

COVID-19 流行下におけるシェアバイクの時空間的利用変化に関する研究

—ニューヨーク市の Citi Bike を事例として—

A Study on Spatiotemporal Changes in Usage of Shared Bikes under COVID-19 Pandemic:

A case-study of New York's Citi Bike

東京大学工学部都市工学科都市計画コース 03190152 林 峻也

During the COVID-19 pandemic, the importance of share bikes has increased because they can be used as a substitute for mass transit. I looked at the case of Citi Bike in New York City, and analyzed changes in usage before and after the spread of COVID-19. First, I conducted a time series clustering analysis of the difference in the number of arrivals and departures. Second, I conducted a latent transition analysis of the cycle stations. Findings suggest that enhancing the service level of share bike system in suburban areas will improve the resilience of the transportation system.

1. 研究の背景と目的

COVID-19 の流行は人々の生活に大きな影響をもたらした。感染を回避するため、人々の活動とそれに付随するトリップは大幅に減少した。加えて、ソーシャルディスタンス確保の重要性が行政等によって呼びかけられた結果、乗り合い型公共交通の利用回避が起り、各種交通手段の利用状況が大きく変化したと考えられる。COVID-19 流行下においては、ソーシャルディスタンスの確保が容易であることが自転車移動の大きなメリットとなることから、シェアバイクが地下鉄やバス等の他の交通手段の代替手段として重要な役割を担っている可能性がある。そこで、COVID-19 流行下において利用状況が大きく変化したことが予想されるシェアバイクについて、米国・ニューヨーク市の Citi Bike を例に、その変化の特徴を明らかにすることが本研究の目的である。

2. 既往研究の整理と研究の位置づけ

2.1 既往研究の整理

シェアバイクのトリップデータを用いた利用形態やトリップ需要に関する研究は数多く行われている。シェアバイクと COVID-19 に関する研究は主に 2020 年 3 月のトリップについて分析されたものが多い。Teixeira ら (2020) は COVID-19 流行下のシェアバイク利用と地下鉄の利用の相関関係について研究を行った¹⁾。地下鉄の乗降客数とシェアバイクの利用者の比について統計的検定と感染者数を説明変数とする回帰分析を行い、地下鉄に対してシェアバイクはパンデミックによる利用の減少が小さく、影響を受けにくい交通手段であると結論付けている。Pase ら (2020) は 2020 年 3 月のトリップについて時空間分析を行い、トリップパターンの変化を明らかにしている²⁾。その結果、一部の地区でのトリップの増加

や地下鉄利用者のシェアバイクへの利用転換が示唆された。加えて、接続性分析・熱拡散解析を行うことでネットワーク構造がより分散構造に変化していると結論付けている。

2.2 研究の位置づけ

COVID-19 のシェアバイクへの影響を評価した研究において、ロックダウン解除後である 7 月以降の利用状況についてはまだ明らかにされていない。そこで、本研究ではロックダウン期間とロックダウン解除後のより長い期間について COVID-19 がシェアバイクに与えた影響を、時系列クラスタリングおよび潜在移行分析を用いて明らかにする。

3. 使用データについて

3.1 Citi Bike の概要と使用データ

Citi Bike はニューヨーク市を中心に約 1100 のポートと 170000 台の自転車を供給しているアメリカ最大のバイクシェアシステムである³⁾。ウェブ上でトリップデータが公開されており、各トリップについて、トリップ時間・開始時刻・終了時刻・発ポート・着ポート・自転車の ID・ユーザータイプ・性別・ユーザーの誕生した年が示されている。

4. 時系列クラスタリングを用いたポート特性分析

4.1 はじめに

シェアバイクのポート利用の特性の変化を探るにあたり、一日内のポートの需要・供給の時間変動に着目し、時系列クラスタリングを行うことでポートを分類した。

4.2 方法

(1) 指標

利用状況の時間変動を考察するための指標として一時

間ごとの発トリップ数と着トリップ数の差を用いた。次の式(1)で表されるように、 t 時台の一時間にポート x を出発するトリップ数 $S_x(t)$ とポート x に到着するトリップ数 $E_x(t)$ の差分をポート x のドック数 C_x で除した値を正規化された発着差 $D_x(t)$ とし、指標として用いた。

$$D_x(t) = \frac{S_x(t) - E_x(t)}{C_x} \quad (1)$$

D_x が正であれば発トリップの方が着トリップよりも多く、 t 時台においてポートが目的地として利用されやすいことを示す。一方、 D_x が負であれば着トリップの方が多く、出発地として利用されやすいことを示す。2020年1~10月のトリップデータをひとまとめとして各ポートの時間帯別発着差を算出し、時系列クラスタリングを行った。なお、通勤通学の有無によって利用特性が異なることが予想される平日と休日をつけて分析を行った。

