土木学会論文集 No. 765／IV-64, 115-129, 2004. 7

手段補完性を考慮したバス市場構造の分析

松島格也[1]・小林潔司[2]

[1]正会員 博(工) 京都大学助手 大学院工学研究科都市社会工学専攻(〒606-8501 京都市左京区吉田本町)
E-mail:kakuya@psa2.kuciv.kyoto-u.ac.jp
[2]フェロー会員 工博 京都大学教授 大学院工学研究科都市社会工学専攻(〒606-8501 京都市左京区吉田本町)
E-mail:kkoba@psa2.kuciv.kyoto-u.ac.jp

本研究では，往路トリップと復路トリップにおいて，一方のトリップにおける交通手段選択の結果が互いにいま一方のトリップの手段選択に制約条件として機能するメカニズムを手段補完性と定義する．家計のバス選択行動に手段補完性が存在する場合，バス市場に規模の経済性が原因となってバスの運行本数とバス需要の間にポジティブフィードバックのメカニズムが働く．本研究では，手段補完性を明示的に考慮したバス市場均衡モデルを定式化し，バス市場に複数均衡解が存在することを理論的に示す．さらに，カーシェアリング，レンタサイクル等の交通政策が手段補完性を補正する機能に着目し，この種の交通手段の代替化施策の導入が市場均衡や社会的厚生に及ぼす影響を分析する．

Key Words : *strategic complementarity, positive feedback, bus market, modal choice*

1. はじめに

わが国では，都市圏，地方圏に関わらず，多くの地域でバス企業体が経営の採算性を確保できず，しかも採算性は年々悪化の一途を辿っている[1]．バス経営の採算性の悪化により企業がサービス頻度を減少すれば，家計のバス離れを誘発し，さらに経営が悪化する．このように経営の採算性と家計のバス需要の間には（負の意味の）ポジティブフィードバックが機能する．

家計のバス利用行動には，1）往路にバスを利用すれば，復路においても（他に交通手段がなければ）バスを利用せざるを得ない，2）バスを利用するために待ち時間が発生するが，往路・復路のいずれか一方の待ち時間が長くなれば，双方のバス利用行動に影響を及ぼすという特性がある．すなわち，家計は個々のトリップだけでなく，トリップチェイン全体を考え手段選択を行う．このような特性はバストリップだけでなく，他の交通手段にも存在する．トリップチェインを考慮した交通行動モデルに関してはすでに研究の蓄積がいくつかある[2),3)]．しかし，家計はトリップチェイン全体の効用だけでなく，待ち時間という個々のトリップの（不）効用も判断し，交通手段を選択する．このようなバス利用構造の特性が，バスサービスの市場構造に多大な影響を及ぼしている．

本研究では，家計のバス利用行動の特性を，往路と復路の一方のトリップの手段選択の結果がもう一方の手段選択に影響を及ぼすという技術的外部性，およびトリップ間での（不）効用の不完全代替性が原因となって生じる手段補完性として概念化を試みる．家計のバス選択行動における手段補完性が原因となって，２．で考察するように，バスの運行本数とバス需要の間に（負の）ポジティブフィードバックが働くことになる．バス市場を維持・活性化するためには，ポジティブフィードバックの原因となっている手段的補完性の発生メカニズムを是正することが必要である．

以上のような問題意識のもとに，本研究では家計のバス利用行動における手段補完性を明示的に考慮したようなバス市場均衡モデルを定式化し，バス市場構造の特性を分析する．さらに，バス市場の維持・活性化戦略の導入が，バス市場の効率性，社会的厚生に及ぼす影響を分析する．以下，２．では本研究の基本的な考え方を説明する．３．では市場均衡モデルを定式化する．４．では市場構造の特性の分析と均衡モデルの拡張を試みる．５．では，バス市場の維持・活性化戦略の導入が社会的厚生に及ぼす影響を分析する．

2. 本研究の基本的な考え方

(1) 従来の研究概要

従来より，バスの運行系統やダイヤ設定等，バスの運用計画に関する研究は数多い．わが国でも，バスダイヤの設定を含めたバス系統の最適設計を目的とした数理計画モデルが提案されている[4),5)]．さらに，アンケート調査等により，バスの運行頻度が家計のバス利用意識に及ぼす影響を分析した研究事例[6),7)]も数多い．さらに，中川等[8)]は運行時刻の不確実性が交通行動に及ぼす影響を分析している．また，渡辺[9)]は運賃の上昇とバス利用者数の減少との関係を実証的に分析している．

高山等[10]はバスダイヤを考慮したバス路線網を遺伝的アルゴリズムで設計する方法を提案している．しかし，これらの研究は，バス企業の行動とバス需要の相互関係を分析するという均衡論的な分析枠組みを持っていない．一方，近年のバス市場の規制緩和を背景として，バス市場均衡に関する分析事例[11)-14]が増えてきた．中でも，規制緩和後のバス市場均衡に焦点を置いて，市場均衡の効率性や需要のコーディネイション[13]に関する研究が進展している．わが国においても，柳沢等[15]は運行サービス水準と社会的便益の関係を分析している．また，小林等[16]は過疎地域のバス市場を対象とした公共交通サービスの維持方策の効果を分析している．さらに，わが国における規制緩和後のバス市場の構造変化に関する理論的・実証的研究が精力的に実施されている[17]．しかし，これらの市場均衡モデルはバス市場における規模の経済性を考慮しておらず，バス市場におけるポジティブフィードバックを分析するという目的意識を持っていない．

バス交通と自動車利用の間の競争関係の間に働くポジティブフィードバックに着目し，バス利用率に関する複数均衡解を分析した先駆的研究として Kitamura *et al.*[18]がある．そこでは，バス市場に働く外部性として道路混雑，固定費用，待ち時間の３つの要因をとりあげている．さらに，家計の同質性を仮定して，バスサービス市場に働くポジティブフィードバックを説明しているが，規模の経済性の原因となる外部性として固定費用と待ち時間をとりあげている．しかし，バスの利用客の限界的な増加が待ち時間の限界的な減少をもたらすという規模の経済性が働くためには，利用客数が常にバス容量に到達するようなダイヤを設定できるという特殊な仮定が必要となる．しかし，利用者のバス離れによる負のポジティブフィードバック現象を説明する上で，バス需要が希薄な市場においても利用客がバス容量に到達するという想定は現実的ではない．これに対して本研究では，バス市場に存在する負のポジティブフィードバックが，家計の経路選択行動における手段補完性に起因して生じる規模の経済性に依存することを明らかにする．その上で，バス企業のダイヤ設定行動を明示的に考慮した市場均衡モデルを定式化するとともに，バス市場均衡の複数性について考察する．

(2) バス市場の構造と外部経済性

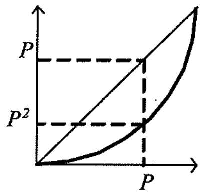
一般に，市場に外部経済が存在する場合，資源配分の非効率性が発生し，政府による市場介入が必要となる．さらに，外部経済性が規模の経済性の原因となる場合，市場に複数の安定均衡解が存在する可能性がある．バス市場に介在する外部経済性として，1）道路混雑，2）固定費用，3）待ち時間，4）手段補完性等が

表－1　バス市場と外部経済性

外部性の種類	規模の経済性	タイプ	主体
道路混雑	無	技術的	家計
固定費用	有	技術的	バス企業
待ち時間	無	金銭的	家計
手段補完性	有	技術的	家計

ある．道路混雑は道路の利用技術に起因して生じる技術的外部性[19]である．道路利用者が増加すれば，走行時間が増加するという外部不経済が発生するが，規模の経済性は存在しない．道路利用者が増加すれば，バスの運行速度だけでなく，自動車の走行速度も低下する．このため道路混雑は，ポジティブフィードバックの原因にはならないが，市場均衡の効率性に影響を及ぼす．バス企業の経営には固定費用が存在する．バスサービスの可変費用が一定であれば，バスの利用者の増加により利用者１人当たりが負担する固定費用は減少する．さらに，バス利用者が増加すれば自動車交通量が減少し，道路利用者全体の一般化費用の減少をもたらす[20)-22]．このような固定費用の存在がもたらす規模の経済効果は道路混雑と同様に技術的外部性であり，道路利用者の厚生に影響を及ぼすものの，バス市場におけるポジティブフィードバックの原因ではない．また，バス企業の固定費用に関しては，経営の合理化を通じてある程度の削減が可能であり，固定費用による規模の経済性はそれほど大きくない．また，固定費用に対して補助金を支出すれば，固定費用の存在による規模の経済性は解消する．

バス市場では，時間軸上の限られた時点でサービスが提供されるため，バス利用者に待ち時間という取引費用が発生する．バス利用者が増加し運行本数が増加すればサービスの取引費用（待ち時間）が減少し，サービスの市場取引が効率化される．取引費用の減少という外部経済性は，バス利用客の増加とバス企業のダイヤ設定行動の相互作用を通じてバス市場に生じる金銭的外部経済性である．バス企業は利潤最大化行動を通じて金銭的外部経済性[19]を内部化することが可能である．バス容量に余裕が存在する状況においてはバス利用者の増加が直ちに待ち時間の減少をもたらすという規模の経済性は存在しない．最後に，バス市場には往路，復路トリップにおける交通手段の選択が，いま一方のトリップにおける手段選択に影響を及ぼすという技術的外部性が存在する．すなわち，往路，あるいは復路におけるバスの利用可能性が増加すると，もう一方のトリップにおけるバスの利用可能性も増加するという戦略的補完性[23)-26]が存在する．本研究ではこのような手段選択における戦略的補完性により生じる規模の経済性を手段補完性と呼ぶ．



家計が往路あるいは復路にバスを利用してもいいと考える確率をともにPとしよう．さらに，往路と復路の待ち時間に対する不効用が非代替的であり，往路と復路の確率Pが互いに独立であると仮定する．この時，手段的技術外部性により，家計がバスを利用するのは往路と復路の双方でバスを利用することを希望する場合となり，バス利用確率は$P \times P = P^2$と表される．他のことを一定にすれば，バスの利用確率P^2は常に確率Pより小さく，手段補完性の存在によりバスの利用確率は減少する．

