

バスロケと乗込調査データによるコミュニティバスの運行実態の分析と適切な時刻表の設計

天藤 奈菜¹・溝上 章志²・中村 嘉明³

¹学生会員 熊本大学大学院自然科学研究科 (〒860-8555 熊本市黒髪2-39-1)

E-mail:188d8351@st.kumamoto-u.ac.jp

²正会員 熊本大学教授 大学院自然科学研究科 (〒860-8555 熊本市黒髪2-39-1)

E-mail:smizo@gpo.kumamoto-u.ac.jp

³学生会員 株式会社 構造計画研究所 (〒164-0012 東京都中野区本町4-38-13)

利用者の利便性を向上させるシステムの普及を背景に、公共交通分野でも交通ビッグデータの活用が目まぐるしく集まっている。本研究では、まず位置データと乗込調査データから運行実態や利用実態の把握を行った。これらの結果として、遅延区間や乗り継ぎの課題など利用と運行の両方から明らかにした。次にバス停留所要時間の分布から平均値を使った時刻表作成と運行データを利用した時刻表最適化の式を使った時刻表作成を行った。これらの作成した時刻表を比較し、コミュニティバスの最適な時刻表について考察を行った。その結果、平均値を利用した時刻表が適切であることが明らかになった。

Key Words : location data, questionnaire survey data, timetable optimization

1. はじめに

(1) 研究の目的

近年、高齢化や人口減少地域でのモビリティの確保を背景に、公共交通の重要性が高まりつつある。しかし、全国的にみると自動車依存度は高く、バス利用者は減少傾向が続いており、地方都市ではそれによってバス路線の統廃合が進められている。一方で、交通渋滞などの道路交通事情などにより、バスの定時性が確保できないという問題もある。バス運行の信頼性の低下も、利用者のバス離れにつながっていると考えられる。利用者の減少はバス運行継続には深刻な問題で、利用者にとって便利で信頼性の高い公共交通サービスを継続的に提供することは事業者だけでなく、行政にとっても必要である。

利用者の信頼性向上のためにバスロケーションシステム（以下、バスロケと記す）が導入されている。バスロケでは、利用者にとってバスの接近や現在の位置、到着予測時刻、遅延時間、運行状況などの様々な情報をインターネットやスマートフォン、バス停留所で配信することから、利用者にとっては待ち時間に対する不安の解消、待ち時間の有効活用などに役立っている。また、事業者は、バスの運行情報をリアルタイムで把握できるため、利用者からの問い合わせに対する対応が行える上、過去の運行

履歴データはバス路線の継続的な運行計画の立案や業務改善のための基礎データともなる。

本研究では、1)図-1¹⁾に示す合志市のコミュニティバスである「レターバス」に導入されているバスロケーションシステム「いまココ」の位置情報データを用いて運行実態の分析を行う。次に、2)同時に実施した乗り込み調査から得られる利用者属性や利用実態に関するデータと統合することによって、現行運行ダイヤの課題と、改善のための情報を得る。最後に、3)これらの結果を活用して現行の時刻表から最適化手法を使った時刻表を作成し、



図-1 レターバス路線図

比較することで新たな運行計画案を提案することを目的とする。

(2) 合志市レターバスの運行実態

本研究で実証の対象とするのは合志市のコミュニティバスである「レターバス」である。レターバスは平成22年10月から運行を開始し、平成24年7月にダイヤ改正、平成27年10月に2度目のダイヤ改正と運賃を一律100円（小人50円）から150円（小人80円）に改定を行っている。左回りと右回りの路線があり、それぞれ平日に6便、休日には5便が運行している。図-2はレターバスの半年ごとの利用者数の推移を表している。利用者は運行開始の15,000人から平成27年上半期の43,000人と約2.8倍に増加している。しかし、平成27年下半期には利用者が前年同時期から約10%程度減っている。これはダイヤ改正や運賃の値上げが原因とも考えられるが、明確な理由は

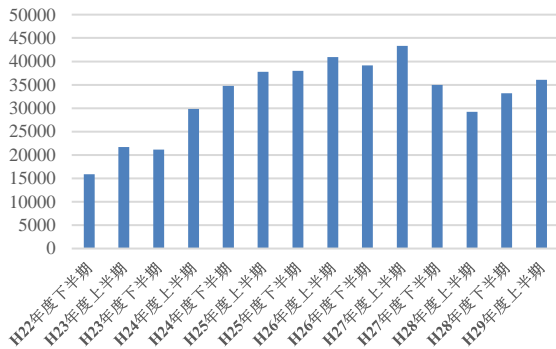


図-2 レターバスの半年ごとの利用者数の推移

明らかでない。さらに、平成28年4月に発生した熊本地震による大幅な遅延や主要施設の休業のために、平成28年度上半期の利用者数は30,000人以下まで減少した。平成28年下半期も前年同時期より5%ほど減少している。しかし、平成29年上半期には36,000人まで回復したものの、平成27年の上半期より17%も少ない。

合志市では、平成28年3月に「合志市地域公共交通網形成計画」を策定し、コミュニティバスの在り方や方向性を明確にするため「コミュニティバス運行指針・指標」³⁾を設定している。指標と平成32年度の目標値、設定根拠は表-1に示す。この指標を基に必要なに応じて運行体系などの見直しを行うこととなっている。これに対して平成28年度の目標達成現況は4つの指標のうち(2)と(3)の2つが未達成となっており(表-2参照)、レターバス等のコミュニティバスの利用者数を増加させ、公共交通機関の利用割合を上昇させることが課題である。施策として新規利用者の掘り起こしを行ったとしているが、まだ不十分である。平成32年度において4つの指標の目標値を達成するための方策を見直す必要がある。

