

◆ 報 文 ◆

バスプローブに関する基礎的研究

酒井秀和* 塚田幸広**

1. はじめに

ここ数年、国土交通省では、より効果的・効率的かつ透明性の高い道路行政への転換を図るために、成果志向の行政運営を基本とし業績評価・政策評価を実施する道路行政マネジメントに取り組んでいる。平成15年には、目指すべき成果を事前に宣言している「平成15年度道路行政の業績計画書」を公表し、本格的な取り組みを行っている。この取り組みの特徴の一つにアウトカム指標（業績指標）の採用がある。アウトカム指標は、これまでの道路の延長や整備率・改良率などのアウトプットではなく、道路利用者や国民にもっと分かりやすく道路の状況・課題・整備効果を伝えること、また道路管理者としては道路のサービスレベルの把握等に利用できるような工夫がされている。

本報文では、道路行政の大きな課題の一つである「渋滞」に焦点をあてている。現在、渋滞の状況を示す指標としては、渋滞長・旅行速度・渋滞損失時間等が用いられている。このうち、渋滞長については、調査員による現地調査やビデオ等の画像データによる計測が行われている。一方、旅行速度に関しては、現地で走行している車両が一定の区間を通過する際にかかる時間から速度を計算する方法、GPS機器を搭載した車両の位置・時刻データから旅行速度を算出するプローブカー調査等様々な方法がある。このなかで現在の主流となっている調査方法が、GPS機器を用いたプローブカー調査である。

本研究ではこのプローブカー調査方法の概要・特徴を簡単に整理するとともに、一般車との走行特性の違いが課題と指摘されている¹⁾バス車両によるプローブカー調査に着目し、バスプローブデータを補正することで、有効なデータとなりえるかの検討を行っている。

2. プローブカー調査方法の概要・特徴

プローブカー調査とは、図-1に示すようにGPS機器等を車両に搭載することにより、走行中の車両の時刻・位置（緯度・経度）等のデータから旅行速度・通過時間等を計測する調査方法である。

2.1 データの蓄積方法

GPS機器にはデータをメモリーカード・ハードディスクに蓄積するオフラインタイプ、データ通信機能（パケット通信・無線等）によりサーバーにデータを送信するオンラインタイプ、そのどちらも兼ね備えているもの等がある。カーナビでは、GPS等による位置情報等からカーナビ内で自車の走行位置を計算・特定して、マップ上に表示している。

また、通信機能を使うタイプのもは、リアルタイムにデータを管理サーバー等に送信が可能であるため、物流会社・タクシー業者等で車両管理等に使われている。

2.2 プローブ機器搭載車両の車種特性

ここでは、プローブカーデータの一般的な使用、道路管理側での使用の二つの側面から、プローブ機器搭載車両の車種特性に関して整理を行うこととする。プローブ機器自体はすべての車種に搭載可能であるが、ここでは代表的な車種として、①一般車両、②バス、③タクシー・トラック等の業

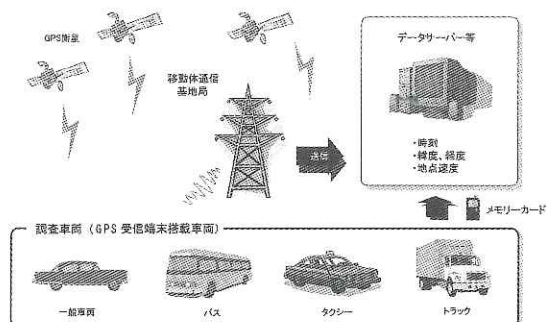


図-1 プローブカー調査の概要

務車両について整理を行う。

2.2.1 一般車両

一般車両の場合は、個人の行動が把握されてしまうことによるプライバシーの問題、GPSの精度が低い・データ取得頻度が低い場合などは、データを使えるものにするために必要となるマップマッチングの処理が困難となる問題、データ等を管理サーバーに送る際の通信コスト等の問題があるため、当初は利用が困難であると考えられていた。しかし、現在では技術の進歩により自動車メーカー・カーナビメーカー等では、利用者からデータを提供してもらい、リアルタイムに道路混雑状況等の情報提供を行うサービスが始まっている。

