

修士論文要旨

れいめい衛星による極域での N_2^+ イオン発光高度分布観測

井野 友裕

(指導教員：岡野 章一 教授)

平成 18 年

極域電離圏において、地上観測や衛星観測により、プラズマの加熱に伴いイオン上昇流やイオン流出が観測されている。イオン上昇流の発生機構については、低エネルギー電子降下が主要な役割を果たしていると考えられている。イオン上昇流は地球からの脱出速度を超えないため、さらなる加速・加熱なしには磁気圏に流出することはできない。しかしながら、実際に磁気圏に流出するイオンのソースとして非常に重要である。

今までのイオン上昇流やイオン流出の観測は、地上でのレーダー観測、または衛星による粒子観測が主要であるが、最近では衛星からの光学的観測による成果が 2 例報告されている。電離圏から上昇した N_2^+ は、日照領域では太陽光の共鳴散乱により発光し **1st negative band** の光を発する。**MSX** 衛星や **Coriolis** 衛星 **SMEI** による N_2^+ 発光の観測報告があり、明瞭な地磁気活動度依存性を示すことが知られている。

本研究では 2005 年 8 月に打ち上げられた「れいめい」衛星に搭載されている多波長オーロラカメラ (MAC) のリム観測データを用いて、上部電離圏の N_2^+ **1st negative band (427.8 nm)** の共鳴散乱光イメージを捉え、この特徴を定量的に議論し、上部電離圏の N_2^+ 密度変化、およびイオン上昇流との関係について論ずることを目的とする。MAC はリム観測で **427.8 nm**、**557.7 nm**、**670 nm** の 3 波長の単色イメージを時間分解能 1 秒、約 **270 km × 270 km** の領域を **4 km** の空間分解能で得ることができる。 N_2^+ の特徴的な発光分布が見られた 2006 年 8 月 20 日のイベント解析ならびに 87 例の N_2^+ 発光の統計解析結果を報告する。

2006 年 8 月 20 日 00:40 UT 付近のリム観測において、**shadow height** より上で、かつ **tangential height 250 km** 以上の高度領域で N_2^+ 共鳴散乱光と考えられる **427.8 nm** の発光が観測された。この発光強度は **tangential height** が **300 km** の位置においておよそ **1 kR**、**400 km** でおよそ **300 R** であった。また **300 km** 以上の高高度において **427.8 nm** の発光は一様に発光しているわけではなく、水平方向に **20—100 km** の構造を持つ発光分布を示していた。水平構造の明るい部分と暗い部分では **tangential height 300 km** 付近でおよそ **350 R**、**400 km** においておよそ **200 R** の発光強度の違いが観測された。これに対し、**557.7 nm** 発光では **300 km** での水平方向の発光強度の違いは **100 R** 程度、**400 km** ではほぼ一様という結果が得られた。

極域電離圏では共鳴散乱光以外に、 N_2 共鳴蛍光や降下電子による N_2 の励起により N_2^+ **1st negative band** 発光を引き起こす N_2^+ **B state** への励起過程が存在するため、オーロラ発光モデル

[Ono,1993] および GLOW モデルを用いて発光強度の見積もりを行った。見積もられた発光強度と観測値を比較したところ、**150 km** および **260—290 km** 付近で両者はよく一致した。**260—290km** の一致はこの高度領域の N_2^+ 密度増加はオーロラの降下電子による電離生成に起因するためであると解釈される。しかしそれ以外では観測結果のほうが大きい値を示している。**250 km** 以下における不一致の原因はさまざまな励起過程が寄与しているため、また視線方向の影響を特に大きく受けるためと考えられる。しかしながら、**300 km** 以上では共鳴散乱光のみしか寄与しないと考えられるため、この高度領域における観測値とモデルによる発光の違いはオーロラ電子により電離生成される以上の N_2^+ 密度増加があったことを強く示唆する。

300 km 以上の高高度における発光強度増加は、その場でオーロラ電子により生成される以上の N_2^+ 密度増加によるものであると考えられることから、拡散によって低高度から輸送された N_2^+ 、すなわちイオン上昇流により輸送されたためと考えられる。したがって、**260—290 km** 付近がイオン上昇流の開始高度であると考えられる。この高度領域は **F** 領域の電子密度のピーク高度にあたり、この高度より上では特にプラズマ拡散が有効に作用し、一方これより下の高度では衝突の効果があり、イオンは移動しにくいと考えられるが、今回の観測結果はこの考えと一致する。

高度 **400 km** で観測された **427.8 nm** 発光強度は **300 R** 程度となった。この発光が共鳴散乱光であると仮定した場合、 N_2^+ の円柱密度は 2.05×10^{10} [ion/cm²]と求められた。このときオーロラの厚さを **100 km** とした。さらに N_2^+ の密度が増加している領域の厚さも同じ **100 km** とすると、その領域の **400 km** での密度は 2.05×10^3 [ion/cm³] となった。この値は Romick et al.[1999] および Mizuno et al.[2005] の光学観測、また in situ 観測の Yau et al.[1993]で得られている $10^2—10^3$ [ion/cm³]とほぼ一致する。

250 km 以上の高高度で発光強度に水平構造が見られたが、高度 **250 km** における **557.7 nm** 発光にも水平構造が見られたことから、オーロラ発光を引き起こす低エネルギー降下電子の降り込みに空間構造が存在し、イオン上昇流を引き起こされ、より高高度に N_2^+ イオンを輸送して空間的な構造を作り出している可能性が考えられる。

さらにリム観測を行った **87** 例のデータを使用し、 K_p と tangential height **300 km**、**400 km** での **427.8 nm** と **557.7 nm** 発光強度の相関関係を調べたところ、 $K_p=3+$ 以上の場合には **427.8 nm** 発光強度が **557.7 nm** 発光強度を **100—600 R** 上回る結果となった。 K_p に依存して共鳴散乱光の発光強度が増加していることから、地磁気活動度が大きいときには上部電離圏における N_2^+ 密度が増大すること、すなわちイオン上昇流発生頻度の増大を示唆している。Yau et al.[1993] では高度 **5,000—10,000 km** において K_p が **4** 以上のときに N_2^+ イオンが観測されることを示しているが、本研究では K_p が **3+**以上で N_2^+ 発光強度が大きくなる結果となっており、ほぼ Yau et al.[1993] の結果と一致する。本研究と Yau et al.[1993] では、高度は大きく異なるが、地磁気活動度依存性は類似していることから、本研究で明らかになった N_2^+ イオン上昇流生成プロセスすなわち、**260—290km** 付近で N_2^+ が電離生成され、上部電離圏へ輸送されることが、磁気圏へ N_2^+ イオンが流出するのに不可欠であると考えられる。

また O^+ と N_2^+ に代表される分子イオンの上昇流について、 N_2^+ に関しては **260—290km** 付近で生成され N_2^+ が上部電離圏に輸送される必要があるのに対して、 O^+ は上部電離圏において 10^6 [/cm³]程度存在している。従って、 O^+ イオン流出に比べ N_2^+ イオン流出のほうが **260—290km** 付近での電離生成プロセスが重要であり、このことが地磁気活動度依存性を示す原因であることが示唆される。