(2) クラスタリング手法

各ポートの時間帯別発着差についてユークリッド法を用いて距離を算出し、階層クラスタ分析を行った。単連結法・完全連結法・群平均法・Ward法を用いてそれぞれ階層クラスタ分析を行い、デンドログラムを比較して最も適切であると考えられるWard法の結果を選択した。クラスタ数の決定にあたってはダブ指標とシルエット係数を比較した上で、解釈性を考慮してクラスタ数を6としている。

4. 3 平日のクラスタに基づくポート特性分析

(1) クラスタの特徴

各クラスタについて発着差の平均値の一日内時間変動を示したものが図1である。

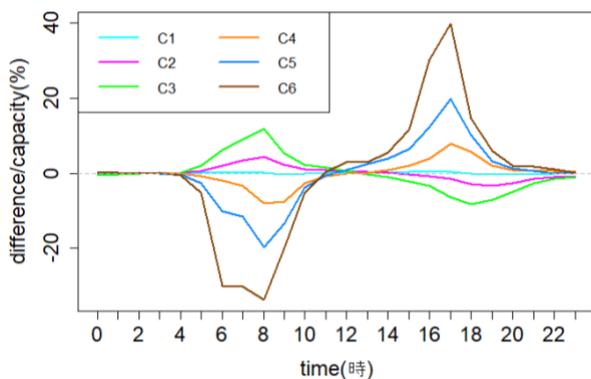


図1 発着差の平均値の一日内時間変動

このグラフより、午前と午後の発着差の正負とピークの大小でクラスタを特徴づけることができ、それをまとめたものが表1である。以下ではこの表に基づき、クラスタをC1~C6と呼ぶ。

表1 各クラスタの特徴とポート数

	特徴	数
C1	発トリップと着トリップが一日を通してほぼ釣り合っている	602
C2	午前はやや発トリップが多く、午後はやや着トリップが多い	318
C3	午前は発トリップが非常に多く、午後は着トリップが多い	68
C4	午前はやや着トリップが多く、午後はやや発トリップが多い	101
C5	午前は着トリップが多く、午後は発トリップが多い	22
C6	午前は非常に着トリップが多く、午後は非常に発トリップが多い	5

加えて、それぞれのクラスタに属するポートの空間分布を示したものが図2である。

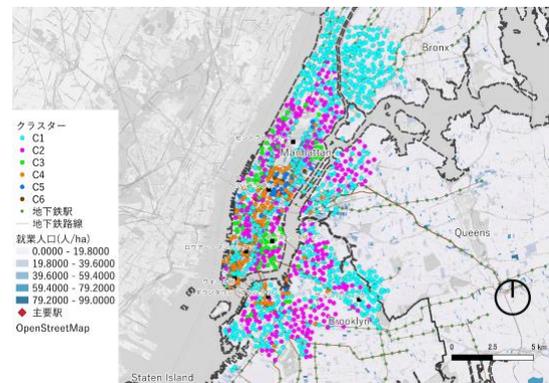


図2 平日のクラスタ空間分布

(出典：Citi Bike⁴⁾, U.S. Census Bureau⁵⁾, NYC Open Data⁶⁾より筆者作成)

C1はサービスの辺縁部に集中して分布している。C2はマンハッタン島中南部およびブルックリン地区に多く分布している。C3は中心市街地に近い住居系の地域に多く分布していると考えられる。C4はマンハッタン島中部~南部の南北を走る地下鉄の路線周辺に分布しており、通勤目的地の周辺であると想定される。C5・C6は中心市街地であるミッドタウンに集中して分布している。

(2) クラスタごとの利用の変化

図2はトリップ数についての前年からの変化率をプロットしたものである。C1・C2・C3の利用回復が早く、回復後も他のクラスタに対して高水準を維持している。これらのクラスタは比較的人口密度が高く就業人口密度が低い地域に多く分布している。このことから、住居系の地域での利用が相対的に増加していると考えられる。

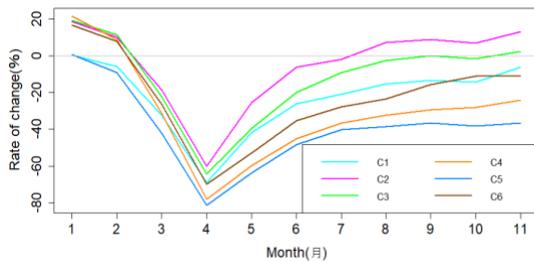


図3 各月の発着トリップ数の前年同月からの変化率

4. 4 休日のクラスターに基づくポート特性分析

休日のクラスターについても同様の分析を行ったところ、平日と類似した結果が得られた。

5. 潜在移行分析を用いたポート利用の変化の分析

5. 1 目的

ロックダウン前後における発・着のそれぞれの需要の変化に基づくポートの利用特性の変化を明らかにするために潜在移行分析 (LTA) を行った。2020年1~12月のCiti Bikeのトリップデータについて、①パンデミック発生前(1~2月)、②ロックダウン中(3~6月)、③ロックダウン解除後(7~10月)、④感染再拡大期(11~12月)の4期間に分けてLTAを実施した。

