

# シミュレーションによるオンデマンドモビリティの運行計画策定手法に関する研究 ～栃木県矢板市の交通再編計画を事例として～

堀口 拓未<sup>1</sup>・五十嵐 達哉<sup>2</sup>・尹 鍾進<sup>3</sup>・竹林 弘晃<sup>4</sup>・長谷川 翔生<sup>5</sup>

<sup>1</sup>非会員 株式会社建設技術研究所 本社 企画・営業本部 (〒103-8430 東京都中央区日本橋浜町3-21-1)

E-mail: tm-horiguchi@ctie.co.jp

<sup>2</sup>正会員 株式会社建設技術研究所 東京本社 道路・交通部 (同上) E-mail: ikarashi@ctie.co.jp

<sup>3</sup>正会員 株式会社建設技術研究所 本社 企画・営業本部 (同上) E-mail: yoon@ctie.co.jp

<sup>4</sup>正会員 株式会社建設技術研究所 東京本社 道路・交通部 (同上) E-mail: takebays@ctie.co.jp

<sup>5</sup>非会員 株式会社建設技術研究所 東京本社 都市部 (同上) E-mail: k-hasegawa@ctie.co.jp

オンデマンドモビリティは、公共交通の一つの形態である。以前からデマンド交通と呼ばれ、全国的に導入されてきたが、利用者や運行主体・運転手のニーズに応えられていない部分が存在したため、導入が一部の地域にとどまっていた。しかし、近年では、ICTの進展により、“オンデマンドモビリティ”として再び脚光を浴びている。

そこで、本論文では、利用者・運営主体双方にとって使いやすいオンデマンドモビリティを導入するために開発した当社独自のシステムを用いてシミュレートして、栃木県矢板市のオンデマンドモビリティ導入計画を定量的根拠に基づき立案し、実際の市の交通再編計画として分析結果を反映させた事例を報告するものである。

**Key Words :** *public transport, on-demand mobility, simulation, operation planning*

## 1. はじめに

地域公共交通は、そのサービスが減退すると、市民の移動に対する自由度は低下し、外出回数の減少につながり、悪循環の中で、まちの活力は失われる。そのため、地域公共交通の充実・維持は、重要である。しかしながら現実には、人口減少や低密度化により、バス事業者は、赤字だからといって運行頻度を減らす。これにより、バス離れが進み、減便、最後には路線廃止という悪循環に陥っている地域も少なくない。

そうした中、2007年の「地域公共交通の活性化及び再生に関する法律」の制定を契機に、地域公共交通の維持や確保に取り組むための様々な取り組みが整備されている。地方公共団体や交通事業者をはじめ、地域の関係者の連携や協働による取り組みの効果が徐々に表れている地域もあるが、地方都市の地域公共交通を取り巻く状況は、コロナ禍の人々の外出行動の自粛と相まって厳しいのが現状である。

地方都市の地域公共交通にまつわる課題としては、まず、公共交通空白地人口の増加が挙げられる。国土交通省総合政策局の調べ<sup>1)</sup>によると、バス300m圏域および鉄道500m圏域より外側の人口は、26百万を超え、5人に1人は、公共交通空白地に居住していることとなる。

一方、こうした状況でも、路線バスの輸送人員の減少に歯止めがかからず、3大都市圏を除く地方部のバス輸送人員は、2016年時点で2000年比24%の減少幅となり、全国の6割の事業者が赤字であることから、路線バスの路線廃止も続いている<sup>2)</sup>。

地域公共交通のサービスが低下する中、地方部では自動車に依存せざるを得ないため、高齢者でも自動車の運転が必要となり、その結果、高齢運転者による交通事故が増加している。2018年における運転免許人口10万人当たりの死亡事故件数は、75歳未満の運転者の3.4件に対して、75歳以上の運転者は8.2件として約2.4倍を示しており<sup>3)</sup>、75歳以上の運転者が死亡事故を起こしやすく、また75歳以上の運転者により460件/年の死亡事故、即ち、

1日平均1.3件の死亡事故が起きている<sup>4)</sup>。

高齢運転者が自動車の運転継続理由は、心理的背景など様々な理由が考えられるが、代替りの交通手段がないことや他の交通手段が不便であることが理由の一つとしてあげられる。内閣府により2016年12月に実施された公共交通に関する世論調査<sup>5)</sup>によると、70歳以上の高齢者が自動車などを利用する理由として、自動車の利便性以外に、「駅やバス停が遠いから」「利用できる鉄道やバスが地域にないから」など、公共交通の空白や不便さを理由として挙げており、特に大都市と比べて地方において公共交通の空白や不便さに対する不満が高い。

また、運転手不足も深刻な状況であり、西日本鉄道のバス会社が人手不足により2018年3月から減便を行うなど、運転手不足による路線バスの減便や廃止の動きも相次いでいる。このように、地方部のモビリティの確保・維持の問題は人口減少・高齢化にともない、今後、更に悪化することが想定される。

一方、交通分野では、100年に1度といわれる革命期に入ったといわれ、スマートモビリティの活用による地域課題の解決が求められている。

スマートモビリティは、「ICTを用いて交通システムをよりインテリジェントで柔軟かつ利用者中心にするモビリティシステム及びその交通手段」といわれ、自動運転、カーシェア、ライドシェアなどと並んで“オンデマンドモビリティ”が挙げられる。

オンデマンドモビリティは、明確な定義があるわけではないが「利用者の要求に応じて、路線、乗降場、運行ダイヤを柔軟に対応する公共交通システム」のことであり、公共交通の一つの形態である。以前から利用者の要求に応じて運行する交通はデマンド交通と呼ばれ導入されてきたが、既存のデマンド交通では、システム化が十分でないことから利用者や運行主体・運転手のニーズに答えられていない部分が存在していた。しかしながら、近年では、ICTの進展により、利用者ニーズ等への対応がより細かく可能となり、再びオンデマンドモビリティが脚光を浴びている。

