

IV-16

最適除雪道路選択モデルに関する研究

室蘭工業大学 学生員 上西 和弘
 室蘭工業大学 学生員 有村 幹治
 室蘭工業大学 フェロー 斉藤 和夫

1. はじめに

本研究の背景として冬季間の路面悪化による道路の交通処理能力低下が挙げられる。冬季の道路状態は氷雪路面の場合が多く、氷雪路面が交通流に与える影響、特に交通量と速度の関係に与える影響は大きく、夏期の平均と比べて交通量は77%、旅行速度は50%にまで落ち込むこともある¹⁾。よって除雪作業が冬季交通流に与える影響、特に除雪作業の中でも路面状態を回復させる路面整正作業が冬季交通流に与える影響は大きいと考え、本研究では路面整正作業に注目する。それゆえ、本文中の除雪作業とは路面整正作業を、除雪道路とは路面整正作業を行う道路を示す。

一方、除雪費用は年々増加する傾向が見られるが、春になると消えてしまう雪の除雪作業に、巨額の予算を費やしているという問題がある。一昨年には記録的な降雪により、札幌市では160億円の除雪費用を計上するに至った。今後も降雪状況によっては、さらに増加する可能性がある。また、現在札幌市の除雪体制は区を中心とした「マルチゾーン除雪」によって行われている。しかし、札幌市全体で除雪マネジメントを考えた時には、投資予算から最大の効果が得られるような、除雪道路位置を把握しておくことは意義があると考えられる。

路面整正作業の実施効果としては、道路の交通容量と走行速度の向上があり、通過走行車両は、除雪による走行時間の短縮分の便益を受けることになる。そして、制約がある投資予算の中で、走行車両が受ける便益を最大化する除雪道路の組み合わせを探索することは、除雪費用が少なくても効果が大きい除雪作業を行うことにつながると考えられる。

しかし、予算制約下では、多数の除雪道路の組み合わせが存在し、効果が最大になるような除雪道路の組み合わせを求めることは困難である。

そこで本研究では、最適除雪道路の組み合わせを求めるモデルを構築することを目的とし、そのために必要となる除雪実施道路の組み合わせ評価モデルを構築した。また、構築した評価モデルを用いて、組み合わせ準最適化モデルを考案した。対象ネットワークとして札幌都市圏道路網を用い、除雪予算に制約を与え、除雪効果の高い除雪道路の組み合わせを求めた。

2. モデル化

本研究では、最適除雪道路の組み合わせを探索するために、①再配分型モデルと②非再配分型モデルの2つのモデルを構築した。2つのモデルは、共に除雪作業道路の組み合わせを評価するためのモデルであるが、前者は「ドライバーは除雪作業を行うことによって変化する最短走行経路を選択する」、後者は「ドライバーは秋季と同じ走行経路を選択する」という除雪に対するドライバーの走行経路選択の行動上の違いがある。

両モデルでは、冬季QV曲線を作成し、それを利用して配分シミュレーション法をもとに計算を行い、除雪作業の実施効果であるリンクの交通容量と走行速度の差を求め、走行車両の走行費用便益を求める。

ここで、両モデルでは、除雪に対するドライバーの走行経路選択の意識の違いにより、配分、最短経路の更新という配分計算上の過程が異なる。両モデルの流れを図-1に示す。

The Formulation of the Optimum Road Selection Model for Snow Removing
 by Kazuhiro JOUNISHI, Mikiharu ARIMURA and Kazuo SAITO

