

栃木県下野市における AI デマンド配車システムの導入とその効果

INTRODUCTION AND EFFECTIVENESS OF AN AI-EQUIPPED DEMAND RESPONSIVE DISPATCH SYSTEM IN SHIMOTSUKE CITY, TOCHIGI PREFECTURE

大皿 陽康*・森 紗耶*・広田 瞳子*・平澤 実紅*・宇那木 駿介*
Takayasu OSARA, Saya MORI, Toko HIROTA, Miku HIRASAWA and Shunsuke UNAKI

In Shimotsuke City, Tochigi Prefecture, the population is declining and aging. In response to the need to build a sustainable regional public transportation system, the city began formulating the local public transport plan in 2019. While the city has introduced Demand Responsive Transport since 2011, it has faced issues in maintaining the service in terms of convenience and profitability. This was due to a lack of growth in the number of users due to the reservation system for the service and restrictions on the service area. The conventional reservation mechanism for Demand Responsive Transport also revealed issues that are difficult to solve manually, such as managing multiple reservations and determining the optimal route based on the reservation status. Based on the above, in April 2021, this city implemented the first demand-responsive vehicle dispatch management system equipped with artificial intelligence in the prefecture, at the same time as the regional public transportation plan was formulated. This paper reports on the technological development of the system, including an overview of the system's usage results and satisfaction levels after its full-scale introduction, and on the effective use of the system to solve regional transportation issues.

Keywords : local public transport plan, demand responsive transport, AI-equipped demand responsive dispatch system, satisfaction survey, technological development, mutual use

1. はじめに

栃木県下野市は、3 町合併で 2006 年に誕生した。人口減少と高齢化が進行し、移動制約者の移動手段の確保が必要であり、持続可能な地域公共交通の構築が求められてきた。本市では、路線バス 3 路線が民間事業者により運行されてきたが、JR の鉄道駅 3 駅やバス停を中心とした公共交通カバー圏域が限定されており、公共交通空白地をカバーすることを目的に、循環型コミュニティバスを本市が試験的に運行してきた。しかし、公共交通の運行水準の課題や定時定路線の運行が利用者のニーズと合致していない可能性があり、利用者数が伸び悩み、循環型コミュニティバスは 2012 年 3 月に運行終了となった(図-1)。交通空白地が広範囲に及ぶことから、循環型コミュニティバスの代替手段として、予約に応じて運行することで効率的かつ面的に移動手段を確保できるデマンド交通「おでかけ号」が 2011 年 11 月から導入された(図-2)。



図-1 デマンド交通「おでかけ号」の導入経緯

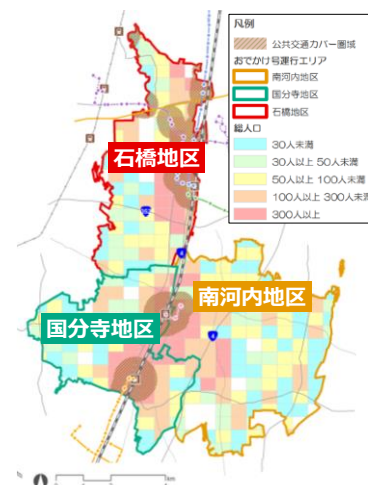


図-2 下野市地図(旧町域/人口分布/駅・バス勢圏)

* 交通運輸事業本部 交通政策事業部 交通都市部

循環型コミュニティバスの代替手段として導入されたデマンド交通においても、乗車 1 時間前に予約が必要なことや、病院などの一部施設を除き、旧町域を跨いだ移動には、市役所などの公共施設で乗り継ぎが必要であるといった利便性に制限がみられた。また、オペレーターは、予約を 1 時間毎に区切り、乗車/降車の順序、ルートを決定的すること、複数の利用している方からの電話を並行して受け、予約・受付・運行指示を担うことなど、多くの労力を強いられる状況となっていた。このことから、複数の要素を判断し、最適解を出すには、人手による煩雑な作業を一定のアルゴリズムに基づき短時間にアウトプットが得られる運行管理システムが必要となっていた。今後、移動ニーズが増えた場合にも短時間に効率的に解決できる技術開発が求められ、このことから運行の最適化を実現できる技術動向を整理し、デマンド交通の改善に取り組んだ。

