

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：34416

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04307

研究課題名（和文）複雑系モデルを用いた持続可能な都市交通政策の組み合わせの提案

研究課題名（英文）Proposal of a combination of sustainable urban transport policies using a multi-agent model

研究代表者

井ノ口 弘昭（Inokuchi, Hiroaki）

関西大学・環境都市工学部・准教授

研究者番号：10340655

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：都市交通では、交通機関の多様化が進展している。本研究では、マルチエージェントシステムを用いて交通政策の組み合わせを検討する。BRT・オンデマンドバスが運行されている大阪市南東部を対象に検討した。この結果、端末交通手段では徒歩の分担率が高く、BRTを導入すると徒歩が増加するため、健康まちづくりに有効であることがわかった。また、BRTの利用促進策として、BRT停留所付近への駐輪場・シェアサイクルの整備を検討した結果、駐輪場の整備はBRT利用に結び付くが、シェアサイクル整備は、鉄道駅への利用が多くなることがわかった。また、BRT路線の南部では、駐輪場を整備してもBRT利用増加は、あまり期待できない。

研究成果の学術的意義や社会的意義

交通機関の多様化が進むとともに、公共交通は利用者数の減少・採算性に加え、ドライバー不足の問題も深刻になり、減便などが行われている。適切な交通機関の整備水準は、都市構造・人口構成などに依存するため、都市に合わせた適切な交通機関の組み合わせの検討が必要である。また、たとえばシェアサイクルはポートに自転車があれば利用できないなど、交通機関の選択行動は複雑になっている。本研究では、マルチエージェントモデルを用いて相互作用などを考慮したモデル化を行ったことに意義がある。結果として、分析対象地域では、シェアサイクルの整備はBRT利用が減少する可能性があることが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：Various transportation systems have been developed in recent years. In this study, combinations of transportation modes are analyzed using a multi-agent system. The study focused on the southeastern part of Osaka City, where BRT and on-demand buses are operated. It was found that the share of walking among the access transportation modes is high, and the introduction of BRT increases walking, which is effective in promoting health. In addition, as a measure to promote the use of BRT, the development of bicycle parking stations and share cycle ports near BRT stops are examined, and found that while the provision of bicycle parking stations leads to increased use of BRT, the provision of share cycle ports leads to increased use of bicycles to railway stations. Furthermore, in the southern part of the BRT route, even if bicycle parking stations are provided, there is little hope of increasing BRT usage.

研究分野：都市交通システム

キーワード：交通機関 マルチエージェントモデル BRT シェアサイクル

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

超高齢社会に対応した持続可能なまちづくりを目指した取り組みが進められている。都市交通では、交通機関の多様化が進展し、公共交通では LRT・BRT・連節バス・オンデマンドバスなど、自動車交通では PHV・EV・超小型モビリティなどの車両がみられる。さらに、電動キックボード・シェアサイクルなども普及しつつある。これらは、地域の状況に合わせて検討する必要があると考えられる。

一方で、運輸交通部門の低炭素化を実現するためには、①交通機関分担、②道路交通運用、③低炭素車両の普及などの多面的な都市交通政策を検討する必要がある。また、環境型都市交通政策においては、市民の環境意識の向上が密接に関係する。

これらの市民の意識変化の過程を含めたモデル化を行う際に、複雑系の現象記述が可能なマルチエージェントシミュレータを用いることが有効である。

2. 研究の目的

利便性ととともに、環境影響などを考慮した持続的な都市交通システムの構築が必要となっていることから、本研究では公共交通や自転車利用環境の整備などのハード整備とともに、利用促進策などのソフト的政策を含めた将来的に望ましい都市交通システムの提案を行う。具体的には、BRT やオンデマンドバスが運行されている大阪市南東部を対象として、交通行動に関するマルチエージェントシステムを構築する。構築したモデルを用いて、各種の複合的な取り組みを行った時の効率性（所要時間など）、環境負荷量などの指標を算定するとともに、創発現象（個別の分析では分からない全体として現れる現象）を観測し、時間経過を踏まえた効果的な都市交通政策の組み合わせを発見する。

