

エコーの配列型と降雪量分布*

藤原録郎**

要旨： 福井気象レーダーの連続観測を見ると、鮮明な輪郭をもつ対流性雪エコーが、海上一帯に無秩序に散在するかと思うと、やがて規則正しい縞状に、あるいは飛白模様に変る。そして個々のセルの大きさもそれに応じて変化する。このようなエコーの配列型と毎時降雪量分布図とを突合して両者の関連性を調べたところ、いわゆる山雪・里雪をエコー型によって判別し得ることがわかった。また“指輪”あるいは“落し穴”など特殊な形のエコーが泡沫小低気圧をなしており、その上陸地近傍にひとしきりの強雪をもたらす例、またそれらが発達してやや大規模になると、台風のようならせんエコーが現われ、広い範囲に大雪を降らせる例などを捕えることができた。明りょうならせんエコーは稀にしか出ないが、“落し穴”は頻繁に現われるので、その進路や上陸地点如何が一冬の積雪分布を左右するものと思われる。

1. 緒言

福井気象レーダーは1965年8月運用開始後間もなく台風23号、奥越集中豪雨、台風24号と相つぐ異常気象に際会して大いに偉力を発揮したが、その冬には北陸豪雪特別観測に初参加して、従来あまり知られていなかった能登半島以西の雪について新しい資料を提供した。

その中でエコーの形やその配列型に興味あるものがしばしば現われたので、それらと降雪量分布との関係を調べた結果を報告する。

この地方の雪エコーは海上にある間は輪郭のはっきりした対流性のものであるが、そのエコー群が無秩序に散在するかと思うと縞状にあるいは飛白模様にと、数時間の間隔で変転する。鈴木・川畑⁽¹⁾は同じ日時の個々のエコーを追跡して、海上一帯におけるエコー速度の分布を求めたが、それによるとエコーの配列型によって速度分布の様相が異なっており、そこには地形の影響が明らかに認められる。一方降雪分布が地形に左右されることは云うまでもないから、当然エコー配列型と降雪分布の間にも何等かの関連があるであろうと云う考え方である。

さらにわれわれは地上における観察で雪の降り方や雪片の形・大きさなどが数時間程度の週期をもって変化するのを知っており、それは今井⁽²⁾が指摘している通りである。このこともエコー配列型と降雪との関連性を暗示するように思われる。

指状突起・かぎ・ドーナツ形など特殊な形のエコーが雷雨やトルネードの発生に関係する⁽³⁾と云われているが、北陸の雪の場合にも“指輪”あるいは“落し穴”——エコー集団の中に円形または楕円形をしたエコーのない部分が穴のように見える。その形からしてもエコーが寄り集ったときの単なるすき間とは見えない——のような形のエコーが低気圧性じょう乱を伴い、その上陸地点の近傍に2~3時間強い雪を降らせる。またすべての条件が整った時なのであろう、指輪に向って収束するらせんエコーが現われ、台風を思わせる場面もあった。これは“落し穴”より1けた大きく、らせんエコーの長さは200軒にも達するので降雪域もはるかに広範である。

等圧線の走向・風速・高層の温度分布などによる山雪と里雪の判別法が提起されているが、レーダーから見た場合“落し穴”やらせんなどが里雪の部類に入り、その他の縞や飛白は山雪と見てよいようである。

2. エコーの配列型および特殊形のエコー

代表的な配列型として A. NW. W. NE. S の5種類を選び別に特殊形のエコーとして、指輪状あるいは“落し穴”状のものをDと呼ぶことにした。これはこの一冬の観測から、容易に識別されしかも頻繁に現われるようなものを選んだのである。各の特徴は次の通り、

A 型：無秩序に散在する。個々のセルは最も小さい
(写真1)

NW 型：セルが NW—SE に配列する (写真2)

W 型： // W—E // (写真3)

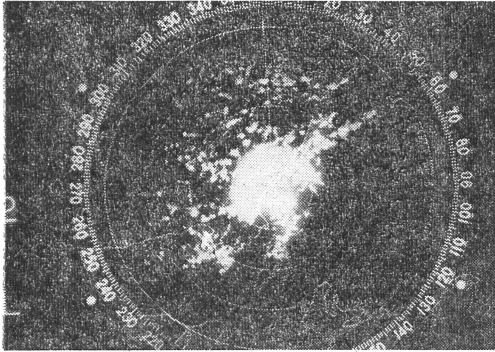
NE 型： // NE—SW // (写真4)

