

北海道における短時間多量降雪に起因する 雪崩発生時の気象の特徴

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 雪氷チーム

○原田 裕介
高橋 渉
松澤 勝

近年、北海道では急激に発達した低気圧の接近通過に伴う短時間多量降雪により、特定の路線を中心に雪崩発生による通行止めが散見される。本研究では、国道236号天馬街道を対象に、短時間多量降雪に起因する雪崩発生時の気象の特徴を分析した。その結果、同時期に5箇所以上道路に到達する雪崩は、積雪深89cm以上、降雪開始から21時間以内に平均降雪強度2.5cm/h以上かつ最大降雪強度6 cm/h以上、最低気温-7.5℃以上、最大風速5m/s以上、地上低気圧の中心が三陸沖～釧路沖に位置する際発生するケースが多く見られた。

キーワード：雪崩、短時間多量降雪、気象

1. はじめに

近年北海道では、大雪や暴風雪に起因する雪氷災害について発生形態の変化が見られる。大宮ら¹⁾は、北海道で大雪や暴風雪をもたらす地上天気図パターンの傾向と国道通行止め履歴との関係を取りまとめ、最近10年間で二つ玉低気圧（本州を挟んだ二つの低気圧）で日本海の低気圧が太平洋の低気圧に吸収される事例の出現頻度が増えていること、大雪・暴風雪時には北海道東部において通行止め実施が多いことを示している。加えて、近年の大雪時には、短い時間に急激に積雪深を増す多量降雪によって雪崩災害が生じる特徴がある。北海道では、平成10年に、積もった直後の新雪が雪崩予防柵をすり抜けて道路に達する雪崩（以下、すり抜け雪崩という）が最初に報告され、それ以降道内で同様の雪崩の発生事例が10例以上報告されている²⁾。国道453号支笏湖畔では、短時間の多量降雪により平成13年に16箇所、平成17年には31箇所ですべて同時期に雪崩が多発し樹林帯を流下した³⁾。現在から将来にかけて、気候変動の影響により、北海道の日本海側と内陸部では、短時間多量降雪による雪崩発生の可能性が高まること指摘されている⁴⁾。以上から、地域または路線ごとに短時間多量降雪による雪崩の発生条件を解明することは、冬期道路管理の観点から重要であると考えられる。また、本州では、平成26年2月に雪の少ない関東甲信等の地域において、本州南岸を通過した低気圧により、短時間多量降雪による雪崩災害が同時期に多発し、樹林帯でも雪崩が発生した⁴⁾⁵⁾。松下らは、上記雪崩履歴などを用いて、短時間多量降雪時の雪崩発

生に関わる指標⁶⁾や、樹林帯における雪崩の発生条件を提案している⁷⁾。

図-1は、平成8～17年度および平成18～27年度のそれぞれ10冬期における、北海道の国道での雪崩に起因する通行止め時間を示したものである⁸⁾。図-1より、国道236号（野塚峠付近）では平成8～17年度から平成18～27年度にかけて約2.7倍増加しており、他路線と比較して近年の雪氷災害の発生変化を最も反映しているものと考慮される。そこで、本研究では一般国道236号を対象として、近年の大雪および道路や橋梁への雪崩到達事例と気象観測データとの比較、ならびに地上天気図の推移をもとに、短時間多量降雪に起因する雪崩発生時の気象の特徴を整理した。

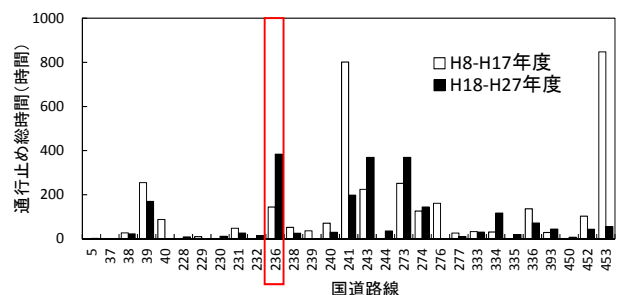


図-1 北海道の一般国道における雪崩に起因する通行止め時間

2. 収集データと解析方法

(1) 収集データ

本研究では、対象期間を平成19～27年度の9冬期（当年12月1日～翌年3月31日）とする。雪崩発生データは、

国道236号天馬街道広尾町上トヨイ (KP=84.3) ~野塚トンネル坑口 (KP=98.5) の雪崩発生履歴資料 (技術者用雪崩災害調査シートおよび道路雪崩調査シート: 北海道開発局帯広開発建設部) を用いた。気象データは、北海道開発局野塚峠テレメータ (北緯42°21'22", 東経143°02'28", 標高590m) の気温、積雪深、風向風速の観測値 (特別値) を用いた。あわせて、対象期間における3時間ごとの気象庁地上解析天気図 (00, 06, 12, 18UTC) を収集した。

