

柔軟な公共交通を対象とした 利用者数とサービス水準の循環構造モデル

藤垣洋平¹・高見淳史²・大森宣暁³・原田昇⁴

¹正会員 株式会社 構造計画研究所 (〒164-0012 東京都中野区本町4-38-13)

E-mail: yohei-fujigaki@kke.co.jp

²正会員 東京大学大学院助教 工学系研究科都市工学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)

E-mail: takami@ut.t.u-tokyo.ac.jp

³正会員 東京大学大学院准教授 工学系研究科都市工学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)

E-mail: nobuaki@ut.t.u-tokyo.ac.jp

⁴正会員 東京大学大学院教授 工学系研究科都市工学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)

E-mail: nhara@ut.t.u-tokyo.ac.jp

本研究では、事業者のサービス調整行動と利用者の選択行動の相互作用によって生じる、公共交通サービスレベルと利用者数の悪循環と好循環の構造を分析するモデルを提案する。特に乗合タクシーなどの時刻やルート柔軟に決定する公共交通サービスを新規に導入するケース想定し、先行研究で考慮されていない利用者数増減と待ち時間増減のフィードバック関係を考慮してモデル化を行う。また、多治見市での調査データを元に計算例を示す。この循環構造モデルの計算結果から、初期のサービスレベルや潜在的な利用者数のわずかな違いによって、好循環に入るか悪循環に入るかが分かれ、最終的に大きく異なる状態に至る可能性を示す。最後に、このモデルを用いた段階的なサービス設計方法を提案する。

Key Words : *Virtuous Cycle, Social Interaction, Bus, Taxi, DRT, Public Transportation*

1. 研究の背景と目的

(1) 研究の背景

日本では人口減少やモータリゼーションを背景として地方部や郊外部を中心に路線バスの衰退が進んでいる地域が少なくない。

路線バスの衰退過程では、利用者が減少すると運行事業者が経費を抑えるために運行本数を減らし、それが利便性の低下につながり利用者がさらに減少してしまい、さらに運行本数を減らすことになるという悪循環が生じていることが以前より指摘されている¹⁾。また同様の論理により、利用者の増加が運行本数の増加に繋がり、それがさらに利用者の増加に繋がるという好循環が生じることも考えられる。

このような、バス事業者のサービスレベル設定行動と利用者の選択行動の相互作用により生じる悪循環や好循環について考察している先行研究²⁾では、人口(潜在的な利用者数)と利用者の行動基準(どの程度のサービス水準以上ならば利用するか)、および事業者のサービスレベル調整行動が全く同じだと仮定しても、初期サービスレベルのわずかな差異で好循環に入る場合と悪循環に

入る場合に分かれる可能性が指摘されている。また、潜在的な利用者数がわずかに変わるだけでも、同様に悪循環・好循環のいずれに入るかが変わり、最終的に至る点が大きく変わる可能性が示されている。

以上のような先行研究での知見から、現在非常にサービス水準が低く利用者が低い地域でも、高齢化によって潜在的利用者層が変化することや、実験的なサービス向上や乗合タクシーなどの新しいサービスの導入により、非連続的に状況が大きく変わる可能性もあると言える。実際に国内では、高齢化により自動車の運転が困難な人が増えることで潜在的な利用者の数が増加傾向にあると考えられ、また乗合タクシーなど路線バスよりも柔軟にサービスを提供できるような新しい乗合型の公共交通手段が登場することで、提供可能なサービス水準も変化する可能性がある。

高齢化への対応や環境への配慮の観点から、地域の公共交通の活性化が求められる場面も多くなっているが、悪循環や好循環の構造とそれにより辿り着く点を予測した上でサービスの検討ができれば、地域公共交通の効率的な活性化が可能になると考えられる。

(2) 研究の目的と構成

本研究の第一の目的は、乗合タクシーを対象として、利用者の選択行動と事業者のサービス調整行動の相互作用により生じる好循環と悪循環の構造をモデル化し（以後「循環構造モデル」と呼ぶ）、初期設定に応じ最終的に到達する点を予測することである。対象とする交通手段として乗合タクシーを扱うにあたり、利用者が多くなると待ち時間が増えるという現象を考慮する点が特徴である。また事業者が調整するサービス変数として、待ち時間だけでなく料金設定を考慮することも本研究の特徴である。また、それを通して最小限の投資リスクで好循環に入るような料金や投入台数設定を行う方法を提案することが第二の目的である。

2. 先行研究の整理と本研究の特徴

複数の主体間や、個々の主体と全体での相互作用が、好循環や悪循環を起こして平衡に至る現象については、様々な分野で研究されている。ここではまず、その中でも今回の分析に用いる表現形式の原型を提案したGranovetterの研究³⁾について述べる。その上で、土木計画学分野における相互作用と循環の研究について述べる。