2. 下野市におけるデマンド交通の課題

(1) 下野市における課題

下野市において、デマンド交通の課題の整理を進めることと並行し、地域公共交通計画を策定するにあたって、既存公共交通に対する課題を整理することを目的に、市民アンケートを実施した。下記に示す「デマンド交通の利用状況と認知度」に関するアンケート項目を用意し、調査結果より重要な示唆を得た。アンケート調査の一部を抜粋し、以下に示す。

1) AI 導入前：従来のデマンド交通の利用状況と認知度

AI 導入前の既存デマンド交通の利用状況と認知度について下野市在住の住民に対するアンケート調査を実施したところ、アンケート回答者のうち、利用している方は 4.6%、利用していない方が 75.5%と大半を占め、デマンド交通を知らない方が全体の 19.9%となっている(図-3)。

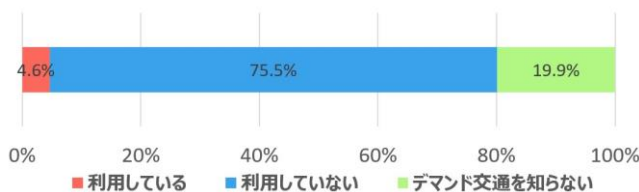


図-3 AI 導入前：従来のデマンド交通の利用状況と認知度

2) AI 導入前の従来のデマンド交通に対する要望

AI 導入前の従来のデマンド交通に対する意見として、乗車の 1 時間前までに電話予約する必要があることから、「帰りの時間が不確定で予約しにくい」、「乗りたい時間に運行されていない」、「利用したい時間に予約できないことがある」、「運行本数が少ない」といった意見が確認され、デマンド交通の利便性に対する不満が多くみられた(図-4)。

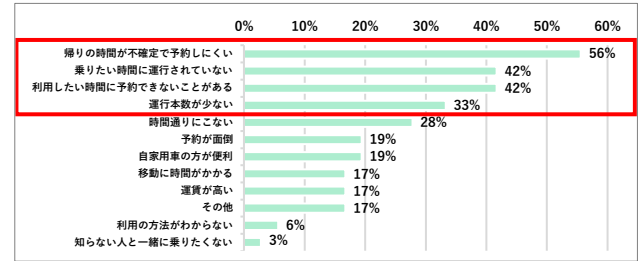


図-4 AI 導入前の従来のデマンド交通に対する要望

(2) 下野市におけるデマンド交通の利用状況

下野市におけるデマンド交通の利用者数は、令和元年(2019年)10月から令和2年(2020年)1月にかけて2,000人/月程度であったが、デマンド交通の運行改善に向けた検討中に、コロナ禍による外出自粛があり、緊急事態宣言が発令された令和2年(2020年)4月から5月にかけ1,000～1,200人/月と半数程度まで利用者が落ちる時期があった(図-5)。

持続可能な公共交通の実現を目指す検討をする中で、移動の制限が生じ、栃木県内のタクシー事業者が廃業する等、事業者に対する支援が優先されるべき環境下で、大きな変化を起こすことに対して逆境と呼べる環境となった。そのことで、関係者間で今後の展望についてより具体性を持った観点で検討を進めることとなった。

