

第13回国際雲・降水会議参加報告*

村上正隆*¹・三隅良平*²・上田博*³・鈴木賢士*⁴
 川野哲也*⁵・坪木和久*⁶・小西啓之*⁷・播磨屋敏生*⁸
 久芳奈遠美*⁹・高橋庸哉*¹⁰・梶川正弘*¹¹・星本みずほ*¹²
 中井専人*¹³・折笠成宏*¹⁴・牛山朋来*¹⁵・橋本明弘*¹⁶
 金田幸恵*¹⁷・出世ゆかり*¹⁸

1. はじめに

標記の会議 (ICCP) が, IAMAS (国際気象学・大気科学協会) の国際雲・降水委員会 (会長はカナダの Issac 博士) の主催で2000年8月14日 (月) から18日 (金) までアメリカ合衆国ネバダ州リノ市で開催された。会議の会場はリノ市の郊外に在るナゲットホテルのコンベンションホールで, ネバダ大学の Hallett 教授が世話役をつとめた。この会議は4年に1回開催される雲物理の分野では最大の国際会議で, 今回も約30か国から350人以上の研究者が参加した。最初約450題の発表申し込みがあったが, 最終的には口頭発表220題 (内100題は3分間の口頭発表+ポスター発表), ポスター発表130題に絞り込まれた。日本からは, 参加報告の著者らの他に, 菊地勝弘 (秋田県立大学), 高橋 劭 (桜美林大学), 前坂 剛 (北海道大学), 若月泰孝 (名古屋大学) を含めると22名が参加した。

会議の期間中, 火曜日と木曜日のパラレルセッションを除くと, 19の口頭発表のセッションは原則1会場で行われた。2つのポスターセッションは月曜日と火曜日の17:30~19:30に行われた (第1図)。その他に, 火曜日夜の「雲物理学の将来展望」と題するパネルディスカッション, 金曜日夜のネバダ大学 Desert Research Institute (DRI) の見学 (第2図) と盛りだくさんの内容であった。19のセッションは以下の通りであった。

セッション

1. Introductory Papers
2. Aerosol Microphysics
3. Warm Cloud Microphysics
4. In-situ Instruments and Associated Techniques
5. Remote Sensing Instruments and Associated

* Summary of The 13th International Conference on Clouds and Precipitation.

*¹ Masataka Murakami, 気象研究所物理気象研究部。

*² Ryohei Misumi, 防災科学技術研究所水圏地球科学技術研究部。

*³ Hiroshi Uyeda, 北海道大学理学研究科。

*⁴ Kenji Suzuki, 山口大学農学部。

*⁵ Tetsuya Kawano, 九州大学理学研究科。

*⁶ Kazuhisa Tsuboki, 名古屋大学大気水圏科学研究所。

*⁷ Hiroyuki Konishi, 大阪教育大学。

*⁸ Toshio Harimaya, 北海道大学理学研究科。

© 2001 日本気象学会

*⁹ Naomi Kuba, 地球フロンティア研究システム。

*¹⁰ Tsuneya Takahashi, 北海道教育大学。

*¹¹ Masahiro Kajikawa, 秋田大学工学資源学部。

*¹² Mizuho Hoshimoto, 気象研究所物理気象研究部。

*¹³ Sento Nakai, 防災科学技術研究所先端解析技術研究部。

*¹⁴ Narihiro Oriyasa, 気象研究所物理気象研究部。

*¹⁵ Tomoki Ushiyama, 地球観測フロンティア研究システム。

*¹⁶ Akihiro Hashimoto, 北海道大学理学研究科。

*¹⁷ Sachie Kanada, 名古屋大学大気水圏科学研究所。

*¹⁸ Yukari Shusse, 名古屋大学大気水圏科学研究所。



第1図 十分なスペースを確保したポスター会場の様子



第2図 ネバダ大学 DRI への見学会の風景

Techniques

6. Precipitation Processes
7. Cloud Modeling
8. Parameterization of Cloud Properties
9. Cold Cloud Microphysics
10. Boundary Layer Clouds
11. Clouds, Aerosols and Climate
12. Cloud Chemistry
13. Cloud Electricity
14. Hail
15. Applications of Cloud Physics
16. Weather Modification
17. Large Scale Properties of Cloud Fields
18. Frontal and Cirrus Clouds
19. Convective Clouds

今回の会議の特徴は、15分の口頭発表とポスター発表に加えて、3分の概要紹介とポスターを組み合わせた発表が採用された点である。3分の概要紹介の約半分が月曜日と水曜日のポスターセッションの後に行われたため、概要紹介が役に立たなかったとの批判が多かった。毎回、限られた時間のなかで少しでも多くの発表をできるようにいろいろな方式が試行されるのだが全員が満足するような方式を見出すのは大変難しいことである。

発表論文の内容から見ると、 -30°C 以下に於ける結晶成長や水滴・溶液滴の凍結などの実験分野で興味深い成果発表が多かったように思える。ただ、そのほとんどが欧米の研究者によるものであったことに少し寂しさを覚える。パネルディスカッションでは、半数近いパネラーが異口同音に氷晶発生機構を未解決の重要

な課題として挙げ、その解決に向けた取り組みの必要性を強調していたのが印象深かった。

水曜日の夕方、8時から約4時間にわたって国際雲・降水委員会の運営委員会が開かれ過去4年間の委員会の活動報告、今回の会議の運営方法の問題点、次回の開催地の検討などが行われた。前回から設けられた副会長にはイスラエルの Levin 博士が、今回から設けられた事務局長には米国 NASA の Starr 博士が選任された。委員の改選も行われ、日本からの委員には2期8年で任期満了となった著者に代わって藤吉康志教授(北海道大学)が選任された。2004年の第14回国際会議の開催地はイタリア、日本などを含む6カ国が立候補したが、投票の結果イスラエルのテルアビブまたはエルサレム市で開催されることになった。

以下に各分野の最近の研究動向や、初めてこの会議に参加した大学院生の感想を報告する。

(村上正隆)

2. 各セッションの報告

2.1 招待講演

開会セレモニーの直後にそれぞれ15分間の招待講演が4題あった。一番目は Starr 博士(米国 NASA)の「巻雲モデルの比較」と題する講演で、その内容は GEWEX の GCSS のワーキンググループ2(巻雲システム)の成果報告的色彩の強いものであった。使用されたモデルは1, 2, 3次元モデルで、雲物理のパラメタリゼーションも氷晶の粒径分布を陽に表すビン法、1次と2次のモーメントのバルク法と色々なモデルで数値実験が行われた。計算から求められた氷水量、雲底・雲頂高度には非常に大きなバラツキがあり、ま

だ多くの問題を抱えていることを示していた。Starr 博士は、モデルの次元やパラメタリゼーションによる系統的な差も見られることから今後のモデルの改良の手がかりとなるだろうとの見解を示した。

