

効用の確率変動を考慮した駅周辺駐車場利用モデル

Parking Lot Usage Model based on Random Utility Theory

島崎敏一*, 石井忠二郎**

Toshikazu SHIMAZAKI, Chujiro Ishii

Recently, park-and-ride or kiss-and-ride system can be seen in suburban area of Tokyo Metropolitan area in Japan. Most of parking lots are prepared privately now. However, some control should be done for adequate land use. In order to do this, we need to know the user behavior of parking lots. This paper aims to develop the parking lot usage model assuming the random utility theory. The developed model can predicate the usage rate, usage fare and so on. The calibration method of parameter is shown. The model was applied to the actual data, and the result shows good performance of the model.

1. はじめに

欧米においては、10数年前から、TSM(Transportation System Management)の一貫として、パークアンドライドなどが検討されている¹⁾。最近では日本においても、大都市圏の郊外の鉄道駅周辺における地価高騰による住宅地の遠隔化、公共交通機関の低いサービスレベルなどから、パークアンドライドやキスアンドライドの萌芽がみられ始めている。現在の大都市圏における地価の状況などを考慮すると、今後ともこのような駅へのアクセス形態は増加することが考えられる。パークアンドライドを考えた場合、当然、駅周辺での駐車場の整備が必要とな

る。その多くは、私的に整備されることになると考えられるが、公的な立場から適切に配置するよう指導する必要がある、そのためには、こうしたパークアンドライド用駐車場の利用行動を解明する必要がある。

最近、自動車の普及にともなって、駐車場に関する研究もいくつか行なわれている。1つは、路上駐車に関するものであり、意識調査によるもの^{2,3)}、モデルによるもの^{4,5)}などがある。他に、都心における駐車場について、その需要を扱ったもの⁶⁾、選択モデルを作成したもの⁷⁾などがある。郊外駅についてはキスアンドライドをロジットモデルにより解析したもの⁸⁾などがあるが、主としてパークアンドライド用に使用される駐車場の利用モデルについては、ほとんどないのが現状である。本研究は、主として、長期契約により利用される郊外駅周辺の駐車場を対象として駐車料金、駐車場選択メカニズムを効用関数の確率変動を考慮してモデル化することを

*ワード 駐車場、パークアンドライド、効用関数

*)正会員 工博 東京大学助教授 工学部土木工学科
(〒113 文京区本郷7-3-1)

**)正会員 芝浦工業大学講師 土木工学科

目的としている。

2. 駐車場利用モデル

(1) 基本的な考え方

本モデルでは、駐車場の利用者は、料金、駅からの距離などで決まる効用関数を持っており、その効用を最大化するように利用駐車場を決定していると仮定する。また、駐車場の経営者については、自分の土地を駐車場に利用することは既に決定しており、駅からの距離など地理的な条件は与えられたうえで料金などを変数としてその収入最大化を行なうように行動すると仮定する。また、現時点では、駐車場の需要と供給は均衡していると仮定する。

以上の考え方によれば、駐車場利用モデルにおける料金、駐車場利用率などの決定メカニズムは、次のようになる。まず、駐車場経営者が、駐車場利用者の効用関数、駅からの距離などの与えられた条件から収入が最大になるように、料金などの条件を決定する。それにより、駐車場利用者は、利用駐車場を効用最大化により決定することにより、駐車場の利用率が決定される。この考えにもとづき、以下に基本式を導出する。

(2) 駐車場利用モデル

駐車場利用者の効用関数 U を

$$U_{ij} = f_i(r_j, x_j, LOS_j) \quad (1)$$

とする。ここで、 U は、駐車場利用者の効用関数、 r は料金、 x は駅からの距離、 LOS は舗装の有無などその他のサービスレベル、 i は利用者、 j は駐車場である。効用 U_{ij} が、確率変動を持つことを仮定すれば、

$$u_{ij} = U_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (2)$$

と表現できる。ここで、 u_{ij} は、ランダム効用であり、 ε_{ij} は、効用の確率変動項である。利用者 i が駐車場 j を利用する確率を $G_{ij}(r_j, x_j, LOS_j)$ とすれば、

$$G_{ij}(r_j, x_j, LOS_j) = \text{Prob}[u_{ij} \geq u_{ij'} : j \neq j' \text{ for all } j]$$

$$j \neq j' \text{ for all } j]$$

$$= \text{Prob}[U_{ij} + \varepsilon_{ij} \geq U_{ij'} + \varepsilon_{ij'} : j \neq j' \text{ for all } j] \quad (3)$$

