

車両感知器データを用いた都市高速道路における車両の走行軌跡と所要時間の同時推定* Estimation of vehicle trajectories and travel times on urban expressway from traffic counts*

松葉一弘**・松本幸正***・杉原良紀****

By Kazuhiro MATSUBA**・Yukimasa MATSUMOTO***・Yoshinori SUGIHARA****

1. はじめに

交通渋滞や交通公害が深刻化している都市高速道路においては、予測情報提供や動的交通制御などの交通運用による需要の時空間的平準化が望まれている。これら高度交通運用のためには、短い時間間隔におけるランプ間の所要時間予測が直接的、間接的に不可欠である。直接的には正確なランプ間の所要時間情報の提供により、ドライバーの経路選択、出発時刻選択行動を促すこと¹⁾²⁾につながり、間接的には交通制御手法へのインプットデータとして利用される。

最近ではAVIの設置が進み、AVI設置区間における流出時刻ベースの所要時間をリアルタイムで計測することは、容易になった。またランプ間の所要時間予測は、過去の所要時間データを用いる³⁾⁴⁾⁵⁾などにより、より正確に予測できるものと考えられる。しかしながら、AVIの設置場所は限られており、すべてのランプ間において過去の所要時間を正確に捉えることはできていない。したがってAVI未設置区間においては、所要時間の予測に先立ち、過去の所要時間を正確に捉えておく必要がある。

従来、AVI未設置区間における過去の所要時間は、本線上に設置されている車両感知器のデータを用いて、推定⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾されている。これらの手法により推定された所要時間を真値とみなし、モデルの検証を行っている研究例もいくつか見られる。しかしながら車両感知器のデータを用いた所要時間の推定値には様々な要因による誤差が含まれ¹¹⁾、特に、車両感知器の勢力範囲内で速度が変動するような渋滞時において、推定誤差が大きくなる問題が指摘¹²⁾¹³⁾されている。したがって、車両感知器データを用いたより精度の高い所要時間の推定手法の開発が不可欠である。

所要時間の推定精度の向上について、田中ら¹⁴⁾は、高速道路上を走行する高速バスから得られるGPSデータを用いて所要時間の推定を行う手法を検討している。また岡本ら¹⁵⁾は、車両に搭載された車速計測システムから得

られる連続的な車速データを用いて、所要時間の推定を行う手法を検討している。これらの手法は、車両感知器よりも短い時間間隔で車両の位置を計測することができ、渋滞の伝播など交通状況の変化をより細やかに捉えることができるものと考えられる。しかしながら、これらの手法により得られる所要時間は、特定の車両の所要時間に過ぎず、所要時間の推定精度は計測車両の混入率に依存するものと考えられる。

そこで本研究では、AVIが設置されていない都市高速道路の区間における所要時間を精度良く提供することを目的とし、車両感知器データを用いて個々の車両の走行軌跡と平均所要時間を同時に推定する手法を提案する。はじめに、名古屋高速道路で観測された実際のデータを用いて提案手法の適用計算を行い、渋滞時を含めた所要時間の推定精度を、従来法と比較する。続いて、所要時間の推定誤差の要因を明らかにし、交通状況の変動が大きくなる渋滞時においても、所要時間を精度良く推定できるようにモデルを改良する。

2. 走行軌跡推定手法によるランプ間所要時間の推定

従来使われている車両感知器データを用いた所要時間の推定手法としては、瞬時値モデル¹⁶⁾とタイムスライス値モデル¹⁷⁾がある。ここでは、それぞれのモデルと、本研究で提案する走行軌跡推定手法の特徴について述べる。

(1) 瞬時値モデル

同一インターバルにおける車両感知器データから算出した各セクションの所要時間を、対象区間で総和したものである。

$$T(t) = \sum_{k=1}^K \left[\frac{d(k)}{v(k,t)} \right] \quad (1)$$

各記号は以下のようである。

$T(t)$: 時間インターバル t に流入した車両の平均所要時間

$d(k)$: セクション k の勢力範囲

$v(k,t)$: 時間インターバル t 、セクション k の車両感知器の速度データ

K : 車両感知器数

このモデルでは、それぞれのセクションの所要時間を、

*キーワード：交通流、交通管理、交通情報

**正員、修工、株式会社 間瀬コンサルタント

***正員、博工、名城大学理工学部建設システム工学科
(名古屋市中北区塩釜口1-501、

TEL:052-838-2348, E-mail:matsumoto@civil.meijo-u.ac.jp)

