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擾乱を引き起こします。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。

2016 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年度より新たに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 ロジェクトが開始され、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 の観測機器が順次、整備されつつある。初期結果として、数十秒スケールの Pc1 地磁気脈動(電磁イオンサイクロトロン波動)の強度変動と孤立プロトンオー ロラの1対1の対応関係や、太陽風中のプラズマシート起源で発生した電磁イ オンサイクロトロン波動が高エネルギー粒子の降り込みを引き起こして成層圏 高度の大気に影響を与える可能性の示唆などが得られている。



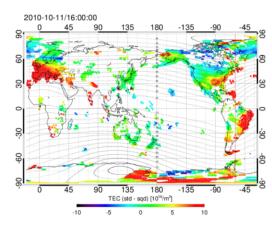
カナダ・アサバスカ観測点で撮影さ れた孤立プロトンオーロラの写真。

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を用い、アフリカにおける赤道電離圏プラズマバブ ルの観測に成功し、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を明らかにした。またオーロラ活 動に対する極域熱圏応答を研究するためにポスドクを採用し研究活動を推進した。

3.太陽フレアに対する電離圏応答の研究

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) を改良し、太陽フ レアに対する電離圏と熱圏の応答を再現できるようにした。さら にモデル計算の結果を解析し、フレア時の昼側低緯度電離圏の電 子密度と電場の変動について、次のような特性を明らかにした。 フレアによって太陽放射が増大することにより昼側電離圏の電 離が強まるため、朝夕の電気伝導度勾配が大きくなる。それによ り朝(夕)側では分極電荷と静電ポテンシャルが減少(増大)す るため、日出(日没)時の東向き電場が弱(強)められる。



GPS 受信機データから求めた全電子数の全球分布。

4. GNSS 受信機を用いたプラズマ圏・電離圏変動の研究

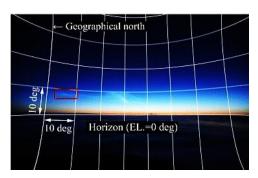
世界各地に設置された約 5600 点に及ぶ GNSS 受信機から取得された全電子数 (TEC) データを解析することで、磁 気嵐の発達と衰退期におけるグローバルなプラズマ圏・電離圏変動の研究を実施した。その結果、磁気嵐の開始から数 時間以内で正午付近のサブオーロラ帯において TEC の増加が開始し、時間の経過とともに TEC 増加領域が拡大してい く様子が判明した。一方、その TEC の増加領域の高緯度側では電離圏トラフに相当する帯状の TEC 減少領域が出現し、 磁気嵐の発達に伴って電離圏トラフの位置が低緯度側へ移動していくことも分かった。さらに、昼間側赤道域の TEC 変動は磁気嵐の発達と衰退期にそれぞれ増加と減少を示し、それらの変動は極域を起源とする対流電場と遮蔽電場の侵 入によるものと考えられる。

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、月が地 球磁気圏衝撃波のフォアショック領域にあるときの様子を調べた。衝撃波面で反射・加速された太陽風イオンが月のウェ イクへ侵入し、2次電子の放出を通じて月の夜側表面の静電ポテンシャルを大きく変えていることを明らかにした。

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 10 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。2016年度は、SAPSの統計特性、中間圏エコーの 統計特性、SIに伴う電離圏変動特性を明らかにし、遠隔受信機デ ータにより電離圏変動特性を調べた。また第一レーダーサイトに 設置したデジタルカメラで2015年6月に日本初観測に成功した夜 光雲の特性について関連データと併せて詳しく調べ、南向き中性 風により極域の大気が日本近辺まで運搬された可能性が高いと結 論付けた。

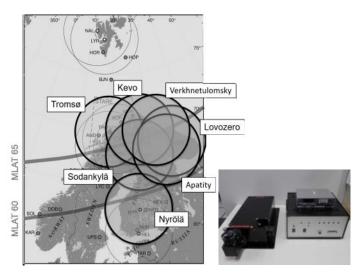


陸別レーダーサイトおよび紋別オホーツクタワ に設置したデジタルカメラにより観測した夜光雲 の写真。三角測量により発光高度が 83.9±0.1 km であることが判明した。

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。2016年度、ファブリ・ペロー干渉 計、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。5 波長フォトメータを 新規製作し、2017年2月から自動定常観測を開始し 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。 2016 年度は 12 件の EISCAT 特別実験が採択され、 うち11件(約160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。2016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。EISCAT 研究集会を 2016 年 3月に国立極地研究所にて開催した。



