人流データを用いた吸収マルコフ連鎖による地方観光都市の回遊行動分析
－岡山県倉敷市を例として－

鈴木夕美子*・村上広史**

A Travel Behavior Analysis in a Local Tourist City using an Absorbing Markov Chain Model with Human Mobility Data
- Taking Kurashiki City, Okayama as an Example -

Yumiko Suzuki*, Hiroshi Murakami**

Abstract: This study analyzes visitor travel patterns in Kurashiki City, Okayama Prefecture by integrating human mobility data and an absorbing Markov chain model. Using GPS logs from thousands of smartphone users collected over two different holidays in 2024, visitors were classified based on their starting and ending points, and movements across eight major tourist sites in the City were tracked. The findings reveal that most visitors tend to remain at a single site, with limited movement between the eight major sites, especially between the northern commercial area and the southern historic Bikan district, regardless of where their trips started or ended. While out-of-town visitors who visited multiple locations stayed longer at each site, their numbers were comparatively small. As a result, Kurashiki's tourism largely consists of isolated site visits, which restricts the overall economic impact on the region. The study suggests that enhancing economic benefits will require active measures to encourage sequential, multi-site travels and longer stays within the City's tourist attractions.

Keywords: 吸収マルコフ連鎖（absorbing Markov chain），回遊行動（travel behavior），滞在時間（duration time），出発地（starting point），帰着地（ending point）

１．はじめに
1.1 研究の背景

都市部の商業地や観光地の活性化において，人々の回遊行動を把握することが都市計画策定やマーケティングの観点から重要である．回遊行動の分析手法としては，マルコフ連鎖の使用が多く見られる（齋藤，1997；一井ほか，2018；蔵方ほか，2020；室井・大江，2020）．ここで，マルコフ連鎖とは T={0,1,2,..}を時間の集合，N を離散的な状態空間とし，{X_t, t∈T}を N 上の確率過程としたときに，X_{t+1} の確率分布が X_t の値のみに依存するという性質（マルコフ性）を持つ確率過程のことである（木島, 1997）．一井ほか（2018）は，マルコフ連鎖によって推定した観光地への来街者数が，Wi-Fi センサデータから得られた実際の来街者数をほぼ正確に再現をすることができたとしている．したがって，観光地における来街者の回遊行動にマルコフ性を想定することは妥当と考えられる．

一方，マルコフ連鎖モデルを用いたこれまでの回遊行動研究においては，回遊者の出発地や帰着地の違いが回遊行動に及ぼす影響について分析した研究は十分に行われているとはいえない．

1.2 研究目的と対象地域

上記の背景を踏まえ，本研究では観光地以外での行動も記録された人流データを用いて観光地における来街者の回遊行動をマルコフ連鎖モデルを用いて分析するとともに，来街者の出発地や帰着地の違いが回遊行動にもたらす影響を明らかにすることを目的とする．

研究の対象地域は岡山県倉敷駅周辺とする．この地域を対象としたのは，同市には「重要伝統的建造物群保存地区」として国の選定を受けた美観地区があり，地方都市の中でも観光地としての知名度が高いと考えられるからである．

２．研究方法
2.1 データの概観

本研究では，ジオテクノロジーズ株式会社が提供するスマートフォンアプリである「トリマ」により収集された 2024 年 4 月 20 日（土）及び同年 5 月 4 日（土）のデータを使用する．データ収集の対象となったのは，倉敷市の中心部周辺の 3 次メッシュ 6 個分（5133-76-01, 5133-76-02，5133-76-11，5133-76-12，5133-76-21，5133-76-22）

*　学生会員　青山学院大学地球社会共生学部（Aoyama Gakuin University）
〒252-5258　神奈川県相模原市中央区淵野辺 5-10-1　E-mail：aA122105@aoyama.jp
**　正会員　青山学院大学地球社会共生学部（Aoyama Gakuin University）

の範囲に，各日の午前零時から 24 時までの間に 1 つでもログを残したアプリ利用者である．使用したデータは，彼らがその日残した約 10 秒間隔のログの位置情報を約 1 分ごとに平均して記録したものである（図 1）．属性情報としては，位置情報が取得された時刻，暗号化されたユーザーID などが含まれている．

使用データの総ログ・レコード数とユニークな利用者の人数は，4 月 20 日がそれぞれ 973,047 レコードと 5,267 人，5 月 4 日がそれぞれ 1,275,259 レコードと 5,857 人である．また，両日とも降水はなく，最高気温もそれぞれ 23.1 度及び 26.6 度であり[1]，天候が良好であったと考えられることから，来街者の回遊を妨げる天候上の問題は無かったといえる．さらに，両日は休日であったことから，観光目的の来街者が多かったと考えられる．

