

磁気嵐・サブストーム時の電磁エネルギー生成・伝送メカニズムの研究

Generation and transmission mechanisms of the electromagnetic energy during storm and substorms

研究代表者：菊池 崇（名古屋大学宇宙地球環境研究所）

kikuchi@isee.nagoya-u.ac.jp

担当：HF ドップラーデータ解析・伝送線モデルによる事象解析

研究分担者：海老原祐輔（京都大学生存圏研究所）

ebihara@rishi.kyoto-u.ac.jp

担当：リングカレントシミュレーションコード開発と事象解析

研究分担者：田中 高史（九州大学宇宙環境研究センター）

tatanaka@serc.kyushu-u.ac.jp

担当：MHD シミュレーションコード開発と事象解析

研究分担者：藤田 茂（情報システム研究機構・統計数理研究所）

sfujita@mc-jma.go.jp

担当：MHD シミュレーションによる事象解析

研究分担者：橋本久美子（電気通信大学）

hashi@kiui.ac.jp

担当：地磁気・レーダーデータ解析による事象解析

研究目的と成果 (Research Objective and accomplishments):

沿磁力線電流と電離圏E層電流で構成される磁気圏電離圏電流回路は、磁気嵐・サブストームのエネルギーを中低緯度赤道の電離圏へ運ぶ大動脈である(Kikuchi, 2021 AGU book)。沿磁力線電流を流す一対の磁力線は完全導体とみなされ、2導体伝送線(2-conductor transmission line)に置換される。電離圏E層とそのリターン電流を流す地球表層は不完全導体とみなされ、損失性伝送線(Lossy transmission line)で置換される。極域電離圏と赤道電離圏を結ぶ地球電離層伝送線(IG: ionosphere-ground transmission line)は、極域電離圏から赤道へ広がるグローバル電離圏へ電磁エネルギーを供給する重要なエネルギーチャンネルである。電離圏E層は、エネルギー伝送を担うと同時にエネルギー消費をも担う(Kikuchi, 2014)。エネルギーの一部は地球内部へ侵入し、地表面に電位差を創り出すために、地上の電力送電線に地磁気誘導電流(GIC: geomagnetically induced current)を流す(Kikuchi et al., 2021b; 橋本&菊池, 2024)。

磁気圏－電離圏－導体地球複合系の電磁エネルギー伝送メカニズムを明らかにしていくために、グローバル磁力計と HF Doppler サウンダー観測による電離圏電場と電流、および中国電力ネットワーク変電所でのGIC計測データにより、地磁気急始(SC: geomagnetic sudden commencement)とサブストーム時のエネルギー伝送の定量解析を

おこない、REPPU シミュレーションで再現された電離圏電場と電流との比較解析をおこなってきた(Kikuchi et al., 2021a, 2021b, 2022a, 2022b)。2023 年度には、SC の電磁エネルギー伝送に関するこれまでの成果を解説本としてまとめ、今後の課題の発掘をおこなった(菊池崇, 2023)。課題の一つである中緯度における地上磁場変動に対する電離圏電流と沿磁力線電流の寄与に関する解析をおこなった。図 1 (a)は、日本 Memambetsu(MMB)とニュージーランド Middlemarch(MDM)が午後(それぞれ、12.6h, 15.6h)に位置した時に観測された SC を示す。SC は H/X 成分、D/Y 成分共に、互いに逆センスの PI, MI で構成され(以下では、SC_x(+ -)のように表記)、H/X 成分は両観測所共に SC_x(- +)、D/Y 成分は MMB で SC_y(+ -)、MDM で SC_y(- +)である。これらの SC_{x, y} は南北両半球の午後の電離圏電流による典型的な特性であり、SC_x は沿磁力線電流を取り巻く Hall 電流渦により、SC_y は沿磁力線電流と赤道電離圏 Cowling 電流を結ぶ南北 Pedersen 電流による磁場変動である(Kikuchi et al., 2022a)。一方、図 1 (b)は、両観測所が午後(14.6h, 17.6h)に位置した時の SC であるが、MMB の SC_y(+ -)が午後の電離圏電流の特性を示している反面、MDM の SC_y(+ -)は逆センスである。MDM が同じ午後に位置したにも関わらず、沿磁力線電流による磁場が電離圏 Pedersen 電流による磁場よりも卓越したと推定される。図 2 に REPPU モデルにより再現された南北方向 Pedersen 電流を示す。太陽風が磁気圏を圧縮した直後の数分間に注目すると、午前で北向き Pedersen 電流(赤色)、午後と夕方以南南向き Pedersen 電流(青色)が発生しているのがわかる。これは、SC の PI(preliminary impulse)の電流である。南北の Pedersen 電流は赤道 Cowling 電流と閉回路を形成しており、電流の総量は同じである。したがって、午後の電離圏電流密度は午前の電流密度より小さい。一方、これらを供給する沿磁力線電流はほぼ午前と午後で対称であるので、午後における地上磁場に対する沿磁力線電流による寄与が電離圏電流の寄与より大きいと推定される。これらの結果は、REPPU モデルによる地上磁場の再現と観測との比較解析が磁気圏電離圏電流システムの解明に有効であることを示している。

