

自転車共同利用システムの計画手法に関する基礎的研究 ーシステムの利用可能性を考慮した供給要素の検討ー*

A Fundamental Study on Planning for Bicycle-Sharing Systems: Availability-Based Analysis on System Provision*

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. 研究の背景と目的

(1) 研究の背景

環境や健康などの観点から自転車利用が見直される中、自転車を貸出・返却するステーションを街中に面的に配置した自転車共同利用システムが、近年欧米などを中心に急速な広がりを見せ、わが国でも社会実験（例えば札幌市、東京・大丸有地区など）や本格導入（富山市など）が進められつつある。代表例として、2007年7月に運用を開始したパリのVélib'が有名である。

自転車共同利用システムの導入を考えると、政策面（交通計画全体における位置づけ、他の施策との連携など）、運営面（事業主体、運営上の役割分担など）、財政面（整備・運営に要する費用負担のあり方）など、検討すべき事項は多々存在する。中でも交通計画の空間的側面に特に関連するものとして、「どれだけの数量の自転車やステーションをどこに配置するか」の計画がある。

自転車共同利用システムは自転車を借りる場所と返却する場所の異なる「乗り捨て」が可能な点に特徴がある。すなわち、利用者はトリップ単位で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。システムを運営しサービスを供給する側は、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なる。供用開始後に利用状況を見ながらステーションやラック数の調整を行うことが比較的容易なこともシステムの特徴と言えるが、その必要が生じないような計画を事前に立案できれば、より望ましいと考えられよう。

自転車共同利用システムに関する既往の研究や報告では、青木ら¹⁾やDeMaio²⁾のように各地の事例の収集と体

系的整理を行ったものや、鳥海³⁾のように個別事例に関して導入の背景やシステムの概略、利用状況などを報告したものが多く見られる。しかし、ステーションなどの配置計画の手法に焦点を当てた報告や研究は見当たらない。渡辺ら⁴⁾は社会実験で得たデータから利用特性を分析するとともに、手段選択モデルを構築してステーション配置の変更による利用者数の変化を分析しているが、上述した側面からの計画手法を提案するものではない。総じて、自転車共同利用システムの計画検討手法は十分に確立していない状況にある。

(2) 研究の目的

以上の背景のもと、本研究では、大都市への大規模な導入を想定し、需要に適切に応えうる自転車共同利用システムの供給要素（自転車、ステーションやラックの数量と配置）を計画する手法について基礎的な検討を行うことを目的とする。具体的には、

- ・ パリのVélib'とロンドンのLondon Cycle Hire Scheme [LCHS] (2010年7月供用開始)の需要推計・供給要素検討の手法をレビューし、その特徴や課題を明らかにする(2.)。
- ・ 需要に応じた供給要素の計画に資する、システムの利用可能性を評価する手法を示すとともに(3.)、これを東京都心部に適用して、計画手法やシステムのあり方に関する簡略な検討を行う(4.)。

なお、本論文では1台の自転車を繋留する場所や設備を「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. パリとロンドンにおけるシステムの規模と配置の 検討手法：特徴と課題

本章ではパリとロンドンでの大規模な自転車共同利用システムの導入検討事例を比較・考察し、検討手法の特徴と課題を探る。特に、a) 需要の見積もり方と、それに基づく b) 供給要素の検討の仕方に着目して整理する。なお、両事例の検討手法について、より詳しくは諏訪⁵⁾を参照されたい。

キーワード：歩行者・自転車交通計画

** 正員，修(工)，東日本旅客鉄道株式会社

*** 正員，博(工)，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 : takami@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

（１）パリにおける検討事例

パリでは Vélib'の導入に際し、パリ都市計画アトリエ [APUR : Atelier Parisien d'Urbanisme] によりシステムの供給要素が検討された⁶⁾。これは各区レベルの自転車台数やステーション数、ならびにステーションの詳細な配置と規模を検討したものである。以下、表 1 に即して概略を示す。

a) 需要の見積もり方

パリ市域を 200m メッシュに分割し、各メッシュの全手段の日着トリップ需要が、着地分類（大まかには住宅関連、業務関連、商業関連、施設関連の４種類）ごとに主に原単位法で算出された。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から与えられた。

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、販売品目や業態別に定められた「自転車魅力度係数」（値は 0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 のいずれか）を乗じることで顧客の自転車利用性向の差異を反映させている。以上の着地分類別の日着トリップ需要を積み上げ、需要が推計された。

b) 供給要素の検討の仕方

導入を想定する自転車総台数（9,000 台：既与^{*1)}）が上記の日着トリップ需要に応じて市内各区へ比例配分され、

各区の「理論上の自転車台数」とされた。また、1 ステーション当たりの「理論上の自転車台数」を 11 台とする仮定を置き、各区のステーション数が仮に設定された。

次に、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が定められた。これと現地調査の結果を考慮し、かつ既知の中心地、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、ステーションの詳細な配置場所が特定された。

さらに、各ステーションのサービス圏域（ネットワークボロノイ領域）内の日着トリップ需要に応じた案分により、各ステーションの「理論上の自転車台数」が求められた。これに基づき、必要に応じたステーションの追加・削除や、ステーションの規模（ラック数）の検討が行われ、最終的な配置提案がなされている。

