

# コロナ禍におけるバス分散乗車の効果分析 —三密回避と旅行時間短縮の両立—

川辺 怜\*・野口 宇宙\*\*・大澤 義明\*\*\*

## Effectiveness analysis of distributed bus rides in covid-19 pandemic - Coexistence of dense avoidance and reducing traveling time -

Ren KAWANABE\*, Takahiro NOGUCHI\*\* and Yoshiaki OHSAWA\*\*\*

There are a large number of buses running on the campus of the University of Tsukuba, and the bus bunching can be seen on a daily basis. Similarly, bus bunching is a common phenomenon in other buses and streetcars. In addition, covid-19 pandemic has caused people to avoid dense space. In this study, we focused on the movement of dense avoidance in covid-19 pandemic, and clarified whether it is possible to achieve both dense avoidance and shortening of traveling time by encouraging distributed bus rides. We analyzed the current situation of bus bunching in University of Tsukuba using bus probe data, conducted a field survey at bus stops, and conducted simulations to verify the effects of distributed bus rides.

**Keywords:** 分散乗車 (distribution system), 行動変容 (behavior modification), 団子運転 (bus bunching), シミュレーション (simulation), プローブデータ (probe data), 新型コロナウイルス (covid-19 pandemic)

### 1. はじめに

全国のバス路線について、2007年度からの10年間で合計13,991km(全国のバス路線合計約40万kmの3.5%程度に相当)のバス路線が廃止されるなど、近年、地方部における公共交通を取り巻く環境は厳しさを増している。特に路線バス事業者については全国の約7割が赤字(平成30年度)となり、運転手不足も深刻化[1]している。

また、次世代型の交通を生み出す動きとしてMaaS (Mobility-as-a-Service)の普及が進んでおり、それに伴い公共交通分野におけるデータの利活用、オープンデータ化は急速に進んでいる[2]。その中でもプローブデータは、車をセンサーあるいは遠隔監視装置と見立てて、走行中の車(カーナビやETC)から通信ネットワーク等を通じて得られる様々な情報(位置、速度など)のことで[3]、渋滞予測や危険運転挙動の推定[4]、また観光行動分析[5]など多方面で応用が可能な交通ビッグデータとして注目されている。

そして2020年、新型コロナウイルスの影響により利用者が激減したことで、公共交通を取り巻く環境はさらに厳しくなった[6]。その中で経営を維持していくために必要なことは、コロナ禍に対応したサービスを提供し、安心して公共交通を利用してもらうことである。三密回避が叫ばれたコロナ禍における利用者の強い関心は車内密度に向けられており[7]、可能な限り低い車内密度が利用者にとって望ま



図1 車内密度が高い筑波大学バス  
(2020年10月21日 第1著者撮影)

\* 学生会員 筑波大学大学院サービス工学学位プログラム (University of Tsukuba)  
〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1 E-mail: s2120506@s.tsukuba.ac.jp  
\*\* 非会員 筑波大学未来社会工学開発研究センター (University of Tsukuba)  
\*\*\* 正会員 筑波大学社会工学域 (University of Tsukuba)

しいと考えられるが、路線や時間帯によって図1のように車内密度の高い公共交通も存在している。

また、路線バスや路面電車などの公共交通においては、進行方向が同じである便が重なって走行する**団子運転**現象が問題とされてきた。

団子運転とは、渋滞や混雑で遅延した便に後続の便が追いついて、重なって走行する現象であり[8]、様々な要因によって発生する。発生要因は複数あり、その中でも大きな要因として挙げられるのは、先発便と後発便の利用者数の差である。先発便に多数の利用者が乗ることで、停留所での停車時間が長くなり、遅延が発生し、後発便との時間差が減少する。

さらに、後発便に乗る利用者は減少し、最終的には先発便に追いつく。そうすることで、2つ以上の便が重なって運行する状態が発生する[9]。

本研究で対象とする筑波大学構内を運行する路線バス（以下、**筑波大学バス**）は1日の総運行便数が243便（平日）と多く、前便との運行間隔が0分から2分で設定されている便は、つくばセンターにおいては全便に対して16%（27便）、第三エリア前では全便に対して24%（22便）となっており、運行間隔の短い公共交通であるといえる。加えて、東京駅発着の高速バスも1日あたり50便運行している。さらに片側一車線道路を運行することから、図2のように団子運転が発生してきた区間[10]である。

