

「2017年度エアロゾル・雲・降水の相互作用に関する研究集会」報告*

山下 克也^{*1}・當房 豊^{*2}・荒木 健太郎^{*3}・佐藤 陽祐^{*4}
 三隅 良平^{*5}・前田 麻人^{*6}・岩田 拓己^{*7}・森 樹大^{*8}
 岩本 洋子^{*9}・村田 浩太郎^{*10}・折笠 成宏^{*11}・田尻 拓也^{*12}
 齋藤 泉^{*13}・端野 典平^{*14}・島 伸一郎^{*15}・武田 和弥^{*16}
 郭 朋 君^{*17}・川合 秀明^{*18}・山内 晃^{*19}・藤原 智貴^{*20}
 堀田 陽香^{*21}・熊谷 幸基^{*22}・猪又 淳之助^{*23}・大芦 宏彰^{*24}
 高橋 麗^{*25}・酒井 健人^{*26}

1. はじめに

表題の研究集会を2018年2月14日と15日に国立極地研究所で実施した。この研究集会は、2016年に開催した「エアロゾル-雲相互作用について語らう会」から始まったもので、2017年から「エアロゾル・雲・降水の相互作用に関する研究集会」(荒木ほか 2017)と名称を変更して今回で3回目の開催である。研究集会の目的は、一堂に会することが少ないエアロゾル、雲物理、メソ気象、気候を専門とする研究者が集まり、それぞれの最新の研究結果や動向を共有し、意見交換を

行うことである。

本研究集会の世話人は山下、當房、荒木、佐藤の4名で務め、雲物理コミュニティ、YM-Netなどの複数のメーリングリスト、及びTwitterなどのソーシャル・ネットワーク・サービスやホームページ(<http://www.mri-jma.go.jp/Dep/fo/fo3/araki/201802cloudstudy.html>, 2018.4.25閲覧)などで告知をしてオープンな研究集会とした。前年度の18件と近い20件の講演があり、活発な議論が行われた。学部生4名、大学院生7名を含む計34名が参加し、盛況に終

* Report on “Workshop on the Interaction of Aerosols, Clouds, and Precipitation in 2017 fiscal year”

^{*1} (連絡責任著者) Katsuya YAMASHITA, 防災科学技術研究所雪氷防災研究センター。

yamashita@bosai.go.jp

^{*2} Yutaka TOBO, 国立極地研究所。

^{*3} Kentaro ARAKI, 気象研究所。

^{*4} Yousuke SATO, 名古屋大学。

^{*5} Ryohei MISUMI, 防災科学技術研究所。

^{*6} Asato MAEDA, 東京理科大学。

^{*7} Takumi IWATA, 東京理科大学。

^{*8} Tatsuhiro MORI, 東京理科大学。

^{*9} Yoko IWAMOTO, 広島大学。

^{*10} Kotaro MURATA, 国立極地研究所。

^{*11} Narihiro ORIKASA, 気象研究所。

^{*12} Takuya TAJIRI, 気象研究所。

^{*13} Izumi SAITO, 名古屋工業大学。

^{*14} Tempei HASHINO, 九州大学応用力学研究所。

^{*15} Shin-ichiro SHIMA, 兵庫県立大学。

^{*16} Kazuya TAKEDA, 兵庫県立大学。

^{*17} Pengjun GUO, 兵庫県立大学。

^{*18} Hideaki KAWAI, 気象研究所。

^{*19} Akira YAMAUCHI, 長崎大学。

^{*20} Tomoki FUJIWARA, 東京大学大気海洋研究所。

^{*21} Haruka HOTTA, 東京大学大気海洋研究所

^{*22} Saki KUMAGAI, 山形大学。

^{*23} Junnosuke INOMATA, 酪農学園大学。

^{*24} Hiroaki OOASHI, 東北大学。

^{*25} Rei TAKAHASHI, 筑波大学。

^{*26} Kento SAKAI, 兵庫県立大学。

© 2018 日本気象学会



第1図 研究会第1日目参加者の集合写真。

ることができた(第1図)。本報告では、研究会の概要に加え、今後の雲研究の方向性等について述べたい。

2. 研究会の概要

2.1 趣旨説明

まず、世話人の山下から、これまでの経緯や本研究会の目的について紹介があった。この研究会の趣旨は、まだ定量的な理解がされていないエアロゾル-雲-降水の相互作用に関して、意見交換を通じた互いの研究発展の可能性、参加者間での協力関係の構築に結び付ける機会とすることであり、気軽な意見交換の場としたいということが説明された。

