

群集流動 群集歩行 評価

1 目的

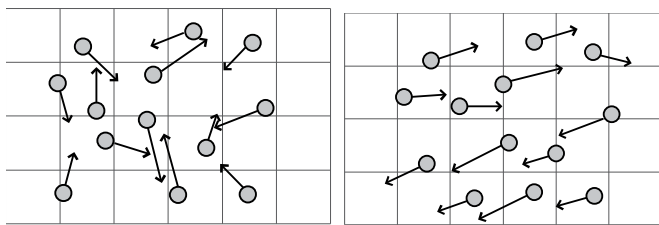
鉄道駅構内などの混雑した歩行者空間の群集流動特性を特徴づける指標としては歩行者密度と平均速度が一般的である。これらの指標によりサービス水準が定められ計画に用いられることが多い¹⁾²⁾³⁾。ただし、群集流動の乱雑さなどを評価するには不十分であり、より適切な評価方法が必要であると考えられる。例えば、図 1-a と b に示したケースでは同じ人数と平均速度で歩行者が構成されているが、a は b に比べて歩行者の動きが整っていないため歩きやすさに大きな違いがある。この違いを評価するための方法も提案されている⁴⁾が、流動特性を説明づける根拠が明確でないように思われる。本研究では歩行者の移動可能範囲のといった明快な根拠にもとづいて群集流動の評価方法を提案する。

2 群集流動の基本的性質

本研究では、ある 1 時点における各歩行者についての歩きやすさが群集全体についての評価の基礎となると考え、この評価方法について検討する。歩行者はある時間後のイメージを持って現在の状況の評価し、行動していると考えられる。例えば、歩行者は一般に長期的あるいは短期的な目的に従って歩行し、自分が移動しようとする場所が他の歩行者などで阻害されると歩きづらさを感じ、衝突を回避するために進行方向や速度を変化させる。このような歩行者が持つイメージと評価を、図 2 に示すように図形を用いて説明する。以下ではこの図形で表される移動可能範囲を定量的に求めることで流動性の評価を行う。

3 移動可能範囲に着目した流動特性評価方法

簡単に計算を行うために、平面と時刻による時空間上で移動可能範囲を求める。歩行者 A が速度 v 以下で歩行するとき、 Δt 経過後までに移動可能な範囲は、等速度直線運動に単純化すると半径 $v\Delta t$ 、高さ Δt の円錐形となる。他



a
 ・グリッドは 1 マス 1m
 ・歩行者は直径 0.3[m] の円で表現する
 ・矢印は速度ベクトルで長さは [m/s]

図 1 群集の流動状態

の歩行者などとの干渉を検討するために、図 3 では歩行者 A の位置と共に円に単純化した身体スペースとパーソナルスペースが占める範囲をあわせて示している。

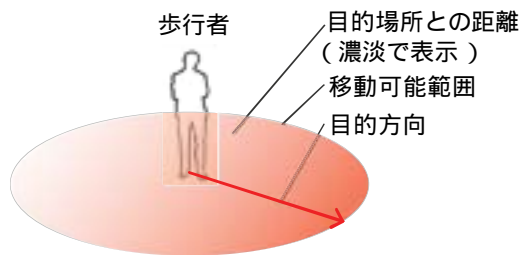
他の歩行者の動きとして現在の移動速度による歩行者 B の軌跡を図 4 に示す。この場合、歩行者 B の動きにより、A は円内の灰色部分へ移動できないため移動可能範囲が小さくなる。このようにして得られる移動可能範囲に目的方向との距離による重みづけを行い流動性の評価を行う。

厳密に移動可能範囲の形状を求めることは困難であるため、簡略化した方法として、図 5 のように円を複数の領域に分割して代表点を定め、その代表点への移動可能性を確認することで移動可能範囲を求める。値は重みづけした移動可能範囲の割合に応じて 0 から 1 の値をとるようにした。評価には他の歩行者だけでなく壁といった物的制約条件も組み込むことが可能である。

4 ケーススタディ

いくつかの群集流動を仮想的に作成し、提案した方法による評価指標を求めた。なお、値は特定の歩行者について求めた値であり、流動状況の全体を評価するものではない。目的方向との距離に対する重みづけのパラメータの値などについては、表 1 に示すように暫定的に定めた。また、目的とする方向は歩行者の進行方向としている。

