

# 路肩堆雪の成長傾向把握に向けた 堆雪断面積の予測について

飯田 美喜<sup>1</sup>・植野 英睦<sup>2</sup>・吉田 智<sup>3</sup>

<sup>123</sup> 非会員 国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所

(〒062-8602 札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目 1-34)

<sup>1</sup>E-mail: iida-m@ceri.go.jp

<sup>2</sup>E-mail: ueno-h22af@ceri.go.jp

<sup>3</sup>E-mail: yoshida-s22ac@ceri.go.jp

積雪寒冷地では、道路の除雪で発生する路肩堆雪による道路有効幅員の減少が走行環境悪化の一因となっており、円滑な道路交通を確保するため、道路管理者は効率的に路肩堆雪の運搬排雪を行っている。一方で、除雪作業従事者の減少及び高齢化により、除雪作業の担い手の確保が困難になっていることから、運搬排雪等の作業量や実施時期を判断する運搬排雪計画の立案について、経験に依存しない定量的な指標が求められている。事前に堆雪成長傾向を把握できれば、運搬排雪作業の工法や実施時期などの計画の立案にあたり、より効果的な判断が可能となり、計画の基礎資料となる指標としての活用が期待できる。本稿では、堆雪成長傾向を把握するため、堆雪断面積の実測値を基に気象観測値等による重回帰分析から得られた回帰式について、堆雪断面積の予測式としての適用性を検証したので報告する。

**Key Words:** snow hauling, roadside snow piles, supportive technology to plan the snow hauling method and timing

## 1. はじめに

積雪寒冷地では、冬期に発生する道路路肩堆雪による道路有効幅員の減少が通行環境悪化の一因となっている(写真-1)。円滑な冬期道路交通確保のため、道路管理者等は効率的に路肩堆雪の運搬排雪等を行っている。

一方で、除雪作業従事者の減少や高齢化等により、除雪作業の担い手の確保が困難になっており<sup>1)</sup>、特に熟練者の減少も懸念されることから、除雪作業量や実施時期の判断について経験に依存しない定量的な指標が必要である。路肩堆雪の成長傾向を把握し予測することができれば、該当工区の道路維持管理に必要な運搬排雪工法や実施時期の推定が可能となり、運搬排雪計画を立案する基礎資料として活用できる。

運搬排雪計画の立案を支援する技術の構築に向け、路肩堆雪の成長傾向を把握するため、過年度までに、札幌、旭川、小樽の3地域で堆雪の大きさである堆雪断面積の実測値を用いて、路肩堆雪の成長に影響すると考えられる各種要素(道路幅員構成、運搬排雪回数、気象観測値等)からの重回帰分析を行い、その回帰式を3地域毎の

堆雪断面積の推移を予測する予測式として算出した<sup>2)</sup>。さらにその実測値を使用し、3地域以外での予測を可能とするため、実測値と各種要素を現地条件等によるグループ分けし、同様に重回帰分析にてグループによる予測式を算出した<sup>3)</sup>。

本稿は、3地域での2019年度(令和元年度)までに計測した堆雪断面積実測値を使用し、グループ毎の重回帰分析により算出した予測式の適用性について、2020、2021年度(令和2、3年度)の実測値にて検証を行ったので報告する。



写真-1 路肩堆雪による道路有効幅員の減少

## 2. 路肩堆雪成長傾向の予測

時間経過による堆雪の成長傾向の把握に向け、運搬排雪作業実施の必要要件としては、道路有効幅員や路肩堆雪の幅や高さ等が考えられるが、本研究では「堆雪断面積」に着目し調査分析した<sup>2)3)</sup>。その概要について紹介する。

まず、堆雪断面積を実測した札幌、旭川、小樽の3地域（以下「3地域」という。）毎に堆雪断面積を目的変数とし、路肩堆雪の成長に影響すると考えられる各種要素（道路幅員構成、運搬排雪回数、気象観測値等）を説明変数として重回帰分析し（図-1）、その回帰式を雪の大きさの推移を予測する予測式として算出した<sup>2)</sup>。なお、堆雪断面積のイメージを図-2に示す。

堆雪断面積は、3地域の国道において、間口処理や民地からの雪出し等の影響を受けにくい場所を選定し、トータルステーションとスタッフにより堆雪断面形状を計測の上（写真-2）、作図ソフトにより算出した。

