

鉄道ネットワークに着目した フィーダーバスの役割に関する実証分析

佐々木 竜也¹・宮崎 耕輔²・桑野 将司³

¹ 学生会員 香川高等専門学校専攻科（〒761-8058 香川県高松市勅使町 355）

E-mail: st22411@kagawa.kosen-ac.jp

² 正会員 香川高等専門学校教授（〒761-8058 香川県高松市勅使町 355）

E-mail: miyazaki@t.kagawa-nct.ac.jp (Corresponding Author)

³ 正会員 鳥取大学大学院教授（〒680-8552 鳥取県鳥取市湖山町南四丁目 101）

E-mail: kuwano@tottori-u.ac.jp

近年、地方の公共交通機関ネットワークにおいて、幹線、支線の考え方が必要とされている。本研究ではフィーダーバスが鉄道の需要に及ぼす影響の評価手法を提案する。ケーススタディとして、香川県の高松琴平電気鉄道株式会社と香川県コミュニティバスの乗り継ぎ利用を対象とし、2017年1月1日から2017年12月31日の12ヶ月間に収集された交通系ICカード「IruCa」の利用履歴18,478,385件を用いた分析を行う。各鉄道便を対象にバスとの接続の有無によって、バスからの乗り継ぎ利用者やそうでない利用者がどのように変化し、鉄道利用全体にどのような影響を及ぼすのかを検証した。結果として、ラッシュ時を除く特定の時間帯ではバスの接続が鉄道利用に対し有意に影響を与えることが確認した。

Key Words: public transport network, railway, bus, smartcard data, travel behavior

1. はじめに

国土交通省の国土づくりの理念では、目指すべき地方圏域の姿として「コンパクト+ネットワーク」の考え方が求められている。基本戦略には都市機能と連携した公共交通ネットワークの構築が含まれており、ネットワークにおける幹線・支線（フィーダー）の役割分担の明確化が必要とされている²⁾。幹線・支線の考え方は、幹線路線が網羅することのできない地域の住民に対し、フィーダー交通という形で支線路線を展開するというものである。この考え方には、支線が幹線に交通需要を集中させるという働きもある。国はこのような社会的背景に対し支線の運行補助事業³⁾を実施しているが、この事業の評価はフィーダー交通の利用状況が主な対象であり、幹線がどのくらい支線による恩恵を享受しているかといった観点の評価がなされない傾向にある。そのため、幹線・支線のネットワークの機能を適切に評価することができていないと考えられる。フィーダー交通の需要が少ないことによって、フィーダー交通が廃止されると、交通ネットワークの構築が崩壊することが危惧される。

そこで、本研究では、幹線交通に着目し、フィーダー交通が幹線交通へ需要を誘導していることを明らかにすることを目的とする。これにより、フィーダー交通の活用により、幹線・支線による交通ネットワークが機能していることを明らかにすることができるものと考えている。なお、本研究では、高松琴平電気鉄道株式会社（以下、「ことでん」と記す）をケーススタディとした。

さて、幹線・支線に着目した交通ネットワークに関する既往研究はいくつか存在する。溝上ら⁴⁾は、熊本電鉄のLRT化計画に伴う同社のバス路線の再編成において、LRTの主要駅を結節点とするフィーダーバス路線網を編成することで、LRT区間の需要が整備前と比較して約3,900人/日から約24,000人/日になると予測している。また、有吉ら⁵⁾は、高松琴平電気鉄道株式会社（以下、「ことでん」と記す）における鉄道・バスの乗継割引拡大制度の効果を交通系ICカードデータを用いて分析し、鉄道駅の乗継利用者数と沿線人口の変化の相関が無いことや、制度導入後に太田駅・仏生山駅で顕著に乗り継ぎ利用が増加したこと、制度の受益者は定期券保有者、特に学生である傾向があることを示した。

幹線と支線に着目した交通ネットワークに関する研究は数多く存在する。しかしながら、その多くは、ネットワーク全体の評価、あるいは地域へどのようなインパクトがあったかなどに関する研究が多く、本研究で着目するフィーダー交通が幹線交通へどのように寄与しているかといった観点の研究は見当たらず、本研究に新規性があるといえる。