2.2.2 バス

バスは、①他の車両と異なり走行する経路が特定されており、データ処理（マップマッチング）が容易であること。②公共交通機関であるため、データ取得に関しての協力が得やすいこと。③あらかじめ決められたルートを走行することから、特定区間のデータを多く収集できる等のため、道路管理用のプローブ車両としては広く普及している。しかし、バスの走行を考えた場合、図-2に示すように「バス停での停車」、「バス停での停車のための減速、バス停から本線への加速」といった、一般車両と異なる挙動を行うため、そのままデータを使用することは適当でないと考えられるが、実際は、そのまま使用しているのが現状である。

本研究では、このバスプローブデータの補正方法の検討及び補正結果について整理を行っている。

また、バス事業者自身においても、バス利用者への情報提供・運行状況管理等を目的としてバスプローブ情報を利用している事業者も存在する。

2.2.3 業務車両（タクシー・トラック）

タクシー・トラック等の業務車両においても、一般の車両とは若干ではあるが走行特性が異なっている。タクシーは、客を乗せている場合といな

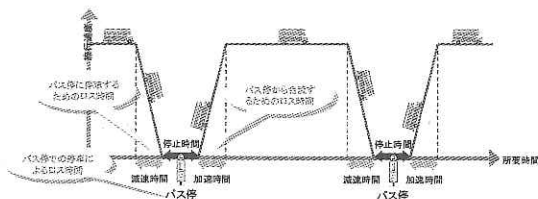


図-2 バスの走行特性

い場合では、走行速度や減速・停止行動に明らかな差がある。例えば客を乗せていないタクシーでは、客を探して走行しているため、加減速の回数が多い。また、走行する経路においても、国道等の道路よりも市道・生活道路等の走行割合が高い。一方、トラックはというと、長距離トラックの場合は、比較的良好なデータが取得されるが、小口配送等の場合は、荷物の積み下ろし等が多くあるため、一般車両とは走行特性が異なることとなる。そのままデータを使用することには問題があるものの、データをうまく取捨選択することにより、道路管理者でも使用できるようなデータとなる。このため、最近では業務車両プローブデータの活用を試みる動きがあるものの、実際の運用までにはもう少し時間を要することと考えられる。

3. バスプローブデータの補正方法の検討

3.1 使用プローブデータの概要

本研究では、平成16年度に国土交通省中国地方整備局岡山国道事務所で開催された、バス追走及び自由走行調査データを利用している。ここでは、岡山市中心部の図-3に示す区間を走行するバスの運行状況調査（バス乗り込み調査・追従走行調査）及び調査車両走行調査を実施している。現地の状況を写真-1に、調査の概要を表-1に整理を行った。また、各調査方法に関する詳細については以下に記述を行う。



図-3 バスプローブ調査の対象路線図

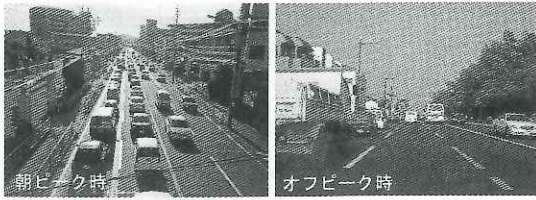


写真-1 バスプローブ調査対象路線の写真

表-1 調査の概要

項目	内容
対象地域	岡山市中心部～郊外のバス路線 (半田山ハイツ・津高台団地線)
データ取得期間	平成17年1月31～2月6日 (本研究では、平日5日間を使用)
時間帯	7:00～19:00
データ取得間隔	30秒及びバス停での挙動把握時 (ドア開閉時、停車・合流時のウィンカー 点灯消灯時)