(1) Granovetterの閾値モデル

本研究で用いる手法の原型は、Granovetterが提案した「閾値モデル」である。Granovetterは、2択の選択で、且つ他者の選択状況によって各選択肢を選んだ際の自分が受ける利益が変わるような選択行為（反乱に参加するか否かなど）を対象に、集団内で選択割合がどのような均衡に至るかを分析した。自分が選択を切り替える閾値になる他者の選択割合（例えば100人の集団のうち何人が反乱に参加していれば自分も参加するか）は個人によって異なると仮定し、その閾値の分布と平衡点の関係を計算している。結果として、分布がわずかに異なるだけで、最終的に至る点が大きく異なることを示している。例として、ある場合では反乱の参加者の増加が更なる参加者増を呼ぶ循環が働き大多数が参加する状態に至るが、一方でその時の閾値分布から一人の閾値だけを変えた場合では、反乱への参加は全く広がらない状態になる、というような単純なモデルを示し、閾値分布のわずかな変化により平衡点が非連続に大きく変わることを示している。

(2) サービス変数を介さない相互作用モデル

土木計画学で扱われている相互作用モデルとしては、潜在的利用者が周りの人がどの程度利用するかによって利用有無を決めるモデルと、料金や運行本数、待ち時間といったサービス変数を介して利用者が相互に影響を受けるものに分類できる。後者は、利用者と事業者の2つ

の主体による相互作用と捉えることもできる。サービス変数を介さない相互作用としてはまず、福田⁴⁾が放置自転車を対象にして相互作用を考慮した離散選択モデルを推定し、実際の駐輪実態データを元にした分析を行っている。また、原⁵⁾と溝上⁶⁾は、バストリガー施策を対象にして研究を行っている。

(3) サービス変数を介した相互作用モデル

続いて、サービス変数を介した相互作用モデルとして、松島らとBar-Yosefらの研究について述べる。

松島ら⁷⁾は、需要が徐々に少なくなる時間帯に等間隔で運行するバスでの運行本数選択問題（等間隔のため最終バス選択問題とみなせる）を取り上げ、利用者数が減れば運行本数を減らすという近視眼的な反応をする事業者であれば、初期のサービスレベルの違いにより複数の異なる均衡点に至る可能性があることを示している。事業者は何本目までバスを運行するかを調整し、利用者側は確定的効用を仮定したモデルに従って手段選択を行うものとしている。また、松島らは往復の移動を対象としており、往路と復路で異なる交通手段を選択できないという技術的な制約が、複数の均衡点が存在する原因だとしている。

Bar-Yosefら²⁾は、収益に応じて運行台数（運行間隔）を変える事業者と、待ち時間によりバスを利用するか否かを決める利用者を仮定して、「待ち時間」というサービス指標を介した相互作用を分析している。料金は一定と仮定しており、また待ち時間に影響する運行間隔は利用者数が決まれば一意に決まるものとしている。

表1 先行研究と本研究で考慮している内容の比較

	利用者行動		事業者が調整する変数	対象サービス
	説明変数	選択方法		
松島ら	料金 待ち時間	確定的 モデル	運行本数	バス
Bar-Yosefら	待ち時間	分布 ベース	車両数 (運行間隔)	バス
本研究	料金 待ち時間	確率的 モデル	料金または 車両数	乗合 タクシー

(4) 本研究の位置づけと特徴

本研究では、(3)で述べたようなサービス変数を介した利用者と事業者の相互作用を扱う。また、乗合タクシーやデマンドバスといった柔軟な運行ルート・時刻決定を行う新しい乗合サービスの導入を検討するために、松島らやBar-Yosefらの研究では十分に考慮されていない混雑による待ち時間変化の影響を考慮する。料金についても事業者が利用動向を見ながら変化させることを想定する。利用者・事業者行動と対象サービスの観点での、先行研究と本研究の特徴を表1に示す。

利用者行動の表現としては、料金と待ち時間を説明変

数に含む確率的なモデルを使うという点が特徴であり、事業者行動の表現としては料金を変化させるという点が特徴である。これは、路線バスであれば料金は長期間にわたって一定であることが多いが、新しい公共交通手段を導入するための社会実験から実運行開始までの過程では、料金の設定も利用の状況を見ながら柔軟に改定することも可能だと考えられるためである。また同時に、住宅団地の自治会などの住民組織が主体となって会費制で運行費用を負担する形で乗合交通サービスを実行する事例も増えており、そのような形態では会費負担と利用者数が密接に関連する。運行費用を会員数で等分して負担する形態であれば、今回の分析で「事業者」と呼ぶ主体を「運行主体になっている住民組織」と読み替えることができる。