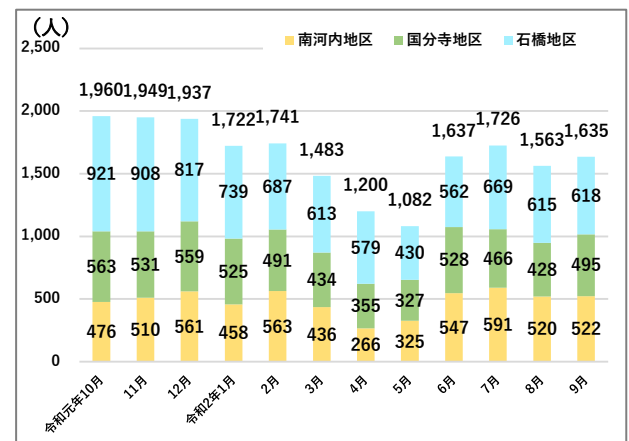


図-5 AI 導入前の従来のデマンド交通の利用者数

(3) AI 導入前の従来のデマンド交通の運行事業者の意見

運行事業者の地元のタクシー事業者としては、電話で予約を受け付けることから、高齢の利用者から名前、住所、乗降場所、乗車希望時刻などを聞き取ることに時間を要することに加え、これらの情報に基づき運行ルートを決し、ドライバーに運行ルートを伝達することに対し、さらに労力がかかる状況が確認された。また、予約が午前中に偏ることから、予約を受け付けるオペレーターを常時2名確保している状況が確認された。午後になると予約が少なくなり、午後でもオペレーターを2

名確保しているものの、オペレーターは交代しながら 1 名体制で対応している状況が確認された。

なお、既存の運行事業者は、予約を管理し、ルート決定や配車指示を支援する運行管理システムを導入しているものの、利用者側から見た課題である「エリアを跨ぐ移動時の乗り継ぎの廃止、1 時間前までの予約の締切制限の撤廃」などは、運行方法、ルール的大幅な見直しが必要なため、運行にかかる予算が制限され見直し等を行う人員的な余裕がない状況から、対応できる状況にないという意見であった。

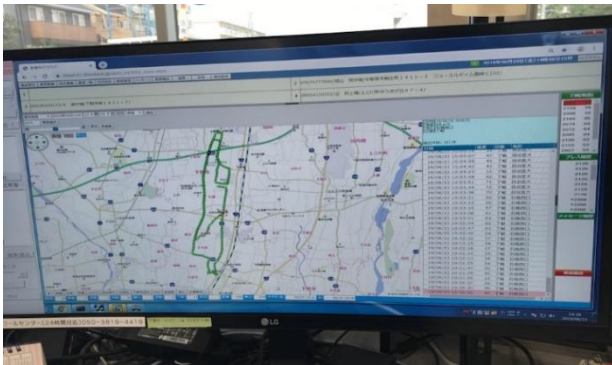


図-6 AI 導入前の従来のデマンド交通の運行管理システム

(4) デマンド交通の運行改善に向けた方針

運行実態や利用者数の減少などの課題を受け、デマンド交通の運行を効率化する既存技術の整理から取り組みを始め、他地域で導入されている株式会社未来シェアが開発した SAVS(Smart Access Vehicle Service)システムに着目した。参考となる先行事例(同システムの導入事例)として、久米南町のデマンド交通の取り組みが抽出された。既存公共交通は、鉄道が町内の中心部南北軸として位置し、鉄道 3 駅の駅勢圏を除く、広域かつ面的に広がる交通空白地をデマンド交通でカバーしている状況であった。さらに、久米南町においても区域を制限して運行していたが、SAVS 導入のタイミングでエリア別運行を廃止した経緯を確認できた¹⁾。



図-7 久米南町における区域運行廃止の先行事例

出典: 久米南町 HP

また、久米南町のデマンド交通においては、SAVS を導入することで、利便性等も向上し、利用者数が 1.4 倍に増加したことに加え(図-8)、午前中に予約が集中していたが、いつ