図－1　手段補完性と規模の経済性

(3)　手段補完性と規模の経済性

手段補完性がもたらす規模の経済性を説明するために，目的地まで同一区間を往復する家計を考えよう．簡単のために，交通手段としてバス，自家用車のみが利用可能であるとする．往路にバスを利用すれば，復路でもバスを利用せざるを得ない．自家用車に関しても同様である．往路でバス利用を考えている家計でも，復路にバス利用が不可能であればバス利用を往復とも諦める．家計は往路と復路の双方における交通手段の利用可能性を考慮に入れて，トリップチェイン全体の交通手段を選択する．このように家計の交通行動には，往路と復路のいずれかのトリップにおける手段選択に関する制約が，いま一方のトリップの手段選択に制約条件として機能するという技術外部性（以下，手段的技術外部性と呼ぶ）が存在する．また，家計がバスを利用する場合，バスの到着を待つための待ち時間という取引費用が発生する．この場合，家計はトリップチェインにおける総待ち時間だけに着目して，トリップチェインにおける手段選択を行うわけではない．往路と復路の内，いずれか一方の待ち時間が長くなれば，いま一方の待ち時間の長短に関わらず，バス利用を諦める．待ち時間に対する不効用はそれぞれのトリップにおける待ち時間に対して定義される．このように往路と復路の待ち時間は，相互に完全代替的ではなく不完全に代替可能である．このような待ち時間（取引費用）に対する不効用の性質を，不完全代替性と呼ぶ．

家計の交通行動には，上述のように手段的技術外部性と不完全代替性が存在する．そのため，往路と復路の内，いずれか一方のトリップにおいてバスの待ち時間が長くなれば，そのトリップにおけるバス利用をとりやめるだけでなく，いま一方のトリップにおけるバス利用もとりやめられる．このような往路と復路におけるバス利用の相互関係は図－1に示すようにモデル化できる．同図に示すように，往路と復路のバス利用確率Pが独立であれば，往路・復路を通じたバスの利用確率はP^2と表される．このようにバス利用トリップには，一方のトリップにおけるバス選択確率の増加（減少）が，いま一方のトリップにおける選択確率の増加（減少）をもたらすという戦略的補完性[24]が存在する．厳密には，自家用車利用においても往路で自家用車を利用すれば，帰復路において自家用車を利用せざるを得ないという技術外部性が存在する．しかし，自家用車利用には取引費用としての待ち時間が存在しないため，取引費用を通じた金銭的外部性が働かない．したがって，本研究では家計のバス選択行動における手段的技術外部性のみに着目する．なお，筆者等は家計のバス選択行動において手段補完性が存在することを実証的データを用いて確認している[27]．しかし，本論文で指摘した手段補完性を考慮した交通手段選択モデルに関しては，ほとんど研究が蓄積されておらず，手段補完性仮説の検証も含めて，今後実証分析を積み重ねる必要があろう．

本研究では，前述したように家計のバス選択行動に機能する戦略的補完性を手段補完性と呼ぶ．個人のバス選択行動に手段補完性が存在する場合，バス企業によるバス運行本数の増加（減少）は，往路・復路における利用者数を同時に増加させ，バス企業の採算性を通じて運行本数の増加（減少）に繋がるというポジティブフィードバック[25),26]が発生する可能性がある．バス企業は利潤規制等の各種の規制制度，補助金制度の下で経営している場合が少なくないが，本研究ではバス企業が利潤最大化行動を採用する独占市場を対象として，バス市場におけるポジティブフィードバックメカニズムを分析する．一般に，規制下におけるバス企業の行動分析は極めて複雑となる．規制・補助金制度の下におけるポジティブフィードバックに関しては本稿の域を越えるので取り上げないこととする．

(4)　交通手段の代替化施策

バス市場に規模の経済性が存在する場合，市場には複数の安定均衡解が存在する可能性がある．複雑性の経済学[28]に関する文献では，市場が歴史的経緯により一度効率性の悪い均衡解に到達すれば，その状態にロックインされ，そこから抜け出すことが容易でないことが指摘されている．一般に，規模の経済性が存在する市場の均衡解の効率性を是正するために，1）規模の経済性の結果として生じる均衡解の選択を是正する（より効率性の大きい均衡解に推移する）方策，2）外部性の存在による資源配分の非効率性を是正する方策が

検討される．しかし，バス市場が独占企業により運営されている場合，仮に複数均衡解が存在し，効率性の悪い市場均衡に到達していても，例えば望ましいバスダイヤを一定期間継続する社会実験を政策的に実施することにより効率的な均衡解へ移動することが可能である．本研究では市場均衡解の非効率性を是正する第3の方策として，ポジティブフィードバックの原因となっている手段補完性そのものを解消することを目的とする交通手段の代替化施策に着目する．当然のことながら，手段補完性（規模の経済性）を解消したとしても，外部経済性が存在するため，資源配分上の非効率性の問題は依然として残っており，資源配分の効率性を補正するための政策介入が必要となる．

交通手段の代替化施策を説明するために，再び，目的地まで往復する家計の行動をとりあげよう．さらに，例えば自動車・自転車の共同利用施策が導入され，往路にバスを利用した場合でも，復路に自動車・自転車を利用することが可能になった場合を考えよう．この時，家計は帰路の手段選択の可能性を考慮に入れずに，自分の効用を最大にするように往路の手段選択を行うことが可能となる．このように，往路と帰路において異なる交通手段が利用可能になるような政策を導入することにより，家計の交通手段選択行動における手段的技術外部性を消滅（もしくは緩和）させることが可能となる．すなわち，図－1において，一方のトリップにおける手段選択の結果が他方の手段選択に影響を及ぼすというメカニズムが存在しなくなるため，往路と復路のバス利用確率はともにPとなる．本研究では，このように往路と復路のトリップ選択における手段的技術外部性を解消し，それぞれのトリップにおいて互いに独立して手段選択が可能になるような施策を交通手段の代替化施策と呼ぶこととする．このような交通手段の代替化施策として，カーシェアリング，レンタサイクル等の交通手段の共有化施策，片道定期券制度等，多様な交通施策が考えられる．また，深夜バスの運行等，公共交通の市場を厚くする施策も交通手段の代替化施策と考えることができる．

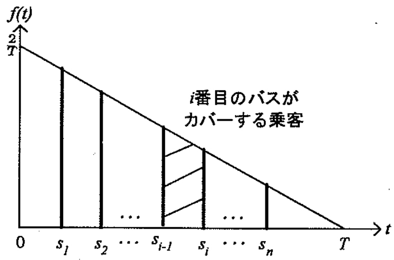
3. 基本モデルの定式化

(1) 前提条件

家計の交通手段選択行動に手段補完性が存在する場合の市場均衡モデル（基本モデルと呼ぶ）を定式化する．いま，家計の目的地までの往復トリップを考えよう．トリップの手段としてバスと自動車の双方が利用可能であると仮定する．道路を利用する自動車が増加すれば，道路混雑が発生し走行時間は増加する．このように道路混雑は社会的厚生に多大な影響を及ぼすが，道路混雑により自動車，バスの双方の走行時間が同時に増加する．混雑現象は家計のバスと自動車の選択行動に影響を及ぼさないと考える．もちろん，道路混雑を取り入れたモデル化も容易であるが，道路混雑をとりあげても以下の議論に本質的な影響を及ぼさない．本研究では，不必要なモデルの複雑化を避けるため，家計の効用関数に目的地までの所用時間を明示的にとりあげない．目的地までの所用時間は一定であり，一般化所得の中に一括して計上されていると考える．家計が利用可能な往路と復路の交通手段は互いに手段補完的であり，家計が往路と復路に異なる交通手段を利用する場合，交通費用が禁止的に高くなると考えよう．したがって．家計は往路，復路共に同じ交通手段を用いる．各家計にはそれぞれ自らが希望する往路と復路の希望出発時刻が存在する．家計がバスを利用する場合，希望出発時刻後の最初の出発時刻を持つバスを選択する．希望出発時刻とバスの出発時刻との間に差異が存在する場合，待ち時間による不効用が発生する．一方，自動車を利用する場合には待ち時間は発生しない．モデル分析において家計がバスを利用する可能性を保証するために，自動車を利用した場合の交通費はバスを利用した場合よりも高くなると仮定する．家計は，往復トリップにバスを利用した場合と自動車を利用した場合の効用を比較して，効用の大きい交通手段を選択する．バス企業は独占企業であり，利潤を最大にするように運賃とバスダイヤを決定する．運賃は時刻を通じて均一料金に設定されている．家計の希望出発時刻の確率分布は，往路と復路に対して対称的であり，バス企業は往路と復路に対して同一の運賃とバスダイヤを設定すると仮定する．また，バスの利用客数は常にバス容量を自動的に満足していると仮定する．もちろん，利用客数がバス容量に到達する可能性を想定したモデルも定式化できるが，以下の議論に本質的な影響を及ぼさない．さらに，手段補完性に基づく規模の経済性に焦点を絞るため，バス企業には固定費用が存在せず，バス運行費用のみが存在すると考える．

(2) 家計行動のモデル化

家計の往路と復路トリップの出発時刻の確率分布は外生的に与えられる．バス企業が設定するダイヤは出発時刻の確率分布に影響を及ぼさないと仮定する．出発時刻の確率分布は社会の制度的条件により決定されており，バス企業が決定する運賃やバスダイヤの影響を受けないと考える．家計はすべて同質であり，同一の効用関数を持つ．仮定より，出勤トリップ，帰宅トリップの出発時刻の確率分布が対称的であり，同じ確率密度関数に従う．図－2に示すように，もっとも早く出発する家計の希望出発時刻を$t=0$に規準化し，最も遅



図－2　家計の出発時刻分布とバスサービス

い家計の希望出発時刻をT (>0)で表そう．家計の出発時刻は確率密度関数

$$f(t)=\begin{cases}\frac{2}{T^2}(T-t) & 0\le t\le T\text{の時}\\ 0 & \text{それ以外の時}\end{cases}\tag{1}$$

に従うと仮定する．同図に示すように，合計n本のバスサービスが時間軸上の離散的な時刻s_i $(i=1,\cdots,n)$に提供されると考える．ただし，$T\ge s_i\ge 0$が成立する．当面の間，バスダイヤ$s(n)=(s_1,\cdots,s_n)$と運賃pを与件と考えよう．いま，往路の希望出発時刻がt_1，復路の希望出発時刻がt_2である家計が，往復ともバスを利用した場合の間接効用関数を

$$U_{bus}(t_1,t_2:\boldsymbol{h})=Y+v(t_1)+v(t_2)-2p\tag{2}$$

と定式化する．ここに，Yは一般化所得，pはバス運賃を表す．家計のトリップ便益は目的地までの所用時間（一定値）とともに一般化所得の中に一括計上されており，効用関数(2)にトリップ便益や所用時間の項は現れない．$\boldsymbol{h}$の戦略ベクトルであり，運賃pとバスダイヤ$s(n)$で構成される．$v(\cdot)$は金銭タームで表現されるトリップに対する部分効用関数であり出発時刻の関数で表される．往路，復路のトリップは対称的であり，同一の効用関数を用いて表現することができる．一方，自動車を利用した場合の効用も一般化所得に関する準線形効用関数

$$U_{car}=Y-2q\tag{3}$$

で表す．ここに，qは自動車を利用した場合の片道費用であり，駐車料金や燃料費等が含まれる．

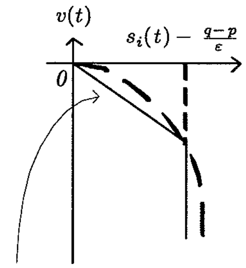
バスの往路と復路の待ち時間$s_i(t)-t$ $(i=1,2)$は互いに部分的に代替不可能である．このことを表現するために，部分効用関数$v(\cdot)$を，

$$v(t)=\begin{cases}-\xi(t) & -\xi-p\ge -q\text{の時}\\ -\infty & \text{それ以外の時}\end{cases}\tag{4}$$

