

グリーンスローモビリティによる デマンド交通システム導入可能地区の検討

谷下 雅義¹・竹内 龍介²

¹正会員 中央大学教授 理工学部都市環境学科 (〒112-8551 東京都文京区春日一丁目 13 番 27 号)
E-mail: mtanishita.45e@g.chuo-u.ac.jp (Corresponding Author)

²正会員 国土交通省 国土交通政策研究所 (〒160-0004 東京都新宿区四谷位置丁目 6 番 1 号)
E-mail: takeuchi-r2n8@mlit.go.jp

本研究では、デマンド交通の車両としてグリーンスローモビリティ (GSM) を導入することを想定し、普通乗用車によるデマンド交通とタクシーの 3 つ地区交通システムについて、需要密度と時間価値を外生変数として運行者および利用者からなる総費用の比較を行った。今回の設定では GSM によるデマンド交通システムが最安にはならないこと、また GSM の自動運転化がなされた場合、時間価値 500 円/h 以下かつ需要密度が約 20 人/km²/h 以上の領域で GSM デマンド交通が優位になることなどを明らかにした。

Key Words: *times, italic, 10pt, one blank line below abstract, indent if key words exceed one line*

1. 背景

グリーンスローモビリティ (以下、GSMと記す) は、時速20km未満で走行する小型電動車であり、乗り降りしやすい、開放的、会話がしやすい等の特徴を有し、高齢化が進む地域での域内交通の確保や観光モビリティ等、地域が抱える諸課題の解決と脱炭素社会の確立を同時に実現することが期待されている¹。2022年3月時点で119都市において社会実験が行われているが、実験終了後、本格運行に移行したのは29都市に留まっている²。

その要因として、GSMが小型で低速であるため狭い範囲での小規模な輸送しかできないことや車両価格が高いことが指摘されている。

本研究では、デマンド交通の車両としてGSMを導入することを考え、この地区交通システムが普通乗用車によるデマンド交通やタクシーシステムよりも費用が安くなる条件について検討する。

GSMに関する先行研究としては、平野ら³が桐生市でのアンケート調査を基にその社会的受容性や社会的効果を分析しており、GSMの運行により利用者・市民生活やまちづくりにもたらす社会的効果を定量的に把握している。また、Shreyasら⁴が東員町、福山市でのアンケート調査や利用実態のデータを用いてGSMを導入した際のCO₂の排出量削減効果や削減に必要な条件等を明らかにしている。これらのGSMを導入することによる効果を示す研究がある一方でGSMを経済的な観点から他車

種と比較し分析を行っている研究は筆者らの知る限り見あたらない。

一方、デマンド交通の経済性に関する先行研究として、竹内ら⁵は、デマンド交通の運行方式がコストに与える影響を分析し、既存バス代替交通手段の評価を行っている。長谷川・鈴木⁶は、需要密度と移動距離に着目して多様な公共交通システムの優位性がある範囲を明らかにしている。Estradaら⁷はバルセロナを対象として、デマンド交通のサービス内容や車種の違いによる費用の最適化問題について提示しており、運行者だけでなく利用者の費用も含めた総費用の分析を行っている。これらの先行研究では、GSMについては扱われていない。またこれら研究で行われている計算の方法では、利用者の費用について時間価値を一定と仮定しており、待ち時間や移動時間が長くなる「スロー」なモビリティであるGSMの優位性を見出すことは難しい。

そこで本研究では、GSMと通乗用車によるデマンド交通またタクシーシステムの3つの地区交通システムを導入した場合の運行者費用と利用者費用を算出し、これらの和である総費用を比較する。またGSMは「スロー」なことによる車両台数の増加やそれに伴うドライバー人件費の増加により不利であると考えられる。そこで低速かつ小型のGSMにおいて自動運転化がなされた場合についても検討し、GSMによるデマンド交通が最も低費用となる条件を明らかにすることを目的とする。

