

インターネットITSプローブ情報システムによる信号制御の性能指標モニタリング実証実験*

Internet-ITS Probe Experiment For Monitoring the Performance of Traffic Signal Control*

堀口良太**, 和田光示***

By Ryota HORIGUCHI** and Koji WADA***

1. はじめに

本稿では、次世代インターネット技術(Mobile IPv6)で車と社会を密接に結ぶインターネット ITS 基盤を利用する、(財)日本自動車研究所(JARI)が推進する「統合型車載機」を中核としたプローブ情報システムの応用可能性について、実証実験により評価した事例を報告する。JARI では、プローブ情報活用の方向性を「蓄積/リアルタイムデータをどれくらい重視するか」と「緻密なデータを必要とするか簡素なデータで十分とするか」の2つの軸で整理し、図-1に示す ~ の代表的なアプリケーションを想定した技術開発を行っている。平成12年度の実証実験から現在まで、車両動体管理や渋滞情報取得への応用可能性を検討してきた¹⁾。

平成15年度は、交通サービス水準モニタリングを題材にして、実証実験を実施した。この範疇のアプリケーションには、これまでも道路整備による旅行速度の向上を長期間のプローブ運用で継続的に評価する試み²⁾が報告されているが、今回は次のような意図のもとで、バス路線における公共交通優先信号制御システム(PTPS)の効果とバス運行のサービス水準を計測することを目的としている。

PTPSのように、比較的短い区間の街路で運用されるシステムを評価する場合、旅行時間は偶然の信号停止の有無で大きく異なるため、人手による数回の調査では個別サンプルのばらつきを排除して評価することは難しい。プローブ情報システムを活用すれば、蓄積した多量のデータ

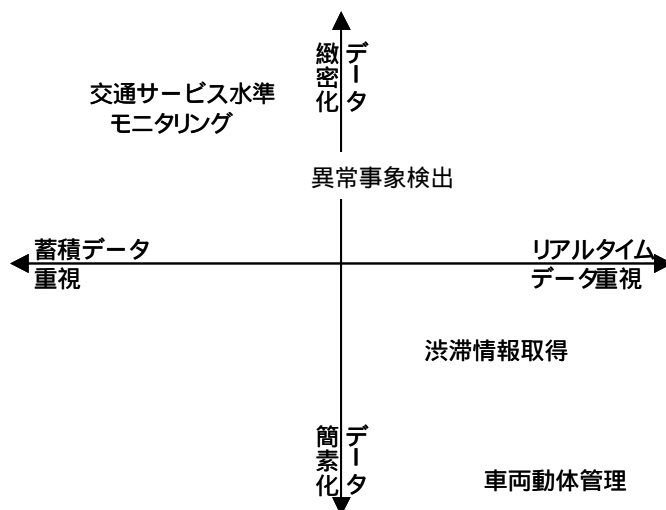


図-1 4つのプローブ情報アプリケーション

を用いて、高い信頼性を備えた評価が可能であることをアピールしたい。

路線バスをプローブとする場合、渋滞が激しくても、それを避けることなく定められた路線を繰り返し走行する利点がある。統合型車載機で収集される様々な走行状態を示す情報を活用して、バス走行挙動の特殊性を適切に処理すれば、確実に渋滞情報を得ることができ、同時に道路インフラの効率や、バスの運行サービス水準をモニタリングできるという、データソースの多面的な利用が可能であることを示したい。

なお、実証実験ではプローブの走行パターンから渋滞区間を即時に検出し、車載機からセンターへの情報転送を効率化する研究や、走行パターンを分類してデータベース化し、異常事象の検出に活用する研究なども行われているが、本稿では割愛する。