と特定化しよう．ここに，

$$\xi(t)=\varepsilon(s_i(t)-t)\tag{5}$$

は金銭タームで表現された待ち時間の不効用である．また，ε (>0)は時間価値，$s_i(t)=\min\{s_i|s_i\ge t,\ i=1,\cdots,n\}$であり，希望出発時刻以降に出発するバスの中でもっとも早く出発するバスの出発時刻を表す．集合$\{s_i|s_i\ge t,\ i=1,\cdots,n\}$が空集合の場合，$s_i(t)=\infty$と設定する．$s_i-t$は，第$i$番目のバスの出発時刻と希望出発時刻の間の時間差（待ち時間）を表しており，家計はもっとも待ち時間の少ないバスサービスを利用する．部分効用関数(4)は図－3に示すように，$\varepsilon(s_i(t)-t)=q-p$を境に折れ曲がった形をしている．バスの待ち時間による金銭的損失がバスと自動車の費用差を超すようになれば効用は$-\infty$となる．部分効用関数(4)は，家計が耐えうるバスの待ち時間に上限値が存在し，往路・復路のいずれか一方の待ち時間が閾値を超えれば往路・復路ともバスを利用しないという待ち時間の非代替性を表現している．一方，許容範囲であれば，部分効用関数$v(t_i)$ $(i=1,2)$の間に代替性が存在する．このような待ち時間の不完全代替性は，待ち時間が大きくなるにつれ効用が$-\infty$に発散するような凹関数を用いて表現することができる．部分効用関数(4)はこのような性質を持つ不効用関数を区分線形近似した関数であると解釈できる．図－3における破線で示す部分効用関数を用いても，往路と復路の間の手段補完性を分析することが可能である．その場合，議論の展開が極めて煩雑な内容となる．しかし，式(4)に示すような部分効用関数を用いることにより，破線で示す部分効用関数を用いた分析結果と同一の内容の議論を，もっとも簡単な方法で説明することが可能となる．本研究では家計のバス選択行動における手段補完性に着目して，バス市場におけるポジティブフィードバックのメカニズムを理論的に分析することを目的としており，議論の展開の見通しを可能な限りよくするため部分効用関数(4)を用いることとする．



実線：式(4)で表される部分効用関数
破線：指数関数型部分効用関数

部分効用関数(4)は破線で表される部分効用関数を折れ線近似した効用関数と考えることができる．

図－3　不完全代替性のモデル化

家計はバスと自動車を利用した場合の効用を比較して効用の大きい手段を利用する．すなわち，家計が利

用する交通手段$i^* \in (bus, car)$は

$$i^* = \arg\max\{U_{bus}(t_1, t_2 : \boldsymbol{h}), U_{car}\} \tag{6}$$

で表される．ここに，記号argは$U_{bus}(t_1, t_2 : \boldsymbol{h})$と$U_{car}$のうち効用の大きい方の手段（busかcar）を指示している．さらに，表示関数$\delta(t_1, t_2)$を

$$\delta(t_1, t_2) = \begin{cases} 1 & U_{bus}(t_1, t_2 : \boldsymbol{h}) \geq U_{car}\text{の時} \\ 0 & U_{bus}(t_1, t_2 : \boldsymbol{h}) < U_{car}\text{の時} \end{cases} \tag{7}$$

と定義しよう．希望出発時刻の組みが(t_1, t_2)の家計がバスを利用する時に1を，そうでないときに0をとる関数である．また，バスサービスの属性が$\boldsymbol{h}$であり，かつ希望出発時刻がt_1, t_2の家計が獲得する効用水準は

$$U^*(t_1, t_2 : \boldsymbol{h}) = \max\{U_{bus}(t_1, t_2 : \boldsymbol{h}), U_{car}\} \tag{8}$$

と表される．つぎに，バスサービスに対する集計的需要関数を導出しよう．家計の往路の希望出発時刻が確率密度関数(1)に従って分布する．往路の希望出発時刻と復路の希望出発時刻の確率分布が独立であると仮定しよう．往路における任意の希望出発時刻t_1を持つ家計の復路の出発時刻がいずれも確率密度関数(1)に従うと仮定する．さらに，家計の総数をαと表そう．この時，バスサービスに対する集計化された需要関数は

$$\begin{aligned} &m(p, s(n)) \\ &= \alpha \int_0^T \int_0^T \delta(t_1, t_2 : \boldsymbol{h}) f(t_2) f(t_1) dt_1 dt_2 \end{aligned} \tag{9}$$

と表される．ここで，出発時刻がs_iのバスの時間軸上における市場の範囲を定義する．家計が当該バスを利用するためには，当該家計の希望出発時刻は

$$s_i - t \leq \frac{q - p}{\varepsilon} \tag{10}$$

を満足しなければならない．ただし，$(q-p)/\varepsilon$は待ち時間の上限値を表す．したがって，時刻s_iに出発するバスの潜在的顧客の最早出発時刻$t^*(s_i)$は

$$t^*(s_i) = s_i - \frac{q - p}{\varepsilon} \tag{11}$$

で定義される．

(3) 企業行動のモデル化

バス企業は利潤が最大となるようにサービス運賃と運行ダイヤを決定する．バス企業は当該路線のみ運行権利を有していると仮定する．また，バスサービス1便あたりの運行費用をcと表そう．バス企業はすべての利用者から一定額の運賃pを徴収する．この時，往路あるいは復路の運賃収入はそれぞれ$pm(p, s(n))$と表される．いま，バス利用者は往路と復路の双方においてバスを利用することに着目すれば，バス企業が運賃p，ダイヤ$s(n)$の下で獲得できる利潤は

$$\Pi(n) = 2pm(p, s(n)) - 2nc \tag{12}$$

と表される．バス企業は利潤(12)を最大にするように運賃pとバスダイヤ$s(n)$を決定する．

バス企業のダイヤ設定行動について考えよう．いま，時刻s_iに出発するバスの時間軸上での市場の範囲を定義する．式(10)より，当該のバスがカバーする家計の希望出発時刻の集合$\Xi(s_i)$は

$$\Xi(s_i) = \{t | t \in [t^*(s_i), s_i)\} \tag{13}$$

と表される．ただし，家計が「往路にバスを利用するかどうか」は「復路にバスを利用するかどうか」にも依存しており，家計の往路の希望出発時刻が$\Xi(s_i)$の中に含まれていたとしても，その家計が必ずしも当該のバスを利用するとは限らない．それぞれのバスがカバーする市場の厚み（以下，市場幅と呼ぶ）Δを

$$\Delta = \frac{q - p}{\varepsilon} \tag{14}$$

と表そう．バス容量に制限がないため，バス企業は時間軸上での個々のバス市場が互いに重ならず，かつ利用者密度の大きい時刻帯より個々のバス市場が連続的につながるようにバスダイヤを設定する．この時，利潤を最大化することが可能となる．すなわち，最適バスダイヤは始発時刻$s_1 = \Delta$から時間幅Δごとに等間隔でバスを運行するパターンとして与えられる．いま，始発時刻$s_1 = \Delta$から間隔Δごとにn本のバスを運行するようなバスダイヤ（以下，条件付き最適ダイヤと呼ぶ）を$s^*(n) = (\Delta, 2\Delta, \cdots, n\Delta)$と表そう．往路と復路のバス市場の構造が対称的であり，バス企業は往路と復路に対して同じ運行ダイヤを設定する．式(1)より，希望出発時刻tが遅くなるにつれて，家計のバス利用密度は単調に小さくなる．最適な運行本数は追加的に1便増加した時の限界運賃収入が当該便の運行費用を回収できなくなる臨界的な水準に決定される．すなわち，バス企業が設定する最適な運行ダイヤは，

$$pm(p, s^*(n^*)) - pm(p, s^*(n^* - 1)) \geq c \tag{15a}$$

$$pm(p, s^*(n^* + 1)) - pm(p, s^*(n^*)) < c \tag{15b}$$

を満足するような$s^*(n^*)$で与えられる．

条件付き最適ダイヤ$s^*(n)$を与件として需要関数を求めてみよう．条件付き最適ダイヤ$s^*(n) = (\Delta, \cdots, n\Delta)$の特性より，当該ダイヤの下で家計がバスを利用するためには，家計の出発希望時間が

$$t_1 \in [0, n\Delta) \quad \text{and} \quad t_2 \in [0, n\Delta) \tag{16}$$

を満足しなければならない．いま，往路と復路の希望出発時刻の確率分布が互いに独立であることより，条件付き最適ダイヤ$s^*(n)$を与件としたバス需要関数は

$$\begin{aligned} m(p, s^*(n)) &= \alpha \int_0^{n\Delta} \int_0^{n\Delta} f(t_2) f(t_1) dt_1 dt_2 \\ &= \alpha \{F(n\Delta)\}^2 \\ &= \frac{\alpha}{T^4} \{T^2 - (T - n\Delta)^2\}^2 \end{aligned} \tag{17}$$

と表される．ただし，関数Fは確率密度関数(1)の分布関数であり，家計のバス利用確率を表す．バス需要関数

(17) が往路，復路の利用確率 $F(n\Delta)$ の2乗で表されることに留意して欲しい．すなわち，ある家計にとって往路（復路）におけるバス利用が便利であっても，復路（往路）における待ち時間が長い場合には，当該の家計はバスを利用しない．このような往路と復路における交通手段の補完性が，図－1に示したような規模の経済性を生み出す源泉となっている．

