

最新レーダーが明かす降雪のしくみ

上田 博 (北海道大学大学院理学研究科)

1. はじめに

「大雪は困りもの」という雪に対するマイナスのイメージは、除雪対策が進につれて徐々に解けはじめ、「ダムに水をもたらしもの」とか「ウィンタースポーツのために欠かすことのできないもの」というように、雪に対するプラスのイメージが強まっている。雪に対するプラスのイメージをより確かなものにし、雪が降ることを生活を生活に活かしていくためには「降雪のしくみ」についての理解を深めることも役にたつ。しかし、「いつ」、「どこで」、「どのように」雪が降るのかについての科学的な解明はこれからの課題として多くの問題が残されている。そこで、これまでの「降雪のしくみ」についての理解と最新の気象レーダーを用いた観測結果を紹介し、降雪現象の不思議に皆さんと共に迫ってみたい。

2. 雪の降りかた

1995年12月から1996年1月にかけて道央圏で記録的な大雪が観測された(金村・菊地, 1996)。しかし、札幌管区気象台の積雪速報等の資料をみると滝川周辺はそれほどの積雪深にはなっていない。たとえば、1995年12月20日の積雪深をみると、小樽63cm、札幌72cmに対して滝川は14cmであった。このように滝川の積雪深の値が小さい理由は、滝川市の西側にある1,000m以上の山地が雪雲をもたらす北西の季節風の進入を防いでいることが考えられる。このような問題を考える前に、これまでに知られている降雪のしくみについてふりかえてみたい。降雪に関係する多くの普及書(中谷, 1938; 札幌市教育委員会, 1983, 1984, 1995; 柏原, 1993; 若濱, 1995; 花房, 1990)があるので、興味のある方には一読をお薦めしたい。

テレビでもすっかりおなじみの、気象衛星「ひまわり」の雲(赤外)画像でみられるように、冬の北西の季節風が吹くときに、筋状や帯状の雲が日本海上に発生し、北海道西岸に強い降雪をもたらされることが多い。「ひまわり」の雲画像は毎時のデータが得られ天気予報に大きな力になっているが、雪雲の詳しい構造を見るためには「ひまわり」の約十倍の分解能をもつNOAA衛星の赤外画像が良い。一例として、1992年1月24日03時43分のNOAA衛星の雲分布を図1に示す。北海道西岸の沖に帯状の雲が見える。この雲が進入する場所には大雪をもたらされる。この帯状の雲の北緯44度の東西断面とそれより北の部分の雲の高度分布を、雲の輝度温度を高さに変換して示したのが図2である。帯状の雲の幅は約50kmあり、雲の高さは5kmに達している。夏の雷雲と比べると背の高さは半分以下であるが、霰や強い降雪をもたらす部分がこの雲の下に並んでいる。帯状の雲より細い、筋状の雲が何本も帯状の雲に合流している。この筋状の雲の部分でも狭い範囲に強い降雪域が連なっている。このような雲の中で雪を降らせる個々の雲は、海上にある間は海面からふんだんに供給される水蒸気もらって雪雲に成長し、1時間程度の寿命で次々に入れ替わっている。しかし、山を越えた内陸部では、人工衛星の赤外画像上の雪面と雲の区別がつかないので、雲画像だけでは降雪域を識別することは困難である。

帯状や筋状の雪雲が進入しやすい札幌や岩見沢での降雪粒子の特徴については、地上観測(Harimaya and Kanemura, 1995)やレーダー観測などでかなり明かになってきた。「海上で発達した雪雲が上陸すると、最初に海岸付近で霰を落とし、少し内陸にはいる間に濃密運粒付きの雪片を降らせ、さらに内陸に入ると強い降りはなくなり、比較的雲粒の少ない雪結晶になる」というのが平均的な降雪のイメージになりつつある。しかし、滝川市のように高い山を越えた風下の内陸での降雪の仕組みについてはまだ分からないことが多い。

