

鉄道ダイヤのパターン率を考慮した 地方都市における 鉄道とバスの接続性に関する研究

笠島 隆史¹・松中 亮治²・大庭 哲治³

¹学生非会員 京都大学大学院工学研究科 (〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂)

E-mail:kasashima.takashi.44e@st.kyoto-u.ac.jp

²正会員 京都大学准教授 工学研究科 (〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂)

E-mail:matsunaka.ryoji.3v@kyoto-u.ac.jp

³正会員 京都大学准教授 経営管理大学院 (〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂)

E-mail:oba.tetsuharu.5n@kyoto-u.ac.jp

本研究では、地方都市における鉄道ダイヤのパターン化が、鉄道とバスの相互の乗換の利便性に及ぼす影響を定量的に示すことを目的として、全国各地の地方都市において 191 の交通結節点に乗り入れる 2,240 のバスの方面を対象に、鉄道ダイヤのパターン率と乗換に関する指標の関係を分析した。

その結果、バスの運行頻度が鉄道の運行頻度以上である場合においては、10 分乗換可能率の期待値との差が、鉄道ダイヤのパターン率が 50%未満の結節点では-1.8%であるのに対し、50%以上の結節点では 3.2% となっており、鉄道ダイヤがパターン化されている結節点において、短時間で乗換できる場合が増加することを示した。

Key Words : railway timetable, cyclic schedule, cyclic rate, transfer convenience

1. 背景と目的

地方都市ではモータリゼーションの進展に伴い、公共交通の利用者は減少している。自家用車が発着地から目的地まで直接移動できるのに対し、公共交通では運行頻度が低いことや公共交通間の接続が悪いことで待ち時間が生じ、結果として移動時間の大部分を待ち時間が占めていることが、公共交通利用減少の原因の一つとして考えられる。

公共交通網の利便性を向上させる手段の一つとしてパルスタイムテーブルの導入が挙げられる。これは公共交通のダイヤをパターン化し、交通結節点において列車の到着に合わせて、接続するほかの列車やバスが発着するダイヤ設定であり、運行頻度を大きく変化させずに接続性を向上させることで移動時間を短縮させることが可能である。

しかし、地方部では JR 線を中心に、運行間隔が不均一なダイヤが設定されており、パターンダイヤが導入されている路線は少ない。これは、多くの地方路線において、パターンダイヤの導入による労力が、それに伴う利便性

向上の効果に見合わないという認識のもとで、普通列車よりも優等列車や貨物列車に主軸を置いていた時代のダイヤが、現在まで大きな変更が加えられずそのまま使用されていることが原因として考えられる。

そこで本研究では、鉄道ダイヤのパターン率に着目し、地方都市における鉄道・バス間の接続性の現状を把握するとともに、鉄道ダイヤのパターン率と公共交通間の乗換に関する指標の関係について分析することによって、鉄道ダイヤのパターン化が、鉄道とバスの相互の乗換に利便性に及ぼす影響を定量的に示すことを目的とする。

2. 既往研究のレビュー

ダイヤのパターン化を扱った既往研究では、石原ら¹⁾、波床ら²⁾、松中ら³⁾の研究が挙げられる。これらの研究では、公共交通利用の際の待ち時間を考慮できる、期待所要時間を評価指標として用いており、ダイヤのパターン化によって期待所要時間が減少することを示している。

また、交通結節点における乗換の利便性を扱った既往研究では、内田ら⁴⁾、近藤ら⁵⁾の研究が挙げられるが、公

公共交通の運行頻度が全体的に高い、大都市圏や幹線鉄道の交通結節点を対象としていることから、公共交通自体のダイヤや運行頻度よりも駅やその周辺の環境を中心に分析している。

これらの既往研究では、パターンダイヤの設定によって、期待所要時間が短縮されることや、路線において輸送密度が有意に増加することが示されているが、これらの多くは鉄道路線のみを対象としている。しかし、地方都市においては鉄道路線が存在する地域は限られており、それを補完するようにバス路線が運行されることが多いが、前節で述べた研究のうち、バスと鉄道との接続性を扱ったものは、松中ら³⁾の研究のみである。また、公共交通間の乗換の利便性を対象とした研究は、公共交通の利便性が全体的に高い都市部や幹線鉄道を扱ったものが多い。加えて、運行頻度やダイヤを扱った研究は、いずれも分析対象は特定の地域にとどまっており、全国各地の地方都市を対象に鉄道とバスの接続性を分析しているものはみられない。以上から本研究の特徴を次に示す。

- ・乗換の利便性を示す指標として平均乗換時間と乗換可能率を定義し、鉄道とバス間の乗換の利便性を定量的に分析している点
- ・鉄道ダイヤがどの程度パターンダイヤとなっているかを示す指標としてパターン率を用いて分析を行っている点
- ・特定の地域ではなく、全国の地方都市を対象とした分析を行っている点

