

V字型の雲パターンと日本海沿岸の大雪*

内 田 英 治*

要旨

季節風時の日本海側沿岸の大雪（里雪）につき、気象衛星資料、レーダ資料、降雪資料、天気図等を用いて解析を行なった。

これによると、衛星画像に特異なV字型の雲系が出現したとき、注・警報級の大雪が降り、V字型が崩れるにつれ大雪の強さは減少する。

この雲パターンは、寒気核の位置や、大気成層の状態によって出現するが、このパターンの中の雲列（バンド）については、850mbの風向、およびシアア風向（500～800mb）とほぼ直角な方向が卓越している。また、流れに平行な方向も観察される。周辺の雲列は流れおよびシアアに平行な方向が卓越し、流れに直角な方向も幾分見られる。

この特殊なパターンは、熱帯積雲群の deep convection と shallow convection の共存する雲系パターンからも外形上の、一つのヒントとして類推される。また、海面温度や風上の地形の影響も大雪形成に寄与していると思われる。

短期間・短時間予測面より予測率を調べると、注・警報のポテンシャル予測用として将来有効と考えられる。

1. はじめに

冬季の季節風時に日本海側の各地（ここでは主として秋田～米子方面の沿岸地帯）に降る大雪の構造については、既に論文も数多くある。しかし、最近、気象衛星の雲写真等のデータの利用も可能となり、さらに各地気象台の発表する大雪注意報・警報のタイミングやきめ細かい予報への要望も加わって、この降雪現象も新たな目で眺められる情勢になってきた。

日本海沿岸の大雪については、たとえば東北地方の日本海側の沿岸では、風の鉛直シアベクトル（上層風として400, 500, 600mbの平均、下層風は800, 900, 1000mbの平均をとったとき、この上層風と下層風のベクトル差が鉛直シアベクトル）の方向と線状レーダエコーの走向とがほぼ一致したとき大雪となるという場合がしばしばあった（三瓶他, 1976; Asai, 1970 参照）。また、内田（1977）によると、季節風時に秋田、新潟、福井のレーダサイトのエコーの中に線状エコーがしばしば現わ

れ、鉛直シアア方向ともほぼ一致し、この時大雪が降ることが多かった。

しかし、風の水平方向の分布まで考え、大気の物理構造と大雪との関係についての研究が、きめ細かい大雪の予報への足がかりとして必要となってくるということは当然と思われる。今回、冬季の大雪の場合、衛星の雲写真の中に特異なパターンを見出したので、これと、総観場、降雪などの関係を調べた。この方法を予測手法として使うとすれば、雲パターンの特性により、大雪注意報・警報を発表するときの短期間・短時間予測資料の一要素とすることができよう。

2. 解析資料と方法

2.1 期間

1975年12月～1978年2月の冬季3カ月間

2.2 降雪資料

日本海沿岸の地方気象台と測候所（および委託観測所）（標高60m以下、主に、秋田、山形、新潟、富山、石川、福井、京都（府）、鳥取、島根県）の資料〔日降雪量、温式自動雨量計による降水量〕。対象は里雪であり、降雪の深さが10cm/日〔日界9時〕でしかも降水量が10mm/日〔日界9時〕の場合に限定。

なお、降雪の深さを次の3ランクに分類。

* V-type cloud pattern, and severe snowfalls at coastal areas of the Japan Sea.

** E. Uchida, 気象研究所予報研究部。

—1978年7月29日受領—

—1979年4月4日受理—

- A ≥ 60 cm/日 (日本海沿岸官署のほぼ平均の大雪警報基準値)
- B ≥ 30 cm/日 (同上の大雪注意報基準値)
- C ≥ 10 cm/日

そして、このランク別の大雪がどこかに降った時、その日の降雪状況をその地点のランク (すなわち最大降雪の深さ) でもって代表させる (たとえばある日の衛星雲パタンの時、Aランクの降雪がどこかにあったとするとその日は日最大降雪の深さAの日とする)。

2.3 地上、高層気象資料

地上気象観測値のほか、秋田、輪島、米子、福岡の高層観測値 (400mb まで)。

上記の4点において大気の安定度を見るため、リチャードソン数 (R_i) を計算

$$R_i = \frac{g}{T} \frac{\frac{dT}{dZ} + \Gamma}{\left(\frac{dV}{dZ}\right)^2}, \quad g \text{ は重力加速度, } \bar{T} \text{ は平均気温, } \frac{dT}{dZ}, \frac{dV}{dZ} \text{ は, それぞれ温度, 風速の鉛直勾配, } \Gamma \text{ は乾燥断熱減率.}$$

700, 800, 900mb を添字 1, 2, 3 で表わすと、

$$\bar{T} = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{3}, \quad \frac{dT}{dZ} = \frac{T_1 - T_3}{Z_1 - Z_3}, \quad \frac{dV}{dZ} = \frac{V_1 - V_3}{Z_1 - Z_3}.$$

