

都市生活パターンに着目した自転車共同利用システムの評価*

Evaluation for Sharing Bicycle System Focused on Urban Life Pattern*

羽藤英二**・藤井敬士***・原祐輔***

By Eiji HATO**・Keishi FUJII***・Yusuke HARA***

1. はじめに

集約型の都市構造の実現、中心市街地活性化といった諸相が都市計画の分野で語られることは多い。モビリティの側面からこうした問題を考えると、集約化された都市構造の拠点の内部空間の可動性を高めるとともに、こうした拠点におけるモビリティの結節性を拡張していく必要があるだろう。結節性の拡張は、a)郊外から中心地への交通結節点となる駅、駐車場、b)バス停や路面電車電停、c)小さな駅（モビリティの都市空間への埋め込み）といった段階的なデザインに分けて考えることが出来る。空間の魅力に対して可動性が低ければ、人は不満を抱く。場合によってはそのことがまた来たいと思わせる因子となってリピーターを増やす場合もあるだろうが、拠点の内部空間の魅力がよほど高い場合に限られよう。たとえば、いくつかの異なるディストリクトで構成される空間の内部構造に対して自由自在に回遊性を高めるモビリティの埋め込みが重要である。人工的に1-2年の計画。建設期間で生みだされる郊外型ショッピングセンターの質やバリアフリーな可動性に対して、数十年あるいは何百年かけて形成されてきたモザイクのような都市空間は質は高いものの、いくつかのイメージの異なるメゾ空間の離散的組み合わせで構成されており、可動性も低い。このため限られた街路空間と交通結節空間をリノベーションして、こうした空間の回遊性を高めることが必要不可欠であるといえるだろう。

こうした回遊性の仮説は、モビリティの私有の概念に関連している。モビリティが私有の形態をとっていることで、回遊パターンはそのことの拘束を受けざるを得ない。たとえば、車で都心に向かった場合、いったん駐車場にとめた後の可動性は「歩行」に限定されるケース

*キーワード：目的地選択，交通手段選択，活動分析，交通行動分析
**正員，工博，東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻
(東京都文京区本郷7-3-1, TEL:03-5841-1672,
hato@bin.t.u-tokyo.ac.jp)

***学生員，東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻
(東京都文京区本郷7-3-1, TEL:03-5841-1672,
fujii@bin.t.u-tokyo.ac.jp)

が多い。これは「車」をおいた場所に最後は戻ってこないといけないためであり、結局は「歩行」のしやすさが街の魅力限定しているということになる。これに対してコミュニティに共同利用自転車のようなモビリティが用意されている場合、そのコミュニティの訪問者が、いったんある場所を訪問した後、用意されている駐輪施設と自転車を用いて次の目的地へと渡り歩くことが簡単となる。離散的に存在している都市ストックから質の高いサービスを受けることが可能になるといえるだろう。

本稿では、こうした仮説について、実際のデータを用いて都心の回遊パターンの分析を行い、都市構造とアクティビティパターンおよびモビリティの特性の関係性について考察を行った。さらに、自転車共同利用の実験を実際に行った上で、プローブパーソン連動型のSP実験を行い、こうした乗り捨て可能なモビリティシステムの都心への導入可能性を評価したい。

2. 空間モデルと移動システム

(1) 協調型交通サービス

協調型交通サービスは、「人々の協調のもとに成り立っている交通サービス」として定義する。元来、協調とは「異なった環境や立場に存する複数の者が互いに助け合ったり譲り合ったりしながら同じ目標に向かって任務を遂行する」という意味だが、協調の対象、すなわち最適な目標に向けて互いが調整する対象には、a)モビリティそのもののシェアリング、b)料金や運行頻度といったサービス水準の調整、c)駐車場などのスペースのシェアリングなどが含まれる。わが国における協調型の交通サービスの代表選手はa)であればベリブのような自転車共同利用実験、b)であれば金沢のバストリガーサービス、c)は既存のコンビニ駐車場の一部を利用したCSなどの仕組みが考えられよう。こうしたサービスでは、オークションなどを利用した利用権取引システムによる最適なサービス水準の調整システムや、携帯電話やRFIDタグを用いた個人認証型の予約システムが必要不可欠である。

