



Title	2. 石狩平野の降雪の水平分布（Ⅰ）：（内陸部の降雪と風）
Author(s)	李, 杙雨; Lee, Chung Woo; 菊地, 勝弘 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 27, 13-23
Issue Date	1972-03-28
DOI	<a href="https://doi.org/10.14943/gbhu.27.13">https://doi.org/10.14943/gbhu.27.13</a>
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/14016">https://hdl.handle.net/2115/14016</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	27_p13-23.pdf



## 2. 石狩平野の降雪の水平分布 (I)

(内陸部の降雪と風)

李 柁 雨・菊地勝弘・孫野長治

(北海道大学理学部地球物理学教室)

— 昭和46年10月受理 —

### I. ま え が き

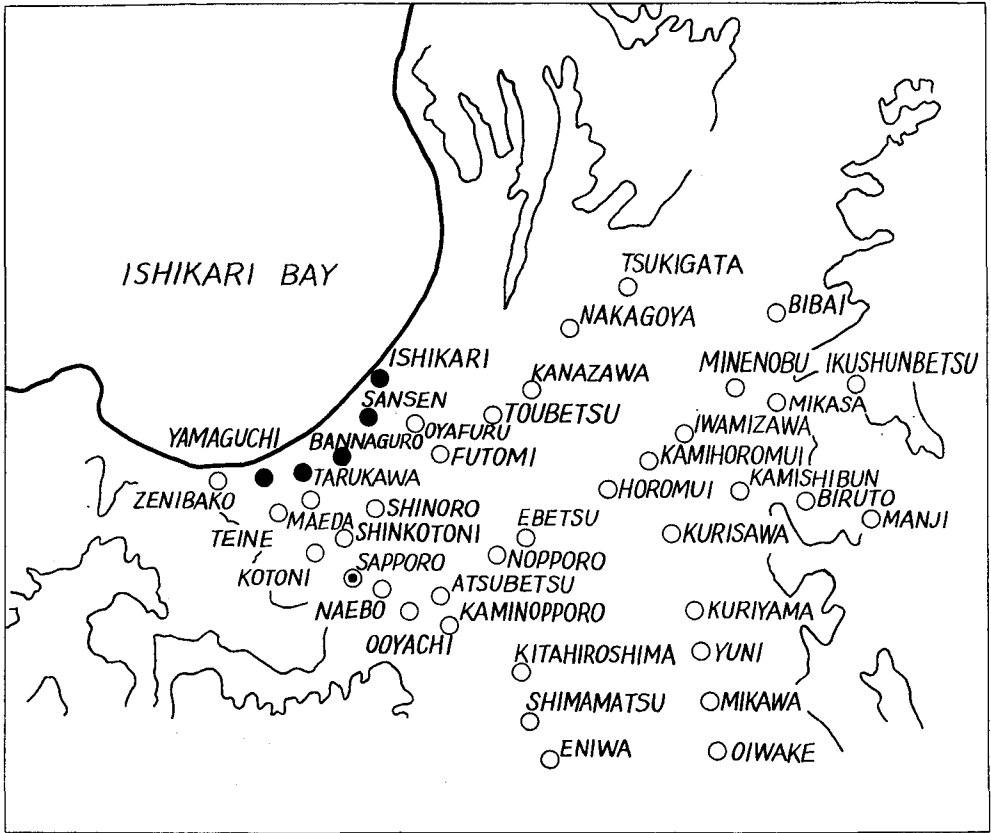
石狩平野にみられる降雪についての議論は大別して次のように分けられると考えられる。その一つはシベリヤ寒気が暖い日本海上を吹走する時に受ける水蒸気および熱の補給による雪雲の発生とその配列といった、いわゆる海上における降雪機構についての議論であり、他の一つは地形の影響および内陸の気象要素場の影響による海上より侵入する雪雲の消長とその降雪の地上への配置についての議論である。

シベリヤ寒気団の日本海面上で受ける水蒸気および熱の補給に関する研究<sup>1-4)</sup>は、冬季日本海岸の豪雪に関連して古くから行なわれている。しかし、これらは総観的スケールでの降雪の多少についての問題であり、今の場合の石狩平野における局所的な降雪の出現といったメソスケールの現象には直接的な関連はないものと考えられるので、以下の議論においては言及しないことにする。

最近の気象衛星写真により石狩平野における局地的な降雪が雪雲の帯状の配列にも関係があることが知られてきた<sup>5)</sup>。一方石狩平野の局地的大雪を地形の影響による収束域と関係づけた、いわゆる内陸に新たな降雪発生域を考え、これと内陸性気流の収束場との関連から局地性大雪を説明しようとする見方もある<sup>6)</sup>。

