

DELTA-2 キャンペーン中の地磁気擾乱時に FPI が観測した極域の下部熱圏風速 FPI-derived lower thermospheric wind at high latitude during DELTA-2 campaign for pe- riods of geomagnetic disturbance

久保田 賢¹, 大山 伸一郎^{1*}, 野澤 悟徳¹, Asgeir Brekke², 津田 卓雄¹, 塩川 和夫¹, 大塚 雄一¹, 宮岡 宏³, 堤 雅基³, 小川 泰信³, Miguel Larsen⁴, 栗原 純一⁵, 山本 真行⁶, 森永 隆稔⁶, 藤井 良一¹, 松浦 延夫¹
Ken Kubota¹, Shin-ichiro Oyama^{1*}, Satonori Nozawa¹, Asgeir Brekke², Takuo Tsuda¹, Kazuo Shiokawa¹, Yuichi Otsuka¹, Hiroshi Miyaoka³, Masaki Tsutsumi³, Yasunobu Ogawa³, Miguel Larsen⁴, Junichi Kurihara⁵, Masa-yuki Yamamoto⁶, Takatoshi Morinaga⁶, Ryoichi Fujii¹, Nobuo Matuura¹

¹ 名古屋大学太陽地球環境研究所, ² トロムソ大学, ³ 国立極地研究所, ⁴ クレムソン大学, ⁵ 北海道大学大学院理学研究院, ⁶ 高知工科大学

¹Solar-Terrestrial Environment Laboratory, ²University of Tromsø, ³National Institute of Polar Research, ⁴Clemson University, ⁵Graduate School of Science, Hokkaido Uni, ⁶Kochi University of Technology

極域の超高層大気は、大気波動により運動量が下層大気から供給されるとともに、磁気圏からの物質輸送や電場印加に伴う粒子加熱、ジュール加熱、イオンドラッグ等により、温度・風系場が変動する領域である。これら外的要因に伴う大気変動は様々な時間発展や空間分布を持つことが特徴であり、磁気圏・電離圏・熱圏結合におけるエネルギー収支や運動量輸送の物理過程に関して未だ理解が不足している現象が多数存在する。オーロラ活動の活発化に伴い下部熱圏の風速が数分以内に変動する現象もその一つである。この下部熱圏風速の急激な変動は、上記外的要因が引き起こす圧力勾配や運動量輸送などと関係することに間違いない。しかし、観測されるレベルの加熱率や力で風速変動量を定量的に説明することはできていない。この問題を観測的に把握するためには、オーロラや電離圏・熱圏物理量の空間分布や時間変化を同時にかつ同じ場所で測定することが本質的に重要である。しかし、観測装置の配置や稼働状況などの制約により、既存の研究では空間/時間一様性を仮定してデータ欠損を補間してきた。ただし、この仮定が不確定要素となり、明確な結論や定量的な理解が得られない原因となっている。

そこで我々は、空間・時間一様性の仮定を極力排除できる観測計画を立案し、オーロラ発生時の下部熱圏におけるエネルギー収支を理解することを目的に DELTA-2 キャンペーン観測を 2009 年 1 月にノルウェーのトロムソで実施した。このキャンペーンでは、欧州非干渉散乱 (EISCAT) レーダー、ファブリペロー干渉計 (FPI)、全天カメラ、ロケット搭載の TMA (トリメチルアルミニウム) による観測をトロムソ近郊に集約させた。その結果、オーロラ、電離圏、熱圏の空間構造・時間発展に関する情報を各装置で独立に収集することに成功した。

本研究では、ロケット打ち上げが実施された 2009 年 1 月 26 日のデータセットを中心に解析した。1 月 26 日 00:23UT に発生したオーロラブレイクアップに伴い、30 kR 以上の発光強度を持つオーロラがトロムソの赤道側およそ 100 km に現れた。したがってトロムソ観測所の FPI (波長 557.7 nm) や EISCAT レーダーはこの時点でオーロラの極側を観測していたことになる。両装置の観測領域の発光強度は約 1.5 kR であり、オーロラ粒子の降込みが存在していたものの、赤道側に分布した主な発光領域と比較してオーロラ粒子のエネルギーとフラックスが低かったことが分かる。この空間分布が確保された約 3 分間に FPI が測定した風速変化量は、上向きに 17 m/s、極向きに 29 m/s であった。この風速変化量 (加速度) と電磁エネルギーの流入量との関係を知るために、EISCAT レーダーが観測した電離圏物理量から、ジュール加熱率、粒子加熱率、ローレンツ力を計算し、それらを運動方程式や熱力学の式などの理論式に代入して風速加速度を計算した。この計算には、電場や電子密度に定常状態 (即ち、時間微分項を無視) を仮定した。その仮定のもと導出された加熱率と加速度は FPI の観測結果を説明するのに 1 桁以上小さいことがわかった。上述のように本観測は空間・時間一様性の仮定を極力排除するように計画された。にもかかわらず大きな差が生じたことから、極域での磁気圏 - 電離圏 - 熱圏結合に関する基礎的な物理的理解の不足が懸念される。即ち、磁場と電場が共存する弱電離プラズマ (本研究では電離圏に相当) において電磁エネルギーが発生し、粒子間衝突を経て中性大気粒子の熱エネルギーに変換される過程、さらにその熱エネルギーが中性大気粒子の運動エネルギーに変換される過程といったプラズマ物理学の基礎的かつ普遍的現象の理解が不足していることを示唆する。多角的な理論的考察が必要であるが、今後検討すべき素過程の一つとして、本研究では 10Hz 程度の周波数を持つ振動電場の影響を取り上げる。上記理論計算では電場の時間微分項を無視したので、振動電場の影響は考慮されていない。本発表では電場の時間変動成分が無視できないほど発達した場合のエネルギー収支について理論的考察を行い、今後我々が着目すべき観測物理量を提案する。

キーワード: オーロラ, 大気光, 光学装置, 電離圏, 熱圏, 高緯度

Keywords: aurora, airglow, optical instrument, ionosphere, thermosphere, high latitude