2. 利用データの概要

(1) バスロケーションデータ

バスロケデータは合志市役所から提供を得たレターバスのロケーションシステム「いまココ」の2016年9月1日(木)から2016年9月30日(金)までの1秒間隔で取得さ

表-1 コミュニティバス運行指針・指標

指標	測定方法	現況値 (H27実績)	目標値 (H32年度)	設定根拠
(1) 公共交通機関を使った市内への移動での乗り換え乗り継ぎが円滑にできていると思う市民の割合	市民アンケート	43.2%	49%	合志市総合計画で平成28年度から年1%ずつの増加を目標
(2) コミュニティバス等の利用者数	レターバス、循環バス、乗合タクシー合計	92,846人	92,800人	平成26年度に達成した最高値92,800人の維持
(3) 公共交通機関を利用している人の割合	市民アンケート	65.9%	71.5%	合志市総合計画で平成28年度から年0.5%ずつの増加を目標
(4) 市民1人当たりのコミュニティバス等の運行委託料	レターバス、循環バス、乗合タクシー合計	797円/人	800円/人	平成32年度は現況値797円から925円に増額する推計値だが、現状維持を目指す

表-2 平成28年度コミュニティバス運行評価

指標	現況値 (H28実績)	目標値 (H28年度)	評価	要因等
(1) 公共交通機関を使った市内への移動での乗り換え乗り継ぎが円滑にできていると思う市民の割合	47.4%	45%	達成	料金値上、ダイヤ改正に伴う利用者へのアンケート調査を実施した。ガイドブックの配布、乗り方教室の実施や既存サービスを行い、新規利用者の掘り起こしを行った
(2) コミュニティバス等の利用者数	71,655人	92,800人	未達成	料金値上げやダイヤ改正の影響がでている。おおむね固定客の利用が多い。行き先も主に老人憩の家やユーパレス弃天、光の森となっている。また、4月に発生した熊本地震の影響で施設の休業等が発生し6月までの利用者がかなり減少した
(3) 公共交通機関を利用している人の割合	65.9%	69.5%	未達成	新規利用者開拓及び利用者定着ができていないところがある
(4) 市民1人当たりのコミュニティバス等の運行委託料	790円/人	800円/人	達成	平成27年度の1人当たりのコミュニティバス等の運行委託料と比較すると1人当たりの委託料は減少している

れたGPSデータを用いる。データのサンプル数や項目などを表-4に示す。既存研究で、折部ら⁴⁾は時刻表ダイヤと通過時刻の差分で定義された遅延時間に対する統計分析を行い、始発から距離が増加につれて遅延が蓄積されることを明らかにした。本研究ではバスロケデータに最も近いバス停とその距離データを付加し、バス停ごとに到着、出発時刻を算出する。そのために、各バス停と最も距離が近い位置データを探索し、その点の前後5分から速度が0、距離の差が15メートル以下の位置データを列挙する。その中の最早時刻を到着時刻、最遅時刻を出発時刻とする。停車せずに通過したバス停では最も近接の位置データの時刻を到着、出発時刻とする。

(2) 乗り込み調査データ

2017年9月26日(火)から2017年9月30日(土)に行ったレターバス全便への乗り込み調査から表-5に示すような質問項目に対する回答データを得た。調査は調査員がバスに乗り込み、乗客全員に対する聞き取りによって行

表-4 バスロケのGPSデータから得られるデータの内容

	内容
期間	2016年9月1日(木)~2016年9月30日(金)
サンプル数	2,257,048 (左回り 1,097,660, 右回り 1,159,380)
データ項目	車両 ID, 緯度, 経度, 速度, GPS 時刻, 系統番号, ダイヤ番号 等

表-5 乗り込み調査の質問内容

	内容
期間	2017年9月26日(火)~2016年9月30日(土)
サンプル数	左回り 466, 右回り 463
質問項目	性別, 乗降バス停, 年代, 居住地, 目的, 目的施設, 乗り継ぎ, 利用頻度, 免許有無, 利用開始時期, 送迎有無 等

った。サンプル数や質問項目を示す。

3. 運行と利用実態の特性

(1) 運行実態

バスロケデータから運行実態の分析を行う。分析は、平日(20日間)と休日(10日間)に分けて行った。図-3は例として休日の左回りの3便目の各バス停における到着時刻と時刻表との差の分布を箱ひげグラフで示したものである。

左回りでは6便全てで遅延が生じており、平日と比べて休日の遅延時間は特に大きくなっている。また、休日3, 4便目、平日1, 6便目で遅延が生じやすい。休日3便目の終点への到着時刻は、時刻表より17分ほど遅れている。時刻表では始発バス停である辻久保での3便目と4便目の発車時刻との時間差は16分間しかないため、3便目の遅延は4便目の発車時刻を遅らせる原因となっている。実際の運行実態を見ると、4便目の発車時刻は中央値で4分、75%タイル値では11分ほど遅れている。休日4便目もかなり大きな遅延が生じているが、5便目の始発時刻までの時間差が22分あるので、影響はない。便との間隔の設定も考える必要がある。

