

第17回国際雲・降水会議 (ICCP2016) の報告*

三 隅 良 平^{*1}・岩 崎 杉 紀^{*2}・道 端 拓 朗^{*3}・竹 見 哲 也^{*4}
 山 下 克 也^{*5}・佐 藤 陽 祐^{*6}・當 房 豊^{*7}・大 畑 祥^{*8}
 橋 本 明 弘^{*9}・折 笠 成 宏^{*10}・田 尻 拓 也^{*11}・村 上 正 隆^{*12}

1. 会議の概要、および組織委員としての仕事

国際雲・降水会議は、4年に一度、夏季オリンピックの年に開催される国際研究集会である。その規模はオリンピックとは比べるべくもないが、4年間磨き上げた成果を国際舞台で披露するという意味ではオリンピックに通じるものがある。第17回となる2016年は、7月25日から29日まで英国のマンチェスター大学で開催され、世界28か国から540件の研究発表が行われた。発表者の数は、米国、英国、ドイツ、中国に次いで日本は5番目であり、日本からの研究者が占める割合は5%であった。開催されたセッションと発表件数を第1表に示す。「エアロゾル・雲・降水相互作用とプロセス」のセッションの発表件数は28件であるが、申し

込みは150件以上あり、これらを様々なセッションに振り分けている。アカデミック・セッションの他に、2015年1月に亡くなった“The Physics of Clouds”の著者、John Mason 卿を追悼するセッションも開かれた。会議の懇親会はマンチェスターユナイテッド・フットボール・クラブで行われ、サッカー好きには大いに喜ばれた。

会議の催し物のひとつとして、「雲物理ファミリーツリー」が公開された(第1図)。これは研究者の指導教員を遡って家系図の形で示したもので、熱帯気象の分野で試作されたもの(Hart and Cossuth 2013)を雲物理分野に拡張したものである。幅数メートルのファミリーツリーから自分の名前を探したり、自分の「先祖」をたどったりして楽しんだ。ちなみにこの家系図によると、私を含む日本人研究者の多くが長岡半太郎にルーツをもっている。ファミリーツリーの最新版はインターネットで公表されており、随時新規登録を受け付けているのでぜひ参照していただきたい(<http://moe.met.fsu.edu/familytree/> 2016.8.20閲覧)。

* Report on 17th International Conference on Clouds and Precipitation (ICCP2016)

^{*1} (連絡責任著者) Ryohei MISUMI, 防災科学技術研究所水・土砂防災研究部門, misumi@bosai.go.jp

^{*2} Suginori IWASAKI, 防衛大学地球海洋学科,

^{*3} Takuro MICHIBATA, 九州大学大学院総合理工学府,

^{*4} Tetsuya TAKEMI, 京都大学防災研究所,

^{*5} Katsuya YAMASHITA, 防災科学技術研究所雪氷防災研究センター,

^{*6} Yousuke SATO, 理化学研究所計算科学研究機構,

^{*7} Yutaka TOBO, 国立極地研究所,

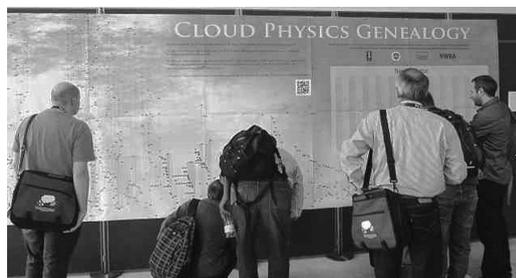
^{*8} Sho OHATA, 東京大学大学院理学系研究科,

^{*9} Akihiro HASHIMOTO, 気象研究所予報研究部,

^{*10} Narihiro ORIKASA, 気象研究所予報研究部,

^{*11} Takuya TAJIRI, 気象研究所予報研究部,

^{*12} Masataka MURAKAMI, 名古屋大学宇宙地球環境研究所,



第1図 雲物理ファミリーツリーの展示。

第1表 セッションと発表件数.