2.2 第1日目(2018年2月14日)

エアロゾル、雲凝結核(CCN)、氷晶核(IN)、及び雲粒の直接観測研究の話題があった。以降、各講演の要旨である。

高い雲粒数濃度をもつ下層雲におけるドリズル形成

三隅良平(防災科学技術研究所)

東京スカイツリーに機器を設置し、継続的に雲・エアロゾル観測を行っている。講演では、東京に発生する比較的雲粒数濃度の高い(約500個 cm^{-3})下層雲において、1)「暖かい雨」によるドリズル形成が起こること、2)ドリズル形成前に雲粒粒径分布の幅があまり広がらないこと、3)形成される降水粒子が正のレーダー反射因子差(Z_{DR})を示すこと等を述べた。一つの可能性として、巨大CCNによるドリズル形成を議論した。

東京スカイツリー、富士山頂で測定した大気エアロゾルの雲凝結核特性と雲粒特性

前田麻人、三浦和彦、森 樹大、佐藤丈徳、

佐藤光之介(東京理科大学)、
三隅良平、宇治 靖(防災科学技術研究所)、
當房 豊(国立極地研究所)、
岩本洋子(広島大学)

エアロゾルのCCN特性を直接観測できる東京スカイツリーと富士山頂にある気象庁旧測候所で粒径別エアロゾル数濃度とCCNの地上観測を行った。また、Fog monitorを用いて雲粒粒径別数濃度も同時に測定した。東京スカイツリーでは、吸湿パラメータ(κ)に明瞭な時間変化が見られ、ローカルな影響が見られた。また、雲が発生した間のピーク過飽和度は0.04-0.51%と推算された。富士山頂においても κ に時間変化が見られたが、その原因は考察中である。またピーク過飽和度は0.07-0.33%と推算され、これは他の山岳域における層雲が形成されるピーク過飽和度に対応する。

2017年南関東における大気エアロゾルの吸湿特性

岩田拓己、三浦和彦、森 樹大、関根広貴、
佐藤丈徳、前田麻人、桃井裕広、西川雅高、
永野勝裕(東京理科大学)、
長田和雄、松見 豊(名古屋大学)、
岩本洋子(広島大学)、
三隅良平、宇治 靖(防災科学技術研究所)、
當房 豊(国立極地研究所)、
齋藤伸治(東京都環境科学研究所)

PM_{2.5}時別値の信頼性の向上を目的とし、乾燥状態と加湿状態の粒径分布(光散乱式粒子計数器を使用)から体積成長率を算出し、PM_{2.5}の吸湿特性を調べた。

千葉県野田市にある東京理科大学野田キャンパスでの観測により、南関東内陸では南風により運ばれてくる海塩粒子の輸送が成長率増大に関わる可能性が示唆された。また、東京スカイツリーの458m地点での観測により、南関東高所での体積成長率の増大は、低気圧等に伴う上昇流による海塩粒子の巻き上げによるものである可能性が示唆された。

さらに、東京都環境研究所(東京都江東区)においてPM_{2.5}高濃度イベント時の吸湿パラメータ κ を推定し、化学成分から求めた吸湿パラメータと比較した。結果、PM_{2.5}は無機塩と有機物の混合物であると考えられ、冬の方が有機物の吸湿パラメータの値が大きくなることが示唆された。

