

全天球動画画像解析による歩行者の全周異型回避領域の算出に関する研究

A Study on Clarification of Pedestrian Avoidance Area by Using of Omnidirectional Video Image Analysis

高柳英明*

Hideaki Takayanagi *

要 旨

本研究は、大規模駅等の改札外コンコース等で見られる混雑群衆の観察を通じ、全天球動画画像解析により得られた歩行者の全周に渡る異型回避領域の算出法を明らかにした。具体的には、一般市場において入手が容易な全天球撮影対応型カメラを用い、群衆内を歩行移動する観測者の頭部位置より撮影した撮影動画画像から、他歩行者間との相対位置・相対距離を画像解析により抽出し、移動個体を原点とした全周において相互に最接近し回避する領域を算出した。既往研究における相対位置・相対距離の算出は、ベクトル解析法等による制約から半周での算出結果（移動個体の前・後方いずれかの180度分あるいは左・右いずれかの180度分）を総合的に扱い、全周における回避距離の算定を行っていたが、本研究の手法を用いることで、同一撮影動画画像より全周つまり360度分を一度に、かつ簡易に算出することが可能である。また本研究では、男女別の回避距離の差異についても触れている。

キーワード：全天球動画画像、画像解析、歩行者、回避距離
男女別

Summary

We have newly established a method of extracting the position coordinates of pedestrians around the observer by using a omnidirectional camera that can shoot still images and movies of 360 degree field of view with one shot. A crowd walking survey was conducted to shoot around avoidance behaviors of surrounding pedestrians with a omnidirectional camera while walking in the actual walking space. From the analysis result of all the spherical celestial videos surveyed, the position where pedestrians around the observer got closest to the observer when avoiding was extracted. Based on the position data, the avoidance closest approach area surrounding the entire circumference of the observer was created. Types are nine types: observer male / female / amphoteric, peripheral pedestrian male / female / amphoteric combination. Each generated avoidance closest region was analyzed.

Keywords: *Omni-directional Video Image, Image Analysis, Pedestrian, Avoidance Area, Tendency by Gender*

1. 研究の目的

近年の都市生活行動の多様化や駅ビルの複合施設化、キャリアバッグ携行者増などを背景要因とし、駅環境下などでの歩行者相互の接触事故・混雑負荷が増大の傾向にある。また大規模駅では、デジタル映像を用いた広告パネルなどにより、歩行時の注視力が低下していることもあり、安全に互いを避け合い通行する移動個体の回避様態も近年特に変容しつつあると思われる。混雑空間の安全性担保の観点では、基準とする群衆流率・サービス水準の見直しが根源的に考慮されるが、こうした一元的指標での群衆マネジメント法では、交差接触事故等の個別問題を是正することは難しいといえる。筆者らは既報¹⁾において、混雑群衆内での移動個体間の回避行動を、1)交差角度、2)その時の局所群衆密度、3)歩行領域干渉面積により4種類に類別しており、特に交差角度と干渉面積において、近年特筆すべき変化が見られたことから、当該歩行領域が既往研究の通りの近似的な楕円形では説明がつかず、全周異型領域と捉えるべきと筆者らは考えた。歩行領域を近似的な楕円と捉えていたのは、群衆流動シミュレーション等にて扱う人間行動モデルの構築において、回避・拮抗領域を速度ポテンシャル等にて記述・数理化を行う際の簡便性を部分的に考慮

していたためとも言えるが、通常のカメラを用いた定点観測による解析からでは全周に渡ってモデル化することが不可能であったためである。そこで本研究は、歩行空間の安全性評価シミュレーションの性能向上に向け、全周異型の数理モデル策定を目標とし、大規模駅等の改札外コンコース等で見られる混雑群衆の観察を通じ、全天球動画画像解析により得られた歩行者の全周に渡る回避領域の算出法を確立することを目的とする。

2. 全天球動画画像からの相対座標抽出法

2.1 極座標グリッドによる同定基準ゲージの構築

本研究では、全天球撮影対応型カメラ（以下全天カメラ）を用い、観測者（以下撮影個体）の頭部位置に固着させたまま混雑空間を自由歩行させ、近接する他歩行者（以下移動個体）との回避様態を動画撮影し、その最近接時の相対位置・相対速度を動画画像中より同定・抽出する。この同定・抽出にあたっては、2.1節に示す方法により、事前に実験空間に設置した極座標グリッドから、3本の漸近線に向かって曲座変換された全天球動画画像上の同定基準ゲージを対応付けるとする。