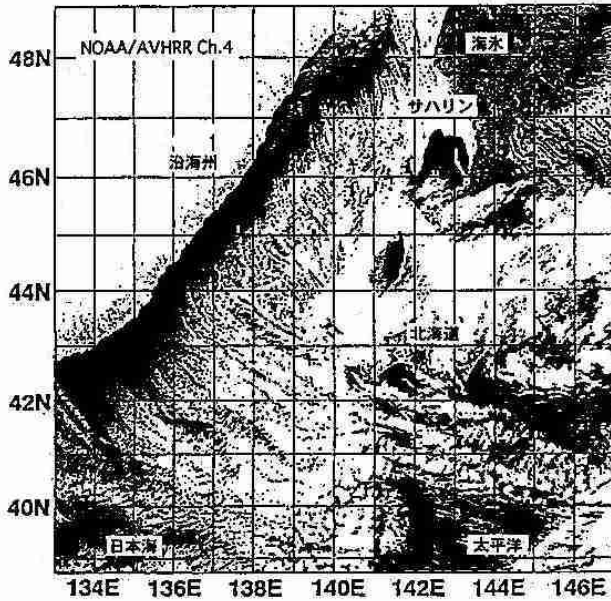


図1 1992年1月24日03時43分のNOAA衛星の赤外画像。白い部分が背の高い雲を示す。

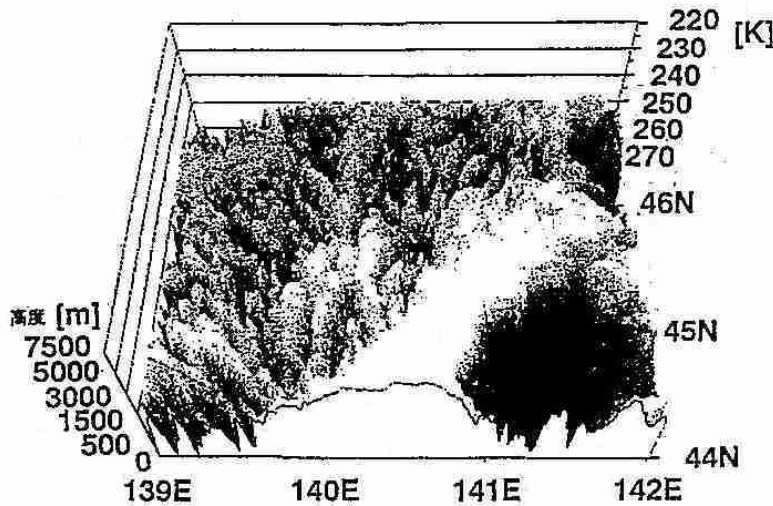


図2 1992年1月24日03時43分のNOAA衛星の赤外画像の高度分布の立体表示。切り口は北緯44度の断面を示す。

3. 気象レーダー

どこでどの程度の降雪があるかを常時監視するためには気象レーダーが最も有効な手段であることは広く知られるようになった。気象レーダーは、波長 3.2 cm や 5.6 cm の電波をアンテナから放射して、雨粒や降雪粒子から反射して返ってくる電波を測定して、降雨や降雪の位置と強さを知る装置である。札幌市周辺には、札幌管区気象台のレーダーが小樽市の毛無山に、北海道開発局のレーダーがピンネシリ山に、札幌市のレーダーが当別町の丘陵に設置されている。それぞれ、天気予報、河川・道路管理、除雪対策情報用にと、異なる目的に応じた独自の観測形態で運用されている。部分的には、テレビで気象庁から出されるレーダーアメダス合成画像をみることがある。もう少し雪雲についての研究が進むと、各機関のレーダー情報を統合してより有効な降雪監視・予測システムが構築されるようになるかもしれない。その鍵を握るのが大学におけるレーダーを用いた降雪の研究である。

北海道大学には、大学院理学研究科に偏波ドップラーレーダーが、低温科学研究所にはドップラーレーダーがあり、雪雲の研究に利用されている。これらのレーダーを用いて、大掛かりな観測が石狩湾周辺で行われた(菊地, 1993)。一例として示した雪雲のレーダーエコー(図3)の海上部分を見ると、強いエコーの部分、すなわち、強い降雪域は幅が10 km程度の筋状に見える。北西から南東に延びるこのエコーは北西風に平行に南東に移動す

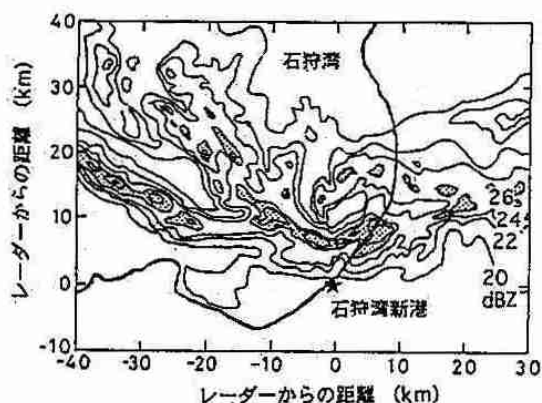


図3 1992年1月24日03時40分の石狩湾のレーダーエコー。(北海道大学大学院理学研究科レーダー)