東アジア下流域で長期地上観測したブラックカーボン (BC) の湿性沈着フラックスの季節変動

森 樹大, 三浦和彦 (東京理科大学),
大畑 祥, 茂木信宏, 小池 真 (東京大学大学院),
中込和徳 (長野県環境保全研究所),
吉川昌範 (福井県衛生環境研究センター),
岩崎 綾 (沖縄県衛生環境研究所),
近藤 豊 (国立極地研究所)

東アジアの汚染空気塊の下流域にあたる沖縄県辺戸岬, 福井県越前岬, 長野県八方尾根で大気中 BC 質量濃度 (M_{BC}) と降水中 BC 質量濃度 (C_{MBC}), BC 湿性沈着フラックス (F_{MBC}) の長期同時観測を行った。辺戸岬では春季に C_{MBC} が最大となり, 梅雨前線や低気圧の通過により降水量も増加した結果, F_{MBC} は春季に年間の約 8 割を占めた。越前岬や八方尾根では, 冬季に C_{MBC} が最大になり, 降水・降雪量も増加した結果, F_{MBC} は冬季に年間の約 4~5 割を占め, 降雪時の F_{MBC} の重要性も示唆した。

2010年6月に高知市で観測した大気エアロゾルと CCN の物理特性

山下克也 (気象研究所, 現 防災科学技術研究所),
村上正隆 (気象研究所, 現 名古屋大学),
田尻拓也 (気象研究所),
齋藤篤思 (気象研究所, 現 気象庁),
大竹秀明 (気象研究所, 現 産業技術総合研究所)

2006年から2010年にかけて行われた「渇水対策のための人工降雨・降雪に関する総合的研究」の一環として行われた2010年6月の高知市における大気エアロゾルと CCN の観測結果を報告した。太平洋からの風が卓越している環境下でも大気中のエアロゾルや CCN は汚染の影響を受けていること, 観測値を入力した吸湿性粒子シーディングシミュレーションより, 高知での吸湿性粒子シーディングの可能性を否定しない結果が得られたことを示した。

北太平洋・ベーリング海・チュクチ海で観測された海洋大気エアロゾルの CCN 特性

岩本洋子 (広島大学),
三木裕介, 横山慎太郎, 三浦和彦 (東京理科大学),
植松光夫 (東京大学大気海洋研究所)

海洋大気境界層内の CCN は硫酸塩, 海塩, 有機物から構成される。このため, 海洋大気境界層内の CCN 特性は海洋生物生産や大気環境によって変化する

ことが予想される。講演では, 北太平洋とその縁辺海における微小エアロゾルの個数粒径分布と CCN 能について報告した。ほとんどの海域で清浄な海洋大気に特徴的な二峰性の粒径分布が観測された。ベーリング海北部・チュクチ海では, 直径100 nm 付近にモードをもつ粒子の顕著な増加があった。CCN 活性化粒径は無機塩を想定した場合に比べて大きく, 有機物の寄与を考慮する必要がある。

海洋大気中の氷晶核 (IN) 数濃度: 西部北太平洋, ベーリング海, 北極海での観測事例

村田浩太郎, 當房 豊 (国立極地研究所),
竹谷文一, 宮川拓真, 金谷有剛 (JAMSTEC)

2016年8月から10月の「みらい」北極航海で得られた西部北太平洋, ベーリング海, 北極海における大気中 IN 数濃度について報告を行った。IN 数濃度は3桁の範囲で大きく変動しており, とくにシベリアの森林火災地域を由来とする空気塊が長距離輸送されていたときに著しく増加した。蛍光性エアロゾル粒子数との比較から, 調査海域大気中の IN 数変動には生物由来粒子が寄与していることが推察された。

スバルバル諸島での IN の観測に関する報告と展望
當房 豊 (国立極地研究所)

北極圏の中でもスバルバル諸島の周辺は, 年間を通して, 混相雲 (氷晶と過冷却の雲滴が混在する雲) の発生頻度が際立って高いといわれている。本発表では, スバルバル諸島・ニーオルスンにあるゼッペリン山観測所にて実施した現地観測の結果を基に, この地点における IN 数濃度の季節による違いについて報告した。また, これから予定されている北極圏でのエアロゾル・雲相互作用に着目した観測計画についての紹介を行った。

