

除雪デリバティブによる市町村財政の リスク分散手法に関する検討

中前 茂之¹・高野 伸栄²

¹正会員 北海道大学大学院博士後期課程 北方圏環境政策専攻 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)
E-mail: shigeyukiss.nakamae@gmail.com

²正会員 北海道大学大学院准教授 北方圏環境政策工学専攻 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)
E-mail: shey@eng.hokudai.ac.jp.

阪神大震災や東日本大震災をはじめ、我が国内外で頻発する災害への関心が高まっている。また、我が国で発生する災害は、地震のほか、豪雨、豪雪、火山噴火等々種類も多岐にわたる。このうち、積雪寒冷の度がはなはだしい積雪寒冷特別地域では、毎年降雪リスクにさらされ、特に近年は豪雪災害が頻発している。こうした地域は我が国国土面積の約6割を占め、豪雪対策は重要な課題であるにもかかわらず、降雪リスクをマネジメントする手法が研究途上であるうえ、降雪リスクを評価する手法も確立されていない。

そこで本稿では、降雪リスクの評価を行うとともに、除雪デリバティブによる市町村財政の降雪リスク分散手法を検討する。

Key Words : 冬期道路管理, 除雪, 財政, 降雪 リスク, 除雪デリバティブ

1. はじめに

近年頻発する災害に対し、防災、減災といった災害リスクマネジメントへの関心が高まっている。

我が国は災害大国で、地震・津波、火山噴火、台風や豪雨、豪雪、突風など多くの自然災害が毎年のように発生し大きな損害を与えている。例えば、我が国の国土面積等が世界の総面積の0.1%に過ぎないにもかかわらず、そこから放出される地震エネルギーは地球全体の約1割を占める。平成7年の阪神大震災、平成16年の新潟県中越地震、平成23年の東日本大震災は最大震度7を観測し、いずれも大きな被害と衝撃を国民に与えた。

また、我が国は世界有数の積雪寒冷地である。例えば、札幌市は年間の累加降雪深は500cmを超え、こうした降雪の多い地域で200万人もの都市圏を構成している地域は世界に類を見ない。こうした積雪寒冷の度がはなはだしい地域は我が国国土の約6割を占め、地方公共団体数の4割、人口の2割が含まれる。こうした地域において降雪リスクをいかにマネジメントするかは生活の根幹にかかる問題である。

災害リスクマネジメントの取り組みは道半ばとはいえ、着実に進められており、特に地震に対しては、建物の耐震補強や避難施設、緊急輸送道路などの施設整備、ハザードマップの作成や公表、避難計画の立案、避難訓練の実施などの体制整備や人的な取り組み、地震予知や地震

速報などの科学技術や情報技術分野の対策、地震によって被害を受けた場合の災害復旧制度、更に、税制や融資、政府による再保険制度を含む地震保険などのファイナンス分野でのリスクマネジメント方策も整備されている。

他方、降雪リスクに対しても積雪寒冷特別地域における道路交通の確保に関する特別措置法（昭和三十一年四月十四日法律第七十二号、以下、雪寒法）により、冬期道路交通確保のための除雪、防雪、凍雪害防止や除雪機械の整備、豪雪法による種々の財政支援方策や研究支援、豪雪により除雪費が増大する対応として、国や地方公共団体の補正予算や予備費、特別地方交付税、豪雪による市町村の財政への影響が大きい場合に国が実施する幹線市町村道除雪費補助の臨時特例措置など、様々な仕組みが整えられている。

しかしながら、近年、豪雪と少雪が繰り返され、地域ごとの変動も大きくなっている¹⁾ため、国と地方で3,000億円以上とも推定される予算を除雪等に投じているが、それでも限られた予算や体制のもと、地方公共団体にとっては降雪リスクへいかに備えるかは深刻な課題になっている。国土交通省が特例措置として実施している市町村道除雪費補助の臨時特例措置は、少雪がつづいた平成年間に入ってから10年以上実施されることはなかったが、平成22年度から24年度まで3年連続で実施されていることからこうしたことが伺える。

その上、過疎化高齢化のさらなる進行により地域の克

雪力等の低下が顕著となっていること、数年来の記録的な少雪により持続可能な除雪体制の確保が困難となることなど新たな課題が発生している²⁾。例えば、積雪寒冷地の地方公共団体からなる全国積雪寒冷地帯振興協議会（会長：新潟県知事）は、道路除雪経費の安定的確保や市町村道の除雪支援に係る交付金制度の拡充などを政府に要望しており、地方公共団体の降雪リスクマネジメントに対するニーズが高まっている。

こうした中、国土交通省も除雪費補助の制度強化を行っている。平成 25 年度から始まる冬期道路交通確保五箇年計画にあわせ、市町村道除雪費補助を新設し国費 98 億円を平成 25 年度予算に計上している³⁾。

