

## マルチエージェントシミュレーションを用いた札幌市の排雪作業の最適化 An agent-based approach to optimizing snow hauling operation in Sapporo

高橋 尚人<sup>†</sup> 吉田 彩乃<sup>†</sup> 中島 秀之<sup>†</sup>  
Naoto Takahashi Ayano Yoshida Hideyuki Nakashima

### 1. はじめに

年間約6mの降雪がある札幌市では、路肩の堆雪を雪堆積場に運搬する排雪作業が重要な雪対策となっている。2018年度には延べ約80万台のダンプトラックが作業に従事し、その総走行距離は430万キロに及ぶため、排雪の運搬距離が作業効率に大きく影響する。

札幌市では市を10のエリアに分け、エリアごとに排雪作業現場と雪堆積場をマッチングしているが、最適なマッチングができず作業の効率が低下している場合があると考えられる。本研究では、デマンド応答型公共交通の一種であるSmart Access Vehicle Systemの最適化アルゴリズムを使用し、排雪作業現場と雪堆積場のマッチングの最適化を図った。

### 2. 排雪作業の概要と課題

#### 2.1 排雪作業の概要

札幌市では年間約6mの降雪があり、道路除雪等の雪対策が重要な事業となっている。道路除雪では、車道の雪を路肩に積み上げて車線を確保するが、路肩の雪の堆積が大きくなり、車線を阻害して渋滞等の原因になる。

排雪作業では、路肩の堆積した雪をダンプトラックに積み込み(図1)、市内の雪堆積場(図2)や融雪施設(下水処理水等で雪を融解する水槽を有する施設)に運搬する。



図1 排雪作業(路肩の雪をダンプトラックへ積込)



図2 雪堆積場

表1に平成30年度冬期の排雪作業実績を示す[1]。札幌市では、排雪作業を運搬排雪、パートナーシップ排雪、交差点排雪に区分している。運搬排雪は幹線道路を対象とし、1月上旬頃から1月末頃まで行われる。パートナーシップ

排雪は生活道路の排雪で、1月下旬頃から3月上旬頃まで行われる。交差点排雪は、交差点の交通容量を確保するため、冬期間を通じて行われる。

表1 平成30(2018)年度 排雪作業の実績

| 排雪作業の種類    | 排雪量(m <sup>3</sup> ) | ダンプトラック |           |
|------------|----------------------|---------|-----------|
|            |                      | 延台数(台)  | 総走行距離(km) |
| 運搬排雪       | 4,604,764            | 328,915 | 1,956,628 |
| パートナーシップ排雪 | 5,509,230            | 393,736 | 1,910,685 |
| 交差点排雪      | 763,408              | 62,842  | 393,512   |
| 合計         | 10,877,402           | 785,493 | 4,260,825 |

札幌市の雪対策予算は200億円を超えるが、1,088万m<sup>3</sup>の雪を延べ80万台近くのダンプトラックで運搬する排雪作業にかかる費用は特に大きく、雪堆積場や設備等の管理費も含めると雪対策予算の約5割を占めている。

#### 2.2 排雪作業の課題

札幌市では、市内を10のエリア(地区)に分け、各地区で日々の排雪作業を計画し、どの雪堆積場・融雪施設(以下「雪堆積場等」と略す)に運搬するか決定している。

札幌市内には、排雪を受け入れる雪堆積場等が約100箇所あるが、土地利用の進展に伴い多くの雪堆積場が郊外に配置されている(図3)[2]。このため、雪堆積場等の少ない地区では他地区と調整し、他地区の雪堆積場等に排雪を運搬する場合がある。

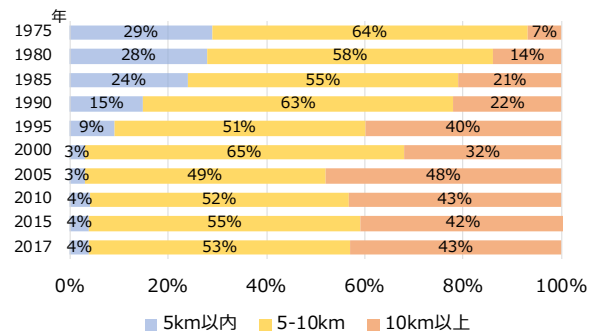


図3 札幌駅を中心とした雪堆積場の距離別箇所の割合

札幌市の排雪作業記録の集計の結果、排雪の平均運搬距離は約6kmだったが、札幌市中心部では平均運搬距離が10kmを超えた。最大運搬距離は16.5kmで、札幌市の中心部から札幌市の端部の雪堆積場まで運搬した例があった[2]。