S 型：らせん状、NE 型に D が加わった形で始まり、最盛期には全域がらせん状エコーで覆わ

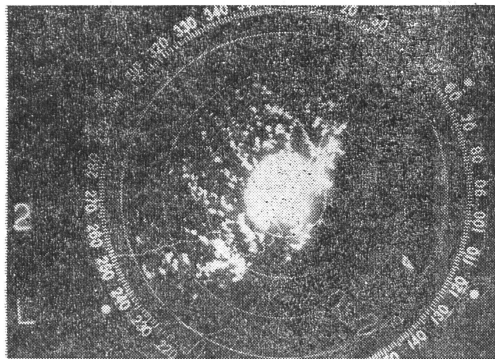
* Radar Echo Patterns and the Snowfall Distribution.

** R. Fujiwara. 福井地方気象台.

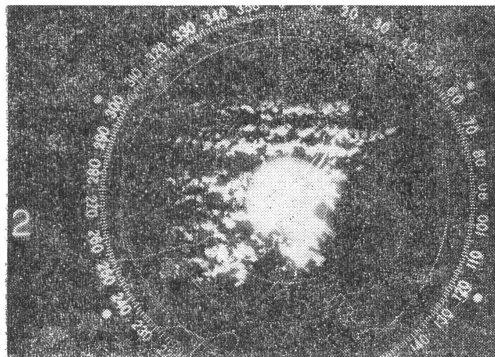
—1966年12月3日受理, 1967年4月10日改稿受理—



写真一1 A型. 1965. 1. 19. 11h49m
Range mark は 50km ごと



写真一2 NW型. 1966. 1. 20. 10h00m



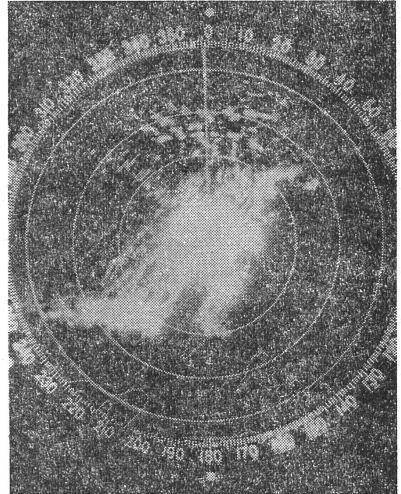
写真一3 W型. 1966. 1. 19. 16h04m

れ台風を思わせる (写真 6, 7, 8, 9)

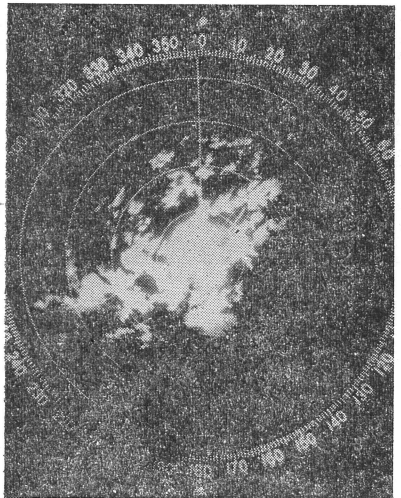
D : 初め小エコーが集り円陣を作る. やがてそれらが連続して, 内部が乾いた穴となる (写真 5)

特別観測期間中の典型例によって, レーダーサイトから 50km 以遠の海上のエコーの最大のもの 10 個を選ん

1967年7月



写真一4 NE型. 1966. 1. 19. 23h01m
能登半島西方はA型であるが, 若狭湾から丹後沖にかけて NE型

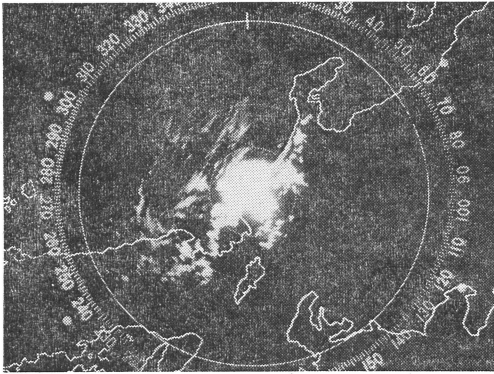


写真一5 D. 1916. 1. 21. 3h32m
若狭湾沖の楕円形をしたエコーの無い部分が“落し穴”. このあたりから SE へ進み敦賀南方を通過した

でその大きさを測って見たところ次表のようになった.