いずれにせよ、降雪リスクマネジメントの方策は多岐にわたるが、この要望にあるように、道路の除雪が地域の安全・安心な暮らしを確保する中心的な対策となっており、除雪に関し多くの既存研究がある。特に除雪の経済的見地からは、五十嵐⁴⁾、岡辺・中前⁵⁾、酒井等⁶⁾をはじめとする除雪の経済効果や評価に関する研究、高野等⁷⁾、原等⁸⁾、岸等⁹⁾をはじめ、除雪の水準と負担の関係について住民の意識や社会ジレンマの観点からの研究がある。さらに、リスクファイナンスについては、高尾¹⁰⁾のように、企業のリスクファイナンスと天候デリバティブに関する研究や四塚¹¹⁾のように、地震等の大災害とリスクプレミアムについての研究等が多くあるが、除雪費の変動リスクに着目した研究は、中前・新村¹²⁾や中前・大川戸¹³⁾の除雪事業とデリバティブに関する研究や岸等¹⁴⁾の除雪保険による降雪リスクへの対応などのほか、既存研究は少ない。また、除雪保険は、岸等¹⁴⁾が指摘するとおり、保険は収支相応の原則があるため、適切な保険料の算定のために事業費の収支の明確化が求められる上、除雪水準も詳細に設定しなければならないという課題がある。さらに、保険は損害に対する補償という実損填補の原則もあることから、中前・新村¹²⁾が指摘しているように、仮に除雪保険を適用した場合でも、保険金の支払いには損害の査定が必要で、降雪が続く中進めなければならない除雪作業を査定が終わるまで待つことはできない上、査定に時間をかけている間に降積雪の状況が変化し、融雪期などにかかれれば正確な査定は困難を極めることになることなどから除雪保険を実財政へ導入することは現段階では現実性が高いとはいえない。一方、デリバティブは、例えば降雪深のように客観的な指標により事前に定めた額の支払が行われることから、査定作業を伴わず、降雪という時間的に被害の状況が捕らえにくいリスクにも対応可能である。このため、本稿では、除雪デリバティブによる市町村財政のリスクファイナンスとその前提となる降雪リスクの評価について検討する。

なお、降雪による災害の形態として、冬期間を通じて多雪による除雪費の増大と比較的短い期間に集中的な豪

雪による人命の危機、集落の孤立、雪崩等があるが、本研究では除雪費が増大するリスクを対象とする。

2. 降雪リスクマネジメントの現状

リスクマネジメントは、リスクを最も効率的に処理する方策を検討し、実行する課程であり、リスクの確認、評価、対処、結果の点検を繰り返し行うものである。リスクの対応方法は、図 1 に示すようにリスクコントロールとリスクファイナンスの 2 つに大別できる¹⁴⁾。

降雪リスクの他の災害リスクと異なる特徴的な点を整理すると以下の 2 点にまとめられる。

①迅速性：他の災害復旧と異なり、時間が経つと雪が融けてしまう。例えば、札幌市が各町内会と連携して行っているパートナーシップ除雪のように、地域の生活道路の運搬排雪は積雪量が最大になる直前もしくは直後にすることが最善で、一般に遅くとも 2 月中に行われるべきものであるが、平成 24 年度の豪雪では、全市的な作業が遅延し、融雪期に差し掛かる 3 月に実施されている例が散見された。この場合、道路利用者や地域住民が積雪による不便を十分に被った後に運搬排雪を行うこととなり、降雪リスク軽減の効果の低下を招いていることになりかねない。さらに、作業をしなくても融雪により道路の機能が自然復旧する時期が近づいていることから投資効率が低下していることになりかねない。つまり、降雪リスクにファイナンスで対応するには適時、迅速に処置される必要がある。

②被害の計測性：他の災害が施設や財産の損壊などの形で損害が発生することが大きいことに比べ、施設や財産の形状的損壊よりも、道路など施設そのものは損壊しないが通行できないなど機能しなくなることによる被害が大きい。このため、復旧は施設そのものの原形復旧ではなく、積雪を除去すること等による本来機能の復旧がおもな対処となる。こうした特質は、火山噴火に伴う降灰に類似していると考えられる。

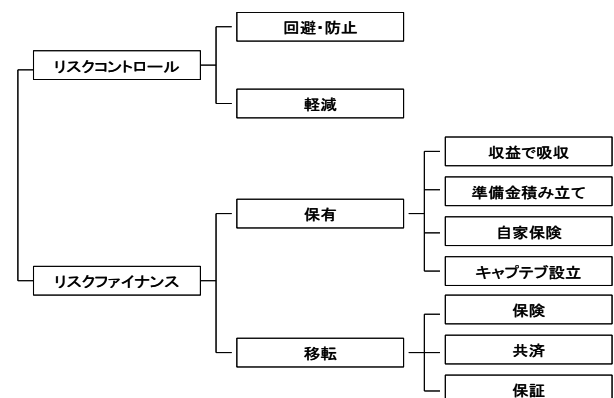


図1 リスクマネジメントの体系

表1 リスクマネジメントの手法例

	地震リスク	降雪リスク
リスクコントロール	施設の耐震化、免震化	道路や住宅の耐雪化 (堆雪幅、スノーシェルター、無落雪住宅)
	緊急輸送道路 防災対策、訓練	ロードヒーティング、流雪溝 施設の地下化、冬タイヤ (地下鉄道、地下歩行者空間)
リスクファイナンス	予備費、準備金	予備費、準備金、入札差金 備荒資金(共済)
	災害復旧費	国の特例措置
	地震保険	除雪デリバティブ (除雪保険)

表1では、地震災害と降雪災害についてリスクマネジメントの手法例を比較した。リスクを回避、防止、軽減する方法として、地震も降雪も施設を地震に強くすることと雪に強くすることを目的としたハード対策が共通である。また、避難計画の策定やハザードマップの作成、避難訓練なども地震リスクを削減する方法と整理した。降雪リスクがどのようにマネジメントされているか。積雪寒冷地では、降雪によっても都市機能がマヒせず、維持できるように除雪が行われている。この、政府と地方公共団体合わせて年間3,000億円以上と推定する道路の除雪費は投資額の規模から降雪リスクに備える最大の方策となっている。除雪のほかにも降雪リスクに対し、様々な投資が行われてきた。例えば、除雪した雪を置くことができる堆雪幅を有した道路の整備、除雪機械の整備、地下鉄や地下道、無落雪住宅、縦型の信号機等々、これらは積雪寒冷地で都市機能を維持する、つまり、降雪によるリスクを積極的に保有し、安全で快適な生活を確保するというリターンを期待して投資したものと解することができる。