排雪作業では、ダンプトラックが排雪作業現場と雪堆積上等の間を何往復も走行するため、運搬距離が作業効率に大きな影響を与えるが、排雪作業現場数が多く(最大約300現場/日)、他地区との調整も生じることから、排雪作業現場と雪堆積場等のマッチングが最適化されておらず、運搬距離が長くなっている場合があると考えられる。

<sup>†</sup> 札幌市立大学 Sapporo City University

### 3. 排雪作業の最適化シミュレーション

#### 3.1 本研究の手法

本研究では、排雪作業の最適化にデマンド応答型公共交通の一種である Smart Access Vehicle System (システム全体を指す場合には SAVS、個々の車両を指す場合には SAV) [3]を適用する。SAVS は固定経路を持たず、呼び出し(デマンド)に応じて、場合によっては乗り合いながら乗客を目的地まで届ける、従来のタクシーとバスを統合したようなシステムである。SAV には定員が設定されており、満車の場合にはデマンドに対応しない。

排雪作業では、ダンプトラックの積載量が定められており、排雪作業現場で雪を満積載にして雪堆積場等に向かうため雪堆積場等への経路上で更に雪を積み込むことはないが、排雪作業の作業方法と類似点が多いことから、排雪作業の最適化シミュレーションに SAVS を適用した。

#### 3.2 排雪作業の最適化シミュレーション

##### 3.2.1 シミュレーションの実施条件

本研究では、平成30年度に実施したパートナーシップ排雪を対象としてシミュレーションを行った。シミュレーションの期間は、平成30年度のパートナーシップ排雪初日の平成31年1月28日(月)から2月3日(日)までの1週間とした。当該期間の作業実績を表2に示す。

パートナーシップ排雪の作業現場数が徐々に増えていったのは、1月下旬は、幹線道路の排雪から生活道路の排雪に移行する期間で、幹線道路の排雪作業現場数が徐々に減り、生活道路の排雪作業現場数が増えていったことを表している。また、2月3日(日)の作業現場数が少ないのは、日曜日は基本的に排雪作業を行わないためである。

表2 パートナーシップ排雪の作業実績

| 日付       | 作業現場数 | 排雪量(m <sup>3</sup> ) | 総走行距離(km) |
|----------|-------|----------------------|-----------|
| 1月28日(月) | 8     | 13,272               | 3,175.0   |
| 1月29日(火) | 29    | 39,306               | 11,242.5  |
| 1月30日(水) | 40    | 45,548               | 14,216.0  |
| 1月31日(木) | 57    | 50,434               | 16,126.0  |
| 2月1日(金)  | 125   | 106,420              | 35,917.0  |
| 2月2日(土)  | 179   | 150,110              | 48,401.0  |
| 2月3日(日)  | 21    | 15,288               | 8,158.0   |
| 合計       | 459   | 420,378              | 137,235.5 |

その他、シミュレーション実施にあたって、以下の条件を設定した。

- ① 雪堆積場・融雪施設の受入能力を超えない
- ② ダンプトラックは1つの排雪作業現場と1つの雪堆積場等を往復する

雪堆積場、融雪施設の受入能力は、過去7年分の作業記録データから、日々およびシーズンの受入可能量を設定し、設定値を超える排雪を受け入れないよう条件①を設定した。また、日々の排雪作業では、ダンプトラックは、原則として1つの雪堆積場等と1つの排雪作業現場の間を往復している。条件②は、現在の作業方法に合わせるため設定した。

