

## 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・地上間の関連性

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(京大生存圏研究所)

共同研究者：野崎太成(京大生存圏研究所)、斉藤享(電子航法研究所)、  
Nicholas Ssessanga (オスロ大学)

#### 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、Ssessanga 他によって、GEONET からの GPS-TEC データに加えて地上のイオノゾンデの一般的な読み取りパラメータを付加し、3 次元変分法を用いる解析法が開発されている<sup>1)</sup>。このイオノゾンデデータの組み込みは良い結果を示すが、解析結果の一部に不自然な挙動が残るなどの問題点が残されていた。今年度までに、Ssessanga 他による解析手法を全般的に見直す改良を実施した<sup>2)</sup>。改良範囲は、GPS-TEC とイオノゾンデデータを組み込む観測行列の再設計、観測誤差とモデル誤差の誤差分散行列の検討、評価関数における観測データ項と背景モデル項のバランス調整、収束判定方法の合理化、など解析手法の全般にわたる。これらの改良の結果、イオノゾンデ観測データのある地点周辺の電離圏電子密度のピーク高度およびピーク電子密度の推定精度が大きく改善され、3 次元変分法による電離圏電子密度解析の有用性が示された。さらに計算時間についても、この改良型トモグラフィを用いても、15 分毎のニアリアルタイム解析が可能であることも分かった。

#### 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.

- 野崎太成, イオノゾンデ同化 GNSS 電離圏 3 次元トモグラフィに関する研究, 修士論文, 京都大学大学院情報学研究科情報学専攻 通信情報システムコース, 2025 年 2 月.

## **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(京都大学生存圏研究所)

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が、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に伴い、約 9 時間にわたる停電がカナダのケベック州で発生した。停電の発生時刻は、急始(sudden commencement)と呼ばれる磁気嵐開始時で起こる急激な地磁気変動と対応していることから、惑星間空間衝撃波の到来が原因と考えられるが、その詳細はよく分かっていなかった。3次元電磁流体シミュレーションを用い、急始に伴って増大する沿磁力線電流の原因と、その生成領域を特定した。惑星間空間衝撃波が磁気圏を圧縮し、磁気圏で生成された沿磁力線電流が電離圏と接続して電離圏電流を強め、地上の磁場を乱すまでの全物理過程の詳細を示し、1989 年 3 月にカナダで発生した広域停電の原因となった宇宙環境変動を明らかにした (Zhang et al., 2024)。

### **B-4. 付記**

- Zhang, T., Y. Ebihara, and T. Tanaka, Generation of field-aligned currents in response to sudden enhancement of solar wind dynamic pressure, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 129, e2024JA032768, doi:10.1029/2024JA032768, 2024.

## **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 (京都大学生存圏研究所)

共同研究者：Lakshmi Kantha (米コロラド大学)、Dale Lawrence (米コロラド大学)、Abhiram Doddi (米コロラド大学)、Hubert Luce (京都大学生存圏研究所)、矢吹正教 (京都大学生存圏研究所)

### **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乗とプラント・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、 $\sigma^3$ 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, M. Yabuki, and H. Hashiguchi, Turbulence studies from a Doppler Lidar, a UHF wind profiler, the MU radar and radiosondes in the convective boundary layer, The 16th Workshop on Technical and Scientific Aspects of MST Radar MST16/iMST3, Rostock, Germany, September 9-13, 2024.

## **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(京都大学生存圏研究所)

共同研究者：小嶋浩嗣(京都大学生存圏研究所)、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

大気へ降り込む電子のエネルギースペクトルを理解するうえで、宇宙空間で励起される電磁波の波動強度と周波数の情報は非常に重要である。これらの情報をモデル化することにより、降下電子のエネルギースペクトルを理論的に導出することが可能となり、大気微量成分の変動現象の理解へとつながる。電磁波の波動強度と周波数の情報を統計的に得るために、あらせ衛星で取得された磁界データの統計解析をおこない、磁気地方時や地心距離、磁気緯度、さらには地磁気活動度に応じて変化する波動強度の様相を明らかにした。この統計解析結果をもとに波動強度のモデル化をおこない、構築されたモデルが、統計解析結果をうまく説明することが確認された。今後、この波動強度モデルをもとにして、降下電子のエネルギースペクトルの情報を見積もる数値計算を実施する予定である。

## D-4. 付記

- 1) 栗田怜ほか、Construction of empirical wave power model of chorus waves based on the Arase observation、第 156 回地球電磁気・地球惑星圏学会、R006-07、2024 年 11 月