

第4回「メソ気象研究会」報告

コンピーナー

上田 博 (北大理学部)

第4回「メソ気象研究会」は「メソ現象と雲物理のはざまにて」と題して、5名の講演者を迎えて、1992年日本気象学会秋季大会の前日に大会会場（札幌市教育文化会館）で行われた。第二部の特別講演をしてくださったオーストラリア気象研究センターのキーナン博士を含めて56名の参加者により活発な討論がなされた。

講演は、①村上氏（気象研）のHYVIS（雲粒子ゾンデ）による雪雲内の雲粒と降雪粒子の観測結果と氷晶過程を含む二次元数値実験の結果の紹介、②松尾氏（気象研）の人工気象調節を念頭に置いた雪雲の観測の紹介、③播磨屋氏（北大・理）の地上観測を中心にした降雪粒子の雲粒寄与率に関する研究結果の紹介があった。④吉崎氏（気象研）からは純粋な力学過程によるメソスケール現象、雲物理過程が重要なメソスケール現象、及び数値モデルの風情報をういたリトリバル法について、モデルの立場から整理された話があった。⑤高橋氏（九大・理）は数値実験の結果を中心に、雲と降水の集中化に果たす雪の役割についての講演を行なった。

講演が雪に関する問題に集中したのは、北国、札幌で研究会が開かれたこともあるかも知れないが、雪を含むメソスケールの数値モデルが進歩したためとも考えられる。しかし、“雪をバルクで扱うか、より雲物理過程を厳密に扱うか”について行われた議論は、“モデルと計算機の限界から、研究者のねらいによって選択すべきものである”という結論に暗黙のうちに落ちついた感があった。これらの議論の中で、今回のテーマの“メソ現象と雲物理のはざまにて”の“はざま”は両者の間であって身動きできぬものという意味ではなく、両者の関係を取り持つべき重要な“なにか”であるとの共通認識が深まったように思われる。

総合討論では飛行機観測など組織的な観測の議論ま

ではできなかったが、今回の研究会によって、今後、メソスケールの気象学と雲物理学の両方の研究者が観測と数値実験とを有機的に結びつける努力を積み重ね、“はざま”の部分を埋めていく契機になったとしたら幸いである。

日本海降雪雲の内部構造の観測とモデルの比較

村上正隆（気象研究所）

1989年からこれまで4シーズン、科学技術振興調整費「降雪機構の解明と降雪雲調節の基礎研究」の一環として、山形県酒田市沖で30個以上の雲粒子ゾンデ・雲粒子ドロップゾンデ等を用いて雪雲の内部構造の観測を行ってきた。これまで観測された色々なタイプ、雲の一生の中の色々なステージの雪雲の中から、孤立した雪雲の例をコンポジットして内部構造の変化を示した。

発達期には、断熱過程の理論値に近い雲水量が観測されたが、最盛期にはアラレ等の降水粒子の成長に費やされて、 $0.1\sim 0.2\text{ g/m}^3$ にまで減少し、上昇流も発達期の $4\sim 5\text{ m/s}$ から $1\sim 2\text{ m/s}$ に弱まることが示された。日本海の雪雲で特徴的な微物理構造は、比較的低濃度（数 10 個/cm^3 ）で巾広い粒径分布をもつ過冷却雲粒の存在、雲粒の衝突併合による drizzle の生成、過冷却雲水領域での高濃度氷晶の存在である。

一方、日本海・日本列島・太平洋の一部をカバーする非静水圧・非弾性モデルによる、1989年2月2～4日の寒気吹き出しに伴う雪雲についての数値シミュレーションの結果は、混合層の発達をうまく表現し、上述の微物理構造の観測結果と良い一致を示した。顕著な相異は氷晶・雪結晶の数濃度で、数値シミュレーションでは観測値の数分の1の値になり、今後、氷晶発生に関するより一層の研究の必要性が示された。

又、シミュレーションは、雪雲が海岸線より $20\sim 30\text{ km}$ 風上で地形性収束により対流活動が一層活発になること、山岳斜面では顕著な seeder-feeder メカニズ

ムが働くこと等を示した。

日本海の雪雲と SEEDING 効果

松尾敬世 (気象研究所)

