

令和 6 年 6 月 13 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04293

研究課題名（和文）次世代都市におけるフィジカル空間とサイバー空間の連携に関する研究

研究課題名（英文）Research on the coordination between physical space and cyber space in next-generation cities

研究代表者

森本 章倫（MORIMOTO, Akinori）

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：30239686

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：持続可能な都市空間のあり方を探求するには、コンパクトな市街地を形成しつつ、ICTを活用したまちづくりを模索する必要がある。本研究では、情報を扱うサイバー空間と実空間を有するフィジカル空間の関係を明らかにすることを目的として、以下の4つの視点で研究を行った。サイバー空間の検証として（1）都市OSを前提とした都市解析システムの課題を整理し、具体事例として（2）PLATEAUを活用したデジタルツインシティの構築とその利用意向を探った。また、サイバー空間がフィジカル空間に与える影響として（3）MaaSの導入が都市内の人口分布に与える影響と、（4）メタバース利用による買物目的の外出への影響を把握した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の社会的意義は、都市のフィジカル空間にデジタル化が与える影響を明らかにすることである。テレワークやEコマース市場の拡大は、通勤や買い物行動を変化させ、居住地選択にも影響を与えている。今後の都市計画において、サイバー空間における技術革新と社会実装は、行動変容を通じて実際の都市構造にも多大な影響を与えるため、本格的普及以前からの予測が必要となる。本研究の学術的意義は、ICTの進展が実空間の都市や交通に与える影響を数値化する点である。特に、MaaSなどの新たな交通サービスの提供やメタバースの進展がフィジカル空間へ与える影響について把握する。

研究成果の概要（英文）：In order to explore how to create a sustainable city, it is necessary to explore the use of ICT in urban development while creating compact urban areas. In this study, for the aim of clarifying the relationship between cyber space and physical space, research was conducted based on the following four perspectives.

As a verification of cyber space, we organized the issues of urban analysis systems based on urban OS, and as a case study, we explored the construction of a digital twin city utilizing PLATEAU and the intention of its use. In addition, as the impact of cyberspace on physical space, the impact on the introduction of MaaS on the population distribution within the city and the impact of metaverse-use on going out for shopping purposes were recognized.

研究分野：交通計画、都市計画

キーワード：スマートシティ コンパクトシティ サイバー空間 フィジカル空間 デジタルツインシティ 都市計画

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

### 1. 研究開始当初の背景

我が国では人口減少が進んでおり、これに対応するために持続可能な次世代都市であるコンパクト+ネットワークの都市構造が検討されている。また、未来社会として Society5.0 が提唱されている。テレワークや E コマース市場の拡大は、通勤や買い物行動を変化させ、居住地選択に影響を与える。さらに、自動運転技術をはじめとした新たなモビリティやシェアリングサービスの社会実装が進展している。このような ICT の発展により、スマートシティの取組が広がっている。しかし、スマートシティの進展がコンパクト+ネットワークの都市構造や交通へ及ぼす影響は不明瞭である。したがって、超スマート社会を具現化したまちづくりを行う上では、情報を扱うサイバー空間と実空間を有するフィジカル空間の相互関係を明らかにし、両者の空間像を融合する必要がある。

### 2. 研究の目的

ICT の発展は様々な分野で生活や交通環境の改善に寄与するが、個別の分野での過剰な発展は別の課題を招き、全体最適とはならない可能性がある。例えば、Uber や Lyft などの自動車のシェアリングサービスは、移動利便性を向上させた一方で、交通渋滞や駅周辺の不動産価値低下といった問題を引き起こした。

そこで本研究の目的は「スマートシティの取組が実空間に与える影響を定量的に把握すること」とする。特にスマートシティの取組として、Project PLATEAU における 3D 都市モデルや、COVID-19 の蔓延を受けて期待が高まった XR 技術を活用したメタバース(仮想空間)を挙げ、サイバー空間の変化が実空間を有するフィジカル空間へ与える影響を明らかにし、サイバー空間とフィジカル空間が相互連携した都市モデルを構築する方法を模索する。

