

II-19 札幌に豪雪をもたらす雪雲発生時の気温場・風速場に関する研究

北海道大学 学生員 中島 一彦
 北海道大学 正 員 中山 恵介
 北海道大学 正 員 長谷川和義
 北海道大学 正 員 藤田 陸博

1. はじめに

冬期札幌を含む石狩湾周辺は、地理的条件等から非常に多くの降雪パターンをもつ豪雪地域であることが知られている。特に札幌市は大都市としては世界有数の年降雪量があることで知られている。最近では、1993年の数十年ぶりの豪雪が思い起こされる。その際、豪雪に伴う交通渋滞等の都市機能の障害が発生し、多くの社会的問題を生じた。そこで豪雪による障害を回避する対策の一環として、降雪予測の精度向上が望まれている。

現在、石狩湾周辺及び札幌市内には気象状況を把握するためにレーダ及び多くのマルチセンサ：SNET (Sapporo Information Network) が配置され時々刻々稼動している。SNETのマルチセンサとは、札幌市内51カ所に設けられた気温・風向・風速・降雪強度等を自動測定するものである。レーダはドップラーレーダ・ミニレーダ等様々な種類のものが存在し、多くの観測が行われている。

石狩湾周辺において発生する雪雲のうち特徴的なものとして、冷気流発生をともなったものが存在する。これによる降雪は概して札幌に局地的大雪をもたらすことが多いのに、予測が難しいものとされていた。著者らはこれまで、雪雲発生要因である冷気流について解析・観測を行ってきた¹⁾。それにより冷気流張り出し距離に関して予測可能であることを示した。実測については、これまで多くの観測が行われ、冷気流張り出しをともなった雪雲に関して多くの報告がなされている²⁾。冷気流の張り出し状況から温暖前線型と寒冷前線型に区別するもの等が存在する。しかし、冷気流発生から雪雲発生までを総合的に予測しようとする試みはない。更に、今回用いる地表条件計測値であるSNETデータの推移と、地表面2km付近のレーダ反射強度の推移の比較を行ったものは少ない。冷気流は地表面を伝って推移してゆくことを考慮すると妥当な比較であると思われる。これまで解析・観測を行ってきた冷気流と雪雲の発生推移の関係を時系列的に詳しくまとめることにより、雪雲を生じる場合の地上における冷気の発生の時間変化を知ることができ、これまでの解析結果を予測に適用する際に重要なデータを与えることができる。

そこで本研究の目的は、豪雪をもたらす雪雲のうち特徴的なパターンである冷気流発生を伴った雪雲の発生から消滅までの挙動を、レーダ及びマルチセンサを用いて報告するものである。

2. 冷気流をともなった雪雲観測例

図-1に1992年1月23日において北海道大学低温科学研究所により観測された、速度ベクトル・反射強度コンタ鉛直断面図を示す。横軸は石狩湾海岸線上をまたぎ東西に軸を設定している。図右下の石狩湾上から地表面付近に季節風に逆らい吹いている領域が存在しており、これが冷気流に対応する。冷気流は陸上から海上に張り出しており、先端において形状効果による上昇流が生じ、強いレーダ反射強度が発生していることが分かる。これは、レーダ反射強度の強い地帯を推定することが出来れば、冷気流の張り出し位置を推定することが出来ることを意味している。

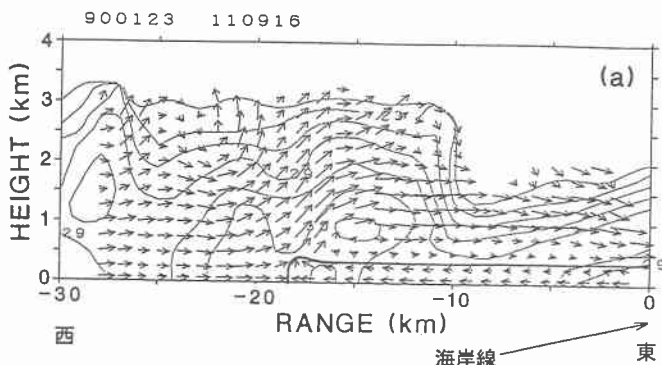


図-1 冷気流を伴った雪雲観測例
 (図-1のベクトル図は、佐藤晋介、若濱五郎³⁾から引用した)

Study on a Temperature and Wind Field around Sapporo city when a Convergence of Band Clouds appears.
 Kazuhiko NAKAJIMA, Keisuke NAKAYAMA, Kazuyoshi HASEGAWA, Mutsuhiro FUZITA

