

効果的な除排雪作業実施時期を 判定する手法の検討

国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 寒地機械技術チーム ○村田 晴彦

吉田 智

村山 寛人

効果的な除排雪作業の計画支援を目的に、気象・道路構造・除雪作業記録データから路肩堆雪形状の変化を推定するモデルを試作した。さらに、実際の気象・道路構造データと仮定した除雪作業実施日を試作モデルに入力し、各条件に応じた堆雪形状を推定することにより、除排雪作業の効果的な実施時期を判定する手法について検討を行った。本稿では、特に実施時期の判定手法およびその結果について報告する。

キーワード：除排雪作業、計画支援、気象データ

1. はじめに

運搬排雪や拡幅除雪といった二次除雪（図-1）は路肩堆雪の成長に伴う道路有効幅員の減少を抑制し、安全かつ安定的な冬期道路交通を確保する上で必要不可欠な作業である。一方、これらの作業は新雪除雪と比べて多くの機材（除雪機械、ダンプトラック）や人員（オペレータ、誘導員）を配置する必要がある。したがって、作業を実施する際には時間的余裕を持って除雪工法および実施時期を計画できることが望ましい。そのためには、冬期間を通しての路肩堆雪形状の変化を推定できることが重要である。しかし、これまでの取り組みは実際の形状を簡易に計測する手法の実証にとどまっており（例えば、飯田ら¹⁾）、冬期間を通しての形状を推定する手法については検討されていない。

そこで、本研究では除排雪作業の計画支援を目的に、



図-1 運搬排雪作業の実施状況

気象、道路構造、除排雪作業記録データから路肩堆雪形状を推定するモデル（以下、路肩堆雪形状推定モデル）を試作した。さらに、気象、道路構造データの実測値と仮定した除排雪作業実施日を試作モデルに入力し、各条件に応じた堆雪形状の変化を推定することにより、除排雪作業の効果的な実施時期を判定する手法について検討を行った。なお、路肩堆雪形状推定モデルの試作については既報²⁾であるため、本稿では、モデルの概要およびモデルを用いた効果的な除排雪作業の実施時期の判定手法とその結果について報告する。

2. 路肩堆雪形状推定モデルの概要

本モデルは、道路の単位延長あたりの堆雪量を気象（降雪量と気温）、道路構造、除雪記録（運搬排雪と拡幅除雪の実施日）の各データから推定する堆雪量推定手法と、推定された堆雪量をあらかじめ定めた基準に基づき多角形状に等積変形して堆雪形状を推定する堆雪形状推定手法の2つで構成されている。堆雪量推定手法では、降雪による増加量と0°C以上の気温に伴う融雪による減少量を1日ごとに計算し、その積算により堆雪量を推定した。また、堆雪形状推定手法では、既往研究³⁾を参考に、路肩堆雪は三角形状に積み重なった後、堆雪量の増大に伴い徐々に台形状に遷移するという仮定のもと、推定堆雪量から形状を推定した。

試作したモデルを2022/23年冬期に適用し、同時期に札幌市内の国道5号で計測された計6回の堆雪形状と比較することにより精度検証を行った（図-2）。ここで

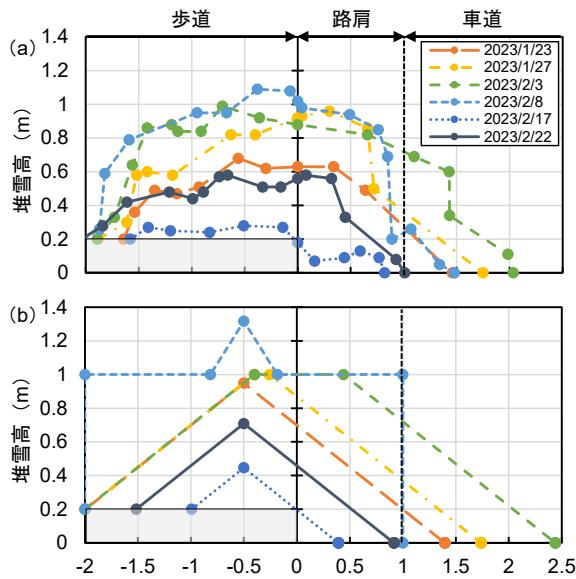


図-2 2022/23年冬期における
実測堆雪形状 (a) と推定堆雪形状 (b)

