

## 第16回国際雲・降水会議 (ICCP2012) の報告\*

三 隅 良 平\*<sup>1</sup>・下 瀬 健 一\*<sup>2</sup>・岩 崎 杉 紀\*<sup>3</sup>・大 東 忠 保\*<sup>4</sup>  
 佐 藤 陽 祐\*<sup>5</sup>・鵜 沼 昂\*<sup>6</sup>・大 竹 秀 明\*<sup>7</sup>・古 関 俊 也\*<sup>8</sup>  
 齋 藤 篤 思\*<sup>9</sup>・橋 本 明 弘\*<sup>10</sup>・山 下 克 也\*<sup>11</sup>  
 田 尻 拓 也\*<sup>12</sup>・竹 見 哲 也\*<sup>13</sup>・藤 吉 康 志\*<sup>14</sup>  
 村 上 正 隆\*<sup>15</sup>・中 井 専 人\*<sup>16</sup>・李 根 玉\*<sup>17</sup>

## 1. 国際雲・降水会議とは

国際雲・降水会議は、4年に1度開催される雲物理学のオリンピックとも言うべき研究集会である。第16回となる2012年は、7月30日から8月3日までドイツのライプチヒ大学で開催され、世界36か国から650件を超える研究発表が行われた。開催されたセッションと発表件数を第1表に示す。気候変動との関係で関心が高まっているエアロゾル・雲・降水相互作用に関する研究発表が最も多く、全体の18% (120件) を占めた。

学会前日の Icebreaker (緊張をほぐすための夕食会) は大学構内にある中世の建築物の地下で行われ、古いヨーロッパの雰囲気を楽しむことができた (第1図)。学会初日は Lenk (ライプチヒ大学, ドイツ), 中澤哲夫 (世界気象機関), Volkert (IAMAS), Wex (地域組織委員会), Levin (国際雲・降水委員

会) の挨拶に続き、藤吉康志 (北海道大学) と Cotton (英国気象局) の座長によって最初のセッションが開始された。セッション3では高橋 劭 (九州大学名誉教授), セッション10では村上正隆 (気象研究所) の招待講演も行われた。時間外の催し物として、ニコラス教会でのオルガンコンサート, ライプニッツ対流圏研究所への見学ツアー, 密林を模した奇妙なレストランでの夕食会なども行われ, 地域組織委員会による行き届いた会議運営に多くの参加者が満足した。

今回私は組織委員会の一員として会議の準備に携わった。会議の半年前には、口頭発表とポスター発表を振り分ける作業を委員全員で分担して行った。「良いプレゼンターを選ぶこと」、「地理的な偏りがないようにすること」など、いくつかの条件のもとに口頭発表者を選んだが、文字だけのアブストラクトで内容を評価するのは極めて困難であり、結果として国際的に

\* Report on 16th International Conference on Clouds and Precipitation (ICCP2012).

\*<sup>1</sup> (連絡責任著者) Ryohei MISUMI, 防災科学技術研究所 水・土砂防災研究ユニット, misumi@bosai.go.jp

\*<sup>2</sup> Ken-ichi SHIMOSE, 産業技術総合研究所太陽光発電工学研究センター。

\*<sup>3</sup> Suginori IWASAKI, 防衛大学校地球海洋学科。

\*<sup>4</sup> Tadayasu OHIGASHI, 名古屋大学地球水循環研究センター。

\*<sup>5</sup> Yousuke SATO, 理化学研究所計算科学研究機構。

\*<sup>6</sup> Takashi UNUMA, 京都大学防災研究所。

\*<sup>7</sup> Hideaki OHTAKE, 産業技術総合研究所太陽光発電工学研究センター。

\*<sup>8</sup> Shunya KOSEKI, シンガポール南洋工科大学。

\*<sup>9</sup> Atsushi SAITO, 気象研究所物理気象研究部。

\*<sup>10</sup> Akihiro HASHIMOTO, 気象研究所予報研究部。

\*<sup>11</sup> Katsuya YAMASHITA, 気象研究所物理気象研究部。

\*<sup>12</sup> Takuya TAJIRI, 気象研究所物理気象研究部。

\*<sup>13</sup> Tetsuya TAKEMI, 京都大学防災研究所。

\*<sup>14</sup> Yasushi FUJIYOSHI, 北海道大学低温科学研究所。

\*<sup>15</sup> Masataka MURAKAMI, 気象研究所物理気象研究部。

\*<sup>16</sup> Sento NAKAI, 防災科学技術研究所雪水防災研究センター。

\*<sup>17</sup> Keun-Ok LEE, 名古屋大学大学院環境学研究科。

© 2013 日本気象学会

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)	88
2. Warm boundary layer clouds (境界層の暖かい雲)	47
3. Convective clouds (including cloud electrification) (対流雲および雲の帯電)	52
4. Mixed phase clouds (including Arctic stratus, mid-level clouds) (混相雲および極域の層雲と中層雲)	42
5. Cirrus clouds (巻雲)	30
6. Orographic clouds (地形性の雲)	15
7. Mesoscale cloud systems (including severe storms) (メソスケール雲システムとシビアストーム)	28
8. Aerosol-cloud-precipitation-interactions (エアロゾル・雲・降水相互作用)	120
9. Clouds and climate (including radiative properties of clouds) (雲と気候および雲の放射特性)	56
10. Ice nuclei and cloud condensation nuclei (氷晶核と雲凝結核)	51
11. Cloud and precipitation chemistry (雲と降水の化学)	29
12. Measurement techniques of cloud and precipitation properties (雲・降水特性の測定技術)	62
13. Applications of cloud and precipitation physics (雲・降水物理の応用)	56

