

一般道路における路線 QV 式を用いた速度推定モデル Speed Estimation Model for Signalised Arterials based on Aggregated QV Relationships

坪田 隆宏¹, 吉井 稔雄², 原田 日郎³, 神野 裕昭⁴
Takahiro TSUBOTA¹, Toshio YOSHII², Hiro HARADA³ and Hiroaki JINNO⁴

道路の交通機能上の性能評価に際し、交通量 Q と旅行速度 V の関係、すなわち QV 関係は重要な役割を果たす。しかし、信号交差点を有する一般道路の QV 関係は、日交通量と日平均旅行速度の関わりに留まっており、動的な交通状況変化を取り扱う有効な施策の実施にむけては、より詳細な時間的解像度を有する QV 関係を得ることが必要と考えられる。そこで本研究では、複数の信号交差点を含む道路路線を対象に、路線内で不均一となる交通量の代表値として空間平均交通量を定義した後、複数路線を対象に空間平均交通量と平均旅行速度の関係を分析する。空間平均交通量を説明変数に含み平均旅行速度を目的変数とする重回帰分析を行った結果、決定係数 0.77 の説明力を有するモデルが構築された。また、道路幾何構造に加えて、時間帯の違いが QV 関係に有意に影響を与えることが示された。

This study aims to develop an average travel speed estimation model for signalised arterials based on the relationship between flow (Q) and speed (V). Such relationship, or the QV relationship, describes the travel speed at given flow levels, which plays crucial role in designing traffic management schemes to evaluate the traffic performance after devising the policies. On the other hand, in the state of the practice, the QV relationship of signalised arterials only relates the daily traffic volume and daily average travel speed, which is unable to capture the dynamic changes in traffic, and therefore, hinders the proper evaluation of traffic performance after the policies. This study developed the methodology to estimate the QV relationship of signalised arterials using traffic data aggregated in smaller time intervals (e.g., 15 minutes). The proposed QV relationship relates the space-mean flow and speed along a corridor by utilising multiple detectors. The travel speed estimation model was developed based on a multiple linear regression model, which defined the average travel speed using the space-mean flow, road geometry and time of day. The model exhibited sound accuracy with R^2 of 0.77 , and revealed the impact of road geometry and temporal difference on travel speed.

Keywords: 一般道路, QV 関係, 速度推定

Signalised Arterial, QV Relationship, Fundamental Diagram, Speed Estimation

1. はじめに

道路の交通機能上の性能を計測する指標として、ある交通量レベルに応じて実現される旅行速度の情報は重要な役割を果たす。現在、道路の計画・設計時には、概ね20年後の交通需要を予測し、予測される交通需要の下で実現する交通状況を推定することで、費用便益比などの客観的評価指標を算定し、それを判断材料に用いて計画が策定されている¹⁾。このうち、将来の交通状況を推定する際にはOD間の道路交通需要を各道路リンクに割り当てる作業、すなわち交通量配分が実施され、その結果にもとづいて将来の旅行時間、あるいは旅行速度が算出される。この際に必要となるリンクパフォーマンス関数

または交通量と速度の関係 (QV 関係) は、それぞれ交通量と平均リンク旅行時間、あるいは交通量と平均旅行速度との関係を示すものであり²⁾、交通量配分結果にもとづく旅行速度の推定結果に大きく影響を与える。しかしながら、信号交差点を有する一般道路の QV 関係は、日交通量と日平均旅行速度の関係を記述するにとどまっておき、同一の日交通量における交通需要の時間変動が考慮できていない。その為、交通需要が時間的に偏ることによって発生する速度低下を直接的に表現することができないといった問題点を抱えている。従って、動的な交通状況変化を取り扱う有効な交通施策の実施にむけては、時間交通量など、特定の時間帯における交通量と平

- 1 正会員, PhD, 愛媛大学大学院理工学研究科
〒790-8577 愛媛県松山市文京町3番 e-mail: t.tsubota@cee.ehime-u.ac.jp Phone: 089-927-9827
- 2 正会員, 工学博士, 愛媛大学大学院理工学研究科
- 3 非会員, 学士(工学), 愛媛大学工学部環境建設工学科 (現 神戸大学大学院工学系研究科)
- 4 正会員, 工学修士, TOE, 株式会社建設技術研究所大阪本社

