

第11回国際雲・降水会議の報告*

村上正隆^{*1}・梶川正弘^{*2}・遊馬芳雄^{*3}・高谷美正^{*4}
 山田芳則^{*5}・播磨屋敏生^{*6}・早坂忠裕^{*7}・上田博^{*8}
 和田誠^{*9}・佐藤晋介^{*10}・高橋暢宏^{*11}

1. 概要

村上 正隆

標記の国際会議が、1992年8月17日から21日までカナダのモントリオール市で開催された。IAMAP(国際気象学大気物理学協会)の国際雲・降水委員会の主催で開かれたこの会議は、前回まで国際雲物理会議と呼ばれたもので、4年に1度開かれる雲物理学分野で最大の国際会議である。世界四十数ヶ国から400人以上の研究者が参加し、日本からも前回に引き続き20人以上が参加した。

モントリオールは、オタワ川との合流点に近いセントローレンス川の中州に開けたケベック州第一の都市で、Mt. Royal という低い山(丘)を背に、趣のある比較的古い家並と近代的な高層ビルが調和した美しい町である。フランス語圏ということで、レストランや土産物店に入っても、まずフランス語が耳に飛び込んできたが、パリなどとは違って英語が通じたのが私にとって救いであった。会議は McGill 大学構内の McIntyre Building で行われ、参加者の半数近くは大学の寮に宿泊し、約20分かけて坂道を歩いて通った。国際雲・降水委員会では、会議を大学構内でやるべきか、ホテルでやるべきかという議論もあったが、国内

組織委員長の Prof. Rogers の細かな気配りで、ホテルと比べても遜色がないほど快適な雰囲気の中で会議が行われた。会議は過密スケジュールであったが、大会委員長の Prof. Hobbs から座長及び発表者に対する周到的な会議進行方法の説明が効を奏して、実にスムーズに進行した。

会議は19のセッションに分かれて行われ、それぞれのセッションは口頭発表とポスターセッションから構成された。

セッション

- 1 Microphysics : Laboratory studies
- 2 Microphysics : Theoretical studies and parameterizations
- 3 Microphysics : Field studies of warm clouds
- 4 Microphysics : Field studies of cold clouds
- 5 Microphysics : Cloud models
- 6 Fogs and stratiform clouds
- 7 Marine stratocumulus clouds
- 8 Cumuliform clouds
- 9 Orographic clouds : Cirrus clouds
- 10 Extratropical cyclones, fronts and winter storms
- 11 Precipitation bands
- 12 Hailstorms and convective dynamics
- 13 Mesoscale convective systems
- 14 Clouds and radiation
- 15 Cloud chemistry
- 16 Measuring and analysis techniques I : Ground based and airborne
- 17 Measuring and analysis techniques II : Radar and lidar
- 18 Satellite observations of clouds and Precipitation
- 19 Forecasting ; General circulation ; Climate

* Summary of the 11th International Conference on Clouds and Precipitation.

^{*1} Masataka Murakami, 気象研究所.

^{*2} Masahiro Kajikawa, 秋田大学.

^{*3} Yoshio Asuma, 北海道大学.

^{*4} Yoshimasa Takaya, 気象庁図書資料管理室.

^{*5} Yoshinori Yamada, 気象研究所.

^{*6} Toshio Harimaya, 北海道大学理学部.

^{*7} Tadahiro Hayasaka, 東北大学理学部.

^{*8} Hiroshi Uyeda, 北海道大学理学部.

^{*9} Makoto Wada, 極地研究所.

^{*10} Shinsuke Satoh, 北海道大学低温科学研究所.

^{*11} Nobuhiro Takahashi, 北海道大学理学部.

今回は応募論文が613編と大変多く、その内、15、10、5、2分の口頭発表が174編、ポスター発表が172編で、残りの267編は不採用となった。このような応募論文数の増加傾向は、過去10回の国際会議でも見られたが、今回特に、前回の376編から613編に急増した背景には、会議名を改称したことにより、雲と降水に関する幅広い分野から論文が集まってきたことと、開催地が北米大陸であったため米国から多数の申込があったことが挙げられる。

