札幌都心部におけるサイクルシェアリングの自転車還流に関する基礎的研究

丸山 翔大[1]・松田 真宜[2]・長谷川 裕修[3]・有村 幹治[4]

[1]学生会員 室蘭工業大学 大学院工学研究科 公共システム工学科専攻（〒050-8585 室蘭市水元町27-1）
E-mail:s2021092@mmm.muroran-it.ac.jp
[2]正会員 株式会社ドーコンモビリティデザイン 事業部 企画グループ
（〒004-0051 北海道札幌市厚別区厚別中央1条5丁目4番1号）
E-mail:mmh378@docon.jp
[3]正会員 秋田工業高等専門学校 環境都市工学科（〒011-8511 秋田県秋田市飯島文京町１番１号）
E-mail:hasegawa@ipc.akita-nct.ac.jp
[4]正会員 室蘭工業大学 大学院工学研究科 くらし環境系領域（〒050-8585 室蘭市水元町27-1）
E-mail:arimura@mmm.muroran-it.ac.jp

札幌都心部において展開されているサイクルシェアリング事業である「ポロクル」は平成23年の事業化以降，現在，約7000人のユーザーにより延べ約14万回の利用がされるまで成長し，その利用データの蓄積も進んでいる．本研究では，運営負荷を緩和するための効率的な運営技術の開発，及び利用者の協力のもと負荷分散を行う運営手法の立案といった諸課題に関して，大まかな自転車の流動状況の構造を把握するために，ICカードによる履歴データを用いてポート間ODを作成し，自転車が還流しているポート間ODの組み合わせをモジュラリティ指標を用いて抽出する．併せて利用パターンを視覚化することで運営改善のための手がかりを得る．

Key Words : *Cycle sharing, IC card data, Data mining, Modularity index*

1. はじめに

近年，人々の社会的問題への意識の変化に伴い，都市における交通体系が変化している．その中でも，自転車の役割は大きく，人の移動は自動車から環境負荷の低い交通手段への転換が図られている．

札幌都心部において展開されているサイクルシェアリング（以下CSと記述）事業である「ポロクル」は平成23年の事業化以降，現在，約7000人のユーザーにより延べ約14万回の利用がされるまで成長し，その利用データの蓄積が進行している．一方，事業の継続により明らかになった課題もある．現在のポロクルには，ピーク時間に特定ポートへ集中する需要への対応，運営負荷を緩和するための効率的な運営技術の開発，利用者の協力のもと負荷分散を行う運営手法の立案，ポロクルの利用を通じて発現した公益性をユーザーと共有・共感する仕掛けづくり，収支バランスの改善といった新たな検討課題が浮上している．

本研究では，これらのテーマのうち，運営負荷を緩和するための効率的な運営技術の開発，及び利用者の協力のもと負荷分散を行う運営手法の立案に関して，大まかな自転車の流動状況の構造を把握するために，ICカードによる履歴データを用いてポート間ODを作成し，自転車が還流しているポート間ODの組み合わせをモジュラリティ指標を用いて抽出する．併せて利用パターンを視覚化することで運営改善のための手がかりを得ることを目的とする．

2. 既存研究の整理

現在，社会実験段階のCSを含めて，個人認証をICTにより実施しているCSが展開された都市としては，横浜市ベイバイク，札幌市ポロクル，広島市のりんさいくるHIROSHIMA，富山市シクロシティ富山，柏市かしわスマートサイクル，岡山コミュニティサイクル，東京都江戸川区Eサイクル，名古屋名チャリ[1)]の事例が報告されており，その他にも，仙台市，さいたま市での社会実験等が挙げられる．

CSに関する研究としては，原・羽藤[2)]が共同利用自転車システムを対象に，交通サービス利用権市場を構築したうえで，移動・活動データと取引の関連性を分析し，モビリティシェアリングサービスと料金設計の関係性を

明示している．また，柏で実施されたスマートモビリティネットワークを下敷きに考案した常時利用可能なCSシステムを対象に，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を分析し，都市構造とアクティビティパターン及びモビリティの特性の関係性を示している．

また，筆者ら[3]によるポロクル2011年度における全利用記録を用いたCS利用者の交通行動の実態とその特性の把握，松田ら[4]による運営効率化に焦点をあて，全利用記録とユーザーアンケートを活用し利用状況の集計分析や利用状況の視覚化を行った事例がある．

