

2. 豊橋市における電気バス導入効果計測のための交通手段選好意識モデルに関する検討

建築・都市システム学系 教授 廣島康裕

学部4年 井上照也

2-1 はじめに

わが国ではモータリゼーションの進展により、自動車利用者が増加し、暮らしを豊かにしてきた。一方で、都市部においては交通渋滞や交通公害が発生するようになり、地方都市では公共交通の衰退が進んでいる。また、資源枯渇や地球温暖化などの環境問題が深刻化するようになった今、環境負荷の小さい都市構造への転換も求められている。そのため豊橋市では、2011年3月に策定した2020年を目標年次とする第5次豊橋市総合計画において、誰もが暮らしやすく環境負荷の小さい交通体系への転換を目指した「歩いて暮らせるまち」の実現を目指している。その中で公共交通の果たす役割は極めて大きく、魅力ある公共交通の整備が重要課題となっている。

そこで本研究では、豊橋市に新たな公共交通として、環境にやさしい電気バスを導入した場合の効果を検討するため、SP データを用いた交通手段選択モデルを構築し、電気バス利用率への影響を分析することを目的とする。

なお、電気バスの特徴として、電動機を動力源とするため、従来のディーゼルエンジンバスと比較して温室効果ガスの排出量が少なく、低振動かつ低騒音であるため快適な車内環境をバス利用者に提供できるという長所がある。しかし、現状では車両価格が非常に高価で、電力供給が蓄電池方式の場合、一回の充電で走ることのできる距離が短いという欠点がある。そのため、将来的には車両価格の低減が望まれ、大容量蓄電池による排気ガスを出さないクリーンなバス車両が走ることが期待されている。

2-2 公共交通の現状

(1) 概説

公共交通は誰でも利用可能な交通手段として、多くの利用者によって支えられてきた。しかし、少子高齢化が進行した結果、2005年には戦後初めて人口が減少する人口減少社会を迎えた。今後、さらに高齢化が進むとされている中、高齢者の移動手段が問題となっている。今まで自動車を運転してきた人たちが、運転能力の低下により運転できなくなったとき、公共交通がなければ移動が大幅に制限されてしまうようになる。ところが、自動車利用者の増加により公共交通利用者数の減少が続く、特に地方都市では採算が取れず、廃止される公共交通路線が増加している状況となっている。

(2) 代表交通手段利用率の経年変化

中京都市圏パーソントリップ調査による代表交通手段の変化について取り上げる。まず、昭

和 46 年から平成 13 年までの代表交通手段別利用率の推移を図 2-2-1 に示す。これより、自動車の利用率が大きく増加し、徒歩が大きく減少する傾向にあることがわかる。一方、公共交通は全体として微減傾向にあり、鉄道の利用率はほぼ横ばいであるが、バスの利用率は減少傾向にあることがわかる。特に地方都市におけるバス利用者の減少の影響を大きく受けていることによると考えられる。

次に、第 4 回中京都市圏パーソントリップ調査（平成 13 年）による年齢階層別代表交通手段構成を図 2-2-2 に示した。これより、高齢になるほどバスの利用率が増加していること、また自動車同乗の割合も増加していることがわかる。