そこで、本論文では、利用者・運営主体双方にとって使いやすいオンデマンドモビリティを導入するために開発したシステムを用いてシミュレートし、栃木県矢板市のオンデマンドモビリティ導入計画を立案した事例をオンデマンドモビリティ運行計画策定手法の実践例として、とりまとめたものである。

## 2. オンデマンドモビリティの課題と既往研究

オンデマンドモビリティの課題は、一般に、次のようなことが挙げられる。

一つ、オンデマンドモビリティは、定路線型でなくド

アトドアでの対応が求められることが多いが、送迎順序や運行経路、到着時間等、細かい運行計画が必要であるため、利便性の低い路線固定型にしているケースがあり、また、ドアtoドアによる乗車時間の増加が懸念される。

次に、事前予約制でなくリアルタイムでの予約対応が求められるが、電話での対応のみのシステムでは、送迎の順番や運行経路、到着時間などについて、最適化技術がないため、事前予約制により、運行計画を立てている例も多く、予約のキャンセルへの対応も煩雑となる。また、予約状況の変化に伴う配車や運行計画などのリアルタイムでの効率的な計画も難しいのが現状である。

さらに、運転手への細かい運行計画については、送迎の順番や運行経路、到着時間などについてナビなどで指示を出さず、熟練した運転手が判断して運行するケースが多いため、運転手に負担を強いているのが現状である。

そうした課題を解決するオンデマンドモビリティの研究・導入事例が、近年、見られている。

福本・西山・加藤ら<sup>6)</sup>は、オンデマンド交通の運行実績データに基づく、市民の移動パターンを利用して、オンデマンド交通を含む地域公共交通全体の計画を検討する手法を提案するとともに、千葉県成田市のオンデマンド交通の利用者データを用いて簡易シミュレーションを実施し、利用者料金を実施した場合のコスト効率改善効果を分析している。

長谷川・鈴木<sup>7)</sup>は、デマンド型交通を運行する茨城県常総市を対象に運行データの分析を行い、利用の特徴を把握するとともに、実際の需要パターンを用いた運行シミュレーションを行い、かつて運行されていた定時・定路線方式のコミュニティバスとの比較優位、車両台数・車両定員の差違、利用者所要時間・車両走行距離・燃料消費量・CO<sub>2</sub>排出量の変化を分析し、デマンド型交通による利便性・環境負荷軽減効果を試算している。

常総市では、筑波大学と連携して、予約型乗合交通の最適化に取り組んでいる<sup>8)</sup>。この研究では、導入されているデマンド型交通の運行実績データを用いて運行シミュレーションを行い、最も効率的な運行パターンを、車両サイズ・車両台数・需要パターンとの関係性から比較している。

このように、オンデマンドモビリティの最適計画を目指して、いくつかの研究事例がみられるが、提案されたシミュレート結果をもとに本格導入に至っている事例は、少ない。また、実際の需要パターンを用いて運行シミュレーションを実施する上で、車両サイズや車両台数等を比較分析する事例は見られるが、デマンド車両1台あたりのカバーエリアを比較分析した事例は見られない。

そうした点に着目して、本研究では、栃木県矢板市を対象に、シミュレーションによるオンデマンドモビリティの新たな運行計画策定手法の検討に取り組んだ。



### 3. 検討対象地域

#### (1) 矢板市の地域概況

本研究の対象地である矢板市は、栃木県の北東部に位置し、東は大田原市とさくら市に接し、西は塩谷町、南はさくら市に、北は那須塩原市に接している。面積は170.46平方キロメートルで、東西約11.6km、南北約24.2kmのほぼ長方形をなしている。

矢板市の人口は33,354人、世帯数は12,342世帯（平成27年国勢調査）である。65歳以上高齢者は9,401人で高齢化率は28.2%となっており近年増加傾向にある。

市内には矢板駅および片岡駅の2つ駅が存在し、駅周辺の既成市街地は、公共公益施設、商業・業務施設等が立地している非線引き都市計画区域である（図-1）。

#### (2) 矢板市における既存公共交通の現状

矢板市では高齢化の進行が顕著であり、市民の生活行動は自家用車による移動が多い。現在、市内の公共交通は、市営バスが10路線（3台）、民間バス〔おや交通（株）〕が3路線運行している（図-2）。このうち、市営バスは、平成11年から民間事業者が運行する路線バスの不採算路線廃止に伴う代替交通として運行しているものであり、市内のバス路線総延長距離の大部分を占める。

市営バスの利用者数は、年間21,000人程度で、直近3年間では大きな変動はなく、利用者は全体の約7割を高齢者が占めている。市全体の高齢化と相まって重要性が高まっているものの、バス停まで遠い地域からの利便性が低いこと、収支改善などの課題が挙げられている。

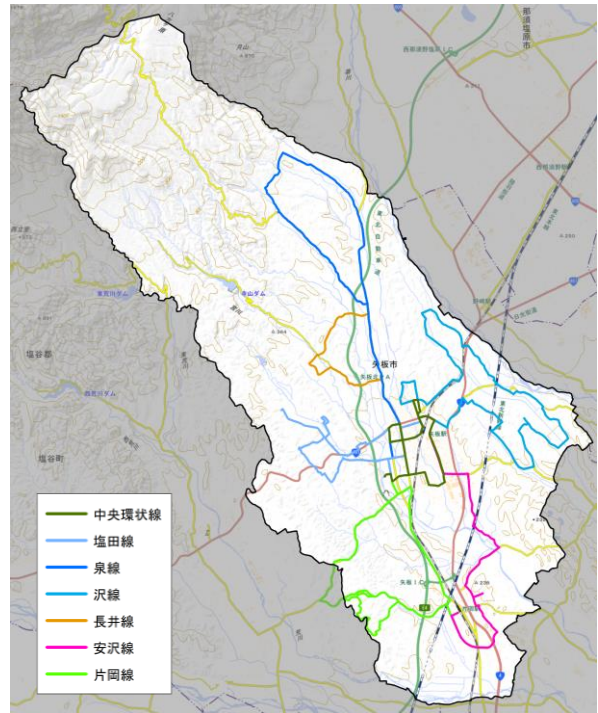


図-2 矢板市営バスの路線図

#### (3) 公共交通再編検討の状況

矢板市では、公共交通の課題解決に向け、令和元年度に地域公共交通網形成計画〔計画期間令和2年度～6年度（5年間）〕を策定している<sup>9)</sup>。また、都市計画マスタープランではコンパクトで効率的な都市構造の実現を目指しており公共交通再編とまちづくりの連携が求められており、現在、立地適正化計画の策定が行われているところである。

