

シンポジウム報告

ワークショップ「降雪に関するレーダーと 数値モデルによる研究 (第 6 回)」開催報告

防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター 中井 専 人

ワークショップ『降雪に関するレーダーと数値モデルによる研究 (第 6 回)』が新潟県長岡市にある雪氷防災研究センター大会議室において開催された。開催の主旨は、雪雲の力学構造について詳細な解析結果をもとに理解を深めること、雪雲の持つ気流場の中で成長する降雪粒子について観測とモデリングによる基礎的な知見を集めること、及び、雪雲の力学構造と降雪粒子の特性がどのように結びついているか、次の研究方向につながる議論を行うこと、である。

時間はゆったりと取っており、2 日間で計 7 件の講演が行われた。講演者に加えて新潟県内を始め東京、神戸などから合計 28 名の参加者があり、活発な議論が行われた。プログラムは次の通りである。

プログラム：

第 1 日目 3 月 4 日 (火)

14:00 開会

14:10-14:50 山田芳則 (気象大学校)

冬季日本海上における L モードバンド状降雪雲の運動学的・熱力学的構造

14:50-15:20 岩本勉之 (防災科学技術研究所雪氷防災研究センター)

新潟および北陸地域の降雪におよぼす山地地形の効果

15:20-15:30 休 憩

15:30-16:00 中井専人 (防災科学技術研究所雪氷防災研究センター)

レーダーとモデルによる降雪の比較

16:00-16:30 川島正行 (北海道大学低温科学研究所)

水平風シアライン上に発生する小規模降雪擾乱の構造と発達メカニズム

16:30-17:10 施設見学

第 2 日目 3 月 5 日 (水)

9:10-9:40 石坂雅昭 (防災科学技術研究所雪氷防災研究センター)

空からの便りを読むー地上降雪粒子観測の現状と課題ー

9:40-10:20 石元裕史 (気象研究所気象衛星・観測システム研究部)

フラクタル形状雪片のレーダー反射特性

10:20-10:50 三隅良平 (防災科学技術研究所水・土砂防災研究部)

ビン法による降雪粒子のシミュレーション

10:50-11:20 総合討論

11:30 閉会

気象大学校の山田芳則准教授は、L モード降雪雲について、ドップラーレーダー観測に基づく運動学的・熱力学的構造の詳細な解析結果及びモデルとの比較結果を述べた。L モード降雪雲は走向に直交する方向の鉛直シアの強いケースと弱いケースに分けられ、ともにバンド内下層に存在する気温偏差-1K の冷氣塊と相対的に暖かい周囲の気塊との収束で新たな上昇流が形成される。前者ではバンドに垂直な方向にセルの入れ替わりが見られ、鉛直流はシアの上流側に傾きバンド軸に対して対称ではない。後者では鉛直流が直立し新しい上昇流は旧セルに対してバンドの走向方向に形成され、バンド軸に対する対称性が長く継続する。両者のしきい値は混合層の中層から下層の

鉛直シアアの大きさとして $1.3 \sim 1.5 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 程度であることを観測と非静力学モデルによる数値実験から確かめた。鉛直シアアの上流側に上昇流が傾くためには、降雪粒子の蒸発による冷気塊の形成が必要である。加熱率の鉛直プロファイルに見られた非常に強い下層の冷却は、五大湖上の降雪雲などでは報告されていないことから、日本海降雪雲の特徴ではないかと考えられる。

防災科学技術研究所雪氷防災研究センターの岩本勉之特別研究員は、地上降水分布について EOF 解析から山地型と平野型を定義し、総観場と地形の効果の関係について解析した。山地型では上層トラフが日本の東にあり 925 hPa で北西風が卓越する。一方、平野型では上層トラフが日本の西にあり 925 hPa では西風が卓越する。このため、平野型では山地の北側を迂回する流れの収束により雪雲が発達し、風下の平野部に入ってくるというプロセスが起こる。モデル出力から高度 1000 m で山地の効果を見たところ、山地型は北西風の地形性上昇が、平野型は西風の変形効果が働く。平野型では両白山地は北陸の平野部に、飛騨山脈や能登半島は新潟県の平野部に影響するといえる。