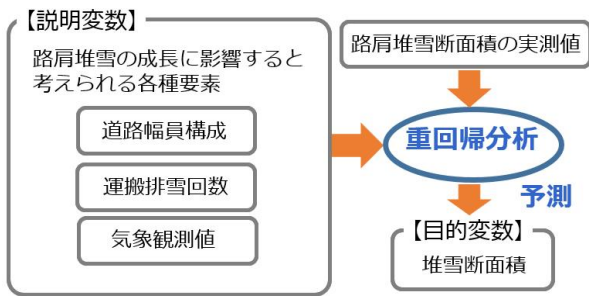


図-1 重回帰分析方法イメージ

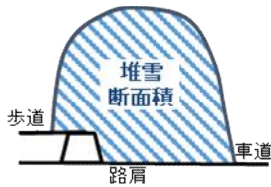


図-2 堆雪断面積のイメージ

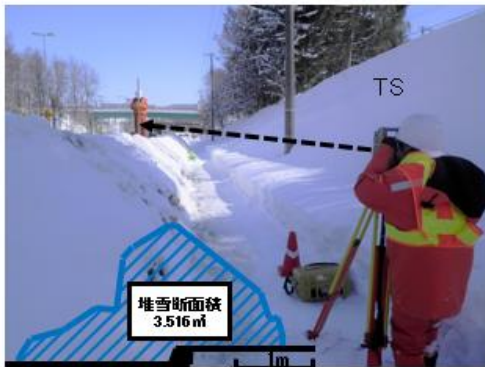


写真-2 路肩堆雪断面形状の計測状況

なお、計測は12月上旬から2月下旬に概ね7日毎に計測し、1地域あたり10箇所において、10回計測を行い、3地域で1シーズン計300件の計測をした（表-1）。札幌は7年分（2013～2019年度）、旭川と小樽は3年分（2017～2019年度）で堆雪がなく計測できなかったことなどを除外し、合計1,170件を堆雪断面積の実測値とした。

重回帰分析の実施にあたっては、相関の強さを示す修正済重相関係数を基に、説明変数に係る多重共線性の確認、有意性検定、及び符号の検定を行い、堆雪成長に影響がある説明変数を整理した。その結果、パターン①、②（表-2）において強い相関があることを確認した。

さらに、3地域以外での予測のため、実測値と各種要素を、現地の道路幅員構成や実施された運搬排雪工法の違いなどでグループ分けを行い、重回帰分析を行った。また、近年シーズン毎に記録的な少雪や大雪が観測されるため、予測する地域、箇所における降雪状況による予測精度の向上を目指し、降雪量や降雪傾向でもグループを分け分析した<sup>3)</sup>（表-3）。

表-1 路肩堆雪の計測箇所一覧表（1シーズン）

地域	箇所数(箇所)					計	件数/箇所(件)	件数(件)
	路線番号(国道)							
	R5	R274	R12	R39	R40			
札幌	4	6				10	10	100
小樽	10					10	10	100
旭川			2	4	4	10	10	100
								計300件

表-2 説明変数のパターン（2パターン）

パターン	説明変数		
	道路幅員構成	運搬排雪回数	気象観測値
①	-	運搬排雪(巻出)回数 運搬排雪(拡幅)回数	最深積雪
②	歩道幅員 路肩幅員 車道幅員 路肩幅員(中央側) 中央帯幅員	運搬排雪(巻出)回数 運搬排雪(拡幅)回数	最深積雪

表-3 重回帰分析のグループ分け

グループ		
道路幅員構成	車線数	6車線 4車線
	分離帯の有	有 無
	路肩幅員の状況	2m以上
		1m超、2m未満 1m以下
運搬排雪工法	巻き出しのみ 拡幅のみ 巻き出し・拡幅の両方 作業実績なし	
年間降雪量	多い	
	平年並み	
	少ない	
降雪傾向	12月の降雪が多い	
	1月の降雪が多い	
	2月の降雪が多い	
	各月平年並み	
	その他	

グループ分けの例として、降雪状況による分類方法について記す。

年間降雪量のグループについては、「多い」、「平年並み」、「少ない」の3項目に分けた。年間降雪量はアメダス札幌の日降雪量の年度合計とし、気象庁の平年値算出手法を活用し<sup>4)</sup>、1990年度から2019年度までの過去30年間の年間降雪量から分類基準となる降雪範囲を算出した。札幌での年間降雪量の平年値を算出した例を表-4に示す。年間降雪量を昇順に並べ、中央値の10件(No.11~20)から平年値を算出した。10件による平均値は465cmで、範囲は427~492cmとした。同様に旭川と小樽の算出した年間降雪量の平年値の範囲を表-5に示す。