網形成計画では、基本的な理念に「便利でわかりやすく、利用しやすい公共交通体系の構築」を掲げ、公共交通課題の解決を目指す具体的な施策として、矢板駅周辺の中央部循環路線の充実と公共交通が運行していないエリアの解消に向けたデマンド交通の導入を挙げている（表-1）。

本検討では、上記のうち、市営バスに代わり導入を予定するデマンド交通に関し、中央部循環路線との役割分担を考慮したうえで、シミュレーションによる運行形態の検討を行い、オンデマンドモビリティ導入計画を立案したものである。

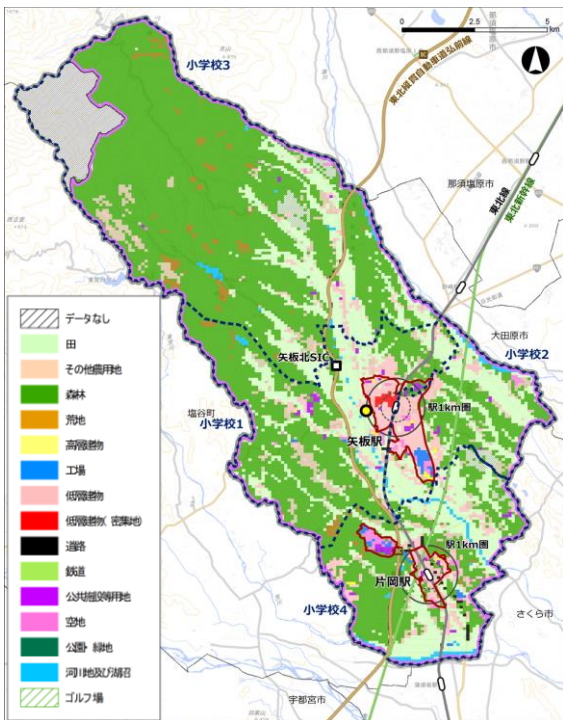


図-1 矢板市土地利用現況図（都市地域土地利用細分メッシュを用いて作成）

表-1 矢板市の公共交通課題と対応する施策

課題分類	課題	対応する施策
利便性	公共交通空白地域の解消	デマンド交通
	病院や商業施設への移動利便性の向上	中央部循環路線
	利用促進のためのわかりやすい交通体系	デマンド交通 中央部循環路線
持続性	財政負担の最小化	デマンド交通 中央部循環路線

## 4. シミュレーションの概要

### (1) シミュレーションの概要

本事例では、オンデマンドモビリティの導入に向けた運行形態の検討を当社が開発したシミュレーションシステムを利用して実施した。

当社は、オンデマンドモビリティの予約受付や配車計画の作成、運行ルートの案内など、オンデマンドモビリティの運行を総合的に支援するオンデマンドモビリティシステムの開発・展開を進めている。本シミュレーションはそのシステムの配車計画作成機能を活用したものであり、オンデマンドモビリティの導入時や運行改善検討時に運行形態について定量的な机上検討（評価・検証）を実現するものである。

これまで、自治体等においてオンデマンドモビリティの運行台数や便数などの運行形態を決める場合、既存路線バスの運行サービスレベルをそのまま代替するように設定する事例や人口規模等が同程度の地域におけるオンデマンドモビリティの運行レベルを踏襲して設定する事例など、当該地域の状況を踏まえた定量的な検討が実施されずに運行形態が決められることが少なくなかった。

本シミュレーションシステムを活用し、オンデマンドモビリティの様々な運行形態の比較案について、シミュレーションを行うことで、利便性・効率性の観点から望ましいと考える運行形態を試験運行や本格運行を行う前に定量的に検討することが可能となる。

### (2) シミュレーションの実施フロー

本シミュレーションの実施フローを図-3に示す。システムでは、予約リスクエストデータや運行形態等のインプットデータを入力し、運行サービスレベルを設定することで、システム内部でオンデマンドモビリティの運行をシミュレートし、運行に関する各種評価指標（KPI）を算出することができる。

シミュレーションに入力・設定するインプットデータおよび運行サービスレベルの項目を表-2に示す。本シミュレーションでは、「車両台数」や「車両定員数」といった運行形態に関する項目だけでなく、「最大待ち時間」や「相乗りによる最大超過時間」などの運行サービスレベルに関する項目についても設定・検証することが可能である。道路ネットワークについては、Open Street Mapの道路ネットワークを基本とし、当該地域の時間帯別の混雑状況を考慮して走行速度を設定する。

シミュレーションで算出可能な指標を表-3に示す。設定した予約リスクエストデータに対しどれだけの予約が成功したかを示す「予約成功件数/成功率」だけではなく、成功した予約に応じて運行した場合の車両の走行距離や走行時間、乗客の平均待ち時間なども算出される。

