

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

飯田 美喜 植野 英睦 吉田 智

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。そのため、早期に実施時期や工法（拡幅、巻出、カット等）を決定し、除雪機械、オペレータ、ダンプトラック、交通誘導員等を確保する必要がある。

一方で、除雪作業従事者の減少、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いる¹⁾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できれば、該当工区 of 道路維持管理に必要な運搬排雪工法と実施時期の推定が可能となり、運搬排雪計画立案の基礎資料として活用できる。

そこで、運搬排雪計画立案の支援技術提案に向け、堆雪断面積の実測値を道路幅員構成、運搬排雪回数、気象観測値等から重回帰分析を行い、その回帰式について堆雪断面積の推移を予測する式としての適用性を検証した。過年度までに堆雪断面積を実測している地域毎で分析を行っていたが、実測していない地域においても、予測式の適用が可能となるよう、地域毎以外

の要素でグループ（道路幅員構成、運搬排雪工法、降雪量等）を分け、項目ごとに重回帰分析を行い、予測式を検証した。

2. 路肩堆雪の成長傾向分析

2. 1 堆雪断面形状の計測

運搬排雪作業の必要要件として、道路有効幅員や路肩堆雪の幅や高さ等が考えられるが、時間経過による堆雪の成長傾向を把握するため、「堆雪断面積」を選定し測定した。

路肩堆雪断面積は、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。計測箇所は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、計測は12月上旬から2月下旬に概ね7日毎に行い、札幌、小樽、旭川で1地域あたり10件、1シーズンで計300件計測した（表-1）。

2. 2 路肩堆雪成長傾向の重回帰分析

2. 2. 1 分析方法

路肩堆雪の大きさの推移を把握するため、堆雪断面積を目的変数として、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



写真-1 路肩堆雪による道路有効幅員の減少



写真-2 路肩堆雪断面形状の計測状況

象観測値等) から重回帰分析を行った(図-1)。

過去に、地域毎(札幌、小樽、旭川)の重回帰分析による回帰式を用いて、堆雪の大きさの推移を予測する式として適用の検証を行った²⁾が、その他の地域でも予測式の適用が可能となるよう、現地の道路幅員構成、実施された運搬排雪工法及び降雪量等によりグループを分け、それぞれ重回帰分析を行った(表-2)。

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 | | | | | | | | |

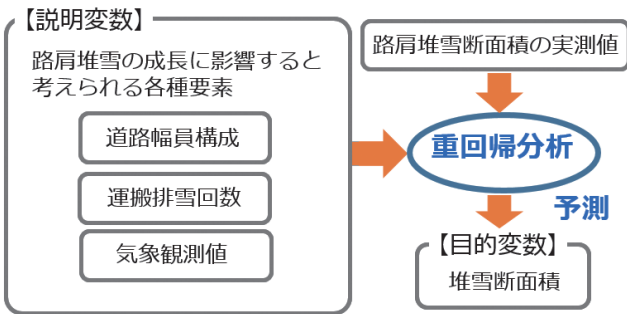


図-1 重回帰分析方法

表-2 重回帰分析のグループ分け

| グループ | 修正済重相関係数(修正R) | 修正済重相関係数(修正R) | | |
|---------|---------------|---------------|-----------|-------|
| | | R<0.6 | 0.6<R<0.7 | 0.7<R |
| 道路幅員構成 | 車線数 | 6車線 | | ○ |
| | | 4車線 | ○ | |
| | 中央分離帯の有無 | 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 | 全道(札幌・旭川) | | ○ |
| | | 札幌 旭川 | ○ | ○ |
| | 1月の降雪が多い | 全道(札幌・旭川) | - | - |
| | | 札幌 旭川 | - | - |
| | 2月の降雪が多い | 全道(札幌・小樽) | | ○ |
| | | 札幌 小樽 | | ○ |
| | 各月平年並み | 全道(札幌・旭川) | | ○ |
| | | 札幌 旭川 | | ○ |
| | その他 | | | ○ |

分析に使用した堆雪断面積の実測値は、札幌は7年分(平成25~令和元年度)、旭川と小樽は3年分(平成29~令和元年度)を使用した。

なお、説明変数は本稿に先立ち実施した地域毎の分析時²⁾に最適となった組合せ(パターン①、④)と、最深積雪深を除いた気象観測値を使用する組合せ(パターン②、③)の4つのパターンを設定した(表-3)。

道路幅員構成は道路構造令³⁾を参考に、分析の便宜上、図-2のとおり名称付けしグループ分けを行った。運搬排雪回数は、除雪従事者からご提供いただいた作業日報等の除排雪実施資料から抽出した。気象観測値は、気象庁ホームページから入手可能なアメダスデータを用い、項目によって平均値や累計値を使用し

