

電磁気圏研究部



研究テーマ・キーワード

- 太陽風エネルギーの磁気圏・電離圏への輸送機構の解明
- 磁気圏・電離圏・熱圏の相互作用の解明
- 地上拠点・ネットワーク観測
- 宇宙惑星空間探査

太陽風から地球磁気圏・電離圏に流入してくるプラズマとエネルギーは、地球周辺の宇宙空間（ジオスペース：Geospace）におけるプラズマの力学的変動を引き起こし、極域のオーロラ発光や超高層大気の擾乱を誘起する。一方、下層大気から伝搬してくる大気波動は、超高層大気内でエネルギーと運動量を放出しながら熱圏・電離圏まで侵入し、中間圏・熱圏・電離圏の大気・プラズマダイナミクスに大きな影響を与えている。電磁気圏研究部は、太陽風エネルギーの磁気圏・電離圏への輸送メカニズム、磁気圏・電離圏・熱圏の相互作用の解明を目指し、高層大気の風や地球磁場の観測、世界的規模の電波観測、オーロラや大気光などの発光現象の観測を国内外の研究者と共同で行っている。また、人工衛星による宇宙空間の探査計画に向けた搭載用機器開発・地上実験設備の整備および地上・衛星観測とデータ解析を進めている。

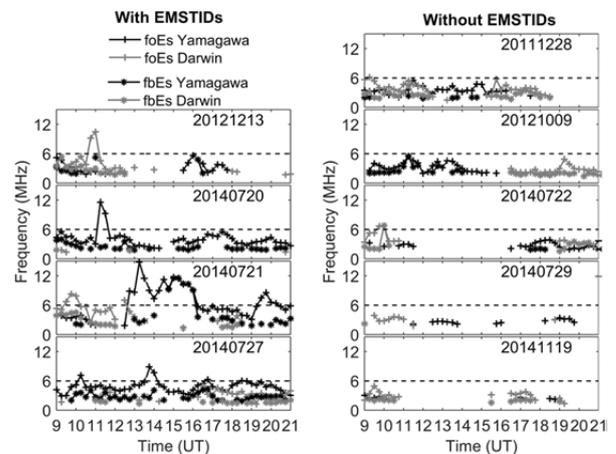
2018 年度の主な活動

PWING プロジェクトによるサブオーロラ帯でのオーロラと電磁波動の観測

PWING プロジェクトは 2016 年度より開始された科学研究費補助金の特別推進研究で、オーロラ帯よりも少し低緯度側の磁気緯度 60 度付近のサブオーロラ帯のカナダ、アラスカ、ロシア、フィンランド、アイスランドの 8ヶ所に、地球を一周するようにオーロラと電磁波動の観測機器を整備し、自動定常観測を継続している。2018 年度の成果として、太陽風の共回転相互作用領域（CIR）の到達に伴って Pc1 地磁気脈動（電磁イオンサイクロトロン波動）が約 200 度もの広い経度範囲にわたって同時に出現した例を見出したことや、あらせ衛星と Van Allen Probe 衛星との同時観測を通してこの波動が放射線帯の高エネルギー電子を短い時間で消失させている証拠を示したことがあげられる。

大気光の分光イメージング観測による中間圏・熱圏・電離圏の研究

高度 80-350 km の夜間大気光を通して、この高さの大気光の輝度分布、風速、温度を計測することができる超高層大気イメージングシステム（OMTIs）を開発・運用し、中

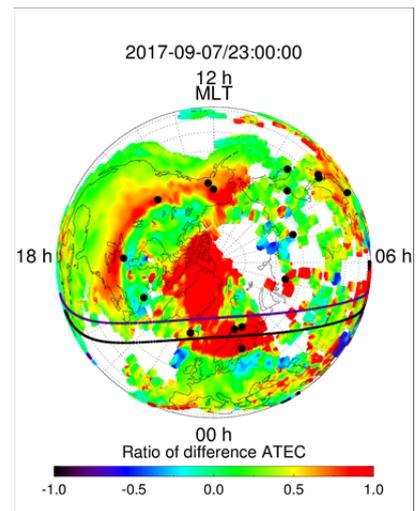


夜間の MSTID が発生した場合（左の 4 例）と発生しない場合（右の 5 例）のスポラディック E 層の強さを表す foEs と fbEs 指数の北半球（山川）と南半球（ダーウィン）での値。MSTID が発生した夜の方が foEs の値が大きいことが分かる。

