

コミュニティバスの導入・運行継続基準のあり方に関する実証分析

尾山 賢太¹・溝上 章志²・円山 琢也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: 165d8811@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正会員 熊本大学准教授 大学院自然科学研究科 (〒860-8555 熊本市黒髪2-39-1)
E-mail: takumaru@gpo.kumamoto-u.ac.jp

公共交通の移動利便性向上を支援するために、ゆうゆうバスというコミュニティバスが熊本市に導入されている。ゆうゆうバスは、需要が少ない駅・停留所から500m~1000m離れた公共交通不便地域で運行されているため収支率が低く、運行を続けるのが困難である。したがって、収支率30%の運行継続基準が定められており、沿線住民がこの運行継続基準を達成できないとゆうゆうバスが廃止されることが事前に決められている。

本研究では、ICFの構成因子を考慮した外出頻度モデルと社会的相互作用を考慮した手段選択モデルを構築し、これらのモデルを用いてコミュニティバスの需要を予測し、収支率を計算する。さらに、運行継続基準を達成するためのサービス水準と沿道条件の関係を分析する。

Key Words : service continuation standard, social interaction, roadside condition

1. はじめに

モータリゼーションの進展や人口減少により、全国的に公共交通の利用者数は減ってきている。熊本市においても例外でなく、特に路線バスの利用者数は著しく減少している(図-1参照)。バス利用者の減少によるバス事業者の経営の悪化は、路線の廃止や運行頻度の削減などのバスの利便性の低下を招き、それによってバス利用

者がさらに減少するという悪循環が生じている。一方で、高齢社会が進展する中で、自動車の運転が困難な人のための生活交通を支える、安全で快適な移動手段を確保することが必須となっている。また、自動車から公共交通機関への転換ができるよう、公共交通サービス水準の維持・改善が求められている。

熊本市では、公共交通のあるべき機能や役割を明確に

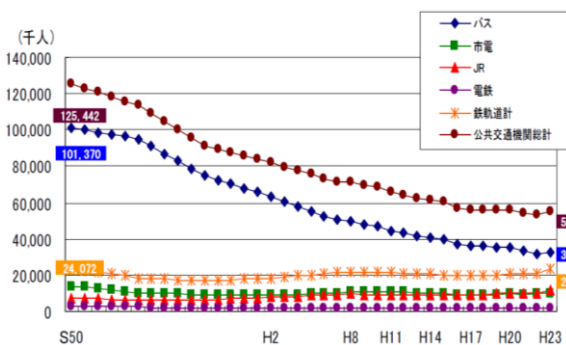


図-1 熊本市の公共交通利用者数の推移

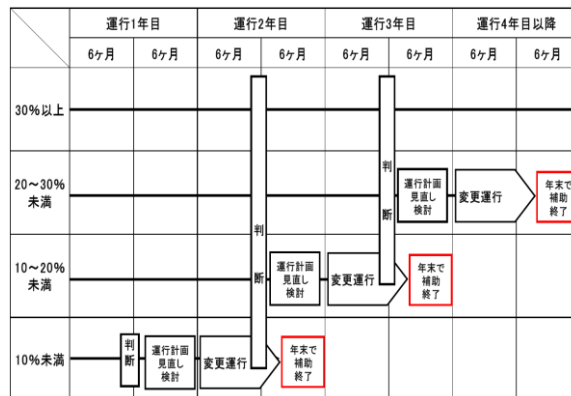


図-2 ゆうゆうバスの運行継続基準



図-3 ゆうゆうバス運行地域
出典：第三回コミュニティ交通部会，2012年

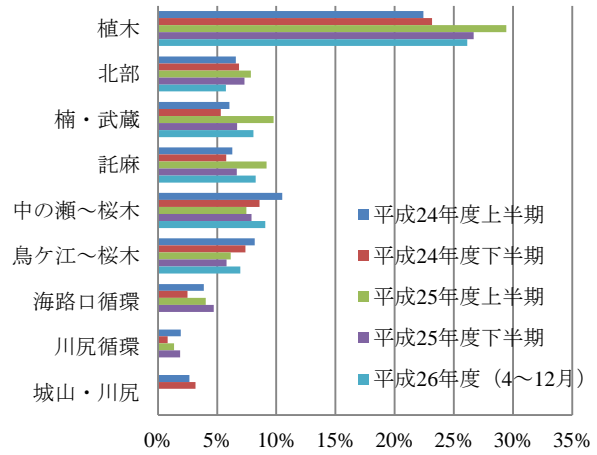


図-4 各ルート収支率

表-1 平成26年度から平成27年度にかけての変更概要

路線ルート名	H26年度			変更内容	H27年度		
	運行便数(便)	運行距離(km)	運行日		運行便数(便)	運行距離(km)	運行日
植木循環ルート	右回り：7	108	平日	<ul style="list-style-type: none"> ・1便増便 ・運行ダイヤの見直し ・停留所の増設 	右回り：8	108	平日
北部循環ルート	左回り：4.5 右回り：4	195	月水金	<ul style="list-style-type: none"> ・効果的な代替路線の検討 ・廃止に伴い発生する、公共交通空白地域へ乗り合いタクシーの検討 	運行中止	運行中止	運行中止
麻生田・弓削循環ルート	(火木) 左回り：4 右回り：4 (土祝) 左回り：3 右回り：4	184	火木土				
託麻循環ルート	左回り：4 右回り：4	13.6	月水金				
中の瀬～桜木ルート	上り：3 下り：3	12.4	平日				
鳥ヶ江～桜木ルート	上り：3 下り：3	9.3	平日				

しながら利便性の高い公共交通サービスを提供するために、平成21年に熊本市地域公共交通連携計画を策定し、バス路線網の再編や利用促進策を実施している。バス路線網の再編の際に、採算性や効率性の問題から事業者が主体となって路線バス提供できない地域に対しては、コミュニティ交通が導入された。これらの地域は、既存の駅・停留所から500m～1,000m離れた地域を公共交通不便地域、1,000m以上離れた地域を公共交通空白地域と区分され、前者にはコミュニティバスが、後者には乗合タクシーが導入されている。本研究で対象とするのは、熊本市の公共交通不便地域を運行する「ゆうゆうバス」というコミュニティバスである。ゆうゆうバスは、熊本市の政令指定都市移行に伴って新たに設置された区役所等へのアクセスや買い物や通院などの生活交通での利用など、

地域での公共交通の移動利便性向上を支援するためのコミュニティバスである。また、利用する高齢者の外出促進や外出によって身体を動かす健康増進、地域とのつながりなどへの寄与が期待されている。しかし、ゆうゆうバスは需要の少ない地域を運行しているため、収支率が低い。そのため、運行費用の一部を市が補助しているが、効率性を考えると無制限に補助を行うことはできない。そこで、図-2に示すように、収支率が一定の値を満たすことができなかつた場合は、その路線の運行計画の見直し、廃止を行うという運行継続基準が設定されている。事前にゆうゆうバスの沿線住民に提示されており、運行継続のための利用協力を沿線住民に求めている。そうすることで、沿線住民間の同調行動が働き、収支率の向上が期待されている。

表-2 ゆうゆうバス沿線住民アンケート設問概要

設問	内容
ゆうゆうバス利用状況	ゆうゆうバス利用経験の有無
ゆうゆうバス利用満足度	自宅からバス停までの距離, 運行ルート, 運行間隔・運行本数, 運行時間帯, 目的地までの所要時間, 定時性, バス停までの待ち環境, 他の交通との乗り継ぎ, 全体的な満足度
移動目的別移動手段	頻度, 交通手段, 目的地・施設名, 乗車バス停, 降車バス停
	頻度, 交通手段, 目的地・施設名, 乗車バス停, 降車バス停 (ゆうゆうバス運行以前)
ゆうゆうバスを利用しない理由	他の交通手段が便利, バス停が遠い, バス停から目的施設が遠い, 運行ルートが合わない, 運行時間帯が合わない, 目的地まで時間がかかる, 運賃が高い, 運行ルートが不明瞭, ゆうゆうバスの不認知
協力意向 (植木以外)	運行継続基準の認知, 運行見直しの認知, 協力意向
個人属性	住所, 性別, 年齢, 自動車免許の保有, 最寄りのバス停