### 3. 研究の方法

フィジカル空間とサイバー空間の都市モデル検証は、既存のスマートシティ導入事例の整理から、試験的なデータ収集と都市 OS 運用を行った。公共交通のリアルタイム運行情報の提供は、リアルタイムの運行情報である GTFS-RT データと PTATEAU の提供する 3D 建物データを基にデジタルツインシティし、LOD や公共交通に対する利用者意識に関するアンケート調査を行う。MaaS 導入による都市内人口分布への影響分析は、LOS の変化を示した web アンケートから居住地の変化を予測した。メタバースが外出行動へ与える影響は、既存のメタバースのプラットフォームを使用した動画を活用するなどしてアンケート調査を行った。

研究体制としては、本学の交通計画研究室の大学院生を研究協力者として適宜任用し、主として 3D 都市モデルの構築と、SPSS や Excel 統計を用いたアンケート調査の分析を行った。

### 4. 研究成果

#### (1) フィジカル空間とサイバー空間の都市モデルの検証

将来の都市モデルを検討するうえで、コンパクトシティとスマートシティの二つの都市モデルの相互連携に向けた概念的整理が極めて重要であることが分かった。特にサイバー空間の利用が増加すると、フィジカル空間に大きな影響を与えるため、その二つの融合を想定した都市モデルが必要である。フィジカル空間としてコンパクトシティの課題を整理した結果、その進捗管理が硬直的であることがわかった。そこで様々な分野のサービス導入を容易にさせることを実現する IT システムである都市 OS の現状を整理し、スマートシティとの関連性を検討した。また、スマートシティ全体像の中での都市解析システムの位置づけを検討し、収集されたデータを利した都市解析に基づくまちづくりを促進する課題を整理した。

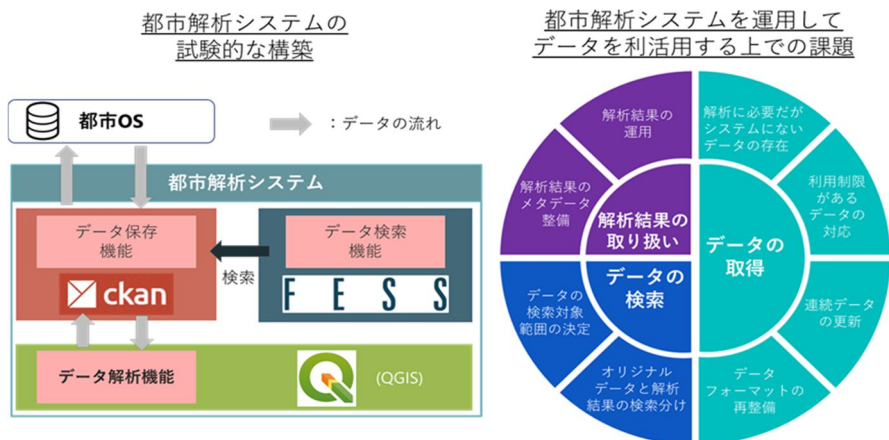


図 スマートシティのデータ利活用の課題

### (2) 公共交通のリアルタイム運行情報の提供

公共交通の運行情報に関する視覚情報量の区分は存在しない。そこで、路線運航状況の提供内容について、視覚的な情報量の観点より、3段階の LOD(Level of Detail)に分ける。そして、視覚的な情報量の相違と公共交通に対する利用者意識の関係を把握する。

対象地は宇都宮市とし、各 LOD ごとの提供内容の例を動画として視聴する形式のアンケート調査を行った。分析結果より、ほとんど訪れたことのない土地での移動の際には、公共交通の位置情報に加え、LOD3 で示せる周辺の環境の情報が分かると良いと考える傾向があるとわかった。さらに、車両や建物が 3 次元で表示されることが運行情報そのものの信頼性向上に寄与することが示唆された。しかし、運行情報の信頼性向上が利用頻度の改善へ寄与するとは限らないこともわかった。また、LOD3 による視覚的な情報の付与は、公共交通自体だけでなく、周辺の地域への興味を誘発することに繋がると判明した。

