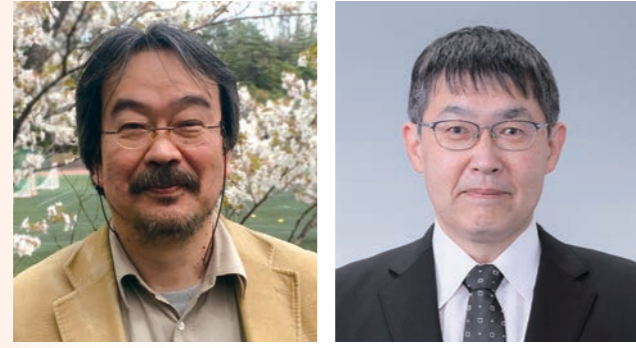


AM

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、地球大気の状態に比べれば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・長期変動観測と太陽活動の地球大気環境への影響の解明

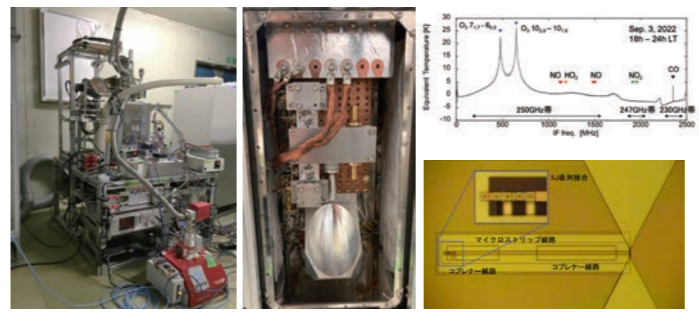
中層大気と呼ばれる高度 10 km 程度から 100 km 程度までの成層圏・中間圏・下部熱圏では、大気中の微量成分は地球内外の環境変動の影響を受けて常に変動しています。例えば、温室効果ガスの排出等による気候変動や特定フロン等の排出によるオゾン層破壊などの人為的な環境影響だけでなく、約 11 年周期の太陽活動、突発的な太陽フレアや磁嵐等による地球周辺環境の急激な変化、大気波動や火山活動、エルニーニョなどの自然変動も、化学反応や大気輸送の変化を介して大気微量成分の時空間分布に影響を与え、緯度、高度、季節等によってそれらの影響の受け方も異なります。私たちは電波や赤外線を使った地上からのリモートセンシングを通して、大気中の微量成分の時間変化を観測しその変動要因を定量的に明らかにしようとしています。多くの人が暮らす中緯度帯に位置する北海道や南米アルゼンチンの観測データは地球全体の変動を明らかにするための国際的な観測ネットワークの一部として長期的な地球環境変化の傾向を明らかにすることに貢献します。また、オーロラが見られる極域に位置する南極昭和基地、北極ノルウェーでは、太陽活動に伴い地球の磁力線に沿って降り込んでくる高エネルギー粒子の影響を明らかにすることを目指しています。高エネルギー粒子は窒素分子や酸素分子を電離して NOx、HOx 等のオゾン破壊物質を生成します。オゾン破壊物質は、その場でオゾンを破壊するだけでなく冬季に下方輸送され、成層圏・対流圏まで影響を与える可能性が示唆されています。磁気圏や電離圏の研究者と協力し、観測とモデルとの比較を通して、この一連の物理化学過程を明らかにしようとしています。



極域に位置する南極昭和基地とオーロラ (上)、中緯度帯に位置する北海道陸別観測所 (下)

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

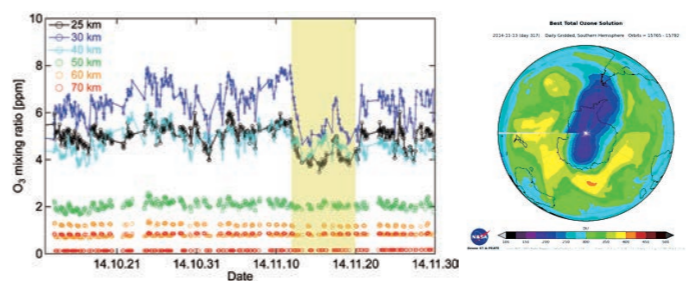
大気分子の中にはミリ波～サブミリ波という非常に波長の短い電波を出すものがあります。オゾンや一酸化窒素はそのような分子で、分子固有の周波数を持つ線スペクトルを放射し、その電波強度や線幅から分子の鉛直分布を知ることができます。ただし大気分子から放射される電波は非常に弱く、観測には超伝導薄膜素子の量子効果を利用した高感度低雑音の受信機 (超伝導 SIS ミキサ) を用いなければいけません。私たちはこうした受信機を自ら設計・開発し、絶対温度で 4 ケルビンまで冷却して超伝導状態で安定に動作する観測システムを実用化しました。それを用いて大気中の微量成分の時空間 (鉛直方向) 変化を数時間から数年にわたる様々なタイムスケールで調べています。また 2022 年には複数の周波数帯域で同時に線スペクトルを観測できる多周波ミリ波分光計を地上大気観測で初めて実用化しました。大学院生の皆さんは、電波工学から真空技術、極低温技術などの最先端のテクノロジーを駆使して、基盤となる要素技術開発から、観測システムへのインテグレーション、実際のフィールドでの観測、データ解析のためのプログラム開発に至るまで、リモートセンシング観測の基礎からスタッフとともに首尾一貫して取り組んでいきます。



