

都市内交通シミュレーションモデルによる コミュニティサイクル導入施策のシナリオ分析

森 健矢¹・中川 大²・松中 亮治³・大庭 哲治⁴・尹 鍾進⁵・藪井 史輝⁶

¹学生会員 京都大学大学院 工学研究科 都市社会工学専攻 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)

E-mail:k.mori@urban.kuciv.kyoto-u.ac.jp

²正会員 京都大学大学院 工学研究科 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)

E-mail:nakagawa@urban.kuciv.kyoto-u.ac.jp

³正会員 京都大学大学院 工学研究科 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)

E-mail:matsu@urban.kuciv.kyoto-u.ac.jp

⁴正会員 京都大学大学院 工学研究科 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)

E-mail:tetsu@urban.kuciv.kyoto-u.ac.jp

⁵正会員 京都大学大学院 工学研究科 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)

E-mail:j.yoon@urban.kuciv.kyoto-u.ac.jp

⁶非会員 ジェイアール西日本コンサルタンツ株式会社

(〒532-0011 大阪府大阪市淀川区西中島5丁目4番地20号中央ビル9階)

E-mail:yabui-h@jrnc.co.jp

近年、欧州の各都市において、自転車を公共交通手段として活用するコミュニティサイクルの導入が進んでおり、わが国においても導入の気運が高まっている。しかしながら、導入にあたっては、既存の公共交通機関との関係を十分に考慮した上で、導入規模や料金体系などの施策内容を検討する必要があるが、わが国においては精緻な評価が行われているとは言い難い。

そこで、本研究は、公共交通機関の一つとしてコミュニティサイクルを位置付け、京都市を対象に料金体系と導入規模の異なる大規模なコミュニティサイクル導入施策を評価し、コミュニティサイクルを導入した際の公共交通の利便性向上効果を定量的に明らかにすることを目的とする。具体的には、コミュニティサイクルによる移動を再現できる都市内交通シミュレーションモデルを構築し、コミュニティサイクル導入時の状況をシミュレートすることで、コミュニティサイクルの需要や公共交通利用者の一般化費用を求め、利便性向上効果を計測する。

Key Word: *community cycle, simulation model, scenario analysis*

1. はじめに

近年、欧州では、パリやロンドンをはじめとする多くの都市で、大規模なコミュニティサイクルの導入が進んでいる。コミュニティサイクルとは、サイクルポート(以下、ポート)と呼ばれる専用の自転車貸出・返却場所を複数設置し、ポート間であれば時間・場所を問わずに貸出・返却が行える自転車共同利用システムである。わが国においても、低炭素型都市の実現にむけて、都市交通手段の一つとして自転車交通が見直されつつあり、コミュニティサイクルの導入を検討している都市は多く、社会実験の実施や本格的に導入した都市も少なくない。

コミュニティサイクルの導入を成功させるために重要なことは、コミュニティサイクルを公共交通の一部として捉えて、既存の公共交通機関の弱点を補完し、都市全体のモビリティを向上させることだと考えられる。つまり、コミュニティサイクル

導入を実現させるには、欧州の成功例を参考にしつつもそれぞれの都市が持つ都市構造、既存の都市交通網を考慮し、ポートの設置数やその位置などのハード面に加え、料金体系などソフト面も併せて、コミュニティサイクル導入施策の内容を検討していくことが求められる。

そこで、本研究は、公共交通機関の一つとしてコミュニティサイクルを位置付け、京都市を対象に料金体系と導入規模の異なる大規模なコミュニティサイクル導入施策を評価し、コミュニティサイクルを導入した際の公共交通の利便性向上効果を定量的に明らかにすることを目的とする。具体的には、コミュニティサイクルを公共交通機関の一つとして組み込んだ都市内交通シミュレーションモデルを構築し、コミュニティサイクル導入時の状況をシミュレートすることで、コミュニティサイクルの需要や公共交通利用者の平均一般化費用を求め、利便性向上効果を計測する。