2番目の講演は Stephens 博士 (米国 CSU) による「CLOUDSAT: 宇宙からの全球雲特性に関する実験的研究」であった。2003年に打ち上げを予定されている CLOUDSAT 衛星は当初ライダーとレーダーを搭載する計画であったが、予算や搭載重量の制限からライダーを搭載した PICASSO-CENA 衛星や EOS-PM (Aqua) 衛星と同期観測を行い種々の測定データを取得するように変更になったとのことである。CLOUDSAT 計画では (1) 雲の出現頻度の鉛直分布, (2) 雲水量の鉛直分布, (3) 氷水量の鉛直分布, (4) 固体および液体降水の発生頻度, (5) 雲の光学的特性などを調べることを主な目的としている。講演では3つの衛星の詳細な打ち上げ計画や同期観測の軌道, 色々なセンサーの組み合わせによる種々の雲に関する物理量の導出法などの説明が行われた。一昔前までは衛星からの雲に関する情報といえば雲域や雲頂温度程度であったが, この講演から近い将来, 雲に関する多種多様な情報が引き出せるようになり, 雲・降水の研究も様変わりすると思った。

次に Mazin 博士 (ロシア中央高層気象台) が「雲物理学における学術用語の一致」と言う少々変わった講演を行った。博士の主張は学術用語の使用法や定義は測定技術や現象の理解度によって時代とともに変わっていくものであり, 学術用語の明快な定義と研究者がそれに対して共通の認識を持つことがその学術分野の発展に欠くことができないというものである。そのために, 早急に国際雲・降水委員会のなかに用語検討委員会を発足させ, 関連分野とも連絡を取りながら新たに学術用語集を作成し世界中に周知徹底することを提案した。

最後に福田教授 (米国ユタ大学) が本会議の1週間前に米国ミズーリー州ローラ市で開催されたニュークリエーションと大気エアロゾルに関する国際会議の様子を, この分野における最近のトピックスをまじえながら報告した。この会議を主催している委員会は国際・雲降水委員会の下部組織に位置付けられ, 当初は雲核や氷晶核に関する研究発表はこの会議で行うようになっており, この2つの会議は密接な関係にあったが, 最近では両方の会議に出席する人は10人足らずとなり, やや疎遠になりつつあるのが惜まれる。

(村上正隆)

2.2 エアロゾル/暖かい雲

セッション2 (エアロゾルの微物理) では, 4件の口頭発表と9件のポスター発表が行われた。残念なことにポスター発表はセッション6の自分の発表と重なってしまい, その詳細を聞くことができなかった。口頭発表で特に印象に残ったのは, 航空機を用いた詳細な観測データと, それを用いた理論式の検証である。Chuang ら (米国 NCAR) は, ACE-2と呼ばれる航空機観測によるデータに基づき, 理論による計算が CCN (雲核) 濃度をやや過大に評価する傾向にあることを示した。この結果は, 雲物理における最も基礎的な過程である凝結核の活性化においてなお未定の部分があることを示していて興味深かった。一方で Sniders ら (米国ワイオミング大学) は複数の CCN 測定器の相互比較により誤差推定を行い, それを考慮した上で初期雲粒の数濃度を Twomey (1959) の経験式と比較したところ, 両者の差は測器の誤差範囲に入るとした。他に Devara ら (インド熱帯気象研究所) は12年間にわたるライダー観測に基づいた境界層のエアロゾルの量とモンスーン期の雨量について統計的解析を, また Rogers ら (米国 CSU) は最近行われた3つの氷晶核観測プロジェクトのレビューを行っていた。

セッション3 (暖かい雲の微物理) では, Gerber (米国 Gerber Scientific Inc.) による, 1秒間に1000回の高頻度で雲水量を測定できる新しい測器を用いた積雲の航空機観測が面白かった。この測器を仮に秒速100 m/s の航空機に搭載すると, 10 cm の空間分解能でサンプリングできることになる。観測結果は, 従来型の1秒1回のサンプリングでは得られなかった, 数 m 程度の空間スケールをもつ雲水量の極大, 極小を示した。また希釈されずに上昇した空気塊が雲底から900 m より上層では検出されなかったことから, 積雲に存在するとされる「断熱コア (adiabatic core)」の存在に疑問を投げかけた。他の発表では, 大陸性・海洋性積雲の微物理的特徴の違いを比較した Hudson ら (米国ネバダ大学) の発表, Albrecht ら (米国マイアミ大学) の94 GHz のミリ波ドップラーレーダーを用いた晴天積雲の事例解析, Brown ら (米国トリニティ大学) による雨滴衝突分裂の新しい定式化, Vohl ら (ドイツ Johannes Gutenberg 大学) の垂直風洞を用いた水滴の併合成長の実験と理論式の比較などを興味深く聞いた。

セッション2, 3 合わせて44件の発表がエントリーされていたが, その中に日本からの発表は1件もなかった. その理由はよくわからないが, 今回はこのセッションでの日本人研究者の発表を期待したい.

(三隅良平)

2.3 その場観測/リモートセンシング観測

セッション4では, その場計測用の装置と関連した技術について, 口頭発表7件とポスター発表8件があった. 係留気球観測1件を除いて他は航空機観測用のセンサーに関する研究であった. 雲水量測定を中心に, 凝結核や雲粒子観測装置の紹介やテスト結果の報告があり, 航空機搭載プローブの着実な研究の様子がうかがわれた. しかし, 航空機搭載の雲物理観測装置に関する研究はアメリカ合衆国とドイツがほとんどであることが気になった.

セッション5では, リモートセンシングの装置と関連した技術について, 口頭発表10件とポスター発表23件があった. 雲レーダーに関する論文5件, 偏波レーダーに関する論文4件, ドップラーレーダーに関する論文6件, レーダー反射強度に関する論文2件, ライダー観測に関する論文3件, マイクロ波放射計に関する論文5件などが主なものであった.

雲レーダー(ミリ波レーダー)やライダー搭載の衛星計画があることから, 航空機搭載の雲レーダーやライダーの比較研究(Tinel and Testsud; フランス CETP)が行われるなど, 雲レーダーとライダーを用いた雲観測に関する着実な進歩がみられた. また, マイクロ波レーダーによる降水強度測定やドップラー速度測定に関しては研究がかなり成熟したという印象を受けた. 一方, 偏波レーダー(直交2偏波マルチパラメーターレーダー)を用いた降水粒子の種類の識別方法は実用段階を迎えたと言える. Chandrasekarら(米国CSU)による, 偏波レーダーの5つの測定値に高度を含めた6つのパラメータを用いたファジーロジックによる降水粒子のタイプ分類法の開発は注目される. 物理的な意味はあいまいであるが, 実用化する上では応用性の高い方法であると考えられる. 発表件数としては少ない分野であるが, 小電力のドップラーレーダーを用いた降水粒子の落下速度と粒径分布を測定する装置や, UHF波のウインドプロファイラーとSバンド鉛直ドップラーレーダーを用いた降水粒子の落下速度と粒径分布の統計値に関する研究(Williamsら; 米国コロラド大学)が注目された. 他に, 衛星観測データ

を用いた雲の識別法に関する論文や雲レーダーによる層雲の観測結果を評価することを意識した数値実験もあり, リモートセンシングのセッションは内容が非常に豊富であった. 地上リモートセンシングから衛星リモートセンシングまでを一つのセッションにしたために件数が多くなり, 口頭発表が少なくなったのは残念であった. しかし, パラレルセッションになっていたのでポスターの方が興味のある人には聞いてもらえるという長所があったかもしれない.