2. 本研究における検証方法

(1) 検討対象の抽出の考え方

本研究は、幹線に着目して、支線となるフィーダー交通がどの程度幹線交通の需要の誘導に影響しているかについて明らかにしようとするものである。一般的には、社会基盤整備の効果を評価するには、整備前と整備後の比較分析を行う^{たとえば 8)}。そのため、フィーダー交通の有無による比較分析を行うのが一般的であろう。たとえば、フィーダー交通が整備された状態と反事実であるフィーダー交通が整備されていない状態を比較するという手法を用いることが考えられる。しかしながら、本研究では、この2つの状態を既知のデータを用いて擬似的に再現し検証する方法を用いることとした。具体的には、幹線交通にフィーダー交通が接続している便と接続していない便を比較するというアプローチをとることとした。すなわち、幹線交通にフィーダー交通が接続している便とこの便に前後する接続していない便とを比較分析することとした。

この方法によって、以下の点が懸念される。

- (1) 地方都市の場合、幹線交通の運行本数は少ないため、フィーダー交通の有無によって、利用する幹線交通の便の選択ができない。すなわち、目的地への到着時刻制約などがあり、フィーダー交通が利用する幹線交通の便の選択要因になっていないことが考えられる。
- (2) 一方で、到着時刻制約のない人は、フィーダー交通の有無が幹線交通の便選択の要因になっている可能性がある。

以上より、本研究では、単純なケースを対象として検討を行うこととした。具体的には、幹線交通とフィーダー交通の利用者が便ごとに明確に把握でき、時刻制約が発生しにくいと考えられる地域、あるいは時間帯が存在するような地域であると考えられる。

(2) 検証方法

本研究では、フィーダー交通が接続している幹線交通に着目し、この前後便との利用者数の比較分析により、フィーダー交通による影響を把握する方法を採用した。

具体的には、フィーダー交通が接続している幹線交通の便とフィーダー交通が接続していない幹線交通の便とを比較分析する。その際、複数日の便別利用者数が把握できているという前提で、平均値の差の検定を用いて検証することとした。その際、以下の3種類の利用者について検証することとした。

- (1) 幹線交通の利用者
- (2) フィーダー交通から乗り継いだ幹線交通の利用者
- (3) フィーダー交通から乗り継いでいない幹線交通の利用者

これにより、フィーダー交通が接続している便と接続していない便の比較ができる。そして、幹線交通の利用に目的地への到着時刻制約などの影響によって、フィーダー交通が接続しているかに関係あるか否かについても考察する。

3. ケーススタディ

(1) 検討対象路線

本研究では、こことでんをケーススタディとして、単純なケースとして、以下の5つの条件を満たす路線を検討対象とした。

- (1) 幹線交通とフィーダー交通が、ある交通結節点で接続している。ここでの接続とは、ダイヤの調整ならびに物理的に乗り継ぎ利便性が確保できていることとする。
- (2) 幹線交通もフィーダー交通ともに、単一路線であり、その沿線に他の路線、公共交通機関等は存在しない。
- (3) 幹線交通は、都心部と郊外部とを結ぶ路線となっており、朝夕ピーク時の重方向が存在する。

その結果、幹線交通をこことでんの琴平線、フィーダー交通をこことでん仏生山駅にて接続している香川町シャトルバスを対象とすることとした。なお、検証に際しては、高松市中心部方向を対象に分析することとした。また、利用者数の把握には、こことでんが導入しているスマートカードの **IruCa** の利用履歴を用いることとした。

(2) 利用された鉄道の便の推定方法

本研究で用いる **IruCa** の利用履歴については、バスは利用した便の特定が可能であるが、鉄道については、乗車駅と乗車駅にてカードリーダーをタッチした時刻、降車駅と降車駅にてカードリーダーをタッチした時刻しかわからない。そのため、鉄道の利用した便については、推計する必要がある。本研究では、以下の方法によって、