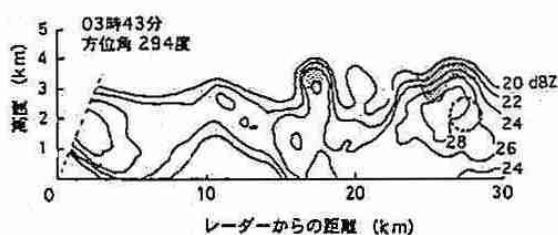


図4 1992年1月24日03時43分のレーダーエコーの鉛直断面。コンターの内側が強いエコーの部分を示す。偏波レーダーであられの存在が推定される部分を破線でかこった。偏平な雪の結晶又は雪片の存在が推定される部分を影で示した。

る。エコーの通り道には大きな降雪をもたらしたが、このエコーが進入しなかった札幌市の南側には大きな降雪はもたらさなかった。筋状のエコーの北側に少し太いエコーが見える。太いエコーと筋状のエコーの交わる部分に強いエコーが見える。エコーの強い部分のエコーの鉛直断面を示すと図4のようになっている。強いレーダーエコーの付近に偏波モードの観測から推定された霰の位置を太い破線で示してある。同じく偏波モードの観測から推定された偏平な雪片の位置を影で示した。一方、海岸付近では渦をまいた構造がエコーに見られ、渦巻きの南側に強いエコーが見られる。エコーが通過した場所にだけ降雪が観測される。

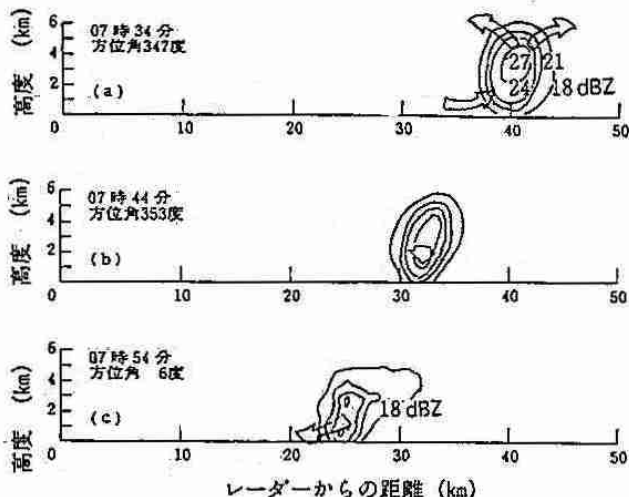


図5 1989年1月28日の、7時34分、7時45分と7時54分の、北海道大学構内から石狩湾の方向を見たレーダーエコーの鉛直断面。コンターの内側が強いエコーの部分を示す。矢印はドップラーレーダーから求めた鉛直断面内の気流を示す。

4. 最近の降雪の研究

これまでの降雪による災害は、強い降雪が持続することによる大雪が中心であった。しかし、最近の高速道路の発達により、今迄予想もしなかったような降雪災害が発生するようになった。1992年3月17日の道央自動車道における自動車の衝突事故はまだ記憶に新しい。事故現場付近に極く短時間だけ強い降雪があり、極端な視程の悪化があったことが事故に関与していたと考えられている。その後も、瞬間的な強い降雪による視程障害が原因ではないかと考えられる事故が起きている。

このような現象の詳しいメカニズムはまだわかっていないが、発達した雪雲から強い降雪を伴う数kmの範囲に限定された下降流があることが原因として考えられる。そのような現象をドップラーレーダーでとらえたのが図5である。海上で発達中の孤立した雪雲の海拔高度2km付近に強い反射強度がみられ、その部分は上昇流で支えられている(図5a)。10分後の図5bでは強いエコーの部分は1km以下の地表付近にまで降りており、その部分には10 m/s以上の強い風が吹いている。この部分は強い降雪を伴う吹雪になっており、視程が非常に悪くなっていると考えられる。

レーダーエコーの立体構造をモニターし、風も同時にモニターするようにすれば、限られた場所での瞬間的な強風を伴う強い降雪の発生も直前に予測できるようになると考えられる。関西空港や成田空港には発達した積乱雲からの強風の発生の監視の為に気象用ドップラーレーダーの導入が進められている。雪雲の監視にも同様の観測システムが役に立つはずである。最近、北海道大学、北海道開発局、科学技術庁の研究者の協力で吹雪や局地的な強い降雪の発生メカニズムの研究が始められた。この研究中の1995年と1996年の1月には詳細な雪雲の3次元構造とその発達過程が明らかにされた。気流系と雪雲の発達の様子を図6と図7に示した。