3. 交通結節点の定義と対象となる交通結節点の選定

本研究では1つの鉄道駅とこれに接続する1つ以上のバス停を合わせて交通結節点を定義する。ただし、ある駅に複数の鉄道事業者の路線が乗り入れる場合は、鉄道事業者ごとに交通結節点を設定する。

分析対象とする交通結節点は駅の所在する都市の人口、地方鉄道線の乗り入れの有無、接続するバス停の有無、一定以上の利便性を有するバス路線の有無より選定する。以下の項で具体的な条件を述べる。

(1) 都市の人口規模

ある程度の人口規模や交通利便性を有する駅を選定するため、2015年に実施された国勢調査の結果⁶⁾で人口が15万人以上50万人未満の三大都市圏外の都市に所在する駅を対象とする。

(2) 鉄道路線の輸送密度

本研究の分析対象となる地方鉄道線は、地域鉄道事業者の路線及び、それに相当するJR線とする。地域鉄道事業者の所有する路線については2015年4月1日時点で国土交通省が地域鉄道事業者に分類している95社の保有する107路線とし、2015年度の輸送密度が地域鉄道事業者の中で最も大きい江ノ島電鉄(18,795人/日)より小さいJR線を地域鉄道事業者の路線に相当する路線とする。

輸送密度は単年度の値ではなく、異常値による誤差を除去するため3年間の輸送密度とする。3カ年の輸送密度は、3カ年の旅客人キロを合計したものを路線長及び3カ年の日数で除することで求める。旅客人キロのデータは各年度の鉄道統計年報⁷⁾⁸⁾⁹⁾における「運輸成績表(延日キロ、人(トン)キロ、平均数)」及び「JR旅客会社運輸成績表」に記載されているものを用いる。

(3) 駅に接続するバス停の条件

駅すばあと¹⁰⁾に収録されているバス事業者の路線バス及びコミュニティバスのバス停のうち、駅すばあと上で鉄道駅の「最寄りバス路線のバス停の選択」において候補として設定されており、駅すばあと上で鉄道駅とバス停の間で「平均経路の探索」を行ったとき、徒歩5分以内で案内されるバス停を鉄道駅に接続するバス停とする。ただし、時刻表データが取得できない瀬戸内バスと、鉄道駅に乗り入れている路線が高速バスのみである淡路交通、広島電鉄バスは除外する。また、本研究では路線バスは路線及び方面単位で区別しているが、佐世保市営バスについては、時刻表データに各便の路線の情報が存在せず、バスの方面単位の時刻表データの作成が困難であるため、研究対象外とする。

(4) バスの方面の区別

バスの方面は駅すばあと上で表記される路線名または系統番号と、鉄道駅に接続するバス停の次のバス停で区別する。ただし、ある路線に対して路線名が同じにもかかわらず経由地が異なるものや急行などの上位種別は元の路線と同じ路線として扱う。加えて9:00~9:59、10:00~16:00、16:01~17:00の各時間帯にそれぞれ1本以上のバスが運行されていない路線は、日常利用に対して利便性が低く、利用者は待ち時間に関係なくそれらの特定のバスの運行時間に合わせて行動すると考えるため、対象外とする。

(5) 鉄道とバスの時刻表データの取得手順

鉄道時刻表データの取得は駅すばあと上で各駅について「鉄道時刻表の表示」より時刻表を表示し、鉄道の方

面ごとに列車の発時刻と着時刻を抽出する。着時刻のデータが無い方面については、発時刻と着時刻は同じと仮定する。

バス時刻表データの取得においては駅すばあと上で鉄道駅に接続するバス停とその次のバス停間で両方向について「平均経路の探索」を行い、検索結果におけるバス路線の表記と鉄道駅に接続するバス停の発時刻及び着時刻を利用する。

以上の条件より対象とする交通結節点を選定する。対象とする交通結節点は 191 箇所、191 の鉄道駅と延べ 287 のバス停で構成される。また、対象となる交通結節点に乗り入れるバスの方面数の合計は 2,240 である。

4. 利便性に関する指標の定義

(1) 鉄道・バスの運行頻度

時刻表データの取得には 2015 年版の駅すばあとを利用し、鉄道ダイヤは 2015 年 10 月 1 日時点、バスダイヤは 2019 年以前の日付が設定できないため鉄道ダイヤと同様に平日である 2020 年 10 月 1 日を出発日に設定した場合のダイヤを使用する。

平日のオフピーク時 (9:00~17:00) は公共交通利用者の分布が均一に近くなるため、パターンダイヤが設定されることが望ましい。また、運行頻度の時間帯による変動がピーク時に比べて小さいことから、公共交通の利便性をより適切に表すことができると考えられる。ただし、ピーク時とオフピーク時の間の移行が行われる 9:00~10:00 及び 16:00~17:00 は運行頻度の変動が大きいと考えられるため、対象時間帯はオフピーク時の前後 1 時間を除いた 10:00~16:00 とする。鉄道の運行頻度は各方面の発車本数と到着本数を計上し平均をとり、対象時間の 6 時間で除して算出する。

