

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

溝上 章志¹・尾山 賢太²

¹正会員 熊本大学教授 大学院先端科学研究部 (〒860-8555 熊本市黒髪2-39-1)
E-mail: smizo@gpo.kumamoto-u.ac.jp

²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

公共交通による市民の移動を支援するために、熊本市は熊本市公共交通基本条例で「公共交通不便地域」と定義した既存鉄道駅・バス停留所から500m~1000mの地域に「ゆうゆうバス」というコミュニティバスを運行させている。しかし、運行を継続するためには30%以上の収支率を達成することを沿線住民に求めており、この運行継続基準を達成できない場合は3年後には路線を廃止するという約束が事前になされている。

本研究では、ICFの構成概念に沿った構造方程式による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、これらの両モデルを用いてコミュニティバスの需要を予測し、収支率を評価する方法を提案する。さらに、運行継続基準を達成するためのサービス水準と路線沿線の環境条件との関係进行分析する。

Key Words : community bus service, service continuation criterion, international classification of functioning, 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、1970年代初頭以降、公共交通の利用者数は減少しており、その傾向は地方都市ほど著しい。政令市である熊本市でも例外ではなく、特に路線バスの利用者数の減少は著しい。図-1に示すように、2015年の路線バスの利用者数は1975年の1,014万人から40年間で72%減の280万人にまで減少した。2005年以降の10年間で23%も減少している。

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サービスの低下を招き、それによって利用者がさらに減少するという負の循環が生じているともいわれている。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の確保は必須であり、活動のための移動を支援したり自動車から公共交通機関への利用手段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。さらに、改正都市再生特別措置法に沿って進められているコンパクトなまちづくりを実現するに当たって、コンパクトシティとネットワークとの連携、つまり立地適正化計画と整合的な公共交

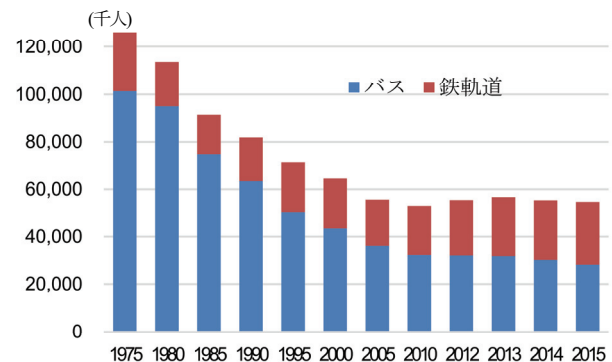


図-1 熊本市の公共交通利用者数の推移

通網をどのように形成していけば良いかを示す指針や基準が求められている。

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¹⁾、それに沿ったバス路線網再編や利用促進策を計画・実施してきている。また、平成25年4月施行の熊本市公共交通基本条例²⁾の「市民は日常生活及び社会生活を営むために必要な移動をする権利を有する」との理念を尊重し、

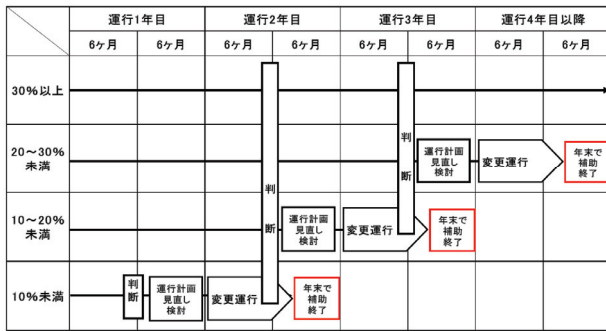


図-2 ゆうゆうバスの運行継続基準

市民及び事業者の参画と協働の下、公共交通の維持及び充実のための施策を総合的かつ計画的に推進する」という基本理念に沿って、熊本市は、採算性や効率性が低いために事業者が主体となって路線バスサービスを提供できない地域にコミュニティ交通を導入するとした。これらの地域は既存の駅・停留所から500m～1,000m離れた「公共交通不便地域」、1,000m以上離れた「公共交通空白地域」に区分され、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。

本研究で調査・分析の対象とするのは、熊本市という都市域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・通院のための移動など、生活交通の利便性向上を支援する役割を持つ。また、高齢者の外出促進や健康増進、地域とのつながりの維持などへの寄与も期待されている³⁾。

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、収支率は低い。運行費用の一部を市が補助しているが、他地域との公平性の視点や市の財政的制約から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、一定の期間に一定の収支率を満たすことができなかった場合は、毎年運行計画の見直しを行い、30%の収支率を達成できなかった場合には最終的には廃止するという運行継続基準が設定されている。この基準は導入開始前に沿線住民等から成る沿線協議会に提示されており、彼らに運行継続のための利用協力を求めている。そうすることで、沿線住民間で利用に対する協力行動が働き、収支率が向上することが期待されている。

1995年に武蔵野市でムーバスが運行を開始して以来、都市域の公共交通不便地域を運行しているコミュニティバスを対象とした実証的、かつ検証的な研究が数多くなされてきた。これらの研究は、地域公共交通に対する自治体の役割^{4),5),6)}、住民の中での役割と導入効果に関する研究^{7),8)}、利用需要と費用の構造^{9),10)}、事業支援策と利用促進策^{11),12),13)}などに分類できよう。しかし、コミュニティバスに対する精緻な需要予測手法やその導入・運行継

続基準の妥当性などについてモデル分析を行っている研究は少ない。そのような中で、本論文は著者らが進めてきた地域公共交通活性化・再生のための需要予測や政策評価手法の開発^{14),15)}、種々の活性化制度の導入・維持のための契約^{16),17)}や補助方式の有用性の検証¹⁸⁾といった一連の理論、および実証研究の一部を成す。

本研究の最終的は、熊本市のコミュニティバスゆうゆうバスの需要予測手法、および導入と運行維持基準を満足するための路線設定の方法を提案することにある。そのために、2章では、独自に行った「ゆうゆうバス沿線住民アンケート調査」から、ゆうゆうバスの利用実態と路線継続策への協力意向について分析を行っている。3章では、活動や参加といった生活機能やそれらへの影響要因間の相互作用構造を反映させた活動目的別の外出頻度モデルと路線維持のためのゆうゆうバス沿線住民相互の協力行動を考慮した手段選択モデルから構成されるゆうゆうバスの利用需要予測モデルを提案し、4章でこれら2つのモデルを推定する。5章では、運行継続の判定指標である目標収支率を満足するための路線設定の方法を提示する。