2. シミュレーション

本研究では、地区を設定し、その交通システムとして、GSMと普通乗用車を用いたデマンド交通とタクシーシステムの3つについて運行シミュレーションを行って、それらの費用を比較する。

費用として運行者と利用者の費用を考える。運行者費用は、台数と車両取得費用やドライバー人件費等の和とを乗じたものと走行距離と燃料費・電気代とを乗じたものの和より算出される。他方、利用者費用は、待ち時間・乗車時間に時間価値を乗じたものとする。運行者は、これら2つの費用の和である総費用の最小化を図るよう運行頻度・台数を決めると仮定する。

運行する地区を表現するパラメータとして「需要密度」と「時間価値」を用いた感度分析を行う。1章で述べたようにGSMは「スロー」なモビリティであるため、速いモビリティほど時間を費用に換算した時間費用が低くなり、スローなモビリティの優位性を見出すことは困難となる。本研究では、時間価値を、地区住民の「スロー」に対する受容性また総費用に占める利用者費用の「重み」として、一つの外生変数として分析を行う。また需要密度についても今回は外生変数として扱う。実際には料金により需要が変動すると考えるのが適切であろう。これらの検討は今後の課題である。

(1) モデルの諸仮定

a) 地区

空間の設定については、実際にGSMを用いたデマンド交通の実証実験を行った大阪府河内長野市南花台地区を参考に縦1.9km、横0.7kmで面積1.33km²の長方形とした。また、道路間隔は0.1kmとしている。デマンド交通での基本ルートの所要時間はGSM約40分、普通乗用車約15分である。なお他の交通との競合は考慮しない。

b) 利用者

利用者の移動者数は、需要密度を2~30人/km²・hの範囲で与えることにより決定する。また、利用者の移動パ

ターンについて、GSMの利用者は高齢者の徒歩による私事の移動からの転換が多いと考え、先行研究⁸⁾の全国高齢者の歩行による私事トリップ数の中から、買物と通院に関する歩行トリップ数を抽出し、移動目的別の移動パターンを設定した。さらに河内長野市の利用データも考慮した上で、時間帯別移動目的別の需要発生パターンを設定した。2トリップ以上移動する4番~7番のパターンではそれぞれ降車後次のトリップに移行するまでの滞在時間を45分と仮定している(表-1)。また時間価値については、GSMの利用者が比較的時間価値の低い高齢者であることを考慮し、250~2,000円/hで設定している。

c) 運行者

デマンド交通とタクシーシステムの運行方法の違いを表-2にまとめる。運行費用は固定費と変動費に分けて考え、運行拠点の維持費と運行に関する事務費やシステム費は運行方式、車両タイプによらず一定と仮定した。また、ドライバー人件費は、2022年度公共工事設計労務単価の運転手(一般)より設定した。車両の取得費用、維持費用及び燃料費・電気代については車両タイプ毎に設定している。GSMについては、各GSM実証実験の運行主体を調査し、そのうち詳細な費用の内訳は、島根県松江市・大田市および岡山県備前市よりご提供いただいたGSMのデータを用いた。普通乗用車については、デマンド交通ではハイエース、タクシーシステムではアクアを想定し、カタログ資料よりそれぞれ設定した。これらの運行費用の設定を表-3に整理する。

(2) 分析方法

需要密度と時間価値をそれぞれ外生変数として3つの交通システムにおいて総費用が最小となる運行頻度や台数を求め、それらの費用を比較する。

3. 結果

まず、GSMは現状の運行形態、すなわち1台に1人のドライバーがいることを前提とした結果を図-2に示す。

表-1 利用者の移動パターンの設定

パターン名	ルート	滞在時間	出現率	時間帯別出現率
1 買物(行きのみ)	任意の地点 ⇒ スーパー	—	22.4%	
2 買物(帰りのみ)	スーパー ⇒ 任意の地点	—	44.7%	
3 ランダム	任意の地点 ⇒ 任意の地点	—	14.1%	
4 買物(往復利用)	任意の地点 ⇒ スーパー ⇒ 出発地点	45分	6.5%	
5 通院(往復利用)	任意の地点 ⇒ 病院 ⇒ 出発地点	45分	10.3%	
6 買物→通院	任意の地点 ⇒ スーパー ⇒ 病院 ⇒ 出発地点	45分	1.0%	
7 通院→買物	任意の地点 ⇒ 病院 ⇒ スーパー ⇒ 出発地点	45分	1.0%	

