

[シンポジウム]

602 (スペシャル・セッション; 降雪; 中小規模擾乱; 雪雲; 雲物理)

1992 年度日本気象学会秋季大会 スペシャル・セッション「雪」の報告*

播磨屋 敏 生^{*1}・松 尾 敬 世^{*2}・永 田 雅^{*3}・藤 吉 康 志^{*4}

1992 年度秋季大会においてスペシャル・セッション「雪」が行われた。このセッションを企画した趣旨は以下のものであった。

雪についての研究が今までにたくさん行われてきたが、学会では総観気象、中小規模現象、積雲対流、雲物理など別々のセッションでその成果が発表されてきた。降雪現象を総合的に理解するためには、いろいろな分野の研究者が一堂に集まり、異なる角度からの意見を出し合い、議論することが有意義と考えられる。

このような呼びかけに対して、26 題の講演申し込みがあり、学会 2 日目の午前、午後にはわたって発表が行われた。発表の順序は講演内容を考慮してスケールの大きい方から小さい方へと、3 人の呼びかけ人が分担して座長をつとめた。講演発表後に全体にわたる活発な総合討論が播磨屋の座長のもとで行われた。

全体のまとめを以下に記す。降雪現象は、スケールの異なる擾乱間の相互作用、素過程の総合の結果として起こっている。現在のところ、降雪現象についてある程度の理解が得られているとは言え、メソ擾乱の種類の整理とそのメカニズムの解明、降雪雲の形成維持機構及び降雪量に結びつく微物理過程の理解など、まだ多くの課題が残されている。

複数台のドップラーレーダーによる流れの場はようやく得られるようになったが、熱力学の場や微物理過程の理解のためには飛行機観測が必要である。現象をよりよく理解するため、また観測を補うために数値モデルを使いながらの解析も必要である。ある地域での現象は、他の地域での同種の現象と比較することによって、その理解が進むことが期待されるので、他の

地域における総合観測も重要である。残されている課題解決のために大規模な総合プロジェクトの要望が出されたところで総合討論が終了した。

このスペシャル・セッションが現時点における降雪研究の到達点と今後の課題を示すことに役立ったなら、目的は達成されたことになる。各論として、分担した講演についての各座長のコメントと総合討論の要約を以下に掲げる。

(播磨屋敏生)

講演についてのコメント

「メソ α 以上のスケールの擾乱・現象 (A 201-A 207)」

降雪 (水) 量の分布には大規模場、中規模の気象擾乱 (大会予稿集 A 201, 仁科) に加え、地形の影響が大きいことは A 202, A 203 (力石他) の報告にも示されている。一方、メソ擾乱は出現が間欠的で、現われない時には、地形だけで降雪分布が決まるような場合もありうる。しかし、一般には様々な擾乱と地形の影響の共存を考える必要がある。さらに、その擾乱自体も、大規模場の中にメソ α スケール (2,000 km $\sim$ 200 km) の擾乱 (構造) があり、その中により小さなスケールの構造が見いだされる、といった多重スケール (A 204, 二宮) が認識されてきている。

主極前線帯の北の寒気内において、上空の寒冷渦の影響下で、下層の地形的な傾圧帯に総観規模低気圧の循環が前線強化的に作用することによって発達し (A 204, 二宮)、200 km $\sim$ 700 km の大きさのスパイラル状またはコンマ型の雲システムを伴う polar/comma-cloud lows (Ninomiya, 1989, 気象集誌 67 巻 1 号) や、海陸分布や山岳系などの地形的な強制で発生・発達する日本海寒帯気団収束帯 (JPCZ) の带状雲 (A 205, 永田) など、個々のメソ α スケールの擾乱はそれぞれ構造や形成過程などが明らかにされてきた。一方で、一旦弱まった带状雲が偏西風帯のトラフの接近と

* Special session on "Snow".

^{*1} Toshio Harimaya, 北海道大学理学部.

^{*2} Takayo Matsuo, 気象研究所物理気象研究部.

^{*3} Masashi Nagata, 気象庁予報部.

^{*4} Yasushi Fujiyoshi, 名古屋大学水圏科学研究所.