2. ゆうゆうバス沿線住民アンケート調査

(1) ゆうゆうバス導入の経緯

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で6路線9系統のゆうゆうバスが運行を開始した。運行開始時から平成26年12月までのゆうゆうバスの半年ごとの収支率を図-4に示す。[1]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、運行継続基準の30%以上の収支率を達成すると見込まれている。しかし、他のルートはいずれも運行開始当初より収支率が低迷していた。特に、海路口循環、川尻循環、城山・川尻ルートでは5%以下であり、城山・川尻ルートは平成24年度に海路口循環と川尻循環に分離・統合された。これら2循環もルートや停車場所などの見直しが行われたものの、平成26年度には当初の運行継続基準に従って廃止された。[2]北部循環、[3]楠・武蔵循環、[4]託麻循環、[5]中の瀬～桜木、[6]烏ヶ江～桜木の4路線5ルートは10%近くの収支率を確保していたが、それ以上の収支率の改善が見込めないことから、平成27年度には廃止された。植木循環ルートだけは運行継続が決定し、朝の時間帯に1便を増加して通勤・通学で利用できるように運行サービスが改善され、平成29年以降も運行が継続されている¹⁹⁾。これらの経緯を表-1に示す。



(出典：2015年第三回コミュニティ交通部会資料)
図-3 ゆうゆうバス運行地域

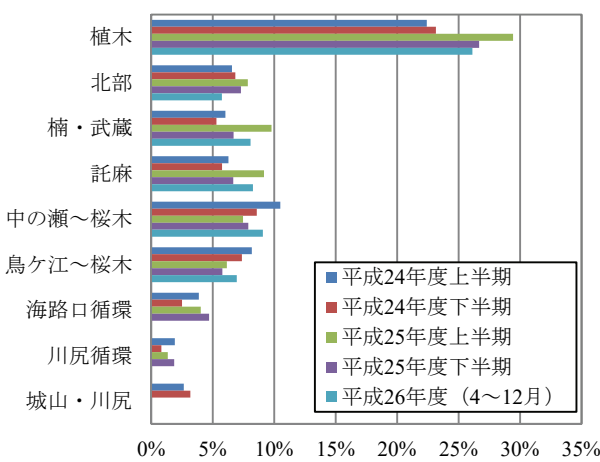


図-4 各ルートの収支率

表-1 平成26年度から平成27年度にかけての路線・サービスの変更概要

路線ルート名	H26年度			H27年度			
	便数(便)	距離(km)	運行日	変更内容	便数(便)	距離(km)	運行日
[1]植木循環	右回り：7	10.8	平日	・1便増便 ・運行ダイヤの見直し ・停留所の増設	右回り：8	10.8	平日
[2]北部循環	左回り：4, 右回り：4	19.5	月・水・金	・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導入を検討	運行中止		
[3]楠・武蔵循環	(火・木) 左回り：4, 右回り：4 (土・祝) 左回り：3, 右回り：4	18.4	火・木・土				
[4]託麻循環	左回り：4, 右回り：4	13.6	月・水・金				
[5]中の瀬～桜木	上り：3, 下り：3	12.4	平日				
[6]鳥ヶ江～桜木	上り：3, 下り：3	9.3	平日				

(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、北部循環ルート、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して、「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利用実態を把握するとともに、運行継続のための方策や見直し後のサービス水準を検討することを目的としている。

設問の概要を表-2に示す。この調査では、植木循環ルートを除き、目標収支率30%を達成する可能性が低い5路線の沿線では、沿線住民に対して路線の維持継続の協力意向を問う設問（問7）を設けている。具体的には、現状の収支率と目標収支率の間に、目標に近い収支率と目標には遠い収支率の2つの収支率を設定し、それぞれの収支率になった場合の路線維持のための協力の有無を表明してもらった選好意識（SP）質問を行なっている。ここでは現在の収支率が13%の楠・武蔵循環ルートを例に、以下のような手順で協力意向に関する質問を行っている。1)図-2に示した「収支率と運行継続基準」を説明する。2)当該路線の収支率の実績値の13%を示す。3)利

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
問1. ゆうゆうバスの利用状況	ゆうゆうバス利用経験の有無
問2. ゆうゆうバスの利用満足度 (1：非常に不満足～5：非常に満足)	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
問3. 運行前後の移動目的別移動手段	運行後 頻度、交通手段、目的地・施設名、乗車バス停、降車バス停
	運行前 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）
問5. ゆうゆうバスを利用しない理由	
問7. 協力意向（植木循環以外のルート）	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