遅延が起りやすい区間は黒石一すずかけ台北間、永江団地-新山(マックスバリュ-光の森店前)間、合志庁舎(ヴィーブル)-合志中前間である。ここでの遅延を回復するための余裕時間が再春荘病院とすずかけ台、JR光の森駅のバス停で設けられており、大抵はこれらのバス停で遅延が回復している。しかし、余裕時間より遅延時間が大きいため、遅延を回復できないまま遅延が累積していく場合もある。また、遅れの回復のための最終のバス停であるJR光の森駅以降でも遅延が発生すること

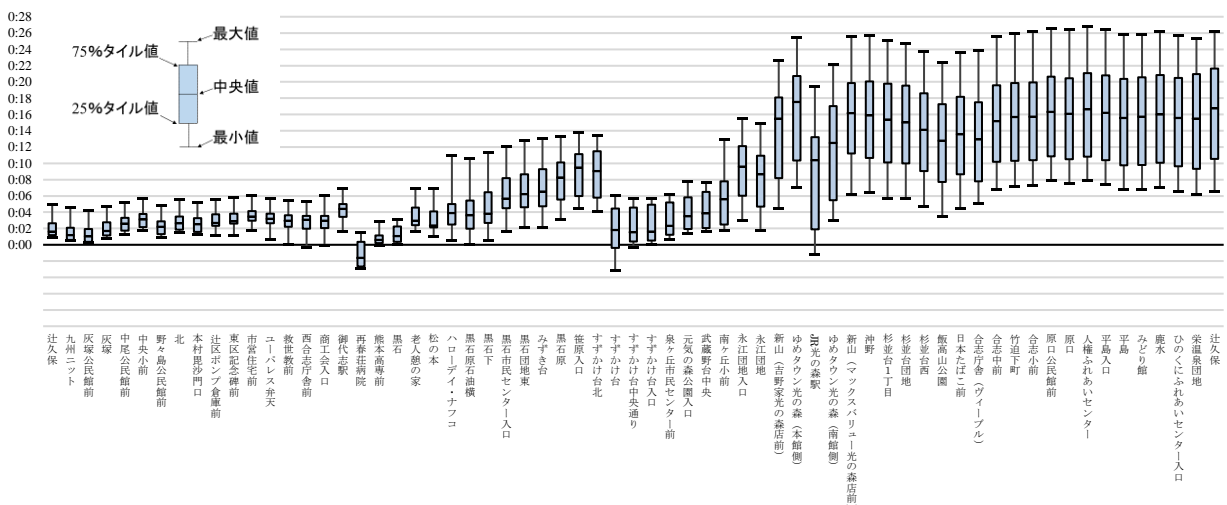


図-3 3便目の到着時刻と時刻表の差の分布(休日, 左回り)

もある。JR光の森駅の後の区間にも遅延を回復するための工夫がダイヤに必要である。

一方、右回りでは、平日、休日とも始発の辻久保から沖野までは25%タイル値から75%タイル値の幅（以降、箱の幅と記す）は2分以内に収まっている。平日2~4便目では始発から終点まで2分以内に収まっており、遅延時間は平日と休日での違いがなく、小さい。合志中前-合志庁舎（ヴィーブル）間で遅延時間がバス停ごとに2分程度増え、その後は沖野まで徐々に遅延時間が減るのが特性である。その後、沖野-永江団地間、ハローデイ・ナフコー黒石間で再び遅延時間が増加する。この区間では箱の幅が拡大し、日によって遅延時間の変動が大きくなる。特に大きな遅れが生じるのはJR光の森駅-すずかけ台中央通り間である。

また、右回りでは1便目、5便目、6便目で遅延が起りやすく、平日と休日による遅延の差は少ないという特徴もある。JR光の森駅、すずかけ台、御代志駅の3か所で遅延回復のための余裕時間が設けられているが、25%タイル値が0分にもなっていない便もあり、余裕時間の設定と設置場所とその数に改善の余地がある。

右回りと左回りで、遅延が起こる区間がほぼ同じであり、遅延に大きな影響を及ぼしているのはJR光の森駅前後のバス停である。ここには、大型SCの「ゆめタウン光の森」があり、交通渋滞が頻繁に発生している県道316号を通過しているためと考えられる。しかし、右、左回りで進行方向が異なるため、同じ区間であっても遅延時間に違いが生じている。特に左回りは全便で遅延があり、何らかの改善が必要である。休日と平日でも遅延が起きやすい便が異なることも分かった。遅延の発生区間や遅延時間毎の実態が明らかになり、これらの情報をもとに効率的な時刻表に改善する必要がある。

(2) 利用実態

a) 乗客数

乗込調査データより利用実態を分析する。図-4は右回り、図-5は左回りの便ごとの調査日別の乗客数と平日の平均乗客数を示す。右回り、左回りともに、乗客数は2、3便目が多くなり、時間帯によって異なることが分かる。同じ5、6便目であっても右回りの方が左回りより乗客数は多い。これは右回りが帰宅に利用されているためと考えられる。平日の1~6便の平均利用者数は、それぞれ右回りが8人、20人、22人、16人、15人、12人、左回りが11人、25人、25人、15人、15人、6人であった。休日の2~6便の利用者数はそれぞれ右回りが19人、25人、14人、18人、12人、左回りが24人、13人、22人、16人、6人であった。乗客は右回り左回りともに女性が8割と多い。

b) 年代

図-6は右回り、図-7は左回りの利用者の年代を示す。

利用者は両路線とも70代の利用が最も多い。しかし、1便目と6便目では高校生の割合が高くなっている。特に1便目の利用者の年代構成は他の便とは違い、若い世代が利用していることが分かる。これは、この便が通勤や通

