

トリップ・チェインアブ・ローチによる観光周遊行動の時空間特性
Temporal and Spatial Characteristics of Recreational Excursion Behaviors :
Trip Chaining Analysis

西井 和夫* 古屋 秀樹** 坂井 努***

By Kazuo NISHII, Hideki FURUYA and Tsutomu SAKAI

This paper aims to analyze temporal and spatial characteristics of recreational excursion behaviors. While such a recreational excursion is defined as a trip chaining behavior, Markovian approach is considered as a useful tool for describing basic characteristics such as the transient probability between states, the one between zones and the probability of returning home. In this paper, a simple absorbing Markov-chain model is applied to representing the excursion behaviors in Fuji-Five-Lakes recreational areas. This model is evaluated from the viewpoint of its applicability and validity, and some future directions in this research are also discussed for the purpose of incorporating the existing Markovian model into the effect of time-dependency in the state-transient.

1. はじめに

近年観光地では、休日に多くの観光車両が流入し、これらの地域における幹線道路は著しい混雑を呈している。このような交通問題は、観光地自体の魅力を低下させる大きな要因の1つといえ、観光地域内の幹線道路整備における大きな課題と考えられている^{1) 2)}。また交通行動論的観点に立てば、今後の所得水準の向上や、余暇時間の増大に伴って、観光地はより多様な活動機会の創出と提供ができることが強く求められている³⁾。したがって、観光地における交通は、ピーク交通量

で代表される交通量の時間帯分布とトリップメーカー（あるいは来訪客）の観光周遊行動の多様性の両者に特長点を見出すことができる^{4) 5)}。そこで観光地における道路利用形態を反映した道路整備計画を策定するためには、この両者の関係をうまく表現できる方法論の開発が不可欠といえる。

そこで本研究では、観光地の周遊交通特性を吸収マルコフ連鎖モデルを適用することにより、ゾーン別OD交通量として算出する。さらに、吸収マルコフ連鎖モデルの数学的諸特性と観光交通の現況特性を比較し、今後のモデル改良のための指針を得ることを試みたい。

観光交通の特性は、これまでも日常生活と対比してさまざまな研究がなされているが、ここでは特に観光地相互の立ち寄りを「周遊行動」としてとらえ、それらが地域（富士五湖地域）内でどのようなパターンで遷移するのかを、ゾーン間遷移

キーワード：観光周遊、吸収マルコフモデル

* 正会員 工博 山梨大学助教授 土木環境工学科

** 正会員 工修 山梨大学助手

*** 学生員 山梨大学大学院工学研究科

土木環境工学専攻(〒400 甲府市武田4-3-11)

確率としてとらえようとしている。ここで、吸収マルコフ連鎖モデルを利用する利点としては、観光地の周遊型トリップ・チェーンの生成・発生・吸引・帰着構造を忠実に模倣・追跡できること、また広域的な地域の交通現象をゾーン別の行列表示できることが挙げられる。そこで、次節において吸収マルコフ連鎖モデルの概説を行い、その数学的性質を紹介する。

2. 吸収マルコフモデルの概説

2-1 マルコフ連鎖の基本概念⁶⁾

離散時点の確率過程 X_n ($n=0,1,\dots$) を考え、任意の $n \geq 1$ なる整正数の組 $(i_0, i_1, \dots, i_{n-1})$ と j に対して、

$$P\{X_n=j | X_0=i_0, \dots, X_{n-1}=i_{n-1}\} \\ = P\{X_n=j | X_{n-1}=i_{n-1}\} \cdots (1)$$

が成り立つとき、確率過程 $\{X_n\}$ はマルコフ性を持つといい、マルコフ性をもった状態空間が離散的な確率過程 $\{X_n\}$ をマルコフ連鎖という。つまり、式(1)は、次の状態 X_n がどうなるかは、現在の状態 X_{n-1} のみに依存して確率的に決まり、過去の履歴、 $X_0, X_1, \dots, X_{n-2}$ には無関係であることを示す。また(1)の状態推移確率が時点 n によらないとき、推移確率は定常であるといい、このマルコフ連鎖は斉時的であるという。

