

# 実ダイヤを用いたバスアクセス性評価値と路線再編前後の利用変化との関係分析

小林 佑也<sup>1</sup>・松本 幸正<sup>2</sup>

<sup>1</sup>学生会員 名城大学 理工学研究科社会基盤デザイン工学専攻 (〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501)

E-mail:kobayashi.yuya@trans.meijo-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 名城大学 理工学部社会基盤デザイン工学専攻 (〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501)

E-mail: matumoto@meijo-u.ac.jp

民営バスの撤退、超高齢社会などを背景に、多くの自治体ではコミュニティバス等が導入され、鉄道や主要な民営バス等の補完やフィーダーとして、交通ネットワーク形成の一翼を担っている。しかしながら、乗継のタイミングが合わないなど、利便性の高いネットワークになっていない場合も多々見られる。

本研究では、平成 29 年 4 月 1 日に路線再編が行われた、愛知県日進市のコミュニティバスである「くるりんばす」を対象に、再編前後におけるバス停間のアクセス性の評価を行った。このアクセス性は、実際のダイヤや待ち時間、乗継時間を考慮した 1 日の時間軸上での実所要時間や運賃などから算出され、ネットワークとしての利便性がわかる。利用実態調査から得られるバス停間 OD との関係性を分析した結果から、再編前後におけるアクセス性の変化を確認した。

**Key Words:** bus access, OD, transfer, route restructure, timetable

## 1. はじめに

自動車に依存したライフスタイルの浸透とともに、特に地方部において、バスを含む公共交通機関の利用者は減少し、サービス水準の低下と路線の減便または廃止を招いている。一方で、超高齢社会に突入した現在、自家用車での移動が困難となり、バスをはじめとした公共交通機関に移動を頼らざるを得ない高齢者はますます増加している。そのため、多くの自治体では移動手段の確保のためにコミュニティバス等を運行している。これらは、既存の鉄道や民営路線バスなどのフィーダーとして位置づけられ、公共交通のネットワークの形成に貢献している。しかしながら、路線図上では連続的なネットワークを形成しているように見えるが、実際に利用してみると乗継の時間が合わなかったり、一方向の運行のため行き帰りで所要時間が大きく異なったり、接続先の交通手段の終発が過ぎていたりして、乗継利用できないネットワークになっている場合が多々見られる。地域公共交通のネットワークを評価するためには、実際のダイヤと乗継の考慮は不可欠である。

最近では GTFS (公共交通機関に関するオープンフォーマット) によるバス情報のオープン化が進み、様々な

WEB サイトやソフトウェアによって経路検索が容易になりつつある。気付かないような乗継や経路などが見つかるようになった反面、使いづらさも透明化されるようになった。オープンデータや GTFS を利用できる経路検索ソフトウェアを活用して新たなアクセス性計測の方法を提案することも可能になった。

従来から、アクセシビリティに関する研究は多く行われてきている。郊外における公共交通全体のアクセシビリティを考慮した研究として、倉橋ら<sup>1)</sup>は、広島市のニュータウンにおいて 50m メッシュの高解像度で自動車及び公共交通のアクセシビリティデータを整備し、それぞれの特性を把握している。岩崎ら<sup>2)</sup>は、神戸市郊外住宅地において、代表交通手段と端末交通手段の選択モデルから得られるログサム変数を用いて都心へのアクセシビリティを表し、居住地ごとに公共交通サービスの貢献度を定量的に示した。新たな指標によってアクセシビリティを定量的に示し、その有用性を検証した研究として、谷本ら<sup>3)</sup>は、ダイヤによって左右される時間の配分を数え上げる方法を定式化して、その多様性を評価し得るアクセシビリティ指標を構築した。喜多ら<sup>4)</sup>は、個人の身体機能を加味したアクセシビリティ指標を提案し、その有用性を示した。アンケートとアクセシビリティ指標を

組み合わせた研究として、丹羽ら<sup>5)</sup>は、アンケートによって自宅からバス停までの距離がバス利用を左右することを明らかにした上で、個人のバス停までの距離や所要時間を考慮したモデルを作成し、最適なバス停の配置とルートを提案している。