均旅行速度の関係のような、詳細な時間的解像度をもった QV 関係を明らかにすることが重要と考えられる。

加えて、計画・設計段階において道路の交通性能を評価する為には、交通量のみならず、道路線形や時間帯、土地利用特性等の要素を考慮した任意の条件下における QV 関係を推定することが必要である。

このような要請のもと、高速道路等の自動車専用道路を対象とした QV 関係の分析は多くなされており、その知見は国内外で使用されている道路の設計マニュアル³⁾にも反映されている。具体的には、自動車専用道路において車両感知器を用いて継続的に収集・蓄積されている交通量、ならびに速度データを活用して、道路幾何構造や天候、大型車混入率等が QV 関係式に与える影響が定量的に分析されている⁴⁾。

一方、信号交差点を含む一般道路の QV 関係を分析した事例は限られる。この理由の一つに、一般道路で得られる交通データの制約が挙げられる。一般道路では信号交差点部において停止発進挙動が発生する為、従来型の車両感知器から得られる地点速度は時間的に大きく変動し、当該道路の交通性能を適切に評価することが容易ではない為である。しかし、近年の ICT 技術の発展により、プローブカー等から得られる走行データの収集が実用化されたことにより、一般道路路線の空間平均速度の計測が容易になり、信号交差点を有する路線を対象とする QV 関係の分析が報告されつつある。

田宮ら⁵⁾はタクシーやトラックに装着した GPS データを用いて時間帯別の路線速度を計測することにより、都内の主要一般道路路線を対象とした QV 関係を分析している。その結果、路上駐車の有無や信号交差点密度、沿道状況等の要因が QV 関係式に影響を与えることを示唆する知見が得られたものの、分析対象となった路線数が限られており、これらの影響の定量的な把握には至っていない。

Akandwanaho ら⁶⁾は複数の信号交差点を含む 12.5km の路線を、上下方向合わせて 10 個の区間に分割し、区間毎に QV 関係式を作成することで、幾何構造と信号パラメータが QV 関係式に与える影響の定量的な把握を試みた。QV 関係式に対数関数形を仮定し、交差点数や信号交差点密度等が各区間の速度に与える影響を示しているが、推定されたモデル式の決定係数は十分に高いとは言えず、より多くのサンプルを用いた分析が必要と考えられる。

また、既往の研究^{5,6)}に共通する課題として、路線内の一断面のみで計測された交通量を用いて QV 関係を導出している点が挙げられる。一般道路は路線内に存在する交差点や路側の商業施設等において車両の出入りが発生するため、同一路線内においても断面によって交通量が

異なる。よって、路線内の平均的な交通量を用いた分析が適切と考えられる。

そこで、本研究では愛媛県松山市の中心部、ならびに郊外に位置する路線のうち、複数の信号交差点を含み一定の延長を持つ一般道路路線を対象に、各路線における平均旅行速度と空間平均交通量(いずれも 2.2 に定義する)の関係をマクロに捉える路線 QV 関係の導出方法を確立する。そして、導出された路線 QV 関係を用いて、道路幾何構造や集計交通量を説明変数に採用した重回帰モデルによって平均旅行速度の推定式を構築することを目的とする。また、これにより、道路幾何構造や時間帯等と道路の交通性能との関係を定量的に把握することが可能となり、適切な交通計画や設計、あるいは交通管理や運用策の実施に寄与すると期待される。

2. 分析方法

2.1 使用データの概要

(1)交通量データと区間の定義

交通量データには各路線内複数箇所に設置された感知器による観測値を使用する。感知器毎に 15 分単位で断面交通量が集計されており、本研究ではデータの収集期間において平日・休日別に算出された平均交通量を使用する。日付 d の時刻 t に観測された、感知器断面 i の交通量が $q_i^d(t)$ で表されるとする。データ収集期間に含まれる平日と休日の日数が N^D ($D = \text{平日, 休日}$) である場合、平日・休日別の平均交通量 $q_i^D(t)$ は式(1)のように算出される。

$$q_i^D(t) = \frac{\sum_{d \in D} q_i^d(t)}{N^D} \quad (1)$$

次に、各感知器設置断面に対応する区間の設定について述べる。本研究では、車両の出入りが想定される主要交差点を区間の境界として設定し、区間内での車両の出入りは考慮しないものとする。すなわち、感知器断面 i に対応する区間 i の交通量は均一であり、断面 i で観測された交通量 $q_i^D(t)$ に従うものと仮定する。なお、区間 i の区間長は L_i とする。以上で説明した感知器設置断面と区間の関係の概念図を図 1 に示す。