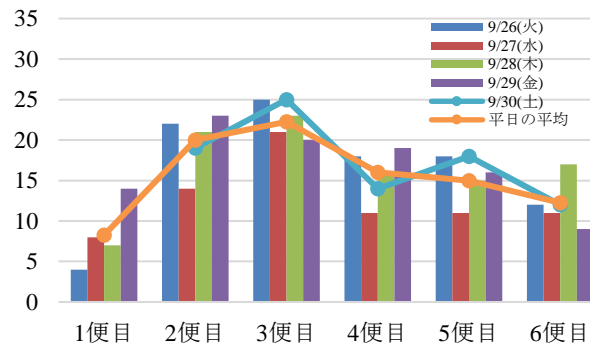


図-4 各便の乗客数（右回り）

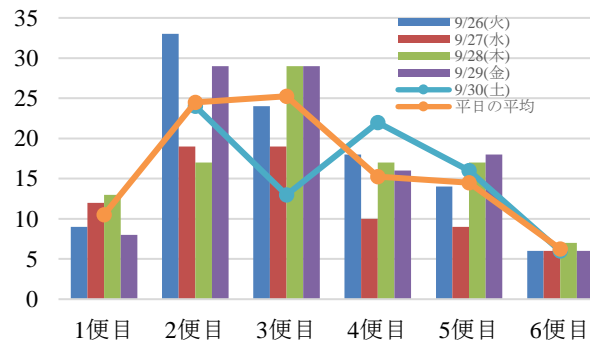


図-5 各便の乗客数（左回り）

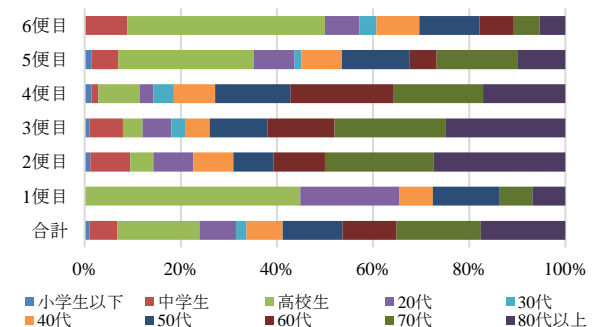


図-6 年代別利用者比率（右回り）

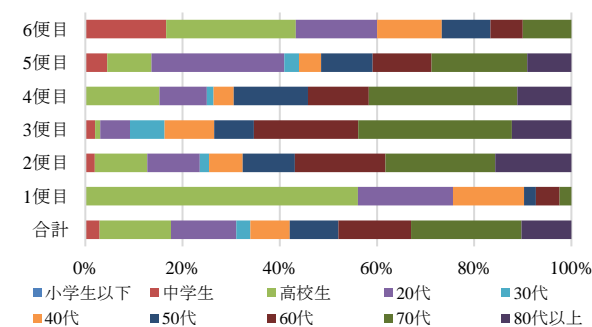


図-7 年代別利用者比率（左回り）

学に利用されているためと考えられる。また、2~5便目では50代以上の割合が5割~7割占めている。レターバスの利用者は便によって特性が異なる。

c) 利用目的と目的施設

図-8に示す利用目的から分かるように、通勤や通学にレターバスを利用している人もいるが、大半は買い物や通院などの日常生活のための交通手段として利用されていることが分かった。また、利用目的施設では大型SCである「ゆめタウン光の森」が最多であるが、温泉施設である「ユーパレス弁天」を利用目的施設とする利用も多い。目的施設の利用時間を考慮したダイヤ設定が必要である。

d) バス停別乗降数

図-9はバス停別の乗降数を示している。右回りの乗車数は、ゆめタウン光の森、辻久保、ハローデイ・ナフコ、降車数はJR光の森駅、ゆめタウン光の森、ユーパレス弁天が多い。左回りの乗車数は、ゆめタウン光の森、ユーパレス弁天、ハローデイ・ナフコ、降車数はゆめタウン光の森、JR光の森駅、辻久保が多い。右回りと左回りと比べると、ゆめタウン光の森や辻久保、ユーパレス弁天で右回りと左回りで乗車と降車が逆になっている。これは、左回りで降車した人が帰宅のために右回りに乗車しているためと推測される。また、乗車も降車でも利用されていないバス停が右回りに6つ、右回りに7つもある。これらの情報は路線案を改訂する際に重要である。

(2) 乗り継ぎの実態分析

図-10に乗り継ぎしたバス停での人数と乗り継ぎ交通手段を示す。乗り継ぎの多いバス停はJR光の森駅、御代志駅、辻久保、ゆめタウン光の森である。乗継手段はJRが最も多く、電鉄、路線バスが多い。これらの情報により、乗り継ぎの利便性を高めるため、乗り継ぎ時刻を考慮した時刻表への改訂も必要である。

そこで乗り継ぎが多かったJR光の森駅、御代志駅バス停での乗り継ぎ交通手段の時刻表^{5)・6)}とバスロケータの実際の到着時刻を比較する。通勤と通学目的の利用者が多い1便目について検討する。まず、JR光の森駅では、右回りは時刻表では7時20分着であるが、中央値で約3分、最大では約12分の遅延が起きている。左回りは時刻表では7時24分着であるが、中央値で約1分、最大では約15分の遅延が起きている。この時間帯は7時28分発のJRの上りと下りがあり、時刻表上は右回りで8分、左回りで4分の余裕がある。しかし、平日の20日のうち8日間は遅延によりJRに乗り継ぐことができなかったと考えられる。