名の通った研究者が口頭発表者として選ばれる傾向があった。学会期間中に開かれた組織委員会の会合では役員の変更が行われ、会長に Flossmann (フランス)、副会長に Rauber (米国)、幹事長に Baumgardner (メキシコ) が選出された。また会議全体の印象として「エアロゾル・雲相互作用の研究に重点が置かれすぎ、降水過程に関する研究がやや軽視されているのではないか」という意見や、「一時期は下火になっていた氷晶核に関する基礎研究が増えてきたのは喜ばしい」といった意見が出された。今回は2016年に英国のマンチェスター市で開催されることになった。学会の最終日には気候工学 (Geoengineering; 地球規模での人工的な気象制御) に関する討論会も開かれた。気象制御の方法や可能性については気象研究ノート164号「気象工学」(福田 1988) に詳しい解説があるので、ぜひ参照されたい。

以下、本会議に参加された研究者の方々に、印象や



第1図 中世の建物の地下で行われた夕食会。

感想などを書いていただいた。雲・降水に関する最新の研究動向を知っていただければと思う。

(三隅良平)

## 2. 雲凝結核として働くダスト

会議全体を通してみると、モデルでは、雲の中の乱流やエントレインメントを扱うためにラージエディシミュレーション (LES) や直接シミュレーション (DNS) を使った研究が、室内実験では、バイオエアロゾルの氷晶核能 (IN 能) に関する研究が印象に残った。また、観測では、参加した全てのセッションで航空機観測の結果を使った研究が発表され、雲の物理特性や雲残渣粒子の組成等、雲・降水研究の基礎となる重要な情報が提供されており、やはり航空機観測も雲・降水研究では重要であることを改めて感じた。開催国のドイツからはたくさんの方が参加していたが、室内実験や測器開発の発表が多く、ドイツの雲・降水の分野ではこの辺に力を入れているのだろうと感じた。

筆者は凍結による氷晶発生プロセスの研究の一環として行った、スス粒子とダスト粒子の雲凝結核能 (CCN 能) の測定結果と、その結果を用いて行ったボックスモデルシミュレーションの比較結果についてポスター発表を行った。ダスト粒子が雲凝結核として効率的に働くということは一般的になってきたかと思っていたが、意外とそうではなく、「本当か?」という質問が結構あった。また、IN 能の研究が盛んに行われているが、CCN 能と IN 能の両方を調べるといった試みはあまりなかったように思われる。Nenes (ジョージア工科大学, 米国) は、吸着理論を用いてダスト粒子の CCN 能を表すパラメータを導出し、

GCM を用いて計算を行った結果、ピュアなダスト粒子は発生域以外では雲粒数濃度にあまり寄与しないという結果を示した。この結果より、雨粒形成を促進する巨大核として作用するかどうかを判断するためには、内部混合したダスト粒子も含めた CCN 能の調査が重要だと感じた。Mohler (カールスルーエ総合研究機構, ドイツ) は、バイオエアロゾルの IN 能を雲生成チェンバー-AIDA で測定した結果と、ヨーロッパ上空のバイオエアロゾル濃度や凍結氷晶核としての寄与を計算した結果を報告した。その結果、バイオエアロゾルは凍結氷晶核としての寄与はあまり大きくなさそうだという結論であった。我々も雲生成チェンバーとモデルを用いて同様な研究を行っているので、先行研究として非常に参考になった。(山下克也)

### 3. 氷晶核の研究動向

前々回の会議から、雲凝結核・氷晶核の活性化、雲形成に対する影響に関する研究発表が増え始め、今回もエアロゾルの雲・降水形成への影響に関する実験・観測・モデリングに関する発表が数多くなされた。気象研究所の雲物理グループからは、エアロゾルの間接効果に関する実験・観測・モデリングに関する5件の発表を行った。私は、3日目の午前のセッションで、航空機を用いた雲物理観測・雲生成チェンバー実験・航空機搭載氷晶核計などを用いた観測結果から、黄砂に代表されるダスト粒子の氷晶核としての有効性に関する招待講演を行った。確かにダストストームの影響を強く受けた雲の中では氷晶濃度は通常より半桁程度高くなるが、そのような高濃度の氷晶はダストストームの影響を受けない雲でも時々観測される。そのような高濃度の氷晶を説明するために、最近バイオエアロゾルの IN 能が調べられているが、人為起源のエアロゾル (例えばフライアッシュ) もダストと同程度の IN 能を有することを示した。今後、種々の人為起源エアロゾルの IN 能が明らかにされていくと思われる。