表-2 ルートの設定

デマンド交通		タクシー	
運行間隔と台数	最適化の変数	運行間隔	目標待ち時間と台数
5~60分	なし	5~60分	なし (予約が入り次第運行)
なし	各乗降地の位置に応じて基本ルートから迂回あり(車両定員まで)	目標待ち時間	5~60分
		経路	需要の出発地と目的地を最短経路で結ぶ
		同乗	なし

表-3 費用単価の設定

交通システム			デマンド交通		タクシー
車両			GSM	普通車	普通車
車両条件	平均速度	(km/時)	6	20	20
	定員	(人)	6	6	3
固定費	車両取得費用	(¥/日-台)	2,544	1,802	1,315
	ドライバー人件費	(¥/日-台)	16,189		
	維持費用	(¥/日-台)	1,548	1,608	1,608
	台あたり固定費用計	(¥/日-台)	20,281	19,599	19,112
	拠点の管理費・事務費・システム費	(¥/日)	5,205		
変動費	燃料費/電気代	(¥/km)	6	20	10

この図では、横軸に需要密度、縦軸に時間価値をとり、GSMによるデマンド交通(SemiD GSM)が総費用で優位となる領域を緑色、による普通乗用車によるデマンド交通(SemiD CAR)が優位となる領域を橙色、タクシーシステム(DYNAMIC CAR)が優位となる領域を青色で、また1人あたりの運行者費用に前章の条件設定で、優位性のある地域の検討に関する等費用曲線を黒色で示している。

これを見ると今回の設定ではGSMによるデマンド交通が優位となる領域はないことがわかる。この要因として、GSMの車両費用が普通車と比較して高い上に、低速であるため移動時間がかかり、車両台数が多く必要になり車両費用や人件費が増加した結果、運行者費用が増加するためである(図-3)。

そこで、固定費用の低減を図るべく、GSMの自動運転化について検討する。具体的には車両は無人とし、拠点に監視員を1名配置すると仮定し、人件費を台数に関わらず、1人分として再度計算を行った(図-4)。

その結果、時間価値が約500円/h以下かつ需要密度が20人/km²/h以上の領域でGSMが優位となる領域があることがわかる。このときの1人あたりの利用者費用(図-5)を見ると、時間価値が低い場合にはGSMによるデマンド交通は、普通乗用車によるデマンド交通やタクシーシステムと比較しても大きく利用者費用に違いがないことがわかる。しかし、時間価値が上がるにつれ、その差が拡大