****(財)名古屋高速道路協会

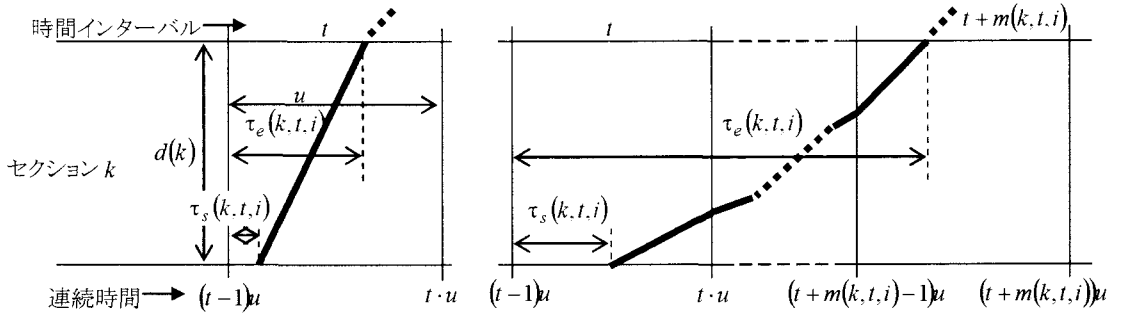


図1 所要時間の推定手法

流入時の時間インターバルの車両感知器の速度データから算出している。このため、流入時間インターバル直後に所要時間の算出が可能である。しかしながら実際の車両が各セクションを通過する時間と流入時間とは、通過時間分のずれがあるため、流入時間インターバルの車両感知器の速度データを常に用いると、実際の速度と大きく異なることがある。特にランプ間の距離が長く、交通状況が大きく変動する渋滞時において、所要時間の推定誤差が大きくなる。

(2) タイムスライス値モデル

各セクションまでの所要時間分の時間インターバルを進めたインターバルの速度データを用いて、セクションの通過時間を計算し、そのセクション通過時間を対象区間の起点から終点に向けて累加した値である。

$$T(i) = \sum_{k=1}^K \left[\frac{d(k)}{v\left(k, t + \text{int} \left[\sum_{j=1}^{k-1} T_s(j)/u \right] \right)} \right] \quad (2)$$

$T_s(k)$: セクション k の通過時間

u : 単位時間

タイムスライス値モデルにおける各セクションの通過時間は、セクションの勢力範囲をセクションに流入した時間インターバルの速度で除することにより算出している。しかしながら実際には同一セクションを通過するのに複数の時間インターバルをまたぐような状況も考えられる。また時間インターバル後半にセクションに流入した場合でも、そのインターバルにおける速度でセクションの最後まで走行し続けると仮定しているため、所要時間の推定誤差が大きくなる。

(3) 走行軌跡推定手法

従来のタイムスライスによる所要時間の推定手法では、同一セクションで複数の時間インターバルをまたぐような状況や、時間インターバル後半にセクションに流入したときの同一セクション内での速度変化が考慮できない。

そこで本研究では図1に示すように、車両感知器の速度データを用いて、車両の走行軌跡を推定することでランプ間の所要時間を算出する手法を提案する。本手法ではセクションが変わるときだけでなく、時間インターバルが変わるときにも推定に用いる速度データを変えている。

図1の左のように流入時間インターバルと流出時間インターバルが同じであるときは、流入時間インターバルの速度によりセクションの所要時間を算出する。しかしながら、図1の右のように流入時間インターバルと流出時間インターバルが異なり、車両がセクション内で複数の時間インターバルにまたがるときは、時間インターバルごとの速度を用いてセクションの所要時間を算出する。

本研究で用いるランプ間所要時間の走行軌跡推定手法は、以下のように定式化される。

$$T(t, i) = \sum_{k=1}^K [\tau_e(k, t + m(k-1, t, i), i) - \tau_s(k, t + m(k-1, t, i), i)] \quad (3)$$

$$\tau_e(k, t, i) = m(k, t, i) \cdot u + \frac{d(k) + \tau_s(k, t, i)v(k, t) - \sum_{j=0}^{m(k, t, i)-1} v(k, t+j)}{v(k, t + m(k, t, i))} \quad (4)$$

$$\tau_s(k+1, t + m(k, t, i), i) = \tau_e(k, t, i) - m(k, t, i) \cdot u \quad (5)$$

ここで各記号は以下のである。

$T(t, i)$: インターバル t の i 番目の車両の所要時間

$\tau_s(k, t, i)$: i 番目の車両が時間インターバル t の開始からセクション k へ流入したときまでの時間

$\tau_e(k, t, i)$: i 番目の車両が時間インターバル t の開始からセクション k を流出するまでの時間

$m(k, t, i)$: インターバル t においてセクション k を流出するのに要する時間インターバル数(現インターバルは含めない)

ここで、 $m(k, t, i)$ は以下により求める。

$$\max_{m(k, t, i)} d(k) + \tau_s(k, t, i)v(k, t) - u \sum_{j=0}^{m(k, t, i)-1} v(k, t+j) \geq 0 \quad (6)$$

走行軌跡推定手法による個々の車両の所要時間の推定は、以下の手順により行う。

Step0: i 番目の車両が、時間インターバル t の開始からセクション 1 へ流入したときまでの時間差 $\tau_s(l, t, i)$ を与える。

Step1: 式(6)により $m(k, t, i)$ を求める。

Step2: 式(4)により $\tau_e(k, t, i)$ を計算する。

Step3: $\tau_e(k, t, i)$ と $\tau_s(k, t, i)$ を用いてセクションの通過時間を算出する。

Step4: $k=K$ なら式(3)により $T(t, i)$ を求めて終了。そうでなければ次のステップへ行く。

Step5: 式(5)より、次のセクションへの流入時間差 $\tau_s(k+1, t+m(k, t, i), i)$ を求め、 $k=k+1$, $t=t+m(k, t, i)$ として Step1 へ戻る。

