

第IV部門 背景音が歩行者流動に及ぼす影響の分析

立命館大学大学院 学生員 ○神戸美里
立命館大学 正会員 塩見康博

1. はじめに

歩行者の混雑は群集事故が発生する危険性があり、円滑な歩行者流動への誘導は安全性確保のために重要な観点である。現在、歩行者の誘導方法として主流な警備員による誘導は有効な誘導方法が明らかになっていないうえ、膨大な時間と費用を要する。そこで本研究では行動ペースに影響を及ぼすことが分かっている音楽を用いた歩行行動の変容を誘導する手法の構築を念頭に、その基礎的な知見として音楽が歩行者流動に及ぼす影響を明らかにする。具体的には、複数の背景音下における歩行実験の移動軌跡データを用いて、交通量、速度、密度のマクロな指標の背景音による差異を評価する。加えて、ミクロな観点より、歩行特性の個人差を考慮した歩行者モデルのパラメータに与える影響を明らかにする。

2. 分析データ

2.1 背景音の選定

本研究で歩行実験の背景音として使用する楽曲は、まず、実験者の主観により楽曲のテンポと楽曲の印象の明暗に特徴がある楽曲 30 曲を選定した。その後、SD 法による印象評価アンケート、及びアンケート結果の因子分析の結果に基づき、「陰陽」因子と「安心感」因子に特徴をもつ 5 曲（陽気で不安感を与える「天国と地獄」、陰気で不安感を与える「Rated X」、陰気で安心感を与える「3 Gymnopédies」、陽気で安心感を与える「One O'clock Jump」、陰陽と安心感が共に平均的な「The Entertainer」）を選定した。実験はこの曲順で各楽曲は特徴的な部分約 20 秒をループさせて行い、最後に無音時の観測を行うものとする。

2.2 隘路歩行実験

2019年11月8日に著しい混雑状況を再現した隘路歩行実験（以下実験Aとする）に加えて、2020年11月20日に自由流状況を再現したボトルネック歩行実験を行った。いずれの実験も立命館大学びわこ・くさつキャンパス内のエポックホールで行い、被験者は実験Aでは75名（男性58名、女性17名）、実験Bでは25名（男性13名、



図1 実験Bの様子

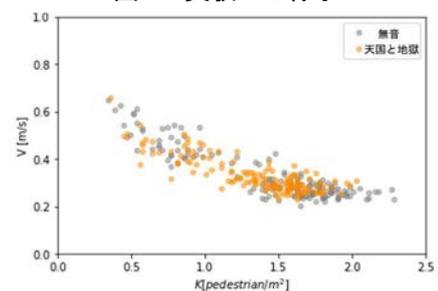


図2 無音時と「天国と地獄」の密度-速度

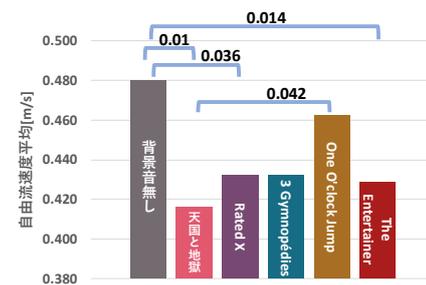


図3 自由流速度の楽曲間比較

女性12名)とし、実験Bの様子を図1に示す。

画像処理によって0.5秒ごとに歩行者の座標を抽出し、移動軌跡データを生成した。

3. 交通量、速度、密度の関係によるマクロ分析

3.1 計測方法

交通量、速度、密度はEdie³⁾が定義した歩行軌跡データから求める方法を用いる。計測区間は通路幅が広い隘路上流部を対象とする。

3.2 自由流領域における速度低下

5秒ごとの密度[人/m²]と速度[m/s]の関係に基づいて無音時と背景音ありの場合の差異を比較する。例として、「天国と地獄」と無音時の結果を図2に示す。これより、背景音ありの場合は無音時よりも自由流領域の速度が小

さく、臨界流領域における自由流と渋滞流の境が見えにくい傾向にあることがわかる。自由流の速度について有意差検定した結果、図 3 のように「天国と地獄」、 「Rated X」および「The Entertainer」において無音時との有意差があり、速度を低下させる効果が認められた。

