

地方鉄道路線におけるパターンダイヤの 利便性評価に関する基礎的分析

鈴木 崇正¹・渡邊 拓也²・奥田 大樹³・深澤 紀子⁴・松本 涼佑⁵

¹正会員 (公財) 鉄道総合技術研究所 交通計画研究室 (〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38)
E-mail: suzuki.takamasa.91@rtri.or.jp (Corresponding Author)

²正会員 (公財) 鉄道総合技術研究所 交通計画研究室 (〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38)
E-mail: watanabe.takuya.42@rtri.or.jp

³正会員 (公財) 鉄道総合技術研究所 交通計画研究室 (〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38)
E-mail: okuda.daiki.67@rtri.or.jp

⁴正会員 (公財) 鉄道総合技術研究所 交通計画研究室 (〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38)
E-mail: fukasawa.noriko.11@rtri.or.jp

⁵非会員 (公財) 鉄道総合技術研究所 交通計画研究室 (〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38)
E-mail: matsumoto.ryosuke.84@rtri.or.jp

鉄道を利用する上で、列車の待ち時間は利用者にとって負担である。経営状況の厳しい地方鉄道においては列車本数の増加は容易ではないため、パターンダイヤの導入など列車ダイヤの工夫を通じて利便性の向上がなされるケースもみられる。しかし、運行本数の比較的少ない地方鉄道路線において、運行本数や運行間隔などダイヤの特徴が利用者の評価に与える影響、特にダイヤのパターン化がもたらす効果に関する知見の蓄積は進んでいない。そこで、全国の地方鉄道路線沿線居住者を対象として、パターンダイヤを含む、異なる特徴を持つさまざまなダイヤに対する利便性評価に関するウェブアンケート調査を実施し、利便性の評価に影響を与えるダイヤの基礎的な特徴を明らかにした。

Key Words: local railway, timetable, convenience, evaluation, questionnaire

1. はじめに

鉄道を利用するにあたって、列車を待つ時間は旅客にとって負担である。運行本数の増加とそれに伴う平均待ち時間の削減は、利用者にとって便益となる¹⁾。

ある駅において、列車に乗車しようとする旅客がランダムに駅にやってくると仮定される状況下で、その旅客の平均的な待ち時間としてよく扱われるのが、平均運行間隔の 1/2 という値である²⁾。しかし、一日全体の列車の平均的な待ち時間（以下「期待待ち時間」と呼ぶ）は、列車の平均運行間隔だけではなくそのばらつき（分散）にも左右される。次章で述べるとおり、運行間隔の分散が少ないほど期待待ち時間は小さくなることから、列車の運行間隔を揃える取り組みが利用者の待ち時間を削減する可能性がある。

列車が等間隔に発車するようなダイヤはパターンダイヤと呼ばれる。とりわけ大都市圏の大手民鉄各線などに

おいて昼間時間帯に実施されている例が多いが、2019年には利便性向上を目指した施策として、列車本数の比較的少ない地方鉄道路線に新たに導入された⁴⁾。

しかし、パターンダイヤがもたらす効果に関する知見の蓄積はまだ少ない。例えば松中ら⁶⁾や石原ら⁷⁾は、期待所要時間を指標としたダイヤの評価を試みているが、利用者の立場からみた主観的な利便性の評価が明らかになっていない。加藤ら⁸⁾や Petersen⁹⁾は、パターンダイヤ導入の先進的な事例のひとつであるスイスの Bahn2000 プロジェクトの取り組みや、それがもたらした効果を報告しているが、ダイヤの様々な特徴と利便性評価や需要の変化との定量的な因果関係が明らかにされていない。

そこで本研究では、特に地方鉄道へのパターンダイヤ導入が利用者の評価や需要に対してもたらす効果の把握を目指して、利用者の立場からみたダイヤの利便性評価に関する基礎的な分析を実施した。具体的には、列車の運行が比較的low頻度である地方鉄道路線を想定して、運

行間隔や期待待ち時間などが様々に異なる列車ダイヤに対する利用者の評価に関する調査を実施し、統計モデルの構築による分析を通じてその特徴が評価に与える影響の定量化を試みた。