従前の研究では、太田¹⁾²⁾らが行ってきたカーシェアリングに関する先駆的研究がある。モビリティ、スペース、移動空間、時間、機会をシェアする協調型交通サー

表-1 サービスシステム構成

| 項目 | 内容 |
|--------|---------------------------------------|
| 実施主体 | 松山交通エコネット協議会 |
| 運用期間 | 2009年 1月31日-3月6日 (7-23時) |
| ポート数 | 12箇所 |
| 自転車 | 50台(国産) |
| 利用料金 | 500円で期間中乗り放題 |
| 認証 | Felica ICカード(伊予鉄e-カードを利用) |
| 施錠 | 自動施錠/手動施錠を併用 |
| 参加者 | 会員制:77人 |
| システム | 携帯とウェブで稼働状況/利用ポイントなどを確認 (利用者/管理者用) |
| 在庫調整 | 携帯を利用し、1日2時間帯で確認・調整 |
| メンテナンス | 地元自転車店が2週間に1回実施 |

ビスでは、スイスのカーシェアリング (CS) やパリのベリブなどは先例としてあげられるだろう。利用時間設定は15分から1日単位まで様々に設定されており、保有コスト・駐車駐輪コストが不要であることが大きな特徴である。一般的な家庭において、車は価格が高く固定費がかかる。さらに日本では、使用される時間が1日平均で1~2時間ぐらいと稼働率が低い反面、(持っているから乗るといような) サンクコスト問題もあるだろう。これに対して、カーシェアリングは1台の車を複数人で使用することによって固定費を分散することができる(そのため、規模のメリットが働く)。こうしたシステムを寧ろサブシステムとして、ハイブリッドな統合型のシステムとして再整理している例は、MITが提案しているモバイルメッシュネットワークのような試みがある。これに対して本研究では、携帯電話とRFIDタグを利用した単純なシステムを実際の都市圏に外挿することで、都市システムの中での実装課題を探ることを考える。

(2) 実装サービス

本研究で実装したサービスシステムの構成を表-1に示す。本システムは柏で行われてきたスマートモビリティネットワーク³⁾を下敷きに、複数ポートを都市内に12箇所配置し、それぞれに自転車をおくことでいつでも利用できるシステムを考えた。またICカード、携帯電話とポイントシステムを連動させた協調型交通サービスとして実装し、実際に実験を実施した。

(3) 実装サービス実験

実装サービス実験は1月31日から3月6日にかけて実施した。会員数は約80人で自転車数は50台を用意した。通常のシステムに比べて、会員一人当たりの自転車数は多いものの、これは共同利用の規模が小さいためである。またポートの需要供給のバランスは調整が必要な場合が散見された。都市空間のフリンジにあたる路面電車環状

アクティビティパターンの選択

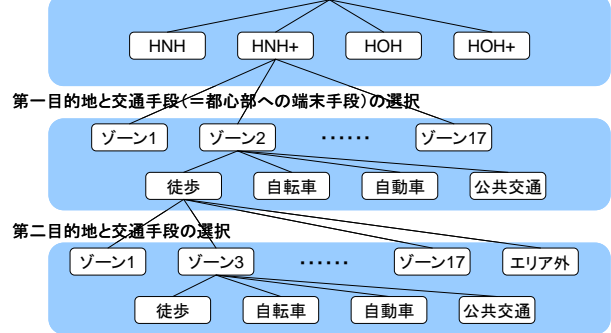


図-1 アクティビティモデルのツリー構造

線駅などでは、朝夕に需要が集中している。これに対して中心市街地では昼間や夕方の利用が多い。また平日、休日でも利用パターンには大きな違いが見られた。こうした多様な違いは、生活-交通パターンやサービス条件に対する感度に対してどのような影響を与えているだろうか、次にアクティビティモデルを用いて定量的な分析評価を実施する。