また、筑波大学では学生及び教職員向けに年額9,500円で筑波大学バスに何度でも自由に乗り降りができるキャンパス交通システムを導入しており、通学時の交通手段については、雨天時に全体の



図2 筑波大学第三エリア前での団子運転  
(2021年8月27日 第1著者撮影)



図3 大学入試後の第三エリア前  
(2018年2月25日 第2著者撮影)

23.8%の学生が、雨天時以外は12.3%の学生が筑波大学バスを利用するなど[11]、日常的な利用も多い公共交通で、図3のようにイベント時には利用者の大渋滞が発生することもある。

本研究では、関東鉄道から入手したバスプローブデータを活用し、筑波大学バスにおける団子運転の現状分析を行い、コロナ禍での「三密回避」の行動変容を用いて、団子運転の緩和に有効と考えられる「分散乗車（先発便と後発便で利用者数の偏りを小さくする）」が行われた場合、車内密度の低減と利用者の旅行時間にどのような効果があるかを明らかにし、三密回避という安全性と、旅行時間短縮という経済合理性の両立が可能かどうかを検証する。

## 2. プローブデータと団子運転発生を検出

### 2.1. バスプローブデータ

関東鉄道から入手したバスプローブデータを用いて、筑波大学で発生するバスの団子運転の発生状況について分析した。

分析において対象とした日時、バス区間は以下の表1の通りである。

表1 バスプローブデータ分析対象日・バス

対象日	2020年1月20日(月)~1月24日(金) 2020年6月22日(月)~6月26日(金) 計10日間
対象バス	つくばセンター発着で筑波大学構内を通る関東鉄道路線バス全便

本研究では、関東鉄道が運行するバスの車載器で記録されたバスプローブデータを用いる。このデー

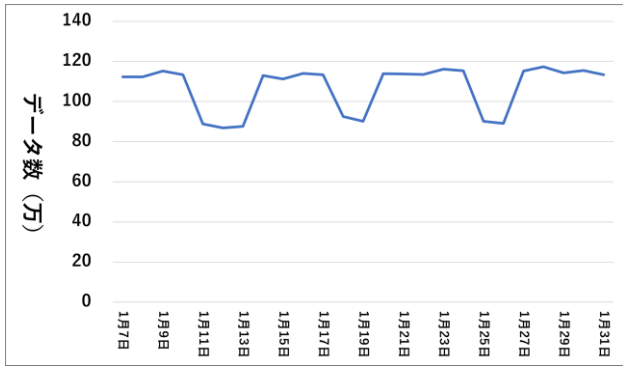


図4 バスプローブデータ総データ数  
(2020年1月7日～31日)

データは1分間隔もしくはバスが50m進むたびに記録され、関東鉄道が運行する路線バス、高速バスすべての便で記録されているため、図4に示すように1日あたりの総データ数は平日約110万、休日約90万と膨大である。

また1個のデータについて、①位置情報（緯度経度）、②時刻（日:時:分:秒）、③速度（km/h）、④進行方向（8方位）の情報が記録されている。

## 2.2. 団子運転の検出

本研究ではESRI社ArcGIS10.8.1を用いて、筑波大学バスにおける団子運転を検出した。バスプローブデータが1分ごとに検出されるという特性から、図5のように1分ごとにArcGIS上にバスプローブデータを描画し、各バス停から半径20m以内（関東鉄道バスの車長が1台あたり約10m）で同一方向に進むバスが2台以上走行した場合に、団子運転が発生したものとして検出を行った。

