除雪を考慮した積雪災害度の改良

中 峠 哲 朗*

要 旨

筆者は前に〔中峠：1968〕積雪災害度を表わす3指数として(i)気温指数 P_θ , (ii)降水量指数 P_W および (iii) 積雪深指数 P_H を平均気温と月降水量とで表わすことを提案した。そのとき最大積雪災害度 Q を $Q = \text{Max}(P_W, P_H)$ として導入した。

この報告では除雪作業の必要性を考慮して指数を改良し、

$$T\alpha, \beta = (1 - \beta + \beta k P_\theta) \cdot \text{Max}(P_W, \alpha P_H)$$

を導入した。ここに実用の便宜から $k=0.63$ を用いた。また定数 α, β による $T\alpha, \beta$ の変化を数値的に検討した。温暖で多雪な北陸地方での $T\alpha, \beta$ の値の北海道地方での値に対応する比は $1.7 \sim 0.85$ であり、大略的には対数平均値 1.2 ($\alpha = \beta = 0.6$ に対応する) を用いてよいことを結論した。

1. 序 論

積雪災害とその対策の必要性は多く論議されているが、対策の実施に際しては経験的な立場に立つ場合が多く、経済的社会的要因が漠然と考慮されている。科学的観点に立って定量的に災害の大きさを論ずることは重要であるけれども、災害の複雑さのために、実行はきわめて困難である。

われわれはこの問題の第1段階では、災害の大略的な状況を基礎的な小数の要素に基づいて論ずることが妥当であると考えた。その一方法として前報では気候学的要素から積雪の性質、融雪などに関連した各種積雪災害の大きさを表現するそれぞれの指数を導入し、それらの最大値をもって積雪災害度と呼んだ。また各指数を用いて国内各地での積雪災害の特徴をよく表示し得ることを述べた。

今回は災害度を一層直視的なものに近づけるよう改良することを試みる。

2. 積雪災害度の気候学的表示

前報では各地での積雪の性質の差異および積雪災害の類、大きさを大略ではあるが、定量的に比較、区分することを試みた。すなわち、統計資料に多くみられる気象要素、特に月平均気温 θ_{av} ($^{\circ}\text{C}$) および月降水量 W (mm) を用いて交通上の障害を考慮しながら積雪災害の大きさを示す次の各指数を導入した。

(i) 気温指数 P_θ ……積雪の相変化が 0°C でおこるこ

と、日最高気温および最近低気温の月平均値 ($\theta_{\max}, \theta_{\min}$) と θ_{av} との差がほぼ 3°C であること、 $\theta_{\max}, \theta_{\min}$ の確率誤差もほぼ 3° であることなどを述べ、したがって積雪災害のほとんどおこらないような月平均気温 (6°C) を基準とする気温指数

$$P_\theta = (6.0 - \theta_{av}) / 3.0 \dots\dots\dots (1)$$

を導入すれば、積雪の有無、性質の差異を大略的に区分し得る。

(ii) 降水量指数 P_W ……1回の降雪によつて新積雪 30 cm となったときバス、トラックの通行が、50 cm で鉄道車両の運転が困難となること、また10年間の統計資料より1カ月のうち日降雪深が30~50 cm である平均日数を求めること、月降水量が100 mm を越えるとき、その超過量に比例して変化することないの理由によって、降水量指数

$$P_W = W / 100 \dots\dots\dots (2)$$

を用いて日降雪による被害の大小を示し得る。

(iii) 積雪深指数 P_H ……積雪深 H (cm) が主として降雪と融雪とによって定まるから、その関係を検討した結果、融雪効果を θ_{av} の関数として近似的に表示し得ることを見出した。したがって積雪深が大きいための災害に関連する積雪深指数 P_H を次式で導入した。

$$P_H = \frac{1}{800} W (8.5 - 1.05 \theta_{av}) \dots\dots\dots (3)$$

(iv) 気温がやや高い積雪地では融雪、凍結がくり返されるための災害があり、寒冷積雪地では降雪がないときも地吹雪がおこるなどの災害がある。これらについて

* 福井大学工学部応用物理学教室 (福井市文京3丁目9)