3. アクティビティモデルの推定

本研究ではBowman & Ben-Akiva型のアクティビティモデルを用いて、都市空間におけるアクティビティパターンの選択行動の分析を行った(図-1)。式(1)-式(5)に各段階の選択確率を示す。

$$\Pr[m_{sub} | s_{sub}, m_{main}, s_{main}, p] = \frac{\exp V_{m_{sub}}^{s_{sub}, m_{main}, s_{main}, p}}{\sum_{m_{sub}} \exp V_{m_{sub}}^{s_{sub}, m_{main}, s_{main}, p}} \quad (1)$$

$$\Pr[s_{sub} | m_{main}, s_{main}, p] = \frac{\exp(V_{s_{sub}}^{m_{main}, s_{main}, p} + S_{s_{sub}}^{m_{main}, s_{main}, p})}{\sum_{s_{sub}} \exp(V_{s_{sub}}^{m_{main}, s_{main}, p} + S_{s_{sub}}^{m_{main}, s_{main}, p})} \quad (2)$$

$$\Pr[m_{main} | s_{main}, p] = \frac{\exp(V_{m_{main}}^{s_{main}, p} + S_{m_{main}}^{s_{main}, p})}{\sum_{m_{main}} \exp(V_{m_{main}}^{s_{main}, p} + S_{m_{main}}^{s_{main}, p})} \quad (3)$$

$$\Pr[s_{main} | p] = \frac{\exp(V_{s_{main}}^p + S_{s_{main}}^p)}{\sum_{s_{main}} \exp(V_{s_{main}}^p + S_{s_{main}}^p)} \quad (4)$$

$$\Pr[p] = \frac{\exp(V_p + S_p)}{\sum_p \exp(V_p + S_p)} \quad (5)$$

ここで、 p はアクティビティパターン、 s_{main} は主要目的地、 m_{main} は主要交通手段、 s_{sub} は副目的地、 m_{sub} は副交通手段、 S はログサム変数を表す。

上位にアクティビティパターン選択、次に目的地選択-交通機関選択を連鎖させる意思決定モデルを考える。段階推定結果を表-2に示す。推定にあたっては居住地別のモデルを推定した。モビリティの選択に制約の少な

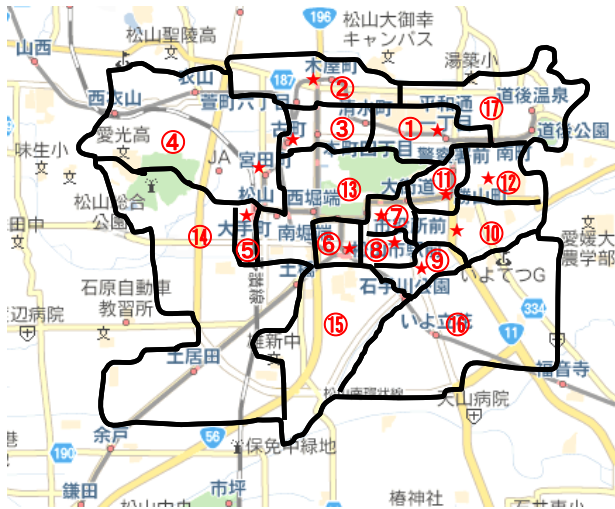


図-2 都心エリア，ゾーン定義

い都心居住者と、制約の多い郊外居住者の比較を行う。ここで、図-2で示す都心エリア内に自宅が存在する人を都心居住者、それ以外の人を郊外居住者と定義する。なお、図中の番号は目的地選択のゾーン番号に対応している。また、ゾーン18は都心エリア外を指し、都心エリアからの帰宅を意味している。

アクティビティパターンの選択については都心居住者と郊外居住者で大きな違いがあることがわかる。都心居住者のアクティビティパターンの決定は確率的であるのに対して、郊外居住者のパターン選択は確定的に行われており、尤度比に大きな違いがみられる。特に休日か平日であるかが、郊外居住者のアクティビティパターンの選択には大きな影響を与えているのに対して、都心居住者は平日も休日も関係なく自由度の高いアクティビティ選択を行っていることが明らかとなった。

次に主要目的地の選択については、郊外居住者と都心居住者でゾーン7, 8, 10でパラメータの正負が逆転する現象が発生しており、目的地選択に対する嗜好の違いが伺える。また郊外居住者の方が目的地選択の意思決定を確定的に行っていることがわかる。交通機関選択については車への依存度が高く、都心居住者、郊外居住者ともに自転車ダミーが負で有意な値を示している。また主要目的地への移動時間価値は郊外居住者の方が高く、都心居住者の場合アクセス時間は有意なパラメータ値を示しておらず、感度は低い。