また、00Z と 12Z との変化度も計算。

風の鉛直シアを計算 [500mb と 850mb の風ベクトルの差]。

2.4 気象衛星資料

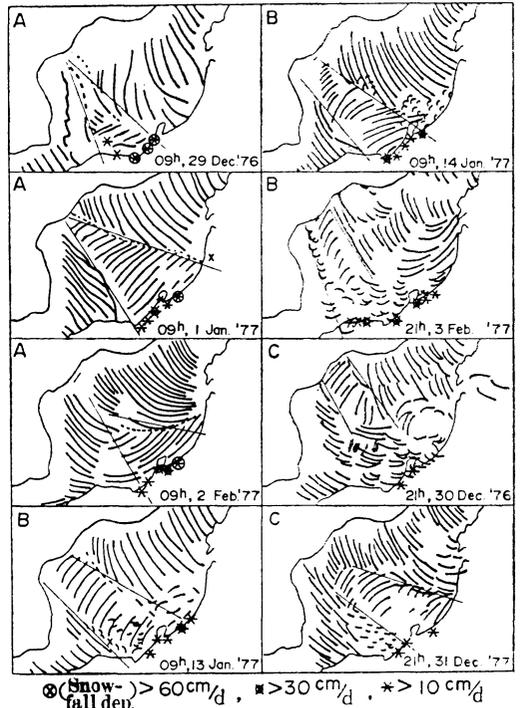
2.1の期間の NOAA-5, GMS の VIS および IR 資料 [衛星の資料のうち日本海に表われるV字型の雲に着目し、もしこの風下のひろがりのすそのところに上層雲の伴うものがあれば V' 型, V 字型が変形し頭部が開いたものを V_a , すそに上層雲を伴うものを V_a' と名づけた]。NOAA-5号においては朝夕2回、すなわち、だいたい00Zと12Z近辺 (±約1時間) のものを対象 [この場合、衛星の VIS または IR の写真中、大陸の北朝鮮からウラジオあたりに近いところから広がり出して、Vの字を逆または斜めにしたような雲系をV字型と名づける。この中では雲列が周辺と異なっており明らかに区別がつく]。

2.5 レーダ資料

秋田、新潟、福井、松江の気象台のレーダスケッチ合成図。

2.6 船舶、海面水温資料

啓風丸の観測資料 [V字型の雲の外側に位置] 海面水温は各旬ごとの平均値。



第1図 典型的V字型雲パタンと降雪ランク。

(A : 警報級降雪 [$> 60 \text{ cm/日}$ (調査地方の平均値)], B : 注意報級降雪 [$> 30 \text{ cm/日}$ (調査地方の平均値)], C : 並雪 [$> 10 \text{ cm/日}$]).

3. 解析と考察

3.1 降雪、雲パタンの分類と大気鉛直構造

典型的なV字型の雲パタンの出現した例は、「天気」1978年4月号の口絵写真 (1978年2月3日03Z) である。警報級の大雪が降った日はこのようなV (またはV', V_a , V_a') 字型の出現した日 (00Zまたは12Z近辺の何れかの雲写真にV (またはV', V_a , V_a') 字型が出現) に相当していたことがまず気づかれる。この中でも、V (またはV') 字型が卓越している。また、注意報級の大雪の降った日もV (またはV', V_a , V_a') 字型の日 (この中でも V_a または V_a' 字型が卓越) が対応している。そこで、典型的な例をまとめると第1図のようになり、3カ年間にわたり分類し、 R_i とシアの値を入れてまとめると第1表のようになる。A級の降雪については上述のようであり、B級は V_a (または V_a') に多く対応するが、V以外の雲パタンも出現している。C級になると V_a (または V_a') が非常に多く、V以外のものも多く出現している。

第1表 雲パターの降雪ランク別出現日数および R_i (リチャードソン数) と風のシアア
(V' は上層層状雲を伴う V 字型雲, V_d は変形した V 字型雲, V'_d は上層雲を伴う V_d).

PERIOD
(Winter 3 months (Dec.-Feb), 1975-1978)
Coastal snow, Precipitation ≥ 10 mm/d, Depth of Snowfall (d) ≥ 10 cm/d

Rank	Type of Cloud			Ri(Wajima & Yonago)	Vertical Shear (Wajima & Yonago)
	V or V'	Vd or Vd'	Except of V type		
A (d>60 cm/d)	6	2		<u>mean</u> 20.5(± 12.9) <u>09h/2jh</u> 1.6(± 1.1)	SW - WNW <u>mean</u> 5.67(± 1.76) $\times 10^{-3} S^{-1}$ <u>09h/2jh</u> 1.1 (± 0.0)
B (60>d>30 cm/d)	8	11	1	<u>mean</u> 25.9 ± 16.8 <u>09h/2jh</u> 2.3 ± 1.4	SW - NW <u>mean</u> (5.83 ± 1.85) $\times 10^{-3} S^{-1}$ <u>09h/2jh</u> 1.2 ± 0.4
C (30>d cm/d)	7	26	12	<u>mean</u> 31.0 ± 56.7 <u>09h/2jh</u> 17.0 ± 2.9	SW - NW <u>mean</u> (6.76 ± 2.07) $\times 10^{-3} S^{-1}$ <u>09h/2jh</u> 1.1 ± 0.4
Total 73					

R_i については各ランクによって値自体は大差ないが、A級においては他に比べて(例数はやや少ないが)標準偏差がやや小さい。しかし、変化度(00Z/12Z)は1に近くなっている。

鉛直シアアにおいては、方向は主に西南西から西北西であり、各ランクとも値は大きいが大差なく、ただ変化度はA(およびD)において1に近くその偏差も小さい。

つまり、大雪の時は R_i は比較的小さい値(すなわち0にやや近い値)をとり、シアアは大きく、比較的一定で、長時間持続していることになる(内田, 1978; 深津, 1977; 川添, 1978; 岡林, 1972)。

3.2 総観場と海面水温

A級の大雪の時の寒気核(500mb)とその領域の目安(たとえば700mbの $-21^\circ C$ 線)、強風帯の位置(500mb)、および大陸からの異なった方向をもつ気流のだいたいの合流が行なわれると思われる地帯(850mb)の位置を、第2図と第3図に示す。V字型の雲系は、この合流帯の付近(または $-21^\circ C$ 線の近辺)に位置している。

