

雪対策事業におけるリスクファイナンスの導入効果*

Effect of Applying Risk Financing to Snow and Ice Control Project

岸 邦宏**、塚原 沙智子***、原文宏****、佐藤 馨一*****

By Kunihiko KISHI, Sachiko TSUKAHARA, Fumihiko HARA and Keiichi SATOH

1. はじめに

積雪寒冷地の自治体において、冬季間の道路交通の確保や都市機能の低下を最小限に抑えるため、雪対策は必要不可欠な公共サービスである。しかし、雪対策事業は降雪という自然現象に左右され、毎年その事業費が変動し、しかもその変動幅も大きい。

札幌市では、毎年事業費の予算超過に対して補正予算を組むなどの対応をしているが、問題の根本的な解決は至っていない。そのため、道路延長の増加とともに事業を拡大する一方で、財源的な限界を迎えつつある。

本研究では、札幌市を対象に保険などのリスクファイナンスの適用を検討する。すなわち、雪対策の中で最も事業費の変動が大きい、除雪事業費の平準化方策を検討し、その導入効果を明らかにすることを目的とする。

2. リスクファイナンス

(1) リスクファイナンスとは

リスクファイナンスとは、一定の確率でリスクが現実のものとなることが避けられず、経済的損失を被るリスクに備える手法である。この方法には経済的損失の保有と他者への移転がある。

(2) リスクの保有と移転

保有と移転のどちらを選ぶかはリスクの性質による。一般に予測可能で少額の損害はリスク移転費

用を節約するために保有すること、反対に予測不可能かつ巨額の損害の場合は保険をつけるなどして移転することが推奨されている。リスク移転費用とは、リスク移転先への契約料に当たる部分である。移転によってリスクを軽減するにはそれに見合った費用がかかるのである。

雪対策事業におけるリスクは、除雪事業費の変動が大きいことである。リスクを保有するか移転するか判断には、リスク移転費用に対してどれだけリスク軽減効果があるかが重要になる。

(3) リスクファイナンス導入の評価指標

リスクファイナンス前後を比較する指標として、「負担増加額」と「変動減少率」を定義する。「負担増加率」はリスク移転に伴う負担額増加の程度を示すものであり、「変動減少率」は事業費の変動の減少、つまり平準化の効果を示すものである。本研究では、2つの指標を用いて評価する。

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{負担増加率} = \frac{E_2 - E_1}{E_1} \geq 0 : \text{事業費の期待値増加率} \\ \text{変動減少率} = -\frac{V_2 - V_1}{V_1} \geq 0 : \text{事業費の変動減少率} \end{array} \right.$$

E_1, E_2 : リスクファイナンス前後の期待値

V_1, V_2 : リスクファイナンス前後の分散

また、この指標を求めるためには、負担額の確率分布を求めなくてはならない。その為には、リスク要因(気象指標)から負担額を求める分析を行い、リスクを定量化する必要がある。

3. 除雪事業におけるリスクの定量化

(1) 札幌市の雪対策事業費

札幌市の雪対策事業費は、年々増加傾向をたどっており、平成12年度には約160億円の決算額が計上

*キーワード: 財源・制度論、除雪事業費、リスクファイナンス
**正会員、博(工)、北海道大学大学院工学研究科
(札幌市北区北13条西8丁目、TEL・FAX 011-706-6864)
***学生員、東京大学大学院新領域創成科学研究科
****正会員、博(工)、社団法人北海道開発技術センター
(札幌市中央区南1条東2丁目、TEL011-271-3028)
*****フェロー、工博、北海道大学大学院工学研究科
(札幌市北区北13条西8丁目、TEL011-706-6209、FAX 011-706-6216)

された。事業費は、道路除雪費（以下除雪費）と施設整備費に分けられるが、気象現象による影響を受けるのは全体の約7割を占める除雪費である。よって負担額平準化は除雪費について論じることとする。

(2)主要リスク要因特定

除雪費を変動させる要因を特定するため、昭和49年から平成10年までの25年間のデータについて重回帰分析を行った。目的変数は除雪事業費で、説明変数は表1に示す8項目である。

表1 回帰の結果

	T 値	偏相関	単相関
年降雪量	2.2921	0.4972	0.2503
冬期間平均気温	0.6529	-0.1611	0.5130
最深積雪	0.8686	0.2122	0.2003
積雪日数	0.4092	-0.1018	0.2182
除雪延長	0.1362	0.0340	0.7418
人口	0.3541	0.0882	0.8848
自動車保有台数	1.3932	0.3289	0.9122
道路管理延長	1.0782	-0.2603	0.8442

