

背景音の情緒的性質が歩行空間の印象と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 立命館大学大学院 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 (Corresponding Author)

歩行者交通流を適切に管理するためには、歩行者交通流の特性を十分に理解した上で、それに基づく空間デザインが必要である。そこで、本研究では歩行行動への影響要因の一つである音楽に着目した。音楽を用いた歩行者交通流の動的管理を念頭に、複数の背景音を歩行空間に流し、背景音の印象と背景音を流した際の歩行空間の印象を、SD法と因子分析に基づいて評価するとともに、歩行者流のマクロ・ミクロ特性に及ぼす影響を検証した。実験の結果、i) 明暗と忙しなさ現実性によって音楽と空間の印象を説明できること、ii) 背景音を操作することで空間の印象を操作できること、iii) 背景音の忙しなさ現実的成分が増加すると速度が増加し、暗とゆっつりの成分が増加すると交通流率が増加する傾向にあること、などがわかった。

Key Words: pedestrian flow, emotion, bgm, fundamental diagram, crowd management

1. はじめに

都市空間において、歩行者交通流の安全性・効率性・円滑性を保つことは、健康問題、中心市街地の魅力創出、混雑の緩和など多様な観点で重要な課題である。そのため、歩行者交通流の性質を適切に理解し、それに基づく空間デザインや環境整備を進めることが求められる。

歩行者交通流に関する研究は、ミクロ・マクロの両観点からさまざまな研究が行われてきた。マクロの観点では、Frui¹⁾は歩行者群衆の交通量や速度と歩行空間の利便性の関係について分析している。ミクロの観点からは、他の歩行者との相互作用の影響を受けた個々の歩行者特性をモデリング解析することが可能になってきている。

Qi et al.²⁾は避難実験データを Social force model³⁾ (SFM)のパラメータ推定に適用し、未就学児と成人のパラメータに明確な差異を確認した。このように、歩行空間の物理的要因や歩行者交通流に影響を及ぼす個人属性については、これまで多くの研究が行われてきた。しかし、Ewing and Handy⁴⁾は、歩行行動は物理的要因と心理的要因が複雑に作用し合うことで決まることを示しており、歩行者交通流の理解には心理的要因の解析が不可欠である。実際に、

心理的要因が歩行者流動特性に影響を与えることは示されてきたが⁵⁾、これらの研究はシミュレーション結果を示しているだけで、交通管理の観点から歩行者へどのような心理的負荷を与えるかについて検討されているわけではなかった。しかしながら、もし何らかの心理的影響を与えることで歩行者流を操作することが出来れば、歩行者流動の動的管理への応用が期待される。そこで本研究は、心理的影響を及ぼす要因のひとつである音楽に着目した。

音楽は人の行動特性に影響を及ぼすことが分かっており、主に消費者行動や歩行行動について研究されてきた。マーケティングの分野では、スーパーマーケット⁶⁾やレストラン⁷⁾において、背景音のテンポが消費者行動に影響を与えることが認められている。また、歩行行動に関して、Styns et al.⁸⁾は異なるテンポと歩行行動を同期させる実験を行い、この同期が最適になるのは 120 bpm 前後であることを示した。石田ら⁹⁾は、移動時や運動時の歩行テンポに応じて最適な音楽を紹介するシステムを試作し、このシステムを使用することで、音楽なしの場合に比べて歩行テンポが向上することを明らかにしている。テンポを影響要因とした解析だけでなく、音楽の心理的

特性に着目した研究も行われている。Franek et al.⁹⁾は、感情的な音楽は歩行速度を増加させ、リラックスした音楽は歩行速度を減少させることを明らかにしている。これらの研究は、音楽が一人の歩行者の行動に与える影響に着目したものであるが、歩行空間では歩行者が相互に影響し合うため、複雑な流動特性を引き起こすと考えられる。Yanagisawa et al.¹⁰⁾や Zeng et al.¹¹⁾は Fundamental Diagram (FD) を背景音がある場合と無い場合で比較することで、背景音が歩行行動へ有意な影響を及ぼすことを示しているが、これらは歩行空間を再現した実験に基づいた結果であり、実際の歩行空間では他の環境要因による影響も考慮する必要がある。

以上より、本研究では、さまざまな種類の背景音を実際の歩行空間に流し、背景音が空間の印象に及ぼす影響と歩行行動に与える影響を分析する。まず、情緒的性質とテンポによって分類された音楽を作成し、これを背景音として歩行空間に流し、Semantic Differential (SD) 法と因子分析に基づく空間の印象評価アンケートを行う。また、歩行者の様子を撮影した動画を基に、画像処理により個々の歩行者の軌跡データを収集する。また、別途で SD 法と因子分析に基づく背景音のみの印象評価を行う。軌跡データを用いて、歩行者流特性のマクロ指標として、Edie の定義¹²⁾より交通流率、密度、速度を算出するとともに、断面交通流率を算出する。また、ミクロ指標として各歩行者の歩行速度を推定する。その上で、背景音の印象要素、空間の印象要素、歩行者流のマクロ・ミクロ特性の関係について分析する。これらの結果に基づき、背景音を歩行者群衆の制御に利用することの可能性について考察する。

本稿の構成は以下の通りである。第 2 章では、背景音の作成をはじめとする実験の実施について述べる。第 3 章では第 2 章の印象評価アンケートで得られたデータを用いて因子分析をし、背景音のみの印象と背景音を合わせた空間の印象を分析する。第 4 章では第 2 章の実験で得られた歩行軌跡データを用いて、評価指標である FD と断面交通流率、各歩行者の歩行速度を推定する。第 5 章では第 4 章で推定した評価指標と、歩行空間の印象の関係について分析を行う。最後に、第 6 章では、結論と今後の展望について述べる。

2. 実験の概要

本章では、背景音が歩行空間に及ぼす影響と歩行者流に及ぼす影響を分析するために行った実験の概要について述べる。まず、背景音の作成方法について述べ、次に背景音のみの印象評価アンケートと、歩行実験時に実施する背景音を流した際の歩行空間の印象評価アンケート

の作成方法、および背景音のみの印象評価アンケート結果について述べる。次に歩行実験の詳細について述べ、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) 背景音の作成

実験で使用する楽曲は、音楽作成アプリ「GarageBand」を用いて、コード進行とテンポを表すドラム音のみで構成される 4-8 小節の簡単なフレーズを作成し、これを繰り返し返したものとする。フレーズは、実験者の主観により、明るい印象のメジャーコードのフレーズ（以下メジャー）、暗い印象のマイナーコードのフレーズ（以下マイナー）、ソフトな印象のフレーズ（以下ソフト）、ハードな印象のフレーズ（以下ハード）の 4 種類を作成した。楽器はフレーズの印象に合わせて、メジャーとマイナーではクラリネットを用い、ソフトではピアノ、ハードでは歪ませた音色のエレキギターを用い、ピッチをそれぞれの印象を強めるように調整した。また、メジャーコードとマイナーコードのコード進行は既存のクラシック曲である「ショパン 練習曲作品 10 番ホ長調 別れの曲」と「ベートーヴェン・ピアノ・ソナタ第 14 番 月光」を参考に作成した。実際に公共空間で BGM として使用されるような楽曲は安心感があり陽気な印象の楽曲であるが、本研究では、より明確に印象の差異をつけるため、不安感があり陰気な印象の楽曲も作成した。作成したフレーズは以下の URL から試聴可能である。

<作成フレーズ URL> <https://youtu.be/rhgLsy1-Xz8>

作成した 4 種類のフレーズのテンポを栗林ら¹³⁾と Zeng et al.¹¹⁾の歩行実験を参考に、90 bpm, 120 bpm, 150 bpm に変化させ、合計 12 種類の楽曲を作成した。これにより、以下の 12 曲を背景音とする。

