

冬期の道路容量に関する研究

A study of the traffic capacity in winter season

函館工業高等専門学校 環境都市工学科	○ 正 員 佐々木 恵 一 (Keiichi Sasaki)
日本データサービス株式会社 計画調査部	正 員 東 本 靖 史 (Yasushi Higashimoto)
(株)ドーコン 総合計画部	正 員 杉 木 直 (Nao Sugiki)
北海道大学大学院	正 員 内 田 賢 悦 (Ken-etsu Uchida)

1. はじめに

日本は長期的な人口減少を迎えようとしている。この背景には少子高齢化の進展があり、労働人口の減少、大都市圏への人口集積による地方部の過疎化が問題視されている。そこで地方自治体を中心に、多様化した価値観に応じた地域づくりの必要性が高まっている。そのためには、市町村が基礎自治体としての機能を十分に発揮し、機能・役割を果たすための自立したシステムの構築が重要である。しかし、社会基盤整備は均衡ある社会成長を目指し進められてきたが、地方部での活力の低下が顕著である。こうした背景から、地方の自立と相互連携のための社会基盤整備の重要性はますます高まっている。

北海道は広域分散型社会構造と言われ、高速道路による面的連携を考慮して社会基盤整備が行われてきた。しかし、札幌への人口集中が進み、地域間の格差が増大している。これは高規格道路整備に期待される地域開発効果や、地方部でも都市部同様に高い都市機能を楽しむ機会が創出が発揮されていない状況のためである。この一因として、特に積雪寒冷地における現在の道路整備計画に冬期道路の不確実性が考慮されていないためと考える。時間の不確実性は、地域産業の発展阻害や地方部での生活質の低下を引き起こすことから、年間の約3分の1が雪に覆われる北海道において、冬期間の産業活動の低下は大きな課題である。そのため、北海道の地方都市にとって必要な道路は、冬期においても安全に早く、確実に目的地に着く道路である。今後、北海道に投入される公共事業費が削減される可能性を考慮すると、道路整備の効率的な社会基盤整備位置の決定、さらに維持・管理については、ライフサイクルコスト¹⁾を考慮したより効果的な運用方法を検討する必要がある。

近年の整備効果は費用対効果による評価が主流である。この手法は、便益を貨幣価値で計測するため、選好順序の明確化、統一的な価値基準の提示、費用との比較の容易さなど合理的な評価方法である。しかし、これらの評価方法は本州での適用を前提にしているため、積雪寒冷地においてそのまま適用すれば整備効果が無いという評価になる。特に冬期道路管理の評価においては、除雪自体が構造物として何も残らない一方で費用ばかりがかかるため、税金の無駄使いという批判を受ける。このように寒冷地における道路管理の評価が困難な理由は、降雪・積雪による道路環境の変化による交通への影響が特定できず、冬期交通の状況を定量化できず、損失額の計

測が成されていないためと考えている。そこで本研究では、冬期の自動車交通状況の定量化を試みる。

2. 冬期道路の問題点

2.1 公共除雪の現状

各市町村の道路などの除雪はその道路をどこで管理しているかによって変わる。具体的には、国道は開発局、道道は土木現業所、市道・町道などは各市町村の土木事業所が管理している。また各都市において、例年の降雪量、降雪頻度や冬期間の気温などの要因によっても対応の違いがある。

除雪の作業内容は4つに大別される²⁾。まず一般除雪と呼ばれるもので、新たに降り積もった雪を走行車線から取り除く新雪除雪、凸凹になった路面を平坦にし車を走りやすくする路面整正(氷盤処理)、路側の雪堤を外側に押し出したり投雪したりして車道の幅を広げる拡幅除雪などがこれにあたる。また除雪の際、道路脇に高く積み上げられた雪を、次の除雪に備えて排雪することを運搬排雪と言う。これら以外に、歩道除雪、付帯除雪(路面凍結時の薬剤散布、道路付属物付近の除雪、わだちの整正など)がある。

