ラストマイル・モビリティシェアリング —シナリオモデルに基づく運用計画案の作成—

高橋　直希，高野　祐一，吉瀬　章子

本稿では，豊田市で提供されている地域ワンウェイ型シェアリングサービス Ha:mo RIDE 豊田の最適化モデルに基づく運営方法の分析 [1, 2] をもとに，より現実的な車両の初期配置や配回送のオペレーションを導出するため，自転車を利用した配回送を加えた最適化モデルと，不確実性を考慮したシナリオモデルを提案し，それらの計算機実験結果を紹介する．自転車を利用した配回送をモデルに加えることにより，全体的に利益率が高くなり，さらに計算時間も短縮することができた．シナリオモデルを考えることで，より需要の不確実性に対応可能なオペレーションを算出することができた．

キーワード：都市と地域のモビリティサービス，ワンウェイ型カーシェアリング，ラストマイル・モビリティ，Mobility as a Service (MaaS)，最適化モデル，混合整数計画問題，シナリオモデル

1. はじめに

モビリティを用いた新しいサービス Mobility as a Service (MaaS) は，日本政府が推進する超スマート社会 Society5.0 [3] の実現における政策の柱の一つとなっている．Ha:mo RIDE 豊田 [4] もその一つであり，乗り捨て可能なワンウェイ型シェアリングサービスとして，2012 年 10 月よりトヨタによって提供されている．豊田市駅から 5, 6 km 圏内にある，トヨタ本社や市役所，病院などの施設への移動を対象とした，ラストマイル輸送のためのモビリティサービスであり，i-ROAD や COMS といった超小型 EV を利用している．スマートフォンにアプリをインストールし会員登録を行い，アプリを使って約 60 カ所あるモビリティのステーションから出発場所と出発時間，移動先のステーションを入力する．アプリが利用可能なモビリティを提示すれば予約完了となる．ステーションの約 75％は 24 時間営業であり，2017 年 7 月時点で個人会員数は 4,000 人以上，法人会員も 70 社以上に上っている [5]．文献 [1, 2] では，この Ha:mo RIDE 豊田に対して，最適化モデルを用いた運営方法を分析し，料金の割増サービス（プレミアムサービス）や自動運転車両の導入の効果の議論を行っている．本稿はこの研究の延長線上の取り組みとして，自転車を利用した配回送を加えた最適化モデルと，より現実的な車両配置と配回送計画の導出を目的とするシナリオモデルを提案し，その計算機実験結果を紹介する．

たかはし　なおき
KDDI 株式会社
〒 102–8461　東京都千代田区飯田橋 3–10–10
たかの　ゆういち，よしせ　あきこ
筑波大学システム情報系
〒 305–8573　茨城県つくば市天王台 1–1–1
ytakano@sk.tsukuba.ac.jp
yoshise@sk.tsukuba.ac.jp

2. 自転車の配回送を考慮した最適化モデル

Ha:mo RIDE 豊田におけるモビリティシェアリングの特徴を以下に述べる（文献 [1, 2] 参照）．

- ラストマイル移動の足であることから，車両は公共交通機関の駅やバス停，ショッピングモール，オフィス，自宅など，個人の関心のある場所に近い場所に駐車することを想定しており，一般的にモビリティの利用時間が短い．
- ほかのカーシェアリング同様，出発時に車両を予約するが，移動先でのステーション探しに時間がかかってはサービスの意味がないことから，あわせて移動先ステーションの空き駐車枠も予約する．
- 需要と供給のアンバランスを解消するため，うまく車両配置や配回送スタッフのシフトを決める必要がある．

以上をもとに，[1, 2] では，Boyaci et al. [6] のカーシェアリング車両配置・配回送最適化モデルをベースとして，ラストマイル・モビリティシェアリングサービスにおける車両配置と配回送の最適化モデルを構築している．[1, 2] で想定している条件は以下のとおりである．

1. ステーションと，5 分刻みで区切られた期間の組を頂点とする時空間ネットワークを用いている．

Copyright ⓒ by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.

