

地域公共交通の課題解決のための自動運転システム導入の可能性 —経済的持続可能性の考察から—

Possibilities of Introducing Autonomous Driving Systems to Solve Local Public Transportation Problems : Focusing on the Economic Sustainability

大阪公立大学大学院都市経営研究科博士後期課程 小 菅 謙 次

Doctoral Program, Graduate School of Urban Management (GSUM), Osaka Metropolitan University

Kenji KOSUGA

ABSTRACT:

Freedom of movement, which is the basic human right, in other words, to provide “local public transportation”; the transportation as “public goods,” is now gradually facing a difficulty in rural areas. Population decrease and aging cause the shortage of drivers and the increasing demand for trips by the elderly (on-demand and last-one-mile pattern is important), on the other hand, fiscal crisis in local government make more and more difficult to provide the means of transportation for the elderly. This study overviews the feasibility of “autonomous driving” to solve the problem of mobility of elderly people and the shortage of drivers in rural areas, especially from economic sustainability point of view based on the analysis on the advanced case in Eihei Town compared to ordinary community bus system, which are particularly pressing issues. As a result, it is shown that the remote monitoring system of “1 to N” could contribute not only to securing means of transportation in the region, but also to curbing operation costs and resolving the problems of serious shortage of drivers.

キーワード：地域公共交通、自動運転システム、行政負担、遠隔監視（1対N）、永平寺町

Keywords: Local Public Transportation, Autonomous Driving System, Administrative Fiscal Burden, Remote Monitoring System (1 to N), Eihei Town

1 はじめに

わが国では、急激な人口減少と高齢化が進み、増加する高齢者の移動問題は待ったなしの最重要テーマの一つとなっている。最近では、高齢者の交通事故防止等の観点から自動車運転免許証の自主返納が進んできたことから、自宅を起終点とした生活圏を領域的にカバーする自家用車に代わる地域公共交通の確保が一層重要となってきた。

もともと鉄道や路線バスなどのルート交通は大量でベクトル（移動方向）の揃った通勤や通学需要に立脚したものであったが、急激な人口減少と高齢化、産業構造の転換により、ルートに沿わないランダムな移動

が多くなっており、通勤や通学といった固定客層の減少が事業収益の悪化につながるだけでなく、最近ではバスドライバーの高齢化やなり手不足も加わり、減便や廃止に追い込まれる交通事業者も出てきている。このことは、公共性を維持するための自治体等行政からの支援が自治体財政の悪化とともに先細りしていることも少なからず影響している。このように、地域における移動の比重が、高齢者等の移動や新しい産業としての集客、観光客の移動に移ってきたことで、これまで主流であったルート交通システムとのミスマッチが生じ、「オンデマンド化（時間的な自由化）」「ラストワンマイル化（空間的な自由化）」「自動運転化（従業

員の自由化)」などをキーワードとする新世代交通に移行する大きな変革期を迎えている（小菅 2023）。そして、このような流れもあり、国レベルでは地域公共交通を取り巻く諸課題の解決に向け新しいモビリティへの模索が進められ、特に高齢者等の交通弱者の移動手段の確保やドライバー不足への対応としては、自動運転システム⁽¹⁾による移動サービスの導入が検討されている（国土交通省 2018、小長谷 2014a, b, 2020）。国はこのような方針を「官民 ITS 構想・ロードマップ」や内閣府及び国土交通省等のホームページ⁽²⁾で公開している。このように自動運転システムによる移動サービスは、現在様々な都市構造や環境下において、社会実装に向けた技術やサービス面での検証を積み重ねている段階にある。自動運転システムの各レベルは表1のとおりであり、特にレベル4以上について、国は2025年度を目途に少なくとも40か所以上で実装することを目標に掲げ、2023年4月からは改正道路交通法のもとでの運行が開始されている。

2 先行研究と本稿の位置づけ

自動運転システムに関しては、これまでは技術開発の論考が多かった（例えば、長谷川（2013）、津川（2015）、菅沼ら（2016））。2018年度以降、全国各地で実証実験が進むにつれ、移動サービス内容の検証や社会的受容性の研究が増えてきた（例えば、谷口（2018）、西堀ら（2019）、馬渡ら（2021））。自動運転システムが

高齢者等の移動手段の確保やドライバー不足の解決に資するモビリティとしての期待値が高まっていることを踏まえると、事業採算性の議論はサービス内容や社会的受容性と同等かそれ以上に急務であるといえる。このことについて、大前（2018）は「ラストワンマイル自動走行システムは、現在自治体がコミュニティバスや路線バス会社への赤字補填等で維持している住民の移動サービスを代替する効果もあり、従来の移動支援サービスよりも低コストで実現し、持続的な運用を可能とするビジネスモデルを見出すことが課題」としている。ところが、自動運転システムの多くは現在様々な条件による検証が進められている段階にあることから、事業採算性の研究蓄積はまだまだ少ないといえる。

一方、路線バスなどの既存の地域公共交通に関しては、事業採算性の研究蓄積がある。大井（2009）は、民間の路線バス事業における定量的・経済学的分析が少ないことに着目し、データの記述統計的分析と費用関数の推定を行った。中川ら（2012）は、コミュニティバスの運行事業者の違いによる運行費用と収入について分析し、運営事業者による総費用の違いを明らかにした。市川（2013）は、コミュニティバスや乗合タクシーを生活交通手段として捉え、全国的な実態調査を行い、多くの自治体が赤字補填をしている実態を明らかにした。辰巳ら（2019）は、地方自治体運営によるコミュニティバスやデマンド交通の収支等に関する全国規模でのアンケート調査を実施し、地方別及び人口

