

自動運転を考慮したワンウェイ型カーシェアリングの
最適配置と可視化シミュレーション

Optimal Placement of One-way Carsharing Based on Autonomous Car and Visualization Simulation

惣野源也¹⁾, 長谷川浩志¹⁾
Genya Sono and Hiroshi Hasegawa

1) 芝浦工業大学 大学院理工学研究科 システム理工学専攻 (埼玉県さいたま市見沼区深作307)

Car sharing services have become a sharing service that is attracting attention all over the world. However, one-way car sharing requires relocation due to uneven distribution of vehicles, and it is necessary to guide the optimum station layout at the introduction stage. In addition, it is expected that Autonomous cars will be introduced for car sharing in the future. Therefore, the purpose of this paper is to reduce costs and improve the utilization rate in consideration of relocation by Autonomous operation and station placement based on users. In addition, visualization simulations are performed.

Key Word: MaaS, Autonomous Car, Car Sharing, Optimization, Visualization

1. はじめに

近年、カーシェアリングは世界的に注目されつつある。2020年3月には日本でのステーション数は約2万カ所、会員数は200万人を超えた^[1]。さらに、自動車に関しては、自動運転レベル3の販売が開始し、自動運転の普及が本格化しようとしている。

中でも海外で、普及が進んでいるのがワンウェイ型カーシェアリングである。ワンウェイ型カーシェアリングは、車両の貸出場所と返却場所が異なるものである。しかし、利用したいがステーションが近辺になく借りることができない、返却できない問題が生じてしまう。この問題を解消するためには、ステーションの再配置、自動運転を考慮した、車両の再配置が必要となる。

川上らは、貪欲法を用いた再配置の最適化、ダイナミックプライシングによって利用者自身による再配置を行った^[2]。ステーションは、互いに等間隔の距離間で既存する施設を仮想のステーションとして設定した。

本研究では、自動運転による再配置や利用者に基づくステーション配置を考慮したコストの削減、利用率の向上を目的とする。また、自動運転への適用も考慮するため、EV車におけるバッテリーの要素と自動運転車による流しの活用も加味して各車ごとの再配置を行う。さらに、時間帯ごとの利用率からステーション配置を定式化して求める。

2. システム構成

本研究のシステム構成を図1に示す。本研究では、栃木県那須町にてワンウェイ型カーシェアリングサービスの導入を想定する。ステーションは、川上らの研究と同様に那須町のある地域を一定範囲とした中で、既存する施設を仮想のものとして設定した。



図1 システム構成

3. 再配置のながれ

図2では利用者はステーションAから車両を利用し、ステーションBで車両を返却したい。また、ステーションAは空車、ステーションDは満車の状態である。そのため、ステーションDもしくは利用可能な車両が存在するステーションCから車両をステーションAへ再配置を行う。このとき、どちらのステーションから車両を移動させるかを価値関数 $V_{i,j}$ にて判断する。式(1)に価値関数 $V_{i,j}$ について示す^[2]。

$$V_{ij} = \frac{1}{E - G + 1} + \Delta + w_t t_{ij} \tag{1}$$

ここで、Eは再配置によって取り除かれる要求拒否の数、Gは新たに生成される要求拒否の数である。また、 Δ はE、Gが発生する間にかかる時間、 w_t 、 t_{ij} は移動時間の重み、ステーションi、j間を表す。

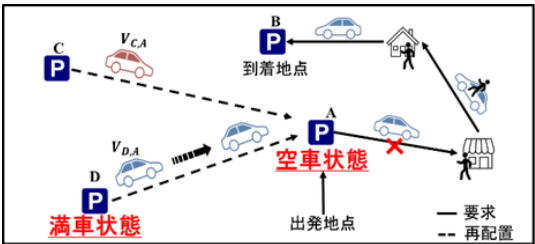


図2 再配置の流れ

4. *p*-メディアンモデルによるステーション配置

p-メディアンモデルを導入することにより、自動運転によるステーションから需要地までの移動コスト最適化を行う。*p*-メディアンモデルとは、需要の分布が所与の場合、需要地から施設までの総距離が最小になるように、*p*個の施設を新たに配置するモデルである。*p*-メディアンモデルは、以下のように定式化される。

$$\min \sum_i \left(w_i \sum_j d_{ij} x_{ij} \right) \tag{2}$$

$$\text{subject to } \sum_j x_{ij} = 1, \forall i \in N \tag{3}$$

$$x_{ij} \leq y_j, \forall i, j \in N \tag{4}$$

$$\sum_j y_j = p \tag{5}$$

*w_i*は需要*i*における需要量、*d_{ij}*は需要*i*から施設*j*までの距離、*x_{ij}*は需要*i*における施設*j*への割当を表す決定変数、*y_j*は施設*j*における施設の有無を表す決定変数、*p*は施設数、*N*は施設の集合を表す。