となる。ここで、効用の確率変動項の分布をガンベル分布であると仮定すれば、利用確率 G_{ij} は、

$$G_{ij}(r_j, x_j, LOS_j) = \frac{\exp U_{ij}(r_j, x_j, LOS_j)}{\sum \exp U_{ij}(r_j, x_j, LOS_j)} \quad (4)$$

となる。ここで、駐車場 j については、駅からの距離 x によって 1 つに特定できると考え、利用者については、効用関数がひとによって変わらないとして、以下サフィックスを省略する。また、料金 $r(x)$ 、サービスレベル $LOS(x)$ も、駐車場により異なるという意味で x の関数であるが独立変数の表示は省略する。

駐車場経営者は、料金 r 、その他のサービスレベル LOS を変化させることにより、利益 B の最大化を図る。

$$B = r \cdot n G(r, x, LOS) - h(LOS) \quad (5)$$

ここで、 B は単位期間あたりの利益、 r は単位期間あたりの利用料金、 $G(r, x, LOS)$ は、利用確率、 n は総利用者数、 $h(LOS)$ は、 LOS により決まる設備費などの時間価値を考慮した単位時間あたりの費用である。すると、駐車場経営者の料金、 LOS の決定モデルは、

$$\max_x B \quad (6)$$

となり、1 階の条件は、 LOS も 1 つの実変数であるとすれば、

$$\begin{aligned} \frac{\partial B}{\partial r} &= 0 \\ \frac{\partial B}{\partial LOS} &= 0 \end{aligned} \quad (7)$$

すなわち、

$$G(r, x, LOS) + r \frac{\partial G(r, x, LOS)}{\partial r} = 0 \quad (8)$$

$$r n \frac{\partial G(r, x, LOS)}{\partial LOS} - \frac{\partial h(r, x, LOS)}{\partial LOS} = 0 \quad (9)$$

となる。また、2階の条件は、

$$\begin{vmatrix} \frac{\partial^2 B}{\partial r^2} & \frac{\partial^2 B}{\partial r \partial LOS} \\ \frac{\partial^2 B}{\partial r \partial LOS} & \frac{\partial^2 B}{\partial LOS^2} \end{vmatrix} < 0 \quad (10)$$

となる。これによって、最適となる r^* , LOS^* が求まれば、利用率は、

$$G(r^*, x, LOS^*) \quad (11)$$

として与えられる。なお、 LOS が1変数でない場合への拡張は容易である。また、舗装のあるなしなどの整数変数の場合は、それぞれ別に最適解を求め、比較して最適なほうを選ぶことにより、容易に求められる。

すると、ある駐車場の利用率 $g(r, x, LOS)$ は、

$$\begin{aligned} g(r^*, x, LOS^*) &= \frac{n}{C(x)} G(r^*, x, LOS^*) \\ &= \frac{n}{C(x)} \frac{\exp(U_{ij})}{\sum \exp(U_{ij})} \end{aligned} \quad (12)$$

となる。ただし、 n は総利用者数、 $C(x)$ は、距離 x のところの駐車場の容量である。

(3) モデルの簡略化とキャリブレーションの方法

駐車場利用モデルによれば、駐車場利用者の効用関数が与えられれば、利用料金、その他のサービスレベル、駐車場の利用率が算出できることとなる。次に、現実のデータからこの効用関数を推定する方

法を考える。効用関数を求めるには、まず、その関数型を仮定し、式(4)、式(8)～式(11)にデータから与えられる利用率、料金、サービスレベルを使用して、パラメーターを決定することが可能である。しかし、一般には具体的にこれを実行することは、困難であるので、簡略化することを考える。

