

特急バス化及び幹線・支線化による路線バス 運行形態の再編とその効果に関する分析

高橋 和晃¹・平田 輝満²

¹ 学生会員 茨城大学大学院理工学研究科都市システム工学専攻(〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1)

E-mail: 23nm827s@vc.ibaraki.ac.jp

² 正会員 茨城大学大学院教授 都市システム工学領域(〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1)

E-mail: terumitsu.hirata.a@vc.ibaraki.ac.jp (Corresponding Author)

地方部において公共交通の持続性が求められる中、現在のバスの運行形態を見直すべく、バスの路線再編が求められる。とりわけ、茨城県水戸市では中心市街地におけるバスの運行本数が過剰であり、周辺の交通流へ悪影響を及ぼす可能性があるとの課題がある。しかし、こうした路線再編の計画はスムーズに進まないことが多く、計画段階で再編による影響が適切に評価されているかについては疑問が残る。そこで、本研究では、バスの乗降データを用いて OD の特性を把握し、特急バス化及び幹線・支線化の手法を用いて、バス事業者・バス利用者双方にメリットがあると考えられる運行形態を検討し、その試案を示した。また、バスの速達化、バス事業者の運行コストの削減、及び乗り換え発生の観点から、運行形態の再編による影響を定量的に分析した。

Key Words: *Redesign of Bus Route Network, Local Public Transport, Bus Passengers OD Data, Express Bus Service, Trunk/Branch Line Division*

1. 序論

近年我が国では、地方部を中心に、自家用乗用車の普及と、それに伴うバス利用者の減少及びバスのサービスレベルの低下が進行している。これにより、交通弱者のモビリティ低下、道路における交通渋滞、都市の人口流出やスプロール化など、様々な悪影響が想定される。特に、昨今は COVID-19 の流行などにより利用者の減少に拍車がかかっているほか、バスのドライバー不足や燃料費の高騰などの問題も顕著である。こうした問題の中でも、公共交通としてのバスの持続可能性を維持しつつ、限られた財源や資源を用いて、バスのサービスレベルを向上させ、バスの利用促進に繋げる必要がある。そのため手法の一つとして、バスの路線網や運行形態を再編する取り組みや計画が各地で継続的に検討および実施されている。

本研究の対象地である茨城県水戸市では、郊外部の複数の地点から向かってくるバス路線が中心市街地に集中することで、その区間で過剰に供給されており、複数台のバスが連続して運行される現象である団子運転の発生により、交通流などに悪影響を及ぼしている。たとえば、

平日の朝 7 時台から 8 時台にかけての 2 時間に、市街地内に存在する银杏坂停留所から、隣の南町二丁目停留所へ向かって出発する便は 100 本を数える^{注1)}。また、現地ではバス車両が最大 8 台も連なって運行されていたり、右折時に交差点手前でバスが車線変更を行うために道路を塞いでしまい、周囲で交通渋滞が恒常的に発生してしまったりする現象が見られた。こうした背景から、前述のような再編は水戸市内でも検討されており^{注2)}、鈴木らの研究¹⁾では、長大路線に結節点を設けて路線長を短縮し、中心市街地など路線重複区間の過剰な本数の削減と、郊外部の支線化及び増便を行うことと定義した「幹線・支線化」を、再編の手法として検討している。加えて、中心市街地において一部停留所を通過する「特急バス」を導入することで、バス停での交通処理負荷を低減する効果を分析しているが、バス利用者への便益や影響、バスの運行コストへの効果などに関する検討は行われていない。

そこで、本研究では図-1に示すように、幹線・支線化と特急バス化それぞれのメリット・デメリットを示す形で、仮説として問題構造の整理を行った。これを踏まえると、再編による遅延の減少、速達化、交通流の改善、環境負荷の低減などの効果が考えられる一方で、路線網が煩雑になりわかりにくくなる懸念があるほか、いずれの再編手法でも、これまで直行便で行けた OD においてバス相互間の乗り換えが発生する場合は生じるといった影響も想定される。特に、乗り換えの発生については、幹線・支線化について扱った島内²⁾や溝上ら³⁾の研究において、これによる負便益が大きくなる可能性があることが示されている。

このため、乗り換え抵抗について扱った杉本ら⁴⁾、高瀬⁵⁾、長瀬ら⁶⁾、鈴木ら⁷⁾の研究で示されたような、乗り換え結節点の整備が求められる。また、

特急バス導入に関する研究には高山ら⁸⁾によるものが挙げられるが、主に再編手法や需要予測に着目されており、乗り換え発生に対する検討や効果の検証は行われていない。

以上を踏まえ、本研究では水戸市を対象に、次の2点を行うことを目的とする。

- 乗降 OD の実態分析を踏まえたうえでの、幹線・支線化と特急バス導入を組み合わせたバス路線再編手法の提案
- 特急バス化による速達化と遅延削減の効果推計手法の開発及び上記で提案した再編がもたらす便益の定量評価

便益の評価指標として、本研究では乗客から見た特急バス導入による速達化による効果、再編による各停バスの速達化による効果、バス事業者から見た運行コストの削減可能性、及びバス相互間の乗り換え発生による影響を用いることとする。