防災科学技術研究所雪氷防災研究センターの中井専人主任研究員は、北西～西北西季節風下で上陸する L モード、T モード、渦状の 3 種の雪雲について、上陸前後の SWE (降雪水当量) の変化を示した。L モード、T モードの SWE は海上ではあまり変化せず、上陸してから特に下層で増加する傾向が観測された。特に T モードの増加率は約 4 倍と顕著であり、L モードと明らかに異なっていた。渦状降雪では海岸平野付近での SWE ピークが観測された。この結果をモデルと比較したところ、高度 1500 m では特に L モード、T モードにおいて量的にも良い一致が見られ、雪雲の種類による差異はモデルでも表現されていることが示された。しかし雪雲下部では観測と異なり、モデルでは SWE の減少が顕著であった。その理由として、雪片の昇華が起こりすぎている可能性が指摘された。

北海道大学低温科学研究所の川島正行博士は、水平風シアライン上に発生する小規模降雪擾乱について、モデルを用いた理論的な研究に基づく発

達メカニズムを解説した。これはレーダーでは渦状降雪として現れ、しばしば強い降雪をもたらすものである。水平風シアアのある場では順圧不安定により渦列が形成されるが、さらにその渦の融合が起こり大きな渦が形成される。これは下層ほどシアアが強いため下層に高圧偏差が形成され、力学の上昇流と雪雲を作り出すというメカニズムで説明される。その波長がもとの渦列の波長より長いために渦の融合という形で現れる。また降水が渦状に見えるのは、降雪粒子の落下速度が小さく水平風に大きく流されるためであり、降雨ではレーダーエコーで可視化されない。感度実験の結果からは、シアアが大きいと渦の融合が促進され波長が大きくなり、降水強度の最大値が大きくなる (総量は変わらない) こと、シアラインを挟んだ温度差を大きくすると寒気側に降水粒子が移流されて渦パターンはできないことがわかった。

雪氷防災研究センターの石坂雅昭総括主任研究員は、空からの便りを読む一地上降雪粒子観測の現状と課題一、と題して降雪粒子観測について解説した。降雪粒子の特性は雪崩の弱層や視程障害など災害にも関係するが、それを空間的、連続的に観測するために降雪粒子観測施設を製作した。この施設では、CCD カメラを用いて自然落下状態の降雪粒子の形状と落下速度を連続的に数値化するほか、降雪粒子を直接低温室に取り込み、着地状態のビデオ記録や顕微鏡観測を行えるようになっている。降雪粒子の特性と、1 分ごとの降雪強度やレーダーによる雪雲の種類との比較から、L モードでは霰の卓越する状態が何時間も継続することなど、新たな観測事実が得られている。課題としては定量化の難しさ等が挙げられるが、小さい粒子が数としてとても多いこと、長岡ではきれいでない粒子が多いこと、雲粒付といっても雲粒の中に小さな角板が成長していたりするなど、成長過程を解明すべき事実が次々と見つかっている。中谷宇吉郎博士の、irregular な降雪粒子は人が思っているより多い、という指摘を改めて認識させられているのが現状である。

気象研究所気象衛星・観測システム研究部の石元裕史主任研究官は、フラクタル形状雪片のレーダー反射特性について述べた。雪片のような複雑形状粒子の反射強度は計算可能であるが、形を定

