

## 積雪寒冷地における気候変動の影響評価と適応策に関する研究 III

### — 冬および雪の変化に関する気候変動影響の分類 —

## Assessment of Climate Change Impacts and Adaptation Measures in Cold, Snowy Regions III

### — Classification of climate change impacts in winter and in snow —

#### ABSTRACT

野口 泉\*・鈴木 啓明\*・山口 高志\*  
長谷川 祥樹\*・大屋 祐太\*・芥川 智子\*\*  
小野 理\*\*\*・濱原 和広\*\*\*\*

NOGUCHI Izumi\*, SUZUKI Hiroaki\*  
YAMAGUCHI Takashi\*, HASEGAWA Yoshiki\*  
OHYA Yuta\*, AKUTAGAWA Tomoko\*\*  
ONO Satoru\*\*\*, HAMAHARA Kazuhiro\*\*\*\*

受付：2024年1月12日

受理：2024年2月29日

\* 環境保全部水環境保全グループ  
\*\* 研究推進室研究調整グループ  
\*\*\* 循環資源部  
\*\*\*\* 元 エネルギー・環境・地質研究所

Corresponding Author NOGUCHI Izumi  
izumi@hro.or.jp

“Assessment of Climate Change Impacts and Adaptation Measures in Cold, Snowy Regions”, funded by the Environment Research and Technology Development Fund (JPMEERF20202009), was conducted to facilitate adaptation strategies for snow changes associated with climate change in Hokkaido. Consequently, a list of impacts associated with climate change became necessary to consider adaptation measures for local communities. Thus, this study classified impacts concerning changes in winter and snow, including not only direct impacts but also indirect chained impacts. In addition, adaptation measures for them and research needs to introduce adaptation measures were also discussed.

*Keywords: Climate Change, snow, winter, adaptation*

#### はじめに

北海道の降雪・積雪に注目し、気候変動の影響とその適応を研究することを目的に、環境研究総合推進費 (JPMEERF20202009)「積雪寒冷地における気候変動の影響評価と適応策に関する研究 (2020-2022 年度)」を実施した<sup>1)</sup>。その結果、近年の降雪・積雪の変化傾向を明らかにし、雨や霰が増え、湿った重い雪が増える傾向にあることや融雪・再凍結を繰り返すゼロクロッシング日数 (1 日の内に最高気温が 0℃以上で最低気温が氷点下となる日数) が増加することなどを報告してきた<sup>2),3)</sup>。さらにその直接的影響の他に、影響の連鎖による間接的影響も重要となることも報告してきた<sup>4),5)</sup>。しかし、研究目標の一つである適応策提案においては、国立環境研の適応策データベースで 207 件の報告があるが (2024 年 2 月 20 日現在)<sup>6)</sup>、様々な分野を対象としていること考えると十分ではない。また適応策データベースに示されている積雪寒冷地の雪に関連する適応策は、雪割りによる野良イモ防除<sup>7)</sup>、大雪山国立公園における高山植生の保

全調査に関するもの<sup>8)</sup>の 2 件だけである。これらのことから、適応策の候補となる施策・技術等について、既に導入されているもの、まだ導入されていないが開発中のもの、今後の導入に向けて開発が期待されるものなど、情報を収集・整理する必要があると考えられた。そこで、本報では直接的影響だけでなく、連鎖する影響を含めた雪および冬の変化に関する気候変動影響の分類を行い、それに関する適応策の可能性があるもの、または適切な対策がない場合は研究開発のニーズについてまとめた。

#### 解析方法

雪および冬の変化に関する気候変動影響については、論文、新聞記事および Web など、1881 件の情報を収集した。その結果から、外力などによる項目を基に、様々な影響を表に示す 13 分野に分類した。

表 雪の変化に関して起こりえる気候変動の直接および間接的影響の分類

Table Classification of direct and indirect impacts becoming apparent due to climate change in winter and of snow.