気象研究所は他研究機関と協力して、日本海の雪雲について「降雪機構の解明と降雪雲調節の可能性に関する基礎的研究」(科学技術振興調整費, 昭和63年度—平成4年度)を実施している。このプロジェクトの中で得られた成果の一部を紹介した。雪雲の一生を追いながら、雲の力学・熱力学・水粒子分布の時空変化を、雲を取り巻く場(地表・地勢等)を考慮しながら、観測によって把握することが本プロジェクトの中心的課題である。

日本海上の不安定な大気中で起きる種々の形態の対流現象に伴って、異なった降雪機構が存在する。大気下層の風・気温・湿度の場の非一様性が雲の発生、組織化、維持、発達、衰弱などの現象に深く関与し、降雪の質・量に影響を与えている。このような場の形成には、マクロ、メソ、ミクロの現象が影響している。

総合観測によって雪雲の内部構造を詳細に調べた。雲の発生初期には過冷却水が多く氷晶の個数濃度が小さいこと、また、雲頂温度が高い(-15°C 以上)雲では、この状態が持続し降雪が少ないことがわかった。この種の雪雲に対して、雲内に氷晶を適度に導入する適度の SEEDING, 過剰に行う過度の SEEDING について、力学モデルを用いたシミュレーションを行った。適度の SEEDING では降雪の増加があり、過度の SEEDING では降雪が抑制される可能性があることがわかった。

メソスケール降雪量分布にかかわる微物理過程

播磨屋敏生 (北大理学部)

石狩平野において冬の終り頃に積雪分布を測定すると、平野中央部を横切るように西北西から東南東に延びるバンド状の多積雪域があり、内部構造として、海岸部に近い所と内陸部の2つの地域に多積雪の目だまがあることがわかる。本報告はその両目だまがどんな微物理過程と関係しているかを調べたものである。

降雪粒子は昇華、雲粒捕捉、雪片形成の3成長過程で成長する。ここでは雲粒捕捉成長過程に注目し、降

雪粒子の全質量に占める付着雲粒量の割合を雲粒寄与率と定義して、Harimaya and Sato (1989)の方法で地上で観測された降雪粒子の雲粒寄与率を測定した。その結果、海岸部の篠路では雲粒寄与率が50%を越えるようなものが全降雪回数のうち68.5%を占めるが、内陸部の岩見沢では42.6%しか占めなかった。その上、篠路では降雪強度が強い時には寄与率が100%近かったが、岩見沢ではせいぜい70%であった。つまり、篠路での降雪においては雲粒捕捉成長過程が非常に卓越し、岩見沢ではあまり卓越しなかったといえる。

一方、別の観測から、発達期・最盛期の降雪雲からは雲粒寄与率の大きい粒子が降り、消滅期の雲からは寄与率の小さい粒子が降ること、また、雲内の上昇速度が早いほど雲粒寄与率の大きい粒子が降ることがわかった。また降雪雲のレーダー観測から、内陸部を通る雲に比べて、海岸部を通る降雪雲は発達期・最盛期であるものが多く、また上昇速度が強いことがわかった。このことより、海岸部で降雪粒子の成長において雲粒捕捉過程が卓越したのは、そこでは雲粒寄与率が大きい原因となる発達期・最盛期の降雪雲が多く、しかも雲内の上昇速度が強かったためと言える。

力学サイドから見たメソ対流系での微物理の役割

吉崎正憲 (気象研究所)

2つのトピックについて、話をした。

①メソスケールはどのようにして決まるのか?

空間スケールが数100 kmで時間スケールが数時間の気象現象をメソスケールと我々は定義するが、メソスケールのこの時空間スケールがどのようにして決まるかは大きな問題である。まず、現象を支配する物理過程の中で、力学・熱力学過程だけが重要な“ドライ”な場合、スケールを決めるものとして、山岳や海陸分布のような外的要因の場合と、大気的不安定のような内的要因がありうる。しかし、内的要因の場合は *slantwise convection* のように限られた現象しかなく (Emanuel, 1986)、実際に我々が経験するメソスケールの多様性は説明できない。風の長時間の時系列データをスペクトル解析しても、数時間のところにピークは見あたらない。