第4, 5, 6図には、700mbの等圧面高度線(細い実線)と等温線(点線)、850mbの風(三角矢印)、シアア

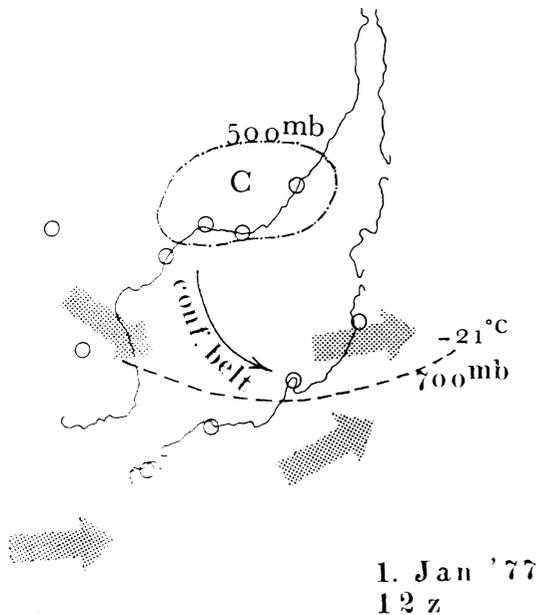
風(500~850mb, 矢印)および海面水温分布が記入されている。

第4図でV字型は等温線の混んだ北側に位置している。大陸では850mbの風の方向とシアアの方向が隔っていて、ウラジオのシアアは北向きである。しかし日本に至ると、850mbの風とシアアの方向がだいたい一致しているし、V字型以外のところは雲列の方向とほぼ一致している。そして、V字型の内部では雲列の方向がこの850mbの風の方向とほぼ直角をなしている。

海面水温については、等温線の走向はV字型の頭部付近では雲の走向が等温線に直角だが、Vのすそのところでは等温線がやや雲の走向と平行化する傾向がある。

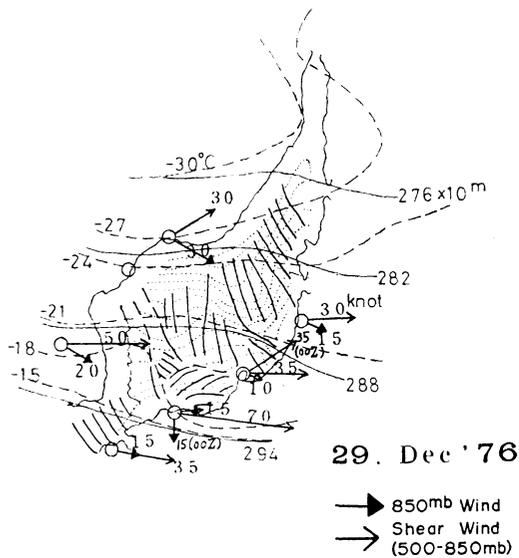
第5図ではかなり大規模なV字型が出現した例である。これも、等温線の混んだ北側に位置している。ウラジオのシアアは北向きであり、雲の走向と850mb風向やシアア方向はVの内・外部において特性は第4図と同様である。海面水温は、ややメアンダーしている傾向はある。

第6図においても、だいたい第4図、第5図と傾向を同じくしている。850mbの大陸からの気流は、日本海南



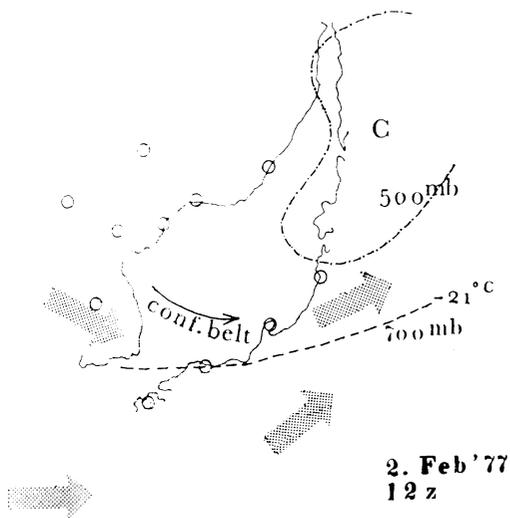
第2図 V字型雲パタンの出現した時の総観場(1977年1月1日, 12Z).

(強風帯: 点状矢印, 500mb. 寒気核: 鎖線 (C印), 500mb. 等温線: 破線, 700mb, -21°C. 合流帯: confluence belt, 850mb).

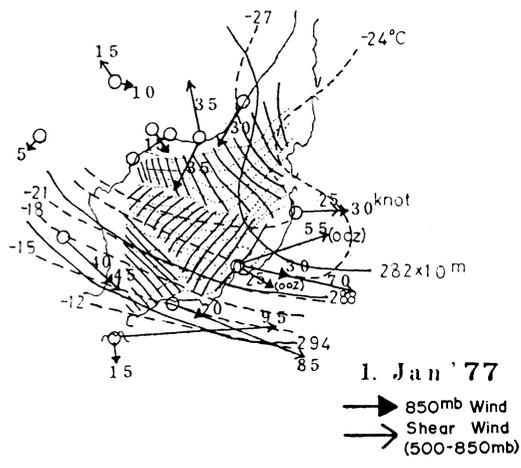


第4図 V字型雲パタンと気象要素と海面水温(1976年12月29日).

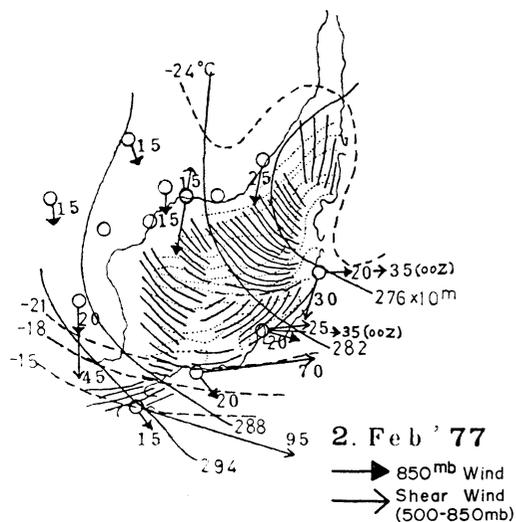
(雲系: 太実線, 00Z (代表), 等圧面高度: 細実線, 12Z, 700mb, 気温: 破線, 12Z, 700mb, シアー風: 矢印, 12Zおよび00Z, 500~850mb間, 一般風: 三角矢印, 12Zおよび00Z, 850mb, 海面水温: 点線, 12月下旬平均).



第3図 同上(1977年2月2日, 12Z).



第5図 同上(1977年1月1日).



