

空間ポテンシャル場による群集行動解析手法の提案

(非会員) 日立製作所 *三谷佳一 MITANI Keichi
(非会員) 東京大学 西成活裕 NISHINARI Katsuhiko

1. はじめに

人間中心設計 (HCD: Human Centered Design) に基づいた空間設計の需要が高まっており、人々の動きを理解し空間の快適性や利便性を向上する試みが多く行われている [1]。同時に、IoT の発展に伴い計測できる情報の種類も多くなり、ヒト計測に対するプライバシー等への一層の配慮が求められるようになってきた。

本研究では、計測空間における群集の動線形成の要因をポテンシャル場として解析するアプローチを提案し、その効果を検証する。

2. 動線形成ポテンシャル場のモデル化

2.1. 実施環境

天井に 31 台の ToF (Time-of-Flight) センサを設置し、各々のセンサ視野を繋ぎ合わせて 40.0 m × 10.5 m × 3.4 m の 3D 景観を 24 h 常時計測できるようにした。本点群データは RGB 情報を含んでおらず、人の 3 次元的なシルエットのみが判るようになっており、さらにそのシルエットから動線情報を検出しているため、プライバシーに配慮した計測を行っている。また、天井に設置し、計測空間内の人々に対して、計測されているという認識を与えないようにしており、普段の自然な動きを動線として取得できるようにした¹。

2.2. 動線データ

図 1 に、計測した動線データの内、ある一日 (2020.09.17.Thu.) のデータを示す。この日には、計測空間内を訪れた来客に対する幾つかのデモ実施があり、比較的データが多く取得でき、かつ、人々の注目を集める要素が多く存在していた。

2.3. ポテンシャルモデル

計測空間には、群集の注意を引く様々な要素があり、動線は道中でこれらの影響を受けて複雑な

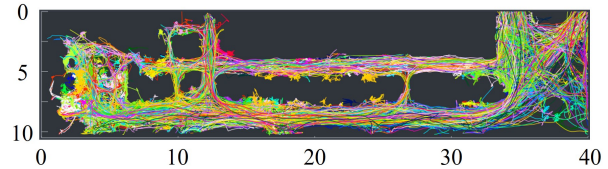


図 1: 2020.09.17.Thu. の動線データ [m]

曲線を描くと仮定する。いま、この仮定を次の 3 つのモデルで表現する：

- 計測空間において群集の注意を引くような点をアトラクタ ρ とし、 ρ が計測空間に分布しているとする ($\text{ppl} = \text{people}$)。

$$\rho = \rho(\vec{r}) [\text{ppl} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (1)$$

- 動線はアトラクタ ρ に吸い込まれるような流線 $\vec{\xi}$ であるとする ($\beta [s]$ は係数)。

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{\xi} = -\beta \rho \quad (2)$$

- 流線 $\vec{\xi}$ は進行方向に並行、かつ、アトラクタ ρ に近づくにつれて値が大きくなるとする。

$$\vec{\xi} = \vec{v}/v^2 [\text{m}^{-1} \cdot \text{s}] \quad \text{where} \quad \vec{v} = d\vec{r}/dt \quad (3)$$

以上のモデルは、群集の動線を電気力線として見立てた際の電場に相当する²。ここで、アトラクタ ρ の変化は準静的であるとして、静電場に相当する場を考える。このとき、式 2 において $\vec{\xi} = -\vec{\nabla}\phi$ によってポテンシャル ϕ を導入すれば、

$$\nabla^2 \phi = \beta \rho \quad (4)$$

の Poisson 方程式が得られる。図 2 に、これまでのモデルの概要を示す。

このポテンシャル ϕ は符号を持っており、 $\phi < 0$ から $\phi > 0$ へ向かって動線が形成される。さらに、同符号の場が隣り合っているような空間において

²流線 $\vec{\xi}$ が動線の接線方向に平行、および、アトラクタ ρ の符号を負にすることで確認できる。

¹社外の方に研究所構内を訪れていただく際は、誓約書に同意していただくようにしており、(無論、プライバシーに配慮した上での) ヒト計測の被験者になり得ることについては予め承いただくようにしている。