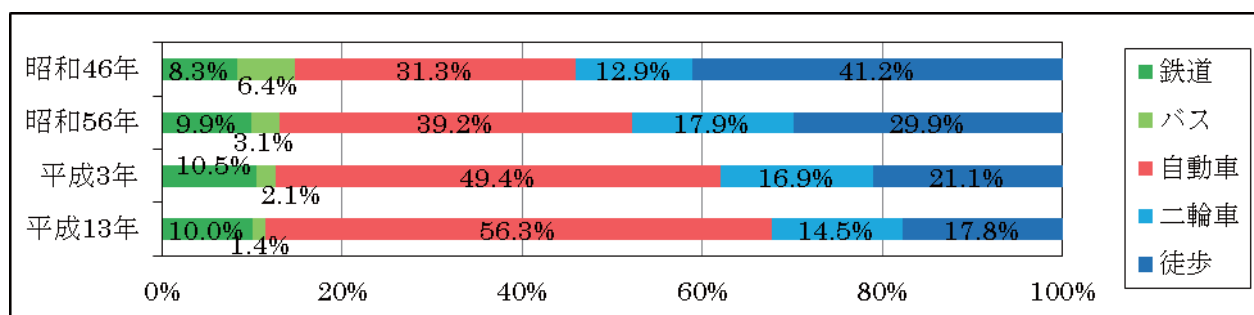


図 2-2-1 代表交通手段別利用率の推移（中京都市圏 PT 調査）

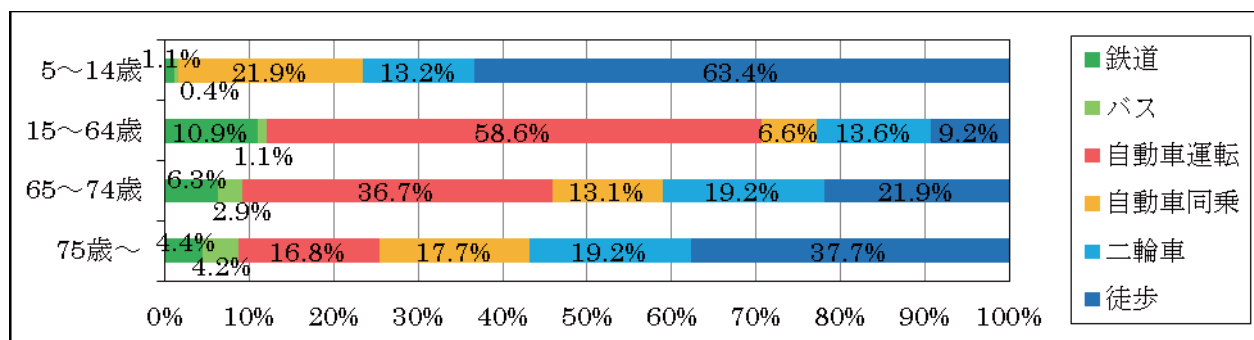


図 2-2-2 年齢階層別代表交通手段構成の現況（第 4 回中京都市圏 PT 調査）

（3） 豊橋市の公共交通の現状

豊橋市の公共交通は、豊橋駅を中心に鉄道・バス路線が放射状に形成され、おおむね市街化区域内を網羅した路線網となっている（表 2-2-1 および図 2-2-3 参照）。鉄道は、新幹線、JR 東海道線、JR 飯田線、名鉄名古屋本線および豊橋鉄道（市内電車・渥美線）が通っている。中でも市内電車は、愛知県内唯一の路面電車の路線であり、駅前から東田、赤岩口、運動公園前方面へ運行している。バスは、市内西部地域を走る一部路線を除き、豊鉄バスによる運行である。また、渥美線大清水駅を発着するレイクタウン線を除き、すべてのバス路線が豊橋駅前から発着している。

かつては、市内北部や南部方面へ向かっていた路線も、採算の悪化等により廃止が行われた

結果、市内北部および南部地域では、自動車なしでは中心部への移動が困難となっている。そのため、鉄道やバス路線のない公共交通空白地域が市内北部や南部に目立って存在している(表 2-2-2 参照)。

表 2-2-1 豊橋市内を発着する鉄道・バス路線

JR	東海道新幹線	豊鉄バス	西口線
	東海道線		岩田団地線
	飯田線		二川線
名鉄電車	名古屋本線		豊橋和田辻線
豊橋鉄道	市内電車		豊川線
	渥美線		新豊線
豊鉄バス	伊良湖本線		豊橋市民病院線
	中浜大崎線		卸団地線
	小浜大崎線		神野ふ頭線
	大崎線		牟呂線
	三本木線		神野ふ頭線
	豊橋技科大線		レイクタウン線
	牛川金田線	名鉄バス 東部	西浜循環線
	飯村岩崎線		西浦豊橋線
	天伯団地線		



図 2-2-3 豊橋市の公共交通網

表 2-2-2 廃止されたバス路線（平成 14 年度以降）

廃止年月日	事業社名	路線名	廃止区間
平成 14 年 10 月 1 日	JR 東海バス(株)	浜名線	
平成 16 年 10 月 1 日	豊橋鉄道(株)	西川線	三上～西郷小学校前
平成 17 年 10 月 1 日	豊橋鉄道(株)	表浜線	伊古部～城下
		藤並 動物園線	天伯団地入口～ のんほいパーク西門
平成 18 年 10 月 1 日	豊橋鉄道(株)	細谷線	技科大前～細谷東
		表浜線	野依～伊古部
		金沢線	和田辻～江島下
		富岡線	四ツ谷～大原
平成 21 年 10 月 1 日	豊鉄バス(株)	三本木線	西高師～野依

豊橋市と各都市圏の代表交通手段分担率を図 2-2-4 に示す。図から、豊橋市の自動車利用率は 65.2%と中京都市圏の値よりも高くなっており、自動車依存度の高い都市であることがわかる。また、東京都市圏や京阪神都市圏と比較すると、約 2 倍の自動車利用割合になっていることもわかる。このため、公共交通が利用できる地域であるにもかかわらず、自動車利用率が高く、また公共交通を利用する人も年々減少しており、不採算路線の廃止が行われる恐れが指摘されている。

