



塩川 和夫 教授



西谷 望 准教授



能勢 正仁 准教授



Claudia Martinez-Calderon 准教授



中島 拓 助教

地球周辺の宇宙空間と超高層大気を観測的に研究し未知の現象の発見とその原因の解明・人類の宇宙利用への応用をめざす。

本研究グループは、地球周辺の宇宙空間（ジオスペース）とそれにつながる超高層大気の変動を観測的に研究しています。この領域は、太陽からのプラズマが地球の磁場にとらえられて磁気圏を形成し、さらに大気に降り込んでオーロラを光らせたり大気を加熱したりする上からの過程と、対流圏などの下層大気からの波のエネルギーが超高層大気に伝わって変動を引き起こす下からの過程があり、この上下からのエネルギー流入によって常に変動しています。私たちの研究は、この領域で発生している未知の現象の発見とその原因の解明という理学的な側面と、人類の宇宙利用への応用という工学的な側面があります。

研究手法として、オーロラなどの大気発光の高感度分光機器、大型レーダー、レーザーレーダー、GPS 受信機、磁力計、VLF 電波アンテナ、ミリ波・サブミリ波分光計、人工衛星の搭載機器などを開発し、観測に基づいた研究を行っています。これらの機器を国内・海外のフィールド観測点に設置し、地球規模のグローバルな研究を国際協力のもとで行っているのも特徴です。私たちの研究室は、工学系の学生と理学系の学生と一緒に研究をしているユニークな研究室です。さらにフィールド観測のために海外の観測点に出張することがあるとともに、国際共同で世界最先端の研究をしているので留学生や外国人の客員研究者が研究室に滞在するなど、国際的な研究環境となっています。

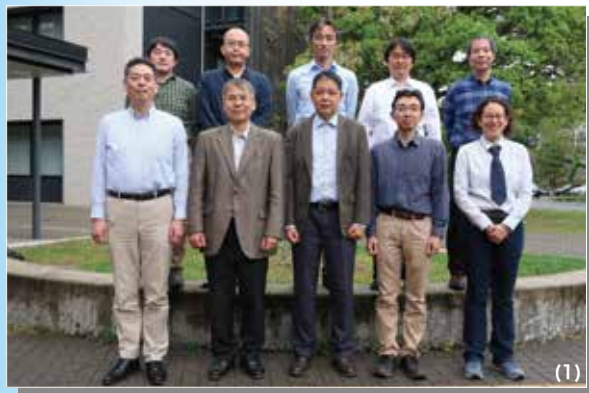
オーロラや電磁場観測を通じた電磁気圏の研究

オーロラはジオスペースのプラズマが大気に衝突して大気が光る現象です。プラズマは目に見えませんが、オーロラを通して地球周辺のプラズマの動きを画像としてとらえることができます。またオーロラは電磁気圏に様々な電磁場変動を引き起こします。サブストームと呼ばれるオーロラが爆発的に活動する現象や、周期的に点滅するオーロラなど、オーロラに関連する地球周辺のプラズマ現象には、まだまだ未知な点が多いのです。オーロラは超高層大気を加熱し、その高度の大気の地球規模の変動を引き起こし、人工衛星の軌道を変えることもあります。

私たちは、カナダやノルウェーでオーロラの高感度分光観測や関連する磁場・電場・波動・大気変動の観測を行い、オーロラに関連したジオスペース・超高層大気の現象を研究しています。またオーロラを引き起こすプラズマを人工衛星から直接計測する粒子分析器の開発も行っています。



カナダで観測されたオーロラ



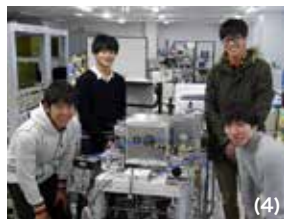
(1)



(2)



(3)



(4)



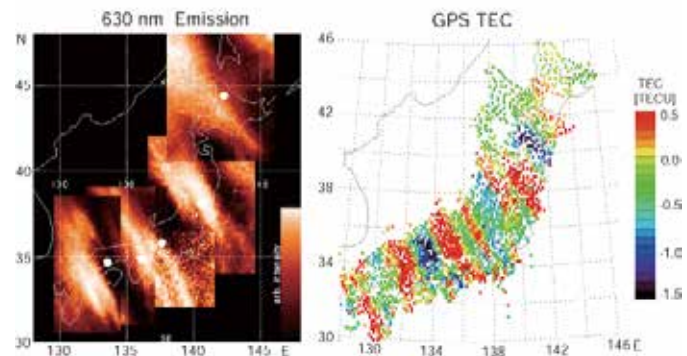
(5)



(6)

