

論文

豪雪都市の雪害度に関する研究
— 第2報, 大雪年と少雪年の長岡市の
用途地域別の雪害度 —

上村 靖司*・梅村 晃由*

Snow Damage in an Urban Area
with Heavy Snowfall
Part 2: The Annual Amounts of Snow Damage in
District of Nagaoka City in the Years
of Snow Abundance and Scarcity

Seiji KAMIMURA* and Teruyoshi UMEMURA*

Abstract

In order to support a long-term planning of snow-removal system in a city of heavy snowfall, annual amounts of snow damage are estimated in representative years of different amount of snowfall in areas of different land use.

The calculated amount of snow damage in Nagaoka City is greatest in the commercial area, and least in the first kind residential area, depending greatly on the land value and the establishment of snow facilities. And an additional calculation has shown that construction of snow removing ditch is not economical except in the commercial area if the snow carrying man-power is taken into account.

The total amounts of snow damage in 20 km² urban area are 15.1 billion yen, 10.4 billion yen and 7.5 billion yen per year in the years of abundance (1986), average (1983) and scarcity (1989) respectively.

キーワード: 雪害度, 豪雪都市, 除排雪, 経済評価

Key words: amount of snow damage, urban area with heavy snowfall, snow removal, economic evaluation

1. 緒言

現在, 豪雪都市に対して, 克雪・利雪の種々の対策が提案されているが, それらの対策の適否を

検討する際, 対象とする地域が現在どれだけの雪害をこうむっていて, それが新しい対策を実施することによって, どれだけ減少するかを定量的に知ることが要望される。

我々は, 先に, ある地域がある日に, 雪のために受ける損害の金額を一日当たりの雪害度と定義

*長岡技術科学大学機械系

*Department of Mechanical Engineering, Nagaoka University of Technology.

この論文に対する討論は平成5年8月末日まで受付ける。

し、具体的に長岡市駅前の 0.24km^2 の地域の1978年1月24日の雪害度を419万円/円と計算した¹⁾。

克雪・利雪の対策が長期におよぶ場合、たとえば、ある地域に、流雪溝や雪の水力輸送システム²⁾などを建設しようとする場合、一日の雪害度の値ではなく、雪の多い年、あるいは少ない年に、その地域が受ける年間の雪害度の値を知ることが重要となる。また、そのようにして計算された雪害度が、都市内の各地域でどのように違うかを知ること、豪雪都市の新しい対策を計画する上で重要である。

そこで、今回は、長岡市の市街化区域のほぼ全域を建築基準法に基づいた用途地域に分けて、大雪年と少雪年の年間の雪害度を計算するとともに、一例として、その値を用いて流雪溝の経済性を判定したので報告する。

2. 対象地域と降積雪条件

計算対象地域は、図1に示す長岡市の信濃川東岸の市街化区域である。建築基準法の定める用途地域に従って、第1種住居専用地域（1種住専）、第2種住居専用地域（2種住専）、住居地域（住居）、近隣商業地域（近隣商業）、商業地域（商業）、準工業地域（準工業）、工業地域（工業）、工業専

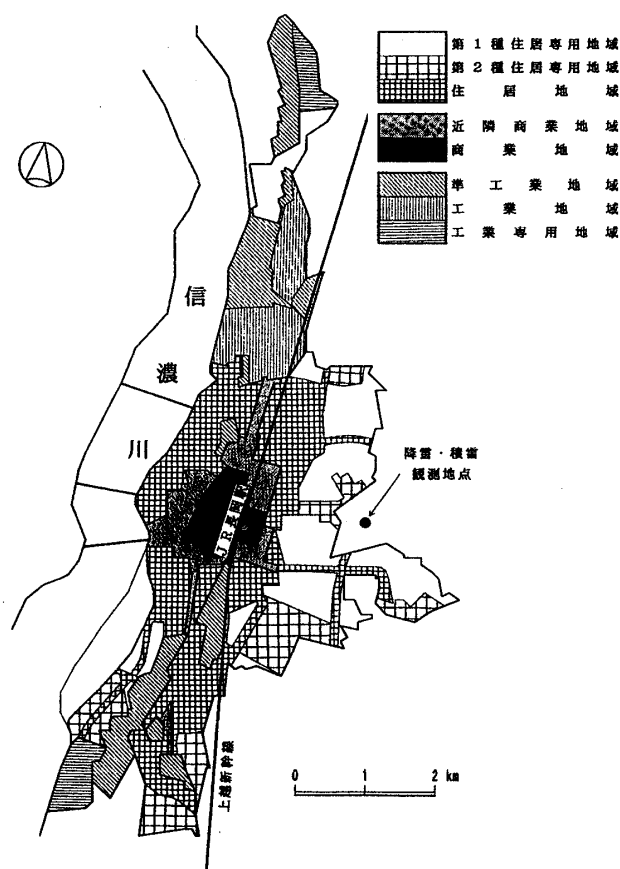


図1 雪害度計算対象地域（長岡市信濃川東岸の市街化区域）

表1 対象地域の概要（1989年現在）

用途地域		面積 ha	地価 千円/㎡	世帯数	人口
住宅	1種住専	271.1 (13.3)	54	3,797 (11.9)	12,593 (12.3)
	2種住専	434.9 (21.3)	69	5,825 (18.2)	19,104 (18.6)
	住居	545.6 (26.7)	71	12,177 (38.0)	38,689 (37.7)
商業	近隣商業	147.3 (7.2)	141	4,688 (14.6)	14,495 (14.1)
	商業	82.8 (4.0)	363	2,043 (6.4)	5,895 (5.8)
工業	準工業	302.0 (14.8)	58	2,542 (7.9)	8,606 (8.4)
	工業	210.8 (10.3)	56	944 (2.9)	3,112 (3.0)
	工業専用	51.0 (2.5)	48	0 (0.0)	0 (0.0)
全 域		2,045.1 (100.0)	81	32,016 (100.0)	102,495 (100.0)