第 2 章ではパターンダイヤの特徴について概説するとともに、パターンダイヤがもたらす効果のひとつとして期待待ち時間の削減に着目し、その定式化を行う。第 3 章では列車ダイヤの利便性評価に関するアンケート調査の設計と実施、回答者の主な個人属性等の単純集計を報告する。第 4 章ではダイヤの特徴を変数化したうえで、それらが利便性評価に与える影響をモデルで表現する。第 5 章ではそのモデルを応用した、パターンダイヤ導入施策の評価の事例を挙げる。最後に第 6 章でまとめと今後の課題を示す。

2. パターンダイヤの特徴

(1) パターンダイヤの 3 つのレベル

Johnson et al.⁷⁾や Wardman et al.⁸⁾は、パターンダイヤを①発車時刻が毎時同じであること、②列車の運行が等間隔であること、③記憶可能なダイヤであること、の 3 つのレベルに区分している。

①は、個々の列車が等間隔に運行されているかどうかに関わらず、毎時同時刻に列車が発車すること、換言すればダイヤが 1 時間ごとの周期性を有していることを示す。例えば「毎時 8 分・23 分発」のようなダイヤはこの①に該当する。

②は、①に加えて列車の間隔が統一されているケースを示す。例えば「毎時 8 分・38 分発」のようなダイヤがこれに該当する。列車の運行が毎時 1 本である路線では、①の達成により②も同時に達成される。ただし①と②は厳密な意味で階層関係にあるわけではなく、国内でも例えば 40 分間隔（養老鉄道など）、都市部の高頻度路線を含めれば 16 分間隔（愛知環状鉄道）や 7 分間隔（札幌市営地下鉄東西線）など、②には該当しつつ①には該当しないダイヤも存在する。

③は発車時刻の数字そのものに注目しており、「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」の 3 種類を③に該当するダイヤとしている。ただし、路線内のすべての駅についてこれを達成することは不可能であると考えられる。よって、本研究においては①の「毎時同時刻発車であること」と②の「等間隔ダイヤであること」に着目し、③については考慮しないこととした。

(2) 期待待ち時間

期待待ち時間とは、ある鉄道利用者がランダムに鉄道

駅に到着すると仮定したときの、次にやってくる列車までの待ち時間の一日を通した期待値である。なお以下の議論において、一日の初列車より前の待ち時間、および終列車の後の待ち時間は無視する。

初列車から終列車までの営業時間 t (分) において $n+1$ (本) の列車が運行されているとき、運行間隔は n 回分存在する。平均運行間隔を \bar{t} (分) とすると、

$$t = n\bar{t} \quad (1)$$

である。 k 番目 ($k \leq n$) の運行間隔を i_k (分) とすると、

$$i_k = \bar{t} + d_k \quad (2)$$

である。このとき d_k (分) は、 k 番目の運行間隔の \bar{t} との差であり、その運行間隔が平均より長ければ $d_k > 0$ 、短ければ $d_k < 0$ である。営業時間 t はすべての運行間隔の和であるから、

$$t = \sum_{k=1}^n (\bar{t} + d_k) = n\bar{t} + \sum_{k=1}^n d_k \quad (3)$$

である。また、式(1)と(3)から、式(4)が成立する。

$$\sum_{k=1}^n d_k = 0 \quad (4)$$

さて、ある個別の列車、例えば $k+1$ 番目の列車の平均待ち時間は、 k 番目の列車とその列車との間隔 i_k の半分である。またランダムに駅に到着した旅客がその運行間隔に当たる確率は、営業時間全体に占めるその運行間隔の割合、すなわち i_k/t である。一日を通した旅客の期待待ち時間 $E[W]$ (分) は、列車ごとの平均待ち時間 $i_k/2$ とその列車に当たる確率 i_k/t の積を、一日のすべての列車について足し合わせた総和であるから、

$$\begin{aligned} E[W] &= \sum_{k=1}^n \left(\frac{i_k}{2} \cdot \frac{i_k}{t} \right) = \frac{\sum_{k=1}^n (\bar{t} + d_k)^2}{2t} \\ &= \frac{n\bar{t}^2 + 2n\bar{t}(\sum_{k=1}^n d_k) + \sum_{k=1}^n d_k^2}{2t} \\ &= \frac{1}{2} \cdot \frac{n}{t} \cdot \bar{t}^2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{n}{t} \cdot \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n d_k^2 \\ &= \frac{1}{2} \bar{t} + \frac{1}{2t} \text{Var}[d_k] \end{aligned} \quad (5)$$

