

2. 石狩湾周辺の渦状擾乱の内部構造*

上 田 博**

1. はじめに

冬期の日本海沿岸における、筋雲、帯状雲等によってもたらされる降雪現象に関する研究はこれまで多くなされており、1987年の日本気象学会秋季大会では「どか雪」というタイトルでシンポジウムが行われている(菊地他, 1988)。最近では、ドップラーレーダー網等による集中観測によって、降雪機構を解明することが期待されるようになった。文部省科学研究費重点領域研究「都市の豪雪災害の予測と軽減・防除に関する研究」(研究代表者: 菊地勝弘(北大・理))の本観測として、石狩湾周辺で、気象庁および地元関係機関の協力を得て行なわれた、雪雲の発生・発達機構に関する集中観測では、多くの降雪雲の観測例が得られた。ここでは、直交二偏波レーダーによる霰と雪片の識別の可能性について、石狩湾周辺の降雪雲の発生・発達機構の解明に役立つと考えられる、石狩湾内の小規模渦状擾乱についての詳細な解析(現在進行中)を中心に、雪雲の内部構造について述べる。

2. 観測網

石狩湾周辺に第1図のような観測網を敷き、複数台のドップラーレーダーの観測網(名大・水圏研, 北大・低温研, 北大・理)を中心とし、一部 WCRP の飛行機観測(観測期間の最後に石狩湾に飛来して行われた雪雲観測)も加え、ビデオゾンデ(HYVIS), ドップラーレーダー, レーウィンゾンデ及び地上気象要素等の観測を行なった。1992年1月17日~2月8日までの集中観測期間内の約一週間は気象庁の啓風丸, 高風丸による北海道西方海上での観測もなされた。北大理学部の直交二偏波ドップラーレーダーは1991年12月14日

から観測体制をとり、種々の降雪雲の観測を行なった。

3. 霰と雪片の識別

まず、直交二偏波レーダーによる霰と雪片の識別については、1991年1月に礼文島で行なった直交二偏波レーダーの試験的研究結果(Uyeda *et al.*, 1992)に基づき、直交二偏波レーダーの観測結果を北大低温研の遠藤さんを中心とするHYVIS(村上, 1993)による雪粒子観測及び北大理学部の播磨屋さんを中心とする地上の降雪粒子観測の結果と比較した。

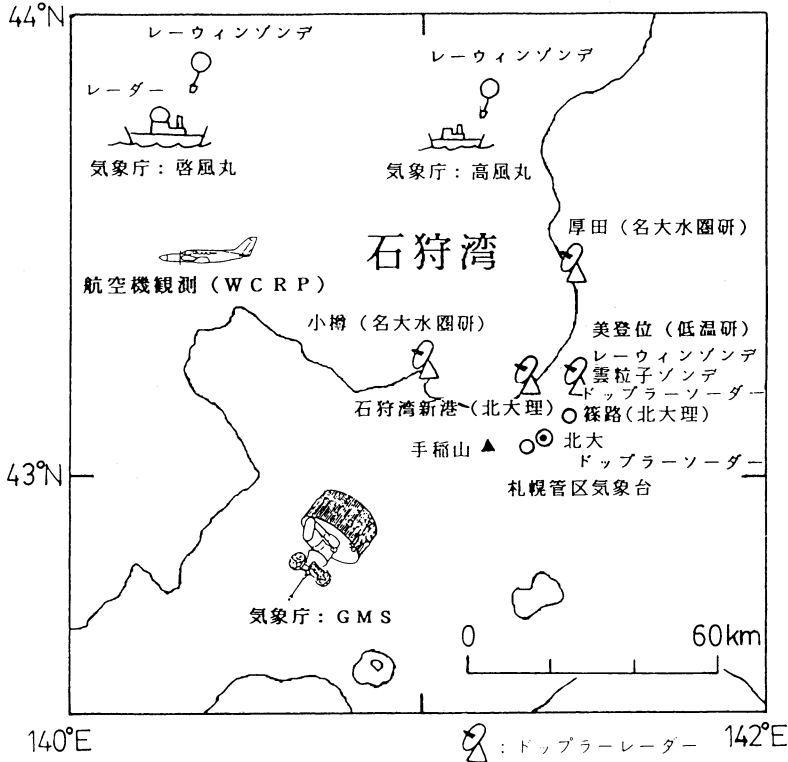
その一例として、第2図に1992年1月30日15時43分の石狩湾新港からHYVIS放球方向(北大低温研サイト方向)をみた鉛直断面を示す。図中のレーダー反射因子差 $Z_{DR} (=10 \cdot \log Z_{HH}/Z_{VV})$, すなわち水平偏波のレーダー反射因子 Z_{HH} と垂直偏波のレーダー反射因子 Z_{VV} の比の対数値、の値が0.5 dB以下の領域にある四角印では、HYVISの観測によると、濃密雲粒付きの球形に近い形状を持つ雪結晶が多くみられた。一方、 Z_{DR} が1.0 dB以上の大きな値の領域にある黒丸印では、HYVISの観測によると、角板や星状六角が支配的であった。このような解析から、霰と雪片の識別は、両者がかかなり混ざりあっている場合を除いて、直交二偏波レーダー観測から推定することが可能であることが確かめられた。

