エントロピーを用いた歩行者交通流の状態記述方法

京都大学　学生員　○森田　勝也
京都大学大学院　正会員　吉井　稔雄
京都大学大学院　正会員　北村　隆一

１．はじめに

本研究では，エントロピーの概念を用いた新しい歩行者交通流の状態記述方法を提案する．

歩行者交通流を捉えるための物理量として，これまで交通量，交通密度，速度といった自動車交通流を記述する物理量が用いられているが[1)]，１次元の車線上を移動する自動車交通流に用いる物理量だけでは 2 次元の空間内を移動する歩行者交通流を捉えるに十分でないと考えられる．そこで本研究では，新たな指標として“歩行者エントロピー”という状態量を用い，歩行者分布の偏りを数値化した．

２．歩行者交通流におけるエントロピー

本研究では，歩行者交通流の状態量として情報理論におけるエントロピーの概念を採用し，以下にて歩行者エントロピーと定義する．

歩行者エントロピーは予め設定したエリア単位で算出する．まず，エントロピーを測定するエリアを同じ大きさを持つ m 個のメッシュに分割する（図 1 参照）．このとき，エリア内に存在する全歩行者数を N，i 番目メッシュ内に存在する歩行者数を n_i として，情報理論におけるエントロピー

$$S = -\sum_{i=1}^{m} \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N} \qquad (1)$$

を算定する．これを歩行者エントロピーと名付け，歩行者交通流の状態を記述する量として定義する．

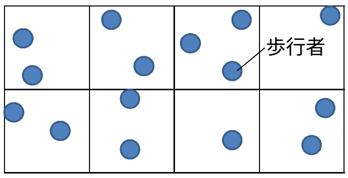

図１　測定エリアをメッシュに分割した例($m=8$)

例えば，図 2，図 3 に示す歩行者分布の歩行者エントロピーは，順に 1.99，0.87 と算定され，分布に偏りのある分布Ｂの方が分布Ａよりも歩行者エントロピーは低い値を示す．

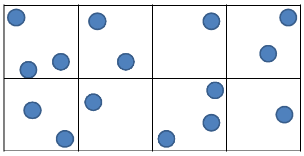

図２　歩行者の分布Ａ

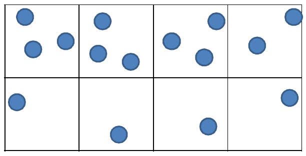

図３ 歩行者の分布Ｂ

また，歩行者エントロピーの値はメッシュサイズに大きく依存する．

例えば，図 4 に示すようにメッシュサイズを大きくして $m=1$ とした場合，歩行者の分布に関係なく歩行者エントロピーは

$$S = -\frac{15}{15} \log \frac{15}{15} = 0 \qquad (2)$$

となり，歩行者分布の偏りの程度を評価することができなくなる．

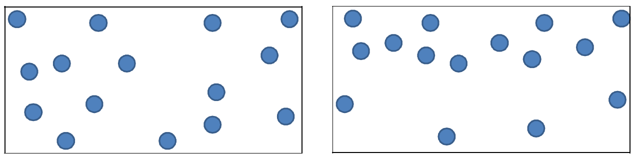

図４　１個の大きなメッシュに分割した場合
（左：分布Ａ，右：分布Ｂ）

一方，図 5 のようにメッシュサイズを小さくした場合，各メッシュに存在する歩行者数は 0 か 1 のいずれかとなる．すなわち，歩行者の分布状況にかかわらず，全エリア内に存在する人数に相当する数のメッシュに各 1 人の歩行者が存在し，それ以外のメッシュには歩行者が存在しないという状況となる．歩行者エントロピーは各メッシュの位置に影響されないため，全歩行者数 N にのみ依存して決定される．

キーワード　歩行者，エントロピー
連絡先：〒615-8540　京都市西京区京都大学桂４　京都大学大学院工学研究科　都市社会工学専攻
Tel：075-383-3242　Fax：075-383-3236

例えば，図 5 に示す分布では A，B いずれも

$$S = -\frac{15}{15}\log\frac{1}{15} = 3.91 \qquad (3)$$

と算定される．

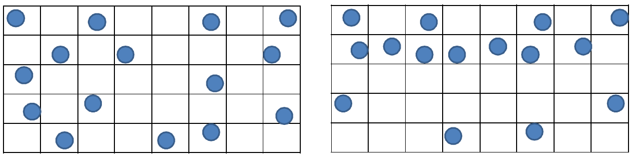

図 5　40 個の小さなメッシュに分割した場合
（左：分布 A，右：分布 B）

以上に示したように，メッシュサイズを大きくしすぎても小さくしすぎても歩行者分布の偏りを評価することはできない．よって，歩行者エントロピーを用いて歩行者分布の偏りを評価するにあたっては，適当な大きさのメッシュサイズが必要となる．

