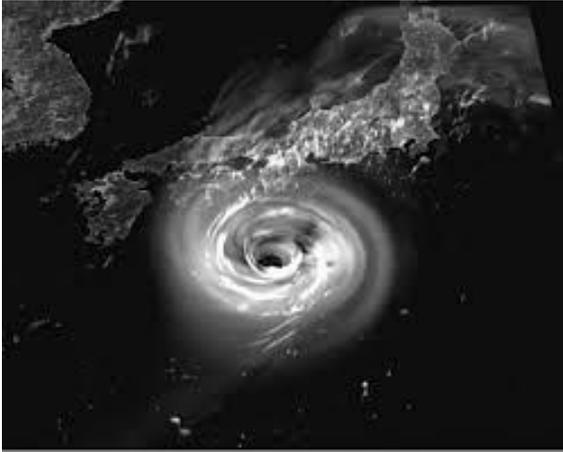


9-1. 基盤研究部門 | 気象大気研究部



気象大気研究部の研究テーマ・キーワード

- 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
- 先進的な偏波レーダや雲粒子ゾンデ観測を用いた雲降水観測
- レーザー・光学技術や室内実験に基づく大気微量成分やエアロゾルの特性や反応過程の解析
- 観測装置の基礎技術の開発研究
- 数値気象モデルCReSSの開発および数値シミュレーションによる気象学研究
- 様々な地球観測衛星を横断的に活用した対流圏および雲降水観測データ解析

気象大気研究部の紹介

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す。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役割は計り知れません。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、水蒸気はさらに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ます。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ます。

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ます。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の極端化や生態系の激変を招きます。様々な観測手段を用いて大気の状態を注意深く監視し、さらに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す。

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ます。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、先進的な偏波レーダや雲粒子ゾンデ観測を用いた雲降水観測、レーザー・光学技術や室内実験に基づく大気微量成分やエアロゾルの特性や反応過程の解析のほか、観測装置の基礎技術の開発研究も手掛けています。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観測データ解析に取り組んでおり、数値シミュレーションによる気象学研究の実績を踏まえ観測データと数値モデルの連携にも力を入れています。

2017年度 気象大気研究部の主要な成果

1. Ka 帯偏波レーダで観測された層状性降水域固総域における K_{DP} のピークの特徴

Ka 帯偏波レーダは、氷晶粒子の形状と数濃度が高い感度を持つ。2016年梅雨期の沖縄において、C 帯偏波レーダ、Ka 帯偏波レーダによる観測と気球を用いた直接粒子観測を同時に実施した。6月3日の観測事例では、高度 6.0-7.5 km に正の K_{DP} ピークを持つ層が観測された。層内の偏波間位相差変化率 (K_{DP}) の最大値は 2.5 deg./km に及ぶ一方で、その上下では 1.0 deg./km 未満であった。この層は、水平方向に 20 km 以上にわたって観測された。同時に観測を行っていた C 帯レーダでは K_{DP} ピーク層は観測されなかった。板状結晶を仮定した近似式において、 K_{DP} の値は粒子の軸比、粒径、数濃度に依存する。直接粒子観測の結果から、近似式に基づいて高度 250 m 毎に K_{DP} の値を推定したところ、推定されたプロファイルは K_{DP} ピーク層を含めてレーダの観測結果と良く一致していた。個々の要素に注目すると、粒子の軸比と粒径の中央値は K_{DP} ピーク層の上下層を含めてほぼ一定であり、板状もしくは柱状の氷晶粒子の存在が示唆される。氷晶粒子の数濃度は、 K_{DP} ピーク高度に対応して明瞭な増減を示しており、 K_{DP} ピーク層は多数の板状もしくは柱状粒子の存在に対応すると考えられる。また、直接粒子観測の結果から、 K_{DP} ピーク層よりも下層で雪片が観測されており、高度の低下に伴って K_{DP} の値が小さくなる要因として氷晶粒子の凝集成長が寄与していると推察できる。