また、降雪傾向のグループ分けについては、初冬期の12月に降雪が多い場合と2月に降雪が多い場合で、最終的に年間降雪量は変わらなくても、シーズンを通じた堆雪断面積への影響は初冬期の12月の方が大きくなるため、月別による降雪の多さで項目分けを行った。

月別の降雪量の多少の判断も、年間降雪量の項目分けと同様に各地域毎に月別降雪量を昇順に並べ、中央値の10件(No.11~20)から平年値の範囲を算出し、それ以上を「多い」、以下を「少ない」とした。

表-4 年間降雪量の平年値  
(アメダス札幌30年間 1990~2019年度)

No.	年度	年間降雪量(cm)	年間降雪量の多少
1	1995	668	多い
2	1990	637	
3	1999	625	
4	2012	623	
5	1998	619	
6	2004	599	
7	1993	571	
8	2005	548	
9	2006	539	
10	2016	504	
11	2000	492	平年値
12	2008	490	
13	2009	482	
14	2013	471	
15	2010	467	
16	2002	466	
17	1992	465	
18	2017	463	
19	2015	428	
20	2019	427	
21	2007	423	少ない
22	2001	415	
23	1997	406	
24	1994	394	
25	2003	386	
26	1991	382	
27	2011	380	
28	1996	372	
29	2014	367	
30	2018	334	

表-5 年間降雪量の平年値の範囲 (札幌, 小樽, 旭川)

観測局	平年値の範囲(cm)		
	下限	上限	平均
札幌	427	492	465
小樽	531	657	597
旭川	552	647	592

札幌(2月)の降雪傾向算出例を表-6に示す。旭川と小樽でも月毎に同様に整理し、降雪量が「多い」、「平年並み」、「少ない」に分類し、シーズンを通し「多い」に該当した月があった場合は「各月の降雪が多い」に、各月「平年並み」であった場合は「各月平年並み」、「多い」に該当がなく「少ない」に該当する月があった場合は「その他」とした。

その他のグループにおいてもそれぞれの実測値と各種要素を各グループ毎に分類し、分析を行った。

説明変数においては、3地域による分析時に強い相関があったパターン①、②に加え、降雪量に影響があると思われる気象観測値を説明変数としたパターン③、④を追加(表-7)、先の3地域での分析と同様に、説明変数に係る多重共線性の確認、有意性検定、及び符号の検定を行い、グループ毎に最も高い修正済重相関係数による説明変数の組合せを整理した。

表-6 月別降雪量の平年値  
(2月 アメダス札幌30年間 1990~2019年度)

No.	年度	2月降雪量(cm)	月別降雪量の多少
1	1999	226	多い
2	1999	226	
3	2019	195	
4	1992	174	
5	2008	174	
6	2012	168	
7	2006	153	
8	1990	152	
9	1996	146	
10	2007	145	
11	2004	139	平年値
12	1995	138	
13	2009	131	
14	2002	120	
15	2013	118	
16	1997	117	
17	2015	118	
18	1998	112	
19	2010	111	
20	2005	104	
21	2009	99	少ない
22	2000	92	
23	2016	88	
24	2011	81	
25	2017	78	
26	1991	74	
27	2001	73	
28	1994	66	
29	2018	52	
30	2014	39	

表-7 説明変数のパターン(4パターン)

パターン	説明変数		
	道路幅員構成	運搬排雪回数	気象観測値
①	-	運搬排雪(巻出)回数 運搬排雪(拡幅)回数	最深積雪
②	歩道幅員 路肩幅員 車道幅員 路肩幅員(中央側) 中央帯幅員	運搬排雪(巻出)回数 運搬排雪(拡幅)回数	最深積雪
③	-	運搬排雪(巻出)回数 運搬排雪(拡幅)回数	平均気温 平均湿度 平均風速 降水量(累計) 降雪量(累計) 日射時間(累計)
④	-	運搬排雪(巻出)回数 運搬排雪(拡幅)回数	0℃以上の積算気温 平均湿度 平均風速 降水量(累計) 降雪量(累計) 日射時間(累計)

