

公共交通サービスに関する 活動別の潜在的利用者数の推計

谷本圭志¹・谷 雅幸²

¹正会員 鳥取大学教授 工学研究科社会基盤工学専攻(〒680-8552 鳥取市湖山町南4丁目101)

E-mail: tanimoto@sse.tottori-u.ac.jp

²学生会員 鳥取大学大学院 工学研究科(〒680-8552 鳥取市湖山町南4丁目101)

近年、地方自治体が公共交通計画を策定することが求められている。計画の策定においては、サービスの持続可能性ならびに供給するサービス水準や運行形態の検討が行われるが、そのためには供給するサービスの潜在的な利用者数を把握することが必要となる。その際、簡易な四則演算で潜在的な利用者数を導出できる手法があれば、地方自治体の担当者にとって実用的である。そこで本研究では、サービス圏内人口に原単位を乗じることで公共交通サービスの潜在的な利用者数を算出する手法を検討する。

Key Words : *public transport service, potential ridership, standard*

1. はじめに

近年、地方や過疎地域においては自家用車の利用者数の増加や人口減少が進み、公共交通の利用者数は減少し続けている。このような社会情勢のもとでは、民間の公共交通事業者の自助努力だけでは限界があり、採算性の低いサービスの休廃止や事業者の撤退が懸念される。しかしながら、高齢者や学生などの交通手段がない人にとって、公共交通は買い物や通院などの日常活動を営む上で欠かすことのできない交通手段である。このため、現在では、地方自治体が主体的に公共交通計画を策定し、日常生活に支障が生じないような対策を講じることが求められている。

公共交通計画の策定においては、公共交通サービスの持続可能性ならびに供給するサービス水準や運行形態の検討が行われるが、そのためには供給するサービスの潜在的な利用者数（以下、「潜在利用者数」と呼ぶ）を把握することが必要となる。その際、一般にはアンケート調査やそこで収集したデータを用いた行動分析により潜在利用者数を求めるが、その作業は必ずしも容易ではなく、多大な労力、費用が発生する。また、計画の策定を行う地方自治体の担当者は必ずしも専門家ではないため、複雑な数理モデルや算出式を整備してもその適用を敬遠することがほとんどである。このため、サービス供給対象地域の人口データや既存の統計調査に基づき、簡易な四則演算で潜在利用者数を導出できる手法があれば担当者にとって実用的である。

そこで本研究では、サービス供給対象地域の居住人口に原単位を乗じることで公共交通サービスの潜在利用者数を算出する手法を検討する。また、その手法を適用して標準的な原単位を求め、地方自治体の担当者が年齢および活動別の潜在利用者数を簡易に導出することを可能とすることを目指す。以下、第2章では、潜在利用者数を算出するための基本的な考え方を述べる。第3章では、年齢別の潜在利用者数をモデル化し、標準的な潜在利用者数を明らかにするとともに、それを踏まえて活動別の潜在利用者数を導出する手法を検討する。第4章では、事例分析を行い、いくつかの市町村を対象に年齢別の標準的な潜在利用者数ならびに活動別の潜在利用者数を推計する。また、求めた標準的な原単位をその推計の対象地域以外の市町村に適用し、再現可能性について確認する。最後に、第5章では今後の課題について述べる。

2. 本研究の基本的な考え方

公共交通サービスの利用者数を推計する研究はこれまでに少なからずある。藤井¹⁾は、何らかの交通施策を行った場合の交通需要の変化を予測する方法として行動意図法を提案している。具体的には、住民へのアンケート調査において「最高に便利な交通サービスができたと思像してください」という前提での交通サービスの利用意向を尋ね、その意向の強さおよび普段の交通行動の習慣別に原単位を導出し、これを該当者数に乗じることで潜在利用者数を導出している。しかしこの手法では利用意

向を尋ねるアンケート調査を行う必要がある。また、標準的な値も示されてはいるが、その検証は十分になされていない。

簡易に潜在利用者数を算出するための手法を求めた研究として杉尾ら^{2,3)}がある。そこでは、「路線の沿線地域がどの程度の需要を発生させる可能性を持つか」を路線ポテンシャルとし、それを算出するための回帰式を示している。このため、居住人口、生徒数や病床数などをこの式に代入することにより、潜在利用者数を簡易に求めることができる。しかしながら、この回帰式がどの程度一般性を有するかについては不明であり、一般性、汎用性の観点では問題がある。

森山ら⁴⁾は、離散的選択と連続的選択が部分的に共通な要因によって関連づけられる離散連続選択状況を分析する手法として離散連続モデルを用いて公共交通サービスの需要予測モデルを提案している。その際、非補償型選好が表現可能な効用関数を適用し、高齢者の行動メカニズムを反映している。また、離散連続モデルの同時推定手法を提案することにより、従来の段階選択法における離散選択モデルと連続需要関数の推定パラメータの不一致を解消している。離散選択モデルは専門家には受け入れられているモデルではあるが、実務者の敬遠を回避するには十分な理解容易性を備えているわけではない。また、森山ら⁵⁾は、高価な GIS アプリケーションを必要とする既存の ComPASS (地域バス運行計画策定支援ソフト) に代わる WEBComPASS を開発し、ウェブサイト上で現況分析や採算性分析 (需要予測, 運行経費算出) などの各種分析を行うことを可能にした。ウェブサイトを利用することで使用の前提となる障壁を低くするとともに、需要予測モデルを簡易なものとすることで、実務者が容易に理解し利活用可能なシステムを構築しているものの、モデルについては地域固有のダミー変数のデータを必要としており、一般性の観点で疑問が残る。

吉田ら^{6,7)}は、地域公共交通の需要の強さを把握する指標として、人口統計や土地利用などの定量的データから重力モデルにより算出されるアクセシビリティ水準の差 (近接性) と評価対象地区の居住人口の積で表す「交通発生強度」を定義している。そこで、人口分布や生活関連施設の立地を考慮した空間的なアクセシビリティを計測し、その水準が交通発生強度に与える影響を定量的に示している。しかし、その評価に際しては、各バス停から目的地までの距離などのデータを必要とするため、人口のみならず距離のデータを GIS 等で収集する必要があり、多大な労力を伴う。

これらの研究に対して、本研究では、サービス圏内における公共交通の利用者の原単位を推計し、沿線の居住人口に原単位を乗じることで、年齢別、活動別の標準的な潜在利用者数を算出する手法を検討する。この手法が

確立できれば、基本的には人口に原単位を乗じるだけの簡易な計算で潜在利用者数を推計できるようになる。もっとも、このような単純な計算で十分な再現性が得られないことも想定され、そのような場合は先行研究のようにある程度複雑なモデルや人口以外の付加的なデータを用いることも必要となるかもしれない。しかし、まずは、十分に簡易な計算でどこまでの再現性を確保できるのかという視点での試みが必要との認識に立脚して、以下では議論する。

