

降雪量の階級別予報の成績と降雪分布*

一 木 明 紀**

要 旨

函館海洋気象台予報課では、道南地方における降雪量予報を撒布図によって階級別に出している。この予報の精度について鉄道関係者等から比較的関心が持たれているので検討してみた。また同時に降雪の分布状況についても調べた。その結果降雪量の予報では、日平均降雪量および最大降雪量の両方が共に適中したのが47%、また数量的には平均降雪量において、観測値と予報値の相関係数0.61をえた。

降雪量の地域分布は、気圧配置と密接に関係し、また日降雪量の度数分布は、指数関数や、ガンマ分布に近かった。

1. ま え が き

道南地方の撒布図による降雪階級の予報については、青木¹⁾によって作成、昭和41年2月7日から実施され府県区の天気予報や、注意報の検討等に使用されている。また国鉄青函局にはルーチン、ワークとして発表される等活用されている。

これは、日平均降雪量と最大降雪量を撒布図によって季節風によるものと、低気圧によるものとのいずれかにあてはめて検討し、5階級に分けて予報を出すものである。今回は降雪量予報そのものを検討するのではなく、その精度を調べてみることにした。

なお資料としては、昭和43年1月14日から3月15日までの冬期約2か月間を用いた。本来ならば12月中旬頃から3月中旬頃までをとるべきであったが、ちょうどこの年は国鉄青函局との協定の問題等もあり、やや不満足の資料しか得られなかった。又統計的な取扱いをするためにはまだまだ多くの年数の資料が必要である。

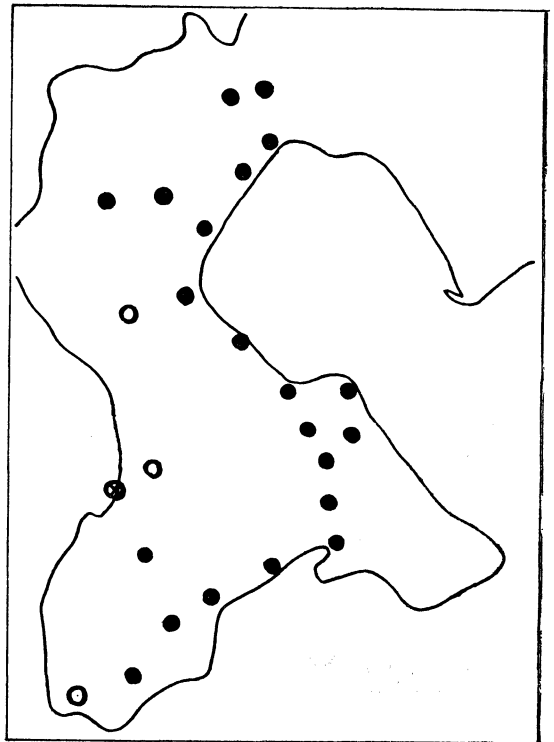
観測地の資料の殆んどは青函局のものを利用して頂いた。この期間毎日の降雪量予報の検討に当たったのは、古屋、松本、佐々木、一木である。

2. 資 料

各観測点は第1図の如くで、●印は鉄道駅、○印は渡島松山管内乙T観測所、⊗印は江差測候所である。●印の鉄道駅観測点は、江差松前線、瀬棚線、函館本線(砂

原線を含む)の国鉄青函管理局管内沿線の各駅である。

国鉄駅の観測値は5cm単位、乙T観測所、江差測候所は1cm単位であり、1月18日の降雪量とは、●点では当日8時から翌日8時、○、⊗点は当日9時から翌日9時までの新積雪である。



第1図 各観測点

* Skill Score of the Classified Quantitative Forecast of Snowfall and Snowfall Distribution

** A. Ichiki 函館海洋気象台

—1969年1月21日受理—

—1969年7月1日改稿受理—

第1表 日降雪量の階級区分

予報階級	平均降雪量	最大降雪量
Ⓐ	≥15	40~70
A	11~14	30~55
B	8~10	25~45
C	5~7	20~35
D	≤4	15~25

新積雪量の地域分布図は毎日作ったが、観測点が渡島地方の特に鉄道沿線に偏在したので、他の資料や、調査報告等も参考にして作成した。実際の分布とは相当違っているかも知れない。そこでここでは、主に鉄道沿線の降雪状況を調べることにした。