この分野の研究に対する取り組みに関しては、前回に引き続き今回も、ヨーロッパのエアロゾル化学の分野の研究者が実験・観測・モデリングの良く連携のとれた研究を推進し、これまで難問とされてきた氷晶核研究にチャレンジしているのが印象的であった。今回新たに注目を集めたのは雲粒同士の衝突併合に及ぼす乱流の影響である。これは30年来の問題であるが、最近の計算機能力の向上に伴い、高分解能の数値モデル

を用いて乱流を直接表現し、それと微水滴との相互作用を詳細に計算することが可能になったために一種のブームとなったようである。ただし、モデルの結果を実験・観測でどのように検証するかが問題のようである。(村上正隆)

### 4. 氷晶核の実験

エアロゾル・雲・降水の相互作用や氷晶核・雲凝結核のセッションは、前回より割当時間を拡張し、会期中盤(3-4日目)に設定されており、ポスター発表や終盤のセッションにおいても、関連した粒子計測装置の開発や各国における氷晶核・雲凝結核モニタリング観測の報告が多数あり、研究気運の高まりを実感した。カールスルーエ総合研究機構やチューリッヒ工科大学など欧州を中心とした、比較的暖かい温度域で氷晶核として働くバイオエアロゾルに関する研究も広がっていた。氷晶核に関する観測・実験データの蓄積により、特定エアロゾル種の IN 能を気温や過飽和度の関数として数式化するだけでなく、大気エアロゾル中で有効に働く氷晶核は何かといった視点から、Ardon (テルアビブ大学, イスラエル) や Hoose (カールスルーエ総合研究機構, ドイツ) などのより現実的なパラメタリゼーションへのアプローチもあり、Twohy (オレゴン州立大学, 米国) や Storelmo (イエール大学, 米国) のように数値モデル化も試みられている。現状、短期に決着できる課題ではないが、次の4年間には、航空機やりモセンなどの野外観測や基礎的な室内実験の成果が、種々の数値気象モデルに活かされることが見込まれる。

このような研究動向にあって、気象研究所の雲生成チェンバー実験研究は、先行研究の追従に留まるのではなく、国際的にも存在感を示すことのできる多様なエアロゾル種に対するユニークな実験データセットが取得できる。ポスター発表では、ダスト粒子およびスス粒子の IN 能に関して、標準粒子を用いた氷晶核計の測定と雲生成チェンバーによる氷晶発生実験との比較解析結果を紹介した。会場では雲生成チェンバー-AIDA の研究グループだけでなく、雲生成チェンバーの実験性能に興味を持ってくれた Shaw (ミシガン工科大学, 米国) などと有益な議論ができた。

(田尻拓也)

### 5. 氷晶核の計測

私自身は ICIP2012 に参加し、これまで開発・改良

を行ってきた氷晶核測定装置を用いた測定精度の検証と高度化に関する研究成果発表を行い、氷晶核研究に携わっている世界の第一線で活躍する研究者たちとも意見交換を行った。今回発表した研究成果は、米国コロラド州立大学で開発された Rogers (1988) の Continuous Flow Diffusion Chamber を基にした改良型である、プロトタイプの全自動対応型氷晶核測定装置を用いて、詳細なデータを取得し、数値モデルとの比較により精度検証を行ったもので、測定精度の検証にあたっては、これまで直接計測が困難であった、チェンバー上部の成長槽における試料空気に対する設定温度・過飽和度の精度確認や、チェンバー下部の蒸発槽における周囲環境等の影響による温度上昇の検証と対策を行った上で、標準ダスト粒子を使った実証的な検証に取り組んだものである。このたび、実際に同様の氷晶核測定研究を行う研究者とその測定精度の検証等について議論し情報を共有することで、当該研究についての今後の方針などの意見交換を行うことができ、大変有意義な会議参加であった。

前回参加した ICCP2008 では、主な研究テーマである氷晶核研究に関しては、前年の氷晶核測定システムに関する国際比較ワークショップ (ICIS2007) を受けた種々の測器における基礎的な話題についての研究発表が多くあったのに対し、今回は各々の研究者がさらに次のステップへと進み、氷晶核を対象とした大気エアロゾルのモニタリング観測を開始したり、新たな検出手法を用いて計測精度の向上に取り組んだり、という話題に変化しているのがわかり、短期間で研究を推進する力強さに感銘を受けた。同時期に英国ロンドンで開催されていたスポーツの祭典・オリンピックと同じく4年に1度開催されるということで、4年間の集大成が集まる世界的な雲・降水研究の「祭典」としての意義深さをあらためて感じるとともに、また4年後の開催地、英国マンチェスターでの盛り上がりを期待したいと思う。(斎藤篤思)

