

冬期道路の旅行時間の変化に関する研究 *

A Study of the Travel Time of in Winter Season *

佐々木 恵一**・東本 靖史***・杉木 直****・内田 賢悦*****

By Keiichi SASAKI**・Yasushi HIGASHIMOTO***・Nao SUGIKI****・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。これは、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。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。そのため、地方が自立と連携する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、年間の約3分の1が雪に覆われる北海道において、冬期間の経済活動の低下は大きな課題である。具体的には、移動時間の不確実性による地域産業の発展阻害や地方部での生活質の低下が挙げられる。そのため、北海道の地方にとって必要な道路は、冬期においても安全に早く、確実に目的地に到着する道路である。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、新規の交通社会基盤整備は困難であり、既存の道路を維持管理することでサービス水準を保つことを検討しなければならない。そこで本研究では、積雪による交通行動にかかる損失額を計測するため、冬期の自動車交通状況の定量化を試みる。

2. 問題の明確化

(1) 公共除雪の現状

* キーワーズ: 冬期交通, 道路維持, 道路管理, BPR 関数

** 正員, 工博, 函館工業高等専門学校 環境都市工学科
(北海道函館市戸倉町 14-1, TEL & FAX 0138-59-6498)

*** 正員, 工博, 日本データサービス株式会社 計画調査部
(北海道札幌市東区北 16 条東 19 丁目 1-14, TEL 011-780-1120, FAX 011-780-1130)

**** 正員, 工修, (株)ドーコン 総合計画部
(北海道札幌市厚別区厚別中央 1 条 5 丁目 4-1, TEL 011-801-1555, FAX 011-801-1556)

***** 正員, 工博, 北海道大学大学院
(北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目, TEL 011-706-6211, FAX 011-706-6211)

各市町村の道路の除雪は、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¹⁾。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形(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、わだちの整形など)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²⁾では、除雪対象路線を 1~5 級に区分けし、除雪出勤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、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。³⁾

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。さらに除雪を中心とした冬期道路の維持管理は、各市町村の例年の降雪量、降雪頻度や冬期間の気温などの要因によって対応の違いがある。さらに天候により時々刻々変化する状況に対応しなければならず、除雪作業の実施のタイミングや除雪順序などの計画も考慮しなければならない。

(2) 積雪寒冷地における道路管理

本研究で分析対象路線とした国道 230 号は、北海道札幌市を起点とし、北海道久遠郡せたな町を終点とする一般国道であり、道路構造は、片側 1 車線の 2 車線道路である。このような路線は、広域分散型都市構造を持つ北海道において利用目的は多岐にわたっており、地域にとって様々な面で重要な路線である。具体的な道路機能として、以下の 4 点があげられる。

- 1) 日常生活: 日用品や身のまわり品などの購入において都市部への移動頻度が高く、地域住民の日常生活を支える
- 2) 産業: 基幹産業が農業・漁業であり、それら一次産品の出荷において都市部に集配場や配送場があるため、地域産業を支える
- 3) 医療: 高齢者の増加にともなう通院治療のための交通や重傷者が発生した場合の救急搬送など、地域医療を支える
- 4) 観光: 自然豊かな景勝地、歴史的価値を有する史跡を持つ路線が多く、また農産物、海産物の直売など観光資源としての価値を持つ

以上のように北海道における広域幹線道路は、地域社会を支える路線として安全性、快適性、定時制、速達性ととも環境との共生が求められている。しかしながら、冬期における交通環境の悪化は道路機能を低下させ、地域経済に大きな影響を与えている。そのため、この機能低下を定量化し効率的な維持管理策の検討は重要である。^{4,5)}

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寺内ら⁶⁾は、平常時と積雪時における速度、車頭時間の実測調査を行い、交通特性の変化を分析している。しかし、交通行動に与える影響には言及されておらず、道路の維持管理策の評価においては、積雪による走行速度の低下や除雪によるその軽減などの交通環境と移動時間の関係を明らかにする必要がある。本研究では、交通流調査のデータをもとに冬期のリンクコスト関数の推定を試みる。

3. 交通流理論^{7,8)}

(1) 道路が提供するサービス

道路の新設・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。

(2) 車両追従モデル

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。

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

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 番目の車両の加減速度
- C, m, l : 定数

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。

$$\bar{v} = v_f \left\{ 1 - \left(\frac{k}{k_j} \right)^{\frac{1}{1-m}} \right\} \dots (2)$$

