

バスプローブ及び公共交通 IC カードを用いた 旅行時間信頼性の面的評価

折部 雄太¹・力石 真²・瀬谷 創³・藤原 章正⁴

¹学生会員 広島大学大学院 国際協力研究科 (〒739-8529 広島県東広島市鏡山 1-5-1)

E-mail:m161711@hiroshima-u.ac.jp

²正会員 広島大学大学院 国際協力研究科 (〒739-8529 広島県東広島市鏡山 1-5-1)

E-mail:chikaraishim@hiroshima-u.ac.jp

³正会員 神戸大学大学院 工学研究科 (〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1)

E-mail:hseya@people.kobe-u.ac.jp

⁴正会員 広島大学大学院 国際協力研究科 (〒739-8529 広島県東広島市鏡山 1-5-1)

E-mail:afujiw@hiroshima-u.ac.jp

バスプローブや公共交通 IC カードデータを利用した研究は数多く行われているが、バス特有の現象である、バス停での停車時間やバスの到着遅れに伴う旅行時間の増大及び旅行時間信頼性の低下について、広域のバスネットワークを対象として分析した事例はほとんど見当たらない。原因の一つとして、データの扱いが煩雑であり、広域のバスネットワークを対象に分析を拡大可能な簡便な手法が提案されていないことが挙げられる。本研究は、公共交通 IC カードデータの平均旅行時間は、バス プローブの平均旅行時間よりも長くなる傾向になる点に着目し、公共交通 IC カードデータのみで広域の(面的に)旅行時間変動を特定するための傾向スコアを用いた補正方法を提案した。

Key Words : bus prove data, travel time reliability, late arrival, Propensity Score

1. はじめに

近年の情報通信技術の進展に伴い、ETC2.0 プローブデータ、商用車プローブデータ、民間事業者が収集したプローブデータ、タクシープローブデータ、バスプローブデータ等、いわゆる交通ビッグデータが利用可能になっている。これらのデータは、多くの場合サンプルベースのデータではあるものの、GPS やジャイロから特定された緯度経度情報を 24 時間 365 日観測しているという点において、高い空間解像度を有している。この特徴から、旅行時間信頼性の解析(中山・朝倉, 2014)や、詳細な経路選択情報を活用した経路選択行動の解析(Fosgerau et al., 2013; Mai et al., 2015)など、既存のデータでは観測が困難であった交通現象の解析が進みつつある。

一方、上述の交通ビッグデータの利活用については、様々な課題が残されている。大別して方法論上の課題と活用上の課題がある。方法論上の課題については、大量データの高速処理、マップマッチング手法の改善、既存データとの組み合わせ方法など、技術的に解決すべき課題が残されている(Luo et al., 2016)。活用上の課題としては、交通運用や交通計画のどの段階において交通ビッグデータにより計画・

運用プロセスを大幅に改善する可能性があるのかを改めて議論する必要がある。後者については、既に交通ビッグデータを利用した多くの既往研究があるものの、ビッグデータを所与とした場合に達成可能な交通計画・運用プロセスの全体像は依然として明らかではない。

本研究では、バスの旅行時間信頼性の推計に焦点を当て、バスプローブデータと公共交通 IC カード(PASPY)データの特性を考慮した上で簡便に旅行時間信頼性を推計する方法を提案する(方法論上の貢献)。特に、公共交通 IC カードデータの取得がピーク時に偏る(すなわち、オフピーク時は利用者がおらずデータが欠測となることが多い)ことにより発生するバイアスを簡便に補正するために傾向スコアを用いることを提案する。また、構築した旅行時間信頼性指標の活用に向けて、道路管理者、バス事業者、バス利用者それぞれの視点からみた3つの旅行時間信頼性を定義し、道路整備、公共交通計画・運用、利便性改善といったそれぞれの政策検討場面に合わせた旅行時間信頼性指標を提示する。さらに、バスプローブデータ(広島県バス協会より提供)及び広島都市圏において利用可能な公共交通 IC カードである PASPY の利用履歴データを用いた実証分

析を行い、提案手法・指標の考察を深める。本研究においては大規模な提案手法の適用例を示すことはできていないものの、本研究は、都市圏全域の旅行時間及び旅行時間信頼性の数値化・可視化を簡略に行うための手法開発基礎研究として位置付けられる。

本研究は、以下のように構成される。第 2 章では既往研究の整理と本研究の位置づけを行う。第 3 章では分析に用いるデータ（バスプローブデータ、公共交通 IC カード（PASPY）データ）の概要と両データの特性の違いを確認する。第 4 章では、本研究において使用する三種類の旅行時間を定義し、利用場面との関連性を整理する。また、3 章において示された公共交通 IC カードデータにより推計された旅行時間のバイアス除去手段として利用する、傾向スコア法の概要を説明する。第 5 章では傾向スコアの推定結果及び旅行時間信頼性推計への適用を図る。最後に、第 6 章においてまとめと今後の課題を示す。

2. 既往の研究と本研究との位置づけ

(1) 旅行時間信頼性に関する既往研究のレビュー

交通混雑や事故等の突発事象の発生は、平均的な旅行時間の増加のみならず、旅行時間変動の増大ももたらす。旅行時間の変動は、日常生活の活動パターンを事前に決めるといふ行為を困難にすることから、不確実性の増大に伴う不効用が発生する点が特徴といえる。バスの場合、一般乗用車と比較して旅行時間変動は更に大きくなるのが予想される。これは、バス到着時刻の不確実性により生じるバス停での待ち時間、乗客数の増加に伴うバス停での停車時間の増加等、旅行時間の変動が更に大きくなる要因が追加されるためである。