でも予約ができるようになったことから、予約が入る時間帯も平準化され、オペレーターが電話で対応する場合にも、負担が軽減されている状況が確認できた(図-9)。

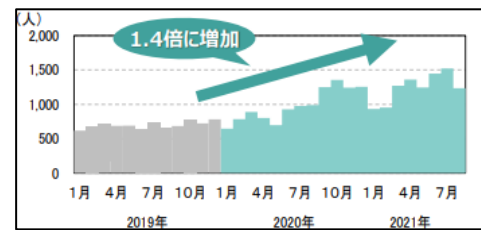


図-8 久米南町デマンド交通の月間利用者数

出典: 久米南町 HP

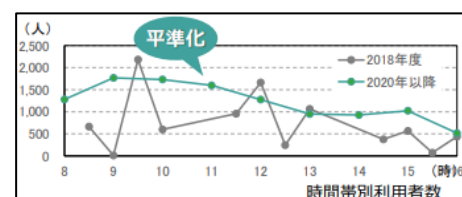


図-9 久米南町デマンド交通時間帯別利用者数

出典: 久米南町 HP

以上より、デマンド交通の予約システムを改善することで、下野市の既存課題であるエリア別運行・エリアを跨ぐ移動時の乗り継ぎの廃止や 1 時間前までの予約の締切制限の撤廃に関しても、解決の可能性があることを確認した。また、SAVS で採用している技術が、予約受付、配車ルート決定、リアルタイムのリルーティング、タブレット(車内デバイス)への運行指示を一気通貫で実施でき、AI 技術により、今後、デマンド交通の需要が急激に増加したとしても、予約を効率的に受け付け、最適な配車、ルート決定を短時間に実施できることを確認した。

(5) シミュレーションの実施

他地域事例を参照するだけでなく、運行中のデマンド交通から得られる利用実績データを活用し、配車システムを導入した場合に、各エリア(旧町域)でどの程度の待ち時間となるか検証を行った。9 人乗りワゴン車とセダン型車両の導入を比較検証し、車両台数を 5 台/4 台/3 台とした場合の感度分析も併せて実施することで、望ましい車両のサイズや運行台数をシミュレーションし、待ち時間などの観点で評価した。デマンドバス実績に基づくシミュレーションの流れは図-10 の通りである。

上述のシミュレーションの実施結果において、これまでの乗車実績に基づき、1 便あたりの利用者の人数は最大で 3 人程度であったことから、4 人乗りセダン型車両の台数を変化させた場合の車両待ち時間の平均値、車両待ち時間の最大値、平均乗合率の 3 つの切り口でシミュレーション結果を提示する。

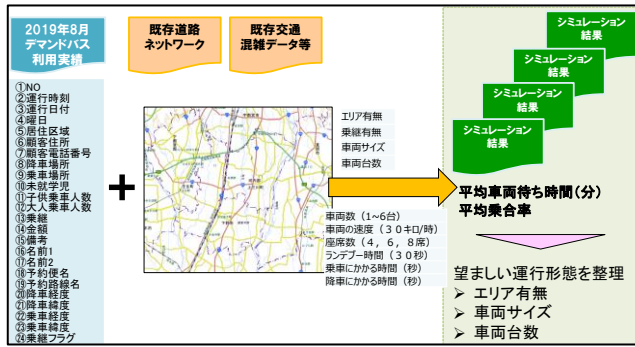


図-10 デマンドバス実績に基づくシミュレーションの流れ

車両待ち時間の平均値では、3 台の車両で運行した場合には、現在の待ち時間エリアを撤廃することで、国分寺地区のみ 11.6 分の平均待ち時間から 13.1 分となり、1.5 分待ち時間が増加するが、石橋地区では 16.9 分から 3.8 分減少し、南河内地区では 28.2 分から 15.1 分減少することが確認された。また、4 台のケースでは、国分寺地区においても平均待ち時間が 7.1 分となり、現状の 11.6 分から 4.5 分減少することが確認された(表-1)。

表-1 待ち時間平均値シミュレーションの実施結果(抜粋)

車両待ち時間_平均値シミュレーション結果							
4人乗り/3台				4人乗り/4台			
シミュレーション 結果(分)		現在の待ち時間 との差(分)		シミュレーション 結果(分)		現在の待ち時間 との差(分)	
エリア 一体後	13.1	石橋	-3.8	エリア 一体後	7.1	石橋	-9.8
		国分寺	1.5			国分寺	-4.5
		南河内	-15.1			南河内	-21.1
現在の車両待ち時間平均値(分)							
石橋				16.9			
国分寺				11.6			
南河内				28.2			

車両待ち時間の最大値では、3 台の車両で運行した場合には、54.9 分になることが確認された。国分寺地区のみ 42.3 分の最大待ち時間から 12.6 分増加する。一方、4 台のケースでは、33.7 分となり、各地区での車両待ち時間の最大値は減少し、利用者の理解が得られるサービス水準になることが確認された(表-2)。

