

# カーシェアリングシステムの最適化について

2001MM015 井口知咲  
指導教員 鈴木 敦夫

2001MM021 犬飼彩乃  
指導教員 鈴木 敦夫

## 1 はじめに

京都議定所採択以降、環境問題に対して関心が高まりつつある。ゴミの分別、リサイクルの促進など、以前の大量生産、大量消費社会から循環・少資源型社会への以降の必要性が唱えられている。そして今回、私たちは、交通の分野で新しい取り組みとして、近年注目され、研究、実験等の取り組みが行われつつあるカーシェアリングシステムについて、現状の分析、最適化を考えるべく、卒業研究として取り組んだ。

世界中の至る所で実験、運用されているが、その中でも、私たちは、京都府で行われている、京都パブリックカーシステム、名古屋で運用されている、りんくるカーシェアリングについて取り上げる。

## 2 カーシェアリングの特徴

カーシェアリングとは、1 台の自動車を複数の人によって共同所有、利用するというコンセプトである。これは、個人で自動車を所有することが通念である今の日本の車社会において、新しい使用形態を示す。

カーシェアリングは通常のレンタカーと違い、短時間、単距離の利用が可能である。また、社会的にも以下のことが期待されている。

- 路上駐車，都市の駐車問題の解消
- 公共交通機関の活性化
- 自動車維持費の削減

## 3 京都パブリックカーシステム

### 3.1 運用条件

実施期間	2001.09.11 ~ 2001.12.24
運用時間	8:00 ~ 21:00 (13 時間)
駐車枠 (充電器)	50
ステーション	7ヶ所 (商工会議所, ASTEM, みやこめっせ, 京都駅南, 京都ホテル, 四条烏丸, 北大路駅南)
使用車種	日産ハイパーミニ, トヨタ e-com
投入車両台数	35 台 (うち予備車両 2 台)

### 3.2 京都パブリックカーシステムの利用者について

京都パブリックカーシステムの会員について、職業別会員数の年ごとの変移を調べると、すべての期間において会社員・公務員の会員数が最も多くなっていることが分かる。このため、会社員もしくは企業に対しての環境整備することにより、会員数の増大を期待することがで

きる。そして、その結果、利用率が高くなり、事業性を高められる可能性があることが分かる。

### 3.3 代替交通機関との料金、所用時間の比較

ここで、株式会社最適化研究所が行った、代替交通機関の料金、所用時間の比較の調査を参考に、バス、地下鉄、タクシーの料金と京都パブリックカーシステムの一回の利用料を比較する。(表 1)

表 1 料金、所用時間の比較

OD	公共交通機関			京都パブリックカーシステム		タクシー	
	交通機関	料金 [円/人]	所要時間 [分]	料金	所要時間	料金	所要時間
北大路駅西	商工会議所 地下鉄	230	6	315	21	1160	16
	ASTEM 地下鉄/バス	390	30	555	37	2200	32
	四条烏丸 地下鉄	230	10	405	27	1560	22
	京都駅 地下鉄	230	14	525	35	2120	30
	京都ホテル 地下鉄	230	15	375	25	1400	20
	みやこめっせ 地下鉄/バス	390	26	435	29	1720	24
	ASTEM 地下鉄/バス	390	24	345	23	1320	18
	四条烏丸 地下鉄	200	4	195	13	600	8
商工会議所	京都駅 地下鉄	230	8	345	23	1320	18
	京都ホテル 地下鉄	200	9	165	11	600	6
	みやこめっせ 地下鉄/バス	390	20	225	15	760	10
	四条烏丸 バス	220	15	255	17	920	12
ASTEM	バス	220	12	255	17	920	12
	京都駅 徒歩/JR	140	10				
	京都ホテル バス	220	25	345	23	1320	18
	みやこめっせ バス	220	30	435	29	1720	24
四条烏丸	京都駅 地下鉄	200	4	255	17	920	12
	京都ホテル 地下鉄	200	9	195	13	600	8
	みやこめっせ バス	220	15	255	17	920	12
	地下鉄/バス	390	29				
京都駅南	京都ホテル 地下鉄	230	13	345	23	1320	18
	バス	220	15				
	みやこめっせ バス	220	25	405	27	1560	22
	地下鉄/バス	390	24				
	京都ホテル みやこめっせ バス	220	6	165	11	600	6