1	雪不足	スキー場閉鎖、ちり煙霧、農地土壌飛散、防寒・耐寒、渇水、人工雪問題(エネルギーコスト、CO2排出、環境汚染)
2	生態系影響	冬眠、移動に関する異常行動(クマ、イノシシ、カラス、ヤマネ)、雪下繁殖(ネズミ)、氷板形成による餌不足(雪下植物捕食、貯食行動の動物)、保護色無効(ライチョウ、ユキウサギ)、乾燥化、スキー場などの生息域変化、湖の循環不足
3	寒波	低温による魚の大量死、農作物被害(霜害、ひょう害)、凍裂、寒波による動物への被害、健康影響、ヒートショック、水道凍結・事故、車のドア開閉・エンジン始動トラブル
4	雪質	濡れ雪増加、パウダースノーの喪失、つるつる路面、スタック、藻類・黄砂・汚染物質・微生物混入、ごみ・タイヤ屑による汚染
5	雪崩	暖気による融解による発生頻度の増加、集落孤立、道路・橋の破損、事故発生
6	融雪	暖気による融解、アイスジャム、水害、土砂崩れ、泥流、融雪時期の前倒し、虫害発生、シカの市街地侵入
7	雪害	ハウス倒壊、牛舎倒壊、枝折れ、冠雪、病虫害、倒木、着雪荷重、塩雪害による停電、停電による電車の立ち往生、倒木や通行止めによる集落孤立、倒木による家屋や車の被害、停電、工場・倉庫・車庫・仮屋根・アーケード・空き家の倒壊、つらら・落雪による窓ガラス破損、ガス器具・エアコン室外機の破損、標識・信号などの視認不良、落雪による交通事故、PV発電妨害、墓の破損・倒壊
8	除雪	除雪不足、置き雪、高齢・病気による除雪不足、私道除雪、重い雪による除雪障害、除雪トラブルで喧嘩・傷害、法律違反(道路へ排雪、氷割による交通妨害)、雪かき器具等の適応不足、雪害対策の技術不足、除雪機の不適切使用、除雪作業員・除雪車の不足、技術不足、土壌凍結不足(野良イモ)、腰痛誘発、運動不足、除雪・排雪から融雪への転換(重く湿った雪への対応)、融雪設備(消雪用の用水路、池、流
9	事故	雪下ろし事故、除雪・落雪事故、暴風雪事故
10	再凍結	つるつる路面による転倒事故、ポットホール
11	交通	つるつる路面・凸凹・シャーベット・スタックによる事故発生、緊急車両・公共交通機関の障害、地吹雪・ホワイต์アウトによる視界不良、事故要因(雪山による視界不良、道幅減)、自転車使用、バスなどの冬の移動停滞、凍結防止剤によるさび・植物影響、自動運転の能力不足、雪道運転方法の開発、情報不足による遅滞、法律違反、流通遅滞、ごみ収集遅滞、献血不足、電車の切り替え装置不良、滑走路情報不足、電車の大雪時の運行トラブル
12	大雪	立ち往生時のEVの電力不足・ガソリン車のCO中毒、人流・物流ストップ、避難経路が確保できない・外出できない・車を動かさないこと、家回りの点検不足による事故
13	利活用	雪氷資源減少、漂白・熟成・保存効果の減少、スノーリゾート減少、ウィンタースポーツ人口減、アート&イベント減、自然現象の発生頻度減少(観光資源の減少)、残雪の景観変化、雪のある景色の喪失、情緒の喪失(文学・歴史)

## 結果と考察

以下に分類した13分野について示す。

### 1) 雪不足

降雪及び積雪が減るとスキー場では営業日数が減る。本州では閉鎖するスキー場も出てきている。北海道は本州以南に比べると降雪量の減少割合は相対的に小さいと予測されており<sup>9)</sup>、雪がなくなる心配は小さく、北海道の雪の価値が相対的に高まることが考えられ、大きなスキーリゾートなどでは必ずしもマイナスだけではないが、ジャパウと呼ばれるパウダースノーの減少などの雪質の低下が懸念されている<sup>10), 11)</sup>。対策としては、人工雪の導入などが考えられるが、雪質の問題やエネルギーコストや環境汚染なども懸念される<sup>12)</sup>。札幌雪まつりなどの冬季イベントの開催においても雪不足は重要な問題であり、遠隔地からの雪の輸送などが必要になることも考えられている<sup>13)</sup>。

また十勝地方などでは積雪が少ないと発生するちり煙霧が最近では冬にもみられるようになり<sup>14)</sup>、肥沃な畑の土壌の飛散、また視界不良による交通事故が懸念されており、対策として近年は減少してきている防風林の見直しなどが考えられる。

