カーシェアリングにおける車両配置問題の確率計画モデル

2013SE237 若林未佳

指導教員：福嶋雅夫

1　はじめに

会員登録をし予約を行うことで，即時に車を借りることができるカーシェアリングが近年注目されている [4]．カーシェアリングには，２通りの貸し出し方式がある．ラウンドトリップ型は，借りた場所に車を返却するものであり，借りる場所と返す場所が同一である．ワンウェイ型は，借りた場所とは異なる場所に返却できる方式である．現在日本で普及しているのはラウンドトリップ型であるが，利用者のニーズがあるのはワンウェイ型である．日本で普及させるためにもワンウェイ型での貸し出しを行いたいが，実現するには難しい問題点がある．借りる場所と返却場所が異なり，利用の需要には不確実性がともなうことから，場所によって車が集まりすぎたり，不足し貸し出しを行えなくなるかもしれない．したがって，貸し出しする車両台数や，返却される車両台数を予想して貸し出しを行う必要が生じる．ラウンドトリップ型での先行研究は多いが，ワンウェイ型ではこのような問題点から研究が難しく，先行研究が少ない [1]．本研究では，最適な車両配置を導くために確率計画法によるモデル化を提案し，最適解を導出するプログラムを作成した．確率計画法の問題例に対して数値実験を行い考察した．

2　定式化の前提条件

1 台の車の貸し出しと返却は 1 日の間に行われるものとする．貸し借りの時間が異なると複雑な制約となってしまうので，簡単のため，午前に一斉に車が借りられ，午後に一斉に車が返される状況を考える．さらに，1 日の終わりの台数を考え，次の日の予約状況から翌日までに何台の車を移動するか決める．また，ステーションに車がなくなってしまったときは，カーシェアリング会社は予約を断ることができるとする．この予約を断ることをキャンセルと呼ぶ．目的は車を移動させる費用と車の予約を断ることから生じる損失の合計と，確率的制約条件が満たされないときのペナルティの期待値の総和を最小にすることである．

3　確率計画問題による定式化

車の需要台数は事前にはわからないので確率変数として扱う．確率変数を含む問題を取り扱う方法に二段階確率計画法と呼ばれる方法がある [3]．以下では二段階確率計画法を用いて定式化を行う．

定式化で用いる記号を定める．

定数

t $(t = 1, \dots, T)$：日にち

i $(i = 1, \dots, n)$：ステーション

l $(l = 1, \dots, L)$：シナリオ

a_{ij}^{lt} $(i, j = 1, \dots, n)$：シナリオ l で第 t 日にステーション i で借りてステーション j に返す車の需要台数

b：全体の車の台数

C：車の予約を 1 台キャンセルしたときの費用

D_{ij}^{t} $(i, j = 1, \dots, n; t = 1, \dots, T)$：第 t 日にステーション i から j に車を 1 台移動させるときの費用

M：十分大きい正の定数

r：確率的制約条件の 1 単位量あたりの違反量に対するペナルティの大きさ (リコース費用)

p_l $(l = 1, \dots, L)$：シナリオ l の生起確率

変数

z_i^t $(t = 1, \dots, T; i = 1, \dots, n)$：第 t 日の始めにステーション i にある車の台数

y_i^t $(t = 1, \dots, T; i = 1, \dots, n)$：第 t 日の終わりにステーション i にある車の台数

x_{ij}^t $(t = 1, \dots, T; i, j = 1, \dots, n)$：第 t 日の終わりにステーション i から j へ移動させる車の台数

w_{ij}^{lt} $(t = 1, \dots, T; i, j = 1, \dots, n; l = 1, \dots, L)$：シナリオ l で第 t 日にステーション i で借り，ステーション j に返す車の予約をキャンセルした台数

s_i^{lt} $(i = 1, \dots, n)$：0-1 変数

$\xi_i^{lt}, \eta_i^{lt}, \zeta_i^{lt}$ $(i = 1, \dots, n; l = 1, \dots, L; t = 1, \dots, T)$：リコース変数

これらの変数と定数を用いて問題を定式化すると以下のようになる．

$$
\begin{aligned}
\min\ & \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} D_{ij}^{t} x_{ij}^{t} + C\sum_{l=1}^{L} p_l \{\sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} w_{ij}^{lt}\} \\
& + r\sum_{l=1}^{L} p_l \{\sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{n} (\xi_i^{lt} + \eta_i^{lt} + \zeta_i^{lt})\} \\
\text{s.t. } & \sum_{i=1}^{n} z_i^1 = b \\
& z_i^{t+1} = y_i^t - \sum_{j=1}^{n} x_{ij}^t + \sum_{j=1}^{n} x_{ji}^t \\
& (i = 1, \dots, n; t = 1, \dots, T) \\
& -\xi_i^{lt} \le z_i^t - (\sum_{j=1}^{n} a_{ij}^{lt} - \sum_{j=1}^{n} w_{ij}^{lt}) \\
& +(\sum_{j=1}^{n} a_{ji}^{lt} - \sum_{j=1}^{n} w_{ji}^{lt}) - y_i^t \le \xi_i^{lt} \\
& (i = 1, \dots, n; l = 1, \dots, L; t = 1, \dots, T)
\end{aligned}
$$

