

北陸地方を中心とした広域雪氷災害に関する調査研究

河島克久*・松元高峰*・本田明治**・上石 勲***・小杉健二***・山口 悟***
平島寛行***・山下克也***・安達 聖***・伊豫部勉****・高橋 徹*****・本谷 研*****
藤本明宏*****・宮島昌克*****・池本敏和*****

* 新潟大学災害・復興科学研究所

** 新潟大学理学部

*** 防災科学技術研究所雪氷防災研究センター

**** 京都大学大学院工学研究科

***** 千葉大学大学院工学研究院

***** 秋田大学教育文化学部

***** 福井大学大学院工学研究科

***** 金沢大学理工研究域

要 旨

2017/18年冬期の北陸地方を中心とした広域かつ多様な雪氷災害に対して、被害の実態と発生過程を明らかにするため、7機関15名の研究者から成る研究グループを構成して調査を行った。その結果、顕著な偏西風の蛇行で分裂した極渦の一つが極東の上空で冬季の間ほぼ留まっていたため低温大雪が持続されたことや、新潟県から福井県にかけての海岸平野部の積雪量の多さに特徴があったことが分かった。また、国道8号線における長時間立ち往生（車両滞留）の発生過程、新潟県佐渡島や石川県能登地方で多発した水道管凍結被害の実態と原因、老朽化した建築物の倒壊をもたらした雪荷重、冠雪害の状況と発生時の気象条件、大規模な雪崩や雪泥流による被害とその発生過程等が明らかになった。

キーワード：日本海寒帯気団収束帯、車両滞留、水道管凍結、屋根雪荷重、冠雪害、雪崩災害、雪泥流

1. はじめに

2017/18年冬期は、1～2月を中心に北日本から西日本にかけての日本海側を中心に断続的に大雪が降り、広い範囲で記録的大雪となった。中でも福井市では、1981年の豪雪（56年豪雪、196 cm）以来37年ぶりに積雪が140 cmを超えた。この大雪により、多数の人的被害に加えて、幹線道路や鉄道の長時間立ち往生（車両滞留）、建物やビニールハウス等の倒壊、ライフライン（生活道路、鉄道、水道）の障害等が各地で発生しており、広域的かつ多方面に大きな影響を及ぼした。

この広域かつ多様な雪氷災害に対して、被害の実態と発生過程を明らかにし、今後の防減災対策に資するため、7機関15名の研究者から成る研究グループを構成して調査を行った。調査内容は、①雪氷災害

の全容の把握と積雪調査（北陸班、新潟班、東北班、西日本班）、②個別災害調査（交通障害班、建築構造物被害班、生活関連雪害班、雪泥流調査班）、③気象調査（気象班）であり、主に班ごとに活動を行った。2018年5月19日には、各班の調査結果を持ち寄り、「2017-18年冬期の北陸地方を中心とした広域雪氷災害の調査報告会」を新潟市で開催した。本稿では、①～③の調査結果の概要を以下に述べる。

2. 大雪をもたらした大気場の特徴

2017/18年冬季は全国的に寒冬で、本州日本海側を中心に降雪量が多く最深積雪も平年を上回る地点が多かった。全国的に寒冬となったのは南西諸島を除くと、最近では2005/06年（平成18年豪雪；本田・楠、2007）、2011/12年冬季、2012/13年冬季で、5冬振り

の寒い冬であった。今冬の寒気は西回りで到来することが多く、西日本では1985/86年冬季以来32年振りの寒さだった。

この冬の降雪の特徴としては北陸～新潟地域の海岸平野部にしばしば降雪が集中したことで、福井147 cm、金沢87 cm、新潟80 cmなど各県庁所在地でも記録的な大雪となった。また海岸平野部の多くの地点で1月中旬～2月末まで積雪が継続していたのも今冬の特徴と言える。このような低温大雪の傾向が持続した要因としては、北半球の大気循環場において偏西風の蛇行が顕著で、通常北極上空に位置する極渦（極域上空に蓄積された寒気を伴う低圧部）が分裂し、その一つが極東方面に南下して留まる状態が冬季の間ほぼ継続していたことが挙げられる。

冬季（12月～2月）平均の大気循環場（250 hPa面高度）の特徴をみると（図-1）、偏西風の蛇行が全般に強く、極東とカナダ北部には低気圧性（負）偏差を伴う独立した渦がみられ（図中の青丸）、これらは分裂した極渦に対応すると考えられる。極東の高度の負偏差は上空のトラフが大陸側に位置するいわゆる西谷型で、平年より寒気の南下が強く西回りで入りやすかったと言える。ユーラシア大陸上では、亜寒帯ジェットに沿う東欧（負）～ユーラシア北部（正）～極東（負）に中心を持つ定常性波動の（正の）ユーラシアパターン（Wallace and Gutzler, 1981）が明瞭で、日本付近はジェットが南に蛇行して寒気の南下を助長しやすい循環場であった。図中の矢印で示される波の活動度フラックスは波列に沿って極東に伝播しており、定常ロスビー波と解釈される。亜寒帯ジェットの蛇行の強化にはバレンツ・カラ海の水氷が平年と比べてかなりなかったことも影響している可能性がある（Honda et al., 2009）。またユーラシア大陸の南側では、亜熱帯ジェットに沿う中東（正）～アラビア海（負）～チベット（正）～極東（負）の波列もみられ、亜熱帯ジェットの蛇行にはラニーニャによる影響も示唆されている（気象庁, 2018）。このように亜寒帯・亜熱帯の両ジェットが日本付近で南に蛇行しやすい状態は、極渦の分裂により極東に南下した寒気を、冬季を通じて日本付近に引き込みやすくしていたと考えられる。

日本の気象経過をみると、12月～2月の気温の傾向は、全国的に高温となった1月中旬（北日本では12月下旬～1月中旬）を除くとほぼ低温傾向で、12月前半、1月10日前後、1月下旬、2月上旬に特に強い寒気のピークがあった。今冬はユーラシア大陸上の寒気の蓄積が早く、12月に入ると亜熱帯ジェットに沿う波列が明瞭になり、前半を中心に寒波が入り各地で積雪となった。1月上旬後半の亜寒帯ジェットに沿う波列の強化により強い冬型の気圧配置となり、11日

～12日は北陸より北の日本海側の平野部でも積雪となった。また発達した日本海寒帯気団収束帯（JPCZ）が新潟地域にかかり、新潟では8年振りに積雪深が80 cmに達した。下旬になると亜寒帯ジェットに沿う波列が再び明瞭になり、今冬最強の寒気のピークとなった24日～27日にかけては山陰地方～北海道の各地で積雪が増加し、山間部では積雪が2～3 mに達する地点も出てきた。2月に入ると亜熱帯ジェット続いて亜寒帯ジェットに沿う波列が明瞭となり、日本付近は再び強い寒気が入り、5日～7日にかけてJPCZが発達し北陸～新潟県の平野部で大雪となった。特に福井では7日の積雪深が147 cmとなり37年振りに140 cmを超えた。

2017/18年冬季の低温大雪の持続は、顕著な偏西風の蛇行で分裂した極渦の一つが極東の上空で冬季の間ほぼ留まっていたことに起因する。また亜寒帯・亜熱帯の両ジェットに沿う波列がしばしば強化され、日本付近で南に蛇行することで、極東上空の寒気を日本付近に南下させやすい状況をつくっていた。また西回りで寒気が入りやすくしばしばJPCZが発達したため本州日本海側の海岸平野部を中心に各地で記録的大雪となったと主な要因と考えられる。

