

費用便益分析を用いた排雪頻度の
最適化に関する研究
-札幌市を事例として-

学生番号 2011320

氏名 二木 涼

目次

| | |
|-------------------------|----|
| 第1章 はじめに..... | 1 |
| 第2章 研究背景と目的..... | 2 |
| 2.1 研究背景..... | 2 |
| 2.1-1 札幌市の除排雪体制の現状..... | 2 |
| 2.1-2 札幌市の除雪区分..... | 2 |
| 2.1-3 除排雪の定義..... | 3 |
| 2.2 研究の目的..... | 3 |
| 第3章 分析方法と結果..... | 5 |
| 3.1 分析方法..... | 5 |
| 3.1-1 評価対象について..... | 6 |
| 3.1-2 排雪手順..... | 6 |
| 3.2 分析結果..... | 7 |
| 3.2-1 費用..... | 7 |
| 3.2-2 便益..... | 9 |
| 3.2-3 分析結果まとめ..... | 10 |
| 第4章 考察..... | 11 |
| 参考文献..... | 12 |

第1章 はじめに

札幌市は世界にある積雪地の中でも大都市に分類され、モータリゼーションの発達している都市の一つである。毎年多くの積雪が市内全体にみられるため、冬期の市内の道路は雪によって覆い尽くされてしまい、交通が非常に困難な状態に陥ってしまう。毎年除雪を行っているが、市内の交通の利便性を守るためには、市全体の道路で除雪が必要となる。これにより、毎年、除雪作業に多額の予算が費やされている。平成26年度の札幌市における雪対策費は181億100万円に上った。中でも運搬排雪費は43億円にも上り、道路除雪費のうち約4割を占める。市の年度予算が予め決まっているのに対し、除排雪費に多くの予算を使う事は、市の財政を圧迫する事となる。また、現在、札幌市の除雪業者（札幌市除雪事業協会に加盟している会社）の数は220社（平成16年度）から200社（平成25年度）と、減少傾向にある。除雪作業従事者の高齢化、除雪機械の老朽化、ダンプトラック不足も課題となっている。

こうした除排雪費用からの財政圧迫を抑えるにあたり、除雪車による除雪の仕事効率を今一度見直し、新たに効率の良い除雪車の除雪法を検討する必要がある。効率的な分量で除排雪を行えば、除雪車の稼働時間の無駄を減少させることができる。これは除排雪にかかるコストを下げ、札幌市における除排雪費用を削減する事に繋がると言える。増大化する除雪に必要な予算の抑制と除雪の社会的必要性という問題を考え限られた予算の中でできるだけ低いコストで除雪を行うことは重要であると言える。

そこで本論文では、札幌市内の車道における排雪に着目し、地区や道路ごとに排雪方法・頻度を変えることで、排雪費用の削減が可能かどうかを明らかにする。本研究が積雪地での望ましい排雪頻度のモデルとなれば幸いである。

第2章 研究背景と目的

2.1 研究背景

2.1-1 札幌市の除排雪体制の現状

札幌市の雪対策費

図1に平成26年度の札幌市における雪対策費の内訳を示す。雪対策費（181億100万円）の大きな内訳は、道路除雪費が71%（128億5500万円）、雪対策費が29%（52億4600万円）となっており、道路除雪費の中で特に大きな割合を占めているのが「車道除雪費（14%、25億3200万円）」、「運搬排雪費（23.9%、43億3500万円）」となっている。

