

最適除雪道路選択モデルに関する研究*

A Study on the Optimum Road Repairing Model for Snow Removing

有村幹治**、上西和弘***、杉本博之****、田村亨*****

By Mikiharu ARIMURA, Kazuhiro JOUNISHI, Hiroyuki SUGIMOTO, Tohru TAMURA

1. はじめに

本研究の背景として、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。除雪費用は年々増加する傾向が見られ、1996年には記録的な降雪により、札幌市は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、除雪費用はさらに増加する可能性がある。しかし、冬季間の路面悪化による交通処理能力の低下は大きく、冬季の道路状態の多くを占める氷雪路面の場合、交通流に与える影響は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。滑りやすい路面を出現させないような適切な路面管理を行うことが、冬季間の交通サービスの向上に繋がるといえる。

増大化する予算の抑制と除雪の社会的必要性という矛盾する問題を考えたときに、限られた予算制約の中で効果が最大になるような除雪実施位置を把握することは、将来の除雪体制を議論するうえで重要である。本研究は、最適な除雪実施道路の組み合わせを求めることを目的とし、その為に①走行費用便益による除雪効果評価モデル②遺伝的アルゴリズム (genetic algorithms, 以下 GA と呼ぶ) を用いた除雪位置の最適選択モデル、の2つのモデルを構築する。また、札幌都市圏道路網を対象として、GAを用いて最適な除雪位置を計算する。

本研究の特徴は2つある。それは、①配分計算を含む大規模ネットワークでの組み合わせ最適化問題にGAを適用すること②除雪を対象としてリンク集約の工夫を行い最適化モデルを構築すること、である。

2. 除雪効果評価モデル

本研究では、除雪作業の中でも特に路面状態を回復させる施策である路面整正作業が冬季交通流に与える影響が大きいことに注目する (なお本文中での、除雪作業は路面整正作業を、除雪道路は路面整正作業道路を意味する)。

これまでに、秋季と冬季で経路を変えるドライバーは約17%と調査されている。よって、除雪作業後の交通流を把握するために、除雪によってドライバーの移動経路は変化するものとして、除雪作業後のリンクデータを用いて配分計算を行う必要がある。

除雪作業実施の効果としては、走行車両の移動時間の短縮が考えられる。リンク毎に移動時間の短縮を走行車両の台数に乘じ、累積することによって、除雪作業実施による走行費用便益を求めることができる。そこで、本研究では、冬季QV曲線を作成し、それを利用して配分計算を行う。構築した評価モデルについて順に説明する。

(1) 冬季QV曲線の設定

除雪作業実施の効果を評価するため、除雪作業前と後において、QV曲線を設定する。冬季間のQV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。まず、冬季路面状態毎の平均旅行速度と平均交通量のデータから、それぞれ秋季平均値との比較を行った (表-1)。

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

速度減少率と交通量減少率は、以下の式によって求めた。

キーワード：防災計画、除雪計画
 **：学生員 室蘭工業大学土木工学科 博士後期課程
 (〒050-8585 室蘭市水元町 27-1, Tel: 0143-47-3419, Fax: 0143-47-3411)
 ***：正会員 (株) 長大
 ****：正会員 工博 北海学園大学土木工学科教授
 *****：正会員 工博 室蘭工業大学建設システム工学科助教授

速度減少率=冬季平均旅行速度/秋季平均旅行速度 ①

交通量減少率=冬季平均交通量/秋季平均交通量 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%であることが分かる。

次に表-1をもとに、冬期間のQV曲線を設定する。具体的には、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)と仮定した。冬季QV曲線(図-1)は、秋季QV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QV曲線と同様の値を用いた。

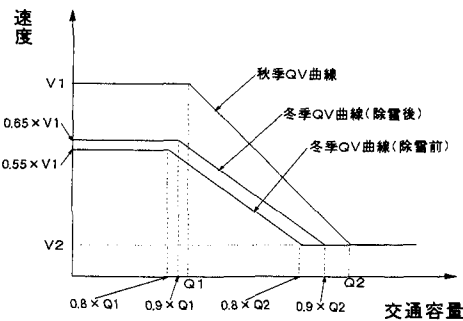


図-1 冬季QV曲

(2) 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(JCi:表-2)に、各リンクの距離(DTi)を乗じた値を累積して求める。