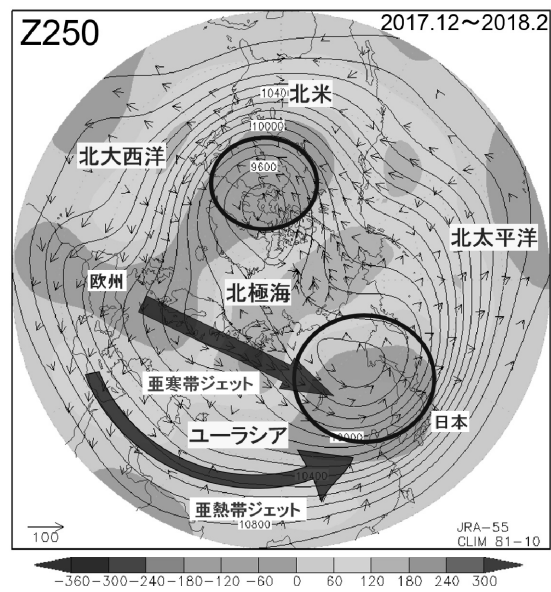


図-1 2017年12月～2018年2月平均の、250 hPa面高度（m: 黒実線）及び平年からの偏差（m: カラー）、定常ロスビー波の活動フラックス（ m^2s^{-2} : 矢印）

3. 大雪時の降積雪分布の特徴

3.1 はじめに

2018年1～2月の集中的な降雪は北陸地方の海岸平野部に大きな被害をもたらした。ここでは、2018年1月から2月にかけての北陸地方における降積雪量の詳

細な空間分布の実態を明らかにすることを目的として、特に短期間での集中的な降雪がもたらされた海岸平野部での里雪事例に着目して解析を行った。

3.2 2017-2018年冬期の最深積雪の特徴

気象庁の観測データによると、2017/18年冬期の北陸地方における最深積雪は、ほとんどの地点で平年を上回り、今回大雪となった新潟・金沢・福井では平年比2.0~2.5倍にもなった(新潟地方気象台, 2018)。一方、年最深積雪の最大値を更新した地点は、福井県内のAMeDAS武生(130 cm)、AMeDAS九頭竜(301 cm)の2地点(いずれも2月13日に更新)であった。図-2に北陸地方における2017-2018年冬期の最深積雪の分布を示す。作図には伊豫部ら(2013)が開発・運用する準リアルタイム積雪分布監視システムで集約された多機関(気象庁、国土交通省、自治体など)の積雪深データを用いた。これに見るように、今回の大雪では新潟県から福井県にかけて海岸平野部一帯で60 cm以上の積雪が広範囲に分布しているが、なかでも福井市とその周辺部では120 cm以上となっており、2017-2018年冬期は海岸平野部の積雪量の多さに特徴があったと言える。

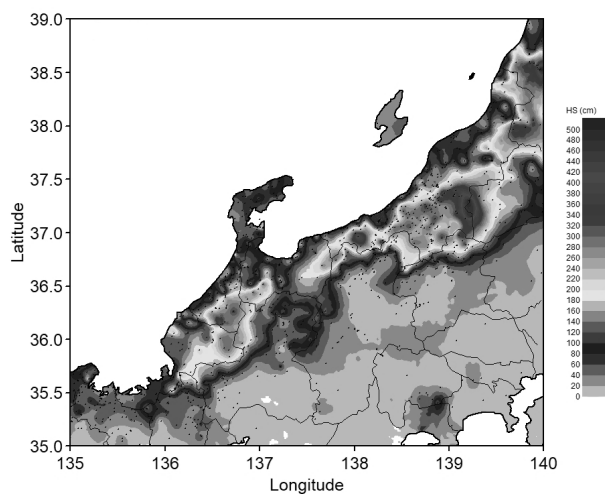


図-2 北陸地方における2017-2018年冬期の最深積雪分布図

3.3 1月中旬と2月上旬の大雪時の降雪分布の特徴

北陸地方の海岸沿岸部での大雪は、1月11日~12日、2月5~7日の期間にもたらされた。図-3にはそれぞれの大雪期間における累積降雪量の分布図を示した。なお、累積降雪量は、毎正時の積雪深について前時刻との積雪深差の正值を1時間降雪深とみなし、その値を積算することで求めた。

1月11日~12日の期間、北陸地方の上空には -36°C

以下の強い寒気が南下した。日本付近は冬型の気圧配置となり、日本海では等圧線の間隔が広がっているなど、里雪型の大雪の典型的な特徴が見られた。このような条件下、雪雲が次々と海岸部に上陸した。2日間降雪量が80 cm以上の地域に着目すると、能登半島北部や新潟県糸魚川周辺のほか、新潟市から福島県境部にかけて阿賀野川沿いに見られ、強い降雪域は一様ではなく局所的な分布パターンを示した。一方、図-3(b)に示す2月5日から7日にかけての大雪では、帯状の降雪域が福井県北部から富山県西部にかけてと、中越地方の沿岸部から山間部にかけて広い範囲で見られた。分布パターンは、1月中旬に比べて、降雪域の幅が広く、両白山地の北~西側において100 cmを超える値が見られた。両白山地の風上に当たる石川県加賀市から福井県坂井市にかけて国道8号線では、約1,400台に及ぶ大規模な車両の立ち往生が発生し、山地での降雪強化が交通障害の被害拡大に大きく寄与したと考えられる。

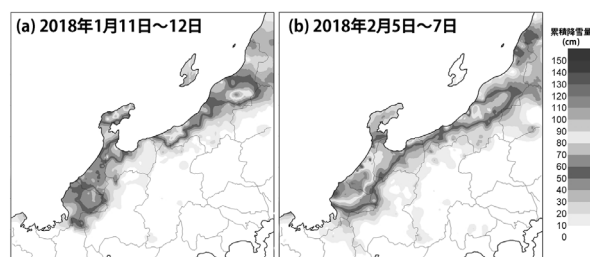


図-3 累積降雪量の分布図((a):1月11日~12日,(b):2月5日~7日)

3.4 時間降雪量の分布

時間降雪量の変動特性を調べるため、1月11日から12日までの時間帯において各地点の6時間毎の累積降雪量の最大値を抽出し、その分布図を図-4に示した。時間分布図にも6時間で30 cmを超える降雪の集中域が局所的に現れており、しかも、その分布パターンは図-3(a)に示した累積降雪量とよく一致していることが分かる。図-5には1月11日から12日にかけて6時間降雪量の分布の時間変化を示す。降雪の集中域は、11日午前は新潟県中越地方にあったが、11日午後には次第に新潟市周辺に移動した。さらに、日付が変わる前後数時間は、降雪の中心が石川県から福井県へと移動する一方、上越地域の海岸付近でも局所的な強い降雪域が存在している。1月中旬の大雪では時間帯によって強い降雪域の位置が大きく変化し、雪雲が局所的に発達すると8~10時間ほとんど位置を変えていないことが特徴的であった。