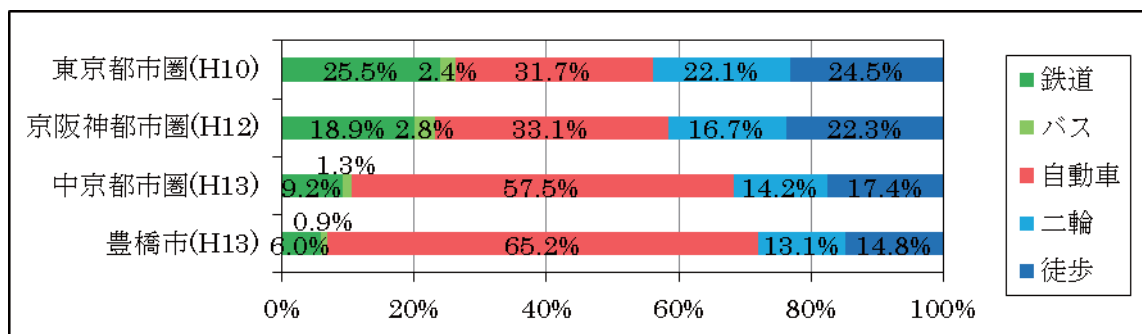


図 2-2-4 都市圏別の代表交通手段分担率の比較

2-3 アンケート調査

(1) 調査の内容

本研究の目的である電気バス路線の需要推計を行うため、豊橋市内の15歳以上の住民を対象に、公共交通に対する意識調査を中心とする交通実態調査を行った。この調査結果により、住民の属性別や居住地域別に電気バス利用意向を知ることができ、電気バス路線の乗車時間、運行間隔、徒歩時間、乗車料金等を変化させた場合の利用意向の変化を知ることができることから、どのようなサービス水準を設定すれば電気バス利用率がどれくらいになるのかを推計するモデルを構築するためのデータを得ることができる。

調査は世帯票、個人票に分かれ、世帯票は各世帯に1部、個人票は原則として3部を郵送により配布した。質問項目は以下のとおりである。なお本アンケートは、本研究のみでの利用ではないため、電気バス路線の需要推計には利用しない項目もある。

●世帯票：

問1 住所・校区・最寄りのバス停と電停・駅の名称・距離・所要時間

問2 家族の人数、15歳未満・65歳以上の家族人数

問3 家族の年間総収入

●個人票：

問1 個人属性（性別・年齢・職業・運転免許の有無・自由に使用できる車の有無）

問2 外出目的、目的地の所在地、外出頻度、所要時間・距離・費用、利用交通手段
利用中の交通手段への意識、満足度

問3 今後の公共交通政策等への意識

問4 公共交通の必要度・利用理由

問5 電気バスに関する知識、利用意思、支払意思額

(2) 調査の実施状況

本アンケートは、郵送配布、郵送回収で行った。日程は表2-3-1の通りである。

表 2-3-1 アンケート実施の概要

配布日	平成22年10月23日
配布方法	郵送配布
回収期限	平成22年11月10日
回収方法	郵送回収

アンケートを配布する世帯の選定は、市販の住宅地図を用いて市内各地域から一定の世帯数を任意抽出することにより行った。平成21年の豊橋市の世帯数は149,345世帯であり、本アンケートの配布数は1,950世帯であることから、抽出率は市全体で1.31%である。

表 2-3-2 回収状況

	世帯数	個人票部数
配布数	1950 世帯	5850 部
回収数	471 世帯	877 部
回収率	24.2%	15.0%

(3) 調査結果と拡大係数の算出

アンケート調査の結果、回答者の性別割合は図 2-3-1 に示す通り、男性が 56%を占めていることがわかる。これは、アンケート送付先の世帯主名が男性である場合が多かったことによるものだと考えられる。次に回答者の年齢別割合を見ると、図 2-3-2 に示す通りとなった。図から 60代と 70代以上の合計の割合が 50%以上を占めていることがわかり、逆に 10代と 20代の合計の割合が 10%を切っているなど、高齢者の回答者数が多く、若い人の回答者数が少ないことがわかる。このように、性別および年齢の構成比から、今回のアンケートでは回答者の属性に偏りが生じていることがわかる。また、地域によっても属性に偏りが生じていることもわかった。

そこで属性間の偏りをなくし、集計や分析の信頼性を向上させるため、居住地域を図 2-3-3 に示すような 15 地域に分類し、アンケート回答データに関して地域別属性別のクロス集計を行った。そして、実際の地域別属性別人口を集計結果で除した値である拡大係数を表 2-3-3 の通り算出した。以下、本研究ではこの拡大係数を回答者の重みとして利用し、各種集計を行った。

