

バス運行実績と空間統計データに基づく 乗降者数推定に関する研究

新井 雄大¹・河口 信夫²・廣井 慧³

¹名古屋大学大学院工学研究科情報・通信工学専攻 修士課程 (〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町)

E-mail: arai@ucl.nuce.nagoya-u.ac.jp

²工博 名古屋大学大学院教授 工学研究科情報・通信工学専攻 (〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町)

E-mail: kawaguti@nagoya-u.jp

³工博 名古屋大学大学院助教 工学研究科情報・通信工学専攻 (〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町)

E-mail: k.hiroi@ucl.nuce.nagoya-u.ac.jp

路線バス事業は近年厳しい状況に置かれており、特に地方都市では、利用人数の減少による赤字路線が増え、不採算事業化・路線廃止が加速している。このような状況を改善するため、ダイヤ変更や経路変更、新規バス路線の設定の判断材料となり得ることから、本研究ではバス運行データを用いたバス乗降者数推定モデルを提案する。このモデルは、バス運行データに加え、人口や学校・病院など停留所の周辺地域の特性を利用する。提案モデルの評価を行ったところ、乗降者数に影響を及ぼす説明変数として停留所周辺の人口や企業数の他、一日の総バス本数と、近隣店舗の従業員数が重要だと判明した。さらに、構築モデルをもとに、他地域(一宮市)の予測を行なったところ、地域間の特性の変換におけるパラメータ調整の必要があるとわかった。

Key Words: *passengers prediction, bus actual data, geospatial data, regression model*

1. 研究背景

近年の路線バス事業は厳しい状況にある。図1は、国土交通省の調査¹⁾による、全国の乗合バスの利用人数を表したものである。平成29年度において全国の乗合バス利用人数は延べ約43億人であり、ピーク時の昭和45年と比較すると約43%ほど減少している。この原因の一つとして、近年のモータリゼーションが挙げられる。国土交通省・統計局の調査^{1),2)}による人口変動と自動車保有台数の推移を図2に示す。図の通り、ここ数十年の人口は変化していないのに対し、自動車保有台数は増加している。その結果、公共交通機関の利用人数が減少し、主に地方都市において公共交通機関の衰退が進んでいる。運行が廃止される路線も多く存在する(図3参照)。このような地方都市においては、バスの利便性が低下したことにより、住民が車での移動に頼るしかなく、その結果さらに利用人数が低下し、運行が厳しくなるという負のスパイラルを抱えている³⁾。また、過度に車社会が発展した結果、地方都市においては精力的な道路整備が進められたにも関わらず、通勤・帰宅ラッシュ時や登下校時間帯は道路混雑が慢性的に発生している。さらに、少子高齢化社会の進行で、車を日常的に運転する高齢者が増加している。これに伴い、図4に示す通り、高齢者による事故が相対的に増加している。地方都市の人々にとって車は生活に欠

かせない移動手段であることから、高齢者にとっての車に対する代替交通手段として公共交通機関が重要な存在となりうる。一方で、スマートシティ⁴⁾⁵⁾の観点からも、エネルギーの効率的な利用や空間の有効活用が可能な公共交通は重要な要素であると考えられる。このように、近年の路線バスは厳しい状況にある中、道路混雑の緩和や高齢者の自動車の代替手段として、またスマートシティの観点からも、社会的に重要な公共交通機関の一つであるといえる。近年の路線バス事業では、事業者にとってのバス運行の効率・利用者にとっての利便性両方を向上させ、地方都市の交通におけるバスという手段の価値をいかにして高められるかが課題となっている。

バスの運行状況を改善する上で課題となるのが、バスは遅延が多く、通勤・通学時間に混雑しやすいという点である。内閣府世論調査⁶⁾によると、日常的に鉄道やバスを利用する人々でもその68.3%が現状の運行に対して不満に感じ、その理由として「運行本数の少なさ」や「遅延」、「車内の混雑」が挙げられている。バス本数を増やすと利用者の時間的利便性は向上すると考えられるが、バスの運行状況の衰退を鑑みると、バス本数を増やして対応することは最適ではないと考えられる。さらに、バスの本数が増えることによりさらなる渋滞を引き起こす可能性も存在する。よって、バス運行状況を改善するためには、運行本数を大きく変更しない

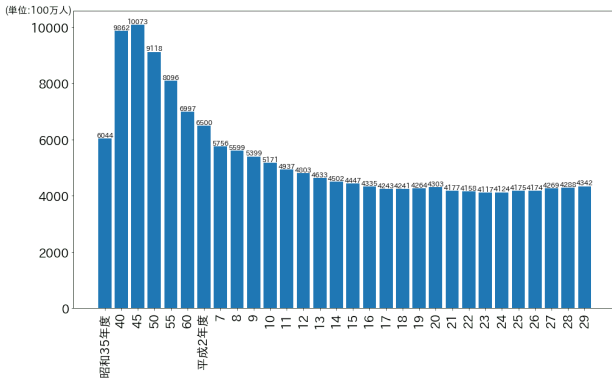


図-1: 乗合バス利用人数の推移

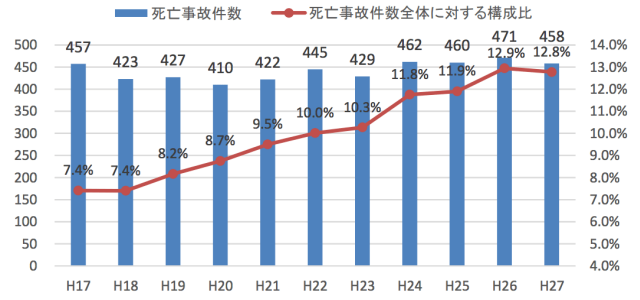


図-4: 75歳以上の高齢運転者による死亡事故件数及び構成比 (注: 第一当事者が原付以上の死亡事故を計上している)(出典:⁸⁾)

状態で、ユーザ側の利便性を向上させる必要がある。

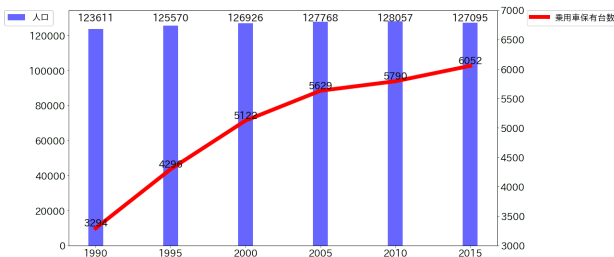


図-2: 近年の人口変動と自動車保有台数の推移

平成19年度以降で、13,108kmが廃止。(全国のバス路線合計47万7,670km(平成25年度末)の約2.7%を占める。)																							
乗合バスの路線廃止状況 (廃止/バスをなく、代替・変更がない廃止廃止のもの)	平成11年以降の法的整理・事業再生等の事例																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>年度</th> <th>廃止路線キロ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>19年度</td><td>1,832</td></tr> <tr><td>20年度</td><td>1,911</td></tr> <tr><td>21年度</td><td>1,856</td></tr> <tr><td>22年度</td><td>1,720</td></tr> <tr><td>23年度</td><td>842</td></tr> <tr><td>24年度</td><td>902</td></tr> <tr><td>25年度</td><td>1,143</td></tr> <tr><td>26年度</td><td>1,590</td></tr> <tr><td>27年度</td><td>1,312</td></tr> <tr><td>計</td><td>13,108</td></tr> </tbody> </table>	年度	廃止路線キロ	19年度	1,832	20年度	1,911	21年度	1,856	22年度	1,720	23年度	842	24年度	902	25年度	1,143	26年度	1,590	27年度	1,312	計	13,108	<p>法的整理</p> <p>民事再生法 ○東陽バス ○那覇交通 ○北部交通 ○富士交通 ○琉球バス ○茨城交通 ○岩手東北自動車 ○南部バス</p> <p>会社更生法 ○京都交通 ○水間鉄道 ○福島交通</p> <p>破産法 ○井笠鉄道</p> <p>特別清算 ○常盤交通自動車</p> <p>私的整理</p> <p>○大分バス ○中国バス</p> <p>事業再生</p> <p>産業活力再生特別措置法関係 株式会社産業再生機構 ○九州産業交通 ○関東自動車 ○宮崎交通 ○北海道旅客鉄道(JR北海道バス) ○箱根登山鉄道 ○いわきコーポレーション ○立山黒部貫光 ○国際興業 ○東日本電気バス他4社 ○アルビオン松本電鉄他3社</p> <p>産業競争力強化法 ○土佐電気鉄道・高知興交通</p> <p>株式会社企業再生支援機構法 ○会津乗合自動車</p> <p>株式会社地域経済活性化支援機構法 ○熊本バス</p>
年度	廃止路線キロ																						
19年度	1,832																						
20年度	1,911																						
21年度	1,856																						
22年度	1,720																						
23年度	842																						
24年度	902																						
25年度	1,143																						
26年度	1,590																						
27年度	1,312																						
計	13,108																						

図-3: 近年廃止されたバス路線 (出典: 国土交通省「東北における地域公共交通の活性化及び再生の動向と課題について」⁷⁾p14より引用)

情報通信技術の発展により、バスに関する様々な情報が取得可能となった。例えばバスロケーションシステム(以下、バスロケ)という、無線通信やGPSなどを

用いてバスの位置情報を取得し、停留所の表示やインターネットにおいて情報を提示するシステムがある⁹⁾¹⁰⁾。バスロケにより運行管理を効率的に行い、ユーザサービスを向上できる¹¹⁾。従来、バスの位置情報は停留所に設置されたアンテナとの無線通信で到着・出発時のみ取得されていたが、近年の愛知県名古屋市交通局では停留所での情報に加え、バスに搭載されたGPS端末から30秒ごとの位置情報(緯度、経度)が取得可能となった。また、他の取得可能になった情報として、ICカードによる乗降人数の記録が挙げられる。従来のバス乗降者数を測定する方法は、画像処理を用いる方法¹²⁾や、センサやカウンタを用いる方法¹³⁾など、外的装置を用いて測定する方法が一般的であった。これに対し、ICカードを用いた運賃清算の普及により、記録されたデータを参照し、外的装置を用いることなく、正確な乗降者数を把握できるようになった。