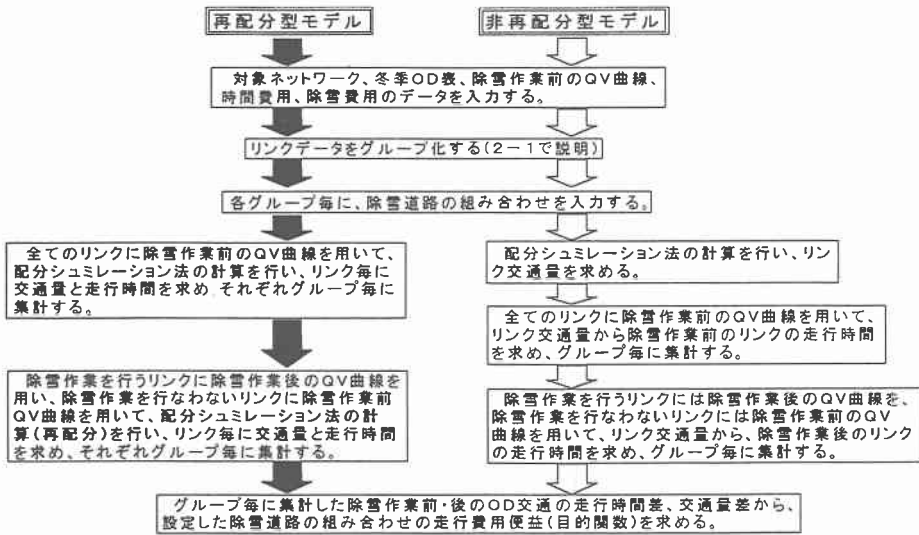


図-1 再配分型モデルと非再配分型モデルの流れ

再配分型モデルでは、「除雪作業前・後で、ドライバーが走行経路の変更を行う」と考え、除雪作業前・後で、それぞれ配分シミュレーション法の計算を行う。そして、リンクの交通容量と走行速度の差を求め、走行費用便益を求めることにより、除雪道路の組み合わせの評価を行う。最適な除雪道路の組み合わせを求めるには、モンテカルロ法や遺伝的アルゴリズム等の離散的組み合わせの最適化手法を適用することがあげられる。しかし、いずれの手法を用いても、複数回の除雪道路の組み合わせの評価計算は必要になる。

非再配分型モデルでは「除雪作業前・後で、ドライバーが走行経路の変更を行わない」と考え、除雪作業前の交通条件で、配分シミュレーション法の計算を行う。そして、リンクの走行速度の差を求め、走行費用便益を求めることにより、除雪道路の組み合わせの評価を行う。非再配分型モデルは、除雪作業前・後でOD交通の走行経路の変更を行わない。そのため、リンク交通量の変動は起こらず、除雪によるリンク毎の走行費用便益は、走行速度の上昇にのみ影響を受ける。従って、非再配分型モデルでは、予算制約内で走行費用便益が高いリンクを順に選択することにより、1回の評価計算で最適な除雪道路の組み合わせを得ることができる。

現在、秋季と冬季で経路を変更するドライバーは17%ほどと調査されている²⁾。よって、除雪作業を行うことにより、OD交通の走行経路は変化すると考えられ、除雪作業後の交通流を把握するためには、除雪作業後の情報を用いて再配分計算を行う再配分型モデルを用いる必要がある。

しかし、札幌都市圏道路網を対象とした場合、1回の配分シミュレーション法の計算時間はワークステーション上で約60分を要し、除雪道路の組み合わせを求めるために再配分型モデルの計算を行うことは、困難である。

そこで、本研究では除雪作業後の再配分計算を行わない非再配分型モデルを用いて、除雪道路の組み合わせを求める。そして、非再配分型モデルで得られた除雪道路の組み合わせを用いて、再配分型モデルの計算を行い、両モデルで得られた走行費用便益の比較を行う。

また、本章では、上記①再配分型モデルと②非再配分型モデルを構築する上で工夫した以下の5点について、それぞれ順に説明する。

- 1) 実際の除雪作業が区を中心に行われていることを考慮し、路線別、区別にリンクのグループ化を行った。

- 2) 除雪作業を行った際の効果を求めるため、除雪作業前・後において、それぞれQ V曲線を設定した。
- 3) 除雪費用の計算は、車線数毎に距離あたり費用を与え、除雪費用を求めた。
- 4) 除雪作業前・後のOD交通の走行時間の差やリンク交通量の変動を把握するために配分シュミレーション法を用いた。
- 5) 目的関数は、除雪作業を行った際に利便を受けた自動車の走行費用便益の和とした。