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。

$$q = k_j \bar{v} \left\{ 1 - \left(\frac{\bar{v}}{v_f} \right)^{\frac{1}{1-m}} \right\} \dots (3)$$

4. 交通流調査

自動車の走行状態の調査方法は、札幌市内の 5 路線の単路部に定点カメラを設置し、交通流や堆雪、および路面状況などを録画するものである(図 1)。なお、定点カメラは交差点から離れた箇所に設置され、信号の影響をなるべく避けている。

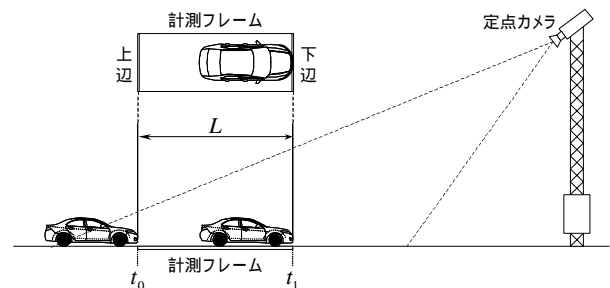


図-1 定点カメラによる調査方法

定点カメラの動画像の解析は、計測を行う車線ごとに「計測フレーム」を設定し、計測するエリアを決定する。そして、交通量の測定方法は、「計測フレーム」の上辺と下辺の両方を通過した車両のみ通過台数として出力し、上辺、下辺のどちらか片方を通過しなかった

場合は、通過台数としては出力しない。また速度の計測方法は、「計測フレーム」の上辺を通過した時刻 t_0 と下辺を通過した時刻 t_1 との時間差と、「計画フレーム」の長さ L から速度を演算する。

5. 交通状況の把握

(1) 調査概要

本研究では、国道 230 号の調査結果を用いて分析をおこなった。対象路線は片側 1 車線の 2 車線道路であり、調査日は平成 18 年 10 月 10, 11 日(秋期)と平成 19 年 1 月 24 日(冬季)、路面状況は秋期が乾燥状態、冬期が圧雪状態であった。また、除排雪作業の実施によって、冬期期間においても車線幅員が確保され、走行位置は夏期と比べ大きな変化はなかった。

(2) データ編集

本研究では、交通流の定式化に車両追従モデルを用いるため、その理論的背景を考慮し追従走行を行っている車両のデータを抽出、編集した。ここで、ある車両が追従状態にあるかを判断するため、車頭時間が 4 秒以内という追従基準があり、この基準に基づいて観測された通過時間を用いて車頭時間が 4 秒以内である車両を追従走行と仮定し、その車両の連続を一つの車群とした⁹⁾。そして車群を構成する車両の速度の平均を算出することで時間平均速度を求める。しかし、交通流理論における速度は空間平均速度であることから、以下の式を用いて時間平均速度を変換した。

$$\bar{v}_s = \bar{v}_t - \sigma_t^2 / \bar{v}_t \quad \dots(4)$$

ここで、 \bar{v}_t : 時間平均速度、 \bar{v}_s : 空間平均速度、 σ_t^2 : \bar{v}_t まわりの分散である。次に車群を構成する車両の台数と、車群の先頭車と最後尾車の通過時間の差から一車群の通過時刻を計測し、この車群の台数と通過時間から交通流率を算出した。そして交通密度については、直接観測されていない状態量であるため、交通流率を空間平均速度で割ることによって求めた。

(3) 最大交通量の算出

図-2(1), (2)は秋期と冬期の交通量と交通密度の関係を表したものの($k-v$ 曲線)であり、図-3(1), (2)は交通量と速度の関係を表したものの($q-v$ 曲線)である。ここで $q-v$ 曲線式を特定し、最大交通量 q_{max} を求めるが、 $q-v$ 曲線に非線形最小二乗法を用いても所定の相関係数が得られなため、 $k-v$ 曲線に最小二乗法を適用し、走行状態を表すパラメータを推計し、 $q-v$ 曲線式を特定する。具体的には、(2) 式のパラメータ l, m を非線形最小二乗法により推計することであり、その推計結果を表-1 に示す。

