# カーシェアリングシステムの運用計画問題

02502590 日大生産工（院） † 日高 桂 HIDAKA Kei
イギン株式会社 多田 葉子 TADA Youko
01205220 日大生産工 篠原 正明 SHINOHARA Masaaki

## 1 はじめに

カーシェアリングとは、車両共同利用システムのことであり、車両の時間的な共同利用によって今後、一酸化炭素などの環境に及ぼす負荷の軽減が期待できる環境にやさしい交通のあり方として注目を集めている。その中でも近距離移動及び一定領域内移動では、車利用から自転車利用に切り替えるといったことを中心に研究を行っている。そこで本研究では、大久保・実籾校舎間においてカーシェアリングシステムを行うと仮定して、運用問題として共有車両(自転車)台数ならびに駐車場(駐輪場)容量が与えられたもとで地点間のデマンドを最大限に充足する自転車運用上のデマンド充足最大化問題に対して、線形計画法(LP)と整数計画法(IP)とによる検討を行う。また計画問題として文献[1][2]で発表したシミュレーション解法の数理的構造を解明する。

## 2 カーシェアリングシステムのデマンド充足最大化問題

$n$ 点間の移動需要 $d_{ij}(t)$ が与えられた下で、充足するデマンド $z$ を最大化する実現需要 $f_{ij}(t)$ を決定する IP 問題及び LP 問題を以下に示す。

Maximize
$$Z=\sum_{i,j,t}\{f_{ij}(t)\} \qquad (1)$$

subject to
$$0 \le x_i(t) \le y_i$$
$$(i=1,\cdots,n,t=1,\cdots,T) \qquad (2)$$
$$x_i = x_i(0)$$
$$(i=1,\cdots,n) \qquad (3)$$
$$x_i(t)=x_i(t-1)-\sum_j f_{ij}(t)+\sum_k f_{ki}(t)$$
$$(i=1,\cdots,n,t=1,\cdots,T) \qquad (4)$$
$$x_i(t) \ge \sum_j f_{ij}(t+1)$$
$$(i=1,\cdots,n,t=0,\cdots,T-1) \qquad (5)$$
$$f_{ij}(t) \le d_{ij}(t) \qquad (6)$$

| | | |
|---|---|---|
| $x_i$ | : | 地点 $i(i=1,\cdots,n)$ の初期自転車台数 |
| $y_i$ | : | 地点 $i(i=1,\cdots,n)$ の駐輪場容量 |
| $x_i(t)$ | : | 時間帯 $t(t=0,\cdots,T)$ 終了時の地点 $i$ の自転車台数 |
| $d_{ij}(t)$ | : | 時間帯 $t$ の地点 $i$ から地点 $j$ への自転車移動需要台数 |
| $f_{ij}(t)$ | : | 時間帯 $t$ の地点 $i$ から地点 $j$ への自実移動台数 |

ここで、$x_i(t)$ が決定整数変数で、$y_i$、$d_{ij}(t)$ は所与データであり上記の整数線形計画問題を解く事により自転車の実移動台数 $f_{ij}$ 決定する。ここで (1) は目的関数、(2) は駐輪場の容量制約式、(3) は初期台数設定式、(4) は台数の保存則、(5) は発進可能条件式、(6) は需要充足式である。

## 3 実験結果および結果の考察

### 3.1 LP 解と IP 解の比較

本実験では、LP 解法・IP 解法の両方から行ったが、LP 解法の内点法では 2 点の需要がすべて満たされない限り容量台数、移動台数ともに整数では出ない。また、LP 解法のシンプレックス法と IP 解法で行った場合常に整数で出るため、現段階ではどちらでも運用できるが、信頼性の問題と試行回数のこともあり、これより先はすべて IP 解法で行う。

### 3.2 容量台数による比較

実験のデータ入力の条件として、駐車場の最大収容台数を各地点ごとに 5 台から各試行回数ごとに 5 台ずつ上げていき、需要が完全に充足しうる大久保側 45 台、実籾側 47 台までを入力の条件としました。その結果、仮に大久保地点の容量が少なく、実籾地点の容量が非常に大きかったとしても、収束台数の変化はない。また、大久保側 5 台、実籾側 5 台などの様に 2 地点の