有意水準5%でT検定を行った結果、仮説が棄却されたのは、年降雪量のみであるので($t_{0.05}(24)=2.29 > 2.06$)、これを主要リスク要因とする。しかし、単相関係数を比較すると、年降雪量は0.25と低く、一方で自動車保有台数、道路管理延長などの項目では高い値を示している。

これは、モータリゼーションの進展による影響が気象変動よりも大きく作用しているため、この影響を除去しない限り、年降雪量と費用を直接結びつけることはできないことを示している。

(3)年降雪量による除雪事業費の感度分析

モータリゼーションの進展による影響を除去するため、運搬排雪費を排雪延長で除した“kmあたり運搬排雪費”からのアプローチを検討する。

運搬排雪は除雪の1工種で、費用は全体の約4割を占めており、全体との相関は大きいとされる。

そこで、平成3~10年度のデータを用いて“kmあたり運搬排雪費”と年降雪量、「運搬排雪費と除雪事業費」の2段階の相関分析を行うことによって、(1)式のように降雪量から除雪事業費を求める。

$$y = (7.6775x - 605.45)L \times 10^{-5} + 43.344 \quad (1)$$

y: 除雪事業費[7工種](億円)

x: 年降雪量(cm)

L: 運搬排雪延長(km)

ただし、除雪事業にはこの期間に新しく4工種が加わっているため、(1)式は共通の7工種の費用総額を求めるものである。この新4工種の費用は、ここ数年で総額の約8割に収束しつつあるので、今後の除雪事業費総額を予測する場合は1.25倍して求めることとした。また、「kmあたり排雪費」から排雪費を求めるには、該当年の排雪延長L(km)を乗ずる必要がある。そのため、この予測式は年度毎のものになる。

運搬排雪延長Lは、該当年度の排雪計画における値(単調増加)を用いるが、排雪時期である1月~2月の降雪量が極端に少なかった年(平成3,8年など)は、計画よりも延長が短くなることが分かっている。

式(1)の導出過程のフローを図1に示す。

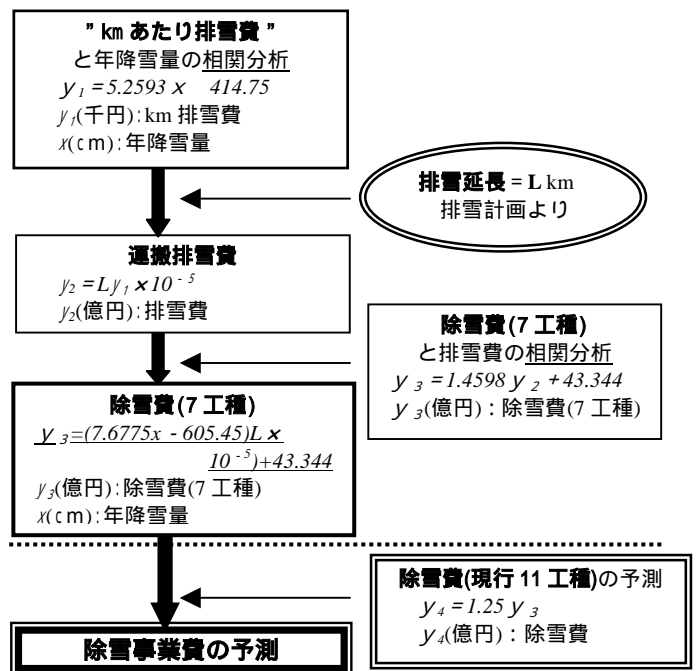


図1 除雪事業費予測フロー

(4)除雪費の予測式の適合性

次に、(1)式の実データへの適合性を確かめる。延長が少なかったH3,8年は、計画延長が単調増加であると仮定して、予測した値をLに代入した。その結果、平成7年度の誤差(理論値から実測値をひいた値)が比較的大きいことが分かった(表2)。この年は、年降雪量が観測史上最高(平成14年現在)の668cmとなった年であり、このレベルの降雪量になると、降雪量では説明できない要因が生じ、実測値は理論値よりも大きく跳ね上がるものと考えられる。

しかし、実測値と理論値の相関係数は、R=0.85と

なり、現状との適合性は認められると考える。

表2 予測式の適合性

年度	降雪量 c m	除雪費(7工費/億)			
		実測値	理論値	誤差	全体への%
平成3	382	67.1	74.1	7.1	8.7
4	465	79.6	83.5	3.8	4.8
5	571	84.8	95.6	10.8	12.7
6	394	81.6	77.0	-4.7	-5.7
7	668	127.6	107.5	-20.1	-15.7
8	378	69.8	76.6	6.8	-9.7
9	408	85.9	80.6	-5.3	-6.1
10	619	108.2	105.5	-2.7	-2.5
11	625	94.9	106.7	11.8	12.4
12	494	85.1	91.9	6.8	8.0
合計			13.8	1.6	

