

シェアサイクルシステム運用の仮想シミュレーション 都市の特性を想定した効率的なシェアサイクルの再配置計画策定の検討

Virtual Simulation of Operating Bike Sharing System

Consideration of the efficient bike sharing rebalancing plan assuming the characteristics of the city

○石井 樹^{*1}, 尾上 絢哉^{*2}, 中野 美祈^{*2}, 福崎 竜之輔^{*2}, 栗原 琉輔^{*2},
稲葉 翔太^{*3}, 高橋 慧^{*3}, 安東 弘泰^{*4}, 川島 宏一^{*5}

Tatsuki ISHII^{*1}, Junya ONOE^{*2}, Mizuki NAKANO^{*2}, Ryunosuke FUKUZAKI^{*2}, Ryusuke KURIHARA^{*2},
Shota INABA^{*3}, Megumu TAKAHASHI^{*3}, Hiroyasu ANDO^{*4}, Hiroichi KAWASHIMA^{*5}

^{*1} 筑波大学システム情報工学研究群 学生 博士(在学中)

Student, Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba, Doctor.

^{*2} 筑波大学システム情報工学研究群 学生 修士(在学中)

Student, Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba, Master.

^{*3} 筑波大学理工学群社会工学類 学生 学士(在学中)

Student, College of Policy and Planning Sciences, University of Tsukuba, Bachelor.

^{*4} 東北大学材料科学高等研究所 教授 博士(情報理工学)

Professor, Advanced Institute for Materials Research (AIMR), Tohoku University, Ph.D.

^{*5} 筑波大学システム情報系社会工学域 教授 博士(社会工学)

Professor, Division of Policy and Planning Sciences, University of Tsukuba, Ph.D.

キーワード：シェアサイクルシステム；再配置問題；バイクシェアリングネットワーク

Keywords: Bicycle sharing system; rebalancing problem, bike sharing network

1. はじめに

現代では、さまざまなモノを個々人で所有せず他人と共有する形態が見られており、自転車に関しても、それらを共同利用するシェアサイクルが普及している。シェアサイクルとは、駅や職場などの近隣に共用自転車を貸出・返却するサイクルポート（以降、ポート）を設置することで、ポート間の移動を実現する交通手段である。我が国では、東京都内や名古屋市、富山市や新潟市などの様々な都市においてシェアサイクルの導入が進められており、2021年3月末時点における導入都市数は324にのぼっている¹⁾。

しかし、国内におけるシェアサイクル事業の約6割は赤字であり²⁾、事業の採算性を確保することが課題となっている。中でも自転車の再配置作業は、運営費の約4割を占めることから、再配置作業の実施回数やポートの巡回順序を効率化し、作業に伴う人件費や配送費を削減することが望まれている。

従来のシェアサイクルの再配置に関する研究には、配置作業を行う車両の効率的な経路決定に関して、北京海淀区を事例に検証した例³⁾や、優先的に回収／配置すべきポートの順序や再配置すべき自転車台数に関して、東京地区（江東区、港区、中央区、新宿区、品川区）における自転車

の利用需要予測結果を基に算出した例⁴⁾が見られる。一方、前述で想定された大都市と比較して、国内でシェアサイクルの導入が進められている都市の中には、ポート設置数及びポート密度が相対的に高くない都市が存在している。従って、大都市を想定した既存のモデル・手法を適用するには課題があり、都市におけるシェアサイクルの利用特性を想定した再配置計画を検討することが有用である。

そこで本研究では、仮想的な都市シナリオを想定したシェアサイクルの再配置シミュレーションシステムを構築した。本システムは、都市シナリオの特性に応じた収益、コストを算定することが可能であり、効率的な再配置計画を策定する上で汎用性のあるものとなっている。

2. シミュレーション設定

2.1. 都市シナリオ

本シミュレーションでは、各ポートの需要の発生確率とポート間の距離を操作することで、様々な都市における利用傾向を再現する（図1）。例えば、高需要高密度な都市を想定した場合、需要の発生確率を全ポートで高く、各ポート間の距離を短く設定する。一方で、低需要低密度な都市を想定した場合、ポート間で需要の発生確率にばらつきが

あり、各ポート間の距離を長く設定する。

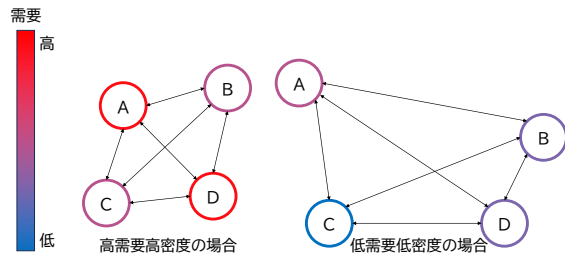


図 1. ポートネットワークと想定されるシナリオ例

2.2. シミュレーションフロー

本シミュレーションでは、 N 台のポートが設置されているシェアサイクルシステムを想定し、式(1)で示される利益を最大化するような再配置計画を都市シナリオの特性から検討する。

$$\left\{ \sum_{t^R} \left(\sum_{t=t_s}^{t_f} \sum_i^N P u^i(t) - \delta(t^R)(W + gL) \right) \right\} \quad (1)$$