走行軌跡推定手法では、個々の車両の流入時間に応じて、走行軌跡の推定開始時間を任意に変えることができ、一台ずつの車両の走行軌跡を推定することができる。したがって、渋滞の伝播などを時間距離図上で表現することも可能である。さらに車両感知器の勢力範囲、時間インターバルの単位時間は任意に変えることができるため、交通状況の変動が大きな渋滞時における所要時間の推定精度の向上が期待される。

本研究では、インターバル t の平均所要時間を、インターバルの始めと終りに流入した車両の所要時間の平均値とした。

3. データの概要

(1) 対象とする名古屋高速道路の概要

本研究では、図2に示す名古屋高速道路1号楠線楠料金所から3号大高線大高出口までの南行き区間 18.15 km を対象にする。この区間の本線上には、約 500m 間隔で計 37 基の車両感知器が設置されている。また楠料金所付近と大高出口付近には、AVI が設置されている。本研究では、平成 15 年 1 月 14 日(火)~2 月 3 日(月)までの車両感知器と AVI のデータを用いて分析する。

(2) 車両感知器と AVI データ

名古屋高速道路では、1 ヘッドの存在型と 2 ヘッドの速度型の 2 種類の車両感知器が設置されており、車線ごとに 1 分間隔の交通量、速度、オキュパンシーが計測されている。ただし存在型の車両感知器では速度データが観測されないため、本研究では同じランプ間に設置されている速度型の車両感知器のデータから過去 1 時間分の車両の平均車長を算出し、これを用いて存在型の車両感知器の速度データを算出した。

本研究では、5 分間隔と 1 分間隔の車両感知器の速度データを用いて流入時刻ベースで所要時間を推定している。5 分間隔の車両感知器の速度データは、1 分間隔で計測された車両感知器のデータを集計することにより求めた。1 分間隔の車両感知器データは、1 分間隔という短

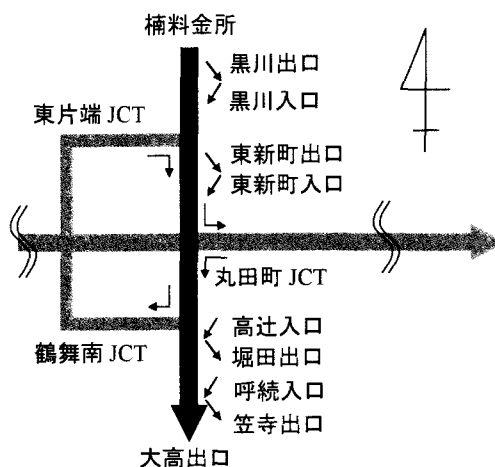


図2 対象とする名古屋高速道路ネットワーク

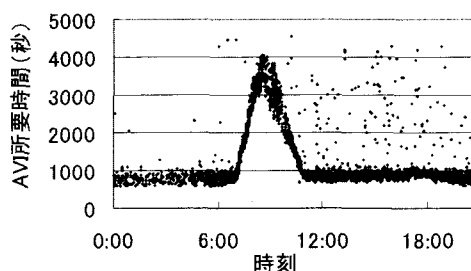


図3 マッチングされた各車両の所要時間

い時間インターバルであるため、交通量が少ない時間帯では速度が計測されない場合や変動が急激になるときがある。そこで速度が計測されなかった場合には、過去の5 インターバル分の速度データの平均値で補間した。また急激な変動は指数平滑化した値と比べて、一定以上の差があったときは指数平滑化した値と入れ替えることにより補正した。

本研究では、流入時刻ベースで集計された AVI の所要時間データを真値とみなし、流入時刻ベースの所要時間の推定を行う。実際にはこの値は、車両が対象区間を通過した後にしか集計もしくは推定されないため、その時点では既に過去の所要時間となる。流出時刻ベースでの所要時間の推定は、流入時刻ベースで推定した所要時間を流出時刻別に集計し直すか、提案モデルを下流側から上流側に適用することにより可能となる。AVI の所要時間データは、楠料金所付近の AVI で観測された車両のナンバープレート情報と大高出口付近の AVI で観測された車両のナンバープレート情報をマッチングさせることにより、各車両の所要時間を算出し、集計することで求めた。ただし、図3に示すように AVI で観測された個々の車両の所要時間には異常値が含まれることがある。そこで単位時間の平均所要時間として各車両の所要時間分布

表 1 従来手法と走行軌跡推定手法の推定精度

	相関係数	RMS 誤差	40km/h 未満 RMS 誤差
瞬時値	0.85	147 秒	1175 秒
タイムスライス値	0.93	84 秒	452 秒
走行軌跡推定手法	0.95	65 秒	269 秒