共にメソ α スケールの渦状擾乱として再発達した例（植村，1980，天気 27 巻 1 号）もある。1 種類の擾乱だけで，全ての場合を説明できないのはもちろん，一連の event の中でも擾乱の性質が時間と共に変化する可能性も考慮し，特定の擾乱にとらわれないことが肝要であると思う。

もう一つの問題点は，寒冷渦や jet, 気団変質，放射冷却による寒気の形成，陸風など，メソ擾乱の発達に基本場を提供する総観場の擾乱やプロセス，関与する要因などの理解である。特に，陸風は，陸上の下層気温の日変化に基因する海陸風循環に伴うものと，海陸間の気団変質の差に基因する沿岸前線強化過程に伴うものの区別が明確でないことがある。どちらが支配的かを決めることは容易ではないし，相対的に大きなスケールの鉛直循環には後者が，地上の収束線の位置の最終的な決定には前者が主に効くという場合も考えられよう。また寒冷渦も，たとえ同じ強さの渦度と温度の偏差を持っていたとしても，背景場の傾圧性の違いでその力学的な作用は異なるので，その影響は一通りではないと考えられる。

最近より細かく実態把握が進んでいるメソ擾乱に密接に関係する，よりスケールの大きな擾乱・過程について，最新の総観気象の知識によって観測事実を記述する仕事は，メソ気象の基礎として重要であるのに，活動的な研究者が少ないのは残念であり，自らの反省も込めて，今後の課題としたい。

（永田 雅）

「雪雲（A 208-A 216）」

このセッションでは，9 題中 5 題が渦状擾乱に関係し，また，4 題が 2 台のドップラーレーダーを用いた観測結果の報告であった。従って，「雪」の問題を総合的に考えるにはやや偏った話題になった。この傾向はスペシャル・セッション全体にも当てはまり，現在は，「雪」というよりも「雪雲」の方に多くの関心が集まっているようである。確かにドップラーレーダーは魅力的な装置であるが，それ以前に主に行われてきた地上での降雪・積雪観測との関連性に欠けてきた感がある。他のセッションでは両者を結び付ける報告もあるが，数が少ない。複数のドップラーレーダーを用いた観測によって，雪雲内の気流構造が明らかになるにつれ，擾乱の成因と維持機構に研究の中心が移ってきている。それと共に，雨雲にはない雪雲としての特徴が何処にあるのかという問いかけが薄れてきているのも事

実である。今後，様々な視野からの研究が行われ，総合的な「雪」の研究が進展することを強く願っている。

上記のような不満はあるものの，寒気流中に発生したメソスケールの渦状擾乱の 3 次元的な気流構造，及びその時間変化を明らかにしたのは，我が国では本セッションでの発表が初めてであろう。渦の大きさと渦度の強さ等が定量的に観測されている。渦の階層性についても報告があり，渦度をもったより大きな場の中で，あるスケールの渦がどの様に発生していくのかに興味を持たれた。更に，主風向とほぼ平行な方向に伸びたいわゆるロンジチューディナルな筋雲の中には，周囲の地形によって作られる局地風の影響を強く受けているものもあるという報告があった。また，全体としては必ずしも降雪強度が強くはない雪雲の中に，数百メートルのスケールで局所的に異常に降雪強度の強い領域があるという興味深い報告もあった。

複数のドップラーレーダーを用いた観測が，我が国でもようやく可能になった。今後は，熱的構造も同時にとらえることが出来るよう，航空機を用いた観測体制の充実が望まれる。

（藤吉康志）

「降雪の雲物理（A 251-A 260）」

この分野は，microphysics ともいわれるように，降雪粒子一つ一つの成長等，ミクロな物理過程を取り扱っている。昨今の「雲物理学」が，ミクロからメソへ，さらにはマクロスケールへと拡大し，「雲の物理学」として変容しているのに比べ，やや古典的な感じがする分野ではある。全部で 10 題の講演があり，観測に関する発表が 9 題，実験に関するものが 1 題あった。以前に比べ実験に関する発表が激減した中で，降雪素過程に関する実験が行われ，着実な成果が上げられていることが目を引く。観測の発表では，雪雲の内部が目で見えるものとして現実味をおびてきたことが最近の成果である。しかし，全体を通して，降雪現象の全体像が物理的に明らかになったとはいえない状況にある。

この分野における最近の国際的な動向をみると，観測とモデリングを一つの対として降水現象を理解しようとする方法が一般的に取り入れられている。「学問に王道なし」とよく言われるが，この方法は「成功への王道」かのように採用され，特にプロジェクト研究に拍車がかかっている。観測の実施，モデリングとの比較検討及び問題点の提起，問題点を調べる観測の実施

