

地磁気静穏日変化から推定される電離圏電場の長期変動特性

新堀淳樹¹、小山幸伸²、田中良昌³、佐藤由佳³、門倉昭³

¹ 京都大学生存圏研究所

² 大分工業高等専門学校

³ 国立極地研究所

Characteristics of long-term variation of ionospheric electric field estimated from the geomagnetic solar quiet daily variation

Atsuki Shinbori¹, Yukinobu Koyama², Yoshimasa Tanaka³, Yuka Sato³, and Akira Kadokura³

¹Research Institute for Sustainable Humanosphere (RISH), Kyoto University

²National Institute of Technology, Oita College

³National Institute of Polar Research

Geomagnetic solar quiet (Sq) daily variation from the polar region to the middle and low latitudes is generated by two kinds of global ionospheric currents flowing in the E-region of the ionosphere. One is mainly driven by ionospheric dynamo electric field generated via interaction between the neutral wind and ionospheric charged particles in the middle- and low-latitude regions of the lower thermosphere and ionosphere. The motion of the neutral particles is due to heat convection driven by solar irradiance and tidal force of the sun and moon. The other is driven by the large-scale convection electric field carried into the polar and subauroral-latitude ionosphere by a pair of field-aligned currents (FACs). The FAC intensity depends on the solar wind, the magnitude and direction of interplanetary magnetic field (IMF) and magnetospheric plasma conditions. According to Ohm's law, the ionospheric currents strongly depend on ionospheric conductivity, polarization electric field and neutral wind at a height of the E-region. Therefore, several signals of long-term variations in the ionospheric conductivity, electric field and neutral wind in the lower thermosphere and ionosphere can be derived on the basis of investigation of the long-term variation in the Sq amplitude. Using the long-term observation data of geomagnetic field obtained from 69 geomagnetic stations, Shinbori et al. [2010] reported that a majority of trends in the residual Sq amplitude with solar activity removed showed a decreasing trend during 1947-2013. This tendency was strong in the eastern part of Canada, Europe, and India. In this study, we investigate the characteristics of the long-term variation in the ionospheric electric field estimated from the Sq variation from the polar to the equatorial regions using the long-term observation data of geomagnetic field. These observation data have been provided by Japanese institutes participating in the IUGONET (Inter-university Upper atmosphere Global Observation NETwork) project [Hayashi et al., 2013; Abe et al., 2014; Tanaka et al., 2013] which started in FY 2009. In the present analysis, we used the F10.7 solar flux as a good indicator of the variation in the solar irradiance in the EUV and UV range as well as geomagnetic field data with time resolution of 1 hour obtained from more than 90 geomagnetic stations with data availability period of more than 20 years. We determine the eastward and northward components of the Sq variation from a deviation from the baseline corresponding to the value at midnight every day when the Kp index is less than 4. As a result, the long-term Sq variation showed a clear seasonal variation and solar activity dependence at all the geomagnetic stations. The amplitude of the Sq variation tends to be enhanced significantly during high solar activity. During 2008-2009 (solar cycle minimum 23/24), the Sq variation at all the investigated geomagnetic stations becomes the smallest. This depression is due to a significant decrease of solar EUV and UV radiation responsible for ionization of upper atmosphere reported by Solomon et al. [2010]. Moreover, we analyzed the long-term variation in the ionospheric electric field in the daytime estimated from the Sq variation. In this electric field estimation, we used the height-integrated ionospheric conductivities calculated with our developed tool [Koyama et al., 2014]. As a result, the zonal electric field in middle-low latitudes is directed westward and eastward in the morning and afternoon sectors, respectively, while the meridional electric field is directed northward without local time dependence. The magnitude of the zonal electric field showed a clear seasonal variation with maximum in the summer and minimum in the winter. The long-term variation in the zonal electric field in the subauroral- to middle-latitude regions shows that the magnitude of the electric field around the noon become small during high solar activity. But the equatorial electric field tends to be enhanced during high solar activity.

極域から中・低緯度にかけて観測される地磁気静穏日(Sq)変化は、電離圏 E 領域を主に流れる 2 種類の電離圏電流によって作られる。1 つ目は、電離圏・下部熱圏領域における中性大気が太陽放射に伴う熱対流や、太陽、月な

