

乗り捨て型カーシェアリングサービスにおける車両再配分の最適化

2012SE191 荻野翔太 2012SE250 竹市圭佑

指導教員：佐々木美裕

1 はじめに

1.1 本研究の背景

カーシェアリングサービス (以下 CS) とは、登録を行った会員が特定の自動車を利用するサービスであり、利用の直前までに予約すれば希望する時間に利用したいステーションから自由に車を利用できる。近年 CS が急速に普及し、会員数が増加傾向にある。その背景には、CS が世間に認知され始めたこと、若年層の車離れや自家用車購入台数の低下などが理由だと考えられ、CS は新たな交通システムとしての期待が高まっている。しかし、CS ステーションの配置場所は限られた都市部に集中していること、ステーションに配備される車両の台数に限りがあること、先に予約されていると借りることができない等の問題がある。

先行研究 [1, 2, 3] では、環境負荷軽減や都市空間の有効活用などの研究が行われていたが、CS の普及促進といった CS 運営者側のサービス面に関連する研究が少ない。運営者が効率的に CS を提供できれば、CS 利用の促進に繋がると考え、本研究では、運営者側の視点で効率的な CS 運営を行うための方法を考える。

1.2 カーシェアリングの種類

CS には、ラウンドトリップ型とワンウェイ型 (乗り捨て型) の 2 種類がある。ラウンドトリップ型は借りたステーションに返却しなければいけないが、乗り捨て型では借りたステーション以外のステーションでの返却も可能である。

乗り捨て型はラウンドトリップ型より利便性が高い反面、利用者の目的、移動先によって返却するステーションが異なるためステーションの車両台数に偏りが発生する。

車両台数に偏りが生じた際、定期的に各ステーションの車両台数を基準台数に戻す必要があり、これを車両の再配分と呼ぶ。本研究では、乗り捨て型 CS で生じるステーションの車両台数の偏りを、車両の再配分をすることで基準台数に戻すモデルを考える。車両の再配分する際に生じた移動距離を配車距離とし、配車距離を最小にすることで乗り捨て型 CS の効率良い運営を目的として研究を行う。

2 モデルの説明

2.1 車両再配分の仕組み

本研究では以下の言葉を定義する。

車両の再配分

車両台数に偏りが生じた際、担当者が運転して各ステーションの基準台数に戻すこと

供給ステーション

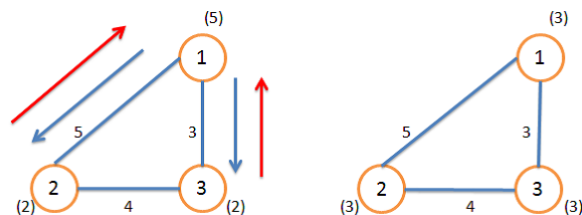


図 1(a) 再配分前

図 1(b) 再配分後

ノード 1, 2, 3 : ステーション番号

括弧内の数字 : 車の台数

枝横の数字 : 距離 (km)

図 1 本研究の配車距離最小化モデル

ステーションの車の台数が基準台数より多いステーション

需要ステーション

ステーションの車の台数が基準台数より少ないステーション

配車距離

車両の再配分を行う際に生じた担当者の移動距離 (車での移動と車以外での移動も含む)

乗り捨て型 CS では 1.2 節で説明したように、利用者の利用目的に応じ、返却するステーションは必ずしも借りたステーションとは限らないため、時間の経過とともに、各ステーションの車両台数は変化する。よって、車両の再配分を行い各ステーションに定められた基準台数に戻す必要がある。各ステーションの基準台数に戻すため、供給ステーションから需要ステーションへ再配分担当者が車を運転して移動させる。車両再配分の仕組みを図 1 に示す。図 2.1 のモデルは基準台数が 3 台であり、図 2.1(a) では利用者がステーション 2, 3 からステーション 1 へ 1 台ずつ移動した後となっている。各ステーションの基準台数が 3 台であるのに対し、ステーション 1 は 2 台多いため供給ステーションとなり、ステーション 2, 3 は 1 台ずつ少ないため需要ステーションとなる。車両再配分にかかる移動を担当者の移動と呼び、担当者の移動には車での移動 (供給ステーション→需要ステーション) と、徒歩や自転車など、車以外での移動 (需要ステーション→供給ステーション) がある。図中の矢印は担当者の移動を表しており、供給ステーションから需要ステーションへの矢印は車での移動、需要ステーションから供給ステーションへの矢印は車以外での移動となっている。再配分担当者が出発した営業所に戻るまでの担当者車の移動距離が配車距離であり、本研究ではこの配車距離の最小化が目的になる。

