待ち行列理論を用いたカーシェアリングとライドシェアリングの混合モデルに関する検討

05001206　筑波大学　*中村彩音　NAKAMURA Ayane
02992304　筑波大学　フンドックトゥアン　PHUNG-DUC Tuan
05000780　筑波大学　安東弘泰　ANDO Hiroyasu

1.　はじめに

近年, モノやサービスを共有するシェアリングエコノミーが大きな注目を浴びており, その中でも, 車を共有するカーシェアリングが急速な市場の拡大を見せている. しかし, カーシェアリングには, 車両の偏在や配回送にかかるコストなど, いくつかの問題点が見受けられる.

そこで安東ら [1] は, カーシェアリングの問題点を解決する新しい交通手段として, カーシェアリングとライドシェアリングを混合させた "カーライドシェアリング"を提案し, シミュレーション実験による考察を行っている. 本論文では, このカーライドシェアリングを待ち行列理論を用いてモデル化し, 数値実験を実施することにより, 導入可能性や特徴について議論していく.

2.　カーライドシェアリングの仕組み

2.1.　前提

今回は図 1 のような, 駅と大学 (バス停) の 2 地点間に, "バス" と "カーライドシェアリング" の 2 つの交通手段が混在している状況をモデル化する. 朝, 大学へ個人車で来た人が, その車を "カーライドシェアリング車両" (以下, "車両") として提供する. この車両の最小乗車人数は m 人, 最大乗車人数は n 人であり, 車両は充分な数存在し不足することはないものとする. カーライドシェアリングの利用客は, この車両を使って大学と駅の行き来が可能であるが, 持ち主が帰宅するまでの一定時間内に車両を大学に返却する必要がある.

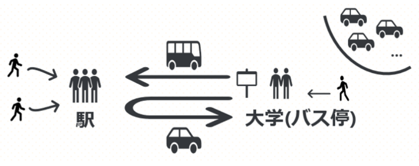

図 1: カーライドシェアリングの概要図.

2.2.　駅側のカーライドシェアリング需要

駅には, 車両を利用してカーライドシェアリングを行いたい利用客が集まってきて, 一定人数以上集まりカーライドシェアリングが可能になった状態を "駅側にカーライドシェアリング需要がある" (以下, "需要がある") と表現する. 需要はパラメータ δ の指数分布に従った間隔で発生するとし, この需要の有無は, Web アプリ等を介して瞬時に大学に伝達されると仮定する. 同時に複数個の需要が発生する可能性や, バス等の他の交通機関の到着や利用客の個人的な都合等によって需要が取り消される可能性については考慮しない.

2.3.　大学から駅への動き

大学から駅へは, バスとカーライドシェアリングによる二つの交通手段が存在する. 大学から駅へ向かうバスは, パラメータ μ の指数分布に従った間隔で発生し, 定員は l 名, 大学始発であると仮定する. バスには, 大学に並んでいる人が FIFO(先着順) で, バスの定員 l を超えない限り乗車し続ける. 一方, カーライドシェアリングに関しては, "(駅側に) 需要がある" かつ "大学に m 人以上居る" という状態のときにのみ, 大学側から発生する. カーライドシェアリングは, この状態のもとでパラメータ σ の指数分布に従った間隔で発生し, バスと同様に FIFO で, 車両の最大乗車人数 n を超えない限り乗車し続けるものとする.

2.4.　駅での車両の引継ぎ

大学から出発した車両は駅へ向かい, 駅に到着後, 大学から乗車してきた人たちが下車する. そして, 駅で待っていた人たちが車両を引き継ぎ, 折り返して大学までカーライドシェアリングを開始する. これにより, 駅側の需要が満たされたことになる.

2.5. 車両の返還

車両が大学に到着すると, 駅から乗車してきた人たち下車し, 車両は元の位置に返還される. この一連の流れにより, 車両を一定時間内に元の位置に戻すという条件を満たした (つまり, 車両の偏在が発生しない) 上で, また, 利用客が目的地に到着した後に車両提供地点に車を返却する手間をかけずに, 大学から駅へ行きたという人も, その逆の人の希望も同時に叶えることができている. つまり, カーライドシェアリングはカーシェアリングの様々な欠点をカバーしたサービスモデルであると考えることができる.

