

# 非集計行動モデルに基づいた バイクシェアリングシステムの料金設定に関する研究

Study on Pricing Measures of Bicycle Sharing System Based on Disaggregated Behavior Model

北海道大学工学部環境社会工学科   ○学生員 寺西修一 (Shuichi Teranishi)  
北海道大学大学院工学院   学生員 嶋龍一 (Ryuichi Tani)  
北海道大学大学院工学研究院   正 員 内田賢悦 (Kenetsu Uchida)

## 1 はじめに

近年、健康増進や交通渋滞の緩和、交通事故の減少などに有用な効果があるという観点から交通機関としての自転車の重要性が見直されている。日本においては国土交通省が2017年5月1日に自転車活用推進法を施行しており、「自転車の活用を総合的・計画的に推進」することを目的とした動きが見られる。

また、企業や個人が所有するサービスを、不特定多数の人々とインターネット上のプラットフォームを介して共有するシェアリングエコノミーの台頭に伴い、世界各国で自転車を公共交通として活用するバイクシェアリングシステム（以下、BSSとする）の導入が進んでいる。BSSとは、専用の自転車貸出・返却場所であるサイクルポートを複数設置し、そのサイクルポート間では個人が時間と場所を問わずに貸出・返却が自由に行える自転車共同利用システムのことである。日本でも札幌市の「ポロクル」や富山市の「アヴィレ」など、BSSを本格導入した都市が数多くある。

これらのことから、今後ますます世界中でBSSの導入が進むと考えられる。しかし、松中ら<sup>1)</sup>によるとBSSを導入するにあたって、既存の公共交通との関係を考慮しつつ、その料金体系などの施策内容を適切に評価することはできていない現状にある。

## 2 既往研究を踏まえた本研究の位置づけ

上述した問題点から、松中ら<sup>1)</sup>は京都市を対象に、想定したシナリオ毎の交通シミュレーションモデルを構築し、社会的便益を算出することでBSS事業を定量的に評価した。しかし、このシミュレーションは既存のBSS事業を対象としたものではないため、限られた想定シナリオ内での評価にとどまっている。また、BSS事業の料金変動に伴う交通需要の変動も考慮する必要があるが、それを定式化するには至っていない。

そこで、本研究では主に札幌市の「ポロクル」のサイクルポートを対象とした評価を念頭に置き、需要の変動を考慮した非集計モデルを構築する。これをもとに、社会的便益を最大化するという観点から、現在のBSSの利用料金の妥当性を評価することを本研究の目的とする。

## 3 モデル化

### 3.1 前提

「ポロクル」のサイクルポートはJR札幌駅を中心と

してハブ状に設置されており、一次交通として利用されることはほとんどないと考えられる。そこで、ここでは札幌駅からの二次交通としての利用者のみを対象とするモデルを構築することにする。したがって、このモデルでは交通機関の選択肢を地下鉄などの公共交通機関、BSSによる自転車、徒歩に限定する。

### 3.2 記号

本稿で用いる記号を以下に示す。

|               |                              |
|---------------|------------------------------|
| $K$           | ネストの総数                       |
| $F$           | 誤差項の分布関数                     |
| $\lambda$     | スケールパラメータ                    |
| $\varepsilon$ | ガンベル分布に従う個人の効用の誤差項           |
| $m$           | 交通機関集合                       |
| $P(i)$        | NLモデルにおける交通機関 <i>i</i> の選択確率 |
| $P(q)$        | BLモデルにおける選択肢 <i>q</i> の選択確率  |
| $S_k$         | ネスト <i>k</i> におけるログサム変数      |
| $V_i$         | 交通機関 <i>i</i> を選択した時の確定効用    |
| $SB$          | 社会的便益                        |
| $PS$          | 生産者余剰                        |
| $CS$          | 消費者余剰                        |
| $OC_i$        | 交通機関 <i>i</i> の運営コスト         |
| $N$           | 人数の総数                        |
| $R$           | 交通事業の収益                      |
| $f$           | 運賃                           |
| $\gamma$      | オイラー定数                       |
| $\beta$       | 効用関数のパラメータ                   |
| $t$           | 乗車時間                         |
| $wt$          | 公共交通機関の待ち時間                  |
| $d$           | OD間の距離                       |

