

気象大気研究部



研究テーマ・キーワード

- 偏波レーダや雲粒子ゾンデ観測を用いた雲降水現象の観測
- 最先端の気象レーダ等の観測装置の基礎技術開発と検証の実施
- 様々な地球観測衛星を横断的に活用した熱帯大気力学過程と雲降水現象の解析
- ミリ波帯の電波や赤外光の精密な分光観測による温室効果気体・オゾン等微量気体の計測
- 先端計測装置や室内実験に基づく大気エアロゾルの特徴・動態解析

私たちの住む地球は、豊かな自然を湛え多様な生命で満ちあふれる、太陽系唯一の惑星である。この稀有の環境をもたらした条件の一つとして、地球を包み込む大気の役割は計り知れない。大気中の酸素が無数の生物の繁栄を可能としたことはもちろん、水蒸気や二酸化炭素など温室効果気体の存在が今日の温暖な気候を維持し、水蒸気はエアロゾルを核として雲や降水へ変化することで暮らしに不可欠な水の恵みを与えてくれる。また、成層圏のオゾンは太陽から届く有害な紫外線から地表の生物を守っている。

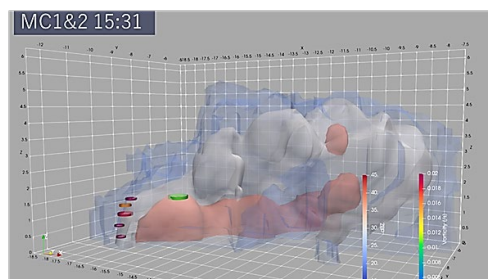
しかし、このような大気の成り立ちは、微妙な均衡の上に支えられている。温室効果気体の増加に伴い進行する地球温暖化は、ゆるやかな気候の変化にとどまらず気象現象の極端化や生態系の激変を招くことが危惧されている。様々な観測手段を用いて大気の状態を注意深く監視し、理論的考察や数値モデルの活用を通じて大気や気象の成り立ちをより深く理解することは、地球環境問題に対峙する私たちに課せられた喫緊の課題の一つである。

気象大気研究部は、広範な切り口から大気科学研究を推進している。ミリ波帯電波や赤外光の精密な分光観測による温室効果気体やオゾン層破壊関連物質などの微量気体の計測、エアロゾル質量分析法などの先端的手法を用いた大気エアロゾルの特性や動態の解析、先進的な偏波レーダや雲粒子ゾンデを用いた雲降水現象の観測など、様々な観測機器を活用した多角的な大気観測を精力的に行うとともに、観測装置の基礎技術の開発研究も手掛けている。また、様々な地球観測衛星を用いて熱帯大気力学の未解決問題に挑むデータ解析に取り組むとともに、数値シミュレーションを用いた極端気象現象などを対象として観測データと数値モデルの連携にも力を入れている。

2022 年度の主な活動

フェーズドアレイ気象レーダによる海上竜巻をもたらしたマイソサイクロンの解析

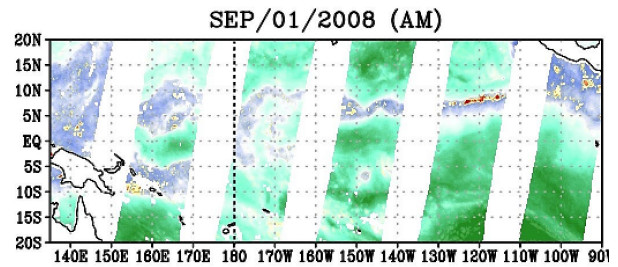
新レーダ技術であるフェーズドアレイ気象レーダ（PAWR）は、従来型レーダに比べて 10 倍程度観測時間分解能で仰角方向に隙間のない立体観測が可能であり、ゲリラ豪雨や竜巻などの解析においてその威力を発揮する。本研究では、沖縄県恩納村にある NICT の PAWR を用いて海上竜巻を発生させた親雲内の直径 4 km 以下の渦であるマイソサイクロンを検出し、その立体構造の変化を降水エコーの発達と併せて解析した。このケースでは 2 つのマイソサイクロンが検出されたが、それぞれ発達したエコーの先端部で発生していた。また、渦位の解析から、一方は時間とともに渦位が増加しており、強いエコーの消滅時の外出流により渦が強化されたことが示唆された。