2-1 リンクのグループ化

本研究では、道央都市圏道路網の中から、札幌市内の幹線道路を抽出した札幌都市圏道路網を対象とした³⁾。ネットワークデータは、リンク数957本、ノード数644個(そのうちセントロイド数167個)、対象地域の総需要交通量は967,690台である。本研究では実際の路面整正作業が区毎に行われていることを考慮し、路線別、区別にリンクのグループ化を行った。

グループ化作業は、路線、区を境にネットワークを区切ることで分類した。その結果、リンク数957本が152個のグループ数に集約された。

本研究では、グループを単位として最適除雪道路の組み合わせを探索する。

2-2 冬季Q V曲線の設定

冬季間のQ V曲線は、路面状態によって旅行速度、交通容量が変化することが考えられる。そこで、冬季路面状態毎の平均旅行速度と平均交通量のデータ¹⁾を、それぞれ秋季平均値と比較した(表-1)。

速度減少率、交通量減少率は、以下の式によって求めた。

速度減少率=冬季平均旅行速度/秋季平均旅行速度
交通量減少率=冬季平均交通量/秋季平均交通量

表-1 路面状態と減少率

	平均旅行速度	速度減少率	平均交通量	交通量減少率
単位	Km/時	%	台/時	%
秋季平均	20.4		1810	
乾燥湿潤系	13.2	64.7	1630	90.1
圧雪系	11.2	54.9	1436	79.2
ブラックアイス系	11.4	55.9	1397	77.2

表-1から路面状態が良い場合(乾燥湿潤系)の速度減少率は約65%、交通量減少率は約90%であ

り、路面状態が悪い場合(圧雪系・ブラックアイス系)の速度減少率は約55%、交通量減少率は約80%になる。そこで、本研究では除雪作業後は路面状態が良い場合(乾燥・湿潤系)、除雪作業前は路面状態が悪い場合(圧雪系・ブラックアイス系)と仮定して冬季Q V曲線を作成した。そうすると、除雪作業前の速度減少率は55%、交通量減少率は80%となり、除雪作業後の速度減少率は65%、交通量減少率は90%となる。

冬季Q V曲線(図-2)は、秋季Q V曲線のQ1、Q2に交通量減少率を乗じ、V1に速度減少率を乗じることによって求めた。ここで、V2は最大交通容量を超えた時の限界速度と考え、秋季Q V曲線と同様の値を用いた。

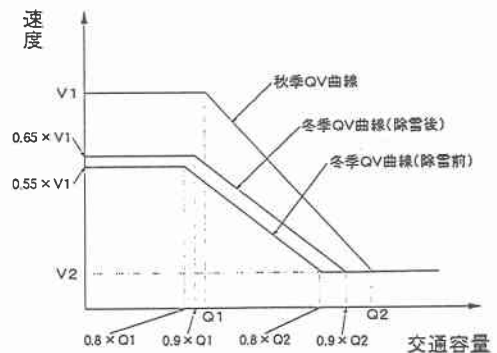


図-2 冬季Q V曲線

2-3 除雪費用の算出

除雪費用(SC)は、リンクの車線数毎に与えた距離あたり除雪費用(JC_i)に、各リンクの距離(DT_i)を乗じた値を累積して求める。

$$SC = \sum_{i=1}^K (JC_i \times DT_i) \quad \text{①}$$

SC : 除雪費用
JC_i : iの距離あたり除雪費用
DT_i : リンクiの距離
K : リンク数

2-4 配分シュミレーション法

本研究では除雪作業前・後のリンク交通量やOD交通の走行時間の差を求めるために、配分シュミレーション法を用いた。また、最短時間距離行列を求める計算にはウォーシャルフロイド法を用いた。

OD交通量の配分は、交通量を等分割せずに行う分割配分法を用い、分割数は3回で行った。手順は、交通量を流し、走行時間を修正するという作業を繰り返すが、交通量の割合を、第1回は50%、第2回は30%、第3回は20%のように配分交通量を流して計算を行う。

