室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

最適除雪道路選択モデルに関する研究

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 土木学会 公開日: 2012-03-27 キーワード (Ja): 防災計画, 除雪計画 キーワード (En): 作成者: 有村, 幹治, 上西, 和弘, 杉本, 博之, 田村, 亨 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/989

室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

最適除雪道路選択モデルに関する研究

その他（別言語等）のタイトル	A Study on the Optimum Road Repairing Model for Snow Removing
著者	有村　幹治，上西　和弘，杉本　博之，田村　亨
雑誌名	土木計画学研究・論文集
巻	16
ページ	387-391
発行年	1999-09
URL	http://hdl.handle.net/10258/989

doi: info:doi/10.2208/journalip.16.387

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排作業に、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。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。増大化する予算の抑制と除雪の社会的必要性という背反する問題を考えたときに、限られた予算で最適な路面管理を行なうことは、将来の除雪作業体制を議論するうえで重要である。本研究は、大規模道路網（札幌都市圏道路網）を対象として、走行費用便益によって評価される最適な除雪実施路線網を求めること、及び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を整理することを目的とする。

2．除雪に関する既存研究と本研究の位置付け

除雪に関する既存研究は①ネットワークの考慮（除雪道路の選択）②予算制約の考慮、がそのキーワードとなる。除雪に関する研究当初は、予算制約を考慮していなかった。我が国における除雪の経済効果に関する初めての研究は、五十嵐[1]（1972 年）が「交通量－生産所得関数モデル」を構築し札幌市を対象として除雪の費用便益比を算出したものである。この研究では道路ネットワークを「最低基本道路網」と「平常生活道路網」に分けて街路除雪による効果を算出しているが、対象ネットワークは全て除雪する（予算制約が無い）ことを前提としている。また、鹿野[2]（1997 年）は札幌市中心部の補助幹線道路除雪に上記モデルを適用し、オールオアナッシング法により交通配分を行なうことで費用便益比の算出を試みている。ここでの対象ネットワークはノード数が 10 と小規模であり、また、除雪実施位置は外性的に与えられているので、予算制約下での最適な除雪リンクの選定までは論及されていない。さらに、酒井・栗山[3]（1993 年）は新潟県における無雪期と積雪期の道路機能率と社会機能率の評価指標を提案し、道路除雪の経済効果の定量的評価を試みているが、これは県民総所得から除雪費用効果を算出しており、積雪時の対象ネットワークを全て除雪した場合を想定した分析である。諸星・梅村[4]（1995 年）は長岡市の除雪実績データを用いて消雪パイプ設置と機械除雪の費用便益比を計算している。この研究では除排雪システムのコストが詳細に論及されているが、対象地域の消雪パイプ位置と機械除雪をするリンク位置は所与とされている。

ネットワークと予算制約を考慮した効果的な除雪マネジメントを論及した研究としては、James F .et al[5]（1995 年）が除雪施策の具体的分類を行なっているものが最初と考えられる。ここでは除雪マネジメントの主たる目的として最小費用での具体的サービス水準の提供が指摘されている。また都市における除雪施策とその意思決定に必要な観点として、①消雪地点、②除雪エリアの設計、③除雪エリアの割り当て、④除雪機械選定と乗員スケジュール、⑤除雪位置選択、以上の５点が挙げられている。しかしこの研究は概念の整理に留まっており、具体的な予算制約下でのネットワーク最適化の解法までは提案されていない。

以上の様に、ネットワークと予算制約を考慮した除雪に関する研究はこれまでなされていない。この理由は、ネットワーク上の交通流を考慮して予算制約下での除雪位置組み合わせの評価計算を行なうと、組み合わせ数が莫大となり最適な解を探索することが困難になることが挙げられる。

一方、準組み合わせ最適化手法の一つである遺伝的アルゴリズム（Genetic Algorithms,以下 GA と呼ぶ）の研究では、道路リンク特性と予算制約を考慮した研究として、田村ら[6]が高速道路の新設路線工事の順位選定に GA 適用を行なっている。この研究では、41 ノード、133 リンク、96 工事区間を持つ道路ネットワークを対象として等分割配分法による交通量配分計算を内包した最適化モデルが提案されている。

