

# 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ー水戸市を対象としてー

鈴木 万生<sup>1</sup>・平田 輝満<sup>2</sup>

<sup>1</sup>学生会員 茨城大学工学部都市システム工学科 (〒316-8511 日立市中成沢町 4-12-1)

E-mail: 18t5028g@vc.ibaraki.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 茨城大学大学院准教授 都市システム工学専攻 (〒316-8511 日立市中成沢町 4-12-1)

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

多くの地方都市で公共交通の利用が望ましいとされるなか、現在のバスの運行方法を見直し、幹線・支線化などの路線再編の取組が必要とされている。また、自動車中心のまちなかからウォークラブルなまちなかへの転換による道路空間再編が注目されており、中心部でのバスの過剰な運行が障害になる可能性がある。しかし、乗換えによる乗客の減少などの懸念からスムーズに路線再編の計画が進まない例が多く、路線再編の効果や影響を十分に分析できていない可能性がある。本研究では、旅客の利用実態を簡易に把握することができる乗降データを用いて遅延実態の把握、遅延要因を推定した。また、道路空間再編の視点も含め、路線再編による効果・影響を定量的に分析を行った。

**Key Words:** *Bus Passengers OD Data, Delay, Redesign of Bus Route Network, Street Redesign*

## 1. 研究の背景と目的

多くの地方都市では自動車依存が進展し、バス等の公共交通機関の利用減少とサービスレベル低下の悪循環を招いている。現在のバスの運行方法をみると、駅や営業所から郊外の末端までの長大路線となっているものが多い傾向にある。さらにそれら路線の多くが中心市街地の幹線道路を通ることから、その区間では路線重複による過剰なバス運行が生じ、団子運転による遅延が生じやすくなっている。一方で、スプロールが進む郊外部では便数が少なくサービスレベルが低い。これらの現状の問題を受け、持続可能な公共交通の実現<sup>1)</sup>に向けて、路線再編などの取組が必要とされている。

また、都市の魅力化や中心市街地活性化の観点からは歩行者にやさしいウォークラブルなまちなかを志向する取組が世界的に進展してきている。その中では、自動車中心の道路空間を見直し、歩行者空間の拡大や自転車走行空間の整備の必要性が高まっている。このような中心市街地の道路空間再編の面でも、バスの過剰運行が障害になる可能性があり、バス路線再編や運行方法の改善と道路空間再編のニーズを同時に分析することで、従来にはない総合的な都市・交通政策の検討が行えると考えた。

バスの信頼性・利便性の改善を目的に幹線と支線に路

線を整理する再編方法が検討されることが多い。例えば茨城県水戸市においても水戸市公共交通基本計画<sup>2)</sup>が策定されており、その中で幹線支線化が主要な施策として提示されている。しかし、乗換えによる利便性の低下などからスムーズに計画が進まない例が多く、水戸市でも同様の問題を抱えている。この一因に路線再編の効果や影響を、十分に客観的・定量的に分析できていない可能性がある。

バスに関する既往研究では、小山<sup>3)</sup>や天藤<sup>4)</sup>は、遅延実態の評価、時刻表の設計を提案しているが、遅延実態を考慮した路線再編については検討されていない。また、須ヶ間<sup>5)</sup>は、路線再編のための路線系統の構成や運行頻度、交通量等を設定するモデルを提案しているが、路線再編による効果に関しては十分に検討されていない。

以上から、本研究では乗降データを用いて遅延実態を把握し、遅延要因の推定の可能性を示す。また、道路空間再編のためのバス交通量削減の可能性について、バス利用者と運行管理面から分析を行う。

## 2. 分析に使用するデータベースの構築

本研究では水戸市と隣接市を運行する茨城交通（株）

から提供を受けた 2020 年 1 月 31 日の旅客の全乗降データ（乗降バス停・時刻・車両 ID を含む）を用いて分析を行う。バス自体の出発時刻のデータがないため、旅客の乗降時刻からバスの出発到着を推定し、実運行データベースを作成する必要がある。乗降データが存在するバス停毎の最終乗車時刻と最終降車時刻のうち遅い時刻を乗降が完了した時間（出発時間）とする。また、始発バス停でのデータが存在しない場合、直近の乗降のデータが存在するバス停から始発バス停までの所要時間を算出し出発時間の調整を行った。