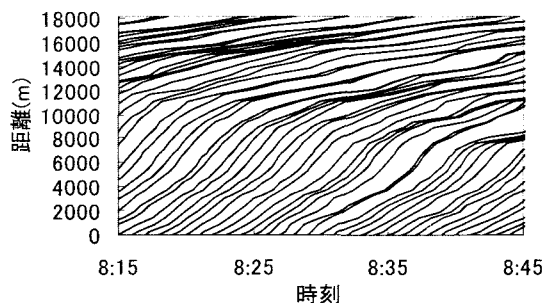


図 4 走行軌跡推定手法により推定された車両の軌跡

の中央値をとることとした。また 1 分間隔の AVI 所要時間は、車両感知器のデータと同様に、交通量が少ない時間帯では所要時間が計測されない場合や変動が急激になるときがある。所要時間が計測されない場合は、過去 5 インターバル分のデータを用いて補間した。また急激な変動は、指数平滑化することにより補正した。

4. 走行軌跡推定手法を用いたランプ間所要時間の推定

(1) 走行軌跡推定手法を用いた所要時間の推定精度

従来手法と走行軌跡推定手法により 1 分間隔の車両感知器データを用いて 3 週間分の所要時間を流入時刻ベースで推定した。表 1 に相関係数、RMS 誤差、平均走行速度が 40km/h 未満であったときの RMS 誤差を示す。表より推定精度は、走行軌跡推定手法、タイムスライス値、瞬時値の順で高くなっていることがわかる。特に車両の平均走行速度が 40km/h 未満であったときの走行軌跡推定手法では、従来手法と比べて大きく誤差を減少できていることがわかる。

走行軌跡推定手法により推定された車両の走行軌跡の一例を図 4 に示す。渋滞が上流側に伝播してくることによる走行軌跡の変化が捉えられていることがわかる。

図 5 に走行軌跡推定手法を用いた所要時間の推定結果を示す。走行軌跡推定手法を用いた所要時間の推定結果は、混雑があまり激しくない状況では、比較的高い推定精度が得られていることがわかる。しかしながら所要時間が大きくなるほど推定誤差が大きくなっており、過小推定の傾向があることがわかる。

推定に用いたデータの中で、最も渋滞が激しかった平成 15 年 1 月 24 日(金)の AVI と推定した所要時間

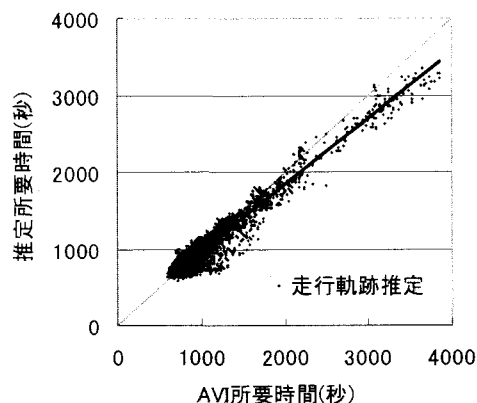


図 5 走行軌跡推定手法による所要時間の推定結果(1)

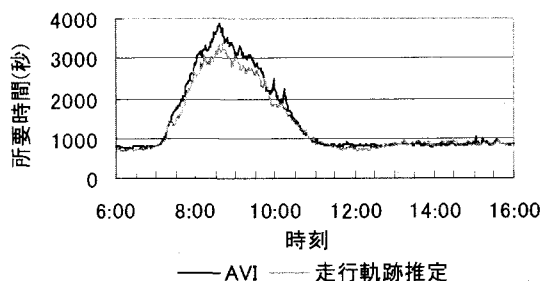


図 6 走行軌跡推定手法による所要時間の推定結果(2)

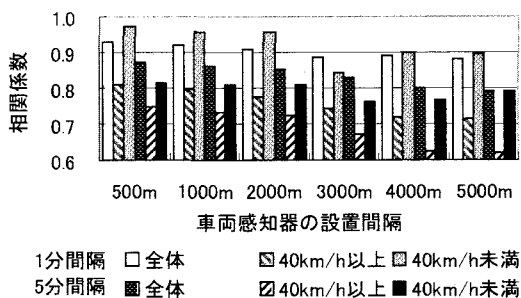


図 7 車両感知器の設置間隔と相関係数

の時間変動を図 6 に示す。渋滞時の推定所要時間は AVI 所要時間と比べて過小になっていることがわかる。

(2) 車両感知器の設置間隔と推定誤差の関係

所要時間の推定誤差の発生要因としては、車両感知器の観測精度やデータ補正方法、車両感知器の設置間隔などが考えられるが、ここでは車両感知器の勢力範囲内での速度変動が、推定精度に与える影響を分析するために、同じ補正データを用いて車両感知器の設置間隔を 500m ～5000m まで変化させ、走行軌跡推定手法を用いてランプ間所要時間を推定した。また所要時間の推定には 1 分間隔と 5 分間隔の速度データを用いた。図 7～図 9 に車両感知器の設置間隔と相関係数、RMS 誤差、相対 RMS

