

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

前川 裕一¹ 林 夏美² 牧野 友哉² 白石 陽¹

概要: 公共交通機関としてのバスの利用者は減少傾向にあり、バス利便性向上を目的としてバスロケーションシステムが普及してきたが、システムにより提示される遅延情報が正確でないことが問題としてあげられる。これまでもバス停間の運行所要時間予測や遅延原因の分析に関する研究が行われてきたが、そのほとんどは過去のバス運行所要時間データを用いたものである。既存手法は運行所要時間データを用いて交通状況や気象状況による遅延を考慮しているが、遅延時間に直接影響する可能性が高いバス利用者の乗車人数や降車人数を考慮していない。本研究では、より正確なバス到着時刻の予測手法を提案することを目的とする。バス運行時に得られる各バス停への到着時刻や、遅延原因と考えられるバス乗降客数データを用いて、より正確な到着時刻予測手法の提案に向けたデータの分析結果を示す。

1. はじめに

国土交通省の交通統計資料[1]によると、地方の公共交通機関のバス利用者数は減少傾向にあり、路線バス運行便の減便、廃止が進んでいる。そのため、バスの利便性向上を目的として、公共車両優先システムの導入や停留所待合所の設置、バスロケーションシステムの導入などが各地方自治体で進められてきた。バスロケーションシステムとは、GPS (Global Positioning System) を用いて取得したバスの位置情報やバス停への到着予定時刻をインターネットから利用者へ配信するシステムである[2]。このシステムは、交通状況や気象状況により遅延が発生するバスの運行情報を利用者に伝えることができる。バスロケーションシステムにより Web ページ上に表示される到着予定時刻は、バスがシステム利用時から直近のバス停を通過した時刻に、これから通過するバス停間の計画時間を加算して求めている。計画時間とは、あらかじめ運行会社によって定められた各バス停間の運行時間のことである。計画時間を加算しているのみでは、バスが遅延により到着予定時刻が遅れていることがわからない。つまり、バスの正確な到着時刻を求めするために計画時間を加算するだけでは不十分である。したがって、計画時間以外の情報も用いてバスの遅延時間を予測する必要がある。

これまでも、バスの遅延時間を予測する研究が行われてきた。直前に通過した同じ路線を走るバスの到着時刻を予測対象バスの予測到着時刻とした研究[3]、バス停周辺の土地利用方法を変数とし、遅延時間との関係を重回帰分析により求める研究[4]がある。他にも、バスプローブデータを用いた運行時間予測に関する研究[5]、過去運行データと、リアルタイム運行データを用いた研究[6]もある。これらの既存研究では、バス停で停車しているとき利用者の乗降車

により発生する遅延が考慮されていない。乗車時には整理券の取得、降車時には両替や乗車運賃の支払い、乗り継ぎの要求などで時間を要するため、乗降車人数が多いほど遅延が増加するのは明らかである。よって、利用者の乗降車にかかる時間は遅延時間の計算には無視できない。乗降客数は雨天時、降雪時には徒歩や自転車による通勤・通学者が交通手段を変更するため増加する可能性がある。バス利用者は、交通状況だけでなく天気や気温、地域でのイベント、周辺生活者の行動など、多くの要因から影響を受け変化するため、乗降客数の活用の仕方を検討する必要がある。

そこで本稿では、バス停間の運行所要時間に加えて、バスの遅延に影響する可能性がある乗降客数を用いた到着時刻予測手法の提案に向けたデータの分析結果を示す。

2. 関連研究

本章ではバスの遅延時間予測に関連する研究を紹介する。2.1 節では既存のバスロケーションシステムの事例について述べ、2.2 節では運行所要時間と気象条件などを用いた遅延時間予測の結果を統計分析した研究について紹介し、2.3 節では過去の運行時間データとリアルタイムな運行時間による遅延時間予測に関する研究について紹介する。2.4 節では関連研究のまとめと、研究課題を述べる。