4. 小規模渦状擾乱の構造

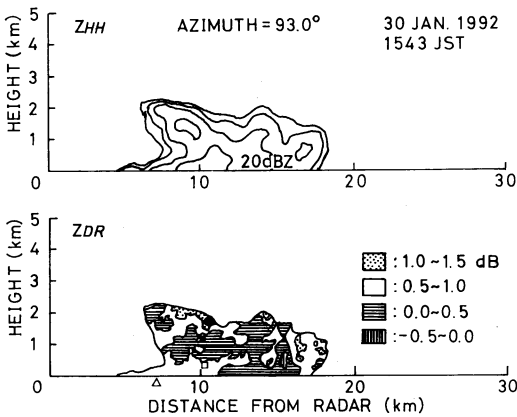
次に、レーダー観測期間中に石狩湾内でみられた小規模渦状擾乱について、「螺旋状のエコーがあり、ドップラー速度場(PPI)にランキンの渦を仮定した場合の速度パターンが見られること」を渦識別の判断基準とし、直径10 km以上の渦について、移動速度や渦度等を求めた。観測期間内に識別した11個の小規模渦状擾乱の直径、渦度、移動速度等を第1表にまとめた。識別した渦の最初の位置及び大きさと移動方向を第3

* Structures of small-scale vortical snow-clouds around the Bay of Ishikari, Hokkaido.

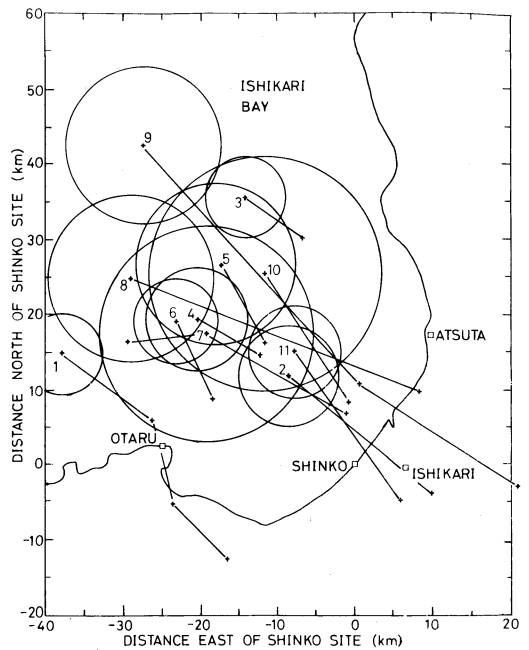
** Hiroshi Uyeda, 北海道大学理学部.



第1図 石狩湾周辺のレーダー等の観測網.