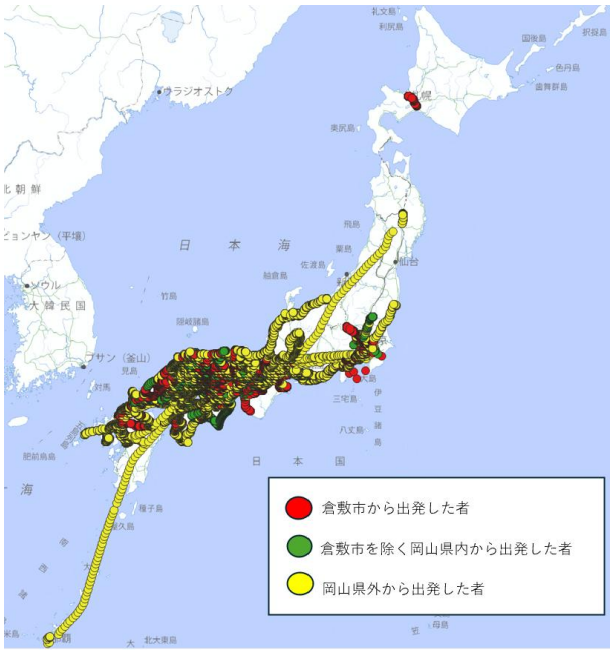


図 1　出発地で色分けした 5 月 4 日における人流ログ

2.2 回遊地（ノード）の選定

来街者の滞在場所とその回遊を調べることが研究の目的であるため，対象地域の主な観光場所 8 カ所を回遊地（ノード）として選定した．具体的には，①三井アウトレットパーク倉敷（ノード 1），②アリオ倉敷（ノード 2），③JR 倉敷駅（ノード 3），④あちてらす倉敷（ノード 4），⑤鶴形山公園（ノード 5），⑥倉敷アイビースクエア（ノード 6），⑦美観地区の中心部（ノード 7），⑧イオンモール倉敷（ノード 8）の 8 カ所である（図 2）．ノードの選定にあたっては倉敷市の公式観光サイト[2]にて紹介されていた場所を参考にし，倉敷駅から徒歩圏内の概ね 2 ㎞の範囲にある主な観光地や商業施設を対象とした．

また，ノードへの滞在者は，廣瀬ほか（2019）を参考に，各ノード内での位置情報の連続した記録時間の合計が 15 分以上の者のみとした．

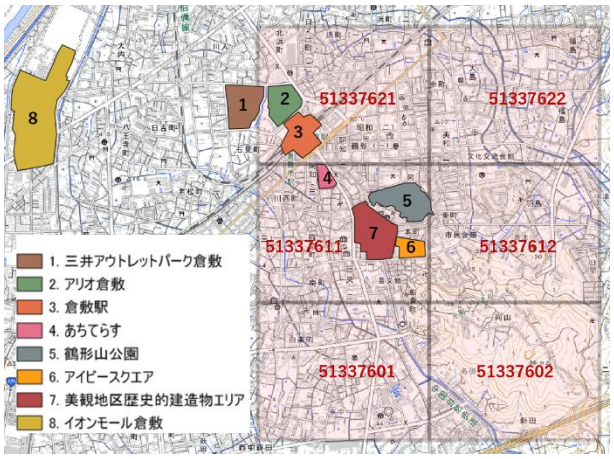


図 2　3 次メッシュの範囲と 8 つの回遊地（ノード）

2.3 来街者の出発地及び帰着地による分類

本研究では，来街者を出発地と帰着地の違いにより 9 つのグループに分類した．具体的には，4 月 20 日と 5 月 4 日の各日において①倉敷市から出発し倉敷市に帰着した者，②倉敷市を除く岡山県内から出発し倉敷市を除く岡山県内に帰着した者，③岡山県外から出発し岡山県外に帰着した者，④倉敷市から出発し倉敷市を除く岡山県内に帰着した者，⑤倉敷市を除く岡山県内から出発し倉敷市に帰着した者，⑥倉敷市から出発し岡山県外に帰着した者，⑦岡山県外から出発し倉敷市内に帰着した者，⑧倉敷市を除く岡山県内から出発し岡山県外に帰着した者，⑨岡山県外から出発し倉敷市を除く岡山県内に帰着した者である．