表-2 待ち時間最大値シミュレーションの実施結果(抜粋)

車両待ち時間_最大値シミュレーション結果							
4人乗り/3台				4人乗り/4台			
シミュレーション結果(分)		現在の待ち時間との差(分)		シミュレーション結果(分)		現在の待ち時間との差(分)	
エリア 一体後	54.9	石橋	-3.9	エリア 一体後	33.7	石橋	-25.1
		国分寺	12.6			国分寺	-8.7
		南河内	-34.1			南河内	-55.4
現在の車両待ち時間最大値(分)							
		石橋				58.8	
		国分寺				42.3	
		南河内				89.0	

次に乗合の効果を把握するため、乗合率の検証を行った。乗合とは、2 組以上が乗車していることを示し、1.0 以上で、乗合が発生していることを示す。乗合率の平均値では、3 台の車両で運行した場合には、1.1 になることが確認された。石橋、南河内では、1.0 未満となっていたが、エリアを一体として運行することで 1.0 を超える結果となった。また、4 台のケースでは、1.0 となり、現況の 3 台より車両を 1 台多く運行させた場合にも、乗合が一定数生じるシミュレーション結果となった(表-3)。

表-3 乗合率平均値シミュレーションの実施結果(抜粋)

車両乗合率_平均値シミュレーション結果							
4人乗り/3台				4人乗り/4台			
シミュレーション結果		現在の待ち時間との差		シミュレーション結果		現在の待ち時間との差	
エリア 一体後	1.1	石橋	0.4	エリア 一体後	1.0	石橋	0.3
		国分寺	0.1			国分寺	0.0
		南河内	0.1			南河内	0.1
現在の車両乗合率平均値							
石橋		0.7					
国分寺		1.0					
南河内		0.9					

上述のシミュレーション結果を踏まえ、SAVS を導入することで、デマンド交通の配車効率が高まり、下野市の既存課題であるエリア別運行・エリアを跨ぐ移動時の乗り継ぎの廃止や 1 時間前までの予約の締切制限の撤廃をしたうえで、4 人乗りセダン型車両を 4 台で運行していくことが望ましいとの結果に至った。

3. デマンド交通の改善(新たなシステムの導入)

前述のシミュレーション結果に基づき、持続可能な地域公共交通サービスを維持しつつ、利便性を向上させることを目的に、運行エリア及びデマンド交通の運行方法(予約・運行形態)を見直していくことを市役所、運行事業者と協議のうえ決定した。なお、このような議論を重ねていた 2020 年秋に 2021 年 4 月以降のデマンド交通の運行事業者を決めるプロポーザルが別途実施され、デマンド交通の改善に対する意欲がある地元タクシー会社が運行事業者として選定に至り、2021 年 4 月から AI デマンド配車システムの運用が開始された。

AI デマンド配車システムとは、AI によるオンデマンド・リアルタイムな配車計算を行うサービスである(図-11)。タクシーのオンデマンド配車とバスの乗合運行を掛け合わせ、市内での最適交通を実現する。空き座席の有効活用で空車と待ち時間と走行距離を削減し、効率的なデマンド交通の運行を実現できる²⁾。下図の通り、デマンド交通が運行途中であったとしても、途中で発生した予約に基づく運行の変更をリアルタイ

ムに反映し、リルーティングをかけ、最適なルートで複数の利用者を送迎することができる点が特徴となる。



図-11 オンデマンド・リアルタイム配車イメージ

具体的な改善事項は以下の通りである。

(1) 予約時間制限の撤廃

利用者が自由なタイミングで予約し乗車できる運行に移行した(図-12)。このように、利用者は従来のように1時間前までに予約を済ませる必要はなく、買い物や通院を済ませ、その終了タイミングにあわせて予約を入れることができるようになった。