このように研究上では数多くの成果が挙げられているが、時間帯によって乗り継ぎのタイミングが悪く不便であるなどの1日の時間軸上での評価は十分にされていない。

そこで本研究では、平成29年4月1日に路線再編と運賃改定が行われ、翌年にGTFS-JPが整備された愛知県日進市のコミュニティバス「くるりんばす」と名鉄バス日進中央線を対象とする。駅や主な施設までのバスを利用したアクセス性を評価するために、2015年と2018年に行われたOD調査の結果とオープンデータを用いて、ダイヤや待ち時間、乗継を考慮した時間軸上での所要時間や運賃を個別に算出し、バス停間ODのアクセス性を表すいくつかの指標について検討し、再編前後の変化を確認する。

## 2. 対象地域

本研究で対象としている愛知県日進市と日進市内を走るコミュニティバス「くるりんばす」の概要、その選定理由について述べる。

### (1) 愛知県日進市の概要

日進市は、愛知県のほぼ中央部である尾張と三河の境に位置し、東は豊田市・みよし市、西は名古屋市、南は愛知郡東郷町、北は長久手市にそれぞれ隣接しており、多くの教育施設が点在する大都市近郊の都市である。近年、名古屋市のベッドタウンとして人口は増加しており、平成31年4月現在の人口は90,974人（前年比で820人増加・前年比）で、世帯数は37,042世帯（前年比で633世帯増加）である。現在、赤池駅付近と米野木駅付近において土地区画整理事業が進んでおり、人口はさらに増加すると考えられる。

### (2) 「くるりんばす」の概要と選定理由

本研究の対象バス停は、日進市の「くるりんばす」の全路線（赤池線・米野木線・三本木線・梅森線・五色園線・岩崎線・循環線）の全バス停と、名鉄バス日進中央線の全バス停とした。日進中央線は、2017年3月までくるりんばす中央線として運行されていた経緯を持つ。図-1に「くるりんばす」と日進中央線の路線図を示す。また、対象バスの概要を表-1に示す。

これら路線の選定理由としては、日進市はオープンデ

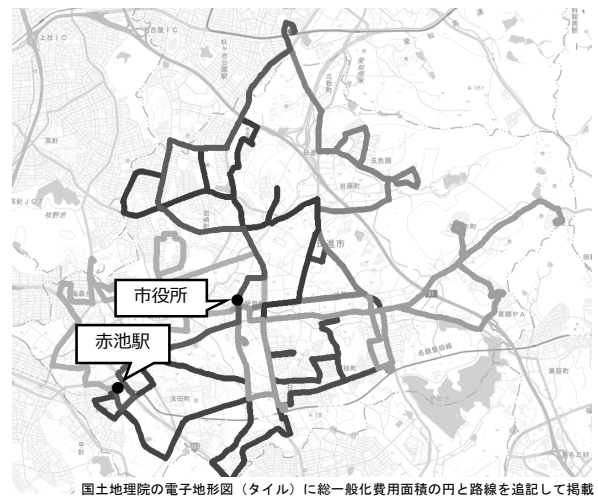


図-1 「くるりんばす」と日進中央線の路線図

表-1 対象バスの概要

	日進市	名鉄バス
	くるりんばす	日進中央線
コース	7コース	1コース
バス停	134か所	25か所
代表起終点	市役所	日進駅, 長久手古戦場駅
運賃	200円 (循環線のみ100円)	170円～530円
乗換割引	1回無料	なし
循環形態	一方向	双方向
運行間隔	約1時間毎	約1時間毎
平日の便数	11便	15便
休日の便数	8便	15便

ータとしてGTFS-JPデータ（日本の事情に合わせた公共交通機関の時刻表と地理的情報に関するオープンフォーマット）を公開しており、バスに関するデータを、Open Trip Planner（経路検索が行えるオープンソースソフトウェア）をはじめとした様々なソフトウェアなどで利用できるためである。

## 3. 待ち時間を含んだ所要時間の取得

待ち時間と乗り継ぎ時間を含んだ所要時間は、経路検索ソフトウェアやインターネット上の経路検索サービスまたは経路検索ソフトウェアなどにより取得することができる。本研究では、日進市コミュニティバス「くるりんばす」と名鉄バス日進中央線のバス停合わせて147ヶ所におけるバス停間ODの経路検索をする必要がある。その一つ一つをインターネットの経路検索サービスに手作業で入力するのは非現実であるため、オープンソースソフトウェアであるOpen Trip Plannerを用いて、出発バ

ス停から到着バス停までの待ち時間を含んだ時間軸上の所要時間と運賃を検索した。このソフトウェアの特徴は、オープンソースの地図である Open Street Map のデータと、前述の GTFS データを使用できる点である。