セッション	発表件数
1. Basic cloud and precipitation physics (雲と降水の基礎的な物理)	41
2. Warm boundary layer clouds (境界層の暖かい雲)	45
3. Convective clouds (対流雲)	36
4. Mixed phase clouds (混相雲)	32
5. Cirrus clouds (巻雲)	22
6. Cloud electrification (雲の帯電)	10
7. Entrainment and mixing (エントレインメントと混合)	27
8. Mid-latitude cloud systems (中緯度の雲システム)	39
9. Tropical clouds and cloud systems (熱帯の雲と雲システム)	39
10. Polar clouds and cloud systems (極域の雲と雲システム)	27
11. Secondary ice production (二次氷晶生成)	14
12. Aerosol-cloud-precipitation-interactions and processing (エアロゾル・雲・降水相互作用とプロセス)	28
13. Clouds and climate (including radiative properties of clouds) (雲と気候および雲の放射特性)	43
14. Ice nuclei and cloud condensation nuclei (氷晶核と雲凝結核)	44
15. Cloud and precipitation chemistry (雲と降水の化学)	35
16. Measurement techniques (of cloud and precipitation properties) and uncertainties (雲・降水特性の測定技術と不確実性)	43
17. Applications of cloud and precipitation physics (雲・降水物理の応用)	15

私は組織委員会の一員として会議の準備に携わった。まず申し込まれたアブストラクトから口頭発表を選ぶ作業を分担した。アブストラクトを①研究の意義と目的, ②手法, ③結論の三点に注目して採点したが, ①が明確に書かれていないものが多かった。研究論文のアブストラクトでは同業者が読むことを前提に①を短くすることがあるが, 講演申し込みのアブストラクトでは意義や目的をしっかりと書き込むことが重要である。また③が全く書かれていないアブストラクトもあった。

他に, 若手研究者の中から「ベストポスター賞」を選ぶ作業も分担した。審査員の身分を隠していくつかのポスターを回り, 発表者に説明を請うた。ポスター発表の成否には, 研究内容やポスターの出来栄もさることながら, 「コミュニケーションの巧みさ」もまた重要である。ある若手研究者は, ポスターを訪れた私に対して「あなたの専門はシミュレーションですか, 観測ですか」と尋ね, 「シミュレーションである」と答えると, 自分の研究成果を説明しながら, 随時「シミュレーションの立場ではどう考えるか」という質問を投げかけてきた。その発表者とは有意義な議論ができ, 結果として私の評価では高得点になった。他

の審査員も同様だったようで, この若手研究者がベストポスター賞の一人に選ばれた。

会議開催期間中に国際雲・降水委員会が開かれ, 会長の Flossmann (フランス) が留任し, 副会長が Rauber (米国) から McFarquar (米国) に交替した。委員の改選も行われ, 日本からは私が任期終了で退任し, 新たに折笠成宏会員 (気象研究所) が選出された。また2020年の会議はインドのプネーで開催されることになった。

以下, 何人かの参加者の方々に, 会議で印象に残ったことを書いていただいた。雲物理分野におけるホットな話題や, これから

重要になりそうなテーマについて参考にしていただければと思う。(三隅良平)

2. 雲粒子の撮像

私が印象に残った発表のいくつかを紹介する。「雲・降水特性の測定技術と不確実性」のセッションで, Lawson (SPEC Inc., 米国) による航空機用の雲粒を撮影するカメラの開発の話があった。同様のカメラは以前から開発されており, 開発テーマとしては歴史の長いものである。今回の発表の新しさは, イメージングレーザーを使い, 10 μm ほどの大きさの氷晶でも鮮明に撮影できる点である。このため, 1ピクセルの空間分解能はサブミクロンの大きさで, 自動で焦点を合わせることを試みている。飛行機用の機材なので, 1秒間に700枚の撮影能力を持っている。まずは2018年に北極で係留気球の本観測をやるそうだ。