（２）ロンドンにおける検討事例

ロンドンでは中心部の Travelcard Zone 1 内を対象区域とする LCHS のシステム全体の規模が、ロンドン交通局 [TfL : Transport for London] により検討された⁷⁾。フィージビリティスタディの一環ではあるが、その報告書中で提案されているシステム規模は現実に予定されているものと同等であることから、基本的に実際の計画と同じ検討手法と考えられる。以下、表 1 に即して概略を示す。

表 1 Vélib'と LCHS の需要推計・供給要素検討の手法

		パリ : Vélib'	ロンドン : London Cycle Hire Scheme
報告書名		セルフサービス自転車のステーション立地に関する調査報告書 (APUR, 2006) ⁶⁾	ロンドン中心部貸出自転車スキームのフィージビリティスタディ (TfL, 2008) ⁷⁾
主な検討内容		- 各区の「理論上の自転車台数」、ステーション数 - より詳細なレベルでのステーション設置原則 - ステーションの配置場所と規模	- 対象区域 (Travelcard Zone 1) 全体の自転車台数、ステーション数、ラック数 - ステーションの設置が有望な or 可能な空間の特定
需要の推計		① 200m メッシュ単位の 1 日当たり着トリップ需要を原単位法で着地分類（住宅関連、業務関連、商業関連、施設関連）ごとに算出し積み上げる。なお： - 基本的に交通手段の区別はない。ただし、商業関連では販売品目や業態別の「自転車魅力度係数」を導入して顧客の自転車利用性向を考慮 - 他の影響要因として、需要の「多様性指標」、地形要因、自転車施設整備状況などを挙げる。が、以降の検討プロセスでは明確に言及されず	① 発地・着地とも対象区域内にあり、かつトリップ長が 1～8km のトリップを共同利用自転車を用いるトリップとみなし、その数を、グレーターロンドン住民のトリップ、ナショナルレールでの来訪者が中心部で行うトリップ*、旅行者のトリップに分けて推計 ※ 駅からのイグレスは、需要の時間的・空間的分布の極端な偏りを招くことと駅周辺に大量の空間を要することから、当初はサービスの対象から除外され、他の追加的なトリップのみを考慮 ② 利用意向調査から目的 or 属性別の「取込率」を設定 ③ ①に②を乗じたものを積み上げて 1 日の需要とする
供給要素の検討	自転車台数	② 全域の総台数（9,000 台）を既与とし、区ごとの日着トリップ需要（①）に応じて各区へ案分。これを各区の「理論上の自転車台数」とする	④ 1 日当たりの需要（③）を「最適な」平均利用回数（8～10 回/日・台）で除し、全体の自転車台数を 6,000 台と設定
	ステーション数	③ 1 ステーション当たりの「理論上の自転車台数」を 11 台と仮定し、②から区ごとのステーション数を仮設定（⑤で再調整）	⑥ パリを参考にした密度基準（最少で 8 ケ所/km ² ）、対象区域の面積、1 ケ所当たりのラック数などから、300（8 ケ所/km ² ）～400（約 10 ケ所/km ² ）が適切と結論
	ラック数	⑥ ⑤と同時に各ステーションの規模＝ラック数を検討	⑤ パリの事例から自転車 1 台当たり 1.7 ラックが最少と見込む。④の台数と合わせて 10,200 ラックと設定
	ステーションの詳細な配置	④ ステーションの設置に関する原則を設定。例えば： - 密度（約 10 ケ所/km²）、ラック数（10～50 台/箇所） - 公共交通機関との連携 - 車道上への設置、横断歩道近傍への設置 - 景観の考慮、視認性への配慮 など ⑤ 設置原則（④）や現地調査結果を勘案し詳細な配置を検討。各ステーションのサービス圏域の着トリップ需要（①）に応じて追加・削除し、箇所数と配置を調整	⑦ 区の交通局担当者らと実施したスタディに基づき、ステーションの設置が有望な場所と可能そうな場所を特定、図示

a) 需要の見積もり方

まず、共同利用自転車を用いるトリップ（本論文では便宜的に「ポテンシャルトリップ」と呼ぶ）の数を、グレーターロンドン住民のトリップ、ナショナルレールでの来訪者が中心部で行うトリップ、旅行者のトリップに分けて推計している。

ここでのポテンシャルトリップは、発地・着地とも対象区域内に位置し、かつ「自転車が他手段に対する時間的優位性を持つ」距離帯としてトリップ長が1~8kmのトリップと定められ、2001年のロンドン地域交通調査[LATS: London Area Transport Survey]のトリップデータ（トリップ長構成比、トリップ生成原単位などを使用）、ナショナルレールの駅利用者数、入込旅行者に関する統計などから推計されている。ただし、ナショナルレール来訪者の中心部でのトリップでは、駅からのイグレスを除いた追加的なトリップのみが推計に加えられている。イグレス需要を加味すると需要の時間的・空間的分布の極端な偏りを招くことや、駅周辺にステーションのための大量の空間を確保することの難しさから、当初からサービスの対象とするのは困難と判断されたためである²。