そこでこれまでの観測結果、すなわち、1) 冬期季節風時には海上より降雪を伴う雪雲が殆んど絶え間なく進入している、2) その雪雲が帯状をなしているとき局地的降雪がある、3) 雪

- 
- 1) K. TAKAHASHI; On the Transformation of the Cold and Dry Air-Mass by Traveling over Warm Sea. *Jour. Met. Soc., Japan. Ser. II*, **18** (1940), 1-4.
  - 2) H. KUROOKA; Modification of Siberian Air Mass Caused by Flowing out over the Open Sea Surface of Northern Japan. *Jour. Met. Soc., Japan. Ser. II*, **35** (1957), 52-59.
  - 3) K. NINOMIYA; Water-Substance Budget over the Japan Sea and the Japan Islands During the Period of Heavy Snow Storm. *Jour. Met. Soc., Japan. Ser. II*, **42** (1964), 317-329.
  - 4) S. MATSUMOTO and K. NINOMIYA; Some Aspects of the Cloud Formation to the Heat and Moisture Supply from the Japan Sea Surface under a Weak Winter Monsoon Situation. *Jour. Met. Soc., Japan. Ser. II*, **44** (1966), 60-75.
  - 5) K. HIGUCHI; The Band Structure of Snowfalls. *Jour. Met. Soc., Japan, Ser. II*, **41** (1963), 53-70.
  - 6) 札幌管区気象台; 石狩平野の局地的大雪調査報告 (1963).



第1図 観測点配置図

- : 特別観測点; 風向速 (連続記録), 雲分布, 積雪深
- : 鉄道観測点; 風向速 (09時), 積雪深

Fig. 1. Locations of observation points

- : points arranged specially; wind direction and velocity (continuous), distribution of cloud, snow cover
- : railway station; wind direction and velocity (09 hour), snow cover

- 7) C. MAGONO, K. KIKUCHI, T. KIMURA and S. LEE; Investigation on the Growth and Distribution of Natural Snow Crystal. IV. Jour. Fac. Sci., Hokkaido Univ., Ser. VII, 2 (1963), 49-78.
- 8) C. MAGONO, K. KIKUCHI, S. LEE, T. ENDO and T. KASAI; An Observation of Snow Crystals and Their Mother Cloud (Investigation of Natural Snow Crystals, V). Jour. Fac. Sci., Hokkaido Univ., Ser. VII, 2 (1965), 123-148.
- 9) C. MAGONO, K. KIKUCHI, T. KIMURA, S. TAZAWA and T. KASAI; A Study on the Snowfall in the Winter Monsoon Season in Hokkaido with Special Reference to Low Land Snowfall (Investigation of Natural Snow Crystals, VI). Jour. Fac. Sci., Hokkaido Univ., Ser. VII, 2 (1966), 287-308.
- 10) K. KIKUCHI; On the Characteristic Distribution of Snow Crystals during a Snowfall on the Ishikari Plain, Hokkaido. Jour. Fac. Sci., Hokkaido Univ., Ser. VII, 3 (1967), 37-47.

結晶の観察から内陸の降雪も海上の雪雲から出発している<sup>7-10)</sup>、等の結果から局地的降雪の発現は海上の雪雲からの雪が風の場によって内陸に如何に配置されるのかという問題にかかっていると考えられる。それでこの論文では主に風を中心に降雪をみることにした。

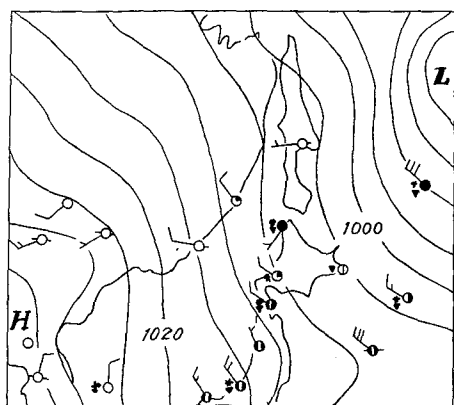
## II. 観測網と用いた資料

解析に用いた観測点は第1図に示されている。図中海岸付近の黒丸で示された地点は特別に設置された観測点で、ここでは風の連続観測および雲と降雪状態についての詳細な記録がとられた。また他の地点は鉄道観測点であり、ここでは風向および風速が測られ、これによって地上流線解析が行なわれた。また日降雪量の観測資料により石狩平野の降雪分布を求めた。更に札幌管区気象台のレーダーエコーは海上の降雪発生域の検出に、高層風の資料は上層における雪結晶の落下経路の追跡に用いられた。