本研究では、前述のソフトウェアを用いて 147 カ所のバス停間の 0 時から 24 時までの出発時刻における所要時間や運賃、乗継回数などの情報を全バス停間 OD ペアで取得した。計算に膨大な時間がかかるため、10 分間隔で計算を行った。

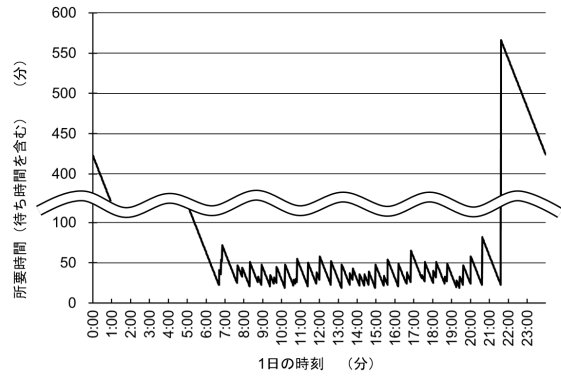


図-2 乗継や他経路がある場合の計算例  
(出発地が市役所, 到着地が赤池駅)

#### 4. アクセス性の評価指標による分析

##### (1) アクセス性に関する指標の概要

経路検索を行い、各バス停間ごとの 1 日の所要時間の変化を可視化した。そのグラフの見方と特徴を説明する。図-2 は、例として、市役所から赤池駅停留所間を示している。横軸が 1 日の各時刻であり、縦軸が待ち時間を含む到着バス停までの所要時間である。グラフの極小値が最も所要時間が少なくなる時刻、つまり、バスが直ぐに来て乗れる時刻であり、極小値の数はバスの便数に対応する。始発と終発が遅くなるほど、両端の山が小さくなることも分かる。また、便数が多くなるほど、グラフの凹凸が小さくなることになる。複数の経路があると極小値や所要時間が時刻によって変化し、グラフの形状が不規則になる。

このグラフの特徴を捉える各種の指標を整理する。表-2 は、可視化したグラフなどから作成した指標の一覧の抜粋である。

表-2 分析に用いた説明変数の抜粋

指標	単位
損失時間面積	分 <sup>2</sup>
総面積	分 <sup>2</sup>
最大乗継回数	回
平均運賃	円
有効利用が可能な便数	本
朝ラッシュ時の損失時間面積	分 <sup>2</sup>
夕方ラッシュ時の損失時間面積	分 <sup>2</sup>
始発から終発までの損失時間面積	分 <sup>2</sup>
朝ラッシュ時の総面積	分 <sup>2</sup>
夕方ラッシュ時の総面積	分 <sup>2</sup>
到着地の半径300m人口	人
到着地半径300m以内の医療機関数	箇所
到着地の駅数	駅
到着地の商業施設数	箇所

損失時間面積は、待たずに移動できた場合に比した損失の総計のことで、模式的に表すと、図-3 の網掛け部分のことになる。極小値から y 軸方向に向かって x 軸と平行な線分を 1 つ前の極小値まで引き、その線分と所要時間線分との面積を算出したものである。本数や始発、終発の時間によって大きく左右される。総面積とは、移動に要する所要時間の総計のことであり、x 軸と折れ線との面積となる。模式的に表すと、図-4 の網掛け部分のことになる。朝ラッシュ時は 7 時から 9 時、昼の時間帯を 9 時から 17 時、夕方ラッシュ時は 17 時から 19 時とした。有効利用が可能な便数とは、乗継の場合、大きな待ち時間がなく目的地に到着できる出発バス停の便数のことである。