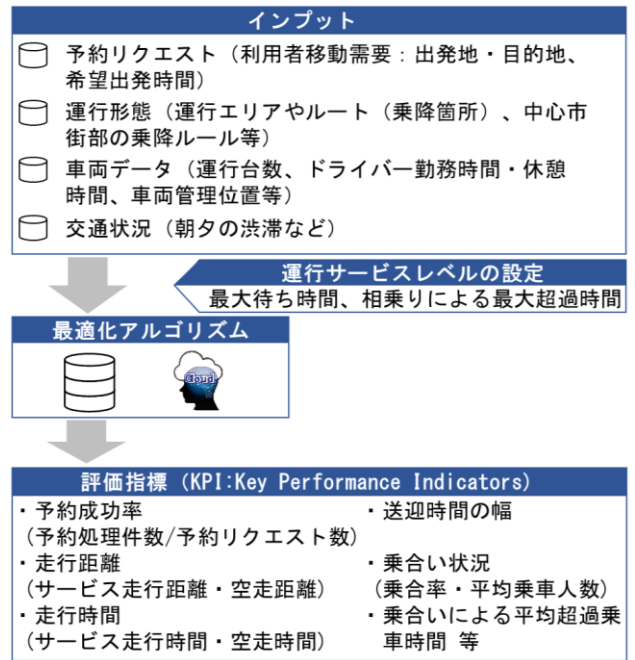


図-3 シミュレーションの実施フロー

表-2 シミュレーションにおけるインプットデータおよび運行サービスレベルの設定項目・概要

設定項目		概要
インプットデータ	予約リスクエストデータ	利用者の出発地と目的地、出発希望時刻を1件ずつ設定する。
	車両データ	運行台数と各車両の定員数*・基地位置・勤務/休憩時間を設定する。 ※定員は運転手を除く
	交通状況データ	検討対象エリアの走行速度の変動を時間帯別に設定する。
運行サービスレベル	最大待ち時間	出発希望時刻に対する待ち時間についてどこまで許容するか設定する。
	相乗りによる最大超過時間	相乗りにより増加する移動時間をどこまで許容するか設定する。

表-3 シミュレーションにおける評価指標

評価指標（KPI）	内容
予約成功件数(件)	予約できた件数
予約成功率	予約成功件数÷予約リスクエスト件数
総走行時間(h)	車両が走行した全ての時間の合計
総走行距離(km)	車両が走行した全ての距離の合計
総サービス移動時間(h)	車両が乗客を乗せて移動した時間の合計
総サービス移動距離(km)	車両が乗客を乗せて移動した距離の合計
サービス時間率	総サービス移動時間÷総走行時間
サービス距離率	総サービス移動距離÷総走行距離
稼働率	総走行時間÷走行可能時間
平均乗車人数(分)	総サービス移動時間における定員に対する乗車人数の割合
平均待ち時間(分)	乗車希望時刻と乗車時刻との差の平均
平均超過乗車時間(分)	相乗りにより増加した時間の平均



## 5. シミュレーションによる運行計画策定の実践

矢板市におけるオンデマンドモビリティ運行計画策定にあたっては、表4の流れで検討した。各項目の具体的な検討内容について、以降に示す。

表4 オンデマンドモビリティ運行計画策定の検討の流れ

(1) 矢板市でシミュレーションを行うためのインプットデータを作成
(2) 矢板市においてオンデマンドモビリティを導入した場合に、望ましい運行形態（運行エリア・運行車両台数・運行車両タイプ）を検証・評価するための第1段階シミュレーションを実施
(3) 第1段階シミュレーション結果から設定した運行形態案について、運行スケジュールを精査した第2段階シミュレーションを実施
(4) 需要の高い時間帯において予備車両を追加したシミュレーションを実施し、予約不成立の解消効果を検証
(5) 上記の検討結果を踏まえ、運行計画を立案

### (1) インプットデータの作成

今回のシミュレーション実施にあたり、予約リクエストデータおよび交通状況データの作成を行った。

#### a) 予約リクエストデータの作成

オンデマンドモビリティの運行実績のある地域においては、実際のオンデマンドモビリティの運行データを基に予約リクエストデータを作成することができるが、矢板市では、オンデマンドモビリティの運行実績がないため、現在運行する市営バスの利用実態等を踏まえて予約リクエストデータを作成した。

まずは、市営バスのうちオンデマンドモビリティへの転換が想定される郊外路線の利用者数、人口分布、主要施設の立地状況を基に1kmメッシュ毎の発生集中量を推定した。次に、発生集中量とメッシュ間の所要時間を基に分布交通量（OD）を設定した。予約リクエストデータの出発希望時刻は、市営バスの利用者の時間分布を基に全体の出発希望時間分布を設定した後、市営バスの運行時間帯別バス乗降者数を基に、出発地・目的地別の出発希望時間の発生確率を求めて全体量に乗じることで設定した。上記を踏まえ、今回のシミュレーションに使用する117件/日の予約リクエストデータを作成した。現在の市営バス郊外路線の1日あたりの平均利用者数は70人/日程度であり、運行エリアの拡大などから1.5倍程度となっている。作成した予約リクエストデータのエリア間ODを図4に示す。なお、予約リクエストデータ1件につき1名の利用として設定している。

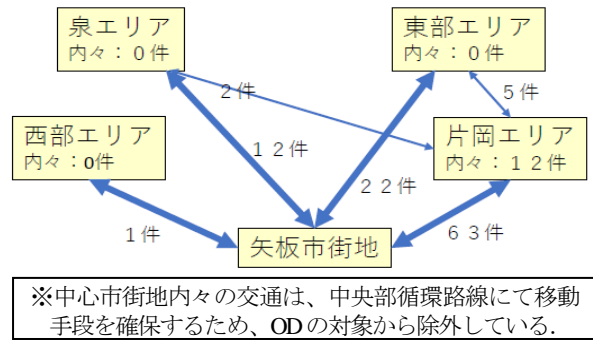


図4 予約リクエストデータのエリア間OD量 (全117件)

#### b) 交通状況データの作成

矢板市内の道路網のうちオンデマンドモビリティの走行が考えられる主要道路の時間帯別の走行時間を計測し、各時間帯における速度低下率を設定することで、車両の走行速度が混雑状況に応じて変動するよう設定した。