表-3 説明変数のパターン

| 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 | 最深積雪深 |
| ② | - | 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) |
| ③ | - | 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) |
| ④ | 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 | 最深積雪深 |

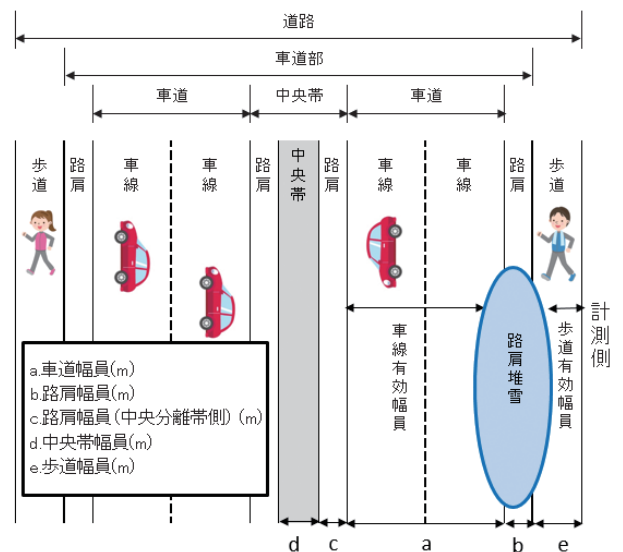


図-2 道路幅員構成の概略

た(表-4)。最深積雪深は、自然に降り積もって地面をおおっている雪などの固形降水の深さの最大値で

表-4 アメダスデータの加工内容

| 気象観測値 | アメダスデータの加工内容 |
|------------|------------------------------------|
| 平均気温 | 日平均気温を分析期間(積雪開始日から路肩堆雪断面積計測日まで)で平均 |
| 0°C以上の積算気温 | 日平均気温の内、0°C以上のデータを分析期間内で累積加算 |
| 平均湿度 | 日平均湿度を分析期間で平均 |
| 平均風速 | 日平均風速を分析期間で平均 |
| 降水量(累計) | 日降水量の内、当該日の降雪量が0cmだったものを分析期間内で累積加算 |
| 降雪量(累計) | 日降雪量を分析期間内で累積加算 |
| 日射時間(累計) | 日射時間を分析期間内で累積加算 |
| 最深積雪深 | - |

表-5 説明変数毎の符号検定

| 説明変数 | 符号 | 符号設定理由 | |
|--------|------------|--------|---|
| 道路幅員 | 歩道幅員 | - | 本説明変数が路肩堆雪断面積の変化にどのように影響するか判断が困難であるため、符号による検定は行わないものとする。 |
| | 路肩幅員 | - | 同上 |
| | 車道幅員 | - | 同上 |
| | 路肩幅員(中央側) | - | 同上 |
| | 中央帯幅員 | - | 同上 |
| 運搬排雪回数 | 運搬排雪(巻出)回数 | 負 | 運搬排雪(巻出)が行われることにより、路肩堆雪が排雪されることから、路肩堆雪断面積が減少するものし、偏回帰係数の符号は負であるべきとする。 |
| | 運搬排雪(拡幅)回数 | 負 | 運搬排雪(拡幅)が行われることにより、路肩堆雪が排雪されることから、路肩堆雪断面積が減少するものし、偏回帰係数の符号は負であるべきとする。 |
| 気象観測値 | 平均気温 | 負 | 気温の上昇に伴い、路肩堆雪が融解するものと考えられ、融解により、路肩堆雪断面積が減少することから、偏回帰係数の符号は負であるべきとする。 |
| | 0°C以上の積算気温 | 負 | 同上 |
| | 平均湿度 | - | 降雨時は平均湿度が高い傾向にあり、この場合は路肩堆雪の融解が進むため、負の符号を設定すべきと考えられる。 一方、平均湿度が低く、平均風速が大きく、平均気温が高い場合は融解に伴う蒸散量が大きくなると言われているため、正の符号が妥当であると言える。 このため、同時に発生している気象現象による本説明変数に設定すべき符号が変化することから、符号による検定は行わないものとする。 |
| | 平均風速 | 負 | 平均風速が大きく、平均気温が高く、平均湿度が低い場合は、路肩堆雪の融解が進む傾向にあると言われているため、偏回帰係数の符号は負であるべきとする。 |
| | 降水量(累計) | 負 | 降雨により路肩堆雪の融解が進むため、負の符号を設定すべきと考えられる。 |
| | 降雪量(累計) | 正 | 降雪による路肩堆雪部、及び車道部に堆雪量が増加するため、偏回帰係数の符号は正であるべきとする。 |
| | 日射時間(累計) | 負 | 日射時間に比例して、気温が上昇し路肩堆雪の融解が進むと考えられるため、偏回帰係数の符号は負であるべきとする。 |
| | 最深積雪深 | 正 | 最深積雪深は、自然状態における積雪深の増減を表していることから、偏回帰係数の符号は正であるべきとする。 |

