

定点カメラ調査による道路容量の推計に関する研究

A study of the estimation the traffic capacity using road traffic data by the stationary camera

函館工業高等専門学校 専攻科 環境システム工学専攻
 函館工業高等専門学校 環境都市工学科
 日本データサービス株式会社 計画調査部
 (株)ドーコン 総合計画部
 北海道大学大学院

学生員 杉 本 匡 哉 (Masaya Sugimoto)
 正 員 佐々木 恵 一 (Keiichi Sasaki)
 正 員 東 本 靖 史 (Yasushi Higashimoto)
 正 員 杉 木 直 (Nao Sugiki)
 正 員 内 田 賢 悦 (Ken-etsu Uchida)

1. はじめに

近年の道路整備計画で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。道路評価において日本の評価項目は、「走行時間の短縮」「走行費用の減少」「交通事故の減少」であり、これらについて金銭換算し便益とする。しかし、この評価方法を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。その理由として、冬期道路では自動車利用者にとっては走行時間、走行費用が増大するが、夏期に比べ OD 交通量が減少しているため、社会全体としては損失が小さくなり、積雪による損失の改善施策に関する評価値は低くなる。この背景には、他の輸送機関へのモーダルシフトがあると考えられ、社会全体の交通システムの観点からすれば機能していると言える。しかし、公共交通へ移動機関を変更する際、最寄り駅・停留所へのアクセスや乗り換えによる損失などが発生する。また、交通行動の取り止めも冬期交通量の減少の一因と考えられ、行動によって発生する効用を得る機会を失っている。これらの損失は、冬期道路の機能を定量化できないため、交通システムの中で打ち消され、計測が困難となっている。更に、冬期道路施策の評価においては、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、社会資本整備としての是非が問われている。このように積雪寒冷地の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ないため、損失額の計測がなされていないためと考えられる。

これに対して、国土交通省「道路事業の評価手法に関する検討委員会」¹⁾において、冬期の積雪や凍結により、走行速度や交通容量が低下するなど、冬期の交通状況が通常時と大きく異なる場合があることを指摘している。そこで、地域の実情を考慮して走行時間短縮便益等の算出する必要性を検討している。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

交通容量とは、与えられた道路条件、交通条件のもとで、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

定義されており²⁾、路線の規格や状況、対象地域の特性を考慮し設計交通容量が規定され、これをもとに運用・維持・管理計画が策定される。この交通容量は、道路計画の指針となるだけでなく、交通渋滞の緩和策の検討に用いられる。中村、大口ら³⁾は日本における交通渋滞の原因を示し、そのメカニズムと対策をまとめている。さらにサービスの質について、道路構造により規定される交通容量、交通挙動から見る渋滞現象、利用者認識の観点から今後の課題をまとめ、道路構造や交通運用に応じた交通容量、サービス水準の明確化の必要性を指摘している。

本研究は、積雪寒冷地における道路の機能性、運用、維持・管理に関する評価指標の策定のため⁴⁾、冬期道路の交通状況の特定を目的とする。既往研究においては、気象条件を考慮した交通容量の推計に関しては多く存在しているが、積雪に関する容量低下に関しては、詳細が明示されていない。また、日本道路協会²⁾においても交通機関が受ける被害の具体例としては、積雪による路面状況の悪化や路肩への堆雪による車道幅員の減少などであり、交通容量の低下を引き起こす原因となっているという記述に止まっている。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. 交通流理論

3.1 交通現象の把握

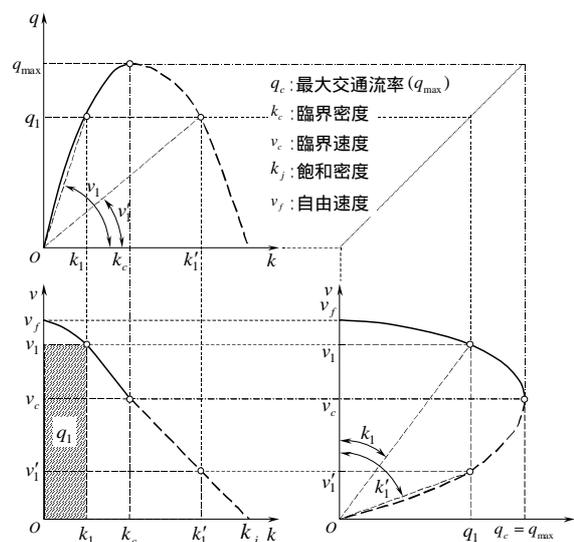


図-1 交通量、速度、密度の関係

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^{5,6)}

交通流における各車両の加減速度を先行車との関係で定式化し, この追従モデルに基づいて k, v などの状態相互の関係を導くことができる.

先行車に追従して走行する車両(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従来からさまざまな設定が行われてきた. それらの各提案をくくる一般式として, 次式が表すような非線形のモデルが提案されている.