表-2 車線数毎の除雪費用

幹線8車線	48,000 円/(台・Km)
6車線	37,100 円/(台・Km)
4車線	26,300 円/(台・Km)
2車線	15,500 円/(台・Km)

$$SC = \sum_{i=1}^K (JC_i \times DT_i) \quad \text{③}$$

SC : 除雪費用

JCi : リンクiの距離あたり除雪費用

DTi : リンクiの距離

K : リンク数

(3) 目的関数の算出

除雪作業前・後において配分計算を行い、移動時間の短縮やリンク交通量の変動より、利便を受けた自動車の走行費用便益の和を目的関数として計算する。

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移動時間(TDij)にOD交通量(ODij)と時間費用(TC)を乗じることによって求める。また、本研究では時間費用を2000(円/時)として計算を行った。

$$BC = RTC_0 - RTC_1 \quad \text{④}$$

BC : 走行費用便益(目的関数)

ただし、

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

RTCは次式より求める。

$$RTC = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K (TD_{ij} \times OD_{ij} \times TC) \quad \text{⑤}$$

RTC : 走行時間費用

TDij : ノードi-j間の移動時間

ODij : ノードi-j間のOD交通量

TC : 時間費用

K : ノード数

3. 最適除雪道路選択モデル構築とその適用

ここでは、先の除雪評価モデルを用いて、GAを適用し、最適な除雪位置を選択するモデルを構築する。また、札幌都市圏道路網を対象ネットワークとして⑤、実際に最適化計算を行い、モデルの有効性を確認する。

(1) 最適除雪問題

本研究での除雪位置最適化問題を整理すると以下のように表現できる。

【除雪位置最適化問題】

○目的関数 $f(\{I\}) \rightarrow \text{Max}$ (走行費用便益)

○制約条件 $g_1(\{I\}) \leq 0$ (除雪予算)

○設計変数 $\{I\} = \{I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, \dots, I_n\}$ (除雪道路)

n : 除雪道路数

この問題は、道路整備順位決定問題として、筆者らにより既にGAの適用がなされている。

(2) 遺伝子線列の設計

本研究の対象ネットワークは、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）で構成されている。このリンクを単位に除雪実施の有無を GA で求めることも可能であるが、実際の除雪作業は連続した幹線や区を中心に行われていることを考慮すると、連続性を保持したリンク群を組み合わせるほうが効率的である。そこで、あらかじめ現実の除雪実施経路やヒアリング調査を参考に、路線別、区別にリンクのグループ化を行った。このリンク集約が本研究の GA 適用における工夫の一つである。具体的にはリンク数 957 本を 152 個のグループ数に集約した。本研究の遺伝子線列構成が持つ組み合わせ解空間は $n!$ で示されるが、この工夫により、957! の組み合わせ解空間を 152! まで減少できたことになる。

本研究では、このリンク集合であるグループを組み合わせの単位として、最適除雪道路の組み合わせを GA により探索する。

遺伝子線列は巡回セールスマン型の構成で行う。各設計変数は除雪道路グループ番号を意味する。除雪道路グループの各除雪費用を左から加算し、予算制約を超えたところで遺伝子線列を切り、除雪を実施する道路の組み合わせを表現する。図-2 では、除雪道路グループ 2,3,4,5,6 において除雪が実施されることになる。

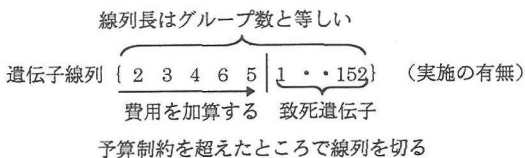


図-2 遺伝子線列

(2) 計算結果

予算制約を 500 万円/日で行った場合の除雪道路の組み合わせを計算した。対象地域の総需要交通量は 967,690 台である。ネットワーク規模が大きいことから、配分計算の分割数を 3 回とし、交通量の割合は、第 1 分割は 50%、第 2 分割は 30%、第 3 分割は 20% として計算を行った。GA の各パラメータは人口サイズ 20、最大世代数 50、交叉確立 0.6、突然変異確立 0.01 とした。各世代における走行費用便

益、除雪費用、費用便益費、除雪延長の推移を表-3 に、走行費用便益の推移を図-3 に示す。また、最良解の除雪道路の組み合わせを図-4 に示す。

図-4 では、例えば、国道 36 号線（豊平区上部）が、市街地に入る部分から除雪が行われていないことが確認できる。これは、この地点から国道 36 号線の代替路線が多く存在することから、車両がこの路線に集中し、除雪による走行費用便益の上昇が大きい路線として選択されたと考えられる。