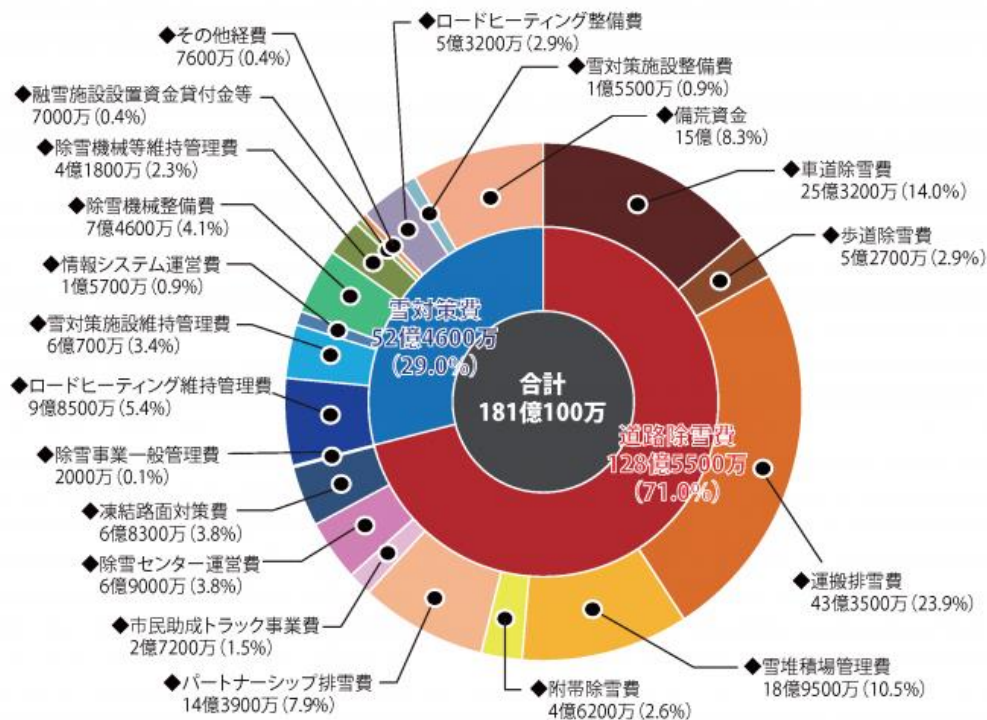


図1 平成26年度札幌市雪対策予算の内訳

2.1-2 札幌市の除雪区分

札幌市は市を23の地区に分けて除雪を管理している。この除雪区分をマルチゾーンと呼んでいる。各マルチゾーンに除雪センターが置かれ、ゾーン内の巡回、除排雪の管理、苦情処理などを行っている。除雪センターは市から業務を委託された形で除雪業者共同体（JV）によって運営されている。

図2にマルチゾーンの構成図を示す。

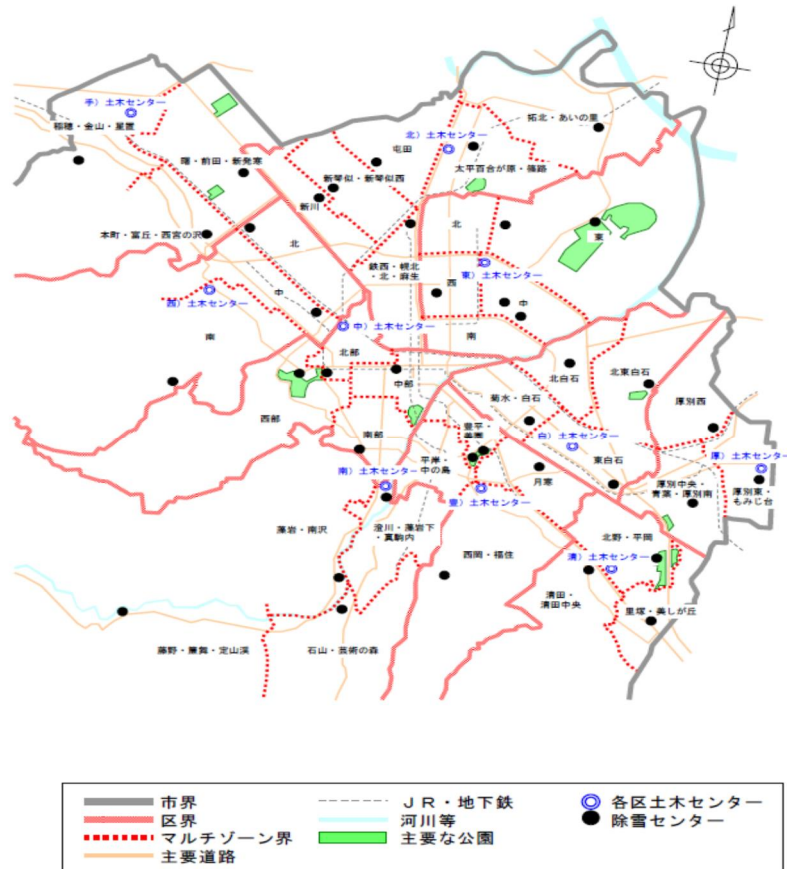


図2 札幌市マルチゾーン区域図

2.1-3 除排雪の定義

本研究における除排雪とは車道に降った雪を退け、移動が可能な状態を作り出す事とする。自動車が通行できる幅であり、物流ができる状態とする。除雪とは降り積もった路面の雪を道路脇に寄せる「新雪除雪」、路面の凸凹やわだちを削り、路面を平らにする「路面整正」、道路脇の雪を積み上げ、走行車線の幅を広げる「拡幅除雪」を指し、道路脇の雪をダンプトラックに積み込み、雪堆積場等へ運ぶ作業までを排雪とする。