本研究はネットワークと予算制約を考慮して最適な除雪位置を選択するために、①道路リンク特性（冬季 Q-V 式）、②リンク別除雪コスト、を取りこんだ GA 最適化モデルを大規模道路網（札幌都市圏道路網）を対象として構築することを目的としている。

除雪位置選択問題の特徴は３つある。それは、①除雪位

Keywords：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

置によりドライバーの走行時間経路が変動するため、組み合わせを求める度に費用便益計算を行なう必要があること、②除雪実施道路は除雪機材の運用を考慮して連続性を保つ必要があること、③予算制約と①と②の条件下でどの道路を除雪すると効果的かを決めること、である。特に大規模道路網への適用を考慮すると、莫大な組み合わせ数に対応できる GA でも、単純に適用することは近似解の精度と計算時間増加の点から好ましくない。そこで本研究では組み合わせ解空間の縮小を考慮して除雪リンクの集約の工夫を行い最適化モデルの構築を行なった。

3．除雪位置最適化問題

（1）除雪位置最適化問題

除雪作業を大別すると、①新雪除雪②路面整正③拡幅除雪④運搬排雪⑤雪庇及び高雪堤処理⑥凍結防止剤散布、の６種類に分類される。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し、この作業位置を最適化する（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）。

本研究の除雪位置最適化問題は以下のように表現できる。

【 除雪位置最適化問題 】

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

○制約条件 $g_1(\{I\}) \leq 0$　　（除雪予算）

○設計変数 $\{I\} = \{I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, \cdots, I_n\}$　（除雪路線）

$\{I\}$：除雪路線番号，　n：除雪路線数

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。以下、除雪実施効果として評価する走行費用便益の算定方法と、設計変数となる除雪路線の設定方法について説明する。

（2）除雪実施路線網の評価

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乗じ、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。構築した除雪路線評価モデルについて順に説明する。

a）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）。

速度減少率と交通量減少率は、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) ― (1)

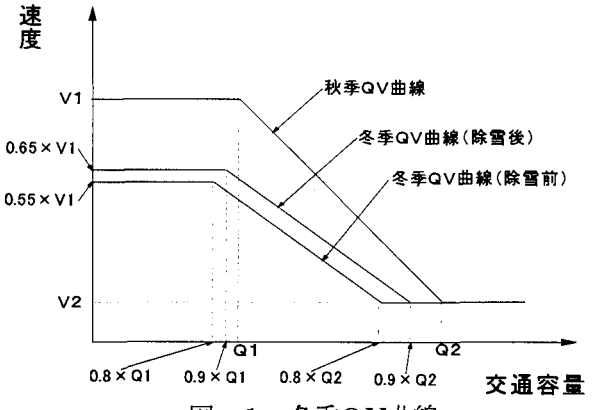
(交通量減少率)=(冬季平均交通量)／(秋季平均交通量)　― (2)

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%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曲線

b）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）

除雪費用 SC は次式より求める。

$$SC = \sum_{i=1}^{N} (JCi \times DTi) \qquad \text{―――――――（３）}$$

$$(s, t. SC \leq LOB)$$

SC　：除雪費用

LOB：除雪予算

JCi　：リンク i の距離あたり除雪費用

DTi　：リンク i の距離

N　　：除雪を実施するリンク数

c) 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(RTC_0)・後(RTC_1)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、除雪前後において、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。

