

# 大学循環バス運行の不確実性の計測と改善策の検討

リスク工学グループ演習6班

土田光 範俊傑 樋口達也 松崎和也

アドバイザー教員 梅本通孝

## 1 背景・目的

公共交通機関は我々の生活になくってはならないものであり、鉄道、航空、路線バスはその代表的な例である。これらの中でも、既存の一般道路を利用する路線バスは線路や駅、空港を新設する必要のある鉄道や航空と比べて設備投資が少ないという利点をもつ。バス停の新設は比較的小さな投資で済むため、鉄道網が未発達な地域にバス停を集中的に設置することでローカルなサービスを提供することができる。このように、鉄道や航空といった中長距離移動を主とする交通機関の手が届かない部分を補填することのできる、小回りの利く公共交通機関が路線バスであるといえる。

しかしながら、既存の一般道路を利用することが路線バスにもたらす影響はよいものだけではない。交通渋滞や信号といった道路状況は運行の定時運行を妨げる可能性を常に孕み、定刻からの遅延は利用者にとっての不満の一因となる。遅延は鉄道や航空も同様に抱える問題であるが、路線バスの場合には他の交通が入り乱れる一般道路を利用するために不確実な遅延要因が発生しやすく、バスの遅延が慢性的に起こってしまうという点でより深刻であるといえる。

関東鉄道は、茨城県つくば市にある筑波大学周辺を走る“筑波大学循環バス”という路線を運行しているが、この路線は一般の路線とは異なるいくつかの特殊性を有している。まず、一般道路ではなく大学構内の道路を走行するという点である。ハンプ<sup>1</sup>は一般道路にも見受けられるが、筑波大学構内には安全のためにこれが頻繁に設けられており、路線バスの運行にも影響していると考えられる。次に、利用者の多くが大学関係者であるという点である。一般の路線バスと比べて利用者のタイムスケジュールが大きく偏ることで混雑する時間帯に影響すると考えられる。最後に、“右回り”と“左回り”の違いである。筑波大学循環バスには、同じ道筋を互いに逆行する“右回り”と“左回り”の二つの循環経路がある。このような対称性をもつ二つの経路を比較することは興味深い。路線バスの遅延を扱った研究はこれまで数多くなされているが[1, 2, 3]、上述した筑波大学循環バス特有の特殊性を考慮した研究

はほとんど行われていない。そこで、本研究では“筑波大学循環バス”に限定して路線バスの定時運行についての調査及び考察を行う。

## 2 手法

本研究では、「ヒアリング」「実地調査」「GPS ロガー搭載による大学循環バスの遅延調査」の3つにより調査を行った。

まず、事業を展開する関東鉄道にヒアリングを実施する。これにより、遅延(定時運転)をどのように捉えているか等について調査する。次に、実地調査とGPS ロガー搭載により、相補的に実際の運行状況や遅延の定量化を行う。これらの手法を用いることで、「筑波大学循環バスの運行状況」「ハンプの有効性」について分析・考察する。更に、11月以降に改正が予定されている時刻表を適用して運行状況や遅延を定量化する。そして、改正後の時刻表が遅延の解消に役立っているか、分析・考察する。

### 2.1 ヒアリング

関東鉄道への具体的なヒアリング項目としては以下の通りである。

- 「定時運転」に対する考え方について早発は乗車拒否に等しいため厳禁である。その上で時刻表の時間より早く着いた場合に道路上で停車して待つことができないため、時刻表には実際予想される到着時刻よりも早く見積もった時刻を表示している。そのため時刻表プラス5分は見たいと考えている。
- 時刻表の作成方法についてつくばセンター発で各便は20分間隔という、利用者に対する分かりやすさに重点を置き作成を行った。また循環経路を1周するのに30分と取り決めた。
- お釣りの自動返却システムや電子マネーの導入予定についてバスに対する設備投資を行う際には、

<sup>1</sup>速度抑制のために道路上に設けられる台形状の突起物

路線バス全車両に対して導入を行う必要がありコスト面から現実的でなく新たな設備の導入は考えていない。ただし、水戸エリアではおつりの自動返却システムの導入を部分的に実施している。