表 2-3-3 地域別属性別拡大係数

	男				女			
	10・20代	30～50代	60代	70代	10・20代	30～50代	60代	70代
中心市街地	1529	882	277	508	1410	530	1429	1190
豊橋駅西	925	1152	211	363	891	934	199	486
豊橋駅南	703	631	207	153	987		269	628
牛川・黒丘	863	1528	272	276	1179		769	
豊橋駅東	602	396	194	106	543		187	165
芦原	1009	311	174	143	609	347	205	379
東部	1005	392	194	189	993	398	270	372
二川	1503	1503	465	542	880		573	
豊鉄沿線	381	593	274	213	619	351	364	629
豊川沿い		1036	463	215		1892	454	625
西部		540		457		619		556
北部		656	425	158		726	248	807
南部		629	309	160		860	375	935
坂村	360	591	165	167	799	386	167	255
高師	444	715	395	118	1176	495	620	729

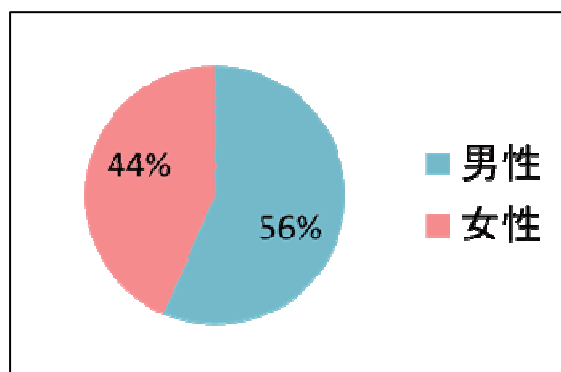


図 2-3-1 性別の構成比

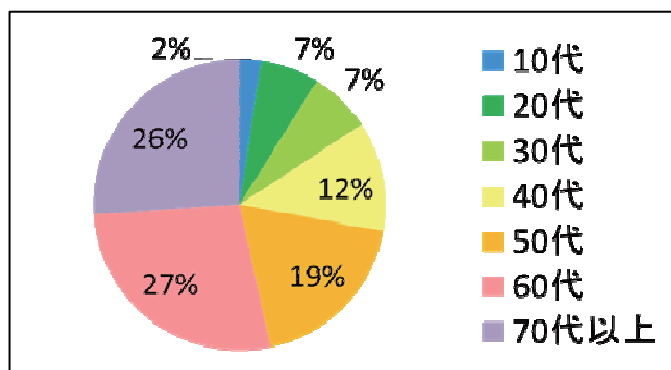


図 2-3-2 年齢の構成比

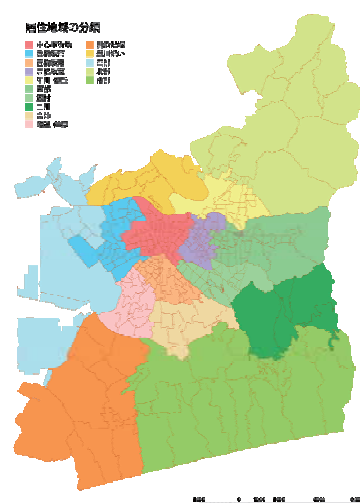


図 2-3-3 居住地域の分類

(4) 集計における地域分類と交通目的分類

アンケート結果の地域別集計のためには地域分けが必要であるが、本研究では用途地域や公共交通路線網を参考に地域分けを行い、図 2-3-4 に示す 5 地域分類とした。中心部は豊橋駅周辺の地域で、路面電車やバス路線が多くあるため、豊橋市で最も公共交通に恵まれた地域となっている。中心部南は、豊橋鉄道渥美線が通っており、豊橋駅からのバス路線も発達している地域となっている。そして、南部、西部、東部と分けており、これら 3 地域には、公共交通を利用した移動が不便な場所が含まれている。

なお、アンケート調査時には、通勤や買い物、通院など細かく分けていた移動目的を、集計結果をわかりやすくするため、自由目的と自由目的外に分類することにした。自由目的には、買い物、レジャー、通院などが含まれ、自由目的以外には、通勤、通学、業務が含まれる