本研究では、これらのデータ中で、ICカード利用履歴に基づく乗降者数のデータに着目する。バスの乗降者数は、そのバス運行に対する需要を反映させるデータであり、乗降者数が多ければそのバスの重要性は高いと言える。乗降者数が少ない場合、必ずしも重要である可能性があるためである。しかし、乗車人数が常に0人または少数であるような地域の場合、そのバスは採算が取れておらず、乗客の需要に対して無駄な運行をしていることになる。よってバスの乗降者数が推定できれば、ダイヤ変更や経路変更、または新しくバス路線を敷設する場合の良い指標となることが考えられる。

バスの乗降者数を決定する要因は様々であるが、停留所の周辺環境、または停留所自体の利便性が重要であると考えられる。住宅街など夜間人口が多い地域や、鉄道駅・学校・病院・企業などに隣接した停留所では利用人数も多くなると考えられる。また、周辺環境が同

様な地域の停留所であっても、停留所を通過するバスの本数や、対象地域の中心へ接続があるかどうかなどその停留所自体の利便性によって利用人数が異なると考えられる。例として学校の前に停留所が存在する場合、その停留所が 10 分に 1 本バスが通過するなら多くの学生が利用すると予想されるし、2 時間に 1 本しかバスが通過しないなら学生の利用は減少すると予想される、といった具合である。そこで本研究では、停留所の周辺環境を空間統計データ（詳細については付録 (2) に示す) で表現し、乗降者数との関連性を明らかにし、周辺環境・停留所の利便性（バス本数や地域の中心へ接続があるかどうかなどの情報で、これをバス運行メタデータと呼称する。詳細は b) にて示す。）から乗降者数を推定するモデルを提案する。

2. 関連研究

本章では、バスの運行状況分析や乗降車人数推定に関する関連研究について詳述し、それぞれの研究分野における課題を述べる。

(1) 乗降者数推定に関する関連研究

乗降者数推定に関する研究は、交通需要予測に関する研究分野において多くなされてきた。フォンセからは運賃カードに基づき集計された乗車数に独立成分分析を用い、曜日や天候に対する需要変動と、停留所に対して起こりうる最大の需要を予測している¹⁴⁾。藤井、¹⁵⁾らは、において、対象地域における利用者アンケートに基づき、行動意図法を用いて新規バス路線に対する需要予測を行なっている。

また、交通需要を推定する手法として、四段階推定法¹⁶⁾が存在する(図 5)。これは 1950 年代アメリカで開発された広域的な交通需要計測手法であり、交通需要を四段階に分割して推定する手法である。溝上らは、停留所近辺の交通ポテンシャル予測し、パーソントリップ調査と四段階推定法を利用した交通シミュレーションに基づき、バス路線の特性評価を行い、それに基づいた路線網再編の提案を行なっている¹⁷⁾。

交通系 IC カードを利用した乗降者数の予測として、IC カードの利用履歴から回帰を用いて路線バスの乗降者数を予測し、バス会社の計測値と比較を行うものが存在する¹⁸⁾。

また、市町村等が主体的に計画し運行する「コミュニティバス」を導入する際に、その地域に対するコミュニティバスの需要を予測する研究が多数存在する。コミュニティバスは交通空白地域や交通不便地域の利便性向上を図るために導入される¹⁹⁾ので、導入検討地域の地域特性やバスに対する需要をよく考慮した運行に

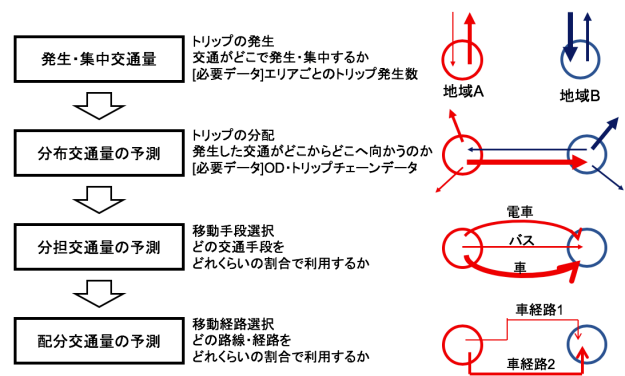


図-5: 四段階推定法: 交通需要を発生・集中, 分布, 分担, 配分の四段階に分けて推定を行う手法である。アメリカ・シカゴにおいて、高速道路の交通需要を計測する目的で開発された。

する必要があるためである。溝上らは、パーソントリップ調査に基づく利用者の外出頻度と、アンケート調査に基づき算出されたコミュニティバス選択を行う確率を利用して、人口あたりのコミュニティバスに対する需要を求めている²⁰⁾。新田らの研究^{21),22),23)}では、アンケート調査に基づき、現状の外出利用交通手段別外出者数の予測から、高齢者に対応した交通手段の転換・利用頻度を予測し、高齢者に対応したコミュニティバスの利用者数を予測している(図 6)。山口らの研究²⁴⁾では、接続駅での乗降者数や人口密度・運行間隔などコミュニティバスの周辺環境に対するコミュニティバス乗車人数の関係性を重回帰分析を用いて明らかにしている(図 9)。

(2) 乗降者数推定に関する関連研究における課題

路線バスの乗降者数推定に関する研究においては、継続的な実際の乗降者数を用いておらず、予測が残されている点において課題が存在する。前者に対しては、大きな原因として、これまで実際の乗車人数を正確・大規模かつ継続的に図る手段が存在しなかったためである。四段階推定法においては、広域的なパーソントリップ調査が必要であり、調査や解析に膨大な費用や時間がかかる。都市圏全体での総合的な交通計画の立案に対しては有効であるが、本研究が目標としている各バスにおける乗降者数の算出には適さない。また、それに伴い時間ごとのバスに対する需要が考慮されていない点において課題が存在する。後者に対しても、正確な乗降者数が把握できなかった点が挙げられる。バスに対する需要は本来時間ごとに異なり、一日合計での需要予測では完全な予測を行うことは難しい。また、潜在需要を求める研究においても、従来はアンケート調査に依る推定が主流であり、費用や時間がかかることが挙げられる。これに対し本研究では 4. 章において、IC

カードの利用履歴およびバスロケータを用いて、時間ごとの需要予測を、それぞれの停留所における乗降者数という形で予測する。

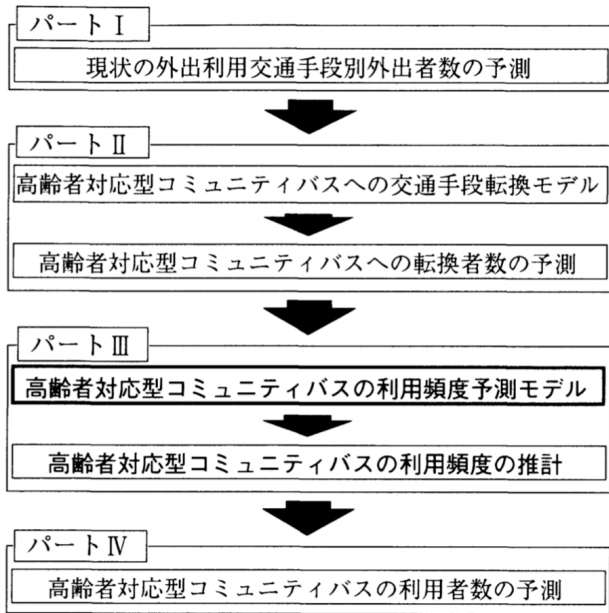


図-6: 高齢者対応型コミュニティバスの需要予測の手順 (21)より引用)

変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	F値
接続駅乗降客数	0.001396	0.57	24.6
路線人口密度	0.008864	0.12	1.0
運行間隔	-0.4451	-0.18	7.4
乗用車保有台数	-164.8	-0.18	4.0
平均停留所間隔	-93.80	-0.13	3.4
運賃指標	-5.923	-0.04	0.2
昼夜間人口比率	0.8237	0.05	0.7
医療施設数	10.92	0.03	0.2
定数項	303.5		4.0

図-7: 対象地域における統計情報に対するコミュニティバス乗車人数の重回帰分析

決定係数	0.85
自由度修正済決定係数	0.82
重相関係数	0.92
自由度修正済重相関係数	0.91

図-8: 分析の制度

図-9: 山口らのコミュニティバス乗車人数分析結果 (24)より引用)

3. ダイヤ変更や新規地域・新規路線設置に対する乗降者数推定

本章では、本研究が提案する乗降者数推定手法について詳述する。??章でも述べたとおり、路線バスの社会的重要性の高さに対して、最適なダイヤの設定のため需要を予測する必要がある点について、地域特性に対するバス利用の関係性を明らかにすることで利用者・事業者双方に最適なバス運行を目指す。特に本章ではバスロケ履歴やICカード利用履歴などの詳細なデータが取得できるようになったことを活用し、空間統計データからバスごとの乗降者数を予測するモデルを構築する。このモデルを活用し、より利用者にとって利便性の高いバス運行を目指していく。

(1) 提案手法

本研究で提案する乗降者数推定モデルのデータ処理の流れを図10に示す。各停留所での乗降者数は停留所の周辺環境、または停留所自体の利便性が重要な要因となる。前者に対しては、住宅街など夜間人口が多い地域や、鉄道駅・学校・病院・企業などに隣接した停留所では利用人数も多くなると考えられる。後者に対しては、同じような地域に停留所が存在していたとしても、停留所を通過するバスの本数や予測対象地域の中心へ接続があるかどうかなどその停留所自体の利便性によって利用人数が異なると考えられる。そこで本研究では、停留所の周辺環境を空間統計データ、停留所の利便性をバスロケータから抽出・加工したダイヤ情報とし、これらを入力として各停留所での乗降者数を推定するようなモデルを検討する。

