

北海道大学工学部 正員 ○ 五十嵐日出夫
 国土総合開発株式会社 正員 岡部 健二

1. まえがき

従来、雪国の冬は家も道路も一面の雪に被われ、交通は断絶え、その結果起る社会的損失はやむを得ないという諦めの感があった。北海道においてもこの状態が終戦後数年まで続いていたが、昭和30年代になり日本経済が復興の兆をみせてくると、各地における自動車保有台数は徐々に、やがて急速に増大するようになってきた。その結果、その走行によって生ずる経済的便益は甚だ大きいものとなり、およそ半年もの間、道路交通が渋滞し、あるいは断絶することは到底許容しえないものとなった。それでこの道路交通確保のため、一都市だけでも数億円というような莫大な除雪費を費しているのである。しかしこのような多大な費用をかけているにもかかわらず、従来の除雪研究といえばただ単に除雪作業の方法や、機械の改良、操作などに専らな意を用い、その効果面の研究はほとんどなされていない感があった。そこでこの研究においては降水量（降雪量）と除雪方法の関係を経済効果の観点から検討を試みたのである。なお実際例として札幌市をとった。

2. 計画降水量の定義

ここにいう計画降水量とは、除雪計画にあたり、日降水量を何 mm と仮定して計画すれば最も経済的となるかという日降水量のことである。計画降水量を小さくすれば除雪費は少なくてすむが、これを超える降水の日が多くなり、その日には除雪能力が及ばず交通障害がおきる。計画降水量を大きくすれば、除雪費は多くなり、日降水量が計画降水量より小さい日には、設備の遊休となる。一方このとき交通障害の危険は減少する。これらの費用、あるいは損失を合計したものを総費用とすれば

総費用 = 除雪費 + 設備遊休費 + 交通障害による損失費用

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \quad (1)$$

となる。上の総費用は積雪によって生じる社会的損害である。いわば積雪地のみが負担しなければならぬ費用である。計画降水量は、この総費用を最小にするように決定するべきものである。

その方法は図・1 のようにして求められる。すなわち除雪費と設備遊休費とを加えた曲線と、交通障害による損失費用曲線の交点として計画降水量が与えられる。

3. 計画降水量の計算

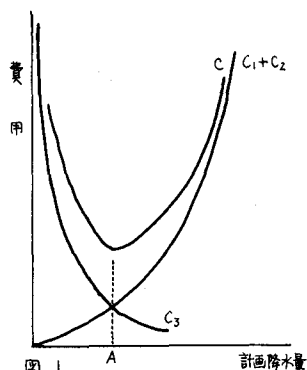
(1) 記号

除雪費、設備遊休費、交通障害費用を求めるにあたり、次のような記号と条件を定める。

道路幅員

W

(m)



道路延長	l (km)	日平均交通量	Q (台・km/日)
交通便益	P (円/台・km)	除雪費(単位体積当り)	a (円/ m^3)
除雪計画日数	132 (日;札幌市)	雪の比重	ρ
計画降水量クラス	A_i	除雪総費用	C_1 (円/年)
設備遊休費用	C_2 (円/年)	交通障害費用	C_3 (円/年)
1シーズンにおける日数	B_i (日)	遊休費用係数	ξ
交通量減少係数	η		

(2) 計画降水量のクラス分類

札幌市における1931年より1960年にいたる30年間の冬期日降水量統計をみると日降水量が28mm以上となるのは年に1日もない。いま計画降水量の上限を日降水量28mmとするとそれ以下の累積相対度数は99, 99%であるから、計画降水量の上限を28mmとしてそのクラスを次のようにわけると。

表、1 計画降水量のクラス

計画降水量			日降水量統計				シーズンにおける日数	
クラス	記号	降水量	降水量	度数	相対度数	記号	日数	
0	A_0	0mm	0mm	2,134	0,5416	B_0	71,4912	
1	A_1	4	0.1~4.0	1,036	0,2629	B_1	34,7028	
2	A_2	8	4.1~8.0	387	0,0982	B_2	12,9624	
3	A_3	12	8.1~12.0	174	0,0442	B_3	5,8344	
4	A_4	16	12.1~16.0	105	0,0266	B_4	3,5112	
5	A_5	20	16.1~20.0	50	0,0127	B_5	1,6764	
6	A_6	24	20.1~24.0	31	0,0079	B_6	1,0428	
7	A_7	28	24.1~28.0	23	0,0058	B_7	0,7656	