346編にも及ぶ発表論文は、小さなスケールでは雲の微物理過程からメソスケール現象、更に、少数ではあったが大気大循環における雲・降水の取扱いまで広範囲に渡っていた。もう少し詳しく見てみると、雲の素過程を扱った室内実験が減少し、種々の測器を搭載した研究用航空機による観測、メソ現象を対象とした大規模な総合観測プロジェクト、色々な物理過程を取り込んだモデルによる数値シミュレーション等の増加という傾向は依然として変わっていない。毎回減り続ける室内実験等の基礎研究の活動低下に危惧の念をいだかずにはいられない。8月20日の午後5時から開かれた国際雲・降水委員会では、急増した発表論文数にどのように対応していくのかに議論が集中した。今回から採用した2分間の口頭発表に関しては、委員の間からも賛否両論が続出した。多数の人に発表の機会を与えられるし、2分間発表も要点をまとめる良いトレーニングだという賛成意見や、2分間では言いたいことを十分に言えないという反対意見が飛び交う中、複数の会場を使用してはという意見や、大半の論文を2分間の口頭発表付きのポスターにしてはという意見も出されたが、結論には至らなかった。次回の開催地についても、アメリカのリノ市、イタリアのボローニャ市、スイスのチューリッヒ市が立候補したが、いずれも解決しなければならない問題があったり、情報が不足しているという理由で、決定には至らなかった。これらの懸案事項は、次期会長に選出された Prof. Jonas (イギリス) の下、国際雲・降水委員会で引き続き検討されることになった。

以後、会議の各セッションの話題、印象などを、出席者のそれぞれが述べることにする。

2. セッション1, 2, 3 (雲の微物理) について 梶川 正弘

セッション1は、雲の微物理素過程に関する室内実験の報告が中心であった。

R. R. Czys は自由落下中の微水滴 (半径 $353\mu\text{m}$ と $306\mu\text{m}$) の衝突・併合に対する温度の効果に注目した実験を行い、両微水滴の平均温度が約 10°C を越えると、併合率は81%から42%へと半減することを示した。微水滴と周囲との熱平衡の吟味、さらには気圧の影響を確かめるなど、実験の継続が必要であろう。

Y. Dong *et al.* は、 3 m/s までの気流を発生できる拡散型雲箱を用いて、雲粒付水粒子や針状結晶の破壊現象の実験を行った。破壊率に対して蒸発時の温度の影響は少ないが、雲水量は結晶構造に影響を与えるため、破壊を制御する大きな因子であると結論した。この実験結果は、以前に大阪教育大の山下が得たものと定性的に同じようである。天然の雲の中で、この現象はどのような効果をもたらすのかを、定量的に評価することが今後の課題である。

J. Hallet and C. Knight は、樹枝状結晶の微視的な対称性について、気流中での枝先の成長実験を交えて議論した。非対称が発生するきっかけとして、雲粒の付着と成長環境の微妙な変動の例を示した。これらの点は、以前に大阪教育大の山下によって指摘されたことと類似している。

N. Song and D. Lamb は、鉛直過冷却雲風洞中での雪結晶の成長実験の結果を報告した。北海道教育大の高橋ほかの実験 (気象集誌, 1991年2月) との違いは、雲水量が結晶の成長 (サイズ, 質量, 形) にどのように影響するか注目した点である。実験結果の定量化をさらに進める必要がある。F. Prodi *et al.* は、円柱状物体への過冷却微水滴の衝突・付着について、確率モデルを導入して形態を描き、室内実験の結果と良く似ていることを示した。

セッション2は、理論とパラメタリゼーションに関する報告が6編あった。

I. M. Enukashvily は、雲粒とエアロゾルの相互作用が雲粒の粒度分布に大きな影響を与えることを理論的に示した。Z. Hu and R. C. Srivastava は、雨滴の粒度分布に対する衝突・併合、衝突・破壊および蒸発の影響を計算し、特に蒸発への通風項の効果が大きいことを指摘した。

N. Fukuta and Q. J. Lu は、雪結晶の晶癖について、融点近くで起こる表面構造の変化と関連づけた黒田の理論とは異なる見地から、氷面の成長速度に基づいて論じた。黒田の理論との相違点として、氷過飽和での“transitional liquid layer”と融点近くの氷面への“roughening”という両概念の導入があげられる。この

様な考えについて筆者が充分理解したとはいえないが、両概念の理論的な説明がもう少し必要と思われる。R. List はひょう粒の成長について、3次元の詳しいモデル計算の結果と室内実験結果とを比較して詳細に論じた。

セッション3は、暖かい雨の微細構造の航空機観測に関する報告が中心であった。

J. G. Hudson は、3つのプロジェクトでの観測結果から、雲核濃度と雲粒の粒度分布との密接な関係、例えば、雲核が少ないと大きな雲粒を発生させて衝突・併合を促進し、小さい雲粒を減少させる、というような正のフィードバック機構の存在を強調した。

K. N. Bower and Choulaton は、雲粒の粒度分布とエントレインメントとの関わりで、雲の構造の詳細な観測の重要性を指摘した。J. L. Brenguier は新たに応答の速い FSSP (前方散乱式雲粒子スペクトル計)を開発し、雲粒の粒度分布変動の観測例を示した。R. P. Lawson *et al.* は、新たに開発した熱電対センサーで雲中の微細な温度変化を検出し、これがエントレインメントと雲中での混合過程の理解に有用であることを示した。