は、歩道端部を座標の原点、堆雪中心を-0.5 mとしている。なお、この地点では、卷出による運搬排雪が2回（1月14日、2月15日）、拡幅除雪が1回（2月8日）実施されていた。そのため、モデル上では運搬排雪の後には堆雪量を0、拡幅除雪の後には路肩からはみ出した堆雪を路肩端部より内側の堆雪上部に積み重ねる処理を行っている。検証の結果、2022/23年冬期の堆雪の場合、絶対誤差の範囲は堆雪量で0.02~0.51 m³/m、堆雪幅で0.01~0.48 m、堆雪高さでは0.08~0.27 mであり、モデルにより堆雪形状を概ね再現することができた。

3. 効果的な除排雪作業の実施時期の分析方法

(1) モデルへの入力条件

分析対象とした冬期および地点は第2章で路肩堆雪形状推定モデルの検証を行った2022/23年冬期および札幌市内の国道5号とした。また、本モデルの入力データの内、気象および道路構造データは一定であるとみなし、入力値には検証に使用した対象地点近傍の気象観測地

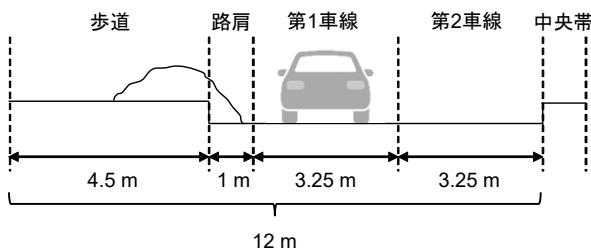


図-3 分析対象地点における道路幅員構成

点における観測値⁴と道路幅員構成⁵（図-3）を用いた。一方、除排雪記録データについて、その作業内容や実施日の組み合わせには様々なパターンが考えられる。そこで、本研究では、2022/23年冬期における作業実績を参考に、除排雪作業は巻出による運搬排雪2回と拡幅除雪1回の計3回の条件で必ず実施されると仮定し、そのすべての組み合わせを試行した。ただし、同日に作業を2回以上行うことは想定していないため、組み合わせ数は2022年12月1日～2023年3月31日の121日間から選択される863,940通りである。

(2) 「最適」条件の判定手法

「最適」条件を判定するにあたっては、道路交通への影響度合いで評価することが望ましい。そこで、本研究では、モデルにより推定した堆雪形状の車道側端部が路肩から車道にはみ出した場合を対象に、はみ出し幅の積算値をはみ出した日数で除した「平均はみ出し幅 (W_{avr})」を用いて評価した。平均化することにより、はみ出した日数は少ない一方で、はみ出した幅が大きく道路交通への影響度合いが大きいと考えられる条件が「最適」と判定されるような場合を回避できる。

また、本分析により判定された「最適」条件と熟練した技術者が判断した実施日を比較することにより、路肩堆雪形状推定モデルを用いた除排雪作業の実施時期の判定手法の有用性を検証した。

4. 実施時期の分析結果

(1) 2022/23年冬期における気象観測値と推定堆雪増減量

分析対象期間における日降雪量 (cm) と日平均気温 (°C) の変化を図-4、気象データから推定した1日ごとの単位面積あたりの路肩堆雪水量 (mm/m²) の増減量を図-5に示す。この期間の日降雪量は平均4.1 cm、累計498 cmであり、平年並みからやや少ない状況であった。加えて、日降雪量の最大値は29 cmであり、極端な大雪は観測されていない。日平均気温については1月14日に4.4°Cまで上昇したものの、多くは0°C以下であった。