## III. 観測結果

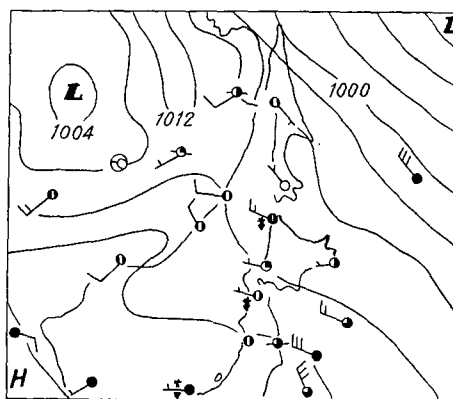
### III-1. 解析例の選択

観測は1966年1月26日から2月4日まで行なわれたが次のような理由から解析は1月27日、28日および2月2日について行なった。まず第1に第2, 3, 4図で示された地上天気図から明らかのように、これらの日の降雪は低気圧および前線に伴うものではなかった。すなわち広範囲に見られる降雪ではなく冬期季節風時に殆んど毎日見られる海岸に進入する雪雲による降雪と見られることである。第2にこれらの日の雪雲が带状雲であると考えられたからである。第3に最も重要な要素であるが降雪が局地的であったことである。すなわち、3日共札幌では殆んど降雪はみられなかったが1月27日に岩見沢で25 cm、1月28日に栗沢で25 cm、2月2日に栗山で30 cmとそれぞれかなりの降雪があった。



第2図 地上天気図 (1966年1月27日09時)

Fig. 2. Surface weather chart (0900 JST, 27 Jan. 1966)



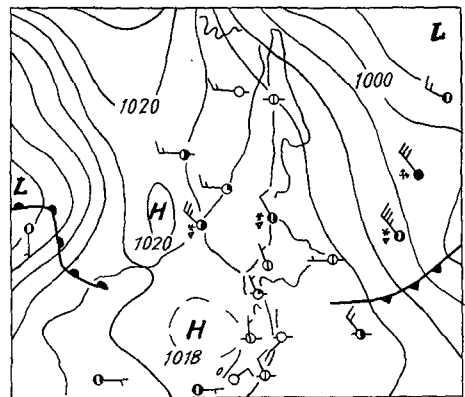
第3図 地上天気図 (1966年1月28日09時)

Fig. 3. Surface weather chart (0900 JST, 28 Jan. 1966)

次にこれらの日の降雪の局地性を考えていくとき、雪雲は石狩湾より侵入するものと考えよいため、それからの降雪を局地的に分布させる要素は風であろうことはおおよそ想像される。そこでこの点を確かめるためには石狩平野内のある地点の降雪量が風によってどのように影響されるかをみればよいであろう。この議論のためにはある程度長期間の降雪の資料と高層風の資料が必要であるので、吟味される地点として札幌が選ばれた。

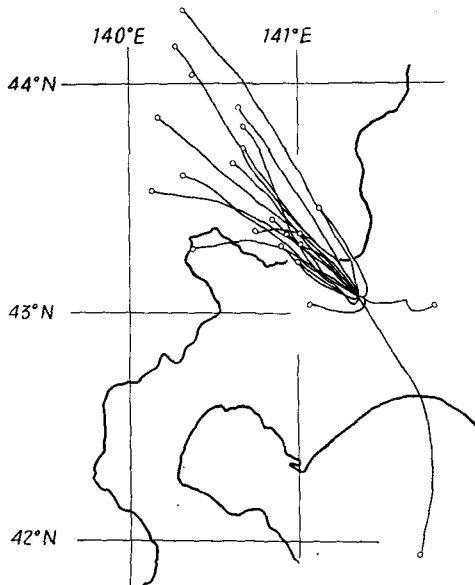
1962年から1965年までの冬期間中、札幌における日降水量10mm以上の日と5mm以上

10mm以下の日を選びだし、その日の高層風資料によって、その日の降雪の発生域を求めたのが第5図および第6図である。図中白丸は札幌で観測された雪結晶の発生域を示し、それ



第4図 地上天気図(1966年2月2日09時)