3. 冷気流発生にともなう降雪の推定

図-2にSNETマルチセンサの札幌周辺分布図を示す。本論文において対象とした期間は、1993年12月～1994年2月、1994年12月～1995年2月までである。このうち、豪雪が観測された1994年2月についてSNET観測地点からいくつかの観測地点を選び(図-2中の番号1～7:☆に対応する)、それぞれの地点の気温変動について時系列相関を計算した。その結果1994年2月においては海側(石狩湾)から陸側(札幌)、図-2の1～7地点の方向に気温変動が伝わる傾向が強いことが分かった。冷気流の張り出しは、これとは逆に陸上から海上に向けて気温低下が伝わっていく現象である。以上のことを考慮すると、冷気流発生を示す気温低下が7～1地点に伝わる現象は、2月12日～13日にかけて起こっていることが分かった。以下2月12日～13日に関して、SNETを用いて気温場・風速場を精査し、あわせてレーダ観測結果を用いて冷気流発生および消滅の様子を概説してゆく。なお、図-3に本研究で用いるピンネシリレーダの実地形へ対応範囲を示す。

図-4は新琴似における2月12日～13日の降雪強度推移グラフである。この図より降雪の推移のパターンが①12日16時から13日午前5時までと②午前8時以降とで別れていることが分かる。これはその両日の天気図(図-5)からみて、冬型の気圧配置による季節風による影響のもの(①部分)と、北海道南東海上を通過した低気圧の影響によるもの(②部分)と推定できる。本研究で対象としている現象は季節風卓越時のものであるため、①を研究対象とする。

さらに、①中には(a)・(b)の大きな降雪ピークが生じている。それぞれの特長を知るために、(a)・(b)に対応した図-6・図-7のピンネシリレーダ反射強度図を示す。大きな違いは、反射強度

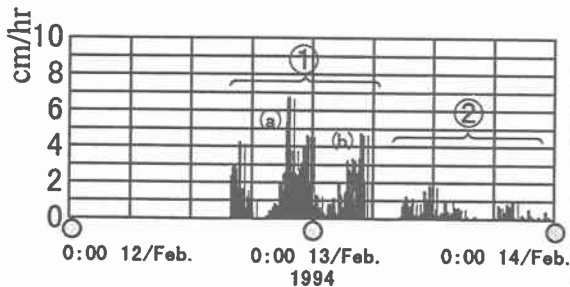


図-4 新琴似における降雪強度
(1994年2月12日～13日)



図-2 SNETマルチセンサ配置図

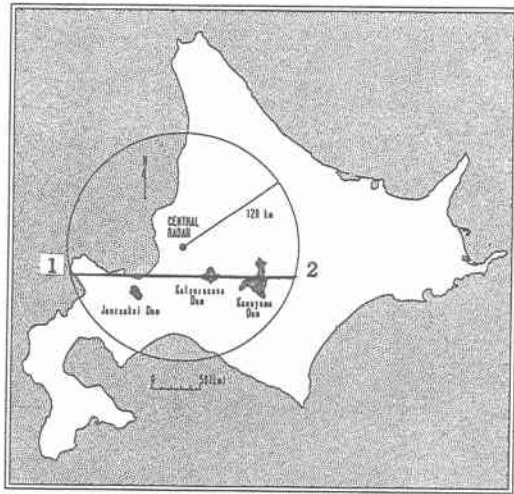


図-3 ピンネシリレーダ配置図

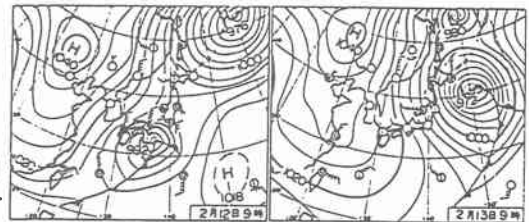


図-5 1994年2月12日、13日の天気図

集中域である。図-6は卓越した北風が、手稲山地形効果により札幌に雪雲を発生させたものを示している。図-7は、石狩湾上に収束した高反射強度の発生を示している。この傾向は13日2時を過ぎる頃より顕著であり、冷気流の張り出しにともない季節風との間で冷気流形状効果により発生した雪雲であると思われる。以上のことより、図-4における13日午前2時～5時にかけての降雪は冷気流張り出しによるものであり、以後ここを中心に議論を進める。