- i. メジャー (90 bpm)
- ii. メジャー (120 bpm)
- iii. メジャー (150 bpm)
- iv. マイナー (90 bpm)
- v. マイナー (120 bpm)
- vi. マイナー (150 bpm)
- vii. ソフト (90 bpm)
- viii. ソフト (120 bpm)
- ix. ソフト (150 bpm)
- x. ハード (90 bpm)
- xi. ハード (120 bpm)
- xii. ハード (150 bpm)

(2) 印象評価アンケート

背景音のみの印象評価アンケートと歩行空間の印象評価アンケートを Semantic Differential (SD) 法を用いて作成し

た。SD 法は岩宮ら¹⁴⁾の定めた方法を参考に、背景音、または空間の印象を、対語になる形容詞（落ち着いた—落ち着いたきのない、人工的な—自然な、快適な—不快な、個性的な—平凡な、生き生きした—生氣のない、幻想的な—現実的な、陽気な—陰気な）の間で、7段階で評価してもらうものであり、背景音のみの印象評価アンケートと、歩行空間の印象評価アンケートで共通の設問とした。

背景音のみの印象評価アンケートは、2022年12月15日（木）から2023年1月13日（金）にかけてWeb形式にて実施した。150名（男性78.7%、女性21.3%）の大学生を対象とし、回答者を3つのグループに分け、1人の回答者につき4曲ずつ（メジャー、マイナー、ソフト、ハードからそれぞれから1曲ずつ）楽曲の印象を評価してもらった。

(3) 歩行実験

歩行実験は、11月30日（水）から12月2日（金）の8:00~17:00に、立命館大学びわこ・くさつキャンパス内のバスターミナル周辺で行った。バスターミナルにスピーカー1台を設置して背景音を10~15分おきにランダムで変えて流し、バスを降車してキャンパス入口に設置された入構レーンに向かう歩行者の様子を高所撮影用カメラで地上7mから撮影した。図-1にバスターミナルの見取り図を示し、図-2に撮影した様子を示す。なお、入構レーンに向かう歩行者の流入量はバスから降車する流出量に一致するため、流入交通流率は一定に制御されていると考える。背景音は10分から15分おきにランダムに変え、音量は入構レーン手前3mの位置において60dBになるように調整した。

また、バスターミナル利用者に対して、Web形式で歩行空間の印象評価アンケートを実施し、表-1に示す回答件数を得た。回答者の性別は男性59.2%、女性38.6%、回答なしが2.2%であり、年齢層は、20歳未満が32.4%、20代が56.7%、30代が4.0%、40代が2.6%、50代が2.2%、60歳以上が2.2%だった。また、回答者のうち背景音に気付いていた人は57.7%、気付いていなかった人は42.3%であった。背景音に気付かなかった理由は、「イヤホンをしていた」が43.3%、「友人・知人と話していた」が16.9%、「スマートフォンを操作していた」が8.5%、「音楽以外の音が大きかった」が12.4%、その他の理由が18.9%だった。なお、イヤホン着用率は36.6%だった。

(4) 歩行軌跡の取得

入構レーンに向かう歩行者の様子を撮影した映像から歩行者の歩行軌跡を取得した。YOLOv5-DeepSORT¹⁵⁾を用いて、以下、a)からe)の手順により、映像から0.1秒

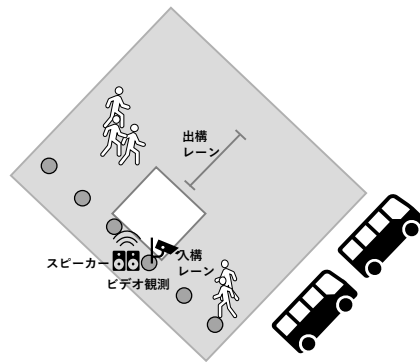


図-1 バスターミナル見取り図



図-2 カメラ観測の様子

表-1 歩行空間の印象評価アンケート回答件数

| 背景音 | 回答件数 |
|----------------|------|
| 背景音無し | 28 |
| メジャー (90 bpm) | 52 |
| メジャー (120 bpm) | 23 |
| メジャー (150 bpm) | 60 |
| マイナー (90 bpm) | 24 |
| マイナー (120 bpm) | 23 |
| マイナー (150 bpm) | 40 |
| ソフト (90 bpm) | 42 |
| ソフト (120 bpm) | 23 |
| ソフト (150 bpm) | 30 |
| ハード (90 bpm) | 40 |
| ハード (120 bpm) | 34 |
| ハード (150 bpm) | 34 |

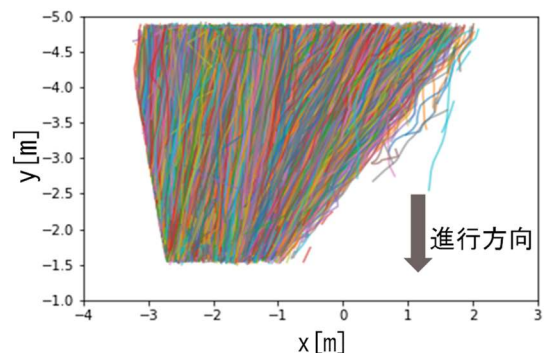


図-3 歩行軌跡

ごとの歩行軌跡を収集するプログラムを作成した。全ての歩行軌跡を描画し、図-3に示す。これにより、背景音無しが1489件、メジャー(90 bpm)が1245件、メジャー(120 bpm)が833件、メジャー(150 bpm)が981件、

マイナー (90 bpm) が 918 件, マイナー (120 bpm) が 896 件, マイナー (150 bpm) が 459 件, ソフト (90 bpm) が 580 件, ソフト (120 bpm) が 704 件, ソフト (150 bpm) が 684 件, ハード (90 bpm) が 371 件, ハード (120 bpm) が 956 件, ハード (150 bpm) が 691 件の歩行軌跡を取得した。

a) 魚眼補正

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た。

b) YOLOv5-DeepSORT の適用

魚眼補正した映像に YOLOv5-DeepSORT を適用し、同一人物とみなされた歩行者ごとに当てられた ID 情報を含む 0.033 秒ごとの歩行軌跡を取得した。YOLOv5-DeepSORT では、バウンディングボックスの中心を物体位置として検出する。そこで、本研究では、YOLOv5-DeepSORT で検出した座標を歩行者の胴中と仮定し、歩行者位置とした。

c) 移動軌跡の取得範囲の限定

各歩行者の全身がカメラに映っている画面中央部の歩行軌跡のみを抽出した。映像の解像度は 1280 [pixel] × 720 [pixel] で、画面左上を原点、右方向を x 軸、下方向を y 軸としたスクリーン座標系において、抽出した歩行軌跡の範囲は、151 [pixel] < x < 973 [pixel], 100 [pixel] < y < 596 [pixel] である。ワールド座標系においては、22.8 m² (x 方向の長さ 6.5 m, 5.2 m, y 方向の高さ 3.9 m の台形) に相当する。

d) 座標変換

取得した歩行軌跡は二次元のスクリーン座標系 [pixel] であるため、三次元のカメラ座標系 [m] に変換し、ワールド座標系に変換した。歩行者の胴中の高さは、厚生労働省が公開する「平成 30 年国民健康・栄養調査報告」より 20-29 歳男女の平均身長 165.2 cm を 2 で割った 82.6 cm とする。

e) 0.1 秒ごとの歩行軌跡の取得

0.033 秒ごとの移動軌跡から 0.1 秒ごとに移動軌跡を取り出し、前後 0.1 秒の移動平均により平滑化した。

3. 背景音と空間の印象の分析

本章では、第 2 章で取得した背景音の印象評価アンケート結果および歩行空間の印象評価アンケート結果に因子分析を適用し、各背景音の印象を比較するとともに、背景音の有無による歩行空間の印象の違いを分析する。