各グループ毎に分類した実測値の件数、修正済重相関係数の最大値で整理した結果を表-8 に示す。降雪傾向グループの「1月の降雪量が多い」では、実測値がなく分析できなかった。修正済重相関係数が、道路幅員構成の分離帯「無」で 0.58、道路幅員構成の路肩幅員の状況「1m以下」で 0.58 と、0.6以下が2分類あるが、各グループにおいて概ね強い相関が確認でき、グループ毎の修正済重相関係数が最も高い説明変数の組合せの回帰式を堆雪断面積の推移を予測する式とした(式(1))。

$$Y = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n + b \quad (1)$$

Y: 目的変数(堆雪断面積)

$x_n$ : 説明変数

$a_n$ : 偏回帰係数

b: 定数項

強い相関があった年間降雪量のグループによる予測式の偏回帰係数を表-9 に示す。

表-8 重回帰分析の結果

グループ	実測値(件)	修正済重相関係数(修正R)			説明変数 最適化ターン
		R<0.6	0.6<R<0.7	0.7<R	
道路幅員構成	単線数	228		○	③
	4車線	942		○	③
	分離帯の有	522		○	③
	無	648	○		③
路肩幅員の状況	2m以上	177		○	④
	1m超 2m未満	231		○	③
	1m以下	762	○		③
運搬排雪工法	巻き出しのみ	415		○	③
	拡幅のみ	470		○	①
	巻き出し・拡幅の両方	195		○	②
	作業実績なし	90		○	①
年間降雪量	多い	90		○	②
	平年並み	530		○	④
	少ない	550	○		④
降雪傾向	12月の降雪が多い	240		○	③
	1月の降雪が多い	-	-	-	-
	2月の降雪が多い	200		○	②
	各月平年並み	150		○	②
その他	580		○	②	

表-9 堆雪断面積予測式の偏回帰係数(年間降雪量グループによる分類)

説明変数 $x_n$	偏回帰係数 $a_n$			
	年間降雪量			
	多い	平年並み	少ない	
道路幅員	路肩幅員	-1.1225	-	-
	路肩幅員(中央帯側)	0.7831	-	-
	中央帯幅員	-0.0394	-	-
運搬排雪回数	排雪巻出(回数)	-3.3267	-1.4332	-1.2633
	排雪拡幅(回数)	-2.0409	-0.8040	-0.1493
気象観測値	0°C以上の積算気温	-	0.0156	-0.1237
	平均湿度	-	-	-0.0673
	平均風速	-	0.8221	0.6256
	降水量(累計)	-	-0.0397	0.0068
	降雪量(累計)	-	0.0116	0.0145
	日射時間(累計)	-	-0.0043	-0.0068
	最深積雪(cm)	0.0618	-	-
定数項b	0.8312	-1.6160	4.3316	

### 3. 堆雪断面積の推移予測式の検証

堆雪断面積の予測式として、予測値と実測値の比較による増減傾向の確認により適用性を検証した。検証は前項で分析に使用した2019年度までに堆雪断面積を計測した同じ箇所を2020, 2021年度に追加計測した実測値にて行った。実測値は、2020年度は、3地域で1箇所あたり10回、1シーズン計300件、2021年度は1箇所あたり3回の計90件の合計390件の計測値とした。

2020, 2021年度の降雪状況によるグループ分けを表-10, 11に示す。年間降雪量グループ「多い」はこの2箇年では実測値がなかった。特に2021年度の札幌は記録的な大雪と言われていたが、年間降雪量は平年並みであった(表-10, 図-3)。

表-10 年間降雪量の多少による分類(札幌, 旭川, 小樽)

年間降雪量	地域と年度	
多い		
平年並み	札幌2021	
少ない	札幌2020	
	小樽2020	小樽2021
	旭川2020	旭川2021

表-11 月別降雪量による分類(札幌, 旭川, 小樽)

月	多い	平年並み	少ない
12月	旭川2020	札幌2021	札幌2020 旭川2021 小樽2020 小樽2021
1月	札幌2021	札幌2020 小樽2021	旭川2020 旭川2021 小樽2020
2月	札幌2021 旭川2020	旭川2021	札幌2020 小樽2020 小樽2021