### 2) 生態系影響

大雪山国立公園における高山植生の保全においては雪解けの早期化によるササの拡大の影響が報告され、ササの刈り取りなどの対策が行われた<sup>8)</sup>。また積雪の減少などに伴う野生動物の北上など<sup>15)</sup>、行動の変化により農業や生活への被害の拡大が懸念されることから、これまでの被害地域からの技術移転などが必要となる。また雪上で保護色となる白い冬毛のライチョウやユキウサギは積雪がないと逆に目立つ状況となることから<sup>16)</sup>、捕食者による個体数減少に注意が必要である。なお、今後の雪の減少に伴い、スキー場は減少することが想定されるが、一度造成されたスキー場はチョウ類の保全に寄与しているという報告もあり<sup>17)</sup>、生物多様性への影響についてはこのような研究知見も考慮したい。

### 3) 寒波

温暖化の過渡期には、北極海の海水の減少が、日本を含む中緯度域の寒冷化に寄与する事例があることが報告されているなど<sup>18)</sup>、気候変動は、極端現象による変動幅が大きくなる側面があり、当面は寒波による影響も考える必要がある。イワシの大量死などは様々な原因があるが、北海道の稚内では低水温が原因となった場合が報告されている<sup>19)</sup>。また新潟などで2023年に多発した水道凍結および漏水事故については、より寒冷地からの技術移転も考えたい。また、寒さに弱い子牛などの場合、畜舎の暖房などの様々な防寒対策も必要となる。

### 4) 雪質

北海道では冬季に雨、みぞれ、湿り雪など、傘を要するような降水形態が長期的に増えつつあり<sup>2)</sup>、靴も防寒だけではなく、防水性の優れたものが求められるようになっている。

また雪中には様々な大気汚染物質などが含まれており、日射や蒸発散により新たな大気汚染の原因となるガス成分の放出も報告されている<sup>20)</sup>。

### 5) 雪崩

急激な気温上昇や降雨などは雪崩発生の注意を促す条件となっている。北日本では温暖化が進んだ将来、全体的に雪崩の発生頻度は減少するが、地域によっては規模が大きくなる場合もあるとの予測がある<sup>21)</sup>。

### 6) 融雪 / 暖気

気温の急激な上昇による融雪や降雨は水害を引き起こす原因にもなる。特に川の中で氷が詰まって流れをせき止めるアイスジャム現象の発生は被害の拡大が懸念される<sup>22)</sup>。また山形県の事故のように<sup>23)</sup>、大雪の後の降水による大量の雪解け水による土砂災害にも注意が必要である。

融雪時期の前倒しはスキー場にとってはマイナスだが、ゴルフ場にとってはプラスになり、農業期間も長くなるが<sup>24)</sup>、虫害の発生などにも注意が必要となる。

暖気の流入機会の増加は、雪まつりなどのイベントや屋外のスケートリンクへの影響が懸念される<sup>25)</sup>。

### 7) 雪害

降雪および積雪は減少するケースが多いが、大雪の回数は増える場合も予想されている<sup>26)</sup>。雪の重みに関しては、人が住んでいる住宅の倒壊はほとんどないが、空き家や倉庫、ビニールハウス、牛舎、仮屋根、アーケードなどの破損・倒壊の報道があり<sup>27), 28)</sup>、どの程度の荷重で事故が発生するのかといったさらなる検討が必要となる。また着雪に関しては、信号や道路標識の認識阻害、太陽光パネルの発電量低下、電線などへの着雪や倒木、塩雪害などによる停電の影響が懸念されており<sup>29), 30)</sup>、着雪防止技術などの研究が必要である。

### 8) 除雪

地域社会での道路などの除雪は、国や都道府県、および市町村などで行われている。長期的には除雪・排雪量は減少すると想定されるものの、大雪に対する備えは不足している。雪捨て場および排雪経路の確保や、作業員の高齢化・人員および技術不足などが問題となる<sup>31)</sup>。また人口とともに減少する税収による資金不足、そのため十分な除雪ができないことや助成金削減などにより町内会や個人への負担が増えることが考えられる。さらに個人では、高齢化による除雪作業の負担増などが問題となっており<sup>32)</sup>、濡れた重い雪の増加はこの問題をより深刻にする。これらの対策として、近年、精度がかなり高くなっている除雪車の自動運転化が考えられる<sup>33)</sup>。また下水熱の利用などによる融雪などの技