の指数も導入したが、指数の数が多くなること、またそれらは主として気温で定まることから、すべて P_θ で表されることとした。

(v) 積雪には密度 0.1 g/cm^3 の新積雪や 0.4 g/cm^3 の根雪が現われるけれども各指数は両者をふくめて、積雪 40 cm を単位として表わしたのとなっており、また統計処理上 W と H との単位が異なることも考慮してそれぞれ異なった種類の災害について、その大きさを相互に比較し得る、したがってこれら指数の最大値 $P = \text{Max}(P_\theta, P_W, P_H)$ をもってその地点の積雪災害度とすることができる。各指数の値に応ずる積雪災害の様子を第1表に示す。

(vi) $\theta_{av}-W$ 平面内に各地点をプロットすれば、 P_θ, P_W, P_H のすべてについて比較し得るので、これを

表 1 積雪災害指数とその意味

(a) 気温指数 (積雪の性質, 災害)

$\theta_{av}(^\circ\text{C})$	P_θ	1. 雨と雪の区分		融雪*	地吹雪
>6	<0	雨 域	雨のみ	著大	
$6\sim3$	$0\sim1$		雨 $\gg$ 雪		
$3\sim0$	$1\sim2$		雨 $>$ 雪		
$0\sim-3$	$2\sim3$	雨雪域	雨 $<$ 雪	小微	小大
$-3\sim-6$	$3\sim4$		雨 $\ll$ 雪		
<-6	>4	雪 域	雪のみ		著

* (i) 滴れた積雪層凸凹の多く凍結した雪は交通を阻害する。

(ii) 積雪深が日射の有無で著しく異なる。

(iii) なだれが多発する。

(b) 降水量指数 (短期積雪災害)

W (mm)	P_W^*	交通障害回数/月		
		軽車両	重車両	鉄 道
100	1	3	1	0
200	2	6	1/3	0
300	3	9	1	1/4
400	4	12	3	1/2
500	5	15	4	2/3

* 1日に除雪すべき量の大小をも示す。

(c) 積雪深指数 (長期積雪災害)

P_H	1	2	3	4	5
最高積雪深 (cm)	40	80	120	150	200
除雪の困難さ	容易	中	困難	特に困難	

広義の積雪災害図と呼ぶ。一例として日本国内各都市での1月のプロットを図1に示す。北陸地方では P_W, P_H が重要であり、北海道西海岸地方では P_θ, P_H が重要であるなど各地の特徴が一見して明らかである。また交通、除雪などを主眼とするときは P_θ は直接的な関連が少ないので、 P_W, P_H の両者のみに着目し、これを狭義の災害図と呼び、また狭義の災害度 $Q = \text{Max}(P_W, P_H)$ を用い得ることを述べた。

3. 除雪を考慮した積雪災害度の改良

前回用いた積雪災害度 P, Q をここでは最大災害度と呼ぶ。しかし実際にわれわれが直観的に災害対策を考えることに対応する値としてはさらに他の要因をも考慮することが望ましく、特に Q の場合について具体的方法を以下に検討する。

(i) 除雪速度を考慮した災害度

前回狭義の積雪災害では交通路上の積雪をすべて除去するという観点と、日降雪量が大いときは大きい除雪能力が要求されるということから、 P_H と P_W との2つより Q を定義した。さらに詳しく検討すれば、 P_W がきわめて小さいときは P_H がかなり大きい場合にも少しづつ除雪して十分対処し得るけれども、一定の P_H では P_W の大きい地方ほど短時間内に大量の除雪を要する。したがって狭義の災害度については P_W に比して P_H は多少重みを小さくとして論ずることが妥当である。

このためにある定義 α (ただし $0 < \alpha < 1$) を用いて除雪速度を考した災害度 R_α として次式を定義する。

$$R_\alpha = \text{Max}(P_W, \alpha P_H) \dots\dots\dots (4)$$

α の適当な値を今後決する必要がある。

(ii) 積雪期間を考慮した災害度

一般的には災害対策には単に前記したもののみならず他の多くの要因を導入する必要がある。たとえば大雪があっても、すぐに融雪する場合にはあまり災害と考えないし、雪害対策として除雪設備導入時の使用効率とか、除雪の経済的社会的価値などが加わる。これら各種要因を考慮した災害度を決定することは著しく困難である。

