

背景音が歩行者流動に及ぼす影響の分析

神戸 美里¹・塩見 康博²

¹学生会員 立命館大学 理工学研究科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東一丁目 1-1)

E-mail: rv0067vi@ed.ritsumei.ac.jp

²正会員 立命館大学准教授 理工学部環境都市工学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東一丁目 1-1)

E-mail: shiomi@fc.ritsumei.ac.jp

歩行者群衆事故は死亡事故に繋がり、管理や制御が必要であるが、歩行者挙動は車両挙動に比べ多様性・自由度が高いため、制御が難しい。そこで、本研究では人間の感情や行動に影響を及ぼす音楽に着目した。これまで、個々の歩行者が相互に影響し合う歩行者群衆流に、音楽がどう影響を及ぼすかは分かっていないが、影響を及ぼすのであれば、音楽は歩行者群衆を効率的に管理する手法として期待される。本研究では、複数の背景音下でボトルネックを模擬した通路を歩く実験を行い、背景音が歩行者流のマクロ的特性に及ぼす影響を調査する。実験の結果、i) 陰陽と安心感によって音楽の構成要素を説明できること、ii) 密度と平均速度の関係図の形状に背景音が影響を及ぼすこと、iii) 背景音の陽の成分が増加すると交通容量が増加する傾向にあること、などが分かった。

Key Words: pedestrian, BGM, Fundamental Diagram, Crowd Management

1. はじめに

歩行者流の安全と効率性を確保するためには、歩行者群衆の制御は重要な観点である。通勤ラッシュ時の駅の改札口や大規模イベント会場の入り口などでは大量の歩行者が一斉に移動しようと集中するため混雑しやすい。このような日常的な場での混雑は、快適な歩行空間の形成を妨げるものであり、混雑の緩和が必要である。また、歩行者による混雑は混乱を生じさせ、衝突事故につながる危険性がある。このような歩行者群衆による事故、通称群衆事故は世界各地で発生している。日本で最も甚大な被害が出たといわれる 2001 年に兵庫県明石市で開催された花火大会における群衆事故では、花火大会会場から駅に向かう歩行者流と駅から会場に向かう歩行者流が衝突したことで滞留が発生し、死者 11 名、負傷者 247 名の惨事となった。2010 年にドイツのデュイスブルクで行われた野外音楽イベントにおける群衆事故では、満員の会場から退出しようとする客の流れと会場に入ろうとする客の流れが衝突し、19 名以上の死者と 340 名以上の負傷者が出た。聖地メッカへの巡礼の際には、世界各地からイスラム教徒が集まるため、群衆事故がたびたび起きている。2015 年には、巡礼地の群衆によって 1500 名以上の死者を出した。これらの事例は、歩行者を事故の危

険から守るために、群衆管理と円滑な歩行者流の確保が極めて重要であることを示唆している。

現在、歩行者流動の誘導方法は、警備員の配置や道路の拡幅などが主流である。しかし、これらの手法は膨大な費用と時間を要するうえ、誘導の際の効果的なメッセージが分かっていない。適切な歩行空間のマネジメントを行うためには、個々の歩行行動を効果的に変容させることが必要となる。そこで、本研究では音楽を用いたマネジメント手法に着目し、より簡単に歩行者を誘導する手法の提案を目指す。

音楽は、安静時の自律神経や感情に影響を与える。例えば、音楽療法は効果を応用したものとして知られている。音楽がどの程度自律神経系に影響を与えるかは、音楽の種類によって異なり、ハードロックのような激しい音楽を聴くと交感神経の活動が活発になる¹⁾ことが分かっている。さらに、背景音のテンポが歩行者の歩行リズムに影響を与えることも分かっている。Milliman²⁾は、スーパーマーケットの BGM のテンポを変えて、聴覚刺激が消費行動に与える影響を調査した。その結果、速いテンポの BGM よりも遅いテンポの BGM の方が、売り上げが向上することが分かった。石田ら³⁾は、移動時や運動時の歩行リズムに応じて最適な音楽を紹介するシステムを試作した。このシステムを使用すると、音楽なし

の場合と比較して歩行リズムが向上した。さらに、事前のアンケートで歩きやすいとの回答が多かった曲と、歩いているときに歩きやすいと感じた曲が違うなど、歩行時と非歩行時では音楽の感じ方に違いがある。その結果、歩行時のテンポよりもやや速いテンポの曲を聴くことで、歩行者は歩きやすいと感じることが明らかになった。

このように、音楽と個人の歩行行動に関係があることは分かっているが、それが集団としての現象にどのような影響を及ぼすかは明らかにされていない。一方で、歩行者流のマクロ的な関係についてはこれまで数多く研究されてきた。その中でも、歩行者流における **Fundamental Diagram (FD)** については数多く研究されており、空間の形状特性⁶⁾、建築物のデザイン⁷⁾、性別⁹⁾、希望歩行速度が速い状況（避難時、混乱時）¹⁰⁾、相互作用特性¹¹⁾など歩行者流の **FD** を決定する多くの要因が確認されている。このように、歩行者流のマクロ的な関係については多くの分析が行われているものの、背景音の効果を考慮した分析は行われていないのが現状である。