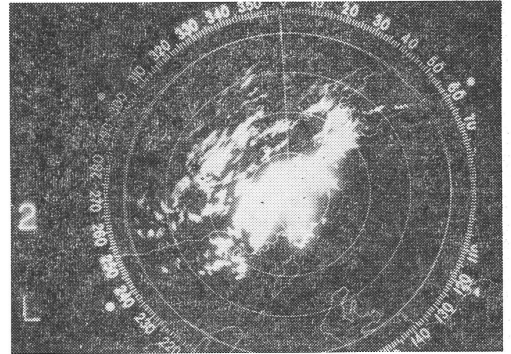
第1表 各型のエコーセルの大きさ (最大のもの10個の平均)

型	A	NW	W	NE	S
大きさ (km) ²	110	164	254	320	626

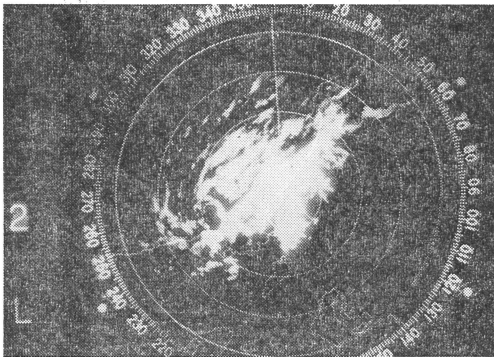


写真—6 S型, 1966, 1, 18, 18h12m

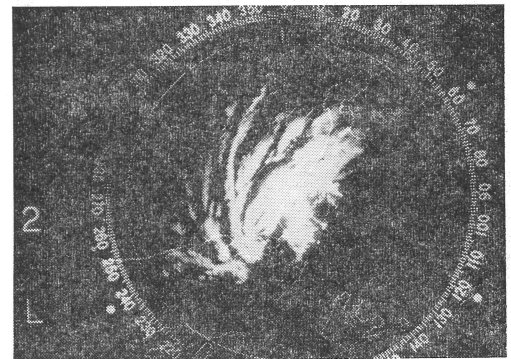
うずの中心が丹後半島北西岸にある。これがESEに進み20h頃敦賀西方に上陸した

写真—7 D. (指輪が現われS型に移る直前)
1966, 1, 22, 9h09m

丹後半島北西沖の“指輪”がE進むとともに、瞳孔を絞るように次第に縮小する



写真—8 S型, 1966, 1, 22, 10h01m



写真—9 S型, 1966, 1, 22, 12h08m

NE型とS型はセルが線状に長くつながり輪郭はやや不鮮明なことが多い。次第に対流性を失っているのであろう。

完全なS型は1回現われただけであったが、その発現までの経過は次の通りである。

最初Aが現われ、NW, W, NEと何回か変転していたが、北西風が衰え地上で南寄りの風が持続的に吹くようになってから半日を経たところで指輪が現われ、やがてらせんエコーにまで発達して石川・福井両県にまたがる大雪となった。この経過を見るとS型の発現は、従来から注目されている北陸不連続線と関連していることがうかがわれる。

なお一つの型から他の型へ移行する際、一度はA型に戻ることが多い、例えばA→NW→A→W→A→NEなどの如く、それはある方向に整列していたのが一度解散してばらばらになり、あらためて他の方向に整列しなおす

かのように見える。

3. エコー配列型と風

配列型は先に述べたように数時間で変転するのであるから大局的な気圧場に結びつくものではあるまい。雲底部と雲頂部の風のシャワーがエコーバンドの走向をきめる有力因子と云われているが、その外に風の発散収束も関与するかも知れない。

エコー型の変化がよく観測されるのは丹後半島から能登半島西岸までの海上であるが、こゝはちょうど米子と輪島の間当るので、その実測上層風から両地点を結ぶ方向の発散(単位幅の帯を考へる)を求めて、エコー型と突合して見ると第2表のようになる。

すなわちすべての降雪時に、850mb 収束 700mb 発散は共通しているが、500mbにおいてはNE型のとき発散となりその他の場合には収束となる傾向が認められる。福田⁽⁴⁾の求めた例では里雪のとき山雪よりも発散域がよ

第2表 エコー型と米子・輪島間の実測風の発散 (10^{-5}Sec^{-1})