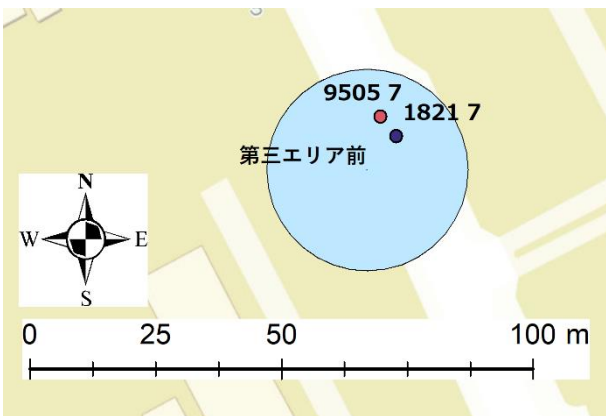


図5 ArcGISを用いた団子運転検出

表2 団子運転発生件数 カッコ内は全便に対する百分率

1/20(月)	1/21(火)	1/22(水)	1/23(木)	1/24(金)	1月平均
36(32.5%)	25(20.5%)	33(29.5%)	26(23.2%)	27(24.1%)	29(25.9%)
6/22(月)	6/23(火)	6/24(水)	6/25(木)	6/26(金)	6月平均
25(22.7%)	27(24.5%)	23(20.9%)	19(17.2%)	23(20.9%)	23(21.2%)

## 2.3. 団子運転検出結果

平日10日間で合計257件の団子運転が検出された。1日ごとの件数については表2の通りである。

1月の1日平均発生件数は29件で、全体の4分の1便に対して、6月の1日平均発生件数は23件で、全体の2割の便に対して団子運転が発生していることが分かった。通常授業が行われていた1月に比べ、オンライン授業が主流となり来学者が大幅に減った6月の平均発生件数が大きく変化していないことから、筑波大学バスでの団子運転の発生は利用者以上に運行本数や運行間隔が影響していると考えられる。また、発生場所については、平日10日間で検出した



図6 筑波大学バスルートと団子運転発生区間

全 257 件のうち 256 件の団子運転が図 6 の赤色の区間で発生した。

さらに、一番南に位置するバス停で、出発便数が 1 日あたり 192 便（平日）と最も多いつくばセンターから筑波大学構内に向かうバス群を「①大学方面」、逆方向、筑波大学構内からつくばセンターに向かうバス群を「②センター方面」の 2 つに分類し、団子運転がどこでいつ発生したかを、2020 年 1 月 20 日から 24 日の平日 5 日間に発生した団子運転について集計し、図 7、図 8 にまとめた。横軸は時間帯（6 時～22 時で 1 時間ごと）、縦軸にはバス停（つくばセンターからの距離）をとっており、時間帯とバス停の交点にある円の半径の長さが発生件数を表している。

また、筑波大学バスの利用者については、筑波大生と教職員が大半を占めており[12]、1 限開始時・出勤時刻が重なる 8 時台の便、また帰宅時間となる 16 時～17 時台の便も混雑する傾向にあり、そのことも強く反映した結果となった。

### ①大学方面

時間帯によって、発生バス停と発生件数にバラツキがあり、特に 8 時～10 時台に大学のキャンパス付近のバス停（筑波大学西～第二エリア前）で多発していることがわかる。11 時以降は特定の時間帯やバス停での大きな特徴は見られない。このことから、大学方面については筑波大生と教職員が多く利用する朝の通勤通学時間帯で団子運転が発生することがわかる。

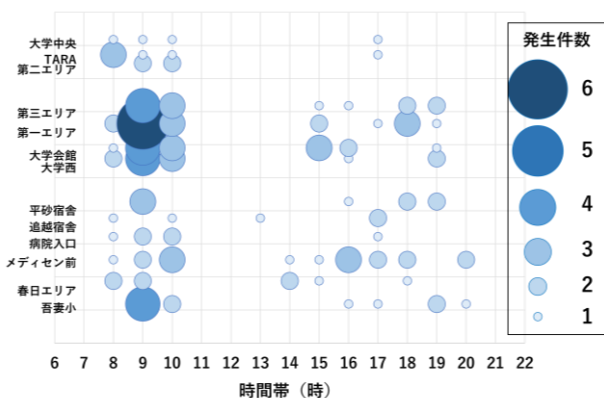


図 7 ①大学方面の団子運転発生件数と場所  
(2020 年 1 月 20 日～24 日の 5 日間)