こうした降雪リスクへの備えを行っているが、降雪量は事前には不明で、予算措置した除雪費で都市機能のマヒが回避できない場合がしばしば発生する。このため、降雪量が当初予算で対応できる除雪事業の量を上回るときには補正予算や予備費、予算の移流用などで対応している。具体的な予算額を示すと、国が自ら行う直轄事業と地方公共団体が行う事業を合わせて雪寒法に基づく除雪等は年間約1,000億円、国土交通省の臨時特例措置が80～200億円、地方交付税では、1,400億円程度、特別交付税が約400億円^{15) 16) 17) 18)}であり、これだけでも約3,000億円となる。この他にも、地方公共団体の単独費による除雪費もあることから、降雪リスクに対し、国全体では毎年3,000億円以上の予算を降雪リスクに対して投資しているといえる。国直轄国道の除雪費の場合、当初予算が不足する場合には、道路事業費の中での移流用により所要額を確保し、それでも不足する場合は道路事業費の予備費、さらに一般会計予備費あるいは補正予算の編成

という流れが一般的である。

図2に除雪費に対する公共団体の一般的な財政対応を示す。各公共団体も同様であるが、当初予算を超える場合には補正予算や予備費等で増加した除雪費を賄う。この他に災害への準備資金として、北海道の市町村から構成する北海道市町村備荒資金組合による備荒資金¹⁹⁾がある。例えば、平成24年度の豪雪により札幌市は当初予算140億円余りに対し63億円を3次に亘る補正予算を組んで対応したが、この内10億円はこの備荒資金を充てている。

このように、各公共団体は様々に財政措置をしているが、問題は、増加分が当該公共団体の財政を著しく圧迫する場合や財政負担能力を超える場合である。雪寒法では、政令で指定する区域にある道路の除雪費を2/3国費で賄うこととしているが、市町村道は原則対象となっていない。市町村道の除雪費は、寒冷地補正された普通地方交付税で賄われていることとなっているためである。豪雪時には、この普通地方交付税に加え、特別交付税が配分される他、あくまでも臨時の特例措置として国土交通省が1/2補助を行ってきた。これにより、公共団体の降雪リスクのうち、著しい豪雪による除雪費増嵩リスクは特別交付税と国土交通省の臨時特例措置によって国が一部を肩代わりしていることとなる。これまでは、図2で示す公共団体が予算措置できない範囲(降雪深 x について、 $b < x < c$ の範囲)が顕在化していないが、国も地方公共団体も財政的に厳しい状況が続いており、今後も顕在化しないとは言い切れない。そしてここで課題は、国がどこまで(というより、どこから)リスクを負うのかという基準が明確になっていないことである。適切にリスクをマネジメントするためには、リスクを適切に評価し、自ら保有するリスクの範囲、一部または全部を移転する範囲、そして地震保険の再保険制度のように国が

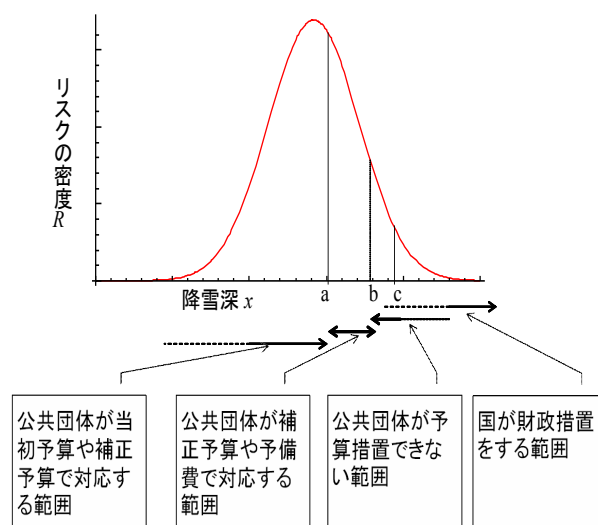


図2 降雪リスクへの財政対応

補償する範囲を明らかにする必要がある。なぜならば、四塚¹¹⁾が指摘するように、大規模な自然災害のリスク特性が低頻度かつ大損失であることから、伝統的保険市場による直接的な担保は困難であり、巨大なリスクを移転させるためには、〈保険契約者―元受保険会社〉、〈元受保険会社―再保険会社〉、〈再保険会社―再々保険会社（または政府）〉、と複雑なネットワークを介して分散させる必要があるからで、発生した場合に巨大となる降雪リスクは国が負うべきと考えられる。その境は、現在は政治的観点、国の財政的観点等からその都度決められている。柔軟に対応しているという利点はあるが、公共団体はどこまでのリスクを負っているか確定することができない。

発生頻度は高く、リスクは大きい、除雪費としては平均値から大きく乖離しない降雪リスクはこれまで同様当該公共団体が負うべきで、このうち、補正予算など予算措置で負う部分と、外部へリスクを移転する部分があると考えられる。

リスク移転の方法としては、時間的な移転と空間的な移転が考えられる。前者は、年毎に変動する除雪費を平準化するための方策で、除雪保険がこれにあたる。収支相応の原則から長期的には被保険者である公共団体が受け取る額の期待値は自ら支払った保険料から保険会社の手数料を差し引いた額に収束する。このため、一つの公共団体における除雪保険契約はリスクの時間的な自己移転で、長期的には他に分散するのではなく自己保有していると見なすことができる。