降雪量の毎日の平均値としては、スペース平均的な意味から観測点の数にとらわれず、次のように分類した。

- 1) 江差松前線(松前, 江差一函館)
- 2) 函館本線南部(函館一森, 砂原線を含む)
- 3) 函館本線中部(森一国縫)
- 4) 函館本線北部(国縫一熱那, 静狩)
- 5) 瀬棚線(国縫一瀬棚)

多少問題があるかも知れないが、以上の各ブロックの値の算術平均をとった。最大降雪量は全観測点25点中の最大値をとった。

3. 成績

(1) 降雪量予報の適中率

ワークシートによれば降雪量予報のランクは第1表の如く五つに分かれているが、実際の予報では、ⒶおよびAランク予報の7例中、6例までがⒶあるいはAとして予報されているため、これを合わせて1ランクとし、事実上は4ランクで検討した。又最大降雪量15cm以下はDランクに入れた。平均降雪量(V)、最大降雪量(W)共に、各ランクの予報範囲内にあれば適中、なければはずれとすると結果は第2表のようになった。これに関して、

① 平均降雪量の適中率48%より最大降雪量74%と成績が良いのは、最大降雪量においては予報範囲が重複するためである。

② 平均降雪量が適中し、しかも最大降雪量がはずれたのは、1例のみである。

③ 平均降雪量では1ランクのずれが20あり、これを適中に入れると適中率は81%となる。

④ 大きくはずれたのが3例、これは後ほど検討す

第2表 監査成績

	V	W	V∩W	W∪V
適中	30	46	29	47
はずれ	32	16	33	15
適中率	48%	74%	47	76

る。

以上の結果から成績の良し悪しは読者の判断にまかせるが降雪量多少の目安としては充分利用価値があると思われる。なお雨量の場合のように降雨のない日が多い場合は、毎日降雨なしの予報を出しても予報の適中率が良くなってしまうので、この様な時は気候的な差を除かないといけない。今回の降雪量の場合は、全然降雪のなかったのは62例中7例だけなのでこの様なことはないが、一応スキルスコアを出して見る。この場合の適中率は、 $30/62=48\%$ でなく、次の様に考えないといけない。A, B, C, Dのいずれかの現象が起ると予報して(62)起った場合を a 、起らなかった場合を b 、A, B, C, Dのいずれの現象も起らないとして(186)起った場合を、 c 、起らなかった場合を d とすると、適中率は、

$$H = \frac{a+b}{a+b+c+d} = 74\%$$

スキルスコアは、49%となる。

(2) 量的な精度

平均降雪量の適中率のところでは、1cmの違いも、20cmの違いも同じはずれに評価された。そこで数量的な精度について検討する。ここでは実測値と予想値の相関係数を目安として計算すると、

