縮尺模型実験による夜間街路の光環境に対する明るさ感と 活動性印象の評価指標の検討

EVALUATION OF BRIGHTNESS AND ACTIVITY IMPRESSIONS OF OUTDOOR SPACE BY A SCALE MODEL EXPERIMENT

持永 愛美*, 石田 泰一郎**

Aimi MOCHINAGA and Taiichiro ISHIDA

In our previous study, we proposed two indexes for the brightness and activity impressions for outdoor lighting environments in the night-time using street images. In this study, we tested the effectiveness of these indexes using a scaled street model. Subjects evaluated the psychological impressions, brightness, activity, anxiety, harmony, comfort and preference. Based on the results, the median value of the road surface luminance highly correlates with brightness impression. It is also shown that the activity impression could be predicted based on the median value of the road surface luminance and the number of locally bright area. We validate two indexes of brightness and activity impressions.

Keywords : *night, outdoor scene, brightness, activity, luminance of road surface, luminance distribution*

夜間, 街路, 明るさ感, 活動性, 路面輝度, 輝度分布

1. はじめに

夜間の街路照明の設計基準は、歩行、交通などの安全性の確保や犯罪防止のために、路面の障害物、対向者の顔や様子など視対象の視認性の向上を目的として水平面照度や鉛直面照度が定められている¹⁾²⁾。しかし、夜間の街路空間における光源の特性、光の分布や存在は視対象の見え方だけではなく、その空間の印象にも大きな影響を与え得ると言える。例えば、街路の奥まった空間に照明を配置することで不安感を軽減される³⁾ことや、夜間屋外における視覚特性に着目し、光源の分光分布が夜間街路空間の明るさ感印象に影響を与えることなどが報告されている^{4)~7)}。近年では、夜間における人々の活動が増え、夜間の街路空間においても質の高い快適な環境が望まれるようになった。このことから、視認性を重視した照明設計だけでなく、雰囲気性など人の主観的な印象も考慮した総合的な夜間街路に対する計画が必要である。

室内空間の光環境については、従来より照明レベルや空間内の光の分布による室内空間の心理印象への影響が示されてきた⁸⁾。室内の照明の心理評価に関する研究⁹⁾¹⁰⁾によると、「明るいー暗い」で代表される「明るさ感」や「活気があるー活気がない」などで構成される「活動感」は、室内空間の主な印象と考えられる。また、「快適ー不快」、「好きー嫌い」、「調和ー不調和」など、その照明環境の総

合的な印象である「評価性」も重要な印象である。これら心理的印象の評価指標や影響を与える物理的特性に関する研究が多くなされてきた^{11)~16)}。一方、夜間街路空間の心理的印象に関する研究では、街路に対する心理評価を構成する因子に関するものや、昼夜によって抽出される因子の違いに関するものが多くなされている¹⁷⁾¹⁸⁾。ただし、それらの研究では街路における様々な構成要素から得られる街路の印象についてを扱っており、街路における照明要素の物理的特性と心理的印象との関係については定性的な検討に留まっているものが多く、夜間街路の心理的印象に影響を与える光の物理的特性に関して明確な関係が明らかとなっていない。

筆者らは屋外環境である夜間街路空間の光環境に着目し研究を進めている。これまでに夜間街路の画像を用いた印象評価実験を実施し、明るさ感および活動性印象の評価指標の提案を行った¹⁹⁾²⁰⁾。明るさ感については、路面の輝度分布のベースとなる輝度レベルが影響を与えることを見出し、その代表値として路面輝度の中央値が良好な指標となることを示した¹⁹⁾。活動性については、空間の明るさおよび空間内の光の分布が影響を与えることを見出し、路面輝度の中央値および局所的に明るい領域（以後、局所的明所領域）の数を変数とした指標を提案した²⁰⁾。

これらの先行研究¹⁹⁾²⁰⁾では、被験者の観察刺激として夜間街路の

* 京都大学大学院工学研究科建築学専攻
博士後期課程・修士(生活デザイン)
独立行政法人日本学術振興会 特別研究員 DC
** 京都大学大学院工学研究科建築学専攻 准教授・工博

Graduate Student, Graduate School of Engineering, Kyoto University, M. Life Des.

Research Fellow, Japan Society for the Promotion of Science
Assoc. Prof., Graduate School of Engineering, Kyoto University, Dr. Eng.

プロジェクターによる投影画像を使用した。それによって多様な街路を評価対象とすることができ、特定の街路に限定されない一般性を期待できる評価指標を提案することができた。一方、投影画像を用いたことによって、現実空間における照明や路面などの輝度は忠実に再現できていない。特に高輝度領域はプロジェクターの上限輝度によって制約があった。また、現実の街路画像を採用したため、自動車、人物、立地条件など光環境要素以外の事物の影響が夜間街路の印象評価に含まれていたことが考えられる。

そこで本報では、画像評価実験において示した明るさ感および活動性評価指標の有効性を検証することを目的として、輝度をより現実に近い値に再現することや、照明以外の街路の形状、人物や自動車などを統制した条件を設定するために、照明の調光や点灯パターンの組み合わせが可能な夜間街路の縮尺模型を用いた主観評価実験を行った。本報では、明るさ感および活動性の評価指標の検証結果に加え、不安感、および調和感、快適性、嗜好性の評価について検討した結果を報告する。