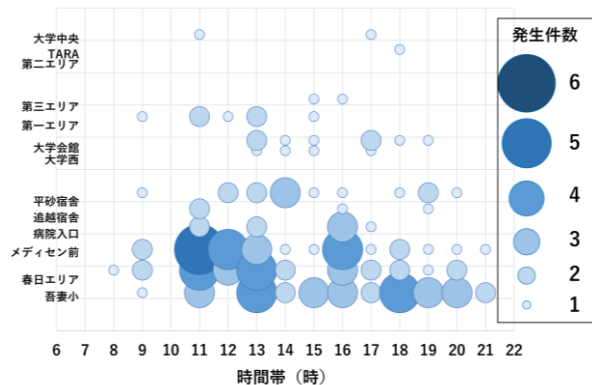


図 8 ②センター方面の団子運転発生件数と場所  
(2020 年 1 月 20 日～24 日の 5 日間)

### ②センター方面

大学方面と比較しても、時間帯による特徴が大きく見られない。そして、時間帯によらず、「吾妻小～メディカルセンター前」の区間で団子運転が多く発生していることがわかる。この区間は、筑波大学バスでセンター方向に進むバスの全便が通る区間であり、また降車する利用者の 3 割強が降車するつくばセンター [12]が近い区間で、遅延が蓄積した結果であることも影響していると考えられる。加えて、筑波大学病院入口バス停そばの信号付近の道路は渋滞が多く発生する地点であり、自動車を中心とした周辺の交通状況もバスの運行に影響を及ぼしていると考えられる。

## 2.4. 考察

まず、バスプローブデータを活用した分析から、筑波大学バスにおける団子運転は全体の 2 割強の便に対して発生していることがわかった。

発生場所、時間帯を考えると、大学方面については利用者の乗降による影響が少ないにも関わらず、朝の大学付近で団子運転が多発しており、その原因としては、便数の多さによるバス運行間隔の短さや、信号によるダイヤの乱れが影響していると推察される。また、センター方面の便について、時間に関係なくセンター付近で団子運転が多発しており、その理由としては、93%の利用者が筑波大学松見口の信号（筑波大学病院近く）より北部のバス停を利用することから[12]、利用者の乗降による影響が大きく、

利用者が先発便に乗車することで、乗車人数の偏りが生まれることが影響していると考えられる。

### 3. シミュレーションによる分散乗車の効果測定

#### 3.1. シミュレーション概要

筑波大学バスにおける利用者の分散乗車の効果を測定するため、シミュレーションを行った。実験環境については表3の通りである。

表3 シミュレーション実験環境

OS	Windows 10
CPU	Intel(R)Core(TM)i7-6770
メモリ	32GB
使用ソフト/言語	Unity/C#

また、運行速度、乗車人数、停車時間、道路距離などの実データを用いて、図9のように筑波大学バスの運行状況を再現した。

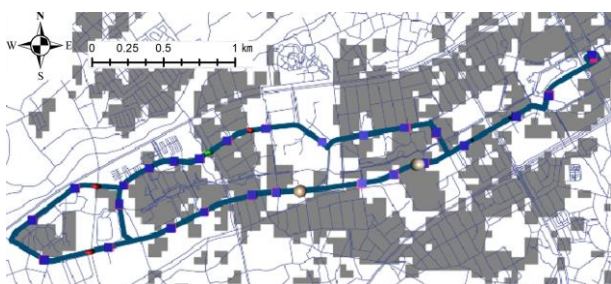


図9 Unity 上でのシミュレーション

#### 3.2. パラメータ

図6における団子運転発生区間に着目し、つくばセンターを出発し第二エリア前を經由し、筑波大学中央を終点とする便が2便運行した場合の分散乗車の効果を測定した。また、筑波大学バスにおいて、全利用者の約40%がつくばセンター[12]で乗降することから、つくばセンター出発時に分散乗車を行い、その利用者が各バス停でそれぞれ降車していく設定である。つくばセンター以外のバス停では、乗車人数は降車人数より少ないと仮定し、乗車する利用者によるバスの停車時間に対する影響は考えないものとする。

ここでは、分散乗車を行った2便と、その2便の

乗客数の和の乗客を先発便1便に集中的に乗せたバス(集中乗車)それぞれについて、各利用者の旅行時間(乗車したバスがつくばセンターを出発し、降車バス停までの到着する時間)の和である総旅行時間の比較を行った。また、後発便利用者の旅行時間は、先発便がつくばセンターを出発した時間から利用者が乗車したバスが降車するバス停に到着するまでの時間とする。

