合意形成の観点からの地方都市バス交通の便選択に関する考察

伊藤　泰壽[1]・榊原　弘之[2]

[1]非会員　山口大学　大学院創成科学研究科（〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1）
[2]正会員　山口大学教授　大学院創成科学研究科（〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1）

E-mail: sakaki@yamaguchi-u.ac.jp (Corresponding Author)

本研究では，地方都市における複数バス事業者間の共同運行のための合意形成に着眼し，利用者の便選択行動が便間の乗客数の不均衡を生じる過程について考察を試みた．まず，ウェブアンケート調査を実施し，等間隔パターンダイヤ下で便選択モデルのパラメータの分布を推定する．次に，得られたパラメータ分布に基づいて通学輸送における便選択をシミュレーションし，便間の利用者数の不均衡を再現した．数分の発車時刻の変更により乗客数が大きく変動するほか，運行間隔が大きいほど，便間の乗客数の標準偏差が大きくなることが明らかになった．これにより，バス事業者にパターンダイヤから逸脱する誘因が存在することが示された．

Key Words: *Cyclic Timetable, Provincial City, Choice of Bus, Competency, Partnership among Public Transportation Operators*

1. はじめに

地方都市におけるバス事業者は，モータリゼーションの進行及び当該地域の人口減少に伴う長年の利用減少の傾向に加えて，近年の運転士不足，コロナ禍の影響により，さらに厳しい経営環境に置かれている．事業者内部において，相対的に収益性の低い路線は，収益性の高い路線の収益の一部を損失の補填に充てる内部補助により維持されてきたが，コロナ禍による路線全体の収益の低下から困難となりつつある．国，県，市町村による補助も地域衰退による財政事情により，維持，拡大することが困難となってきている．さらに，運転士不足に起因する減便によるサービスレベルの低下が，更なる利用者減少を招き，地方公共交通の衰退を加速させている．

一方，歴史的な経緯により，同一区間で複数の事業者が重複して運行を行う区間が存在する地域がある．かつて，公共交通の収益性が高かった時代においては，事業者間の競争がサービス向上の契機となり得たと考えられる．しかし現状においては，事業者間の競合は非効率的な便の設定等を生じ，さらなる収益性の低下を招きやすい．利用者の観点からも，競合下では各便の間隔が不規則となりやすいなど，必ずしも利便性の向上につながらないケースがある．

そのような中で，2020 年 11 月に施行された「地域における一般乗合旅客自動車運送事業及び銀行業に係る基盤的なサービスの提供の維持を図るための私的独占の禁止及び公正取引の確保に関する法律の特例に関する法律（独占禁止法特例法）」では，地域における基盤的なサービスの提供を維持するという政策目的を達成する限度において，公共交通事業者間の経営統合や共同経営が可能となっている[1),2)]．

競合区間で共同経営を実施する場合，一体的なサービス向上施策の立案実施が容易となる．具体的には，便数設定および運行ダイヤの見直しが，便総数の削減による経営効率化や，利便性の増進による乗客の増加につながることが期待される．その最たる例が等間隔パターンダイヤの導入である．等間隔パターンダイヤは，利用者にとって記憶しやすく，時刻表の確認が不要となる．これにより利便性の向上や利用客の増加といった効果を期待することができる．日本政策投資銀行[3)]は，独占禁止法特例法施行以前に市内幹線を等間隔・共同運行化した八戸市を対象としたヒアリング調査を実施し，当該路線の年間利用者数の増加を報告している．

一方で，等間隔パターンダイヤの導入が当該路線に対する全体的な需要増加につながったとしても，個別の便において同程度の利用増加が実現するとは限らない．各

便の利用者数に不均衡が生じた場合，それらの便を運行する個々の事業者にとって収益性の格差が生じ得る．特に地方都市では，目的地となる学校等の施設数や公共交通の利用者数が限定的なことから，各便の利用者数に不均衡が生じやすいと考えられる．このような不均衡が事前に予測される場合，事業者間の協調のための合意形成に支障が生じることが懸念される．

本研究は以上の問題意識の下で，地方都市を想定し，バス路線における便選択について考察を試みる．具体的には，de Palma and Lindsey[4]に基づき，バス利用者が最も望ましい「出発希望時刻」を念頭に置きつつ，離散的なダイヤの下で利用する便を選択するモデルを想定する．このモデルに基づきウェブアンケートを実施し，バスを利用する環境条件を設定した上でパターンダイヤ下で利用する便の選択を求め，便選択を決定するパラメータの分布を推定する．得られたパラメータ分布に基づいて通学輸送における便選択をシミュレーションし，便間の利用者数の不均衡を再現する．これにより，バス事業者にパターンダイヤから逸脱する誘因が存在することを示す．

2. 等間隔パターンダイヤの有効性と便選択

(1) 用語の定義

鈴木ら[5]は，パターンダイヤの特徴として（イ）発車時刻が毎時同じであること，（ロ）列車の運行が等間隔であること，（ハ）記憶可能なダイヤであること，の 3 点を挙げている．（イ）は「毎時 7 分・26 分・44 分発」のように，ダイヤが 1 時間ごとに周期性を持つものの，列車の運行時刻は等間隔ではないダイヤを含む．また（ロ）は「10 分間隔」「12 分間隔」のように 60 分の約数で（イ）と同時に達成される場合と，「7 分間隔」「16 分間隔」のように等間隔ではあるが，毎時同時刻に運行されないケースが想定される．さらに（ハ）の記憶可能性に関して，Wardman et al.[6]は，「毎時 00・30 分の 30 分間隔」毎時 00・15・30・45 分の 15 分間隔」「毎時 00・05・10・…・55 分の 5 分間隔」などを「記憶しやすいダイヤ」としている．本稿では鈴木ら[5]の議論を参考とし，（イ）と（ロ）が同時に達成されるダイヤを「等間隔パターンダイヤ」と呼び，（ロ）のみが達成される後者のケースを含むより広義のパターンダイヤを「等間隔ダイヤ」と呼ぶ．

(2) 総体としての等間隔パターンダイヤの有効性

de Palma and Lindsey[4]は，公共交通の個々の利用者はその利用目的に応じて，「この時刻にバスが来るのが最適である」という出発希望時刻を有しており，出発希望時刻に便がない場合，利用者はその数分前に発車する便または数分後に発車する便のいずれを利用するかを判断するモデルを提示している．以下ではこのモデルについて概説する．

自家用車や自転車による移動においては，出発希望時刻に出発することが可能である．一方公共交通においては各便の出発時刻は離散的であり，利用者にとって最適な時刻に便が設定されているとは限らない．利用者にとって理想的な出発希望時刻よりも早く，あるいは遅く出発することで，その時間差によって単位時間あたりに生じる利用者のストレスを表す時間費用をそれぞれ $\beta(>0)$ と $\gamma(>0)$とする．すなわち，最適なタイミング（出発希望時刻）より t早い便を利用する際の時間費用は βt，t 遅い便の時間費用は γtとなる．ここでβと γに関して以下の 2 点が仮定されている．