また、混雑現象の考慮を行っている点も特徴である。乗合タクシーやデマンドバスなどは、運行時刻やルートが利用者数に応じて柔軟に決まるため、同じ車両数であれば利用者数が増えるほど待ち時間が増え、サービスの質が下がり、利用者が減る方向に作用するという負のフィードバックが存在すると考えられる。本研究では、利用者が増えれば一人当たりの費用が下がり料金が安くなり利用者がさらに増える方向に動くという料金を介した正のフィードバックと、利用者数が増えれば待ち時間が増えるという負のフィードバックの双方を考慮に入れたモデルを構築する。

3. 分析の枠組み

本章では、本研究で提案する循環構造モデルの枠組みを示す。まず、対象と仮定を整理したうえで、分析の全体像を示す。その上で、利用者・事業者行動のモデル化方法を示し、それを元にした人数変化の漸化式を示す。

(1) 対象とするサービスと仮定

事前予約が不要で、配車リクエスト後にできるだけ早く到着するように配車する乗合タクシーやデマンドバスサービスを対象とする。また、(4)で述べる通り事業者行動について単純な仮定を置く。なお、事業者主体のサービスだけでなく、住民組織などによる会員制のサービスの場合でも同様の仮定が成り立ち得ると考えられる。

(2) 分析の全体像

2章で述べたように本研究では、[1] 待ち時間を介した負のフィードバックと、[2] 料金を介した正のフィードバックの双方を検討する。待ち時間のフィードバックは、1週間～1か月ごとに利用者が選択を繰り返すことで生じる比較的短期的なものあり、一定期間後に均衡状態に達するものと仮定する。一方で、料金を介したフィードバ

ックは数か月～数年に1度程度の料金改定を繰り返して変化していく比較的長期的なものとする。そのため、料金フィードバックが行われる期間の長さは、待ち時間フィードバックが行われる期間の10倍程度の長さがあるため、待ち時間がほぼ均衡に近い状態に達してから料金の改訂がなされると仮定する。二つのフィードバックの関係を図1に示す。

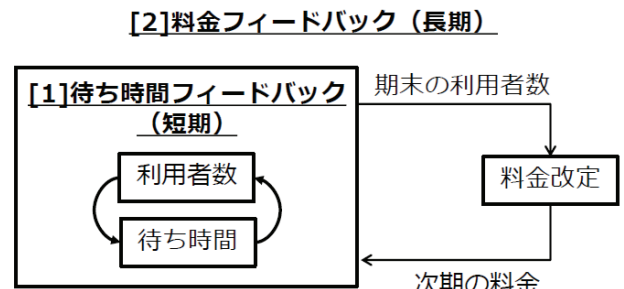


図1 二種類のフィードバック関係の位置づけ

また、時系列では四半期や1年などの一定期間の末の利用者数を元にして料金改定を行うものとする。その料金が次の期間の料金として固定されたうえで、利用者数と待ち時間のフィードバックが起こり、次の均衡利用者数に至るものとする。時系列での料金と均衡利用者数関係の概念図を図2に示す。

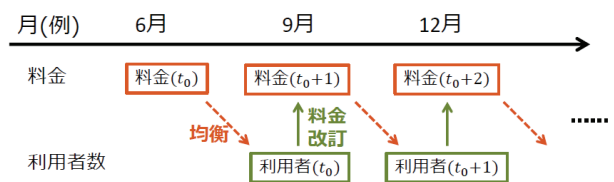


図2 時系列でのフィードバック関係の概念図

(3) 潜在的利用者の行動のモデル化

潜在的利用者は待ち時間と料金を元に利用するか否かを決定するものとし、それ以外のサービス要素（乗車時の車両の混雑など）は考慮しないとする。また、ここでは潜在的利用者の乗合サービス選択割合を離散選択モデルで表現する。利用者は一定期間ごとに、それまでの平均的な待ち時間を参考にして利用有無を再判断する。

(4) 事業者行動のモデル化

事業者はサービス変数を変えた際の利用者の反応を予測できるような事業者ではなく、その時々利用者数に反応してサービス変数を変えていく近視眼的な事業者を仮定する。その上で、事業者自身が独自に定める一定割合の利益を必要経費に上乗せした金額を、前期末の利用者数で割って今期の料金を設定するものとする。

また、車両と運転手は事業者が同時に行っている他の

地域や他種別のサービス（一般タクシーなど）と共用できるか、他のリース会社等と協力することにより、増車のための初期費用は掛からないものとする。そのため、運行経費は単位期間の車両1台当たり経費に運行する車両数を単純に掛けることで算出できるものとする。