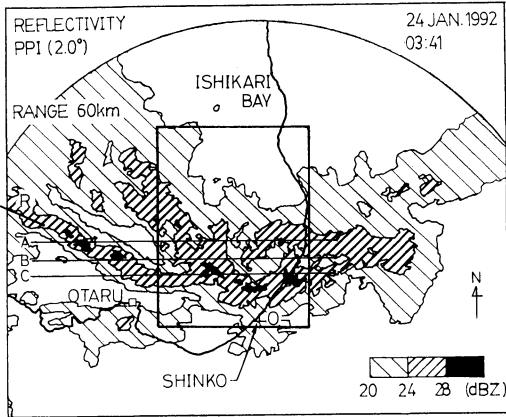


第2図 1992年1月30日のビデオゾンデ放球位置方向の鉛直断面内のレーダー反射因子 Z_{HH} (10 dBZ から 5 dBZ 間隔のコントアで示した) とレーダー反射因子差 Z_{DR} の値の分布. ●印と□印はビデオゾンデの推定位置を示し, △印はビデオゾンデ放球位置を示す.



第3図 識別された渦の位置及び大きさと移動方向. 図中の番号は第1表の番号に対応する. 円は渦の大きさを示す.

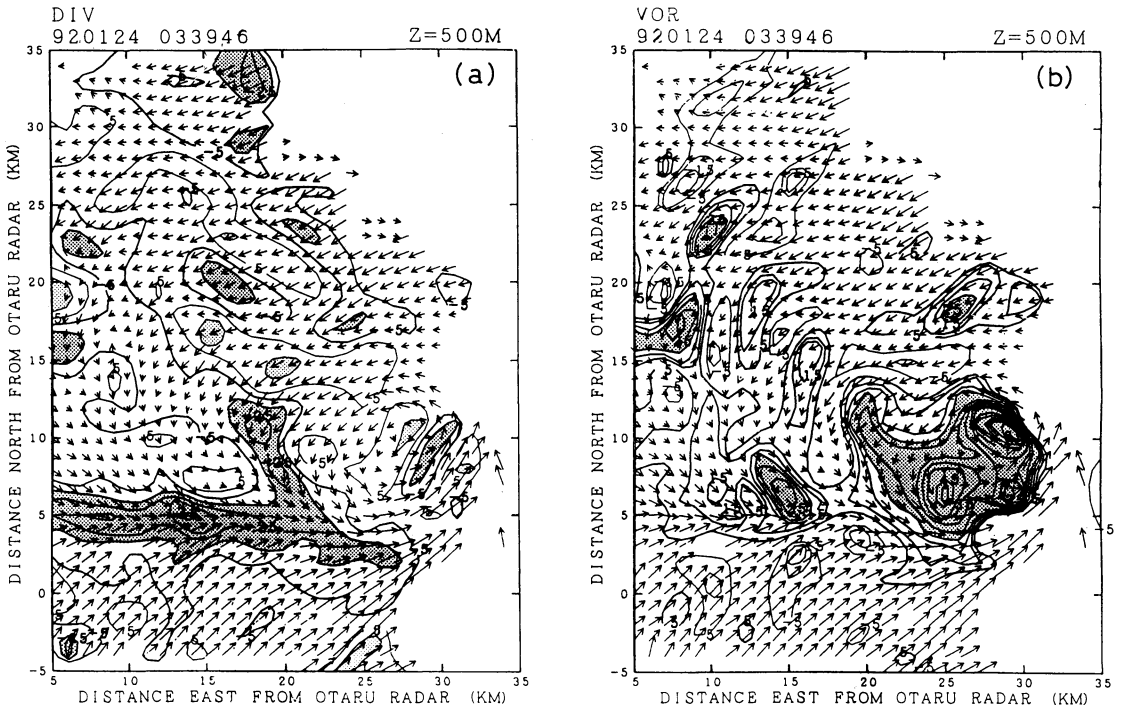
図に示した。図中の番号は第1表のケース番号に対応する。ほとんどの渦は帯状雲が石狩湾に進入する際に形成（または強化）されたものであり、ほぼ南東進した。渦の進行方向前面及び南側のエコーが発達し、上陸後衰弱することが多かった。