$$-z_i^t+\sum_{j=1}^{n}a_{ij}^{lt}-\sum_{j=1}^{n}w_{ij}^{lt}\leq \eta_i^{lt}\ ,\eta_i^{lt}\geq 0$$
$$(i=1,\ldots,n;l=1,\ldots,L;t=1,\ldots,T)$$
$$\sum_{j=1}^{n}w_{ij}^{lt}-\sum_{j=1}^{n}a_{ij}^{lt}+z_i^t-Ms_i^{lt}\leq \zeta_i^{lt}\ ,\zeta_i^{lt}\geq 0$$
$$(i=1,\ldots,n;l=1,\ldots,L;t=1,\ldots,T)$$
$$0\leq \sum_{j=1}^{n}w_{ij}^{lt}\leq M(1-s_i^{lt})$$
$$(i=1,\ldots,n;l=1,\ldots,L;t=1,\ldots,T)$$
$$0\leq w_{ij}^{lt}\leq a_{ij}^{lt}$$
$$(i,j=1,\ldots,n;l=1,\ldots,L;t=1,\ldots,T)$$
$$z_i^t\geq 0,y_i^t\geq 0\ (i=1,\ldots,n;t=1,\ldots,T)$$
$$x_{ij}^t\geq 0\ (i,j=1,\ldots,n;t=1,\ldots,T)$$
$$s_i^{lt}\in\{0,1\}\ (i=1,\ldots,n;l=1,\ldots,L;t=1,\ldots,T)$$

目的関数は，車を移動させる費用，予約をキャンセルする費用および，確率的制約条件が満たされないときのペナルティの期待値の総和である．

制約式 1 つ目は，1 日目の始まりに配置されている車の総和が b であることを表している．

制約式 2 つ目は各ステーションにおいて t 日目の終わりの車の台数と翌日までに移動させる車の台数から $t+1$ 日目の始めに配置されている車の台数を表している．

制約式 3 つ目は各シナリオにおいて t 日目の終わりに配置されている車の台数を決定する確率的制約条件であり，最適解において次式が成り立つ．

$$\xi_i^{lt}=|z_i^t-(\sum_{j=1}^{n}a_{ij}^{lt}-\sum_{j=1}^{n}w_{ij}^{lt})+(\sum_{j=1}^{n}a_{ji}^{lt}-\sum_{j=1}^{n}w_{ji}^{lt})-y_i^t|$$

制約式 4 つ目は，各シナリオにおいて t 日目の始めに配置されている車の台数を決定する確率的制約条件であり，最適解において次式が成り立つ．

$$\eta_i^{lt}=max\{0,-z_i^t+\sum_{j=1}^{n}a_{ij}^{lt}-\sum_{j=1}^{n}w_{ij}^{lt}\}$$

制約式 5 つ目と 6 つ目は，各シナリオにおいてキャンセルが発生する場合を決定する確率的制約条件であり，最適解において次式が成り立つ．

$$\zeta_i^{lt}=max\{0,\sum_{j=1}^{n}w_{ij}^{lt}-\sum_{j=1}^{n}a_{ij}^{lt}+z_i^t-Ms_i^{lt}\}$$

制約式 7 つ目は，各シナリオにおいてキャンセル台数は予約台数以下であることを表しており，残りの制約条件は変数の非負条件や 0-1 条件である．

4 数値実験と考察

定式化に従って Python 言語でプログラムを作成し，数理計画ソルバー Gurobi[2] を用いて最適解を導出した．

数値実験ではカーシェアリング会社が保有する車の台数とキャンセル台数の期待値の関係を調べた．

車の移動コスト D_{ij}^t は i,j,t に関わらず一定とし，$D=50$ とする．キャンセル費用とリコース費用はそれぞれ $C=500,r=300$ とする．ステーションは 5 つ，期間は 3 日間，シナリオは 2 つとし，各シナリオが起こる確率は $p(l)=0.5(l=1,2)$ とする．また，各シナリオでの 1 日の予約台数の最大は 10 台とする．ある問題例に対する計算結果を表 1 に示す．

表 1 保有台数と移動台数，キャンセル台数の関係

保有台数	移動台数	キャンセル台数の期待値
2	4	8.5
6	3	5
10	2	4.5
14	0	4
20	0	4

表 1 は，保有する車の台数 b を変化させると車の移動台数とキャンセル台数の期待値がどのように変わるかを示したものである．また，各シナリオでの 1 日の予約台数の最大が 10 台としている．結果をみると，保有する車の台数が増えると移動台数とキャンセル台数はともに減少している．したがって，カーシェアリングの円滑な運営のためには，想定されるシナリオの 1 日での最大予約台数よりもある程度多くの車両を各ステーションに配置する必要があることがわかる．

5 おわりに

本研究のモデルではいくつかの単純化した仮定を設けたが，例えば現実には，午前と午後に分けて車の貸し出しと返却を行うことはない．また，車の移動費用 D_{ij}^t はステーション間の距離や人件費なども加味して費用が決まる．このような現実的な条件を考慮したモデル化と分析を行うことが今後の課題である．

参考文献

[1] 河合かおり：ワンウェイ型利用を許すカーシェアリングシステムのシミュレーションによる分析：南山大学情報理工学部情報システム数理学科（2016）

[2] 久保幹雄，ジョア・ペドロ・ペドロソ，村松正和，アブドル・レイス，「あたらしい数理最適化 -Gurobi と Python 言語で解く-」，近代科学社，2012

[3] 高野祐一：確率計画法の理論と応用：専修ネットワーク＆インフォメーション

[4] タイムズカー http://timescar.jp/ No.23.PP.15（2015）