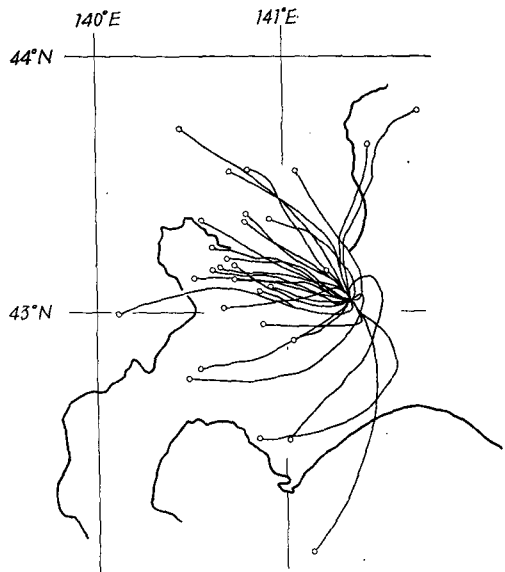
Fig. 4. Surface weather chart (0900 JST, 2 Feb. 1966)



PREC.  $\geq$  10 mm/day  
(1962~1965)

第5図 1962~1965年間に札幌で観測された降水量10mm/day以上の日の降雪粒子の発生点とその落下経路

Fig. 5. Origins and falling trajectories of snow crystals observed at Sapporo during 1962 to 1965 (Precipitation amount  $\geq$  10 mm/day).



5  $\leq$  PREC. < 10 mm/day  
(1962~1965)

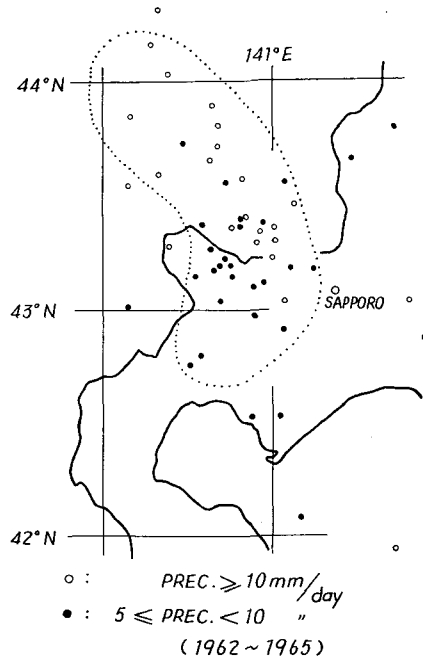
第6図 1962~1965年間に札幌で観測された降水量5mm/day以上10mm/day以下の日の降雪粒子の発生点とその落下経路

Fig. 6. Origins and falling trajectories of snow crystals observed at Sapporo during 1962 to 1965 (5 mm/day  $\leq$  Precipitation amount < 10 mm/day).

と札幌を結ぶ曲線は雪結晶の落下経過を示している。なおこれを求める際に必要な雪の発生高度は逆転層高度を採用し、逆転層の不明ないくつかの例は湿度から求めた。また雪の落下速度は50 cm/secとした。第5, 6図において明らかなように大雪の時には雪の発生域がある方向に集中していることである。すなわち、札幌の大雪時の風向はほぼ一定方向(約320°)に集中しているということである。また特に第5図についていえることであるが、札幌で見られる大雪は殆んどの場合、その雪の源が海上であるということである。このことは地上すなわち内陸において新たな雪の発生域を考えなくともよく、内陸の降雪は海上の雪雲からのものと考えてよい。また中程度の降雪の場合には第6図でみられるように明確な風向の集中性は認められなかった。しかしながら西成分がより顕著であることは認められ、この西成分の風向は雪発生域に近い上層について特にいえる。また第6図で札幌付近の雪の落下経路に注目するならば、次のような興味ある傾向が認められた。すなわち札幌の殆んど西から出発する場合ですら、札幌に近づくと従って南から低気圧性に回転するか、さも

もなく北から高気圧性に回転して札幌に吹き込んでいるのが認められる。この事実は札幌のすぐ西に高度1000 m程度の山系が位置している関係から、先に指摘した風系でなければ西方からの降雪は期待できないだろうことを物語っている。見方を変えるならば、西方上空から出発する雪は、札幌の下層風系が適当でないならば札幌への降雪は期待できないということである。以上のことから石狩平野の降雪分布は風系によって大きく影響を受け、降雪の局地性を考えるためには風による雪の移流を調べなくてはならないと結論される。

第7図は第5, 6図に用いられた全部の降雪発生域をみるためのものである。図中降水量が10 mm以上を白丸で、5 mm以上10 mm以下を黒丸で表わしてある。点線は全発生域の80%を含むように書いたものである。その結果、大雪の時は雪発生域は主に海上であり、中程度の降雪においては海上にある雪発生域よりはるか遠方に位置していることである。言い換えるならば、石狩湾海岸近くでこのような雪発生域があれば札幌よりはるか内陸まで降雪をもたらすことができるであろうということである。