3. 分析手法の検討

(1) 分析手法の概要

まず、任意の市町村におけるバス停ごとに年齢別の潜在利用者数を定式化する。その際、潜在利用者数に対する便数の少なさに起因する減衰もあわせて定式化し、潜在利用者数にその減衰項を乗じて顕在的な利用者数を導出するモデルとする。その後、尤度関数を定式化し、モデルに含まれるパラメータを市町村ごとに推計する。パラメータは潜在利用者数の原単位そのものとする。なお、推計に当たっては、後述する標準的な原単位を求めるため、わが国における多くの市町村のデータを用いる。その上で、推計されたパラメータ、すなわち原単位にそれぞれのバス停の勢圏人口を乗じて顕在的な利用者数の推計値を求め、その値が実際に観測された利用者数を再現しているのかを相関係数を用いて確認する。

次いで、すべての市町村のデータを一括して用いた最尤推定を行い、代表的な原単位を算出する。上記と同様に、代表的な原単位のもとでの顕在的な利用者数の推計値を求め、その値が実際に観測された利用者数を再現しているのか、ならびに、市町村ごとに求めた原単位のもとでの再現性よりも著しい低下が見られないのかを確認する。

以上の検討によって、代表的な原単位のもとで再現性に問題がなければ、その原単位をもって標準的な原単位とする。その上で、標準的な原単位をベイズの定理を用いて活動別に割り当てる。

(2) バス停の年齢別潜在利用者数

本研究では、居住人口に対するバスの利用者数の原単位を推計する。任意の年齢を z 、バス停 i のサービス圏内における年齢 z の人口 (以下、「サービス圏内人口」と呼ぶ) を $x_i(z)$ で表す。年齢 z に関する1日あたりの潜在利用者数の原単位を $\lambda(z)$ で表すと、バス停 i における年齢 z に関する1日あたりのバスの潜在利用者数 $y_i(z)$ は次式で表される。

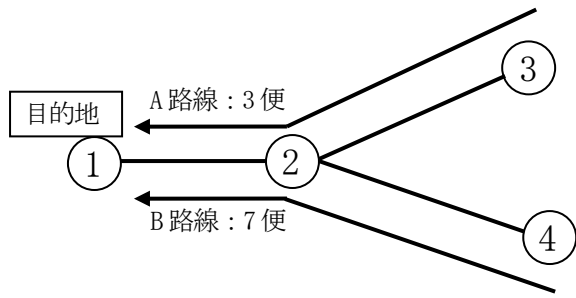


図1 競合関係にある路線の一例

$$y_i(z) = \lambda(z)x_i(z) \quad (1)$$

なお、この定式化は、バス停圏内に居住している人のみが利用すると考えられるバス停のみに該当する。すなわち、駅、学校、病院や商店などの近くに位置しており、その圏内に居住している人以外が利用しうるバス停は想定の対象外である。したがって、詳しくは後述するが、推計に当たっては、バス停圏内に住んでいる人のみが利用すると考えられるバス停のデータのみを用いる必要がある。

任意のバス停に病院や商店などの目的地方面へ同一経路で向かう路線が複数ある場合、それらの路線は競合関係にあると言える。競合関係にある路線がバス停にいくつかある場合、そこでの利用者数はそれらの路線の便数に比例していると考えられる。例えば、図1のような路線を考える。①～④はそれぞれバス停を表しており、A路線はバス停3からバス停1に、B路線はバス停4からバス停1にそれぞれ運行している。また、目的地はバス停1付近にあるとする。ここで、バス停2の利用者数を考える際に、当該バス停には目的地方面にA路線が3便とB路線が7便それぞれ運行している場合、バス停2の利用者数のうち3/10がA路線を、残る7/10がB路線を利用すると考える。

以上より、バス停 i の任意の路線 m に関する潜在利用者数は次式で表される。ただし、 $\pi(m)$ は路線 m の便数である。

$$y_i^m(z) = \frac{\pi(m)}{\sum_m \pi(m)} y_i(z) \quad (2)$$

(3) 市町村ごとの潜在利用者数の推計

式(2)で定式化したバス停の潜在利用者数 $y_i^m(z)$ は、あくまでモデルとして導かれる利用者数であり、いくつかの未知変数(パラメータ)が含まれている。それらのパラメータを実際に観測される利用者数(以下、「乗降客数」と呼ぶ)を用いて推計する。バスの乗降客数が少ない場合には、その分布がポアソン分布に従うことが既往

の研究で知られている⁸⁾。本研究ではこの知見を踏まえる。すると、路線 m のバス停 i における、潜在利用者数の期待値が $y_i^m(z)$ であるもとの、1日あたり $b_i^m(z)$ の乗降客数が観測される確率 $g_i^m(z)$ は次式で表される。

$$g_i^m(z) = \frac{(\bar{y}_i^m(z))^{b_i^m(z)} e^{-\bar{y}_i^m(z)}}{b_i^m(z)!} \quad (3)$$

$$\bar{y}_i^m(z) = y_i^m(z) \cdot (1 - e^{-\alpha\pi(m)}) \quad (4)$$

式(4)の左辺は顕在的な利用者数を表している。 $y_i^m(z)$ に乘じられている $1 - \exp[-\alpha\pi(m)]$ は、便数 $\pi(m)$ に関する潜在利用者数の減衰を表しており、0から1の間の値をとる減衰項である。なお、 $\alpha(>0)$ は減衰パラメータである。この式は、潜在利用者数に減衰項を乗じた値が顕在的な利用者数であることを表している。

すると、路線 m における任意のバス停 i で $b_i^m(z)$ の乗降客数を観測した場合の尤度関数は次式で表される。

$$\prod_i \prod_z g_i^m(z) \quad (5)$$

また、全ての路線に関する尤度関数は次式で表される。

$$\prod_i \prod_m \prod_z g_i^m(z) \quad (6)$$

式(6)の尤度関数を以下のように最大化することにより、年齢別の原単位 $\lambda(z)$ の最尤推定量を求めることができる。

$$\prod_i \prod_m \prod_z g_i^m(z) \rightarrow \max \quad (7)$$

(4) 標準的な潜在利用者数の推計

(3)では市町村ごとの原単位の推計方法を示した。これに対して、各市町村の代表的な原単位は、各市町村のデータを一括して用いて推計を行う。その方法は(3)に示す方法と同様である。

代表的な原単位のもとの再現性が市町村ごとに求めた原単位のもとの再現性よりも著しく低くならない場合、代表的な原単位をもって標準的な原単位とする。

(5) 活動別の潜在利用者数の推計

上記の方法は、年齢別の原単位を推計することに焦点を当てたものである。換言すると、全目的に対する年齢別の潜在利用者数を推計している。しかし、例えば谷本ら⁹⁾が提案しているサービス供給基準を導出する場面のように、買い物や通院といった活動別の利用者数を必要とすることもある。そこで、以下では標準的な原単位を

活動別に割り当てる手法を検討する。ただし、全目的に対する各活動の割合は市町村ごとに異なりうると考え、(4)で求めた標準的な原単位を市町村ごとのデータを用いて割り当てる手法とする。