2-5 目的関数の算出方法

目的関数は、除雪予算制約内における除雪作業前(RTC₀)・後(RTC₁)の走行時間費用の差である走行費用便益を用いる。走行時間費用(RTC)は、除雪前・後、それぞれのQV曲線を用い、配分計算で求めたノード間走行時間(TD_{ij})にOD交通量(OD_{ij})と時間費用(TC)を乗じることで求める。また、本研究では時間費用を2000(円/時)として計算を行った。

$$RTC = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K (TD_{ij} \times OD_{ij} \times TC) \quad (2)$$

RTC : 走行時間費用
 TD_{ij} : ijノード間の移動時間
 OD_{ij} : ijノード間のOD交通量
 TC : 時間費用
 K : ノード数

$$BC = RTC_0 - RTC_1 \quad (3)$$

BC : 走行費用便益
 RTC₀ : 除雪作業前の走行時間費用
 RTC₁ : 除雪作業後の走行時間費用

3. 再配分型モデルと非再配分型モデルの計算結果と比較

本章では、除雪作業後の再配分計算を行わない非再配分型モデルを用いて、前述の目的のもと除雪道路の組み合わせを求めた。また、得られた除雪道路の組み合わせを用いて再配分型モデルの計算を行い、走行費用便益を求めた。さらに、両モデルの計算結果から得られる走行費用便益の比較を行った。

非再配分型モデルの計算は、制約条件として500万円刻みに予算制約をかけ、走行費用便益、及び除雪道路の組み合わせを求めた。

また、再配分モデルの計算は、非再配分型モデルと同様な条件で計算を行うことで走行費用便益を求めた。両モデルの計算結果を以下に示す。

表-2 非再配分型モデルの計算結果

走行費用便益(円)	除雪費用(円)	費用便益比	除雪延長(km)
111,555,712	4,989,071	22.36002	177.53
159,873,024	9,996,745	15.99251	365.55
186,107,648	14,999,503	12.40759	578.49
205,225,472	19,996,135	10.26326	835.05
208,505,600	23,429,498	8.89928	1032.86

表-3 再配分モデルの計算結果

走行費用便益(円)	除雪費用(円)	費用便益比	除雪延長(km)
41,020,416	4,989,071	8.22206	177.53
118,276,864	9,996,745	11.83154	365.55
158,832,640	14,999,503	10.58919	578.49
188,884,096	19,996,135	9.44603	835.05
195,993,216	23,429,498	8.36524	1032.86

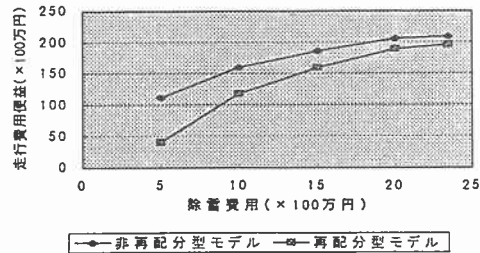


図-3 走行費用便益の比較

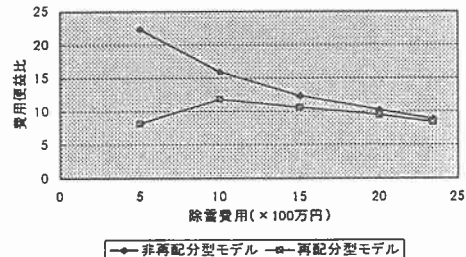


図-4 費用便益比の比較

両モデルの計算結果から、目的関数である走行費用便益(図-3)と費用便益比(図-4)の比較を行った。

その結果、全ての予算制約下で、費用便益比は非再配分型モデルで行った計算結果の方が高い値を示していることが解る。その原因として、再配分型モデルでは、除雪作業によるリンクの走行速度の上昇が、他のリンクからの交通量の流入を招き、結果として走行時間は短縮されることが挙げられる。よって、非再配分型モデルで求めた走行費用便益は、再配分型モデルの走行費用便益に比べて過大評価をしていることになる。

また、費用便益比を比較すると、予算制約額が低いほど差が増大しており、予算制約が500万円の時

には、2倍以上の差が生じている。よって、実際には非再配分型モデルで求めた除雪道路の組み合わせよりも、除雪効果の高い組み合わせが存在すると考えられる。

4. 入れ替えモデル

3章で記述した通り、非再配分型モデルでは最適除雪道路の組み合わせを導き出す事は出来なかった。しかし、非再配分型モデルの計算は、除雪作業前のQV曲線を用いて、配分シミュレーション法の計算を行っていることから、膨大な除雪道路の組み合わせの中では、比較的除雪効果が高い道路を選択していると考えられる。