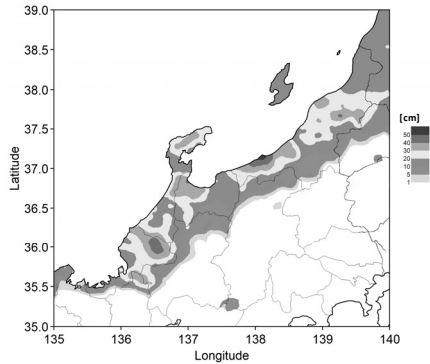


図-4 6時間降雪量の期間最大値の分布図(期間:2018年1月11日～12日)

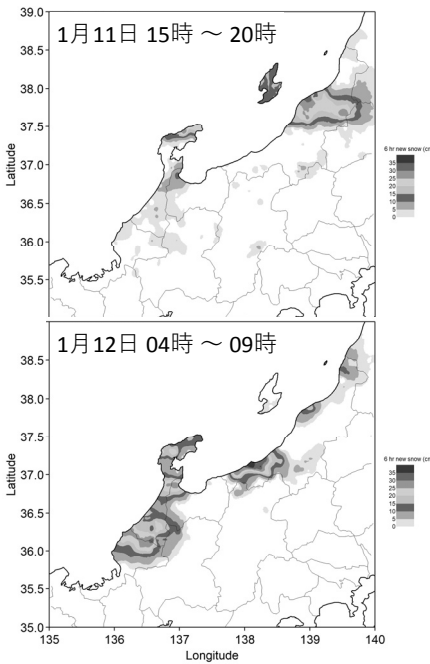


図-5 6時間降雪量の分布図

4. 人的被害の特徴

消防庁の発表(2018年4月13日)によると、雪による人的被害は死者116人、重症624人、軽症915人に上った。2010/11年冬期以降の8冬季の中で死者数は3番目に多く、死者数が100人を超えたのは2012/13年冬期以来5年ぶりである。死者数を都道府県別に見ると、北海道、新潟県、山形県、福井県で特に多く(図-6)、人的被害が多い地域が北海道から北陸地方までの広範囲に及んでいることが分かる。また、図-7に示した死者数の原因別内訳から、屋根の雪下ろし等、除雪作業中の死者が圧倒的に多く、全体の約88%を占めていることが特徴的である。この割合は、近年の豪雪年に比べても極めて大きいと言える。さらに、高齢者(65歳以上)の死者は93人(約80%)に達しており、高齢者の割合も2017/18冬季は著しく大きい。



図-6 都道府県別の雪による死者数

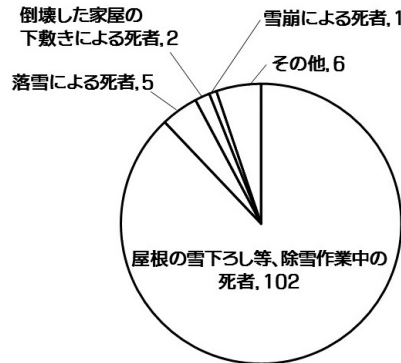


図-7 原因別の雪による死者数

5. 交通・生活関連・建物被害

5.1 国道8号線の大規模な車両滞留

(1) 概要

2018年2月4日から7日かけて福井県嶺北地方は大雪に見舞われ、福井市では昭和56豪雪以来37年ぶりに最深積雪が140cmを超えた(図-8)。この大雪により、福井県坂井市から石川県加賀市に亘る国道8号線では、スタック車両が多発し、大規模な車両滞留が生じた。その延長は最大で約20kmであり、滞留車両台数は最大で約1500台に及んだ(写真-1)。車両滞留による通行止めは2月6日11時から2月9日5時までの66時間であった。

以下では、気象条件や道路管理者の対応を含めて、スタック車両と大規模な車両滞留の発生状況および車両滞留が長時間化した要因について述べる。

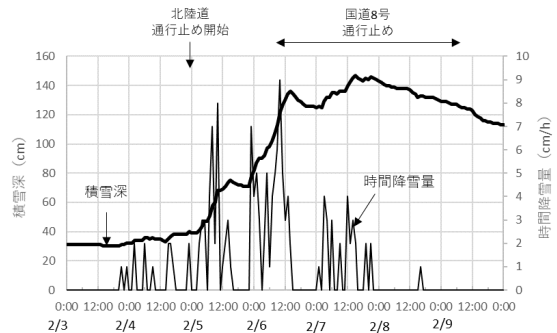


図-8 積雪深と時間降雪量(福井市)



写真-1 車両滞留の状況（引用：国道8号冬期道路交通確保対策会議（第1回）配布資料）

（2）車両滞留の発生状況

最初の車両滞留は、5 cm/h 以上の降雪が断続的に続いた2月6日0時から2時の間に発生した。0時に3台、1時に1台、2時に1台がそれぞれスタックしたが、牽引によって排除され、一時的な車両滞留に留まった。その後、4時にもスタック車両が発生したものの、チェーン装着によって自力で脱出している。降雪が強まった6時から2台のスタック、大型車のすれ違い接触事故、路上でのチェーン装着作業が発生し、再び車両が停留した。この時、強く連続的な降雪が伴い、発進不能車両の後続車両も全て雪に埋もれて動けなくなり、車両滞留が常態化した。

（3）車両滞留の発生と長時間化の要因

車両滞留の発生と長時間化の主な要因について以下に記述する。

（a）平年値の約7倍の降雪量と通勤時間と重なった集中降雪

福井市における2月上旬の最深積雪の平年値は32 cm（気象庁の過去データ）であり、今回の大雪ではその4倍以上の降雪があった。2月5日16時から24時間降雪量は67 cmに達し、通勤時間に当たる2月6日7時から10時の4時間には累計24 cmもの降雪があり、最大時間降雪量は9 cm/hであった。

（b）降雪量と予測情報の相違

前日に発表された2月6日の気象予報では、福井市の南部に位置する越前市と敦賀市の間で大雪が予想されており、福井河川国道事務所は雪害対策要員をこの区間に充当していた。しかしながら、2月6日早朝にかけてのこの区間の降雪量は僅か2 cmであった。雪害対策要員は、急遽、大雪に見舞われた福井市の北部方面に移動したが、渋滞の中、約70 km離れた現地に到着するまでに時間を要した。これによって、車両滞留が常態化した8時半と国道8号線の通行止め開始の11時までには時間差が生まれた。

（c）北陸道通行止めによる交通量増加

北陸道（武生ICから小矢部IC）は2月5日23時40分に通行止めの処置が取られ滞留。結果的に国道8号線の交通量は2倍近くに増えた。

（d）路肩の狭い2車線道路と急な縦断勾配道路

福井県と石川県の県境において、国道8号線は2

車線区間があり、ここで多くのスタック車両が発生した。この区間は路肩が狭く、特に路肩堆雪時には十分な走行幅が確保できていない。また、除雪車の回転場も少なく、豪雪時に迅速な除雪対応が難しい。今回だけでなく過去の車両滞留の事象も含めて、道路縦断勾配が5%以上でスタック車両が多く発生しているが、当該区間の道路縦断勾配は5%以上が多く、最大で8%である。

（e）チェーン未装着の大型車両

過去の車両滞留の発端となったスタック車両は殆どがチェーン未装着の大型車両である。トラック協会所属の事業者を対象にしたヒアリングの結果、97%がチェーン携行しているものの、チェーン装着箇所が十分に整備されていないや装着のタイミングが難しいなど、適切なチェーン装着は簡単でないことが示唆された。道路管理者の中でチェーン規制の検討が行われている中、適切かつ有効なチェーン装着について工学的見地から車両・タイヤ条件、道路条件および雪氷条件を考慮した検討が望まれる。

