

# GTFS を用いた公共交通サービスの特性分析 ～横浜市営バスを対象として～

古川 泰地<sup>1</sup>・中村 文彦<sup>2</sup>・田中 伸治<sup>3</sup>・松行 美帆子<sup>4</sup>・安部 遼祐<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 学生会員 横浜国立大学大学院都市イノベーション学府 (〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5)  
E-mail: furukawa-taichi-zc@ynu.jp

<sup>2</sup> 正会員 東京大学大学院新領域創成科学研究科 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)  
E-mail: nakamura-fumi@edu.k.u-tokyo.ac.jp

<sup>3</sup> 正会員 横浜国立大学大学院都市イノベーション研究院 (〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5)

<sup>4</sup> 正会員 横浜国立大学大学院都市イノベーション研究院 (〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5)

<sup>5</sup> 正会員 横浜国立大学大学院都市イノベーション研究院 (〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5)

近年、我が国の公共交通事業者の保有するデータは、GTFS (General Transit Feed Specification) の普及等のデジタル化に伴い、大量化かつ質を高めている。こうしたデータによる実態の把握により、公共交通のサービスレベルの向上が可能であると考えられる。これらより、本研究は GTFS を用いた分析により、これまでは詳細には解明されていなかった遅延と混雑との関係性や、交差点などの外的要因のバスサービスへの影響を明らかにし、今後のバス輸送計画の改善に資する基礎的情報を得ることを目的とする。

横浜市営バスの配信する GTFS-RT を独自に収集し、データの整形により遅延に対する内的要因として混雑の変化量を抽出、加えて気象等の外的な要因に関するデータも組み合わせ分析を行い、例えば各信号交差点や突発的な降水が遅延に与える影響度合いなど、よりミクロな特性が明らかになった。

**Key Words:** GTFS, real time data, bus, delay time, congestion level

## 1. はじめに

これまで、公共交通事業者はデジタル化に伴い、時刻表や駅、バス停の位置情報など様々なデータを生成し、保有してきた。しかし、こうしたデータのフォーマットは、事業者毎に異なっているのが一般的であり、例えば、複数の事業者を横断したアプリケーションの開発やデータの分析が行い難いという課題が生じていた。このような課題を解決すべく、今日ではデータの標準化が進められ、世界標準の公共交通データフォーマットの1つとして GTFS (General Transit Feed Specification) が用いられている。GTFS は、鉄道やバス、船舶といった様々な公共交通手段に対応しており、このフォーマットを用いて生成されたデータは、例えばいくつかの経路検索アプリケーションにおいて活用されている。我が国においては、静的な GTFS に営業所情報等を追加した GTFS-JP を「標準的なバス情報フォーマット」として、バス事業者をはじめ、各公共交通事業者を対象に普及に努めており、新規データ公開数は近年大きく増加している(図-1)。また、ユーザーの利便性を向上させるべく、バスロケーシ

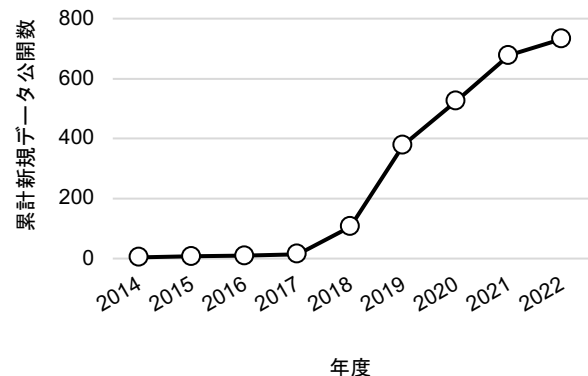


図-1 GTFS の累計新規データ公開数<sup>1</sup>

ョン情報の提供が、多くの事業者で行われている。こうしたリアルタイムな情報においても、GTFS-RT と呼ばれる標準化されたフォーマットを用いたデータ管理・配信が、普及しつつある。