である。ここで $\text{Var}[d_k]$ は運行間隔の分散であり最小値は 0 である。よって、すべての列車運行間隔が等しい場合に $E[W]$ は最小値 $\bar{t}/2$ をとり、平均運行間隔が変わら

ない、すなわち列車運行本数が同一の場合でも、運行間隔の分散が大きいほど期待待ち時間は長くなる。

列車の運行が完全にランダムである、すなわち列車の運行間隔が $\lambda = 1/\bar{t}$ の指数分布に従うときには、 $Var[d_k] = \bar{t}^2$ であるから、平均運行間隔と期待待ち時間は一致する (式(6))。運行間隔が極端に偏った場合、例えば全列車のうち半数が初列車に近い時間帯に集中し、残り半数が終列車に近い時間帯に集中するようなケースでは $E[W] > \bar{t}$ となりうるが、現実的に $E[W]$ の取りうる範囲は式(7)のとおりであると考えられる。なお、国内の JR および民鉄の都市鉄道路線や地方鉄道路線に所在する、平均運行間隔が約 5 分～約 50 分のいくつかの駅について、実際のダイヤの平均運行間隔 \bar{t} と期待待ち時間 $E[W]$ を比較したところでは、 $E[W]$ の最大値はおおよそ $0.7\bar{t}$ 程度であった。

$$E[W] = \frac{1}{2}\bar{t} + \frac{1}{2\bar{t}} \cdot \bar{t}^2 = \bar{t} \quad (6)$$

$$\bar{t}/2 \leq E[W] \leq \bar{t} \quad (7)$$

このように期待待ち時間は、列車の運行本数すなわち平均運行間隔のみならず、列車の運行間隔の分散の変化により変化する。列車が等間隔で発車するパターンダイヤの導入は、ダイヤの分かりやすさや覚えやすさの向上だけでなく、期待待ち時間の削減にも貢献する。平均運行間隔の半分を期待待ち時間とみなす手法では、この点を考慮できない。

(3) 平均運行間隔と期待待ち時間のトレードオフ

表-1 には、国内に実在する 2 つの駅について、列車の平均運行間隔と期待待ち時間を示す。営業時間とは、初列車から終列車までの時間である。A 駅のほうが一日あたりの運行本数は多く平均運行間隔は B 駅より短い、期待待ち時間は B 駅より A 駅のほうが長い。これは、B 駅では昼間時間帯にパターンダイヤが導入されており、運行間隔の分散が小さいことによる。

このように、運行間隔を揃えることで、運行本数の多い駅よりも期待待ち時間を短くすることも可能である。

表-1 平均運行間隔と期待待ち時間のトレードオフの例

駅	運行本数 (本/日)	営業時間 (分)	平均運行間隔 (分)	期待待ち時間 (分)
A 駅	27	1,061	40.8	25.3
B 駅	25	1,062	44.3	24.0

3. ダイヤの利便性評価に関するアンケート調査

(1) 調査の目的と形式

本調査は、ダイヤの利便性評価に影響を与える要因を明らかにすることを目的として、特徴の異なるさまざまな仮想ダイヤを被験者に提示し、その利便性評価データを取得するために実施した。このとき、ある 1 つのダイヤの利便性を絶対評価してもらうことは難易度が高く、被験者にとって回答しにくいことが懸念された。そこで今回は、2 つの異なるダイヤをペアとして被験者に提示し、便利であると考えるところから一方を選択してもらう相対評価形式の調査とした (図-1)。

(2) 調査の設計

a) 提示するダイヤペアの組み合わせ

ダイヤペアは、「比較基準ダイヤ」と、そのダイヤより平均運行間隔は短い期待待ち時間は長い「比較対象ダイヤ」の組み合わせで構成することとした。平均運行間隔と期待待ち時間がトレードオフ関係にある 2 つのダイヤを組み合わせることで、平均運行間隔と期待待ち時間のどちらをより重視して利便性を評価しているかを明らかにする狙いがある。

また、パターンダイヤが朝タラッシュ時を除く昼間時間帯に導入されているケースが多いことを踏まえ、すべてのダイヤにおける初列車を 10 時ちょうど、終列車を 16 時ちょうどで固定した。すなわち、今回の調査に用いたダイヤの営業時間は 6 時間である。

b) 列車本数によるグループ分け

列車本数の水準によりダイヤに対する利便性評価の傾向等が異なる可能性を想定し、上記の比較基準ダイヤを 6 時間の運行本数に応じて「低頻度」「中頻度」「高頻度」の 3 グループとした (表-2)。