2.1 バスロケーションシステム

バスロケーションシステムは多くの地方自治体で導入され研究されている。北海道函館市のバスロケーション[7]のようにバスがどこまで接近しているかをバス停に表示するもの、鳥取県のバスネット[8]や沖縄県的那覇バス[9]のように Web ページ上の地図でバスの現在位置を確認できるものがある。このシステムに用いる通信インフラの導入にかかるコストが高い問題を解決するために、安価な無線センサネットワークの構築を提案した研究もあるが、多くの場合、文献[8][9]のような Web ページ上での利用を想定している。また、最近ではダイヤで運行せず利用者の要求に

1 公立はこだて未来大学 システム情報科学部
School of Systems Information Science, Future University Hakodate
2 公立はこだて未来大学大学院 システム情報科学研究科
Graduate School of Systems Information Science, Future University
Hakodate

応じて運行するデマンドバスの導入も進み、例として北海道函館市で運行実験が行われている SAVS(Smart Access Vehicle System)[11]がある。

2.2 運行時間と気象条件を用いた予測

辰巳らは、バス停間の運行所要時間や気温などの量的データと、天気や月、曜日などの質的データについて統計的な関連付けを調べ、運行所要時間を予測する上で有効なデータを示している[5]。この研究では、バスの始点から終点までの運行所要時間を予測対象とし、気象条件や季節の違いによる変化を分析している。また、気象条件や季節条件のような質的データを予測に用いるため、数量化理論 I 類により各条件をカテゴリに分けて数量化を行っている。数量化理論 I 類とは、天気を晴れ、雨、曇りのカテゴリに分け、それぞれを 0, 1, 2 のようなダミー変数に置き換え重回帰分析を行う手法である。次の四つの条件時に取得された運行所要時間と実際の運行所要時間との差を平均、標準偏差、95 パーセンタイル値、99 パーセンタイル値で比較している。

- (1) ダイアの計画運行所要時間
- (2) 1 年間の平均の運行所要時間
- (3) 数量化理論 I 類に基づいて予測された運行所要時間
- (4) 遅延原因別の一年間の平均運行所要時間

実験の結果、実際の運行時間と最も誤差が小さいのは(4)であることが示されている。予測手法を用いることで、ダイアの時間に比べて平日では平均 5.4 分誤差が減少し、99 パーセンタイル値の分析から、予測結果の 99%以上が実際の運行時間との誤差が 10 分以内になった。

2.3 過去データとリアルタイムデータを用いた予測

内村らは、あるバス停間の運行所要時間に着目し、過去の運行所要時間データと、予測時、実際に走行しているバスから得られるリアルタイムな運行所要時間データ(以下、リアルタイムデータ)から予測を行っている[6]。この研究では予測対象バス停間の過去の運行所要時間データに対し次の処理を行っている。

- 1) 予測対象バス停間を走行したすべてのバスから運行所要時間を取得する
- 2) 1 日の運行所要時間を 7 時から 22 時までの範囲で昇順に並べる
- 3) 7 時から 22 時までの範囲で 10 分毎に参照できるように平滑化する

上記の処理を行うことで、過去の運行所要時間の時系列データが得られる。この時系列データとリアルタイムデー

タを用いて、時系列解析手法である ARMA モデルや回帰分析、類似パターン検索などで予測した運行時間を平均絶対誤差率 (Mean Absolute Percentage Error : MAPE) で比較している。結果として類似パターン検索と回帰分析を同時に用いた手法でもっとも誤差が小さくなり、その誤差は、14.3%となった。

2.4 まとめ

これまでのバスロケーションシステムでは、予測時に通過したバス停 c (図 1) から乗車バス停 x までの各バス停間における計画時間を積み上げて計算している。この到着時刻 t_x を図 2 に示す。