2. 実験の概要

(1) 対象路線と交通状況

図-2に、今回の実証実験で評価対象とした延長

* キーワード: プローブ, 統合型車載機, バス, PTPS, ITS
** 正員, 工博, (株)アイ・トランスポートラボ, 〒162-0824 東京都新宿区揚場町 2-12-404, TEL/FAX 03-5261-3077, E-mail horiguchi@i-transportlab.jp
*** (財)日本自動車研究所 ITS センター, 〒105-0012 東京都港区芝大門 1-1-30 日本自動車会館 12 階, Tel: 03-5733-7924, Fax: 03-5473-0655

約3.6kmの路線と、そこで稼働しているPTPSの概要を示す。この区間には、地点感応制御、連続地点感応制御、連動感応制御、通過支援制御(Bus-FAST)の4種類のPTPS制御方式が導入されている。各制御方式の内容は参考文献³⁾に譲る。

行政関係者への事前のヒアリングでは、当該区間での交通状況、およびPTPS制御効果に対して、以下のようなコメントがあった。

上り方向は朝に、下り方向は夕方に混雑のピークが見られる。休日は混雑しないので、PTPSを稼働させていない。

路線の上下両方向を頻繁にバスが走行するので、どちらか一方を極端に優遇するポリシーは許容されない。

対象路線に2本の主要幹線道路が交差しており、幹線道路へのスプリットを十分に確保することにも配慮しなければならないため、デリケートな制御を強いられる。

現状で、大部分のバスがPTPS端末を搭載しており、実験で用いる非PTPS車両も、その前後を走行するPTPS車両への優先制御の恩恵を受けているため、その差が小さい可能性もある。

(2) 収集された運行データサンプルとデータ

実験では、この区間を走行するバスのうちの5台に統合型車載機を搭載した。期間中に収集されたサンプル運行データ数を表-1に示す。

表-1 収集されたサンプル運行トリップ

評価期間	2003年9月中旬～2004年1月中旬
プローブ台数	PTPSバス2台、非PTPSバス3台
サンプル数	上下あわせて約4000本

統合型車載機では1秒ごとの位置、速度、走行距離、ウインカーON/OFFなどの走行状態値をハードディスクに蓄積しているが、実験ではその情報をSS(ショートストップ)とST(ショートトリップ)の走行イベント、およびウインカーON状態の並行イベントに変換⁴⁾して抽出した。なお、ここでは時速3km未満の区間をSS、それ以外をSTとしている。

(3) 評価指標

本実験では、PTPS車両と非PTPS車両の別に、次の指標を比較する。

i) 区間旅行時間と停車時間構成

渋滞緩和に伴う旅行時間短縮効果を評価する指標。上述のSS/ST情報をうまく利用することで、単なる旅行時間だけでなく、信号やバス停での停車時間を区別して集計することもできる。