$$\text{実測値の平均} \quad m_1 = 6.0$$

$$\text{予報値の平均} \quad m_2 = 5.9$$

$$\text{実測値の分散} \quad \sigma_1^2 = 27.9$$

$$\text{予報値の分散} \quad \sigma_2^2 = 17.3$$

$$\text{実測値の標準偏差} \quad \sigma_1 = 5.3$$

$$\text{予報値の標準偏差} \quad \sigma_2 = 4.2$$

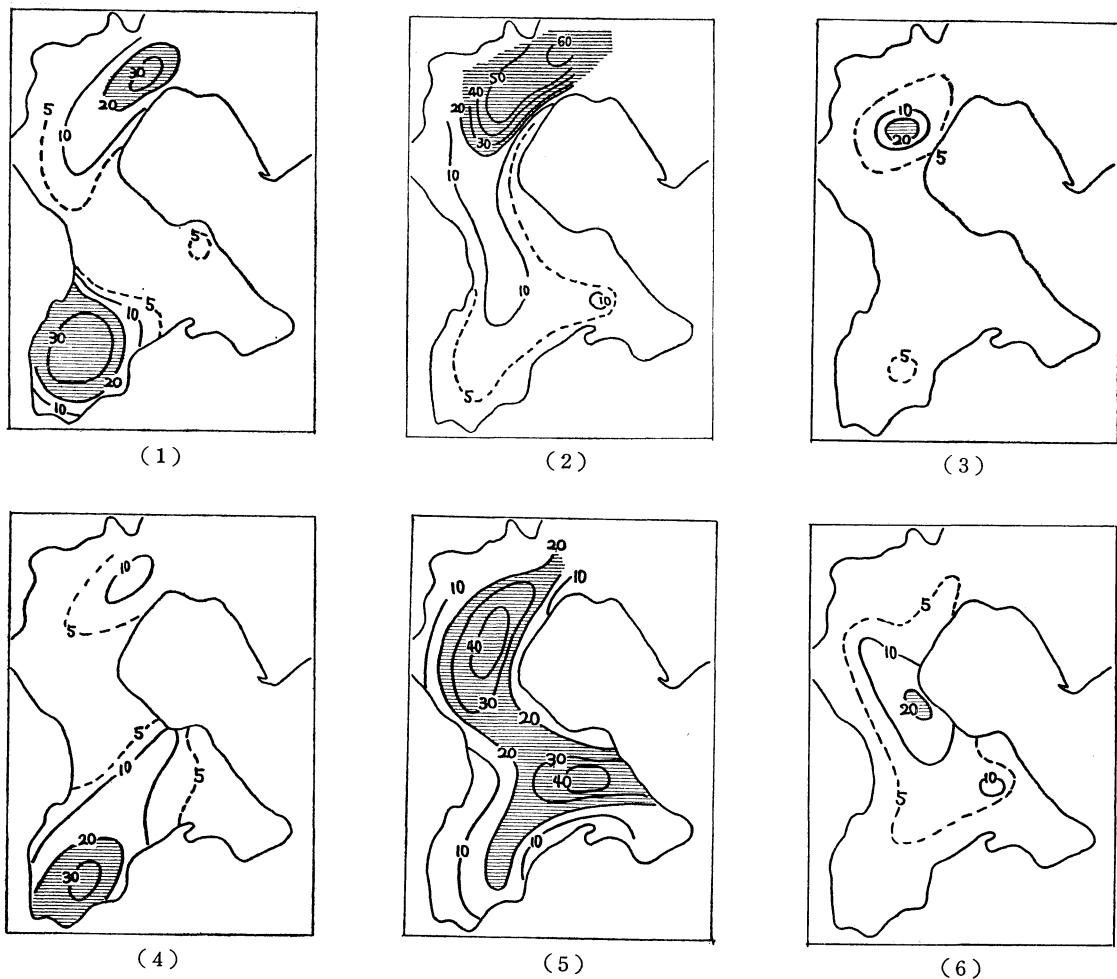
$$\text{実測値の変動係数} \quad 0.88$$

$$\text{実測値と予報値の共分散} \quad \mu = 13.6$$

$$\text{実測値と予報値の相関係数} \quad r = 0.61$$

以上の結果を得た。又この相関係数の信頼限界を求めると、危険率($\alpha=5\%$)、信頼係数($\epsilon=1-2\alpha=90\%$)で、 $n=62$ 、 $r=0.61$ より、 $0.45\sim0.72$ を得た。

相関係数0.61が予報精度としてどの程度のものかよくわからないが、可能発電量と降水量および気温についての相関係数0.72及び0.63等が報告されている。



第2図 日降雪分布型の代表例

- (1) A₁型: 本線北部・南西部集中型 (昭43. 1. 26), (2) A₂型: 本線北部集中型 (昭43. 1. 15)
 (3) A₃型: 瀬棚線集中型 (昭43. 2. 15) (4) B₁型: 南西部集中型 (昭43. 1. 2)
 (5) B₂型: 本線沿線集中型 (昭43. 1. 31) (6) B₃型: 本線中部集中型 (昭43. 2. 11.)

4. 降雪量の地域分布と気圧配置

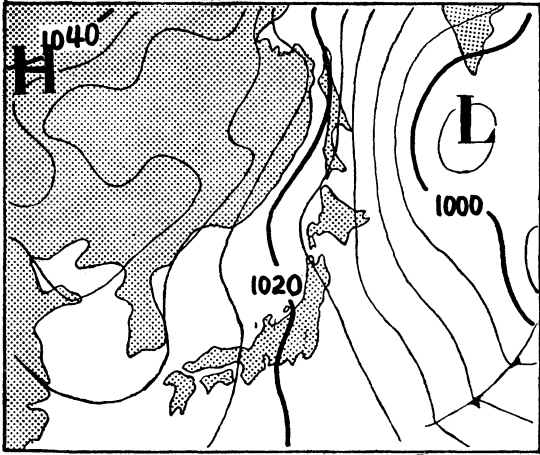
(1) 毎日の降雪量の地域分布図を分類すると、第2図のようになる。

① 本線北部と南西部集中型	A ₁ 型	17例	27%
② 本線北部集中型	A ₂ 型	12	19
③ 瀬棚線集中型	A ₃ 型	6	10
④ 南西部集中型	B ₁ 型	8	13
⑤ 本線南部と北部集中型	B ₂ 型	7	11
⑥ 本線中部集中型	B ₃ 型	3	5
⑦ 降雪なし	C型	9	15

