

# 地域鉄道におけるパターンダイヤの利便性評価

鈴木 崇正\* 渡邊 拓也\* 奥田 大樹\* 深澤 紀子\*

## Convenience Evaluation of Clock-face Local Railway Timetables

Takamasa SUZUKI Takuya WATANABE Daiki OKUDA Noriko FUKASAWA

This article aims to reveal convenience evaluation of clock-face (regular interval) timetable for local railways, which provides periodic train services, we conducted a questionnaire survey to collect data on the evaluation of timetables with varying number of trains or periodicity of train services. Using the collected data, a logistic regression model was constructed to quantify the magnitude of the effect of such characteristics on the convenience evaluation. The results obtained by the regression model revealed that both interval regularity and hour-by-hour cyclicity improve passengers' evaluation. This may lead to improving convenience of local railway lines where additions of train services may be impractical.

キーワード：地域鉄道, パターンダイヤ, 運行間隔, 利便性, アンケート調査

### 1. はじめに

列車の待ち時間は鉄道の利便性を表現する重要な指標のひとつである<sup>1)</sup>。その待ち時間の平均的な値としては、列車の平均運行間隔を1/2にした値が用いられることがある<sup>2)</sup>。列車の運行本数が増加すれば平均運行間隔は小さくなり、平均的な待ち時間も短縮される。

しかし、旅客1人1人にとっての平均的な待ち時間（以下「期待待ち時間」と呼ぶ）は、列車の運行間隔の平均だけではなくそのばらつきの影響も受ける。次章で述べるとおり、運行間隔のばらつきが少ないほど期待待ち時間は短くなることから、列車本数を増やさずとも列車の運行を等間隔にするなどの取り組みが旅客の待ち時間を短縮し、旅客の利便性を向上させる可能性がある<sup>3)</sup>。

特に経営状況の厳しい地域鉄道路線にとって、列車運行本数の増加に依存しない期待待ち時間の短縮方策は、旅客の利便性向上を低コストで実現する上で重要である。

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、近年では列車本数の比較的少ない地域鉄道路線でも新たに導入された事例がみられる<sup>4)5)</sup>。

しかし、地域鉄道路線へのパターンダイヤ導入がもたらす効果に関する知見の蓄積は十分ではない。例えば、旅客の平均的な所要時間を表現する期待所要時間を指標としたダイヤの評価を試みた既往研究<sup>6)</sup>は、旅客の立場からみた主観的な利便性の評価を明らかにしていない。パターンダイヤ導入の代表的な事例のひとつであるスイスのBahn2000プロジェクトに関する報告<sup>7)</sup>も、ダイヤの様々な特性と利便性評価や需要の変化との関係に触れていない。

そこで本研究では、特に地域鉄道路線へのパターンダイヤ導入が旅客の評価に対してもたらす効果の把握を目的として、旅客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、旅客の期待待ち時間を短縮する「列車本数の増加」と「ダイヤのパターン化」という2つの方策が利便性評価に与える影響を比較できるように、列車の運行が1時間に6本以下であるような地域鉄道路線を想定して、平均運行間隔や期待待ち時間などが様々に異なるダイヤに対する旅客の評価に関する調査を実施した。そして得られたデータに基づいて、平均運行間隔や期待待ち時間等で利便性評価を説明するモデルを構築し、その影響を定量化することでダイヤのパターン化がもたらす効果の把握を試みた。

以下本稿では、Johnson et al.<sup>8)</sup>やWardman et al.<sup>9)</sup>の議論を踏まえ、「列車が等間隔に発車すること」に着目し、列車の発車を等間隔にすることを「ダイヤをパターン化する」と表現する。本稿2章では、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。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概要、回答者の主な個人属性等の単純集計結果を報告する。4章ではダイヤの特性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化するとともに、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5章で本研究のまとめと今後の課題を示す。

### 2. パターンダイヤの特徴

#### 2.1 期待待ち時間

期待待ち時間とは、鉄道を利用するために駅に到着した旅客の、次にやってくる列車までの平均的な待ち時間

\* 情報通信技術研究部 情報解析研究室

である。ここでは期待待ち時間の導出過程を示す。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と、終列車の後の待ち時間は無視する。