3.1.1 バス乗り込み調査

バス停における停車時間は、バス停での乗降客数の違いによっても大きな違いがでる。そこでバス停での停車時間と乗降客数との関係性を明らかにすることを目的としたバス乗り込み調査を行っている。調査方法は、バスに乗車した調査員が各バス停でのバス乗車人数、降車人数及びバス停停車時間を調査票に記入する簡単なものである。

3.1.2 バス追従走行調査

バスの旅行速度を取得するのであれば、バス車両にプローブ機器を搭載する方法が一般的であるが、そのバスが常に同じルートを走行する保証がないこと・データ取得の効率化等の観点から、ここではプローブ機器を搭載した調査車両で、対象路線を走行するバスの後方を追従走行する方法を採用している。調査車両においては、プローブ機器から位置(緯度・経度)、時刻情報等を取得するとともに、バスの挙動状況(バス停停止時のドアの開閉、バス停停車・合流時のウィンカー点灯・消灯)の把握を行うために、各挙動時に位置・時刻等のデータ取得を行っている。

3.1.3 調査車両走行調査

バスプローブデータの補正の効果を検証するために、バス追従走行調査と同じ区間・同じ時間帯・同じタイミングに調査車両を走行させる調査

を並行して行った。

3.2 バスプローブデータの補正方法

2.2.2でも示したように、バスプローブデータはバス停で停車することによる損失時間(停車時間、バス停停車・本線合流のための加減速時間)を含んだデータであるため、一般の車両よりも旅行速度が遅く算出されることが推測される。そこでバスプローブデータを道路の旅行速度算出に使用する際は、バス停における損失時間を取り除く必要がある。

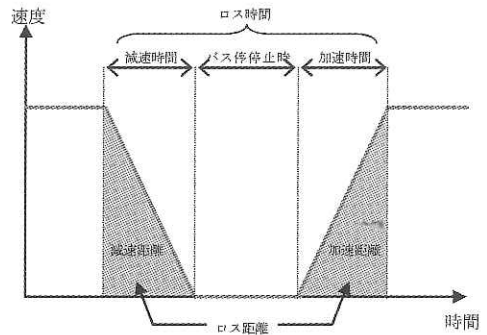
バスプローブデータの補正は、永廣、宇野ら^{※2)}の考え方をを用いることとした。具体的には、図-4に示すように、バス追従走行調査によって得られるプローブカーデータを用いて、「バス停での停車時間」、「バス停での停車に伴う加減速時間・距離」を算出し、元のデータからこの損失時間を差し引く事により補正後の旅行速度等を算出する。

3.2.1 バス停での停車時間

バス追従走行調査時に取得したバス停でのドア開閉時(到着・出発時)の「位置・時刻情報」を用いて、バスが走行する際の各バス停での停車時間を算出する。

3.2.2 バス停での停車に伴う加減速時間・距離

バス追従走行調査時に取得したバス停停車に向けたウィンカー点灯時とバス停でドアが開いた時点のデータ及びバス停でドアが閉じた時点のデータと本線合流後にウィンカーを消灯した時点での「位置・時刻情報」等を用いて減速時間・距離及び加速時間・距離を算出する。



・バス停停車時間 = ドアの閉じた時刻 - ドアの開いた時刻
 ・減速時間(距離) = ドアの開いた時刻(位置) - ウィンカー点灯時刻(位置)
 ・加速時間(距離) = ウィンカー消灯時刻(位置) - ドアの閉じた時刻(位置)

図-4 バス停停車によるロス時間・距離

3.2.3 バスの補正旅行速度

対象区間の延長及び走行時間から、上記で求めるバス停車時間、減速時間（距離）及び加速時間（距離）を差し引くことによってバス補正旅行速度の算出を行った。

$$\begin{aligned} \text{バス旅行速度} &= \text{区間延長} / \text{経過時間} \\ \text{バス補正旅行速度} &= (\text{区間延長} - \text{減速距離} - \text{加速距離}) / (\text{経過時間} - \text{減速時間} - \text{加速時間} - \text{バス停車時間}) \end{aligned}$$