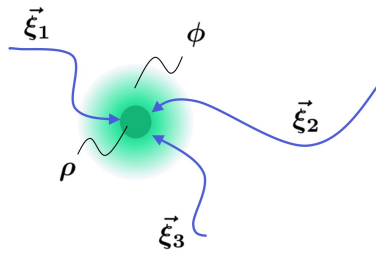


図 2: ある点におけるポテンシャル ϕ の定義

は、斥力によって互いの最小経路を経る動線が形成され難い（迂回）傾向にあることなどが判る。すなわち、ポテンシャル場を用いることによって、群集の動線形成に寄与する空間的要素を把握することができる。

また、定義から ϕ の単位は $[\text{ppl} \cdot \text{s}]$ となり、ある点における人数と滞在時間の積、すなわち人時（person-hour）を表現していることも判る。

3. 結果とポテンシャルモデルの検証

図 3 に、2020.09.17.Thu. における 11:00-12:00（デモが実施された時間）の動線データを用いてポテンシャル ϕ を計算した結果を示す。 $|\phi| = 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 \text{ ppl} \cdot \text{h}$ の等ポテンシャル面を可視化している。また、図 4 に、動線データの時間経過のスナップショットを示す。

この日、デモが実施された領域は、実施順に (a) $[27, 0] \text{ m} \times [38, 9] \text{ m}$, (b) $[15, 10] \text{ m} \times [20, 20] \text{ m}$, (c) $[3, 3] \text{ m} \times [8, 8] \text{ m}$ であった。(b) については、領域外であったためデータは取得できていないが、(a) から (b) にかけて、入り口に動線が吸い込まれていく状態を表現できている（図 4 左列）。また、中間地点においては ϕ の値が存在せず、この領域ではほとんどの人が”素通り”する傾向にあった。これは、アトラクタがない、すなわち群集の注目を集めるものがないということを表している。(c) において、 $\phi < 0$ の等ポテンシャル面が隣り合っているが、全体的に、このポテンシャルを乗り越えて移動する動線は稀であったことも確認できた（図 4 右列）。

4. 本アプローチの新規性

電荷や磁荷に倣ったモデル化には幾つかのアプローチが過去に提案されており [2, 3]、これらとの差異について述べる。本手法は、定義の性質上、比較文献に対して動的場の解析が困難だが、静的場

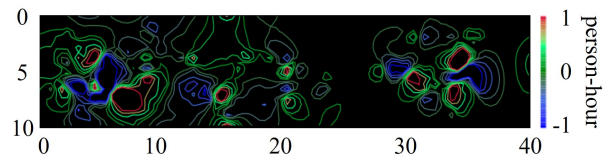


図 3: 動線形成ポテンシャル ϕ

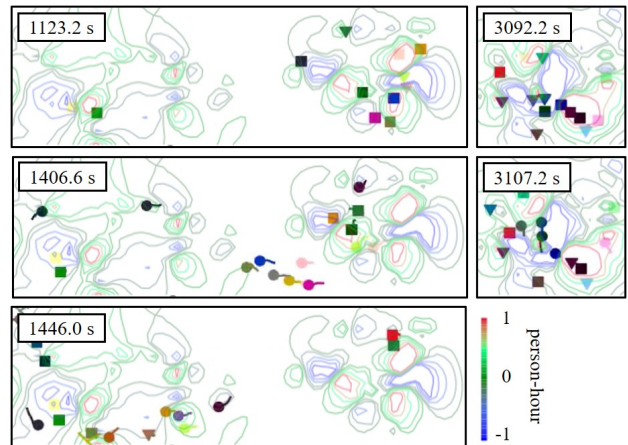


図 4: 動線データの時間経過

について解析を行うことができる。これは、本手法が、群集の動線をモデル化しているのではなく、何らかの群集の動線を形成するような、空間が持つポテンシャル場をモデル化していることによる。

5. おわりに

本研究では、計測空間における動線形成の要因をポテンシャル場として解析するアプローチを提案し、その効果と新規性を確認した。本アプローチは、空間に対する場の解析であり、所望の動線を形成するための空間設計にも使えると考えている。

参考文献

- [1] HCD (Human Centered Design) の考え方と基礎知識体系報告書, https://doc.hcdnet.org/hcdbasic_report.pdf, NPO 法人 人間中心設計推進機構, 2020/11/24.
- [2] 岡崎甚幸: 建築空間における歩行のためのシミュレーションモデルの研究, 日本建築学会論文報告集 第 283 号 (1979).
- [3] 小松利彰: カオスと電荷モデルを用いた群集行動のモデリングと生成, 電学論 C, 121 巻 1 号 (2001).