

M-036

## バスの遅れ予測を目的とする、 バスロケーションシステムから得た走行データの分析

Analysis of The Run Data which designates The delay estimate of the bus as purpose, obtain from the buslocationssystem

玉田 匡<sup>†</sup>  
Masashi Tamada

伊藤 昌毅<sup>†</sup>  
Masaki Itou

川村 尚生<sup>†</sup>  
Takao Kawamura

菅原 一孔<sup>†</sup>  
Kazunori Sugahara

### 1 はじめに

近年、マイカーの普及やバスや鉄道などの路線の廃止・減便による利便性の低下によって地方を中心に公共交通機関の利用者が減少している。より多くの人に路線バスを利用してもらうには、様々な視点から路線バスの利便性を向上させる必要がある。そこで我々は鳥取県内における公共交通機関の利用促進や公共交通機関利用者の不安解消のため、鳥取県内のバス会社と提携し公共交通機関利用援助システム「バスネット」[1][2]を開発・運用している。

バスネットとは、ジョルダン [3] やナビタイム [4] のような乗換案内システムを主とした WEB サイトである。バスネットには、乗り換え時の徒歩移動を考慮した乗換案内を行う経路探索機能、バス停毎の時刻表検索機能、印刷用時刻表作成機能、バスロケーションシステムなどの機能が実装されている。バスネットは PC、携帯電話や専用端末など様々な端末を用いて利用することが可能である。バスネットは現在月数万件のアクセスを持っており、公共交通機関利用者の重要なインフラとなっている。

現在バスネットでは運行中のバスの位置情報と時刻を用いて運行の進行度合いを算出している。算出した値と運行ダイヤで定められた時刻との差を求めることにより遅れを算出している。算出した遅れ時間を経路探索に反映させることにより、遅れの度合いにより動的に経路探索の結果を変更し利用者に公開することが出来る。しかし、バス運行過程で更に遅れが増加することや、遅れが解消される可能性もある。時間帯や天候、渋滞の度合いといった運行条件の似ている便同士であれば遅れの生じ方にも類似性が現われるのではないかと考え、運行中のバスだけでなく、運行予定のバスの予測遅れ時間を一定以上の精度で推定できるのではないかと考えた。そこで、過去の遅れデータから運行予定のバスの遅れを分単位で予測するシステムを提案する。予測システムの実用性を検証するため、区間ごとに生じた過去の遅れデータを用いて特定区間や時間帯、天候などのパラメータによる遅れ発生の傾向を分析する。

### 2 バスロケーションシステム

#### 2.1 一般的なバスロケーションシステム

鉄道、バスといった公共交通機関は自動車などを持たない人々にとって重要なインフラであり、そこには安全

<sup>†</sup>鳥取大学大学院 工学研究科 情報エレクトロニクス専攻  
Graduate School of Engineering, Tottori University  
Department of Information and Electronics

性や信頼性が求められている。しかし、このインフラは渋滞等の道路状況、雨や雪などの天候などの外的要因の影響を受けやすく、ダイヤ通りに運行するのは難しい。積雪などの原因でたびたび大きな遅れが生じる地域では高度道路交通システムの一つとしてバスロケーションシステムが研究されている。バスロケーションシステムとは、GPS 端末などを用いてバスの位置情報を収集し、収集した情報をバスの定時運行の調整等に利用し、バス利用者に向けて運行中のバスが直近のバス停までの程度接近しているのかを利用者に伝えるシステムである。通常バスロケーションシステムはバスに直接組み込むことがほとんどであり、導入・維持に高額のコスト [5] が掛かってしまう。そこでバスネットでは市販されているスマートフォンを用いることによりバスに直接組み込むシステムに比べ低コストで汎用性のあるシステムを実現している。

