

異常降雪時における除雪の行動指針の決定方法

鳥取大学 学生会員 ○坂上 建志
 鳥取大学 正会員 谷本 圭志
 鳥取大学 正会員 長曾我部 まどか

1. はじめに

気候変動の影響により、短時間に極端な降雪が生じる可能性が高くなっている。その一方で、建設業の人手不足に伴って除雪の体制は脆弱であり、すべての道路を一律に除雪することは困難になっている。このため、異常な降雪を想定して、どれほどの積雪がある場合にはどの道路を除雪の対象とするのかを示した行動指針を事前に決めておくことが重要となる。そこで本研究では、混合整数計画法を用いて除雪車の運行を再現するモデルを開発し、そこで得られる結果を用いて除雪の行動指針の決定を支援する方法を開発する。以上の手法を鳥取県に適用し、行動指針を具体的に提示する。

2. 本研究の考え方

自治体では道路区間の除雪の優先順位を定めている場合があることを踏まえ、ここでの行動指針とは、「時間積雪量がどれほどであれば」という条件に対し「どの優先順位の区間を除雪するか」という行動の対応関係を定めたものである。指針の作成のため、どの優先順位の区間を除雪するかという行動が与えられているもとの、その行動が可能となる条件を求めモデルを構築する。その際、以下の前提に基づく。

- すべての除雪車（以下、「車両」と呼ぶ）は、車庫がある地点（同様に「拠点」と呼ぶ）から除雪を開始し、拠点に帰ってきて除雪を終える。
- 対象に含まれる区間はすべて除雪する。
- 雪が長時間にわたって降り続く状況を想定する。除雪した道路にも再び雪が積もるため、除雪を終え拠点に帰ってきた車両は再び拠点を出発し、以前と同じ巡回経路にて除雪するものとする。したがって、どの区間についても車両がある一定の時間間隔で周回し、除雪することになる。
- 積雪量には、その値を超えると交通が麻痺する値

（以下、「許容値」と呼ぶ）が存在する。車両が周回する間の積雪量が許容値を超過してはならない。

- 積雪量が許容値を超過するまでの時間を「許容時間」と呼ぶ。すると、上記の「車両が周回する間の積雪量が許容値を超過してはならない」との制約は、「すべての車両は許容時間内に周回しなければならない」と換言できる。
- 許容値以下の積雪量であれば、積雪量によらず車両は所与の時間で除雪ならびに回送ができる。

3. モデルの構築

車両は m 台であり、任意の車両を k ($1 \leq k \leq m$) で表す。除雪の対象となる区間の総数は n であるとする。このもとの除雪の対象となっている任意の区間を i ($0 \leq i \leq n+1$) で表す。ただし、 $i=0$ は除雪の開始時に車両が拠点にあること、 $i=n+1$ は除雪の終了時に車両が拠点にあることを表している。

車両 k が区間 i の除雪を行った次に区間 j の除雪を行うか否かを表すバイナリ変数を x_{ijk} で表し、以下のように定義する。ただし $k: i \rightarrow j$ は車両 k が区間 i の除雪を行った次に区間 j の除雪を行うことを表す。

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & (k: i \rightarrow j) \\ 0 & (\text{それ以外}) \end{cases} \quad (0 \leq i, j \leq n+1, 1 \leq k \leq m) \quad (1)$$

区間 i の次に区間 j を除雪する場合に要する時間を c_{ij} とする。対象に含まれる全区間の除雪に要する時間を最小化するという条件のもとで、目的関数は以下のように表される。

$$\sum_{k=1}^m \sum_{i=0}^{n+1} \sum_{j=0}^{n+1} c_{ij} x_{ijk} \rightarrow \min \quad (2)$$

どの区間についても車両が周回する間の積雪量が

許容値を超過してはならない。この条件は次式で表される。ただし、区間 i における積雪の許容値を θ_i 、単位時間当たりの積雪量（以下、「時間積雪量」と言う）を α_i で表す。左辺の第二項において α_i に乗じている項 ($\sum \sum c_{ij} x_{ijk}$) は、車両 k が周回に要する時間である。また、 M は禁止的に大きな定数である。

$$\theta_i - \alpha_i \sum_{i=0}^{n+1} \sum_{j=0}^{n+1} c_{ij} x_{ijk} + M \left(1 - \sum_{j=0}^{n+1} x_{ijk} \right) \geq 0 \quad (1 \leq i \leq n, 1 \leq k \leq m) \quad (3)$$