## 6. 境界層の暖かい雲

GEWEX 雲システム研究 (GCSS) ワーキンググループ (WG1) を中心として LES を用いた研究が盛んに行われてきたが、今回の国際雲・降水会議でも LES を用いた研究の発表が多くみられた。これまでの GCSS のモデル間比較に参加していた LES モデルのみでなく、新たに LES を開発している数機関もあり、境界層内の雲に関する数値モデルを用いた研究は

LES を用いることがいわば常識になっているようであった。また、新たに LES の開発を行っている機関の中には、グラフィックス・プロセッシング・ユニット (GPU) を用いた LES モデルの開発に関する発表もあった。さらに、DNS を用いた雲の研究が、ここ数年の国際学会に比べ、増加したという印象を受けた。この DNS を用いた研究は、今後数年でさらに発展することが見込まれる分野であると思われる。このように、LES や DNS を用いた超高解像度実験など、莫大な計算量を伴う実験が実現可能になってきた事は近年の目覚ましい計算機能力の発達のおかげである。しかしそれに伴い、計算機科学の業界と気象モデル業界が共同で気象モデルを開発する必要が生じている。前述の GPU を用いた LES モデルのように、そのような取り組みが行われ始めていたことも特筆すべきことである。日本でも、今後、LES を気象、計算科学双方の観点を融合して気象モデルを開発してくような体制が必要となるであろう。(佐藤陽祐)

## 7. 混相雲

混相雲のポスターセッションで発表を行った。北海道で行った観測に関する発表だったが、雲粒子ゾンデ (HYVIS) に興味を持つ人が多かった。

自身が発表した内容の現象と似た、雲頂部に過冷却水滴層をもつ層状雲の維持過程については、北極域における観測例が多く、これらの雲の維持過程も比較的わかってきているようである (例えば McFarquhar (イリノイ大学, 米国))。しかしながら、こういった雲が形成される際の総観場などの条件や、雲・降水の広がり (水平スケール) などについての言及はほとんど見られず、鉛直一次元の理解にとどまっている。また、Huang (モナシュ大学, オーストラリア) や、そこで引用されていた Hu *et al.* (2010) では、衛星データを用いて雲頂が過冷却水滴で占められる雲の頻度のグローバルな分布を示していたが、高頻度域の分布には地域的な偏りがある。この原因についてもまだ理解されていない。過冷却水滴のシンクとなる氷晶の核形成の理解が十分でないことや、薄い過冷却水滴層を表現するには鉛直格子が粗いことなどから、混相雲の数値モデルでの表現にもまだ課題は多いが、その改良に向けて取り組みがなされていた (例えば Forbes (ECMWF, 英国))。

他に印象に残った研究発表として、Rosenfeld (ヘブライ大学, イスラエル) は、シエラネバダ山脈とカ

リフォルニア沖の対流雲の航空機観測によって持続的に過冷却のドリズルや雨滴が観測されたことを報告し、過冷却の状態でいられる原因として氷晶核が非常に少ないことを主張した。冬季日本海沿岸に降る霰を見れば過冷却の雲粒が多量に存在することは容易に想像できるが、雨滴ほどに大きく成長しても過冷却状態で存在していることに驚きがあった。会議後、過冷却のドリズルに関する論文を見つけたが、ドリズルは過冷却状態でもやはり凝結だけでなく衝突併合を通じて成長するようである (Cober *et al.* 1996)。

(大東忠保)

### 8. 雲・雨滴の観測

私はドップラーライダー観測に基づいて、「薄い層状性の氷雲が消滅する際、短時間に複数のカール構造に変化し、時には狭い領域に強い下降流をもたらすこと、一方、大気境界層の上端はこのような強い下降流をハンモックのように支える効果があること」を報告した。また、国内外で実施した雨滴の観測結果を基に、「降水タイプによらず雨滴の数濃度は、粒径が大きくなるほどマーシャル・パルマー分布よりも高くなること」を報告した。前者の方が現象発見という意味では面白いはずであるが、より実用的な後者の方で質問が多かった。

レセプションで Latham (NCAR, 米国) が機知に富んだ長いスピーチを行い、Knollenberg (PMS, 米国) が功労賞の記念講演を行った。Latham と Knollenberg の話の内容は ICIP2012 のウェブサイトに掲載されている (<http://iccp2012.tropos.de/index>。

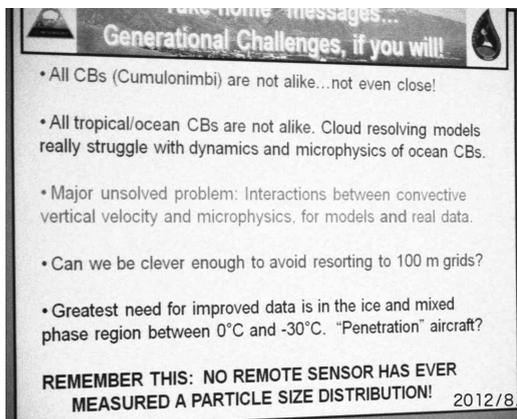
html, 2012.10.19閲覧)。両氏の講演共に含蓄に富んだ内容であったが、私にはあの観測経験豊富な Zipser (ユタ大学, 米国) が招待講演で述べた「熱帯/海洋上の積乱雲は互いに同じものが無いどころか似てもない」という言葉が琴線に触れた (第2図)。これは中途半端なモデル化や類型化に対する厳しい批判であり、詳細な現場観測に基づいた研究の必要性を再認識させるものである。 (藤吉康志)