バスについては到着する方面と発車する方面が必ずしも一致しないため、対象のバス停を発車する方面、到着する方面別にそれぞれ発車本数、到着本数を計上し、方面別の運行頻度とする。

(2) 鉄道ダイヤのパターン率

鉄道ダイヤがどの程度パターン化されているかを表す指標としてパターン率を定義する。パターンダイヤの概念について、大庭ら¹¹⁾は「一定の周期で列車が運行されるダイヤ」としており、「1 つの周期に 2 本以上列車が走る可能性もあり、例えば毎時 10 分に普通列車、毎時 25 分に特急列車が発車する場合も、周期的に運行されていればパターンダイヤとすることができる。」と述べている。運行間隔が等間隔でなくても、60 分周期で毎時同じ時刻に公共交通が運行されているダイヤであれば覚えや

すいダイヤであると考えられるため、本研究で算出するパターン率は、対象時間帯から最後の 1 時間を除いた 10:00~15:00 の間に、駅を発車する列車のうち丁度 60 分後に同じ方面に発車する列車が存在する割合とし、これを駅ごとに算出する。具体的な計算式は以下のとおりである。

$$PR = \frac{cycDep}{allDep} \times 100 \quad (1)$$

ここで

PR : パターン率 (%)

allDep : 照査する時間内 (10:00~15:00) に対象駅を発車する対象路線の列車の総数

cycDep : allDep のうち 60 分後に同じ方面に発車する列車が存在する数である。

(3) 平均乗換時間

対象結節点において列車・バス間の乗換に平均してどれだけの時間を要するかを表す指標として平均乗換時間を定義する。結節点における、あるバスの方面について、平均乗換時間は次のように表される。

$$ATT = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} \sum_{i=1}^R \min CT_{ij}}{\sum_{i=1}^R n_i} \quad (2)$$

$$\min CT_{ij} \geq 1 \quad (3)$$

ここで

ATT : 平均乗換時間

n_i : 鉄道の方面 i の運行本数

R : 鉄道の方面数

$\min CT_{ij}$: 鉄道の方面 i における列車 j の最小乗換時間である。

対象時間帯に駅に到着する列車の到着時刻に対して同じ交通結節点に属するバス停から対象とする方面のバスが何分後に発車するか、及び各列車の発車に対して対象とする方面のバスが何分前に到着するかを算出し、これを各方面の列車本数で重み付けして平均しバスの各方面の平均乗換時間を算出する。図-1 に算出したバスの方面単位の平均乗換時間の分布を示す。

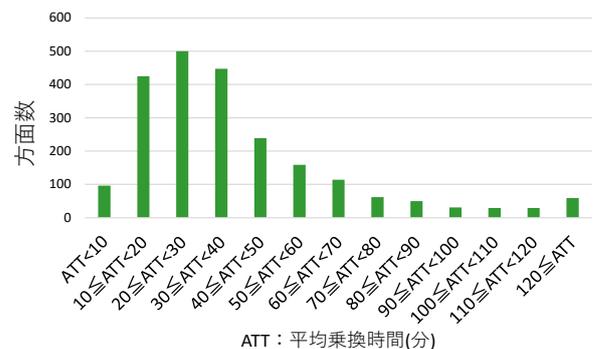


図-1 平均乗換時間の分布

(4) 乗換可能率

交通結節点における、利便性の高い乗換経路の割合を表す指標として乗換可能率を定義する。本指標は対象結節点において発着する列車のうち、一定時間内でバス路線への乗換が可能な列車の割合を、鉄道及びバスの本数で重みづけして平均した値である。乗換可能率は次の式で表される。

$$CTR = \frac{\sum_{i=1}^R \sum_{j=1}^{n_i} \delta_{ij}}{\sum_{i=1}^R n_i} \quad (4)$$

ここで

$\delta_{ij} : 1 \leq \min CT_{ij} \leq wt$ のとき 1, そうでない場合 0

wt : 乗換可能とする最小乗換時間の上限である。

乗換可能とする最短乗換時間の範囲は10分から30分まで5分刻みで設定し、それぞれの場合において乗換可能率を算出する。図-2に算出した乗換可能率の分布を示す。

5. 鉄道ダイヤのパターン率と乗換に関する指標の関係の分析

(1) 分析対象から除くバスの方面

鉄道ダイヤのパターン率と接続性の関係を分析するにあたって、鉄道の運行頻度が 0.83 本/時未満の結節点に乗り入れるバスの方面を分析対象から除外する。本研究におけるパターンダイヤは 60 分周期で列車が運行されるダイヤ設定であり、それ以上に運行間隔が開く場合は本研究においてはパターンダイヤとならないためである。運行頻度の下限は 1.00 本/時ではなく、対象時間である 6 時間に 1 方面当たり 5 本の列車が運行されていることを想定した、0.83 本/時としている。これは鉄道が概ね 1 時間に 1 本運行されているにもかかわらず、ピーク時、オフピーク時相互の移行の際に、運行間隔が大きくなるために、運行頻度が 1.00 本/時未満となる結節点が、分析対象から除外されることを防ぐためである。