これらの対策は、積雪状況や路面状況により対応は異なり、一定の基準の下で運用がなされる。除雪基準の例として、旭川市土木事業所³⁾では、除雪対象路線を1~5級に区分けし、除雪出動基準や除雪基準を決めている。また、除雪の実施についてもハード・ソフト両面での検討がなされている。例えば札幌市では⁴⁾、下水処理水や清掃工場の余熱、地域暖房の夜間余熱などを活用し融雪する融雪槽、道路の下に水路を設け、河川水や下水道処理水などを利用して雪を河川まで運ぶ流雪溝など、ハード面の充実を図っている。一方ソフト面の工夫は、除排雪作業の区域を地区単位(ゾーン)に細分化し、除雪作業の効率化を図るマルチゾーン除雪や、あらかじめ決められた曜日の日中に除雪作業を行う計画除雪などが実施されている。さらに、除雪に対する融資や助成制度を設け、地域レベルでの連携協力体制(除雪パートナーシップ制度、市民助成トラック貸出制度、福祉除雪)の取り組みがなされている。しかし、年間の道路除雪費は増大し、2005年度で135億円(札幌市)に上る。

このように除雪は、道路の維持管理の一環として重要であり、様々な対策がなされているが、長期的に見るとさらなる効率化と経費削減に向けた検討が必要である。

2.2 積雪寒冷地における道路管理

冬期における交通環境の変化について分析した先行研

究として石井ら⁵⁾は、積雪時の信号交差点を対象に車頭時間を観測し交通容量解析を行っている。この研究により冬期路面においては、飽和交通流量が20%減少し、大型車混入率の補正に発信時走行挙動の考慮の必要性を明らかにし、道路の交通容量の算定⁶⁾に適用されている。しかしながら、測定地点が限定されており、また除雪の効果に関する分析には至っていない。

本研究が対象とする冬期道路の交通容量は、冬期の交通環境が交通に与える影響の分析である。そのため降雪・積雪が、運転者の行動に影響を与え、走行状況の変化を与えるものであり、具体的には以下のような影響があると考えられる。

- 1) 道路構造への影響 (除雪による路側帯、車道幅員の減少、道路標識の見づらさ)
- 2) 路面状況への影響 (路面の凍結・圧雪・わだち掘れによる制動距離の延長、走行速度の低下、車間距離の増大)
- 3) 走行環境への影響 (降雪、吹雪・地吹雪による視界の悪化、視程の減少)
- 4) 心理状況への影響 (冬道の走行に対するドライバーのストレス、疲労)

道路の新設あるいは改良の際に、設計条件として供用後にその道路が提供するサービスの質の程度を設定しておく必要がある。そのような場合に、その道路が提供すべきサービスの質の程度を計画水準という。この計画水準は、計画目標年次における時間交通量に対する可能交通容量の設定により決定される。しかし、夏期に比べ冬期の交通状況は、速度の低下や車線の減少などの変化があることから、冬期道路における走行状況の変化は道路のサービス水準の低下と考えることができる。この計画水準を規定する交通容量とは、与えられた道路条件、交通条件のもとで、ある一定時間内に車線または車道のある断面もしくは一様な区間を通過することが期待できる車両または歩行者の最大数と定義される。そこで本研究では、冬期の交通環境の変化を道路容量の変化と仮定し、冬期の道路容量の算定を試みる。

