

機関番号：80122

研究種目：若手B

研究期間：H20～H22

課題番号：20760383

研究課題名（和文） 雪国における建築物の雪害リスクマネジメントに関する研究

研究課題名（英文） Snow risk management for a building in snowy regions

研究代表者 堤 拓哉

地方独立行政法人北海道立総合研究機構・建築研究本部北方建築総合研究所  
環境科学部・研究主任

研究者番号：40462345

## 研究成果の概要（和文）：

本研究は、雪国に建つ建築物を対象に、稀に起きる豪雪による被害と毎年のように繰り返しかき日常的な雪の問題の二つを合わせて「建築物の雪害によるリスク」と捉え、雪害の発生確率と発生による損失を統計データの分析から定量化することにより、建築物の雪害によるリスクの評価手法を提案し、これまで検討されていない雪害リスクマネジメントを体系化することを目的とする。研究では、アンケート調査により豪雪地帯で起きている雪害内容を把握した。特に北海道では、敷地内の雪の問題、吹雪による問題が大きなリスク要因となっていることが明らかになった。雪害のリスクを評価する手法として、多変量解析に基づく雪害発生判別、損失期待値に基づくリスク評価法を検討し、雪害リスクマネジメントのフローを提案した。

## 研究成果の概要（英文）：

The author defines snow problem as snow risk on building at an annual event and a rare disaster with snowfalls. The aim of this study is to systematize snow risk management composed of a risk evaluation by using the quantification snow risk based on the probability of snow damage on the buildings. In this study, characteristics of snow problems in heavy snowfall regions were obtained by a questionnaire survey. Especially, in Hokkaido, snow problems on the ground and caused by drifting snow could be a great risk of the building. Discriminant analysis for causing snow damage was examined and the risk evaluation by using loss expectation also was conducted. The flow diagram of snow risk management for a building has been proposed.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成 20 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
平成 21 年度	800,000	240,000	1,040,000
平成 22 年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	2,500,000	750,000	3,250,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築構造・材料

キーワード：荷重論、雪害、リスクマネジメント、リスク評価

## 1. 研究の背景と目的

### (1) 研究の背景

平成 17 年から 18 年にかけて、日本各地は記録的な豪雪に見舞われ、豪雪による死者が 151 名、建物被害は 6975 棟におよび、甚大な被害を雪国にもたらした(平成 18 年豪雪)。国内では、このような豪雪がたびたび発生し(昭和 38、52、56、59 年)、その都度、社会的に大きな損失をもたらしている。

図 1-1 に示すように、雪害は他の自然災害と異なる特徴を持つ。日本国土の半分以上を占める雪国(広域性)では毎年必ず降雪があり(周期性)、数ヶ月に渡り雪に覆われるため(継続性)、雪による建築物の被害は豪雪時のみならず日常的に発生している。例を挙げると、季節風を伴う降雪による建物周囲や屋根上の雪の吹きだまりは居住者の事故発生や建物損傷の遠因となり、除雪負担の増加に繋がる(写真 1-1)。また屋根の雪庇や落雪による事故は毎年繰り返し起きている(写真 1-2)。

このように建築物の雪害によるリスクは、地震災害などと異なり、稀に大きなダメージの被害が発生するのではなく、毎年繰り返し起きるインパクトの小さいリスクと豪雪など稀におこるインパクトの大きいリスクの両方から成り立っていることが大きな特徴である。建築物の雪害のリスク評価や被害の軽減にあたっては、これまでの自然災害研究と異なる取り組みが必要とされる。



写真 1-1 建物周囲の吹きだまり



写真 1-2 屋根上の雪庇

### (2) 国内外の研究動向と研究の新規性

建築物のリスク評価の研究については、阪神大震災を契機に建築物の地震リスク評価とリスク対応に関する研究が進み、これらは地震リスクマネジメントとして体系づけられている(1-1-1-3)。また、リスク評価を基に建築物のライフサイクルコスト(LCC)の視点から、

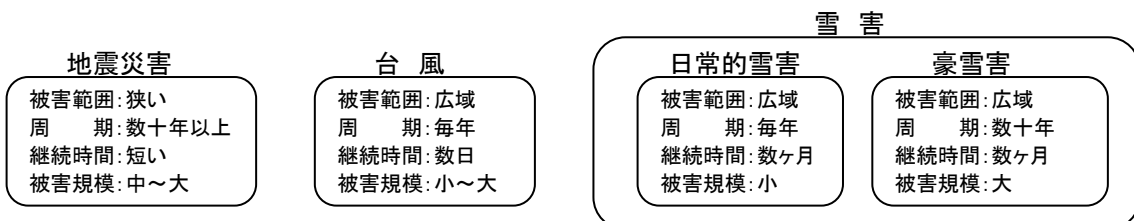


図 1-1 建築物に被害をもたらす自然災害の比較

維持管理や損傷に係る損益を評価し、リスク対策の選定や実施の判断を選択する社会的傾向にある<sup>1-4)</sup>。更には経済学的視点から、自然災害に対するリスク評価に関する研究も行われている例えば<sup>1-5)</sup>。

既往研究例を見ると、国内では、苫米地ら(1993)<sup>1-6)</sup>が北海道を対象に豪雪によるライフラインや都市機能の広域的被害を対象とした分析を行い、Numano(2007)<sup>1-7)</sup>が過去の豪雪災害の特徴を地域社会との関連から分析している。梅村ら(1990)<sup>1-8)</sup>は地方都市を対象に積雪による損害金額の算出を検討している。人身雪害については、沼野(1993)<sup>1-9)</sup>、細川ら(1999)<sup>1-10)</sup>、上村(2003)<sup>1-11)</sup>が新聞記事や統計資料から人身雪害のリスク分析を行っている。屋根雪に関する研究では、雪荷重評価の観点から苫米地ら(1986)<sup>1-12)</sup>、高橋ら(2004)<sup>1-13)</sup>をはじめとする数多くの研究例がある。落雪に関しては小竹ら(2001)<sup>1-14)</sup>、高倉ら(2005)<sup>1-15)</sup>などの研究がある。

一方で、日常的な雪害を対象とした研究例は非常に少なく、沼野(1987)<sup>1-16)</sup>、野口(1999)<sup>1-17)</sup>、大垣(2002)<sup>1-18)</sup>による事例分析など僅かである。

諸外国の研究動向をみると Freitas(1975)<sup>1-19)</sup>、Changnon (2005)<sup>1-20)</sup>が豪雪による都市の社会的損失の分析を行っているほかは、雪荷重評価<sup>1-21),1-22)</sup>を対象とした研究が主であり、日常的な雪害のリスク評価に関する研究は行われていない。

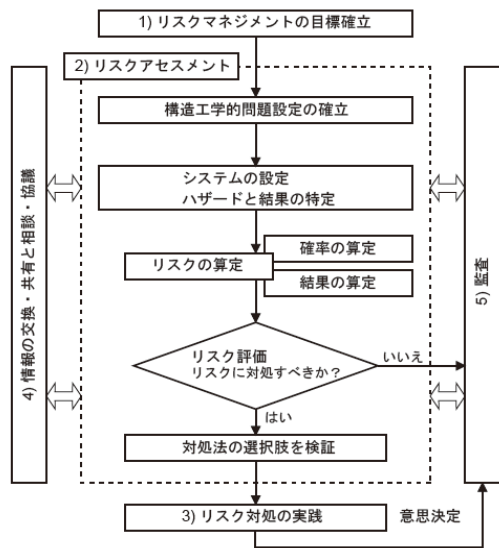
以上、関連する既往研究は個別の事象を対象とした研究が中心であり、本研究の遂行上、参考となる手法を示しているものの、本研究で目的とする豪雪時、平常時の雪害を包含したリスク評価を行い、それらを建築計画で活用するために必要な「建築物の雪害リスクマネジメント」に関する研究は、未だ行われていない。

### (3) 研究の目的

本研究は、雪国に建つ建築物を対象に、稀に起きる豪雪による被害と毎年のように繰り返し起きる日常的な雪の問題の二つを合わせて「建築物の雪害によるリスク」と捉え、それぞれの発生確率と発生による損失を統計データの分析から定量化することにより、建築物の雪害によるリスクの評価手法を提案し、これまで検討されていない雪害リスクマネジメントを構築することを目的とする(図 1-2、1-3)。

本研究の具体的成果として、「建築物の雪害リスクマネジメント」の体系化、評価指標の明示が挙げられる。これらは、雪国の建築計画における雪対策の選定の際に活用できる。具体的に述べると、民間建築物では、建築計画に係る技術者が雪国で建つ建築物の雪害によるリスクを評価し、雪対策を提案することにより、建物所有者がどのような雪対策を実施すべきか費用効率の観点から選定することが可能になる。公共建築物では、雪害リスク評価により、雪害による損失が明示され、対応策による費用便益効果も算定可能となる。さらに建築物のライフサイクルコスト(LCC)の観点から、雪害リスク評価を行うことにより、費用効率の観点から雪対策の検討が可能になる。行政機関の職員が施設整備事業に際し、雪害リスク評価と雪対策の費用便益を考慮することにより、施設の重要度に応じた予算の配分や施設の維持管理計画の立案などが行えるなど、政策的判断材料となる。

「建築物の雪害リスクマネジメント」を活用することにより、雪害によるリスクを効率的に管理することが可能になり、雪国における良質な建築ストックの形成や社会の安全性に繋がり、雪国における建築物の雪害による被害が軽減され、雪国に住む一般市民の安全・安心な生活の実現に大きく寄与できる。



脚注

- 1 本図はリスクマネジメントの過程を示す  
 2 [---] : リスクアセスメントの範囲

図 1-2 ISO13824 によるリスクマネジメントの流れ (1-23), (1-24)

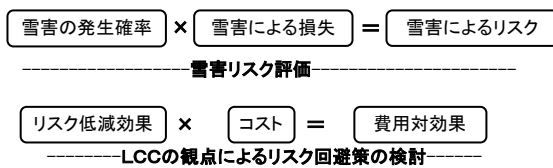


図 1-3 雪害リスクマネジメントの概念

[参考文献]

1-1) 星谷勝・中村孝明：構造物の地震リスクマネジメント，山海堂，2002.4  
 1-2) 福島誠一郎，矢代晴美：地震ポートフォリオ解析による多地点に配置された建物群のリスク評価，日本建築学会計画系論文誌，No.552，pp.169-176，2002.2  
 1-3) 日本建築学会編：事例に学ぶ建築リスク入門，技報堂，2007.8  
 1-4) 小林誠：リスクベースのLCC研究の課題，建築雑誌，Vol.117，No.1494，pp.42-43，2002.10  
 1-5) 多々納裕一，高木朗義編著：防災の経済分析，勁

草書房，2005.6

1-6) 苫米地司，山形敏明，高橋章弘：北海道における雪害に関する基礎的研究，日本建築学会計画系論文報告集，No.447，pp.61-68，1993.5  
 1-7) N. Numano：Snow Damage in Contemporary Japan - Progress and Measures -, Journal of Disaster Research, Vol.2, No.3 pp. 153-162, 2007  
 1-8) 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，No.9，Vol.1，pp.17-26，1990.  
 1-9) 沼野夏生：人身雪害の年次推移とその社会的背景—山形県，新潟県の地方新聞(1956年～89年冬期)による統計をもとに—，日本雪氷学会誌，No.55，Vol.4，pp.317-326，1993.12  
 1-10) 細川和彦，山形敏明，苫米地司：北海道で発生した人身雪害の現状分析，日本雪氷学会誌，Vol.15，No.1，pp.19-24，1999.1  
 1-11) 上村靖司：新潟県における人身雪害のリスク分析，日本雪氷学会誌，Vol.65，No.2，pp.135-144，2003.3  
 1-12) 苫米地司，和泉正哲，遠藤明久：屋上積雪の評価方法に関する基礎的研究，構造工学論文集，Vol.32B，pp.49-62，1986.3  
 1-13) 高橋徹，設楽敬之，早乙女知：年最大 n 日増分積雪深の地域特性と等価単位積雪重量，積雪層モデルを用いた推定，構造工学論文集，Vol.50B，pp.143-148，2004.3  
 1-14) 小竹達也，苫米地司，西川薫：屋根上積雪の落雪による衝撃荷重に関する一考察，日本建築学会構造系論文集，No.543，pp.31-36，2001.5  
 1-15) 高倉政寛，堤拓哉，鈴木大隆：勾配屋根を持つ戸建住宅における屋根雪の滑落飛距離について，日本建築学会技術報告集，No.21，pp.57-60，2005.6  
 1-16) 沼野夏生：雪害，都市と地域の雪対策，森北出版，1987.2  
 1-17) 野口孝博：北海道・青森の公営住宅における雁木の形態と雪処理—積雪地域における集合住宅の共用空間計画に関する研究 その1—，日本建築学会計画系論文誌，No.525，pp.113-120，1999.11

- 1-18) 大垣直明, 谷口尚弘, 近藤勝義 : 札幌市の戸建住宅地における雪問題とその対応に関する研究 その1. 住民の雪対応意識の分析, 日本雪工学会大会論文報告集 Vol.19, pp. 43-44, 2002.10
- 1-19) C.R.de.Freitas : Estimation of the Disruptive Impact of Snowfalls in Urban Areas, Journal of Applied Meteorology, Vol.14, pp.1166-1173, 1977.9
- 1-20) S. A. Changnon and D. Changnon : Snowstorm catastrophes in the United States, Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards, Volume 6, Issue 3, pp.158-166, 2005
- 1-21) D. A. Taylor : Roof snow roads in Canada, Canadian Journal of Civil Engineering, Vol.7, No.01, pp.1-18, 1980
- 1-22) P. A. Irwin : Snow Loads Steps-Building Code Studies, Snow Engineering, pp.329-336, 1997
- 1-23) ISO13824 : General Principles on Risk Assessment of Systems Involving Structures, 2009
- 1-24) 高橋徹, クンサナ ドゥアンマラ, 山口渉, 武市基義 : 平成 18 年豪雪の被害データに基づく屋根雪処理のリスク評価, 日本雪工学会誌, Vol.26, No.4, pp.205-210, 2010.10

## 2. 研究の方法

本研究における検討項目は以下の4項目である(図 2-1)。①雪害発生状況の把握では、アンケート調査により、北海道を含む豪雪地帯における雪害発生状況を把握する。②雪害発生要因分析では、調査結果と各種統計資料を用いて、雪害発生に影響を与える要因を分析する。③雪害リスク評価手法の検討では、①と②の検討結果を基に雪害のリスク評価について各種統計解析により検討する。最後にこれらの検討結果を踏まえ、雪害リスクマネジメントの検討フローの提案を行う。

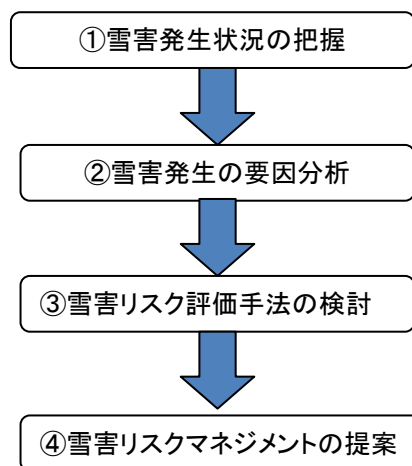


図 2-1 研究項目および研究フロー

## 3. 雪害発生状況の把握と要因分析

本項では、雪害リスクマネジメントの検討に先立ち、北海道を含む豪雪地帯の雪害発生状況の把握をアンケート調査により行う。また、過去に実施した北海道の公営住宅担当者に対するアンケート調査結果を再精査することにより、北海道の建築物における雪害発生に関して詳細分析を行う。

### (1) 豪雪地帯市町村のアンケート調査

#### 1) 調査概要

日本は国土の約 1/2 が豪雪地帯、約 1/5 が特別豪雪地帯に指定されている。豪雪地帯とは、「累年積雪深積算値が 5000cm 日以上」、すなわち毎日の積雪量の 30 年以上の平均値の一年の累計が 5000cm 以上ある地域のことである。また、特別豪雪地帯とは、豪雪地帯のうち積雪の度合いが特に高く、かつ、積雪により長期間自動車の交通が途絶するなどにより、住民の生活に著しい支障を生ずる地域のことである。この豪雪・特別豪雪地帯では日本全体の人口の約 16%もの人々が生活している。

全国の豪雪および特別豪雪地帯に指定され

ている24道府県542市町村を対象にアンケート調査を行った。回答者は該当する地域の市役所、町役場などの雪対策を担当もしくは豪雪地帯対策特別処置法を所管している部署である。次章では、アンケートの回答があった市町村を対象に気象条件や社会条件との関係を調べ、近年起きた豪雪災害の例から問題点を整理する。

## 2) アンケートの内容

アンケートの質問一覧を表 3-1 に示す。質問 1 において過去に大雪・豪雪に見舞われたことがあると答えた市町村は質問 2 から質問 12 を全て回答し、質問 1 において過去に大雪・豪雪に見舞われたことが無いもしくはわからないと答えた市町村は質問 8 から質問 12 を回答するようにした。質問 2、質問 4、質問 5 では当てはまる選択肢全てに○印を付け、さらに特に問題となった上位 3 つまでを記入した。質問 9～質問 11 はとくに重要視する項目 5 つまでを選択可とした。質問 12 では特に必要と考える項目を 3 つまで選択可とした。

本項では、建築物に係る質問 11 について集計結果を示し分析を行う。

## 3) 調査分析対象の概要

各道府県の豪雪地帯市町村数および回答した市町村数の一覧を表 3-2 に示す。アンケート回答を依頼した 542 市町村のうち、64%を超える 349 市町村から回答があった。アンケートの分析は地域ごとに行った。気象データおよび社会データの各項目に該当する市町村数を表 3-3 に示す。なお、表中の数値は回答数のうち各項目に該当する市町村数である。気象データは過去 30 年の 12 月～3 月までの平年値を採用した。

表 3-1 アンケート調査項目

	質問内容
質問1.	あなたのまちは過去に大雪・豪雪に見舞われたことがありますか？
質問2.	過去に大雪・豪雪となった時に道路交通に関してどのような問題が発生しましたか？
質問3.	過去に大雪・豪雪となった時に道路交通の確保に関してどのような対策が有効でしたか？
質問4.	過去に大雪・豪雪となった時に住民生活に関してどのような問題が発生しましたか？
質問5.	過去に大雪・豪雪となった時に住宅など建物に関してどのような問題が発生しましたか？
質問6.	過去に大雪・豪雪となった時に高齢者・障害者世帯に対しどのような対応をしましたか？
質問7.	高齢者・障害者世帯への対応に関してどのような点で苦労なされましたか？
質問8.	貴市町村において総合的な雪対策計画は策定されていますか？
質問9.	貴市町村において道路の雪対策に関して重要と位置付けている項目は何ですか？
質問10.	貴市町村において高齢者など除雪弱者の対策に関して重要と位置付けている項目は何ですか？
質問11.	貴市町村において建築物の雪対策に関して重要と位置付けている項目は何ですか？
質問12.	平成18年豪雪など豪雪災害による各種被害を軽減するためにどのような「施策」、「情報整備」、「技術開発」が必要と考えますか？



