

車輛共同利用システムの車輛配備台数の最適化* Optimization of Number of Vehicles for Vehicle Sharing System*

島崎 敏一**

By Toshikazu SHIMAZAKI**

1. はじめに

現在、車輛の共同利用システムが、注目を集め、日本を含め世界の各地で社会実験が計画あるいは実施されている¹⁾。共同利用システムには、パブリックカーとカーシェアリングの2つのタイプがある²⁾。パブリックカーは、1960年代から提案、実験が行われている³⁾。しかし、その規模はあまり大きなものはない。カーシェアリングは、複数の個人が車輛の共同所有と利用を会員制で行うものであるが、最近、レンタカーなどとの差異は実質上小さくなってきている²⁾。

車輛の共同利用を行うことによって期待される効果には、いくつかが考えられているが、主要なものは、1. コストが安い、2. 交通量削減、3. エネルギー消費とCO₂の削減、4. 駐車場問題の解消などである。最近、車輛共同利用システムがふたたび注目を集めているのは、電気自動車との関連である。すなわち、地球環境から考えれば、電気自動車は好ましいものであるが、そのコストを考えると、急速な普及は困難である。このコストの難点を共同利用システムによるコスト低下で克服しようとするものである。

共同利用システムを運営形態から分類すると、1. シングルポート（原則として、車輛を借りたところ

に返却する）、2. マルチポート（利用拠点を複数設置し、任意の拠点で借り、返却は別の拠点でもよいとする）がある。今年度、日本大学理工学部では、電動自転車を主体とする地域住民、教職員を対象とする車輛の共同利用システムに関する社会実験を計画している。詳細は検討中であるが、第1段階では基本的にはシングルポートシステムとなる予定である。

シングルポートシステムに限らず、共同利用システムを検討する場合に重要なのは、総コストと利便性の関係である。過去、いくつかの共同利用システムの実験が行われているが、配備車輛数と利用者数の関係については、十分な解析がなされていない。ここでは、シングルポートについて、利用者数が与えられたときの最適車輛数について解析を行う。

2. 車輛共同利用システムのモデル化

シングルポートシステムによる車輛共同利用システムでは、何台かの車輛が待機している拠点に利用者が訪れ、利用可能な車輛があれば、借り出して行く。その後、利用が終われば、同じ拠点に返却する。

本論文では、これをM/M/nの待ち行列で表現する。すなわち、到着時間間隔が互いに独立で指数分布にしたがい、サービス時間（車輛の利用時間）も互いに独立で指数分布にしたがっているとすると、窓口の数はnであるとする。

この時、いくつかの検討すべき点がある。1つは、予約の問題である。過去に行われた多くの実験では、予約システムを採用している⁴⁾。これについては、予約時点を利用者が拠点に訪れた時点と考えれば、同様に扱える。2つは、利用者が拠点を訪れた時点で、利用可能な車輛がない場合に利用をあきらめて

*キーワード: カーシェアリング, システム分析, 自動車保有・利用, 公共交通運用

** フェロー会員, 工博, 日本大学理工学部土木工学科
(〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8,

Tel:03-3259-0989

Email:shimazak@civil.cst.nihon-u.ac.jp)

帰るケースである。これについては、配備車輛数は利用者数に比べて十分大きく、あきらめて帰る人はいないと仮定する。3つは、到着時間間隔とサービス時間の分布である。これについては、過去の社会実験によれば、おおむねポアソン過程と想定できるので、上記のとおり仮定する。

なお、過去の実験でのアンケート調査によれば、車輛共同利用システムを利用するとき重視する条件として、1. 帰宅時に必ず車両がある、2. 利用可能駐車場が複数、3. 24時間利用可能、4. 予約無しで利用可があげられている⁵⁾。これから、考えれば、上記仮定は、シングルポートシステムとしては妥当であると考えられる。

待ち行列の理論で、解析できるのは、定常状態であるが、これは、配備車輛数が十分に大きいときに実現されるので、上記仮定も考慮して、本論文では、定常状態を検討する。すなわち、利用者全体の訪問時間間隔は車輛の総利用可能頻度より小さいとする。