Boyaci et al. [6] は時間刻みを 15 分としているが，ラストマイルモビリティの利用時間は比較的短いことから時間刻みを 5 分としている．

2. 利用需要について，実際は 30 分前からしか知りえないが，最適な運営方法の分析を目的とすることから，1 日分の利用需要を所与としている．予約と出発は同時に行われるとしキャンセルは考慮していない．
3. ラストマイルモビリティならではの条件として，出発地の車両だけではなく移動先の空き駐車枠も確保する．
4. 利用時間について，「α（定数）」を貸出・返却時の手間として移動距離によらない一定時間とし，「利用時間＝移動時間＋ α（定数）」とした．ほんの数分の「α（定数）」が無視できない点もラストマイルモビリティの特徴である．
5. 移動時間は，時間帯ごとの交通状況を踏まえたパラメータとして与えている．このため同じステーション間でも，時間帯や移動の向きが異なれば移動時間は異なる．
6. すべての移動あるいは配回送は少なくとも 1 期間を要する．
7. ネットワーク上の各頂点はステーション j と期間 t の組 (j, t) で与えられ，各頂点の状態は，駐車している車両数，予約済の駐車枠数，配回送スタッフの人数で与えられる．
8. 各車両の状態は，「フリー」または「予約済」のいずれか一つである．「予約済」にはユーザーの乗車やスタッフの配回送の状態も含まれる．
9. 各駐車枠の状態は，「フリー」（利用可），「予約済み」（利用不可），「駐車中」（利用不可）のいずれか一つである．
10. 各配回送スタッフの状態は，「待機」，「移動」，「配回送」のいずれか一つである．
11. スタッフは 1 名のマネージャーと複数の配回送スタッフから構成される．モビリティの配回送は配回送スタッフのみが行う．開始時刻と終了時刻で記述される複数の勤務シフトが与えられており，配回送スタッフはその一つに従い勤務する．マネージャーは所定のシフトで必ず勤務するが，ほかのスタッフは配回送が不要であればそのシフトには勤務しない．
12. スタッフカーを用いた配回送では，配回送スタッフ 2 名で 1 チームを構成し，スタッフカーで移動する（図 1）．後述のように，自転車による配回送ではスタッフ 1 名のみで配回送を行う．

図 1　スタッフカーによる移動と配回送

(a) 移動　　**(b)** 収納

図 2　スタッフの自転車による移動・配回送の様子

13. 車両の駆動バッテリの充電状態 (SOC) は考慮しない．走行距離が短いため，SOC 低下で利用不可になることは少ない．このことは，Ha:mo RIDE 豊田のケーススタディでも確認されている（Shimazaki et al. [7] のシミュレータ改良版で確認）．
14. 車両の最大数，ステーションの配置（駐車枠数）による最適解の影響を調べるため，これらを可変なパラメータとして与える．

仮定 3, 4, 5, 9, 12, 13 は短距離ラストマイルモビリティならではの仮定である．本稿ではさらに実際に行われている自転車による配回送のモデル化を試みる．Ha:mo RIDE 豊田では，スタッフカーよりきめ細かな配回送手段として，小型の折り畳み自転車が活用されている（図 2(a)）．配回送の際には自転車を折り畳み，モビリティの荷台に収納している（図 2(b)）．

以下は，自転車による配回送をモデル化するために新たに加えた条件である．

16. 各スタッフは自転車を 1 台所持しており，移動距離が 2 km 以内のステーションへ移動する際は自転車を用いることができる．
17. 豊田市には自転車で走行できない歩道が存在するが，スタッフは自転車または徒歩で移動するとし，徒歩の際にも自転車を所持する（自転車を押して歩く）．
18. スタッフ移動用車両による移動，モビリティの配回送の際，自転車は折り畳んで車両・モビリティに収納する．そのため，移動・配回送後も自転車を用いて移動することができる．
19. 自転車で移動する際の移動コストは発生しないが，

 Copyright © by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.

図 3　Ha:mo RIDE 豊田のステーションとクラスタリング結果

人件費は発生する．

以上をもとに，[1, 2] で述べられている時空間ネットワークを作成し，計算時間短縮のために近接するステーションのクラスタリングを行ったうえで，混合整数計画問題として定式化を行った．

3. Ha:mo RIDE 豊田データに基づく計算機実験

本稿でも [1, 2] で用いた，Ha:mo RIDE 豊田のデータならびにシフトを用いて計算機実験を行った．全ステーション数は 55，全駐車枠数は 266，最大車両数は 90 台である．図 3 は Ha:mo RIDE 豊田の全ステーションとクラスタリングの結果である．

対象とする時間帯は，需要が多く発生しすべてのステーションが稼働している，午前 6 時から深夜 12 時に限定した．配回送スタッフの総数は 5 名であり，スタッフの人件費は 900 円/時，最大人件費は 27,000 円，1 日当たり延べ 30 時間分に設定した．