GIS を用いて、国土地理院の国土数値情報にある各種データとバス停から半径 300m 円内にある施設数を集計した値も指標に取り入れた。

図-5 は、それぞれ赤池駅を目的バス停とした場合の、損失時間面積の大小を、300m のバス停勢圏ごとに色の濃淡で図示したものである。薄い色の円ほど値が小さく、

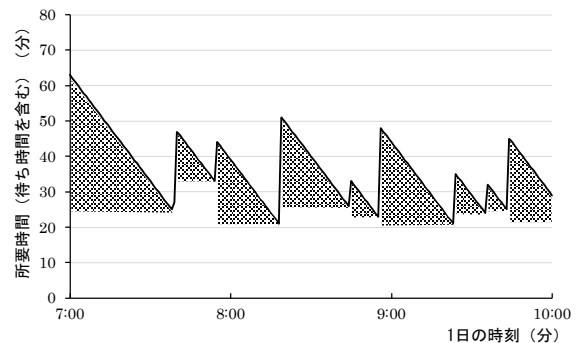


図-3 損失時間面積の模式図

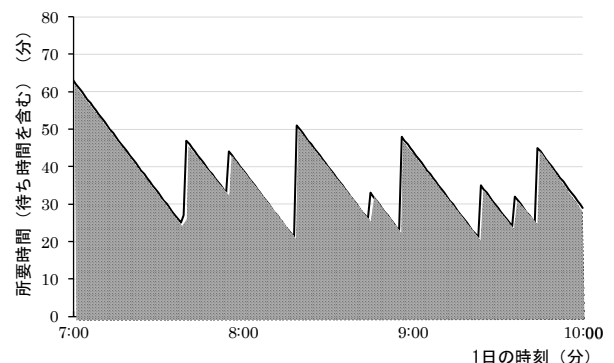


図-4 総面積の模式図

利便性が高いことになる。これらの図から、近い地点同士でありながらも、乗継可能な路線の有無によって損失時間面積が異なっており、目的地バス停までのアクセシビリティが異なっていることが確認できる。

(2) 利用者数と指標との関連分析

目的別のバス停間の利用者数として、2018 年 10 月の 3 日間、「くるりんばす」で乗降調査を行った際に取得したバス停間の OD トリップデータを用いる。表-2 で整理した指標を用いて、それぞれの指標が利用人数に及ぼす影響の大きさを相関分析で把握する。

表-3 は、バス利用の目的が買物、通院、通勤のそれぞれの場合における無相関の検定の結果を示したものである。「総面積」、「最小バス乗車時間」「平均所要時間」との相関が認められることがわかる。このことから、作成した指標の一部が有用であるといえる。

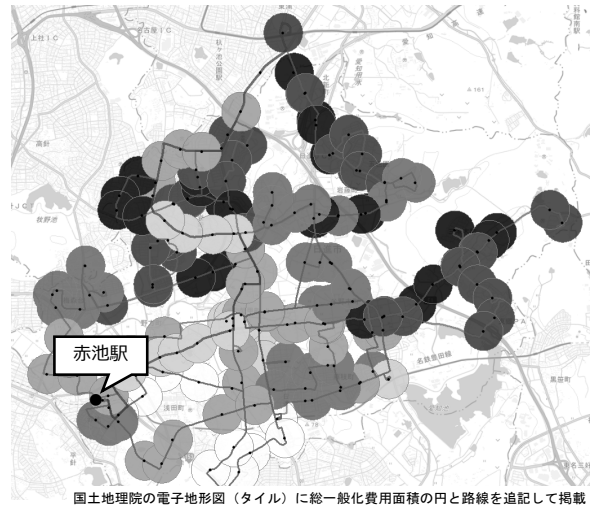


図-5 赤池駅を到着地とした損失時間面積

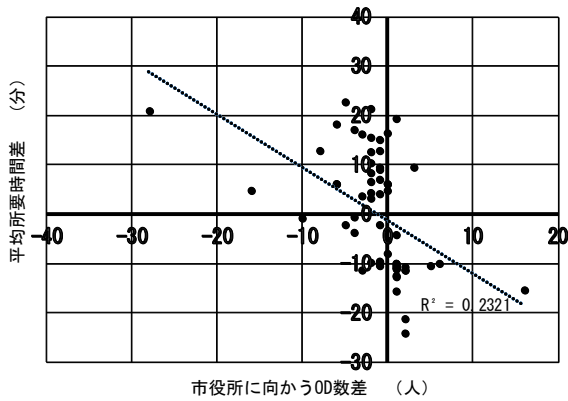


図-6 市役所を到着地とした OD の増減と平均所要時間の差 (2018-2015)

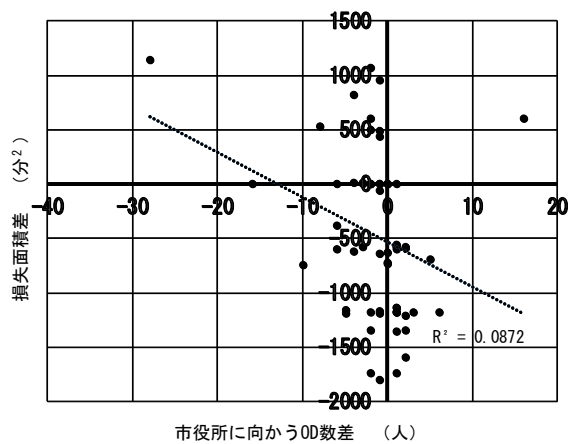


図-7 市役所を到着地とした OD の増減と損失面積の差 (2018-2015)