用者が増えて収支率が改善しないと2年後には運行中止になることを再度、周知した後、4) そのようにならないために何らかの協力の意向があるかを尋ねる。5)現在

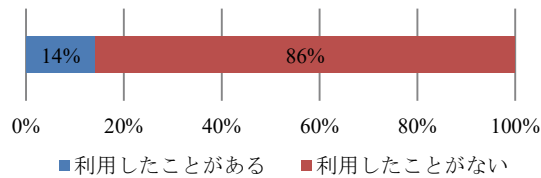


図-5 ゆうゆうバス利用経験

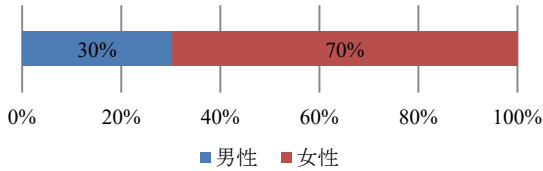


図-6 利用経験者の男女比

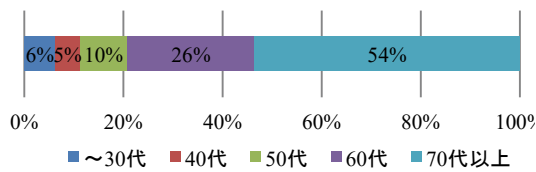


図-7 利用経験者の年齢階層

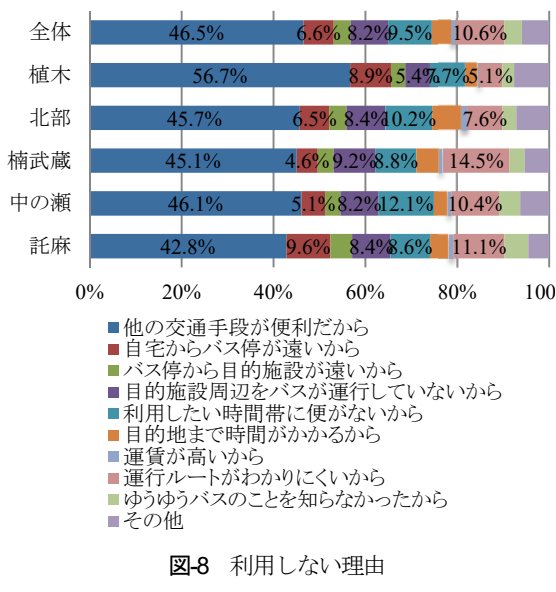


図-8 利用しない理由

の収支率14%が15%, 18%になった場合, 4)の協力をするかどうかを質問する。

調査票はルート of 両側1 kmメッシュ内の世帯に合計12,032枚が配布され, 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。沿道にもかかわらず, 利用経験がある人は14%と高くはない。利用経験者の男女別, 年代別構成を図-6と図-7に示す。利用者の7割が女性であり, 8割が60歳以上の高齢者である。これらは全てのルートで大きな違いはない。図-8にゆうゆうバスを利用しない理由を示す。いずれのルートでも「他の交通手段が便利だから」という回答が最多である。その他には, 「利用したい時間帯に便がないから」や

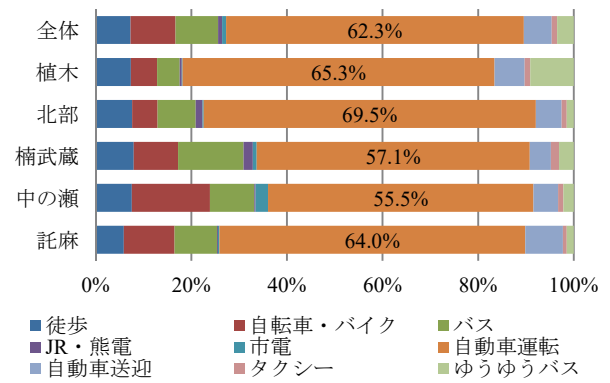


図-9 ルート別の通常の移動手段

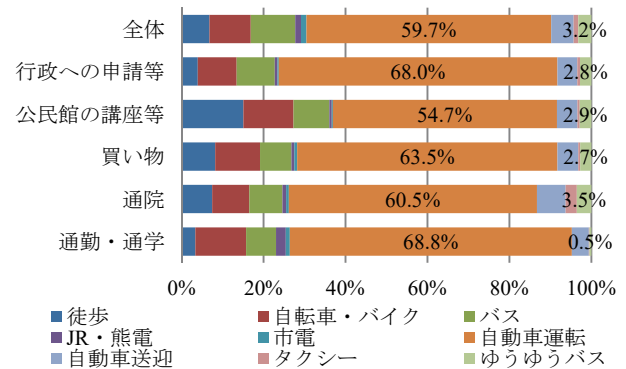


図-10 活動目的別の通常の移動手段

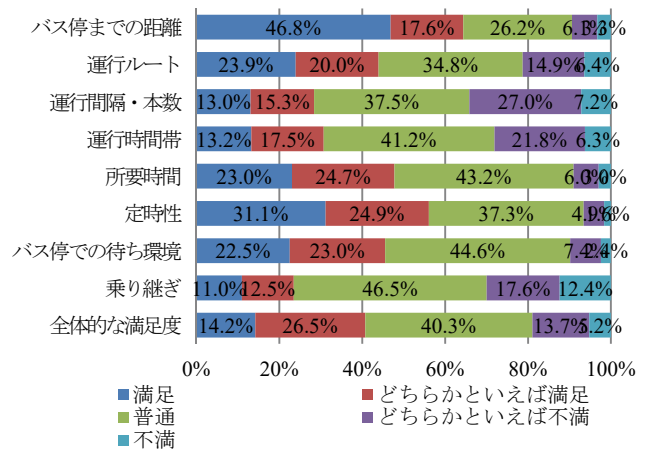


図-11 ゆうゆうバスのサービス要因別満足度

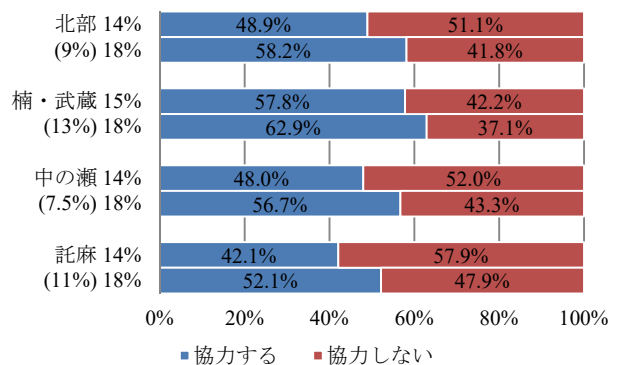


図-12 ゆうゆうバスの運行継続への協力意向

「運行ルートがわかりにくいから」など、ゆうゆうバスに起因する理由も多い。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」という人もいる。

ルート別の通常の移動手段を図-9に示す。いずれのルートでも「自動車運転」の割合が55%以上となっている。収支率が最大の植木循環ルートでも、「自動車運転」が北部循環ルートに次いで多く、路線バスや鉄道などの公共交通機関の利用比率は最少となっている。活動目的別の通常の移動手段を図-10に示す。いずれの活動目的に対しても、ゆうゆうバスの利用率は3%程度にすぎない。

ゆうゆうバス利用経験者によるゆうゆうバスのサービス要因別満足度を図-11に示す。「どちらかといえば不満」と「不満」の和が最大の要因は「運行間隔・本数」で35%程度に過ぎないが、不満の割合もさほど大きくない。逆に「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45%程度、「全体的な満足度」に対しても40%が満足しており、利用経験者のゆうゆうバスへの評価は比較的高いといえよう。

図-12にゆうゆうバスの運行継続への協力意向を示す棒グラフの上段は、目標の収支率20%に対して、SP質問で提示した仮想の収支率との差が大きい（たとえば北部循環ルートの場合14%）場合、下段は小さい（同、18%）場合の協力意向の有無の比率を示している。全てのルートで、SP質問で与えた仮想の収支率の値と目標の収支率の差が大きい場合（上段）よりも小さい場合（下段）の方が運行維持のために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収支率に近いほど、運行継続に協力する人が多くなるという協調行動が存在することがわかる。一方で、北部、楠・武蔵、中ノ瀬については、（ ）内に示す現況の収支率が高くなるほど、運行継続に協力する比率は高くなっているが、託麻は全体の2位の11%もあるにも関わらず、運行継続への協力比率は最低となっている。