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

ここに, $x_n(t)$: 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 : モデルパラメータ

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 だけ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す.

追従モデルは, 追従時に生じる動的な挙動を分析するために考えられたものであるが, これを用いると, 定常状態での巨視的な速度 - 密度曲線を導出することができる. しかし, この非線形微分方程式を一般的に解くことは容易ではないが, 両辺を積分し, 境界条件を設定することによってモデル式を定式化できる. いま, $0 < m < 1, l > 1$ とすると, 上式は,

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

となる. ここで, 両辺を変数分離して積分し, 定常状態を仮定すると,

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

ここで, v_f はゼロフロー時の速度(自由走行速度), 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. 交通量調査

4.1 定点カメラ調査

調査は, 札幌市内の 5 路線の単路部に定点カメラを設置し, 交通量や堆雪, および路面状況などを録画するものである. また, 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.

調査期間は 11 月から 2 月までであり, 秋期と冬期における路面状況の変化を比較する事を目的としている. また, 調査時間は 7 時から 19 時までである.

(1) フレームの設定

計測を行う車線ごとに図-2 のように「計測フレーム」を設定し, 計測するエリアを決定する. 同時に計測できる車線数は, 各方向合計で最大 6 車線まで可能である.

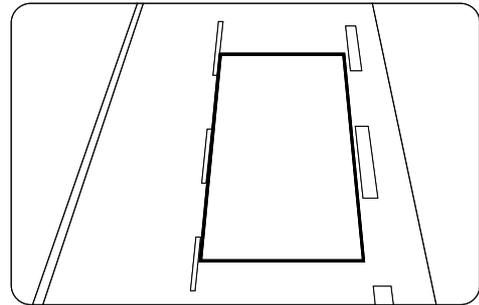


図-2 フレームの設定

(2) 交通量の測定方法

台数計測は, 図-3 のように「計測フレーム」の上辺と下辺の両方を通じた車両のみを通過台数として出力する. 上辺, 下辺のどちらか片方を通じなかった場合は, 通過台数としては出力しない.

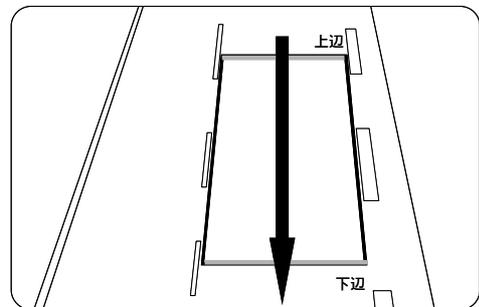


図-3 フレームの通過方向

(3) 速度の計測方法

速度計測は, 「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, 「計測フレーム」の長さ L から, 速度を演算する.

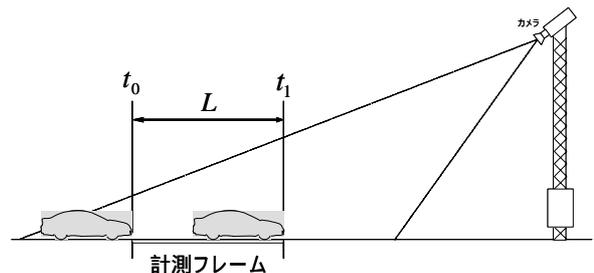


図-4 速度の計測方法

5. 交通容量の推計

5.1 分析対象路線

本研究では、国道5号の調査結果を用いて分析を行った。本路線では、冬期間の堆雪による車線有効幅員は1m以上減少した事が確認されている。また、除排雪作業の実施後においても、路側の堆雪、および日中に解けた雪の再凍結などにより、右側車線の走行を避ける傾向が見られた。そのため、冬期間においては1車線が走行不能となり、2車線のみ利用となる路線である。そのような状況から、秋期に比べて冬期の日交通量が5割以上減少し(図-5)、平均速度は約3割低下した(図-6)。