このとき、効用関数を直接キャリブレートするのではなく、直接計測可能な利用率を使うこととする。駐車場の利用率は、式(12)で与えられるが、総利用者数が総駐車場容量よりも小さく、

$$n < \sum C(x) \quad (13)$$

かつ、各駐車場において、駐車場容量以下の利用しかない場合には、

$$g(x) < 1.0 \quad (14)$$

現在の状態が均衡状態であるという仮定から、総利用者数 n 、駐車場容量 $C(x)$ は、 r , LOS にはよらない。このため、式(8)、(9)を書き換えれば、次式(15)、(16)となる。

$$g(r, x, LOS) + r \frac{\partial g(r, x, LOS)}{\partial r} = 0 \quad (15)$$

$$r C(x) \frac{\partial g(r, x, LOS)}{\partial LOS} - \frac{\partial h(r, x, LOS)}{\partial LOS} = 0 \quad (16)$$

ここで、利用率を現わす式(12)の分母について考えると、対象となる駐車場の数が多ければ料金 r 、サービスレベル LOS などが、ある駐車場について変化したときにも、ほぼ一定であると考えられ、利用率は(12)式の分子 $\exp(U_{ij})$ に比例する。また、駅周辺の長期契約駐車場の分布について考えると、一般には、駅の近傍では、用地の制約から少なく、ある程度遠くなると需要の減少のためにまた少なくなるという台形状の分布になると考えられる。これを簡単のために、駐車場容量は、一定であると仮定する。すると、効用関数の定数項を適当に取れば、式(12)は次式で表わされる。

$$g(r^*, x, LOS^*) = \exp(U_{ii}) \quad (17)$$

次に、効用関数 $U = f(r, x, LOS)$ について、その変数を考える。都市型の駐車場についてではあるが、過去の研究によれば、駐車場の選択要因としてあげられているものは、駐車場から目的地までの道路距離、料金、利用可能となるまでの待ち時間などがある^{5,6)}。また、他のサービス水準としては、舗装の有無などが考えられるが、後述する適用例では、これらの変数は有意ではない。今は、長期契約のパークアンドライド用駐車場を考えているので、待ち時間は原則として無関係であり、対象とすべき変数は、料金と道路距離となる。そこで、効用関数の形を、道路距離 x 、料金 r についてそれぞれ線形であるとして、

$$f(r, x) = (\alpha + \beta x) + (\gamma + \delta x)r \quad (18)$$

とする。また、料金以外のサービス水準を考えないことから、駐車場経営者の料金決定メカニズムの1階の条件は、

$$\exp(f) + r \frac{\partial \exp(f)}{\partial r} = 0 \quad (19)$$

となり、2階の条件は、

$$r^2 \exp(f)'' - 2 \exp(f) < 0 \quad (20)$$

となる。すると式(19)に式(18)を代入して計算すれば、

$$r^* = -1 / (\gamma + \delta x) \quad (21)$$

となる。なお、この解は式(20)の2階の条件を満たす。これから、駐車場の利用率関数 $g(r^*, x)$ は、効用関数の定数項を適当にとれば、式(17)から、

$$g(r^*, x) = \exp(\alpha + \beta x - 1) \quad (22)$$

となる。したがって、効用関数のパラメーター α 、

β 、 γ 、 δ をキャリブレーションするには、料金の逆数を距離に対してプロットすれば直線となり、 γ 、 δ を求められ、また、利用率の自然対数も x に対してプロットすれば直線となり、 α 、 β が求められることになる。

3. モデルの適用例

(1) 適用例の概要

本モデルを実際に適用するにあたって、東日本旅客鉄道常磐線の荒川沖駅を対象とした。荒川沖駅は、背後に筑波研究学園都市をひかえ、また、住宅地の開発も行なわれている地域である。駅周辺には、多数の長期契約方式の駐車場が存在し、通勤や筑波研究学園都市に勤務するものの東京出張の際の駅へのアクセス手段として、パークアンドライド方式が相当に利用されている地域である。データは、現地での聞き取り調査などによって収集した。

(2) 使用データ

荒川沖駅周辺には、100カ所以上の駐車場が存在する。分析対象とする範囲については、過去の研究では、都市型駐車場について歩行距離の標準として、300m、500m、700m⁹⁾ という数字をあげているが、本研究の駐車場はパークアンドライド用であることを考慮して少し範囲を広げ、駅から850m以内の駐車場とした。対象範囲内の駐車場（約130カ