- 時間費用は出発希望時刻において 0 となる線形関数で表現することができる．
- βと γは線形関数の係数であり個人について常に一定である．

各利用者は時間費用が最小となる便を利用することとなる．de Palma and Lindsey[4]はこのモデルに基づいて利用者の時間費用の総和が最小となる最適なダイヤ設定を検討し，以下の結果を導出している．

出発希望時刻が一様分布，かつ β, γ が全利用者について同一（homogenous）であると仮定したモデルについて

- 最適な運行ダイヤは等間隔ダイヤである．
- 等間隔ダイヤの下で，各便の利用者数は同一である．

de Palma and Lindsey[4]の分析は利用者の観点からの等間隔ダイヤの有効性を理論的に導出したものと言える．

次に，総体としてのダイヤに対する利用者の選好に関して，鈴木ら[5]は，完全なパターンダイヤとある時間帯の 1 便の出発時刻または便数を変更した不完全なパターンダイヤについて，「便利さ」と「覚えやすさ」を基準として評価するアンケート調査を実施している．その結果，調査で得られた 13,512 件のダイヤ評価から完全なパターンダイヤが「便利さ」と「覚えやすさ」いずれにおいても最も評価が高いことを示した．この結果は，パターンダイヤが総体として利用者に選好されることを示すものと言える．

一方で，パターンダイヤ導入と実際の利用者数の関係に関して，中川ら[7]は全国の地方鉄道路線のパターンダイヤの実施状況とその変化を明らかにするとともに，各路線のパターンダイヤの設定状況について「パターン率」を定義して定量化し，「パターン率」と輸送密度の増加比率との関連性を分析している．その結果，「パターン率」が高い路線の輸送密度増加比率は，運行頻度や輸送密度の大小によらず，「パターン率」が低い路線と比較

して大きいことを示している．さらに先述の八戸市の事例[3]では，等間隔共同運行を実施した結果，従前の 46 便を縮減した一方で，乗車人員が前年の 2.2%増加し，路線の黒字転換に成功したことが報告されている．以上より，理論的検討及び実際の利用者の選好の両面において，等間隔パターンダイヤは総体として有効であると考えられる．

(3) 等間隔ダイヤにおける利用者の便選択の問題

バス利用者の出発希望時刻が一様分布に従う場合，等間隔ダイヤの各便の利用者数は同一となる．ただし実際のバス利用者の需要分布は，利用目的や個々の利用者の行動特性によって，一様ではないことが一般的であると考えられる．朝夕の通勤・通学ラッシュやオフピークがその最たる例である．特に地方都市では，大都市と比較して目的地となる学校などの施設数が限定され，それに伴って需要も限定された時間帯に偏りやすいと考えられる．その結果，通勤通学に適した特定の便に利用が集中し，その前後の便と利用者数に大きな差が生じることも少なくない．このような便間の利用者数の不均衡は多くの都市で広く見いだされると考えられ，具体的な報告例としては大学への通学に利用されるバス[8]や，高校通学に利用されるバス[9]に関するものがある．

単一の事業者が運営している路線では，利用者が総体としての等間隔ダイヤを選好しているのであれば，便間の利用者の不均衡は事業者にとって受容可能であると考えられる．しかし，複数事業者で等間隔ダイヤを実現した場合，便間の利用者数の差が大きければ，事業者はより利用者が多い便を運行することを希望すると考えられる．

(4) 既往研究との比較

都市内における公共交通利用者の出発時刻に関する分析は多数存在し，例えば小林ら[10]，家田ら[11]等がある．これらの研究は主として高頻度の公共交通サービスが存在する大都市圏の通勤交通を対象としている．一方本研究の考察の対象とする地方都市では運行頻度が低く，利用者が出発を希望するタイミングに適当な便が存在するとは限らない．そのため，公共交通サービスの時間軸上での離散性をより意識した分析が必要と考えられる．便数が限定される点においては，地方都市におけるバスの便選択はむしろ航空便の選択[12]に近いとも考えられる．

また本研究は，バス利用者の便選択行動そのものよりも，便選択の結果として生じると考えられる各便の利用者数の不均衡に注目している．複数事業者が協調してパターンダイヤというサービスを提供する場合，便間の利用者数の不均衡は事業者間の協調関係の不成立や協調関係からの離脱の動機となり得る．本研究ではそのような不均衡発生の発生過程を分析することに主眼を置いている．

3. 研究手法

(1) アンケート調査

本研究では，バスの乗車便の選択に関するウェブアンケート調査を実施した．アンケートページの作成および調査業務は調査会社に依頼した．回答者総数は 300 名とし，そのうち 100 名を学生，200 名を学生以外とした．調査の冒頭で，バスを「月 1 回未満しか利用しない」，または「ほとんど利用しない」回答者を調査対象から抽出するスクリーニング目的の質問，次いで日常のバス利用目的を回答する質問を設定した．これにより，調査対象は日常的に月 1 回以上バスを利用する者に限定した．日常のバス利用目的についての選択肢は，「通勤・通学」「買い物」「通院」「その他」の 4 択を用意した．以上の学生属性及びバスの利用状況以外で居住地域や年齢，性別等のスクリーニング条件は設定しなかった．調査は 2023 年 9 月に実施している．

個人属性に関する質問の後，**図-1** の仮想都市モデルならびに到着時刻制約・出発地から目的地までの所要時間等の条件を提示した．回答者は**図-1** 中の自宅最寄の出発地バス停から職場・学校最寄の目的地バス停までバスで移動する必要があるとする．職場・学校では到着すべき時刻（始業時刻）が設定されており，到着すべき時刻とバス移動の所要時間から出発地バス停を遅くとも出発すべき時刻（最遅出発時刻）が与えられる．回答者がこれらの設定条件を確認，理解するための時間を確保した後，回答者に**図-2** に示す質問内容に対する回答を求めた．なお**図-1** に示すように当該区間では複数事業者によりバスが運行されていると想定しているものの，ルートやバス停の数，運賃はどちらのバス事業者も同一であるとの条件を提示している．