音楽はリズム、メロディ、音色など多くの要素で構成されており、それらが自律神経や人間の行動に相互に影響を与えていると考えられる。そのため、テンポだけでなく、音楽の他の要素を考慮する必要がある。また、歩行時は特に混雑した状況で歩行者同士が相互に影響し合うと推測される。これらを踏まえると、音楽から受ける印象に合わせて、音楽が個人の歩行行動に影響を及ぼす場合には、歩行者流のマクロ的な特性が異なるのではないかと考えられる。もしそうであるならば、背景音の印象を調整することで、背景音を単なる雰囲気づくりのツールとしてではなく、歩行者流を円滑にする歩行者群衆の管理ツールとして活用することが期待される。

以上より、本研究は、さまざまな種類の背景音を流しながら、ボトルネックのある区間で歩行実験を行うことで、背景音が歩行者流のマクロ的特性に及ぼす影響について実証する。歩行実験では、画像処理により個々の歩行者の軌跡データを収集し、**Eddie** の定義¹²⁾より歩行者流のマクロ的指標である密度、速度、交通流率を算出する。また、音楽の印象要因に対する **FD** の特徴を抽出し、背景音ごとの違いを分析する。最後にまとめとして、背景音を歩行者群衆の制御に利用することの利点を述べる。

本稿の構成は以下の通りである。第 2 章では、背景音の選定をはじめとする歩行実験の実施について述べる。第 3 章では第 2 章の実験で得られたデータの分析方法について説明するとともに、**FD** を推定する。第 4 章では、**FD** を用いて背景音ごとに統計分析を行う。最後に、第 5 章では、結論と今後の展望について述べる。

2. 歩行実験の実施

本章では、背景音が歩行者流に及ぼす影響を分析するための歩行実験の実施について述べる。まず、背景音の選定方法について述べ、次に歩行実験の詳細について述べる。最後に、歩行実験を撮影した動画から歩行軌跡データを収集する方法について述べる。

(1) 背景音の選定

実験で使用する楽曲は、印象が異なる既成曲 5 曲を採用した。実験者の主観により、リズムや印象に特徴のある既成曲 30 曲を選び、その曲中の特徴的な部分を 30 秒間ずつ切り出した。これらの楽曲の特徴に客観性を持たせるため、**Semantic Differential (SD)** 法を用いたアンケートを実施した。SD 法は杉原ら¹³⁾の定めた方法を参考に、音楽を聴いた際の印象を、対語になる形容詞（暗い—明るい、生気のない—生き生きした、重厚な—軽快な、眠たくなるような—目の覚めるような、単調な—メリハリのある、不快な—心地よい、リアルな—ロマンティックな、人工的な—自然な、ありきたりな—新鮮な、伝統的な—革新的な）の間で、1-7 段階で評価してもらうものである。

アンケートは、2019 年 7 月 18 日から 19 日にかけて、Web 形式にて実施した。150 名の大学生を対象とし、回答者を 3 グループに分け、一人の回答者につき 10 曲ずつ楽曲の印象を評価してもらった。

アンケート結果に因子分析を適用した結果を表-1 に示す。表が示すように、3 つの因子が抽出され、それぞれを「陰陽」、「安心感」、「斬新性」と解釈する。アンケートに使用した全 30 曲について、「陰陽」と「安心感」を 2 軸にとり、因子得点をプロットしたところ、図-1 の結果を得られた。この図より、歩行実験では、「陰陽」と「安心感」に特徴のある楽曲 5 曲を以下のように選定した。

- i. 天国と地獄／東京佼成ウインドオーケストラ
(陽の成分が高く、安心の成分が低い)
- ii. Rated X／Miles Davis
(陽と安心の成分が低い)
- iii. 3 Gymnopédies／Eric Satie
(陽の成分が低く、安心の成分が高い)
- iv. One O'clock Jump／Count Basie
(陽と安心の成分が高い)
- v. The Entertainer／Billy Joel
(陽と安心の成分が平均的)

(2) ボトルネック歩行実験

実験は、混雑した状況を再現する実験（実験 A）と、

混雑していない状況を再現する実験（実験 B）の 2 種類を行った。実験の詳細は以下の通りである。

a) 日時

実験 A：2019 年 11 月 8 日
 実験 B：2020 年 11 月 20 日

b) 場所

立命館大学びわこ・くさつキャンパス
 エポックホール

c) 被験者

実験 A：75 名（男性 58 名，女性 17 名）
 実験 B：25 名（男性 13 名，女性 12 名）

d) 背景音の設定

音量を 60dB で統一し，曲中の特徴的な部分をループ再生

e) 通路の形状

イベント会場の出入り口や駅の改札口での混雑を再現するために，パーテーションを用いてボトルネックを模擬した通路を設けた。混雑を発生させるため，図-2 に示すように，Zhanget al.¹⁴を参考にボトルネック部の幅員を 0.8m に設定する。

f) 手順

- 実験中はスマートフォンの使用と会話を制限し，背景音以外の環境要因による影響を最小限にした。歩行軌跡を把握しやすくするため，被験者は赤または黄色の帽子を着用している。また，実験 A と実験背景音を流す順番は，表-2 のように統一する。
- 実験 A：被験者を 3 つのグループに分け，2 つのグループは 1 曲の背景音を 500 秒間聞きながら繰り返し通路を歩き，残りの 1 グループは休憩とした。これを全ての背景音について実施する。
- 実験 B：被験者を 2 つのグループに分け，1 曲の背景音につき 6 回通路を歩いてもらう。この際，密度を調節するため，最初の 2 回は一方のグループのみが歩き，残りの 4 回は両グループが歩く。