4. 歩行者モデルによるマイクロ分析

4.1 Social force model

移動軌跡データのうち、実験 B から得たデータを用いて Helbing and Molnár⁴⁾が提案した歩行者モデル Social force model のパラメータを歩行者ごとにチューニングし、パラメータ分布を背景音ごとに比較した。基本式を式(1)に示す。右辺第 1 項が表す目的地へ進もうとする力に対して右辺第 2,3 項が表す他者や障害物から力が働くことで歩行者の速度ベクトルを算出するものである。この中で、音楽による影響を大きく受けると考えられる $v_i^0(t)$ 、 τ_i を歩行軌跡ごとにチューニングを行なった。

$$m_i \frac{dv_i(t)}{dt} = m_i \frac{v_i^0(t) - v_i(t)}{\tau_i} + \sum_{j \neq i} f_{ij} + \sum_w f_{iw} \quad (1)$$

ただし、それぞれ以下を表す。

- f_{ij} : 歩行者 i が他者 j から受ける力
- f_{iw} : 歩行者 i 障害物 w から受ける力
- m_i : 歩行者 i の体重[kg]
- $v_i(t)$: 現在速度[m/s]
- $v_i^0(t)$: 目標速度[m/s]
- τ_i : 加速時間[s]

その他のパラメータは、歩行者 i の半径 r_i は Helbing and Molnár が基準値として示した値を参考に、0.2[m]とし、 m_i は厚生労働省健康局が「国民健康・栄養調査」で公表する 20~25 歳男女の平均体重から 59kg とした。周辺からの影響の強さと範囲を表す A_i, B_i は無音時の歩行軌跡を用いてチューニングし、1.997, 0.08 とした。

その上で、Social force model による 0.5 秒後の歩行者の位置座標の予測値と移動軌跡データによる実測値と誤差が最小になるよう、確率的勾配降下法によってチューニングを行なった。

4.2 パラメータチューニング結果の比較

目標速度および加速時間の楽曲ごとの中央値と楽曲間の有意確率を図 4 と図 5 に示す。「Rated X」は自由流の歩行者群集全体の速度を低下させることが分かっており、歩行者の目標速度が歩行者群集全体の速度に影響を及ぼしている可能性がある。背景音の特徴に着目すると、図 6 のように陰気な曲ほど歩行者の目標速度が遅くなる一

方で加速時間は短くなる傾向がみられた。群集全体については自由流の速度がやや低下することが分かった。加えて、陽気な曲と安心感が強い曲は目標速度と加速時間の個人差がやや小さくなることが分かった。

5. おわりに

「天国と地獄」「Rated X」「The Entertainer」は群集全体の速度を低下させ、特に陽気な曲にこの傾向が大きいことが分かった。マイクロの観点からは「Rated X」「3 Gymnopédies」「The Entertainer」は目標速度を低下させ加速時間を減少させる効果がみられ、特に陰気な曲にこの傾向が大きいことが分かった。

今後は具体的な音楽的要素が及ぼす影響を解明し、歩行者空間に合わせた音の設計が期待される。

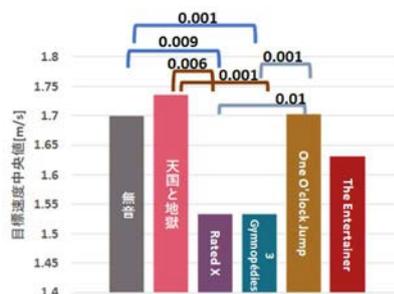


図 4 目標速度の楽曲間比較

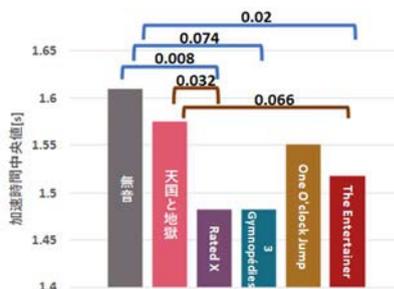


図 5 加速時間の楽曲間比較

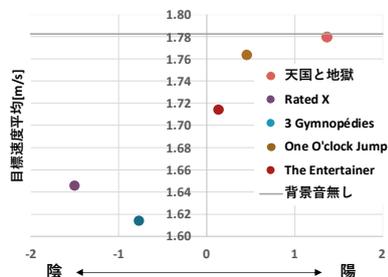


図 6 目標速度と陰陽の関係

【参考文献】

- 1) 栗林龍馬, 入野宏: 背景音のテンポが行動ペースに与える効果<総説・資料>, 広島大学大学院総合科学研究科紀要9, pp.17-19, 2014
- 2) Edie, L.C.: Car-Following and Steady-State Theory for Non-congested Traffic, Operations Research, Vol.9, No.1, pp.66-76, 1961.
- 3) Helbing, D and Molnár, P: Social force model for pedestrian dynamics, Phy. Rev. E, Vol.51, No.5, pp.4282-4286, 1995