スマートシティ型プランニングによる相乗りサービスの松山都市圏への適用

三谷　卓摩[1]・渡邉　浩司[2]・羽藤　英二[3]

[1]正会員　愛媛大学防災情報研究センター特定講師（〒790-8577 愛媛県松山市文京町3）
E-mail: mitani.takuma.rc@ehime-u.ac.jp

[2]非会員　松山アーバンデザインセンター（〒790-0005 松山市花園町4-9岡田ビル1階）
E-mail: kouji.w@dpc.ehime-u.ac.jp

[3]正会員　東京大学大学院工学系研究科教授（〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1）
E-mail: hato@bin.t.u-tokyo.ac.jp

本研究は，スマートシティに基づく相乗りサービスの検討手法について提案を行い，その適用事例について示す．さまざまな都市データに基づいて都市マネジメントを行う「データ駆動型都市プランニング」の実装により，さまざまな都市サービスの提供を目指している．今回，サービス対象エリアや，出発時刻の差分，最大遅延時間を考慮した相乗りサービスについて検討できるようミクロシミュレーションモデルの拡張を行った．その結果，松山市石井地区を対象とした相乗りサービスについて，車両台数や料金の異なるシナリオを作成してシミュレーションをすることで，利益率や相乗り割合の変化をとらえることができた．

Key Words : *smart city, shared ride service, probe person, urban data platform*

1.　はじめに

これまでの地域公共交通は，定時・定路線型の路線バスと，ドア・ツー・ドアの一般タクシーが主体であったが，人口減少と高齢化の進行等に伴い，公共交通利用者の減少や運転手の担い手不足などにより，路線バスの縮小・廃止，タクシー予約が困難などの問題が顕著になってきつつある．そのため，デマンドバス・タクシーなどの相乗り送迎サービスが各地で普及しているが，過度なサービス導入は，既存公共交通利用者の更なる減少を招くことが懸念される．

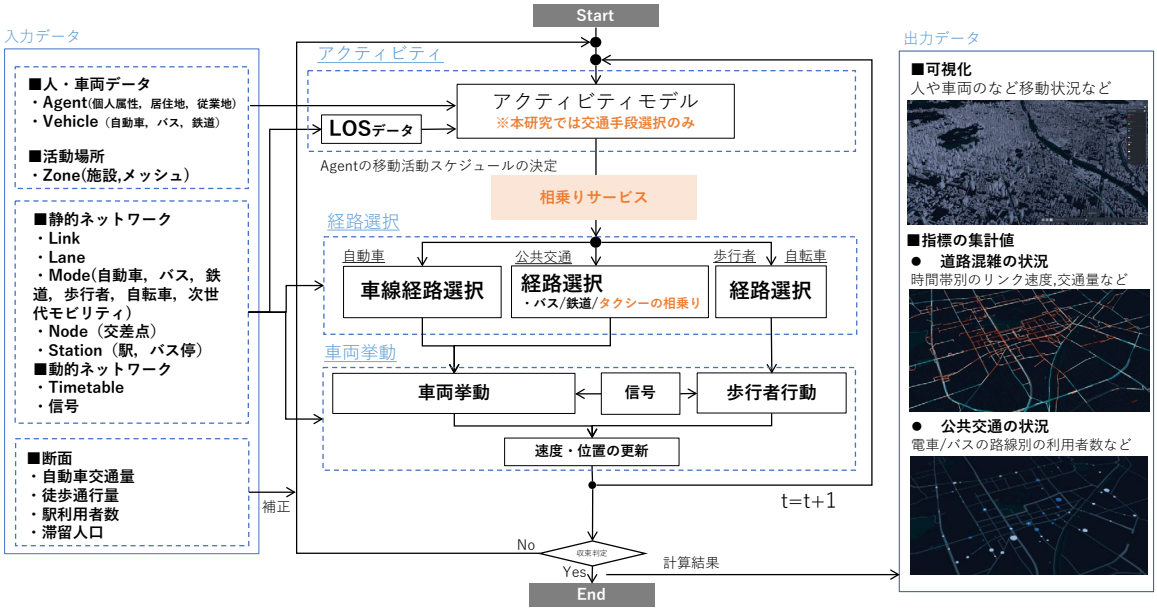


図-1 シミュレーションモデルHongoの全体フロー

一方，松山市では，スマートシティの取り組みとして，さまざまな都市データに基づいて都市マネジメントを行う「データ駆動型都市プランニング」の実装により，ミクロなシミュレーションモデルを用いた都市空間改編や新たなモビリティの導入等による次世代サービスの提供が試みられている．そこで本研究では，地域公共交通の課題を解消することを目的に，次世代サービスの 1 つである相乗りサービスモデルを構築し，スマートシティ型プランニングによる松山都市圏への適用を行うこととした．