図-12 AI予約システムの運用イメージ

(2) 予約方法(WEB予約)の追加

従来の電話による予約受付(7:00~18:00)に加えて、24時間対応可能なWEBサイトによる予約の受付を開始した。東京都内等都心部でも導入されているタクシーの配車アプリと同様のサービス水準でデマンド交通の予約が簡易に実施できる他、予約の受付、配車指示をオペレーターが電話対応せず、直接AIが対応することができることから、オペレーターにとっても業務の効率化が図られることになった。

(3) エリアの一体化

(1)(2)で実施した課題の改善に加え、従来旧町域で分けられていた運行を撤廃し、エリア一体で利用を可能とし、乗り継ぎを不要とした(図-13)。このことにより、エリアを跨ぐ移動は、市役所や一部の生活利便施設に限定されていたが、利用者は市内を制限なく自由に移動できるようになった。

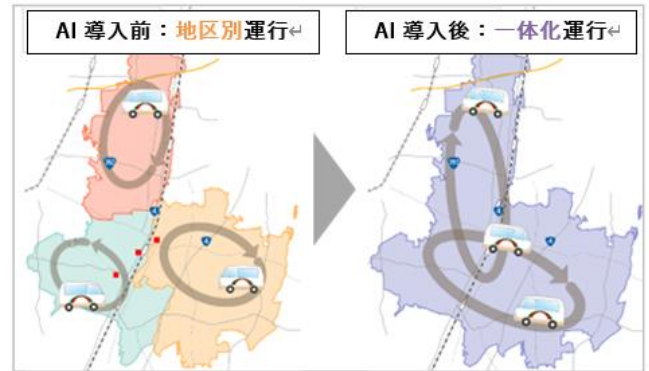


図-13 エリア一体化による運行のイメージ

4. 導入の効果

(1) AIデマンド配車システム導入による効果

AIによる最適な配車ルートの決定とリアルタイムでの配車・リルーティングが可能となったこと及び利用エリアの一体化を可能にしたことで、令和2年度は、コロナ禍による外出制限等もあったが、AI導入前後同時期比較で、乗車人数は35%増加、運賃収入は72%増加し、利用者の利便性向上、事業者側の業務効率化とともに利用者数増加を実現した(表-4)。なお、令和2年度は、コロナ禍による外出制限等もあったが、乗車人数、運賃収入ともに大幅な増加に繋がった。

表-4 乗車人数と運賃収入について

年月	乗車人数	運賃収入
AI導入前:令和2年7月	1,726人	210,600円
AI導入後:令和3年7月	2,342人	361,700円
	35%増加	72%増加

(2) 年度別利用者数の推移

利用者数は、どの月で比較しても30%程度多く利用されていることが確認されている(図-14)。特に、令和2年度の5月と令和3年度の5月を比較すると、80%程度増加していることがわかった。

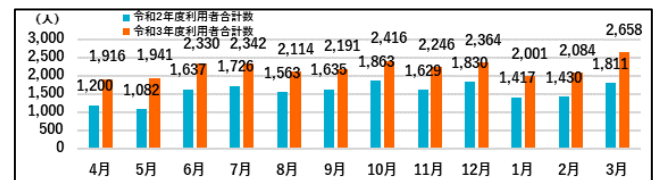


図-14 令和2年度(導入前)と令和3年度(導入後)乗車比較

(3) 満足度調査

利便性に対する満足度は、満足とやや満足と回答した方を合計すると、約86%の方が満足、待ち時間に関しても、満足とやや満足と回答した方を合計すると、約75%の方が満足との結果が得られた(図-15)。

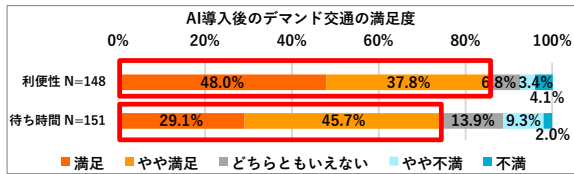


図-15 利便性、待ち時間に対する満足度

(4) デマンド交通利用者の OD 分析

図-16 はデマンド交通の乗車地と降車地を線で繋いだ図である。石橋地区北部から国分寺、南河内地区といった比較的長距離の移動や、各エリア内(旧町域)で完結する比較的短距離の移動に利用されており(図-16)、デマンド交通の主な乗車地・降車地は、石橋駅・自治医大駅・小金井駅周辺に集中している(図-16)。エリア一体で利用が可能になったことで、従来では確認できなかった地区を跨いだ長距離トリップが増加した。

