

ファブリ・ペロー干渉計による波長 427.8nm のオーロラを通した N₂⁺ アップフローの計測：測定誤差のモデル計算

#菊池 大希¹⁾, 塩川 和夫¹⁾, 大山 伸一郎¹⁾, 小川 泰信²⁾, 栗原 純一³⁾

(¹ 名大 ISEE, (² 極地研, (³ 情報大

N₂⁺ upflow measurement through auroral 427.8-nm emission by a Fabry-Perot interferometer: Model calculation for measurement errors

#Taiki Kikuchi¹⁾, Kazuo Shiokawa¹⁾, Shin ichiro Oyama¹⁾, Yasunobu Ogawa²⁾, Junichi Kurihara³⁾

(¹Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, (²National Institute of Polar Research, (³Hokkaido Information University

Several satellite missions have reported the existence of ionosphere-origin ions in the magnetosphere. The AKEBONO satellite observed that heavy ions, such as nitrogen molecular ions (N₂⁺), were transported to high altitudes in addition to H⁺ and O⁺, which are the dominant ions for the upflow (Yau et al., 1993). It is pointed out that N₂⁺ in the polar upper atmosphere are transported upward along the magnetic field line in association with auroral heating. Frictional heating between molecular ions and neutral particles and resonant wave-particle interactions have been considered as possible heating mechanisms. However, obtaining sufficient energy for ion outflow to the magnetosphere solely by the ion frictional heating or resonance heating process, it takes at least 10 times longer than the lifetime of the molecular ions (Peterson et al., 1994). Therefore, the heating mechanisms responsible for transporting these ions into the magnetosphere remain unclear. The Fabry-Perot interferometer (FPI) can be utilized to measure the velocity of a specific ion or neutrals in the lower ionosphere. Then, we tried to measure the upward velocity of the N₂⁺ along the magnetic field line from the observations of auroral 427.8-nm emission using the FPI. This work holds the potential to improve our understanding of ion dynamics in the Earth's upper atmosphere and magnetosphere.

We conducted a campaign observation by an FPI on March 8-14, 2024, at Skibotn, Norway (69.3° N, 20.4° E). By fitting the Gaussian distribution independently to the 14 fringes in the interference images obtained by the FPI, we obtained 14 independent values of the ion velocity and estimated the measurement error from their variation. In general, this variation is considered to be a statistical error due to random measurement noise because we are measuring very weak light. This measurement error decreases when the auroral emission intensity is stronger to produce larger fringe counts. However, even when the same peak counts of fringes were obtained as the FPI measurements at 557.7 nm and 630 nm reported by Shiokawa et al. (2012), we found that the measurement error of 427.8 nm measurement was more than five times larger than those for 557.7 nm and 630.0 nm. One possible cause is that multiple wavelengths of N₂⁺ (1NG) band emission are transmitted through the bandpass filter, resulting in multiple fringes that overlap to form one large fringe. This suggests that (1) errors can occur by fitting the Gaussian function to the overlapped fringes, which have a shape different from that of the Gaussian function, and that (2) differences in the N₂⁺ temperature between the two (north and south) observation points could cause systematic errors because the intensity ratio of the band emission lines (and thus, the fringe shape) varies depending on the N₂⁺ temperature. Therefore, we estimated the magnitude of these measurement errors by performing model calculations for possibilities (1) and (2). In this presentation, we will report the results of the model calculations. We will also report the latest results of the campaign observations at Skibotn, Norway, to be conducted in Sep. - Oct. 2024.

地球磁気圏では電離圏由来のイオンが多くの人衛星により観測されている。電離圏イオンの主要素であるプロトンや酸素イオンに加えて、窒素分子イオン (N₂⁺) のような比較的重い分子イオンも高高度に輸送されていることが、あけぼの衛星による観測によって報告された (Yau et al., 1993)。窒素分子はオーロラ粒子の降り込みによってイオン化および加熱されて磁力線に沿って上昇することで、磁気圏への流出が発生している可能性が指摘されている。加熱機構としてイオン-中性大気間の摩擦加熱や、電磁波による共振加熱が考えられているが、これらだけでは電離圏を脱出するのに必要なエネルギーを得るための加熱継続時間が、窒素分子イオンの平均寿命より一桁以上長くなってしまい、有効な加熱過程はよくわかっていない。(Peterson et al., 1994)。ファブリ・ペロー干渉計 (FPI) は、観測対象を限定して低高度電離圏を定常的に観測できる強力な観測装置である。そこで本研究で窒素分子イオンがオーロラ光や太陽光の共鳴散乱として発する波長 427.8 nm 付近の N₂⁺ (1NG) の発光を FPI を用いて観測することで、その発光波長のドップラーシフトから、窒素分子イオンの磁力線に沿った上向き速度の計測に挑戦した。この研究は MTI 領域のイオンダイナミクスの理解を前進させる大きなポテンシャルを持っている。

2024年3月8日から14日にノルウェー・シーボトン (69.3° N, 20.4° E) で集中観測を行った。この観測では、FPIで観測された干渉画像にみられる14本のフリンジにそれぞれ独立にガウス分布をフィッティングすることにより、14個の独立な測定量を求めるとともに、それらのばらつきから測定誤差を見積もった。一般的にこのばらつきは、非常に暗い光を計測していることによるランダムな計測ノイズに基づく統計誤差と考えられ、オーロラ発光が強くてフリンジのカウント量が大いときにはこの測定誤差は小さくなることがわかっている。しかし、同じ装置で波長 557.7 nm、630 nm を観測した Shiokawa et al., (2012) と同じカウント量のフリンジが得られた時でも、427.8 nm の観測では5倍以上の測定誤

差が生まれてしまった。この原因として、 N_2^+ (1NG) のバンド発光の複数波長がバンドパスフィルターを透過しており、複数のフリンジが生じ、それらが重なりあって大きな一つのフリンジを形成していることが考えられる。これにより、①ガウス分布と異なる形状のフリンジにガウス分布をフィッティングしていることによる誤差や、②バンド発光の強度比が N_2^+ の温度に依存するため、観測地点の N_2^+ の温度の違いが系統誤差を引き起こす可能性が示唆される。そこで、これら①、②の可能性についてモデル計算を実施することによりこれらの測定誤差の大きさを推定した。本発表ではこのモデル計算の結果について報告する。また、2024年9-10月に計画しているノルウェー・シーボトンでの集中観測の結果についても報告予定である。