2017 年 5 月 15 日 15:31 に観測されたマイソサイクロンとレーダエコー。マイソサイクロンの渦度を濃淡で、渦の直径を円の大きさを示している。

東部太平洋 ITCZ 端部における対流強化

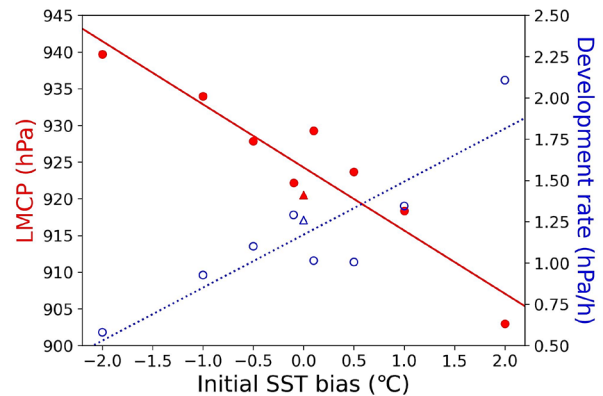
熱帯の降水は、気候学的には熱帯間収束帯 (ITCZ) の中心で最も激しくなるが、瞬時のスナップショットで見ると必ずしもそうならない。ITCZ の中心ではなく、ITCZ の縁に沿って降水が増幅されることがある。本研究では、水蒸気、降水、放射の観測と再解析データによる熱力学場を解析し、局所的な大気エネルギー不均衡を考慮した ITCZ 対流の振る舞いを検討する。主な結果は以下の通りである。ITCZ 中心で降水がピークに達した場合、放射冷却が抑制され、大気への断熱強制力の顕著な正のピークを形成するが、深い鉛直移流と顕著な湿潤静的エネルギー (MSE) 水平移流により MSE の流出に打ち消される。逆に ITCZ の端部で対流が発生した場合は、断熱強制力の正のピークはほとんど存在しない。ITCZ 端部の浅い上昇に伴う MSE 流入により、断熱強制力が弱いにもかかわらず対流強化が起こったと考えられる。



ITCZ 端部の対流強化例。鉛直積算水蒸気量と降水量を重ねて描画している。

台風 Mindulle (2021) の強度の初期海面水温に対する感度

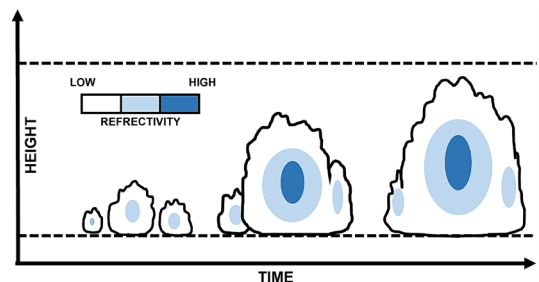
海面水温と台風の強さには強い関係があり、わずかな海面水温の違いで最大強度に大きな差が出ることがある。しかし、数値モデルの初期条件として与えられる海面水温は、あるタイプの不確実性を持っている。そこで、台風 Mindulle (2021) の SST 初期値に対する台風強度の感度を明らかにするため、1 次元海洋モデルを組み込んだ雲解像モデル Cloud Resolving Storm Simulator (CRSS) を用いて感度実験群 I と感度実験群 II を実施した。感度実験群 I では、初期海面水温に $-2 \sim +2^\circ\text{C}$ の範囲で海面水温のバイアスがある場合の感度を調べた。その結果、初期海面水温のバイアスと生涯最小中心気圧 (LMCP) の間には明確な負の相関が、初期時刻から LMCP の時刻までの発達期間における発達率の間には正の相関があることが分かった (図)。これらの結果より台風の最大強度が初期海面水温のバイアスに強く依存することを確認した。感度実験群 II では、初期海面水温の $\pm 0.01 \sim \pm 2.0^\circ\text{C}$ の摂動に対する強度感度を調べた。その結果、摂動の振幅と LMCP、LMCP までの発達率の間に相関は見られなかった。このことから、台風強度の予測誤差は、初期海面水温のランダム誤差の振幅に依存しないことが示された。