(上田 博)

2.4 降水過程/雲の電氣的性質

セッション6では, 降水をテーマにして雲物理からメソ気象まで多岐にわたる報告があった. 口頭発表は6件, ポスター発表は10件であった.

観測的研究としてセッションのトップを切って村上ら(気象研究所)による三国山脈における地形性降雪雲の観測結果が報告された. 雲内の上昇流は1~2 m/sであるが雲頂付近で水晶生成があり過冷却雲水の見られる雲内で昇華, 付着成長で降雪が形成されていた. 続いて橋本ら(北海道大学)はTREX, X-Baiuで観測された雨滴粒径分布の降水タイプによる違いについて報告した. García-Garcíaら(メキシコシティー大学)はメキシコシティーでピックアップトラックにOAP(Optical Array Spectrometer Probes)を搭載し観測を行った. List *et al.* (1987)の雨滴粒径分布の多重ピークが降水の発達段階によりその現れ方が異なることを報告したが, 1例のみの紹介で今後のさらなる解析と多くの観測例が期待された. Lovejoyら(カナダMcGill大学)は2台のストロボと3台のカメラを用いた地上における雨滴粒径分布の測定結果を報告した. データサンプルの写真が会場で回覧されたが, 測定範囲(視野)の広さからデータ解析の困難さが想像された. Kolliasら(米国マイアミ大学)は915 MHzドップラーレーダーを用いて雨滴粒径分布の推定を行うために対流コアの観測を行った. 上昇, 下降流も雨滴粒径分布を決める1つの要素となっていると報告した. Jiangら(米国エール大学)は3次元モデルを用いて山岳周辺における降水量分布を計算し, 降水量分布は山岳の大きさと風速に関連していることを報告した.

日本からは川野ら(九州大学)による3次元雲モデルの結果, 三隅(防災科学技術研究所)によるJAT-MEXのスコールラインのモデルの結果, 金田ら(名古屋

屋大学)による九州西方で観測された長続きするライン上エコーのレーダー観測結果, 鈴木(山口大学)による熱帯対流性雲と台風からの雨滴粒径分布に関する報告, 前坂ら(北海道大学)によるGAME/HUBEXにおける降水システムのデュアルドップラー観測結果がポスターセッションで発表された。

セッション13では7件の口頭発表と4件のポスター発表があった。残念ながら日本からの発表はなかったが、セッションの印象として高橋(桜美林大学), Saunders(UMIST)やHallett(DRI)を中心とした活発な議論が行われていた。発表では観測, 実験, 数値計算とさまざまな角度からの研究成果が報告された。Lathamら(米国NCAR)はOTDとTRMM/LISとTMIデータを用いてリモートセンシングの立場から雷活動における氷粒子の重要性を報告したが, 大陸でのデータが主であり海洋上のデータが不足しているという指摘もあった。数値モデルによる研究では, Tinsley(米国テキサス大学)が水滴が電荷を持つとエアロゾルの捕捉(Electroscavenging)効率がいいことから電荷を持った幅の広い粒径分布をした雲粒からなる雲では接触凍結による氷晶生成が大きな氷粒子形成にとって支配的であることを示した。Gadianら(英国UMIST)は2次元モデルによりCCOPEとCaPEで観測された雷雲を再現し, 上昇流の強さと霰の粒子数密度の重要性を報告したが, 霰とともに氷晶も重要であること, 再現された雲内の電場が1桁違うとの高橋によるコメントもあった。観測的研究ではBeardら(米国イリノイ大学)はミシガン湖上空の層積雲の航空機観測を行い, CVIと凝結核測定器, 電荷計, 高精度湿度計を組み合わせ, 雲粒の数密度, 雲水量, 電荷量を測定した。Blackら(米国NOAA)は小さなMCSへの航空機観測から層状域で電場が大きいことを報告した。また, Höllerら(ドイツDLR)はNO_x(窒素酸化物)の生成源としての雷放電という観点からEULINOX観測プロジェクトにおける航空機, ドップラーレーダー, ITF, LPATSによる観測結果を報告した。雷放電は上昇流コアのすぐ風下側に多く, そこでは高濃度のNO_xが観測された。個人的に興味をもっていた電荷分離機構に関してはListら(カナダ・トロント大学)による風洞実験が報告された。風洞内の霰に氷晶を衝突させて発生する電荷を測定し速度依存性を報告したが, チャンバーが水飽和の時にはTakahashi(1978), 水飽和の時ではSaunders(1993)の理論に近い結果になるということで, 高橋から現実の大気

を考えたかどうかという少し意地悪な質問があった。Listは答えをはぐらかしていたが, それに対して高橋とSaundersが談笑していたのが印象的であった。

(鈴木賢士)

2.5 雲の数値モデリング

このセッションでは, 大気大循環モデル(GCM)から雲解像モデル(CRM), さらに雲内の微物理過程そのもののモデリングにまで及ぶ, 雲の数値モデルに関する研究発表が行われた。発表は全部で24件で, うち口頭発表が11件, ポスター発表が13件であった。いくつかの研究発表について紹介する。

まず, GCMに関する研究として, Bauerら(ドイツMPI)はGCM内での雲の取り扱い方をいろいろと変え, ISCCPで観測された雲量とGCMで再現された雲量との違いを修正するといった試みを行っていたが, 依然として両者の差は大きいようであった。また, SmolarkiewiczとGrabowskiらNCARのグループによる“Toward Cloud-Resolving Modeling of Climate”と題した発表では, 彼らのGlobal Cloud Modelが紹介された。

Shieら(米国NASA)は, CRMを用いた熱帯域の気候特性に関する報告を行った。これは, 大気鉛直プロファイル, 地表面フラックス, 放射等の12個の組み合わせにおいて, 25日積分後の準定常状態を比較する感度実験であったが, 地表面フラックス量, 風の鉛直シアの2つが層状雲・対流雲の占める面積及び全降水量への寄与が大きいことが示された。

Petchら(英国気象局)は, 気候モデルにおける放射に, 雲及び相対湿度のサブグリッドスケールの変動が与える影響について, CRMを用いた研究結果を報告した。

Rasmussenら(米国NCAR)は, NCAR/PSU MM5に微物理スキームを導入したモデルを用い, 層状雲内の“freezing drizzle”(過冷却の霧雨)と“supercooled large droplet”(過冷却の大雲粒)の形成に関する研究発表を行った。雲頂付近の放射冷却の効果よりも低濃度のCCNに起因した“Spectrum Broadening”(粒径分布の拡幅)の効果の方がそれらの形成には大きく働いていることが示された。

降水粒子の衝突・併合過程の成長方程式, “Stochastic Collection Equation”(SCE)の数値解法として, Simmelら(ドイツLIM)によるモーメント法, Bott(ドイツ・ボン大学)によるフラックス法を発展させた