第6図 同上 (1977年2月2日)。

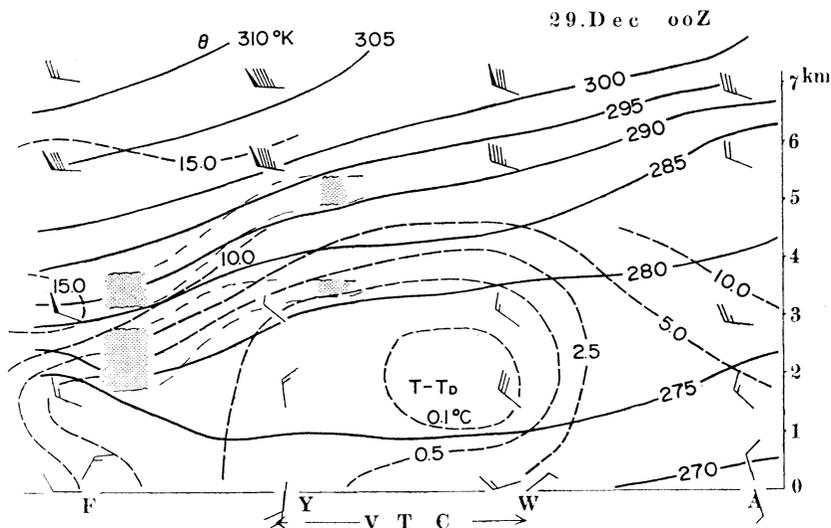
部で湾曲しているが、ここがV字型と同じ位置を占める。海面水温は、日本海沿岸においてややメアンダーしている。第7, 8, 9図は、秋田から福岡までの断面図である。VTCは、V字型の雲の日本海沿岸のひろがりの幅を示す。この上空では温位勾配がゆるく、湿数 ($T-T_D$) は小さい。逆転層(ハッチング印)は南方に向かい下降し

ている。この図を見ると、逆転層の比較的高い領域の上部大気中にV字型の雲は見られるようである。その雲頂の高さは(あとで述べるレーダ観測のデータや)、この逆転層状態から察しても)3~4km程度と推定される。

3.3 レーダエコー合成図と雲パタン

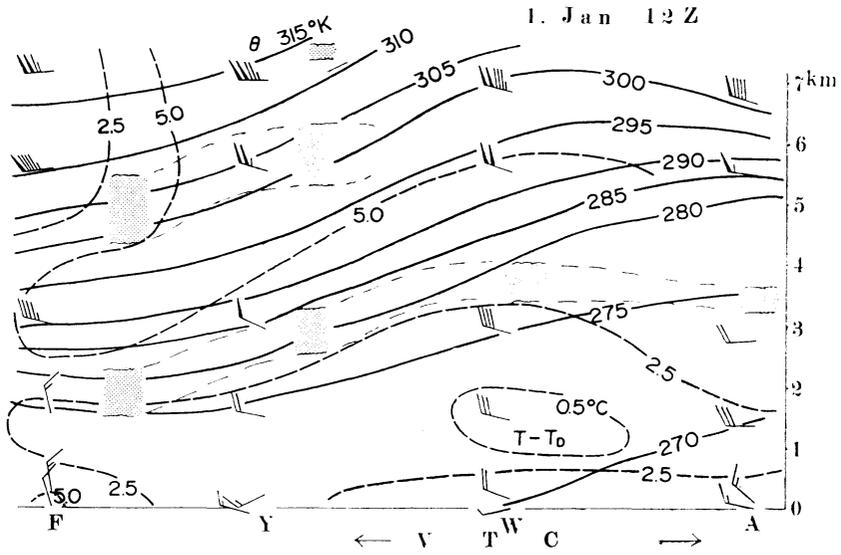
秋田から松江までのレーダエコー合成図と雲パタンを一緒にすると、第10, 11, 12, 13図のようになる。ここに、海上の雲のスケッチにおいては雲のすき間の輪郭を抜き、大部分の白い部分は雲の存在を示す。これを見ると、V字型の内側では850mbの風向(およびシアア方向)に直交またはそれに近い角度をなす雲のバンド状構造がはっきり見られ、レーダエコーも次第に発達しているのがわかる。そして、沿岸近辺にいたってエコーは組織化してくるが、V字型のすそにあっては非常に強く組織化され、雲頂も4~5kmの降雪雲(エコー強度が強か並)となっている。V字型以外のところは、エコー強度も弱い。

さらに注意すべきことは、V字型内部でも850mbの風向に平行のパタンモードも見られることである。また、V字型以外のところでも、850mb風向に平行なモードは雲にもエコーにも当然見られるが、これに直角なモードも見られる(たとえば第12図)。こうなると、V字型の雲系内外を問わず、850mb風向に平行なモードも存在し、どちらかのモードが何らかの気象条件の差によ

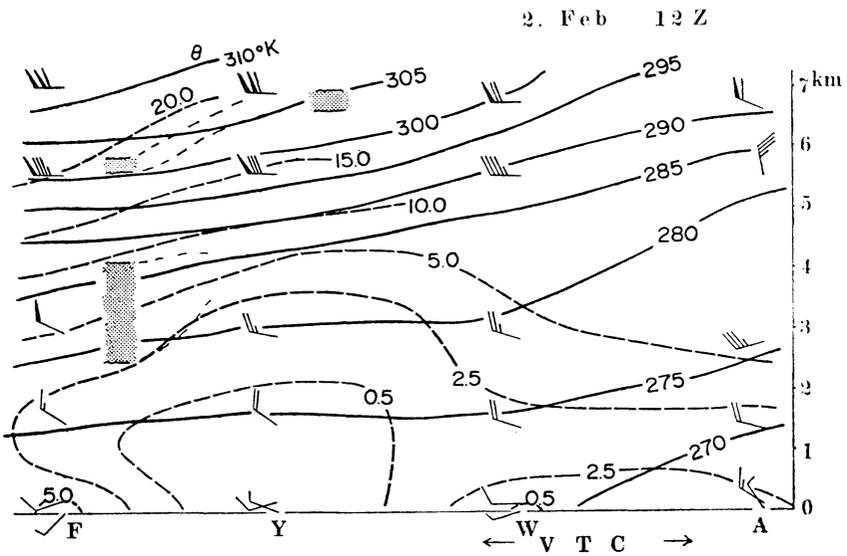


第7図 断面図 (1976年12月29日)。

(温位:太実線, 湿数 ($T-T_D$):太破線, 逆転層:細破線. A:秋田, W:輪島, Y:米子, F:福岡, VTC:V字型雲のすその部分)。



第8図 同上 (1977年1月1日).



