

# 運搬排雪事業におけるダンプトラックの最適配置に関する研究

## Study on Optimal Allocation of Dump Trucks in Snow Hauling

北海道大学大学院工学院  
北海道大学大学院工学研究院

○学生員 村本 蓮 (Ren Muramoto)  
正員 岸 邦宏 (Kunihiro Kishi)

### 1. 本研究の背景と目的

除排雪事業は道路の区間ごとに道路管理者と請負業者がシーズン単位で契約を結び行われている。運搬排雪では多数のダンプトラック（以下 DT とする）が必要となり、請負業者が DT を保有する運送会社に作業の度に個別に連絡することで手配している。手配する DT の台数は経験則により決められており、しばしば DT の過不足が発生している。

一方で DT を保有する運送業界では若者の求職率の低下や現行運転手の半数以上を中高年が占めている問題に起因する運転手の人手不足が危惧されている。また、被災地復興等の運搬排雪以外の DT 需要の多発が日本各地での運転手不足に拍車をかけている。今後予想される運転手不足による DT の確保困難な状況に備えて、限られた DT をより効率的に配置することが求められている。

そこで本研究では、配置可能な DT 台数が限られている状況で複数作業箇所における合計作業時間を最小とするような DT の配置パターンが存在とその推定手法を示し、DT の最適な配置について明らかにする。

### 2. 運搬排雪作業時間のモデル化

作業現場が 1 か所である場合、運搬排雪作業に要する時間は以下のモデル式で表す。

$$T = N \times (t_0 + B_i) + \sum_{i=1}^{N_1-1} (S_i)$$
$$S_i = \frac{z \pm (D \times i - (D-1))l}{v} + \frac{z' \pm D \times i \times l}{v'} + t_d - (D-1)t_0 \quad (1)$$

ここに、

- T (min) : 排雪作業時間
- $S_i$  (min) :  $i$  ターン目のロータリー車の待機時間
- $B_i$  (min) : DT 交代によるロータリー車の待機時間
- D (台) : ダンプ台数
- $i$  (回) : ターン回数
- $l$  (km) : 14 m<sup>3</sup>分の雪載荷による単位進行距離
- L (km) : 排雪距離
- $N=L/l$  (回) : 総運搬回数
- $N_1$  (回) : 1 台目のダンプの運搬回数
- $t_0$  (min) : ダンプ 1 台あたりの雪載荷時間
- $t_d$  (min) : 雪堆積場滞在時間
- $v, v'$  (km/min) : 走行速度 (行き/帰り)
- $z, z'$  (km) : 作業始発点から雪堆積場までの距離 (行き/帰り)

作業地点が雪堆積場に近づく場合は符号を負に、遠ざかる場合は正にとる。

図-1 に  $D=2$  の時の DT とロータリー車の時系列図を示す。図-1 のロータリー車の時系列に注目すると、ダンプ 1 台あたりの雪載荷時間と DT の台数の積( $t_0 \times D$ )と DT

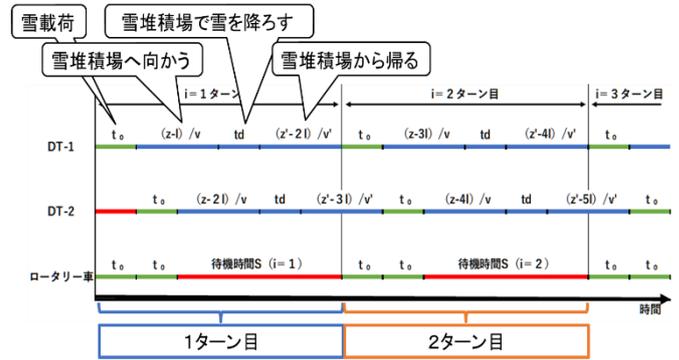


図-1 D=2 の時の運搬排雪作業時系列図

が雪堆積場を往復している間のロータリー車の待機時間 ( $S_i$ )がターンごとに繰り返されている。

一般に  $v=v', z=z'$  であるため、式(1)は以下のように変形できる。

$$S_i = \left( \frac{2z \pm l}{v} + t_0 + t_d - \left( \frac{l \mp 2il}{v} + t_0 \right) D \right)$$

ここで、 $L, N, N_1, z=z'$  は作業区間・運ぶ雪堆積場ごとに決まった値であるため、 $B_i, l, t_0, t_d, v=v'$  を定数と仮定すると排雪作業時間 T に影響を与えるのはダンプ台数 D のみとなる。

### 3. DT の増加による排雪作業時間の変化

作業箇所が 1 か所である場合、それ以上 DT を増やしても作業時間が減少しなくなる台数が存在する。この台数を収束台数と定義する。収束台数以上の台数が配置されているとき、作業地点では常に DT の待機列が発生している。例として、 $L=1.5, z=6.8$  で雪堆積場に近づく場合の T と D の関係を図-2 に示す。D の増加と共に T は減少していくが、 $D=33$  以上では T の値は一定となる。よって、この場合では収束台数は 33 台である。