今、斉時的マルコフ連鎖 X_n の推移確率を

$$p_{ij} = P\{X_n=j | X_{n-1}=i\}, 1 \leq i, j \leq N \cdots (2)$$

とおく。 p_{ij} は確率であるから、確率の基本性質

$$0 \leq p_{ij} \leq 1, \quad \sum_{j=1}^N p_{ij} = 1 \cdots (3)$$

を満たしている。 p_{ij} を行列の形にならべた

$$\{p_{ij}\} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \cdots & P_{1N} \\ P_{21} & P_{22} & \cdots & P_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{N1} & P_{N2} & \cdots & P_{NN} \end{bmatrix} \cdots (4)$$

を(1次の)推移確率行列と呼ぶ。この行列は(3)の条件から行和(各行について横に加えたもの)はすべて等しくなっている。

2-2 吸収マルコフ連鎖モデルによる

トリップ・チェーンの記述

従来の吸収マルコフ連鎖モデルは、状態空間としてトリップ・目的を取り上げ、その目的連関の形で状態遷移を記述しようというものである。このときの遷移確率は、吸収状態と過渡的遷移状態の2つに分けて次式にて表現できる。(近藤(1977) 7)

吸収源 過渡状態

$$Q = \begin{matrix} \text{吸収源} \\ \text{過渡状態} \end{matrix} \begin{bmatrix} I & O \\ \cdots & Y \end{bmatrix} \cdots (5)$$

Y : 過渡的状態間遷移確率 ($m \times m$)、 R : 帰宅確率 ($m \times s$)、 I : 単位行列 ($s \times s$)、 O : ゼロ行列 ($s \times m$)、 m : 過渡的遷移状態の数
 s : 吸収限の数

今、この遷移確率 Q が n 乗されるときに得られる過渡的状態間遷移確率 Y^n は、今考えている過程において、ある過渡状態 (i) を出発して n トリップしたときにある過渡状態 (j) にいる確率を示しているので、無限回の遷移の中でそれらを加算してやれば、次式で示される吸収マルコフ連鎖の基本確率行列が得られる。

$$I + Y + Y^2 + \cdots + Y^n + \cdots = (I - Y)^{-1} \cdots (6)$$

この行列の ij 要素は、 i から出発したマルコフ連鎖が吸収限に入ってしまうまでに、何回状態 j を通過するかという過渡的状態に存在する回数の期待値である。

したがって、ただ1つの吸収源として H.B (ホームベース) を定義し、過渡的状態として、帰宅目的以外の各トリップ・目的を対応づけさせた吸収マルコフ連鎖を考えたとき、これを無限回遷移させるものとすれば、式(6)の性質より家庭から各目的で出発したトリップ・が家庭に返ってくるまで各目的を何回行ってきたかを知ることができる。図-1はこのモデルのフローチャートである。まず、目的別ゾーン別にベースから発生するトリップ・数(トリップ・発生数)を第1トリップ・生成原単位等を用いることにより、これにゾーン間遷

移行列を乗じて第1トリップ'の目的別・ゾーン別着トリップ'エンド数が得られる。次に、これに目的間遷移行列を乗じることにより第2トリップ'の目的別・ゾーン別発トリップ'エンド数が計算できる。こうしてベースから発生するトリップ'にゾーン間遷移行列、目的間遷移行列を交互に乘じて行くことによって、再びベースに戻るまでのトリップ'の軌跡を追跡できることになる。もちろん、1