### (2) 運行形態の検討（第1段階シミュレーション実施）

オンデマンドモビリティの運行形態について、第1段階シミュレーションを実施し、運行エリア・運行台数・車両サイズの検討を行った。

第1段階におけるシミュレーションは、図5に示すとおり、運行エリア（4パターン）×運行台数（3パターン）×車両定員数（4パターン）の組み合わせについて、全40ケース（4エリアで3台以下の運行など運行エリアと運行台数の設定に整合が取れない8ケースを除外）を設定した。実施したシミュレーション結果の一覧を表5に示す。なお、運行エリアのパターン設定に用いた地域区分は図6のとおりであり、運行スケジュールは路線バスの運行時間・利用実態を踏まえ、6時半から18時半までとし、2時間毎に10分の休憩をとる設定とした（図7）。

また、今回は運行形態を横並びで比較するため、運行のサービスレベルに関する設定項目である最大待ち時間は30分、相乗りによる最大超過時間は1.5倍以内かつ15分以内と全ケース共通で設定した。

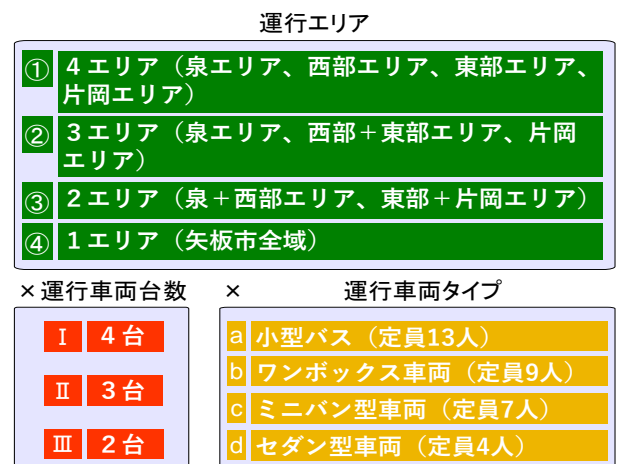


図5 第1段階シミュレーションの検討ケース

表-5 第1段階シミュレーション全ケース結果

ケース	エリア数	運行台数	車両定員	リクエスト件数	予約成功件数	予約成功率	走行距離 (km)		走行時間 (h)		サービス距離 (km)		サービス時間 (h)		サービス距離率	サービス時間率	稼働率	平均乗車人数	平均待ち時間 (分)	平均乗車超過時間 (分)
							全体	1台平均	全体	1台平均	全体	1台平均	全体	1台平均						
① I a	4	4	13	117	69	0.59	472	118	18.9	4.7	335	84	13.2	3.3	0.71	0.70	40%	1.3	9.7	7.0
① I b	4	4	9	117	69	0.59	472	118	18.9	4.7	335	84	13.2	3.3	0.71	0.70	40%	1.3	9.7	7.0
① I c	4	4	7	117	69	0.59	472	118	18.9	4.7	335	84	13.2	3.3	0.71	0.70	40%	1.3	9.7	7.0
① I d	4	4	4	117	69	0.59	472	118	18.9	4.7	335	84	13.2	3.3	0.71	0.70	40%	1.3	9.7	7.0
② I a	3	4	13	117	73	0.62	492	123	19.7	4.9	352	88	13.9	3.5	0.71	0.71	42%	1.4	10.7	6.7
② I b	3	4	9	117	73	0.62	492	123	19.7	4.9	352	88	13.9	3.5	0.71	0.71	42%	1.4	10.7	6.7
② I c	3	4	7	117	73	0.62	492	123	19.7	4.9	352	88	13.9	3.5	0.71	0.71	42%	1.4	10.7	6.7
② I d	3	4	4	117	73	0.62	492	123	19.7	4.9	352	88	13.9	3.5	0.71	0.71	42%	1.4	10.7	6.7
② II a	3	3	13	117	68	0.58	465	155	18.6	6.2	329	110	12.9	4.3	0.71	0.69	52%	1.4	10.2	6.8
② II b	3	3	9	117	68	0.58	465	155	18.6	6.2	329	110	12.9	4.3	0.71	0.69	52%	1.4	10.2	6.8
② II c	3	3	7	117	68	0.58	465	155	18.6	6.2	329	110	12.9	4.3	0.71	0.69	52%	1.4	10.2	6.8
② II d	3	3	4	117	68	0.58	465	155	18.6	6.2	329	110	12.9	4.3	0.71	0.69	52%	1.4	10.2	6.8
③ I a	2	4	13	117	94	0.80	490	123	20.3	5.1	367	92	15.1	3.8	0.75	0.75	43%	1.6	11.4	7.3
③ I b	2	4	9	117	94	0.80	490	123	20.3	5.1	367	92	15.1	3.8	0.75	0.75	43%	1.6	11.4	7.3
③ I c	2	4	7	117	94	0.80	490	123	20.3	5.1	367	92	15.1	3.8	0.75	0.75	43%	1.6	11.4	7.3
③ I d	2	4	4	117	92	0.79	489	122	20.1	5.0	375	94	15.3	3.8	0.77	0.76	43%	1.5	11.0	6.8
③ II a	2	3	13	117	94	0.80	490	163	20.3	6.8	371	124	15.2	5.1	0.76	0.75	57%	1.6	12.4	6.9
③ II b	2	3	9	117	94	0.80	490	163	20.3	6.8	371	124	15.2	5.1	0.76	0.75	57%	1.6	12.4	6.9
③ II c	2	3	7	117	94	0.80	490	163	20.3	6.8	371	124	15.2	5.1	0.76	0.75	57%	1.6	12.4	6.9
③ II d	2	3	4	117	92	0.79	489	163	20.1	6.7	378	126	15.4	5.1	0.77	0.76	57%	1.6	12.0	6.4
③ III a	2	2	13	117	55	0.47	337	169	13.5	6.8	250	125	9.7	4.8	0.74	0.72	57%	1.4	11.2	4.9
③ III b	2	2	9	117	55	0.47	337	169	13.5	6.8	250	125	9.7	4.8	0.74	0.72	57%	1.4	11.2	4.9
③ III c	2	2	7	117	55	0.47	337	169	13.5	6.8	250	125	9.7	4.8	0.74	0.72	57%	1.4	11.2	4.9
③ III d	2	2	4	117	54	0.46	337	168	13.5	6.8	250	125	9.7	4.8	0.74	0.71	57%	1.4	11.2	4.7
④ I a	1	4	13	117	114	0.97	620	155	25.1	6.3	481	120	19.3	4.8	0.78	0.77	53%	1.8	8.8	6.9
④ I b	1	4	9	117	114	0.97	620	155	25.1	6.3	481	120	19.3	4.8	0.78	0.77	53%	1.8	8.8	6.9
④ I c	1	4	7	117	114	0.97	620	155	25.1	6.3	481	120	19.3	4.8	0.78	0.77	53%	1.8	8.8	6.9
④ I d	1	4	4	117	111	0.95	617	154	24.8	6.2	471	118	18.8	4.7	0.76	0.76	52%	1.8	8.1	6.5
④ II a	1	3	13	117	102	0.87	533	178	21.7	7.2	418	139	16.9	5.6	0.78	0.78	61%	1.8	10.6	7.2
④ II b	1	3	9	117	102	0.87	533	178	21.7	7.2	418	139	16.9	5.6	0.78	0.78	61%	1.8	10.6	7.2
④ II c	1	3	7	117	102	0.87	533	178	21.7	7.2	418	139	16.9	5.6	0.78	0.78	61%	1.8	10.6	7.2
④ II d	1	3	4	117	101	0.86	537	179	21.8	7.3	415	138	16.8	5.6	0.77	0.77	62%	1.8	10.8	6.7
④ III a	1	2	13	117	78	0.67	412	206	16.8	8.4	333	167	13.7	6.8	0.81	0.81	71%	2.0	10.2	8.9
④ III b	1	2	9	117	78	0.67	412	206	16.8	8.4	333	167	13.7	6.8	0.81	0.81	71%	2.0	10.2	8.9
④ III c	1	2	7	117	78	0.67	412	206	16.8	8.4	333	167	13.7	6.8	0.81	0.81	71%	2.0	10.2	8.9
④ III d	1	2	4	117	75	0.64	404	202	16.6	8.3	330	165	13.6	6.8	0.82	0.82	70%	1.9	9.6	8.6