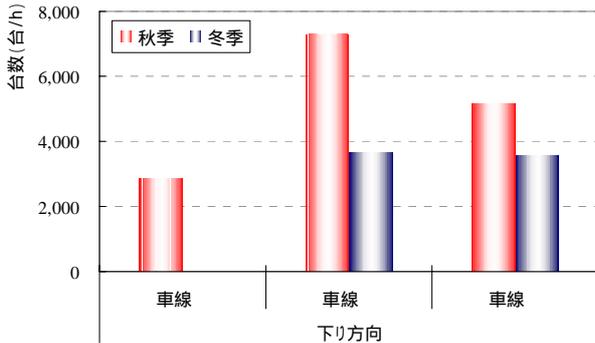


図-5 車線別交通量

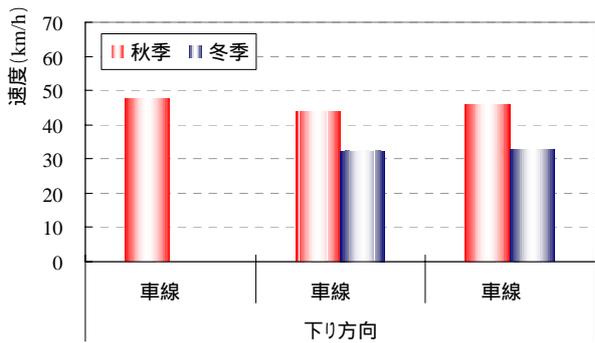


図-6 車線別平均速度

5.2 データ編集

定点カメラによる観測で得られるデータは、通過時刻、交通量、速度が観測されており、このような観測データを用いて交通容量の推計を行った。

まず前述のとおり、交通流の定式化に車両追従モデルを用いるため、追従走行を行っている車両のデータ抽出を行った。具体的には、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⁷⁾し、その車両の連続を一つの車群とした。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、時間平均速度が得られる。しかし、交通流理論 $q = k \cdot v$ における速度 v は、空間平均速度であることから、時間平均速度を変換した。ここで、この2つの平均速度の間には直接的に次式に示すような関係が成立する事が理論的に証明されている。

$$\bar{v}_t = \bar{v}_s + \frac{t}{v_s}$$

ここに、 \bar{v}_t : 時間平均速度

\bar{v}_s : 空間平均速度

$\frac{t}{v_s}$: \bar{v}_s まわりの分散

地点観測結果で得られた代表的な統計量に基づいて空間平均速度を推定しようとする場合には、上式の構造形式をなぞらえた下記に示す近似式を用いるのが一般的であるため、次式を用いて空間平均速度を推定する事ができる。

$$\bar{v}_s = \bar{v}_t - \frac{t}{\bar{v}_t}$$

ここで、車群を構成する車両の速度と平均を用いて、時間平均速度まわりの分散を計算し、上式を用いて時間平均速度から空間平均速度を算出した。

次に、車群を構成する車両の台数は、車頭間隔が4秒以下の車両の通過時間を数え、その車頭時間を足し合わせることで一車群の通過時間を計測した。そして、この車群の台数と通過時間から交通流率を算出した。

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、ここで求めた一車群の交通流率を空間平均速度で割ることによって求めた。

以上のデータ編集から、車両追従理論に適合する速度と交通密度を抽出し、更に交通流理論に適合する空間平均速度と交通密度の関係から交通量を算出することを試みた。

5.3 交通容量

最大交通量が一般的にいわれる交通容量であり、ある路線の交通容量を求める場合、この $q-v$ 曲線の関数を特定し、 q_{max} 点を求めることにより算出することができる。

本研究では $q-v$ 曲線の関数を特定する方法として、最小二乗法を用いた。最小二乗法とは、測定値とモデル関数から得られる理論値の差の二乗和が最小となるようなモデルのパラメータを決定する手法である。最小二乗法は最尤推定法となるモデル関数がパラメータに対して線形である場合には、連立一次方程式を解くことにより、最小二乗解を得ることができる。一方、推定すべきパラメータに対して、モデル関数が非線形である場合には、反復改良によってそのパラメータを決定する必要がある。

しかし、本研究が対象とする $q-v$ 曲線に直接非線形最小二乗法を適用しても所定の相関係数は得られない。これは、速度を説明変数、交通量を目的変数としたとき、交通量のばらつきが大きいためである。そこで、 $q-v$ 曲線ではなく $k-v$ 曲線に非線形最小二乗法を適用した。具体的には、交通密度を説明変数、速度を目的変数とし、各パラメータを推計する。この関数は、車両追従モデルより導出された $k-v$ 曲線であり、観測された速度との誤差が最小になるようにパラメータ m, l の推計を行った。その後、算出されたパラメータを用い $q-v$ 曲線を特定し、交通量の最大値を求め道路容量、さらにそのときの速度を臨界速度として分析を進めた。

5.4 分析結果

図-7 (1), (2)は、夏期・冬期別の速度と速度の関係を表したものの($k-v$ 曲線)であり、図-8 (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。さらに、結果を集計したも

のを表-1 に示す。

表-1 推計結果

	自由速度 (km/h)	臨界速度 (km/h)	交通容量 (台/h)	相関係数
秋季	51.4	33.2	2,250	0.90835
冬季	42.8	27.0	1,800	0.73155

分析結果より、夏期では、2,250 台/h、臨界速度 33.2 km/h である。ここで、基本設計容量と比較すると、多車線道路の 1 車線当たりの基本交通容量は、2,200 台/h であり、推計値と近い値となっている。また冬期では、1,800 台/h、臨界速度 27.0 km/h である。そのため、冬期の交通容量は 19.9%減少したという結果が得られた。