5. 2 方法

(1) 変数

各ポートについて、トリップを午前と午後で分け、システム全体のトリップ数に占めるそのポートを出発または発着するトリップの割合(シェア)の前年同時期からの変化率を算出し、顕在変数として用いた。例えば、ポート x を午前に出発するトリップ数を STa_x 、午前に各ポートを出発するトリップの総和を STa_{all} とすると午前中のトリップに占めるトリップの割合(午前の発シェア) SSa_x は以下の式(2)で表される。

$$SSa_x = \frac{STa_x}{STa_{all}} \quad (2)$$

同様の計算を午前/午後、発/着で分けて行い、午前の発シェア・午後の発シェア・午前の着シェア・午後の着シェアの計4つの指標を算出した。これらについてそれぞれ前年からの変化率を算出し、これら4変数についてロックダウン後の時期②~④において各尺度に割り当てられるポートの数がほぼ同数になるように、±10%および±40%を閾値として指標を5段階に分けて順序尺度化した。

(3) 手順

ステータス数を決定するために、クラス数を変えて各期間について潜在クラス分析(LCA)を行い、AICとBICを比較した。この結果と計算負荷および解釈性を考慮し、

ステータス数を5としてLTAを実施した。なお、LCA・LTAはともにM Plusを用いて実施した。

5. 3 結果

条件付応答確率より、ポートのステータスは次の5つに分類される。

- (1)午前午後共に発着シェアが大幅に縮小
- (2)午前午後共に発着シェアが縮小
- (3)午前午後共に発着シェアが拡大
- (4)午前午後共に発着シェアが大幅に拡大
- (5)シェアがあまり変化していない

次に、ステータスの移行確率を表2に示す。

表2 ステータス間の移行確率

時期①(行) ⇒ 時期②(列)						時期②(行) ⇒ 時期③(列)					
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
1	0.187	0	0.63	0.183	0	1	0.537	0.432	0.031	0	0
2	0.131	0.288	0.184	0.181	0.217	2	0.072	0.663	0.011	0	0.254
3	0.007	0.029	0.235	0.587	0.141	3	0.015	0.041	0.63	0.128	0.186
4	0.032	0.101	0.243	0.399	0.225	4	0	0.04	0.209	0.733	0.018
5	0.096	0.273	0.248	0.181	0.202	5	0.027	0.177	0.248	0.02	0.528

※ 行のステータスから列のステータスに移行する際の遷移の確率を表している。
 ※ 赤色が濃いほど遷移の確率が高い。
 ※ 対角セルはステータスが変わっていない。

時期①から時期②の移行では、ステータス1(シェアが大幅縮小)から、ステータス3(シェアが拡大)への遷移と、ステータス3(シェアが拡大)からステータス4(大幅に拡大)への移行確率が高い。前者からはロックダウン前は需要が下がり気味であったポートのシェア増加が読み取れる。後者からは元来シェアが増加していたポートでさらに需要が高まったことがわかる。ロックダウン期間から解除後の移行では、同じステータスへの移行確率が高く、時期③から時期④の移行についても同様である。このことから、ロックダウン前後でステータスが変わり、ロックダウン解除後では変化したステータスが維持されていると言える。

5. 4 考察

次に、各期間についてステータスの空間分布を調べたところ、図4のようになった。ロックダウン前は全体的にシェアの変化が小さいポートが多い。ロックダウン後は市街地中心部のポートでシェアが縮小し、マンハッタン島の北側や東部のサービス辺縁部でシェアが拡大していることがわかる。また、都心から離れた地域で带状にシェアが拡大していることから、シェアバイクの需要がより分散されていることがわかる。時期②~④では分布に大きな変化がみられないことから、ロックダウン中に