停留所における各バスごとの乗降者数データは、停留所ごと・時間ごと・曜日ごとなど様々な要素によって変化する。これを各段階ごとに分割し、大きい単位から細かく推定していくことを考える。具体的には、本研究が提案する乗降者数推定手法は、大きく二段階の手順から成り立つ。まず、空間統計データから停留所ごと・曜日ごとの一日単位での乗降者数を予測するモデルを作成する(図中青の箇所)。次に、停留所ごと・一日合計での乗車人数から、バスごとの乗降者数を算出する(図中緑の箇所)。

(2) 事前処理

モデルに入力するデータに対する事前処理として、ターミナル停留所の決定とモデルに使用する空間統計データの選択を行う。以下に詳述する。

a) ターミナル停留所の決定

本研究では、道路混雑や過疎化が発生している地方都市を対象としている。これらの地方都市の特徴とし

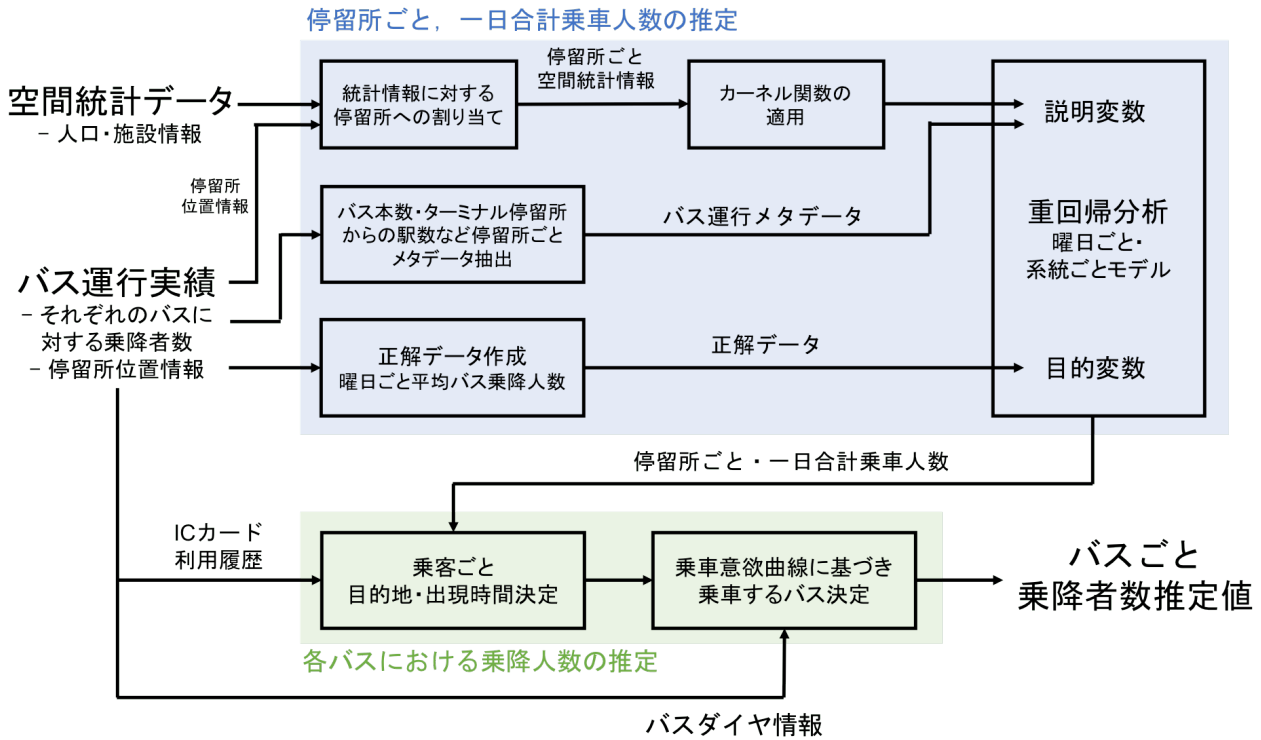


図-10: 乗降者数予測のデータの流れ

て、主に鉄道など対象地域の主要施設と接続している停留所が存在し、その停留所を中心として人の行き来が行われると仮定する。本研究ではこの停留所をターミナル停留所と呼称する。ターミナル停留所においては、乗車人数・降車人数が鉄道と大きな関連を持っており、本研究の空間統計データでは説明しきれない成分を含んでいる。モデルに使用するメタデータとして、このターミナル停留所の選択を行う。

b) モデルに使用する空間統計データの選択

本研究で使用する空間統計データは、年代別やデータ種別によって細かく分類がなされた、4種類のデータファイルからなる全 1596 種類のデータである ((1) 参照)。ここから、バス乗降者数に関係があるデータを抽出する。データ同士に多重共線性があると回帰がうまくいかなくなり、またデータ種類数が多くなると、後述の最適な説明変数選択の処理に時間がかかってしまうため、慎重にデータ選択を行う必要がある。選択したバス乗降に関係があるデータ種類の候補を表 1 に示す。

(3) 重回帰分析を用いた 停留所ごと一日合計乗車人数の推定

モデルの中では、重回帰分析を用いて空間統計データから停留所ごと・一日単位での乗車人数を推定し、その後各バスでの人数を推定する。本節では、このうち重回帰分析を用いて空間統計データから停留所ごと・一日単位での乗車人数を予測する手法について述べる。地域メッシュごとになっている空間統計データを重回帰分析に使用できるように、空間統計データをそれぞれの停留所での値として割り当てを行う。停留所ごとのダイヤ情報から、停留所ごとの一日合計バス本数・ターミナル停留所までの停留所数など停留所に関するバス運行メタデータの抽出を行い、空間統計データと合わせ、説明変数とする。曜日ごとのバス乗車人数平均をとり、目的変数とし、重回帰分析を行う。

a) 空間統計データの停留所への割り当て

本研究で使用する空間統計データのデータ形式は、地域メッシュごととなっている。地域メッシュとは、統計に利用するために、緯度・経度に基づいて地域をほぼ同じ大きさの網の目 (メッシュ) に分けたものである。これに対し、目的変数である乗降者数は停留所ごとの数値となっている。よって、重回帰分析を行うためにはこ

表-1: 空間統計データから選定した、重回帰分析の説明変数として使用するデータの候補

データ名	出典
人口総数(年齢不詳を含む) 総数	国勢調査データ
15 歳以上人口総数	国勢調査データ
労働力人口総数	国勢調査データ
当地に常住する 15 歳以上就業者・通学者総数	国勢調査データ
医療、福祉従業者総数	経済センサス(事業所・企業統計) データ
教育、学習支援業従業者総数	経済センサス(事業所・企業統計) データ
高等学校、中等教育学校従業者総数	経済センサス(事業所・企業統計) データ
高等教育機関従業者総数	経済センサス(事業所・企業統計) データ
百貨店、総合スーパー従業者総数	経済センサス(事業所・企業統計) データ
全産業(A-R) 事業所総数	経済センサス(事業所・企業統計) データ
全産業(A-R) 従業者総数	経済センサス(事業所・企業統計) データ
昼間人口(総数)	全国国勢調査・経済センサスリンクデータ
(国) 夜間人口(総数)	全国国勢調査・経済センサスリンクデータ
(事) 全産業事業所数	全国国勢調査・経済センサスリンクデータ
昼間人口 1000 人当たり事業所数	全国国勢調査・経済センサスリンクデータ

これらのデータ形式を揃える必要がある。そこで、図 11 のように、地域メッシュごとの統計値をそれぞれの停留所での数値として分配する。以下にその手順を示す。

空間統計データの統計値の範囲



図-11: 空間統計データを停留所ごとの数値として割り当て

まず割り当ての前処理として、周囲に停留所が存在せず、乗車が期待できないメッシュや、他地区(他営業所)と被っているメッシュを除くため、メッシュの代表点(メッシュ区域の中央の座標)から最も近い停留所までの物理的距離が 700[m] 以上であるメッシュを割り当ての対象から外す。実際の割り当ての処理は以下から

行われる。

空間統計データは 500m メッシュであり、一辺が 500[m] となっている。また、それぞれの停留所に対して、最も近い停留所との物理的距離は平均 0.33[km]、最大 1.21[km]、最小 0.07[km]、分散 0.03[km] である。ここから、一つのメッシュに対しておおよそ 23 箇所の停留所が存在すると仮定する。よって、メッシュの統計値もこれらの停留所に分割して割り振る必要がある。まず、それぞれのメッシュの代表点に対して、物理的距離が最も近い停留所を 5 つ ($b_i(i: 1to5)$ とする) 選択する。次にこれら 5 つの停留所に対し、メッシュ代表点から徒歩での移動時間 ($t_i(i: 1to5)$ とする) を算出する。この算出には、Google Maps API(Google Cloud Platform により提供される、任意の二点間の徒歩経路や所要時間を算出できる api) を用いている。このうち、最も短い移動時間を t^* とすると、 $t^* - t_i < 300$ である停留所をリストアップし、さらにこの中から $t^* - t_i$ の値が小さい順に最大 3 箇所の停留所を選択する。そして、この最大 3 箇所の停留所に対し、メッシュの値を最大 3 等分割し、停留所での統計値を加算する。上記の処理をメッシュ全体に対して行い、最終的な各停留所に割り当てた統計値を算出する。

b) バス運行メタデータの追加

乗客にとって、バスの本数(運行間隔)やターミナル停留所へ接続するかどうかなどその停留所に関する運行情報は、乗車するかどうかを判断する大きな要因である。よって、回帰に使用する説明変数として、空間統計データの他に、各停留所に関する運行情報(これを本