6. 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を定量的に示した。また、今回は空間平均速度を時間平均速度から推定し、追従走行を想定する上で車間時間が 4 秒以内の車群のみを抽出し分析対象としたことで、交通容量を推計するための、実現象との再現性を高めることを試みた。今後の課題としては、さらに詳細な路面状況の変化、具体的には路面の滑り摩擦、除雪のために路肩に堆雪することによる車道幅員の減少、天候の悪化による視程の減少、視界不良が交通流に与える影響を分析し、道路の機能性すなわち交通容量にどのような影響があるかを分析する。

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札幌道路事務所、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) 道路事業の評価手法に関する検討委員会資料:
<http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/hyouka-syuhou/2nd.html>
- 2) 社団法人 日本道路協会: 道路の交通容量, 1984.9.
- 3) 中村英樹, 大口敬: 日本の交通容量・サービスの質に関する研究展望
- 4) 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).
- 5) 大蔵泉: 交通工学, コロナ社, 1993.
- 6) 佐佐木 綱, 飯田恭敬: 交通工学, オーム社, 1992.
- 7) 社団法人 交通工学研究会編: 交通工学ハンドブック, 1983.

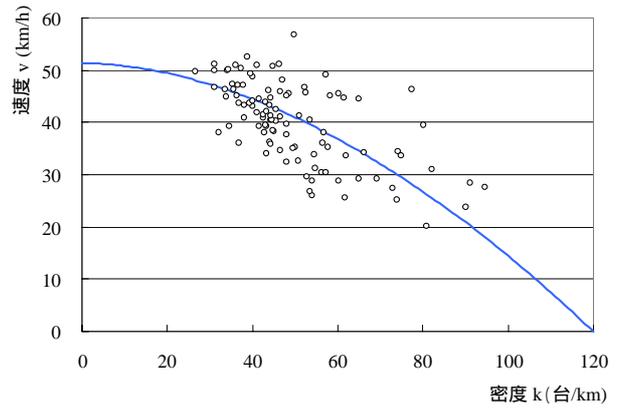


図-7 (1) 秋季 k-v 曲線

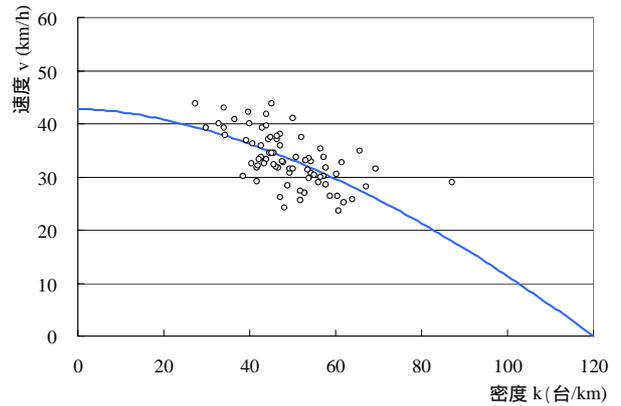


図-7 (2) 冬季 k-v 曲線

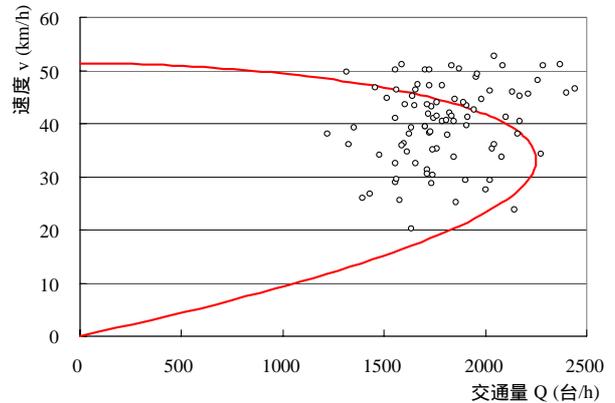


図-8 (1) 秋季 q-v 曲線

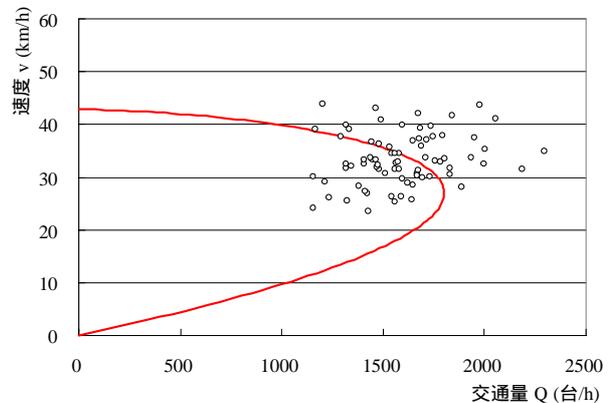


図-8 (2) 冬季 q-v 曲線