表1 自動運転システムのレベルの定義等

レベル	概要	操縦の主体	対応する車両の呼称
運転者が一部又は全ての動的運転タスクを実行			
レベル 0	運転者が全ての動的運転タスクを実行	運転者	—
レベル 1	システムが縦方向又は横方向のいずれかの車両運動制御のサブタスクを限定領域において実行	運転者	運転支援者
レベル 2	システムが縦方向又は横方向の車両運動制御のサブタスクを限定領域において実行	運転者	
自動運転システムが（作動時）全ての動的運転タスクを実行			
レベル 3	システムが全ての動的運転タスクを限定領域において実行＋作動継続が困難な場合は、システムの介入要求等に適切に応答	システム（作動継続が困難な場合は運転者）	条件付自動運転者（限定領域）
レベル 4	システムが全ての動的運転タスク及び作動継続が困難な場合への応答を限定領域において実行	システム	自動運転者（限定領域）
レベル 5	システムが全ての動的運転タスク及び作動継続が困難な場合への応答を無制限に（すなわち、限定領域内ではない）実行	システム	完全自動運転者

（出所）官民 ITS 構想・ロードマップ 2020。

規模別の収支状況を明らかにしている。三村ら(2011)は、全国の自治体に対して財政負担の意識調査を実施した結果、収支率（運行経費に対する運賃収入の比率）は支出よりも収入に影響を受けていることを明らかにし、地方都市における自治体バスの運行財源は運賃収入だけでなく国や都道府県からの補助金への依存が強いことを指摘した。また、運行財源に関し、小菅(2017)は、沿線住民の参画による地域協賛金制度が、地域住民のマイバス意識の醸成のみならず、運行経費を賄うための大きな収入源になることを指摘している。

このような先行研究が示すように、持続可能な地域公共交通として機能させるためには、効率性や効果性を確保し採算が取れる仕組みづくりが求められる。特に自動運転システムのような新たな交通システムの導入にあたっては、既存の地域公共交通の事業採算水準が一つの目安になると考えるが、現状では実証実験に要した経費等の情報に乏しく、事業収支の比較などによる検証が難しい。

このことから、本稿の目的は、自動運転システムによる移動サービスの事業採算性の研究が少ないことに着目し、まず自動運転システムの先進事例から運行経費を推定するとともに、そこで導出した自動運転システムの運行経費と地域公共交通の典型例であるコミュニティバスの運行経費等を比較することで、持続可能な地域公共交通システムに向けた事業採算性について考察することにある。

本稿の構成として、まず2章では、先行研究をレビューし、本稿の位置づけを明確にした。3章では路線バスの現状を整理し、4章では自動運転システムの先進事例である福井県永平寺町の取組みを概観する。そして、5章では地方都市を運行するコミュニティバスの経費等との経済的合理性を比較考察し、6章でまとめる。

3 路線バスを取り巻く状況についての整理

1) 路線バスの経営状況

公益社団法人日本バス協会（2022）によると、路線バスの輸送人員は1970年度以降減少傾向にあったが、2007年度に下げ止まり、2018年度は42億5,765万人（対

前年度2.1%減少）だった。ところが、新型コロナウイルス感染症の拡大による移動制限や外出自粛等による人流の減少に伴って、2020年度の路線バスの輸送人員が前年度比約3割減になるなど深刻な状況に陥っている。2020年度の収入については前年度比25.0%減、支出については前年度比4.9%減であった。実車走行キロあたり収入（全国平均）は367.28円と過去5年間で最も低くなっている一方で、実車走行キロあたり原価（全国平均）は502.00円と過去5年間で最も高い状況であった。また、路線バスの経費構成比率は、人件費が約6割、燃料油脂費が約1割、車両修繕費や車両償却費などの諸経費が約3割となっており、この構成比は民営、公営ともにここ10年間は変わらずに推移しているが、経常収支率は、新型コロナウイルス感染症の影響を受け、前年度から19.6ポイント悪化し73.2%まで大きく落ち込んだ（公益社団法人日本バス協会2022）。このように、全国の路線バス事業所の経営状態が悪化している状況が見て取れる。

2) ドライバー不足と自動運転の動き

警察庁運転免許統計（図1）によると、路線バスの運転に必要となる第二種免許（大型）の保有者数は、2002年には約119万人だったが、2015年には100万人を切り、2021年には約85万人と減少の一途を辿っている。さらに、保有者の中で65歳以上の高齢者が占める割合は、2002年は37.0%だったが、2008年に40%台に突入し、2021年には45.5%まで上昇している。ドライバーの高齢化やなり手不足が減便や運休、車両の稼働率低下といった事態を招き、地域公共交通の運営を一層深刻化させていることがわかる。

2018年版交通政策白書によると、こうした課題解決のため、交通の生産性革命として近年急激に起きている第4次産業革命（IoT、ビッグデータ、人工知能等）のイノベーション成果を交通に活用することが解決に向けたポイントになるとしている。特に、自動運転システムは、高齢化が進展する中で、高齢者等の移動手段の確保や、ドライバー不足に対応した技術でもあることから、ラストワンマイルや中山間地域、ニュータウンなどの交通空白地域や交通不便地域で、かつ取り