これらによって、近年では公共交通事業者の保有するデータは、大量に生成され、さらには質を高めている。このようなデータの分析を行い、実態を把握、その結果をサービスに反映させることにより、公共交通のサービ

スレベルを向上させることが可能であると考え。よって、本研究では GTFS を用いた分析により、これまでは詳細には解明されていなかった遅延と混雑との関係性や、交差点などの外的要因のバスサービスへの影響を明らかにし、今後のバス輸送計画の改善に資する基礎的情報を得ることを目的とする。なお、本論文では時刻表やバス停標柱位置情報などの静的な GTFS データは「静的な GTFS」、バスの位置情報などのリアルタイムに更新される GTFS を「GTFS-RT」、これらをまとめて GTFS と定義する。また、GTFS-JP で独自に定義されているデータは使用していない。

## 2. 既往研究の整理と本研究の位置付け

GTFS を用いて遅延時間を分析した研究として、例えば笠原ら<sup>2</sup>は、静的な GTFS と事業者提供の運行実施データをマッピングさせ、曜日や時間帯を踏まえて、遅延時間のパターンを分析している。また、但馬ら<sup>3</sup>は、GTFS-RT を用いて、静的な GTFS の shapes における路線形状の各点あたりの遅延時間を算出し、分析を行っており、円環状等の同一バス停を複数回停車する路線には、対応できていないものの、GTFS の活用によりバス停毎の遅延よりも更に詳細な分析ができることを示している。一方で、GTFS-RT の混雑度を用いて分析を行なっている既往研究はない。

これらの既往研究に対し、本研究では、GTFS-RT を収集したリアルタイムデータログの活用と既往研究では対応できていない路線への対応とともに、道路構造や車内混雑状況等を踏まえた、より詳細な遅延時間の分析手法を提案するものである。

## 3. データの概要と分析方針

本研究では、図-2 に示す、横浜市営バス 202 系統の岡



図-2 対象路線（一部バス停のみ掲載）

野町・和田町・岡沢町バス停経由の円環状の路線を対象路線とする。使用データは表-1 のように、横浜市営バスにおける 2021 年 11 月の 1 ヶ月間の GTFS データや全国合成レーダ GPV データを用いる。なお、本研究では、まず、GTFS データを用いた遅延時間の算出等の基礎集計を行い、その結果を全国合成レーダ GPV データとマージ、その後モデルを構築し、降水量や車内混雑度の遅延時間への影響度合いを明らかにする。

表-1 データの概要

データ名称	発行元	概要
横浜市営バス 静的な GTFS <sup>4</sup>	ODPT	時刻表、バス停標柱の位置等。2021 年 10 月ダイヤのデータを使用し、対象路線のみを抽出。
横浜市営バス GTFS-RT <sup>5</sup>	ODPT	各バスの運行実績。リアルタイムに更新されるデータを 30 秒毎に保存するプログラムを作成し、ログを生成。サンプル数は 113,619。
全国合成レーダ GPV <sup>6</sup>	気象庁	1 km メッシュ毎・10 分毎の降水量。京都大学生存圏研究所より取得。

## 4. 基礎集計

基礎集計として、遅延時間の算出を行う。まずは図-3 のように静的な GTFS を用いてバス停間の形状を作成し、その後、座標系を地理座標系からユニバーサル横メルカトル座標系に変換し、表-2 のように各バス停の始点からの距離を算出した。同様に GTFS-RT ログにおいても座標系を変換、静的な GTFS とデータを統合し、表-3 のように各ログの始点からの距離を求める。