#### 2.2 スマートフォンを用いたシステムの実現

図 1 にスマートフォンを用いたバスロケーションシステムの概要を示す。

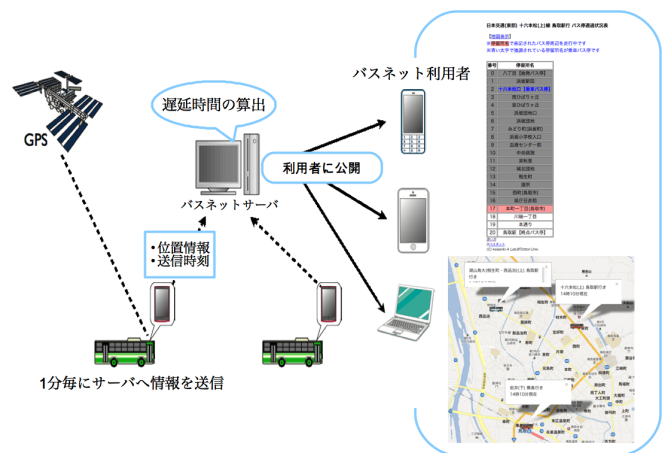


図 1: バスロケーションシステム概要

本システムでは、路線バスに GPS 機能を備えたスマートフォンを搭載し、毎分緯度や経度、運行される便の情報をサーバへ送信する。サーバではそれらの情報をもとにバスの遅れを算出し、経路探索結果に遅れを反映させる。そうすることにより、同じ条件で経路を探索した場合でも動的に経路が変化し、その状況に応じた経路が表示されるようになる。また、バス停の通過状況も管理し、

スマートフォンからデータが届いた際にそれらの情報を更新する．位置情報は遅れの算出だけに用いるのではなく，バスの位置を Google Maps 上に表示することが可能である．本システムを用いることで，バス利用者はバスの位置や到着時間などの情報を把握することができ，より詳細なバスの乗り換え案内情報を入手できる．

### 2.3 車載機に用いるスマートフォン

スマートフォンの操作を行うのはバスの運転手である．バスの運転手がバス運行中にスマートフォンの複雑な操作で手を煩わせるわけにはいかない．そこでスマートフォン用 Android アプリケーションの開発を行った．このアプリケーションは，簡単な操作のみで運行する便の設定ができ，バス運転手の手を煩わせることなく位置情報の取得とサーバへの送信を可能とする．また，スマートフォンの OS が同じであれば，インストールするだけで同様の機能を様々なスマートフォンで使うことができる．本アプリケーションでは操作を容易にするためにバス会社で用いられている系統番号を同様に用いて便の選択を行う．系統番号とは各バス会社で設定されており，路線や経路毎に異なる番号が設けられ，便の運行を開始する前にボタン入力を行う．この番号をアプリケーションにも用いることで普段からバス運転手が系統番号を入力しているのと同じような感覚でスマートフォンの操作を行うことができる．図 2 に車載機に用いているスマートフォンの様子を示す．



図 2: 実際に車載機として用いているスマートフォン

## 3 遅れ予測システム

公共交通機関であるバスを利用する際，利用者にとって遅れは切り離せない不安要素である．利用者のバスの遅れに対する不安を解消するために，運行中バスの現在位置情報やバス停通過情報を公開している．しかしバスロケーションシステムを用いても拭いきれない不安が存在する．例として，バスを待つ際に積雪などの外的要因によって乗車予定のバスが定時に到着できるか否かやバスではなく他の交通手段を用いた方がより確実に定時に

目的地に到着することができるのではないかと不安要素が挙げられる．我々はこの不安要素を取り除くため現在提供しているバスロケーションシステムに加え，運行バスに生じる遅れを予測するシステムを提案する．遅れ予測システムの概要を図 3 に示す．

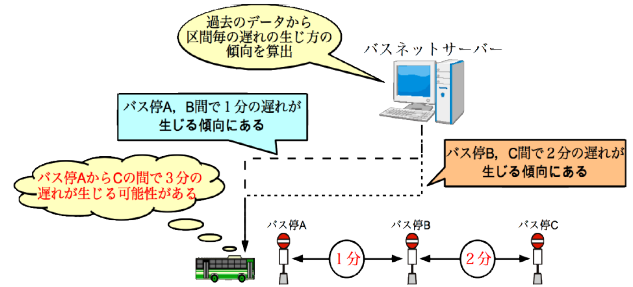


図 3: 遅れ予測システム概要

遅れ予測システムとは実際に特定区間をいくつかのバスが走行することによって得られたデータをサーバで管理する．そのデータを用いて区間における遅れの生じ方の傾向を算出する．図 3 を用いて説明するとバス停 A～バス停 B の区間で 1 分の遅れが生じやすい傾向，バス停 B～バス停 C の区間で 2 分の遅れが生じやすい傾向が得られたとする．そして算出した傾向を同区間を走行予定のバスにも同程度の遅れ (バス停 A～バス停 C の間で 3 分の遅れ) が発生するのではないかと予測し，バス利用者に公開するシステムである．