(5)除雪事業費の確率分布

次に、平成13年度の運搬排雪延長をL=1555kmと仮定することによって、平成13年度の予測式を(2)式とする。(2)式を用いれば、年降雪量の分布形から除雪費の分布形を明らかにできる。

$$y = 0.1492x + 42.41 \quad (2)$$

y: 除雪事業費(億円)

x: 年降雪量(cm)

年降雪量の分布は、過去30年間実データへの二乗検定を行った結果、パラメータ $\mu = 6.1910$ 、 $\sigma = 0.22102$ (過去10年のデータより)と適合度がよいことがわかった。よって、除雪費も(2)式から計算して $\mu' = 4.7527$ 、 $\sigma' = 0.14197$ の対数正規分布 $f(x)$ が求められた(図2)。

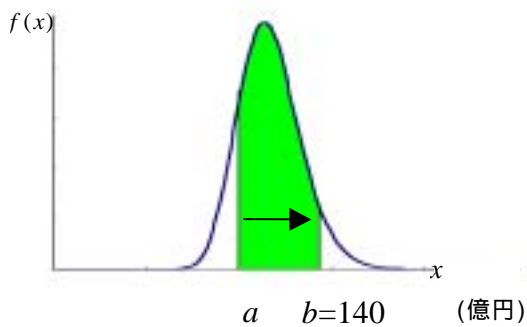


図2 除雪費の確率分布(リスク移転前)

4. リスクファイナンス手法の導入

(1)導入手法の検討

本研究において検討するのは以下の3手法である。

a)保険：保険会社へのリスク移転

自動車保険に代表されるような、万が一の事態に備えて「大数の法則」によりリスクを分担するものではなく、毎年の事業に対して時系列的に負担額を平

準化する方法である²⁾。

b)天候デリバティブ：金融取引によるリスク移転

気象の変動によるリスクをヘッジするために、気温等の気象データを指数化し、契約に基づいた一定の指数条件を超えた場合、その程度に応じた金額を受け取る契約を結ぶ方法である。契約時にリスク移転費用としてオプション料を支払う。補償は全て、契約時の条件に基づいて行われ、損害の有無に関係ないために保険での査定等の手続きを経なくてよい。

c)公社設立による複数年契約：積立によるリスク保有

雪対策事業を専門に行う公社を設立し、自治体と複数年契約を結ぶ方法。自治体では不可能な積立をこの方法により行い、費用変動を軽減する。ただし、初期投資が必要であり、資金調達が必要がある。

(2)補償範囲の設定

保険と天候デリバティブにおける補償条件を設定する。この時、降雪668cm前後で予測式の誤差が大きくなることが予想されるので、ここに補償の上限を設定するのが妥当である。上限を設定しない場合、予測式の誤差から契約者間に不公平が生じるもと考えられる。

(2)式より、 $x=668$; $y = 140$ 億円なので、補償の上限は140億円とする。この時、下限 a 億円(デリバティブの場合は式(2)により対応する A cm)をパラメータとして $a=100 \sim 140$ に設定した際の2つの評価指標を比較する。デリバティブ契約では、(2)式より A cm 以上は降雪10cm毎に1,500万円(0.1492×10)支払う契約を行う。ただし、理論上は保険とデリバティブで評価指標に違いは生じない。よって、両者の違いは契約方法にあるとする。

(3)保険・天候デリバティブの導入

保険やデリバティブを導入した場合について、保険を例に、評価指標の計算をする。前述のように保険とデリバティブの結果は同一である。

保険の基本原則である「収支相当の原則」に基づけば、純保険料 I_p は保証される金額の期待値と考える事ができるので、(3)式によって計算される。負担費用は表3のように変化し、同時に費用の確率密度関数は図3に示す $g(x)$ へと変化する。ここで、付加

保険料(リスク移転費用)率は $r=5\%$ とした。保険料は純保険料と付加保険料の合計である。

$$I_p = \int_a^b (x-a)f(x)dx + \int_b^\infty (b-a)f(x)dx \quad (3)$$

x : 除雪事業費 (保険前の負担額)

I_p : 純保険料、 rI_p : 付加保険料、 r : 料率

よって、保険料総額 $I = I_p(1+r)$

表 3 保険導入後の各費用

	$x < a$	$a < x < b$	$x > b$
除雪費	x	x	x
保険負担分	0	$x-a$	$b-a$
自己負担分	x	a	$x-(b-a)$
純保険料	I_p	I_p	I_p
付加保険料	rI_p	rI_p	rI_p
保険料合計	I	I	I
自己負担計	$x+I$	$a+I$	$x-(b-a)+I$