### 3.3 非集計モデル

非集計モデルとしてネスティッドロジットモデル（以

下、NL モデルとする) を用いる。BSS 利用者は、利用料金を支払う必要があるため、その料金収受で運営されているという点で公共交通と同様の交通事業の形態をとる。そのため、BSS を含む公共交通機関と徒歩は完全に独立ではないことから、IIA 特性の緩和を行う必要がある。したがって、一方は公共交通機関と BSS による自転車から、もう一方は徒歩のみから構成されるネスト  $k$  を考える。本研究で考える NL モデルの構造を図-1 に示す。ガンベル分布に従うネスト間の誤差項  $\varepsilon_j$  の分布関数は式(1)で表される。

$$F(\varepsilon_j) = \exp \left( - \sum_{k=1}^K \left( \sum_{j \in m_k} \exp(-\varepsilon_j / \lambda_k) \right)^{\lambda_k} \right) \quad (1)$$

ここでは、Bai et al<sup>2)</sup>の構築した NL モデルにならい、ネスト  $k$  の交通機関集合を  $m_k$  とし、それに対応したスケールパラメータ  $\lambda_k$  を用いることとする。

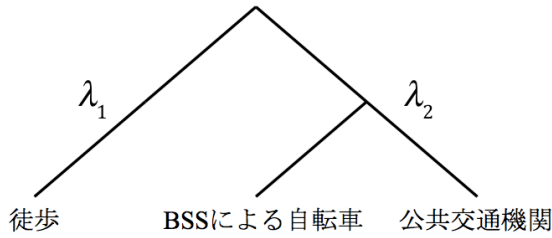


図-1 NL モデルの構造

この NL モデルにおける交通機関  $i$  の選択確率は式(2)で表される。

$$P(i) = P(m_k) \cdot P(i|m_k) \quad (2)$$

ただし、 $P(m_k)$  はネスト  $k$  を選択する確率で、 $P(i|m_k)$  はネスト  $k$  を選択したという条件の下で交通機関  $i$  を選択する確率である。交通機関  $i$  を選択した時の確定効用を  $V_i$  とすると、 $P(m_k)$ 、 $P(i|m_k)$  は、それぞれ式(3)、式(4)で表される。

$$P(m_k) = \frac{\exp(S_k)}{\sum_{l=1}^K \exp(S_l)} \quad (3)$$

$$P(i|m_k) = \frac{\exp(V_i / \lambda_k)}{\sum_{j \in m_k} \exp(V_j / \lambda_k)} \quad (4)$$

ここで、 $S_k$  は式(5)で表されるネスト  $k$  におけるログサム変数であり、ネスト  $k$  内の交通機関集合  $m_k$  から得られる期待最大効用を表す。

$$S_k = \lambda_k \cdot \ln \left( \sum_{j \in m_k} \exp(V_j / \lambda_k) \right) \quad (5)$$

本研究では、BSS 事業の料金体系の変化により生じる交通需要の変動も考慮するため、モデルの上部にさらに二項ロジットモデル（以下、BL モデルとする）を組み込む。モデルの構造を図-2 に示す。BL モデルでは NL モデルで対象とされない個人の効用  $V_o$  を固定する。交通そのものの需要、すなわち NL モデルの対象となる個人となる確率は式(6)で表される。

$$P(q) = \frac{\sum_{l=1}^K \exp(S_l)}{\sum_{l=1}^K \exp(S_l) + \exp(V_o)} \quad (6)$$