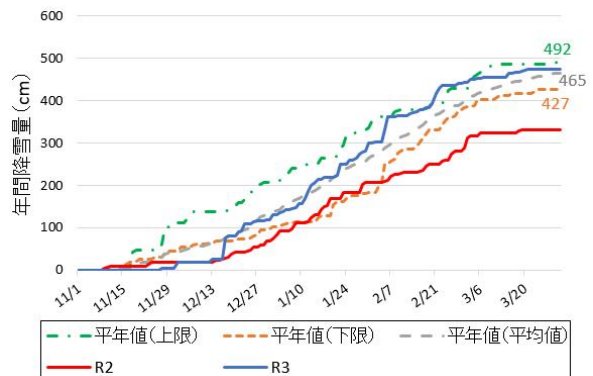


図-3 年間降雪量の平年値(アメダス札幌30年間1990~2019年度)<sup>5)</sup>

実測値や各種要素を該当する各グループ毎にそれぞれ分類し、各グループの分類ごとの予測式を使用して、時間経過による予測値を算出し、実測値との比較例を図4～8に示す。予測値においては日毎の数値を算出しているため、グラフの線形においては差異はあるが、実測値の計測日での比較では概ね同様の増減傾向を示し、予測式としての適用性が確認できた(図4～7)。しかし、予測値と実測値の大きな乖離が確認された分類として、その差が2倍近くとなった運搬排雪工法グループの「作業実績なし」比較例を図8に示す。

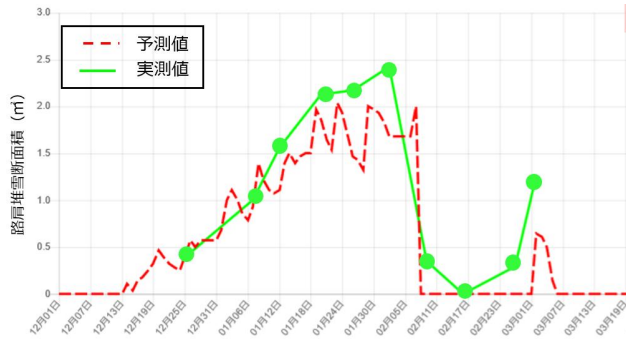


図4 予測値と実測値の比較例  
(降雪傾向：その他、  
R2 札幌, KP274 KP12 付近, 上り)

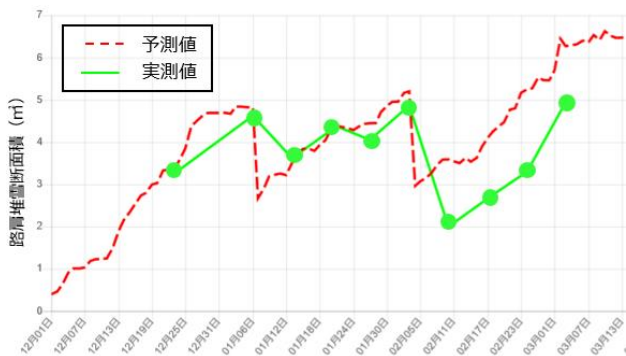


図5 予測値と実測値の比較例  
(降雪傾向：12月の降雪が多い、  
R2 旭川, R39 KP6 付近, 上り)



図6 予測値と実測値の比較例  
(年間降雪量：平年並み, R3 札幌, R274 KP12 付近, 上り)

おおむね同様の傾向が確認できたグループは、前項での分析した実測値件数が多いものが多く(表-8(再掲))、運搬排雪工法グループの「作業実績なし」は90件と少なかった。90件は、1シーズンの1地域の計測件数(100件)にも満たない件数での傾向の分析になるため、実測値の件数が多いものに比べて適用性が低くなったと考えられる。また2箇年の実測値では年間降雪量グループ「多い」のように該当するグループがなく、検証できない分類もあった。

今後、予測精度向上に向け、特に実測値の件数が少ないグループでの件数を増やすため、計測を継続していきたい。道路幅員構成による分類では、該当する計測地点を増やすことで増加は可能であるが、降雪状況は、当該

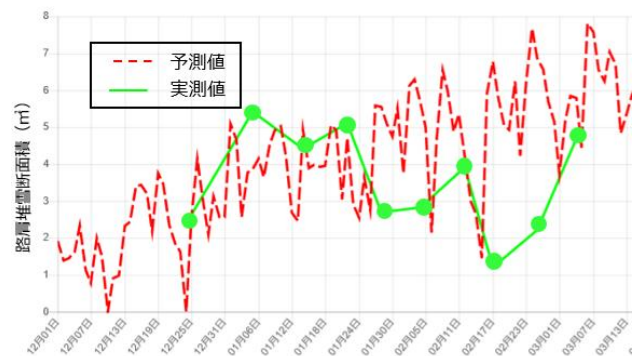


図7 予測値と実測値の比較例  
(年間降雪量：少ない, R2 小樽, R5 KP236 付近, 上り)