2.2 研究の目的

積雪地において、冬期間に通常的生活水準を維持するためには除排雪が必須である。

しかし、長引く経済不況や公共事業の縮減などにより、除排雪の主な担い手である建設業の経営が悪化しており、倒産や廃業、除雪事業からの撤退が増えている。加えて、老朽化した除雪機械の更新ができない状況が続いている。図3に建設業従事者の年齢構成を示す。

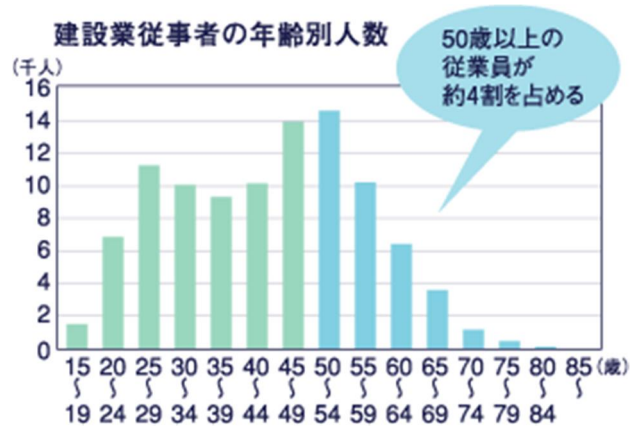


図3 建設業従事者の年齢別人数

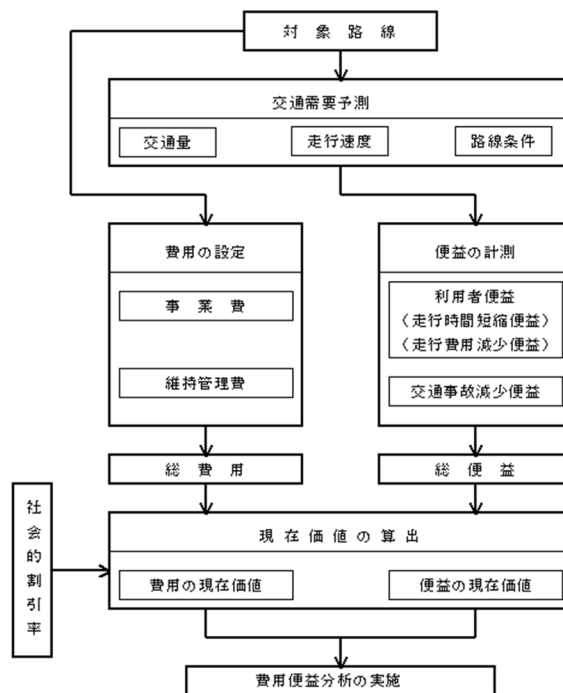
こうした現状を考えると全てを除排雪する事は非常に難しく、費用対効果の高い効率的な除排雪が求められる。そこで本研究では、費用の中で主たる部分を占める運搬排雪について考察・分析し、最適な排雪頻度について考える。雪処理施設には、運搬した雪をただ積み上げていく「堆積場」、下水処理場や清掃工場などの温水を利用した「融雪槽」、河川を利用した「流雪槽」などがあるが、堆積場に比べて他の2つは処理能力の割合が落ちる為、運搬先は堆積場のみを対象とする。

第3章 分析方法と結果

3.1 分析方法

本章では前章までの議論をふまえ、札幌市の車道における排雪方法・頻度について考察する。ただし、自動車走行空間もその形態は多様であり、特定の解があるわけではない。したがって、それらさまざまな自動車走行空間が有する要素ごとに評価する必要がある。このような場合に適した評価手法として、費用便益分析がある。費用便益分析は、ある年次を基準年とし、一定期間の便益額、費用額を算定する。便益については、道路整備が行われる場合と、行われない場合の交通流推計を用いて「走行時間短縮」、「走行経費減少」、「交通事故減少」の項目について、道路投資の評価手法として定着している消費者余剰を計測することにより便益を算出する。そして、算出した各年次の便益、費用の値を割引率を用いて現在価値に換算し分析する。私的投資を考察する場合とは異なり、外部性をふまえて投資の社会的有用性を判断することを目的とする。国や地方自治体等、公的な主体が関わって投資する場合、社会全体において発生するけれども市場では直接評価されない将来にわたる社会的費用と社会的便益をも考慮しなければならない。分析方法は図4の概略検討フローを参考に行う。

