

時空間回遊データのカーネル密度推定法を用いた簡易な分析手法の提案

熊本大学大学院

学生会員

○佐藤貴大

熊本大学

正会員

円山琢也

1. はじめに

近年、人々の都心部における行動を把握する手法として、スマートフォン(以下、スマホ)のアプリを用いた回遊調査(以下、スマホ型回遊調査)の実施が増えている。一方で、サンプル・サイズの増加に伴って膨大になるデータの分析や、その理解は困難になりやすい。そこで、これらの膨大なデータの特徴をより効率的に抽出する手法が必要となる。この課題に対して、佐藤・円山の研究¹⁾では、カーネル密度推定法を利用して、調査参加者の回遊行動圏を簡便に分析する手法を提案している。しかし、この研究では位置情報とそれに伴う時刻のデータを踏まえた分析は行われていない。そこで、経時的な移動軌跡を取得可能であるスマホ型調査の利点を活かした分析手法が求められる。

本研究では、地理的情報のみの平面の地図に時間次元を加えた3次元カーネル密度分布の視覚化により、回遊の時空間的な集積を簡便に把握する手法を提案する。さらに、3次元カーネル密度の体積値を回遊行動の活発度合いを示す簡易的な指標とすることを提案する。

2. カーネル密度推定法の概要

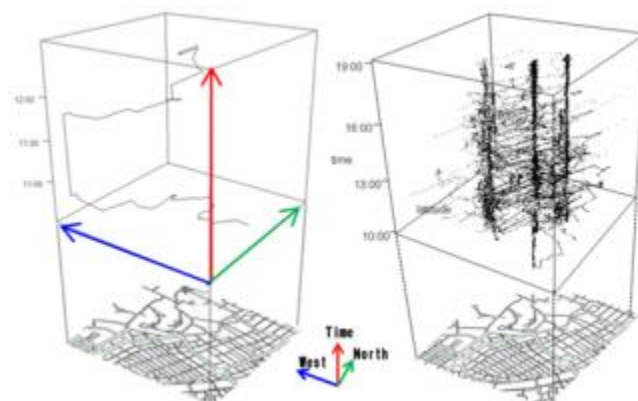
行動圏の分析における一般的な手法のひとつに、カーネル密度推定法(以下、カーネル法)がある。カーネル法とは、密度を計算する地点を中心として、任意に指定した検索半径(バンド幅)内の点密度を、計算地点からの距離減衰効果による重み付けを伴って計算する手法²⁾である。本研究では、統計解析フリーソフトウェアのRのパッケージ“adehabitat”、“ks”を用いて、3次元のカーネル密度図を作成し、その体積値を算出した。

3. 時間軸を加えた3次元視覚化

2013年11月から12月の土・日曜の6日間に熊本市都心部で、スマホ型回遊調査が実施された。本研究では、調査参加者1,086名分のデータに提案手法を適用し、熊本都心部の回遊特性の一部を明らかにする。

本章では、時間軸を加えた従来の3次元視覚化と、本研究で示す3次元カーネル密度図の特徴を整理する。図-1, (a)には、回遊軌跡の3次元視覚化として一般的である時空間パス図を示す。単一のデータに対し時空間パスを作成することで、時間ごとの移動の様子を確認できる。また、一地点への滞在や移動の速さも線の

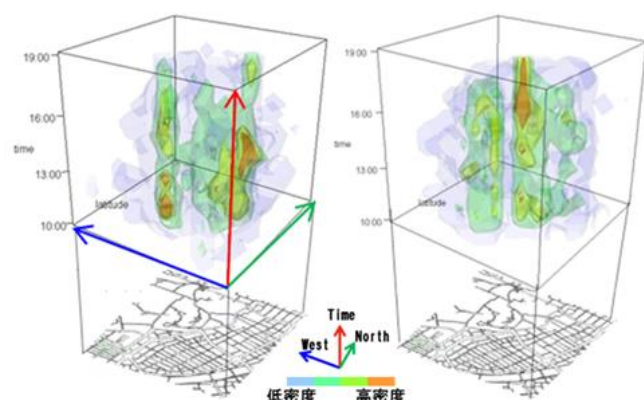
傾きから簡易的ではあるが把握できる。しかし、測位点のデータを線として表現するためには、測位誤差が大きなデータをあらかじめ除去・補正する必要がある。さらに、時空間パスでは複数サンプルの全体的な特徴や傾向を明らかにすることは難しい。図-1, (b)には60