（f）情報の発信と伝達

大雪当時、国土交通省では、道路情報板、記者発表、ホームページ、twitter、Facebook によって道路情報をきめ細やかに発信していたが、国土交通省が実施したヒアリングでは、情報発信を知らない、テレビでの情報提供を充実してほしい、など改善点が見られた。今回の車両滞留では、メディアで大きく報道された後にも滞留が延伸した区間もあった。新たに車両が滞留に加わらないように、情報提供の内容や発信方法については更なる検討が必要である。

5.2 水道管凍結被害

2018年1月22日以降に大雪と寒波に見舞われ、島根県や関東地域でも断水が発生した。新潟県佐渡島や石川県能登地方では寒波がひと段落した1月27日あたりから給水管からの漏水事故が相次ぎ、配水池の水量が急激に低下したことから一部で断水が発生した。そこで、佐渡市、輪島市への現地調査を行うとともに、被災原因について考察した。

図-9に佐渡市両津における1月の最高気温と最低気温の推移を示す（気象庁）。最高気温は4℃～10℃で推移していたが、1月23日以降、低下し、1月25日、26日には氷点下まで下がり、27日に氷点下から脱している。最低気温は24日～26日は-4℃を連続して下回った。以上より、寒波の襲来により最低気温が-4℃を下回り、最高気温も氷点下の日が2、3日続いたことがわかる。

図-10に輪島市における1月の最高気温と最低気温の推移を示す。輪島市も佐渡市両津と同様に1月25、26日の2日間にわたり最高気温が氷点下となっており、24日～26日には最低気温が-4℃を下回っている。これまで、最低気温が-4℃を下回ると水道

管凍結の恐れが出てくると言われていたが、今回は最低気温が -4°C を下回る日が2, 3日続くとともに、最高気温も氷点下であったので、さらに厳しい条件であったことが明らかとなった。

また、佐渡市両津における1月23日～27日の最大風速は 15 m/s 以上の最大風速が継続していた。輪島市では 8 m/s 以上の最大風速が1月中旬以降観測されている。両市における1月23日～27日の日照時間は1時間程度であった。最低気温が -4°C を下回ったことだけでなく、日照時間が短かったことも今回の凍結被害の要因の1つに考えることができる。強風に曝される管で漏水が多かったことから、最大風速が大きいという条件がさらに重なったことも、凍結件数の増加に寄与していると考えられる。

給水管の中の水が凍結すると体積が膨張するので、給水管が経年劣化していて体積膨張に追従できない場合には管が破損することになる。凍結中は漏水に至らないが、気温が上昇して凍結部分が融解すると破損した管から漏水することになる。図-9, 10によれば1月27日に最高気温が 0°C 以上となっているので、融解が始まり、漏水事故の報告が急増したものと考えられる。漏水事故が多発してもすぐに発見し水道管の元栓を閉めることによって水道システムへの影響はなくなるので、配水池の水位が低下するという事態には至らない。しかし、現地調査によれば、佐渡市、輪島市ともに空き家状態の家が非常に多く、普段は住んでいないが週末あるいは盆、正月には戻って来るので水道の元栓は閉めておらず、今回の寒波襲来時には住んでいないので漏水の発見が遅れ、配水池の水を浪費することになった。水道事業者で空き家の漏水確認を鋭意行ったが、積雪により元栓の場所を探すのに時間がかかった。

佐渡市では1月28日～2月3日までの7日間、輪島市では1月28日～2月7日までの11日間、一部の地域で断水が続いた。配水池からの配水を停止すると管内に空気が入ることになるので、配水を再開するときには空気弁から管内の空気を排出しながら配水池から順次、各家庭に水を送ることになる。輪島市の場合、起伏の大きい地域では管内の空気抜きに時間がかかり、断水の解消まで時間を要したということであった。佐渡市の場合は、管路網がネットワークにはなっておらず直線的であるので、配水池から順次通水していく作業に時間がかかったということであった。今回の事例を教訓にして断水解消に時間を要することのないように、空気弁の性能を向上させるとか空気弁の配置を工夫するなどの対策を講じることが望まれる。

雪国といわれる新潟県、石川県でも、海岸に面した佐渡市、輪島市はそれほど寒冷ではなく、東北地

方や北海道では当然行われている水道管の凍結防止対策がほとんど行われていないことも明らかとなった。

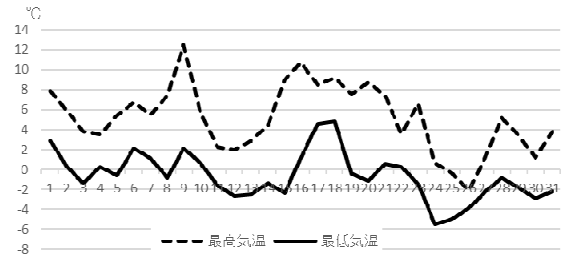


図-9 佐渡市両津における1月の最高気温、最低気温

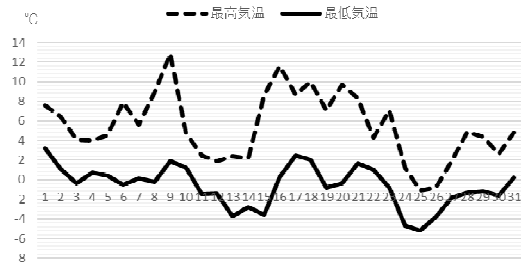


図-10 輪島市における1月の最高気温、最低気温

5.3 建築構造物被害

(1) 概要

近年の雪害では建築物の倒壊による被害は少なく、実際に倒壊棟数も過去の雪害に比べれば少ない（内閣府，2017）。しかし，2018年寒候期の大雪でも，依然として福井県や新潟県，山形県，秋田県でまとまった数の倒壊事例が報告されている（消防庁，2018）。1970年代の高度経済成長時に建設された木造住宅が老朽化し，さらに過疎化で空き家となり，倒壊に至るケースも多発している。

そこで，本報では，ケーススタディを通して，倒壊に至る過程を検証し，老朽化した建物の耐雪耐力を推定すると共に，雪荷重をリアルタイムで推定する方法について検討する。

(2) 倒壊のケーススタディ

本報では，新聞等で報道された福井県勝山市の事例（中日新聞Web，2018），を取り上げて考察する。現地調査を行い，周辺住民へのヒアリングなどから，倒壊に至る経過を推定した。

文献（中日新聞Web，2018）によれば，2月4日午前，近隣住民が大きな音を聞いて市役所に通報した。文献（中日新聞Web，2018）の報道写真の状況から推察するに，屋根雪処理などは行われていなかったと考えられる。現地で確認したところ，構造は木造トラス構造，一部の梁は鉄骨補強であった。（写真-2参照）管理もされていなかった上に老朽化が進ん

でいたものと推定される。このような老朽化した建築物の耐雪耐力を推定することは、今後日本で多発するであろう限界村落における建物倒壊の予測を行う上で貴重な資料と言える。



写真-2 勝山市の空き工場の倒壊状況 (3月9日調査)