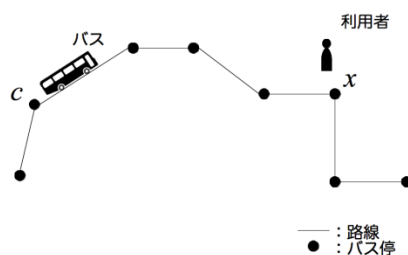


図 1 予測時に通過したバス停 c

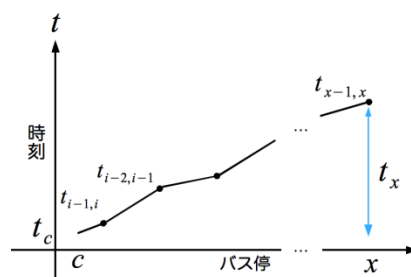


図 2 バスロケーションシステムの到着時刻

図 2 では右軸に時間軸、縦軸に通過したバス停から乗車バス停までが並んでいる。図 2 のように各バス停における計画時間が積み上げるだけでは、降車バス停が終点に近づくほど遅延による誤差も大きくなってしまふと考えられる。なぜなら、実際の到着時刻は各バス停での利用者の乗降時間も含まれ図 3 のようになるためである。点線が乗降時間である。

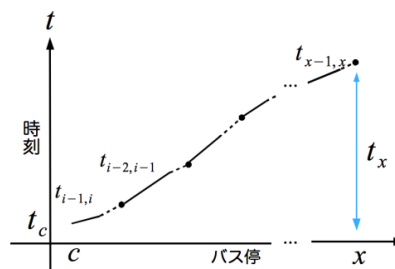


図 3 実際の到着時刻

辰巳ら[5]が注目している運行所要時間データは予測対象バスの始点から終点までの運行時間であるため、乗車バス停や降車バス停に何分遅れが出るかわからない。また、各バス停における乗降車に要する時間が考慮されていない。一方で、内村ら[6]が注目している運行者用時間データは予測対象バス停間を走行した全バスの運行時間であるが、予測手法に適用する際に運行時間データを10分間隔で平滑化するため、各バスの交通状況による遅延情報が失われている可能性がある。また、内村らの予測では誤差が14.3%となったが、遅延原因となりうる乗降車の時間を用いることでさらに誤差を減少できると考えられる。本研究では、関連研究では考慮されていない図3の乗降客数による遅延を考慮することで、正確な到着時刻予測を行うことが課題となる。

3. アプローチ

本研究では運行時間データと乗降客数データを利用したバスの到着時刻予測手法の提案を目的とし、データ活用方法の検討を行う。2.4節から提案手法が満たすべき要件は以下である。

- (a) 交通状況や気象条件による遅延の変化を考慮する
- (b) 乗降客数の変化による遅延の変化を考慮する

これらの要件を満たすために、次のアプローチをとる。

- (A) 交通状況や気象条件と遅延時間の関係を分析し、相関の強い原因を選択する
- (B) 乗降客数による遅延への影響と傾向を分析し、より正確な予測ができる方法で用いる

まず、交通状況や気象条件と運行所要時間の関係を分析し、遅延の原因を調べる必要がある(A)。本稿では、内村ら[6]の手法と同様に、予測時刻から直前のデータを用いることで交通状況や気象条件の情報を含むと遅延の関係を調べる。分析結果から遅延と強い相関のある原因を選択し、到着時刻予測式に用いることで(a)の要件を満たす。(B)の乗降客数による遅延への影響の分析では、乗降客数の傾向や特徴を調べる。乗降客数と遅延時間の関係を分析し、より遅延を発生させやすい条件を決定し、予測式に用いることで(b)の要件を満たす。

