

新雪除雪を対象とした最適除雪ルートの検討

高崎仁義¹・伊藤潤²・佐野可寸志³

(1:元 長岡技術科学大学 現 (株)建設技術研究所 2:元 長岡技術科学大学 現 開発技建(株) 3:長岡技術科学大学

1. はじめに

我が国は面積のおよそ半分が豪雪地帯に指定された雪国である。人口ベースでは約15%程度の豪雪地帯であるが、近年の集中的・局所的な降雪や非積雪寒冷地域における大雪が頻発する傾向にある点、高度に発達した物流は全国規模のネットワークを構築していることを鑑みれば、その影響は豪雪地帯に限った話とは言えない状況になっている。このように、「雪」は単に雪国における交通環境の悪化のみならず全国的に大規模な社会経済損失を発生させるトリガーであり、我が国全体の課題と言える。

この課題解決に向け、道路管理者サイドでは新たな道路整備によるネットワーク強化、除雪技術の高度化・効率化等に鋭意取り組まれているところであるが、道路整備には多くの時間と費用を費やす必要があるゆえ、近年の大雪による除排雪費用高額化といった財政上の問題や、少子高齢化による機械除雪オペレータの担い手不足も生じており、中長期的視点で考えなければならぬ部分がある。

以上のことから、現状の除雪体制を継続することは困難である。そこで本研究は、冬期交通の円滑化や除雪等道路管理の効率化を図るための施策を検討することとし、なかでも除雪ルートに着眼し、除雪技術者の経験に基づき機械除雪ルートを決定している現状から、機械除雪ルートの最適化問題としてモデル化し、最適解を求めることで除雪ルートを検討することを目的とする。

2. 対象路線

本研究では、新潟県長岡市の県管理路線と市管理路線を対象とする。高速道路と直轄国道を対象外とした理由として、除雪方法や除雪車の規格が大きく異なるためである。

3. 現況の除雪体制の整理

管理主体ごとのヒアリングを通して、現況の除雪体制の調査を行った。以下に、現況の課題と対応方針を示す。

第一に、県管理路線は、消融雪施設区間の回送距離が長いことが課題として挙げられる。機械除雪距離に対する回送距離の割合が約40%を占める除雪車も存在する。これは、管理主体ごとに除雪路線計画を行っているため、県管理路線のみで除雪ルートを決定しなければいけない制約があり、やむを得ず回送区間を通過する必要があるからである。第二に、市管理路線は、除雪STから除雪作業路線までの回送距離が長いことがあげられる。回送距離が約4kmに及ぶ除雪車も存在する。これは、除雪担当者不足により、一つの業者が受け持つエリアが非常に広がっているためである。

これらの課題の対応方針として、以下の2点考えた。第

一に、管理路線別の除雪から、県と市の管理体制を統合したエリア除雪への移行することによって、消融雪施設区間を回避することが可能となり、回送距離の短縮につながると考えられる。第二に、除雪STの共有を行うことによって、除雪STから除雪作業路線までの距離が最短である除雪STから出発することができ、回送距離の短縮ができると考えられる。

4. 除雪優先路線の検討

除雪ルートの最適化問題において、本来であれば優先的に除雪されるべき路線が後回しになってしまう最適解が、計算上、最適なルートとして出力される場合がある。そのため、最適化問題を解く際、本来優先的に除雪されるべき路線が後回しになる最適解が出力されることを防ぐことを目的に、除雪優先路線を設定する。

除雪優先路線は、降雪による影響を受けやすい区間、路線の重要性を考慮して設定する。降雪による影響を受けやすい区間は、降雪による損失時間を算出し、損失時間が大きい路線とする。重要性の高い路線は、緊急時の時間信頼性を確保するため緊急輸送道路、公共交通の定時性を確保するためにバス路線とする。降雪による影響を受けやすい区間、路線の重要性より、除雪優先度を各路線に設定する。

本分析では、降雪による損失時間を、冬期速度予測モデルから算出する。モデルより、降雪による影響がある場合と、影響がない場合の速度を推定し、各路線の損失時間を算出する。速度情報を持つETC2.0のデータを用いたほうが正確な損失時間を算出できるが、今回はモデルより算出する。ETC2.0のデータを使用しない理由としては、県道や市道のETC2.0のサンプル数が非常に少ないため、データにばらつきがあることが想定されるためである。特に市道では、サンプルが確認できないような路線も存在するため、現段階ではETC2.0データから損失時間を算出することは困難である。よって、本分析では冬期速度予測モデルより降雪による損失時間を算出する。

5. 除雪ルートモデルの構築

除雪ルートモデルを混合整数計画法より定式化し、以下に示す。

式(1)は、除雪車の総除雪距離及び、優先路線後回しペナルティ値の最小化の目的関数である。式(2)は、除雪ステーションを出発した除雪車は、各除雪路線を通過し、再び除雪ステーションに戻ることを表している。式(3)は、機械除雪が必要な路線は、除雪車の除雪ルートのどれかに必ず割り当

$$\text{minimize } \left\{ \sum_{d \in D} \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in n} (DT_{ij} \times x_{ij}^k), \sum_{(i,j) \in n} (P_i \times U_i) \right\} \quad (1)$$