時	分	時	分
10	00 36	10	00 35 38
11	12 48	11	11 47
12	24	12	32
13	00 36	13	03 25 53
14	12 48	14	11 14
15	24	15	18
16	00	16	00

比較

図-1 提示したダイヤペアの例

表-2 各グループにおける列車本数水準

グループ	比較基準ダイヤ	比較対象ダイヤ
低頻度	3・4・5・6 本 (120～60 分間隔)	4～12 本 (90～30 分間隔)
中頻度	10・12 本 (36・30 分間隔)	12～24 本 (30～15 分間隔)
高頻度	20・24 本 (18・15 分間隔)	24～48 本 (15～7.5 分間隔)

本数は 6 時間の合計

c) 仮想ダイヤの生成

表-2に示す各運行本数に該当し、かつ期待待ち時間が式(7)の範囲を満たす仮想ダイヤ(図-2)を生成した。ここで、期待待ち時間が式(7)を満たすということは、運行間隔の分散が0から平均運行間隔の2乗の範囲内であることと同義である。そこで、表-2に示す各運行本数について、運行間隔の分散を0から平均運行間隔の2乗まで変化させながら、その運行間隔の平均と分散を持つ正規分布もしくは指数分布に従う乱数列を発生させ、これを仮想的な運行間隔とみなして、10時00分を起点としてこの乱数列を発時刻に置き換えることで、仮想的なダイヤを作成した。このとき、運行本数が6の倍数である場合は1時間ごとの運行本数を統一することが可能であるため、毎時同時刻ダイヤとそうでないダイヤの2種類を作成した。

生成したダイヤの総数は、比較基準ダイヤと比較対象ダイヤを合わせ、低頻度グループ66、中頻度グループ64、高頻度グループ63である。また被験者に提示したダイヤペアは、同じグループに含まれるダイヤで構成した。その組み合わせ種類は、低頻度グループ282、中頻度グループ418、高頻度グループ400である。

(3) 調査方法とスクリーニング

a) 調査対象エリア

今回のアンケート調査はインターネットを活用し、調査業務はウェブ調査会社に委託した。被験者はウェブ調査会社が保有する全国の登録モニターであるが、調査の趣旨に照らして下記のエリアを調査対象とした。これらの条件に該当した市区町村数は1,095である。

- ① 地方鉄道に着目した調査であることから、地方鉄道路線が通過する市区町村の居住者とした。
- ② ①の「地方鉄道路線」とは、昼間1時間あたりの運行本数がおおむね片方向6本以内である路線とした。新幹線、路面電車、ケーブルカー、ロープウェイ、トロリーバス、観光目的の鉄道路線、自然災害等により運休中もしくは運行再開直後である路線は除外した。
- ③ ①②を満たす市区町村であっても、昼間1時間あたりの運行本数がおおむね片方向7本以上である都市鉄道路線も通過する場合は除外した。

b) 時刻表の読み方の認知

本調査は、図-1に示すような形式の時刻表を比較評価するものである。よって少なくとも、この時刻表の読み方や使い方を知っている必要がある。そこでスクリーニングにおいては、図-3に示す時刻表のサンプルを提示し、その使い方を知っているかと回答した被験者のみを本調査

の対象とした。

c) 最寄り駅の列車運行頻度

スクリーニングにおいては、最寄り駅における列車の運行頻度について、ラッシュ時ではない1時間あたりの片方向の列車本数が「1本以下」「2~3本」「4~6本」「7本以上」のいずれであるかを尋ねた。そして、「1本以下」の回答者には低頻度グループ、「2~3本」の回答者には中頻度グループ、「4~6本」の回答者には高頻度グループのダイヤペアを提示しその利便性を評価してもらった。これは、普段利用する鉄道の運行頻度に近いダイヤを評価してもらうことで、回答者による評価の妥当性を上げる狙いがある。このとき、「低頻度」「中頻度」「高頻度」それぞれの回答者数を同程度に揃えるようスクリーニングを実施した。また今回は地方鉄道に着目しているため、「7本以上」と回答した被験者はスクリーニングで除外した。