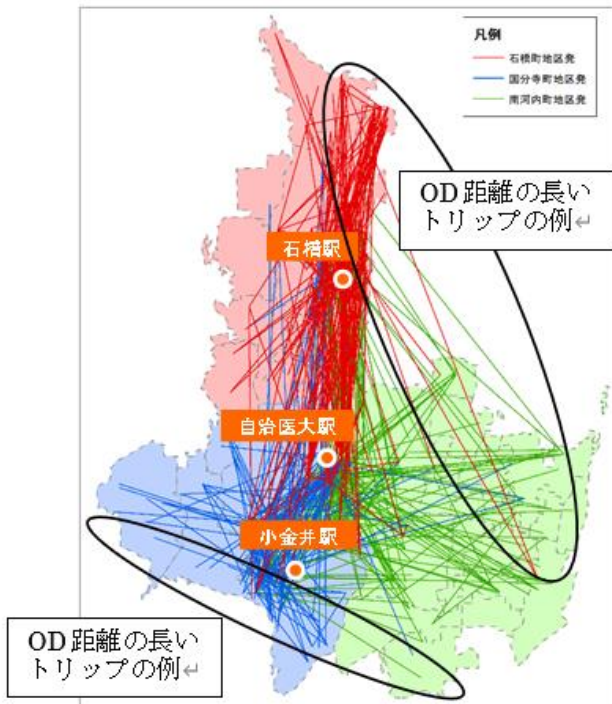


図-16 デマンド交通の乗車地・降車地

5. 顕在化した課題とそれに対する新たな取り組みや今後のモニタリングの必要性

デマンド交通は、高齢者や移動制約者への移動手段提供を第一の目的としているが、利便性向上により、上述以外の利用者層の利用拡大が確認され、当初の目的と異なる効果も見られた。そのため、サービスと運賃のバランスを考慮した最適な公共交通運用の仕組み作りが課題となっている。

(1) 若年層の利用増加

高齢者の電話予約と対照的に、30～40代の方がWEBを通じて予約を頻繁に入れるケースがみられ、主たる利用者として想定していた、移動制約者に対する移動手段の提供と異なる利用が目立つようになっている。

(2) 隣接自治体が運行するデマンド交通との連携

下野市と隣接する壬生町や上三川町は、以前から市町間を跨いだ移動が盛んな地域であったため、栃木県の主導のもと、1市2町広域連携バスが運行されることとなった。直近では、近隣自治体と連携した取り組みが進み、デマンド交通の相互利用が開始された(図-17)。1市2町広域連携バスとデマンド交通の利用者が奪い合いにならないか心配されるため、広域な公共交通網体系の再構築と地域全体として効率的なデマンド交通の運行可能性を模索していく必要がある。

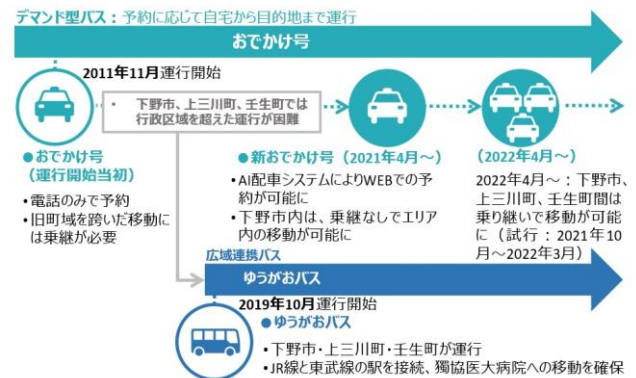


図-17 隣接自治体を含めた公共交通の動き

(3) 高齢者の予約の効率化

利用者の大半が高齢者であることから、WEB予約の利用率は1割未満である。いわゆるデジタルデバインドが発生しており、高齢者に予約システムの使い方を伝える講座の開設や電話の自動応対機能を活用し、乗降場所を番号入力して対応させるなどの工夫が必要と考える。