(3) 雪荷重の推定

筆者はこれまでに、積雪層モデルを用いて降水量と気温から地上積雪重量を推定する手法を開発しており (Takahashi et al., 2001), 本報では設楽ほか (2002) で得られた成果を用いて、地上積雪深のデータから積雪重量の推定を試みた。

文献 (設楽ほか, 2002; 日本建築学会, 2015) より、融雪係数 S_m を(1)式で推定する。

$$S_m = 0.02 \exp(-0.078T_m) \quad [\text{kNm}^{-2}\text{°C}^{-1}] \quad (1)$$

ここに、 T_m は1,2月の平均気温である。

この式を用いることにより、積雪深と気温のデータを用いて、リアルタイムに積雪重量を推定することが可能となる。特に、重量の推定値が0を下回ることにはないこと、また、積雪密度の値が 500 kg/m^3 を上回らないこと、という条件を入れて計算すれば、極めて簡単に地上積雪重量を推定できることになる。

観測点の基本データ (気象庁, 2018) を図-11に、上述のようにして推定した地上積雪重量の値を、累積水当量、日々の融雪量の推定値と共に図-12に示す。

図-12より、勝山 (福井に比して積雪は2,3割増し) では2月4日から急激に荷重が増え、大凡 3 kN/m^2 を超える程度に達していたと推定される。その後2月13日に掛けて荷重のピークを迎えており、この結果は現地でのヒアリング結果と一致している。積雪深のピークと積雪重量のピークには6日ほどのタイムラグがあったと推定される。

(4) まとめ

以上、現地調査と気象資料に基づく荷重推定を通じて、今冬の大雪で被害を受けた建築構造物の倒壊時の屋根雪荷重推定を行った。なお、本報で示した

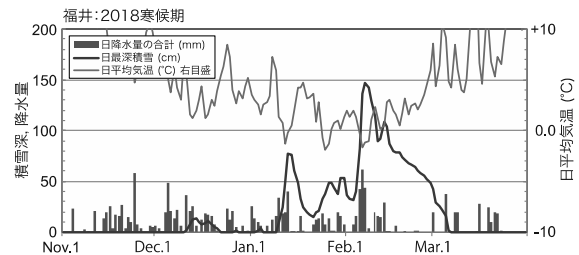


図-11 福井における気温、日最深積雪と日降水量

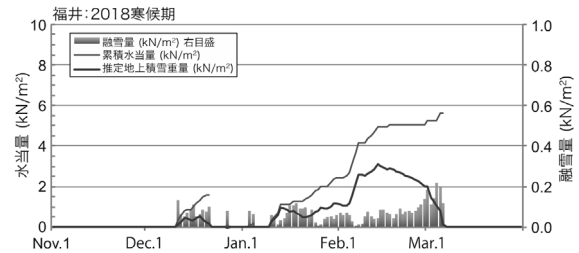


図-12 福井における累積降水量と推定積雪重量

推定値は、実測されたものではないので、今後、推定地点を増やすと共に、建物耐力の面からも検証を行う必要がある。

なお、本報告は (高橋, 2018) に報告したものを編集したものである。

6. 冠雪害

6.1 はじめに

樹木に多量の着雪が生じると、その荷重によって樹体の破壊が起こることがある。これを (樹木・森林の) 冠雪害とよび、その被害の形態として、樹冠より低い位置で幹が破壊されて折れる「幹折れ」、幹が樹冠内で折れる「幹梢端折れ」、幹が弓状に曲がる「幹曲がり」、幹が根系から転倒する「根返り」、枝のみが折れる「枝折れ」などがある。森林の冠雪害は林業へ多大な損害をもたらすばかりでなく、被害木が道路・線路に倒れることによる交通障害、あるいは電線への接触・切断による停電などという形での被害も与える。

2017/18冬期には、北陸を中心とした日本海側の各地で大雪による様々な被害が発生したが、1月中旬の大雪に際しては、新潟県と島根県で冠雪害の発生が報道された。このうち新潟県では、五泉市や田上町などで倒木による道路の通行止め、集落の孤立や停電が発生し、また弥彦町にある弥彦山の登山道では、1月13日の午後に、下山中の登山者1名が倒れた樹木と雪の下敷きになり死亡するという事故が発生した。島根県では、邑南町や美郷町周辺の江の川に面した斜面において多数の冠雪害が発生し、江の川に沿っ

て走るJR三江線が1ヶ月以上にわたって運休となった。

著者らは新潟県、島根県それぞれで冠雪害の概況調査を実施したが、本稿では、それらのうち新潟県弥彦町で発生した、死亡事故を伴う冠雪害の調査結果について述べる。

6.2 冠雪害による死亡事故の概要

1月11日から12日にかけて、新潟市を中心とする新潟県沿岸地域で大雪となり、アメダス新潟では12日午前8時に80 cmの最大積雪深を記録した。新聞報道（新潟日報・三条新聞）によると、1月13日の16時45分ごろ、弥彦村にある弥彦山「表参道コース」登山道の「清水茶屋」付近を下山中の登山者1名が、雪の重みによって倒れたスギなどの樹木と雪の下敷きとなり、約15分後に救出されたがすでに意識がなく、現場で死亡（死因は出血性ショック死）が確認された。事故現場となった「清水茶屋」の西側はごく浅い谷状を呈する急斜面で、主にスギからなる森林に広く覆われている。登山道は急斜面をジグザグに上がるようにつけられているが、「清水茶屋」からこの急斜面にかけて、冠雪のために倒伏・折損した樹木が多く見られたため、1月15日に、主な被害木の状況を観察・計測するとともに、「清水茶屋」から約30 m下方の林内で積雪深・積雪水量の観測を実施した。

6.3 冠雪害の状況

「清水茶屋」付近、およびその西側の急斜面には、冠雪の荷重によって根返り、幹折れ、枝折れなどの被害を被った樹木が多く見られた。顕著な被害を受けた9本の樹木のうち8本がスギであり、そのうち7本の被害形態が「根返り」であった。残り2本の被害は、スギの幹折れとケヤキと思われる広葉樹の枝折れ（太い枝2本）である。事故現場である「清水茶屋」のすぐ脇では、スギ2本の根返りと広葉樹の枝折れがお互いにごく近い場所で起こっていた（写真-3）。被害を受けたスギはいずれも胸高直径が30～50 cmあり、樹高は30 m程度であった。一般に、樹高が大きいものに対して直径が小さい（「形状比」が大きい）細長い木ほど冠雪害を受けやすいとされる（例えば石川ほか，1987）。しかし今回被害を受けたスギやその周辺のスギは、極端に細長い形状を示してはいなかった。

なお、1月15日13:55の時点で、「清水茶屋」から約30 m下方の林内における積雪深は50 cm、積雪水量は95 mmであった。



写真-3 死亡事故発生地点における冠雪害の状況

6.4 冠雪害発生前後の気象条件

調査地域に分布する樹木には、15日の日中においても、依然としてかなりの量の冠雪があることが観察されている。しかし冠雪がいつ、どのように発生し、個々の被害木がいつ倒伏・折損したか、またその時点における冠雪量がどれだけだったかについての情報はない。そこで弥彦山周辺の気象データをもとに、冠雪が発生した状況の推定を試みる。