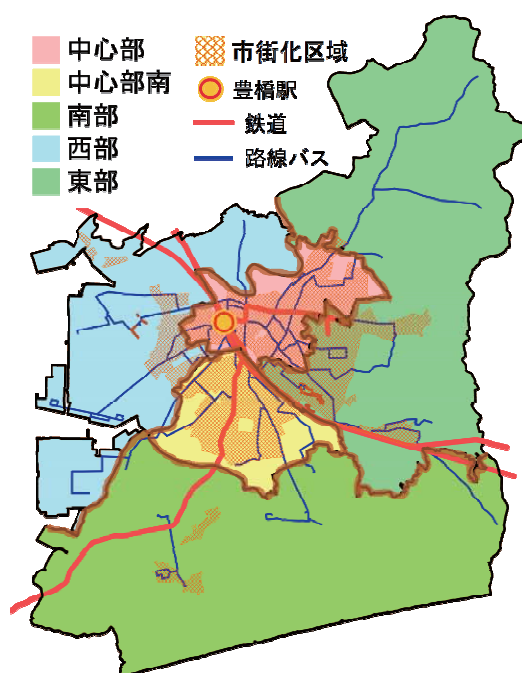


図 2-3-4 豊橋市の居住地域の分類

(5) 集計結果

①利用交通手段

利用交通手段について、居住地域別および目的別に集計を行った。居住地域別の利用交通手段割合を図 2-3-5 に示す。これより、中心部から離れるほど自動車利用率が高くなる傾向にあることがわかる。また、市全体の自動車利用率は 64%と、先に示した図 2-2-4 のパーソントリップ調査による代表交通手段分担率による値である 65.2%に近い値を示していることもわかる。

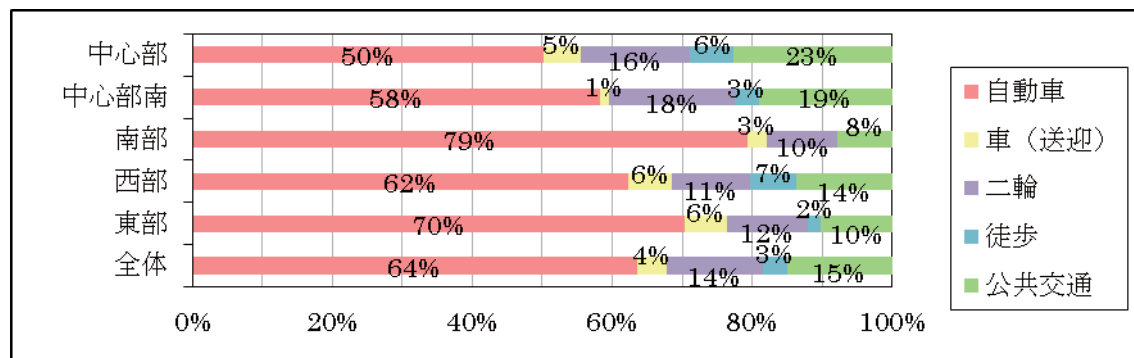


図 2-3-5 居住地域別の利用交通手段

次に、交通目的別の利用交通手段割合を図 2-3-6 に示す。これより、自由目的では送迎によ

る交通の割合が自由目的以外よりも多くみられることがわかる。また、公共交通利用に関しては、自由目的と自由目的以外による違いはあまりないことがわかる。

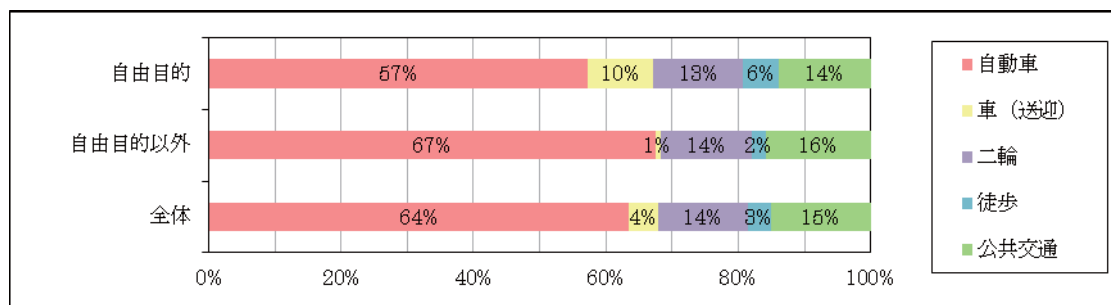


図 2-3-6 外出目的別の利用交通手段

②電気バス利用意向

まず、居住地域別の電気バスの利用意向を図 2-3-7 に示す。これより、中心部に近いほど電気バスを利用したいと考える人の割合が多いことがわかる。しかしながら、すべての地域で「条件によっては利用する」と考える人の割合が多く、電気バスに興味のある人は多いと考えられる。