Subject to

$$\sum_{j \in \delta^+(i)} x_{0j}^k = \sum_{i \in \delta^+(i)} x_{i0}^k = 1 \quad (2)$$

$$\sum_{(i,j) \in E} J_{ij} \times x_{ij}^k = 1 \quad (3)$$

$$\sum_{(i,j) \in E} (DT_{ij} \times x_{ij}^k) \leq 30000 \quad (4)$$

$$\sum_{j \in \delta^-(i)} x_{ij}^k - \sum_{j \in \delta^+(i)} x_{ij}^k = 0 \quad (5)$$

$$(u_0 + u_{ij}^k) - \text{bigM}(1 - x_{0j}^k) \leq u_j \quad (6)$$

$$(u_i + u_{ij}^k) - \text{bigM}(1 - x_{ij}^k) \leq u_j \quad (7)$$

$$\sum_{(i,j) \in C} x_{ij}^k = 0 \quad (8)$$

$$x_{ij}^k \in \{0,1\}, \quad (u_i, u_j) \geq 0 \quad (9)$$

てられ、一回以上通過する必要があることを意味している。式(4)は、除雪車一台当たりの作業可能距離を超えないようにするための制約である。除雪可能距離は、除雪車の速度が5km/hと仮定し、作業時間が6時間を超えないような距離となっている。式(5)は、フロー保存則である。式(6),(7)は、部分巡回路の除去を行うための制約である。式(8)は、接続されていないノード同士の組み合わせとなっているリンクは選ばれないことを示している。式(9)は、変数数 x_{ij}^k と u_i の整数条件、非負条件を示している。

6. 除雪ルートモデルに基づく対応方針の評価

前章で構築した除雪ルートモデルに基づき、第3章で検討した対応方針の評価を行う。

第一に、管理路線別の除雪から、県と市の管理体制を統合したエリア除雪への移行した場合の評価を行う。除雪ルートモデルによるシミュレーションの結果、消融雪施設区間の回送がなくなったことにより、図1に示すように、1サイクル当たりの総除雪距離が、現況と比べ約15%減少した。また、降雪による損失時間が大きい路線を早期の段階で除雪完了したこと、総除雪距離が短縮されたことにより、1サイクル当たりの降雪による総損失時間が、現況と比べ、約10%縮小された。

第二に、除雪STの共有を行った場合の評価を行う。同様

にシミュレーションを行った結果、除雪STから除雪作業路線までの長距離に及ぶ回送がなくなったことにより、図2に示すように、現況と比べ、1サイクル当たりの総移動距離が約50%減少した。

7. 総括

本研究では、重要道路と降雪による損失時間が大きい路線を除雪優先路線とし、除雪ルートモデルに基づき最適除雪ルートの検討を行った。管理路線別の除雪から、県と市の管理体制を統合したエリア除雪への移行した場合、また、除雪STの共有を行った場合においては、2つの対応方針ともに、総除雪距離、降雪による総損失時間の減少が確認できたことから、除雪ルートモデルの有用性、並びに対応方針の有効性を確認することができた。

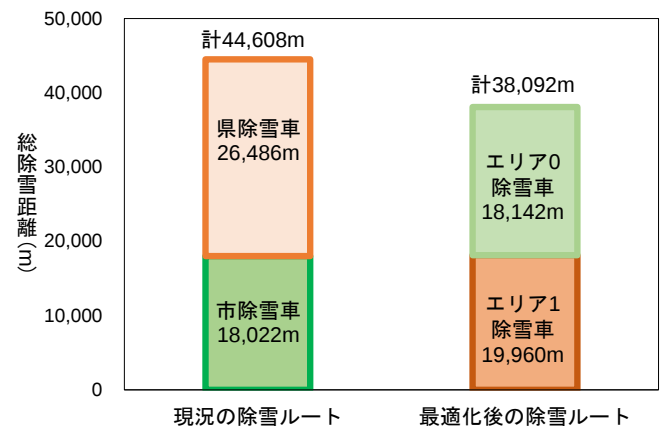


図1 エリア除雪を行った場合の総除雪距離の比較

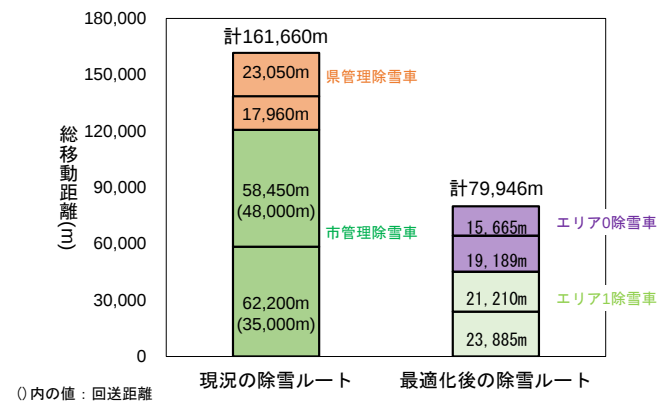


図2 除雪ST共有を行った場合の総移動距離の比較