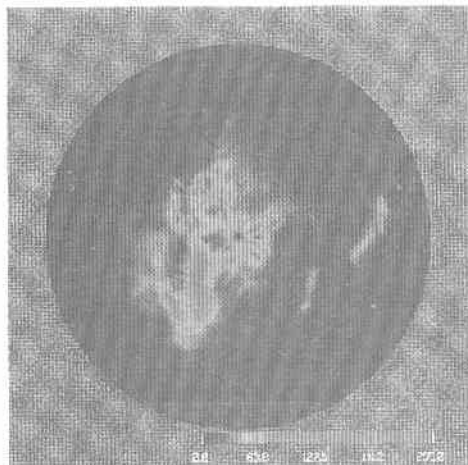


図-6 レーダ反射強度
(1994年2月12日20時)

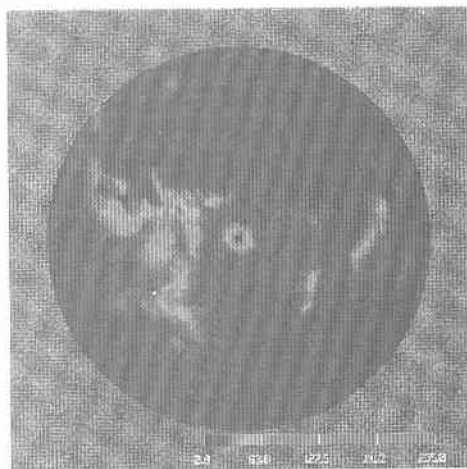


図-7 レーダ反射強度
(1994年2月13日2時)

4. SNETとピンネシリレーダ反射強度図の比較

前節において、冷気流発生を伴った雪雲の発生日時を大まかに推定することが出来た。本節は冷気流・雪雲発生を確認するとともに、定性的な特徴を掴むことが目的である。

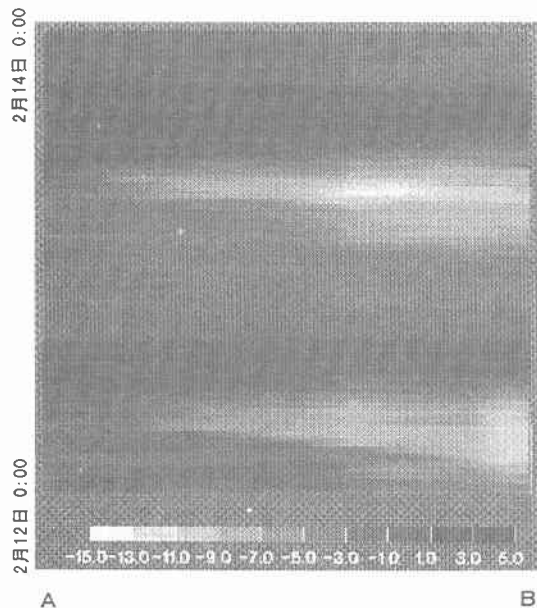


図-8 SNET気温時系列変化
(図-2のA-Bラインに対応)

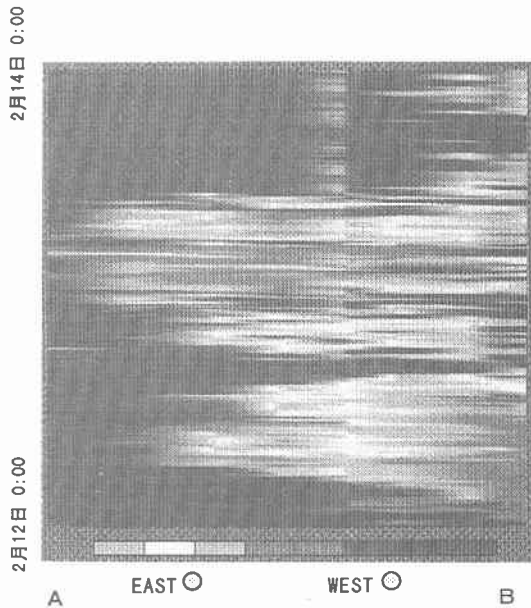


図-9 SNET風向時系列変化
(図-2のA-Bラインに対応)