(1) 因子分析の適用

背景音の印象評価アンケート結果および歩行空間の印

表-2 因子分析結果

| | 第1因子 | 第2因子 | 第3因子 |
|---------------|-------|-------|-------|
| | 明暗 | 忙しなさ | 現実性 |
| | 寄与率 | | |
| | 0.27 | 0.17 | 0.15 |
| 生き生きした-生気のない | 0.86 | -0.10 | 0.03 |
| 陽気な-陰気な | 0.88 | -0.07 | 0.02 |
| 快適な-不快な | 0.50 | 0.58 | 0.04 |
| 落ち着いた-落ち着きのない | -0.26 | 0.69 | 0.06 |
| 人工的な-自然な | -0.03 | -0.43 | -0.07 |
| 幻想的な-現実的な | -0.03 | 0.17 | 0.98 |
| 個人的な-平凡な | 0.19 | -0.40 | 0.32 |

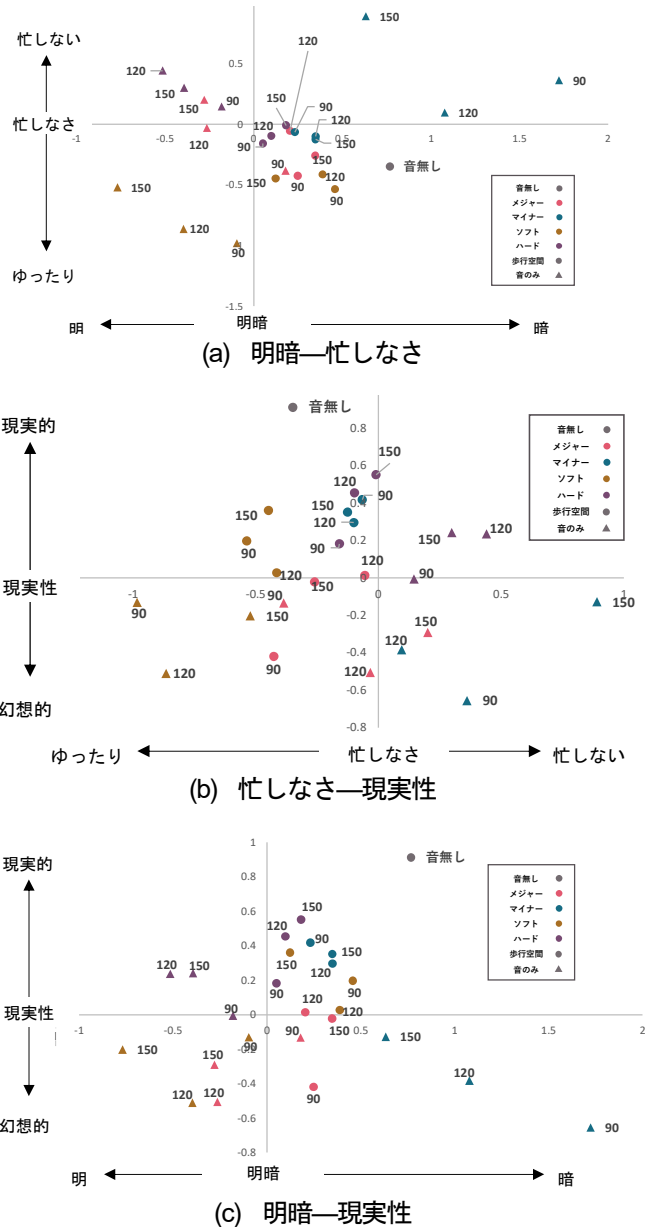


図-4 各楽曲の因子得点分布

象評価アンケート結果に因子分析を適用した結果を表-2 に示す。表-2 が示すように、3 つの因子が抽出され、それぞれを「明暗」、「忙しなさ」、「現実性」と名付けた。3 因子のうち、2 つずつを 2 軸にとり、因子得点をプロットしたところ、図-4(a)-(c)の結果を得た。なお、プロット内の 90, 120, 150 は背景音の bpm を表す。

図-4(a)(c)より、音のみの場合と歩行空間の場合のそれぞれにおいて、テンポが異なっても同じフレーズごとに同じような印象になっていることが分かった。全体として、音のみの場合は因子得点の絶対値が大きく、かつ、歩行空間の因子得点に比べて、同じフレーズでもテンポごとにばらつきが大きい一方で、歩行空間の因子得点は0に近く、テンポごとのばらつきも小さい傾向が見られた。

(2) 歩行空間と室内での音の印象の違い

次に、フレーズごとに因子得点の平均値を算出し、再度プロットしたところ、図-5(a)(c)の結果を得た。

図-5(a)(c)より、背景音を歩行空間に流すと、歩行空間の印象は背景音が無い場合の歩行空間の印象に近づくものの、同じにはならず、音の印象に影響された歩行空間の印象になることが分かった。すなわち、背景音の印象を操作することで、歩行空間の印象を操作することは可能であると考えられる。そこで、次章では背景音の印象を操作することで歩行空間の印象を操作し、さらには歩行者挙動を操作することを念頭とし、背景音の印象と歩行者挙動の関係について分析する。

4. 評価指標の抽出

本章では、第2章で取得した歩行軌跡を用いて、評価指標であるFDと断面交通流率、各歩行者の歩行速度を推定した。まず、マクロ指標である時空間平均速度、空間平均密度、交通流率を推定し、FDを推定した。次に、もう一つのマクロ指標である断面交通流率を推定した。最後に、ミクロ指標である各歩行者の歩行速度を推定した。

(1) 歩行者FDの特定

Eddieの定義¹²⁾を用いて、交通流率 q [ped/s/m]、空間平均密度 k [ped/m²]、時空間平均速度 v [m/s]を式(1)、式(2)、および式(3)の通りにそれぞれ定義した。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した。なお、単位測定時間は5秒とし、測定区間は入構レーン手前の4m²(2m×2m)とした。

$$q = \sum_{i \in \mathcal{H}} x_i / A \quad (1)$$

$$k = \sum_{i \in \mathcal{H}} t_i / A \quad (2)$$

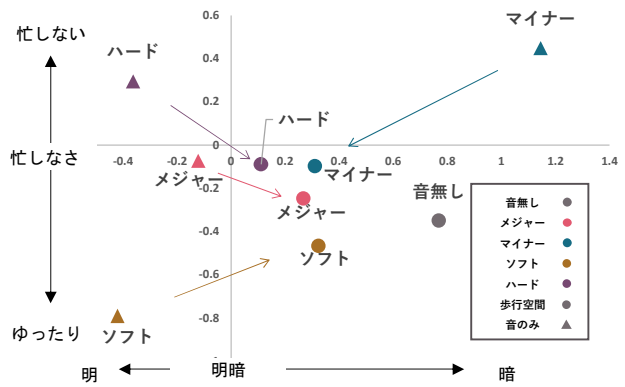
$$v = \sum_{i \in \mathcal{H}} x_i / \sum_{i \in \mathcal{H}} t_i \quad (3)$$

$$A = \Delta s \cdot \Delta t \quad (4)$$

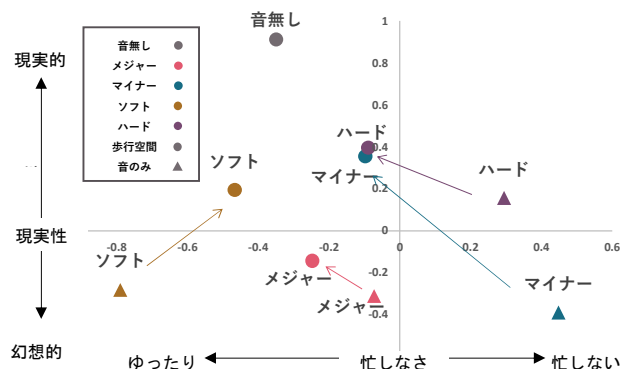
ただし、

- A : 時空間面積
- \mathcal{H} : 当該時空間内で観測された歩行者集合
- 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