そして，これらのうち②を来街者グループ A，③を来街者グループ B，①以外をまとめて来街者グループ C として分析を行った．

2.4 分析手法

本研究では，来街者があるノードを出発したとき，他のノードを訪れる回数の期待値を調べるために，吸収状態の存在を前提とした吸収マルコフ連鎖モデルを用いて来街者グループ A，来街者グループ B 及び来街者グループ C のそれぞれの遷移確率行列 **P** を作成し，それを元に期待遷移確率行列（**I-Q**）$^{-1}$ を作成した．ここで，吸収状態とはマルコフ連鎖におけるある状態 i に確率 1 で戻ってくる状態である．すなわち，回遊地外の地域に移動したままの状態を表す．

そして，遷移確率行列 **P** とは，吸収状態が r 個，非吸収状態が s 個あるときに遷移確率行列の要素を以下のよ

[1] 気象庁「過去の気象データ検索」：
https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/index.php

[2] 倉敷観光 WEB　：https://www.kurashiki-tabi.jp/

うな標準形に配置し直したものである（佐佐木，1965）．

$$\mathbf{P}=\begin{pmatrix}\mathbf{I} & \mathbf{0}\\ \mathbf{R} & \mathbf{Q}\end{pmatrix}$$

ここで，**I** は吸収状態を表す $r\times r$ の単位行列，**0** は $r\times s$ の零行列，**R** は非吸収状態から吸収状態を表す $s\times r$ の遷移確率行列，**Q** は $s\times s$ の正方行列で非吸収状態相互の遷移確率行列を表す（佐佐木，1965）．

そして一般に，遷移確率行列 **Q** に対して

$\mathbf{I}+\mathbf{Q}+\mathbf{Q}^2+\cdots = (\mathbf{I}-\mathbf{Q})^{-1}$

となる関係式が成立する．

$(\mathbf{I}-\mathbf{Q})^{-1}$ は期待遷移確率行列であり，この $(\mathbf{I}-\mathbf{Q})^{-1}$ の要素である (i,j) は，ある地点 i を出発または滞在した来街者がまわりまわって地点 j に訪れる回数の期待値を表す（佐佐木，1965）．

具体的な期待遷移確率行列 $(\mathbf{I}-\mathbf{Q})^{-1}$ の作成方法は以下の通りである．

1. 各ノードの滞在者の各ノードでの連続した滞在時間を算出し，各ノードに 15 分以上滞在していた者のみを抽出する
2. 各利用者の移動の遷移ペア（i→j）の出現回数を集計することにより，移動回数を要素とする遷移回数行列 $\mathbf{S}=[s_{ij}]$ を作成し，各行和（=状態 i から出発した全遷移回数の合計）を用いて遷移確率行列 $\mathbf{P}=[p_{ij}]$ を導出する

$$p_{ij}=\frac{sij}{\sum_j sij}$$

3. 非吸収状態相互の遷移確率行列 **Q** と単位行列 **I** から，期待遷移確率行列 $(\mathbf{I}-\mathbf{Q})^{-1}$ を算出する

3.分析結果

3.1　全体的な回遊の傾向

各来街者グループの単独ノード滞在者（S）と複数ノード滞在者（M），すなわち複数ノードへの回遊行動者の人数比 M/（S+M）は，表 1 のようになった．この表から，倉敷市への来街者は，その出身地に拘らず，単独のノードにのみ滞在する傾向が強く，複数のノードへの滞在，すなわち複数ノードへの回遊行動をしない傾向が強いといえる．

この傾向は吸収マルコフ連鎖の分析結果でもみられる．いずれの来街者グループにおいても，観測日の両日とも非吸収状態相互の遷移確率行列 **Q** の要素の多くが 0 であり，そして特定のノードにのみ回遊が集中していた．

表 1　来街者全体に対する複数ノード回遊行動者の割合

来街者グループ	4 月 20 日	5 月 4 日
A	22.7%	27.6%
B	29.0%	40.1%
C	25.5%	33.0%

また，期待遷移確率行列 $(\mathbf{I}-\mathbf{Q})^{-1}$ においても，多くの要素の値が小さく，最大でも 1 前後であり，ノード間での回遊の期待値は大きくなかった．ただし，出発地と帰着地が県外である来街者グループ B の期待遷移確率行列を 4 月 20 日（表 2）と 5 月 4 日（表 3）で比較した場合，大型連休中の後者のほうが，回遊の割合が若干増加する傾向がみられる．