第9図 同上 (1977年2月2日).

り、卓越するのかも知れない。

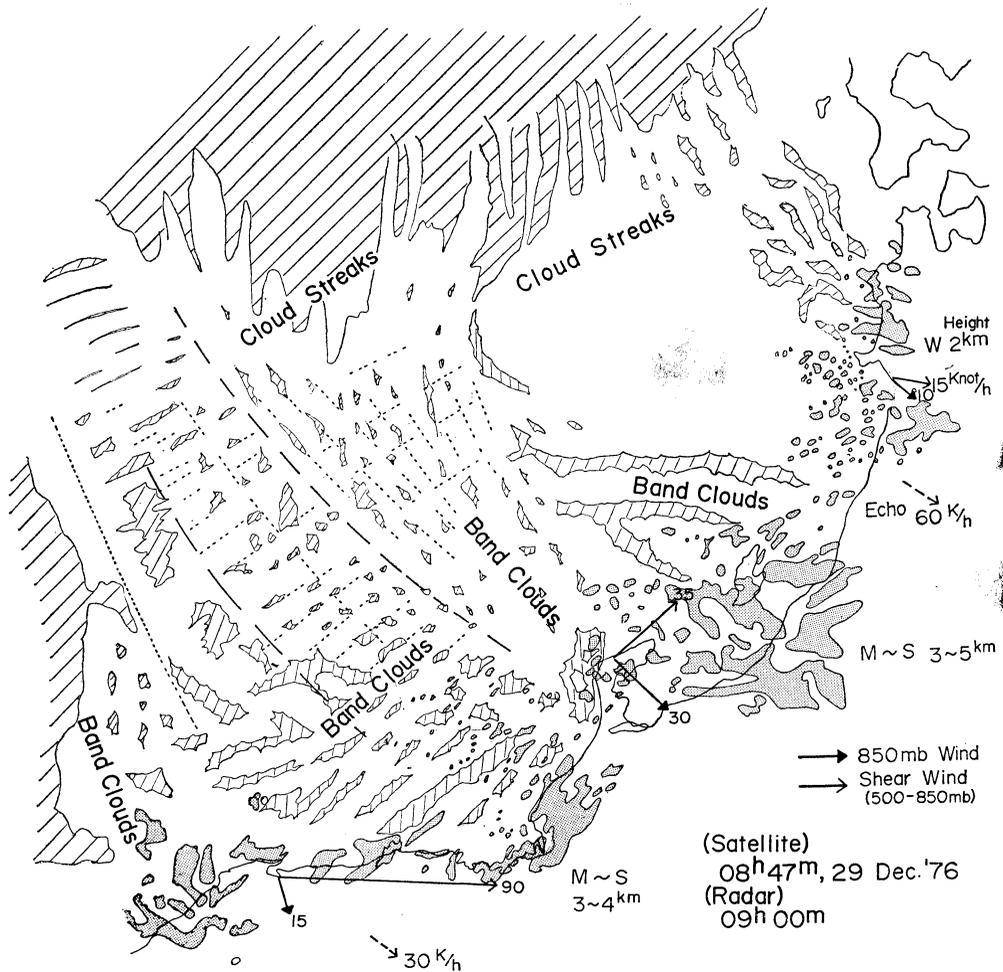
3.4 大雪の予測への統計的精度

きめ細かい大雪予測に資するため、V字型の角度(10~40°)をさらに3等分して最大降雪点と次点がどのセクターにおちるかを調べた(第2表)。①②③はV字型の中で北(東)側から南(西)側へ順を追って番号をつけた。

これで見ると、V(またはV')の時は真中②に大雪の最大(1日の降雪量)が起こる率が高い。しかし、Va(またはVa')と変形してくると、南側のセクター③に最大点が入る。また、次点はVまたはVaとも③におちる。したがって、V字型の時は最大点は②に、変形の時