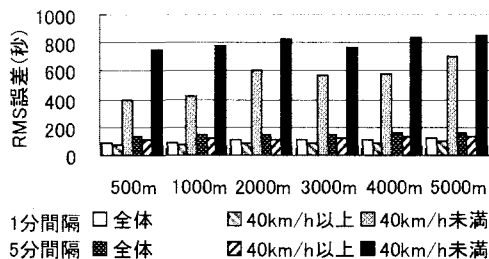


図8 車両感知器の設置間隔と RMS 誤差

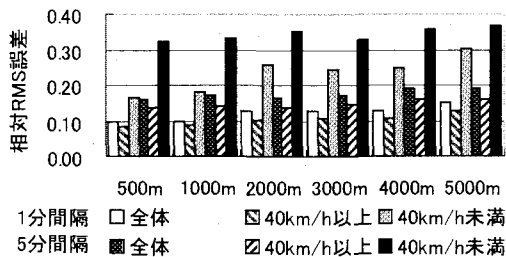


図9 車両感知器の設置間隔と相対 RMS 誤差

誤差の関係を全体、車両の平均走行速度が 40km/h 以上のとき、40km/h 未満のときに分けて示す。図より車両感知器の設置間隔が短いほど推定精度が高いことがわかる。特に渋滞時においては、車両感知器の設置間隔が広がるにつれて、推定精度が平常時よりも急激に低下していくことがわかる。所要時間の推定に用いる時間インターバルは、5 分間隔より 1 分間隔の方が高い推定精度を得られており、車両感知器の設置間隔の違いによる推定精度の差よりも、時間インターバルの違いによる推定精度の差の方が大きいことがわかる。また車両感知器の設置間隔が短いほど、時間インターバルの差による推定精度の差が大きいことがわかる。

(3) オキュパンシーの変動と推定誤差の回帰分析

走行軌跡推定手法を用いたランプ間所要時間の推定誤差の発生要因を明らかにするために、所要時間の推定誤差を目的変数、各セクションのオキュパンシーの変動を離散化し、集計したものを説明変数とした回帰分析を行った。表 2 に分析結果を示す。

ランプ間所要時間の推定誤差は、現在のオキュパンシーが 1 インターバル前のオキュパンシーと比べて 7.5% 以上増加している場合と 12.5% 以上減少している場合に増加していることから、オキュパンシーの変動が大きいほど所要時間の推定誤差が増大していることがわかる。これは、1 分間隔の時間インターバルで約 500m の勢力範囲の中でも、オキュパンシーが大きく変動するような渋滞流と非渋滞流の遷移部分では車両の速度が勢力範囲内で変動していることによるものと思われる。なお重相関係数は 0.66 と高い値ではないものの、多くの偏回帰係数が 1% 有意となっている。

5. 速度変動考慮型モデルによる所要時間の推定

これまでの分析から車両感知器の設置間隔を短くし、推定に用いる時間インターバルを短くすることで所要時間の推定精度の向上が期待できることが明らかになった。しかしながら、約 500m の設置間隔で 1 分間隔の車両感知器の速度データを用いても、オキュパンシーが大きく変動するような渋滞流と非渋滞流の遷移部分では推定誤

表 2 オキュパンシーの変動と推定誤差

説明変数	偏回帰係数	t 値
-12.5%以上	19.148	11.725**
-12.5%~7.5%	-4.468	4.855**
-7.5%~2.5%	-3.984	10.004**
-2.5%~0%	-1.371	4.648**
0%~2.5%	-0.397	1.280
2.5%~7.5%	-0.888	2.027*
7.5%~12.5%	4.852	5.293**
12.5%以上	27.310	18.322**
定数項	75.392	5.855**
重相関係数	0.660	

*:5%有意, **:1%有意

差が大きくなることが明らかとなった。

そこで本研究では、さらに車両感知器の設置間隔と推定に用いる時間インターバルを短くすることで、推定精度を向上できるものと考えた。しかしながら、実際に車両感知器の設置間隔や推定に用いる時間インターバルをこれ以上短くすることはできない。そこで図 10 に示すように、同一セクションの 1 インターバル前との速度差が、ある一定以上あったときに車両感知器の勢力範囲を 6 等分、時間インターバルを 6 等分した。それぞれの分割されたセルには、同一セクションの 1 インターバル前との速度変動を考慮した値を割り当てることにした。

本研究では渋滞の伝播を考慮し、斜めに 3 種類の速度を割り当てた。現在のインターバルの速度が 1 インターバル前の速度と比べて減少しているときには、図のように右下がりに斜めに速度を割り当てた。まず図の左下半分には、1 インターバル前の速度から現在のインターバルの速度を引いた値に 5/6 乗じた値を割り当てた。5/6 という値は、速度差を比例配分すると考えたときに一番左側のセルに割り当てられる値である。図の対角部分には、現在のインターバルの速度を割り当てた。図の右上半分には、1 インターバル前の速度から現在のインターバルの速度を引いた値に -5/6 乗じた値を割り当てた。現在のインターバルの速度が 1 インターバル前と比べて増加しているときは、右上がりに斜めに速度を割り当てた。こ