図 6 のケース a と b を比較すると得られた値に比較的大きな差がみられた。提案した評価方法により、密度や平均速度では区別することのできない流動性の違いをとらえることが可能である。その他のケースにおいても妥当と考えられる値が得られ、例えばケース 3 と 10 では、類似した位置関係でも対象となる歩行者の目的方向と群集との関係により異なる値が得られている。得られた値と歩行者が感じる歩きやすさとの対応づけは今後の課題であるが、0.4 以上までは流動性は良好で歩きやすい状況といえる。



歩行者 目的場所との距離 (濃淡で表示) 移動可能範囲 目的方向
 ・円の範囲は歩行者がある時間内に移動可能な範囲を表す
 ・矢印は目的方向であり円内の色の濃さは目的地との距離を表す
 ・円が他の歩行者の動きなどと重なるほど歩きにくい
 ・色の濃いところが他の歩行者の動きなどと重なるほど歩きにくい
 図 2 移動可能範囲

5 まとめ

歩行者の移動可能範囲に着目し、ある時点における、各歩行者に対する群集流動特性の評価を行う方法を提案し、いくつかの設定状況についてケーススタディを行った。提案した方法により、群集流動の評価で一般に用いられている密度と平均速度ではとらえることのできない特徴を定量的に求めることが可能である。

本研究は東日本旅客鉄道株式会社 防災研究所の「旅客避難シミュレーションを活用した安全性評価のための基礎研究」の一部として行われました。

【参考文献】

- 1) ジョン・J. フレーイン, 長島正充訳, 歩行者の空間: 理論とデザイン, 鹿島出版会, 1974
- 2) 青木俊幸, 大戸広道, 都築知人, 前田厚雄, 小山剛: 鉄道駅における旅客流動に関する研究: その4 旅客の負担による流動評価指導, 日本建築学会学術講演梗概集 E-1, pp.857-858, 1996
- 3) 建部謙治, 佐野友紀: フィールド調査にもとづく通過しにくさの解析 群集流動横断時の歩行特性に関する研究その2, 日本建築学会計画系報告集, 554, pp.175-180, 2004.4
- 4) 加藤邦夫, 上原孝雄, 中村和男, 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, 289, pp.119-129, 1980.3

表1 評価算出時の設定値

α	目的場所との距離の重みづけパラメータ	1.75
Δt	移動可能範囲の評価を行う時間	5秒後
v	最大歩行速度	1.3m/s
移動可能範囲の分割	半径方向の分割数	12
	角度の分割数	24

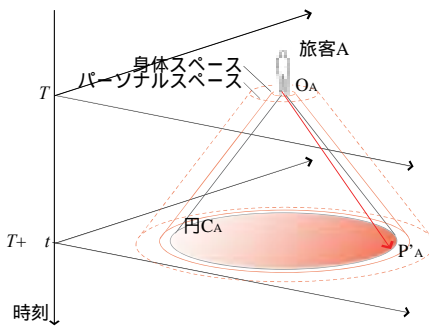


図3 歩行者の移動可能範囲

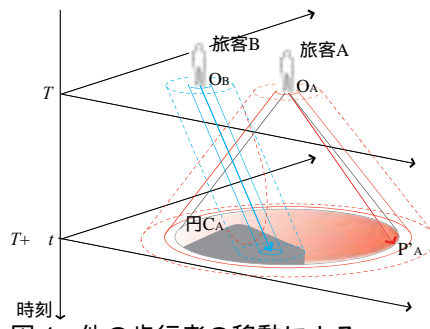
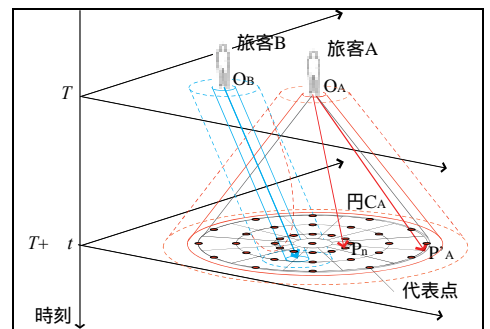


