

## ミッション 5 : 「高品位生存圏」 5-3) 日常生活における宇宙・大気・地上間の連関性

山本衛、海老原祐輔  
京都大学 生存圏研究所

主要テーマ：生活と社会のための宇宙インフラ・環境

### A. 研究課題：GPSを用いた電離圏3次元トモグラフィ

#### A-1. 研究組織

代表者氏名：山本衛(京大大学生存圏研究所)

共同研究者：齊藤享(電子航法研究所)、齊藤昭則(京都大学理学研究科)、

Nicholas Ssessanga (オスロ大学)、

Fu Weizheng(名古屋大学宇宙地球環境研究所)

#### A-2. 研究概要及び成果

GPS観測網 GEONETを用いた電離圏電子密度の3次元トモグラフィの開発に取り組んでいる。電子航法研究所が全国200点から得ているリアルタイムデータを用いたリアルタイム解析を実施中で、毎日の日本上空の電子密度分布を緯度・経度方向の分解能1度×1度、高度分解能20km(全て最大値)で毎15分ごとに得ている。MUレーダーによる電離圏電子密度観測とトモグラフィ解析との比較によると、両者が比較的良好に一致するが、トモグラフィによる電離圏高度が高すぎる傾向があった。さらに最近では、GEONETからのGPS-TECデータに加えて地上のイオンゾーンの一般的な読み取りパラメータを付加する新しい解析法が開発されている<sup>1)</sup>。その結果は良好であり、電子密度の大きさと高さの両方について、通常状態の電離圏に対しても磁気嵐時に対しても、確からしい結果をもたらす<sup>2)</sup>。現在はMUレーダー観測等を用いて、新しいトモグラフィ解析手法の性能評価を進めており、近いうちにリアルタイムサービスを始める予定である。一方で、電離圏の波状構造を解析する新しい手法が開発されている<sup>3)</sup>。電離圏をF層とE層の2層から構成されると単純化したうえで、それぞれの層における電離圏の水平構造を求める。電離圏を1層として単純化する場合の解析に比べると水平分解能が少し劣るが、F層とE層に現れる波動構造の分布・伝搬方向・波長などがうまく分離されることが明らかになった。今後は、電界を通じたF層とE層の相互作用を含む電離圏プラズマの運動を解明する際に有効な手段になると期待される。

#### A-3. 付記

- 1) Ssessanga, N. *et al.*, Complementing regional ground GNSS-TEC computerized ionospheric tomography (CIT) with ionosonde data assimilation, *GPS solutions*, GPSS-D-20-00186R4, May 2021.
- 2) Ssessanga, N. *et al.*, Assessing the performance of a Northeast Asia Japan-centered 3-D ionosphere specification technique during the 2015 St. Patrick's Day geomagnetic storm, *EPS*, **73**(1), doi:10.1186/s40623-021-01447-8, 2021.

- 3) Fu Weizheng, T. Yokoyama, N. Ssessanga, M. Yamamoto and P. Liu, On using a double-thin-shell approach and TEC perturbation component to sound night-time mid-latitude E-F coupling, Earth Planets Space, 74:83, 2022.

## B. 研究課題：地磁気誘導電流と電力系統

### B-1. 研究組織

代表者氏名：海老原祐輔(京大大学生存圏研究所)

共同研究者：後藤忠徳(兵庫県立大学)、亘慎一(情報通信研究機構)、

菊池崇(名古屋大学)、田中高史(九州大学)、藤田茂(気象大学校)

### B-2. 研究概要

磁気嵐など地球周囲の宇宙空間が乱れると送電線に地磁気誘導電流(geomagnetically induced current, GIC)が流れ、停電など送電網に対して深刻な影響を与える可能性が指摘されている。GIC に伴う災害が起こる頻度は極めて低い、ひとたび起これば現代社会に生きる私たちの生命・生存に対し脅威となる。GIC の測定と計算スキームの開発を通し、社会的影響評価に向けた研究基盤の構築を目指す。

### B-3. 研究成果

1989年3月に発生した巨大磁気嵐の影響で、カナダのケベック州では約9時間にわたり停電が発生した。この停電は磁気嵐に伴って流れた過剰なGICと推察されているが、その直接的な原因となった電流系はよく分かっていなかった。この磁気嵐時の太陽風パラメータは得られて

### 太陽風の衝撃波が到来した直後に電離圏を流れる電流

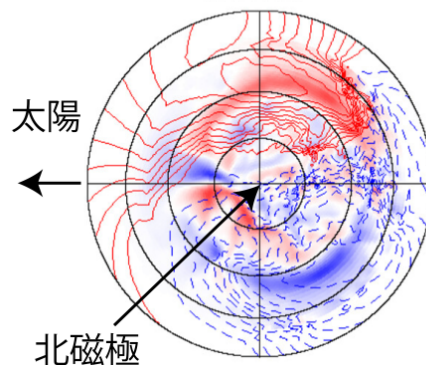


図 B1: 惑星間空間衝撃波が到来した直後の電離圏の様子(太陽は左側、外側の線は磁気緯度 50 度を示す)。コンター線は電離圏の電位ポテンシャルを、色で塗られた領域は沿磁力線電流(赤は下向き、青は上向きに流れる電流)を示す。コンター線に沿ってホール電流が流れ、コンター線の間隔が短いほど多く流れる。夜側でも強いホール電流が流れ、地磁気を大きく乱し、1989年3月にカナダのケベック州で発生した停電の原因となることが推察される。(Zhang et al., 2023 を改変)

いないことから、様々な太陽風条件をグローバル磁気流体力学(MHD)シミュレーションに与え、惑星間空間衝撃波に伴う地磁気変動を計算し、カナダにおける観測結果と比較した。その結果、惑星間空間衝撃波到来後に発生した主パルス(main impulse)によって、ケベック州の停電が引き起こされた可能性が高いことを明らかにした。

#### B-4. 付記

- 1) Zhang, T., Y. Ebihara and T. Tanaka, Nighttime geomagnetic response to jumps of solar wind dynamic pressure: A possible cause of Quebec blackout in March 1989, Space Weather, 21, 11, e2023SW003493, doi:10.1029/2023SW003493, 2023.