3. 道路容量

3.1 交通現象の把握⁷⁾

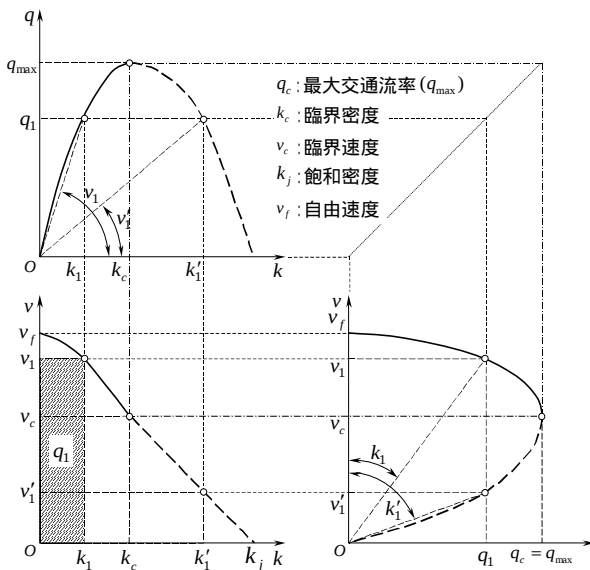


図-1 交通量、速度、密度の関係

図-1 は平均速度、交通密度、交通量の関係を表している。まず、 $q-k$ 相関において交通量が最大となる点を最大交通量 q_c という。また、最大交通量が走行する時の速度を臨界速度 v_c といい、この時の交通密度を臨界密度 $k_c (= q_c / v_c)$ という。最大交通量を境に交通流の様相は自由流と渋滞流に区別される。また、交通量が0のときの速度 v_f を自由速度といい、 k_j (速度、または交通量が0となる交通密度)は飽和密度と呼ばれる。

3.2 車両追従モデル⁸⁾

先行車に追従して走行する車(追従車)の挙動を加減速度で表現するとき、その加減速度は先行車との車頭距離が小さい(車間距離が短い)ほど大きな影響を受け、両者の速度差及び自車の速度が大きいほど大きな影響を受ける。これらの状態量の加減速度に与える影響の程度については多くの提案がされており、以下に一般的な追従モデル式を示す。

$$\dot{v}_{n+1}(t+T) = C \frac{\{v_{n+1}(t+T)\}^m \{v_n(t) - v_{n+1}(t)\}}{\{x_n(t) - x_{n+1}(t)\}^l}$$

ここで、 $x_n(t)$: 第 n 番目の車両の基準点からの距離
 $v_n(t)$: 第 n 番目の車両の速度
 $\dot{v}_n(t)$: 第 n 番目の車両の加速度
 C, m, l : 定数

上式では、車両の加速度はそのときの当該車両の速度、および反応遅れ時間 T 時前の前車との車頭距離と速度差に依存していることを表している。そして、ある車の加減速度は、先行車との車頭間隔の l 乗に反比例し、自車の速度の m 乗および先行車との速度差に比例することを表している。

この式において、両辺を変数分離して積分し、定常状態を仮定すると以下ようになる。

$$\bar{v} = v_f \left\{ 1 - \left(\frac{k}{k_j} \right)^{(l-1)} \right\}^{\frac{1}{1-m}}$$

ここで、 v_f はゼロフロー時の速度(自由速度)、 k_j は速度がゼロのときの密度(飽和密度)である。また、 $q = k \cdot v$ という関係を用いると、 $q-v$ 式が得られる。

$$q = k_j \bar{v} \left\{ 1 - \left(\frac{\bar{v}}{v_f} \right)^{(1-m)} \right\}^{\frac{1}{l-1}}$$

4. 冬期の道路容量

4.1 交通状況の基礎的分析

本研究で用いたデータは、トラフィックカウンターにより計測された1時間あたりの交通量と車種構成、および1時間あたりの平均走行速度である。なお、元データは実交通量であり、大型車が混入を考慮していないデータであるため、大型車の乗用車換算係数⁹⁾を用いて pcu 換算を行った。具体的には、勾配3%以下の多車線道路の換算係数を用い、大型車混入率が10%以下の場合には、昭和55年度道路交通センサスで用いられた換算係数を参考にした。