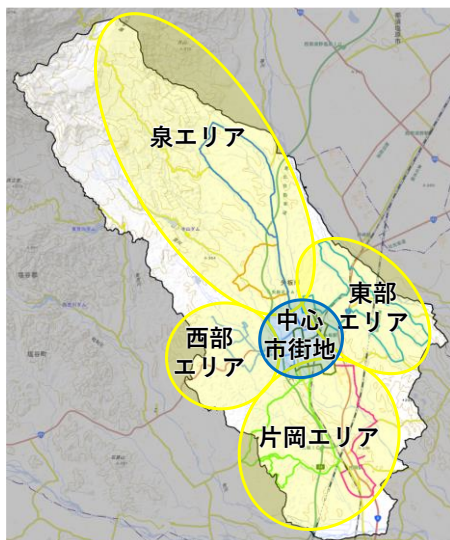


図-6 矢板市内の地域区分

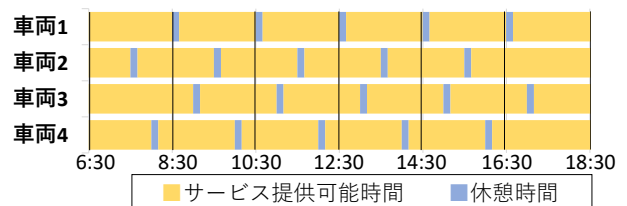


図-7 第1段階シミュレーションでの車両運行スケジュール

a) 運行台数に関する考察

運行台数については、台数を増やすことで多くの利用者に対応することができるが、当然、その分経費が多くなることとなる。オンデマンドモビリティでは運行経費のうち運転手人件費が占める割合が高いため、車両台数は運行経費の増減に大きく影響する。ここでは、シミュレーション結果のうち運行エリアを1エリア、車両定

員を13人として設定したケース④Ⅰa, ④Ⅱa, ④Ⅲaに着目し, その予約成功状況, 稼働率を基に考察を行った。

表-6のとおり運行台数が2台の場合, 予約成功率が67% (成功件数78件) と低いが, 運行車両を3台とした場合には予約成功件数が100件を超え, 約9割の予約に対応することが可能となる。運行台数4台の場合には, 予約成功率は3台に比べ10%向上しほぼ全ての予約に対応できるものの, 稼働率は53%と低く需要が多い時間帯以外には過剰供給となっていると考える。

以上のことから, 本検討では, 運行台数は3台が望ましいと判断した。

**b) 運行エリアに関する比較**

運行エリアについては, 運行対象エリアが広い場合にはエリアを分割した方が効率的な運行が期待できるが, エリア別に車両を振り分けることとなるため需要に偏りがある場合には全体の配車効率が低下する場合があるなど対象地域の地域特性の影響を大きく受ける。ここでは, シミュレーション結果のうち車両台数を3台, 車両定員を13人として設定したケース②Ⅱa, ③Ⅱa, ④Ⅱaに着目し, その予約成功状況, 稼働率を基に考察を行った。

表-7のとおり予約成功率は運行エリアを3エリアとしたケースが58%と最も低く, 2エリアの場合には80%, 1エリアの場合には87%と1エリアの場合が最も高い結果となった。その理由として, エリアを分割した場合には需要の多い片岡エリアの予約に対応しきれないと考える。運行エリアを1エリアにしたケースでは, 稼働率が61%と最も高く, 需要の多い片岡エリアを含め市全体での効率性を踏まえた車両配車が実施されたと考える。