図-3 バス停間形状生成イメージ

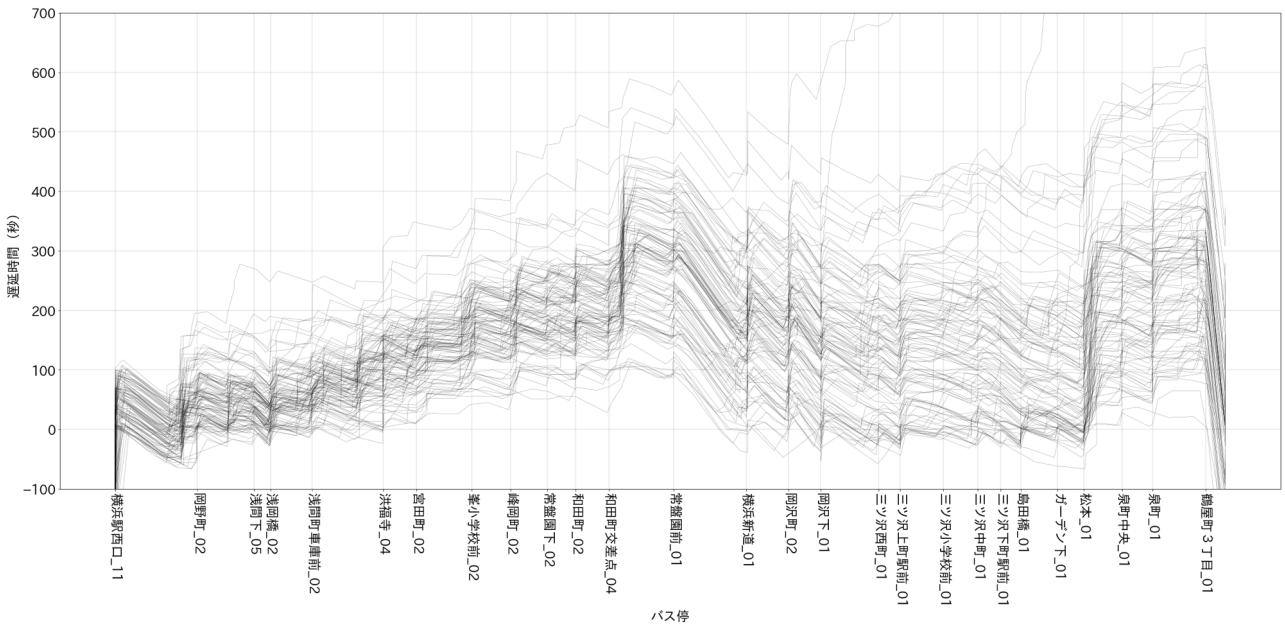


図-7 遅延時間推移

表-2 各バス停の始点からの距離 (一部抜粋)

...	stop_id	始点からの距離(km)	...
...	7813_11	0	...
...	0826_02	0.482475476	...
...	2611_05	0.619171161	...
...	0014_02	0.975651578	...

表-3 GTFS-RT ログ (一部抜粋)

...	混雑度	経度	緯度	始点からの距離(km)	...
...	1	139.6113	35.5279	0.10938	...
...	1	139.5873	35.5005	0.37435	...
...	0	139.6687	35.4315	0.53217	...
...	0	139.4767	35.5629	0.33477	...
...	0	139.6157	35.5283	0.33291	...

次に加工した GTFS-RT ログに対し、各バス停における始点からの距離と式(1)から式(3)を用いて通過予定時刻を算出し、実際の通過時刻と通過予定時刻との差分を遅延時間として算出する。

$$f(x) = \alpha T_{dep} + \beta T_{arr} \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{x_{arr} - x}{x_{arr} - x_{dep}} \quad (2)$$

$$\beta = \frac{x - x_{dep}}{x_{arr} - x_{dep}} \quad (3)$$

where  $T_{dep}$  : 出発したバス停の出発予定時刻  
 $T_{arr}$  : 到着するバス停の到着予定時刻  
 $x$  : バスの始点バス停からの走行距離  
 $x_{dep}$  : 前バス停の始点バス停からの距離  
 $x_{arr}$  : 次バス停の始点バス停からの距離