() 内は、構成比(%)を示す。地価は、各地域および全域の面積平均値

用地域（工業専用）の8種類に分けられる。各用途地域毎の概要（面積、地価、世帯数、人口）を表1に示す。対象地域の全面積は約20km²、世帯数は3万2千世帯、人口は約10万人である。地価は1989年の路線地価をもとに各地域ごとの平均値を換算したもので、全域の値はこれらの面積平均値で8万1千円/m²となっている。

図1に示した観測地点で観測された、過去の30年間の降積雪データを表2(a)に示す。この都市の降雪の多さは、人口5万人以上の都市で、世界で数番目に位置する⁴⁾。降雪および積雪の深さは、上記の観測点のデータで代表し、各地域ごとの差は無視することとする。そして、代表的な大雪年として①1985・86年、平年として②1982・83年、そして少雪年として③1988・89年の冬期を選ぶ。これらの年の降雪および積雪のデータを表2(b)に示す。なお、本論文における雪害度の値は、平成元年度に表2(b)に示したような雪の条件になることを想定したもので、計算に用いる費用は、長岡市が発表している消費者物価指数によって補正した。

表2 長岡市の気象条件³⁾

(a) 過去の60年間の値 (1929~1990)

降積雪データ	最深積雪 HC (cm)	降雪累計 TF (cm)	積雪日数 D (日)
最大値	318	1,229	139
最小値	30	134	50
平均値	141.6	608.1	96.7

(b) 計算に用いた代表年度の値

降積雪データ	最深積雪 HC (cm)	降雪累計 TF (cm)	積雪日数 DC (日)	備考
①大雪	225	1,193	130	1985・86年冬
②平年	144	624	89	1982・83年冬
③少雪	30	134	67	1988・89年冬

最深積雪は、対象とする冬の積雪深の最大値を表す。降雪累計は、毎日の新積雪の深さを一冬の間累計したものを表す。積雪日数は、根雪期間を表す。

3. 雪害度の計算

3.1 計算方法

雪害度は、雪による便益の低下 ke と費用の増加 e'' の和として、次のように定義されている¹⁾。

$$h = ke + e'' \quad [\text{円}/(\text{m}^2 \text{日})] \quad (1)$$

k は毎日の利用度の低下率、 e は雪に無関係にかかる費用、 e'' は雪のためにかかる費用で、いずれも1日当たりの値である。

Σ を、365日にわたる集計として、各値の集計、

$$H = \Sigma h, \quad E = \Sigma e, \quad E'' = \Sigma e'',$$

$$\bar{k} = \frac{\Sigma ke}{\Sigma e} \quad (2)$$

をとると、(1)式は、

$$H = kE + E'' \quad [\text{円}/(\text{m}^2 \text{年})] \quad (3)$$

と表すことができる。

いま、毎日の値でなく、年間の E や E'' が与えられているとすると、

$$e = \frac{E}{365} \quad (4)$$

とおくことによって、(2)の最後の式は、

$$\bar{k} = \frac{\Sigma k}{365} \quad (5)$$

となる。特に、 k が積雪期間中、ほぼ一定と見なせる場合は、それ以外の期間では $k = 0$ であるから、(5)式は、

$$\bar{k} = \frac{kD}{365} \quad (6)$$

と書かれる。ここで、 D は年間の積雪日数である。

$\bar{k}$ 、 E 、 E'' は、雪害の発生する要因毎に計算され、それらを地域毎に積算することによって対象地域の雪害度が計算される。ここでは、要因として、車道、歩道、駐車場、屋敷空間、家屋、公園の6つを取り上げる。この他に、要因としては、屋外構造物、屋外使用機器、樹木があるが、前報¹⁾でみたごとく、他の要因に比べてその値が非常に小さいので、ここでは無視することとする。ここで、取り上げた積算要因はすべて場所であり、対象地域はこれらの6つの要因の占める場所に分け

られる。各地域を積算要因毎に分けると、表3のようになる。ここで、「その他」の項は、河川、農地等であり、雪害度の計算からは除く。

なお、表3の車道、歩道、家屋、屋敷空間、公園、その他の面積の値は、長岡市が調査した「都市計画基礎調査」(1989)から求めたもので、駐車場は、住宅明細図⁵⁾より推計を行ったものである。車道と歩道は、幅員22m以上の道路では両側5mの歩道、12～22mの道路では両側2.5mの歩道、それ以下の幅員の道路では歩道が無いものとして面積配分が行われている。

3.2 $\bar{k}$ と E の計算

ある場所の k の値は、その場所で本来の目的にかなうように雪対策が実施されていれば、利用の阻害は起らないものとして、0とすることができる。そして雪対策が行われていなければ、 $k=1$ とする。すなわち、対象地域の任意の場所は、その場所で雪対策が行われているか、いないかによって、 $k=0$ または $k=1$ のいずれかとなる。このとき、ある地域の k の値は、その地域内の面積の何パーセントで雪対策が行われているかというデータによって与えられる。この k を、(6)式へ代入して、 $\bar{k}$ を得る。