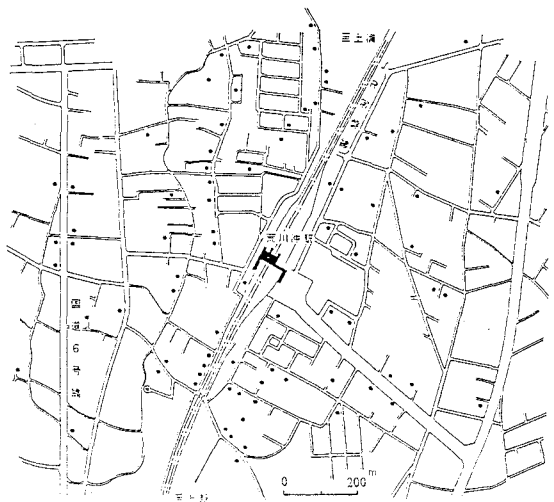


図1 調査対象駐車場の分布

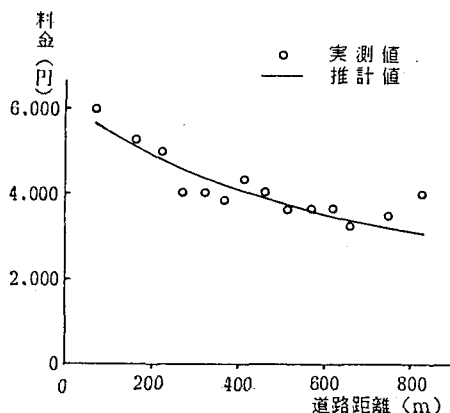


図2 駐車場利用料金の距離分布

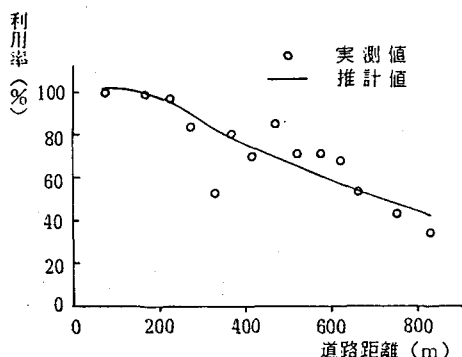


図3 駐車場の利用率の距離分布

所) について、昭和62年12月に聞き取りにより、駐車場の容量、月当りの利用料金、契約者台数、舗装の有無を調査した。また、別途、地図により駅からの道路距離、直線距離、駅の西口か東口か、国道6号線以遠かどうかなどのデータを読み取った。調査の結果、データが得られた駐車場は、81カ所であり、その分布は、図1のとおりである。

(3) データの解析とモデルの適用

個々の駐車場についての利用率を契約者台数/駐車場容量で定義して、(1) 料金、(2) 道路距離、(3) 舗装の有無、(4) 西口か東口か、(5) 国道6号線以遠かどうかという5変数で、重回帰分析を行なった。この5変数から、係数のt値の絶対値の小さいものから順次変数を減らして重回帰分析したとこ

ろ、料金のみが、有意水準10%で有意となったのみで、他の変数は有意でなかった。つぎに、料金についても道路距離から6号線以遠かまでの4変数について同様の検討をしたところ、道路距離については0.1%以上の水準で有意であり、他の変数については有意ではなかった。

以上のことから、前節の仮定が成立し、利用率、道路距離、料金のみを分析の対象とすることとする。本研究の駐車場利用モデルでは、利用者の効用は料金と距離のみの関数であり、個々の駐車場については規模の変動も大きいので、道路距離で50m毎に統合して以下の解析に使用する。統合は、料金、距離については単純平均、駐車場容量と契約者台数は合計をとることによって行なう。なお、料金などについては、駐車場容量、契約者台数などで加重平均とすることも考えられるが、その差は大きくなく、精度などを考慮して単純平均とした。統合したデータについて、料金、利用率を道路距離に対してプロットしたのが図2、図3である。

こうして得られたデータに、本モデルを適用した結果、

$$\alpha = 1.23,$$

$$\beta = -1.30 \times 10^{-3},$$

$$\gamma = -1.64 \times 10^{-4},$$

$$\delta = -2.03 \times 10^{-7}$$

となった。このとき、相関係数については、料金の逆数については0.93、利用率の自然対数については、0.91であった。これにより推計した料金と利用率を図2、図3に示す。

効用関数のパラメーターの符号を考慮して、料金の利用率への影響を見ると、距離が大きいほど影響は大きくなる。すなわち、人は遠距離にある駐車場では、その不便さから利用料金の高低に、より敏感に反応するということを意味している。また、指数関数の中を書き換えて考えれば、料金が低い駐車場ほど、距離の影響が大きくなることがわかる。道路距離と月あたり料金の係数の比を考え、積の項を無視すれば、道路距離100mあたり、約790円/月に相当することになる。