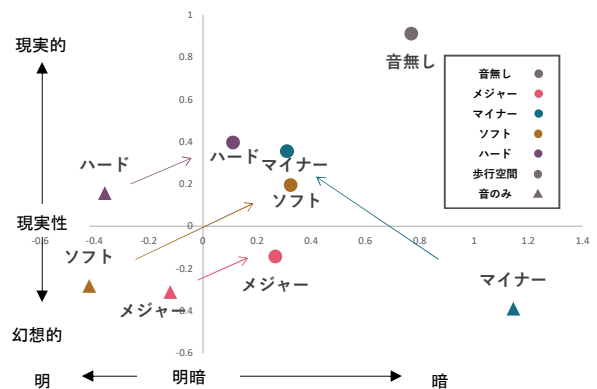
各背景音について、空間平均密度 k [ped/m²]を x 軸、時空間平均速度 v [m/s]を y 軸に設定して散布図(FD)を作成した。図-6に、背景音無しの場合の散布図を示す。本研究では、Older¹⁶⁾やFruin¹⁷⁾、Hoogendoorn¹⁸⁾の推定したFD



(a) 明暗—忙しなさ



(b) 忙しなさ—現実性



(c) 明暗—現実性

図-5 フレーズごとの因子得点分布

より、 v は式(5)のように k と線形関係にあると仮定する。パラメータ a, b は最小二乗法によって推定する。

$$v = ak + b \quad (5)$$

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

ここで、パラメータ a は密度に対する速度の感度を表し、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。推定されたパラメータを図-7、図-8 に示す。図-6 のように、散布図 (FD) の形状に大きな差は見られず、速度は 1.0 [m/s] ~ 2.0 [m/s] に多く分布していた。図-7、図-8 より、 b は 1.42 [m/s] ~ 1.55 [m/s] に収まっている一方で、 a はソフト (120 bpm) が -1.39 で最も小さく、マイナー (120 bpm) とハード (120 bpm) はそれぞれ -0.61、-0.69 で、他の背景音に比べて高い値である。また、特に多く分布していた密度 k が 0.1 [ped/m²] ~ 0.2 [ped/m²] の場合の速度の平均値を図-9 に示す。図-9 より、背景音ごとの平均値はソフト (90 bpm) が最も低く、背景音無し、メジャー (90 bpm)、ハード (90 bpm) がやや低いことが分かった。

次に、Steel-Dwass 法¹⁹²⁰⁾を用いて背景音間の多重比較を行ったところ、表-3(a)に示す有意確率が推定された。特に、有意確率が 0.05 以下だった背景音間を、図-6 上に示す。表-3(a)、図-6 より、ソフト (150 bpm) が有意に高いことが分かった。

(2) 断面交通流率の推定

次に、歩行者が 5 秒ごとに図-3 における $y = -3.2$ m を通行する人数をカウントし、断面交通流率と定義し、推定する。

図-10 は 0 [ped/5sec] を除いた推定結果の平均値を示す。図-10 より、背景音無しの場合には背景音がある場合に比べて、平均値が大きいことが分かる。また、背景音の有無の差に比べて背景音間の差異は小さく、フレーズ、テンポごとの明確な傾向は見られないことが分かった。

Steel-Dwass 法¹⁹²⁰⁾を用いて背景音間の多重比較を行ったところ、表-3(b)に示す有意確率が推定された。特に、有意確率が 0.05 以下だった背景音間を、図-10 上に示す。表-3(b)、図-10 より、背景音が無い場合は、メジャー (90 bpm, 120 bpm)、マイナー (150 bpm)、ソフト (90 bpm)、ハード (90 bpm, 150 bpm) に比べて有意に増加していることが分かった。このことから、第 5 章で示された背景音の有無による差異は有意であることが分かり、背景音が無い場合は背景音がある場合に比べて断面交通流率が有意に高いことが分かった。

(3) 個人の歩行速度の推定

歩行者ごとに 0.1 秒ごとの歩行速度を全てのタイムステップについて推定する。時空間平均速度が歩行者群衆全体の速度であるのに対して、歩行速度は各歩行者の個人の歩行速度を表している。推定した歩行速度を背景音ごとに集計し、90% タイル地より大きい値は外れ値として除去する。図-11 に背景音ごとの個人の歩行速度の平均値を示す。図-11 より、背景音ごとの平均値は背景音無しとメジャーが小さい傾向がみられた。

Steel-Dwass 法¹⁹²⁰⁾を用いて背景音間の多重比較を行ったところ、表-3(c)に示す有意確率が推定された。表-3(c)より、多くの背景音間の有意確率が 0.05 以下となり、有意差が確認された。

次に、多くの背景音間に有意差が確認されたことを踏まえ、推定した歩行速度をフレーズごと、テンポごとに再度集計した。図-12(a), (b) にフレーズごと、テンポごとの歩行速度推定結果の平均値を示す。フレーズごとに比較すると、マイナーが最も歩行速度が高く、背景音無しとメジャーが低いことが分かった。また、テンポごとに比較すると、背景音無しが最も低く、120 bpm 以上の場合は大きくなることが分かった。

Steel-Dwass 法¹⁹²⁰⁾を用いてフレーズ間、テンポ間の多重比較を行ったところ、表-4(a), (b) に示す有意確率が推定された。特に、有意確率が 0.05 以下だった背景音間を、図-12(a), (b) 上に示す。表-4(a)、図-12(a)より、フレーズごとに比較すると、低速 (背景音無し、メジャー)、中速 (ソフト、ハード)、高速 (マイナー) の 3 段階に有意に分けられることが分かった。テンポごとに比較すると、表-4(b)、図-12(b)より、低速 (背景音無し)、中速 (90 bpm)、高速 (120 bpm, 150 bpm) の 3 段階に有意に分けられることが分かった。90 bpm と 120 bpm はテンポに合わせて歩行速度も増加し、120 bpm と 150 bpm の間には有意差が無いという結果は、歩行者は 114 bpm まではテンポの上昇にあわせて速度を上げ、その後は一定に保つことを示した Styns et al.⁷⁾と一致する。以上より、背景音無しの場合が最も歩行速度が低く、120 bpm まではテンポが大きいほど歩行速度が速くなることが分かった。

断面交通流率の結果を踏まえると、背景音が無い場合は、歩行速度が減少し、断面交通流率が大きいということが分かった。Kambe and Shiomi²¹⁾は、室内実験において、背景音が無い場合はある場合に比べて SFM のパラメータである相互作用の大きさ (距離感) のばらつきが大きくなること、希望歩行速度が遅くなることを示している。これらを考慮すると、背景音が無い場合は他者との距離感のばらつきが大きいことで、通行時には間隙が埋まりやすく、断面交通流率が増加した可能性がある。