組みやすい地域からの導入が進められている。

全国各地で展開されている自動運転実証実験の中でも、とりわけ福井県永平寺町は先進的な事例として注目されている。その理由は、同町は全国に先駆け公道で、ドライバー不足に対応した遠隔監視方式（ドライバー無人の自動走行車両を遠隔に設置したコントロールセンターで監視する方式）による実証実験に取り組んでいるからである。そこで、本稿では福井県永平寺町の事例を取り上げ、運行経費の推定と事業採算性について考察する。

4 福井県永平寺町の自動運転システム事例⁽³⁾

1) 自動運転システムの実施に向けた背景

福井県北部に位置する吉田郡永平寺町は、2006年に松岡町、永平寺町、上志比村が新設合併し、現在の永平寺町となった。総面積は94.43km²で、その大部分が中山間地域である。2020年国勢調査では人口約1.9万人、高齢化率は約29.7%だが、今後人口は大きく減少し、2060年には高齢化率が約40%近くまで上昇すると予想されている（永平寺町2020）。

永平寺町では地域住民の貴重な移動手段であった京福電鉄永平寺線の2度の事故による廃線や、高齢者の増加に伴った交通事故数の増加や全国的な課題となっ

ているドライバー不足を背景に、高齢者の移動手段の確保方策の検討が急務となっていた。このことから、曹洞宗の総本山である永平寺への観光客をターゲットとした観光振興策と連携させた自動運転システムによる新たな移動手段の導入が進められた。

また、永平寺町におけるその他の地域公共交通に対する財政支出状況⁽⁴⁾は、2018年度は地域鉄道に約4,000万円、路線バスに約900万円、コミュニティバスに約4,620万円で、合計で約1億円となっており、町財政を圧迫している。

2) 運行の概要

永平寺町の自動運転システムは、2017年3月に経済産業省、国土交通省による「専用空間における自動走行等を活用した端末交通システムの社会実装に向けた実証」における実証評価地域に選定された。その後、産業技術総合研究所等による試験走行やラストワンマイル自動走行の実証評価が始まり、2018年10月からは当時わが国で最長となる「1か月連続実証」や「1人のドライバーが2台の車両を運行する実証」を実施した。そして、2020年12月までは遠隔監視者1人に対してドライバー3人が各車両に乗車するレベル2で運行し、2021年3月からは国内で初めて特定条件下

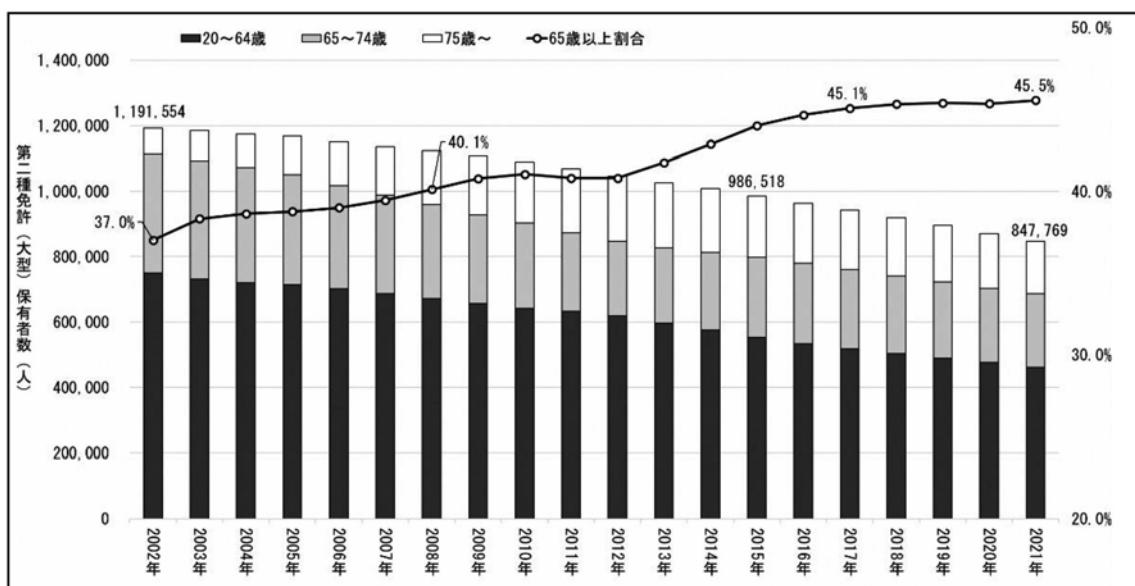


図1 第二種免許（大型）保有者数と65歳以上割合の推移

（出所）警察庁「各年版運転免許統計」をもとに筆者作成。

で認可を受け、遠隔監視者 1 人に対してドライバー 0 人とするレベル 3 車両による移動サービスを開始し省力化を図っている。

運行目的は、高齢化が進む中で、自動運転車やシニアカーとも呼ばれる 1 人乗りの電動カートを組み合わせ、より広い範囲の移動手段を確保することであり、高齢者が自動運転車の停留所と自宅の間を行き来したり、観光客が門前の坂道を走行したりする移動手段となることを想定している。