ヒアリング調査の詳細を表 1 に示す。

表 1: ヒアリング調査

(1) 調査目的	大学循環バスの運行実態の把握 調査の協力依頼
(2) 調査日時	平成 26 年 6 月 19 日午前 10 時
(3) 調査場所	関東鉄道本社 (茨城県土浦市真鍋)

## 2.2 実地調査

実地調査では、実際に班員が循環バスに乗車し調査した。詳細な調査対象は以下の通り。なお、対象は混雑が予想される朝と夕方の時間帯の運行ダイヤとした。

- 7 月 23 日:つくばセンター 16 時 50 分発左回り
- 7 月 23 日:つくばセンター 17 時 30 分発左回り
- 7 月 24 日:つくばセンター 7 時 50 分発右回り
- 7 月 24 日:つくばセンター 8 時 30 分発左回り
- 8 月 1 日:つくばセンター 7 時 50 分発右回り
- 8 月 1 日:つくばセンター 16 時 40 分発右回り
- 8 月 1 日:つくばセンター 17 時 20 分発右回り
- 10 月 3 日:つくばセンター 8 時 30 分発左回り

調査項目は以下の通りである。

- 各バス停の乗降客数・両替の有無
- 各バス停間での気になった点 (ハンプ、道路状況など)

実地調査の詳細を表 2 に示す。

表 2: 実地調査

(1) 調査目的	大学循環バスの運行実態の把握 仮説の裏付け
(2) 調査日時	平成 26 年 7 月 23 日 同年 7 月 24 日 同年 8 月 1 日 同年 10 月 3 日
(3) 調査対象	大学循環バス右回りおよび左回り

## 2.3 GPS ロガー搭載による大学循環バスの遅延調査

調査には GPS ロガー (Wireless GPS Logger M-241) を用いる。GPS ロガーを大学循環バスの指定のダイヤに搭載することで、一日のバスの走行情報を得る。対象とする大学循環バスを運営する関東鉄道では、バスロケーションシステム等の GPS データを取得している環境にはない。本分析を行う上で必要となる GPS データを取得するために、事前に GPS ロガーと必要な電池を購入し、実際のバス運行の際に搭載していただくようヒアリングの際にご依頼した。担当の方に快く承諾していただき、それ以降の調査を円滑に行う事ができた。遅延調査内容の詳細を表 3 に示す。

表 3: GPS ロガー搭載による大学循環バスの遅延調査

(1) 調査目的	大学循環バスの運行実態の把握 各バス停における遅延の分布 ハンプの有効性
(2) 調査日時	平成 26 年 7 月 18 日～7 月 24 日, 同年 8 月 1 日～8 月 7 日 (プレ調査) 同年 10 月 1 日～10 月 3 日, 同年 10 月 6 日～10 月 8 日 (本調査)
(3) 調査対象	大学循環バス右回りおよび左回り

## 3 分析手法

本研究では、GPS ロガーおよび専用ソフトウェア (Holux ezTour for Logger) から、バス走行時の位置情報・速度情報を時系列順に csv 形式のファイルとして取得する。この csv ファイルから、各バス停ごとの「遅延発生率」「遅延時間の平均・分散」を算出する。更に、「バス停間の遅延増加時間」を求めることで、遅延を増幅する要因が存在する区間の特定を目指す。

また、ハンプをバス停のように扱うことで、ハンプ設置位置での速度情報を取得する。その際、平常時の速度情報も取得する。これによって、ハンプが本当に速度抑制の機能を果たしているか検証する。