K. N. Bower *et al.* は、色々な雲のタイプ毎に、放射過程との関わりで重要となるパラメータ相互の関係を論じた。A. J. Illingworth は、偏波レーダによる暖かい雨の観測結果を報告し、雲の中での雨滴の成長を時間的に追えることを示した。

3. セッション4, 5 (雲の微物理) とセッション6 (霧と層状雲) について

遊馬 芳雄

セッション4は、冷たい雲(氷の過程を含む雲)の観測に関するセッションであり、ポスターセッションも含めて21件の発表が行われた。

我が国では、残念ながら航空機を用いた観測はまだそれほど多くはないが、このセッションの発表では航空機を使用した観測結果がふんだんに示され、世界の航空機観測の層の厚さを改めて認識させられた。しかも、単に航空機観測だけを発表しているのではなく、数値計算やレーダー等の観測とも組合せ、総合的に議論がなされている発表が主流となっているのが印象的であった。

講演内容は、氷晶化のはじまりや氷晶数に関すること、斜面上昇による雪雲の形成過程と微物理、日本海の雪雲の微物理、雪雲内の過冷却水の割合等であった。

日本からはこのセッションで5件の発表があり、気象研の開発した特殊ゾンデ HYVIS (Hydrometeor Videosonde) での観測にも多くの質疑があった。

セッション5は雲の数値モデルについてのセッションであった。

はじめに、8月10日~14日トロントで行われた The Third International Cloud Modeling Workshop の報告があり、その後口頭発表が6件、ポスター発表が4件あった。暖かい雨の形成過程と雨滴粒径度数分布の関係、氷粒子形成・拡散・成長への水粒子の寄与、初期氷晶濃度と過飽和度の関係、エントレインメントと雲粒分布の関係、融解層内の熱力学的構造、ストームの復元等の発表があった。

このセッションは数値モデルだけを取り扱っているが、微物理過程と観測結果とをつなぐ基本的な研究が多く、この種の研究の重要性や素過程の研究の重要性を認識させられた。

セッション6では霧と層状雲に関して口頭発表9件、ポスター発表3件の講演が行われた。

谷霧の特徴、層状雲内の粒径分布、層状雲のエントレインメント、放射過程と微物理等の発表があった。最近の気候変動の研究と関連して層状雲の放射過程の発表も多くなされていたのが印象深かった。

これらの講演を通じて特に感じたことは、航空機観測が非常に多くなされていて日常的な観測手段になっていること、複数の観測手法や数値モデルを取り入れて現象を多方面から追求し総合的に議論がなされていることで、研究の厚さを感じさせられた。

4. セッション7 (海洋性の層積雲) とセッション8 (積雲状の雲) について

高谷 美正

セッション7では口頭発表5件(+補欠4件)、ポスターセッション8件の発表があった。わが国では層積雲の研究はあまり活発ではないが、「海洋性の層積雲は地球の25%を覆っており、放射収支に大きな役割を演じ、気候変動の評価をするうえでも重要である」ということで、かなり活発な研究が行われているようである。興味深かったのは、ワシントン大学の A. S. Ackerman, P. V. Hobbs それに NASA の O. B. Toon による研究で、Nature (1990, 345号) に掲載された M. B. Baker and R. J. Charlson の、「海洋性の層積雲で覆われた境界層においては、凝結核の数の違いによって2つの安定な状態がある」という結論を批判して、もっ

と詳しい数値実験を行うと、核の数が少ない方の状態は 10 時間ほどで定常状態に達するのに対して、多い方は 80 時間ほどかかり、実際にはこの間に総観規模の変動があることを考えるとこの定常状態は実現不可能であるというものであった。

日本の Takahashi *et al.* (北海道大学) は、ドップラーレーダーを用いて、ケルビン・ヘルムホルツ波を捉えたことをポスターセッションで発表した。