「巻雲」のセッションでは, ゾンデで捕捉した氷晶を昇華させずに走査型電子顕微鏡に入れ, 表面の細かな構造を見る話が Magee (ニュージャージー大学, 米国) からあった。実際の氷晶は, 表面が粗かったりピーナツ状にコーティングされたりしたものなど多種多様で, これらをすぐに光散乱計算に結び付けるのは

難しく、自然の複雑さを再認識させられた。

他に気がついたこととして、LESでいろいろな雲を計算した発表が多くあった。以前はある程度大きな計算機が必要だったLESが一般的な道具となっていた。(岩崎杉紀)

3. 気候モデルにおける雲の取り扱い

「雲と気候および雲の放射特性」のセッションにて、エアロゾル・雲相互作用における大循環モデル(GCM)の不確実性に関する発表を行った。「GCMは、雲寿命効果に基づき、エアロゾルの擾動に対して正味で雲水を増やすようパラメータ化している一方、衛星データの解析結果では、雲水が増える応答と減る応答に地域依存性が見られ、それは雲の種類や熱力学条件と良い相関があることが明らかになった。観測から得られた一種のバフファ機構(Stevens and Feingold 2009)をGCMは再現できていないため、間接効果を本質的に過大評価している」という内容を発表した。この分野の第一人者であるFeingold(NOAA, 米国)らにも聴講に来ていただき、情報を発信する非常に良い機会になった。

これに関連し、Partridge(ストックホルム大学、スウェーデン)による、ECHAM6へ雲パーセルモデルを実装し、直接的に雲・降水過程を再現するアプローチは特に印象的だった。GCMでの取扱いが難しい、エントレインメントによる混合や降水落下時の雨の蒸発などを陽に考慮できれば、バフファ機構が部分的に再現可能となるため、間接効果の低減に貢献することが期待される。

会議全体を通して、これまで得られてきた素過程レベルでの理解を、氷を含む雲システム全体の応答に拡張したモデル開発が、本格的にスタートしてきた印象を受けた。最新の知見を活かしたモデル開発に尽力していきたい。(道端拓朗)

4. 熱帯の雲システム

ICCPは、雲・降水の微物理過程と気象・気候に係わるテーマを幅広く議論する場であり、多彩な研究成果を一度に知ることができる良い機会である。このような考えから、ICCPには、2004年の会議から続けて出席している。

今回の会議では、私は、「熱帯の雲と雲システム」のセッションにおいて、2015年3月に南太平洋で発生したサイクロン・パムの領域気象モデル計算における

雲物理スキームに対する依存性を調べた結果について発表した。このサイクロンは、マッデン・ジュリアン振動の対流活発域が東進するに伴い発生した。積雲の組織化からサイクロンへの発達にいたる過程の各発達段階で雲物理スキームの影響を調べた結果、スキームの違いによって積雲による環境場の湿潤化や安定化の違いが生じ、引き続き積雲の組織化の違いになって現れ、不安定エネルギーの蓄積度合いの違いから熱帯低気圧の発達速度や最大強度にも影響することを示した。発表が最終日だったので、会議中に何度か練習でき、良い発表ができたと思う。

同じセッションでは、積雲の組織化、積雲の日変化、温暖化時の積雲と水収支変化といったテーマの発表もあった。雲物理だけにとどまらず、メソ気象や大規模気象・気候との関連を意識した発表が増加したように感じた。また、今回はLESに関する発表も目立った。LESといった高分解能数値シミュレーションや雲物理とより大規模な現象との相互作用に関する研究は、今後ますます活発になると感じた。

(竹見哲也)

5. 降雪の計測とモデリング

全体を通してみると、観測・実験研究では、「測定しました」という定性的な発表よりも、測定値の定量性や空間代表性に重きをおいた発表が、またモデルでは、エアロゾル-氷晶の関係を組み込んだ、エアロゾルの雲・降水形成への影響に関するシミュレーションに関する発表が前回と比べると増加したように思われる。