(2) 解析方法

はじめに、積雪深データをもとに大雪事例を抽出した。大雪事例は、既往文献⁹⁾を参考として一つの降雪期間の降雪深 (積雪深差の合計) が30cm以上となる事例とした。1時間間隔の積雪深がある場合は、その差が正である場合を降雪ありと判断して、降雪の中断が5時間未満であれば一つの降雪期間とした。降雪深 (cm) は降雪期間における積雪深差の合計とし、降雪強度 (cm/h) は降雪深を降雪期間 (h) で除して求めた。つぎに、雪崩発生データをもとに、自然発生の表層雪崩が道路または橋梁に到達 (以下、雪崩到達と示す) した事例の日時、大雪期間の降雪開始から雪崩到達日時までの降雪深 (cm)、降雪強度 (cm/h) (平均、最大、最小)、気温 (°C) (雪崩到達日時、平均、最高、最低)、風速 (平均、最大、最低)、風向の最頻値をそれぞれ求めた。また、各大雪期間での雪崩発生箇所数、樹林帯またはすり抜け雪崩の有無、すべり面より上部の積雪の厚さ、雪質、硬さ (ハンドテスト⁹⁾) を整理した。加えて、地上解析天気図をもとに、降雪をもたらしたと推定される地上低気圧について、地上低気圧が解析された時刻から雪崩発生時付近までの地上低気圧の経路を求め、3.(5) で後述する大川¹⁰⁾を参考に分類した。

3. 結果と考察

(1) 最近9冬期の大雪および雪崩到達事例

対象期間の9冬期において、野塚峠テレメータで一降雪期間の降雪深増加が30cm以上となったのは54事例である。そのうち、雪崩到達は15事例であった (表-1)。その他39事例は、表層雪崩非発生または道路や橋梁に未到達と考えられ、道路交通への影響は確認されなかった。

(2) 降雪深と積雪深および雪崩履歴との関係 (大雪事例)

大雪事例の降雪深増加と、降雪開始時の積雪深との関係を図-2に示す。その結果をもとに、雪崩非発生または未到達の閾値 (図-2の緑線) を式(1)のように整理する。

- 条件 1 : $S_j \leq 57\text{cm}$ ($0 \leq H_s \leq 47\text{cm}$)
 条件 2 : $S_j \leq 46\text{cm}$ ($47 < H_s \leq 97\text{cm}$)
 条件 3 : $S_j \leq 39\text{cm}$ ($97 < H_s \leq 109\text{cm}$)
 条件 4 : $S_j \leq 32\text{cm}$ ($H_s > 109\text{cm}$)
- (1)

ここで S_j は一降雪期間での降雪深 (cm)、 H_s は降雪開始時の積雪深 (cm)を示す。上記条件のデータを除外すると、雪崩到達が15事例、雪崩非発生または未到達が10事例となり、雪崩到達確率は60%となる。

一般に表層雪崩の発生には、斜面の平滑化のためある程度の斜面積雪を必要とする。大雪事例であっても雪崩非発生または未到達だった理由として、斜面積雪が少ない場合は、地形の影響で斜面積雪に凹凸が残っていることが考えられる。

(3) 雪崩到達事例の雪崩発生の特徴

短時間多量降雪による雪崩災害は、同時期に多発かつ樹林帯でも雪崩が発生し、加えて雪崩予防柵をすり抜ける気象条件と類似している特徴を有している⁷⁾。本研究では、雪崩到達15事例のうち、発生時刻が不明な1事例を除いた14事例のデータを用いて、雪崩到達事例ごとに発生箇所の全数、そのうち樹林帯を流下または雪崩予防柵をすり抜けた箇所数 (両方の場合はそれぞれ計上) を、表-2に整理した。あわせて、当該路線の積雪断面観測結果より、弱層 (想定される雪崩すべり面) から雪面までの積雪の厚さ、雪質、硬度を付記した。本研究では、一降雪期間に雪崩が多発する特徴に着目し、雪崩到達箇所が1-3箇所 (8事例: 以下、ケース1と示す)、および5箇所以上 (6事例: 以下、ケース2と示す) に分類した。また、弱層から上部の積雪は、ケースによらず積雪の厚さが30-50cm、雪質はサラサラまたはフワフワ (ともに乾

