

所要時間変動評価を目指したバスプローブデータ補正法

A Practical Approach to Correct Bus Probe Data for Evaluating Variation of Travel Time

村上則男^{*}・宇野伸宏^{**}・飯田恭敬^{***}・中川真治^{****}

By Norio MURAKAMI^{*}, Nobuhiro UNO^{**}, Yasunori IIDA^{***}, Shinji NAKAGAWA^{****}

1. はじめに

近年、広範囲の道路交通状況を詳細かつ動的に把握するため、プローブカーの利用が推進されている。交通データの計測が従来型の地点計測から空間的な計測へと展開され、従来のインフラ依存の観測では非観測区間であったリンク等を含めてネットワークとして動的な交通データ収集が可能になる。このプローブデータを有効活用して、道路ネットワークが提供する交通サービスを多面的に評価するための方法論の構築は非常に重要な課題と言える。

本研究では国土交通省近畿地方整備局管内で積極的に展開されている路線バスによるプローブ調査（以下では「バスプローブ」と略記）に着目し、データの補正方法ならびに有効活用法の構築を目指す。バスプローブデータは、同一道路区間を多数回走行するために豊富な交通データ蓄積が得られており、所要時間変動特性をとらえるのに適するほか、走行経路の特定が容易であるという特長を有する。一方で、バスは、規制速度を遵守し、乗降のためにバス停に停止するため、一般の交通状況を適切に評価できないのではないかという指摘が多い。本研究では、バスプローブデータの有効活用を狙いとして、路線バスと一般車両の所要時間の違いについて検討を行い、バスプローブデータから得られる所要時間を、より一般的な交通状態を評価可能なものへと補正するための方法を提案する。

キーワード：ITS, 交通量計測, 交通流, ネットワーク交通流, 所要時間信頼性

* 正会員 修士(工) (株)FM 東京

〒102-8080 東京都千代田区麹町 1-7 TEL03-3221-0080

** 正会員 博士(工) 京都大学大学院工学研究科都市社会学専攻

〒606-8501 京都市左京区吉田本町 TEL 075-753-5125 FAX 075-753-5907

*** フェロー 工博 京都大学大学院工学研究科都市社会学専攻

**** 正会員 修士(工) (社)システム科学研究所

2. バスプローブデータ補正法構築のための調査

(1) バスプローブデータの特徴と調査の概要

バスプローブデータ自体は、GPS 計測による時々刻々の走行位置を表す点列に過ぎないため、バス停の位置情報等の地理情報を併用することで、バスの状態（走行/バス停停止/信号停止）を識別する必要がある。ここでは、通常のバスプローブ調査のみでは入手困難なバス停停車状況の真値を得るためにバス乗り込み調査を、一般交通の所要時間との比較のための乗用車プローブデータを得るために乗用車プローブ並走調査を行う。

(2) 対象路線と実施日時

多様な道路特性を持つプローブデータを収集するため、以下の4路線を対象に実測調査を行った。

高槻営業所 1 系統（枚方市駅～高槻市駅）

枚方営業所 39 系統（枚方市駅～樟葉駅）

門真営業所 21 系統（寝屋川市駅～寝屋川団地）

寝屋川営業所 4 系統（寝屋川市駅～守口市駅）

各系統について、便宜上、区間分けを行い各区間の特性を表-1 にまとめた。

表-1 バス路線・道路区間単位の道路特性

	主な道路	バス 停	車線 数(片)	交通 量	旅行速 度(km/h)	交通の状況	バス停付近の状況	距離	
高槻1	区間 1	府道13号(京都 守口線)	1	1	23211	9.4	170号交差点付 近のため混雑	バス停レーンあり	1.2
	区間 2	国道170号	11	2	24222	19	交通量多いが広 い幹線道路	2車線ですり抜け可能。ほぼ バス停レーンあり。	4
	区間 3	国道171号・府道 130号	0	2およ び0.5			駅前の狭い連絡 道		0.3
枚方39	区間 1	府道144号(杉田 口禁野線)	8	1			枚方中心部と国 道1号を結ぶ道。 両方向常に混雑	車線の幅はすり抜けができ ない程度。バス停レーンは 大半なし。	3.2
	区間 2	府道18号(枚方 交野寝屋川線)	9	1	11078	13.1	幹線道だが流れ よい	車線の幅は広くすり抜け可 能。バス停レーンもほぼ整	3.5
	区間 3	府道18号(くずは アベニュー)	2	2			幅員広く交通量 もさほど多くない	バス停レーンあり	0.8
寝屋川4	区間 1	府道18号(旧道) と府道149号	5	1	6584	9.3	幅員が狭くバス がすれ違い不可 能な区間あり	バス停レーンなし	1.7
	区間 2	府道13号(京都 守口線)と国道1	10	2	35560	26.3	幅員の広い幹線 道	バス停レーンあり	5
交野21	府道16号	6	1	19008	14.4	幅員広い。市街 地は混雑	ほぼバス停レーンあり	2.3	