雪に無関係にかかる費用 E 円/(m^2 年)は、長岡市における実績データから、次に示すような方

法で求めることとした。

一般に、費用 E は地代と設備費と管理維持のための経費よりなる。まず地代は、地価に金利をかけて求める。金利は年金利を6%とした。対象地域の地価(路線価)は、約5.0～150万円/ m^2 であるから、地代は3千円～9万円/(m^2 年)となる。

設備費は、車道、歩道および駐車場について、共通に、長岡市の概算建設費1万円/ m^2 をとり、耐用年数10年(減価償却資産の耐用年数に関する省令、アスファルト道路の場合)として、1.0千円/(m^2 年)とした。

車道、歩道、駐車場の経費は、長岡市の市道8.1 km^2 の年間の維持修繕費が約3億5千万円であったことから、43.2円/(m^2 年)とした。

公園の経費は、長岡市の公園139haを維持するのに年間1億2千2百万円を要することから87.8円/(m^2 年)とした。

3.3 雪のためにかかる費用 E'' の計算

(1) E'' の計算項目

雪のためにかかる費用 E'' は、雪のみのためにかかる費用であり、①機械除雪、②消雪パイプ、③人力除雪、④トラック排雪費用、⑤建築物の構造強化費用が、その主なものであり、これらの項目について計算する。ところで、これらの費用は、⑤を除いて、降雪あるいは積雪の大きさに依存す

表3 用途地域ごとの各積算要因の面積(千 m^2)

用途地域		車 道	歩 道	駐車場	家 屋	屋敷空間	公 園	その他	地域面積
住 宅	一 種 住 専	370	41	23	276	702	35	1,265	2,711
	二 種 住 専	594	41	43	488	1,151	35	1,995	4,349
	住 居	1,027	136	175	1,038	2,228	89	759	5,452
商 業	近 隣 商 業	330	73	46	411	518	11	84	1,473
	商 業	174	59	48	256	217	21	51	828
工 業	準 工 業	402	83	60	428	1,032	11	1,008	3,020
	工 業	330	53	42	489	1,154	36	104	2,108
	工 業 専 用	42	0	0	20	387	9	52	510
合 計		3,170	489	437	3,403	7,389	247	5,317	20,451

るので、あらかじめ、最近約10年間の長岡市の降雪累計あるいは最深積雪と費用 E'' との関係を求め、この関係から対象年度の E'' の値を逆算する方法をとることとした。

① 機械除雪

除雪機械の出動は、その日の降雪状況によって決まるので、年間の除雪機械運転費は、その年の降雪累計と関係づけられる。そこで、降雪累計 TF (m) を横軸に、物価上昇率を考慮した機械除雪の単位延長当たりの除雪運転費 C_{r1} 円/(m年) を縦軸にプロットしたのが、図2である。ここで C_{r1} は、長岡市が毎年道路除雪のために民間業者に支払った費用を、その年の除雪対象の道路延長距離で割ったものである。なお、除雪経費としては、この他に市の職員が従事した部分があるが、その割合は少なく、金額も明確でないので、ここでは無視した。図2によると、 TF と C_{r1} は、図中に示したような直線関係に良くのっている。

次に、機械除雪にかかる設備費は、代表的な200PS級のロータリ除雪車の購入費2千7百万円/台に保有台数18をかけ耐用年数8年と、ロータリ車の除雪路線延長175kmで割ることにより求めた。この値は347円/(m年)となった。そして、この機械の維持経費は、毎年設備費の1割と見込むこととした。なお、除雪車としては、この他にタイヤドーザやグレーダが使われるけれども、これらは民間の除雪委託業者が所有するため、その費用は経費として市に請求され、この計算でも上の経費の中を含められている。以上の値は、除雪延長距離当たりで見たものであるが、これを対象地域の面積当たりで示すため、対象地域の道路の全体の平均幅員8.9mで割って、1m²当たりの費用を E_1'' を求めた。これは、次の様に表される。

$$\begin{aligned} E_1'' &= (C_{r1} + 347 \times 1.1) / 8.9 \\ &= 5.09 TF + 57.0, \text{ 円/(m}^2\text{年)}, \\ &\quad (TF \geq 0, \text{ m}) \end{aligned} \quad (7)$$

② 消雪パイプ

消雪パイプは、地下水を汲み上げて道路上に散布して融雪する装置であり、ノズルの付いたパイプが対象地域内に敷設されている。その経費は、

地下水を汲み上げる電力であり、その費用は、降雪累計とともに増加するものと見られる。そこで、降雪累計 TF (m) を横軸に、その年に支払われた消雪パイプの電気料金を敷設距離で割った C_{r2} を縦軸として、図2にプロットした。 TF と C_{r2} は、やはり良く直線関係にのり、その関係式を図中に示した。なお、実際にはこの他に、簡便なホース散水消雪が併用されているが、通常の消雪パイプに比べて少なく、ここでは無視した。消雪パイプの設備費は、最近つくられた一例から次のように求めた。すなわち、幅員10m、延長300mの車道に対して、建設費1千2百40万円を要し、耐用年数を15年として、設備費276円/(m²年)とした。次に、その維持経費は、県道部分の延長4,931.5m、平均幅員8.9mに対して1年間に支払われた132万6千円の実績から、30.0円/(m²年)となった。これらから、消雪パイプの費用 E_2'' は、次の様に表される。

$$\begin{aligned} E_2'' &= C_{r2} / 8.9 + 276 + 30 \\ &= 3.56 TF + 340, \text{ 円/(m}^2\text{年)}, \\ &\quad (TF \geq 0, \text{ m}) \end{aligned} \quad (8)$$