2.2 同定基準ゲージによる個体位置同定の概念

2.1 節の極座標グリッド画像を移動個体との接近・回避動画画像に重ねて平面展開し、 $\Delta t=0.5[\text{sec}]$ 刻みにノンリニア表示させながら頭部位置を画像解析アプリケーション上にてプロットしていく(図4)。図1のように、実空間の極座標グリッドは正確に直交していないため、図4の同定基準ゲージもそれに合わせた形でB-スプライン曲線にて近似成形してある。図中の水平罫線は最下段が $r=0.50[\text{m}]$ であり、 $\Delta r=0.50[\text{m}]$ 刻みに $r=2.0[\text{m}]$ まで現示されている。また垂直罫線の中央は $\theta=0[\text{deg}]$ を示し、 $\Delta \theta=10.0[\text{deg}]$ 刻みで右方向に正、左方向に負の θ 値を現示する。 Δt を $0.5[\text{sec}]$ としたのは、移動個体の平均的な自由歩行速度が $1.2\sim 1.25[\text{m/sec}]$ であることから、接近・回避・離隔の様態変化が観察できる最大時間刻みである点でその設定値を用いた^{注1)}。また本稿では個体位置を画像認識アルゴリズム等の自動読み取り方法でなく、人の目にて判定している。この点に配慮して「位置特定」とせず「位置同定」と語句の適用を行った^{注2)}。また、 Δr 及び $\Delta \theta$ の刻み値策定にあたっては、事前調査の段階にて、 $\Delta r=0.4$ 以下の刻み値において $r=0.4[\text{m}]$ 付近の領域にて正しく同定できなかったため^{注3)}、計測最小範囲でもある 0.5 を採択した。また r の最大値を $2.0[\text{m}]$ としたのは、これ以上離隔した個体間では、最接近時に速度ベクトル変位が観察されず、回避事象自体が発現しないためである。

3. 実空間群衆流の調査と接近・回避事象の抽出

3.1 調査対象場所の概要

本稿での同定基準ゲージの距離域 $r=0.5\sim 2.0[\text{m}]$ を考慮し、平均群衆密度 $1.2[\text{人}/\text{m}^2]$ 以下の空間を対象として、群衆流内を全天カメラにて動画撮影した。この密度の数値は、筆者ら²⁾の調査に基づく群衆流に対する移動個体の斜め横断可否を決める閾値を示しており、これより群衆密度が高いと、回避事象が観察されないためである。よって、一定の混雑群衆流の観察できる場所で、かつ、接近・回避の事象が連続的に起こりうる、都市部ターミナル駅外コンコース、及び駅ビル複合商業施設通路内の、計5か所を対象に選定し、それぞれ全天カメラによる調査をのべ4日・42回分を行い、584通りの接近・回避事象を抽出した(表1)。尚、調査場所はすべて屋外・半屋外空間であるため、天候に左右されない場所ではあるが、傘の携行や、濡れた着衣での歩行による挙動バイアスを排除すべく、晴天時あるいは雨天でも小雨時のみの事象を抽出対象とした。また表1中の観測個体種別とは、観測者が男性か女性か、またはその両方かを示している。同じく撮影流動性状とは、接近・回避事象をきたす移動個体が各々属する2通りの主要群衆流の交差角度を示している。直交・対向・同方向流動とはそれぞれ、相互の流れが直交で $60\sim 120[\text{deg}]$ 程度、対向で $120\sim 180[\text{deg}]$ 、同方向で $0\sim 30[\text{deg}]$ 程度によって交差するものと本研究では扱った。このなす角の算出には、正確に流動重心ベクトルの法線解析を行ってはいないが、ある程度の目安として把握しておくことで、膨大かつ非定常な群衆流の性状から、目当ての回避事象をいち早く見つけ出し、多くのサンプル採取をする現場での目処立て指標として大