2. 既往研究のレビューと本研究の特徴

コミュニティサイクルの導入事例や社会実験から得られた知見を、計画手法や利用状況などに関して整理している既往研究としては、高見ら¹⁾、DeMaio²⁾などの研究が挙げられる。高見ら¹⁾はロンドンの導入事例を対象として、需要予測やポートの設置基準などの計画手法、2010年7月の導入から2010年11月時点までの利用状況を整理し、ポートの配置計画において需要の時空間的偏りが十分に考慮されていないことを指摘している。DeMaio²⁾はコミュニティサイクルの歴史を紹介するとともに、世界各都市で導入されているコミュニティサイクルの運営形態ごとに利点と欠点を整理し、今後の指針を示している。これらの研究は個別の導入事例に関する導入の背景やシステムの概略、利用状況などを報告することとどまり、未導入都市に対する導入効果を分析しているものではない。

コミュニティサイクルの施策内容に関する研究として、佐藤ら³⁾、諏訪ら⁴⁾、Linら⁵⁾の研究があげられる。佐藤ら³⁾は2009年に名古屋市で実施されたコミュニティサイクルシステムの社会実験によって得られたデータを用いて、利用者の行動特性を把握した上で貸出頻度モデルや返却頻度モデルを構築し、大規模なコミュニティサイクルを導入する場合の、ステーション(ポート)の設置場所について定量的に検討した結果、大通りに面したポートでコミュニティサイクルを利用する傾向が強いことを明らかにしている。諏訪ら⁴⁾はコミュニティサイクルの需要の時空間分布と、自転車のラック数を入力データとするシミュレーションモデルを構築し、これを東京都心部に適用することで、サービスレベルの空間的公平性を維持するポートの設置案を提案している。Linら⁵⁾は仮想ネットワーク上で、ポートの設置位置や設置数、自転車道のネットワーク構造、利用者の選択経路などを決定するモデルを提案し、感度分析からポート設置数の増加や自転車道整備が利便性の向上につながることを明らかにしている。しかし、これらの研究は、コミュニティサイクルの導入による利便性の向上効果を定量的に明らかにしておらず、実際の都市を対象として、既存の交通機関や都市構造を考慮したものではない。

以上より、コミュニティサイクル未導入の都市に対して、既存の交通機関の利用を含めた個人の行動まで考慮して公共交通の利便性を定量的に分析した研究や、導入効果を計測した研究は十分に蓄積されているとは言いがたい。これらを踏まえ、本研究の特徴として、以下のようない点が挙げられる。

- ・ 京都市を対象に、コミュニティサイクルを公共交通機関の一つとして組み込んだ都市内交通シミュレーションモデルを構築している点。
- ・ 構築したモデルを用いてコミュニティサイクルを

含む公共交通の利便性を定量的に評価している点。

3. 都市内交通シミュレーションモデルの構築

(1) 道路・鉄道ネットワークの表現

道路ネットワークは、主要交差点およびバス停留地点を中心に1,120ノードを設定する。また、国道、幅員5.5m以上の地方道、高速道路、および乗合バスの走行する道路をノードごとに区切った両方向計2,760リンクを設定する。高速道路として名神高速道路を設定し、京都東IC、京都南IC、大山崎ICを考慮する。バスは道路ネットワーク上を走行するものとし、11事業者の各路線計489系統を考慮する。

鉄道ネットワークについては、駅をノード、路線を相対する2本のリンクとして表現し、京都市内を運行する7事業者15路線、計55系統108駅を考慮する。バス・鉄道の運行経路、ダイヤについては平成21年8月時点のものを利用する。

(2) 公共交通の表現

平成12年に実施された第4回京阪神都市圏パーソントリップ調査のデータからODペア、出発時刻、ユニットサイズなどのデータを持った乗客ユニットを作成する。乗客ユニットの移動モードはバス、鉄道、コミュニティサイクル、徒歩とする。乗客ユニットは、30分ごとに更新されるノード間の最小一般化費用に基づいて移動モードを含む移動経路を選択するものとする。ノード間の最小一般化費用は以下のように求める。