旅行時間信頼性に関する研究は、重要なテーマの一つとして我が国においてもすでに広く認識されてきている（中山・朝倉, 2014）。また、旅行時間変動を抑制することの経済的価値を計測した研究も数多く存在する。旅行時間変動を抑制する価値は、研究によって結果にばらつきがあるものの、主要な便益表か項目の一つになり得るほどに大きい値をとることが確認できる。従って、旅行時間変動を抑制する手立てを講じることは、旅行者の移動コスト及び社会的コストの抑制につながると考えられる。

(2) バスの旅行時間信頼性に関する 既往研究のレビュー

わが国においてもバスの旅行時間信頼性を扱う研究が幾つか存在する。永廣ら(2005)、松中ら(2006)は、バスプローブデータを用いた、「一般車両」の走行速度の推計方法の提案を行っている。同様に、坂本ら(2014)は、バスプローブデータを、一般車両プローブデータの時空間補完（欠損補完）に使用している。財津ら(2014)は、バスプローブデータにおけるバス停での閉扉等の時刻と、0.5 秒周期で計測したデジタルタコグラフデータを用いて、路線バスの急減速発生状況の分析を行っている。これにより、乗客の車内転倒を招きかねない急減速の発生箇所と発生時刻を推定している。

辰巳・大野(2010)は、路線バスの所要時間の変動要因についての研究を行っている。対象路線である西日本鉄道（株）の福岡市内路線バス「雁の巣駅前発天神三丁目行き（系統番号 21A）」における 1 年分のバスプローブを用いて、天気、台風、気温、月、曜日、五十日、時間帯の要因を取り上げ路線バス所要時間に及ぼす影響について検討している。また、公共交通 IC カードデータを用いた既往研究は例えば(Kurauchi and Schmocker, 2017)等にあるため、ここでは省略する。

(3) 本研究の位置付け

上述したように、バスプローブや公共交通 IC カードデータを利用した研究は数多く行われている。一方、バス特有の現象である、バス停での停車時間やバスの到着遅れに伴う旅行時間の増大及び旅行時間信頼性の低下について、広域のバスネットワークを対象として分析した事例はほとんど見当たらない。原因の一つとして、データの扱いが煩雑であり、広域のバスネットワークを対象に分析を拡大可能な簡便な手法が提案されていないことが挙げられる。本研究は、この点に着目し、公共交通 IC カードデータのみで広域の（面的に）旅行時間変動を特定するための手法を提案する。

3. 使用データ

本章では、まず本研究において使用するバスプローブデータ、公共交通 IC カード（PASPY）データを概説する。表 3.1 に両データの概要を示す。

(1) バスプローブデータ

本研究では、まず、広島電鉄（株）の市内 2 号線、3 号線、4 号線を対象にデータの特性の把握を試みる。ここで総観測地点数とは、各バス停を中心とした半径 50m のバッファに含まれる総 GPS 測位データ数である。使用観測地点数とは、総観測地点数のうち、便毎にバス停に最も近い測位点のデータのみを抽出した観測地点の総数である。なお、本バスプローブデータは 100m 毎に測位される仕様になっており、半径 50m のバッファに測位点が入らないケースがある点に留意する必要がある。具体的には、2 号線では理論値 190,288（バス停数×便数×日数）に対して観測地点数が 181,648（95.4%）、3 号線では理論値 633,325 に対して観測地点数が 605,774（95.6%）、4 号線では理論値 172,410 に対して観測地点数が 176,425（97.7%）となっている。バッファを大きくとれば欠損割合は小さくなるものの、実際のバス停到着時刻と観測時刻との間の誤差が大きくなるという問題が生じるため、今回の分析では半径 50m のバッファを採用することとした。2 号線は始発バス停が商業施設となっている一方、他の 2 路線は住宅団地が始発バス停となっている。

表 3-1 データ概要 (市内 2 号線, 3 号線, 4 号線)

路線名		市内 2 号線 (県庁方面)	市内 3 号線 (広島駅方面)	市内 4 号線 (県庁方面)
総観測地点数 (プローブデータ)		536,692	3,332,519	842,521
使用観測地点数 (プローブデータ)		181,648	605,774	172,410
総タップ数 (PASPYデータ) (乗り降りをワンセットとしてカウント)		201,265	595,239	150,862
対象バス停数		22	26	25
便数 (1 日)	平日	28	95	26
	土曜日	20	88	15
	日曜日/祝日	14	88	15
データ期間		2015 年 4/1~12/31	2015 年 4/1~12/31	2015 年 4/1~12/31

(2) 公共交通 IC カード (PASPY) データ

本研究では、バスプローブデータに加えて、PASPY カードのデータを利用する。今回の研究で利用するデータセットには、秘匿処理のため個人 ID は入っていないものの、PASPY 利用者の乗車バス停/降車バス停が特定できるなど、バスプローブデータとは異なり利用者の行動実態の解明に利用することができる(Kurauchi and Schmocker, 2017)。また、乗降時のタップ情報を用いるため、100m 毎の測位点情報を用いるバスプローブデータと比べてより正確なバス停到着/出発時刻情報が得られる可能性が高いこと、PASPY 利用者数からバス停での乗降客数が推測できることなど、バスプローブデータと比べて多くの情報を有する点が公共交通 IC カードの特徴といえる。