3. 研究の方法

(1) 対象地域の設定

本研究では、大阪市南東部（東成区・生野区・東住吉区）を対象として検討する。対象地域を図1に示す。この地域では、鉄道として JR・近鉄・地下鉄・路面電車が運行されている。また、地下鉄延伸の代替交通として、BRT「いまざとライナー」が運行されている。BRT は、長居ルートとあべの橋ルートの2路線が運行されている。さらに、生野区ではオンデマンドバスが運行され、177箇所乗降地点が設定されている。

いまざとライナーは、2019年4月から運行されているが、利用者数は平日1日平均約3,700人、1便当たり19.6人である(2022年12月)。輸送力に余裕があり、利用者数を増加させる取り組みが求められている。

人工社会モデルの構築に必要なデータ整備について述べる。大別して、交通施設データ、人口データが必要である。交通施設データは、幹線交通機関として、鉄道駅(路面電車を含む)とBRT停留所の座標データを構築する。また、端末交通として、自転車・バイクの駐輪場、バス停、シェアサイクルの拠点、オンデマンドバスの乗降場所の座標データを構築した。例として、図2にシェアサイクル拠点の配置を示す。シェアサイクル拠点は、北西部に比較的多く設置されている。つぎに、対象地域の人口分布を設定する。対象地域の人口は337,029人、人口密度は14,873人/km²である。図3に示すように、2015年実施の国勢調査のデータを用いて、100mメッシュ単位で人口分布を設定する。長居公園など、人口密度が低い地域がある。



図1 対象地域の概要

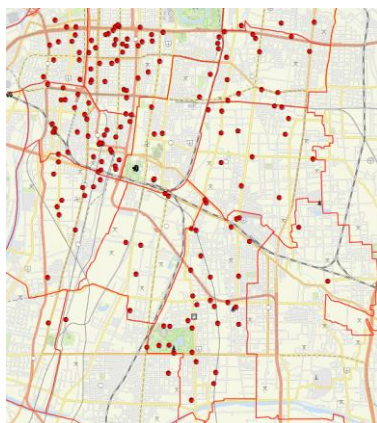


図2 シェアサイクル拠点

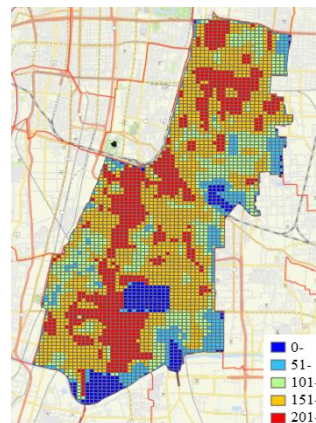


図3 人口密度の設定

交通行動者エージェントは、この人口密度を基に生成する。また、生成されたエージェントに対して、性別・年齢を設定する。対象地域の年齢分布(2023年9月1日現在)より、5歳単位の年齢・性別を確率的に求め、その後、0~4の一様乱数を用いて1歳単位の年齢を生成する。

(2) 人工社会モデルの構築

つぎに、交通政策の組み合わせを検討するための人工社会モデルの構築について述べる。本研究では、公共交通利用者を対象として、鉄道駅・BRT 停留所までのアクセス末端交通手段を分析する。本研究で検討する末端交通手段を表 1 に示す。ここでは、7 種類の末端交通手段を想定している。表に示した利用料金は、駐輪料金・運賃の想定値であり、車両の購入費・維持費は含んでいない。また、自転車・二輪車・電動キックボードは車両を保有していないと利用できない。