## 4 予測システムの実用性

3 章で述べた遅れ予測システムは，バス停間の走行区間，時間帯や天候毎で過去に生じた遅れを記録する．そして記録したデータを用いて，運行予定のバスがどの程度の遅れが生じる可能性があるか判断する．つまり遅れ予測システムは過去に運行したバスに発生した遅れが運行予定のバスにも同程度生じるという仮説を前提としている．

そこでシステムの実用性を検証するため，実際の遅れデータを用いて区間や時間帯などにおける遅れの傾向を分析する必要がある．現状のバスロケーションシステムでは，運行バスに搭載しているスマートフォンから 1 分間隔で情報を送信している．そのため情報送信時のタイミングでの遅れ時間を求めることができるが，決められた区間でどの程度遅れが生じるか，あるいは特定のバス停間では交通量やバス利用者数が少なく遅れを解消できたなどの情報が不明瞭になってしまっている．現在のバスロケーションシステムより得た遅れデータを用いて，区間における遅れを算出し，不明瞭だった遅れの発生状況を明らかにする．

## 5 バス運行に要した時間と運行ダイヤの比較

本章ではある特定路線（湖岸線）の上下線の運行ダイヤと実際に運行に要した時間の比較を行う。図4は横軸に運行開始バス停からの走行距離 [km]、縦軸に運行開始からの経過時間 [s] として積雪時の湖岸線上りの運行ダイヤと一日分の同便が実際に運行に要した時間を表したグラフである。

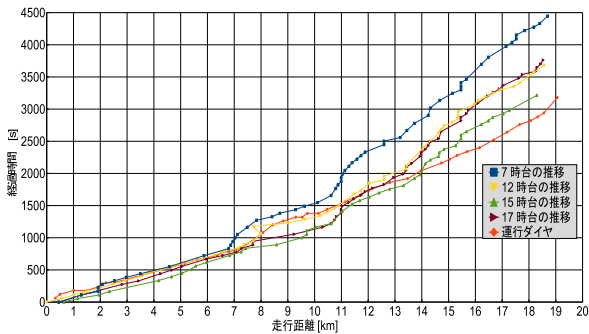


図4: 湖岸線上りの所要時間の比較

図4は積雪時のデータであるので当然だが運行ダイヤで想定している運行時間に比べて実際の運行時間が大きくなっていることがわかる。午前中の便は7~9km, 11~13kmの地点を通過する際に大きく時間を要していることがわかる。つまり運行ダイヤと比べこの区間では大きく遅れが生じていることになる。図4のデータは積雪時のものであるため、午前中はあまり除雪が行われておらず遅れが大きくなっているのではないかと考えられる。そこで図5にこの区間における遅れの傾向を調べるため湖岸線の下り路線の運行時間の推移を示す。

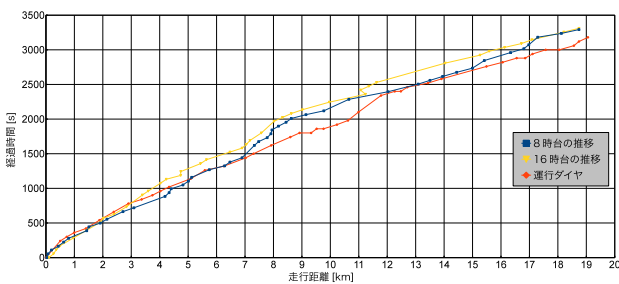


図5: 湖岸線下りの所要時間の比較

上りのデータの7~9km, 11~13kmの区間において特徴のある遅れの積み重なりが確認できた。下りのデータにも同様の遅れの生じ方となることが確認できれば区間における遅れの傾向が存在することが確認できる。そこで図5の11~13km, 7~9kmの区間に注目してみると、上り路線のように特徴的な遅れの生じ方となっていない。下り路線の運行経過時間の推移は運行ダイヤとあまり差はなく、湖岸線の上り路線のみ特徴的な遅れの

