

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：衛星測位システム(GNSS)を用いた大気圏の変動特性の解明**

**A-1. 研究組織**

代表者氏名：矢吹正教、橋口浩之(京都大学 生存圏研究所)

共同研究者：津田敏隆(京都大学 生存圏研究所)

**A-2. 研究概要および成果**

雨滴が生成されるより前の水蒸気動態の把握は、強雨をもたらす降水系の前兆現象や積乱雲の急激な発達過程の理解の深化に繋がり、ひいては防災気象情報を含む気象予報の精度向上に貢献する。本研究課題では、精密衛星測位システム(GNSS)の電波を大気計測に適用したGNSS気象学による水蒸気量の精密計測についての研究を推進する。2022年度は、GNSS受信機を車載化して可降水量を移動観測するための準備、および予備実験を実施した。大気計測用ライダーと同時に移動計測することで、可降水量や大気微量物質の空間分布把握への貢献が期待される。また、GNSS可降水量計測と、ドップラーライダーや気温ライダーと組み合わせた複合気象観測を信楽MU観測所で実施した。

A-3. 付記

1) Yabuki, M., K. Matsuki, Y. Uchiho, E. Takeuchi and T. Hasegawa, Optical Design of Rotational Raman Lidar Based on Double-Grating Spectrometer for Profiling the Atmospheric Temperature in the Lower Troposphere, AGU Fall Meeting 2022, Chicago, USA; Online, December 12-16, 2022.

**B. 研究課題：GPSを用いた電離圏3次元トモグラフィ**

**B-1. 研究組織**

代表者氏名：山本衛(京都大学生存圏研究所)

共同研究者：斉藤昭則(京都大学理学研究科)、斉藤享(電子航法研究所)、

Nicholas Ssessanga(JSPS外国人特別研究員・京都大学生存圏研究所)

**B-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。JSPS 外国人特別研究員(当時)の Nicholas Ssessanga 博士が、従来の 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する新しい解析法を開発した<sup>1)</sup>。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>。この新しい解析は、2022 年 1 月にトンガで発生した巨大な海底火山噴火に伴う日本上空の電離圏変動の解析にも利用された<sup>3)</sup>。今年にはさらに、GPS-TEC とイオノゾンデのデータ同化を行う際に用いる誤差分散行列について、検討を行い適正化を進めることができた<sup>4)</sup>。今後は、この解析手法のリアルタイム化を推進していきたい。以上に加え、2022 年 8 月 11 日に JAXA 内之浦宇宙空間観測所から打上げられた観測ロケット S-520-32 号機には、独自に開発した 2 周波ビーコン送信機とアンテナを搭載し、観測を成功させることができた<sup>5)</sup>。

### B-3. 付記

- 1) Ssessanga, N. *et al.*, Complementing regional ground GNSS-STECH 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) Saito S., Ionospheric disturbances observed over Japan following the eruption of Hunga Tonga-Hunga Ha'apai on 15 January 2022. *EPS*, 74:57. doi:10.1186/s40623-022-01619-0, 2022.
- 4) 野崎太成, イオノゾンデ同化 GNSS 電離圏 3 次元トモグラフィ解析の改良と事例解析, 学資論文, 京都大学工学部電気電子工学科, 2023 年 2 月.
- 5) 山本衛, 高橋透, 芦原佑樹, 観測ロケット S-520-32 号機と自前開発機器によるロケット-地上間の電離圏全電子数観測, 第 152 回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会, 相模原市立産業会館, 2022 年 11 月 4 日.