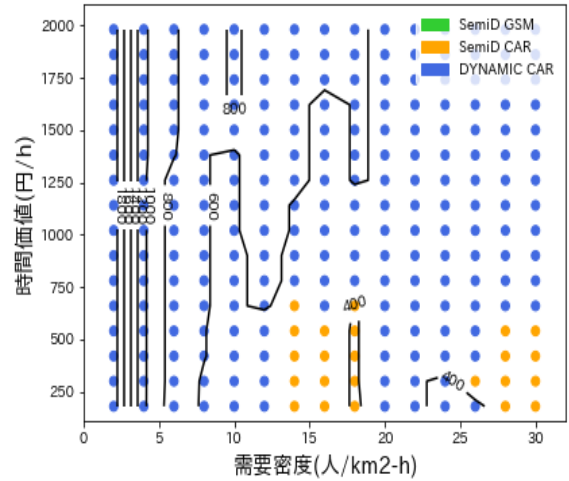


図-2 総費用が最小となる地区交通システム

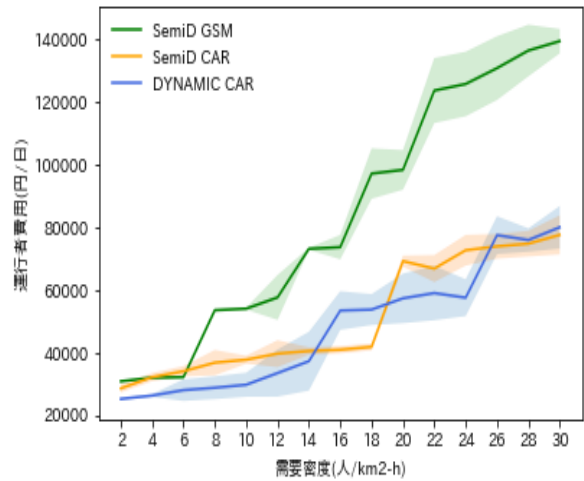


図-3 1日あたり運行者費用 (時間価値 300円/h)

していくことから、GSMは時間価値が低い利用者が多い地域で相対的に競争力があるといえる。

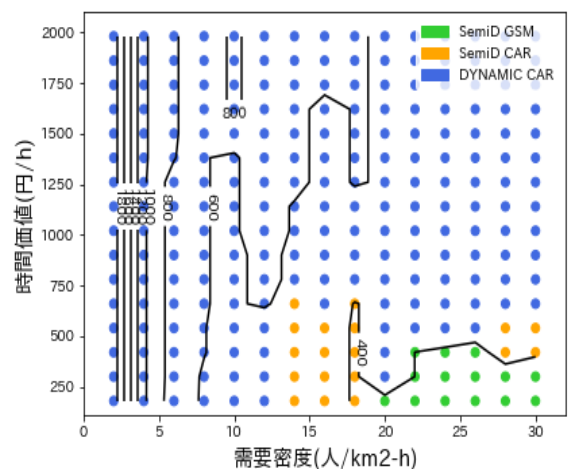


図-4 総費用が最小となる交通システム (自動運転化時)

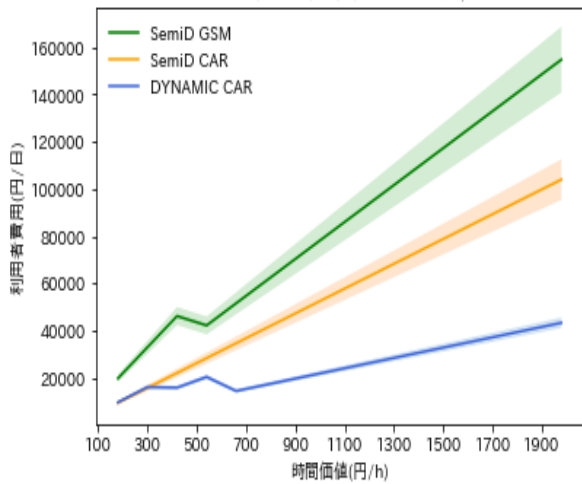


図-5 1日あたり利用者費用（需要密度 22人/km²/h）

4. おわりに

本研究では、GSMと普通乗用車によるデマンド交通そしてタクシーシステムの3つ地区交通システムについて、需要密度と時間価値を外生変数として運行者および利用者からなる総費用の比較を行った。今回の設定では、GSMによるデマンド交通システムが最安とならないこと、またGSMの自動運転化がなされた場合、時間価値500円/h以下かつ需要密度が約20人/km²/h以上の領域でGSMデマンド交通が最も低費用となることなどを明らかにした。