2. 対象地における現状分析

本研究では、茨城交通(株)から提供を受けた 2020 年 1 月 25 日(土)から 31 日(金)までの乗降データを用いて分析を行う。水戸の中心市街地は最大の交通結節点である水戸駅から西側に線状で広がっており、その中の幹線道路である国道 50 号沿いでほぼ全てのバス路線が設定されている。また、その西端にある大工町で多くの路線が異なる方面に分岐する。そのため、「水戸駅～大工町」の約 2km 区間が団子運転が発生する主な中心市街地区間となる。なお、以下水戸駅から大工町停留所方面へ走行するバスを「西行き」、逆に大工町停留所から水戸駅方面へ走行するバスを「東行き」と、それぞれ定義する。

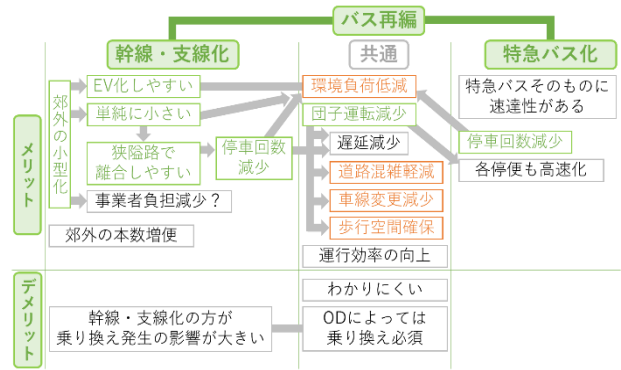


図-1 バス再編に係る問題構造の整理

(1) 中心市街地における時間帯別 OD の分析

中心市街地における過剰な本数の削減を検討するにあたり、水戸駅から大工町停留所までの区間を走行するすべての茨城交通運行便を対象に、各時間帯におけるバス利用者の OD を簡易に分析した。この結果、平日 7 時台～8 時台と定義した朝ラッシュ時間帯の西行きの便においては、乗車地点として使われる停留所の大半は水戸駅であり、降車地点は様々であった。また、平日 16 時台～19 時台と定義した夕方ラッシュ時間帯の東行きの便においても、乗車と降車が逆転したのみで、概ね同様の傾向が見られた。なお、その他の時間帯における傾向はこの限りではなかった。

以上を踏まえ、詳細は 4 章で後述するが、ケーススタディとして、水戸駅～新原三差路～赤塚駅～中丸～双葉台間を結ぶ「31」系統、及び水戸駅～栄町～茨大前間を経由する全ての各停バス系統^{注3)}の 2 路線を対象に分析を行ったところ、水戸駅を除く市街地内の停留所と郊外の停留所間の OD 利用者は、対象日のうち平日 5 日間の平均で、朝ラッシュ時の西行きの便では全体の約 1,225 名に対し約 86 名で 7%程度、夕方ラッシュ時の東行きの便では全体の約 2,004 名に対し約 231 名で 12%程度が存在した。こうしたことから、水戸駅と中心市街地内の停留所間の OD と、水戸駅と郊外の停留所間の OD をいわば遠近分離する観点で、特急バス化が有効であると考えられる。

(2) バス利用者数の分析による必要な本数の試算

次に、具体的な本数の削減量の検討を行うにあたり、引き続き水戸駅から大工町停留所までの区間を走行するすべての茨城交通運行便を対象に、中心市街地におけるバス利用者数を算出し、これをバス車両の乗車定員で除算することで、再編後に最低限確保すべき本数の試算を行った。(1)節で前述した特急バス化が有効と考えられる時間帯より、本節の試算においても、朝ラッシュ時間帯の西行きと夕方ラッシュ時間帯の東行きの便を分析対象とした。ここで、特急バスについては乗車定員 70 名の大型バス^{注4)}で、各停バスについては 3 章(1)節で後述す

表-1 中心市街地において必要なバス本数の試算結果及び現状との比較

方面	時間帯	削減後本数			現状の本数 ^{注1)}	削減率
		特急バス	各停バス	合計		
西行き	7時台	23	7	30	54	44.4%
	8時台	17	9	26	50	48.0%
東行き	16時台	18	6	24	48	50.0%
	17時台	11	5	16	48	66.7%
	18時台	12	5	17	48	64.6%
	19時台	7	5	12	33	63.6%

る市内循環が狭隘路を走行する関係で、乗車定員 55 名の中型バス^{注5)}で運用することを想定した。この結果、利用者を車両の定員上限まで乗車させると仮定した場合、各停バスと特急バスを合わせて、朝ラッシュ時間帯は 1 時間あたり最大 30 本、夕方ラッシュ時間帯は 1 時間あたり最大 24 本がそれぞれ最低限必要であり、中心市街地のバス本数は現状と比較して最大約 66.7%削減できるとの試算結果が得られた。この結果を表-1 に示す。しかし、路線網が末端部で多く枝分かれしている現状を鑑みると、中心市街地内での本数を減らすことで、全ての行先に向かうバスを運行することが難しくなると考えられる。そのため、郊外部での幹線・支線化が必要であると考えられる。