2.2 車両再配分モデル

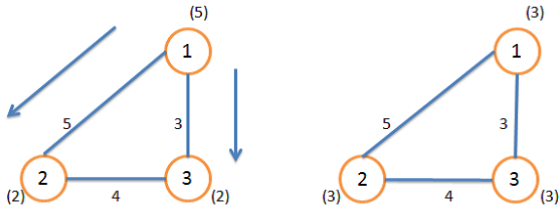


図 2(a) 再配分前

図 2(b) 再配分後

図 2 車両再配分モデル

図 2 のモデルでは、車がステーション間を移動する距離の最小化を目的とする。供給ステーションから需要ステーションへ車を移動してステーションの車両台数を基準台数に戻す。

2.3 配車距離最小化モデル

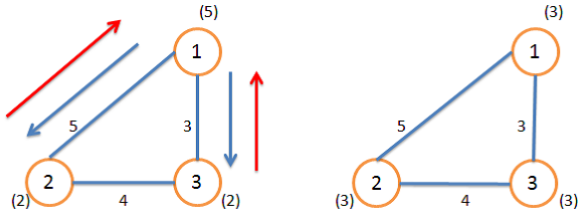


図 3(a) 再配分前

図 3(b) 再配分後

図 3 配車距離最小化モデル

図 3 のモデルでは、供給ステーションの 1 つを営業所とし、車の移動距離と車以外での移動距離の最小化を目的とする。車両再配分モデルからさらに車以外での移動を考え、営業所にいる再配分担当者が車を運転して移動させ、車の移動に必要な車以外での移動距離の最小化も行う。このモデルを考える上で、次の仮定を設ける。

- 車を 1 台移動させるには、担当者が 1 人で運転して移動させる。
- 担当者はステーションから出発し元のステーションに戻る。

配車距離最小化モデルでは再配分担当者が運転して車を移動させ、車を取りにステーション間を車以外で移動すると考える。

2.4 営業所の配置を考慮した配車距離最小化モデル

このモデルではステーションとは異なる場所に営業所を設置し、営業所から担当者が出発し車両の再配分を行うと仮定する。配車距離最小化モデルでステーションから担当者が出発すると考えたが、本来カーシェアリングサービスではステーションは無人となっているので、より現状に近づけるためにステーションとは異なる場所に営業所を配置することを考える。

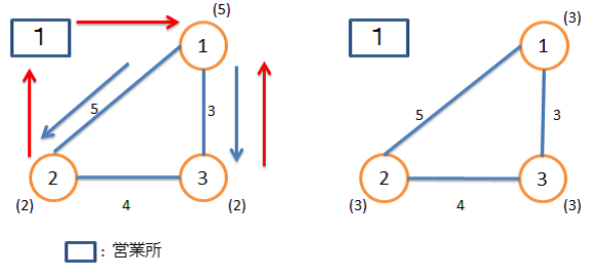


図 4(a) 再配分前

図 4(b) 再配分後

図 4 営業所の配置を考慮した配車距離モデル

図 4 のモデルでは再配分担当者は営業所を出発し、配車完了後に出発した営業所に戻ると考え、配車距離モデル同様にステーション間の配車距離と営業所からステーションへの移動距離の総和の最小を求める。