3.3 バスプローブデータの補正結果

3.3.1 バス乗降客数と停車時間の関係性

乗降客数と停車時間の関係を分析するために、停車時間と度数分布のグラフを作成した（図-5）。停車時間については、20秒以下が全体の約90%を占めている。データの割合は小さい（約5%）ものの、30秒以上停車をしているバスも存在する。

次に、乗降客数と停車時間について散布図を作成した（図-6）。グラフからもわかるように両者については明確な相関を確認することは出来なかった。これは乗車・降車時間は料金の支払い方法、両替の有無、子供・老人・身体障害者の有無等の

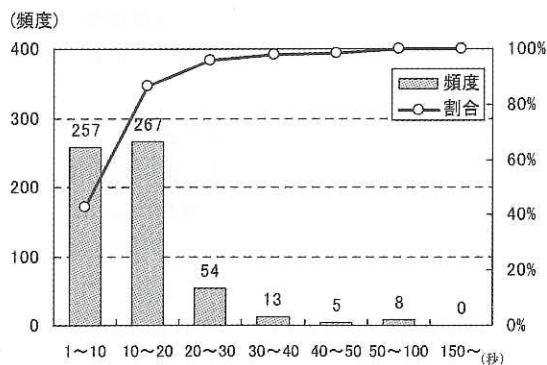


図-5 停車時間別の停車頻度

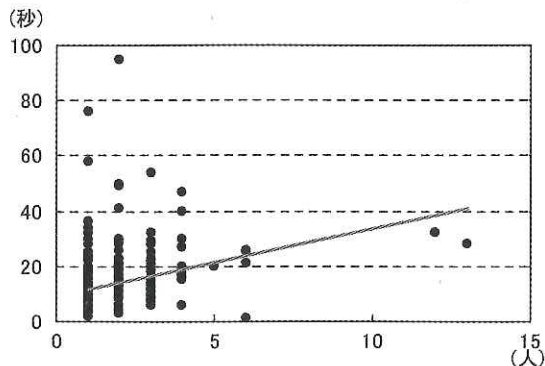


図-6 乗降客数と停車時間の関係

個人特性の影響を受けるため、バラツキが大きい結果となったと考えられる。

3.3.2 一般車両とバス追従車両の比較

旅行速度等の評価は、プローブデータのマッチング等に使用されているDRM（デジタル道路地図）区間単位及び道路交通センサスで用いられているセンサス区間単位にて行った。図-7よりDRM区間単位では、全体的に一般車両がバス追従より速いものの、バス追従が一般車両の速度を上回るデータが多数存在している。これは旅行速度を区間別・時間帯別に平均化した際に、サンプル数が少ないことにより、信号等での停止の有無の影響等が大きく出ているためと思われる。一方、

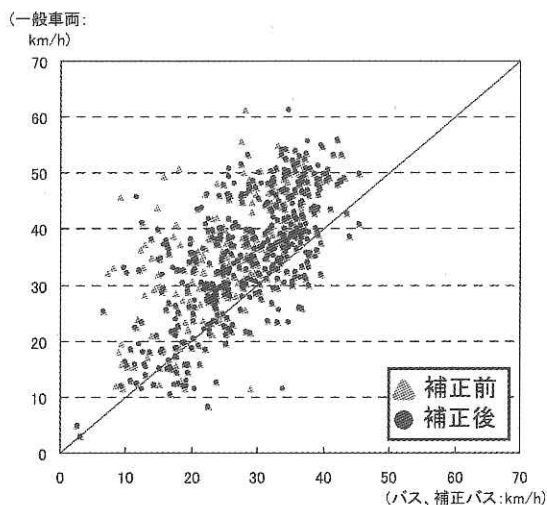


図-7 平均旅行速度の比較 (DRM単位)

