

連続間欠記録式歩行群集流画像による群衆性状の把握

○山田 昇吾*¹ 高柳 英明*²
栗田 陽介*¹

キーワード：画像認識 群衆流動 可視化 定点観測

1. はじめに

1.1 研究背景

交通流動情報は街路空間計画、エリアマーケティングなどの都市計画や、駅コンコース、大規模商業施設などの施設計画を行う際、利用者の快適さの指標や混雑緩和などのための基盤情報として広く活用されている。交通流動情報を収集するために空間利用者のアンケート調査や目視での OD(Origin-Destination)調査が行われることが多いが、これには多くの時間・費用がかかる。この問題を解決すべく、ビデオカメラやレーザーセンサーを用いた様々な流動情報把握の研究がされており、高精度な交通情報取得の手法が模索されている。しかしこういった研究は調査後、解析に時間がかかり、実時間での群衆性状の把握は考慮されていない。

1.2 研究目的

本研究は連続間欠露光により撮影した画像をデジタル画像解析環境により一枚の画像として合成処理することで、調査対象空間の流動状態を簡易評価するための歩行群衆流の画像解析手法を構築することを目的とする。

この手法で作成された群衆性状を把握するための画像を本稿では連続間欠記録式歩行群衆流画像と呼ぶこととする。この連続間欠記録式歩行群衆流画像によって、一枚の画像から直感的に流動の状態を把握することが可能となる(図1)。本研究の特徴として解析データの作成までの時間が早いことがあげられ、対象空間の群衆流動をその場で撮影・解析データの作成を行い簡易評価することが可能である。また、作成したデータに4章で述べるような解析を行うことで、より詳細な解析が可能となる。



図1：連続間欠記録式歩行群衆流画像の抽出

2. 研究概要

2.1 画像解析手法構築の流れ

まず解析データの元となる間欠露光による歩行群衆流の連続写真を撮影する。データ形式は一般的なデジタルカメラで出力可能な JPEG 形式とする。本研究における最適なシャッター間隔(以下 Δt)と撮影枚数(以下 t_{max})については3章にて述べる。次にデジタル画像処理環境上に撮影した連続画像を取り込み、歩行群衆流の軌跡投影処理を施す。デジタル画像処理環境による複数の操作は処理を短簡にするため、ファイルにまとめて自動化して行われるようにした。軌跡が投影された画像は、撮影時間内の歩行者の移動軌跡が可視化された1枚の連続間欠記録式歩行群衆流画像として出力される。また、出力形式は JPEG 形式、PNG 形式、BMP 形式等に対応している(表1)。

2.2 群衆流撮影画像の合成処理

元データとなる連続写真の撮影は三脚を使い固定したスチールカメラ等が望ましいが、本手法では座標の位置合わせを処理フローに入れており、手ぶれ程度の位置ずれについては補正処理が行われるため手持ち撮影も可能となっている(表1 step2, step3)。群衆歩行軌跡の可視化の方法として、デジタル画像解析環境上において、RGB色相空間{R:($0 \leq R \leq 255$), G:($0 \leq G \leq 255$), B:($0 \leq B \leq 255$)}に基づく画素ピクセル演算処理を行う。複数の群衆流撮影画像を時系列にピクセル画素演算し、歩行者の移動に伴う画像収差を抽出、その残像差分をピクセル値として返す方法で、単一画像あるいは動画では捉えにくい群衆の流れを可視化した。(表1 step4・図2)。以上の方法を用いて複数枚の画像を一枚の画像へと合成する。図3に合成元画像と合成結果の一例を示す。