(4) 調査の実施と回答の回収

スクリーニング調査は2020年2月28日から3月2日にかけて実施し、スクリーニング条件をクリアした21,386サンプルが得られた。本調査はこれらのサンプルを対象として3月6日から9日にかけて実施し、3,180人から最終的な回答を得た。このうち低頻度グループの回答者数は1,042人、中頻度1,069人、高頻度1,069人であり、それぞれほぼ同数ずつの回答が得られた。

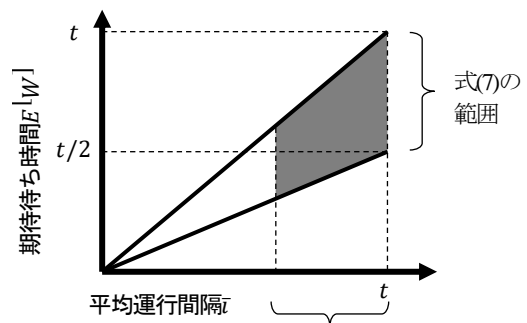


表-2に示す各グループの運行間隔の範囲

図-2 生成した仮想ダイヤの範囲

時	下り	〇〇方面	時	上り	〇〇〇方面
5	10	30	5	10	30
6	00	15	6	00	20
7	00	15	7	00	20
8	00	12	8	00	15
9	00	12	9	00	15
10	00	20	10	00	20
11	00	20	11	00	20
12	00	20	12	00	20

図-3 時刻表のサンプル

年齢および性別ごとの回答者数を図-4に、職業構成を図-5に示す。今回の調査では回答者の性別・年齢構成を制御せず、性別構成に大きな偏りはみられないが、年齢層では40歳代と50歳代に集中している。何らかの職業を有する回答者が全体の70.8%を占める一方、学生の回答は全体の約1.2%と非常に少ない。

(5) 便利だと思うダイヤの選択結果

ダイヤの評価に関しては、より多くのデータを確保するため、回答者1人あたり10ペアのダイヤを提示し、それぞれについて便利だと思う方を選択してもらった。すなわち、収集されたダイヤの評価データの総数は31,800件である。

選択結果が「平均運行間隔が短いダイヤ」であったか「期待待ち時間が短いダイヤ」であったかを単純に集計した結果を表-3に示す。いずれのダイヤグループについてもどちらか一方に選択が偏っているわけではなく、ほぼ半々である。その中でもわずかに、列車の運行頻度が高いほど「平均運行間隔が短いダイヤ」の選択割合が大きい傾向にある。カイ2乗検定の結果、有意水準5%でグループ間に有意な割合の差が認められた。

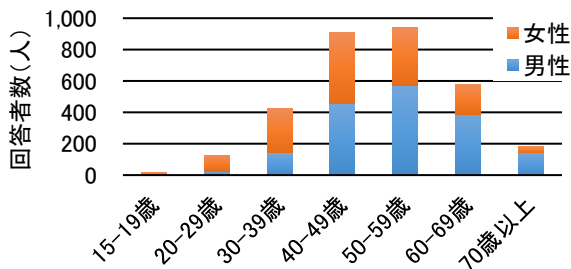


図-4 年齢・性別ごとの回答者数

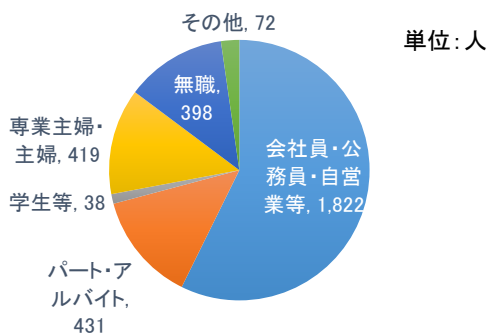


図-5 回答者の職業構成

表-3 便利だと思うダイヤの選択結果

グループ	回答総数	平均運行間隔が短い方	期待待ち時間が短い方	期待待ち時間が短い方の選択割合
低頻度	10,420	4,472	5,948	57.1%
中頻度	10,690	5,227	5,463	51.1%
高頻度	10,690	5,626	5,064	47.4%

よって、利便性の評価は平均運行間隔と期待待ち時間のバランスの中でなされていることが示唆される。そこで次章では、平均運行間隔と期待待ち時間以外の変数も含め、列車ダイヤに関するいくつかの特徴が利便性の評価に与える影響をモデル構築を通じて定量化する。