まず、道路ネットワークにおけるリンクの所要時間からバスの所要時間を求める。次に、バス、鉄道それぞれの運行頻度を求める。運行頻度は、現在時刻の20分前から40分後までの系統ごとの運行本数で表わし、系統ごとに所要時間と時間価値、運賃から一般化費用を求める。また、コミュニティサイクルに関しては、道路ネットワークにおけるリンク長と自転車走行速度から、ポート間の一般化費用を算出する。自転車の走行速度は、国土交通省作成の費用便益マニュアル¹⁴⁾を参考に167m/分として、他の交通手段に比べて自転車利用が有利とされている約5km以内の移動を想定し経路探索時には30分未満で移動できるポート間の一般化費用を求めるものとする。これらにより目的地へ直通する(コミュニティサイクルの場合は30分未満で移動できる)交通機関のみを考慮した各ノード間の交通機関別最小一般化費用を得る。

次に、乗換を考慮した最小一般化費用を求め、直通する場合の一般化費用と比較して、費用が小さい方を採用する。乗換を考慮した最小一般化費用を求める際には、駅内の移動など、乗換経路ごとの乗換に対する抵抗感を

費用に換算し加算する。

続いて、乗換回数を1回ずつ増やしていき、以下の式(1)で表わされる交通機関別の最小一般化費用を求める。なお、乗換は経路探索時において5回まで考慮するが、乗客ユニットが乗換地点に到達した時点で、その地点における最小一般化費用を用いて経路を再決定するため、実際のユニットの移動に関して乗換回数に制限はない。

$$MGC_{i,j} = \min[TV \cdot t + P + \sum R_k] \quad (1)$$

ただし、

$MGC_{i,j}$: ノード i, j 間の最小一般化費用(円)

TV : 時間価値(円/分), t : 総所要時間(分)

P : 総費用(円), R_k : 乗換経路 k に対する抵抗感(円)

(3) コミュニティサイクルの表現

パリの導入事例のように約300mおきに高密度にポートを設置する施策案を設定する際、本モデルで設定しているノードの密度よりポートの密度が高くなる場合を考慮する必要があるため、本モデルでは、一つのノードに複数のポートが集積しているとして扱うこととする。なお、各ポートのラック数を100、シミュレーション開始時刻の午前3時時点の自転車台数を50台、1分間の最大貸出可能ユニット数と最大返却可能ユニット数を20ユニットと設定する。

また、コミュニティサイクルの利用において、実際にはポートの状況により貸出・返却が行えない場合が発生すると考えられるため、ポートごとに貸出待ち列と返却待ち列を設定し、10分ごとの自転車貸出回数と返却回数から貸出頻度と返却頻度を算出する。乗客ユニットが自転車の貸出を行う際には、一度貸出待ち列に並び、貸出待ち列の先頭のユニットから順に貸出を行っていくものとする。コミュニティサイクルの利用が目的地までの最小一般化費用となる場合は、ポートに存在する自転車台数が貸出待ち列の人数より小さい、つまり確実に貸出が行える場合のみコミュニティサイクルを利用するものとする。また、自転車の返却を行う際には、貸出時と同様に、一度返却待ち列に並び、列の先頭のユニットから順に返却を行っていくものとする。ユニットが返却予定ポートに到達した際は、返却予定ポートで返却を行う場合の一般化費用と、利用を続けた場合の一般化費用を算出し、値が小さいほうの行動をとる。

(4) 自動車交通の表現

乗客ユニットと同様に、第4回京阪神都市圏パーソナリティ調査のデータからODペア、出発時刻、ユニットサイズなどのデータを持つ自動車ユニットを作成する。自動車ユニットがリンクを走行する際の走行速度は、J・Drakeによって提唱されている $K \cdot V$ 式¹⁴⁾で算出する。

道路ネットワークを走行する自動車ユニットは、30分ごとに更新される最短所要時間経路情報に従って経路を選択することとし、リンクごとの走行速度から得られる走行所要時間を利用し、動的計画法に基づいて全ノード間の所要時間を計算する。