本研究が対象とした路線の交通特性を示す。

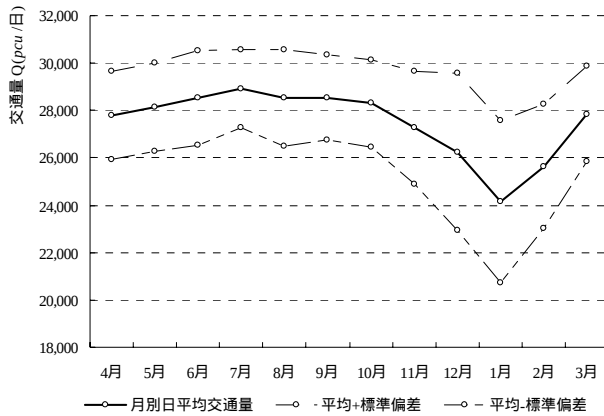


図-2 月別日交通量

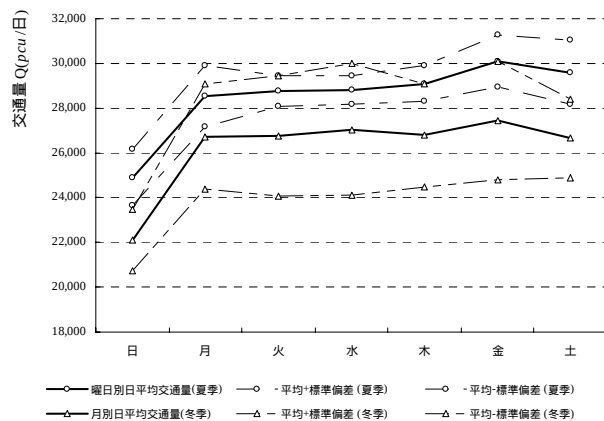


図-3 曜日別日交通量

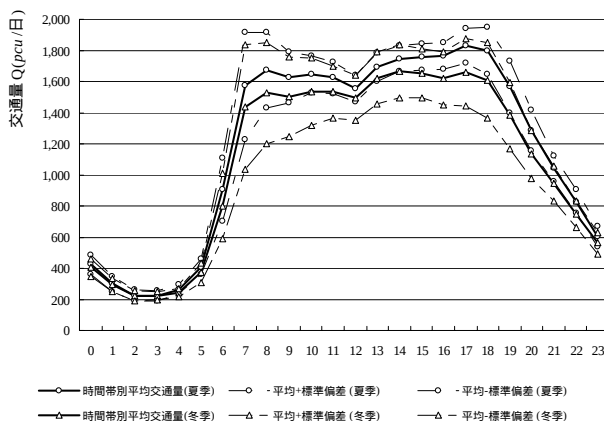


図-4 時間帯別交通量

図-2 は対象路線の月別日交通量である。実線は日交通量の平均値であり、点線は平均交通量 ± 標準偏差である。これより、4 月から 10 月にかけては、日平均 28,000 pcu/h と高い交通量を示しているが、11 月から交通量は減少し、1 月に最小となり、その後増加に転ずる。

図-3 は対象路線の曜日別日交通量を夏期と冬期に分けて示したものである。ここで夏期と冬期の分類については、気象庁のホームページ⁹⁾より天気を調査し、初雪が観測された日から積雪量が 0cm となる日までを冬期とした。これより、夏期、冬期ともに月曜日から土曜日までにかけて高い交通量であり、日曜日が少ない傾向があり、冬期は夏期よりも日平均 2,000 pcu/h 減少していることが分かる。また、曜日ごとのデ

ータのパラツキを交通量の標準偏差で見ると、夏期がその範囲が狭く、冬期は広いことから交通需要の変動が高いことが分かる。図-4 は時間帯別交通量である。これより、7～8 時の時間帯と 17～18 時の時間帯にピークがある。また、日中の交通量についても高いまま推移していることが分かる。

以上の結果から、本路線は年間を通して日平均交通量が高く、曜日変動、時間帯別変動が少ないことから、通勤・通学、帰宅の他、業務、買い物交通などの交通需要が高いと推察されることから、都市中心部の幹線道路の性質を持つ路線と考えられる。

4.3 道路容量の推計

図-5 (1), (2)は、夏期・冬期別の交通量と速度の関係を表したものの($q-v$ 曲線)であり、図-6 (1), (2)は、交通量と交通密度の関係を表したものの($q-k$ 曲線)である。

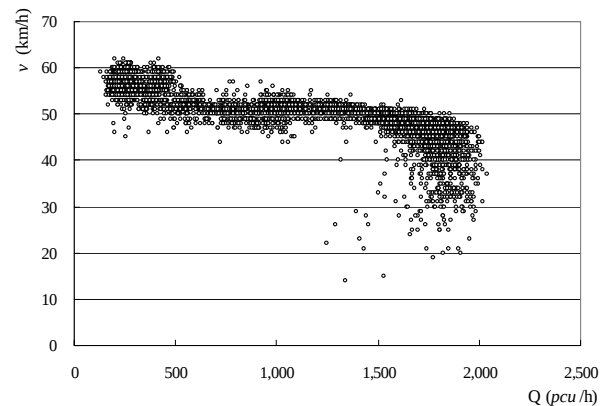


図-5 (1) $q-v$ 曲線(夏期)