3 定式化

3.1 車両再配分モデル

以下に記号を定義する。

I :ステーションの集合。

d_{ij} :ステーション $i \in I$ から $j \in I$ までの距離。

S_i :ステーション $i \in I$ の配車前の車の台数。

F_i :ステーション $i \in I$ の配車後の車の台数。

x_{ij} :ステーション $i \rightarrow j (i, j \in I)$ への車の移動台数。以上の記号を用い、この問題を以下のように定式化する。目的は、配車完了までの車の移動距離の最小化である。

$$\begin{aligned} \min. & \sum_{i \in I} \sum_{j \in I} d_{ij} x_{ij} \\ \text{s.t.} & F_i = \sum_{j \in I} x_{ji} + S_i - \sum_{j \in I} x_{ij}, i \in I \end{aligned} \quad (3.1)$$

$$x_{ij} \geq 0, i, j \in I \quad (3.2)$$

(3.1) はステーション i おける車の移動台数の制約で (3.2) は非負制約である。

3.2 配車距離最小化モデル

車両再配分モデルで定義した記号に加え、さらに以下の記号を定義する。

y_{ij} :ステーション $i \in I$ から $j \in I$ への車以外での移動回数。

h_{ij} :ステーション $i \in I$ から $j \in I$ までの車以外での距離。

以上の記号を用い、この問題を以下のように定式化する。

$$\begin{aligned} \min. & \sum_{i \in I} \sum_{j \in I} d_{ij} x_{ij} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in I} h_{ij} y_{ij} \\ \text{s.t.} & F_i = \sum_{j \in I} x_{ji} + S_i - \sum_{j \in I} x_{ij}, i \in I \end{aligned} \quad (3.3)$$

$$F_i = \sum_{j \in I} y_{ij} + S_i - \sum_{j \in I} y_{ji}, i \in I \quad (3.4)$$

$$x_{ij} \geq 0, i, j \in I \quad (3.5)$$

$$y_{ij} \geq 0, i, j \in I \quad (3.6)$$

(3.3) はステーション i における車の移動台数の制約. (3.4) はステーション i に向かう車以外での移動回数の制約. (3.5),(3.6) は非負制約となる.

3.3 営業所の配置を考慮した配車距離最小化モデル

以下に記号を定義する.

I :供給ステーションの集合.

J :需要ステーションの集合.

K :営業所の集合.

d_{ijk} :営業所 $k \in K$ から出発した担当者のステーション $i \in I$ から $j \in I$ までの車の距離.

h_{ijk} :営業所 $k \in K$ から出発した担当者のステーション $i \in I$ から $j \in I$ までの車以外での距離.

p_{kj} :営業所 $k \in K$ からステーション $i \in I, j \in J$ までの距離.

S_i :供給ステーション $i \in I$ の配車前の車の台数と基準台数の差.

D_j :需要ステーション $j \in J$ の配車前の車の台数と基準台数の差.

変数

x_{ijk} :営業所 $k \in K$ から出発した担当者が行う供給ステーション $i \in I$ から需要ステーション $j \in J$ への車の移動台数.

y_{jik} :営業所 $k \in K$ から出発した担当者が需要ステーション $j \in J$ から供給ステーション $i \in I$ を移動する回数.

u_{ki} :営業所 $k \in K$ から供給ステーション $i \in I$ への担当者の移動人数.

v_{jk} :供給ステーション $i \in I$ から営業所 $k \in K$ への担当者の移動人数.

Z_k :営業所 $k \in K$ を設置するなら 1, 配置しないとき 0 をとるバイナリ変数

上記の記号を用いて以下のように定式化する.

$$\begin{aligned} \min. & \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} d_{ijk} x_{ijk} + \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} h_{ijk} y_{jik} + \\ & \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} p_{kj} u_{ki} + \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} p_{jk} v_{jk} \\ \text{s.t.} & \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} x_{ijk} = S_i, i \in I \end{aligned} \quad (3.7)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in J} y_{jik} + \sum_{k \in K} u_{ki} = S_i, i \in I \quad (3.8)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in I} x_{ijk} = D_j, j \in J \quad (3.9)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in I} y_{jik} + \sum_{k \in K} v_{jk} = D_j, j \in J \quad (3.10)$$