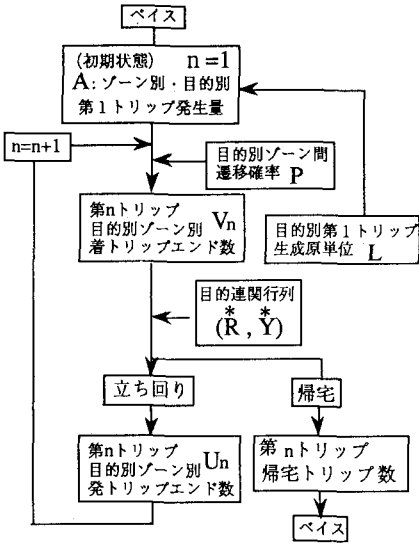


図-1 吸収マルコフモデルによる追跡プロセス

回トリップ'が終了するごとにR(帰宅確率)の割合でベースに戻ってしまうので、トリップ'数は各回毎に小さくなっていく。このようにしてできるトリップ'断面ごとのOD表を各目的について合計したものが、あるベースについての目的別OD表となる。この手順をすべてのベースについて行い、それらを加算すれば最終的なOD表が得られる。

3. 観光周遊諸特性の把握

3-1 観光行動の時空間特性

観光地における交通現象の大きな特徴として時間、あるいは曜日ごとでピーク特性が顕著であることが挙げられる。ここではまず、微視的な視点から、個人の観光行動に対して1日の時間推移に関連する諸特性を明らかにする。次に、これらの

観光行動を今度は巨視的にとらえることを意図して、前述の吸収マルコフ連鎖モデルの適用にもとづくOD交通量の算出を行うことにする。

図-2は、富士五湖地域における来訪時刻、帰宅時刻の分布を示す。これより、来訪時刻については、10時までに全体の55%、また14時までに全体の92%が到着している。これは、分析対象データが1日日帰り客を対象としているために到着時刻は比較的早い時間帯において分布が偏っていることによる。一方帰宅時刻では、15時までに57%、また18時までに90%の人が帰宅にむかう。これは、富士五湖地域から自宅までの距離、道路状況、来訪時刻、等に依存すると考えられる。

またこのうちで、来訪時刻は観光地内での滞在可能時間に直接的に影響を与えているので、来訪時刻と観光地での滞在時間との間には何らかの関係を見出し得ると予想できる。図-3は、来訪時間帯とそれに対する平均滞在時間およびその標準偏差を示す。これを見ると、早い時刻に来訪した観光交通は、滞在時間の平均値および標準偏差値の両者ともに比較的大きく、逆に遅い来訪時刻になればなるほどそれらの値は減少する傾向がある。

このことは以下のことを示唆している。すなわち、早い時刻に来訪した人ほど滞在時間が長くまたその標準偏差が大きいということは、それだけこれらの来訪客は観光地内で多様な滞在行動を行っているといえる。また、この図中の平均滞在

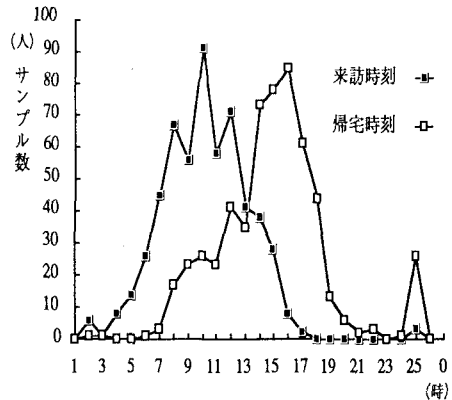


図-2 観光地における来訪・帰宅時刻分布

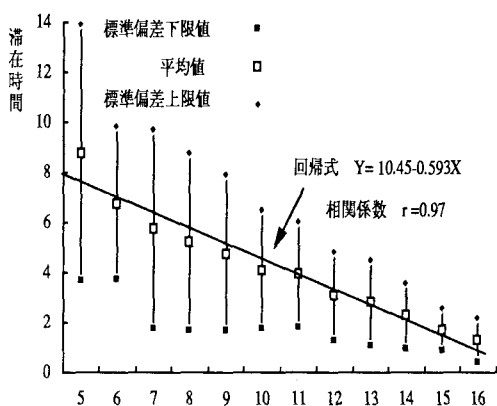


図-3 富士五湖地域への来訪時刻(時)