③ 人力除雪

人力除雪は家屋やアーケードの屋根上の除雪をする場合(雪降ろし)と、地上の除雪をする場合で費用が異なるので、分けて計上する。

まず屋根上の除雪は、積雪深に依存し、最深積雪 HC を横軸に、対応する年の長岡市の平均雪降ろし回数 F 回/年を縦軸にプロットしたのが、図3である。 F は、 $HC = 0.75$ m まで0で、これを越すと、 HC とともに直線的に増加し、 $HC = 2.3$ m で $F = 3$ 回となることがわかる。この関係を表す式を、図中に示した。

人力除雪単価は、1人8時間の労賃11,400円を、その間の平均除雪面積67m²で割った値、170/(m²回)に、上記の F 回/年をかけることにより、求められる。除雪に使われる器具の費用は、上記の金額に含まれるので、設備費は計上しない。これらから、屋根上の人力除雪の費用 E_{31}'' は、次の様に表される。

$$\begin{aligned}
 E_{31}'' &= F \times 170 \\
 &= 323HC - 245, \quad \text{円}/(\text{m}^2 \text{年}) \\
 &\quad (HC \geq 0.75, \text{ m}) \quad (9)
 \end{aligned}$$

次に、地上の人力除雪は、通路等の確保のために降雪のごとに行われるので、その年間費用は、降雪累計に依存する。その単価は、先の屋根雪除雪の単価が1回に1mの雪の人力除雪を対象としたとして、降雪累計1m当たりの地上人力除雪費用を170円/(m²・m)とする。これらから、地上の人力除雪の費用 E_{32}'' は、次の様に表される。

$$\begin{aligned}
 E_{32}'' &= 170TF, \quad \text{円}/(\text{m}^2 \text{年}) \\
 &\quad (TF \geq 0, \text{ m}) \quad (10)
 \end{aligned}$$

④ トラック排雪

降雪量がある限度を越えると、通常の除雪機械では、もはや除雪した雪の置き場所がなくなり、道路等の確保が不可能になる場所が生ずる。この様な場所では、トラックを用いて、雪を運搬排雪し、河川等に捨てる。長岡市全域について、総排雪量 $A \text{ m}^3/\text{年}$ と降雪累計 TF の関係を見ると、図4のようになり、 TF が5.3mを越えると排雪が始まり、降雪累計に比例して増加することがわかる。そして、増加の直線は、図4中に示した式で近似される。図4のAの値には、対象地域以外で行われたトラック排雪の費用も含まれているが、その割合は小さいので無視し、このまま用いる。

次に、各年に支払われた費用をその年の排雪量で割ると、過去5年間のデータで331円±16円/m³となり、この値を用いて、年間のトラック排雪費用を求める。なお、この値には、トラック借用料も含まれているので、設備費は特に計上しない。これらから、トラック排雪の費用 E_4'' は、次の様に表される。

$$\begin{aligned}
 E_4'' &= A \times 331 \\
 &= 1.78 \times 10^7 TF - 9.40 \times 10^7, \quad \text{円}/\text{年} \\
 &\quad (TF \geq 5.3, \text{ m}) \quad (11)
 \end{aligned}$$

この値は、(7)式までの値と異なり、対象地域全域の値であり、地域毎の割合は、1985年の実測値から、一種住専、二種住専、住居、近隣商業、商業、準工業、工業、の各地域に対して、4, 1, 33, 39,

18, 1, 4, 0 (%)とした。

⑤ 建築物の構造強化費用

積雪地域の建築物は、建築基準法で定められた基準に従って、積雪荷重に耐えるように設計され、その構造が強化されている。この構造強化のための費用は算定が困難であるが、ここでは前報で用いた概算値、すなわち、木造構築物で5千円/m²、非木造構築物で8千円/m²をとることとした。それぞれの耐用年数を20年、40年として、構造強化費用 E_5'' は、250円/(m²年)、200円/(m²年)となる。