ここでは比較的客観性の強いものの一例として、簡単のために積雪期間が長いほど経済的観点での積雪災害が大きい考える。いま日本海沿岸各地において積雪深が 10 cm 以上となる日数の平均値 τ を理科年表より求め、それと P_θ との関係を図2に示す。これによれば τ と P_θ とはかなり比例関係に近い。各地での災害度を比較するためには災害度を規定する要因は少ない方が好都合であるから、 P_θ が大きいほど積雪期間が長いと近似しよう。したがって積雪期間を考慮した災害度 S_α として

$$S_\alpha = k P_\theta \cdot R_\alpha \dots\dots\dots (5)$$

図1 積雪災害度の地域的特性

図2 積雪期間と P_θ

を定義し得る。ここに定数 k は基準地点で S_α を R_α と合致させるためのものである。一般的には災害対策は単に経済的観点のみでなく社会的な意味をふくむので、 R_α と S_α との中間的な値をとることが望まれ、除雪を考慮した災害度としてある定数 β (ただし $0 < \beta < 1$) を用いて次式で定義できよう。

$$T_{\alpha, \beta} = (1 - \beta)R_\alpha + \beta S_\alpha = (1 - \beta) + \beta k P_\theta \text{Max}(P_W, \alpha P_H)$$

図3 各種災害度の比較

図4 北陸地方の相対災害度 γ の α, β 依存性

4. 数値例

日本海沿岸各都市での災害指数 P_θ, P_W, P_H の値を図3(a)に、また α, β を1あるいは0としたときについて $T_{\alpha, \beta}$ を比較して図3(b)に示す。ただし酒田市で α の値如何にかかわらず $P_\theta = P_W = P_H = 1.6$ であるために α の値如何にかかわらず $P_\alpha = 1.6$ となることを考慮し、 $k = 1/1.6$ を用いた。図において高田、新潟、酒田地方は α, β の値如何にかかわらずほぼ一定値であり、また高田では特に大きい災害度となっている。

また特に温暖ではあるが降雪量の大きい地方の代表として北陸地方(以下Aと記す)と寒冷地積雪の北海道西海岸地方(B)と比較しよう。前述したように極端な場合であるが、積雪期間に重点をおいた $T_{11}^* = S_1^*$ を用いるとBはAの2倍、除雪速度に重点をおいた $T_{00}^* = R_0$

を用いると逆に A が B の 2 倍の災害対策を要することになる。中間的な場合として $T_{0,1}$ または $T_{1,0}$ における A と B とでの災害度の比較では $T_{0,1}$ は $T_{1,1}$ に、 $T_{1,0}$ は $T_{0,0}$ に類似している。

この点をもっと詳しく調べるために P_θ , P_W , P_H の各指数を A では福井、金沢、富山の平均値、B では寿都、羽幌、稚内の平均値によって規定する。そのとき北海道西海岸地方を基準とした北陸地方の相対災害度 $\gamma = T_{(A)}/T_{(B)}$ を α, β の各値について求め、等高線図として図 4 で示す。ただし $\alpha < 0.5$ では両地方とも $P_W > \alpha P_H$ となるので、 γ は α によらず一定値となる。また $T_{\alpha, \beta}$ の関数形が初等関数でないので γ の等高線はやや複雑な曲線となるがここでは大略の議論であるから、図は直線で示した。

図の全領域を考えると、 γ の最大値は $\gamma_{0,1} = 3.0$ 、最小値は $\gamma_{1,1} = 0.5$ である。しかし第 3 節の議論より α, β の極端な値およびあまり小さい値を除くことが望ましいので、両者とも $0.4 \sim 0.8$ の範囲を考えよう。これは図 4 中の太枠内となり、最大値は $\gamma_{0.5, 0.4} = 1.7$ 、最小値は $\gamma_{0.8, 0.8} = 0.85$ である。また両者の対数平均値 $\gamma_m = 1.2$ は最小値の 1.4 倍である。この程度の偏差は現在の段階では誤差範囲と考えてよいので、平均的な場合としてたとえば、図中に九印で示した点 $\alpha = 0.6$, $\beta = 0.6$ をとることが考えられる。この場合の $T_{\alpha, \beta}$ を図 2 (b) に点線で記入してある。

