

惑星電離圏イオン質量速度測定器と 低エネルギーイオンビーム発生装置の開発

栗原宜子 (ISAS/JAXA)、栗原純一 (北大理)、○早川基 (ISAS/JAXA)

研究背景と目的

最近の人工衛星による観測から、地球大気の上層部から1日当たり数百トンもの水素・ヘリウム・酸素などの原子イオンが流失している事実が明らかになった。さらに極域電離圏から流出したイオンは、磁力線に沿って磁気圏尾部に輸送されていることもわかってきたが、その流失メカニズムは非常に複雑である(図1)。

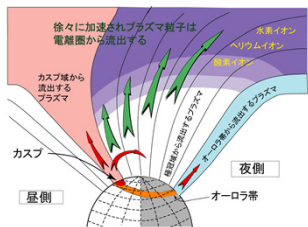


図1. 地球極域電離圏から流失するイオンの模式図

また、火星などの惑星電離圏からのイオン流出・散逸は、惑星大気の長期的な変遷に関わっている。

これらのイオン流出現象のメカニズムを解明するために特に重要なのは、電離圏下部で熱的なエネルギーを持つ各イオン種が非熱的なエネルギーを獲得する過程を明らかにすることである。そのためには熱的なエネルギーを超えた「超熱的なエネルギー」領域のイオンを、質量分析によって個別のイオン種ごとに観測することが必要である。

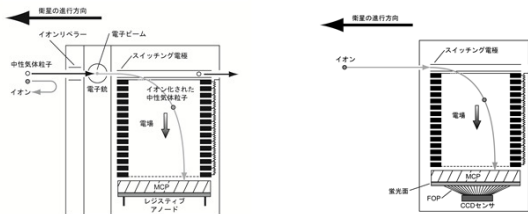


図2. (左)e-POP衛星搭載中性気体質量分析器(NMS) (右)衛星搭載型電離圏イオン質量分析器(IMS)

一方、2011年冬に打ち上げられる予定のカナダの「e-POP」衛星に搭載された中性気体質量分析器を、イオン質量分析器に応用する計画がある(図2)。本研究では、この衛星搭載型電離圏イオン質量分析器の開発に必要な低エネルギーイオンビーム発生装置を開発した。

低エネルギーイオンビーム発生装置の原理

惑星電離圏から流失するイオンのエネルギーは熱的エネルギーの数倍程度の数eV以下である。室内実験で低エネルギーのイオンビームを発生させるには、中性気体を電子衝撃などで一旦電離させ、発生したイオンを電界に引き込んで加速する方法が一般的に用いられている。しかし、この方法ではイオンが電界に侵入する際の熱的エネルギーによるエネルギーのばらつきのため、数eV以下の超熱的エネルギーを持つイオンビームを発生させることは非常に困難である。

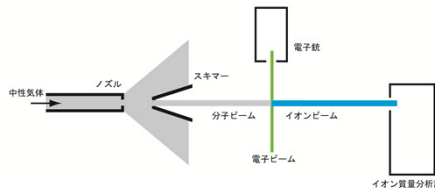


図3. 低エネルギーイオンビーム発生装置の原理

本研究で開発した低エネルギーイオンビーム発生装置では、まず超音速の中性気体分子ビームを作り出し、その後その中性気体ビームに電子ビームを照射して電離することでイオンビームに変換する(図3)。この場合、ノズルにヒーターを取り付けて気体を加熱したり、重い気体分子(O₂等)は軽い不活性気体(He等)に混合したりすることで分子ビームの速度を変えられるので、イオンビームのエネルギーを制御することができる(図4)。