初列車の発車時刻から終列車の発車時刻までの営業時間  $t$  (分) において  $n + 1$  (本) の列車があるとき、運行間隔は  $n$  回分存在する。平均運行間隔を  $\bar{i}$  (分) とすると、

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

である。 $\bar{i}$  と、 $k$  番目 ( $k = 1, 2, \dots, n$ ) の運行間隔  $i_k$  (分) との差を  $d_k$  (分) とすると、

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

である。このとき  $i_k$  が  $\bar{i}$  より長ければ  $d_k > 0$ 、短ければ  $d_k < 0$  である。営業時間  $t$  は運行間隔の総和であるから、

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

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  $k + 1$  番目の列車を利用する旅客の平均待ち時間は、 $k$  番目の列車と  $k + 1$  番目の列車との間隔  $i_k$  の半分である。またランダムに駅に到着する旅客がその運行間隔の間に駅に到着する確率は、営業時間全体に占めるその運行間隔の割合  $i_k/t$  である。一日を通した旅客の期待待ち時間  $E[W]$  (分) は、一日全体の列車について、各列車を利用する旅客の平均待ち時間  $i_k/2$  とその列車を利用する確率  $i_k/t$  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、

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

である。ここで  $\text{Var}[d_k]$  は運行間隔の分散であり、その最小値は 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  $\bar{i}/2$  をとり、そうではない場合には  $\bar{i}/2$  より大きい値をとる。

式 (5) が示すように、期待待ち時間は運行間隔の平均と分散で説明される。そして運行間隔が完全に等間隔でない限り、期待待ち時間は平均運行間隔の半分とはならない。平均運行間隔が同一である、すなわち列車運行本数が同一である場合でも、運行間隔の分散が大きいかほど期待待ち時間は長くなる。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はなく、期待待ち時間の短縮にも貢献しうる。単純に平均運行間隔の半分を期待待ち時間とみなす手法では、この点を考慮することができない。

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  $\lambda = 1/\bar{i}$  の指数分布に従うときには、 $\text{Var}[d_k] = \bar{i}^2$  であるから、平均運行間隔と期待待ち時間は同じ値となる (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  $E[W] > \bar{i}$  となりうるが、本研究ではそのような極端な事象を考慮しないこととし、列車の運行がランダムである式 (6) の状態を  $E[W]$  の上限とした。よって、 $E[W]$  の取りうる範囲は式 (7) のとおりである。またこれに伴い、運行間隔の分散  $\text{Var}[d_k]$  のとりうる範囲は式 (8) のとおりとなる。

なお、国内の JR および民鉄の都市鉄道路線や地域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  $\bar{i}$  と期待待ち時間  $E[W]$  を比較したところでは、 $E[W]$  の範囲は  $0.5\bar{i} \sim 0.7\bar{i}$  程度であり、式 (7) を満足している。

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

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

$$0 \leq \text{Var}[d_k] \leq \bar{i}^2 \quad (8)$$

## 2.2 運行本数と期待待ち時間のトレードオフ

パターンダイヤの導入により、より少ない列車本数でより短い期待待ち時間を実現することも可能である。図 1 に例示する 2 駅のダイヤの運行間隔等に関する特性を表 1 に示す。一日当たりの運行本数が多く平均運行間隔が短いのは A 駅であるが、期待待ち時間がより短いのは A 駅ではなく B 駅である。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いるなど、運行間隔の分散が小さいことによる。

A 駅			B 駅		
時	分		時	分	
5	37		5	03	29
6	03	18	6	06	48
7	01	23	7	15	40
8	17	47	8	19	
9	46		9	37	
10	11		10	37	
11	45		11	37	
12	35		12	37	
13	03		13	37	
14	49		14	37	
15	46		15	28	
16	20	51	16	13	45
17	38	56	17	27	
18	13	59	18	12	44
19	16	44	19	26	
20	14		20	03	42
21	09	38	21	30	58
22	12		22	16	45
23	18		23		