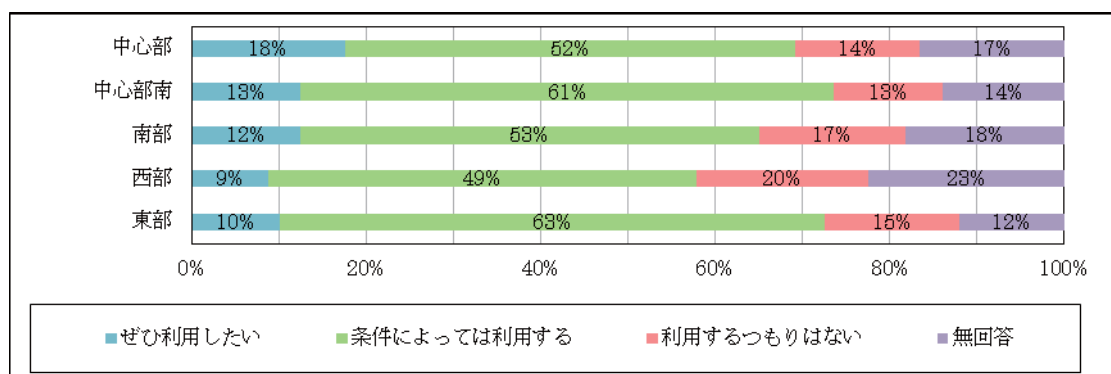


図 2-3-7 居住地域別の電気バス利用意向

次に、交通目的別の電気バス利用意向を図 2-3-8 に示す。これより、自由目的のほうが利用したいと考える人の割合が多いことがわかる。しかし、自由目的以外であっても条件によっては利用したいと考える人は多いこともわかる。

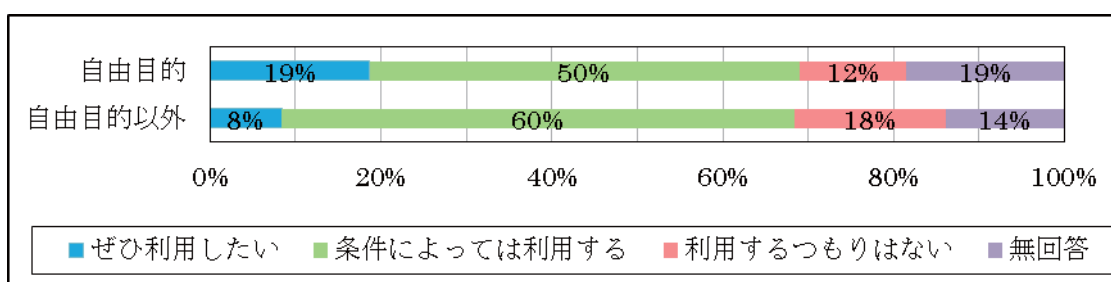


図 2-3-8 交通目的別の電気バス利用意向

2-4 交通手段選択モデルの構築

(1) SP 質問の概要

豊橋市内に電気バス路線が設定された時、現在の交通手段から電気バスに転換する人の割合を推計するため、アンケート調査の SP (Stated Preference : 表明選好) 質問のデータを用いてモデルを構築し、サービス水準の変化が電気バス利用率に与える影響の分析を行った。

本研究の SP 質問は、回答者が現在行っている交通（居住地から目的地までの区間－市外の場合は、豊橋駅などの乗り継ぎ駅まで－）において電気バスが利用可能になった場合を想定してもらい、バス乗車時間、乗車料金、運行間隔およびバス停までの徒歩時間の条件を順次変化させながら、利用意向を尋ねるものである。アンケートに際しては、表 2-4-1 に示すような SP 質問パターンを 10 パターン用意しておき、回答の負担を考慮し、一人に対しては 1 つのパターン（5 ケース）の条件を提示し、各ケースの条件下において電気バスの利用意思を尋ねている。

表 2-4-1 電気バス路線 SP 質問の設定サービス水準

パターン	ケース	乗車時間 [分]	乗車料金 [円]	運行間隔 [分/本]	徒歩時間 [分]
1	1	20	100	10	15
	2	20	500	20	10
	3	30	300	10	10
	4	40	100	30	5
	5	40	500	10	15
2	6	20	100	20	10
	7	20	300	30	5
	8	30	500	30	10
	9	40	100	10	10
	10	40	300	20	15
3	11	20	300	30	10
	12	30	100	20	5
	13	30	500	10	15
	14	40	100	30	5
	15	40	500	10	15
4	16	20	300	20	15
	17	20	500	20	10
	18	30	300	30	5
	19	40	100	20	15
	20	40	100	10	10
5	21	20	300	30	10
	22	20	500	10	15
	23	30	100	30	10
	24	30	500	20	5
	25	40	300	10	5
6	26	15	100	10	12
	27	15	500	20	7
	28	30	300	10	7
	29	60	100	30	3
	30	60	500	10	12
7	31	15	100	20	7
	32	15	300	30	3
	33	30	500	30	7
	34	60	100	10	7
	35	60	300	20	12
8	36	15	300	30	7
	37	30	100	20	3
	38	30	500	10	12
	39	60	100	30	3
	40	60	500	10	12
9	41	15	300	20	12
	42	15	500	20	7
	43	30	300	30	3
	44	60	100	20	12
	45	60	100	10	7
10	46	15	300	30	7
	47	15	500	10	12
	48	30	100	30	7
	49	30	500	20	3
	50	60	300	10	3