セッション 8 では口頭発表 4 件 (+ 補欠 3 件)、ポスターセッション 6 件の発表があった。口頭発表のトップバッターは日本の川村、竹田(防災科学技術研究所)で、GMS による T_{BB} の時間についてのスペクトル解析を、アジア・太平洋の熱帯域について行った。その際 2 つの $1^\circ \times 1^\circ$ の領域、A (ボルネオ島内) と B (カロリン諸島の海域) について別々に解析したところ、A では日変化が卓越し、B では季節内変動が卓越しており、更に季節内変動や、super cloud cluster (SCC) の振る舞いが 700~900 km の水平スケールを持つ島によって大きく影響されていることを示した。C. A. Knight *et al.* (NCAR) は、CP-2 という 3 cm と 10 cm の二つの波長を持つドップラーレーダーを用いて対流雲の内部構造を調べた。理論的にはこれから屈折率の勾配に反応する Bragg 散乱と、水滴に反応する Rayleigh 散乱とが分離できる。これには活発な議論がわいたが、実際にはこの分離は思うようにいかないようであった。W. W. Grabowski and T. L. Clark (NCAR) は、3 次元の数値実験で雲の微細構造をつくった。安定成層中に、球形の雲を初期に存在させ、それにランダムな乱れを入れて雲の形に凹凸をつくる。この結果については (i) 観測された実際の雲の凹凸と形が違う、(ii) 条件付不安定成層ではなく安定成層中で雲をつくることの意味がはっきりしない旨を、米国 Desert Research Institute の James W. Telford と筆者は質疑の中で表明した。ポスターセッションで面白かったのは X. K. Dou *et al.* (仏国、CRPE) の研究で、CaPE-experiment (Convection and Precipitation/Electrification Experiment, 1991 年 7 月 8 日~8 月 18 日、米国フロリダ半島で行われた雷雨の観測実験で、航空機、2 波長ドップラーレーダーや偏波ドップラーレーダーなどが動員された) において、航空機に搭載した二方向に同時にビームを発生できるドップラーレーダーによって、水平数+キロメートル規模の擾乱の 3 次元構造を求めたものであった。わが国もこのような装置を持ちたいものである。

5. セッション 9 (地形性の雲と巻雲)、セッション 10 (前線や低気圧に伴う降水雲) とセッション 11 (バンド状降水雲) について

山田 芳則

セッション 9 では、地形性の雲と巻雲についての発表が行われた。地形性の降水雲に関しては、近年アメリカで種まきによる気象制御の野外実験も数多く行われていることもあり、複雑な地形上での降水雲について、観測と数値モデルを用いた研究報告があった。シミュレーションでは、特に地形によって励起された重力波が降水形成に及ぼす影響に注目していた。雲の微物理構造は、重力波と密接にかかわっていることが、観測、モデルの両面から確かめられた。このモデルでの雲の微物理過程のパラメタリゼーションで問題になっていたことは、氷晶増殖過程の取扱いであり、今後、パラメタリゼーションの改良が必要とのことであった。

巻雲が放射過程を通して地球の気候に大きな影響を与えているという認識のもと、飛行機観測によって雲の実態をとらえようとする試みや、大きなスケールのモデルに組み込むために、効率よく、しかも適切に雲を表現できるような雲物理過程のパラメタリゼーションの開発などの研究があった。

セッション 10, 11 では、前線や低気圧に伴う降水雲、及びバンド状降水雲についての研究が紹介された。ここで特に目立ったことは、フランスの環境物理学研究所 (パリ近郊) や国立気象研究所 (トゥールーズ) のグループが、FRONTS-87 というプロジェクトの成果を数多く発表していたことである。このプロジェクトは、フランス・イギリス・旧西ドイツの三国が協同して、1987 年 10 月から 1988 年 1 月にかけて行ったもので、その目的は、大西洋上から英仏海峡に進んでくる寒冷前線の構造を、総観規模から雲物理過程に至るまでのスケールにわたって明らかにすることである。ドップラーレーダーを用いた研究では、リトリーバルまで行うことが当然になっているように感じられた。リトリーバル法とは、ドップラーレーダーで観測された三次元の風の間を用いて、運動方程式から雲内の気圧や気温の一般場からのずれをもとめる手法のことである。FRONTS-87 とは別に、水相が寒冷前線に及ぼす影響を調べた数値実験や、レインバンドの形成に関するシミュレーションの研究もあった。

印象的であったのは、P. V. Hobbs (ワシントン大学) が、コンピューターグラフィックスを用いて成果を編

集し、それを上映するという発表形式をとったことである。

6. セッション 12 (電を伴うストームと対流の力学) とセッション 13 (メソスケール対流システム) について

播磨屋敏生

セッション 12 では、大きく分けると観測が 5 件、数値実験が 1 件、観測とそれの数値シミュレーションが 1 件の計 7 件の発表がなされた。

観測についての発表では、A. R. Holt (エセックス大) らは対流雲についてさらなる偏波レーダー情報を得る目的で観測を行い、反射因子のみでは検出できなかった例でも、偏波では雹を検出できたことを示した。また降水量の測定でも偏波データは良い結果を示した。深い対流の発生原因について、J. C. Fankhauser (NCAR) らは 1991 年夏にフロリダ半島東側中央部海岸で行われた CaPE (The Convection and Precipitation/Electrification Experiment) データを解析して海陸風前線に伴う境界層の収束の役割の重要性を指摘した。雲と降水の組織化について発表した G. W. Rueter (アルバータ大) らは、強雨をもたらしたロール状循環による降水バンドの形成を対称不安定 (symmetric instability) で説明できたことを示した。J. Dessens (ポール サバティエ大学) は雹粒の粒径分布を調査し、各粒径毎の個数分布は粒径についての指数関数で表わされることを示した。そしてその式に含まれる 2 定数を観測値から決めた。J. Marwitz (ワイオミング大) らは、1990 年のデンバーでのブリザードにおけるガスト・フロントの形成は降水粒子の融解によることを、レーダー観測による運動場から説明した。A. M. Shapiro (オクラホマ大) らは、マルチセル型の対流雲内での垂直渦の形成について数値実験をし、ウインド・シアのない場合でも垂直渦が形成されることを示した。それは複数の上昇域が近付いている場合、隣りの上昇域の影響によって非対称的な下層での流入気流が起こり、上昇域の縁で反対方向の渦が形成されることによると結論づけた。M. R. Hjelmfelt (南ダコタ鉱工大) らは、夜間のマイクロバーストについてカンサス市で行われた 1989 年 TDWR (The Terminal Doppler Weather Radar) プロジェクトで観測された条件下で数値シミュレーションを行い、ジェット流領域への暖気移流の時に最も強いマイクロバーストが発生したことを示した。上記のように今回の会議では、