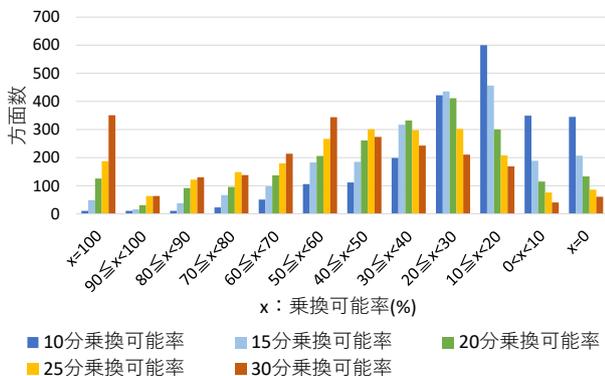


図-2 乗換可能率の分布

図-3 と図-4 に、鉄道の運行頻度 0.83 本/時で二分割した時の乗換に関する指標の平均値を、図-5 にバスの運行頻度の平均値をそれぞれ示す。また、表-1 と表-2 に、鉄道の運行頻度 0.83 本/時で二分割した時の、バスの方面単位の乗換に関する指標のマン=ホイットニーの U 検定 (以下、U 検定) の結果をそれぞれ示す。乗換に関する指標のすべてにおいて有意差がみられる。鉄道の運行頻度が低い交通結節点ではバスの運行頻度も同様に低く、結果として、乗換の利便性が低下していると考えられる。

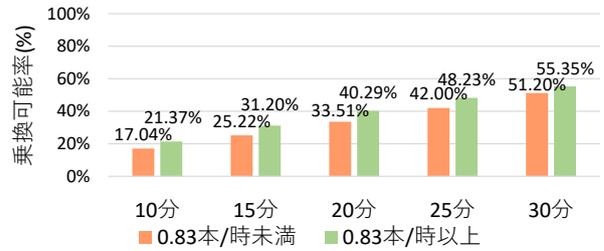


図-3 鉄道の運行頻度 0.83 本/時で二分割した時の乗換可能率

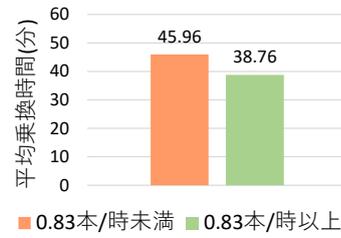


図-4 鉄道の運行頻度 0.83 本/時で二分割した時の平均乗換時間

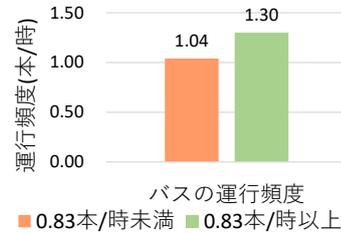


図-5 鉄道の運行頻度 0.83 本/時で二分割した時のバスの運行頻度

表-1 運行頻度 0.83 本/時で二分割した時の乗換可能率についての U 検定結果

| 乗換可能率 | 10分 | 15分 | 20分 | 25分 | 30分 |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 両側P値 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0005 | 0.0368 |
| 判定 | ** | ** | ** | ** | * |

** : 1%有意, * : 5%有意

表-2 運行頻度 0.83 本/時で二分割した時の平均乗換時間についての U 検定結果

| | 平均乗換時間 |
|------|--------|
| 両側P値 | 0.0056 |
| 判定 | ** |

** : 1%有意, * : 5%有意

したがって、以降の分析では鉄道の運行頻度が 0.83 本/時以上の結節点に乗り入れるバスの方面のみを対象として分析を行う。分析対象とする結節点数は 159、バスの方面数は 1,976 となる。

(2) パターン率の分類ごとの乗換に関する指標の比較

対象となるバスの方面をパターン率の高低で分類し、乗換に関する指標の比較を行う。パターン率による分類は、「パターン率:50%以上」と「パターン率:50%未満」の2分類とする。また、本研究で定義した乗換に関する各指標はバスの運行頻度に大きく左右される。特にバスの運行頻度が鉄道の運行頻度未満の場合は、列車の発着に対してバスが接続していない場合が存在するため、当該列車とバスの乗換による待ち時間は大きくなる。そのため、分析対象となるバスの方面を、バスの運行頻度が鉄道の運行頻度以上の群と、バスの運行頻度が鉄道の運行頻度未満の群に分けて、それぞれの群でパターン率の分類ごとの乗換に関する指標の比較を行う。以下、それぞれの群を「バス頻度 \geq 鉄道頻度」、「バス頻度 $<$ 鉄道頻度」と呼称する。各分類に含まれるバスの方面数を表-3に示す。