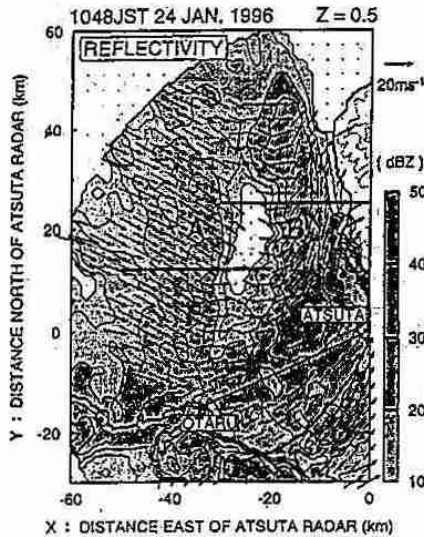


図6 1996年1月24日10時48分の高度0.5 kmにおけるレーダーエコーと水平風分布。2本の太い直線は図7の鉛直断面の位置を示す。

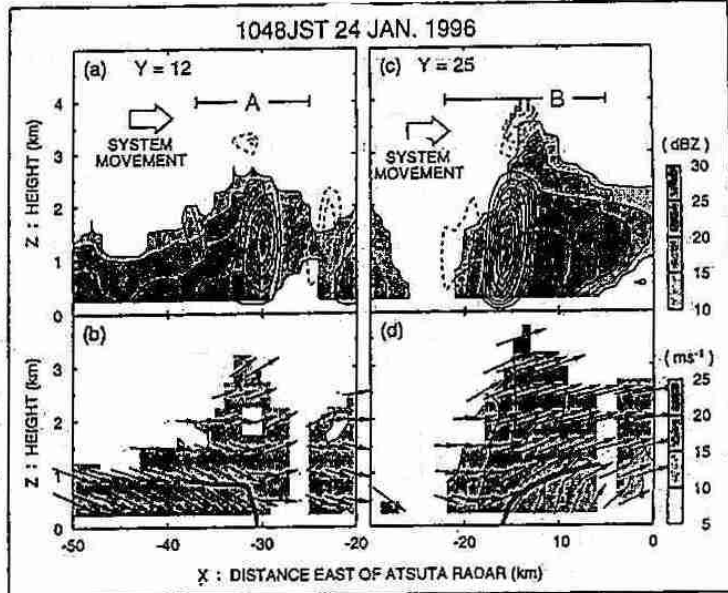


図7 (a)と(c)：鉛直断面内における反射強度(ハッチ)と鉛直流(コンター)の分布。実線で上昇流を、破線で下降流を示し、コンター間隔は 0.5 ms^{-1} である。(b)と(d)：鉛直断面内における水平風の鉛直分布。ハッチは風速を示す。また、太線は下層のシアラインの位置を示す。

5. まとめ

豪雪をもたらす雪雲の構造から局地的な強い降雪による視程障害の解明までに使用される、最新の気象レーダー、特にドップラーレーダーや偏波レーダーの威力について述べた。しかし、これまで海岸部にレーダーを設置して海上から平野部の降雪の観測を中心に行ってきたので、山地や山地を越えた平野部での降雪現象については研究されていない問題が多い。降雪に関する、その地域独特の問題を整理して新たな問題の解明を目指したい。

参考文献

- 柏原辰吉, 1993: 雪を知る. 北海道新聞社, 1-206.
- 金村直俊・菊地勝弘, 1996: 1995/1996年の札幌付近の大雪, 雪氷, 58, 157-160.
- 菊地勝弘, 1993: 都市の豪雪災害の予測と軽減・防除に関する研究. 文部省科学研究費重点領域研究「自然災害の予測と防災力」研究成果, 1-609.
- 札幌市教育委員会, 1983: 札幌と水, 札幌文庫24, 1-319.
- 札幌市教育委員会, 1984: 気象事典, 札幌文庫28, 1-317.
- 札幌市教育委員会, 1995: 札幌の冬, 札幌文庫75, 1-317.
- 中谷宇吉郎, 1938: 雪, 岩波新書, 1-165.
- Harimaya, T. and N. Kanemura, 1995: Comparison of the riming growth of snow particles between coastal and inland areas. J. Meteor. Soc. Japan, 73, 25-36.
- 花房龍男, 1990: 北の気象, 北海道新聞社, 1-269.
- 若濱五郎, 1995: 雪と氷の世界. 東海大学出版, 1-157.