私は、「雲・降水特性の測定技術と不確実性」のセッションで、X-bandレーダとその視野内に設置した地上観測サイトから構成される集中豪雪監視システムの概要と、2016年1月24-25日の新潟県中越地方大雪時の観測結果をポスターで発表した。韓国気象研究所の方に興味を持ってもらい、その人によれば、2018年の平昌オリンピックでの正確な降雪量分布提供のために、同じような装置を用いて研究を行っているとのことであった。我々が行っている光学式ディストロメータから判別した降雪種を利用したレーダ降雪量推定の試みはすばらしいと好評価であった。

以下では、私の研究対象である降雪・積雪に関連して興味を持った研究発表を記す。Theriault(ケベック大学、カナダ)は、重量式降水量計(Geonor-T200B)の降雪測定時の風速に対する捕捉損失を

CFD (Computational Fluid Dynamics) とラグランジュモデルを用いて計算を行っていた。この計算では、霰や雪片など降雪の種類を考慮しておらず、今後は Ishizaka *et al.* (2013) が提案した降雪種判別法を参考にして風に対する捕捉損失を計算し、捕捉損失のメカニズム理解に結び付けたいとのことであった。正確な降雪量を測定するための降水量計の開発、既存の降水量計測定値への補正量推定などに大変有用な研究だと感じた。Chen (国立台湾大学) は、氷晶の形状変化をシミュレーションできるトリプルモーメントの雲微物理スキームを WRF に組み込んで、英国で行われた DIAMET (DIAbatic influences on Mesoscale structures in Extra Tropical storms) キャンペーン中の寒冷前線に起因する降水のシミュレーションを行っていた。航空機観測との比較により、氷晶濃度やアスペクト比の鉛直分布などが観測結果と一致していることを示していた。現在、我々は降雪と積雪を結びつけるパラメータとして比表面積の利用可能性を検討中であるが、気象モデルでの比表面積推定に参考になるスキームであると感じた。(山下克也)

6. LES モデルと粒子法

今回の会議で筆者は、超水滴法 (Shima *et al.* 2009) を結合した LES モデルの解像度依存性に関する考察について発表を行った。欧米を中心とした LES モデルの開発者から質問を受け、議論を行った。その議論では、解像度依存性に関する調査はまだ不十分であり、計算機の発展とともに、このような議論をさらに深めていく必要があることを共有できた。

超水滴法のような粒子法を使った研究がここ数年で増え始め (例えば今回の会議では Seifert (ドイツ気象局), Naumann (マックスプランク研究所, ドイツ), Hill (英国気象局), Jaruga, Zimniak (ワルシャワ大学, ポーランド) など)、従来のオイラー法雲微物理モデルとの比較なども徐々に増えてきており、非常に大きな刺激を受けた。

そのような刺激を受けた反面、日本からの投稿数が全体の投稿数に対して少ない点に危機感と寂しさもあった。この投稿数の少なさは、筆者が日本気象学会に入会してから今日に至るまで、雲・降水に関して議論する研究者がほとんど変わっていないことと無縁でないように思えてならない。日本の雲・降水研究の歴史は古く、今回の会議でも頻繁に引用されている日本の研究がある中で、このような現状になっていること

は寂しさを覚えた。自らの研究ももちろん重要であるが、後世の研究者を育てるような取り組みもしていかなければならないと切に感じた。(佐藤陽祐)

7. 氷晶核の計測

今回が初参加となった ICIP2016 では、「氷晶核と雲凝結核」のセッションでのポスター発表を行った。筆者はグリーンランドで採取されたダスト試料の氷核活性を調べた結果を発表したのだが、その結果自体よりも、本実験に用いた氷晶核計測装置 (約 -30°C ~ 0°C での氷晶核計測が可能で、他の研究グループは、これだけ幅広い温度範囲での計測を未だ実現できていない) についての問い合わせを数多く受けた。