$q-v$ 曲線から最大交通量を求めると、秋期では1,853台/h、臨界速度39.5 km/h、冬期では1,504 台/h、臨界速度25.6 k

m/hである。そのため、冬期においては19%減少するという結果が得られた。

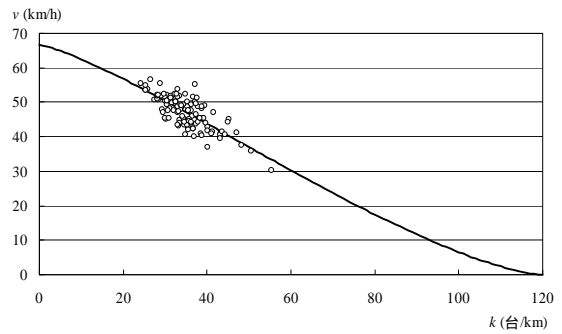


図-2(1) 秋期 $k-v$ 曲線

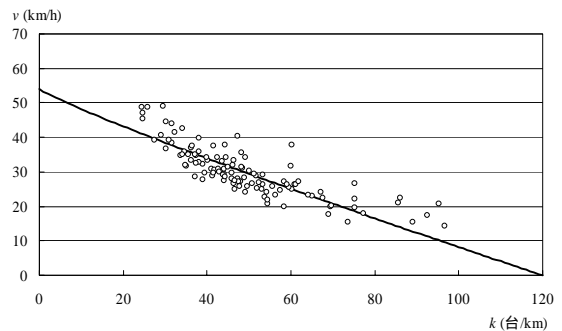


図-2(2) 冬期 $k-v$ 曲線

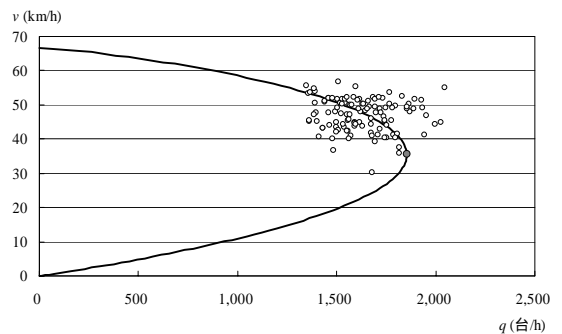


図-3(1) 秋期 $q-v$ 曲線

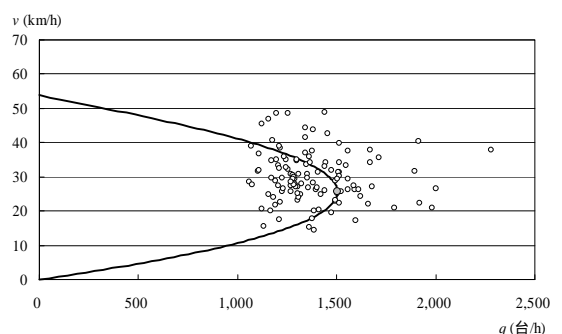


図-3(2) 冬期 $q-v$ 曲線

表-1 パラメータの推計結果

	v_f (km/h)	l	m	相関係数
秋期	66.67	2.266	0.320	0.769
冬期	53.91	1.902	0.000	0.890

(4) BPR 関数のパラメータの同時推計問題

前節において $q-v$ 曲線を特定し、最大交通量を算出した。ここで前述したとおり、冬期の交通状況の変化を定量化する

ためにリンクコスト関数として以下の BPR 関数を推定する。

$$t(q) = t_0 \cdot \left\{ 1 + \alpha \left(\frac{q}{c} \right)^\beta \right\} \quad \dots(5)$$

(5)式はあるリンクの交通量と旅行時間の関係を示している。ここで、 t_0 : 自由走行時間、 α, β : パラメータ、 c : リンク容量である。いま、リンクの路線長を L とすると、自由走行速度 v_f から自由走行時間は、

$$t_0 = L/v_f \quad \dots(6)$$

で算出される。ここで、以下の手順に従い BPR 関数を $q-v$ 式に近似しパラメータを求める。

$$\bar{q} = f(\bar{v}) \quad \dots(7)$$

$$\bar{v}_u(\bar{q}) = \max f^{-1}(\bar{q}) \quad \dots(8)$$

$$\hat{t}(\bar{q}) = L/\bar{v}_u(\bar{q}) \quad \dots(9)$$

$$\min \int_0^c \{t(\bar{q}) - \hat{t}(\bar{q})\}^2 d\bar{q} \quad \dots(10)$$

上記の手順は、 $q-v$ 式の逆関数を求め、交通量に対する速度の関係式(8)式を導出する。そして、路線長を速度で割ることで交通量と旅行時間の関係式(9)式を導出する。ここで、 $q-v$ 式は交通量に対して速度が 2 種類算出されるが、自由流側の速度を用いる。そして、BPR 関数を $q-v$ 式の $v_0 \leq v \leq v_f$ の範囲で近似することで未知変数 α, β ($\alpha > 0, \beta > 1.0$) を算出した。