図 1 から読み取れる事として、地下鉄やバスを利用して移動する方法は、カーシェアリングに比べ、多くの場合、料金が安く、所要時間が短いという結果を得た。地下鉄を主とする公共交通機関よりの乗り継ぎ利用に期待し、駅の近くにステーションの配置したが、公共交通機関が頻繁に運行されている場合は交通機関を利用の方が料金的、時間的に便利であると言える。タクシーとの比較では、所要時間がステーションへの移動、手続き等におよそ 5 分かかかるが、料金面ではかなりの差がでた。

### 3.4 定式化

記号の定義

$x_{qij}$ : 第  $q$  回目の  $i \rightarrow j$  の車両移動数

$C_{ij}$ :  $i \rightarrow j$  の移動するときの距離

$D_{pk}$ :  $p$  日目のステーション  $k$  の需要

$M$ : ステーション数

$N$ : 車両台数

$\alpha$ : 移動率 (1 台の車を 1 日に  $\alpha$  回利用する)

$$\text{目的関数: } \sum_q \sum_j \sum_i C_{ij} x_{qij} \longrightarrow \min \quad (1)$$

$$\text{制約条件: } \sum_{j=1}^M x_{1ij} = D_{0i} \quad (i = 2, \dots, M) \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^M x_{q-1ik} = \sum_{j=1}^M x_{qkj} \quad (k=1, \dots, M; q=2, \dots) \quad (\beta)$$

$$\alpha \sum_{i=1}^M x_{qij} \geq D_{qj} \quad (j=1, \dots, M; q=1, \dots) \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^M x_{qij} = N \quad (q=1, 2, \dots) \quad (5)$$

$$x_{qij} \in \text{自然数} \quad (\forall i, \forall j, \forall q) \quad (6)$$

#### <検証する上での留意点>

- 各ステーションにおいて、朝出て行った車両数と夜戻ってくる車両数を等しいものとした。
- 稼働率は、最適解が現れる値のうち、最小のもの採用した。

### 3.5 定式化の利用

- 検証1 期待値**  
9/11~12/23の各ステーションにおいて、曜日別に需要台数の期待値を出す。求めた期待値を定式に当てはめ空送距離を少なくする。その際、WHAT'S BEST!7.0を使用する。
- 結果, 考察**  
稼働率 1.07, 空送距離 0  
期待値において、空送距離が0であることから、各ステーション間を移動する必要がないことが分かる。
- 検証2 1週間ごとの最適配車**  
利用期間において、前日の利用数と翌日の利用数を比較し、翌日の利用に必要な車両数をカバーできるような配車を1週間ごとに考える。
- 結果, 考察**  
最小稼働率 1 ~ 1.2, 空送距離 5.5 ~ 57  
最小稼働率の最大値が1.2であることから、1台の車両にあまり負担をかけることなく配車することができた。各ステーション、各曜日においてそれぞれの最大値を採っていく。そして、その結果を曜日ごとに足したものが次のようになった。  
月曜 43台, 火曜 46台, 水曜 45台, 木曜 46台, 金曜 45台, 土曜 46台, 日曜 46台  
よって、46台の車両を用意しておくこと、稼働率が1.2以下で全ての予約を受けることができることがわかった。
- 検証3 1ヵ月ごとの最適配車**  
検証2と同じように1ヵ月ごとで考える。
- 結果, 考察**  
9月全日 最小稼働率 1.2, 空送距離 42  
10月全日 最小稼働率 1.2, 空送距離 45  
11月全日 最小稼働率 1.2, 空送距離 47  
12月全日 最小稼働率 1.2, 空送距離 86.5  
全ての月において、1週間よりも稼働率は高くなり、空送距離は小さくなった。また、この結果から、利用者側から見れば、1週間ごとに配車を考