4. 利便性評価のモデル化

(1) データ

モデル構築には今回の調査で収集したデータを活用したが、31,800件の個々の評価データをそのまま用いたのではなく、選択結果をダイヤペア単位で集約し、各ダイヤペアを被験者に提示した回数のうち比較基準ダイヤが選択された回数を確率表現し被説明変数とした。また、ダイヤペアによって被験者に提示された回数が異なることから、モデル構築においてはダイヤペアの提示回数による重みづけを行った。

(2) 説明変数

ダイヤの特徴を表現する説明変数として、今回は表-4に示す各変数を用いた。これらは運行間隔に関する変数と、1時間ごとの周期性に関する変数に大別される。

運行間隔に関する変数のうち平均運行間隔は、360(分)を運行本数-1で除した値である。

期待待ち時間は運行間隔のばらつきを表現する指標であり、式(5)のとおり計算される。この指標は運行間隔の分散との相関が0.943(低頻度グループのダイヤ)~0.957(高頻度グループのダイヤ)と非常に強いことから、ここでは運行間隔の分散や標準偏差は変数として採用しなかった。また類似の変数として、列車の運行間隔がすべて等しい場合に1、それ以外の場合に0となる等間隔ダミー変数の採用も検討したが、解釈可能な計算結果を得られなかったため最終的に除外した。

1時間ごとの周期性に関する変数のうち、毎時同時刻ダミーは、今回の仮想ダイヤに含まれる6時間の各時間帯における発車時刻が同一であれば1、それ以外の場合に0となるダミー変数である。

また、便利だと思うダイヤの選択結果を概観したところ、時間帯ごとの運行本数のばらつきの大きいダイヤに対する評価が低い傾向がみられた。そこで、そのばらつ

表-4 説明変数の一覧

分類	変数	備考
運行間隔に関する変数	平均運行間隔 (分)	360分÷(運行本数-1)
	期待待ち時間 (分)	式(5)のとおり
1時間ごとの周期性に関する変数	毎時同時刻ダミー	毎時同時刻ダイヤであれば1 それ以外は0
	時間帯別本数分散	1時間ごとの運行本数の分散

きを表現する指標として、1 時間ごとの運行本数の分散を変数に含めた。

(3) モデル構造

モデル構造として採用したのはロジスティック回帰モデルである。ある比較基準ダイヤ*i*と比較対象ダイヤ*j*が提示されたとき、比較基準ダイヤ*i*のほうが便利であると評価される確率*p_{ij}*は式(8)により求められる。

$$p_{ij} = \frac{1}{1 + \exp[-(\beta_0 + \sum_{k=1}^n \beta_k x_{kij})]} \quad (8)$$

ここで、 β_0 は定数項、 n は説明変数の個数（今回は 4 つ）、 β_k は説明変数 x_{kij} の係数、 x_{kij} は*k*番目の説明変数の、ダイヤ*i*とダイヤ*j*の差分である。

モデル構築は 3 つのダイヤグループそれぞれ別々に実施した。データ数はダイヤペア数と同じ、低頻度 282、中頻度 418、高頻度 400 である。

(4) パラメータ推定結果

3 つのダイヤグループそれぞれについて、表-4 に示す説明変数を用いて利便性評価結果を説明するモデルを構築した結果を表-5 に示す。1 時間ごとの周期性に関する変数として、表中上段では毎時同時刻ダミーを、下段では時間帯別本数分散をそれぞれ採用した。

いずれのモデルにおいても、平均運行間隔と期待待ち時間の係数が有意水準 1%で統計的に有意な負の値とな

った。このことは、他の条件が同一であれば、平均運行間隔がより短いほど、あるいは期待待ち時間がより短いほど、利便性がより高いと評価される傾向にあることを示している。また 1 時間ごとの周期性に関しても、毎時同時刻ダミーの係数が有意に正の値、時間帯別本数分散の係数が有意に負の値であることから、時間帯ごとの列車本数が揃い、1 時間の周期性を有するダイヤであるほど利便性評価が高い傾向にあると言える。

列車の運行頻度別に、平均運行間隔と期待待ち時間の係数の比を比較すると、低頻度から高頻度になるにつれて、平均運行間隔の係数に対する期待待ち時間の係数の大きさが小さくなっている。このことから、列車の運行頻度が多いダイヤであるほど、利用者は運行間隔のばらつきより運行本数の多さをより重要視して利便性を評価している可能性がある。