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を判断する指標となる収支率は、総収入/総運行費用で計算される。総収入を算出するためには、ゆうゆうバスの将来利用需要を予測する必要がある。本研究では、属性別の活動目的別利用需要（トリップ/週）を、

個人の活動目的別外出頻度（トリップ/人・週）

×属性別の個人のゆうゆうバス選択確率の平均値

×属性別母集団人口（人） (1)

より予測する。そのため、個人ごとの1)活動目的別外出頻度を予測するモデルと、2)外出の際のゆうゆうバスの選択確率の平均値を求めるための手段選択モデルが必要

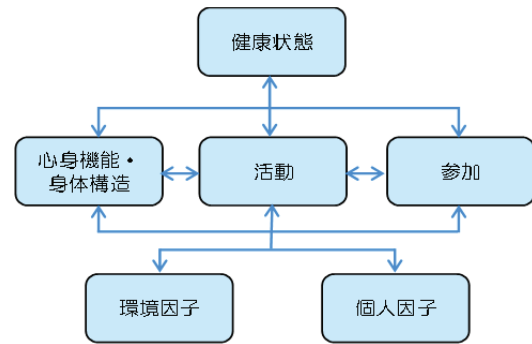


図-13 ICF構成概念における生活機能モデル

になる。

(1) 活動目的別外出頻度モデル

コミュニティバスは高齢者の福祉向上を支援する。福祉の評価手法であるCapability測度²⁰⁾は、「なし得ること」や「なり得ること」といった機能（Functioning）の集合が拡大し、その中から自由に機能を選択できるほど生活の質（QOL: Quality of Life）が高いと考える。Capability測度によるQOL評価に必要な機能を抽出するために、ここでは、国際生活機能分類（ICF: International Classification of Functioning）を用いる。ICFでは、生活機能は、本源的な「心身機能・身体構造」から、課題や行為の遂行である「活動」、そして生活・人生場面への関わりである「参加」に分類され、これらの機能は互いに相互作用があると同時に、それらの背景因子である「環境因子」や「個人因子」との相互作用によって変化すると考える図-13に示す生活機能モデル²¹⁾を仮定している。ICFは、それぞれの機能を「なし得ること」や「なり得ること」で詳細に記述し、分類している。「外出できる」は「活動」の中の機能の一つであり、関連する機能の集合が大きく、そこから自由に選択できるほどQOLは高い。従って、「外出できる」という機能はQOLの向上に寄与すると考えるのが妥当である。しかし、観測される活動目的別外出の「頻度」は各自の「活動」や「参加」のための移動によって3つの生活機能とその2つの背景因子との相互作用によって変化するはずである。ここでは、活動目的別外出頻度の予測モデルの構造をICFの生活機能モデルに準じた構造とし、その構造を共分散構造分析によって特定化することとした。詳細は後述する。

(2) 手段選択モデル

現在の収支率が目標収支率に近いほど、運行継続に協力する人が多くなるという協調行動が存在することが明らかになった。これはゆうゆうバスの運行継続に対する各回答者の意志が他の沿線住民の協力行動結果に影響されることを意味している。このような関係を社会的相互作用といい、「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」と定義されている。準拠集団とは、人の価値観や信念、態度、行動などに強い影響を与える集団であり、収支率によって路線の継続か廃止が決定される状況下では、各路線沿線からトリップを行っている集団である。ここでは、各回答者の意志が、実際の利用者が多ければ多いほど各自も利用に協力するようになるか、あるいは他人任せにして自らは協力を回避するかを、下記に示すBrock & Durlauf²²⁾モデルを用いて実際の利用データから検証する。

ここでは最終的に得られる個人 i の選択肢 ω_i に対する選択確率、および個人 i の帰属する準拠集団 $n(i)$ に関する均衡方程式だけを以下に示す。

$$P(\omega_i) = \frac{\exp\left[\omega_i(b + cX_i + dY_{n(i)} + Jm_{n(i)})\right]}{\sum_{\omega_i \in \{+1, -1\}} \exp\left[\omega_i(b + cX_i + dY_{n(i)} + Jm_{n(i)})\right]} \quad (2)$$

$$m_{n(i)} = \int \tanh(b + cX_i + dY_{n(i)} + Jm_{n(i)}) dF_{X_i|Y_{n(i)}} \quad (3)$$

ここで、 b は定数項、 X_i は個人 i に固有の説明変数ベクトル、 $Y_{n(i)}$ は個人 i が帰属する準拠集団 $n(i)$ に固有の説明変数ベクトル、 c と d と J は未知パラメータである。また、 $m_{n(i)}$ は社会的均衡状態において、準拠集団の中で選択肢 ω_i を選択する主体の比率を p としたときに $m_{n(i)} = 2p - 1$ で表される変数、 $F_{X_i|Y_{n(i)}}$ は準拠集団 $n(i)$ における X_i の経験分布関数である。

式(2)、(3)にはモデルの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。この方法は、 $m_{n(i)}$ 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 、つまり、個人 i が利用可能なゆうゆうバス路線 n 毎に求めるという方法である。

$$m_n = \int \tanh(\hat{b} + \hat{c}X_i + \hat{d}Y_n + \hat{J}m_n) dF_{X_i|Y_n} \\ \cong \frac{1}{N_n} \sum_{i \in n} \tanh(\hat{b} + \hat{c}X_i + \hat{d}Y_n + \hat{J}m_n), \forall n \quad (4)$$

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。詳細は文献22)に譲る。

4. モデルの推定

本研究では、およそ7割を占めるゆうゆうバスの主な

表-3 外出に関する意識調査の設問概要

設問	内容
問1. 個人属性、および生活環境	性別、年齢、健康状態(4段階)、体力状態(4段階)、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・友人の有無、自動車運転の状況、免許更新状況、自動車での送迎者の有無
問2. 外出時の問題点 1: 問題ない 2: 多少問題である 3: 大きな問題である	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
問3. 外出状況	12 活動目的別の外出頻度、主な交通手段、所要時間、満足度(5: 満足～1: 不満)
問4. 外出支援の影響 1: 外出が増える 2: 外出は変わらない 3: わからない	(5) 公共交通機関の運賃の安さ (6) タクシーの運賃の安さ (7) 小型バス・タクシー等のコミュニティサービス (8) 電動カート等のサービス
問5. 増やしたい活動	(3) 外出を増やしたい活動や場所 (4) 希望通り外出できない理由