(5) 現況再現性の検証

自動車交通に関して、本モデルのネットワークの範囲内にある20区間について、平成17年道路交通センサス¹⁵⁾に記載されている平成11年道路交通センサスの実測値とモデルによる計算結果の相関係数は0.88と良好な結果が得られた。また、駅間乗車人数の再現性を検証するため、対象とする鉄道路線の中から京都市営地下鉄烏丸線上りの駅間乗車人数を、平成13年版都市交通年報¹⁶⁾の実測値とモデルによる計算結果の相関係数は0.96と良好な結果となり現実に即した結果が得られたといえる。なお、地下鉄烏丸線の実測値は平成10年の交通調査に基づく値である。

4. コミュニティサイクル導入施策のシナリオ設定

導入施策のシナリオは、利用料金の設定を2案、ポートの設置規模を3案設定し、その組み合わせの全6シナリオを設定する。利用料金の設定を表1に、ポートの設置規模の設定を表2に、設定するシナリオを表3に示す。

利用料金の設定に関しては、欧州での導入事例に多くみられる、(A)利用開始から30分未満の利用料金を無料

表1 利用料金の設定

シナリオ	30分まで	60分まで	90分まで	120分まで	それ以降
(A)	無料	200円	500円	1000円	30分につき+500円
(B)	200円	350円	500円	1000円	30分につき+500円

表2 ポート設置規模の設定

シナリオ	ポート数
中心部・小規模	32
中心部・大規模	131
都市全体	136

表3 設定するシナリオ

シナリオ	ポート設置規模の設定			
	中心部・小規模	中心部・大規模	都市全体	
料金の設定	(A)	中心部・小規模・無料	中心部・大規模・無料	都市全体・無料
	(B)	中心部・小規模・有料	中心部・大規模・有料	都市全体・有料

とするものと、(B)利用開始から 30 分未満の利用料金を 200 円とし、バスの初乗り運賃 220 円と同程度にする二つの料金体系を設定する。なお利用料金の設定においては、わが国で初めての本格導入事例である、富山市のシクロシティ富山の料金 ④を参考にした。

ポートの設置規模に関しては、都市中心部のみに高密度にポートを設置し、その規模に差異を設けた 2 案と、他の 2 案に比べ低密度にする代わりに都市全体にポートを設置する案の、計 3 案を設定する。具体的な設置案を図 1、2、3 に示す。

5. コミュニティサイクルの需要の推計

自転車台数に制限を設けず、貸出・返却が自由に行えるように設定した都市内交通シミュレーションモデルと、各ポートの自転車台数に制限を設けて貸出不可能・返却不可能となる場合を考慮した都市内交通シミュレーションモデルの 2 つモデルによって需要の推計を行う。貸出・返却が自由に行えるように設定したモデルによる計算結果を需要 α 、自転車台数に制限を設けた場合の計算結果を需要 β とする。需要 β 推計時は、乗客ユニットの選択する経路は経路選択を行う時点の各ポートの自転車台数によって決定されるため、需要 α 推計時とは異なる経路を選択することによって発生した需要も含まれることとなる。

中心部・大規模・無料と都市全体・無料のシナリオにおいて、午前 7 時から午前 10 時までの、需要 α 推計時

の各ポートの貸出台数から需要 β 推計時の各ポートの貸出台数を減じた値を図示したものを図 4 に示す。値が負となる場合は、乗客ユニットが経路の変更を迫られたことにより発生した需要と考えられる。ポートの設置密度の高い中心部・大規模・無料のシナリオでは、需要 α 推計時と需要 β 推計時の貸出台数の差が大きいポートの周辺で、経路の変更による需要が発生している。これは、自転車台数の制限によって貸出を予定していたポートで