$$BC = RTC_0 - RTC_1 \qquad (4)$$

BC　：走行費用便益（目的関数）

RTC_0：除雪作業前の走行時間費用

RTC_1：除雪作業後の走行時間費用

走行時間費用（目的関数）RTC は次式より求める。

$$RTC = \sum_{i=1}^{K}\sum_{j=1}^{K}(TDij \times ODij \times TC)$$

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

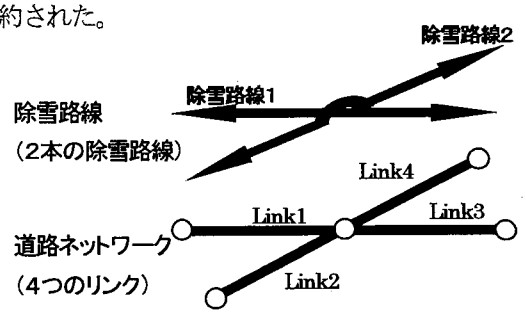
TC　：時間費用

K　：ノード数

本研究は、(3)式の除雪費用が予算制約を満たす範囲内で(4)式を最大化する問題となる。

d) 設計変数の設定

本研究の対象ネットワークである札幌都市圏道路網は、リンク数 957 本、ノード数 644 個で構成されている。これらのリンクを除雪リンクとし、その組み合わせ最適化計算を行うことは、最適化計算に必要な時間の増大化の原因となる。また、組み合わせられた除雪リンクが、除雪路線としての連続性を失う可能性がある。そこで本研究では、実際の除雪作業が連続した幹線や区を中心に行われていることを考慮し、連続性を保持したリンク群をあらかじめ除雪路線として組み合わせることで、最適化における設計変数として扱う。除雪路線の設定は、現実の除雪実施経路やヒアリング調査を参考に、路線別、地区別にリンクの集約を行った。その結果、リンク数 957 本が 152 本の除雪路線数に集約された。



図－２　リンク集約による除雪路線の設定

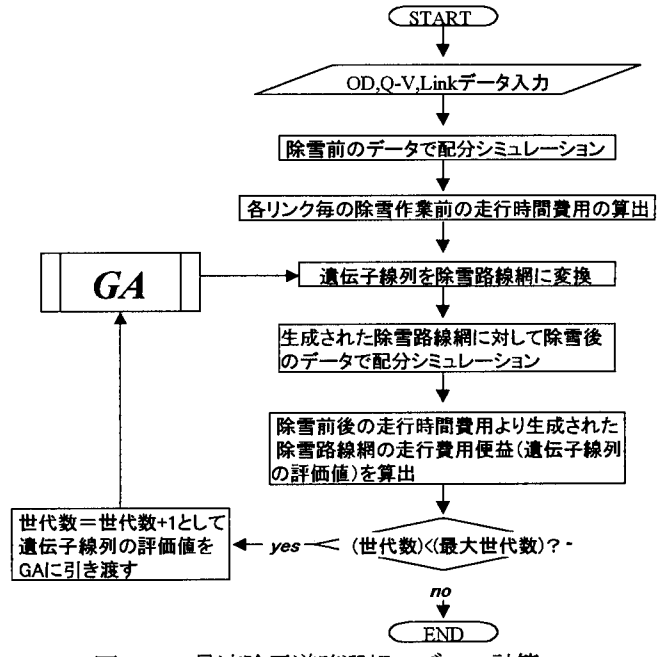
このリンク集約が本研究の GA 適用における工夫の一つである。本研究における遺伝子線列構成については後述するが、遺伝子線列が持つ組み合わせ解空間はｎ！で示される。この工夫により、957！の組み合わせ解空間は 152！まで減少したことになる。

４．最適除雪道路選択モデルの構築

(1) 最適除雪道路選択モデルへの GA の適用

GA による最適化計算においては、除雪路線の組み合わせによって各道路リンクの交通量が変動することから、除雪路線の組み合わせを生成する度に除雪作業後のリンクデータを用いて配分シミュレーションを行う必要が生じる。

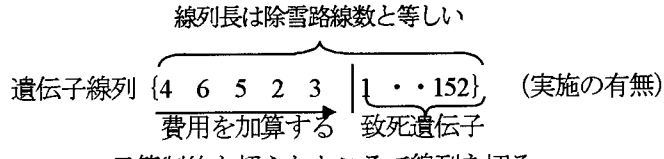
最適化計算は以下の５つのステップで計算される。それは、①除雪作業前の交通条件で、配分シミュレーションを行う、②GA によって除雪を実施する路線の組み合わせを生成する、③生成された除雪路線網において配分シミュレーションを行う、④走行速度の差から走行費用便益を求める、⑤求めた走行費用便益をその路線組み合わせの評価として GA に引き渡す、となる。②から⑤の計算プロセスが GA の最大世代数分繰り返される。