方法が紹介された。

雲の数値モデリングは、観測及び実験技術とその精度の向上によって得られる雲に関する新たな知見、それをモデリングする技術と計算機リソースの発達、そしてモデルから得られた結果の観測・実験へのフィードバックによって発展してきた。近年、計算機能力が急速な発達を遂げているなか、観測・実験と数値モデリングとの連携がさらに深まれば、この分野は今後益々発展していくことを改めて感じたセッションであった。

(川野哲也)

2.6 雲の特性のパラメタリゼーション

このセッションは題名のとおりに雲の特性をどのように数値モデルの中で表現するかということを主題としたものであったが、その対象は雲粒や降水粒子の粒径分布の表現から、雲物理量のバルク法によるパラメタリゼーション、さらにはGCMや気候モデルにおける雲の特性の表現まで、しかも具体的なパラメタリゼーションの方法から、その検証実験の結果、あるいは観測からの提言など非常に広範囲であった。このセッションではポスターも含めて24件の発表があったが、残念ながら日本からの発表は1件もなかった。

このセッションの内容を大きく分けると、CRMにおける雲物理過程のパラメタリゼーションと、GCMや気候モデルあるいは予報モデルなどの雲そのものがパラメタライズされるようなモデルにおけるものに分けられる。私は前者の発表が圧倒的に多いことを期待していたのだが、意外なことにそれは全体の3割あまりで、それ以外は後者に関する発表であった。印象では気候モデルにおける雲の特性をどう表現するか、特に雲の放射に関する発表が多かったように思われる。また予報モデルにおける雲の特性の表現に関するものも多く、その背景には気象予測や気候に関する社会的要請に応えなければならないといった事情があることが察せられる。

CRMにおけるパラメタリゼーションについては、雲・降水物理過程のバルク法がほとんどで、粒径分布を陽に扱うものについては雲のモデリングのセッションに振り分けられていた。ここではいくつかの新しいバルク法のパラメタリゼーションの提案が目立った。雲のモデリングのセッションなども含めて、雲モデルにおけるバルク法では混合比のほかに数濃度の時間発展を解く方法が一般的になってきたという印象を受け

た。興味深かったのは数濃度だけではなく氷の粒径分布を表すガンマ関数の傾斜パラメーターを予報変数として、その時間発展を解く方法を提案したものがあった。また、その他のさまざまなバルク量を同様に予報変数とするといった方法の発表もあった。

気候モデル・GCMや予報モデルにおける雲のパラメタリゼーションでは、海洋性層積雲や大気境界層の層積雲、中緯度巻雲、あるいは積雲を内包する層状雲といった比較的非対流性の雲に関するものが多かった印象がある。こうした雲における霧雨あるいは水を含む霧雨の効果をもどのように表現するのかといった問題、あるいはその放射特性に関する発表が多くみられた。雲の放射特性については他のセッションでも多く見られたが、このセッションではその有効半径が実際にはどのようなもので、それをどのようにパラメタライズしてモデルにとりこむのかといった発表が多かった。このほかに対流のパラメタリゼーションそのものに関する発表もいくつかあった。そのうち1つは深い対流のものであったがそれ以外は浅い対流についてのものであった。

全体的にみて雲の特性を気候モデルやGCMにいかに取り込むかといった問題が、特に放射を中心としてこの分野では最近の話題になってきているようである。このため対流性よりも層状性の雲の研究が多いようだ。また、雲解像モデルにおけるバルクパラメタリゼーションでは多モーメントのものが今後研究の主流になっていくという印象を受けた。

(坪木和久)

2.7 冷たい雨

Cold Cloud Microphysics (「冷たい雨」の微物理) という大きな表題でくくられたセッションであるため発表件数が多く、18件の口頭発表と21件のポスター発表があった。口頭発表は3つの小セッションに分けられた。

1つ目のセッションでは、主として実験による研究発表があった。福田ら(米国ユタ大学)は、 -40°C 付近の過冷却水の水蒸気圧についてスミソニアンテーブルと異なる結果を示し、また、Saundersら(英国UMIST)の氷晶増殖作用であるHallett-Mossop効果の風速依存性を示す実験、Woodら(米国ワシントン大学)による気相成長する結晶の数値実験、Diehlら(ドイツJohannes Gutenberg大学)による生物起源のエアロゾルが氷晶核として働く割合の実験の結果が発

表された。これらの研究はずいぶん前に発端があるが、現在でもこのように研究が続けられているのを聴き、未解決な部分に地道な研究が行われていると感じた。さらに、Baileyら(米国ネバダ大学 DRI)の巻雲中の氷晶の晶癖を示す実験、Hallett(米国ネバダ大学 DRI)の雲内の雲粒分布の不連続性を示す観測例、Bakerら(米国 SPEC Inc.)の巻雲の粒径分布の観測例などの研究発表があり、雲内の粒子の形状や粒子サイズを明らかにして気候問題を考える上で重要である雲と放射の関係をよりクリアにしようとする研究が増加していると感じた。

2つ目のセッションでは、観測結果をもとにした研究が発表され、Rosenfeldら(イスラエル・ヘブライ大学)は -38°C 付近まで過冷却した水雲の存在の観測例を示し、Heysmsfieldら(米国 NCAR)は、TRMMとの比較を行うため熱帯の層状雲中の粒径分布を観測し、粒径分布は雲頂からの距離に依存して変化することを示した。また、Hallら(米国 NCAR)の雪片形成の数値モデル、Baconら(米国ワシントン大学)の過冷却水滴実験、高橋ら(北海道教育大学)の樹枝状結晶の成長実験の発表があった。

3つ目のセッションでは、高橋(桜美林大学)はビデオゾンデ観測結果をまとめたアジアモンスーンの雲の特徴を示し、Hoganら(英国レディング大学)はレーダーとライダーを使った雲の観測から過冷却の水雲が約3割観測されたことを示し、Korolevら(カナダ気象局)は層状雲中の観測から粒子の形状を4つのカテゴリーに分類し、当たり前の結果であるが不規則形の結晶が大部分を占めることを示した。

今回の発表全体で気づいたことは、まず、雲内の構成粒子の特徴(雲粒・氷晶の粒径分布、粒子の形状、雲粒か氷晶か)を詳細に調べる研究例が多かったように思う。気候問題を解くモデルに必要なからであろう。特に巻雲を対象にした観測や巻雲を意識した低温での実験の研究が多く見られた。また、これまでの会議に比べ、実験による研究が多かったように思う。実験的手法で長年にわたって研究されてきた Hallett氏が local committee の委員長であった影響かもしれない。

(小西啓之)

2.8 境界層内の雲

このセッションは、境界層内に発生する雲についての11件の発表とそれに関係するポスター発表6件から

構成されていた。内容は多岐にわたっていたので、まず大きいスケールの研究からとりあげる。境界層雲の消長に対する大循環の影響を調べたものと、アメリカ西海岸沖の霧形成を、気象衛星とブイデータから論じた発表があった。