間圏・熱圏・電離圏を含む超高層大気・プラズマの力学変動を調べてきた。OMTIs はファブリ・ペロー干渉計 (FPI) 5 台、全天カメラ 20 台、掃天フォトメータ 3 台、分光温度フォトメータ 4 台で構成され、2018 年度も数多くの成果が得られている。その一例として、OMTIs とイオノゾンデの観測を組み合わせ、夜間の中規模伝搬性電離圏擾乱 (MSTID) とスボラディック E 層・熱圏中性風の日本とオーストラリアの南北両半球同時観測を用い、夜間の MSTID の生成には電離圏 F 層の Perkins 不安定メカニズムだけでなく、スボラディック E 層が重要な役割を担っていることを観測的に世界で初めて示すことに成功した。

GNSS 受信機を用いたプラズマ圏・電離圏変動の研究

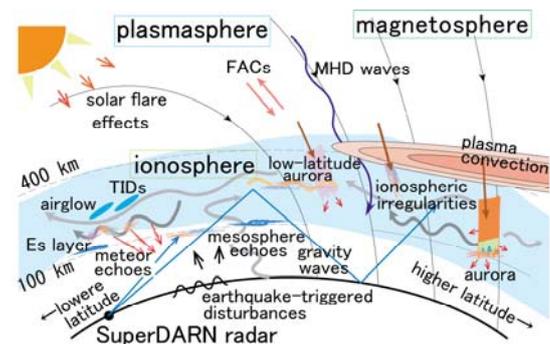
磁気嵐の発達と衰退期における全球にわたるプラズマ圏・電離圏変動特性とその物理機構を明らかにするため、世界中に点在する約 8700 点の Global Navigation Satellite System (GNSS) 受信機データを収集し、1993 年から現在に至るまでの長期の全電子数 (TEC) データベースの構築とその解析ツールの開発を行った。これらの解析環境を用いて磁気嵐時の全球 TEC 変動を解析した結果、磁気嵐主相開始から 1 時間以内に昼間側から午後側の高緯度においてまず TEC の増大域が現れ、その後、その領域が磁気嵐の発達とともに低緯度側へ拡大していくことが分かった。この解析結果は、Storm Enhanced Density (SED) が従来考えられてきたように赤道異常を起源として発生するものではないことを示している。また、北極域の成層圏の温度が冬季に突然上昇する現象である成層圏突然昇温が発生すると、中緯度における昼間の MSTID は抑制されることを明らかにした。この結果は、中層大気における強い東西風によって大気重力波が砕波し、発生した二次的な大気重力波が MSTID の原因になっていることを示唆している。



地磁気座標系における北半球の全電子数マップ。

大型短波レーダーによる研究

SuperDARN 北海道・陸別第一・第二短波レーダーは、第一レーダーの観測開始後約 12 年が経過し、磁気圏から電離圏・熱圏および上部中間圏にわたる領域および領域間結合の研究で着実に成果を上げている。2018 年度は、SuperDARN レーダー網による SAPS と太陽天頂角等各パラメータとの関係の統計特性を明らかにし、高速フーリエ変換手法による中規模伝搬性電離圏擾乱の伝搬速度抽出法の開発を進めた。また 2017 年 1 月に開催した国際ワークショップ以来執筆を続けてきた mid-latitude SuperDARN のレビュー論文が完成し出版された。