第7図 1962~1965年間に札幌で観測された降雪粒子の発生点

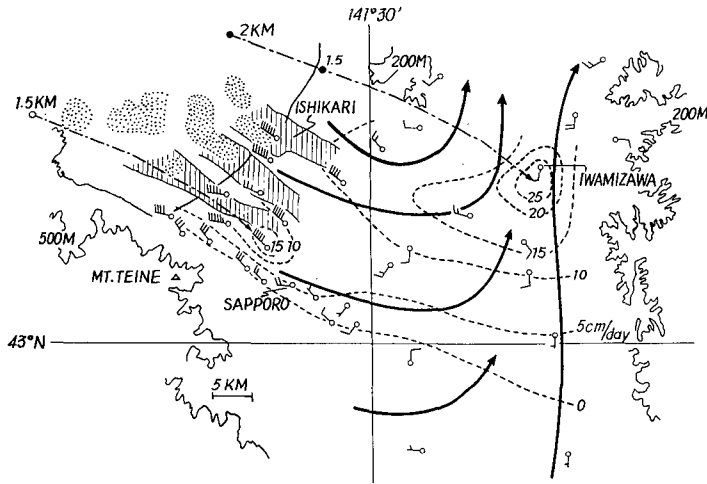
- : 降水量 10 mm/day 以上
- : 降水量 5 mm/day 以上 10 mm/day 以下

Fig. 7. Origins of snow crystals observed at Sapporo during 1962 to 1965.

- : Precipitation amount  $\geq 10$  mm/day
- :  $5 \text{ mm/day} \leq \text{Precipitation amount} < 10 \text{ mm/day}$

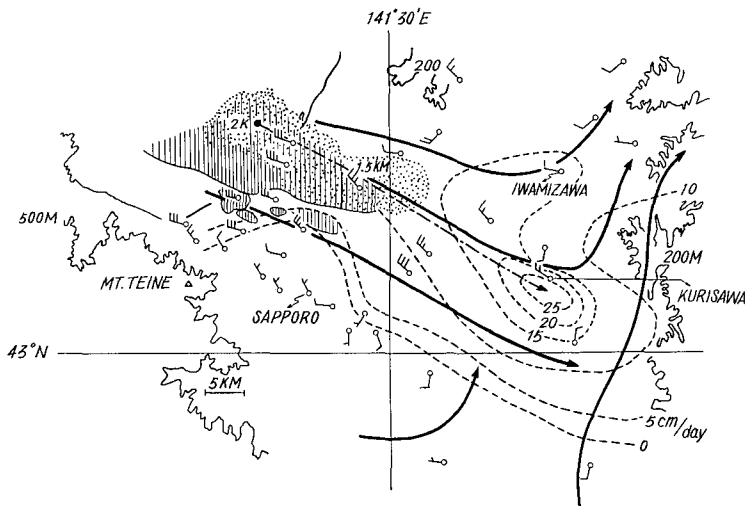
III-2. 解析結果

第8~10図に1月27日, 28日, 2月2日09時の雪発生域と地上降雪域そして風の場との相互関係を示した。これらの図において矢印の付いた実線は地上流線を, 海上の点々で示された領域はレーダーエコーであり, 斜線で示された領域は雲域を表わしている。また平野内の点線は等降雪深線であり, 5 cm 単位で書いてある。鎖線は札幌の高層風資料によって求めた地上降雪極大域を作った雪結晶の落下経路を示している。



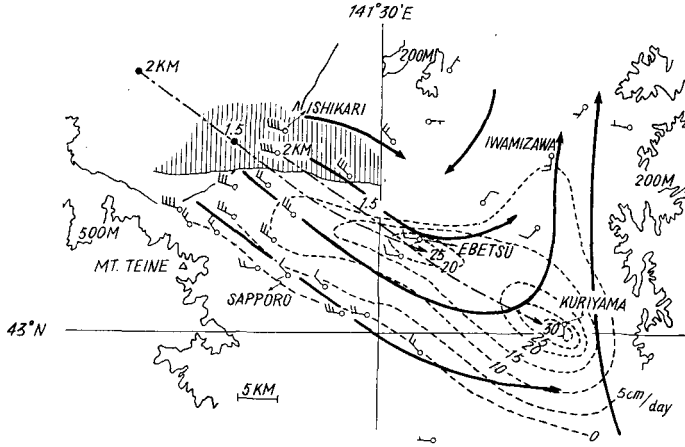
第8図 降雪発原点, 地上降雪域と地上流線 (1966年1月27日09時)  
点域; レーダーエコー域, 斜線域; 雲域

Fig. 8. The relation between the origins of snow crystals, the snow cover and stream lines on Ishikari Plain (0900 JST, 27 Jan. 1966) Dotted; Radar echo areas, Shaded; Cloud areas.