このように、バス停間形状を作成し、前述の式を適用することで、同一バス停を複数回通過する路線においても、より詳細に遅延時間を算出することが可能となる。

遅延時間の算出結果を図に表すと、図-7 のようになる。各折れ線は便毎の遅延推移を表しており、横軸はキロメートル単位で、各バス停毎にラベルを付与している。一方で縦軸は遅延時間を表している。すなわち縦に折れ線が伸びているほど、遅延が拡大している。これらを踏まえて図を参照すると、一部の交差点やバス停、バス停間で具体的にどれほど遅延時間が拡大しているか、あるいは、遅延を吸収しているかが確認できる。例えば、和町交差点バス停から常盤園バス停間に着目すると、和町交差点バス停出発後に在る和町交差点で、大幅に遅延が拡大しており、その後遅延を回復できず、常盤園バス停には必ず約 90 秒以上の遅れで到着していることがわかる。このように、詳細に遅延の推移を可視化することによって、対策すべき交差点やダイヤに改善の余地があるかどうかを、確認することができる。

## 5. モデルの構築と遅延の要因分析

### (1) GTFS を用いて表現する要因

#### a) 道路交通

作成されたデータを、各便・0.1km 毎にグループ化し、各グループにおいて遅延時間が最大となるデータを抽出する(図-4)。抽出したデータに対しては、どの区間に行っているかを示す、キロポストダミーを付与する。これにより、ダミーに対して推計されたパラメータで、その区間が一般的に、遅延時間を何秒増大させているかを表現可能である。

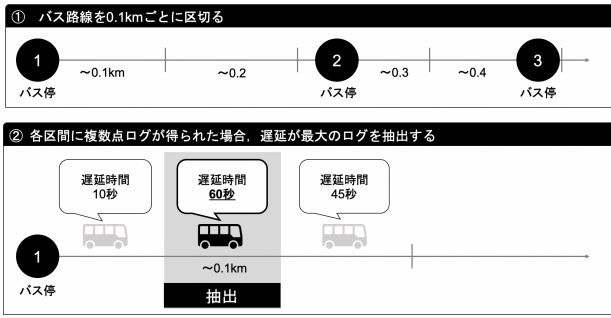


図4 データの抽出方法

b) 混雑度

前項で抽出したデータに対して、各データにおいて前区間との GTFS-RT における混雑度の差分を算出する。混雑度は 0~6 の 7 段階で表される。算出結果が正の値を取る際には乗車、負の値を取る際には降車として、別々にデータを設ける(図-5)。

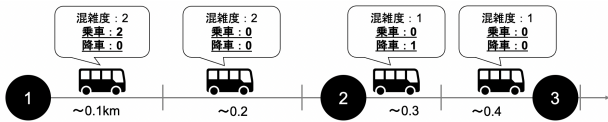


図-5 混雑度の算出手法

(2) 外部のデータを用いて表現する要因

外部のデータとして、全国合成レーダーGPV（以下、降水量データ）を使用する。こちらは京大生生存圏研究所より、取得を行なった。これまでに抽出されたデータの緯度経度と降水量データをマッチングさせることで、データを生成した(図-6)。

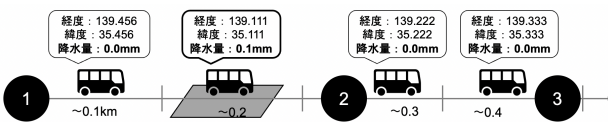


図-6 降水量のマッチング方法

(3) モデルの構築

これまでで、生成されたデータを1時間毎に分け、それぞれに対して、式(4)を構築し、時間帯別の遅延要因を分析する。用いる変数は表-5の通りである。

(4) 分析結果

各モデルの決定係数と乗車、降車、曜日ダミーにおける偏回帰係数は表-6の通りである。決定係数はどの時間帯においても決定係数 0.9 前後となっており説明力の高いモデルとなっている。降水量は、特に朝・夕時間帯に遅延に影響を及ぼしており、最大値である 18 時台では、