$$Z_k \leq \sum_{i \in I} u_{ki} \leq M Z_k, k \in K \quad (3.11)$$

$$Z_k \leq \sum_{j \in J} v_{jk} \leq M Z_k, k \in K \quad (3.12)$$

$$Z_k \leq \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ijk} \leq M Z_k, k \in K \quad (3.13)$$

$$Z_k \leq \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} y_{jik} \leq M Z_k, k \in K \quad (3.14)$$

$$\sum_{i \in I} u_{ki} = \sum_{j \in J} v_{jk}, k \in K \quad (3.15)$$

$$\sum_{k \in K} x_{ijk} + \sum_{k \in K} y_{jik} = S_i - D_j - 1, i \in I, j \in J \quad (3.16)$$

$S_i \geq D_j$ のとき

$$x_{ijk} \leq M(u_{ki} + \sum_{m \in J} y_{mik} - y_{jik}) \quad (3.17)$$

$i \in I, j \in J, k \in K$

$$y_{jik} \leq M(v_{jk} + \sum_{n \in I} x_{njk}) \quad (3.18)$$

$i \in I, j \in J, k \in K$

$$x_{ijk} \leq M(u_{ki} + \sum_{m \in J} y_{mik}) \quad (3.19)$$

$i \in I, j \in J, k \in K$

$$y_{jik} \leq M(v_{jk} + \sum_{n \in I} x_{njk} - x_{ijk}) \quad (3.20)$$

$i \in I, j \in J, k \in K$

$$x_{ijk} \geq 0, i \in I, j \in J, k \in K \quad (3.21)$$

$$y_{jik} \geq 0, i \in I, j \in J, k \in K \quad (3.22)$$

$$u_{ki} \geq 0, k \in K, i \in I \quad (3.23)$$

$$v_{jk} \geq 0, k \in K, j \in J \quad (3.24)$$

$$Z_k \in \{0, 1\} \quad (3.25)$$

(3.7),(3.8) は供給ステーション $i \in I$ における流量保存則で (3.9),(3.10) は需要ステーション $j \in J$ における流量保存則である. (3.11) から (3.14) は営業所に関する制約で (3.11) は営業所 $k \in K$ を使用しないと k から出発できない制約, (3.12) は営業所 $k \in K$ を使用しないと k に戻れない制約, (3.13) は営業所 $k \in K$ を使用しないと k から出発した担当者が供給ステーション $i \in I$ から需要ステーション $j \in J$ へ車の移動ができない制約 (3.14) は営業所 k を使用しないと k から出発した担当者が需要ステーション $j \in J$ から供給ステーション $i \in I$ へ移動ができない制約 (3.15) は営業所 $k \in K$ の流量保存則である. (3.16) は供給ステーション $i \in I$ と需要ステーション $j \in J$ の移動の制約, (3.17) から (3.20) は営業所 $k \in K$ から出発した担当者が

ステーションに移動しないと k に関わる移動はできない制約, (3.21) から (3.24) は非負制約である. (3.25) はバイナリ変数である.

4 計算実験

4.1 データの作成

本研究では、愛知県名古屋市千種区、昭和区を対象地域とし、タイムズカープラス (株) が運営している 各区のラウンドトリップ型 CS の駐車場を乗り捨て型 CS のステーションとして実験を行う.

千種区、昭和区に 1 辺の長さが 1km である 3 次地域メッシュデータを使用し、その端点の 20 箇所を営業所候補点とする.

営業所とステーション、および、ステーション間の距離は、各ステーション間の道路距離と徒歩距離、各営業所候補点から各ステーションへの徒歩距離のデータを作成する. 距離の計算については、[6] より各ステーション、営業所の住所から距離を算出し、車道を通る道路距離と歩道を通る徒歩距離を求めた. 実験は、供給ステーションから需要ステーションへの車での移動は道路距離を使い、需要ステーションから供給ステーションへの車以外での移動と営業所から供給ステーションへの担当者の移動は徒歩距離を使う.

4.2 実行結果

モデルの計算には IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 12.5.1 (以下 CPLEX) を使用した. 営業所を考慮した配車モデルを千種区と昭和区のステーションについて CPLEX で計算した.