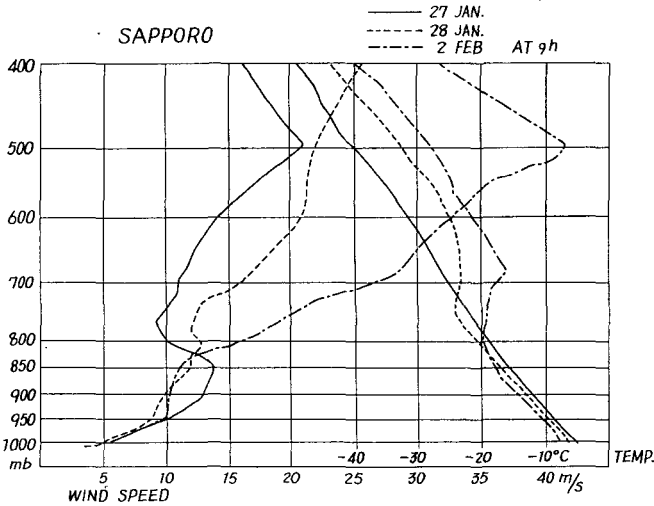


第9図 第8図に同じ (1966年1月28日09時)

Fig. 9. Same as Fig. 8. (0900 JST, 28 Jan. 1966)



第10図 第8図に同じ (1966年2月2日09時)  
 Fig. 10. Same as Fig. 8. (0900 JST, 2 Feb. 1966)



第11図 1966年1月27, 28日, 2月2日09時の札幌における状態曲線図  
 Fig. 11. Sounding curves at Sapporo (0900 JST, 27, 28 Jan. and 2 Feb. 1966).

III-2-1. 1966年1月27日の例

雲については3例のうちこの日の雲が最も明瞭な帯状をなしていた。海岸での雲の観測によると、石狩、花畔、樽川をそれぞれ通る3本の雲列があった。09時の札幌の高層風のデータは第11図左側の実線によって示され、850 mb付近に風速の極大があり、KUETTNER<sup>11)</sup>が指摘している帯状雲形成に必要な条件を充している。また高層天気図(第12図)から、HIGUCHI<sup>12)</sup>

11) J. KUETTNER; The Band Structure of the Atmosphere. Tellus, 11 (1959), 267-294.

12) K. HIGUCHI; On the Characteristics of Snow Clouds. Jour. Met. Soc., Japan. Ser. II, 40 (1962), 193-201.

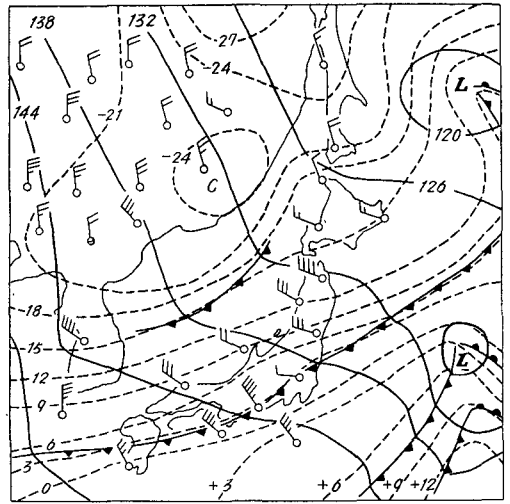
が指摘している温度風による風速の極小を作るのに必要なシベリヤからの寒気が北海道の西方に南下しているのがみられる。これらの点からみてもこの日は帯状雲の形成に適した条件がそろっていたとみてよい。実際の雲の写真から雲列は明瞭であり、また雲頂面が不規則であることから逆転層は強くないことが推測されたが、実際の気温のデータ（第11図右側の実線）にも逆転らしきものは見られなかった。

一方風については地上風のおおよその流れの様子を矢印のついた実線で書いた流線によって示した（第8図）。これから石狩平野には二つの主な流れ、すなわち海岸より入って

来る流れと、南から北上する流れがあることがわかる。これらは平野で一緒になり暑寒別山系と夕張山系の中間の平野部に吹き込んでいる。また海岸付近の風速は非常に強く内陸に入るとつれて弱くなっており、風向も乱れている（矢羽根1本は2m/sの風速を表わす）。このことは内陸にある種の風の不連続域のあることを思わせる。そこでこの日の岩見沢測候所における風向、風速の自記紙をみると第8図の地上風の場が定常的ではなかったことがわかった。すなわち、岩見沢では09時30分頃まで南風であったのが11時頃から北西風が侵入してきているのがわかった。第8図の時刻、09時においては季節風が岩見沢までは侵入できず、季節風と南風の境界は石狩と岩見沢の間にあったと思われる。それが時間と共に内陸に侵入し11時頃になって岩見沢まで入り込むようになったとみられる。換言すれば09時頃には内陸の風は主に南分をもつ風系に支配されており、季節風に対する一種の障壁となっていたと考えられる。従ってこの日の09時頃の帯状雲からの降雪は他の日に比して南風の影響をより強く受けたであろうと考えられる。後で述べる他の2例においては雪雲が侵入する頃にはすでに内陸の風は殆んど北西か西の風の場になっていた。