術開発も期待される<sup>34)</sup>。家庭の除雪では、除雪機や除雪器具開発、アシストスーツの活用、地域の共助やボランティアなども有効であるが<sup>35), 36)</sup>、少子高齢化が進む中では、限度があり、公共サービスの効率化の他、コンパクトシティ化、集落再編などの総合的な対応が求められる。

## 9) 事故

雪下ろし、落雪などの事故が、多い年には全国で年間1000件以上発生し、100人以上が亡くなっており、死亡事故の約8割は65歳以上の高齢者である<sup>37)</sup>。北海道の場合は建築基準が厳しく、屋根の雪下ろしはほぼ必要ないこと<sup>38)</sup>などの情報の提供が必要であるとともに、また暖気流入時の注意喚起や近所の声掛けや見回りなどが有効である。

## 10) 再凍結

暖気後の寒気や1日の内に融解・再凍結する機会が増え、つるつる路面による転倒事故により、札幌では重傷を負う高齢者の割合が増え<sup>39)</sup>、高齢者は一度の転倒事故で寝たきりになることもあり<sup>40)</sup>、外出を控えることにより運動不足による悪影響が懸念されることにもなる。転倒事故で安全配慮義務違反に問われた例もあり<sup>41)</sup>、融雪設備の設置や砂をまくなどの滑り止めなどの対策が望まれるが、滑りにくい靴などの個人的な対策も有効である。

また溶けた水が再凍結を繰り返すことで道路の亀裂が押し広げられ作られるポットホールと呼ばれる道路の穴の発生が増えることが予測される<sup>3), 42)</sup>。ポットホールは車のタイヤパンクや故障だけでなく、バイクや自転車の転倒事故も引き起こし、時には道路管理者の責任も問われる場合もある<sup>43), 44)</sup>。速やかな道路補修が必要であり、補修方法の開発が必要である<sup>45)</sup>。

## 11) 交通

前述したように、降雪および積雪は減少する機会が多いが<sup>2)</sup>、大雪の回数は増える場合も予想されている<sup>26)</sup>。そのため、立ち往生の発生や吹雪による視界不良（ホワイトアウト）による事故発生などの道路環境の悪化は増加する可能性がある<sup>46)</sup>。さらに大雪は線路や飛行場における障害も引き起こす。これら交通網での除雪体制の強化は難しく、雪を解かず設備の導入も費用的に限定的と思われる。代替交通機関の提案も考えられるが<sup>47)</sup>、交通情報のリアルタイム情報の提供、適切な通行禁止による混乱の回避が費用的に現実的な方法と考える。

また積雪期間が短くなり、積雪期であっても融雪が生じやすくなることで、タイヤ交換時期の判断が難しくなることが考えられる。降雪時でも雨天時でも使用でき、交換の不要なタイヤの開発は、こうした状況への適応策になると考えられる<sup>48)</sup>。

## 12) 大雪

大雪が増える地域では、前述した交通障害の他、これまで必要なかった家庭でのストーブの排気口やエアコン室外機の

除雪などが必要となる場合が考えられる<sup>49)</sup>。また車のマフラーが雪に覆われる一酸化炭素中毒にも注意が必要である<sup>50)</sup>。EVが普及すると一酸化炭素中毒の危険性はないが、重量が増えることによる止まりにくい、スタックしやすいなどの悪影響やバッテリー容量に不安があることに注意を要する<sup>51)</sup>。

## 13) 利活用

雪冷房などの雪冰冷熱の利用<sup>52)</sup>が期待されるが、降雪及び積雪の減少に伴う資源減少の影響も考える必要がある。

雪下や雪室などの中で野菜やコーヒー、日本酒の熟成を行うことや<sup>53), 54)</sup>、雪の上に晒して漂白効果などに利用<sup>55)</sup>する価値は、地域の特産物や歴史・文化においても重要である。しかし、雪を運んでくるなどの対応もあるが<sup>56)</sup>、積雪減少に対する適応策の提案は難しい。

樹氷や湖の結氷は見られる間は観光資源になるが<sup>57), 58)</sup>、将来はあまり見られなくなる場合も増えることが予想される。過渡期の地域振興策としては、今しか見られない希少価値をPRしていく方法も考えられる。