える方が便利になり、企業側から見れば、1ヵ月ごとに配車を考える方がコストを抑えられることがわかった。

- 必要台数最小化**  
検証2の1週間ごとの配車で、46台あれば予約は満たせられるが、この台数を必要な限り減らしていく。その際、各ステーションに配車した車両数の曜日別最大値と定式をもとに、稼働率を2として求める。
- 結果, 考察**  
24台用意しておけば、空送距離を少なく、また、利用者に不便さを与えることなく予約を満たすことができることがわかった。
- 片道, 往復利用者を分けて考える**  
今まで扱ってきた利用者に、(片道利用者数 + 2 × 往復利用者数) ÷ (片道利用者数 + 往復利用者数) をかけ、この値を利用して解いていく。
- 結果, 考察**  
1週間ごと、1ヵ月ごとの両方を今までと同じように解いた結果、前回と同様、1週間ごとよりも1ヵ月ごとに考えたほうが、稼働率は高くなり空送距離は小さくなった。  
今回の検証では、集によって稼働率が大きく変化し、配車予測をするには困難であることがわかった。

## 4 りんくるカーシェアリング

### 4.1 運用条件

実施期間	2004年10月1日~
運用時間	365日 24時間
ステーション	4ヶ所 (亀島, 錦, 泉1丁目, 栄アートパーク)
投入車両台数	10台
予約	2週間前~当日

### 4.2 問題へのアプローチ

今後の事業拡大について、りんくるの方針は、ラウンドトリップでステーション数を増やす方向で考えている。そこで、私達は、ステーション数を増やす方向でどのような場所に設立すると、どのような需要見込みがあるかを予測する。まず、名古屋市地下鉄の駅付近に、りんくるのステーションを設置する場合を考える。これは、地下鉄を主とする公共交通機関からの乗り継ぎ利用と、企業の業務利用に期待するためである。

⇒ 名古屋市営地下鉄の1日当たりの乗降客数を平成13年、1年当たりの乗降客数から算出し、(参照 [4]) 全83ヶ所の駅中、79ヶ所の1日当たりの利用者数とする。残りの4ヶ所の駅は、乗降客数のデータがないため、一律4000人の利用者とした。

## 5 事務所，営業所の配置問題

### 5.1 考え方

車庫証明の関係上，事務所から 2km 以内にステーションの設置をしなければならないという制約がある．ここでは事務所，営業所の設置を名古屋市地下鉄のいずれかの駅の付近に設置する時，どの駅に配置すれば，全ての駅を 2km 以内でカバーすることができるか，というステーションのカバリング問題を考える．この制約は，各々の駅が直線距離 2km 以内にあれば，ネットワークがある，2km より離れている場合はネットワークがないとする，Microsoft Excel のソルバー を用い事務所，営業所数最小化問題を解く．

### 5.2 定式化

記号の定義

$x_i$  : ノード  $i$  に事務所，営業所を設置するかどうかを表す 0-1 変数

$A_{ij}$  : ノード  $i$  がノード  $j$  をカバーするとき 1  
ノード  $i$  がノード  $j$  をカバーしないとき 0

$N$  : ステーション数

$P_i$  : 駅  $i$  の 1 日の利用者数

$M$  : 定数

$$\text{目的関数: } \sum_{i=1}^N x_i \longrightarrow \min \quad (7)$$

$$\text{制約条件: } \sum_{i=1}^N A_{ij} x_i \geq 1 \quad (j = 1, 2, \dots, N) \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^N P_j A_{ij} x_i \geq M \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad (9)$$

$$x_i = 1 \quad (i = 1, 2) \quad (10)$$

$M$  の値を大きくしていき，同じ答えの中でも利用者数最大の候補駅を求めます．

### 5.3 結果

16ヶ所の駅（中村公園，亀島，栄，東山公園，上社，吹上，桜本町，上小田井，原，黒川，金山，六番町，名古屋港，ナゴヤドーム矢田，総合リハビリセンター）が候補地となりました．ここには，既存の 2ヶ所のステーションの最寄り駅（栄，亀島）を含む．この結果は，ここで挙げられた全ての駅に事務所，営業所を配置することで，名古屋市の地下鉄駅が，いずれかの候補駅の 2km 以内にあることを意味する．