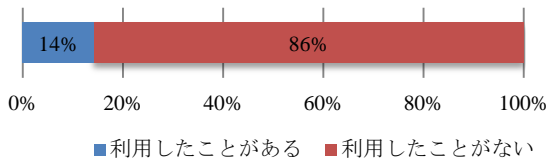


図-5 ゆうゆうバス利用経験

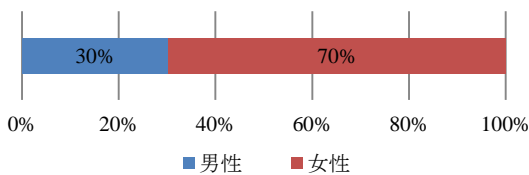


図-6 利用経験者の男女比

本研究では、ゆうゆうバス沿線住民間の相互作用を考慮した手段選択モデルと沿線住民の外出頻度モデルを構築し、ゆうゆうバスの利用需要の予測を行う。さらに、利用需要の変化から収支率の変化を考察し、適切な運行継続基準を見出すことが本研究の目的である。

2. ゆうゆうバスの経緯とアンケート調査

(1) ゆうゆうバスの経緯

平成24年4月の熊本市の政令指定都市移行に伴い、図-3に示す公共交通不便地域を6路線9系統でゆうゆうバ

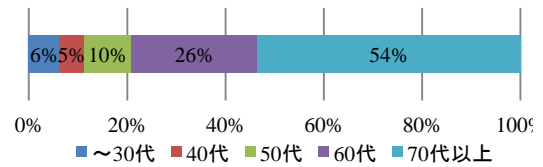


図-7 利用経験者の年齢階層

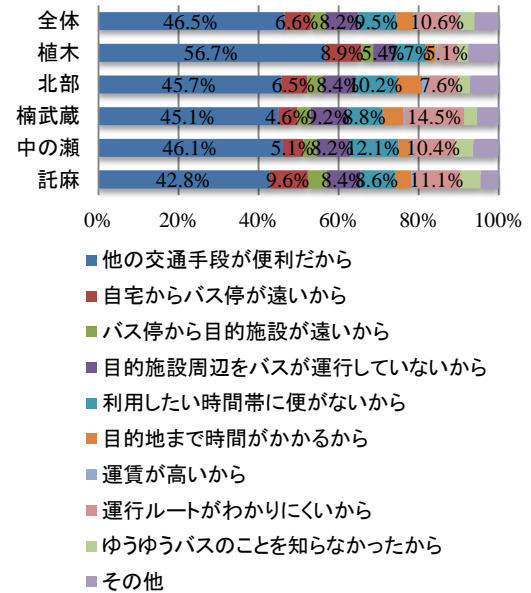


図-8 利用しない理由

スの運行が開始された。運行開始時から平成26年12月までのゆうゆうバスの収支率を図-4に示す。植木循環ルートは運行開始時から収支率20%以上を確保しており、運行継続可能な30%以上の収支率を達成すると見込まれる。しかし、他の運行ルートはいずれも収支率が低迷していた。特に、海路口循環、川尻循環、城山・川尻ルートに関しては収支率が5%以下と低く、運行計画の見直しが行われたものの、平成26年度には路線が廃止された。北部、楠・武蔵、託麻、桜木の4路線5ルートは10%近くの収支率を確保しているが、それ以上の収支率を達成することが見込めないことから、平成27年度には路線が廃止された。植木ルートは引き続き運行の継続が決定し、朝の時間帯に1便増加と、通勤・通学で利用できるように運行サービスが改善された。(表-1参照)

(2) ゆうゆうバスに関するアンケート調査

平成25年度に、当時運行が継続されていた植木循環ルート、北部ルート、楠・武蔵循環ルート、中の瀬・江津～桜木/鳥ヶ江～桜木ルート、託麻循環ルートの沿線住民を対象に、「ゆうゆうバス沿線住民アンケート調査」を実施した。この調査はゆうゆうバスの運行を継続するための方策や見直し後のサービス水準の参考にすることを目的としている。設問の概要を表-2に示す。このアン

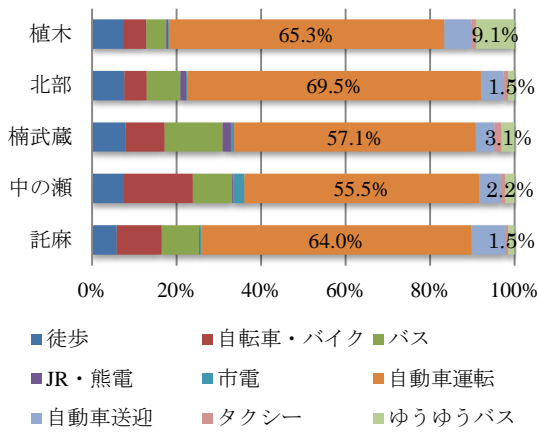


図-9 ルート別通常の移動手段

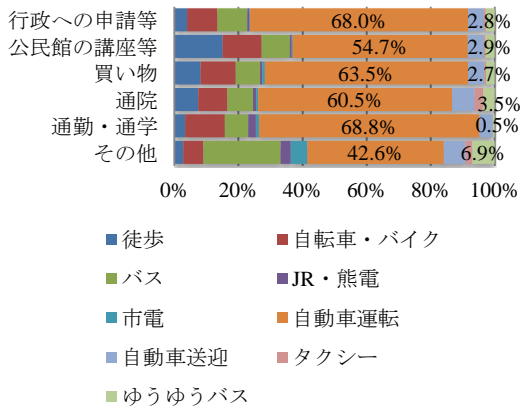


図-10 活動目的別通常の移動手段

ケート調査では、収支率30%の目標を達成する可能性が低い植木ルートを除く路線で、ルートの維持継続に対する協力意向を問う設問も設けられている。これは、現状の収支率と目標の収支率の間に、目標に近い収支率と遠い収支率の2つを仮定し、目標までの近さによって運行継続のための協力の度合いが異なるか否かを知るためのSP質問となっている。ルート沿道の世帯に合計12,032枚を配布し、6,416枚が回収された。

図-5にゆうゆうバスの利用経験を示す。利用した経験がある人は14%と低く、利用した経験がない人が多数であることがわかる。利用経験者の男女比を図-6に、年代別の利用経験割合を図-7に示す。利用者の70%は女性である。また、80%が60歳以上の高齢者である。ゆうゆうバスを利用しない理由を図-8に示す。いずれのルートでも「他の交通手段が便利だから」という回答が最も多く挙げられている。他には、「利用したい時間帯に便がないから」や「運行ルートがわかりにくいから」などの理由も多い。また、少数ではあるが「ゆうゆうバスのことを知らなかったから」という人もいた。