研究ではバス運行メタデータと呼称する)も追加する。具体的に以下の通りである。

- 一日あたりバス本数
各停留所において、一日に何本のバスが発着したかを表す数値である。バスロケデータから算出する。
- ターミナル停留所かどうか
ターミナル停留所を、鉄道の駅と接続している停留所と定義し、各停留所がターミナル停留所かどうかを表す。岡崎市においては、東岡崎駅(JRと接続)・岡崎駅前(名鉄と接続)の二種類が該当する。接続していれば1、そうでなければ0とする。
- ターミナル停留所との接続
各停留所において、停留所を通る系統がターミナル停留所と接続するかどうかを表す。
- ターミナル停留所からの駅数
各停留所において、ターミナル停留所と接続する系統が存在する場合、ターミナル停留所からの駅数を表す。複数のターミナル停留所と接続する場合は最も近いものを選択し、ターミナル停留所との駅数が近い方を該当停留所での数値とする。ターミナル停留所での数値は0である。該当停留所においてターミナル停留所と接続する系統が存在しない場合、この数値は99とする。
- ターミナル停留所からの距離
各停留所において、ターミナル停留所からの物理的直線を表す。ターミナル停留所における数値は0とする。

c) 正解データ

回帰に使用する正解データとして、付録(1)に記述したバスロケデータとICカードデータを紐付けたデータを使用する。曜日の違いを考慮し、各バスに対し、曜日ごとの平均値を正解データとして用いる。

d) 重回帰分析

上記のデータ整形を行ったのち、停留所ごとに割り当てた空間統計データと停留所ごとのバス運行メタデータを説明変数、曜日ごと平均バス乗車人数を目的変数とした重回帰分析を行う。この際、最適なモデルを生成するために、説明変数の選択を行う。空間統計データとバス運行メタデータから、上限を7とする任意の組み合わせ(${}_{15}C_i (1 \leq i \leq 7)$)を抽出する。この説明変数の組み合わせに対してそれぞれ回帰を行い、モデルの決定係数としてR二乗統計値が最も小さいものをモデルとして採用する。また、乗客は必ず降車するので、合計の乗車人数と降車人数は同数となる。この後の段階で、降車停留所を決定し、最終的な乗車バスを決定する関係で、重回帰分析については乗車人数のみで行う。

(4) 各バスごと乗降者数の推定

以上の重回帰分析によって得られたモデルは、停留所ごとに割り当てた空間統計データと停留所ごとのバス運行メタデータから、曜日ごと・停留所ごとの一日合計での乗降者数を予測するものである。このモデルによって予測された乗降者数を各バスに割り振り、最終的な各バスでの乗降者数を算出する。この際、それぞれの乗客がバスを決定する要因として、「乗客ごとの目的地の設定」と「乗車時間」という二つの段階を設定する。さらに、ダイヤの変更に対して、最終的な乗車を行うかどうかの判断について、「乗車意欲曲線」を設定し、意欲曲線に基づき最終的な乗車するバスを決定する。以下にそれぞれの段階と乗車意欲曲線に基づく乗車バスの決定について述べる。

a) 停留所において推定された乗客ごとの目的地の決定

停留所における乗客がバスを選択する際、必ず目的地を通過するバスに乗車する。よって、重回帰分析に基づく係数によって予測された乗車人数ごとに目的地を設定し、その後目的地を通過するバスをリストアップをする。これについては、名鉄バスの運行実績データのうち、金庫データ(乗客の乗降履歴)を使用する。図12にその概要を示す。金庫データには乗客ごとに乗降停留所、乗車時間が記録されている。このデータに対して、乗車停留所が同じという条件で分類し、それぞれの停留所で乗車した乗客がどの停留所で降車したかのリストアップを行う。これについては、系統関係なく全ての降車停留所について行う。そして、リストアップされた降車停留所ごとに、対応する降車人数が停留所全体の乗降者数に対してどの程度の割合なのかを算出する。これを確率と見立て、モデルから出力された人数分、どの停留所へ向かうのかを決定する。

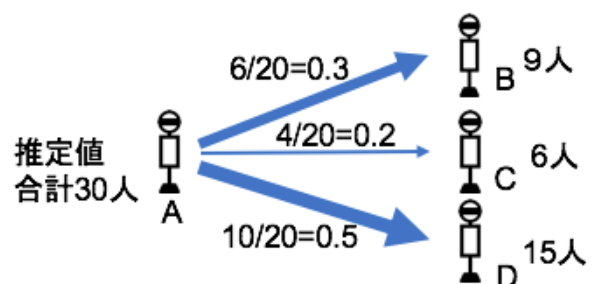


図-12: それぞれの乗客に対して目的地を決定(この場合、停留所Aで乗車した乗客は、停留所B,C,Dにそれぞれ0.3, 0.2, 0.5の確率で向かうことになる。)

b) 乗車時間の決定

次に、それぞれの乗客について乗車時間の決定を行う。前項までで、それぞれの乗客ごとに、乗車停留所と降車停留所が設定された状態となっている。これに加え、何時に停留所へ出現したか、という情報を加える。乗車時間の決定についても、金庫データを用いて決定する。金庫データに対して、乗車停留所・降車停留所が同じという条件で分類し、特定の停留所から特定の停留所へ向かった乗客がどの時間に何人存在したかのリストアップを行う。そして、乗車停留所・降車停留所が同じと分類されたそれぞれの金庫データに対し、時間軸におけるカーネル密度推定 (Kernel Density Estimation) を行う。カーネル密度推定とは、与えられた観測点から、その観測点が従う確率密度関数を、ガウス関数などのカーネル関数を用いてノンパラメトリックに推定する統計学的手法である。本研究ではカーネル関数としてガウス関数を設定し、推定された確率密度関数から乱数を生成し、この乱数をそれぞれの乗客が停留所に出現する時刻を決定する。これを図 13 で表す。

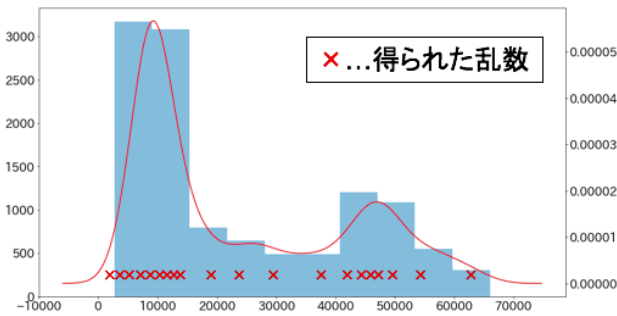


図-13: 各停留所から各停留所へ向かう乗客の時間軸プロットからカーネル密度推定された確率密度関数と、それに従う乱数に該当する各乗客の出現時刻

c) 乗客ごとの乗車意欲曲線

前節までで、それぞれの乗客ごとに、乗車停留所・降車停留所・出現時間が設定された状態となっている。本研究が提案する乗車意欲曲線とは、乗客一人一人が持つ、乗車に対する意欲を時間軸上で関数表記したものである。つまり、どの時刻において最もバスに乗車したいと考えており、どの時刻のバスであれば(乗客の都合上)乗車不可能か、を示したものである。本研究では分散 1 の正規分布を仮定し、関数の定義域によって乗客のバス乗車の判断を表す。これを式 1、また図 14 に示す。

$$d(t) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp -\frac{(t-\mu)^2}{2} & (t_a < t < t_b) \\ 0 & (otherwise) \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 $d(t)$ はその時点での乗車に対する意欲を、 μ は正規分布の平均、つまり各乗客が最も乗車したいと思っている時点を表す。また t_a, t_b は需要曲線の定義域を示す。つまり、 t_a は最も乗車したい時刻からどの程度の時間までなら乗車待ちをすることができるかを表し、 t_b はその乗客にとっての乗車できる限界の時刻を表す。

そして、図 15 のように、この曲線中にバスが存在する場合は乗車を行い、バスが存在しない場合は乗車はしない。前項で示した乱数を、上述の乗客ごとの需要曲線の平均値 μ に割り当てる。

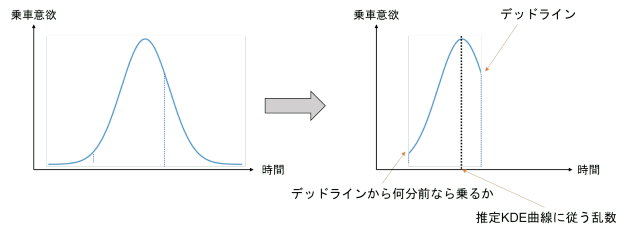


図-14: 各乗客に対する乗車意欲曲線

各縦破線が、時間軸における乗車に対する限界値を示す。すなわち、右側の破線が乗客都合による乗車可能時刻の限界値を示し、左側の破線が最も乗車したい時刻から何分待てるかを表す。

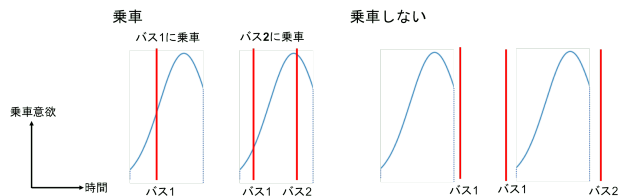


図-15: 乗車するかどうか判断

左: 時間軸上で乗客の需要曲線の定義域上にバスが存在した場合は乗車したと皆し、該当バスの乗車人数を増加させる。複数のバスが存在した場合、曲線の値が大きい方を選択する。右: 各乗客の定義域上にバスが存在しない場合、その乗客は乗車としてカウントを行わない。

(5) 新規地域・新規路線設置に対する推定

次に、新規地域・新規路線設置に対する乗降者数の推定について述べる。新規地域とは、モデル作成地域とはバスの運行を異なる地域、または未だ路線バス運行が行われていない地域を指す。新規路線設置とは、モ

デル作成地域と同地域であるが、地域内に新規停留所を設置(または既存停留所の位置を変更)し、新規系統を設置した場合を指す。これらの場合に対して、作成したモデルに新たな処理を加え、乗降者数の推定を行う。図 16 にデータ処理の流れを示す。これらの場合のダイヤ変更に対する推定との違いは、新規停留所に対して、それぞれの乗客に対する目的地・時間が存在しないことである。これに対し、新規停留所をモデル作成地域へマッピングすることを考える。つまり、モデル作成地域における停留所の中から、新規停留所の空間統計データ・バス本数等メタデータと類似しているものを抽出し、目的地・時間を抽出されたモデル作成地域の停留所のものを用いて決定する。新規地域の場合は、目的地に関しても新規停留所であるため、モデル作成地域→新規地域のマッピングも行っておき、目的地の停留所を決定する。