(5) 利用者数漸化式の導出

以上のような利用者行動と事業者行動を仮定すると、 t 期末の利用者数と $t + 1$ 期末の利用者数の関係式を導くことができる。台数を n 、利益率を r 、車両1台当たり費用を c とすると、事業者は総費用と利益率を合わせた $(r + 1)nc$ を t 期末の利用者数で割って料金を設定する。料金を f としたときに、待ち時間と利用者数のフィードバック関係によって到達する均衡利用者数を $p(f, n)$ 、 t 期末の利用者数を $X(t)$ と置くと、 $t + 1$ 期末の利用者数 $X(t + 1)$ は次式で表せる。

$$X(t + 1) = p\left(\frac{(r+1)nc}{X(t)}, n\right) \quad (1)$$

本研究で提案する循環構造モデルでの利用者数の推移はこの(1)式によって表される。(1)式に任意の初期利用者数を与えることにより、悪循環や好循環の発生を説明することができる。また、好循環や悪循環の末に辿り着き安定する点は、 $X(t + 1) = X(t)$ を満たす点である。

なお本研究では、 $X(t + 1) = X(t)$ となる利用者数を、平衡点と呼び、待ち時間と利用者数の短期的なフィードバックにより到達する「均衡利用者数」と区別する。

また、サービスは料金の設定があつて初めて開始できるものであるため、まず料金の初期設定が定められた上で第1期末の利用者数 $X(1)$ が求まると考えられるが、ここでは便宜的に0期の利用者数 $X(0)$ を、料金の初期設定で目標の利益率が取れる利用者数と置く。 $X(0)$ はそれだけの利用者がいれば、初期設定料金で事業者が設定した利益率が得られるという値である。

(6) 人数漸化式の表現方法

本章の最後に、循環構造モデルの計算結果を分かりやすく表現するために用いるグラフ表現について説明する。なお、このグラフ表現と同様の方法をGranovetterが提案しており、またBar-Yosefらも同じ手法を本研究と同様の公共交通の循環構造分析に適用しているため、この手法は本研究での独自の提案ではない。

前節で示した式(1)は、 t 期末の利用者数 $X(t)$ で $t + 1$ 期末の利用者数 $X(t + 1)$ を説明する式である。ここで横軸に $X(t)$ を、縦軸に $X(t + 1)$ を取ったグラフ上に(1)式による計算結果を曲線として表現することができる。さらに、このグラフに $X(t + 1) = X(t)$ を表す直線（45度線）を引いたグラフを分析に用いる。グラフの例を図3に示す。

ここで、45度線よりも上に(1)式の曲線がある場合には、 $X(t + 1) > X(t)$ であるため、期が進むごとに利用者が増える好循環が生じる部分であると言える。図3の左のグラフを用いて推移を考えると、 a 人の利用者が居れば次の期には $a < b$ であるような b 人の利用者が集まり、さらにその次の期では横軸 $X(t)$ の値が b である時の曲線上の値だけ利用者が集まるために、さらに利用者が増える、というような形で階段状に好循環が進むことが分かる。逆に45度線よりも下に(1)式の曲線がある場合には、 $X(t + 1) < X(t)$ であるため、期が進むごとに利用者が減る悪循環が生じる部分であると言える。

ここで、図3の左のグラフにある45度線と曲線の交点のような点は、悪循環や好循環の末に辿り着く平衡点になっていると言える。この点よりもわずかに利用者数が多いまたは少ない状態から始まっても、この点に辿り着くようになっているため、このような平衡点を安定平衡点と呼ぶ。一方で、図3の右のグラフのような状況では、好循環と悪循環の末に辿り着く安定平衡点のほかに、その点より少しでも利用者が減れば悪循環に、利用者増えれば好循環に入るような平衡点が存在する。このような点を不安定平衡点と呼ぶ。この不安定平衡点より利用者数が多い状態で始まるか少ない状態で始まるかによって最終的に到達する安定平衡点が異なる。そのため、潜在的利用者数の増加や一時的なサービス向上によりこの点を超えることができれば、一気に高いサービスが実現する可能性があると言える。

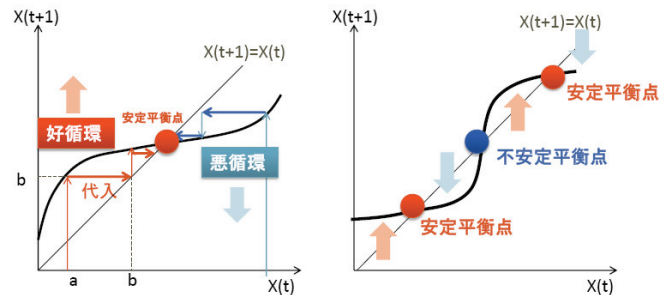


図3 分析に用いるグラフ表現

4. 待ち時間均衡分析の概要と計算例

待ち時間と利用者数のフィードバック関係と均衡点を表現するモデルとして本研究では、筆者らが先行研究⁹⁾で提案している分析手法を用いる。この手法に関しては本稿で新規に提案するものではないため詳細は述べないが、この先の悪循環・好循環構造分析の計算例で計算結果を用いるため、ここでは概略を紹介する。