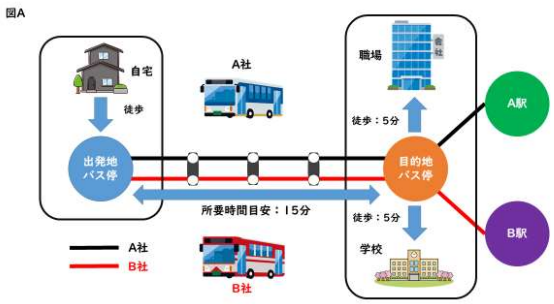


図-1 アンケート調査で用いた仮想都市モデル
（通勤・通学の場合）

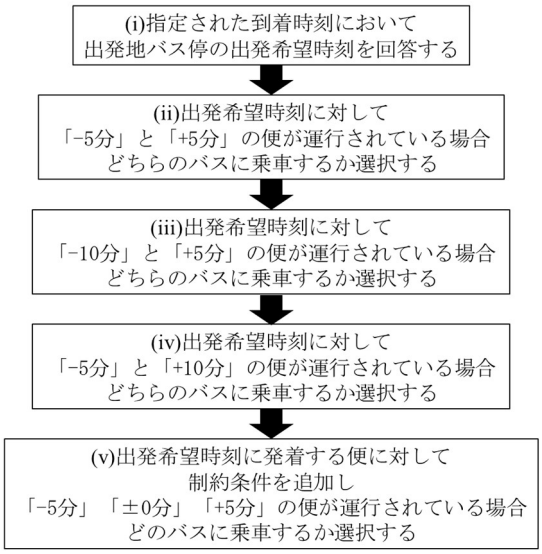


図-2　乗車便選択に関する質問の流れ

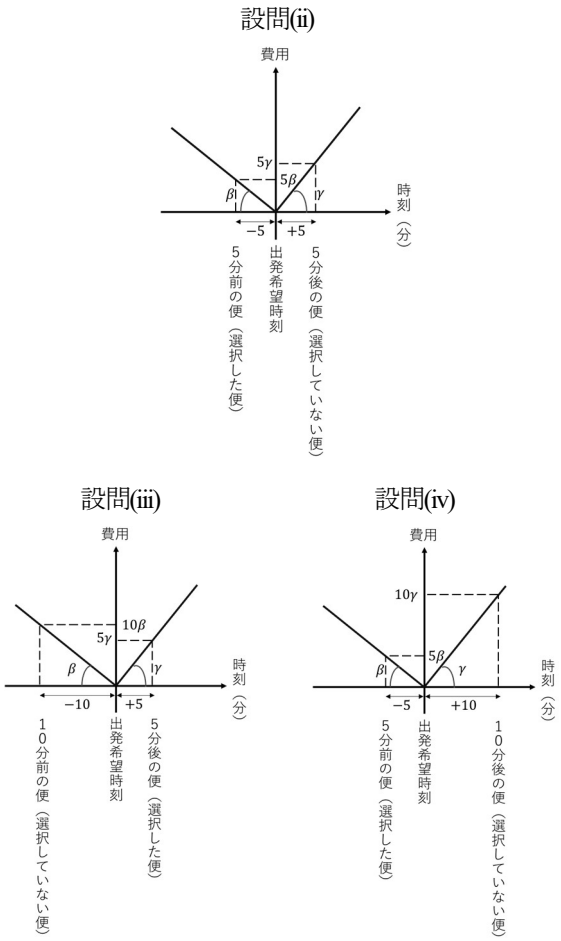


図-3　各設問における時間費用の比較

乗車便選択に関する**図-2** の設問は，2. (2)に示した de Palma and Lindsey[4] のモデルに基づいた各回答者のパラメータを推定するためのものである．(i)は各回答者の自宅最寄のバス停における出発希望時刻を調査するための設問である．前述のように，到着時刻の制約と移動の所要時間から，各回答者には共通の「遅くとも出発すべき時刻」である最遅出発時刻が与えられている．回答者はそれ以前の時刻で自分の出発希望時刻を回答することになる．続く(ii)は出発希望時刻の 5 分前，5 分後の便のいずれを選択するかを尋ねるものであり，5 分前の便を選択する場合は当該の回答者について$\beta<\gamma$，5 分後の便を選択する場合$\beta>\gamma$であると推定される．(iii)及び(iv)はそれぞれ2βとγ，βと2γの大小関係を明らかにするための設問である．設問(ii), (iii), (iv)における時間費用の比較を**図-3** に示す．(v)の制約条件は，交通渋滞に関する項目，車内混雑率に関する項目，IC カード・バリアフリー等のサービス水準に関する項目の 3 つを設定した．

本稿では以降，到着時刻制約と移動所要時間から示された最遅出発時刻と(i)で回答された出発希望時刻との差分を余裕時間ε（分）と定義し，回答からεの分布を導出する．次に(ii)~(iv)で選択した便及び選択しなかった便と出発希望時刻の差分から，βとγの大小関係を導出する．回答に基づいて，対応するγの値の大きさの範囲を推定することができる．具体的な過程を**図-4** に示す．

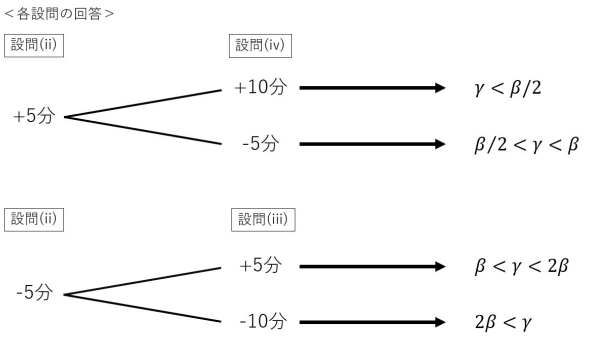


図-4　バス利用者の時間費用γ/βの導出過程

(v)は，各回答者が選択した便から**図-5** に示す方法で費用の最低値について集計し，交通渋滞・サービス水準などの条件が便選択にどの程度の影響を及ぼすかについて検証するために設定した．(v)で課した各制約条件について回答者に提示した内容は具体的には次のとおりである．

・交通渋滞に関する項目
　出発地バス停から目的地バス停まで慢性的に 5〜10 分ほどの渋滞が発生する．
・車内混雑に関する項目
　出発希望時刻の便は目的地まで前後 10 分の便より比較的利用客が多い．
・サービス水準に関する項目
　出発希望時刻の便は前後 10 分の便と比較して，IC カード未対応でバリアフリー非対応の車両が多い．

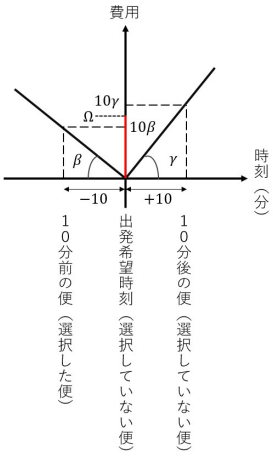


図-5　制約条件に伴う便選択の変化

出発希望時刻に出発する便について，与えられた制約条件に伴って生じる費用を新たにΩと表記する．設問(v)においては**図-5** に示すように 10β，Ω，10γの大小関係により便選択が決定されると考えられる．

