

バスロケーションシステムデータとデジタルタコグラフデータによる一般車両の走行軌跡推定

Estimation of Trajectories of Ordinary Vehicles Based on Data Acquired by a Bus Location System and a Digital Tachograph System

○坂本 勇太¹, 松尾 春香², 財津 陽亮³, 赤羽 弘和⁴

○Yuta SAKAMOTO¹, Haruka MATSUO², Zaitu YOSUKE³, Hirokazu AKAHANE⁴

道路網における旅行速度の時空間分布を常時観測し、旅行時間の期待値および信頼性指標値を把握することは、今や道路サービス水準の評価のために必須である。これらの観測には、従来の車両感知器データ等に加えて一般車両のプロープデータの活用も実現しつつある。しかし後者による観測ではプロープ情報利用車（同情報提供車）が渋滞区間を迂回するために、それらの区間の観測サンプルが不足する可能性がある。本研究は、路線バスをプロープ車両として活用することにより、一般車両によるプロープデータを時空間的に補完することを目的とした。そのため、バスロケーションシステムデータと、それにより時刻補正したデジタルタコグラフデータとを統合利用して一般車両の走行軌跡を推定し、その精度を一般車プロープデータとの比較により検証した。

Keywords: プロープデータ, デジタルタコグラフ, バスロケーションシステム, 走行軌跡, 旅行時間

1. はじめに

道路網における旅行速度の時空間分布を常時観測し、旅行時間の期待値および信頼性指標値を把握することは、道路交通のサービス水準の評価に最早必須である。

これらの観測には、従来の車両感知器データ等に加えて一般車両のプロープデータの活用も実現しつつある。しかし後者による観測では、プロープ情報提供車、すなわち同情報利用車が渋滞区間を迂回するために、それらの区間の観測サンプルが不足する可能性がある。

村上ら¹⁾は、バスプロープ調査に基づき、バス路線の起終点間及び特定区間を対象として、重回帰分析により旅行時間を推定する手法、及びバス停停止判別に基づく速度補正手法を提案した。塩見ら²⁾は、バスプロープデータにより都市道路網における所要時間分布に交通信号、沿道の商業地域の割合、指定最高速度、1車線当たりの交通量が影響していることを明らかにした。永廣ら³⁾は、バスプロープデータを活用し、バス運行道路網の任意のOD間の所要時間分布を推定するための方法論を提案した。松中ら⁴⁾はバス停停車挙動による影響を簡便に除去可能なデータ処理プログラムを開発した。

最所ら⁵⁾は、従来の巨視的な分析、推定手法に代え、バスロケーションシステムデータを基本とし、個々のバス停間での加減速と巡航走行との組合せ状況を推定し、巡航走行状態のみを抽出して一般車の走行軌跡を推定し

た。当該手法においては、バスにプロープデータ収集装置を暫定搭載した事前調査により、バス停前後における平均加・減速度をパラメータとして設定することが、普及への課題となった。

本研究が提案する一般車の走行軌跡の推定手法においては、財津ら⁶⁾の方法で時刻及び位置を補正したデジタルタコグラフデータとバスロケーションシステムデータとの統合利用により、前述の推定パラメータの事前設定が不要となり、推定精度も向上する。これにより、プロープサンプル数の増大、その時空間的な平準化、収集費用の低廉化、バスロケーションシステムの導入・運用費用の回収方法の多角化が期待される。

2. 走行軌跡推定と精度検証に使用したデータ

表1に示すように、バスロケーションシステム、デジタルタコグラフ、一般車プロープ、ナンバープレート調査の計4種類の方法で走行データ等を収集した。

図1に示すように、バスロケーションシステムは、基本的にはバス停での閉扉時に、加えてバス停間走行中に3分が経過する毎に、位置情報を記録、送信する。これによりバス停停止と赤信号による停止等を識別できる。

路線バスにおいてはタコグラフによる走行状況の記録が法定されており、本調査においてもバスロケーションシステムデータと並行して記録されたデジタルタコグラフデータも利用する。後者による0.5秒間隔の走行軌