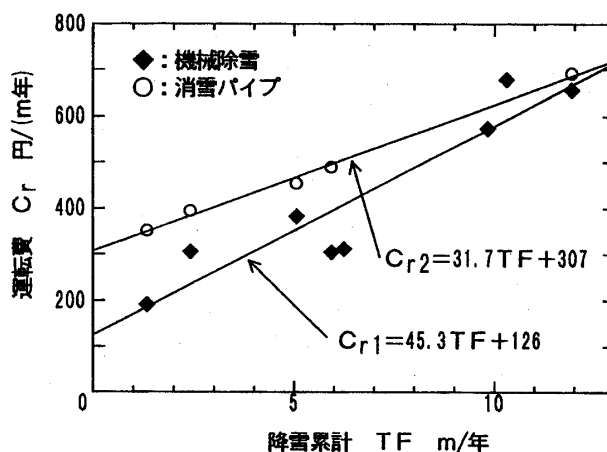


図2 長岡市の除雪施設の運転費と除雪累計の関係
機械除雪は1982～1989年、消雪パイプは1985～1989年の実績

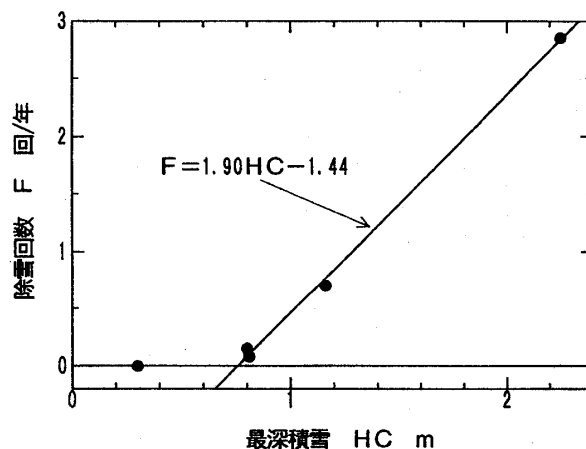


図3 長岡市の屋根雪の除雪回数と最深積雪の関係
1985～1989年

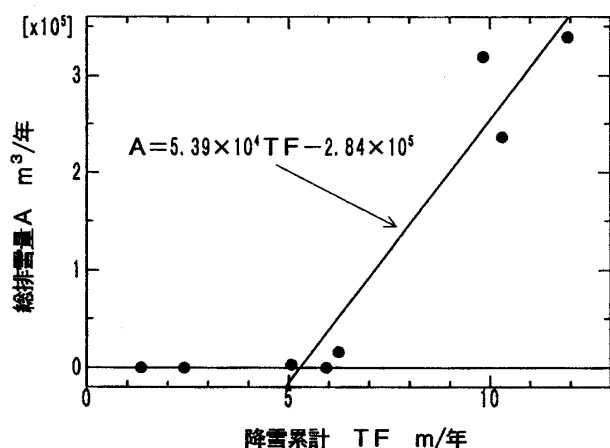


図4 長岡市の総排雪量と降雪累計の関係
1982～1989年

(2) 要因毎の E'' の計算

対象地域にある車道の E'' は、そこにある機械除雪路線の面積と消雪パイプ設置路線の面積とを、それぞれ上で求めた E_1'' および E_2'' にかけて加え、さらに、トラック排雪の費用 E_4'' と前述の分布割合をかけたものを加えることによって求められる。対象地域にある歩道の E'' は、機械除雪路線の面積と、消雪パイプ設置路線の面積を、それぞれ E_1'' , E_2'' にかけて、アーケード面積を、 E_{31}'' と E_5'' にかけて、これらを加えあわせることによって求められる。なお、車道および歩道の、機械除雪および消雪パイプの除雪路線は、行政機関が毎年設定しており、車道の除雪面積は、車道の除雪延長に平均幅員 8.9m をかけ、歩道の除雪面積は、その除雪延長に平均幅員 2.5m をかけた値とした。

駐車場の E'' は、屋外の駐車場のみを対象としているので、すべて消雪パイプが敷設されているものとして、駐車場面積に E_2'' をかけて求める。

家屋の E'' は、表 3 で示した家屋面積に E_{31}'' と E_5'' をかけて求める。

屋敷空間の E'' は、消雪パイプと人力除雪による費用であり、表 3 で示した屋敷空間面積のうち、一般住宅面積は、その 5% が人力除雪の費用 E_{32}'' によって確保され、残りの商業・工業用地面積は、その 70% が消雪パイプの費用 E_2'' によって確保されているとして、両者の集計を求めた。なお、各

地域内における屋敷空間内の、一般住宅面積と、商業・工業用地面積との区別は、前述の「長岡市都市計画基礎調査」によった。

公園については、上に述べた 4 つの対策のいずれも行われていないので、 $E'' = 0$ とした。

4. 計算結果

以上のようにして、対象地域の雪害度 H を計算した結果を、表 4 に示す。各項目の上段、中段、下段の値が、それぞれ表 2 に示した大雪年、平雪年、少雪年の気象条件に対応する H であり、単位は百万円/年である。

まず、要因別に見ると、いずれの年も屋敷空間が最も大きく、その合計金額は、大雪、平雪、少雪の順に 102 億円、71 億円、54 億円と減少している。全体の雪害度が、同じ様にして 151 億円、104 億円、75 億円となっているので、屋敷空間の雪害度は、全体の 68%～71% を占めることになる。屋敷空間について H が大きいのは家屋であり、雪害度の 16%～11% を占める。次が歩道で 7.4%～7.6% を占め、以下車道 4.2～4.7%、公園 3.3～7.6%、駐車場 1.1～2.0% となっている。このうち特徴的なのは家屋で、他の要因のいずれも雪の増大とともにその全体に占める割合が低下するのに対して、少、平、大雪年となるに従って、その占める割合が増大する。これは、雪の増大に伴って、屋根の雪降ろし回数が、急速に大きくなるためである。

各要因毎の雪害度を、その要因が占める面積で割って、単位面積で表したものを図 5 に示す。ここでは、全体の値を、便益の低下分 kE と雪のために生ずる費用 E'' を積み重ねて示した。これによると、大、平、少雪年とも、歩道の雪害度が大きく、続いて公園、屋根空間となっている。そして、これらの要因には、 E'' が無いが、または極めて少ないことがわかる。つまり、これらの要因は、雪の対策が行われていないために、雪害度が上がっている。逆に、車道や駐車場は、少なくともこのデータの範囲では、十分に雪に対する対策が行われていて、便益の低下にもとづく雪害が無く、全体の値も小さい。