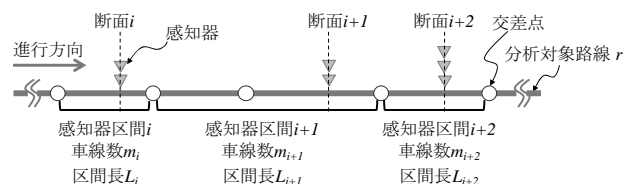


図 1 感知器設置断面と区間の概念図

(2)速度データ

本研究で扱う旅行速度データは、民間プローブカーの走行履歴から算出する。走行履歴データには、各区間を通過した民間プローブカーの総旅行時間、ならびに情報件数が 15 分間隔で格納されている。日付*d*の時刻*t*に区間*i*で観測された総旅行時間を $TT_i^d(t)$ 、情報件数を $n_i^d(t)$ で表す場合、データ収集期間の平日・休日別平均速度 $v_i^D(t)$ は式(2)のように算出される。

$$v_i^D(t) = \frac{L_i}{\frac{\sum_{d \in D} TT_i^d(t)}{\sum_{d \in D} n_i^d(t)}} \quad (2)$$

2.2 空間平均交通量と平均旅行速度の定義

2.1 で定義した区間毎の平均交通量と平均速度を用いて、本節では路線ごとの集計交通量と平均旅行速度の算出方法を述べる。ただし、以下では簡単のため、平日・休日を示す添字*D*を省略し、感知器区間*i*の平均交通量を $q_i(t)$ 、平均速度を $v_i(t)$ と記述する。

路線*r*に区間が s_r 個存在する場合、平日・休日別の平均交通量 $q_i(t)$ と速度 $v_i(t)$ を用いて、時刻*t*における路線*r*の集計交通量 $Q_r(t)$ と平均旅行速度 $V_r(t)$ を以下に示す式(3)と式(4)にて定義する。

$$Q_r(t) = \frac{\sum_{i=1}^{s_r} q_i(t) \cdot L_i}{\sum_{i=1}^{s_r} m_i \cdot L_i} \quad (3)$$

$$V_r(t) = \frac{\sum_{i=1}^{s_r} q_i(t) \cdot L_i \cdot v_i(t)}{\sum_{i=1}^{s_r} q_i(t) \cdot L_i} \quad (4)$$

なお、車線数が異なる路線間の比較を行なう為、集計交通量 $Q_r(t)$ については、区間毎の車線数 m_i によって基準化を行っている。

2.3 非渋滞データの抽出

(1)渋滞時における平均旅行速度の考察

対象路線に交通容量を超える需要が集中した際には渋滞が発生することとなる。このとき、渋滞末尾が対象路線の最上流端に達すると、交通容量以上の需要があっても路線内の交通流状態で決定される流入可能交通量以上の交通が流入することはできず、超過分の交通は路線区間上流で待機させられることとなる。このような状況下における路線内の交通流状態は、上流からの需要交通量に依存するのではなく、交通容量と交差道路から流入あるいは流出する交通の交通量に依存して決定される。すなわち、上流からの需要交通量に応じて路線内の交通流状態が決定されるのではなく、路線内の交通流状態が流入交通量を決定することとなる。よって、需要が交通容

量以上の場合には、平均旅行速度を交通量の関数として定義することはできない。

そこで、本研究で平均旅行速度推定モデルを構築するにあたっては、路線の交通流が渋滞している状況を除外し、交通流が渋滞していない非渋滞の状況、すなわち平均旅行速度が集計交通量に依存している状況を抽出して分析を行なう。非渋滞状態の判定には、渋滞流と非渋滞流の境界となる速度、すなわち臨界速度の推定が必要となる。本研究では Kittler 法⁷⁾による自動二値化手法を用いて、対象路線における渋滞/非渋滞を判定する。

(2)Kittler 法による渋滞/非渋滞の判定方法

Kittler 法とは、画像処理の分野で開発された手法で、画像内の対象領域と背景領域の濃淡値が共に正規分布に従うとの仮定のもとで、2つの分布の境界となる閾値の設定に用いられる。近年、白石ら⁸⁾によって交通状態の判定への適用が報告されており、高速道路上の車両感知器より得られた速度データを対象に臨界速度を推定した事例では良好な判定結果が得られている。