where

$$V_o = \text{const} \quad (7)$$

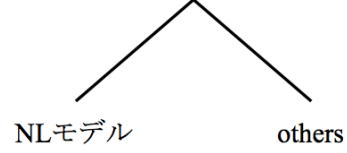


図-2 需要変動を考慮した上部の BL モデル

### 3.4 社会的便益の最大化

本研究は、社会的便益を最大化する BSS の一回の利用料金の検討が目的である。社会的便益の算出は Kono et al<sup>3)</sup>らにならって、式(8)で表される。

$$SB = CS + \sum_i PS_i \quad (8)$$

ただし、 $PS_i$  は生産者余剰、 $CS$  は消費者余剰である。それぞれ、式(9)、式(10)で表される。ここで、式(12)に用いる個人の所得に関する限界効用のパラメータは、Train<sup>4)</sup>にならい利用料金のパラメータ  $\beta_{PT\_cost}$  を用いる。

$$PS_i = R_i - OC_i \quad (9)$$

$$CS = \sum_{n=1}^N CS_n \quad (10)$$

where

$$R_i = P(i) \cdot N \cdot f_i \quad (11)$$

$$CS_n = -\frac{1}{\beta_{PT\_cost}} \left( \ln \left( \sum_j \exp(V_j) \right) \gamma \right) \quad (12)$$

## 4 数値計算

これまでで定式化したモデルを用い、BSS の一回の利用料金  $f_{bike}$  を変数として社会的便益を計算する。ここで、交通機関  $i$  の事業運営コスト  $OC_i$  は固定値となるので、利用料金の変動には関係しない。そのため、社会的便益を最大化する BSS の一回の利用料金  $f_{bike}$  を検討するにあたっては考慮しないこととする。交通機関  $i$  を選択した時の確定効用  $V_i$  は Bai et al<sup>2)</sup>がスウェーデンを対象として算出したパラメータを用いて表すこととする。地下鉄などの公共交通機関、BSS および徒歩の効用関数はそれぞれ、式(13)、式(14)、式(15)で表される。ここで、BSS の利用料金のパラメータは公共交通機関の利用料金のパラメータを用いることに留意したい。

$$V_{PT} = \beta_{PT\_time} \cdot t_{PT} + \beta_{PT\_cost} \cdot f_{PT} \quad \beta_{PT\_male} \quad (13)$$

$$+ \beta_{PT\_house\_w\_kids} + \beta_{PT\_fwt} \cdot wt_{PT} \quad \beta_{innecity} + \\ V_{bike} = ASC_{bike} + \beta_{bike\_distance} \cdot d + \beta_{PT\_cost} \cdot f_{bike} \\ + \beta_{bike\_dist<2km} + \beta_{bike\_male} + \beta_{bike\_house\_w\_kids} \quad (14)$$

$$V_{walk} = ASC_{walk} + \beta_{walk\_distance} \cdot d \quad \beta_{walk\_dist<2km} \quad (15)$$

また、平成 30 年 10 月と平成 30 年 11 月の日本における裁定外国為替相場の平均から 1 円=0.08 スウェーデンクローナ（以下、SEK とする）のレートを適用し、 $N=10000$ 、 $t_{PT}=1/30[\text{hour}]$ 、 $f_{PT}=16[\text{SEK}]$ 、 $wt_{PT}=3.28/60[\text{hour}]$ 、 $d=1.5[\text{km}]$ とする。これらの値は、札幌

市の「ポロクル」の14番ポートから30番ポートまでの移動を想定した値であり、その想定単一ODノードを図-3に示す。このとき、BSSの一回の利用料金に対応して、そのBSSの収益、消費者余剰、またコストを考慮しない社会的余剰は変動する。その結果をそれぞれ図-4、図-5、図-6に示す。

