

# 動的な照明演出の特徴量が歩行者の経路選択行動に及ぼす影響

田中なつみ\*・大佛俊泰\*\*・岸本まき\*\*

三橋史弥\*\*\*・原田和樹\*\*\*・八田和洋\*\*\*・小川祐輝\*\*\*

## Effects of Dynamic Direction Lighting Characteristic on Walker's Route Choice Behavior

Natsumi TANAKA\*, Toshihiro OSARAGI\*\*, Maki KISHIMOTO\*\*,

Fumiya MITSUHASHI\*\*\*, Kazuki HARADA\*\*\*, Kazuhiro HATTA\*\*\* and Yuki OGAWA\*\*\*

**Abstract:** In this paper, we conducted experiments in an outdoor space on walker's route choice behavior based on the design of experiments. Using the observed data, we estimated a logit model which describes walker's route choice behavior, and quantitatively evaluate the effects of dynamic direction lighting on the route choice behavior.

**Keywords:** 動的演出照明 (dynamic direction lighting), 歩行者 (pedestrian), 経路選択 (route choice), 誘導 (guidance), ロジットモデル (logit model)

### 1. はじめに

筆者らはこれまで、照明を用いた屋外空間演出による新しい価値提案を目指し、動的な照明演出（以下、動的照明）（図 1(a)）が経路選択行動に与える影響を定量的に分析してきた（田中ほか，2022）。しかし、照明演出の色温度や照度などの特徴量に応じた誘導効果の変化については、十分な検討を行っていない。本稿では、動的照明の誘導効果が高くなる照明条件を明らかにすることを目的とする。具体的には、まず、実験計画法に基づき設定した複数の照明条件の下で屋外における歩行実験を行う。次に、得られた実験データを用いて、照明の特徴量および個人・経路の特徴量を説明変数とした経路選択行動モデルを構築する。その上で、推定パラメータの値から、各特徴量が歩行者の経路選択行動に与える影響について定量的に評価する。

### 2. 歩行実験の概要

歩行実験の概要を図 1(b) に示してある。被験者は、出発地点から分岐地点付近まで歩行した後、動的照

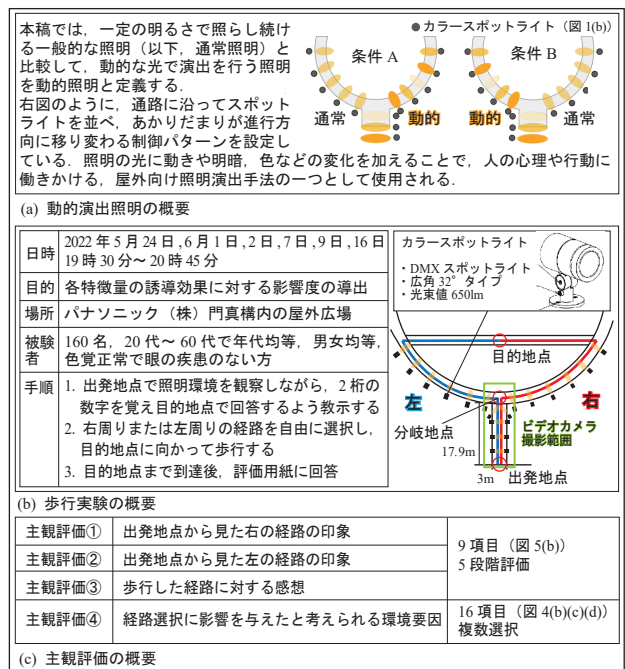


図 1 歩行実験の概要

明と通常照明がそれぞれ設置された左右いずれかの経路を選択し、目的地点まで歩行する（各経路の照明以外の歩行環境は概ね等しい）。この時、被験者が歩行する様子をビデオカメラで撮影した<sup>1)</sup>。また、被験者が目的地点に到着した後に、簡単なアンケート調査を実施し、4種類の主観評価を得た（図 1(c)）。

\* 学生会員 東京工業大学環境・社会理工学院 (Tokyo Institute of Technology)

〒152-8550 東京都目黒区大岡山 2-12-1 Email:tanaka.n.ax@m.titech.ac.jp

\*\* 正会員 東京工業大学環境・社会理工学院 (Tokyo Institute of Technology)

\*\*\* 非会員 パナソニック（株）エレクトリックワークス社 (Electric Works Company, Panasonic Corporation)