またこの時のレーダーエコー観測から、エコーは幾つかに分離していたことがわかった。細い帯状雲に伴うエコーとしてこのことが特徴かどうかは不明であるが、地上の降雪域にはこの影響は見出されなかった。むしろこのような個々のエコーからなる、より大きい範囲の集合エコーと見なした方がよいかもしれない。個々のエコーは雲列を海上まで延長するなら3本の帯状雲にすべて伴われたものと見なすことができる。

次に上でみた風の場合および雲、レーダーエコーの分布を参考にしながら地上降雪分布を考えてみる。まず岩見沢に降雪の極大域があり、北に狭く南西に広がった分布をしている。しか



第12図 850 mb 天気図 (1966年1月26日21時)

Fig. 12. 850 mb weather chart (2100 JST, 26 Jan. 1966).

も流線が降雪の等値線を殆んど直角に切っている。特に南からの気流に対してはこのことが顕著である。また降雪値0の線が札幌と積丹半島を結ぶ方向(約290度)に平行であり、また高度1500~2000 m間の風向ともよく一致している。従って降雪域は積丹半島が带状雲の侵入に障害となると考えられるから少なくとも北側に見出されなければならない。

以上のことから石狩湾から進入する雪雲からの雪結晶は次のような機構で地上の降雪域を作ったと考えられる。すなわち、石狩湾より带状雲に伴われた個々のセルよりなるむしろ集団状のエコーから雪結晶は西北西の上層風によって平野に進入しながら落下する。これと共に南からの気流が降雪域を北に運ぶと共に地上流線に従い雪結晶がある場所(この場合は岩見沢)に吹き寄せたと考えられる。降雪等値線を直角に流線が切る場所においては吹き寄せの効果は大きかったとみることができる。このように地上流線の、特に南よりの成分の影響の大きい時には、地上近くの南風の成分を持たなかった札幌の高層風資料を用いると岩見沢の降雪極大域への雪結晶の発生域がレーダーエコー域より北に寄ってしまうことが認められた。

### III-2-2. 1966年1月28日の例

第9図はこの日の風とレーダーエコーおよび降雪域等の関係を示している。雲は石狩、三線を含む海岸のやや北側を太い1本の带状雲として観測された。地上での観測点が石狩より北方に配置されていないのでこの带状雲の北端は明確に決められないがレーダーエコーがこの雲域の南端に殆んど一致しているので、この点から雲の北端もレーダーエコーの北端とそれ程違わないとみてよい。この日の09時に手稲山頂より撮影した雲の写真から雲頂面は前日の例より平坦であり安定層の影響を受けていると考えられる。第11図の右側の点線でこの日の09時の高層の気温分布を示しているが、これによると高度750 mb付近からかなり厚い逆転層が存在している。2月2日の例もそうであるが雲頂の平坦さと顕著な逆転層の存在との間の対応はすこぶるよかった。

この日の地上風の特徴は岩見沢も西風であることからわかるように季節風が比較的内陸に深く進入していることである。それは風速においても認められ、海岸より内陸に向っての減じ方が急激ではなかった。そして平野の東側、すなわち、夕張山系との境界近くと、平野の南部にのみ南風が見出される。このような風の場合においては西北西の風にのった雪雲からの雪結晶は殆んど地上まで方向を変えることなしに内陸に入れると思われる。そして積もる場所として地上流線の方向転換する所が最も好都合な場所と考えられる。第9図における栗沢の降雪極大域はこのような考えを満足させるところに位置している。また積雪極大域への雪結晶の落下経路および雲頂高度約2000 mであることからみてこの降雪が海岸の带状雲から由来するものと断定される。

### III-2-3. 1966年2月2日の例

第10図はこの日の平野部の風の場合および降雪域等の関係を示している。雲は前の例と同じく石狩と三線付近を蒙っており、海岸の北側を進入する雪雲であった。レーダーエコーのデ

ーターはないが、手稲山頂から撮影したこの雲の写真をみると、前の2例と同様の典型的な雲列の様子から帯状雲と考えてよい。また第11図右側の鎖線の気温分布によると高度800 mb付近より顕著な逆転層が存在している。従ってこの時の雲頂は3例のうちでは最も低かったと思われる。