そこで、再配分型モデルを用いて、最適除雪道路の組み合わせを探索するモデルを構築した。このモデルを本研究では入れ替えモデルと呼ぶ。入れ替えモデルでは、非再配分型モデルで選択された除雪リンクをもとに、任意の除雪リンクを他の除雪リンクと入れ替えて再配分型モデルの計算を行う。この計算を繰り返すことによって、目的関数値を改善させる。入れ替えモデルの計算は、以下のような手順で行う。

- 1) ネットワークを構成するリンクを除雪を行うリンクと除雪を行わないリンクに分け、それぞれのリンクを除雪予算が高い順に並べ替える。

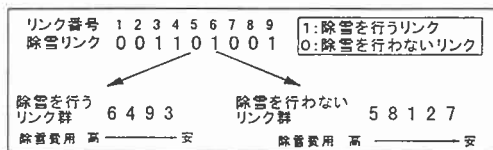


図-5 入れ替えモデル1

- 2) 除雪を行うリンク群よりランダムに1つのリンクを選択し、除雪を行わないリンクとし、除雪を行わないリンク群よりリンクをランダムに数個選び、除雪を行うリンクにすることで、新しい除雪道路の組み合わせを構成する。



図-6 入れ替えモデル2

- 3) 予算制約内で新しい除雪道路の組み合わせを用いて再配分型モデルの計算を行い、走行費用便益を求める。予算制約外であれば1)に戻る。
- 4) 元の除雪道路の組み合わせの走行費用便益よりも、新しい除雪道路の組み合わせの走行費用便益の方が高い場合は、除雪道路の組み合わせを更新して1)に戻る。

以上、任意の回数を繰り返し、終了する。

4-1 入れ替えモデルの計算結果

入れ替えモデルの計算例として、非再配分型モデルで得られた除雪道路の組み合わせの中から、最適除雪道路の組み合わせと最も差が大きいと思われる、予算制約を500万円で行った除雪道路の組み合わせをもとに、最適除雪道路の組み合わせの近似解を求めた。繰り返し計算回数は50回である。

除雪道路の組み合わせが入れ替わった時の結果(表-4)と、走行費用便益の推移(図-7)、最良解の除雪道路の組み合わせ(図-8)を示す。

表-4 入れ替えモデルの計算結果

<<予算制約: 5,000,000 >>

回数	走行費用便益 (円)	除雪費用 (円)	費用便益比	除雪延長 (km)
1	41,020,416	4,989,071	8.22206	177.53
2	41,756,800	4,909,239	8.50576	177.25
4	41,802,496	4,925,136	8.48758	178.84
5	49,348,608	4,756,027	10.37601	172.41
7	54,878,336	4,837,037	11.34544	175.79
11	56,894,080	4,925,537	11.55084	176.03
16	60,556,800	4,953,302	12.22554	179.18
17	64,905,728	4,967,992	13.06478	181.80
21	75,017,856	4,995,740	15.01637	185.36
27	77,376,768	4,878,561	15.86057	179.11
43	77,516,288	4,970,690	15.59467	183.50

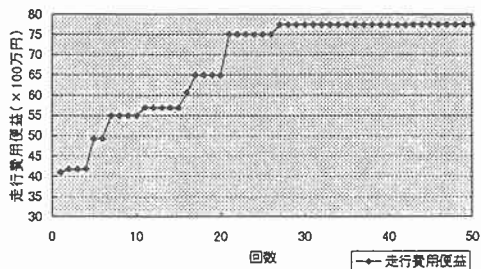


図-7 走行費用便益の推移

以上の結果から、走行費用便益は繰り返し計算回数を重ねる毎に改善されており、除雪道路の組み合わせは、入れ替えモデルを用いることで、最適除雪道路の組み合わせに近づくと考えられる。