図2：ピクセル差分の抽出方法

3. 軌跡投影処理結果の解析と検証

3.1 歩行群衆流画像撮影時における最適シャッター間隔

本研究における最適なシャッター間隔 Δt を策定するため、京都市Ky駅のバス停前広場にて調査を行い、撮影した3種類のシャッター間隔の連続間欠記録式歩行群衆流画像を比較し考察を行う。本稿に用いる群衆流動の撮影は駅舎2階のデッキから手持ち撮影により、群衆を頭上から撮影できる下向きのアングルで行った(図5)。図3の連続間欠記録式歩行群衆流画像は $\Delta t=1[\text{sec}] \cdot t_{\text{max}}=20[\text{frame}]$ の連続写真を合成しているのに対し、図4iの画像は $\Delta t=0.5[\text{sec}] \cdot t_{\text{max}}=20[\text{frame}]$ の連続写真を合成したものである。歩行軌跡はしっかり見てとれるが、軌跡間隔が狭すぎて人が行きかう中では軌跡の判別は難しい。ii・iiiの画像はそれぞれ $\Delta t=1.5[\text{sec}]$ とし、 t_{max} を20[frame]と10[frame]に設定したものである。こちらは歩行軌跡間隔が空きすぎているため流動形状を把握しづらくなっている。このことから、最適なシャッター間隔と撮影枚数は $\Delta t=1[\text{sec}] \cdot t_{\text{max}}=20[\text{frame}]$ と判断し、以降の連続間欠記録式歩行群衆流画像はすべて上記のシャッター間隔・撮影枚数とする。

表1: 連続間欠記録式歩行群衆流画像の作成フロー

#	stepの内容
step 1	<p>JPEG形式による群衆流の連続写真の抽出</p> <ul style="list-style-type: none"> 固定したステールカメラによる撮影 手持ちカメラによる撮影 <p>群衆流の連続写真作成</p>
step 2	<p>軌跡投影処理</p> <p>1. 共通要素の判別</p> <p>作成した連続写真から参照画像を選択し、他画像から共通要素(壁や床のなど)を判別</p>
step 3	<p>軌跡投影処理</p> <p>2. 座標の位置合わせ</p> <p>判別した共通要素の座標が重なるよう位置変更・ゆがみ補正を行う</p> <p>処理後</p> <p>* 座標の位置合わせとは、表1step2のabのように別々の画像に存在する壁や床、模様などの共通要素が参照した画像と重なり合うように他の画像の座標を位置変更、ゆがみ補正等による整列を自動で行う、デジタル画像処理環境上の機能である</p>
step 4	<p>ピクセル演算処理</p> <p>t_1からt_iまでの群衆流の連続写真を歩行者移動による画像収差を抽出、残像差分をピクセル値として返すことで群衆歩行軌跡の可視化を行う(図2参照)</p>
step 5	<p>歩行群衆流画像データの出力</p> <ul style="list-style-type: none"> JPEG形式 PNG形式 BMP形式 <p>データ出力</p> <p>出力された画像データ</p>

3.2 連続間欠記録式歩行群衆流画像にみる流動形状差異

群衆流動は時間に応じて刻一刻と変化している。連続間欠記録式歩行群衆流画像は流動の変化を一定量の時間で切り取り可視化するため、流動状態を直感的に捉えられる。また、軌跡の位置・間隔から、移動経路の把握・移動体の速度変化の簡易把握という特性を持つ。3つの特徴的な画像を用い、流動状態の比較を行う(図3・図6)。

1つ目は図3に示した流動状態である。調査対象敷地はバス停前であり、図3の黒枠が示す場所にバス停に並ぶ人の列ができるため停滞し通路を狭めており、その結果、混雑状態となっていることが見てとれる。画像上では歩行軌跡の間隔の広狭で判断できる。2つ目の画像(図6左)からは、バス停に並ぶ人の列がさらに伸び、歩行者が列を迂回するように移動していることが分かる。3つ目の画像(図6右)を見ると、バス停に並ぶ列はなく、白枠で示した通路も混雑が解消されている。この時、歩行者は迂回することなく自由に広場を横断している。