大規模な野外観測を行い、そのデータに基づいた数値シミュレーションをし、それによってより詳しい解析をして現象の理解を深めるという方法が主流であった。

セッション 13 の発表は、ほとんどが観測についてであった。そのうちで、航空機搭載レーダー及びマイクロ波放射計によるものが 3 件あった。F. Roux (仏環境物理学研究センター) らは 1991 年のハリケーン Claudette について、レーダー反射因子及びデュアルレーダーからの風の分布で見事に眼の壁の構造についての高分解能な 3 次元場を示した。A. A. Chernikov (ロシア中央高層気象台) らはマイクロ波放射計によって、熱帯低気圧内の過冷却雲水量は中心から 100~150 km の領域に局在している、それは水平的には対称でないことを示した。B. F. Smull (NOAA/NSSL) らはメソスケール対流システム (mesoscale convective system) 内に見られた Fujita (1978) によって名付けられた船首型エコー (bow-echo) の降水分布と運動場の詳細な構造を示した。上記の台風のように稀にしか起こらない現象の観測には、観測網を配置して待っているより機動性のある航空機搭載測器での観測が今後重要になると考えられる。

観測データの空間及び時間分解能の粗さをカバーする手法として、ドップラーレーダーで観測される流れの場から温度、気圧、雲物理量などの分布を評価する retrieval 法が最近盛んに行れるようになってきたが、S. A. Braun (ワシントン大) らはスコールラインに適用した。そして詳細な熱収支解析を行い、平均の加熱の垂直分布のピーク値を下げるものとして中高度における蒸発と融解による冷却の存在を見つけた。

A. Lacing (ペンシルベニア大) らは、アフリカ、インドにおけるメソスケール対流集団 (mesoscale convective complex) を衛星データから解析し、他の地域での特徴と同じ事を示した。メソスケール対流システムは大きく分けると深い対流域とそれにひき続く層状降水域から成り立っているが、その層状降水域についての発表が 3 件あった。熱帯のスコールラインについて W. Ecklund (NOAA/ERL) らは、ウインドプロファイラーによって上昇流を得、その上昇流と温度から期待される雲水量と温度に基づく電荷発生実験結果の正電荷発生によって、地上で測定された正電場を説明した。オクラホマにおけるメソスケール対流システムについて、T. Matejka (NOAA/NSSL) は後面からの乾いた寒気の流入により蒸発冷却の効果によ

て低温部が前部まで延びる事を示した。

また熱帯のメソスケール対流システムについてウィンドプロファイラーを使った観測をした R. Cifelli (コロラド州立大) らは、ドップラーレーダーでは通常探知できない層状降水域の上部での上昇運動を検出した。それによってドップラーレーダー測定値に基づいた熱収支解析は必ずしも正しい値を示さないだろうと述べた。上記のようにメソスケール現象の詳細な解析を行うには、retrieval 法、航空機観測やウィンドプロファイラーなどで、空間及び時間スケールの密な観測、解析を行うことの必要性が痛感された。

7. セッション 14 (雲と放射) とセッション 15 (雲の化学) について

早坂 忠裕

この会議が開かれる直前に、やはり 4 年に一度開かれている International Radiation Symposium がエストニアで開催されたこともあって、セッション 14 での発表はそれほど多くなかった。発表は全部で 19 件。それらの中で、今回目についたのは、空間的に (特に水平方向に) 不均質な雲の放射特性に関するもので、計算によるものが多く、ディスクリート・オーディエイト法を用いたもの、モンテカルロ法によるもの、あるいは、フラクタルの概念を用いたり、観測データをもとに雲の空間変動をスペクトル解析して表現し、その放射特性を求めたものなど、多岐にわたっていた。そして、それらの不均質雲の放射特性が放射収支やリモートセンシングに対してどのような影響を及ぼすかという点については、いずれも、一般的には雲の反射率を減少させるように働くというセンスである。今回の会議では、赤外放射線の特性や太陽放射の吸収に対する影響に関してはほとんど触れられていなかったが、今後はこれらの評価を正確に行なうことと、現実の雲の空間変動と理論計算をいかに結びつけるかが次の課題である。いずれにせよ、この種の研究が数多く行なわれ始め、定量的な議論が進められつつあることは、意義のあることと思われる。