次はモデルの改良に関する発表で、1つはGCMにおける層積雲の光学的特性の改良の発表があった。ここでは、光学的厚さを雲頂における雲水の混合比と雲の厚さの関数とした結果、観測値へより近くなった。次の改良の発表は、とかく問題のあった境界層内の雲量、雲のタイプの予報についてであった。その解決のために下層雲の乱流混合の精密なモデル化が重要であるので、境界層と対流スキームをリンクしたスキームを作成した。そのテストによると深い対流も浅い対流もより現実的になった。

次にモデルを使い、それぞれの因子の影響度を調べた発表があった。1つは、氷海上の境界層発達における放射過程を通しての氷晶数濃度の雲への影響であり、他の1つは、大陸上の境界層上積雲における初期土壌水分量の雲への影響であった。

境界層雲のモデル化には、まず素過程の解明が必要である。その線上の発表が5件あった。雲量のパラメタリゼーションは、しばしば湿度の確率分布から導かれる。そこで、湿度確率分布を観測データで検討した結果、地面近くではガウス分布とひずんだ一山型分布が卓越していたことと、ガウス分布に基づいたパラメタリゼーションがエラーが一番小さいことがわかった。この種の研究は、境界層雲に限らず、一般的な雲量のパラメタリゼーション改良のためにも必要と思った。引き続き、lake-effect降雪雲内の垂直流の階層構造に注目し、中規模スケールの上昇域内における方が、下降域内におけるよりも小規模スケールの変動が大きいという力学的側面の発表があった。

他方、海上の境界層雲内の小規模スケールの雲水量の変動は、どこでもポアソン型になっていないという雲物理的側面の発表があった。霧雨粒子の形成については、雲発達中は上昇流と正の相関があることを示した発表と、雲頂からの乾燥空気の混合によって、雲粒が二山型になって霧雨粒子が形成されるという異なった形成過程が示された。これらの研究は、霧雨粒子の形成が雲の寿命を決める重要な因子であり、放射過程を通して気温変動を起こす過程として注目すべきであろう。

(播磨屋敏生)

2.9 エーロゾルの気候影響

このセッションでは観測、数値シミュレーション、統計的手法またはそれらの組み合わせによりエーロゾルの気候への影響が論じられた。中でも ACE-2 Cloudy-Column campaign 関連の発表が続き、組織的に研究が進められていると感じた。この中で筆者にとって新鮮だったのは、artificial neural network training という統計手法を使って、観測された可視と近赤外の反射率から雲の幾何学的厚さ (H) と雲粒数密度 (N) を求める方法である (Schuller, ドイツ・ベルリン自由大学)。断熱過程を仮定し、雲粒数密度も雲内で一定と仮定すれば雲の光学的厚さも雲粒の有効半径も (N, H) の関数で表されるので、1000通りの (N, H) の組み合わせでシミュレートされた反射率のデータセットを用いてトレーニングを行い、反射率から (N, H) を逆算するというものである。この方法で得られた値と直接観測された (N, H) との比較の結果はあまり良く一致しているようには見えなかった。ただ、エーロゾルの気候への影響を論ずるためには、この N とエーロゾルとの関係が解明されなければならない。どの報告でもこの点が明確には解明されていないように思われた。筆者はこの点に重点をおいた数値シミュレーションでエーロゾルの雲の光学的性質への影響を論じたが、これからは組織的に大規模に行われている観測プロジェクトの成果を取り込んでいく必要を感じた。

次のステップである GCM 用のエーロゾル間接効果パラメタリゼーション開発のために、これらの観測結果は PACE プロジェクトにおいて GCM スケールに拡張されるとのことであった。

(久芳奈遠美)

2.10 雲の化学

このセッションは12.1から12.3に分かれており、口頭発表が15件、ポスター発表が17件 (このうち3分口頭発表付きが11件) であった。

今回の発表で目に付いたのは CCN への有機エーロゾルの寄与に関するものである。Puxbaum と Limbeck (オーストリア・ウィーン工科大学) はオーストリア・アルプスで採取したエーロゾルと雲水中の有機成分の分析を行った。エーロゾルにはオクタデカン酸などが検出されたのに対し、雲水中にはシュウ酸やコハク酸、ピルビン酸などが多かった。粒子掃去 (particle scavenging) の視点から考察された。Facchini ら (イタリア ISAO-CNR) は天然で存在しう

る 1% 以下の過飽和度で有機エーロゾルが CCN 濃度を 50% (都市) 及び 40% (非都市域), 12% (海洋) 増加させることを考察した。また、海洋性エーロゾルとして塩化ナトリウム、非都市エーロゾルとして硫酸アンモニウムだけを考えた場合には、任意の成長時間での雲粒径は過大評価される。Decesari ら (イタリア ISAO-CNR) は北イタリアで霧粒を採取し、霧粒子中の有機・無機成分を調べ、溶質質量の 25% は水溶性有機成分であること及びその 59% は酸性化合物であることを示した。有機エーロゾルが CCN として本当に寄与しているとするならば、降水の形成に関わるばかりでなく、雲のアルベドの計算に大きな影響を与える。今後の更なる研究が望まれる。

Bower ら (英国 UMIST) はマンチェスター郊外にある丘の頂上付近にできた雲の中に移流した都市域からの汚染大気中粒子の一部しか CCN として働かないことを見いだした。都市域で生成したばかりの人為起源粒子は十分な吸湿性を有していないことを示す。Moore ら (米国 CSU) はカスケード慣性衝突法によって、雲粒を 5 段階粒径に分別する捕集器を制作したが、本格的な成果はこれからであった。

(高橋庸哉)

2.11 電

このセッションは口頭 5 題とポスター 4 題 (展示されたのは 3 題) の発表があった。大別すると、数値シミュレーション関係 5 題、観測 3 題および実験関係 1 題となる。

Hong (中国科学院) らは、雲底温度が 4°C 違うストームの電粒形成プロセスを 3 次元数値シミュレーションで調べた。雲底温度の低い方が霰から雹への変換率が高く、これは雹のエンプリオに霰が多いという観測結果と一致した。Huang (中国科学院) らは、同様のモデルで電粒成長の数値シミュレーションを行い、雪の重要性および降水粒子の雲中のリサイクリングの重要性を強調した。

Dessens (フランス・トゥールーズ大学) らは、フランス南東部に展開している降電記録計の観測結果を用いて、週末に降電頻度が高く、相対的に大粒径が増すという、興味深い結果を報告した。週末以外ではトラック輸送、工場などの人間活動による雲核と氷晶核が増加するので、あたかも地上からのヨウ化銀粒子の導入による降電制御と類似の状況ではないかと述べた。人間活動の気候への影響を示す一例として注目される。

van den Heever と Cotton (米国 CSU) は、スーパーセル型のストームの3次元数値シミュレーションで、雹の平均粒径がストームの力学と形態に著しく影響することを示した。Zhou (中国河南気象局気象改变部) らは、チベット高原に隣接する中国南西部において、朝のゾンデデータを初期条件とする降雹の予報実験を行い、統計的方法より高精度の結果を得た。