機会損失を含む潜在需要は，[1, 2] と同様に，ポアソン分布を用いて利用履歴から確率的に生成した．「需要増加倍率 1.5 倍」とは，50%の損失需要があったことを意味している．

表 1　自転車利用の有無による結果の比較

自転車利用	無	有
充足したトリップ需要の割合 [%]	72.41	78.90
スタッフ数	1.00	1.00
使用されたモビリティ台数	72.52	74.04
配回送数	5.54	16.68
利益（比率）	2.98	3.23
収益（比率）	1.14	1.22
人件費（比率）	0.367	0.374
車両コスト（比率）	0.29	1.01
計算時間 [秒]	447.22	313.80
変数数	126332.74	126366.70

移動運賃は，実際の運賃（初乗り 10 分 200 円，以降毎分 20 円）を用いて計算している．配回送・移動コストは，コンパクトカーの平均時速 20 km，燃費リッター当 30 km，燃料費リッター当 100 円で算出した．

各ステーション間の各期間における移動時間はすべて Google Maps Distance Matrix API [8] を使用して推定しており，特に自転車による移動時間は travel mode option を bicycling に設定して算出している．この方法では，自転車で走行できる歩道の有無の関係で，同じ OD 区間でも $O \to D$ と $D \to O$ でルートが異なり，移動距離，移動時間が一致しないことがある．また，自転車で走行できない歩道については，歩行による移動時間を設定した．

以上の設定のもと，需要を出発地，出発時間，移動先，到着時間の四つ組（トリップ）のデータとして与え，本稿ではこれをトリップ需要と呼ぶ．各トリップ需要の出発時間にモビリティが，到着時間に移動先のステーションの空き駐車枠が，それぞれ確保できた場合，そのトリップ需要を充足できたとする．

実験にあたっては，Intel Xeon E5-1630 v3 (3.70 GHz)，64 GB の PC と，OS Windows 8.1 Pro，ソルバー Gurobi Optimizer 7.0.2. を使用した．

表 1 は，需要増加倍率 1.5 倍（50%の損失需要）を想定した際の，スタッフカーのみでスタッフが移動する場合（自転車利用無）とスタッフの移動に自転車を用いた場合（自転車利用有）との計算機実験結果の比較である．実行時間を 5,000 秒で打ち切った，50 回の計算機実験結果の平均値を示しており，利益，収益，人件費，移動・配回送コストは，Ha:mo RIDE 豊田での実際のオペレーションによる結果を 1 としたときの比率を示している．

表 1 より，移動・配回送に自転車を利用したモデルでは，自転車を利用しない最適化モデルと比較し，充

Copyright © by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.

図 4　自転車を利用した移動の可視化

足したトリップ需要の割合が約 6 ポイント増加し，利益も約 0.3 ポイント増加したことが確認できる．これは，配回送数が大幅に増加したことが要因と考えられる．自転車を利用しない最適化モデルでは，移動はすべてスタッフ移動用車両を用いて行われるため，移動の度に車両コストがかかってしまう．また，最適なオペレーションでは，人件費を削減しようとするため，スタッフ 1 名で行える自転車による移動・配回送を行うことが多く，配回送のルートをうまく決めてスタッフ移動用車両のあるステーションまで戻っている．結果，自転車を利用しない最適化モデルでは，配回送でユーザーを増やして利益を増加させることが困難となり，なるべく移動を減らしてコストを削減する，配回送数が少ない解を導出する傾向がある．一方，自転車を利用した移動にはコストが発生しない．また，配回送の際にモビリティに自転車を収納することができるため，スタッフ移動用車両の場合のように，配回送ルートにおける次の移動のための制約もない．コストと制約の少ない配回送が可能となり，配回送数と利益が増加したと考えられる．

図 4 から確認できるように，自転車による移動の範囲はトヨタ本社周辺に集中している．自転車での移動は 2 km 以内と制限されているため，トリップ需要が集中しているトヨタ本社周辺での移動・配回送が需要充足度に影響を与えたためと考えられる．

自転車を利用したモデルでは，自転車を利用しないモデルと比較して，計算時間がおよそ半分になることが確認できた．これは，自転車利用により，コストのかからない配回送ルートの計算が容易になったためと考えられる．

4.　需要の不確実性を考慮したシナリオモデル

これまでの最適化モデルは事前にすべてのトリップ需要が既知と仮定して初期配置と配回送のルートを求めていたが，実際のサービスは 30 分前にならないとトリップ需要は判明しない．本節では，複数のトリップ需要データ（以下，シナリオ）を導入した最適化モデルを構築することで，トリップ需要の不確実性を考慮し，計算機実験によってオペレーションの変化を比較する．