1 学生会員, 千葉工業大学大学院工学研究科

2 非会員, (株)千代田コンサルタント

3 正会員, (株)トラフィックプラス

4 正会員, 工博, 千葉工業大学工学部建築都市環境学科

跡データに、前者の測位点が、ほぼ同期する。しかし、微視的には、デジタルタコグラフの時刻データには数秒程度の時間変動するバイアス誤差があり、同期精度には改善の余地がある。

本研究では、財津ら⁹⁾の方法により、GPS 信号に基づいて時刻及び測位データが高精度なバスロケーションシステムデータを参照し、デジタルタコグラフの時刻及び位置データを補正して用いた。この補正により、時刻補正誤差は、55 走行中 54 走行で±1～2 秒程度に収まることを確認している。

本研究では、バスロケーションシステムデータ及び補正済みのデジタルタコグラフデータとにより、バス停停止及びバス停前後の加減速の影響を除去して、一般車走行軌跡を推定した。その推定精度を、一般車プローブデータ及びナンバープレート調査データにより検証した。

ナンバープレート調査データに関しては、調査区間内における立ち寄り等の影響を除去するため、調査区間における各車両の平均走行速度をロバスト推定している⁵⁾。

表 1 収集データの仕様

収集方法	更新間隔	調査機関	区間長 [km]	閉扉記録	サンプル数[台]
バスロケーションシステム	3 分バス閉扉時	平成 22 年 9/13(月)～9/19(日)	8.78	有	45
デジタルタコグラフ	0.5 秒		8.78	無	2
一般車プローブ	1 秒	平成 22 年 9/15(水)	8.78		4
ナンバープレート調査			3.26		4837

