

バイクシェアリングシステムの計画・評価手法に関する一考察

—パリの Vélib'における検討事例を踏まえて—*

A Consideration on Planning and Evaluation Method for Bicycle-Sharing System

— Based on a Case of Vélib' in Paris —*

諏訪嵩人**・高見淳史***・大森宣暁***・原田昇****

By Takahito SUWA**・Kiyoshi TAKAMI***・Nobuaki OHMORI***・Noboru HARATA****

1. はじめに

環境や健康などの観点から自転車利用が見直される中、欧州の都市を中心に「バイクシェアリング」が急速な広がりを見せている。バイクシェアリングとは、都市部において自転車を公共交通手段の1つと位置づけて面的に整備し、共同利用するシステムであり、最近の代表例として2007年7月に運用を開始したフランス・パリ市のVélib'が有名である。

バイクシェアリングシステムは、街中に自転車の借出・返却が可能なステーションを多数配置し、借りる場所と返却する場所の異なる「乗り捨て」を可能としている。すなわち、トリップ単位で利用者が利用したいときに利用でき、利用を止めたいときに返却できることが、利用者から見た特徴の1つである。このシステムを運営しサービスを提供する側は、需要に応じて利用者が「使いたいときに使えて、返したいときに返せる」ような状況になるべく維持できるように、システムの規模、ステーションの配置やラックの数、自転車の再配置方法などを検討することが重要と考えられる。

本研究では、第一に、バイクシェアリングシステムの代表的な事例である Vélib'の需要予測・配置計画手法をレビューし、その特徴と課題を整理する。第二に、その整理を踏まえて、バイクシェアリングシステムにおいては利用者ができるだけ「使いたいときに使えて、返したいときに返せる」ような状況にあることが望ましいとの考えに立ち、システム側の供給要素（自転車台数、ステーション数・配置、ラック数）と利用者側の需要要素（総量、時空間分布）からサービスの利用可能性を評価する手法を提案する。

なお、本稿では1台の自転車を繫留する場所・設備を「ラック」と呼び、複数のラックが1ヶ所に集まったも

のを「ステーション」と呼ぶ。

2. Vélib'の需要予測・配置計画の考え方

(1) 需要予測・配置計画手法の概観

Vélib'の導入に際して、パリ市都市計画局 [APUR : Atelier Parisien d'Urbanisme] によって需要予測が実施され、ステーションの配置が検討されている。その考え方と手順をAPURの報告書¹⁾に基づいて概観する。

a) 着トリップ需要の算出

最初にパリ市域を200mメッシュに分割し、各メッシュの全手段着トリップ需要が着地の分類（大まかには住宅関連、業務関連、商業関連、施設関連の4種）ごとに原単位法で算出されている（図1）。すなわち、住宅関連の着トリップは「居住人口×日平均帰宅回数」、業務関連は「従業員人口×日平均寄社回数」、商業関連（業種別）は「床面積×来店者数原単位」、施設関連は例えば病院であれば「ベッド数×訪問者数原単位」としている。原単位の値はイル・ド・フランス地域圏総合交通調査 [EGT : Enquête Globale des Transports] や他のカウント調査に基づいて与えられている。

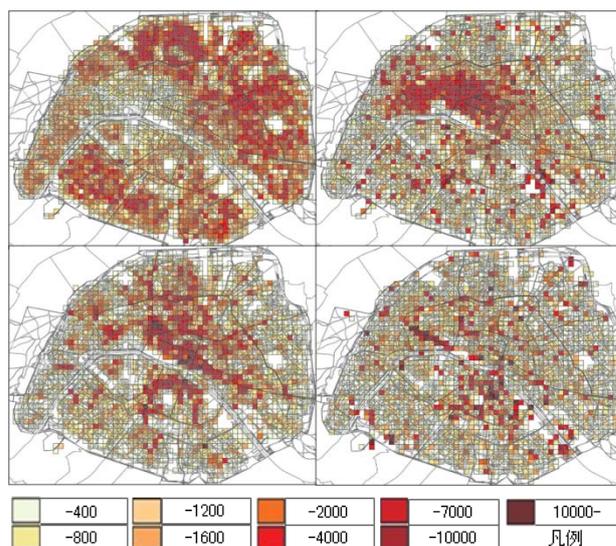


図1 着地分類別着トリップ需要¹⁾

(左上より時計回りに住宅、業務、施設、商業関連)