表-1 最近9冬期の大雪および雪崩到達事例

事例	年度									計
	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27	
大雪	3	9	6	5	7	7	6	6	5	54
雪崩到達	0	1	4	0	3	1	2	3	1	15

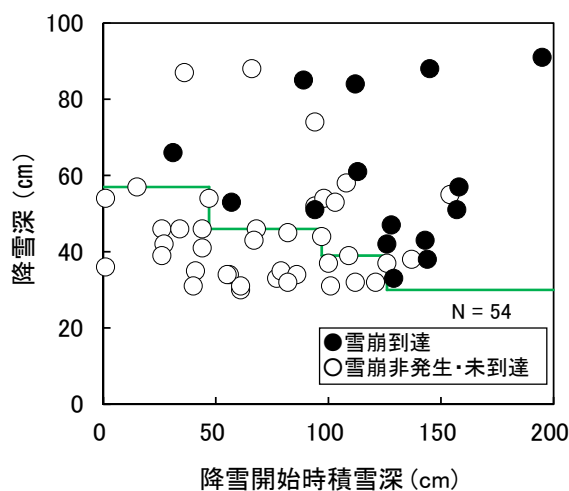


図-2 降雪深と積雪深との関係 (大雪事例)

表-2 雪崩到達事例のケース分類および緒元。積雪硬さについて、Fは拳、Pは鉛筆、1Fは1本指がそれぞれ入る程度を示す⁹⁾。

雪崩到達事例No.	雪崩発生箇所			弱層から雪面の積雪		
	全数	樹林帯 流下	予防柵 すり抜け	厚さ (cm)	雪質	硬さ
ケース1	1	0	0	-	-	-
	2	0	0	30	水ベタ	P
	3	1	0	50	フワフワ	1F
	4	2	1	20-40	サラサラ	F
	5	1	0	30	フワフワ	F
	6	3	3	-	-	-
	7	1	0	-	-	-
	8	2	1	-	-	-
ケース2	9	10	3	50	サラサラ	F
	10	6	1	25	サラサラ	P
	11	5	2	30	サラサラ	F
	12	8	0	30	サラサラ	F
	13	6	2	-	サラサラ	F
	14	5	2	30	-	-

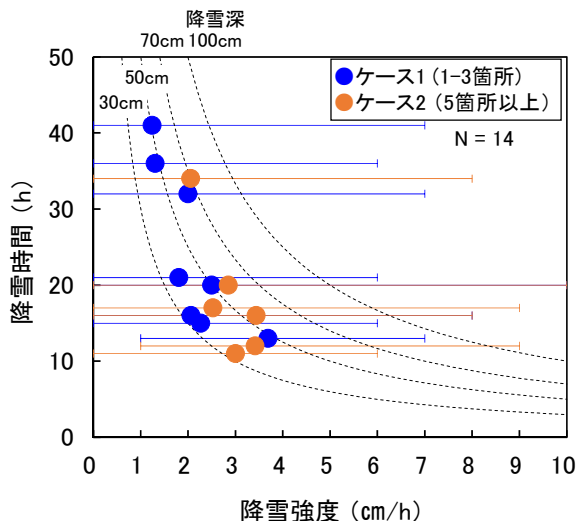


図-3 降雪時間と平均降雪強度の関係（降雪開始～雪崩発生時）。横棒は降雪強度の変動幅を示す。

雪)が大部分で、ハンドテスト⁹⁾による硬さはF(拳が入る程度)が占めていた。

(4) 雪崩到達事例の降雪と気象状況の特徴

前項で分類したケース1と2について、降雪開始から雪崩発生時までの降雪と気象状況の特徴を整理した。

a) 降雪時間と降雪強度、降雪深との関係

降雪時間と平均降雪強度との関係を図-3に示す。図中の黒点線は、平均降雪強度と降雪時間から算定された30～100cmの降雪深である。また、横棒は降雪強度の変動幅を示す。降雪時間は、11～21時間と32～41時間に大別される。11～21時間の場合、降雪深30cm以上で雪崩発生の可能性が考慮される。また、平均降雪強度が2.5cm/h以