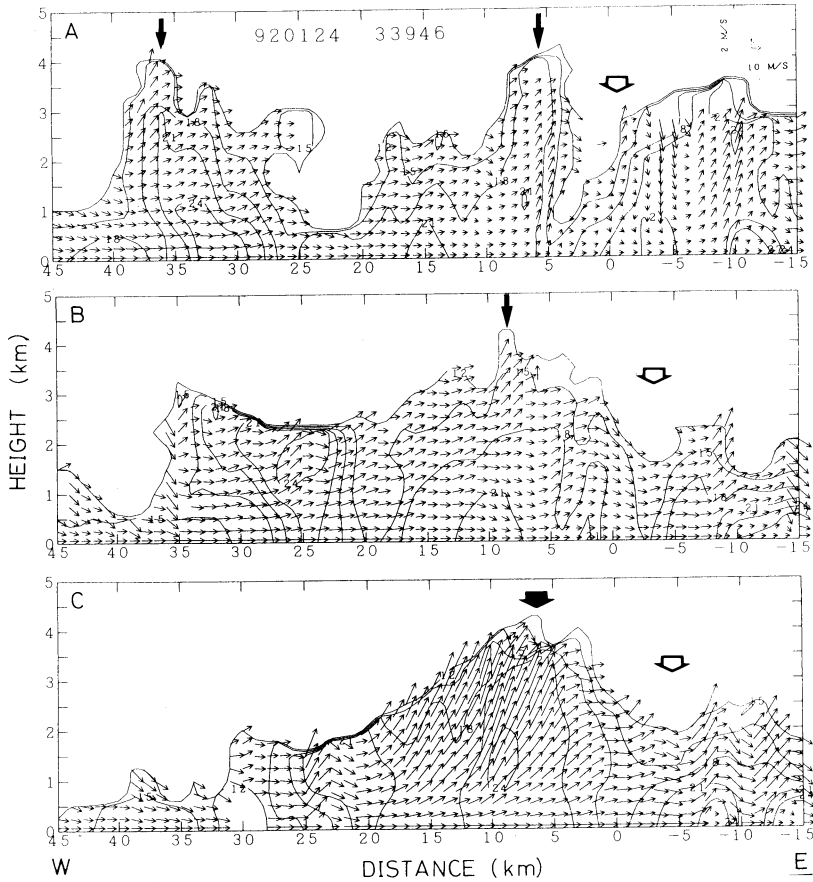
第4図 1992年1月24日03時41分の仰角2.0°のレーダー反射因子(PPI). 20 dBZ以上を斜線で示した。

観測期間中で最もエコーの発達した、1月24日04時頃の帯状雲内の渦状エコー(第3図 No. 9)の一例を第4図に示す。エコー域の南部分に特に強いエコーがあり、石狩湾新港から厚田にかけての海岸線付近で渦状のエコーが明瞭である。このエコーに関しては、GMSでは渦状の雲パターンは顕著ではないが、ドップラーレーダーの解析結果と啓風丸のレーダーによると、石狩湾の北100 km付近からすでに渦が形成されていたことが推定されるものである。第4図の四角の領域を拡大して、高度0.5 kmでの発散量、渦度及びエコーの動きに相対的な気流系を第5図に示す。第5図(a)ではエコーが合流し発達している領域と大きな収束の領域が一致することが示される。また、渦状エコーの部分に大きな渦度の領域が対応している(第5図(b))。

第4図のA, B, C方向の鉛直—東西断面図を第6図に示す。石狩湾内の雪雲のエコー頂は通常3 km程度であるが、このエコーは4 kmを越えるかなり発達したエコーである(細い黒矢印)。エコーの合流部に広い範囲にわたってエコー頂が高く反射強度も大きくなっている(太い黒矢印)。渦の中心付近のエコーは背が低



第5図 1992年1月24日03時40分のドップラーレーダー観測による高度0.5 kmでの発散量と渦度の解析図(第4図の四角領域に対応)。(a) 発散量(濃い影の領域は $-2 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 以下の収束域)とストームに相対的な気流系、(b) 渦度(濃い影の領域は $2 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 以上の低気圧性の渦)とストームに相対的な気流系。



第6図 第4図のA, B, C方向の鉛直—東西断面のレーダー反射因子 (12 dBZ から 3 dBZ 間隔のコンターで示した) と鉛直断面内の気流。距離は新橋 (SHINKO) サイトからの距離を示す。

くなっている(太い白抜き矢印)。石狩湾内で今回観測された多くの渦状擾乱に共通して、進行方向右側と前面のエコーが特に発達した。これは、石狩湾南部の海岸線に沿って 1000 m 級の山地が連なり北西風を遮蔽する海岸線の形状と関係し、この部分で特に収束量が大きくなるためであると考えられた。