運営は、町が「まちづくり株式会社ZENコネクト」に運行委託し、既存の地域公共交通であるえちぜん鉄道、京福バス等と連携を図りながら取り組んでいる。車両はグリーンスローモビリティに分類される「ヤマハ製電動カート」がベースであり、「永平寺参ろード」（京福電鉄永平寺線廃線跡地で一般車車両の進入が規制された走路）に電磁誘導線を敷設し、設定されたルート上を走行している。

2022 年 4 月 1 日からは、運行日を土・休日のみとし、レベル 3 により片道約 2 km の区間を 1 日 13 往復運行している。

3) 運行経費及び収入

運行経費の詳細は公表されていないため、国土交通

省が採算性の検討事例として示す試算例⁽⁵⁾の試算根拠に基づき筆者が推定した結果を表 2 に示す。年間運行経費は 834 万円であり、内訳は人件費が 233.6 万円、燃料費・電気代が 19.5 万円、運行管理システム費が 72 万円、車両取得費や車両修繕費が 256.8 万円となった。

また、永平寺町では運賃を大人片道 100 円と設定しており、2020 年度の 1 日あたりの利用者数が 14.2 人⁽⁶⁾であることから、年間運賃収入を試算すると 19.2 万円となる。

5 行政負担額を基準とした事業採算性分析による持続可能性の考察

本章では、まず永平寺町の自動運転カートと地方都市を運行しているコミュニティバスの収支状況を比較し、自動運転システムの費用構造を確認する。そして、行政負担額を基準とした事業採算性分析を行い、事業の持続可能性について考察する。

なお、対照群となるコミュニティバスは、小菅(2017)が運行経費等を調査した茨城県土浦市（まちづくり活性化バス「キララちゃん」）、三重県津市（コミュニティバス「ぐるっと・つーバス」）及び三重県松阪市（市街地循環バス「鈴の音バス」）の例を用いる。

表 2 永平寺町自動運転カートの運行経費の試算

項目	試算値	永平寺町根拠	国試算根拠
人件費	2,336,000	・保安員 3 人 ・遠隔監視・操作者 1 人 ・運行日数 135 日（土休日のみ）	・乗務員 1 人、オペレータ 1 人（有償ボランティアを想定）の費用 平均時給 720 円（※ 1）× 0.75（※ 2）、× 8 時間 × 365 日 × 2 人 （※ 1）「第 1 回 運営協議会における合意形成のあり方検討会」、「自家用有償旅客運送の現状等について」より （※ 2）837 円（当該地域 職種別／求人賃金・求職者希望賃金情報（常用・パート）、一般事務員 2018.12）に対する 1,110 円（全国平均時給 毎月勤労統計調査 2018）の比率
減価償却費	4,300,000		
車両	2,400,000	・車両 3 台分	・車両購入費 395 万円（被牽引車 50 万）、耐用年数 10 年に対する定率法による償却試算
電磁誘導線	1,900,000	同右	・インフラ整備費 4,800 万円（※ 1）、耐用年数 25 年に対する定額法による償却試算（※ 1）キロ 400 万、法定の送電用地中電線路（25 年）で試算
燃料費・電気代	195,000	・車両 3 台分 ・運行日数 135 日（土休日のみ）	・電力使用料：実験実績（往復 1.48kw/h）× 5 往復 × 365 日 × 電力単価 25 円/kWh（※ 1） （※ 1）当該地域の事業者実績を参照
運行管理システム費	720,000	同右	・デマンドシステム運営費（サーバ費用）：50,000 円/月 × 12 か月 ・遠隔監視機材レンタル費：10,000 円/月 × 12 か月
諸経費	621,000	・車両 3 台分 ・運行日数 135 日（土休日のみ） 年間走行キロ 7,020 km	・諸経費キロ単価（※ 1）29.47 円/km（「2016 年度版日本のバス事業」の原単価を使用） （※ 1）85.98 円/km（諸経費の原単位）× 119.75 円/km（当該路線の営業収入）÷ 349.39 円/km（当該地域の営業収入） ・年間走行キロ 21,900 km、路線延長 6 km × 5 往復 × 365 日
車両修繕費	168,000	・車両 3 台分 ・運行日数 135 日（土休日のみ） 年間走行キロ 7,020 km	・修繕費キロ単価（※ 1）7.93 円/km（「2016 年度版日本のバス事業」の原単位を営業収入で補正） （※ 1）21.75 円/km（修繕費の原単位）× 119.75 円/km（当該路線の営業収入）÷ 349.39 円/km（当該地域の営業収入） ・年間実走キロ 21,900 km、路線延長 6 km × 5 往復 × 365 日
合計	8,340,000		

（出所）国土交通省「自動運転サービスの採算性の検討事例」試算根拠をもとに筆者作成。

1) 運行経費

走行キロあたりの運行経費の比較を表3に示す。

コミュニティバスの走行キロあたりの運行経費は約 300 円～ 525 円（平均 385.5 円）の価格帯であるが、永平寺町自動運転カートは 1,188 円とコミュニティバスの 2～4 倍であった。

次に、走行キロあたりの各経費の比較は表4のとおりとなる。永平寺町自動運転カートは、コミュニティバスに比べて車両修繕費・取得費や諸経費が高いことが分かる。自動運転仕様の車両やシステム機器類が高額であることが要因と考える。人件費では、津市を除けば、コミュニティバスよりも約 2 倍高い結果となった。自動運転システムを導入したとしても各車両に保安員を同乗させるのであれば人件費の効率化につながらない。そこで、遠隔監視方式かつ監視効率を上げる方法が注目される。つまり、採算性を確保するためには、全ての動的運転タスクを自動運転システムが実行