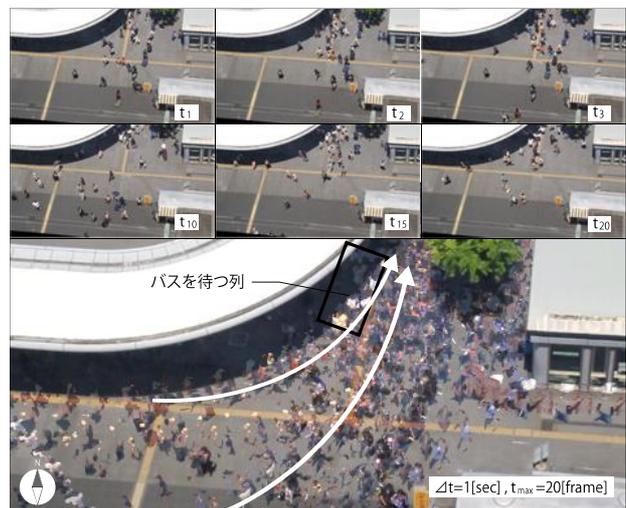


図3: 時系列群衆流画像の残像差分から得た合成結果

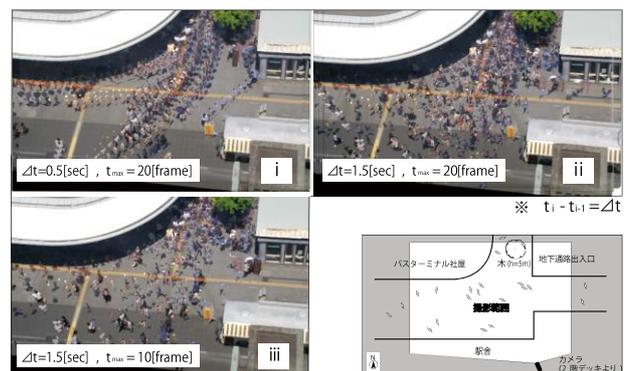


図4: $\Delta t, t_{\text{max}}$ 変更による歩行群衆流画像の違い

図5: 調査空間平面図とカメラの視野



図6: 撮影時間帯の異なる歩行群衆流画像

4. 連続間欠記録式歩行群衆流画像の評価

4.1 空間-時間系領域干渉負荷モデルの作成

連続間欠記録式歩行群衆流画像により可視化された流動状態の詳細を把握するため、高柳らの研究⁵⁾で述べられている空間-時間系領域干渉負荷モデル^{注1)}を用いて評価を行う。3章で示した調査で観測された群衆流動から、時系列歩行領域モデル^{注2)}・時系列領域干渉負荷モデル^{注3)}を作成するため、まず{x,y}座標の位置補正を行い、図3のように斜め撮影された画像座標系を世界座標系に変換する。その後、各フレームの歩行者の位置座標を追跡し、歩行軌跡データとして抽出した。モデリングに際して歩行者の歩行領域を定める。本研究では高柳らによる研究に基づき、歩行領域の半径を0.455[m]とした。抽出した歩行者の位置座標データを時系列歩行軌跡としてコンピュータ上の3次元仮想空間{x,y,t}に入力し、それを基に時系列歩行領域を作成した。また、各時系列歩行領域相互の干渉部分を立体図形の積集合部分として取り出し、時系列領域干渉負荷を作成した(表2・図7)。

4.2 空間-時間系領域干渉負荷モデルとの比較による連続間欠記録式歩行群衆流画像の評価

作成した領域干渉負荷モデルの形状を高柳らが研究で示した単独交差パターン及び、複合交差パターンから見た干渉負荷の分類(表3)との比較を含め、その特徴を考察していく。本調査でみられる歩行者は北から南東へ移動する群衆A、南東から北へ移動する群衆B、バスを待つ群衆Cの3種類に大別できた(表2 section2)。

作成した時系列歩行領域モデルを見ると、3章3.2にて連続間欠記録式歩行群衆流画像上で混雑を指摘した通路では傾きが急になっている(表2 section3)。これは歩行距離・歩行速度の減少を示しており、連続間欠記録式歩行群衆流画像上でみた混雑・速度変化の予測に対する妥当性を明示している。