あり、積雪は時間とともに重みで沈んだり解けたりするため累計の降雪量と差が出る⁴⁾など、堆雪の成長と同様な傾向を示す。そのような最深積雪深の性質から、堆雪断面積の大きさの分析にはアメダスデータの加工をせずに使用した。一方、日平均気温は、パターン②では分析期間の平均気温、パターン③では分析期間の0°C以上の積算気温の2方法で加工した。同一グループでも加工方法により分析結果が異なり、グループ毎に、より相関が強い説明変数として整理することができた。

重回帰分析の実施にあたっては、表-3のうち最適としたパターンについて、相関の強さを示す修正済重回帰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(表-5)を行い、堆雪成長に影響がある説明変数を整理した。なお、降雪傾向(1月の降雪が月別降雪量の平年値より多い)では実測値が少ないため、分類が難しく、分析を行えなかった。

2. 2. 2 分析結果

分析結果の一例として、年間降雪量のグループの分析を示す。年間降雪量の多少により3項目に分けた。1990年度から2019年度までの過去30年間の年間降雪量を基に年間降雪量の平年値を算出した(図-3、表-6)。年間降雪量はアメダス札幌の日降雪量の年合計とした。

各地域年度の年間降雪量平均値が平年値の範囲(下

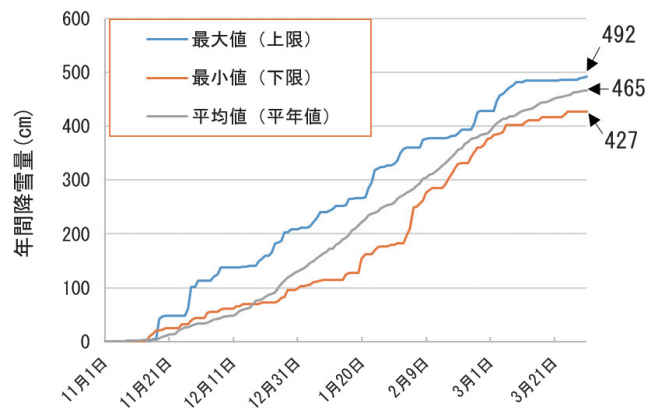


図-3 年間降雪量の平年値(アメダス札幌30年間)

表-6 年間降雪量の平年値の範囲

| 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 |

限から上限)にある場合は「平年並み」とし、それより「多い」場合と「少ない」場合に分類し、グループ毎に説明変数の4パターンで分析し、最適なパターンを選定し、そのパターンの説明変数について検定等により整理した。重回帰分析の結果を表-7に示す。修正済重相関係数は年間降雪量が「多い」、「平年並み」では0.7以上であり、「少ない」場合では0.6程度であった。

その他のグループについても同様に分析し、修正済重相関係数の最大値で整理した結果を表-2(前出)に示した。同表には、修正済重相関係数が最も高い説明変数の組合せを、それぞれのグループ毎に整理した。

3. 堆雪断面積の推移予測式の検証

重回帰分析結果による、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を用いた回帰式を堆雪断面積の推移を予測する式とし、時間経過による予測値を算出し、実測値と比較した(図-4、5)。堆雪断面積の予測式は式(1)に、その説明変数及び偏回帰係数を表-8に示す。

$$Y = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_9x_9 + b \quad (1)$$

Y: 目的変数(堆雪断面積)

x: 説明変数

a: 偏回帰係数

実測値と予測値は概ね同様の傾向であることを確認した。項目によって母集団が少ない等の課題はあるものの、地域毎以外の要素である道路幅員構成等の分類による堆雪断面積予測式としての適用の可能性を確認できた。

表-7 年間降雪量の多少ごとの重回帰分析結果

| 年間降雪量 | 地域と年度 | | 実測値(件) | 修正済重相関係数 | 説明変数 | |
|-------|--------|--------|--------|----------|--------|--------------------------------|
| | | | | | 最適パターン | 整理後 |
| 多い | 札幌2016 | | 90 | 0.9333 | ④ | 歩道幅員、車道幅員を除外 |
| 平年並み | 札幌2013 | 札幌2015 | 560 | 0.7257 | ③ | 0℃以上の積算気温、平均湿度、平均風速、降水量(累計)を除外 |
| | 札幌2017 | 札幌2019 | | | | |
| 少ない | 札幌2014 | 札幌2018 | 550 | 0.6033 | ③ | - |
| | 小樽2018 | 小樽2019 | | | | |
| | 旭川2018 | 旭川2019 | | | | |