以上の一連の設問について，一般的なバスの利用目的を参考として，以下の 3 種類の利用目的ごとに回答を求めた．

（A）「通勤・通学」

始業時刻を 8 時 30 分とし，出発地バス停から目的地までの所要時間を20分と設定．最遅出発時刻は8時10分．

（B）「買い物・通院」

商業施設，医療施設の営業時間を 9 時から 18 時までとし，出発地バス停から目的地までの所要時間を 20 分と設定．

（C）「乗り継ぎ」

目的地の駅の発車時刻表（**表-1** 参照）を提示し，乗り継ぎの制限時間を 8 時 45 分，出発地バス停から目的地までの所要時間を20分と設定．最遅出発時刻は8時20分．

表-1　回答者に提示した目的地駅の発車時刻表

時間	時刻（分）					
07	05	15	25	35	45	55
08	05	15	25	35	45	55

このうち（A）と（C）は到着時刻制約が設定されている設問である．そのため便選択の自由度は比較的小さいと予想される．一方（B）は所定の時間帯のいずれかに到着すれば目的を達成できることから，便選択上の自由度は拡大すると考えられる．なお（B）については「遅くとも出発すべき時刻」が想定されないことから余裕時間εは算出されない．

(2)　通学時間帯の便別乗車数のシミュレーション

先述のアンケート調査で，便選択モデルのパラメータε，β，γの分布が得られる．本研究では続いて，地方都市の高校生の通学時間帯を念頭に，便別乗車数のシミュレーションを試みる．具体的には以下の手順で実施する．

① NHK の国民生活時間調査（2020 年実施）の「平日」における「高校生」の「授業・学内の活動」の回答に着目する．同調査では 15 分単位で行動が調査されているため，朝時間帯において直前のタイミングとの「授業・学内の活動」の回答比率の差が，当該の 15 分間に学校に到着した高校生の比率を示すものと解釈する．そのうえで，10 時の段階で「授業・学内の活動」の回答比率が上限に達することから，この比率を 100%として，15 分ごとの高校生の到着比率を算出する．

② 一定の移動時間を設定したうえで，①の 15 分単位の到着比率と本研究の調査で得られた余裕時間εの分布から，通学目的の高校生の出発希望時刻の分布を算出する．

③ 乱数を生起させ，②の出発希望時刻の分布から仮想の高校生群の出発希望時刻を生成する．

④ ③と独立に，本研究の調査から得られたβ，γの分布を用いて仮想の高校生群のβ，γを決定する．

⑤ 任意のバスダイヤの下で，③の出発希望時刻，④のβ，γに基づいて仮想の高校生群の個体の選択便を求める．

(1)で示したように，本研究の調査では各回答者のβ，γの大小関係が推定されるのみである．そこでまず$\beta=1$で固定とし，γについては推定された範囲で一様分布すると仮定した．これにより，$\gamma<\beta/2$ の場合は$\gamma=0.25$，$\beta/2<\gamma<\beta$の場合は$\gamma=0.75$，$\beta<\gamma<2\beta$の場合は$\gamma=1.5$と与えられる．$2\beta<\gamma$の場合は$\gamma=2.5$とした．$2\beta<\gamma$については，極端な値を考慮した上で，**図-6** のプロセスで仮定している．

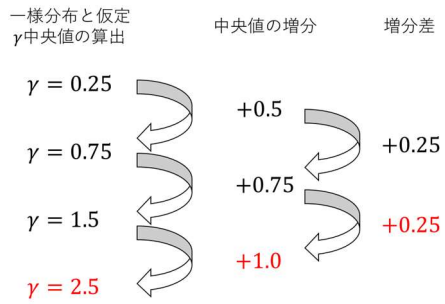


図-6　γの仮定

高校生の朝の通学を念頭に置いたシミュレーションを実施した理由は以下のとおりである．移動における自家用車利用の比率が高い地方都市において，高校生の通学

交通は高齢者と並んで重要な公共交通の利用目的である．通学交通における便別利用者数の不均衡の再現により，複数事業者による運行区間における協調のための合意形成の障害の生成過程を明らかにすることができると考えた．本研究のアンケート調査では(1)の（A）のように通勤通学で到着時刻制約がある中での便選択を尋ねている．本研究のアンケート調査の対象者は地方都市在住の学生に限定されるものではないが，到着時刻制約がある中での便選択行動自体は回答者の属性により大きな差はないものと考え，アンケート調査で得られたパラメータ分布を使用した．

①に示す高校生の学校到着時刻の違いは，学校ごとの始業時刻，部活動の実施状況などの差異に起因するものと考えられる．②の設定は，地域に複数の学校が存在しても，それらは近傍に立地しており，各学校への移動所要時間は同一であると暗に仮定していることを意味する．この場合，到着時刻，余裕時間ε及びβ，γが同一であれば，居住地に関わらず同じ便を選択することになる．実際の地方都市では高校の立地が分散していたり，他都市への通学も少なくない．本研究では便選択の不均衡の発生メカニズムを明らかにするため，設定を単純化したが，より現実に即した想定の導入は今後の課題である．

一方高齢者の移動目的は，(1)の（B）のように明示的な到着時刻制約のないものが多いと推測される．ただし，実際の買物，通院目的の公共交通利用においては，午前中などの特定時間帯に集中することも少なくない．昼間時間帯における便選択の再現については今後の課題としたい．

4. アンケート調査に基づいた便選択モデルのパラメータの推定結果

(1) 余裕時間εの分布

（A）「通勤・通学」及び（C）「乗り継ぎ」における設問(i)から得られた回答者のεの累積分布を**図-7** に示す．なお，$\varepsilon < 0$（最遅出発時刻以降に出発）の回答については総数に含めていない．その結果，「通勤・通学」からは 289 名，「乗り継ぎ」からは 291 名の回答が得られた．

通勤・通学と乗り継ぎのε分布は類似しているものの，通勤・通学の方がややεが小さく，約半数が 10 分以内の余裕時間を回答している．乗り継ぎを控えたバス利用の際に余裕時間がやや大きくなるのは，調査においては明示されていないバスの遅延可能性などを回答者があらかじめ織り込んでいる可能性が考えられる．

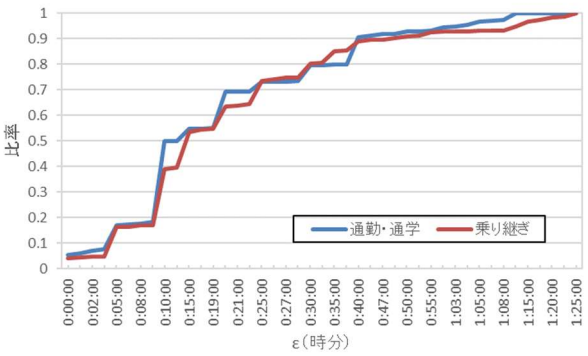


図-7 バス利用者の余裕時間εの累積分布

(2) 買い物・通院目的の利用実態

ウェブアンケート調査では（B）「買い物・通院」についての設問の前に先立ち，出勤・通学以外で日常的にバスを利用する際の乗車時刻の質問を用意した．選択肢は 5 分単位とした．日常のバス利用目的の質問に対して「買い物」を選択した回答者 124 名，「通院」を選択した回答者は 47 名，「その他」を選択した回答者は 68 名となった．「通勤・通学」以外のいずれかの目的を選択した 188 名の日常のバスの乗車時刻分布を**図-8** に示す．7～10 時台に利用が集中し，10 時 00 分が最多となった．また，多くの時間帯で 00 分発が最多となり，次いで 30 分発が多かった．