次に、時系列領域干渉負荷モデルによって判明した本調査での交差特性の特徴的な点を挙げる。1つ目に表4の四角形で示すように群衆Cの傍を他群衆が移動する時、負荷の高い2秒以上の待機型或いは滞留型の干渉負荷が多数見られた。このことから群衆Cとのすれ違い時、混雑が生じ歩行速度が低下していることが分かる。2つ目に楕円で示したt=10~13[sec]の時点で群衆A-C,A-B間にて待機型が発生していたが、この2つの干渉負荷の距離の近さから、1人当たりの歩行スペースの狭さがうかがえる。3つ目に正円で示した群衆A-B間の交差にはすれ違い型が多く、なめらかな交差をしていたと考えられる。

以上のことから、連続間欠記録式歩行群衆流画像でみる歩行軌跡の粗密関係が混雑具合を把握するための一つの指標になると考えられ、連続間欠記録式歩行群衆流画像で直感的に歩行軌跡の粗密を判断したときの流動特性は妥当なものである。

表2: 時系列領域干渉負荷モデルの作成フロー

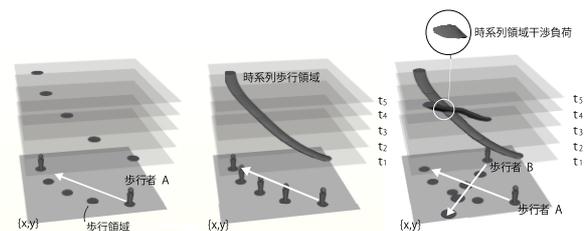
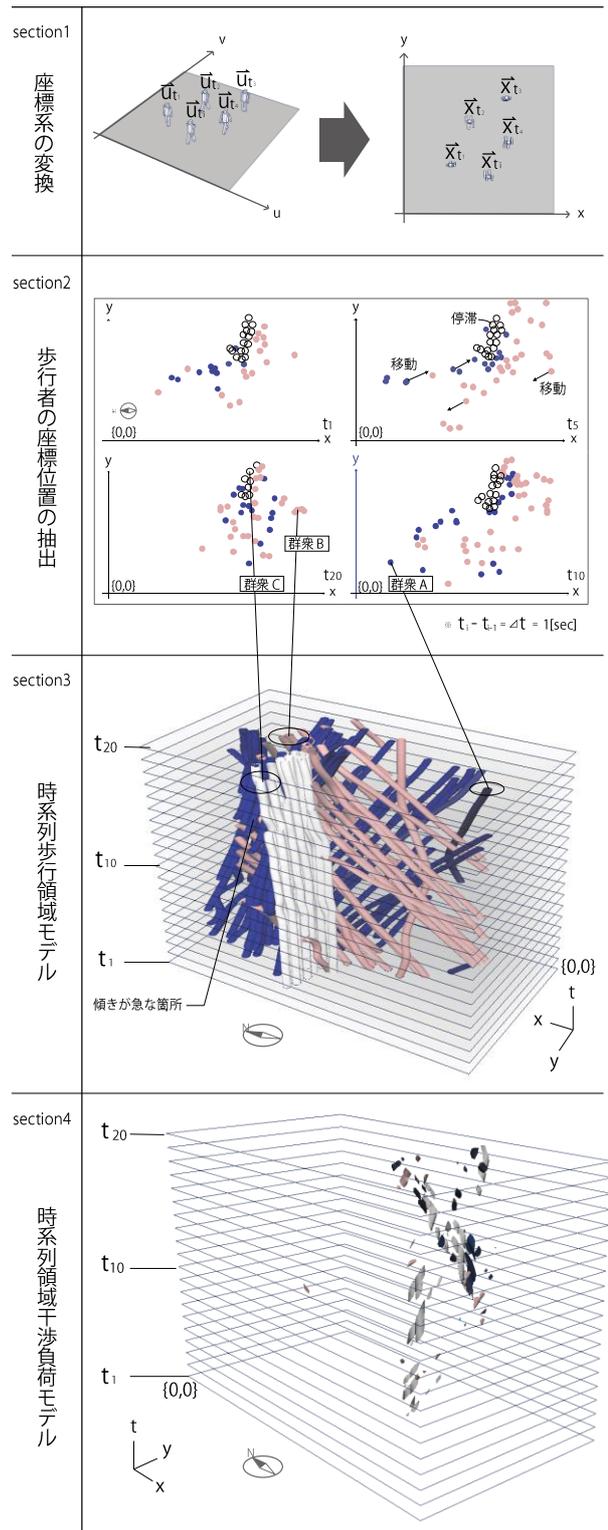
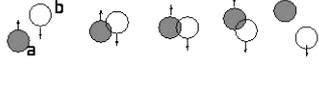
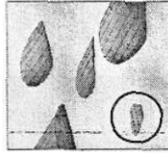
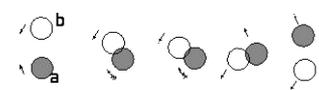
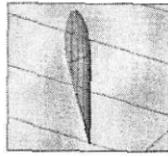
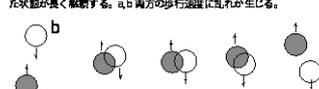
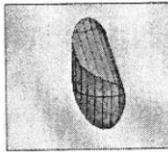
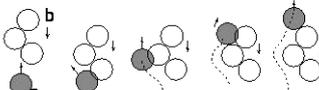
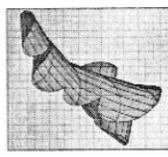