また、極端な場合として、利用料金を無料にした

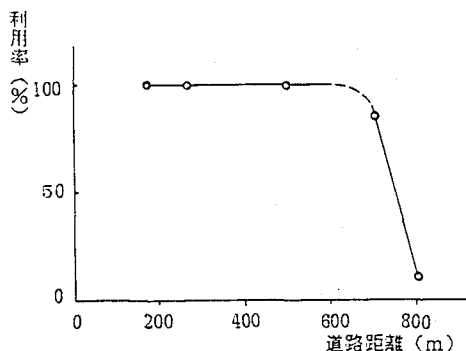


図4 無料駐車場の利用率分布

ときのことを考えてみる。すると、利用率関数は、

$$g(0, x) = \exp(\alpha + \beta x) \quad (23)$$

となる。これは、一般には、1以上の値となる場合が生じるが、これを潜在的な利用率と考え、駐車場容量がほぼ一定の場合を考えれば、ある距離までは100%利用で、以後、指数関数的に利用率が減少して行くものと考えられる。無料ではないがそれに近い場合として、デパートの駐車場について、利用率の実測を行なった例を図4に示す。これは、柏市のそごうデパートの駐車場の例であるが、2000円の買物をすれば2時間無料となる。デパートにくる人々の多くは、2000円程度の買物をすることは普通であり、近似的に料金が無料の場合と見なせると考えられる。この図によれば、ある距離まで利用率が100%で、それ以降急激に減少するという傾向を表わしていると考えられる。

4. 結論と今後の課題

本研究は、パークアンドライド用の郊外駅周辺駐車場の利用モデルを、駐車場経営者側の利益最大化、利用者側の効用最大化という原理からモデル化したものであり、実際のデータに適用した。この結果、以下の結論が得られた。

- (1) 経営者の利益最大化、利用者の効用最大化により、長期契約による駅周辺駐車場の利用はモデル化できる。
- (2) 効用関数の簡易化したキャリブレーションの方

法を示した。

また、今後の課題としては、さらに例数を増加して確認すること、他の変数の導入の可能性の検討などがある。

おわりに

本研究の実施に際して、データの取得などで協力してくれた古田博、小林信樹（当時、芝浦工業大学土木工学科学生）の両君に感謝します。

参考文献

- 1) U.S.Department of Transportation, Urban Mass Transportation Administration, "Transportation System Management: State of the Art", February 1977.
- 2) 鄭憲永, 毛利正光, 塚口博司: 「都心部における駐車実態の分析と駐車対策に関する一考察」, 土木学会第41回年次学術講演会講演集第4部, 昭和61年9月, pp.197-198.
- 3) 塚口博司, 毛利正光: 「住区内街路における駐車現象の分析」, 土木学会第41回年次学術講演会講演集第4部, 昭和61年9月, pp.201-202.
- 4) 橋詰勝彦, 大蔵泉, 川上洋司: 「郊外駅周辺における駐車特性及びその問題構造」, 土木学会第42回年次学術講演会講演集第4部, 昭和62年9月, pp.332-333.
- 5) 黒川洸, 松村直樹: 「ケ-Δ理論を用いた路上駐車選択確率導出法」, 土木学会第41回年次学術講演会講演集第4部, 昭和61年9月, pp.199-200.
- 6) 門田高朋, 千葉博正, 五十嵐日出夫: 「駐車需要の構造化による需給動態の解析に関する研究」, 土木学会第41回年次学術講演会講演集第4部, 昭和61年9月, pp.195-196.
- 7) 高岡邦彦, 村上睦夫: 「都心における駐車場選択についての二、三の考察」, 土木学会第42回年次学術講演会講演集第4部, 昭和62年9月, pp.330-331.
- 8) 伊藤淳, 山川仁: 「郊外鉄道駅の端末手段としての自家用車利用の分析」, 土木学会第42回年次学術講演会講演集第4部, 昭和62年9月, pp.320-321.
- 9) 金原正, 奥村修一, 矢是栄, 斉藤圭弘: 「駐車場の計画と設計」, 昭和53年12月.