3. 現状分析を踏まえた運行形態の検討

(1) 中心市街地における特急バス化方法についての検討

2 章(1)節で示したように、中心市街地においてはラッシュ時間帯を中心に、水戸駅から中心市街地内の停留所間の OD と、水戸駅から郊外の停留所間の OD を遠近分離することを検討する余地があると考えた。このことを踏まえて、中心市街地において、**図-2** に示すバス運行形態を試案として示す。この試案では、大工町交差点付近での車線変更の削減の観点から、栄町二丁目停留所を経由する系統は銀杏坂～栄町一丁目間を通過させることとしたが、他の系統は後述する各停バスとの乗り継ぎの観点から、大工町停留所を停車させ、銀杏坂～泉町三丁目間を通過させることで特急バス化を行うこととした。通過対象となる停留所の利用については、現在の市内循環を増強することにより補完する。通過対象となる各停留所から、大工町または栄町二丁目以西に位置する郊外の各停留所までの区間を利用する場合は、栄町二丁目停留所を経由する系統であれば同停留所で、他の系統であれば前述の通り大工町停留所で、それぞれ乗り換える。

4 章(1)節 b) 項で後述するように、各停バスと特急バスの間の乗り換え発生人数の観点から、この運行形態は、7 時台～8 時台に水戸駅を出発する西行きの便と、16 時台

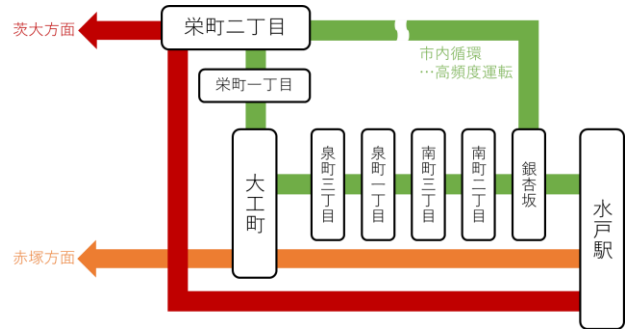


図-2 中心市街地におけるバス運行形態の試案^{注6)}

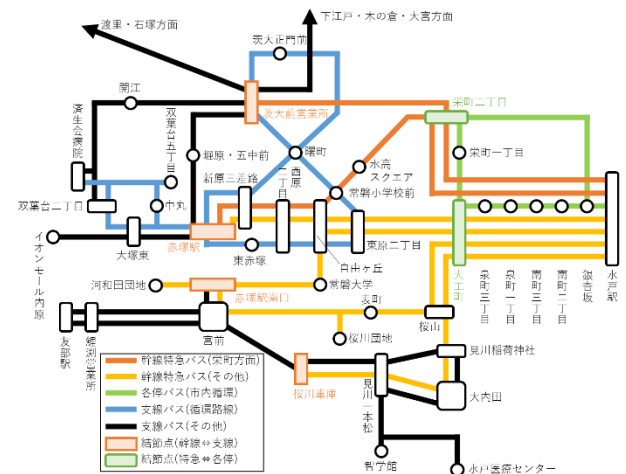


図-3 郊外部を含めたバス路線網の試案^{注6)}

～19 時台に水戸駅へ到着する東行きの便で採用することとする。

この運行形態の採用により、次のような効果が期待されると考えられる。

- 遠方へ向かう便の混雑緩和
- 幹線区間の停留所における積み残し削減
- 中心市街地内の停留所の使用頻度削減により、道路空間を確保する余地が生じる
- 特急バスは市内循環を追い抜くことが可能であるため、団子運転の削減につながり、遅延因子が減少する可能性がある

(2) 郊外部における幹線・支線化についての試案

2章(2)節で示したように、中心市街地内のバス運行本数を削減する場合、路線網の末端部において一定のサービスレベルを保った本数を確保することが難しいと考えられる。このことを踏まえて、郊外部を含めたバス運行形態として、図-3の形態を試案として示す。ただし、4章で後述するように、この形態は全ての時間帯において採用するのではなく、現状の利用状況を踏まえて、幹線・支線化を行う時間帯を限定する。

本節で示す運行形態の設定コンセプトとして、バス運行エリアを中心市街地・幹線部分・支線部分の3つのエリアに、いわばゾーニングすることを原則とした。これにより、中心市街地における特急バス化と、それ以外のエリアにおける幹線・支線化を組み合わせた再編の実現を目指す。また、中心市街地から幹線部分を経て支線部分に向かう際に、現状の路線網が分岐し始めるエリアを幹線部分と支線部分の境界エリアとし、当該エリア内に幹線と支線を接続するための乗り換え結節点を設けることとした。これを踏まえ、幹線・支線化を行う際は、中心市街地から乗り換え結節点までの区間を幹線特急バスとして、結節点以遠の区間を支線バスとして運行する。これに倣った運行形態の設定フローを図-4に示す。本来であれば、こうしたコンセプトや設定フローは対象地以外にも一般化したうえで適用できる必要があるが、本研究では一般化のための手法を開発できていない点が今後の検討課題である。