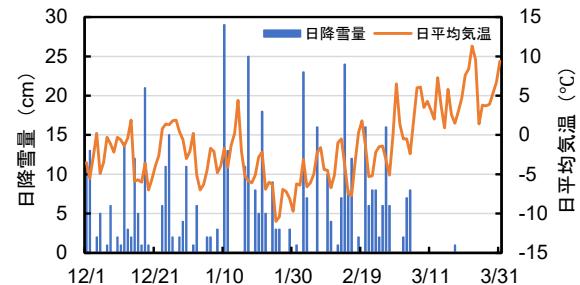


図-4 日降雪量と日平均気温の変化

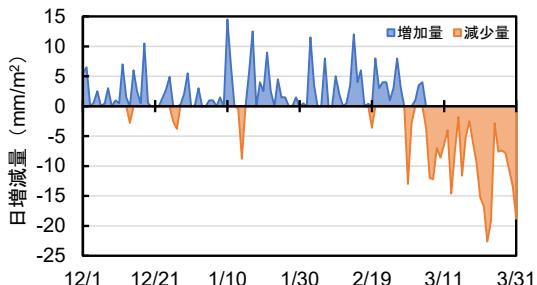


図-5 1日ごとの路肩堆雪水量の増減量

したがって、図-5に示すように堆雪水量は2月下旬までは増加し、以降は気温の上昇に伴い徐々に減少していくと推察される。

(2) 「最適」条件の判定結果

全863,940通りの条件ごとに算出した W_{over} の度数分布を図-6に示す。 W_{over} の最小値と最大値はそれぞれ1.5 mと5.9 mである。本研究では、0 mを歩道端部、歩道端部から1 mの位置を路肩端部と定めているため、 W_{over} が1.5 mという状況は堆雪が路肩から車道に平均して0.5 mはみ出していたことを意味している。同様に、 W_{over} が5.9 mの場合、路肩からのみ出し幅が4.9 mであるから、堆雪が第1車線（幅3.25 m）を超えて第2車線まではみ出していたと判断できる。一方、全パターンの約90%は W_{over} が4.0 m以下であり、ほとんどの場合、堆雪は第1車線の範囲内で収まっている。したがって、分析対象冬期の気象条件では、どのような除雪作業の内容と実施日の組み合わせであっても、堆雪が第2車線まではみ出すことはほとんどなく、少なくとも1車線の確保が可能であった。

次に、計2回の運搬排雪実施日の組み合わせによる W_{over} の分布を図-7に示す。ここでは、拡幅除雪実施日が実際の作業日である2月8日（a）と拡幅除雪の効果が得られない条件である3月31（b）の2パターンを対象とした。例えば（a）の場合、拡幅除雪は期間の中頃に行われていたため、（b）の場合に W_{over} が4.5 m以上に達するような極端な条件（運搬排雪実施日が12月上旬や3月下旬）であっても W_{over} は抑制されている。一方、実際の運搬排雪実施日である1月14日と2月15日の組み合わせの場合、（a）と（b）のどちらであっても W_{over} は1.5~2.0 mの範囲に含まれている。ただし、第1回の実施日が第2回より早くなることはないため、図の下半分に該当するデータは存在しない。したがって、2022/23年冬期の場合、1月15日前後と2月10日前後に運搬排雪を実施すると路肩堆雪の成長に伴う道路交通への影響が少なく、より効果的な除雪作業の実施が可能であると言える。

