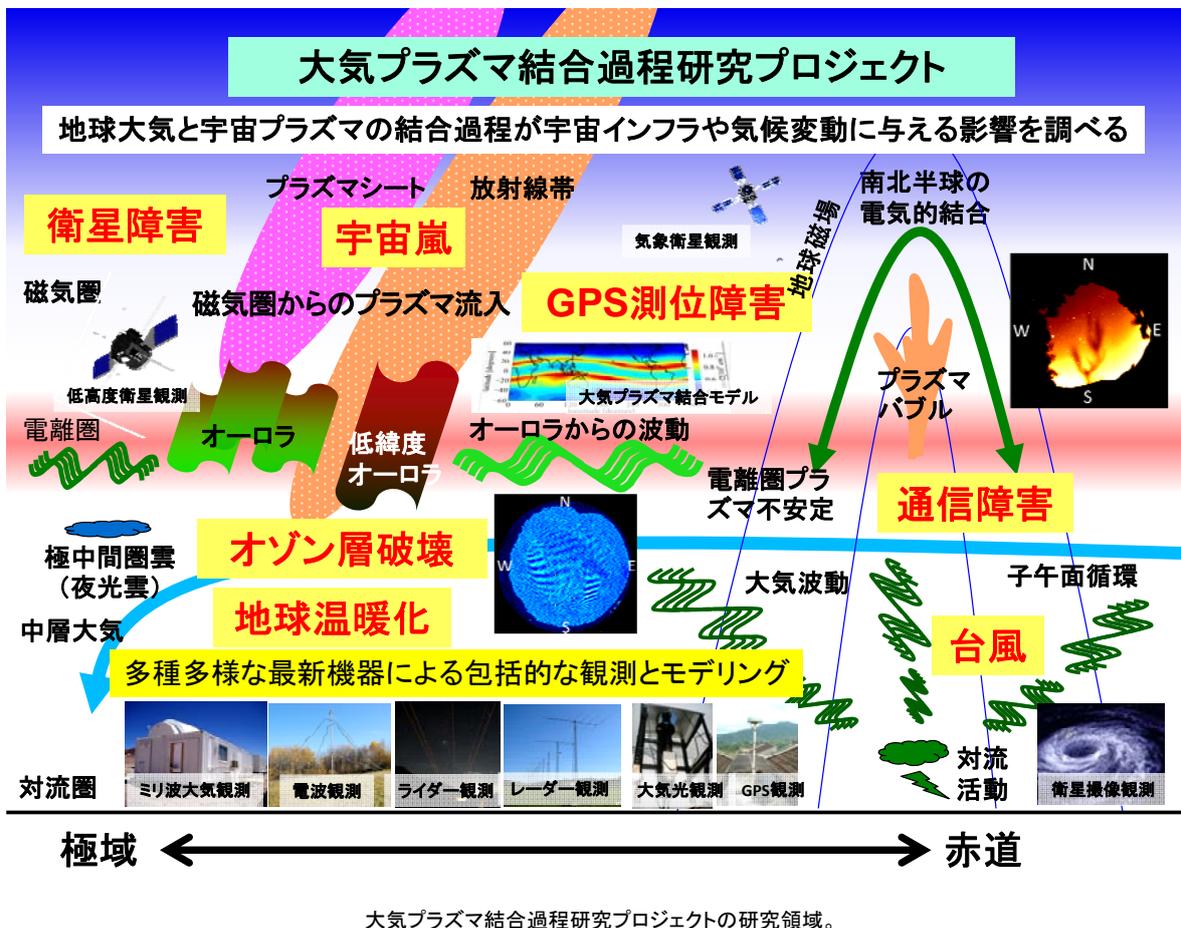


# 大気プラズマ結合過程

高さが 60-1000 km 付近の超高層の地球の大気は一部が電気を帯びたプラズマ状態になっており、電離圏と呼ばれている。この電離圏のプラズマ変動は、人工衛星-地上間通信において通信障害や電波伝搬遅延を引き起こし、GPS 測位や衛星放送などの人類の宇宙利用に大きな影響を与える。このプラズマ変動は、太陽爆発や磁気嵐などに起因する上からのエネルギー流入と、台風や積乱雲などから発生する大気波動として伝搬してくる下からの力学的なエネルギー流入の両方の複雑な相互作用の結果、引き起こされている。また宇宙からやってくる高エネルギープラズマは地球の大気に降り注ぎ、オーロラを起こしたり超高層大気の力学・化学変動を起こしたりして地球の環境に影響を与える。さらに地球温暖化などの長期的な気候変動は、電離圏を含む超高層大気により顕著にその特徴が現れることが温暖化シミュレーションから予想されている。