最後に，バス企業の運賃の決定問題を考えよう．当面の間，バスの運行本数$\overline{n}$を固定しよう．あるバス運賃のもとで，家計が個々のバスを利用する市場幅Δは式(14)に示すように，自動車利用の場合の費用とのバス運賃の差$q-p$に依存する．式(14)より，バス運賃を値上げすれば市場幅は小さくなり，各バスが集客できる家計数が減少する．このことを明示的に表すために，市場幅をバス運賃pの関数として次式のように表そう．

$$\Delta(p)=\frac{q-p}{\varepsilon} \tag{18}$$

バスの運行本数$\overline{n}$を与件としたバス企業の利潤は

$$\begin{aligned}\Pi(\overline{n})&=2pm(p,s^*(\overline{n}))-2\overline{n}c\\&=2p\alpha\{F(\overline{n}\Delta(p))\}^2-2\overline{n}c\end{aligned} \tag{19}$$

と表される．上式に式(18)を代入し，利潤(12)のpに関する1階の最適化条件を求めれば

$$\begin{aligned}&4pF(\overline{n}\Delta(p))\frac{\partial F(\overline{n}\Delta(p))}{\partial\Delta(p)}\frac{d\Delta(p)}{dp}\\&+2\{F(\overline{n}\Delta(p))\}^2=0\end{aligned} \tag{20}$$

を得る．最適化条件(20)を満足するようなバス運行本数$\overline{n}$の下での条件付き最適運賃を$p^*(\overline{n})$と表そう．ここで，家計がバスを利用する誘因を持つためにはバス運賃に関して少なくとも$p^*(\overline{n})<q$が成立しなければならないことに留意しよう．また，等時間間隔で運行されるすべてのバスが，家計の希望出発時刻が分布する時間区間$[0,T]$内に運行される（無駄なバスサービスが存在しない）ためには，最終のバスの出発時刻が最も遅い希望出発時刻T以前になければならない．すなわち，バス運賃はバスダイヤ設定時刻の制約$n\Delta(p^*(\overline{n}))\leq T$を満足する．したがって，条件付き最適運賃$p^*(\overline{n})$は次式を満足しなければならない．

$$q>p^*(\overline{n})\geq q-\frac{T\varepsilon}{\overline{n}} \tag{21}$$

(4) 市場均衡解

以上の議論を市場均衡条件としてとりまとめる．最適化条件(20)を満足する運賃$p^*(n)$はバス運行本数nの下での条件付き最適運賃である．一方，均衡運行本数n^*は式(15a),(15b)で決定される．いま，$n^*>0$, $p^*>0$が成立するような均衡解が存在すると仮定しよう．この時，以上の条件式を改めて整理すれば，市場均衡解は

$$\begin{aligned}&4p^*F(n^*\Delta(p^*))\frac{\partial F(n^*\Delta(p^*))}{\partial\Delta(p^*)}\frac{d\Delta(p^*)}{dp^*}\\&+2\{F(n^*\Delta(p^*))\}^2=0\end{aligned} \tag{22a}$$

$$p^*\{m(p^*,s^*(n^*))-m(p^*,s^*(n^*-1))\}\geq c \tag{22b}$$

$$p^*\{m(p^*,s^*(n^*+1))-m(p^*,s^*(n^*))\}<c \tag{22c}$$

を同時に満足するようなp^*,n^*として求まる．ただし，p^*は条件(21)を満足しなければならない．

4. 市場均衡解の特性

(1) 手段補完性と規模の経済

式(22a)-(22c)で定義される市場均衡解の特性を分析する．まず，バスの運行本数nを固定し，条件(22a)を満足するような条件付き最適運賃$p^*(n)>0$を考えよう．1階の最適条件(22a)を具体的に展開すれば

$$\begin{aligned}&\frac{n(q-p^*(n))}{T^4\varepsilon^4}\{2T\varepsilon-n(q-p^*(n))\}\{-5np^*(n)\\&-6(T\varepsilon-nq)p^*(n)+q(2T\varepsilon-nq)\}=0\end{aligned} \tag{23}$$

を得る．式(23)を満たす解$p^*(n)$として

$$p^*(n)=\begin{cases}q\\q-\frac{2T\varepsilon}{n}\\\frac{-3(T\varepsilon-nq)\pm\sqrt{K(n)}}{5n}\end{cases} \tag{24}$$

が得られる．ただし，$K(n)=9(T\varepsilon)^2-8T\varepsilon nq+4(nq)^2$である．式(24)に示す4種類のバス運賃の中で，制約条件(21)を満足する条件付き最適運賃$p^*(n)$は

$$p^*(n)=\frac{-3(T\varepsilon-nq)+\sqrt{K(n)}}{5n}\geq 0 \tag{25}$$

だけである（証明は**付録I-a**参照のこと）．すなわち，任意の$n>0$に対して，最適運賃は一意的に決定される．さらに，条件付き最適運賃$p^*(n)$は条件

$$\frac{dp^*(n)}{dn}=T\varepsilon\frac{3\sqrt{K(n)}+4nq-9T\varepsilon}{5n^2\sqrt{K(n)}}\geq 0 \tag{26}$$

を満足する（**付録I-b**参照）．条件付き最適運賃$p^*(n)$はnに関して単調増加関数である．つぎに，最適運行本数を求める問題を考える．議論の見通しをよくするため，運行本数nを実数と考えよう．この時，運行本数に関する最適化条件(22b),(22c)は

$$p\alpha\frac{dm(p^*(n),s^*(n))}{dn}=c \tag{27}$$

と表せる．運行本数nに関する最適化条件(27)を

$$\begin{aligned}&\alpha F(n,p^*(n))\left(\frac{dp^*(n)}{dn}F(n,p^*(n))\right.\\&\left.+2p^*(n)\frac{dF(n,p^*(n))}{dn}\right)-c=0\end{aligned} \tag{28}$$

と書き直そう．さらに，ロピタルの定理より，$\lim_{n\to 0}d\Pi(n,p^*(n))/dn=-c$, $\Pi(0,p^*(0))=0$が成立する．したがって，$\Pi(n,p^*(n))$は$n>0$の領域における$n=0$の近傍において減少関数であり，負の値をとる（**付録I-c**参照）．一方，式(25)より$\lim_{n\to\infty}p^*(n)=q$

が成立する．さらに，式(28)において

$$\frac{dF(n,p^*(n))}{dn} = \frac{1}{T^2}\frac{d\{n\Delta(p^*(n))(2T-n\Delta(p^*(n)))\}}{dn} = \frac{2}{T^2}\frac{d(n\Delta(p^*(n)))}{dn}(T-n\Delta(p^*(n))) \geq 0 \quad (29)$$

が成立する（**付録I-d参照**）．すなわち，$F(n,p^*(n))$はnに関して単調増加であり，また$\lim_{n\to\infty} F(n,p^*(n))=1$である．また，$\lim_{n\to\infty}\Pi(n,p^*(n))=-\infty$より，$n$が十分大きいとき，利潤$\Pi(n,p^*(n))$は$-\infty$へ発散する．ここで，運行費用$c\geq 0$が十分に小さい値をとる場合を考えよう．この時，式(28)の右辺第1項はcより大きい値をとり，$d\Pi(n,p^*(n))/dn>0$なるnが存在する．すなわち，$d\Pi(n,p^*(n^*))/dn=0$が成立するようなn^*が存在し，その点において利潤は極大値をとる．一方，cが十分大きい（仮に，$c>\alpha q$が成立する）場合を想定しよう．この時，任意の$n>0$に対して$\Pi(n,p^*(n))<0$が成立する．したがって，$n=0$において極大値$\Pi(0,p^*(0))=0$をとる．さらに，$F(n,p^*(n))$が極大値をとる$n^*>0$に対して，$\Pi(n^*,p^*(n^*))<0$が成立する場合には任意の$n>0$に関して利潤が常に負となり，正の運行本数をもつ均衡解は存在しない．運行費用cの値に応じて均衡解の数は変化し，以下の命題が成立する．

命題1 式(28)を満足する$n^*>0$に関して$n^*c\leq\alpha p(n^*)$が成立する場合，市場均衡解として，$(p,n)=(0,0)$以外に均衡解(p^*,n^*)が少なくとも1つ存在する．ただし，$n^*>0, p^*>0$である．一方，$n^*c>\alpha p(n^*)$が成立するときには$(0,0)$が唯一の均衡解となる．

命題1より，バス市場の構造に関する示唆が得られる．往路と復路の交通手段が補完的であるバス市場では手段補完性に伴う規模の経済が機能し，バス企業のサービス水準（運行本数）とサービスを利用する家計数との間にポジティブフィードバックのメカニズムが機能する．すなわち家計による需要の減少（増加）はバス企業のサービス水準の減少（増加）をもたらす．その結果，初期時点に状態に応じてバス市場は，正の運行本数をもつ市場均衡解$(p,n)=(p^*,n^*)$かもしくは全くサービスが提供されない均衡解$(p,n)=(0,0)$が現れる．

(2) 代替化施策の下での市場均衡

交通手段の代替化施策が導入され，それぞれのトリップにおいて互いに独立に手段選択が可能になる場合を考えよう．往路と復路の双方において，バス以外の交通 手段が常に瞬時に利用可能である．交通手段の代替化施策により手段的技術外部性が解消されることの経済便益を分析するために，代替的な交通手段の運賃は自家用車による交通費用qに一致すると仮定する．以上の仮定の下で，交通手段の代替化施策を導入した市場均衡モデル（以下，拡張モデルと呼ぶ）を定式化する．

いま，往路・復路において片道運賃qの代替的交通手段が常に利用可能であると考える．往路・復路にバスを利用した場合の片道あたりの部分効用関数を

$$\tilde{U}^i_{bus}(t_i:\boldsymbol{h})=v(t_i)-p \quad (30)$$

と表そう．ただし，$i=1$の時は往路を，$i=2$の場合は復路を表す．また，記号~は代替化施策を採用していることを示している．一方，往路，もしくは復路において，自家用車も含めてバス以外の代替的な交通手段を利用した場合の片道あたりの効用関数を

$$\tilde{U}^i_{car}=-q \quad (31)$$

と表す．この時，バスサービスの属性が$\boldsymbol{h}$であり，かつ希望出発時刻がt_iである家計が最適な手段選択を実施することにより獲得できる効用水準は

$$\tilde{U}^*_i(t_i:\boldsymbol{h})=\max\{\tilde{U}^i_{bus}(t_i:\boldsymbol{h}),\tilde{U}^i_{car}\} \quad (32)$$

と表せる．したがって，往路・復路トリップを通じて獲得できる間接効用関数は

$$\tilde{U}^*(t_1,t_2:\boldsymbol{h})=Y+\sum_{i=1}^{2}\tilde{U}^*_i(t_i:\boldsymbol{h}) \quad (33)$$