本稿では、動的照明の各特微量（照明の相関色温度・最大最小照度比・照明速度・点灯時間）が歩行者の経路選択行動に与える影響を明らかにするため、実験計画法に基づいて8つの照明条件を設定した（図2）。なお、図2では、各特微量を最大値を1.0とした相対値で示してある。本実験では、各条件につきそれぞれ20名<sup>2)</sup>（計160名）の実験データが得られている。

### 3. 実験データの基礎分析

#### 3.1. 照明の特微量に関する基礎分析

動的照明の各特微量が経路選択に与える影響を確認する。ここでは、特微量ごとに設定値が同一である被験者（①相関色温度のみ各40名、他は各80名）の動的照明選択割合を集計した（図3）。相関色温度と動的照明選択割合はおおよそ線形関係にあり、赤みがある（値が大きい）ほど動的照明の誘導効果が高い（図3①）。最大最小照度比が高い場合、63.8%の被験者が動的照明を選択しており（最大最小照度比が低い場合は28.8%）、照明の明るさが動的照明の誘導効果に大きく影響していることがわかる（図3②）。また、照明速度（移り変わるあかりだまりの速度）は遅いほど動的照明選択割合が高くなる傾向が見られた（図3③）。点灯時間では、設定値の違いによる動的照明選択割合に大きな差異はなく、動的照明への誘導に対する影響は小さいと考えられる（図3④）。

#### 3.2. 映像データと主観評価の基礎分析

各被験者の歩行の様子を映像データおよび主観評価の回答を基に確認した。被験者の出発地点から分岐地点付近までの歩行行動の例を図4(a)に示してある。各被験者は歩行中に多様な挙動（左右の経路や足元を確認するなど）を示した後に経路を選択する様子がみられた。次に、経路選択に影響を与えたと考えられる環境要因に関する主観評価（図1(c)④）の回答を集計した（図4(b)(c)(d)）。まず、選択した