このように、3 段階の LOD に挙げられる視覚的情報の差異は公共交通の利用者へ影響を与える。LOD3 の視覚的な情報付与が与える、ほとんど訪れたことのない土地での移動への影響や周辺の地域への興味を誘発する効果を加味すると、公共交通志向型コンパクトシティを行う自治体にとって、リアルタイムで LOD3 の運行情報の発信を行うことは、街そのものの集客や魅力形成に寄与する可能性があるといえる。なお、今後は具体的な地域や公共交通機関に絞って、LOD に関する調査を進める必要がある。

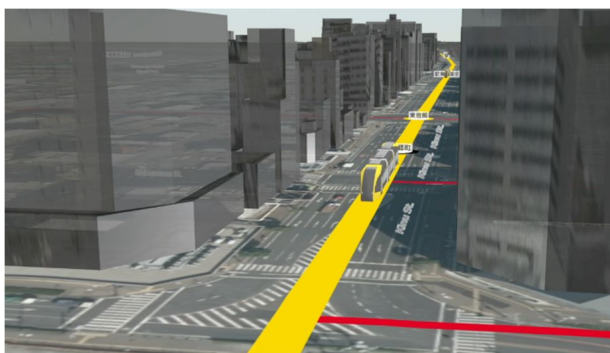
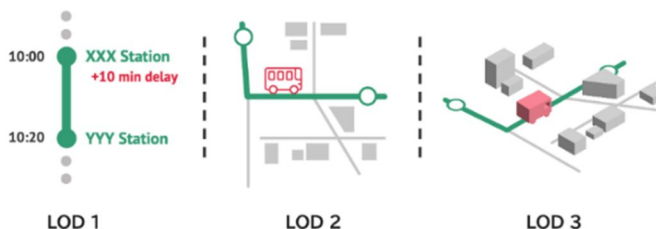


図 LOD3 で提供される情報の例



LOD 1	車両が何分後に到着するかの時刻のみが分かる
LOD 2	LOD 1 で提供される情報に加えて、車両の位置が分かる
LOD 3	LOD 2 で提供される情報に加えて、周囲の環境も分かる

図 路線運行情報の提供レベル

### (3) MaaS 導入による都市内人口分布への影響分析

日本の地方都市では人口減少・高齢化が進む中、地域公共交通と連携したコンパクトなまちづくりが進められている一方で、現在全国で MaaS の導入が進んでいる、このようなモビリティサービスが都市内人口分布に及ぼす影響を把握することは、サイバー空間とフィジカル空間の関係を検討するうえで重要である。調査対象として宇都宮市を取り上げて、新たな交通土地利用モデルを構築し、情報通信技術 ICT による交通機関連携策（ここでは MaaS）が将来の人口分布に与える影響を分析した。MaaS の導入による利用交通手段の分担率の変化を利用し、MaaS 導入による都市内人口分布の変化を推計可能な立地均衡モデルを構築した。また、宇都宮市において、市内の鉄道・LRT・バス・シェアサイクルを対象としたパッケージ型 MaaS を導入した場合の分析を行った結果、趨勢ケースと比較して郊外の人口が中心地に集約され、僅かながら MaaS の導入はコンパクトシティ化に貢献する結果となった。都市のコンパクト化を促進するには、MaaS 導入のメリットを提示し、更に MaaS、公共交通の利用を促進することが有用である。

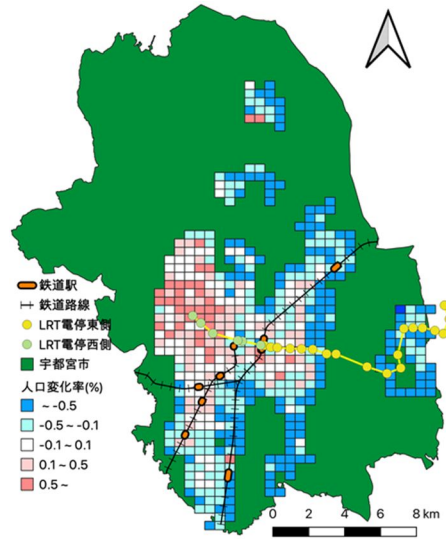


図 MaaS 導入による人口変化率 (2045 年)