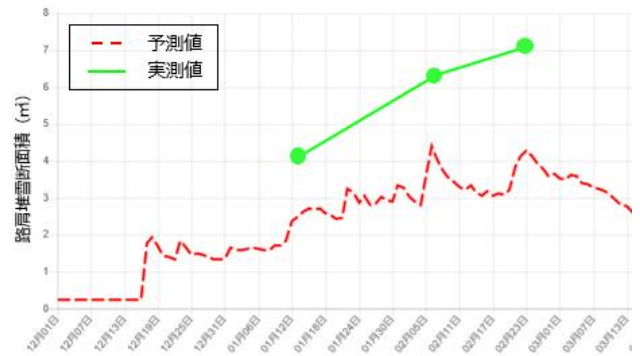


図8 予測値と実測値の比較例  
(運搬排雪工法：作業実績なし、  
R3 旭川 R274 KP16 付近, 下り)

表-8(再掲) 重回帰分析の結果

グループ	実測値(件)	修正済重相関係数(修正R)			説明変数
		合計	R<0.6	0.6<R<0.7	
車線数	6車線	228			⑤
	4車線	942		○	⑤
分離帯の有	有	522		○	⑤
	無	648	○		⑤
幅員構成	2m以上	177		○	④
	1m超 2m未満	231		○	⑤
	1m以下	762	○		⑤
運搬排雪工法	巻き出しのみ	415		○	⑤
	拡幅のみ	470		○	①
	巻き出し・拡幅の両方	195		○	⑤
作業実績	作業実績なし	90		○	②
	多い	90		○	②
	少ない	550		○	④
年間降雪量	12月の降雪が多い	240		○	⑤
	1月の降雪が多い	200	-	-	-
降雪傾向	各月平年並み	150		○	⑤
	その他	580		○	②

年度の気象条件によるため長期間での計測の継続が必要である。

また、今回は、予測値と実測値の増減傾向の比較により適用性を検証してきたが、今後は、予測値と実測値の差分による偏差等により、適用性の検証や予測精度の評価について検討していく。

#### 4. まとめ

運搬排雪計画の立案を支援する技術の構築に向け、路肩堆雪の成長傾向を把握するため、堆雪の大きさである堆雪断面積の実測値を、路肩堆雪の成長に影響すると考えられる各種要素（道路幅員構成、運搬排雪回数、気象観測値等）から重回帰分析を行い、算出した堆雪断面積予測式の適用性について検証した。予測式において、実測値の計測地域以外でも広く適用できるよう、実測値と各種要素を現地条件等によりグループ分けし分析を行った。

その結果、予測値と実測値の比較では、おおむね同様の増減傾向を示し、予測式の適用性が確認できた。

しかし、実測値が少なく一部適用性が低いグループや、実測値自体がなく未検証のグループがあるなどの課題も確認している。

今後、予測精度向上に向け、特に実測値の件数が少ないグループでの件数を増やすため、計測の継続や、予測値と実測値の差分による偏差等を用いて、予測式の適用性を検証し、予測精度の評価についても検討していく。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省冬期道路交通確保対策検討委員会：大雪時の道路交通確保対策 中間とりまとめ，pp.14-15，2018（2021改定）。  
<http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/toukidourokan-ri/pdf/t02.pdf>（2022年9月14日確認）
- 2) 飯田美喜，植野英睦，久慈直之：気象観測値を用いた路肩堆雪断面積の推計，寒地土木研究所月報，No.811，pp. 27-31，2020.
- 3) 飯田美喜，植野英睦，吉田智：道路幅員構成等の分類による堆雪成長傾向分析について，寒地土木研究所月報，No.824，pp. 26-30，2021.
- 4) 国土交通省気象庁：各種データ・資料  
<https://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/cgi-bin/view/explanation/faq.html>  
（2022年9月14日確認）
- 5) 国土交通省気象庁：各種データ・資料  
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>  
（2022年9月14日確認）

(?)