交通機関の選択は、①最寄りの鉄道駅および BRT 停留所の選択、②鉄道駅・BRT 停留所までのそれぞれの末端交通手段の一般化費用を算定、③鉄道駅までの末端交通手段および BRT 停留所までの末端交通手段を選択、④鉄道・BRT を選択の順で行う。

①最寄りの鉄道駅・BRT 停留所の選択は、出発地から最も距離が短い駅・停留所を選択する。②各末端交通手段の一般化費用は、たとえばシェアサイクルの場合は、利用可能性およびシェアリングステーションへの歩行を考慮する。具体的には、図 4 に示すように、出発地および鉄道駅・BRT 停留所から半径 200m 以内のシェアリングステーションを探す。

このとき、複数のステーションがある場合は、最も近いステーションを選択する。出発地からシェアサイクルの出発ステーション、シェアサイクルの到着ステーションから鉄道駅・BRT 停留所間の距離を求め、その間を徒歩移動すると想定して、歩行時間を求める。これより、エージェント i のシェアサイクルの一般化費用は次式で計算される。

$$C_{sharecycle}^i = \left(\frac{D_{access}}{2/3} + \frac{D_{cycle}}{2.5} + \frac{D_{igrass}}{2/3} \right) \times 50 + 200 + u^i + \varepsilon^i \quad (1)$$

ここで、 D_{access} は出発地から出発ステーションまでの歩行距離 (0.1km 単位)、 D_{cycle} は出発ステーションから到着ステーションまでの自転車距離 (0.1km 単位)、 D_{igrass} は到着ステーションから鉄道駅・BRT 停留所までの歩行距離 (0.1km 単位)、 ε は 0~100 の一様乱数である。また、歩行速度を 4km/h としており、 $40/60 (\times 0.1\text{km}/\text{min})$ で除算することで歩行時間を算定している。自転車の速度は 15km/h としており、 $150/60 (\times 0.1\text{km}/\text{min})$ で除算している。50 は時間価値 (円/分) であり、所要時間を費用に換算している。200 はシェアサイクルの利用料金である。

シェアサイクルの場合は、ステーションに貸し出し自転車がない場合は利用できない。本研究では、他のエージェントが出発ステーションで利用している場合は、シェアサイクルを利用できず、徒歩で最寄りの鉄道駅・BRT 停留所に行くものとする。この場合、次回以降はシェアサイクルの利用を抑える傾向があると考えられるため、1 回の経験あたり u に 50 を加算する。また、時間の経過とともに経験の記憶が減少することを考慮し、1 ステップ当たり 0.98 倍の値とする。また、半径 200m 以内にステーションがない場合は、一般化費用を無限大として、選択されないようにする。

オンデマンドバスなどの他の交通手段も、シェアサイクルの計算と同様にアクセス・イグレス・利用料金などを考慮して一般化費用を算定する。

③では、鉄道駅までの各末端交通手段について一般化費用を算定し、最小のものを鉄道駅までの末端交通手段とする。また、BRT 停留所までも同様に算定し、BRT 停留所までの末端交通手段を決定する。

その後、④鉄道利用・BRT 利用の選択を行う。このとき、下記の式を満たす場合は BRT を選択し、満たさない場合は鉄道を選択する。

$$C_{BRT}^i + \alpha < C_{train}^i \quad (2)$$

ここで、 C_{BRT}^i はエージェント i の BRT 停留所までの一般化費用、 C_{train}^i はエージェント i の鉄道駅までの一般化費用である。また、BRT の場合は乗り換え時間などにも必要になるため、 α として 0~200 の一様乱数を設定する。

(3) マルチエージェントシステムの構築

本研究では、構造計画研究所の ArtisoC を用いてシステムを構築する。ArtisoC の特徴として、GUI でのエージェント種別・型の定義が出来ること、簡単な言語で行動ルールの設定が出来ること、多様な入出力形式に対応していることなどが挙げられる。このため、交通行動を検討するのに適していると考えられる。図 5 に構築した人工社会モデルの表示画面を示す。