図7: 空間-時間系領域干渉負荷モデルの定義

5. まとめ

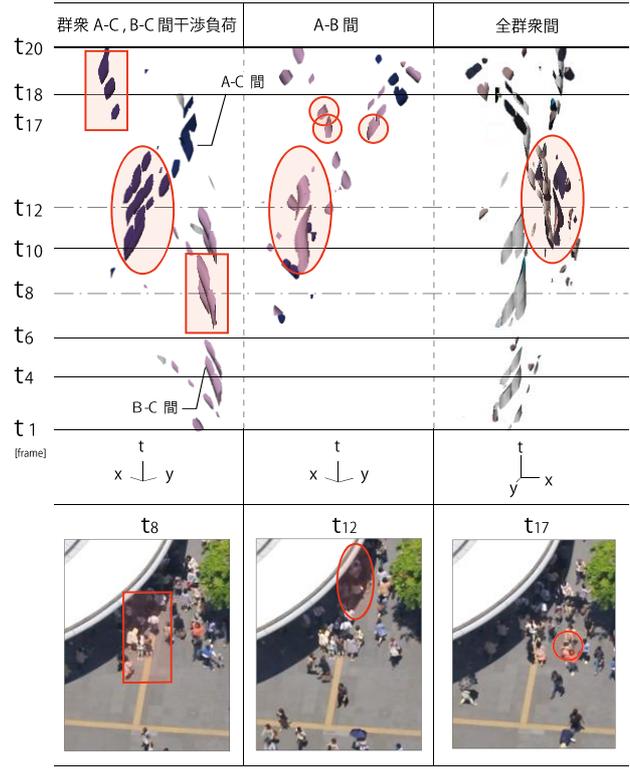
本研究では歩行軌跡を一枚の画像上に示し、群衆流動の状態を直感的に把握可能な連続間欠記録式歩行群衆流画像作成の手法の構築を行った。本手法の特異点は解析データ構築までの短簡さにある。撮影から解析データの作成までを短時間で行うことが可能であるため、群衆状態の把握を通して危険予測やマーケティング管理など、リアルタイムでの施設やイベント運営への利用や、より詳細な解析データを作成するための資料としての活用が期待できる。また、スマートフォンでの撮影画像からの作成にも成功しており、将来的には撮影した画像をインターネットで一括管理し、ビッグデータの構築へつなげることも可能であると考えられる。しかし、まだ問題点は多く、異なった時系列での歩行軌跡を一枚の画像へ重ねるといふ連続間欠記録式歩行群衆流画像の特性上、実際に起きた交差の有無や歩行者の進行方向は現状では一枚の画像では判断が難しい。そのため、元画像である連続写真と比較して確認する必要がある。比較は難しいことではないが、ビッグデータを作成する際、元画像も解析データとして管理するとデータ量が膨大になるという支障が出てくるため、今後改善の余地がある。また、過去起こった群衆事故や、安全管理上危険な群衆流形状、イベント時の効率の良い人の流れなど比較対象となる様々な連続間欠記録式歩行群衆流画像をデータとして蓄積していくことで、本手法の精度をより高め、かつ迅速な群衆性状の把握を行うことが可能となる。