本研究の特徴は，CS事業において必要不可欠な自転車の再配置に関する基礎的な知見として，自転車が自動的に還流するポート間ODの構造抽出を社会ネットワーク分析で用いられるモジュラリティ指標を応用して抽出する点にある．

3. コミュニティサイクルポロクルの利用状況の概要

本研究では，札幌都心部で展開しているポロクルの2011年4月から2012年11月までの2ヵ年の全利用記録を用いた．ポロクルでは，ICカードもしくは携帯端末により個人認証とクレジットカードによる決済がなされ，各利用者の利用動向が記録される．なお，個人情報の取り扱いに関しては，分析を行う前に利用者の名前や住所等，個人を特定できる属性を消去したデータセットを用意し，その上で分析を進めた．

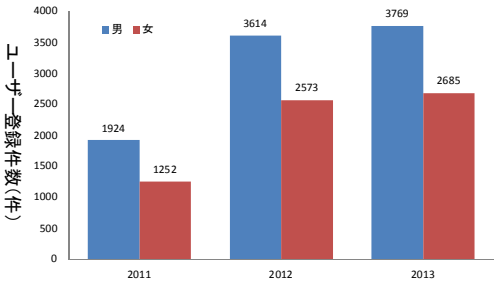


図-1　2011～2013年(4月)における利用者数の推移

2012年現在，ポロクルには7163名がユーザー登録をしている．2011年度及び2012年度の事業実施期間中の利用実績の概要として，一度でも利用したことのある登録ユーザー数は2011年で3,523人であり，2012年には，5,589人であった．2011年及び2012年を通して利用実績があるユーザー数は1,334名であった．図－1に2011年4月から2013年4月までのユーザー登録者数の推移を示す．

4. 自転車の還流構造の把握

(1) ポート位置とポート間ＯＤの関係

自転車の貸借地点となる自転車のポートは，中央区を中心に東西約5km×南北約3kmに45か所設置され，サービスを提供している．図-2は，ポロクルのポート位置をボロノイ分割したものである．ポートが多く配置されている都心部では，細かく分割され，円山・桑園エリアなど都心部から外れた箇所では大きな分割として整理された．都心部エリアに関してはポートまでのアクセスが良好なことが伺える．

図-2　ポート位置のボロノイ分割

図-3は，2012年度におけるポート間ＯＤを可視化したものである．色の濃い箇所がより利用頻度の高いＯＤペア，薄い箇所が利用頻度の低いＯＤペアを表しており，札幌駅・大通りエリアを中心に，多様な形状の移動が発生していることがわかる．色が濃く表示されたリンクを含むポートは，札幌駅付近をはじめ，バス停や地下鉄駅付近に配置されていることが分かる．また既存公共交通機関では不便な立地にある箇所への移動手段として活用されていることが分かる．また都心外延部のポートと都心部を結ぶ移動も数多く見受けられ，CS導入により，都市内のモビリティが向上している様子が伺える．