図-5から図-8に鉄道とバスの運行頻度の大小関係で分類した両群の、パターン率の分類ごとの乗換に関する指標の平均値を示す。また、表-4から表-7にパターン率の分類ごとの乗換に関する指標のU検定の結果を示す。

表-3 各分類に含まれるバスの方面数

| | x < 50% | x \geq 50% | 合計 |
|------------------|---------|--------------|------|
| バス頻度 \geq 鉄道頻度 | 503 | 62 | 565 |
| バス頻度 $<$ 鉄道頻度 | 1198 | 213 | 1411 |

x: パターン率

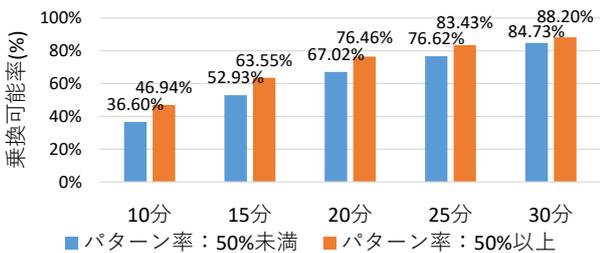


図-5 「バス頻度 \geq 鉄道頻度」における乗換可能率

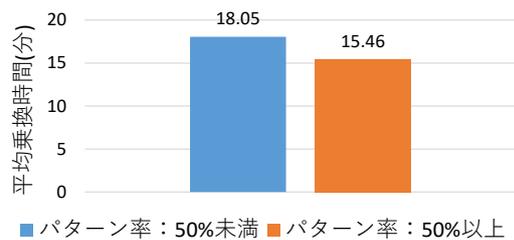


図-6 「バス頻度 \geq 鉄道頻度」における平均乗換時間

「バス頻度 \geq 鉄道頻度」の群では、30分乗換可能率以外の指標で、パターン率の分類間に有意差がみられる。30分乗換可能率は分類間で有意差がみられないが、これは対象とするバスの方面の運行頻度が全体的に高い傾向にあり、加えて、乗換可能とする時間の範囲が30分と長い

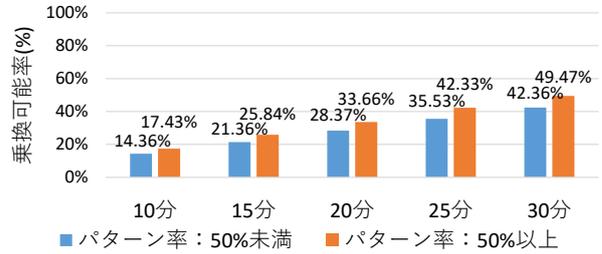


図-7 「バス頻度 $<$ 鉄道頻度」における乗換可能率

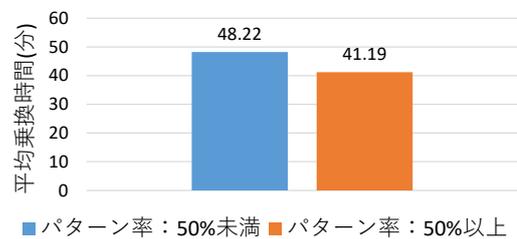


図-8 「バス頻度 $<$ 鉄道頻度」における平均乗換時間

表-4 「バス頻度 \geq 鉄道頻度」における乗換可能率のU検定結果

| 乗換可能率 | 10分 | 15分 | 20分 | 25分 | 30分 |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 両側P値 | 0.0021 | 0.0066 | 0.0052 | 0.0228 | 0.2494 |
| 判定 | ** | ** | ** | * | |

** : 1%有意, * : 5%有意

表-5 「バス頻度 \geq 鉄道頻度」における平均乗換時間のU検定結果

| | 平均乗換時間 |
|------|--------|
| 両側P値 | 0.0244 |
| 判定 | * |

** : 1%有意, * : 5%有意

表-6 「バス頻度 $<$ 鉄道頻度」における乗換可能率のU検定結果

| 乗換可能率 | 10分 | 15分 | 20分 | 25分 | 30分 |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 両側P値 | 0.0004 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 判定 | ** | ** | ** | ** | ** |

** : 1%有意, * : 5%有意

表-7 「バス頻度 $<$ 鉄道頻度」における平均乗換時間のU検定結果

| | 平均乗換時間 |
|------|--------|
| 両側P値 | 0.0000 |
| 判定 | ** |

** : 1%有意, * : 5%有意

ため、どのバスの方面でもある程度は 30 分以内の乗換が可能であることが理由として考えられる。次に「バス頻度<鉄道頻度」の群に着目すると、すべての乗換に関する指標で、パターン率の分類間に有意な差がみられ、鉄道ダイヤのパターン率が高い結節点の方が乗換の利便性が高いといえる。以上から、バスの運行頻度が鉄道の運行頻度以上で、すべての列車がバスと接続できる状況と、バスの運行頻度が鉄道の運行頻度未満で、バスが接続していない列車が存在する状況のいずれの場合でも、鉄道ダイヤをパターン化することで、乗換の利便性は向上することが示唆される。