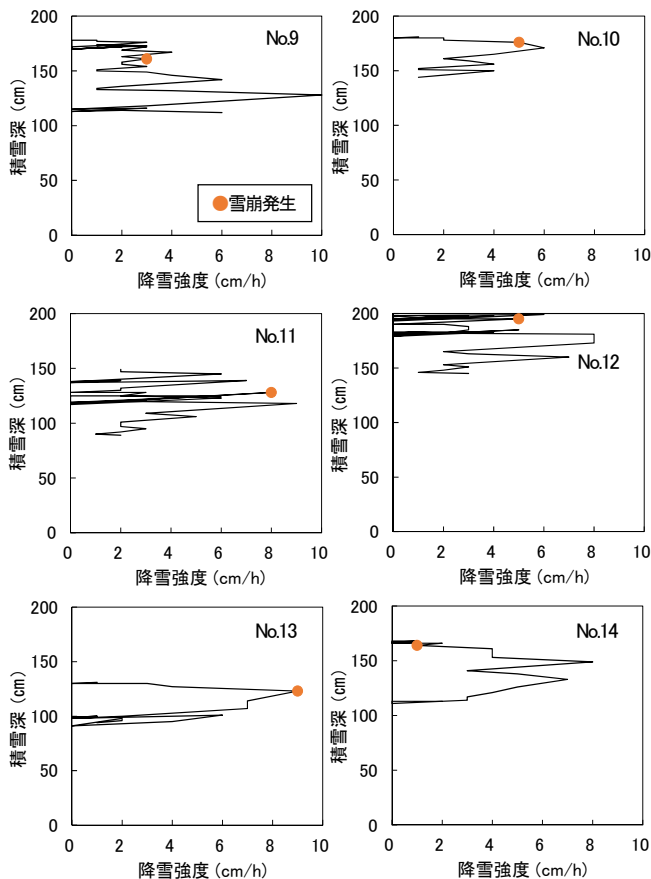


図-4 積雪深と降雪強度との時系列および雪崩発生との関係。図中の数字は、雪崩到達事例No.を示す(表-1)。

上になると、ケース2の雪崩到達事例が多く見られた。31～41時間の場合、降雪深は50～70cmとなった。また、降雪強度の最大値は、ケースによらず6～10cm/hとなった。このことから、雪崩発生には、降雪期間全体の平均的な降雪状況に加えて、最大値を含めた降雪状況も考慮する必要があることが考えられる。

b) 積雪深と降雪強度との時系列および雪崩発生との関係

ケース2について、積雪深と降雪強度との時系列、および丸に示す雪崩発生との関係を図-4に示す。これらは、図中の実線が下から上に向かうにつれ、そのときの降雪強度にしたがって積雪深が増えていく時系列を表している。それぞれの雪崩到達事例をみると、ケース2では、積雪深が89cm以上になり降雪強度が6cm/h以上の強い降雪時、およびNo.12を除くとその0～8時間後に発生していた。また、既往研究¹⁰⁾によると、降雪強度が4～6cm/h程度以上の強い降雪が数時間続いた後に雪崩が発生しやすい。図-4は、上記の傾向もあわせて有していると考えられる。なお、気象観測による積雪深増加は29～51cmで、表-2に示す弱層から上部の積雪の厚さとほぼ同様であった。