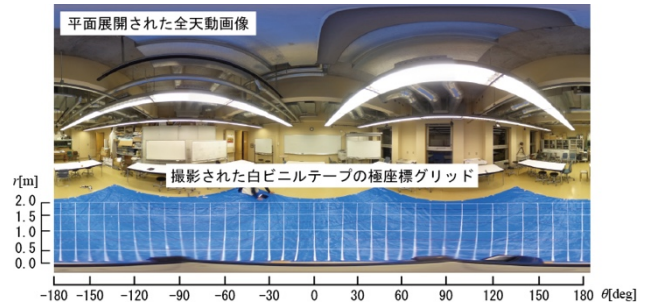


図1: 平面展開された全天カメラ動画画像上の同定基準ゲージ

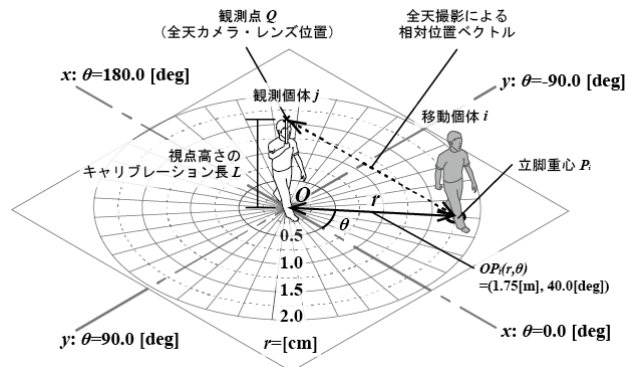


図2: $r\theta$ 極座標グリッドと移動個体の位置同定の概念図

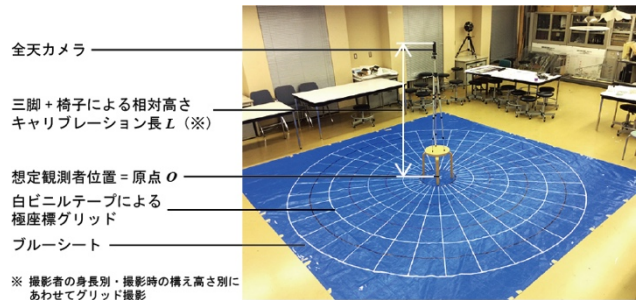


図3: 実空間に設えた $r\theta$ 極座標グリッドと全天カメラ

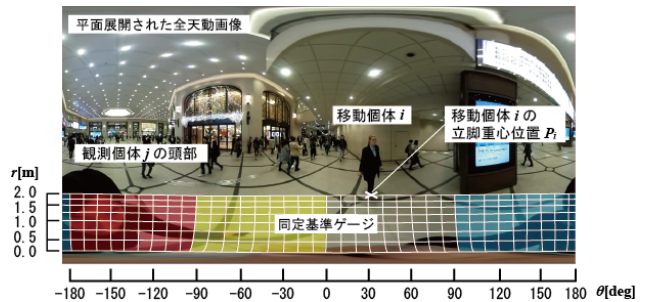


図4: 同定基準ゲージを用いたノンリニア同定画面

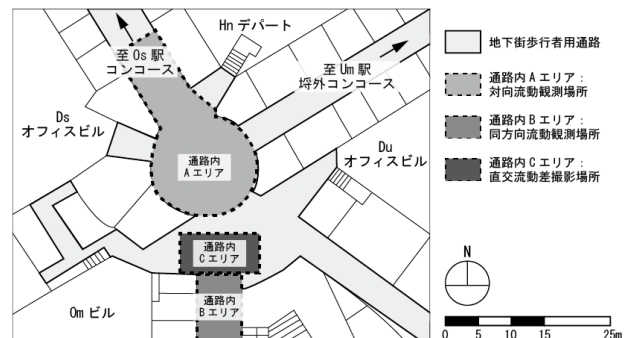


図5: 各調査対象場所周辺の説明図

変有意義であった。

3.2 全天カメラによる動画撮影方法

各対象場所の調査においては、表2に示す全天カメラ及び持ち手延長ジンバルを用い、観測者が立脚重心位置にて固持し撮影を行った。本稿では男女別の全周異型回避領域の算出を行うべく、身長1.77[m]の20代男性と、身長1.57[m]の20代女性のそれぞれ1名を観測者として選出した。両者には0.2[m]の身長差があるが、両者のカメラ固持高さを一定にしなかった理由としては、a)女性観測者のキャリブレーション長 L の延長による手ブレ現象の増大と、b)腕を伸ばした撮影様態がもたらす心理効果を避けるべく、敢えて撮影高さに差を持たせて敢行した。また加えてc)観測個体 j の立脚重心 O とレンズ位置 Q の Z 方向の差分である L を変えらることによる撮影効率の変化をみることもこれに含まれている。差分 L による撮影効率をみるべく対向・直交流動と、同方向流動観測時においても保持高さに差を持たせている。これは事前調査の時点で同方向流動の観測にあたっては、接近・回避距離が他と比して縮まる傾向にあり、 $r=0.5\sim 1.0$ [m]の領域において P_i 座標をプロットする際に L が小さいと判別しにくい点が指摘されたため、男性観測者にて0.15[m]、女性観測者にて0.20[m]それぞれ高く保持して撮影した^{注4)}。

3.3 同定基準ゲージによる事象の抽出

全天カメラによる動画撮影調査より合計584件の接近・回避事象が観察された。そこでこれらの各事象発現様態を、撮影個体 j と移動個体 i の最接近時刻 T を t とし、 t 、 $t-\Delta t$ 、 $t+\Delta t$ の各時刻における相対位置ベクトル OP_i を求め、最接近距離 d_i と相対速度ベクトル v_i の算定・抽出を行う。表3に各時刻における様態と抽出プロセスを示す。 $T=t-\Delta t$ の時、移動個体 i が平面展開された同定基準ゲージの $r=2.0$ ラインを超えて観測個体 j に接近しているとする。この時の $P_i(r, \theta)=(r_r \Delta t, \theta_r \Delta t)$ の値をゲージから読み取りログ記録する。次に $T=t$ の時に最接近したとすると、その時の $P_i(r, \theta)=(r_t, \theta_t)$ を同じくゲージから読み取る。最後に $T=t+\Delta t$ の時に回避行動を終え j から離隔したとすると、その時の $P_i(r, \theta)=(r_{t+\Delta t}, \theta_{t+\Delta t})$ もゲージから読み取る。