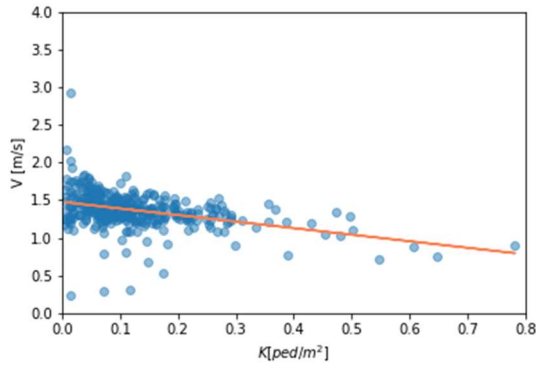


図-6 背景音無しの散布図および線形回帰

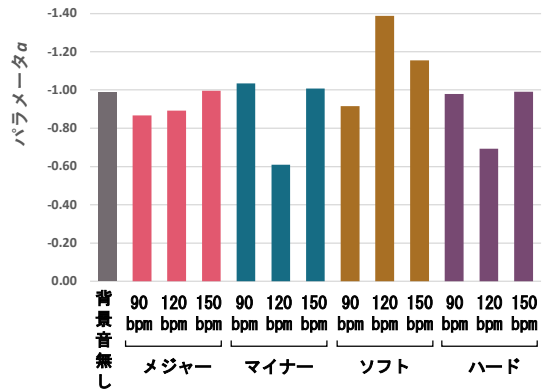


図-7 回帰直線のパラメータ a

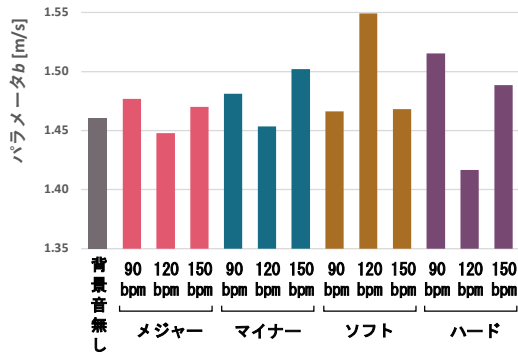


図-8 回帰直線のパラメータ b

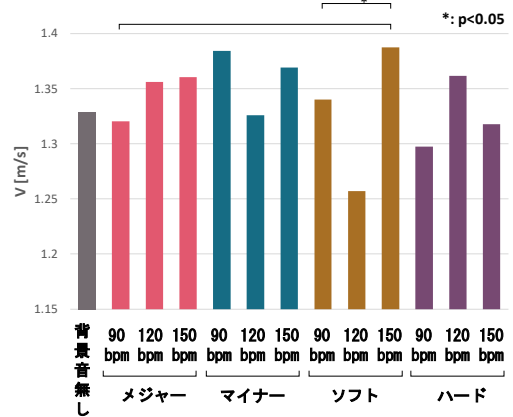


図-9 時空間平均速度の平均値

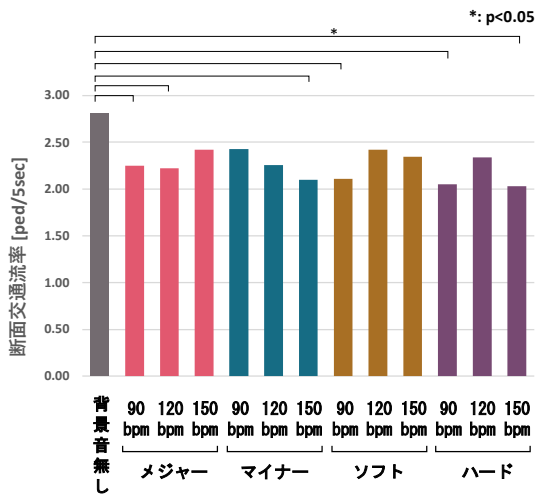


図-10 断面交通流率の平均値

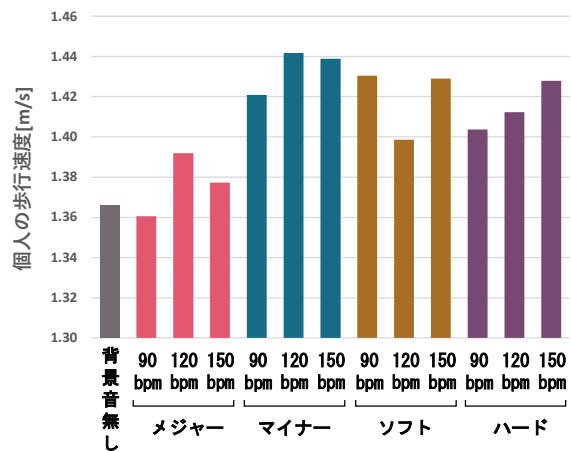


図-11 背景音ごとの個人の歩行速度平均値

表-3 Steel-Dwass 法による有意確率

(a) 時空間平均速度

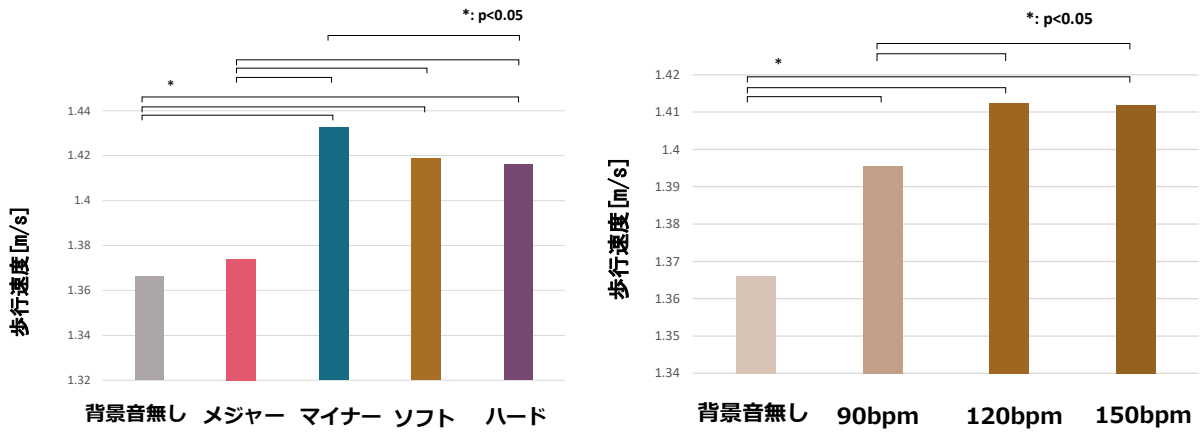
| | 背景音無し | メジャー (90bpm) | メジャー (120bpm) | メジャー (150bpm) | マイナー (90bpm) | マイナー (120bpm) | マイナー (150bpm) | ソフト (90bpm) | ソフト (120bpm) | ソフト (150bpm) | ハード (90bpm) | ハード (120bpm) | ハード (150bpm) |
|--------------|-------|--------------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|-------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| 背景音無し | | | | | | | | | | | | | |
| メジャー(90bpm) | 0.900 | | | | | | | | | | | | |
| メジャー(120bpm) | 0.900 | 0.900 | | | | | | | | | | | |
| メジャー(150bpm) | 0.900 | 0.653 | 0.900 | | | | | | | | | | |
| マイナー(90bpm) | 0.900 | 0.716 | 0.900 | 0.900 | | | | | | | | | |
| マイナー(120bpm) | 0.900 | 0.900 | 0.900 | 0.900 | 0.900 | | | | | | | | |
| マイナー(150bpm) | 0.900 | 0.900 | 0.900 | 0.900 | 0.900 | 0.900 | | | | | | | |
| ソフト(90bpm) | 0.900 | 0.895 | 0.900 | 0.900 | 0.900 | 0.900 | 0.900 | | | | | | |
| ソフト(120bpm) | 0.451 | 0.778 | 0.346 | 0.080 | 0.053 | 0.303 | 0.256 | 0.226 | | | | | |
| ソフト(150bpm) | 0.324 | 0.044 | 0.900 | 0.900 | 0.900 | 0.888 | 0.900 | 0.900 | 0.003 | | | | |
| ハード(90bpm) | 0.900 | 0.900 | 0.900 | 0.900 | 0.900 | 0.900 | 0.900 | 0.900 | 0.359 | | | | |
| ハード(120bpm) | 0.900 | 0.900 | 0.900 | 0.900 | 0.900 | 0.900 | 0.900 | 0.900 | 0.271 | 0.900 | | | |
| ハード(150bpm) | 0.900 | 0.900 | 0.900 | 0.900 | 0.900 | 0.900 | 0.900 | 0.900 | 0.788 | 0.569 | 0.900 | | |