2.3 第2日目 (2018年2月15日)

大雪時の雲システム, 乱流と雲粒成長過程, 混相雲の晶癖, 混相雲形成, 層積雲と乱流, 及び窒素酸化物輸送に関する数値モデル研究, 人工降雨降雪に関する室内実験・航空機観測研究, 衛星とモデルの出力データを利活用した研究に関する話題があった。

山岳域での表層雪崩発生に関わる大雪の雲物理特性
荒木健太郎 (気象研究所)

2017年3月27日の那須町山岳域での表層雪崩をもた

らした雲システムについて解析したところ、低気圧接近に伴い湿潤な北～東風の強まりとともに形成された地形性上昇流が過冷却の水雲を下層で発生させていた。この下層雲と低気圧に伴う雲からの降雪が、Seeder-Feeder メカニズムを通して那須岳の北～東斜面で降雪を強化し、局地的な短時間大雪をもたらしていたことが示唆された (荒木 2018a)。このような短時間大雪は、過去にも関東付近を閉塞段階の南岸低気圧が通過しているときに発生していた。表層雪崩発生には降雪結晶が重要であり、気象研究所で行っているシチズンサイエンスによる超高密度雪結晶観測の取り組み「#関東雪結晶 プロジェクト」(荒木 2018b) についても紹介した。

航空機を用いた雲へのシーディングによる人工降雨・降雪実験

折笠成宏 (気象研究所),
村上正隆 (気象研究所, 現 名古屋大学),
斎藤篤思 (気象研究所, 現 気象庁),
田尻拓也, 財前祐二 (気象研究所),
池田明弘, 吉田一全 (いであ株)

雲へのシーディング効果を物理的に評価する手法の一つとして、国内とアラブ首長国連邦のプロジェクトから得られた航空機観測の結果を中心に報告した。冬季はドライアイスペレットを雲頂から散布し、シーディング前後の変化を氷晶の数濃度・平均粒径・形状等を比較することで評価した。夏季は吸湿性粒子を雲底付近から散布し、シーディングブリューム内のエアロゾル粒径分布を示したほか、シーディングの影響を受けた可能性のある領域とそれ以外での初期の雲粒粒径分布を比較した一例を示した。特に後者については解析事例を増やすとともに、室内実験や数値実験による他の研究アプローチと併せ、シーディング効果を総合的に議論する必要がある。

発生方法の異なるヨウ化銀粒子の物理化学特性と雲核・氷晶核能

田尻拓也, 郭子仙, 折笠成宏, 財前祐二 (気象研究所),
村上正隆 (気象研究所, 現 名古屋大学)

乾燥・半乾燥地域における降水強化に関する先端的研究」(UAE 政府「降雨強化科学プログラム」)の一環として取り組んでいる雲生成チェンバー等による室内実験のうち、過冷却雲への氷化シーディングに用いるヨウ化銀粒子の雲核・氷晶核能に関する評価実験結

果を紹介した。粒子発生方法の異なる地上発煙と航空機フレアを対比的に説明し、その雲核能の違いが雲粒凍結過程を通じて氷晶発生に及ぼす影響について議論した。

雲マイクロ物理シミュレータによる雲乱流混合現象と雲粒子成長過程の解明

齋藤 泉, 後藤俊幸, 渡邊 威 (名古屋工業大学)
「雲マイクロ物理シミュレータ」は、凝縮や衝突を含む様々な雲微物理過程を総合的かつ可能な限り第一原理に忠実に計算するための DNS モデルである。これまでの開発の結果、凝縮・衝突成長による雨粒の初期形成の特徴をある程度再現できるようになった (Gotoh *et al.* 2016, Saito and Gotoh 2018)。発表では雲マイクロ物理シミュレータによる研究の成果とその課題を概説するとともに、現在着目している過飽和度ゆらぎと雲粒の成長の関係について説明した。

晶癖予測モデルを用いた北極混合相層状雲の研究

端野典平 (九州大学)