ii) ダイヤからの遅れ

バス利用者にとって見れば、時間短縮だけでなく、設定されたダイヤ通りに運行されているかどうかとも重要な評価指標となる。

iii) 燃料消費及びCO2排出量

行政の立場では、PTPSの導入でバスの運行状況が改善されるだけでなく、環境インパクトを軽減することが期待されている。

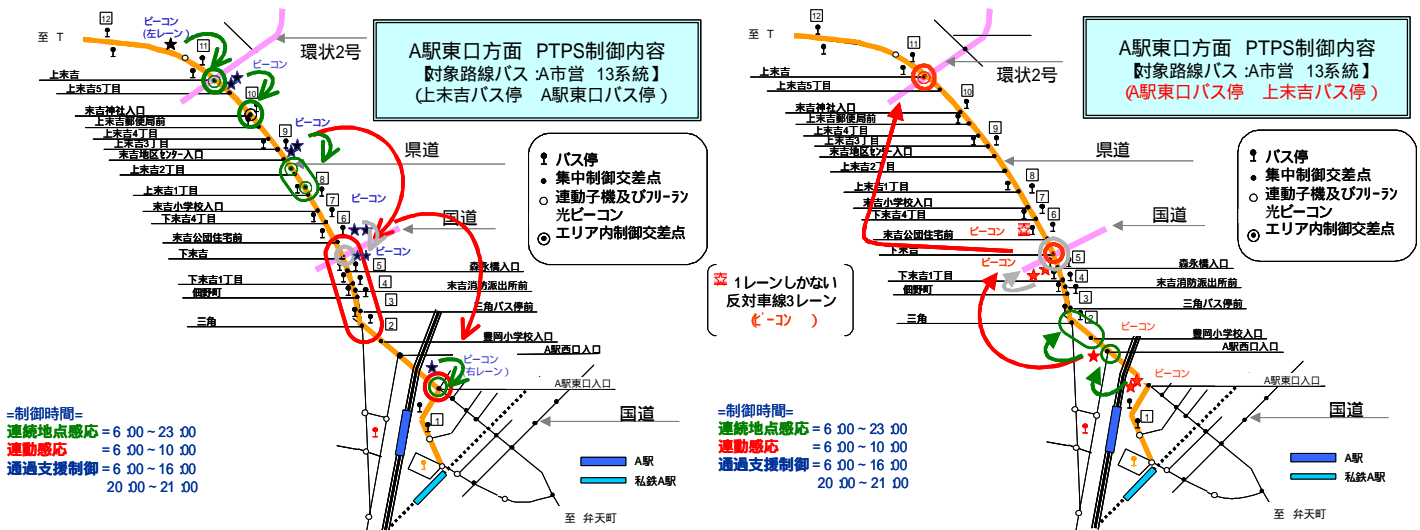


図-2 対象路線と導入されているPTPSの概要

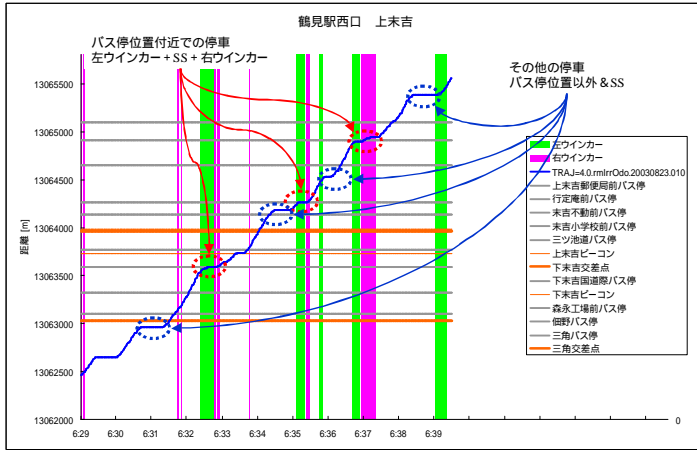


図 - 3 バス停での停車判定例

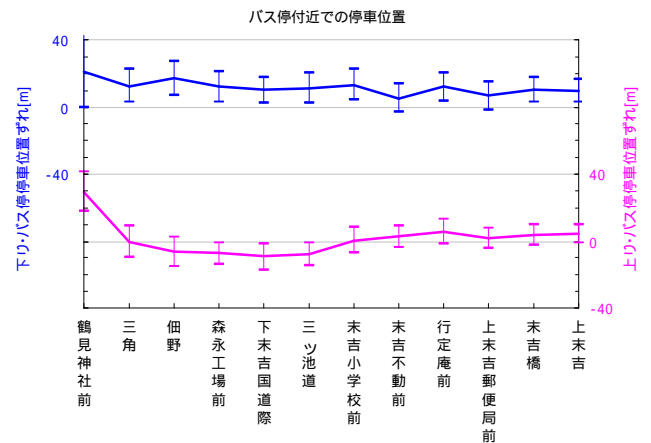


図 - 4 バス停停車 SS の位置 (赤...上り, 青...下り)