得られた SP データの各ケースの電気バス利用率を図 2-4-1 に示す。これより、ケース間に利用率のばらつきが見られ、各ケースに対して有効な回答が得られていることが確認できる。

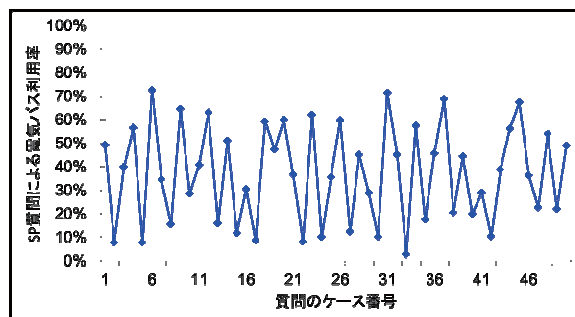


図 2-4-1 SP データの各ケースの電気バス利用率

(2) 使用モデル

今回のモデル構築には、二項ロジットモデルを用いる。これは、現在の交通手段の効用と電気バスを利用する場合の効用から電気バス利用確率を求めるものであり、以下のように定式化される。

交通手段の2肢選択を考えると、個人 n が選択肢2に対して選択肢1を選ぶのは、効用最大化行動仮説により、

$$U_n^1 > U_n^2$$

の場合である。ここで、効用 U が確率的に変動するならば、個人 n が選択肢2に対して選択肢1を選ぶ確率 P_n^1 は、

$$P_n^1 = \text{Prob}[U_n^1 > U_n^2]$$

と表される（今回のモデルでは、選択肢1は電気バスを利用する場合、選択肢2は現在の交通手段とする）。

次に、SP 質問のケース i における交通手段 m に対しての効用 U_i^m について

$$U_i^m = V_i^m + \epsilon_i^m$$

ここに、 V_i^m ：確定効用、 ϵ_i^m ：ランダム効用

と仮定し、 ϵ_i^m が相互独立で分散一定のガンベル分布に従うと仮定すれば、個人 n が選択肢1を選択する確率 P_n^1 は次式となる。

$$P_n^1 = \frac{1}{1 + \exp(V_i^2 - V_i^1)}$$

また、確定効用に対しては、

$$V_i^m = \beta_0^m + \sum_k \beta_k^m x_i^m$$

ここに、 β_k^m ：項目 k のパラメーター、 x_{ik}^m ：項目 k のケース i の説明変数

と仮定し、そのパラメータは最尤推定法で求める。

なお、 $m=1$ （電気バスを利用する場合）のときには、

$\beta_1 \cdot x_{i1}^1$ ：ケース i におけるバス乗車時間[分]のパラメータと変数

$\beta_2 \cdot x_{i2}^1$ ：ケース i におけるバス運行間隔[分/本]のパラメータと変数

$\beta_3 \cdot x_{i3}^1$ ：ケース i におけるバス停までの徒歩時間[分]のパラメータと変数

$\beta_4 \cdot x_{i4}^1$ ：ケース i におけるバスの乗車料金[円]のパラメータと変数

となる。

（３）パラメータ推計結果

構築したパラメータの一例として、表 2-4-2 に示す説明変数組を設定し、それぞれのパラメータを推定した。なお、電気バスの確定効用は、現在の利用交通手段によって異なるパラメータを与えた。特徴的な部分を見ると、自動車利用者はすべてのサービス項目に敏感に反応する傾向があり、公共交通利用者は徒歩時間と乗車時間に敏感に反応する傾向があることがわかる。

（４）電気バス利用率の推定

電気バス導入効果を計測するため、推計したパラメータを用いて電気バス利用率の推定を行った。このとき、アンケート回答者別に電気バスのサービス水準を設定しておく必要がある。ここでは、電気バス乗車時間については、居住地域間の代表点間距離を結びつけることで、詳細な設定を行っている。また、運行間隔、徒歩時間についても、必要に応じて居住地域別の事情に応じた値を設定している。