4. 到着時刻予測システムの概要

4.1 到着時刻予測の流れ

到着時刻予測システムは、利用者がアプリケーションに

乗車するバス停を入力とし到着時刻を問い合わせると乗車バス停までの各バス停の到着時刻を配信する機能を持つ。システムの全体図を図4に示す。

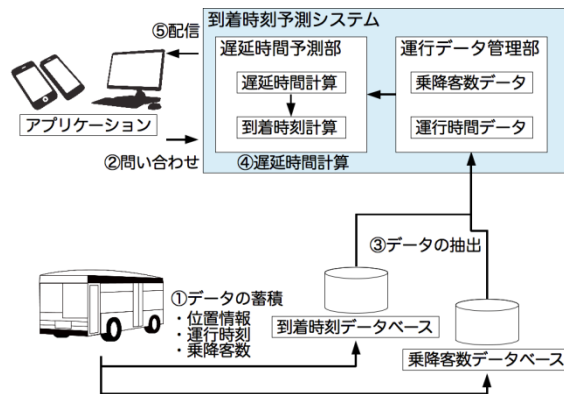


図4 到着時刻予測システムの概要

到着時刻予測システムの処理手順として、まずバスが運行時に得られる位置情報や運行時刻、乗降客数などの情報をデータベースに送信する(①)。到着時刻予測システムでは利用者から問い合わせ(②)を受けたバス停間のデータを到着時刻データベースと乗降客数データベースから抽出し(③)、遅延時間予測部にて処理する(④)。遅延時間予測部にて算出された遅延時間を直前に通過したバス停の通過時刻に加算し、利用者が乗車するバス停の到着時刻をアプリケーションに配信する(⑤)。

4.2 運行データの管理

到着時刻予測システムにおけるデータ管理の方法を説明する。予測システムに用いるバス停間の運行時間データを作成するためには、対象となる全バス停の到着時刻が必要となる。運行時間データ作成に用いる到着時刻データベースのテーブルの属性を表1に示す。

表1 到着時刻テーブルの属性

属性名称	説明
日付	運行時間データを取得した日付
路線番号	バス路線の識別番号
バス停番号	バス停の識別番号
到着時刻	バス停に到着した時刻
計画時刻	バス停の計画されている到着時刻
遅延時間	計画時刻からの遅延時間
便番号	バスの便番号

対象バス停間の各バス停の到着時刻の差から運行時間テーブルを作成することにより、重複バス停間や同路線の1つ前の運行所要時間を取得できる。運行時間テーブルには乗車バス停での乗降客数の情報も必要であるため、予測

対象バス停の乗降客数データをデータベースから取得する。乗降客数データベースのテーブルの属性を表 2 に示す。

表 2 乗降客数テーブルの属性

属性名	説明
日時	乗降客数データの取得日
バス停番号	バス停の識別番号
路線番号	バス路線の識別番号
計画時刻	バス停の計画されている到着時刻
便番号	バスの便番号
乗車数	バス停での乗車数
降車数	バス停での降車数
通過数	バス停での通過数

乗降客数データは、予測対象路線の各バス停におけるバス利用者の乗車数データであり、「乗車数」はバスに乗った人数、「降車数」はバスを降りた人数、「通過数」は直前のバス停までに乗車して、そこでは降車しなかった人数のことである。到着時刻と乗降客数のデータテーブルから到着バス停に対応する運行時間テーブルを作成し、運行時間と乗降客数を用いた予測が可能になる。運行時間テーブル作成の流れを図 5 に示す。



図 5 運行時間テーブル作成の流れ

現在のバスロケーションシステムでは、乗降客数をリアルタイムに取得することができない。今後は、非接触型 IC カード Suica などが全国の路線バスに導入されることで、リアルタイムに乗降客数が得ることが可能になると考えられる。よって、本稿では乗降客数をリアルタイムに取得できることを前提として利用する。

4.3 乗降客数の変化を考慮した遅延時間予測

バス利用者の乗車バス停を x 、予測時刻直前に通過したバス停を c とすると、バス停 c への到着時刻 t_c に、過去の運行所要時間データを用いて乗車バス停までの運行所要時

間を求める関数 f_{move} の計算結果、乗降客数データを用いて各バス停における乗降所要時間を求める関数 f_{ride} の計算結果を加算して求める。到着時刻 t_x は式 (1) で求めることができる。

$$t_x = t_c + f_{move} + f_{ride} \quad \dots (1)$$

バスロケーションシステムが計算する運行時間は計画時間の積み上げであるため、式 (1) を用いて次のように表せる (式 (2))。

$$t_x = t_c + \sum_{i=c+1}^x t_{i-1,i} \quad \dots (2)$$

システムへの問い合わせが発生した場合、通過時刻 t_c に f_{move} で求めた各バス停間の運行時間 $t_{i-1,i}$ の合計を加算する。この式 (2) では遅延が発生した場合でも f_{move} には遅延情報が含まれないため、正確でない到着時刻となる。よって、次章では式 (1) の f_{move} を遅延時間が含まれた運行所要時間データを用いて分析する。また、 f_{ride} を用いて乗降客数を考慮した予測手法に向けた分析を行う。