### 9. スコールライン

私は「メソ雲システム」のセッションにおいてスコールラインの数値実験に関する研究成果について発表した。熱帯海洋性と中緯度大陸型のそれぞれのスコールラインは、降水強度や上昇流の強さおよび大きさが互いに異なる特徴を持っている。この違いは熱帯海洋性と中緯度大陸性の環境場の違いに起因するものであるという想定のもとで、理想化した条件設定で多数の数値実験を系統的に行い、気温・湿度・風速の鉛直プロファイルに対する感度や初期擾乱の与え方に対する感度を調べた。発表後に何人かの方から質問があり、熱帯海洋性と中緯度大陸性との違いに注目した点を評価していただいた。

ICCP は今回で3度目の参加であった。4年に1度の会議であるため、発表内容も4年分の成果が詰まったものとなり、完成度の高い研究内容の発表が多かった。今回の会議で特に印象的だったのは、雲微物理モデルや雲の力学研究において LES が重要な研究ツールとなってきたことである。また LES で対象とする現象は、層状性の雲のみならず、対流性の雲にも広がってきた。プロジェクト型の現地観測により得られた詳細なデータを LES などの高分解能計算の検証として用い、観測研究とモデル研究とが相補的に進められている研究も多かった。

会議参加者の出身国・地域に応じて研究対象とする地域が世界中に広がっているのは、世界各地の雲・降水現象を知る上で大変有用であった。例えば、対流性の雲と言っても地域によって特徴は異なるため、他地域の類似する現象から学ぶべきことも多いと感じた。また、こういった雲・降水現象の形態上の違いは、環境場の違いによる雲微物理過程の違いというミクロな空間規模の現象と密接に関係しているのだろうと思われる。雲微物理過程というミクロな空間スケールの素過程と積雲やメソ対流系といった雲スケールの力学とを結び付けて理解するための研究が、今後急速に発展



第2図 Zipser の講演スライド。

するのではないかと思う。

(竹見哲也)

## 10. メソ対流系

国際雲・降水会議に今回初めて出席した。私はメソスケール雲システムのセッションでポスター発表を行った。四国における停滞性の線状降水システムの数値シミュレーションを行い、その降水システムに対する地形の感度実験及びコールドプールの影響について調査した結果を発表した。質問に来られた方の多くは降水システムの発生・維持メカニズムに興味を持っており、特に停滞性の降水システムに対する地形の影響についての質問を多く頂いた。メソ対流系の発生・維持に関わる内容については口頭・ポスター発表を含め数件見られた。そしてそれらの発表は、4年に1回の国際会議とあって、内容・質ともに充実した発表がほとんどであった。世界各国のレベルの高い研究に触れることが出来、非常に刺激的であった。

特に印象深かった発表は、Schlemmer (マックス・プランク気象学研究所, ドイツ) が、中緯度の環境下において対流圏下層の湿潤度合いを変化させた場合に、対流に対しコールドプールがどのような影響をもたらすかを数値シミュレーションにより示したものである。特に湿潤なケースにおいてコールドプールがより強化するとともに強い鉛直流がみられ、その結果深い対流がより強化されるということを示した。日本では豪雨になりやすい環境場の1つとして、対流圏下層の水蒸気量が多いことが考えられているが、Schlemmerの実験では、環境設定としては日本と異なるものの数値シミュレーションからアプローチし、より普遍的な結果を示したものとして興味深かった。雲・降水に対し、観測・解析・数値モデルと多角的にアプローチがなされた発表が多く、自分自身の研究に対する新たな知見を得るには十分な機会であった。

本国際会議の出席にあたって、日本学術振興会の組織的な若手研究者等海外派遣プログラムの支援を受けました。

(鵜沼 昂)

## 11. 降雪とその計測

地形性降水のセッションにはコロラドの水資源に関する発表が2件あった。Cotton (コロラド州立大, 米国) はエアロゾルの影響を受けて雲粒の粒径が小さくなり、雲粒捕捉成長の効率に影響して山岳風下まで流される降雪粒子が増加すること、一方でダストが雪面で融解を促進することなど、水資源に影響するプロ

セスについて議論した。Rasmussen (NCAR, 米国) は、4 km 分解能の WRF を用いた擬似温暖化実験を行った。現在気候実験について SNOTEL という降水量計と積雪重量計を持つ観測ネットワークで検証した上で、雲物理スキームによっては spillover (雲・降水粒子の山越え) が多く水資源が~50%過大に評価されること、温暖化によって降雪期間は長くなるが蒸発も増えるので河川流出量は減ること、氷晶核形成、蒸発散の両方が重要と考えられることなどを述べた。