(a) 時空間パス図

(b) 観測点の時空間分布図

図-1 回遊行動データの3次元視覚化



(a) 60代以上/121名

(b) 10代/224名

図-2 回遊行動データの3次元カーネル密度図

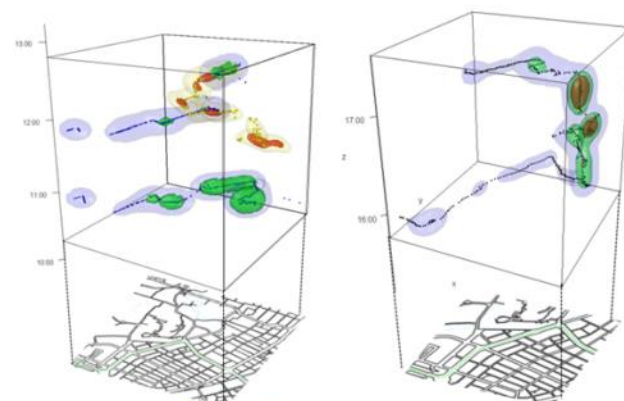


図-3 A・Bの3Dカーネル

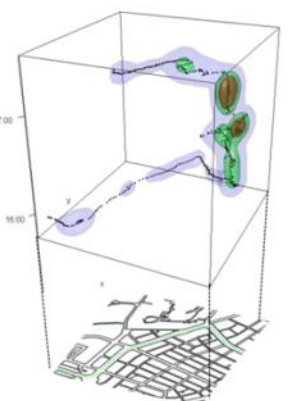


図-4 Cの3Dカーネル

以上の調査参加者 121 名の観測点の時空間分布図を示すが、データが膨大になるほど回遊が集中する時間的、空間的な傾向を読み取りにくい。そこで、佐藤・円山の研究¹⁾より測位誤差の影響を受けにくく、膨大なデータの特徴を簡便に把握できることがわかったカーネル法を時空間のデータに適用して視覚化する。

図-2, (a)には、図-1, (b)に示したデータのカーネル密度推定結果を示す。3次元カーネル密度図では、ヒートマップの形式で観測点の密度を連続的に示せるため、回遊が時空間的に集積する地点を直感的に把握できる。

図-2, (b)には 10 代の調査参加者 224 名の 3次元カーネル密度図を示す。60 代以上の 3次元カーネル密度図と比較すると回遊が集中する地点だけでなく、その時間帯も異なる。10 代では、16 時頃に都心の中心部での回遊が多い。一方で、60 代以上では、午前中には都心の南西部での回遊が多く、午後になると都心の東部に集中していることがわかる。これは、高齢者層の多くが都心の南西部に位置するバスターミナルで下車し、都心の東部に位置する百貨店方面に向かうためだと考えられる。実際に調査参加者のバスの利用割合を見ると、10 代は約 20%であるのに対し、60 代以上では約 40%がバスを利用していた。このことから、高齢者層の多くが午前中にバスで来街し、その後都心部に向けて回遊していると考えられる。一方、10 代は午前中の回遊が比較的少なく、15 時から 19 時に都心の中心部に位置するファッションビル周辺での回遊が多いことがわかる。