初期海面水温のバイアス、LMCP、発達率の散佈図。赤丸・赤三角 (左軸) は LMCP、青丸・青三角 (右軸) は発達率を表す。点線は回帰直線。

Ka 帯レーダを用いた発達する対流雲の早期識別手法

急激に発達する孤立積乱雲は突発的な激しい降水により災害をもたらすことがある。本研究では、2018 年に神戸市周辺で実施した名古屋大学 Ka 帯レーダによる 2 分間隔の限定方位角方向の水平断面観測の結果を用いて、対流雲 (積乱雲の卵) の発達を詳細に追跡し、激しい降水をもたらす積乱雲 (降水強度 20 mm h^{-1} 以上) に発達したものと発達しなかったものの識別を試みた。反射強度の時間変化には発達したものとしなかったものの間に顕著な相違は

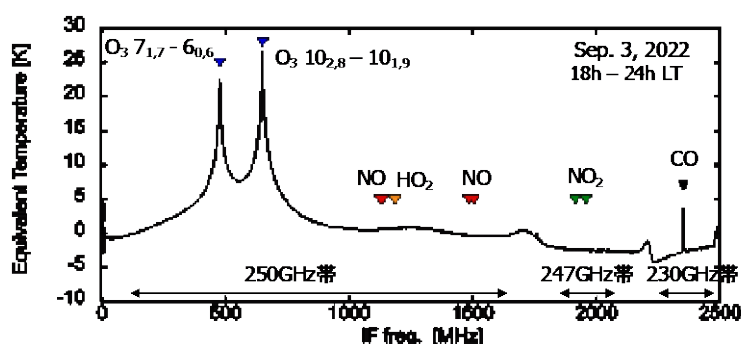


積乱雲発達の初期過程の概念図。左から順に積乱雲の発達段階を示す。濃淡は Ka 帯レーダによる反射強度を示す。

見られなかったが、発達したものの面積の時間変化は発達しかつたものに比べて明瞭に大きな値を示した。また、発達した積乱雲の時間変化を詳細に調べたところ、小さな対流雲が周囲の対流雲を併合することによって急激に発達していたことを明らかにした（図）。

高エネルギー粒子降り込みによる極域大気組成変動過程解明のための多輝線同時観測

太陽活動に伴い極域に降り込む高エネルギー荷電粒子が、中層大気に引き起こす組成変動の影響とそのメカニズムを理解するために、ミリ波分光放射計を南極域の昭和基地と北極域のノルウェー/トロムソの EISCAT 観測施設に設置して観測を行っている。昭和基地では、独自に開発した導波管型マルチプレクサを用い、2020 年より受信機の多周波化改造を行って多輝線同時観測を開始したが、構成部品の不具合等により当初計画した性能が達成できずにいた。そこで 2022 年 1 月より受信機シ