利用した鉄道の便の推計を行った。なお、本研究では、鉄道利用については、フィーダー交通である香川町シャトルバスから鉄道に乗り継ぐ際に利用する仏生山駅での乗車を対象としている。そのため、利用履歴から把握できる仏生山駅に入場した時刻とことん仏生山駅の上りの列車の発車時刻とを比較して、乗車した便を式(1)により、推計することとした。

$$T_{j-1} < t_i \leq T_j \quad (1)$$

ここで、 t_i は利用者*i*が仏生山駅に入場した時刻、 T_{j-1} は乗車した便*j*の前の便の発車時刻、 T_j は乗車した便*j*の発車時刻である。

(3) 検証方法

フィーダー交通が接続している幹線交通の便とフィーダー交通が接続していない幹線交通の便との比較分析に際して、幹線交通の利用者を以下の3つ「乗継利用者」「非乗継利用者」「総利用者」に分類した。

- (1) 仏生山駅にて、香川町シャトルバスから鉄道へ乗り継いで利用した人を「乗継利用者」
- (2) 鉄道のみを利用した利用した人を「非乗継利用者」
- (3) 「乗継利用者」と「非乗継利用者」とを合計した人数を「総利用者」

その上で、Student の t 検定を用いて、フィーダー交通が接続している幹線交通の便とフィーダー交通が接続していない幹線交通の便との検証を行った。その際、以下の帰無仮説を設定した。なお、香川町シャトルバスが接続していないことん便では、「乗継利用者」は存在しないため、「総利用者」と「非乗継利用者」を対象に検証を行った。

H1 : 香川町シャトルバスが接続していることん便と香川町シャトルバスが接続していないことん便で総利用者数の平均値に差がない。

H2 : 香川町シャトルバスが接続していることん便と香川町シャトルバスが接続していないことん便で非乗継利用者数の平均値に差がない。

なお、この検定の結果のみでは、利用実態の状況を把握することはできない。そのため、便ごとの利用者数の動向を把握するため、「乗継利用者」「非乗継利用者」「総利用者」の箱ひげ図によって、状況を把握することとした。

4. 分析結果

(1) 検定結果によるグループ分類

3章(3)にて設定した2つの帰無仮説に基づいた5%有意水準の検定結果から、以下のグループに分類することとした。なお、分析の結果、**H1**、**H2**ともに棄却されないケースはなかった。そのため、**H1**のみ棄却されたグループをグループ **B**、**H2**のみ棄却されたグループをグループ **A**、**H1** および **H2**が棄却されたグループをグループ **C**の3つに分類した(表-2)。

(2) 検定結果

検定結果を表-1に示す。表-1から、具体的にどの便が統計的に有意になったかについて把握することができる。たとえば、第一行を例にとると、表中の左端の「バス」の欄の「到着時刻」は、香川町シャトルバスが7:04に仏生山駅に到着するというを示す。続いて、「鉄道」の欄の「発車時刻」には、香川町シャトルバスが接続していることん便が仏生山駅を7:11に発車するというを示す。そして、「前便との時間差」には、香川町シャトルバスが接続している当該便と、前の便との発車時刻の差が15分であることを示す。「乗継ぎ」の欄の「待ち時間」には、香川町シャトルバスの到着時刻から接続している当該便の発車時刻までの時間差が7分であ

表-1 検定結果

時刻表 (仏生山駅)				Studentのt検定		
バス	鉄道	乗継	p値	p値		グループ
				H1 検定対象 W _j and W _{j-1}	H2 検定対象 U _j and U _{j-1}	
到着時刻	発車時刻	前便との時間差	待ち時間			
7:04	7:11	0:15	0:07	0.000000 *	0.015094 *	C
7:43	7:48	0:07	0:05	0.000000 *	0.000000 *	C
7:58	8:03	0:07	0:05	0.000000 *	0.000000 *	C
8:35	8:41	0:08	0:06	0.000000 *	0.903883	B
9:20	9:26	0:15	0:06	0.000014 *	0.000000 *	C
9:50	9:56	0:15	0:06	0.126188	0.000000 *	A
10:35	10:41	0:15	0:06	0.000000 *	0.000000 *	C
11:35	11:41	0:15	0:06	0.102456	0.000000 *	A
12:35	12:41	0:15	0:06	0.000000 *	0.000000 *	C
13:35	13:41	0:15	0:06	0.256654	0.000000 *	A
14:35	14:41	0:15	0:06	0.000000 *	0.000000 *	C
15:35	15:41	0:15	0:06	0.000000 *	0.000444 *	C
16:35	16:41	0:15	0:06	0.000002 *	0.000000 *	C
17:20	17:26	0:15	0:06	0.000000 *	0.000000 *	F
18:05	18:11	0:15	0:06	0.000000 *	0.000000 *	F
18:35	18:41	0:15	0:06	0.000000 *	0.000439 *	C
19:20	19:26	0:15	0:06	0.000000 *	0.017386 *	C
19:50	19:56	0:15	0:06	0.000001 *	0.226052	B
20:35	20:41	0:15	0:06	0.002749 *	0.000135 *	C

