

道路利用者の経路選択を考慮した除雪作業効率化計画に関する研究

A Study on efficient snow-removal planning in consideration of drivers' route choice

北海道大学大学院工学研究科	○ 学生員	寺島 令 (Ryou Terashima)
北海道大学大学院工学研究科	正会員	内田 賢悦 (Kenetsu Uchida)
北海道大学公共政策大学院	フェロー	加賀屋 誠一 (Seiiti Kagaya)
北海道大学大学院工学研究科	正会員	萩原 亨 (Tou Hagiwara)
株式会社ドーコン	正会員	有村 幹治 (Mikiharu Arimura)

1.はじめに

積雪寒冷地では交通の定時性や市民の安全を確保する上で除雪作業は重要な役割を担っている。その一方で巨額の除雪予算は地方財政を大きく圧迫していることは言うまでもない。予算の抑制と除雪の必要性という背反する問題を考えた時、限られた予算で最適な路面管理を行う必要がある¹⁾。そこで本研究では除排雪の中でも特に冬季交通流に与える影響が大きいという点から、「排雪」に焦点を当て、総旅行時間最小となるような最適計画を考えていくことを目的とする（以下、本文中での除雪は排雪作業を表すことにする）。

冬の除雪問題を扱った先行研究として、有村ら²⁾の研究が挙げられる。同研究では、除雪作業に対する道路利用者の反応（経路選択行動）を利用者均衡配分の簡便法として位置づけられる分割配分を適用して表現している。また、凍結防止剤散布問題を扱う研究としては、内田・加賀屋³⁾、内田・加賀屋⁴⁾が挙げられる。前者では、凍結防止剤散布に対する道路利用者の反応を利用者均衡によって表現している。後者では、より現実的な確率的利用者均衡によって、道路利用者の反応を表現している。

除雪作業は、道路の交通容量を拡大するが、それに対して道路利用者は経路選択を変更することが考えられるため、既存研究のように、経路選択を内生化した問題として定式化するのが自然である。本研究では、除雪作業に対する道路利用者の反応を利用者均衡で表現し、総走行時間の最小化を行う均衡制約付き最適化問題として問題を定式化している。本研究では、札幌都市圏の実データを用いた分析を念頭に置き、その準備段階として、簡易なテストネットワークを用いた数値計算例を示す。

2.定式化

(1)除雪位置最適化問題

除雪作業に関する均衡制約付き最適化問題は以下のように定式化される。

- 目的変数 $\min \sum_{a \in A} t_a(\mathbf{I}) \cdot q_a(\mathbf{I})$
- 設計変数 $\{\mathbf{I}\} = \{I_1, \dots, I_a, \dots\}^T$
- 制約条件 $\mathbf{C}^T \cdot \mathbf{I} \leq \alpha$

$$\begin{aligned} \circ \text{均衡制約 } \min Z_u &= \sum_{a \in A} \int_0^{q_a} t_a(x) dx \\ \sum_{k \in K_{rs}} f_k^{rs} - Q_{rs} &= 0 \quad \forall rs \in \Omega \\ q_a &= \sum_{k \in K_{rs}} \sum_{rs \in \Omega} \delta_{a,k}^{rs} f_k^{rs} \quad \forall a \in A \\ f_k^{rs} &\geq 0, q_a \geq 0 \end{aligned}$$

I_a : リンク a に対する状態を示し、除雪をする場合 1、それ以外の場合 0 をとる変数である。

$\mathbf{C} = (c_1, \dots, c_a, \dots)^T$: 除雪コストベクトルであり、 a 番目の要素がリンク a の除雪コストを表している。

t_a : リンク a における旅行時間 α : 除雪予算

q_a : リンク a における交通量 A : リンクの集合

$\delta_{a,k}^{rs}$: OD ペア rs 間の第 k 経路がリンク a を含むとき 1、それ以外の場合 0 をとる変数

Ω : OD ペアの集合 K_{rs} : OD ペア rs 間の経路集合

Q_{rs} : OD ペア rs 間の第 k 経路の交通量

f_k^{rs} : OD ペア rs 間の分布交通量

T : 行列またはベクトルの転置操作

(2)除雪実施後の評価

a)除雪実施道路の評価

本研究においては除雪を実施すると交通容量が回復すると設定する。

$$C_i = \begin{cases} \gamma \times C_i^* & (\text{除雪未実施時}) \\ C_i^* & (\text{除雪実施時}) \end{cases}$$

C_i : 交通容量 C_i^* : 除雪時の交通容量

γ : 冬期容量低減率

除雪実施後の交通容量のデータがないため、除雪をしない場合の交通容量は、夏期の 70% となるものと仮定した ($\gamma=0.7$)。

b)除雪実施後のネットワークの評価

除雪を実施すると交通容量が回復し、道路利用者の経路選択が変化する。そこで本研究においては、利用者均衡配分により配分交通量および走行時間を推計している。

(3)除雪予算の算出

除雪予算はリンク車線数ごとに与えた距離あたり除雪費用に各リンクの距離を乗じて算出する (表-1)。

表-1 車線数毎の除雪予算

幹線 6 車線	37100 円 / (km)
4 車線	26300 円 / (km)
2 車線	15500 円 / (km)

(4)解法

図-1 のような小規模なネットワークならば問題ないが、札幌都市圏のような大規模ネットワークになると、ネットワークを構成するリンク数を n とした場合、除雪リンクの組み合わせは 2^n となり、その組み合わせ数は莫大な数となる。第2章に示した問題は、均衡制約付きの組合せ最適化問題と換言できる。実ネットワークへの適用を想定し、本研究では組合せ最適化問題は、GAを適用して解くことにした。