4. 全周異型回避領域の算出

3章で得られた時刻 t における最接近距離及び相対速度ベクトルの算定結果を加え、イ)データ整理番号、ロ)観測場所番号、ハ)最接近距離 $r(t)$ 、ニ)最接近時の相対速度ベクトル $v_i(t)$ 、ホ)観測個体に対する流動性状別(対向・直交・同方向流動)、ヘ)観測個体の性別、ト)移動個体の性別

の、7つのデータラベルを持つ算出ベースを準備した。このベースデータをもとに、A)流動性状別にみた全周異型回避接近領域図(以下全周領域図とする)、B)男性観測者の場合の全周領域図、C)女性観測者の場合の全周領域図の3通りの算出を行った。A)に関しては、筆者らの既往調査¹⁾⁵⁾から、流動性状毎に相対する移動個体間では、それぞれ異なる接近・回避行動を来すことが分かっていたため、その詳細を把握するべく算出を行った。またB)及びC)に関しては、歩行者の体格や風貌等の外見を最も特徴付ける要素として男女差に着目したためである。この選定については、本稿で基礎的な差異を明示したのち、体格差や他なる外見要因にて全周領域に変化が見られるかを今後の研究余地とした。

4.1 流動性状別にみた全周領域図

算出ベースを元に、対向流動・直交流動・同方向流動の3つのケースに分けて全周領域図を明示した(図6)。明示方法は、観測個体 j を原点とした $r\theta$ 極座標系に、各接近・回避事象を来す時刻 t の移動個体 i の相対位置 $P_i(t)$ を白抜き丸印にてプロットし、更にその時の相対速度ベクトル $v_i(t)$ を実スカラー量にて某矢印現示してある。また図中の破曲線は、B-スプライン曲線にて近似的に領域を表したものである。

表2：撮影機器及び撮影方法の概要

撮影機器の詳細	
	有効画素数：約1200万画素 レンズF値：F2.0 動画画像解像度：1920×1080 動画フレームレート：30fps ビットレート：16Mbps 撮影距離：約10cm～∞ 動画ISO：100～1600
撮影に使用した全天カメラ	カメラ底部に固着した持ち手延長ジンバル
女性観測者 j_f	男性観測者 j_m
	
身長 $l_f=1.57$ [m]	身長 $l_m=1.77$ [m]
対向・直交流動観測時 $Q_f=1.70$ [m]	対向・直交流動観測時 $Q_m=1.85$ [m]
同方向流動観測時 $Q_f'=1.90$ [m]	同方向流動観測時 $Q_m'=2.00$ [m]

表1：調査対象場所と撮影時の群衆流性状の一覧


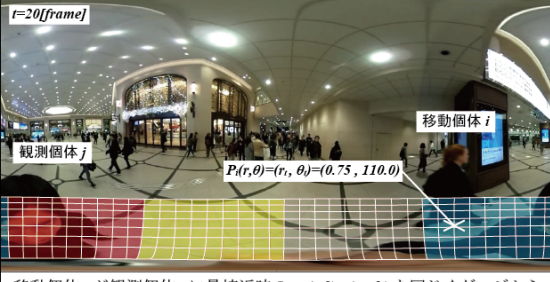
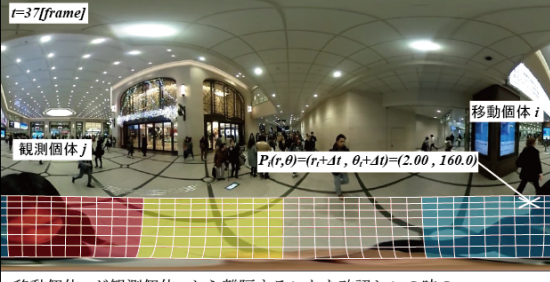
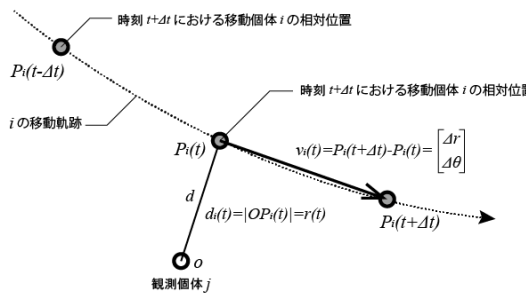
箇所No.	場所	調査日時	調査時間帯	天候	撮影者性別	撮影流動性状	サンプル数
R#01	0s駅構内Um駅連絡通路内A	2016年11月11日(金曜日)	17:00-21:00	晴れ	男女各1名ずつ	対向流動	104
R#02	0s駅構内Um駅連絡通路内A	2016年11月14日(月曜日)	17:00-21:00	雨	男女各1名ずつ	対向・直交流動	154
R#03	0s駅構内Um駅連絡通路内B	2016年12月13日(火曜日)	17:00-21:00	雨	男女各1名ずつ	直交流動	170
R#04	0s駅構内Um駅連絡通路内C	2016年12月17日(土曜日)	17:00-21:00	晴れ	女性1名	同方向・直交流動	86
R#05	0s駅構内Um駅連絡通路内C	2016年12月18日(日曜日)	17:00-21:00	晴れ	男性1名	同方向・直交流動	70

