depletion time of MgSO_4 is estimated to be $8.8\text{e}+02$ years, and the total amount of S_8 , SO_2 , and H_2S produced in the depletion time to be 17.0%, 42.7% and 40.3% respectively of the original MgSO_4 . The lifetime of $\sim 1.0\text{e}+03$ years is sufficiently shorter than Europa's average surface age of $\sim 1\text{e}+07$ years estimated by the creator chronology. Therefore, the endogenic sulfate is suggested to be depleted by the plasma irradiation before it is turned over by the geological processes. In the previous studies, the infrared observations suggested the sulfate and sulfuric acid hydrate in the geological units that likely have active plumes [Carlson et al., 2009]. If the sulfate is present in the units, it suggests that the seawater from the interior ocean containing the endogenic sulfate was supplied to Europa's surface within the last $1\text{e}+03$ years, and the supplied sulfate has survived without depletion while been involved in the radiolytic sulfur cycles. We are going to conduct the irradiation experiment for sulfur allotrope and H_2O icy samples to verify the endogenic and exogenic hypotheses.

木星の水衛星エウロパは氷地殻の下に内部海を持つとされる。内部海の化学組成の理解はハビタビリティ解明の上で最重要の課題である。エウロパ表層物質の主要元素の一つである硫黄は、内部海起源の硫酸塩として供給される説 [Kargel et al., 2000] と、イオの火山ガス起源の硫黄イオンとして木星磁気圏から供給される説 [Alvarellos et al., 2008] の2つの仮説が提案されている。木星磁気圏からの高エネルギープラズマの照射により表層物質は化学組成の変化を繰り返し、硫黄を含んだ特定の物質間を循環するサイクルを形成すると示唆されている [Carlson et al., 2002]。この繰り返される化学変化により起源の解明は阻まれており、内部海起源説と外部起源説はいずれも未検証である。そこで本研究ではエウロパ表層や内部海の構成物質の候補の一つである硫酸マグネシウム (MgSO_4) への酸素イオンと電子の照射により表層での化学サイクルを実験室で再現し、内部海起源説の検証に取り組んだ。実験の結果、 MgSO_4 から新たに S_8 等の硫黄同素体、二酸化硫黄 (SO_2)、硫化水素 (H_2S) が生成されることが判明し、初めてエウロパ表層の硫黄化学サイクルを実験的に再現することができた。実験で得られた各物質の生成率から MgSO_4 が枯渇するまでの時間を数値シミュレーションしたところ、酸素イオン照射では $3.3\text{e}+5$ 年、電子照射では $3.3\text{e}+3$ 年と見積もられた。実際のエウロパ環境を想定し、電子と酸素イオンの同時照射による MgSO_4 の枯渇年数をシミュレーションした結果 $8.8\text{e}+2$ 年と見積もられ、また枯渇までに生成された S_8 , SO_2 , H_2S の総量は硫黄原子の個数比でもとの MgSO_4 の 17.0%, 42.7%, 40.3% であった。この $1\text{e}+3$ 年というライフタイムはクレーター年代学等で示唆されているエウロパの平均表層年代 $1\text{e}+7$ 年よりも十分短く、内部海起源の硫酸塩は表層の地質学的プロセスで更新されるより先にプラズマ照射によって枯渇すると考えられる。先行研究では探査機赤外観測によって、水噴出が活発と思われる一部の地形に硫酸塩や硫酸の水和物の存在が示唆されている [Carlson et al., 2009]。仮にこの地形に硫酸塩が存在しているとすると、この地形では $\sim 1\text{e}+3$ 年以内に海水噴出等により硫酸塩が内部海から表層へ供給され、化学サイクルを経験しつつも枯渇せずに生存していることを示唆している。今後は硫黄同素体を母物質とする照射実験や化学組成のシミュレーションによってさらに内部起源説を検証する。また氷表層へ降り込んだ

イオ起源の硫黄を想定した照射実験による外部起源説を検証することでエウロパ上の硫黄の起源解明に取り組む。