

9-1. 基盤研究部門 | 電磁気圏研究部



電磁気圏研究部の研究テーマ・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

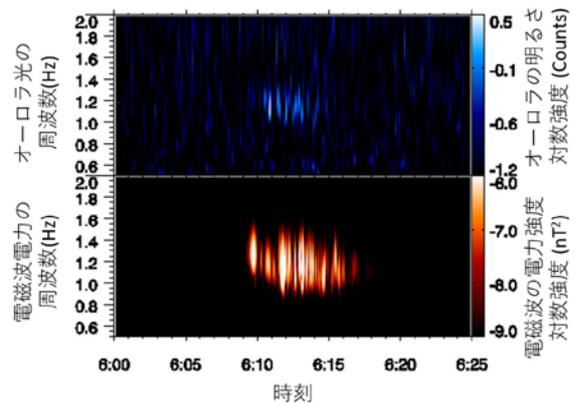
電磁気圏研究部の紹介

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）でのプラズマの力学変動を支配し、極域のオーロラ発光や超高層大気の変動を引き起こします。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を支配しています。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、高層大気の流れや地球磁場の観測、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ます。さらに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ます。

2017 年度 電磁気圏研究部の主要な成果

1. サブオーロラ帯におけるオーロラと電磁波動の観測

2016 年度より開始した科学研究費補助金の特別推進研究「地上多点ネットワーク観測による内部磁気圏の粒子・波動の変動メカニズムの研究 (PWING)」プロジェクトでは、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において、地球を1周するようにカナダ、アラスカ、ロシア、フィンランド、アイスランドの8ヶ所の観測点において、オーロラと電磁波動の観測機器の整備をほぼ終えて、自動定常観測が開始されている。初期結果として、Pc1 地磁気脈動（電磁イオンサイクロトロン波動）の振動と孤立プロトンオーロラの明滅が同じ約1秒の周期で変動していることを発見したり、経度が約30度離れた2地点で磁気圏起源のELF/VLF波動が全く異なった様相を示したりする様子が得られている。



孤立プロトンオーロラの明滅(上)とPc1地磁気脈動の電磁波電力振動(下)とのスペクトル図。同じ1-1.2 Hz程度の周期で振動していることが分かる。

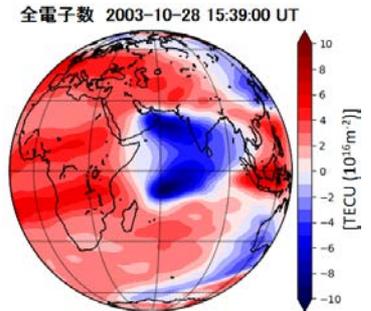
2. 大気光の分光イメージング観測による中間圏・熱圏・電離圏の研究

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 17 台、掃天フォトメータ 3 台、分光温度フォトメータ 4 台で構成されている。OMTIs を使い、アフリカにおける赤道電離圏プラズマバブ

ルとそれに伴う電離圏擾乱の季節変化を明らかにし、日本における中間圏重力波や伝搬性電離圏擾乱の長期変動の研究を進めた。

3. 太陽フレアに対する電離圏応答の研究

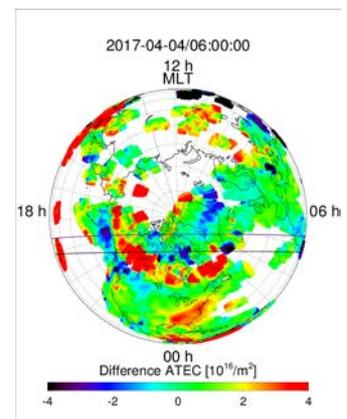
太陽フレアが起これると、太陽から放射された紫外線により昼側電離圏のプラズマ密度が急激に増加することが知られているが、我々は電離圏・大気圏結合全球モデル ground-to-topside model of the atmosphere and ionosphere for aeronomy (GAIA) に改良を加え、太陽フレア時において夕方側低緯度電離圏ではプラズマ密度が減少する原因を調べた。その結果、フレアによって昼側電離圏のプラズマ密度が増加すると、電離圏電流が発達し、その一部が夜側に流れ込むことにより日陰線付近で電場が生成されることが明らかになった。この電場により、電離圏プラズマが低緯度域から高緯度方向に輸送されるため、低緯度においてプラズマ密度が減少する。