3. 待ち行列理論を用いた解析

前章で説明したカーライドシェアリングはGI/M/1 型マルコフ連鎖を用いて定式化することが可能である．具体的に，駅側の需要の個数を $S(t)$, 大学側にいる顧客の数を $N(t)$ とすると，$\{(S(t), N(t)); t \geq 0\}$ は GI/M/1 型マルコフ連鎖になり，既存理論により，定常分布が存在するための安定条件は次のように与えられる．

$$\lambda < \frac{n\sigma\delta}{\sigma+\delta} + l\mu.$$

また，安定条件の下で，定常分布を滝根 [2] に類似した手順で計算することができる．

4. 性能評価指標の導出

定常確率 $\pi_{i,n} = P(S(t) = i, N(t) = n)$ として，$\pi_n = (\pi_{0,n}, \pi_{1,n})$ とする．既存理論により，$\pi_{k+1} = \pi_k R$ $(k \geq m-1)$ が得られ，R は数値的に求めることが可能である．$\pi_0, \pi_1, \ldots, \pi_{m-1}$ は平衡方程式及び確率の正規化条件により求められる．また，I を単位行列，$\mathbf{e}$ をすべての要素が 1 の縦ベクトルであるとすると，大学側の人の平均待ち時間 $E[W]$ は以下の式で求めることができる．

$$E[W] = \frac{\sum_{i=0}^{m-2} i\pi_i \mathbf{e} + \pi_{m-1}(I-R)^{-1}\left\{(m-1)I + (I-R)^{-1}R\right\}\mathbf{e}}{\lambda}.$$

5. 数値実験結果と考察

$\mu = 10, m = 2, n = 4$ 及び $l = 30$ と固定した上で数値実験を行った．大学の人の到着率 λ に対する平均待ち時間 $E[W]$ は図 2, 3 のようになった．

結果より, カーライドシェアリングが全く行われていない (すなわち, $\sigma = 0$ または $\delta = 0$) ときに比べ, カーライドシェアリングの発生率 σ や需要の発生率 δ が上昇すればするほど, $E[W]$ が減少することが分かった. また, カーライドシェアリングが発生していないときは, 人の到着率 λ に対して, $E[W]$ は単調増加していくが, 発生しているときは下に凸の傾向が見られる. これは, ある程度人が集まらないとカーライドシェアリングが発生せず, $E[W]$ が短くならないことを表しており, μ, σ 及び δ などの各種パラメータに対して, $E[W]$ を最小にする λ を設定することが可能であるとも考えることができる.

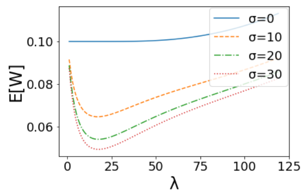

図 2: $\delta = 10$ と固定し, σ を変化させた時の $E[W]$.

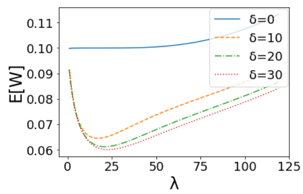

図 3: $\sigma = 10$ と固定し, δ を変化させた時の $E[W]$.

6. まとめ

カーシェアリングとライドシェアリングを同時に行う新しい交通手段であるカーライドシェアリングを, 待ち行列理論を用いてモデル化・解析した. また, 数値実験結果により, カーライドシェアリングの需要と発生率を大きくすればするほど, 大学側の平均待ち時間は減少することを示した. 以上より, カーライドシェアリングには導入意義が見込まれることが示唆された.

参考文献

[1] 安東弘泰, 原勇, 大澤義明: 大学を拠点とするモビリティサービス, オペレーションズ・リサーチ, 印刷中.

[2] 滝根哲哉: M/M/1 を越えて-準出生死滅過程への招待-, オペレーションズ・リサーチ, 59(4), 179-184(2014).