c) 降雪深と気温との関係

降雪深と気温との関係を図-5に示す。図中の丸塗りつぶしは平均気温、白丸は雪崩発生時の気温、横棒は気温の変動幅を示す。平均気温を見ると、雪崩は-7.9～-1.7℃

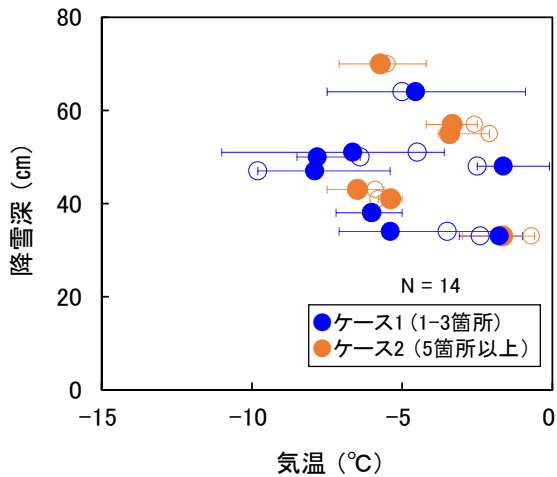


図5 降雪深と平均気温 (●) および雪崩発生時気温 (○) との関係 (降雪開始～雪崩発生時)。横棒は気温の変動幅を示す。

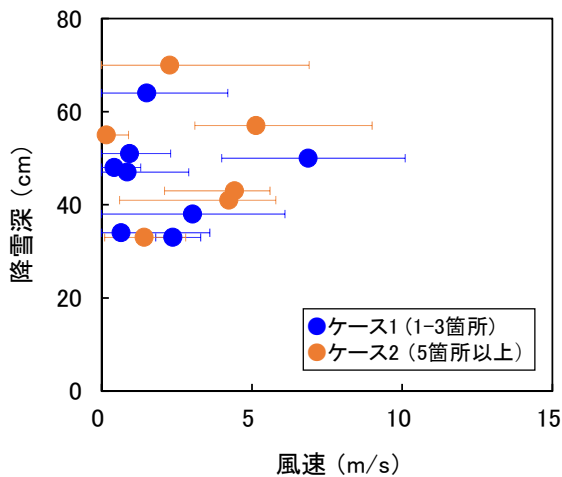


図6 降雪深と平均風速との関係 (降雪開始～雪崩発生時)。横棒は風速の変動幅を示す。

で発生している。雪崩発生時では、ケース1の1事例 (-9.8°C) を除くと、-6.0～-0.7°Cで発生している。また、ケース2は、最低気温-7.5°C以上で、ケース1と比較し気温の変動幅が小さく、かつ気温が各期間の最大値の時に雪崩が発生している事例が多かった。

d) 降雪深と風速との関係

降雪深と平均風速との関係を図-6に示す。図中の丸は平均風速と降雪深、横棒は風速の変動幅を示す。平均風速を見ると、3m/s以上ではケース1が2事例、ケース2が3事例であった。また、最大風速の場合、5m/s以上ではケース1が2事例、ケース2が4事例であった。このことから、ケース2の方が、風速が大きい時に発生する機会が多いことが伺える。また、各事例の風向の最頻値は、北東が最も多く10事例、北～北北東と西南西～西北西がそれぞれ2事例であった。

(5) 雪崩到達事例の地上天気図の特徴

北海道内の大雪・暴風雪は、発達した低気圧の通過、前線の移動、低気圧通過後の冬型気圧配置によってもたらされることが多い。ここでは、大川¹⁰⁾を参考に、北海道付近を通過する前の低気圧および前線の位置、またそれらの移動経路の違いに着目し、地上天気図を17通りに分類のうえ、雪崩到達事例の地上天気図パターンを整理した(表-3、図-7)。また、降雪をもたらしたと推定される地上低気圧について、地上低気圧が解析された時点から雪崩発生時付近までの地上低気圧中心の移動経路を図-8に示す。

その結果、雪崩発生時刻の地上低気圧の中心は、L5とL8は稚内周辺、L6、L9、L11、L12は三陸から釧路沖に位置する場合が多く見られた。また、降雪開始は、L5とL8は東経132～135°、L6、L9、L11、L12は東経137～140°に見られた。加えて、地上天気図パターンと3.(4)で整理した、降雪時間と平均降雪強度の関係を組み合わせた(図-9)。その結果、地上天気図パターンは降雪時間が11～21時間ではL8、L9、L11、L12、32～41時間ではL9の1事例を除くとL5、L6で見られた。

表-3 地上天気図の分類説明¹⁰⁾と雪崩到達事例の頻度

分類項目	記号	概要	雪崩到達事例
低気圧	L1	低気圧が日本海西部から東北東進して、東北地方の中部・北部を通る。	-
	L2	低気圧が日本海西部から北東進して、津軽海峡を通る。	-
	L3	低気圧が日本海中部から北東進して、北海道北部または宗谷海峡を通る。	-
	L4	低気圧が日本海西部から北東または北北東に進んで、宗谷海峡を通る。	-
	L5	低気圧が日本海西部から北北東進して、北海道の西海上を経て間宮海峡に達する。	2
	L6	低気圧が日本海中部から東進して、津軽海峡を通る。	1
	L7	低気圧が日本海中部から東進して、北海道中部を横断する。	-
	L8	低気圧が沿海州から東進して、宗谷海峡を通る。	1
	L9	低気圧が三陸沖を北東進する。	5
	L10	低気圧が沿海州北部から南東進して、北海道中央部を通る。	-
二つ玉低気圧	L11	低気圧が二つあり、それぞれ北海道を挟むように北東に並進する。	1
	L12	本州を挟んで二つの低気圧があり、日本海の低気圧が太平洋の低気圧に併合される。	3
前線	F1	南北に伸びる前線が北海道を通る。	1
	F2	南北に伸びる前線上の閉塞点が北海道中央部付近を通る。	-
	F3	前線が北から南下する。	-
	F4	前線が北海道に停滞する。	-
気圧の谷	TR	南北に伸びる気圧の谷が北海道を通る。	-