表-2 検定結果に基づいて分類したグループ

	H1	
	(>0.05*)	0.05*
(>0.05*)	-	[グループB] 8:41, 19:56
H2 0.05*	[グループA] 9:56, 11:41, 13:41	[グループC] 7:11, 7:48, 8:03, 9:26, 10:41, 12:41, 14:41, 15:41, 16:41, 17:26, 18:11, 18:41, 19:26, 20:41

ることを示す。そして、検定結果として、 H_1 ならびに H_2 の p 値を示す。この例では、 H_1 が約 0.0000, H_2 が約 0.0151 であった。この結果から、 H_1 , H_2 ともに棄却される。そのため、グループ C に属するというを示す。なお、表中の W_j は、便 j の総利用者数を示す。ただし、便 j の前の便 $j-1$ である。同様に、 U_j は非乗継利用者を示す。

また、検定結果に基づいて分類した結果、どのグループに属するかを表-2 に整理した。

(3) 便ごとの傾向把握

検定結果からは、平均値の差の有無を把握できないため、便ごとの利用者数について、「乗継利用者」「非乗継利用者」「総利用者」の箱ひげ図を図-1 に作成した。なお、分析を容易にするために、以下の 6 つの箱ひげ図を示している。

- (1) 検討対象便の前便の非乗継利用者数
- (2) 検討対象便の非乗継利用者数
- (3) 検討対象便の前便の乗継利用者数
- (4) 検討対象便の乗継利用者数
- (5) 検討対象便の前便の総利用者数

(6) 検討対象便の総利用者数

(4) H_1 のみ棄却された便 (グループ B)

H_1 のみ棄却された便 (表-2 のグループ B) は、乗継利用者数による影響があると考えられる。

図-1 より、検定対象便とその前の便との間における利用者の変化動向は以下のとおりである。

(1) 非乗継利用者数の平均人数の変化傾向：

- ・ 8:41 便は、32.4 人から 18.6 人に 13.8 人減少
- ・ 19:56 便は、2.7 人から 1.8 人に 0.9 減少

(2) 乗継利用者数の平均人数の変化傾向：

- ・ 8:41 便は、0.1 人から 4.1 人に 4.0 人増加
- ・ 19:56 便は、0.0 人から 0.1 人に 0.1 人増加

(3) 総利用者数の平均人数の変化傾向：

- ・ 8:41 便は、32.5 人から 22.7 人に 9.8 人減少
- ・ 19:56 便は、2.6 人から 1.8 人に 0.8 人減少

以上より、非乗継利用者数が減少傾向にある一方で、乗継利用者数は増加している傾向がある。その結果、全



図-1 仏生山駅における便別の対象便・前便の非乗継利用者数・乗継利用者数・総利用者数の変化

体の総利用者数は減少傾向にある。しかし、これらを踏まえると、非乗継利用者数の減少傾向をわずかながら乗継利用者数の増加傾向が補っており、結果的に総利用者数の減少傾向が緩くなっている。この点において、乗継利用者数の増加が寄与していると考えられる。結論として、グループ B の 8:41 便および 19:56 便は、乗継利用者によって総利用者が増加したと解釈した。

(5) H2のみ棄却された便

H2のみ棄却された便（表-2のグループ A）は、乗継利用者数による影響がある可能性があると考えられる。

図-1 より、検定対象便とその前の便との間における利用者の変化動向は以下のとおりである。

(1)非乗継利用者数の平均人数の変化傾向：

- ・ 9:56 便は、14.1 人から 11.8 人に 2.3 人減少
- ・ 11:41 便は、8.7 人から 6.6 人に 2.1 人減少
- ・ 13:41 便は、4.9 人から 4.0 人に 0.9 人減少