キーワード：歩行者・自転車交通計画

** 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:03-5841-6234,

E-mail:taka@ut.t.u-tokyo.ac.jp)

*** 正員，博(工)，東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻

**** 正員，工博，東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻

ただし、商業に関しては、EGTのデータに基づいて買回り行動のオーバーカウントを避けるための補正を行うとともに、業種別の「自転車魅力度係数」を導入することで顧客の自転車利用性向を考慮している。また、施設関連のうち一部（スポーツ施設、主要観光地、フランス国鉄の駅など）に関しては、訪問者数・利用者数実績の日平均値をそのまま着トリップ需要として扱っている。以上の着地分類別着トリップ需要を足し上げ、全域の需要（8,259,134トリップ）が推定された。

なお、上記4分類の各々について、全域平均より多くの需要が集中するメッシュに1点、それ未満のメッシュに0点を与えて足し合わせることで、各メッシュの「多様性指標」が算出された。多様性指標の低いメッシュでは自転車のローテーションが少なくなるものと見込まれている。夜間移動需要、地形、自転車関連施設も補完的な要因として考慮されたとある。

b) 区ごとのステーション数の仮設定

次に、各メッシュの着トリップ需要に応じて自転車台数とステーション数を市内各区へ比例配分し、仮設定している。

具体的には、全着トリップ需要（8,259,134トリップ）を導入を想定する自転車総台数（9,000台：既与）で除し、全てのトリップを自転車で行うと仮定した場合の1台当たりトリップ数（918トリップ/台）を求めている。区ごとの着トリップ需要を918で除したものが、各区への自転車配分台数として仮設定された。さらに1ステーション当たりの自転車台数を11台と仮定し、これで自転車配分台数を除すことで、各区のステーション配分数が仮設定された。表1は各区の着トリップ需要、自転車配分台数、ステーション配分数の一部である。

表1 各区の着トリップ需要、自転車配分台数、ステーション配分数（一部）¹⁾

	着トリップ 需要	自転車 配分台数	ステーション 配分数
第1区	288,768	315	29
第2区	209,599	228	21
...
第20区	383,466	418	38
合計	8,259,134	8,998	817

c) ステーション設置基準の設定

フランス建造物監視官[ABF: Architectes des Bâtiments de France]や地区道路部局と共に、ステーションの設置に係る原則（一般的基準、景観基準、機能基準）が定められている。具体的には、配置密度（10ヶ所/km²〜*1）、公

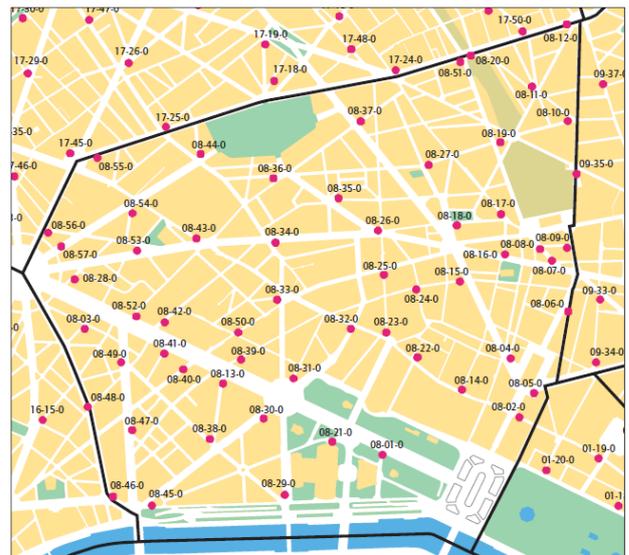
共交通機関との連携、景観の考慮、車道上への設置、横断歩道近傍への設置、視認性の確保、ラック数の上下限などである。加えて、車道上や歩道上などの設置場所ごとの具体的な整備例が提案された。

d) ステーションの配置と規模の決定

次に、既知の中心地、交通結節点、着トリップ需要、各区に割り当てられたステーション数を基に、上述の設置原則と現地調査を考慮して、ステーションの配置場所が特定された。