Ka 帯偏波レーダ。

2. Ka 帯偏波レーダによる固体降水粒子判別の可能性

走査型 Ka 帯偏波レーダで観測される偏波パラメータと固体降水粒子（氷晶・雪片・霰）の特徴との関係を明らかにするために、2016–2017 年冬季に石川県において降雪雲の連続観測を行った。Ka 帯レーダは石川県立大学に設置した。その観測範囲内に位置する金沢大学（地上観測点）に PARSIVEL と G-PIIMS を設置し、固体降雪粒子の粒径・粒子数・落下速度・形状などを観測した。エコーパターンの水平移動と落下速度を加味して、地上観測点に降雪粒子が落下する可能性のある範囲を設定し、その領域における偏波パラメータの値の頻度分布を求めた。一方、上記の対象領域からの落下時間を考慮した時刻における PARSIVEL の観測結果に CMF 解析を適用し、主たる固体降水粒子を特定し、「氷晶卓越期間」、「雪片卓越存在期間」、「霰卓越期間」と分類した。2017 年 1 月 24 日 04 時（日本時）から 1 月 25 日 12 時までの間に、霰卓越期間 30 事例、雪片卓越期間 33 事例、氷晶卓越期間 15 事例が解析された。想定に反して、反射因子差 Z_{DR} や偏波間位相差変化率 K_{DP} について、霰卓越期間と雪片卓越期間で存在頻度の広がり大きな差異が見られなかった。Ka 帯レーダでは、粒径の小さな板状粒子などに感度があるために、霰卓越期間においても多数の氷晶粒子の効果が正の K_{DP} や Z_{DR} の値として顕在化したことと、相対的に大粒径の霰粒子や雪片の効果がミー散乱により小さくなるのが原因であると考えられる。この観測結果から、Ka 帯レーダの偏波パラメータを用いた統一的な粒子判別法の確立は困難であると判断できる。

3. 夏期に発達する積乱雲の発達初期における雲レーダ観測

夏季の日本では、強い日射を受けた地表面からの加熱によって大気が不安定となり、大規模な大気擾乱を伴わないような孤立した対流雲が頻繁に発生する。これらの対流雲のうちの一部は非常に発達して、短時間に激しい降水をもたらす積乱雲となる。しかしながら、それほど発達せずに衰弱してしまう対流雲も多く、どの対流雲が発達するかについての特徴はよく分かっていない。そこで、発達する積乱雲の発達初期における特徴を明らかにするために、名古屋大学の雲レーダを 2017 年の夏季に神戸に設置し観測を行った。この雲レーダは広く用いられている降水レーダよりも短い波長（Ka 帯）を用いることで小さい粒子の状態の雲から観測が可能であり、また、高い空間分解能を持っている。観測では、発達する対流雲とそうでないものとの、構成する対流セルの初期の集団化の違いが示唆されている。本観測プロジェクトは他研究機関と連携し多くの観測測器を集中させて実施しており、次年度も継続される。

4. MP-PAWR の開発と PAWR を用いた竜巻をもたらした積乱雲の解析

内閣府の戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）の「レジリエントな防災減災機能の強化」において、二重偏波のマルチパラメータフェーズドアレイ気象レーダ（MP-PAWR）を情報通信研究機構や首都大学東京、東芝と協力して開発した。MP-PAWR は従来の気象レーダに比べて約 10 倍高速に、約 10 倍の鉛直分解能でデータを提供できるため、ゲリラ豪雨や竜巻といった変化の激しい現象に対して有効であり、今後の活用が期待される。MP-PAWR 活用の前段階として単偏波のフェーズドアレイ気象レーダ（PAWR）を用いて海上竜巻をもたらした積乱雲の解析を行った。この沖縄県で観測された積乱雲は、琉球大学に設置されている名古屋大学の KIN レーダと情報通信研究機構に設置されている PAWR の両方で観測できたため、2 台のドップラーレーダによる風速場の推定や PAWR の性能の評価にも用いられた。積乱雲の解析では、フック状のエコーに対応して直径が 1–2 km の miso-scale の渦が観測され、PAWR の高時間・高鉛直分解能のデータにより、渦の鉛直方向の分布の詳細な時間変化が明らかになった。今後、さらなる解析により竜巻の発生との因果関係を明らかにしてゆく。