2. シミュレーションモデル Hongo の概要

シミュレーションモデルとして，東京大学羽藤研究室で開発されてきたHongo[1]を用いる． Hongoは，与えられた交通需要から自動車，バス，鉄道，歩行者といったAgentを生成し，それらをある決まりに従って移動させていくことで，道路の混雑状況や交通量などを見ることができる．**図-1**シミュレーションモデルHongoの全体フローを示す．入力データは，スマートフォンによる人や車両の移動データ，鉄道やバスの路線，道路網からなる静的ネットワークデータ，時刻表や信号現示からなる動的データ，滞留人口や駅利用者数，自動車交通量からなる断面データなどを用いることができる．本研究では，シミュレーションモデルHongoを拡張して，移動手段として相乗りサービスを組み込む．相乗りサービスは，Agentの移動手段として，アクティビティモデル内の交通手段選択の１つとして考慮する．さらに，相乗りが候補となったAgentをマッチングし，相乗り車両を利用しながら経由経路を選択する相乗りサービスモジュールの構築を行った．

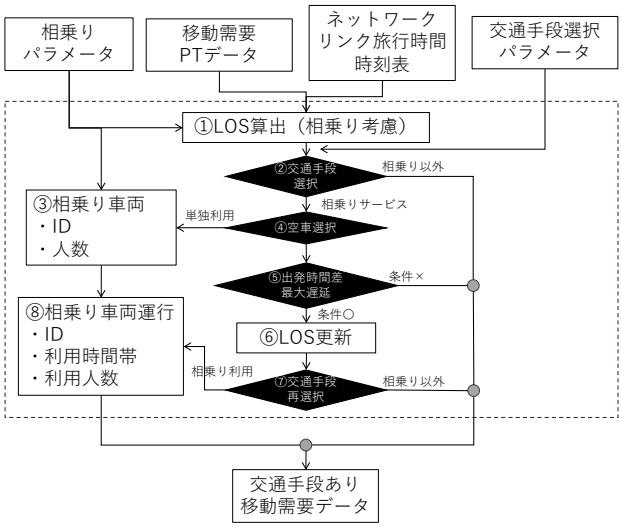


図-2 相乗りサービスの交通手段選択のフローについて

3.相乗りサービスモジュールの構築

(1) 相乗りサービスの交通手段選択フロー

相乗り実施には，2名以上の利用者の利用時間と出発地および目的地に応じ，相乗り車両が利用可能かどうかについてマッチング（調整）する必要がある．その方法について，具体的なロジックを構築することで，1台の車両に複数の利用者が相乗り可能かを考慮できるようにした．相乗りの条件は，Paoloら[2]の研究から出発時刻の差分と利用者の最大遅延に着目し，変数として考慮できるものとした．**図-2**に相乗りサービスの交通手段選択のフローについて示す．フローの各項目での処理の詳細については①から⑧に分類して，以下にそれぞれを説明する．

①LOS算出（相乗り考慮）

各交通手段（自動車，公共交通，自転車，徒歩）別に交通手段選択モデルに必要な LOS を算出する．この際，公共交通の一部のサービスとして，相乗りサービスを考慮する．サービス対象エリア内に両方の OD がある場合，出発ノードから到着ノードまでを自動車と同様に利用できるものとした．前日までの事前予約制を前提として，アクセスやイグレスの徒歩所要時間及び待ち時間はゼロとして算出を行った．

②交通手段選択

相乗りによる公共交通を選択肢として考慮した上で，交通手段選択モデルとそのパラメータおよびLOSに基づいて，トリップごとの交通手段を決定する．

③相乗り車両

相乗りパラメータに基づいて設定された車両台数と1台当たりの最大利用者数（本研究では最大2名まで）に応じて相乗り車両を生成し,車両の運行時間帯について決定する．

※車両ごとに個別に設定することも可能

④空車選択（単独利用）

交通手段として相乗りサービスが決定されたトリップに対して，相乗り車両が利用可能か検討する．空きの車両がある場合，相乗り車両の単独利用として予約を入れ，空きの車両がない場合は，相乗りを検討する．