さらに分散乗車については、始点バス停(つくばセンター)でのバス同士の間隔を10秒から120秒まで10秒ずつ変化させながら測定を行った。

その他のパラメータについては以下のように計測、設定した。

- ・バス運行速度：秒速6.5m(第1著者が2021年8月13日にバス乗車し、利用者の乗降と信号による停車時間を除いて計測した実測値)
- ・バス停での停車時間：乗降者が存在すれば停車人数に関係なく9秒停車、さらに乗車人数また降車人数いずれか多いほうの人数と3の乗数秒停車(2018年の実地調査(n=749)データ[12]から単回帰分析を行い算出)。
- ・各バス停での降車人数：各バス停における利用者数の多さについて5段階に分類し、それに応じた降車人数を設定。
- ・信号継続時間：各信号によって異なる。(2020年の実地調査から青信号の継続時間とその他の時間を測定、感応式信号の場合はそれぞれ20回以上の信号サイクルに関する平均値)

### 3.3. 測定結果

#### 3.3.1. 信号停止なし

区間中の信号によるバスの停車が結果に影響を与えることから、ここでは信号停止がない状況と信号停止がある状況に分けて結果を述べる。

2便の合計バス乗車人数を $m$ と設定し、 $m=30,40,50$ のときを考える。分散乗車、集中乗車における乗車人数の配分は表4の通りである。ここでは分散乗車について、先発便の利用者数が後発便以上で、先発便と後発便の利用者数の比がおおよそ1:1, 2:1, 3:1となるような設定(m-A, m-B, m-Cのとき)

表 4 利用者数の配分

パターン	分散乗車		集中乗車	
	先発便	後発便	先発便	後発便
30-A	15	15	30	0
30-B	20	10		
30-C	22	8		
40-A	20	20	40	0
40-B	27	13		
40-C	30	10		
50-A	25	25	50	0
50-B	33	17		
50-C	38	12		
30-D	10	20	30	0
30-E	8	22		
40-D	13	27	40	0
40-E	10	30		
50-D	17	33	50	0
50-E	12	38		

である。

これらの試行での総旅行時間についての結果を図 10 に示す。各便の乗車人数の設定と、先発便と後発便の始点での時間間隔によって、結果は変化した。今回のシミュレーションで分散乗車が有効であるといえる試行はパターン 30-A, 30-B, 40-A, 40-C, 50-A, 50-B, 50-C の場合であると考えられる。また、

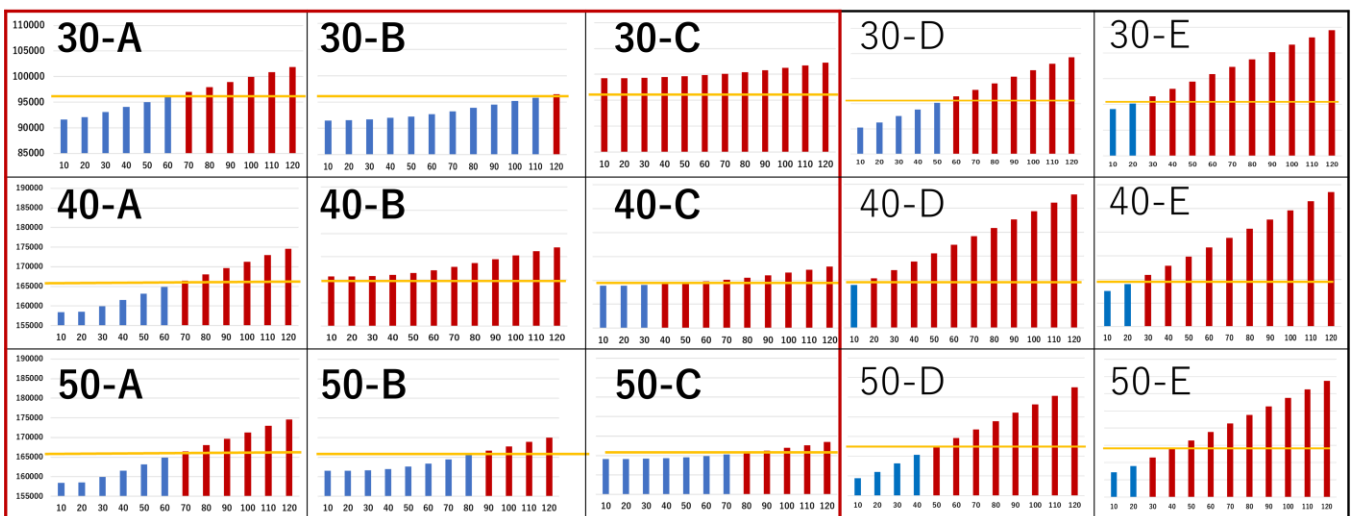
先発便と後発便の始点での時間間隔に着目すると、パターン 30-B では 110 秒まで分散乗車が有効であるのに対し、パターン 40-C では 30 秒まで分散乗車が有効であるという結果になった。