表 1 本研究で検討する末端交通手段

交通手段	利用料金
徒歩	無料
自転車	150 円/日
二輪車	200 円/日
電動キックボード	無料
シェアサイクル	200 円/回
オンデマンドバス	210 円/回
路線バス	210 円/回

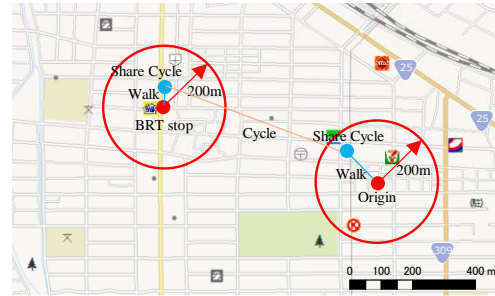


図 4 シェアサイクルの一般化費用の算定

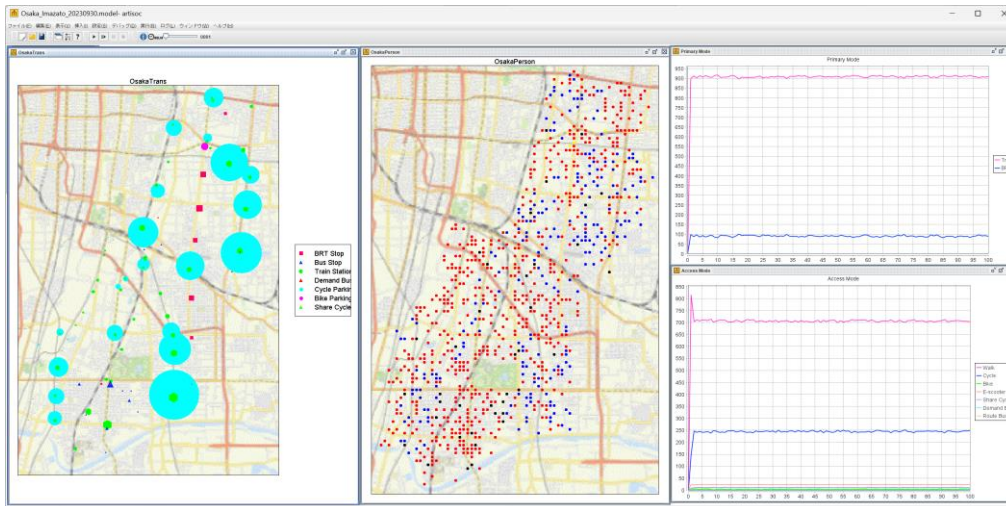


図5 人工社会モデルの表示画面

画面の左側には、各停留所・駐輪場などの利用状況が示され、利用者数に応じてマークの大きさが変化する。また、画面の中央は各エージェントの端末交通手段を色別に表示している。さらに画面の右側では、幹線交通（鉄道・BRT）および端末交通（徒歩・自転車等）の利用者数の時系列変化をグラフで示している。これらを観測することにより、地域の交通機関利用状況が把握できる。

4. 研究成果

(1) BRT・オンデマンドバスの導入効果分析

ここでは、人工社会モデルを用いて、各種の交通政策を実施した時の交通手段変化を分析する。具体的には、幹線交通手段であるBRT「いまざとライナー」および端末交通手段であるオンデマンドバス（生野区・平野区）の導入有無の比較を行う。表2に検討ケースを示す。各ケースについて、交通手段選択を行うエージェントを1000エージェント生成し、基幹交通手段・端末交通手段の選択を100回繰り返した。

はじめに、幹線交通手段に着目して検討する。図6に各ケースの幹線交通手段の選択結果を示す。Case1・3はBRTの導入がないため、全て鉄道の選択になっている。一方で、Case2・4はBRTの選択率が10%程度である。Case2とCase4では、BRT選択率がほぼ同じであり、オンデマンドバス導入の有無が幹線交通手段の選択に与える影響は少ないと考えられる。