4-1. 冷気流と雪雲の時系列変化

SNET及びピンネシリレーダデータを用いて、ある断面での気温・風向・レーダ反射強度の時間変化図の比較を行うことにより冷気流発生・雪雲推移を確認する。図-8、図-9に図-2のA-Bラインに対応した断面における、SNET気温・風向時系列変化図を示す。縦軸は2月12日0時～2月13日24時までに対応する。気温低下が東から西へ2度にわたり生じていることが分かる。風向変化図からは、東風卓越が一日かけて生じていることが分かる。このことから気温低下が2つのピークをもったのは日中の日射による気温の上昇によるためだと思われ、実際冷気は一日かけて一度のみ発生したものとされる。

図-10(A)～図-10(C)に図-3の1-2ラインに対応した、ピンネシリレーダ反射強度時系列変化を示す。縦軸は、(A)2月13日0時～2時、(B)2時～4時、(C)4時～6時に対応する。(B)において、海上と思われる地帯に集中して反射強度の大きな部分が発生し、しばらく停滞していることが分かる。(C)において、発生した雪雲が5時に突然海上から姿を消していることが分かる。

SNETとピンネシリレーダを比較すると、ピンネシリレーダ反射強度が石狩湾上に大きく発生している時間において、SNETデータは大きく気温が低下する領域が東から西に張り出し、風向が東風になっていることを示している。これは冷気流張り出しを伴った雪雲が発生していることを示している。

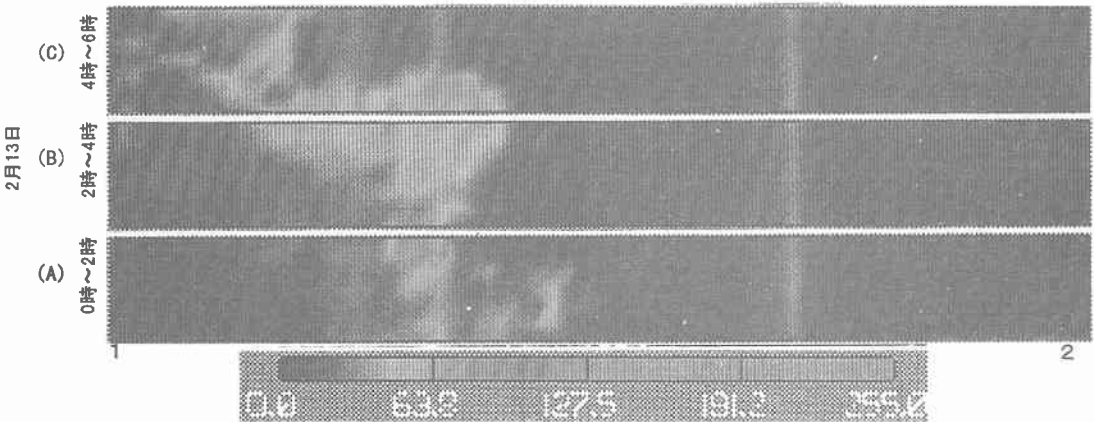


図-10 ピンネシリレーダ反射強度時系列変化
(図-3の1-2ラインに対応)

4-2. 水平断面気温・風向・反射強度

図-11～図-14に2月13日2時および3時のSNET気温・風向水平断面を示す。気温について、2時における当別町付近の気温低下が3時になると石狩湾海岸ラインに達していることが確認できる。この気温低下の方向は石狩川流下方向に対応しており、冷気流が石狩川流域をあたかも雨水流出と同様の仕組みで流下していることが分かる。風向について、2時において北東よりの風が当別付近で卓越している。当別付近での北東風は石狩川流下方向に対応しており、前述の冷気流石狩川流域流下説を裏付けるものであると思われる。

図-15に2月13日3時～5時までのピンネシリレーダ反射強度水平断面図を示す。時系列変化図である図-10(A)～(B)を参照しつつ水平断面をみると、2～3時にかけて石狩湾上に収束雲が発生していることが分かる。このとき札幌上空には、ほとんど反射強度の高い域はない。しかし、この湾上に発生した雲は3時から4時にかけて札幌に飛来し、その際石狩湾上に生じていた強反射強度域は消滅している。飛来した雪雲は札幌に大雪を降らせたことが、図-10の4時の降雪強度変化図から分かる。大きな降雪を及ぼした反射強度域は、5時から6時の間に消滅し、それと同時に降雪も止んでいることがわかる。

以上のことより、冷気流張り出しは石狩湾中央付近に強いレーダ反射強度域を数時間にわたり発生させ、発生した降雪域は季節風により運ばれ、札幌に豪雪をもたらすことが分かる。さらに、強反射強度域が冷気流張り出し先端に対応していると考えれば、冷気流張り出し距離の時間変化を知ることが出来る。SNETデータ及びこれまでの解析結果にこれらのデータを用いることにより、冷気流張り出し推移推定が可能であると思われる。