一方、自動車保険や地震保険の場合は、他の地域、場合によっては世界にリスクを分散することができる。つまり、時間的なリスク移転に加え、空間的なリスク移転が可能である。これは、交通事故や地震はどこでも起こりうるからであり、除雪についても空間的なリスク分散が行うことができれば除雪保険はより効果的なリスクマネジメント手法になる。日本国内に目を向けた場合、豪雪の発生が地域間でばらつきがあり、同時に全国的な豪雪になる確率が低くなることが望ましいが、平成18年豪雪や今冬の豪雪のように全国的な豪雪が散見されることを勘案するとできる限り日本とは気象の関連性が薄い地域を含めてリスク分散をする必要があると考えられる。また、世界初の天候デリバティブ契約であるエンロン社とコーク社の例¹²⁾のように、電力とガスという相反するリスクを有する者同士のリスク移転ができることがより望ましい。降雪の場合では、例えば降雪が多くて損失が大きくなる道路管理者と降雪が少なくて損失が大きくなるスキー場のように相反するリスクを負う組み合わせが考えられるが、同時にリスクの規模も相応する必要があることを考慮しなければならない。

また、地震保険について、地震保険に関する法律（昭

和四十一年五月十八日法律第七十三号）に基づき地震再保険制度が運用されており、1回の地震等により政府が支払うべき災保険金の限度額が4兆3,012.5億円（H23年度）と定められている。財務省によると、地震等による被災者の生活の安定に寄与することを目的として、民間保険会社が負う地震保険責任を政府が再保険し、再保険料の受入れ、管理・運用のほか、民間のみでは対応できない巨大地震発生の際には、再保険金の支払いを行うために地震再保険特別会計において区分経理されている。さらに、財務省は大臣官房政策金融課に地震再保険係という専門の組織をを置いていることにも着目されたい。これらは、発生確率は低くても実際に発生した場合の損害が甚大であり、最終的にそのリスクを負うことができるのは国であることの証左と解すべきである。世界の再保険市場が約20兆円であることにに対し、我が国の地震保険の国が負う再々保険が約4兆円、阪神大震災の直接被害額が約10兆円²⁰⁾、東日本大震災の20兆円を超える被害はとても大きいものである。世界の再保険の市場規模から民間の保険で対応できる規模ではない。

いずれにせよ、降雪による除雪費の変動リスクを移転・分散する手法として、先にも述べたように、①迅速性と②被害の計測性の課題があることから査定を伴い、実損填補を原則とする保険は、地震にはリスクファイナンスの一つの手法として長く導入されているが、除雪にはなじまないと考えられ、むしろ、支払条件が明確で、支払いの迅速さがあるデリバティブが向いていると考えられる。

また、財政に限界のある公共団体が降雪リスクをマネジメントするためには、リスクを負う範囲を定める必要があり、そのためには国がリスクを肩代わりする豪雪の範囲を明示することが必須となる。

3. 降雪リスクの評価

降雪リスクは、除雪費の増大のほかにも、交通事故・転倒事故、除雪にかかる事故の増加、運搬や移動の遅延、苦情の増加など社会経済から日常生活に至るまで様々である。しかし、本研究では公共団体が負っている除雪費増大リスクに着目しており、除雪費は、降雪深のほか、様々な指標の影響を受けると考えられるが、岸等¹⁴⁾は除雪費にかかるこうした変数について解析を行い、降雪深が優位であると示している。本研究でもこの結果を採用し、除雪費は降雪深のみの関数として扱うこととした。この前提に立てば、降雪確率分布曲線と除雪費曲線の積で表すことができ、この総和は除雪費の期待値に等しくなる。降雪は大量の法則に従い、正規分布に従うと仮定すると、累加降雪深 x に対し、確率 p は、正規分布とな

る。

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

ここで、 μ は降雪量の平均値、 σ は標準偏差である。
次に、除雪費 J は、除雪単価を u 、除雪延長を L とすると、

$$J(x) = uLx \quad (2)$$

中前等^{21) 22)} により、 $u(x)$ は、

$$u(x) = ax^b \quad (-1 < b < 0) \quad (3)$$

となることから、(2)式、(3)式から、

$$J(x) = aLx^{b+1} \quad (4)$$

となる。

この時、降雪リスクは、

$$R(x) = p(x) \times J(x) \quad (5-1)$$

$$= \frac{aL}{\sqrt{2\pi}\sigma} x^{b+1} e\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (5-2)$$

なお、このリスクを全区間において積分した値は、除雪費の期待値に等しい。

$$\begin{aligned} E(J) &= \int R(x) dx \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \frac{aL}{\sqrt{2\pi}\sigma} x^{b+1} e\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) dx \end{aligned} \quad (6)$$

ここで問題になるのは、このリスクの発現確率とそのばらつきであり、特にばらつきは、除雪水準のばらつきと降雪量のばらつきに依存する。

除雪費の期待値が同じである2つの市町村が存在した場合に、リスクへの対応は、この2つのばらつきの大きさによって大きく異なりうる。仮に、除雪水準にばらつきが無いと仮定した場合、リスクの大きさを左右するのは降雪量のばらつきである。このばらつきが極めて小さい場合、当該市町村が除雪費を補正するために準備する予備的予算の額は小さくてすむ。一方、このばらつきが大きい場合は、予備的予算を相対的に多く用意するか、用意できない場合に備えて何らかの対策が必要となる。