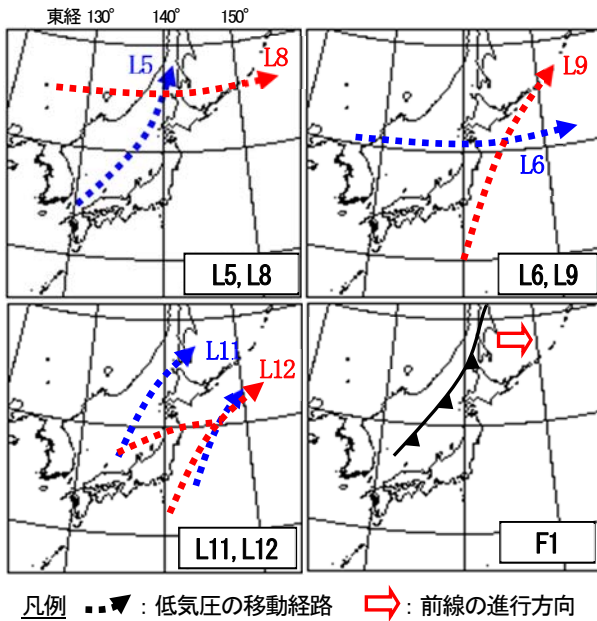


図-7 北海道付近を通過する前の低気圧および前線の位置、移動経路による地上低気圧の分類（雪崩到達事例のみ）¹⁰⁾

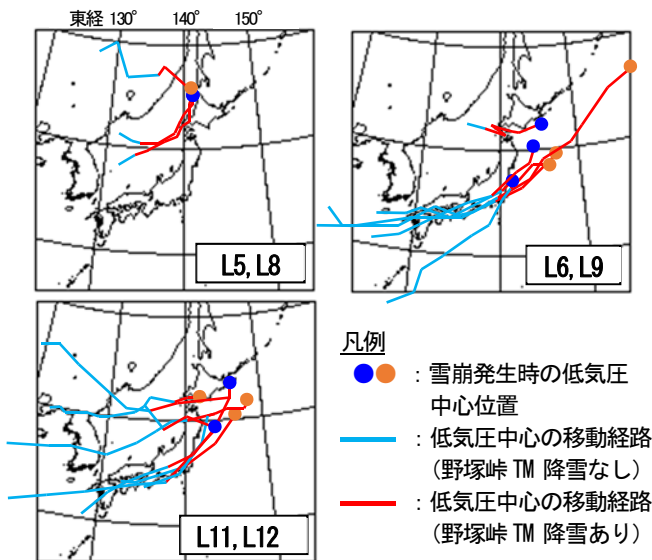


図-8 雪崩到達事例の低気圧中心の移動経路

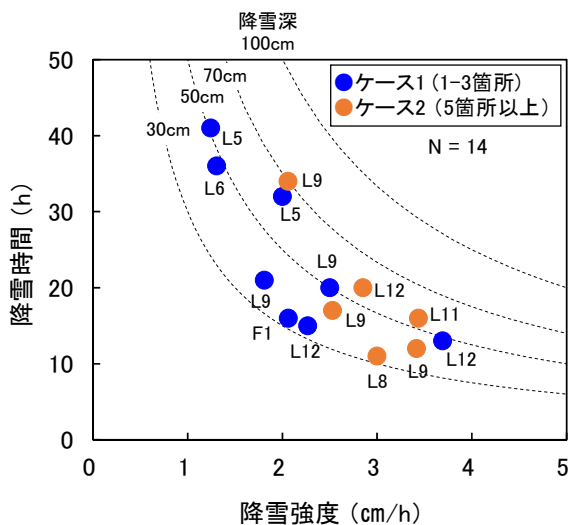


図-9 降雪時間と平均降雪強度、地上天気図パターンとの関係

Yusuke Harada, Wataru Takahashi, Masaru Matsuzawa

4. まとめ

本研究では、国道236号天馬街道を対象に、平成19～27年度の9冬期における大雪および雪崩到達事例をもとに、短時間多量降雪に起因する雪崩発生の気象の特徴を分析し、以下の結果が得られた。