このことから、比較的時価価値が低い高齢者が狭い範囲に集中している地区、例えば、いわゆるオールドニュータウンなどでの導入が望ましいと考える。

残された課題は少なくない。まず、本研究では、需要密度や時間価値を外生変数として扱っているが、これらの内生は大事な論点である。またGSMの輸送力とその費用に関する分析に留まっており、その特徴である会話のしやすさや解放感等を表現した分析を行うことができなかった。さらにGSM導入による外出機会、コミュニケーション機会の増加等による医療費の削減等クロスセクター効果についても考慮できていない。自動運転システム費用の考慮、地区の形状や道路ネットワークの多様化も含め、今後も分析を進め、地区のモビリティデザイン検討の材料を提供していきたいと考えている。

謝辞 GSMのデータを提供いただいた各事業者の皆様またシミュレーションモデルの構築・分析に中山大地氏（パシフィックコンサルタンツ）の協力を得た。また須永大介氏（麗澤大学）および小林貴氏（交通安全環境研究所）より有益なコメントをいただいた。記して謝意を表します。

付録 GSM導入可能地域の検討

需要密度20人/km²/h以上かつ時間価値が500円/h以下の領域において自動運転GSMによるデマンド交通に優位性があるとされた。ここでは時間価値が相対的に低い高齢者が高密度に居住していると考えられるオールドニュータウンについて、GSM導入可能性を検討する。調査対象は、国土交通省が取りまとめた全国のニュータウンリスト⁹⁾に掲載されている2,022箇所のうち面積が0.5 km²以上1.5 km²以下である1,182箇所である。これらの地域を対象に、人口推計データ¹⁰⁾の65歳以上高齢者人口の2020年人口と2040年推計人口を用いてデマンド交通利用者数の推計した。なおニュータウンでの需要密度推定に関しては、平成27年全国PT調査における65歳以上における平日における「私事/買物」、「私事/食事等(日常生活圏内)」、「私事/通院」目的を対象とした。GSMは徒歩および自転車での移動手段の代替になると考え、これらの目的で代表交通手段が徒歩または自転車利用のものうち一部がGSMを利用に転換すると仮定した。徒歩利用、自転車利用のからGSMへの転換率は、5%、10%、15%と幅をもって推計した。2020年および2040年における転換率5%の場合の推定需要密度の分布を図-A1に示す。

その結果、2020年で1.5~45.1%、2040年で4.6~57.0%の地域でGSMに優位性がある可能性のある地域に該当した(表-A1)。また、2020年より2040年の方が該当する地域が多いことから、今後、GSMによるデマンド交通の導入可能性のある地域は現在以上に拡大していくと考えられる。

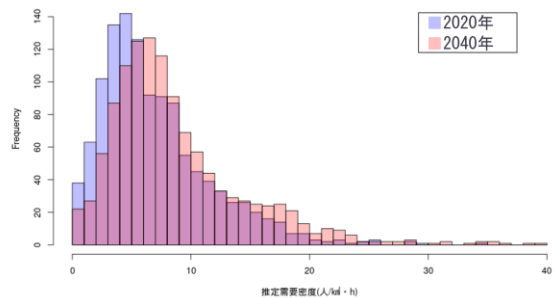


図-A1 ニュータウンにおける推定需要密度 (2020年 転換率5%)

表-A1 導入可能性のあるニュータウン数

転換率	2020年	2040年
5%	18 (1.5%)	54 (4.6%)
10%	251 (21.2%)	352 (29.8%)
15%	509 (43.1%)	674 (57.0%)