年月日時	型	850mb	700mb	500mb	400mb
66 1 18 9	NE	+ 0.8	+ 1.8	+ 0.9	0
21	NE	- 0.9	+ 6.0	+ 2.2	+ 2.3
19 9	A	- 1.3	+ 3.1	- 2.2	+ 0.4
21	W+NE	- 2.1	+ 0.3	- 1.7	0
20 9	NW	- 0.7	+ 0.7	- 6.9	- 5.7
21	A	- 0.8	+ 0.9	- 2.1	- 4.9
21 9	NE	- 1.5	+ 1.4	+ 0.3	- 1.0
21	A+NE	+ 0.8	- 0.9	- 3.3	- 2.1
22 9	NE	- 2.3	+ 1.5	- 0.3	- 1.5
21	NW+NE	- 1.2	+ 0.6	- 1.9	- 1.2
65 12 16 9	NE	+ 0.1	+ 1.5	0	+ 2.3

り高い層までおよんでいる。その外 NE 型においては多くの場合セルの輪郭がやや不鮮明(写真4)であることなどを考えあわせると、NE型は里雪の性格を帯びているように見える。

鈴木・川畑⁽¹⁾の求めたエコー速度の分布を見ると、この区域内においても速度に大きな地域差が出ている。ここが山陰から北陸への曲り角にあたり、地形の影響が複雑で風の乱れが大きいのであろう。そしてエコー配列がNE型のときには北西から進んで来るエコーが陸地に近づくとつれて著しく減速していることが見出された。

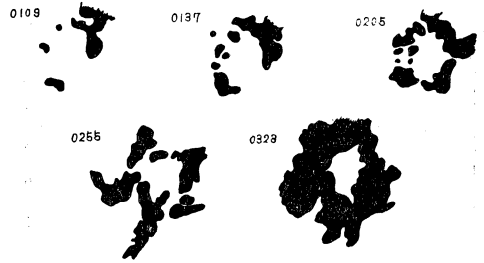
つまり北西—南東方向に著しい収束がある。従ってこれに直角の北東—南西(米子・輪島を結ぶ方向)には発散があっても不思議ではない。

4. “落し穴”とらせんエコー

エコー集団の中に、エコーのない部分が円形または楕円形をして穴のように見えるのをかりに“落し穴”と呼ぶが、Battanの云う“Dry Hole”に似たものかも知れない。その生長過程と移動状況は、第1, 2図に示す通り、

最初鳥取沖に数個の小エコーが集って円陣を作り40~50km/hで東進する。約2時間で若狭湾に入るが、この頃には小エコーが生長し互に融合して周囲は完全に塞り内部が“落し穴”となっている。穴の直径は徐々に縮小しながらいつまでも円形あるいは楕円形を保っているこ