このセッションでは、雲凝結核と比較し、氷晶核に関する発表が圧倒的に多く、国際的には、過去にも例がないくらい氷晶核研究が盛り上がっていることを実感した。氷晶核関連では、数年前に、「鉱物を構成する成分のひとつであるカリ長石の氷核活性が非常に高い」ことを示した研究成果が Nature 誌に発表されたこともあり (Atkinson *et al.* 2013)、それに追随するような研究内容の発表が多いように思えた。また、Twohy (NWRA, 米国) らの航空機観測の結果など、大気中での氷晶核計測に関する発表も多くみられた。彼女らの観測結果の検証には、筆者らが以前発表した氷晶核の数濃度に関する経験式 (バイオエアロゾルの数濃度と温度の関数式; Tobo *et al.* 2013) が用いられていたが、幸い (?), 彼女らの観測結果もよく再現できるという結論になっていた。

それ以外にも、「二次氷晶生成」のセッションが個人的には印象的で、氷晶核の存在だけでは説明が難しい氷晶生成過程を研究することの必要性について言及されていた。(當房 豊)

8. エアロゾルの湿性除去

私は「雲と降水の化学」のセッションにおいて、エアロゾルの湿性除去を支配する微物理過程に関するポスター発表を行った。湿性除去を受ける前の大気中のブラックカーボン (BC) と降水に含まれる BC の微物理特性を測定・比較することで、サブミクロンサイズのエアロゾルの除去効率が、個々のエアロゾルの雲粒・雨粒との衝突過程ではなく、雲凝結過程により強く支配されていることを観測的に明らかにした。ポスターは、学会期間中、常に所定の場所に掲示されており、コアタイム以外でも様々な参加者と議論すること

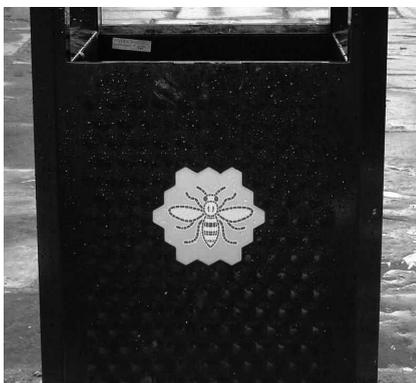
ができた。エアロゾル湿性除去の微物理過程を理解するための観測的手法はこれまで確立されておらず、BCに着目した本研究のアプローチを評価して下さる方もいた。

多くの発表を聞いて改めて感じたことの一つは、アジア域での航空機を用いた雲の詳細な観測が非常に限られていることである。もう一つ印象的だったのが、私が参加した中で、特に二次氷晶生成に関するセッションが盛り上がっていたことである。工夫した手作りの実験装置により、過冷却水滴が凍結する際に二次粒子が飛び出す様子を捉えたカールスルーエ工科大学(ドイツ)のグループの研究発表などは、純粋に現象としてとても面白かった。雲内で観測される氷粒子数が、推定される氷晶核数に比べてはるかに多くなりうるメカニズムに関しては、エアロゾルの氷晶核能・二次氷晶生成プロセスともに基礎的な実験がさらに必要であると感じられた。

私はICCPへの参加は今回が初めてであった。マンチェスター大学実験室ツアーやリンクング・ランチ(世代や国をまたいだ研究者間の交流昼食会)など、研究発表以外のすべてのイベントにも参加し、国内外の多くの研究者・学生の方々と交流できたことは大きな励みとなった。(大畑 祥)

9. 雲物理モデル

「多次元ビン法雲物理モデルを用いた雲降水シミュレーション」と題してモデルの仕様と初期的計算結果についてポスター発表を行った。会期中、Seifert(ドイツ気象局)やXue(米国大気研究センター)と、計算効率の観点から、多次元ビン法と超水滴法と



第2図 マンチェスターのシンボル働き蜂。

の関係について意見交換した。

雲物理モデリング分野の中でバルク法開発については、レーダ反射因子・粒子形状・雲粒捕捉成長等に関するパラメータを新たな予報変数として加える、いわば多変数化による精緻化が進み、領域気象モデルに組み込まれていた。また、雲核・氷晶核のモデリングも室内実験をもとに進められ、その成果が領域モデルに反映されていた。感度実験をもとにそれら精緻化の効果を謳う発表が幾つもあったが、精緻化されたモデルを駆使してプロセス解明を目指す、例えばHeever(コロラド州立大学、米国)のような研究が、単なる感度実験を越えて数多くなされるようになるには、もう少し時間がかかりそうである。