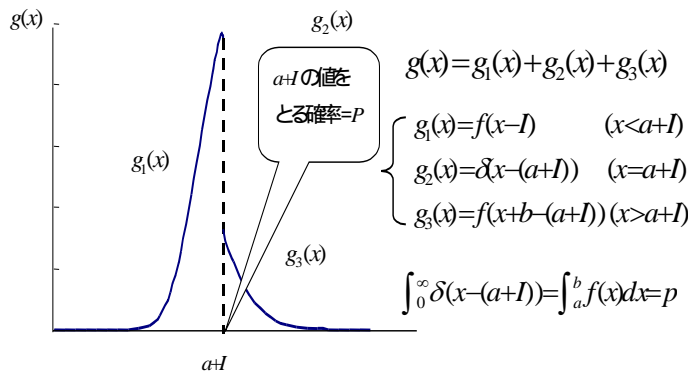


図 3 リスク移転後の確率分布

$g(x)$ の期待値と分散を計算することによって、各評価指標は図 4、5 のようになる。

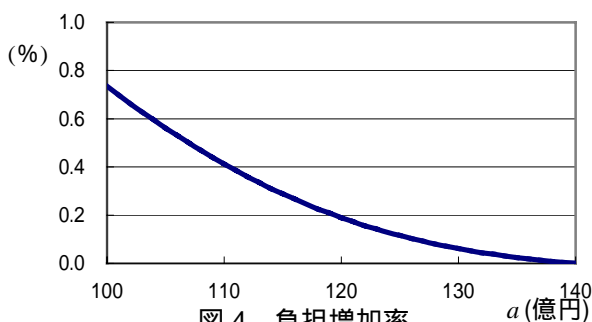


図 4 負担増加率

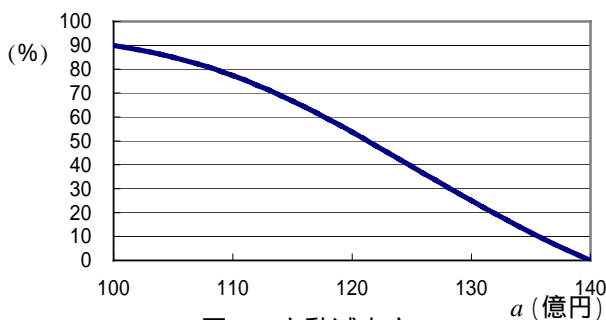


図 5 変動減少率

(4) 公社設立による複数年契約

過去 30 年間の実データを元に、3 年契約と 5 年契約の場合の指標を算出した。計算は、一年当りの負担額を複数年の費用を契約年数で除したのものとして行った。初期投資はかかるものの、負担増加なしにそれぞれ 73%、88% までの変動減少率を見込める。

5. 札幌市へのリスクファイナンス適用の検討

リスクファイナンスの適用によって保有、移転それぞれに高いリスク軽減効果が得られることがわかった。市がコスト面からリスク移転を行えるかどうかの評価として、既存研究³⁾による札幌市民の除雪への費用負担意識を用いると、市民は除雪の水準維持に対して総額で現状より 30 億円程度まで負担増加を受け入れる意思がある。表 4 のように補償の下限が 100 億円の場合でも、負担の増加は 8601 万円であり、市民はリスクファイナンスに伴う負担費用増加を受け入れる余地があるといえる。

表 4 補償下限値による除雪事業費負担の変化

a 億円	期待値 億円	保険料 億円	付加保険料 万円	負担増加率 %	変動減少率 %	A cm
100	117.93	18.1	8601	0.74	90	386
105	117.73	13.8	6588	0.56	85	420
110	117.55	10.2	4834	0.41	77	453
115	117.41	7.1	3377	0.29	67	487
120	117.29	4.7	2223	0.19	54	520
125	117.21	2.8	1351	0.12	39	554
130	117.14	1.5	722	0.06	25	587
135	117.10	0.6	288	0.02	12	621
140	117.07	0.0	0	0.00	0	654

一方で、リスクファイナンスを適用するためには、事業費の収支および除雪水準を明確にしなければならない。現在、札幌市ではゾーンごとに業者に除雪を委託するマルチゾーン除雪体制をとっているが、業者間での除雪の基準の統一を徹底することが必要となってくる。

参考文献

- 1) 札幌市統計書、平成 12 年度版
- 2) 岸邦宏、高橋香織、佐藤馨一: 除雪保険の導入による除排雪費用の平準効果、土木計画学研究・講演集 22(2)、pp67-70、1999
- 3) 岸邦宏、高橋陽平、佐藤馨一: 除雪事業の水準と費用負担意識に関する都市別評価、土木計画学研究・講演集 24、CD-ROM、2001