⑤出発時間差・最大遅延の判定（相乗り判定）

2人（A, B）のトリップの出発時刻の差分がδ以下でかつ利用者の最大遅延時間がそれぞれΔ以下であるか判定し，これを満たす場合はLOS更新し，満たさない場合は相乗り以外の交通手段を選択する．最大遅延時間

表-1 相乗りパラメータの種類と初期設定値

パラメータ名	初期値
出発時刻の差分:$t_{oi} - t_{oj} \leq \delta$	600 秒
利用者の最大遅延時間 : Δ	600 秒
1 回あたりの利用料金	50 円
営業開始時刻	6:00
営業終了時刻	24:00
相乗り車両台数	20 台

は，二人の利用者間の移動を，迎え（A_oからB_oもしくはB_oからA_o），相乗り（A, Bともに乗車），送り（A_dからB_dもしくはB_dからA_d）をそれぞれ計算し，$A_t{}'$と$B_t{}'$を求める，A, Bそれぞれのもとの所要時間A_tとB_tからのそれぞれの増分を計算することで遅延時間を算出する．

⑥LOS更新

相乗りが可能となった場合，相乗りするそれぞれのトリップの遅延時間に合わせ，それぞれのトリップのLOS値（公共交通全体の旅行時間，公共交通乗車の旅行時間）を更新する．

⑦交通手段再選択

更新したLOSに応じて再度交通手段選択を行う．ランダムシードは交通手段選択時と同じものを使用する．それぞれのトリップの交通手段が変化しなかった（公共交通のままの）場合、相乗り利用を確定する．一方，どちらかのトリップの交通手段が変化した場合，後から相乗りしようとしたトリップを対象に，再度，利用する交通手段を検討する．

⑧相乗り車両運行

相乗りが決定したトリップに基づき，車両ごとに利用時間帯と利用人数を更新する．最短で相乗り利用ができるように，出発時間帯と経由する経路を特定する．

(2) 相乗りサービスのパラメータ

表-1に相乗りサービスに関するパラメータの種類と初期設定値を示す．相乗り配車モジュールとシミュレーションモデルに必要な相乗りサービスのパラメータについて整理することができた．

4． 松山都市圏への適用事例

前章で構築した相乗りサービスのモジュールを用いて，松山都市圏への適用を行う．現在，チョイソコと呼ばれる相乗りサービスの運行が検討されている松山

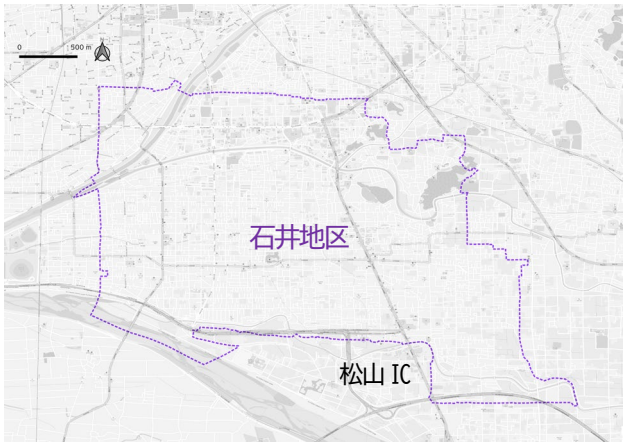


図-3 相乗りサービスの導入エリア

市石井地区を対象とした. **図-3** に具体的な相乗りサービスの導入エリアを示す.

(1) 入力データ

表-2に入力データの概要を示す．シミュレーションモデルの作成及び実行に必要となる入力データは，2020年度に松山スマートシティプロジェクトで整備したデータ｛ネットワークデータ（公共交通関連データ，道路交通関連データ），移動データ（平成19年度松山都市圏パーソントリップ調査による移動需要，時刻表データ，信号データ）｝を使用した．

(2) シナリオの作成

最初に，相乗り車両の検討に必要なシミュレーションの各シナリオに，統一条件を設定した．移動需要は，平成 19 年度松山都市圏パーソントリップ調査のうち，松山市石井地区をODとするトリップとした．計算の対象時間帯は 6:00-24:00 としたうえで，**表-3** に示す複数のシナリオを設定した．シナリオの違いとして，第一にトリップの交通手段としての相乗りサービスの利用の有無，第二に相乗りサービスの違いによる感度比較を行うこととした．シナリオ①は，現況再現とした．プローブパーソン調査結果を用いてMNLモデルにより交通手段を推定，交通需要はパーソントリップ調査のトリップデータと拡大係数により出力する．シナリオ②は相乗りの基本ケースとした．感度分析を行うため，料金（50 円/回），車両台数（20 台）での相乗りサービス実施時の結果を出力する．シナリオ③は，相乗り感度分析(車両台数)とした．シナリオ②との違いとして，車両台数を 20 台から 5 台に減少させた場合の計算結果を出力する．シナリオ④は，相乗り感度分析(料金)とした．料金を 50 円/回から 500 円/回に増額した場合の計算結果を出力する．