3．エントロピー算定に適したメッシュサイズ

各時刻について，以下に説明する各歩行者の慣性位置を定義し，現実の歩行者の分布ならびに全歩行者が慣性位置に位置した場合の歩行者エントロピー値の差異に着目して，歩行者分布の偏りを評価するに相応しいメッシュサイズを決定する．

図 6 に示すように，ある時刻 t における歩行者 i の位置を $\mathbf{p}_i(t) = (x_i(t), y_i(t))$（以下，“ 現在位置 ”）とする．同時刻の速度ベクトル $\mathbf{v}_i(t) = (\dot{x}_i(t), \dot{y}_i(t))$ を保持したまま移動するとした場合，Δt 秒後には，位置 $\hat{\mathbf{p}}_i(t+\Delta t) = (\hat{x}_i(t+\Delta t), \hat{y}_i(t+\Delta t))$ へ到達する．この位置 $\hat{\mathbf{p}}_i(t+\Delta t)$ を慣性位置，Δt を経過時間と定義する．また，同時刻における実際の位置 $\mathbf{p}_i(t+\Delta t) = (x_i(t+\Delta t), y_i(t+\Delta t))$ を実現位置と定義する．

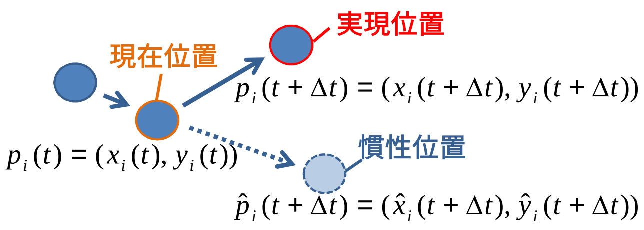

図 6 歩行者の現在位置・慣性位置・実現位置

次に，全歩行者が実現位置に位置する場合の歩行者エントロピーを $S(t+\Delta t)$ とし，全歩行者が慣性位置 $\hat{\mathbf{p}}_i(t+\Delta t)$ に位置する場合の歩行者エントロピー $\hat{S}(t+\Delta t)$ との差分 $D(t+\Delta t) = S(t+\Delta t) - \hat{S}(t+\Delta t)$ に着目する．

以下, 2006 年に東京大学生産技術研究所 A 棟前で行われた歩行者流動実験データ [2] を用いて，同差分を算定した結果を示す．実験では，93 名の被験者に幅 3m, 長さ 6m の歩行区間を同方向に歩くよう依頼し，区間上方から撮影したビデオ映像を用いて 0.2 秒ごとの各被験者位置を読み取った．ただし，慣性位置を決定するために必要となる速度ベクトルを $\mathbf{v}(t) = \frac{\mathbf{p}(t) - \mathbf{p}(t-0.2)}{0.2}$，経過時間 Δt を 1 秒とした．

表 1 には，異なるメッシュサイズを用いて 0.2 秒ごとのエントロピー差分 $D(t)$ を算出した結果を示す．結果，メッシュサイズに関わらず，エントロピー差分 $D(t)$ の平均が正値を示した．

表 1　エントロピー差分（各ケースのサンプル数:143）

		長さ0.75m	長さ1m	長さ1.5m
幅0.75m	平均	0.025	0.017	0.020
	分散	0.014	0.013	0.019
幅1m	平均	0.039	0.040	0.039
	分散	0.010	0.011	0.012
幅1.5m	平均	0.032	0.027	0.028
	分散	0.024	0.014	0.011

母分散が標本分散に等しいとの仮定の下で “ 母集団の平均が 0 である ” との帰無仮説を措定し，検定を行ったところ，同仮説はいずれのケースにおいても危険率 5%で棄却された．これは，全ての歩行者が現在位置から現在の速度ベクトルを保持したまま移動する場合よりも，実際にはエントロピーが増大する位置へ移動している傾向にあることを示している．

また，エントロピー差分 $D(t)$ の平均値は，幅 1m，長さ 1m のメッシュサイズのケースで最大値（極大値）を示した．言い換えると，同メッシュサイズを採用することで，歩行者の分布の差によるエントロピーの差異が大きく評価できる．すなわち，適当なメッシュサイズが設定できればエントロピー差分 $D(t)$ を評価しやすくなるということが示された．

参考文献

1)　交通工学ハンドブック, 交通工学研究会, DVD-ROM, 2008
2)　浅野美帆，井料隆雅，桑原雅夫：交錯交通の容量評価のためのミクロ歩行者行動モデル，交通工学, vol.43, No.4, pp.80-89, 2008.