時間と来訪時刻において回帰分析を行ったところ相関係数が0.97と高く、両者に強い相関を見ることができた。また回帰分析の変数Xの係数は0.593という値になった。これは、来訪時刻が1時間遅くなると滞在時間がおよそ36分短縮されるということを意味している。

3-2 吸収マルコフモデルを用いた

觀光地周遊特性

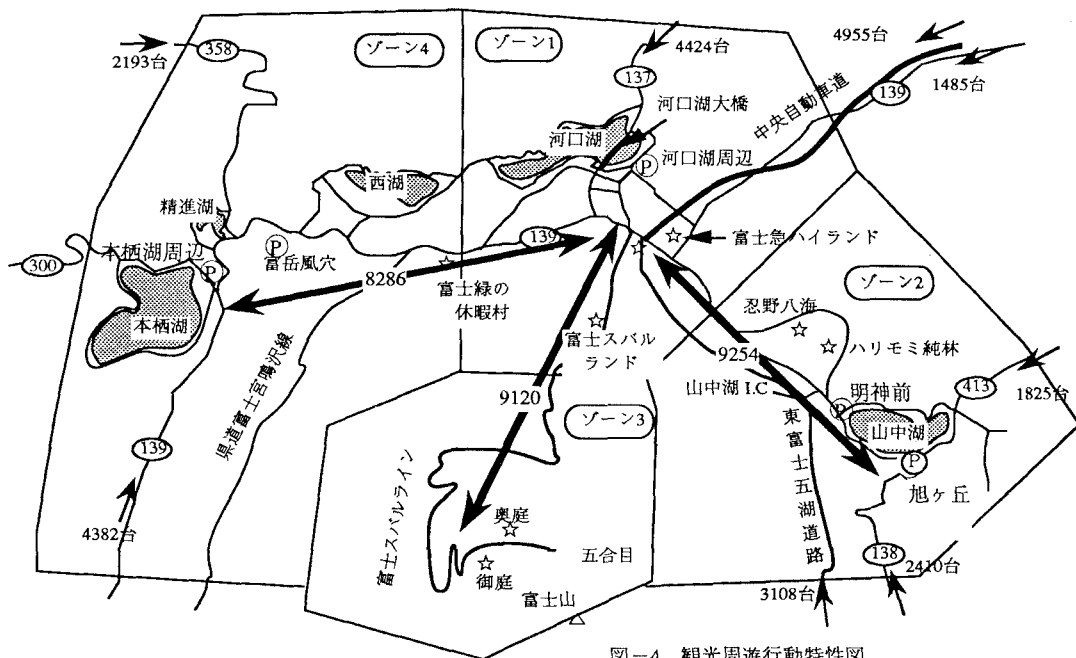
図-4は、分析対象地域である富士五湖周辺地

域について、吸収マルコフ連鎖モデルの適用結果にもとづく周遊行動特性図を示す。このモデル構築にあたっては、図中で示した駐車場におけるインタビュー調査（平成2年10月実施）での日帰り来訪車両の経路と観光スポットへの立ち寄り先からゾーン間遷移確率、帰宅確率を算出するとともに、これに各ゾーンへの流入交通量を発生交通量と仮定し、定常状態におけるOD分布交通量を得た。

表-1には、このモデルより算出されたOD交通量を示すが、図中にはこのOD表より得たゾーン間交通量の分布のうち主たる3つのODパターンを示している。具体的には、中央道の河口湖ICのあるゾーン1を発(着)エンドとして山中湖方面

表-1 觀光周遊目的OD表 (台/12h)

O \ D	1	2	3	4
1	3105	2329	7376	4852
2	6925	1671	716	1193
3	1744	1246	0	830
4	3434	1832	457	7098



図一4 観光周遊行動特性図

(ゾーン2)、富士山5合目方面(ゾーン3)、そして本栖湖方面(ゾーン4)の各々を発(着)エンドとするODハ'ターンである。またこれらのODハ'ターン交通量は、日帰り来訪トリップ総数車両のうち約44%が圏域の観光スポットを周遊していることを意味する。(図中矢印の数字はOD交通量を示している)