表-2 Hongo の入力データの概要

種類		ファイル名	内容
交通ネットワーク	Node データ	CarNodes.csv	自動車用
		WalkNodes.csv	歩行者用
		BicycleNodes.csv	自転車用
		RailNodes.csv	鉄道用
		PublicTransitNodes.csv	公共交通の経路選択用
	Link データ	CarLinks.csv	自動車用
		WalkLinks.csv	歩行者用
		BicycleLinks.csv	自転車用
		RailLinks.csv	鉄道用
		PublicTransitLinks.csv	公共交通の経路選択用
		StationGates.csv	歩行者と駅を接続するリンク
	Connectivity データ	RoadLaneConnectivity.csv	車線の接続関係
		RailLaneConnectivity.csv	線路の接続関係
	信号データ	Signal.csv	信号の設置位置，信号現示
公共交通	駅	Stations.csv	鉄道駅，バス停，モビリティの乗降用
	路線駅	RouteStations.csv	路線別の Station
	経路	RouteLinks.csv	路線別の道路及び鉄道 Link
	車両	Trains.csv	鉄道やバスのサイズ
	時刻表	Timetable.csv	路線駅間の出発時刻
相乗りサービス	車両	SharedRideService.csv	出発時刻の差分，利用者の最大遅延時間，利用料金， 営業時間，車両台数
	エリア	SharedLink.csv	自動車用のうち相乗りサービスの対象リンク
需要		Trips.csv	時間帯別の出発地から到着地への移動
パラメータ	交通手段選択	mcParam.csv	交通手段選択モデルパラメータ
	経路選択	rcParam.csv	交通手段別の DRL モデルパラメータ
	車両挙動	vbParam.csv	車種別の加減速モデルパラメータ

表-3 シナリオ設定

シナリオ	相乗り	条件
① 現況再現	なし	
② 相乗り基本	あり	料金（50 円/回） 車両台数（20 台）
③ 相乗り感度分析（車両台数）	あり	車両台数 （20 台→5 台）
④ 相乗り感度分析（料金）	あり	料金 （50 円/回→500 円/回）

(3) シミュレーションの実行

入力データをもとにシナリオ別のシミュレーションを実行した．その計算結果を可視化し，**図-4**で交通手段別の人や車両の移動状況（シナリオ③）を，**図-5**で抽出した相乗り車両の走行状況（シナリオ③）を示す．交通手段として，徒歩，自転車，自動車，公共交通（鉄道，バス，相乗りサービス）を考慮したシミュレーションが可能であることが確認できた．相乗り車両の運行状況についても可視化し，把握することが可能になった．

(4) 適用結果と考察

シナリオ別にシミュレーションを実行した結果について，**表-4**にまとめて示す．シナリオ①とシナリオ②を比較すると，自動車乗車時間が大きく減少していることがわかる．これは，石井地区内での相乗りサービスの利用により自動車の利用が減少したと考えられる．

次に，導入する相乗りサービスの違いによる比較を行う．シナリオ②とシナリオ③を比較すると，相乗りの利用割合が増えていることがわかる．これは，相乗りに利用できる車両台数を減らしたことで，相乗りの割合が増えた一方，全体の利用者数が減少したことに起因し，現実的な結果が表現できていることがわかる．また，1台当たりの稼働時間が長くなっていることから，シナリオ③の方が効率的な運用を行っていることが理解できる．シナリオ②とシナリオ④を比較すると，相乗りサービスの利用料金を増加させたことにより，利用者数および相乗りでの利用者数が減少していることがわかる．こちらも，料金の変動に対して，現実的な結果が表現できていることがわかる．また，1台当たりの料金収入では，シナリオ④の方が，利益率が高いこともわかる．