(1) 分析上の仮定

今回の分析では計算を簡潔にするために、「利用判断

の非リアルタイム性」、「待ち時間の空間的平均化」、そして「時空間的な需要パターンの等率拡大」という3種類の仮定を置いている。また、実際のサービスとして、1週間や1か月単位で契約を行う地域限定の定額制乗合タクシーサービスであれば、以下で仮定した状態と近い状態になると考えられる。

まず、「利用判断の非リアルタイム性」とは、個々のトリップ開始前にその時点での待ち時間を問い合わせる利用可否を決めるのではなく、ある程度の期間（1週間～数週間程度を想定）での平均的な待ち時間を参考にして、次の定期契約を結ぶかどうかを判断するという仮定である。

「待ち時間の空間的平均化」とは、利用者が特定区間だけでの待ち時間を参考にして利用を決めるのではなく、乗合タクシー運行地域全体での平均的な待ち時間を元に判断を決めるという仮定である。

「時空間的な需要パターンの等率拡大」とは、定額制サービスへの加入者数と、実際のODごとの利用トリップ数が、比例関係にあるという仮定である。

なお、以下の分析ではこれらの仮定に比較的近いと考えられる「一定期間ごと契約の定額制乗合タクシーサービス」を仮定し、「利用者数」という言葉は、全て定額制サービスでの加入者数と同義として用いるものとする。

(2) 均衡点の定義と導出方法

以上のような仮定を置くことで、利用者数を乗合タクシーシステム全体の平均待ち時間と料金などのその他変数で表現することができ、平均待ち時間も利用者数の関数として表現することができる。ここで、両者は図4のように待ち時間—利用者数平面の関数として表現することができ、その交点の利用者数・待ち時間を均衡利用者数・均衡待ち時間と定義する。もし利用者数が均衡利用者数よりも多い場合には、その利用者数で達成される待ち時間を受けて利用者は減る方向に向かうと考えられ、逆に均衡利用者数より利用者が少なければ利用が増えると考えられる。

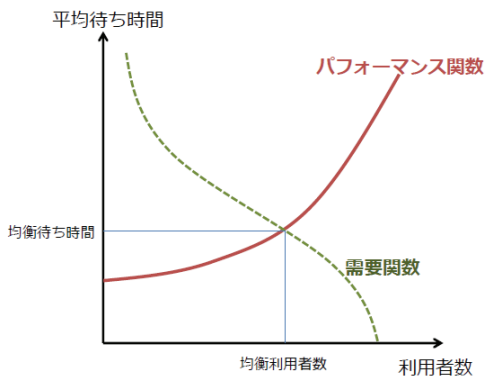


図4 需要関数・パフォーマンス関数の概念図

なお、パフォーマンス関数には実運行から取得したデータか運行シミュレーションから推定した関数を用いることができ、需要関数には離散選択モデルなどが利用できると思われる。

(3) 多治見市の調査データを用いた均衡点の導出例

続いて、均衡利用者数を岐阜県多治見市で筆者が行った調査データを用いて具体的に計算した例を示していく。この調査は多治見市の郊外住宅団地居住者を対象にして仮想の定額制乗合タクシーの利用意向を伺った調査である。詳細は同様に筆者らの以前の研究⁸⁾を参照されたい。

パフォーマンス関数は、実際には運行されていないサービスであるため、筆者らが構築した運行シミュレーションでの測定結果を元に指数関数で近似したものをを用いている。需要モデルは、調査の結果から推定した料金と待ち時間を変数とした二項ロジットモデルを、料金を固定した状態で用いている。

図5に、週当たり2500円、車両が1方向あたり3台の場合での計算例を示す。なお、循環ルート上に複数の「面的に自由な場所で乗降できるエリア」が存在するという運行形態を仮定しているが、本稿での計算例での台数は全て1循環方向あたりの台数で表記する。そのため、費用計算に用いる総台数は表記の台数の2倍である。