例えば、3年に1度の大雪に対応するためには、概ね標準偏差 σ に相当する予備費を用意する必要があることとなる。

つまり、人命に掛かるような豪雪災害リスクを除き、公共団体が負う降雪リスクは、除雪費の増大リスクであるから、降雪リスクは当初予算に追加する除雪費の額に

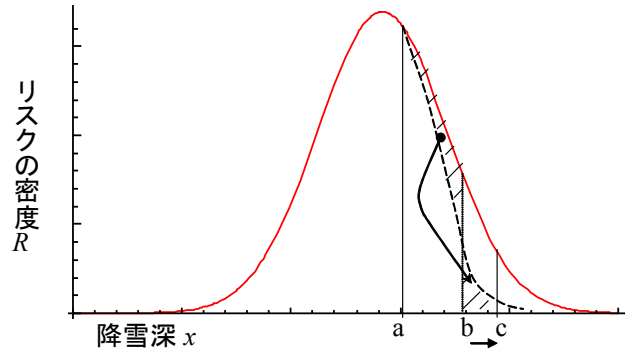


図3 デリバティブによる降雪リスク移転

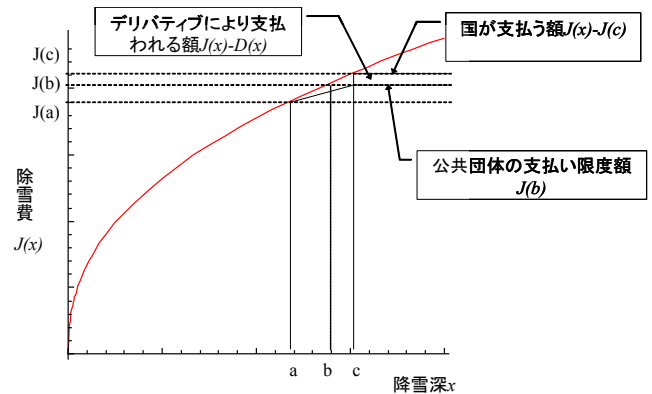


図4 除雪費とデリバティブによる支払額の関係

置き換えて考えることができる。また、市町村の財政状況や首長の判断等によって、予備費は決まることから、これが降雪リスクをどこまで許容し保有するかという一つのアロワランスとなる。このアロワランスを超える降雪があった場合はどのようにするかが次の課題となる。言い換えると、仮に、公共団体の予算に限りがあり、予備費等あらゆる手段を用いても支払えない除雪費の額が既知であるならば、除雪費増加するリスクの極限がこの限度額といえ、降雪リスクマネジメントの一つの目的は、公共団体のリスク負担能力を高めるため、ファイナンスを用いてこの限度額を引き上げることといえる。

整理をすると、岸等¹⁴⁾ のように、毎年の除雪費の変動を減少させることも一つのリスクマネジメントであるが、ここでは、これに加え、市町村が自ら対応できる除雪費の限度額や降雪深(カバレッジ)を拡大することもリスクマネジメントの評価として行う。

ここで、ある市町村の除雪予算の制約が $J(b)$ で、その降雪深を b 、例えば平年の予算額など、リスクの移転を始めた任意の除雪費を $J(a)$ とし、その降雪深を a とする。カバレッジを大きくする目標を $J(c)$ 、降雪深を c とする。いま、デリバティブにより支払われる額を $D(x)$ 、支払い限度額 $J(b)$ で負うことのできるリスクを $S0$ とすると、

$$D(x) = \frac{J(c) - J(b)}{c - a}(x - a) \quad (7)$$

$$S0 = \int_{-\infty}^b R(x) dx \quad (8)$$

また、積分の加法性より、

$$S0 = \int_{-\infty}^a R(x) dx + \int_a^b R(x) dx \quad (9)$$

デリバティブを導入することにより、

$$S = \int_{-\infty}^a R(x) dx + \int_a^c r(x) dx + I \quad (10)$$

ここで、 I はデリバティブのオプションコストである。
さらに、(5-1)式、(7)式より、

$$\begin{aligned} &= \int_{-\infty}^a p(x)J(x)dx + \int_a^c p(x)\{J(x)-D(x)\}dx + I \quad (11) \\ &= S0 \end{aligned}$$

(11)式では、公共団体の支払い限度額は一定であることから、リスクの総和 S は、オプションコスト I を含めると $S0$ から変化しないが、 $a < x < c$ の間でデリバティブの効果として公共団体が支払う除雪費は減少し、その分カバレッジは $x=b$ から $x=c$ へと拡大する。

4. ケーススタディ

北海道内の2都市（A都市とB都市）を対象に降雪リスクを算定するとともに、仮定した当該公共団体の除雪費に投じることができる限度額に対し、デリバティブによりカバーできる降雪深の変化を試算する。

取得データは、表2に示す通り、平成15年度～24年度までの10年間の除雪費（当初予算、補正予算、国費）、累加降雪深、除雪延長である。

これらデータから、除雪単価 $u(x)$ を求めるが、中前等^{21) 22)}により除雪単価は累加降雪深のべき乗と相関がよいことが既存研究で示されており、ここでもべき乗関数を用いることとした。

（1）A都市の検討

まずA都市について検討を行う。はじめに、 $u(x)$ を推計すると、

$$u(x) = 74407 x^{-0.5762} \quad (12)$$

となり（図5参照）、 $R^2 = 0.622$ と良好な相関が確認された。次に、除雪費は除雪単価と累加降雪深及び除雪延

表2 ケーススタディーのデータ諸元

	データ諸元	
データの種類	除雪費(予算、決算、国費)、累加降雪深、除雪延長	
累加降雪深の平均	567.4cm (A都市)	616.8cm (B都市)
累加降雪深の標準偏差	117.75cm (A都市)	96.807cm (B都市)
除雪延長	754.5km (A都市)	574.6km (B都市)
取得年	平成15年度～24年度	