Kittler 法を用いた速度データの閾値設定方法を説明する。式(4)によって算出された 15 分毎の平均旅行速度が最小値を 0、最大値を*n*とする閉区間 $[0, n]$ に分布する離散型の確率変数*g*を用いて表されるとき、平均旅行速度の確率分布は*h(g)*で与えられるとする。Kittler 法では、渋滞流と非渋滞流、それぞれの状態における平均旅行速度の頻度分布が共に正規分布に従うという仮定のもと、*h(g)*を両分布の合成分布とみなし、以下に説明するような平均誤識別率に関する基準値を最小化するような閾値の選定を行なう。すなわち、ある速度閾値*T*によって、平均旅行速度の合成確率分布*h(g)*を2つのクラス*C*₁(渋滞流)と*C*₂(非渋滞流)に分類する場合を考える。ここで、条件付き確率分布*h(g|C_i)*、(*i* = 1, 2)が平均 $\mu_i(T)$ 、分散 $\sigma_i^2(T)$ の正規分布に従うと仮定する。このとき、平均誤識別率を最小化する閾値*T*の選択は、式(5)に示す基準*J(T)*の最小化問題に帰着することが示されている⁷⁾。得られた閾値*T*を臨界速度*V^c*とし、速度データが同臨界速度を下回る場合に渋滞状態、上回る場合に非渋滞状態と判定する。

$$J(T) = 1 + 2[P_1(T)\log\sigma_1(T) + P_2(T)\log\sigma_2(T)] - 2[P_1(T)\log P_1(T) + P_2(T)\log P_2(T)] \quad (5)$$

ただし、 $P_i(T)$ と $\sigma_i(T)$ は、それぞれ速度データ*g*がクラス*C_i*に分類される確率と、クラス*C_i*内の標準偏差を表し、以下のように計算される。

$$P_i(T) = \sum_{g=a}^b h(g) \quad (6)$$

$$\sigma_i(T) = \sqrt{\frac{\sum_{g=a}^b \{g - \mu_i(T)\}^2 h(g)}{P_i(T)}} \quad (7)$$

$$a = \begin{cases} 0 & i = 1 \\ T + 1 & i = 2 \end{cases} \quad (8)$$

$$b = \begin{cases} T & i = 1 \\ n & i = 2 \end{cases} \quad (9)$$

(3)Kittler 法による判定結果の誤判定検査

Kittler 法は明確な二峰性を示す分布に対しては良好な判定精度を有するものの、渋滞状態に至っていない路線に対して機械的に適用した場合には、全て非渋滞状態であるデータについても、その一部を渋滞状態と判定するとの誤判定が発生し得る。そこで、本研究では Kittler 法によって渋滞状態と判定されたデータに対して誤判定の検査を行なう。

2.3(1)において考察したように、一般道路の渋滞状態では平均旅行速度が集計交通量の関数として表されない。一方、非渋滞状態の平均旅行速度は集計交通量の単調減少関数になると考えられる。そこで、Kittler 法によって算出された路線*r*の臨界速度 V_r^c を下回る速度データ、すなわち渋滞状態と判定された平均旅行速度を目的変数、対応する集計交通量を説明変数とする線形回帰モデルを推定し(図2)、集計交通量の係数の推定結果から Kittler 法による判定結果を検査する。推定に使用するモデル式を式(10)に示す。

$$V_r(t) = aQ_r(t) + b \quad (10)$$

ただし、 a と b は未知パラメータである。

式(10)において、集計交通量の係数 a が有意に負値と推定された場合には平均旅行速度が集計交通量の単調減少関数になっている、すなわち非渋滞状態のデータであると解釈できる。よって、Kittler 法による判定結果を棄却し、全データを非渋滞状態と判定し以降の分析に用いるものとする。

一方、集計交通量の係数 a が有意に推定されない場合は、平均旅行速度が集計交通量の関数として表現されおらず、渋滞状態であるとみなすことができる。よって、Kittler 法による判定結果を採用し、渋滞状態と判定されたデータを以降の分析から除外する。

2.4 重回帰モデルによる速度推定式の構築

本節では、15分間平均旅行速度 $V_r(t)$ (km/h)を目的変数とし、15分間集計交通量 $Q_r(t)$ (台/15分/車線)と路線の特微量、ならびに時間帯等を説明変数とする