表 3: 単独及び、複合交差パターンから見た干渉負荷の分類

#	歩行者の回避パターン	時系列領域干渉負荷モデル
単独型	<p>擦れ違い型</p> <p>異相ボビュラーな ab による瞬間的側面互いの回避パターン。回避時間比較的小さい。ab いずれも歩行軌跡の乱れ少なく、滑らかである。</p> 	
	<p>待機型</p> <p>ab の進行方向が交差の関係にある場合、一方が他方の通過をやり遂げたく歩行速度を低減させ回避するパターン。最も合理的な回避方法ではあるが、ab いずれかの歩行速度に乱れが生じる。</p> 	
	<p>滞留型</p> <p>ab の進行方向が交差の関係にあり、異相の滞留等の要因により両者が歩行速度を低減させつつ回避するパターン。お互いの距離を干渉した状態が長く継続する。ab 両方の歩行速度に乱れが生じる。</p> 	
複合型	<p>滑航型</p> <p>対向する歩行者が少人数の集団 b を形成している場合、a は b 内部を通り抜けることなく、b の集団の端を滑るよう回避するパターン。a においては、回避時に大規模な歩行軌跡の乱れが生じる。</p> 	

(高柳英明他: 群衆交差流動における歩行領域確保に関する研究 -歩行領域モデルを用いた解析-より引用加工)

表 4: 領域干渉負荷の形状と画像上でみる群衆流動の関係性



【参考文献】

- 1) 佐野友紀: 群衆流動における歩行者の集団化現象, 可視化情報学会 SVS2000, 2000
- 2) 寺田賢治: ハフ変換を用いた混雑状況下の人数計測, 画像ラボ, 日本工業出版, Vol. 14, Mo. 4, pp34-38, 2003
- 3) 帷子京市朗, 鈴木智之, 中村克行ほか: レーザースキャナを用いた群衆の追跡および流動の可視化, 社会法人情報処理学会研究報告, 2007CVIM158, 2007. 3
- 4) 安彦智史, 田中成, 村本晋一ほか: 典距離画像センサを用いた人物の流動情報計測に関する研究, 日本知能情報フェイジ学会, Vol123, No4, pp513-527, 2011
- 5) 佐野友紀, 高柳英明, 渡辺仁史: 空間-時間系モデルを用いた歩行者空間の混雑評価, 日本建築学会計画系論文集, 第555号, pp191-197, 2002. 5
- 6) J. Fruin: 歩行者の空間, 鹿島出版, 1974, pp45-58
- 7) 高柳英明, 渡辺仁史: 群衆交差流動における歩行領域確保に関する研究-歩行領域モデルを用いた解析-, 日本建築学会計画系論文集, No. 549, pp185-191, 2001. 11

【注】

- 注 1) 空間-時間系領域干渉負荷モデルとは多方向群衆流動相互の歩行者個々の干渉負荷を時系列記述した時系列トランザクションモデルで、歩行負荷の時系列変化特性の把握、評価対象空間の時系列混雑変化の理解が可能である。
- 注 2) 高柳らは歩行者 A の移動平面を $\{x, y\}$ 、時間軸を t 軸とした 3 次元空間 $\{x, y, t\}$ において、時刻 $t\{t_0, t_1, t_2, \dots\}$ での歩行領域 $Qt\{Qt_0, Qt_1, Qt_2, \dots\}$ を t 平面上に描き、それらを重ね合わせて作成した多段円柱立体を歩行者 A の時系列歩行領域モデルとして定義している。
- 注 3) 高柳らは歩行者 A, B の時系列歩行領域の干渉する部分によって形成される立体を、歩行者 A, B による時系列領域干渉負荷モデルと定義している。

- *1 滋賀県立大学大学院環境科学研究科環境計画学専攻博士前期課程
*2 滋賀県立大学環境科学部環境建築デザイン学科准教授工博