また、パターン 30-A, 40-A, 50-A の結果から先発便と後発便の人数が等しい場合は、先発便と後発便の始点での時間間隔が 60 秒あるいは 70 秒以内であれば、総旅行時間は集中乗車より短くなることが分かった。

さらに、パターン 40-B のようにすべての試行で分散乗車での総旅行時間が、集中乗車の総旅行時間を上回る場合においても、先発便と後発便の始点での時間間隔が 90 秒以内であれば、1 人あたりの旅行時間は集中乗車の場合に 20 秒以下の時間を上乗せする程度の値となり、時間間隔の短い 2 便での分散乗車であれば、1 人あたりの旅行時間に大きな変化がないことが分かった。

### 3.3.2. 信号停止あり

図 6 で示すように、筑波大学バスが運行する区間において信号は 12 存在しており、団子運転発生区間においては 6 (内感應式、押しボタン式は 3) である。そのため、始点で設けた時間間隔は、それぞれの信号停止によって変化する事となる。これにより、乗車人数の設定、先発便と後発便の始点での時



※縦軸：総旅行時間 横軸：始点における先発便と後発便の時間間隔（10秒～120秒，10秒ごと）

(凡例) ——— 集中乗車時の総旅行時間 ■ 総旅行時間が集中乗車時より小さい ■ 総旅行時間が集中乗車時以上

図 10 各試行における利用者の総旅行時間

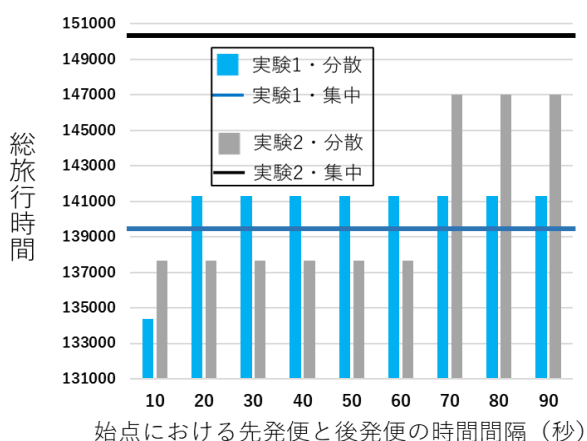


図 11 信号停止あり試行での総旅行時間 ( $m=40$ )  
 間隔の条件が等しくても、信号での停車のタイミング、待ち時間で旅行時間は大きく変化する。図 11 は、集中乗車を 40 人、分散乗車を 20 人と設定し、始点での出発時間を 150 秒ずらした 2 つの試行における総旅行時間の結果である。

この結果から、乗車人数などの設定が同じであっても信号停車により結果が大きく変わることがわかった。現在の筑波大学バスの運行区間では、交通状況に対する信号の交通制御は実施されていないが、今後はバスの運行に合わせた信号の交通制御についても考慮する余地があるといえる。

### 3.3.3. シミュレーション妥当性検証

シミュレーションの妥当性を測定するため、分散乗車について、後発便の利用者数が先発便より多くなる設定での試行を行った。利用者数の配分については表 4 の m-D、m-E のパターンである。

利用者数以外は前々節と同じ設定で行い、結果は図 10 のようになった。

先発便により多くの利用者が乗った試行と比べ、先発便と後発便の時間間隔の値に対し、総旅行時間が線形的に長くなり、また分散乗車の総旅行時間が集中乗車より短くなるパターンが少ないことが分かる。これらのことから、本研究におけるシミュレーションの結果は妥当であると考えられる。