一方、PASP 利用者がいない場合、データは欠損扱いとなるため、バス利用者数の少ない路線/時間帯においてデータの欠損が発生しやすいという特徴を有する。したがって、公共交通 IC カードを用いて旅行時間信頼性を算出する際には、交通需要の多い(混雑した)時間帯のデータが多く含まれている可能性が高く、旅行時間信頼性が実際よりも低く推計される可能性があることに注意する必要がある。4 章にて提案する傾向スコアを用いた手法は、この点に配慮した旅行時間及び旅行時間信頼性の推計手法であるといえる。

今回の研究では、PASPY 運営協議会より提供いただいた 719 系統のうち、まず、バスプローブデータと同じ路線(市内 2 号線, 3 号線, 4 号線)を対象にデータ特性を把握するための基礎分析を行う。上記 3 路線における各バス停でのデータ観測確率(バス停において 1 人でも乗降客がいる確率)は、64.1% (2 号線), 52.4% (3 号線), 57.8% (4 号線)となっており、バスプローブデータに比べて観測密度の低いデータとなっていることが確認できる。

(3) データの統合

本研究では、最終的に、バスプローブデータと公共交通 IC カード (PASPY) データを統合したデータセットを利用する。本データセットでは、時刻表上の時刻, GPS 時刻, 及び, PASPY 時刻の 3 種類の時刻データが存在する。GPS 時刻データと PASPY 時刻データの違いについては、①欠損のパターン・割合が異なること、②PASPY 時刻データは乗降者開始

時刻と完了時刻の両者の情報があるため、バス停での停車時間の推定が可能であることが挙げられる。また、PASPY データより、乗降客数が把握可能となっている点も大きな特徴といえる。

(4) バスプローブデータと公共交通 IC カード (PASPY) データの平均旅行時間の比較

図-3.1 市内 2 号線におけるバスプローブデータから得られた平均旅行時間と PASPY データから得られた平均旅行時間を示す。図より、GPS 旅行時間, PASPY 旅行時間共に、時刻表の旅行時間と比べて一定程度の遅延が発生していることが確認できる。GPS 旅行時間と PASPY 旅行時間を比較すると、PASPY 旅行時間の方が長くなる傾向にあることが読み取れる。これは、先述したように、渋滞の少ないオフピーク時において PASPY データの欠損が増えることに起因しているものと考えられる。なお、市内 3 号線, 4 号線ともに全バス停で PASPY 旅行時間の方が GPS 旅行時間よりも長かった。

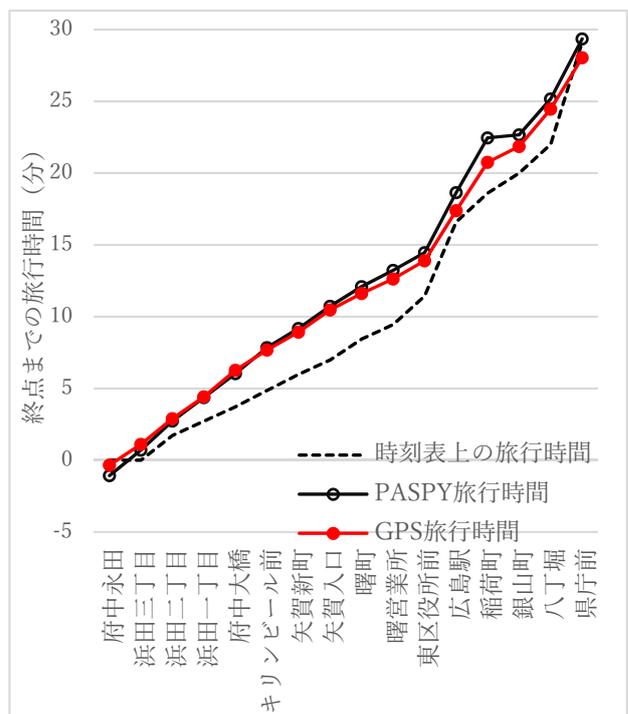


図-3.1 市内 2 号線における平均旅行時間の推移

4. 分析の枠組み

本章では、まず、バスの旅行時間情報を用いて旅行時間を算出する場合、大別して3つの旅行時間の定義が存在することを示し、それらのバスプローブデータ／公共交通 IC カードデータによる計測可能性について整理する。次に、公共交通 IC カードデータを用いて旅行時間を算出する場合に問題となるバイアスの問題に対処するための方法として、傾向スコアを概説する。

(1) 三種類の旅行時間の定義

バスプローブデータ／公共交通 IC カードデータより得ることのできるデータは、大別して次の3つの旅行時間情報を提供することが可能と考えられる。

一つ目は、一般的な道路ネットワーク上の旅行時間であり、主に道路管理者／乗用車利用者に需要がある情報といえる。なお、この視点に立った研究事例として、一般乗用車プローブデータとの回帰式を用いてバスプローブデータから一般的な道路ネットワークの旅行時間の推定を試みた研究(松中亮治 et al., 2006)や、バス停停止に伴う遅れ時間の補正を試みた研究(宇野伸宏 et al., 2006)などがある。

二つ目は、バスネットワーク上の旅行時間の推計であり、主にバス事業者に必要な情報といえる。一つ目との違いは、旅行時間にバス停停止による遅れ等を含まれる点にあり、バス停の設計や間隔の改良に有用な情報といえる。