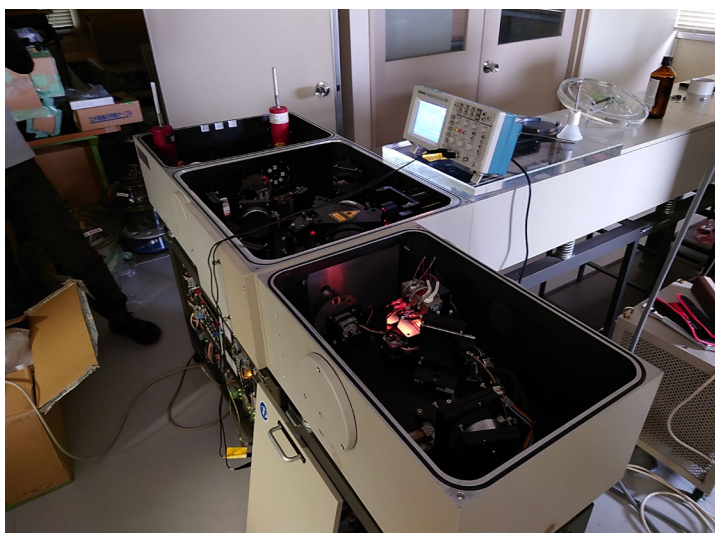


昭和基地の新ミリ波分光放射計の多輝線同時観測で取得されたスペクトルデータ。

ステムの更なる改造を行った。その結果超伝導受信機の冷却状態が 5.4–5.5 K で温度振幅が 150 mK (p-p) 程度あったものが、4.9–5.0 K で温度振幅 50 mK (p-p) と大きく改善し、受信機雑音温度も 150–300 K (SSB) から 120–235 K (SSB) まで低減できた。さらに、デュアルパスバンドの超伝導フィルタの導入、デジタル分光計帯域幅の 2.0 GHz から 2.5 GHz への拡張などを行い、当初計画通り O₃, NO, CO, NO₂, HO₂ の輝線の周波数帯域を観測することが可能となった。特に NO に関しては、250 GHz 帯に分布する 6 本の超微細構造線を検出することができ、それらを平均することでデータの S/N、信頼性が向上した。一方、ノルウェー/トロムソに関しては、新型コロナウイルスの影響で 2022 年度も残念ながら観測を実施することはできなかった。

名古屋における高分解能 FTIR を用いた都市域大気質変動モニタリングサイトの整備

本研究所では、名古屋大学東山キャンパス内に新たに高分解能フーリエ変換型赤外分光器 (FTIR) を設置し、都市域での大気汚染物質等の対流圏・成層圏微量分子のモニタリング観測の準備を進めている。都市域での大気汚染物質増加による大気質低下は、地域住民の健康影響へのリスクとなるため、そこでの大気汚染物質の長期動態を明らかにし、大気質を保全することは今日的な課題である。FTIR による太陽光吸収スペクトル観測では、多種の大気微量成分の高度分布が同時に得られるため、大気質モニタリングに適している。我々はこれまでに、高分解能 FTIR (Bruker IFS120HR) の組立を完了し、装置の動作確認、装置関数の測定を行った。また、太陽追尾装置と気象測器の設置を進めている。モニタリング観測で得られる 20 種類以上の大気微量分子の高度分布とカラム量データは、他の FTIR 観測データと同様に、共同利用データとして公開する予定である。

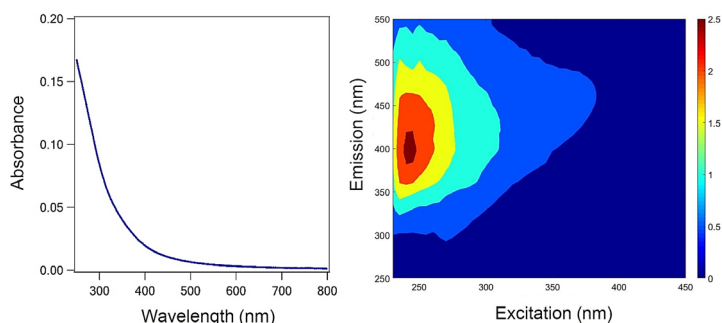


光軸調整中の FTIR 装置。

有機エアロゾルの光吸収特性の解析

大気中の有機エアロゾルによる太陽光の吸収は、黒色炭素による吸収とともに放射収支への影響が考えられ、また、気相・粒子相における化学反応への関与も考えられる。このため、有機エアロゾルの種別とその光吸収特性の関係を理解することは、有機エアロゾルの大気中における役割やその変質過程を理解する上で重要である。本研究では、COALA-2020観測においてオーストラリアで採取した大気エアロゾル試料を対象に、そこに含まれる有機エアロゾル成分の光吸収特性の解析を行った。