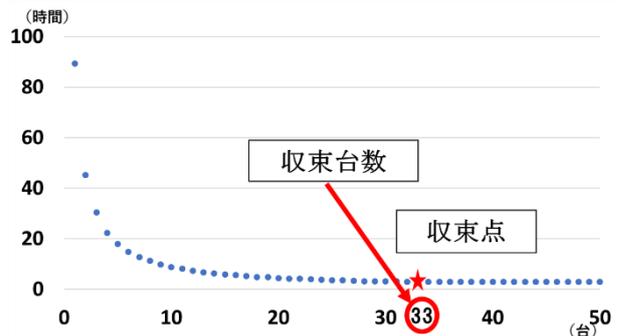


図-2 作業箇所が 1 か所の場合における T と D の関係と収束台数

4. 作業箇所が複数の場合における DT の最適配置

4.1 DT の最適配置の目的式と制約条件

同時に複数の箇所において運搬排雪を行う場合、配置可能な総 DT 台数には限りがあるため全ての作業箇所に収束台数を配置するのは不可能である。よって、各作業箇所に配置可能なダンプ台数の和は一定であるという制約条件の下で、総排雪作業時間 allT を最小とするような DT の配置が最適であるとして、以下のように目的式を設定する。

$$\begin{aligned} \text{目的式: } & \text{Min (allT} = \Sigma T_n) \\ \text{制約条件: } & \text{allD} = D_1 + D_2 + \dots + D_n \\ & 1 \leq D_n \leq \text{allD} - M \end{aligned}$$

ここに、

- allT (min) : 総排雪作業時間
- $T_n$  (min) : 各作業箇所の作業時間
- allD (台) : 配置可能な総ダンプ台数
- $D_n$  (台) : 各作業箇所のダンプ台数
- M (箇所) : 同時に排雪を行う作業箇所数

4.2 作業箇所が2か所の場合

表-1に示すようなL、zである2か所の作業箇所 ( $F_1$ 、 $F_2$ )において、allD=51の条件の下同時に排雪を行う場合のallT、 $T_1$ 、 $T_2$ と $D_1$ 、 $D_2$ の関係を図-3に示す。

配置可能なパターン数が比較的少ないため、全パターンにおいて総排雪作業時間を算出した。

表-1 排雪工区 F1、F2 の L、z

工区	F1	F2
排雪距離L(km)	1.5	1.3
z(km) 近づく場合	6.8	5.3

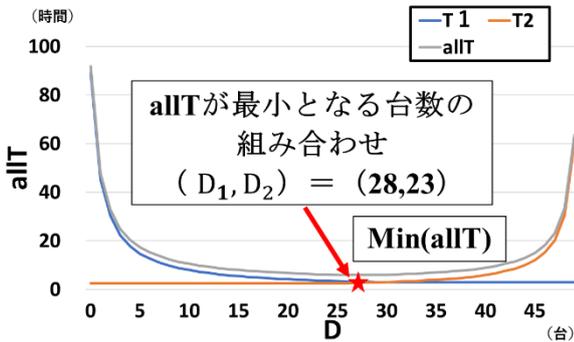


図-3 作業箇所が2か所の場合における allT、 $T_1$ 、 $T_2$ と  $D_1$ 、 $D_2$ の関係

図-3の例では、総排雪作業時間を最小にする $D_n$ の配置パターンは $(D_1, D_2) = (28, 23)$ となった。工区 F1、F2 における収束台数はそれぞれ 33、27 台であるため、総排雪作業時間を最小にするためには総ダンプ台数は 60 台必要である。しかし、実際に手配可能な総ダンプ台数がそれよりも少なく、2か所ともに収束台数を配置することができない場合でも総排雪作業時間を最小とするような配置パターンが存在することが明らかとなった。

4.3 作業箇所が3か所以上の場合

表-2に示すようなL、zである3か所の作業箇所 ( $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ )において、allD=51の条件の下同時に排雪を行う場合に総排雪作業時間を最小とするような $D_n$ の配置パターンを推定した。

表-2 排雪工区 F1、F2、F3 の L、z

工区	F1	F2	F3
排雪距離L(km)	1.5	1.3	4.0
z(km) 近づく場合	6.8	5.3	4.0

2か所の場合とは異なり、配置可能なパターン数が非常に多く全パターン算出が困難であったため、複数の変数の値を変化させながら最適解の探索を自動で行う機能であるエクセルのソルバーを用いた。

初期値を(1,1,1)とすると、 $(D_1, D_2, D_3) = (20, 16, 15)$ という結果が得られた。

作業箇所数を増やしても同様に結果が得られたことから、ソルバーを用いて allT を最小とするような配置パターンを推定できることが明らかとなった。

4.4 総ダンプ台数の変化が総排雪作業時間へ与える影響

表-1に示す仮定の下、作業箇所が2か所の場合における総ダンプ台数の変化による総排雪作業時間の変化を図-4に示す。

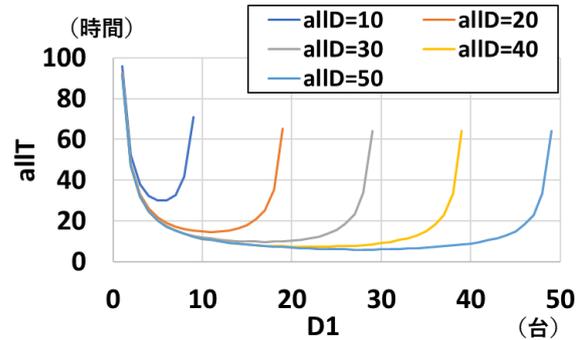


図-4 総ダンプ台数の変化による総排雪作業時間の変化

総ダンプ台数が増加すると各作業箇所に配置可能なDT台数が増えることから総排雪作業時間も減少するが、次第にその減少幅は小さくなっていく。したがって、DT1台あたりの作業時間減少効果は一定ではないことが示されている。また、総ダンプ台数の変化にかかわらず総排雪作業時間のグラフの概形が同一であることから、総ダンプ台数がどのような値であっても4.2、4.3で示した手法を用いることができると考えられる。

5. おわりに

本研究は複数作業箇所における総排雪作業時間を最小とするようなDTの配置パターンの推定手法を示した。この手法を用いてDTを最適に配置することで最短時間での作業が可能となり、時間的コストの低減による効率化や今後予想される人手不足への対応が見込める。今後は札幌市全体や異なる道路管理者も含めた効率的な配置について研究を進めていきたい。