4 観光周遊行動の記述と予測のための

吸収マルコフ連鎖モデルの有効性検討

これまで、吸収マルコフ連鎖モデルの数学的性質、そして観光交通の来訪・帰宅時刻分布とそれらと滞在時間との関係についてミクロおよびマクロの両側から検討を行ってきた。ここでは、特に吸収マルコフ連鎖モデルと現実の観光交通現象との整合・不整合性について言及していきたい。これは、モデルの有効性の議論の1つとして位置づけることができよう。

トリップ'チェーンを吸収マルコフ連鎖モデルによって記述する場合に、明示的または暗黙裏に次のようなことが仮定されている。

- (1)目的間遷移行列は、各時刻(遷移が行われる各段階)において一定である。すなわち、いま考えているマルコフ過程は時間的に一様である。
- (2)目的間遷移行列は、対象とする人口のどのメンバーについても同一である。
- (3)トリップ'目的*i*である状態から、次の段階でトリップ'目的*j*の状態に遷移する確率 Y_{ij} は、この個人がトリップ'目的*i*に到着するまでに経てきた過去の履歴からは独立である。
- (4)2つの状態間の遷移に要する時間(travel time between states)は、一定であるかまたは零である。
- (5)各状態における滞在時間(duration of stay)は各状態について一定である。
- (6)ベイス出発時刻は、すべてのゾーン、すべての第一トリップ'目的について同一である、など。

以下ではこれらの諸仮定について、観光地内の周遊行動によって形成されるトリップチェーンが満足するか、あるいは逆に実際のトリップチェイ

ンの記述のためにどのように諸仮定を緩めていくことができるかを考察して行くことにする。

(1)は、第2節で述べたマルコフ連鎖の推移確率における定常性に対応しており、本モデルでは観光周遊というトリップ'目的から帰宅目的への交通目的の変更が生起する確率が時間的に変化せず一定であることを仮定している。しかし、これまで見てきた結果からわかるように、目的間遷移確率はその経時の変化も考慮する必要がある。

(2)に関しては、もし必要ならば個人属性別にデータを細分化し、各グループ'毎に独自の吸収マルコフ連鎖モデルが構築できればほど重要な仮定ではない。ただし、これは現況再現という目的にとっては有意義であっても、将来予測による複雑さは免れないことに留意すべきである。

(3)は、やはり等2節で述べたマルコフ性に対応し、マルコフ連鎖の構成上で骨格的な役割を担う。

これは、吸収マルコフ連鎖モデルの全体的な適合度からその妥当性を検証していくことになる。従来のトリップチェーン研究では、吸収マルコフ連鎖の拡張としてマルコフ再生過程あるいは時間依存型遷移確率の導入などにより、実態により適合させるためのモデルの洗練化がなされている。

(4),(5),(6)はいずれも時間の要素に関するものであり一定あるいは同一であるとは考えにくい。よって、これらも(1)と同様に時間軸の導入によって、より現実に即したモデルの構築が可能であると考えられる。

そこで、第3節で扱った吸収マルコフ連鎖モデルを8時から10時に流入した交通量と11時から13時に流入した交通量との2グループについて、それぞれのゾーン間遷移確率・目的間遷移確率・発生交通量の値をモデルに導入することにより、それぞれに対応するOD交通量を算出した。両者を比較した値を図-5に示す。それによると、ほとんどのOD交通量は時間の経過に伴って増加していることがわかる。中でも1ゾーン(河口湖、富士吉田)、2ゾーン(山中湖)に関するOD交通量(ODペア4-2,2-2,2-1,1-1)が著しい増加を示している。これは被験者数が相対的に多い東京方面への帰宅行動の割合が時間経過とともに大きくなっ

ODゾーン（13は1ゾーンから3ゾーンへのOD交通量を示す、グラフ上の数値は（11時～13時の流入交通量）／（8時～10時の流入交通量）を示す、ゾーンは図-4を参照）