3. データクレンジング

データクレンジングとは、プローブの生情報を加工して、アプリケーションの目的に添った情報を抽出する処理⁵⁾である。ここでは、以下のクレンジング処理を行っている。

(1) バス停・交差点通過タイミングの検出

評価に必要な主要交差点やバス停にチェックラインを設け、このラインをバスが通過した時刻を走行軌跡の付加情報とした。

(2) バス停での停車判別

つぎに、対象区間中の SS を信号待ちによるものとバス停での乗降客サービスのためのものとを判別するため、次の ~ のクレンジング処理を行った。

バス停の前後50mで記録されたSSについて、そのSS開始時刻を挟んでの前後数秒間で、左ウインカーがON状態になっており、かつSS終了時刻の直前の時刻に、右ウインカーがON状態になっていれば、そのうちの最もバス停に近いSSを、乗降客サービスのためのバス停での停車と判定する。

図 - 3 は、あるバスの対象区間内での走行軌跡を時空間図上に折れ線でプロットし、チェックライン通過時点がわかるように、横軸と平行な線をバス停位置と主要交差点位置に引いたものである。また、グラフの背景に緑の縦縞が記されている時間は、左ウインカーONのイベントが記録されている時間帯、同様に赤の縦縞は右ウインカーONの時間帯を意味している。図からは、バス停付近のSS、すなわち青の

折れ線が横軸と並行になっている区間の開始時刻前後で左ウインカーがONになっており、SS終了時刻の直前で右ウインカーがONになっていることが読みとれる。

ここで示した手順で、バス停での停車SSを判定し、各バス停について停車SS位置ずれの平均値と標準偏差を求めたものを図 - 4 に示す。正の値は、バス停停車SS位置がバス定位置よりも下流側にあることを意味している。標準偏差の範囲を見ると、GPS測位精度と同程度の ±10m の範囲に停車位置が収まっており、適切な位置精度でバス停停車が判定できていることがわかる。平均値がゼロでないのは、バス停そのものの位置をGPSで簡易に測定したため、真値ではないためと考えられる。

(3) 燃料消費量とCO2 排出量の推計

燃料消費量の推計は、(大口ほか, 2002)で提案された次式⁶⁾を適用した。

$$Q = 0.3T + 0.028D + 0.056 \sum_k d_k (v_k^2 - v_{k-1}^2)$$

ここで、 Q := 燃料消費量[cc].
 T := 対象区間の旅行時間[sec]
 D := 対象区間の長さ[m].
 d_k := 時間帯 k で加速状態にあるときは 1, それ以外は 0 となる変数
 v_k := 時間帯 k での速度 [m/sec]

この式の第1項と第2項は、推計の対象区間が決まれば求められる。第3項は停止状態から速度が単調

増加するような、単純な発進挙動を考えれば、最終的に到達する速度、すなわち自由流速度だけで求められる。ただし、渋滞末尾で2回以上停止する場合は、いわゆるのろのろ運転状態で非渋滞の停止発進とは異なると考えられる。そこで、この状態での第3項の値を、車載機ハードディスク上に記録されている1秒ごとの詳細なプローブデータから求めたところ、 $160.513 \text{ [m}^2/\text{s}^2]$ という値になった。

従って、プローブ車両が、長さ L の区間を T 秒で走行する間に n 回停止した場合、その区間での燃料消費量 $Q[\text{cc}]$ は

$$Q=0.3T+0.028L+0.056*(d_{n>0}*V_f^2+(n-1)*160.513)$$

となる。なお、 V_f は自由流速度、 $d_{n>0}$ は1回以上停止した場合は1で、そのほかは0となる変数である。

また、大口らの論文でも指摘されるとおり、燃料

消費量と CO_2 排出量は、燃料に含まれる炭素が、エンジンの燃焼状態によらず、いずれは酸素と結びついて CO_2 となるため、比例関係が認められる。したがって、 CO_2 排出量推計値は燃料消費量推計値に換算係数 $K_c (= 0.0231 \text{ [kg-CO}_2/\text{cc]})$ を乗じて求める。