義するのが簡単でない。一方、雪片など衝突、併合過程で成長する粒子はフラクタル形状を持つことが多い。そこで、計算機内でフラクタル粒子を作成し、FDTD (Finite Difference Time Domain) 法を用いて散乱問題を数値的に解いて、後方散乱断面積を求めた。雪片のフラクタル次元 df は現在確定していないが、文献等を参考に $df \sim 2.1$ を使用したところ、現実の雪片に非常に似た形状のフラクタル粒子が作成できた。電磁波散乱の計算に用いた FDTD 法は粒子の形によらず計算できる方法で、8 個のフラクタル粒子について、バルク密度やサイズを変えて計算を行った。得られた結果は、X バンドではレーリー領域が主で雪片の形状にあまり依存しないもののサイズが大きいとスカスカな粒子で散乱が小さくなる、Ka バンドでは雪片の散乱は球より 1 桁小さい、W バンドでは球と異なり角柱や雪片ではなめらかな散乱特性になる、などである。現在のところ推定や仮定を多く含むため、リアルな結果にするためには観測との比較が不可欠である。

防災科学技術研究所水・土砂防災研究部の三隅良平主任研究員は、ビン法による降雪粒子のシミュレーションについて述べた。降雪の場合、降雨と異なり質量だけでは粒子の特性が決まらない。そこで、粒子を回転楕円体で表現し、粒子のサイズ、アスペクト比 ϕ 、バルク密度 ρ を変数に加えることによって、詳細な降雪粒子分布を表現するモデルを構築している。現在、空間的には鉛直一次元のモデルで降雪粒子を成長させることができおり、モデル内の雲底など任意の高度で降雪粒子を擬似“サンプリング”することができる。粒径と落下速度を軸に取った散布図を作ると、観測に比べて落下速度が小さく、現実よりも ρ が小さい粒子が形成されている。課題としては、雪片の併合確率や分裂の表現、融解時の含水率、 -30°C 以下での晶癖、氷晶核の活性化があり、含水率について濾紙法による測定を行うなど、定式化の試みも行っている。

総合討論では、特に降雪粒子の成長過程と雪雲の再現性について議論がなされた。フラクタル粒子モデルとビン法モデルを併用できないかという点から議論が始まり、バルク法に各粒子の混合比、数濃度以外のパラメーターを増やす必要はあ



写真 1 佐藤篤司雪氷防災研究センター長（スクリーン前）による主催者挨拶

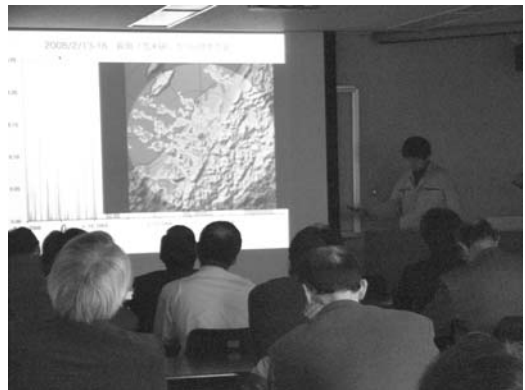


写真 2 講演に聴き入る参加者

るか、という問いに対しては、ニーズから考えるべきという指摘がなされた。具体的には、吹雪は粒径が重要であること、着雪においては雪片/霰の区別と水滴の有無など雲物理的特性の正確な表現が必要なことなどが挙げられ、これらは観測から押さえることも必要であると指摘された。

その後、気候変動に関連して雪雲の特性、特に濃密雲粒付雪片の出現特性がどのように変化するか、また雪片/霰の出現特性と化学成分の関係はどうだろうかといった課題が提出され、降雪粒子の種類の変動の重要性が示唆された。雪雲下部における昇華についても議論がなされ、モデルで昇華しすぎる傾向が問題であることが認識された。実際の前報では地上降水との比較による統計的パラメタライズによって適切な処理が行われているが、統計的に得られた係数は雲物理過程の理解に基づく表現にできる限り置き換えられるべきであ

る。今後の観測とモデルの量的な比較が求められていると言えよう。

ワークショップ当日は晴時々雪という、降雪と雪国の美しい風景をともに見ることのできる天気であった。

最後になりましたが、お忙しい中、充実した講

演と活発な討論を頂いた講演者、参加者の皆様、またワークショップの実施を様々な面で支えていただいた佐藤篤司センター長はじめ雪氷防災研究センターの皆様に厚く御礼申し上げます。

(2008 年 3 月 14 日受付)