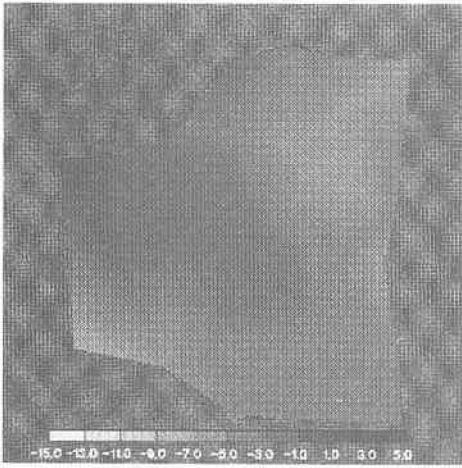


図-11 2月13日2時のSNET気温

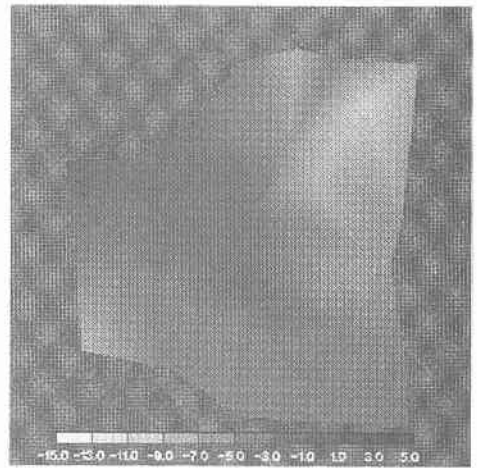


図-12 2月13日3時のSNET気温

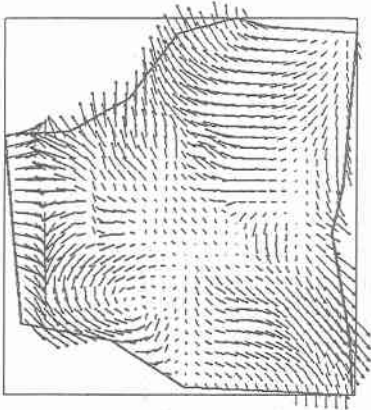


図-13 2月13日2時のSNET風向

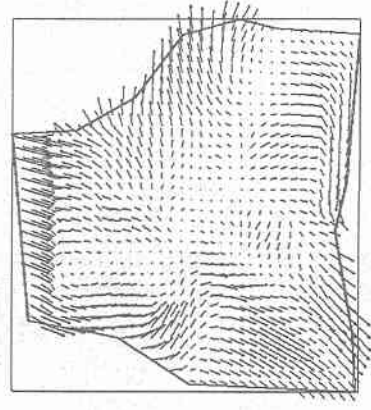
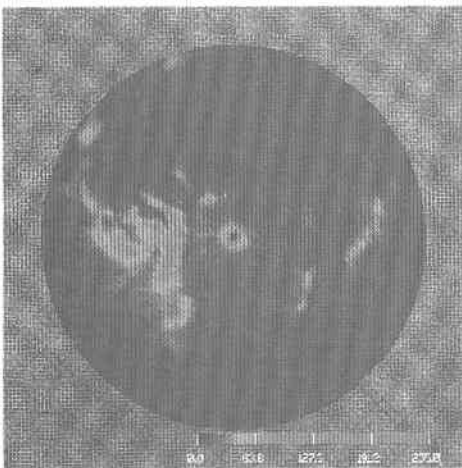
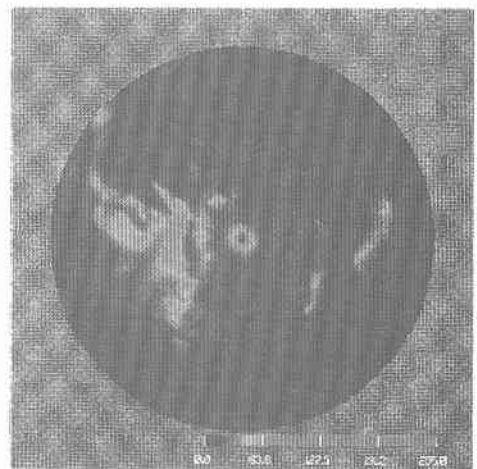