$$\begin{aligned}
 Y_{delay} = & a_1x_{bef.delay} + a_2x_{geton} + a_3x_{getoff} \\
 & + a_4x_{ppt} + a_5x_{0.1kp} + \dots \\
 & + a_{99}x_{9.5kp} + a_{100}x_{sunday} \\
 & + \dots + a_{106}x_{saturday}
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

where  $a_1 \sim a_{106}$  : パラメータ,  
 $Y_{delay}$  : 遅延時間,  
 $x_{bef.delay}$  : 前区間の遅延時間,  
 $x_{geton}$  : 乗車,  
 $x_{getoff}$  : 降車,  
 $x_{ppt}$  : 降水量,  
 $x_{0.1kp} \sim x_{9.5kp}$  : 区間ダミー,  
 $x_{sunday} \sim x_{saturday}$  : 曜日ダミー

表-5 変数概要

変数名	概要
遅延時間	算出された遅延時間。
前区間の遅延時間	目的変数となる遅延時間に対して、前 100m 区間で得られた遅延時間。前 100m 区間で遅延時間を得られなかった場合は直前で得られた遅延時間とする。
乗車	前 100m 区間との GTFS-RT における混雑度の差分が正の値となった場合、この変数に混雑度の差分を代入する。
降車	前 100m 区間との GTFS-RT における混雑度の差分が負の値となった場合、この変数に混雑度の差分に-1 を乗じたものを代入する。
降水量	バス通過位置における降水量。
区間ダミー	100m 毎に区切った際に属する区間のダミー。1.0 を代入する。
曜日ダミー	ログデータが得られた日の曜日。

降水量 1mm に対して、約 15 秒遅延が増大する。これは、降水による交通需要やバス乗車客の増加によるものであると考えられる。乗車は、特に 14 時以降の時間帯において遅延に影響を及ぼしている。具体的には GTFS-RT の混雑度レベル 1 毎に最大で 56 秒遅延が拡大している。横浜市営バスは先払い乗車であるために、乗車客の増加に伴い遅延が拡大するものと思われる。また、14 時以降は朝時間帯と比較して、定期利用客が少なく、IC カードへのチャージ対応等で遅延が拡大しやすいのではないかと考察する。一方で、降車は、ほとんどの時間帯で統計的に有意な結果が得られず、基本的に降車客数は遅延に影響を及ぼしにくいことがわかる。曜日ダミーにおいては、ほとんどの曜日で統計的に有意な結果が得られなかったが、特に日曜日においては全体的に遅延が小さくなることを確認できた。

区間ダミーにおける偏回帰係数は表-7の通りである。一部区間で統計的に有意な結果が得られなかったものの、遅延を拡大させやすい区間、吸収しやすい区間が明らかとなった。例えば、図-8 は岡野交差点のある 0.7kp 区間の 1 日の遅延推移である。岡野交差点は、岡野バス停の