と表せる．３.（３）と同様に，バス企業は始発時刻から時間幅Δごとに等間隔でバスを運行する．バス運行ダイヤ$\boldsymbol{s}^*(n)$を与件とした片道あたりのバス需要関数は，たとえば往路を例にとれば

$$\tilde{m}(p,\boldsymbol{s}^*(n))=\alpha\int_0^{n\Delta} f(t_1)dt_1 = \alpha F(n\Delta)=\alpha\frac{1}{T^2}\left\{T^2-(T-n\Delta)^2\right\} \quad (34)$$

となる．バス企業の利潤$\tilde{\Pi}(n)$は

$$\tilde{\Pi}(n)=2p\tilde{m}(p,\boldsymbol{s}^*(n))-2nc \quad (35)$$

となる．基本モデルにおける市場均衡（以下，基本市場均衡と呼ぶ）と同様に，手段代替化政策を導入した場合の市場均衡（以下，代替化市場均衡と呼ぶ）は

$$2\tilde{p}^*\frac{\partial F(\tilde{n}^*\Delta(\tilde{p}^*))}{\partial\Delta(\tilde{p}^*)}\frac{d\Delta(\tilde{p}^*)}{d\tilde{p}^*}+2F(\tilde{n}^*\Delta(\tilde{p}^*))=0 \quad (36a)$$

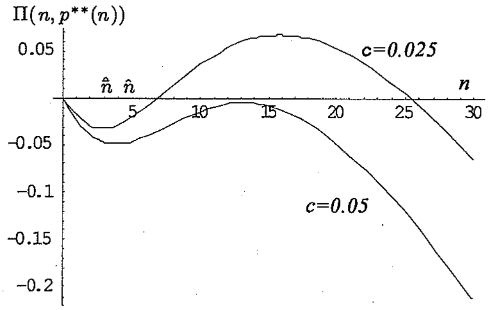
$$\tilde{p}^*\alpha\{\tilde{m}(\tilde{p}^*,\boldsymbol{s}^*(\tilde{n}^*))-\tilde{m}(\tilde{p}^*,\boldsymbol{s}^*(\tilde{n}^*-1))\}\geq c \quad (36b)$$

$$\tilde{p}^*\alpha\{\tilde{m}(\tilde{p}^*,\boldsymbol{s}^*(\tilde{n}^*+1))-\tilde{m}(\tilde{p}^*,\boldsymbol{s}^*(\tilde{n}^*))\}< c \quad (36c)$$

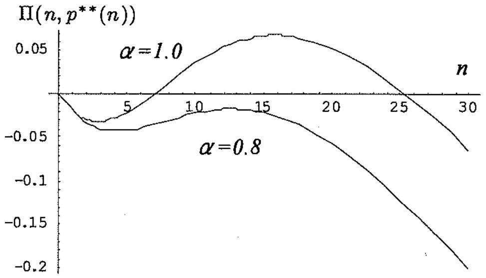
を同時に満足するような$\tilde{p}^*,\tilde{n}^*$として求まる．ただし，$\tilde{p}^*$は条件(21)を満足しなければならない．

ここで，運行本数nを所与としたときの条件付き価格$p(n)$に関する1階の最適化条件(36a)は

$$\tilde{p}^*(n)\frac{\partial F(n\Delta(\tilde{p}^*(n))}{\partial\Delta(\tilde{p}^*(n))}\frac{d\Delta(\tilde{p}^*(n))}{d\tilde{p}^*(n)} +F(n\Delta)\frac{n}{T^2}\left\{-\frac{2\tilde{p}^*(n)}{\varepsilon}(T-n\Delta) +\Delta(2T-n\Delta)\right\}=0 \quad (37)$$



図－4　利潤と運行本数（基本モデル）



図－5　潜在需要と運行本数（基本モデル）

となる．式(37)を満たす条件付き最適運賃$\tilde{p}^*(n)$は,

$$\tilde{p}^*(n) = \frac{-2(T\varepsilon - nq) \pm \sqrt{\tilde{K}(n)}}{3n} \tag{38}$$

となる．$\tilde{K}(n) = n^2q^2 - 2nq\varepsilon T + 4\varepsilon^2T^2$である．この内，$\tilde{p}^*(n) > 0$の条件を満足する条件付き最適運賃は

$$\tilde{p}^*(n) = \frac{-2(T\varepsilon - nq) + \sqrt{\tilde{K}(n)}}{3n} \tag{39}$$

であり，運行本数に関する制約条件$n\Delta(n,\tilde{p}^*(n)) \leq T$を満足する（**付録II-a**参照）．さらに，利潤$\Pi(n,\tilde{p}^*(n))$は凹関数であり,

$$\frac{\alpha q^2}{2T\varepsilon} > c \tag{40}$$

が成立するとき，$n = 0$の近傍において増加関数となる．また，$\lim_{n\to\infty} \tilde{\Pi}^*(n) = -\infty$が成立する（**付録II-b**参照）．したがって，以下の命題が成立する．

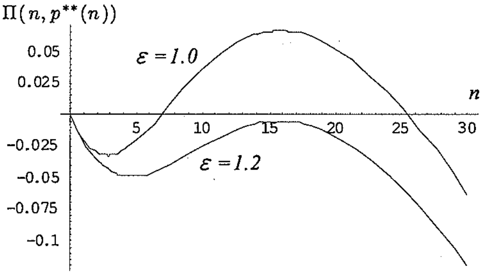
命題2　条件(40)が成立するとき均衡条件(37)を満たす唯一の均衡解$(\tilde{n}^*,\tilde{p}^*)$が存在する．ただし，$\tilde{n}^* > 0$, $\tilde{p}^* > 0$である．一方，条件(40)が成立しない時，均衡解は$(0, 0)$のみである．

このように手段代替化施策を採用した場合，複数均衡解は存在しない．これは往路と復路の交通手段選択に関する制約がそれぞれなくなることにより，手段補完性に伴う規模の経済性が働かなくなることによるものである．本節の設定では手段補完性に伴う外部経済が消滅するため，バス市場が成立するかどうかは運行費用cの大きさのみによって決定される．

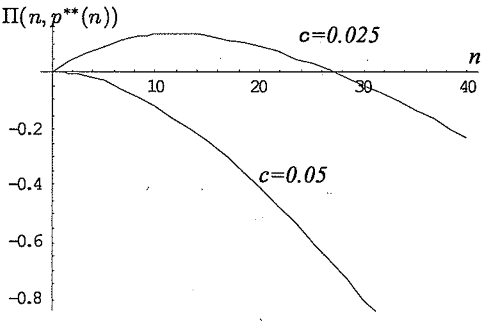
(3)　数値事例による市場特性の分析

家計のバス選択行動に手段補完性が存在する場合，バス市場に規模の経済性が現れ，複数の市場均衡解が存在する．一方，家計のバス選択行動における手段補完性を解消するために代替化施策を導入した場合，バス市場における規模の経済性は消滅し，唯一の市場均衡解が存在する．このようなバス市場の構造特性を数値計算により確認しよう．**図－4**は基本モデル(22a)-(22c)においてパラメータを$\alpha = 1, c = 0.025, \varepsilon = 1, T = 10, q = 1$に設定したベンチマークケースにおける運行本数$n$と利潤$\Pi(n, p^*(n))$の関係を示している．ここでおこなっている数値計算は手段補完性の存在に伴って複数均衡解が生じうることの確認するためのものであり，そのためにはここで設定したような仮想的なパラメータを設定すればよい．実証的に説明を行うためには実証分析を通じたパラメータの推計が必要となろう．図では運行本数nを連続的に表現しているが，nが整数の時にのみ市場構造として意味を持っている．ベンチマークケースでは，運行本数が$n = 16$の時に利潤が最大となる．このとき最適運賃は$p^* = 0.542$，バスの需要は$m^* = 0.862$となる．一方，$n = 0$も均衡解である．**図－4**にはバスの運行費用を$c = 0.03$としたケースの利潤と運行本数の関係も併記している．本ケースの場合，ベンチマークケースに対してバスの運行費用が増加した結果，任意の$n \geq 0$に対して常に利潤が負となり，端点$n = 0$のみが均衡解となる．このように運行費用cの大きさにより均衡解の個数が変化する．ベンチマークケースにおいて，バス企業が仮に低い運行本数$\tilde{n}$でバスを運行したとしよう．この場合，負の利潤しか得られない．バス会社が近視眼的に行動し，運行本数を$\hat{n}$まで減少させれば，利潤はさらに減少する．バスの運行本数を減少させる限り，常に利潤は負となり，バス会社は当該路線を廃止するだろう．しかし，バス企業がある一定本数以上の頻度でバスを運行した場合，規模の経済性が働き運行本数が$n = 16$の時に利潤が極大となる．

つぎに，基本モデルを対象として，需要の大きさ，時間価値等の市場環境の変化が市場構造に及ぼす影響を分析する．免許保有率の増加，社会経済の発展により，バス需要αは減少し，時間価値εは増加する．**図－5**はパラメータをベンチマークケース$c = 0.025, \varepsilon = 1, T = 10, q = 1$に設定し，バスの潜在需要を表す$\alpha$の値が1から0.8に



図－6　時間価値と運行本数（基本モデル）



図－7　利潤と運行本数（拡張モデル）

減少した時の運行本数と利潤の関係を示している．潜在的需要αが小さくなるほど，利潤が正となるnの領域が小さくなる．逆に，αが大きくなれば，バス市場に規模の経済性がより働くようになり，正の利潤が獲得できる可能性が増加し，バスの運行本数も増加する．**図－6**はベンチマークケースに対して，時間価値を表すパラメータ値εが1から1.2に増加した時の運行本数と利潤の関係を示している．時間価値εが大きくなるほど，正の利潤を獲得できる均衡解は存在しにくくなることが分かる．すなわち，経済の発展により，個人の時間価値が大きくなるほど，待ち時間による不効用が大きくなり，バスを利用しなくなる．

図－7はパラメータ値をベンチマークケースと同じ値$\alpha=1, c=0.025, \varepsilon=1, T=10, q=1$に設定し，交通手段の代替化施策を導入した拡張モデル(36a)-(36c)における運行本数nと利潤$\tilde{\Pi}(n,p^*(n))$の関係を示している．本ケースでは運行本数が$n=12$の時に利潤が最大となり，このときの運賃は$\tilde{p}^*=0.595$，需要は$\tilde{m}^*=0.735$となる．手段代替化施策を導入することにより$n=0$は均衡解とはならない．また**表－2**に基本モデルと拡張モデルの最適運賃や需要を記述する，これより，代替化施策を採用したときの方が均衡における運賃は高く，また利用する家計数は少なくなっていることが分かる．

