

ミッション3：「宇宙生存環境」

小嶋浩嗣

京都大学 生存圏研究所

1. 研究組織

代表者氏名：小嶋浩嗣（京都大学 生存圏研究所）

共同研究者：大村善治（京都大学 生存圏研究所）

海老原祐輔（京都大学 生存圏研究所）

畑 俊充（京都大学 生存圏研究所）

栗田 怜（京都大学 生存圏研究所）

2. 研究概要

ミッション3「宇宙生存環境」は、人工衛星、宇宙ステーション、ロケット、地上レーダー、計算機シミュレーションなどをもちいて、宇宙圏・大気圏の理解のための研究を深化・融合させ、生活圏や森林圏との接続性の解明に取り組みます。さらに、太陽フレアを原因とする放射線帯や磁気嵐の変動などの理解を深めて、地球周辺の宇宙空間および月面上での人間活動に対する安全性を評価し対応策を提案できるようにします。気象・測位・通信衛星などの宇宙インフラの維持・発展にも貢献することで、宇宙環境の持続的な利用という社会的要請に応えます。本ミッションでは、宇宙圏環境の理解と利用だけでなく、生存環境としての維持・改善、ひいては大気圏、森林圏、生活圏との接続性も重点化します。

3. 研究の背景と目的

宇宙生存環境に関わる以下の項目の研究を遂行します。

- 月周辺におけるプラズマ・電磁環境に関する研究（栗田、小嶋）
- オーロラ・サブストームを駆動するエネルギー変換機構の特定（海老原）
- 低地球軌道で利用するためのリグニン炭のX線光電子分光分析法による構造解析（畑・小嶋）

4. 研究の結果および考察

月周辺におけるプラズマ・電磁環境に関する研究

月は導電性が悪い上に、太陽風中や地球磁気圏内を移動するため、月表面での帯電状況や周辺電磁環境は、太陽活動の影響を受けて大きく変化する。今後、人類活動が月へ拡大していく中、月周辺で起こる様々なスケールでの電磁現象を理解することは、

月周辺における人類活動において重要な意味をもつ。本研究では、月を周回し、プラズマ・電磁場を計測している ARTEMIS 衛星のデータを用いて、月周辺におけるプラズマ・電磁環境に関するデータ解析を行なった。特に、月周辺において観測される、電子サイクロトロン高調波 (ECH 波) の発生に関してのデータ解析を行なった。ECH 波は、その周波数スペクトル構造がプラズマの状態に強く依存することが理論的に知られている波動である。データ解析を通して、月周辺で観測される ECH 波は月が磁気圏内にある場合にのみ観測され、3 つの特徴的な周波数スペクトル構造に分類できることが明らかになった。また、最もよく観測される、広帯域にわたって高調波が観測される場合においては、衛星を貫く磁力線が月面へ接続した状態で、月から衛星へ向かって電子ビームが到来している場合に観測される傾向が見られた。これは、月面が負に帯電している場合に、月周辺で ECH 波が励起される可能性を示唆している。

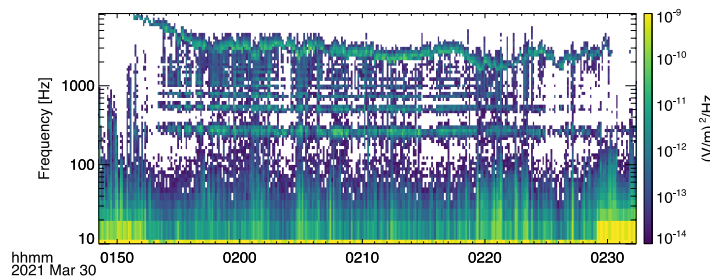


図 1 月周辺で観測される ECH 波の典型的な観測事例。広帯域にわたって高調波が観測される事例が最もよく観測される。

オーロラ・サブストームを駆動するエネルギー変換機構の特定

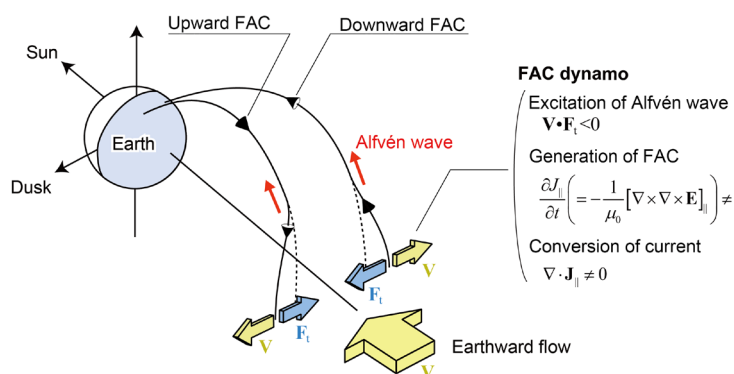


図 2: シミュレーションから予想される「沿磁力線電流ダイナモ」の模式図。①磁気圏尾部で磁気再結合がおこると地球向き的高速プラズマ流が発生する。②地球に近づくと東西方向に分流し、地球の磁力線を引っ張る。③アルベン波と沿磁力線電流が発生する。④アルベン波は沿磁力線電流とともに地球に伝わり、オーロラ・サブストームを駆動する⁽²⁾。

