

展示空間における来場者の移動軌跡抽出と行動分析

田原 莊平・大佛 俊泰

Trajectory Detection and Behavior Analysis of Visitors in Exhibition Space

Sohei TAHARA, Toshihiro OSARAGI

Abstract : In the process of the space planning for exhibition spaces, it is necessary to consider the characteristics of visitors' behavior. In this paper, we construct a method for detecting trajectories of visitors from video images. We attempt to apply our method to video images taken in a real exhibition space, and analyze the relationship between the characteristics of exhibition space and visitor's behavior.

Keywords : 展示空間 (exhibition space), ビデオ映像 (video image), 移動軌跡 (trajectory), 行動分析 (behavior analysis), 画像解析 (image analysis)

1. はじめに

展示会場・イベント会場などの空間設計の際には、来場者の移動行動についての知識が必要となるが、従来の研究の多くはアンケート調査や調査員による追跡調査に基づいており、調査に多くの時間と労力を要していた。本研究では、ビデオカメラの映像を利用して比較的簡単に来場者の移動軌跡を時空間情報として抽出することができるシステムを構築した。さらに、構築したシステムを実際の展示会で撮影したビデオ映像に適用し、来場者の行動特性について定量的な分析を試みた。

2. 移動軌跡抽出システムの構築

本研究で構築した移動軌跡抽出システムの概要を図1に示す。本システムは入力データの作成、座標変換、軌跡抽出の三つに分けられ、本章ではそれぞれの詳細について述べる。

2.1 入力データの作成

ビデオカメラを用いて対象となる人の動きをで
大佛：〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1
東京工業大学大学院 情報理工学研究科
情報環境学専攻 大佛研究室
E-mail: osaragi@mei.titech.ac.jp

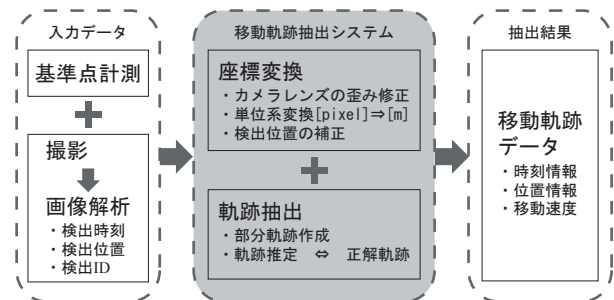


図1 移動軌跡抽出システムの概要

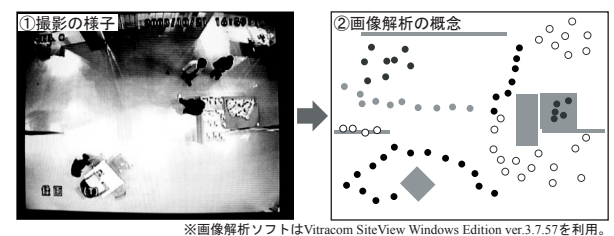


図2 撮影と画像解析

きる限り真上から撮影し（図2①）、取得した映像を画像解析ソフトを用いてポイントデータに変換する（図2②）。展示会場において基準となる点（以下、基準点）の位置を計測し、ビデオカメラの設置位置・撮影開始時刻を記録しておく。

2.2 座標変換

画像解析ソフトから取得できるポイントデータは、座標値がピクセルなどの画面上のもので表されており、レンズの歪みや検出位置などの誤差も含

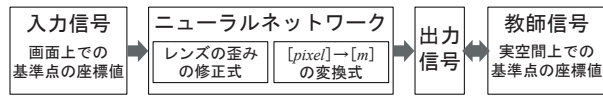
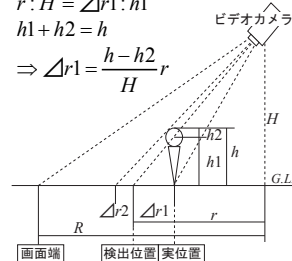


図3 ニューラルネットワークの概要

◆検出点補正の概要

$$\begin{aligned} \Delta r2 + r : H &= \Delta r2 + \Delta r1 : h \\ r : H &= \Delta r1 : h1 \\ h1 + h2 &= h \\ \Rightarrow \Delta r1 &= \frac{h - h2}{H} r \end{aligned}$$



r : ビデオカメラと検出位置の直線距離
 H : ビデオカメラの設置高さ h : 人の身長
 R : ビデオカメラと画面端の直線距離
ただし、 $r + \Delta r2 \leq R$
 $h = 1.654 \text{ (m)}$, $h2 = 0.259/2 \text{ (m)}^2$