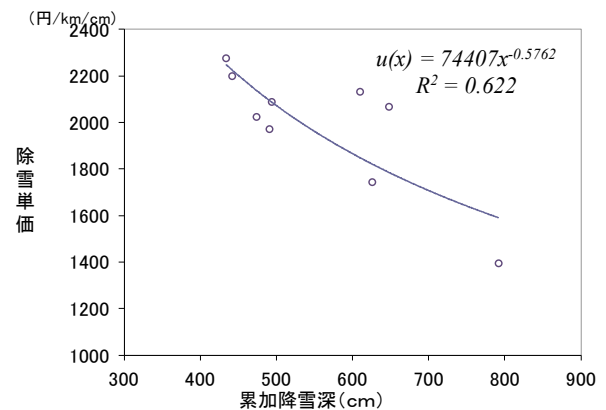


図5 A都市の除雪単価と累加降雪深の関係

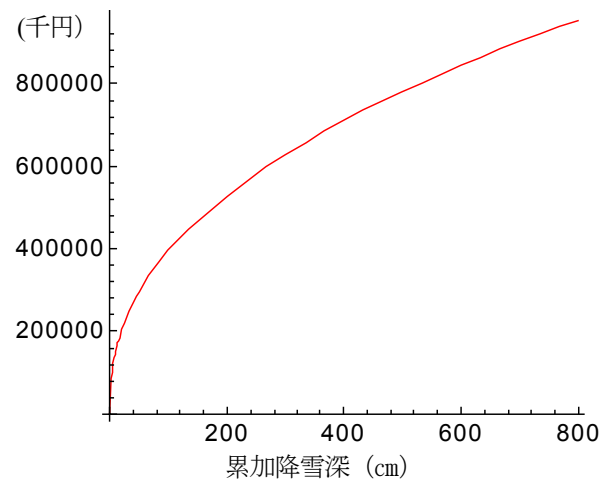


図6 A都市の除雪費

長の積であることから、除雪費 $J(x)$ は、

$$J(x) = 56140x^{0.4238} \quad (13)$$

となる。なお、 $J(x)$ は千円で、 $R^2 = 0.471$ となっている。

次に、累加降雪深の平均は、 $\mu = 567.4\text{cm}$ 、標準偏差は、 $\sigma = 117.75$ であった。これにより確率密度は、

表3 A都市の降雪深と除雪費の関係

	降雪深 cm	除雪費 百万円
当初予算平均	407.7	717
10年平均	554.7	817
推計平均	567.4	824
10年確率	719.3	912
財政負担の限界	728.5	917
100年確率	841.8	975
1.5倍平均	851.1	979

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi \times 117.75}} \exp\left(-\frac{(x-567.4)^2}{2 \times 117.75}\right) \quad (14)$$

となる。

除雪費の変動リスクの分布は(5-1)式より、

$$R(x) = p(x) \times J(x) \quad (5-1)$$

であるから、(13)、(14)から、

$$R(x) = \frac{56140 x^{0.4238}}{\sqrt{2\pi \times 117.75}} \cdot \exp\left(-\frac{(x-567.4)^2}{2 \times 117.75}\right) \quad (15)$$

したがって、A都市の除雪リスクは、

$$\int R(x) dx = \int \frac{56140 x^{0.4238}}{\sqrt{2\pi \times 117.75}} \cdot \exp\left(-\frac{(x-567.4)^2}{2 \times 117.75}\right) dx \quad (16)$$

である。

(13)式に、降雪深の平均 $x=567.4$ cmを入れると、 $J=824,842$ 千円である。なお、補正予算後の除雪費の平均が817、832千円であるから、推計の誤差は約7百万円で、率にして1%未満である。当該都市の当初予算の平均が719,500千円、補正予算後の平均が817,832千円である。当該都市へのヒアリングによると、当初予算に対して、1億円程度増額であればなんとかやりくりができるが、2億円を超えると対応は困難ということであった。このことから、除雪費が変動するリスクに対し、 $J<719+100 \div 817$ 百万円の場合はリスクを保有し、 $817<J<917(554.7<x<728.5\text{cm})$ はできれば外部に移転したいと考え、 $J<917$ はリスクを負えないという財政であると仮定した。一方、国が行う市町村道除雪費補助の臨時特例措置の発動要件について、

表4 降雪確率と降雪深及び除雪費の関係

	降雪深(cm)	除雪費(千円)
0.33確率	619.2	855,961
0.20確率	666.9	883,304
0.10確率	719.3	912,079
0.05確率	761.1	934,178
0.01確率	841.8	974,922
0.008確率	851.1	979,486

詳細は公表されていないが、著者の経験から概ね平均降雪深の1.5倍がひとつの目安となっていると想定する。この際、この目安を当該公共団体にあてはめると、 $x=851\text{cm}$ 、 $J=979$ 百万円となる。補正予算後の除雪費の平均値が817百万円であることから、概ね平均的な補正予算の所要額までは財政的に想定し、予備費などを準備できている範囲と考えられる。現在の財政では、 $J=919$ が負担の限界となっていることから、国の臨時特例措置との間でカバーできていない降雪深の領域が存在することとなり、ここで除雪デリバティブを導入することにより、財政のカバレッジを拡大し、国の臨時特例措置まで財政措置できるようにすることを考える。図4でいうところの、 $J(b)=J(c)=979$ 百万円までをデリバティブでカバーできるように適用する。平均降雪深567cm($J=824$ 百万円)を超えてから支払われる額が発生し、 $x=851\text{cm}$ までをカバーし、 $x=851\text{cm}$ の時に支払われる額Dが財政負担能力の限界を超える額、 $D=(979-917)=62$ 百万円となるデリバティブを検討する。降雪深が1cm増加する場合に同額ずつ支払われる額が増加するとすると、デリバティブの支払額 $D(x)$ は、(降雪深cm、支払額百万円)について、(567,0)、(851,62)の2点を通ることから、