今回特に興味があることは、温暖な多雪地である北陸地方も相当の除雪対策を実施する必要があることが明らかにされた点である。今後 α, β の値を決定する適当な方法を検討することによって上の比は一層詳しく求めることができよう。

なお、これまで述べた災害度は各都市が社会的環境についてまったく同一で、気象状況のみが異なる場合について導入されている。実際には上記災害度が如何にして

雪害対策実施への指標となるか、たとえば地域毎での面積、人口、幹線道路長などの諸要素を論ずることも重要な課題であり、その客観的な取り扱いの方法を検討することが必要であろう。

5. 結 語

積雪災害の程度を大略ではあるが定量的に論ずるために前報では次のように積雪災害度を提案した。まず気温指数 P_θ 、降水量指数 P_W 、積雪深指数 P_H を平均気温と月降水量とにより定義する。次に除雪に関連した狭義の最大災害度 Q として P_W と P_H とのうち大きい方の値、すなわち $Q = \text{Max}(P_W, P_H)$ を導入した。

今回は日常生活と関連する災害の大きさを検討する一例を示した。すなわち

(i) いま $0 \sim 1$ の範囲の定数 α, β および便宜的な定数 k を用いて次のことを提案した。すなわち日降雪量が大きいほど除雪速度を大きく要求されることを考慮した災害度 $R\alpha = \text{Max}(P_W, P_H)$ 、積雪期間の大小を考慮した災害度 $S\alpha = kP_\theta \cdot P_\alpha$ を導入した。また実際には両者の中間値として除雪を考慮した災害度 $T_{\alpha, \beta} = (1 - \beta)R\alpha + \beta S\alpha$ が妥当であることを述べた。

(ii) 日本海沿岸各都市での $T_{\alpha, \beta}$ を比較した。特に北海道西海岸地方を単例とした温暖な多雪地北陸地方の災害度の値を求めた結果、妥当な値は $0.8 \sim 1.7$ の範囲であり、大略的にはその対数平均値 1.2 ($\alpha = \beta = 0.6$ に対応する) を用いてよいことを推論した。これは北陸地方でも寒冷地と同程度に積雪災害対策が重要であることを示す。

文 献

1. 中峠哲朗, 1968: 積雪災害度の気候学的表示, 農土論, 23, 9-18.
2. 中峠哲朗, 1968: 積雪研究の地域的特長, 水処理技術, 9, 1-8.
3. 東京天文台, 1967: 理科年表, 丸善, 東京.

An Improved Snow-Disaster Index Considering the Effect of Snow Removal

Department of Applied Physics, Faculty of Engineering,
(Fukui University, 3-9 Bunkyo, Fukui 910)

Tetsuro NAKATAO

In the previous paper (Nakatao, 1968) three snow-disaster indices were introduced: (i) air temperature index P_θ , (ii) precipitation index P_W , and (iii) snowcover depth index P_H in terms of the average air temperature and monthly precipitation. The maximum disaster index Q was given by $Q = \text{Max}(P_W, P_H)$.

Considering the economical requirement for snow-removal, an improved index $T_{\alpha, \beta}$ was introduced; $T_{\alpha, \beta} = (1 - \beta + \beta k P_\theta) \cdot \text{Max}(P_W, \alpha P_H)$, where $k=0.63$ is used for the practical use. The variation of $T_{\alpha, \beta}$ depending on two constants α and β was numerically estimated. The ratio of $T_{\alpha, \beta}$'s at warm and snowy Hokuriku districts with respect to the value of unity at Hokkaido is 1.7~0.85 and the logarithmic mean of 1.2 when $\alpha=\beta=0.6$ can be used for practical purpose.

(1976年3月8日受理, 1976年4月16日改稿受理)