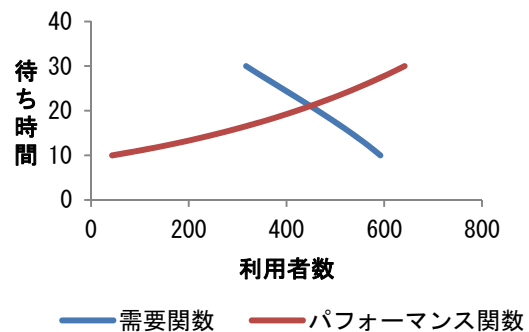


図5 均衡利用者数の導出例（2500円、3台の場合）

続いて、料金を100円刻みで変えながら均衡利用者数を計算した結果を図6に示す。料金が增加するほど利用者数が減ることが分かる。

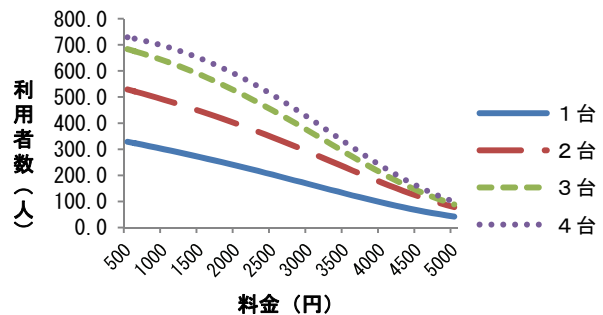


図6 台数・料金と均衡利用者数の関係

5. 循環構造モデルの計算例

(1) 多治見市での調査データからの計算結果

続いて、4章で述べた多治見市での調査データを用いた、循環構造モデルの計算例を示す。まず、利用意向調査から推定したモデルの通りの需要があると仮定して計算したものを図7に示す。

なお、利用者行動の仮定としては4章で述べたものと同じ調査から推定した需要モデルに基づいて選択を行うものとして、4章で述べたような待ち時間と利用者数の均衡現象が起きるものとしている。事業者行動の仮定としては、乗合タクシー車両1台当たり費用を先事例⁹⁾を参考に1月あたり50万円として計算し、利益率20%を上乗せした金額を期末の利用者数で割ることで次期の料金を計算するものとする。また、利用者は1週間単位で定額制サービスへの加入有無を再度判断することができ、数週間で均衡に達すると仮定する。事業者が料金を改定する頻度(1つの期の長さ)は特に定めないが、3か月程度かそれ以上の期間があり、それまでに待ち時間と利用者数は均衡に達していると仮定して計算している。また、ここでは1週間単位の定額制サービスを仮定するため、 t 期末の利用者数 $X(t)$ は最後の1週間の加入者数に相当する。

車両数が1台から4台の場合では、不安定平衡点と安定平衡点の双方が存在している。高い位置にある方の平衡点は、台数が多いほど高くなる傾向がある。一方で不安定平衡点の位置も台数が多いほど高くなるため、台数が多いと好循環に入る閾値が高くなっていると言える。台数を増やした状態で好循環に入るためには、初期設定である程度多い利用者数を想定した安い料金設定(良いサービス)が必要であると言え、不安定平衡点を超えるような利用者数が集まるサービスを提供できるか否かで、最終的に至る点が大きく変わると言える。

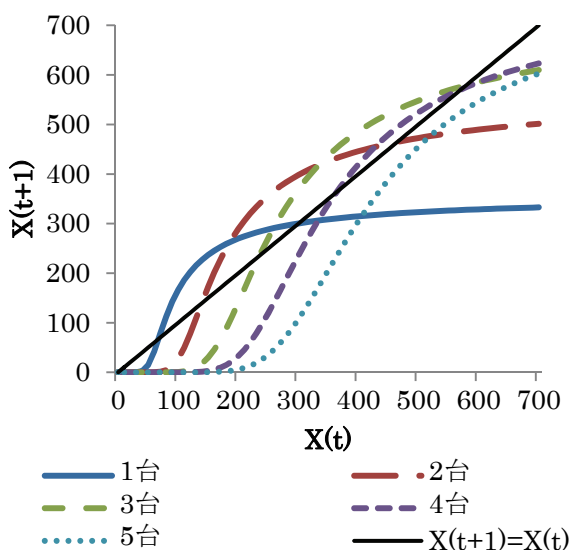


図7 循環構造モデルの計算結果

(2) 需要減少時の計算結果

続いて、利用者数を一律に7割にした場合の計算結果を図8に示す。これは、利用意向調査を元にした需要予測が過大推計となる可能性があることを考慮して、平衡点の安定性を確認するためである。

1台と2台では高位の安定平衡点がみられるが、3台以上では高位の安定平衡点が無い状態になっている。一方で、1台と2台の場合には閾値となる不安定平衡点の値はあまり大きくは変わっていない。