図-14 2月13日3時のSNET風向

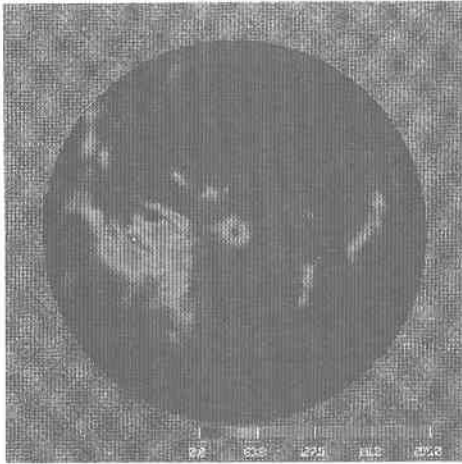


2月13日2時20分

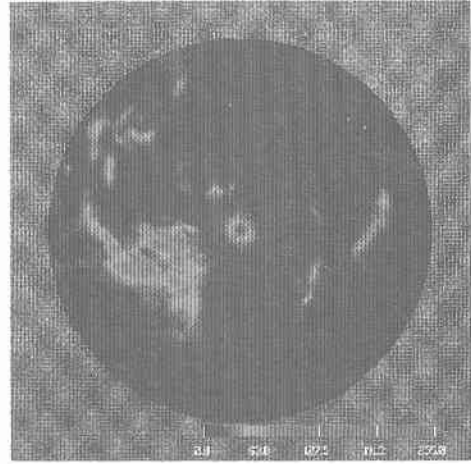


2月13日2時40分

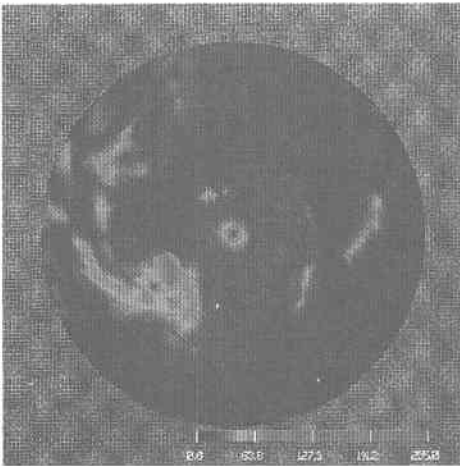
図-15 レーダ反射強度



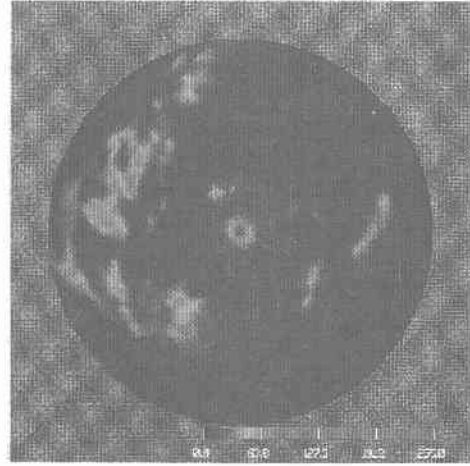
2月13日3時00分



2月13日3時20分



2月13日4時00分



2月13日5時00分

図-15 レーダ反射強度

5. まとめ

- (1) 過去2年間のSNETデータより、冷気流張り出しをともなった雪雲の発生を確認できた。
- (2) SNETとピンネシリレーダデータを時系列的な変化で比較した結果、地上の気温の変化とレーダ反射強度収束帯の推移が対応していることが分かった。
- (3) 冷気流張り出しをともない発生した雪雲は、冷気流先端部においてしばらく停滞した後、季節風により札幌に運ばれて豪雪をもたらすことが確認された。

今後、多くのSNETおよびレーダデータをまとめることにより冷気流と降雪域の変化の関係を定量化してゆき、これまでに行ってきた解析結果により、雪雲発生予測を可能にしていきたい。

謝辞：本研究を進めるにあたり、貴重なデータを札幌市及び札幌総合情報センター株式会社から提供いただいた。記して感謝の意を表す。

【参考文献】

- 1) 中山恵介, 長谷川和義, 藤田睦博：冬期石狩湾において豪雪をもたらす冷気流張り出しに関する研究, 土木学会論文集, 1994投稿中
- 2) 菊池勝弘：都市の豪雪災害の予測と軽減・防除に関する研究, 1993
- 3) 佐藤晋介, 若濱五郎：2台のドップラーレーダによる3次元風速場の測定, 本学低温科学研究所業績第3509号