表－2　基本モデルと拡張モデルの均衡解の比較

	最適運行本数	最適運賃	利用家計数
基本モデル	16	0.542	0.862
拡張モデル	12	0.595	0.735

これは，代替化施策が採用された場合，バス企業が運行本数を減少させてカバーする家計数を減少させる一方，家計のバス利用確率が増加したためにより高い運賃を設定していることを示している．また結果としてバス企業の利潤は代替化施策を採用した方が大きくなる．次章で検討するように，代替化施策の導入は家計に対して様々な影響を及ぼす可能性があり，その導入にあたっては慎重な検討が必要となる．

図－7にはバス運行費用が$c=0.05$に増加させたケースにおける運行本数と利潤の関係も記載している．この場合，任意の$n\geq 0$に対して利潤は負となり端点解$n=0$のみが均衡解となる．手段代替化施策を導入することにより，手段的技術外部性が消滅し複数均衡解は存在しなくなる．また，基本市場均衡と代替化市場均衡におけるバス運行本数を比較した場合，基本市場均衡の方がバスの運行本数は多い．すなわち，基本市場均衡では，運行本数に関して規模の経済性が働くため，企業はより多くのバスサービスを提供することとなる．

家計の交通手段選択における手段補完性は，**図－1**に示したように，家計のバス利用確率を減少させる効果が働く．その一方で，バスの運行本数に関する規模の経済性が働くため，バス企業に運行頻度を増加させる誘因を与える．交通手段の代替化施策は，手段補完性が家計にもたらすマイナスの効果とプラスの効果の双方に同時に影響を及ぼす可能性がある．以下では，交通手段の代替化施策が社会的厚生や家計の総消費者余剰に及ぼす影響を分析する．

5.　代替化施策の経済便益評価

(1)　市場均衡と社会的厚生

基本モデルを対象として，バス市場における社会的厚生を定義しよう．バスの運行本数nを与件としよう．家計がバスを待つことによる総不効用$UT(n)$は

$$UT(n)=\varepsilon\sum_{i=1}^{n}\int_{(i-1)\Delta}^{i\Delta}\left\{\sum_{j=1}^{n}\int_{(j-1)\Delta}^{j\Delta}(j\Delta-t'+i\Delta-t)f(t')dt'\right\}f(t)dt$$

$$=\frac{\varepsilon n^2\Delta^3}{3T^4}\{n\Delta^2(3n-1)-2\Delta T(6n-1)$$

$$+12T^2\} \tag{41}$$

と定義される．したがって，家計が獲得する総消費者余剰 $CS(n, p^*(n))$ は

$$CS(n, p^*(n)) = \alpha \int_0^T \int_0^T U^*(t_1, t_2 : h) dt_1 dt_2$$
$$= \alpha Y - m(p^*(n), s^*(n)) 2p^*(n)$$
$$-\{1 - m(p^*(n), s^*(n))\} 2q - UT(n) \tag{42}$$

と表される．ただし，$p^*(n)$ は条件付き最適運賃(25)を，$m(p^*(n), s^*(n))$ は集計的需要関数(17)を表す．一方，生産者余剰はバス企業の利潤(19)により表される．したがって，基本市場均衡 $(n^*, p^*(n^*))$ における社会的厚生 $SW(n^*, p^*(n^*))$ は

$$SW(n^*, p^*(n^*)) = CS(n^*, p^*(n^*)) + \Pi(n^*, p^*(n^*))$$
$$= \alpha Y - 2n^*c - 2q\{1 - m(p^*(n^*), s^*(n^*))\}$$
$$-UT(n^*) \tag{43}$$

と表される．なお，社会的厚生(43)には道路混雑の効果が含まれていない．バスの利用客が増加すれば，バスと自家用車の双方の走行時間が減少し，社会的厚生は増加する．しかし，道路混雑が減少しても，バスと自家用車の双方の走行時間が同時に減少するため，家計の手段選択行動は変化しない．道路混雑による社会的厚生の変化を考慮するためには，社会的厚生(43)に自家用車利用客数 $1 - m(p, s^*(n))$ に依存して決定される走行時間による不効用項を付加すればいい．しかし，手段補完性と社会的厚生の関係に分析の焦点を絞るため，以下の議論ではあえて道路混雑の問題をとりあげない．道路混雑を考慮した場合，総消費者余剰 $CS(n^*, p^*(n^*))$ が大きくなるほど，自家用車利用が減少することによる走行時間の減少という追加的な便益がすべての家計に付加されることを注記しておくにとどめる．

つぎに，代替化施策を導入した拡張モデルを考える．家計がバスを待つ不効用は

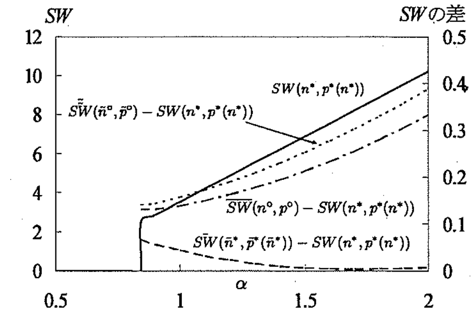
$$\tilde{UT}(n) = 2\varepsilon \sum_{i=1}^{n} \int_{(i-1)\Delta}^{i\Delta} (i\Delta - t) f(t) dt$$
$$= \frac{\varepsilon n \Delta^2}{3T^2}(2T + \Delta - 3n\Delta) \tag{44}$$

と定義される．また，総消費者余剰 $\tilde{CS}(n, \tilde{p}^*(n))$ は

$$\tilde{CS}(n, \tilde{p}^*(n)) = \alpha \int_0^T \int_0^T \tilde{U}^*(t_1, t_2 : h) dt_1 dt_2$$
$$= \alpha Y - \tilde{m}(\tilde{p}^*(n), s^*(n)) 2\tilde{p}^*(n)$$
$$-\{1 - \tilde{m}(\tilde{p}^*(n), s^*(n))\} 2q - \tilde{UT}(n) \tag{45}$$

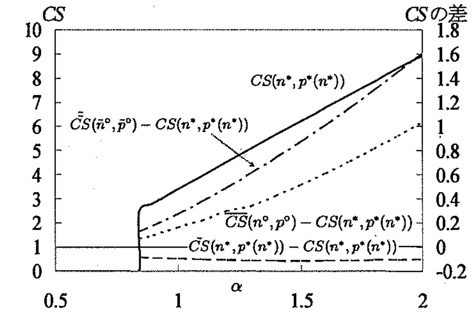
と表される．ただし，$\tilde{p}^*(n)$ は条件付き最適運賃(39)を，$\tilde{m}(p^*(n), s^*(n))$ は集計的需要関数であり式(34)で表される．また，$\tilde{UT}(n)$ は式(44)で表される．一方，生産者余剰はバス企業の利潤(35)により表される．したがって，代替化市場均衡 $(\tilde{n}^*, \tilde{p}^*(\tilde{n}^*))$ であるときの社会的厚生 $\tilde{SW}(\tilde{n}^*, \tilde{p}^*(\tilde{n}^*))$ は次式で表される．

$$\tilde{SW}(\tilde{n}^*, \tilde{p}^*(\tilde{n}^*)) = \alpha Y - 2\tilde{n}^* c$$
$$-2q\{1 - \tilde{m}(\tilde{p}^*(\tilde{n}^*), s^*(\tilde{n}^*))\} - \tilde{UT}(\tilde{n}^*) \tag{46}$$



$\overline{SW}(n^\circ, p^\circ), \tilde{\tilde{SW}}(\tilde{n}^\circ, \tilde{p}^\circ)$ に関しては5.(2)で説明する．

図－8　社会的厚生と潜在需要の関係



$\overline{CS}(n^\circ, p^\circ), \tilde{\tilde{CS}}(\tilde{n}^\circ, \tilde{p}^\circ)$ に関しては5.(2)で説明する．

図－9　総消費者余剰と潜在需要の関係

基本市場均衡と代替化市場均衡における社会的厚生を比較して，交通手段の代替化施策の導入の経済効果を分析しよう．図－8はα以外のパラメータ値をベンチマークケースに設定し，潜在需要と基本市場均衡の社会的厚生 $SW(n^*, p^*(n^*))$ の関係を示したものである．また，同図には代替化市場均衡と基本市場均衡の社会的厚生の差 $\tilde{SW}(\tilde{n}^*, \tilde{p}^*(\tilde{n}^*) - SW(n^*, p^*(n^*))$ と潜在需要αの関係も併記している．基本モデルにおいて２つの市場均衡が存在する場合，バスの運行が実施される均衡解をとりあげている．任意のαに対して常に $SW(n^*, p^*(n^*)) \leq \tilde{SW}(\tilde{n}^*, \tilde{p}^*(\tilde{n}^*))$ が成立し，代替化施策を導入することにより社会的厚生が増大することが理解できる．図－9はα以外のパラメータ値をベンチマークケースに設定し，基本市場均衡における総消費者余剰 $CS(n^*, p^*(n^*))$ と潜在需要の関係を示したものである．同図には代替化市場均衡と基本市場均衡の総

消費者余剰の差$\tilde{CS}(\tilde{n}^*, p^*(\tilde{n}^*)) - CS(n^*, p^*(n^*))$と潜在需要の関係も示している．本ケースの場合，任意のαに対して$CS(n^*, p^*(n^*)) \geq \tilde{CS}(\tilde{n}^*, p^*(\tilde{n}^*))$が成立し，代替化施策を導入することにより総消費者余剰は常に減少する．すなわち，代替化戦略を導入することにより社会的厚生は増加するものの，社会的厚生の増加はバス企業に帰属し，総消費者余剰は逆に減少する結果となる．交通手段の代替化施策は手段補完性を解消することにより，図－１に示したように家計のバス選択確率を増加させ，社会的厚生を増加させることが可能となる．しかし，手段補完性が解消されたために，バス企業は需要が多い時間帯のみにバスサービスの提供を絞ることが可能となる．しかし，運行本数が減少するため，家計の総消費者余剰は逆に減少するという問題点が生じる．すなわち，交通手段の代替化施策を導入する場合，家計の総消費者余剰の増加に資するようにバス企業の行動を規制することが必要である．

(2)　代替化施策とバス企業の規制

代替化市場均衡では，バス企業が運賃pとバスの運行本数nを自由にコントロールする場合を想定していた．ここでは，交通手段の代替化施策と同時に，政府がバス企業の運賃と運行本数を制御する場合を考えよう．バスの最適ダイヤ$s^*(n)$はこれまでの議論と同様に設定されると考える．バスの運行頻度をn，運賃をpに設定した場合，家計が獲得する総消費者余剰$\overline{CS}(n,p)$は

$$\overline{CS}(n,p) = \alpha Y - \tilde{m}(p, s^*(n))2p$$
$$-\{1-\tilde{m}(p, s^*(n))\}2q - UT(n) \qquad (47)$$