ポスター発表では、イタリアのストームの数値シミュレーション結果とグルジアおよびスペインの降雹のレーダー観測結果が報告された。

(梶川正弘)

2.12 雲物理学の応用/気象調節

セッション15は5題の口頭発表と3題のポスター発表があった。口頭発表では層状雲に含まれた対流セルに航空機着水の危険のある過冷却雲粒が存在することを示した航空機観測の結果 (Hauf ら; ドイツ・ハノーバ大学)、微水滴の蒸発による冷却でダウンバーストが発生することを利用したエネルギータワーによる発電効率についての発表 (Tzivion ら; イスラエル・テルアビブ大学)、衛星搭載のマイクロ波放射計を地上のレーダー観測ネットワークと組み合わせることによって降水短時間予報に役立つことを示す発表 (Prodi ら; イタリア ISAO-CNR) があった。あとの2題は数値モデルを用いたもので、Brown ら (米国 NOAA) は、航空機着水予報を目標に NCEP の現業用モデル Rapid Update Cycle model に降水粒子とあられの数濃度を求めるスキームを取り入れた。Jin ら (米国 SAIC) は狭領域で地形の複雑なところで細かいグリッド (adaptive grid) を採用した微物理過程を含む現業用モデルを、冷たい雨の事例に適応した。得られた降水分布は観測値とかなりよい一致を示したが、総観スケールの現象による降水はうまく表現できなかった。このセッションは応用雲物理という事で、内容はさまざまだったが他の分野との境界領域、特に直接実用につながりそうな内容のものが多かった。

セッション16は気象調節についてであったが、この国際会議ではいままで取り上げられていなかった分野のためか、発表数は口頭発表3題、ポスター発表1題と非常に少なかった。Bruitjes ら (米国 NCAR) はメキシコで行ったシーディング実験の統計的な結果を示し、南アフリカでの実験結果との比較を行った。Woodley ら (米国 WWC) はタイ北西部で行った航空機観測とドップラーレーダのデータから、この地域の対流雲

内では雲粒の衝突併合過程が降水形成に占める役割が大きい事を示した。この他に中国から、地上に設置したマイクロ波放射計のデータからシーダビリティを見積もった論文 (Bo ら; 中国気象改变局) や、ヨウ化銀による降雹制御の数値モデルについての論文 (Jifen ら; 中国南京気象研究所) が提出されていたが、いずれもキャンセルになった。気象調節といっても、統計的な話が主でモデルの結果や理論などの突っ込んだ話が聞けなかった事は残念であった。

(星本みずほ)

2.13 雲の大規模場特性

このセッションでは、主として、レーダーも含めたリモートセンシングを用いたメソ以上のスケールにおける雲分布や構造、またその解析手法の研究が扱われていた。

降水系と環境場の関係について、牛山ら (地球観測フロンティア) は TOGA-COARE IOP 観測結果から、熱帯の降水活動による加熱鉛直分布は降水系の構造によって異なり、対流圏中部の相対湿度が加熱率と降水系の構造に重要な要素であると指摘した。中井 (防災科学技術研究所) は熱帯と6月中旬以降の亜熱帯で SSM/I 可降水量と GMS 上層雲量が良く対応し、可降水量の大小は対流圏中部の相対湿度の変化によることを示した。熱帯西部太平洋域で対流圏中部の相対湿度が降水レジームに関係することが最近知られてきており、衛星解析と特別観測の比較によって特徴的な環境場と卓越する降水系構造の関係を明らかにできるように感じられた。Kruger ら (米国ユタ大学) は積雲対流と境界層との関係について ARM 特別観測データとモデル計算の比較結果を示した。

メソ対流系やクラウド・クラスターの構造とその時間変化についても、事例解析と統計的な解析の両面からの発表があった。耿ら (名古屋大学) は GAME-HUBEX において中国大陸上でドップラーレーダーにより観測した長寿命メソ対流系 (MCS) を解析し、層状域の位置の変化と下層コールドプールの発達とを関係づけて議論した。若月と武田 (名古屋大学) は、TREX 観測期間中に東シナ海上に現れたメソ α スケールのクラウド・クラスターが、移動速度も構造も異なる2種類のメソ β スケール MCS の入れ替りによって維持されたことを示した。統計的なものでは、Kohler と Soden (英国 ECMWF) が GOES の毎時赤外輝度温度を用いた熱帯、亜熱帯上層雲のトラッキング

グの結果を発表した。彼らは雲域平均輝度温度が230 K 以下になる上層雲について、雲域面積のピークは雲域平均輝度温度が最小となる時刻から1～3時間遅くなることを指摘した。また、Martinら(米国ウィスコンシン大学)は熱帯クラウド・クラスターの変動を17年間の高輝度雲(HRC)データを用いて調査し、HRCにはOLRよりも強いENSOシグナルが表れたと述べた。

衛星データによる雲分布の解析手法については、Linら(米国ハンプトン大学)がTRMMのVIRSとTMIから放射理論に基づいて降水のない雲の雲物理パラメーターを求めることを試みていたほか、Addor(カナダMacGill大学)らが雲の形態と分布の不均一性を数学的に評価したパラメーター化の手法を提案した。地上からの雲量観測に関しては、Amiranashviliら(グルジアIGGAS)のグルジアにおける地上目視観測の報告、Hinkelmanら(米国PSU)のやや異色な、雲分布の非等方性が雲量統計に与える影響についてのGATE観測をシミュレートしたデータを用いた発表があった。その他、Pimachら(ウクライナ水文気象研究所)のウクライナの低気圧、LiとZheng(中国気象局)の河南省新郷におけるマイクロ波放射計観測の発表があった。

このセッションで用いられた手法は多様で、類似の現象を対象に統計解析と事例解析とが行われているケースがいくつかあった。このことは、最近のリモートセンシングや雲物理観測、放射観測の進歩によって様々な視点から広域の雲の研究が可能になってきたことを意味すると考えられる。

(中井専人)

2.14 前線に伴う雲と巻雲

セッション18では、前線に伴う雲と巻雲に関する研究発表が行われた。全部で15件(口頭10件、ポスター5件)の発表があり、大別すると7編が観測、8編がモデル計算に基づく論文である。

まずモデルの分野では、GEWEX Cloud System Studyのワーキンググループ2(GCSS WG2)に参加する研究者の発表が目立った。このグループはStarr(NASA/GSFC)を中心としてここ数年、主に巻雲の数値シミュレーションに携わる各国の研究者が各自のモデルを用いた比較計算に焦点を当てた研究を進めている。Linら(米国USRA)は氷晶の均質核形成のみのシミュレーションにおいてさえ、定量的(例えば氷晶