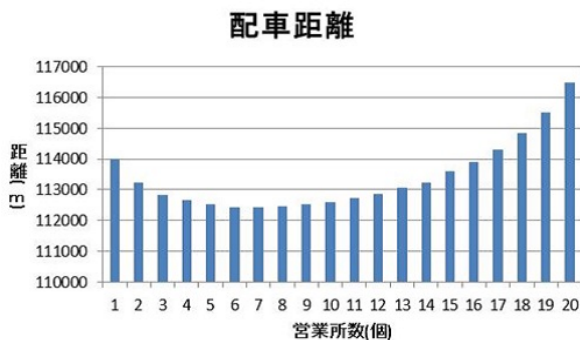


図 5 配車距離の変化

図 5 が営業所の設置数を変化させた時の配車距離の変化を示している.

図 6 はステーション 45 箇所と営業所の最適配置 7 箇所を示している.

4.3 考察

図 7 は営業所の設置数を変化させた時の車の移動距離、ステーション間の人の移動距離、営業所からステーションに向かう人の移動距離、ステーションから営業所へ向かう

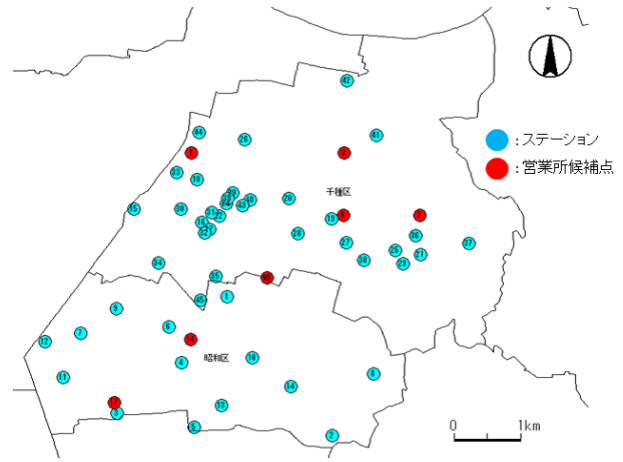


図 6 営業所の最適配置図

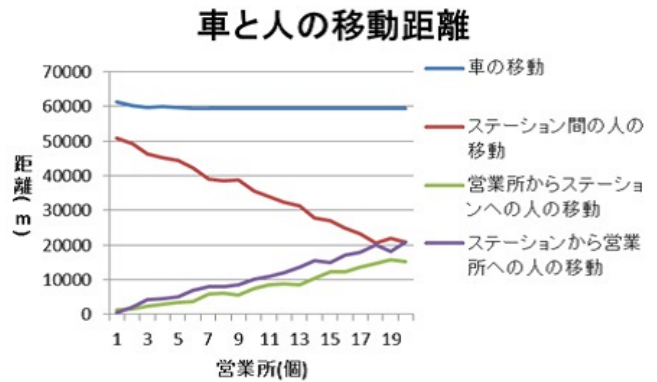


図 7 営業所の数の変化による移動距離の変化

人の移動距離を示している. 図 7 より営業所の設置数を増加すると営業所からステーションに向かう人の移動距離、ステーションから営業所へ向かう人の移動距離が増加し、ステーション間の人の移動距離が減少している. つまり、営業所から出発する配車担当が増えればステーション間の人の移動距離が減少すると考えられ、仮に配車担当者の人数の合計と供給量の合計が等しいならステーション間の人の移動距離は無くなる. よってさらに配車距離を最小化するには営業所の最適配置が必要である.

参考文献

- [1] 公益財団法人交通エコロジー・モビリティ財団:「カーシェアリングによる環境負荷低減効果及び普及方策検討 報告書」, 2006 年
- [2] 公益財団法人交通エコロジー・モビリティ財団:「カーシェアリングによる環境負荷低減効果の研究計画書」, 2013 年
- [3] 財団法人 東京都道路整備保全公社 株式会社アルメック:「カーシェアリングにおける駐車場活用方策に関する研究 報告書」, 2010 年