次に、路上インタビュー及びインターネットによる利用意向調査に基づいて、ポテンシャルトリップのうちシステム利用へ取り込める割合＝「取込率 [uptake]」が設定された。具体的には、仮に共同利用自転車が利用可能ならば利用するか、との問いに「間違いなく利用する」と答えた割合を取込率とし、レジャー10%、通勤者8%、学生12%、国内来訪者6%、海外来訪者10%、平均9%と定められた。この取込率を上述のポテンシャルトリップ数に乗じたものを積み上げ、1日の需要が推計された。

b) 供給要素の検討の仕方

まず、「事業者が最適と考える自転車1台・1日当たり平均利用回数は8~10回/日・台」であるとして、上で推計された需要をこれで除すことにより、自転車の総台数が6,000台と設定された。次にラック数は、Vélib'の事例から最低でも自転車1台につき1.7台分必要であるとし、10,200ラックと見積もられた。

ステーション数についても、Vélib'のステーション密度を参考に8ヶ所/km²が最少の基準とされた。一方、ステーションは多すぎても1ヶ所当たりの自転車台数が少なくなると再配置が大変になると言及している。この両者のバランスから、ステーション数は300~400（1ステーション当たり34~26ラック）が適切とされた。

(3) 両事例の検討手法の比較・考察

a) 需要の見積もり方に関する特徴と課題

以上2つの事例を比べると、対象区域全体の需要を推計しているロンドンに対し、パリでの検討手法は需要をメッシュ単位で推計することで、供給要素の空間分布に

についての細かな検討に生かせるようにしている。

また、パリの手法では主に原単位法によって全手段の着トリップ需要を推計している。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共同利用自転車の利用がどの程度を占めるかや、それに影響する要因（手段、目的、時間などのトリップ属性や、性別、年齢などの個人属性など）は考慮されない。ロンドンの手法では、ポテンシャルトリップの推計や取込率の設定においてこの点が考慮されているが、部分的かつラフである。例えば他のトリップ属性・個人属性を考慮に入れるとともに、利用意向への影響要因を詳細化することで、転換需要をより細かく特定することが期待できよう。

なお、自転車共同利用システムの導入は、手段転換だけでなく目的地の変更やトリップの誘発といった側面でも移動需要を変化させうる。しかし、こうした変化の可能性はいずれの事例においても考慮されていない。もっとも、自転車共同利用システム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精度よく予測することは困難ではある。

b) 供給要素の検討の仕方に関する特徴と課題

パリの手法は、既与の自転車総台数を着トリップ需要に応じて各区へ案分し、これと比例して各区のステーション数を定めるものであった（ただし、1ステーション当たりの「理論上の自転車台数」が11台という比例係数の根拠は不明）。すなわち、上述のとおり手段分担を明確に考慮しない需要推計の帰結と見ることもできるが、需要に見合う絶対的な供給規模を検討するものではない。Vélib'のように運営を民間の屋外広告会社の手掛けるスキームでは、広告収入の水準によって供給規模がおおよそ決まるのが現実的とも考えられるが、既与の供給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である。

一方、ロンドンの手法はまさに全体の供給規模を求めようとしたものである。ただし、推計された全体の需要からこれを求める際の根拠は経験的な値に大きく依存している。先に登場した「最適」な平均利用回数、自転車1台当たりの必要ラック数、ステーション密度はVélib'の例などを参考にしたとあるが、その移転可能性や値の妥当性は明らかでない。

また、両事例のように日単位の需要に応じて供給規模を定めることは必ずしも適切でないと考えられる。発・着トリップ需要の時間的な変動や偏りが大きいステーションや地区では、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想定される。しかし、日単位の分析ではこうした変動が勘案されない。

3. システム利用可能性の評価手法

(1) 問題意識と位置づけ

パリとロンドンの事例で行われたような日単位の分析では、自転車を「使いたいときに使えて、返したいときに返せる」状況がどの程度実現するか、裏返せば「使いたいときに使えず、返したいときに返せない」状況がどのくらい発生するかを分析することができない。しかし、「使いたいときに使えず、返したいときに返せない」事態に頻繁に遭遇するようであれば、多くの人は自転車共同利用システムを「使えない」と判断しよう。従って、システムの利用可能性を評価して供給要素の計画に生かすことは重要と考える。

そこで本章では、“ある時空間分布を持つ移動需要”に対して“ある数量・分布の自転車とラック”を供給した場合、かつ自転車の再配置を行わない場合のシステムの利用可能性を評価する一手法を示す。

なお、システムの供給要素の計画には、①対象区域全体での自転車台数やラック数、ステーション数の計画、②（大規模導入の場合）対象区域を分割したサブ区域単位のそれらの計画、③ステーションの設置場所や規模の詳細な計画、というレベルがあると想定されるが、本章の手法は主に②のレベルに資することを意図している。また現実には、システムの利用可能性のみならず、ステーション設置に要する土地面積上の制約、道路空間の実際の状況、費用面など様々な要因を考慮して計画を立案する必要があるが、本論文ではそこには立ち入らない。

(2) 利用可能性評価の流れ

システム利用可能性評価への入力項目は、移動需要の時空間分布と、供給側として自転車とラックの分布である。前者は、時点 u に地点 i を出発し、時点 v に地点 j に到着するようなトリップ需要の量 $T_{ij}(u, v)$ で表し、その一部は自転車が借りられない場合に潜在化しうると考える。後者の供給要素に関しては、地点 k のラック数を R_k 、時点 t （の終了時）における自転車台数を $B_k(t)$ 、空きラック数を $R_k(t)$ と表し、 R_k と初期時点の自転車台数 $B_k(0)$ を入力する。