という、観測とモデリングのサイクルを通して降水の全体像を解明しようとするやり方で、確かに、ポイントをあげやすい方法ではある。日本では、これまで、この方法の採用の仕方がいま一つ徹底していないように思われる。観測屋とモデル屋との密接な関係プレーが大切になる分野である。

しかし、考えてみると、この方法だけが、この分野の発展を保証するものであろうか。合理的と思われる方法の追求の結果、研究をある一つの方向に規定してしまうことはないのか。これが、新しい研究の芽を摘むことになりはしないか。プロジェクト研究を実施した後「はたして何か新しい事がわかったのであろうか?」「新しいこととは、一体、どういうことであろうか?」と自問する時、研究の多様性の重要性を認識して、両者のバランスの必要を強く感じる次第である。

(松尾敬世)

総合討論の要約

播磨屋(北大理)：このセッションの目的は従来別々のセッションで発表されていた話題を一堂に集めて総合的に議論することである。はじめに何人かの研究者の方に、それぞれの研究のねらいについて話していただきたい。

村上(気象研)：我々の研究目標は、雪雲の降水メカニズムを理解する事であり、これは将来的には降水調節の基礎となる。これまで、2 台のドップラーレーダー、偏波レーダー、HYVIS (雲粒子ゾンデ)、地上降雪観測等、一つ一つの観測は精力的に行われてきているが、今後目指すものとして、最低でも一つの雲を総合的に、すなわち雲の一生を解明できるような観測が必要である。

上田(北大理)：我々の研究グループ(文部省科研費重点領域)にはいろいろな分野の人が属していて、各々はそれぞれの目的を持っているが、グループとしては札幌にかかわる石狩湾に重点をおいて観測をした。私としては、メソ β スケール擾乱 (20 km~200 km) の力学、石狩湾周辺での地形効果、降水粒子の特性に興味がある。

永田(気象庁)：大きなスケールの現象を研究している者として一言言わせてもらおうと、メソ擾乱の研究はまだ発展途中という感じである。今後メソ擾乱の種類を整理していかなければならない。主要な物理がスケールによって異なることを認識した上で今後メソ擾乱の解析事例を増やすべきである。さらに、基本的な

プロセスに関して分かったようにして使っていることでも実際にはよく分かっていないことがある。例えば、「寒冷渦」、「ショートウェーブのトラフ」がある。これらはまだ、その力学が分かっておらず、どのような発達過程をとるのかまだよく分かっていない。また、北海道西岸帯状雲の成因として陸風を安易に考えているが、その陸風を作る放射冷却や気団変質についてはまだ良く分かっていない点もある。

武田(名大水圏研)：石狩の特別観測についての感想としては、降雪観測の実施に関しては良かったが、雲物理としては何が分かったのか疑問である。まず、降水がどこに集中するのかといった問題や、昨日のシンポジウムで藤吉さん(名大水圏研)の発表にあったように石狩湾内の気流は一樣ではなく、数種類の気流系からなっているという局地風の問題が持ち上がったが、これらのことは新たにどういう物理現象が起きていることを意味するのだろうか。また、擾乱や地形効果により水平収束ができ、それによる上昇流によってエコーの強いところが出来たわけだが、どこに雲物理過程が効いているのか、また新しい、面白い点は何か。

高橋(九大理)：感想としては、2 台のドップラーレーダーで得られた流れの場合等、日本の観測もようやくここまで来たという感じがする。ただし、アメリカの観測と比べると飛行機が無いので、熱力学の場や雲物理が良く分からない。どういう雲の組織化のときに雪がたくさん降るのか、どうして雪の芽が増えるのか、スパイラルバンドの構造はスーパーセルと似ているのか、石狩湾の現象は、北陸と比べてものすごく複雑に感じる。北陸では、雲の輪郭が明瞭である。すなわち積雲の集まりであって、霰のある場所と雪片のある場所を区別することが出来るが、石狩湾の雲はべったりしていてそれらの領域がはっきりしない。また、上空にも 1 cm 程度の雪片がたくさんあるように思われる。

播磨屋(北大理)：北陸では、気温が高く凝結水がたくさん出来るが、札幌では気温が低いのですぐ氷になってしまうことが、北陸と北海道での降雪現象の違いとなる。

吉崎(気象研)：非静力学モデルを研究している立場からの感想を言うと、まだ研究すべきことがたくさんある。永田さん(気象庁)のような静力学モデルに比べ、このような観測に対しては非静力学モデルが一番活躍し易いと思われる。しかし、科研費重点領域研究グループによる観測についてのモデルの結果はまだで