ここにシーズンにおける日数とは、冬期間132日のうち該当するクラスの日数が何日あるかというものであつて、各クラスの日数=132×各クラスの相対度数として求められる。

3. 各費用の計算

(1) 除雪総費用 C_1

計画降水量クラス A_i によつて計上される除雪総費用を C_i とすれば、それほ次のようにして求められる。

$$\text{道路面積 } S = 1000wl \quad (m^2)$$

$$\text{計画降水量 } A_i = \text{mm} \times l \quad (mm/日)$$

$$\text{計画除雪量 } W_i = 1000wl \times \frac{A_i}{1000} = 4ilwl \quad (t/日)$$

$$\text{計画除雪量(体積)} V_i = 4ilwl / \rho \quad (m^3/日) \quad (2)$$

(2) 式に1mm当りの除雪費 a をいれ、更に1シーズンの除雪計画日数132日をいれると除雪総費用 C_i がもとまる。

$$C_{1i} = 132 \times 4 \text{ a i w l } / \rho = 528 \text{ a i w l } / \rho \quad (3)$$

(2) 設備遊休費用 C_2

設備遊休費用は計画降水量を大きくとるとそれに伴って設備を強化することになるから次第に増大する。いま日降水量に対する計画降水量の割合 A_j/A_i を実動率とすれば $(1 - A_j/A_i)$ は遊休率となり設備遊休費用 C_{2i} は一般に次のようにあらわされる。

$$C_{2i} = \xi_{ji} C'_{ji} \sum_{j=0}^{i-1} (1 - A_j/A_i) B_j$$

ただし、 C'_{ji} はクラス i における j 日当り除雪費、 ξ_{ji} は C'_{ji} に対する遊休対象となる設備費の割合をあらわす係数である。すると設備遊休費 C_{2i} は

$$C_{2i} = (4 \text{ a w l } \xi_{1i} / \rho) B_0 \quad (i=1 \text{ のとき}) \quad (4)$$

$$C_{2i} = (4 \text{ a i w l } \xi_{ji} / \rho) \sum_{j=0}^{i-1} (1 - A_j/A_i) B_j \quad (i=2, 3, \dots, 7) \quad (5)$$

となる。それで除雪費 C_{1i} + 設備遊休費 C_{2i} は (3) と (4)、(5) より

$$C_{1i} + C_{2i} = \frac{4 \text{ a w l}}{\rho} (132 + \xi_{1i} B_0) \quad (i=1 \text{ のとき}) \quad (6)$$

$$C_{1i} + C_{2i} = \frac{4 \text{ a i w l}}{\rho} \left\{ 132 + \xi_{ji} \sum_{j=0}^{i-1} (1 - \frac{A_j}{A_i}) B_j \right\} \quad (i=2, 3, \dots, 7) \quad (7)$$

式 (6)、(7) において ξ_{ji} を省略して計算すると表・2 のようになる。

(3) 交通障害費用

計画降水量をこえる降水があると設備が完全に運転しても除雪できない場合がおきてくる。このため一部では交通障害が発生する。除雪可能の割合を除雪率 $(= A_i/A_j)$ とすれば、この除雪率に日交通量 (台・km) をかけたものは積雪により休業しようとした交通が除雪することにより営業して発生する交通量ということができる。また不通率を $(1 - \text{除雪率})$ とすれば、これに推定台料と交通便益 P をかけたものが交通障害費用である。この交通障害費用は一般に次のような式であらわされる。

$$C_{3i} = \left\{ \sum_{j=i+1}^7 (1 - \frac{A_i}{A_j}) \eta_{ij} B_j \right\} P Q \quad (8)$$

もしここで交通量減少係数 η_{ij} η とおければ式 (8) は

$$C_{3i} = \left\{ \sum_{j=i+1}^7 (1 - \frac{A_i}{A_j}) B_j \right\} \eta P Q \quad (i \neq 0) \quad (9)$$