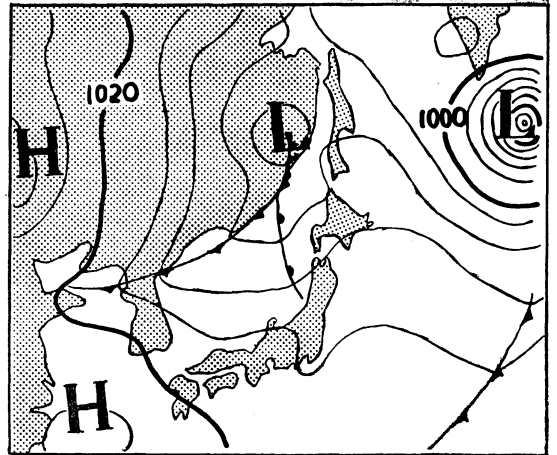
但し、本線中部は降雪量が少ないため、中部に降雪の目

だつ場合は他のブロックに多少多くあっても B₃型とした。降雪なし⑦には1地点のみ降雪量のあった2例を含めた。以上の如く A₁型が最も多く、類似した A₁+A₂+B₁で全体の59%をしめる。平均的な多雪地帯は、本線北部、瀬棚線、南西部であり、本線中部及び本線南部の函館は特に少ない。

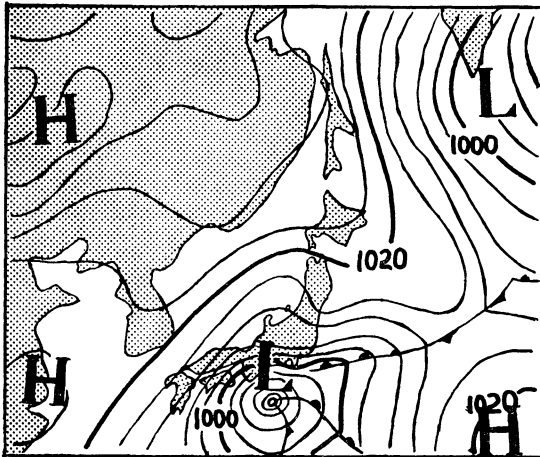
降雪量分布については1項でも述べたように、観測点偏在のため地形の影響、特に山脈の風上、風下、上層の流線、これに対応する雪雲の通り道、レーダーエコーの現れ方等によって、毎日毎日個々に検討した上ででき上がるものであるが、手数が大変なので今回はほぼ機械的



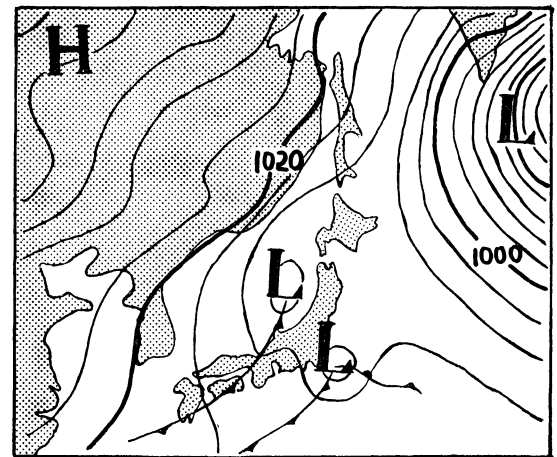
(1)



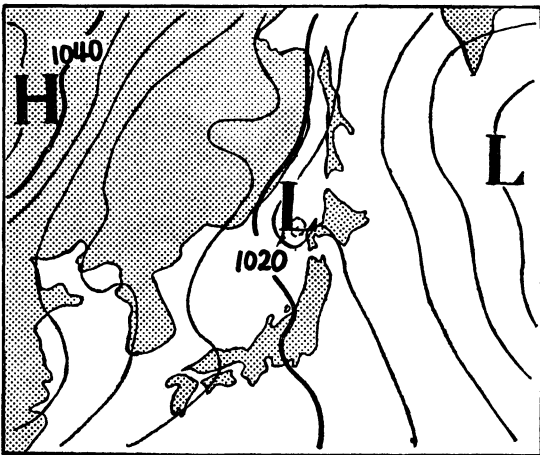
(2)