御代志駅ではレターバスと熊本電鉄、及び路線バスとの乗り継ぎがなされる。左回りの1便目は6時50分に御代志駅始発となっており、6時45分着の路線バスや6時36分着の熊本電鉄からレターバスへの乗り換えと利便性が高い。右回りは8時28分着であるため、8時26分発の熊本電鉄との乗り継ぎは困難である。次の便が8時41分のため、乗り継ぐまでに13分も待たなければならない。

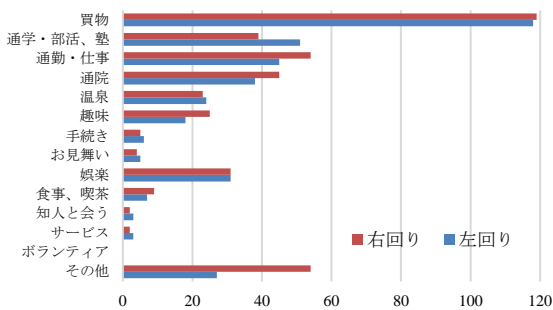


図-8 利用目的別利用者数

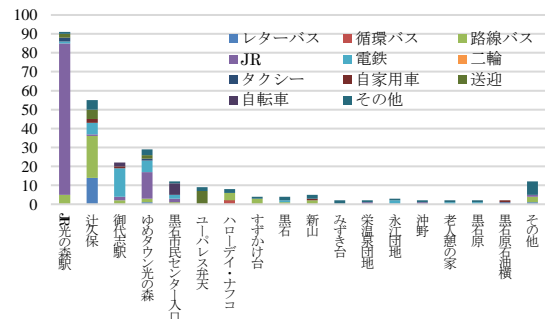


図-10 乗継バス停での人数と乗継交通手段

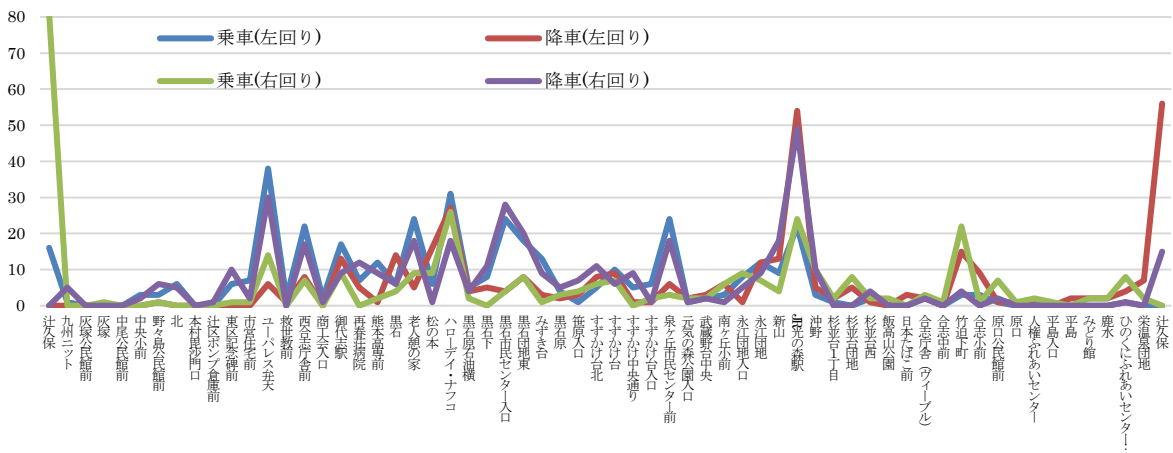


図-9 バス停別乗降数

乗込調査でも、「乗り継ぎしづらい」や「熊本電鉄やJRとの乗り継ぎのタイミングを合わせてほしい」といった利用者の意見があることから、提案する運行ダイヤでは乗り継ぎ余裕時間についても改善する必要がある。

4. 運行改善案の提案

バスロケータと乗込調査データを用いて運行と利用の実態分析を行った結果、遅延の実態やバス停別の利用者数、乗り継ぎの実態などが明らかになった。ここでは2つのデータから得られた情報を基に、マニュアルによる時刻表の改訂案を提案する。

平日と土日祝日の運行ダイヤについて上記の課題を解決する改訂ダイヤをそれぞれ、**図-10**と**図-11**に示す。図中の黒色の線が現行、赤線が所要時間の平均値、青線は95%の確率で遅延が起らない所要時間の値の運行ダイヤであり、右下に下がっていくスジが左回り、右上に上がっていくスジが右回りである。

提案する運行ダイヤはバス停間の所要時間の平均値と95%値を利用し、30秒捨31秒入した1分単位で行う。次に、平均値は遅延が発生する場合もあるので、余裕時間を設定する。余裕時間については遅延回復のためのバス停で遅延時間の中央値が0分以下の時は所要時間に3分足した時間とし、それ以外は所要時間に5分足した時間を余裕時間として利用する。95%値では、遅延がほぼ起らないので余裕時間の設定は行わない。最後に、乗り継ぎバス停での乗り換えまでの時間はJRと御代志駅については全便ともなるべく10分以内に行えるようにする。これらのルールをもとに運行ダイヤの作成を行った。

平均値と95%値を利用している運行ダイヤを実際のダイヤと比べると、両方とも実際のダイヤより1周当たりにかかる時間は増えており、95%値では平均30分増えている。平均値のダイヤでは、実際より所要時間が短くなっているダイヤもあるが、95%値の運行ダイヤでは、所要時間が長くなるだけである。95%値の運行ダイヤは、突発的な起きた所要時間の長い値を取っているため、遅