表 3-2 市町村数及び回答数

地域	県名	豪雪地帯市町村数	回答数	割合(%)
北海道	北海道	180	126	70.0
東北	青森	40	30	75.0
	岩手	35	22	62.9
	宮城	8	3	37.5
	秋田	25	21	84.0
	山形	35	19	54.3
	福島	20	12	60.0
関東甲信越	栃木	3	3	100.0
	群馬	15	9	60.0
	新潟	31	21	67.7
	山梨	2	2	100.0
	長野	22	12	54.5
	岐阜	10	7	70.0
北陸	静岡	2	1	50.0
	富山	15	11	73.3
	石川	19	13	68.4
近畿	福井	17	10	58.8
	滋賀	7	3	42.9
	京都	8	4	50.0
中国	兵庫	7	5	71.4
	鳥取	19	4	21.1
	島根	8	6	75.0
	岡山	8	5	62.5
	広島	6	0	0.0
合計		542	349	64.4

#### 4) アンケート調査結果

##### ①豪雪経験の有無

大雪・豪雪の経験の有無を図 3-1 に示す。80%を超える市町村で豪雪の経験がある。注目すべき点は、その範囲が広く南の中国地方の市町村も大雪の経験があると答えている点である。これは、毎年のようにかなりの降積雪量のある地域では、その降積雪量に対応した社会基盤整備が施されているため「ない」と答え、降積雪量が少ない地域では社会基盤整備が不足しているために、例年よりも少し多く降っただけで大雪・豪雪と感じていると考える。各地域によって雪に対する考え方が異なっていると言える。また、豪雪地帯および特別豪雪地帯は 1962 年に豪雪地帯対策特別処置法が制定されて以来一度も改正されていないことから、現在の気象状況に合わなくなってきたことも一因と考えられる。

##### ②総合的な雪対策

総合的な雪対策計画の策定予定が無い市町村数および大雪・豪雪の経験がある市町村数の道府県分布を図 3-2 に示す。約 60%もの市町村が策定の予定は無い。策定済み、改訂を検討中、策定を検討中の 3 つを合わせても約 40%と半分にも満たない。策定予定が無いと答えた市町村のうち、豪雪の経験があると答えた市町村は約 80%にもなる。大雪・豪雪の経験があるにも関わらず、総合的な雪対策計画の策定予定が無い理由としては、対策計画を策定しても実行するための費用や人手が不足している、過去の経験があるからこそ総合的な対策は必要が無いといった例が挙げられる。したがって、雪対策の策定には実際に発生している現象に加え、各市町村の社会形態や財政状況が影響していると思われる。

##### ③住宅など建築物に関して発生した問題

住宅など建築物に関して発生した問題を図 3-3 に示す。特に問題となった項目上位は除排雪の問題である。特に敷地うちの除雪の負担と屋根の雪下ろしの負担が大きいとの回答が多かった。全体で見ると機能障害の割合も大きく、特に敷地うちの堆雪スペースの不足や排雪する費用の負担の多さが目立った。

建築物に関する雪問題のうち特に問題となった項目の優先順位別市町村分布を図 3-4 に示す。いずれの順位においても地上積雪に関する問題および屋根雪に関する問題が多く選択されている。1 位から 3 位まで順位が下がるほどに大きな変化は見られず、1 つの市町村につき発生する問題は同じカテゴリー内に含まれることが多い傾向があった。特に屋根雪に関する問題については、本州の山間部に集中しており、屋根の雪下ろしの負担および雪下ろし中の人身事故が特に多いため、積雪量が多く雪下ろしが習慣となっている地域に

多くの問題が発生すると考える。一方北海道では、屋根雪に関する問題はそれほど上位の問題となっていない。住宅の敷地面積が広めで人口密度が小さいため問題が顕在化しないと考える。これに対し、北海道では地上での積雪に関する問題およびその他の項目に関する問題が多く発生しており、他の地域に比べて敷地内の除雪の負担および排雪する費用の負担が大きいと考える。次に、物損に関する問題の分布をみると、北海道の道東地方や北陸地方の山間部に確認でき、短期間に多量の降雪が発生する地域に集中している。3位の分布においても、山間部の多雪地域に集中しており、物損に関する雪害は、降雪強度が大きく影響していると考えられる。

平均気温別の雪害発生市町村数を図 3-5、最深積雪深別の雪害発生市町村数を図 3-6、平均風速別の市町村数を図 3-7、可住地人口密度別の市町村数を図 3-8、高齢化率別の市町村数を図 3-9 に示す。平均気温が高く積雪量の多い地域では融雪設備が機能しなかった。また、積雪量の多い地域では物損の発生割合が多い。中でも、暖房などの設備の破損が多い。平均風速の早い地域では、吹きだまりや雪庇が問題となっている。機能障害のカテゴリーでは建物使い勝手が悪化した割合が多くなっており、吹きだまりによる影響も考えられる。人口密度の高い地域では、敷地内の堆雪スペース不足が問題となっており、人口密度の低い地域では建物の破損が目立つ。積雪量による要因の他、過疎地域では空き家が多くあり、それらの建物が破損したと考えられる。これらより、建築物および敷地内に関する対策が必要だと思われる。

建築物における雪害と平均気温の関係を図 3-10 に示す。北海道の場合をみると、バラツキが大きい気温の低下に伴い回答数が増加する関係がみられる。東北地方および甲信越

地方をみると、0℃付近に雪害発生数が多い市町村が集中しており、毎年の降雪状況に変動があり、雪対策を本格的に実施するか否かの判断が難しい地域と考えられる。こうした傾向は中国地方でも確認できる。このような状況をみると、建築物に関する雪問題は、平均気温が 0℃付近の毎年の降積雪状況に変動があり、雪対策の実施が曖昧になりがちな場合に発生していると考えられる。

建築物における雪害と平均気温、風速との関係を図 3-11 に示す。いずれの地域も平均気温が高くなるにつれて、風速が速くなる傾向がある。前述のように、平均気温が 0℃付近に雪害発生数が多い地域が集中しており、雪対策の実施が曖昧になりがちな地域に多く問題が発生していると考えられる。このような地域は風速が 2m/s 付近の地域である。建築物における雪害と日最大積雪深の変動係数を図 3-12 に示す。変動係数が大きいほど雪害発生数が減少する傾向がある。毎年のようにある一定量の積雪がある地域は十分に対策がなされていると考える。

建築物における雪害と人口、高齢化率との関係を図 3-13、人口、財政力指数の関係を図 3-14 に示す。過疎と予想される地域では雪害発生数が多く、雪問題も多く発生していると考えられる。また、問題が多く発生している地域は北海道や東北、甲信越などであり、積雪量が多いと予想される地域である。



表 3-3 地域別気象条件および社会条件

		地域						全国
		北海道	東北	関東 甲信越	北陸	近畿	中国	
平均気温(°C)	$t < -5$	39	0	0	0	0	0	39
	$-5 \leq t < 0$	70	26	6	0	0	0	102
	$0 \leq t < 5$	6	79	32	27	11	9	164
	$5 \leq t$	0	2	17	7	1	6	33
最大積雪深(cm)	$x < 50$	38	78	30	28	12	14	200
	$50 \leq x < 100$	73	21	10	6	0	1	111
	$100 \leq x < 150$	11	4	5	0	0	0	20
	$150 \leq x < 200$	4	1	10	0	0	0	15
	$200 \leq x$	0	3	0	0	0	0	3
平均風速(m/s)	$0 \leq v < 2$	45	42	31	9	7	9	143
	$2 \leq v < 4$	63	48	22	15	5	4	157
	$4 \leq v < 6$	16	15	0	10	0	2	43
	$6 \leq v$	2	2	2	0	0	0	6
1人当たり 可住地人口密度 (人)	$x < 100$	71	4	4	0	0	0	79
	$100 \leq x < 200$	28	29	4	2	0	1	64
	$200 \leq x < 300$	7	20	2	2	0	2	33
	$300 \leq x < 400$	3	19	15	6	1	4	48
	$400 \leq x < 500$	5	10	8	4	4	3	34
	$500 \leq x < 1000$	5	19	16	17	7	4	68
	$1000 \leq x$	7	6	6	3	0	1	23
高齢化率(%)	$x < 10$	0	0	0	0	0	0	0
	$10 \leq x < 20$	8	8	5	4	0	0	25
	$20 \leq x < 30$	71	69	37	24	8	8	217
	$30 \leq x < 40$	47	27	10	6	4	7	101
	$40 \leq x < 50$	0	3	3	0	0	0	6
	$50 \leq x$	0	0	0	0	0	0	0