北極では、雲内温度が -10°C 以下で、過冷却水と氷が混合した混合相層状雲が高頻度で存在する (特に西半球)。本発表では SHEBA の事例に、晶癖予測モデルを用いた 3 次元 LES 実験を行い、体積に依存する雲水浸水凍結スキームと古典核形成理論に基づくスキームの結果を比較した。前者では大きめの雲水が下降流でより多く凍結し、後者では過飽和度の高い上昇流域で小さな雲水が凍結する結果となった。昇華成長過程の非線形性により、氷粒子のアスペクト比に違いが現れ、結果としてレーダー反射因子に違いが生じることを示した。

超水滴法の混相雲への適用に関する進捗報告

島 伸一郎 (兵庫県立大学/理化学研究所計算科学研究機構),
佐藤陽祐 (名古屋大学/理化学研究所計算科学研究機構),
橋本明弘 (気象研究所)

超水滴法は粒子ベースの確率的な雲微物理モデルである (Shima *et al.* 2009)。複雑な雲微物理過程を比較的少ない計算コストで正確に計算することができると考えられ、近年温かい雲については応用が進んでいる。我々は、超水滴法を氷を含む混相の雲微物理過程に適用した。氷粒子の形状の変化を予報するため、

Chen and Lamb (1994) の多次元ビンモデルの考え方に沿って、氷粒子を多孔性の回転楕円体で近似した。各素過程の基礎方程式と数値実装の概要を説明し、初期テスト計算の結果を紹介した。

超水滴法による海洋層積雲のシミュレーションと大気境界層内の乱流構造

武田和弥, 島 伸一郎 (兵庫県立大学)

層積雲の動態を理解するためには、第一原理的な雲微物理モデルである超水滴法を使ったシミュレーションが有用であると考えられる。しかし、先行研究において、超水滴法を使った場合は荒い空間解像度において数値誤差により層積雲が消失してしまうという問題が指摘されていた。そこで本研究では、大気境界層内の乱流構造に着目し、その原因について分析を行った。その結果、サブグリッドスケールの乱流拡散を適切に与えることにより、数値的収束性を改善できることが明らかになった。

東シナ海における総反応性窒素酸化物の数値解析

郭朋君, 島 伸一郎 (兵庫県立大学),

梶野瑞王 (気象研究所),

高見昭憲 (国立環境研究所),

畠山史郎 (埼玉県環境科学国際センター),

坂東 博, 定永靖宗 (大阪府立大学),

弓場彬江 (アジア大気汚染研究センター)

Takiguchi *et al.* (2008) は、移動性高気圧に伴い冬季に中国からの汚染気塊が東シナ海上を移動し、海塩粒子及びダスト上のイオン成分が酸性物質を取り込む過程を、観測結果と流跡線解析を併用して解析した。我々は、このプロセスを定量的に評価するために、3次元化学輸送モデル NHM-Chem を用いて、再現実験を行った。特に、青島から辺戸への輸送イベントの一例を対象に詳細な分析を行い、Takiguchi *et al.* (2008) の仮説と矛盾しない結果が得られることを確認した。

下層雲量の決定要因と下層雲の将来変化

川合秀明 (気象研究所)

下層雲量と相関の高い安定度指標として、下層大気安定度 LTS (Klein and Hartmann 1993)、及び、それを改良した推定逆転層強度 EIS (Wood and Bretherton 2006) がよく使われてきた。しかし、これらは温度鉛直構造のみを考慮したものであり、水蒸気のプ

ロファイルは考慮されていなかった。そこで、雲頂エントレインメントの発生条件の式を変形し、水蒸気の鉛直構造を考慮した新しい指標を開発した (Kawai *et al.* 2017)。そして、この指標が下層雲量とさらに高い相関を持つことを、船舶観測雲量データを用いて示した。その上で、この指標を用いて、下層雲の将来変化を説明することに成功した。

CloudSat 衛星データから導出された黒潮上の雲の鉛直構造について

山内 晃, 河本和明 (長崎大学),

万田敦昌 (三重大学),

Jiming Li (蘭州大学)