これらの結果は、列車の運行本数が 1 時間あたり 1 本から 6 本までの比較的幅広い運行頻度水準を有する地方鉄道路線において、等間隔な列車運行や 1 時間ごとの周期的なダイヤなどの特徴を有するパターンダイヤの導入が、利便性評価を高める可能性を示唆するものである。また期待待ち時間の係数が負であることは、パターンダイヤの導入が旅客の期待待ち時間に貢献することを意味している。本数の増加が困難な地方鉄道におけるパターンダイヤの有効性を示す一つの知見であると考えられる。

表-5 パラメータ推定結果

ダイヤ	低頻度			中頻度			高頻度		
	説明変数	係数	t 判定	係数	t 判定	判定	係数	t 判定	判定
切片	-0.135	-6.704	***	-0.099	-5.011	***	-0.048	-2.347	**
平均運行間隔 (分)	-0.011	-7.105	***	-0.062	-15.392	***	-0.158	-19.025	***
期待待ち時間 (分)	-0.052	-16.864	***	-0.115	-17.324	***	-0.172	-13.413	***
毎時同時刻ダミー	0.218	3.510	***	0.223	7.333	***	0.845	26.591	***
時間帯別本数分散									
観測数		282			418			400	
AIC		2,681.8			2,439.4			2,416.2	
自由度調整済み尤度比		0.144			0.136			0.301	

ダイヤ	低頻度			中頻度			高頻度		
	説明変数	係数	t 判定	係数	t 判定	判定	係数	t 判定	判定
切片	-0.151	-7.286	***	-0.100	-5.005	***	-0.043	-2.089	**
平均運行間隔 (分)	-0.033	-17.260	***	-0.086	-19.700	***	-0.274	-28.053	***
期待待ち時間 (分)	-0.042	-13.177	***	-0.090	-13.016	***	-0.057	-4.254	***
毎時同時刻ダミー									
時間帯別本数分散	-0.822	-23.429	***	-0.357	-15.685	***	-0.267	-30.922	***
観測数		282			418			400	
AIC		2,063.0			2,241.4			2,114.6	
自由度調整済み尤度比		0.341			0.206			0.389	

*: $\alpha=10\%$, **: $\alpha=5\%$, ***: $\alpha=1\%$ でそれぞれ有意であることを示す

5. モデルを応用したダイヤの利便性比較評価

構築したモデルを応用すると、ダイヤ改正に伴い新たなダイヤが導入された場合の、利便性の変化の評価が可能である。式(8)において、 i を新ダイヤ、 j を旧ダイヤ、 p_{ij} を新ダイヤの利便性評価値と見なせば、その値が 0.5 を上回る場合には新ダイヤのほうが利便性が高い、下回る場合には旧ダイヤのほうが利便性が高いと解釈できる。

一例として、近年パターンダイヤが導入されたある地方鉄道路線の主要駅における、一日全体のダイヤの利便性評価例を表-6に示す。評価値の計算に用いたモデルは、表-5 下段の中頻度モデルである。パターンダイヤ導入前後の各変数をモデルに代入した結果、導入後のダイヤの評価値は 0.5 を上回り、利便性が向上したと評価された。このように構築したモデルによるダイヤの評価を応用することで、例えばダイヤ改正を検討するにあたって、改正後のダイヤの利便性の事前評価や、いくつかの改正案の比較検討等を実施することが可能になると考えられる。

6. まとめと今後の課題

本研究では、地方鉄道路線へのパターンダイヤ導入が利用者の評価や需要に対してもたらす効果の把握を目指して、様々な特徴を持つ列車ダイヤに対する利便性評価に関するデータをアンケート調査を通じて収集した。またそのデータを用いて、列車の平均運行間隔や期待待ち時間等を説明変数として利便性評価を説明するロジスティック回帰分析を行い、各説明変数が利便性評価に与える影響を定量化した。さらに、実際のダイヤ改正の事例を取り上げ、構築したモデルによる利便性評価の一例を示した。

構築したモデルにおいては、利便性の評価において運行間隔に関する指標と 1 時間ごとの周期性に関する指標の双方が影響していること、平均運行間隔と期待待ち時間がトレードオフの関係にあること、列車の運行頻度の水準によって両者の相対的な影響の強さが異なることなどが明らかになった。これらの結果から、地方鉄道路線へのパターンダイヤの導入が利便性向上効果をもたらす可能性が示唆された。