5. *p*-メディアンモデルによるステーション選択

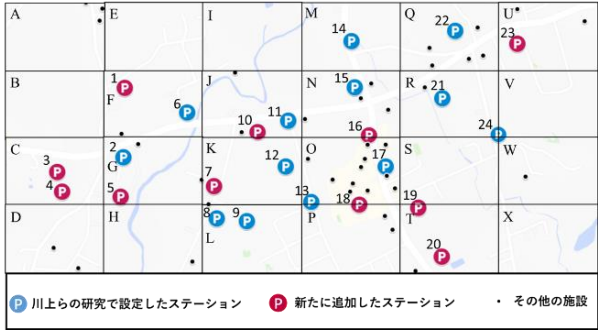


図3 仮想ステーション

図 3 では、川上らの研究で設定したステーション、新たに設定したステーション、その他の施設を示している。川上らの研究では、ステーションをランダムに選択している。新たにステーションを設定した理由としては、川上らの研究で設定した 13 個のステーションが最適な配置とは限らないので、*p*-メディアンモデルで最適な配置を導くためである。*p*-メディアンモデルを行う際、ステーション数と需要地の数を同じにしなければならないため、使用する需要地は、全体のエリアを 24 分割し、各エリアの施設間の中心点とした。また、需要地の時間帯混雑率は Google map から取得し、時間帯ごとのステーション利用率とする。これらのデータを基に、ステーション配置の最適化を行う。

6. ステーション配置の検討及び考察

ステーション利用率、需要地とステーション間との距離を基に、図 3 で設定したステーションから、*p*-メディアンモデルで選択されたステーションと先行研究で設定したステーションとで、各時間帯における 1 台当りの移動距離と再配置回数の比較を行う。各時間帯における 1 台当

りの移動距離と再配置回数の結果を図 4、表 2 に、初期条件を表 1 に示す。

表 1 初期条件

| | |
|---------|------------|
| ステーション数 | 13 個 |
| 車両台数 | 312 台 |
| 時間帯 | 6:00~24:00 |
| 利用人数 | 1000 人/日 |
| 初期台数割合 | 全体の 2/3 |

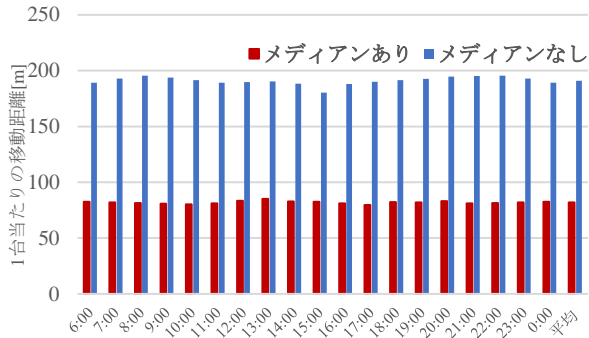


図 4 移動距離比較

表 2 再配置回数比較

| | | |
|---------|---------|------|
| メディアンなし | メディアンあり | 改善後 |
| 253回 | 163回 | 106回 |

図 4、図 5 から、*p*-メディアンモデルにより選択されたステーションの方が先行研究のステーションより、1 台当たりの移動距離が約 120m 短縮された。また、再配置回数に関しても *p*-メディアンモデルを導入することにより、削減を行えたが再配置回数の偏りが出てしまった。これらを踏まえて、空車要求拒否が出たステーションを満車要求拒否が出たステーションに近づけ再度、再配置回数比較を行った。結果を表 3 に示す。

表 3 再配置回数

| | |
|-------|-------|
| 改善後 | メディアン |
| 106 回 | 163 回 |

改善後のステーションでは、さらなる再配置回数の削減を達成した。

7. 自動運転車への適応

(1) バッテリー残量

利用者が自動運転車両を使用するときに、バッテリー残量が一律に充電されている必要がある。再配置によりバッテリー残量に偏りが起きると、充電時間が足りず、顧客が自由に利用できない要求拒否が起きる場合がある。よって、充電残量が最も多い車を自動運転させるシステムをさらに組み込んだ。バッテリー残量が最も多い車と、ランダムな車でのバッテリー残量比較を図 5 に示す。