MP-PAWR。

5. 先行発達する巻雲の放射効果が熱帯対流メカニズムに与える変調の研究

地球大気の成り立ちにおいて放射と対流の相互作用が重要な役割を果たすことは知られているが、個々の対流システムへの発達過程に根差したメカニズム解明には至っていない。本研究では、衛星データ解析をもとに熱帯対流のライフサイクルに伴う放射対流相互作用の実態に迫る。まず CloudSat-CALIPSO 衛星観測データから雲量と放射加熱率の鉛直分布を抽出し、TRMM 降水レーダから同定された対流雲を中心に時間軸上に配置し時点ごとに平均することで統計的時系列を得た。その結果、湿潤な大気環境下では深い対流の活発化に 1–2 日も先行して巻雲の雲量が増大し始め、大幅な長波放射の抑制をもたらしていた。一方、大気が乾燥している場合対流は深化せず、顕著な長波冷却が見られた。これらの結果を物理的に説明するため、熱力学

収支に基づく簡単な概念モデルを検討したところ、先行する巻雲による放射効果が雄大積雲モード（対流圏下層の上昇流を伴う鉛直流モード）と協働することで、観測された通り2日程度の時間スケールで対流活発化が促されることを見出した。

6. 南米パタゴニア地域における紫外線・中層大気オゾン、エアロゾルのモニタリング網の構築

地球規模課題対応国際科学技術協力事業（SATREPS）「南米における大気環境リスク管理システムの開発（SAVER-Net）」プロジェクトによるアルゼンチン、チリおよび国内の国立環境研究所との共同研究を継続した。2017年は5年間のプロジェクト最終年度にあたり、両国にまたがる36点の紫外線観測網からの実時間データと予報データを政策決定者に公開するためのプラットフォームGeoUVを完成させた。国立環境研究所と協力して進めたエアロゾルライダー網についても、計画通り9台のライダーの設置が完了した。2018年度3月末までにアルゼンチン、チリ、日本でデータを共有するためのサーバー・ミラーシステムを構築する予定である。また、国立環境研究所のモデル研究グループと協力して南極南端部へのオゾンホールの影響予報を出すための予報モデルの開発実験を行なった。気象場の予報値と化学輸送モデルを用いた予報と化学気候モデルに局所アンサンブルカルマンフィルタを用いた同化モデルの2通りのモデルを比較した。前者では1週間後で±10 DU程度、後者では10日後で±20 DU程度の範囲でOMI衛星のオゾン全量データと一致する予報を得ることができた。また、南部パタゴニア地域のオゾン観測では、昨年度のキャンペーン観測で、高度2-3 kmごとにオゾン混合比や気温が周期的大きく変化する層状の「ラミナ」と呼ばれる構造が観測された。本年度は同地域の2008年以降のオゾンゾンデ観測データとNASAのMERRA2気象再解析データをもとにラミナ構造の形成要因の統計解析を行った。解析の結果、南部パタゴニア地域では一年を通して重力波よりもロスビー波の影響で形成されたラミナ構造の割合が高いこと、対流圏から上方伝播する重力波の影響は夏の期間（1月および2月）に大きく、鉛直方向の風向・風速の変化によるフィルタリング効果によって冬にかけて小さくなること、極渦の時期（6-11月）には成層圏においてラミナ構造の規模（振幅）が大きくなることなどが明らかになった。