私は全球降水観測計画 (GPM) のアルゴリズム作成のため地上に展開した風除け付き降雪粒子観測について発表した。観測には光学式ディストロメータ PARSIVEL と降雪強度計 SR-2A (田村雪氷計測研究所) を使用し、雲粒付き/融解の特性を表すパラメータ RMI と Z-R 関係の係数が、雪片の場合は負の相関があることなどを示した。また SCONE 2012 (新潟県域における降雪検証観測) のポスター発表時にカナダ環境省の人と降雪粒子観測の議論になり、「あなたは PARSIVEL を信じますか?」とあまりにストレートに訊かれたので笑ってしまいました。光学式ディストロメータについては、防災科学技術研究所雪氷防災研究センターなどにおける比較観測から、降雪強度を推定する手法が開発されてきている (石坂ほか 2011; 本吉ほか 2011; Konishi *et al.* 2012)。これらの測器はレーザーシート1枚で測定しているため、何らかの仮定をしないと縦サイズと落下速度を分離できない。少なくとも現状では、雨以外で組み込み出力の降雪強度や等価反射強度因子 ( $Z_e$ ) を鵜呑みにするべきではなく、同時に出力される粒径-落下速度の2次元ヒストグラムからしかるべき式を用いて算出する必要がある。

(中井専人)

## 12. 地形性降水

多くの研究者が室内実験 (チェンバーなど)、強化観測 (例えば飛行機による直接観測, レーダー, ドロップゾンデ, ライダー, 衛星など)、高解像度数値モデル (例えば LES モデル) によって、エアロゾルの効果を含んだ場合、含まない場合の両方の場合における雲・氷晶の核形成を理解するための研究に興味を集中させていた。対象とした雲は、主に積雲や巻雲のような非降水雲、あるいは雨粒が形成される直前の雲であった。観測によって降水雲内の雨滴の質量-直径の関係性を調べた研究者もいたが、彼らは現在の数値モデルの限界を指摘していた。特に数値モデルにおける

雲微物理スキームの改良がなされることで、雲微物理に関して得られるさらに詳細な情報が、最終的に天気予報という形で世の中に還元されていくと思われる。

山岳域における雲・降水のセッションにおいて Dieckmann (ライプニッツ対流圏研究所, ドイツ) ほかは, CCN がゆるやかな山の風上斜面の低層で上昇して活性化し, 中程度の高度には氷晶雲が存在したことを示した. CCN の活性化が風下斜面における雲水の凝結を生じ, 引き続いて風下の山のふもとにおいて雪の昇華蒸発の領域が生じる. 私は降水システムが比較的高い山岳域を通過する際に, 雲・降水粒子がどのように成長するかについて雲解像数値モデルを用いて調べ, 山の側面と風下斜面において, 雲水・雨水混合比の時間的増加の鉛直分布が異なることを発表した. これは鉛直流強化の鉛直分布がそれぞれの場所で異なっていることを反映している. (李 根玉)

### 13. 高緯度の雲

今回初めて参加した ICIP2012では, 北海道大学低温科学研究所環オホーツク研究センターに所属していた時の研究内容(夏季オホーツク海上の下層雲)をポスターにて発表した. 反応はというと, 少し言い訳をさせてもらうのだが, ポスターの貼られていた位置が他の場所に比べると人通りの少ない場所であり, 本人が予想していたよりも聞きに来ていただける方が少ない印象であった. ただ少ないながらもいろいろな質問を投げかけてくる研究者と議論し, 論文の別刷りも10部ほど捌くことができたので馴染みの薄い研究者にもオホーツク海の面白さは伝わったのではないだろうか.

この ICIP2012では非常に多くの雲・降水に関する研究が発表されており特に雲微物理やエアロゾルについての最先端の研究が数多く見られた. Savre (ストックホルム大学, スウェーデン) は北極海の層雲の再現を LES にエアロゾルを組み込むことで精度の向上を示していた. 雲の力学に関する研究では Schlemmer (マックス・プランク気象学研究所, ドイツ) が, コールドプールの積雲対流の発達に与える影響について議論を行っていた. 数え上げれば切りがないほど, 非常に興味深く, 今後の自分の研究のヒントになりそうな研究が毎日のように発表されており, 非常にいい刺激となった. 4年後には英国・マンチェスターで開催される予定であるが, そこでも発表できるよう, 今後の研究活動に喝を入れていきたい.