3. ネットワーク設定

前述の通り本研究においては図-1 に示すノード数 9、リンク数 24 の仮想ネットワークを作成し分析を行っていく。各リンクの距離は表-3 に示す通りである。また、各リンクの夏期交通容量は、片側 2 車線道路と仮定して 52000 [pcu/日] とした。OD 交通量を表-2 に示す。

4. 数値計算例

以上の条件の下、数値計算を行った。GA においては人口サイズ 300 最大世代数 100 交叉確率 0.6、突然変異確率 0.01 とした。また、予算パターンとして 200 万円と 300 万円の 2 つを設定した。計算結果は、予算パターン 200 万円、300 万円について、それぞれ図-2、図-3 に示す。太い矢印部分が除雪対象リンクである。さらに、予算パターンを 100、150、200、250、300 万円まで拡張し、時間価値 33(円/分・台)として除雪による純便益(除雪による便益-除雪費用)を算出した結果を図-4 に示す。予算制約が緩和されるにつれ、走行費用便益の増加量は徐々に逓減していく傾向が見られる。これはある一定以上の予算になると交通量が少ない道路も除雪をするためと考えられる。

5. まとめ

本研究の成果を以下に示す。

GA を用いた最適除雪リンク選択モデルを示すことができた。これにより具体的な除雪道路の組み合わせを求めることが可能であることが示された。制約条件である予算が変わってくると、除雪選択リンクも変わる。つまり、予算に合わせた路線選択が重要となってくることが示された。

ネットワークの規模により適切な予算が見受けられる。つまり無秩序に予算を増やせばいいわけではなく規模に応じた予算を与えることが望まれる。

本研究では、除雪計画は純便益のみを考慮した効率性の観点から決定されているが、実際の除雪計画は効率性のみで考えることはできない。今後は、効率性だけでなく、公平性も考慮に入れた除雪計画策定支援システムの構築を行う予定である。

表-2 仮想 OD

O	D	交通量(台)
1	9	49000
3	7	55000
9	1	39000

表-3 各リンクの距離

リンク	距離(m)	リンク	距離(m)
1	10	13	2
2	15	14	20
3	10	15	14
4	12	16	2
5	10	17	8
6	12	18	10
7	14	19	8
8	15	20	20
9	5	21	8
10	10	22	5
11	10	23	8
12	5	24	5

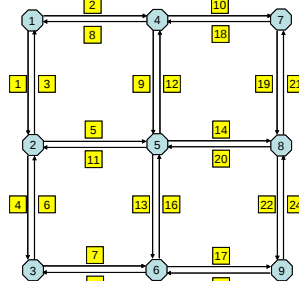


図-1 仮想ネットワーク

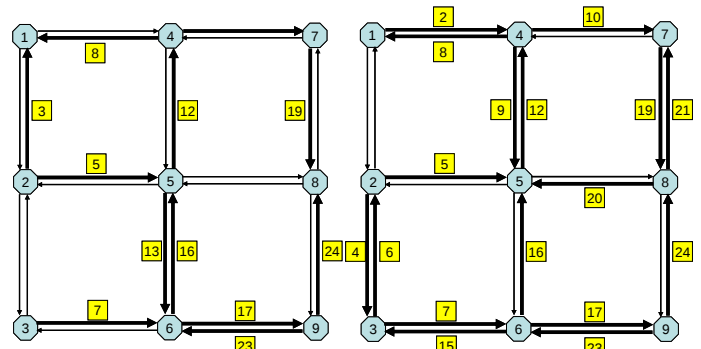


図-2 予算 200 万円時

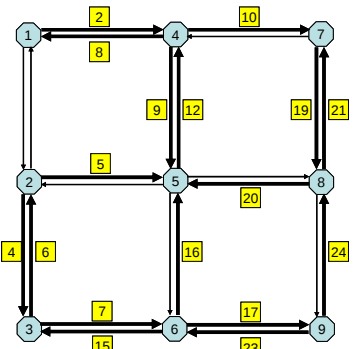


図-3 予算 300 万円時

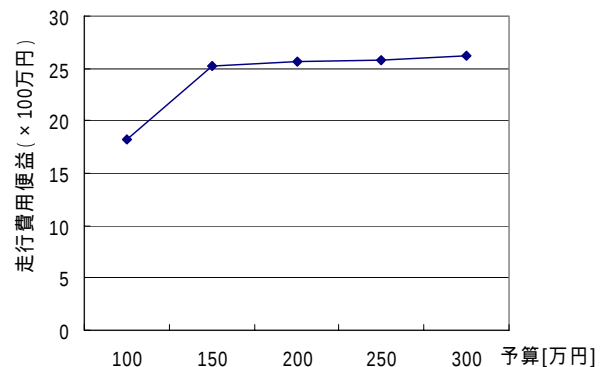


図-4 予算毎の走行費用便益

参考文献

- 1) 五十嵐日出夫：街路除雪の経済効果に関する試論，土木学会論文集，No196, pp87-93, 1972 .
- 2) 有村幹治他：最適除雪道路選択モデルに関する研究，土木計画学研究・論文集，No16, pp387-392, 1999 .
- 3) 内田賢悦，加賀屋 誠一：積雪寒冷地における凍結防止剤の最適散布量決定に関する基礎的研究，土木学会論文集，No.800/IV-69，pp.87-100，2005.
- 4) 内田 賢悦，加賀屋 誠一：積雪寒冷地における冬の道路交通状況を考慮した道路舗装の LCC 評価に関する研究，土木学会論文集 D，Vol. 62，No. 3，pp.483-495，2006.