ステーションの規模は、各ステーションのサービス圏域（ステーションを母点とするネットワークボロノイ図に基づく）を設定したのち、圏域内の着トリップ需要を足し上げ、これに応じた比例配分により各ステーションの「理論上の自転車台数」が定められた。その後、過度な需要があったり必要性の低いものがある場合にはステーションの追加・削除がなされ、最終的な配置提案が決定されている（図2）。

図2 最終的なステーション配置提案（第8区周辺・57ヶ所）¹⁾



(2) 手法の特徴と課題

上述の需要予測・配置計画手法は、メッシュ単位での着トリップ需要に着目し、これに応じたステーション数や「理論上の自転車台数」(∝ラック数)の比例配分に基づくものと要約することができる。しかしながら、不明な点や課題と思われる点は多々残されている。ここでは大まかに3つを指摘したい。

第一に、算出されている着トリップ需要は全手段のものである。商業関連に関して自転車魅力度係数を導入していることを除けば、手段分担の側面、すなわち着トリップ需要全体のうち自転車利用やバイクシェアリング利用がどの程度を占めるか、ならびにそれに影響する要因

(手段、目的、時間等のトリップ属性、性別、年齢等の個人属性など)は考慮されていない。もっとも、バイクシェアリングのような全く新しい交通手段が、どれだけ、どのように利用されるかを事前に予測することは困難と考えられる。

第二に、第一の点の帰結として、バイクシェアリング利用需要の総量は算出されない。本手法は需要に見合った適切なシステム規模の検討は行っておらず、あくまで既与の自転車総台数(×ラック数)をエリア毎の需要に応じて空間的に比例配分するものである。事業の運営を民間の屋外広告会社が手掛けるというスキームでは、広告収入の水準によってシステムの規模がおおよそ決まるのが現実的とも考えられるが、既与の規模が都市交通計画の観点からみて適切かどうか、別個の議論が必要な点と言える。

第三に、ステーション数や「理論上の自転車台数」(×ラック数)を着トリップ需要に応じて割り振ることが必ずしも適切でないケースも想定しうる。すなわち、発着トリップ数の時間的な偏りや変動が大きいステーションでは、自転車や空きラックがなくなって「使いたいときに使えず、返したいときに返せない」状態になる可能性が相対的に高いと考えられる。また、後でも述べるように、あるステーションで借出や返却ができなくても近くのステーションでそれを行うことができる可能性はある。これらは各エリアに設けるべきラック数に影響を及ぼす要因と考えられるが、本手法ではステーション1ヶ所当たり(または自転車1台当たり)のラック数の根拠についての言及はなく、十分な検討がなされたかは不明確である。関連して、メッシュごとに算出された着トリップの多様性指標が自転車の回転率に及ぼす影響に言及しているが、これが配置計画へ定量的に反映されたという記述は見受けられない。

3. 利用可能性を考慮した計画評価手法

(1) 求められる計画評価手法

前章の第一、第二の課題において述べたように、需要の総量を精度よく推計し、それに基づいて計画を立案するというアプローチは困難と考えられる。とすると、何らかの手法で計画された(あるいは稼働中の)システム側の供給要素(自転車台数、ステーション数・配置、ラック数)に対して、利用者側の需要要素(総量、時空間分布)を与えた場合にサービス(ステーションにおいて自転車を借りる、又は返却すること)が利用者にとってどの程度利用しやすいかを評価し、それを計画立案時に考慮するというアプローチが有効と考えた。