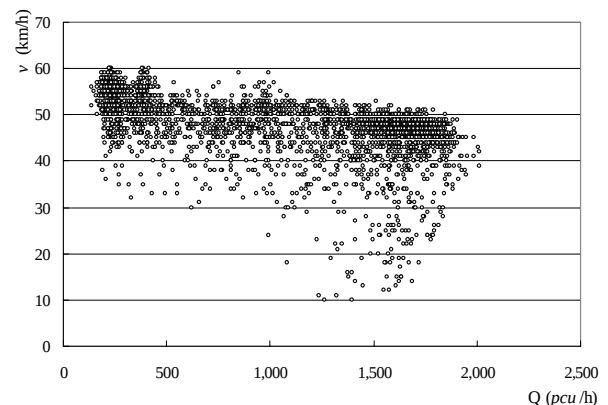


図-5 (2) $q-v$ 曲線(冬期)

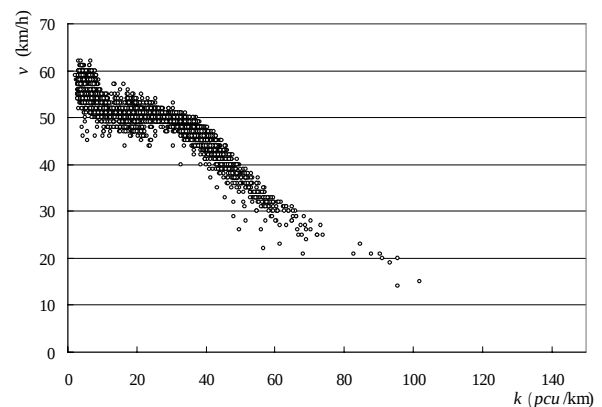
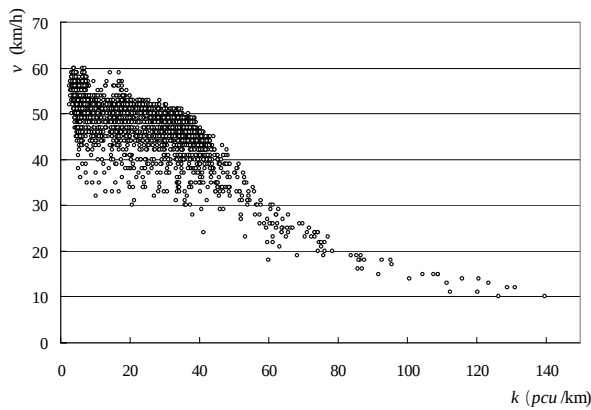


図-6 (1) $k-v$ 曲線(夏期)

図-6 (2) k - v 曲線(冬期)

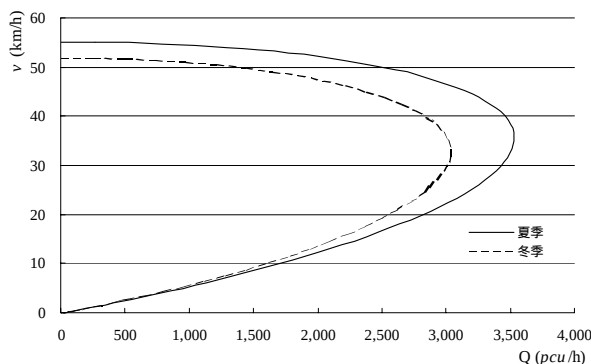
図より冬期と夏期を比較すると、冬期の方が速度の分布にバラツキが多いことが分かる。これは、冬期の方が同じ交通量でも走行速度が減少する日があることを意味しており、積雪による走行の不確実性の存在を示している。また k - v 曲線においても、冬期の方が速度のバラツキが大きいことが分かる。なお交通密度は、交通量を平均速度で割り算出した。