ルート別の通常移動手段を図-9に示す。いずれのルートでも自動車運転の割合が5割以上となっている。収支率が高い植木ルートでのゆうゆうバスの使用率は他の路

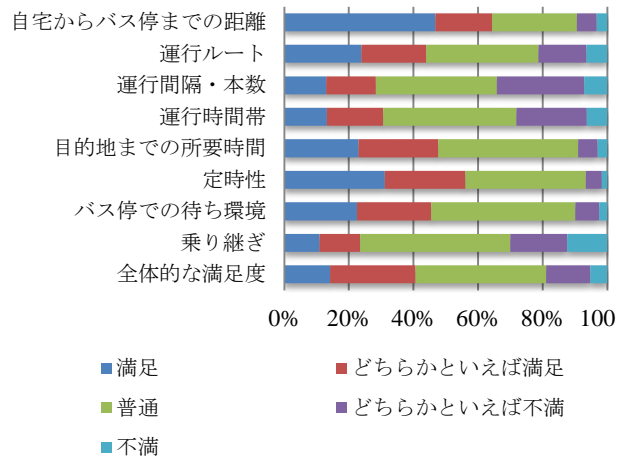


図-11 ゆうゆうバスのサービス要因別満足度

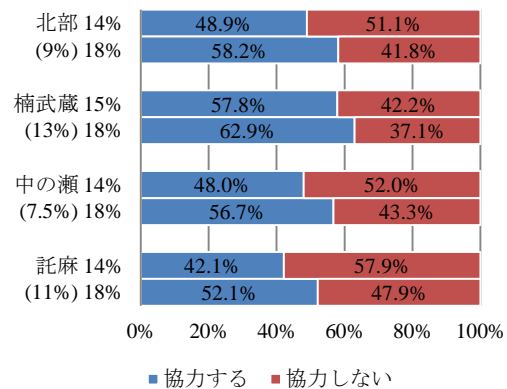


図-12 ゆうゆうバスの運行継続への協力意向

線に比べ高くなっている。活動目的別の通常移動手段を図-10に示す。いずれの活動目的に対しても、自動車運転の割合が最も多い。

ゆうゆうバス利用経験者を対象にしたゆうゆうバスのサービス要因別満足度を図-11に示す。全体を通して、「どちらかといえば不満」と「不満」は多くても35%程度であり、少ない。「自宅からバス停までの距離」に関しては満足と回答している割合が高い。図-12にゆうゆうバスの運行継続への協力意向を示す。この棒グラフの上段は、SP質問で与えた仮定の収支率が目標の収支率と比較して大きい場合、下段はもう少し頑張れば目標を達成できるような仮定の収支率を与えた場合の協力意向の比率を示している。現在の収支率が9%の北部ルートを例にすると、目標の収支率が20%のとき、14%の収支率になったと仮定したら協力するかに対する意向が上段、18%の収支率になったと仮定したら協力するかに対する意向が下段である。全てのルートで、SP質問で与えた仮定の収支率の値と目標の収支率の差が大きい場合よりも小さい場合の方が協力する割合が大きい。このことから、現在の収支率が目標の収支率に近いほど、運行継続に協力をする人が多くなることがわかる。

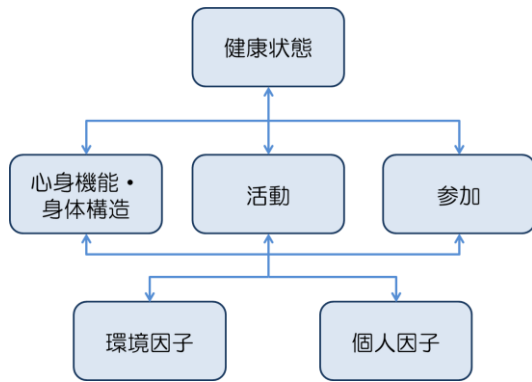


図-13 ICF構成概念

3. ゆうゆうバスの利用需要予測手法

ゆうゆうバスの運行継続のための指標である収支率は、総収入/運行総費用で計算される。総収入を算出するためには、ゆうゆうバスの利用需要を予測する必要がある。本研究では利用需要（回/週）を個人の外出頻度（トリップ/人・週）×個人のゆうゆうバス選択確率×属性別母集団人口（人）より予測する。そのため、個人の外出頻度を予測する外出頻度モデルと外出の際のゆうゆうバスの利用率を予測する手段選択モデルを推定する。

(1) 外出頻度モデル

外出頻度は個人の生活の質（QoL）が向上することで増えていくと考えられる。QoLの評価手法として、ICFという概念があり、このICFの構成因子である個人の健康状態や体力状態、個人の特性、個人を取り巻く環境などを外出頻度を推定する構造方程式モデルに組み込むことで、外出頻度モデルを構築する。ICFとは障がいだけでなく人の生活機能の分類であり、国際生活機能分類と呼ばれる。ICFでは「心身機能・身体構造」、「活動」、「参加」、「環境因子」、「個人因子」の相互作用を考慮して、これらの因子で健康状態があると見なす。ここで、心身機能とは身体系の生理的機能のこと、身体構造とは器官・肢体とその構成部分などの解剖学的部分、活動とは課題や行為の個人による遂行、参加とは生活・人生場面への関わりと定義されている。ICFの構成概念については図-13に示す。

本研究では、心身機能・身体構造は活動・参加に影響し、活動・参加は外出頻度に影響すると考え、心身機能・身体構造、活動・参加、環境因子、個人因子が外出頻度とつながる構造を、共分散構造分析を用いてモデル化する。

(2) 手段選択モデル

a) 社会的相互作用

一般的な交通行動における非集計行動モデルでは、意思決定に直面した個人は周囲に影響されないと仮定しているため、周囲の行動が個人に及ぼす影響は考慮されていない。しかし、ゆうゆうバスを選択する際には、運行を継続するために利用に協力しようとする沿線住民の行動がその中の各個人の選択にも影響すると考えられる。このような関係を社会的相互作用という。社会的相互作用とは、「個人の享受する効用や利得が自身の帰属する準拠集団内の他者の行動に依存して決定されている状況」と定義されており、準拠集団とは、人の価値観、信念、態度、行動などに強い影響を与える集団である。

社会的相互作用を計量的に分析する代表的アプローチには、相互作用が及ぶ相手を少人数に特定したローカルインタラクションモデルと、個人が属する準拠集団の全構成員から平均的に影響を受けると仮定するグローバルインタラクションモデルに大別される。今回のように、各路線の収支率の大小によって路線の継続か廃止が決定される場合、沿線住民は収支率に影響を与える現在の利用率に影響を受けてゆうゆうバスの選択を行うものと考えられることから、本研究では、準拠集団から受ける社会的相互作用を分析するグローバルインタラクションモデルを適用する。

b) 定式化

ここでは、福田¹⁾に従い、Brock & Durlauf (2001a)¹³⁾によって開発された手段選択モデルを紹介する。

ω_i を代替案1を選択した場合に+1、代替案2を選択した場合に-1の値をとる行動主体 i の選択結果を示す二項変数ものとする。また、以下のような三つの項からなる線型加算型の関数を用いて、各行動主体の効用を特定化する。

$$V(\omega_i) = u(\omega_i) + S(\omega_i, m_i) + \varepsilon(\omega_i) \quad (1)$$

ここで、 $u(\omega_i)$ は個人 i の私的動機のみ依存する確定効用項、 $S(\omega_i, m_i)$ は構成員全体の選択結果に基づく効用項（社会的相互作用項）、 $\varepsilon(\omega_i)$ はランダム項である。ランダム項は、全ての構成員において、独立かつ同一のガンベル分布に従うと仮定する。また、 m_i は、個人 i が自分以外の他者の選択行動の集計結果に対して与える確率測度であり、次式のように与えられる。

$$m_i = \frac{1}{I-1} \sum_{j \neq i} m_{i,j} \quad (2)$$

ここで、 $m_{i,j}$ は、個人 i が個人 j の選択に対して抱く期待値（確率）、 I は準拠集団の構成員の総数である。また、社会的相互作用項を規定する変数は、主体 i が他主体の行動の平均的な結果に対して抱く主観的期待を表している。なお、二項変数 ω_i が-1、+1という2値をとることに対応して、 m_i の定義域を-1以上+1以下とする。すなわち、代替案1を選択する構成員のシェアに対する

主観的期待を P_i とすれば, $m_i = 2P_i - 1$ と表すことができる. ここで, $S(\omega_i, m_i)$ を以下のように特定化する.

$$S(\omega_i, m_i) = J\omega_i m_i$$

c) 個人の選択確率

意思決定の時点において, 各主体は自身のランダム項の値は認識しているものとし, 他者の平均的な選択結果に対する主観的期待を与件として意思決定を行うものとする. また, 個人間で各自の意思決定に関するコミュニケーションを行うことは無いと仮定する. すると, 主体 i が行動 ω_i を選択する確率は, θ をランダム項のスケールパラメータとして, 以下の二項ロジットモデルで表される.