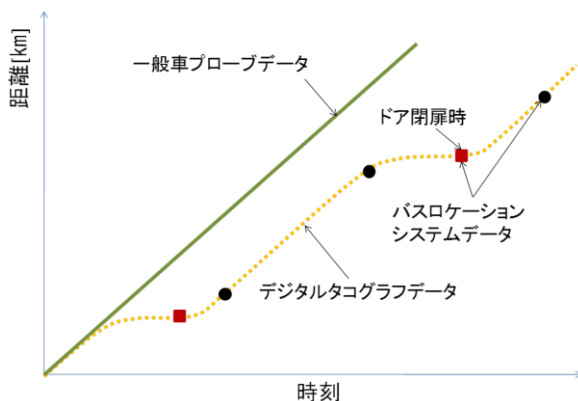


図 1 各種データに基づく走行軌跡推定概念

3. データ収集路線

バスと一般車の走行特性差を把握するため、次の条件のもと調査対象路線を選定した。図 2 に、路線を示す。

① バスの走行条件

以下のように、一般車両と可能な限り類似の運行条件が期待される路線で、バス運行データを収集した。

- 1) 同一ドライバーにより一連運行される
- 2) バスレーンが未設置

② 一般車の走行条件

以下のように、バス停停車の影響有無を検証できるような条件で、走行データを収集した。

- 1) 片側 1 車線および片側 2 車線
- 2) 比較的交通量の少ない郊外部と交通量の多い都市部を含む

③ ナンバープレート調査

図 2 の、片側 1 車線と同 2 車線との境界点直近の平尾バス停、およびその前後の小笠バス停、美野島バス停において、ナンバープレートおよび通過時刻を記録した。

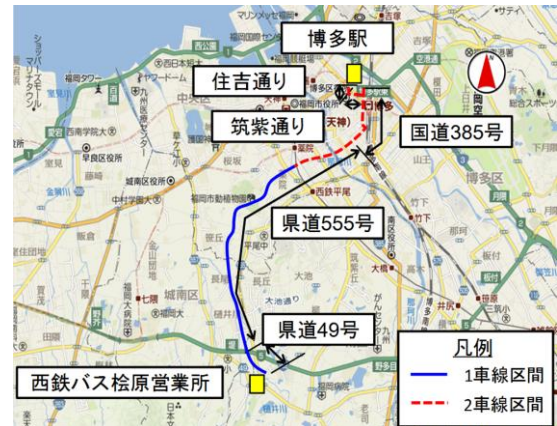


図 2 調査対象路線

4. 一般車両の走行軌跡の推定方法

バスのデジタルタコグラフデータの補正による、一般車両の走行軌跡の推定方法は、次の通りである。

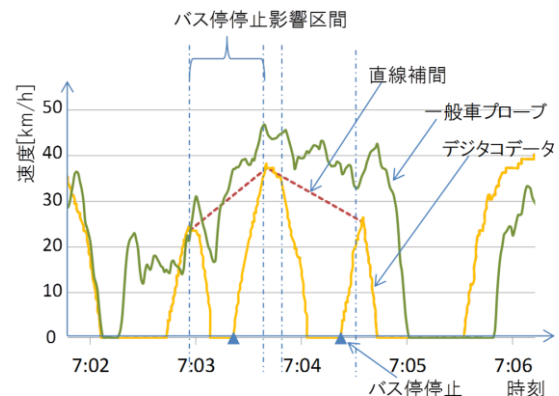


図 3 バス停前後の加減速の補正概念

① バス停停止補正

バス停停止の影響を補正するために、バスの減速開始～バス停停止～加速終了までの区間の走行速度を直線補間した。図 3 に、その概念を示す。

② バス停通過補正

バス停通過時も乗客の有無を確認する際に減速するので、そのような区間においても、バス停停止補正と同様に速度を直線補間した。

③ 高域速度補正

図 4 には、バスのデジタルタコグラフデータによる走

行速度と、同一位置を同一時間帯に走行した一般車プローブの走行速度の散布図を示す。同図に示されるように、相対的に走行速度が高い領域で、一般車とバスとの走行速度差が大きくなる。表2に、一般車の走行速度がバスを上回り始める20[km/h]以上において、双方の車線別の平均速度を示す。これらの走行速度の比率により、デジタルタコグラフデータの走行速度を補正した。

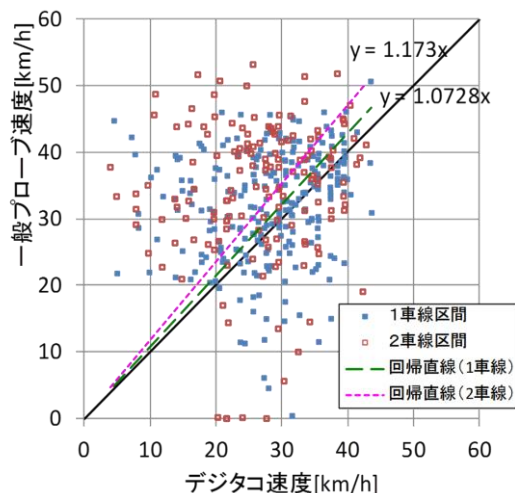


図4 100m毎の走行速度比較

表2 データ別区間別の平均旅行速度

平均速度 [km/h]	片側1車線 区間	片側2車線 区間
バス	30.03	29.36
一般車	32.48	34.57
速度比率	1.08	1.18

5. 一般車の走行軌跡の推定例と各種補正効果

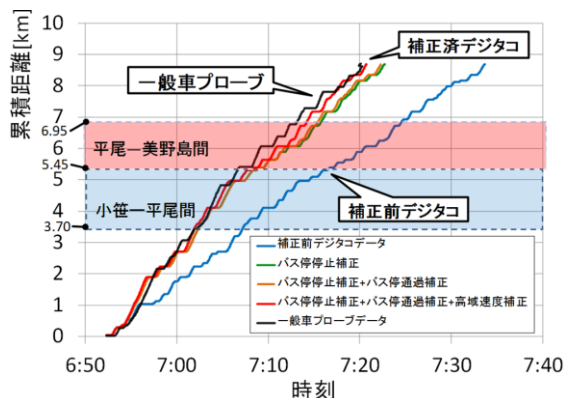


図5 走行軌跡推定結果

図5にデジタルタコグラフデータ、一般車走行軌跡推定して補正したデジタルタコグラフデータ、一般車プローブデータとの関係例を示す。

4.で述べた順に補正を重ねるに連れ、一般車の推定走行軌跡は同プローブデータの走行軌跡に近づき、推定精度が向上することを確認した。

バス停止の補正効果が最大で、その他の補正効果は補助的な水準である。しかし、特に各バス停への到着時刻などの途中経過に関する情報を一定精度で推定するためには、各補正手法がそれぞれ寄与し得ることを確認した。