これらの実運行のデータベースを用いてバスの遅延分析を行った。累積遅延は実運行から時刻表に基づく定刻の所要時間との差を最終降車バス停まで累積したものを表している。

### 3. バスの遅延実態と要因推定

図-1 は路線長が約 12 km の系統の遅延の推定結果を表している。進行方向は右向きであり、終点に近づくほど遅延が拡大している様子が確認できる。このように長大路線では遅延が累積しやすいと言え、支線・幹線の分離で路線長を短縮することで遅延軽減の効果も期待できる。また、累積遅延をグラフで表すことによって、遅延箇所の推定が可能となる。他の系統で遅延の増加傾向が多い区間は、浜田・河和田地域周辺、中心市街地の水戸駅一大工町などが挙げられる。図-2 に示す浜田地域周辺には、国土交通省が指定する茨城県における主要渋滞箇所の候補<sup>9)</sup>が存在し、一般車両を含む渋滞による遅延である可能性も高いと考えられる。

図-3 の乗降と累積遅延の関係より、水戸駅（北口）以降は乗降者が多く存在し、停車回数が多いことによる速度低下・遅延の発生が予想される。一方で、水戸駅（北口）までに乗降者が少ないにもかかわらず 7 分遅延しており、一般車両による渋滞に巻き込まれたことによる遅延の可能性もある。

また、水戸駅一大工町においては各方面からのバスが集中し、路線が重複しているため、バスの運行本数が非常に多い。乗降データより運行本数が最も多い 8 時台では、1 本/分以上走行していることが明らかになった。過剰な便数により、団子運転が発生し、遅延も生じている可能性が示唆される。

このように、旅客の利用状況を簡易に把握できる乗降データを用いて、遅延の状態も同時に分析することが可能であり、このようなデータから道路管理者や交通管理者とも連携したバスのサービスレベルの向上対策を検討することが重要と考える。

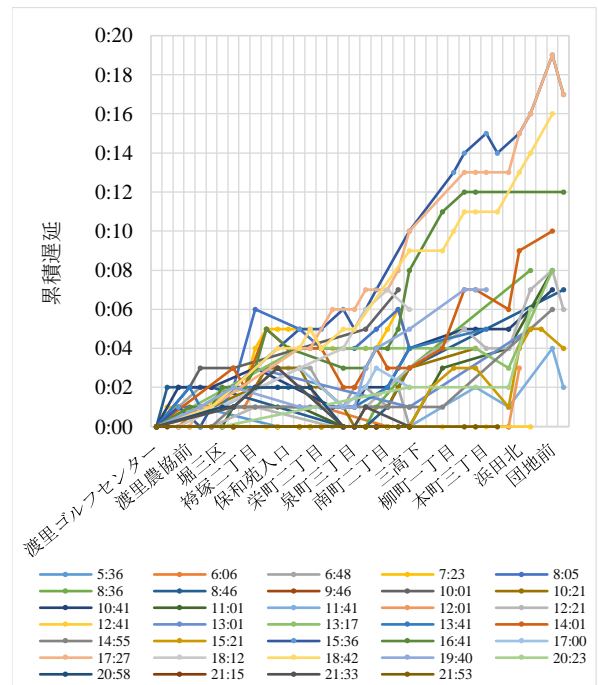


図-1 累積遅延の一例

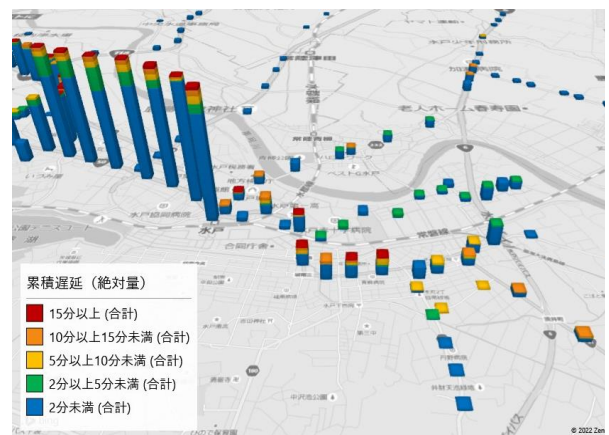


図-2 水戸駅東部におけるバス停別の累積遅延時間の例 (7:30-8:00, 西方面に走行するバス)