(4) メタバースの利用による買い物を目的とした外出行動の変化

COVID-19 の蔓延により、現実空間では行動制限が行われた。この流れを受け、XR 技術を活用した仮想空間の利用に対する期待が高まっている。この1つとしてメタバースが挙げられ、多人数同時参加型の仮想三次元空間上で移動、買い物、仕事と言った多様な行動の実施を可能とする。メタバースの都市計画への応用については、生活圏・経済圏の拡大や新たな体験の創造(非日常体験を与えるもの)、スマートシティへの適用の3点が挙げられる。生活圏・経済圏の拡大は、メタバースによる外出行動の代替を考える視点である。新たな体験の創造はメタバースによる外出行動の相乗関係の視点である。スマートシティへの適用については、メタバースではユーザーが意思を持って仮想空間上での行動を行う点に着目すると、データ収集の心理的ハードルを下げる効果やまちづくりへの市民参加や合意形成ツールとしての導入が期待される点が挙げられる。

ここでは、生活圏・経済圏の拡大に着目し、メタバースの利用による買い物を目的とした外出行動の変化をアンケート調査により明らかにした。メタバースの買い物実施意向に関して、「移動性(消費者自身の移動の有無)」、「比較検討性(商品の状態の把握、種類の多さ)」、「交流性(店員や同伴者との交流)」、「回遊性(店舗周辺の探索)」の4つから検討すると、メタバースはECと外出の両手段の欠点を補うといえる。そして、3DCGに関する技術の発展により、より多くの人々がメタバースを買い物手段として利用する可能性がある。また、イベント等の単発的な利用が、コミュニティの形成を経て、メタバースの継続利用や買い物行動の実施を促す可能性がある。つまり、メタバースの当初の利用目的に関わらず、コミュニティが形成されることで利用者の外出行動の変化が生じる可能性がある。なお、今後はメタバースに対する認識の統一や様々な個人属性を対象とした調査、コミュニティ形成がなされない場合の買い物行動に関するフロー検証を行う必要がある。

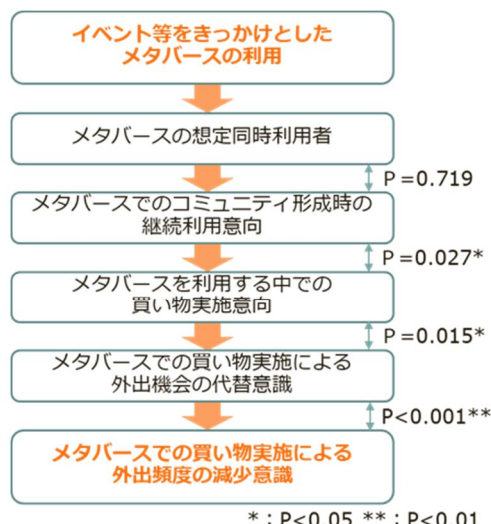


図 メタバースの利用開始から外出行動の変化までのフロー

## 5. 主な発表論文等

### 〔学会発表〕(計7件)

- 萩原 隼士, 森本 章倫: 都市解析に資する都市 OS の試験的な構築とその運用に関する一考察, 日本都市計画学会 都市計画報告会, 2021
- 萩原 隼士, 森本 章倫: 都市 OS を前提とした都市解析システムの構築とその運用に関する考察都市解析に資する都市 OS の試験的な構築とその運用に関する一考察, 土木学会・第 64 回土木計画学研究発表会・秋大会, 2021
- 鈴木 麟太郎, 佐藤 徹治, 森本章倫: 地方都市を対象とした MaaS 導入による都市内人口分布への影響分析, 土木学会・第 66 回土木計画学研究発表会・秋大会, 2022
- 林 大輝, 森本 章倫: 都市連動型メタバースの概念整理と都市政策への適用に向けた一考察, 土木学会・第 66 回土木計画学研究発表会・秋大会, 2022
- 圖師 礼菜, 森本 章倫: メタバースの利用が外出行動に与える影響の一考察, 土木学会・第 68 回土木計画学研究発表会・秋大会, 2023
- 圖師 礼菜, 森本 章倫: メタバースの利用による買い物を目的とした外出行動の変化に関する研究, 日本都市計画学会 都市計画論文発表会, 2023
- 井出 光起, 吉田 陽向, 森本 章倫: 公共交通のリアルタイム運行情報の提供に関する研究, 土木学会・第 69 回土木計画学研究発表会・春大会, 2024