(3) 歩行軌跡の取得

天井に設置したアクションカメラで通路全体を撮影し，被験者の歩行軌跡を取得した。図-3 に実験時の様子を示す。Open CV を用いて，以下，a) から d) の手順により，映像から 0.5 秒ごと歩行軌跡を収集するプログラムを作成した。この取得方法により，「天国と地獄」がのべ 1,084，「Rated X」が 960，「3 Gymnopédies」が 943，「One O' clock Jump」が 997，「The Entertainer」が 1,014，背景なしが 1,035 の歩行軌跡を取得された。

a) 魚眼補正および映像分割

撮影には魚眼レンズを装着したカメラを使用した。そこで，映像編集ソフトの Adobe Premiere Pro を用いて曲率を調整して歪みを補正し，0.5 秒ごとの画像に分割する。

表-1 因子分析結果

形容詞対	因子得点		
	陰陽	安心感	斬新性
暗い—明るい	0.85	0.04	0.05
生気のない—生き生きした	0.81	0.11	0.11
スローテンポの—アップテンポの	0.71	-0.36	0.3
重厚な—軽快な	0.69	-0.06	0.21
眠たくなるような—目の覚めるような	0.67	-0.43	0.34
単調な—メリハリのある	0.49	-0.08	0.4
緊張した—リラックスした	-0.12	0.8	-0.08
不快な—心地よい	0.32	0.68	-0.06
リアルな—ロマンティックな	-0.21	0.58	-0.03
人工的な—自然な	-0.03	0.53	-0.12
ありきたりな—新鮮な	0.13	-0.01	0.59
伝統的な—革新的な	0.18	-0.21	0.59

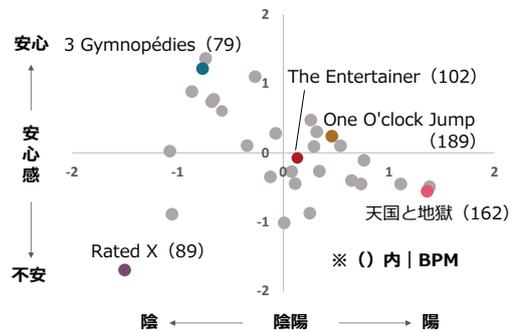


図-1 各楽曲の因子得点分布

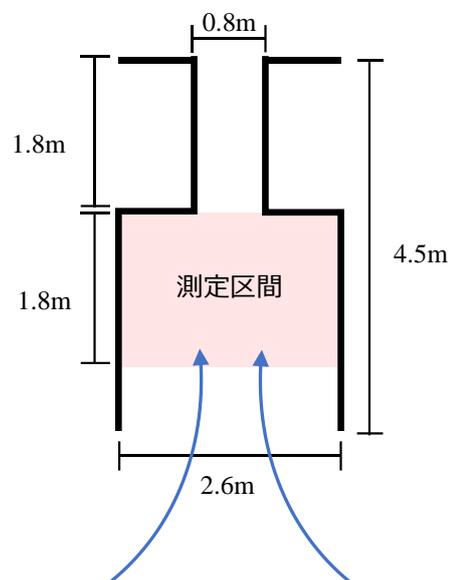


図-2 通路の形状

b) 色要素の抽出

歩行者の頭部が目立つように、画像から赤色と黄色を抽出する。

c) 各歩行者座標の特定

クラスター分析により、歩行者を特定する。各クラスターの重心座標を推定し、歩行者座標とする。

d) 連結処理および射影変換

射影変換により、座標単位を pixel から m に変換する。次に、前の座標から 0.5 秒後の座標までの距離が最も短い歩行者を同一人物として連結し、歩行軌跡を作成する。各歩行軌跡は、移動平均を推定し、平滑化する。

3. 歩行者 FD の推定

本章では、第 2 章で取得した歩行軌跡を用いて、歩行者流のマクロ指標である速度、密度、交通流率を推定し、FD を推定する。

(1) 速度・密度・交通流率の定義

Edie の定義¹²⁾を用いて、交通流率 q [ped/s/m] (式(1))、空間平均密度 k [ped/m²] (式(2))、時空間平均速度 v [m/s] (式(3)) を定義する。時空間面積 A は測定区間の面積と単位測定時間の積で求められ、式(4)で表される。交通流率 q は、測定区間の面積における総歩行距離の平均値とする。なお、単位測定時間は 5 秒とする。歩行実験において渋滞は、通路が狭くなる手前の領域で発生したため図-2 に示すように、測定区間は通路の上流部に設定する。

$$q = \sum x_i / A \tag{1}$$

$$k = \sum t_i / A \tag{2}$$

$$v = \sum x_i / \sum t_i \tag{3}$$

$$A = \Delta s \cdot \Delta t \tag{4}$$

ただし、

- A : 時空間面積
- Δs : 計測区間面積
- Δt : 単位測定時間
- x_i : 歩行者 i の単位時間あたりの歩行距離
- t_i : 歩行者 i の計測区間の存在時間

(2) FD の推定

各背景音について、空間平均密度 k [ped/m²] を x 軸、時空間平均速度 v [m/s] を y 軸に設定して散布図を作成した。本研究では、これらの散布図に閾値として臨界密度 K_0 を設定し、空間平均密度を自由流領域と渋滞流領域に分け、各領域における時空間平均速度と交通流率を調べる。