次に、地域毎の雪害度を見ると、上の議論から、

表4 大雪年、平雪年、少雪年の雪害度（百万円／年）

用途地域	車道	歩道	駐車場	家屋	屋敷空間	公園	合計
一種住専	56	58	9	200	802	40	1,165
	40	40	8	128	544	28	788
	29	30	8	67	395	21	550
二種住専	94	78	16	353	1,610	51	2,203
	70	53	16	226	1,097	35	1,497
	51	40	15	119	806	26	1,058
住居	176	222	67	750	3,114	136	4,466
	124	152	63	478	2,133	93	3,044
	96	114	60	252	1,576	70	2,168
近隣商業	118	232	18	296	1,356	33	2,053
	81	159	17	188	929	23	1,397
	68	120	16	98	693	17	1,012
商業	66	327	18	183	1,201	163	1,957
	48	223	17	116	826	112	1,341
	41	166	17	59	623	84	989
準工業	53	128	23	304	981	13	1,502
	40	88	22	193	706	9	1,058
	30	66	21	100	549	7	773
工業	39	74	16	347	911	44	1,430
	28	51	15	219	687	30	1,031
	21	38	14	112	559	22	768
工業専用	24	0	0	13	232	10	279
	18	0	0	8	189	7	222
	13	0	0	4	164	5	186
合計	626	1,119	167	2,446	10,207	491	15,056
	449	765	158	1,556	7,113	336	10,378
	349	574	151	812	5,365	253	7,504

各欄の上段は大雪年、中段は平雪年、下段は少雪年の値を示す。

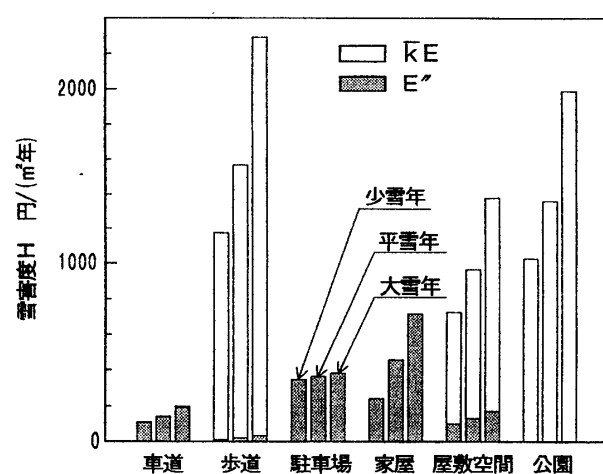


図5 積算要因毎の単位面積当たりの雪害度，円／(m²年)

歩道や公園や屋敷空間が多い住居地域の雪害度が、大きくなることが予想されるが、事実、表4の結果は、大、平、少雪年とも、住居地域の雪害度が最も大きく、全域の雪害度の29.7%～28.9%となっている。ついで大きいのが、2種住居専用地域、商業地域、近隣商業地域であり、これらの地域の面積は、全体の21.3%、4.0%、7.2%と大きく異なるが、この地域で発生する雪害度は、どれも全体の約14%となっている。これは、商業地や近隣商業地の歩道の面積割合が多く、この地域の地価が高いためである。つづいて雪害度の大きいのは、準工業地域および工業地域であり、それぞれ全体の約10%の値となっている。さらに、一種住居専

用地域が全体の約7%, 工業専用地域が, 全体の約2%となっている。各地域の雪害度が全体に占める割合は, 雪の量が変わってもあまり大きくは変わらないが, 詳しく見ると, 雪の量の増大にもなって, 住宅地域では増大し, 工業地域では減少する傾向がみられる。

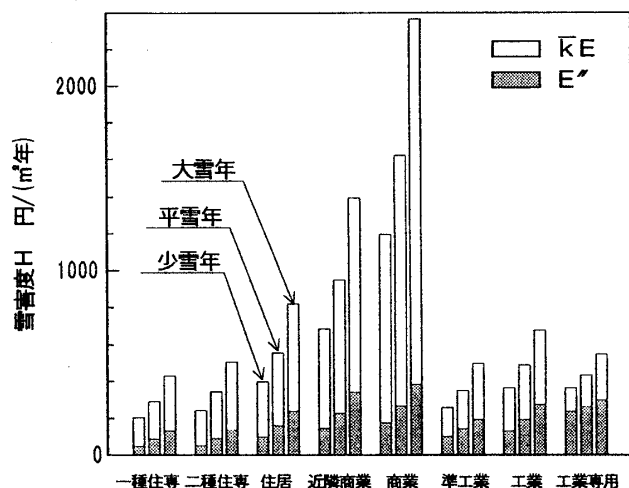


図6 用途地域毎の単位面積当たりの雪害度, 円/(m²年)

図6に用途地域別の雪害度の集計を, 単位面積当たりで表す。商業地域, 近隣商業地域, 住居地域の順番で, 工業地域と工業専用地域, 準工業地域, 第1種, 第2種住居専用地域がこれに続いている。工業, 工業専用地域以外は, 便益の低下 $\bar{k}E$ 分が50%以上となっていることがわかる。