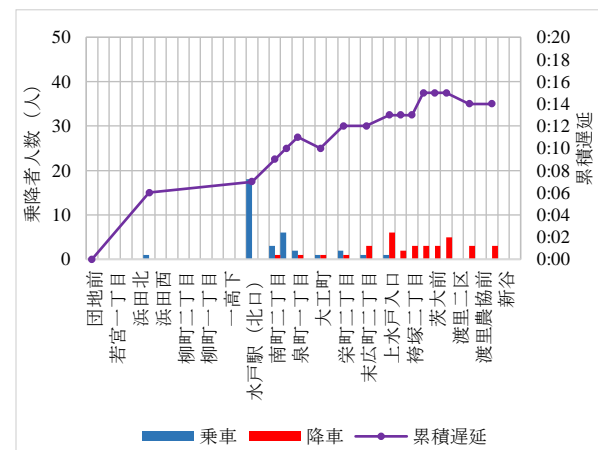


図-3 乗降人数と累積遅延の関係の一例 (17:42 発)

#### 4. バス路線再編の方法と効果推計方法

本研究では、水戸市公共交通基本計画も参考に、長大路線を中心地と郊外部の境界付近の交通結節点で分離することで、路線重複区間の過剰便数を削減しつつ、郊外部を支線化し便数を増やす幹線・支線化の効果・影響について旅客・バス会社の視点から以下の複数指標を用いて、定量分析を行う。

- ・ 遅延軽減による旅客の待ち時間短縮
- ・ 乗換えによる待ち時間
- ・ 増便・減便による平均待ち時間短縮
- ・ ドライバーの労働削減時間
- ・ 車両の稼働時間削減

分析では、1日の運行時間を6時から22時半とし、ピーク時間を6時半から9時、16時から18時までの4時間半、その他の時間帯をオフピーク時間と定義した。対象とする系統は、図-4に示す常陸大宮・渡里、那珂湊・元石川、勝田・東海、双葉台、鯉淵・友部の5つのエリアに区分し、支線部分は23系統、幹線部分は3系統の合計26系統とする。幹線・支線化による再編のイメージを図-5に示す。従来の長大路線を、結節点までの短い区間の運行とすることで、その運行時間削減分が支線部分の増便運行、もしくはドライバーの労働削減時間と車両稼働削減時間のリソースにすることができる。

本研究では、支線への増便の有無の2通りで分析する。結節点以降を削減したことにより、幹線部分の運行本数が減少してしまうことから、表-12に示す運行間隔に基づく最低限度の本数を確保した。削減時間を支線増便に充てる場合、表-1に基づき運行本数は84本を上限としている。また、ピーク時間を優先的に増便の対象とした。

中心市街地のバス停の処理容量負荷を減らすことを想定し、幹線部分の特急化の効果についても簡易に分析を行う。特急化は、図-6に示す水戸駅から大工町間の5つのバス停に停車せずに運行すると設定した。ただし、ここでは停車しない5つのバス停で乗降する人数が5人以下の場合に特急化が可能なバスと定義した。

幹線・支線化に伴う効果・影響について便益評価を行った。国土交通省の費用便益分析マニュアル<sup>7)</sup>を参考に便益を算出した。便益算出に必要な時間価値原単位は時間価値原単位および走行経費原単位の算出方法<sup>8)</sup>に基づき、 $\alpha$ は非業務目的の乗客の機会費用24.94円/人・分、 $\beta$ はバス事業者の従業員の機会費用46.84円/人・分を用いる。また、走行経費原単位 $\gamma$ は、費用便益分析マニュアルより市街地を平均20km/hで走行すると仮定し、その速度に対応した87.53円/台・kmを用いる。式(1)から式(5)を用いて各便益を算出する。また、パラメータは表-2のとおりである。