表-6 ダイヤ改正による利便性変化の評価例

駅	C 駅		D 駅	
	導入前	導入後	導入前	導入後
ダイヤ				
平均運行間隔 (分)	39.630	35.867	37.192	31.387
期待待ち時間 (分)	21.610	19.621	22.019	17.236
時間帯別本数分散	0.249	0.233	0.360	0.221
評価値	0.601		0.707	

本研究における今後の課題を 2 点示す。まず、本稿では期待待ち時間に着目した議論と分析を進めてきたが、今回の調査の回答者や実際の鉄道利用者が期待待ち時間をどの程度認知できているのかについては明らかにできていない。期待待ち時間という指標ではあるが、単純に運行間隔の分散、すなわちダイヤの分かりやすさ・覚えやすさの代理変数となっている可能性がある。今後は、鉄道利用者が期待待ち時間の削減とダイヤの分かりやすさ・覚えやすさの向上の双方をどの程度認知しているのか、またどちらをどの程度重視しながら利便性を評価するのかさらなるデータの収集と分析が必要である。

また、第 4 章で説明した通り、モデリングに活用したデータはダイヤペア単位に集約されたものであり、ダイヤの特徴以外の要因をすべて無視した。そのため、ダイヤの特徴に特に着目した分析を実施することができたが、現実には利用者の普段の鉄道利用、列車のダイヤに対する考え方など、個人に関する様々な要因が評価に影響する可能性がある。今後は、そのような周辺要素を考慮した分析の深度化を進めていく。

参考文献

- 1) 国土交通省鉄道局：鉄道プロジェクトの評価手法マニュアル（2012 年度改訂版），2012。
- 2) 交通政策審議会陸上交通分科会鉄道部会：鉄道需要分析手法に関するテクニカルレポート，2016。
- 3) 例えば長尾一輝，中山晶一郎，高山純一，円山琢也：旅行時間の不確実性を考慮した分担・配分統合交通ネットワーク均衡モデルに関する研究：金沢都市圏への軌道系公共交通導入時の道路交通への影響分析を例に，土木学会論文集 D，Vol.65，No.1，pp.12-25，2009。
- 4) 四国旅客鉄道株式会社：平成 31 年 3 月ダイヤ改正について（プレスリリース），http://www.jr-shikoku.co.jp/03_news/press/2018%2012%2014%2002.pdf（2020 年 9 月 20 日閲覧）
- 5) 中川大，長戸正二，渡邊拓也，永易雅志：地方鉄道路線のダイヤ検討とその効果に関する一考察—JR 牟岐線の事例を踏まえて—，土木計画学研究発表会・講演集，Vol.60，25-13，2019。
- 6) 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。
- 7) 石原洋平，中川大，松中亮治，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。
- 8) 加藤浩徳：スイスの都市間鉄道サービス改善に向けた取組：RAIL2000 プロジェクトとその後の SBB の研究開発，運輸政策研究，Vol.9，No.2，pp.59-61，2006。
- 9) Petersen, T.: Watching the Swiss: A network approach to rural and exurban public transport, *Transport Policy*, Vol.52, pp.175-185, 2016。

- 10) Johnson, D., Shires, J., Nash, C. and Tyler, J.: Forecasting and appraising the impact of a regular interval timetable, *Transport Policy*, Vol.13, pp.349-366, 2006.
- 11) 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.

(Received ??? ?,???)

(Accepted ??? ?,???)

A PRELIMINARY ANALYSIS ON THE EVALUATION OF LOCAL RAILWAY TIMETABLES

Takamasa SUZUKI, Takuya WATANABE, Daiki OKUDA,
Noriko FUKASAWA and Ryosuke MATSUMOTO

Time for waiting a train at a station often spoils convenience of railway service, resulting in a loss of demand. Since it is difficult for struggling local railways to add more trains, efforts are made by introducing regular-interval of clockface timetable, which has cyclic train services, to sustain and improve its convenience. However, it is unclear how characteristics of timetable, such as length of train intervals or its regularity, affect evaluation of convenience. We therefore conducted a questionnaire survey to collect data on the evaluation of timetables with different characteristics. Collected data were then put into a logistic regression model to quantify the magnitude of the effect of the characteristics on the evaluation. Results revealed that both interval regularity and hour-by-hour cyclicity affect convenience evaluation.