メキシコ湾流や黒潮のような暖流は大規模大気循環に影響を与えることがわかっている。本発表では、強い暖流である黒潮の影響が雲内部の物理特性にどのような影響を及ぼすのかを CloudSat 衛星に搭載されている Cloud Profiling Radar (CPR) から得られたデータを使用し、結果を報告した。数100 km 程度の暖流である黒潮の擾乱によっても雲の鉛直構造 (雲水量・降水強度・幾何学的厚さ・降水強度のピーク位置) に影響を与える可能性があることを紹介した。

全球雲解像モデルと衛星観測による降雨形成過程へのエアロゾルの影響の解析

藤原智貴, 鈴木健太郎 (東京大学大気海洋研究所),

佐藤陽祐 (名古屋大学),

道端拓朗 (九州大学),

五藤大輔 (国立環境研究所)

エアロゾル輸送過程が結合された全球雲解像モデル NICAM-SPRINTARS で現実的に再現された第2種間接効果のメカニズムを理解するために、降水形成過程まで立ち入った解析を行った。その結果、モデルにおける降水形成過程へのエアロゾルの影響の表現の違いが、雲水・雨水の組成比を変化させて、エアロゾル変化による蒸発の効率に違いをもたらすことが分かった。

衛星シミュレータ COSP を用いた気候モデル MIROC の雲場の評価

堀田陽香, 鈴木健太郎 (東京大学大気海洋研究所)

気候モデル MIROC5 は南大洋で雲の日傘効果に弱い放射バイアスを持つ。この要因を探るため、衛星シミュレータ COSP を用いてモデルの雲相と雲量を

CALIPSO 衛星観測と比較評価した。衛星シミュレータを用いることで諸仮定が必要なリトリバルを介さない衛星計測値とモデル計算値を直接比較することが可能となる。COSP を通したモデルの気温-雲相関係はオリジナル出力と比べ氷雲の比率が下がり、衛星観測に近づいた。これはモデル-衛星観測比較に衛星シミュレータを用いる重要性を示す。南大洋バイアスの原因は、高い氷雲比率と中層雲量不足にあると考えられる。

2.4 参加学生による自己紹介などの短時間発表 (2018年2月14日)

前回、企画したが参加希望者がいなかった参加学生による短時間発表を今回初めて実施した。自己紹介や雲研究に興味を持っていること・取り組んでみたいことなどについて話題提供があった。発表内容の概要に関しては省略するが、参加しての感想を紹介する。

Twitter で集会の存在を知った。雲研究とはまだ無縁なので内容を理解できるとは思っていなかったが、興味があって参加した。予想通り発表内容はあまり分からなかったが、大学や研究機関ではどのような研究をしているのか、少しだけ覗くことが出来て良かったと思う。機会があれば又参加したい。

(熊谷幸基 学部1年)

貴重な勉強の機会を頂き、ありがとうございました。専門的な内容であったため、やや難しい部分もありましたが、各分野の方の最新の研究のお話を聞くことができ、どのような方法で観測を行っているのか、モデルはどのようなものを使っているのか等、全体の雰囲気を感じることができたように思います。機会があれば、又参加したいです。

(猪又淳之助 学部2年)

今回、初めて研究集会に参加しました。日本各地から様々な観点から雲に対するエアロゾルの影響等を研究している人々に会えたことを光栄に感じました。今回の研究集会で主に使われていた手法はシミュレーション、モデル、地上観測でした。自分の将来の研究としては、衛星から得られたデータを基に対流雲への様々な影響を見るというものであり、正直に言うと今の自分の研究に直接的に参考になるものではありませんでした。ただ、逆に言えばいろいろな視点からの雲

の見方を聞くことができたのは大いに新鮮であり、また、自分の研究の日本の中での新しさを秘めていることを実感できました。今回得られたような包括的な視野を忘れずにこれからの研究に精進していきたいと思えます。

(大芦宏彰 学部4年)