- (1) 一降雪期間での降雪深30cm以上を大雪事例として54事例を抽出し、15事例の雪崩到達事例と39事例の雪崩非発生または未到達事例に分類した。つぎに、積雪深と降雪深を用いて、雪崩非発生または未到達事例の閾値を段階的に求めた。大雪事例であっても雪崩非発生または未到達だった理由として、斜面積雪が少ない場合は、地形の影響で斜面積雪に凹凸が残っていることが考えられる。
- (2) 雪崩到達事例ごとに雪崩発生箇所数を整理のうえ、1-3箇所以上をケース1、5箇所以上をケース2に分類した。ケース2は、積雪深89cm以上、降雪開始から21時間以内に平均降雪強度2.5cm/h以上かつ最大降雪強度6 cm/h以上、最低気温-7.5℃以上、最大風速5m/s以上で発生することが多い。あわせて、各事例の気温の最大値で発生していることが示された。
- (3) 雪崩到達事例の地上天気図は、低気圧が三陸沖を北東進する、二つ玉低気圧で日本海の低気圧が太平洋の低気圧に併合されるパターンが多い。これらのパターンでは、雪崩発生時に三陸から釧路沖に低気圧の中心が位置するケースが多く、短時間で多量降雪をもたらすことが示された。

上記の結果は、雪崩地形や降雪特性が路線ごとまたは地域ごとに異なるため、北海道全域に当てはまるものではない。今後、北海道で短期多量降雪による雪崩が想定される路線について、同様の分析により雪崩発生条件の特徴を整理することを考えている。また、国道236号天馬街道では、多量降雪時に積もった新雪の物性調査（降雪量、降雪結晶の種類や堆積状態、密度、硬度、圧密等の変化量など）を実施し、得られた現地観測時の気象および積雪条件と、本研究で得られた過年度の雪崩発生時の気象条件、地形や植生との突き合わせにより、短時間多量降雪雪崩の実態を解明したい。

謝辞： 国道236号天馬街道広尾町上トヨイ～野塚トンネル坑口の雪崩発生履歴資料は、北海道開発局帯広開発建設部よりご提供頂いた。記して御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 大宮哲, 原田裕介, 松澤勝: 近年の大雪・暴風雪の変化傾向と国道通行止めとの関係について. 第59回(平成27年度)北海道開発技術研究発表会, 2016.
- 2) 竹内政夫, 大槻政哉, 山田知充, 石本敬志: 北海道の道路雪

- 崩と現場対応. 日本雪工学会誌, 21, p.202-211, 2005.
- 3) 原田裕介, 松下拓樹, 松澤勝: 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, p.31-42, 2016.
 - 4) 和泉 薫, 河島克久, 伊豫部勉, 松元高峰: 2014年2月中旬の大雪山による雪崩災害の発生状況と特徴. 科学研究費助成事業(課題番号2590003) 研究成果報告書, p.111-118, 2014.
 - 5) 中村一樹, 上石 勲, 阿部 修: 2014年2月の低気圧の降雪による雪崩の特徴. 日本雪工学会誌, 30(2), p.106-113 2014.
 - 6) 松下拓樹, 池田慎二, 石田孝司: 短時間多量降雪時の雪崩発生に関わる指標について. 第28回ゆきみらい研究発表会, 2016.
 - 7) 松下拓樹, 池田慎二, 秋山一弥: 樹林内における雪崩発生条件に関する一考察 -2014年2月関東甲信の大雪時の事例-. 雪氷, 77, p.433-445, 2015.
 - 8) 財団法人日本道路交通情報センター : 平成18~27年度通行止め区間および期間調書(雪害). 2007~2016.
 - 9) (社) 日本雪氷学会編: 積雪観測ガイドブック. 朝倉書店, p.53, 2010.
 - 10) 大川隆: 北海道の動気候. 北海道大学図書刊行会, p.147-190, 1992.
 - 11) 遠藤八十一: 降雪強度による乾雪表層雪崩の発生予測. 雪氷, 55, p.113-120, 1993.