◆座標変換の結果

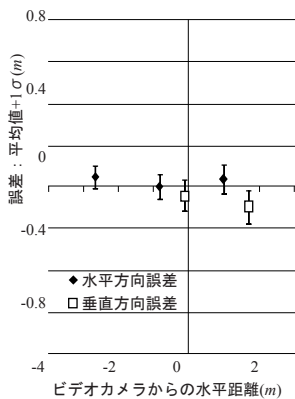


図4 検出位置の補正の概要と座標変換の結果

んでいるため、そのままでは現実の位置情報として使用できない。そこで、次に示す手順で座標変換を施す。まず、図3に示したニューラルネットワークを利用してカメラレンズによる画像の歪みの修正と座標系の変換を行う。続いて、検出位置の補正を行う。本研究で用いた画像解析ソフトは丸いものを特徴量として抽出することで人の頭の位置を検出することができる。このことを踏まえると画像解析ソフトによる検出位置と実際の人の足元の位置（以下、実位置）との関係は図4左のように表すことができる。検出位置の実位置への補正值 $\Delta r1$ は、身長 h と頭の半分の大きさ $h2$ の関数となっており、本研究では h と $h2$ に来場者の主な年齢層に応じた統計値を利用した。以上の座標変換の精度を検証した結果を図4右に示してある。ビデオカメラから3m前後の範囲における変換誤差は10cm程度に納まっており、高精度に座標変換が行えることが確認できる。

2.3 軌跡抽出

各ポイントデータの位置情報と時刻情報、画像解析ソフトによって与えられるIDの情報を利用して、ポイント同士を接続することで来場者の移動軌跡の抽出を行う。まず、ポイントデータのIDの情報を利用して部分軌跡の作成を行う（図5）。このとき、画像解析ソフトから得られるIDが間違っている場合も考えられるので、同じID

◆部分軌跡の作成

画像解析ソフトによって与えられるIDの情報と画像解析ソフトの検出パラメータによって作成する

◆部分軌跡の分類

$dr \geq \lambda$ のときは移動部分軌跡に
 $dr < \lambda$ のときはそれ以外に分類する
 dr : 部分軌跡の始点と終点の直線距離
 λ : 未知パラメータ

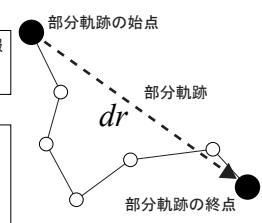
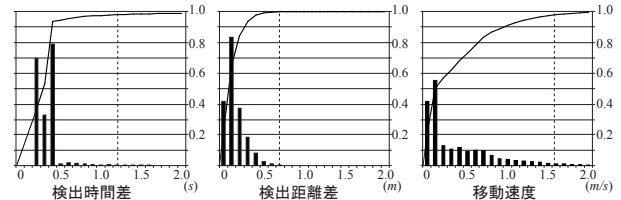


図5 部分軌跡の作成



検出対象に同じIDが割り振られる（画像解析ソフトによって同じ移動体として判断される）ときの検出時間差・検出距離・移動速度は、画像解析ソフトの検出パラメータによって大体決まっており、上記のグラフのように一定の範囲内に収まる。それぞれの値がこの範囲から逸脱している（ここでは上位2%以上の場合は部分軌跡として接続しないこととした）。

図6 同じIDのポイントデータの集計結果

◆接続候補の探索手順(ポイントiに接続するポイントjを探索する場合)

- I-1) ポイントiから接続条件Aを満足する接続候補となるポイントを探る
- I-2) 接続条件Aを満足する接続候補がない場合は探索範囲をmaxDまで+dDずつ順次広げる
- I-3) 探索範囲がmaxDになっても接続候補がない場合はポイントiを軌跡の終点とする
- II-1) 接続候補の中から最も時刻がポイントiに近いポイントを選びminTを算出(ただしminT>0)
- III-1) 接続候補の中で接続条件Bを満足するポイントを残す
- IV-1) 接続候補の中で接続条件Cを満足するポイントを選択し探索を終了する
- IV-2) 接続条件Cを満足する接続候補がない場合は探索範囲をmaxVまで+dVずつ順次広げる
- IV-3) 探索範囲がmaxVになっても接続候補がない場合はI-2)に戻る