図4 概略検討フロー



3.1-1 評価対象について

本研究では、札幌市の雪対策事業の資料を主に基に考えられている。札幌市は世界にある積雪地の中でも大都市に分類され、モータリゼーションの発達が著しい都市の一つである。そこで、広大な面積を持ち、多様な道路幅員を持つ札幌市を例にとり考えることとした。図2で示したように、札幌市内の除排雪はマルチゾーン区域ごとに行われているが、分析対象とする道路等は区ごとで分ける。これは、同区内であれば降雪量等の環境が一定程度均質であるとみなすことができる為である。運搬排雪事業は、現状において実施されている事業であることから、その出動基準が定められており、以下の通りである。道路の雪山の状況や車の通行状況をパトロールするとともに、路線の重要性を考慮し、計画的に実施しています。路線の重要性、雪山の状況、車道の幅員、歩行者の交通安全等を総合的に判断して実施します。() 出動基準が曖昧な為、排雪作業に関して札幌市役所へヒアリングを行った。

3.1-2 排雪手順

幹線道路と一部の通学路を対象とし、道路脇の雪山を切り崩し、ダンプトラックに積み込む。ダンプトラックに積んだ雪は雪堆積場や融雪施設へ運ばれる。大型ロータリで雪山を切り崩し、ダンプトラックに積み込む。雪を積んだダンプトラックは雪堆積場等へ雪を運び投雪する。電柱や街路樹、消火栓などがある場所では、バックホウを使って雪山を切り崩し、雪だし後の道路は、除雪グレーダやバックホウで平坦にする。排雪の出動基準としては、道路脇の雪山の高さが約4mに達してからというものだった。また、現在札幌市では排雪量の抑制を表1の基準に則り行っている。図5にイメージ図を示す。

表 1

| 道路種別 | 抑制幅 |
|-----------|---------------------|
| 主要幹線(6車線) | およそ 1.0m幅で路肩部分に雪を残す |
| 幹線(4車線) | およそ 0.5m幅で路肩部分に雪を残す |
| 補助幹線(2車線) | およそ 0.5m幅で路肩部分に雪を残す |

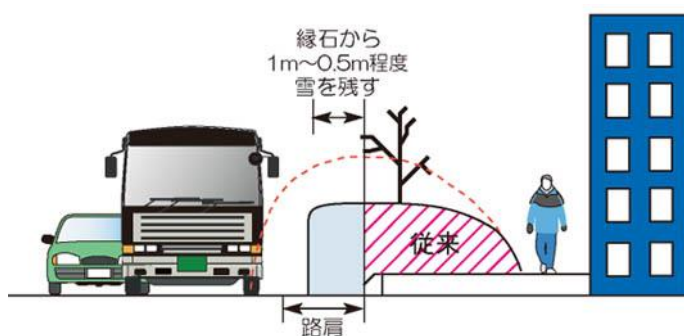


図 5 排雪量抑制イメージ図

図 6 で示したように、排雪には非常に多くの人員・機械を要する。そこで、排雪にかかる人件費、機械の稼働率、排雪の効率を見直す為に、道路脇の雪山の高さに着目して排雪頻度を変える。各シチュエーションにおいて費用便益分析を行っていく。