SuperDARN レーダーが対象とする現象の概念図 (mid-latitude SuperDARN レビュー論文より)。

次世代の宇宙地球結合系探査衛星計画「FACTORS」の検討

本研究所が主導して実現した地球放射線帯探査用あらせ衛星計画に次ぐ次期探査衛星計画である「FACTORS」の実現に向けて、科学目標と観測対象・手法、複数衛星の編隊飛行とイプシロンロケットによる同時打ち上げ、および衛星管制・運用に関する技術的課題について議論・検討を行った。これらの活動を基盤にして、JAXA 宇宙科学研究所における公式な検討部会 (ワーキンググループ) が承認された。

次世代の宇宙プラズマ直接計測技術開発に向けた二重殻式エネルギー分析器の設計

宇宙プラズマ直接観測用分析器の小型化・軽量化を図り、一つのセンサーヘッドでイオンと電子を同時に観測可能な二重殻式エネルギー分析器の基礎設計を行った。計測すべきエネルギーの電子とイオンが所定の電極間を通過するように、コリメーターの形状および二重殻のドーム型の電極を設計し、性能・特性確認のための数値シミュレーションを遂行し、負高電圧のみで電子とイオンが一つのセンサーヘッドで分析可能であることを確認した。

将来の宇宙探査計画に向けた粒子分析器較正用ビームラインシステムのためのモニタリングシステムの開発

地球惑星超高層大気探査計画のための次世代粒子分析器開発の一環として、室内ビームライン装置を用いた分析器の較正実験を行う必要がある。これに際して、ビームライン装置のためのモニタリングシステムの開発を行い、ビームの2次元断面強度分布と角度-エネルギー分布の測定を目指した稼働試験として、本研究所所有のビームラインを用いてビーム特性を測定する試験を実施した。

EISCAT レーダーを中心とした北欧拠点観測

北欧にて EISCAT レーダーを中心に、複数の観測装置による電離圏・熱圏・中間圏の観測研究を実施している。太陽風-磁気圏-電離圏-熱圏-中間圏相互作用の理解をさらに進めるため、複数の光学・電波観測装置を、EISCAT レーダートロムソ観測所(北緯 69.6 度、東経 19.2 度)を中心としたスカンジナビア半島北部に集約し、拠点観測を実施している。2018 年度、ファブリ・ペロー干渉計、5 波長フォトメータ、多波長全天カメラなどの光学観測装置は、冬期に自動定常観測を実施した。ナトリウムライダーは、5 方向観測で、7 シーズンの観測を行い、これまで約 3000 時間のデータ蓄積があり、そのデータを用いて、大気力学過程、鉛直風、Sporadic Sodium Layer (SSL) の統計研究、オーロラ降下粒子に伴うナトリウム密度変動等の研究を進めた。オーロラ発光の 5 波長同時観測可能なフォトメータを、電気通信大学と協力して新規開発し、2017 年 2 月から冬季自動観測を実施している。このフォトメータの特徴は、400 Hz の高時間サンプリング 5 波長同時観測に加えて、視野方向確認が可能であることである。これまでのフォトメータではなされていない、正確な沿磁力線方向観測を実現した。同時に、EISCAT レーダーを用いた共同利用・共同研究を国立極地研究所と連携して実施した。2018 年度は 12 件の EISCAT 特別実験が採択され、うち 11 件(約 220 時間)を国立極地研究所と連携協力して実施した。また、EISCAT_3D 計画を極地研究所と連携して推進した。2018 年 5 月に開催された日本地球惑星科学連合(JpGU)講演会においては、EISCAT_3D 計画が関係する国際セッション「Study of coupling processes in solar-terrestrial system」を京都大学生存圏研究所および国立極地研究所の共同研究者と共に企画・開催した。

高エネルギー降下粒子の大気微量成分への影響に着目した国際共同研究の推進

オーロラ活動に伴う高エネルギー降下電子は、化学反応を介して大気微量成分(NO_x 、 O_3 など)の密度を変動させ、大気の大気力学・温度場に影響を与える可能性があり、多くの研究者がその観測実証と物理機構の解明を目指している。我々は国際共同研究チームを結成し、EISCAT レーダーや光学カメラ等の地上設置装置や衛星が観測したデータを解析している。今年度は、光学データから高エネルギー降下電子の二次元分布を推測するための基礎技術開発として、EISCAT レーダーと光学分光計との同時観測データを解析した。そして、比較的低いエネルギーの降下電子によって発光する 777.4 nm の輝線には、高エネルギーの降下電子による発光が重複してしまうので、別の輝線である 844.6 nm の方が適していることを、定量的に示した。