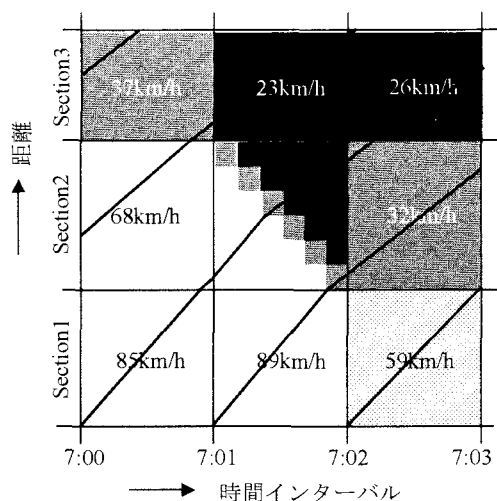


図 10 速度変動を考慮したランプ間所要時間の推定手法

のような速度の割り当ては、セル内でのショックウェーブの伝搬を対角線の傾きで近似していることになる。

図 11 に速度変動を考慮した所要時間の推定手法と走行軌跡推定手法による所要時間の推定結果を示す。図より、速度変動を考慮した所要時間の推定手法は、走行軌跡推定手法よりも若干ではあるが良い推定結果が得られていることがわかる。しかしながら所要時間が非常に大きくなったときは、依然として推定誤差が大きくなっていることがわかる。なお相関係数は 0.95, RMS 誤差は 65 秒であり、全体的な推定精度は走行軌跡推定手法による所要時間の推定精度と同じであった。ただし、車両の平均走行速度が 40km/h 未満であった場合の RMS 誤差は 207 秒となっており、走行軌跡推定手法よりも 60 秒以上誤差を減少させることができた。

6. 調査走行軌跡と推定走行軌跡

(1) フローティング調査の概要

ここでは車両の走行軌跡データの観測値を得るために行ったフローティング調査の概要を示す。調査は平成 15 年 1 月 20 日(月), 1 月 21 日(火), 1 月 22 日(水), 1 月 27 日(月), 2 月 3 日(月)に行った。調査時間は午前 6 時から 12 時までとした。調査区間は、名古屋高速道路 1 号楠線楠料金所から 3 号大高線大高出口までの南行き区間 18.1 5km とした。調査では GPS レシーバーを搭載した車両が 20 分間隔で楠料金所から流入し、調査区間を走行することで 1 秒ごとの車両の位置(緯度経度)を計測した。またデジタルビデオカメラを用いて車両前方を撮影することにより、車両の走行位置や前方の交通状況を記録した。

(2) 走行軌跡の推定

調査時に撮影した画像から、調査車両が走行した車線

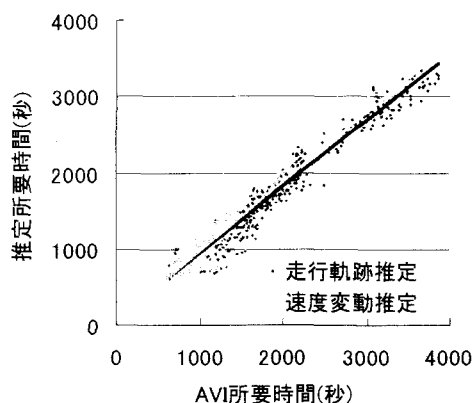


図 11 速度変動を考慮した推定手法による推定結果

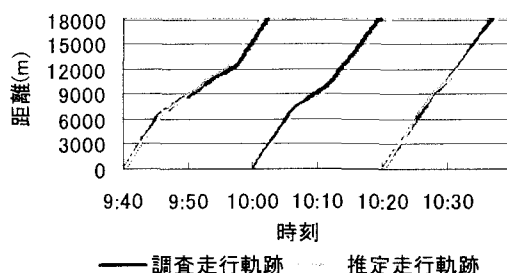


図 12 調査走行軌跡と推定走行軌跡の関係

をセクションごとに求めた。そして調査車両が走行した車線の車両感知器の速度データを用いて、走行した車線にそった走行軌跡を走行軌跡推定手法により推定した。

図 12 に、調査によって得た走行軌跡と調査車両が走行した車線の速度データを用いて推定した走行軌跡の関係を示す。調査走行軌跡と推定した走行軌跡は、ほぼ重なっていることがわかる。なお調査時の所要時間と推定した所要時間の相関係数は 0.93, RMS 誤差は 56 秒となった。ただし調査では、渋滞が激しい時のデータが得られておらず、渋滞時の走行軌跡の推定精度は検証できなかった。このことから、混雑があまり激しくない状況においては提案するモデルにより、所要時間のみならず個々の車両の走行軌跡も精度良く推定できることがわかった。

7. 車線利用指数モデルによる所要時間の推定手法

ここでは速度変動を考慮した所要時間の推定手法を改良した、より精度の高い所要時間の推定手法を提案する。フローティング調査時の調査車両の走行軌跡を推定した結果から、車両が走行した車線の車両感知器の速度データを用いてランプ間の所要時間を推定することができれば、正確な推定結果が得られることが明らかになった。ただし、実際に個々の車両が走行する車線を捉えることは困難である。

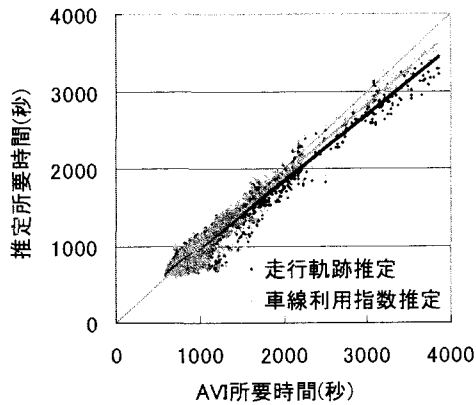


図 13 車線利用指数を用いた所要時間の推定結果(1)