一般に、年齢 z の人々が公共交通を利用し、かつ、その目的(=実施する活動)が k であるとき、その事象が生起する(同時)確率 $P_z(k, e)$ は次式で表される。ただし、 e は路線バスを利用するという事象を表しており、 $P_z(k|e)$ は e の条件のもとで年齢 z の人々が目的 k を実施する確率であり、 $P_z(e)$ は年齢 z の人々が路線バスを利用する確率である。

$$P_z(k, e) = P_z(k|e)P_z(e) \quad (8)$$

また、 $P_z(e)$ はその定義より、次式のように表される。

$$P_z(e) = \lambda_0(z) \quad (9)$$

ベイズの定理より、 $P_z(k|e)$ に関しては次式が成立する。ただし、 $P_z(k)$ は年齢 z に関する活動 k の1日あたりの実施率である。

$$P_z(k|e) = \frac{P_z(e|k)P_z(k)}{\sum_{k'} P_z(e|k')P_z(k')} \quad (10)$$

式(10)の $P_z(e|k)$ は年齢 z に関する活動が k である条件のもとでの e の事象の発生確率を表しており、すなわち年齢に関する活動 k についての路線バスの分担率を表している。なお、路線バスの分担率においては年齢 z が異なると免許保有率などの違いに伴い、任意の目的 k に関する路線バスの分担率も異なりうるが、任意の年齢 z に関しては目的 k が異なっても路線バスの分担率は大きく異ならないと考えられる(一般に、目的地までの距離が分担率に影響を与えると考えられるが、本研究ではそもそも目的地までの距離を捨象して潜在利用者数を推計するアプローチをとっている。また、鉄道などの別の公共交通手段の利用可能性も影響を与えるが、本研究の対象を路線バスから公共交通全般に拡張し、鉄道と路線バスを同質と仮定すれば、この観点の問題は消滅する)。このため、次式を仮定しうる。

$$P_z(e|k) = P_z(e|k') \quad (k \neq k') \quad (11)$$

すると、式(10)は次式のように簡略化することができる。

表1 対象とした路線数とバス停数

市町村	路線数	バス停数
岩手県北上市	7	134
兵庫県新温泉町	9	81
鳥取県鳥取市	6	162
島根県江津市	4	73
島根県益田市	5	71
合計	31	521

表2 各市町村における乗降実態調査の概要

市町村	調査日	調査日数	調査路線
北上市	2009年7月7~9, 14, 30日	1日間	石鳥谷, 横川目, 和賀仙人, 国道北, 岩黒, 熊沢, 上野田, 煤孫, 瀬美温泉, 北上翔南高校, 日香下線
新温泉町	2008年12月8日, 2009年9月28日, 12月7日	3日間	春木, 田井, 三尾, 伊角, 久斗山, 照来, 居組, 海上, 八田線
鳥取市	2009年12月~2010年2月	3日間	佐治, 智頭, 西郷, 鹿野, 中河原, 気高循環線
江津市	2008年8月27~29日, 9月1~5日	1日間	有福, 川戸, 大田江津, 波積線
益田市	2009年9月2~4, 7~11, 14~17日	1日間	横田, 大塚, 津和野, 梅月, 匹見線

※全ての調査日は平日ではあるものの、調査した曜日は同じ路線でも便によって異なる場合がある。調査日数は調査日の中で1路線に対して何日分の調査データがあるのかを示している。調査の方法は、路線バスに乗り込んだ調査員による聞き取り調査である。乗降バス停、年齢区分(高校生、一般、高齢者など)、乗車目的などを聞き取っている。

$$P_z(k|e) = \frac{P_z(k)}{\sum_{k'} P_z(k')} \quad (12)$$

すなわち、活動の実施率 $P_z(k)$ が分かれば、上式を求めることができる。その算出には、市町村別データでは国勢調査、都道府県データではあるが社会生活基本調査や患者調査などを用いることができるため、公表されている汎用的なデータでも上式を算出することができる。本研究では、式(12)を前提として、式(8)により活動別の潜在利用者数を求める。

4. 事例分析

(1) 対象地域

岩手県北上市，兵庫県新温泉町，鳥取県鳥取市，島根県江津市，同県益田市の5市町における路線バスを対象に事例分析を行った。対象とした路線とバス停の数を表1に示す。本研究では，先述のように，居住人口に対する利用者数を原単位として導出することを目的としているため，乗降客数に当該バス停周辺に居住していない人の乗降実績が含まれるバス停を推計に用いることは不適切である。そこで，そのようなバス停は検討の対象外としている。表1における「バス停数」には，対象外としたバス停は含まれていない。

(2) 使用するデータ

バス停の乗降客数は各市町村で実施された乗降実態調査を用いた。各市町村における調査日，調査日数および調査路線を表2に示す。なお，平日を対象に推計することとし，データについても平日のデータを用いる。

(3) 市町村ごとの潜在利用者数の推計

本研究では，バス停から半径300m以内を路線バスのサービス圏とした。年齢 $(z=1,2,3)$ は15～19歳，一般（20～64歳），高齢者（65歳以上）の3つの層とした。なお，人口は平成17年の国勢調査を用いた。年齢別のサービス圏内人口と，各市町村の乗降実態調査から得られた1日あたりの乗降客数を用いて推計した原単位ならびに便数に関する減衰パラメータを表3に示す。

年齢ごとの原単位を比較すると，江津市を除いて15～19歳の値が最も大きく，次いで高齢者の推計値が大きい。一方で，一般の原単位は値が小さいことが分かった。得られた原単位を用いて，顕在的な利用者数の推計値（潜在利用者数に便数の減衰項を乗じた値）と乗降客数の相関係数を求めた。各市町村における路線ごとの相関係数を表4～8に示す。また，各市町村における推計値と乗降客数の散布図を図2～6に表す。図中の直線は $y = x$ ，破線は直線から $\pm 30\%$ の値を通る線であり， $y = x$ から $\pm 30\%$ の領域に位置するデータの割合を的中率として，推計値と乗降客数の一致性を示す。

北上市における利用者数の推計値と乗降客数の相関係数は0.879であり，強い正の相関があった。また，的中率は5/7であった。

新温泉町においても利用者数の推計値と乗降客数の相関係数は0.777と高く，強い正の相関があった。また，的中率は4/9であった。

鳥取市における利用者数の推計値と乗降客数との相関係数は0.979とほぼ1に近く，強い正の相関があった。的中率は5/6であった。

表3 各市町村における年齢別の原単位（1日当たり）

項目	北上市	新温泉町	鳥取市	江津市	益田市
15～19歳	0.114	0.363	0.089	0.024	0.100
一般	0.029	0.026	0.025	0.029	0.041
高齢者	0.083	0.071	0.047	0.078	0.042
便数減衰 α	0.124	0.178	0.055	0.010	0.065

表4 北上市における顕在的な利用者数の推計値と乗降客数の相関

路線名	推計値（人/日）	乗降客数（人/日）
石鳥谷線	71.0	76
横川目・和賀仙人線	126.9	123
国道北線	56.6	91
岩黒・熊沢線	19.2	14
上野田線	47.5	55
煤孫・瀬美温泉線	69.9	44
北上翔南高校・日香下線	118.9	107
相関係数	0.879	