(4) 新たな課題に対する対応方針

いずれの課題に対しても、データの取得やモニタリングを行うことで、対応方針を検討していくことが求められる。特に、AIデマンド配車システムから得られる配車実績データを活用し、モニタリングを継続して実施していくことが望まれる。若年層に対しては、運賃の一部変更(値上げ)することの検討や、既存の公共交通と競合する一部エリアでは、予約制限や利用条件などの追加を検討することで、地域公共交通網が途絶えることなく、共存していく方法を模索していく必要がある。特に、運賃変更時の収支シミュレーションを実施するなど、既存の

データが取得できる仕組みを活用し、施策による影響を確認しながら継続して運用していくことが望まれる。

6. 今後の展開

(1) PDCA サイクルを回すための効果的ツールの試行

2022 年 4 月以降、SAVS より得られる運行実績等のデータを可視化する支援を継続して実施しており、PDCA サイクルを回すための効果的ツールとして、他地域の先行事例から Decidim と呼ばれる住民参加型で政策決定等を議論できるツールが存在することを確認し、オープンソースで WEB サイトを構築できることから、下野市をフィールドに Decidim の試行を実施した。Decidim の概要は、下図の通りである。

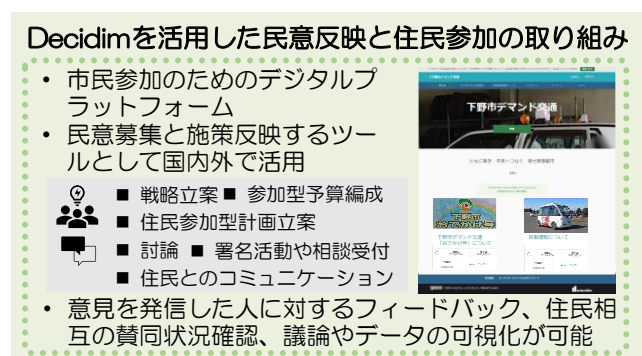


図-18 住民参加型政策決定ツール「Decidim」の概要

(2) 今後の展望

本技術開発は、新規ツールを現場実装し、課題解決に繋がった仕組みの開発と捉えることができ、国内外で同様の課題を抱える地域においても適用可能で、ローカライゼーションカスタマイズによって、水平展開可能な「発展性」を有していると考えられる。

下野市は、2021 年 4 月より、AI デマンド配車システムを導入し、利便性を大幅に向上させた。続けて、隣接 2 町を含む「1 市 2 町の各デマンド交通」に対して、隣接市町に住む方々は、利用登録を済ませれば、市町間の乗り継ぎ利用ができるサービスが、2021 年 10 月～2022 年 3 月の試行期間を経て、2022 年 4 月から本格運行となっている。シームレスなサービスを実現するため、配車システムの統合も視野に、デマンド交通の「共同経営」などの検討も望まれる。

デマンド交通の継続した運行改善にあたっては、利用実績などのデータに基づき、モニタリングや改善策を検討していく体制を維持していきたい。また、地域にあった形でデータを仮想空間上で検証する、いわゆる「デジタルツイン、地域経営」を継続していきたいと考える。

謝辞：下野市の担当者としてご協力を頂いた小野様、古口様、近藤様、吉田様、技術面でご協力を頂いた未来シェア松館様、日々の運行を担う石橋タクシー 荒川代表、みなさまに本稿の執筆へのご理解を頂きこの場を借りて、謝辞を申し上げます。ありがとうございます。

参考文献

- 1) 木多央信、橋本成仁、服部哲、松館渉、宮下和也、臼井早香：AI 配車サービスの導入と貨客混載によるデマンド交通の持続的な運行に向けた取組～公共交通の利活用による「ひと」と「モノ」の交流促進～、第 16 回日本モビリティ・マネジメント会議、PB31
- 2) 八戸龍馬、古賀逸人、森俊勝、溝上章志、金森亮、松館渉：荒尾市相乗りタクシー実装運行実現の経緯と準備、第 62 回土木計画学研究発表会・講演集、Vol.62