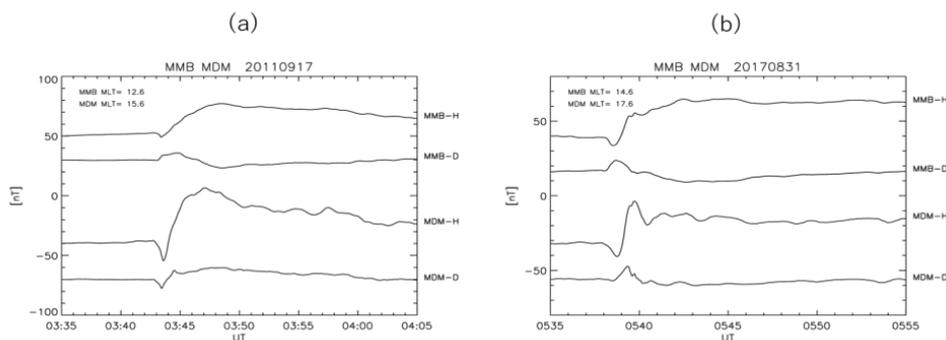


図 1 (a) Memambetsu (MMB), (b) Middlemarch (MDM), New Zealand で観測された SC。両ステーション共に午後に位置するため H/X 成分は SC(- +)であるが、D/Y が逆センスになっている。MDM-D に沿磁力線電流効果が顕著であると推定される。