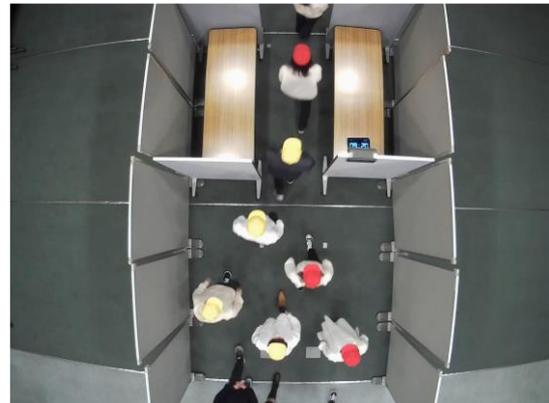
K_0 の推定方法については以下の通りである。まず、

表-2 背景音の順番

順番	背景音
1	なし (練習)
2	天国と地獄
3	Rated X
4	3 Gymnopédies
5	One O'clock Jump
6	The Entertainer
7	なし



(a) 実験 A



(b) 実験 B

図-3 実験の撮影

本研究では、Older¹⁵⁾や Fruin¹⁶⁾、Hoogendoorn¹⁷⁾の推定した FD より、 v は式(5)のように k と線形関係にあると仮定している。ただし、この線形方程式のパラメータは自由流領域と渋滞流領域で異なると仮定する。ここで、パラメータ a は密度に対する速度の感度を表し、自由流領域におけるパラメータ b は密度がゼロのときの速度である自由速度を表している。次に、暫定的な K_0 を与え、自由流領域と渋滞流領域の k と v の線形方程式をフィットさせ、観測値と推定値の平均二乗誤差 (RMSE) を求める。そして RMSE が最小となるような K_0 を最終的な K_0 とし、これに対応する a 、 b の推定値を求める。

$$v = ak + b \tag{5}$$

ただし、

- v : 線形回帰によって算出した速度
- a, b : パラメータ

図-4(a)-(f) は、各背景音についての散布図 (FD) で

あり、水色の領域が自由流領域、オレンジ色の領域が渋滞流領域を表している。また、推定されたパラメータを表-3 に示す。自由速度は背景音間に大きな差がないが、 K_0 は背景音間で大きな差があることが分かる。曲別に見ると、「天国と地獄」が最も K_0 が高く、「3 Gymnopédies」が最も K_0 が低く、「天国と地獄」は「3 Gymnopédies」に比べて 32%近く高い値である。この傾向は図-4 にも表れており、「天国と地獄」は K_0 における自由流領域の速度と渋滞流領域の速度との差が著しく小さいことが分かる。

「天国と地獄」以外の背景音については、背景音が無い場合に比べて K_0 が低くなっており、これらの背景音では、背景音が無い場合に比べて、歩行者が増加すると流れが悪くなりやすい傾向にあることが分かる。Duives et al.¹⁸⁾が歩行者行動が一律でないことがFDの形状に影響を与えることを示していることを考慮すると、背景音が歩行行動に及ぼす影響には個人差があり、背景音

表-3 パラメータ推定結果

	自由流		渋滞流		K_0
	a	b	a	b	
無し	-0.33	0.95	-0.07	0.53	1.57
天国と地獄	-0.26	0.86	-0.01	0.43	1.69
Rated X	-0.30	0.90	-0.07	0.52	1.35
3 Gymnopédies	-0.28	0.89	-0.08	0.54	1.28
One O'clock Jump	-0.26	0.89	-0.07	0.52	1.35
The Entertainer	-0.22	0.82	-0.06	0.5	1.42