評価基準として、利用者にとっては「自転車を借りたいときにステーションに自転車があり、返したいときに

ステーションに空きラックがある可能性(以下では「(サービスの)利用可能性」と呼ぶ)」が重要と考えられる。また、バイクシェアリングは個人レベルの公共交通としての側面が強く、公共サイドから見ても、ある程度の利用可能性をあらかじめ確保することはサービスの公平性の観点から意味を持つ。

そこで、都市内のある地点における、サービスの利用可能性を、APURの手法では考察されていなかった「発トリップ数」や「時間軸」、「ステーションの空間配置」を考慮に入れて、計画を評価する手法を提案する。この手法により、システム導入前に、需要(推定値)と計画供給要素から、サービスの利用可能性を評価し、システム側の供給計画の改善が可能となる。さらに、稼働中のシステムに対しては、需要(観測値)に対するシステム側の供給体制の評価、さらには供給要素の変更(自転車追加、ステーション追加等)が、利用可能性にもたらす影響の予測などが可能になることが期待される。

(2) 評価手法のポイント

バイクシェアリングシステムの利用可能性を評価するにあたり、本研究でポイントと考える事項を説明する。

まず、ステーションが十分密に配置されるバイクシェアリングシステムでは、近隣の複数のステーションへ到達しやすい。前出のVélib'の事例で、①各ステーションにおいて近隣ステーションの自転車台数・空きラック数情報の確認が可能である、②返却したいステーションに空きラックがない場合は15分の猶予が与えられる、③自転車の分布の偏りを正すための再配置の際は、自転車のないステーションが隣接しないようにすることが重視される²⁾——ことは、自転車や空きラックの不足に対して近隣のステーションでカバーすることを意図したものと考えられ、この点を加味できる評価フレームとすることが望ましいと考えられる。

また、ステーションへの自転車の出入りが頻繁に行われていれば、利用可能な自転車や空きラックがない状況に一時的になったとしても、数分(近隣のステーションまで移動するより早いかもしれない)待てば他の利用者による自転車の返却や借出が行われ、それらが利用可能な状況になる可能性は高い。こうした要因の影響を考慮に入れるためには、時間軸方向に拡張した評価フレームを設定することが有用である。

ただし、単純に「自転車や空きラックの絶対数が多い＝利用可能性が高い」とは判断できない。各ステーションにおける借出・返却需要の大小を考慮し、自転車台数や空きラック数がそれに見合う水準であるかを評価することが必要である。

(3) 評価手法の提案

以上を踏まえた1つの提案として、需要に応じて調整したアクセシビリティの概念を時間軸方向に拡張し、バイクシェアリングのサービス利用可能性を評価する手法を以下に述べる。

具体的には、時点 t_0 における地点 x 発トリップのサービスの利用可能性（自転車借出し需要がどの程度満たされるか） $Ac_x^-(t_0)$ と、地点 y 着トリップのサービスの利用可能性（自転車返却需要がどの程度満たされるか） $Ac_y^+(t_0)$ を次式のように定義する。

$$Ac_x^-(t_0) = \sum_t \sum_s \frac{B_s(t)}{BD_s^-(t)} \cdot f(d_{xs}) g(t - t_0) \quad (1a)$$

$$Ac_y^+(t_0) = \sum_t \sum_s \frac{C_s - B_s(t)}{BD_s^+(t)} \cdot f(d_{ys}) g(t - t_0) \quad (1b)$$

ここに、 C_s : ステーション s の全ラック数
 $B_s(t)$: 時点 t ・ステーション s の自転車台数
 $BD_s^-(t), BD_s^+(t)$: 時点 t ・ステーション s における自転車の借出・返却需要
 d_{xs}, d_{ys} : 地点 x, y ～ステーション s 間距離
 f, g : 距離抵抗関数、時間抵抗関数

式(1a)・(1b)の意味するところは、自転車台数（または空きラック数）を借出需要（または返却需要）の大きさで除した値をステーションごとの利用可能性とし、これを目的地の魅力度に相当する変数とした空間的なアクセシビリティを、近い将来の時点まで時間累積したものである。