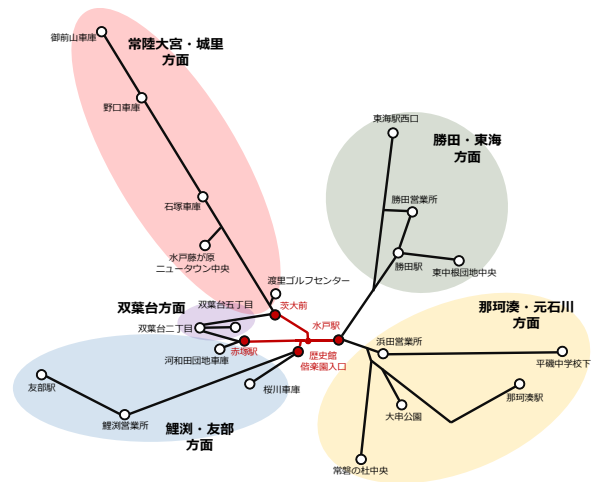


図-4 路線再編における対象エリア

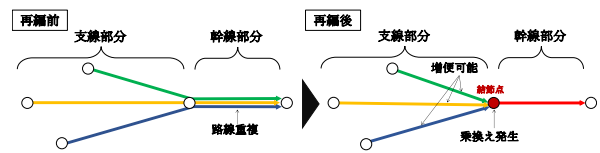


図-5 幹線・支線化のイメージ

表-1 各路線における運行本数の設定

	ピーク時間	オフピーク時間
幹線路線	6本/h	4本/h
准幹線路線	4本/h	3本/h
支線路線 (上限)	4本/h	2本/h

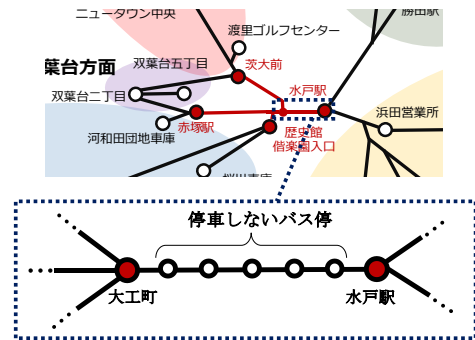


図-6 特急化の対象区間

表-2 便益算出で用いるパラメータ<sup>7)8)</sup>

$\alpha$	非業務目的の乗客の機会費用 24.94 円/人・分
$\beta$	バス事業者の従業員の機会費用 46.84 円/人・分
$\gamma$	走行経費原単位 87.53 円/台・km
peak, off-peak	ピーク時間、オフピーク時間
$TtoB, BtoT$	支線への乗換え、幹線への乗換え

式(1)より遅延軽減による待ち時間短縮便益を算出した。遅延軽減は、結節点が始発となるため結節点以降の利用者はバス停で待っていた再編前の結節点までの時間分が短縮すると仮定し、実績の累積遅延の値を用いている。

$$B_{delay} = \sum_l \sum_n (T_{ln} \times P_{ln}) \times \alpha \quad (1)$$

$T_{ln}$  : 系統 $l$ の便 $n$ の遅延軽減による短縮時間

$P_{ln}$  : 系統 $l$ の便 $n$ の乗客数,  $\alpha$  : 時間価値原単位

式(2)より乗換えによる待ち時間便益を, 式(3)より支線部分・幹線部分での待ち時間短縮便益した. 乗換え時や出発地点の乗車時の平均待ち時間は, 乗客がランダム到着であることを仮定し, 乗車するバスの運行間隔(つまり便数の逆数)の1/2で与えた.

$$B_{transfer} = \sum_m \sum_i \sum_j (\bar{W}_{mlij} \times Y_{mlij}) \times \alpha \quad (2)$$

$\bar{W}_{mlij}$  : 結節点 $m$ における系統 $l$ の平均待ち時間

$Y_{mlij}$  : 結節点 $m$ における系統 $l$ の乗換え人数

$\alpha$  : 時間価値原単位,  $i=\{peak, off-peak\}$   
 $j=\{TtoB, BtoT\}$

$$B_{freq} = \left\{ \sum_i \sum_j (\bar{W}'_{mlij} \times Z_{lij}) - \sum_i \sum_j (\bar{W}_{mlij} \times Z_{lij}) \right\} \times \alpha \quad (3)$$

$Z_{lij}$  : 系統 $l$ の利用者数

$\bar{W}'_{mlij}$  : 結節点 $m$ における系統 $l$ の再編前の平均待ち時間

式(4)より労働時間削減便益を, 式(5)より走行経費減少便益を算出した. 支線増便を行う場合は, 増便後の余剰時間が削減車両稼働時間となっている. 支線増便を行わない場合は, 幹線部分の最低限の運行を確保したうえでの削減車両稼働時間である.

$$B_{driver} = T \times \beta \quad (4)$$

$T$  : 削減車両稼働時間,  $\beta$  : 時間価値原単位

$$B_{bus} = T \times v \times \gamma \quad (5)$$

$T$  : 削減車両稼働時間,  $v$  : 運行速度

$\gamma$  : 走行経費原単位

## 5. 分析結果

表-3, 4 より, 幹線・支線化に伴う乗換え時間の負の便益と幹線部分の減便に伴う負の便益が大きいことが分かる. 幹線部分の利用者数が多いために, 影響が大きいことが要因として考えられる. 平均待ち時間変化の視点からは, 支線増便を行うことで再編前より 5.4 分短縮が可能であることが示された. 幹線部分においては, 再編前より 3.3 分増加するが, 利便性の低下に大きな影響を及ぼさないと考えられる. 一方で, 路線再編による遅延軽減効果や支線部分の増便便益, 事業者側のコスト軽減効果も, 一定程度見られる.