以上の手順から求めた秋期、冬期の BPR 関数を図 4-(1), (2)に、推定したパラメータを表-2 に示す。

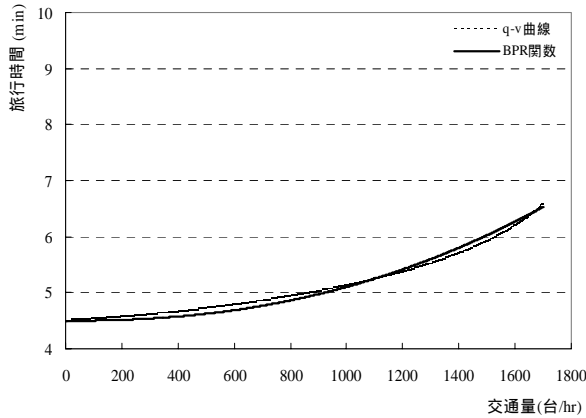


図-4(1) 秋期 BPR 曲線

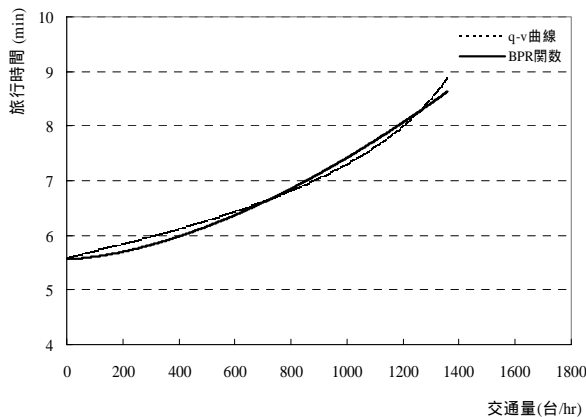


図-4(2) 冬期 BPR 曲線

表-2 BPR 関数のパラメータ推計結果

	α	β
秋 期	0.550	2.290
冬 期	0.651	1.639

交通量に対する旅行時間の増加傾向を見ると、秋期は緩やかに増加する一方、冬期は急激に増加していることが分かる。また式の形状を見ると、 α の値が小さいほど BPR 関数を下方に修正するため、秋期の BPR 関数において旅行時間の増加傾向が緩やかになっていることが分かる。

6. 結論

本研究は、定点カメラ調査のデータを用い交通状況を把握するための $q-v$ 曲線式の特定制し、さらに、交通行動への影響を評価するため BPR 関数の推計を行った。従来の方法は、交通容量を別途推定し、 α, β を最小二乗法により推定するか、あるいは、それら 3 つの変数を同時推定することになるが、その場合、特に交通容量の推定精度に問題が残ると考えられる。一方、本研究では $q-v$ モデルを使わずに最小二乗法により BPR 関数のパラメータ値を推計する従来の方法との違いは、道路容量と統合的な BPR 関数の推計ができることである。今後の課題は、さらにデータの蓄積を行い、推計精度と信頼性の向上を図ることである。また、詳細な道路状況の変化、具体的には路面のすべり摩擦、除雪効果の定量化や悪天候時の視程の減少、視界不良が交通流に与える影響を分析し、交通特性への影響と旅行速度の変化を分析することである。

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道路調査課、ならびに(独)土木研究所 寒地土木研究所寒地交通チームの皆様には冬期道路の整備に関する方向性について有益な情報をいただいた。さらに、株式会社シー・イー・サービス 交通部の皆様には定点カメラ調査の実施からデータ化まで行っていただいた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 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>.
- 2) 旭川市土木事業所: <http://www.city.sapporo.jp/files/dobokuzigyousyo/index.htm>.
- 3) 札幌市の雪対策: <http://www.city.sapporo.jp/kensetsu /yuki/index.html>.
- 4) 有村幹治, 上西和弘, 杉本博之, 田村亨: 最適除雪道路選択モデルに関する研究, 土木計画学研究・講演集 No.21(2), pp213-216, (1998).
- 5) 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).
- 6) 寺内義典, 川上洋司, 本多義明: 積雪時における交通流の変化に関する研究, 土木計画学 講演集 No.21(1), pp921 ~ 924, 1998.
- 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) 社団法人 交通工学研究会編, 交通工学ハンドブック, 技報堂出版, 1983.