副目的地の選択についてみると、主目的地の選択と同様に郊外居住者の方が目的地選択の意思決定を確定的に行っていることがわかる。第二目的地へのモビリティ選択に対するパラメータ値をみると、都心居住者の方が時間価値がアクセス時間、旅行時間ともに高いことがわかる。こうした傾向は、郊外居住者の移動制約が大きく時間最短の移動を行っていない可能性を示唆している。また主目的地選択に比べ、アクセス時間の価値が高い。

4. 自転車共同利用評価のための目的地-交通機関選択モデル

次に実際に自転車共同利用を実施した利用者に対して共同利用のサービス変数を変化させたSP調査を実施し、目的地-交通機関選択モデルを推定する。モデル式を式(6)に示す。

$$P(d, m) = P(m | d)P(d) = \frac{\exp\{\mu(V_m + V_{dm})\}}{\sum_m \exp\{\mu(V_m + V_{dm})\}} \quad (6)$$

ここで、 d は目的地、 m は交通機関、 V は効用関数の確定項、 μ はスケールパラメータを表す。

推定結果を表-3に示す。最初30分無料ダミー変数が有意な値を示していることがわかる。こうした結果は、利用者の共同利用の実際の利用パターンにおいて30分以内の短時間利用回数が270回を越えており、全体に占める割合も高いことから、短時間利用層がセンシティブに反応したものと考える。ただし大半の利用が30分以内であることから、収益性の問題を考えた場合、無料性の導入には注意が必要であろう。

駐車・駐輪料金は5%有意には達しないものの、高い t 値を示しており、目的地-交通機関選択においては、駐車・駐輪コストに対する意識が高いことが伺える。このことは共同利用システムが駐輪料金程度の利用料金で利用できる設定を考えれば、それだけで共同利用の消費者余剰が生まれる可能性が高いこと意味する。共同利用の駐輪場の配置位置を計画的に行うことで、駐車駐輪問題との一体的な解決策を検討することの価値が高いといえるだろう。

都心居住者と郊外居住者の違いについては、郊外居住者は鉄道・路面電車に対する利用意識が高いのに対し、都心居住者は低いことから、鉄道・路面電車が郊外から都心への端末交通手段の役割を果たしていると考えられる。また、都心居住者の方がLOS変数に対する感度が全体的に高いことは、アクティビティモデルの副目的地選択と同様、郊外居住者の移動制約の大きさを示唆するものである。

5. 考察

アクティビティモデルの推定結果からは、a)郊外居住者と都心居住者では生活パターンの自由度や、目的地選択嗜好が大きく異なる、b)都心居住者でアクティビティパターン-目的地選択の自由度が高い、c)主要目的地選択において郊外居住者の時間価値が高いのに対して、都心居住者では副目的地への移動に際しての時間価値が高い、d)副目的地への移動に際してはラインホール時間よりもアクセス時間の重要度が高いことなどが明らかとな

表-3 SPデータを用いた目的地-交通機関選択モデル推定結果

| 説明変数 | 全データ | | 都心居住者 | | 郊外居住者 | |
|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | パラメータ値 | t値 | パラメータ値 | t値 | パラメータ値 | t値 |
| 自動車ダミー[中心市街地, 中心北部] | 2.58 | 3.61 | 5.31 | 2.74 | 9.95×10^{-1} | 9.73×10^{-1} |
| 自転車ダミー[中心市街地] | 3.36 | 7.15 | 4.35 | 2.97 | 2.95 | 5.59 |
| 鉄道・路面電車ダミー[松山駅・市駅] | 7.34×10^{-1} | 1.58 | -9.98 | -7.21×10^{-2} | 9.79×10^{-1} | 2.01 |
| 徒歩ダミー[中心市街地] | 1.70 | 4.43 | 2.08 | 3.33 | 1.10 | 2.02 |
| 所要時間[分] | -1.79×10^{-4} | -1.59×10^{-1} | -5.39×10^{-2} | -1.77 | -3.10×10^{-4} | -2.80×10^{-1} |
| 料金[円] | -4.06×10^{-4} | -3.02×10^{-1} | -4.09×10^{-3} | -9.42×10^{-1} | -1.60×10^{-3} | -1.01 |
| アクセス時間[分] | -1.47×10^{-3} | -5.37×10^{-1} | 4.10×10^{-3} | 2.78×10^{-1} | -1.79×10^{-3} | -6.28×10^{-1} |
| 駐車場・駐輪場料金[円] | -2.79×10^{-3} | -1.63 | -5.25×10^{-3} | -1.28 | -2.32×10^{-3} | -9.82×10^{-1} |
| イグレス時間[分] | -1.29×10^{-3} | -6.73×10^{-1} | -1.34×10^{-2} | -1.82 | 4.43×10^{-4} | 1.91×10^{-1} |
| 共同利用自転車最初30分無料ダミー | 1.13 | 2.30 | 2.40 | 2.18 | 1.22 | 2.01 |
| 初期尤度 | | -358.4 | | -129.0 | | -229.3 |
| 最終尤度 | | -195.8 | | -52.7 | | -133.8 |
| 修正済み ρ^2 | | 0.426 | | 0.514 | | 0.373 |
| サンプル数 | | 100 | | 36 | | 64 |