弥彦山の事故現場に最も近い気象庁アメダスの巻観測所における、1月11日から14日までの気温、風速、降水量と、アメダス新潟観測所、および新潟県土木部によって三条で観測された積雪深の推移を図-13に示す。巻では1月8日から断続的に降水が続いていたが、10日午後以降は気温が2℃以下に下がり、強風のもとで湿った雪が降っていたものと考えられる。11日午前中も同様の気象条件が続いたが、11日午後になると気温が氷点下になるとともに降水量が増加して、乾いた雪が激しく降る状況となった。12日になると氷点下の気温は続いたが、降水量は小さくなり、また風速も弱まっている。12日夜半から13日午後の、事故の起こる少し前までは降水は観測されず、氷点下の気温で風も弱い状況が続いていた。そして巻では15時ころから再び雪が降りだし、16時から16時半ころにかけては強い降り方になっていた。

冠雪害発生時の気象条件はかなり多様であることが知られているが、地上気温については「-3～3℃」、とくにプラスからマイナスへと推移していく条件下では、みぞれや濡れ雪が枝葉に凍着するために冠雪が発生しやすいとされている（例えば石川ほか，1987）。弥彦山の場合、11日午前中までに降っていた湿雪がその後の低い気温の下で枝葉に凍着し、それ以降に降った乾雪がさらに堆積・付着して荷重が増加した可能性があると考えられる。ただし、死亡事故につながった根返りによる倒伏がどのような過程で起こったかについては不明である。

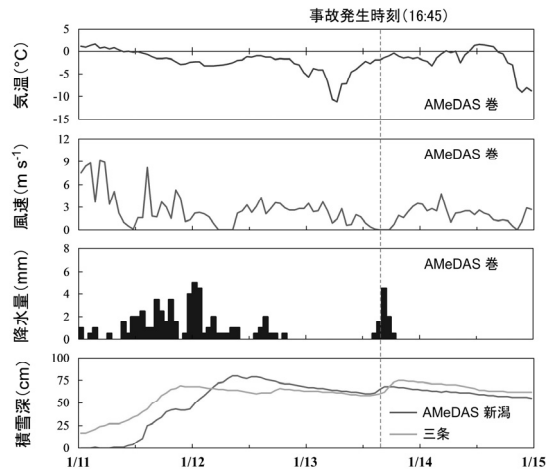


図-13 2018年1月11日～14日における、アメダス巻観測所での気温・風速・降水量の推移、およびアメダス新潟観測所と新潟県土木部によって三条で観測された積雪深の推移

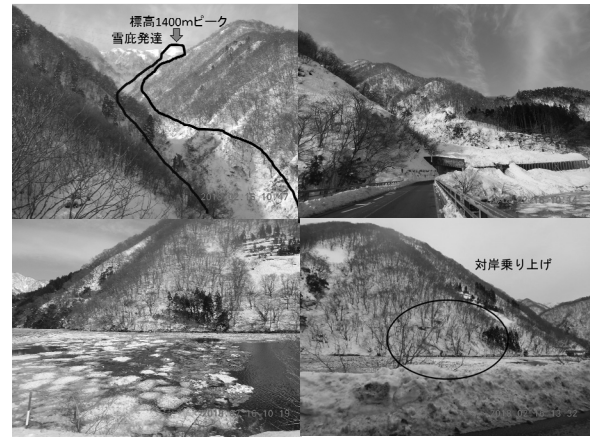


図-15 1回目の雪崩の発生状況（2018年2月16日調査）

7. 雪崩災害

7.1 福井県で発生した大規模雪崩

大雪となった福井県大野市の荒島岳北東斜面（図-14）で、2018年2月13日と3月9日に流下延長2 km以上の性質の異なる大規模な雪崩が2回発生した。その雪崩の現地調査結果を示す。

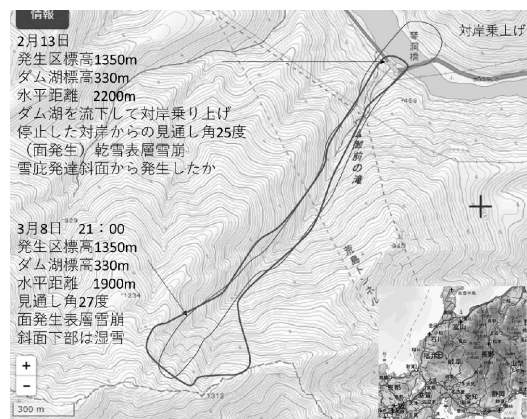


図-14 雪崩発生状況

(1) 雪崩の発生状況

発生した斜面、雪崩の発生状況は図-14のとおりである。2回の雪崩とも道路に設置されたスノーシェッドよりも幅が広く流れ、道路上にデブリが堆積した。2月13日の雪崩は道路下のダム湖上を流下しさらに、対岸に乗り上げていた（図-15）。ダム湖には雪崩による倒木やデブリが湖面に浮かんだ状態であった。3月9日に発生した雪崩の発生区を上空から調査した結果（図-16）、表層雪崩の破断面と推定される形跡と小規模な全層雪崩の発生跡が確認された。

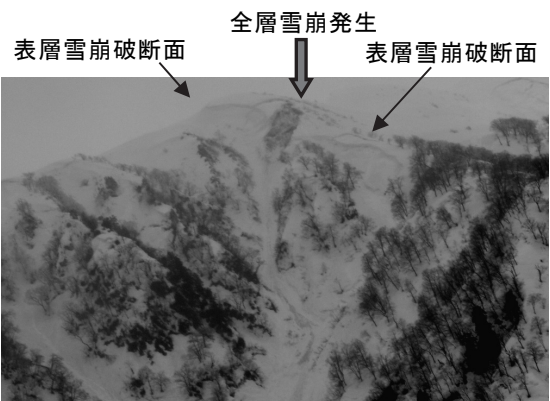


図-16 2回目の雪崩の発生状況（2018年3月11日調査）

(2) 気象・積雪状況

1回目の雪崩は アメダス九頭竜（標高436 m）、気象積雪状況（図-16）から、最も積雪が増加した大量降雪時に発生している。雪崩発生区の標高が1350 mで稜線には雪底も確認されており、風下側の不安定な新雪が崩落して発生した表層雪崩と推定される。また、図-17と図-18に示すアメダス大野（標高182 m）での気象状況果から、第2回目の雪崩は、発生区付近では雨や湿った雪が3月8日～9日午前にかけて降って上載荷重が増加したことも発生要因であると考えられる。



図-17 気象・積雪の変化(九頭竜アメダス観測点)と雪崩発生日

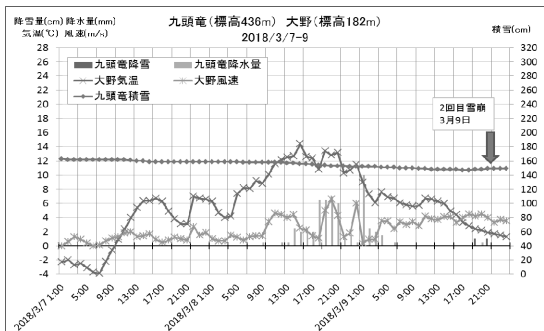


図-18 気象・積雪の変化(大野アメダス観測点)と雪崩発生日

7.2 東北地方の雪崩災害

2017/18年冬季の東北地方では2月中旬頃に最大積雪深を記録し、2月下旬から急激な気温上昇が見られ、その時期に集中し表層雪崩および全層雪崩による被害が確認された。以下に、秋田県、山形県で発生した3件の雪崩災害についての調査結果を報告する。