し、「人（監視員）：車」比率を大きくする（少なくとも、人：車比が 2 以上、1 人で 2 台以上コントロール）必要がある。このように、労働集約型産業である地域公共交通サービスで採算性を確保するには、運行経費の大部分を占める人件費を遠隔監視方式によってスリム化することが重要な視点となる。

2) 収入

コミュニティバスごとの収入の比較は表5のとおりである。

それぞれの収入構成を見ると、収支率がコミュニティバスは 13～35%であった。なお、それぞれの運賃は、土浦市 150 円、津市 100 円、松阪市 200 円といずれも低廉な設定である。永平寺町も運賃を 100 円に設定しており、収支率が 2.3%と極めて低い。

次に、行政負担の割合をみると、永平寺町は国の関与が大きいことから、運賃以外の費用を行政負担とし

表3 走行キロあたりの運行経費の比較

自治体	システム名称	ルート	走行キロ(km/年)			運行経費 (円/年) B	走行キロあたりの運行経費 (円/km) C(C=B/A)	備考
			A(A=a*b*c)	運行日数 (日) a	路線延長 (km/系統) b	便数 (便/日) c		
永平寺町	自動運転カート	主体日ルート	7,020.0	135	2.0	26	8,340,000	※運行日数：2日（/週）
		合計	7,020.0				8,340,000	1,188.0
土浦市	まちづくり活性化バス 「キララちゃん」	Aコース（市民会館循環）	59,276.0	365	11.6	14		※運行日数：7日（/週）
		Bコース（亀城公園循環）	48,545.0	365	9.5	14	47,912,120	※運行日数：7日（/週）
		Cコース（霞ヶ浦循環）	53,655.0	365	10.5	14		※運行日数：7日（/週）
		合計	161,476.0				47,912,120	296.7
津市	コミュニティバス 「ぐるっと・つーバス」		19,360.0	242	10	8	10,163,000	
		合計	19,360.0				10,163,000	524.9
松阪市	市街地循環バス 「鈴の音バス」		117,968.0	365	20.2	16	39,517,000	※運行日数：7日（/週）
		合計	117,968.0				39,517,000	335.0

（出所）筆者作成。

表4 走行キロあたりの各経費の比較

自治体	システム名称	運行経費 (円/年)	上段：年間経費（円） 下段：走行キロあたり単価（円）			
			人件費	燃料費・ 電気代	車両修繕費・ 車両取得費	諸経費
永平寺町	自動運転カート	8,340,000	2,336,000	195,000	2,568,000	3,241,000
			332.76	27.78	365.81	461.68
土浦市	まちづくり活性化バス 「キララちゃん」	47,912,120	26,500,000	4,700,000	4,300,000	12,412,120
			164.11	29.11	26.63	76.87
津市	コミュニティバス 「ぐるっと・つーバス」	10,163,000	6,248,000	1,067,000	1,441,000	1,407,000
			322.73	55.11	74.43	72.68
松阪市	市街地循環バス 「鈴の音バス」	39,517,000	21,658,282	3,347,005	8,255,818	6,255,895
			183.59	28.37	69.98	53.03

（出所）筆者作成。

て計上したところ 97.7%と最も高くなった。一方で、コミュニティバスの行政負担額はおよそ 40～60%である。三村ら（2011）が明らかにしたように行政支援に依存した運行が多い実態を考えると、自治体財政の悪化に伴う支援の先細りによる影響が大きいことは容易に推察できる。このことから、自動運転システムを導入するにあたっては、少なくとも現状のコミュニティバス等の行政負担割合と同等か、それ以下であることが事業採算性の評価基準の一つになるのではないかと考える。現状のコミュニティバスに関し、車両 1 台あたりの行政負担額は表 6 のとおりである。津市は協賛金等割合が他よりも高いため、車両 1 台あたりの行政負担は低く抑えられているが、3 事例を平均すると約 830 万円となる。

3) 行政負担額を基準とした事業採算性分析による持続可能性モデル

本稿における事業採算性の分析では、車両 1 台あたりの「行政負担額」に着目する。先述したように、行政負担額は、収入構造に占める割合が高く地域公共交通を維持する上で重要な収入源となっている一方で、自治体財政の悪化とともに先細りしている。行政支援

の有無が持続的な地域公共交通に大きく影響を及ぼすことから、本稿ではこれを事業採算性の評価基準に設定し考察する。

分析にあたっては、先述の収支構造から費用関数(式 1)及び収入関数(式 2)を独自に導出し、コミュニティバスの行政負担額と比較することで事業採算性を検証する。なお、ここでは協賛金等収入を考慮せず、費用と収入の差である赤字分を行政が負担する場合を考える。

分析の前提条件として、2023 年 4 月施行の改正道路交通法に従い、現地への駆けつけを想定した保安員 1 人を配置することとする。運行頻度は 1 時間あたり 1 便で同等、車両 1 台あたりのサービス密度も同等とする。

立式にあたっては、遠隔監視方式による人件費のスリム化が重要な視点になることから、人件費と固定費は分けて考え、自動運転車両 1 台・1 日あたりの費用は表 2 の試算値をもとに、それぞれを各費用項目の係数とみなす。