生じ方となっていることが確認できた。湖岸線の上下路線の区間に注目した結果、遅れの生じ方に何らかの傾向を得ることはできなかった。しかし上り路線においては特徴的な遅れの生じ方となっているので上り路線のデータを詳しく調べる。

15~16kmの地点に注目してみると、この区間を走行する際に時間は然程かからないものとして運行ダイヤが組まれている。しかし実際の走行時間ではどの便においてもこの区間でバスが動かずに経過時間だけが積み重なっていることが読み取れる。これより15~16kmの区間で大抵のバスが数分の間停車していることがわかる。この結果から15~16kmの区間には何らかの遅れが生じる原因があるのではないかと考えた。その原因として、この区間では常時小さい渋滞が発生していることや、この区間に大抵のバスを停車させる信号機があること、付近に多くの乗客が乗降車を行うバス停があることなどが考えられる。

そこでこの区間を実際の道路に当てはめて原因を考察したところ、この区間には大きな交差点があり、湖岸線上りのバスはこの交差点を右折するルートとなっている。またこの交差点は交通量が多くなかなかバスが右折できずバスが動かずに遅れのみ積み重なっているのではないかと考えられる。加えてこの区間にはバス停が多くバス乗降車も頻繁に行われているのではないかと推測できる。

これらを踏まえると湖岸線上りの15~16km地点では遅れが生じやすい区間となっているという仮説を立てることができる。この区間で大抵のバスに一定の遅れが生じることを立証することができれば、遅れ予測システムの有用性を確かめる足掛かりになるのではないかと考えた。そこで積雪時だけでなく、晴天時など運行条件の異なる便でも同様の結果が得られるのかを調査する。

図6は図4と同様の区間で、晴天時、雨天時におけるバスの出発開始から運行終了までの経過時間の推移を示したものである。

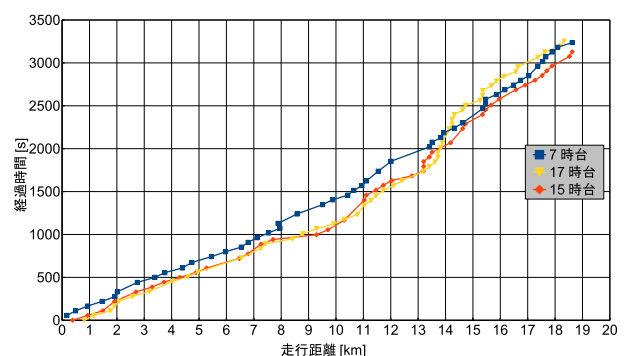


図6: 湖岸線下り所要時間の比較

図4と同様に15~16km地点に注目してみると、積雪時と同様に同区間で遅れが積み重なっていることが読み取れる。この結果から積雪・晴天時など天候や時間帯に



関係なく15~16kmでは遅れが生じやすいという結果が得られた。しかし今回用いたデータは数ある内の一部であり、遅れ予測システムの実用性を立証するにはより多くのデータを用いて傾向を調べる必要がある。

## 6 バス停区間における遅れの分析

5章では一路線に着目して運行ダイヤと所要時間の比較を行った。しかし一路線だけではデータ数が少なく得られた結果が偏ってしまう。そこで多くの路線が共通して走行する区間に範囲を狭めて分析を行う。

### 6.1 バス停区間ごとに生じる遅れ

現在のバスロケーションシステムでは運行中のバスに生じた遅延は終着バス停に到着するまで継続するものとして実装しており、バスに生じている遅れ時間を算出している。しかし、この手法ではその都度の遅れ時間を算出することは可能だが、ある特定の区間でどの程度の遅れが生じた、あるいは、バス停間で遅れを解消したなどの情報が不明瞭になってしまっている。そこで、バスの位置に遅れの情報を付加するのではなく、区間毎に遅れの情報を付加することにより特定区間において遅れの増減を把握する。

### 6.2 所用予定時間と実際の通行時間の比較

本節では鳥取駅から県庁日赤前での区間における通過時間を算出し、通過時間の傾向を調査する。時間帯における通過時間の平均値と標準偏差を算出し、分析を行った結果を以下に示す。バス会社ではこの区間を通過するために5分(300秒)掛かるとして運行ダイヤを組んでいる。