### 3.1 データ取得アルゴリズム

各バス停における、バス走行時の位置情報・速度情報の取得手順は以下の通り。なお、ハンプや平常時の速度測定位置もバス停のように扱うことに留意する。

分析にあたり、測地系は WGS-84 を用いることとする。なお、距離計算にはヒュベニの公式を用いた。

1. ソフトウェアを用いて、一日の運行情報 (位置情報・速度情報) を時系列順に csv ファイルとして取得する。
2. 一日の運行で記録対象となっている運行ダイヤを指定する。この処理のみならず、以降は VBA マクロを用いて実現する。
3. 指定した運行ダイヤごとに、用意した各バス停  $i (= 1, \dots, 50)$  の座標  $(n_i, e_i)$ ・時刻  $t_i$  のデータを取得する。この際、右回り左回りで値が異なること、および重複に注意する。なお、 $n_i, e_i$  はそれぞれ北緯、東経を意味する。
4.  $t_i - 1[\text{min}]$  以上、 $t_i + 15[\text{min}]$  以下の範囲で、位置情報  $(n', e')$ ・速度情報を絞り込む。
5.  $(n_i, e_i, n', e')$  を引数として距離を計算する。距離が近いデータ上位 4 つまで絞り込む。
6. 上記の 4 データから、時刻データに関して算術平均をとる。ハンプや平常時の速度測定位置の場合は速度情報に関して算術平均をとる。

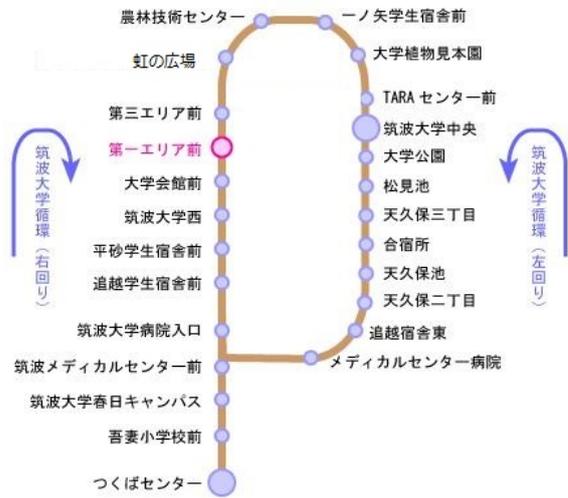


図 1: 筑波大学循環バス経路

やや解消されるのは直前のバス停 (TARA センター前) での乗降者数が少なく、信号等も無いためと思われる。左回りでは、農林技術センター～虹の広場で遅延が集中している。これは、区間内に信号が存在し、更に直前のバス停 (一ノ矢学生宿舎前から農林技術センターの区間内にハンプが 2 つ存在するためと考えられる。

## 4 結果・考察

### 4.1 筑波大学循環バスの運行状況

図 1 に筑波大学循環バスの走行経路を示す。また、図 2-7 に GPS ロガーから得られた筑波大学循環バスの遅延状況を示す。図 2-7 において、無地の棒と斜線で示した棒はそれぞれ平成 26 年 10 月末までと平成 26 年 11 月以降の時刻表に基づいた各バス停で生じた遅延時間を表し、実線と破線はそれぞれ前述と同様に遅延の累積時間を表したものである。なお、見やすさのためにいくつかのバス停を表記から省いている。

図 8-11 は実地調査の結果を平均値で示したものであり、各バス停での降車人数と乗車人数を表している。なお、降車人数は両替をした人数としなかった人数とに分けて示している。

朝の時間帯では、つくばセンター～筑波大学病院入り口 (右周り) のバス停や、つくばセンター～メディカルセンター病院 (左周り) のバス停に遅延が集中している。特に遅延が集中していることから、筑波メディカルセンター前で降車する人数が多いと考えられる。また、夕方時間帯では循環の後半のバス停に遅延が集中している。これより、ループの後半で乗車し、つくばセンターで降りる人数が多いと思われる。

次に、一日を通して右回り左回りについて考える。右回りでは、大学公園のバス停で遅延が生じている。これは、直前のバス停 (筑波大学中央) での乗降者数が多いためであろう。一方、筑波大学中央のバス停で遅延が

### 4.2 ハンプの有効性

表 4, 5 はそれぞれ右回り、左回りでのハンプ周辺のバスの平均速度を示したものである。ハンプやバス停が近くにない場所での平均速度を比較のために「定常」として示した。なお、右回りと左回りではハンプの存在する位置や数が異なるため、これらを区別して通し番号をつけた。

平常時の運転速度と比較した際、どのハンプでも速度の減少が確認できた。たしかに、実地調査時はハンプを無視する運転手もいたが、この結果からハンプの設置は速度抑制として有効であるといえる。