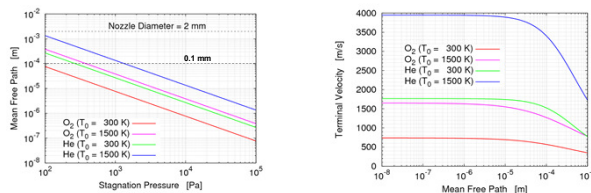
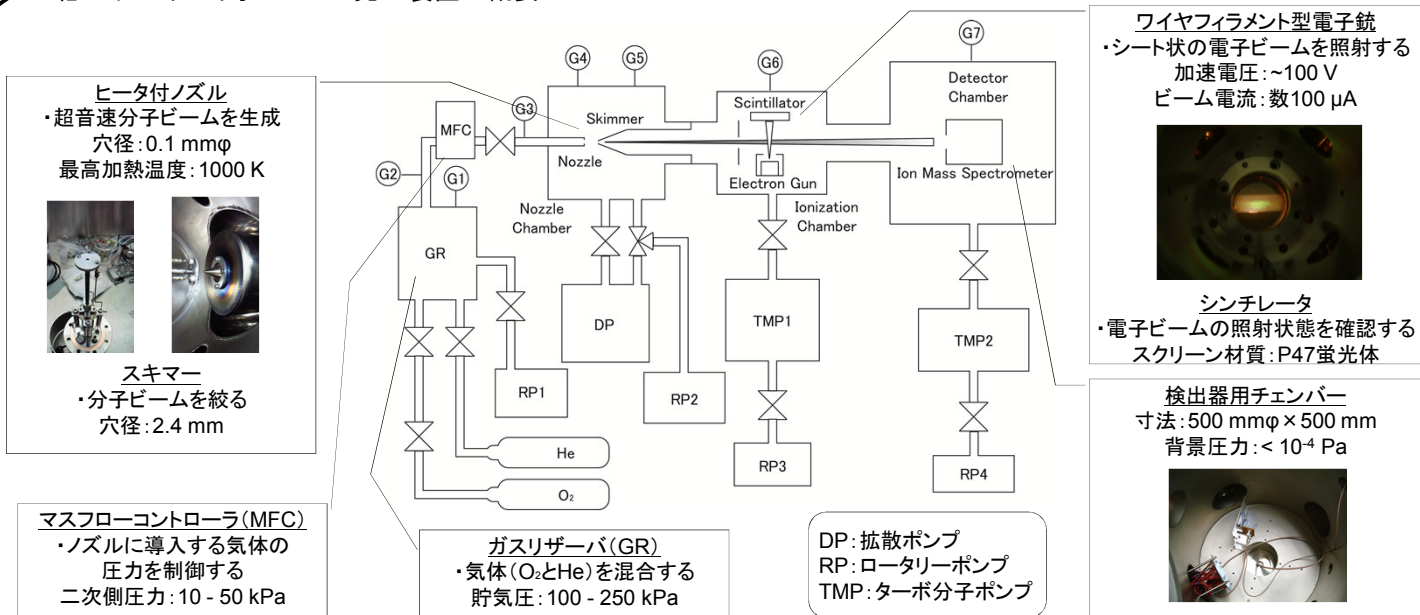


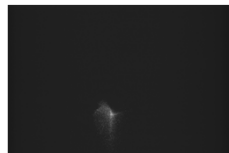
図4. (左)ノズルに導入する気体の圧力に対する平均自由行程の関係 (右)平均自由行程と分子ビームの終端速度の関係(理論値)

低エネルギーイオンビーム発生装置の概要



実験結果の一例

電子銃から約2mの位置においてイオンビームの垂直断面をMCP付CCDカメラによって検出した画像。地球磁場によるビームの曲りや、わずかな電場による散乱などはあるが、比較的収束性の良いビームが得られている。



まとめと今後の展望

イオンビームの生成が可能になり、現在はイオン質量分析計を試作して、イオンビームのエネルギー測定を試みている。今後はこの装置を用いて、e-POP衛星搭載中性気体質量分析器の較正や、火星探査機搭載用イオン質量速度測定器の基礎開発を行う予定である。