(2)乗継利用者数の平均人数の変化傾向：

- ・ 9:56 便は、0.0 人から 2.9 人に 2.9 人増加
- ・ 11:41 便は、0.0 人から 2.6 人に 2.6 人増加
- ・ 13:41 便は、0.0 人から 1.2 人に 1.2 人増加

(3)総利用者数の平均人数の変化傾向：

- ・ 9:56 便は、14.1 人から 14.7 人に 0.6 人増加
- ・ 11:41 便は、8.7 人から 9.2 人に 0.5 人増加
- ・ 13:41 便は、4.9 人から 5.2 人に 0.3 人増加

以上から、非乗継利用者数が減少している傾向があり、同時にその減少量を上回る形で乗継利用者数は増加している傾向がある。その結果として総利用者数は漸増している傾向がある。これを踏まえると、非乗継利用者数の減少分を乗継利用者数の増加分が補っているという点で、乗継利用者数の増加が総利用者数の増加に寄与していると考えられる。結論として、グループ A の 9:56 便および 11:41 便、13:41 便は、乗継利用者数によって総利用者数が増加したと解釈した。

(6) H1 および H2 が棄却された便

H1 および H2 がともに棄却された便（表-2のグループ C）は、乗継利用者数による影響の有無を判断できないと考えられる。

図-1 より、各利用者の変化傾向に複数の特徴がみられた、この特徴が検定結果および主題である支線の整備による幹線の需要の促進とどう関係するかを考察する。

a) 7:11 便、7:48 便、8:03 便

これらの便の総利用者は、便平均 80 人以上であり、通勤通学ピーク時間帯にあたる。そのため、利用者の少ない香川町シャトルバスからの乗継ぎ利用は、誤差のようになってしまう。しかし、乗継利用者数の平均値は 7:48 便で 8.8 人増加、8:03 便で 7.6 人増加という傾向があ

り、乗継利用者数の増加が総利用者の増加に寄与している可能性は否定できない。

b) 9:26 便、10:41 便、12:41 便、14:41 便、15:41 便、16:41 便

これらの便は、非乗継利用者数の平均値の変化が 1.0 人より小さい。一方で、乗継利用者数の平均値の変化は 16:41 便の 0.9 人増加を除いて 1.0 人以上である。どの便も乗継利用者数の平均値の増加が非乗継利用者の平均値の増加を上回っているという傾向があり、乗継利用者数の増加が総利用者の増加に寄与している可能性は否定できない。

c) 17:26 便、18:11 便

これらの便は、非乗継利用者数および乗継利用者数の平均値がどちらも増加傾向にある。一方、その 2 者の差は 2.0 人以内と、片方が極端に大きな値や小さな値を取っていない。このように、両者とも近い値をとって増加傾向にある。この点が何らかの形で、乗継利用者数の増加が評価手法によって評価されなかったことに影響していると推測する。

d) 18:41 便、19:26 便、20:41 便

これらの便は、非乗継利用者数の平均値の変化が減少傾向にある。また、乗継利用者数の平均値の変化はどれも 0.1 人とわずかである。結果として、総利用者数の平均値は減少傾向にあり、乗継利用者数の少なさからもその乗継利用者が与える影響がわずかであることが推測できる。

(7) 考察

結果として、グループ A の 9:56 便、11:41 便、13:41 便やグループ B の 8:41 便、19:56 便では乗継利用者数の増加によって、総利用者数が増加した。また、これらの便では、非乗継利用者数が減少、乗継利用者数が増加、総利用者数が減少もしくは漸増といった傾向がみられた。この結果から、香川町シャトルバスが接続する便と香川町シャトルバスが接続しない便の間で、香川町シャトルバスからの乗り継ぎ利用の有無によって、幹線交通であることで人の需要を誘導したと結論づけられる。これらの便は、表-1 のバスの到着時刻より、9:50 便から 13:35 便のバス接続便 5 便のうちの 3 便であり、その時間帯は 9 時半頃~13 時半頃といった通勤通学ピーク時を除く日中であることから、時間的な傾向があると推測される。