支線増便を行わない場合は一部の支線部分の減便により乗換え時間や支線部分での待ち時間が増加してしまう

表-3 路線再編による効果推計 (支線増便を行う場合\*)

支線増便あり	平均短縮時間 平均待ち時間	人数	便益・効果
遅延軽減による 旅客の待ち時間便益	1.7分	8457人	330,854円/日
乗換えによる 待ち時間便益	18分(増加)	3,532人	-1,615,725円/日
支線部分での 待ち時間短縮便益	5.4分(減少)	6,189人	829,667円/日
幹線部分での 待ち時間短縮便益	3.3分(増加)	10,881人	-900,228円/日
労働時間削減便益	15時間19分・台		43,046円/日
走行経費減少便益	15時間19分・台		26,813円/日

\*運行時間削減分を支線の増便に充てた場合

表-4 路線再編による効果推計 (支線増便を行わない場合\*)

支線増便なし	平均短縮時間 平均待ち時間	人数	便益・効果
遅延軽減による 旅客の待ち時間便益	1.7分	8457人	330,854円/日
乗換えによる 待ち時間便益	22分(増加)	3,532人	-1,938,960円/日
支線部分での 待ち時間短縮便益	4.0分(増加)	6,189人	-623,251円/日
幹線部分での 待ち時間短縮便益	3.3分(増加)	10,881人	-900,228円/日
労働時間削減便益	164時間28分・台		462,217円/日
走行経費減少便益	164時間28分・台		287,915円/日

\*運行時間削減分を労働時間, 走行経費削減に充てた場合

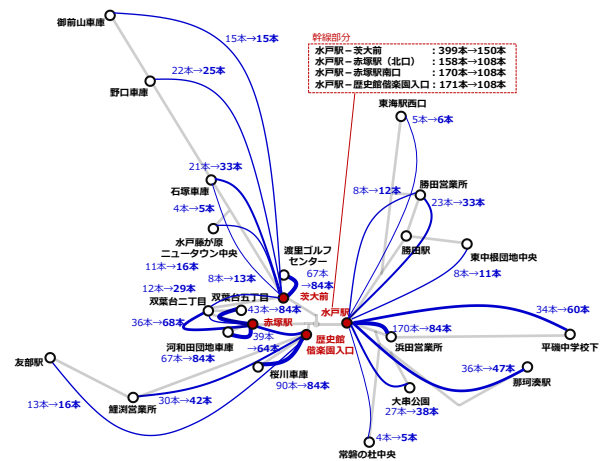


図-7 路線再編前後の運行本数の変化

が, バス事業者側の経営面では一定程度の効果があることが分かる.

また, 図-7 より多くの支線部分で増便が可能であることが分かる. 支線部分の上限をピーク時間 4 本/h, オフピーク時間 2 本/h と設定したため水戸駅一浜田営業所, 水戸駅-桜川車庫に関しては, 逆に減便をした. 過剰な幹線部分の運行本数を削減し, 支線部分の増便が可能であることが示された.

中心市街地の道路空間再編の観点からは、例えば水戸商工会議所が提案している図-8のような1車線を減少しつつバスベイを設置する道路空間再編が考えられるが、バスベイの処理容量負荷の軽減のために、中心部の運行本数を削減する必要性が生じる可能性がある。図-9より、幹線・支線化による幹線部分のバス交通量の削減数は160本、特急化による削減数は262本である。銀杏坂一泉町三丁目において、現在の運行本数1,373本に対して422本の削減が可能であり、道路空間再編のためのバス交通量削減に有意な効果が得られる可能性を示した。