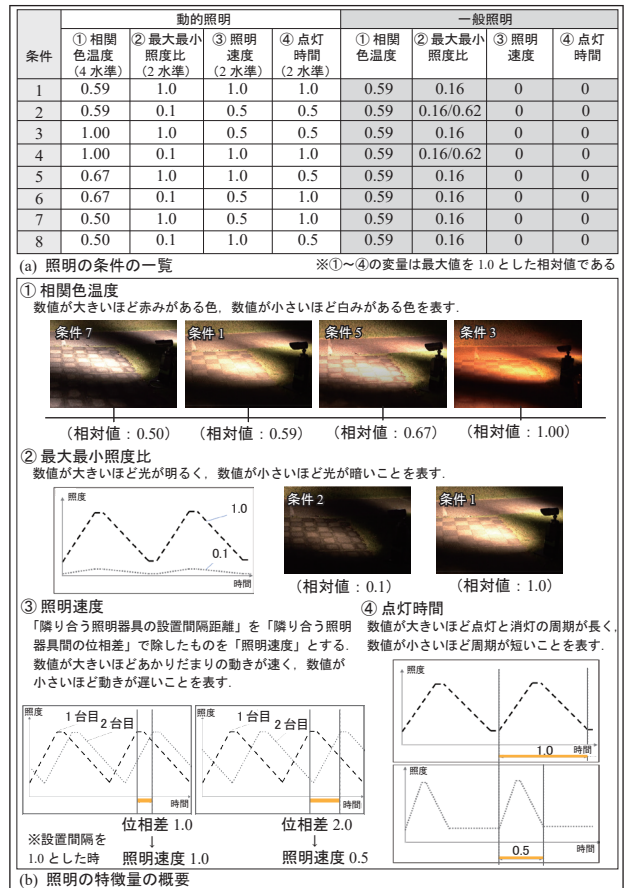


図2 実験条件について

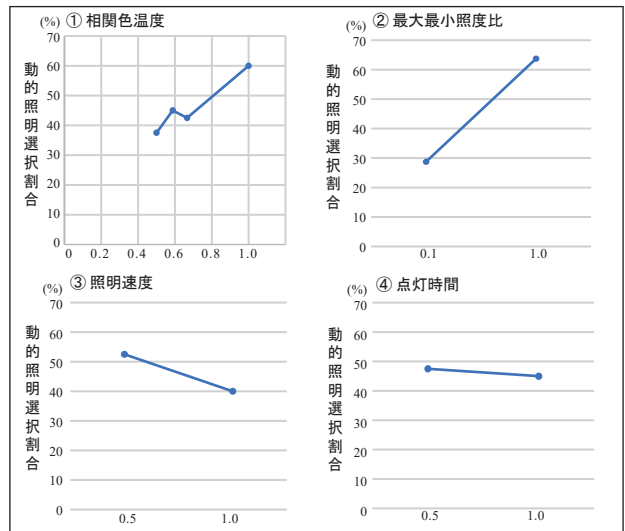


図3 照明の特微量ごとの集計結果

照明種別ごとに集計結果を確認すると、「ひかりの動き」と「雰囲気の良い」の回答率に大きな差が見られた（図4(b)）。これは、動的照明に備わった特徴を有する経路を選択した人が一定数存在することを示唆している。次に、最大最小照度比ごとの集計結果では、特に「ひかりの動き」の回答率に差が見られた（図4(c)）。最大最小照度比が大きい程、

動的照明による演出が明確になり、経路への誘導効果が高くなると考えられる。また、照明速度ごとに回答の集計を行うと、照明速度が速い場合「見通しの良さ」の回答率が、遅い場合「雰囲気の良い」の回答率が高い（図4(d)）。以上のように、経路が被験者に与える印象は、照明種別だけでなくその特徴量によっても変化することがわかる。

## 4. 経路選択モデルの構築

### 4.1. 経路選択モデルの概要

照明の特徴量が歩行者の経路選択に及ぼす影響を定量的に評価するため、二項ロジットモデルを用いて経路選択モデルを構築する（図5(a)）。具体的には、経路  $j$  を選択する際に得られる効用を  $U_j$  とし、確率効用理論に基づき経路選択確率  $P_j$  を記述した。この時、効用  $U_j$  は、照明の特徴量 ( $k=1 \sim 4$ ) および映像データから得た個人特性変数 ( $k=15 \sim 21$ )、さらに出発地点から見た各経路の印象に関する主観評価（図1(c)①②）( $k=5 \sim 14$ ) を説明変数として線形和で記述する（図5(b)(c)）。これにより、照明の特徴量だけでなく、照明によって演出された経路全体の印象を考慮した経路選択行動のモデル化が可能となる。

### 4.2. パラメータの推定結果

最尤推定法を用いて求めた経路選択モデルの未知パラメータを図6(a)に示してある。なお、説明変数は統計的有意性と論理的整合性の観点から選択を行った。推定されたパラメータより、照明の特徴量においては、最大最小照度比と照明速度が経路選択に影響を及ぼしていることがわかる。つまり、最大最小照度比が大きく、照明速度が遅い照明演出を行うことで、特定の経路への誘導効果が期待できる。また、「光に動きを感じる」「あるきやすそう」「視覚的に静か」と感じる経路や、分岐前に何度も目視で確認した経路が選好されやすい。このような主観評価や視線を誘因する演出を行うことで、特定の経路への誘導効果を高める可能性がある。