$$P(\omega_i) = \frac{\exp[\theta(u(\omega_i) + J\omega_i m_i)]}{\sum_{v_i \in \{+1, -1\}} \exp[\theta(u(v_i) + Jv_i m_i)]} \quad (4)$$

d) 集合行動の均衡方程式

ここで, $h + k = u(+1)$ 及び $-h + k = u(-1)$ を満たすように変数 h , k を与える. $h = \frac{u(+1) - u(-1)}{2}$ とし, 主体 i に対して ω_i の期待値を求めると, 次式のようになる. ただし, 他の行動主体の行動結果に対して各行動主体が考える選択結果は与件とする.

$$E[\omega_i] = 1 \cdot \frac{\exp[\theta(h + Jm_i)]}{\exp[\theta(h + Jm_i)] + \exp[-\theta(h + Jm_i)]} - 1 \cdot \frac{\exp[-\theta(h + Jm_i)]}{\exp[\theta(h + Jm_i)] + \exp[-\theta(h + Jm_i)]} \quad (5)$$

このとき, $\tanh(x) = \frac{\exp(x) - \exp(-x)}{\exp(x) + \exp(-x)}$ より上式を整理すると以下のようになる.

$$E[\omega_i] = \tanh[\theta(h + Jm_i)] \quad (6)$$

式 (6) が全ての i に対して成立するのは, この期待値が対象とする集団の平均的な選択行動に一致する場合であるため, 以下の均衡方程式が導出される.

$$m = \tanh[\theta h + \theta Jm] \quad (7)$$

ここで, m は社会的均衡状態において, 準拠集団の中で選択肢1を選択する主体の比率を p としたときに, $m = 2p - 1$ で表される変数である.

e) 私的効用関数の特定化

二項選択に関する私的動機が個人で異なる状況を考慮するために, 効用関数の確定項 $u(\omega_i)$ が個人を規定する社会経済属性によって異なることを考える. すなわち, h_i を以下のように特定化する.

$$h_i = b + cX_i + dY_{n(i)} \quad (8)$$

ここで, b : 定数項, X_i : 個人に固有の説明変数ベクトル, $Y_{n(i)}$: 個人 i が所属する準拠集団 $n(i)$ に固有の説明変数ベクトル, c , d : 未知パラメータである.

このとき, スケールパラメータ θ を1に基準化すると, 個人 i の二項選択モデル, 及び個人 i の帰属する準拠集団 $n(i)$ の均衡方程式は, それぞれ以下のようになる.

$$P(\omega_i) = \frac{\exp[\omega_i (b + cX_i + dY_{n(i)} + Jm_{n(i)})]}{\sum_{v_i \in \{+1, -1\}} \exp[v_i (b + cX_i + dY_{n(i)} + Jm_{n(i)})]} \quad (9)$$

$$m_{n(i)} = \int \tanh(b + cX_i + dY_{n(i)} + Jm_{n(i)}) dF_{X_i, Y_{n(i)}} \quad (10)$$

ここで, $F_{X_i, Y_{n(i)}}$ は, 準拠集団 n における X_i の経験分布関数である. 式 (9), 式 (10) には, モデルの内生変数である選択結果のシェア変数 $m_{n(i)}$ が組み込まれているため, 本来はこの2つの式を同時に満たす未知パラメータを推定する必要がある. このような状況で未知パラメータを推定するための簡便な方法として, Naïve 推定量の考えに基づく推定法が提案されている. 方法は, $m_{n(i)}$ の代理変数として外生変数 $\bar{m}_{n(i)}$ を代わりに用い, この $\bar{m}_{n(i)}$ とその他の説明変数を用いて通常の2項ロジットと同様に最尤推定法を行う. 次に, 推定されたパラメータ $(\hat{b}, \hat{c}, \hat{d}, \hat{j})$ と他の説明変数を用いて, 以下の均衡方程式の近似式を m_n に関して解き, 均衡解 \hat{m}_n を準拠集団 n 毎に求める.

$$m_n = \int \tanh(\hat{b} + \hat{c}X_i + \hat{d}Y_n + \hat{j}m_n) dF_{X_i, Y_n} \cong \frac{1}{N_n} \sum_{i \in n} \tanh(\hat{b} + \hat{c}X_i + \hat{d}Y_n + \hat{j}m_n) \quad \forall n \quad (11)$$

ここで, N_n は, 準拠集団 $n(i) = n$ に属しているサンプルの総数である.

4. モデルの推定

収支率の算出のためには, ゆうゆうバスの総利用数の予測が必要である. 本研究では, ルート別ゆうゆうバスの主要な利用者である65歳以上の高齢者の利用需要 (回/週) についてを, 外出頻度 (トリップ/人・週) \times 属性別のゆうゆうバス選択確率の平均値 \times 属性別 (前期高齢者, 後期高齢者, 男女別) 母集団人口 (人) で算出する. 一方, 非高齢者の利用需要は「ゆうゆうバス沿線住民アンケート」から得られる高齢者の利用回数と非高齢者の利用回数との比で算出し, 総利用需要を求める. したがって, 65歳以上高齢者の外出頻度とゆうゆうバス選択確率を予測するモデルが必要となる.

(1) 外出頻度モデル

外出頻度モデルを推定する際に使用したデータは, 平成24年度に行われた熊本都市圏パーソントリップ調査付帯調査の「60歳以上の方の外出に関する意識調査」であ

表-3 60歳以上の方の外出に関する意識調査の設問概要

設問	内容
外出時の問題点	歩道の状況, 休憩所の少なさ, 歩行時の交通事故への不安, トイレの少なさ・使いにくさ, 公共交通機関の乗降時の段差等, 駅や停留所までの距離, 公共交通機関の運行本数, 自動車運行時の事故の不安
外出状況	移動目的 12 項目別の外出頻度, 交通手段, 所要時間, 満足度
外出支援の影響	公共交通機関の運賃の安さ, タクシーの運賃の安さ, 小型バス・タクシー等のサービス, 電動カート等のサービス
外出を増やしたい場所	外出を増やしたい場所, 外出できない理由
個人属性	性別, 年齢, 健康状態, 体力状態, 住まいの形態, 停留所までの時間, 外出頻度 (現在・5年前), 親交のある親戚・友人, 自動車運転の状況, 免許の有無, 自動車での送迎