4. 乗降者数推定モデルの評価

この章では、3. 章で述べた乗降人数推定モデルについて、その評価を行う。本研究における乗降者推定とは??節の二つの目標のうち、1 番目の目標「地域特性とバスの乗降者数との関連を明らかにし、その地域におけるバスの乗降者数を推定する仕組みを作り、ダイヤ変更に対する影響や新規路線に対する影響を調査すること」に対して行われる。よって評価対象は、

- a 同地域においてダイヤが変更された場合の乗降人数に対する影響予測を行うこと
- b バスデータが存在しない新規地域において、対象地域のダイヤからバスごとの乗車人数を推定すること

の二種類である。a に対しては、愛知県岡崎市における 2017 年 6 月と 2018 年 6 月間のダイヤ変更を対象とし、2017 年 6 月のデータでモデル作成を行い、2018 年 6 月のデータに関して予測を行う。なお、学校や会社などのスケジュールの影響がなるべく少ない時期として 6 月を選択した。b に対しては、愛知県岡崎市と愛知県一宮市を対象とし、愛知県岡崎市における 2018 年 6 月のデータでモデル作成を行い、一宮市における 2018 年 6 月のデータに関して予測を行う。なお、平日ダイヤと休日ダイヤの二種類が存在し、岡崎市・一宮市両地域においてモデル作成・推定に用いられる 2017 年 6 月・2018 年 6 月の一ヶ月間にダイヤ変更は実施されていない。

また、前章の通り、本研究が提案する乗降人数推定モデルは、停留所ごと・一日合計の乗降人数を重回帰分析によって予測する処理と、これらの人数をそれぞれのバスに割り振る処理の二段階からなる。よって、各段階でのモデル精度の確認を行う。まとめると、評価

する対象は、以下の通りである。

- a ダイヤ変更に対するバス乗降人数推定の評価(モデル: 愛知県岡崎市 2017 年 6 月予測: 愛知県岡崎市 2018 年 6 月)
 - 重回帰分析による予測の評価
 - モデル全体での評価
- b モデル作成と別地域における、バス乗降人数推定の評価(モデル: 愛知県岡崎市 2018 年 6 月予測: 愛知県一宮市 2018 年 6 月)
 - 重回帰分析による予測の評価
 - モデル全体での評価

なお、上記の「地域」とは、名鉄バス運行における各営業所区間を示し、同地域は同営業所を、他地域は他営業所を示す。

(1) 岡崎市の概要

本研究では、ケーススタディとして岡崎市を設定した。岡崎市は愛知県の中部に位置する中核都市である。名古屋市から約 35[km] 東に位置し、人口は約 38 万人、面積は約 387.24 平方キロメートルであり、愛知県内で三番目に広い。市内を東西に国道 1 号、南北に国道 248 号及び国道 473 号が通過している。また東名高速道路の岡崎インターチェンジや、2016 年 2 月に開通した新東名高速道路の岡崎東インターチェンジといった広域交通網の拠点の他、主要地方道等の愛知県道も多く存在し、市内各所で渋滞が発生している。鉄道は市内を東西に抜ける東海道本線及び名鉄名古屋本線と、岡崎駅から豊田市、瀬戸市方面へ結び、春日井市で中央本線と接続する愛知環状鉄道線の計 3 路線、17 駅が設置されている。市内で運行する路線バスは大きく名鉄バスと名鉄東部交通の二事業者があるが、名鉄東部交通運営のバスは一路線のみであり、その大部分を名鉄バスが運行を行なっている。

岡崎市における名鉄バス運行は、2018 年 6 月時点で系統数 93、停留所数 380、一日の総運行バス数 1135 本である(17 にその一部を示す。)。市内の停留所では、岡崎市の中心駅である名鉄東岡崎と接続のある「東岡崎」が 2017 年 6 月の乗車人数延べ約 15 万人、JR 東海・愛知環状鉄道の駅である岡崎駅と接続のある「岡崎駅前」の二停留所が 2017 年 6 月の乗車人数延べ約 7 万人と乗降人数が多く、全体の 54 万人の中で約 4 割を占めている。この二停留所を中心として、市街地では豊富な便数が確保されている。しかし山間部など利用者数の少ない地域では、市による補助金によって路線維持がなされている。

また、2017 年における月ごと乗車人数の推移を図 18 に示す。図に示す通り、岡崎市におけるバス利用の割合は IC カード利用が最も多い。通勤定期の人数はほぼ横

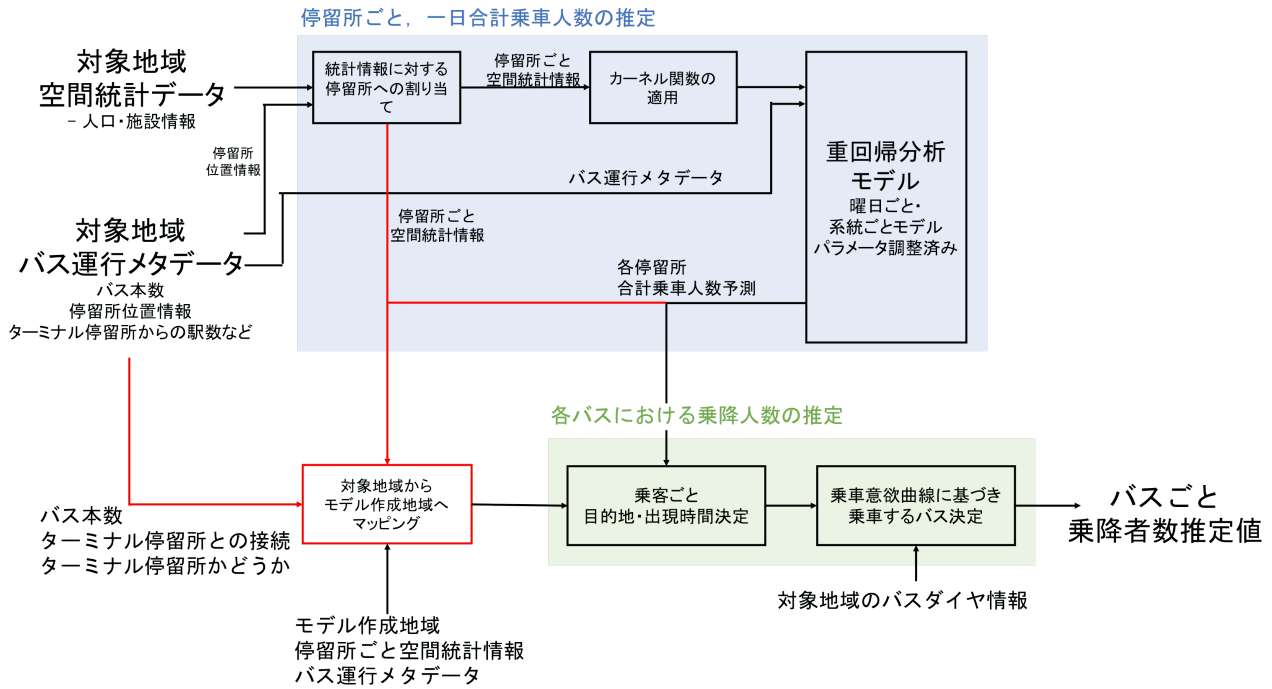


図-16: 新規地域・新規路線設置に対する乗降者数推定

ばいなのに対し、通学定期では3月や8月の乗車人数が少なくなっている。また、月平均の利用者数は約51万人である。

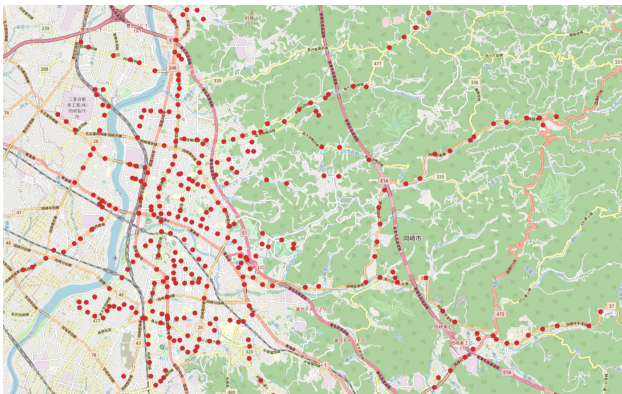


図-17: 名鉄バス岡崎市の提供データに含まれる停留所 (417 駅) の一部

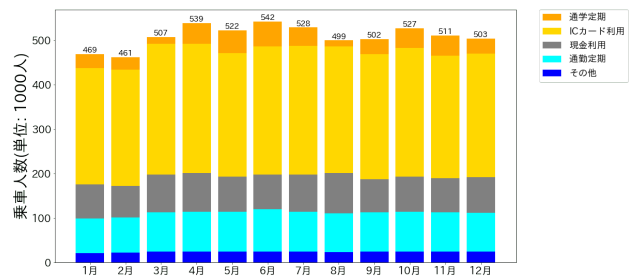


図-18: 岡崎市における 2017 年の月ごと乗車人数

(2) ダイヤ変更に対する乗降者数推定の評価

a) ダイヤ変更がなされた系統

本研究で用いる、ダイヤ変更された系統は「JR～東岡崎～大樹寺～奥殿陣屋」という名称である。岡崎駅から始発し、東岡崎を通り、山間地帯へと向かう系統であり、名鉄バスの岡崎での運行において最も利用人数が多い系統の一つである。表??にダイヤ変更前後のバスの移動例(下り路線, 東岡崎)を、に変更に対する2017,8年の6月1日における時間ごと乗車人数を図19示す。同系統なら時間によらず、バスの本数は一定である。