流の発生領域を特定した。そこでは(i)プラズマが磁気張力に対して負の仕事をし(プラズ

サブストームは地球近くの宇宙空間でおこる激烈な突発現象で、激しいオーロラ活動を伴う。このとき極域電離圏ではジェット電流が流れ、 10^{11} W ものエネルギーが消費される。極域電離圏のジェット電流を維持するために必要なエネルギーは沿磁力線電流によって磁気圏から供給されていると考えられているが、その生成原因はよく分かっていない。沿磁力線電流を担うアルベン波のパケットを追跡して発生領域を特定するという新しい方法⁽¹⁾を用い、オーロラ・サブストームを駆動する沿磁力線電

マが磁力線を引っ張り)、(ii)垂直電流から沿磁力線電流への変換がおき、(iii)沿磁力線電流が発生 ($\partial J_{\parallel}/\partial t \neq [-\nabla \times \nabla \times \mathbf{E}/\mu_0]_{\parallel}$) していた。ここで $J_{\parallel}$ は沿磁力線電流、 $\mathbf{E}$ は電場である。この 3 つの条件を満たす領域を沿磁力線電流 (FAC) ダイナモ領域と呼ぶ。FAC ダイナモ領域で生成された沿磁力線電流はプラズマに乗った系で磁場方向に進み、極域電離圏に流入し、オーロラ・サブストームを駆動していると考えられる。この結果は JGR-Space Phys. 誌に掲載された⁽²⁾。



図 3：木質バイオマスによる宇宙材料開発

参考文献：

- 1) Ebihara and Tanaka, JGR-Space Phys., 2022, doi:10.1029/2021JA029991
- 2) Ebihara and Tanaka, JGR-Space Phys., 2023, doi:10.1029/2022JA031011

低地球軌道で利用するためのリグニン炭の X 線光電子分光分析法による構造解析

(共同研究先：神戸大学工学研究科、長野工業高等専門学校、他)

宇宙圏における木質の利用可能性を検討するため、ブナおよびスギから芳香核構造の異なるリグニン(MWL)を調製した。低軌道宇宙環境下で問題となる原子状酸素(AO)に対する抵抗性の付与を目的として、窒素気流下 1 時間 700℃保持して得られた上記のサンプルに、AO 照射を約 60 分間行った。X 線光電子分光分析装置(XPS)を用いて得られたサンプル表面の化学組成と化学結合状態に関するデータを取得した。XPS スペクトルは非単色 Mg K α 線 (1253.6eV)の線源を 15kV、10mA で使用した。未炭素スギ MWL は AO 照射によりリグニン表面においてメトキシル基の酸化分解が生じ、酸性含有官能基の比率は低下した。一方、炭素化されたスギ MWL は C=O 成分が比較的多く、炭素化したブナ MWL は、AO 照射により O-C=O 成分を含む酸素含有官能基を生成し O/C 比の増加につながったと考えられる。樹種や処理により酸素含有官能基の量や種類を変えられる点においてリグニン炭の優位性があると考えられる。

5. 引用文献

- 1) Hsieh, Y.-K., Omura, Y., & Kubota, Y. (2022), Energetic electron precipitation induced by oblique whistler mode chorus emissions, Journal of Geophysical Research: Space Physics, 127, e2021JA029583. <https://doi.org/10.1029/2021JA029583>.
- 2) Ebihara, Y., and T. Tanaka, Where is Region 1 field-aligned current generated? J. Geophys. Res. Space Res., submitted.

- 3) M. Iijima, K. Yamashita, Y. Hirooka, Y. Ueda, K. Yamane and C. Kamimura, Ultrafine bubbles alleviated osmotic stress in soybean seedlings, Plant Production Science, 2021/12, 10.1080/1343943X.2021.2021094
- 4) M. Iijima, K. Yamashita, Y. Hirooka, Y. Ueda, K. Yamane and C. Kamimura, Promotive or suppressive effects of ultrafine bubbles on crop growth depended on bubble concentration and crop species, Plant Production Science 2021, 10.1080/1343943X.2021.1960175
- 5) 畑 俊充、大西慶和、井出 勇、バイオマス炭素化物の機能性発現のための比表面積と空孔径分布の解析、第 385 回生存圏シンポジウム、ADAM/フラッグシップ/ミッション 2 合同シンポジウム(京都、2018.11).