利用者である65歳以上の高齢者の属性別の活動目的別利用需要(トリップ/週)を、式(1)のように、個人の活動目的別外出頻度(トリップ/人・週)×属性別のゆうゆうバス選択確率の平均値×属性別(前期高齢者、後期高齢者、男女別)母集団人口(人)より算出する。

一方、65歳未満の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を用いて概算し、両者の和によって総利用需要とする。したがって、65歳以上の高齢者の活動目的別外出頻度とゆうゆうバス選択確率を予測するモデルの推定が必要となる。

(1) 活動目的別外出頻度モデルの推定

外出頻度モデルを推定するの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」のデータである。設問の概要を表-3に示す。外出頻度が12の移動目的(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)別に質問されているのを、ここでは「買い物」、「仕事」、「病院福祉施設」、「娯楽交流」の4目的に分類しなおした。健康状態、および体力状態の水準別に、分類しなおした活動目的を示したのが図-14、図-15である。健康状態、体力状態とも水準が低下するほど、病院・福祉目的の活動比率が多くなり、その他の目的の活動比率は低下することがわかる。

付帯調査の設問から得られる「健康状態」、「体力

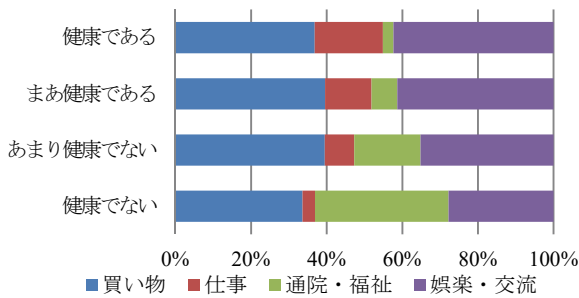


図-14 健康状態別の活動目的

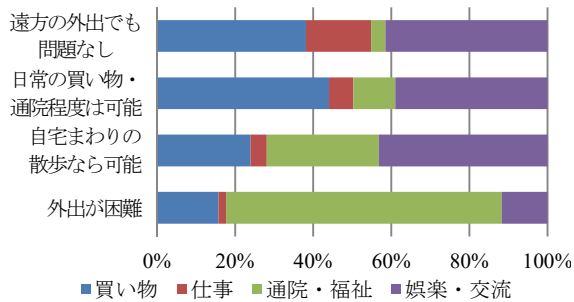


図-15 体力状態別の活動目的

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	買物	1.00	1.00
活動参加	仕事	0.96	-0.56
活動参加	通院・福祉施設	-0.46	1.16
活動参加	娯楽交流	1.53	0.77
サンプル数	6,744		

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
サンプル数	49	60	280	68	103
外出頻度(回/週)	6.94	6.99	7.31	6.99	7.12

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, 生活機能の構成因子である「心身機能・身体構造」, 「活動・参加」を潜在変数に設定し, 「心身機能・身体構造」から「活動・参加」へと高次になっていくQOLの水準が活動目的別の「外出頻度」として顕在化し, 観測されるという構造を仮定し, 共分散構造分析によりその妥当性を事後的に検証する。

パ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=0.92, AGFI=0.88, CFI=0.88である。「心

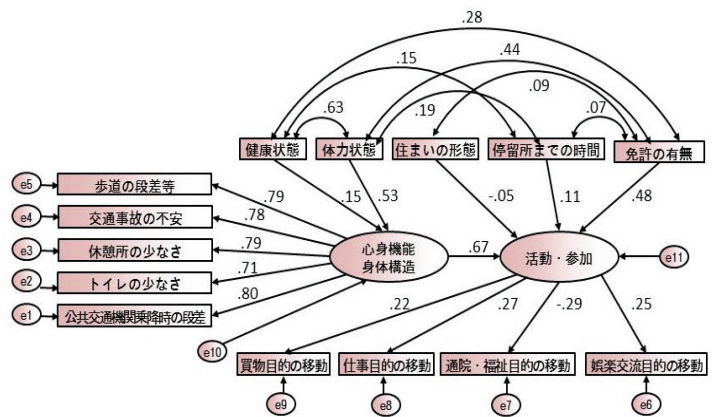


図-16 外出頻度モデル推定結果

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(同居人がいる場合を1, 一人暮らしの場合を0)は, 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活動などのための生活移動が減少するためと考えられる。

「活動・参加」から活動目的別の頻度については, 「通院・福祉施設への移動」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いえよう。

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。これによって得られた各ルート毎の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。収支率が運行継続基準を満足している植木ルートにおいても, この値は他のルートと比較して必ずしも大きいわけではない。

(2) 手段選択モデルの推定とバス利用率の均衡解

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た二項ロジット型の手段選択モデルを推定した。本モデルには, 都市部における公共交通機関と自動車の手段選択モデルを構築するときのようなバスの「運行頻度」や「所要時間」といった変数が導入されていない。これは, 一方の選択肢がコミュニティバスであることから, 表-1に示すように, 植木循環を除いて「運行頻度」はたかだか3, 4便と極めて低頻度である上に路線間で差が無いこと, バスによる「所要時間」は「バス料金」との相関から統計的に有意な変数とならなかったためである。その代わりに, 代替手段側の「自動

車所要時間」を導入している。以上より、手段選択モデルに導入すべき説明変数として十分な数と種類といえる。

推定結果を表-6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5%水準で統計的に有意である。また、尤度比は0.53、的中率は0.86であり、適合度の高いモデルといえる。社会的相互作用の t 値も統計的に有意であり、正值をとっていることから、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も高くなるという社会的相互作用が有意に働いていることがわかる。