表-3 無相関の検定の結果

指標	買物	通院	通勤
損失総面積	**		**
総面積	**	*	**
最小乗継回数		**	*
平均乗継回数			*
最小運賃			**
平均運賃			**
最小バス乗車時間	**	**	*
平均バス乗車時間	**	**	
平均待ち時間			**
朝損失			*
夕方損失			
平均所要時間	**	*	**
始発終発の平均所要時間			
始発終発総面積			
始発終発損失面積			
本数	*		
徒歩の場合の所要時間	**		
時間迂回率徒歩時間割る平均所要時間	*		
時間迂回率自動車時間割る平均所要時間	*		
出発地半径 300m 人口		*	
出発地 65 歳以上高齢者人口			
到着地医療機関数	**	**	**
医療機関数	**	**	**
駅数	**	**	**
駅の有無	**	**	**
商業施設数	**	**	**
商業施設の有無	**	**	**
路線重複ダミー	**	*	**

\*\* p<0.01, \* p<0.05

### (3) 再編前後の利用者数変化と指標の関係比較

「くるりんばす」の発着点であり、利用者数が1番多い市役所バス停を目的地とした OD 数差に着目し、表-3 で関連性が比較的高いと分かった「損失総面積」と「平均所要時間」の指標との関連性を見る。

2018年10月から11月の3日間と2015年10月から11月の3日間、「くるりんばす」を対象に「乗降調査」を行った際に取得したバス停間 OD データを用いて、バス停間の利用者数の両年の差を算出する。

図-6 は、横軸が各バス停から市役所に向かう乗客数の増減、縦軸が2018年の平均所要時間から再編前の2015年の平均所要時間を引いた差分を表している。利用者数が増えた OD では所要時間が再編後に減少した区間が比較的多くを占め、利用者数が減った OD では所要時間が増えてしまった区間が多くを占めていることが分かる。

図-7 は、横軸が各バス停から市役所に向かう乗客数の増減、縦軸が2018年の総面積から再編前の2015年の総面積を引いた差分である。利用者数が減った OD は総面積が増えてしまった区間に集中していることが分かる。

いずれも、再編によって利便性が向上したバス停間では OD が増加する傾向を示し、利便性が減少したバス停間では OD が減少する傾向を示していることが分かる。

## 6. 乗継の空間分布による分析

### (1) 乗継の空間分布の概要

アクセス性を評価する上で、乗継を含めた時間特性を見てきたが、乗継の空間特性も把握する。

乗継が行われた OD を抽出し、各 OD の起終点バス停と乗継が行われた場所を直線で結び三角形を構成する。その三角形を回転させて、OD の起終点の線分とグラフの水平軸を合わせ、線分の長さを0から1の長さに基準化して揃える。これにより、その OD に対して、どのような位置関係で乗継が行われたかが図示されることになる。図-8 と図-9 はその結果である。

### (2) 再編前後の空間分布の変化

図-8 が再編前の2015年分の OD における乗継分布、図-9 が再編後の2018年度分の OD における乗継分布である。それぞれ黒丸が市役所で乗継が行われた OD、白丸が市役所以外で乗継が行われた OD を示す。

両図を比較すると、2018年 OD における乗継の分布は全体的に小さくまとまっていることが分かる。また、市役所以外での乗継によるばらつきが小さくなったことも分かる。再編によって路線の重複が減り運行が効率化されたこと、乗継割引が市役所のみで適用されるようにな