つぎに、鉄道駅・BRT停留所までに端末交通手段について分析する。図7に端末交通手段の選択結果を示す。徒歩の分担率が66~70%であり、高くなっている。次に多い手段は自転車であり、25~27%である。オンデマンドバスの分担率はCase3で0.7%、Case4で0.1%であり、端末交通手段としてのオンデマンドバスの利用はほとんど見られなかった。とくに、BRTを導入したケースでは、導入しないケースと比較してオンデマンドバスの利用者が少ない。また、BRTを導入したケースでは、導入しないケースと比較して徒歩の分担率が3%程度多い。徒歩は健康増進効果があり、BRTの導入は健康まちづくりの面でも有効な政策である。

このように、BRTの利用者は一定数見られたが、BRTとオンデマンドバスの組み合わせは効果が少ないことがわかった。

表2 交通政策の検討ケース

ケース	BRT	On-demand Bus
Case 1	導入なし	導入なし
Case 2	導入あり	導入なし
Case 3	導入なし	導入あり
Case 4	導入あり	導入あり

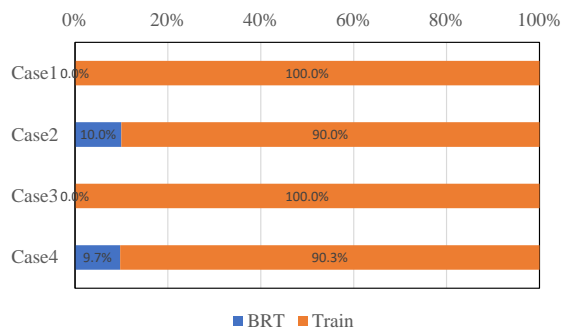


図6 幹線交通手段の選択結果

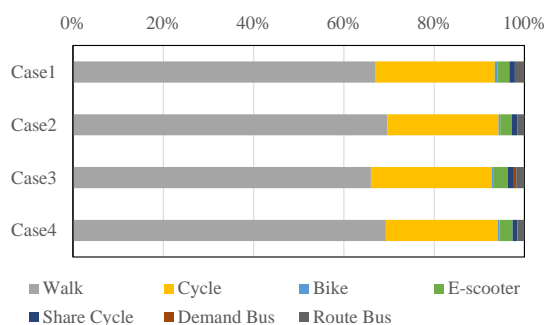


図7 端末交通手段の選択結果

(2) 自転車を活用した BRT の利用促進

つぎに、自転車の利用環境整備による BRT の利用促進について検討する。現状では、鉄道駅周辺には駐輪場が整備されているが、BRT 停留所周辺には整備されていない。このため、BRT 停留所周辺に駐輪場を整備したケースを検討する。また、②BRT 停留所付近周辺および住宅地にシェアサイクル拠点の整備を検討する。

BRT 停留所周辺の駐輪場は、周辺に鉄道駅がない BRT 停留所 7 箇所を設定する。これにより、鉄道駅まで自転車で行って人が BRT を利用するようになる可能性、BRT 停留所まで徒歩で行っていた人が自転車を利用するようになる可能性が考えられる。また、シェアサイクルは、BRT 停留所周辺にポートを設置するとともに、起点側にも設置が必要である。このため、住宅地の公園(127 箇所)にもポートを設置することを考える。

ここでは、BRT を導入したケース 2 を基準として検討する。この基準ケースに駐輪場の整備(ケース 5)、シェアサイクル拠点の整備(ケース 6)、両方の整備(ケース 7)の各ケースを設定する。図 8 に代表交通手段の選択結果を示す。駐輪場を整備したケース 5 では、ケース 2 と比較して BRT の利用率が 4.6%高い。一方で、シェアサイクル拠点を整備したケースでは 0.8%の上昇にとどまる。また、両方整備したケース 7 では、4.2%の上昇であり、ケース 5 と比べて低い。BRT 停留所に駐輪場を整備した場合は、利用者の増加につながる。しかしながら、シェアサイクル拠点は BRT 停留所付近だけでなく、住宅地周辺にもステーションを設置するため、鉄道駅までシェアサイクルを利用することが増加すると考えられる。