表-2: それぞれの説明変数数に対する, 最も決定係数の良いモデルの説明変数

説明変数の個数	決定係数	説明変数
1	0.815992927	ターミナル停留所かどうか
2	0.867999815	一日のバス本数 ターミナル停留所かどうか
3	0.869567682	百貨店・総合スーパー従業員総数 一日のバス本数 ターミナル停留所かどうか
4	0.871152861	百貨店・総合スーパー従業員総数 一日のバス本数 ターミナル停留所かどうか 「岡崎駅前」からの停留所数
5	0.872672244	全産業事業所総数 百貨店・総合スーパー従業員総数 一日のバス本数 ターミナル停留所かどうか 「岡崎駅前」からの停留所数
6	0.873761450	全産業事業所数 人口総数(年齢不詳を含む)(総数) 百貨店・総合スーパー従業員総数 一日のバス本数 ターミナル停留所かどうか 「岡崎駅前」からの停留所数
7	0.874545155	全産業従業員総数 全産業事業所数 人口総数(年齢不詳を含む)(総数) 百貨店・総合スーパー従業員総数 一日のバス本数 ターミナル停留所かどうか 「岡崎駅前」からの停留所数

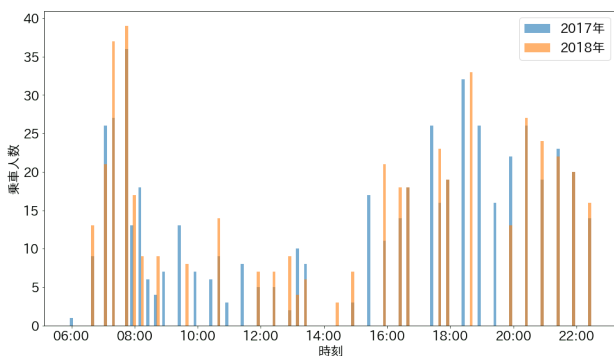


図-19: 「JR～東岡崎～大樹寺～奥殿陣屋」の東岡崎の下り路線における, 2017年と2018年6月1日時間ごと乗車人数

b) 一日単位での乗降人数の評価

まず, 停留所ごと・一日合計での乗降人数の評価を行う。これは(3)節に記述の手法を用いる。重回帰分析の説明変数選択のため, 説明変数の数に対する最も良いモデルの決定係数の値のグラフを図21に示す。なお, 今回は週ごとの乗降者数の変動が少ない水曜日のモデルを用いる。説明変数の個数が多くなるほど決定係数は良い値を示すことがわかる。

また, それぞれのモデルに対する説明変数の組を表2に示す。

次に, 重回帰分析によって得られたモデルの, 予測値に対する実測値の散布図を図20に示す。また, これらのモデルに関するパラメータを表に示す。表からわかる通り, 「岡崎駅前」「東岡崎」を説明変数として用いた場合は決定係数が0.87と良い数字になっているが, こ

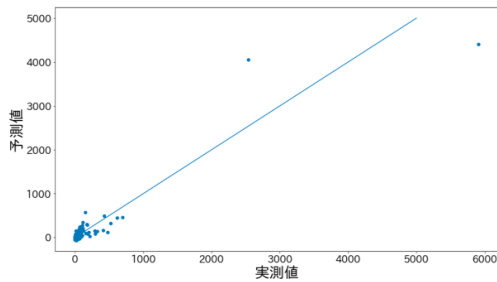


図-20-a: 一日あたりの乗車人数の実測値と予測値のプロット

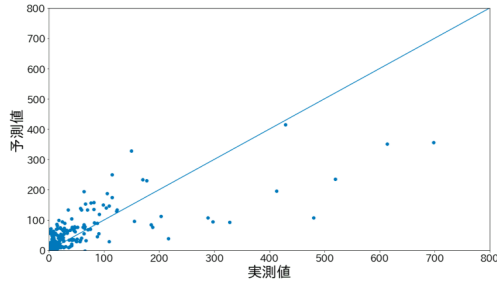


図-20-b: 「東岡崎」「岡崎駅前」を除外した一日あたりの乗車人数の実測値と予測値のプロット

図-20: 停留所ごとの乗車人数と重回帰分析による予測値のプロット

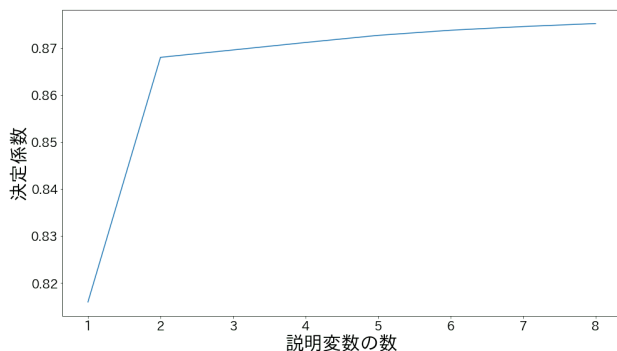


図-21: 説明変数の数に対する、最も良いモデルの決定係数

これは「岡崎駅前」「東岡崎」の二停留所が他の停留所と比較して非常に乗車人数が多く、その結果相対的に決定係数が高くなったことを示す。これらの停留所を抜いて回帰分析を行なった結果、決定係数は0.563と中程度の相関となっている。図の通り、実測値が比較的多い停留所に関しては実測より少なく予測し、実測値が少ない停留所に関しては両側に離れてしまっている。

空間統計データのうち、最もモデルに影響を及ぼしているのは、説明変数が3の場合から良いモデルの説明変数として選択されている百貨店・統合スーパー従業員総数である。これに関しては、岡崎市にはイオン

モール岡崎が存在し、「イオンモール岡崎」の停留所に対して比較的人数が多い。そのため説明変数係数として重要になったと思われる。また、人口総数・事業所総数も重要な説明変数となっている。これは、人口が多い、または事業所(つまり何らかの会社である)が多い地域に対してはバス利用の人数が多いという妥当な結果になったと思われる。

バス運行メタデータのうち、最もモデルに影響を及ぼしているのは「ターミナル停留所かどうか」である。これに関しては、図20の通り、ターミナル停留所が突出して乗車人数が多いためそれ以外の停留所と区別しているこの変数は最も重要であると言える。次に重要なバス運行メタデータは、「一日のバス本数」である。これに関しては、乗車人数が多い停留所は必然的に多くのバスを整備するため、妥当な結果であると言える。また、岡崎市のバス運行形態は、バスシステムの多くが市の中心地における同じ停留所を通過しており、その後系統によって別の地域へ向かうという構造になっているため、市の中心地の停留所が人数・バス本数共に高いため、係数として重要と判断されたと思われる。

c) バスごと乗車人数推定の評価

次に、重回帰分析によって推定された乗降人数から各バスの乗降人数推定を行う手法の評価を述べる。この評価については、岡崎市内で最も乗車人数の多い主要系統である「JR～東岡崎～大樹寺～奥殿陣屋」の系統で評価を行う。この系統は、ターミナル停留所である「岡崎駅前」「東岡崎」を両方とも通過し、山間地帯である奥殿陣屋へ向かう系統である。

「JR～東岡崎～大樹寺～奥殿陣屋」の各停留所に対して、実測データ(2018年6月の平均値)と予測値をプロットしたものを図23に示す。このプロットのうち、色の違いは各停留所を表し、同色での各点はその停留所における各バスでの乗車人数を表す。青線が $y=x$ のグラフであり、これに近づくほど精度が高いと言える。乗車人数の少ないバスに関してはバスごとの乗車人数が一人変化しただけで直線から大きく離れるため、一本のバスにおける乗車人数の差で判断を行うのは妥当でないと考えた。よって、停留所ごとに時系列でバスの乗車人数をプロットし、その系列間の距離を評価指標とする。評価指標として、JS(ジェンセン-シャノン)ダイバージェンスを用いる。これは二つの系列に関して、そのエントロピーに基づく距離を算出するものである。系列間の距離を表す指標としてKL(カルバック-ライブラー)距離が存在するが、KL距離は対称ではなく、分布 p, q を入れ替えると距離が変化する。これに対し、JS距離はKL距離を対称となるように拡張したものである。分布 p と q の間のJS距離 D_{JS} は以下の式で

与えられる。

$$D_{JS}(p||q) = \frac{1}{2}D_{KL}(p||m) + \frac{1}{2}D(q||m)m = \frac{1}{2}(p + q) \quad (2)$$

ただし、 $D_{KL}(x||y)$ は分布 x と分布 y の KL 距離を表す。

「JR～東岡崎～大樹寺～奥殿陣屋」における、各停留所に対する実測値 (2018 年 6 月平均値) と予測値間の JS 距離を図 22 に示す。なお、項で示された乗車停留所から降車停留所ごとの KDE 曲線に基づく乱数を各々 10 回づつ生成している。色の違いはこの 10 回の試行の差を表している。図の通り、10 回の試行を経ても JS 距離が大きい停留所と小さい停留所に別れている。これらの各停留所のうち、推定が良かった停留所・悪かった停留所について図 24 に示す。視認性確保のため、これらの図では 3 回の試行のみを示す。「戸崎町」においては、「戸崎町」から向かう乗客の約 9 割が「東岡崎」「岡崎駅前」となっており、ほとんどの乗客がどちらかの停留所へ向かったと考えられる。これらの停留所はデータ数も多く、KDE 曲線もよりデータを反映させたものであると考えられるため、良い結果となったと思われる。また、「門立」では実測値に対し、予測値が大幅に上回っている。これは、全体での人数が多く出ており、重回帰分析からの結果が合っていなかったと思われる。この理由について、2017 年における「門立」の一日のバス本数は 120 本となっており、岡崎市の平均バス本数 69 本と比較して大きい値となっている。その結果、実際の人数より多く予測してしまったのだと考えられる。