以上のことから, 本検討では, 運行エリアは1エリアが望ましいと判断した。

**c) 車両サイズに関する考察**

車両サイズについては, 定員を増やすことで多くの利用者に対応することができるが, 車両の大型化に伴い購入費用が増加するとともに細い路地等への進入が困難となる。また, 運転手も含めた乗車定員が11人以上の車両では中型自動車の免許が必要となる点にも注意が必要である。ここでは, シミュレーション結果のうち運行エリアを1エリア, 運行台数を3台として設定したケース④Ⅱa, ④Ⅱb, ④Ⅱc, ④Ⅱdに着目し, その予約成功状況, 平均乗車人数を基に考察を行った。

表-8のとおり平均乗車人数が1.8人と少なく, 車両定員がどの場合でも予約成功件数にほとんど変化がない。

以上のことから, 本検討では, 車両定員は4人で対応可能と判断した。

表-6 運行台数の考察におけるケース比較

ケース	エリア数	運行台数	車両定員	リクエスト件数	予約成功件数	予約成功率	稼働率	平均乗車人数
④Ⅰa	1	4	13	117	114	0.97	0.53	1.8
④Ⅱa	1	3	13	117	102	0.87	0.61	1.8
④Ⅲa	1	2	13	117	78	0.67	0.71	2.0

表-7 運行エリアの考察におけるケース比較

ケース	エリア数	運行台数	車両定員	リクエスト件数	予約成功件数	予約成功率	稼働率	平均乗車人数
②Ⅱa	3	3	13	117	68	0.58	0.52	1.4
③Ⅱa	2	3	13	117	94	0.80	0.57	1.6
④Ⅱa	1	3	13	117	102	0.87	0.61	1.8

表-8 車両サイズの考察におけるケース比較

ケース	エリア数	運行台数	車両定員	リクエスト件数	予約成功件数	予約成功率	稼働率	平均乗車人数
④Ⅱa	1	3	13	117	102	0.87	0.61	1.8
④Ⅱb	1	3	9	117	102	0.87	0.61	1.8
④Ⅱc	1	3	7	117	102	0.87	0.61	1.8
④Ⅱd	1	3	4	117	101	0.86	0.62	1.8

**(3) 運行スケジュールの精査 (第2段階シミュレーション実施)**

ここでは, 第1段階シミュレーション結果から設定した運行形態案について, 1車両1人の運転手で運行するとした場合の休憩時間確保および1時間毎の運行便設定を考慮し, 運行スケジュールを精査した第2段階シミュレーションを実施した。

**a) 検討ケースの設定**

運行エリア・運行台数・車両定員数は, 図-8に示すとおり, 運行エリアは1エリア, 運行台数は3台とし, 各車両の定員数 (3パターン) の組み合わせにより, 全3ケースを設定した。

運行スケジュールは, 8時から17時までの運行, 50分運行ごとに10分の休憩として設定した (図-9)。

また, 1時間毎の運行と合致するように, 運行のサービスレベルに関する設定項目である最大待ち時間を30分から50分に変更した。

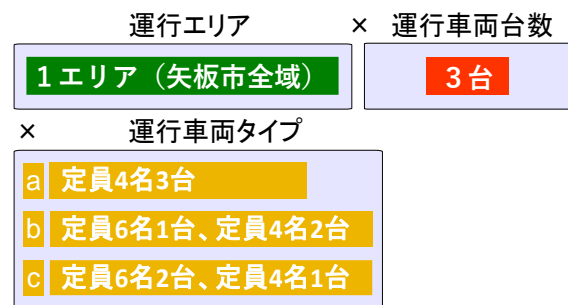


図-8 第2段階シミュレーションの検討ケース



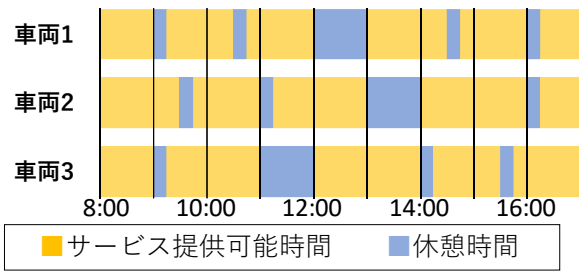


図-9 第2段階シミュレーションでの車両の運行スケジュール

なお、本検討では、コリーナ矢板・玉田地区について、デマンド交通以外で移動手段の確保が検討されていることを踏まえ、コリーナ矢板・玉田地区を発着するデータを除外した予約リクエストデータを基にシミュレーションを実施した（除外後の予約リクエスト件数は104件）。

b) 第2段階シミュレーション結果の考察

第2段階シミュレーションの結果を表-9に示す。運行スケジュールを精査した今回のシミュレーションにおいて、車両サイズを変更した場合でも予約成功件数は90件で変わらない結果となっており、車両サイズは4人乗りで対応可能と判断できる。

なお、今回のシミュレーションの予約成立状況を詳細に把握するため、時間帯別に予約成功件数を集計した結果を表-10に示す。集計結果を見ると、9時台と11時台～13時台において、予約の不成立が発生している。これは、9時台においては各方面からの移動需要が多く3台では対応しきれないこと、11時台～13時台においては運転手の昼休憩によりその時間の運行台数が2台となることで移動需要に対応できていないと考える。

表-9 第2段階シミュレーション結果

ケース	各車両の定員	リクエスト件数	予約成功件数	予約成功率	稼働率	平均乗車人数
a	4,4,4	104	90	0.87	0.71	2.0
b	4,4,6	104	90	0.87	0.71	2.0
c	4,6,6	104	90	0.87	0.69	2.0

表-10 第2段階シミュレーションにおける時間帯別予約リクエスト件数およびケースaにおける予約成功件数

指標	8時台	9時台	10時台	11時台	12時台	13時台	14時台	15時台	16時台
予約リクエスト件数	9	15	16	11	13	12	10	7	11
予約成功件数	9	13	16	5	11	8	10	7	11