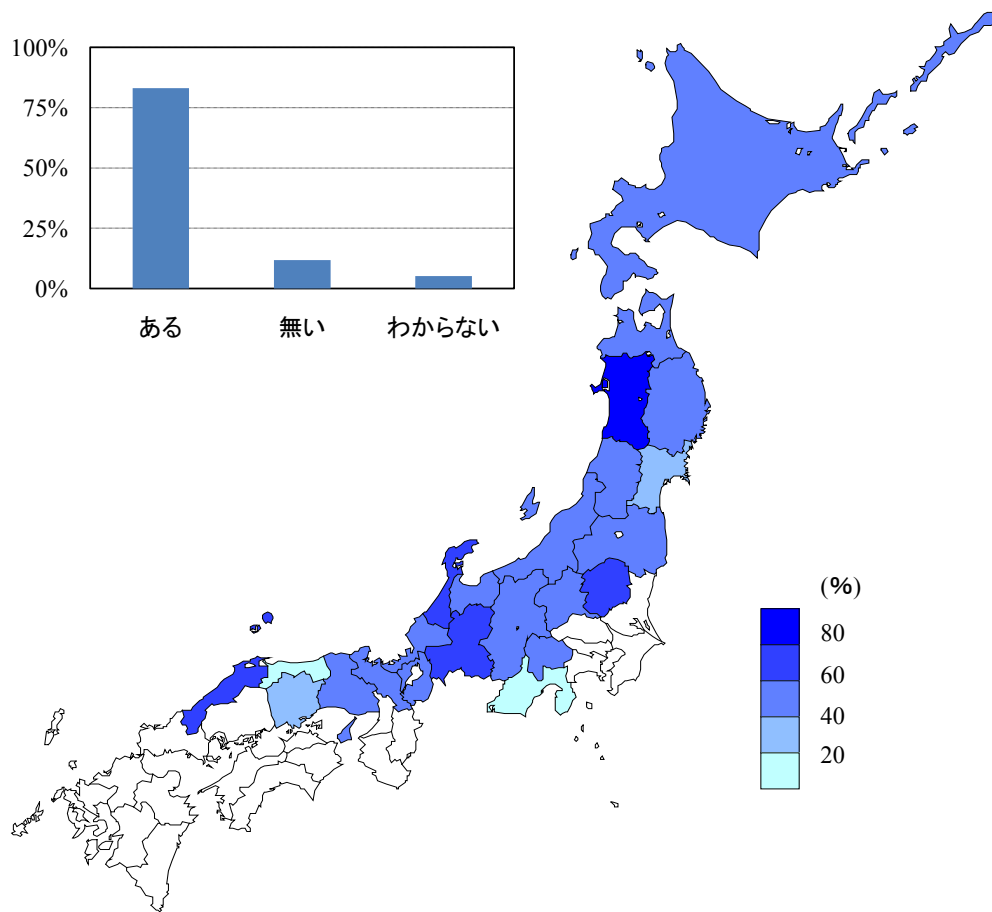


図 3-1 豪雪経験の有無

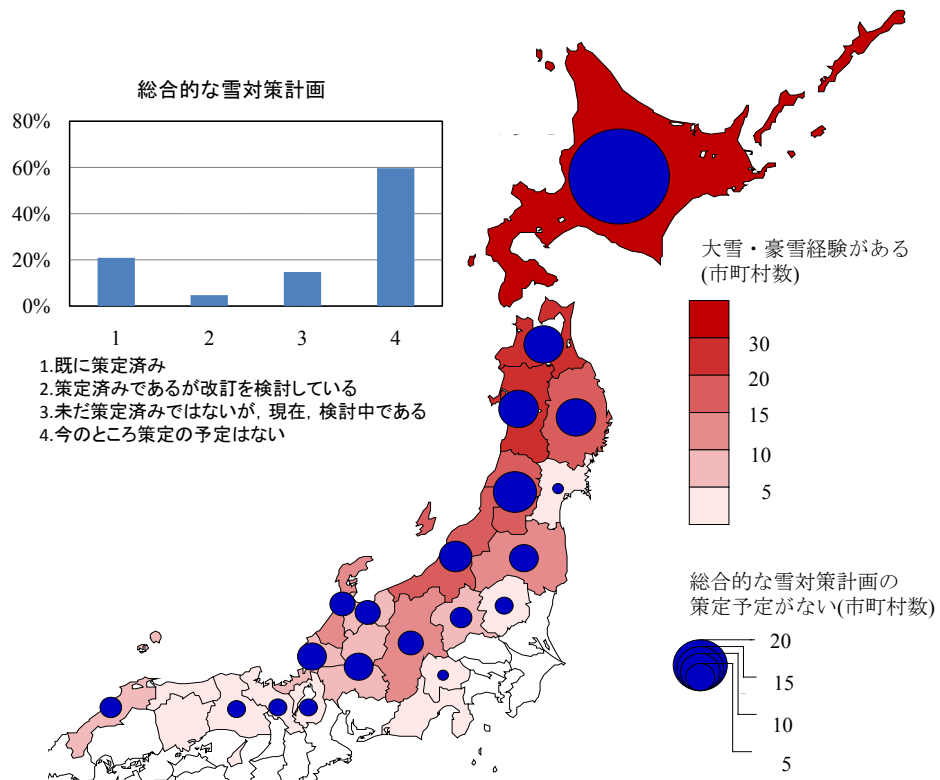


図 3-2 総合的な雪対策計画

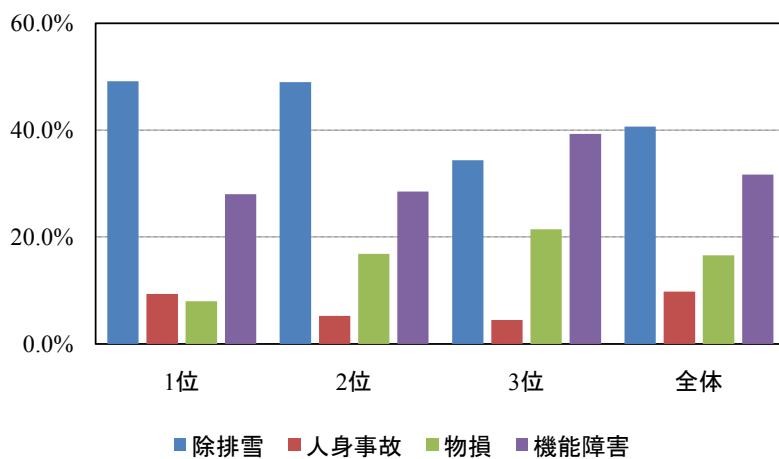


図 3-3 住宅など建築物に関して発生した問題

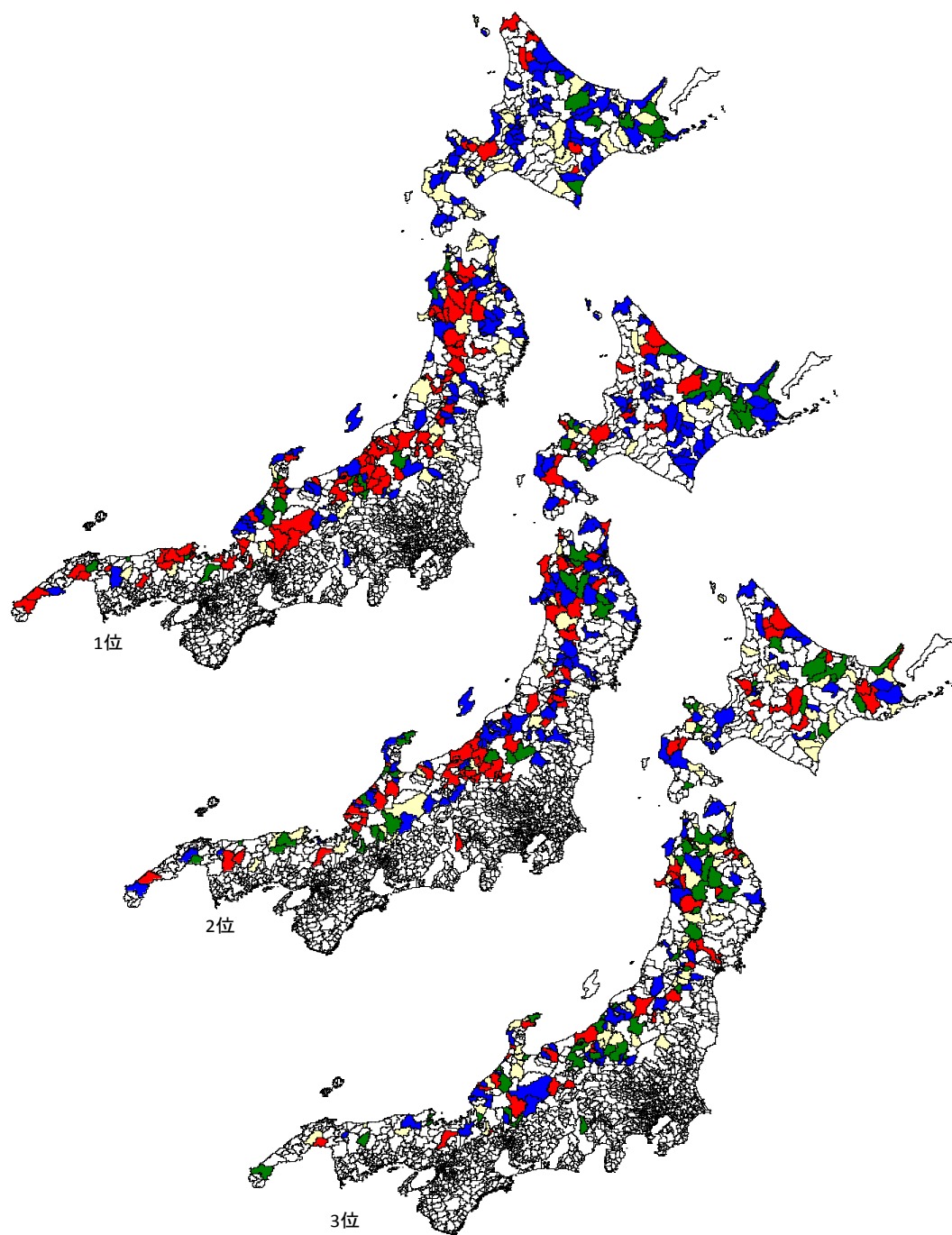


図 3-4 建築物に関する問題の優先順位別市町村分布

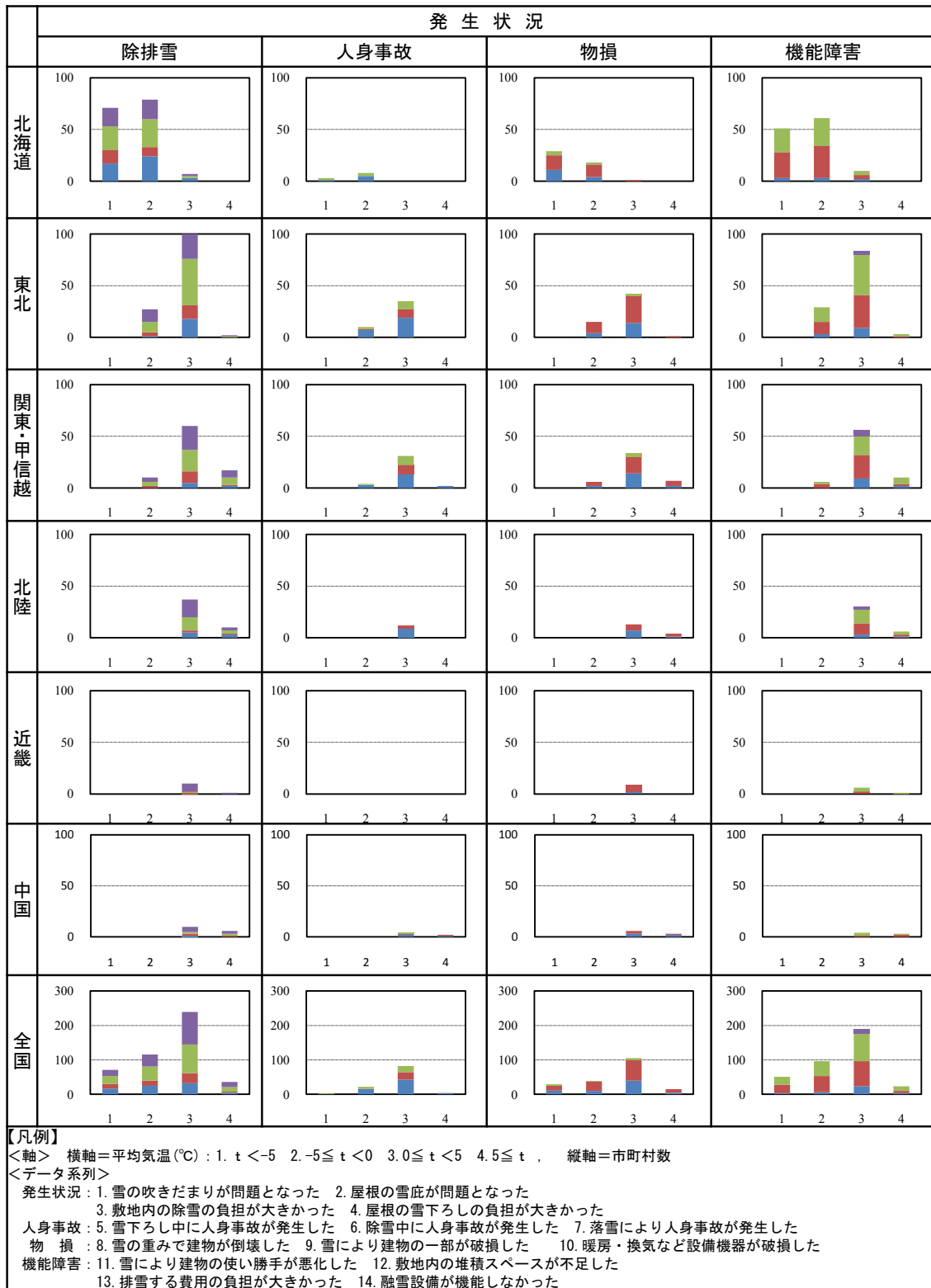


図 3-5 平均気温別の雪害発生市町村数

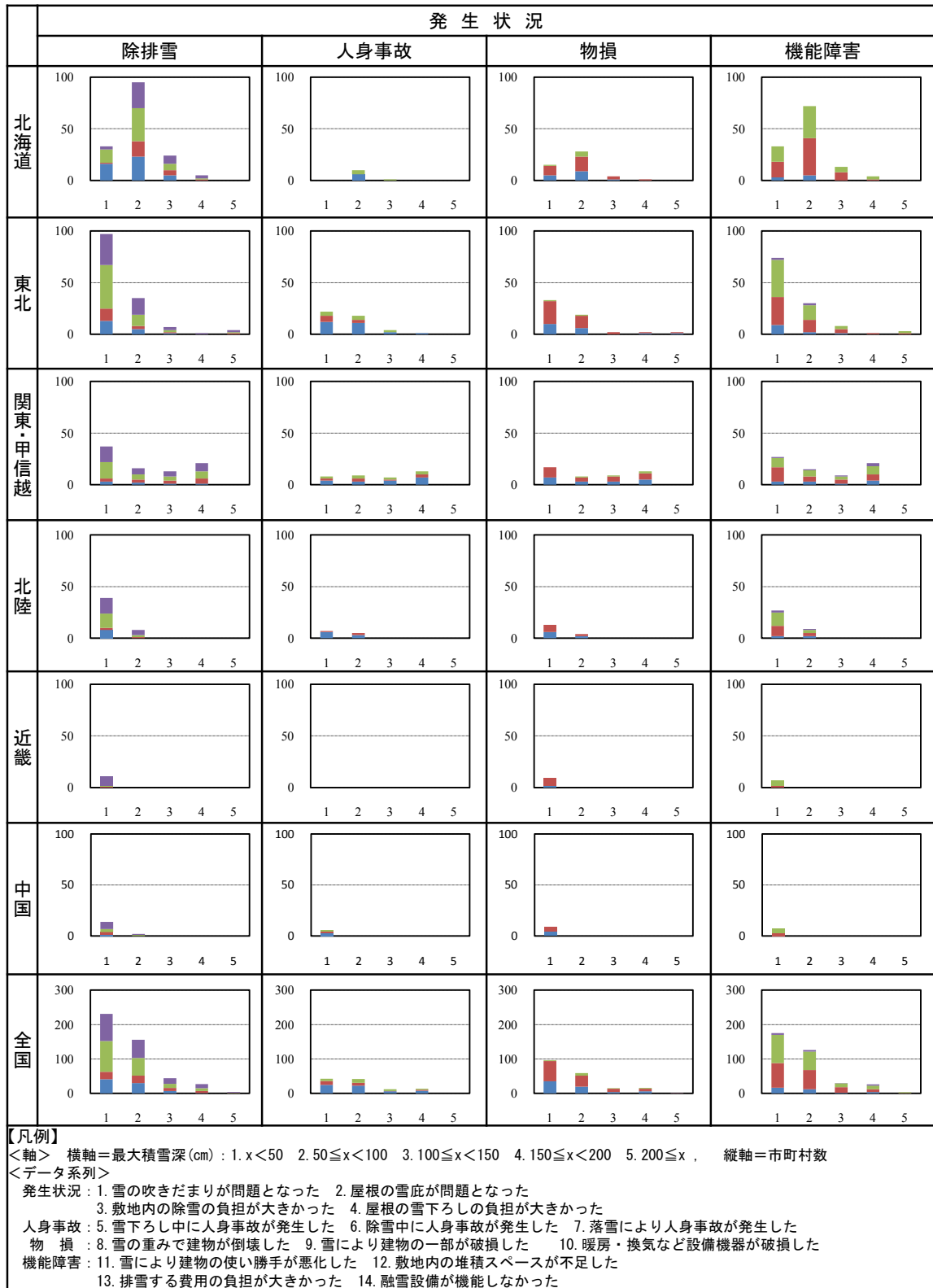


図 3-6 最深積雪深別の雪害発生市町村数



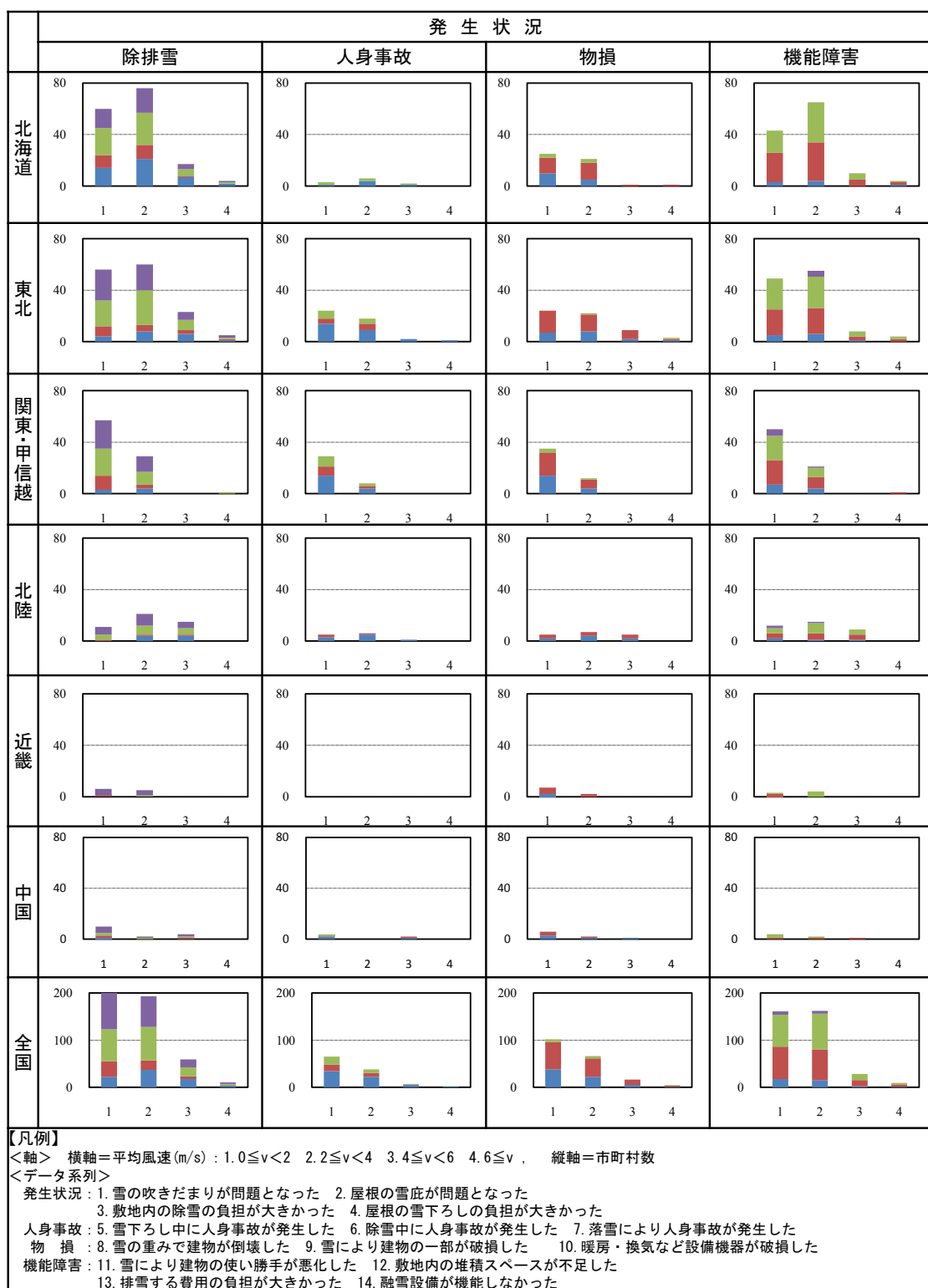


図 3-7 平均風速別の雪害発生市町村数

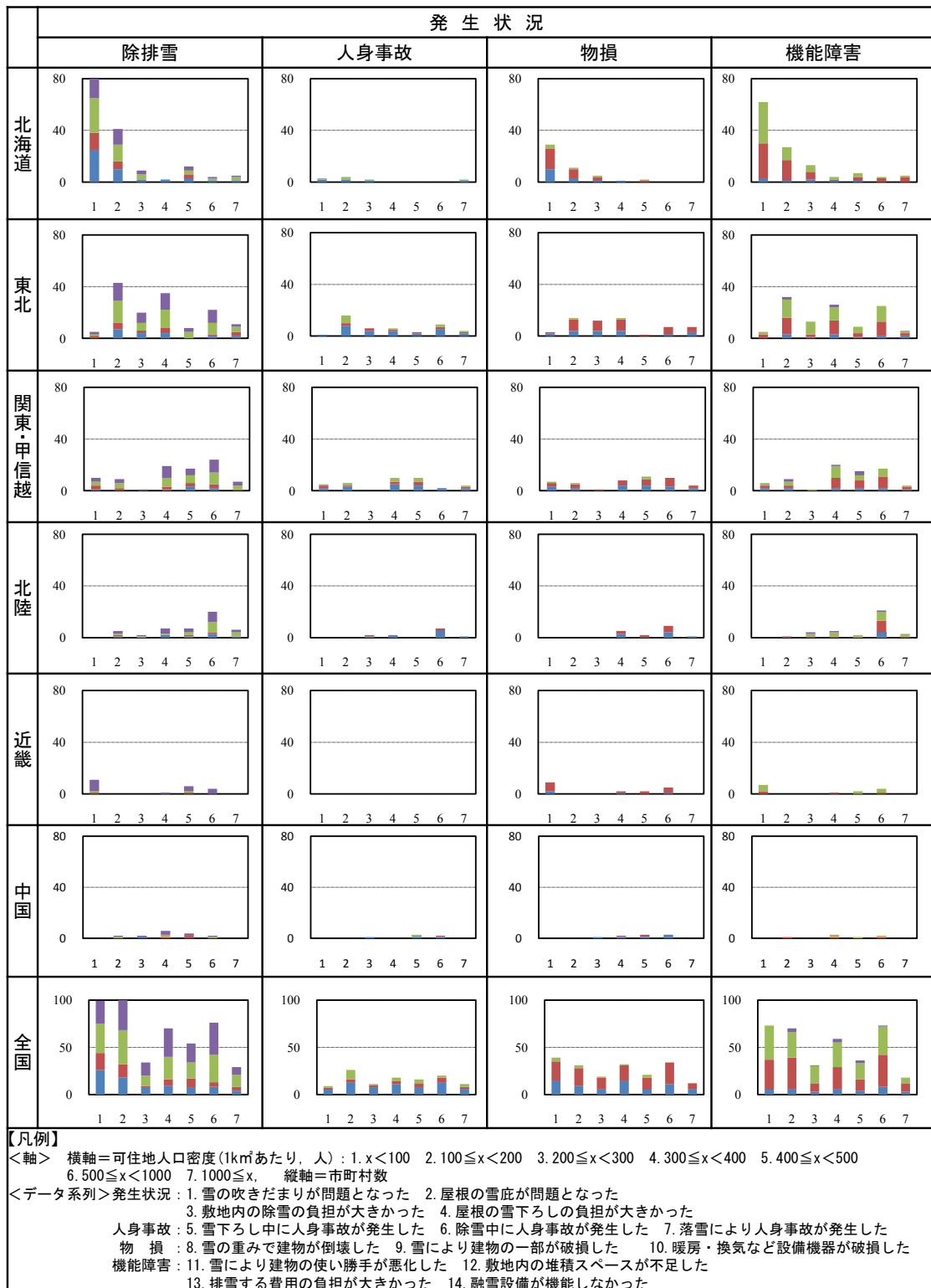


図 3-8 可住地人口密度別の雪害発生市町村数

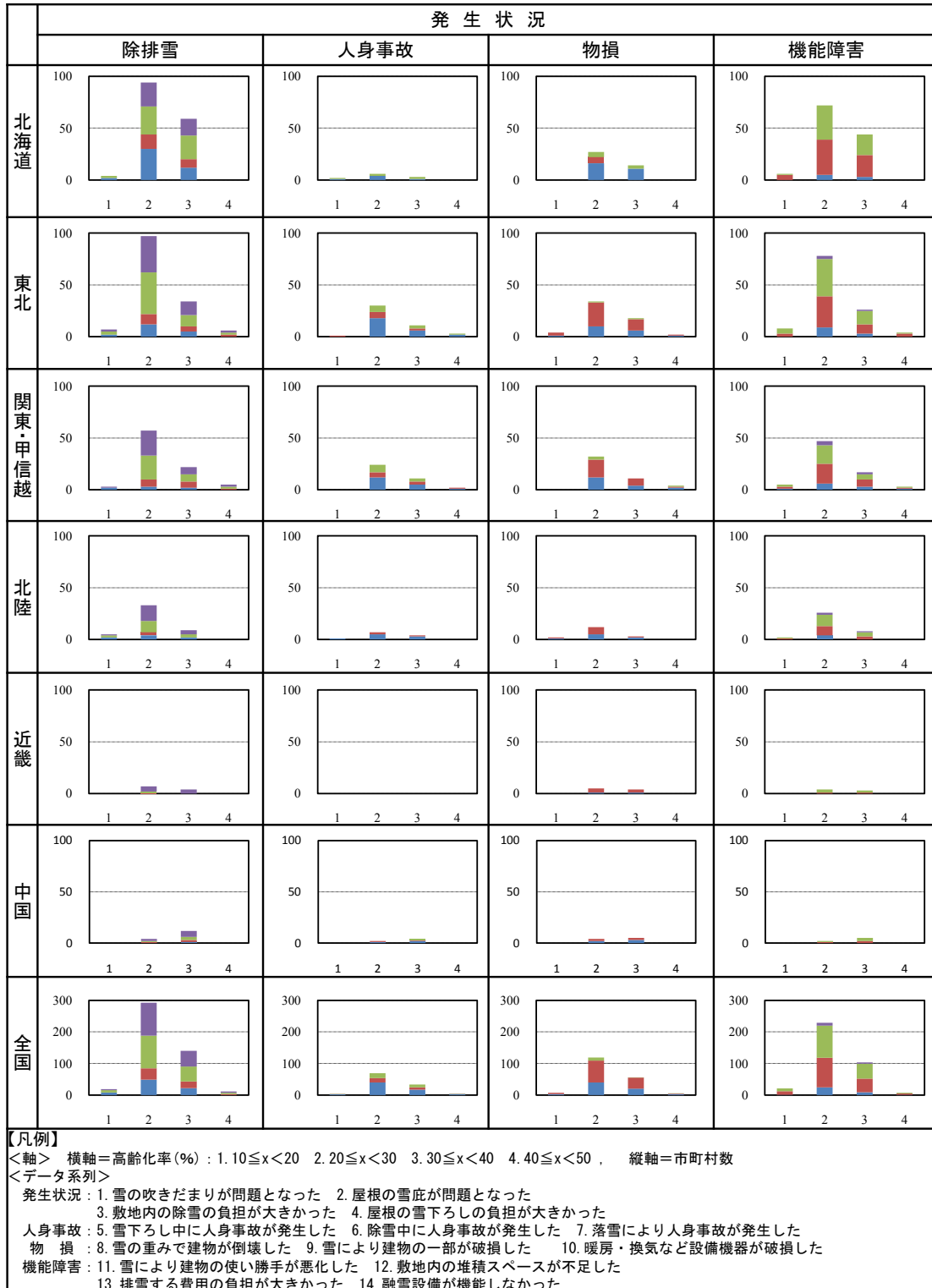


図 3-9 高齢化率別の雪害発生市町村数

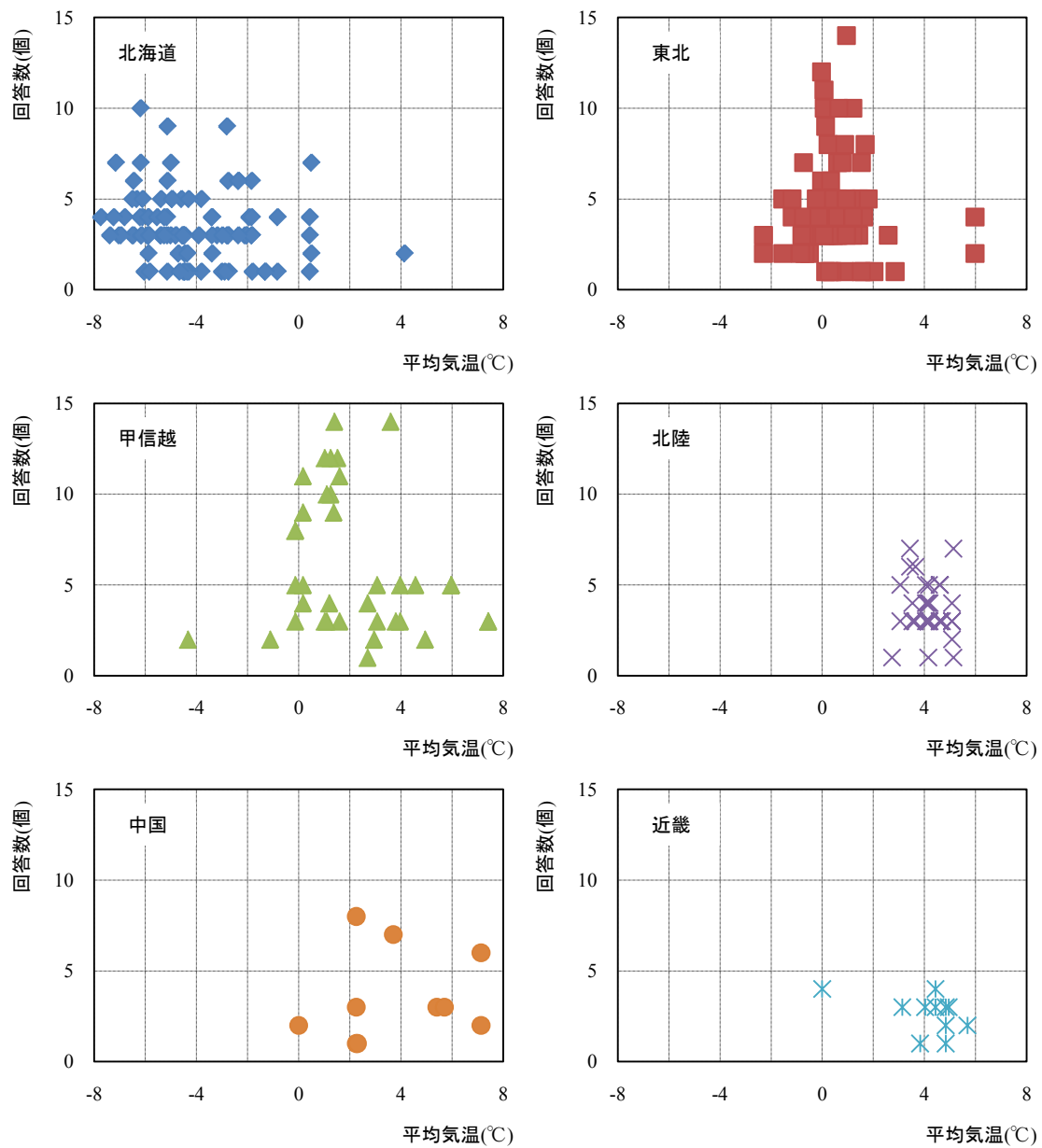


図 3-10 建築物における雪害と平均気温の関係

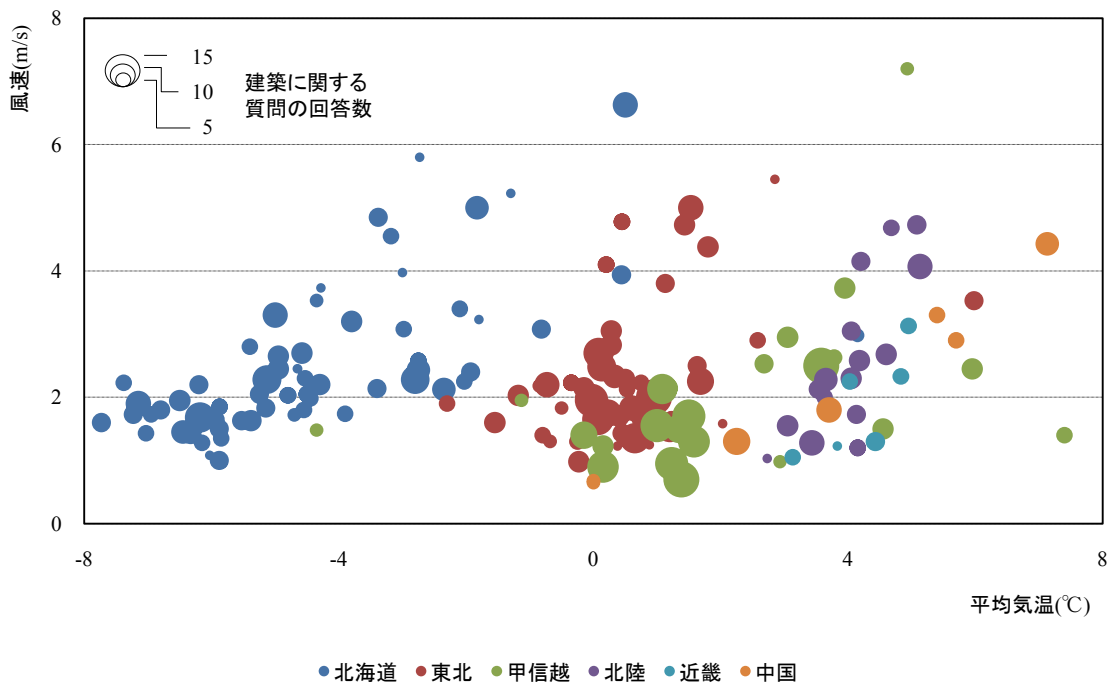


図 3-11 建築物における雪害と平均気温，風速の関係

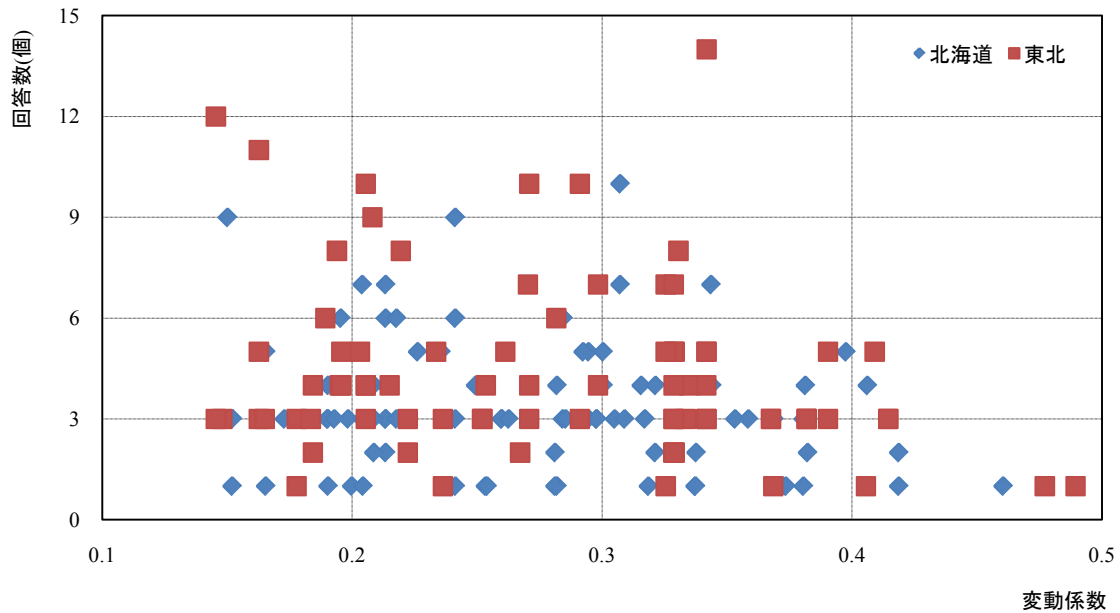


図 3-12 建築物における雪害と日最大積雪深の変動係数の関係

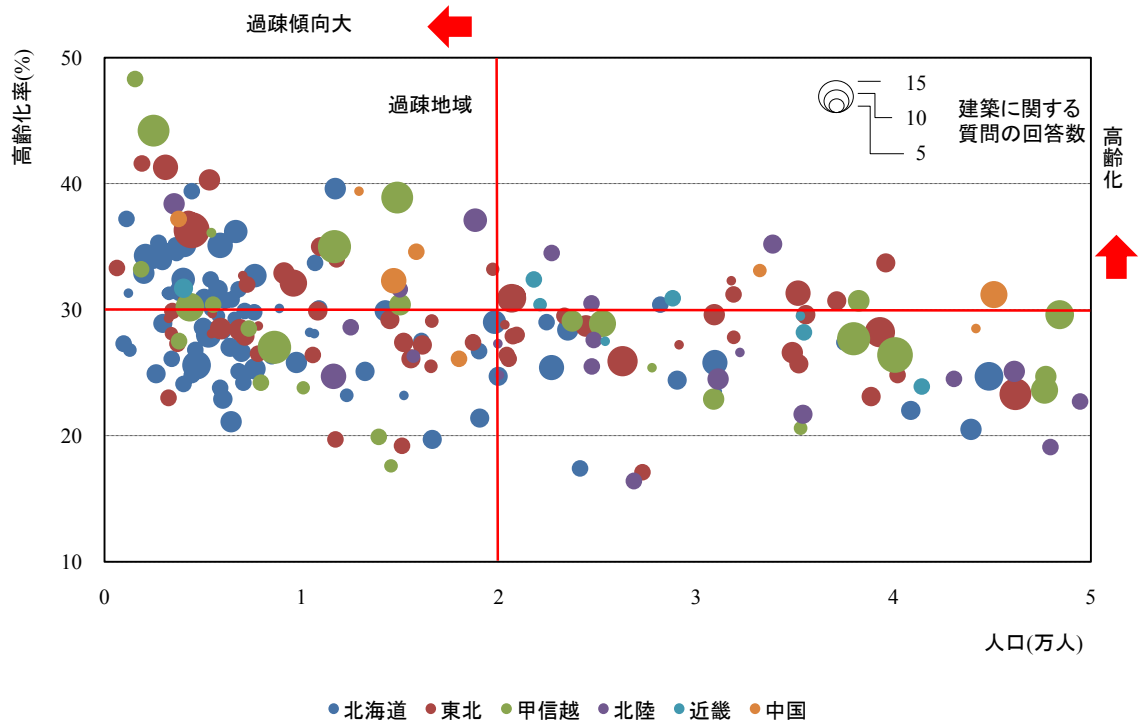


図 3-13 建築物における雪害と人口・高齢化率との関係

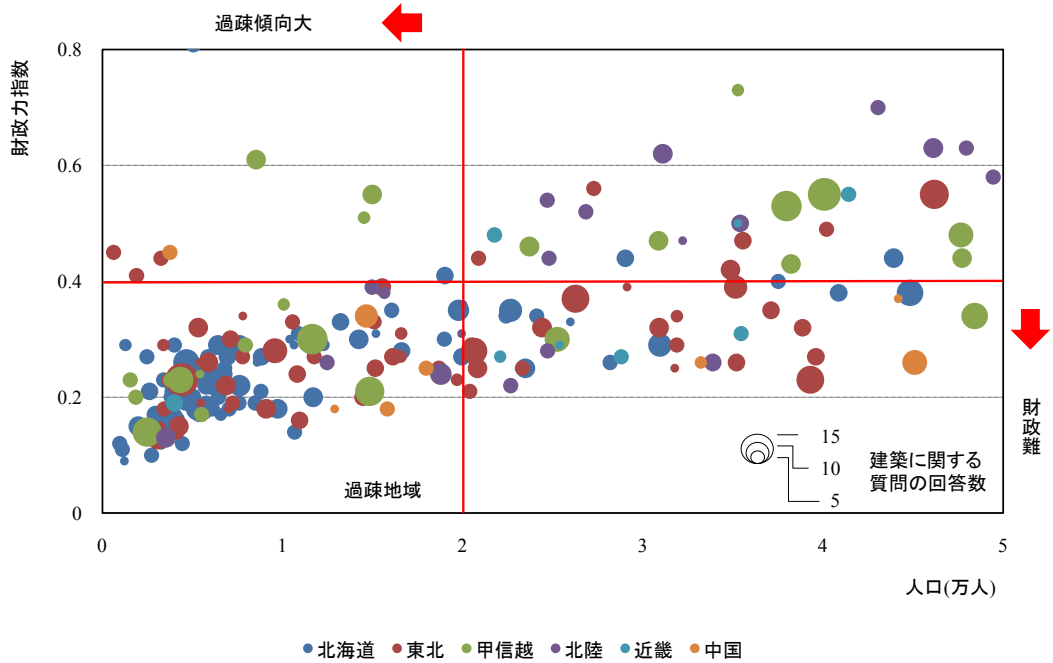


図 3-14 建築物における雪害と人口，財政力指数の関係



## (2) 北海道における雪害発生状況と要因

### 1) 分析対象

ここでは、北海道における雪害に関するアンケート調査結果の分析を行い、北海道の建築物における雪害発生状況を把握することを目的としている。分析に用いた資料は、寒地住宅都市研究所(当時)がまとめた道内全市町村を対象とした公営住宅の雪の問題に関する調査資料<sup>3-3)</sup>である。調査は、2001年1月に調査票の郵送配布・郵送回収により行われ、212市町村(当時)に配付し、204市町村から回答が得られている(回収率96%)。

分析の対象とした調査票の回収率は96%(204/212)と極めて高く、調査結果は全道的な傾向を十分に示していると考ええる。調査票では、建築計画上の雪の問題(建物配置、スペースなどに関する項目)、建築構造上の雪の問題(屋根雪、建物破損や安全性に関する項目)、北海道特有の吹雪の問題について尋ねている。

ここでは、本研究における論点を明確にするために、(1)建物周囲の雪問題、(2)吹雪による雪問題、(3)屋根雪による雪問題の3つの雪問題を中心に本研究で検討すべき課題を論じる。各項目について数量的な分析と共に、気象条件との関係、建設年代との関連について分析および考察を行う。本分析結果から、次章で検討を行う「雪害リスク評価手法」を構築するための基礎資料とした。

### 2) 建物周囲の雪害

図3-15に建物周囲の雪による問題の発生状況を示す。最も多い回答は敷地内の除排雪作業に伴う「堆雪スペースの不足」であり、発生割合は65%(132/204)である(写真3-1)。次いで、「積雪による歩行の支障」41%(83/204)(写真3-2)、「落雪スペースの不足」28%(58/204)である。「積雪による開口部破損」、「積雪による外構部材の破損」は約20%の市町村で発生している。建物周囲での雪の問題は、雪処理のためのスペース不足に関する項目が多く、次いで積雪による問題である。