推定したパラメータを用いて、式(4)より均衡値を算出した。全ルートの反応曲線と現在の利用率から均衡点への推移可能性を図-17に示す。図の横軸は準拠集団の利用率、縦軸は平均選択確率であり、準拠集団の利用率と平均選択確率が一致する点が均衡値となる。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ゆうゆうバス利用率、およびモデルから得られる均衡利用率を表-7に示す。利用率の予測値と実績値が一致しないのは、手段選択モデルの推定誤差に起因する。植木ルートと北部ルートでは両者はほぼ一致しているが、楠武蔵ルートでは予測値が実績値より過小に、中ノ瀬と託麻ルートでは逆に過大になっている。これはルート毎にサンプル数に大小が有り、サンプル数が大きいところに適合するようにモデルが推定されているためと考えられる。

表-6 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
サンプル数	578	
尤度比	0.53	
的中率	0.86	

個人の選択確率

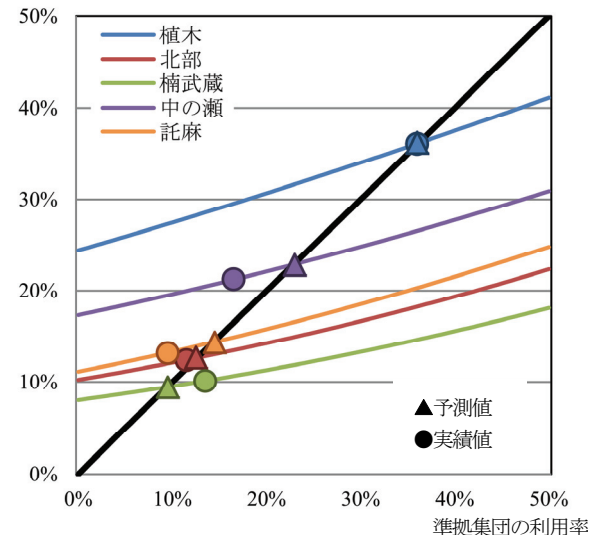


図-17 反応関係と現利用率から均衡解への推移

5. 運行継続のための基準収支率

(1) 収支率の実績と均衡値

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る。このうち、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）にルートごとの運行頻度と運行距離（km）の実績値を乗じた値により算出する。

実績の収支率と均衡時の収支率を表-8に示す。利用率と比較して、収支率はその実績値と均衡解との差は小さい。以下の分析では、均衡点における属性別個人の選択確率の平均値と収支率について、詳細な検討を行う。

(2) バス初乗り料金に対する収支率の感度

ゆうゆうバスの料金制度は対キロ運賃で、現在の初乗り料金は130円である。以下では、植木ルートを除き、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、比較的安いとされている初乗り料金に対する収支率の感度分析を行う。

初乗り料金を30円値下げ、20円値上げした場合の上記

表-7 ゆうゆうバス利用率

	植木	北部	楠武蔵	中の瀬	託麻
サンプル数	117	97	217	72	75
実績利用率(%)	35.9	11.3	13.4	16.7	9.3
均衡利用率(%)	36.2	12.7	9.4	22.8	14.3

表-8 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

4ルートの反応曲線上の実績値と均衡解を図-18に示す。30円の値下げをした場合、利用率の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では利用率の増加が見込める。一方、20円の値上げをした場合は、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、全てのルートで利用率の均衡解はかなり低下する。

初乗り料金の変化に対応した均衡利用率から得られる

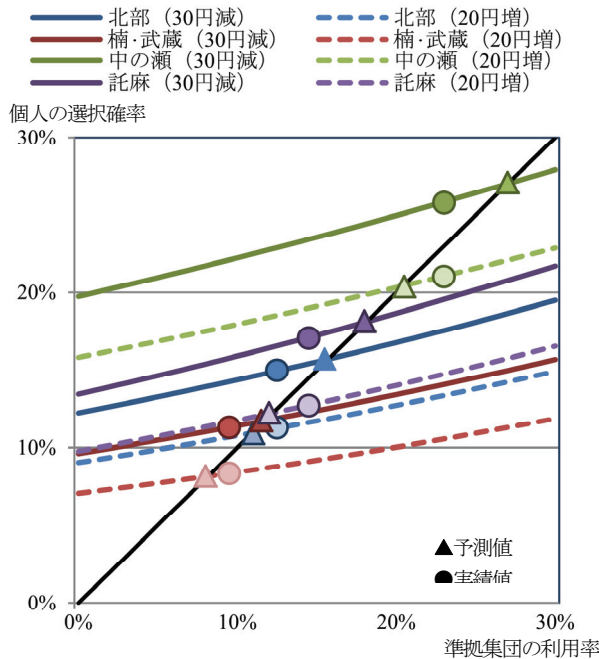


図-18 初乗り料金に対する反応曲線と均衡解への推移

収支率を表-9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ものの、一人あたり30円の減収によって総収入は減少するためである。逆に初乗り料金を20円値上げした場合、全ルートで収支率は改善する。これは、個人の選択確率が下って総利用者数が減少しても、料金増によって運賃収入は増加するためである。特に中ノ瀬ルートで収支率の改善が大きい。

初乗り料金を130円から10円ずつ80円まで値下げ、および180円まで値上げした場合の収支率の変化を図-19に示す。全てのルートで、初乗り料金が安くなるほど収支率は低下することが確認できる。中の瀬ルートでは180円まで収支率は改善するが、北部ルートと楠武蔵ルートでは170円、託麻ルートでは140円をピークに収支率が減少する。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、これからのルートは初乗り料金に関する如何なる政策介入を行っても収支率は運行継続基準に達し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線条件

収支率は初乗り料金などのサービス水準だけでなく、ルートの沿道人口などの沿線条件にも依存すると考えられる。以下では、ある水準に初乗り料金を設定したとき、運行継続基準収支率を達成するために必要な沿道人口を求める。沿道人口は路線長が長くなれば多くなるので、単位距離あたりの沿道人口（人/km）により基準化した。ここでは、ある水準の収支率を達成するために必要な初乗り料金水準と単位距離あたりの沿道人口との組み合わせを逆算し、以下ではこれを収支率達成曲線と呼ぶこと

表-9 料金変更時の収支率

収支率(%)	北部	楠武蔵	中の瀬	託麻
均衡時	92	123	8.0	11.9
30円値下げ時	8.3(-0.5)	11.2(-1.1)	7.0(-1.0)	11.2(-0.7)
20円値上げ時	9.4(+0.2)	12.8(+0.5)	8.4(+0.4)	11.9(0.0)