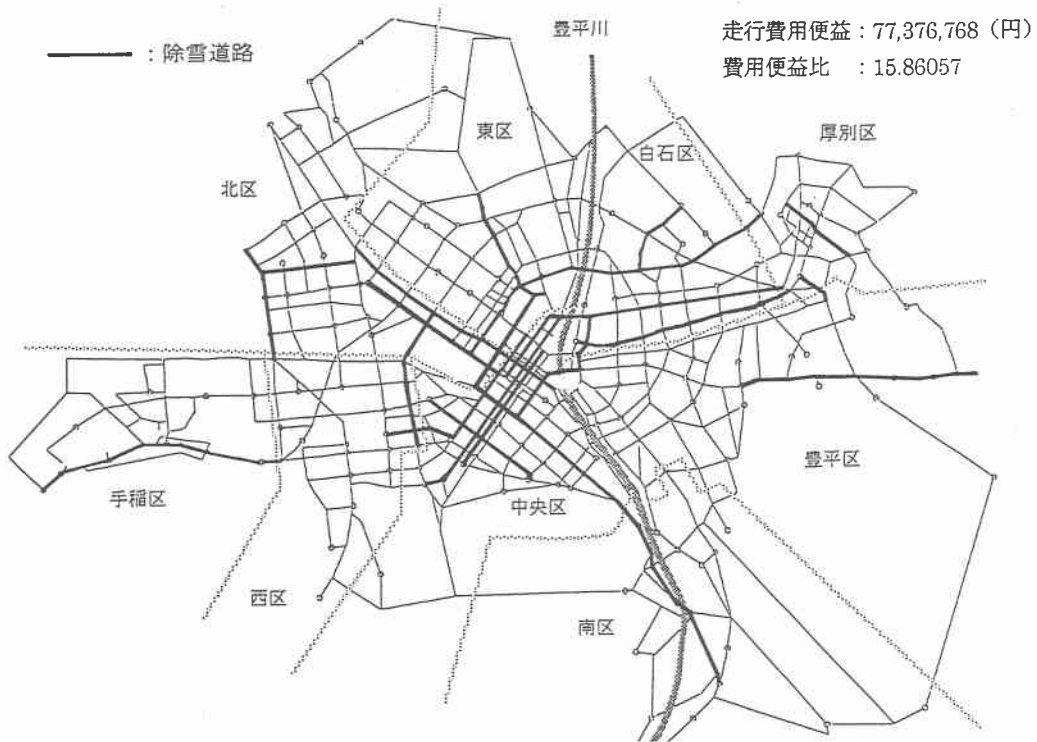


図-8 最良解

5. おわりに

以上、本研究では選択された除雪道路の評価モデルとして、再配分型モデルと非再配分型モデルを構築し、走行費用便益の比較を行い、再配分計算の有無によって、走行費用便益に有意な差があることを確認した。また、最適な除雪道路の組み合わせを探索するためのアプローチとして入れ替えモデルを考案し、結果として、予算制約内で走行費用便益が高い除雪道路を導き出すことが出来た。

今後の課題としては、より最適化できる除雪道路選択モデルを構築するために、配分シュミレーション法の計算の簡略化が挙げられる。

最後に本研究を進めるにあたり、北海学園大学工学部土木工学科の杉本博之教授には、モデルを構築する際に多くのご助言、ご指導を頂きました。また、札幌市白石土木事業所所長の高宮則夫氏には、除雪作業に関するデータの提供を頂きました。記して感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 冬季道路交通現況調査結果資料、(株)日本データサービス、平成8年度
- 2) 除排雪実施状況アンケート報告書、白石区土木事業所、平成9年4月
- 3) 第2回道央都市圏パーソントリップ調査報告書、道央都市圏総合交通体系調査協議会・北海道開発局・北海道・札幌市、1984
- 4) 高宮則夫、城戸寛、長畑範明：冬季道路交通特性調査、土木学会北海道支部論文報告集、第51号(B)、P 546~549、1995
- 5) 下条晃裕、高木秀貴：スタッドレス化後の2車線道路の冬季交通現象について、土木学会北海道支部論文報告集、第53号(B)、P 548~553、1997