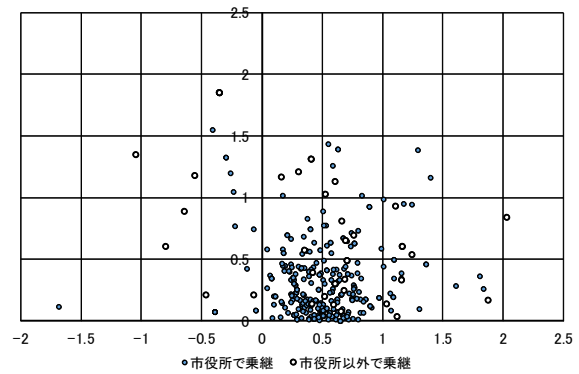


図-8 2015年 OD における乗継分布

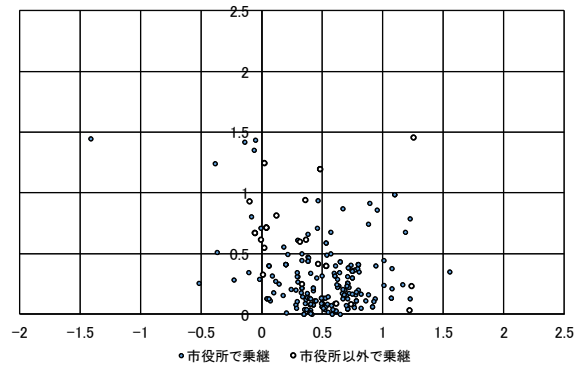


図-9 2018年 OD における乗継分布

ったこと、2018年にGTFS-JPが導入され、検索機能によって乗継経路が集約化されたことなどによるものと考えられる。

## 6. おわりに

本研究では、愛知県日進市のコミュニティバス「くるりんばす」と名鉄バス日進中央線のオープンデータを用いて、バス停間 OD のアクセス性を表すいくつかの指標について検討し、再編前後の変化を確認した。

無相関の検定の結果、バス停間 OD 数と「総面積」、「最小バス乗車時間」「平均所要時間」などとの相関があることがわかり、作成した指標の一部が有用であることが示された。また、再編前後の比較では、いくつかの指標において、利用者が増えた OD は再編後に利便性が向上しており、逆に、利用者数が減った OD は利便性が低下していることが提案指標から明らかになった。

乗継の空間特性の把握では、再編後の乗継の効率が上がっていることが分かった。

今後の課題として、今回の分析結果を元に、新たな指標を更に検討し、バス停間 OD の利用者数を的確に捉えていく必要がある。

**謝辞**：本研究を遂行するにあたり，日進市役所生活安全課の方々には調査の実施やデータ提供の面でご協力をいただいた。ニューサウスウェールズ大学のBrian J. Lee先生には有用な助言を頂いた。本研究は，科学研究費補助金・基盤研究（C）（18K04399）を受けた研究成果の一部である。ここに記して，謝意を表す。

#### 参考文献

- 1) 倉橋一将，力石真，藤原章正：高解像度データを用いた地区間及び地区内アクセシビリティ解析，土木計画学研究・講演集(CD-ROM)，49巻，2014
- 2) 岩崎昂平，小谷通泰，寺山一輝：神戸市の郊外住宅団地における居住者による都心へのアクセス交通の利便性評価-確率効用理論に基づくアクセシビリティ指標を用いて-，土木計画学研究・講演集(CD-ROM)，51巻，2015
- 3) 谷本圭志，牧修平，喜多秀行：地方部における公共交通計画のためのアクセシビリティ指標の開発，土木学会論文集 D，Vol.65，No.4，pp.544-553，2009
- 4) 喜多秀行，小野祐資，岸野啓一：公共交通利用における身体的機能を考慮したアクセシビリティ指標の構築，土木学会論文集 D3，Vol.68，No.5，pp.983-990，2012
- 5) 丹羽拓也，大窪和明，坂本邦宏，谷島賢，久保田尚：バス停までのアクセシビリティを考慮した路線最適化モデルの適応，土木計画学研究・講演集(CD-ROM)，50巻，2014

## ANALYSIS OF RELATIONSHIP BETWEEN BUS ACCESSIBILITY BASED ON ACTUAL TIMETABLES AND CHANGES IN BUS USAGE BEFORE AND AFTER ROUTE RESTRUCTURE

Yuya KOBAYASHI and Yukimasa MATSUMOTO

As countermeasures for a decline in the number of bus routes operated by a private company and a super-aged society in Japan, many local governments have introduced community buses, which contribute to form the transit network as complements and feeders in such local area. However, there are many cases where the transit in the network is not actually convenient due to a long waiting time to transfer to next route, disconnectivity in the last buses and so forth.

In this study, the accessibility between each bus stop of a community bus "Kurururin bus" operated in Nisshin city, Aichi prefecture, was evaluated before and after restructure carried out on April 1, 2017. This accessibility was calculated by some proposed indexes which considered an actual timetable, waiting times, transfer times and so forth, and the convenience as a transit network was proven. The usefulness of the proposed index was verified from the result of analyzing the relationship between the number of bus OD usages obtained from a field survey and such proposed indexes. As a result, it was found that bus OD usages have increased in proportion to the convenience of bus transit calculated by the proposed indexes after the route restructure.