写真 3-1 堆雪スペースが不足している団地

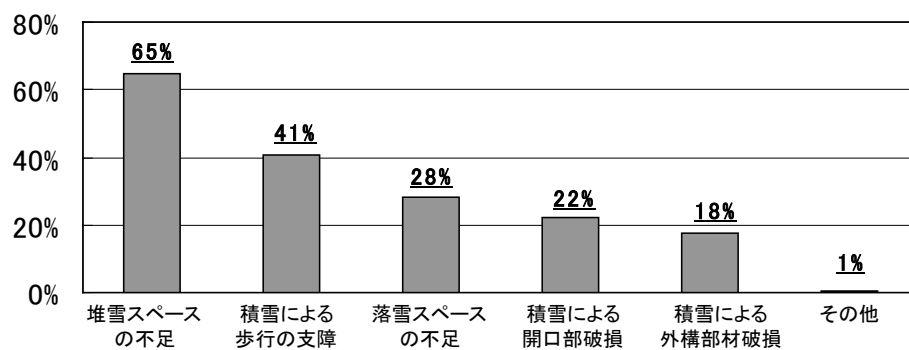


図 3-15 建物周囲における雪問題の発生状況(有効回答市町村数：204，複数回答)



写真 3-2 積雪により使用困難なスロープ



写真 3-3 開放型廊下における雪の吹き込み

### 3) 吹雪による雪問題

図 3-16 に吹雪による雪問題の発生状況を示す。最も多く発生している吹雪による問題は、「通路・開口部への雪の吹き込み(写真 3-3)」の 40%(81/204)である。次いで、「開口部前の吹きだまり(写真 3-4)」35%(71/204)、「敷地内の地吹雪発生」19%(38/204)、「設備機器への雪の吹き込み」16%(33/204)である。前項でも述べたように寒冷で乾雪地域の北海道は吹雪が発生しやすいため、建物各部において雪の吹き込みによる問題が多く発生している。また「吹きだまり」による問題発生割合も比較的高い。



写真 3-4 開口部前の吹きだまり

### 4) 吹雪による雪問題と地表面粗度との関連

一般に建築物は建物が密集する市街地や建物の少ない郊外など様々な立地場所に建設される。吹雪発生の原因となる風の性状は建物など地表面の障害物の状況により異なる。こ

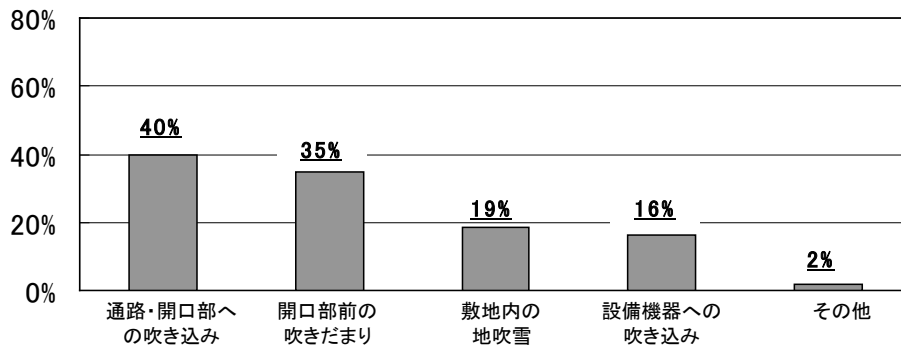


図 3-16 吹雪による雪問題の発生状況 (有効回答市町村数：204, 複数回答)

のため、建物が密集している市街地内の建築物と郊外に建つ建築物とでは、吹雪による雪問題の状況が異なることが予想される。本項では、吹雪による雪問題の発生状況と地表面の状況を表す指標である地表面粗度との関連について調べる。

日本建築学会荷重指針によれば<sup>3-4)</sup>、地表面粗度はⅠ～Ⅴ(滑～粗)の五段階に区分され、Ⅰは海面などのほとんど障害物の無い地域、Ⅱは田園地帯、Ⅲは低層建築物が多数存在する地域(写真 3-5)、Ⅳは中層建築物が主となる市街地、Ⅴは高層建築物が密集する地域である。同指針に基づき、北海道の全市町村について建築面積率(対象となる地域の面積に対する建築物の建築面積の総和の割合)により地表面粗度の区分を行ったところ(図 3-17)<sup>3-5)</sup>、粗度区分Ⅱ以下(建築面積率 10%以下)に該当するものが全体の約 84%(176/212)を占め、粗度区分Ⅲ以上(建築面積率 10%以上)は約 16% (36/212) である。北海道では、建築面積率 5%以下の地表面の障害物が極めて少ない市町村が全体の 67%(141/212)を占める。一方、建築面積率 20%以上の建物が密集する都市は 4%(8/212)と少数である。

吹雪による雪問題が発生した市町村を地表面粗度により区分すると、「通路・開口部への吹き込み(n=82)」については、粗度区分Ⅱ以下の市町村が約 82%(67/82)、粗度区分Ⅲ以上は約 18%(15/82)と、全市町村の構成割合に比べ粗度区分Ⅲ以上の割合が若干ではあるが上昇している。「開口部前の吹きだまり(n=73)」については、粗度区分Ⅱ以下が約 84%(61/73)、粗度区分Ⅲ以上が約 16%(12/73)と全市町村の構成割合とほぼ等しい。

以上の結果から、吹雪による雪の問題は、地表面の障害物が少ない粗度区分Ⅱ以下の地域のみならず、建物が密集している粗度区分Ⅲ以上の地域においても発生している。粗度区分Ⅱ以下の地域であれば、空地が多く吹雪が発達するための吹走距離が十分であると予想されるが、粗度区分Ⅲ以上の地域では、吹走距離は必ずしも十分では無いと考える。