以上の結果から、GA により効果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確認された。

表-3 各世代における計算結果

<<予算制約: 5000000>>				
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

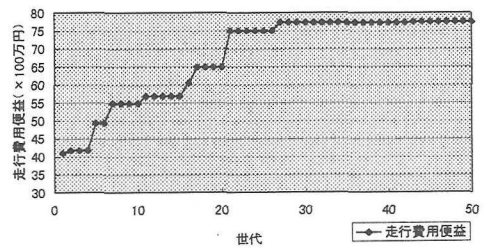


図-3 走行費用便益の推移

(3) 配分計算を含む大規模ネットワーク最適化における問題点と課題

本研究では、GA を適用することで道路上の除雪作業を実施する道路の組み合わせを求めた。今回は、少ない人口サイズにより計算を行っているため、最良解を得られた保証はないが、この点は今後改良できる。

GA 適用上の最大の問題は、対象ネットワークの 1 回の配分計算に約 30 分の計算時間を要していることである（使用機種、Sun AS4017）。単純に考えると、GA の 1 回の最適化において、配分計算が人

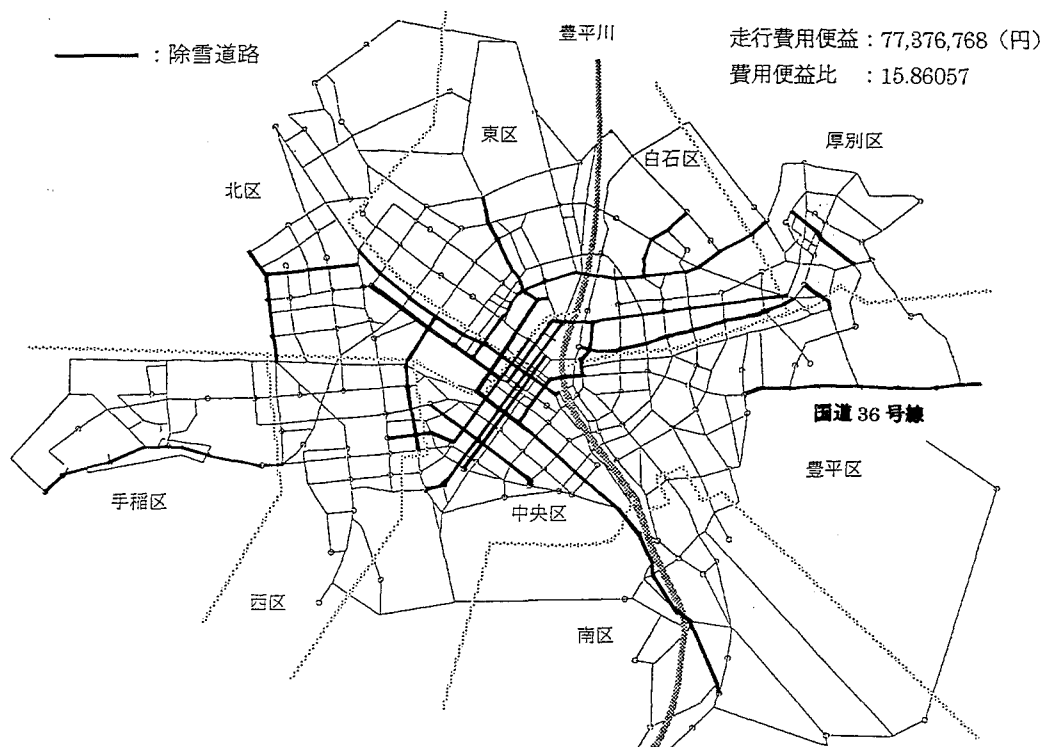


図-4 選択された除雪実施道路

ロサイズと世代数の積の回数分、行われる可能性がある。本研究での計算例の場合でも、実に 294.5 時間を要している。このように、GA により除雪道路の組み合わせが更新される度に、再度配分計算を行うことは現実的な方法ではない。この最適化に要する時間の大半を配分計算に費やしてしまう問題は、大規模ネットワークにおける GA 適用の実用性を高めるためには解決すべき問題である。この問題に対して、配分に要する計算時間自体を短縮することも重要であるが、GA 上のできる工夫として、①目的関数の近似解を世代初期での適応度関数計算に用いて探索を進め、解が収束するにつれて配分計算を行う方法② GA を並列化し、目的関数の計算を分散させる方法、が考えられる。これらは今後の課題である。

5. おわりに

本研究では、最適な除雪位置を求めるための GA 適用方法を示した。また、札幌市都市圏道路網を対象としてモデルの適用を行い、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。

今後は、配分計算の時間短縮を図るための工夫を GA 内で行う予定である。最後に本研究を進めるにあたり、札幌市白石土木事業所所長の高宮則夫氏には除雪作業データの提供を頂いた。記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 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 年
- 2) 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
- 3) 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
- 4) 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
- 5) 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 年