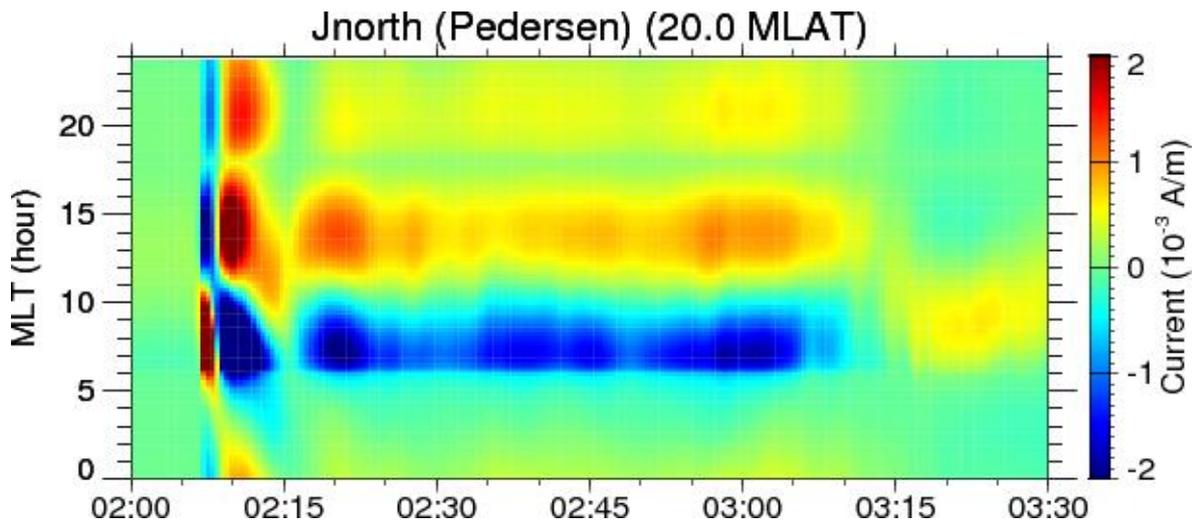


図2. REPPU モデルにより再現された南北方向の電離圏 Pedersen 電流。最初の数分が PI 電流、その後数分間が MI 電流である。午後の電流は夜側へ広がっているために、電流密度は午前より小さい。

公表状況 (Publications) :

(解説と論文)

1. 橋本久美子、菊池崇、2024、オーロラ活動と中国電力送電網の関係、特許ニュース No.16076, p.9-15, 2024 年 2 月 9 日、経済産業調査会。
2. 菊池崇 2023、解説:地磁気急始変化 (Geomagnetic Sudden Commencement) 第 4 章、著者:荒木徹、菊池崇、佐納康治、新堀淳樹、永野宏、藤田茂、編者:荒木徹、菊池崇、出版:名古屋大学、2023 年 9 月、<https://doi.org/10.18999/2007346>
3. Yusuke Ebihara, Satoko Nakamura, Tada-nori Goto, Shinichi Watari & Takashi Kikuchi, Geomagnetic Variability and GIC, Solar-Terrestrial Environmental Prediction Chapter 6, edit. K. Kusano, 2023, DOI: 10.1007/978-981-19-7765-7_6
4. Kikuchi, T., T. Araki, K. K. Hashimoto, Y. Ebihara, T. Tanaka, Y. Nishimura, G. Vichare, A. K. Sinha, J. Chum, K. Hosokawa, I. Tomizawa, Y. Tanaka, A. Kadokura (2022a), Instantaneous achievement of the Hall and Pedersen-Cowling current circuits in northern and southern hemispheres during the geomagnetic sudden commencement on 12 May 2021, Front. Astron. Space Sci. 9:879314. doi: 10.3389/fspas.2022.879314. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fspas.2022.879314/full>
5. Kikuchi, T.; Hashimoto, K.K.; Tanaka, T.; Nishimura, Y.; T. Nagatsuma (2022b), Middle Latitude Geomagnetic Disturbances Caused by Hall and Pedersen Current Circuits Driven by Prompt Penetration Electric Fields. Atmosphere 2022, 13, 580. <https://doi.org/10.3390/atmos13040580> (INVITED)
6. Kikuchi, T., J. Chum, I. Tomizawa, K. K. Hashimoto, K. Hosokawa, Y. Ebihara, K. Hozumi, P. Supnithi (2021a), Penetration of the electric fields of the geomagnetic sudden commencement over the globe as observed with the HF Doppler sounders and magnetometers, Earth Planets and Space, DOI: 10.1186/s40623-020-01350-8.

7. Kikuchi, T., Ebihara, Y., Hashimoto, KK., Kitamura, K., and Watari, S-I. (2021b), Reproducibility of the Geomagnetically Induced Currents at Middle Latitudes During Space Weather Disturbances. *Front. Astron. Space Sci.* 8:759431. <https://doi.org/10.3389/fspas.2021.759431>
8. Kikuchi, T. (2021), Penetration of the magnetospheric electric fields to the low latitude ionosphere, *Space Physics and Aeronomy Collection Volume 3: Geophysical Monograph 260*, Ed. C. Huang and G. Lu. American Geophysical Union. 2021, John Wiley & Sons, Inc. DOI: 10.1002/9781119815617. ch14
9. Kikuchi, T. (2014), Transmission line model for the near-instantaneous transmission of the ionospheric electric field and currents to the equator, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 119, doi:10.1002/2013JA019515.