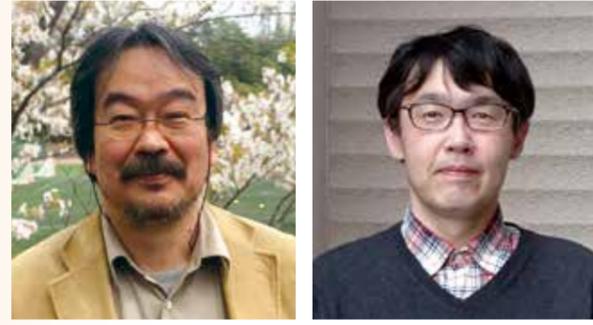


AM

大気圏環境変動研究室



水野 亮 教授 長瀬 智生 准教授

観測・実験により大気の状態を正確に捉え、大気変動を引き起こしている自然的・人為的要因とそのメカニズムを解明する。

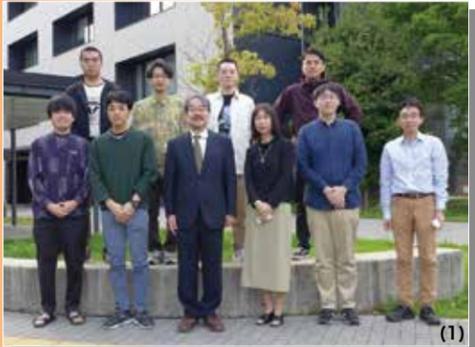
地球誕生以来、約 46 億年という非常に長い時間をかけて形成された地球大気。大気は動植物の生命活動に不可欠であることはもちろん、太陽から受け取った放射エネルギーの一部を吸収・反射し、地表の温度を一定に保つ働きを担っています。しかし近年、産業革命以降の人間活動の急速な拡大によって、地球大気の状態は遥かに短い時間スケールで、大気環境に様々な問題を生じています。例えば、二酸化炭素やメタンなどの温室効果気体の濃度は増加し続け、気候変動への影響が懸念されています。また、エアコンの冷媒等に使用されてきたフロンガスをはじめ人工物質の使用によるオゾン層の破壊、航空機や自動車から排出される窒素酸化物や硫黄酸化物のもたらす酸性雨等、深刻な影響が現れています。大気環境変動は人類の未来に直接関わる問題です。将来の環境変動を正しく予測するためにも、観測に基づいて大気の状態を正確に捉え、大気変動を引き起こしている自然的・人為的要因とそのメカニズムを解明する必要があります。大気圏環境変動 (AM) 研究室では、最先端技術を駆使して開発した電波受信技術・赤外線分光技術を用いて、フィールド観測や室内実験によって大気環境変動の諸問題に真正面から迫っています。また、地球大気の状態を正確に捉え、大気変動を引き起こしている自然的・人為的要因とそのメカニズムを解明する必要があります。大気圏環境変動 (AM) 研究室では、最先端技術を駆使して開発した電波受信技術・赤外線分光技術を用いて、フィールド観測や室内実験によって大気環境変動の諸問題に真正面から迫っています。また、地球大気の状態を正確に捉え、大気変動を引き起こしている自然的・人為的要因とそのメカニズムを解明する必要があります。

中層大気微量成分の短期・長期変動観測による太陽活動の地球大気環境への影響の解明

中層大気といわれる高度 15 km から 80 km までの成層圏・中間圏では、大気中の微量成分組成は地球内外の環境変動の影響を受けて常に変動しています。例えば、温室効果ガスの排出等による気候変動や特定フロン等の排出によるオゾン層破壊など人為的な環境変動だけでなく、11 年周期の太陽活動の変化や季節変化、磁気嵐等の地球周辺環境の突発的な変化、大気波動や火山活動、エルニーニョなどの自然変動も大気の輸送や化学反応を介して大気微量成分の組成に影響を与えています。しかし、環境変動はごく微小であったり長期に及んだりするため、これらと大気組成変動との関連はまだまだ十分には理解されていません。そこで私たちは大気中の分子から放射される微弱な線スペクトルを捉える超伝導ミリ波分光計を北海道、南極昭和基地、北極ノルウェー、南米アルゼンチンなどに展開し、オゾンやオゾン破壊関連分子、二酸化炭素などの温室効果ガスなどの様々な大気微量分子の高度分布の観測的研究を進め、太陽活動の影響を受けやすい中間圏や、大気輸送と化学反応が影響しやすい下部成層圏などの組成変動メカニズムの解明を皆さんとともに目指します。