### 4.3 改正後時刻表を適用した運行状況

現在の時刻表で分析した場合と比、遅延発生率の減少が見られた。平成 26 年 11 月の時刻表の改正は主に遅延の発生を抑える目的で行われており、いくつかのダイヤ・バス停における時刻表上の到着時刻が平成 26 年 10 月以前のものと比較して後ろに遅れている。そのため、遅延発生率の減少は予見可能な帰結であるが、本研究ではこれを定量的に示した。なお、GPS ロガーで取得したデータは平成 26 年 10 月以前の時刻表に則った運行データであるため、本研究の結果はそのまま平成 26 年 11 月以降の運行の傾向を示すものではない。



図 2: 筑波大学循環バス遅延状況 (全日左回り)

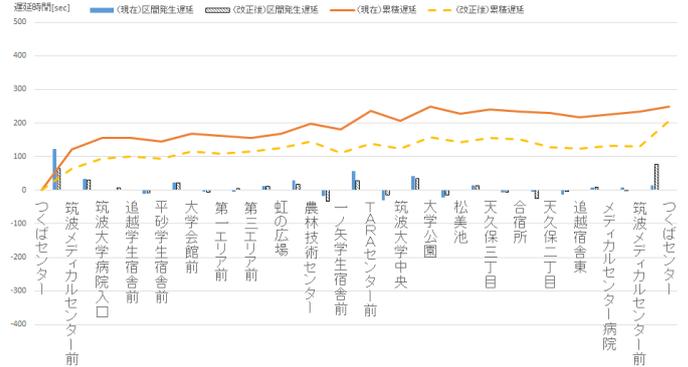


図 3: 筑波大学循環バス遅延状況 (全日右回り)

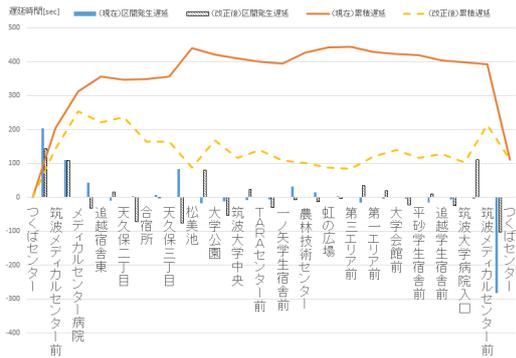


図 4: 筑波大学循環バス遅延状況 (早朝左回り)

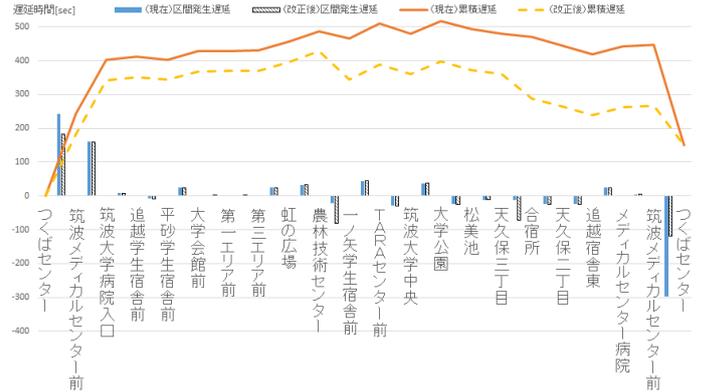


図 5: 筑波大学循環バス遅延状況 (早朝右回り)

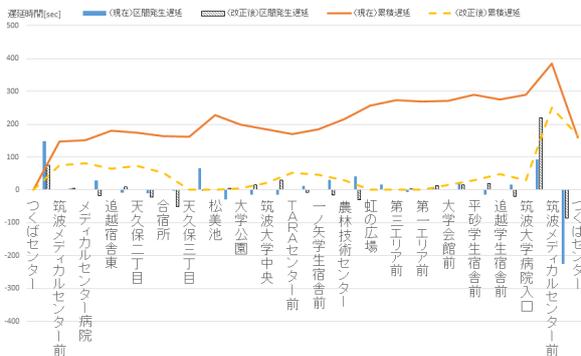


図 6: 筑波大学循環バス遅延状況 (夕方左回り)



図 7: 筑波大学循環バス遅延状況 (夕方右回り)