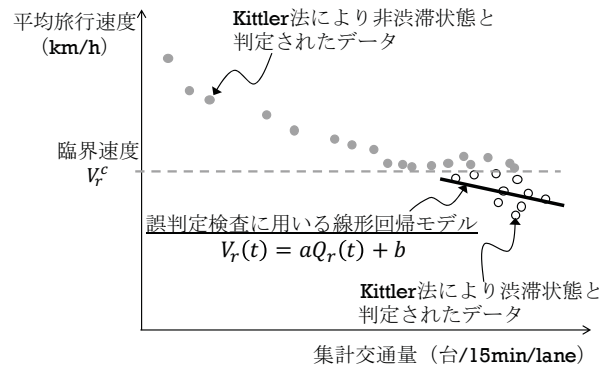


図2 Kittler 法の誤判定検査に用いる線形回帰モデルの推定イメージ

重回帰モデルを用いて路線 QV 関係をモデル化し、速度推定式を構築する。

本分析では、平均旅行速度に影響を与える路線の特微量として路線の信号交差点密度 ρ_r (箇所/km)と片側2車線以上の路線を示すダミー変数 $d_{2,r}$ 、ならびに中心市街地からの距離 l_r (km)を考慮する。なお、中心市街地からの距離とは沿道状況の違い等の土地利用特性を表す変数である。

時間帯等の要因については、平日と休日のドライバー特性や車種構成等の違いを考慮するため、休日データを示すダミー変数 $d_{holiday}$ を用いる。また、時間帯による明るさや信号パラメータ等の違いを考慮するため、昼時間帯のデータを示す $d_{daytime}$ を採用する。時間帯の定義については3.2にて説明する。

以上の説明変数を用いた重回帰モデルによる平均旅行速度推定式を式(11)に示す。

$$V_r(t) = \alpha Q_r(t) + \beta_0 + \beta_1 \rho_r + \beta_2 d_{2,r} + \beta_3 l_r + \beta_4 d_{holiday} + \beta_5 d_{daytime} \quad (11)$$

ただし、 α と $\beta_i (i = 0, \dots, 5)$ は未知パラメータである。

QV 関係式のモデル化において式(11)に示すような線形の関係は常に適切な仮定とは言えず、Akandwanahoら⁹⁾においても対数関数形を仮定している。これは、QV 関係式において交通需要が交通容量に近づいた際に、速度が急激に低下する現象を考慮する為と言える。しかしながら、本研究では2.3において、渋滞状態に陥ったデータを除外し、自由流状態のデータのみ用いて路線 QV 関係のモデル化を目指している。その限りにおいて、本研究で採用する線形関数を用いたモデル化は適切なアプローチと言える。

式(11)の右辺において、集計交通量 $Q_r(t)$ 以外の項は路線 QV 関係式における切片であり、集計交通量がゼロの場合の平均旅行速度、すなわち自由流速度に相当する。

一方、集計交通量 $Q_r(t)$ のパラメータ α は路線 QV 関係式の傾きに相当し、15 分間集計交通量 $Q_r(t)$ が一単位増加することによる平均旅行速度の低下量を表す。本研究では、集計交通量の増加に対する平均旅行速度の感度についても路線の属性や時間帯等の影響を受けるものと考え、式(12)に示すようにパラメータ α についても路線の特徴量や時間帯等の関数として構造化する。これにより、集計交通量とその他の説明変数間の交互作用を考慮したモデル推定を行なう。

$$\alpha = \alpha_0 + \alpha_1 \rho_r + \alpha_2 d_{2,r} + \alpha_3 l_r + \alpha_4 d_{holiday} + \alpha_5 d_{daytime} \quad (12)$$

ただし、 $\alpha_i (i = 0, \dots, 5)$ は未知パラメータである。

3. 分析対象路線と期間

3.1 分析対象路線

分析対象路線は、愛媛県松山市の中心部ならびに郊外に位置する一般道路とする。多様な道路幾何構造・交通条件下でのデータを収集する目的で、図3に示す13路線、片側1車線(5路線)と片側2車線以上(8路線)、を選定した。各路線の概要を表1に整理する。また、本研究においては中心市街地の代表地点として、繁華街に隣接する愛媛県庁を採用するものとし、その位置を図3に併記する。

3.2 分析対象期間と時間帯

交通量データと速度データの収集期間は共に2015年10月の1ヶ月間とする。分析対象時間帯は7時から22時とし、信号制御パラメータが切り替わる19時を境に、7時から19時を昼時間帯、19時から22時を夜時間帯と定義する。

4. 分析結果

4.1 非渋滞データの抽出

式(3)と式(4)により、分析対象の13路線に対して平日・休日別に15分毎の集計交通量と平均旅行速度を算出した。ここから、2.3に示した手法に従い、以降の分析に使用する非渋滞データを抽出する。