(b) 断面交通流率

| | 背景音無し | メジャー (90bpm) | メジャー (120bpm) | メジャー (150bpm) | マイナー (90bpm) | マイナー (120bpm) | マイナー (150bpm) | ソフト (90bpm) | ソフト (120bpm) | ソフト (150bpm) | ハード (90bpm) | ハード (120bpm) | ハード (150bpm) |
|--------------|-------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 背景音無し | | | | | | | | | | | | | |
| メジャー(90bpm) | 0.030 | | | | | | | | | | | | |
| メジャー(120bpm) | 0.010 | 0.900 | | | | | | | | | | | |
| メジャー(150bpm) | 0.450 | 0.900 | 0.900 | | | | | | | | | | |
| マイナー(90bpm) | 0.670 | 0.900 | 0.900 | 0.900 | | | | | | | | | |
| マイナー(120bpm) | 0.060 | 0.900 | 0.900 | 0.900 | 0.900 | | | | | | | | |
| マイナー(150bpm) | 0.020 | 0.900 | 0.900 | 0.900 | 0.810 | 0.900 | | | | | | | |
| ソフト(90bpm) | 0.010 | 0.900 | 0.900 | 0.900 | 0.850 | 0.900 | 0.900 | | | | | | |
| ソフト(120bpm) | 0.900 | 0.900 | 0.670 | 0.900 | 0.900 | 0.900 | 0.590 | 0.580 | | | | | |
| ソフト(150bpm) | 0.780 | 0.900 | 0.830 | 0.900 | 0.900 | 0.900 | 0.750 | 0.730 | 0.900 | | | | |
| ハード(90bpm) | 0.030 | 0.900 | 0.900 | 0.900 | 0.780 | 0.900 | 0.900 | 0.530 | 0.680 | | | | |
| ハード(120bpm) | 0.580 | 0.900 | 0.820 | 0.900 | 0.900 | 0.900 | 0.740 | 0.730 | 0.900 | 0.900 | | | |
| ハード(150bpm) | 0.000 | 0.710 | 0.900 | 0.380 | 0.220 | 0.900 | 0.900 | 0.900 | 0.070 | 0.140 | 0.900 | 0.100 | |

(c) 個人の歩行速度

| | 背景音無し | メジャー (90bpm) | メジャー (120bpm) | メジャー (150bpm) | マイナー (90bpm) | マイナー (120bpm) | マイナー (150bpm) | ソフト (90bpm) | ソフト (120bpm) | ソフト (150bpm) | ハード (90bpm) | ハード (120bpm) | ハード (150bpm) |
|--------------|-------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 背景音無し | | | | | | | | | | | | | |
| メジャー(90bpm) | 0.545 | | | | | | | | | | | | |
| メジャー(120bpm) | 0.001 | 0.001 | | | | | | | | | | | |
| メジャー(150bpm) | 0.390 | 0.001 | 0.010 | | | | | | | | | | |
| マイナー(90bpm) | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | | | | | | | | | |
| マイナー(120bpm) | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | | | | | | | | |
| マイナー(150bpm) | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.057 | 0.900 | | | | | | | |
| ソフト(90bpm) | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.021 | 0.900 | 0.900 | | | | | | |
| ソフト(120bpm) | 0.001 | 0.001 | 0.900 | 0.003 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | | | | | |
| ソフト(150bpm) | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.035 | 0.900 | 0.900 | 0.900 | 0.001 | | | | |
| ハード(90bpm) | 0.001 | 0.001 | 0.900 | 0.001 | 0.733 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.900 | 0.001 | | | |
| ハード(120bpm) | 0.001 | 0.001 | 0.003 | 0.001 | 0.900 | 0.001 | 0.003 | 0.001 | 0.016 | 0.001 | 0.900 | | |
| ハード(150bpm) | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.766 | 0.516 | 0.900 | 0.900 | 0.001 | 0.900 | 0.030 | 0.201 | |



(a) フレーズごと (b) テンポごと

図-12 フレーズ・テンポごとの個人の歩行速度の平均値

表-4 フレーズ・テンポごとの個人の歩行速度の有意確率

(a) フレーズごと

| | 背景音無し | メジャー | マイナー | ソフト | ハード |
|-------|--------|--------|--------|--------|-----|
| 背景音無し | | | | | |
| メジャー | 0.1941 | | | | |
| マイナー | 0.0010 | 0.0010 | | | |
| ソフト | 0.0010 | 0.0010 | 0.0780 | | |
| ハード | 0.0010 | 0.0010 | 0.0010 | 0.5777 | |

(b) テンポごと

| | 背景音無し | 90 bpm | 120 bpm | 150 bpm |
|---------|-------|--------|---------|---------|
| 背景音無し | | | | |
| 90 bpm | 0.001 | | | |
| 120 bpm | 0.001 | 0.001 | | |
| 150 bpm | 0.001 | 0.001 | 0.900 | |

7. 空間的印象と歩行者交通流特性の関係

本章では、第 4 章から第 6 章で推定した歩行者交通流特性の背景音間の有意差を分析するとともに、第 3 章で得られた歩行空間的印象と歩行者交通流特性の関係を分析した。

(1) 歩行空間的印象因子との関係

次に、歩行空間的印象因子と時空間平均速度、断面交通流率、個人の歩行速度の関係を分析した。

まず、印象因子と時空間平均速度の関係について分析した。横軸に印象因子「明暗」、「忙しなさ」、「現実性」の因子得点を取り、縦軸に時空間平均速度の平均値、断面交通流率、個人の歩行速度をとってプロットしたところ、図-13(a)-(c)、図-14(a)-(c)、図-15(a)-(c)の結果を得た。図中の 90, 120, 150 という数字は各曲の bpm を表す。特に目視で傾向が見られた指標化指標と印象因子については回帰分析を行い、図中に回帰直線と近似式、決定係数 R^2 を示した。図-14(a)より、背景音無しと有りを比較すると、背景音無い場合は「暗」の成分がかなり大きく、断面交通流率が大きいことが分かった。また、回帰の結果、回帰直線の傾きは 1.07 を示し、 $R^2=0.58$ を示した。このことから、「暗」成分が大きいほど断面交通流率が大きくなる傾向があることが分かった。「忙しなさ」因子に着目すると、図-13(b)、図-15(b)より、ソフト (90 bpm, 150 bpm) 以外について、直線回帰を行ったところ、回帰直線の傾きはそれぞれ 0.08, 0.12 となり、 R^2 はそれぞれ 0.45, 0.64 になった。このことから、「忙しない」成分が大きいほど、時空間平均速度と個人の歩行速度が大きくなることが分かった。ソフト (90 bpm, 150 bpm) は、情緒的性質以外の要因によって他の背景音の傾向とは異なる結果になったと考えられるが、本研究では明らかにならなかった。また、図-14(b)より、回帰直線の傾きは 0.57, $R^2=0.15$ になった。このことから「ゆったり」成分が大きいほど断面交通流率がやや大きい傾向が見られた。次に、「現実性」因子に着目すると、図-13(c)、図-15(c)より、回帰直線の傾きはそれぞれ 0.05, 0.07 となり、 R^2 はそれぞれ 0.43, 0.63 を示した。このことから、「現実的」成分が大きいほど、時空間平均速度と個人の速度が大き