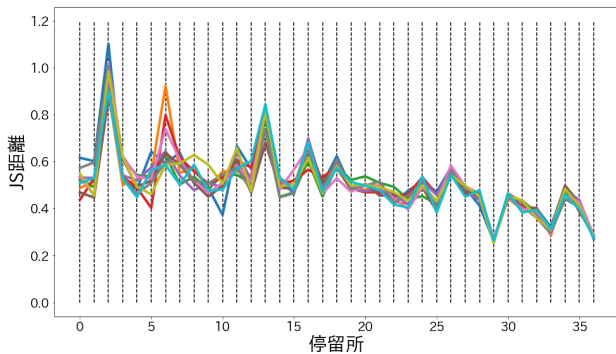


図-22: 「JR～東岡崎～大樹寺～奥殿陣屋」における、各停留所における JS 距離

(3) 新規地域・新規路線設置に対する乗降人数の推定

次に、新規地域・新規経路設置に対する乗降人数の推定を行う。愛知県岡崎市の名鉄バス運行実績からモデルを作成し、愛知県一宮市における乗降人数を予測した。一宮市は岡崎市と人口・面積共に似ている地方

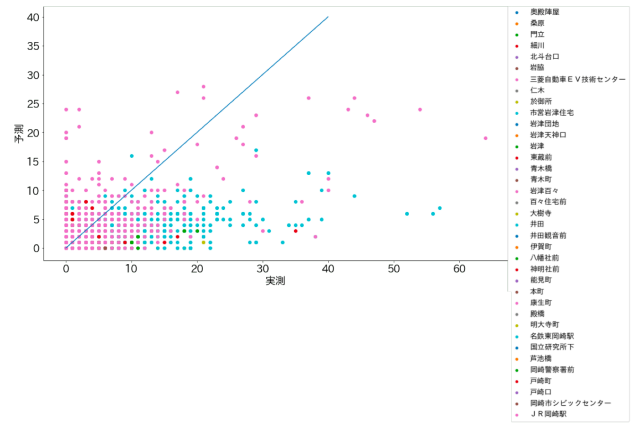


図-23: 「JR～東岡崎～大樹寺～奥殿陣屋」における、各バスの乗車人数実測値と予測値のプロット。色の違いは各停留所を表し、同色での各点はその停留所における各バスでの乗車人数を表す。青線が $y = x$ のグラフ

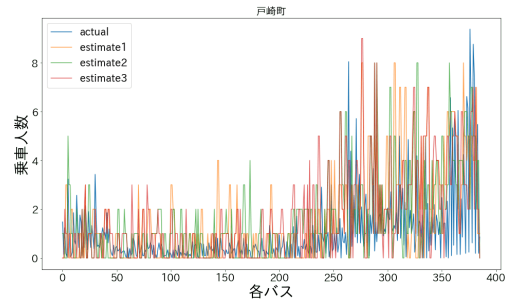


図-24-a: 「戸崎町」(図 22 での、33 番目の停留所)における、バスごとの乗車人数予測値と実測値

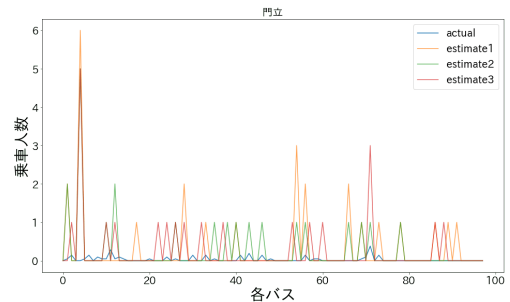


図-24-b: 「門立」(図 22 での、2 番目の停留所)における、バスごとの乗車人数予測値と実測値

図-24: 特定の停留所における、バスごとと実測値と予測値

都市である。

a) 一宮市の概要

バスデータが存在しない地域での推定の評価のため、愛知県一宮市の名鉄バス運行データを用いる。一宮市は愛知県北西部に位置する中核都市である。施行時特

例市の指定を受けている。名古屋市から約 20[km] 北西に位置し、人口は約 38 万人、面積は約 113.8 平方キロメートルであり、愛知県内で四番目に広い。市内には高速道路の 4 つのインターチェンジと一宮ジャンクションが存在し、東西の大動脈である東名・名神高速道路と、太平洋側と日本海側をつなぐ東海北陸自動車道の結節点として、重要な位置となっている。鉄道は尾張一宮駅・名鉄一宮駅を市内を走るバスは大きく名鉄バス、一宮市循環バス (i-バス)²⁵⁾ が存在するが、岡崎市同様、市内の大部分を名鉄バスが運行を行なっている。

一宮市における名鉄バス運行は、2018 年 6 月時点で系統数 67、停留所数 257、一日の総運行バス数 1033 本である。市内の停留所では、JR 東海尾張一宮駅と接続のある「尾張一宮駅前」、名鉄一宮駅と接続のある「名鉄一宮駅」が中心となっており、この二停留所をターミナル停留所として設定する。

b) 重回帰分析を用いた一日単位での乗客予測

まず、重回帰分析を用いた一日単位での、停留所ごとの予測を行う。これは、d) までの処理を示している。図 25 に示す。

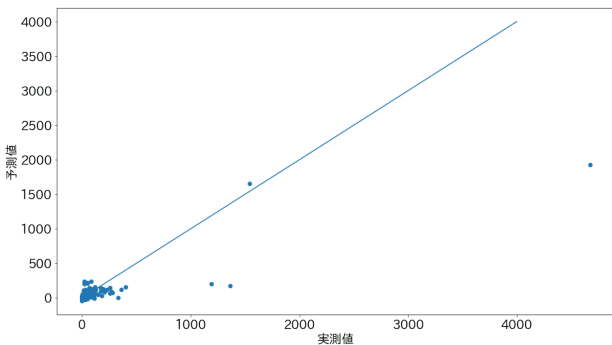


図-25: 一宮市における 2018 年 6 月の一日単位での実測値に対する予測値

c) バスごと乗車人数推定の評価

次にバスとの乗車人数推定の評価を行う。今回は一宮市の名鉄バス運行で 2018 年 6 月に最も乗車人数の多い系統である「岩倉駅～羽根～尾一駅」を使用した。これは岩倉駅を始発とし、ターミナル停留所である「尾張一宮駅前」(系統名称上は尾一駅)を終点とする。一宮市のそれぞれの停留所、岡崎市のそれぞれの停留所に相当するのかのマッピングを行った。なお、重回帰分析に使用するデータのうち、「岡崎駅前」からの停留所数と「東岡崎」からの停留所数は、現時点においてそれぞれの停留所が一宮のどのターミナル停留所に該当するかを判断できないため、この変数は除いた。その結果を図 26 に示す。

この図からわかる通り、ほとんどの乗車人数は推定

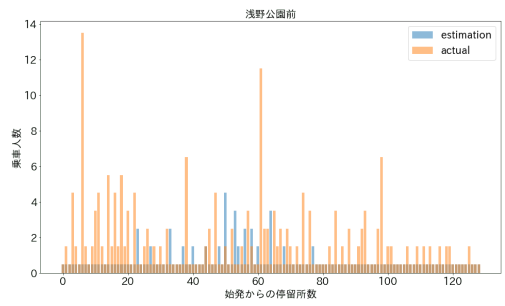


図-26-a: 「浅野公園前」における、バスごとの乗車人数予測値と実測値

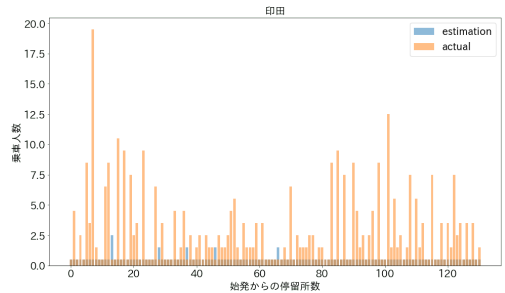


図-26-b: 「印田」における、バスごとの乗車人数予測値と実測値

図-26: 特定の停留所における、バスごと実測値と予測値

できていない。最も乗車人数が多かった「印田」でさえ、数人の乗車だけに留まっている。この原因として、岡崎市から一宮市へマッピング手法が挙げられる。本研究では重回帰分析の予測値からバスの乗降者数を推定する際、停留所からどの停留所へ向かうのかを、それぞれの割合を確率見なして算出している。他地区で適用する際に、対応するデータが存在しないため、乗車した停留所が岡崎市でのどの停留所に相当するのかを相関係数によって算出し、その最も高い相関係数をもつ岡崎市の乗降者数データを用いて、目的地となる停留所を決定する。この処理を行う段階で、目的地となる停留所を一宮地区へ再マッピングした際に、本来目的地となるはずの停留所が乗車停留所を通過するバス系統に存在しなかったためと思われる。これに関しては多大な改良の余地があるため、今後の課題とする。

5. まとめ

本研究では、地域特性とバスの乗降者数との関連を明らかにし、その地域におけるバスの乗降者数を推定する仕組みを作り、ダイヤ変更に対する影響や新規路線に対する影響を調査することを一つの目標として、空間統計データとそれぞれのバスにおける乗降者数との相関関係をモデル化し、各バスの停留所におけるバ

ス乗降者数の予測を行った。重回帰分析によるの予測の結果、決定係数=0.56 と中程度の相関が得られるモデルを構築した。

6. 今後の展望・課題

本研究における今後の展開として、主に以下が挙げられる。

(1) 地域メッシュから停留所への割り当て手法の改良

地域メッシュの形式となっている空間統計データを重回帰分析で用いるため、それぞれの統計データを停留所へ割り当てている。現在は統計データを近い停留所に対して等分して割り振っているが、本来は停留所の利便性や統計値の種類との関係性によって決定すべきである。よって、この手法についてより改良の余地がある。

(2) 重回帰分析からの予測をそれぞれのバスへの割り当てる手法の改良

本研究では、重回帰分析による停留所ごと一日合計での乗車人数推定を目的地・時間ごとに分割し、それぞれの乗客が乗車するバスを決定している。

(3) 乗降人数推定モデルを他地区へ適用する際の停留所のマッピング

本研究では、乗降人数推定モデルを他地区へ適用する際、目的地・時間を決定する際にモデル作成地域と対象地域間のマッピングを行っている。現在はこのマッピングを空間統計データ・推定された乗車人数の相関係数によって行っているが、このマッピングをより地域性を鑑みた上でより正確なものにすることによって、より推定の精度を高めることが可能だと考えられる。