調査の実施日時は以下のとおりであり、休日調査に関しては、枚方市駅を基点とする2系統（高槻1および枚方39系統）のみを行うこととした。

平日：平成 15 年 12 月 17 日（水） 10:00～20:00

休日：平成 15 年 12 月 21 日（日） 10:00～20:00

(3) 調査方法

a) 路線バス乗り込み調査

調査員1名がバスの停車状況を記録するための調査票及びプローブ調査機器(交通流動計測システム)を持って路線バスに乗り込み、位置情報の収集とバス停の到着・発車時刻等の記録を行う。

b) 乗用車プローブ並走調査

路線バスが走行する道路上をプローブカーで走行する。ただし、バスを追跡するのではなく、交通の流れに乗って自由に走行する。なお、乗用車プローブ並走調査は2(2)で述べた 高槻営業所1系統と 枚方営業所39系統と同じ経路についてのみ実施した。

上記 a)および b)の調査を、10時から19時の各時間帯につき1往復分ずつデータ(プローブデータ及びバス停到着・発車時刻等のデータ)を収集し、1日で10往復分のデータ収集を行った。平日調査では10往復、20運行分のデータを4系統で収集して計80運行分のプローブデータを得た。休日調査では、高槻1系統および枚方39系統のみに調査対象を限定するため、計40運行分のデータを得た。

(4) プローブデータの取得状況

バス乗り込み調査によって、調査員がマニュアルで記録したバス停停止記録データは、ほぼすべての運行について取得することができたものの、バスプローブデータは欠測データが多数あり、結果的に、完全に取得できたプローブデータは枚方39系統の5運行、高槻1系統の2運行のみであった。その内訳は、枚方39系統・平日・11時台・枚方市駅行き、枚方39系統・平日・12時台・樟葉駅行き、枚方39系統・平日・15時台・樟葉駅行き、枚方39系統・平日・15時台・枚方市駅行き、枚方39系統・平日・18時台・枚方市駅行き、高槻1系統・平日・11時台・枚方市駅行き、高槻1系統・休日・19時台・高槻市駅行きの7運行である。欠測データ発生の原因としては、調査員のバス内での乗車位置によりGPSの電波を受信しにくくなる可能性が考えられる点、調査員がプローブ調査機器の取り扱いを必ずしも習熟していない点、高架道路や沿道の建物の影響により電

波が遮られる場合がある点等が考えられる

3. バスプローブデータ補正手法の検討

(1) 補正手法の概要

ここでは、最初にバスプローブデータの補正の必要性を、乗用車プローブ並走調査の所要時間データとの比較分析に基づき検討する。本研究で提案するバスプローブの所要時間補正方法は、a)重回帰分析に基づく所要時間の補正方法、b)バス停停止判別にに基づく所要時間補正手法の2つである。前者はバスプローブの所要時間、バス停での一般交通のすり抜け可否等を説明変数とし、乗用車プローブ並走調査の所要時間をターゲット(被説明変数)とした重回帰モデルにより所要時間補正を行う方法である。後者は、バスプローブデータとバス停停止記録データに基づき、判別分析等の統計手法を用いて、バス停停止判別モデルを構築し、その結果を踏まえてバス停停止に伴う遅れ時間を除去することで速度・所要時間の補正を行う方法である。

(2) 補正の必要性の検討

乗用車プローブ並走調査によって得られた所要時間と、バス乗り込み調査によって得られたプローブデータ(所要時間)を比較することによって、バスプローブデータの補正の必要性について検討を行った。表-1に示した区間ごとに乗用車とバスの同一時間帯の所要時間を計算して、各区間の所要時間差の平均と分散を計算し、バスと乗用車の各所要時間の母平均の差の検定としてT検定(Welchの方法)を行った。結果、両系統の区間2および枚方39系統の区間1に関して、バスと乗用車の所要時間の平均値には有意差があることを確認でき、バスプローブデータに何らかの補正を施す必要があると考えられる。

(3) 重回帰分析に基づく所要時間補正手法の提案

本手法では、乗用車プローブ並走調査の所要時間データを、一般の交通状態を示すターゲットデータと見なす。バスの所要時間に加えてバス停の個数や路線長、時間帯、バス停における一般交通のすり抜けの可否などを説明変数として重回帰分析を行い、一般の交通状態における所要時間を推定する補正モ