SDI-3D プロジェクト：北極熱圏大気プロファイラの開発

熱圏大気プロファイラは、輝線発光しながら移動する地球熱圏大気（高度 90–400 km）の風速と温度を、ドップラーシフト現象を応用して、地上から測定する光学装置である。1 台で、直径 500 km 圏内を分単位で、かつ、水平面内を細かく測定できる。我々は、日本・北欧・米国の研究者からなる国際チームを 2018 年に結成し、3 台の熱圏大気プロファイラを開発して、EISCAT_3D レーダー（2022 年に稼働開始予定）が設置される北欧に展開するプロジェクトをスタートさせた。このプロジェクトを推進するために、名古屋大学初となる、海外大学とのクロスアポイントメントをオウル大学（フィンランド）と締結した。また、フィンランド、ノルウェー、スウェーデンにおいて、地上観測活動を統括する研究機関が、お互いの連携強化を目的とした事務レベル協議を開催しており、その会議に我々も参加して、本プロジェクトへの協力を要請し、賛同を得た。

内部磁気圏における酸素イオン密度増加領域の経度構造の解明

内部磁気圏を飛翔する複数人工衛星の観測データを用いて、酸素イオン密度増加領域の経度方向の構造を初めて明らかにした。低エネルギーの酸素イオンフラックスを直接観測することは難しいが、地磁気脈動が現れているときに、その周期を測れば、酸素イオンがどの程度含まれているのかを間接的に推定することができる。この間接的な方法を、午前側を飛翔するあらせ衛星と午後側を飛翔する Van Allen Probes 衛星のデータに適用し、酸素イオン密度増加領域は、従来想像されていたようなトーラス形（ドーナツのように地球を 360 度取り巻いている）ではなく、三日月形または C 字形をした欠損トーラスではないかということを示した。

磁気インピーダンスセンサーを用いた磁場計測システムの開発

食品工場などで金属性異物の検知用に数万円程度で販売されている「磁気インピーダンスセンサー」を使って、地磁気が計測できないかの実験を行った。屋外でテスト計測を行った結果、磁気インピーダンスセンサーでもフラックスゲート磁力計に匹敵するような精度で地磁気の振動現象がきちんと計測できることが分かった。そこで、磁気インピーダンスセンサーと Raspberry Pi などを使って、地磁気の計測・記録システムを安価に製作し、たくさんの磁力計で密な観測ネットワークを作れないかの検討を進めると同時に、ロケットへの搭載へ向けて計測システムの開発を行った。

観測データのアーカイブ

磁気圏・電離圏の研究に関連した取得データはデータベース化し、ウェブページで公開して共同利用・共同研究に供している。データベースと Web サイトは下記の通り。

データベース名	Web サイト
超高層大気イメージングシステム	http://stdb2.isee.nagoya-u.ac.jp/omti/
GPS シンチレーション	http://stdb2.isee.nagoya-u.ac.jp/QL-S4/
北海道-陸別大型短波レーダー	http://cicr.isee.nagoya-u.ac.jp/hokkaido/
210 度磁気子午面地磁気データ	http://stdb2.isee.nagoya-u.ac.jp/mm210/
ISEE 磁力計ネットワークデータ	http://stdb2.isee.nagoya-u.ac.jp/magne/
ISEE VLF/ELF データ	http://stdb2.isee.nagoya-u.ac.jp/vlf/
EISCAT レーダー、ナトリウムライダー、MF/流星レーダー、光学装置	http://www.isee.nagoya-u.ac.jp/~eiscat/data/EISCAT.html
れいめい衛星データ	http://reimei.stelab.nagoya-u.ac.jp/