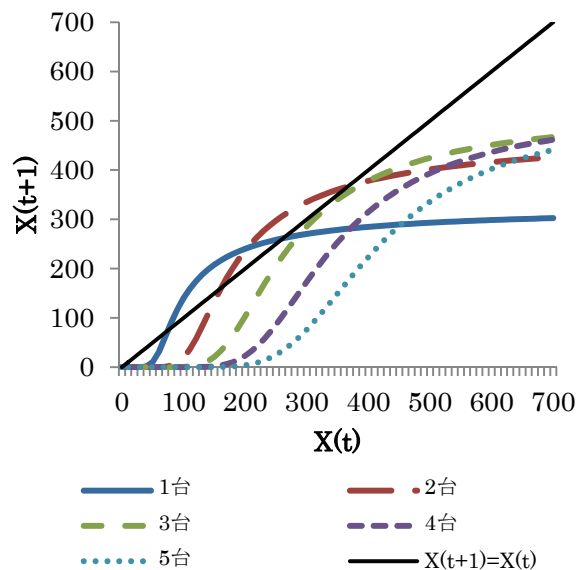


図8 需要が7割の場合の計算結果

6. 段階的サービス設計への応用

最後に、リスクを抑えた段階的サービス設計への応用可能性について述べる。サービスの設計段階において正確な需要推計ができれば、行政や住民主体であれば所定の収支条件のもとで利用者数が最大となるサービス変数を、また民間事業者主体の場合は収益が最大となるサービス変数設定することが可能になる。しかし、需要の全体像を的確に把握することは容易ではなく、5章で示したような循環構造が需要予測結果から算出できたとしても、運行開始前の利用意向調査では過大推計になっている可能性もあり、依然としてリスクが伴う。

そこでここでは、少ない台数で開始し段階的にサービスを向上させ、所与の収支条件下で利用者数が最大になる点まで進む方法を提案する。この方法は、ある程度の需要予測能力があるものの、一気に何台も車両を購入するリスクを取れない小規模事業者や行政、住民組織が、段階的に高いサービスを目指す際に用いる手法として、発展させられるのではないかと考えられる。

前提として、事業者が運行開始前にアンケートでの利

用意向調査とそれに基づいた需要予測、および4章で述べたような均衡分析を実施しており、その結果として5章で示したような循環構造がある（45度線より上で1台と2台、2台と3台などの異なる台数の交点が存在する）ような可能性が見いだされた状況を想定する。サービス設計方法の手順を以下に示す。

まず最小台数の場合に、調査分析の結果から好循環に入る可能性が高いと判断できた $X(0)$ を選び、その $X(0)$ で「費用に所定の利益を足した額」を割った料金からサービス開始する。なお $X(0)$ は、調査結果以外にも「実験運行での利用動向」や「住民組織で特に導入を希望する有志の数」などが分かる場合にはそれらも総合的に考慮して設定することも考えられる。その上で、循環構造モデルの形を利用して、台数を次の法則で変化させる。

- [1] $X(t-1) < X(t)$ であれば、 $t+1$ 期もそのままの台数で通常通り価格改定（値下げ）を行う
- [2] $X(t-1) > X(t)$ となった場合、 $t+1$ 期には価格改定をせず1台増車する
- [3]一度[2]で増車した直後 $X(t-1) > X(t)$ となった場合、 $t+1$ 期に価格改定をせず1台減車する

5章の図7に示した計算例を用いて、この段階的サービス向上策を適用した場合の例を示す。まず、需要予測が当たっており、図7の通りの循環構造であった場合について述べる。初期設定として、100人の利用があれば採算が取れる3,000円/週、1方向当たり1台でサービスを開始すると、300人程度に達するまで上記[1]に従い利用者増と値下げを繰り返すことができる。続いて、300人程度で[1]の条件が満たされなくなり、[2]の条件から2台に増車することになる。その後は再び[1]の条件に従って460人程度に達するまで進むことができる。その後、460人程度で再び[2]の条件で3台に増車し、そこから[1]の条件に従って570人程度に達するまで同様に進むことができる。570人程度で[2]の条件から4台に増車するが、それによって利用者が520人程度まで減少するため、[3]の条件に従い3台に戻り、結果として570人程度で安定すると考えられる。なお、570人程度の利用者数は利益率20%という制約条件下での最大の利用者数とほぼ等しくなっている。一方で、需要予測が過大であり、本来の利用者数は予測の7割程度で図8のような状況であった場合を考える。100人の利用があれば採算が取れる3,000円/週、1方向当たり1台でサービスを開始すると、260人程度に達するまで上記[1]に従い利用者増と値下げを繰り返すことができる。続いて、260人程度で[1]の条件が満たされなくなり、[2]の条件から2台に増車することになる。その後は再び[1]の条件に従って360人程度に達するまで進むことができる。その後、360人程度で再び[2]の条件で3