デルを構築した。回帰分析の結果、統計的に有意な説明変数は、バスの所要時間とすり抜け可否のダミー変数(すり抜け可能な場合が1)であった(表-2)。

表-2 全区間のデータで行った回帰分析結果

説明変数	回帰係数	標準誤差	t 値
バス所要時間	0.761	0.047	16.16
バス停すり抜け可否	-79.12	30.72	2.58
定数項	84.33	40.15	2.10
修正済決定係数	0.69	サンプル数	120
修正済重相関係数	0.76		

本モデルを枚方39系統と高槻1系統の起終点間の所要時間と各道路区間での所要時間に適用した結果、補正後の所要時間については、乗用車の所要時間との差異を縮小することができた(図-1)。本手法では、乗用車所要時間を被説明変数として直接的に回帰式を構築するため、モデルの構造も理解しやすく、データ解析・処理も容易に実施できる。

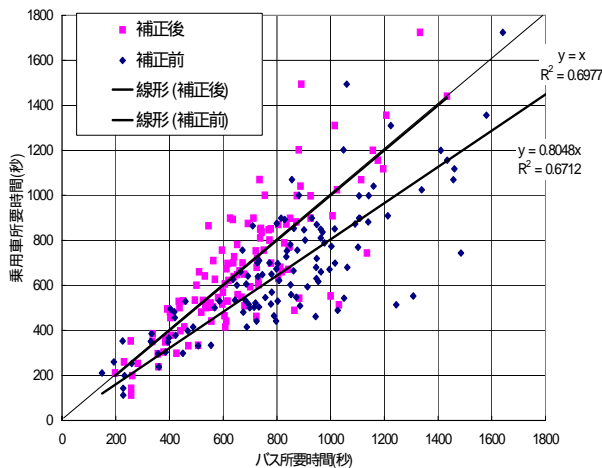


図-1 所要時間補正モデル適用結果

(4) バス停停止判別に基づく速度補正手法の提案

ここでは、バスプローブデータとバス停停止記録データに基づき、判別分析等の統計手法を用いて、バス停停止判別モデルを構築し、その結果を踏まえてバス停停止に伴う遅れ時間を除去することで速度・所要時間の補正を行う方法を提案する。重回帰分析による所要時間補正に比べ、データ処理に相対的に多くの労力を要する本手法を適用する意義は、バスプローブデータに対する直接的な補正法であり、補正後のデータを用いて任意の区間の適切な所要時間を推定することができる点である。本手法では、まず時々刻々のバスプローブデータ(走行位置デー

タ)と、各バス停の位置データを用いてバスの停留所での停車を判別する。次にバス停での停車に伴う減速および加速を判別し、停止および加減速による遅れ時間を計算してバス停停止の影響を除去した所要時間を計算する。

a) データのクレンジング処理

補正モデル構築には、2(4)で述べた欠測なく収集できた7運行分のバスプローブデータを用いた。なお、制限速度を大きく超えるデータは、その前後の平均速度に置換する処理を施した。バスの速度を代表する緯度経度の差の二乗和の平方根が、時速60kmの速度に相当する0.55以上のデータを対象とした。

b) バス停停止判別モデル

バス停の位置を与件として、時々刻々の速度、現在位置から最短のバス停までの距離を説明変数とし、判別分析を適用して各プローブデータがバス停停止状態か否かを判別するモデルを構築する。用いたデータは枚方39系統(平日・12時・樟葉駅行き)であり、分析結果を表-3に示す。走行速度・バス停との距離の各変数の制約が強いため、実際にはバス停停止と見なしうるケースでも、GPS誤差等のためにバス停停止と判別されない事例が一部含まれているものの、ほぼ正確にバス停停止を判別可能と考えられる。

表-3 バス停停止判別モデルの結果

変量 1		判別分析による分類結果			
速度	-0.802	観測値	正答%	走行	
バス停距離	-0.641			停止	
固有値	0.458	走行	95.805	1667.000	73.000
累積確率	1.000	停止	91.967	29.000	332.000
		合計	95.145	1696.000	405.000

c) バス停停止に伴う減速・加速判別モデル

バス停停止時間に加え、その前後の加減速による所要時間の増分も補正する必要があるとの考えから、バス停停止に伴う減速・加速モードにあるプローブデータを判別するモデルを構築した。本モデルでは、b)でバス停停止と判別された前後20秒のプローブデータについて、安定走行または停止(Group0)・バス停停止に伴う減速(Group1)および加速(Group2)のどのモードにあるかを判別した。判別分析等の統計手法を用いたモデル化を試みたものの、適切な結果を得ることができなかったため、ここでは判別ルールを試行錯誤的に構築した。加速・減速モードの定義を「バス停停止判別モデルの出力として、バスの

停留所への停車と判別されたプローブデータに着目し、その前後 20 秒のデータにおいて、 0.025 /sec^2 ($= 0.77\text{m/sec}^2$)以上の移動平均速度の変化が 3 秒以上継続して起こった時、そのプローブデータが表す状態をバス停停止に伴う減速モードまたは加速モード」として、減速・加速の判別を行う。以上 3(4)の b)およびc)に記述のモデルを枚方 39 系統のデータ(平日・12 時・樟葉駅行き)に適用した結果を図-2 に示す。