モデルはその他にも多くの式から構成されるが、詳細は割愛する。

4. 実証分析

(1) 分析に用いるデータ

鳥取県が管理する道路のうち、鳥取市の北部に属する 10, 11 工区に含まれる道路を分析の対象とする。鳥取県では 3 段階の優先順位を設けている。以下では、優先順位が高い順に「優先順位 1, 2, 3」と呼ぶ。これらの工区には、3 台の車両が割り当てられている。

また、各区間の除雪時間及び回送時間を求めるために、2020 年 12 月 15 日～2021 年 2 月 19 日における車両の運行記録データを使用する。

(2) 分析結果

許容値を 20(cm)として計算した際の結果を以下に示す。なお、以下の「時間積雪量」とは、1 時間当たりの積雪量である。時間積雪量と各車両が周回に要する時間（以下、「周回時間」と略す）を図 1、図 2 に表す。なお、例えば図 1 に関しては、時間積雪量が 6(cm)以上の結果を示していないが、これは、時間積雪量が 6(cm)以上の場合には解がない、すなわち、所与の車両で許容時間を満たす除雪が不可能であることを示している。図 2 についても同様である。

図 1 に基づくと、1 時間当たりの積雪量が 5(cm)以下ならば優先順位 1, 2, 3 の区間、すなわち、すべての区間を除雪することができる。しかし、すべての区間を除雪することができるのは、1 時間当たりの積雪量が 5(cm)以下の場合に限られるため、それを超える場合は、優先順位 1, 2 の区間のみを除雪することが適

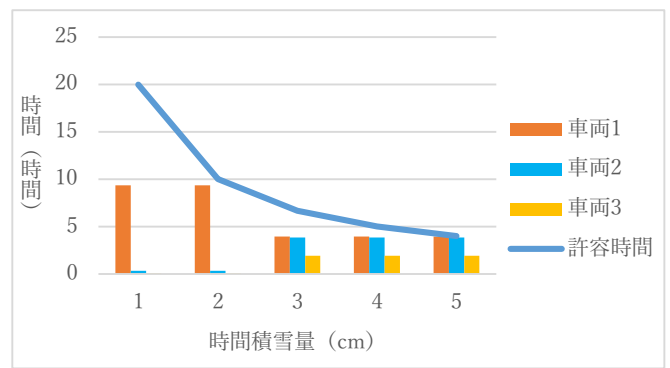


図 1 車両の周回時間（除雪の対象:優先順位 1,2,3）

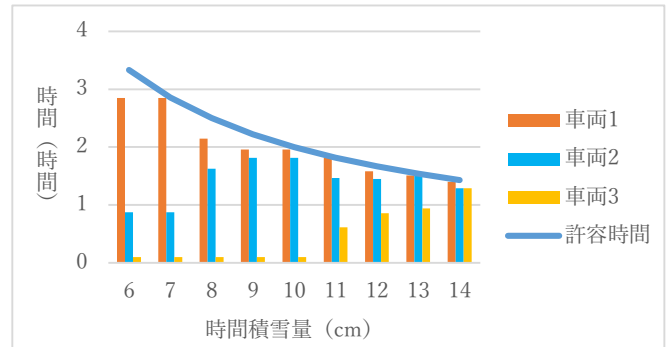


図 2 車両の周回時間（除雪の対象:優先順位 1,2）

表 1 行動指針

時間積雪量	優先順位 1	優先順位 2	優先順位 3
5cm 以下	○	○	○
6cm～14cm	○	○	×
15cm 以上	○	×	×

○：除雪する，×：除雪しない

当である。一方、優先順位 1, 2 のみの区間であれば、図 2 に着目すると、すべての区間を除雪することができるのは、1 時間当たりの積雪量が 14(cm)以下の場合に限られる。したがって、1 時間当たりの積雪量が 14(cm)を超える場合は、優先順位 1 の区間のみを除雪することが適当である。以上より、除雪の行動指針は表 1 のように求めることができる。

5. おわりに

本研究では、除雪車の運行を再現するモデルを混合整数計画法により構築した。その上で、鳥取県の地域を対象として、道路区間の優先順位ごとの時間積雪量の上限を求め、除雪の行動指針を作成した。

今後の課題として、積雪量の多さによって除雪時間が異なるモデルに拡張することが挙げられる。