※上記5か所に対し42回分の記録撮影調査を行い、584通りの接近・回避事象を抽出

○対向流動時の全周領域図

$P_i(t)$ の分布は、 $\theta=50\sim 110[\text{deg}]$ の範囲と、 $\theta=-40\sim -130[\text{deg}]$ の範囲において、左側に偏ったひらがなの「い」型に集中が見られ、対向時の左側・右側での側方回避距離に差異が生じていることを示している。具体的には、左側 $-45[\text{deg}]$ で約 $0.6[\text{m}]$ 、 $-90[\text{deg}]$ にて $1.0[\text{m}]$ であり、右側 $60[\text{deg}]$ 周辺で $0.75[\text{m}]$ 、 $90[\text{deg}]$ で $0.76[\text{m}]$ のプロットサンプルから、左右側方で $0.24[\text{m}]$ 分の異型差異が観察された。またこれらの $v_i(t)$ はいずれも自由歩行速度同等であり、速度低下は見受けられなかった。

表3：事象発生時における d_i 及び v_i の算定プロセス

時刻 T	各時刻における平面展開動画像と各プロット対象
$t-\Delta t$	 <p>$P_i(r, \theta) = (r, \theta) = (2.50, 30.0)$</p> <p>移動個体 i</p> <p>観測個体 j</p> <p>同定基準ゲージ</p> <p>移動個体 i が平面展開された同定基準ゲージの $r=2.0$ ラインを超えて観測個体 j に接近、この時の $P_i(r, \theta) = (r, \Delta t, \theta, -\Delta t)$ を値をゲージから読み取りログ記録</p>
t	 <p>$P_i(r, \theta) = (r, \theta) = (0.75, 110.0)$</p> <p>移動個体 i</p> <p>観測個体 j</p> <p>移動個体 i が観測個体 j に最接近時の $P_i(r, \theta) = (r, \theta)$ を同じくゲージから読み取りログ記録</p>
$t+\Delta t$	 <p>$P_i(r, \theta) = (r, \theta) = (2.00, 160.0)$</p> <p>移動個体 i</p> <p>観測個体 j</p> <p>移動個体 i が観測個体 j から分離することを確認しこの時の $P_i(r, \theta) = (r, \Delta t, \theta, +\Delta t)$ を同じくゲージから読み取りログ記録</p>
各ベクトル成分の算定数値モデル	 <p>時刻 $t+\Delta t$ における移動個体 i の相対位置</p> <p>時刻 $t-\Delta t$ における移動個体 i の相対位置</p> <p>i の移動軌跡</p> <p>$P_i(t)$</p> <p>$v_i(t) = P_i(t+\Delta t) - P_i(t) = \begin{bmatrix} \Delta r \\ \Delta \theta \end{bmatrix}$</p> <p>$d$</p> <p>$d_i(t) = OP_i(t) = r(t)$</p> <p>観測個体 j</p> <p>【算定時の数値基準】</p> <ul style="list-style-type: none"> ○観測刻み時間 Δt：本稿では$0.5[\text{sec}]$とした ○最接近距離 $d_i(t)$：直交座標系で $OP_i(t)$ のスカラー量であるが本稿では $r(t)$ となる

○直交流動時の全周領域図

同様に $P_i(t)$ の分布を見ると、 $\theta=30\sim 150[\text{deg}]$ の範囲と、 $\theta=-90\sim -150[\text{deg}]$ の範囲において、右前方に偏った「い」型を呈している。これは直交回避時において、相対する移動個体を前方か後方にて回り込み回避する際の接近距離の差異として現れている。具体的には、右前方の $30[\text{deg}]$ 周辺で平均 $0.72[\text{m}]$ であるのに対し、左後方の $-140[\text{deg}]$ 周辺では平均 $1.06[\text{m}]$ であった。また各 $v_i(t)$ 成分をみると、後方よりも前方回り込み時の方が速度低下が見られる。