4. 計測結果

まず、ここでの分析結果のグラフの見方を示す。

- ・ 上り・下りの方向別に各評価指標の相対累積頻度分布をグラフ化している。凡例に n (サンプル数)と E (平均値)を記載した。
- ・ PTPS車両と非PTPS車両とで時間帯別に線色を区分した。赤系色がPTPS車両、青系色が非PTPS車両である。
- ・ 制御ポリシーで優先されている方向が時間帯で

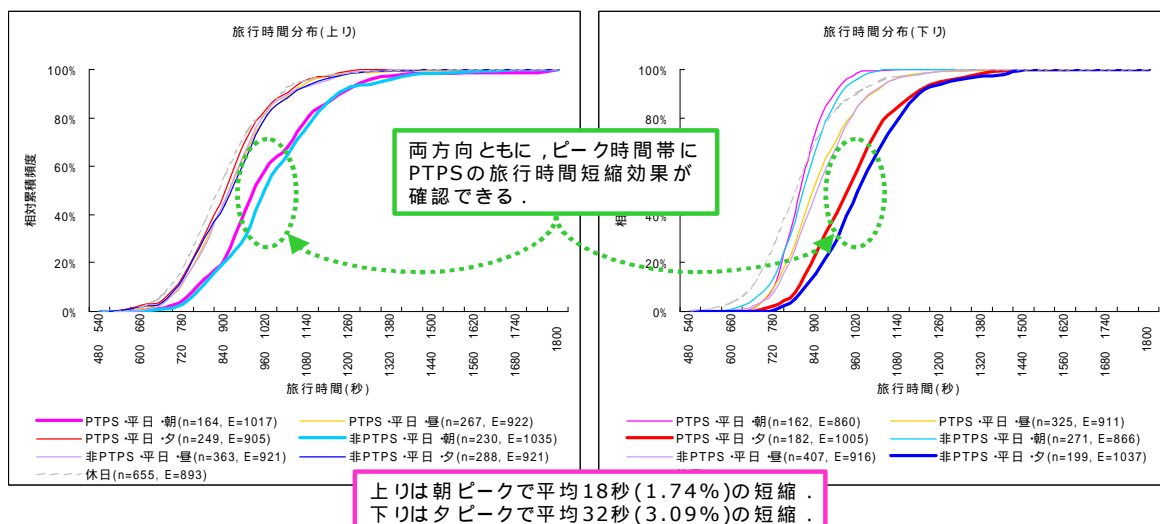


図 - 5 区間旅行時間の比較

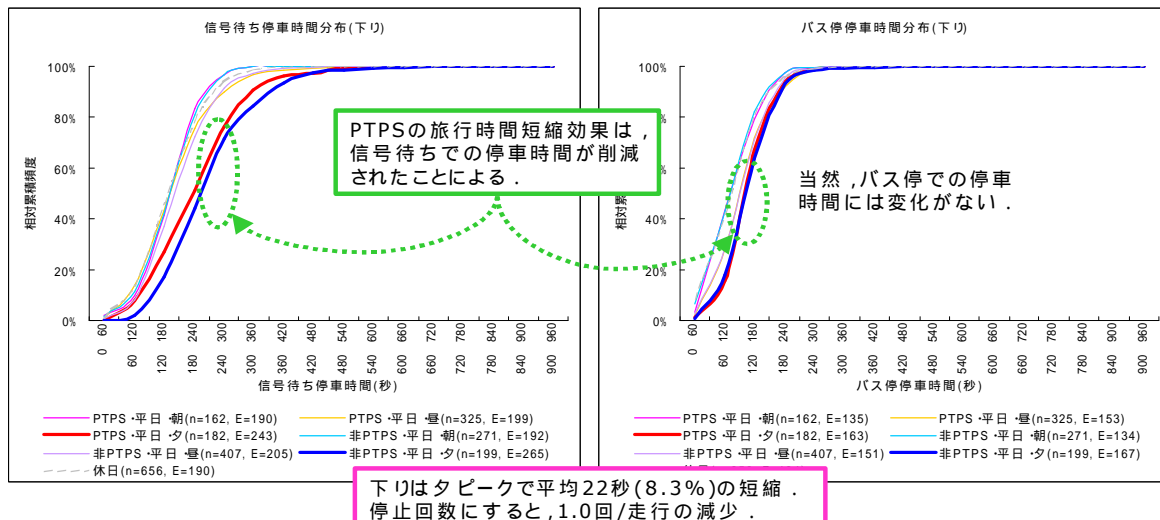


図 - 6 旅行時間中の停車時間内訳の比較(下りのみ)

異なるので、上りは朝ピーク時間帯を、下りは夕ピーク時間帯を太線で強調している。

(1) 区間旅行時間の改善効果

図 - 5 は区間旅行時間の分布を比較したグラフである。旅行時間には、信号待ちによる停車もバス停での停車も含まれている。図より、両方向ともに、ピーク時間帯にPTPS車両の旅行時間が非PTPSのものよりも短い方に分布しており、旅行時間の短縮効果が確認できる。平均値で見ると、上りは朝ピークで18秒(1.74%)の短縮、下りは夕ピークで32秒(3.09%)の短縮効果があった。この差は全体に比べるとわずかに見えるが、統計検定では平均値が等しいという仮説が5%の有意水準で棄却された。

この旅行時間のうち、停車時間を信号待ちによるものとバス停でのものに分けて比較したものが図 - 6 である。バス停での停車時間分布は、PTPSの動作に関係ないはずであり、グラフからもPTPS車両と非PTPS車両の違いは読みとれない。