また、第4図のOR方向のRHI断面内の Z_{DR} の値に0dB付近の小さな値が多くみられたことから、海上で発達したエコー内には、霰の領域が広がっていることが推定された。

これらのこと及び識別された小規模渦状擾乱が帯状雲(いわゆる収束帯状雲)内に存在したことから、北西風と陸風が適当なバランスを保つときには、石狩湾内で小規模な渦が形成、強化され、それにもない、特に強い降雪をもたらす雪雲が局所的に形成されると考えられた。

5. まとめ

ドップラーレーダー網を中心とした雪雲の集中観測により、石狩湾周辺の雪雲の詳細な構造が観測された。特に直径10~30 kmの小規模渦状擾乱に伴い、エコーの移動速度の変化、エコーの局所的な強化が行なわれていることなどが明らかになった。このことは、石狩湾周辺の降雪予測に一つの知見を与えるものである。石狩湾周辺の雪雲の発達・消滅には周辺の地形や石狩平野の冷気の形成などの影響が議論されてきたが、今回の観測により、海上と陸上での雪雲の構造の変化を量的に評価するための基礎データが取得された。GMSで識別される北海道西方海上の100 km程度の渦状擾乱と石狩湾内にみられる小規模渦状擾乱との関係など、まだ残された研究課題は多いが、今後の解析により、従来になかった、詳細な雪雲の構造が明らかにされ、降雪機構が明らかにされると期待される。

第1表 識別された小規模渦状擾乱の特徴(直径, 渦度, 移動速度, 最大速度など). 記号CBCは, 渦の位置がGMSでみた帯状雲の先端または中にあることを示す. 石狩湾新港に設置したドップラーレーダーの速度パターンでみて, 石狩湾新港付近に陸風の存在が明瞭なものを○印で, 不明瞭ながら認められるものを△印で, 認められないものを一印で示した.

NO	PERIOD	DIAMETER (km)	VORTICITY ($\times 10^{-4}$ 1/s)	MOTION (deg), (m/s)	MAX. SPEED (m/s)	TYPE	LAND BREEZE
1	2235-0025 JST 26 DEC. 1991	11	10 (10)	305, 7.7 (350), (3.9)	11 (8)	CBC*	○
2	1243-1333 JST 13 JAN. 1992	14	9	310, 6.3	13	CBC	—
3	2302-2333 JST	11	8	305, 4.8	6	CBC	○
4	2302-2333 JST 13 JAN. 1992	13	7	300, 5.7	7	CBC	—
5	0141-0212 JST	21	6	330, 6.7	11	CBC	—
6	0201-0251 JST 14 JAN. 1992	12-18	12-10	335, 4.2	13	CBC	△
7	1102-1202 JST 23 JAN. 1992	27	6	285, 10.3	14	CBC	—
8	1830-1910 JST 23 JAN. 1992	23	3	300, 9.0	16	CBC	—
9	0231-0429 JST 24 JAN. 1992	21 (13)	7 (11)	320, 13.2 (300), (14.0)	18 (18)	CBC	—
10	0220-0340 JST 31 JAN. 1992	30	5	330, 4.7	11	CBC	○
11	0301-0340 JST 4 FEB. 1992	13	12	325, 9.2	13	CBC	—

* CBC : Convergence Band Clouds

謝 辞

気象庁はじめ, 観測協力及びデータの提供をいただいた各研究機関の方々に感謝致します.

参 考 文 献

菊地勝弘・若濱五郎・木部俊一郎・永田 雅・猪川元興・浅井富雄, 1988: 昭和62年度日本気象学会秋季大会シンポジウム「どか雪」—日本海における中小規模擾乱

の報告, 天気, 35, 135-165.

村上正隆, 1993: 航空機及びゾンデによる雲粒子・降水粒子の直接観測, 天気, 40, 29-34.

Uyeda H., A. Takemoto, N. Takahashi and K. Kikuchi, 1992: Structures of convective snow bands at formation stage in northwest coast of Hokkaido, Japan. Preprint 11th Intern. Conf. on Cloud and Precipitation, Montreal, 624-627.