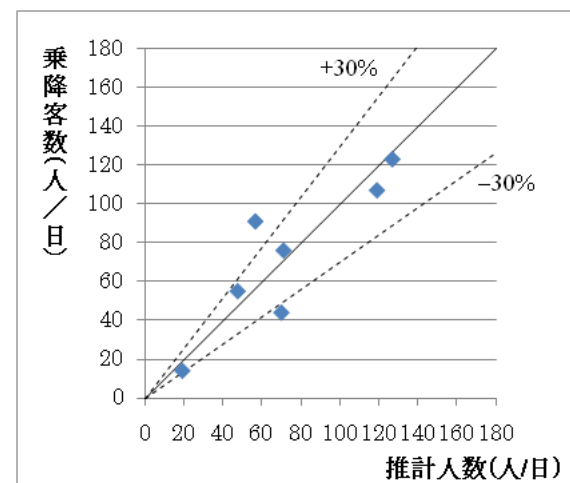


図2 北上市における顕在的な利用者数の推計値と乗降客数の散布図

江津市における利用者数の推計値と乗降客数の相関係数は0.919であり，強い正の相関があった。また，的中率は3/4であった。

益田市においては利用者数の推計値と乗降客数の相関係数が0.671であり，中程度の正の相関があった。また，的中率は2/5であった。

表5 新温泉町における顕在的な利用者数の推計値と

乗降客数の相関

路線名	推計値 (人/日)	乗降客数 (人/日)
春木線	5.3	9.3
田井線	12.8	16.0
三尾線	12.0	12.7
伊角線	11.7	10.7
久斗山線	15.4	17.7
照来線	69.9	48.3
居組線	40.7	24.7
海上線	12.5	17.3
八田線	27.1	50.7
相関係数	0.777	

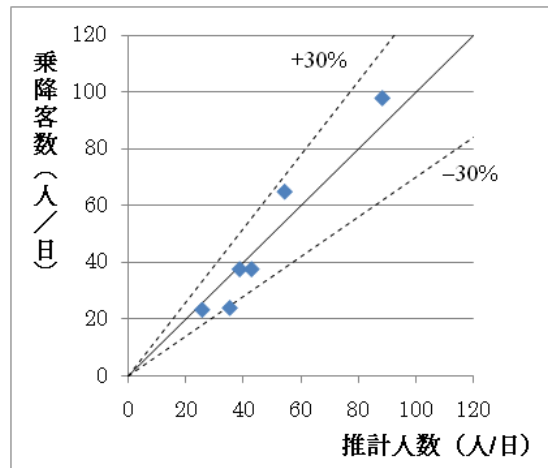


図4 鳥取市における顕在的な利用者数の推計値と乗降客数の散布図

表7 江津市における顕在的な利用者数の推計値と乗降

客数の相関

路線名	推計値 (人/日)	乗降客数 (人/日)
有福線	91.9	74
川戸線	15.2	11
大田江津線	25.1	40
波積線	47.8	55
相関係数	0.919	

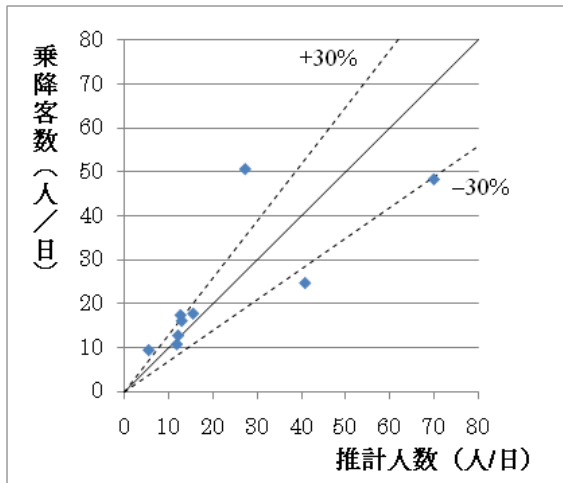


図3 新温泉町における顕在的な利用者数の推計値と乗降客数の散布図

表6 鳥取市における顕在的な利用者数の推計値と乗降

客数の相関

路線名	推計値 (人/日)	乗降客数 (人/日)
佐治線	54.4	65.0
智頭線	35.4	24.0
西郷線	25.8	23.3
鹿野線	38.8	37.7
中河原線	88.4	98.0
気高循環線	42.9	37.7
相関係数	0.979	

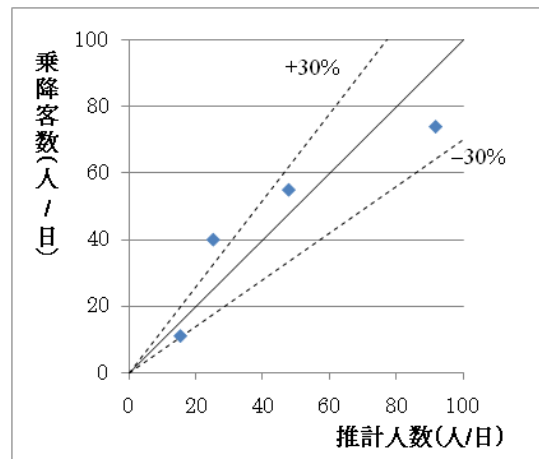


図5 江津市における顕在的な利用者数の推計値と乗降客数の散布図

表8 益田市における顕在的な利用者数の推計値と乗降客数の相関

路線名	推計値 (人/日)	乗降客数 (人/日)
横田線	56.9	65
大塚線	47.4	17
津和野線	27.7	33
梅月線	18.2	9
匹見線	45.8	72
相関係数	0.671	

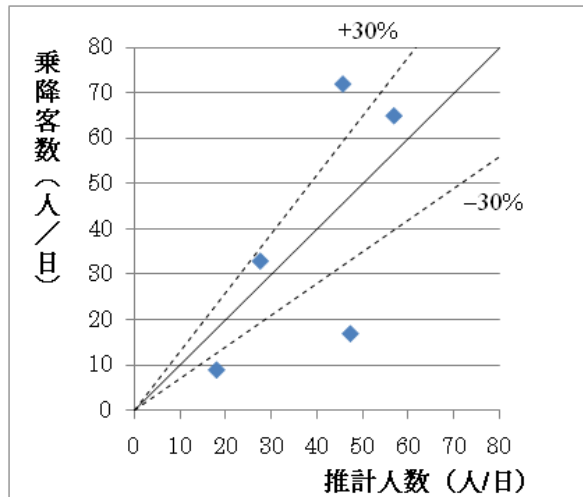


図6 益田市における顕在的な利用者数の推計値と乗降客数の散布図

表9 年齢別の代表的な原単位

項目	代表的な原単位
15～19歳	0.125
一般	0.025
高齢者	0.058
便数減衰 α	0.068

(4) 標準的な潜在利用者数の推計

年齢別の代表的な原単位を求めた。その結果を表9に示す。代表的な原単位のもとでの各市町村の顕在的な利用者数の推計値と乗降客数の相関係数を求めた。ただし、便数に関する減衰に関しては、各市町村の特性により大きく異なることも考えられるため、減衰パラメータ α の値に関しては代表的な値を用いる場合と、市町村ごとの推計値を用いる場合の2つのパターンについて分析を行った。

図7～11は各市町村における顕在的な利用者数の推計人数と乗降客数の散布図である。なお、図中の「原単位の代表値(1)」は減衰パラメータに代表的な値を用いた場合、「原単位の代表値(2)」は減衰パラメータに市町村ごとの推計値を用いた場合を表している。