った。

副次アクティビティ選択は回遊性に関する意思決定を示していると考えられるが、回遊時の交通機関選択ではモビリティへのアクセス時間が重要となっており、都心の回遊性を高めていく上では高密度なモビリティ環境の整備が必要不可欠であることが伺える。これに対して、主活動選択では寧ろラインホール時間の短縮に寄与する主たる交通機関のネットワーク整備が重要といえるだろう。

こうした結果は、モビリティシステムの階層的整備の必要性を裏付けるもので、都市空間システムにおける移動の結節性をデザインすることの重要性を示している。これはすなわち、副次アクティビティの発生に際してはラインホール時間よりもアクセス時間が2倍以上の時間価値をもっており、同一交通機関を用いるのであれば主活動におけるイグレス環境の戦略的なデザインが重要であり、共同利用のようにどこでも乗り捨てて、歩きまわった後、異なる場所からアクセスを気にしないで移動できるモビリティ整備の重要性を裏付けるものであるといえるだろう。目的地選択においてもこうしたモビリティ環境の整備が副次的な選択に貢献することが示された。

またSP実験からは、共同利用サービスにおける公共交通との連携、利用料金設計の重要性が示された。こうした結果を、先に示された主-副次活動選択モデルとあわせて考察すると、郊外からの結節部における協調型交通サービスの優遇および公共交通サービスとの連携による主活動から副次活動への自転車への接続性向上と、都心地域の回遊性を高めるためにアクセシビリティの高いポート配置を確保した消費者余剰の高いサービス設計が求められていることが明らかとなった。

しかし、一方で、現実こうしたサービスの導入を考えるなら、インフラ化を進めるのか、広告料で運用する

のか、自己採算性を高めるのかについて、都市規模やネットワーク特性に応じたいくつかのサービスシナリオが考えられよう。したがって今後は、自律運用が可能な協調型交通サービスを実現していく上で、都市空間の経済へ与える影響とサービス設計が可能な利用者モデルの高度化が重要となる。特に都心部では微視的なサービス水準に利用者が影響を受けるとともに様々な料金システムの導入が考えられるため⁵⁾、PPデータを用いて、MCMCを援用した利用者モデルの構築が必要不可欠であろう。

謝辞：なお本研究を実施するにあたって文部科学省科研費基盤A「プローブ技術を援用したデータフュージョン理論による総合的交通行動調査の高度化」（代表：羽藤英二）からサポートを頂くとともに、システムの実装についてはトランスフィールドの高田氏、斉藤氏、林氏の協力を受けた。ここに感謝の意を表す。

【参考文献】

- 1) 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，pp.1-4，2001.
- 2) 交通エコロジーモビリティ財団，自動車共同利用（カーシェアリング）社会実験報告書，2003.
- 3) 渡辺美穂，羽藤英二，自転車の共同利用サービスの実装とその評価に関する研究，ITSシンポジウム論文集，CDROM，2008.
- 4) 羽藤英二，自転車共同利用システムの評価，土木学会土木計画学研究委員会 ワンディセミナー 配布資料，2009.
- 5) 原祐輔・羽藤英二，協調型料金システムの挙動とその理論的特性，土木計画学秋大会論文集，CDROM（予定），2009.