

木星探査計画 EJSM JMO に向けた X 線撮像・分光装置の検討

江副 祐一郎 [1]; 木村 智樹 [2]; 笠原 慧 [3]; 山崎 敦 [4]; 藤本 正樹 [5]; 三好 由純 [6]
[1] 首都大・理工・物理; [2] JAXA/ISAS; [3] ISAS/JAXA; [4] JAXA・宇宙研; [5] 宇宙研; [6] 名大 STE 研

Study of the Jupiter X-ray imaging spectrometer onboard EJSM JMO

Yuichiro Ezoe[1]; Tomoki Kimura[2]; Satoshi Kasahara[3]; Atsushi Yamazaki[4]; Masaki Fujimoto[5]; Yoshizumi Miyoshi[6]
[1] Tokyo Metropolitan University; [2] JAXA/ISAS; [3] ISAS/JAXA; [4] ISAS/JAXA; [5] ISAS, JAXA; [6] STEL, Nagoya Univ.

The recent X-ray observatories (Chandra, XMM-Newton and Suzaku) have revealed various new X-ray phenomena in the Jupiter system. The detected objects include Jupiter's aurorae, disk (middle and low-latitude emission), Io, Europa, the Io Plasma Torus, and radiation belts. For example, Jupiter's aurorae emit time variable X-rays via bremsstrahlung by keV electrons and charge exchange by MeV ions (Gladstone et al. 2002 Nature). A diffuse X-ray emission associated with the Jupiter's radiation belts suggests an inverse Compton scattering of tens MeV electrons (Ezoe et al. 2010 ApJ). Hence, the X-ray emission can be an unique diagnostic tool to investigate key fundamental problems on the Jupiter system such as the particle acceleration and the Jupiter-satellite reaction. However, since these observations have been done with the X-ray astronomy satellites orbiting the Earth, the photon statistics of X-ray spectra and light curves, and the angular resolution of X-ray images were severely limited.

In this context, we have started to study design of an X-ray imaging spectrometer for EJSM JMO. EJSM (Europa Jupiter System Mission) is the international Jupiter exploration mission proposed to be launched in 2020's. It consists of two flight elements developed by ESA and NASA to explore Europa and Ganymede, and one by JAXA (JMO, Jupiter Magnetospheric Orbiter) to allow high-atitude (10-30 deg inclination) measurements of the Jupiter system and overview the magnetospheric activities. The in-situ measurement by EJSM JMO provides us with an unprecedented opportunity to observe Jupiter with extremely high photon statistics, high time and angular resolution. To realize the in-situ X-ray instrument for EJSM JMO, stringent mass and power limitations must be fulfilled. Furthermore, the radiation and the contamination of optical lights and debris must be taken care. The base line is a combination of an original ultra-light weight X-ray telescope with the mass to area ratio of 10 kg/m² based on the micromachining technologies (Ezoe et al. 2010 Microsystem technologies), and a radiation-hard and low-power DepFET imaging detector (Struder et al. 2010 SPIE). In this presentation, we present the study status of the X-ray instrument onboard EJSM JMO and its scientific goals.

木星大気や衛星イオ、エウロパ、イオプラズマトーラス、放射線帯は、磁気圏や太陽風に含まれる高エネルギー電子やイオンの衝突によって、X線領域でさまざまな輝線や連続的な放射を見せることが、2000年代になって分かって来た。たとえば木星の極では MeV のエネルギーを持つイオンと中性大気との衝突による電荷交換輝線や、keV 電子の衝突による連続的な制動放射によるオーロラが観測される (Gladstone et al. 2002 Nature)。さらに放射線帯からは広がった X 線が見られており、数十 MeV の電子と太陽光との衝突による逆コンプトン散乱ではないかと指摘されている (Ezoe et al. 2010 ApJL)。このように X 線は、木星系での粒子加速、木星と衛星との相互作用といったまだ十分に理解されていない根本的問題を解く鍵となりうる。しかし、現在までの観測は地球の周回衛星に搭載した装置に限られており、光子統計やイメージ解像度は制限される。結果として、こうした様々な現象のイメージ、スペクトルや時間変動と言った基本情報は十分に得られておらず、木星系からの X 線を木星物理にフル活用しているとは言い難い。そこで我々は 2020 年代に打ち上げを提案中の国際木星探査計画 EJSM (Europa Jupiter System Mission) の日本の磁気圏探査衛星 JMO (Jupiter Magnetospheric Orbiter) へ向けた X 線撮像・分光装置の検討を行っている。探査衛星では重量・電力・サイズのリソースが厳しく制限されるため、従来の X 線天文の望遠鏡は使用が難しい。また検出器は木星の苛烈な放射線環境に耐える必要がある。そこでマイクロマシン技術に基づく独自の世界最軽量 X 線望遠鏡と、高放射線耐性・低電力の半導体ピクセル検出器を組み合わせる計画である。我々の望遠鏡はマイクロマシンのフォトリソグラフィやエッチング技術を活用し、数百 μm 程度の薄い基板に数十 μm 程度の細かい穴を多数開け、側壁を nm レベルに平滑化することで完成する。我々は Si および Ni 光学系をインハウスで試作し、X 線反射を実証した。さらに Si 望遠鏡 1 段分を試作し X 線結像に成功した。いずれも世界で初めてである (Ezoe et al. 2010 Microsystem Technologies など)。現在は JMO 用に望遠鏡をデザインし、プロトタイプ望遠鏡の開発を進めている。検出器の候補は DepFET と呼ばれる 1 pixel 毎に FET の付いた高速読み出しの新しい半導体検出器である (Struder et al. 2010 SPIE など)。1 pixel 毎の読み出しのため、従来 X 線天文衛星で用いられてきた X 線 CCD に比べ、放射線損傷の影響を最小に押さえることが可能である。さらに 1 pixel 毎の高速読み出しによって、木星の可視光ノイズも問題のないレベルに低減できる。本検出器は BepiColombo 衛星や Athena 衛星などで使用予定であり、ドイツのマックスプランク研究所で開発が進められている。我々は検出器の放射線損傷や荷電粒子ノイズを正確に見積もるため、GEANT4 を用いた放射線検討を行っている。本講演では JMO 衛星を目指した本 X 線撮像・分光装置の開発状況と期待される成果について報告する。