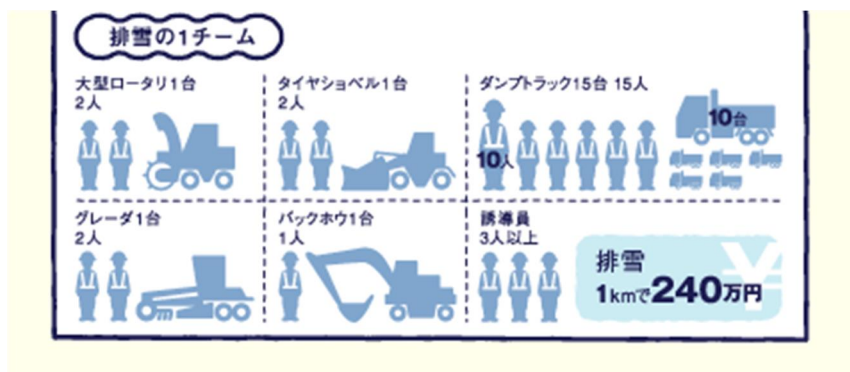


図 6 排雪作業形態

3.2 分析結果

3.2-1 費用

札幌市の除排雪はマルチゾーン区域ごとに入札にかけて除排雪等の費用、業者を決めている。本研究では排雪費用は平成 25 年度の入札価格を参考に求めていく。マルチゾーンごとではなく、区ごとでの入札価格の合計を表 2 に示す。表 3 は実際に除雪事業を営むA社にヒアリングを行い、入札価格の割合を表したものである。表 3 を基に区ごとの排雪費を表 4 に設定した。

表 2 平成 25 年度札幌市除雪入札価格

| 区 | 除雪入札価格(円) |
|-----|---------------|
| 中央区 | 1,430,520,000 |
| 北区 | 2,108,925,000 |
| 東区 | 1,820,175,000 |
| 白石区 | 1,067,115,000 |
| 厚別区 | 830,010,300 |
| 豊平区 | 1,010,100,000 |
| 清田区 | 842,310,000 |
| 南区 | 1,068,564,000 |
| 西区 | 1,264,725,000 |
| 手稲区 | 992,470,500 |

表 3 除雪予算比率

| 除雪予算比率 | |
|--------|--------|
| 工種 | 比率 |
| 車道除雪 | 13.70% |

| | |
|-------------|---------|
| 拡幅除雪 | 2.30% |
| 歩道除雪 | 4.70% |
| 運搬排雪工 | 29.90% |
| パートナーシップ排雪工 | 18.50% |
| 除雪準備工 | 0.20% |
| 附帯除雪工 | 4.50% |
| 凍結路面对策工 | 3.30% |
| 雪対策施設管理工 | 0.50% |
| 雪たい積場管理工 | 17.50% |
| 雪たい積場雪割工 | 4.80% |
| 計 | 100.00% |

表 4 平成 25 年度排雪費

| 区 | 排雪費(円) |
|-----|-------------|
| 中央区 | 429,156,000 |
| 北区 | 632,677,500 |
| 東区 | 546,052,500 |
| 白石区 | 320,134,500 |
| 厚別区 | 249,003,090 |
| 豊平区 | 303,030,000 |
| 清田区 | 252,693,000 |
| 南区 | 320,569,200 |
| 西区 | 379,417,500 |
| 手稲区 | 297,741,150 |

また、札幌市では運搬排雪を主にロータリ除雪車とダンプトラック 11t 級で行っている。各機械 1 台当りの作業能力を、除雪機械能力算出例（日本建設機械化協会 1981）とダンプトラック運搬作業能力の算定式（工事歩掛研究会 1994）に基づき、次式で計算する。

$$Q_s = q_t \times E_s / C_{ms} \text{-----} (1)$$

$$Q_t = q_t \times E_t / C_{ms} / n + C_{mt} \text{----} (2)$$

ここで、

| |
|--------------------------------------|
| Q_s : ロータリ除雪車 1 台の積込作業能力 (t/h) |
| Q_t : ダンプトラック 1 台の運搬作業能力 (t/h) |
| q_t : ダンプトラック 1 台の積載量 (t) |
| C_{ms} : ダンプトラック 1 サイクル当りの積込時間 (h) |
| C_{mt} : 1 サイクル中の運搬, 捨雪時間 (h) |
| E_s : ロータリ除雪車の作業効率 |
| E_t : ダンプトラックの作業効率 |
| η : ロータリ除雪車積込みの作業時間率 |

実際の数値は、ダンプトラックの運搬容量を 10m^3 、積込後の雪密度を $500\text{kg}/\text{m}^3$ として $q_t=5\text{t}$ 、積込時間を 1 分として $C_{ms}=1/60\text{h}$ 、雪捨場までの運搬時間 12 分、捨雪時間 3 分として $C_{mt}=15/60\text{h}$ 、さらに作業効率を $E_s=0.35$ 、 $E_t=0.9$ 、作業時間率を $\eta=0.4$ とし、これらの値を式(1)および式(2)に代入すると、作業能力は $Q_s=105\text{t}/\text{h}$ 、 $Q_t=15.4\text{t}/\text{h}$ と求まる。ここでロータリ除雪車とダンプトラックにかかる費用を、札幌市の実績よりそれぞれ $40,000$ 円/(h 台)、 $10,500$ 円/(h 台)とし、この費用を各作業能力 Q_s と Q_t で除して両者を加えることで、排雪量 1t 当りの運搬排雪費用 G_1 が求まり、 $G_1=40,000/105+10,500/15.4=1,063$ 円/t となる。