(3)



(4)



(5)

第3図 降雪をもたらす気圧配置型の代表例

- (1) a型：西高東低（昭43. 1. 27. 09時）
- (2) b₁型：低気圧北方通過（昭43. 3. 13. 09時）
- (3) b₂型：低気圧南方通過（昭43. 2. 15. 21時）
- (4) b₃型：二つ玉低気圧（昭43. 1. 24. 09時）
- (5) b₄型：低気圧停滞（昭43. 2. 9. 09時）

第3表 降雪の地域分布と気圧配置の関係

	a	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	c	計
A ₁	16 (6)	0	0	1 (1)	0	0	17 (7) 41%
A ₂	7 (4)	1 (1)	1 (0)	2 (0)	1 (0)	0	12 (7) 58
A ₃	3 (2)	0	2 (0)	0	1 (1)	0	6 (3) 50
B ₁	3 (1)	2 (1)	1 (0)	0	2 (0)	0	8 (2) 25
B ₂	0	2 (0)	1 (1)	4 (1)	0	0	7 (2) 29
B ₃	0	1 (1)	0	2 (1)	0	0	3 (2) 67
C	0	2 (1)	0	2 (2)	0	4 (3)	9 (7) 78
計	30 (14) 47%	8 (4) 50%	5 (1) 20%	11 (7) 64%	4 (1) 25%	4 (3) 75%	62 (30) 48%

に行なった。又恵山方面は資料がなかった。

(2) 期間中の気圧配置。

この期間中の気圧配置を多少無理しておおまかに分類すると、第3図のようになる。

① 冬型	a	30例	48%
② 低気圧北方通過型	b ₁	8	13
③ 低気圧南方通過型	b ₂	5	8
④ 二つ玉低気圧型	b ₃	11	18
⑤ 停滞気味の低気圧型	b ₄	4	6
⑥ その他	c	4	6

以上の結果に関連して、

1) 気圧配置は冬型が最も多く約半数の48%をしめる。

2) 二つ玉低気圧をやや拡大解氷気味にとつたため割合が多くなった。

3) 停滞気味の低気圧とは、既に気圧の谷が通りすぎ大きな場として冬型になったのにまだ低気圧が松山沖や、北海道西岸に停滞した場合、

4) その他の所には春型の移動性高気圧におおわれた場合が3例あり、いずれも降雪量はなかった。

(3) 降雪の地域分布と気圧配置、予報適中率

降雪の地域分布と気圧配置の関係は第3表の如くで括弧の数字が適中回数、パーセントが適中率である。

この結果を降雪分布型からみると、

- ① A₁型は殆んどがaである(94%)。
- ② A₂型もaが多い(58%)。
- ③ A₃型はaが半数である。
- ④ B₁型は平均して分布するがb₃がない。
- ⑤ B₂型はaはなくb₃が多い(57%)。
- ⑥ B₃型はaはなくb₃が多いがB₂型と違ってb₂がない。

1969年9月

第4表 降雪量の多かった日

順位	平均降雪量(最大)	月 日	地域分布	気圧配置
第1位	24 (45)	1. 31	B ₂	a
2	18 (60)	1. 15	A ₂	a
3	17 (30)	2. 19	B ₂	b ₃
4	14 (40)	2. 1	A ₁	a
4	14 (30)	1. 4	B ₁	a

第5表 季節風型と低気圧性降雪の適中率(%)

	例	適 中	適中率
季 節 風 型	39	18	46
低 気 圧 性	19	7	54
両方を使用	4	1	25
検討の必要のなかった場合	6	4	67
計	62	30	48

⑦ 降雪のない時はcが多い
気圧配置からみると

- ① aはA₁型が最も多い(53%)。
- ② b₁は目だった特徴はないが全体的に少なく、特に、A型は少ない。
- ③ b₂はA₃型が多い(40%)。
- ④ b₃はB₂型が多い(36%)。
- ⑤ b₄はB₁型が多い(50%)。
- ⑥ a, b₁₋₄に属しない場合は降雪がない。