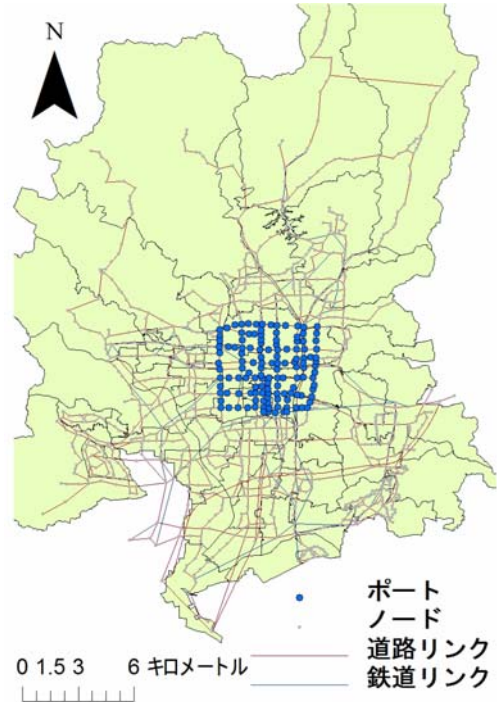


図2 ポート設置案：中心部・大規模



図1 ポート設置案：中心部・小規模

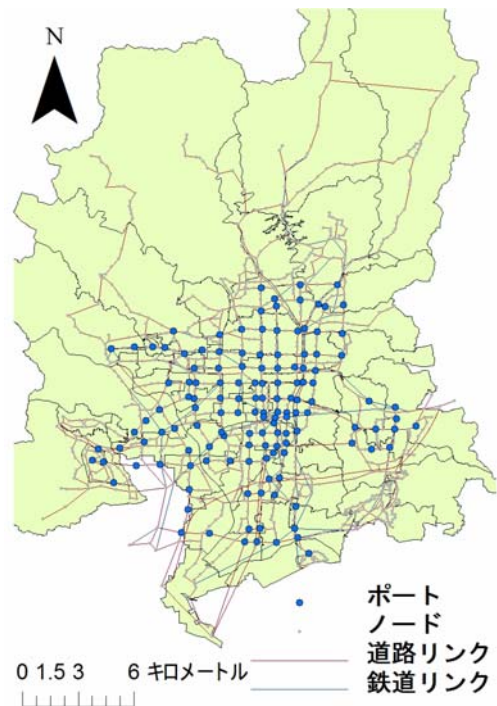


図3 ポート設置案：都市全体

貸出が行えなかった場合に、周辺のノードに設置されたポートに移動して貸出を行ったためと考えられる。よって、ポートを高密度に設置することにより、コミュニティサイクルの利用を諦めることを防ぐ効果があることが分かる。

次に、需要 β の推計結果から、各シナリオの導入自転車1台の1日の平均利用回数を求めて図示したものを、図5に示す。30分未満の利用料金を無料とする場合は、短時間の利用に対する抵抗感が小さいため平均利用時間が短く、自転車1台あたりの利用回数が多くなると考えられる。これは、都市全体にポートを設置した場合でも平均利用時間の大きな増加はみられないことから伺える。ここで、自転車1台あたりの利用回数は中心地・小規模・無料で9.71回、中心地・大規模・無料で7.37回、都市全体・無料で5.81回となった。2009年時点において、パリの導入事例で約4.0回、バルセロナで約9.2回⁸⁾となっており(いずれの例も30分未満の利用料金は無

料)、パリの事例を上回る結果となった。

6. 公共交通利用者の一般化費用に与える影響

需要 β 推計時の計算結果より、各シナリオの公共交通利用者の平均一般化費用を図示したものを、図6に示す。なお、計算結果は自動車利用と公共交通利用の転換を考慮していないものである。30分未満の利用料金を200円とするシナリオは、現況よりも平均一般化費用が増加している。これは、ポートの自転車台数による貸出・返却待ち時間の発生や、経路の変更による一般化費用の増加の影響が現れたためと考えられる。同様の事態は、30分未満の利用料金を無料とする場合でも発生していると考えられるが、現況よりも一般化費用が減少するという計算結果となった。このことから、30分未満の利用料金を無料とする料金設定は、現況の経路からの一般化費用

