

中緯度スポラディックE層と沿磁力線イレギュラリティの生成に関する数値シミュレーション

Numerical simulation of midlatitude sporadic-E layer and field-aligned irregularities

岸本 豪 [1], # 深尾 昌一郎 [1], 齊藤 昭則 [2], 山本 衛 [1]

Takeshi Kishimoto [1], # Shoichiro Fukao [2], Akinori Saito [3], Mamoru Yamamoto [2]

[1] 京大・超高層, [2] 京都大・理・地球物理

[1] RASC, Kyoto Univ, [2] RASC, Kyoto Univ., [3] Department of Geophysics, Kyoto Univ.

中緯度電離圏E領域沿磁力線イレギュラリティの観測によって、高度方向に20km以上の広がりを持ち、数分の周期で発生と消滅を繰り返す準周期エコーが夏季の夜間に頻繁に観測されている。従来の準周期エコー生成モデルは、準周期エコーの構造をスポラディックE層(Es層)の高度変調によって説明してきたが、1996年8月に実施されたSEEK観測実験の結果、モデルで提唱されているようなEs層の大きな高度変調は見出されなかった。

そこで、準周期エコーの生成機構の解明を目的としてSEEKで観測された中性風速や電子密度分布に基づく電離圏E領域の数値シミュレーションを行い、準周期エコーを説明できるEs層の形状や電子密度構造の検証を行った。

これまでのMUレーダー観測によって、中緯度E領域(高度90~150 km)にみられる沿磁力線イレギュラリティ(Field-Aligned Irregularities; 以下 FAI)エコーは"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グラディエント・ドリフト・プラズマ不安定は、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ポラディック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月に実施されたスポラディック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を説明できるEs層の形状や電子密度構造を検証するため、SEEKで観測された中性風速や電子密度分布を用いて電離圏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 Kelly [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。

始めに、SEEKで観測された中性風速を一様にプラズマが分布した領域に印加することによってロケット観測と同高度にEs層が生成される事を確認した。次に、SEEKで観測された大きな電場変動を説明するモデルとして、近年TsunodaやMaruyamaによって提唱されているプラズマ密度の水平不均一構造と外部電場によって大きな分極電場が生成されるとするモデルについて検討を行った。東西に伸びた円柱状の高プラズマ密度領域を仮定し、東向き外部電場が印加された場合に生成される分極電場の振舞を求めた結果、高プラズマ密度領域の高度が低い程分極電場が強くなる事が確認された。さらに、その分極電場によって磁力線に沿ったエコー領域が形成されることが分かった。しかしながら、プラズマは高度110 km以下の領域では高度120 km以上の領域に比べて一様中性風、電場、大気重力波等による影響を受けにくく、TsunodaやMaruyamaらによって提唱された円柱状のプラズマ塊を低高度の領域に作るのには容易ではないことも明らかになった。また、様々な条件を与えてシミュレーションを行った結果、東西風のシアと南向きに伝搬する大気重力波を同時に印加することによって高度115 km以上の高い領域に準周期エコーに良く似た形状を持つ不安定成長率の時間・高度分布を得ることに成功した。ただしこのメカニズムによって生じるエコー領域のレンジレートが地球磁場ではなく大気重力波の波数等によって決定されることから、準周期エコーの降下速度の緯度依存性を説明することは困難であり、またこの条件では大きな電場変動は生じない等の問題が残されている。