本研究の目的は、 q - v 曲線式を特定し、道路容量すなわち最大交通量 $q_{\max}$ を求めることにある。しかし、 q - v 曲線に非線形最小二乗法を適用すると、速度に対して交通量のばらつきが大きいため、所定の相関係数が得られない。そこで、 k - v 曲線に最小二乗法を適用し、走行状況を表すパラメータを推計し、 k - v 曲線を特定する。具体的には、前述した k - v 曲線式のパラメータ v_f , l , m を非線形最小二乗法により推計することにある。

表-1 にパラメータの推計結果を示す。これより、自由走行速度は夏期の方が高い。また、 l は夏期の方が、 m は冬期の方が高い結果となった。 l については、車頭距離による影響を表していることから、夏期では車間距離が加速度に影響していると推測される。また、 m は走行速度による影響を表していることから、冬期は速度が加速度に影響していると推測される。これは、冬期においては制動距離が伸びることから、運転者が夏期よりも低い速度で車間距離を確保しようとする行動が反映されているためと考えられる。

表-1 パラメータの推計結果

	v_f (km/h)	l	m	相関係数
夏期	55.13	3.082	0.605	0.9218
冬期	51.98	2.998	0.649	0.8030

図-7 q - v 曲線(推計値)

以上の結果より q - v 曲線を特定し(図-7)、道路容量を求めると、夏期では 3,531 pcu/h 、臨界速度 35.5 km/h である。ここで、基本設計容量とは比較すると、2 車線道路では 4,400 ($=2,200 \times$ 車線数) pcu/h であり、推計値が低い値となっているが、沿道状況や信号の影響を考慮すると妥当な値と考える。また冬期では 3,035 pcu/h 、臨界速度 32.8 km/h である。そのため、冬期の交通容量は 14%減少という結果が得られた。

5. 結論

本研究では、車両追従モデルを実測データに適用し、道路容量の算定を試みた。その結果、冬期と夏期の道路容量の算定を行い、積雪による容量の減少からその影響の定量化を行った。今後の問題点として、積雪の状況の精緻化が上げられる。今回は、気象庁のホームページの積雪量から冬期と夏期を分類したが、実際の路面の積雪との関係から容量を推定する必要があると考える。これは、路面の性状と交通状況へ与える影響の分析であり、この点の検討を進めることにより、除雪効果の定量化が可能となると考えている。

本研究は、冬期道路の交通容量の算定を行ったが、その必要性は高い反面、先行研究が少ないことから緒についたばかりの分析である。今後、研究蓄積を進め、積雪寒冷地における道路投資のあり方を議論していく。具体的には、北海道における道路管理策(除雪レベル、積雪寒冷地における道路規格)を明確にし、ライフサイクルコストを考慮した効果的な運用方法を検討し、そこからネットワークの機能性、路線の重要度の議論を行う。また、交通需要を考慮し、提供すべき交通基盤の供給量の検討を行う。

謝辞

本研究を進めるにあたり、北海道開発局札幌開発建設部札幌道路事務所 佐々木博一氏、榊原仁志氏、盛永互氏にはデータの提供、その特性や分析方法など有用な情報をいただいた。また、道路整備に関する方向性について有益な情報をいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 内田賢悦, 加賀屋誠一, 佐々木恵一, 東本靖史: 経路選択行動を内生化した道路ネットワークにおける舗装のLCC 評価に関する研究, 土木学会論文集 D, Vol. 62, No.1, pp.157-166, (2006).
- 2) 北海道開発局 札幌開発建設部 札幌道路事務所: <http://www.sp.hkd.mlit.go.jp/jimusho/sapporo/index.html>.
- 3) 旭川市土木事業所: <http://www.city.sakikawa.hokkaido.jp/files/dobokuzigyousyo/index.htm>.
- 4) 札幌市の雪対策: <http://www.city.sapporo.jp/kensetsu/yuki/index.html>.
- 5) 石井 憲一, 斉藤 和夫: 冬期積雪時における信号交差点の交通容量解析に関する研究, 土木計画学 論文集 No.1, pp.123 ~ 130, 1984.
- 6) 社団法人 日本道路協会: 道路の交通容量, 1984.9.
- 7) 大蔵泉: 交通工学, コロナ社, 1993.
- 8) 佐佐木 綱, 飯田恭敬: 交通工学, オーム社, 1992.
- 9) 気象庁 HP: <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>