地表面粗度が吹雪の発生と大きく関連する風の性状に及ぼす影響をみると、地表面粗度は、風の減衰と共に風の変動を特徴づける「風の乱れ強さ」にも大きく作用し、粗度が増すにつれ「風の乱れ強さ」は大きくなる<sup>3-6)</sup>。「風の乱れ強さ」は物体周りの流れの特性にも影

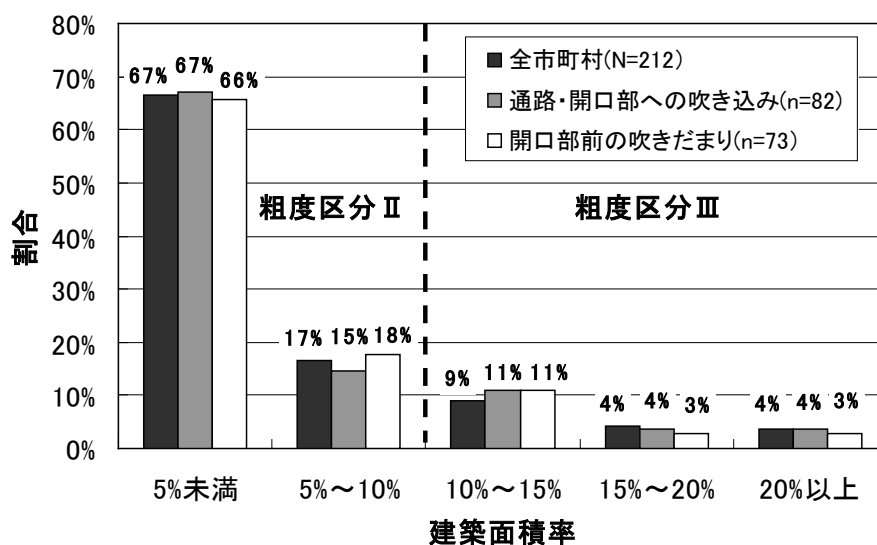


図 3-17 吹雪による雪害発生と建築面積率による地表面粗度区分との関係

響するが<sup>3-7)</sup>、小林<sup>3-8)</sup>は、建物を対象とした屋外観測から、建物附近の風の乱流と雪の吹きだまり発生には関係性があることを指摘している。乱流の重要な特徴として物質の輸送と拡散性に寄与することが知られており<sup>3-9)</sup>、雪粒子の輸送にも大きく関わっていると考える。すなわち、地表面粗度が大きい地域で、吹雪による雪問題が発生している状況にあるが、「風の乱れ強さ」がこれらに影響していると推察される。



写真 3-5 地表面粗度区分Ⅲの地域の例

### 5) 屋根雪による雪問題

図 3-18 に屋根雪による雪問題の発生状況を示す。屋根雪による問題は大きく分けて「落氷雪に関する屋根雪の問題」と雪庇や吹きだまりなど「吹雪による屋根雪の問題」に大別

される。最も多い回答は「雪庇の発生(写真 3-6)」38%(78/204)である。次いで、「落雪障害による氷堤」30%(61/204)、「落氷雪による建物等の破損(写真 3-7)」25%(52/204)、「落氷雪による歩行の妨げ」23%(46/204)である。「吹きだまりによる偏荷重」は 10%(21/204)である。



写真 3-6 屋根上の雪庇



写真 3-7 屋根からの落氷雪

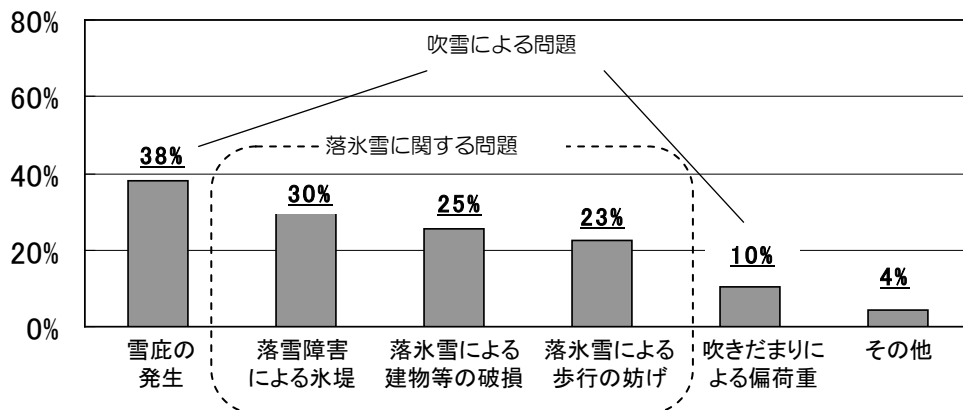


図 3-18 屋根雪による雪問題の発生状況(有効回答市町村数：204、複数回答)

図 3-19 は雪庇の発生に関する 1、2 月平均風速と平均月降雪量の関係である<sup>3-1)</sup>。図 3-19 によれば、雪庇による問題が発生していると回答した市町村は、1、2 月平均月降雪量が 200cm 以上の市町村が多い。一方、降雪量が 100cm 以下の市町村では、殆ど発生していない。降雪量が 100~200cm の範囲では、雪庇による問題がある市町村と無い市町村が混在しているが、月平均風速 3m/s 以上の市町村に限ると、問題があると回答した市町村が多い。雪庇による問題が強く懸念される市町村の気象条件を整理すると、1、2 月の月平均風速が 3m/s 以上で、月降雪量が 100cm を超えること、月平均風速が 2m/s 以上で、月降雪量が 250cm 以上の範囲が目安となる。

[参考文献]

3-1) 気象庁：気象庁観測平年値（1971-2000），2001.4  
 3-2) 田谷和明編：地域経済総覧 2008 年版，東洋経済新報社，2007.10.  
 3-3) 寒地住宅都市研究所：一般建築物における風雪障害対策手法に関する研究，調査研究報告書，2002.3  
 3-4) 日本建築学会：建築物荷重指針・同解説，pp.346-348，2004.

3-5) 塩谷正雄：強風の性質，開発社，pp.26-96，1981.  
 3-6) 国土交通省国土計画局国土情報整備室：国土数値情報  
 3-7) (社)日本鋼構造協会(編)：構造物の耐風工学，東京電機大学出版会，pp.75-79，1997.11  
 3-8) 小林俊一：障害物附近の風の乱流と雪の吹溜り，低温科学，物理編，No.30，pp.85-91，1972.  
 3-9) H. Tennekes, J. L. Lumley (藤原仁志，荒川忠一訳)：乱流入門，東海大  
 3-10) 学出版会，pp.2~17，1998.5

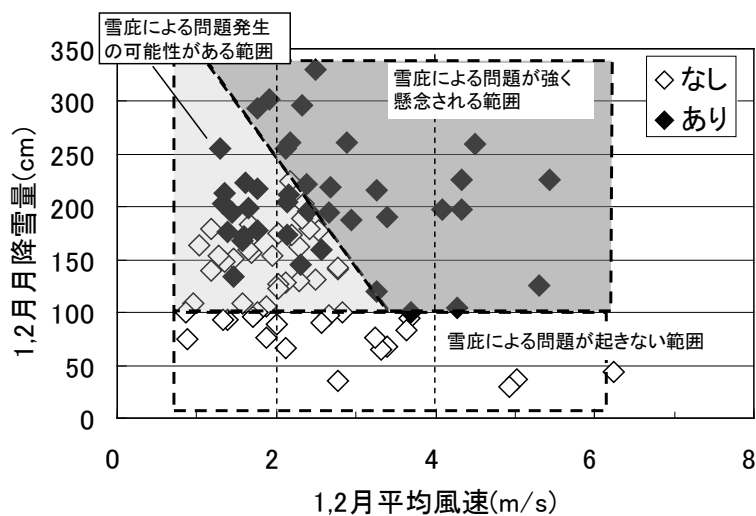


図 3-19 雪庇による問題発生市町村の 1,2 月平均風速と平均月降雪量の関係

## 4. 雪害発生の要因分析

### (1) 雪害発生要因の検討

3章の調査結果および「吹きだまり」、「雪庇」に関する既往研究から<sup>4)1)~4)4)</sup>、北海道など積雪寒冷地に建つ建築物の雪害発生には吹雪の発生と降雪が大きく影響していることが明らかである。更には、吹雪による問題発生には地表面粗度も関連していることが示唆されている。以上の知見から、雪害発生の要因として「吹雪の発生」、「降積雪」、「地表面粗度」の3項目を挙げることができる。この他にも複数の小さな要因が影響していることが推測されるが、ここでは、基礎的検討段階であること、汎用性とデータ取得の簡便性を考慮し、最も影響が大きいと考えられるこの3項目を指標として分析と検討を進める。

### (2) 分析対象

分析に用いる資料は、3章で分析対象とした道内全市町村を対象とした雪の問題に関するアンケート調査<sup>4)5)</sup>で回収した調査票である。本調査は96%(204/212)の回収率が得られており、全道的な傾向を評価することが可能である。本資料の詳細については参考文献を参照されたい<sup>4)5)</sup>。

分析対象とする市町村については、風および積雪などの気象データと雪害発生の関連を調べる必要があるため、気象庁のアメダスにより平均風速および積雪深の観測が行われている市町村を対象とし、調査票が回収された市町村で該当するのは86ある。

### (3) 気象データ

分析に用いる気象データは、各市町村における例年の冬季の状況を想定し、気象庁がまとめた「平年値(統計期間 1971~2000年)」を用いた<sup>4)6)</sup>。このうち風速および気温については、日本建築学会荷重指針の雪荷重の設定

における屋根形状係数の算定で用いられている1、2月の平均値とした<sup>4)7)</sup>。積雪に係わるデータについては、無人観測地点では降雪量の測定が行われていないことから、「積雪深」が適当であると判断し<sup>4)8)</sup>、各地点における「年最深積雪深」を用いた。

分析対象とした市町村の気象データの頻度分布を図4-1~4-3に示す。図4-1によれば、分析対象とした市町村(n=86)の1、2月の平均風速(平年値)は2~3m/sの範囲が最も多く38%(33/86)であり、3m/s未満が77%(66/86)を占める。1、2月の平均気温(平年値)については(図4-2)、-8~-6℃の範囲が33%(28/86)と最も多く、-6℃未満が64%(55/86)を占める。年最深積雪深については(図4-3)、60~80cmの範囲が27%(23/86)と最も多く、60cm以上が74%(64/86)を占める。以後の分析には、これらの値を用いた。

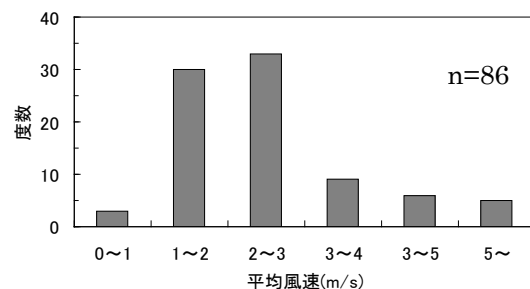


図 4-1 1、2月の平均風速(平年値)

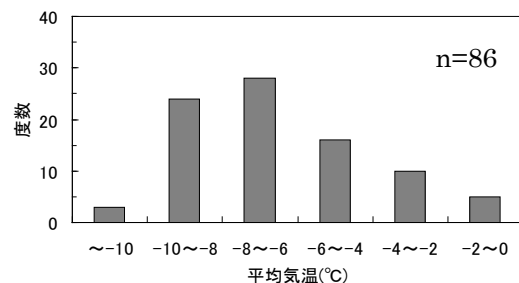


図 4-2 1、2月の平均気温(平年値)



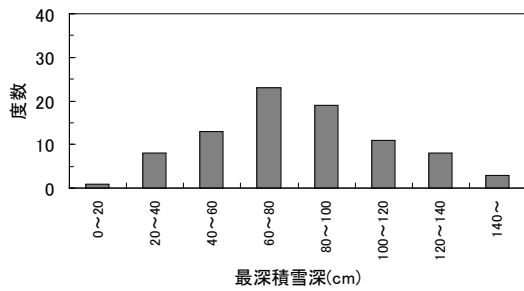


図 4-3 年最深積雪深(平年値)

#### (4) 吹雪指数の算定

吹雪は風の作用を受けた雪粒子が移動することにより発生するが、雪は温度により変質するため、吹雪の発生は、風速のみならず気温の影響も受ける。雪は一般に気温が高くなると粘着性が増し、移動しにくくなる。つまり、同一の風速であっても気温の違いにより雪の移動状況が異なる。吹雪の発生は風速と気温の関数で表され、竹内<sup>4-9)</sup>が道内の雪原で行った野外観測によれば降雪時の吹雪臨界風速は図 4-4 で示される。図 4-4 における曲線 I は跳躍粒子による低い吹雪、曲線 II は断続的な浮遊粒子を伴う吹雪、曲線 III は連続的な浮遊粒子による高い吹雪を表す。図 4-4 にお

ける風速は地上 10m の値であり、 $-5^{\circ}\text{C}$  付近では、吹雪の発生する臨界風速がおよそ  $3.5\sim 4.0\text{m/s}$  であることがわかる。

苫米地<sup>4-10)</sup>は、図 4-4 の吹雪発生臨界風速が、吹雪発生時の瞬間的な状況を示しており、アメダスによる観測で得られる日平均風速など一般的な気象観測データとの対応が困難であることから、式(4-1)による吹雪指数( $U_r$ )を提案した。

$$U_r = W2/W1 \quad (4-1)$$

ここで  $W1$  は、図 4-4 の曲線 I で示される吹雪発生臨界風速曲線( $W = \ln(80.05 + 2098.52e^T)$ )に平均気温( $T$ )を代入して得た吹雪臨界風速、 $W2$  は当該地域の平均風速を表す。 $U_r$  は気温と風速との関係から得られ、雪質の影響を含んだ値であるといえる。 $U_r$  の値が大きいほど吹雪が起きやすいことを表す。

アメダスで観測された平均風速のデータは、観測地点毎に風速計の設置高さが異なるため、べき乗則による風速鉛直分布式(4-2)を用いて均質化した。均質化の方法については、花

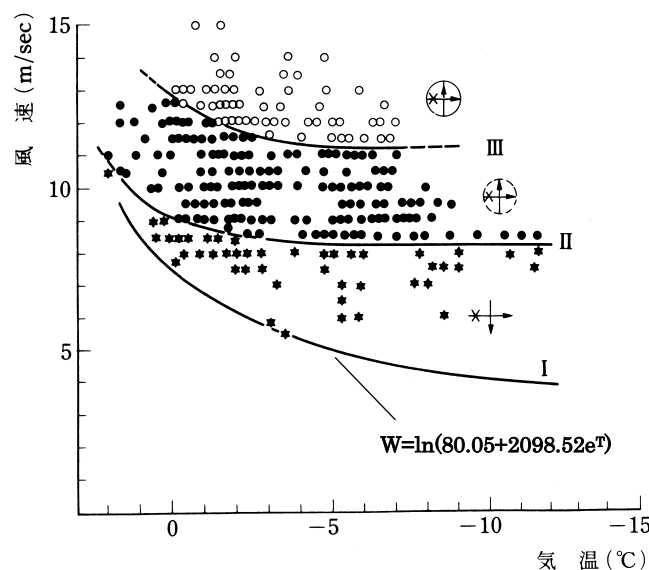


図 4-4 吹雪発生臨界風速<sup>4-9)</sup>

房<sup>4-11)</sup>に倣い、べき指数 1/7、地上 10m の値に換算した。

分析対象とした市町村(n=86)の吹雪指数の頻度分布を図 4-5 に示す。最も多いのは、0.4～0.6 の範囲で 38%(33/86)を占める。指数 1.0 を超える地域は吹雪臨界風速を上回る風速が恒常的に吹いていると考えられる。本指数は平均風速を基にしており、風の乱れの影響による風速変動は加味されていないため、今後、突風率(ガストファクター)を含めた算定法を検討する必要があると考える。

$$U_z = U_{z_0} \left( \frac{Z}{Z_0} \right)^\alpha \quad (4-2)$$

$U_z$ : 高さ  $Z$ (m)の平均風速(m/s)、 $U_{z_0}$ : 基準高さ  $Z_0$ (m)の平均風速(m/s)、 $\alpha$ : べき指数

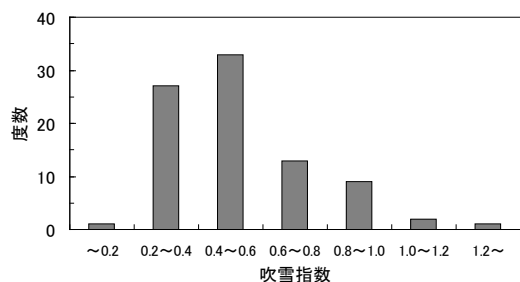


図 4-5 対象市町村の吹雪指数の分布

### (5) 建物密度の算定

地表面粗度の状況を表す指標の一つに建物密度(roughness 密度)がある。建物密度は、対象地域の建物が占める空間密度を表すものである。建物密度と地表面粗度の関係に関しては、亀井・丸田<sup>4-12)</sup>、大熊ら<sup>4-13)</sup>が規則的に配置されたモデルを用いた風洞実験により検討を行っている。亀井・丸田<sup>4-12)</sup>は税務統計年報と 1/2500 の縮尺図から、大熊ら<sup>4-13)</sup>は都市計画図と現地調査から東京都内の建物密度の算定を試みている。田村ら<sup>4-14)</sup>は自治体が持つ固定資産税台帳から建物の延床面積の合計値を求め、当該地域面積との割合から

地方都市の建物密度を算定した。

この他に丸山<sup>4-15)</sup>が航空写真による解析から、中村ら<sup>4-16)</sup>が GIS で用いる土地利用数値情報から都市域の粗度の定量化を行っている。ここでは、分析対象とする全市町村において同質のデータが整備されていることを重視し、固定資産税台帳による建物延床面積に関する資料を用いた田村<sup>4-14)</sup>の手法により建物密度を求める。建物密度( $\gamma$ )の算定は式(4-3)による。

$$\gamma = ah/AZ \quad (4-3)$$

$a$ : 建物の総延床面積(k m<sup>2</sup>)、 $A$ : 当該地域面積(k m<sup>2</sup>)、 $h$ : 建物の平均階高(m)、 $Z$ : 高さ(m)

建物の総延床面積( $a$ )については、各市町村が集計した課税対象建物の総延床面積(平成 11 年まとめ)とした。当該地域面積( $A$ )については、国土数値情報の土地利用メッシュ(平成 9 年整備)から求めた各市町村の建物用地面積とした<sup>4-17)</sup>。建物平均階高( $h$ )は、北海道における標準的な設計値を考慮し木造 2.7m、非木造 3.5m とした。 $Z$  は  $\gamma$  を無次元量とするための高さの値であり、亀井・丸田<sup>4-12)</sup>に倣い  $Z=10$ m とした。

分析対象とした市町村の建物密度の頻度分布を図 4-6 に示す。最も多いのは 0.075～0.100 の 34%(29/86)であり、0.100 未満が 67%(58/86)を占める。