起こったトリップ需要の変化は一時的なものではなく、長期的な変化であると考えられる。

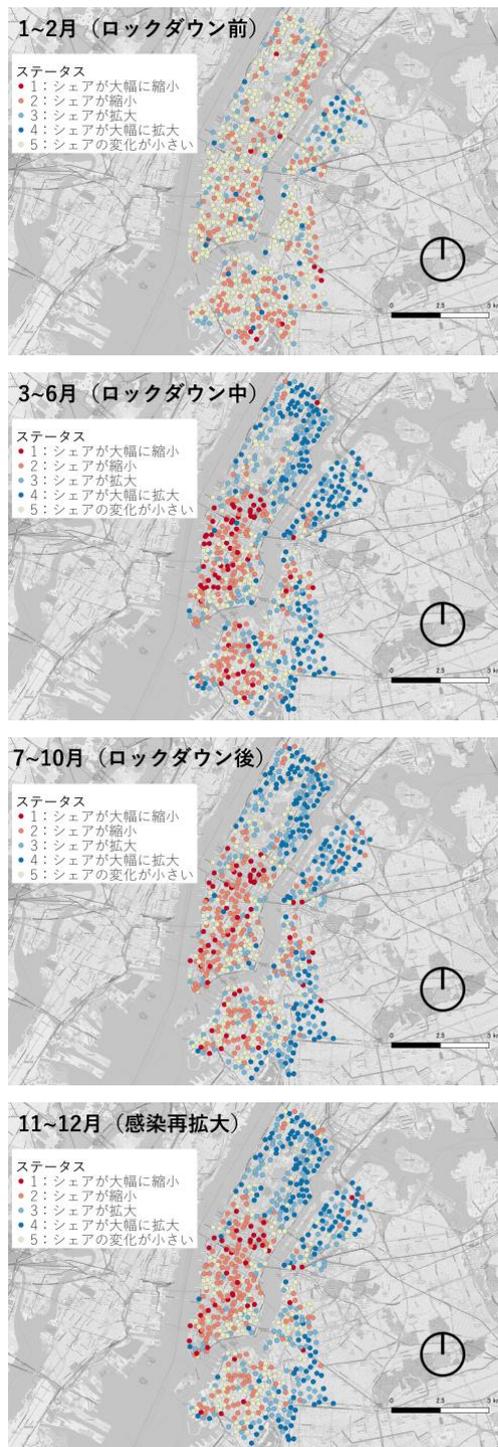


図4 ステータスの空間分布の変化

6. 結論と今後の課題

6. 1 結論

クラスター分析の結果より、Citi Bike のポートは午前目的地・午後出発地となりやすいポートと、午前出発地・午後目的地となりやすいポートの二つに分類できること

が分かった。また、それぞれのクラスターの分布と利用状況の変化を比較することによって、自転車で都心部にアクセス可能である都心近郊の居住地におけるトリップの増加と、就業人口密度が高い市街地中心部におけるトリップの減少が示唆された。加えて潜在移行分析を行ったところ、市街地中心部におけるトリップが相対的に減少し、サービス辺縁部のトリップが相対的に増加しており、この変化がロックダウン以降維持されていることが明らかになった。これらとパンデミック終息の見込みが立っていないことを踏まえると、サービス辺縁部におけるサービスレベルの向上及び自転車インフラの整備が必要であると結論付けることができる。サービスレベルの向上は交通システムの冗長性を高めることにもつながると考えられる。

6. 2 課題

第一の課題は、潜在移行分析に用いた顕在変数を改善することである。本分析ではシェアを発着と午前/午後で分けたものの、時間帯や発着によるシェアの傾向の違いは見られなかったことから、シェアの増減を一つの顕在変数にまとめ、他の指標の導入を検討すべきであると考えられる。加えて、本研究ではトリップに関する指標のみを変数に用いており、分析結果と分布を定性的に分析することどまっている。土地利用や人口に関する共変数を潜在移行分析に用いることで潜在ステータスと分布の相関を定量的に評価できる可能性がある。第二の課題としては、第4章における各クラスターの分布と利用状況についての示唆の定量的評価が挙げられる。今後の方向性としては、目的地選択モデルなどを推定し、本研究で得られた示唆について検証を行うことが考えられる。

参考文献

- 1) J. F. Teixeira, M. Lopes, "The link between bike sharing and subway use during the COVID-19," *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, Vol. 6, July 2020, 100166, 2020.
- 2) F. C. A. Z. a. M. Z. F. Pase, "Bike Sharing and Urban Mobility in a Post-Pandemic World," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 187291-187306, 2020, 2020.
- 3) Citi Bike, "September 2020 Citi Bike Monthly Report," <https://d21xlh2maitm24.cloudfront.net/nyc/September-2020-Citi-Bike-Monthly-Report.pdf?mtime=20201019132054>. (2021年1月16日閲覧)
- 4) Citi Bike, "Citi Bike System Data," <https://www.citibikeny.com/system-data> (2021年1月21日閲覧)
- 5) U.S. Census Bureau, "Longitudinal Employer-Household Dynamics," <https://lehd.ces.census.gov/data/>. (2020年10月20日閲覧)
- 6) City of New York, "NYC Open Data," <https://opendata.cityofnewyork.us/>. (2021年1月15日閲覧)