図－４　最適除雪道路選択モデルの計算フロー

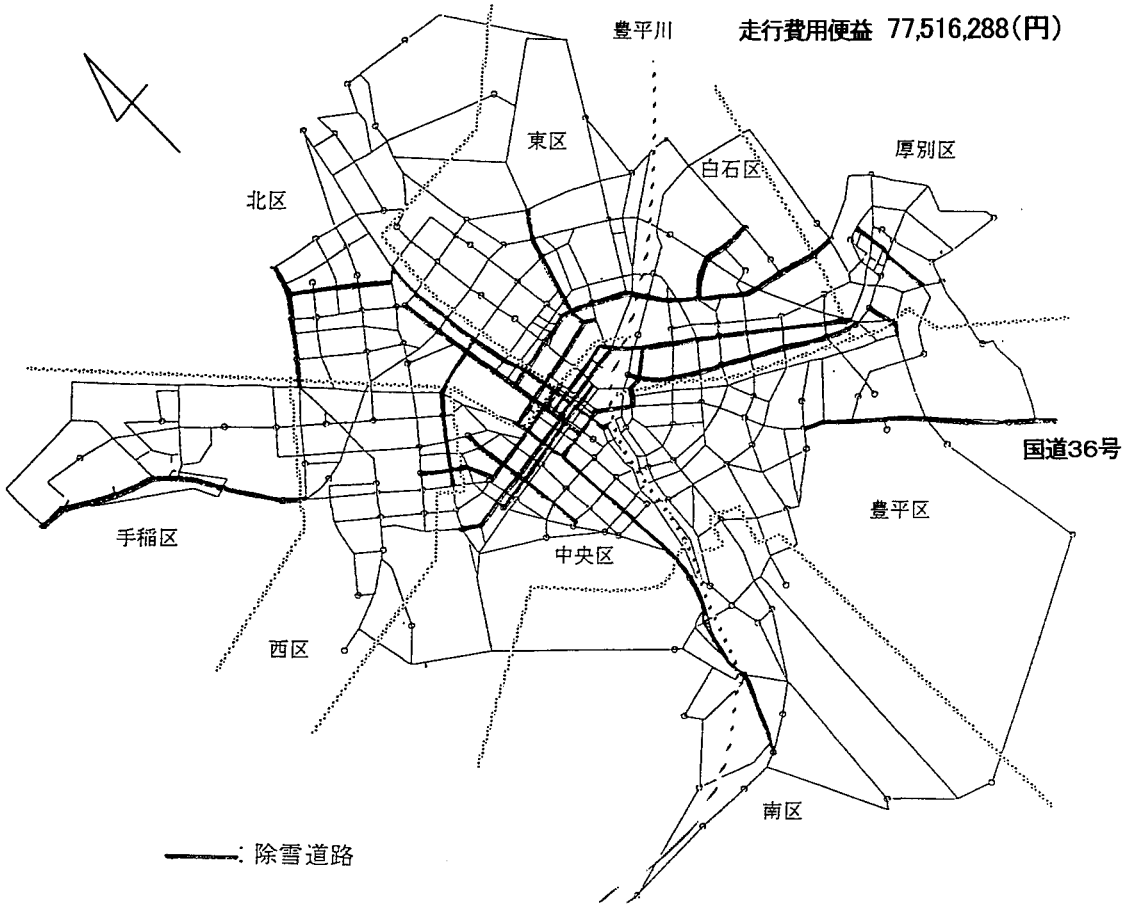
(4) 遺伝子線列の設計

遺伝子線列は巡回セールスマン型の構成で行う。各設計変数は除雪路線番号を意味する。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－5 では、除雪路線 2,3,4,5,6 において除雪が実施されることになる。