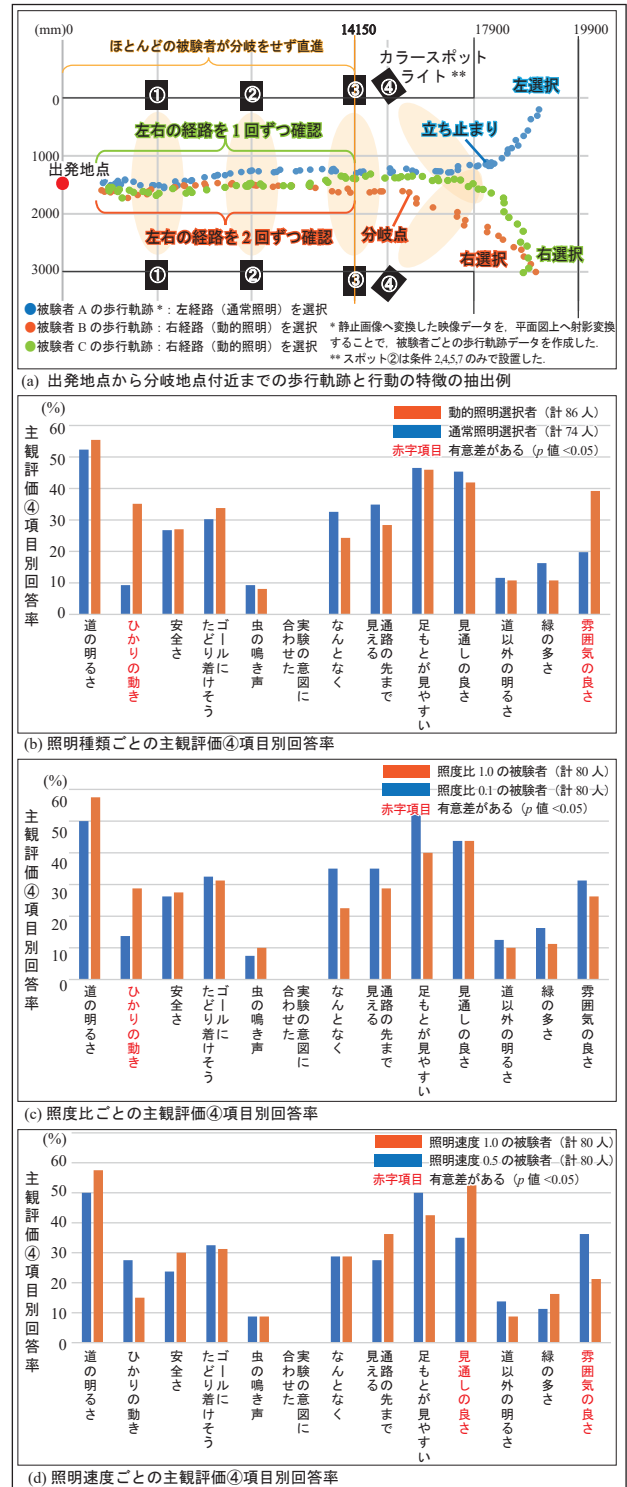


図4 映像データと主観評価の基礎分析

### 4.3. グループごとの推定

主観評価の回答結果（図4）から、経路選択時に照明演出から受ける影響には個人差があることが判明した。本節では、被験者を歩行時のふるまいに基づきグループ分けをした上で（図6(b)）、それぞれについて経路選択モデルを構築した。具体的にはま

ず、被験者の分岐点までの行動（「経路確認」および「足元確認」（図 5(b)））に応じて 2 つのグループへ分類した（図 6(b)）。Group1 は、経路選択時に周囲をよく見ている被験者群（計 94 人）、Group2 は、それ以外の被験者群（計 66 人）である。次に、グループごとに統計的有意性と論理的整合性の観点から説明変数を選択し、未知パラメータを推定した（図 6(a)）。Group1 においては、前節で推定したモデルでは選択されていない周囲を確認することで認識される特徴量（照明の点灯時間や「安全さ」）が選択されており、モデルの記述力も向上している。一方、Group2 では、照明の特徴量（ $k=2 \sim 4$ ）が有意に効いておらず、Group1 と比較してモデルの記述力も低い。照明の特徴量とは関係なく、「あるきやすさ」や「道以外の明るさ」などの経路全体の印象を重視して経路を選択しているといえる。以上より、被験者の特性によって、照明の特徴量や経路の印象が経路選択へ及ぼす影響が異なることがわかる。

## 5. まとめ

本稿では、動的照明における特徴量（色温度や照度など）が経路選択に与える影響について検討した。具体的には、まず、複数の照明条件下で歩行実験を行い、観測データを用いて歩行者の経路選択行動をロジットモデルを用いて歩行者の経路選択行動をロジットモデルを用いて記述した。照明の最大最小照度比および照明速度などの特徴量が経路選択行動に及ぼす影響を明らかにした。さらに、分岐点までの行動の違いに基づいてグループ分けをした被験者群ごとにモデルを構築することで、個人特性に応じて照明が経路選択に及ぼす影響が異なることを明らかにした。

## 謝辞

本研究は、東京工業大学研究倫理審査会の承認を受けて実施したものである（承認番号：第 A21249）。

## 参考文献

田中なつみ・大佛俊泰・岸本まき・三橋史弥・原田和樹・小川祐輝  
 (2022) 屋外における動的な照明演出が歩行者の経路選択行動に及ぼす影響. 日本建築学会大会学術講演梗概集 (CD-ROM), 5108.

個人  $n$  がいずれかの経路を選択する確率  $P_{jn}$  は、ロジットモデルを用いて次式で表現できる。

$$P_{jn} = \frac{\exp[U_{jn}]}{\exp[U_{0n}] + \exp[U_{1n}]}$$

個人  $n$  が右の経路を選択して得られる効用は  $U_{0n}$  ( $j=0$ )、左の経路を選択して得られる効用は  $U_{1n}$  ( $j=1$ ) である。ここで経路  $j$  ( $j=0$  または  $1$ ) を選択した際に得られる効用関数を  $U_{jn}$  とし、次式の線形モデルを考える。

$$U_{jn} = a_0 + \sum_k a_k X_{jnk}$$

$X_{jk}$ : 経路  $j$  の  $k$  番目の説明変数  
 $a_k$ : 未知パラメータ ( $k=0 \sim 21$ )