図4 他の歩行者の移動による移動可能範囲の変化



身体スペース半径を b 、パーソナルスペースの半径を s とし、単純化のため全歩行者についてこの大きさは等しいものとする。

- 1) 円 C_A 内を N 個の領域に分割し、各領域に代表点 P_n を定め、各領域面積を a_n とする。
- 2) 他の旅客の位置の軌跡をベクトル $\vec{O_B P_B}$ とするとき、ベクトル $\vec{O_A P_n} \sim \vec{O_A P_n}$ との距離 d_n をそれぞれ求める。距離は時空間上のベクトル $\vec{O_A P_n}$ と $\vec{O_B P_B}$ の線分 $\vec{O_A P_n}$ 、 $\vec{O_B P_B}$ を

$$\mathbf{X}_A(t) = \mathbf{O}_A + t(\mathbf{P}_n - \mathbf{O}_A) \quad 0 \leq t \leq 1$$

$$\mathbf{X}_B(t) = \mathbf{O}_B + t(\mathbf{P}_n - \mathbf{O}_B) \quad 0 \leq t \leq 1$$

とおくとき、 $0 \leq t \leq 1$ において共通の t における $\mathbf{X}_A(t)$ と $\mathbf{X}_B(t)$ の距離 $|\mathbf{X}_A(t) - \mathbf{X}_B(t)|$ が最小となる値とする。

- 3) P_n への移動可能性を評価する値を r_n とし、距離 d_n によって以下のように定める。
 $0 \leq d_n \leq 2b$ のとき $r_n = 0$
 $2b < d_n \leq 2s$ のとき $r_n = \frac{d_n - 2b}{2s - 2b}$
 $2s < d_n$ のとき $r_n = 1$
 r_n と、目的方向との関係により重みづけを

行う w_n の積の値に面積をかけた値 $w_n r_n a_n$ が各領域についての移動可能性に関する値となり、その値の合計 $\sum_{n=1}^N w_n r_n a_n$ を評価指標とする。なお、評価指標が 0 から 1 の値をとるよう考慮し、 w_n は以下の方法で与える。

- 1) $m_n = \frac{1}{(1 + |P_n P'|)^{\alpha}}$ とおく ($|P_n P'|$ は P_n と P' の直線距離を表す) は定数。
- 2) $w_n = m_n / \sum_{i=1}^N m_i a_i$

図5 簡略化した移動可能範囲の表現と評価指標の算出方法

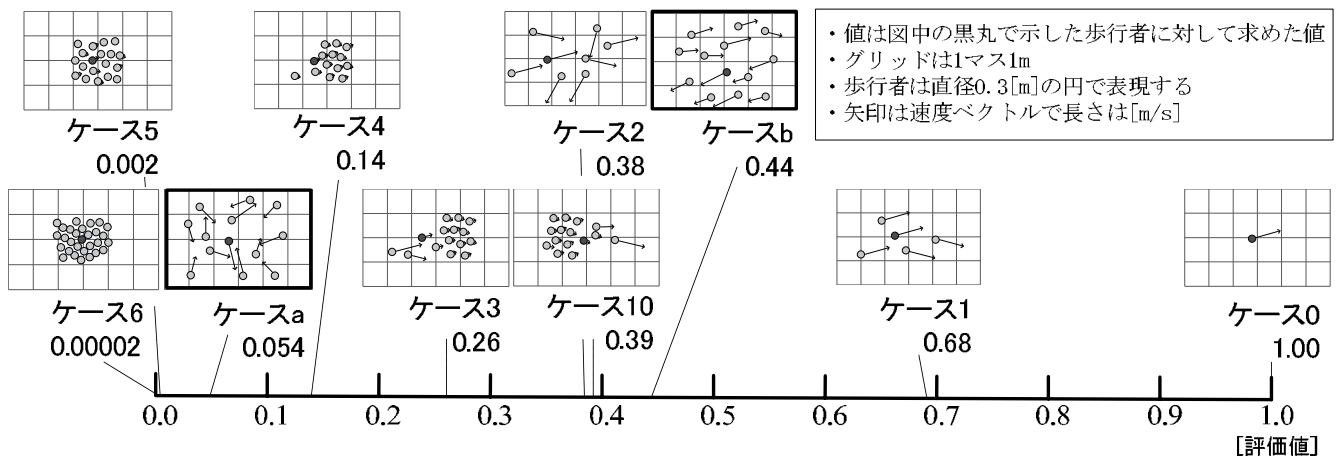


図6 歩行状況ケースと算出結果

* ベクトル総研

**東日本旅客鉄道 JR 東日本研究開発センター 防災研究所

*Vector Research Institute, Inc.

**East Japan Railway Company Research & Development Center of JR East Group Disaster Prevention Research Laboratory