## おわりに

気候変動適応法の施行に伴い、都道府県及び市町村は、その区域における自然的、経済的、社会的状況に応じた適応策を推進するための計画を策定する努力義務を負い、近年、計画策定が進んでいる。当面は、環境省が示した策定マニュアルを活用するなどして<sup>59)</sup>、温暖化対策や環境保全の個別計画として策定することが想定されるが、本来、地域における気候変動適応は、地域の将来像を総合的に検討することと切り離せないものである。従って将来的には、部局の垣根を越え、総合的な地域づくり・まちづくりの計画に適応の視点を組み込んでいくことを提案したいと考えている。しかしながら、気候変動においては、積雪寒冷地の冬、雪に関する影響だけでも多くの直接および間接的影響が考えられ、その影響は、気温や雪の量、さらには地域社会の状況によって種類や程度も異なり、優先的に対策に取り組む事例も異なる。また、コスト負担や活用できる地域資源によっても適応策の選択肢は異なり、千差万別の適応策が考えられる状況にある。さらにその適応策もすでに導入されたものや論文化など科学的に検討された確実性の高いものから、開発中のもの、今後の導入に向けて開発が期待されるものなど、信頼性にも濃淡がある。今後、本研究成果を基に、直接および間接的影響に応じた適応策候補を挙げ、その信頼性についての評価を行うなどのデータベース作成を行いたい。