今回は、利用者の目的地がすべて中心部に向かうと仮定し、均一乗車料金、運行間隔 30 分、徒歩時間 10 分という共通条件を与え、乗車料金を順次変化させた場合の利用率への影響を調べるものとした。

電気バス利用率の算出結果は、図 2-4-2 に示す通りとなった。これより、すべての利用者に対して、乗車料金に対する反応が敏感であることがわかる。しかしながら、自動車利用者がこれほど多く転換するとは考えられないことから、SP 質問の精度に問題があったのではないかと考えられる。そのため、より正確な電気バス利用率を推定するには、何らかの情報を利用して利用率を補正する必要があるといえる。この点が今後の大きな課題である。

2-5 おわりに

本研究では、豊橋市に新たな公共交通として、環境にやさしい電気バスを導入した場合の効果に関する検討を行った。

推定結果から、電気バスは市の中心部近くに住む人ほど利用しやすい傾向があり、これは公共交通が充実している地域であるからだといえる。また、自由目的以外の移動よりも自由目的による移動のほうが、電気バスを利用しやすい傾向があることがわかった。そして、現在自動車利用者は、電気バスのすべてのサービス項目に対して敏感な反応を示し、公共交通利用者は徒歩時間と乗車料金に対して敏感に反応している傾向があることもわかった。

今後より精密な分析を行うためには、SP 質問に対する回答の信頼性を向上させることが必要であることは言うまでもないが、回答者に応じたサービス水準設定を行うことが手段の一つである。そして、電気バス路線を個別に設定した場合の利用者数の推計を行うためには、詳細な OD データを入手することが考えられる。電気バス利用率の推定精度を向上させることができれば、どのような電気バス路線設定が、最も需要が高くなるのかを分析することが可能になる。

表 2-4-2 パラメータ推定結果

			β	t 値				β	t 値
V ₂ (現在の利用交通手段の確定効用)	定数		-2.724	-6.80	V ₁ (電気バスの確定効用)	公共交通	乗車時間	-4.38×10 ⁻³	-0.63
	年齢	50 代以下	0.493	2.10			運行間隔	-1.46×10 ⁻²	-1.31
		60 代以上	0.000				徒歩時間	-8.78×10 ⁻²	-3.29
	出発地	中心部	-0.371	-2.86			乗車料金	-5.41×10 ⁻³	-7.81
		中心部南	-0.430	-3.20		車 (送迎)	乗車時間	-1.39×10 ⁻²	-1.01
		南部	-0.108	-0.71			運行間隔	-5.80×10 ⁻²	-2.69
		西部	0.060	0.39			徒歩時間	-6.72×10 ⁻²	-1.32
	東部	0.000		乗車料金			-3.15×10 ⁻³	-2.18	
	目的	自由目的	-0.539	-2.54		自動車	乗車時間	-1.58×10 ⁻²	-3.87
		自由以外	0.000				運行間隔	-2.37×10 ⁻²	-3.31
	目的地	中心部	-0.290	-2.22			徒歩時間	-8.22×10 ⁻²	-4.97
		豊橋市外	-0.006	-0.05			乗車料金	-5.72×10 ⁻³	-14.9
		中心部外	0.000			徒歩二輪	乗車時間	-2.51×10 ⁻³	-0.36
			運行間隔	-4.42×10 ⁻²	-3.82				
			徒歩時間	-4.81×10 ⁻²	-1.67				
			乗車料金	-5.37×10 ⁻³	-7.21				

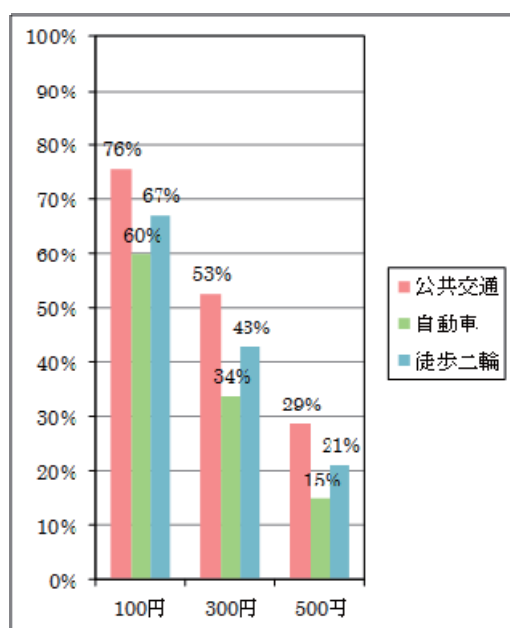


図 2-4-2 乗車料金別の電気バス利用率