このモデルでは、過渡状態は扱えないが、過渡状態については、一般にシミュレーションで検討する必要がある。本論文の結果は、そのシミュレーションをするときの各種パラメータの決定のための参考として利用できる。

3. 最適化

(1) 目的関数

最適車輛数の決定にあたっての目的関数は、車輛のコストと待ち行列での利用者の待ち時間のコストの和の最小化であるとする。具体的には、次の式(1)を最小化する。

$$C(k) = k + t \cdot n \cdot w(k) \quad (1)$$

$$w(k) = \frac{\mu \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k}{(k-1)!(k\mu - \lambda)^2} \cdot p_0(k)$$

$$p_0(k) = \frac{1}{\left[\sum_{n=0}^{k-1} \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \right] + \frac{1}{k!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \frac{k \cdot \mu}{k \cdot \mu - \lambda}}$$

ここで、C(k): 総コスト

k: 配備車輛数

t: 人と車輛の時間価値の比

n: 登録利用者数

w(k): 待ち行列中での待ち時間の期待値⁶⁾

μ : 車輛のサービス率

λ : 平均到着率

$p_0(k)$: システム中に1人もいない確率⁶⁾

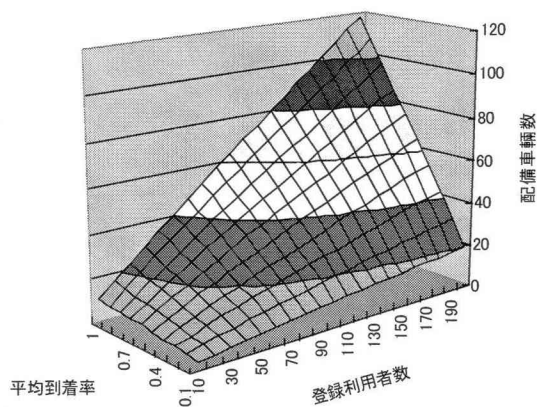
(2) 計算に使用したパラメータ

最適車輛数の性質を見るために行うケーススタディにあたってのパラメータの値は次のように仮定する。

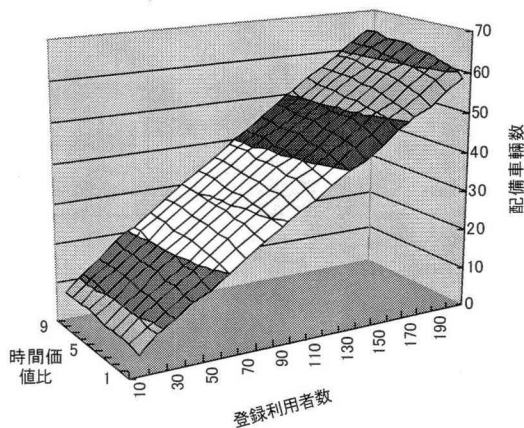
人の時間価値については、1998年の1人あたりGNPの\$30470から⁷⁾年間労働時間を1800時間とすれば、約2000円/時間であり、年間総時間で割れば約500円/時間となる。そこで、約1000円/時間とする。なお、実際の計算には人と車輛の時間価値の比を使用するので、この値自体はあまり大きな問題ではない。

車輛の時間費用については、使用する車種により大きく変わる。過去に電気自動車を使用して行われた実験では、車輛費、関連施設のリース料、維持費として20万円/月の費用が掛かったとされている⁵⁾。これは、時間費用に換算すれば、月30日、10時間/日稼働とすれば、約700円/時間となる。また、電動自転車を考えれば、100円/時間程度になる。そこで、ここでは、今回予定している実験を考慮し、100円/時間を標準とする。人と車輛の時間価値の比で考えれば、10となる。計算対象とする人と車輛の時間価値の比のパラメータの範囲については、これらを総合して、1・10とする。

人の平均到着率については、1人あたりで考えて、実験の性質から考えて2時間に1回借りに来ることに相当する0.5/時間を標準として、0.1・1/時間の範囲で考える。1回の利用時間に対応するサービス率に