雲物理に特化した、ただし注目している対象や手法は多岐にわたる研究を一度に知ることができ、視野を広げることができた。また聴講だけでなく自身の研究について簡単に紹介する時間をいただけたことで、様々なご意見を頂くことができ、今後研究を進めていく上での参考にもなった。2日間の研究集会全体を通して、気象学、特に雲物理の勉強を始めて間もない学生にとっても、様々な知見を得ることができ非常に有意義な時間であった。

(高橋 麗 修士1年)

雲に関すること、特に氷晶に関する知識を学び、自分の行う研究に生かしたいと思えます。それ以外の分野についても学ぶことで、様々な視野で氷晶について考えられるようになりたいです。

(酒井健人 修士1年)

3. 今後の雲研究の方向性について

本研究集会では、雲研究の最新の成果が紹介され、気軽な意見交換が行われた。初歩的な質問と研究に対する建設的なアドバイスは、この研究集会で特に重要とされる場所なので、今後も気軽な意見交換の場となるようにプログラム構成や時間配分などを考慮した運営を行っていく予定である。

互いの研究発展の可能性、参加者間での協力関係の構築に結びつく場とすることも研究集会の目的の一つである。それらの可能性があるトピックをここでは紹介しておきたい。

暖かい雲に関する話題では、多くの講演で衝突併合プロセスがキーワードになっていた。巨大CCN数濃度とドリズル形成、衝突効率への乱流影響、Auto Conversion (雲粒同士の衝突) の気候モデルでの取り扱いなどは、エアロゾルと雲の相互作用を扱う上でよいトピックではないかと思われる。スカイツリーでのエアロゾル、CCN、IN、雲粒粒径分布観測とその周辺を視野内に持つXバンドとKaバンドレーダー観測は衝突併合プロセスを扱うにはとてもいい研究

フィールドであると思われる。また、暖かい雲に対する人工降雨のプロセス研究や野外実験の結果も衝突併合プロセス理解に貢献するものと思われる。ブラックカーボン粒子トレーサーとすると雲物理プロセスを読み取れる可能性があるようなので、湿性沈着したブラックカーボンと降水粒径分布の同時観測を行えば、衝突併合プロセスの理解に繋がるかもしれない。それぞれの今後の研究の進捗に期待したい。

冷たい雲の話題では、不均質核形成の一つである水滴凍結が議論の中心であった。例えば、極域の下層大気中にて頻繁に発生する混相雲の雲物理特性や寿命は、IN 数濃度に強く依存するといわれている。極地研のグループから北極域の IN 数濃度の具体的な値が出てきている。しかしながら、IN 数濃度は、場所や時期の違いや越境汚染イベント等の影響によって、数桁の変動幅を示すようである。このような測定値に幅のある現状の中で、「モデル側はどのような定式化をすると良いのか？」という質問があった。これに対し、明確な答えは出なかったが、逆にこの幅がモデルの結果にどのくらい影響を及ぼすのかを見積もることで観測や室内実験側にフィードバックが欲しいという議論がなされた。このような議論が研究集会では望まれていたものであり、今後も研究集会を継続したいと特に感じた瞬間であった。この議論に関しては、実際の冷たい雲の中の氷晶数濃度や粒径分布等の情報が必要だと思われる。衛星やレーダーを専門とする研究者を巻き込み、氷晶数濃度などの情報を取り入れた議論を次回はできればと考えている。「該当するのは私だ」と思われた方は、次回是非ご参加ください。

4. おわりに

3回目となる今回は、ソーシャル・ネットワーキング・サービスでの告知の成果が学生がこれまでより多く参加した研究集会となった。そのおかげで、前年度出来なかった学生による自己紹介や雲にどんな興味を持っているかなどを簡単に紹介するセッションを設けることができた。2.4の学生参加者の感想にもあるが、いい経験になったとの声が多く寄せられた。一方で、講演の内容が難しく理解できないという声もあった。雲に興味のある学生に研究をやりたいと思ってもらえるように、次回からは雲研究の基礎や研究レビューなどの話を交える予定である。