三つ目は、バス利用者の実際の旅行時間であり、主にバス利用者への情報提供の際等に有用な情報といえる。二つ目との違いは、バス乗車中の旅行時間に加えて、発地におけるバスの到着遅れが考慮されている点にある。それぞれの旅行時間に対応するデータ整備の方針として、本研究では以下を採用する。

①旅行時間1 「道路旅行時間」

バスプローブまたは PASYP により観測されたバス停間旅行時間からバス停での停車時間を除いた旅行時間

②旅行時間2 「道路旅行時間+バス停停車時間」

バスプローブまたは PASYP により観測されたバス停間旅行時間

③旅行時間3 「道路旅行時間+バス停停車時間+バスの到着遅れ」

バスプローブまたは PASYP により観測されたバス停間旅行時間 + 発地におけるバスの到着遅れ(時刻表からの遅れ時間)

なお、旅行時間1の「バス停での停車時間」について、本研究では、単純に PASYP データより観測される乗降者開始時刻と完了時刻の差分により定義する。ただし、より正確に一般的な乗用車の旅行速度を表現する場合、バス停での停車だけでなく、その前後に発生する減速・加速を判定し、加減速による遅れも考慮した「バス停の停車に伴う遅れ時間」として定義する必要があるものと考えられる(宇野ら, 2006)。観測密度の高いバスプローブデ

ータが利用可能な場合、このようなデータ処理も可能ではあるものの、今回利用する 100m 間隔のバスプローブデータでは精度の高い「バス停の停車に伴う遅れ時間」の推定は難しい。旅行時間1については、上記の点を踏まえて考察を進める必要がある。

(2) 三種類の旅行時間の集計

(終着バス停を目的地とした場合)

PASYP データをベースに算出した3種類の旅行時間、及び、バスプローブデータをベースに算出した市内2号線の3種類の旅行時間を図4.1に示す。図より、どの旅行時間指標についても、PASYP データの方がバスプローブデータよりも旅行時間が長くなる傾向にあり、PASYP データの旅行時間が過大に推計される傾向にあることが確認できる。また、バスの到着遅れの影響については、どの路線においても特に目的地に近いバス停ほど大きくなることが確認できる。このことは、バス路線が長い場合、終着バス停に近いバス停ほど、バスの到着時刻の不確実性が高まり、バス利用の利便性が低下することを示唆している。

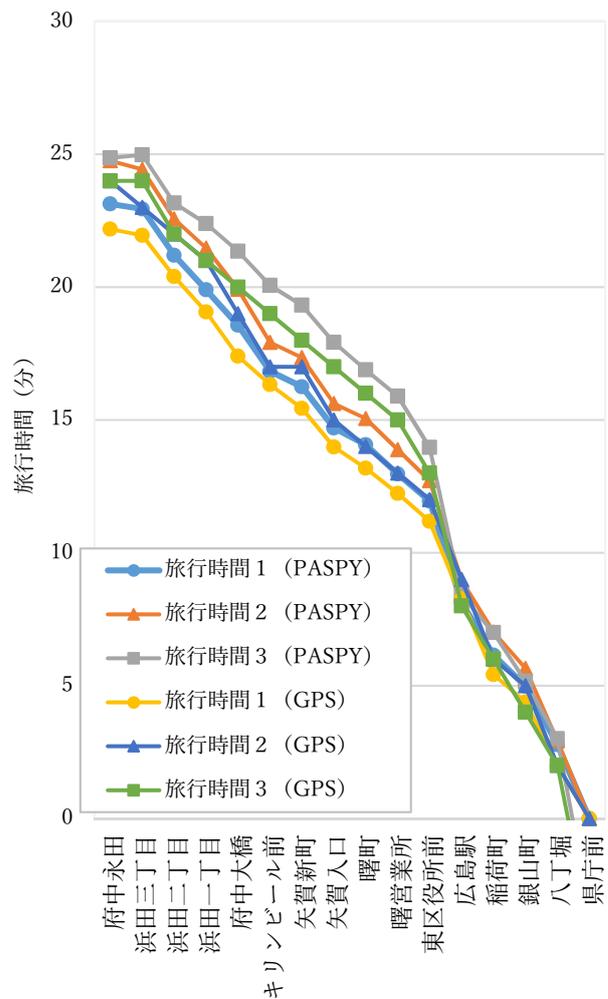


図4.1 市内2号線の終着バス停までの平均旅行時間 (PASYP: 公共交通 IC カードデータ; GPS: バスプローブデータ)

