

背景音が歩行者流動に 及ぼす影響の分析

Experimental Research on the Effect of Background Music on Macroscopic Pedestrian Flow

神戸 美里, 塩見 康博

(立命館大学理工学研究科) (立命館大学理工学部環境都市工学科)

1. はじめに

Walkability は良好な都市環境を形成するために重要な観点である。音楽は人の歩行行動への影響¹⁾が認められており、音環境の整備は快適な歩行空間を形成する上で重要な因子と言える。しかし、音楽が賑わいのある混雑した歩行者群衆にどのような影響を及ぼすかは分かっておらず、実際の歩行空間における音環境の整備には更なる研究が必要である。そこで本研究では、音楽と群衆行動の関係を明らかにすることを目的として、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、交通流率、速度、密度を算出し、Fundamental Diagram (FD) の特徴から背景音による差異を評価する。加えて、ミクロ的観点より、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とする。

2. 分析データ

2.1. 背景音の選定

実験使用曲は、Semantic Differential (SD) 法を用いた印象評価アンケートの結果から、因子分析により「安心感」と「陰陽」という因子に特徴を持つ既成曲5曲、「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)、「Rated X/Miles Davis」(陽と安心の成分が低い)、「3 Gymnopédies/Eric Satie」(陽の成分が低く、安心の成分が高い)、「One O'clock Jump/Count Basic」(陽と安心の成分が高い)、「The Entertainer/Billy Joel」(陽と安心の成分が平均的)を採用した。

2.2. 隘路歩行実験

実験は、2019年11月8日に渋滞時の再現実験(実験A)を行い、2020年11月20日に非渋滞時の再現実験(実験B)を行った。両実験は立命館大学びわこ・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、実験Bでは25名とした。実験Bの様子を図-1に示す。実験時の撮影動画から画像処理により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. 歩行者FDによるマクロ分析

3.1. 歩行者FDの推定

Edieの定義²⁾より、5秒ごとの時空間平均速度 v [m/s]、時空間平均密度 k [ped/m²]、交通流率 q [ped/s/m] を求め、



図-1 実験Bの撮影

背景音ごとに k をx軸、 v をy軸に設定して散布図を作成した。散布図の k に閾値として臨界密度 K_0 を設定し、自由流領域と渋滞流領域に分け、各領域の v と q を調べた。その結果、自由流領域では「天国と地獄」が他の背景音や無音時に比べて v が低下し、 q が増加した。また、 v は式1のように k と線形関係にあると仮定し分析を行った。ただし、パラメータは自由流領域と渋滞流領域で異なるものとする。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。RMSEが最小になる K_0 を最終的な K_0 とし、対応する a, b の推定値を求める。

$$v = ak + b \quad (1)$$

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

表-1の推定結果より、自由速度を表す自由流の b には大きな差がないが、 K_0 は背景音間で大きな差があることが分かる。特に「天国と地獄」以外の背景音は、無音時に比べて K_0 が低く、これらの背景音では無音時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。これは、背景音が歩行行動に及ぼす影響には個人差があり、背景音が不均一性を増大させるため、交通量が増加すると円滑な歩行者流が渋滞状態に転移しやすいと推測される。このことから、「天国と地獄」は無音時や他の背景音に比べて、歩行者の動きが異なることが示され、「天国と地獄」は渋滞時の歩行者の効率性の観点では望ましい。

3.2. 交通流のマクロ特性と背景音因子の関係

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 の二つがあり、 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} 、 Q'_{max} を求め、 Q_{max} と Q'_{max} の差を Q_{gap} とする。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た。その結果、「陰陽」の成分と各指標の間に以下のような相関がみられることが分かった。まず、陽の成分が大きい場合、自由流における高密度化による速度低下率が小さく、 Q_{max} が大きい傾向にあることが分かった。図-2 に Q_{max} と「陰陽」因子の関係図を示す。一方で、渋滞流領域では陽の成分が高い曲は、 V_c が低い傾向にあることが分かった。また、「天国と地獄」を除き、陽の成分が高い曲ほど Q_{gap} が大きい傾向がみられた。これらの結果から交通容量が大きい背景音は、陽の成分が高い楽曲であると言える。

4. 歩行者モデルによるミクロ分析

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 Molnár³⁾ 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 2 に示す。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, τ_i を歩行者ごとにチューニングを行った。

$$m_i \frac{dv_i(t)}{dt} = m_i \frac{v_i^0 e_i(t) - v_i(t)}{\tau_i} + \sum f_i \quad (2)$$

ただし、それぞれ以下を表す。

- f_i : 歩行者 i が他者、障害物から受ける力
- m_i : 歩行者 i の体重 [kg]
- $v_i(t)$: 現在速度 [m/s]
- v_i^0 : 目標速度 [m/s]
- τ_i : 加速時間 [s]
- $e_i(t)$: 移動目標のある方向

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の誤差が最小になるよう、チューニングを行った。

4.2. パラメータチューニング結果の比較

楽曲ごとに目標速度および加速時間の中央値の有意差を調べたところ、無音時に比べて「Rated X」、「3 Gymnopédies」は目標速度が低下し、「Rated X」、「3 Gymnopédies」、「The Entertainer」は加速時間が減少することが分かった。また、背景音の特徴に着目すると、陽の成分が大きい曲は目標速度が速い一方、加速時間は長い傾向がみられた。図-3 に陽の成分と目標速度の関係図を示す。マクロ分析結果より陽の成分が高い楽曲は交通容量が大きいことを考慮すると、陽の成分が大きい曲は、個々の歩行者が比較的時間をかけて目標速度まで加速するため、群衆全体の流れが乱れにくいと考えられる。

表-1 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	-0.3	0.9	-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

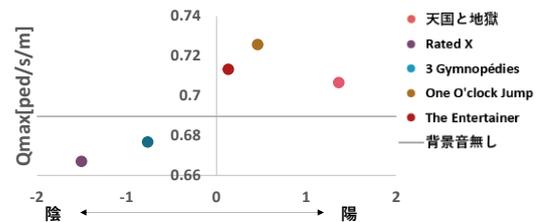


図-2 陽の成分と Q_{max} の関係

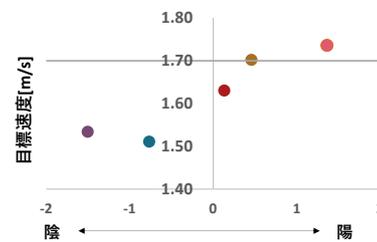


図-3 陽の成分と目標速度の関係

5. おわりに

良好な歩行空間の形成するうえで、音環境の整備は重要な因子といえる。本研究では音楽が群衆行動に及ぼす影響を明らかにするため、背景音の「陰陽」と「安心感」という印象因子と群衆行動の関係について分析した。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。また、無音時に比べて、「Rated X」、「3 Gymnopédies」は目標速度が低下し、「Rated X」、「3 Gymnopédies」、「The Entertainer」は加速時間が減少することが分かった。背景音の特徴に着目すると、陽の成分が大きい背景音は自由流における密度を増加させるほか、渋滞時に速度が低下する傾向があるため、自由流と渋滞流の差が大きいと考えられる。また、個々の歩行者に着目すると、目標速度が速くなり、加速時間が長くなる傾向がみられた。今後は、実際の歩行空間での音デザイン的设计に向けた特定の音楽要素の影響の究明が求められる。

【参考文献】

- 1) 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.
- 2) Edie, L. C.: Car-Following and Steady-State Theory for Non-Congested Traffic. Oper. Res. 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