一方、信号待ち停車時間は、PTPS車両のほうが非PTPS車両よりも短くなっており、上りでは平均18秒、下りでは平均22秒短縮されている。これは旅行時間の短縮分にほぼ等しく、PTPSによる制御の結果が、旅行時間の短縮に寄与していることが読みとれる。なお、信号待ちによる停車回数を比較したところ、朝ピーク時の上りでは1走行あたり約0.7回、夕ピーク時の下りでは約1回減少していることがわかった。

(2) 定時性の改善効果

図 - 7 は、ダイヤで設定されたバス停通過時刻に対して、実際の通過時刻がどれくらい遅れているかを比較したものである。これを見ると、下り方向はPTPS車両の方が遅れ量は小さくなっており、定時性の向上が認められる。2分未満の遅れですんでいる車両の割合を見ると、非PTPS車両では59%だったのが、PTPS車両では68%に増えていることがわかる。

しかしながら、上り方向では旅行時間の短縮効果があるにもかかわらず、定時性には変化が認められない。理由の一つには、朝ピーク時の運行ダイヤが余裕をみてバス停間の所要時間を決めていていることが考えられる。実際のダイヤを確認すると、オフピーク時では区間全体の旅行時間を16分としてダイヤが設定されているが、朝ピーク時だけは20分に設定されている。このダイヤはPTPS導入前に設定されたものと考えられるが、朝ピーク時間帯でのPTPSによる時間短縮効果が認められることから、運行間隔を今よりも短く設定できることが示唆される。

(3) 環境インパクトの軽減効果

図 - 8 に燃料消費量推計値を比較した結果を示す。実際にはプローブとしたバスは液化プロパンガス(LPG)車両であるが、上述の大口による推計式の係数は乗用車クラスのガソリン車のものしか用意されていないため、ここではガソリン車に換算して評価している。