北極ノルウェー・トロムソに設置した超伝導ミリ波分光計用コンテナハウス (中央) とオーロラ



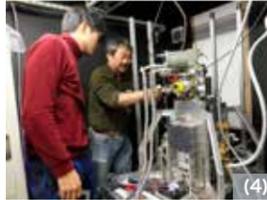
(1)



(2)



(3)



(4)



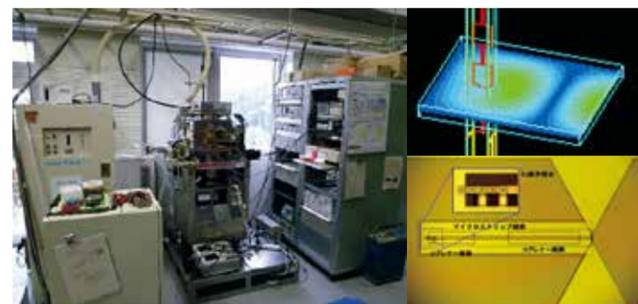
(5)



(6)

微弱な大気分子スペクトルを検出する超伝導薄膜センサーを用いた観測装置の開発

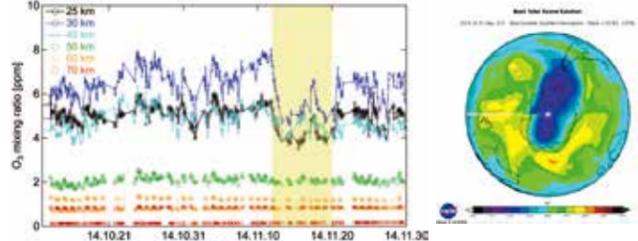
オゾンなどの大気分子の観測には、ミリ波～サブミリ波という非常に波長の短い電波を使います。私たちは、大気中の微量分子が発する微弱な電波を高い感度で検出するため、宇宙電波の観測でも用いられている超伝導薄膜センサー (超伝導 SIS 素子) を自分たちの手で設計・開発しています。超伝導 SIS 素子は、等価電気回路シミュレーターや有限要素電磁界シミュレーターなどを用いて設計し、専用のクリーンルームの中で超伝導薄膜を積層して製作されます。これまでに、110GHz 帯 (波長約 2.7mm)、250GHz 帯 (波長約 1.2 mm) で量子雑音限界に迫る高感度なセンサーを開発するとともに、このセンサーを用いた受信機システムを実用化し、北海道・陸別町 (1999 年～)、チリ・アタカマ高地 (2005 年～2015 年)、南極・昭和基地 (2011 年～)、アルゼンチン・リオガジェゴス (2011 年～) において、長期に渡るモニタリング観測に使用しています。大学院生の皆さんは、世界最先端のテクノロジーによる開発から、実際のフィールドでの観測、データ解析アルゴリズムの開発に至るまで、スタッフとともに首尾一貫して研究に取り組んでいきます。



北海道の陸別観測所に設置されたミリ波分光計 (左)、電磁界解析による導波管回路の電波伝搬の計算 (右上)、超伝導 SIS 素子中心部の顕微鏡写真 (右下)

南米におけるオゾン / 紫外線、エアロゾル観測網の整備とリスク情報伝達システムの開発

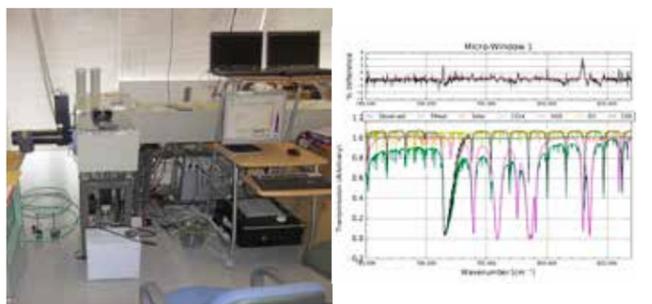
南米大陸南端部では、オゾンホールが上空にまで張り出してくることがしばしばあります。地域住民にとってオゾンホールは南極の特別な現象ではなく、日常生活に影響を及ぼします。私たちは南米のアルゼンチン、チリとの国際協力のもと、超伝導ミリ波分光計をはじめとして、オゾンライダー、紫外線分光計、オゾンゾンデなどの最先端の観測機器を南端部の大気観測所に整備しオゾン層 / オゾンホールのモニタリングを行っています。また、南米では数年に一度程度の頻度で南米アンデス山脈の火山が噴火を起こし、成層圏に吹き上げられた火山灰が数千 km 彼方まで飛んで行き飛行機の運航に影響を与えることがあります。火山灰の動きをモニターし予測するためのエアロゾルライダー観測網を国立環境研究所および現地の研究者とともに整備をしました。そして、研究機関はもとより両国の環境省、気象局、保健省、鉱山省、危機管理局の行政官らと協議をしながら、観測データをもとに必要時にオゾン / 紫外線や火山灰の注意報や警報を一般市民や関係諸機関に配信するリスク情報伝達システムを新たに開発し、国際社会にも貢献しようとしています。