また地上風は1月28日の例と同様季節風が比較的内陸まで進入しているが、岩見沢では南風であり、岩見沢と石狩との間(江別の北方)に北からの弱い気流が存在する点で異なっている。このような気流の降雪への影響は降雪域の形によく反映されている。すなわち、主な降雪域の形は降雪極大域を江別と栗山の二点でもつ西北西に横たわる分布をしているが江別付近の降雪域の北側の降雪等値線はその間隔が詰まっており、岩見沢付近の南風の領域では降雪等値線が北の方にふくらんでいるのが見られる。これは前にも述べた地上風による雪の吹き寄せの効果を示すものであろう。

一方栗山の降雪極大域の位置については、地上流線からこの降雪域は地上風の南風の影響をあまり受けていないと考えられるのもっと北側に位置しなくてはならない筈である。その理由として、この日の雪雲の雲頂は逆転層の高度約850 mbより下であるということから、栗山の降雪域から推定される雪の落下経路上の発生域をたどると海岸の雲域までには届かない。従って栗山の降雪は観測された雪雲からではなく、もっと内陸に進入した雪雲からもたらされたものと見ることができる。すなわち、石狩と江別を結ぶ線上を江別に近い処まで進入した雪雲からの降雪と見なされる。このように内陸に深く進入した雪雲からの降雪は地上風の影響を受けるより先に夕張山系の西斜面の障壁としての効果を受けるものと思われる。これに対してもう一つの降雪極大域である江別の降雪は、観測された海岸の雪雲がその発生域であることは明瞭であり、発生域から江別までの地上風も殆んど西北西の風であり何等方向を変えることなく、ただ発生域の高度に依って降雪域の位置が決定されたものであろうと思われ。

#### IV. 結 論

石狩平野内でレーダーおよび高層風のデーターのある札幌をとりあげ、その降雪が風によって大きく影響を受けるという統計的結果から、石狩平野内に現われる局地的降雪が風の場(上層風も含めて)によって説明されることを示した。

先ず第1に平野の広い地域が南風の影響下にあるときは石狩湾から西北西の風によって平野に落下しつつある降雪は平野の北部に降雪極大域を作るいわゆる地上風による雪の吹き寄せの現象が見られた。

第2に風向が上層も地上も変わらないときは降雪は内陸深くまで入り得るし、ときには夕張山系の障壁によりその西側に降雪極大域を作る。またそれまでに雪が地上に達するような時には地上流線からみてその変曲点の処に積雪域が見出された。

以上のいずれの場合においても雪の発生域は石狩湾海上か、またはそこから進入してきた

と思われるやや内陸に入った処に見出され、石狩平野内での新たな降雪発生域は考えられなかった。

(謝辞) この研究をするにあたって、石狩沿岸の積雪および雲のデータは北大理学部気象学研究室雲物理研究グループ、またレーダーのデータは札幌管区気象台、積雪深は管内国鉄保線区によるものであり、心から感謝いたします。

## 2. The Horizontal Distribution of Snowfalls on the Ishikari Plain, Hokkaido. Part I

(The Snowfall and the Wind in the Land)

By Chung Woo LEE, Katsuhiko KIKUCHI  
and Choji MAGONO

(Department of Geophysics, Hokkaido University, Sapporo)

The horizontal place of generation of snowfalls which arrived at the surface in Sapporo was determined by the use of the vertical profile of wind and the fall speed of snow crystals.

As a result of the determination, it was found that in case of daily snowfall intensity greater than  $10 \text{ mm} \cdot \text{day}^{-1}$ , the generation of the snow was made over the sea to the north-west of Sapporo, while in case of the intensity between 5 and  $10 \text{ mm} \cdot \text{day}^{-1}$ , it was mainly generated over the mountains to the west of Sapporo. In the former case, the snowfall was transported by the north-westerly monsoon.

The horizontal distribution of daily snowfalls and the surface wind under the north-west monsoon was measured by a mesoscale network in the Ishikari Plain. As a result of the analysis, it was found that a few parallel cloud bands were formed over the sea, and radar echo bands were observed to the leeward of each cloud band when the monsoon was prevailing.

It was also found that snow crystals generated in the clouds were transported by the prevailing wind, and then the snowfall was converged to a location near Iwamizawa at the west foot of the mountain area. The convergence was produced by the colliding of monsoon with a southerly wind in the inland.

Considering the results described above, it was concluded that the localization of snowfall was mainly produced by the convergence of the wind system, although the convergence was not related to the generation of snow crystals.