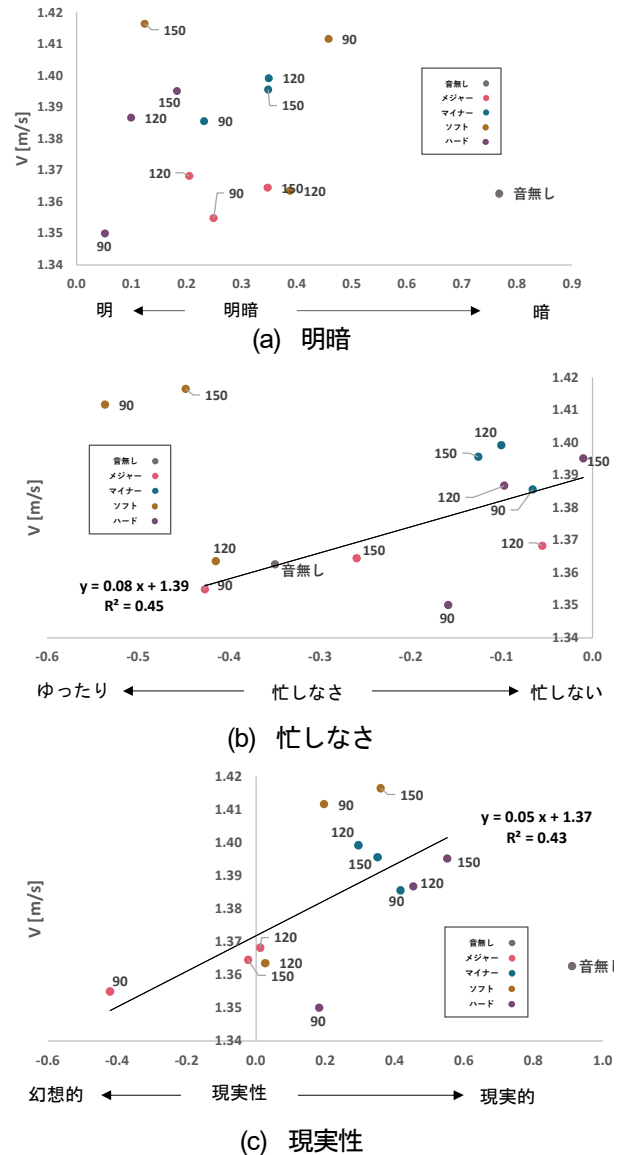
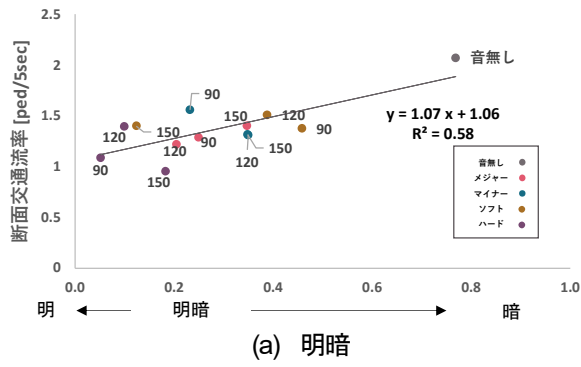


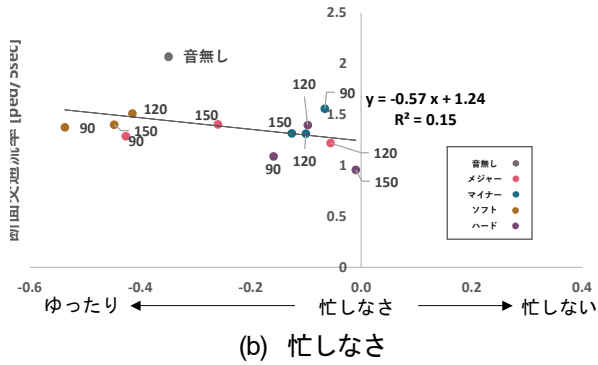
図-13 時空間平均速度と印象因子の関係

くなることが分かった。

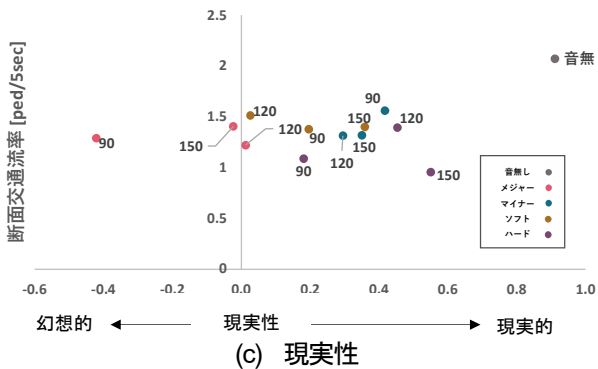
以上より、(i) 「忙しない」「現実的」成分が大きいほど、全体の速度と個人の速度が増加すること、(ii) 「暗」「ゆったり」成分が大きいほど断面交通流率が減少すること、の 2 点の傾向があることが分かった。



(a) 明暗

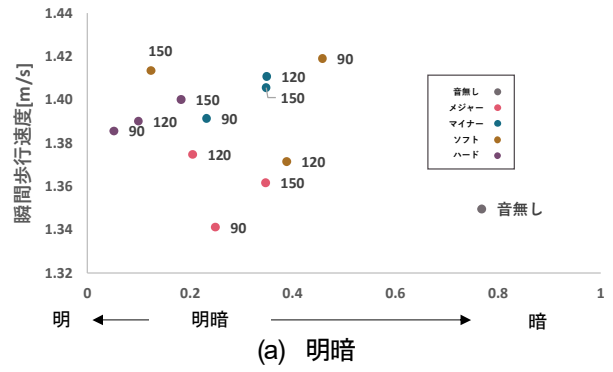


(b) 忙しなさ

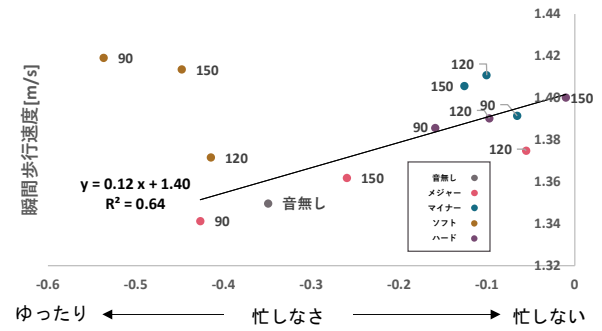


(c) 現実性

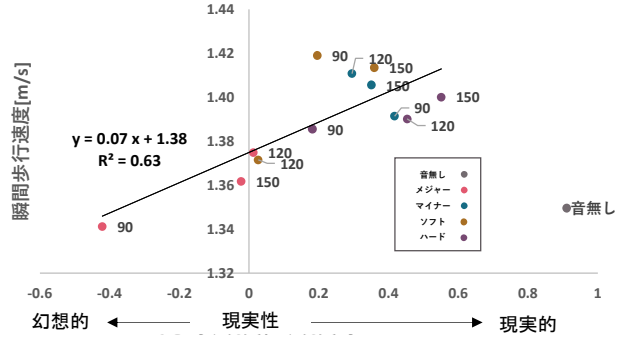
図-14 断面交通流率と印象因子の関係



(a) 明暗



(b) 忙しなさ



(c) 現実性

図-15 歩行速度と印象因子の関係

8. まとめ

都市空間における歩行者交通流の適切な管理には、歩行者交通流の十分な理解とそれに基づく環境整備が求められる。歩行行動に影響を及ぼす要因は物理的要因と心理的要因に分けられ、数多く研究されており、そのうちの心理的要因のひとつに音楽が挙げられる。本研究では、音楽を用いた歩行者交通流の動的管理を念頭に、背景音と歩行空間と歩行者挙動の関係を分析した。まず、さまざまな種類の背景音を実際の歩行空間に流し、背景音の印象と歩行空間の印象を SD を法と因子分析に基づいて評価・比較することで、背景音が歩行空間に及ぼす影響を分析した。次に、背景音を流した歩行空間の歩行者の移動軌跡を用いて、マクロ指標として FD と断面交通流率を推定し、マイクロ指標として各歩行者の歩行速度を推