5. データ分析および提案手法の検討

到着時刻予測の手法に用いるデータの分析を行い、提案手法の検討を行う。運行所要時間データや乗降客数データと遅延時間の関係を分析した。

5.1 分析対象データ

本稿で分析対象として用いた運行所要時間データは、函館バスの 4 つの主要路線のものであり、2013 年 2 月 9 日から 15 日までの 1 週間の全便の到着時刻データである。このデータを用いた理由は、降雪日と晴天日が含まれているため、乗降客数の変化が顕著に現れる可能性があるためである。乗降客数だけでなく路面状況の悪化により遅延が発生することも考えられる。

5.2 分析結果

5.2.1 運行所要時間データの分析結果

ここでは運行所要時間データの分析結果を示す。まず、4 つの路線が重複しているバス停間を通過したすべてのバスの運行所要時間とバス停で発生した遅延時間を時系列で並べ、バスの運行所要時間を現在から直前のデータが取得された時刻の差が小さい順に並べ替えたものを図 6 に示す。直前に通過したバスの到着時刻差が小さいほど、運行時間差が小さいという仮説のもと作成したが、到着時刻差が小さいグラフの左側でも遅延時間差が大きい結果となった。

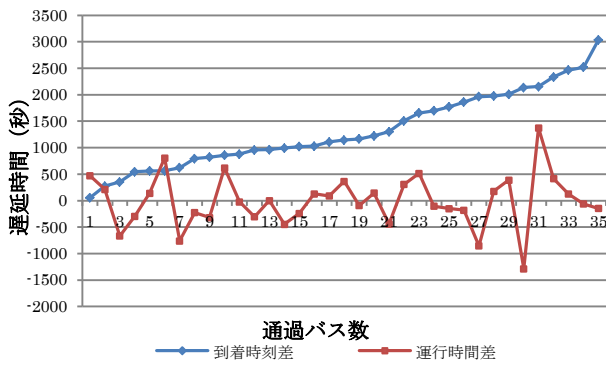


図6 重複したバス停間の到着時刻差と遅延時間

図6から予測対象バス停間の直前の運行所要時間は、路線が違くと運行所要時間の差は大きくなると言える。この原因として、他路線のバスでは予測対象バスの乗降客数が考慮されていないことが考えられる。つまり、到着時刻予測には、交通状況を反映した直前の運行時間よりも、予測対象路線バスの乗降車数に関するデータを用いて予測する方が適している可能性がある。

5.2.2 乗降客数データの分析結果

本項では各バス停における乗降客数の傾向を調べるため、各日付、時間帯、曜日区分で分析した結果を示す。分析対象路線のうち乗降客数が最も多いバス路線Aのバス停において、乗車数の日別の合計値を図7に、同じく降車数の日別の合計値を図8に示す。各図の横軸にバス停の番号を表示しており、1番は路線の始点のバス停、最後は終点のバス停を示している（以降、図9から図13にかけても同様）。2月11日（祝日）と2月14日（平日）は1日中降雪していた日であり、2月13日（平日）は1日中晴れていた日である。