### 〔雑誌論文〕(計6件)

- 萩原 隼士, 森本 章倫: 都市解析に資する都市 OS の試験的な構築とその運用に関する一考察, 日本都市計画学会 都市計画報告集, 2021, 全 5p, 査読なし
- 萩原 隼士, 森本 章倫: 都市 OS を前提とした都市解析システムの構築とその運用に関する考察都市解析に資する都市 OS の試験的な構築とその運用に関する一考察, 土木学会・土木計画学研究・講演集, Vol.64, 2021, 全 6p, 査読なし
- 鈴木 麟太郎, 佐藤 徹治, 森本章倫: 地方都市を対象とした MaaS 導入による都市内人口分布への影響分析, 土木学会・土木計画学研究・講演集, Vol.66, 2022, 全 8p, 査読なし
- 林 大輝, 森本 章倫: 都市連動型メタバースの概念整理と都市政策への適用に向けた一考察, 土木学会・土木計画学研究・講演集, Vol.66, 2022, 全 8p, 査読なし
- 圖師 礼菜, 森本 章倫: メタバースの利用が外出行動に与える影響の一考察, 土木学会・第 68 回土木計画学研究発表会・秋大会, 2023, 全 8p, 査読なし
- 圖師 礼菜, 森本 章倫: メタバースの利用による買い物を目的とした外出行動の変化に関する研究, 日本都市計画学会 都市計画論文発表会, 2023, 全 8p, 査読あり

### 〔図書〕(計1件)

- ① 森田 哲夫, 森本 章倫, 明石 達生, 浅野 聡, 伊勢 昇, 佐藤 徹治, 塚田 伸也, 轟 直希, 柳澤 吉保, 米田 誠司: 図説 わかる都市計画, 学芸出版社, 全 284p

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

森本 章倫 (MORIMOTO, Akinori)  
早稲田大学・理工学術院・教授  
研究者番号: 3 0 2 3 9 6 8 6

### (2) 研究協力者

萩原 隼士 (HARIWARA, Shunji)  
鈴木 麟太郎 (SUZUKI, Rintaro)  
林 大輝 (HAYASHI, Daiki)  
圖師 礼菜 (ZUSHI, Reina)  
井出 光起 (IDE, Koki)  
吉田 陽向 (YOSHIDA, Hinata)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 鈴木 麟太郎・佐藤 徹治・森本 章倫	4. 巻 66
2. 論文標題 地方都市を対象としたMaaS導入による都市内人口分布への影響分析	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木計画学研究発表会・講演集	6. 最初と最後の頁 1 - 8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 林大輝
2. 発表標題 都市運動型メタパースの概念整理と都市政策への適用に向けた一考察
3. 学会等名 土木学会・第66回土木計画学研究発表会・秋大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木 麟太郎
2. 発表標題 地方都市を対象としたMaaS導入による都市内人口分布への影響分析
3. 学会等名 土木学会・第66回土木計画学研究発表会・秋大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 萩原隼士
2. 発表標題 都市解析に資する都市OSの試験的な構築とその運用に関する一考察
3. 学会等名 日本都市計画学会 都市計画報告会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 秋原隼士
2. 発表標題 都市OSを前提とした都市解析システムの構築とその運用に関する考察
3. 学会等名 土木学会・第64回土木計画学研究発表会・秋大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 森田 哲夫、森本 章倫、明石 達生、浅野 聡、伊勢 昇、佐藤 徹治、塚田 伸也、轟 直希、柳澤 吉保、米田 誠司	4. 発行年 2021年
2. 出版社 学芸出版社	5. 総ページ数 284
3. 書名 図説 わかる都市計画	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	北野 尚宏  (KITANO Naohiro)  (20378524)	早稲田大学・理工学術院・教授(任期付)   (32689)	
研究分担者	高山 宇宙  (TAKAYAMA Koki)  (80844290)	大阪産業大学・工学部・講師   (34407)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	富岡秀虎  (TOMIOKA Hidetora)	早稲田大学・理工学術院・助手   (32689)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------