$$D(x) = \frac{62}{851-567}(x-567) \quad (17)$$

$$= 0.218x - 123.60$$

となる。つまり、降雪深が567cmを1cm上回るごとに、21万8千円ずつ支払われるものである。

デリバティブの支払い額の期待値は、降雪深の発生確率とそれに対応する支払額の積であるから、

$$E(x) = \int_a^b D(x)p(x)dx \quad a=567\text{cm}, b=851\text{cm} \quad (18)$$

(18)式を差分により近似計算すると9.73百万円となる。ここで、オプション料設定する必要があるが、天崎等²³⁾によると、これまで取引がなされた事例ではオプション料を支払額の10%に設定しているものが大半であることから、ここでもオプション料を10%と設定した。これによりA都市では、毎年のオプション料は10.7百万円となる。つまり、年間1,070万円を支払うことにより、オプション料を除き、除雪費の財政負担

可能な範囲内でカバレッジを979百万円まで増加することができ、当該公共団体がこれまでリスク負担できていなかった、降雪深851cmまでの豪雪に対応できることが分かった。

(2) B都市の検討

次に、B都市について検討する。除雪単価 $u(x)$ は、

$$u(x) = 16434x^{-0.339} \tag{19}$$

で、 $R^2=0.1494$ とあまり良好ではない。これは、当該公共団体が調査期間である平成15年度～24年度の間に合併しており、各データは合併前の除雪費を含んでいるが、合併前は除雪水準が必ずしも一致していないことや、累加降雪深の観測点が本来は広範囲になるべきところを代表点の観測値を用いていることなどが原因として考えられる。しかしながら、除雪費 $J(x)$ と累加降雪深の相関は $R^2=0.4008$ であることや、平均の累加降雪深を式(19)に当てはめて求めた推計の平均除雪費661百万円と実際の平均除雪費のから求めた平均除雪費664百万円の差は1%未満であり、本検討に用いる十分な精度を備えていると考えられる。

次に、A都市と同様の推計手法により、累加降雪深と除雪費の関係を整理したものを表5に示す。担当者への聞き取りによると、B都市において財政の対応が著しく困難となる除雪費は概ね883億円で、この額は、国がリスクを負担するであろう、累加降雪深の平均値616.8cmの1.5倍の累加降雪深925.2cmに対応する除雪費864億円を上回っている。このデータに基づくと、当該公共団体が負担できるリスクの範囲と国が負担するであろうリスクの範囲がオーバーラップしていることからデリバティブを導入してまでリスクを分散しなくても現状でリスクを負いされていると考えることができる。しかし、当該公共団体は著しい豪雪年に市町村道除雪費補助に関する国の臨時特例措置により相当額を支給されていることから、現実には財政対応の限界である883億円に至らずともリスク分散の要求はあるものと考えることが妥当と思われる。過去の国からの支援の例では、約830百万円の除雪費に対し国から約100百万円の補助がなされ、当該公共団体は約730百万円の負担にとどまった。また、別の年では、約850百万円の除雪費に対し、国から約40百万円の補助があり、当該公共団体は約820百万円の負担となっている。こうした状況を勘案するとともにA都市の例を加味し、B都市について、リスク移転を始める除雪費 $J(a)$ を推計平均の除雪費である661百万円、10年確率に相当する除雪費746百万円を財政の限界となる除雪費 $J(b)$ 、リスク移転の目標とする除雪費 $J(c)$ を883百万円と仮定してデリバティブによるリスク移転の効果を検討した。この場合 $E(x)$ は、

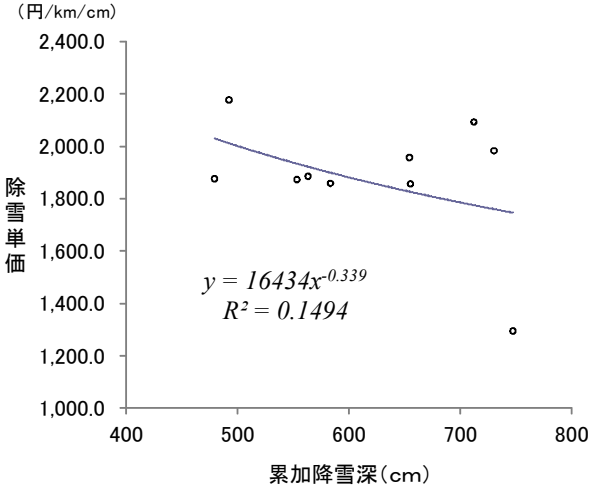


図7 B都市の除雪単価と累加降雪深の関係

表5 B都市の降雪深と除雪費の関係

	降雪深 cm	除雪費 百万円
当初予算平均	513.2	585
推計平均	616.8	661
10ヵ年平均	621.6	664
10年確率	741.2	746
100年確率	842.7	881
1.5倍平均	925.2	864
財政負担の限界	956.6	883