一方で営業時間を 9 時～18 時に指定した調査の設定の下での（B）「買い物・通院」の出発希望時刻分布を**図-9** に示す．営業開始時刻の 9 時に施設に到着することを意図したと考えられる 8 時 30 分を選択した回答者が最多となった．午前中を出発希望時刻に選択した回答者が過半数を占め，用務のための外出を午前中に行うことを選好する回答者が多いことが示された．同じ時間帯内では，00 分発着の便に利用者が集中し，30 分発着が次いで多いことは，当設問でも確認された．

(3) γの分布

3.(2)に示したβ=1 の仮定で導出されるγの分布を**図-10** に示す．3. に示すβと γの特徴の定義から，回答のうち以下の 2 点に該当する回答は含めていない．

- 設問(ii)で「+5 分」，設問 (iii)で「-10 分」を選択した回答
- 設問(ii)で「-5 分」，設問 (iv)で「+10 分」を選択した回答

これらを除いた結果，(A)～(C)の各利用目的で 277 件の回答を得ることができた．

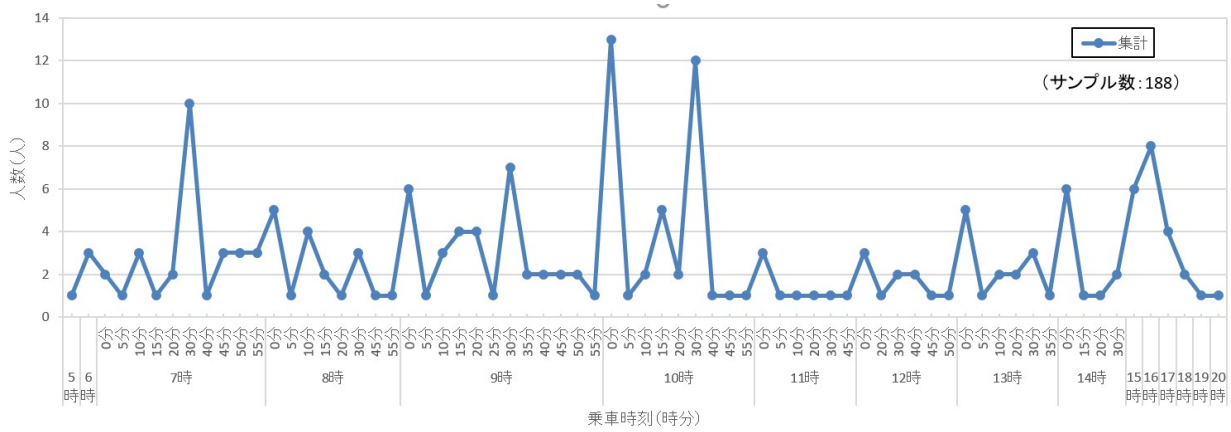


図-8　日常における通勤・通学利用以外のバス乗車時刻分布

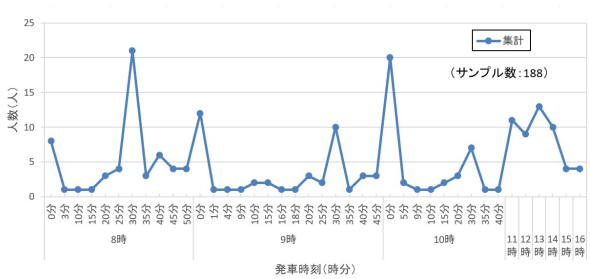


図-9　利用目的（B）「買い物・通院」における出発希望時刻分布

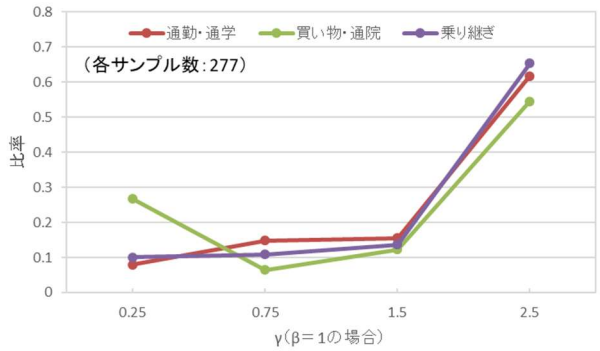


図-10　バス利用目的別のγの分布

図-10 に示すように，$\gamma > 2\beta(\gamma = 2.5)$の回答が全ての利用目的で最も多く，「通勤・通学」と「乗り継ぎ」においては 6 割以上，「買い物・通院」においても 5 割以上を占めた．この結果は，出発希望時刻以前の便と以降の便の間で選択を行う場合，出発希望時刻以前の便を選択する回答者が多い傾向となったことを示している．$\gamma > 2\beta$より，出発希望時刻と直前の便の時刻の時間差が直後の便との時間差の 2 倍であったとしても，直前の便を選択する回答者が少なくないことがわかる．一方，「通勤・通学」と「乗り継ぎ」はその他のγの比率が同程度であったのに対し，「買い物・通院」のみ$\gamma < \beta/2(\gamma = 0.25)$の回答が 2 割以上となり，他の目的とは異なる傾向を示した．3.(1)に示したように，「買い物・通院」は到着時刻制約のない移動目的である．このことから，一部の回答者について，他の目的のケースと比較してγが小さい結果となったと解釈できる．

(4)　制約条件が便選択に及ぼす影響

本節では出発時刻以外の条件が便選択に及ぼす影響についての結果を示す．選択された便の回答者にとっての費用は，提示された 3 つの便のうちで最小であったと考えられる．そこで回答を基に「費用の最低値」となった比率を示す．始めに交通渋滞について各目的で集計した結果を**図-11** に示す．「通勤・通学」と「乗り継ぎ」においては過半数の回答者において最小の費用は10βとなった．このことは渋滞による遅延リスクが存在する状況下では乗車便を繰り上げる行動を反映していると考えられる．一方「買い物・通院」では乗車便を繰り上げる回答者の比率はやや低くなった．到着時刻制約のない移動目的においては，遅延リスクを受容する回答者が一定数存在したことを示している．