図1 2駅のダイヤの例

表1 A駅とB駅のダイヤ特性

駅	運行本数 (本/日)	平均運行 間隔 (分)	期待待ち 時間 (分)
A 駅	27	40.8	26.5
B 駅	26	42.5	23.6

### 3. 利便性評価に関するアンケート調査

#### 3.1 調査の目的と形式

ダイヤの特性が利便性評価に与える影響を明らかにすることを目的として、特性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調査を実施した。今回は、2つの異なる仮想ダイヤをペアとして被験者に提示し、便利であると考えどちらか一方を選択してもらう相対評価形式の調査とした(図2)。

#### 3.2 仮想ダイヤの作成

1章で述べたとおり、本研究では旅客の期待待ち時間を短縮する「列車本数の増加」と「ダイヤのパターン化」という2つの方策が利便性評価に与える影響を比較したい。そこで、「列車本数が多く平均運行間隔は短い、運行間隔の分散が大きく期待待ち時間が長い」仮想ダイヤと、「列車本数が少なく平均運行間隔は長い、運行間隔の分散が小さく期待待ち時間が短い」仮想ダイヤを組み合わせるダイヤペアを構成した(表2)。図2に例示したダイヤペアは実際に調査に用いたもので、この組み合わせ条件を満たしている。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。これ以降、平均運行間隔が短いダイヤを「本数重視ダイヤ」、期待待ち時間が短いダイヤを「等間隔重視ダイヤ」と呼ぶ。

仮想ダイヤは、いずれも初列車が10時00分発、終列車が16時00分発の6時間分である。仮想ダイヤの列車本数は概ね1時間あたり1本から6本であり、列車本数に応じて表2に示す通り「低頻度」「中頻度」「高頻度」の各グループに分類した。

仮想ダイヤのうち列車が完全に等間隔であるダイヤは、運行間隔が120, 72, 60, 36, 30, 18, 15(分)であるダイヤである。これらのうち平均運行間隔が60, 30, 15(分)である仮想ダイヤは、等間隔ダイヤであると同時に毎時同時刻ダイヤでもある。これ以外のダイヤは運行間隔にばらつきのあるダイヤであり、乱数を用いてランダムな運行間隔を生成し、これを発車時刻に変換することによって仮想ダイヤを作成した。

以上の処理により作成した仮想ダイヤの総数は、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。そして各グループ内において、「本数重視ダイヤ」と「等間隔重視ダイヤ」の組み合わせ条件を満たすダイヤペアを構成した。ペア数は、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。

#### 3.3 調査の実施

本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のうち、昼間1時間あたりの運行

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


  
 どちらが便利か?

図2 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	等間隔重視ダイヤ	本数重視ダイヤ
低頻度	3・4・5・6本 (120~60分間隔)	4・5・6・7・8・9・10・11・12本 (90~30分間隔)
中頻度	10・12本 (36・30分間隔)	12・14・16・18・20・22・24本 (30~15分間隔)
高頻度	20・24本 (18・15分間隔)	24・28・32・36・40・44・48本 (15~7.5分間隔)

本数は10時台~15時台の6時間合計、  
運行間隔は6時間平均の値である

本数が概ね片方向6本以内である鉄道路線が通過する市区町村の居住者とした。さらに、図3に示す時刻表のサンプルの読み方が分かることをスクリーニング通過条件とした。

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、21,836人の被験者がスクリーニング条件をクリアした。本調査はこれらの被験者を対象として同年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。

本調査では、ダイヤ評価に関する回答の精度をより高められるよう、各被験者の最寄り駅における列車の運行頻度に近い仮想ダイヤを提示した。具体的には、各被験者の最寄り駅における昼間1時間あたり片方向の列車本数が「1本以下」の場合には低頻度グループ、「2~3本」の場合には中頻度グループ、「4~6本」の場合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。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。