表-6 各モデルの決定係数と偏回帰係数

時刻	決定係数	定数項	前区間の 遅延時間	降水量	乗車	降車	曜日ダミー						
							月曜日	火曜日	水曜日	木曜日	金曜日	土曜日	日曜日・祝日
6	0.891	3.535***	0.938***	-0.004	9.059***	7.842*	0.389	-0.139	1.998*	1.184	-0.714	1.36	-0.542
7	0.949	2.918***	0.976***	0.918*	7.42***	2.254	3.107***	0.401	0.35	2.188**	1.937**	-1.686	-3.378***
8	0.956	1.644**	0.973***	0.779	13.476***	3.028	1.294	1.756	2.537**	-0.936	1.011	-1.066	-2.952***
9	0.94	2.543***	0.96***	4.89***	12.216***	-0.367	2.074*	-3.312**	1.084	0.972	2.06*	3.26***	-3.594***
10	0.96	3.055***	0.976***	0.325	13.498***	-4.13	1.368	-1.068	0.36	-0.524	3.648***	1.601	-2.33**
11	0.965	2.397***	0.979***	0.094	12.573***	-0.139	1.462	-3.176*	0.265	0.419	3.544**	3.184**	-3.3**
12	0.956	2.489**	0.973***	0.072	15.129***	-5.792	1.489	0.058	3.219*	0.021	1.538	-1.333	-2.502**
13	0.956	2.145**	0.972***	-0.445	19.235***	-1.832	0.951	0.442	1.888	-1.023	3.287**	-0.699	-2.701**
14	0.962	-2.168**	0.987***	-1.621	50.486***	2.345	0.556	-1.98	0.721	-0.082	-1.137	2.186	-2.432**
15	0.951	0.622	0.964***	1.231**	43.369***	5.388	-0.873	-1.205	0.937	0.769	-0.471	4.508***	-3.044***
16	0.976	-0.815	0.986***	3.595***	40.285***	-1.83	1.187	-1.685	-0.615	0.571	0.13	1.999	-2.401**
17	0.981	0.376	0.985***	13.374***	41.633***	-1.062	2.177*	-1.151	-1.706	-1.078	1.949	5.591***	-5.405***
18	0.982	-2.027***	0.985***	15.393***	47.295***	-0.682	2.352*	-0.889	-1.641	-1.266	1.234	-0.075	-1.742
19	0.969	-0.131	0.972***	3.189**	56.501***	-0.962	1.449	-0.206	-1.107	-0.422	3.187***	-1.29	-1.743*
20	0.948	1.609**	0.971***	0.237	14.045***	-1.774	-0.096	0.915	-1.022	0.379	-1.061	4.196***	-1.702
21	0.941	2.008***	0.961***	0.014	30.488***	-1.185	-0.283	-0.726	-0.542	-1.338	-0.263	3.379**	1.781*
22	0.936	-0.215	0.958***	-0.165	67.584***	0.795	-1.054	-2.011*	-1.88*	-0.737	-1.033	4.153***	2.347**
23	0.885	5.967***	0.896***	1.043	0.938	-3.632	0.235	-0.388	-0.168	-0.249	-1.727	7.16***	1.104

\*\*\*0.1%有意 \*\*1%有意 \*5%有意

表-7 区間ダミーに対する偏回帰係数

時刻	0.5(kp)	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	4.7
6	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
7	*	***	***	***	***	***	***	***	***	***
8	*	***	***	***	***	***	***	***	***	***
9	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
10	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
11	**	***	***	***	***	***	***	***	***	***
12	*	***	***	***	***	***	***	***	***	***
13	*	***	***	***	***	***	***	***	***	***
14	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
15	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
16	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
17	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
18	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
19	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
20	**	***	***	***	***	***	***	***	***	***
21	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
22	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
23	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***

時刻	5.0(kp)	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5
6	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
7	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
8	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
9	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
10	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
11	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
12	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
13	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
14	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
15	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
16	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
17	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
18	**	***	***	***	***	***	***	***	***	***
19	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
20	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
21	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
22	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
23	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***

-264.6  171.4

\*\*\*0.1%有意 \*\*1%有意 \*5%有意

約 100m 手前に位置しており、交通量が多く、遅延を拡大させやすい信号交差点の 1 つである。この交差点では、1 日を通して遅延を拡大させやすい傾向であることが分析からも確認でき、特に 17 時台において最も遅延が生じていることから、夕方時間帯が最も遅延対策の優先順位が高いことがわかる。