と表される．拡張モデルの場合と異なり，運賃pが条件(22a)を満足する条件付き最適運賃$\tilde{p}^*(n)$ではなく，自由に値を設定できる変数になっている．また，$UT(n)$は式(41)で表される．生産者余剰はバス企業の利潤(19)により表される．したがって，バスの運行本数n，運賃pの下で実現する社会的厚生$\overline{SW}(n,p)$は

$$\overline{SW}(n,p) = \alpha Y - 2nc$$
$$-2q\{1-\tilde{m}(p, s^*(n))\} - \tilde{UT}(n) \qquad (48)$$

と表される．政府が社会的厚生の最大化を図る社会的厚生最大化モデル

$$\max_{n,p}\left\{\overline{SW}(n,p)\right\} \qquad (49)$$

を考える．この問題の最適解をn°，p°と表し，その時に実現する社会的厚生を$\overline{SW}(n^\circ, p^\circ)$と表そう．さらに，政府がバス企業の利潤をゼロに規制し，総消費者余剰の最大化を図る消費者余剰最大化モデル

$$\max_{n,p}\left\{\overline{CS}(n,p)\right\} \qquad (50a)$$
$$\text{subject to} \quad \Pi(n,p) = 0 \qquad (50b)$$

を考える．ただし，利潤$\Pi(n,p)$は式(19)で表される．この問題の最適解を$\tilde{n}^\circ$，$\tilde{p}^\circ$，および最適解の時に実現する社会的厚生を$\tilde{\tilde{SW}}(\tilde{n}^\circ, \tilde{p}^\circ)$と表そう．先に示した，図－８には，パラメータ値をベンチマークケースに設定し，社会的厚生最大化モデルの最適解と基本モデルの社会的厚生の差$\overline{SW}(n^\circ, p^\circ) - SW(n^*, p^*(n^*))$，および消費者余剰最大化モデルの最適解と基本モデルの社会的厚生の差$\tilde{\tilde{SW}}(\tilde{n}^\circ, \tilde{p}^\circ) - SW(n^*, p^*(n^*))$と潜在需要の関係を併記している．当然のことながら，社会的厚生最大化モデルの場合に，任意のαに対して社会的厚生が最大になっている．消費者余剰最大化モデルの場合，基本モデルより社会的厚生は大きくなるが，拡張モデルの場合よりは小さくなる．図－９には，社会的厚生最大化モデルの最適解と基本モデルにおける総消費者余剰の差$\overline{CS}(n^\circ, p^\circ) - CS(n^*, p^*(n^*))$，および消費者余剰最大化モデルの最適解と基本モデルにおける総消費者余剰の差$\tilde{\tilde{CS}}(\tilde{n}^\circ, \tilde{p}^\circ) - CS(n^*, p^*(n^*))$と潜在需要$\alpha$の関係も併記している．消費者余剰最大化モデルの場合に総消費者余剰が最大になる．社会的厚生最大化モデルを用いた場合，拡張モデルより総消費者余剰は大きくなるが，基本モデルの場合よりは小さくなる．家計の厚生を可能な限り大きくするためには，消費者余剰最大化モデルを用いてバス企業の行動を規制することが必要となる．当然のことながら，図－８，図－９に示した分析結果は，ベンチマークケースにおいてのみ成立する事項であり，それより一般的な結論を導くことはできない．しかし，以上の数値計算事例を通じて，交通手段の代替化施策を導入する場合，バス企業の行動に関するきめ細かな誘導・規制が必要となる．

(3)　需要管理施策への示唆

カーシェアリング，レンタサイクル，相乗りタクシー等交通手段の代替化施策の導入により，家計の往復の交通手段選択における手段補完性を取り除くことが可能になる．それによって，家計のバス利用確率を増加させることが可能である．しかし，手段補完性が存在しなくなれば，運行本数の増加がバスの利用確率に及ぼす規模の経済性が機能しなくなるため，バス企業は代替化施策を導入する前の状態よりもバスの運行本数を減らし，利潤の増加を図る可能性がある．以上の分析結果は，交通手段の代替化施策を導入する場合，併せてバス企業の行動を家計の総消費者余剰を大きくするように誘導することが必要であることを示唆している．しかし，現実に消費者余剰最大化モデルを用いて，バス企業の規制施策を精緻に設計することは容易でないだろう．交通手段の代替化施策を導入する場合に，バス企業の規制施策が同時に必要となるのは，代替化施策がバス企業にバス運行本数の削減の誘因を与える点に

ある．そこで，消費者余剰最大化モデルによる方式に代わる現実的な方策として，交通手段の代替化施策の導入を試みる場合，バス企業に対して従前の運賃と運行本数を維持するように協力を要請することが考えられる．バス企業が代替化施策の導入前の運賃，運行本数を維持し続ける場合，図－１に示したように代替化施策の導入により家計のバス利用確率は増加する．その結果，家計の総消費者余剰が増加すると同時に，バス企業の利潤も増加し，社会全体の厚生がパレート改善することとなる．従来交通需要管理施策を導入したことによる効果は，時間短縮や混雑緩和などにより評価されてきた．本論文の結果より考察すれば，交通手段選択における手段補完性の解消による交通市場構造の変化という，新しい視点からこれらの管理施策を評価できる可能性があることがわかる．

なお，以上の知見は，モデルの定式化の際に設けた前提条件に依存している．特に，これまでの議論では，交通手段の代替化施策の導入費用を無視してきた．特に，レンタサイクルシステム等，施策の導入費用が無視できない場合，代替化施策の導入による社会的厚生の増加と施策の導入費用の双方を同時に考慮に入れて，代替化施策の是非を検討すべきであることは言うまでもない．また，以上では家計の同質性を仮定していた．しかし，家計の選好が異質な場合，出発時刻が同一であっても，バスの待ち時間や運賃がバス需要に影響を及ぼすことになる．この場合，バス需要の多寡が道路混雑に影響を及ぼすことになり，道路混雑も同時に考慮に入れたより総合的な分析枠組みを開発することが必要となる．

6.　おわりに

本研究では，バス市場に存在する外部性として，道路混雑，固定費用，待ち時間，手段補完性が存在することを指摘し固定費用，手段補完性という規模の経済性の存在がバス市場におけるポジティブフィードバックの原因となることを明らかにした．特に，家計のバス選択行動に手段補完性が存在する場合，家計の選好が同質であっても規模の経済性が働き，複数の市場均衡解が存在する．さらに，本研究では，交通手段の代替化施策が手段補完性を解消する機能に着目し，代替化施策の導入が市場均衡の効率性に及ぼす影響を分析した．本研究は交通手段選択における手段補完性がもたらすポジティブフィードバックに着目したものであるが，筆者らの知る限り，このような観点からバス市場構造を分析した研究事例は他に存在しない．本研究を通じて，カーシェアリング，レンタサイクル等，交通手段の代替化施策の経済効果を分析する基本的枠組みを提示することができたと考える．しかし，今後に残された多くの研究課題が存在する．第１に，交通手段選択における手段的技術外部性，不完全代替性を考慮した交通行動モデルの開発が必要である．特に，カーシェアリング，相乗り施策等，交通手段の代替化施策の効果を分析するためには，この２つの特性を明示的に考慮したような交通行動モデルの作成が不可欠となる．第２に，バス市場均衡における効率性を改善するための施策としては，交通手段の代替化施策以外にも運賃施策，直接的規制策等，多様な施策が利用可能である．一般に，規模の経済性が存在する市場の効率化施策は複雑にならざるを得ないが，今後多様な交通施策の効果を分析する必要がある．第３に，本研究では家計の選択行動における手段補完性に焦点を絞り，バス市場における規模の外部経済について分析を試みた．家計の選好に異質性が存在する場合，バスの利用客数の変化を通じた道路混雑を同時に分析したような分析枠組みが必要となる．最後に，本研究で得られた知見は理論的分析の枠内にとどまっているが，今後は現実的なバス市場を対象として，社会的厚生のパレート改善に資するような交通施策のあり方を分析できるような，実用的な市場均衡モデルを開発する必要があると考える．

付録 I　命題１の証明

I-a) 条件付き最適運賃 (24) のうち，$p^*(n) = q, q - \frac{2T\varepsilon}{n}$ は $T > 0, \varepsilon > 0$ の仮定より明らかに条件 (21) を満足しない．

$$\left(q - \frac{T\varepsilon}{n}\right) - \frac{-3(T\varepsilon - nq) - \sqrt{K(n)}}{5n} = \frac{\sqrt{K(n)} - 2(T\varepsilon - nq)}{5n}$$

より $K(n) > 0$，$K(n) - 4(T\varepsilon - nq)^2 = 5(T\varepsilon)^2 \geq 0$ なので $\frac{-3(T\varepsilon-nq)-\sqrt{K(n)}}{5n}$ は条件 (21) を満足しない．最適運賃 $p^*(n) = \{-3(T\varepsilon - nq) + \sqrt{K(n)}\}/5n$ が条件 (21) を満足することを確認する．そこで，

$$q - \frac{-3(T\varepsilon - nq) + \sqrt{K(n)}}{5n} = \frac{3T\varepsilon + 2nq - \sqrt{K(n)}}{5n}$$

を評価する．$(3T\varepsilon + 2nq)^2 - K(n) = 20T\varepsilon nq \geq 0$ が成立する．一方，

$$\frac{-3(T\varepsilon - nq) + \sqrt{K(n)}}{5n} - \left(q - \frac{T\varepsilon}{n}\right) = \frac{2(T\varepsilon - nq) + \sqrt{K(n)}}{5n}$$

を評価する．$K(n) - 4(T\varepsilon - nq)^2 = 5(T\varepsilon)^2 \geq 0$ が成立する．したがって，$\{-3(T\varepsilon - nq) + \sqrt{K(n)}\}/5n$ は条件 (21) を満たす．また，運行本数に関する最適化条件

より求まるnも式(21)を満たす必要がある．

$$T-\frac{q-p^*(n)}{\varepsilon}n=\frac{\sqrt{K(n)}-2(nq-T\varepsilon)}{5\varepsilon}$$