しかし、本研究で用いている乗換に関する指標は、バスの運行頻度に強く影響を受けており、鉄道ダイヤのパターン率が高いバスの方面で乗換の利便性が高いのは、バスの運行頻度自体が鉄道の運行頻度と比較して高いことが原因である可能性が考えられる。そのため、鉄道とバスの運行頻度についても比較する。

図-9 と図-10 に鉄道とバスの運行頻度の大小関係による両群の、バスの方面単位の鉄道とバスの運行頻度の平均値を、表-8 にバスの方面単位の鉄道とバスの運行頻度の U 検定の結果をそれぞれ示す。いずれの場合もパターン率の分類間でバスの運行頻度に有意差が見られる。したがって、鉄道ダイヤのパターン率が高い結節点に乗り入れるバスの方面との乗換において乗換の利便性が高いのは、当該結節点のバスの方面において、バスの運行頻度自体が高いことが理由として考えられる。

(3) 乗換に関する指標の算出値と期待値の差を用いた分析

乗換に関する指標の算出値のみを用いた分析では、バスの運行頻度の影響を強く受けるため、本節では乗換に関する指標の期待値との差を用いて、鉄道ダイヤのパターン率と乗換の利便性の関係について分析する。

本研究で使用する指標は、列車の発着に対してバス路線が何分で接続しているかを算出しているため、バスの運行頻度に大きく影響を受ける。したがって、まず乗換に関する指標の、バスの運行頻度に対する期待値を算出

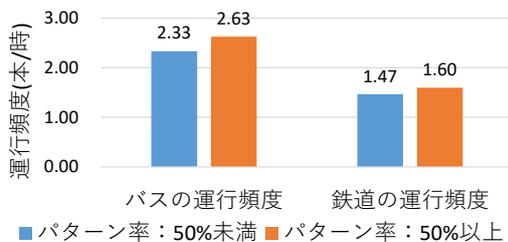


図-9 「バス頻度≧鉄道頻度」における鉄道とバスの運行頻度

する。なお、期待値の算出において、バスの運行は等間隔であることを前提とする。

石原ら⁹⁾の研究より、あるバス路線が等間隔で運行されている場合の期待待ち時間は次の式で表せる。

$$EVWT = \frac{n \cdot u^2 / 2}{T} \tag{5}$$

ここで、

T: 対象時間帯の幅 (分)

n: 対象時間帯内の運行本数 (本)

u: 運行間隔 (分)

である。

本研究では対象時間帯の幅は 360 分であるため、バスの運行頻度が freq であるとき、対象時間帯内の運行本数は 6・freq、運行間隔は 60/freq と表すことができ、これらを代入して平均乗換時間の期待値は次のように表せる。

$$EVATT = \frac{30}{freq} \tag{6}$$

ここで

EVATT: 平均乗換時間の期待値 (分)

freq: バスの運行頻度 (本/時)

である。

次に乗換可能率の期待値を算出する。あるバスの方面とある鉄道の方面の乗換における乗換可能率は次のように表せる。

$$CTR = \frac{n_c}{n} \tag{7}$$

ここで

CTR: 乗換可能率

n: 対象時間帯に運行される列車の本数 (本)

n_c: 乗換可能なバスの存在する列車の本数 (本)

である。

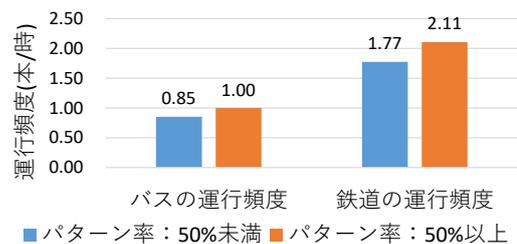


図-10 「バス頻度<鉄道頻度」における鉄道とバスの運行頻度

表-8 鉄道とバスの運行頻度の U 検定結果

| 区分 | バス頻度≧鉄道頻度 | | バス頻度<鉄道頻度 | |
|----|-----------|--------|-----------|--------|
| | 検定結果 | 両側P値 | 判定 | 両側P値 |
| 鉄道 | | 0.1667 | | 0.0000 |
| バス | | 0.0336 | * | 0.0000 |

** : 1%有意, * : 5%有意

また、バスの運行頻度が $freq$ 、乗換可能とする最小乗換時間の上限が wt であるとき、ある列車がバスと乗換可能である確率は $freq \cdot wt / 60$ となり、 n_c は試行回数が n 、一試行の生起確率 $freq \cdot wt / 60$ の二項分布で表すことができる。したがって、対象時間帯に運行される列車の本数が n であるとき、 n_c の期待値は $n \cdot freq \cdot wt / 60$ となり、乗換可能率の期待値は次のように表せる。

$$EVCTR = \begin{cases} \frac{freq \cdot wt}{60}, & 0 < freq \leq \frac{60}{wt} \\ 1, & \frac{60}{wt} < freq \end{cases} \quad (8)$$