つぎに、アクセス交通手段の変化を検討する。図 9 に各ケースのアクセス交通手段の選択結果を示す。Case5 では駐輪場の整備により、Case2 と比較して自転車利用が 3.5%増加している。また、Case6 のシェアサイクル拠点の整備により、シェアサイクルが 3.3%増加している。一方で、徒歩が Case5 では 2.9%、Case6 では 3.2%減少しており、徒歩からの転換が多いことが分かる。また、両方整備したケース 7 では、自転車が 3.8%、シェアサイクルが 3.2%増加し、徒歩が 6.5%減少している。

図 10 に Case5 の交通機関の利用状況を示す。BRT 路線の北部の停留所で駐輪場の利用が多くみられ、BRT の利用者も多くなっている。一方で、南部の停留所では、駐輪場の利用はあまり見られない。BRT 路線の西側には、鉄道(近鉄)が通っている。このため、BRT の利用環境を整備しても、鉄道駅に向かう交通行動者が多いと考えられる。

(3) 本研究のまとめ

① BRT 「いまざとライナー」の導入および生野区でのオンデマンドバスの導入に対する検討を行った。この結果、BRT の利用者は一定数見られた。一方で、オンデマンドバスは末端交通手段としての利用者は少なかった。

② 末端交通手段では、徒歩の分担率が高く、BRT を導入すると徒歩が増加する。したがって、BRT の導入は、健康まちづくりに有効であることがわかった。

③ BRT の利用促進策として、BRT 停留所付近への駐輪場・シェアサイクルの整備を検討した。この結果、駐輪場の整備は BRT の利用に結び付くが、シェアサイクルの整備は、鉄道駅への利用が多くなることがわかった。また、BRT 路線の南部では、近くに鉄道路線があるため、駐輪場を整備しても BRT 利用は、あまり期待できないことがわかった。