REFERENCES

- 1) 国土交通省 総合政策局 環境政策課：グリーンスローモビリティの導入と活用のための手引き，2-8，2021. [Ministry of Land, Infrastructure and Transport: *Green Slow Mobility no Donyu to Katsuyo notameno tebiki*, pp. 2-8, 2021.]
- 2) 国土交通省：グリーンスローモビリティ走行実績一覧，<https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/content/001477570.pdf>(2022年8月1日閲覧) [Ministry of Land, Infrastructure and Transport: *Green Slow Mobility Soko Jisseki Ichiran*, 2022.]
- 3) 平野 里奈, 土井 健司, 葉 健人, 青木 保親：グリーンスローモビリティの社会的価値の分析, *IATSS Review*, 46(3), 231-240, 2021. [Rina Hirano, Kenji Doi, Kento Yoh and Yasuchika Aoki: Analysis of Social Value of Green Slow Mobility, *IATSS Review*, 46(3), 231-240, 2021.]
- 4) プラダン シュレヤス, 氏原 岳人, 岡田 将範, 堀 裕典：グリーンスローモビリティの利用者に着目した低炭素性評価に関する研究, 都市計画論文集, 56 (3), pp.1381-88, 2021. [Sreyas Pradhan, Takehito Ujihara, Masanori Okada and Hirofumi Hori: Low-carbon assessment of Green Slow Mobility vehicles based on their utilization, *Journal of the City Planning Institute of Japan*, 56(3), pp.1381-88, 2021.]
- 5) 竹内 龍介, 大蔵 泉, 中村 文彦：運行特性を踏まえたDRTシステムのコスト分析に関する研究, 土木計画学研究・論文集, 20, 637-645, 2003. [Ryusuke Takeuchi, Izumi Ohkura and Fumihiko Nakamura: A Study for Cost Analysis for Demand Responsive Transport Systems (DRTs) Considering Operational Characteristics, *Infrastructure Planning Review*, 20, pp.637-45, 2003.]
- 6) 長谷川 大輔, 鈴木 勉：需要密度・移動距離に着目した多様な公共交通システムの優位性に関する理論的考察, 都市計画論文集, 52 (3), 1284-1289, 2017. [Daisuke Hasegawa and Tsutomu Suzuki: Theoretical Approach for the Selection of Public Transport Systems Considering Urban Density and Travel Distance, *Journal of the City Planning Institute of Japan*, 52(3), pp.1284-89, 2017.]
- 7) Miquel Estrada, Josep Maria Salanova, Marcos Medina-Tapia and Francesc Robusté: Operational cost and user performance analysis of on-demand bus and taxi systems, *The International Journal of Transportation Research*, 13, 229-242, 2021.
- 8) 大森 匠, 大沢 昌玄, 中村 英夫：高齢者の私事を目的とした徒歩移動の連鎖・活動量と都市機能の配置に関する研究, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), 75(5), pp. I_527-I_533, 2019. [Takumi Ohmori, Masaharu Oosawa and Hideo Nakamura: Study on the Relationship between Urban Facilities and the Chain of Private Pedestrian Trips of Elderly People, *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser.D3 (Infrastructure Planning and Management)*, 75(5), pp.527-33, 2019.]
- 9) 国土交通省 国土交通省不動産・建設経済局：全国のニュータウンリト, 2018 https://www.mlit.go.jp/totikensangyo/totikensangyo_tk2_000065.html (2023年1月15日閲覧) [Ministry of Land, Infrastructure and Transport: *Zenkokuno NewTown List*, 2018.]
- 10) 国土交通省, 国土数値情報 500m メッシュ別将来推計人口データ (H30 国政局推計), 2015, <https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-mesh500h30.html>, (2023年1月15日閲覧) [Ministry of Land, Infrastructure and Transport: *Kokudo Suchijoho, 500m meshbetsu shorai jinko data*, 2015.]

(Received ????)

(Accepted ????)

EXAMINATION OF POSSIBLE AREAS FOR INTRODUCTION OF On-DEMAND TRANSPORTATION SERVICES BY GREEN SLOW MOBILITY

Masayoshi TANISHITA and Ryusuke Takeuchi

In this study, Green Slow Mobility (GSM) is introduced as a vehicle for demand transportation. Using demand density and value of time as exogenous variables, we compared the total costs of operators and users of three regional transportation systems (demand transportation by GSM and ordinary passenger cars and taxis). With this setting, the demand transportation system by GSM will not be the cheapest, and if GSM is automated driving, demand transportation by GSM become the cheapest in the area where the time value is 500 yen/h or less and the demand density is about 20 people/km²/h or more.