また時点 t ・ステーション s における自転車の借出需要 $BD_s^-(t)$ と返却需要 $BD_s^+(t)$ は次式で表される。

$$BD_s^-(t) = \int_x O_x(t) \cdot P_{xs}^- dx + \sum_{s'} RD_{s'}^-(t-1) \cdot P_{s't_s} \quad (2a)$$

$$BD_s^+(t) = \int_y D_y(t) \cdot P_{ys}^+ dx + \sum_{s'} RD_{s'}^+(t-1) \cdot P_{s't_s} \quad (2b)$$

ここに、 $O_x(t)$: 時点 t ・地点 x におけるバイクシェアリングを利用する意思を持つ発生トリップ数
 $D_y(t)$: 時点 t ・地点 y におけるバイクシェアリングを利用する集中トリップ数
 P_{xs}^- : 発地 x からの発生トリップのうち、自転車をステーション s から借り出す確率
 P_{ys}^+ : 発地 y への集中トリップのうち、自転車をステーション s へ返却する確率
 $RD_s^-(t), RD_s^+(t)$: 時点 t ・ステーション s においてまだ満たされていない貸出・返却需要
 $P_{s't_s}$: 時点 t ・ステーション s' において満たされなかった $RD_{s'}^-(t), RD_{s'}^+(t)$ が、ステーション s に移動する確率

また、時点 t の自転車台数 $B_s(t)$ は次式である。

$$B_s(t) = \begin{cases} C_s & \text{if } B_s(t-1) - BD_s^-(t-1) + BD_s^+(t-1) \geq C_s \\ 0 & \text{if } B_s(t-1) - BD_s^-(t-1) + BD_s^+(t-1) \leq 0 \\ B_s(t-1) - BD_s^-(t-1) + BD_s^+(t-1) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

さらに、まだ満たされていない貸出・返却需要 $RD_s^-(t), RD_s^+(t)$ は次式である。

$$RD_s^-(t) = \begin{cases} 0 & \text{if } BD_s^-(t) - B_s(t) \leq 0 \\ BD_s^-(t) - B_s(t) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4a)$$

$$RD_s^+(t) = \begin{cases} 0 & \text{if } BD_s^+(t) - (C_s - B_s(t)) \leq 0 \\ BD_s^+(t) - (C_s - B_s(t)) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4b)$$

以上、システム規模（自転車数、ステーション数、ラック数）と需要の時空間的分布から、サービスの利用可能性の定式化を試みた。実際に適用するには $O_x(t), D_y(t)$ の推計、関数 $f \cdot g$ 等の設定が必要となる。また、得られる $Ac_x^-(t_0), Ac_y^+(t_0)$ の値が現実の状況とどう対応するかを把握した上で、値の意味を解釈する必要がある。

4. おわりに

本研究では、パリのバイクシェアリングシステム「Vélib」で取られた需要予測・ステーション配置計画手法を概観し、課題として需要推定の粗さ、適切なサービス規模の議論がないこと、着トリップ数のみに基づく手法の問題点を指摘した。また、その理解を踏まえて、システム側の供給要素と利用者側の需要要素を考慮した、サービスの利用可能性の評価手法を提案した。

今後、バイクシェアリングシステムの計画手法の確立を目指して、提案した評価手法の適用・改善を図る予定である。

本研究は科学研究費補助金・基盤研究(B)「コミュニティ・バイクの地域特性を配慮した適応可能性についての研究」(研究代表者:青木英明(共立女子大学教授)、課題番号:21360297)の一環として実施した。なお、2.は科学研究費補助金・基盤研究(B)「スマートモビリティネットワークの地域展開に関する研究」(研究代表者:原田昇、課題番号:19360228)の成果に基づいている。

補注

- *1 10ヶ所/km²という密度は約340mごとに1ヶ所の割合で存在する状態に相当する(ステーションを母点とする正六角形のボロノイ領域を仮定しての計算)。
- *2 バイクシェアリング事業者へのインタビューにより得た情報である。

参考文献

- 1) Atelier Parisien d'Urbanisme : **Étude de Localisation des Stations de élos en Libre Service Rapport**, 2006.