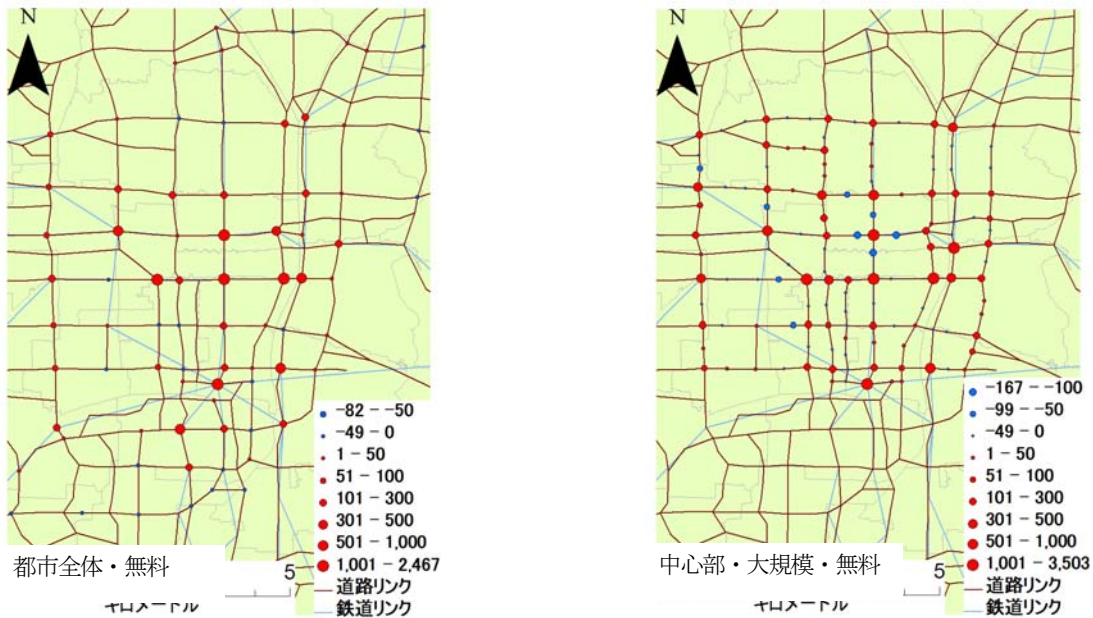


図4 需要 α 推計時と需要 β 推計時の貸出台数の差(7時~10時)

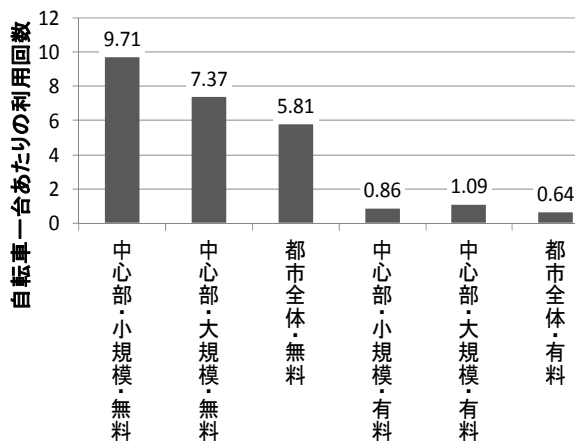


図5 導入自転車一台あたりの利用回数

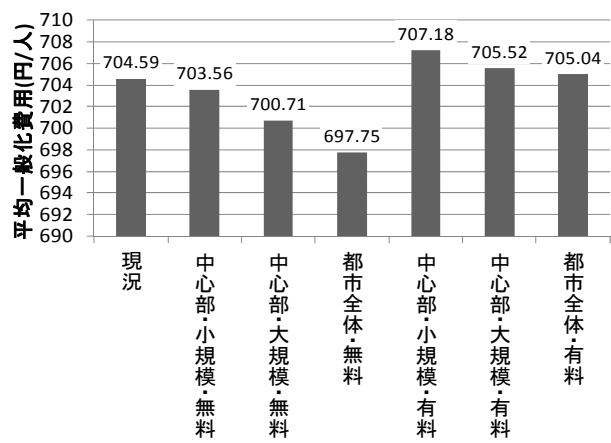


図6 公共交通利用者の平均一般化費用

の減少額が大きく、コミュニティサイクルの導入による公共交通利便性の向上効果が期待できると考えられる。いずれの料金体系においても、ポートの設置規模を大きくするほど公共交通利用者の平均一般化費用が小さくなる傾向を示しているが、30分未満の利用料金を無料とする料金体系の方がその傾向が強くなり、大規模導入の効果が大きいことが分かる。