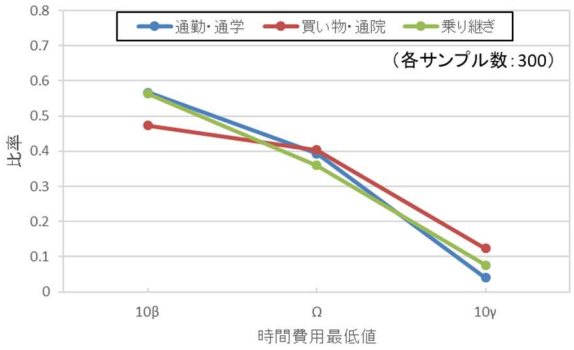


図-11　交通渋滞による便選択行動の変化

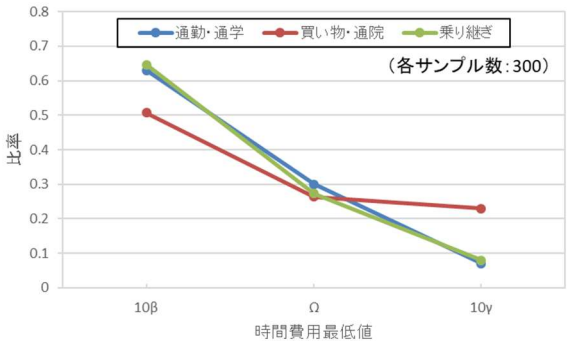


図-12　車内混雑による便選択行動の変化

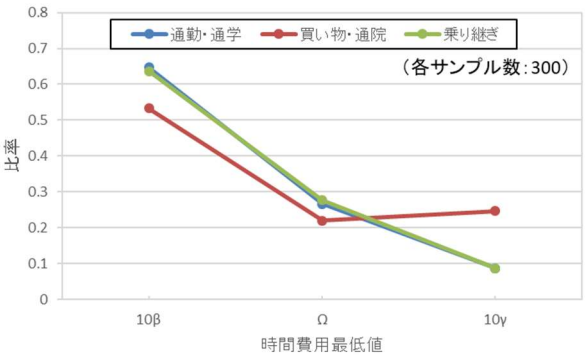


図-13　サービス水準による便選択行動の変化

次に車内混雑について各目的で集計した結果を**図-12**に示す．すべての目的について，過半数の回答者において最小の費用が10βとなった．この結果は，たとえ出発希望時刻の便であっても，車内混雑を忌避して直前の便を選択する利用者が少なくないことを意味する．また「買い物・通院」においては直後の便を選択する回答者も 3 割程度存在する．

サービス水準について各目的で集計した結果を**図-13**に示す．他の条件と同様，過半数の回答者において最小の費用が10β となり，出発希望時刻の便のサービス水準が前後の便と比較して低い場合，よりサービス水準が高い直前の便を選択する利用者が多い．また「買い物・通院」においては直後の便を選択する回答者も約 2 割存在する．

5.　シミュレーション結果と合意形成要因に関する考察

(1)　便選択比率分布

本章では，4.に示したアンケートで得られた便選択モデルのパラメータ分布を用いて，3.(2)に示した手順で実施したシミュレーションにより得られた便選択比率分布を示す．まず①の NHK 国民生活時間調査（2020 年実施）から得られた 10 時までの高校生の登校時刻分布を**図-14**に示す．8 時 30 分登校が全体の 4 割弱を占める単峰型の分布となっている．

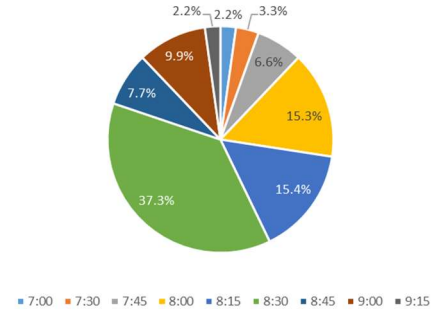


図-14　7 時～10 時の全国高校生の登校時刻の分布
（NHK 国民生活時間調査（2020 年実施））

表-2　シミュレーションで用いた等間隔パターンダイヤ

	運行間隔（分）	毎時発車時刻（分）
ダイヤ1	10	00 10 20 30 40 50
ダイヤ2		03 13 23 33 43 53
ダイヤ3		05 15 25 35 45 55
ダイヤ4	15	00 15 30 45
ダイヤ5		05 20 35 50
ダイヤ6		10 25 40 55
ダイヤ7	20	00 20 40
ダイヤ8		05 25 45
ダイヤ9		10 30 50
ダイヤ10	30	00 30
ダイヤ11		10 40
ダイヤ12		20 50

シミュレーションに用いるダイヤは，**表-2**に示す 10・15・20・30 分等間隔パターンダイヤとした．便宜上，ダイヤはアンケート調査と同様，所要時間 20 分のバス停における時刻で表記する．

10 分等間隔パターンダイヤにおいて 1000 回試行した際の各便の選択比率を**図-15** に示す．横軸はダイヤ 1 における出発時刻を示し，各グラフは各ダイヤの対応する便の選択比率を示す．例えば横軸 8：00 に該当するのは，ダイヤ 1 における 8 時 00 分発，ダイヤ 2 における 8 時 03 分発，ダイヤ 3 における 8 時 05 分発の便の選択比率である．同様に，15 分等間隔パターンダイヤの結果（横軸はダイヤ4）を**図-16**，20分等間隔パターンダイヤの結果（横軸はダイヤ7）を**図-17**，30分等間隔パターンダイヤの結果（横軸はダイヤ 10）を**図-18**に示す．

図-15から**図-18**より，同じ運行間隔のパターンダイヤであっても，数分の移動で便選択比率が変動し得ることが分かる．**図-15** では，ダイヤ 1 について 7 時 30 分発と 8 時 00 分発の便が高い選択比率を示す多峰型の分布を示した．ダイヤ 2 についてもそれらの便に近接した 7 時 25 分発と 7 時 55 分発の便で高い選択比率を示した．一方ダイヤ 3 については 7 時 40 分から 8 時 00 分までの時間帯の便を選択する比率が高くなっている．**図-16** では多