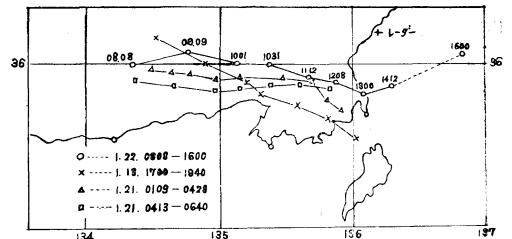
(A) Jan. 21. 0109 - 0323



(B) Jan. 21. 0425 - 0515



第1図 指輪から落し穴への生長過程



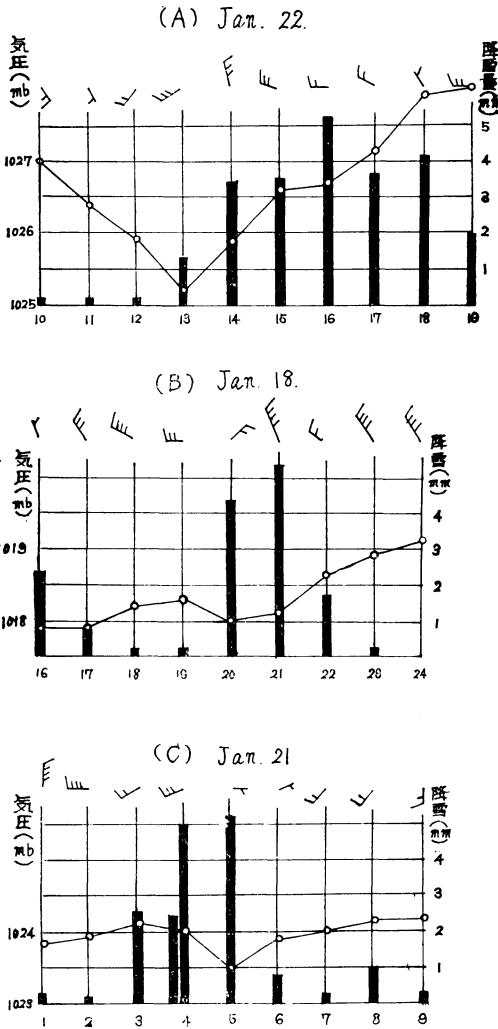
第2図 S型中心およびDの進路

とから見て、これはエコーが寄り寄り重り合ったときの単なるすき間とは考えられない。穴のまわりには多少とも循環があるように思われるが、それをレーダーで確認することはできなかった。

上陸前後は東尋坊のレーダーにとって死角に当たり、その進路を正確におさえることはできないが、外挿によって敦賀付近を通過したと思われる時刻には必ず、気圧下降・風向変化・風速増大など低気圧性じょう乱の跡が残されている。そして1時間量5mmにも達する強い降雪が3時間内外続いている。その状況は第3図の通りである。

1月22日のらせんエコーは非常に明りょうに出ているので、対数らせんを当てはめると上陸後もしばらくはその中心位置を推定することができる。その対数らせんの傾角は約40度であって、台風の場合の10~20度に比べると著しく大きい。

第2図および写真(7)の“指輪”の発生場所がこの



第3図 S型中心およびDの通過前後の状況(敦賀)

冬の冷水塊の所在と一致しているの、水温が関係するものから考えていたが、その後暖候期に入ってから同じようなエコーが同じ場所に発生するものをしばしば認めた。しかしらせんエコーにまで生長するものはついに見られなかった。

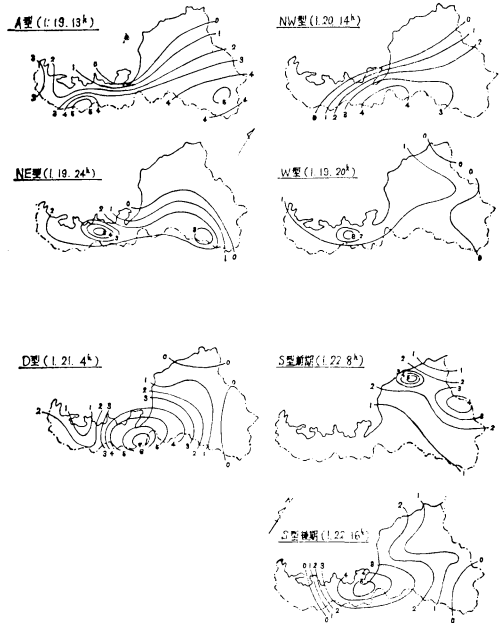
そうすると“指輪”の発生は主として地形の影響であり、それに加えて気温や風の場合いろいろな必要条件を満足するときはじめてらせんエコーにまで発達するのであろう。

5. エコー配列型と降雪

エコー配列型が数時間で変転するのであるから、それ

と対照するための降雪量は毎時の値でなければ意味がない。特別観測期間中2カ所に自記器を特設したので福井敦賀・大野とあわせて5カ所の毎時降雪量が得られた。これと18カ所の区内観測を組合わせて、いわゆる百分率法で毎時量を求め、福井県内の毎時降雪量分布図を描いた。

こうして求めた毎時降雪量分布とエコー型を比べて見ると次の様な関係が見出される。(第4図)



第4図 エコー型に対応する降雪分布 (mm)

- A 型：嶺南山岳部と奥越(九頭竜川上流域)に降雪が多い。山雪型, Jan. 19. 4h—8h, 12h—14h.
- NW 型：A型よりも降雪域が幾分平野部へ拡がるがやはり山雪型, Jan. 20. 0h—16h.
- W 型：降雪域が一定せず、その変転移動が他の型より著しい。しかしなお山雪の傾向がある。Jan. 19. 14h—21h.
- NE 型：嶺南一帯と嶺北南部の山沿いが主であるが平野部にもかなりの降雪を見る。Jan. 19. 21h—20. 2h.
- S 型：らせんエコーの中心が接岸するまでの数時間は嶺北で、上陸後の数時間は嶺南で、強い雪が降り続く, Jan. 22. 7h—17h.
- D 型：“落し穴”の上陸地点附近に2～3時間局部