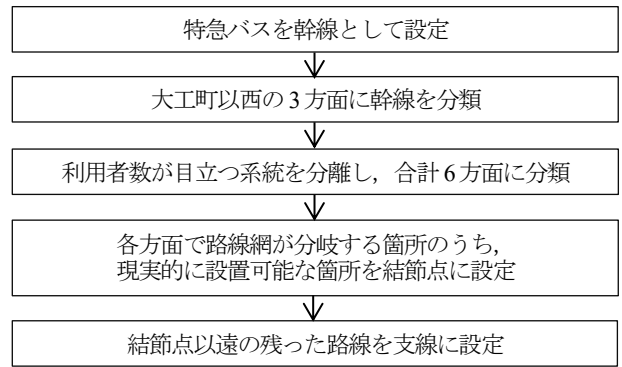


図-4 路線網設定のフロー図

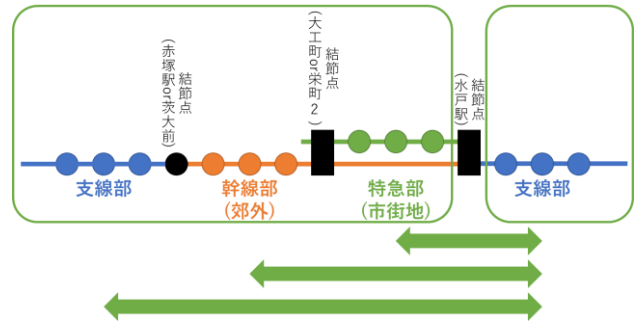


図-5 水戸駅において想定される乗り換えの概念図

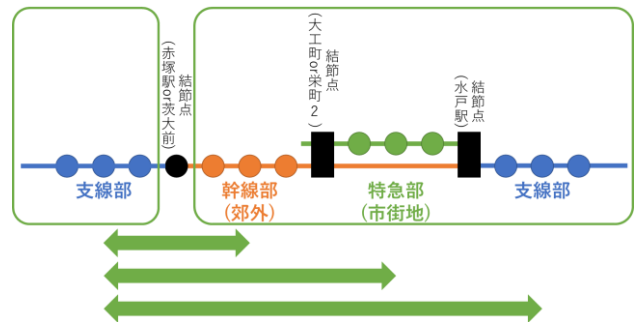


図-6 想定される幹線バス・支線バス間の乗り換えの概念図

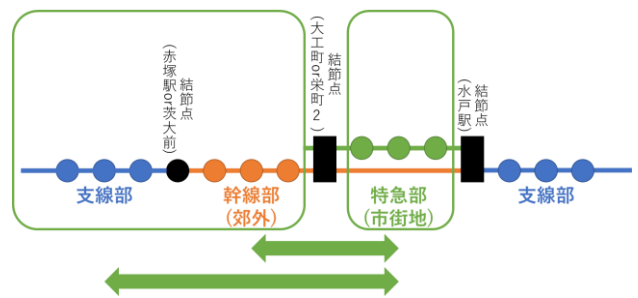


図-7 想定される各停バス・特急バス間の乗り換えの概念図

4. 再編による効果・影響の定量分析

本研究では、効果・影響の評価指標として、前述の問題構造の整理のうち、乗り換え発生の影響、特急バスの速達化、各停バスの速達化、バス事業者から見た運行コストの削減可能性に着目する。本章でケーススタディとして分析対象とする路線は、水戸市から隣接自治体までを結ぶような長大路線と、水戸市内で完結するものの幹線・支線化の余地がある路線のそれぞれから1路線ずつ選ぶ観点から、前者は水戸駅～栄町二丁目～茨大前を経由する全ての系統(以下、「栄町・茨大系統」)^{注3)}、後者は水戸駅～新原三差路～赤塚駅～中丸～双葉台間を結ぶ「31」系統を対象とした。

(1) 乗り換え発生の影響に関する定量分析

a) 各時間帯において想定される乗り換え人数の推計

ここでは、以下に示す乗り換えパターンを想定する。

- (ア) 水戸駅における水戸駅以東・水戸駅以西間の乗り換え(図-5)
- (イ) 茨大前営業所または赤塚駅における幹線バス・

支線バス間の乗り換え(図-6)

- (ウ) 大工町または栄町二丁目における各停バス・特急バス間の乗り換え(図-7)

また、各時間帯に該当する便については、以下のように定義した。ここで、「水戸駅発着時刻」とは、西行きの場合は水戸駅からの発車時刻を、東行きの場合は水戸駅への到着時刻を示す。

- 朝ラッシュ時間帯：水戸駅発着時刻が 7:00～8:59 の便

- 夕方ラッシュ時間帯：水戸駅発着時刻が 16:00～19:59 の便
- オフピーク時間帯：上記のいずれにも該当しない便

本項では、31 系統及び栄町・茨大系統の西行き・東行きそれぞれにおいて、各時間帯における(ア)～(ウ)の各パターンに該当する OD の利用客数を集計した。本研究では、路線全体の利用客数に占める、乗り換えが想定される利用客数の割合が、1 日あたりのものより少ない場合に、幹線・支線化または特急バス化を行うこととした。例えば、図-8 に示す 31 系統の西行きにおける(イ)に該当する乗り換えであれば、想定される乗り換え人数の割合が 1 日あたりのものより少ない時間帯は朝ラッシュ時間帯であるから、同路線では朝ラッシュ時間帯にのみ赤塚駅で路線を分断し、幹線・支線化を行う。