(古関俊也)

### 14. 雲の出現頻度の特性

筆者が国際雲・降水会議に参加するのは今回が初めてであった. 特にドイツでの開催は, 筆者が現在取り組んでいる太陽光発電と日射量予測 (結局は雲の予測) 技術に関する情報収集の場としてある意味最適な場所であった. ドイツを含めた欧州諸国ではすでに再生可能エネルギーの大量導入が進められている国が多いため, 自身の研究発表にも関心を強く持って頂けるのではと期待し参加した. 筆者は太陽光発電電力量の予測技術に関連して, 日本における気象庁メソモデルの日射量の予測誤差の季節変化と地域特性についてポスター発表を行った. 特に南西諸島や日本の南海上における夏季の日射量の過小予測の傾向が顕著である点と, 予測誤差が大きい場合に目視観測から巻雲, 高積雲, 層積雲及び積雲などの雲の出現頻度が高いことを報告した. 研究の方向性についての質問も頂いたが, 日本では2011年の大震災以後, 電力マネージメントのあり方と太陽光をはじめとした再生可能エネルギーの大量導入が検討されており, そのためにはモデル検証とそれを受けたモデルの改良が必要であり, 最終的には精度の良い日射量予測はコストダウンにも繋がると返答した. 予測誤差が大きい場合に出現する雲のタイプの解析については多くの研究者に関心を持って頂いた.

自身の発表に関連して, 興味を持った研究発表を紹介する. Chernokulsky (ロシア科学アカデミー) は目視観測から雲のタイプの出現頻度の経年変化を解析した. ロシア全土では1621地点で3時間毎に雲の目視観測が行われ, 長期間のデータセットが作成されている. このような雲のタイプの長期的な観測データセットは日射量の予測技術に関して価値のある情報であるし, 近年注目されている高緯度海域の海水減少と下層雲の出現変化など気候分野の研究にも重要な知見を与えるであろう. それと同時に気象庁には今後も引き続き雲の目視観測を継続して欲しいと思いながらこのポスターを眺めていた.

(大竹秀明)

### 15. 気候モデルにおける雲の扱い

放射計算に用いる雲と関係したサブグリッド・スケールの雲を扱った研究について, 本会議で発表があったものに関して報告させていただく. 雲の放射特性を含んだ雲と気候のセッションでの招待講演において, Quass (ライプチヒ大学, ドイツ) は大気大循環モデル (GCM) の雲量診断で用いられる臨界相対湿

度 (critical relative humidity) に関して、スキームのレビューと衛星観測から推定される値について発表を行い、観測をもとにした結果を適用した GCM における雲・気候フィードバックについて報告した。また、ポスター発表において Chosson (マクギル大学、カナダ) は、2 モーメントの雲物理スキームに関するサブグリッド・スケールの雲の取り扱いに関して、雲量・降水量やその計算手法について報告した。これらの研究ではサブグリッド・スケールの雲量を扱う場合、確率密度関数を用いるのだが、その関数をどのように決めるかが重要であると報告しており、今後の自身の研究について非常に示唆に富むものであった。

私は今回初参加で、現在従事している太陽光発電量予測に向けた気象庁メソスケールモデル (MSM) の地上下向き短波放射量の誤差が顕著であった事例の解析についてポスター発表を行った。短波放射量の誤差が顕著であった場合は MSM での雲の表現が外れており、雲の出現に関するスキームに改良すべき点があるという結果を報告した。最後に、会議全体を通して私の印象に残ったのは、LES や DNS を用いた雲と環境の空気との相互作用の研究であった。現実の雲の写真とそっくりな計算結果の描画なども披露されており、雲の盛衰の議論に関しては超高解像度のシミュレーションが1つのトレンドになっていると感じた。

(下瀬健一)

## 16. 気象改変

「意図的・非意図的気象改変に関する数値モデルを用いた研究」と題して、ヨウ化銀を用いた地上からの雲シーディングのモデル化とそれを用いた数値実験結果を主な内容として発表した。地上からの雲シーディングは点源から放出された粒子の拡散問題であり、結果に対する解像度や数値拡散の影響が懸念されるが、この点について Rasmussen (NCAR, 米国) から何か有効な手立てがあるのかと質問を受けた。彼らは地上からのヨウ化銀シーディングに先行して取り組んでおり、いろいろな点で私たちと共通の問題をもっている。セッション後に彼と立ち話をした際、RANS モデルの高解像度化やラグランジェ法 (場合によっては LES, DNS 等) の応用などについて意見交換した。

基礎的な雲物理モデリングの分野で注目したのは、氷晶成長に対する晶癖効果を考慮したバルク法雲物理パラメタリゼーションについての Chen (国立台湾大学)、Milbrandt (カナダ環境省) による、霰粒子の

体積を予報変数として組み込み粒子の密度変化を表現できるバルク法雲物理についての発表だった。エアロゾル雲相互作用に関するモデリングでは、Chang (マックス・プランク気象学研究所、ドイツ) の ATHAM を用いた火山雲の雲物理特性を調べた発表があり、今後の動向にも注目したい。

会議の行われたライブチヒは、作曲家バッハゆかりの地として知られる音楽の街である。会議の合間に街に出てみると若い演奏家がカルテットを組んで演奏していた。それが石造りの街角にいい具合に響いていて印象的だった。

(橋本明弘)