回答者の年齢・性別構成を図4に示す。今回の調査では回答者の性別・年齢構成を制御しておらず、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。地域鉄道の主たる利用者である高校生や高齢者<sup>10)</sup>の割合が小さく、調査結果は旅客の傾向を十分に把握できていない可能性があるが、実際には鉄道を利用していない人の評価も考慮するため、これ以降の分析ではこのデータを用いた。なお、本調査はコロナ禍が本格化する以前に実施されたものであり、得られたデータはコロナ禍後の状況を反映するものではない。

### 3.4 便利だと思ふダイヤの選択傾向

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、被験者1人につき10ペアのダイヤを提示し、それぞれについて便利だと思ふ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。

ダイヤ評価において「等間隔重視ダイヤ」それぞれが選択された回数と、その選択割合を表3に示す。いずれのダイヤグループについても選択割合はほぼ半々である

時	下り ○○方面	時	上り ○○○方面
5	10 30 45	5	10 30 45
6	00 15 30 45	6	00 20 40
7	00 15 30 45	7	00 20 40
8	00 12 24 36 48	8	00 15 30 45
9	00 12 24 36 48	9	00 15 30 45
10	00 20 40	10	00 20 40
11	00 20 40	11	00 20 40
12	00 20 40	12	00 20 40

図3 時刻表のサンプル

ことから、利便性の評価において列車本数が絶対的な基準となっているとは言えず、旅客は平均運行間隔と期待待ち時間、換言すれば列車の本数と運行間隔のばらつきのバランスの中で利便性を評価し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を中心としたダイヤの特性に関する変数に着目して、それらがダイヤの利便性評価に与える影響をモデル構築により定量化する。

## 4. パターンダイヤの利便性評価のモデル化

### 4.1 モデル構造

モデルの基本的な構造は、提示された2つのダイヤの特性の差から一方のダイヤの選択割合を求めるロジスティック回帰モデルである。本調査において、被験者に対して提示されたダイヤペアのうち左側に表示されたダイヤを  $a$ 、右側に表示されたダイヤを  $b$  とするとき、ダイヤ  $a$  のほうが便利であると評価される確率  $P_a$  は式(9)により求められる。そして本研究ではこの  $P_a$  を、ダイヤ  $b$  を基準としたときのダイヤ  $a$  の利便性評価値であると捉える。

$$P_a = \frac{1}{1 + \exp[-(\beta_0 + \sum_{i=1}^m \beta_i x_i)]} \quad (9)$$

$P_a = 0.5$  のとき、ダイヤ  $a$  とダイヤ  $b$  の利便性は同等である。 $P_a > 0.5$  のとき、ダイヤ  $a$  の利便性はダイヤ  $b$  より高いと解釈される。

ここで、 $\beta_0$  は定数項、 $m$  は説明変数の数、 $x_i$  は  $i$  番目の説明変数のダイヤ  $a$  とダイヤ  $b$  の差分、 $\beta_i$  は説明

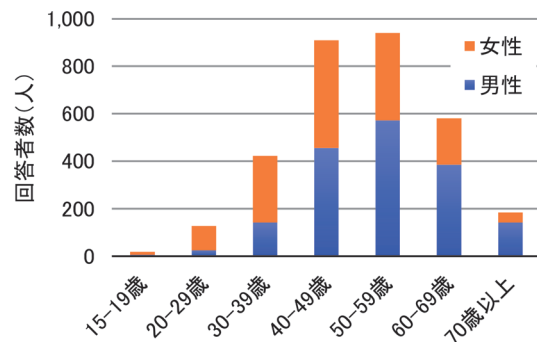


図4 回答者の年齢・性別構成

表3 「等間隔重視ダイヤ」の選択結果

グループ	回答総数	選択回数	選択割合
低頻度	10,420	5,948	57.1%
中頻度	10,690	5,463	51.1%
高頻度	10,690	5,064	47.4%

変数  $x_i$  にかかる係数である。

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。サンプルサイズ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。なお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、パラメータ推定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。パラメータ推定には統計解析ソフトウェア R version 4.0.2<sup>11)</sup> に実装されている glm 関数を用いた。