### (6) 多変量解析による雪害発生への分析

#### 1) 分析方法

ここでは、上述した「最深積雪深」、「吹雪指数」および「建物密度」を説明変数とし、「建築物における雪の問題発生」を目的変数とした多変量解析を行う。

多変量解析の中で目的変数と説明変数の関係を数式化する手法には「重回帰分析」と「判

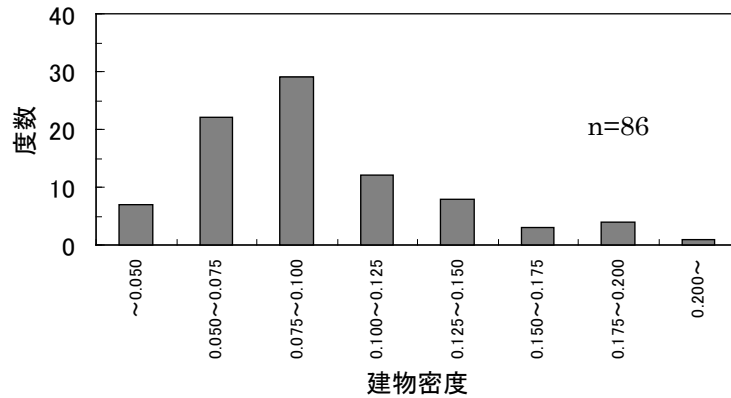


図 4-6 分析対象とした市町村の建物密度の頻度分布

表 4-1 多変量解析の分類

目的変数の有無	データの形態		解析手法	
	目的変数	説明変数		
有り	数量データ	数量データ	<b>重回帰分析</b> 正準相関分析	
		カテゴリーデータ	数量化Ⅰ類	
	カテゴリーデータ	数量データ	<b>判別分析</b>	
		カテゴリーデータ	数量化Ⅱ類	
無し	/		数量データ	主成分分析 因子分析 数量化Ⅳ類
			カテゴリーデータ	数量化Ⅲ類

判別分析」が挙げられる(表 4-1)<sup>4-18)</sup>。表 4-1 に示すように、目的変数が 2 値型のカテゴリーデータで説明変数が数量データの場合には「判別分析」が適している。

「判別分析」は、対象とするサンプルが、どのグループに属するかを予測する手法である。例えば、「良い・悪い」、「合格・不合格」の判別などである。都市計画分野における判別要因<sup>4-19)</sup>、<sup>4-20)</sup>、経済分野や医学分野におけるサンプルの判別<sup>4-21)</sup>、<sup>4-22)</sup>、気象現象の発現条件の検討などで用いられている<sup>4-23)</sup>。判別分析では、グループに分類する際の判別の適中率と判別に当たって重要度の高い説明変

数を把握することができる。

ここでは、「最深積雪深」、「吹雪指数」および「建物密度」を説明変数とし、「雪の問題発生の有無」を目的変数とした判別分析を行う。つまり、各市町村の気象条件と建物密度を指標として、建築物における雪問題の発生予測が行えるかを試みる。併せて、これらの解析により、説明変数(吹雪指数、最深積雪深、建物密度)が雪の問題発生に及ぼす影響について検討する。

## 2) 判別分析

判別に線型関数を用いる場合、P 個の変量

に対して式(4-4)に示す1次結合を作り、この判別得点により判別を行う。係数  $a_1$ 、 $\dots$ 、 $a_p$  の値は、2群(雪害の有無)を最も良く判別するように定める。

$$z = a_1x_1 + \dots + a_px_p + c \quad (4-4)$$

雪の問題発生の有無を目的変数( $z$ )、説明変数を最深積雪深の平年値( $x_1$ )、吹雪指数( $x_2$ )、建物密度( $x_3$ )とし、判別分析を行った。2群(雪の問題の有無)の等分散性の検定を行い、2群の母分散共分散が等しければ、線形判別式で区分し、等しくなければマハラノビスの平方距離を用いて判別した<sup>4-24)</sup>。なおこれらの分析にはSSRI社の「エクセル統計」を用いた。

### 3) 説明変数

分析対象となる市町村と判別分析に用いた説明変数の一覧を表4-2に示す。なお、説明変数  $X_1 \sim X_3$  は単位が不揃いであるため、式(4-5)により標準化した後、判別分析を行った。

$$X_n = (S_n - \bar{S}_n) / S_{n\_std} \quad (4-5)$$

$S_n$  : 当該地域の値、 $\bar{S}_n$  : 平均値、

$S_{n\_std}$  : 標準偏差

### 4) 目的変数

目的変数は雪の問題の発生の有無である。判別分析の対象とした雪の問題については、3章で行ったアンケート調査の結果において道内の市町村での問題発生数が多い項目とし、「堆雪スペースの不足」、「積雪による歩行の支障」、「通路・開口部への雪の吹き込み」、「屋根上の雪庇の発生」、「開口部前の吹きだまり」の五つとした。分析対象とした市町村( $n=86$ )におけるこれらの発生割合は、「堆雪スペースの不足」が57%(49/86)、「積雪による歩行の支障」が55%(47/86)、「通路・開口部への雪の吹きこみ」が50%(43/86)、「開口部前の吹

きだまり」が42%(36/86)、「屋根上の雪庇の発生」が43%(37/86)である(図4-7)。

### 5) 判別分析結果

図4-7に示す雪問題の発生の有無を目的変数とし、表4-2の値を説明変数として判別分析を行った結果を表4-3に示す。判別の適中率を見ると、「屋根上の雪庇の発生」が86.0%と最も高く、次いで「開口部前の吹きだまり」83.7%、「通路・開口部への雪の吹き込み」81.4%、「堆雪スペースの不足」75.6%である。「積雪による歩行の支障」は他の事象と比べ、適中率が低く64.0%である。判別適中率が低い事象については、他の雪の問題とは異なる因子が問題発生に影響していると考えられ、例えば建物個々の要因や他の気象要素が影響していると推測される。判別適中率の向上には説明変数の追加などの検討が必要である。

それぞれの雪の問題に対する判別係数を見ると、最深積雪深( $x_1$ )は他の説明変数に比べ判別係数が高い傾向にあり、「開口部への吹きこみ」を除き、多くの雪の問題に対しての影響度が大きいことが明らかである。特に「屋根上の雪庇の発生」では、係数が他の説明変数に比べ非常に大きい値となっている。吹雪指数( $x_2$ )については、「開口部前の吹きだまり」、「通路・開口部への吹き込み」での寄与が大きく、吹雪の発生がこれらの雪の問題に対して影響が大きいと言える。建物密度( $x_3$ )については、「堆雪スペースの不足」と「開口部への雪の吹き込み」で比較的高い値を示している。

表 4-2 分析対象市町村別の説明変数一覧

No.	市町村名	X1	X2	X3
		年最深積雪深(cm)	吹雪指数	建物密度
1	札幌市	98	0.45	0.30
2	函館市	43	0.58	0.18
3	旭川市	90	0.33	0.15
4	室蘭市	21	0.84	0.14
5	北見市	62	0.36	0.13
6	夕張市	129	0.61	0.05
7	岩見沢市	119	0.65	0.12
8	網走市	49	0.75	0.12
9	留萌市	91	1.14	0.11
10	苫小牧市	24	0.54	0.17
11	稚内市	78	0.94	0.11
12	美唄市	109	0.48	0.06
13	芦別市	77	0.35	0.07
14	紋別市	56	0.76	0.10
15	士別市	98	0.29	0.07
16	名寄市	99	0.40	0.09
17	滝川市	106	0.49	0.10
18	深川市	113	0.65	0.09
19	富良野市	69	0.33	0.15
20	登別市	79	0.59	0.13
21	恵庭市	82	0.48	0.19
22	石狩市	108	0.88	0.19
23	新篠津村	111	0.74	0.08
24	厚田村	110	0.95	0.07
25	大野町	65	0.46	0.10
26	八雲町	87	0.49	0.11
27	長万部町	71	0.55	0.08
28	江差町	33	0.91	0.08
29	厚沢部町	88	0.34	0.06
30	熊石町	58	0.43	0.05
31	今金町	107	0.47	0.09
32	寿都町	70	0.62	0.05
33	蘭越町	130	0.51	0.09
34	倶知安町	188	0.55	0.16
35	岩内町	140	1.08	0.09
36	余市町	133	0.44	0.18
37	幌加内町	185	0.40	0.08
38	上川町	86	0.33	0.08
39	美瑛町	78	0.36	0.08
40	南富良野町	72	0.48	0.06
41	占冠村	83	0.38	0.10
42	和寒町	97	0.32	0.05
43	下川町	120	0.61	0.03
44	美深町	121	0.30	0.06

No.	市町村名	X1	X2	X3
		年最深積雪深(cm)	吹雪指数	建物密度
45	羽幌町	103	0.74	0.06
46	遠別町	79	0.98	0.06
47	天塩町	78	0.97	0.10
48	猿払村	78	1.28	0.09
49	中頓別町	124	0.37	0.04
50	歌登町	138	0.31	0.05
51	豊富町	96	0.54	0.08
52	津別町	59	0.38	0.08
53	斜里町	103	0.50	0.12
54	留辺蘂町	51	0.52	0.06
55	佐呂間町	75	0.39	0.10
56	遠軽町	68	0.38	0.08
57	白滝村	75	0.63	0.04
58	滝上町	76	0.27	0.05
59	西興部村	80	0.24	0.04
60	雄武町	67	0.74	0.09
61	豊富町	84	0.43	0.06
62	大滝村	126	0.40	0.14
63	白老町	35	0.37	0.09
64	厚真町	67	0.46	0.09
65	日高町	86	0.27	0.04
66	門別町	40	0.59	0.08
67	静内町	20	0.43	0.10
68	浦河町	19	0.89	0.07
69	上士幌町	41	0.43	0.07
70	新得町	61	0.44	0.13
71	芽室町	63	0.22	0.10
72	中札内村	95	0.29	0.06
73	大樹町	86	0.53	0.06
74	本別町	35	0.20	0.06
75	陸別町	54	0.31	0.06
76	浦幌町	41	0.46	0.05
77	厚岸町	44	0.64	0.10
78	浜中町	35	0.83	0.11
79	標茶町	60	0.32	0.10
80	弟子屈町	87	0.74	0.13
81	阿寒町	112	0.19	0.12
82	鶴居村	54	0.39	0.10
83	白糠町	38	0.58	0.13
84	別海町	49	0.42	0.08
85	中標津町	63	0.46	0.10
86	羅臼町	86	0.48	0.08
	平均	81.0	0.53	0.09
	標準偏差	33.5	0.23	0.04

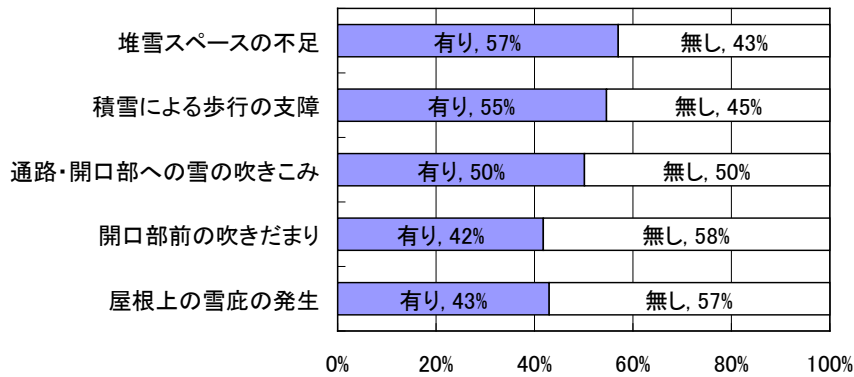


図 4-7 分析対象市町村別における雪害の発生割合(n=86)

表 4-3 における判別係数を、等分散性検定で棄却された「屋根上の雪庇の発生」を除き式(4-4)に代入すると、それぞれの雪の問題発生の判別式は、式(4-6)～(4-9)となる。判別値(Z) > 0 であれば問題発生、判別値(Z) < 0 であれば問題が起きないと判定される。「屋根上の雪庇の発生」については、表 4-4 に示す雪庇の発生に関する分類別の説明変数の平均(x̄)、分散(S<sub>i</sub><sup>2</sup>)、共分散(S<sub>ij</sub>)の値から、式(4-10)により判別した。

各判別式の適中率に差があるものの、各市町村において雪対策実施の判断を行う際に、このような雪害発生判別式を用いることにより、各市町村の雪害リスクの発生を定量的に予測することが可能になると考える。

堆積スペースの不足の判別式

$$Z_1=1.45X_1-0.04X_2+0.49X_3+0.18 \quad (4-6)$$

積雪による歩行の支障の判別式

$$Z_2=0.99X_1+0.47X_2+0.13X_3+0.09 \quad (4-7)$$

開口部への雪の吹き込みの判別式

$$Z_3=0.25X_1+1.77X_2+0.55X_3-0.04 \quad (4-8)$$

開口部前の吹きだまりの判別式

$$Z_4=0.95X_1+1.78X_2-0.02X_3-0.18 \quad (4-9)$$

X1：最深積雪深の標準化値

X2：吹雪指数の標準化値

X3：建物密度の標準化値

表 4-3 雪害発生に関する判別分析結果

雪の問題	等分散性 検定	適中率(%)	判別関数式の判別係数			
			最深積雪深 (X1)	吹雪指数 (X2)	建物密度 (X3)	定数項 (c)
堆雪スペース の不足	-	75.6	1.45	-0.04	0.49	0.18
積雪による歩 行の支障	-	64.0	0.99	0.47	0.13	0.09
開口部への雪 の吹きこみ	-	81.4	0.25	1.77	0.55	-0.04
屋根上の雪庇 の発生	*	86.0	2.79	0.76	0.26	-0.12
開口部前の吹 きだまり	-	83.7	0.95	1.78	0.02	-0.18

注) \*有意水準 5%で棄却

表 4-4 雪庇発生に関する分類別の説明変数(標準化値)の統計値

群名	X̄ <sub>1</sub>	X̄ <sub>2</sub>	X̄ <sub>3</sub>	S <sub>X1</sub> <sup>2</sup>	S <sub>X2</sub> <sup>2</sup>	S <sub>X3</sub> <sup>2</sup>	S <sub>X1X2</sub>	S <sub>X1X3</sub>	S <sub>X2X3</sub>
あり	0.67	0.23	0.15	0.60	1.15	1.49	-0.10	0.02	0.06
なし	-0.62	-0.14	-0.04	0.42	0.88	0.61	-0.20	-0.11	-0.11

$$D^2 = \begin{bmatrix} X_1 - \bar{X}_1 & X_2 - \bar{X}_2 & X_3 - \bar{X}_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{X_1^2} & S_{X_1X_2} & S_{X_1X_3} \\ S_{X_1X_2} & S_{X_2^2} & S_{X_2X_3} \\ S_{X_1X_3} & S_{X_2X_3} & S_{X_3^2} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} X_1 - \bar{X}_1 \\ X_2 - \bar{X}_2 \\ X_3 - \bar{X}_3 \end{bmatrix} \quad (4-10)$$

$D_{なし}^2 - D_{あり}^2 > 0 \rightarrow$  雪庇が発生する

$D_{なし}^2 - D_{あり}^2 < 0 \rightarrow$  雪庇が発生しない

#### [参考文献]

- 4-1) 竹内政夫：吹雪とその対策(3)－吹きだまりの発生機構と形一，日本雪氷学会誌，雪氷，Vol.62，No.1，pp.41-48，2000.1
- 4-2) 土谷学，苫米地司，本郷剛，上田宏：フェンス周辺の吹きだまりと風の流れの特性－風向風速と積雪分布の野外観測一，日本雪氷学会誌，Vol.18，No.2，pp.113-122，2002.4
- 4-3) 苫米地司，橋本茂樹：屋根面で発生する吹雪に関する一考察，日本雪氷学会誌，Vol.9 No.2,2-8,1993.4
- 4-4) 堤 拓哉，高倉政寛，高橋章弘，苫米地司：建築物における雪庇の成長過程について，日本雪氷学会誌，Vol.22，No.1，pp.3-9，2006.1
- 4-5) 寒地住宅都市研究所：一般建築物における風雪障害対策手法に関する研究，調査研究報告書，2002.
- 4-6) 気象庁：平年値(統計期間 1971～2000 年)，(財)気象業務支援センター，2001.
- 4-7) 日本建築学会：建築物荷重指針・同解説，2004.
- 4-8) 日本雪氷学会北海道支部編：雪氷調査法，北海道大学図書刊行会，pp.1-10，1991.7
- 4-9) 竹内政夫，石本敬志，野原他喜男，福澤義文：降雪時の高い地吹雪の発生臨界風速，雪氷学会予稿集，1985.
- 4-10) 苫米地司，山口英治，橋本茂樹：気象要素を用いた屋根上積雪の評価方法について，日本雪氷学会誌，Vol.9，No.3，pp.2-9，1993.7
- 4-11) 花房龍男：工学における風，日本風工学会誌，No.20，pp.1-31，1984.6
- 4-12) 亀井勇，丸田栄蔵：高層建築物周辺に生ずる強風領域の実験的研究，日本建築学会論文報告集，No.264，pp.31-40，1978.2
- 4-13) 大熊武司，丸川比佐夫，宮下康一：市街地を対象とした乱流境界層の風洞実験による基礎的研究，第9回風工学シンポジウム論文集，pp.61-66，1986
- 4-14) 田村幸雄，須田健一，松井源吾：設計基準風速についての一考察，日本建築学会構造系論文報告集，pp.101-111，1989.6
- 4-15) 丸山敬：市街地における粗度形状について，日本風工学会誌，No.57，pp.15-27，1993.10
- 4-16) 中村修，宮下康一，植松康，山田大彦：東京都23区の土地利用数値情報に基づく地表面粗度要素としての街並の実状分析，日本風工学会誌，No.84，pp.59-69，2000.7
- 4-17) 国土交通省国土計画局国土情報整備室：国土数値情報
- 4-18) 日本建築学会編：建築・都市計画のための調査・分析方法，井上書院，1987.
- 4-19) 富永六朗，本多義明：大阪府下都市の再開発発生要因分析，都市の構造と開発に関する基礎的研究その4，日本建築学会論文報告集，No.281，pp.139-144，1979.7
- 4-20) 谷口汎邦，無漏田芳信：医療環境資源からみた都市類型と類型間判別要因について-都市における医療施設整備標準に関する基礎的研究-その1-，日本建築学会論文報告集，No.303，pp.93-102，1981.5
- 4-21) 柳井晴夫，岡太彬訓，繁柘算男，高木廣文，岩崎学編：多変量解析実例ハンドブック，朝倉書店，2002.6
- 4-22) 菅野隆三：歯科データの統計的分析について，歯科学報，Vol.101，No.2，pp.205-218，2001.2

4-23) 西村浩一, 前野紀一: 判別分析による吹雪発生の臨界条件算出の試み, 低温科学物理編, No.46, pp.111-117, 1988.