b) 再編を行う時間帯の検討

a)項の結果を踏まえて、31 系統では図-9 のような、栄町・茨大系統では図-10 のような再編を行う。

c) 運行本数の検討

(3)節 a)項で後述するように、各停バスの最適な運行本数は、水戸駅～大工町間を経由する全ての路線を合わせて、1 時間あたり 26 本であると試算された。この本数に、各停バスと特急バスそれぞれの利用が想定される乗客数の比率や、ケーススタディとした 2 路線の乗客数の、全路線に対する割合を加味したうえで、幹線部において表-2 に示す本数を運行することを仮定した。たとえば、ケーススタディとした 2 路線を各停バスとして運行する時間帯においては、全路線の乗客数に対する栄町・茨大系統の乗客数の割合は約 34%であるから、全路線の各停バス 26 本/h に対して、栄町・茨大系統の各停バスはその 34%にあたる約 9 本/h、といった具合で算出した。ただし、こうした算出方法で現状の本数を上回ってしまう場合は、本数を現状維持とした。支線部の本数については現状から変化させないこととした。このほか、1 時間あたり 26 本の各停バスは、特急バス運行時間帯に限り、表-2 に示した便とは別途運行することとした。

d) 乗り換え発生による負便益の推計

本項では、乗り換え結節点における各系統の平均待ち時間、乗り換え人数、及び時間価値原単位の積を用いて、乗り換え発生による負便益の推計を行う。ここで、乗り換え結節点における平均待ち時間は、乗り換え先の到着地点における平均運行間隔に対してランダム到着を仮定し、平均運行間隔の 1/2 とした。また、運行間隔については、支線部は前述のとおり現行ダイヤのままとし、幹線部については c)項の検討結果から、表-3 のように仮定した。乗り換え人数については a)項で算出したものを用いた。時間価値原単位は 24.94 円/人・分^{注7)}と仮定し、(2)～(3)節でも同様の仮定を用いる。

表-2 再編後の幹線部における運行本数の仮定(単位：本)

時間帯	31 系統の幹線部 ^{注8)}		栄町・茨大系統	
	西行き	東行き	西行き	東行き
朝ラッシュ	20(23)	26(26)	32(32)	38(38)
オフピーク	74(74)	75(75)	64(82)	64(88)
夕方ラッシュ	44(44)	27(40)	60(60)	57(57)

※斜体は特急バスによる運行、括弧内は現状の本数を示す

表-3 幹線区間における運行間隔の仮定(単位：分)

区分	朝	昼	夕方
水戸駅～大工町 各停	2.26	2.26	3.43
栄町・茨大系統 特急	3.75	—	4.21
栄町一丁目～茨大前 各停	3.16	6.58	4
31 系統 特急	6	—	8.89
大工町二丁目～赤塚駅 各停	—	20.22	—

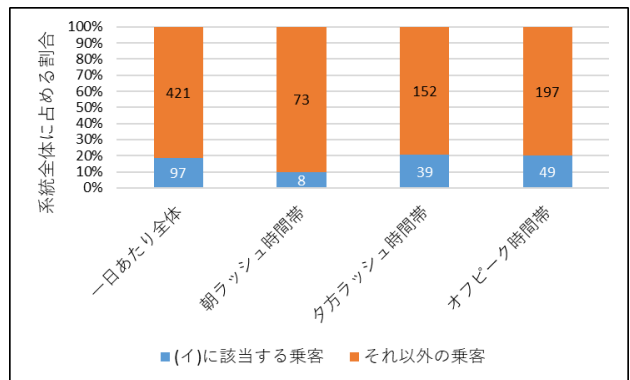


図-8 31 系統西行きにおける(イ)に該当する OD 利用者データ

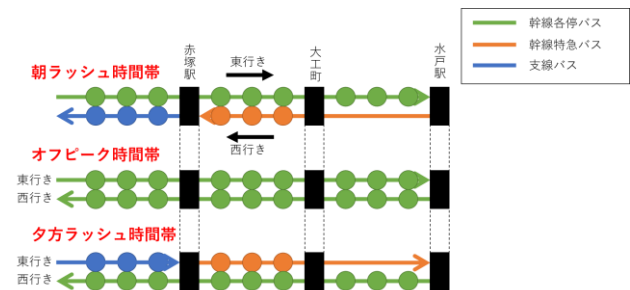


図-9 31 系統における時間帯別の運行形態

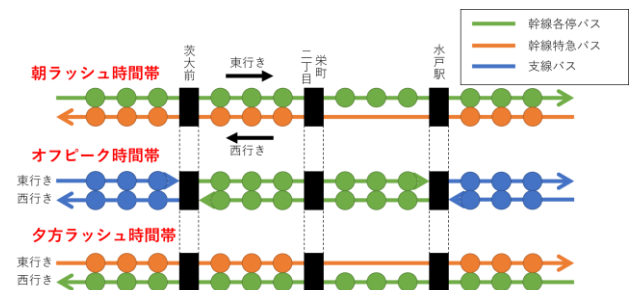


図-10 栄町・茨大系統における時間帯別の運行形態

この結果、乗り換え発生による 1 日あたりの負便益は、31 系統では 5,192 円、栄町・茨大系統では 149,330 円であ

るとそれぞれ推計された。

(2) 特急バスの速達化に関する定量分析

データ分析より、ケーススタディ対象とした路線のうち平日朝ラッシュ時間帯の西行き便における、水戸駅～大工町間の現行の平均所要時間は9分18秒であった。一方、2022年12月9日に行った現地調査より、現行の特急バスにおける水戸駅～大工町の平均所要時間は6分16秒であった。したがって、特急バス化による時間短縮は平均3分2秒であると考えられる。また、対象路線における対象日5日間の、再編後に特急バスの利用が想定される乗客数は8,798人であった。以上から、特急バス導入により速達化されることによる1日あたりの便益は、31系統で5,371円、栄町・茨大系統で127,745円であるとそれぞれ推計された。