数濃度)にみて観測とモデル間でかなりの不一致があり、一方、不均質核形成の計算では定性的なふるまいがモデル間で異なることを示した。Brownら(英国気象局)は、GCSS WG2のもう1つの柱である雲解像モデル(CRM)の相互比較プロジェクトの一環として、英国気象局が開発したLESモデルによる巻雲のシミュレーションを報告した。2つの氷晶核形成モードによる計算結果と氷晶の直接観測やレーダー観測のデータとの比較を通して、モデル内の微物理スキームが将来どのような手法を用いて改良されるべきかを紹介した。このLESモデルを用いた巻雲や前線に伴う雲のシミュレーションに関する他の報告に象徴されるように、英国気象局が組織的にGCSS WG2へ参加しているのが注目された。また、米国においても指導教授のもと大学院生が2次元や3次元のモデルを独自に開発して巻雲のシミュレーションに関する研究を行うケースが多く、近年この分野が急速に盛んになってきたことがうかがわれた。

観測の分野では、Schmittら(米国SPEC Inc.)が、独自に開発したCloud Particle Imager Probe(CPI)を使い、北極域・中緯度・熱帯域でここ2、3年間に得た巻雲の氷晶データについて予備的な比較結果を報告した。氷晶の形から解析すると、極域・中緯度では砲弾集合型が卓越しているのに対し、熱帯域では砲弾集合型は少なく不規則な結晶が多く観測されたことを示した。Wendlingら(ドイツDLR)は、比較的発生初期の飛行機雲の雲物理と放射特性の同時測定を行い、氷晶の粒径分布の時間変化と雲による光学的厚さの断面構造を示し、雲微物理測定から得られる放射強制の計算結果を報告した。筆者ら(気象研究所)は、雲粒子ゾンデ(HYVIS)から得られた中緯度巻雲の微物理特性の統計的特徴を報告し、質量や投影断面積に対する氷晶の粒径別寄与や、雲頂付近の氷晶数濃度が今まで得られた氷晶核形成の知見から期待されるほど強い温度依存性がないことを示した。

(折笠成宏)

2.15 対流雲

このセッションは最終日の最後のセッションであった。私にとっては興味深い分野であるが、この学会の参加者は雲物理がメインであったため、このセッションでは人数がかなり寂しかったことは否めない。内容は観測、解析、数値実験と多岐にわたっていた。

Stithら(米国NCAR)は、ノースダコタ大学の観測

用航空機 (Citation) を用いて、世界各地の対流性および層状性の雲内の粒径分布と粒子の種類を高度別に調べた。この結果を、GATE のゾンデ観測を基に GCE モデルを用いたシミュレーションと比べると、降水混合比はモデルと観測で良く合っているが、モデルでは霰を主としているのに対し、観測ではほとんどが雪片であるという不一致がみられた。今後 TRMM データを利用して加熱プロファイルを計算する場合や受動型マイクロ波センサーを利用して降水量を計算する場合などで、粒子を霰とするか雪とするかによっては、結果に大きな影響があり、今後さらにモデルを改良していく必要がある。

Platt ら (米国 CSU) は、地上からのライダーと放射観測を組み合わせた Lidar/radiometer (LIRAD) 法によりアンピルの雲底の温度を測定し、巻雲の雲底でかなり強い冷却が起きていることを観測により初めて示した。この冷却率は湿度と雲水量から計算した値よりやや大きめであったが、同じオーダーであった。

Braun ら (米国 NASA) は、水平解像度 1.3 km の高分解能モデル (MM5) によるハリケーンのシミュレーションを紹介した。その結果、壁雲では降水生成には暖かい雨が最も重要であること、壁雲よりも外側に位置する対流雲の降水帯では輸送された氷粒子の融解によって雨が形成されていることなどを示した。

Tao ら (米国 NASA) は、3つの氷粒子のカテゴリーを使用する 3ICE と、4つのカテゴリーを用い、さらにいくつかの先端的なパラメタリゼーションを取り入れた 4ICE の 2種類の GCE モデルを用いて、熱帯クラウドクラスターのシミュレーションを行った結果を紹介した。その結果、発達過程やメカニズムには違いは現れなかったが、層状域の発達スピードが 3ICE の方が早く、降水粒子の構成は全く違うものになった。

Carvalho ら (ブラジルサンパウロ大学) は気象衛星 GOES-8 の雲頂温度 (TBB) データを用いて、ブラジルのクラウドクラスターのトラッキングを行い、西風レジームと東風レジームの時のクラウドクラスターの数や寿命、日変化について論じた。

坪木ら (名古屋大学) は、GAME-HUBEX で観測されたスコールラインの構造を、レーダーデータと数値シミュレーションによって紹介し、ラインに平行なシアの重要性を示した。

この他にも熱帯の対流雲および層状雲の航空機観測 (Kingsmill ら (米国ネバダ大学)、Willis ら (米国 NOAA))、雲の周りの気流の航空機観測 (Bogner (米

国ハワイ大学))、衛星画像による解析 (Porcu ら (イタリア・フレラ大学)、Bomar ら (米国 TNRCC))、レーダー観測 (Horikomi ら (北海道大学)、出世ら (名古屋大学))、地上観測 (Lin (中国江南気象研究所)、Han ら (中国 GIET))、数値実験 (Gaudet ら (米国 CSU)、Brizuela ら (アルゼンチン・ブエノスアイレス大学)、Gurovich (ロシア RCARS)) など、多岐にわたる発表があった。

(牛山朋来)

3. 会議の印象

今回の ICCP は私にとって初めての国際会議だったのでどんなものだろうと興味津々で出席しました。まず何よりも、私自身の興味の対象である雲内部の水(氷も含めた)粒子の特徴・挙動に着目した研究発表の数が多く、さすが ICCP と感心させられました。また、そのような研究に若手の研究者が取り組んでいることに刺激を受けました。その一方で、メソスケール現象を論じる発表の件数が少ないように思えました。今日、メソ気象分野との横断的な議論が必要不可欠なのではないでしょうか。

会議の開催地リノに一週間滞在している間、常に雲一つない快晴で非常に乾燥しており、外出する際は水のボトルを手放せませんでした。一度だけ、乾いた空に巻雲が現われたことがありました。その時は、なるほど大気があれば水はどこにでもやって来ると感慨を覚えました。

本会議出席にあたり、国際学術交流委員会より旅費の一部を援助していただきましたことに深く感謝いたします。

(橋本明弘)

今回の会議で特に印象に残ったのは、雲物理を取り扱った研究の幅の広さと数の多さであった。その一方で「国際雲・降水会議」と銘打ってはあらず、メソ気象学、中でもドップラーレーダーデータを扱った研究は、日本からの参加者を除くとほとんどなく、少々物足りない感をぬぐえなかった。

筆者はポスター発表を行ったが、個々のポスターの掲示領域が広く、通路もたつぷりとしてあったため、活発な討論が行われているポスターの前でも、さほど混雑感はない。余談だが、掲示されているポスターの中で、とりわけ B 全紙出力のものが目を引いた。発表件数が多かったためか、ポスターセッション

も会期の前半と後半にわたる2部構成で行われた。14日(初日)の夕方の発表の筆者の場合、ポスターの掲示から発表まで、わずか数時間しかないことになる。そのため大変目まぐるしい会議初日となった。