4-24) 奥野忠一, 片山善三郎, 上郡長昭, 伊東哲二, 入倉則夫, 藤原信夫: 工業における多変量データの解析, pp.274-277, 日科技連, 1986.6

## 5. 雪害リスク評価手法の検討

前章で検討を行った「判別分析」は、建築物における雪害発生の有無を判断する手法であるが、そのリスクがどの程度の損失をもたらすかは定量化できない。すなわち、雪対策の実施にどの程度の費用を掛けるべきか、予算措置のための判断を行うには不十分である。建築物整備における費用便益効果やライフサイクルコストの観点からは、過度な雪対策は避けるべきであり、リスクによる損失に見合った対策の実施が合理的方法と言える。本章では、雪害リスクによる損失の定量化について考察と検討を行う。

### (1) 損失期待値による雪害リスク評価

#### 1) 雪害リスクの定量化

地震等の自然災害によるリスク評価手法によれば、リスク( $R$ )はリスクの発生確率( $P$ )とリスクによる損失( $C$ )の積(損失期待値)で示され<sup>5-1)</sup>。本研究では、建築物の雪害リスクを

過去の気象データを基にした雪害発生率( $P$ )とその雪害発生による費用損失( $C$ )の積により算定することとし、式(5-1)で表す。本章では、北海道で特に大きな問題となっている吹雪による雪の問題と雪庇の問題についてリスクの定量化を試みる。

$$\text{雪害リスク } (R_i) = \text{雪害発生率 } (P_i) \times \text{雪害による損失 } (C_i) \quad (5-1)$$

### 2) 雪害の発生条件の設定

寒冷地である北海道の雪は乾雪であるため、雪の積もり方は風の影響を受けやすく、風の強い沿岸部では、屋根上の雪は風により吹き払われるが、建物周囲をみると局所的に積雪が多くなる雪の吹きだまりが発生する。一方、風が弱い地域では、建物周囲に吹きだまりは見られないものの、屋根上に雪が多く堆積するなど雪庇の発生が見られる。

「雪の吹き込み」を対象とした既往研究によれば、日平均風速 2.0m/s を超える地域において、「雪の吹き込み」の問題が発生している<sup>5-2)</sup>。また、「雪庇」が成長する気象環境の目安は日平均風速が 2.0m/s 以上、日降雪量が 10cm 以上である<sup>4-4)</sup>。吹きだまりの発生に関しては、老川ら(1999)による立方体モデルを対象とした屋外観測によれば、日平均風速 4m/s 以上になると建物周囲にウインドスク

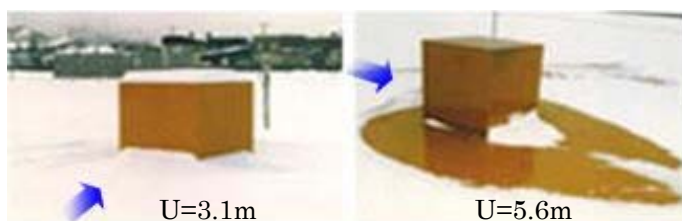


写真 5-1 風速による地表面の積雪パターン<sup>4-27)</sup>

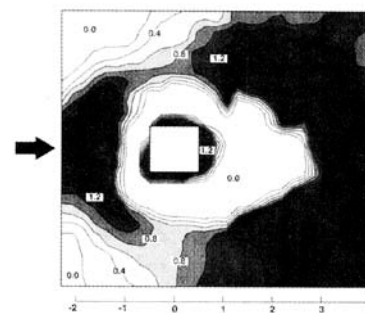


図 5-1 ウインドスクープ<sup>4-27)</sup>  
(U=5.6m/s)



ープと呼ばれる馬蹄状の吹き払い域が見られ、吹きだまりが発生する(写真 5-1、図 5-1)<sup>5-3)</sup>。

このように、吹雪の問題および雪庇の発生は、日平均風速と日降雪量を指標とすることにより、現象が起きるかの判断が行えることから、各地域における日平均風速の発生頻度を整理することにより、雪害の年間発生割合の算出が行えると考える。

既往の研究成果を参考に吹雪および雪庇の問題が発生する風速の「しきい値」を表 5-1 に示す。建設予定地を対象に「しきい値」を上回る風速の発生率を算出することにより、該当する雪害のリスクを定量化することが可能になる。

表 5-1 雪害発生なしきい値<sup>4-4)、4-26)、4-27)</sup>

雪害の種類	しきい値
雪の吹き込み	日平均風速 2m/s 以上
吹きだまりの発生	日平均風速 4m/s 以上
雪庇の発生	日平均風速 2m/s 以上 日降雪量 10cm 以上

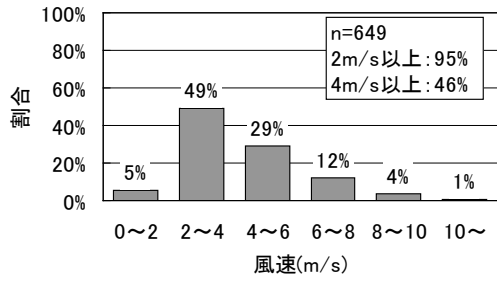
### 3) 雪害発生率

道内 8 つの気象官署(稚内、留萌、旭川、岩見沢、札幌、倶知安、帯広、釧路)における過去 10 年間(1997~2007)の 1 月、2 月の日平均風速(U)の発生割合および「雪の吹き込み」発生なしきい値である日平均風速 2m/s 以上の風速発生率、「吹きだまり」なしきい値である日平均風速 4m/s 以上の風速発生率を図 5-2 に示す。日平均風速(U)の値については、4 章の風速鉛直分布式(4-2)を用いて、べき指数 1/7、地上 10m の値に均質化した。

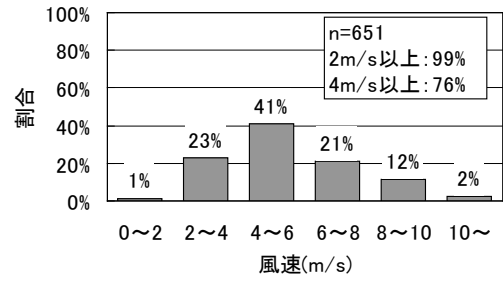
図 5-2(a)~(h)に示す各地点における日平均風速(U)が 2m/s 以上になる発生率が「雪の吹き込み」の発生する確率(P)、4m/s 以上になる割合が「吹きだまり」が発生する確率(P)

となる。沿岸地域である(a)稚内、(b)留萌、(h)釧路は、日平均風速が 2m/s 以上になる割合が 90%を超え、「雪の吹き込み」の発生率が極めて高い地域であることが判る。「吹きだまり」についても同様に、沿岸地域において高い傾向にある。

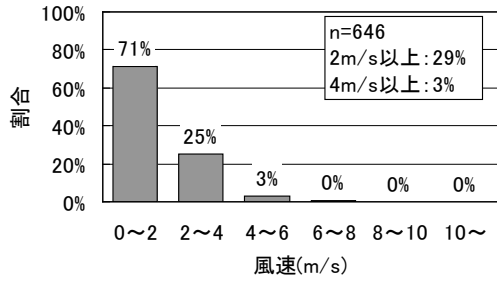
「雪庇」の発生には風速と共に降雪量も関係する。図 5-3 に 1、2 月の日降雪量(D)の発生割合を示す。雪庇が発生するしきい値は、日平均風速 2m/s 以上かつ日降雪量 10cm 以上であるので、図 5-2 と図 5-3 のデータを整理し、雪庇が発生する条件に該当する日数の割合を求めた。求めた割合を雪庇の発生率とし、表 5-2 に示す。各地点の雪庇の発生率を見ると、他地点に比べ降雪量の多い(d)岩見沢、(f)倶知安の発生率が高い。一方、降雪量が比較的少ない道東地方の(g)帯広、(h)釧路の発生率は低い。



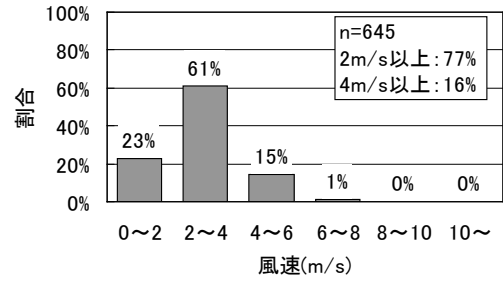
(a) 稚内



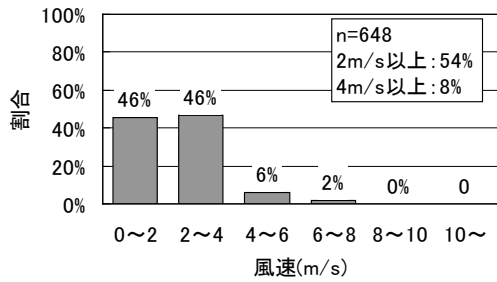
(b) 留萌



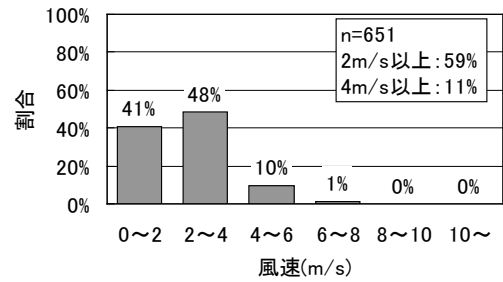
(c) 旭川



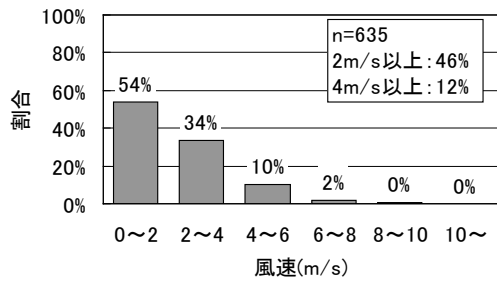
(d) 岩見沢



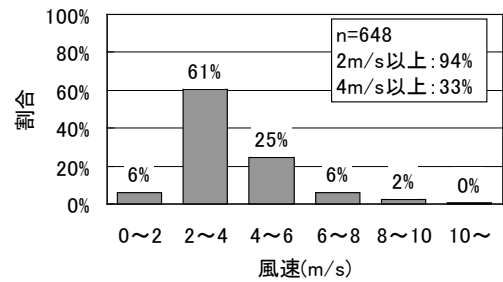
(e) 札幌



(f) 倶知安

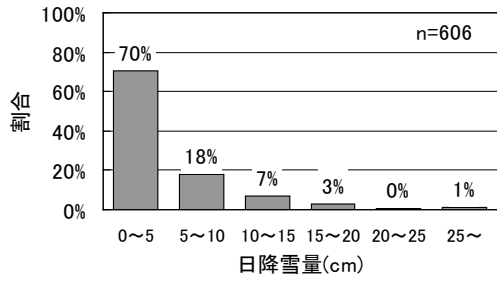


(g) 帯広

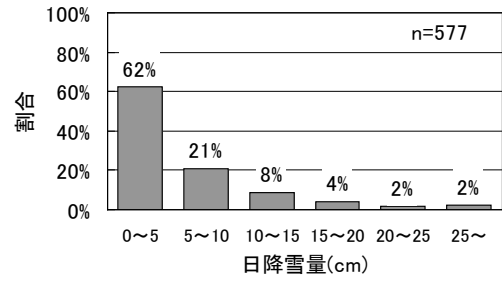


(h) 釧路

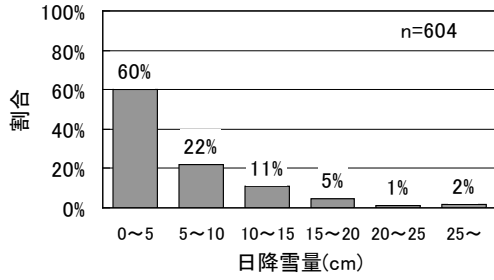
図 5-2 1,2 月の日平均風速の発生頻度分布(1997~2007)



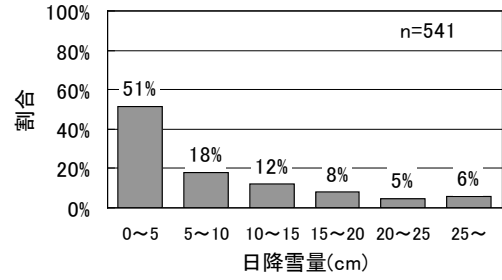
(a) 稚内



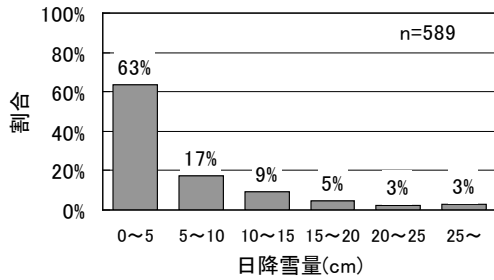
(b) 留萌



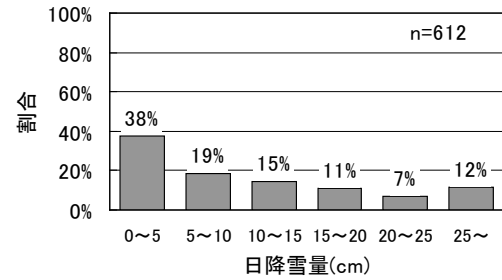
(c) 旭川



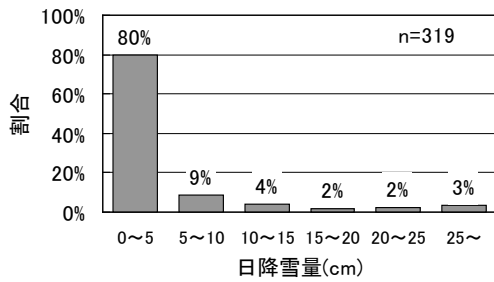
(d) 岩見沢



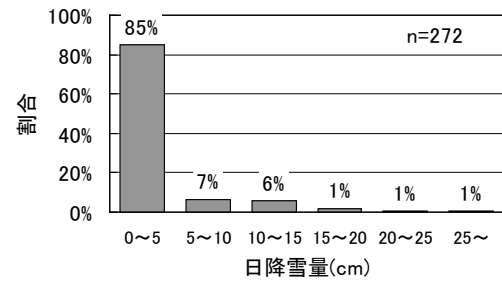
(e) 札幌



(f) 倶知安



(g) 帯広



(h) 釧路

図 5-3 1,2 月の日降雪量の発生頻度分布(1997~2007)

表 5-2 各地点における雪庇の発生率

地点名	データ数(n)	雪庇発生日数( $n_s$ ) ( $U \geq 2, D \geq 10$ )	雪庇発生率 ( $n_s/n$ )
(a)稚内	606	68	11%
(b)留萌	577	98	17%
(c)旭川	604	60	10%
(d)岩見沢	541	129	24%
(e)札幌	589	68	12%
(f)倶知安	612	187	31%
(g)帯広	319	12	4%
(h)釧路	272	23	8%

#### 4) 雪害による損失の算定

雪害による損失( $C$ )は、各地域の実状と雪の問題の内容に応じて定める必要がある。例えば、雪庇を処理するための屋根雪処理費用、雪の吹き込みや吹きだまりによる除雪作業量増加による経費などが想定される。このような除雪に伴う費用の算出が、費用対効果の観点から評価する上で最も合理的と考える。居住者の負傷や建物損傷に伴う費用については、事前に定量化するのが極めて困難であることからここでは取り扱わないこととする。

上村・梅村<sup>5-4)~5-6)</sup>は新潟県における雪処理の実態調査から、除雪費用の単価について建物周囲の除雪費を除雪面積と降雪量で除した値とし 164 円/( $m^2 \cdot m$ )、屋根の雪下ろし作業を除雪面積と回数で除した値とし 164 円/( $m^2 \cdot$ 回)とした。本単価は、新潟県における単価であるので、「一人当たり県民雇用者報酬(H17年度)」<sup>5-7)</sup>の比 1.1(北海道¥4,627,000/新潟¥4,165,000)により北海道の単価に修正すると、除雪単価( $Sp_s$ )は 180 円/( $m^2 \cdot m$ )、屋根雪処理単価( $Sp_r$ )は 180 円/( $m^2 \cdot$ 回)となる。

吹雪による「雪の吹き込み」や「吹きだまり」による除雪に関する損失費用( $C_s$ )を求める算定式を式(5-2)、「雪庇」の処理など屋根雪の雪害による損失費用( $C_r$ )の算定式を式

(5-3)に示す。除雪作業に伴う単価は、建築物の管理者が任意に設定可能であることから、各市町村の実状に応じた費用損失( $C$ )が算出できる。

降雪量( $Sf$ )については、各地点の年平均降雪量とする。雪庇の発生に伴う雪下ろしの回数については、既往の雪庇を対象とした屋外観測結果から<sup>4-4)</sup>、雪庇成長時における累積降雪量(2日間)の平均は 34cm と求まるので、降雪量 34cm 毎に雪庇の発生に伴う雪下ろしを行うこととする。雪庇による雪下ろし回数( $D$ )の算定は式(5-4)のようになる。

以上の結果、建設地の年平均降雪量が定まることにより、各建設地の建築物において雪処理作業が必要とされる 1  $m^2$ あたりの雪害による一冬の損失費用が算定できる。

吹雪による雪害の損失費用

$$(C_s) = Sp_s \times A_s \times Sf \quad (5-2)$$

屋根雪の雪害による損失費用

$$(C_r) = Sp_r \times A_i \times D \quad (5-3)$$

雪庇発生による雪下ろし回数

$$(D) = Sf / 0.34 \quad (5-4)$$

$Sp_s$ : 除雪単価(円/( $m^2 \cdot m$ )),  $Sp_r$ : 屋根雪処理単価(円/( $m^2 \cdot$ 回)),  $A_s$ : 除雪必要面積( $m^2$ ),  $Sf$ : 降雪量(m)、 $D$ : 雪下ろし回数(回)

前述の道内の 8 都市(稚内、留萌、旭川、岩

見沢、札幌、倶知安、帯広、釧路を対象として雪害による一冬の損失費用の算定結果を表5-3に示す。年平均降雪量は気象庁がまとめた平年値による。吹雪による雪害の損失費用は式(5-2)、雪庇の発生による雪下ろし回数は式(5-4)、損失費用は式(5-3)による。降雪量が多いほど、雪害による年間の損失費用が多い結果となっており、その差は最も多い「倶知安」と最も少ない「釧路」では、およそ3.7倍の開きがある。

#### 4) 道内各都市の建築物の雪害リスクの算定

式(5-1)、図5-2、表5-2、表5-3より道内各都市の建築物における「吹雪による雪害リスク」と「雪庇によるリスク」を算定すると表5-4のようになる。雪害リスク(R)は、各都市の建築物が一冬に被る雪害による損失の期待値であり、雪処理が必要とされる1㎡あたりの値である。表5-4より各都市の「雪の吹き込みのリスク」、「吹きだまりのリスク」、「雪庇のリスク」に関して除雪面積を変数として比較したものを図5-3～5-5に示す。各グラフの横軸は必要除雪面積(㎡)、縦軸はリスクの

大きさ(千円)である。

図5-3により「雪の吹き込みのリスク」について見ると、降雪量が比較的多く、風の強い留萌および稚内と降雪量が多い倶知安、岩見沢でリスクが高い。沿岸部で風が強いものの降雪の少ない釧路と降雪量が比較的多いが風の弱い旭川ではリスクが小さい。リスクが最も大きい留萌と最もリスクが小さい帯広を比較すると、約7倍の開きがある。

「吹きだまりのリスク」については(図5-4)、最もリスクが高いのは留萌で、続いて稚内である。「雪の吹き込み」と異なり、この2都市と他の都市との差が大きい。稚内と倶知安は「雪の吹き込みのリスク」は同程度であったが、「吹きだまりのリスク」については、2倍程度の開きがある。このように、吹雪を原因とする雪害リスクは、風と降雪量の両者が大きく影響していることが判る。

「雪庇によるリスク」を見ると(図5-5)、最もリスクが高いのは倶知安で次いで岩見沢であり、降雪量が多い地域でリスクが極めて高くなることがうかがえる。一方、降雪量の少ない道東の都市は、他の都市と比べリスクが

表 5-3 雪害による損失費用 (C)

地点名	年平均降雪量 (m)	吹雪による雪害の 損失費用(円/㎡)	雪庇の発生	
			雪下ろし 回数	損失費用(円/ ㎡)
稚内	6.97	1254.6	20.5	3690.0
留萌	7.36	1324.8	21.6	3888.0
旭川	7.56	1360.8	22.2	3996.0
岩見沢	7.94	1429.2	23.4	4212.0
札幌	6.30	1134.0	18.5	3330.0
倶知安	11.35	2043.0	33.5	6030
帯広	2.14	385.2	6.3	1134
釧路	1.87	336.6	5.5	990