最大収容台数が同じ場合移動台数が他のデータと異なる固有値を取る。このことはある規則性に基づいているためと推測する。

### 3.3 駐輪台数による比較

実験データの大久保側 15 台、実籾側 20 台および大久保側 15 台、実籾側 25 台を比較して見ると、実移動台数 $f_{ij}(t)$ が同じであるにもかかわらず駐輪場の台数が多い事に気がつく。こういった例は実験データからは二つ検出できた。私たちは収束域が近づくにつれてこのような現象が起きると捕らえらている。そこでこれを補正する必要があるため、目標計画法による補正を行ってみる。

### 3.4 目標計画法を使った補正定式化

#### 3.4.1 目標計画法とは

与えられた制約条件の下での目的関数に対して、設定された目標値に可能な限り近づける為に、目的関数との差異の和を最小化する手法を目標計画法という。

#### 3.4.2 補正案の定式化

目標計画法を考慮した場合での補正案の定式化を追加する。本研究では $\alpha$=1.0、$\beta$=0.001 で実験を行った。

$$\text{Maximize} \quad Z = \alpha\sum_{i,j}\{f_{ij}\} - \beta\sum_{i,j}\{x_i(0)\} \quad (7)$$

(7) 式を (6) 以降に追加することによって、$X_i(t)$ に関する冗長が除去された実移動台数 $f_{ij}(t)$ が最適に出ることが言える。

## 4 シミュレーション解法の厳密定式化

文献 [1][2] において、総コスト最小化を達成する台数・容量同時決定問題に対して LP 解法とシミュレーション解法を提案した。このシミュレーション解法を漸化式を用いて厳密に定式化したので以下に示す。$P_t$ から $P_{t+1}$ を求める式は

$$P_{t+1} = f(P_t - a_t) + b_t \quad (8)$$

ただし $f(x)$ は以下に定義する。

$$f(x) = \begin{cases} x & (x \geq 0) \\ 0 & (x < 0) \end{cases} \quad (9)$$

| | | |
|---|---|---|
| $P_t$ | : | $t$ 時に駐輪場 $P$ の所持台数 |
| $Q_t$ | : | $t$ 時に駐輪場 $Q$ の所持台数 |
| $a_t$ | : | $t$ 時に駐輪場 $P \to Q$ への移動需要 |
| $b_t$ | : | $t$ 時に駐輪場 $Q \to P$ への移動需要 |

(8) 式の $f(P_t - a_t)$ は、$P_t$ が需要 $a_t$ を満たすとき、$t$ 時 $P \to Q$ への移動は $a_t$ 台であるが、$P_t$ が $a_t$ を満たさない場合には、$a_t$ 台の移動が出来ない為、$t$ 時 $P \to Q$ への移動は $P_t$ 台のみの移動であることを示す。

また。同様にして地点 $Q$ についても次のように定式化できる。

$$Q_{t+1} = f(Q_t - b_t) + a_t \quad (10)$$

(8)(10) 式と最終時間 = $T$ において $P_T \geq 0$、$Q_T \geq 0$ という条件を用いて、すべての需要を満たし、かつ、コスト最小化を達成する $P_0$、$Q_0$ を以上の漸化式を逆算して次式を得る。

$$P_0 = P_1 \quad (11)$$

$$P_T = a_t + f(P_{t+1} - b_t)$$
$$(t = 1, \cdots, T-1) \quad (12)$$

$$P_T = a_T \quad (13)$$

$$P_0 = f(f(\cdots f(a_T - b_{t-1}) + \cdots)$$
$$+a_2 - b_1) + a_1 \quad (14)$$

## 参考文献

[1] 日高, 篠原,「自転車 ITS における容量計画問題」日本オペレーションリサーチ学会秋季研究発表会, pp118-119.(2002.9)

[2] 日高, 篠原,「自転車 ITS におけるコスト最小化駐輪場容量計画問題」日本大学生産工学部第 35 回学術講演会, pp93-94.(2002.12)

[3] 多田,「自転車 ITS デマンド充足最大化問題法」, 日本大学生産工学部数理工学科, 平成 14 年度学部卒業研究論文,pp89-90.(2003.3)