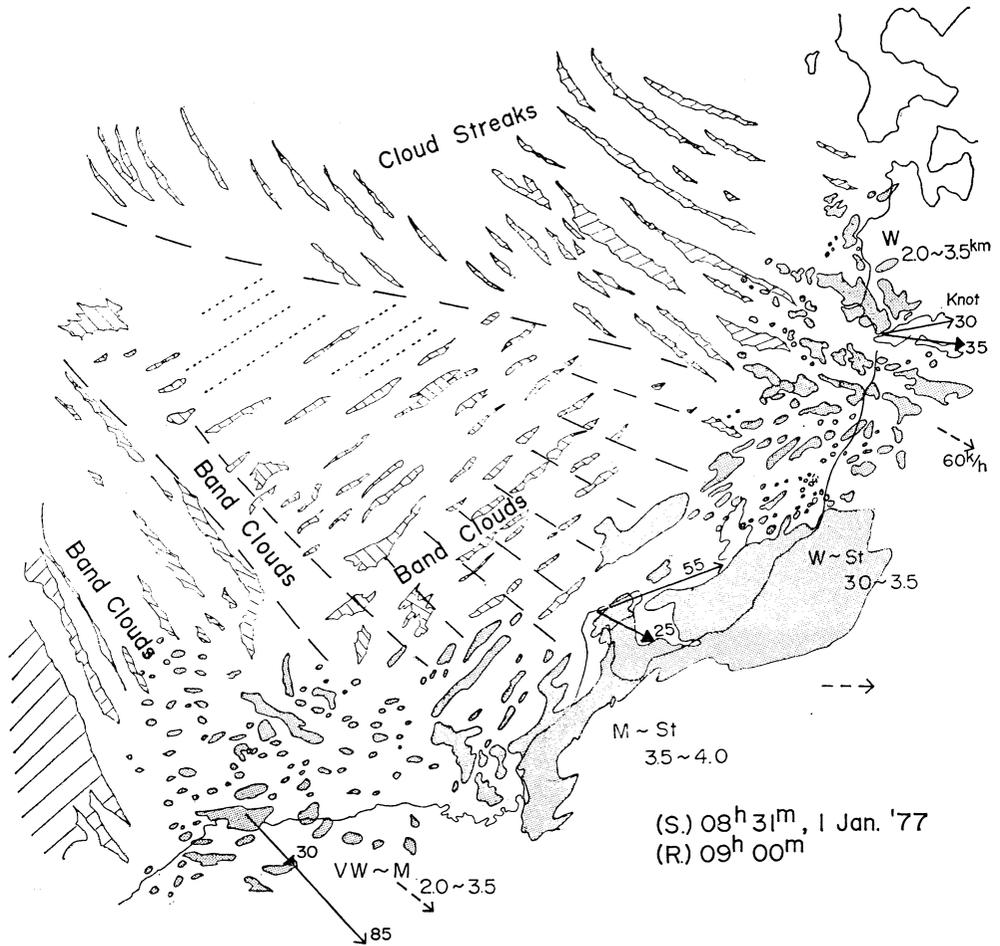
第2表 V字型の3セクター中の大雪出現率。

V字型の種類	最大降雪点の位置		次点の位置	
VとV'	①	4 (28%)	1	9 (9%)
	②	8 (57%)	5	38 (38%)
	③	2 (15%)	7	53 (53%)
		計 100%		計 100%
VaとVa'	①	4 (26%)	3	22 (22%)
	②	1 (8%)	3	21 (21%)
	③	10 (66%)	8	57 (57%)
		計 100%		計 100%



第10図 V字型雲系とレーダエコースケッチ図。

(1976年12月29日, 衛星雲: 08時47分, レーダ: 09時00分, シアー風: 矢印, 一般風: 三角矢印, エコー移動: 破線矢印).

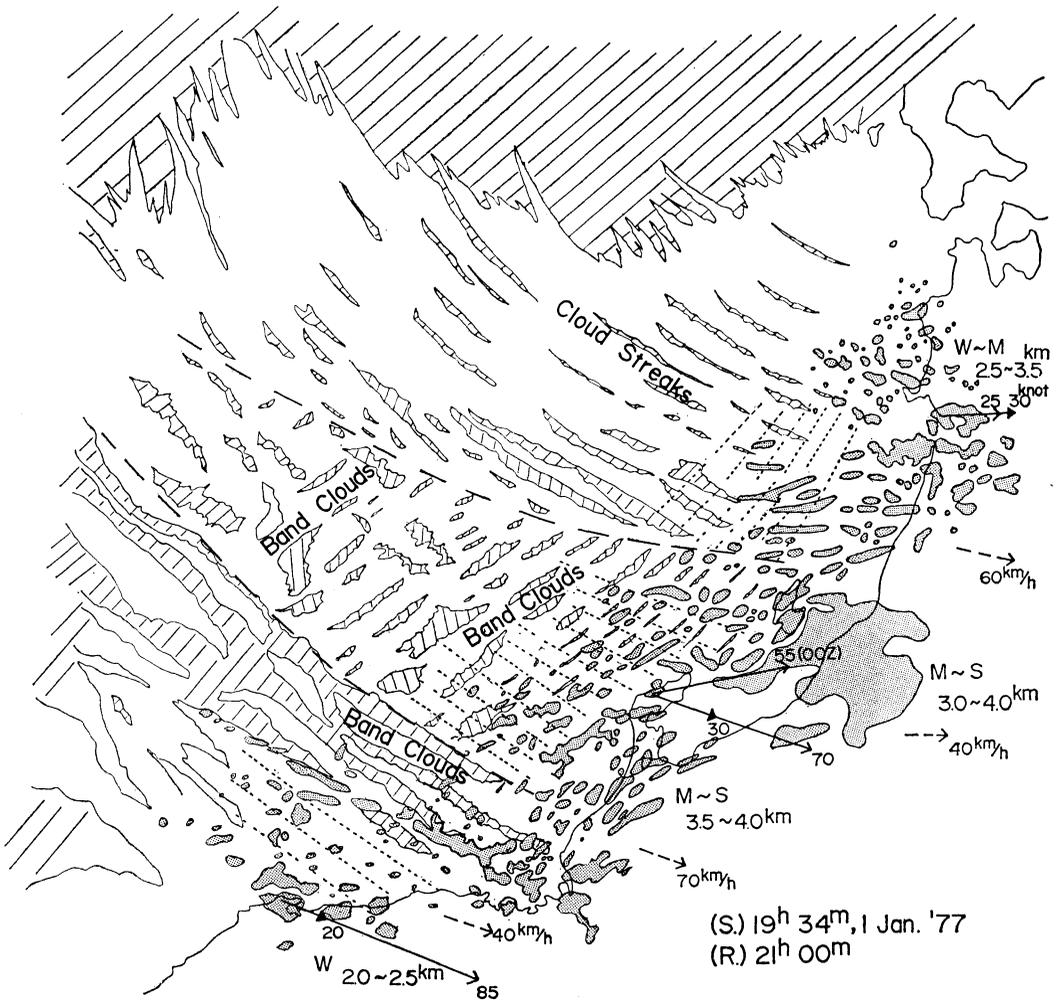


第11図 同上 (1977年1月1日).

の最大点または次点の場合は急に大雪が降るといってよさそうである。

さらに、00Z 近辺の時間の衛星のデータをもとに、むこう1日の降雪の深さとの関係を考え、これを予測した時の適中率 (p) を考える。すなわち、まずV (またはV') とV_d (またはV_d') が00Z 近辺に現われたとき、これによってA, B級の大雪を予測 (短期間予測, 24時間以内の降雪の深さ) したとすると、次のようになる。

		観 測		適中率 (p) = 36+36=72%
		A・B	C以下	
予 測	A・B	12 (36%)	4 (13%)	計33回
	C以下	5 (15%)	12 (36%)	



第12図 同上 (1977年1月1日).

