

中規模伝搬性電離圏擾乱 (MSTID) のスケール依存性と波面形成に関する数値実験

横山 竜宏 [1]
[1] NICT

Scale dependence and frontal formation of nighttime medium-scale traveling ionospheric disturbances

Tatsuhiro Yokoyama[1]
[1] NICT

Plasma density structures and associated irregularities in the nighttime midlatitude ionosphere are frequently observed as frontal structures elongated from northwest to southeast (NW-SE) in the Northern Hemisphere with a wavelength of 100-200 km, also known as medium-scale traveling ionospheric disturbances (MSTIDs). The MSTIDs and the coupling process between the E and F regions are studied with a three-dimensional numerical model which can simulate two instability mechanisms: Perkins instability in the F region and sporadic-E (Es)-layer instability in the E region. The lower thermosphere, where an Es layer could be located, is strongly influenced by atmospheric waves propagating from below, so that the Es layer tends not to be horizontally uniform but to be inhomogeneous. A strong zonal wind shear itself that accumulates the Es layer can drive the Es-layer instability as well as the Kelvin-Helmholtz instability. The inhomogeneous Es layer produces sharp gradient of Hall conductivity and generates intense polarization electric field which can easily modulates the F region because of electric field mapping along geomagnetic field. Therefore, MSTIDs could be seeded by inhomogeneous Es layers, which might be coupled with the lower atmospheric activity. A new midlatitude ionosphere electrodynamics coupling (MIECO) model has been developed that can simulate the coupling process between the E and F regions with dipole magnetic field lines. Using the MIECO model, MSTID structure is reproduced from random perturbation on an Es layer in a wide horizontal coverage. The upgraded version of MIECO model comprises both hemispheres where electric field is solved by integrating conductivities in both hemispheres, and all other parameters such as plasma density and neutral wind are independent. Scale dependence of nighttime medium-scale traveling ionospheric disturbances (MSTIDs) is studied by changing a scale of initial perturbation from 20 km to 320 km range. It is shown that both Es-layer and Perkins instabilities have scale dependence for a shorter wavelength mode to be saturated faster, whereas a very long wavelength mode grows so slow in the E region that it does not seed the Perkins instability in the F region effectively. As a result, the typical wavelength of MSTIDs (100-200 km) can be spontaneously generated without scale-dependent forcing. It is also shown that long frontal structures of MSTIDs can be self-consistently formed by a Pedersen polarization process along the wave front of MSTIDs by which an initially non-uniform wave front is forced to be uniformly distributed.

電離圏のプラズマは、その運動が中性大気との衝突によって強く支配されているため、中性大気と電離大気の相互作用を解明することは電離圏の物理過程を理解する上で非常に重要である。一方、電離圏内では地球磁場に沿った導電率が非常に高く、電場を通じて E-F 領域間、さらに反対半球の磁気共役点まで強く結合されている。F 領域において観測される中規模伝搬性電離圏擾乱 (medium-scale traveling ionospheric disturbance; MSTID) は、その生成機構として大気重力波との関連が従来示唆されてきたが、全天大気光イメージャ、GPS-TEC、衛星等による観測技術が発達し、夜間に中緯度 F 領域において観測される MSTID に関しては、電離圏における電場が重要な役割を果たしていることが明らかとなっている。また、E 領域におけるスプラディック E(Es) 層に伴う不安定機構により、MSTID の原因となる Perkins 不安定の成長が加速を受けている可能性があることが、現在までの研究により示されている。磁気共役点において位相の揃った MSTID が同時に観測された例は、この結合過程の重要性を物語る重要な観測結果である。現在までに、ダイポール磁場を持ち、南北両半球を計算領域とする中緯度電離圏モデル (Midlatitude Ionosphere Electrodynamics COupling; MIECO) を開発し、E-F 領域結合による MSTID 生成の再現に成功している。一方、MSTID の特徴的な波長スケール (100-200 km) については、その原因は未解明のままであった。本研究では、Es 層に与える初期変動のスケールを 20-320 km の範囲で変化させ、MSTID 成長の波長依存性について検討を行った。その結果、短い波長成分は、Es 層不安定、Perkins 不安定共に早い段階で飽和する一方、非常に長い波長成分では、Es 層不安定の成長が遅く、Perkins 不安定を有効的に seeding させることができないという結果が得られた。結果として、100-200 km 程度の波長を持つ MSTID の成長率が最も高いことが示された。また、MSTID が成長する過程で、非常に長く伸びた波面構造が自発的に形成される様子が再現された。これは、非一様な波面方向の構造によって生じた分極電場が、その波面構造を平滑化させる働きを持つためと考えられる。これらの数値計算結果は、これまでの観測とよく一致する結果である。