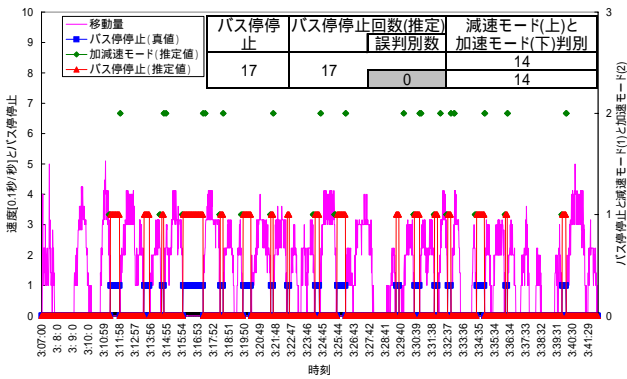


図-2 バス停停止・加減速判別モデル適用結果

図-2 は、バス停停止の推定値および調査記録によるバス停停止の真値、減速および加速モードの推定値、実際の速度変化の様子を対応させてグラフ化したものである。付属の表には、バス停停止回数の真値、提案したモデルによるバス停停止回数の推定値、バス停停止と判別されたが真値では停止ではない誤判別回数、加減速モード判別モデルによって判別された減速モード・加速モードの回数を示した。以上より、本モデルが比較的高い精度でバス停停止や加減速を判別し得ることを定量的に示したといえる。

d) 遅れ時間補正モデル

バス停停止判別モデルの出力としてバス停停止とされたプローブデータに関しては、その停止時間をそのまま遅れ時間とした。バス停前後の減速・加速による遅れ時間は、減速開始前(加速終了後)の速度で同一区間を仮に走行した場合の所要時間と、実際の所要時間の差と定義して、その値を求めた。これらの遅れ時間の和をもって各バス停や各区間および運行全体の損失時間を計算した。

(5) 本モデルの妥当性の検討

バス停停止判別に基づく補正手法の妥当性の検討

のために、乗用車所要時間と補正後バス所要時間の比較を行った。上述の7運行について、各系統の全区間および各区間のバス停停止による遅れ時間を除去した補正後のバス所要時間を計算し、乗用車の所要時間との関係を見た。枚方 39 系統の区間 2 に関する散布図を、それぞれの直線回帰式および相関係数もあわせて図-3 に例示した。これらより、バス停停止判別に基づく速度補正モデルによって、バス所要時間を適切に短縮し、乗用車所要時間との乖離を小さくすることが可能と考えられる。

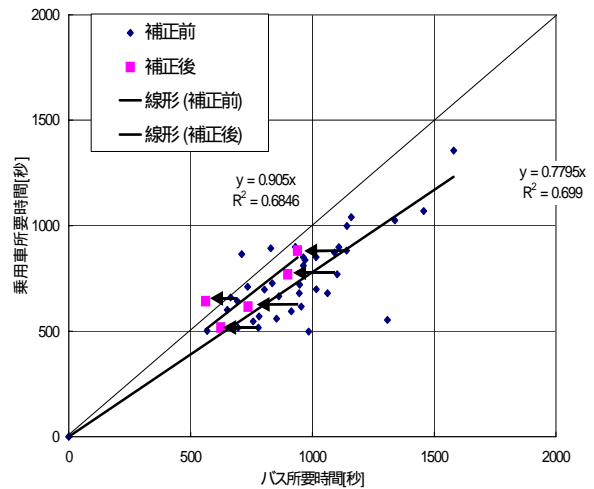


図-3 速度補正モデル適用前後のバス所要時間

4. 結論

本研究では、特定区間の動的交通データを豊富に収集・蓄積可能なバスプローブ調査に着目し、所要時間信頼性評価をはじめとする道路ネットワークの多面的評価手法の構築を目指して、バスプローブによる所要時間データの補正方法を提案した。提案した方法は、バス路線の起終点間・特定区間を対象とする重回帰分析による所要時間補正手法、および、バスプローブデータを直接的な対象とした、バス停停止判別に基づく速度補正手法である。今後、モデルの精度向上と移転可能性の検討を通して、既存のバスプローブデータを有効活用し、道路ネットワークが提供する交通サービスの多面的評価を試みる。

【謝辞】本研究の遂行に際し、新都市社会技術融合創造研究会(ITSグループ)ご参加の皆様より貴重なご意見を多数頂戴した。また、バス乗り込み調査・乗用車並走調査は、国土交通省近畿地方整備局大阪国道工事事務所のご協力を賜って実施できたものである。記して謝意を表します。