5. 考察

5.1 特殊な気象条件の場合の雪害度の推定

以上過去10年間のデータをもとに, 大, 平, 少雪年の雪害度を見てきたが, ここで用いた計算式を, 上記以外の年に適用し, 雪の量が極端に変化した年の雪害度を推計してみる。いま, 極端な場合として, 雪が全くない年(無雪年)と, 記録上の最大降雪累計の年(超大雪年), すなわち1944・45年冬の気象条件に対する雪害度を計算する。このとき, $\bar{k}$ は, 無雪年は0, 超大雪年では, k が大雪年と同じで, D が139日になるとして(6)式から計算する。 E は表3の値を用い, E'' は, 無雪年

の場合は $TF=0$, $HC=0$, 超大雪年は $TF=12.29$ m, $HC=2.95$ mを, (7)~(11)式へ代入して求める。得られた結果は, 以下のようなものである。

無雪年の雪害度 H は, 全域の合計で11億円/年となった。これは, 雪対策費の初期投資の合計を表しており, 雪が無い年も, 雪のある年のために, 負担しなければならない費用を表している。この値の大きさを要因あるいは地域ごとに見れば, ある要因または地域ごとに, 雪対策がどの程度行われているかを示す値となる。計算結果より, 要因では車道, 駐車場, 屋敷空間, 地域では, 住居地域, 工業地域に多くの雪対策が行われていることがわかった。

次に, 超大雪年を見ると, 全域の合計で166億円となり, 表4に示した平雪年の約1.6倍となった。要因別には, やはり屋敷空間が最も大きく約7割を占めるなど, 前節で述べた傾向と同様であるが, 家屋の比率はさらに増えて19.4%となった。この事は, 豪雪年の屋根雪降ろしの負担感の増加を良く表している。

ところで, ここで計算された雪害度はあくまでも少雪年や大雪年を延長したものであり, 超大雪年においてこれらの年にはない突然の変化, 例えば消雪パイプの水不足による機能停止, 除雪機械の不足による道路閉鎖, 建物の倒壊などが起きたときには, ここで計算した値をはるかに越える雪害が起ることが予想される。この値の予測は, 極めて重要なことであるが, 本論文では取り扱われていないことをおことわりしたい。

5.2 流雪溝導入の経済評価

いま, ある地域に年間費用 $\Delta E''$ をかけて, 新しい除排雪施設を導入したとき, そこにある要因の利用度の低下率 $\bar{k}$ が, $\Delta \bar{k}$ だけ変化したものとすれば, この施設の導入による雪害度 H の上昇は,

$$\Delta H = \Delta \bar{k} \cdot E + \Delta E'' \quad (12)$$

と表される。

この ΔH が正ならば, 新しい施設の導入によって, 雪害度が上昇したことになり, このような施設の導入は避けるべきであろう。逆に, ΔH が負となれば, 雪害度が減少したことになり, この施

設の導入は経済的に有効と言える。これを $\Delta E''$ の投資に対する便益の増大 ΔB を示す投資効率 η で表せば、

$$\Delta B = -\Delta H + \Delta E'' = -\Delta \bar{k} \cdot E \quad (13)$$

であるから、

$$\eta = \frac{\Delta B}{\Delta E''} = \frac{-\Delta \bar{k} \cdot E}{\Delta E''} \quad (14)$$

となる。特に、 $\bar{k}$ として(6)式が適用され、新しい施設の導入によって、除排雪面積が ΔA だけ増大したとすれば、投資効率 η は、

$$\eta = \left(\frac{\Delta A}{A} \right) \left(\frac{D}{365} \right) \frac{E}{\Delta E''} \quad (15)$$

と表されることになる。

一例として、最も単位面積当たりの雪害度の大きかった歩道を除雪することを目的とし、本論文で計算した地域に対して、新たに流雪溝を導入することを考える。その導入によって、大雪年と少雪年の雪害度がどう変化するかを見ることとする。

この場合、流雪溝を新設するための設備費は、長岡市において、昭和60年から稼働しているポンプ揚水式の流雪溝に対して実際にかかった費用をもとに計算する。すなわち、2台のポンプ施設と総延長1,350.7mの流雪溝に対して、1.57億円を要し、平均幅員3.5mであったので、耐用年数を20年とし、流雪溝の設備費は、1,657円/(m²年)となる。次に、経費はポンプの電気料をとり、実績データから大雪年は385千円/年、少雪年は180千円/年とし、これを延長と幅員で除し、それぞれ、81.4円/(m²年)、38.1円/(m²年)を得た。

対象とする場所は、機械除雪または消雪パイプの処置のない歩道で、流雪溝の設置によって、積雪期間を通じて確保されるようになるものとする。

以上のようにして求めた歩道の雪害度の計算結果を表5に示す。表の各欄の上段に大雪年、下段に少雪年の値を示した。これをみると、2種住居専用地域と住居地域の大雪年と、近隣商業地域、商業地域の大、少雪年に ΔH が負となり、経済的に成り立つことがわかる。そして、これらの η をみると、1を越えていて、商業地域の大雪年で4.6、少雪年で2.5、近隣商業地域の大雪年で1.9

という高い投資効率となることがわかる。

次に、流雪溝で雪を処理する場合には、雪を投入する作業が必要であることから、この人件費を(10)式を用いて計算し、 $\Delta E''$ に加え入れた場合を考えると、 ΔH が負となるのは、商業地域のみとなり、そのときの投資効率は大雪年で2.15、少雪年で2.17となる。