雲研究に関しては、気軽な意見交換の場であるとの認識がしっかり共有できたことと、比較的時間に余裕

を持たせたスケジュールとしたことにより、活発で建設的な議論ができたと思う。エアロゾル・雲・降水の相互作用に関する議論にも芽が出てきているので、今後も研究集会を継続し研究参加者の研究促進に繋がる場としたい。2018年度も同様な研究集会を開催予定である。雲に関する研究に関して、研究手法及び扱う現象のスケールで考え方や研究プロセスが異なることを認識した上で歩み寄ることもこの研究集会の目的の一つです。興味のある方は是非ご参加ください。

最後に、本研究集会実施にあたってご協力いただいた国立極地研究所の関係者の皆様に対して、ここに記して謝意を表します。ありがとうございました。

略語一覧

CCN : Cloud Condensation Nuclei 雲凝結核
 CFMIP : Cloud Feedback Model Intercomparison Project
 COSP : CFMIP Observation Simulator Package
 CPR : Cloud Profiling Radar
 EIS : Estimated Inversion Strength
 IN : Ice Nuclei 氷晶核
 LES : Large Eddy Simulation
 LTS : Lower-Tropospheric Strength
 MIROC : Model for Interdisciplinary Research on Climate
 NHM-Chem : Non-Hydrostatic Model-Chemical model 非静力学気象化学モデル
 NICAM : Nonhydrostatic ICosahedral Atmospheric Model
 PM_{2.5} : Particulate Matter with a diameter of 2.5 um or less
 SHEBA : Sustainable Shipping and Environment of the Baltic Sea region
 SPRINTARS : Spectral Radiation-Transport Model for Aerosol Species

参考文献

荒木健太郎, 2018a : 低気圧に伴う那須大雪時の表層雪崩発生に関わる降雪特性. 雪氷, 80, 131-147.
 荒木健太郎, 2018b : シチズンサイエンスによる超高密度雪結晶観測「#関東雪結晶プロジェクト」. 雪氷, 80, 115-129.
 荒木健太郎ほか, 2017 : 「エアロゾル・雲・降水の相互作用に関する研究集会」報告. 天気, 64, 483-491.
 Chen, J.-P. and D. Lamb, 1994: Simulation of cloud microphysical and chemical processes using a multicomponent framework. Part I: Description of

- the microphysical model. *J. Atmos. Sci.*, **51**, 2613–2630.
- Gotoh, T., T. Suehiro and I. Saito, 2016: Continuous growth of cloud droplets in cumulus cloud. *New J. Phys.*, **18**, 043042, doi:10.1088/1367-2630/18/4/043042.
- Kawai, H., T. Koshiro and M. J. Webb, 2017: Interpretation of factors controlling low cloud cover and low cloud feedback using a unified predictive index. *J. Climate*, **30**, 9119–9131.
- Klein, S. A. and D. L. Hartmann, 1993: The seasonal cycle of low stratiform clouds. *J. Climate*, **6**, 1587–1606.
- Saito, I. and T. Gotoh, 2018: Turbulence and cloud droplets in cumulus clouds. *New J. Phys.*, **20**, 023001, doi:10.1088/1367-2630/aaa229.
- Shima, S., K. Kusano, A. Kawano, T. Sugiyama and S. Kawahara, 2009: The super-droplet method for the numerical simulation of clouds and precipitation: a particle-based and probabilistic microphysics model coupled with a non-hydrostatic model. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **135**, 1307–1320.
- Takiguchi, Y., A. Takami, Y. Sadanaga, X. Lun, A. Shimizu, I. Matsui, N. Sugimoto, W. Wang, H. Bando and S. Hatakeyama, 2008: Transport and transformation of total reactive nitrogen over the East China Sea. *J. Geophys. Res.*, **113**, D10306, doi:10.1029/2007JD009462.
- Wood, R. and C. S. Bretherton, 2006: On the relationship between stratiform low cloud cover and lower-tropospheric stability. *J. Climate*, **19**, 6425–6432.
-