ここでは便宜上、「時点」はある長さで区切られた離散的なものとして扱い、「地点」は個々のステーション（のサービス圏域）からサブ区域までのいずれかのスケールに集約あるいは分割されたものとして扱う。また、以下の定式化では、簡単のために、「使いたいときに使えない」事態に遭った人はすぐに利用を諦める（貸出需要は以降の時点に繰り越されない）ものとする。一方「返したいのに返せない」事態に遭った人は、返却を諦めるわけにはいかないため、返せるようになるまで同じ地点で待つものと仮定している。

評価計算の流れは次のとおりである。

- [0] 需要側入力として $T_{ij}(u, v)$ を、供給側入力として R_k と $B_k(0)$ を与える。また、未消化の返却需要 $A_k^0(0)=0$ とする。 $t=1$ として開始する。
- [1] 時点 t ・地点 k において新規に発生する貸出需要（自転車の貸出需要） $g_k(t)$ と着需要（自転車の返却需要） $a_k(t)$ を次式のとおり求める。

$$g_k(t) = \sum_j \sum_v T_{kj}(t, v) \quad (1a)$$

$$a_k(t) = \sum_i \sum_u T_{ik}(u, t) \quad (1b)$$

- [2] 時点 t （の終了時）における地点 k の“仮の”自転車台数 $B'_k(t)$ を次式により求める。未消化の返却需要 $A_k^0(t)$ については[4]で後述する。

$$B'_k(t) = B_k(t-1) + (A_k^0(t-1) + a_k(t)) - g_k(t) \quad (2)$$

上の式の $(A_k^0(t-1) + a_k(t)) - g_k(t)$ は、自転車と空きラックが無尽蔵に存在すると仮定した場合の、時点 $t-1$ から t にかけての自転車台数の変化量を意味する。

- [3] $B_k(t)$ と $R_k(t)$ は 0 以上 R_k 以下の値しか取り得ないため、 $B'_k(t)$ の値の大小により切断される。これらを次式から求める。

$$B_k(t) = \begin{cases} R_k & \text{if } B'_k(t) \geq R_k \\ B'_k(t) & \text{if } 0 < B'_k(t) < R_k \\ 0 & \text{if } B'_k(t) \leq 0 \end{cases} \quad (3a)$$

$$R_k(t) = R_k - B_k(t) \quad (3b)$$

- [4] 時点 t （の終了時）までに満たされず累積している未消化の返却需要 $A_k^0(t)$ を次式から求める。

$$A_k^0(t) = \begin{cases} B'_k(t) - R_k & \text{if } B'_k(t) \geq R_k \\ 0 & \text{if } B'_k(t) < R_k \end{cases} \quad (4)$$

- [5] 時点 t において、新規に生じた需要のうち満たされた貸出需要 $g_k^1(t)$ と返却需要 $a_k^1(t)$ 、満たされない貸出需要 $g_k^0(t)$ と返却需要 $a_k^0(t)$ は、次式となる。これらの値を求める。

$$g_k^1(t) = \begin{cases} g_k(t) & \text{if } B'_k(t) > 0 \\ g_k(t) + B'_k(t) & \text{if } B'_k(t) \leq 0 \end{cases} \quad (5a)$$

$$a_k^1(t) = \begin{cases} a_k(t) - A_k^0(t) & \text{if } a_k(t) \geq A_k^0(t) \\ 0 & \text{if } a_k(t) < A_k^0(t) \end{cases} \quad (5b)$$

$$g_k^0(t) = g_k(t) - g_k^1(t) \quad (6a)$$

$$a_k^0(t) = a_k(t) - a_k^1(t) \quad (6b)$$

- [6] 貸出需要が満たされないとトリップが発生しないため、そのトリップの着地になるはずだった地点および時点の返却需要に変化が生じる。そこで、すべての j と v について、 $T_{kj}(t, v)$ を次の $T'_{kj}(t, v)$ で置き換え更新する。

$$T'_{kj}(t, v) = T_{kj}(t, v) \cdot \frac{g_k^1(t)}{g_k(t)} \quad (7)$$

[7] $t=t+1$ として[1]に戻る。

[5]から、地点 k ・時点 t におけるシステムの利用可能性（または不可能性）の指標として、満たされた（または満たされない）新規の貸出需要・返却需要の割合や、未消化の返却需要の実数などを算出することができる。

4. 東京都心部への適用

本章では前章で示した手法を東京都心部に適用し、需要と供給要素、ならびにシステム利用可能性の関係性を分析する。

（1）需要の推計

a) ポテンシャルトリップの抽出

移動需要の時空間分布を推計するには、需要の時間的変動を追うことのできるデータがなければならない。本研究では、パリの事例のような原単位からの積み上げではなく、ロンドンの事例と同様に交通調査データからポテンシャルトリップを抽出して使用する。

具体的には、平成 10 年東京都市圏パーソントリップ調査の個票データを用いて、ロンドンの事例にもあったトリップ長の条件に加えて他の条件も追加し、より詳細にポテンシャルの有無を判別する。すなわち、以下の条件をすべて満たすトリップを、共同利用自転車への転換のポテンシャルありと見なした。

- ①トリップ長が 0.5～5km である
- ②トリップ目的が送迎でない
- ③交通手段が自転車、船、飛行機でない
- ④荷物の運搬を伴わない
- ⑤自動車トリップの場合、同乗者がいない
- ⑥トリップを行う個人の年齢が 19 歳以上である