表-5.1 傾向スコア推定結果

	2 号線		3 号線		4 号線	
	Estimate	z value	Estimate	z value	Estimate	z value
定数項	1.112	52.83	0.029	3.17	0.986	41.40
6 時台	0.171	4.19	-1.040	-24.70	0.207	5.92
7 時台	0.548	17.54	0.523	40.18	-0.026	-0.94
8 時台	0.715	22.96	0.542	40.72	0.110	3.80
9 時台	0.456	14.92	0.306	21.07	-0.007	-0.24
1 0 時台	0.000	-	0.000	-	0.000	-
1 1 時台	0.160	4.92	0.072	5.65	-0.600	-16.86
1 2 時台	-0.375	-13.02	0.114	8.39	-0.551	-16.11
1 3 時台	-0.385	-13.50	-0.056	-4.00	-0.673	-19.80
1 4 時台	-0.627	-21.61	-0.130	-9.36	-0.925	-27.69
1 5 時台	-0.610	-21.22	-0.109	-8.66	-0.960	-31.29
1 6 時台	-0.784	-26.89	0.142	10.90	-1.011	-34.76
1 7 時台	-0.279	-9.54	0.459	35.00	-0.560	-18.85
1 8 時台	-0.656	-24.24	0.283	21.24	-0.703	-21.11
1 9 時台	-1.150	-40.73	0.122	8.63	-1.351	-43.57
2 0 時台	-1.780	-62.94	0.044	2.77	-1.614	-39.84
2 1 時台	-1.987	-59.89	-0.403	-22.62	-2.029	-61.14
2 2 時台	-1.724	-38.32	-0.906	-32.90	NA	-
土曜日	0.167	10.19	0.063	8.04	-0.060	-3.49
日曜日・祝日	-0.557	-39.80	-0.398	-58.98	-0.668	-45.83
初期対数尤度	-123355.2		-419889.8		-119277.5	
最終対数尤度	-105009.1		-411517.9		-108709.9	
サンプル数	177964		605773		172081	

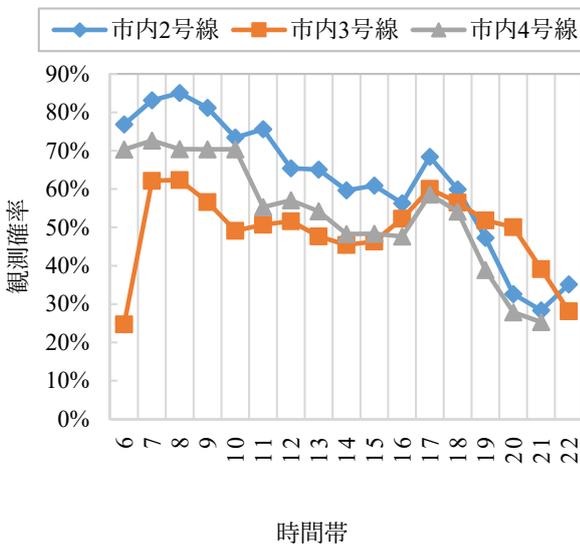


図-4.1 PASPY データの欠損パターン (時間帯)

(2) PASPY データ欠損パターンのモデル化

以上にみた PASPY データに基づく旅行時間の推定におけるバイアスは、PASPY 特有の欠損パターンに起因して発生しているものと考えられる。以下、(a)では、PASPY データの欠損パターンを簡単に確認した後、(b)においてバイアスを除去する手段としての傾向スコアの概要について述べる。

(a) PASPY データの欠損パターン

図-4.1 及び図-4.2 に、時間帯、曜日別の PASPY データの欠損割合を示す。図より、特に住宅地を発地とする市内 2 号線、4 号線については、朝のピーク時は欠損率が低くなっていることが確認できる。一方、商業施設を発地とする市内 3 号線については、日曜日の欠損率が平日と同程度と、他の市に比べて休日においても一定程度の需要が存在することが確認できる。

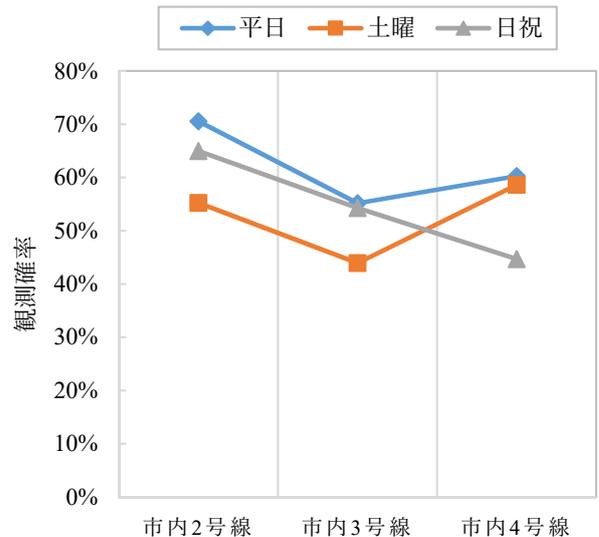


図-4.2 PASPY データの欠損パターン (曜日)

(b) 傾向スコア

上述したように、PASPY データを用いた旅行時間の計測、及び、旅行時間信頼性指標は課題に推計される傾向にある。この原因は、PASPY データの高い欠測率 (40%前後) によるものと考えられる。そこで本研究では、このような PASPY データが有するバイアスの簡便な除去手段として、傾向スコア (Rosenbaum and Rubin, 1983) を用いる。欠測が発生するメカニズム (Missing mechanism) は、以下の三通りに分類される (Rubin, 1976)。

1. 完全にランダムな欠測 (MCAR: missing completely at random)
2. ランダムな欠測 (MAR: missing at random)
3. ランダムでない欠測 (NMAR: not missing at random)

MCAR は、欠測するかどうかは、これから分析を行う事象とは独立に発生しているケースのことを意味しており、この場合、欠測データを除去して観測データのみで分析を行ってもバイアスは生じないことが知られている。MAR は、欠測するかどうか、欠測値には依存せずに観測値にのみ依存するケースを指す。例えば、PASPY のデータ欠測パターンが時間帯を表現する変数によって完全に説明できるのであれば、欠測値は (時間帯という) 観測値にのみ依存するといえる。NMAR は、欠測するかどうか、欠測値そのものの値や観測できていない他の変数に依存するケースを指す。例えば、PASPY のデータ欠測パターンが周辺の高校の休暇や商業施設の閉店により生じたものであるものの、これらの情報を事前に把握できていない状況が該当する。

