

修士論文要旨

高分散分光観測による イオ起源ナトリウム原子の 放出メカニズムとその変動に関する研究

青井 一紘

(指導教員 : 岡野 章一 教授)

平成 17 年

太陽系最大の惑星である木星の磁気圏内には太陽系で地球以外に唯一火山活動が確認されている木星のガリレオ衛星であるイオがある。そしてイオはイオプラズマトラスと非常に強い相互作用を及ぼし合っている。この相互作用の結果、イオ火山ガスを起源とするイオ大気から毎秒数百 kg もの粒子が木星磁気圏に放出されている。イオから放出される中性粒子の一つであるナトリウム原子も複数のメカニズムでイオから放出されている。観測や理論から提唱されている放出メカニズムのうち、低速成分はスパッタリングであり、高速成分は熱化されたトラスイオンとの電荷交換反応、トラス中での分子イオン解離・解離性再結合反応、イオ電離圏からのピックアップイオンの再中性化といった 3 つのメカニズムがあるとされている。このうち、特に熱化されたトラスイオンによる電荷交換反応は主要なメカニズムであるかどうかについて今もまだ議論がなされている。更には、放出メカニズムはどのくらい定常的に存在し、放出率の変動に対してどの要因がどの程度影響を及ぼすのかについてはほとんど解明がなされていない。このような背景から、本研究はイオからのナトリウム原子の放出メカニズムを観測とモデル計算の比較から同定し、その放出率を導出することで、変動にはどのような要因が関係し、変動量はどのくらいかを定量的に求めることを目的としている。これらの目的の達成に向け、国立天文台岡山天体物理観測所における高分散分光観測を中心として、惑星圏飯館観測所における広域分光観測とハワイ・ハレアカラ高高度観測所における広域撮像観測をほぼ同時期に行うことで、イオから木星磁気圏内に分布するナトリウム原子の発光を観測した。まず、観測から得られた結果を以下に示す。

- (1) 高分散及び広域分光観測から、各速度成分の放出速度とその方向が決定され、特に高速成分に関してはほぼイオ公転方向に一致していた。
- (2) 高分散分光観測から、イオから $3R_{\text{io}} \sim 6R_{\text{io}}$ のイオコロナ内における $-10\text{km/s} \sim +10\text{km/s}$ の低速成分を構成するナトリウム原子の総数は CITEP から求められるイオにおけるトラスの電子密度に比例関係をもつことが強く示唆された。
- (3) 高分散分光観測では数十 km/s までしか確認できないことに対し、広域分光観測では 150km/s に達する速度成分が確認された。

得られた観測結果だけから放出メカニズムの議論をすることはイオ位相角などの関係上、困難であるため、本研究では様々な放出条件の下でモデル計算を行い観測結果と比較した。次に比較した結果、同定された放出メカニズムについて以下に述べる。

- (1) 放出メカニズムについては、低速成分はスパッタリング、高速成分は分子イオン解離・解離性再結合反応が主要なメカニズムとして同定された。
- (2) 高速成分である分子イオン解離・解離性再結合反応はイオ大気内でトーラスが約 10km/s まで減速している領域でピックアップされ、その直後から連続的に中性化し、低速成分の発光のピークからなだらかに裾野を引くような速度分布をもつ。
- (3) 放出メカニズムの放出率は、スパッタリングが $1.6 \sim 3.4 \times 10^{26}$ atoms/s、分子イオン解離・解離性再結合反応が $2 \sim 38 \times 10^{26}$ atoms/s と導出された。これはイオ位相角やイオにおける電子密度という要因に対する放出率の変動幅と考えられる。
- (4) 分子イオン解離・解離性再結合反応の放出率はイオ位相角が 81° では 30×10^{26} atoms/s、イオ位相角が 238° では 10×10^{26} atoms/s と導出された。この放出率はイオの leading 半球が昼面か夜面かに強く依存することが示唆された。

8 例取得された低速成分についてモデル計算結果と比較することで、得られた結果を以下に示す。

- (1) 低速成分はイオの leading 半球から trailing 半球の 2 倍から 3 倍の放出率でナトリウム原子が放出されていることが明らかになった。
- (2) leading 半球と trailing 半球からのスパッタリングの放出率の和はイオにおける電子密度に比例関係をもつことが強く示唆された。これは観測結果だけからも強く示唆されており、モデル計算の側からも検証されたことになる。

得られた結果を基に導き出された結論を以下に示す。

- I. イオからの放出メカニズムは観測時期にはスパッタリングと分子イオン解離・解離性再結合反応が主要であった。しかし、先行研究においても多くが同様の結果であるため、これが定常的なメカニズムであると考えられる。
- II. 熱化されたトーラスイオンとの電荷交換反応はもし存在していたとしても、放出率が分子イオン解離・解離性再結合反応よりオーダーで 2 桁も低い。
- III. スパッタリングの放出率はイオにおけるトーラスの電子密度に比例することが強く示唆された。また、leading 半球からより多く放出されていることから、これはイオ大気中でのピックアップイオンがイオ大気中でのスパッタリングや電荷交換反応を引き起こしている可能性を示唆している。
- IV. 分子イオン解離・解離性再結合反応による速度構造は NaX^+ のピックアップ速度として求められた 10km/s から高速側に裾野を引く形状をしている。また、leading 半球が昼面にあたると NaX^+ の放出率が上がることが示唆されていることから、この放出率はおおよそイオ位相角に依存した挙動を示すと考えられる。