各費用項目の係数は、遠隔監視・操作者（1 人あたり）及び保安員の人件費はともに 29.2、車両費 40.0、車両費を除く固定費 46.35、変動費 6.05 となる⁽⁷⁾。運賃

表 5 収入の比較

自治体	システム名称	運行経費 (円/年)	収入					
			運賃 (円)	収支率 (%)	行政負担 (円)	負担率 (%)	協賛金等 (円)	負担率 (%)
永平寺町	自動運転カート	8,340,000	191,700	2.3	8,148,300	97.7	0	0.0
土浦市	まちづくり活性化バス 「キララちゃん」	47,912,120	16,664,670	34.8	29,400,154	61.4	1,847,296	3.9
津市	コミュニティバス 「ぐるっと・つーバス」	10,163,000	1,396,000	13.7	4,000,000	39.4	4,767,000	46.9
松阪市	市街地循環バス 「鈴の音バス」	39,517,000	9,107,000	23.0	22,078,000	55.9	8,332,000	21.1

(出所) 筆者作成。

表 6 コミュニティバスの車両 1 台あたりの行政負担額

自治体	システム名称	行政負担 (円/年)	運行車両 台数	車両あたりの 行政負担(円)
土浦市	まちづくり活性化バス 「キララちゃん」	29,400,154	3	9,800,051
津市	コミュニティバス 「ぐるっと・つーバス」	4,000,000	1	4,000,000
松阪市	市街地循環バス 「鈴の音バス」	22,078,000	2	11,039,000
			平均	8,279,684

(出所) 筆者作成。

収入については、永平寺町の収入実績を参考にすると3台（週2日運行）で19.2万円であるから、1台・1日あたりの係数は3.2となる。そして、事業採算性ラインであるコミュニティバス1台あたり（週7日運行）の行政負担額は表6より827.9（万円）なので、1台・1日あたりの係数は118.3となる。1人で遠隔監視・操作する車両台数を α 、遠隔監視員数を n とすると、全運行車両台数 $N = n\alpha$ となる。

費用関数 $C = \text{人件費} + \text{固定費} + \text{変動費}$ （式1）

$$\left[\begin{array}{l} \text{各費用構成は次のとおりとする。} \\ \text{人件費} = \text{遠隔監視・操作者} + \text{保安員} \\ \text{固定費} = \text{車両費} + \text{運行管理システム費} + \text{諸経費} \\ \text{変動費} = \text{燃料費} \cdot \text{電気代} + \text{車両修繕費} \end{array} \right]$$

収入関数 $R = \text{運賃収入}$ （式2）

（1）保安員1人あり、車両負担なし

$$\begin{aligned} \text{費用関数 } C &= (29.2n + 29.2) + 46.35 + 6.05n\alpha \\ &= 29.2n + 6.05n\alpha + 75.55 \end{aligned}$$

$$\text{収入関数 } R = 3.2n\alpha$$

$$\text{行政負担額 } C - R = 29.2n + 2.85n\alpha + 75.55$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ 台} \cdot 1 \text{ 日あたり行政負担額} &= (C - R) / n\alpha = \\ 29.2 / \alpha + 2.85 + 75.55 / n\alpha \\ &= 2.85 + (29.2 + 75.55 / n) / \alpha \end{aligned}$$

これが、コミュニティバス1台・1日あたりの行政負担額118.3と同等になることから、

$$2.85 + (29.2 + 75.55 / n) / \alpha = 118.3$$

遠隔監視員 $n = 1$ で、 $\alpha = 1$ でもコミュニティバス水準

遠隔監視員 $n = 1$ で、 $\alpha = 2$ ならコミュニティバスより安価

（2）保安員1人あり、車両負担あり

$$\begin{aligned} \text{費用関数 } C &= (29.2n + 29.2) + 86.35 + 6.05n\alpha \\ &= 29.2n + 6.05n\alpha + 115.55 \end{aligned}$$

$$\text{収入関数 } R = 3.2n\alpha$$

$$\text{行政負担額 } C - R = 29.2n + 2.85n\alpha + 115.55$$

$$1 \text{ 台} \cdot 1 \text{ 日あたり行政負担額} = (C - R) / n\alpha =$$

$$29.2 / \alpha + 2.85 + 115.55 / n\alpha$$

$$= 2.85 + (29.2 + 115.55 / n) / \alpha$$

これが、コミュニティバス1台・1日あたりの行政負担額118.3と同等になることから、

$$2.85 + (29.2 + 115.55 / n) / \alpha = 118.3$$

遠隔監視員 $n = 1$ で、 $\alpha = 1$ ならコミュニティバス有利

遠隔監視員 $n = 1$ で、 $\alpha = 2$ ならコミュニティバスより安価

（3）小括

本節（1）及び（2）で、遠隔監視・操作者とは別に、現地への駆けつけを想定した保安員1人を配置した場合、行政負担額を事業採算ラインとし地方都市のコミュニティバスと比較検証したところ、運営事業者は車両費の負担の有無に関わらず、遠隔監視・操作者1人で2台以上の車両をコントロールした場合、コミュニティバスよりも安価に運用できる結果となった。つまり、自動運転1対 N により監視効率を上げる方法が有効であることを示すことができた。