## 謝辞

本研究は環境研究総合推進費（JPMEERF20202009）により実施した。

## 引用文献

- 1) 環境研究総合推進費研究課題データベース, [https://www.erca.go.jp/suishinhi/seika/db/search.php?research\\_status=ing](https://www.erca.go.jp/suishinhi/seika/db/search.php?research_status=ing) (2024/2/20 アクセス).
- 2) 野口 泉, 山口高志, 濱原和広, 芥川智子, 鈴木啓明, 長谷川祥樹, 小野 理, 2021, 北海道における気候変動に関する研究 - 降雪・積雪の変化傾向 -. 第 37 回寒地技術シンポジウム論文集, 81-84.
- 3) 野口 泉, 濱原和広, 芥川智子, 山口高志, 鈴木啓明, 長谷川祥樹, 小野 理, 2022, 積雪寒冷地における気候変動の影響評価と適応策に関する研究 II - ゼロクロッシング日数の変化とそれに伴う適応策について -. 北海道立総合研究機構エネルギー・環境・地質研究所報告, 2, 27-34.
- 4) 野口 泉, 濱原和広, 芥川智子, 山口高志, 鈴木啓明, 長谷川祥樹, 小野 理, 2021, 積雪寒冷地における気候変動の影響評価と適応策に関する研究 I - 降雪・積雪の変化の影響 -. 北海道立総合研究機構エネルギー・環境・地質研究所報告, 1, 69-74.
- 5) Suzuki, H., Noguchi, I., Hamahara, K. and Yamaguchi, T., 2022, Impact of climate change on snow and lifestyle in winter Hokkaido, Japan. The 36th International Symposium on the Okhotsk Sea & Polar Oceans.
- 6) 国立研究開発法人国立環境研究所, 気候変動適応情報プラットフォーム (A-Plat), <https://adaptation-platform.nies.go.jp/db/measures/index.html#abroad> (2024/2/20 アクセス).
- 7) Hirota, T., Usuki, K., Hayashi, M., Nemoto, M., Iwata, Y., Yanai, Y., Yazaki, T., Inoue, S., 2011, Soil frost control: agricultural adaptation to climate variability in a cold region of Japan. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Change*, 16, 791-802.
- 8) Kudo, G., Kawai, Y., Amagai, Y. and Winkler, D.E., 2016, Degradation and recovery of an alpine plant community: experimental removal of an encroaching dwarf bamboo. *Alpine Botany*, 127, 75-83.
- 9) Kawase, H., Murata, A., Yamada, K., Nakaegawa, T., Ito, R., Mizuta, R., Nosaka, M., Watanabe, S. and Sasaki, H., 2021, Regional Characteristics of Future Changes in Snowfall in Japan under RCP2.6 and RCP8.5 Scenarios. *SOLA*, 17, 1 - 7, doi:10.2151/sola.2021-001.
- 10) Katsuyama, Y., Inatsu, M. and Shirakawa, T., 2020, Response of snowpack to +2 °C global warming in Hokkaido, Japan. *Journal of Glaciology*, 66, 83 - 96. DOI: <https://doi.org/10.1017/jog.2019.85>.
- 11) 環境省, 2020, 気候変動適応における広域アクションプラン 気候変動による降水の変化等に伴う北海道内の事業活動への適応. [https://adaptation-platform.nies.go.jp/moej/action\\_plan/file/hokkaido/02-01.pdf](https://adaptation-platform.nies.go.jp/moej/action_plan/file/hokkaido/02-01.pdf) (2024/2/20 アクセス).
- 12) Loughborough University, 2022, Slippery Slopes -How Climate change is Threatening the Winter Olympics-, [https://www.sportecology.org/\\_files/ugd/a700be\\_9aa3ec697a39446eb11b8330aec19e30.pdf](https://www.sportecology.org/_files/ugd/a700be_9aa3ec697a39446eb11b8330aec19e30.pdf).
- 13) 環境省・農林水産省・国土交通省, 2020, 地域適応コンソーシアム事業 気候の変化や極端な気象現象による観光業への影響に関する調査, <https://adaptation-platform.nies.go.jp/conso/report/1-4.html> (2024/2/20 アクセス).
- 14) 十勝毎日新聞, 2020, 冬に初の「ちり煙霧」を観測. <https://kachimai.jp/article/index.php?no=496193> (2024/2/20 アクセス).
- 15) 朝日新聞デジタル, 2021, イノシシ「北上」で被害急増 目撃されなかった青森にも. <https://www.asahi.com/articles/ASP4K6T7XP49ULUC00K.html> (2024/2/20 アクセス).
- 16) 国立環境研究所地球環境研究センター, 2015, 絶滅危惧種ライチョウの衣食住から考える—温暖化が高山生態系に与える影響—. 地球環境研究センターニュース, <https://www.cger.nies.go.jp/cgernews/201509/298003.html> (2024/2/20 アクセス).
- 17) Oki, K., Soga, M., Amano, T. and Koike, S., 2022, Abandonment of ski pistes impoverishes butterfly communities. *Biodiversity and Conservation*, 31, 2083-2096.
- 18) Nishii, K., Taguchi, B., Mori, M., Kosaka, Y., Nakamura, H., 2022, Arctic Sea Ice Loss and Eurasian Cooling in Winter 2020-21. *SOLA*, 18, 199-204.
- 19) 読売新聞, 2022, あまりの寒波, イワシも衰弱死か… 海岸に大量打ち上げ, <https://www.yomiuri.co.jp/national/20220125-OYT1T50066/> (2024/2/20 アクセス).
- 20) Chen, Q., Edebeli, J., McNamara, S.M., Kulju, K.D., May, N.W., Bertman, S.B., Thanekar, S., Fuentes, J.D and Pratt, K.A., 2019, *ACS Earth Space Chem.* 2019, 3, 5, 811-822.
- 21) Katsuyama, Y., Katsushima, T., Takeuchi, Y., 2022, Large-ensemble climate simulations to assess changes in snow stability over northern Japan. *Journal of Glaciology*, DOI: 10.1017/jog.2022.85p.
- 22) 横山洋, 吉川泰弘, 伊波友生, 矢部浩規, 2020, 2020年3月に発生したアイスジャムの現地調査および発生リスクの評価, 土木学会論文集 B1 (水工学) . 76, I\_157-I\_162.
- 23) 朝日新聞デジタル, 2023, 山形県鶴岡市の土砂災害「雪解け水の水圧で崩壊」 現場調査した識者. <https://www.asahi.com/articles/ASR166V7BR16UTIL01Y.html> (2024/2/20 アクセス).
- 24) 中央環境審議会 地球環境部会 気候変動影響評価等小委員会, 2015, 日本における気候変動による影響に関する評価報告書.
- 25) 北海道新聞, 2024, 支笏湖氷濤まつり 高温で氷像解け 中止 開催期間 1 2 日残し. <https://www.hokkaido-np.co.jp/article/974956/> (2024/2/20 アクセス).