P : シェアサイクルの利用料金

$u^i(t)$: 時刻 t におけるポート i からの利用者数

$\delta(t^R)$: 再配置フェーズ t^R におけるダミー変数

$\delta(t^R) = 1$: 再配置を実施する

$\delta(t^R) = 0$: 再配置を実施しない

W : 再配置人件費、 g : ガソリンコスト

L : トラックの巡回距離

式(1)における、 $\sum_{t=t_s}^{t_f} \sum_i^N P u^i(t)$ は N 台のポートにおける t_s 時から t_f 時まで (1 日) の利益、 $(W + gL)$ は再配置コストを表す。また、 $\delta(t^R)$ は操作可能な変数で、再配置フェーズ t^R における再配置の実施有無を表す。

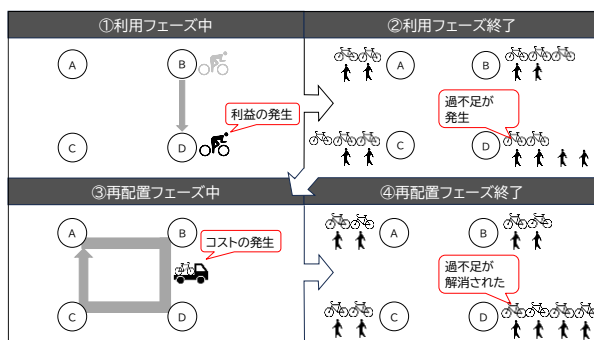


図 2. 再配置シミュレーションのフロー (1 日)

シミュレーションのフローは図 2 で示す通りで、以下に具体的な手順を述べる。

手順①:『利用フェーズ』では、各ポートで発生した需要と、貸出可能な自転車台数に応じて、利用台数が決定される。また、ポート i, j 間の距離 L^{ij} が近いほど、返却先として選択されやすくなるよう各ポートに対する選好 α^{ij} により、

式(2)の利用者の返却先選択確率 p^{ij} を設定した。返却時に、利用された台数に応じて利益が発生する。

$$p^{ij} = \frac{\alpha^{ij}}{\sum_j (\alpha^{ij})} \quad \text{where } \alpha^{ij} = \frac{\sum_j L^{ij}}{L^{ij}} \quad (2)$$

手順②: t_s 時から t_f 時までの利用が終了した後『再配置フェーズ』に移行する。

手順③:『再配置フェーズ』では、再配置の実施有無を選択できる。再配置を実施する場合、自転車を運ぶトラックの巡回距離に応じて再配置コストが発生する。再配置後の各ポートの自転車台数は、各ポートの需要の比率に応じて決定される。なお、本フェーズでは、利用者の移動は発生しないものとする。再配置を実施しない場合、各ポートの自転車台数は変更されない。

手順④:③の終了後、再び『移動フェーズ』に移行する。

以上、手順①～④が任意の期間内繰り返された後、利益と再配置コストが算定され、シミュレーションが終了する。算定結果を基に、再配置の効率性を評価することができる。

3. 今後の展望

本システムでは、仮想的な都市シナリオに基づくポートネットワークに応じて利用傾向を設定したが、実際にはポートの地理的な要因や季節性に依存してシェアサイクルは利用される。今後は実データを反映させたシステムを構築することにより、実社会で活用できる再配置シミュレーションを目指す。

謝辞

本研究は、これまで筑波大学社会工学 LEGOPROJECT で得られた知見を発展させたものであり、筑波大学システム情報系大澤義明教授、筑波大学未来社会工学開発研究センター研究員野口宇宙氏(当時)をはじめ、当プロジェクトを推進されてきた多くの方々に心より御礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) 国土交通省: まちづくりにおけるシェアサイクル、pp.4、2022、<https://www.mlit.go.jp/toshi/content/001611030.pdf>
- 2) 国土交通省: シェアサイクルの採算性確保に向けて、pp2、2021、<https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/sharecyc/e/pdf04/03.pdf>
- 3) Xu Wang, Huijun Sun, Si Zhang, Ying Lv, Tongfei Li: Bike sharing rebalancing problem with variable demand, Physica A: Statistical Mechanics and its Application, Vol.591, 126766, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physa.2021.126766>
- 4) 石黒慎、三村知洋、川崎仁嗣、深澤佑介、室住篤子: サービス向上・社会課題解決に貢献する AI ドコモ・バイクシェアにおける AI を活用した自転車の再配置作業最適化の取り組み、NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル、Vol.28、p.p.4、2021