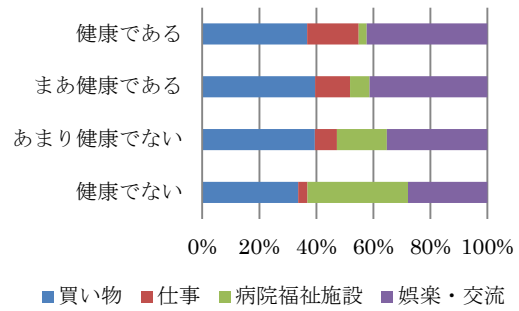


図-14 健康状態別活動目的

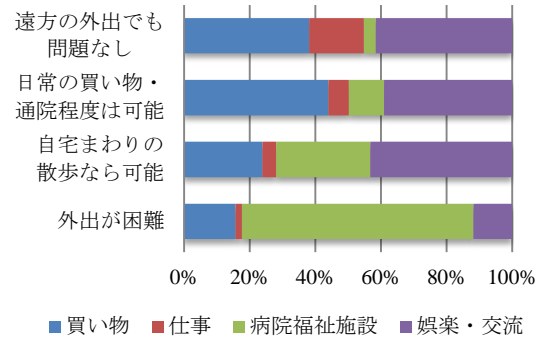


図-15 体力状態別活動目的

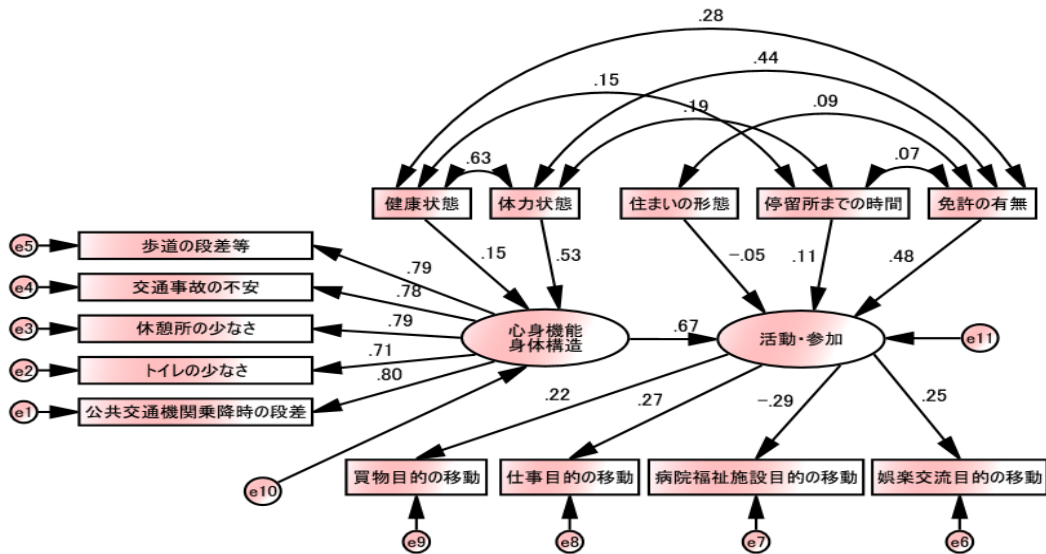


図-16 外出頻度モデル推定結果

る。この調査は、将来の交通計画やまちづくりを検討するための基礎資料を得ることを目的としている。設問の概要を表-3に示す。外出頻度が12項目別（散歩・ジョギング等，食料品・日用品等の日常的な買い物，日用品以外の買い物，外食，娯楽，仕事，親戚知人宅への訪問，通院，デイサービス等の福祉介護施設利用，観光・行楽，趣味・習い事，会合・地域活動・ボランティア）に細かく分類されているのを，ここでは「買い物」，「仕事」，「病院福祉施設」，「娯楽交流」の4つに類型化した。類型化した移動目的比率を健康状態，および体力状態の

水準別に示したのが図-14，図-15である。健康状態，体力状態とも水準が悪くなるほど，病院福祉施設目的の移動比率が多くなり，その他の目的の移動比率は低下することがわかる。

付帯調査の設問から，「健康状態」，「体力状態」，「住まいの形態」，「停留所までの時間」，「免許の有無」，「外出頻度」を観測変数として用い，ICFの構成因子である「心身機能・身体構造」，「活動・参加」を潜在変数とし，「心身機能・身体構造」から「活動・参加」と高次になっていく生活の質が移動目的別の「外出

表-4 外出頻度推定結果

説明変数	被説明変数	係数	切片
健康状態	心身機能 身体構造	0.11	
体力状態	心身機能 身体構造	0.35	
心身機能 身体構造	活動参加	0.67	
住まいの形態	活動参加	-0.09	
停留所までの時間	活動参加	0.06	
免許の有無	活動参加	0.56	
活動参加	買い物	1.00	1.00
活動参加	仕事	0.96	-0.56
活動参加	病院福祉施設	-0.46	1.16
活動参加	娯楽交流	1.53	0.77

表-5 一人あたり一週間の外出頻度

路線ルート名	植木	北部	楠武蔵	中の瀬	託麻
外出頻度 (回/週)	6.94	6.99	7.31	6.99	7.12

表-6 手段選択モデルサンプル

	植木	北部	楠武蔵	中の瀬	託麻
サンプル数	117	97	217	72	75
バス利用率 (%)	35.9	11.3	13.4	16.7	9.3

表-7 手段選択モデル推定結果

説明変数	推定値	t 値
定数項	-6.64	-6.98
年齢	0.096	7.67
性別 (男性のとき 1)	-0.79	-5.43
バス料金 (円)	-0.0043	-6.28
自動車時間 (分)	0.093	3.76
社会的相互作用	0.604	1.81
尤度比	0.53	
的中率	0.86	

頻度」に繋がるという構造モデルを仮定し、共分散構造分析によりその妥当性を事後的に検証する。バス図と標準化推定値の推定結果を図-16に示す。適合度指標は GFI=0.926, AGFI=0.888, CFI=0.881である。心身機能・身体構造への係数では体力状態が0.53と大きく、強い影響を与えている。活動・参加への係数では、心身機能・身体構造が0.67、免許の有無が0.48と高い。住まいの形態は、同居人がいる場合を1、一人暮らしの場合を0としたダミー変数であるが、同居人がいる場合は活動・参加に負の影響を与えていることがわかる。これは、同居人がいる場合には買い物目的などの生活移動が減少するため、合理的と考えられる。

活動・参加から移動目的別の頻度については、病院福

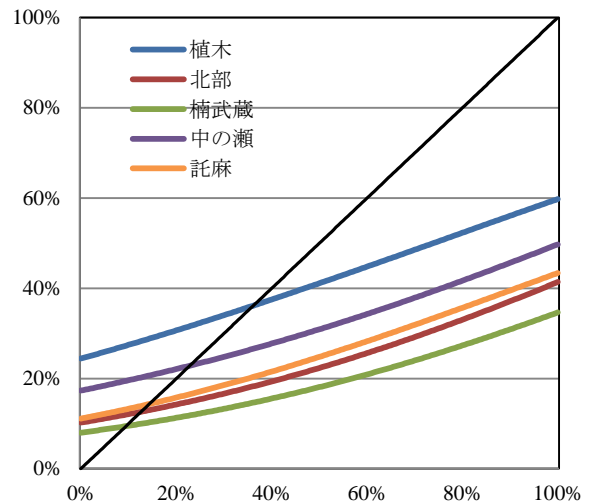


図-17 全ルート反応曲線

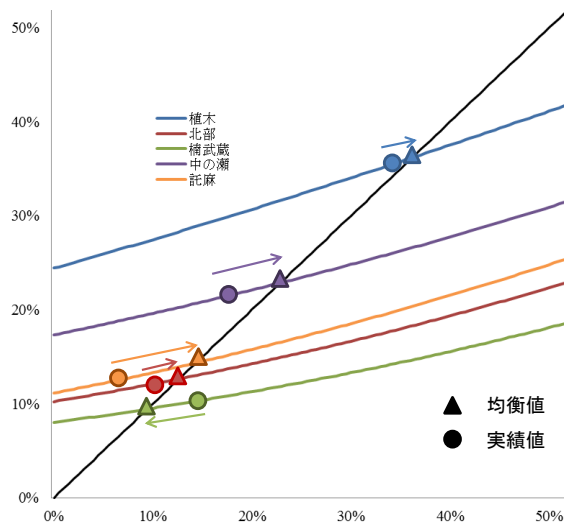


図-18 均衡点への推移

社施設への係数だけが負値となっている。これは、健康状態や体力状態が良い人ほど病院や福祉施設の移動が少ないことから、合理的と考えられる。

線形回帰によって外出頻度を算出する。その際に用いる共分散構造分析により推定された係数と切片の推定結果を表-4に示す。各ルート毎の65歳以上高齢者一人あたり一週間の外出頻度を表-5に示す。

(2) 社会的相互作用を考慮した手段選択モデル

手段選択モデルを推定する際に使用したデータは、前述した「ゆうゆうバス沿線住民アンケート調査」である。65歳以上の高齢者を対象とし、ゆうゆうバスとその代替手段を自動車として二項ロジットの手段選択モデルを推定した。モデル推定に用いたルート毎の有効サンプル数と有効サンプル中の準拠集団毎のバス利用率を表-6に、モデルの推定結果を表-7に示す。すべての説明変数に対するパラメータの推定値の符号は論理的であり、t値は良好で統計的に有意である。また、尤度比は0.53、的中

率は0.86と高く、適合度の高いモデルといえる。社会的相互作用の値は統計的に有意であり、正值をとっている。このことから、準拠集団のゆうゆうバス利用率が高くなるほど、選択確率が高くなるという社会的相互作用が働いていることがわかる。