4.1　シナリオを導入した最適化モデル

これまでの計算機実験では，3 節で作成した複数のトリップ需要データを一つずつ最適化モデルに与え，全計算機実験で得られた結果の平均値として目的関数値やトリップ需要充足率などを示してきた．本節では，3 節で作成したトリップ需要データをシナリオと考え，1 回の計算機実験で複数のシナリオを与え，目的関数を全シナリオの利益の期待値として最大化することを考える．

2 節の自転車を利用したモデルにシナリオを導入した最適化モデルの考え方は以下のとおりである．

1. これまでは変数として各トリップ需要を充足するか否かに対応する 0-1 変数を用意していたが，この変数を拡張して，各シナリオの各トリップ需要に対する 0-1 変数を用意する．
2. モビリティの初期配置，スタッフのシフト，スタッフの移動・配回送といったオペレーションに関する変数はシナリオに依存させないことで，シナリオの確率的な変動に影響されにくいオペレーションの導出を目指す．
3. 以上の仮定のもと，2 節と同じ考え方でシナリオごとの時空間ネットワークを構築し，全シナリオの利益の期待値を最大化する解を求める．

4.2　シナリオ数による計算時間の変化

図 5 は，シナリオ数 1（トリップ需要を固定），10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 に対する変数の数と計算時間を示している．シナリオ数 60 までは変数の数に対して計算時間は緩やかな指数関数的に増加しているが，シ

 Copyright © by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.

図 5　シナリオ数の違いによる変数数・計算時間

表 2　シナリオ数の違いによる結果の比較

シナリオ数	1∗	20	40	60
充足した需要率 [%]	78.57	65.38	66.48	65.38
スタッフ数	1	1	1	1
使用されたモビリティ台数	74	90	90	90
配回送数	16	14	14	14
利益（比率）	3.09	2.48	2.50	2.47
収益（比率）	1.26	1.09	1.08	1.07
人件費（比率）	0.37	0.37	0.37	0.37
車両コスト（比率）	0.90	0.86	0.86	0.86

ナリオ数 70 になると，計算時間は急激に増加している．この結果から，以下の計算機実験ではシナリオ数の最大値を 60 としている．

4.3　シナリオモデルの実験結果

表 2 は，シナリオ数 1（トリップ需要を固定），20, 40, 60 の場合の計算機実験結果である．需要増加倍率 1.5 倍，自転車で移動できる範囲は 2 km 以内，スタッフ移動用車両 1 台，スタッフは最大 5 人として実験を行った．

表 2 より，トリップ需要が確定している場合（シナリオ数：1）は，実際のサービスの利益と比較して 3 倍以上の利益を上げることができる一方で，トリップ需要の不確実性を考慮した場合でも 2.5 倍程度まで利益を伸ばしていることが確認できる．また，トリップ需要が確定している場合と比較し，トリップ需要の不確実性を考慮した場合のほうが配回送の回数が減少しており，必要最低限の配回送数で車両コストの削減を図っていることがわかる．さらに，トリップ需要が確定している場合は必要最低限のモビリティを投入しているが，トリップ需要の不確実性を考慮した場合は，すべてのモビリティを投入しトリップ需要の不確実性に対応していることがわかる．

利益率や収益率については，シナリオ数の増加に伴う大きな変化は確認できなかった．これは，Ha:mo RIDE

(a) シナリオ数:1　**(b)** シナリオ数:20

(c) シナリオ数:40　**(d)** シナリオ数:60

図 6　シナリオ数の違いによる配回送の比較
(©Esri Sources: Esri, DeLorme, HERE, DeLome, USGS, Intermap, INCREMENT P Corp., NRCan, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), Esri Korea, Esri (Thailand), MapmyIndia, NGCC, ©OpenStreetMap contributos, and the GIS Use Community)

豊田の利用データにおいて，午前は豊田市駅からトヨタ本社周辺へのトリップ需要，午後はトヨタ本社周辺から豊田市駅へのトリップ需要が圧倒的に多いという特殊性に起因すると考えられる．シナリオは Ha:mo RIDE 豊田の実利用データをもとに作成されていることから，シナリオを増やしても，これらのトリップ需要の圧倒的大きさにさほどの変化はなく，オペレーションも大きく変化しなかったものと考えられる．

図 6(a)～(d) は，それぞれシナリオ数 1（トリップ需要を固定），20, 40, 60 の各シナリオモデルで得られた配回送を可視化した図である．図 6(a) 右側の楕円で囲まれた配回送がなくなるなど，(b), (c), (d) のほうが限定されたエリア，特にトリップ需要が非常に多いトヨタ本社周辺での配回送が多い．これは，トリップ需要が不確実であるがゆえに，ほぼ確実にトリップ需要が発生するトヨタ本社周辺に集中して配回送を行っていると考えられる．現地でのヒアリング調査でも同様

Copyright © by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.