付録 I 使用データ

ここでは、本研究で使用したバス運行実績データ・空間統計データについて詳述する。

(1) 名鉄バス運行実績データ

a) 概要

本研究では、名鉄バス株式会社・(株)メイテツコムより提供された 2017 年 1 月から 2018 年 10 月の運行実績データを利用した。提供されたデータは愛知県内のバス 710 両、停留所 1539 駅、523 系統が含まれている。具体的には、

- バスロケ履歴

名鉄バスに搭載されたバスロケの履歴データ。停留所出発時に、系統コード・上下・系統表示名・ダイヤ ID・並び順・停留所名称・所定発時刻・実績発時刻等を記録する。1 レコードにつき 1 つのバスの発着が記録されたデータである。

- 金庫データ

乗客の乗降履歴を記録したデータ。バス乗降時に、運行日・営業所コード・系統コード・上下コード・始発時刻・乗車停留所コード・降車停留所コード・SQ・車号・券種(定期情報, 支払い種別等)等を記録する。1 レコードにつき一人の乗客のデータである。

- 停留所位置情報データ

それぞれの停留所に対する停留所コード・停留所名称・位置情報が記録されている。

のデータを用いる。

b) 乗降車人数の集計

バスに関連する上記のデータは、記録装置や管理部署の違いから複雑に別れており、各データの照合には共通するコードの参照が必要となる。図 27 は名鉄バスにおけるデータの関連図を示しており、目的に合わせたデータの再構成が必要となる。乗降記録データのレコード(一人一人の乗客に対応)ごとに対応するバスを求め、各バスにおける停留所での乗降人数を集計した。バスロケーションデータにおける系統コード・上下コード・始発停留所での所定発時刻・並び順(始発駅から何番目の停留所か)・停留所コードと、乗降記録データにおける系統コード・上下コード・始発時刻・SQ(バスロケーションデータにおける並び順に対応)・乗車停留所コード・降車停留所コードをそれぞれ対応させ、乗降人数を集計した。

(2) 空間統計データ

a) 概要

本研究では空間統計データとして、国際航業株式会社提供の統計データベース PAREA-Stat. シリーズを用いている。これは総務省および経済産業省の調査統計データを基に、人口・商業・企業など各種指標における統計値を、町丁目別、あるいはメッシュ別にまとめたデータベースである。具体的には、

- 国勢調査データ

総務省国勢調査データを基に、各種人口・密度・面積、世帯数等をデータベース化したもの。2010 年度実施の調査データを用いる。

- 商業統計データ

経済産業省商業統計調査データを基に、卸売業・小売業の事業所を対象に、主として小売業に関する事業所数・従業者数等をデータベース化したもの。

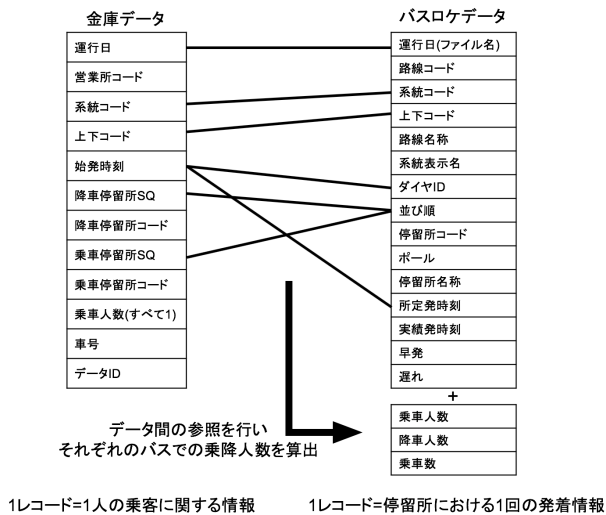


図-27: 乗降者人数の推計

・ 経済センサス (事業所・企業統計) データ

総務省・経済産業省経済センサスを基に、産業・従業員規模、経営組織、事業所形態、開設時期別などの事業所数及び従業員数、雇用規模・資本金階級別などの会社企業数等をデータベース化したもの。「地域メッシュ統計 平成 18 年事業所・企業統計調査」(財団法人 統計情報研究開発センター)を元に編集・加工されている。

・ 全国国勢調査・経済センサスリンクデータ

総務省国勢調査データと経済センサスデータの調査項目を抜粋使用し、両データを組み合わせることにより得られる昼夜間人口・事業者に対する人口・医療関連施設に対する人口等をデータベース化したもの。「平成 22 年国勢調査、平成 21 年経済センサス等のリンクによる地域メッシュ統計」(財団法人 統計情報研究開発センター)を基に編集・加工されている。

の四種類を用いる。さらにこれらのデータベースに対して、集計内容によってより詳細な区分分けがされている。

また、これらの統計データには行政コード(都道府県町丁目別)ごとにまとめたデータと、メッシュごとにまとめたデータの二種類が存在する。本研究ではメッシュごとにまとめたデータを使用する。コード体系については、第二次地域メッシュ(国土地理院発行の 1/25,000 地形図に相当)を基に、緯線方向及び経線方向に各々 10 分割して出来る区画を“第三次地域メッシュ”とし、その区画の一辺の距離が概ね 1km であることから“1km メッシュ”と称している。更に第三次地域メッシュを緯

線方向及び経線方向に各々 2 分割して出来る区画を“2 分の 1 地域メッシュ”とし、その区画の一辺の距離が概ね 500m であることから“500m メッシュ”と称している。

参考文献

- 1) 国土交通省ホームページ. <http://www.mlit.go.jp>. 2018 年 12 月参照.
- 2) 統計局ホームページ. <https://www.stat.go.jp/>.
- 3) 国土交通省「地方都市におけるバス活性化策」. 2019 年 1 月参照.
- 4) スマートシティプロジェクトホームページ. <http://www.smartcity-planning.co.jp>. 2019 年 1 月参照.
- 5) 小林祐司井関崇之. 大分都市圏におけるバス交通利便性評価と整備課題に関する研究. 日本建築学会九州支部研究報告, Vol. 50, pp. 373-376, 2011.
- 6) 公共交通に関する世論調査“日常的な公共交通機関の利用に関して”. <https://survey.gov-online.go.jp/h28/h28-kotsu/2-1.html>. 2019 年 1 月参照.
- 7) 国土交通省「東北における地域公共交通の活性化及び再生の動向と課題について」.
- 8) 高齢運転者に係る交通事故の現状. 2019 年 1 月参照.
- 9) つつじバスホームページ. 2019 年 1 月参照.
- 10) 見えバスホームページ. 2019 年 1 月参照.
- 11) 伊藤昌毅, 川村尚生, 菅原一孔. スマートフォンを利用したバスロケーションシステムの開発. 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. 96, No. 10, pp. 2327-2339, 2013.
- 12) あしあとカウンター. <http://www.its-alliance.jp/counter.html>. 2019 年 1 月参照.
- 13) PASSENGER COUNTER. http://www.trastem.co.jp/product/passenger_counter.html. 2019 年 1 月参照.
- 14) フォンセカ カルロスナバ, 奥村誠, 塚井誠人. バス利用計数データに基づく潜在需要分析の試み. (社)日本都市計画学会都市計画論文集, No. 44-3, 2009 年 10 月.
- 15) 藤井聡. 行動意図法 (bi 法) による交通需要予測の適用事例. 土木計画学研究・論文集, Vol. 20, pp. 571-579, 2003.
- 16) 新谷洋二. 都市交通計画. 技法堂出版, 1993.
- 17) 溝上章志, 柿本竜治, 橋本淳也. 路線別特性評価に基づくバス路線網再編手法の提案. 土木学会論文集, No. 793, pp. 27-39, 2005.
- 18) 角野惇, 猪井博登, 土井健司. 交通系 ic カードデータを用いた路線バス需要予測. 土木計画学研究・講演集, 2014.
- 19) 国土交通省. コミュニティバスの導入に関するガイドライン. 2019 年 1 月参照.
- 20) 尾山賢太溝上章志. コミュニティバスの需要予測, および導入・運行継続基準のあり方に関する実証分析. 土木学会論文集 D3(土木計画学), Vol. 74, pp. 217-227, 2018.
- 21) 新田保次, 都君燮. 高齢者に配慮したコミュニティバスの利用頻度予測モデルについて. 土木学会論文集, No. 646, pp. 37-45, 2000.
- 22) 新田保次. 利用頻度を考慮した高齢者対応型バスの需要予測. 土木計画学研究 講演集, Vol. 21, No. 1, pp. 539-542, 1998.
- 23) 新田保次, 都君燮, 森康男. 一般化時間を組み込んだ高齢者対応型バスへの交通手段転換モデル構築に関する研究. 都市計画論文集, Vol. 32, pp. 643-648, 1997.
- 24) 山口隆之, 浅野光行. 地域特性を考慮したコミュニティバスの導入促進に関する研究. 都市計画論文集, Vol. 34, pp. 985-990, 1999.
- 25) 一宮市循環バス「i-バス」.

(2019. 3. 10 受付)

Estimation of Bus Passengers' Number Based on Actual Bus Management Information and Spatial Statistical Data

The route bus business has been in a difficult situation in recent years. Especially in local cities, the deficit route due to the decrease in the number of users is increasing, and unprofitable business and abolition of the route are accelerating. In order to solve this problem, we propose a regression model for estimating the number of bus passengers using bus management data, as it can be a judgment material for bus operation change, or setting of new bus route. In addition to bus management data, this regression model uses characteristics of population and surrounding areas such as schools and hospitals. As a result of evaluation of the proposed regression model, it was found that the total number of buses per day and the number of employees in the neighboring stores are important as well as the population around the bus stop and the number of enterprises as explanatory variables affecting the number of passengers. In addition, we predicted other regions (Ichinomiya City) based on the construction model, we found that it is necessary to adjust the parameters in the transformation of the characteristics between regions.