

長期 EISCAT データを用いた電離圏トラフの様々な時間スケールの統計的研究

石田哲朗¹、小川泰信¹、門倉昭¹、Ingemar Häggström²

¹ 国立極地研究所

² EISCAT 本部、キルナ

Multi-timescale statistical analysis of ionospheric trough with long-term EISCAT dataset

T. Ishida¹, Y. Ogawa¹, A. Kadokura¹ and I. Häggström²

¹ National Institute of Polar Research

² EISCAT Headquarters, Kiruna, Sweden

We have investigated the characteristic change of plasma parameters (e.g., electron density, ion/electron temperature and ion velocity) inside/outside F-region ionospheric trough. It is necessary to investigate several plasma parameters on multi-timescale because the ionospheric trough depends on several timescale ionospheric variation. For this study, we have used data from the European Incoherent Scatter (EISCAT) Tromsø UHF database between 1982 and 2011. Although there are several studies made on geomagnetic activity dependence of the trough, little is known about solar activity dependence of the trough and its causality. We therefore focus on the solar activity dependence and report the results in this paper.

Ionospheric trough is the electron density depletion region which is structured longitudinally in night-side ionosphere. Generally, there are two prominent types of ionospheric trough. First type of trough is not accompanied with ionospheric heating, which includes mid-latitude trough (also called main trough or stagnation trough) and polar hole. This kind of trough is generated by a simple recombination in the night-time region. Second type of trough is caused by various heating mechanisms. High-latitude trough and subauroral polarization stream (SAPS) driven trough are categorized in this group. Its principal loss mechanism is that the frictional heating enhances ion-atom interchange collisions and subsequent dissociative recombination.

Vo et al. [2001] has clearly showed that electron density gradient on the trough boundary increases with solar activity. In addition to this, it has been reported that HF radio propagation is influenced by irregularities located in the trough region, which occurs more often at sunspot maximum than at sunspot minimum [Stocker et al., 2011]. These are interesting cases where electron density structure changes and affects HF radio propagation depending on solar activity. However, it remains unclear the significance of physical and chemical processes involved in the formation of the trough because most of past publications were based upon the event studies and short-term statistical analysis focusing solely on electron density. Therefore, we have used long-term EISCAT dataset and investigated how trough structure changes depending on solar activity. We have obtained the following results so far.

1. In post-midnight (01-06 MLT) and dusk (15-18 MLT) auroral region, ion drift velocity inside trough region is higher than the surrounding ionosphere. Ion temperature is also 300-500 [K] higher than the surrounding in this region.
2. In post-midnight auroral region, occurrence rate of the trough increases with solar activity (SA).
3. In dusk auroral region, occurrence rate of the trough little changes with SA.
4. Even in daytime, occurrence rate of the trough is relatively high in the high convection velocity region.

In this paper, we report these results and discuss plausible reasons why the characteristics are seen inside the trough region.

本研究では、電離圏トラフ（以降、トラフと略称する）の基本構造を明らかにするために、European Incoherent Scatter (EISCAT) データベースを使用して長期間の統計解析を実施した。トラフは様々な時間スケールの電離圏変化に影響を受けるため、長期間データを使用してトラフの特徴を時間スケールに分けて、統計的に調べることが効果的である。そこで本研究では、国立極地研究所に整備された30年間（1982年~2011年）のEISCAT磁気子午面スキャンデータベースを利用して研究を行った。これまでにトラフの地磁気活動度依存性についての研究は行われてきたが、太陽活動度依存性とその因果関係についての研究はほとんど行われていない。したがって、本発表では、トラフの太陽活動度依存性に焦点を当てた研究結果を報告する。

トラフは電離圏の電子密度が急激に減少する領域を指し、昼側から夜側にかけて経度方向に沿った馬蹄状の空間構造を有する。これまでに分かっている主要なトラフ形成プロセスは、電離圏の加熱を伴わないプロセスと加熱を伴うプロセスの2つに分けることができる。前者の加熱を伴わないトラフには、中緯度トラフ（またはメイントラフ、Stagnationトラフと呼ばれる）とポーラーホールが含まれる。これらは電離圏対流が弱まり、夜側で電子密度が過剰に再結合して形成すると考えられている。一方、後者の加熱を伴うトラフは、電離圏の様々な加熱現

象がイオン-原子交換反応を促進し、その結果、解離再結合反応を介してトラフが生じると考えられている。高緯度トラフや Subauroral Polarization Stream (SAPS) に起因するトラフなどは、この加熱を伴うトラフに含まれる。Vo et al. [2001] は、太陽活動度の上昇がトラフの密度勾配を増加させることを示した。さらに、太陽活動度によりトラフ領域の不規則構造が変化して、HF 電波伝搬に影響を与えることが最近報告されている [Stocker et al., 2011]。これらの研究結果は、トラフの電子密度構造が太陽活動度で変化し、その特徴の変化が電波通信にも影響を与えることを示した興味深い事例である。このような結果が得られているにも関わらず、トラフの基本構造に影響を与える物理プロセスの中、何が支配的なものか未だ明らかになっていない。その理由として、これまでの研究ではイベント解析が中心であったことや、電子密度のみに注目した統計解析であったことなどが挙げられる。そこで本研究では、EISCAT の長期間データを使用して、太陽活動度がトラフの空間構造がどのように変動するかを調査した。これまでに得られたトラフの特徴は以下の通りである。

1. 真夜中過ぎ (01-06 MLT) と夕方 (15-18 MLT) のオーロラ帯では、トラフ内部の対流速度が周囲よりも高い。その場所はリターンフローに対応しており、イオン温度も周囲より 300-500 [K] 高くなっている。
 2. 真夜中過ぎのオーロラ帯では、太陽活動度が上昇するとトラフの発生頻度も高くなる。
 3. 夕方のオーロラ帯では、太陽活動度が上昇してもトラフの発生頻度はほとんど変化しない。
 4. 日照域であっても、対流速度が増加してイオン温度が高い場所では、トラフの発生頻度は高くなる。
- 本発表では、これらの結果を報告すると共に、トラフ形成に関わる支配的な物理プロセスを議論する予定である。

References

- Vo, H. B., and J. C. Foster, A quantitative study of ionospheric density gradients at midlatitudes, *J. Geophys. Res.*, 106, 21,555, 2001.
- Stocker, A. J., and E. M. Warrington, The effect of solar activity on the Doppler and multipath spread of HF signals received over paths oriented along the midlatitude trough, *Radio Sci.*, 46, RS1014, doi:10.1029/2010RS004482, 2011.