定し、歩行空間の印象ごとに比較することで、歩行空間の印象が歩行者挙動のマクロ・マイクロ特性に及ぼす影響を分析した。

まず、SD 法と因子分析によって得た「明暗」「忙しなさ」「現実性」という印象因子を用いて、背景音の印象と歩行空間の印象を分析した。その結果、背景音を歩行空間に流すと、歩行空間がもともと持つ印象によって背景音の印象は弱まるものの、背景音が歩行空間の印象を変えることが分かった。このことから、背景音の印象を操作することで歩行空間の印象を操作することが出来ることが分かった。

そこで、次に、背景音の印象を操作することで歩行空間の印象を操作し、さらには歩行者挙動を操作することを念頭とし、背景音の印象と歩行者挙動の関係について分析した。その結果、マクロ的観点からは、FD ($k-v$)

の形状からは背景音間の差異は見られないものの、速度 v はソフト (150 bpm) が他の背景音に比べて有意に高いことが分かった。また、断面交通流率は背景音が無い場合は背景音がある場合に比べて有意に高いことが分かった。一方で、背景音間にはテンポやフレーズによる明確な傾向は見られなかった。次に、ミクロ的観点から各歩行者の歩行速度を推定したところ、フレーズごとに比較すると、低速 (背景音無し, メジャー), 中速 (ソフト, ハード), 高速 (マイナー) の3段階に有意に分けられ、テンポごとに比較すると、低速 (背景音無し), 中速 (90 bpm), 高速 (120 bpm, 150 bpm) の3段階に分けられることが分かった。このため、各歩行者の歩行速度は背景音無しが最も低く、テンポが大きいほど早くなることが分かった。

最後に、歩行空間の印象因子と歩行者交通流特性の関係について分析したところ、「忙しい」「現実的」成分が大きいほど、全体の速度と個人の速度が増加すること、「暗」「ゆったり」成分が大きいほど断面交通流率が減少することの2点の傾向があることが分かった。

本研究により、無音の場合が歩行者の流量が多く、音楽をかけることで歩行速度を変えられることが分かった。このため、背景音を変えることで、場所や時間帯に応じた歩行空間デザインが可能であるといえる。例えば、駐車場のよう歩行者が滞留することで事故の危険性が高まるような場所においては、「忙しい」「現実的」成分が大きい曲をかけることで、歩行速度が速くなり、歩行者が駐車場から立ち退きやすくなる効果が期待される。また、駅の改札のように歩行者が円滑に移動することが望まれる場所では、背景音を流さない方が、歩行速度が速く、断面交通流率が大きいと期待される。

本研究ではミクロ指標として各歩行者の歩行速度を推定したが、歩行速度からは歩行者間の相互作用による影響は十分に解析することはできなかった。このため、今後は SFMP⁹⁾などのモデリング解析や、ポロノイ図を用いたパーソナルスペースの評価²⁰⁾のように相互作用による影響を分析することで、マクロ指標との関連性をより詳しく解明できると考える。

謝辞：本研究は JSPS KAKENHI Grant Number 17K18912・20KK0334, および令和4年度UDCBK社会実験準備事業の支援を受けた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) Fruin, J. J.: Designing for Pedestrians: A Level of Service Concept, Highway research Record, Iss.355, pp.1-15, 1971.
- 2) Qi, Q., She, R., Liu, H., Zhang, J., & Zhang, Y: Social Force model calibration for preschool children evacuations based on multiscenario experiments, Journal of Advanced

- Transportation, 2022.
- 3) Helbing, D. and Molnár, P.: Social force model for pedestrian dynamics, Physical Review. E, Vol.51, No.5, pp.4282-4286, 1995.
- 4) Ewing, D. and Handy, S.: Measuring the Unmeasurable: Urban Design Qualities Related to Walkability, Journal of Urban Design, Vol.14, Issue 1, pp.65-84, 2009.
- 5) Milliman, R. E.: Using Background Music to Affect the Behavior of Supermarket Shoppers. J. Mark. Vol.46, No.3, pp.86-91, 1982.
- 6) Caldwell, C. and Hibbert, S. A.: The Influence of Music Tempo and Music Preference on Restaurant Patron's Behavior, Psychology and Marketing, Vol.19, Iss.11, pp.895-917, 2002.
- 7) Styns, F., van Noorden, L., Moelants, D., Leman, M.: Walking on music, Human Movement Sci. 26, pp.769-785, 2007.
- 8) 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.
- 9) Franěk, M., van Noorden, L., Režný, L.: Tempo and walking speed with music in the urban context, Front. Psychol. 5, 2014.
- 10) Yanagisawa, D., Tomoeda, A., & Nishinari, K.: Improvement of pedestrian flow by slow rhythm, Physical Review E, Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics, Vol.85 (1 Pt 2), pp.016111, 2012.
- 11) Zeng, G., Schadschneider, A., Zhang, J., Wei, S., Song, W., & Ba, R.: Experimental study on the effect of background music on pedestrian movement at high density, Physics Letters A, Vol.383 pp.10, 1011-1018, 2019.
- 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) 栗林 龍馬, 入戸野 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 I, 人間科学研究 9, pp.17-29, 2014.
- 14) 岩宮眞一郎, 細野晴雄, 福田和昭: 音環境と景観の相互作用-景観の印象に及ぼす音環境の影響と音環境の印象に及ぼす景観の影響-, The Annuals of physiological anthropology, Vol.11, No.1, pp.51-59, 1992.
- 15) Gai, Y., He, W., Zhou, Z.: Pedestrian Target Tracking Based On DeepSORT With YOLOv5, IEEE, 2021.
- 16) Older, S. J.: Movement of Pedestrians on Footways Is Shopping Streets. Traffic Eng. Control, Vol.10, No.4, pp.160-163, 1968.
- 17) Fruin, J.J.: Pedestrian Planning and Design Metropolitan

- Association of Urban Designers and Environmental Planners, Inc., New York, 1971.
- 18) Hoogendoorn, S.P., Daamen, W., Knoop, V.L., Steenbakkens, J., and Sarvi, M.: Macroscopic Fundamental Diagram for Pedestrian Networks: Theory and Applications. *Transp. Res. C*, Vol.94, pp.172–184, 2017.
- 19) Steel, R.G.D.: A rank sum test for comparing all pairs of treatments, *Technometrics*, Vol.2, pp.197–207, 1960.
- 20) Dawss, M.: Some k-sample rank-order tests. In: I. Olin, S.G. Ghurye, W. Hoeffding, W.G. Meadow and H.B. Mann (eds.): *Contributions to probability and statistics*, Stanford University Press, Stanford, pp.1998–202, 1960.
- 21) Kambe, M., and Shiomi, Y.: How does background music affect pedestrian behaviors? The first international workshop in Smart Mobility, Japan and The University of Melbourne, 2022.
- 22) Steffen, B., & Seyfried, A.: Methods for measuring pedestrian density, flow, speed and direction with minimal scatter, *Physica Part A*, Vol.389, No.9, pp.1902–1910, 2010.

HOW DO IMPRESSIONS OF THE WALKING SPACE BY BACKGROUND MUSIC INFLUENCE PEDESTRIANS' WALKING BEHAVIOUR?

Misato KAMBE and Yasuhiro SHIOMI

In order to properly manage pedestrian traffic flow, it is necessary to fully understand the characteristics of pedestrian traffic flow and to design spaces based on this understanding. Therefore, this study focuses on music, one of the factors that influence pedestrian behavior. With the dynamic management of pedestrian traffic flow using music in mind, multiple background sounds were played in a walking space, and the impressions of the background sounds and the walking space when the background sounds were played were evaluated based on the SD method and factor analysis, and the effects on the macro and micro characteristics of the pedestrian flow were verified. The experimental results showed that i) the impression of music and space can be explained by lightness, busyness, and realism, ii) the impression of space can be manipulated by manipulating the background sound, and iii) the speed tends to increase when the busyness and realistic components of the background sound increase, and the traffic flow rate increases when the dark component increases. The results are as follows.