条件①は、自転車が他の「どの手段よりも所要時間が短く、都市内交通として最も効率的な移動手段」⁸⁾とされる距離帯を勘案して設定した。トリップ長は基本的に発着小ゾーンの重心間距離とし、それが不適切な場合（小ゾーン内々トリップの場合など）は、各交通手段について仮定した平均速度に、PT 調査で報告されたトリップ時間に乗じて算出した（リンクトリップではアンリンクトリップごとにトリップ長を求め、合計した）。さらに、自転車共同利用システムはリンクトリップを構成する一部のアンリンクトリップのみでの利用も可能なため、リンクトリップ長が 5km 以上のトリップは、アンリンクトリップに分解したうえでポテンシャルの有無を再判定した。

条件③に自転車が含まれているのは、既に自分の自転

車を使用しているトリップが共同利用へ転換することを見込まなかったためである。条件⑥は、海外の主立った自転車共同利用システムが一般に主として成人の利用を意図している点を踏まえて設けた。

なお、本分析はデータを PT 調査に依っているため、以下の検討の対象は平日の需要に限定されている。

b) 取込率の設定

ロンドンの事例に倣って、ポテンシャルトリップに乗じる取込率を設定する。TfL の報告書⁷⁾は、2. で述べたとおりロンドンでの取込率を 8～12%と設定するとともに、パリでの同様の値が 3%であったと報告している。公共交通網が発達しており自転車走行空間の整備が進んでいない東京都心部における取込率は低めと予想し、本研究では上記の値のうち最も低い 3%を一律に仮定した。

c) ポテンシャルトリップの基本的な特性

手法の適用に先立ち、a) で抽出されたポテンシャルトリップがどのような特性を持つか、簡単に見ておく。

ポテンシャルトリップの発生・集中が特に顕著だったのは千代田、中央、港、目黒、品川、豊島、文京、新宿、渋谷、荒川、台東、北区の 12 区であり、以降の分析ではこの 12 区を対象区域とする。対象区域内に発着地を有する全リンクトリップ (5,718,232 トリップ) のうち約 39%がポテンシャルありと判断された。また 5km より長いリンクトリップ長を有するトリップをアンリンクトリップ (全 8,969,294 トリップ) に分解すると、そのうち約 39%がポテンシャルありと判断された。

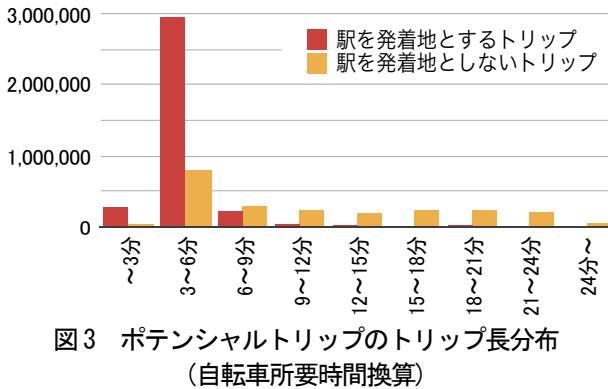
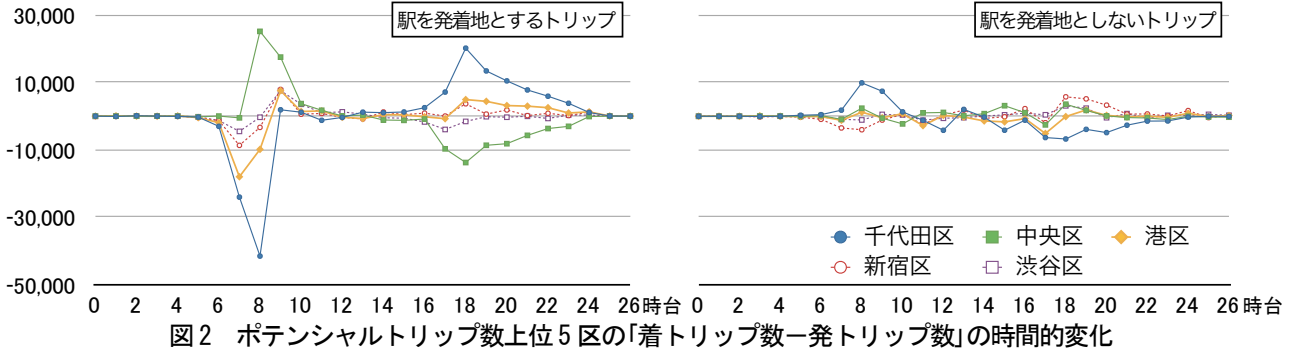
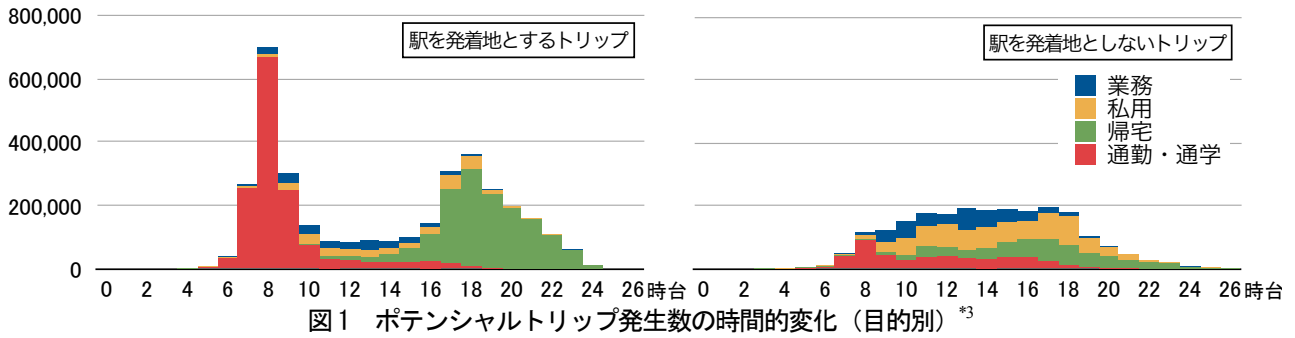
次に、ポテンシャルトリップを「駅を発着地とするトリップ」と「駅を発着地としないトリップ」に分け、それぞれの傾向を調べた（図 1、図 2）。