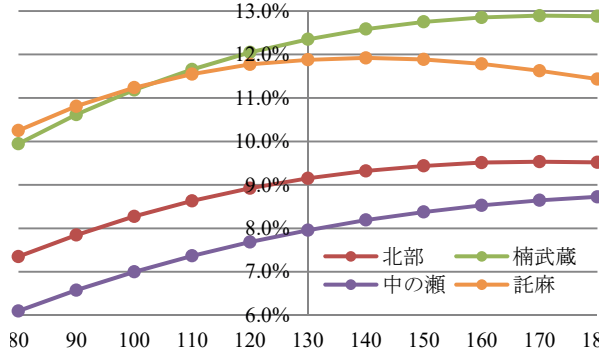


図-19 料金変更時の収支率推移

表-10 沿道の基礎情報

	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)	104	160	121	174	105
単位距離あたり人口 (人/km)	99.4	159.3	180.8	234.8	215.0
区役所等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
区役所等から市役所までの平均距離 (km)	11.2	7.4	7.0	6.2	7.2

にする。65歳以上の高齢者の利用者数から全年齢の利用者数を算出しているため、ここでの沿道人口は65歳以上の人口である。

各ルートの沿道地域の基礎情報を表-10に、収支率が30%と20%の場合のルート別収支率達成率曲線を図-20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。なお、沿道人口は町丁目ごとの人口を一律に増減させている。いずれのルートでも、ゆうゆうバスの初乗り料金を下げると運賃収入が減るため、基準収支率を満足するために必要な単位キロあたりの沿道人口は増加しなければならない。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倍が必要となる。

基準収支率を満足する収支率達成曲線がルート毎に異なるのは、利用者数がルート沿線の人口密度以外の要因、例えば医療・福祉・商業といった都市機能の充実度や都心部へのアクセス利便性などにも依存しているから

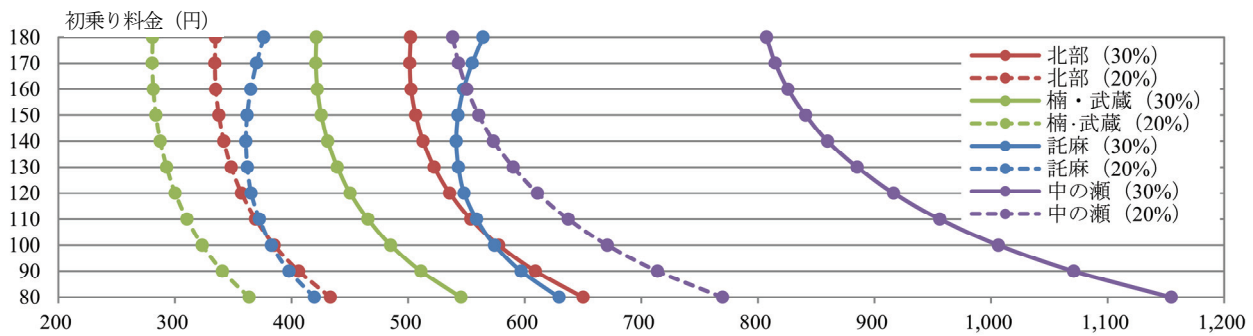


図-20 収支率が20%と30%の場合の初乗り料金（縦軸）と沿道人口密度（横軸）によるルート別収支率達成曲線

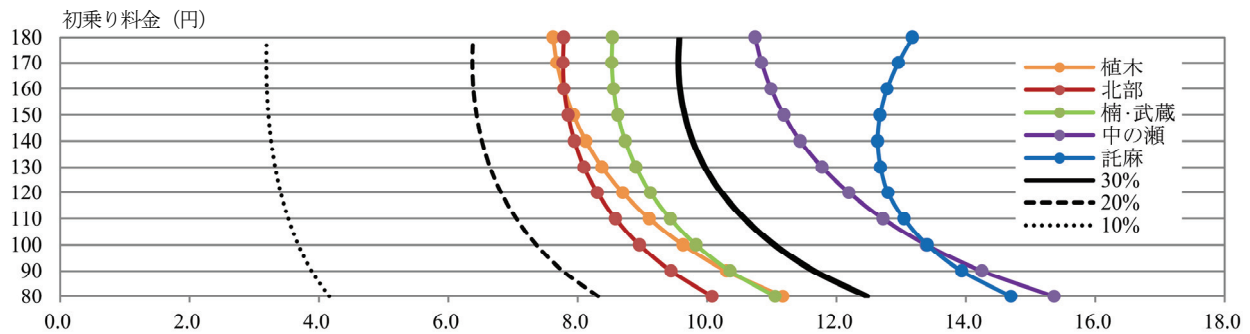


図-21 運行継続基準収支率を達成する変換後の沿線環境（横軸）による収支率達成曲線

である。ある水準の運行継続基準の収支率に対して全てのルートに共通な体の収支率達成曲線を見いだすために、これらの要因を用いて横軸を何らかの方法で変換することを試みる。ここでは、各バス停からルート上の区役所等（出張所やまちづくりセンターを含む）までの平均所要時間 t とバス停数 n の増加は当該ルートの利用者減に、区役所等から都心の市役所までの距離 d の増加は利用増に繋がることを考慮し、 $d/(t \cdot n)$ による横軸の変換を行った。図-21に運行継続基準収支率30%に対応したルート別収支率達成曲線を示す。この変換により、ルートごとの収支率達成曲線の位置は図-20のそれらよりも接近した。これは、沿道人口密度に加えて都市施設の立地状況やバス停へのアクセス利便性を表す変数を用いることによって、収支率達成曲線は一般的に表現できることを示唆している。このような収支率達成曲線が得られれば、ある地域にコミュニティバスを導入した場合の収支率をある程度、想定できることになり、有用である。

6. おわりに

本研究では、熊本市が公共交通不便地域に導入したコミュニティバス「ゆうゆうバス」の導入・運行継続基準のあり方を実証的に検討したものである。以下に、本研究で得られた主な成果と課題を列挙する。

1) 「ゆうゆうバス沿線住民アンケート調査」より、ゆうゆうバスに対する評価は比較的高いこと、現在の収支

率が目標の収支率に近いほど、運行継続に協力する人が多くなるという協調行動が存在することなどが明らかになった。つまり、運行継続基準を事前に決めた場合、沿道の潜在的利用者には運行継続への協力意向が働くことを明らかにした。

2) ICFの構成概念に沿った構造方程式を用いて目的別外出頻度を予測する外出頻度モデル、準拠集団の利用率を社会的相互作用として導入した手段選択モデルから成るゆうゆうバスの需要予測モデルを構築した。