台に増車し、それによって利用者が350人程度まで減少するため、[3]の条件に従い2台に戻り、結果として360人程度で安定すると考えられる。

以上のようにすることで、今回の計算例のような場合には、需要予測が当たっている場合でも実際は予測の7割程度しか需要がなかった場合でも、達成可能な最大利用者数に近い値に達することができる。なお、この方法で順次台数を増やすことができ、7割程度の需要でも同様に最大利用者数に達することができるのは、循環構造のグラフで45度線より上で1台と2台、2台と3台などの異なる台数の交点が存在し、なお且つ需要予測より7割程度低い水準でも少ない台数ならば高位の平衡点がみられる場合のみである。この仮定が必ずしも満たされているとは限らず、全ての場合に適用できるという方法ではないという点に注意が必要である。

7. 結論と今後の課題

本研究では、事業者のサービス変数調整行動と利用者の利用選択行動の相互作用によって生じる悪循環や好循環を表現するモデルを構築した。特に、先行研究で考慮されていない事業者による料金の調整と、利用者数と待ち時間のフィードバック関係を考慮した分析方法を提案した。多治見市での調査データを元にした計算例を示し、潜在的な利用者数や初期サービスレベルによって最終的に到達する平衡点が大きく変わる可能性があることを示した。また、循環構造モデルを用いた段階的なサービス設計手法を提案した。

今後の課題としては、理論的な動学化、一般化と、実際のサービス設計への適用可能性を高めることの2点が挙げられる。理論的な動学化としては、期が進むにつれて潜在的な利用者層の属性が高齢化などで変化していく場合や、各個人の需要関数が変化していく場合にも対応できるように理論を拡張することが課題である。また、一般化という面では、今回は2項ロジットモデルを用いた需要関数と指数関数で表したパフォーマンス関数を用いた計算結果を示すだけにとどまっており、他の関数も含め需要・パフォーマンス関数の特性と循環構造の関係を整理することが今後の課題である。実際のサービス設計への適用性を高めるための課題としては、多様なサービス形態への応用と、現実の事業者・利用者行動との対応関係と適合しているかの検証や適合していない部分を考慮することが挙げられる。今回の分析では途中で多くの仮定を置いているが、特に実際のサービス検討への応用に耐えうるようになるためには、それらがどの程度現実との乖離を招いているかを実データから確認して必要な改善を行うことが不可欠だと考えられる。

謝辞：多治見市での調査にあたっては、株式会社コミュニティタクシーの岩村様大変お世話になりました。また、多治見市市之倉ハイランドにお住いの方々には、貴重なお時間を頂き調査にご回答いただきました。ご厚意に感謝いたします。

参考文献

- 1) 新谷洋二 編著：都市交通計画 第2版，技報堂出版，2003.
- 2) Asaf Bar-Yosef, Karel Martens, Itzhak Benenson: A model of the vicious cycle of a bus line, Transportation Research Part B, vol.54, pp37-50, 2013.
- 3) Mark Granovetter: Threshold Models of Collective Behavior, The American Journal of Sociology, Vol83, No.6, pp1420-1443, 1978.
- 4) 福田大輔：社会的相互作用存在下での交通行動とミクロ計量分析，土木学会論文集， No. 765/IV-64, pp. 49-64, 2004.
- 5) 原祐輔：他者の選択行動を推測する利用者意識を考慮した交通手段選択に関する研究ーバストリガー制度を例

としたSP 実験とシナリオ評価ー，平成20 年度東京大学大学院修士論文， 2008.

- 6) 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 (土木計画学) Vol.68, No.5 (土木計画学研究・論文集第29巻) pp. I_589-I_597, 2012.
- 7) 松島格也，小林潔司：手段補完性を考慮したバス市場構造の分析，土木学会論文集， No. 765/IV-64, pp. 115-129, 2004.
- 8) 藤垣洋平，高見淳史，大森宣暁，原田昇：乗合タクシーサービスの均衡分析とサービス変数最適化手法，第34回交通工学研究発表会論文集 (CD-ROM)， 2014.
- 9) 国土交通省 総合政策局 交通計画課：地域公共交通の活性化・再生への事例集より「石巻市（宮城県）：いない号 地域住民の経費一部負担による乗合タクシーの導入」
http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/transport/pdf/014_ishinomaki.pdf (2014年1月28日閲覧) .

(2014.7.31 受付)

AN INTERACTION MODEL DESCRIBING VICIOUS AND VIRTUOUS CYCLE OF NUMBER OF PASSENGERS AND SERVICE LEVEL FOR FLEXIBLE PUBLIC TRANSPORTATION

Yohei FUJIGAKI, Kiyoshi TAKAMI, Nobuaki OHMORI, and Noboru HARATA

An analytical model that explains the vicious and virtuous cycle of number of passengers and service level is developed. The model is designed for shared ride taxi services, in which increase of number of passengers leads to increase of waiting time. In the model, the effect of the interaction between the number of passengers and waiting time is taken consideration. In addition, the effect of price is also considered. Using the survey data in Tajimi city, the calculation example is provided. Finally, a step-by-step service design method using the interaction model is proposed.