- 26) 川瀬宏明, 2019, 地球温暖化が日本の雪に及ぼす影響. 農業および園芸, 94, 296-304.
- 27) 北海道新聞, 2022, 雪の重みで仮設屋根崩落か 作業員男性死亡 札幌市豊平区の小学校. <https://www.hokkaido-np.co.jp/movies/detail/6292517404001/> (2024/2/20 アクセス).
- 28) 北海道新聞, 2021, 空知で気温上昇 岩見沢市などで雪の重みによる建物の倒壊相次ぐ. <https://www.hokkaido-np.co.jp/movies/detail/6237400366001/> (2024/2/20 アクセス).
- 29) 寒地土木研究所 雪氷チーム, 2008, 道路標識の着雪・落雪対策について. 寒地土木研究所月報 2008年3月, 658, 45-48.
- 30) 北海道新聞, 2023, 電線の着雪対策 全道125カ所に 紋別大規模停電1年 北電が再発防止. <https://www.hokkaido-np.co.jp/article/957071/> (2024/2/20 アクセス).
- 31) 北海道新聞, 2023, 進む除雪作業員の高齢化 不規則な労働時間, 若手敬遠 撤退の業者も. <https://www.hokkaido-np.co.jp/article/945302/> (2024/2/20 アクセス).
- 32) 毎日新聞, 2024, 「老々除雪」札幌の危機感 スポーツ並みの重労働, 誰が担う?. <https://mainichi.jp/articles/20240205/k00/00m/040/178000c> (2024/2/20 アクセス).
- 33) HTB 北海道ニュース, 2023, 自動走行の除雪車 誤差わずか1cmの最新技術 人手不足解消なるか? 今シーズンから運用開始へ. <https://www.youtube.com/watch?v=mg1SbBl5J0A> (2024/2/20 アクセス).
- 34) 札幌市, 2023, 札幌市下水熱利用ガイドライン. <https://www.city.sapporo.jp/gesuikasen/documents/guideline2.pdf> (2024/2/20 アクセス).
- 35) 毎日新聞, 2017, パワースーツで除雪作業 労力3分の1軽減. <https://mainichi.jp/articles/20170210/k00/00e/040/196000c> (2024/2/20 アクセス).
- 36) 中前千佳, 中前茂之, 大川戸貴浩, 2017, 豪雪頻度の高まりに対する地域の対応とボランティアの活用. 2017 ふゆトピア・フェア in 函館, <https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/ki/chousei/PDF/71S1H.pdf> (2024/2/20 アクセス).
- 37) 国土交通省, 雪下ろし安全10箇条~除雪作業中の事故に注意しましょう. [https://www.mlit.go.jp/kokudoseisaku/chisei/kokudoseisaku\\_chisei\\_tk\\_000139.html](https://www.mlit.go.jp/kokudoseisaku/chisei/kokudoseisaku_chisei_tk_000139.html) (2024/2/20 アクセス).
- 38) 堤拓哉, 千葉隆弘, 2022, 北海道における雪下ろし事故と積雪深の関係について—雪下ろしの必要性に関する観点から—. 雪氷研究大会 B2-2. [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jcsir/2022/0/2022\\_93/\\_pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jcsir/2022/0/2022_93/_pdf/-char/ja).
- 39) 北海道新聞, 2024, 雪道転倒注意 札幌で既に700人搬送 今後, 高温予想でつるつる路面に. <https://www.hokkaido-np.co.jp/article/965765/> (2024/2/20 アクセス).
- 40) 政府広報オンライン, 2021, たった一度の転倒で寝たきりになることも, <https://x.gd/QxoDd> (2024/2/20 アクセス).
- 41) 読売新聞, 2022, 雪が積もったマンション駐車場で転倒しけが, 地裁が管理組合の安全配慮義務違反認める, <https://www.yomiuri.co.jp/national/20220126-OYT1T50110/> (2024/2/20 アクセス).
- 42) 原田裕介, 松下拓樹, 松澤勝, 2016, 積雪寒冷地における短期集中降雪と寒さに関する指標の将来傾向. 日本雪工学会論文集, 32, 31-42.
- 43) Merkmal, 2023, 道路に投げ出されて首の骨を折る人も! 道端の穴「ポットホール」の危険性をご存じか. <https://merkmal-biz.jp/post/50595> (2024/2/20 アクセス).
- 44) 中央日報, 2014, ポットホール事故, 道路放置した国の責任, <https://s.japanese.joins.com/JArticle/193571?> (2024/2/20 アクセス).
- 45) 清田裕也, 上野正和, 渡邊 周市, 2015, 投げ込み補修方法を用いたポットホール対策について, <https://thesis.ceri.go.jp/db/files/3496372885673897444977.pdf> (2024/2/20 アクセス).
- 46) 萬直樹, 2020, 極端気象がもたらす雪氷災害の被害軽減のための技術開発, 寒地土木研究所月報, 816, 37-47, <https://thesis.ceri.go.jp/db/files/94182655060540a69c1808.pdf> (2024/2/20 アクセス).
- 47) 読売新聞, 2023, 石狩市が札幌へロープウェー計画, 3ルート案公表…過去に鉄道やモノレール実現せず. <https://www.yomiuri.co.jp/national/20231130-OYT1T50101/> (2024/2/20 アクセス).
- 48) 読売新聞, 2023, タイヤが「変身」交換不要, 雨・雪で軟化し滑りにくく…住友ゴム・北大など. <https://www.yomiuri.co.jp/local/kansai/news/20231121-OYO1T50040/> (2024/2/20 アクセス).
- 49) 北海道新聞, 2022, 大雪でストーブ異常急増 給排気口埋まり不完全燃焼 呼吸苦, 救急搬送も.
- 50) 朝日新聞デジタル, 2022, 大雪で車が立ち往生, 対策どうすれば 一酸化炭素中毒は命の危険も. <https://www.asahi.com/articles/ASQDN3S9FQDNUTIL009.html> (2024/2/20 アクセス).
- 51) Merkmal, 2023, 大雪降ったら「EV大丈夫かよ」問題 一酸化炭素中毒は回避可能も, トータルでどうなのか. <https://merkmal-biz.jp/post/29507> (2024/2/20 アクセス).
- 52) 本間弘達, 2020, 雪冷熱エネルギーを利用したデータセンター. 電気設備学会誌, 40, 296-299.
- 53) 深井洋一, 鈴木生美, 西井賢悟, 大熊桂樹, 2010, 雪室貯蔵を活用した低温熟成による地場発酵食品の高付加価値化. 日本調理科学会誌, 43, 246-259.
- 54) 神山伸, 曾根英行, 2021, 雪利用貯蔵による食品の高付加価値化. 日本家政学会誌, 72, 47-53.
- 55) 落合 剛, 2019, 伝統的な和紙の漂白技術を参考にした促