下の図に示すように、これらの大気とプラズマの結合過程は、高緯度から赤道域まで様々な現象として観測される。極域で光るオーロラは宇宙空間からの高エネルギー粒子の降り込みで引き起こされるが、この粒子降り込みを通して大気は加熱され、そこから大気波動が低緯度や高緯度に向かって広がっていく。一方で赤道では、プラズマバブルと呼ばれる電離圏の不安定現象が頻繁に発生し、衛星-地上間通信や GPS 測位に影響を与えています。これらの現象は、夜間大気光を観測する高感度全天カメラ、地磁気変動を観測する磁力計、強力な電波やレーザービームを上空に打ち上げて超高層大気の変動を測定するレーダーやライダー、超高層大気のオゾンや窒素酸化物などの微量成分を測定するミリ波測定器などで計測することができる。本融合研究プロジェクトでは、地上の広域多点観測網やレーダーなどの大型設備の拠点観測に基づくリモートセンシング、人工衛星による直接観測、およびプラズマと大気の相互作用の地球スケールおよび局所精密なモデリングにより、この大気とプラズマの様々な結合過程を明らかにすることで、人類社会の安全・安心な宇宙利用に貢献する。



大気プラズマ結合過程研究プロジェクトの研究領域。

## 2018 年度の主な活動

本融合研究に関連して、2018 年度は、国際共同研究 11 件、一般共同研究 8 件、研究集会 21 件の合計 40 件の共同研究が推進された。これらの中から、以下に記すように様々な研究成果が得られている。

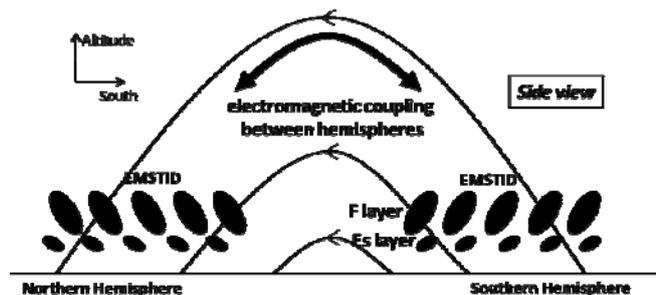
本章の冒頭で説明したように、弱電離大気である電離圏・熱圏を理解するには、プラズマと中性大気の相互作用が基本的かつ重要な観測ポイントになる。北欧で 2022 年に稼働開始を目指す EISCAT\_3D によって、地上からの電離圏測定精度が飛躍的に向上すると期待されている。一方、EISCAT\_3D は中性大気（熱圏大気）の測定を基本的にできないので、熱圏大気を測定する他の手段の準備が急務となる。そこで我々は、輝線発光しながら移動する大気のドップラーシフトから、風速と温度を測定できる Scanning Doppler Imager (SDI) を北欧に 3 台設置することを目指して、国際プロジェクトチーム（日本・アメリカ・フィンランド・スウェーデン・ノルウェー）を 2018 年に結成した。SDI を 3 台設置することで、1000 km 四方の熱圏風速ベクトルと温度の分布を導出できる。EISCAT\_3D と SDI を組み合わせ、世界最高水準の地上観測装置を備えた極域での電離圏-熱圏総合観測環境を実現する。大気微量成分の研究では、ノルウェー・トロンソで FFT プロセッサのトラブルで休止していたミリ波分光計の修理を行い、観測を 2018 年 12 月から再開し、高エネルギー粒子の降り込みにより増加する一酸化窒素分子 (NO) の定常観測を進めている。

この高エネルギー粒子の波動との相互作用による加速過程や電離圏への消失過程を探索する目的で、2016 年 12 月に JAXA 宇宙科学研究所から ERG（あらせ）衛星が打ち上げられ、宇宙空間と地上での共同観測がスタートした。本融合研究プロジェクトでは、このあらせ衛星計画の中心グループの一つとして、衛星観測と地上観測を推進しており、2017 年度につづき、2018 年度にもあらせ衛星と地上観測とのキャンペーン観測を実施した。また、2017 年度に実施した、あらせ衛星と連携地上観測のキャンペーン観測の解析成果が、次々と論文として公表されている。さらに、フィンランドのグループとの共同研究を継続的に行い、高エネルギー電子が中間圏大気に及ぼす影響についての国際ワークショップの開催、クロスアポイントメント制度を利用し、さらなる共同研究体制の強化を目指した人事交流などの研究活動を行っている。

中低緯度では、高感度全天カメラ、ファブリ・ペロー干渉計、イオノゾンデを用いて夜間の中規模伝搬性電離圏擾乱 (MSTID) と背景の熱圏中性風、電離圏の状態を、日本とオーストラリアの磁気共役点で世界で初めて同時計測したデータを解析した。その結果、夜間の MSTID の出現特性は、背景風や電離圏 F 層の状態ではなく、どちらかの半球のスプラディック E 層によって最も大きく左右されていることが分かった。さらに、滋賀県信楽町と北海道陸別観測所で 16 年間に得られた大気光イメージャーの画像に 3 次元フーリエ変換解析を施すことにより、中間圏の大気重力波と電離圏の伝搬性電離圏擾乱について、その季節変化や年々変化、地方時依存性、緯度依存性などを世界で初めて、長期データを用いて系統的に明らかにした。



大気プラズマ結合過程を可視化している極域のオーロラ(2018 年 9 月 16 日にカナダのネーン観測点での ERG 地上連携観測キャンペーン中に撮影)。



夜間の中規模伝搬性電離圏擾乱(MSTID)南北両半球の結合過程の模式図。