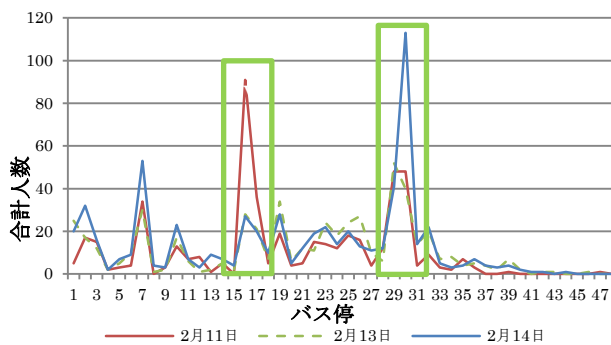


図7 バス路線Aの日別乗車数

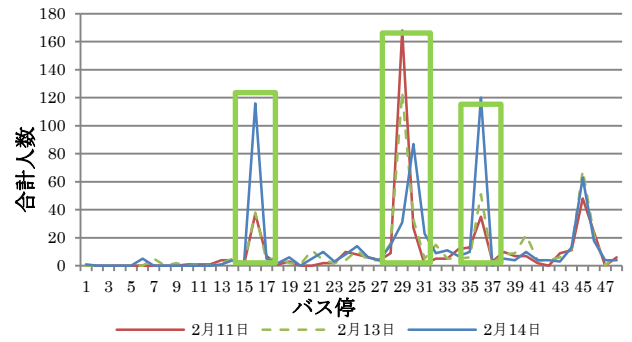


図8 バス路線Aの日別降車数

図7の枠線で囲まれたバス停16では2月11日の乗車数、バス停30では2月14日の乗車数が他の日に比べて多い。これらの乗車人数が多いバス停は街の中心部にあり、その他の公共交通機関に乗り継ぎができるバス停であった。図8の枠線で示したバス停16、30では2月14日の降車数が多いが、2月11日の降車数は少ない。また、バス停29は平日、祝日に関わらず降車が多く、2月14日ではバス停29ではなくバス停30で降車している人数が多い。図8から、降車人数は2月11日と2月13日の比較から、気象条件によって変化する可能性がある。また、2月11日と2月14日の比較から、気象条件だけでなく曜日も変化することがわかった。

バス路線Aにおける、乗車数の時間帯別の平均値を図9に、降車数の時間帯別の平均値を図10に示す。通勤などで利用が増加する7時から9時まで、通勤ではないが地域住民の活動が活発化する11時から13時まで、帰宅時の17時から19時の間の3つの時間帯に分けて比較を行った。

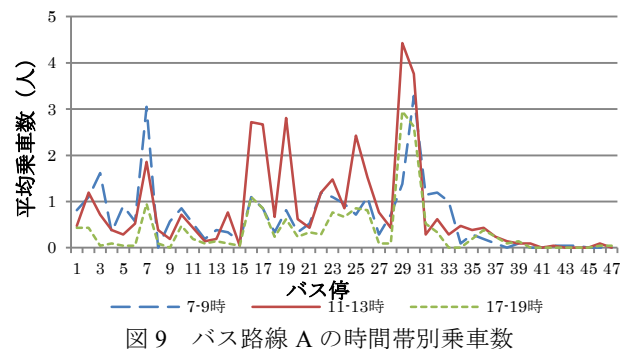


図9 バス路線Aの時間帯別乗車数

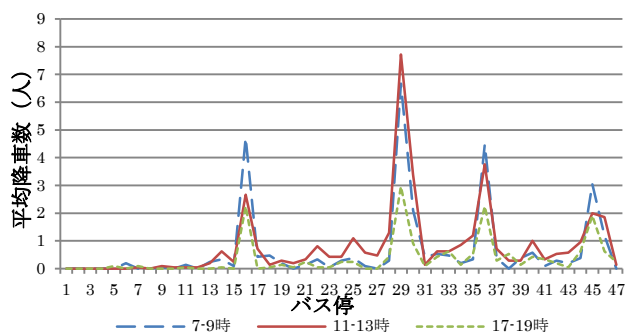


図10 バス路線 A の時間帯別降車数

図9から、11時から13時の間で乗降車数が一番多くなることがわかる。図9の平均乗車数が多いバス停は時間帯によりばらつきがあるが、図10の平均降車数が多いバス停は時間帯によらず同じである。予測に乗降客数を用いる場合、時間帯によって適した方法を考える必要がある。