6 おわりに

本稿では、人口減少、高齢社会における新たな地域公共交通として実装が期待される自動運転システムに関し、その先進事例と地方都市を運行するコミュニティバスの運行経費等を比較し、既存の地域公共交通への行政負担額を基準とした事業採算性分析を試みた。

まず、走行キロあたりの運行経費の比較では、自動運転カートはコミュニティバスの2～4倍と高く、人件費や車両修繕費・取得費等において高い結果となった。収入面では、国の関与が高い自動運転カートはコミュニティバスに比べて行政負担割合が高かった。

次に、自治体財政の悪化とともに行政負担額も先細りしていくことを想定し、コミュニティバスの行政負担額を事業採算性の基準に設定し分析した結果、車両費負担の有無に関わらず、遠隔監視・操作者1人で2台以上の車両をコントロールし監視効率を上げた場合、コミュニティバスよりも行政負担額を少なく運用

できることを示すことができた。

これまでの法体系では保安員が各車両に添乗し事故時の対応等に従事する必要があった⁽⁸⁾。しかし、2023年4月から運用が始まった改正道路交通法⁽⁹⁾による「特定自動運行」では、各車両に保安員の添乗は必須ではなくなることから、人件費の削減が期待でき、これからは遠隔監視方式によるレベル4以上の運用が一層進むと推察している⁽¹⁰⁾。

本稿では、このように社会的課題である高齢者等の移動手段の確保や深刻なドライバー不足の解消への期待が高い自動運転システムに関し、非常に簡便な分析ではあったものの、遠隔監視方式1対Nが事業採算性確保の突破口になることを示すことができた。

一方で、本稿では行政からの事業費支援を前提とした検証であることから、今後は自動運転の事業だけで収益を確保していく方途の検討が必要である。その意味においても、例えば永平寺町では地域公共交通への総負担額が1億円にも及んでいる実態を踏まえると、自動運転システムを含めたクロスセクター効果による総合的な交通体系の見直しも同時に進めなければならないだろう。さらには持続可能な地域公共交通の運用に向けて、地域住民等の主体的な運営、つまり行政からの「地域移管」や地域協賛金等の確保が重要になってくると考える。また、自動運転システムの導入をめぐっては、事故時の責任所在問題や、既存の地域公共交通との住み分け、MaaSといった都市全体でのサービス連携も重要な視点になると考えており、これらの点については今後の研究課題として稿を改めて述べたい。

謝辞

本稿の執筆にあたり、多大なご協力をいただいた、福井県永平寺町総合政策課主査の山村徹様に対し、ここに感謝申し上げます（所属は2022年5月当時）。

また、本稿は、国際公共経済学会第37回研究大会（於：福山大学）での奨励賞報告をもとに加筆修正したものである。本賞の受賞にあたり、審査委員の草薙真一先生（兵庫県立大学）、野村実先生（大谷大学）およびフロアの方から貴重なコメントを頂戴した。ま

た、匿名の査読者からも有益なコメントを頂戴した。この場を借りて御礼申し上げる。

注

- (1) わが国の自動運転システムは、官民 ITS 構想・ロードマップ 2020 によると、SAE International の「J3016」（2016 年 9 月）及びその日本語参考訳である JASO TP18004（2018 年 2 月）の定義を採用している。本稿でも特段の断りがない限りこの定義に従う。
- (2) 内閣府ホームページ「未来技術社会実装」
<https://www.chisou.go.jp/tiiki/kinmirai/index.html>（2022 年 8 月 14 日閲覧）
国土交通省資料「自動運転実証実験の成果・課題について」
<https://www.mlit.go.jp/jidosha/content/001318105.pdf>（2022 年 8 月 14 日閲覧）
デジタル庁ホームページ
<https://www.digital.go.jp/policies/mobility/>（2023 年 2 月 8 日閲覧）
- (3) 事例研究にあたり、2022 年 5 月 24 日に福井県永平寺町役場を対象に、自動運転担当職員に 2 時間程度のインタビューを行った。
- (4) 永平寺町総合政策課「永平寺町における地方創生・小さな拠点の取組」『令和元年度「小さな拠点」づくりブロック別会議（2020 年 2 月 17 日開催）』資料
- (5) 国土交通省資料「自動運転サービスの採算性の検討事例」
<https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/automatic-driving/pdf06/02.pdf>（2022 年 8 月 8 日閲覧）。
- (6) 内閣官房デジタル田園都市国家構想実現会議「夏の Digi 田甲子園」推薦調書
https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/digital_denen/chiiki/pdf/18-3.pdf（2022 年 9 月 7 日閲覧）。
- (7) 人件費 233.6 / 4 人 / 2 日 = 29.2、固定費 1（車両費）240.0 / 3 台 / 2 日 = 40.0、固定費 2（運行管理システム費）72.0 / 2 日 = 36.0、固定費

3 (諸経費) $62.1 / 3 \text{ 台} / 2 \text{ 日} = 10.35$ 。変動費1 (燃料費・電気代) $19.5 / 3 \text{ 台} / 2 \text{ 日} = 3.25$ 、変動費2 (車両修繕費) $16.8 / 3 \text{ 台} / 2 \text{ 日} = 2.8$ 。なお、電磁誘導線は、道路への埋設が必要になることから、道路管理者である行政が負担し管理するものとする。