駅を発着地とするトリップは千代田、中央、港、新宿の各区への集積が顕著であり、また 8 時台の通勤、17～19 時台の帰宅トリップが顕著であった。また千代田区と中央区では発トリップと着トリップのバランスが特に悪い時間帯があった。これは東京駅が両区境付近に位置しており、通勤・帰宅時間帯の区をまたぐイグレス・アクセスが抽出されたことによる。一方、駅を発着地としないトリップの空間的な偏りは小さく、時間分布も日中を通じ安定しており、各時間帯の発トリップと着トリップのバランスも相対的に良好であった。

ポテンシャルトリップのトリップ長分布を自転車での所要時間に換算すると、駅を発着地とするトリップでは平均 4.1 分、発着地としないトリップでは平均 10.8 分であり、特に前者でごく短距離のトリップの割合が顕著に高い（図 3）。

（2）利用可能性が 100%となるようなケース

まず、前節のポテンシャルトリップに取込率を掛けて算出した需要の時空間分布に対し、離散的な「時点」単



位で見た場合に自転車もラックも足りなくなることがないような自転車とラックの数と分布を検討する。

3. の手法に照らすと、この場合はすべての時点 t で未消化の返却需要 $A_k^0(t)=0$ となり、式(2)・(3a)より、

$$\begin{aligned} B_k(t) &= B_k(t-1) + a_k(t) - g_k(t) \\ &= B_k(0) + \sum_{i=1}^t (a_k(i) - g_k(i)) \end{aligned} \quad (3a)'$$

である。すべての時点 t で $0 \leq B_k(t) \leq R_k$ より、

$$B_k(0) \geq -\sum_{i=1}^t (a_k(i) - g_k(i)) \quad (8a)$$

$$R_k \geq B_k(0) + \sum_{i=1}^t (a_k(i) - g_k(i)) \quad (8b)$$

がすべての t について成り立つような最小の $B_k(0)$ と R_k を求めた。

地点のスケールを区単位、時点のスケールを1時間とし、0時台を初期時点として、上記の方法を対象12区の移動需要に適用すると、必要な自転車台数とラック数の分布は表2のとおりとなった。発着需要量が同程度の区

表2 利用可能性が100%となるようなケースで
必要な供給要素（自転車台数、ラック数）

区	必要な供給要素		参考 発着トリップ数の平均
	初期時点の 自転車台数	ラック数	
千代田	1,699 (30%)	1,699 (20%)	27,959 (16%)
中央	54 (1%)	1,575 (19%)	16,531 (10%)
港	969 (17%)	976 (12%)	26,894 (16%)
目黒	289 (5%)	289 (3%)	5,627 (3%)
品川	303 (5%)	370 (4%)	11,517 (7%)
豊島	386 (7%)	554 (7%)	12,923 (7%)
文京	313 (5%)	516 (6%)	8,095 (5%)
新宿	680 (12%)	1,058 (13%)	27,162 (16%)
渋谷	261 (5%)	382 (5%)	16,945 (10%)
荒川	296 (5%)	296 (4%)	3,347 (2%)
台東	260 (5%)	434 (5%)	8,607 (5%)
北	232 (4%)	241 (3%)	7,421 (4%)
合計	5,472 (100%)	8,390 (100%)	173,023 (100%)

※（ ）内は割合

でも必要なラック数には差があり、例えば発・着バランスの特に悪い千代田区に比べ、偏りの小さい新宿区では必要なラック数が少なく済むことが確認できる。

なお、ロンドンの事例でナショナルレールの主要駅からのイグレス需要がサービス対象外とされたこと（2.（2）を参照）に倣い、対象とする需要から駅を発着地とするトリップを除外すると、必要な供給規模はおおよそ4割少なくなる。

（3）システムの規模に制限のあるケース

システムの計画に際しては、パリの事例のように全体の規模（自転車の総台数やラックの総数）が既与とされることもあり得る。それが前節で検討した規模よりも小さい場合や、サブ区域への配分方法が適切でない場合には、利用不可能となる事態が生じる。

本節では、[a]システムの規模（自転車総台数）がより少ない場合、[b]サブ区域への配分方法を変化させた場合、[c]駅を発着地としないトリップを需要に含める場合と含めない場合に、満たされない貸出需要がいつどこで、どの程度生じるかを分析し、その差異を検討する。[b]のサブ区域への配分方法としては、①APUR が採用した日着トリップ需要に応じた比例配分と、②前節で求められた各区の自転車の初期必要台数のシェアに応じた配分の両方を比較する。