予算制約を超えたところで線列を切る

図－５　遺伝子線列の設計



図―6　最適除雪道路選択モデルによる除雪実施道路

5．札幌市都市圏道路網へのモデル適用

（1）計算条件

本研究では、道央都市圏道路網から札幌市内の幹線道路を抽出して作成した札幌都市圏道路網を対象として、最適除雪道路の組み合わせを探索した。札幌都市圏道路網の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）、除雪路線数152個、総需要交通量は967,690台である。除雪予算の制約は500万円、1000万円、1500万円、2000万円、2300万円の５つを設定した。配分計算は分割配分法を用い、分割数は３分割で行った。配分交通の割合は、１分割目は50%、２分割目は30%、３分割目は20%とした。

GAの各パラメータは人口サイズ20、最大世代数50、交叉確率0.6、突然変異確率0.01とした。また、エリート戦略として、経験則的に良好な目的関数値を持つ除雪路線組み合わせを、初期遺伝子線列の一部として採用した。

（2）計算結果

探索された除雪道路の組み合わせ（予算制約500万円）を図－６に示す。また、GAの各世代の走行費用便益、除雪費用、費用便益費、除雪延長の推移を表－３に示す。

表－３　GAの各世代における計算結果

<<予算制約(円)：5,000,000>>

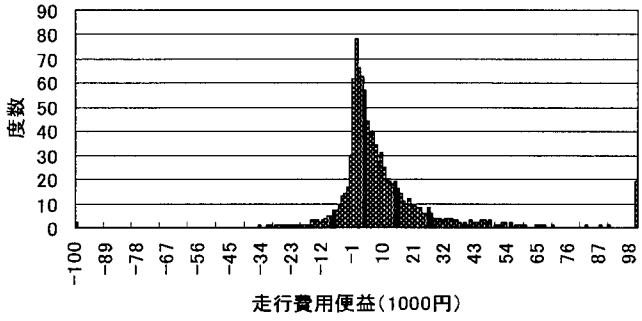
世代	走行費用便益(円)	除雪費用(円)	費用便益比	除雪延長(km)
1	41,020,416	4,989,071	8.22206	177.53
2	41,756,800	4,909,239	8.50576	177.25
4	41,802,496	4,925,136	8.48758	178.84
5	49,348,608	4,756,027	10.37601	172.41
7	54,878,336	4,837,037	11.34544	175.79
11	56,894,080	4,925,537	11.55084	176.03
16	60,556,800	4,953,302	12.22554	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
50	77,516,288	4,970,690	15.59467	183.50

また、図－７は図－６の除雪道路組み合わせを用いて、除雪前後におけるODペア毎の走行費用便益の差の分布を求めたものである。また、予算制約毎の走行費用便益を図－８に、走行費用便益比を図－９に示す。

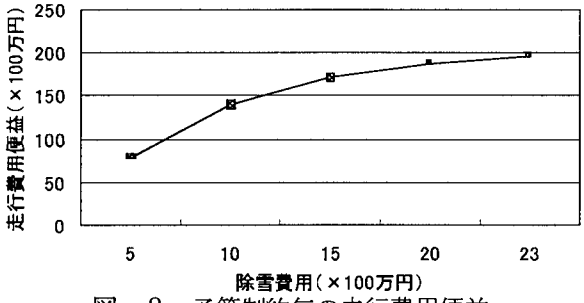
表－３からは、GAの世代が更新される度に走行費用便益が上昇していること、及び除雪費用が予算制約を満たしていることが確認できる。

図－６からは、例えば国道36号（豊平区上部）は、市外への接続ノードから除雪が行われていることが確認できる。これは、この地点から市内に国道36号の代替路線が多く存在することから、市外へ流れる車両がこの接続ノードへ集中し交通量がまとまることで、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。