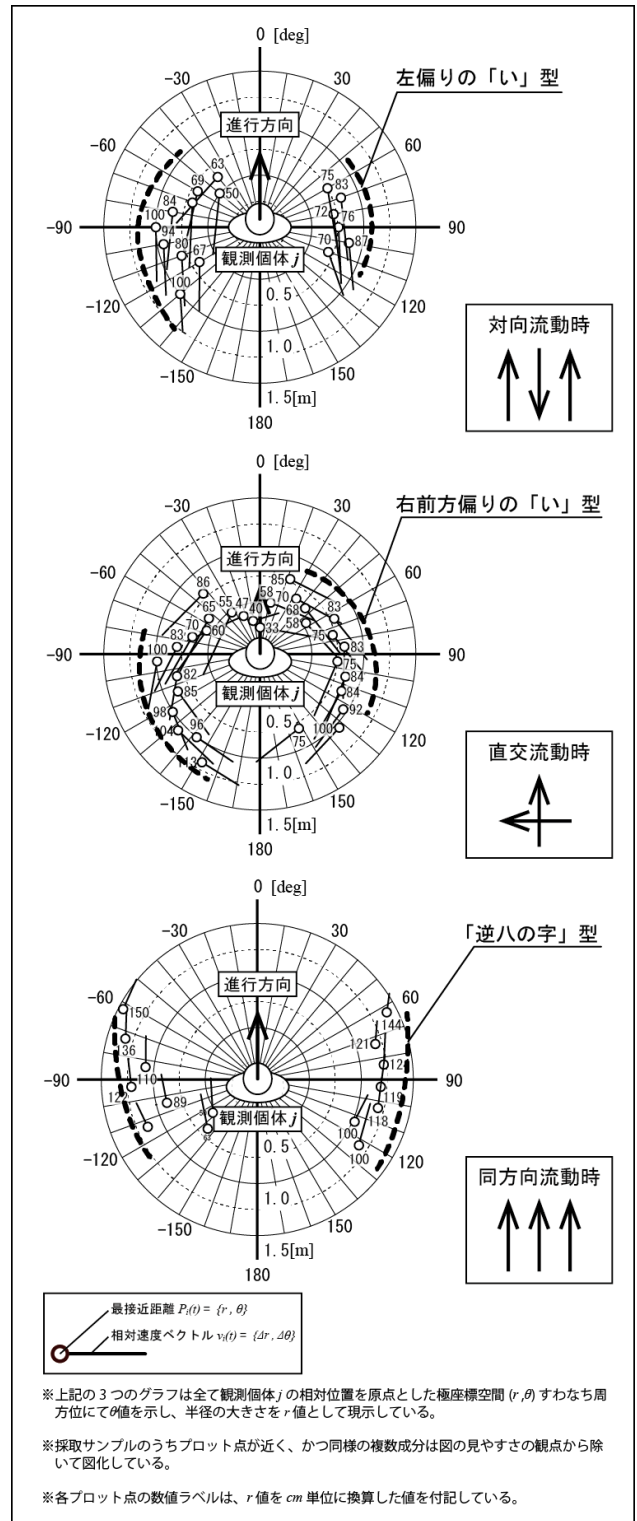


図6：流動性状別にみた全周領域図

○同方向流動時の全周領域図

一般的に、同方向流動内での相対する移動個体間の接近・回避事象はあまり見受けられないが、追い越し・追い越される際に限定し、回避行動が生じる。これを理由に同方向流動時の調査では、観察個体 j を意図的に速度低下させ、追い越される事象の採取を行った。 $P_i(t)$ の分布は左右の両側方におよそ対照的に現れ、後方に従って狭小となる、「逆八の字」型を呈している。具体的には、右側 70[deg]周辺で平均 1.30[m]、左側-70[deg]周辺で平均 1.32[m]であった。

4.2 個体間の性別組合せからみた全周領域図

算出ベースに基づき、全ての流動性状下の事象を対象に、移動個体 i が男性・女性の場合の 2 通りにおいて、観測個体 j が男性・女性である場合の、計 4 パタンの全周領域図を算出した (表 4)。本稿では、前述の通り、相対する個体間の男女差に着目したのは、各移動個体の外見を明示的に特徴付ける要素として取り扱ったためである。無論この他に、回避領域に差異を来す要因として、体格や風貌、着衣の仕様や歩速なども考慮されようが、本稿では男女差のみに着目し、まずは基礎的な差異を明示するものとした⁵⁾。

○4 パタンの傾向

観測個体 j と移動個体 i の 4 パタンの性別組み合わせを便宜的にパターン 1 (j 男- i 男)、パターン 2 (j 男- i 女)、パターン 3 (j 女- i 男)、パターン 4 (j 女- i 女) とすると、最も顕著なのは、 j と i の組合せが男性対男性の場合であるパターン 1 において、 j と i の組合せが女性対女性の場合であるパターン 4 に比して分布径が広く、左右に伸展した異型楕円の領域を呈している。具体的には、パターン 1 では前後に約 2.0[m]、左右に 2.6[m]に渡る切片径内にサンプル分布が広がっている。またパターン 4 では、同様な異型楕円状になっているが、パターン 1 に比して円形に近い。具体的には、前後に約 1.4[m]、左右に 2.1[m]の切片径をもつ異型楕円となっている。また次に顕著な傾向としては、パターン 1 及び 2 と、パターン 3 及び 4 はそれぞれほぼ同形状を呈したことである。

○パターン 1 (j 男- i 男)