(1) 秋田県湯沢市高松泥湯温泉で発生した雪崩について(現地調査日：4月16日)

2月13日19時50分頃、秋田県湯沢市高松泥湯温泉で表層雪崩が発生した(写真-4)。雪崩は温泉旅館の客室を直撃した。雪崩は客室の窓ガラスを割り、2階の客室内にまで雪が入り込んだ。その旅館は冬季休業中であったため怪我人はいなかった。1996年1月31日にも同地点で表層雪崩が発生している(阿部ら、1996)。地形と植生の様子から今回発生した雪崩と1996年に発生した雪崩では発生地点および走路は一致すると考えられる。また、ヒアリング調査により大雪になるとたびたび同様の雪崩が発生していることが明らかになった。今後も大雪となった場合には同様の雪崩が発生する可能性は否定できない。



写真-4 被害を受けた旅館と雪崩斜面の様子(2018年4月16日)。写真中の破線矢印が推定される雪崩走路である。なお、雪崩発生面は確認されていない。

(2) 国道46号仙岩トンネルで発生した雪崩について(現地調査日：3月1日, 3月9日)

2月14日18時40分頃、国道46号仙岩トンネルの秋田県側入り口付近で表層雪崩が発生した(写真-5)。片側一車線の道路全体が雪で塞がりトンネル内に複数台の自動車が立ち往生した。雪崩発生後に仮設の雪崩防護ネットと雪堤が設けられるなど迅速な対応が行われた。3月1日には強い雨や風をとまなう所謂、春の嵐となり、3月9日、11日の現地調査では同一斜面で全層雪崩が発生したあとが確認された。この全層雪崩による怪我人などの報告はない。



写真-5 仙岩トンネルの様子(3月9日撮影)。仙岩トンネル右側の斜面を雪崩が通過した。

(3) 国道48号関山峠で発生した雪崩について(現地調査3月2日)

2月29日に関山峠関山トンネル宮城県仙台市側入り口付近で全層雪崩が発生した。雪崩はスノーシェッド上を通過したため道路を完全に埋めてしまうことはなかったが、スノーシェッド内に雪が巻き込む様に侵入してしまっため、片側1車線を埋めてしまった(写真-6)。この雪崩による怪我人などの報告は

ない。スノーシェッド内への雪の侵入の対策のため防護ネットの設置が検討されている。

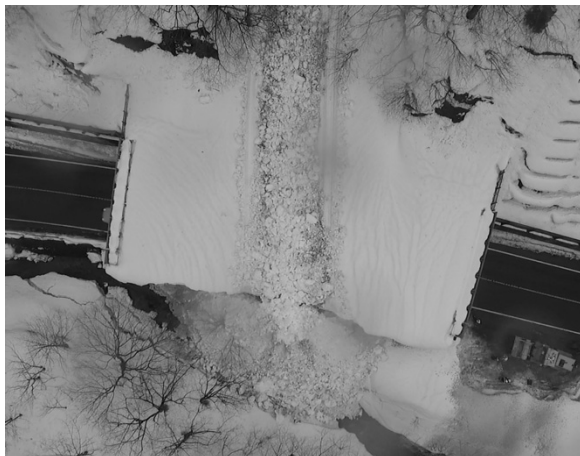


写真-6 関山峠のスノーシェッド上を雪崩が通過した様子 (3月2日撮影)。道路沿いの川に多量の雪が流れ落ちたが、堰き止められることはなかった。

8. 雪泥流災害

8.1 Rain-on-Snowイベントに伴う災害の概要

2018年3月8～9日、東シナ海で停滞前線上に発生した低気圧が日本海を北東に進み、9日明け方から昼前にかけて北海道付近を通過し大雨をもたらした。3月9日の日降水量は、中徹別で146 mm、白金で134.5 mm、目黒で119.5 mmを観測するなど、北海道では3月としての極値を73地点で更新した(札幌管区気象台, 2018)。3月9日には北海道全域に積雪があり(図-19)、この大雨はRain-on-Snowイベント(積雪期の降雨イベント)であった。

この大雨と急速な雪解けによって、北海道内各地で、床上浸水・床下浸水などの住家被害、倉庫の倒壊や空き家の屋根崩落などの非住家被害、冠水による鉄道の運休や国道・道道の通行止め、ビニールハウス浸水による農業被害などが発生するとともに、多数の世帯に避難指示(緊急)が発令された。雪崩や雪泥流も多数発生し、美瑛町の辺別川では雪泥流による死者(1名)が出た。そこで著者らは、上川地方南部の美瑛町と富良野市で発生した雪泥流災害の調査を3月14日と3月23～25日に実施した。

8.2 調査場所

調査場所は、美瑛町辺別川(護岸工事作業中の男性1名死亡)、富良野市布礼別川(床下浸水、畑の冠水)、富良野市東鳥沼の用水路(ビニールハウス倒壊)の3箇所である。調査では、雪泥流デブリや河川内積雪を調べるとともに、目撃者や災害発生直後に現場を確認している警察・報道関係者等から被災状況に関して聞き取り調査を行った。

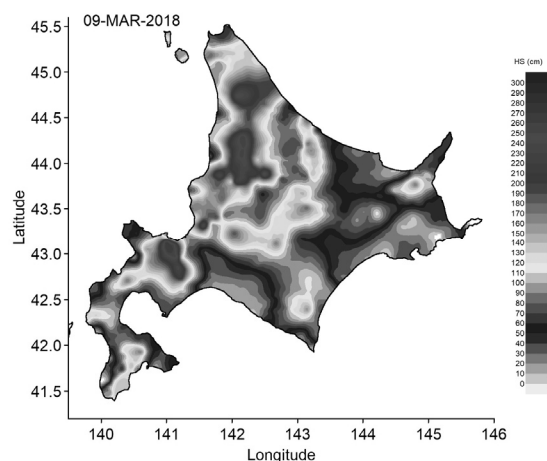


図-19 2018年3月9日9:00の北海道の積雪深分布(準リアルタイム積雪分布監視システムによる)

8.3 美瑛町辺別川の調査結果

本稿では上記3箇所のうち、死者が発生した美瑛町辺別川における雪泥流災害の調査結果について報告する。

(1) 雨量

美瑛町辺別川の災害現場近傍の俵真布(国土交通省、標高409 m)および辺別川の上流域近傍に位置する松山観測所(国土交通省、標高649 m)における2018年3月8～9日の降水量の時間変化を図-20に示す。降水は3月8日の夜遅くから始まり、翌9日の昼過ぎでほぼ完了している。この降水は、気温から判断してほとんどが降雨であったものと考えられる。災害現場近傍の俵真布観測所の2日間降水量は38 mmであり、著しく多いというわけではない。しかし、松山観測所では97 mmに達しており、辺別川の上流域では3月としては極めて多い雨量がもたらされた可能性が高い。