4. まとめ

運搬排雪計画立案の基礎資料への活用に向けて、路肩堆雪の成長傾向を把握するため、堆雪断面積を目的変数として重回帰分析を行い、その回帰式を堆雪断面積予測式として検証した。

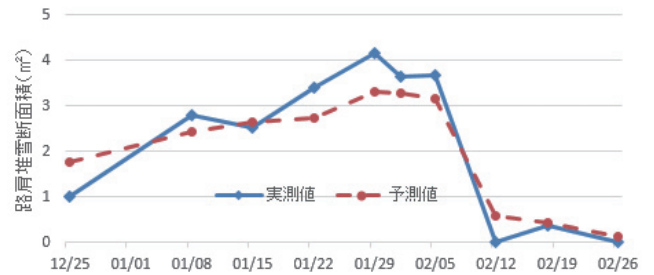


図-4 予測値と実測値の比較例
(車線数 6車線 パターン②
札幌H30 R274 L側 KP=15付近)

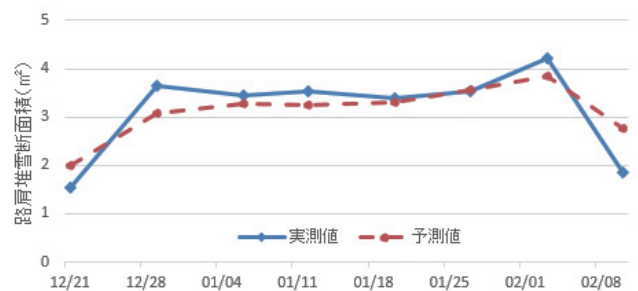


図-5 予測値と実測値の比較例
(路肩幅員の状況 2m以上 パターン③
札幌H28 R274 L側 KP=18付近)

表-8 堆雪断面積予測式の偏回帰係数

| 説明変数 | 偏回帰係数 | | | |
|-------|------------|------------------|-----------------------|---------|
| | 記号 | 車線数 6車線 パターン② | 路肩幅員の状況 2m以上 パターン③ | |
| 雪運搬回数 | 運搬排雪(巻出)回数 | a ₁ | -2.8814 | -1.7395 |
| | 運搬排雪(拡幅)回数 | a ₂ | -0.6758 | -0.7600 |
| 気象観測値 | 平均気温 | a ₃ | -0.3213 | - |
| | 0℃以上の積算気温 | a ₄ | - | - |
| | 平均湿度 | a ₅ | 0.1512 | 0.0057 |
| | 平均風速 | a ₆ | - | - |
| | 降水量(累計) | a ₇ | - | - |
| | 降雪量(累計) | a ₈ | 0.0185 | 0.0176 |
| | 日射時間(累計) | a ₉ | -0.0105 | -0.0158 |
| | 定数項 | b | -10.8823 | -5.9545 |

重回帰分析は、地域毎以外の要素（道路幅員構成、運搬排雪工法、降雪量等）により分類したグループ毎に、堆雪断面積の実測値を用いて行った。その結果、修正済重相関係数が最も高い説明変数の組合せを整理し、その回帰式を地域毎以外のグループによる堆雪断面積予測式としての適用の可能性を確認した。

分類方法によっては、特定の項目で母集団が少ない等の課題が明らかになり、より簡易的な計測方法を検証し、堆雪断面積の計測数及び計測地点の増加を目指したい。

今後、現地の道路幅員構成等の分類による、最適な堆雪断面積予測式を選定するフローを作成する予定である。

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/touki-dourokanri/pdf/t02.pdf>（2021年8月31日確認）
- 2) 飯田美喜、植野英睦、久慈直之：堆雪成長傾向分析結果を活用した運搬排雪作業計画支援技術の開発、第35回寒地技術シンポジウム、2019.
- 3) 日本道路協会：道路構造令の解説と運用、pp.112-113、pp.179-182、2015.
- 4) 札幌管区気象台 雪に関する用語解説。
https://www.jmanet.go.jp/sapporo/tenki/kansoku/snow/yuki_kaisetu.html（2021年8月31日確認）



飯田 美喜
IIDA Miki

寒地土木研究所
技術開発調整監付
寒地機械技術チーム
研究員



植野 英睦
UENO Hidechika

寒地土木研究所
技術開発調整監付
寒地機械技術チーム
主任研究員



吉田 智
YOSHIDA Satoshi

寒地土木研究所
技術開発調整監付
寒地機械技術チーム
主任研究員