## 17. 気候工学 (ジオエンジニアリング) の討論会

共通セッションとして気候工学 (温暖化に備え人間の手で気候を変える研究) のパネルディスカッションがあった。最初に簡単な温暖化の説明や気候工学の問題点の説明が4人のパネリストからあった。次に自分の意見を言いたい参加者が、気候工学の研究に賛成・反対といった意見を次々に述べていった。ただし、基本的にはそれぞれの意見は別の人の意見を受けてのものではないので、言いたい事を言っているだけの感じがした。私の率直な感想は、何のためにこのセッションがあったのか分らなかった。このセッションで何かを取りまとめるようなことはなかった。どれほど時間を尽くしてもまとまるような話ではないのに、全部含めてたった1時間程度しか配分されておらず、あまり力を入れてこのセッションを組んだようにも思えない。気候工学の研究はあまりに未成熟なのでこのくらいのことしか出来なかったと思うが、とってつけた感じが否めないセッションだった。

この討論会では気候工学の研究の方向性、将来像、倫理観の共有のようなことはなかったが、気候工学は着実に認知され、賛否両論ありながらも研究の裾野が広がっていることは感じられた。

(岩崎杉紀)

## 略語一覧

AIDA : Aerosol Interaction and Dynamics in the Atmosphere ドイツが開発した大型の雲チェンバー  
 ATHAM : Active Tracer High Resolution Atmospheric Model ドイツで開発された大気中の高エネルギー・プレュームのシミュレーションモデル  
 CCN : Cloud Condensation Nuclei 雲凝結核  
 DNS : Direct Numerical Simulation ナビエ・ストークス方程式を直接解くシミュレーション

ECMWF : European Centre for Medium-Range Weather Forecasts ヨーロッパ中期予報センター  
 GCM : General Circulation Model 大気大循環モデル  
 GCSS : GEWEX Cloud System Study 全球エネルギー・水循環観測計画・雲システム研究  
 GEWEX : Global Energy and Water Cycle Experiment 全球エネルギー・水循環観測計画  
 GPM : Global Precipitation Measurement 全球降水観測計画  
 GPU : Graphics Processing Unit グラフィックス・プロセッシング・ユニット  
 HYVIS : Hydrometeor Videosonde 気象研究所が開発したビデオゾンデ  
 IAMAS : International Association of Meteorology and Atmospheric Sciences 国際気象学・大気科学協会  
 ICIS : International Workshop on Comparing Ice Nucleation Measuring Systems 氷晶核測定システムに関する国際比較ワークショップ  
 IN : Ice Nuclei 氷晶核  
 LES : Large Eddy Simulation ラージ・エディ・シミュレーション  
 MSM : Meso Scale Model 日本及びその近海の気象を対象とした気象庁の数値予報モデル  
 NCAR : National Center for Atmospheric Research 米国大気研究センター  
 PARSIVEL : Particle Size and Velocity Disdrometer 光学式ディストロメータの一種  
 PMS : Particle Measuring Systems, Inc. 会社名  
 RANS : Reynolds Averaged Navier-Stokes Simulation レイノルズ平均に基づく乱流モデル  
 RMI : Riming and Melting Index 雪の雲粒付・融解の特性を表すパラメータ  
 SCONE2012 : Snowfall Campaign Observation in Niigata Experiment 2012 新潟県域における降雪検証観測  
 SNOTEL : Snow Telemetry 米国における積雪データ

自動観測システム

WRF : Weather Research and Forecasting NCEP/NCAR の開発したメソスケールモデル

#### 参考文献

- Cober, S. G., J. W. Strapp and G. A. Isaac, 1996 : An example of supercooled drizzle drops formed through a collision-coalescence process. *J. Appl. Meteor.*, **35**, 2250-2260.
- 福田矩彦, 1988 : 気象工学—新しい気象制御の方法—. 気象研究ノート, (164), 213pp.
- Hu, Y., S. Rodier, K. Xu, W. Sun, J. Huang, B. Lin, P. Zhai and D. Josset, 2010 : Occurrence, liquid water content, and fraction of supercooled water clouds from combined CALIOP/IIR/MODIS measurements. *J. Geophys. Res.*, **115**, D00H34, doi:10.1029/2009JD012384.
- 石坂雅昭, 本吉弘岐, 中井専入, 熊倉俊郎, 椎名 徹, 村本健一郎, 2011 : 推定質量フラックスを用いた降雪粒子の連続的種類判別について, 雪氷研究大会 (2011・長岡), 2011年9月19-23日, 長岡, A4-6.
- Konishi, H., N. Hirasawa and M. Ishizaka, 2012 : Estimation of snowfall rate derived from laser disdrometer data. The 16th International Conference on Clouds and Precipitation, July 30-August 3, 2012, Leipzig, P.12.32.
- 本吉弘岐, 石坂雅昭, 中井専入, 熊倉俊郎, 椎名 徹, 村本健一郎, 2011 : 光学式ディストロメータによる連続降雪粒子観測—推定質量フラックスによる重心位置の推移と降水量推定—. 雪氷研究大会 (2011・長岡), 2011年9月19-23日, 長岡, A4-7.
- Rogers, D. C., 1988 : Development of a continuous flow thermal gradient diffusion chamber for ice nucleation studies. *Atmos. Res.*, **22**, 149-181.