このパターンは、男性個体間の事象に表 4 の通り前後方向に約 2.0[m]、横方向に 2.6[m]に伸展した、つまり横方向に長い異型楕円形状の領域図になっている。パターン 4 との比較から、男性のもつ全周領域は、女性のそれに比して前後方向で約 0.5[m]、横方向で約 0.5[m]分の伸展傾向があることが言及できる。この横方向に長い異型楕円形状については、既往研究で長年示唆されてきた「歩行時の回避領域は前後に長く前方に尖った卵型である」ことに対する、新たな疑念の投げかけに通ずるといえる。筆者らの研究⁵⁾⁶⁾の歩行者定点観測データに基づくと、「前方の尖り」や「卵型形状」にはならず、むしろ横方向への伸展楕円であった。またこれは、相対する対向流個体間において顕著な傾向を持っており、パターン 1・2 に同様態を確認できた。

○パターン 2 (j 男- i 女)

パターン 1 同様、前後方向の切片長が約 2.0[m]、横方向が 2.6[m]に伸展した横方向に長い異型楕円形状を呈する^{注6)}。また $v_i(t)$ についても顕著な差異は見られなかった。パターン 1 と異なるのは、進行方向の切片長が、パターン 4 の全周領域の前方切片長と同等になっている事と、サンプル数は少ないものの、観測個体の後方に若干長めに、回り込み回避行動が見られる。

○パターン 3 (j 女- i 男)

前後に約 1.5[m]、左右に 2.1[m]の切片径をもつ、つまり横方向に長い異型楕円を呈し、パターン 1 同様「前方の尖り」や「卵型形状」は確認できなかった。パターン 1・2 に比べて切片径が小さいのは、女性の男性に対する体格差・平均身長差などの身体的特徴に関連していると考えられる^{注7)}。

また、後述のパターン 4 と異なるのは、事象数は少ないながら、領域前方において $r_i(t)$ が 0.5[m]未満となる場合があった。

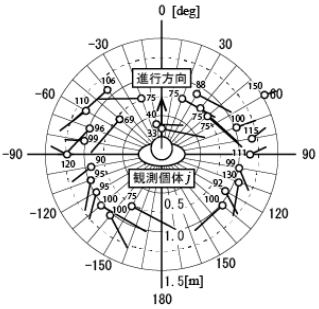
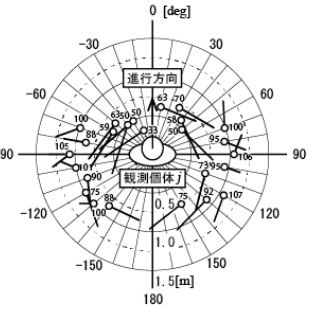
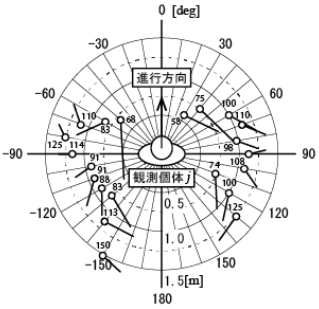
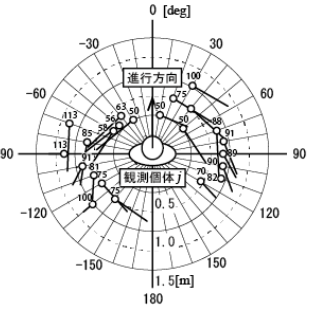
○パターン 4 (j 女- i 女)

女性個体間の事象にみられる全周領域を示している。前後方向に約 1.4[m]、横方向に 2.1[m]に伸展した横長の異型楕円形状になっている。パターン 3 とほぼ同形状ながら、前後切片径にて 0.1[m]分小さい。また、このパターンにおいても「前方の尖り」や「卵型形状」は確認できなかった。

5. まとめ・展望

本研究では、全天球撮影対応型カメラを用い、観測個体に固着し撮影した全天カメラ動画を解析することにより、移動個体の最近接距離と相対速度ベクトルの算出を経て、流動性性別・男女別の全周回避領域の算定を行った。既往研究で長年定説とされている卵型歩行領域の、実態的な形状を示唆した。また本稿の内容は基礎的研究であり、今後の課題は、複数の観測者で固着撮影を行い、回避事象データの任意性の担保を図るとともに、より多くのサンプルデータに基づき精査する必要がある。またこれらを成果にし、歩行空間の安全性評価のための、群衆流動シミュレーションの性能向上に向け、寄与していくとする。