以上のような時空間カーネル密度図を作成することで、2次元の可視化では難しい回遊の時間的な流動を簡易的にではあるが明らかにすることができる。また、属性別に 3次元可視化を行うことで、店舗の設置やイベントの実施の際にターゲットに合った場所、時間帯を決定するための基礎情報を取得できる。

4. 3次元カーネル密度分布の体積値の算出

カーネル法では、位置情報の分布密度を確率密度関数として捉え、観測点の密度が高いところから 50%や 95%などの範囲を算出することができる。³⁾ 本研究では 25%, 50%, 95%カーネルを求め、その体積値を算出した。3次元カーネルの推定には以下の式を用いる。ここで、 $\hat{f}(x,y,t)$ は任意の時空間座標 (x,y,t) における観測点の取得の確率密度推定値であり、 K はカーネル関数、 h はカーネル関数のバンド幅パラメータ(スムーズドクロスバリデーション法を採用)、 n は観測点の取得数である。なお、本研究では緯度・経度データ (x,y) および、時刻データ t はそれぞれ正規化した値を用いている。図-3 には、調査参加者 2 名の回遊データの 3次元

$$\hat{f}(x,y,t) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left[\frac{x-x_i}{h}, \frac{y-y_i}{h}, \frac{t-t_i}{h}\right] \tag{1}$$

$$K(x,y,t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}^3} e^{\left(-\frac{x^2+y^2+t^2}{2}\right)} \tag{2}$$

表-1 回遊行動の活発度合いを示す各指標の特徴

	回遊時間	回遊圏域	体積値
+	・指標として明確 ・即時に確認可能	・出発地点別の回遊特性の分析に適する	・回遊時間と回遊圏域を総合的に評価可能
-	・回遊の量は不明	・単なる通過も含む	・値自体の理解が困難

カーネル密度をそれぞれ推定した結果を示す。回遊時間が短く、回遊範囲も狭いサンプル A の 95%カーネル密度圏の体積値を推定したところ、0.005(m³×時間)となった。一方、回遊時間が長く、回遊範囲も広いサンプル B の 95%カーネル密度圏の体積値は、0.116(m³×時間)となった。図-3 からわかる通り、体積値は長時間・広範囲の回遊を行うほど、高い値をとる。これより、体積値では、回遊の活発度合いを示す指標として一般的な回遊時間と回遊範囲を総合的に評価できる。以上を踏まえて、回遊時間と 2次元カーネル密度分布の面積値(佐藤・円山の研究¹⁾では回遊圏域と定義)、3次元カーネルの体積値という回遊行動の活発度合いを示す各指標の特徴を表-1 にまとめる。

図-4 には、サンプル C の観測点の時空間分布とその 3次元カーネルの推定結果を示す。サンプル C は、観測点の分布からわかる通り特定の地点やエリアへの滞在・滞留が見られる。また、滞在・滞留がある地点では、50%や 25%カーネルの推定地点と概ね一致していることがわかる。この結果から、回遊行動の分析において 50%や 25%カーネルの推定エリアを滞在や滞留が生じている地点と定義できると考える。

5. おわりに

本研究では、回遊データの 3次元カーネル密度分布の視覚化とその体積値の算出より、経時的なデータの特性を活かした簡便な分析手法を提案した。今後は、50%や 25%カーネルの推定地点を滞在地点と定義した場合、個人属性や回遊の出発地点別に滞在量に差や傾向が見られるか確認する。

【参考文献】

1) 佐藤貴大,円山琢也：スマホ・アプリ型回遊調査データによる熊本都心部回遊行動圏の分析, 都市計画論文集, Vol.50-3, p. 345-351, 2015.
2) 深田秀実ほか：観光歩行行動データに対する GIS を用いた 3次元可視化手法の提案, 観光と情報, 8 巻 1 号, pp.51-66, 2013.
3) 渡邊修ほか：GPS 簡易調査による上高地地域の外来植物の分布, 信州大学農学部紀要, Vol.49, No.1-2, pp19-27, 2013