(3) 各停バスの速達化に関する定量分析

a) モデル開発による再編後の所要時間の推計

本研究で提案した再編において、中心市街地における本数を減らす場合、次の2点を要因として、各停バスの所要時間にも変動が生じると考えられる。

(ア) 団子運転の減少など、交通状況による影響を受けにくくなることによる所要時間の短縮

(イ) 本数が減少して1便に集中する乗客数が増加することによる、所要時間の増加

(ア)による変動については、本数の減少に比例して水戸駅～大工町間の所要時間も減少すると仮定したうえで、各時間帯における水戸駅～大工町間の各停バスの本数と平均所要時間を算出した。ここで、平均所要時間については、平日朝ラッシュ以外の時間帯における実際の乗降人数と、本節で検討する平日の朝ラッシュ時間帯における乗降人数に差があるため、この差分の人数の乗降に要する時間を後述する方法により算出し、これを平均所要時間の実測値に加えたものを用いている。なお、上記の平均所要時間は、他路線を含めて計測を行っても大きくは変動しないとの想定から、ケーススタディとした2路線のデータのみから計測した。ただし、同一区間を走行する関東鉄道グループ運行便の影響も実際には受けられるもの、本研究では茨城交通運行便のみを考慮している点は、今後の検討課題である。以上を基に算出した各停バスの本数と平均乗降時間を、図-11に示すグラフにプロットした。図-11の線形式に、平日の朝ラッシュ時間帯の1時間あたりの本数である50本を代入した際に得られる所要時間が590.35秒であるため、再編によって中心市街地において削減される本数と、その本数で運行する場合の当該時間帯における平均所要時間が線形関係にあると仮定した場合、本数と所要時間減少幅の関係は、式(1)により示されると試算された。

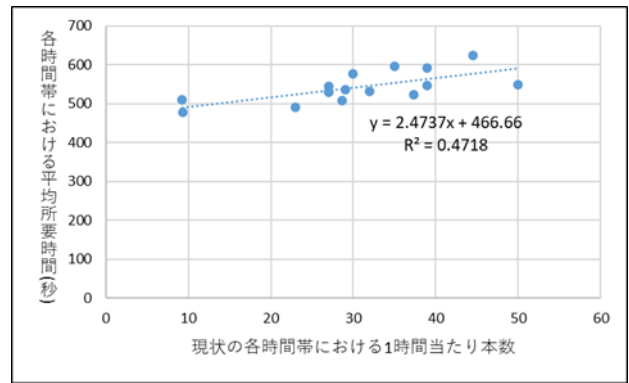


図-11 交通状況が各停バスの所要時間に及ぼす影響

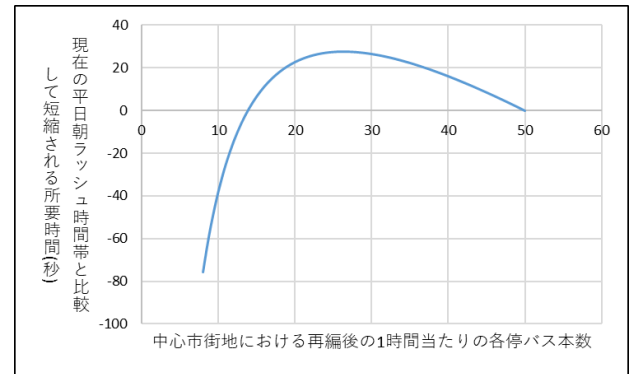


図-12 中心市街地における本数削減と所要時間短縮幅の関係

$$t = 590.35 - (2.4737n + 466.66) \quad (1)$$

t : 所要時間短縮幅(秒), n : 1時間あたりの本数

次に、(イ)による変動について検討するにあたり、本研究では银杏坂～泉町三丁目間の5停留所における乗降のみが各停バスの水戸駅～大工町間の所要時間に影響を及ぼすと仮定した。この仮定に基づき、乗降人数はこの5停留所におけるものを合計した値の、対象日5日間の平均値を使用した。同一停留所で乗車と降車の両方が見られた場合は、人数が多い方を計上した。また、乗降人数に関する値の算出については、水戸駅～大工町間を経由する全ての系統を対象とした。ここで、平日朝ラッシュ時間帯における乗降人数は1日あたり599.6人であるが、再編後も需要が不変であると仮定した場合、各停バスの運行本数が現状より削減されると、1便あたりの乗降人数は増加し、それに比例して各停バスの所要時間も増大すると考えられる。乗客1人あたりの乗降に要する時間については、2023年1月15日の現地調査より、約43%が存在した現金利用者は約9.9秒、約57%が存在したICカード利用者については約2.6秒であると仮定した。以上から、平日朝ラッシュ時間帯における1便あたりの平均乗降人数である5,996人の乗降に要する時間が約34.2秒、同時間帯における1時間あたりの平均乗降人数が299.8人であるから、乗降人数による影響のみを考慮した場合、1時間あたりの本数と所要時間減少幅の関係は、式(2)により示されると試算された。