※ $k=1-4$  は照明条件 (図 2(a))、 $k=5-13$  は主観評価①②の項目。すべての変量は正規化を行っている。

$k$	選択肢特性変数	12	「視覚的に静か」
1	相関色温度	13	「にぎやか」
2	最大最小照度比	14	経路確認
3	照明速度	$k$	個人特性変数
4	点灯時間	15	性別
5	「歩く道が明るい」	16	歩行速度
6	「光に動きを感じる」	17	分岐点
7	「安全そう」	18	左右移動
8	「見通しがよい」	19	足元確認
9	「あるきやすそう」	20	振り返り
10	「道以外が明るい」	21	減速有無
11	「緑がおいしい」	$a_0$	選択肢固有ダミー

(a) 経路選択モデルの概要 (b) 説明変数

特性	定義
経路確認	出発地点から 14.15m 間**a に左右の経路をそれぞれ確認した回数
性別	被験者の性別 (女性=0, 男性=1)
歩行速度	出発地点から 7.15m ~ 14.15m の 7m 区間**a の歩行速度 (1.3m/s より遅い人は 0, 速い人は 1)
分岐点**b	分岐点の位置 (出発地点から 17.0m より早い人は 0, 遅い人は 1)
左右移動	分岐点までにおける、進行方向の垂直 (左右) 方向の動き (動きがない人は 0, ある人は 1)
足元確認	分岐点までにおける足元を確認する仕草 (仕草がない人は 0, ある人は 1)
振り返り	左右の経路選択後に経路の逆方向を振り返る仕草 (仕草がない人は 0, ある人は 1)
減速有無	左右の経路を選択する直前において減速する様子 (減速がない人は 0, ある人は 1)

\*\*a: 被験者が分岐点および照明の配置を考慮した上で決定した。  
 \*\*b: 階層的クラスタリングを用いて全被験者の歩行軌跡を 10 個のクラスターに分類する。その後、クラスター毎に左右移動の有無および分岐点の位置を判定した。なお、分岐点の閾値である 17.0m は、クラスタリング結果と照明の配置を考慮して決定した。

(c) 特性の概要

図 5 経路選択モデルの概要

$k$	変数	推定パラメータ (括弧内は t 値)		
		全員分	Group1*	Group2*
選択肢特性変数	2 最大最小照度比	1.190* (2.443)	2.345** (3.181)	
	3 照明速度	-1.002** (-2.796)		
	4 点灯時間		-1.404** (-2.839)	
	6 「光に動きを感じる」	2.681** (3.099)		3.479** (2.697)
	7 「安全そう」		5.112** (2.962)	
	9 「あるきやすそう」	3.130** (3.327)		5.351** (3.588)
	10 「道以外が明るい」			-3.473* (-2.047)
	12 「視覚的に静か」	3.210** (3.238)	5.210** (3.377)	
	14 経路確認	2.546* (2.458)	4.013** (2.685)	3.692* (2.277)
	個人特性変数	15 性別	-1.105** (-2.698)	
17 分岐点		1.086** (2.679)		
自由度 60 の t 値臨界値 *1% の有意水準 (t 値 > 2.66) **5% の有意水準 (t 値 > 2.00) とする。 推定パラメータの符号は正であれば経路の性質として選好され、負であれば選好されない特性であることを示す。 また、網掛けは選択されなかった変数を示す。	尤度比	0.366	0.431	0.336
	全体的中率	79.4%	81.9%	71.2%
	選択者数	右 79 人 左 81 人	右 45 人 左 49 人	右 34 人 左 32 人
	推定	右 84 人 左 76 人	右 44 人 左 50 人	右 39 人 左 27 人
(a) 推定結果				
*Group1: 経路確認において左右合計 5 回以上確認した、もしくは足元確認を 1 回以上確認した被験者 (周囲をよく見ている被験者) (94 人) *Group2: 経路確認において左右合計 4 回以下の確認、かつ足元確認の行為は行わなかった被験者 (周囲をよく見ていない被験者) (66 人)				
(b) グループ分けの定義				

図 6 経路選択モデルの推定結果

## 注

- 映像データは個人が特定できないようにモザイク処理をしたうえで分析に用いている。
- 左右の経路が持つ固有の要因の影響を取り除くため、被験者 20 名を、右側経路に動的照明を設置した条件 A と左側経路に動的照明を設置した条件 B へ半数 (10 名) ずつ割り振る (図 1(a))。