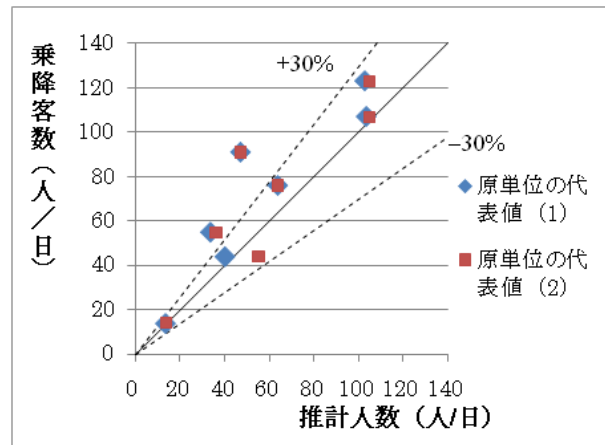


図7 北上市における利用者の推計人数と乗降客数

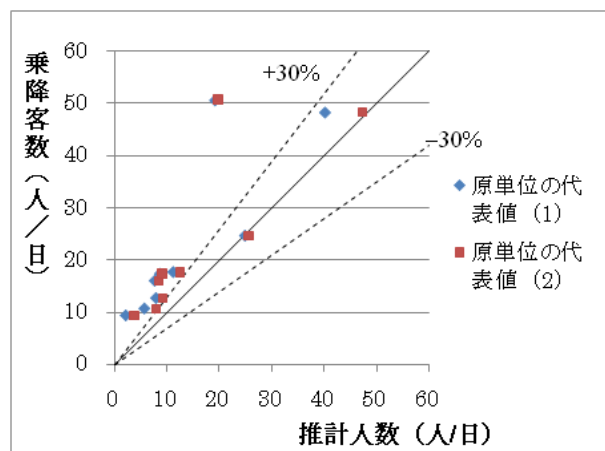


図8 新潟市における利用者の推計人数と乗降客数

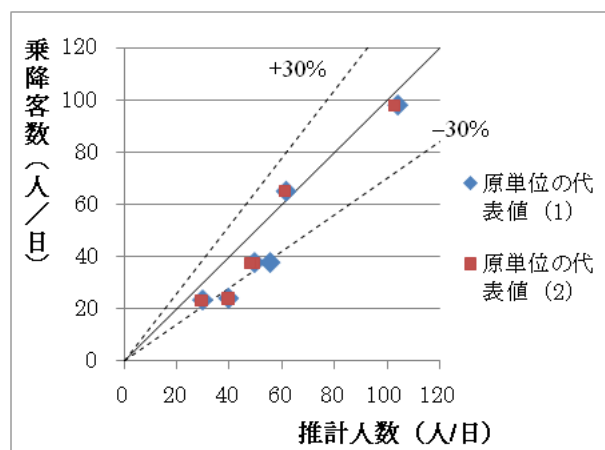


図9 鳥取市における利用者の推計人数と乗降客数

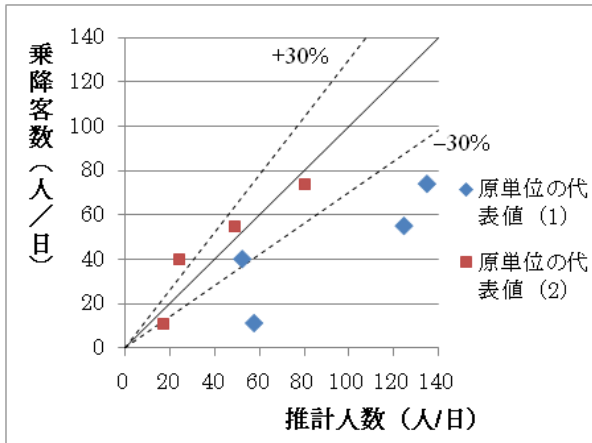


図10 江津市における利用者の推計人数と乗降客数

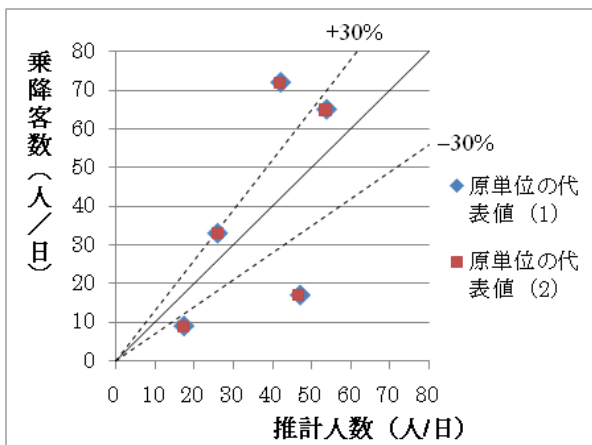


図11 益田市における利用者の推計人数と乗降客数

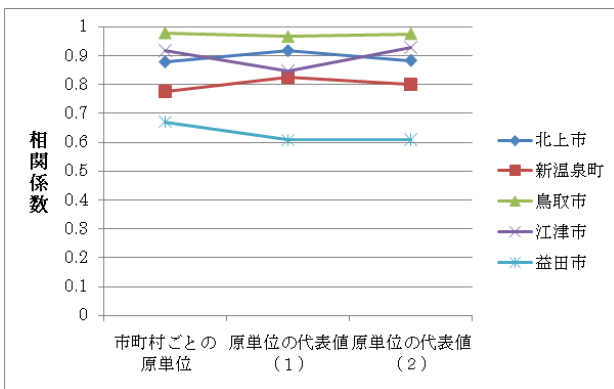


図12 各市町村における相関係数の違い

江津市以外の市町村に関しては、どちらのパターンも推計値に大きな差は見られなかったが、江津市に関しては、2パターンとの顕在的な利用者数の推計値を比べると30~70の差が見られた。

次いで、市町村ごとに推計した原単位と原単位の代表値を用いた場合の相関係数の差を表10に示す。

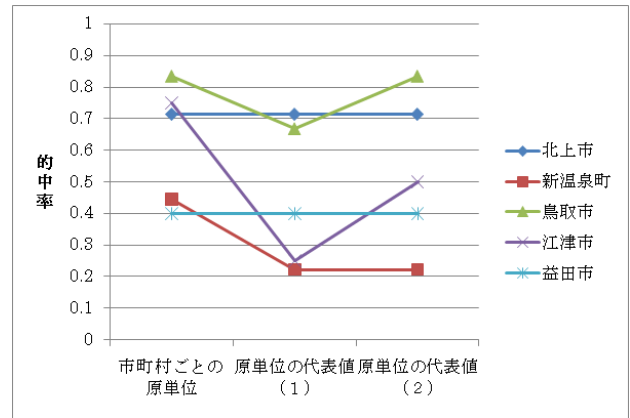


図13 各市町村における的中率の違い

表10 各市町村における相関分析ごとの相関係数の違い

市町村	市町村ごとの原単位を用いた場合	代表的な原単位を用いた場合	
		減衰パラメータに代表値を用いた場合	減衰パラメータに各市町村の値を用いた場合
北上市	0.879	0.917	0.884
新温泉町	0.777	0.825	0.802
鳥取市	0.979	0.966*	0.976*
江津市	0.919	0.848*	0.929
益田市	0.671	0.608*	0.610*