### C. 研究課題：MUレーダー・小型無人航空機(UAV)観測による大気乱流特性の国際共同研究

#### C-1. 研究組織

代表者氏名：橋口浩之 (京大生存圏研究所)

共同研究者：Lakshmi Kantha (米コロラド大学)、Dale Lawrence (米コロラド大学)、Hubert Luce (京大生存圏研究所)、矢吹正教 (京大生存圏研究所)

#### C-2. 研究概要及び成果

乱流混合は熱や物質の鉛直輸送に寄与する重要なプロセスであり、これまで、MUレーダーを用いたイメージング(映像)観測により大気乱流の発生・発達・形成メカニズムや、メソ～総観規模現象との関連が研究されてきた。日米仏の国際共同研究により、2015～2017年の6月にコロラド大で開発された気象センサーを搭載した小型無人航空機(Unmanned Aerial Vehicle; UAV)とMUレーダーとの同時観測実験(ShUREX(Shigaraki, UAV-Radar Experiment)キャンペーン)が行われた。UAVは、小型(両翼幅1m)、軽量(700g)、低コスト(約\$1,000)、再利用可能、GNSSによる自律飛行可能で、ラジオゾンデセンサーを流用した1Hzサンプリングの気温・湿度・気圧データに加えて、100Hzの高速サンプリングのピトーセンサーによる乱流パラメータの高分解能データを取得した。UAV測定値との比較により1.3GHz帯大気レーダーで観測されたスペクトル幅 $\sigma$ から乱流エネルギー消散率 $\varepsilon$ を推定する際のモデルについて検討した。従来よく使用されている安定成層条件に対するスペクトル幅( $\sigma$ )の2乗とブラント・バイサラ振動数に比例するモデルでは $\varepsilon$ を過大評価する傾向があり、単純な $\sigma$ の3乗を定数(70m)で割るモデルが最も適していることが分かった。

#### C-3. 付記

- 1) H. Luce, L. Kantha, H. Hashiguchi, D. Lawrence, A. Doddi, T. Mixa, and M. Yabuki, Turbulence kinetic energy dissipation rate: assessment of radar models from comparisons between 1.3 GHz wind profiler radar (WPR) and DataHawk UAV measurements, Atmos. Meas. Tech., 16, 3561-3580, doi:10.5194/amt-16-3561-2023, 2023.

- 2) Hubert Luce, Masanori Yabuki, Hiroyuki Hashiguchi, Koji Nishimura and Lakshmi Kantha, A potpourri of recent experimental and theoretical studies on small-scale turbulence from radiosondes and the VHF MU radar (Japan), FISAPS Workshop on Research Using High Vertical-Resolution Radiosonde Data, Boulder, USA, August 30--September 1, 2023
- 3) Hubert Luce, Masanori Yabuki, and Hiroyuki Hashiguchi, On the turbulent layer depth dependence of TKE dissipation rate from LQ7-WPR and Lidar data analysis, 17th Symposium on MU Radar and Equatorial Atmosphere Radar, Online, September 19-20, 2023.

## D. 研究課題：宇宙からの粒子降り込みによる大気微量成分変動現象の解明

### D-1. 研究組織

代表者氏名：栗田 怜 (京大大学生存圏研究所)

共同研究者：小嶋浩嗣 (京大大学生存圏研究所)、三好由純 (名古屋大学)、  
齊藤慎司 (情報通信研究機構)

### D-2. 研究概要

宇宙空間で自発的に放射される電磁波により、地球大気へ高エネルギーの粒子が降り込む。地球大気に降り込んだ粒子は超高層大気の異常電離・加熱を通して大気微量成分の組成に変化を引き起こす。この過程を理解するため、科学衛星による電磁波・粒子観測と数値実験により降り込み粒子を推定し、大気微量成分の変動現象への理解へとつなげる。

### D-3. 研究成果

地上 VLF 送信局に由来する電波が引き起こす、定常的な電子降り込みの存在について議論するために、磁気圏内における VLF 送信局に由来する電波の空間分布を、あらせ衛星の観測データから統計的に明らかにすることに成功した。また、NOAA/POES 衛星搭載の機器により、VLF 送信局からの電波が磁気圏内を伝搬している領域において、高エネルギー電子の降り込みが発生していることを明らかにした。高エネルギー電子の降り込む量は、VLF 送信局が位置する地方時に強く依存していることもわかった。また、この計測により、降下電子のエネルギースペクトルを推定することが可能となり、今後は VLF 送信局から発せられる電波による電子大気降り込みによって生じる、待機微量成分の変動に関する議論を進める。

### D-4. 付記

- 1) 野田周英ほか、NWC トランスミッターからの信号による高エネルギー電子降下領域のローカルタイム変化、第 19 回 ERG サイエンス会議、2023 年 11 月 28、東京大学本郷キャンパス