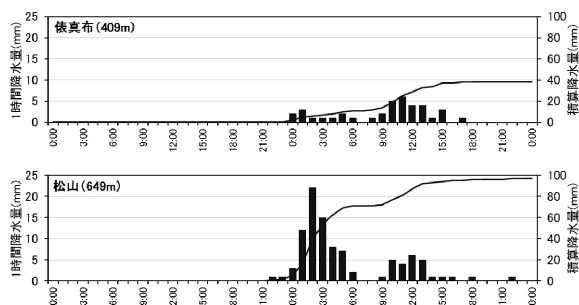


図-20 2018年3月8～9日の降水量の時間変化

(2) 被災状況

被災現場は美瑛町俵真布の九線橋から約100 m上流の辺別川左岸の護岸改修工事現場(2016年の台風

被害の復旧工事)である。3月9日12:34に雪泥流が現地を襲い、男性作業員1名がのみ込まれてシャーベット状の雪に埋没した。現場付近は、河道がカーブしていたため、上流から直線的に流下してきた雪泥と、カーブの外側を流下し屈曲点付近の右岸に乗り上げたのち方向転換した雪泥とに挟まれる形になり、被災者は逃げ切ることができなかった。無事に逃げることができた作業員と救急隊がゾンデ棒等を用いて捜索した結果、13:42に深さ約1.7 mの位置で男性は発見された(死因:溺死)。事故当日の朝、雨が降っていたため被災者は河川水位を複数回測定しながら作業を行っており、事故の数分前の水位は当日8:45の水位に比べて約40 cm上昇していた。

(3) 雪泥流デブリ及び河川内積雪の状況

3月14日の調査では、現場周辺には雪泥流デブリが1~1.5 m程度の厚さで堆積した箇所が複数認められた(写真-7)。デブリには、河川氷と考えられる大きな板状の氷(大きいものは数mのサイズ、厚さ30センチ程度)も多数含まれていた。現地踏査及びUAVによる空撮から、雪泥流デブリは被災現場から約5 km上流にある上俵真布橋付近まで散在していた。災害発生の2日前に撮影された辺別川の写真によると、被災現場周辺では、幅の狭い水路状の表面水が露出している場所もあったが、河道のほとんどもしくは全面が積雪に覆われていた。このことから、比較的多量の河道内の積雪(3月14日の測定では70~80 cm)が雪泥流の規模を大きくした可能性がある。



写真-7 積雪に乗り上げて堆積したデブリ(辺別川)

7.3 今後の課題

2017/18年冬季のような大雪年に発生するRain-on-Snowイベントは雪泥流災害のリスクを著しく増大させるため、寒冷積雪地域である北海道においても今後のRain-on-Snowイベントの出現傾向に注目する必要がある。また、工事現場での雪泥流に対

する安全管理基準の整備や監視システムの構築が望まれる。

8. おわりに

2017/18年冬期はしばしば日本海寒帯気団収束帯が発達したため、本州日本海側の海岸平野部を中心に各地で記録的大雪となった。その結果、本稿で述べたように、幹線国道の大規模な車両滞留、水道管凍結被害、建築構造物被害、冠雪害、雪崩・雪泥流災害が各地で発生しており、広域的かつ多方面に大きな影響を及ぼした。特に、厳冬期である1~2月の大雪では里雪が卓越したため、平野部(都市部)が大きな被害を受けたことが特徴であり、都市雪害の観点から多くの課題を残す結果となった。今後、除雪体制の強化、情報提供、関係機関の連携等の観点からの十分な検証が必要である。人的被害としては、屋根の雪下ろし等、除雪作業中の死者が全体の9割近くを占めたことを重大な問題として捉える必要があるが、本研究ではこれについて踏み込んだ調査研究を行うことができておらず、今後に残された大きな課題である。

謝 辞

本研究の一部は、平成29年度京都大学防災研究所重点推進型共同研究「突発災害時の初動調査体制の更なる強化及び継続的調査研究の支援(研究代表:神戸大学・大石 哲教授)」の支援を受けた。

建築構造物被害の調査にあたっては、福井大学大学院工学研究科の石川浩一郎教授、井上圭一准教授にご同行いただき、勝山市へのヒアリングに便宜を図っていただいた。福井県の雪崩調査にあたっては、防災科学技術研究所気象災害軽減イノベーションセンターの長峰聡氏にご協力いただいた。秋田県湯沢市高松泥湯温泉で発生した雪崩の調査にあたっては、和泉薫名誉教授(新潟大学)にご同行いただき、現地調査にご協力いただいた。北海道の雪泥流災害の調査にあたっては、旭川東警察署、NHK旭川放送局、大北土建工業株式会社の関係者から情報を提供していただいた。以上の方々に心より感謝いたします。

参考文献

- 阿部 修・小杉健二・納口恭明・河島克久(1996): 秋田県泥湯温泉の雪崩災害調査報告, 東北の雪と生活, 第11号, pp. 33-36.
- 石川政幸・新田隆三・勝田 柁・藤森隆郎(1987): 冠雪害-発生のおくみと回避法-, 林業科学技術振興所, pp. 101.

- 伊豫部勉・河島克久・和泉 薫 (2013) : 積雪深分布の準リアルタイム監視システムの開発, 新潟大学災害・復興科学研究所年報, 第2号, pp. 69-70.
- 気象庁 (2018) : <http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php> (2018年4月1日閲覧) .
- 気象庁 (2018) : 平成30年冬の天候の特徴とその要因～異常気象分析検討会の分析結果の概要, 平成30年3月5日報道発表資料.
- 国土交通省近畿地方整備局 (2018) : 国道8号冬期道路交通確保対策会議 (第1回) 配布資料.
- 国土交通省近畿地方整備局 (2018) : 国道8号冬期道路交通確保対策会議 (第3回) 配布資料.
- 札幌管区气象台 (2018) : 平成30年3月8日から9日にかけての大雨と融雪に関する気象速報, <http://www.jma-net.go.jp/sapporo/tenki/yohou/saigai/pdf/KishoH300308-0309.pdf> (2018年4月6日閲覧) .
- 設楽敬之・高橋 徹・B. Ellingwood (2002) : クリギング法と重回帰分析による積雪荷重の推定と比較, 日本建築学会大会学術講演梗概集B1, pp. 67-68.
- 消防庁 (2018) : 今冬の雪による被害状況等, 2018.3.9 現在.
- 高橋 徹 (2018) : 2018年寒候期の大雪による建築物被害と雪荷重のリアルタイム推定, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 日本建築学会, 構造I, pp. 15-16.
- 中日新聞Web (2018) : <http://chunichi.co.jp/kenmin-fuku/article/kenmin-news/CK2018020602000248.html> (2018年3月1日閲覧) .
- 内閣府 (2017) : 防災白書 (平成29年版) .
- 新潟地方气象台 (2018) : 2018年冬 (12月～2月) の天候経過, <https://www.jma-net.go.jp/niigata/menu/kisetsu/2018winter.pdf> (2018年8月17日閲覧) .
- 日本建築学会 : 建築物荷重指針・同解説 (2015) , 日本建築学会.
- 本田明治・楠昌司編 (2007) : 2005/06年 日本の寒冬・豪雪. 気象研究ノート, 第216号, pp. 290.
- Honda, M., Inoue, J. and Yamane, S. (2009): Influence of low Arctic sea-ice minima on anomalously cold Eurasian winters. *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 36, L08707.
- Takahashi, T., Kawamura, T., Kuramoto, K. (2001): Estimation of ground snow load using snow layer model, 日本建築学会構造系論文集 No.545, pp. 35-41.
- Wallace, J. M., and Gutzler, D. S. (1981): Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 109, pp. 784-812.