が不均一性を増大させるため、早期に円滑な歩行者流が渋滞状態に転移するのではないかと推測される。この仮説を検証することが今後の課題のひとつである。

また、背景音の有無に関わらず、渋滞時は速度に対する密度の感度が非常に小さい。これは、本研究で使用したデータは歩行空間を再現した実験によって取得したデ

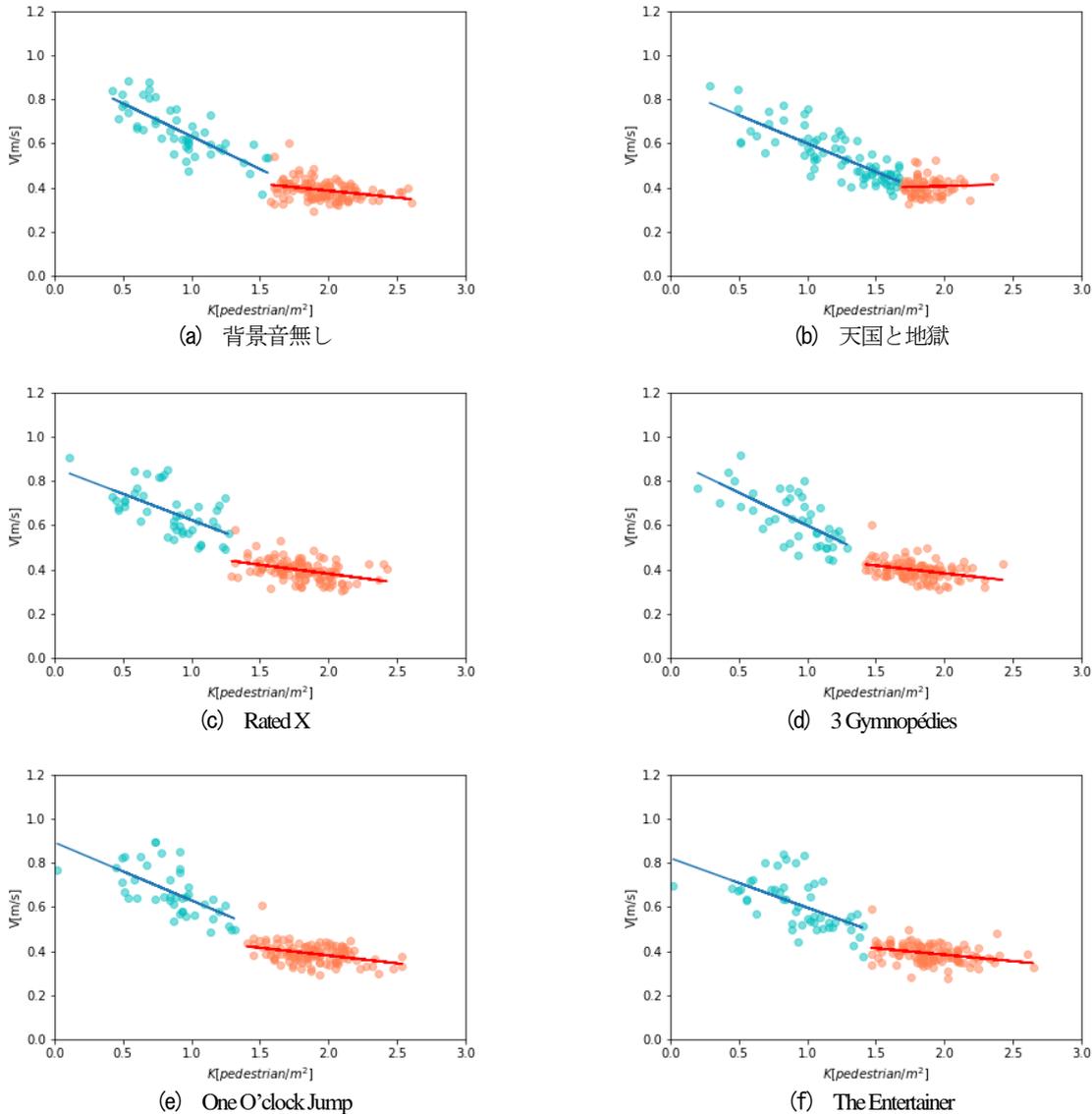


図-4 背景音ごとの散布図および線形回帰

表-4 有意差検定結果
(a) 速度 (自由流)

	なし	天国と地獄	Rated X	3 Gymnopédies	One O'clock Jump	The Entertainer
なし						
天国と地獄	0.001					
Rated X	0.720	0.001				
3 Gymnopédies	0.900	0.001	0.646			
One O'clock Jump	0.900	0.001	0.559	0.900		
The Entertainer	0.337	0.005	0.900	0.259	0.222	

(b) 交通流率 (自由流)

	なし	天国と地獄	Rated X	3 Gymnopédies	One O'clock Jump	The Entertainer
なし						
天国と地獄	0.047					
Rated X	0.900	0.006				
3 Gymnopédies	0.829	0.002	0.900			
One O'clock Jump	0.900	0.010	0.900	0.900		
The Entertainer	0.900	0.009	0.900	0.900	0.900	

(c) 速度 (渋滞流)

	なし	天国と地獄	Rated X	3 Gymnopédies	One O'clock Jump	The Entertainer
なし						
天国と地獄	0.064					
Rated X	0.446	0.807				
3 Gymnopédies	0.423	0.900	0.900			
One O'clock Jump	0.900	0.177	0.688	0.541		
The Entertainer	0.900	0.248	0.799	0.703	0.900	

(d) 交通流率 (渋滞流)

	なし	天国と地獄	Rated X	3 Gymnopédies	One O'clock Jump	The Entertainer
なし						
天国と地獄	0.900					
Rated X	0.002	0.009				
3 Gymnopédies	0.001	0.007	0.900			
One O'clock Jump	0.181	0.383	0.652	0.581		
The Entertainer	0.605	0.742	0.199	0.165	0.900	

一タであり、被験者のボトルネックを通行しようという意思が弱いためと考えられる。これらの結果は、背景音が歩行者流の特性に大きく影響していることを示唆している。

4. 交通流のマクロ特性と背景音因子の関係

(1) 速度と交通流率の多重比較

Steel Dwass 法を用いて、自由流領域と渋滞流領域における時空間平均速度 v [m/s]と交通流率 q [ped/s/m]について、背景音間の有意差を調べる。推定された有意確率を表-4(a)-(d)に示し、各背景音の交通流率と速度の箱ひげ図を図-5(a)-(d)に示す。

これより、自由流領域での「天国と地獄」の v または q と、他の背景音または背景音無しとの間に有意差が見られた。渋滞流領域では、「Rated X」と「3 Gymnopédies」の q は「天国と地獄」や背景音無しとの間に有意差が見られた。また、「天国と地獄」の v と背景音無しの間にも有意差が見られた。これらの結果から、「天国と地獄」は他の背景音や背景音が無い場合に比べて、歩行者挙動が異なることが示され、「天国と地獄」は渋滞時の歩行者流率を増加させる効果があると言える。また、「Rated X」と「3 Gymnopédies」は渋滞時の歩行者交通流率を低下させるため、ボトルネック手前で使用し、歩行者の流動性を低下させることで、ボトルネックの流入交通量を抑制し、渋滞緩和につながる可能性がある。