延が起きない区間では所要時間が余り、バスが止められない区間では早発する恐れがある。よって、遅延に対して遅延回復の余裕時間を持たせた平均値を使った運行ダイヤのほうが適切である。

5. 時刻表最適化モデルの活用

前章では運行と利用分析結果を基に、時刻表の作成を行った。しかし、手動的で適切な時刻表作成を行うことは時間がかかる。そのため、論理的に簡単に行う必要がある。本章では、レターバスで時刻表最適化モデルを使用することにより、時刻表を作成し、4章で作成した時刻表と比較することが目的である。

(1) 時刻表最適化モデル

遅延に頑健な鉄道時刻表を設計するためにSlim Stochastic Model⁷⁾が提案されている。また、田中ら⁸⁾はSlim Stochastic Modelを日本の路線バスに適用したモデルに改良し、バス時刻表の改訂を行った例を示している。

Slim Stochastic Modelは各区間で発生する遅延をシナリオとして与えたとき、次のように定式化される。

$$\min. \sum_{(i,j) \in P, \omega \in \Omega} w_{ij} s_{ij}^{\omega} \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad t_i - t_j \geq d_{ij} \quad \forall (i,j) \in P \quad (2)$$

$$t_i - t_j + s_{ij}^{\omega} \geq d_{ij} + \delta_{ij}^{\omega} \quad \forall (i,j) \in P, \forall \omega \in \Omega \quad (3)$$

$$s_{ij}^{\omega} \geq 0 \quad \forall (i,j) \in P, \forall \omega \in \Omega \quad (4)$$

$$\sum_{h \in T} \rho_h \geq (1 - \alpha)z \quad (5)$$

$$1 \leq t \leq u \quad (6)$$

ここで、 Ω は遅延シナリオの集合、 δ_{ij}^{ω} は遅延シナリオ ω において区間 $(i,j) \in P$ で発生する遅延である。解変数は t_i と t_j であり、停留所 i や j でのダイヤ時刻を、変数 s_{ij}^{ω} は $(i,j) \in P$ で吸収できなかった遅延を示す。また、 d_{ij} は実際の時刻表における運行時間、 w_{ij} は重み、 ρ_h は最適化する時刻表の各便の利益を示す。

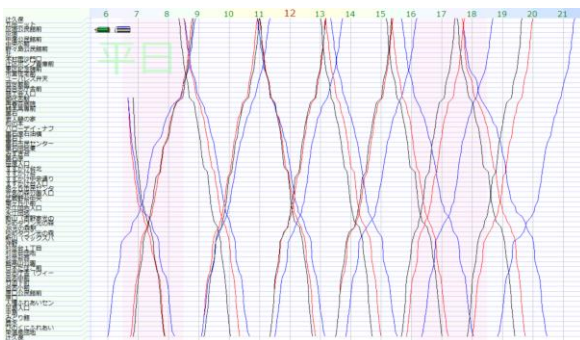


図-10 時刻表と新時刻表案 (平日)

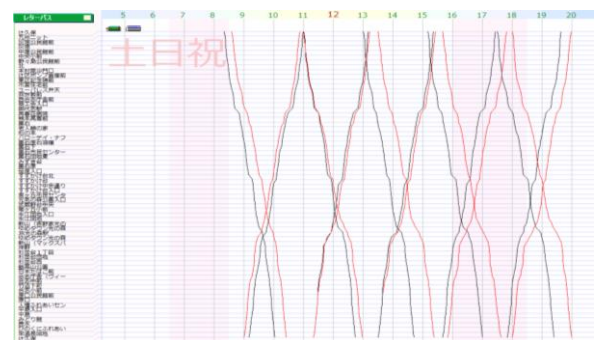


図-11 時刻表と新時刻表案 (平日)

目的関数(1)では遅延シナリオ ω で吸収できない遅延 s_{ij}^{ω} の重み付きの総和であり、これを最小化する問題となっている。制約式(2)では最適化する時刻表は各区間にかかる運行時間が実際の時刻表より短くならないこと、制約式(3)では最適化する時刻表の運行時間と吸収できなかった遅延 s_{ij}^{ω} の和が運行時間 d_{ij} と与えた遅延 δ_{ij}^{ω} の和以上になることを示す。制約式(4)では吸収できなかった遅延は0以上となる。制約式(5)では各便の最適化による利益は実際の時刻表の利益の $1 - \alpha$ 倍以上になること、制約式(6)では時刻 t_i, t_j の動ける範囲を制限している。

本研究では、バスロケや乗込調査データの結果を遅延シナリオの値と重みとして活用し、Slim Stochastic Modelを適用して時刻表の改訂を行う。ここでは遅延シナリオ ω にバスロケデータから得られた情報を利用する。

n を便番号、 t_1^n を始発バス停、 t_{end}^{n-1} を終着バス停とすると、最適化問題は次のように修正される。

$$\min. \sum_{(i,j) \in P} w_{ij} s_{ij} \quad (7)$$

$$\text{s.t.} \quad t_i - t_j \geq d_{ij} \quad \forall (i,j) \in P \quad (8)$$

$$t_i - t_j + s_{ij} \geq d_{ij} + \delta_{ij} \quad \forall (i,j) \in P \quad (9)$$

$$s_{ij} \geq 0 \quad \forall (i,j) \in P \quad (10)$$

$$t_1^n - t_{end}^{n-1} \geq T \quad \forall n \in N \quad (11)$$

$$t_1^n \geq t_1^{n-1} \quad \forall n \in N \quad (12)$$

目的関数(7)と制約式(8), (9), (10)はSlim Stochastic Modelと同様であるが、制約式(11)では便間 T は20分とし、制約式(12)によって、始発バス停は一定の時刻より小さくならないことを保証する。