のように簡単となる。その計算結果は表・3 のとおりである。

4. 実用式

除雪費 + 設備遊休費 $(C_1 + C_2)$ と交通障害費用 C_3 の係数をクラス番号 σ を表・2 における $\text{a w l } / \rho$ の係数、 τ を表・3 における係数とすれば

$$\sigma = 815.78 (i)^{1.10242} \quad (10)$$

表・2 $C_{1i} + C_{2i}$

クラス	除雪費 設備遊休費
0	0
1	$813.9648 \times \text{a w l } / \rho$
2	1766.7408 "
3	2771.3760 "
4	3799.3296 "
5	4841.3360 "
6	5890.0320 "
7	6946.6404 "

表・3 C_{3i}

クラス	交通障害費用
0	∞
1	$9.9420 \times \eta P Q$
2	6.8747 "
3	4.4887 "
4	2.4738 "
5	1.4159 "
6	0.6562 "
7	0.0000 "

$$T = 14,352 (\text{円})^{-1.4224}$$

(11)

これらの式(10)と(11)により、 σ が与えらるに T を計算し、理論値と比較してみると T については計算値と理論値の差がやや大きいようである。しかし計画降水量のクラスを決定するためには充分であろう。

5. 計画降水量の決定計算例

いま次のような条件を仮定して計算してみると表、図、次のようになる。

$A = 200 \text{ 円/m}^2$, $W = 10 \text{ m}$, $L = 1 \text{ km}$, $f = 0.2$ $P = 40 \text{ 円/分・km}$
 $Q = 10000 \text{ 分・km}$, $\eta = 0.2$ 、ただし除雪計画日数に132日とした。

表、 σ (除雪費+設備遊休費)+交通障害費

クラス	$C_1 + C_2 (\text{千円})$	$C_3 (\text{円})$
0	0	
1	8139.65	104987.52
2	17667.41	72596.83
3	27713.76	47400.67
4	37993.30	26123.33
5	48413.36	14951.90
6	58900.32	6929.47
7	69466.40	

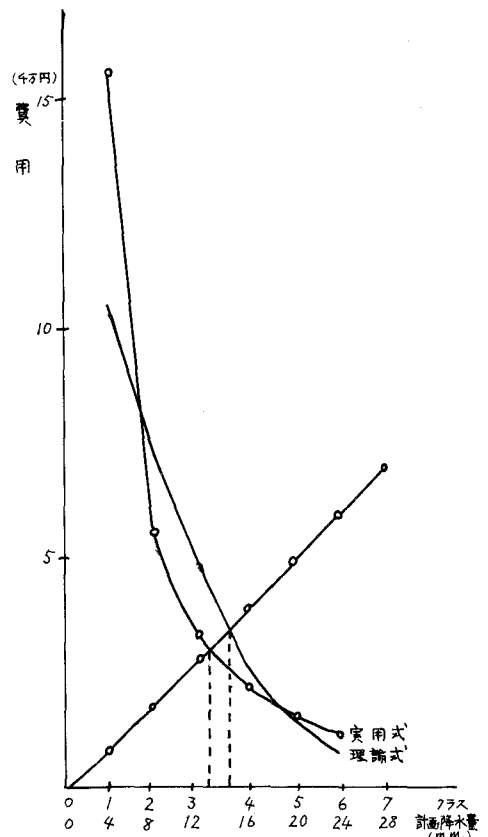
図、 σ によると費用曲線の交差は $\sigma = 2.2$ にあるが理論式を用いれば $\sigma = 6$ となる、いづれにしてもクラス 4、すなわち計画降水量を16mmとすれば経済的に最も有利となることがわかる。

以上、経済的に最も有利な計画降水量を決定する方法についてのべたが、除雪方法には

- (1) 運搬撒雪法
- (2) スノーメルター法
- (3) ロードヒーティング法

などがあるが、それぞれに単位体積当り除雪費用

α を異にするから目下その詳細は検討を行っていない。



図・2 計画降水量と費用