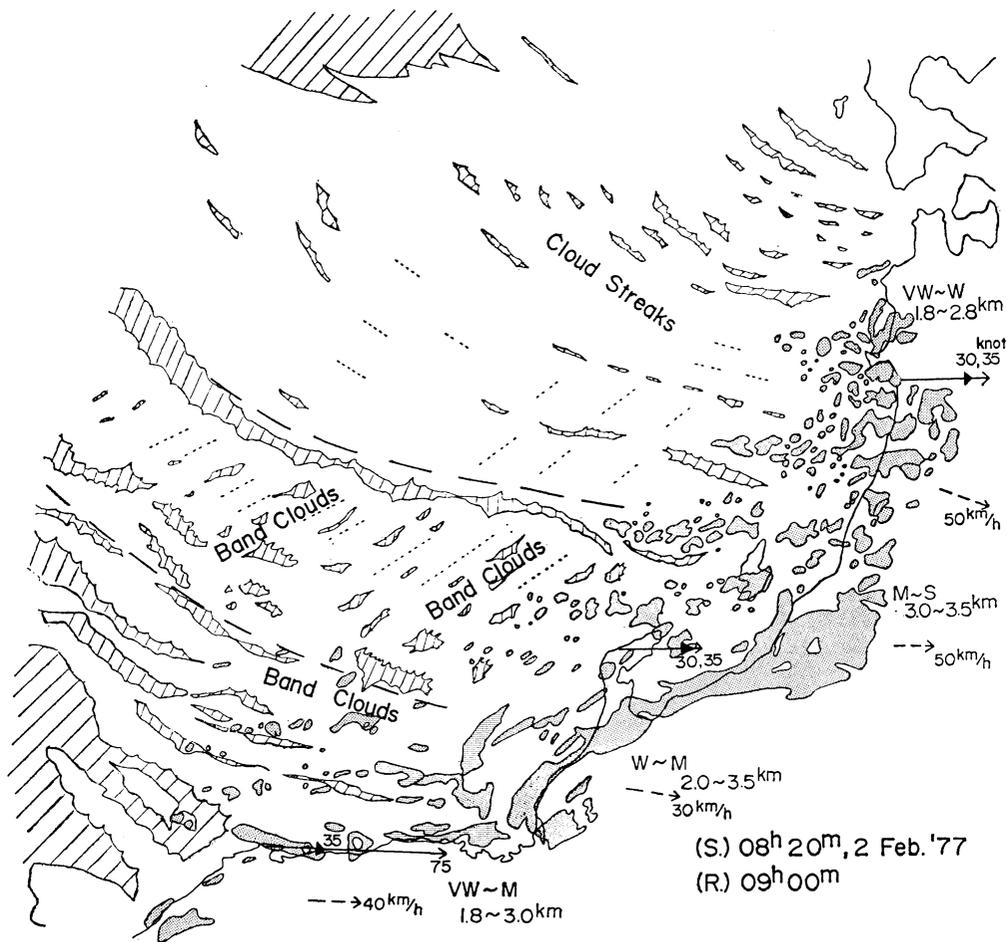
A級の予測としてはV(またはV')が00Z近辺に現われたとき、これによって予測すると次のようになる。

		観測		
		A	B・C	
予測	A	回 5 (15%)	回 11 (33%)	$p=15+52=67\%$
	B・C	0 (0%)	17 (52%)	
		計33回		

なお、第2表により、上の5回(予測A、観測A)のうち最大点が②のセクターにおちる割合は3回程度になる。

次に、短時間予測のために00Z~06Zおよび00Z~12Z間の降雪の深さを問題とする(この降雪の深さの資料としては温式自記雨量計の毎時のデータを降雪の深さの目安として利用した)。

まず、00Z近辺の衛星データから6時間以内の降雪の深さを予測する(VまたはV', V_a または V_a' からA, B級を予測)と次のようになる。



第13図 同上 (1977年2月2日).

		観測		
		A・B	C	
予測	A・B	回 6 (21%)	回 10 (35%)	$p=21+41=62\%$
	C	回 1 (3%)	回 12 (41%)	
	計29回			

		観測		
		A・B	C	
予測	A・B	回 13 (43%)	回 4 (13%)	$p=43+41=84\%$
	C	回 1 (3%)	回 12 (41%)	
	計30回			

12時間以内では次のようになる。

V または V' により A 級予測 (6 時間以内) を 00Z 近辺より行なうと次のようになる。

		観測		
		A	B・C	
予測	A	回 3 (18%)	回 9 (53%)	$p=18+29=47\%$
	B・C	回 0 (0%)	回 5 (29%)	
		計17回		

12時間以内では次のようになる。

		観測		
		A	B・C	
予測	A	回 5 (29%)	回 7 (41%)	$p=29+24=53\%$
	B・C	回 1 (6%)	回 4 (24%)	
		計17回		

なお、12Z近辺のデータからは例数が比較的少ないことと、VISデータの欠除から、あまりよい結果は得られていない。

3.5 今後の課題

このV字型の雲系について、当面今後の課題として次のことが考えられる。

3.5.1 構造の解明

前節に述べたような850mbの風向に平行な雲列のモード(longitudinal mode)と直交するモード(transversal mode)の、両方が存在するというを統一して考え

る。その場合、第14図に示すようなMalkusとRiehlの tropical cumuli パタンにおける shallow convection (シアーに平行)と deep convection (シアーに直角)に関する研究が、一つの参考資料としてまず挙げられる(Sun, 1978参照)。しかし、今回は雪雲であるので、このことは外見的類似に過ぎない(図中 V_B は下層風速、 V_T は上層風速)。しかし雪雲の場合にも、これは一つのヒントとして考えられ、このような雲系の物理的構造を解明するのは今後の興味ある課題でもあろう。