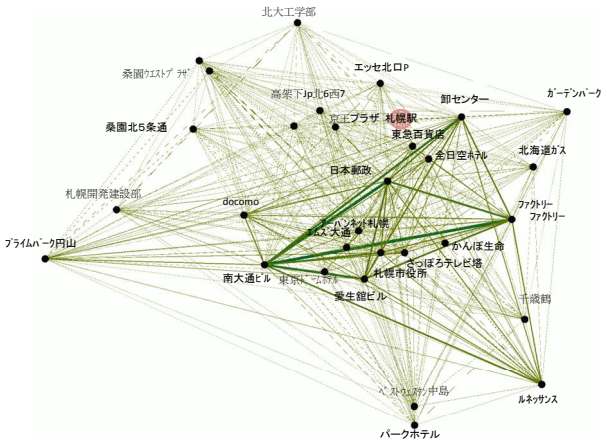


図-3　利用者の移動軌跡

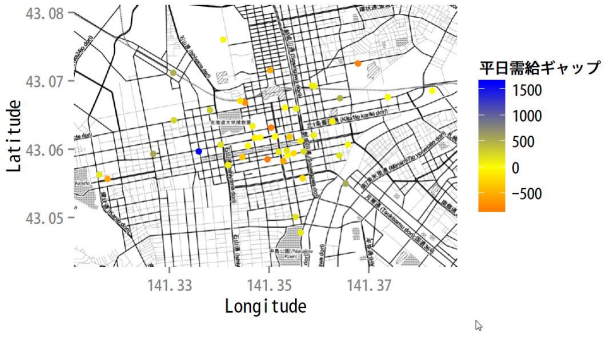


図-4　需給ギャップ発生ポートの特定（2012年平日）

CSは利用者の需要の偏りにより，あるポートに貸し出し需要が集中し，自転車が一台もポートに存在しない，空の時間帯が発生する．また返却需要が集中する場合，ポート容量を超え，駐輪が不可能となる事態が生じる．**図-4**は平日のポート別貸出回数と返却回数の差を地図上にプロットしたものである．凡例中の数字の符号が正および色が寒色の場合は貸出超過を，負および暖色の場合は返却超過を表す．都心中央部大通り周辺のポートでは需給ギャップはあまり生じておらず，札幌駅以北や，都心外延部のポートにおいて需給ギャップが生じている．

（2）モジュラリティ指標による自転車ポートの分類

本研究では，ネットワーク上のコミュニティを抽出するための指標として用いられるモジュラリティ指標を用いてポロクルの各ポート間のODペアを分類する．モジュラリティ指標によるクラスタリングでは，分類されたポート群内部のOD量は多く，分類されたポート群の間では少なくなるクラスター群が探索される．これにより，おおよそ自動的に自転車の需給ギャップが是正される，自転車の還流が発生しているポート群を抽出できる．ODネットワークのポート分割のためのモジュラリティ指標 を以下に示す

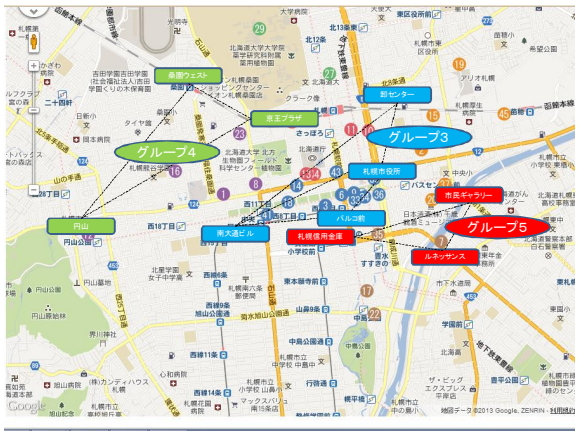
$$Q=\frac{1}{2m}\sum_{vw}\left[A_{vw}-\frac{k_v k_w}{2m}\right]\delta(c_v,c_w) \tag{1}$$

ここで，mはネットワーク中のエッジ総数，v,wはネットワークの2ノード，Aはネットワークの隣接行列，K_vはノードvの次数，C_vはノードvが含まれるクラスター，$\delta(i,j)$はクロネッカーデルタを示す．モジュラリティ指標により分類された2012年の休日OD，平日ODにおけるポート群を**表-1**に示す．また，分類されたポート群の一事例をそれぞれ**図-5**，**図-6**に示す．

表—1　2012年度における還流ポート群の分類

2012　休日				
グループID	ポート名			
1	JCB札幌東ビル前	北1条通西4		
2	パークホテル	ファクトリー	大成札幌ビル前	北1条通アーバン
3	卸センター	札幌パルコ前	札幌市役所	南大通ビル
4	プライムパーク円山	京王プラザ	桑園ウエストプラザ	
5	ルネッサンス	札幌信用金庫	市民ギャラリー	
6	エッセ北口P	桑園北5条通	札幌開発建設部	
7	ダイワロイネットすすきの	高架下Jp北7西9	東京ドームホテル	
8	卸センター西	岩田地崎本社	第一合同庁舎	
9	サッポロガーデンパーク	ロイトン	札幌総合法律事務所	
10	さっぽろテレビ塔	ベストウェスタン中島	千歳鶴	
11	苗穂駅西	北大工学部		
12	かんぽ生命	北海道銀行		
13	北海道ガス	北洋ビル南		
14	日本郵政	富士メガネ円山		
15	ガーデンパーク	北海道庁		
16	PIVOT	アーバンネット札幌		
17	愛生舘ビル	丸井今井一条館前		
18	エムズ大通	東急百貨店		
19	高架下Jp北6西7			
20	全日空ホテル			
21	大丸藤井セントラル前			