◆接続条件

- A) $b \leq D + \alpha dD \leq \max D$
- B) $|t_j - t_i| \leq \min T + dT$
- C) $b |/(t_j - t_i)| \leq V + \beta dV \leq \max V$

id : 画像解析ソフトによって与えられるID
 (x,y) : 位置座標 t : 時刻 $\min T$: 候補の中で最小の $(t_j - t_i)$
 α, β : 探索回数 $\max D$: 探索範囲最大値 $\max V$: 速度最大値
 dT, dD, dV : 未知パラメータ
※接続条件はそれぞれ、Aは距離・Bは時刻・Cは速度に関する条件となっている

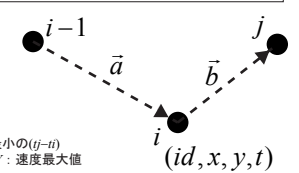


図7 接続候補の探索方法

$$c_k = \frac{n(\mathbf{P}_k^* \cap \mathbf{P}_k)}{n(\mathbf{P}_k^*)}$$

$$\bar{c} = \frac{1}{N} \sum_k c_k$$

c_k : k番目の軌跡の一致率 N : 正解軌跡の個数
 \mathbf{P}_k^* : k番目の正解軌跡を構成するポイントの集合 \bar{c} : 一致率の平均値
 \mathbf{P}_k : k番目の推定軌跡を構成するポイントの集合 ※集合Pの要素数を $n(P)$ と表す

図8 一致率の定義

を持つポイントデータについて、図6に示すように検出時間差・検出位置差・移動速度の値の集計を行い、集計結果を利用して誤検出と考えられるデータを部分軌跡から除外した。続いて、部分軌跡の始点と終点を利用して調査範囲全体での軌跡抽出を行う。図7に示した手順で、ある部分軌跡の終点ポイントiに接続される別の部分軌跡の始点ポイントjを探索する。 dT, D, dD, V, dV は未知パラメータとなっており、これらの値によって部分軌跡の接続のされ方が変化する。この探索をすべての部分軌跡について行うことで、来場者の移動軌跡を抽出することができる。このとき、図5に示すように、部分軌跡の始点終点間の直線距

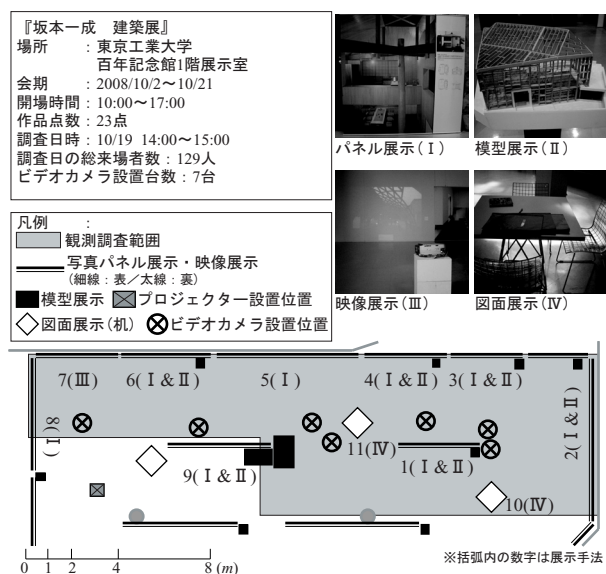


図9 観測場所の概要

離 dr と未知パラメータ λ を用いて、部分軌跡を移動部分軌跡とそれ以外に分類し、調査範囲外から範囲内に入ってくる軌跡については、移動部分軌跡のみを利用した。また、調査範囲内で移動軌跡が途切れたり突然現れたりしないよう考慮した。未知パラメータの値は、実映像を確認しながら作成した実際の来場者の軌跡（以下、正解軌跡）に近付くようにパラメータの値を少しずつ変化させながら軌跡の推定を繰り返し行い、図8に示した一致率の平均値 \bar{c} が最も高くなるパラメータを採用した。

3. 来場者の移動行動抽出

3.1 観測場所

構築したシステムを図9に示した『坂本一成 建築展（以下、坂本展）』の会場で撮影した映像に適用した。調査時刻は事前の観察調査により来場者が最も多い時間帯の14時から15時の1時間とした。