6. 旅行速度および旅行時間の推定精度の検証

6.1 ナンバープレート調査による推定旅行速度の検証

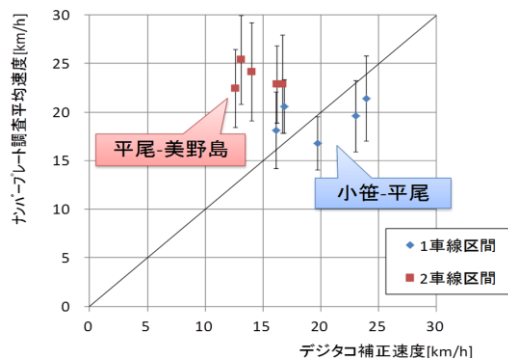


図6 旅行速度の精度検証結果

図5に示す2区間で、ナンバープレート調査データにより、一般車走行軌跡推定結果の精度を当該区間の平均速度および標準偏差を参照して検証した。

図6は、一般車の軌跡を推定したデジタルタコグラフデータ（全5走行）の旅行速度と、同時間帯のナンバープレート調査データによる平均旅行速度と標準偏差の関係を示す。同図よりナンバープレート調査データの平均速度は、片側2車線の平尾-美野島間におけるよりも、片側1車線の小笹-平尾間において相対的に低い。前者の分布は後者よりも原点を通る直線に近く、相対的にデジタルタコグラフデータに基づく補正平均速度の精度は高い。

このように、より低速な、あるいは渋滞状況において、デジタルタコグラフデータに基づく推定精度は高く、一般車プローブの補完手段として望ましく、実用的な機能上の特徴を有していると評価できる。

6.2 一般車プローブによる推定旅行時間の精度検証

デジタルタコグラフデータによる一般車の推定旅行時間の精度を、式(1)、(2)の指標値により評価した。

$$\text{平均誤差率} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{t_{ei} - t_i}{t_{ei}} \right| \quad (1)$$

$$\% \text{RMS誤差} = \frac{100}{t} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_{ei} - t_i)^2}{n}} \quad (2)$$

ここで、 t は各一般車プローブの旅行時間、 t_e はデジタルタコグラフデータに基づく一般車両の推定旅行時間、 t_i は一般車プローブの平均旅行時間、 i は走行ケース番号、 n は走行サンプル数である。

表3と図7に、評価結果を示す。%RMS誤差に関しては、バス停停止補正の効果が大半を占めた。一方、平均誤差率に関しては、バス停通過補正と高域速度補正の効果も

あり、各種補正を重ねるごとに推定精度が相対的に向上することを確認した。

表 3 推定旅行時間精度検証結果

		デジ タコ	バス停 停止補 正①	①+バ ス停通 過補正 ②	①+② +高域 速度補 正
平均誤差 [分：秒] (平均誤差 率[%])	1 車線 区間	06:20 (32.5)	01:05 (5.4)	01:04 (5.3)	01:20 (6.9)
	2 車線 区間	04:27 (30.5)	02:10 (15.1)	02:03 (14.2)	01:51 (13.7)
	全 区間	10:16 (30.1)	02:48 (8.2)	02:36 (7.6)	01:45 (5.5)
RMS 誤差 [分：秒]	全 区間	06:50	02:51	02:42	02:51
%RMS 誤差		32.5	8.8	8.1	8.6