2012　平日				
グループID	ポート名			
1	かんぽ生命	プライムパーク円山	ベストウェスタン中島	ロイトン　東京ドームホテル　北1条通西4
2	ファクトリー	札幌開発建設部	札幌総合法律事務所	千歳鶴　北1条通西4
3	ガーデンパーク	愛生舘ビル	全日空ホテル	北1条通アーバン
4	苗穂駅西	桑園ウエストプラザ	北海道庁	北大工学部
5	さっぽろテレビ塔	ダイワロイネットすすきの	卸センター	北海道銀行
6	アーバンネット札幌	エッセ北口P	桑園北5条通	
7	エムズ大通	札幌信用金庫	市民ギャラリー	
8	苗穂駅西	富士メガネ円山	北洋ビル南	
9	ルネッサンス	高架下Jp北6西7	大丸藤井セントラル前	
10	卸センター西	京王プラザ	東急百貨店	
11	パークホテル	丸井今井一条館前	北海道ガス	
12	JCB札幌東ビル前	北海道銀行	北大工学部	
13	札幌市役所	北海道ガス	北洋ビル南	南大通ビル
14	日本郵政	北海道庁		



図—5　2012年土日グループ3. 4. 5のポート群配置

図—6　2012年平日グループ4. 5. 11のポート群配置

休日ODと平日ODを用いたポート分類結果（**表-1**）を比較すると，分類されたグループ数は土日が21クラスター，平日が14クラスターと休日ODを用いた分類結果の方がクラスター数は多くなった．

一方，平日ODを用いた分類結果は，クラスター数は少なく，1グループ内で還流が発生しているポート数が多い結果となった．これは休日の総移動回数は20,785，平日の総移動回数は100,470であり，平日が約5倍であることから，平日においては，ポート間で重層的に自転車の還流が発生しているものと考えられる．また，分類結果，還流が発生しているポート間の組み合わせを見ると，近場のポート間との組み合わせで還流するのではなく，**図-4**，**図-5**に示すように，都心部と郊外を結ぶポートの組み合わせで還流するパターンや，札幌駅と大通間で還流するパターンなど多様なパターン，またJR桑園駅周辺から北海道大学へ移動する等，地下鉄駅間をショートカットする移動パターン等が抽出された．

5. まとめ

以上，本研究では，CSの運営負荷を緩和するために，CSで用いられる自転車のポート間流動構造を把握するとともに，自転車が還流するポート間ODの組み合わせを，モジュラリティ指標を用いて抽出した．その結果，平日・休日について還流の形態に違いが確認され，休日ODにおいてはクラスター数が多く分類される一方で，各クラスターのポート数は少なくなるように分類された．平日ODにおいては，クラスター数は休日ODと比較すると少なく，各クラスターのポート数は多く分類された．

分類されたポートの組み合わせを見ると，都心外延部と都心を結ぶポートの組み合わせや，JR札幌駅周辺の拠点を結ぶ組み合わせ（例：苗穂駅西ー桑園ウエストプラザー北海道庁ー北大工学部）といった複数の自転車の還流圏が形成されていることが分かった．

今後の課題としては，事業展開計画上の課題だけではなく，コミュニティサイクルが都心部に導入することによる移動環境変化に伴う都心の活動選択肢の変化を，利用者がどのように認知し，長期的に学習するかといった，交通マーケティングとは異なる視点の研究の必要性が挙げられる．

参考文献

1) 国土交通省:全国コミュニティサイクル担当者会議資料
2) 原祐輔, 羽藤英二, 共同利用型交通サービスにおけるネットワーク上での予約システムの提案, 土木学会論文集D3(土木計画学), Vol.67, No.5(土木計画学研究・論文集28), pp.509-519, 2011
3) 原祐輔, 羽藤英二: 自転車共同利用オークションサービスの実装とそのマイクロストラクチャーに関する研究，土木計画学研究・講演集，Vol.39，CD-ROM，2009
4) 羽藤英二, 藤井敬士, 原祐輔: 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,土木計画学研究講演集, Vol.40, CDROM, 2009
5) 丸山翔大, 松田真宜, 有村幹治：交通まちづくりのためのコミュニティサイクル利用記録の活用, 土木計画学研究・講演集, Vol.45, CD-ROM,2012
6) 松田真宜，平川貴志，有村幹治：利用履歴データに基づくサイクルシェアリングの戦略的な運営手法の構築，土木計画学研究・講演集，Vol.47，CD-ROM，2013

（2013.8. 1 受付）