3.2 正解軌跡の作成

撮影した映像に画像解析を施し、前述した方法で座標変換を行った結果を図10に示す。これをもとに、撮影した映像を確認しながら、6人分の正解軌跡を作成した（図11）。移動軌跡抽出においては、展示物間の移動が重要な情報となるので、正解軌跡は来場者の展示物間移動の軌跡のみ

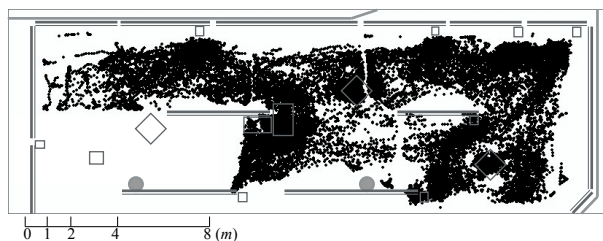


図10 坂本展における座標変換後のポイントデータ

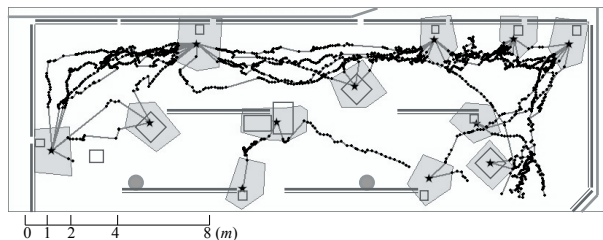


図11 正解軌跡の作成

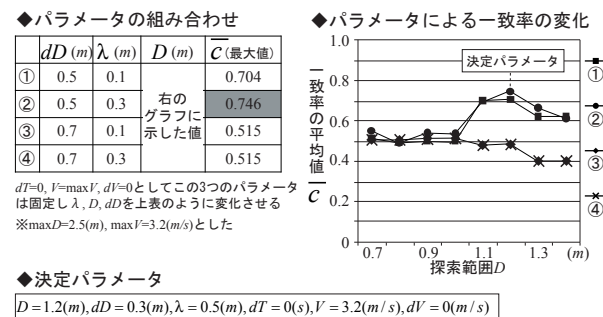


図12 パラメータ推定の結果

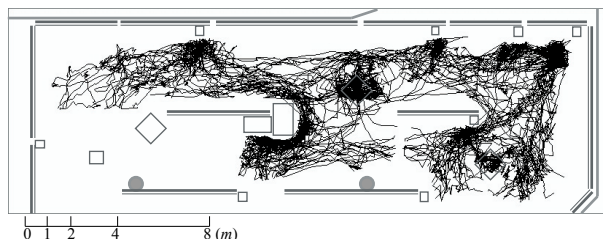


図13 坂本展における軌跡抽出の結果

で構成した。

3.3 パラメータ推定の結果

パラメータ推定を行った結果を図12に示す。6つの未知パラメータの内 dT, V, dV をそれぞれある値に固定したとき、安定的に高い一致率が得られたので、この場合の結果を示してある。 $dT=0$ とすることは、接続条件A(図7)を満足するポイントのうち、最も時刻が近いポイントに接続することを意味している。坂本展は比較的来場者が少なく、接続条件Aの探索範囲に来場者が一人で存在する場合も多いため、このような結果になったと考えられる。推定の結果抽出された移動軌跡を図13に示す。正解軌跡との一致率は0.746となった。

4. 来場者の移動行動分析

4.1 展示空間の使いわけの評価

抽出した移動軌跡の情報をを用いて、坂本展における来場者の移動行動についての分析を試みた。まず、展示空間に 50cm のメッシュを敷き集計した結果を図 14 に示す。図 14a からは来場者が模型展示と図面展示で多くの時間を過ごしていることが、図 14b からは展示物鑑賞中と展示物間の移動中とで、来場者が移動速度を使い分けていることがわかる。次に来場者の移動速度を集計し、移動速度が遅い方から 50%(およそ 0.2m/s 以下) の状態を鑑賞・滞留の状態、早い方から 20%(およそ 0.6m/s 以上) の状態を展示物間の移動の状態であると考え、メッシュごとに鑑賞・滞留状態、展示物間移動状態の来場者の割合をそれぞれ集計した (図 15)。図 15c から鑑賞・滞留が多い場所を、図 15d から展示物間移動が多い場所を知ることができる。