まず、路線別の平均旅行速度に対して、式(5)から式(9)に示すKittler法を適用し、臨界速度の判定を行った。表2に判定結果を示す。図4には、昼時間帯のデータを対象に路線1-3の休日データに対してKittler法を適用した結果、図5には昼時間帯のデータを対象に路線2-2の休日データに対してKittler法を適用した結果を示す。両データにおける臨界速度は、それぞれ $V_r^c = 18(\text{km/h})$ と $V_r^c = 38(\text{km/h})$ と計算された。次に、推定された臨界速度 V_r^c を下回る速度データ、すなわち渋滞状態と判定され

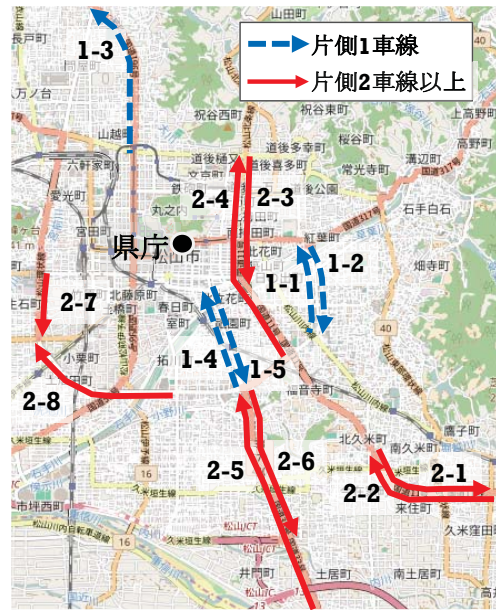


図3 分析対象路線図

表1 分析対象路線概要

路線 (交差点間)	延長 (m)	信号 交差点数 (箇所)	平均信号 交差点間隔 (m)	車線 数
1-1: 枝松 → 湯渡橋北詰	1,316	6	219.3	片側1車線
1-2: 湯渡橋北詰 → 枝松	1,276	6	212.7	
1-3: 消防局 → 東長戸4丁目	1,955	9	217.2	
1-4: 天山 → 河原町	1,464	3	488.0	
1-5: 河原町 → 天山	1,466	3	488.0	
2-1: 福音寺 → 久米窪田	3,182	9	353.6	片側2車線以上
2-2: 久米窪田 → 福音寺	3,182	9	353.6	
2-3: 勝山町 → 永木	667	4	166.8	
2-4: 永木 → 勝山町	1,876	10	187.6	
2-5: 森松 → 天山	3,403	13	261.8	
2-6: 天山 → 松山南署前	2,280	9	253.3	
2-7: 南江戸南3 → 空港2丁目	933	4	233.3	
2-8: 朝生田西 → 空港2丁目	2,296	8	287.0	

たデータに対して式(10)に示す線形モデルを適用し、Kittler法による判定結果の検査を行った(表2)。

表2の結果のうち、集計交通量の係数にアスタリスク(*)を付している結果は、式(10)における集計交通量の係数 a が有意に負値と推定されていることを表す。すなわち、非渋滞状態であると解釈できるデータを示している。路線1-3の休日データについては、集計交通量の係数 a は有意に推定されず、これらのデータは渋滞状態であると考えられる結果となった。よって、同データについては、臨界速度 V_r^c 以上のデータのみを採用して以降の分析に用いるものとする。

一方、路線2-2の休日データに対してKittler法を適用した結果、臨界速度 $V_r^c = 38(\text{km/h})$ と計算されたが(図5)、渋滞状態と判定されたデータに対して式(10)の線形モデルを適用した結果、集計交通量の係数は有意に負値と推定された(表2)。この結果は、平均旅行速度が集計交通

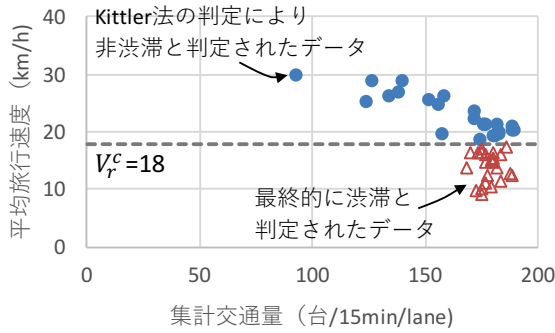


図4 渋滞/非渋滞の判定 (路線 1-3 休日)