そこで運行ダイヤと実際の通過時間の差を求めるため、図7に時間帯を主軸、実際に掛かった通過時間の平均値を縦軸として作成したグラフと各時間帯におけるデータのばらつきを示す。

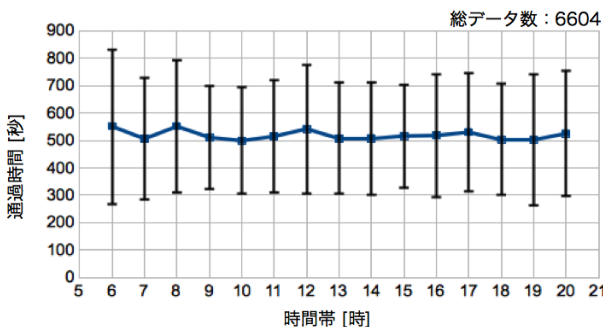


図7: 時間帯における通過時間のグラフ

図7のグラフから得られた情報として、どの時間帯でも500秒程度の通過時間を要していることが確認できた。この区間を300秒で通過するとして運行ダイヤが組まれているので、200秒程度の遅れが生じているという結果となった。大きく遅れが生じているという結果からデー

タの要素のばらつきに注目した。そこでデータの値に大きなばらつきが生じている6時台のデータ群を用いて、主軸に通過時間、縦軸に遅れデータの個数としたグラフを図8に示す。



図8: 時間帯における通過時間のグラフ

図8のグラフでは通過時間が主に400秒の付近にデータが集中している。また大抵の通過時間が300秒以上であることから、この区間は遅れが生じやすい傾向にあると考えられる。しかしデータ全体を考慮するとばらつきが大きいので、遅れの発生の方に類似性はないという結果となった。時間帯における遅れ時間の傾向を調べた結論として、時間帯では遅れの生じ方に一定の傾向は無く、予測システムの実用性を立証する結果は得ることが出来なかった。ほとんどのデータの通過時間が運行ダイヤで決められた基準である300秒を越えている。この結果から、鳥取駅から県庁日赤前での区間を走行する際に要する通過時間を400秒程度に拡大するなど運行ダイヤの見直しが必要であると考えられる。

### 6.3 同様な条件下におけるバスの通過時間と傾向

節6.2では時間帯における所用予定時刻と実際の通過時刻の比較を一年間のデータを用いて行った。節6.2に対し、より短い期間における遅れに着目し、同日・同時時間帯のように道路状況にさほど差が無いと考えられる便同士であれば、遅れの生じ方に傾向があるのではないかと考えた。そこで本節では同条件における便の通過時間を比較する。図9に遅れが生じやすいと考えられる雪の日の2012年2月17日の通過時間の推移をグラフ化したものを示す。加えて天候の状況を表2に示す。

表1: 降雪時の天候の詳細

降水量 [mm]	降雪量 [mm]	積雪量 [cm]
28	49	27

図9より朝方6時~9時、昼つ方の10時~15時、夕方方の16時~20時の3つの時間帯でデータが集中しているので、時間帯により似た通過時間となっていることが確認できた。降雪時の通過時間に対して晴天時の2012

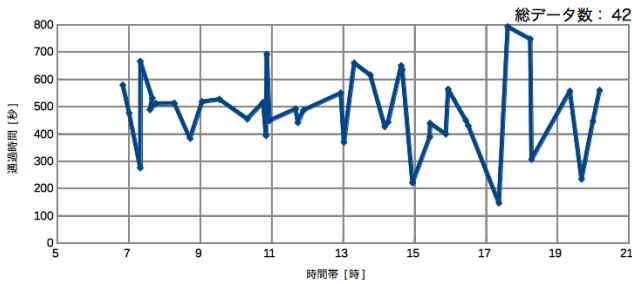


図 9: 降雪時における通過時間の推移

年3月8日における通過時間をグラフ化したものを図10に示す。加えて天候の状況を表2に示す。



図 10: 晴天時における通過時間の推移

表 2: 晴天時の天候の詳細

降水量 [mm]	降雪量 [mm]	積雪量 [cm]
0	0	0

降雪時、晴天時のグラフよりどのような天候であっても同条件下の便の差に一定の類似性は見出せなかった。また、大きさに違いはあるが晴天時、降雪時の両方において、通過時刻に差が無い便同士でも同様に通過時間の差に大きなばらつきが存在していることが確認できる。