7. 極域における中間圏大気組成変動観測

地球磁場の構造から、極域では太陽および放射線帯から高エネルギー荷電粒子が侵入して大気中の分子を電離・解離することで大気組成変動を引き起こす。この影響を定量しそのメカニズムを理解するために、本研究所は国立極地研究所と共同で南極昭和基地にミリ波分光観測装置を設置し、2012年1月より中間圏および下部熱圏の一酸化窒素（NO）とオゾンのモニタリング観測を行っている。太陽活動は静穏期に向かいつつあるが、2017年度4月の磁気嵐の発生時には、極大期と同程度の通常の4倍程度にNOが増加する短期イベントが見られた。一方、極夜期に増加するNOの季節変動は2015年から徐々に増減の振幅が減少する傾向が見られることが明らかになった。また、昨年度北欧ノルウェーのトロムソ大学と協力して設置したミリ波分光計では、試験運用で明らかになった室温の異常上昇と天窓への積雪問題を解決するための暖気排気システムを設置し、ほぼ設計通りに機能し問題が解決できることを確認した。来年度には南北両極域からのNOのミリ波同時比較観測を開始する予定である。

8. 陸別観測所高分解能フーリエ変換型赤外分光器による対流圏・成層圏微量成分の長期変動解析

1995年に北海道陸別観測所に太陽地球環境研究所が高分解能フーリエ変換型赤外分光器（FTIR）（Bruker IFS120M）を、2014年には同地に国立環境研究所が高分解能FTIR（Bruker IFS120/5HR）を設置し、大気微量分子による太陽光吸収スペクトルの観測を共同で継続している。観測は波長2-15 μmの領域で行い、0.0035 cm⁻¹の波数分解能でスペクトルを取得している。我々は新たに解析ソフトウェア SFIT4（version 0.944）を用い、大気組成変化モニタリングネットワーク赤外グループ（NDACC/IRWG）で標準化された解析パラメータを適用して対流圏・成層圏微量成分の高度分布解析を行った。これまでにO₃、HCl、HF、HNO₃、ClONO₂、CH₄、C₂H₆、N₂O、CO、HCN、CCl₄の微量分子についてカラム全量および高度分布解析を行い、1995年から2016年までの時間変動を得た。長期変動に着目すると、成層圏O₃カラム量には明瞭なトレンドの変化は見られないのに対し、対流圏O₃カラム量には2000年代以降、有意な減少を検出した。また2000年代以降にHClやClONO₂のカラム量が減少トレンドを示すなど、概ね全球的な傾向と一致していることが分かった。また、下部成層圏において1998-2001年にHCN混合比の有意な増大を見出した。大規模泥炭地火災のアジアモンスーン高気圧やブリューワ・ドブソン循環による輸送効果との関連を検討したところ、HCNの変動を説明するほどは影響を与えていないことが分かった。

9. 広帯域で広ダイナミックレンジの次世代ミリ波帯大気分子観測装置の開発

近年ミリ波-テラヘルツ帯の超高周波電波領域は、情報・通信分野や電波天文観測装置などで技術開発が急速に進んでおり、我々はそのような新たな技術を地球大気分子観測装置に応用することで、検出器のさらなる高感度化・高精度化、観測周波数の広帯域化に取り組んでいる。2014年度から国立天文台・先端技術センターと共同で新たな超伝導検出器の開発を継続しており、今年度は天文台のクリーンルームで新たな200 GHz帯の超伝導素子を製作し、名大実験室で性能評価を本格的に開始した。また、情報通信研究機構（NICT）と共同研究契約を締結し、「導波管」を用いた各種コンポーネントの開発を開始した。具体的には、南極昭和基地でモニタリング観測を行っている250 GHz帯のNOとオゾンに加え、オゾン破壊に化学的に関与するNO_x、HO_x、ClO_x系を含む8分子の同時観測を実現するための新たな導波管型周波数マルチプレクサを設計・試作した。NICTのミリ波帯ネットワークアナライザで実測された周波数特性は、電磁界シミュレーターによる計算結果とよく一致し、我々の導波管回路設計の妥当性が確認できた。現在、実機への搭載を目指し、受信機システムとしての構築・評価を進めている。