左:カメラ観測網。

右:新5波長フォトメータの受光部(左)と制御部(右)と制御 PC(右上)。 受光部右側手前に視野確認用デジカメを接続できる。

8. 波動 - 粒子相互作用に着目した地上光学・電波稠密観測網の整備

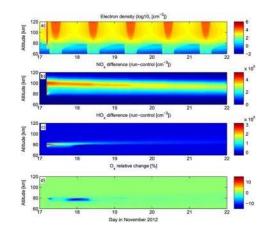
内部磁気圏からプラズマシートは 1 eV から 1 MeV の幅広いエネルギーに分布したプラズマ粒子で構成され、周波数 が 0.1 Hz から 10 kHz のプラズマ波動との相互作用や沿磁力線ポテンシャル分布によって粒子の加速や消失が起きてい る。これらの粒子が高緯度電離圏に侵入することで空間分布や時間変動の特徴が異なる様々なオーロラが発生し、その 特徴は緯度依存性があることが知られている。これら降下粒子エネルギー、プラズマ波動、オーロラ特性の地上稠密観 測を行い、波動-粒子相互作用の解明に向けた観測実証を目指し、EMCCD 高速撮影全天カメラ、高感度全天カメラ、 磁力計、5 波長フォトメータ(427.8, 557.7, 670.5(630 nm へ交換可能)、 777.4, 844.6 nm)を北欧・北米に新設した。過 去の多波長光学データ (2002年10月10-11日) を用いた降下電子エネルギー推定研究を実施した。

9.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

化学反応を介して大気温度場や力学場に重要な影響を及ぼす 大気微量成分 (NO_x, O₃ など) は高エネルギー降下電子による大 気電離により密度変動を起こす。この現象に特化した国際共同 研究チームを結成した。EISCAT レーダーが測定した中間圏高 度の電離現象を Sodankylä Ion Chemistry モデルで再現し、降下 電子によって高度 75 km 付近のオゾンが約 14%減少する可能性 があることを示した。さらに研究を発展させるために、各研究 機関間で人事交流を行った。

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

2016年10月上旬から2017年3月上旬にかけて、断続的に



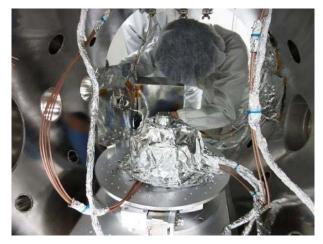
(a) 連続 5 日間の地磁気静穏状態の電離圏に 30 分間のみ 高エネルギー電子降下を発生させた時(2012年 12月 17日 03UT 付近)の電子密度の時間変化。この電子降下によって (b) NO_xおよび(c) HO_xの密度が長時間増加し、その結果、 (d) オゾン密度が高度 75 km 付近を中心に減少する。

暗夜期間にライダー観測を実施した。この 2016 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。高安定度のレンズマウントを導入したことにより、レーザー出力パワーは非常に安定した。レー ザーを約700時間稼働したが、悪天候のため、約100時間分の大気温度・風速・ナトリウム密度データのみ取得で

きた。オーロラ降下粒子に伴うナトリウム密度変動の 解明のため、1秒から最速 0.2 秒値のデータ取得を 4 晩実施した。2012年10月から4シーズン分のデータ を解析し、Sporadic Sodium Layer (SSL) 生成の研究 を進めた。24 イベントを同定し、多くの例で、オー ロラ活動が伴うこと、また発生時刻依存性(20-24 LT) があることが分かった。

11.ジオスペース探査計画「ERG」衛星搭載用プ ラズマ粒子分析器の最終較正実験・試験

地球の放射線帯におけるプラズマダイナミクス の直接観測のため、2016年12月20日に打ち上げ られた ERG (あらせ) 衛星に搭載された 6 台のプ ラズマ粒子分析器の内、中間エネルギーイオン・電



ビームラインの真空槽内に設置された観測ロケット実験用 超熱的イオン分析器。

子分析器の較正実験を、本研究部所有の高エネルギーイオン・電子ビームラインを用いて行った。また、低エ ネルギーイオン分析器の太陽紫外線除去性能の確認試験を行った。

12. 極軌道編隊飛行衛星群を用いた地球電磁気熱圏探査計画の立案・推進

ERG(あらせ)衛星の打ち上げ・初期観測の成功を受け、更に次のコミュニティーミッションを主導するため、 宇宙地球結合系の実証的研究を目指した編隊飛行衛星群による地球電磁気熱圏探査計画の本格的な立案・推進を始 動した。特に、コミュニティーの主要研究者の参画により、観測意義・項目の策定とそれらに必要な観測機器の検 討を行う会合を定期的に主催し、国内外の研究機関と開発メーカーと協同しつつ、成立性・実現性を高めつつある。

13.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月に実施予定である地球極域電磁気圏観測ロケット実験に向けて、超熱的イオン分析器の開発支援を 開始した。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、エネルギー分析部・質量分析部の初期 性能評価実験を実施した。また、黒色塗装を施した分析器に対して、紫外線除去性能の確認試験を行った。

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