ところが、現象が“湿潤”になると、とたんにメソスケールが現れる。メソスケール対流系の言葉に代表されるように、雲物理過程が重要な気象現象は実に多

様である。これは、固有の時間や空間のスケールを持つ雲物理量がいろいろ登場してくるためである。例えば、雲水から雨への成長は $\sim 10^3$ 秒、雨の落下速度は ~ 10 m/s、雪の落下速度は ~ 1 m/sなどと、水の形態や遷移にもなって、いくつもの時間・空間スケールが可能となる。

②風データを用いた熱力学量と水のリトリーバルメソ対流系の1つであるスコールラインは、成熟期に対流性領域と層状性領域を持ち、それぞれの領域で特徴的な流れの場と熱力学場と雲物理場を持つ。そこでは力学と熱力学と雲物理の物理過程がお互いに緊密に結びついていて、1つの場から他の場を推測することができる。このことから、限られた観測量から他の物理量まで推測できないかという発想で発達したのが、ドップラーレーダーの風データを利用したリトリーバル法である。ここでは、実際のデータを用いた報告例ではなく、数値モデル出力の風データを用いたリトリーバルについて私と瀬古さんの最近の仕事を紹介した。

雲の組織化と降水

高橋 勁 (九州大学理学部)

孤立雲の場合、雲の寿命は40分程度と短い。しかし一旦雲が組織化すると、雲は一挙に長命化する。組織化した雲のシステムとしてスーパーセル、クラウドクラスター、スコールライン等があるが、最も多く観測されるのはスコールラインで、時には数日も続き、雹やトルネードを伴うこともある。冬期日本海上には筋雲が発達し、背は5 km以下と低いがしばしば雷や豪雪をもたらす。ハワイ洋上の雲は更に低く、雲頂が3 km以下であるが 100 mmh^{-1} もの強い雨を降らす。飛行機観測によると、ここでのバンド雲からは雨水量も大きく降雨も長時間続く。

バンド雲にも、一般対流で発達する雲列群と、下層に収束がある場合や下層の水平温度ステップにそってできる単一のバンド雲がある。これらの組織化した雲の形成に降水はどんな役割をしているのであろうか。

まず浅い対流雲で考察してみる。3次元の広い空間領域にランダムに擾乱を与えて雲を作る。列状雲の形成には風の間が重要であり、風の鉛直シアが $2 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ と弱い場合は雲は風に直角に並び、 $4 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ と強い場合は風に沿って並ぶ。しかし、雨は雲列の形成には重要ではない。一方、下層に水平温度のステップを置いた場合では単一のバンド雲が発達する。この場合に放物線型の垂直分布をもち下層でネジレたような風を導入すると、更に幅の広い大きいバンド雲を形成する。この時、雨は下層でバンドに沿う風の運動量を輸送して、雲水量が一様な強力なバンド雲が形成される。

次に深い対流雲ではストームの特徴である傾いた上昇流、中層からの乾燥した空気の流入、寒気ドームの形成が Kessler パラメタリゼーションの簡単なモデルで再現される。氷晶の導入はストームのより細かい構造を更によく再現する。氷の役割は台風モデルでも吟味され、氷晶の導入によって台風が強まるという。しかし、用いている微物理過程は非常に無理のあるパラメタリゼーションである。孤立した対流雲についてだけではあるが、微物理を導入したモデルの計算が進んでいる。浅い対流雲では Warm rain モデルの場合に比べて、氷晶成長による降水粒子が高高度で起こることから適当な風の間では力学の場を大きく変え、降水機構は雲の維持に大きく関与してくる。しかし、深い対流雲では雨の振り方は海洋性か大陸性かによって大きく変わるが、力学の場はほとんど変化しない。上昇速度が小さい浅い積雲や台風では、氷晶の有無等の微物理過程が雲の組織化の強化に大きく寄与する可能性がある。しかし、雲粒の凝結による潜熱放出が大きいストーム系では、氷晶の有無にかかわらず降水粒子は広く散布され、降水粒子によるドラッグがストームの力学場を変えることは無理であろう。しかし、異なる雲の系間の相互作用で降水粒子形成が局所的に集中して起これば、降水による運動量の下層への輸送はストームの動きを変えるかも知れない。いずれにせよストームの力学の場が変化しなくとも、降雨の空間的・時間的分布を決定するのは微物理過程であり、それぞれのストーム系で力学の場を考慮した降水機構の研究は地球上の水循環を考える上でも重要であろう。