太陽フレアのピークから 4.5 時間後における電離圏全電子数分布。電離圏・大気圏結合全球モデル GAIA で計算したもの。平常時からの偏差を示す。

4. 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グローバルなプラズマ圏・電離圏変動特性とその物理機構を明らかにするため、新規にカナダと北欧地域に点在する 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。これらのプロダクトを用いて磁気嵐時における全球 TEC 変動を解析した結果、磁気嵐主相時に夜側オーロラ帯で経度方向に広がった TEC の増大領域が出現し、磁気嵐が発達するにつれて低緯度側へ拡大していくことが分かった。また、その低緯度側では電離圏トラフに相当する明瞭な TEC の減少領域が出現し、その位置は内部磁気圏を飛翔して ERG 衛星で観測されたプラズマ圏界面とほぼ一致することが分かった。



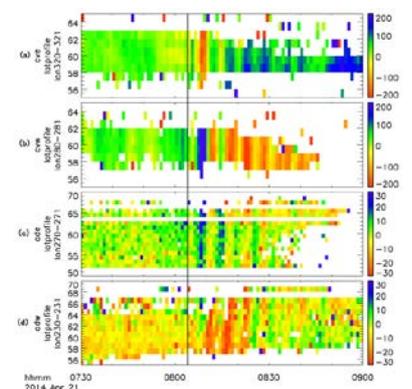
地磁気座標系にプロットした北半球側の全電子数マップ。

5. 月周辺のプラズマ環境に関する研究

月が太陽風中に存在しているとき、月の夜側にはウェイクと呼ばれる低密度領域が形成される。周囲の太陽風プラズマが月のウェイクへ侵入する過程が近年盛んに研究されてきた。私たちは月周回衛星 SELENE の観測データを用いてウェイク境界でのイオンと電子の様子を詳しく調べた。特に太陽風イオンの運動の 3 次元性を考慮することにより、ウェイク境界における「イオン境界層」の存在を提唱した。

6. 大型短波レーダーによる研究

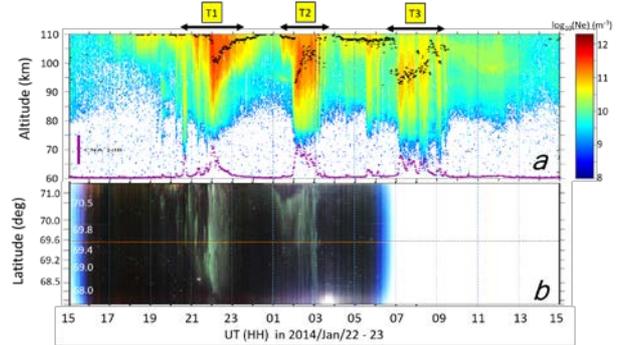
SuperDARN 北海道・陸別第一・第二短波レーダーは、第一レーダーの観測開始後約 11 年が経過し、磁気圏から電離圏・熱圏および上部中間圏にわたる領域および領域間結合の研究で着実に成果を上げている。2017 年度は、SuperDARN レーダー網による太陽風動圧急上昇に伴う電離圏電場振動の特性、および SAPS と太陽天頂角の関係の統計特性を明らかにし、高速フーリエ変換手法による中規模伝搬性電離圏擾乱の伝搬速度抽出法の開発を進めた。また 2016 年 12 月に打ち上げられた、ERG 衛星との共同観測データによる真夜中前・真夜中後の高速フロー特性に関するイベント解析研究に取り組んだ。



太陽風動圧上昇による電離圏電場振動の SuperDARN データによる観測例。

7. 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。2017 年度、ファブリ・ペロー干渉計（FPI）、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。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。2017 年度は 13 件の EISCAT 特別実験が採択され、うち 10 件（約 170 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。2017 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。第 18 回 EISCAT 国際シンポジウムを 2017 年 5 月に国立極地研究所にて開催した。



