

F領域沿磁力線不規則構造と中規模伝搬性電離圏擾乱のレーダー・光学同時観測

Radar and optical observation of medium-scale traveling ionospheric disturbances and field-aligned irregularities in the F region

大塚 雄一 [1]; 横山 竜宏 [1]; 塩川 和夫 [1]; 小川 忠彦 [1]; 山本 衛 [2]

Yuichi Otsuka[1]; Tatsuhiro Yokoyama[1]; Kazuo Shiokawa[1]; Tadahiko Ogawa[1]; Mamoru Yamamoto[2]

[1] 名大 STE 研; [2] 京大・生存圏研

[1] STELAB, Nagoya Univ.; [2] RISH, Kyoto Univ.

<http://stdb2.stelab.nagoya-u.ac.jp/member/otsuka/index.html>

中規模伝搬性電離圏擾乱 (Medium-Scale Traveling Ionospheric Disturbance; MSTID) は、電離圏 F 領域において電子密度変動が伝搬する現象である。大気光や GPS 観測により、MSTID は日本において夏季夜間に発生頻度が高く、南西方向に伝搬するものが多いことが明らかになっている。一方、沿磁力線不規則構造 (Field-Aligned Irregularity; FAI) は、磁力線直交方向に電子密度の不規則構造が生じる現象であり、京都大学信楽 MU レーダーによって F 領域における FAI が観測されている。F 領域 FAI は、夏季夜間に発生し、西方に移動する。MSTID と FAI は、発生頻度の季節、地方時変化や伝搬方向が類似しているが、両者の関係は未だ明らかになっていない。本研究では、大気光イメージャーによる MSTID の観測と、MU レーダーによる F 領域 FAI の観測を同時に行うことにより、両者の空間構造を比較し、F 領域 FAI の発生メカニズムを考察することを目的とする。

2004 年 6 月から 9 月にかけて行われた FERIX (F- and E-Region Ionospheric Coupling Study) キャンペーン期間中、山形県酒田市 (39.0°N, 139.9°E) に全天大気光イメージャーを設置し、信楽 (34.9°N, 136.1°E) のイメージャーとの同時観測を行った。また、信楽にある京都大学 MU レーダーにより、F 領域 FAI の観測を行った。この FERIX キャンペーン期間中の 2004 年 6 月 16 日晩に、酒田と信楽のイメージャーによって同時に、630nm 大気光に MSTID が観測された。この MSTID の周期は 50 分、水平波長は 260km であり、南西方向に約 90m/s の速さで伝搬していた。MSTID が観測された時刻に、MU レーダーによって F 領域 FAI も観測された。7 日 0030-0130LT において、レーダーから遠ざかる向き (磁力線直交北向き/上向き) のドップラー速度をもつ F 領域 FAI が観測された。この FAI エコーは、レンジ-時間断面において塊状に分布していた。その後の 0130-0230LT には、エコー強度が弱く、エコー領域が時間とともにレーダーに近づく FAI が観測された。この FAI エコーのドップラー速度は、レーダーに近づく向き (磁力線直交南向き/下向き) であった。

信楽と酒田で観測された大気光画像を用いて、三角測量の手法により MSTID による大気光変動の空間分布が一致するように大気光発光高度を求めた。その結果、00-01LT において、大気光発光高度は、約 260km であることが明らかになった。また、MSTID による大気光変動の空間分布と F 領域 FAI の発生領域を比べるため、FAI の位置を磁力線に沿って大気光発光高度 (260km) に投影した。これにより、上向きドップラー速度をもつ FAI エコーの発生領域は、大気光の減光領域に一致し、下向きドップラー速度をもつ FAI エコーは増光領域に一致することが明らかになった。

大気光発光強度は F 領域における積分 Pedersen 導電率に比例しているため、MSTID による大気光の変動は積分 Pedersen 導電率の空間変動とみることができる。Pedersen 導電率の空間不均一があるとき、磁力線直交面内を電流が流れていると、電流の連続性を保つために分極電場が生じる。F 領域中 Pedersen 電流は、中性大気風速 U による $U \times B$ (B は磁場) と電場とによって流れる。2004 年 6 月 16 日の真夜中付近に信楽のファブリ・ペローで観測された中性風はほぼ南向きであり、この中性風による電流は東向きである。この時、大気光の減光 (増光) 領域、つまり Pedersen 導電率の低い (高い) 領域では、北東向き (南西向き) の分極電場がつけられる。電場の東向き (西向き) 成分は、 $E \times B$ ドリフトにより F 領域プラズマを上方 (下方) に動かすため、その領域では大気光は減光 (増光) する。このように、分極電場は MSTID の生成に密接に関連しているが、本研究では、この分極電場による $E \times B$ ドリフトが FAI のドップラー速度の方向と一致していることを明らかにした。

観測結果より、エコー強度が強い FAI エコーは、MSTID による大気光の減光領域と一致することが明らかになった。このような両者の空間構造の関係を調べるため、電場変動による電子密度および大気光の変動をモデル計算した。その結果、FAI の発生領域は、F 層下部における電子密度の鉛直勾配と分極電場によるグラディエント・ドリフト不安定が成長する領域と一致する傾向があることが明らかになった。この結果は、MSTID に伴う電子密度の勾配及び分極電場によってグラディエント・ドリフト不安定が発生し、この不安定が FAI の成因であることを示している。