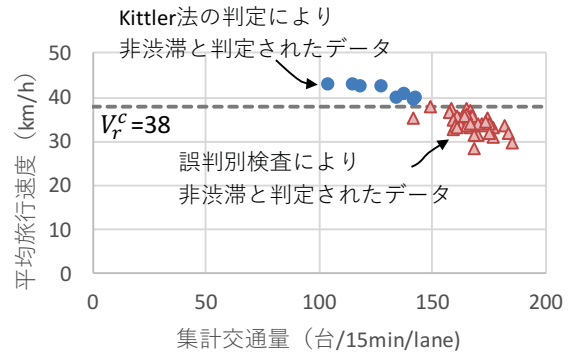


図5 非渋滞データの抽出結果 (路線 2-2 休日)

表2 臨界速度の判定結果一覧 (*: 5%有意)

路線 番号	平日データ			休日データ		
	集計交通量の係数	P値	臨界速度 (km/h)	集計交通量の係数	P値	臨界速度 (km/h)
1-1	0.03	0.40	17	-0.19 *	0.00	-
1-2	0.06	0.84	13	-0.05	0.11	18
1-3	-0.11 *	0.02	-	0.02	0.84	18
1-4	-0.04	0.06	17	-0.08 *	0.00	-
1-5	-0.10	0.54	15	0.04	0.51	21
2-1	-0.10 *	0.02	-	-0.08 *	0.00	-
2-2	0.06	0.55	32	-0.13 *	0.00	-
2-3	0.02	0.96	18	-0.01	0.74	21
2-4	-0.12 *	0.00	-	-0.07 *	0.03	-
2-5	0.05	0.32	18	0.03	0.98	17
2-6	0.04	0.90	20	0.22	0.01	20
2-7	-0.07 *	0.01	-	0.03	0.60	19
2-8	-0.10	0.42	24	-0.20 *	0.05	-

量の単調減少関数として表されることを示しており、これらのデータは非渋滞状態に属すると考えられる。従って、路線 2-2 の休日データについては、Kittler 法によって得られた臨界速度情報を棄却し、全データを非渋滞データとして採用し、以降の分析に用いるものとする。

他の路線に対しても同様に、Kittler 法による臨界速度の判定と式(10)による確認を行った。式(10)における集計交通量の係数 a の推定結果と最終的に採用された臨界速度 V_r^c を、路線毎に平日・休日別に整理した結果を表2に示す。式(10)の集計交通量の係数 a が有意に負値と推定された場合は Kittler 法によって得られた臨界速度を棄却し、全データを非渋滞状態であるとみなし、以降の分析対象として採用している。一方、それ以外の場合には、Kittler 法によって算出された臨界速度以上のデータのみを非渋滞データとし、以降の分析に使用した。

臨界速度の推定結果については、何れの路線も 20 (km/h)前後で推定され、警視庁の交通渋滞統計における「渋滞」の定義⁹⁾と概ね合致する結果となった。ただし、路線 2-2 の平日については臨界速度が 32 (km/h)となり、他路線と比較して際立って高い結果となった。路線 2-2 は郊外に位置する上り方向の幹線道路であり、平日にお

いては信号スプリットが優先的に配分されているものと考えられる。これにより、路線の交通容量が高く、渋滞時においても比較的高速度が維持されているものと推察されるが、信号制御データを用いた確認が必要である。

4.2 重回帰モデルの推定結果

非渋滞状態として採用されたデータを用いて、式(11)と式(12)で示される重回帰モデルの推定を行った。推定結果を表3に示す。まず、決定係数は0.77と十分に高く、説明力の良好なモデルが得られたと言える。次に、各パラメータの推定結果について、自由流速度への影響要因を見ると、信号機密度の係数は負値となった。これは、信号機密度が大きいほど停止頻度が高くなり、平均旅行速度が下がる傾向にあると推察される。2車線以上ダミーと中心市街地からの距離の係数は正となった。これは郊外の高規格路線では平均旅行速度が高くなる傾向にあることを示している。多車線であることから追越しが可能であり、加えて、このような路線は中央分離帯を有する区間が多い為、速度が高くなる傾向にあると推察される。昼時間帯ダミーの係数も正となったが、時間帯によるドライバー特性の違いや、信号制御パラメータによる影響が考えられる。