#### 4.2 変数

被説明変数は前節で述べたとおり、本調査において被験者に提示されたダイヤペアのうち左側のダイヤが選択された場合に 1、そうでない場合に 0 となる二値変数である。

ダイヤの特性を表現する説明変数としては、表 4 に示す各変数を用いた。このうち運行間隔に関する変数は、本研究において当初より着目してきた平均運行間隔と期待待ち時間である。平均運行間隔は、360 (分) を 6 時間の運行本数で除した値であり、期待待ち時間は式 (5) により計算した値である。また 1 時間ごとのダイヤの周期性に関する変数として、1 時間ごとの運行本数の分散も説明変数とした。

#### 4.3 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のパラメータを推定した結果を表 5 に示す。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、

表 4 説明変数の一覧

分類	変数	計算方法
運行間隔に関する変数	平均運行間隔 (分)	360 分 ÷ 6 時間の運行本数
	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	時間帯別本数分散	1 時間ごとの本数の分散

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おり、現実には照らして合理的な結果である。列車の運行本数が 1 時間あたり 6 本以下であるような地域鉄道路線において、「列車本数の増加」と、より等間隔・毎時同時刻に近いダイヤとする「ダイヤのパターン化」という 2 つの方策はどちらも利便性評価の向上に寄与することが示唆される。また 1 時間ごとの周期性に関しても、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と評価される傾向にあると言える。

#### 4.4 モデルを活用したダイヤの利便性評価

構築したモデルにより、2 つのダイヤの利便性評価を相対比較することが可能である。

一例として、図 1 に示した A と B の 2 駅のダイヤを用いる。両駅のダイヤ特性は表 1 の通りである。表 5 の中頻度モデルにこの 2 駅の特性を代入した結果、A 駅を基準とした B 駅の相対的な利便性評価値は 0.503 となった。この値は、列車本数が少ないもののより等間隔に近い B 駅におけるダイヤの利便性評価が、A 駅におけるそれをわずかに上回ることを意味する。

また、構築したモデルを用いて、地域鉄道において実際にみられる程度の運行間隔のばらつきを持つダイヤをパターン化した場合、1 日全体の運行本数や運行間隔のばらつきによっても異なるが、1 日あたり最大で 7.4 本程度列車を増発したのと同程度の利便性向上効果を得ることが明らかになった。

このように構築したモデルを応用することで、例えばダイヤ改正の検討にあたって、改正後におけるダイヤの利便性評価の事前推定や、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など、実務で本手法を活用できる。

表 5 パラメータ推定結果

ダイヤ 説明変数	低頻度			中頻度			高頻度		
	係数	t 値	判定	係数	t 値	判定	係数	t 値	判定
定数項	-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	***
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. まとめ

本研究では、列車ダイヤに対する利便性評価に関するアンケート調査データと評価モデルの構築を通じて、列車の運行本数を増やさずとも、列車ダイヤのパターン化により旅客の利便性評価を向上できる可能性があることを示した。この知見は、地域鉄道における旅客の利便性向上を低コストに実現する取り組みに寄与できるものと考えられる。

今後は、旅客による期待待ち時間の認知や、その認知が利便性評価に与える影響、ダイヤに合わせた旅客の行動などに関するさらなるデータの収集と分析が必要である。

## 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) 高橋幸雄：やさしい待ち行列（2）一等間隔運転は待ちを減らす，オペレーションズ・リサーチ，Vol.40，No.12，pp.716-721，1995
- 4) 四国旅客鉄道株式会社：2021年3月ダイヤ改正について（ニュースリリース），[https://www.jr-shikoku.co.jp/03\\_news/press/2020%2012%2018%2002.pdf](https://www.jr-shikoku.co.jp/03_news/press/2020%2012%2018%2002.pdf)（参照日：2021年6月5日）
- 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，No.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) 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
- 8) 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.
- 9) 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.
- 10) 加藤博和：なぜ鉄道廃止代替バスは乗客を減らすのか？その検討プロセスが抱える問題に関する一考察，土木計画学研究発表会・講演集，Vol.31，p.129，2005
- 11) R Core Team: R: A language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2021.