次回のICCP開催地、イスラエルへも状況が許せば是非のぞみたい。

(金田幸恵)

これまでにもアジアの研究者と交流する機会はあったが、今回ICCPに参加して、雲降水に限られた会議であるにもかかわらず、集まった研究者の数や研究分野の多さに、雲と降水の複雑さや奥の深さを改めて感じた。さらに、研究成果を報告するだけでなく議論をする段階から、海外の研究者とも交流を持つことの必要性と面白さを実感することができた。また、同世代と思われる学生や若手の研究者のバイタリティーあふれる姿には、大いに刺激を受けた。

今回ICCPが行われたアメリカ合衆国ネバダ州リノ市はカジノの街であり、リノ空港に到着するやいなや、スロットマシンを目の当たりにした。また砂漠の街らしく、1週間の滞在期間中に雲を眺めることはほとんどなく、学会や雲・降水とは無縁であるような印象すらあった。ところが、学会終了後ある大きな滝を訪れた時に、大気があまりにも乾燥しているため、流れ落ちる大量の水が、途中で蒸発してしまい地上まで達しないという、日本では考えられない光景に出会った。それにもかかわらず、滝は流れ続け近くの川には水が潤っている。いつも湿潤な場所で雨を観測している私にとって、このような水循環は非常に不思議であり、砂漠の街ならではの貴重な経験をすることができた。

(出世ゆかり)

略語一覧

ACE : Aerosol Characterization Experiment
 ARM : Atmospheric Radiation Measurement program
 AVHRR : Advanced Very High Resolution Radiometer (改良型超分解能放射計)
 CaPE : Convection and Precipitation/Electrification Experiment
 CCN : Cloud Condensation Nuclei
 CCOPE : Cooperative Convective Precipitation Experiment
 CETP : Centre d'etudes des Environnements Ter-

restre Planetaires
 COARE : Coupled Ocean and Atmosphere Response Experiment (西太平洋大気海洋相互作用研究計画)
 CRM : Cloud-Resolving Model (雲解像モデル)
 CSU : Colorado State University
 CVI : Counterflow Virtual Impactor
 DLR : Deutscher Zentrum für Luft- und Raumfahrt (ドイツ航空宇宙センター)
 ECMWF : European Centre for Medium-range Weather Forecasts (ヨーロッパ中期天気予報センター)
 ENSO : El Nino and Southern Oscillation (エルニーニョ/南方振動)
 EOS-PM : Earth Observing System PM (NASAが2001年7月に打ち上げ予定の地球観測衛星。EOS-Aquaに改称。PMは観測時刻が午後の意味。)
 EULINOX : European Lightning Nitrogen Oxides Project
 GAME : GEWEX Asian Monsoon Experiment (アジアモンスーンエネルギー・水循環研究観測計画)
 GCE : Goddard Cloud Ensemble model
 GCM : General Circulation Model (大循環モデル)
 GCSS : GEWEX Cloud System Study (GEWEX雲システム研究)
 GEOS : Goddard Earth Observation System (NASA/GSFC<ゴダード宇宙センター>のモデル/データ同化システム)
 GEWEX : Global Energy and Water Cycle Experiment (全球エネルギー水循環研究計画)
 GIET : Guilin Institute of Electric Technology
 GOES : Geostationary Orbiting Environmental Satellite (NOAAの現業用静止気象衛星)
 GSFC : Goddard Space Flight Center (ゴダード宇宙飛行センター)
 HRC : Highly Reflective Clouds
 HUBEX : GAME-Huaihe River Basin Experiment (中国淮河流域観測計画)
 HYVIS : Hydrometeor Videosonde (気象研究所が開発した雲粒子ゾンデ)
 IAMAS : International Association for Meteorology and Atmospheric Sciences (国際気象学・大気科学協会)
 ICCP : International Conference on Clouds and Precipitation (国際雲・降水会議)

- IGGAS : Institute of Geophysics of Georgian Academy of Science
- IOP : Intensive Observation Period (強化観測期間)
- ISAO-CNR : Istituto di Scienze dell'Atmosfera e dell'Oceano-Consiglio Nazionale delle Ricerche (Institute of Atmospheric and Oceanic Sciences-National Research Council)
- ISCCP : International Satellite Cloud Climatology Project (国際衛星雲気候計画)
- ITF : VHF-interferometer
- JATMEX : Japan Australia Tropical Mesoscale Experiment
- LES : Large Eddy Simulation
- LIM : Leipziger Institute für Meteorologie
- LIS : Lightning Imaging Sensor (TRMM 衛星搭載雷観測装置)
- LPATS : Lightning Positioning and Tracking System
- MCS : Mesoscale Convective System (メソ対流系)
- MM5 : The Fifth-Generation NCAR/Penn State Mesoscale Model (ペンシルバニア州立大学/NCAR メソモデル第5版)
- MPI : Max Plank Institute (ドイツ・マックスプランク研究所)
- NASA : National Aeronautics and Space Administration (米国航空宇宙局)
- NCAR : National Center for Atmospheric Research (米国大気研究センター)
- NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration (米国海洋大気庁)
- OLR : Outgoing Longwave Radiation
- OTD : Optical Transient Detector
- PACE : Parameterization of the Aerosol Climatic Effect
- PICASSO-CENA : Pathfinder Instruments for Cloud and Aerosol Spaceborne Observations
- CLM : Climatologie Etendue des Nuages et des Aerosols
- PSU : Pennsylvania State University
- RCARS : Research Center for Atmospheric Remote Sounding
- SAIC : Science Applications International Corporation
- SSM/I : Special Sensor Microwave Imager DMSP <Defense Meteorological Satellite Program> (米国軍事気象衛星搭載のマイクロ波放射計)
- TMI : TRMM Microwave Imager (TRMM 搭載マイクロ波観測装置)
- TNRCC : Texas Natural Resource Conservation Commission
- TOGA : Tropical Ocean-Global Atmosphere Programme (熱帯海洋全球大気研究計画)
- TREX : Torrential Rainfall Experiment
- TRMM : Tropical Rainfall Measuring Mission (熱帯降雨観測衛星 <1997年11月に打ち上げられた日米共同のミッション衛星>)
- UMIST : University of Science and Technology in Manchester
- USRA : Universities Space Research Association
- VIRS : Visible and infrared Scanner
- WWC : Woodley Weather Consultants

参 考 文 献

- Twomey, S., 1959 The nuclei of natural cloud formation. Part II : The supersaturation in natural clouds and the variation of cloud droplet concentration, *Geophys. Pura. Appl.*, **43**, 243-249.
- List, R., N. R. Donaldson and R. E. Stewart, 1987 : Temporal evolution of drop spectra to collisional equilibrium in steady and pulsating rain, *J. Atmos. Sci.*, **44**, 362-372.
- Takahashi, T., 1978 : Riming electrification as a charge generation mechanism in thunderstorms, *J. Atmos. Sci.*, **35**, 1536-1548.
- Saunders, C. P. R., 1993 : A review of thunderstorm electrification processes, *J. Appl. Meteor.*, **32**, 642-655.