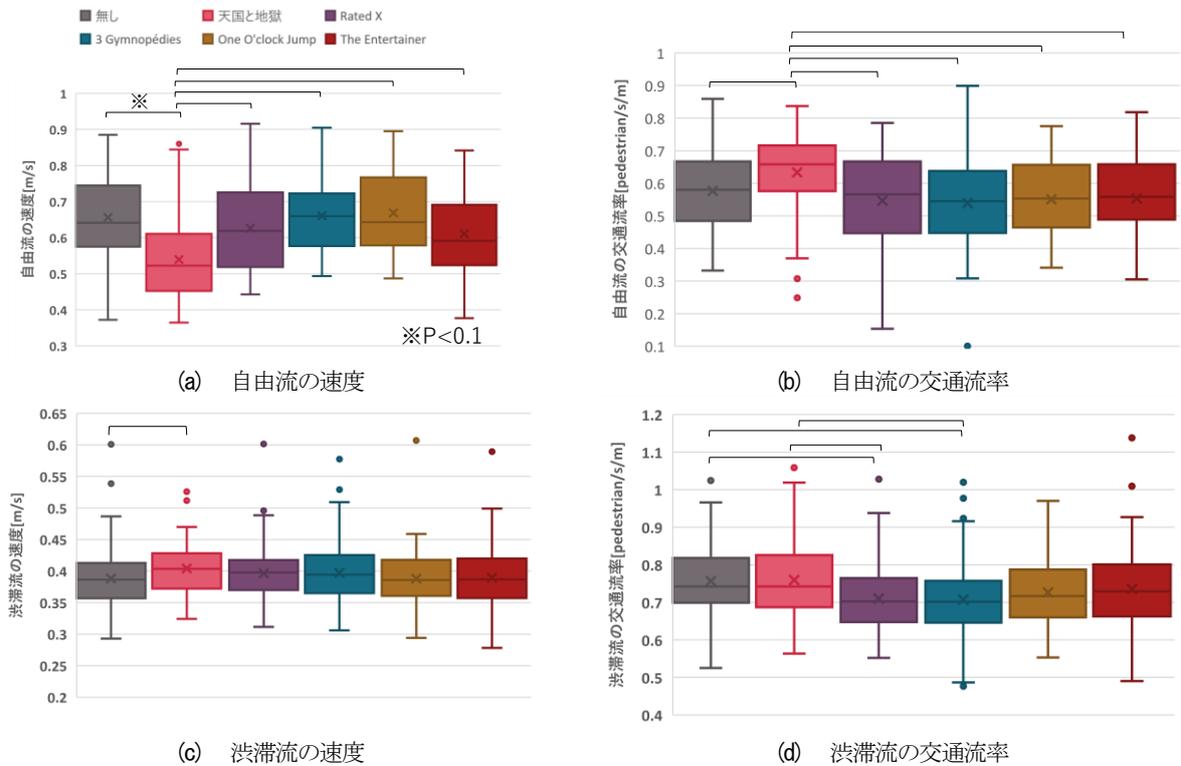


図-5 Steel Dwass 法による有意差検定結果

(2) 背景音因子とFDの関係

臨界密度における速度は、自由流領域のパラメータから求めた速度 V_f と渋滞流領域のパラメータから求めた速度 V_c の2つがあり、 V_f と V_c の差を速度差 V_{gap} とする。また、 K_0 に V_f または V_c を乗じて交通容量 Q_{max} を求め、 V_f から求めた Q_{max} と V_c から求めた Q_{max} の差を Q_{gap} と定義する。本研究では、これらの指標と「陰陽」や「安心感」との関係について調べる。

図-6(a)-(d)に背景音の印象因子と相関があった指標を示す。まず、図-6(a), (b)を見ると、安心の成分が極端に高い場合と低い場合はパラメータ a と交通容量 Q_{max} が減少していることを示している。すなわち、安心の成分が極端に高い、あるいは低い場合は、高密度化によって速度が低下し、交通容量が小さくなっていることが分かる。また、図-6(a), (b)は自由流領域において、陽の成分が高い背景音は、高密度化による速度低下率が小さく、交通容量が大きい傾向にあることを示している。一方で図-6(c)より、渋滞流領域では陽の成分が高い曲は V_c が低いのにに対し、安心の成分が大きい曲は「Rated X」を除いて、 V_c が高い傾向にあることが分かる。また、図-6(d)は、「天国と地獄」を除き、陽の成分と安心の成分が高い曲ほど Q_{gap} が高いことを示している。これらの結果から、陽の成分が高く、安心の成分が中程度の楽曲を背景音に用いると、歩行者流の交通容量を増加させる可能性が示唆された。

5. まとめと今後の課題

歩行者の混雑は衝突事故の危険性をもたらすが、歩行者群衆の流れを制御することで、歩行者を危険から守ることができる。しかし、従来の歩行者群衆の管理方法は、費用と時間がかかるという問題があった。そこで、本研究では、音楽を利用した歩行者制御の可能性に着目し、「陰陽」と「安心感」という印象因子で分類された背景音が、歩行者群衆に及ぼす影響を評価した。評価方法には、マクロ指標である交通流率、密度、速度を使用し、歩行者群衆について分析を行った。