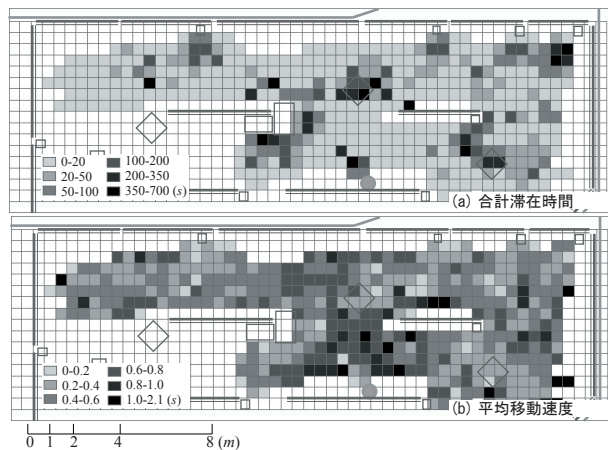


図 14 基本集計の結果

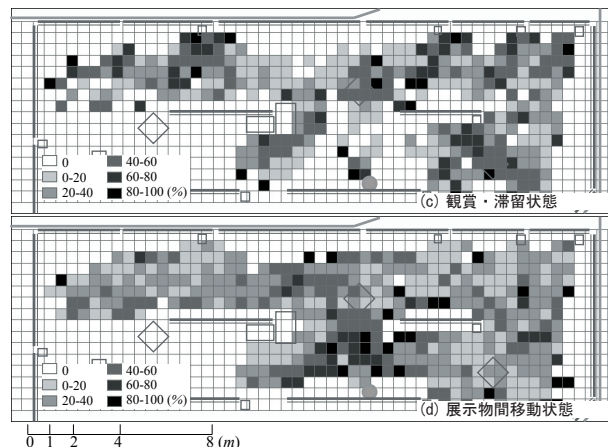


図 15 来場者の状態の空間分布

4.2 移動軌跡のパターン分け

抽出された移動軌跡から、鑑賞した展示物の数が多い 20 の軌跡を抜き出して、移動軌跡のパターン分けを試みた。具体的には、鑑賞・滞留状態の鑑賞距離を展示手法ごと集計し、ユークリッド距離に基づくクラスター分析 (ウォード法) を行った。その結果、鑑賞の仕方に関係する 2 つのクラスターを得た (表 1)。展示物を端から順に鑑賞する順路巡回型 (図 16cd-1) と、オープンなフロア構成を活かして好きな順で作品を鑑賞する自由巡回型 (図 16cd-2) である。

5. まとめ

本研究では、展示会場における来場者の移動行動を分析する手法として、画像解析の技術を援用しながら、比較的簡単に来場者の移動軌跡を抽出する方法を提案した。また、提案した手法を実際の展示空間で撮影したビデオ映像に適用し、十分な精度を持って移動軌跡が取得できることを実証した。また、取得した情報を利用して空間の使いわけ方を視覚化し、さらに、展示物の展示手法ごとに鑑賞距離を算出することで、移動軌跡のパターン分けが行えることを示した。

参考文献

平成 20 年度体力・運動能力調査結果統計表, 文部科学省, 2008
AIST/HQL 人体寸法・形状データベース 2003, 産業技術総合研究所 H18PRO-503, 河内まき子・持丸正明, 2006

表 1 移動軌跡のパターン分けの結果

クラスター名	軌跡数	展示手法ごとの観賞距離の平均値(m)			
		I	II	III	IV
cd-1 順路巡回型	10	1.77	1.19	2.06	0.52
cd-2 自由巡回型	10	2.42	0.98	0.00	0.27

(I ~ IV は図 9 参照)

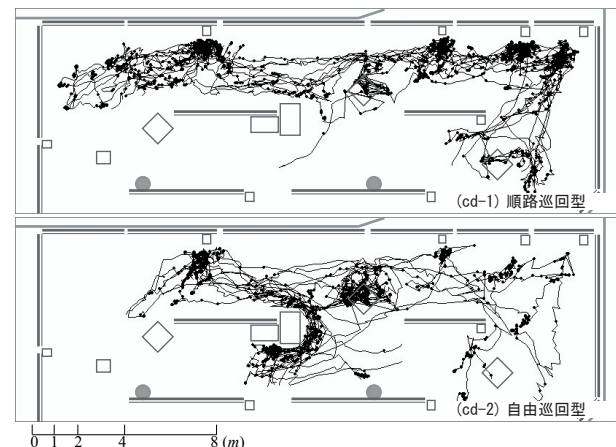


図 16 観賞距離からみた移動軌跡のパターン分け