## 6. 結論

本研究では、バスの乗降データのみを用いて運行状況の実態把握の可能性を示すことができた。

路線再編においては、支線部分の増便により郊外部での利便性の向上、バス会社の負担が軽減することが明らかになった一方で、路線再編に伴う乗換による利便性の低下が大きく、乗換え抵抗の問題解消が重要項目であると考えられる。道路空間再編可能性に関しては、幹線・支線化のみでは中心部のバスの交通量削減は難しく、特急化を組み合わせることが効果的であることが示された。

**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。ここに記して感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 国土交通省：持続化可能な地域公共交通の実現に向けて、  
[https://www.tb.mlit.go.jp/chubu/mie/kikaku/seminar/2\\_11/2.pdf](https://www.tb.mlit.go.jp/chubu/mie/kikaku/seminar/2_11/2.pdf).
- 2) 水戸市：水戸市交通基本計画、  
<https://www.city.mito.lg.jp/000271/000273/000280/koutu/p016266.html>.
- 3) 小山真弘・岩倉成志・柳下浩：路線バスの遅延時間の分布形状に着目した時間信頼性評価，土木学会論文集（土木計画学），Vol.72，No.5，p.793-799，2016.
- 4) 天藤奈菜・溝上章志・中村嘉明：バスロケと乗込調と適切な時刻表の設計，土木学会論文集D3（土木計画学）Vol.75，No.6，p.717-725，2020.
- 5) 須ヶ間淳・奥村誠：都市郊外部公共交通の持続可能な路線再編，都市計画学論文集，Vol.56，No.3，p.865-872，2021.

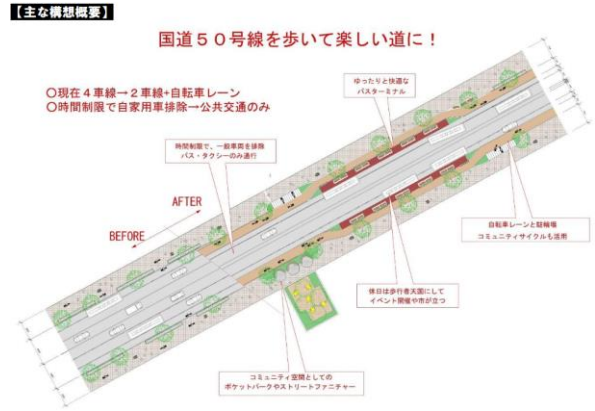


図-8 道路空間再編のイメージ<sup>9)</sup>

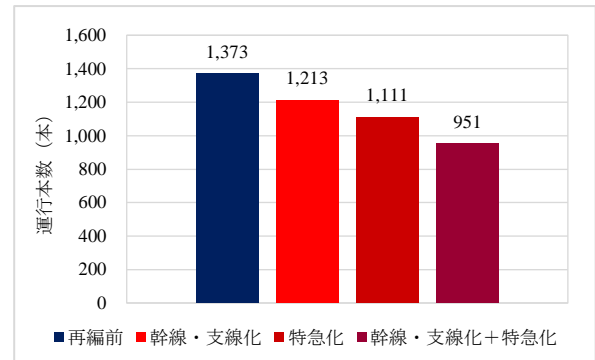


図-9 特急化による運行本数の変化

- 6) 国土交通省：茨城県における主要渋滞箇所の候補  
[https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr\\_content/content/000794606.pdf](https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000794606.pdf).
- 7) 国土交通省道路局都市局：費用便益分析マニュアル2019，  
[https://www.mlit.go.jp/road/ir/hy-ouka/plcy/kijun/ben-eki\\_h30\\_2.pdf](https://www.mlit.go.jp/road/ir/hy-ouka/plcy/kijun/ben-eki_h30_2.pdf).
- 8) 国土交通省：一時間価値原単位および走行経費原単位（平成20年価格）の算出方法一，  
<https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/hyouka-syuhou/4pdf/s1.pdf>.
- 9) 水戸商工会議所：平成25年度補正 商店街まちづくり事業（中心市街地活性化事業）水戸まちなかみらい会議（水戸まちなか調査始業）報告書，  
[https://mito.inetcci.or.jp/data/files/data\\_mirai\\_h26.pdf](https://mito.inetcci.or.jp/data/files/data_mirai_h26.pdf)

(Received ?)  
(Accepted ?)

ANALYSIS OF BUS DELAY TIME AND THE IMPACT OF BUS ROUTE  
NETWORK REDESIGN BY USING PASSENGER DATA – CASE OF MITO CITY

Mao SUZUKI and Terumitsu HIRATA