バス路線 A における、平日の各バス停での平均乗降客数を図11に、土日祝日の各バス停での平均乗降客数を図12に示す。

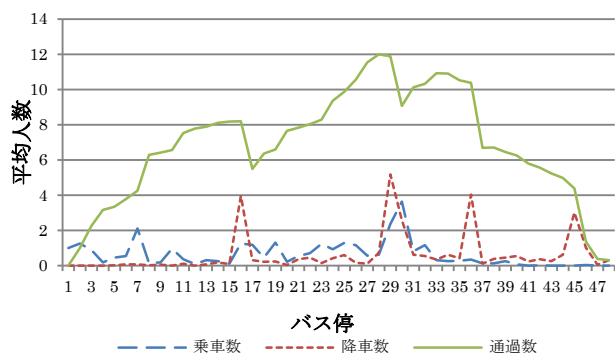


図11 バス路線 A の平日における乗降車数

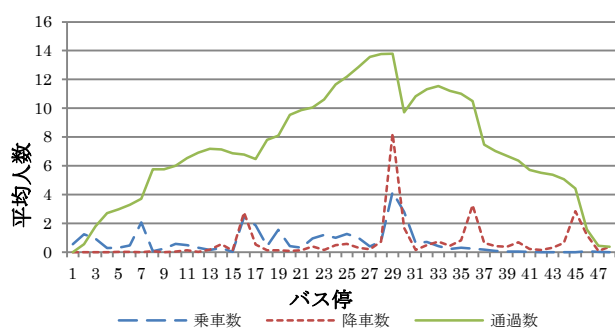


図12 バス路線 A の土日祝日における乗降車数

図11と図12からは、バス路線 A の曜日区分によって乗降客数が多いバス停は変わらないことがわかる。また、土日祝日の区分では、バス停16や29で見られるように部分的に利用者が多くなる。図9と図10のように1日の時間帯単位で見た乗降客数データには大きな差が見られたが、曜日区分ごとに平均した乗降客数データでは差が失われて

いる。

図11と図12の結果から乗降客数と遅延の関係を分析するため、土日祝日の全予測対象バスの各バス停における平均乗降車数と1日の平均遅延時間の関係を図13に示す。図13では、棒グラフが乗降車人数を示し、線グラフが平均遅延時間を示す。

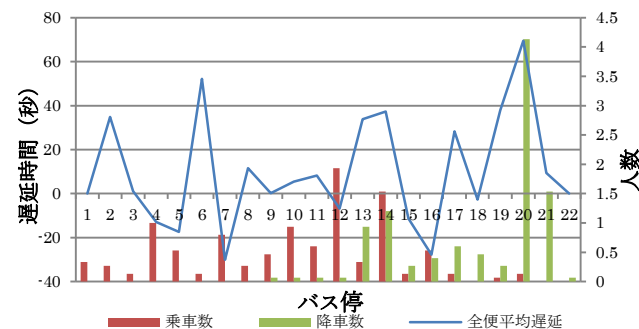


図13 平均乗降車数と遅延時間の関係

図13から、乗降車人数は遅延時間に影響を及ぼす可能性があると考えられる。バス停14やバス停20では降車数が増加するとそのバス停での遅延も増加していることがわかる。バス停6ではバス停5まで降車数がなく、乗車してきた人数乗車数が少なく次のバス停での遅延が減少し、バス停12では乗車数が多く次のバス停での遅延が増加しているが、これらは交通状況による遅延の可能性はある。乗車数は、バス停5・7・10・12では遅延が発生せず、乗車した次のバス停で遅延が発生していることがわかる。

5.3 提案手法の検討

本節では、5.2の分析結果から本研究で予測手法に用いる関数 f_{move} と関数 f_{ride} の入力データを検討する。まず、 f_{move} に入力するデータとして、次の3つを挙げる。

- (i) 同路線の1つ前の便の運行時間
- (ii) 予測対象バスが既に通過したバス停での遅延時間
- (iii) (i)(ii)より過去の運行時間データを用いる

f_{move} の算出では、過去のどの時点の運行所要時間データを用いるかが重要である。(i)の同路線の1つ前の便の運行時間では、予測対象バスの路線上で起きている交通状況やそれまでに発生した乗降客による遅延時間が含まれている可能性が高い。しかし、図9のように時間帯によって乗車数に違いがあるため、(ii)の予測対象としている便の遅延時間の方がより交通状況や気象条件に関する情報を含んでいる可能性がある。(iii)は現状ではデータ数が少ないため利用できないが、今後対象データを増やして分析を行う際に、利用できる可能性がある。

f_{ride} に入力するデータとして、次の5つを挙げる。

- (I) 日時の違いによる平均乗降車人数
- (II) 気象条件と曜日区分ごとの平均乗降車数
- (III) 乗車バス停までの乗車人数
- (IV) 乗車バス停での降車数
- (V) バス内の乗車人数と乗車バス停での降車数