## 6 ステーションの配置問題

ステーションの配置問題を考えるとき，どのような場所に配置すると，集客数を高めることができるかに私達は着目した．

### 6.1 考え方

名古屋市の地下鉄 82ヶ所のどの駅付近にステーションを配置すると，1 日の駅の利用者が 1 万人以上の駅は必ずカバーするかを考える．

この制約は，利用者の多い駅ほどカーシェアリングに

参加する人が多いと見込むことができるためである．

### 6.2 定式化

5.2 で定義した記号に以下の記号を加える．

$$u_j : \begin{cases} 1 & (P_j \geq 10000) \\ 0 & (P_j < 10000) \end{cases}$$

$$\text{目的関数: } \sum_{i=1}^N x_i \longrightarrow \min \quad (11)$$

$$\text{制約条件: } \sum_{i=1}^N x_i A_{ij} \geq u_j \quad (j = 1, 2, \dots, N) \quad (12)$$

$$x_i = 1 \quad (i = 1, 2, 3, 4) \quad (13)$$

### 6.3 結果・考察

目的関数最小化問題で解いた結果，求められた駅は，図 1 に示した 14ヶ所（既存の 4ヶ所の駅を含む）になった．この結果は，候補地として求められたの駅にステーションを配置すると，名古屋市営地下鉄駅の乗降者が多い駅を 2km 以内でカバーし，利用客の利便性を考慮した配置となる．

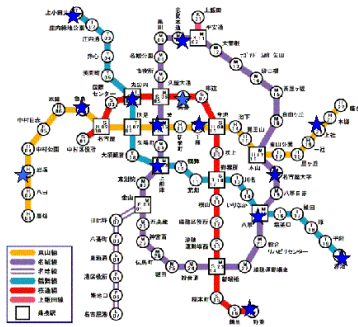


図 1 ステーション候補地

## 7 企業数に重みをおいたステーション配置問題

### 7.1 考え方

京都パブリックカーシステムの実験では，業務時に利用する人が他の利用者に比べ多いことが分かった．そこで，私達は，地下鉄駅半径 1km 以内にある企業数から，カーシェアリングの潜在利用者を予測し，ステーション配置を考えた．事業所数の求め方は

(区の全事業数)/(区的全丁目数)を各区について計算し，各区の 1 丁目目においての平均事業所数を求める．次に，駅から半径 1 キロメートル圏内にある丁目数を，区別に数える．平均事業所数と数えたものをかけ，各駅において，半径 1 キロメートル圏内の事業所数を求めた．

$Q_j$  : 駅  $j$  の半径 1km 以内にある事業所数

$$u_j : \begin{cases} 1 & (Q_j \geq 2000) \\ 0 & (Q_j < 2000) \end{cases} \text{を先程の記号の定義に加える．}$$

$$\text{目的関数: } \sum_{i=1}^N x_i \longrightarrow \min \quad (14)$$

$$\text{制約条件: } \sum_{i=1}^N A_{ij} x_i \geq u_j \quad (j = 1, 2, \dots, N) \quad (15)$$

$$\sum_{j=1}^N Q_j A_{ij} x_i \geq M \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad (16)$$

## 7.2 結果

$M = 4000000$  で計算した結果、候補駅は 9ヶ所となった。

## 8 集客度

### 8.1 考え方

ここで、6 で求められた候補地の中でも、どのステーションが魅力的であるかを商業施設の競争立地問題を参考にハフモデルを使って求める。(参照 [6])

計算は Microsoft Excel のソルバーを用いた。

記号の定義

$n$ : ステーション数

$k$ : 候補ステーション数

$B_i$ : 駅  $i$  の 1 日の利用者数

$b_i$ : 駅  $i$  の利用者数 ( $B_i$ ) のすべての利用者数に対する

$$\text{割合. } b_i = \frac{B_i}{\sum_{l=1}^n B_l}, \quad (i = 1, \dots, n)$$

$Q_j$ : 候補のステーション  $j$  の半径 1km 以内の事業所数

$M_j$ : ステーション  $j$  における集客力 変数 ( $j = 1, \dots, k$ )

$m_j$ : 集客度  $m_j = \frac{M_j}{\sum_{l=1}^k M_l} (j = 1, \dots, k), \sum_{j=1}^k m_j = 1$

$d_{ij}$ : 駅  $i$  からステーション候補地  $j$  への距離

6 で候補にあがったステーションと名古屋市営地下鉄のそれぞれの駅の距離をユークリッド距離計算によって駅間の距離を求めます。

$C_j$ : ステーション  $j$  の半径 1km 以内にある事業所数から魅力度を与える  $C_j = [\frac{Q_j}{1000}] (j = 1, \dots, k)$