集計交通量との交互作用要因の推定結果を見ると、まず定数項、すなわち集計交通量の主効果は負値となった。これは平均旅行速度が集計交通量の単調減少関数として表されるという QV 関係の基本性質を示している。2車線以上ダミーと昼時間帯ダミーについても負値と推定された。これは、これらの道路条件、時間帯においては集計交通量の一単位増加に伴う平均旅行速度低下量が大きくなる傾向を示している。自由流速度への影響要因の推定結果と統合して解釈すると、2車線以上の路線や昼の時間帯においては、自由流時の速度が高くなる傾向にあり、交通量増加時の速度への感度が大きくなる傾向にあることを表していると考えられる。一方、中心市街地からの距離については正値と推定された。郊外道路においては路線途中に起点を持つ交通需要、すなわちアクセス

表3 重回帰分析の結果 (* : 1%有意)

説明変数	偏回帰係数	P 値
集計交通量との交互作用要因		
定数 (集計交通量: $Q_r(t)$)	-0.09*	0.00
2車線以上ダミー: $d_{2,r} * Q_r(t)$	-0.06*	0.00
昼時間帯ダミー: $d_{daytime} * Q_r(t)$	-0.04*	0.00
中心市街地からの距離: $l_r * Q_r(t)$	0.02*	0.00
自由流速度の影響要因		
信号機密度: ρ_r	-1.65*	0.00
2車線以上ダミー: $d_{2,r}$	11.77*	0.00
昼時間帯ダミー: $d_{daytime}$	6.70*	0.00
中心市街地からの距離: l_r	1.20*	0.00
切片	29.56*	0.00
重決定係数	0.77	
サンプル数	1299	

交通が少ない可能性が考えられ、その為、交通量増加時にアクセス交通による本線交通流への影響が小さいことが一因であると推察される。

5. おわりに

本研究では、複数の信号交差点を含む道路路線を対象に、路線集計交通量と平均旅行速度の導出方法を確立した。そして、得られた路線 QV 関係を用いて、道路幾何構造や集計交通量を説明変数に採用した重回帰モデルによって平均旅行速度の推定式を構築した。推定されたモデルの決定係数は 0.77 と、十分に説明力の高い結果が得られた。また、車線数や交差点密度等が異なる多様な路線を対象に、高い時間解像度を持つデータを用いて分析することで、道路幾何構造要因のみならず、時間帯の違いを考慮したモデルを構築することができた。

今後の課題として、本研究で推定された速度推定式の実用性に関する検証が挙げられる。得られたモデルは交通量と速度データの 15 分間集計値を使用していることから、同一時間帯内における交通状況の変動を考慮したものとなっている。これにより、時々刻々と変化

する交通需要に応じた速度の推定、すなわち交通性能評価が可能となり、渋滞対策実施による渋滞緩和効果等の的確な分析につながることを期待される。

謝辞

本研究は科学研究費基盤研究(B)(一般)JP15H04061 の助成を受けたものです。また、本研究を遂行するに際し、松山河川国道事務所より貴重なデータを提供していただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省：将来交通需要推計手法（道路），2010.
- 2) 松井寛，藤田素弘：交通量配分における Q-V 式の設定方法に関する研究，土木計画学研究・論文集，Vol. 3, 153-160, 1986.
- 3) HCM2010：Highway Capacity Manual, Transportation Research Board, 2010.
- 4) 例えば、洪性俊，大口敬：多車線高速道路における統合型速度推定モデル，土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol. 67, No. 3, 244-260, 2011.
- 5) 田宮佳代子，瀬尾卓也：プローブカーデータを活用した都市内一般道路 Q-V 特性について，土木計画学研究・講演集，2002.
- 6) E. Akandwanaho, A. Goto and H. Nakamura：Modelling the Relationship between Flow and Section Travel Speed on Arterials, 第 55 回土木計画学研究発表会・講演集, 2017.
- 7) J. Kittler and J. Illingworth：Minimum Error Thresholding, Pattern Recognition, Vol. 19, No.1, 41-47, 1986.
- 8) 白石智良，赤羽弘和，小根山裕之，田中伸治：都市高速道路における臨界速度の自動設定法の開発とボトルネック容量分析への適用，第 32 回交通工学研究発表会論文報告集，2012.
- 9) 警視庁交通管制課管制計画係：平成 27 年中の都内の交通渋滞統計（一般道路、首都高速道路），http://www.keishicho.metro.tokyo.jp/about_mpd/jokyo_tokei/tokei_jokyo/ippan.html, 2016