その結果、自由流では、「天国と地獄」が他の背景音に比べて歩行者群衆全体の速度を低下させ、交通流率を増加させることが分かった。一方で、混雑時には、「Rated X」や「3 Gymnopédies」が背景音がない場合に比べて交通流率が低下することが分かった。また、これらの結果を背景音から受ける印象の特性と比較した。「陰陽」という印象因子について比較したところ、陽の成分が大きい背景音は、自由流において密度が高くなっても速度が低下しない傾向と交通容量が増加する傾向があることが分かった。また、陽の成分が大きい背景音は渋滞時に速度が低下する傾向があり、その結果、自由流と渋滞流のギャップが大きくなることが分かった。次に「安心感」という印象因子との関連性を調べたところ、安心の成分が極端に高かったり低かったりする背景音は、自由流では密度が高くなると、交通容量の減少と速度が低下する傾向があった。また、渋滞が発生すると著しく速

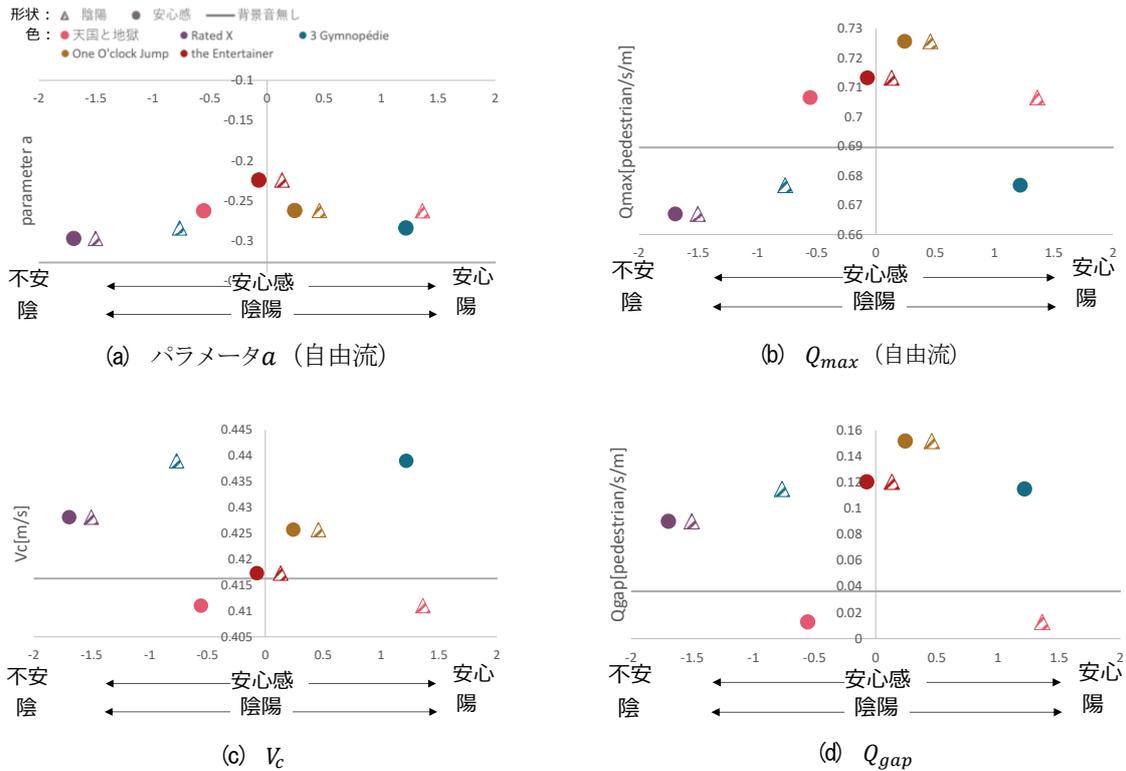


図-6 印象因子とFDパラメータの関係

度が低下することが認められた。以上より、交通容量が大きい背景音は、陽の成分が高く、安心の成分が中程度の楽曲であり、今回の研究では、「天国と地獄」が歩行者流の効率性の観点では最も良いという結果が得られた。

本研究では、既成曲の中から5曲の背景音を選定したが、この5曲だけでは、音楽成分の影響に関する一般的な結論を導くには不十分なことは明らかである。歩行者流に及ぼす普遍的な影響を評価するためには、実験に使用する背景音数と種類を増やす必要がある。また、本研究では、歩行空間を再現した実験から得られたデータを使用し、他の環境要因を取り除いたが、実際の歩行空間ではさまざまな環境要因が考えられる。実際の歩行空間での音デザインの設計による群衆流動を管理・制御するためには、リズムやテンポなどの特定の音楽要素の影響の究明や、実際の歩行空間で得られたデータを用いた更なる研究が必要である。

謝辞

本研究は、International Association of Traffic and Safety Sciences (IATSS)およびJSPS KAKENHI Grant Number 17K18912の支援を受けており、ここに謝意を表します。

参考文献

1) 大久典子, 吉田克己, 山家智之, 賀来満夫: 音楽刺激が自律神経に及ぼす影響, 自律神経, 42巻, 3号, pp.265-269, 2005.

2) Milliman, R. E.: Using Background Music to Affect the Behavior of Supermarket Shoppers. *J. Mark.* Vol.46, No.3, pp.86-91, 1982.