(I)は図9と図10の結果から日別や時間帯別によって乗降客数も変化すると可能性があるため、平均値を用いる必要がある。(II)は図7と図8の結果から、気象条件と曜日区分はある。(III)と(IV)と(V)は乗車数、降車数、通過数の遅延への影響を調べるための入力である。

図7から図12までの分析結果より、2つのことが言える。1つは日別、時間帯別、曜日区分別を通じて、各路線で乗降客数が多いバス停が存在しているということである。今後は乗降客数が多いバス停と少ないバス停で遅延時間にどのような違いがあるかを調べる必要がある。2つ目は、既存研究では運行時間に対して日別、時間帯別、曜日区分別といった分類に分けて分析を行っているが、乗降客数の場合も同様に分類する必要があるということである。また、今回は乗降客数の合計値や平均値を分析に使用したが、同じ曜日区分の1週間前の同じ時刻、前日の同じ時間帯での平均など多くのデータを用いる方法が考えられるため、様々な方法でデータを用いて分析することが課題である。通過数は数が増加するほどバスの乗りやすさ、降りやすさに影響すると考えられるため予測式に用いることも必要である。

6. まとめ

本研究ではより正確なバスの到着時刻予測を目的として、過去の運行所要時間と、バス利用者の乗降客数を考慮した到着時刻予測手法に向けたデータの分析、手法の検討した。今後の課題として、この分析結果をもとに、到着時刻予測式を考案し、予測精度の評価を行うことが挙げられる。今回は予測対象のバス路線が、4つのバス路線であることと、データが1週間分に限られていたため、分析対象のデータを増やし、予測式を検討していく。

謝辞

本研究の一部は、独立行政法人科学技術振興機構社会技術研究開発センター（JST RISTEX）「問題解決型サービス科学研究開発プログラム」のサポートで実施されている。また、本研究を進めるにあたり、到着時刻予測手法の分析に用いたバス運行データや乗降客数データは函館バス株式会社の協力によるものである。ここに深く感謝の意を表す。

参考文献

- [1] 国土交通省, バスの車両数と輸送人数及び走行キロ <<http://www.mlit.go.jp/common/000117169.pdf>> (最終アクセス 2013年9月1日).
- [2] 国土交通省, バスロケーションシステム, <<http://www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html/now/sisaku/koukyou/buSLocation-system.html>>.
- [3] 坂本邦宏, 菅野光司, 久保田尚, 谷島賢, 利用者ニーズに対応した到着時刻予測に基づくバス情報システムの実用的開発, 土木計画学研究・論文集 No.20, pp.857-864 (2003).
- [4] 鳥海重喜, 水本剛四郎, 田口東, 路線バスの遅延を考慮した旅行時間と旅行経路の信頼性の評価, オペレーションズ・リサーチ, Vol.55, No.3, pp.187-192 (2010).
- [5] 辰巳浩, 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, No.9, pp.79-86 (2010).
- [6] 内村圭一, 成松裕介, 衛藤旭秀, 胡振程, バスロケーション情報を用いたバス停間所要時間予測, 国際交通安全学会誌, Vol.32, No.3, pp.64-71 (2007).
- [7] 函館バス, バスロケーション, <<http://www.hakobus.jp/>>.
- [8] 鳥取市, バスネット, <<http://www.ikisaki.jp/>>.
- [9] 沖縄県, 那覇バス, <<http://www.nahabus.jp/pc/>>.
- [10] 島基成, 鈴木秀和, 足達元, 北瀬和之, 大森昭嗣, 松本幸正, 渡邊晃, 無線センサネットワークを用いたバスロケーションシステムの開発, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2013) シンポジウム, pp.904-910 (2013).
- [11] 白石陽, 中島秀之, 佐野涉二, 松原仁, 平田圭二, はこだて圏におけるスマートアクセスビークルシステムの構想と現状, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2013) シンポジウム, pp.1098-1101 (2013).