南米南端のリオガジェゴスでのオゾンの高度別混合比の時間変化。黄色い網かけがオゾンホール通過時 (左)。NASA の人工衛星による 2014 年 11 月 13 日のオゾン全量マップ (右)

赤外分光観測による対流圏・成層圏微量成分の長期変動とその影響評価

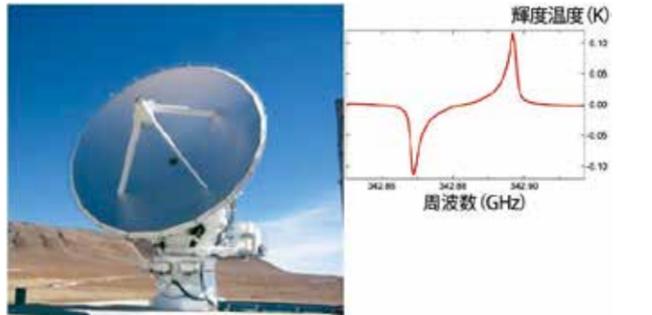
二酸化炭素やメタンなどの温室効果ガスに代表されるように、大気中の気体分子の多くは赤外線に対して強い吸収をもっています。そこで赤外線での吸収量を波長ごとに細かく測定することで、気体分子ごとの大気中の存在量を知ることができます。私たちは、1995 年北海道陸別観測所に高分解能フーリエ変換型赤外分光器 (FTIR) を、また 2014 年からは同地に国立環境研究所が設置した新型高分解能 FTIR を用いて太陽光の分光観測を共同で行っています。太陽光のスペクトル中には、大気中の微量分子ごとの吸収成分 (吸収スペクトル) が表れます。そこで、観測されるスペクトルからオゾンや塩酸、フロンガス、二酸化炭素、メタン、エタン、一酸化炭素など 10 種類以上の気体成分の大気中の気柱量や高度分布を求め、その時間変動を長期間にわたって監視することで、気候変動などのグローバルな地球環境変動への影響評価を行っています。また森林火災や都市域で発生する汚染大気の大気輸送の影響など、地域スケールでの大気質時間変動の影響評価も併せて進めています。



陸別観測所で稼働している高分解能 FTIR (国立環境研究所が保有) (左) と観測されたオゾン、水蒸気、二酸化炭素及び四塩化炭素の吸収スペクトル (右)

ミリ波・サブミリ波望遠鏡による太陽系内惑星の大気環境変動の観測的研究

私たちは理学研究科の「NANTEN2」や、国立天文台の「ASTE」や「45m 望遠鏡」などのミリ波・サブミリ波電波望遠鏡を用いて、太陽系内惑星の観測を進めています。惑星大気中の微量成分の同位体比や組成変動を観測することで、現在の惑星の気候や大気組成、太陽活動・宇宙線や彗星衝突などの外的要因が惑星大気に与える影響、さらには太陽系や惑星の形成機構や生命の起源、そして地球大気の独自性や将来予測について理解を深める上で重要な知見が得られます。2012 年からはアタカマ高地にて日・欧・米の国際協力による「ALMA」大型電波干渉計が本格観測を開始し、太陽系内惑星をこれまでになく超高空間・速度分解能で観測したデータが次々とたらされています。惑星大気組成・ダイナミクスの研究において、これらのデータを活用することで大きなブレイクスルーが期待されています。私たちは ALMA を含めた国内外の望遠鏡を駆使し、皆さんと一緒に惑星の大気観測を進め、そこでの大気環境変動の実態に迫ります。



ASTE 望遠鏡 (左) で火星の硫化炭素 (CS) を観測した場合のシミュレーションスペクトル (右)

写真の説明: 左より (1)AM 研集合影、(2) 院生が参加した南極観測隊、(3) 学会発表風景、(4) ノルウェーでのミリ波観測、(5) 実験室で装置開発、(6)AM 研暑気払い (2019 年の写真)

Webページ: <https://skx1.isee.nagoya-u.ac.jp/>
連絡先: mizuno@isee.nagoya-u.ac.jp (水野)