中緯度の超高層大気・電離圏の研究

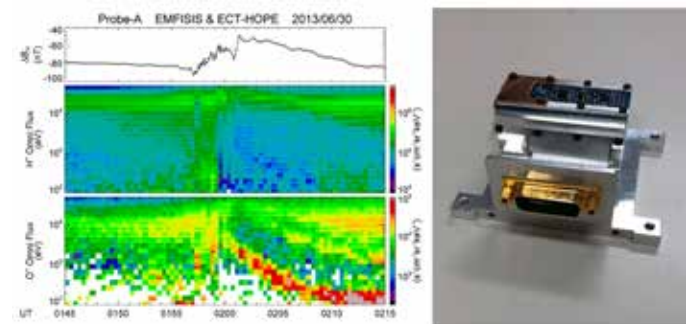
高さが 80km 以上の中間圏・熱圏と呼ばれる超高層大気や電離圏にはいろいろな空間波長を持つ波動が昼夜の別なく存在しています。例えば水平波長が 1000km 以下の電離圏の波動を "MSTID (中規模伝搬性電離圏擾乱)" と呼びます。私達は、夜間大気光（高度 80 ～ 300km の大気が夜間に発光する現象）を測定するための全天カメラを国内の 4 点とオーストラリア、インドネシア、タイ、カナダ、ロシア、ノルウェー、ハワイなどに設置して、MSTID などの大気波動をイメージング観測しています。また、高度約 2 万 km を飛翔する GPS 衛星が発射する 2 周波の電波を地上で受信して、電離圏の電子密度のイメージング観測をしています。さらに国際宇宙ステーションから大気光を観測するプロジェクトにも参加しています。これらの観測を通して、超高層大気や電離圏の変動を研究しています。これらの超高層大気・電離圏の変動は、人工衛星ー地上間の通信に影響を与えたり、GPS の測位精度を落としたりして、宇宙空間を利用した人類活動にも影響を与えます。



同じ時刻の大気光観測（左）と GPS 観測（右）から得られた、日本列島の上空を北東から南西へ伝搬する MSTID

地上と衛星の磁場計測器による磁気圏環境の研究

地球の持つ固有磁場は、人工衛星が飛翔する宇宙空間にまで張り出して磁気圏を作っています。地上や人工衛星で磁場を計測していると、その大きさや向きが非常に激しく変化する "磁場双極子化" という現象や、きれいな正弦波的变化を示す "地磁気脈動" が観測されます。私たちは、磁場双極子化が起こると磁気圏のプラズマが加熱され、特にその中でも酸素イオンだけに選択的に働きかけるメカニズムがあることを発見しました。また、地磁気脈動がある条件を満たすときに、プラズマの運動と共鳴を起こし、プラズマの加熱が起こることも分かってきました。このように磁気圏の環境は磁場の変化によって大きく左右されるため、その物理メカニズムの解明や磁気圏環境のモニターという観点から磁場観測やデータ解析による研究を行っています。また、新しい原理を用いた磁場センサーを用いて、地磁気計測・記録システムの開発も進めています。



(左) 磁気圏で観測された磁場双極子化現象とそれに伴う水素プラズマと酸素プラズマの加熱の様子。(右) 現在開発中の地磁気計測システムのセンサー部分

大型短波レーダーによる電離圏・熱圏変動の研究

電離圏のプラズマは激しい擾乱状態になることがあります。私達は大型レーダーを使って乱流の研究を行っています。強力な電波を上空に発射し、乱流プラズマで散乱されたレーダーエコーを調べることで、乱流の生成機構や無線通信などへの影響を知ることができます。また私達は、南北両半球に多数設置されている大型短波レーダーを用いて、高・中緯度電離圏内のプラズマの運動の研究を行っています。特に 2006 年 11 月と 2014 年 10 月には北海道陸別町に二基の大型短波レーダーを設置し、継続的な観測を行っています。このレーダーは、従来から観測空白域となっていた北海道からシベリア、アラスカに至る広範囲の電離圏や下部熱圏を探索することができる世界的にもユニークなものであり、中緯度電離圏と高緯度電離圏が力学的・エネルギー的にどのように結合しているかを研究するための新しい観測手段となります。



北海道ー陸別短波レーダーの巨大なアンテナ群

ミリ波ラジオメータによる中層大気微量分子の研究

地球大気の大部分（約 99%）は窒素と酸素から成りますが、それ以外の成分（大気微量成分といいます）も地球環境の成り立ちに深く関連しています。私たちは、南極や南米、北欧など世界 5 か所に展開したミリ波ラジオメータ（電波分光観測装置）による地上からのリモートセンシングにより、成層圏から中間圏（高度約 10 ～ 80km）の大気に含まれる様々な微量分子を長期的に観測して、地球大気組成変動に対する人間活動の影響のほか、太陽活動やオーロラなど自然現象の影響について明らかにすることを目指しています。また、超伝導金属を用いた量子雑音限界に迫る高い感度を持つ検出器や、超高周波電波を低損失に伝送できる立体導波管回路による新たな観測技術の研究や観測システムの開発も行っており、これは大気環境計測だけではなく電波天文学分野などへの幅広い応用も目指しています。



ノルウェーに設置したミリ波ラジオメータの外観（左）。大学院生と共に設計開発を行った超伝導検出素子（右上）および導波管型周波数分配器（右下）

写真の説明：左より、(1) 教員の集合写真、(2) カナダ・Nain 観測点でのオーロラ観測、(3) 高感度全天カメラの較正実験、(4) ミリ波帯超伝導検出器の開発実験装置、(5) オーロラ電波を観測するアンテナのケーブル設置作業（カナダ）(6) 陸別 HF 第一レーダーサイト前での集合写真

Webページ：<https://www.isee.nagoya-u.ac.jp/dimr/>
連絡先：shiokawa@nagoya-u.jp (塩川)