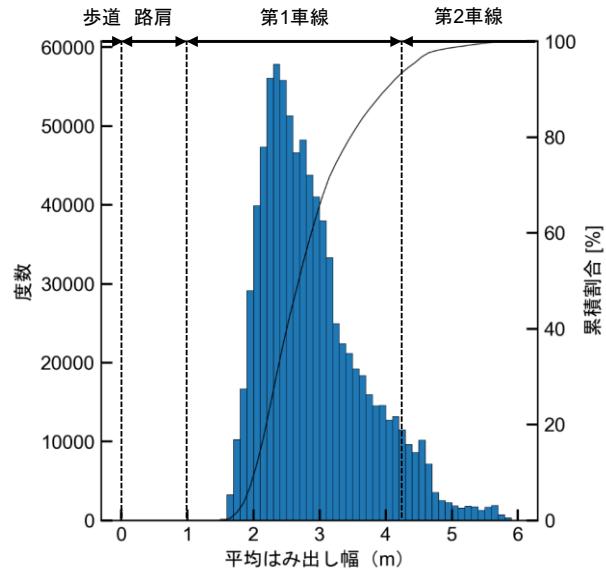


図-6 平均はみ出し幅 (W_{over}) の度数分布

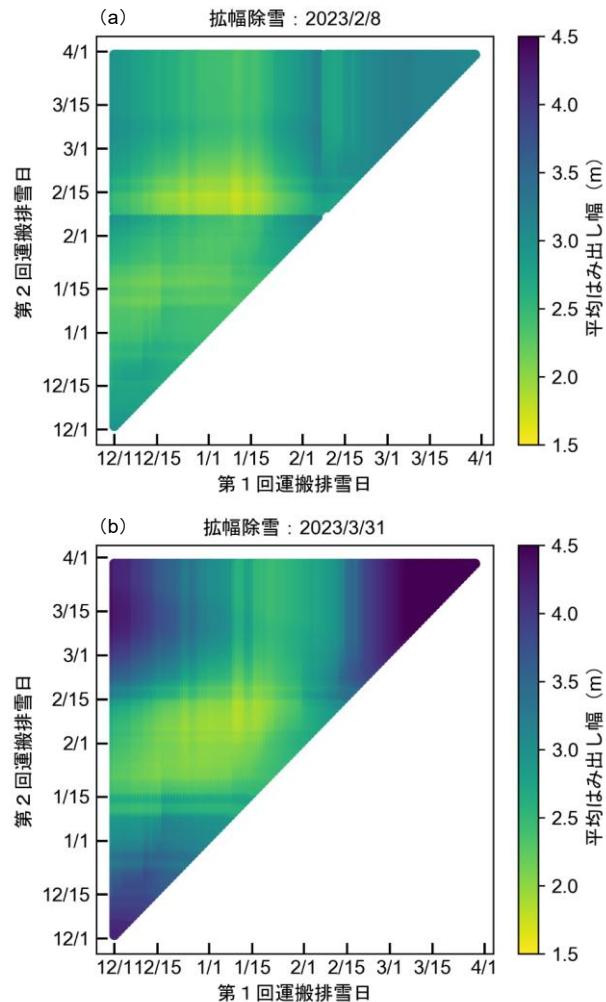


図-7 運搬排雪実施日の組み合わせによる平均はみ出し幅 (W_{over}) の分布

(3) 実際の作業日と「最適」条件との比較

分析対象期間における路肩堆雪の車道側端部位置について、計6回の実測位置、実際に除雪が行われた除排雪実施日を入力した場合のモデルによる予測値の変化 ($W_{\text{over}}=1.8$)、「最適」条件 ($W_{\text{over}}=1.5$)と判定された除排雪実施日を入力した場合のモデルによる予測値の変化を図-8に示す。ここで、「最適」条件の除排雪実施日は運搬排雪が1月11日と2月14日、拡幅除雪が12月18日である。この結果は実際の作業日と比較して、拡幅除雪実施日は大きく異なっているものの、運搬排雪実施日のずれは数日間であった。