的に強い降雪, Jan. 21. 4h

エコー配列型によつてある程度降雪の強さとその地域を予想することが可能のようであるが、もちろん決め手となるほどのものではない。さらにどの型に入れるか判断に苦しむような例もある。

しかし大雪に関するものとして注意を要するのはNE, S, およびDである。指輪が現われ“落し穴”となって接岸するのを認めたならば、その進路に当って2, 3時間強い降雪があることはほぼ確実である。1個の“落し穴”による降水量は、10~15mm, 積雪にすれば10~15cmであつて、これが1日に2回3回繰返されることがあるのは1月21日の例が示す通りである。“落し穴”の発生数とその上陸地点如何が一冬の積雪分布を左右すると云つても過言ではあるまい。

この穴の直径は20km程度であつて、上陸すると間もなく消滅するから、これによる降雪は海岸附近に限られる。いわゆる里雪であり、それも極めて局地的な里雪である。

S型においては直径70km程度の低気圧をなしており、らせんエコーの長さは200kmもあるから降雪域ははるかに広く、降雪時間も長い。(第3図A)規模が大きいだけに寿命はかなり長く、上陸後もなお数時間存続するのでその進行と共に降雪域は内陸遠くまでおよぶ。すなわち従来の分類法によると混合型に該当する。

しかしこのS型は生長の途中で立消えになるものが多い。写真(6)の程度のものはしばしば見られるが、(9)のような美事ならせんエコーにまで発達するのは恐らく稀有のことなのであろう。

NE型は、北西風が陸地に近づくにつれて減速するよゝなときに現われるのであるから、降雪が遠く奥地山間部までおよぶことは少いと見てよいであらう。平野部から山麓地帯あたりに大雪を降らせる例が多い。

この冬の最深積雪は福井67cm, 敦賀74cmでいずれもらせんエコーの現われた1月22日である。福井より敦賀の方が多いのは大体5年に1回の割合である。この冬は第2図に示したように“落し穴”が敦賀附近に多く上陸したために敦賀の方が多くなったように思われる。例年ならばその発生場所および進路がもう少し北に寄り、従つて福井に多くなると云うのが実情ではなからうか? これはあと2, 3年のレーダー観測で明かにされることである。

なお能登半島西方沖にも指輪状のエコーをしばしば見

かけたが、いずれも極めて短時間のうちに消滅してしまい“落し穴”にまで生長したものは皆無であつた。

むすび

エコーの配列型を分類して毎時降雪量分布との関係を調べて次のような結果を得た。

- A 型: 主として山岳部に強い降雪, 代表的な山雪
- NW型: 降雪域がA型よりも幾分平野部へ拡がるが、やはり山雪
- W 型: 主降雪域が毎時間移動して一定しない。しかし山雪の傾向は残っている
- NE 型: 嶺南一帯と嶺北では南部の山沿地帯が主であるが、平野部にもかなりの降雪を見ることがある。
- S 型: 中心が接岸するまでの数時間は嶺北, 中心が上陸してからの数時間は嶺南で強い雪が降り続く,
- D 型: “落し穴”の上陸地点附近に2~3時間強い雪を降らせる。局地的里雪

Dはもちろん、1けた大きいSさえも天気図には解析されていない。里雪をもたらずのは沿岸に発生する小低気圧であるとするのが多くの研究者の一致した見解であるが、それは天気図上では発見困難(少くとも予報現場としては)のことが多い。こゝに掲げたS型こそはレーダーが映し出したその小低気圧の姿と云えるであらう。

恐らくS型が北陸豪雪の主役であることは間違いない。しかしそれがどのような条件の下に発現するのであろうか? この点はもう少し実例を捕えた上で考えて見たい。

終りに、夜を徹して連続観測に当り、また写真の整理にも尽力されたレーダー係の諸君と製図を担当された小泉伯子さんに感謝する。

参考文献

- 1) 鈴木 要, 川畑 仁, 北陸地方西部における雪雲の解析, 1966. 北陸地方気象研究会にて発表.
- 2) 今井一郎 (1954). 季節風による降雪の研究, 気象集誌, 32, p. 195.
- 3) J. Battan, : Radar Meteorology. University of Chicago. p. 114.
- 4) K. Fukuda, (1966): A Synoptic Study on the Heavy Snowfall in the Japan-Sea Coastal Area of the Hokuriku District. Jour. Meteor. Soc. Japan. 44, 201-208.