(3) 均衡方程式によるゆうゆうバス利用率の均衡解

推定したモデルのパラメータを用いて、式 (11) より均衡値を算出する。全ルートへの反応曲線を図-17に、現在の利用率から均衡点への推移を図-18に示す。ここで、グラフの横軸は準拠集団の利用率、縦軸は平均選択確率で、準拠集団の利用率と平均選択確率が一致するときの値が均衡値である。有効サンプル中のゆうゆうバス利用率と均衡値を表-8に示す。植木ルートと北部ルートは利用率が今後いく分、増加する。中の瀬ルートと託麻ルートは5~6%ほど増加することが予測される。一方、楠武蔵ルートは4%ほど減少することが予測される。植木ルートはほとんど変化がなく、現在の利用率は均衡値にほぼ達していると考えられる。

表-8 ゆうゆうバス利用率

	植木	北部	楠武蔵	中の瀬	託麻
バス利用率 (%)	35.9	11.3	13.4	16.7	9.3
均衡値 (%)	36.2	12.7	9.4	22.8	14.3

表-9 収支率

	植木	北部	楠武蔵	中の瀬	託麻
収入 (円)	34,374	13,599	14,359	29,605	9,816
支出 (円)	114,581	151,096	110,457	394,737	89,241
実績収支率 (%)	30.0	9.0	13.0	7.5	11.0
均衡収支率 (%)	30.1	9.2	12.3	8.0	11.9

5. 運行継続のための基準収支率

(1) 現状収支率の再現

個人ごとのゆうゆうバスの選択確率を求める際の重要な説明変数であるゆうゆうバスの利用率は「ゆうゆうバス沿線住民アンケート調査」のサンプルから得られた値である。通常、調査への回答者にはゆうゆうバスの利用者が多いことから、サンプル内でのゆうゆうバス利用率は実際の利用率と比べると高くなっていると思われる。また、ゆうゆうバスの運行継続を判定する指標は総収入と総費用の比である収支率であり、ゆうゆうバスの利用者数を知る必要がある。そこで、サンプル内での属性別個人のゆうゆうバス選択確率の平均値を用いて算出する利用者数を実際の利用者数と一致させるための補正率を算出する。この補正率は、以後の収支率の算出に用いる。総費用は、ゆうゆうバス1台が1km運行する際にかかる運行単価 (円/台・km) にルート毎の実際の一週間での運行頻度と運行距離 (km) を乗じた値を用いる。

実績の収支率と均衡時での収支率を表-9に示す。ゆうゆうバス利用率の均衡点への推移と同様に、植木ルート、北部ルート、中の瀬ルート、託麻ルートは収支率が上がることが予測されるが、楠武蔵ルートは収支率が下がることが予測される。利用率の変化と比べると、収支率の変化は小さいことがわかる。

今後は、均衡点での属性別個人の選択確率の平均値、収支率を比較の対象とする。

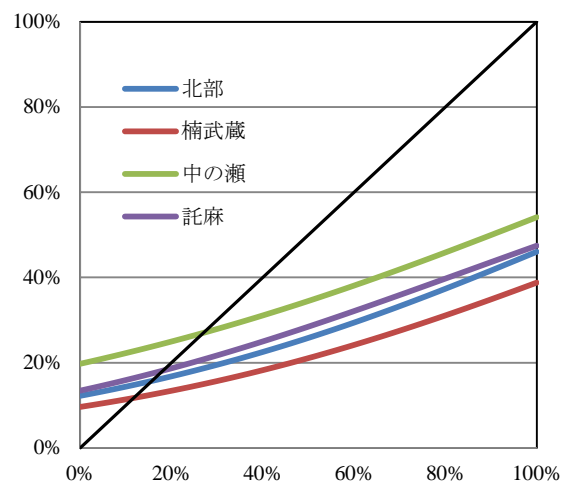


図-19 30円値下げ時の反応曲線

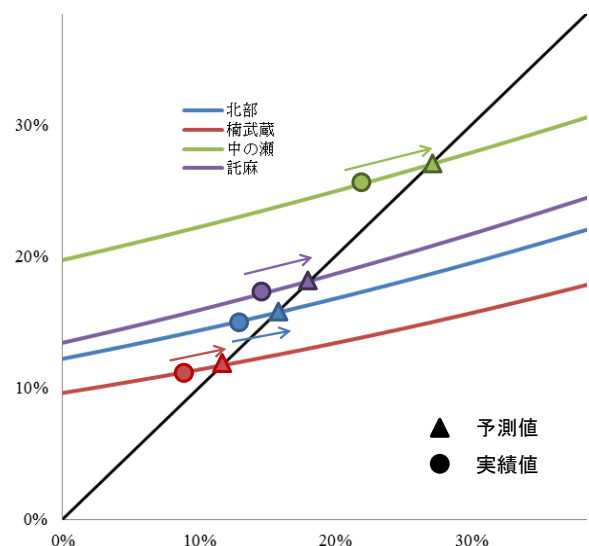


図-20 30円値下げ時の推移

(2) バス料金に対する収支率の感度

ここでは、運行継続基準である収支率30%の目標を達成する可能性が低い北部ルート、楠武蔵ルート、中の瀬ルート、託麻ルートを対象に、バス料金に対する収支率

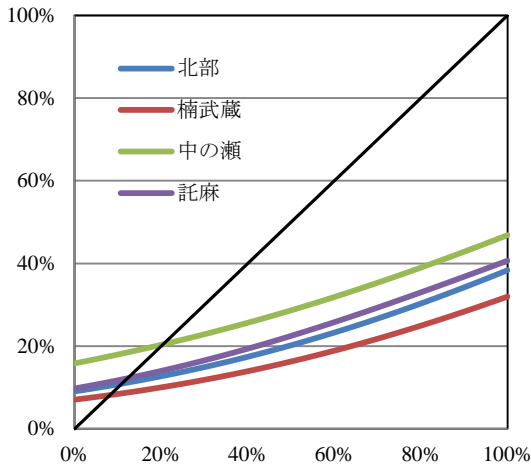


図-21 20円値上げ時の反応曲線

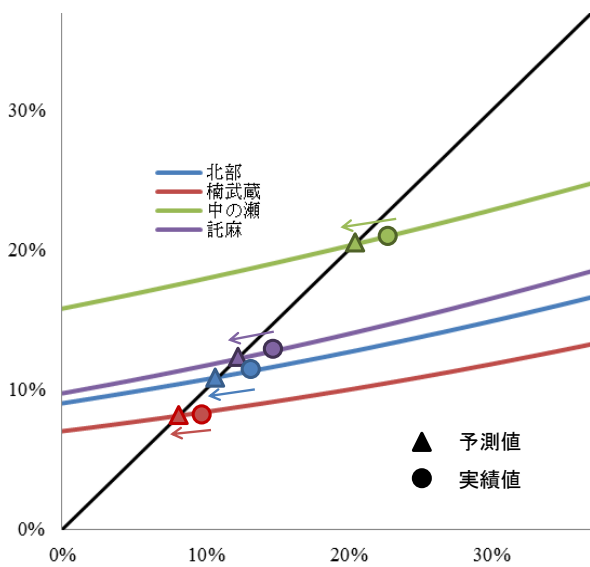


図-22 20円値上げ時の推移

表-10 料金変更時の収支率

	北部	楠武蔵	中の瀬	託麻
均衡収支率 (%)	9.2	12.3	8.0	11.9
30円値下げ収支率 (%)	8.3	11.2	7.0	11.2
20円値上げ収支率 (%)	9.4	12.8	8.4	11.9