それから、ここ数年話題になっている、雲とエアロゾルの相互作用と雲の放射特性の関係に関するものが依然としていくつか話題になっていた。しかも、それらの内容は微物理モデルを入れた数値シミュレーションや衛星からのリモートセンシング等により、少しずつ定量的に議論されるようになってきたように思われる。しかしながら、現実には分布している雲やエアロゾ

ルの種類によって、いわゆる Twomey Effect (エアロゾル濃度が増加すると雲粒の粒径が小さくなり、光の散乱断面積が増えるので雲の反射率が大きくなるという効果) がどの程度違ってくるのかという点に関しては、今のところほとんど明らかにされておらず、今後の究明が待たれるところである。衛星からのリモートセンシングに関しては、後のセッション 18 においてもいくつか示されているように、雲の光学的厚さや雲水量、雲粒有効半径等について定量的な議論が為されるようになってきた。特に、NOAA/AVHRR の ch1 と ch3 から光学的厚さと雲粒有効半径を出しているグループがいくつか出始めているのが注目される。

セッション 15 は著者の専門分野ではないので、内容の簡単な紹介と感想のみを記すことにする。内容的には、初めに 5 つのセッションが設けられた雲の微物理過程の分野に密接に関係するものである。発表件数は 27 件と比較的多く、具体的には雲とエアロゾルの相互作用に関するもの、水あるいは氷の雲粒子による SO₂ などの気体の取り込みの過程、酸性雨、降り積もった雪の成分分析、はたまた極域成層圏雲 (PSC) を扱ったものまで、広い範囲にわたっていた。研究の手法としては実験、観測によるものが圧倒的に多く、日本において雲化学分野での研究があまり盛んに行なわれていないのも、実験・観測的手法による研究の技術的経済的な困難が原因の 1 つになっているのかもしれない。余談になるが、例えば航空機を用いた観測にしても、今回の会議では 70 件 (全体の 2 割) 以上を数え、数値シミュレーションの結果を発表している人に対して、「その結果は航空機観測の結果と比べたか?」といった質問がごくあたりまえにされるといった様子。雲の微物理過程の 5 つのセッションと合わせ、雲化学の分野は雲研究の中で長い歴史を持つにもかかわらず、まだまだ現実の現象を正確に把握することと、それらのメカニズムについて定性的な議論を行なうという範囲でも為すべき仕事が沢山ある、というのが印象として残った。

8. セッション 16, 17 (測定と解析技術) について

上田 博

セッション 16 では、測定技術と解析技術に関する研究その I として、地上観測と飛行機観測について、セッション 17 では、その II として、レーダー観測とライダー観測を中心とした研究について発表がなされた。プログラム上二つに分けられていたが、両セッション

の区分はあまりはつきりしなかった。

地上観測では、数種類のセンサーを組み合わせた雲の鉛直構造の観測・研究が注目された。B. Albrecht (ペンシルベニア州立大学) らは、95GHz の鉛直ドップラーレーダー、3種類のウンイドプロファイラー、RASS (温度プロファイル観測システム) 及び9波長のマイクロ波放射計などを組み合わせた雲の鉛直構造観測システム (COS: Cloud Observing System) を紹介した。層雲の雲低にかなり凹凸があるという観測結果には驚かされた。プロシーディングには載っていないが、B. B. Stankov *et al.* (米国海洋気象庁電波伝播研究所) のマイクロ波放射計、ウンイドプロファイラー及びRASS等を組み合わせた、雲水量の鉛直プロファイルの観測結果の紹介もあった。

飛行機観測では、画期的と思える研究は見あたらなかったが、H. Gerber による雲水量測定のための飛行機搭載用光学センサーや P. D. Hammer *et al.* (米国航空宇宙局) による可視・赤外光による雲画像スペクトロメーターの紹介が注目された。

ポスターでは、雲水量の測定方法及雨量計のデザインに関する研究の発表があった。また、E. Kessler (元米国中小規模擾乱研究所長) はレーダーと雨量計による降水強度の比較解析等に使用する相関係数に関する数学的な検討を発表し健在であることを示した。

レーダーに関しては、S. Durden *et al.* による航空機搭載用 14GHz の多偏波レーダーの地上観測結果の紹介や K. Aydin *et al.* による 94GHz の偏波レーダーによる雪結晶の形状の観測例の紹介があった。また、ミリ波レーダーの後方散乱に関する理論計算がイタリアの O. Sturniolo *et al.* と L. Liao and K. Sassen (ユタ大学) の発表があったのは、ミリ波帯のレーダーによる雲の観測が盛んになりつつあることを反映しているのかも知れない。また、W. L. Ecklund *et al.* (米国海洋気象庁環境研究所) による 915MHz のプロファイラーによる雨滴の落下適度の観測も見逃せない。