とくに海上における収束場のいっそう突っ込んだ考察、海面水温の効果、対流雲が上陸する時の降雪機構の変化、風上の大陸の地形の効果などは、大切な課題として付加される。

3.5.2 パタンと予測因子

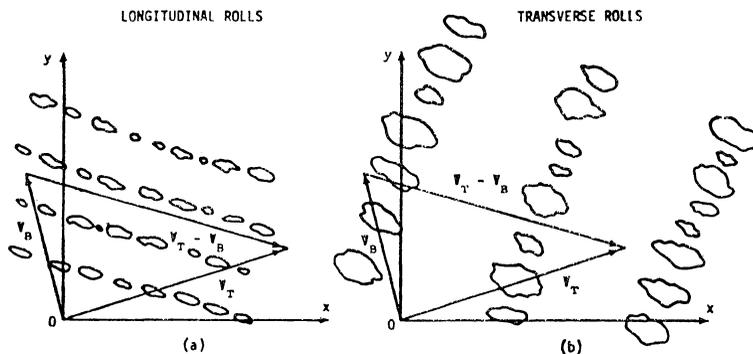
雲パタンは、降雪の短期間予測だけでなく短時間予測用として必要な予測因子を提供すると思われる。これを量的にどんな因子として表わすかは重要な問題となる。

また、きめ細かく数十km幅のターゲット領域の降雪量予測が可能になるように、とくにレーダ資料も共に利用してゆくことを考える必要がある。そして、他の方法(MOSなど)との比較、資料入手より情報作成までの手順の考察などを調べなくてはならない。

4. まとめ

(1) 日本海沿岸の気象官署における季節風時の大雪(里雪)を対象とした場合、衛星写真にV字型の雲系が出たとき、その地方には大雪(注・警報級)が降りやすくなることがわかった。

このV字型雲系の中の雲列の走向としては、850mb



第14図 熱帯積雲系のパタン ((a): shallow convection の場合の雲列, V_T : 雲頂の風速, V_B : 雲底の風速, $V_T - V_B$: シアー風, (b): deep convection の場合の雲列)

風向にほぼ直角の角度をなしているモードが卓越し、V字型以外のところでは850 mb 風向にほぼ平行しているモードが卓越している。

(2) V字型の出現時の総観場としては、500 mb の強い寒気核が沿海州から北海道辺に位置し、700 mb の -21°C 線が本州を横切り、大陸からの気流が合流すると思われる地帯(850mb)付近にV字型は存在した。これは、寒気ドームの南の内側に位置する。Ri 数(900~700mb)は正の比較的大きい値を示すが変動は少なく、シア(500~850 mb)の値も大きいが変動が小さい場合に大雪が降る。シアの方向については、V字型内部ではシアの方向とかなりの角度をなしているが、以外のところでは(季節風時)シアに平行である。海面水温分布、風上の地形などとの関係もあると思われるがこれはまだ明確でない。

今回の雲列の走向を細かに見た場合、熱帯積雲に対する研究結果(shallow convectionのバンドの走向はシア一風向に平行、deep convectionの走向はこれに直交する傾向がある)も今後一つのヒントとして考慮に入れる必要がある。

(3) きめ細かい注・警報発表の参考資料として、V字型出現(00Z近辺)によるラグ相関的な大雪予測率については、

短期間予測	72% (注・警報級大雪予測)	
	67% (警報級大雪予測)	
	(6時間以内)	(12時間以内)
短時間予測	62%	84%
	47%	53%
	(警報級大雪予測)	(警報級大雪予測)

[ただし(VまたはV')および(V_aまたはV'_a)が出現したとき注意報級以上の大雪、(VまたはV')のとき警報級の大雪が現われるとした時の予測]

なお、V字型出現の場合、V字型を3等分して、その中央のセクターに最大降雪点の入る率が大きく、V字型

が変形してくると南(西)側のセクターに最大点が入る率が多い。V字型の時、このセクターの幅(沿岸付近)は平均約100kmである。

これによって、V字型雲系によるパタン予測は短時間予測用としても12時間以内の範囲程度では比較的良好な精度が得られる。

謝辞

この資料作成に当たっては、気象大学校講師 高橋浩一郎先生の御指導、斉藤練一先生の御助言、気象庁 立平良三 予報課長の御助言、予報課 宮沢清治主任予報官、三瓶次郎、植村八郎 予報官、気象研究所 八木正允 研究官、福島地方気象台 川添信房 技術課長、気象大学 岡林俊雄教授などの御助言や討議を戴いた。また、気象研究所 西田圭子、今井博子 研究官の御世話になった。心より感謝の念を捧げたい。

文献

- Asai, T., 1970: Three-dimensional features of thermal convection in a plane Couette flow, *J.M.S.J.*, 48, 18-29.
- 深津 林, 1977: 東尋坊レーダーで観測される冬の線状エコーと帯状雲について, *天気*, 24, 183-189.
- 川添信房, 1978: 季節風時における筋状雲・帯状雲発生時の水平的流れの場のちがいについて, 1977年1月末から2月下旬にかけての季節風雪雲と850mb面の流れの場との対応について, 仙台管区気象台, 準特別研究報告, 12-13, 14-15.
- 岡林俊雄, 1972: 気象衛星から見た雪雲と降雲についての研究への利用, *気象研究ノート*, 113, 74-106.
- 三瓶次郎, 川添信房, 1976: 冬季寒気ドームの通過に伴う東北地方の日本海側におけるレーダーエコーの形状と特性の変化, *研究時報*, 28, 189-200.
- Sun, Wen-Yih, 1978: Stability analysis of deep cloud streets, *J.A.S.*, 35, Mar. 466-483.
- 内田英治, 1977: 日本海側の降雪の総観・物理的考察 [第2報], 日本損害保険協会, 気象部会, 1-28.
- , 1978: V字型雲パタンと日本海側の大雪, 日本気象学会秋季大会講演予稿集, 112.