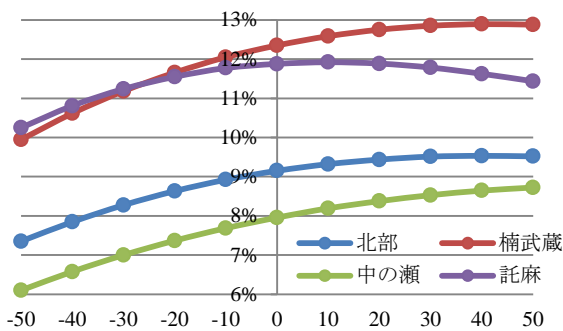


図-23 料金変更時の収支率推移

の感度分析を行った。ゆうゆうバスの料金制度は対キロ運賃で、初乗り料金は130円である。この初乗り料金を変化させた時の個人の選択確率から均衡解を求め、収支率を算出する。

運賃を30円値下げした場合の全てのルートへの反応曲線を図-19に、均衡解の推移を図-20に示す。均衡点は北部ルートが15.7%、楠武蔵ルートが11.7%、中の瀬ルートが27.1%、託麻ルートが18.2%となり、中の瀬ルートと託麻ルートの均衡解がかなり大きく上がっている。次に初乗り料金を20円値上げした場合の全てのルートへの反応曲線を図-21に、均衡解の推移を図-22に示す。均衡点は北部ルートが10.9%、楠武蔵ルートが8.2%、中の瀬ルートが20.4%、託麻ルートが12.2%となり、全てのルートで均衡解は大きく低下する。

これら両方の初乗り料金に対する収支率を表-10に示す。初乗り料金を値下げした場合、全てのルートで収支率は低下する。これは、個人の選択確率は上がって総利用者数は増加するが、一人あたり30円の減収によって運賃収入がそれ以上に減るためである。初乗り料金を値上げした場合、植木ルート、北部ルート、楠武蔵ルート、中の瀬ルートで収支率が改善する。託麻ルートでは差がない。これは、個人の選択確率が下がって総利用者数が減少しても、20円の料金増によって運賃収入が上がるためである。

初乗り料金を10円から10円ずつ50円まで値下げ、および値上げした場合の収支率の変化を図-23に示す。全てのルートで、値下げする額が大きくなるほど収支率が低くなることを確認できる。中の瀬ルートでは50円の値上げまでは収支率は改善することがわかる。北部ルートと楠武蔵ルートでは40円、託麻ルートでは10円の値上げをピークに収支率が減少している。しかし、いずれのルートでも収支率を30%まで改善することはできない。以上より、初乗り料金に対する政策介入による収支率の改善は見込めないことが明らかになった。

(3) 基準収支率達成のためのサービスと沿道条件

基準収支率を達成することは、サービスの変化だけでなく、ルートに沿道人口にも大きく依存すると考えられる。沿道人口が多い地域にルートを設定すると、その他のサービス水準が同じであれば収支率は増えていくことは自明である。以下では、基準収支率を達成するためのサービス水準、ここでは初乗り料金とその水準を提供するときに必要な沿道人口との関係を求める。沿道人口は路線長が長くなるにつれて多くなるのが一般的である。そこで、ルート毎に沿道人口(人)を路線長(km)で割って基準化した単位キロあたりの沿道人口(人/km)を用いる。また、65歳以上の高齢者から全年齢の需要を算出しているため、沿道人口は65歳以上である。

表-11 沿道基礎情報

	植木	北部	楠武蔵	中の瀬	託麻
高齢者人口(人)	1,034	2,549	2,188	4,085	2,258
路線長(km)	10.4	16	12.1	17.4	10.5
単位距離あたり人口(人/km)	99.4	159.3	180.8	234.8	215.0
役場までの平均所要時間(分)	9	14	12	13	15
バス停の数(個)	15	34	29	35	21
市役所までの直接距離(km)	11.2	7.4	7.0	6.2	7.2

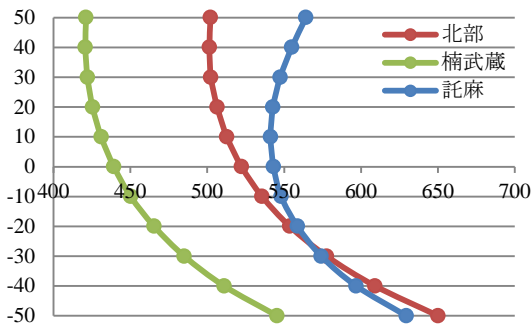


図-24 収支曲線 30%

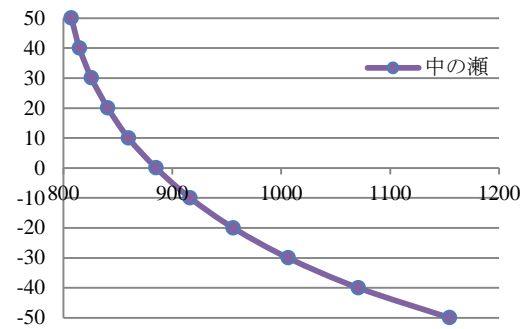


図-25 収支曲線 30%

前項で初乗り料金の変化に対する収支率の変化の分析方法を用いて、初乗り料金水準毎の30%、20%の収支率を達成するために必要な単位キロあたりの沿道人口を逆算した。

各ルートに沿道人口や路線長などの基礎情報を表-11に示す。30%の収支曲線を図-24、図-25に、20%の収支曲線を図-26、図-27に示す。横軸は単位キロあたりの沿道人口(人/km)、縦軸は初乗り料金(円)である。いずれのルートでも、ゆうゆうバスの運賃を下げると運賃収入が減るため、基準収支率を達成するために必要な単位キロあたりの沿道人口は多くなる。30%の収支曲線では、30%の収支率を達成するための単位キロあたりの沿道人口は北部ルート、楠武蔵ルート、託麻ルートが400~650人/kmの値で推移しているのに対して、中の瀬ルートでは800~1,200人/kmと他のルートの約2倍の値で推移している。これは、中の瀬ルートが2系統の路線を持つ

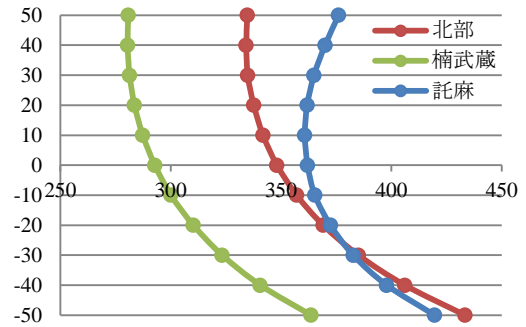


図-26 収支曲線 20%

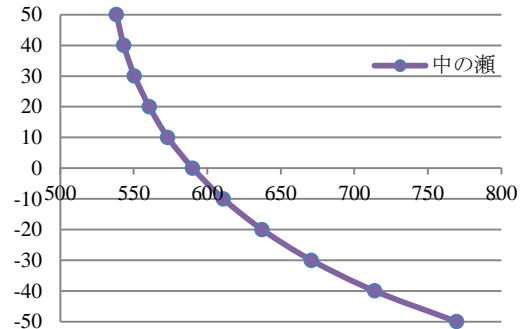


図-27 収支曲線 20%

ことにより、支出が他のルートの2倍以上となっていることが要因として考えられる。いずれにせよ、基準収支率を満足する収支曲線はルート毎に異なる。これは初乗り料金以外の、例えばルートの都市間での空間的位置などのサービス要因に依存しているからである。特に主要なトリップ目的地である都心からの距離やバス停密度などは利用者数に大きな影響を与えられられる。

そこで、これらの要因を考慮できるように横軸を何らかの方法で変換することを試みた。ここでは表-11に示すゆうゆうバス使用時にかかる各バス停から路線毎にある区役所や出張所のような役場までの平均所要時間、バス停の数、役場から市役所までの直線距離などを用いて試行錯誤で変換を行った。その結果、単位キロあたりの

沿道人口に $\frac{d}{t \times n}$ をかけて変換することによって図-28、

図-29のような統一的な収支曲線を得ることができた。ここで、 d は市役所までの直線距離、 t は役場までの平均所要時間、 n はバス停の数である。これは、役場までの平均所要時間が短ければ利用しやすくなること、バス停の数が少なければ人が集約しやすくなること、市役所までの距離が遠くなると役場を利用するようになることを考慮している。

