

極域-中緯度における地磁気静穏日変化の長期変動特性

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 京大生存圏研究所

² 京都大学理学研究科地磁気センター

² 国立極地研究所

Characteristics of long-term variation of the amplitude of geomagnetic solar quiet daily variation from the polar region to middle latitude

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

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

²World Data Center for Geomagnetism, Kyoto University

³Natinal Institute of Polar Research

It has been well-known that geomagnetic solar quiet (Sq) daily variation from the polar region to the middle and low latitudes is produced by two kinds of global ionospheric currents flowing in the E-region. One is generated by dynamo process via interaction between the neutral wind and ionospheric plasma in the middle- and low-latitude regions of the lower thermosphere and ionosphere. The motion of the neutral particles is driven by heat convection due to solar irradiance and by tidal force of the sun and moon. The other is driven by the convection electric field carried into the polar and middle-latitude ionosphere by the large-scale field-aligned currents (FACs). The FAC intensity depends on the solar wind and magnetospheric plasma conditions. According to Ohm's law, the ionospheric currents strongly depend on ionospheric conductivity, polarization electric field and neutral wind. Therefore, the long-term variations in the ionospheric conductivity, electric field and neutral wind in the lower thermosphere and ionosphere can be detected by investigating the long-term variation in the Sq amplitude. Recently, Elias et al. [2010] reported that the Sq amplitude tends to increase by 5.4-9.9 % in the middle latitudes in a period of 1961-2001. They mentioned that the long-term variation of ionospheric conductivity associated with geomagnetic secular variation is a main cause of the Sq trend, but that the rest component is due to the enhancement of the ionospheric conductivity associated with an increase of greenhouse gas. In this study, we clarify the characteristics of the long-term variation in the Sq amplitude from the polar region to the middle latitudes 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 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 100 geomagnetic stations. The definition of the Sq amplitude is the difference of the H-component between the maximum and minimum every day when the Kp index is less than 4. As a result, the long-term variation in the Sq amplitude at all the geomagnetic stations shows a strong correlation with the solar F10.7 flux which depends on 11-year solar activity. The relationship between the Sq amplitude and F10.7 flux was not linear but nonlinear, which shows that the increasing rate of the Sq amplitude is saturated for the F10.7 value of more than 200. This nonlinearity could be interpreted as the decrease of production rate of electrons and ions in the ionosphere for the strong EUV and UV fluxes suggested by Balan et al. [1993]. In order to remove the solar activity dependence on the Sq amplitude, we calculated second orders of fitting curve between the F10.7 flux and Sq amplitude during 1947-2013, and examined the residual Sq amplitude defined as the deviation from the fitting curve. The residual Sq amplitude clearly shows increase and decrease trends with the periods of 20 years. It should be also noted that the residual Sq amplitude around 2008-2009 (23/24 solar cycle minimum) is almost the same level as that around 1970. This signature can be clearly seen in the auroral zone and polar cap region.

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 領域を主に流れる大きくかけて 2 種類の電離圏電流によって作られることは古くから知られている。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による電離圏ダイナモ作用によって生成される。もう一つ目は、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。したがって、Sq 場の振幅を調べることによって、極域から中低緯度域に至る電離圏・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。近年、Elias et al. [2010]は、中低緯度の 3 観測点における Sq 場の振幅が 1961 年-2001 年の約 40 年間で、5.4-9.9%だけ増加していることを見出した。彼らは、地球磁場の永年変化に伴う電離圏電気伝導度の変化が Sq 場の振幅の長期トレンドの大部分を決めているが、残りは、地球温暖化ガスの冷却効果による電離圏電子密度増加に伴う電気伝導度の変化であると言及している。しかし、Elias et al. [2010]の研究は、以下の 3 つの問題点を含んでいる。(1) 3 観測点だけで得られた 2001 年までの観測データの長期解析のみで、全球的な変動を捉えていない。(2) 太陽活動の変動を取り除くのに太陽黒点数を用いていることから、無黒点数の時期が比較的多い太陽活動極小期における Sq 場の振幅と太陽活動との定量的評価ができていない。(3) Sq 場の変動の源となる電離圏・熱圏領域における中性大気風の変動を解析していないため、その長期変動による Sq 場の振幅への影響が明らかにされていない。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)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、電離圏・熱圏大気の長期変動が Sq 場の振幅へ与える影響を定量的に明らかにする。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、100 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。ここで、Sq 場の振幅は、地磁気 Kp 指数の値が 1 日を通じて 4 未満である日を選定し、その期間の中で地磁気の最大と最小の差として定義した。解析の結果、全ての地磁気観測点における Sq 場の振幅の長期変動は、11 年の太陽活動に依存して変化する F10.7 指数と強い相関関係を示した。その Sq 場の振幅と F10.7 指数との関係は、線形ではなく、高い F10.7 指数データ値(200 以上)に対して Sq 場の振幅の増加率が飽和するという非線形性を示した。既に Balan et al. [1993]によって示唆されているように、この非線形性は、高い太陽紫外線に対して電離圏の電子とイオンの生成率は増加するが、逆に中性大気密度の増加によるそれらの消滅率が増加するので、結果的に電離圏の電子とイオン密度が増加しにくくなると解釈される。この結果を受けて、太陽 F10.7 指数と Sq 場の振幅から 2 次の回帰曲線を求め、そこからのずれの経年変動を調べた。その結果、太陽活動による変動成分を差し引いた residual Sq 場の振幅には、約 20 年ごとに減少と増加の期間が入れ替わる傾向が全ての観測点で見出された。また、サイクル 23/24 太陽活動周期にあたる 2008-2009 年における residual Sq 場の振幅が 1970 年とほぼ同じレベルに低下し、その傾向がオーロラ帯や極冠域において顕著に見られた。

References

- Balan, N., G. J. Bailey, and B. Jayachandran, Ionospheric evidence for a nonlinear relationship between the solar e.u.v. and 107 cm fluxes during an intense solar cycle, *Planet. Space Sci.*, **41**, 141-145, 1993.
- Elias, A. G., M. Z. Artigas, and B. F. H. Barbás, Trends in the solar quiet geomagnetic field variation linked to the Earth's magnetic field secular variation and increasing concentrations of greenhouse gases, *J. Geophys. Res.*, **115**, A08316, doi:10.1029/2009JA015136, 2010.