

計算機シミュレーションによる中緯度電離圏イレギュラリティの生成に関する研究

Study of generation of midlatitude field-aligned irregularities with numerical simulation

横山 竜宏[1], 山本 衛[1], 深尾 昌一郎[1]

Tatsuhiro Yokoyama[1], Mamoru Yamamoto[1], Shoichiro Fukao[1]

[1] 京大・宙空電波

[1] RASC, Kyoto Univ.

中緯度電離圏 E 領域沿磁力線イレギュラリティは、MU レーダーを中心として研究が進められてきたが、準周期エコーと呼ばれるレーダーエコーは広い高度範囲にわたって出現し、薄いスプラディック E 層(Es 層)の存在だけではその構造を説明できない。計算機シミュレーションの結果、Es 層内に水平方向の密度勾配が存在する場合、あるいは大気重力波や Kelvin-Helmholtz 不安定等の水平方向に非一様性を持つ中性風を印加した場合に強い分極電場が生じることが示された。生成された分極電場は磁力線に沿って高高度までマッピングされ、これにより磁力線に沿ったプラズマ不安定領域が生成された。

中緯度 E 領域(高度 90 ~ 160 km)にみられる沿磁力線イレギュラリティ(Field-Aligned Irregularities;以下 FAI)は、これまでの MU レーダー観測によって"準周期エコー"と"連続エコー"の2つに分類できる事が知られている。中緯度 E 領域 FAI を生成すると考えられている Gradient-drift 不安定は、電子密度勾配と外部電場 E、地球磁場 B との $E \times B$ ドリフトによって発生する。準周期エコーの出現はスプラディック E 層(Es 層)の発生との相関が高く、生成に必要なとされる電子密度勾配は Es 層によるものと考えられている。ところが、水平ウインド・シアによって形成される薄い板状の Es 層を想定しただけでは、高度方向へ 20 km 以上もの広がり準周期的な筋状の分布を持つ準周期エコーの生成メカニズムを説明することはできない。1996 年 8 月に実施されたスプラディック E 層ロケット/地上共同観測 SEEK (Sporadic-E Experiment over Kyushu)のロケット実験の結果、高度 102 km 付近に非常に大きなウインド・シアと薄い Es 層の存在が観測された。また、準周期エコーに伴う大きな分極電場が観測され、Es 層に空間的な不均一構造がある事が示唆されたが、それまでのモデルで提唱されていた高度 20 km に及ぶ Es 層の変調は観測されなかった。さらに準周期エコーのエコー領域中には 10 mV/m を越える大きな電場が存在し、その電場には ± 5 mV/m の大きな変動が伴っていることも観測された。

そこで、準周期エコーの生成機構、特に SEEK で観測された大きな電場を説明できる Es 層の形状や度構造を検証するため、電離圏 E 領域の数値シミュレーションを行った。シミュレーションの手法は Huang and Kelley [1996] を参考にした。具体的には、南北方向に周期性を仮定した 2 次元の鉛直子午平面において、Es 層中に多く観測される金属イオンの中の一つである Fe⁺イオンと電子からなる 2 流体を仮定し、流体方程式 (連続の式、運動方程式、電流保存の式)を数値的に計算した。

Es 層内に東西に伸びた帯状のプラズマ塊を仮定し、西向き外部電場を印加した結果、外部電場の数倍の大きさを持つ磁力線直交南向きの分極電場が発生した。この分極電場は磁力線に沿って高高度までマッピングされ、これにより磁力線に沿ったプラズマ不安定領域が生成された。この結果は Maruyama et al. [2000] により提唱された準周期エコー生成モデルとほぼ一致する。一方 Es 層内に密度勾配が存在しない場合においても、大気重力波や Kelvin-Helmholtz (K-H)不安定により強い分極電場が生じることが示された。波面が磁力線に対して平行となる重力波は分極電場の生成効果を持たず、逆に波面が磁力線と直交するような北向きに伝搬する重力波が最も強い生成効果を持つことが示された。中性風速シアにより K-H 不安定が発生したと仮定した場合も、やはり強い分極電場が生成された。Larsen [2000]は K-H 不安定が発生した領域からのみエコーが得られるとしているが、この場合においても分極電場により磁力線に沿った不安定領域が生成され得ることが示された。