文献⁸⁾では、 w_{ij} が均一の場合と前方区間を優先する場合の重みが設定されている。本研究では、これらのモデルに加えて、遅延時間の変動係数、乗り継ぎ率、利用者率を重みとして設定する3つのモデルを提案する。

(2) 最適化モデルを活用した時刻表

重み w_{ij} の設定方法の違いによって、次の

- 1)均一設定
- 2)前方区間優先設定
- 3)変動係数による設定
- 4)乗り継ぎ数比率設定
- 5)利用者数比率設定

の5つのモデルの時刻表を作成した。今回は平日の左回りのみを時刻表最適モデルで行った。

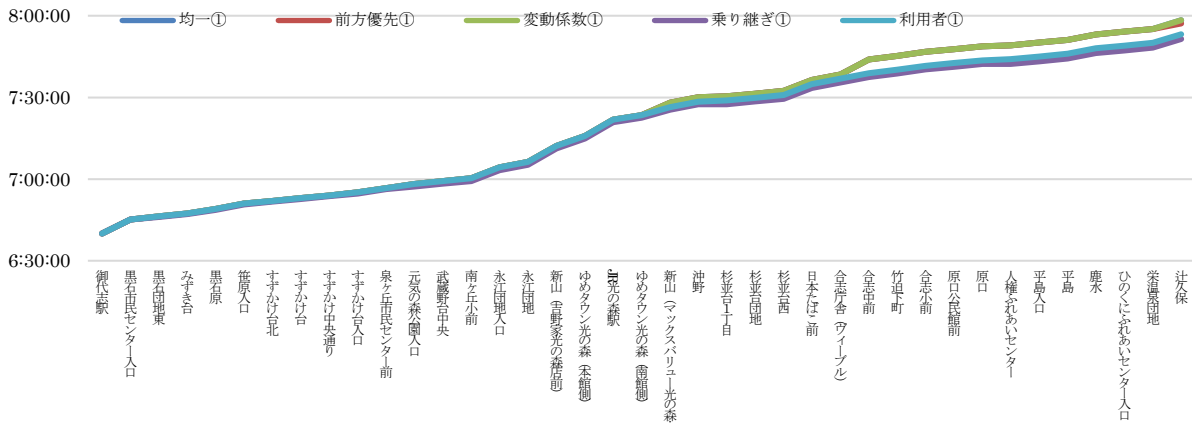


図-12 最適化モデル時刻表案 (1便目)

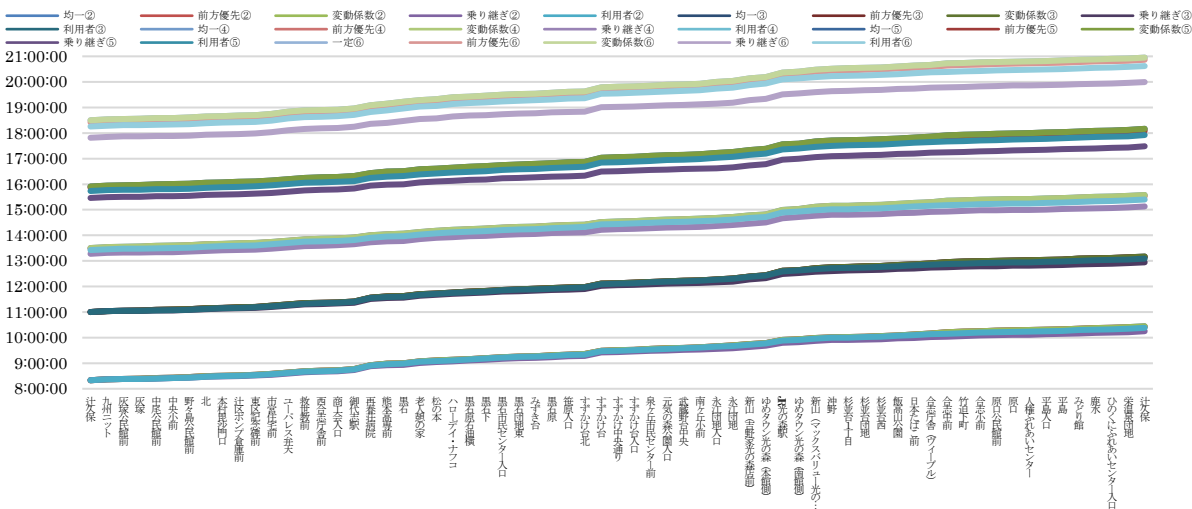


図-13 最適化モデル時刻表案 (2から6便目)

表-6 時刻表案の総所要時間

	1便	2便	3便	4便	5便	6便
時刻表	1:02	1:42	1:44	1:42	1:40	1:54
平均値	1:13	1:50	1:50	1:50	1:57	2:05
一定	1:18	2:06	2:10	2:04	2:15	2:27
前方優先	1:17	2:05	2:09	2:02	2:13	2:26
変動係数	1:18	2:06	2:10	2:04	2:15	2:27
乗り継ぎ	1:11	1:54	1:56	1:51	2:01	2:10
利用者	1:13	2:02	2:05	1:58	2:11	2:21