そこで本研究では、車線利用指数を用いてランプ間の所要時間を推定する手法を提案する。車線利用指数を用いた所要時間の推定では、はじめに車線別の車両感知器の速度データを用いて、セクションごとで速度が遅い車線の速度データを用いて所要時間を推定する。次に速度が速い車線の速度データを用いて所要時間を推定する。そして、推定した所要時間とAVIの所要時間を比較することにより、以下の車線利用指数を算出する。

$$t_{avi} = \alpha t_1 + (1 - \alpha) t_2 \quad (7)$$

ここで α は最遅車線の利用指数、 t_{avi} はAVIの所要時間、 t_1 は最遅車線の、 t_2 は最早車線の所要時間である。

本研究では、平均走行速度が40km/h以上の場合と40km/h未満の場合の2つの場合を考え、式(7)を用いてそれぞれの場合の α を算出し、所要時間の推定値を求めた。

図13と図14に車線利用指数を用いたランプ間の所要時間の推定結果を示す。図より、車線利用指数による所要時間の推定結果は、速度変動を考慮した所要時間の推定結果と比べ、特に所要時間が非常に大きくなった場合に推定精度が向上していることがわかる。また走行軌跡推定手法と比べて、渋滞時の所要時間の時間変動を追従できていることがわかる。

表3に走行軌跡推定手法、速度変動を考慮した推定手法、車線利用指数による推定手法のそれぞれの相関係数、RMS誤差、車両の平均走行速度が40km/h未満であったときのRMS誤差を示す。車線利用指数による推定精度は、平常時では他の手法と比べて差はないものの、渋滞時には大幅に誤差を減少できていることがわかる。

8. おわりに

本研究では、車両感知器データを用いて個々の車両の走行軌跡と平均所要時間を同時に精度良く推定する手法を提案した。はじめに、従来から所要時間の推定に用い

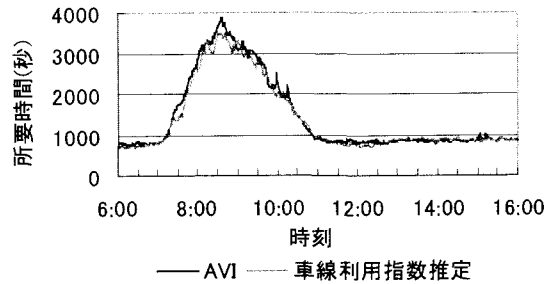


図 14 車線利用指数を用いた所要時間の推定結果(2)

表 3 提案した各推定手法の推定精度

	相関係数	RMS 誤差	40km/h 未満 RMS 誤差
走行軌跡推定	0.95	65 秒	269 秒
速度変動推定	0.95	65 秒	207 秒
利用指数推定	0.95	64 秒	187 秒

られている瞬時値およびタイムスライス値と、提案手法による推定値の結果を比較した。続いて、車両感知器の設置間隔と時間インターバルが所要時間の推定精度に及ぼす影響や推定誤差の要因を分析し、車両感知器の勢力範囲内で速度が変動する場合に誤差が大きくなることがわかった。そこで、特に渋滞時における所要時間の推定精度を向上させるため、セクションと時間インターバルを分割し、分割されたそれぞれのセルに速度変動を考慮した速度データを割り当てて所要時間を推定する速度変動考慮型モデルを提案した。さらに精度を向上させるため、車線ごとに推定した所要時間データを用いた車線利用指数モデルを提案した。以下、本研究で得られた主な知見をまとめる。

- ① 本研究で提案した走行軌跡推定手法により、所要時間を高い精度で推定できることがわかった。また、従来から用いられている瞬時値、タイムスライス値との比較より、本提案モデルの方が優れていることがわかった。
- ② 推定誤差の分析の結果、精度良く所要時間を推定するためには、車両感知器の勢力範囲内で速度が変動しないような短い設置間隔を用いる必要があることがわかった。また推定に用いる時間インターバルも5分間隔よりも1分間隔の方が高い推定精度が得られることが明らかになり、特に時間変動が大きくなる渋滞時にその傾向が強くなった。
- ③ 速度変動考慮型モデルによる推定結果は、平常時における精度は変化がなかったものの、渋滞時においてはRMS誤差を60秒以上減少させることができた。
- ④ 車線利用指数モデルによる推定結果は、速度変動考慮型モデルよりも、特に渋滞時において所要時間の推定精度を向上させることができた。

今後の課題としては、分割された個々のセルに渋滞の伝播・解消をより正確に表現可能な速度データを割り当てる手法を開発する必要がある。また車線利用指数を用いた所要時間の推定手法においては、車線利用指数の算出に AVI の所要時間を用いているため、AVI 未設置区間においては直接的に車線利用指数を算出できない問題がある。したがって AVI の所要時間を用いずに車線利用指数を算出する手法を検討する必要がある。