ここで

$EVCTR$: 乗換可能率の期待値

$freq$: バスの運行頻度 (本/時)

wt : 乗換可能とする最小乗換時間の上限 (分) である。

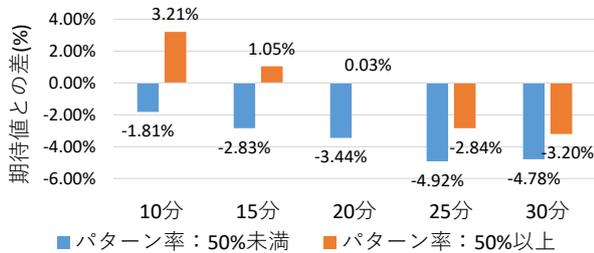


図-11 「バス頻度 \geq 鉄道頻度」における乗換可能率の期待値との差

なお、本章で算出した値は、乗換可能率においては値が大きいほど、平均乗換時間については値が小さいほど、乗換の利便性が高いことを表す。図-11 と図-12 にバスの方面単位の、「バス頻度 \geq 鉄道頻度」における乗換に関する指標の期待値との差を示す。また、表-9 と表-10 にパターン率の分類間の U 検定の結果を示す。10 分乗換可能率と 15 分乗換可能率において、パターン率による分類間で有意な差がみられる。以上から、鉄道ダイヤのパターン率が高いことで、より多くの列車において、10 分または 15 分以内の短時間でバスと乗り換えることが可能になるといえる。

次に、図-13 と図-14 にバスの方面単位の、「バス頻度 $<$ 鉄道頻度」における乗換に関する指標の期待値との差を示す。また、表-11 と表-12 にパターン率の分類間の U 検定の結果を示す。パターン率が 50%以上の分類は 50%未滿の分類と比較して、乗換の利便性が期待値よりも高

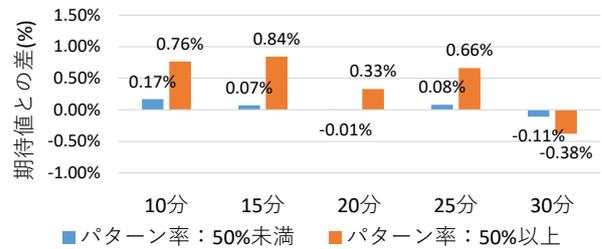


図-13 「バス頻度 $<$ 鉄道頻度」における乗換可能率の期待値との差

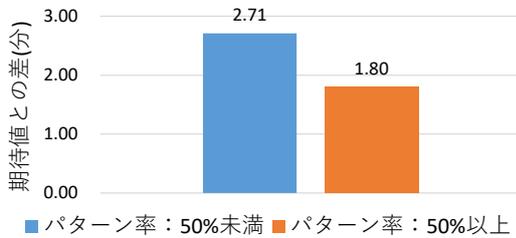


図-12 「バス頻度 \geq 鉄道頻度」における平均乗換時間の期待値との差

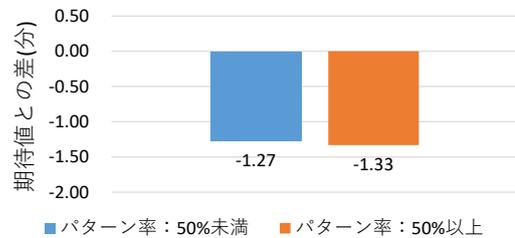


図-14 「バス頻度 $<$ 鉄道頻度」における平均乗換時間の期待値との差

表-9 「バス頻度 \geq 鉄道頻度」における乗換可能率の期待値との差の U 検定結果

| 乗換可能率 | 10分 | 15分 | 20分 | 25分 | 30分 |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 両側P値 | 0.0146 | 0.0465 | 0.0909 | 0.2953 | 0.3526 |
| 判定 | * | * | | | |

** : 1%有意, * : 5%有意

表-11 「バス頻度 $<$ 鉄道頻度」における乗換可能率の期待値との差の U 検定結果

| 乗換可能率 | 10分 | 15分 | 20分 | 25分 | 30分 |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 両側P値 | 0.4891 | 0.1904 | 0.3799 | 0.2603 | 0.8673 |
| 判定 | | | | | |