ライダーに関しては、D. M. Winker (米国航空宇宙局) による雲低高度の観測結果の紹介があったが、ライダーによる雲の観測の紹介は少なかった。

セッション 16 と 17 とは測器の紹介が中心で、雲の構造について新しい知見が得られたというわけではないが、人工衛星のマイクロ波放射計観測が発展し、アクティブなマイクロ波センサー搭載も可能になったせいもあってか、“ミリ波等波長の短いマイクロ波を用いた雲の観測が見直されている” というのが一番の印象

であった。

9. セッション 18 (雲と降水の衛星観測) とセッション 19 (予報, 大循環, 気候) について

和田 誠

セッション 18 では衛星データから降水量、雲頂高度、雲の厚さ、雲頂付近の微物理過程などを求める方法についての発表があった。今までは1つの衛星で得られた何種類かのデータを用い雲降水関係の量を求めようとする研究が多かったが、今回の発表のほとんどが2つ以上の衛星データを用いて求めようとしていた。水雲の特徴についての発表では NOAA, GEOS, DMSP の3つの衛星のデータを比較していた。これから求めたデータと地上観測データとどの位良く一致しているかの議論であった。また多層構造の雲についての発表では、AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) データと HIRS/2 (High Resolution Infrared Radiation Sounder) データを用い、輝度温度の違いは雲が多層であることを反映しているの、両方のデータを用いることによって多層の雲の雲頂高度の見積もりがより良い精度で出来ることを議論していた。陸上を含めた降水量の見積もりについてはすでに Geosynchronous Satellite の AVHRR データから見積もられている。しかしさらに良い結果を得るために DMSP 衛星の SSM/I (86GHz) データから求めた降水量と比較を行っていた。さらに実際に地上で 100 km × 100 km 内に細かい観測点を設け、それらを衛星データと比較する発表があった。この他マイクロ波データの計算に吸収だけでなく散乱の効果も評価し降水量を見積もったもの、新しい衛星搭載用降水観測レーダー、巻雲観測用 MISR (Multi-angle imaging spectro-radiometer) に関する発表などがあった。

セッション 19 は題名からわかるようにシミュレーションに関するものが多かった。また最後のセッションであり他に入れにくいポスター発表もここに含まれていた。気象災害などのためには短時間スケールの特に正しい予報が不可欠である。観測から得られたレーダーエコーデータを利用し、その後の降水の領域、降水量を、精度良く予報する方法についての発表があった。エコーの動きをある基準に基づいて今までの方法以上に正確にもとめ外挿して予報をするもの、エコーデータを利用し確率モデルを用いてその後の予報をするものなどが報告された。また、0000UTC のデー

タを初期値として用い48時間以内のシミュレーションを毎日行い、コロラドの山によって引き起こされる降水の予報と、アメリカ西部の3/4をカバーする広い領域の高層雲、特に巻雲の予報を行なったという発表があった。そして、ある特定の日の実際のデータと比較していた。特に高層雲については衛星データと比較していた。GCMを用いて計算を行ったものとしては、熱帯のDCC (Deep convective cloudiness) が温室効果にどのように影響するかを調べたもの、雲の微物理過程(積雲の対流活動の中に水や氷 (cloud liquid and ice) の効果を入れたもの) を考慮して計算を行ったものなどが発表された。

10. 気象学の歴史を感じた国際会議

佐藤 晋介

国際会議の会場となった McGill 大学は、高層ビルディングの立ち並ぶモンリオール新市街に隣接しており、緑あふれる美しい構内には歴史を感じさせる建物がたくさんあった。ウェルカムレセプションが行われた Red-path ホールには立派なパイプオルガンがあり、各国の研究者との歓談中美しい音色を聴かせてくれた。最終日には、McGill 大学の研究者のご好意で大学のレーダーを見学させて頂いた。この10 cm 波長のレーダーは、モンリオール市街から車で30分程かかる農学部構内に設置されており、1968年から動いている歴史のあるものである。また解析装置も充実しており、水平/鉛直断面のカラー表示の他、相関法による各地点の短時間降水予測も行っている。なお、このレーダーは、近々ドップラー化される予定であるとのことである。

会議の行われた8月は新学期の始まる直前にあたり、大学の書店に行くと気象学の教科書がたくさん並んでいた。特に目についたのは初めて気象学を学ぶ人のための入門書で、身近な現象から最先端の知識までをたくさんカラー写真とわかりやすい図で詳しく解説しており、非常に親しみを覚えた(例えば、Meteorology Today : C. D. Ahrens, West Publishing Company)。数少ない日本語の教科書と比べると大きな差を感じずにはいられない。