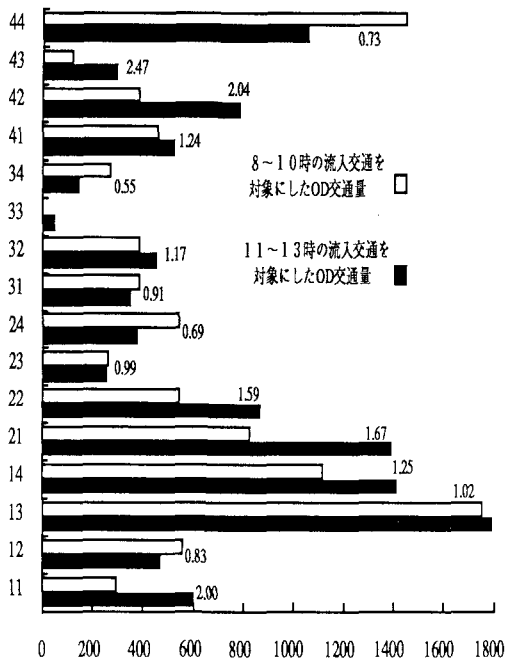


図-5 時間帯別・ゾーン別OD交通量

ていることを反映している。また全体的に見て、ゾーン1を含む交通量が相対的に多くなっていることは1日トータルの現象と同じ傾向を示している。

また、これらの諸仮定以外のものとしては第2節で示した式(3)が、同時にトリップチェーンの完結性（すなわち、遷移状態に存在する交通は必ず最終的には帰宅にむかうという仮定）を示している。本モデルでは、対象地域内での流入から流出までのトリップを完全トリップパターンとしてとらえているが、本来トリップチェーンは自宅を出発してから帰宅するまでの一連のトリップ全体を考慮すべきであろう。これに関しては、トリップチェーン内の各トリップに対する交通目的に対して、観光地への来訪目的、観光地での周遊、観光地からの帰宅という3つに分けて考え、それぞれの交通目的に対応させればトリップチェーンの完結性は保持できると考えられる。

5. おわりに

本研究では、トリップチェーンにおける吸収マルコフ連鎖モデルを、観光地の「周遊行動」について適用することにより、そのモデルの妥当性を検討してきた。これらの適用結果と、観光交通特性としてのピーク交通量における時間的変化の両者を考慮すれば、周遊行動パターンの時間的推移を計量的に把握して行くためには、この吸収マルコフ連鎖モデルに時間軸導入をはかることが必要であることを説明した。

また2つの時間帯について、各OD交通量を算出し、来訪時間帯の変化に伴う交通現象の差異を記述することができた。今後の課題として、時間帯の細分化と1日トータルの時間帯別OD交通量推計を行い、離散的モデルからより連続的な交通量変化の把握が必要といえる。さらに、この吸収マルコフ連鎖モデルにおける発生交通量の扱いでは、路線別の流入交通量を用いるが、観光地の周遊交通を将来予測する場合、当然のことながら路線別の将来交通量需要予測も必要となり、この点も実用上の課題といえよう。

参考文献

- 1)西井、花岡、佐藤:観光地における交通特性分析に基づく幹線道路整備手法、第19回日本道路会議論文集・特定課題論文集、pp.294-296、1991
- 2)古屋、西井、佐藤、花岡:観光地における幹線道路整備のための交通特性分析、土木計画学研究・論文集No.9、pp.109-116、1991
- 3)観光交通研究会:観光地に関連する幹線道路整備手法等に関する調査報告書、140p、1991.3
- 4)西井、鈴木、佐藤:観光地の交通サービス条件の変化に着目した来訪機会の選好分析、第11回交通工学研究発表会論文集、pp.65-68、1991
- 5)花岡、西井、徐:観光地の道路整備におけるサービス水準の評価構造に関する基礎分析、第27回日本都市計画学会学術研究論文集、pp.391-399、1992
- 6)森村、高橋:マルコフ解析、日科技連、pp.4-34、1979
- 7)近藤:トリップチェーン手法を用いた都市交通需要推計プロセス、京都大学学位論文、pp.80-92、1977