参考文献

- 1) 尾上一馬, 永田恭裕, 黒岡亮, 長谷川利治: 道路交通情報の提供が交通対応行動に及ぼす影響に関する事例研究, 土木計画学研究・講演集, No.22(1), pp.335-338, 1999.
- 2) 高野明, 宇野伸宏, 飯田恭敬, 長沼敏彦, 大藤武彦: 都市高速道路における交通管制方策適用時の経路選択分析, 土木学会年次学術講演会講演概要集, No.56, CD-ROM, 2001.
- 3) 舟橋賢二, 西村茂樹, 堀口良太, 赤羽弘和, 桑原雅夫, 小根山裕之: VICS蓄積データを用いた旅行時間短期予測手法に関する研究, 土木計画学研究・講演集, No.27, CD-ROM, 2003.
- 4) 上野秀樹, 大場義和, 桑原雅夫: 所要時間履歴情報を用いた走行所要時間予測モデルの研究, 交通工学研究発表会論文報告集, No.42, pp.169-172, 2002.
- 5) Shamas ul Islam Baijwa, Edward Chung, Masao Kuwahara: Travel time prediction on expressways using traffic detectors, 土木計画学研究講演集, Vol.26, 2002.
- 6) 割田博, 森田紳之, 桑原雅夫, 田中淳: 統計的手法による所要時間情報提供に関する研究, 土木計画学研究・講演集, No.27, CD-ROM, 2003.
- 7) 名古屋高速道路協会: 名古屋高速道路交通流現象に関する研究検討会報告書, 2002.
- 8) K.S. Chan, Z. Zhu, William H.K. Lam: Estimation of travel time on expressway with speed detector data, World Congress of Transportation Research Conference, 2001.
- 9) 鈴木宏典・中辻隆: フィードバック原理に基づく交通状態推定手法を応用した高速道路上起終点旅行時間の推定, 土木学会論文集, No.695, pp.137-148, 2002.
- 10) 井上矩之, 秋山孝正, 松尾武: 阪神高速道路の旅行時間予測方法について, 土木学会年次学術講演会講演概要集, No.42, pp.54-55, 1987.
- 11) 堀口良太, 高橋秀喜, 折野好倫, 尾高寛信: アップリンクを利用した旅行時間と地点速度データに基づく旅行時間の誤差要因に関する理論的考察, 第23回交通工学研究発表会論文報告集, pp.117-120, 2003.
- 12) 村上陽二郎, 巻上安爾: 渋滞区間及び長距離区間におけるAVIを用いた旅行時間計測システムの検証, 交通工学研究発表会論文報告集, No.15, pp.61-64, 1995.
- 13) 本間正勝, 石上晃, 鹿島茂: 超音波式車両感知器による交通量計測の変動特性に関する研究, 土木学会年次学術講演会講演概要集, No.58, CD-ROM, 2003.
- 14) 田中卓也・大蔵泉・中村文彦・平石浩之: GPSバス位置情報データを用いた高速道路での所要時間特性に関する研究, 土木学会年次学術講演会講演概要集, No.58, CD-ROM, 2003.
- 15) 岡本篤樹, 田名部淳, 羽藤英二, 朝倉康夫: 車速システムを用いた走行車両データの解析, 土木計画学研究・講演集, No.22(1), pp.579-582, 1999.
- 16) 例えば, 齋藤純一, 割田博, 田中淳: 事故・工事時における所要時間予測手法に関する研究, 第22回交通工学研究発表会論文報告集, pp.173-176, 2002.
- 17) 例えば, 割田博, 吉田寛: 首都高速道路における所要時間変動特性の分析, 第22回交通工学研究発表会論文報告集, pp.61-64, 2002.

車両感知器データを用いた都市高速道路における車両の走行軌跡と所要時間の同時推定*

松葉一弘**・松本幸正***・杉原良紀****

本研究は車両感知器データを用いた精度の高い所要時間の推定手法の開発を目的とした。はじめに個々の車両の走行軌跡を推定する手法を提案し、従来から使われている瞬時値とタイムスライス値と比較した。また所要時間の推定精度の向上可能性について検討し、その結果をもとにセクションと時間インターバルを分割して、分割されたそれぞれのセルに速度変動を考慮した速度データを割り当てて所要時間を推定する手法を提案した。また車線利用指数を用いて所要時間を推定する手法を提案した。その結果、両手法ともに走行軌跡推定手法の推定誤差を大きく減少させることができた。特に渋滞時において所要時間の推定精度を向上させることができた。

Estimation of vehicle trajectories and travel times on urban expressway from traffic counts*

By Kazuhiro MATSUBA**・Yukimasa MATSUMOTO***・Yoshinori SUGIHARA****

The estimation model of travel times which considers the time and spatial transition of traffic flow is proposed to improve the travel time estimates even under quickly-changing traffic condition. The proposed model estimates vehicle trajectories and travel times simultaneously from traffic counts and is suitable even when traffic congestion occurs. The verification of the model was conducted with traffic counts observed on Nagoya Expressway. As a result, travel times were estimated more accurately by the proposed model than the traditional models, especially, when there was traffic congestion.