10. 東京都市部における光スペクトルアナライザを用いた二酸化炭素のカラム量観測

東京の都市部からは人為起源の二酸化炭素（CO₂）が多く排出されていると考えられるが、その排出および輸送・拡散過程に関する定量的な理解は十分ではない。その要因の一つとして、上空におけるCO₂濃度の観測データが不足していることがあげられる。そこで、東京都世田谷区において、光スペクトルアナライザと太陽追尾装置を組み合わせた独自の測定システムを用いて、CO₂のカラム濃度の観測を2年間実施した。本装置では、太陽光が地上に到達する際に通過する大気近赤外線領域の吸収スペクトルを測定することで、CO₂カラム濃度を得ている。その結果、東京におけるCO₂カラム濃度は、茨城県つくば市で国立環境研究所が大型のFTIRを用いて測定したカラム濃度に比べて、平均で2 ppm程度、冬季には5 ppm程度高いことが判明した。また、つくばでは3月から4月にCO₂カラム濃度が最大となるのに対し、東京におけるCO₂カラム濃度は12-1月に最大となる季節変化が見られた。本研究により、東京の都市部からの人為起源のCO₂排出が、大気中のCO₂カラム濃度に大きな影響を及ぼしていることが分かった。

11. 小型PM2.5センサを用いたアジアでの観測

本研究部では、パナソニック（株）と共同で、小型で安価な微小粒子状物質（PM_{2.5}）の計測センサの開発を行っている。このセンサは、LEDを光源として大気中の微小粒子1粒1粒による光散乱光を検出するものであり、光散乱強度から粒子径を推定し、PM_{2.5}の重量濃度を算出している。本センサで得られるPM_{2.5}重量濃度は、従来用いられている大型の計測装置による測定値との間に、相関係数0.8以上の高い相関がある。また、1分程度の高い時間分解能での測定が可能である。このセンサを用いて、ベトナムやインド、モンゴルの都市部など、アジア各国で観測を開始している。インドのデリー大学と共同で行っているニューデリーの観測では、冬季に農業残渣物の燃焼などに起因すると考えられる1000 µg/m³を超えるPM_{2.5}が観測されている。また、モンゴル国立大学と共同で行っているウランバートルでの観測でも、冬季に断続的に1000 µg/m³を超えるPM_{2.5}が観測され、ウランバートル周辺のゲル住居における暖房や調理のための燃焼による排出の影響が主な要因であると考えられる。

12. 都市近郊森林における実大気へのオゾン添加による二次粒子生成の観測

揮発性有機化合物（VOC）が大気中で酸化されることで生成する二次有機エアロゾル（SOA）は、主要な大気エアロゾル粒子であり、気候や環境システムに大きな影響を及ぼしていると考えられているが、実大気環境下におけるSOAの生成メカニズムについては未解明な点が多い。そこで、室内実験と実大気観測のギャップを埋める新たなアプローチとして、実大気に高濃度のオゾンを添加して、容器内で反応させた際の二次粒子生成量について調べた。観測は、東京農工大学のフィールドミュージアム多摩丘陵で夏季に9日間実施した。本サイトは、東京近郊の小規模森林内にあり、イソプレンの放出種であるコナラなどの落葉広葉樹が多く生育している。観測の結果、平均で、既存粒子の重量濃度の17%相当の粒子がチャンバー内で生成し、特に、イソプレン濃度が高く、NO_x濃度が低い日の昼間に二次粒子生成量が大きかった。同時に計測した微量気体成分およびエアロゾル成分の濃度を初期値として使用したボックスモデル計算の結果と比較したところ、モデルは、観測結果の40%程度しか二次粒子生成量を説明できず、特に昼頃から午後、モデルと観測の差が大きかった。特にイソプレンや含酸素VOCの濃度が高くなる昼間に、モデル計算で考慮されていない未知のSOA生成過程が存在する可能性が示唆された。