会議の開催地マンチェスターは、18世紀後半、機械化された綿工業により産業革命を牽引した都市である。街中を歩くと、道路標識の支柱やごみ箱等、いたる所に蜂の絵柄を目にした(第2図)。これは産業革命当時の市民の勤勉さや街の活気を象徴しているらしく、今も市民がそれを誇りとしていることに気づかされた。(橋本明弘)

10. 氷晶核と雲凝結核の観測

筆者にとって8年ぶりの参加となり、懐かしい顔ぶれや久しぶりの再会となる研究者もいた反面、世代交代の印象も同時に感じた。全体的な印象として、欧米を中心に氷晶核を対象とした室内実験、野外観測、数値実験による研究が益々盛んであることを実感した。特に、ダスト粒子を扱う研究は、ヨーロッパ各国が連携して精力的に進めている点が目を引き、室内実験による内部混合やコーティングの影響評価までかなり先を進んでいることを改めて知る機会となった。

実大気中でダスト粒子より比較的暖かい温度で働く氷晶核の候補として、sea sprayによる海洋性エアロゾルも注目され始めてきた。どの程度実大気内で寄与しているか、季節・位置・高度依存性が変動するものと考えられるが、世界のいくつかの観測地点における氷晶核計やフィルター法による氷晶核数濃度の測定、GCMを使った氷晶核分布の評価など、筆者にとり興味深い研究発表であった。

筆者自身は、つくばにおける地上観測による氷晶核・雲凝結核数濃度の季節変化を発表した。氷晶核と雲凝結核を継続的に同時測定している研究は現時点で世界的に類を見ないものの、高緯度地方や山岳や海上も含め、世界のいろいろな箇所でも氷晶核や雲凝結核の

地上連続観測を行っている研究がいくつかあった。氷晶核能や雲凝結能としてどの物質や混合状態でどの程度寄与しているか、測定位置の代表性や高度依存性も含め、残された共通課題といえる。

本会議への参加により、欧米を中心とした各国で、航空機や地上観測だけでなく室内実験も組織・国境を越えて取り組んでいる連携体制が印象に残ると同時に、多くの学生や若い研究者が、チャレンジするのに労を要する氷晶核測定に関する研究に取り組む姿に感銘を受けた。裏を返せば、現状での我が国の体制や動向についてやや危機感を覚えた。氷晶核測定に関する研究はこれから急速に進展する可能性があり、国際的に存在感を示す意味で少しでも貢献できればと思う。

(折笠成宏)

11. 氷晶核に関する研究動向

マンチェスターは、古い街並みを残しつつ、あちらこちらで開発工事が進行中で新旧の対比が目に残る街であった。会議外の催し物は、歴史あるタウンホールや現代的なサッカー競技施設であったし、施設見学で巡った大学キャンパスは新旧建造物の混成が印象的であった。そうした研究棟の一角で Manchester Ice Cloud Chamber 等による雲凝結核や氷晶核の活性化といった最近研究への取組みがなされていた。

研究動向としては、エアロゾル・雲相互作用や雲凝結核・氷晶核に関する発表が今回は一層目立ち、国際的な趨勢が感じられた。氷晶核研究の主な対象はダスト粒子であるが、特に欧州を中心に長石 (feldspar) の高い氷晶核能に焦点をあてた発表が目についた。他方、土壌粒子やバイオエアロゾル、海洋起源のもの (sea spray) に着目した研究も散見された。私は、黄砂及びローカルダストの氷晶核能に関する雲生成チェーン実験結果の発表を行ったが、大気エアロゾルを対象とした研究では長期モニタリング観測・解析データの蓄積が各地で進んでおり、氷晶核能の経験式との比較解析や気候モデルにおける氷晶発生過程の放射・降水過程への寄与の試算など、展開の幅が広がっていた。氷晶核に関する実証的な研究手法に厚みが増したことに伴い、比較的暖かい気温領域での氷晶数濃度をより良く理解するため、二次氷晶に関する研究の再起が呼びかけられた。