(a) シナリオ数:1　(b) シナリオ数:20

(c) シナリオ数:40　(d) シナリオ数:60

図 7　シナリオ数の違いによる初期配置の比較
(©Esri Sources: Esri, DeLorme, HERE, DeLome, USGS, Intermap, INCREMENT P Corp., NRCan, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), Esri Korea, Esri (Thailand), MapmyIndia, NGCC, ©OpenStreetMap contributos, and the GIS Use Community)

の配回送を実施しているとの回答を得ており，トリップ需要の不確実性を考慮したシナリオモデルの最適オペレーション結果は，実際の運営に近い．

図 7(a)〜(d) は，シナリオ数 1（トリップ需要を固定），20, 40, 60 の各シナリオモデルで得られた初期配置を可視化した図で，円の大きさは初期配置台数の多さを表している．図 7 の各図の上半分に注目するとわかりやすいが，(a) に比べて (b), (c), (d) のほうが初期配置台数が分散していることが確認できる．トリップ需要が不確実なため，どのようなトリップ需要が発生してもある程度対応可能とするために分散していると考えられるが，実際にこのように配置することは必ずしも容易ではない．サービス期間を 1 日ごとに考えるのではなく，一定期間連続してサービスを行うモデルを考えることで，より配置しやすい初期配置を考える必要がある．

図 8　シナリオモデルの評価手順

表 2 と同様に，図 6，図 7 より，シナリオ数の違いによる配回送・初期配置の大きな差は確認できなかったが，これも Ha:mo RIDE 豊田データの特殊性に起因した結果と考えられる．

4.4　シナリオモデルの評価

本節では，4.1 節のシナリオモデルで得られた最適オペレーションの有効性の評価を行う．図 8 は評価の手順を示している．まず，トリップ需要データの x 種類（x は整数）のシナリオを最適化用データとして 4.1 節で述べたシナリオモデルに与える．得られた初期配置や配回送などの最適オペレーションがほかのデータに対してどの程度有効であるかを調べるため，2 節で述べた自転車利用モデルにおいて，得られた最適オペレーションを所与として固定した最適化モデル（最適オペレーションを所与とした自転車利用モデル）を考える．最適化用データに含まれていない新たなトリップ需要データを検証用データとしてこのモデルに与え，最適化することで，最適オペレーションの検証用データに対する有効性を評価する．

表 3 は，シナリオ数 1, 20, 40, 60 のそれぞれに対して，検証用データ 10 パターンを用いて最適化モデルで計算機実験を行った際の，得られた利益の現実のオペレーション結果を 1 としたときの比率と分散，充足したトリップ需要率を示している．

表 3(a) より，シナリオ数 40, 60 の最適オペレーションは，シナリオ数 20 の最適オペレーションより多くの利益を上げていることが確認できる．一方，シナリオ数 40 と 60 を比較すると，検証用データ 2, 4, 8 では同じ値で，検証用データ 3, 6, 9 ではその差は 0.01 ポイントに留まっている．検証用データ 3, 6, 9 に関して，充足したトリップ需要率（表 3(b)）を確認すると，検証用データ 3 では 0.55%（約 1 トリップ差），検証用データ 6 では 0.49%（0.87 トリップ差），検証用データ 9 では差はない．つまり，シナリオ数 40 と 60 の最適オペレーションの差は小さく，シナリオ数は 40 で比較的満足なオペレーション結果を得られることがわかる．

続いて，シナリオ数 1 とシナリオ数 20, 40, 60 の結果を比較する．シナリオ数 1 の利益（比率）の結果

 Copyright © by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.