$$t = 34.2 - \{(299.8/n) \times (0.43 \times 9.9 + 0.57 \times 2.6)\} \quad (2)$$

t : 所要時間短縮幅(秒), n : 1時間あたりの本数

最後に、(ア)と(イ)の両方による影響を同時に検討するにあたり、式(1)と式(2)の右辺を合計することにより、式(3)及び図-12を得た。

$$t = -2.4737n - (1712/n) + 158.53 \quad (3)$$

t : 所要時間短縮幅(秒), n : 1時間あたりの本数

以上より、1時間あたり 26本まで削減すれば、所要時間減少幅は約 28秒で最大になることが示された。

b) 各停バスの速達化による便益の推計

ケーススタディ対象とした路線において、各停便の利用が想定される乗客は対象日 5日間で 16,988人であった。よって、a)項の分析結果より、各停バスの速達化による 1日あたりの便益は、31系統で 6,454円、栄町・茨大系統で 32,761円であるとそれぞれ推計された。

(4) バス事業者の運行コスト削減可能性に関する定量分析

本節では、バス事業者による運行コストを、車両稼働時間の観点から検討した。以降で想定する運行本数については、(1)節 c)項で示した幹線部の本数及び(3)節で前述した各停バスの最適な本数を基に算出した。

まず、特急バス化による車両稼働時間の削減について、1便あたりで短縮される所要時間は、(2)項で前述した通り 3分 2秒であるから、両方向を合わせて 47本の運行を想定する 31系統の特急バスについては約 143分、89本の運行を想定する栄町・茨大系統の特急バスについては約 270分の削減ができると試算された。ただし、中心市街地の特急バス化については、通過停留所の需要を担う各停バスを別途運行することを前提とした再編であるが、今回の運行コストの試算においては、各停バスがケーススタディとした 2路線とは別路線である関係上、各停バスの運行コストについての試算を行っていない点が、今後の検討課題である。

次に、1便あたりで短縮される各停バスの所要時間は、(3)項で前述した通り約 28秒であるから、市街地内の本数が減少する時間帯において、両方向を合わせて 128本の運行を想定する栄町・茨大系統の各停バスについては約 59分の削減ができると試算された。

最後に、幹線・支線化を行う時間帯には、幹線部の本数が現状より削減されるから、削減分の本数と幹線部の現状の所要時間の積が、幹線・支線化によって削減される車両稼働時間であると考えられる。よって、幹線部である水戸駅～赤塚駅間の所要時間が約 25分である 31系統では、両方向を合わせて 16本の削減を想定するため、約 406分の削減ができると試算された。一方、幹線部である水戸駅～茨大前間の所要時間が約 19分である栄町・茨大系統では、両方向を合わせて 42本の削減を想

定するため、約 796分の削減ができると試算された。

以上から、時間価値原単位にバス事業者の従業員の機会費用である 46.84円/人・分^{注7)}を用いると、運行コスト削減による 1日あたりの便益は、31系統では車両稼働時間を約 549分削減できることから 25,700円、栄町・茨大系統では車両稼働時間を約 1,125分削減できることから 52,686円とそれぞれ推計された。なお、今回の試算値はあくまでバスの走行時間の削減分を計算しているため、それがバス事業者としての運行コスト低減や生産性上昇にどの程度効果があるかは別途精査が必要である。

(5) 再編による便益の推計結果及び考察

(1)～(4)節を踏まえると、正の便益は 31系統で 37,525円、栄町・茨大系統で 213,192円、負の便益は 31系統で 5,192円、栄町・茨大系統で 149,330円であるから、再編による 1日あたりの総便益は 31系統で 32,333円、栄町・茨大系統で 63,862円、合計 96,195円と推計された。

5. 結論

本研究の成果として、幹線・支線化と特急バス化を組み合わせ、時間帯別にこれら手法の適用方法を変えることによる効果・影響を、特急バスの速達化・各停バスの速達化・事業者から見た運行コストの削減可能性、乗り換え発生による影響の 4つの観点から定量的に示すことが可能なことが明らかとなった。また、各停バスの速達化については、その効果推計のための簡易な手法も開発を行った。この結果、再編による速達化の効果が乗り換え発生による影響を上回ったことから、中心市街地の減便によりバスの運行に係るコストを削減しつつ、バス利用者の利便性を向上できる可能性が示された。

今後の課題として、効果・影響の評価のための指標が限定的であるため、たとえば交通流への影響、道路空間の活用可能性、環境負荷への影響など、他の指標を含んだ総合的な評価を行うことが重要であると考えられる。特に、道路空間再編に関係する部分においては、今回の検討では時間帯を限定し、なおかつ片方向のみで特急バス化を行っているため、それに合わせた道路の車線運用の工夫が必要であると考えられる。さらに、研究成果を踏まえ、今後のバス路線網再編においては、路線網や再編を行う時間帯の設定フローを丁寧に具体化することや、各路線の一つ一つに対して効果・影響の検討を丁寧に行うことが重要であると考察した。