注) 全 5 走行のデジタルタコグラフデータを使用

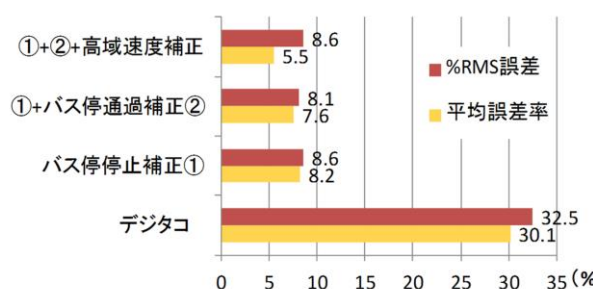


図 7 精度検証結果(全 5 走行)

6.3 加減速度一定モデルとの精度比較

表 4 に、最所ら⁵⁾の手法と本研究の推定手法の精度を比較した結果を示す。平均誤差率、%RMS 誤差に関し、ともに前者から後者で大幅に精度向上することを確認した。

表 4 旅行時間の推定精度の比較

	最所ら ⁵⁾ による推 定旅行時 間	バス停停止補正 +バス停通過補正 ++高域速度補正
平均誤差[分：秒]	4:47	0:41
平均誤差率[%]	14.8	2.0
RMS 誤差[分：秒]	5:03	0:51
%RMS 誤差[%]	15.86	2.52

7. 結論と今後の展開

本研究では、デジタルタコグラフデータとバスロケーションシステムデータを統合利用することにより、バス停における閉扉時刻を正確に把握するとともに、その前後における加減速やバス停停止等を補正することにより、一般車両の走行軌跡を推定する手法を開発した。その結

果は、以下のようにまとめられる。

- ① デジタルタコグラフデータにより推定した一般車の走行軌跡を、ナンバープレート調査データにより精度を検証した。その結果、より低速な、あるいは渋滞状況において、デジタルタコグラフデータに基づく推定精度は高く、一般車プローブの補完手段として望ましく、実用上の特徴を有していると評価できる。
- ② 一般車プローブデータとの比較では、デジタルタコグラフデータに補正を重ねるに連れて一般車旅行時間の推定精度が相対的に向上することを確認した。
- ③ 最所ら⁵⁾の一般車走行軌跡の推定手法と比較し、平均誤差および RMS 誤差の双方において、本研究の推定手法の優位性を確認した。

デジタルタコグラフデータを補正した結果として、それを収集したバスが実際に遭遇した交通状況と、推定した走行軌跡状で遭遇する交通状況とに、較差が発生する。交通渋滞の発生状況に差がある場合には、推定精度への影響も無視できないと想定されるため、これを補正することが今後の課題である。

謝辞

本研究で使用したデジタルタコグラフデータとバスロケーションシステムデータは、株式会社西日本鉄道より提供を受けた。また、(株)トラフィックプラス・南部繁樹氏からは、データ収集及び処理に関して、数々の有用な示唆と支援を受けた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 村上則男, 宇野伸宏, 飯田恭敬, 中川真治: 所要時間変動評価を目指したバスプローブデータ補正方法, 土木計画学研究・講演集(秋大会), Vol. 30, CD-ROM, 2004.
- 2) 塩見康博, 宇野伸宏, 森脇啓介: バスプローブデータを用いた都市道路網交通サービス水準変動要因分析, 第29回交通工学研究発表会論文報告集, pp.101-104, 2009.
- 3) 永廣悠介, 宇野伸宏, 飯田恭敬, 田村博司, 中川真治: バスプローブデータを利用した所要時間信頼性評価手法の構築, 土木計画学研究・講演集(春大会), Vol. 31, CD-ROM, 2005.
- 4) 松中亮治, 谷口守, 端戸裕樹: バスプローブデータを用いた一般車両走行速度の推計方法に関する研究, 土木計画学研究・講演集(秋大会), Vol. 32, CD-ROM, 2005.
- 5) 最所崇, 財津陽亮, 南部繁樹, 赤羽弘和: 一般車データとの高精度統合が可能なバスプローブデータの収集・加工システムの開発, 交通工学研究会, 第31回交通工学研究発表会論文報告集, CD-ROM, 2011.
- 6) 財津陽亮, 南部繁樹, 赤羽弘和: デジタルタコグラフデータのバスロケーションシステムデータによる時刻補正, 第31回交通工学研究発表会論文報告集, CD-ROM, 2013.