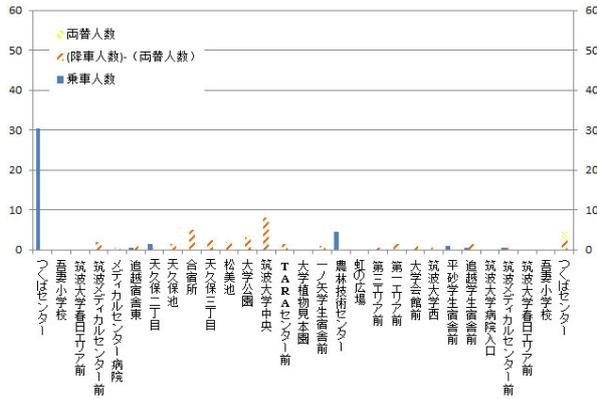


図 8: 実地調査結果 (早朝左回り)

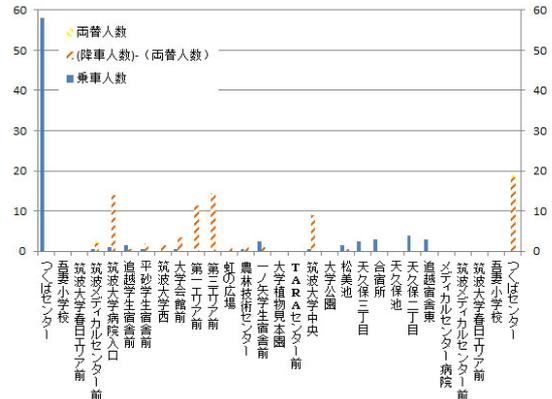


図 9: 実地調査結果 (早朝右回り)

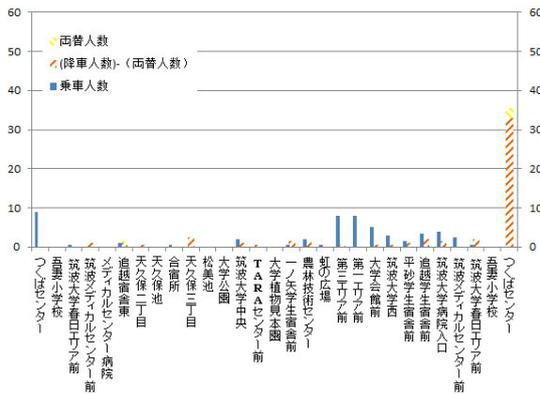


図 10: 実地調査結果 (夕方左回り)

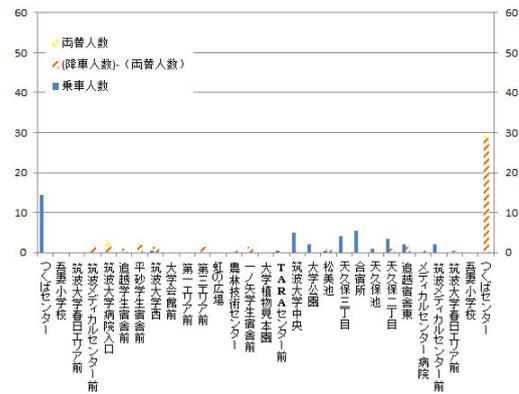


図 11: 実地調査結果 (夕方右回り)

## 5 改善策の提案

筑波大学循環バスの利便性向上に関して、以下の改善策が考えられる。

### 5.1 時刻表改正案の最適化

関東鉄道では、2014年11月1日に時刻表を改正することが予定されている。今回、分析に用いたのは現行の時刻表と改正案の2つである。分析の結果から、改正案はたしかに遅延の解消に有効であることが分かった。しかし、今回の分析結果を反映することで、更なる遅延の解消が期待できるだろう。

図5を用いて具体的に説明する。図5上の累積遅延を表す折れ線グラフに着目すると、グラフの前半部の筑波大学病院入口にかけて急激に上昇している。この部分は利用者の乗降人数が多いことや信号等の影響を受け、累積遅延時間が増加したといえる。また図の中央部の大学植物見本園などのいくつかの学内のバス停部分では、累積遅延は増加することなく一定であるか、減少する傾向を示している。このことは、時刻表の示す学内のバス停間の所要時間に実際の運行の際には時間的余裕があることが伺える。学内のバス停間の所要時間を数分単位で短縮させ、その短縮分を前半の累積