より$K(n)-4(nq-T\varepsilon)^2=5(T\varepsilon)^2\geq 0$であり，任意の$n\geq 0$に対して式(21)が成立する．**I-b)** 式(26)の分子は$9K(n)-(9T\varepsilon-4nq)^2=20(nq)^2\geq 0$であり$\frac{dp^*(n)}{dn}\geq 0$が成立する．すなわち，$p^*(n)$は$n$に関して単調増加である．ロピタルの定理より$\lim_{n\to 0}p^*(n)=\frac{q}{3}$であり，任意の$n\geq 0$に対して$p^*(n)$は正の値をとる．**I-c)**$n\to 0$のときの式(28)の各項を評価する．$\lim_{n\to 0}n\Delta(p^*(n))=\frac{3T\varepsilon-2nq-\sqrt{K(n)}}{5\varepsilon}=0$より$\lim_{n\to 0}F(n,p^*(n))=0$．ロピタルの定理より

$$\lim_{n\to 0}\frac{dp^*(n)}{dn}=\lim_{n\to 0}\frac{T\varepsilon\left(\sqrt{K(n)}+4nq-9T\varepsilon\right)}{5n^2\sqrt{K(n)}}$$

$$=\lim_{n\to 0}\frac{2T\varepsilon q}{5n}\frac{6(nq-T\varepsilon)+2\sqrt{K(n)}}{9(T\varepsilon)^2-10T\varepsilon nq+8(nq)^2}=\frac{4q^2}{27T\varepsilon}.$$

また$\lim_{n\to 0}\frac{dF(n,p^*(n))}{dn}=\frac{4}{3T\varepsilon}$であり，式(28)の第1項は$n\to 0$のとき0に収束する．したがって$\lim_{n\to 0}d\Pi(n,p^*(n))/dn=-c$が成立．**I-d)** 式(29)において$d(n\Delta(p^*(n)))/dn$を評価しよう．ここで

$$\frac{d(n\Delta(p^*(n)))}{dn}=\frac{2q}{5\sqrt{K(n)}\varepsilon}\left\{\sqrt{K(n)}+2(T\varepsilon-nq)\right\}$$

であり，$K(n)-4(T\varepsilon-nq)^2=5(T\varepsilon)^2\geq 0$より$\frac{d(n\Delta(p^*(n)))}{dn}\geq 0$が成立する．したがって$\frac{dF(n,p^*(n))}{dn}\geq 0$である．

付録 II　命題2の証明

II-a) 最適運賃(38)の内，$\frac{-2(T\varepsilon-nq)-\sqrt{\tilde{K}(n)}}{3n}$は明らかに負であり不適．一方，$\frac{-2(T\varepsilon-nq)+\sqrt{\tilde{K}(n)}}{3n}$に関して$n$についての1階微分をとると

$$\frac{d\tilde{p}^*(n)}{dn}=T\varepsilon\frac{2\sqrt{\tilde{K}(n)}+nq-4T\varepsilon}{3n^2\sqrt{\tilde{K}(n)}}\qquad\text{(II.1)}$$

となる．上式の分子は$4\tilde{K}(n)-(nq-4T\varepsilon)^2=3(nq)^2\geq 0$なので$\frac{d\tilde{p}^*(n)}{dn}\geq 0$が成立．ロピタルの定理を用いれば$\lim_{n\to 0}\tilde{p}^*(n)=\frac{q}{2}$が成立し，条件付き最適運賃$\tilde{p}^*(n)=\frac{-2(T\varepsilon-nq)+\sqrt{\tilde{K}(n)}}{3n}$は任意の$n\geq 0$に対して正の値をとる．運行本数に関する1階の最適化条件は，

$$\frac{d\Pi(n,\tilde{p}^*(n))}{dn}=\alpha\left(\frac{d\tilde{p}^*(n)}{dn}F(n,\tilde{p}^*(n))+\tilde{p}^*(n)\frac{dF(n,\tilde{p}^*(n))}{dn}\right)-c=0$$

で表される．$T-n\Delta(n,\tilde{p}^*(n))=\frac{\sqrt{\tilde{K}(n)}-(nq-T\varepsilon)}{3\varepsilon}$を評価すれば$\tilde{K}(n)-(nq-T\varepsilon)^2=3(T\varepsilon)^2\geq 0$であることより，任意の運行本数$n\geq 0$において運行本数に関する制約条件$n\Delta(n,\tilde{p}^*(n))\leq T$は満足される．**II-b)** ロピタルの定理より

$$\lim_{n\to 0}\frac{d\tilde{\Pi}(n,\tilde{p}^*(n))}{dn}=\frac{\alpha q^2}{2T\varepsilon}-c\qquad\text{(II.2)}$$

となる．また$\Pi(0,\tilde{p}^*(0))=0$であるので，$\frac{\alpha q^2}{2T\varepsilon}>c$が成立するとき，利潤$\Pi(n,\tilde{p}^*(n))$は$n=0$の近傍において増加関数であり，正の値をとる．運行本数に関する2階の最適化条件は

$$\frac{d^2\Pi(n,\tilde{p}^*(n))}{dn^2}=\frac{2q^2}{9T\varepsilon\{\tilde{K}(n)\}^{\frac{3}{2}}}\left\{13\left(T\varepsilon-\frac{11}{26}nq\right)^2+\frac{87}{52}(nq)^2\right\}\geq 0$$

となる．利潤$\Pi(n,\tilde{p}^*(n))$は運行本数nに関して凹関数となる．さらに，$\lim_{n\to\infty}\tilde{p}^*=q$，$0\leq\tilde{m}(p,s^*(n))\leq\alpha$なので$\lim_{n\to\infty}\tilde{\pi}^*(n)=-\infty$．したがって命題2が成立する．

参考文献

1) 運輸政策審議会自動車交通部会：運輸政策審議会自動車交通部会論点整理，1997.
2) たとえば，松井寛，藤田素弘，辻川琢也：トリップの連鎖性を考慮した交通手段選択モデルに関する研究，土木計画学研究・論文集，No.11，pp.97-103，1993.
3) 山本俊行，北村隆一，熊田善亮：業務トリップチェインにおける経路・出発時刻選択行動の分析，土木学会論文集，No. 667/IV-50, pp. 33-40, 2001.
4) 枝村俊郎，森津秀夫，松田宏，土井元治：最適バス路線網構成システム，土木学会論文報告集，No.300, pp. 95-107, 1980.
5) 天野光三，銭谷善信，近東信明：都市街路網におけるバス系統の設定計画モデルに関する研究，土木学会論文報告集，No.325, pp.143-154, 1982.
6) 山口隆之，浅野光行：地域特性を考慮したコミュニティバスの導入促進に関する研究，第34回日本都市計画学会学術研究論文集，pp.985-990，1999.
7) 樋口民夫，秋山哲男：コミュニティバス計画のサービス水準の評価に関する研究，第35回日本都市計画学会学術研究論文集，pp.517-522，2000.
8) 中川大，青山吉隆，栗林大輔，小出泰弘：マーケティング手法による転換率モデルを用いたバス交通改善策の効果分析，土木計画学研究・論文集，No.15, pp.721-730, 1998.
9) 渡辺千賀恵：運賃値上げからみたバス離れ機構の実証的研究，土木学会論文集，No.413/IV-12, pp.97-106, 1990.
10) 高山純一，宮崎耕輔：バスダイヤを考慮した最適バス路線網再編計画策定に関する研究，土木計画学研究・論文集, No.13, pp.827-836, 1996.
11) Savage, I.: *The Deregulation of Bus Services*, Gower: Aldershot, 1985.
12) Mackie, P. and Preston, J.: *The Local Bus Market, A Case Study of Regulatory Change*, Gower: Aldershot, 1996.
13) Ellis, C.J. and Silva, E.C.D.: British bus deregulation: Competetion and demand coordination, *Journal of Urban Economics*, Vol.43, pp.336-361, 1998.
14) Palma, A. and Lindsey, R.: Optimal timetables for public transportation, *Transportation Research*, Part B., Vol.35, pp.789-813, 2001.
15) 柳沢吉保，高山純一：運行管理コストと利用者コストのトレードオフを考慮した循環バスシステムの最適化，第36回日本都市計画学会学術研究論文集，pp.595-600, 2001.

16) 小林潔司, 福山敬, 秀島栄三, 藤井信行：過疎地域におけるバスサービスの最適維持方策に関する研究, 土木学会論文集, No.611/IV-42, pp.45-56, 1999.
17) 土木計画学研究委員会バス問題研究小委員会（小委員長：喜多秀行）の研究成果を参照.
18) Kitamura, R., Nakayama, S., and Yamamoto, T.: Self-reinforcing motorization: can travel demand management take us out of the social trap?, *Transport Policy*, Vol.6, pp.135-145, 1999.
19) 例えば, 藤田昌久：空間経済システムの自己組織化と発展について, 大山道広他編：現代経済学の潮流1996, 東洋経済新報社, 1996.
20) Downs, A.: The law of peak-hour expressway congestion, *Traffic Quarterly*, Vol.16, pp.393-409.
21) Thomson, J. M.: *Great Cities and their Traffic*, Gollancz, London, 1977.
22) Mogridge, M. J. H.: The self-defeating nature of urban road capactiy policy, *Transport Policy*, Vol/4, pp.5-23, 1997.
23) 松島格也, 小林潔司: タクシー・サービスのスポット市場均衡に関する研究, 土木計画学研究・論文集, No.16, pp.591-600, 1999.
24) Cooper, R.W.: *Coordination Games: Complementarities and Macroeconomics*, Cambridge University Press, 1999.
25) Howitt, P.W.: *The Keynesian Recovery*, Prentice Hall, 1990.
26) Howitt, P.W. and McAfee, R.P.: Costly search and recruiting, *International Economic Review*, Vol.28, pp.141-147, 1987.
27) 北野善正, 松島格也, 小林潔司：手段補完性を考慮した交通手段選択モデルに関する一考察, 平成16年度関西支部学術講演概要集, IV-72, 2004.
28) Arthur, W.B.: *Increasing Returns and Path Dependence in the Economy*, The University of Michigan Press, 1994.

(2003. 7. 7 受付)

BUS MARKET STRUCTURE WITH STRATEGIC COMPLEMENTARITY

Kakuya MATSUSHIMA and Kiyoshi KOBAYASHI

In this paper, the mechanism that the modal choice in the outward trip of the round trip constrains that in the return trip and vise versa is characterized as *strategic complementarity in modal choice*. The positive feedbacks between bus demands and the number of bus operation functions in the bus market, if there exists strategic complementarity in modal choice by households. The market equilibrium model is formulated to investigate the multiplicity of the equilibrium and the impacts of transportation policy, such as car sharing, rental cycles, etc., which is designed to remedy strategic complementarity in modal choice, upon the market equilibrium and social welfare.