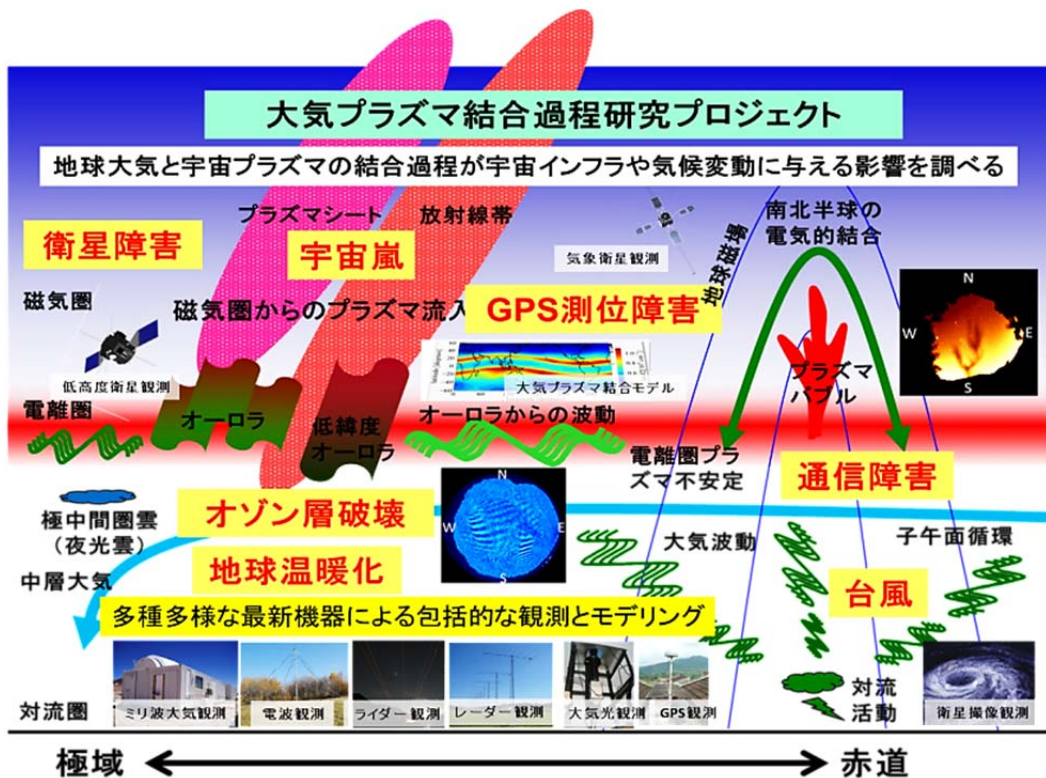


9-3. 融合研究 | 大気プラズマ結合過程

大気プラズマ結合過程の紹介

地球の大気の上部は電気を帯びたプラズマ状態になっており、電離圏を形成しています。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ます。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、引き起こされています。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ます。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ます。

これらの大気とプラズマの結合過程は、下の図に示すように高緯度から赤道域まで、様々な現象として観測することができます。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ますが、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きます。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ます。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します。



大気プラズマ結合過程研究プロジェクトの研究領域。

2016 年度 大気プラズマ結合過程の主要な成果

本融合研究に関連して、2016 年度は、国際共同研究 11 件、一般共同研究 8 件、研究集会 18 件の合計 37 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。

極域の変動に関しては、オーロラ帯の中でも赤道側に現れる明け方付近の脈動オーロラパッチに着目した観測研究を、ファブリ・ペロー干渉計や高感度カメラなどの光学測器、EISCAT レーダーやリオメータなどの電波測器、衛星搭載の粒子・波動計測器を組み合わせて実施した。これらの観測から、磁気圏のコラス波動が観測されている時間帯にオーロラパッチが成長を始め、それと同時に数百キロ電子ボルト以上の電子降下が発達することを電離圏観測によって示した。また EISCAT レーダーで測定される電子密度や多波長光学カメラの画像を解析することで、パッチ周辺の電離圏密度には局所的な水平勾配が存在することが示された。この結果は、パッチ周辺の熱圏の風速に見られる局所的な擾乱の発生機構を解明する鍵になると期待されている。

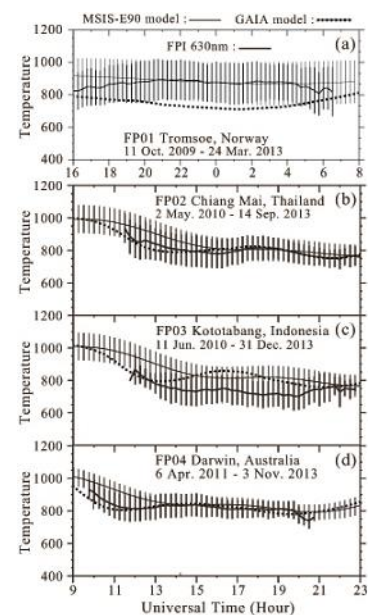
さらに磁気圏のコラス波動による極域の数百キロ電子ボルト以上の相対論的電子の電離圏への降り込みに関する研究を進め、コラス波動が高緯度に伝搬することにより、背景の磁場強度が変わり、数キロ電子ボルトから数メガ電子ボルトに至る広いエネルギー帯の電子をこの波動が散乱することができること、したがって、脈動オーロラおよび高エネルギー電子降りこみのマイクロバースト現象が同一のものであることをシミュレーションによって示した。さらに、脈動オーロラのとときに相対論的エネルギー電子の降り込みが中間圏の大気に及ぼす影響について、フィンランドのグループと共同研究を進め、高度 70–80 km 付近において HO_x 、 NO_x の増加と O_3 の減少を引き起こすことをシミュレーションによって示すことができた。これらの微量大気成分に関しては、ノルウェー・トロムソで進めていたミリ波分光計の設置が完了し、オゾン試験観測に成功している。

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 月に宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 宇宙科学研究所から「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 3 月には「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。このキャンペーン期間中には運よく連続的な磁気嵐が発生しており、今後の解析が楽しみである。

一方中低緯度では、インドネシアにおいて、赤道大気レーダーによる沿磁力線不規則構造 (FAI) とファブリ・ペロー干渉計による熱圏中性風・温度の同時観測に成功し、真夜中に熱圏中性大気温度が極大になる現象がレーダー・テラー不安定によるプラズマバブルの成長に寄与していることを観測的に示すことに初めて成功した。このファブリ・ペロー干渉計は、オーロラや夜間大気光の発光輝線のドップラー効果を利用して、高さが 200–300 km 付近の熱圏・電離圏の中性大気の風速や温度を地上からリモートセンシングできるほとんど唯一の機器である。当融合研究プロジェクトでは、5 台のファブリ・ペロー干渉計をノルウェー、日本、タイ、インドネシア、オーストラリアに配置し、極域から赤道域にわたる広い範囲で、熱圏の風や温度を測定し、大気とプラズマの結合過程を調べている。2016 年度には、これらの機器で得られた熱圏の温度を、経験モデルである MSIS やグローバルシミュレーションである GAIA モデルと比較し、これらのモデルの検証を行った。



極域で観測される脈動オーロラパッチ (2017 年 3 月 21 日、アイスランド)。



極域から低緯度まで 4ヶ所で 3–4 年間に FPI で観測された夜間の熱圏温度と、MSIS/GAIA モデルの熱圏温度の比較。