降雪量の多かった日を取り出したのが第4表である。又適中率を見ると、

① 冬型の気圧配置の場合の適中率は大体平均と同じである(比較的予報し易いと思われていたが、上層寒気流入の予報のむづかしさと、500~1000mbの層厚傾度

第6表 不適中の検討例

月・日	気圧配置	地域分布	予報ランク	実測値平均(最大)	原因
1. 20	a	A ₃	D	8 (30)	850 寒気移流の項出ず
2. 21	b ₁	B ₁	B	3 (15)	安定度の項出ず
2. 22	b ₂	A ₂	B	1 (10)	温度風移流, 地形性上昇気流の項出すぎ

第7表 新積雪の頻度分布

積雪量 (cm)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	8	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
観測日数	2	5	7	3	7	5	4	2	2	2	2	4	3	3	2	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0

の項に問題がある)。

② 低気圧性降雪も、二つ玉低気圧の場合を除いて悪い(これは低気圧の速度が速い場合、使用データにまだ低気圧の影響を受けてない場合が多い)。

③ 移動性高気圧におおわれた時など降雪のない場合は適中率が良い。

④ 南西部集中型、本線南部と北部集中型の予報成績は、特に悪い。

撒布図利用のさいに、季節風型と低気圧性で検討した場合のそれぞれの適中率を見ると第5表の通りである。

予報が大きいくはずれたのが3例ありそれを取り出すと、第6表の如くである。

5. 日平均降雪量の度数分布

日平均降雪量の度数分布がどうであるかを検討してみた。新積雪量(x_i)を1cm単位でとり、その頻度状況から第7表を作った。なお積雪の全然ない場合の6例は除外した。これら観測値の平均値は6.6、分散は26.8である。標本変量の度数分布関数をf(x)とおいて以下のような分布関数で近似してみた。

(1) ポアソン分布

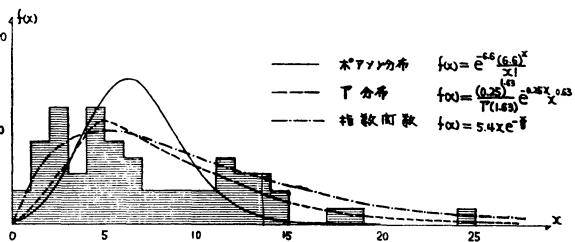
$$f(x) = e^{-\lambda} \frac{\lambda^x}{x!}$$

$$E(x) = \sum_{k=0}^{\infty} k e^{-\lambda} \frac{\lambda^k}{k!} = \lambda$$

$$Var(x) = \sum_{k=0}^{\infty} k^2 e^{-\lambda} \frac{\lambda^k}{k!} - \lambda^2 = \lambda$$

従って、

$$f(x) = e^{-6.6} \frac{(6.6)^x}{x!}$$



第4図 日降雪量の分布曲線

この曲線は第4図に示した。これによると、道南地方において1月から3月までの約2か月間に、日平均降雪量が、5cmとなるのが約14%、10cmで6%、15cmで2%、20cm以上となるのは殆んどないという結果になり、積雪の多い方で確率が小さくなり過ぎる欠点がある。

(2) I分布

$$f(x) = \frac{\beta^\nu}{\Gamma(\nu)} e^{-\beta x} x^{\nu-1} \quad (\text{ただし, } \beta = \frac{1}{a}, \nu = P)$$

$$E(x) = \frac{\nu}{\beta} = pa, \quad Var(x) = \frac{\nu}{\beta^2} = pa^2$$

よって a=4.0, β=0.25, p=ν=1.63

$$f(x) = \frac{\beta^{1.63}}{\Gamma(1.63)} e^{-0.25x} x^{0.63}$$

この曲線も第4図に示した。これによると、日平均降雪量が5cmとなるのが11%、10cmで7%、15cmで2%、20cmで0.6%、25cmで0.3%位となり、また20cmまでで97.2%をしめる。ポアソン分布の場合の様に降雪量の多い方で確率が小さくなり過ぎるといふ欠点は幾分解消できる。

(3) 指数関数

$$f(x) = kxe^{-\lambda x}$$

と勝手においたが、度数分布関数となるように係数を定めると、観測値の分布とかなり違ったものになるので係数を適当に定めると、

$$f(x) = 5.4xe^{-x/5}$$

この曲線も第4図に示した。もちろんこの場合は、

$$\int_0^{\infty} f(x) dx \neq 1$$

なので、 $f(x_i)$ は x_i 点での確率を与えないが、観測値の分布と比較的合う。しかしこの場合は、 x_i が大なる所での $f(x_i)$ の減り方が少ない。