ただし  $C_j < 1$  のとき  $C_j = 1$  とする。

4 つの要因に関係を持つ重力モデルである。4 つの要因は、駅の利用者  $B_i$ 、集客力  $M_j$ 、ステーション間の距離  $d_{ij}$ 、求めようとする候補ステーションの魅力度  $C_j$  である。この関係から集客力  $M_j$  を求める。

$$m_j = \sum_{i=1}^n b_i \frac{\frac{C_j}{d_{ij}^2}}{\sum_{l=1}^k \frac{C_l}{d_{il}^2}} \quad \forall j = 1, \dots, k \quad (17)$$

これは、 $k$  個の未知数をもつ  $k$  本の非線形方程式である。

$$\text{目的関数: } \sum_{j=1}^k [m_j - \sum_{i=1}^n b_i \frac{\frac{C_j}{d_{ij}^2}}{\sum_{l=1}^k \frac{C_l}{d_{il}^2}}]^2 \rightarrow \min \quad (18)$$

$$\text{制約条件: } C_j = 1 \quad (19)$$

この最小化問題を解くことで得られた解  $C_j$  が魅力度であり、同時に集客度  $m_j$  が求まる。

### 8.2 結果と考察

計算から求められた候補駅の集客度の高い順に上前津 0.179、丸の内 0.158、栄 0.147 となりました。

企業数によってのみ重みをつけて魅力度を求めたので、企業数の多い上前津の魅力度は 6 となり、集客度の最も低い野並と比較すると、上前津の集客度は約 7 倍になった。全体的に魅力度が大きく影響した結果が得られた。

ここでは、それぞれの駅の利用者と、駅周辺の企業数に着目して求めた魅力度を設定し、目的関数最小化問題とした。この魅力度の求め方を、企業数だけではなく、人の集まる場所からの距離や、その他の要素を取り入れた値を求め実験を行うと、精度の高い集客度を求めることができる。今回求められた集客度の高い駅は地下鉄の便が良いため、カーシェアリングを利用した自動車での移動が必ずしも魅力的な移動手段とは限らない。カーシェアリングのニーズとして、大都市の都心地域やその近郊の住宅街など、駐車スペースの確保に苦労している場所、セカンドカーの代わりとしての利用が考えられる場所など、業務だけでなく一般者の利用のことを考慮すると、必ずしも今回得られた結果のように、野並や上小田井の集客度が低いとは言えない。しかし、駅周辺にステーションを設置して利用者の増大を見込むと、今回得られた解は立地場所を決める際に判断の手助けとなる。

## 9 おわりに

京都パブリックカーシステムについてですが、1 週間での検証と 1ヶ月での検証において、それぞれの特徴を断定する事ができたことには満足している。しかし、研究計画としては、分析結果をもとにして需要予測し、予測した上での配車をする事まで考えていた。それができなかったことはかなりの心残りであり、自分の勉強の甘さ・至らなさを痛感している。よって、今後の課題としては配車予測を考えていきたい。ステーション配置問題では、名古屋市営地下鉄の利用者と、それぞれの駅周辺の企業数のデータを使い、実験を行った。しかし、ステーションの需要を評価する上でさまざまな要素があり、これらの条件だけでは十分とは言えない。異なる角度から配置問題を考え提案できれば、さらにより結果を求めることができると思う。

## 参考文献

- [1] 株式会社最適化研究所編, EV 普及のための EV 共同利用システムの広報・調査に関する報告書 (京都), 平成 12, 13, 14 年度 広報・調査事業成果報告書.
- [2] 京都パブリックカーシステム  
<http://www.ev-kyoto.com/h13hp.htm>.
- [3] りんくる <http://linkul.jp/index.htm>.
- [4] 名古屋のまちづくりデータ  
<http://www.nui.or.jp/databook/db.htm>.
- [5] 名古屋市統計年鑑 <http://www.city.nagoya.jp/>.
- [6] Tammy Drezner, Zvi Drezner(訳: 鈴木敦夫): ショッピングモールの小売吸引力を推測する, オペレーションズ・リサーチ, Vol.45 No.9, pp.444-451 (2000.9).