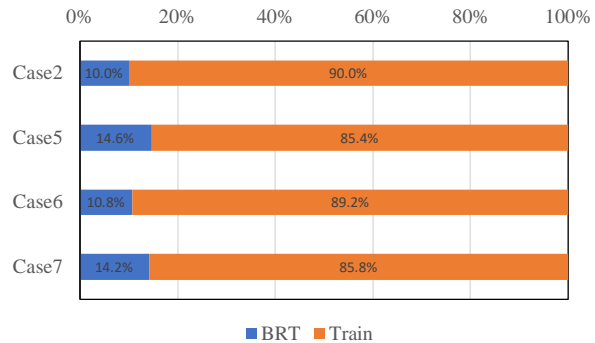


図 8 自転車政策時の幹線交通手段選択結果

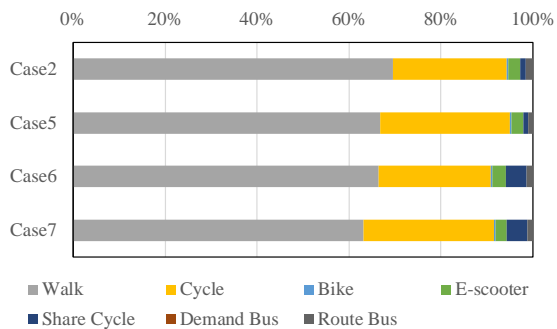


図 9 自転車政策時の末端交通手段選択結果

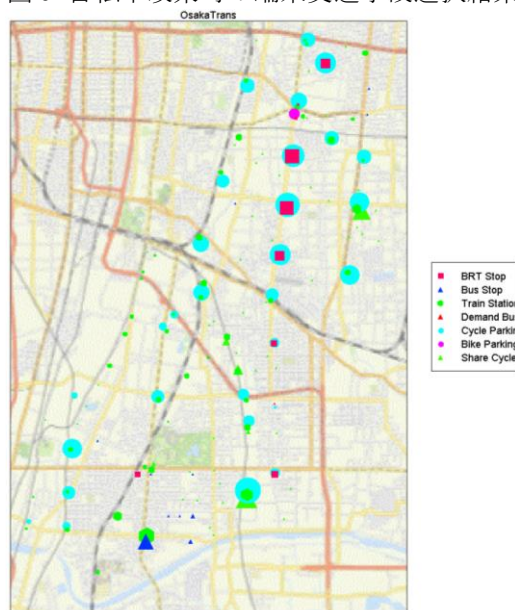


図 10 Case5 の交通手段利用状況

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Hiroaki Inokuchi, Takamasa Akiyama	4. 巻 2022
2. 論文標題 Car-Following Model of ULVs using a Deep Learning Model	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 2022 Joint 12th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 23rd International Symposium on Advanced Intelligent Systems (SCIS&ISIS)	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/SCIS&ISIS55246.2022.10001997	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 井ノ口弘昭, 秋山孝正, 尹禮分	4. 巻 35(1)
2. 論文標題 人工社会モデルによる都市部の各種交通政策導入効果の検討	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 知能と情報	6. 最初と最後の頁 517-520
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3156/jssoft.35.1_517	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 秋山孝正, 董亮	4. 巻 66
2. 論文標題 交通行動変化からみたMaaS型統合情報の有効性に関する分析	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 交通学研究	6. 最初と最後の頁 95-102
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 有
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 -
1. 著者名 秋山孝正, 井ノ口弘昭	4. 巻 65
2. 論文標題 沿線住民意識に着目した地下鉄代替路線BRTの評価に関する研究	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 交通学研究	6. 最初と最後の頁 91-98
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 有
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 -

1. 著者名 Hiroaki Inokuchi	4. 巻 12
2. 論文標題 Combinations of Transportation Policies to Promote BRT Usage Using Artificial Society Model	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Traffic and Transportation Engineering	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.17265/2328-2142/2024.01.001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件(うち招待講演 0件/うち国際学会 1件)

1. 発表者名 高旭ヨウ, 井ノ口弘昭
2. 発表標題 道路交通シミュレーションを用いたBRTの速達性に関する分析
3. 学会等名 土木学会関西支部年次学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井ノ口弘昭, 秋山孝正, 尹禮分
2. 発表標題 人工社会モデルによる都市部の各種交通政策導入効果の検討
3. 学会等名 第38回ファジィシステムシンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井ノ口弘昭, 谷和峻, 高旭ヨウ
2. 発表標題 BRTの速達性に関する実証的分析
3. 学会等名 土木学会全国大会第77回年次学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井ノ口弘昭, 秋山孝正
2. 発表標題 超小型モビリティシェアリングの利用意向推計への機械学習モデルの適用
3. 学会等名 第37回ファジィシステムシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 秋山孝正, 井ノ口弘昭
2. 発表標題 利用者意識からみた地下鉄代替路線のBRT整備効果についての研究
3. 学会等名 日本交通学会第80回研究報告会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 H. Inokuchi, X. Gao
2. 発表標題 Effective combinations of urban transportation policies using an artificial society model
3. 学会等名 World Conference on Transport Research 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 田村圭佑, 井ノ口弘昭
2. 発表標題 人工社会モデルによる自転車を活用したBRT利用促進策の検討に関する研究
3. 学会等名 第39回ファジィシステムシンポジウム
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔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	秋山 孝正 (Akiyama Takamasa) (70159341)	関西大学・先端科学技術推進機構・研究員 (34416)	
研究 分担者	尹 禮分 (Yun Yeboon) (10325326)	関西大学・環境都市工学部・教授 (34416)	

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
---------	---------