遅延増加が観察されたバス停間の時刻に割り当てることで、累積遅延増加分の一定の低減効果が見込めると考えられる。バス停間の遅延増加を定量化した本分析結果を用いることで、時刻表の更なる最適化を行うことができるといえる。

### 5.2 利用者への遅延状況の周知

バスの遅延発生自体は、利用客も容易に予想できる。しかし、遅延の発生率や遅延時間は不確実性を伴った値であり、予測が難しい。この不確実性が利用者のストレスを増幅し、利便性を(体感的に)著しく損なっていると考えられる。

そこで、ストレスの減少、ひいては利便性の向上を目的とした提案として、今回の分析結果を利用者に周知することが考えられる。周知のスペースとしては、各バス停の時刻表、車内広告、車外広告、車内放送が考えられる[4]。

### 5.3 スマートフォン・アプリケーションを用いた運行状況の把握

現在、バスの運行状況をリアルタイムで提供するスマートフォン・アプリケーション(以下、スマホアプリ

表 4: ハンプ周辺での平均速度 (右回り)

ハンプ No.	定常	1	2	3	4	5	6	7
平均速度 [km/h]	34.9	18.1	8.61	5.83	26.1	18.4	15.8	16.3

表 5: ハンプ周辺での平均速度 (右回り)

ハンプ No.	定常	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
平均速度 [km/h]	36.3	16.5	15.5	12.1	16.4	13.4	7.38	11.3	24.6	25.1	22.4

り) が提供されている [5]。しかし、このスマホアプリは、運行情報を把握する事業者との連携を前提としている。

本研究の対象である筑波大学循環バスに限れば、利用者の多くは筑波大学に所属していることが予想できる。そこで Twitter などの SNS を用いて、実際に乗車した利用者が自発的に運行情報を発信することで、その他の利用者のストレスを軽減できると考えられる。

#### 5.4 ITS 推進を目的とする自治体・行政からの支援

近年、ITS (Intelligent Transport Systems) の研究が盛んであり、日本でも積極的に取り組みが行なわれている [6]。また、バスロケーションシステムを整備することで、バスの運行状況を把握するという取り組みも地方で行われている [7]。このような取り組みに参加し、助成金などの支援を受けることで、経営の厳しい民間バス会社でも運行状況の把握を実現できる。

## 6 今後の課題

本研究はあくまでも、遅延の分布やハンプの有効性といった、運行状況を作り出す要因の一部を定量化できたに過ぎない。今後は、乗降者数・天候・信号・道路の渋滞度等の要因についてもデータを収集する必要がある。そして、重回帰分析に代表する分析手法を用いることで要因分析を行うことも今後の課題として挙げられる。

## 参考文献

- [1] 吉田長裕, 内田敬, 日野泰雄: GPS を活用したバスの定時運行評価に関する事例分析, 土木計画学講演集 No.27,2003
- [2] 冬季におけるバスの利便性向上検討調査 <http://wwwtb.mlit.go.jp/hokkaido/bunyabetsu/>

[tiikikoukyoukoutsuu/41tyousakentoukekka/katsupro/toukibasuzentaiban.pdf](http://tiikikoukyoukoutsuu/41tyousakentoukekka/katsupro/toukibasuzentaiban.pdf)

- [3] 石田東生, 谷口綾子: 筑波大学「新学内バス」の導入とその効果, 筑波フォーラム 76, p93-98, 2007
- [4] 宮城交通 <http://www.miyakou.co.jp/cm/>
- [5] バスあと何分?のアプリ情報—iPhone/iPad アプリ- Appliv <http://app-liv.jp/467951905/>
- [6] ITS Japan <http://www.its-jp.org/>
- [7] 総務省—地域情報化の推進—事例紹介—交通手段 [http://www.soumu.go.jp/main\\_sosiki/joho\\_tsusin/top/local\\_support/ict/jirei/thema06.html](http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/top/local_support/ict/jirei/thema06.html)