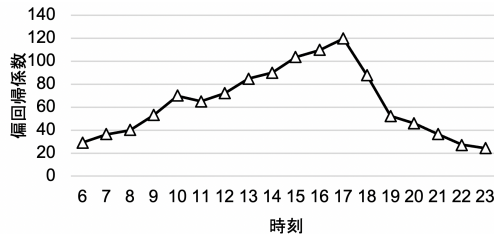


図-8 0.7kp 区間 (岡野交差点付近) 偏回帰係数推移

## 6. おわりに

本研究では、GTFS の普及をはじめとするデジタル化による、公共交通事業者の保有・配信しているデータの大量化・良質化に着目し、こうしたデータの活用による、今後のバス輸送計画の改善に資する基礎的情報を得ることを試みた。

まず、リアルタイムデータである GTFS-RT を用いた基礎集計では、新たに式を定義し、遅延時間の算出を行った。バス停間形状の生成ののちに、遅延時間の算出をおこなったことで、円環上の路線などの同一バス停を複数回通過する路線における、より詳細な遅延時間の算出が可能となった。これらにより得られた結果を図とすることで、各交差点やバス停がどれだけ遅延に影響を及ぼしているかを、直感的に把握できることが確認された。次に、基礎集計で算出された遅延時間データに、混雑度や降水量データを組み合わせることにより、車内混雑、降水、曜日や道路交通が、各時間帯においてどれほどバスの遅延を拡大させているかが明らかになった。この分

析は、例えば遅延拡大に対して優先的に対策すべき項目の根拠としての活用ができるのではないかと考える。

これらの分析を通して、リアルタイムデータの活用によって、これまでは解明されていなかったバスサービスの特性を明らかにすることができた。そして、本研究では GTFS に則って生成されたデータを対象データとしており、他のデータフォーマットを用いた場合に比べ、国内外の他の交通事業者へ本研究を流用させることは容易であると考えられる。よって、今後の課題として、本研究を他の事業者にも適用可能であるか検証することが挙げられる。また、これに加えて本研究の更なる活用方法を模索していく。

## 参考文献

- 1) T.Shimada's Data Lab. GTFS・GTFS-JP オープンデータ統計資料 公式・公認オープンデータの公開状況 (年度別), <https://tshimada291.sakura.ne.jp/transport/gtfs-jp-stat/officialdata-nendo.html>
- 2) 笠原 有貴, 中谷 友樹, 磯田 弦: GTFS データを用いた公共バスの遅延時間に関する時空間パターンの分析, 季刊地理学, 73 巻 4 号 p. 264-273, 2022.
- 3) 但馬 慶行, 高橋 由泰: GTFS データを用いた路線バスの遅延状況推定, 情報科学技術フォーラム講演論文集 (FIT), 20th, 第 4 分冊, 163-166, 2021.
- 4) 公共交通オープンデータセンター 横浜市交通局 バス関連情報(GTFS-JP 形式)  
[https://ckan.odpt.org/dataset/b\\_bus\\_gtfs\\_jp-yokohama-municipal](https://ckan.odpt.org/dataset/b_bus_gtfs_jp-yokohama-municipal)
- 5) 公共交通オープンデータセンター 横浜市交通局 バス関連リアルタイム情報(GTFS-RT 形式)  
[https://ckan.odpt.org/dataset/b\\_bus\\_gtfs\\_rt-yokohama-municipal](https://ckan.odpt.org/dataset/b_bus_gtfs_rt-yokohama-municipal)
- 6) 京大生存圏研究所 全国合成レーダーGPV  
<http://database.rish.kyoto-u.ac.jp/arch/jmadata/synthetic-original.html>
- 7) GTFS リアルタイム リファレンス  
<https://developers.google.com/transit/gtfs-realtime/reference?hl=ja>

(Received ?)  
(Accepted ?)

## CHARACTERISTICS ANALYSIS OF PUBLIC TRANSPORTATION SERVICES USING GTFS - FOR YOKOHAMA MUNICIPAL BUS -

Taichi FURUKAWA, Fumihiko NAKAMURA, Shinji TANAKA,  
Mihoko MATSUYUKI and Ryosuke ABE.