図-12と図-13に5つのモデルの時刻表を示す。前半は遅延も少ないので、どのモデルでも所要時間はほぼ同じになるが、区間の後半になるにつれて設定方法によって所要時間が変化する。均一設定と変動係数による設定は、全便とも同じ時刻表が得られ、変動係数を考慮しても時刻表の改訂に効果がない。乗り継ぎ数比率設定は5つのモデルの中では乗り継ぎが多いバス停間での遅延時間が少なくなるため、乗り継ぎ利便性が高い時刻表に改訂することが可能である。また、利用者数比率設定では利用者が多いバス停での定時性が高くなり、待ち時間短縮につながるように時刻表が改訂された。

(3) 作成した時刻表の比較

4章で提案したマニュアルによる改訂時刻表と1)~5)の設定方法によって最適化した時刻表の比較を行う。表-6はそれぞれの時刻表案の総所要時間を示している。現在の時刻表の総所要時間と比べると全時刻表案は長くなっていることが分かる。これは、現在の時刻表では所要時間の設定の仕方が適切でないことを示している。しかし、レターバスは1便当たりの発車、到着時間が長いため、所要時間を長くするだけでは解決にはならない。

マニュアルによる改定案と5つの最適化案を比較すると、乗り継ぎ数比率設定の1便目を除いて、最適化案の方が長くなっている。これは、マニュアルによる案では、バスロケデータの平均所要時間の値を使っているため、既存ダイヤより所要時間が短くなる区間もある。しかし、最適化案では、制約条件によって、時刻表の運行時間より短くすることができないため、必然的に長くなってしまったのである。この結果を受けて、運行時間の制約を0以上とし、最適化を行った。その結果、重みが小さいところでは前のバス停と同じ時刻になってしまい、時刻表としては利用できないため、ある程度の運行時間の制約は必要であることが分かった。

改定案の比較の結果、運行時間が短くなった区間もある平均値を使った時刻表が適切であることが分かった。しかし、4)乗り継ぎ数比率設定のようにモデル設定の仕方によっては乗換利便性を向上させる時刻表の作成も容易にできる。最適化モデルのウェイトの設定方法を改良することが今後の課題である。

6. 結論

本研究では、バスロケデータから到着、出発時刻の算出し、バス停ごとの遅延時間や遅延が起きる区間、バス停間の所要時間などの運行実態を明らかにした。また、乗込調査データから乗換や利用方法、詳しい利用者属性の情報を便ごとに得ることができ、乗り継ぎの利便性を向上させることが利用者獲得につながるということが明らかになった。さらに、両データを用いることで乗り継ぎの実態を明らかにし、運行ダイヤの改善案に反映することができた。

また、時刻表の最適化モデルにより、バスロケデータから得られる情報を用いて最適な時刻表に改訂する方法を提案した。本研究では、設定方法により運行時間が短縮されないため、マニュアルによる時刻表が適切であることが明らかになった。しかし、便の特徴によって適切な時刻表を数理モデルによって設計できる。今後、時刻表の最適化モデルの改良を行い、乗り継ぎまでも含めた時刻表最適化を行うことが求められる。

謝辞：本研究を進めるにあたり、貴重なデータを提供していただいた合志市役所の方々にこの場を借りて深く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 公共交通ガイドマップ 合志市ホームページ：
http://www.city.koshi.lg.jp/one_html3/pub/default.aspx?c_id=314
- 2) 合志市地域公共交通協議会：平成28年度コミュニティバス運行実績報告，2017. 5. 24.
- 3) 合志市地域公共交通協議会：コミュニティバス運行业務評価，2017. 5. 24.
- 4) 折部 雄太，藤原 章正，張 峻屹，石石 真，瀬谷 創：路線バスの旅行時間信頼性とその影響要因に関する基礎的研究，土木計画学研究・講演集，Vol.53，CD-ROM，土木学会，2016.6
- 5) JR九州「駅別時刻表」：http://www.jrkyushu-timetable.jp/jr-k_time/top.html
- 6) 熊本電気鉄道株式会社ホームページ：
<http://www.kumamotodentetsu.co>
- 7) M. Fischetti, D. Salvagnin and A. Zanette(2009), Fast approaches to improve the robustness of a railway timetable, *Transportation Science*, vol.43, pp.321-335, 2009.
- 8) 田中健裕，高松瑞代，菅原宏明，田口東，交通状況による遅延を考慮し円滑な乗換を保証するバス時刻表の設計 - 静岡県富士市の公共交通設計への最適化技術の活用，都市計画論文集，Vol.52，No.3，pp.1320-1326, 2017.
- 9) 高松瑞代，バス時刻表の最適化，日本オペレーションズ・リサーチ学会

(2019.3.8 受付)

ANALYSIS BY GPS DATA AND THE RIDE SURVEY DATA AND DESIGN OF OPTIMUM TIMETABLE

Nana AMAFUJI and Shoshi MIZOKAMI

Recently, the system that improves the convenience of users has been spreading. Even in the field of public transportation, attention is paid to utilization of traffic big data. In this research, we have grasped actual traveling situation and usage situation from location data and loading survey data. As a result, it clarified from both use and operation such as delay section and connecting. Next, timetables were created using the average value from the distribution of the time required between bus stops, and timetables were created using expressions of timetable optimization using operation data. We compare these timetables and considered optimum timetable of community bus. As a result, it became clear that the timetable using the average value is appropriate.