ていないので、この観測に基づいたモデル研究をやるべきである。また、ゾンデ観測結果から、マクロな水・熱収支や力学もやるべきである。

高橋(九大理)：非静力学モデル研究は私の分担であるが、モデルの立場から言うと、風の鉛直シアが一層大切で、その条件下では上昇流と下降流がはっきりするので霰が形成される。また、シアがあったほうが降水効率が良くなる。

児玉(弘前大)：今回は衛星の話が無かったが、衛星データも使ったほうが良い。そのとき衛星画像は天気図的に見るだけでなく、マイクロ波放射計の値(対流圏内の積分値)等を定量的に見る必要がある。また、衛星で見える雲粒とレーダーで見える雪を組み合わせた研究もやって欲しい。

播磨屋(北大理)：今後降雪現象解明のためにどのような観測をおこなったらよいか。

村上(気象研)：測定項目に片寄った話になるが、偏波レーダーをさらに活用するようにしたい。ただ二重偏波レーダーで雪の形を区別する事は難しいのではない。土木研の偏波レーダーの研究の結果からは、霰と雪片についてのレーダー反射因子差 Z_{DR} ($=10 \times \log(Z_{HH}/Z_{VV})$, Z_{HH} ：水平偏波のレーダー反射因子, Z_{VV} ：垂直偏波のレーダー反射因子)とレーダー反射因子 Z の関係はオーバーラップするところもあり、一義的にどんな粒子が降っているのか言えない。

上田(北大理)：昨日のシンポジウムでの偏波レーダーに関する発表では、クリアな部分のみについて話したのであり、実際には、霰と雪片の区別は難しい面も多い。特に霰と雪片が混在しているところでは、 Z_{DR} からだけでは判別出来ないであろう。現在、2台のドップラーレーダーから求めた鉛直流や発散場、セルのステージと偏波レーダーの結果を比較しながら解析している。今後の観測手段としては、勿論飛行機も重要であるが、広い範囲を見るためには、マルチパラメータレーダー(2波長、偏波、ドップラースhift)を作ることが必要である。現在の観測研究者の興味はバラバラであるので(例えば、降水量がどこでピークになるのか、ダイナミクスはどのようになっているのか、)、全体像をつくるのが難しい。今後はお互いの接点を見つけて総合化しなければいけない。また今後、

どなたか大々的なプロジェクトを計画して下さい。

播磨屋(北大理)：5年前のシンポジウムでは、複数台のドップラーレーダーでの観測は無かったが、今回は2台のドップラーレーダーによって流れの場まで良く分かった。温度場や雲物理量を知るためには、飛行機観測が必要になると思われる。今後どうすべきか。

武田(名大水圏研)：これから、みんなで協力してデータセットを作って、みんなで共同研究していくことが重要になる。また他の地域との比較研究も重要である。今回の観測結果から、「ますます自然は複雑である」と考えるのではなく、モデルを使いながらさらに解析を進めることが必要である。雲頂高度(2~3 km)が低くて地形の高度と余り変わらないことは、新しいテーマの一つになると思う。また、雨と違って、雪であることが重要である。

高橋(九大理)：私のモデルは、非静力学で雪も入っている。今回の発表で、実験の研究が少ないのは残念である。

播磨屋(北大理)：菊地さん、今回のプロジェクトの研究代表者として大きなプロジェクト実施に対してのコメントをお願いします。

菊地(北大理)：最初は複数台のドップラーレーダーを持ってくればすべてが分かると思っていたが、いざやってみると一筋縄ではいかないことが分かった。室内実験が減ってきていることは、興味を持てるよいアイデアがないということなので、考えなければいけない。今回の観測で問題点が改めて明らかになったと思うので、これで終わりではなく、今後も各論や総合的な研究をやらなければいけない。飛行機観測も含めてどこかで新たな組織を作る必要があるであろう。

播磨屋(北大理)：降雪現象解明のため今後も総合的な観測計画を立てなければいけないということが、このスペシャルセッションの結論だと思います。本日はどうもありがとうございました。

謝 辞

総合討論の記録を手伝っていただいた北大理学部の高橋暢宏氏と北大低温科学研究所の佐藤晋介氏に感謝致します。

(文責 播磨屋敏生)