本研究において用いる傾向スコアは、MAR の概念に基づきバイアスの除去を試みるものである。したがって、予め PASPY のデータ欠測を起こしうるような要因 (時間帯や曜日、周辺の商業施設等) の情報を整理しておく必要がある。本来は、周辺商業施設の営業時間、周辺地域の人口等の空間情報についても整理することが望ましいが、本研究ではトライアルとして時間帯と曜日の情報を用いて傾向スコアを構成した。d 日に運行される路線 r 上の第 b 便目のバスがバス停 i において PASPY 利用者を有するかどうか (すなわち、PASPY データが欠測かどうか) を示す割当変数を Z_{riab} (1: 観測; 0: 欠測)、欠測メカニズムを表現する共変量を x_{riab} すると、傾向スコア e_{riab} は以下のように定義される。

$$e_{riab} = p(Z_{riab} = 1 | x_{riab})$$

ここで $p(\cdot)$ は確率関数であり、以下のロジット型の式で推計する。

$$e_{riab} = \frac{\exp(x_{riab})}{1 + \exp(x_{riab})}$$

推定した傾向スコアを利用してバイアスを除去する方法は複数知られているが、本研究では、逆確率による重みづけ (Inverse probability weighting) を用いた推定を行う。

5. 分析結果 (3 路線対象)

以下では、前章において示した傾向スコアの推定結果についてまず考察を行い、その後、傾向スコアを用いて推定した旅行時間及び旅行時間変動の推計値をもとに、傾向スコアを使用することの意味を確認する。

(1) 傾向スコア推定結果

傾向スコアの推定結果を表-5.1 に示す。PASPY 利用客の集計結果と同様に、市内 3 号線を除いて、午前においては欠測が比較的少ないものの、夜間に高い欠測が観測されていることが確認できる。路線毎に欠測の発生パターンが異なることから、本研究では、表-5.1 の路線別に推計したパラメータ値を用いて傾向スコアを構成することにする。なお、今後の課題として、土地利用情報等を考慮し、全域で統一された欠測モデルを構築することが考えられる。

(2) 旅行時間信頼性 (傾向スコアによる補正なし)

前節にて推定した傾向スコアを用いた旅行時間及び旅行時間変動の推計を行う前に、傾向スコアを用いない場合の旅行時間信頼性をベンチマークとして確認する。図-5.2~5.4 に市内 2 号線の 10%、90% クォンタイル値及び標準偏差を示す。特徴的な点として、クォンタイル値が大きくなるに連れてバスの到着遅れによる影響が顕著に確認できる点がしてきできる。このことは、旅行時間信頼性の観点からも路線バス特有の”不確実な”待ち時間が利便性を大きく下げていることを示唆している。また、通常、旅行時間の標準偏差は旅行時間が短いほど小さくなる (すなわち旅行時間変動が小さくなる) と考えられるが、バスの利用者の視点に立ち待ち時間を考慮した旅行時間を採用すると、目的地に近いバス停であっても高い旅行時間変動にさらされていることが確認できる。

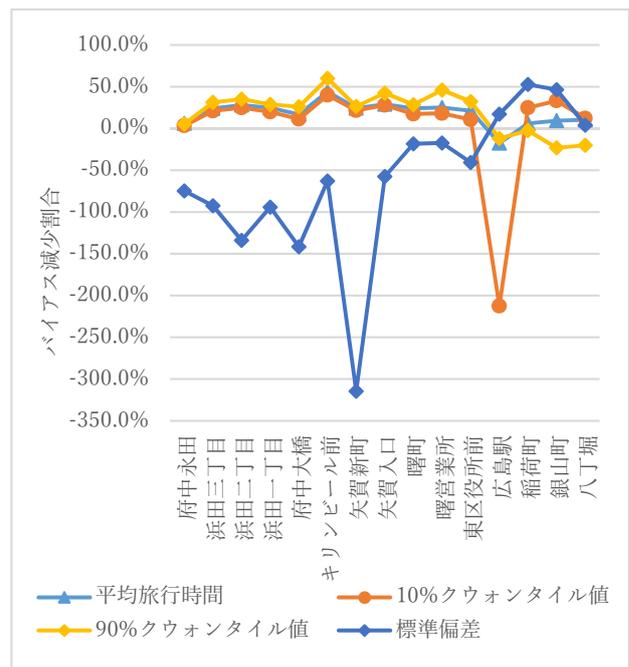


図-5.1 バイアス減少割合 (市内 2 号線)