- (8) 旧道路交通法 (2020年4月1日施行) では第2条第1項第13号の2に「自動運転装置」を定義し、これによる走行を「運転」と規定している (同条同項第17号)。すなわち、交通事故の際、法第72条の規定により、同乗の保安員は直ちに運転を停止して負傷者を救護し、道路における危険を防止する等必要な措置を講じ、警察官に当該交通事故の状況等を報告しなければならなかった。
- (9) 2022年4月には、第208回国会において、自動運転レベル4に相当する、運転者がいない状態での自動運転である「特定自動運行」の許可制度の創設等を内容とする道路交通法の一部を改正する法律が可決成立した。道路交通法の一部を改正する法律案要綱によると、特定自動運行を行おうとする者 (特定自動運行実施者) は、都道府県公安委員会の許可が必要であり、許可を受けた者は、特定自動運行主任者を配置し、運行計画に従って運行を実施しなければならない。これまでのように、各車両に特定自動運行主任者が乗車する必要はないが、交通事故等が起こった場合の措置として、特定自動運行主任者の指示のもと現場措置業務実施者が現地に駆けつけ、道路における危険を防止するための必要な措置を講じることとなる。(警察庁ホームページ、<https://www.npa.go.jp/bureau/traffic/selfdriving/index.html> (2023年1月12日閲覧))。
- (10) 2023年2月4日に永平寺町の自動運転カートに試乗した岸田文雄首相は地元新聞社の取材に対し「高齢化や過疎地といった社会的課題をデジタルの力で解決する好事例の一つ」と強調している。(福井新聞ホームページ、<https://www.fukuishimbun.co.jp/articles/-/1719911>

(2023年2月5日閲覧))。

参考文献

- 市川嘉一 [2013] 「全国市区調査からみたコミュニティバス・乗合タクシーの導入・運行・利用の全国的実態に関する考察—「持続可能な生活交通」の視点に着目して—」『交通学研究』第56巻、pp.107-114。
- 永平寺町 [2020] 「第2期永平寺町まち・ひと・しごと創生総合戦略」。
- 大井尚司 [2009] 「乗合バス事業における規制緩和の影響に関する定量的考察—費用面の分析から—」『交通学研究』第52巻、pp.161-170。
- 大前学 [2018] 「高齢化社会における自動運転者の役割」『日本老年医学会雑誌』第55号第2号、pp.178-184。
- 公益社団法人日本バス協会 [2022] 「2021年度版 (令和3年度) 日本のバス事業」。
- 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用推進戦略会議 [2021] 「官民ITS構想・ロードマップ2020」。
- 国土交通省 [2018] 『平成30年版交通政策白書』。
- 小菅謙次 [2017] 「中心市街地におけるバス交通の新たな需要の出現と住民参画型による持続的経営システム」、大阪市立大学修士学位論文、投稿準備中。
- 小菅謙次 [2023] 「超高齢社会における新しい地域公共交通に対応した日常生活・交通圏の研究」『都市経営研究』第3巻第1号 (通巻3号)、pp.39-62。
- 小長谷一之 [2005] 『都市経済再生のまちづくり』、古今書院。
- [2014a] 「都市構造の変容 (歴史と展望)」近畿都市学会編『都市構造と都市政策』、古今書院。
- [2014b] 「高度化した都市の構築を—単なる「縮小」から「高付加価値都市」創造へ—」『日刊建設産業新聞』2014年12月17日。
- [2020] 「AIと社会・経済のデザイン」村上憲郎・服部桂・近勝彦・小長谷一之編『AIと社会・経済・ビジネスのデザイン』、日本評論社。
- 菅沼直樹・米陀佳祐 [2016] 「自動運転自動車の開発」『精密工学会誌』、第82巻第7号、pp.649-650。
- 辰巳浩・堤香代子・吉城秀治 [2019] 「地方別人口規

模別にみたコミュニティバスおよびデマンド交通の
運営状況」『交通工学論文集』第5巻（第2号）、
pp.24-33。

谷口綾子 [2018]「自動運転システムの社会的受容—
賛否意識とリスク認知」『自動車交通研究 環境と
政策 2018』、pp.26-27。

津川定之 [2015]「自動運転システムの動向と課題」『電
気学会誌』第135巻第7号、pp.417-420。

中川大・松中亮治・大庭哲治・中山偉人 [2012]「運
行事業者の違いと自治体の費用負担に着目したコ
ミュニティバスの運行費用に関する研究」『土木
学会論文集 D 3（土木計画学）』Vol.68（No.5）、
pp.1357-1362。

西堀泰英・森川高行 [2019]「自動運転者市場前後の
社会的受容性の要因分析—技術に対する認知の違い
と試乗体験内容を考慮して—」『都市計画論文集』
Vol.54、No.3、pp.696-702。

長谷川孝明 [2013]「IT で高度化するモビリティのシ
ステム創世論的観点からの研究開発」『電子情報通
信学会 基礎・境界ソサイエティ』第7巻第2号、
pp.133-139。

馬渡真吾・金子雄一郎・福田大輔 [2021]「地方部にお
ける自動運転車両を活用した交通サービス導入の賛
否意識に関する研究：実験参加の影響と地域間の相
違に着目した分析」『交通工学論文集』第7巻第6号、
pp.1-10。

三村泰広・國定精豪・稲垣具志・山崎基浩 [2011]「自
治体バスの運行財源に関する実態」『土木計画研究・
講演集』