基準収支率30%の場合は約10、20%の場合は約7、10%の場合は約3の値をとれば、ゆうゆうバスの運行継続基準を達成できる。

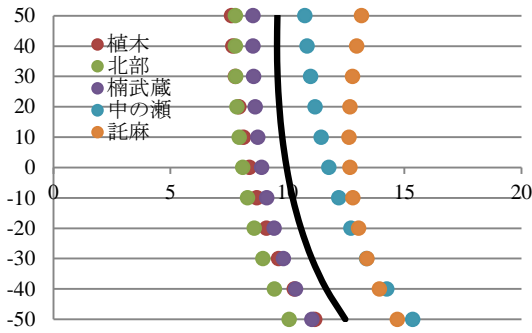


図-28 一般化条件 30%

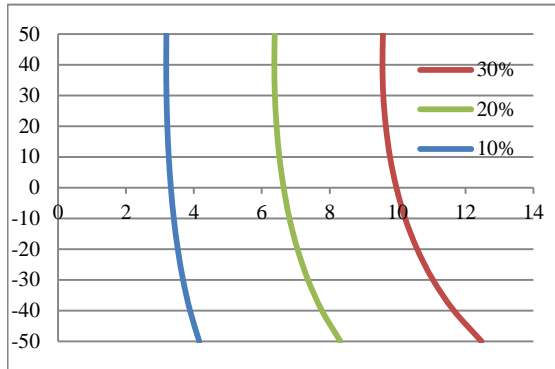


図-29 一般化条件

表-12 SPデータによる手段選択モデル推定結果

	推定値	t値
定数項	-3.03	-5.60
年齢	0.042	5.60
性別 (男性のとき 1)	-0.15	-1.95
バス料金 (円)	-0.0014	-3.86
自動車時間 (分)	0.0129	0.86
社会的相互作用	0.09	0.83
尤度比	0.17	
的中率	0.74	

表-13 仮想収支率毎の選択確率

	北部	楠武蔵	中の瀬	託麻
far 収支率 (%)	27.6	26.3	34.9	28.1
near 収支率 (%)	28.3	26.6	36.3	28.6

(4) 仮想の収支率による個人の選択確率の変化

ゆうゆうバス沿線住民アンケート調査では、北部ルート、楠武蔵ルート、中の瀬ルート、託麻ルートでゆうゆうバスの運行継続に対する協力意向を問う設問が設けられている。ここでは、現状の収支率と目標の収支率の間で、目標との差が大きい収支 (far) と目標との差が小さい収支率 (near) の2つの仮想の状態に対するゆうゆうバスの選好意識と設問したSPデータが得られている。設問の選択肢には「ゆうゆうバスの利用回数を増やす」、「年間利用券を購入する」、「寄付する」、「協力を

求める活動に参加する」の4つがあり、現在ゆうゆうバスを利用している人と「ゆうゆうバスの利用回数を増やす」という設問に回答している人をゆうゆうバスの仮想利用者とする。仮想の収支率から利用需要を算出し、1項で述べた補正值を用いて母集団の利用需要をサンプル内の需要に補正する。補正された需要を総移動回数で除したゆうゆうバスの利用率を社会的相互作用項として、SPデータによる手段選択モデルを推定した。

このSPデータによる手段選択モデルの推定結果を表-12に示す。推定値の符号は表-7に示した推定結果と同様に論理的である。しかし、社会的相互作用項の符号は正で、目標の収支率に近づくほど個人の選択確率は高まるという妥当な結果が得られているが、t値が低く統計的に有意な変数とはいえないという結果となった。自動車時間と社会的相互作用項を除いて、t値は概ね良好で統計的に有意な変数となっている。これは仮想の質問で実際の利用状況が反映されないためと考えられる。尤度比は0.17、的中率は0.74であり、適合度もそれほど低いわけではない。farとnear収支率時でのゆうゆうバスの個人の選択確率の平均値を表-13に示す。収支率が運行継続基準値に近いほど個人の選択確率の平均値が高くなることわかる。

6. おわりに

以下に、本研究で得られた主な成果と今後の課題を併記する。

- 1) ICFの構成概念を用いて、様々な因子が外出頻度へとつながる構造をモデル化できることを明らかにした。
- 2) ゆうゆうバスの利用率を社会的相互作用とし推定することで、ゆうゆうバスの選択行動における社会的相互作用の有意性を明らかにした。
- 3) 均衡方程式より均衡解を導くことで、選択確率の変動を明らかにした。
- 4) モデルより準拠集団毎に収支率を算出し、サービスの変化によるゆうゆうバス選択確率の変化、収支率の変化を明示した。
- 5) 運行継続の基準収支率を達成するためのサービスと沿道条件の関係性を明らかにした。
- 6) 「ゆうゆうバス沿線住民アンケート調査」より手段選択モデルを推定しているが、このアンケート調査には、ゆうゆうバスの運行継続に協力的な人が回答している傾向にあると考えられ、ゆうゆうバス選択確率が実際の選択確率より高くなっている。そのため推定した際の選択確率も高くなり、モデルだけでは正確な収支率を算出することがで

きなかった。

- 7) SPデータによる手段選択モデルにおいて、目標に遠い収支率と近い収支率のそれぞれで選択確率を算出したが、アンケート回答者に協力的な人が多いため、2つの収支率による差が小さかった。

参考文献

- 1) 福田大輔：社会的相互作用が交通行動に及ぼす影響のミクロ計量分析，2004年
- 2) 緒方一真：コミュニティバスの需要予測手法と導入・維持に関する契約方式，2014年
- 3) 梶原康至：社会的相互作用を考慮したバストリガー方式に対する交通行動モデル，2010年
- 4) 久田信行：国際生活機能分類（ICF）の基本的概念と評価の考え方ー「生活機能」と「潜在能力」を中心にー，群馬大学教育実践研究別刷第28号179-191，2011
- 5) 豊田秀樹：共分散構造分析 [Amos編] 構造方程式モデリング，東京図書，2007
- 6) 土木学会：非集計行動モデルの理論と実際，1995
- 7) 厚生労働省大臣官房統計情報部：生活機能分類の活用に向けて（案）ーICF（国際生活機能分類）：活動と参加の評価点基準（暫定案）ー，2007
- 8) 熊本市におけるバス交通のあり方検討協議会：熊本市地域公共交通総合連携計画（案），2009
- 9) 熊本市都市建設局交通政策総室：第1回コミュニティ交通部会，2012
- 10) 熊本市都市建設局交通政策総室：第2回コミュニティ交通部会，2012
- 11) 熊本市都市建設局交通政策総室：第3回コミュニティ交通部会，2012
- 12) 熊本市都市建設局交通政策総室：熊本市公共交通基本条例，2013
- 13) William A. Brock and Steven N. Durlauf：Discrete Choice with Social Interactions，The Review of Economic Studies，Vol.68，No.2，235-260，2001
- 14) 熊本市ホームページ：<http://www.city.kumamoto.jp/>

EMPIRICAL ANALYSIS IN REGARD TO MODALITIES OF INTRODUCTION AND SERVICE CONTINUATION STANDARD OF COMMUNITY BUS

Kenta OYAMA, Shoshi MIZOKAMI, Takuya MARUYAMA

Community bus is operated in Kumamoto city called “YuYu Bus”, to support trip convenience improvement of public transport. It is served on public transport inconvenience area which is 500m ~ 1,000m away from a station and a bus stop, and the area with few demands. Therefore income and expenditure rates is low and it is difficult to continue service. Hence, there is a service continuation standard of 30% of income and expenditure rates. The bus is abolished if inhabitants of the bus route cannot achieve this.

In this study, modeling trip frequency considered composition factor of ICF and individual choice with social interactions. Using these models, predict demands for community bus, and calculate income and expenditure rates. And analyze relations of service levels and roadside condition to achieve a service continuation standard.