※表中の*印は、代表的な原単位を用いた場合に、市町村ごとの原単位を用いた場合に比べて相関係数が低下したことを表す。

表11 各市町村における相関分析ごとの的中率の違い

市町村	市町村ごとの原単位を用いた場合	代表的な原単位を用いた場合	
		減衰パラメータに代表値を用いた場合	減衰パラメータに各市町村の値を用いた場合
北上市	0.714	0.714	0.714
新温泉町	0.444	0.222*	0.222*
鳥取市	0.833	0.667*	0.833
江津市	0.750	0.250*	0.500*
益田市	0.400	0.400	0.400

※表中の*印は、代表的な原単位を用いた場合に、市町村ごとの原単位を用いた場合に比べて的中率が低下したことを表す。

図12は、表10に示した相関係数を折れ線グラフで表したものである。なお、図中の「原単位の代表値(1)」と「原単位の代表値(2)」は図7~11におけるそれと同じ意

味である。いずれの市町村においても、市町村ごとの原単位を用いた場合と原単位の代表値を用いた場合では相関係数に大きな差が見られなかった。

再現性を検討するにあたり、的中率に関しても市町村ごとに推計した原単位と原単位の代表値を用いた場合の差を表11に示す。

図13は、表11に示した的中率を折れ線グラフで表したものである。なお、図中の「原単位の代表値(1)」と「原単位の代表値(2)」は図7～11におけるそれと同じ意味である。原単位の代表値(1)を用いたときに江津市などで的中率の落ち込みが見られた。また、原単位の代表値(1)と原単位の代表値(2)における的中率を比較すると、原単位の代表値(2)のほうが的中率が良いことが分かった。いずれの市町村においても原単位の代表値(2)を用いれば、市町村ごとの原単位を用いた場合と比較して再現性に著しい低下は見られなかった。以上より、表9で示した代表的な原単位は標準的な原単位として適切と判断できる。

(5) 活動別の潜在利用者数の推計

本研究では活動を「通勤」、「通学」、「移動」、「通院」、「買い物」、「その他」の6つとした。「その他」は銀行や市役所に行くことなどを指す。これらの活動を、列挙した順に $k=1, 2, 3, 4, 5, 6$ とする。本研究では、通勤、通学、移動の3つの活動について、まずは活動別の潜在利用者数の比率を求め、次いで、移動に関して通院、買い物、その他の3つの活動の比率を求めるという階層性に基づいて検討する(図14を参照)。

比率を推計するにあたり、まず年齢に関する活動目的 k の1日あたりの実施率 $P_z(k)$ を求めた。活動ごとの導出方法を以下に記す。

・通勤の実施率 $P_z(1)$

常驻地による就業者数¹⁰を用いて通勤者数(自宅外の各市町村での従業者数+県内他市町村での従業者数+他県での従業者数)を求め、それを夜間人口で割ることで求めた。

・通学の実施率 $P_z(2)$

非労働力人口の通学の人数¹⁰を通学者数として、それを夜間人口で割ることにより算出した。

・移動の実施率 $P_z(3)$

無業者の移動の行動者率¹¹と無業者の割合(非労働力人口の総数¹⁰/市町村人口)との積で表した。

活動の比率の和を1として、ベイズの定理により「通勤」、「通学」および「移動」の実施率を次式のように導出する。

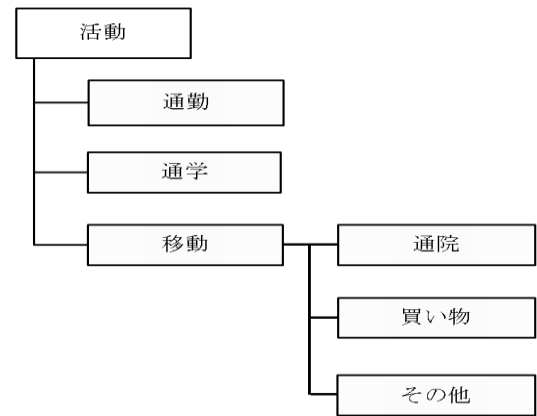


図14 活動別の比率の推定に関する階層性

$$\frac{P_z(i)}{P_z(1) + P_z(2) + P_z(3)} \quad (i=1,2,3) \quad (13)$$

・通院の実施率 $P_z(4)$ は外来の1日あたりの受療率¹²を用いた。

・買い物の実施率 $P_z(5)$

無業者の買い物の行動者率¹¹を用いた。無業者に限定したのは、バスを利用する有業者については通勤のついでに買い物を行う場合などが想定され、その場合にバス利用を重複して数えてしまうのを防ぐためである。

・その他の実施率 $P_z(6)$ は $P_z(\text{移動}|無業者) (1 - P_z(\text{通院}) - P_z(\text{買い物}|無業者))$ で求めた。

その上で、「移動」をベイズの定理により配分し、「通院」、「買い物」および「その他」の実施率を導出する。式(13)で導出した移動の実施率を $P'_z(3) = P_z(3)/(P_z(1)+P_z(2)+P_z(3))$ とすると、それぞれの実施率は次式で表される。

$$\frac{P_z(i)}{P_z(4) + P_z(5) + P_z(6)} P'_z(3) \quad (i=4,5,6) \quad (14)$$

算出したそれぞれの実施率を用いて、標準的な原単位を活動別に割り当てた。その結果を表12～16に示す。また、各市町村における活動別に割り当てた標準的な原単位を図15～19に示す。

表12 北上市における活動別の原単位

年齢	通勤	通学	通院	買い物	その他
15～19歳	0.016	0.089	0.002	0.013	0.005
一般	0.014	0.000	0.001	0.009	0.001
高齢者	0.009	0.000	0.011	0.022	0.016

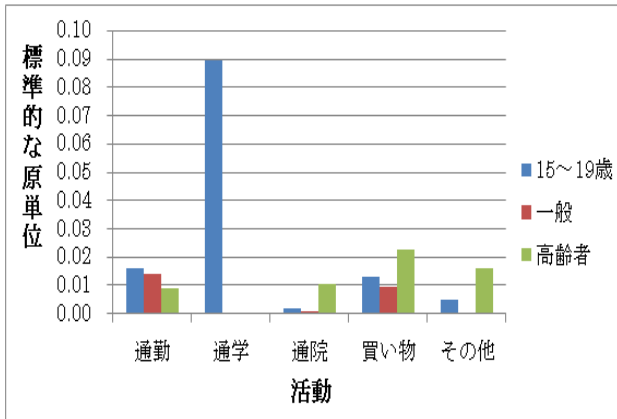


図15 北上市における活動別の原単位

表14 鳥取市における活動別の原単位

年齢	通勤	通学	通院	買い物	その他
15～19歳	0.013	0.081	0.002	0.016	0.013
一般	0.013	0.001	0.001	0.010	0.001
高齢者	0.007	0.000	0.009	0.030	0.012

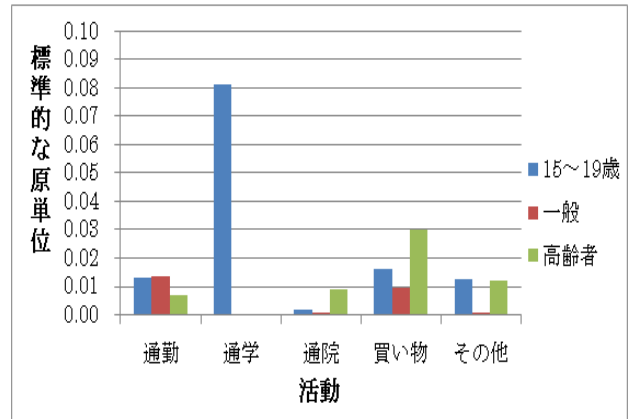


図17 鳥取市における活動別の原単位

表13 新温泉町における活動別の原単位

年齢	通勤	通学	通院	買い物	その他
15～19歳	0.009	0.089	0.002	0.013	0.013
一般	0.013	0.000	0.001	0.010	0.000
高齢者	0.008	0.000	0.009	0.025	0.016