両方向についていえるのが、ピーク時間帯以外で

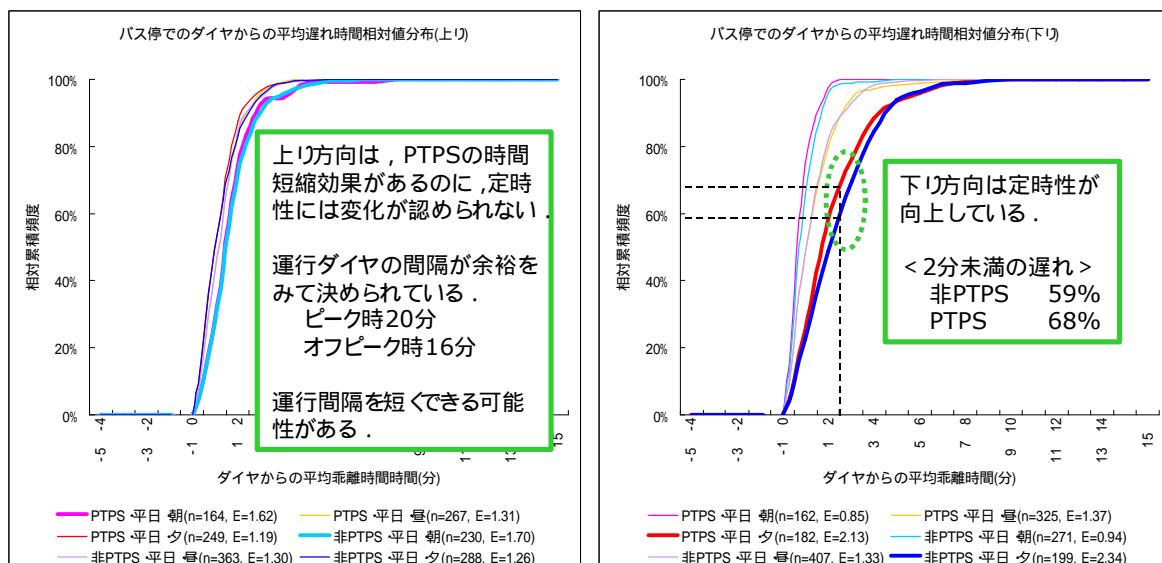


図 - 7 ダイヤ設定時間からの遅れ時間分布の比較

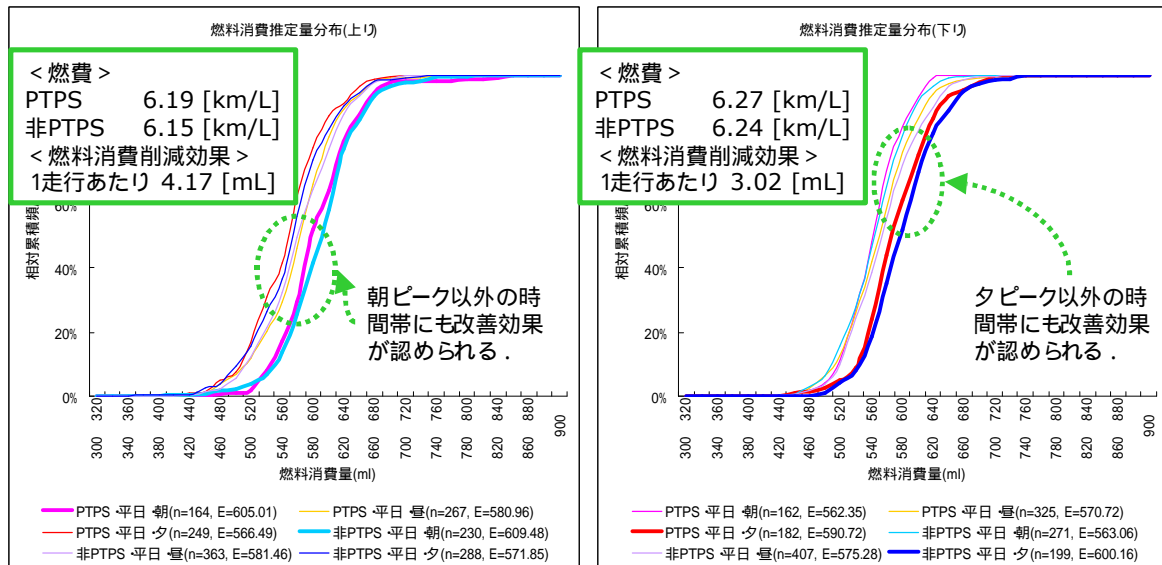


図 - 8 燃料消費推計量の比較

もPTPS車両の分布曲線が非PTPS車両のものよりも左に偏っており、削減効果が認められることである。ピーク時の1走行あたり燃料消費量の差を見ると、上りでは平均で4.17ml、下りでは3.02mlの削減効果があったことになる。

旅行時間の短縮効果は、下りの方が大きかったが、燃料消費推定量では上りの削減効果の方が大きくなっている。これは、下りの夕ピークの方がもともと上りに比べて高い速度域に分布しており、その状態での旅行時間短縮よりも、渋滞が相対的に激しい、低い速度域での改善の方が、燃料消費量の削減効果の面では大きくなると解釈される。

同様にCO2排出量推計値を比較したところ、ピーク時の1走行あたりでは、上り方向では0.11g、下り方向では0.08gとなった。

5. 結論

以上、A市バス路線において、平成15年9月～平成16年1月にかけて収集した、約4000回の走行データを用いて、同区間に導入されているPTPSによるバス運行状況の改善効果を分析した。評価では、区間旅行時間の短縮効果、定時性の向上、環境インパクトの軽減効果を示す指標を比較した。その結果、以下のような知見を得た。

両方向ともピーク時において旅行時間の短縮効果が認められ、上りは朝ピークで平均18秒(1.7

4%)、下りは夕ピークで平均32秒(3.09%)旅行時間が短縮された。

下り方向には定時性の向上が認められ、2分未満の遅れとなる車両が非PTPSの59%にくらべて、PTPSでは68%に増えている。また、上り方向では定時性の向上は見られないが、現状ではピーク時のダイヤが余裕を持って組まれており、運行間隔を短くできる可能性がある。