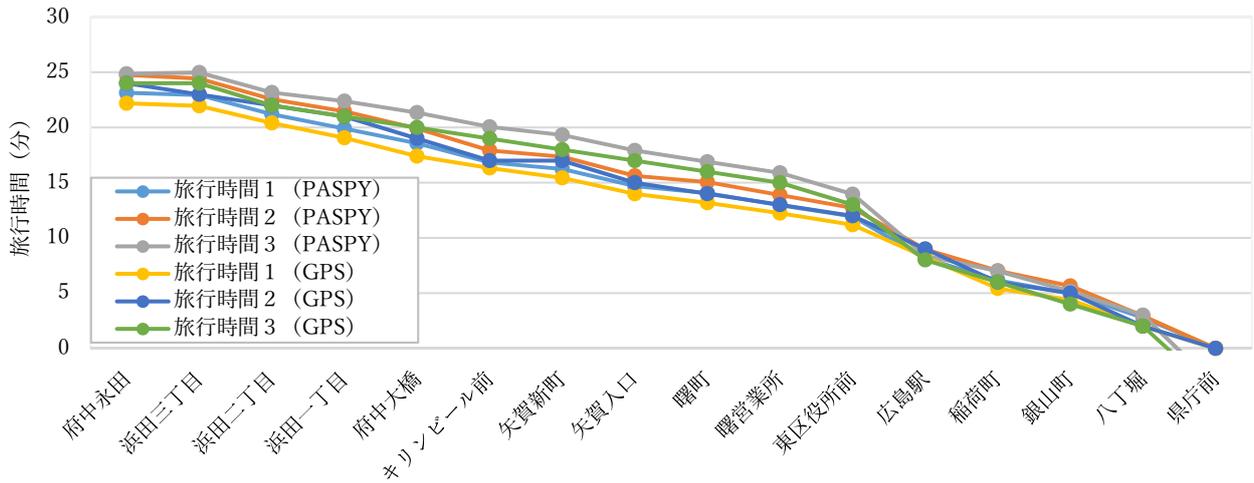


図-5.2 市内2号線 (Quantile 10%)

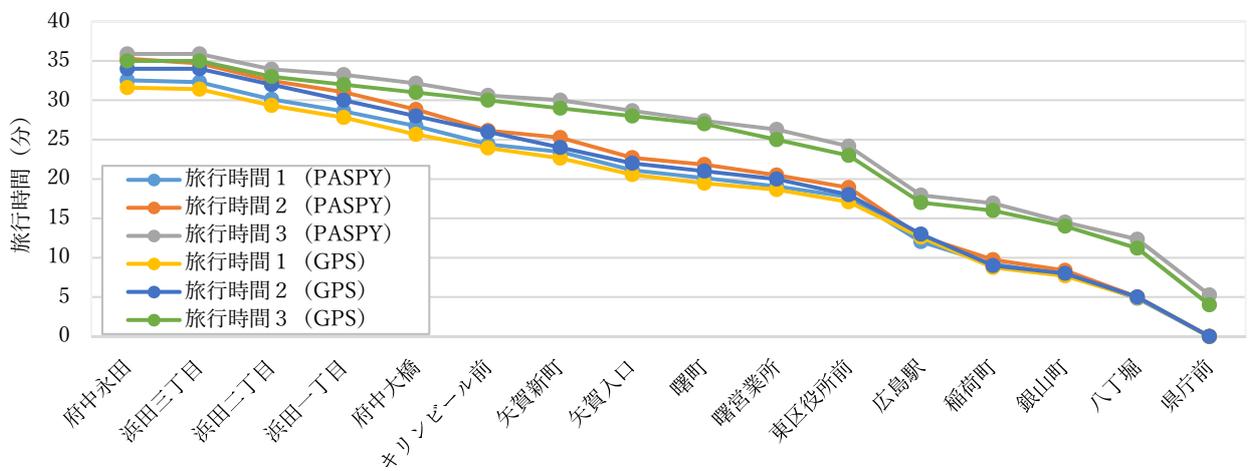


図-5.3 市内2号線 (Quantile 90%)

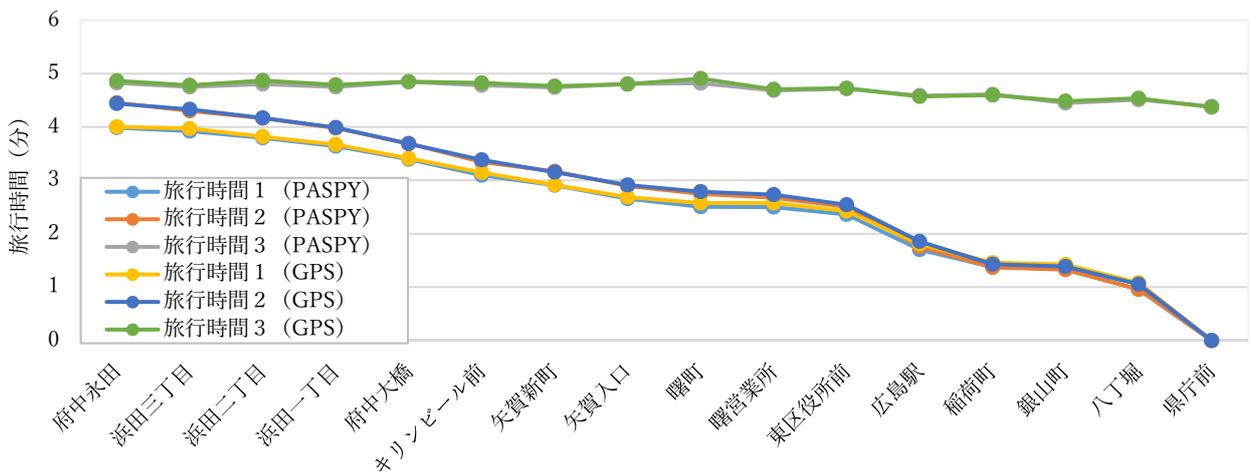


図-5.4 市内2号線 (標準偏差)

(3) 傾向スコアによるバイアス補正

図-5.1 に市内2号線を例に10%, 90%クウォンタイル値及び標準偏差に対してのバイアス減少割合を示す。ここでバイアス減少割合とは、バスプローブデータを真値とした場合のバイアス減少割合のこと