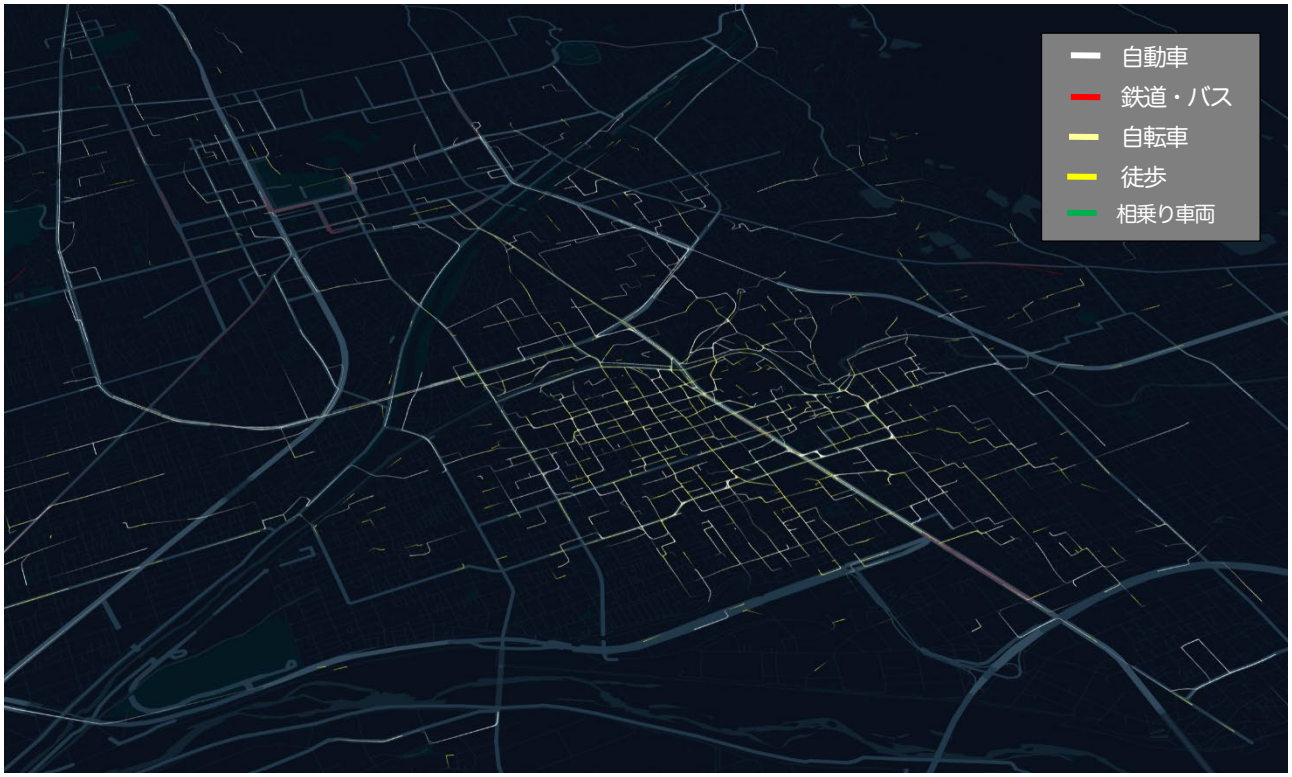


図-4 交通手段別の人や車両の移動状況（シナリオ③）

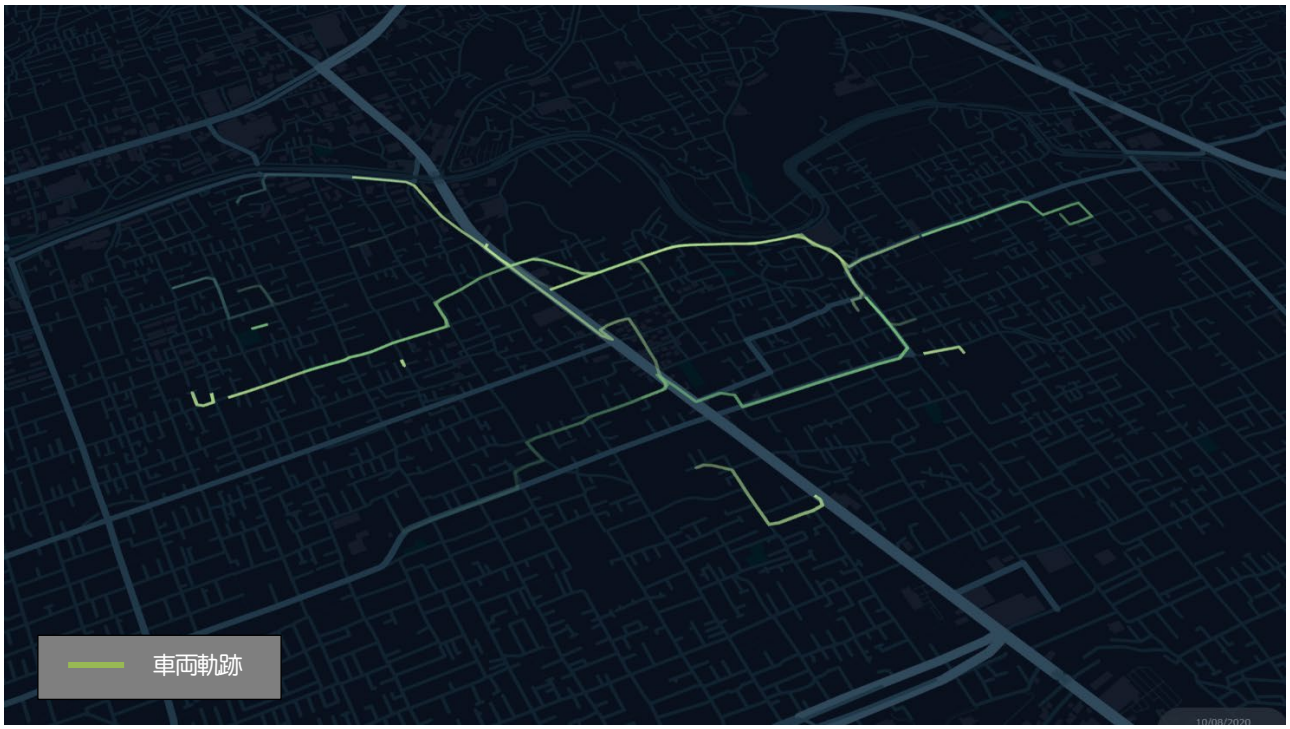


図-5 相乗り車両の走行状況（シナリオ③）

表-4 シナリオ別のシミュレーション結果

	①現況	②相乗り基本	③相乗り感度（車両台数20→5）	④相乗り感度（料金50→500）
自動車乗車時間(hr)	5395.2	5383.6	5396.6	5421.0
公共交通乗車時間(hr)	309.1	309.1	296.8	288.5
公共交通待ち時間(hr)	309.5	325.1	333.6	291.6
徒歩アクセス時間(hr)	388.7	387.3	391.6	377.7
自転車旅行時間(hr)	2681.3	2684.2	2685.4	2688.6
徒歩旅行時間(hr)	7515.7	7513.7	7521.2	7519.0
総移動時間(hr)	16599.5	16603.0	16625.2	16586.3
相乗り車両台数	-	20	5	20
相乗り車両料金(円/回)	-	50	50	500
利用者数	-	706	468	627
相乗り回数	-	26	217	10
料金収入（円/台）	-	1,765	4,680	15,675
車両稼働時間(hr/台)	-	2.6	9.2	2.3

５. まとめ

相乗りモジュールを作成し，シミュレーションモデルを用いることで相乗りサービス導入時の検討が可能になった．また, 相乗りサービスの車両台数や料金設定の違いによる感度を把握することができた．今後，モデルの更新やさらなるデータ収集により，松山市内の各地で現在検討されている相乗りサービスが, 地域公共交通全体に与える影響について把握可能となることが期待される.

謝辞：本研究は，松山スマートシティ推進コンソーシアムで実施した松山スマートシティプロジェクトの成果を用いている．ここに松山市をはじめとするコンソーシアムメンバーへ感謝の意を表す.

REFERENCES

1) 東京大学大学院工 都市生活学・ネットワーク行動学研究グループ マイクロシミュレーション説明資料, http://bin.t.u-tokyo.ac.jp/kisopro21/files/Micro_simulation.pdf (最終閲覧 2023.10)

2) Paolo S., Giovanni R., Michael S., Stanislav S., Steven H. S., Carlo R.: Quantifying the benefits of vehicle pooling with shareability networks, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, Vol.101, No.37, pp.13290-13294, 2014.

(2023. 10. 13 受付)

APPLICATION OF SMART CITY PLANNING TO SHARING SERVICES FOR THE MATSUYAMA METROPOLITAN AREA

Takuma MITANI, Koji WATANABE, Eiji HATO