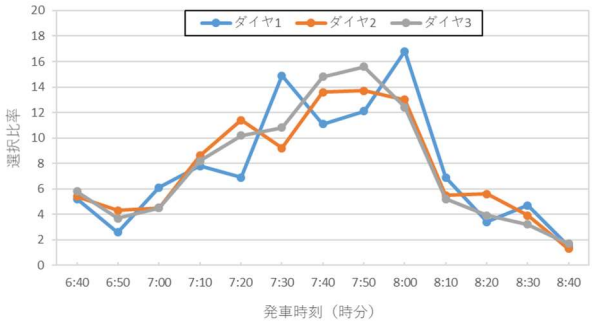


図-15　10分等間隔パターンダイヤにおける便選択比率の比較

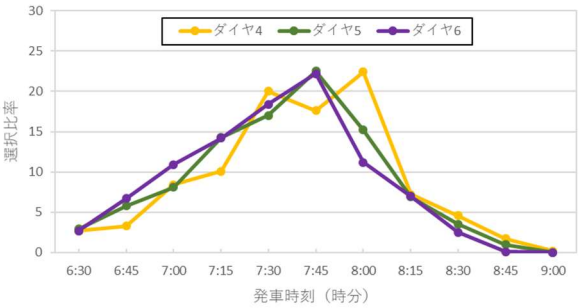


図-16　15分等間隔パターンダイヤにおける便選択比率の比較

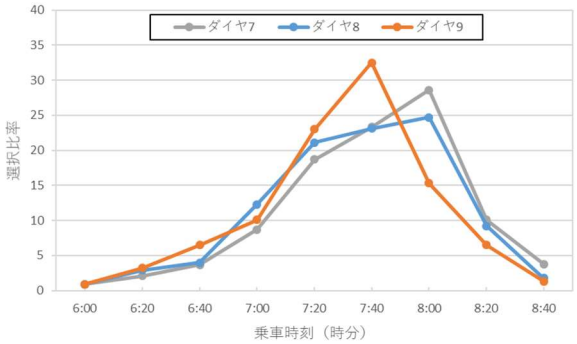


図-17　20分等間隔パターンダイヤにおける便選択比率の比較

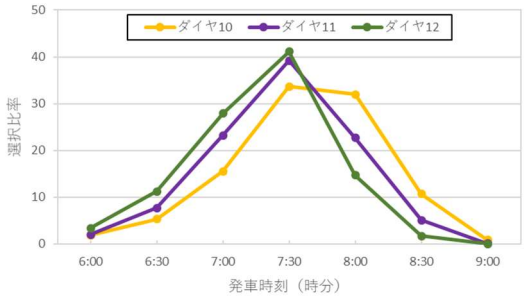


図-18　30分等間隔パターンダイヤにおける便選択比率の比較

峰型の分布を示したのはダイヤ 4 のみであり，他の 2 つのダイヤについてはそれぞれ 7 時 50 分発と 7 時 55 分発の便が最大となる単峰型の分布となった．**図-17** と**図-18** はいずれのダイヤも 8 時 00 分近辺の便を最大値とする分布となった．**図-17** のダイヤ 7 及びダイヤ 8 においては，便選択比率が最大となるのは 8 時付近の 8 時 00 分発あるいは 8 時 05 分発の便であり，次いで 7 時 40 分発あるいは 7 時 45 分発の便の選択比率が高い結果となった．一方ダイヤ 9 において便選択比率が最大となったのは 7 時 50 分発の便であり，8 時 10 分発の便の選択比率はダイヤ 7 及び 8 の近接時間帯の便よりも小さくなった．特に各ダイヤにおいて，選択比率が前後の便の 2 倍以上あるいは半分以下となるケースが存在することもわかる．

表-3 は 10 分，15 分，20 分，30 分等間隔で，8 時 00 分発の便を含むパターンダイヤ（**表-2** のダイヤ 1，4，7，10）について，1000 回試行した際の各便の選択比率の標準偏差（単位%）を示している．便間の時間間隔が大きくなるほど，選択比率の変動が大きくなる結果となった．このことは，大都市と比較して，運行頻度が低い地方都市の方が便間の乗客数の相対的変動が大きくなる傾向にあることを示すと考えられる．

表-3　異なる時間間隔の等間隔ダイヤにおける便選択比率の標準偏差（単位%）

	10分間隔	15分間隔	20分間隔	30分間隔
標準偏差(%)	4.54	7.35	9.60	12.64

直前直後の便の乗客数の差が大きくなることは，事業者間で運行便をめぐる利害対立が生じる可能性を示すものと言える．また数分の出発時刻の変更に対する便選択比率の感度が高いことは，事業者が等間隔パターンダイヤから離脱する可能性が高まることを意味する．

例として，20 分等間隔パターンダイヤ（毎時 06 分，26 分，46 分発）の便選択比率と，同ダイヤの 8 時 06 分発の便のみを 8 時 04 分発に変更した場合の便選択比率を**図-19** に変更前，変更後として示す．8 時 04 分発の便選択比率は増加し，ダイヤ中で最大となっていることがわかる．このような状況においては，各事業者は発車時刻を変更して等間隔パターンダイヤから離脱する誘因を有しており，協調関係は安定しないものと考えられる．

NHK 国民生活調査から推定される高校生の登校時刻の分布は，8 時 30 分登校が全体の 4 割弱を占める単峰型の分布となっている．地方都市において学校数が限定され，学校位置により登校時間分布が多峰型となっているようなケースでは，便別利用者数の変動はより大きくなるものと予想される．**図-20** に 8 時 30 分と 7 時 45 分に登校時刻が集中した仮想の登校時刻分布に基づいて，**表**

-2 の 20 分等間隔ダイヤ 7，8，9 における便選択比率を試算した結果を示す．

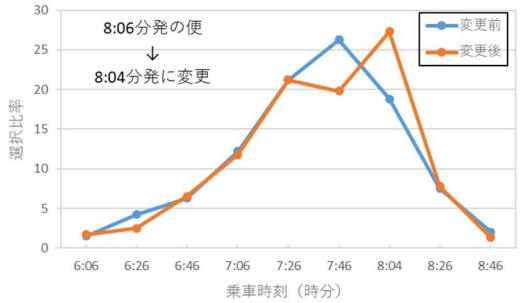


図-19　1 便の出発時刻を変更した場合の便選択比率の変化

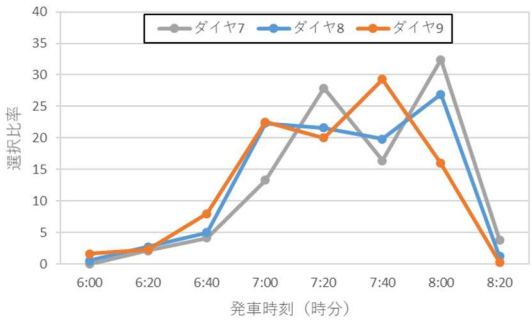


図-20　仮想の多峰型登校時間分布の下での便選択比率

(2)　合意形成要因に関する考察

本節では，本研究におけるアンケート調査結果及びシミュレーション結果を踏まえ，地方都市における複数バス事業者による共同運行の合意形成要因について考察を行う．

シミュレーション結果より，出発希望時刻が一様に分布しない条件下では，各便の選択比率が大きく変動し得ることが示された．特に地方都市のように運行頻度が相対的に低いダイヤにおいては，便選択率の変動はより大きくなる傾向にある．このことは，複数事業者による共同運行の場合，各事業者がどの便を運行するかによって，乗客数に格差が生じうることを示している．