表 2　4 月 20 日のグループ B の期待遷移確率行列

出発地＼帰着地	ノード1	ノード2	ノード3	ノード4	ノード5	ノード6	ノード7	ノード8
ノード1	1.2E+00	2.3E-01	2.1E-02	0.0E+00	0.0E+00	1.2E-03	2.8E-02	1.3E-01
ノード2	3.3E-01	1.3E+00	8.8E-02	0.0E+00	0.0E+00	5.5E-04	1.3E-02	1.1E-01
ノード3	3.8E-02	9.5E-03	1.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	2.6E-03	6.1E-02	5.2E-03
ノード4	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	1.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
ノード5	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	1.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
ノード6	6.5E-02	3.0E-02	1.0E-02	0.0E+00	0.0E+00	1.0E+00	5.0E-01	1.6E-02
ノード7	1.5E-01	7.0E-02	2.3E-02	0.0E+00	0.0E+00	5.0E-02	1.2E+00	3.6E-02
ノード8	1.1E-01	7.2E-02	4.8E-02	0.0E+00	0.0E+00	2.3E-04	5.4E-03	1.0E+00

表 3　5 月 4 日のグループ B の期待遷移確率行列

出発地＼帰着地	ノード1	ノード2	ノード3	ノード4	ノード5	ノード6	ノード7	ノード8
ノード1	1.2E+00	3.0E-01	4.9E-02	8.1E-04	3.8E-03	6.1E-03	1.1E-01	1.4E-01
ノード2	4.6E-01	1.2E+00	1.9E-02	5.6E-04	2.6E-03	3.9E-03	7.6E-02	9.0E-02
ノード3	1.5E-01	9.0E-02	1.1E+00	8.2E-04	2.3E-03	2.8E-02	1.1E-01	4.2E-02
ノード4	2.8E-01	8.1E-02	1.8E-02	1.0E+00	4.4E-03	1.1E-02	2.6E-01	3.4E-02
ノード5	1.3E-01	8.3E-02	3.2E-02	6.4E-03	1.0E+00	2.5E-01	8.7E-01	2.6E-02
ノード6	1.6E-01	8.3E-02	2.9E-02	5.5E-03	1.2E-02	1.1E+00	7.5E-01	2.8E-02
ノード7	1.6E-01	1.1E-01	4.3E-02	8.9E-03	1.8E-02	5.1E-02	1.2E+00	3.5E-02
ノード8	1.1E-01	6.5E-02	6.0E-03	4.8E-04	1.8E-02	6.5E-03	6.5E-02	1.0E+00

いずれにしても，本研究において選定した 8 つの倉敷市の観光地（商業施設を含む）間の回遊は限定的であった．また，回遊が起きたとしても回遊されるノードは限定的であり，倉敷駅北側のノード 1 又は 2 から美観地区のノード 6 又は 7 への回遊は，倉敷駅北側のノード 1 及び 2 間の回遊と比較して少ない．この傾向は，国土交通省中国地方整備局（2015）が指摘した「倉敷駅の北側の商業地と美観地区の回遊性」の低さと調和的である．

3.2 各来街者グループの単独ノード滞在者（S）と複数ノード滞在者（M）の平均累積滞在時間

3.1 より，倉敷市への来街者の限定的な回遊の状況が明らかになったが，より詳細な傾向を明らかにするために，S と M の各ノードへの平均累積滞在時間を来街者グループごとに分析した．

3.2.1）　来街者グループ A・B

来街者グループ B では 5 月 4 日において各ノードにおける M の平均累積滞在時間が S のそれと比較して有意に長い．ただし，来街者グループ A では，M のほうが平均累積滞在時間が長かったものの，統計的な有意性は確認できなかった．この結果と 3.1 より，来街者グループ B（県外）のうち，M はその平均累積滞在時間が S のそれと比較して長いものの，S の人数の方が多いので，彼らが倉敷市の観光に与える経済効果は限定的であると考えられ

る．

3.2.2） 来街者グループ C

S のうち，倉敷駅（ノード３）に滞在した者の平均累積滞在時間と，それ以外のノードに滞在した者の平均累積滞在時間を比較したところ，他の全てのノードに対して倉敷駅における平均累積滞在時間が統計的に有意に長かった．これは 4 月 20 日と 5 月 4 日の両日で同様の結果となった．このことから，来街者グループ C（出発地と帰着地がともに倉敷市以外）は，倉敷市内の観光場所を巡るよりも，倉敷駅の滞在時間が長く，一時的な滞在場所や他の場所に行く際の経由地として滞在している可能性がある．