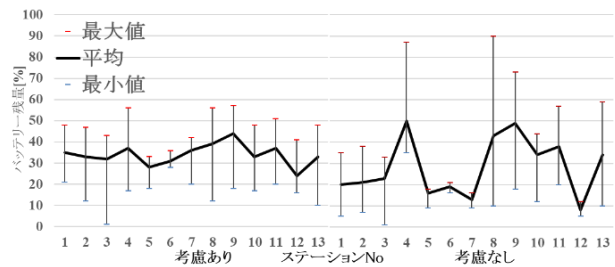


図5 バッテリー残量比較

バッテリー残量を考慮しない場合では、バッテリー残量差が大きく出てしまい要求拒否が出やすくなってしまふことが分かる。

(2) 流しへの応用

「流し」とは、タクシーの営業で用いられるもので、タクシーを走らせながら利用者を探す方法である。普通車のカーシェアリングでは、運転手が利用者のため「流し」を行えないが、自動運転車の場合は運転手を必要としないため、「流し」へ応用が可能となる。そこで本節では、自動運転車でシステムの運用する際の、流しへの応用を考慮するためバッファの追加を行った。バッファとは、自動運転車両が仮想的に存在する位置である。p-メディアンモデルによって選択された仮想ステーションに5通りのバッファを追加した。それぞれのバッファを追加した場合で時間ごとの需要点から仮想ステーションまたはバッファまでの移動距離比較を行う。結果を図6に示す。

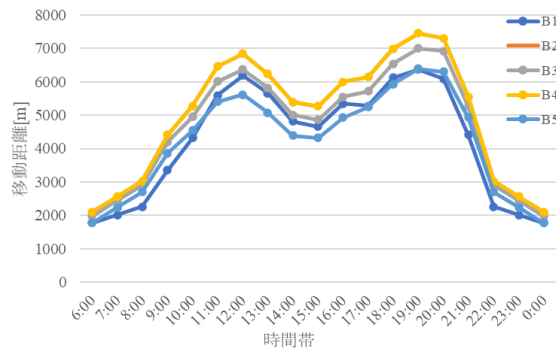


図6 時間帯ごとの移動距離比較

図7より6:00~10:00, 19:00~0:00の間ではバッファB1, 11:00~18:00の間ではバッファB5が最適だと分かった。それぞれの時間帯で最適なバッファを取り入れた場合の総距離比較を表4に示す。

表4 総距離比較

| | バッファあり | バッファなし |
|--------|----------|----------|
| 総距離[m] | 77578.87 | 81994.22 |

バッファを追加したことによって、総距離が短くなったのが示せた。

8. 可視化シミュレーション

7章までの結果やシミュレーションの動きを可視化させる環境構築に取り組んだ。

本論文では、本研究のシステムをアプリケーション化し、実証実験を行うことを目標に、プロトタイプを作成を行った。これにより、カーシェアリング導入を検討する際のシミュレーションとしてこのシステムを操作する場合に開発者以外でも仕様検討を行うことができると考えた。

9. GoogleAPI×MapBoxによる可視化

位置情報をGoogleMap、可視化ツールにはMapBoxを使用し、車両の移動と各ステーションへの再配置の様子を可視化させた。GoogleAPIは、地図上の位置情報をデータとして読み込むのに利便性が良く、移動するステーション間の道順を緯度経度で取得できるため利用した。MapBoxはMapBox社が提供するリアルタイムで更新されるライブロケーションマップの開発プラットフォームである。時間帯ごとに様々な数値が変動するシステムには最適なため、これを利用した。

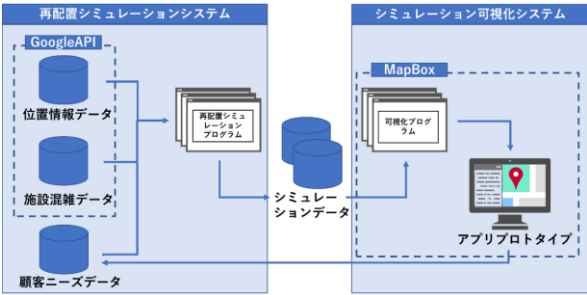


図7 可視化システム構成

図7は、2章から6章の再配置システムを、MapBoxを使用した可視化システムに組み込んだ構成図である。可視化システムのアプリケーションで顧客データを入力し、再度再配置シミュレーションを行いことで、フロントシステムからシミュレーションの値を変化させて結果を可視化させられる構成とした。

10. 今後の展望

ワンウェイ型カーシェアリングのシミュレーションにステーション最適化を含めることで、移動距離におけるコスト、再配置回数を削減できることが示せた。さらに、自動運転要素を考慮することでシステム運用を現実的なものにすることができる。またシミュレーションを可視化することで、車両の動き、混雑率など妥当性を確認できた。

参考文献

[1] 公益財団法人エコロジー・モビリティ財団, http://www.ecomo.or.jp/environment/carshare/carshare_top.html, 最終閲覧日: 2021年6月5日。
[2] 川上悟・長谷川浩志, ”ダイナミックプライシングを考慮したワンウェイ型カーシェアリングの再配置最適化”, 2021, 第26回日本計算工学講演会論文。