(4) 予備車両の検討（第3段階シミュレーション実施）

第2段階シミュレーションの結果から、9時台と11時台～13時台において、予約の不成立が発生しているため、

これらの時間帯にピンポイントで予備車両を追加することにより、予約不成立件数の減少が期待される。

そこで、予備車両の追加による予約不成立の解消効果を定量的に示すことを目的に、第2段階シミュレーションにおいて予約不成立が発生した時間帯に予備車両を1台追加したシミュレーションを実施した。

a) 検討ケースの設定

予備車両の効果を検証するためのシミュレーションは、第2段階シミュレーションで予約不成立が発生していた9時台および11時台～13時台において、予備車両を1台追加した（図-10）。なお、第2段階シミュレーションにおいて車両サイズによる差は見られなかったため、運行車両サイズは予備車両も含め全て定員4人として設定した。

b) 第3段階シミュレーション結果の考察

第3段階シミュレーションの結果を表-11に示す。予備車両の追加により、予約成功件数が10件増加しており、移動需要が集中する時間帯や車両の休憩時間帯に予備車両を追加することによる効果が定量的に示された。

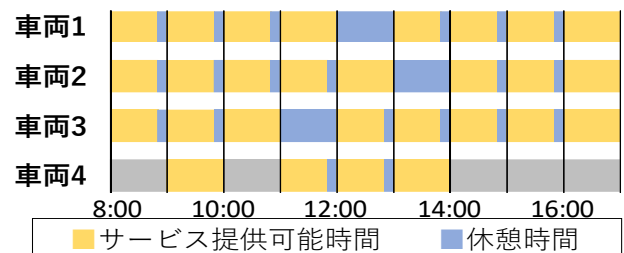


図-10 第3段階シミュレーションでの車両運行スケジュール

表-11 第3段階シミュレーション結果

予備車両	車両定員	リクエスト件数	予約成功件数	予約成功率	稼働率	平均乗車人数
なし	4	104	90	0.87	0.71	2.0
あり	4	104	100	0.96	0.70	1.9

(5) シミュレーションを踏まえた運行計画の立案

今回実施したシミュレーション結果等を踏まえて設定したオンデマンドモビリティの運行計画を表-12に示す。なお、予備車両の運用方法も含めた詳細の運行内容は今後、運行事業者の協議を踏まえ決定される予定である。

表-12 シミュレーション結果を踏まえて設定したオンデマンドモビリティ運行計画

• 運行エリア：1エリア（矢板市内全域）
• 車両台数：車両3台*
• 車両サイズ：4人乗り
※需要が多い時間帯等に予備車両を1台追加する



## 6. おわりに

本事例では、オンデマンドモビリティの導入計画立案にあたり、栃木県矢板市を対象にシミュレーションを活用した運行形態検討を実施した。具体的には、既存市営バスの利用実態・人口分布・施設分布等を踏まえて作成した予約リクエストデータに基づき、運行エリア、運行台数、車両サイズの組合せごとのシミュレーションを実施し、その結果である予約成功状況・平均乗車人数・稼働率等を基に運行形態の検討を行った。また、運行形態案について、運転手の休憩時間等を考慮したスケジュールでの検証を行うとともに、需要の多い時間帯、運転手の休憩により車両が減少する時間帯への予備車両導入効果の算定も実施した。このように、オンデマンドモビリティの導入時の運行形態検討にあたり、シミュレーション結果を用いることで、利便性・効率性を定量的に評価したうえで計画を立案することができた。

オンデマンドモビリティの導入を考えている他地域においても本事例を適用することで、利便性・効率性の高い運行計画の立案が期待される。

また、本シミュレーションは今回の事例のようなオンデマンドモビリティの導入時だけでなく、既存のオンデマンドモビリティの利便性・効率性の検証や運行形態の見直し検討にも活用することが可能である。さらに、今回の事例では運行形態の検討が目的であったためサービスレベルについては一律の設定としたが、利用者待ち時間や相乗りによる最大超過時間などのサービスレベルの設定を変更することで利用者の利便性への影響を検証することも可能である。今後、導入が進むと考えられるオンデマンドモビリティの利便性・効率性の向上に寄与できれば幸いである。

**謝辞：**本研究の実施にあたっては栃木県矢板市様に市営バス運行データ等を提供いただくとともにシミュレーションの実施ケース設定等について有益な意見をいただいた。ここに記して感謝の意を示す。

### 参考文献

- 1) 国土交通省総合政策局公共交通政策部：地域公共交通の現状等について，PP.9，2013.9
- 2) 国土交通省総合政策局公共交通政策部：都市部及び地方部における地域交通の現状，PP.1，2019.4
- 3) 内閣府：令和元年版交通安全白書，2019
- 4) 警察庁：平成 30 年における交通死亡事故の特徴等について，2018
- 5) 内閣府：公共交通に関する世論調査，2016
- 6) 福本雅之，西山陽介，加藤博和，孫卓：公共交通需要希薄地域における少量乗合運送サービス導入方法に関するシミュレーション分析，土木計画学論文集 D，Vol.65 No.4，2009.12
- 7) 長谷川大輔，鈴木勉：運行シミュレーションによる地域公共交通の運行方式の比較－茨城県常総市を対象としたケーススタディー，GIS－理論と応用 Vol.21 No.1，pp.9-19，2013
- 8) 筑波大学，常総市：常総市予約型乗合交通の最適化に関する研究，2019.3
- 9) 矢板市，矢板市地域公共交通網形成計画，2020.3

(2021.3.7 受付)

## A STUDY ON THE SIMULATION-BASED OPERATION PLANNING OF ON-DEMAND MOBILITY FOR PUBLIC TRANSPORT REORGANIZATION

Takumi HORIGUCHI, Tatsuya IKARASHI, Jongjin YOON, Hiroaki TAKEBATASHI and  
Kakeo HASEGAWA

Demand Responsive Transport is a form of public transport services, but it has not been widely adopted. One of the reasons is that it was insufficient to satisfy the needs of users, drivers and local governments. However, in recent years, DRT has newly evolved as on-demand mobility through the application of IT technology. Our company developed an on-demand mobility system using AI and IT technology.

In this study, a simulation using our company's system was conducted to evaluate the introduction plan of On-Demand Mobility, and the analysis result of the simulation is shown.