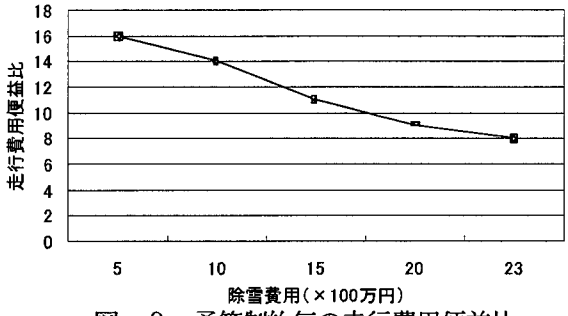
また白石区や東区の方向に放射状に伸びる路線が、これらの地区の幹線として評価されている。これは除雪が行なわれた幹線への接続路線として評価されたと考えられる。図－7は除雪をした場合としない場合について各 OD ペア毎の走行費用便益の差を計算し、その分布を示したものである。ここで重要なことは、除雪が実施されたことにより負の便益が発生する OD ペアが存在するということである。つまり、OD 交通の走行経路上に除雪リンクがあり、その OD 交通の走行費用便益が上昇する場合は、経路途中の除雪が行なわれていないリンクにも車両は集中する。結果、この除雪が行なわれていないリンクのみを走行経路に持つ OD 交通の走行時間が長くなり、負の便益を受けることとなる。



図－7　OD ペア毎の走行費用便益の分布



図－8　予算制約毎の走行費用便益



図－9　予算制約毎の走行費用便益比

図－8、図－9より予算制約を上げることにより、除雪による走行費用便益の上昇が確認できる。予算制約が上がるにつれ、走行費用便益が逓減するのは、除雪路線長が増加しても、小さい OD 交通走行費用便益が加算されることによる。

以上の結果より、本研究で提案されたモデルにより、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確認された。しかしながら、配分計算含むを大規模ネットワーク最適化は、その必要となる計算時間が大きな問題となる。この問題と課題について、次項で整理する。

（3）配分計算を含むを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位置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。

配分計算を含む大規模ネットワーク最適化における 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、配分計算が人口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 上でできる工夫として、①目的関数の近似解を世代初期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、②GA 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。

6．おわりに

本研究は、ネットワーク特性と予算制約を考慮した最適な道路除雪位置の決定問題を定式化し、それを GA により解析したものである。本研究から分かった点は以下のとおりである。

①最適な除雪位置を求めるための GA 最適化モデルを示した

②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した

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)五十嵐日出男：「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 年

2)鹿野方俊：「道路除雪の経済効果推定に関する研究」,街路除雪の経済効果に関する試論」,平成８年度卒業論文, 北海道大学工学部

3)酒井孝、栗山弘：「道路除雪の費用の評価手法」,日本雪氷学会誌雪氷,第 55 巻 4 号,pp327-334,1993 年

4)諸星和行、梅村晃由：「道路除雪の費用の評価手法－第1報長岡市商業地域の既存システムの費用便益計算－」,日本雪氷学会誌雪氷,第57巻1号,pp3-10,1995年
5)James F. Campbell and Andre Langevin：「Operation management for urban snow removal and disposal」,Transportation Reserch Vol.29A,No5,pp359-370,1995
6)田村亨・杉本博之・上前孝之：「遺伝的アルゴリズムの道路整備順番決定問題への応用」,土木学会論文 集,No.482/IV-22, pp.37-46,1993年.
7)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）,P546～549,1995年.
8)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）,pp548～553,1997年.
9)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.
10)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.
11)1984年第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.

最適除雪道路選択モデルに関する研究

有村幹治，上西和弘，杉本博之，田村亨

限られた予算制約の中で効果的な除雪実施位置を把握することは重要な課題である。本研究は、大規模道路網を対象とした最適除雪実施道路モデルを構築することを目的とする。そのため本研究ではドライバーの除雪による経路変更の有無を慮し、遺伝的アルゴリズムを用いた除雪位置最適選択モデルの構築を行った。また札幌都市圏道路網を対象として構築しモデルにより最適な除雪路線網の探索を行った。結果、提案したGA手法の有効性が確認された。

A Study on the Optimum Road Repairing Model for Snow Removing

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

That is important problem to select the effective snow removing location within the limit of budget. The purpose of this paper is to develop the optimum road repairing model for snow removing,and to apply it for the large size road netowark. In this paper, for difference of driver's behavior of after snow removing, The applying Genetic Algorithms optimum model is proposed. As the case study, the Sapporo city urban area road network is applied, and the effects of the GA method is confirmed.