表 5-4 道内各都市における建築物の雪害リスク (円/m<sup>2</sup>)

地点名	吹雪による雪害のリスク		雪庇によるリスク
	雪の吹き込み	吹きだまり	
稚内	1191.9	577.1	405.9
留萌	1311.6	1006	661.0
旭川	394.6	40.8	399.6
岩見沢	1100.5	228.7	1010.9
札幌	612.4	90.7	399.6
倶知安	1205.4	224.7	1869.3
帯広	177.2	46.2	45.4
釧路	316.4	111.1	79.2

低い地域と言える。

図 5-3～5-5 に示すように、建築物の必要除雪面積が増えることにより、雪害リスクが増大する。このようなことから、建築的雪対策を実施し必要除雪面積を減らすことによりリスクの低減が大幅に図られると考える。雪の問題は自然現象に起因するため発生率をゼロにするのは極めて困難であることから、建築物における雪対策は、雪害による損失を低減することを主眼に選定すべきである。すなわち、除雪面積を出来るだけ少なくする建築計画による雪対策や雪庇の発生による雪下ろし回数を減らす雪庇対策の実施が効果的であると考えられる。

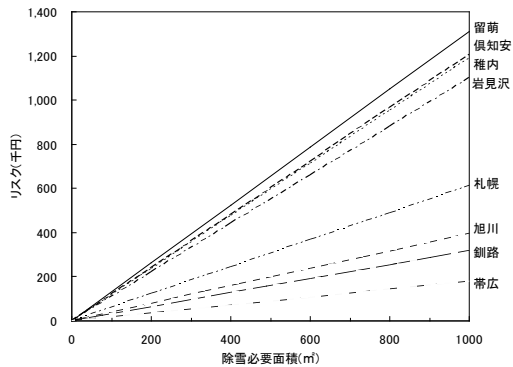


図 5-3 道内各都市の雪の吹き込みのリスク

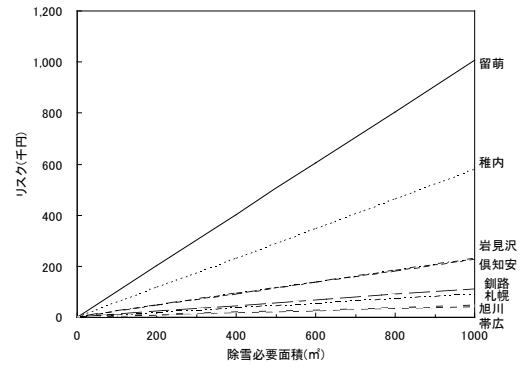


図 5-4 道内各都市の吹きだまりのリスク

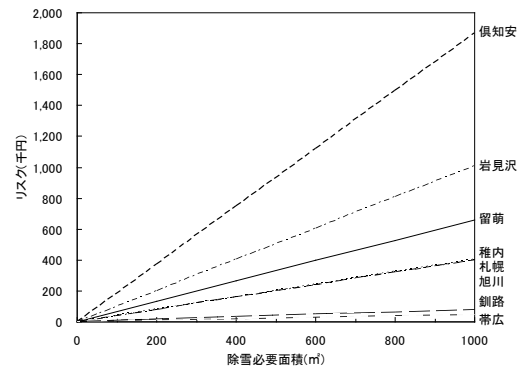


図 5-5 道内各都市の雪庇のリスク

## (5) ライフサイクルコストによる雪害リスク評価

前述のように、建築物における雪害リスクは複数の雪の問題によるリスクにより成り立っており、建築物の雪害リスク( $R$ )は、式(5-5)により個々の雪の問題によるリスクを合算することにより求められる(図 5-6)。

建築物の雪害リスク

$$R = \sum_{i=1}^n R_i = \sum_{i=1}^n (P_i \times C_i) \quad (5-5)$$

さらに、式(5-5)により合算した雪害リスク( $R$ )と建築物の供用年数との積である式(5-6)が、その建築物のライフサイクルコスト(LCC)の観点による雪害リスク  $LCC(R)$ となる<sup>5-1)</sup>。

LCC における雪害リスク

$$LCC(R) = \left( \sum_{i=1}^n R_i \right) \times T = \left( \sum_{i=1}^n P_i \times C_i \right) \times T \quad (5-6)$$

$LCC(R)$ : ライフサイクルコストにおける雪害リスク、  $T$ : 建物供用年数

一般に建築物の耐用年数は、耐火構造 70 年、準耐火構造 45 年(簡易耐火構造で 2 階建てのものを含む)、木造 30 年(簡易耐火構造で平家建てのものを含む)となっており、供用年数が進むにつれ、雪害によるリスクも増加することから、耐用年数に応じたリスク低減策を選定する必要がある(図 5-7)。

ライフサイクルコスト(LCC)の観点からの雪害リスク評価と雪対策の選定に関する試算例を図 5-8 に示す。試算では、札幌市の「雪の吹き込みのリスク」を対象とし、「無対策」、「ロードヒーティング」、「建築的雪対策(A)」、「建築的雪対策(B)」の比較を行った。

「無対策」については、対策が未実施であ

るので毎年の問題発生による損失コストの積算量となる。「ロードヒーティング」については、導入コストおよびランニングコストであり、「雪の吹き込み」による損失の発生はゼロとした。導入コストを灯油ボイラーのロードヒーティングの市場販売価格から 20,000 円/m<sup>2</sup><sup>5-8)</sup>、灯油価格を 78 円/L(2007 年 1 月時)とした<sup>5-9)</sup>。灯油の消費量については、札幌市の冬季の降水量を気象庁の平年値から 400mm<sup>5-10)</sup>、雪の潜熱 80kcal/kg、ロードヒーティングの効率 0.2、ボイラーの効率 0.8、灯油の発熱量 8900kcal/L とし算出した<sup>5-11)</sup>。その結果、一冬の灯油の消費量は 22.5 L/m<sup>2</sup>となった。

「建築的雪対策(A)」は、「雪の吹き込み」による損失を 80%低減する効果があるが、15,000 円/m<sup>2</sup>の整備費用を必要とする導入コストが比較的高い雪対策とし、「建築的雪対策(B)」については、5,000 円/m<sup>2</sup>の整備費用で済むが、「雪の吹き込み」による損失の低減効果が 50%である雪対策として試算した。

図 5-8 から「無対策」とそれぞれの雪対策について、供用年数の経過とコストの増加量の関係を比較すると、「ロードヒーティング」については、「雪の吹き込み」による問題が全て解決されるものの、コストが極めて高い結果となる。「建築的雪対策(A)」については、木造の建築物の耐用年数である 30 年で「無対策」と同額になり、その後は雪対策整備の費用対効果が高くなる。「建築的雪対策(B)」については、供用年数 20 年で「雪の吹き込み(無対策)」による損失と同額になるなど、供用年数 50 年以下では最も経済的である。

一方、供用年数が 50 年を過ぎると、「建築的雪対策(A)」のコストが最も低くなる結果となる。このことは、耐用年数が 45 年である準耐火構造の建築物までは、「建築的雪対策(B)」が LCC の観点から最も費用対効果が高

く、耐用年数 70 年の耐火構造になると「建築的雪対策(A)」が有利であると判断できる。建築物の建設管理を行う地方自治体にとって、総費用が少ないほど経済的であると判断できることから、このようなライフサイクルコストの観点から雪対策の費用対効果を評価することにより、合理的な施策の実施が可能になると考える。

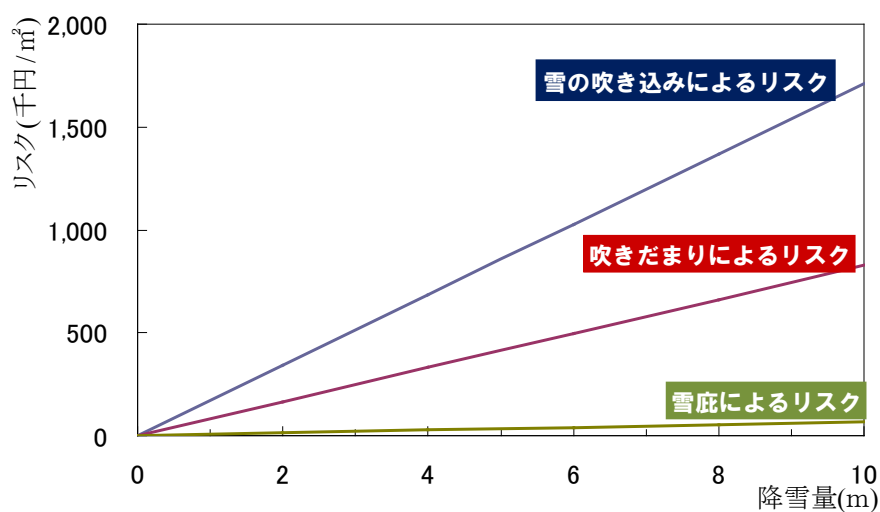


図 5-6 複数の雪の問題による建築物の雪害リスク(稚内)

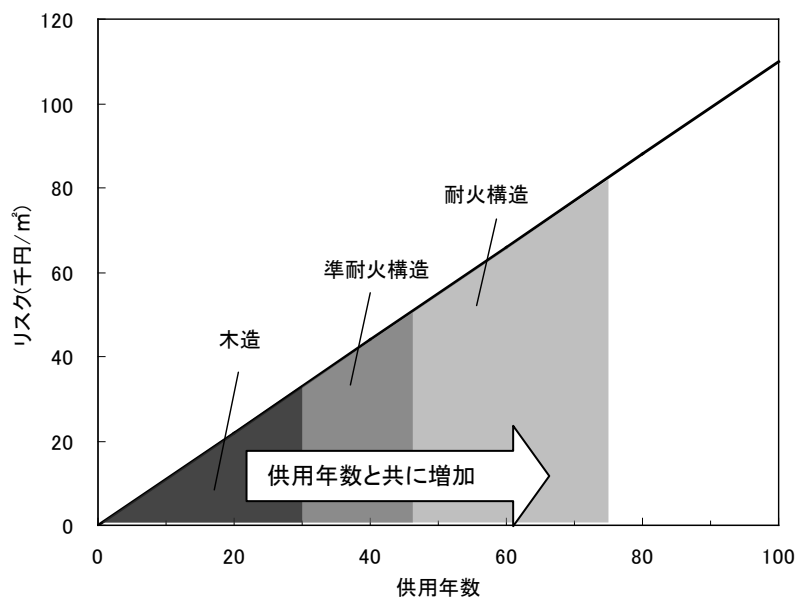


図 5-7 建築物の供用年数と雪害リスク



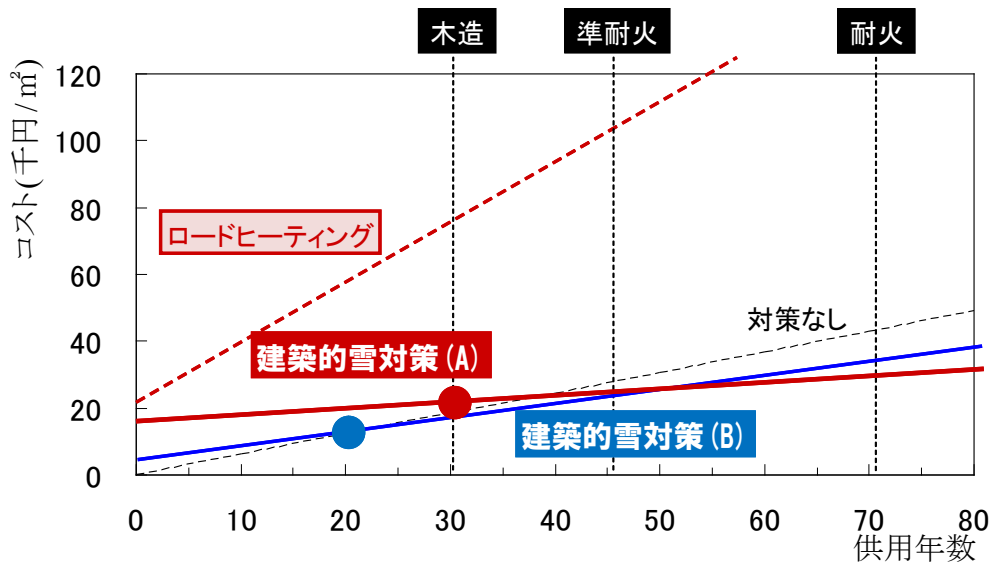


図 5-8 LCC の観点による雪害リスク評価と雪対策の選定

### 5) 雪害リスク評価の検討フロー

本項では、これまで検討を行った「雪害発生 の判別分析」と「雪害リスク評価」について、実際の建築物整備計画においてどのように活用するのかを述べる。建築物整備計画における雪害リスク評価の検討フローを図 5-9 に示す。検討の流れを以下に述べる。新たな建築物の立地場所および建設条件が定まった段階で、建設地の気象および建物の立地状況に関する統計データを用いて「雪害発生 の判別分析」を行い、建設地においてどのような雪害が発生するリスクが高いのかを把握する。既に、雪害の種類が判明している際には省略することも可能である。

次に、発生が予想された雪害に対して、「雪害リスク評価」を行い、損失期待値を算定する。建築物管理者は、雪害リスクの大きさに応じて、雪対策の実施に関する判断を行う。雪対策を実施する際には、ライフサイクルコストおよび費用対効果の観点から選定を行う。

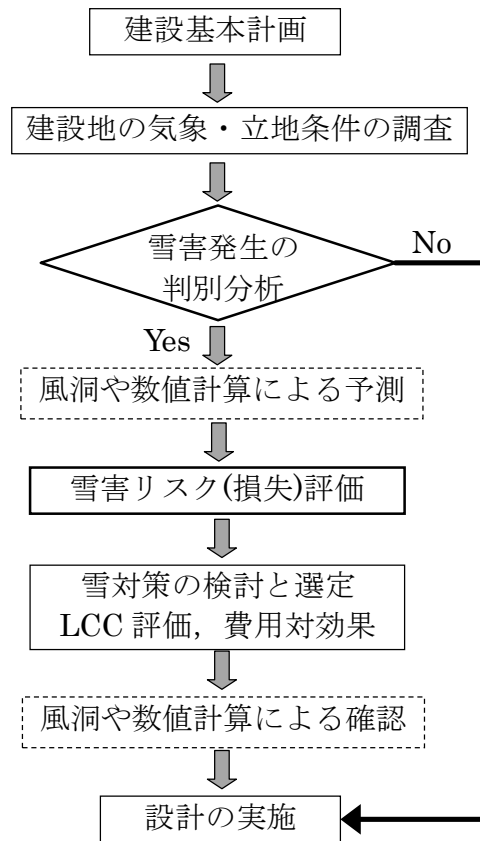


図 5-9 雪害を対象としたリスクマネジメントの流れ

## [参考文献]

- 5-1) 星谷勝, 中村孝明: 地震リスクマネジメント, 山海堂, 2002.4
- 5-2) 堤 拓哉, 高橋章弘, 千葉隆弘, 苫米地 司: 北海道の建築物における雁木空間の雪対策について, 日本建築学会計画系論文集, No.612 pp.43-47, 2007.2
- 5-3) 老川進, 苫米地司, 石原猛: モデル建物近傍における積雪深の日別観測, 日本雪工学会誌, Vol.15, No.4, pp.3-11, 1999.10
- 5-4) 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, No.9, Vol.1, pp.17-26, 1990.
- 5-5) 上村靖司, 梅村晃由: 豪雪都市の雪害度に関する研究—第2報, 大雪年と小雪年の長岡市の用途地域別の雪害度—, 自然災害科学, No.11, Vol.3, pp.145-156, 1992.
- 5-6) 上村靖司, 山之内洋明, 梅村晃由: 豪雪都市の雪害度に関する研究—第3報, 雪害度計算の精度向上と十日町市街地の雪害度—, 自然災害科学, No.14, Vol.1, pp.77-86, 1995.
- 5-7) 内閣府経済社会総合研究所: 県民経済計算年報(平成19年版), 2007.6
- 5-8) 北海道融雪工業会: <http://www.yukidoke.jp/>
- 5-9) 財団法人日本エネルギー経済研究所石油情報センター: 民生用灯油価格調査資料, <http://oil-info.ieej.or.jp/price/price.html>
- 5-10) 気象庁: 平年値(統計期間 1971~2000年), (財)気象業務支援センター, 2001
- 5-11) 月館司: 民生用ロードヒーティングの制御に関する検討, 空気調和・衛生工学会論文集, No.81, pp.39-44, 2001

## 6. まとめ

本研究では、雪国に建つ建築物を対象に、雪害によるリスクの評価手法を検討し、これまで検討されていない雪害リスクマネジメントを構築した。研究結果を以下に要約する。

- 1) 豪雪地帯の市町村を対象としたアンケート調査の結果、雪害の内容は地域および気象条件によって異なることが明らかになった。
- 2) 北海道における現状分析結果を対象に各市町村の最深積雪深、吹雪指数および建物密度を説明変数とした雪害発生の判別分析を行い、建築物の雪害発生を確率的手法により判別できることを示した。
- 3) 損失期待値による雪害リスク評価法を検討し、気象データの分析から雪害の発生率を求め、降雪量により雪害による損失を算定することにより、雪害によるリスクを定量化できることを示した。また、道内主要都市を対象に雪害リスクの試算を行った。
- 4) ライフサイクルコストの観点による雪害リスク評価を行うことにより、建築物整備において費用対効果の高い雪対策の選定が行えることを示した。
- 5) 雪害リスク評価手法を実際の建築物計画で活用するための「雪害リスク評価フロー」を示した。

今後、本研究結果の精緻化と実務での応用に向けた検討を引き続き進める予定である。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

堤拓哉：吹雪に伴う居住環境障害，日本流体力学学会誌，Vol.28，pp.449-454，2009

堤拓哉：建築分野における吹雪研究の現状，日本雪氷学会誌，No.71，pp.115-124，2009

堤拓哉：平成 23 年大雪による北海道の雪害状況，日本雪工学会誌，Vol.27，No.2，2011/06/13

〔学会発表〕(計 6 件)

上井優，苫米地司，千葉隆弘，堤拓哉：豪雪地帯市町村における雪害の実態とその対策に関する研究，日本建築学会学術講演梗概集，B-1，pp.225-226，2010

上井優，苫米地司，千葉隆弘，堤拓哉：豪雪地帯市町村における雪害の実態とその対策に関する研究，日本建築学会北海道支部研究報告集 No.83，pp.399-402，2010

上井優，苫米地司，千葉隆弘，堤拓哉：豪雪地帯市町村の雪害対策に関する研究-各気象観測地点の累年平均積雪積算値とその変動について-，2010 年度雪氷研究大会講演要旨集，pp.125，2010

堤拓哉，阿部佑平，高橋章弘：2010/2011 冬期における北海道の降積雪と人身雪害，2011 年度(社)日本雪氷学会北海道支部研究発表会，2011

阿部佑平，堤拓哉，高橋章弘：平成 23 年大雪による北海道の雪害状況について，日本建築学会北海道支部研究報告集，No.84，pp.43-46，2011

阿部佑平，堤拓哉，高橋章弘：平成 23 年大雪による北海道の雪害状況，日本建築学会学術講演梗概集，B-1，2011

〔図書〕(計 1 件)

日本建築学会(共著)：「雪と建築」，技報堂出版，2010

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0 件)

○取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.nrb.hro.or.jp/>

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

堤拓哉

地方独立行政法人北海道立総合研究機構・建築研究本部北方建築総合研究所環境科学部・研究主任

研究者番号：4 0 4 6 2 3 4 5