さらに，来街者グループ C において 4 月 20 日と 5 月 4 日の間でのノードごとの平均累積滞在時間には正の相関関係があり，その相関係数は 0.99 であった．例えば，4 月 20 日に平均累積滞在時間が他のノードと比較して短いノードは 5 月 4 日にもそのノードでの平均累積滞在時間は短く，逆も然りである．このことから，来街者グループ C の場合，各ノードへの平均累積滞在時間の比率は日によって大きく変化しないと考えられる．

4. 考察

本研究では 4 月 20 日と 5 月 4 日のいずれも土曜日の 2 日間の回遊行動を分析した．これらは季節的には同一時期と考えられるが，2 週間離れているため，連続して滞在していた者と，その日のみ滞在していた者の回遊を区別することはできない．したがって，例えば岡山県外からの来街者が前日から倉敷市に宿泊していた場合，その出発地は倉敷市となり，来街者グループの分類に悪影響を及ぼす可能性がある．一方，出発地が倉敷市で帰着地が県外（グループ⑥）とその逆に出発地が県外で帰着地が倉敷市（クループ⑦）の来街者（ユニークな利用者）の割合は，それぞれ 4 月 20 日が約 2%，5 月 4 日は約 4%に留まっていた．したがって，日を跨いだ滞在者の存在を考慮する必要性は低いと考えられる．

5. おわりに

本研究では人流データを用いて 4 月 20 日と 5 月 4 日の倉敷市美観地区含む倉敷駅周辺の 8 箇所の観光施設における来街者の回遊について，その出発地と帰着地を考慮しつつ吸収マルコフ連鎖モデルを適用して分析した．

これらの結果より，倉敷市への来街者は，全体的に市内の主な観光地間への回遊が少なく，回遊されるノードは限定的であることが確認できた．また，この傾向は，来街者の出発地や帰着地に大きく依存しないことが確認できた．加えて，国土交通省中国地方整備局（2015）が指摘した倉敷駅北側の商業地と南側の美観地区との間の回遊性の低さも確認できた．さらに，倉敷市内で 1 箇所のノードのみに滞在する来街者の割合が大きい一方，彼らの各ノードへの平均累積滞在時間は，複数のノードに滞在する来街者の平均累積滞在時間より短い．この傾向は特に県外からの来街者で顕著にみられる．したがって，美観地区をはじめとした倉敷市内の観光地において観光による経済効果を高めるためには，来街者が特定のノードだけでなく，複数のノードに滞在するような取り組みを行う必要があると考えられる．

謝辞

本研究の分析にあたり，青山学院大学名誉教授岡部篤行氏より，貴重な示唆をいただいた．ここに感謝申し上げる．

参考文献

一井啓介・寺部慎太郎・柳沼秀樹・康楠・田中皓介.（2018）．Wi-Fi パケットセンサを用いた散策型観光地における観光回遊行動の把握．*土木計画学研究・講演集*，*57*，01-16.

倉敷市．（2023）．*倉敷市中心市街地活性化基本計画（第３期）* [PDF]．倉敷市．https://www.city.kurashiki.okayama.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/006/496/r5fu.pdf

国土交通省中国地方整備局．（2015）．*倉敷駅周辺地区 - 都市再生整備計画事例集* [PDF]．https://www.cgr.mlit.go.jp/chiki/kensei/jyutaku/jirei/015kurashikieki.pdf

斎藤参郎・中嶋貴昭・椿井昌邦．（1998）．消費者回遊行動から見た大規模再開発による都心の構造変化に関する実証的研究．*地域学研究*，*29*（3），107-130.

佐佐木綱．（1965）．吸収マルコフ過程による交通量配分理論．*土木学会論文集*，*1965*（121），28-32.

廣瀬健・井村祥太朗・絹田裕一・矢部努．（2019）．スマートフォン位置情報から読み解く観光地における人の流動 ～ビッグデータはどこまで人の行動を追えるのか～．*IBS Annual Report 研究活動報告 2019*, 43-50.

室井椋太郎・大江靖雄．（2020）．水産物直売所の来訪者における回遊と購買行動 千葉県銚子市を対象として．*農業経営研究*，*58*（２），59-64. https://www.jstage.jst.go.jp/article/fmsj/58/2/58_59/_pdf/-char/ja