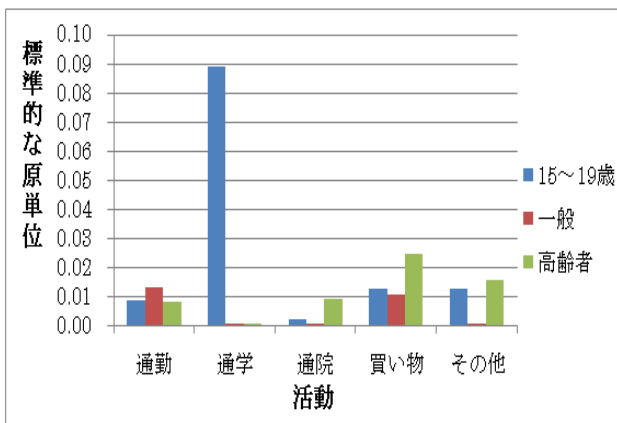


図16 新温泉町における活動別の原単位

表15 江津市における活動別の原単位

年齢	通勤	通学	通院	買い物	その他
15～19歳	0.007	0.091	0.002	0.014	0.011
一般	0.014	0.000	0.001	0.010	0.000
高齢者	0.007	0.000	0.010	0.023	0.018

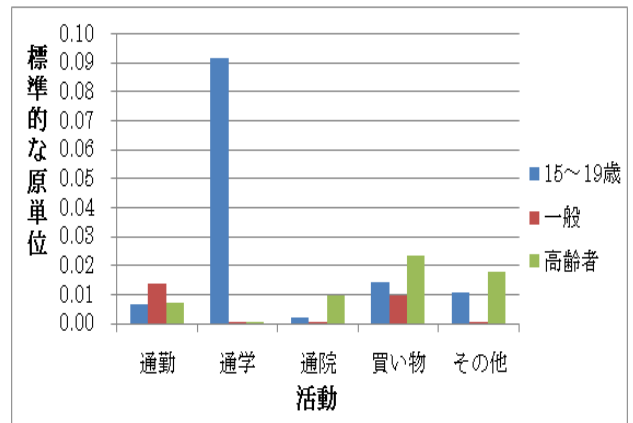


図18 江津市における活動別の原単位

表16 益田市における活動別の原単位

年齢	通勤	通学	通院	買い物	その他
15～19歳	0.010	0.089	0.002	0.014	0.010
一般	0.014	0.000	0.001	0.010	0.000
高齢者	0.009	0.000	0.009	0.023	0.016

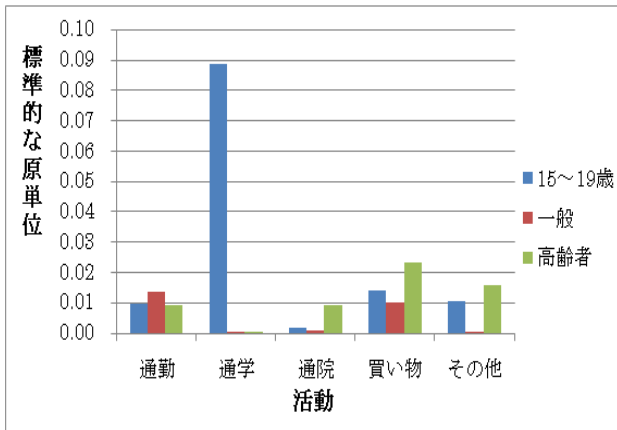


図19 益田市における活動別の原単位

表17 各市町村における便数に関する減衰パラメータ

項目	有田市	紀の川市
便数減衰 α	0.027	0.014

表18 有田市および紀の川市における顕在的な利用者数の推計値と乗降客数の相関

路線名	推計値 (人/日)	乗降客数 (人/日)
Aコース	50.5	43.3
Bコース	50.4	57.9
細野貴志川コース	30.9	19.8
桃山鞆渕コース	18.1	22.9
相関係数	0.864	

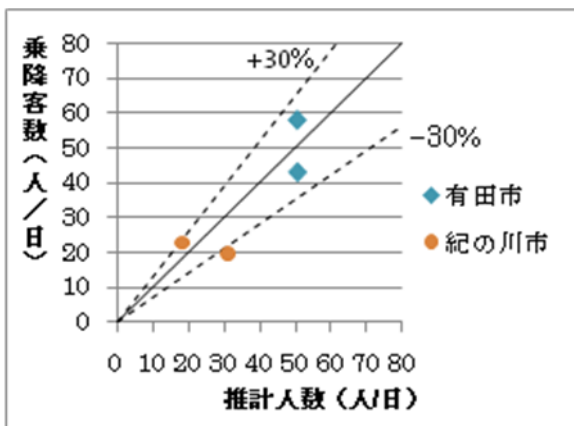


図20 利用者の推計人数と乗降客数

年齢別に見ると、どの市町村においても15～19歳は通学の値が他の値に比べて突出している。これは、通学者は免許が保有できない人がほとんどであり、また、通学は基本的には毎日実施する必要があるためと考えられる。

一般に関しては通勤と買い物の原単位がほとんどで他はわずかである。高齢者は買い物およびその他の値が大きい。活動に着目すると、通院はほとんど高齢者が占めている。買い物に関しては、どの年齢層においても全活動に占める割合が高く、バスに乗るときに主要な目的となっていることが分かった。

また、個々の市町村に着目すると、北上市は各年齢ともに通勤の原単位が他の市町村よりも大きい。鳥取市は、高齢者の買い物の原単位が最も高く0.030であった。江津市は15～19歳および高齢者の原単位に関して、通勤が他の市町村に比べ最も小さく、反対に15～19歳の通学が最も大きいことが特筆される。

(6) 潜在利用者数の再現

上記に推計した原単位が推計の対象であった地域以外にも適用可能かを検証するため、和歌山県有田市と同県紀の川市の2市町におけるコミュニティバスを対象として推計を行った。

対象とした路線数とバス停数は、有田市が2路線43バス停、紀の川市が2路線54バス停である。ここでも、乗降客数に当該バス停周辺に居住していない人の乗降実績が含まれるバス停は検討の対象外としている。また、バス停の乗降客数は各市町村で実施された乗降実態調査を用いた。有田市における調査日は平成21年4月から平成22年3月までの平日、調査日数は245日、調査路線はAコースおよびBコース。紀の川市における調査日は平成22年4月、調査日数は30日、調査路線は細野貴志川コースおよび桃山鞆渕コースである。

年齢別の標準的な原単位は表9に示す値である。この値のもとで、便数に関する減衰パラメータを対象地域ごとに推計した。その結果を表17に示す。原単位および表17に示す減衰パラメータのもとでの顕在的な利用者数の推計値と乗降客数の相関係数を求めた。その結果を表18に示す。