図－１ 最適車輛数（時間価値比一定）



図－２ 最適車輛数（平均到着率一定）

ついては、１回の平均利用時間を３０分と想定し、２/時間を標準とする。なお、複数窓口の待ち行列の場合には、 λ と μ の比である相対到着強度だけではその性質は決まらないが、ここでは、計算の簡単のため人の到着率のみを変化させる。なお、上式（１）中の λ の値は、システム全体での到着率であり、上記の１人あたり平均到着率に人数を掛けたものに等しい。

登録利用者数については、任意に１０－２００人として、計算を行う。

（３）結果

前述の条件で、登録利用者数が与えられた時の、総コストが最小となる配備車輛数を示したのが、図－１と図－２である。

図－１は、１人あたり平均到着率を変化させた時の最小コストとなる車輛数を示している。この時、人と車輛の時間価値の比は、１０である。

図－２は、人と車輛の時間価値の比を変化させた時の最小コストとなる配備車輛数を示している。この時、１人あたりの平均到着率は、０.５/時間としている。

（４）考察

図１によれば、人の平均到着率が変化したときには、最小コストとなる車輛数は、大きく変化する。特に登録利用者数が多いときに、その変化が大き

い。また、人の平均到着率が大きい時のほうが、最小コストとなる車輛数の変化が大きい。

図２によれば、人と車輛の時間価値の比が変化しても、最小コストとなる車輛数の変化はあまり大きくない。

以上より、車輛共同利用システムのコストについての最適化を行う場合には、人の平均到着率および１回あたりの平均利用時間を正確に見積もる必要がある。しかし、人と車輛の時間価値の比の影響は、さほど大きくないので、大略の値がわかればよい。

４．結論と今後の課題

車輛共同利用システムを複数窓口の待ち行列でモデル化し、いくつかのパラメータについて、利用者の待ち時間のコストと車輛の配備コストの総コストが最小となる車輛数を求めた。この結果、以下のことが判明した。

- 登録利用者数が多い時には、最適車輛数は人の平均到着率により、大きく変化する。
- 人の平均到着率が大きいときには、最適車輛数は登録利用者数により、大きく変化する。
- 人と車輛の時間価値の比は、最適車輛数には大きな影響を与えない。

今後の課題としては、次のことがあげられる。

- 本モデルでは、定常状態を想定しており、需要が変動するケースは取り扱えない。これを検討する

ためにシミュレーションを行う必要がある。

- b) 本論文では、シングルポートを対象として解析を行ったが、マルチポートについても、解析的あるいはシミュレーションによる検討を行う必要がある。
- c) 本モデルの計算にあたって、そのパラメータは既存の論文などから推定したが、予定されている実験により確認する必要がある。

5. おわりに

本研究の一部は、著者が分担者となっている 2001 年度日本大学理工学部特別推進研究費で実施したことを記し、その機会を与えていただいた関係者に感謝します。

参考文献

- 1) 青木英明：カーシェアリング，世界の動き，交通工学，Vol. 36，No. 2，pp. 26-34.
- 2) 太田勝敏：マイカーに代わる新しい交通手段－カーシェアリングの意義，交通工学，Vol. 36，No. 2，2001，pp. 1-4.
- 3) 高山光正：新しい交通システムとしての共同利用，交通工学，Vol.36，No.2，2001，pp.35-42..
- 4) 宮下雅行，高山光正：ITS／EV 共同利用システムについて(シティカーシステムと住宅地セカンドカーシステムの事例)，交通工学，Vol.36，No.2，2001，pp.20-25.
- 5) エコ・パークアンドライド推進協議会，平石浩之：平成 11 年度海老名エコ・パークアンドライド社会実験の概要と報告：パークアンドライドと自動車共同利用の複合策実施に向けて，交通工学，Vol. 36，No. 2，2001，pp. 11-19.
- 6) Morlok, Edward K., Introduction to Transportation Engineering and Planning, McGraw-Hill, New York, 1978.
- 7) 渡辺利夫：開発経済学入門，p. 223，東洋経済新報社，2001.