7. おわりに

本研究では、公共交通の一つとしてコミュニティサイクルを位置付け、京都市を対象として料金体系と導入規模の異なる大規模なコミュニティサイクル導入施策を設定した。そして、コミュニティサイクルによる移動を再現できる都市内交通シミュレーションモデルを用いてコミュニティサイクル導入時の状況をシミュレートすることで、コミュニティサイクルの利用状況や公共交通の利便性を定量的に評価した。以下に得られた知見をまとめる。

ポートの設置規模に関しては、設置密度を高くすると、貸出を予定していたポートに自転車が存在しなかった場合に、周辺のポートへ移動することによってコミュニティサイクルの利用を諦めることを防ぐ効果があることを明らかにした。さらに、同じ料金体系においては、設置規模を大きくするほど、公共交通利用者の平均一般化費用が小さくなる結果となり、大規模導入による利便性の向上効果を明らかにした。

利用料金に関しては、30分未満の利用料金を無料とすると、現況と比較して、公共交通利用者の平均一般化費用が減少する結果となり、コミュニティサイクルの導入による利便性の向上効果が期待できることを明らかにした。

参考文献

- 1) 高見淳史・大森宣暁・青木英明：ロンドンの自転車共同保有システム「Barclays Cycle Hire Scheme」の計画と現状，都市計画報告集，No.10-1，pp.55-60，2011.6.
- 2) Paul DeMaio: : Bike-sharing:History,Impacts,Models of

Provision,and Future, Journal of Public Transportation,, Vol.12, No.4, pp.41-56, 2009.

- 3) 佐藤仁美・酒井良輔・三輪富生・森川高行：コミュニティサイクルシステムの利用実態とステーション配置に関する研究，土木計画学・講演集，Vol.44，CD-ROM，2011.11.
- 4) 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計画手法に関する基礎研究—システムの利用可能性を考慮した供給要素の研究—，土木計画学研究・論文集，Vol.27，No.4，pp.863-870，2010.9.
- 5) Jenn-Rong Lin, Ta-Hui Yang: Strategic design of public bicycle sharing system with service level constraints, Transportation Reserch Part E 47, pp.287-294, 2011.
- 6) 都市型コミュニティサイクル研究会(編)：「コミュニティサイクル」，化学工業日報社，2010.6.
- 7) 古倉宗治(著)：自転車利用促進のためのソフト施策，ぎょうせい出版，2006.11.
- 8) 財団法人日本自転車普及協会：公共交通としてのレンタサイクルシステム研究会報告書，2009.5.
- 9) 中川大・松中亮治・芦澤宗治・青山吉隆：都市内交通シミュレーションを用いたパッケージ施策の便益計測に関する研究，都市計画論文集，No.36-3，pp.583-588，2001.10.
- 10) 松中亮治・谷口守・若林玄：都市構造の変化を考慮したLRT整備の環境影響評価—都市内交通シミュレーションモデルを用いて—，都市計画論文集，No.42-3，pp.961-966，2007.10.
- 11) 飯田恭敬(編)・佐佐木綱(監修)：交通工学，pp.126，1992.4.
- 12) 京都府：平成17年度全国道路交通情勢調査
- 13) 運輸政策研究機構：平成13年度鉄道統計年報
- 14) 国土交通省道路局：費用便益マニュアル<立体交差事業編>，http://www.mlit.go.jp/road/ir/r-hyouka/manual_2.pdf
- 15) シクロシティ株式会社HP：<http://www.cyclocity.jp>(4月20日最終閲覧)
- 16) 国土交通省：数値地図25000(空間データ基盤)，2003.3.

SCENARIO ANALYSIS OF COMMUNITY CYCLE PROGRAMS BY USING THE URBAN TRAFFIC SIMULATION MODEL

Kenya MORI, Dai NAKGAWA, Ryoji MATSUNAKA, Tetsuharu OBA, JongJin YOON, Humiki YABUI