なお、本節では貸出の局面のみについての結果を示す。これは、「返したいときに返せない」という状況に比べて「使いたいときに使えない」という状況のほうが、サービスの利用に至らないという意味で問題が大きいと判断したためである。そこで、3.の手法においてラック数 R_k は十分に大きく、未消化の返却需要 $A_k^0(t)$ は発生しないと仮定した。加えて、同一時点内の自転車の複数回利用は考慮しないものと仮定し、式(2)を次式のように改めて適用した。

$$B'_k(t) = B_k(t-1) + a_k(t-1) - g_k(t) \quad (2)'$$

ただし、上で置いた仮定のため前節の実数値との比較は不可能である。

満たされない貸出需要の割合の空間的分布を、サブ区域への配分方法①と②とで比較したものを図4に示す。図は駅を発着地とするトリップを需要に含めない場合であるが、これを含めるか否かで傾向に大きな差はなかった。満たされない貸出需要の割合は規模が小さいほど高く、どちらの配分方法でもラックの総数を 4,000 台にま

で減らすと約半分が満たされない。満たされない貸出需要の絶対数にはほぼ差がないが、①では目黒、文京、荒川、北の各区で多く、②では利用可能性がどの区でも同等となる点が異なっている。すなわち、配分方法②では利用可能性の空間的な偏りを抑えることができており、公平なサービスレベルが提供できるという点でより適切と考えられる。

満たされない貸出需要の割合の時間的変化を、全トリップを対象需要とした場合と駅を発着地とするトリップを除外した場合とで比較したものを図5に示す。図は配分手法②の場合であるが、①でもほぼ同様の傾向であった。全トリップを対象需要とした場合、8、17、18 時台に満たされない需要の割合の顕著な上昇が見込まれるのに対し、駅を発着地とするトリップを除外した場合は極端な偏りが解消されている。すなわち、駅を発着地とするトリップを対象需要に含めると、自転車が余分に必要となる上に、自転車の時間的な過不足が顕著となる。計画において、駅を発着地とするトリップをサービスの対象外とすることは有効な選択肢と考えられる。

5. 結論と今後の課題

本論文では、第一に、パリとロンドンにおける自転車共同利用システムの導入検討手法をレビューし、それらが日単位のトリップ需要の推計に基づいてラフに供給要素の計画を行っていることなど、手法の特徴と課題を明らかにした。第二に、システムの供給要素の計画に際して、需要の時空間分布からシステムの利用可能性を評価

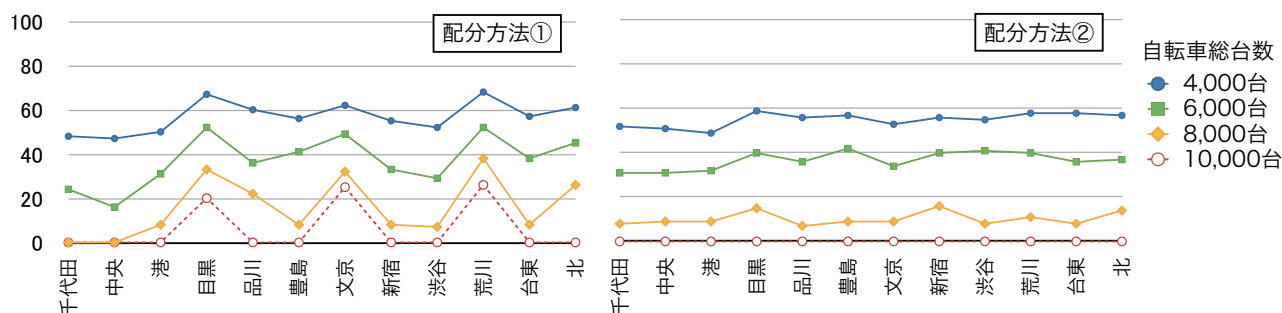


図4 満たされない貸出需要の割合 (%) の空間的分布
(ともに 駅を発着地とするトリップを対象需要から除外した場合)

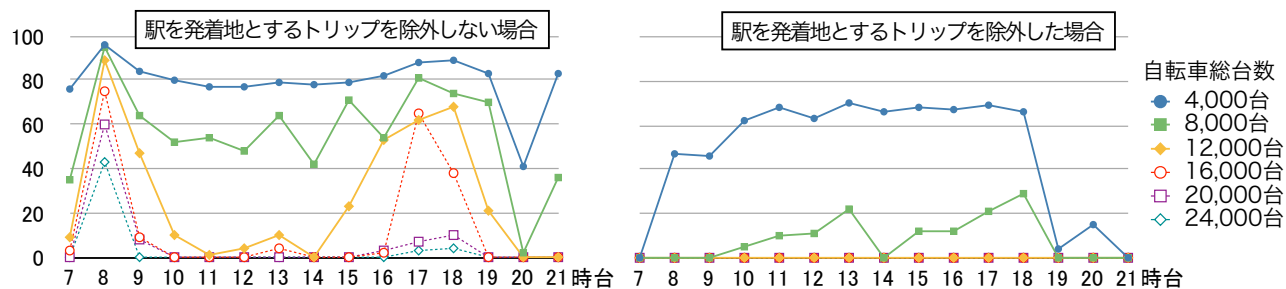


図5 満たされない貸出需要の割合 (%) の時間的変化 (ともに配分方法②)