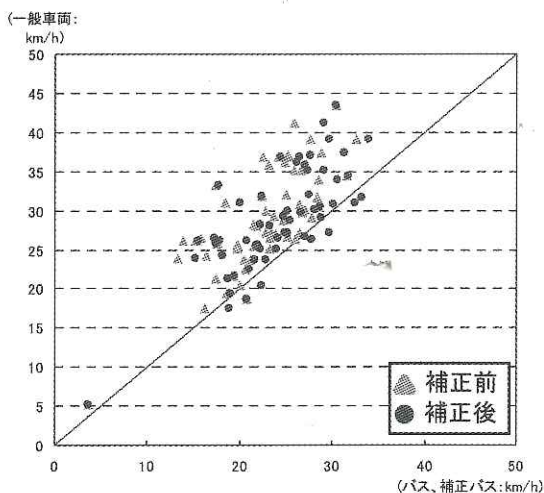


図-8 平均旅行速度の比較 (センサス区間単位)

図-8に示す区間長が長いセンサ区間単位においては、全データで一般車両の旅行速度がバス追従車両よりも速い結果となった。これは信号等での停止の有無の影響が区間で平均化されるためであると考えられる。以上のことより、十分なサンプルが確保された場合は、一般車両とバスの旅行速度には明らかな相違があり、一般車両の速度がバスと比較して速い傾向にあることがわかる。

3.3.3 一般車両と補正バス追従車両の比較

図-9は、具体例として評価区間④上り方向の7・8時台の補正効果を表したものである。このグラフからバス停を含む区間の旅行速度が明らかに向上していることが確認できる。このことから、バス停付近での旅行速度の低下要因は、バス停での停車等によるものであることがわかる。図-10は対象区間全データについて補正によってどの程度旅行速度が影響しているかを整理したものである。バス停での停車・加減速の影響を受けないデータが約88%あり、残り約12%のデータにおいて、バス停での影響を除けば補正旅行速度が向上することが確認できた。しかし、依然として一般車両の

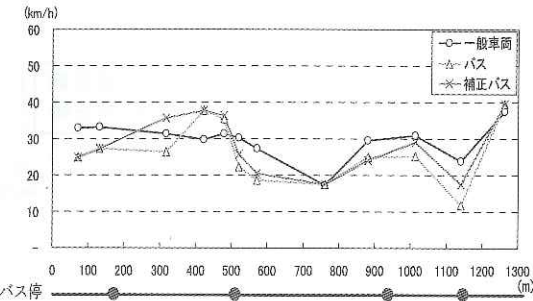


図-9 評価区間④上り方向の7・8時台平均旅行速度の変化

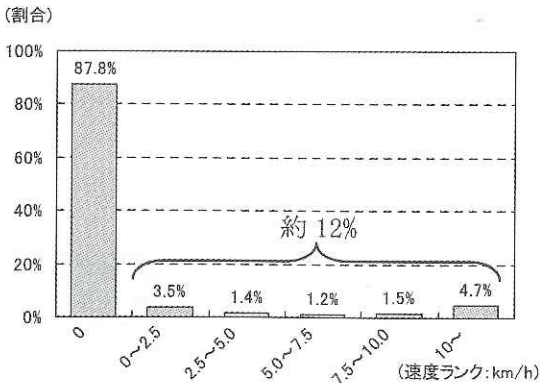


図-10 補正を行った効果 (DRM区間単位)

表-2 t検定の結果 (P, 有意水準: 0.05)

評価区間		①	②	③	④
上り方向	バス	*1.4E-01	4.8E-08	7.8E-23	2.8E-04
	補正バス	*3.8E-01	4.0E-06	1.1E-16	2.9E-03
下り方向	バス	4.8E-05	7.2E-03	*9.6E-02	6.1E-07
	補正バス	7.5E-04	*3.1E-01	*5.3E-01	1.8E-04

*①、②の上りは、7・8時台のデータを除く
*P>0.05のとき、帰無仮説を採択「2群の母平均値に差があるとはいえない」

速度が速い傾向にはかわりがない。

3.3.4 補正方法の妥当性の検討

表-2は、補正方法の妥当性の検討として、評価区間毎に一般車両とバス追従、一般車両と補正バス追従の旅行速度の母平均の差の検定 (t検定) を行った結果である。評価区間②の下りについてのみは、「有意差があるとはいえない」といった結果となっているものの、他の区間 (評価区間①上り、③下りを除く) では、依然として「有意差がある」といった結果となっている。つまりバスの旅行速度は、バス停での停車等の補正を行うだけでは、一般車両の旅行速度と同一になるとは説明できない。以上の結果からバス停停車等以外にも、自由走行速度、車両性能の違いの影響が大きいと考えられる。