シミュレーション結果の評価指標にはダンプトラックの総走行距離を用い、総走行距離が最小になるように排雪作業現場と雪堆積場等の組み合わせを決定した。

##### 3.2.2 シミュレーション結果

表3にシミュレーション結果を示す。ダンプトラックの総走行距離は、作業実績に比べて31,649km短くなる(短縮率23.1%)結果となった。また、現場数の多い2月2日には、複数の現場で運搬先を変更し、走行距離が短くなった事例もあった(図4)。このような組み合わせは人が思い付きにくく、現場数が多い日のシミュレーションの効用が大きいと考えられる。

表3 シミュレーション結果

| 日付       | 作業現場数 | 排雪量(m <sup>3</sup> ) | 総走行距離(km) |            | 距離短縮(km)<br>※( )内は短縮率 |
|----------|-------|----------------------|-----------|------------|-----------------------|
|          |       |                      | 実績値       | シミュレーション結果 |                       |
| 1月28日(月) | 8     | 13,272               | 3,175.0   | 2,151.0    | 1,024.0( 32.3%)       |
| 1月29日(火) | 29    | 39,306               | 11,242.5  | 8,761.5    | 2,481.0( 22.1%)       |
| 1月30日(水) | 40    | 45,548               | 14,216.0  | 10,719.0   | 3,497.0( 24.6%)       |
| 1月31日(木) | 57    | 50,434               | 16,126.0  | 11,224.5   | 4,901.5( 30.4%)       |
| 2月1日(金)  | 125   | 106,420              | 35,917.0  | 26,776.0   | 9,141.0( 25.5%)       |
| 2月2日(土)  | 179   | 150,110              | 48,401.0  | 43,286.5   | 5,114.5( 10.6%)       |
| 2月3日(日)  | 21    | 15,288               | 8,158.0   | 2,668.0    | 5,490.0( 67.3%)       |
| 合計       | 459   | 420,378              | 137,235.5 | 105,586.5  | 31,649.0( 23.1%)      |

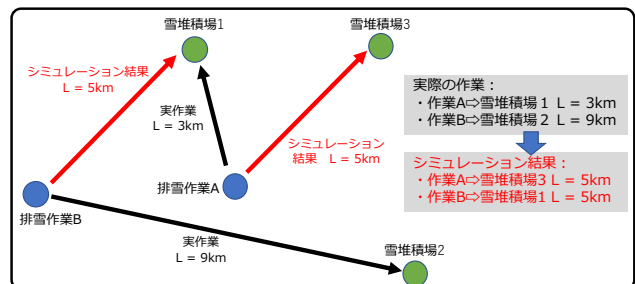


図4 複数作業現場で運搬先を変更した場合(イメージ)

なお、シミュレーション結果では、1月中および2月3日の短縮率が大きい傾向が見られた。1月は運搬排雪も実施しており、運搬排雪の雪を受け入れた雪堆積場等が、パートナーシップ排雪の雪を受け入れなかった場合があったと考えられる。また、2月3日は、日曜日の排雪作業量が小さいことから、他の曜日と異なる受入体制をとった雪堆積場等があったと考えられる。

このような雪堆積場等の事情は作業記録には記されておらず、ヒアリング結果等からの推測となるが、最適化の効果は、表3に示した値よりは幾分か小さくになると考えられる。

### 4. まとめ

本研究では、現在の排雪作業の方法に合わせ、「ダンプトラックは1つの排雪作業現場と1つの雪堆積場等を往復する」条件でシミュレーションを行った。デマンドに逐次対応する SAVS の特徴を活かし、日々の出発地点(排雪作業現場)と目的地(雪堆積場等)を固定せず、複数の排雪作業現場と雪堆積場を走行する条件でシミュレーションを行うと、より大きな効果が期待できる。この点については今後の研究課題としたい。

#### 参考文献

- [1] 高橋尚人, 吉田彩乃, 佐柄大介, “排雪日報データを用いた札幌市の排雪作業の基礎的分析”, 寒地技術論文・報告集, Vol.35 (2019).
- [2] 札幌市建設局雪対策室計画課, “札幌市冬のみちづくりプラン2018” (2018).
- [3] 中島秀之, 小柴等, 佐野涉二, 落合純一, 白石陽, 平田圭二, 野田五十樹, 松原仁, “Smart Access Vehicle System : フルデマンド型公共交通配車システムの実装と評価”, 情報処理学会誌, Vol.46 No.4, p.1290-1302 (2016).