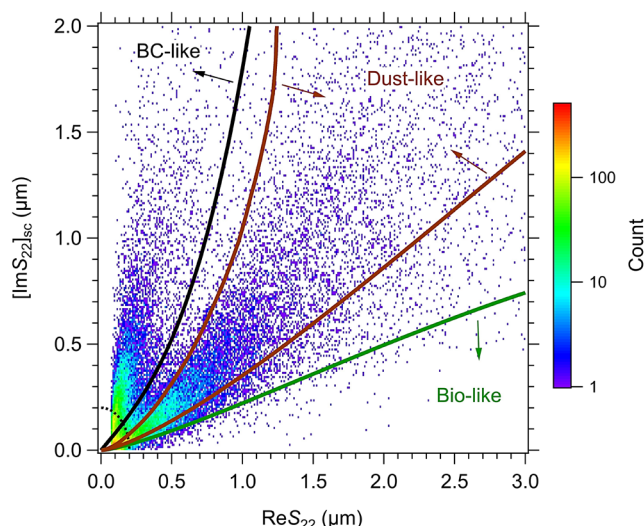
そして、エアロゾル試料から抽出した有機エアロゾルに含まれる炭素当たりの質量吸収効率（波長 365 nm）が、生物起源二次有機エアロゾルおよびバイオマス燃焼有機エアロゾルのトレーサ成分の相対的な割合と強く結びついていることを示す結果を得た。生物起源二次有機エアロゾルとバイオマス燃焼有機エアロゾルは、共に地表のバイオマスに由来しながら放出経路が異なるエアロゾルと捉えることができ、この結果は、2つの経路が対照的な光吸収特性をもたらす実態の理解に寄与すると期待される。このほか、当該エアロゾル試料に対する蛍光スペクトルの測定を行い、対象とする有機エアロゾルの更なる特徴付けのためのデータも得た。



オーストラリアで採取された大気エアロゾル試料の抽出物(非水溶性有機エアロゾル)に対する光吸収・蛍光スペクトルの測定例。Sonia Afsana 氏提供。

非水溶性エアロゾルの測定法の評価

ブラックカーボン (BC) や鉱物ダストなどの非水溶性エアロゾル粒子 (WIAPs) は、放射や雲との相互作用を通じて気候に影響を及ぼしている。しかし、大気中の WIAPs の種別を特定し、その数濃度を定量化する手法は限られており、これらの動態の理解は不十分である。本研究では、大気中のエアロゾルをフィルタに採取し、水中に分散させ、個々の粒子の複素散乱振幅 (S) を測定する新しい手法により、WIAPs の分類と数濃度定量化を試みた。複素散乱振幅は、粒子の複素屈折率・体積・形状に依存する複素数のパラメータである。2021 年春季に名古屋の都市大気で採取された WIAPs の複素散乱振幅を測定し、BC-like・Dust-like・Bio-like 粒子に分類した。BC-like 粒子の数濃度は他の測定器により測定された BC 数濃度と強く相関した。また、観測期間中の主要な WIAPs は BC-like 粒子と Dust-like 粒子であり、黄砂飛来時には Dust-like 粒子数濃度が顕著に増大するなど、電子顕微鏡分析とも整合的な結果が得られた。これらの結果は、本手法が WIAPs の時空間分布を定量する新しい手法として、様々な大気環境での観測に応用できる可能性を示すものである。



名古屋で採取された非水溶性エアロゾルの複素散乱振幅の分布図(横軸が実部、縦軸が虚部)。観測期間中に得られた全データを示しており、カラスケールは検出された粒子数を表す。各粒子を BC-like、Dust-like、Bio-like 粒子に分類するための分離線も示されている。