(田尻拓也)

12. エアロゾル-雲-降水相互作用研究のブーム継続

イタリア・ボローニャで開催された2004年の会議から増え始めたエアロゾル-雲-降水相互作用の研究が、今回の会議でも発表件数全体の2割強を占め、ブームが継続しているという印象を受けた。雲凝結核や氷晶核に関する室内実験や野外観測研究だけでなく、雲形成・降水発達に関する航空機観測や数値シミュレーションを用いた研究でもエアロゾルの効果という言葉が頻繁に飛び交っていた。雲凝結核に関しては、雲凝結核として働く大気中のエアロゾル種、雲凝結核の過飽和度スペクトルと雲粒数濃度との関係など、かなり解明が進み、そのモデル化も着実に進んでいるという印象を受けた。一方、氷晶核に関しては、いろいろなエアロゾル種 (物質) の氷晶核能は実験的に調べられているものの、氷晶核として働く大気中のエアロゾル種、氷晶核の活性化モード・温度・過飽和度スペクトルと雲内氷晶数濃度との関係など、十分解明されていない点も多く残されており、モデル化の方向性もまだ定まっていないという印象を受けた。そんな中、会議の最終日に二次氷晶発生機構に関するセッションで、一旦、氷晶核から氷晶が雲内に発生 (一次氷晶発生) した後に、固相を含む雲・降水粒子間の衝突・併合過程に付随して発生する氷晶 (二次氷晶) の重要性や発生メカニズムが十分解明されていないことに関する発表があった。これは雲物理学分野における長年の懸案事項で、手当たり次第いろいろな物質の氷晶核能を調べるといったエアロゾル化学的な研究手法へ一石を投じる形となったというのは、私の少しうがった見方であろうか。

(村上正隆)

略語一覧

CFD : Computational Fluid Dynamics 計算流体力学
 ECHAM6 : European Centre/Hamburg Version 6 ドイツのマックスプランク研究所で開発されている大気大循環モデル
 GCM : General Circulation Model 大循環モデル
 LES : Large Eddy Simulation ラージ・エディ・シミュレーション
 NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration 米国海洋大気庁
 NWRA : NorthWest Research Associates ノースウェスト研究所
 WRF : Weather Research and Forecasting Model 天気研究予報モデル

参 考 文 献

- Atkinson, J. D., B. J. Murray, M. T. Woodhouse, T. F. Whale, K. J. Baustian, K. S. Carslaw, S. Dobbie, D. O'Sullivan and T. L. Malkin, 2013: The importance of feldspar for ice nucleation by mineral dust in mixed-phase clouds. *Nature*, **498**, 355-358.
- Hart, R. E. and J. H. Cossuth, 2013: A family tree of tropical meteorology's academic community and its proposed expansion. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **94**, 1837-1848.
- Ishizaka, M., H. Motoyoshi, S. Nakai, T. Shiina, T. Kumakura and K. Muramoto, 2013: A new method for identifying the main type of solid hydrometeors contributing to snowfall from measured size-fall speed relationship. *J. Meteor. Soc. Japan*, **91**, 747-762.
- Mason, B. J., 1971: *The Physics of Clouds* (2nd ed.). Clarendon Press, Oxford, 671pp.
- 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.
- Stevens, B. and G. Feingold, 2009: Untangling aerosol effects on clouds and precipitation in a buffered system. *Nature*, **461**, 607-613.
- Tobo, Y., A. J. Prenni, P. J. DeMott, J. A. Huffman, C. S. McCluskey, G. Tian, C. Pöhlker, U. Pöschl and S. M. Kreidenweis, 2013: Biological aerosol particles as a key determinant of ice nuclei populations in a forest ecosystem. *J. Geophys. Res. Atmos.*, **118**, 10100-10110.
-