南極の昭和基地に設置された多周波ミリ波分光計 (左) とその内部 (中)、取得された分子スペクトル (250GHz 帯のオゾンと 230GHz 帯の CO) (右上) と超伝導素子の顕微鏡写真 (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

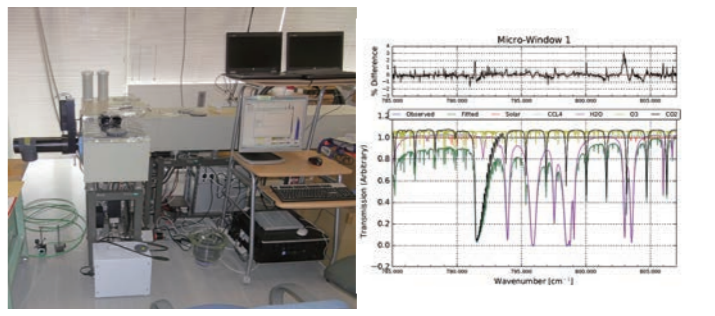
南米大陸南端部では、オゾンホールが上空にまで張り出してくることがしばしばあります。地域住民にとってオゾンホールは南極の特別な現象ではなく、日常生活に影響を及ぼします。私たちは南米のアルゼンチン、チリとの国際協力のもと、超伝導ミリ波分光計をはじめとして、オゾンライダー、紫外線分光計、オゾンゾンデなどの最先端の観測機器を南端部の大気観測所に整備しオゾン層 / オゾンホールのモニタリングを行っています。また、南米では数年に一度程度の頻度で南米アンデス山脈の火山が噴火を起こし、成層圏に吹き上げられた火山灰が数千 km 彼方まで飛んで行き飛行機の運航に影響を与えることがあります。火山灰の動きをモニターし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

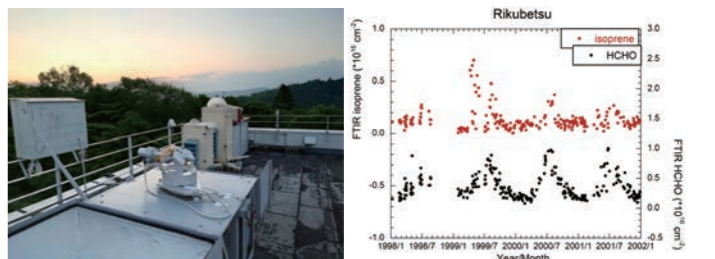
二酸化炭素やメタンなどの温室効果ガスに代表されるように、大気中の気体分子の多くは赤外線に対して強い吸収をもってきます。そこで赤外線での吸収量を波長ごとに細かく測定することで、気体分子ごとの大気中の存在量を知ることができます。私たちは、1995 年北海道陸別観測所に高分解能フーリエ変換型赤外分光器 (FTIR) を、また 2014 年からは同地に国立環境研究所が設置した新型高分解能 FTIR を用いて太陽光の分光観測を共同で行っています。太陽光のスペクトル中には、大気中の微量分子ごとの吸収成分 (吸収スペクトル) が表れます。そこで、観測されるスペクトルからオゾンや塩酸、フロンガス、二酸化炭素、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。



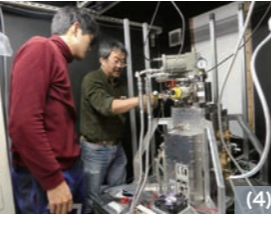
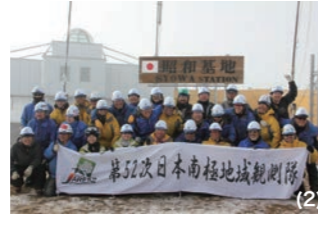
陸別観測所で稼働している高分解能 FTIR (国立環境研究所が保有) (左) と観測されたオゾン、水蒸気、二酸化炭素及び四塩化炭素の吸収スペクトル (右)

気候変動・大気汚染に関連した自然起源の短寿命微量分子の大気中濃度の同時計測手法の開発

地球の大気には、自然界で発生した様々な揮発性有機化合物 (VOCs) が存在しています。そのうちの一部は大気中で短い時間で酸化され、対流圏オゾンやホルムアルデヒド、エアロゾルなどの大気汚染物質を生成します。大気汚染物質の増加による「大気質」の低下は、住民の健康影響を引き起こすなどの深刻な社会問題を引き起こします。そのため、それらを抑制して「大気質」を保全することは、住民の生活環境を効果的に保全しつつ生活の質も向上させる「持続可能な社会発展」の取り組みとして、世界的に重要な課題のひとつです。私たちは、大気中 VOCs の 1/3 を占める植物起源のイソプレンと大気汚染物質の時空間濃度変動を、地上と人工衛星の赤外分光観測から明らかにする研究を進めています。VOCs と大気汚染物質のこれら観測データに基づいて、イソプレンの大気汚染への寄与を化学輸送モデルも活用して解明し、地球規模での大気質評価と将来予測の精緻化に貢献します。



北海道陸別観測所での赤外分光観測と観測された大気中のイソプレンとホルムアルデヒド濃度の時間変動



写真の説明：左より (1) AM 研集合写真 (円内は南極越冬中)、(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： nagahama@isee.nagoya-u.ac.jp (長瀬)