3) 石田篤史, 龍田成示, 杉原良平, 大村哲弥, 石川智治, 加藤俊一: 行動による音楽検索システムの試作と評価, 日本感性工学会論文誌, 8巻, 3号, pp.829-835, 2008.

4) Hänseler, F. S., Bierlaire, M., Farooq, B., and Mühlematter, T.: A Macroscopic Loading Model for Time-Varying Pedestrian Flows in Public Walking Areas. *Transp. Res. B Methodol.* Vol.69, pp.60-80, 2014.

5) Degond, P., Appert-Rolland, C., Petré, J., and Theraulaz, G.: Vision-Based Macroscopic Pedestrian Models. *Kinet. Relat. Models.* Vol.6, No.4, pp.809-839, 2013.

6) Hoogendoorn, S.P., Campanella, M., and Daamen, W.: Fundamental Diagrams for Pedestrian Networks, Pedestrian and Evacuation Dynamics, pp.255-264, 2011.

7) Shahhoseini, Z., Sarvi, M., Saberi, M., and Haghani, M.: Pedestrian Crowd Dynamics Observed at Merging Sections: Impact of Designs on Movement Efficiency. *Transp. Res. Rec.: J. of the Transp. Res. Board*, Vol.2622 No.1, 48-57, 2017.

8) Shahhoseini, Z. and Sarvi, M., Saberi, M., and Haghani, M.: Traffic Flow of Merging Pedestrian Crowds: How Architectural Design Affects Collective Movement Efficiency. *Transp. Res. Rec.: J. of the Transp. Res. Board*, Vol.2672, No.20, pp.121-132, 2018.

- 9) Siddharth, P. and Vedagiri, P.: The Gender Effects of Pedestrians and Calibration of the Modified Social Force Model. *Transp. Res. Rec.: J. of the Transp. Res. Board*, Vol.2672, No.31, pp.1-9, 2018
- 10) Dias, C., Sarvi, M., Ejtemai, O., and Burd, M.: Elevated Desired Speed and Change in Desired Direction: Effects on Collective Pedestrian Flow Characteristics. *Transp. Res. Rec.: J. of the Transp. Res. Board*, Vol.2490, No.1, pp.65-75, 2015.
- 11) Duives, D., Daamen, W., and Hoogendoorn, S.P.: Operational Walking Dynamics of Crowds Modeled with Linear Regression. *Transp. Res. Rec.: J. of the Transp. Res. Board*, Vol.2623, No.1, pp.90-97, 2017.
- 12) Edie, L. C.: Car-Following and Steady-State Theory for Non-Congested Traffic. *Oper. Res.* Vol.9, No.1, pp.66-76, 1961.
- 13) 杉原太郎, 森本一成, 黒川隆夫 : SD 法を通してみた音楽に対する感性の基本特性, 電子情報通信学会技術研究報告, 101 巻, 227 号, pp.57-63, 2001.
- 14) 張嘉華, 井料美帆, Charitha, D. : 異なるタイプのボトルネック上流における歩行者交通流基本図の実験的評価, *SEISAN - KENKYU*, Vol.70, No.2, pp.125-129, 2018.
- 15) Older, S. J.: Movement of Pedestrians on Footways Is Shopping Streets. *Traffic Eng. Control*, Vol.10, No.4, pp.160-163, 1968.
- 16) Fruin, J. J.: Designing of Pedestrians: A Level of Service Concept. *Highway Res. Rec.* Vol.355, pp.1-15, 1971.
- 17) Hoogendoorn, S.P., Daamen, W., Knoop, V.L., Steenbakkers, J., and Sarvi, M.: Macroscopic Fundamental Diagram for Pedestrian Networks: Theory and Applications. *Transp. Res. C*, Vol.94, pp.172-184, 2017.
- 18) Duives, D. C., Spamaaij, M., and Hoogendoorn, S. P.: The Impact of Walking Speed Heterogeneity on the Pedestrian Fundamental Diagram. In I. Zuriguel, A. Garcimartín, & R. C. Hidalgo (Eds.), *Traffic and Granular Flow*, pp.53-59, 2019.

EXPERIMENTAL RESEARCH ON THE EFFECT OF BACKGROUND MUSIC ON MACROSCOPIC PEDESTRIAN FLOW

Misato KAMBE, Yasuhiro SHIOMI

Pedestrian crowd accidents frequently result in fatalities, and they should be managed and controlled accordingly. However, pedestrian behavior has a higher degree of freedom and higher heterogeneity compared with vehicle traffic flow. As a result, controlling pedestrian movement is difficult without strict enforcement. Nevertheless, it is well known that music affects human emotion, which brings about behavioral alteration. According to previous research, individual walking speed increases when background music (BGM) tempo increases. However, whether and how music influences the pedestrian crowd flow, in which individual pedestrians interact with one another, is still unknown. If specific components of music influence the macroscopic characteristics of pedestrian flow, music could be employed as a tool for managing the pedestrian crowd and boosting its efficiency.

This study is the first to investigate the impact of BGM on the macroscopic characteristics of pedestrian flow by conducting a walking experiment in a bottlenecked path while listening to various forms of BGM. As a result of the experiment, it is found that i) positiveness and easiness can be used to explain the components of music, ii) BGM affects the shape of the diagrams depicting a relationship between density and average speed, iii) there are statistically significant variations in average speed and average flow rate under free-flow and congested-flow condition, and iv) there are tendencies that the traffic capacity increases as the BGM positiveness increases.