を意味する。標準偏差の推定においては、傾向スコアを用いることでかえってバイアスが大きくなっているものの、旅行時間平均値やクウォンタイル値については多くのケースで20-40%の改善が確認できる。

今回用いた時間帯・曜日の情報だけでも一定程度バイアスの減少に寄与できることが確認された。

6. おわりに

(1) 研究の成果

本研究では、バスの旅行時間信頼性の推計に焦点を当て、バスプローブデータと公共交通 IC カード (PASPY) データの特性を考慮した上で簡便に旅行時間信頼性を推計する方法を提案した。提案した手法は、公共交通 IC カードのデータ取得がピーク時に偏る (すなわち、オフピーク時は利用者おらず、データが欠測となることが多い) ことにより発生するバイアスを簡便に補正するものであり、傾向スコアを用いて簡便に実行可能である。また、構築した旅行時間信頼性指標の活用を念頭に、道路管理者、バス事業者、バス利用者それぞれの視点からみた 3 つの旅行時間信頼性を定義し、道路整備、公共交通計画・運用、利便性改善といったそれぞれの政策検討場面に合わせた旅行時間指標を提示した。バスプローブデータ (広島県バス協会より提供) 及び公共交通 IC カード (PASPY の利用履歴) データを用いた実証分析を通じて得られた主な知見を以下にまとめる。

- ✓ 今回分析の対象とした全ての路線において、公共交通 IC カードデータの平均旅行時間は、バスプローブの平均旅行時間よりも長くなる傾向にあることが確認された。
- ✓ 傾向スコアを利用することにより、公共交通 IC カードデータを用いて算出された旅行時間の平均値、クオントイル値のバイアスについては一定程度緩和することが可能であるものの、標準偏差についてはバイアスを増幅する可能性があることが確認された。

(2) 今後の課題

今回の分析対象とした路線は 3 路線に限定されるものの、提案した手法は都市全域のバスネットワーク上の旅行時間信頼性を簡便に推計することを念頭に置いたものであり、今後、大規模な適用例を示す必要がある。傾向スコアの推計において、今回は時間帯・曜日に関する変数を利用するに留まったものの、今後、土地利用情報等の追加情報を考慮したモデルを構築する必要がある。

謝辞：本研究は、国土交通省中国地方整備局広島国道事務所受託研究「交通ビッグデータを活用した交通分析に関する研究 (代表：藤原章正)」の一環として実施したものである。また、広島電鉄株式会社の廣本明彦氏、兼藤靖次氏、川本悠氏には PASPY データの使用に関して便宜を図っていただいた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) Fosgerau, M., Frejinger, E., Karlstrom, A. : A link based network route choice model with unrestricted choice set. *Transportation Research Part B: Methodological* 56, pp.70-80, 2013.

- 2) Kurauchi, F., Schmocker, J.-D. : Public Transport Planning with Smart Card Data. *CRC Press*, 2017.
- 3) Luo, Q., Auld, J., Sokolov, V. : Addressing Some Issues of Map-Matching for Large-Scale, High-Frequency GPS Data Sets. *TRB 95th Annual Meeting Compendium of Papers*, 2016.
- 4) Mai, T., Fosgerau, M., Frejinger, E. : A nested recursive logit model for route choice analysis. *Transportation Research Part B: Methodological* 75, pp.100-112, 2015.
- 5) Rosenbaum, P.R., Rubin, D.B. : The central role of the propensity score in observational studies for causal effects. *Biometrika* 70, pp.41-55, 1983.
- 6) Rubin, D.B. : Inference and missing data. *Biometrika* 63, 581-592, 1976.
- 7) 宇野伸宏, 永廣悠介, 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・論文集* 23, pp.1019-1028, 2006.
- 8) 松中亮治, 谷口守, 端戸祐樹 : 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・論文集* 23, pp.871-877, 2006.
- 9) 財津陽亮・南部繁樹・米田幸司・赤羽弘和 : バスロケータとデジタコデータによる路線バスの急減速発生状況の分析, *交通工学研究発表会論文集*, 34, 393-397, 2014.
- 10) 坂本勇太・松尾春香・財津陽亮・赤羽弘和. (2014) 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, *交通工学研究発表会論文集*, 34, 293-296.
- 11) 広島市 : 広島都市圏バス活性化推進会議資料, 2013.
- 12) 広島市 : バス活性化基本計画, 2015.
- 13) 辰巳造・大野雄作 : バスプローブデータを用いた路線バスの予想所要時間に関する基礎的研究, *都市政策研究* 第 9 号, pp.79-86, 2010.
- 14) 前川裕一・林夏美・牧野友哉・白石陽 : バス到着時刻予測におけるバス運行所要時間データと乗降客数データの活用, *マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集*, Vol.21, pp.165-171, 2013.
- 15) 松中亮治・谷口守・端戸祐樹 : 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・論文集*, 23(4), pp.871-877, 2006.
- 16) 宇野伸宏, 永廣悠介, 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・論文集* 23, pp.1019-1028, 2006.
- 17) 玉田匡・伊藤昌毅・川村尚生・菅原一孔 : バスの遅れ予測を目的とするバスロケーションデータの分析”, *FIT2013 (第 12 回情報科学技術フォーラム)*, pp.413-418, 2013.
- 18) 中山晶一郎・朝倉康夫 : 道路交通の信頼性評価, コロナ社出版, 2014.