どの潮汐力による大規模な運動が作る電離圏ダイナモ電場によって生成される。もう1つは、磁気圏と電離圏を流れる大規模な沿磁力線電流によって持ち込まれた電場が極域電離圏、及び中緯度電離圏に印加された電場によって駆動される。この電場を持ち込む沿磁力線電流の強度や分布は太陽風や磁気圏のプラズマ環境に依存して変化する。オームの法則によれば、電離圏電流は、電離圏電気伝導度、分極電場、および中性大気風の3種類のパラメータに依存する。よって、Sq場の振幅の長期変動特性を調べることで、極域・サブオーロラ帯から赤道域に至る電離圏・下部熱圏のプラズマ密度、電場や中性大気風などの長期変動のシグナルを捉えることができる。最近、Shinbori et al. [2014]は中低緯度の69観測点における太陽活動成分を除去したRes-Sq場の振幅トレンドの大部分が1947年-2013年の約60年間で減少トレンドを示し、特に、カナダ東部、ヨーロッパ、インドなどの地域では、その傾向が強いことを見出した。しかし、Shinbori et al.[2014]の研究では、Sq場の振幅を決める電離圏電場の長期変動に着目した解析を行っておらず、その空間分布や長期変動特性について明らかとなっていない。そこで本研究では、2009年度から開始したIUGONETプロジェクト(超高層大気長期変動の全球地上ネットワーク観測・研究)[Hayashi et al., 2013; Abe et al., 2014; Tanaka et al., 2013]の参加大学・機関から提供される長期でかつ多点観測の地磁気データを用いて、Sq場の振幅から見積もられる電離圏電場の長期変動(季節、太陽活動、長期トレンドなど)を明らかにする。本解析で使用した観測データは、UV、EUV領域の太陽放射強度の指標としての太陽F10.7指数、90点以上の地磁気観測点から得られた地磁気1時間値である。本解析では、少なくとも20年以上の地磁気データが存在する観測点を選んだ。Sq場の変動を同定するにあたってまず、地磁気Kp指数の値を基に1日を通じてその値が4未満である日を地磁気静穏日として選定した。その同定した日に該当する各観測点における地磁気データを抽出し、東西、南北成分について真夜中の値からの変動分を各時間について計算した。その変動パターンをSq変化とし、その1ヶ月平均を求めた。解析の結果、全ての地磁気観測点におけるSq場の磁場振幅の長期変動は明瞭な季節変化と11年の太陽活動周期依存性を示した。Sq場の磁場振幅は太陽F10.7指数と強い相関関係を示した。太陽サイクル23/24極小期(2008-2009)において、Sq場の振幅が全ての観測点で前太陽サイクル極小期と比べて10-20%減少していた。これはSolomon et al. [2010]で報告されているように、超高層大気の電離に関係する太陽EUV/UV放射強度が太陽サイクル23/24極小期にかなり小さくなっていたことを示唆する。次に、電離圏電気伝導度計算ツール[Koyama et al., 2014]を用いて、Sq変動から見積もられる昼間側における電離圏電場の長期変動について調べた。その結果、中低緯度の東西成分の電場は、それぞれ午前側、午後側で西向き、東向きであった。一方、南北成分の電場は、地方時に依存せずに北を向いていた。東西方向電場強度は、明瞭な季節変化を示し、それぞれ夏季に最大、冬季に最小であった。そして、その季節変化の幅は、午前側と午後側において太陽活動の上昇とともに大きくなる傾向を示した。正午付近におけるサブオーロラ帯から中緯度の東西電場強度は太陽活動の上昇とともに減少する一方、赤道域における東西電場強度は太陽活動の上昇とともに増加する傾向を示した。

References

- Abe, S., N. Umemura, Y. Koyama, Y. Tanaka, M. Yagi, A. Yatagai, A. Shinbori, S. UeNo, Y. Sato, and N. Kaneda, Progress of the IUGONET system - metadata database for upper atmosphere ground-based observation data, *Earth, Planets Space*, **66**, doi:10.1186/1880-5981-66-133, 2014.
- Hayashi, H., Y. Koyama, T. Hori, Y. Tanaka, S. Abe, A. Shinbori, M. Kagitani, T. Kouno, D. Yoshida, S. UeNo, N. Kaneda, M. Yoneda, N. Umemura, H. Tadokoro, T. Motoba, and IUGONET project team, Inter-university Upper Atmosphere Global Observation NETwork (IUGONET), *Data Sci. J.*, **12**, WDS179-WDS184, 2013.
- Koyama, Y., A. Shinbori, Y. Tanaka, T. Hori, M. Nosé, and S. Oimatsu, An Interactive Data Language software package to calculate ionospheric conductivity by using numerical models, *Computer Physics Communications*, **185**, 3398-3405, doi:10.1016/j.cpc.2014.08.011, 2014.
- Shinbori, A., Y. Koyama, M. Nose, T. Hori, Y. Otsuka, and A. Yatagai, Long-term variation in the upper atmosphere as seen in the geomagnetic solar quiet daily variation, *Earth, Planets Space*, **63**, 10.1186/s40623-014-0155-1, 2014.
- Solomon, S. C., T. N. Woods, L. V. Didkovsky, J. T. Emmert, and L. Qian, Anomalously low solar extreme - ultraviolet irradiance and thermospheric density during solar minimum, *Geophys. Res. Lett.*, **37**, L16103, doi:10.1029/2010GL044468, 2010.
- Tanaka, Y., A. Shinbori, T. Hori, Y. Koyama, S. Abe, N. Umemura, Y. Sato, M. Yagi, S. Ueno, A. Yatagai, Y. Ogawa, and Y. Miyoshi, Analysis software for upper atmospheric data developed by the IUGONET project and its application to polar science, *Adv. Polar Sci.*, **24**, 231-240, doi:10.3724/SP.J.1085.2013.00231, 2013.