有田市および紀の川市における推計値と乗降客数の散布図を図20に表す。図中の直線、破線は図2～図11のそれと同じである。

利用者数の推計値と乗降客数の相関係数は0.864であり、強い正の相関があった。また、的中率は3/4であった。以上により、標準的な原単位および推計した便数に関する減衰パラメータのもとで高い再現性を確認することができた。

5. おわりに

今後は、より多くの市町村を対象に推計するとともに、地域特性を反映しうる補正係数などについて検討したい。

参考文献

- 1) 藤井聡：行動意図法(BI法)による交通需要予測：新規バス路線の”潜在需要”の予測事例，土木計画学研究・論文集，Vol.20，pp.571-579，2003.
- 2) 杉尾恵太，磯部友彦，竹内伝史：企業性と公共性を考慮したバス路線別経営改善方針の提案，土木計画学研究・論文集，Vol.16，pp.785-792，1999.
- 3) 杉尾恵太，磯部友彦，竹内伝史：GISを用いたバス路線網計画支援システムの構築－潜在需要の把握による路線評価について－，土木計画学研究・論文集，Vol.18，pp.617 - 626，2001
- 4) 森山昌幸，藤原章正，張峻屹，杉恵頼寧：中山間地域における高齢者対応型公共交通サービスの需要予測モデルの提案，土木学会論文集，No.786，pp.39-51，2005
- 5) 森山昌幸，藤原章正，坂本慶介，平賀哲二：ウェブを活用した地域公共交通計画支援システムの開発，土木計画学研究・講演集，Vol.42，CD-ROM，2010
- 6) 吉田樹：公共交通需要の発生強度の計測と需要の顕在化率に関する定量的評価，土木計画学研究・講演集，Vol.41，CD-ROM，2010
- 7) 吉田樹，今井司：重力型アクセシビリティ指標を用いた交通発生強度の推計と地域公共交通計画への適用可能性，土木計画学研究・講演集，Vol.41，CD-ROM，2010
- 8) 徳永幸之，王紹鵬：車載トラフィックレコーダデータによるバス乗降および運行特性分析，交通工学研究発表会論文報告集，Vol.25，pp.273-276，2005-10
- 9) 谷本圭志，牧修平：地方における公共交通のサービス供給基準に関する研究，運輸政策研究，Vol.11，No.4，Winter，pp.10-20，2009.1
- 10) 総務省：平成17年国勢調査
- 11) 総務省：平成18年社会生活基本調査
- 12) 厚生労働省：平成20年患者調査

謝辞：本研究では、データの収集において森山昌幸氏（バイタルリード），若菜千穂さん（NPO 法人いわて地域づくり支援センター），辻本勝久准教授（和歌山大学），鳥取市，新温泉町から協力を得た。付して謝辞としたい。

付録 A 顕在的な利用者数の推計値と乗降客数との相関

表 A.1 北上市における顕在的な利用者数の推計値と乗降客数との相関

路線名	減衰パラメータに代表値を用いた場合		減衰パラメータに各市町村の値を用いた場合	
	推計値	乗降客数	推計値	乗降客数
石鳥谷線	63.8	76	63.8	76
横川目・和賀仙人線	102.9	123	104.9	123
国道北線	47.1	91	47.1	91
岩黒・熊沢線	13.4	14	14.0	14
上野田線	33.5	55	36.3	55
煤孫・瀬美温泉線	40.1	44	55.2	44
北上翔南高校・日香下線	103.5	107	105.0	107
相関係数	0.917		0.884	

表 A.2 新温泉町における顕在的な利用者数の推計値と乗降客数の相関

路線名	減衰パラメータに代表値を用いた場合		減衰パラメータに各市町村の値を用いた場合	
	推計値	乗降客数	推計値	乗降客数
春木線	2.1	9.3	3.7	9.3
田井線	7.6	16.0	8.4	16.0
三尾線	7.9	12.7	9.2	12.7
伊角線	5.7	10.7	7.9	10.7
久斗山線	11.2	17.7	12.5	17.7
照来線	40.2	48.3	47.3	48.3
居組線	24.9	24.7	25.6	24.7
海上線	8.6	17.3	9.1	17.3
八田線	19.2	50.7	19.8	50.7
相関係数	0.825		0.802	

表 A.3 鳥取市における顕在的な利用者数の推計値と乗降客数の相関

路線名	減衰パラメータに代表値を用いた場合		減衰パラメータに各市町村の値を用いた場合	
	推計値	乗降客数	推計値	乗降客数
佐治線	61.6	65.0	61.1	65.0
智頭線	39.5	24.0	39.5	24.0
西郷線	29.7	23.3	29.4	23.3
鹿野線	49.5	37.7	49.4	37.7
中河原線	104.3	98.0	102.7	98.0
気高循環線	55.5	37.7	47.8	37.7
相関係数	0.966		0.976	

表 A.4 江津市における顕在的な利用者数の推計値と乗降客数の相関

路線名	減衰パラメータに代表値を用いた場合		減衰パラメータに各市町村の値を用いた場合	
	推計値	乗降客数	推計値	乗降客数
有福線	134.8	74	80.3	74
川戸線	57.4	11	16.9	11
大田江津線	52.2	40	24.1	40
波積線	124.5	55	48.9	55
相関係数	0.848		0.929	

表 B.4 江津市における活動別の1日あたりの実施率

年齢	通勤	通学	通院	買い物	その他
15～19歳	0.064	0.881	0.019	0.136	0.105
一般	0.716	0.007	0.041	0.520	0.023
高齢者	0.082	0.000	0.112	0.272	0.208

表 B.5 益田市における活動別の1日あたりの実施率

年齢	通勤	通学	通院	買い物	その他
15～19歳	0.094	0.858	0.019	0.136	0.101
一般	0.715	0.004	0.041	0.521	0.021
高齢者	0.108	0.000	0.111	0.276	0.188

表 A.5 益田市における顕在的な利用者数の推計値と乗降客数の相関

路線名	減衰パラメータに代表値を用いた場合		減衰パラメータに各市町村の値を用いた場合	
	推計値	乗降客数	推計値	乗降客数
横田線	53.7	65	53.5	65
大塚線	47.0	17	46.6	17
津和野線	26.0	33	25.9	33
梅月線	17.4	9	17.1	9
匹見線	42.0	72	41.8	72
相関係数	0.608		0.610	

付録 B 活動別の1日あたりの実施率

表 B.1 北上市における活動別の1日あたりの実施率

年齢	通勤	通学	通院	買い物	その他
15～19歳	0.143	0.805	0.019	0.116	0.042
一般	0.708	0.007	0.038	0.469	0.026
高齢者	0.091	0.000	0.109	0.232	0.167

表 B.2 新温泉町における活動別の1日あたりの実施率

年齢	通勤	通学	通院	買い物	その他
15～19歳	0.086	0.855	0.019	0.121	0.121
一般	0.689	0.005	0.041	0.546	0.022
高齢者	0.099	0.001	0.111	0.294	0.190

表 B.3 鳥取市における活動別の1日あたりの実施率

年齢	通勤	通学	通院	買い物	その他
15～19歳	0.128	0.800	0.019	0.160	0.126
一般	0.686	0.027	0.038	0.494	0.040
高齢者	0.089	0.000	0.110	0.377	0.153