することを提案し、その手法を示した。また、これを東京都心部に適用し、需要分布その他に関する仮定のもとでの結果ではあるが、次のことを示した。

- ・ 1 日の発着需要量が同程度でも、発需要と着需要が顕著に偏る時間帯のない区では、サービスレベルを維持するのに必要なラック数は相対的に少ない
- ・ 需要の時間変化を考慮して配分することで、APUR が採用した日着トリップ需要に応じた配分方法よりも、サービスレベルの空間的な公平性が維持される
- ・ 駅を発着地とするトリップを対象需要に含めると、サービスレベルの維持により大きな供給規模を要するとともに、その時間的公平性の確保が困難となる今後の課題としては以下のことが挙げられる。
- ・ 分析スケールの時間的・空間的な詳細化
- ・ 需要推計の精緻化 (他のトリップ属性・個人属性、細かな空間的要因、システム利用可能性、料金、サービス時間帯の影響の考慮、目的地変更や誘発需要の考慮など)、ならびにそれと供給側の評価を組み合わせでのシミュレーション
- ・ 発着需要のバランスと土地利用特性の関係の分析
- ・ 供用開始後の利用実績データを用いた利用可能性の評価や運用計画の策定への展開

謝辞 本研究は科学研究費補助金・基盤研究(B)「コミュニティ・バイシクルの地域特性を配慮した適応可能性についての研究」(課題番号: 21360297) の一環として実施した。なお、2.の一部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」(課題番号: 19360228) の成果に基づいている。また、PT調査データは東京都市圏交通計画協議会から使用許諾をいただいた。ここに記して謝意を表します。

補注

- *1 文献6)には3,000 台、7,000 台での漸進的導入案も示されているが、最終的には9,000 台での計画提案がなされている。
- *2 このため、当面は駅から離れた場所にステーションを置き、鉄道イグレス需要に対応しないことが提案されている⁷⁾。
- *3 通勤・通学目的には「勤務先へ」「通学先へ」を、私用目的には「買い物へ」「食事・社交・娯楽へ」「観光・行楽・レジャーへ」「その他私用へ」を、業務目的には「販売・配達・仕入・購入先へ」「打合せ、会議、集金往診へ」「作業・修理へ」「農林漁業作業へ」「その他作業へ」をそれぞれ含む。

参考文献

- 1) 青木英明, 望月真一, 大森宣暁: 欧州のコミュニティバイク計画と公的事業の持続可能性について, **交通工学**, Vol.43, No.2, pp.55-64, 2008.
- 2) Paul DeMaio : Bike-sharing: History, Impacts, Models of Provision, and Future, **The Journal of Public Transportation**, Volume 12, No.4, 2009.
- 3) 鳥海基樹: 屋外広告物でワンコイン・レンタサイクルの錬金術?, **季刊まちづくり** 0804, pp.70-75, 2008.
- 4) 渡辺美穂, 羽藤英二: 柏の葉キャンパスにおける自転車共同利用サービスの利用実態とポート配置の評価に関する研究, **第7回 ITS シンポジウム 2008 Peer-Review Proceedings**, pp.25-30, 2008.
- 5) 諏訪嵩人: 自転車共同利用システムの計画手法に関する基礎的研究, 東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻修士論文, 2010.
- 6) Atelier Parisien d'Urbanisme : **Étude de Localisation des Stations de élos en Libre Service Rapport**, 2006.
- 7) Transport for London : **Feasibility study for a central London cycle hire scheme – Final report November 2008**, 2008.
- 8) 国土交通省道路交通安全対策室, 警察庁交通規制課: 自転車利用環境をとりまく話題, 「**第1回新たな自転車利用環境のあり方を考える懇談会**」資料, 2007.
http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/bicycle_environ/1pdf/3.pdf
(アクセス: 2010 年 2 月 25 日)

自転車共同利用システムの計画手法に関する基礎的研究 ーシステムの利用可能性を考慮した供給要素の検討ー*

諏訪嵩人**・高見淳史***・大森宣暁****・原田昇*****

自転車共同利用システムの普及が進んでいるが、その計画手法、特に供給要素の計画手法は確立されていない。本論文では、第一に、パリとロンドンにおける自転車共同利用システムの導入検討手法をレビューし、需要の推計や供給要素の計画の特徴と課題を明らかにした。第二に、システムの供給要素の計画に際して、需要の時空間分布からシステムの利用可能性を評価することを提案し、その手法を示した。また、これを東京都心部に適用し、需要の時空間分布を考慮して供給要素を配分することや、駅を発着地とする需要を計画対象から除外することにより、利用可能性の時間的・空間的公平性の確保が期待されることを示した。

A Fundamental Study on Planning for Bicycle-Sharing Systems: Availability-Based Analysis on System Provision*

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

Although bicycle-sharing systems are spreading over the world, planning method for them is not well-established. This paper first overviews the planning approach which were taken for the bicycle-sharing systems in Paris and London. Then we propose availability-based approach to system provision planning, and apply it to Tokyo central area. As a result, it shows the advantage of the approach which takes account of space-time distribution of demand and the exclusion of railway station related demand, in terms of spatial fairness and temporal stability of service availability.