以上のことより、流雪溝導入による歩道除雪の経済性は、現状で、商業地域で無条件に成立し、近隣商業地域、住居地域および2種住居専用地域では、人件費を含まないという条件付きで成立すると言える。しかし、将来人件費が高くなると、その成立性が脅かされると結論される。

5.3 計算誤差と結果の妥当性について

以上の計算には、種々の誤差が含まれている。その主なものをみると、次の様である。

まず、利用度の低下率 $\bar{k}$ の計算については、(5)式を(6)式で近似するところに、大きな誤差が生じる場合がある。それは、雪対策がなされている場所が、降雪量の増大に伴って減少する場合であり、例えば、消雪パイプ用の地下水の不足、あるいは除雪機械の不足によって、所定地域の除雪ができなくなってしまう場合である。この場合は、 k が増大するので、 $\bar{k}$ は(5)式によって計算しなければならない。しかし、超大雪年の計算は、このような点を考慮すると、 H はさらに大きなものになることが予想される。このことは、表5の流雪溝の場合にも言え、流雪溝の水量やそこに投入する人の能力が、実際には、追従できなくなる恐れがあり、この場合は、投資効率がさらに低下する。

次に、公園や屋敷空間など、 k がかなり大きい場所で、積雪日数 D が必ずしも観測点の値ではなく、ある場所は周辺を除雪した雪が積み込まれていて D が長くなり、ある場所では春先になると人が除雪をして D が短くなる。それらの詳細を知るには、より詳しい現地調査が必要である。なお、雪の堆雪場所として使われている場合は、そのこと自体が便益となっているので、その便益を堆雪場所の要因に入れるべきという議論があるが、我々は、この便益は除雪された場所で計算されているので堆雪場所では計算しないという立場をとる。

表5 流雪溝を設置した場合の歩道の雪害度
の変化と投資効率

用途地域	ΔA m ²	ΔH 百万円/年	$\Delta E''$ 百万円/年	η
一種住専	38,045	8.7	66.2	0.872
		34.8	64.5	0.460
二種住専	42,425	-4.1	73.8	1.056
		31.8	71.9	0.558
住 居	117,551	-16.3	204.4	1.080
		85.5	199.3	0.571
近隣商業	68,531	-111.8	119.2	1.938
		2.8	116.2	1.024
商 業	38,731	-246.5	67.3	4.663
		-96.1	65.7	2.463
準工業	79,895	11.0	138.9	0.921
		69.6	135.5	0.486
工業	47,317	8.6	82.3	0.896
		42.2	80.2	0.474
工業専用	0	0.0	0.0	0.0
		0.0	0.0	0.0
合 計	432,495	-350.6	752.1	1.465
		165.0	733.3	0.775

各欄の上段は大雪年、下段は少雪年の値を示す。

次に、 E'' の計算において、家屋は屋根雪降ろしの人件費と積雪に対する構造強化費用のみをとったが、この他にも、一部の家屋では、構造をさらに強化して耐雪構造としたり、屋根勾配を急にして自然に雪が落ちる構造としたり、融雪装置を取り付けたりしており、これらの費用も加えられなければならないが、現在はまだその数は少なくその分布も知ることが困難であることから、本報では考慮されていない。

6. 結 論

長岡市の信濃川東岸の市街地約20km²の雪害度を、大、平、少雪年について、用途地域別に求めた。その結果、対象地域全体の雪害度は、大雪年には151億円、平雪年には104億円、少雪年には75

億円となった。

この雪害度の大きさを要因別にそれぞれの単位面積当たりで比べると、除排雪対策の進んでいない歩道、公園、屋敷空間が大きな値をもち、対策の進んでいる駐車場、家屋、車道は小さい。用途地域別に単位面積当たりの雪害度を見ると、地価に大きく依存し、商業地域、近隣商業地域、住居地域が大きな値となっている。大、平、少雪年の順で雪害度は小さくなるが、それによって要因別、地域別の特性が変わるということはない。このことは、仮想的な超大雪年についても、現状の雪対策に能力的な補強が行われる限り、変わらない。

上記の計算された雪害度を用いると、新しい除排雪施設を導入したときの経済性が、評価される。歩道除雪のための流雪溝設置の試算では、商業地域のみが、雪を投入する人件費を考慮しても経済的に成立することがわかった。

最後に、この研究のために、長岡市の各部門から、多くの資料の提供を受けたので、御協力を得た市役所の関係各位に心から感謝の意を表す。また本研究は、平成2、3年度文部省科学研究費補助金（重点領域計画研究、代表菊池勝弘）の援助を受けたので、このことを記し感謝する。

参 考 文 献

- 1) 梅村晃由, 大滝 均, 上村靖司: 豪雪都市の雪害度に関する研究 - 第1報, 雪害度の定義と試算 -, 自然災害科学, 9巻, 1号, pp. 17-26, 1990.
- 2) 梅村晃由, 白樫正高: 管路による雪の水力輸送, 雪氷, 51巻, 1号, pp. 55-63, 1989.
- 3) 長岡市: 長岡の積雪, 1990.
- 4) 栗山 弘: 雪の科学と生活, 新潟日報事業社, pp. 80-82, 1984.
- 5) (社) 民事法情報センター: ブルーマップ長岡市(越路町) - 住居表示地番対照住宅地図 -, ゼンリン, 1989.

(原稿受理 平成4年5月11日
訂正稿受理 平成4年10月9日)