## 4. おわりに

団子運転に関する従前のほとんどの研究では、移

動時間縮減に着眼していた。これらと対照的に、本研究では、コロナ禍を踏まえ、車内密度の削減という視点も加えて、多面的に分析を行った。本研究により、以下の知見を得た。

第一に関東鉄道提供の大量のバスプローブデータを分析し、可視化することで筑波大学バスのキャンパス内における団子運転発生状況を明らかにした。具体的には、発生件数は運行している全便に対して約 2 割の便で団子運転が発生しており、また大学方面の便については筑波大生と教職員が通勤通学で多く利用する朝の時間帯に、センター方面については時間帯に関わらず、つくばセンター付近での団子運転が多発していることが分かった。

第二に、団子運転発生の可能性を吟味するためバス 2 便の発車間隔をコントロールする単純なシミュレーション・モデルを構築し、分散乗車と集中乗車それぞれについて、利用者の総旅行時間を測定した。結果として、先発便と後発便の始点での時間間隔が短い場合に分散乗車を行うと、後発便についても集中乗車の場合より短い総旅行時間で運行できることがわかった。このことからバス 2 便の時間間隔が小さい場合に、三密回避と旅行時間短縮の両立が達成できることが分かった。

路面電車や近郊鉄道などの公共交通においても、ダイヤ全体の遅延を誘発すると団子運転が課題となっていた。これらの交通機関においても、分散乗車により車内密度と旅行時間の両面で有効、つまり、パレート改善になることが分かる。

今後の課題として、研究面では、自動車交通などを組み込んだモデルの精緻化がある。また、実証面として、筑波大学キャンパスにおける、コロナ禍での三密回避の行動変容の一環として団子運転発生時に利用者による分散乗車を推奨する実証実験を展開していきたい。

**謝辞** この研究は関東鉄道株式会社と筑波大学社会工学域との共同研究事業の一環として実施した。また、安東弘泰先生、和田健太郎先生（筑波大学社会工学域）から貴重なコメントを頂戴した。

## 参考文献

- [1]国土交通省総合政策局（2019）地域交通をめぐる現状と課題。「令和元年度 第1回（第15回）交通政策審議会交通体系分科会地域公共交通部会 配布資料」, 資料2, 5-6.
- [2]伊藤昌毅(2020) 公共交通オープンデータの最新状況:MaaS プラットフォームを見据えて.「生産研究」, 72(2), 179-183.
- [3]愛知県 ITS 推進協議会(2017)プローブ情報の活用.< <https://aichi-its.jp/knowledge/glossary/probe/>>.
- [4] 川谷卓哉・廣川佐千男・峯恒憲・伊東栄典(2019)機械学習による走行プローブデータからの異常走行箇所発見.「情報処理学会研究報告」, 76(7), 1-6.
- [5] 岸邦宏・飯野靖文・水野一男・宮川香奈恵(2017)レンタカー観光行動分析に対する ETC2.0 プローブデータ活用の可能性と課題.「土木計画学研究・論文集」, 73(5), 609-619.
- [6] 笠原正嗣 (2021) 新型コロナウイルス感染拡大による移動環境の変動とクルマ社会.「皇學館大学現代日本社会学部 日本学論叢」, 第11号, 127-141.
- [7]神田佑亮 (2021) コロナ禍と公共交通 ～公共交通への影響と復活の方向性～.「IATSS Review (国際交通安全学会誌)」, 46(1), 40-48.
- [8]胡敏兒・保田義之・井ノ口弘昭・秋山孝正 (2019) 路線バスにおける集団走行発生時の運行方法の有効性分析.「交通工学論文集」, 5(4), 42-50.
- [9]Daganzo, C.F (2009) A headway-based approach to eliminate bus bunching. *Transportation Research Part B Methodological*, 43(10), 913-921.
- [10] 下津大輔・加古捺巳・安東弘泰・大澤義明ら (2020) レゴブロックを用いた対話型交通シミュレーション 筑波大学キャンパスにおける新モビリティシステム導入の可能性.「日本建築学会第43回情報・システム・利用・技術シンポジウムインタラクティブ部門」.
- [11]筑波大学学生支援室 (2018) 平成29年度学生生活実態調査(学群) 報告書, 54-57.
- [12]SONG CHEN (2019) キャッシュレスによる学内バス運行の効率化と安定化. 修士論文, 筑波大学大学院システム情報工学研究科.