3.4 バスプローブデータの活用方法

バスプローブは、同一時間帯・同一区間の旅行速度データを継続的に安定して取得することが出来るという特徴を有している。このため、災害・事故等による突発的な交通状況の変化の把握 (時間信頼性の評価) 等が可能であると考えられる。また、事業・施策 (公共交通優先施策・交通需要マネジメント施策・簡易バスロケ等) が実施された際の効果を時系列に把握すること等に活用が可能であると考えられる。

図-11は、本対象区間を走行するのに要した所要時間について、バス時刻表とバス・一般車両のプローブデータ結果を比較したグラフであり、時間帯別に一般車両とバスの所要時間変動 (各時間帯5サンプル程度) の違いとバスの遅れ時間を評価したものである。この結果、通勤時間帯 (朝ピーク時間帯) ではすべてのデータにおいてバスプローブ結果とバス時刻表との差が大きい。つまり日常的にバスの遅れが発生していると考えられる。一

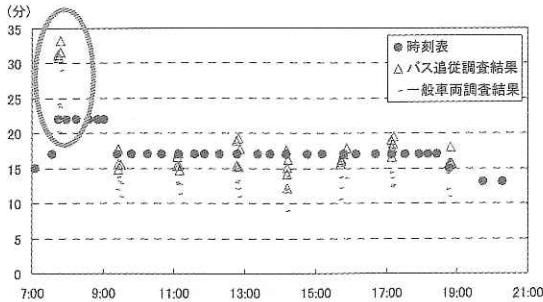


図-11 バス時刻表とプローブデータの所要時間比較
(笹ヶ瀬～岡山駅)

方、オフピーク時間帯には、バスプローブデータのばらつきも小さくほぼ時刻表通りの運行がなされていることがわかる。一般車両については、ほぼすべての時間帯においてもばらつきが大きい。以上のことより、バスは安定的な走行を行うため、オフピーク時間帯は安定したデータを取得できるため、突発的な事象に対する評価を行うデータとしての利用が期待される。また、バスプローブデータを使って遅れ時間を把握することにより、バス時刻表を見直す際の有益な情報となり得る。

4. 結論と今後の課題

本研究では、特定の区間のデータを豊富に収集・蓄積可能なバスプローブデータに着目し、バスと一般車両の速度が異なる事、バス停での停車等による損失時間等を除去する事により、バスプローブデータの旅行速度を補正することができることを確認した。しかし、依然としてバスと一般車両には自由走行速度、車両性能（加減速性能）の違いがあるため、バスの補正を行ったとしても一般車両と同一のデータとして取り扱うことができないことも確認した。今後は、バスプローブデータを活用して時間信頼性の評価に関しての事例分析等を進める必要がある。その際に、バス停停車等の影響を機械的に除去する方法の研究も必要になってくると考える。

参考文献

- 1) 高橋尚人、宗広一徳、浅野基樹：プローブカー調査車両の種別と搭載機器の違いによるデータ特性に関する考察、第31回土木計画学研究発表会・論文集、平成16年10月
- 2) 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、第30回土木計画学研究発表会・論文集、平成17年5月

- 3) 井坪慎二、塚田幸広：情報機器の道路交通調査への適用に関する検討、土木技術資料、第47巻、8号、pp.56-61、平成17年8月

酒井秀和*



復建調査設計(株) 総合計画部道路計画課 (前 国土交通省国土技術総合研究所道路研究部道路研究室交流研究員)
Hidekazu SAKAI

塚田幸広**



国土交通省道路局道路交通管理課 ITS推進室長 (前 国土交通省国土技術政策総合研究所道路研究室道路研究室長)
Yukihiko TUKADA