以上のケーススタディの結果から、フィーダー交通によって、幹線交通の需要が誘導されることが明らかとなった。

6. 結論

本研究は、国交省が提唱する目指すべき地方圏域の姿「コンパクト+ネットワーク」の理念の一貫として、地方における公共交通機関ネットワークの幹線・支線という考え方に着目した。また、支線の整備が幹線の需要にどのような影響を及ぼすかを検証するため、ことでんをケーススタディとして、検証を行った。鉄道の利用者をバスからの乗り継ぎの有無に応じて乗継利用者および非乗継利用者に分けることで、バスが接続している鉄道便と接続していない鉄道便で利用者数に有意差があるかについて検定を行った。その結果として、ラッシュを除く日中の9時半頃~13時半頃における5便のうち3便および、19:56便にバスによる鉄道の需要の増加が確認された。その4便における各利用者の変動には非乗継利用者が減少、乗継利用者数が増加、総利用者数が減少もしくは漸増といった傾向がみられた。対象としたコミュニティバスの利用規模は鉄道と比べると小さいにも関わらず、バスによる鉄道需要の促進があるということを示した。また、評価手法の特性によって乗継利用者数による総利用者数の増加がなされているという可能性が複数の便で残されている。

また本研究の制約条件として、分析対象をことでんおよび香川町シャトルバスとして、仏生山駅から発車する上り線の鉄道のみに着目して分析を行ったことが挙げられる。また、InCaを使用しない人々の行動は考慮されていない点や、バスが鉄道に接続している場合と接続していない場合を比較することは実際にはできないため、バス接続便とバス非接続便を比較した。これらを多くの制約条件が課題点として残されている。

謝辞：本研究は、JSPS 科研費 20H02277 を受けたものである。また、高松琴平電気鉄道株式会社の多大な協力をいただいた。ここに記して謝意を表す。

REFERENCES

- 1) 国土交通省：国土のグランドデザイン 2050, pp. 19-20, 2014. [Ministry of Land, Infrastructure: *Transport and Tourism: Kokudo no grand design 2050*, pp19-20, 2014.] (<https://www.mlit.go.jp/common/001047113.pdf>)
- 2) 国土交通省：地域公共交通計画等の作成と運用の手引き 詳細編, 3 巻, pp. 14, 2022. [Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism: *Chiiki-koukyoukoutsukeikakutou no sakusei to unyo no tebiki*, Vol. 3, pp. 14, 2022.] (<https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/transport/content/01001474.pdf>)
- 3) 国土交通省：地域公共交通確保維持改善事業実施要領, pp. 4-5, 2011. [Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism: *Chiikikoukyoukoutsu-ijikanrikaisen-jigyuu jissiyouryou*, 2011.] (<https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/transport/content/01474554.pdf>)
- 4) 溝上章志, 藤見俊夫, 平野俊彦：熊本電鉄 LRT 化プロジェクトに対する拡大オプション型段階整備計画の評価, 土木計画学研究・論文集, 26 巻 4 号, pp. 621-630, 2009. [Mizokami, S., Fujimi, T. and Hirano, T.: *Project Evaluation of Kumamoto-Dentetsu Railway LRT Project by Real Option Approach, Infrastructure Planning Review*, Vol. 26, Issue 4, pp. 621-630, 2009.]
- 5) 有吉勇人, 青木保親, 土井健司, 葉健人, 伊賀大介, 宮武伸宇, 谷口紗代：MaaS を見据えた異種交通モード間の乗継運賃割引制度の導入効果に関する研究, 土木計画学研究発表会・講演集(CD-ROM), 62 巻, 2020. [Ariyoshi, H., Aoki, Y., Doi, K., Yoh, K., Iga, D., Miyatake, N. and Taniguchi, S.: *The Impact of the Transfer Fare Discount System Between Transportation Modes in the Context of MaaS, Papers of Research Meeting on Civil Engineering Planning* (CD-ROM), Vol. 62, 2020.]
- 6) 国土交通省：鉄道プロジェクトの評価手法マニュアル, pp. 17-39, 2012. [Ministry of Land, Infrastructure: *Tetsudo project no hyoka-syuhou manual*, pp. 17-39, 2012.] (<https://www.mlit.go.jp/common/000224631.pdf>)

(Received September 30, 2022)

AN EMPIRICAL ANALYSIS OF A ROLE OF FEEDER-BUSES FOCUSES ON RAILWAY NETWORK

Tatsuya SASAKI, Kosuke MIYAZAKI and Masashi KUWANO