ここでこれらの分布曲線が実際とどの程度合っているかを目安として χ^2 検定をほどこすと、ポアソン分布では $\chi^2_p = 58$ (自由度13)、 Γ 分布では $\chi^2\gamma = 58$ (自由度13) となり、 $f(\chi^2 \geq 58) < 0.001$, $f(\chi^2\gamma \geq 58) < 0.001$, で両方とも良くない。これは積雪の少ない最初のところに無理があり、積雪3cm以上で計算すると、ポアソン分布では $\chi^2_p = 39$, $f(\chi^2_p \geq 39) < 0.001$ で相変わらず良く合わないが、 Γ 分布では $\chi^2\gamma = 9$, $f(\chi^2\gamma \geq 9) = 0.62$ となり比較的良く合う。[有意水準を $\epsilon = 0.01$ とすると、 $\chi^2_0 = 27.7$ (自由度13), $\chi^2_0 = 24.7$ (自由度11) となり平均降雪量の頻度分布は、ポアソン分布、 Γ 分布であるという仮説は棄却されるが、積雪3cm以上では、 Γ 分布は有意であるといえる。なお指数関数では $0 \leq x \leq 25$ の範囲で $\chi^2 = 20$ となるので、 $\epsilon = 0.01$ で有意であると言える] 他の調査等においても、日降雪量や降水量の度数分布は Γ 分布で近似するのが良いと言われているが、今回もなんとか Γ 分布で近似出来たとしたい。(3) 項の指数関数は自分勝手に作ったものだが、度数分布関数でなくても良ければこのように凸凹した分布は、フーリエ級数の等周期関数と指数関数を組合わせればさらに上手に近似できそうだが大した意味もなさそうだ。なお降雪量や降水量においては、日平均より月平均、月平均より年平均をとったものがより正規分布に近づく傾向があり、取扱いが楽になるようだ。

6. おわりに

降雪量の予報については、青木慶一郎が函館海洋気象台予報課に勤務中数多くの研究調査を重ねて、多くの業

績を残した。降雪量の階級的予報のワークシートもその成果の一つである。今回はこの予報の精度を検討し、降雪の機構とか予報の出し方については取上げなかったが、今後さらに予報精度を上げるためには、海洋の影響(海洋から補給される水蒸気量、顕熱放出量等、Jacobの推定式やBowenの比等の簡単な式を用いて一つの予報要素として使う)や陸地の影響(山越え気流や、雪雲の通り道の検討)、レーダーエコー、FAXで放送される電計資料等を有効に使って、しかも誰にでも簡単にルーチンワークとして使えるようなものができることが望ましい。

今回の調査では、統計的な取扱いをするには、資料が少なく結果はあまり信頼されるものではないが、その傾向だけでも何かの役に立てばと思う次第である。

なおこの調査に当りお世話になった、佐々木予報課長、浜塚海上予報係長に感謝したい。

参考文献

- 1) 青木慶一郎, 1965: 降雪量の季節予報. 昭和40年度道南地区研究会資料.
- 2) 青木慶一郎, 古屋勝美, 1965: 渡島半島における雪の統計的調査, 昭和40年度道南地区研究会資料.
- 3) 電力気象ハンドブック No. 1, 1968: 北海道の雪, 電力気象連絡会, 北海道地方委員会.
- 4) 青木慶一郎, 1965: 寒候期における予報則の検討, 昭和40年度全国予報技術検討会資料.
- 5) 青木慶一郎, 1965: 大雪に関する検討, 昭和40年度北海道予報技術検討会資料.
- 6) 河田竜夫, 国沢清典, 1960: 現代統計学, 広川書店.
- 7) 高橋浩一郎, 1951: 気象統計, 地人書館.
- 8) 国沢清典, 鈴木栄一, 1956: 実例統計学演習, 青林書院.
- 9) MARCELL, BOOL (矢野健太郎: 弥永昌吉訳), 1957: 万能数値表, 白水社.
- 10) 気象 1968, 3~5, No. 131~133: 天気図日記.
- 11) 山岸照幸, 1965: 低気圧前面の大雪についての検討, 昭和40年度北海道地方予報技術検討会資料.
- 12) 松本誠一, 飯田睦次郎, 竹内衛夫, 浅井富雄, 二宮洗三, 1963: 豪雪時における Cold Vortex の解析, 昭和38年度予報技術検討会資料.