3.2-2 便益

本研究で取り扱う便益としては、「走行時間短縮」、「走行経費減少」を対象とする。表 5 は区ごとの冬期交通量と排雪総延長をまとめたものである。

表 5

| 区 | 冬期交通量(台/12h) | 排雪総延長(km) |
|-----|--------------|-----------|
| 中央区 | 25,473 | 228.7 |
| 北区 | 25,734 | 223.4 |
| 東区 | 19,449 | 198.5 |
| 白石区 | 26,670 | 125.8 |
| 厚別区 | 21,885 | 83.7 |
| 豊平区 | 24,926 | 129.7 |
| 清田区 | 30,870 | 98.7 |
| 南区 | 31,126 | 104.3 |
| 西区 | 20,458 | 126.5 |
| 手稲区 | 22,390 | 88.2 |

ここで排雪の出動頻度の違いによる便益を求めていく。従来の排雪出動は道路脇雪山の高さ4mであるので、3m、2m、1mと4段階に分けて計算していく。他方、武知ら(2008)は有効幅員が3.0m/車線以上確保されている場合、路肩などへの堆雪による有効幅員低下の速度への影響は低いとしており、路面状況や吹雪等の視界状況が主な速度変化の要因としている。その為、排得雪頻度を変えることによる交通量等の変化はあまり見られないと考えられる。したがって、本論文では費用と便益を用いて比べるのではなく、費用の変化に着目して最適な排雪頻度を導きだしていく。

3.2-3 分析結果まとめ

(1)、(2)の式より、道路脇の堆積した雪山の高さごとの計算結果を以下の表に示す。

表 6

| 雪山の高さ | Q _s | Q _t | G _t |
|-------|----------------|----------------|----------------|
| 4m | 105t/h | 15.4t/h | 1,063 円/t |
| 3m | 183t/h | 27t/h | 607.3 円/t |
| 2m | 210t/h | 30.8t/h | 531.3 円/t |
| 1m | 420t/h | 61.7t/h | 265.3 円/t |

表 6 より、雪山の高さが従来よりも低い内に排雪出動、つまりは排雪頻度を高めることで費用の削減に努めることがわかった。しかし、これはあくまで業者が保有しているダンプの数などを無視したものであり、実際の機械や人員等も含めて追求していかなくてはならない。加えて、その年の降雪量や気温により変化する要素があり、除排雪には様々な変数が絡み合ってくるのである。

第4章 考察

排雪の出動基準に着目して費用分析を行った結果、排雪体制や用いる機械が同程度のものと仮定すれば、排雪頻度を高めた方がより効率的に運搬排雪が行えることがわかった。

しかし、今後考えていかなければならないのは、堆積場以外の雪処理施設とその配置をより詳細に考慮することが必要だ。また、路面状況や降雪量をふまえた状態で便益を計らなければならない。現実における必要とされる排雪処理施設の稼働状態も加味しなければならず、各区域で除雪作業量が異なっている実態や、除雪事業者の効率性だけではなく、総合的な道路の輸送問題やサービス水準等を継続的に研究することが、積雪地における最適な資源配分を導き出すこととなる。

これから研究を続けるにあたって、雪に関する根底の一つ一つの要素をしっかりと分析し、関係性を明確にしていく事を第一に考えて行っていきたい。

参考文献

- 成田祐樹『積雪地における雪処理施設の最適配置』（2008）
井上裕『まちづくりの経済学-知っておきたい手法と考え方-』（2001）
小泉倫彦、直井総一『除雪作業出動基準の検証』（2012）
札幌市役所『札幌都市交通データ 道路（1）』
国土交通省『公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針（共通編）』（2009）
武知洋太・松澤勝・中村浩・金子学・川中敏朗『冬期道路環境が走行速度に及ぼす影響に関する研究』（2008）
武知洋太・松澤勝・中村浩・金子学・川中敏朗『冬期道路の視界と路面状況による走行速度への影響について』（2010）
札幌市『札幌市の雪対策の現状と課題』（2008）

参考URL

札幌市役所 冬の暮らし・除雪

<http://www.city.sapporo.jp/kensetsu/yuki/index.html>