謝辞 : 本研究の実施にあたり茨城交通(株)様からバスの乗降データを提供いただくとともに、バスの運行方法の実際や制約等について情報提供をいただきました。こ

ここに記して感謝の意を表します。

NOTES

- 注1) 茨城交通 HP <http://www.ibako.co.jp/>
(2023年2月27日閲覧)
- 注2) 水戸市：「水戸市地域公共交通再編実施計画」
<https://www.city.mito.lg.jp/site/koutsu/4297.html>
(2023年2月4日閲覧)
- 注3) 分析の都合上、8系統のみ除外している。
- 注4) 全幅約 2.5 m, 全長約 10 m のバス車両を指す。
- 注5) 全幅約 2.3 m, 全長約 9 m のバス車両を指す。
- 注6) 茨城交通 HP^{注1)}及び Bus Stop Ibaraki～いばらき路線
バス案内所(<http://www.bus-ibaraki.jp/index.html>, 2023
年2月28日閲覧)を基に作成
- 注7) 国土交通省：－時間価値原単位および走行経費原単位
(平成20年価格)の算出方法－
<https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/hyokasyuhou/4pdf/s1.pdf> (2023年3月1日閲覧)
- 注8) 現状の本数について、乗り換えによる影響を試算する
うえで便宜を図る関係上、31系統及び、並行路線
である 1, 11, 74, 81 系統及び水戸駅～赤塚駅～大塚
東～双葉台二丁目間の路線を合計した本数を算出した。

REFERENCES

- 1) 鈴木万生, 平田輝満：乗降データを用いたバスの遅延実態の把握と路線再編の効果分析－水戸市を対象として－, 第65回土木計画学研究発表会・講演集, 2022. [Suzuki, M. and Hirata, T.: Analysis of bus delay time and the impact of bus route network redesign by using passenger data – case of Mito city, *Proceedings of Infrastructure Planning*, Vol. 65, 2022.]
- 2) 島内肇子：盛岡市ゾーンバスターミナル整備の費用便益分析, 土木計画学研究・講演集, Vol.26, 2002. [Shimanouchi, H.: Cost-benefit analysis of zone bus system in Morioka city, *Proceedings of Infrastructure Planning*, Vol. 26, 2002.]
- 3) 溝上章志, 平野俊彦, 竹隈史明, 橋本淳也：階層化手法による熊本都市圏バス路線網の再編, 土木計画学研究・論文集, Vol.27, No.5, pp.1025-1033, 2010. [Mizokami, S. Hirano, T. Takekuma, F. and Hashimoto, J.: An application of a hierarchical bus network design method to Kumamoto urban area, *Infrastructure Planning Review*, Vol.27, No.5, pp.1025-1033, 2010.]
- 4) 杉本淳, 加藤博和：財政的持続性と利便性を両立しうる都市乗合交通の運営形態と路線網に関する基礎的検討, 土木計画学研究・講演集, Vol.29, p.44, 2004. [Sugimoto, J. and Kato, H.: A study on examining the administrative structures and networks of urban public transport: Financial sustainability and level of service perspective, *Proceedings of Infrastructure Planning*, Vol. 29, p.44, 2004.]
- 5) 高瀬知彦：乗継ターミナルにおける活動を考慮した地方都市におけるバス路線再編の評価に関する研究～長野市のバス路線を対象として～, 東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻, 2007年度修士学位論文, pp.9-14, 2008. [Takase, T.: Evaluation of bus network reorganization considering activities at the transfer terminals – case study of Nagano city –, *Department of Urban Engineering, The University of Tokyo, 2007 Master's Degree Thesis*, pp.9-14, 2008.]
- 6) 長瀬健介, 中井検裕, 沼田麻美子：地域公共交通再編に伴う交通結節点整備に関する研究－乗換施設の複合化に着目して－, 公益社団法人日本都市計画学会, 都市計画論文集, Vol.53, No.3, pp.565-572, 2018. [Nagase, K. Nakai, N. and Numata, M.: A study on development of transport hub with public transport reorganization – Focusing on composited transportation facility –, *Journal of the City Planning Institute of Japan*, Vol.53, No.3, pp.565-572, 2018.]
- 7) 鈴木春菜, 村田紘基：地方都市におけるバス交通を中心とした交通結節点に関する研究, 土木学会論文集 D3(土木計画学), Vol.78, No.6, pp.II_739-II_749, 2022. [Suzuki, H. and Murata, K.: A study on transportation hub of bus transportation in local cities – Current situation and the effect of facility improvement –, *Transaction of the Japan Society of Civil Engineers D3*, Vol.78, No.6, pp.II_739-II_749, 2022.]
- 8) 高山純一, 宮崎耕輔, 塩土圭介：快速バスを導入した最適バス路線網計画に関する研究, 土木計画学研究・論文集, No.15, pp.679-688, 1998. [Takayama, J. Miyazaki, K. and Shioji K.: A study on optimal design of a bus transportation network considering ‘rapid-service bus’, *Infrastructure Planning Review*, No.15, pp.679-688, 1998.]

(Received ?)

(Accepted ?)

ANALYSIS OF THE EFFECTS OF REDESIGN OF BUS ROUTE OPERATION PATTERNS BY INTRODUCING EXPRESS BUSES AND TRUNK/BRANCH LINE DIVISION

Kazuaki TAKAHASHI and Terumitsu HIRATA