## 7 分析結果

本研究では路線バスの上下線の区間における遅れの傾向や時間帯と道路状況や運行条件にあまり差が無い便同士の通過時間の2つパラメータに着目して遅れの傾向を調査した。

一路線の上下線に着目して区間と運行経過時間の推移を調べた結果、下りの便には遅れの傾向を明らかにすることはできなかったが上りの便においては特徴的な遅れの積み重ねとなっており、ある区間においては遅れの傾向を示すことができた。しかし今後データ数を増やして様々な条件の便においても同様の傾向が得られることを示す必要がある。

時間帯に着目して一年間の遅れの傾向を調べた結果、鳥取駅から県庁日赤前の区間において遅れが生じる傾向にあるという結果となった。しかし遅れ予測システムを実現するような分単位での予測は困難だと思われる。

同条件の便における通過時間を比較した結果、晴天時においてはどの時間帯においても遅れが生じやすい傾向にあるが、10時～13時の時間帯においては他の時間帯に比べ多少ではあるが通過時間が小さくなる傾向があるという結果となった。

これらの結果から晴天時は通勤・通学、帰宅ラッシュ時に遅れが大きく生じるという結論に至った。晴天時に対し、降雪時においては通過時間の大きさにばらつきが存在しているが、時間帯の平均値を考慮すると早朝から夜へと時間が経つにつれて通過時間が小さくなっているという結果を得ることができた。晴天時と積雪時の通過時間の結果を考慮すると鳥取駅から県庁日赤前の区間において遅れが生じる傾向にあるという結果となった。しかし、多少ではあるが時間帯による傾向が存在していることより、本研究では考慮していない曜日や季節などのパラメータを考慮できればより遅れ予測システムの実用性を示せるのではないかと考えられる。

## 8 まとめ

本研究では予測システムの実用性を検証するために、一路線の上下線の特定区間やバス停区間における遅れと区間の通過時間に着目し道路区間における遅れの分析を行った。今回の分析結果から、湖岸線の上り路線における特定区間で遅れの傾向が見られた。また時間帯における遅れと同条件下における便の通過時間をパラメータとして考察した結果、鳥取駅から県庁日赤前のバス停区間では遅れが生じやすいという傾向を示すことができた。しかし遅れ予測システムの本質である分単位で遅れを予測することは本研究の結果からは困難であると言える。

## 9 今後の課題

本研究ではバス路線における特定区間における遅れの傾向、時間帯と運行状況の2つのパラメータを考慮することにより遅れが生じる傾向を調査した。その結果ある程度の遅れ傾向を示す結果が得られたが、分単位での遅れを予測システムの実用性を示す結果を得ることはできなかった。今回は遅れの生じ方に影響を与えるパラメータとして、路線の特定区間、時間帯や天候を区別して傾向を調べた。そこで「時間帯」と「通過時間」である2つの変数を独立に扱うのではなく、新たにデータの特徴を得ることができる主成分分析を用いることにより今回の結果と違った結果を得られるのではないかと考えられる。今後予測システムを実現させるためには、本研究で考慮した時間帯と同条件の便における通過時間の他に曜日や季節など新たに様々なパラメータを独立に扱うのではなく複数のパラメータを併用し遅れの傾向の有無を考慮するか、全く新しい予測手法を用いる必要があると考えられる。

## 謝辞

本研究の一部は、総務省戦略的情報通信研究開発推進制度 (SCOPE) の受託研究によって実施された。

## 参考文献

- [1] バスネット: <http://ikisaki.jp/>.
- [2] 川村尚生, 菅原一孔: バスネットワークのための実用的な経路探索システム, 情報処理学会論文誌, p. 780~790 (2007).
- [3] ジョルダン: <http://www.jorudan.co.jp/>.
- [4] ナビタイム: <http://www.navitime.co.jp/>.
- [5] 大谷達彦: バスロケーションシステムの運用に関する検討, p. 33~38 (2006).