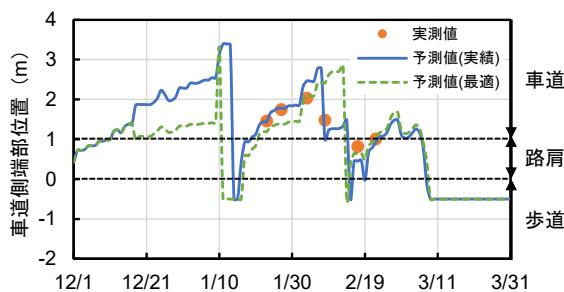


図-8 実際の作業日と最適条件による路肩堆雪の車道側端部位置変化

5. 考察

本研究では、路肩堆雪形状推定モデルを用いて推定した堆雪形状の車道側端部が路肩から車道にはみ出した場合を対象に、はみ出し幅の積算値をはみ出した日数で除した「平均はみ出し幅 (W_{over})」を用いて効果的な除排雪作業実施日の組み合わせを評価した。その結果、第3章(3)で述べたように、運搬排雪実施日について、モデルによる「最適」条件と熟練した技術者が判断した実際の作業日はほとんど同じであった。この時の実施日は第1回、第2回共に20 cm以上の日降雪量が観測された後に該当する。日降雪量20 cm以上は対象冬期間内で5日しか観測されていない条件であり、大雪の後に運搬排雪を行うことで道路交通の影響を低減しやすい可能性があると考えられる。

一方、拡幅除雪実施日については、実際の作業日が2月8日であったのに対して、「最適」条件では12月18日であり、両者で大きく異なっていた。これには、本研究で用いた評価指標 (W_{over}) の影響が考えられる。例えば、日降雪量が少なく、比較的気温が高い12月は路肩堆雪量が増加しづらい。そのため、早い段階で拡幅除雪を実施することではみ出し幅の積算値が大きくなるものの、はみ出した日数も多いため W_{over} の増大は抑制される。反対に、1月や2月には比較的大きな日降雪量が

複数回観測されており、積算値の増加に対して日数は少ないため W_{over} は大きな値になりやすい。したがって、本手法では W_{over} が増大しにくい12月に拡幅除雪を実施する方が「最適」であると判断されたことにより実施日の相違が生まれたと考えられる。しかし、図-7 (a) と (b) の比較からもわかるように、拡幅除雪実施日によらず、 W_{over} が小さくなる運搬排雪実施日の組み合わせの範囲はほとんど同一である。そのため、拡幅除雪実施日の影響は運搬排雪実施日の影響に対して小さく、本分析結果における拡幅除雪実施日の違いによる影響は小さいと考えられる。

以上より、路肩堆雪形状推定モデルから算出した W_{over} を用いることで、道路交通への影響度合いを考慮した、効果的な除排雪作業実施時期の判定が可能であると言える。ただし、本分析ではモデルに含まれる誤差や気象予測精度の影響については評価できていない。そのため、現場適用に向けては、入力条件や出力結果として信頼できる幅についての検討が必要である。

6. まとめ

本研究では効果的な除排雪作業の計画支援を目的に、気象、道路構造、除排雪作業記録データから路肩堆雪形状を推定する路肩堆雪形状推定モデルを試作した。さらに、試作モデルに気象、道路構造データの実測値と仮定した除排雪作業実施日を入力し、算出した「平均はみ出し幅 (W_{over})」を用いて作業実施日の組み合わせを評価した。その結果、路肩堆雪の形状への影響がより大きいと考えられる運搬排雪の実施日は、モデルが判定した「最適」条件と熟練した技術者が判断した実際の作業日はほとんど同じであった。したがって、本手法は効果的な除排雪作業実施時期を判定する一手法になり得ると考える。

参考文献

- 1) 飯田美喜、吉田智、植野英睦（2023）：LiDAR を用いた堆雪量推計技術の検証。寒地技術・論文報告集、39、154-159。
- 2) 村田晴彦（2025）：除排雪作業の計画支援に向けた路肩堆雪形状推定手法の検討。寒地技術論文・報告集、41。
- 3) 公益社団法人雪センター（2025）：防雪ハンドブック 2025 改訂版、p421-423。
- 4) 札幌市内の気象観測記録（区分・年次別）、https://ckan.pf-sapporo.jp/dataset/sapporo_weather (2025/06/20閲覧)。
- 5) 令和3年度 全国道路・街路交通情勢調査 一般交通量調査 集計表、<https://www.mlit.go.jp/road/census/r3/> (2025/06/20閲覧)。