3) 選択確率の集計値と個人の効用の中に含まれる利用率が一致するという均衡条件より、利用率の均衡値を求めたところ、植木循環ルートを除く他のルートはこのままでは目標収支率に到達できないことが明らかになった。

4) 「ゆうゆうバス沿線住民アンケート調査」では、ゆうゆうバスの運行継続に協力的な人ほど回答率が高いと考えられることから、今回推計したゆうゆうバス選択確率は実際の選択確率よりも高くなっているかもしれない。

5) ルートごとに一定の収支率を達成するための料金水準と沿道人口密度との関係を明らかにした。沿道人口密度（いわゆる居住環境）に加えて、医療・福祉・商業などの都市機能の充実度やアクセス性といった立地の適正さを表す変数によって収支率達成曲線が記述できるようになれば有用である。

2014年に改正された都市再生特別措置法と地域公共交通活性化再生法は、医療・福祉・商業などの生活機能を誘導したエリアを公共交通網で適切に結ぶコンパクトネットワークの形成を求めている。本研究は、コミュニ

ティバスへの財政的制約を考慮しつつ、ルート沿道の都市施設や人口密度などの土地利用に応じたルート設定の方法を示したものである。したがってその成果は、都市機能誘導エリアと居住誘導エリアを特定する立地適正化計画に整合した公共交通網の再編、特に都市圏のコミュニティ交通の導入・運行継続の可否の判定が問われるような公共交通網形成計画の策定に寄与するであろう。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) 熊本市都市建設局交通政策総室：第1回～第3回コミュニティ交通部会，2012.
- 4) 加藤博和，高須賀大索，福本雅之：地域参画型公共交通サービス供給の成立可能性と持続可能性に関する実証分析－「生活バスよっかいち」を対象として－，土木学会論文集D，Vol.65, No.4, pp.568-582, 2009.
- 5) 上畑雄太郎，高山純一，中山晶一朗，塩土圭介：市町村合併の合併形態の違いによる地域公共交通活性化の取り組み実態とその課題に関する調査研究，土木学会論文集D3，Vol.69, No.5, pp. I_705-I_713, 2014.
- 6) 横山大輔，片岡正昭：コミュニティバスの導入プロセスと自治体間波及に関する考察，都市計画論文集，Vol.38, No.3, pp.481-486, 2003.
- 7) 川端光昭，佐野可寸志，土屋 哲，松本昌二：住民主体のバス運営が非受益地域市民の公正感と支払意欲に及ぼす影響，土木学会論文集D3，Vol.67, No.5, pp.I_69-I_78, 2011.
- 8) 西村和記，土井 勉，喜多秀行：社会全体の支出抑制効果から見る公共交通が生み出す価値－クロスセクターベネフィットの視点から－，土木学会論文集D3，Vol.70, No.5, pp.I_809-I_818, 2014.
- 9) 中川 大，松中亮治，大庭哲治，中山偉人：運行事業者の違いと自治体の費用負担に着目したコミュニティバスの運行費用に関する研究，土木学会論文集D3，Vol.68, No.5, pp.I_1357-I_1363, 2012.
- 10) 伊藤真章，松本幸正：サービス水準見直しによるコミ

- ュニティバス利用状況の変化分析－愛知県日進市をケーススタディとして，都市計画論文集，Vol.49, No.3, pp.393-398, 2014.
- 11) 松村暢彦：ソーシャルキャピタルに着目したモビリティ・マネジメントのコミュニティバス利用促進に関する研究，都市計画論文集，Vol.46, No.3, pp.781-786, 2011.
 - 12) 倉嶋祐介，内田 敬：コミュニティバスとの関係性及び評価が事業への支援意識に及ぼす影響に関する研究，土木学会論文集D3，Vol.72, No.5, pp.I_721-I_729, 2016.
 - 13) 村上早紀子，北原啓司：地域モビリティにおける持続可能な協働による「Co交通」の可能性，都市計画論文集，Vol.51, No.2, pp.53-158, 2016.
 - 14) 溝上章志，平野俊彦，竹隈史明，橋本淳也：階層化手法による熊本都市圏バス路線網の再編，土木計画学研究・論文集，Vol. 27, No.5, pp.1025-1034, 2010.
 - 15) 溝上章志，円山琢也：荒尾市における乗合タクシー導入前後のアクティビティ変容の分析，都市計画論文集，Vol.49, No.3, pp.873-878, 2014.
 - 16) 溝上章志，梶原康至，円山琢也：バストリガー制導入のための需要予測モデルと契約成立条件，土木学会論文集D3，Vol.68, No.5, pp.I_589-I_597, 2012.
 - 17) 溝上章志，藤見俊夫，梶原康至：バストリガー制度を維持するための契約のあり方に関するシミュレーション分析，土木学会論文集D3，Vol.72, No.1, pp.52-61, 2016.
 - 18) 溝上章志，藤見俊夫，平野俊彦：熊本都市圏におけるバス路線網再編計画案へのインセンティブ報酬モデルの適用，土木学会論文集D3，Vol.68, No.2, pp.105-116, 2012.
 - 19) 熊本市ホームページ：<http://www.city.kumamoto.jp/>
 - 20) Amartya Sen：不平等の再検討－潜在能力と自由－，池本幸生・野上裕生・佐藤仁 訳，岩波書店，1999.
 - 21) 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）－ICF（国際生活機能分類）：活動と参加の評価点基準（暫定案）－，2007.
 - 22) Brock, W. A. and Durlauf, S. N: Discrete choice with social interactions, *The Review of Economic Studies*, Vol.68, No.2, pp.235-260, 2001.

(2018. 1.9 受付)

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

Shoshi MIZOKAMI and Kenta OYAMA

Community bus called “YuYu Bus” is operated in Kumamoto city, 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 are low and it is difficult to continue service. Hence, there is a service continuation criterion of 30% of income and expenditure rates. The bus service is abolished if inhabitants of the bus route cannot achieve these criteria.

In this study, we develop a travel demand model for community service which consists not only of trip frequency model representing the composition concept of ICF but also of individual mode choice model with consideration of social interactions. Using these models, we predict demands for community bus, and calculate income and expenditure rates. Also, we analyze relations between a route service levels and some environmental conditions which is needed to achieve a service continuation criteria.