両方向とも時間帯を問わず環境インパクト指標の改善効果が認められる。とくに混雑が顕著な上り方向での改善効果が大きい。

PTPSの効果を評価するのであれば、本来は導入の前後で同様の調査を実施し、その差をもって議論されなければならない。今回は実施時期の都合で、導入後にPTPS車両と非PTPS車両が混在する条件での評価となってしまった。このため、前述の通り、非PTPS車両も前後を走行するPTPS車両への優先制御の恩恵を受けていると考えられ、有意な差を示すことが困難ではないかと危惧されていた。

そのような難しい状況にも関わらず、多様な視点からの改善効果を定量的、かつ高い信頼性で示せたことで、プローブによって交通インフラのパフォーマンスを評価し、定常的にモニタすることの優位性をアピールすることができたといえよう。いずれの効果も、絶対量ではわずかしかないように見えるが、多数のサンプルをもとに評価した結果であり、統計的に有意な差があると認められるたことは、人手に

よる数日間の調査では得られない利点である。

参考文献

- 1) 自動車走行電子技術協会 :ITSの社会的有効性に係るシステムの実証報告書,平成14年3月。
- 2) K. Makimura, et al.: Performance indicator measurement using car navigation systems, TRB Annual Meeting, 2001.
- 3) 新倉聡 :PTPSにおける信号制御手法について,交通工学,第38巻2号,2003。
- 4) 堀口良太 :走行イベント単位でのプローブデータ記録方式の効用,土木計画学研究 講演集,Vol.26,2002。
- 5) 堀口良太,ほか :プローブデータのクレンジング処理と車種別の運行特性分析,土木計画学研究 講演集,Vol.26,2002。
- 6) 大口敬, 片倉正彦, 谷口正明 (2002): 都市部道路交通における自動車の二酸化炭素排出量推定モデル,土木学会論文集, No.695/IV-54, pp.125-136.