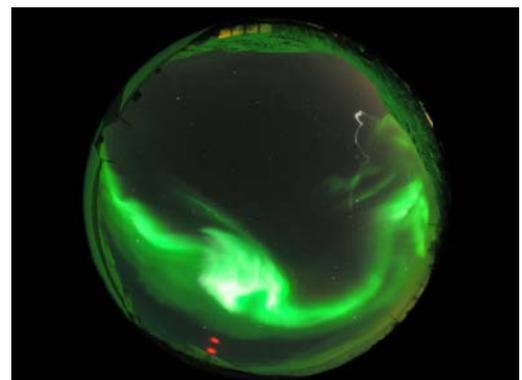
(a) オーロラサブストームが発生するたびに EISCAT レーダーは電子密度上昇を観測し、そのたびに電離の下端高度が低くなる、即ち、降下電子エネルギーが増加することが分かる。(b) 電子密度の上昇はオーロラパッチの成長を伴っていた [Oyama et al., 2017]。

8. 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）の密度を変動させることで大気力学・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研究を行っている。我々は国際共同研究チームを発足させ、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することで、高エネルギー電子降下がオーロラパッチの形成とともに出現することを発見した。

9. オーロラサブストームのオンセットアーク近傍における熱圏応答に関する国際共同研究の推進

オーロラサブストームのオンセット発生に伴い、磁気圏から極域超高層大気にどれくらいの量と範囲にエネルギーが流入し、大気がどのように変化するのは重要な研究課題である。それを解決すべくロケット・EISCAT レーダー・FPI・光学カメラを組み合わせたキャンペーン観測実験（DELTA-2; 2009 年 1 月実施）の詳細解析を行った結果、オンセットアークから 70 km ほどの距離にある熱圏大気（高度約 120 km）は加速を受けていたものの、160–200 km 離れた熱圏大気は目立った変動がなかった。このことから磁気圏プラズマのエネルギーはアーク近傍の限られた領域のみに流入し、大気を変動させることが分かった。本結果を AGU JGR 誌 (Oyama et al., 2017) に発表したところ、Eos Research Spotlight に選出された。



オーロラサブストームのオンセットアーク（画面下部に広がるオーロラ）とロケットから放出された物質が風に吹かれてきた軌跡（画面右上の白い線）。（提供：国立極地研究）

10. トロムソナトリウムライダーを用いた極域下部熱圏・中間圏変動の研究

2017 年 10 月上旬から 2018 年 3 月中旬にかけて、断続的に暗夜期間にライダー観測を実施した。この 2017 年シーズンにおいては、大気温度、風速、ナトリウム密度の 5 方向観測を行った。レーザーを約 1300 時間稼働し、約 450 時間分の大気温度・風速・ナトリウム密度データを取得できた。2017 年 12 月中旬から、2 秒積分および 20 秒

毎波長切り替えモードにて定常的に観測を実施し、常時 1 分値のデータ取得を実現した。これまで 2200 時間以上のデータ蓄積があり、そのデータを用いて、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。

11. 地球極域電磁気圏観測ロケット実験用の超熱的イオン分析器の開発

2017 年 12 月に実施予定であった JAXA 宇宙科学研究所の地球極域電磁気圏観測ロケット実験 (SS520-3 号機実験) に向けて、超熱的イオン分析器の最終較正実験を行った。本研究所所有の超熱的エネルギーイオンビームラインを用いて、10–500 eV の各種イオン (H^+ , He^+ , N^+ 等) を照射し、エネルギー・角度・質量分解能が所定の仕様である事を確認した。また、重水素ランプによる太陽光模擬試験により、分析器内で雑音源となる太陽紫外線の除去性能を確認した。(なお、SS520-3 号機実験はロケット側の問題で打ち上げが 2018 年度に延期されている。)

12. 次世代中性粒子分析器における質量分析法に関する検討

地球惑星超高層大気探査計画に向けて、現在、新規の中性粒子質量速度分析器の開発を進めている。この分析器における質量分析の手法として、これまではベネット型高周波質量分析器に準ずる手法を用いて開発を進めてきたが、実現には様々な技術的課題があるため、新たに Time-of-Flight 法を用いた質量分析について粒子軌道の数値シミュレーションを行い、その実現可能性について検討を行った。

13. 次世代粒子分析器開発に向けたビームラインモニターシステムの構築

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の開発に向けて、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、ビームラインモニターシステムを構築しつつある。このビームラインモニターシステムの実機稼働試験を、本研究所所有、および JAXA 宇宙科学研究所のイオンビームラインを用いて行い、プログラミングにより時間変動補正を行いながら 2 次元プロファイルを取得するシステムの初期稼働を行った。

14. 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/
VHF (30.8 MHz) レーダー	http://stdb2.isee.nagoya-u.ac.jp/vhfr/
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