** : 1%有意, * : 5%有意

表-10 「バス頻度 \geq 鉄道頻度」における平均乗換時間の期待値との差の U 検定結果

| | 平均乗換時間 |
|------|--------|
| 両側P値 | 0.1156 |
| 判定 | |

** : 1%有意, * : 5%有意

表-12 「バス頻度 $<$ 鉄道頻度」における平均乗換時間の期待値との差の U 検定結果

| | 平均乗換時間 |
|------|--------|
| 両側P値 | 0.9707 |
| 判定 | |

** : 1%有意, * : 5%有意

いバスの方面が多い傾向にある。しかし、これはパターン率が 50%以上の分類では、一部のバスの方面において乗換に関する指標と期待値の差が高い値をとっているため、それ以外のバスの方面では、パターン率の分類間で値の分布に大きな差は見られない。そのため、いずれの指標においてもパターン率の分類間で有意な差は見られず、鉄道ダイヤがパターン化されている結節点において、鉄道とバスの相互の乗換の利便性が高いとは限らない。

6. 本研究のまとめ

本研究では、地方都市の鉄道路線とバス路線を対象に、乗換の利便性を表す指標として平均乗換時間と乗換可能率を定義し、鉄道とバスの相互の乗換に関する指標の分布傾向を分析した。また、鉄道ダイヤがどの程度パターン化されているかを表す指標としてパターン率を用い、鉄道ダイヤのパターン率と乗換に関する指標の関係を分析した。本研究の結論を以下に示す。

- ・鉄道とバスの運行頻度の大小関係を考慮した場合、すべての列車がバスと接続できる状況と、バスと接続しない列車が存在する状況の両方において、鉄道ダイヤがパターン化されている結節点では、バスの運行頻度が高く、結果として、鉄道とバスの乗換の利便性が高い状態にある。
- ・バスの運行頻度による影響を除いた場合では、バスの運行頻度が鉄道の運行頻度以上である状況においては、10分乗換可能率と15分乗換可能率でパターン率による分類間で有意差がみられ、鉄道ダイヤのパターン化によって、短時間で乗換できる場合が多くなる。
- ・バスの運行頻度が鉄道の運行頻度未満である場合は、パターン率による分類間で乗換に関する指標の期待値との差に有意差はみられず、鉄道ダイヤがパターン化されている結節点において、乗換の利便性が高いとは限らない。

参考文献

- 1) 石原洋平, 松中亮治, 中川大, 大庭哲治: 都市内公共交通のダイヤ設定条件と実際のダイヤの評価—期待所要時間の観点から, 都市計画論文集, Vol.45, No.3, pp.829-834, 2010.
- 2) 波床正敏, 中川大: 公共交通網におけるパルスタイムテーブル成立条件に関する研究. 土木計画学研究・論文集. Vol.24, No.4, pp.693-702, 2007.
- 3) 松中亮治, 中川大, 大庭哲治, 鈴木克法: 所要時間の構成に着目した地方鉄道のダイヤ分析. 都市計画論文集. Vol.50, No.3, pp.358-364, 2015.
- 4) 内田雅洋, 大島義行, 本堂亮: 幹線鉄道の乗換駅における乗換環境の評価に関する研究. 土木計画学研究・論文集. Vol.25, No.3, pp.741-746, 2008.
- 5) 近藤愛, 大沢昌玄, 岸井隆幸: 東京近郊の鉄道結節点における乗降客数・乗換構造・容積率指定に関する研究. 都市計画論文集. Vol.45, No.3, p.703-708, 2010.
- 6) 独立行政法人統計センター: 国勢調査 市区町村別統計表(国勢調査) 都道府県・市区町村別統計表(男女別人口, 年齢3区分・割合, 就業者, 昼間人口など) | ファイル | 統計データを探す | 政府統計の総合窓口
<https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00200521&tstat=000001049104&cycle=0&tclass1=000001049105&tclass2val=0> (2021. 01. 02 最終閲覧).
- 7) 国土交通省: 鉄道: 鉄道統計年報 [平成 26 年度] - 国土交通省
https://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_tk2_000038.html (2021. 01. 02 最終閲覧).
- 8) 国土交通省: 鉄道: 鉄道統計年報 [平成 27 年度] - 国土交通省
https://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_tk2_000040.html (2021. 01. 02 最終閲覧).
- 9) 国土交通省: 鉄道: 鉄道統計年報 [平成 28 年度] - 国土交通省
https://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_tk2_000045.html (2021. 01. 02 最終閲覧).
- 10) ヴェル研究所: 駅すばあと, CD-ROM, 2015.
- 11) 大庭哲治, 中川大, 松中亮治, 原田容輔, 松原光也: 鉄道路線網における最適なパルスタイムテーブルの探索, 都市計画論文集, Vol.49, No.3, pp.423-428, 2014.

A STUDY ON TRANSFER CONVENIENCE BETWEEN RAILWAY AND BUS ROUTES IN LOCAL CITIES CONSIDERING THE LEVEL OF CYCLIC SCHEDULE INTEGRATION INTO RAILWAY TIMETABLES

Takashi KASASHIMA, Ryoji MATSUNAKA and Tetsuharu OBA