発表内容について少し紹介すると、降水バンドのセッション11では10件の口頭発表があり、うち3件が筆者も含む日本からのものでいづれも降雪雲についてのものであった。この中で、P. V. Hobbs のフロントの形状と降水についての発表は聴衆の度胆をぬくも

のであった。口頭発表であるにもかかわらず、本人は一言もしゃべらずに、説明はすべてコンピューターグラフィックスで作った図と解説文をカラーアニメーションで投影し、本人は15分間BGMを流す作業をしていたにすぎない。発表形式の善し悪しはともかく、このようなデータの可視化ができるのも研究者の層の厚さがあるからであろう。

メソ気象を研究する立場から全体的な感想を一言述べる。欧米の観測は複数台のドップラーレーダー、航空機、マルチパラメーターレーダー、メソネット(地上気象観測網)等を使った総合的なものが多い。しかし、このような大規模な観測を行うためにはそれらに関わる研究者の数の多さと層の厚さが必要であり、気象学の歴史や広い国土があつて初めて可能になるということを実感せずにはいられない。

最後に日本のメソ気象学の将来を考えると、欧米とは異なった環境下での現象を理解することが重要であると思われる。例えば、日本海側地方は世界でも有数の豪雪地帯であるので、降雪の研究では世界をリードしていかなければならないであろう。そのためにも、総合的な観測が必要であり、それを支える研究者の数を増やす努力も必要であると考えます。

11. 第11回雲と降水に関する国際会議に参加して

高橋 暢宏

雲と降水に関する国際会議(ICCP)に今回初めて参加しました。私の主な興味がレーダーを用いた研究ですので、この観点からの印象を書きます。1991年の国際レーダー気象学会議に参加したときには、偏波レーダーを用いた研究が中心をなしていた観があったので、今回はどの程度そのような研究があるかに注目しました。会議では、偏波レーダーを用いた研究が5件、2波長のレーダーを用いたものが1件と思ったよりも少なかったが、ドップラーレーダーを用いたものは数多くありました。

これらの研究発表を聞いた印象としては、偏波レーダーを雲物理学に应用するのはまだこれからの仕事であるということです。しかしながら、マンチェスター大学の A. Illingworth による暖かい雨の発達段階における Z_{DR} の値の変化から降水粒子の初期形成のメカニズムを推測した研究、またドイツの DLR の P. Meishner らが山岳性の層状降雪雲の降水粒子の形成について、樹枝状結晶と雪片とを偏波レーダーによって区別するためのクライテリオンを与えていた研究は

注目に値すると感じました。

2波長のレーダーを用いた観測では、NCARのC. KnightらがCP-2ドップラーレーダーを用いて発達初期の雲からの反射強度からBragg散乱とRayleigh散乱によるものを分離する事により、雲内の雲水量に関する情報を得ようとしていました。この発表に対しては多くの異論もでてはいましたが、雹の研究で名高いC. Knightもレーダーを用いた研究を始めたことを知って少なからず驚きました。

ドップラーレーダーを用いた研究では、雲物理を意識したものとしてはdualドップラー（2台のドップ

ラーレーダー観測）の解析結果を基にリトリバルを行った発表が2件あり、ドップラーレーダーを使うものとしては、そこまで頑張らなければいけないと感じました。また、この会議のChairmanであるP. Hobbsのグループの研究もdualドップラーを用いて前線に伴う降水バンドのサブ構造を丁寧に解析したものであり、発表方法も洗練されていたことが印象に残りました。

今回の学会出席にあたり、日本気象学会の国際学術交流基金より出席補助金を頂いたことを感謝いたします。

国際学術研究集会への出席補助金受領候補者追加募集のお知らせ

国際学術交流委員会

すでに天気39巻12号の紙上で1993年度上半期（6月1日～11月30日）について上記候補者の募集を行ない、2月28日に応募を締め切りましたが、今回は応募者が少なく予算に多少余裕があることから下記の要領で追加申請を受け付けます。

記

1. 対象の集会

1993年8月1日～11月30日の期間外国で開かれる国際学術研究集会

2. 応募資格

日本気象学会会員で国際学術研究集会に出席し論文の発表もしくは議事の進行に携わる予定のもの。

3. 募集人員

若干名

4. 補助金額

開催地域を考慮し最高15万円程度

5. 応募手続

所定の申請書類（日本気象学会事務局備付）を期日までに国際学術交流委員会（〒100東京都千代田区大手町1-3-4 気象庁内日本気象学会気付）に提出する。大学院生は指導教官の推薦状を併せて提出する。

期日：1993年6月30日

6. 補助金受領者の選考・義務

当該集会終了後30日以内に委員会に報告書を提出する。