表6 ケーススタディーのまとめ

	A都市	B都市
除雪単価 $u(x)$	$u(x)=74407x^{-0.5762}$	$u(x)=16434x^{-0.339}$
除雪費 $J(x)$	$J(x)=5614x^{0.4238}$	$J(x)=9442.7x^{0.6612}$
確率密度 $p(x)$ のパラメーター	$\mu=567.4cm$ $\sigma=117.75cm$	$\mu=616.8cm$ $\sigma=96.807cm$
リスク移転を始める除雪費 $J(a)$	$J(a)=817$ 百万円	$J(a)=664$ 百万円
限度除雪費 $J(b)$	$J(b)=917$ 百万円	$J(b)=746$ 百万円
リスク移転の目標除雪費 $J(c)$	$J(c)=979$ 百万円	$J(c)=883$ 百万円
デリバティブ $D(x)$	$D(x)=0.218x-123.60$	$D(x)=0.409x-253.96$

$$E(x) = \int_a^b D(x)p(x)dx \quad a=617cm, b=957cm \tag{20}$$

として求められる。(20)式をA都市同様に差分による近似計算で求めると、14.93百万円となり、10%のオプション

ン料を上乗せすると16.43百万円となる。つまり、年間1,643万円の負担により、10年降雪確率に相当する746万円の除雪費に加え、最大137百万円がデリバティブで支払われることとなり、国からの支援がなかった場合でも883百万円までカバレッジを拡大できることが分かった。

5. 結論

- (1)降雪という積雪寒冷地において毎年繰り返される天然現象について、そのリスクの評価を行った。また、降雪深の大小によりリスクを分割してマネジメント方策を検討すべきことを示した。
- (2)また、大規模な豪雪災害のように、リスク特性が低頻度かつ大損失となる場合の、国と地方のリスク負のあり方を検討した。
- (3)さらに、公共団体の降雪リスクの一部について、限られた条件のもと、外部へ移転する手法として除雪デリバティブを適用するケーススタディーを行った。

6. 考察と今後の課題

ケーススタディーの対象とした公共団体のうちA都市の財政負担能力は概ね912百万円・降雪深換算719cmで、降雪深の確率分布から評価すると、これは10年に一度の大雪に相当する。当該公共団体は、10年に1度の大雪への備えはできていることになる。これにデリバティブを導入することにより、おおむね125年に1度の豪雪への備えができたことと評価できる（表4参照）。一方で、国が特例措置を実施する豪雪の程度が125年に一度で良いのかという議論があり得るのではないかと。また、B都市のようにリスクを保有すると考えている額が大きい場合のリスク分散の考え方は更に検討の余地がある。

さらに、国が特例措置を行う基準、つまり、国がリスクを負担する豪雪の程度はどの程度であるべきか、また、平均降雪深の何倍という基準であれば、地域によって降雪の分散が異なることから、豪雪の発生確率は大きく異なることになる。国の負担するリスクの範囲を検討する場合には降雪深の何倍にあたるかということに加え、豪雪の発生確率も加味すべきと考えられる。

参考文献

- 1) 国土交通省:国土交通白書平成20年度版,2008
- 2) 全国積雪寒冷地帯振興協議会:平成23年度政府予算に対する雪寒地帯対策関係要望書,2010

- 3) 国土交通省道路局ホームページ
- 4) 五十嵐等:道路除雪の経済効果計測に関する研究,土木学会北海道支部,pp295-pp302,1969
- 5) 岡辺,中前:A Study on Evaluation of Public Works for Snow and Ice Control over Roads in Japanese Snowy Regions in Light of Understanding and Evaluation by People in Non-Snowy Regions (査読付),AIPCR 2002 PIARC XIth INTERNATIONAL WINTER ROAD CONGRESS,論文集CD-ROM,Topic I-65,2002
- 6) 酒井等:道路除雪費用の評価手法,日本雪氷学会誌 55巻4号,pp327-334,1993
- 7) 高野等:除雪事業における住民満足度と行政情報提供の効果に関する研究,建設マネジメント研究論文 集 Vol.8,pp45-pp52,2000
- 8) 原等:雪問題と社会的ジレンマ,第18回寒地技術シンポジウム,pp621-624,2002
- 9) 岸等: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No.24,pp689-692,2001
- 10) 高尾:天候デリバティブに関する一考察:企業価値リスクマネジメントの新機軸,国民経済雑誌189 (6) pp17-30,2004
- 11) 四塚:大災害リスクのプレミアム・パズルについて,大阪大学経済学.57(4)pp177-pp188,2008
- 12) 中前,新村:除雪事業におけるリスクヘッジとデリバティブの活用に関する検討,雪センター機関紙「ゆき」46号,2002
- 13) 中前,大川戸:非雪寒地域における降雪リスク対策,土木学会第65回年次学術講演会,2010
- 14) 岸等:雪対策事業におけるリスクファイナンスの導入効果,土木計画学論文集No.20,2003,pp111-117
- 15) 国土交通省道路局:平成18年度道路関係予算概要,2006
- 16) 国土交通省道路局ホームページ
- 17) 総務省:報道資料平成24年度特別交付税交付額の決定,2013
- 18) 総務省:報道資料今冬の大雪等に係る特別交付税(3月交付分)の繰上げ交付,2013
- 19) 北海道市町村備荒資金組合格約,2010
- 20) 上野山等:巨大災害による経済被害をどう見るか - 阪神・淡路大震災,9/11 テロ,ハリケーン・カトリナを例として -, ESRI Discussion Paper Series No.177,2007
- 21) 中前等:除雪単価曲線による除雪費推計モデルの適用可能性の検討,第24回寒地シンポジウム,2008
- 22) Nakamae, S., et al.: Development of a Cost Management Method for Road Snow Removal in Cold, Snowy Regions, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.8, 2010
- 23) 天崎等:天候デリバティブのすべて—金融工学の応用と実践—,東京電機大学出版局,2003
- 24) 赤堀:天候デリバティブの現状と今後の展開について,フィナンシャル・プランニング研究,Vol3,2003