表 4：個体間の性別組み合わせからみた全周領域図

		観測個体 j の性別	
		男性の場合	女性の場合
移動個体 i の性別	男性の場合	<p>パターン 1 (j 男-i 男)： 現示サンプル数 24</p>  <p>前後方向に約 2.0[m]、横方向に 2.6[m] に伸展した横方向に長い異型楕円形状。パターン 4 との比較から、前後方向で約 0.5[m]、横方向で約 0.5[m] 分の伸展傾向がある。「前方の尖り」や「卵型形状」は確認できなかった。</p>	<p>パターン 3 (j 女-i 男)： 現示サンプル数 23</p>  <p>前後に約 1.5[m]、左右に 2.1[m] の切片径とする横方向に長い異型楕円、「前方の尖り」や「卵型形状」は確認できなかった。領域前方において $r(t)$ が 0.5[m] 未満となる。</p>
	女性の場合	<p>パターン 2 (j 男-i 女)： 現示サンプル数 23</p>  <p>前後方向の切片長が約 2.0[m]、横方向が 2.6[m] に伸展した横方向に長い異型楕円形状。進行方向の切片長がパターン 4 の前方切片長と同等。</p>	<p>パターン 4 (j 女-i 女)： 現示サンプル数 25</p>  <p>前後方向に約 1.4[m]、横方向に 2.1[m] に伸展した横長の異型楕円形状。パターン 3 と比して前後切片径にて 0.1[m] 分小さい。「前方の尖り」や「卵型形状」は確認できず。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin-top: 10px;"> <p>最近距離 $P_i(t) = \{r, \theta\}$ 相対速度ベクトル $v_i(t) = \{dr, d\theta\}$</p> </div>

※上記の 4 つのグラフは全て観測個体 j の相対位置を原点とした極座標空間 (r, θ) すなわち周方位にて θ 値を示し、半径の大きさを r 値として現示している。
 ※採取サンプルのうちプロット点が近く、かつ同様の複数成分は図の見やすさの観点から除いて図化している。
 ※各プロット点の数値ラベルは、 r 値を cm 単位に換算した値を付記している。

注釈

- 注1) 撮影動画のフレームレートは 29.97[フレーム/sec]であり、すなわち約 15 フレーム毎の静止画像をノンリニア表示させながら脚部位置を同定したことになる。例えば $\Delta t=0.1$ とするならば、約 3 フレーム毎の静止画像を分析対象にするため精度は上がるがその分同定にかかる手間も増えるため、本稿では $\Delta t=0.5$ とした。
- 注2) 昨今高精度な画像認識アルゴリズム技術が開発されているが、一度に把握できる個体数に未だ制限があり、混雑状況下においては一度に 20 通り以上の回避事象を扱わなければならない、本研究においてはチェック手間も含めて考慮すると合理的な手法でないと考えた。
- 注3) r の値が 0.4[m] 以下のとき、 $\Delta\theta$ の実測メジアンに対して θ ゲージの最小目盛である $\pm 30[\text{deg.}]$ を超える誤差範囲を示したためである。
- 注4) この補正值 l' は身長差のある男女観測者であっても同一値としてもよいと判断する。今後の調査においては、観測者の身体に装着可能な電子式ジンプールあるいはスタビライザー等を用いることとする。
- 注5) また本稿は、全天カメラを用いた調査の性質上、観測個体 j は特定人物にならざるを得ないことから、これら 4 パターンの回避事象の任意性を完全に担保するものではない。本稿の調査手法を用いて事象の任意性に配慮するならば、複数の観測者によって追加調査を行うことが考えられる。
- 注6) プロットデータはすべて単独歩行中の女性であり、幼児連れ・ベビーカー携行者ではない。
- 注7) 自由歩行速度は男性とほぼ同等ながら、女性の歩幅は 0.69[m] (基準身長 1.54[m] として 0.45 倍した値)、男性の歩幅は 0.75[m] (基準身長 1.67[m] として 0.45 倍した値)、比率は 0.92 倍となっている他、男性肩幅 0.46[m] に対し女性は 0.41[m] である。

参考文献

- 1) Hideaki Takayanagi, Shogo Yamada, Shota Sugahara, So Koumei, Hiroko Shibahara (2016) A Study on the Evaluation Method for Local Congestion in Pedestrian Spaces Using the Traj-Scalar Model, Journal of Asian Architecture and Building Engineering, Vol. 15, No. 3, pp397-402, 2016. 10
- 2) 高柳英明・長山淳一・渡辺仁史、歩行者の最適速度保持行動を考慮した歩行行動モデル-追従相転移現象に基づく解析数理-, 日本建築学会計画系論文集/AIJ Journal of Architecture and Planning No606、pp. 63-70、2006. 8
- 3) 中祐一郎：交差流動の構造-鉄道駅における旅客の交差流動に関する研究(1)-, 日本建築学会論文報告集, 第 258 号, pp93-102, 1977. 8
- 4) 中村和男, 加藤邦夫, 上原孝雄, 吉岡松太郎：群集対向流動の解析, 日本建築学会論文報告集, No. 289, pp119-129, 1980. 3
- 5) 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
- 6) 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
- 7) 佐野友紀, 今西美音子：実験概要及び移動方向パラ図・短時間歩行パス図を用いた群集の評価方法-群衆流横断における歩行者間の回避行動分析その 1-, 日本建築学会学術大会学術講演梗概集, 建築計画, pp601-602, 2013. 9
- 8) 山田昇吾, 高柳英明：連続間欠記録式歩行群集流画像による群衆性状の把握, 第 36 回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, 報告, pp189-192, 2013. 12

(2017 年 10 月 30 日原稿受理, 2018 年 1 月 30 日採用決定)