さらに，同一間隔であっても，発車時刻の変更が各便の選択比率に大きな影響を与え得ることも示された．このことから，事業者が等間隔パターンダイヤから離脱して自らに有利な便を設定する誘因が実際に存在することが示された．以上より，複数事業者による共同運行を安定的に遂行するためには，事業者間の利害調整，合意形成のための仕組みが必要であると考えられる．

この点について，独占禁止法特例法に基づく共同経営計画では運賃の事業者間でのプール及び再配分を認めており，筆者ら [13]も具体的な配分ルールについて検討している．筆者らが議論した配分ルールは，共同運行によって総費用の減少または総収入の増加の少なくとも一方が実現することを前提として，協力ゲーム理論に基づき，共同経営以前の各事業者の利益を基に，各事業者の共同経営への貢献度を評価しようとするものである．一方国土交通省の「共同経営計画等の作成の手引き」においては，具体的な運賃配分の基準として，各事業者の運行時間，運行距離，運行便数，運行費用，運賃比が例示されている [2]

等間隔パターンダイヤは総体として有効であり，需要の維持，増加に資するとすれば，総体的に利用の少ない便についてもいずれかの事業者が運行する必要がある．この場合，等間隔パターンダイヤ維持への貢献を評価するという点で，運行便数に応じた運賃収入の配分は合理的であると考えられる．

一方，別事業者である以上，サービス内容や費用構造が異なることも少なくないと考えられる．本研究のアンケート調査結果では，サービス水準に差異がある場合，利用者はあえてより早い便，あるいはより遅い便を選択して乗車する可能性があることが示されている．このような場合，運行便数のみを基準として配分することは適切ではなく，各事業者の共同運行に対する貢献度を正確に反映した配分ルールが必要とされると考えられる．

6.　おわりに

本研究は de Palma and Lindsey[4]に基づき，個々のバス利用者が「出発希望時刻」を有することを念頭に置きつつ，離散的なダイヤの下で利用する便を選択するモデルを示した．このモデルに基づいてウェブアンケートを実施し，バスを利用する環境条件を設定した上で等間隔パターンダイヤ下で利用する便の選択を求め，便選択を決定するパラメータの分布を推定した．さらに得られたパラメータ分布に基づいて通学輸送における便選択をシミュレーションした．

アンケート調査の結果，余裕時間εについては通勤・通学目的の場合，回答者の約半数が 10 分以内と設定した一方，乗り継ぎ目的の場合は通勤・通学目的の場合よりもεがやや大きくなる傾向となった．β,γの分布については全ての利用目的においてγの方が高い回答者が多くなり，出発希望時刻以前の便と以降の便の間で選択を行う場合，出発希望時刻以前の便を選択する回答者が多い傾向が示された．一方，「買い物・通院」については．γが小さく，出発希望時刻以降の便を選択する傾向の回答者も一定数存在した．制約条件を課した場合は，「車内混雑率」と「サービス水準」において出発希望時刻の便を避ける回答が「交通渋滞」よりも増加した．

以上の結果を用いて高校生の通学輸送における便選

択をシミュレーションを実施した結果，運行間隔を大きくすると，便選択比率の標準偏差が増加し，便別利用者数の不均衡が生じることが示された．さらに等間隔パターンダイヤから特定の便の発車時刻を数分変更することにより，前後の便の選択比率が変化することを示した．このような結果は，運賃配分ルールを設定しない複数事業者間の共同運行において，等間隔パターンダイヤから離脱する誘因となるといえる．

本研究では地方都市のバス利用の重要な利用目的である高校生の通学利用を念頭に，便選択のシミュレーションを実施した．一方，より現実的な学校配置を考慮した通学交通の分析や，高校生と同様に重要な高齢者の昼間の移動についての考察は今後の課題としたい．

謝辞：本研究は JSPS 科研費 23K04060 の助成を受けたものです．付して感謝致します．

参考文献

1) 国土交通省：地域における一般乗合旅客自動車運送事業及び銀行業に係る基盤的なサービスの提供の維持を図るための私的独占の禁止及び公正取引の確保に関する法律の特例に関する法律について，https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/transport/sosei_transport_tk_000153.html，（最終参照日 2023 年 10 月 12 日）．
2) 国土交通省：独占禁止法特例法の共同経営計画等の作成の手引き，https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/transport/content/001633215.pdf，（最終参照日 2023 年 10 月 12 日）．
3) 日本政策投資銀行：地域公共交通の維持・発展に向けて-乗合バスへの運賃プール適用に期待される効果-，https://www.dbj.jp/upload/investigate/docs/d7d88b1d26de3e18a8e1b2a892bdca58_3.pdf （最終参照日 2023 年 10 月 12 日）．
4) de Palma, A. and Lindsey, R.: Optimal Timetables for Public Transportation. Transportation Research Part B, Vol.35, No.8, pp.789-813, 2001.
5) 鈴木崇正，渡邉拓也，深澤紀子，奥田大樹：地方鉄道における不完全なパターンダイヤに対する評価に関する一考察，土木計画学研究・講演集，No.64, 2021.
6) Wardman, M., Shires, J., Lythgoe, W. and Tyler, J.: Consumer benefits and demand impacts of regular train timetables, International Journal of Transport Management, Vol.2, pp.39-49, 2004.
7) 中川大，鈴木克法，松中亮治，大場哲治：全国の地方鉄道における列車ダイヤのパターン化と輸送密度の経年変化分析，土木学会論文集 D3（土木計画学）, Vol.77, No.4, pp.316-329, 2021.
8) 徳永幸之，兼田雅晴：トラフィックレコーダデータに基づく大学生のバス離れの要因分析，土木計画学研究・講演集，No.37, 2008.
9) 進藤魁仁，柳沢吉保，加藤博和，高山純一，増尾昭彦，坂爪武：屋代線廃止代替バスの運行計画策定プロセスと利用実態の検証，土木学会論文集 F5（土木技術者実践），Vo.70, No.2, pp.11-25, 2014.
10) 小林潔司，奥村誠，永野 光三：鉄道通勤交通における出発時刻分布に関する研究，土木計画学研究・論文集，Vol.14, pp895-906, 1997.
11) 家田仁，土谷和之，ファンレビン，岡村敏之：大都市圏鉄道需要の時刻集中特性予測モデルの構築と首都圏鉄道ネットワークへの適用，土木学会論文集，No.702/IV-55, pp.65-79, 2002.
12) 木村裕介，奥村誠，坂本麻衣子：航空旅客の希望出発時刻分布の逆推定，土木計画学研究・論文集，Vol.25, No.3, pp.633-639, 2008.
13) 伊藤泰壽，榊原弘之：地方公共交通における事業者間共同運行の協力ゲーム理論的考察，土木計画学研究・講演集，No.65, 2022.