- 進酸化法による綿布の漂白 . KISTEC 研究報告 2019, 130-132. [https://www.kistec.jp/kistec-manage/wp-content/uploads/2019\\_annl\\_rprt\\_07\\_04.pdf](https://www.kistec.jp/kistec-manage/wp-content/uploads/2019_annl_rprt_07_04.pdf) (2024/2/20 アクセス).
- 56) 岐阜新聞, 2024, 太陽と雪, 透明感増す「飛騨染」寒ざらし 岐阜・高山市 . <https://www.gifu-np.co.jp/articles/-/343665> (2024/2/20 アクセス).
- 57) 山形新聞, 2024, 蔵王の樹氷, もう解けた 気温上昇, 木の幹あらわ . [https://www.yamagata-np.jp/news/202402/19/kj\\_2024021900467.php](https://www.yamagata-np.jp/news/202402/19/kj_2024021900467.php) (2024/2/20 アクセス).
- 58) 信濃毎日新聞デジタル, 2024, 水鳥の胃からはワカサギがたぐさん 凍らない諏訪湖, 捕食被害問題に 連日の「追いかけっこ」に漁協ため息 . <https://www.shinmai.co.jp/news/article/CNTS2024021100643> (2024/2/20 アクセス).
- 59) 環境省, 2023, 地域気候変動適応計画策定マニュアル . <https://adaptation-platform.nies.go.jp/local/plan/manual.html>.

## 要 旨

環境研究総合推進費 (JPMEERF20202009) 「積雪寒冷地における気候変動の影響評価と適応策に関する研究 (2020-2022 年度)」は, 気候変動による北海道の雪および冬の変化に対する適切な適応策を提案することを目的に実施した。その結果から, 適切な適応策を提案するためには, 様々な影響をリスト化する必要が認められた。そこで本報では, 直接的影響だけでなく, 連鎖する影響を含めた雪および冬の変化に関する気候変動影響を分類し, その課題解決に向け, 提案される適応策または必要な研究開発ニーズなどについてまとめたので報告する。