## C. 研究課題：地磁気誘導電流と電力系統

### C-1. 研究組織

代表者氏名：海老原祐輔(京大生存圏研究所)

共同研究者：大村善治(京大生存圏研究所)、後藤忠徳(兵庫県立大学)、  
中村紗都子(名古屋大学)、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)

### C-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、停電など深刻な影響を与えることがある。GIC 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。

### C-3. 研究成果

1989 年 3 月に発生した巨大磁気嵐の影響で過剰な GIC が各地の送電網を流れ、カナダでは約 9 時間にわたり停電が発生した。カナダで発生した停電の原因は巨大な惑星間空間衝撃波と考えられている。一般に惑星間空間衝撃波は地磁気を大きく乱すことから大振幅 GIC の原

因の一つとされ、その原因を明らかにすることは太陽活動に伴う停電を防ぐ上で重要である。電磁流体シミュレーションで惑星間空間衝撃波が到来したときの地磁気変動を模擬し、それらが最大振幅となる領域を調べた。地方時に関わらず磁気緯度 60~80 度の広い範囲で地磁気と地電場が乱れ、太陽風速度と太陽風密度が上がるほどその振幅は大きくなった。1989 年 3 月にカナダで停電が発生したときに観測された地磁気変動との比較を行い、停電に至った原因の解明を目指していきたい。

### C-3. 付記

- 1) 張 天, 海老原祐輔, MHD simulations of responses of ionospheric currents and ground electric field variations under different solar wind conditions, 第 152 回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会, 神奈川県相模原市, 2022 年 11 月 3-7 日

## **D. 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**

### D-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)、Hubert Luce (京都大学生存圏研究所)、Richard Wilson (仏 LATMOS, CNRS)、矢吹正教(京都大学生存圏研究所)

### D-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。MU レーダーおよび 1.3GHz 帯大気レーダーで推定された乱流エネルギー消散率と比較し、シアによって生成された乱流に対しては、ブラントバイサラ振動数よりもむしろシアとレーダーで観測されたスペクトル幅の 2 乗から求めるのが良いことが分かった。さらに、シアとスペクトル幅に比例関係があることから、スペクトル幅の 3 乗が乱流エネルギー消散率推定の良い指標になることを見出した。

### D-3. 付記

- 2) H. Luce, L. Kantha, H. Hashiguchi, D. Lawrence, A. Doddi, and M. Yabuki, Estimation of TKE Dissipation Rate from Radar Data using a Weak Stratification Model, 日本気象学会 2022 年度春季

大会, オンライン, 2022 年 5 月 17-20 日.

- 3) Hubert Luce, Hiroyuki Hashiguchi, Laskhmi Kantha, Abhiram Doddi, Dale Lawrence, and Masanori Yabuki, Estimation of Turbulence Kinetic Energy dissipation rate from MST radar and Wind profiler data using in-situ UAV measurements and a Weak Stratification Model, 日本地球惑星科学連合 2022 年大会, 幕張・オンライン, 2022 年 5 月 22-6 月 3 日.
- 4) Hubert Luce, Lakshmi Kantha, Hiroyuki Hashiguchi, Abhiram Doddi, Dale Lawrence, and Masanori Yabuki, Turbulence Kinetic Energy dissipation rate estimated from clear air radar data: comparisons of models in light of DataHawk UAV measurements, Optica Imaging and Applied Optics Congress / Optical Sensors and Sensing Congress, Vancouver, British Columbia, Canada, July 11-15, 2022.

## **E. 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**

### **E-1. 研究組織**

代表者氏名：栗田 怜 (京大生存圏研究所)

共同研究者：小嶋 浩嗣 (京大生存圏研究所)、三好 由純 (名古屋大学)、

齊藤 慎司 (情報通信研究機構)

### **E-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。

### **E-3. 研究成果**

あらせ衛星によって観測された高エネルギー電子フラックスの変動現象の原因に関して、観測データをもとに数値計算を行い、コーラス波動と電子の非線形波動粒子相互作用の重要性を指摘した。この数値計算と観測データの比較により、地球大気へ降り込む電子フラックスの定量評価の精度向上が見込まれている。また、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。この結果をもとに、VLF 送信局から発せられる電波による電子の大気降り込みの量を見積もる研究を進めた。

### **E-4. 付記**

- 1) Kurita, S., et al., High temporal variation in electron fluxes during flux burst events observed by the Arase satellite, 第 152 回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会, 神奈川県相模原市, 2022 年 11 月 3-7 日
- 2) Saito, S., et al., High temporal variation in electron fluxes during flux burst events: Test particle simulation, 第 152 回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会, 神奈川県相模原市, 2022 年 11 月 3-7 日