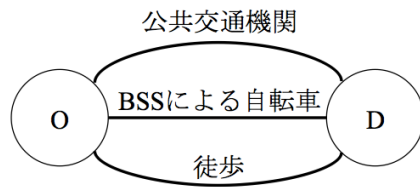


図-3 計算に用いる想定単一ODノード

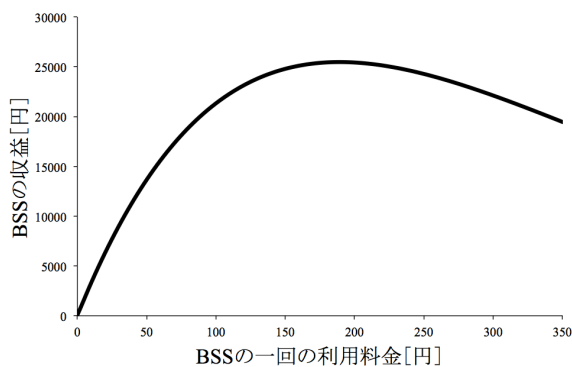


図-4 BSSの収益とBSSの利用料金の対応

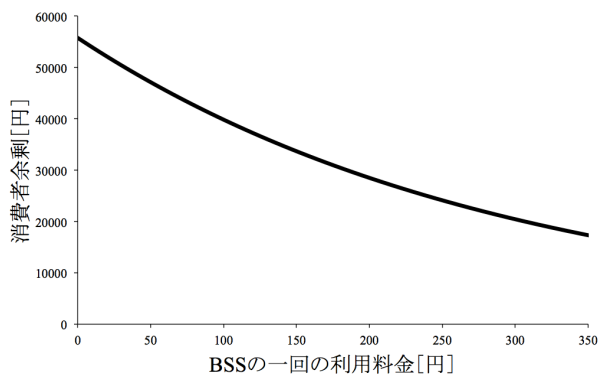


図-5 消費者余剰とBSSの利用料金の対応

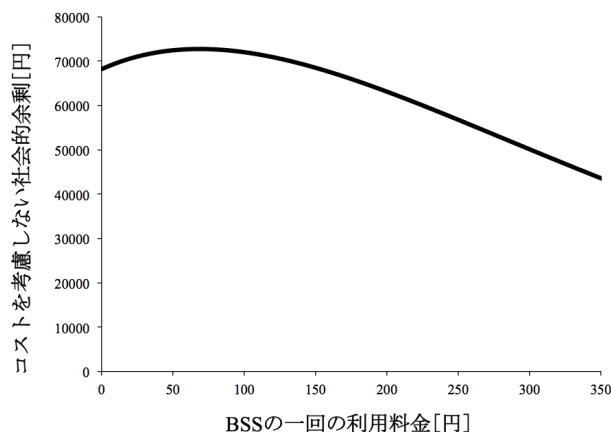


図-6 社会的便益を最大化するBSSの利用料金の対応

## 5 おわりに

本研究では、主に札幌市の「ポロクル」のサイクルポートを想定し、構築した需要変動を考慮した非集計モデルに基づいて社会的便益を最大化するという観点から、現在のBSSの利用料金の妥当性を評価した。現在の「ポロクル」の利用料金は一回108円だが、本研究の結果では70円前後で社会的余剰を最大化するという結果となった。

今後は、公共交通機関とBSS事業のコストも考慮することによる適切な税金の投入量の評価、またスウェーデンではなく札幌市に基づいたアンケートの実施による正確なパラメータを用いた計算の二点を課題としたい。

## 参考文献

- 1) 松中亮治, 大庭哲治, 中川大, 森健矢: 都市内交通シミュレーションモデルによるバイクシェアリングシステム導入施策のシナリオ分析, 土木学会論文集D3, Vol.70, No.5, pp.869-878, 2014
- 2) Tongzhou Bai, Xuemei Li, Zhiyuan Sun: Effects of cost adjustment on travel mode choice: analysis and comparison of different logit models, Transportation Research Procedia, Vol.25, pp.2649-2659, 2017
- 3) Kono Yusuke, Uchida Kenetsu, Andrade Katia: Economical welfare maximization analysis: assessing the use of existing Park-and-Ride service, Transportation, 41(4), pp.839-854, 2014
- 4) Kenneth E. Train: Discrete Choice Methods with Simulation, Cambridge University Press, pp41-86, 2002