表 3　シナリオ数の違いによる利益（比率）・充足したトリップ需要率の比較

(a) 利益（比率）と分散

シナリオ数	1	20	40	60
データ 1	2.36	2.48	2.50	2.47
データ 2	実行不能	2.80	2.82	2.82
データ 3	実行不能	2.81	2.90	2.91
データ 4	2.49	2.61	2.75	2.75
データ 5	2.28	2.62	2.74	2.77
データ 6	2.58	3.05	3.07	3.08
データ 7	2.66	2.93	3.02	2.98
データ 8	実行不能	2.28	2.31	2.31
データ 9	2.35	2.80	2.92	2.91
データ 10	2.66	2.85	2.87	2.90
分散	0.140	0.046	0.048	0.051

(b) 充足したトリップ需要率 [%]

シナリオ数	1	20	40	60
データ 1	62.09	65.38	66.48	65.38
データ 2	実行不能	66.12	66.12	66.12
データ 3	実行不能	71.82	72.93	73.48
データ 4	60.94	62.50	65.10	64.58
データ 5	60.67	66.29	68.54	70.22
データ 6	54.90	62.25	61.76	62.25
データ 7	65.17	69.66	71.35	70.79
データ 8	実行不能	70.86	71.52	71.52
データ 9	57.67	65.61	67.72	67.72
データ 10	71.02	73.86	75.00	75.57

は，検証用データ数 10 のうち三つが実行不能となった．実行可能であった七つに関して，シナリオ数 20, 40, 60 と比較し，どの検証用データでも下回っていることが確認できる．充足したトリップ需要も同様の結果が確認できた．また，表 3(a) の分散からシナリオ数 1 の分散値が突出して大きいことがわかる．以上の結果から，シナリオ数 20, 40, 60 で得られた最適オペレーションは，シナリオ数 1 で得られた最適オペレーションより汎用性に優れていることが確認できた．

5. おわりに

本稿では，豊田市で提供されている地域ワンウェイ型シェアリングサービス Ha:mo RIDE 豊田の最適化モデルに基づく運営方法の分析 [1, 2] をもとに，より現実的な車両の初期配置や配回送のオペレーションを導出するため，自転車を利用した配回送を加えた最適化モデルと，需要の不確実性を考慮したシナリオモデルを提案し，それらの計算機実験結果を紹介した．自転車を利用した配回送を加えることにより，全体的に利益率が高くなり，さらに計算時間も短縮することができた．シナリオモデルを考えることで，より不確実性に対応可能なオペレーションを算出することが可能になった．さらに実用性の高いオペレーションを導出するためには，サービスの期間をより長くした場合の最適化モデルの検討やシミュレーションを行う必要があり，今後の課題である．

謝辞　本研究は，筑波大学とトヨタ自動車の共同研究「次世代社会システムとモビリティのあり方に関する研究」のご支援を受けている．

参考文献

[1] M. Yamada, M. Kimura, N. Takahashi and A. Yoshise, “Optimization-based analysis of last-mile one-way mobility sharing,” Department of Policy and Planning Sciences Discussion Paper Series, No. 1353, University of Tsukuba, 2018. http://infoshako.sk.tsukuba.ac.jp/~databank/pdf/1353.pdf（2019 年 4 月 20 日閲覧）

[2] 山田匡規, 木村雅志, 高橋直希, 吉瀬章子, “ラストマイル・モビリティシェアリング　最適化モデルによる運用分析,” オペレーションズ・リサーチ：経営の科学, **63**(7), pp. 386–393, 2018.

[3] 首相官邸,「未来投資戦略 2017」, 2017 年 6 月 9 日, https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/pdf/miraitousi2017_t.pdf（2019 年 4 月 20 日閲覧）

[4] トヨタ自動車,「Ha:mo RIDE 豊田」, https://hamo-toyotacity.jp/（2019 年 4 月 20 日閲覧）

[5] Digital Innovation Lab,「トヨタのカーシェアリング『Ha:mo』, 多様化するニーズを見据え世界で実験中」, http://digital-innovation-lab.jp/toyota_hamo/（2019 年 4 月 20 日閲覧）

[6] B. Boyaci, K. G. Zografos and N. Geroliminis, “An integrated optimization-simulation framework for vehicle and personnel relocations of electric carsharing systems with reservations,” *Transportation Research Part B*, **95**, pp. 214–237, 2017.

[7] K. Shimazaki, M. Kuwahara, A. Yoshioka, Y. Homma, M. Yamada and A. Matsui, “Development of a simulator for one-way ev sharing service,” In *Proceedings of 20th ITS World Congress Tokyo 2013*, 2013.

[8] Google, “Google Maps Distance Matrix API,” 2017, https://developers.google.com/maps/documentation/distance-matrix/（2019 年 4 月 20 日閲覧）

Copyright © by ORSJ. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.