2. 実験方法

2.1 実験装置

図1に実験装置を示す。実験室内に製作した街路の両脇に建物が並列する縮尺 1/50 の街路模型を用いて心理評価実験を実施した。本実験では、夜間街路の光の特徴量と心理的印象との関係を明確に

するために、街路の立地条件や建物の形状、色彩など光環境要素以外の影響をできるだけ排除し、街路の場所の用途や地域は特定しない抽象化した街路模型を製作した。街路の幅は実寸法 7.5m、建物は実寸法で幅 8m、高さ 6m とし、2 階建ての建物を想定した。路面は N2、建物は N9 および N5 相当の紙を用いた。また、街路の路面輝度および局所的明所領域数を調整するために、街路模型の上部、建物、および路面に光源を設置した。

2.2 照明条件

本実験で設定した照明パターンとその路面の輝度の中央値を表 1 および表 2 に示す。模型内に設置した各照明の組合せとして、まず路面輝度の調節用として設置した照明（以後、路面照明と記す）によって路面の輝度分布を 2 パターン（均一・不均一）設定し、それに街路空間内の照明器具などを想定した鉛直および路面に設置した照明（以後、局所照明と記す）を組み合わせた。

路面照明および局所照明の出力は、JIS¹⁾で設定された基準値を参考に、路面中央における鉛直面照度値に基づいて設定した。

図2に路面照明条件による模型街路の光分布の写真を示す。路面照明の具体的な照明方法は、街路模型の上部に設置した蛍光灯およびLEDによるスポット照明を用いて、路面の光の分布を均一および不均一に変化させた。均一条件では点灯出力レベルを low, middle, high の条件で表す 3 段階設定した。不均一条件ではスポット照明の点灯数を 4 灯および 8 灯の 2 条件設定し、さらに各条件に対し点灯

図1 実験装置平面図および側面図

図2 路面照明の点灯パターン

図3 局所照明の点灯パターン

図4 光源設置建物立面図

図5 照明条件の例

図6 グリッド分割と路面領域の選択

出力を low, high の 2 段階設定した。図 2 に示すように路面照明の光源は、被験者からは見えないようになっている。これは、街路中で被験者から見えている光源の数や発光強度を変えずに、路面の輝度を何段階か変化させるというような条件設定を可能にするための工夫である。ただし、路面照明の光源は視野内に存在しておらず、現実の街路空間とは異なる状況となっている。被験者の内観では、このことによって模型街路の照明が特に不自然に感じられるというような報告はなかった。高い位置に存在する街路照明が視野に入っていない、あるいはその存在を意識していないという状況に該当するといえるだろう。ただし、現実空間においては、街路照明の存在は明るさ感、活動性などに何らかの影響を与えるはずである。本研究の結果は、今後、現実空間における街路照明も含めた印象評価結果との比較検討が必要だろう。

図3に局所照明の点灯条件による模型街路の光分布パターンの写真を示す。局所照明としては、日常環境において、我々がよく目にする照明のみならず、LEDや有機ELなど新たな光源の特徴を有効利用できると思われる照明を模型内のバランスを考慮して配置した。照明Aは建物壁面の上部、照明Bは建物壁面の中部、照明Cは建物壁面の下部に設置した。また、照明Dは比較的小さい面積で高輝度な光源、照明Eは街路空間の上方から全体を照明する光源、照明Fは路面から上

方へ照明する光源となっている。図4に照明A、B、CおよびDを設置した建物の立面図を示す。表1および表2に示す局所照明の詳細欄の記述について説明する。基準条件では鉛直面照度に基づき各々設定した局所照明の出力で点灯している。出力減は、基準条件から局所照明の点灯出力を下げた条件である。また、点灯減とは、街路の両側に設置された照明A、BおよびCのうち、街路の右側のみを点灯した条件である。図5に路面照明と局所照明を組み合わせた条件による模型内部の光分布例を示す。

路面照明の不均一用スポット照明および照明 A、B、C、D には白色 LED(Linkman BL304W1CA1B02)を用いた。また、路面照明の均一用照明および照明 E、F には昼白色蛍光灯(Panasonic FLR40S EX-D/M, FLR20S EX-D/M)を用いた。また、各照明の S/P 比を分光放射照度計(KONICA MINOLTA CL-500A)を用いて測定した結果、白色 LED は 2.56、昼白色蛍光灯は 2.12 であり、その差は大きくない。したがって、これらの光源を低照度で使用したとしても、分光分布の違いによる明るさの相対関係に大きな変化は生じないものと考えられる。

以上の通り、路面照明と局所照明の出力および点灯数を組み合わせた照明条件によって、計104条件を設定した。

2.3 模型内と実空間の輝度の比較

模型内の輝度測定は、色彩輝度計（KONICA MINOLTA CS-200）およ

表 1 各照明条件における路面輝度の中央値 [cd/m²]

路面照明			局所照明	詳細	None	F	C	E	A C	D	ABC	ABCE	ABCD	All		
OFF			OFF	基準	－	0.89	2.00	0.23	2.52	0.50	5.18	5.30	5.93	10.53		
			OFF' r	出力減 点灯数減	－	－	0.15	－	0.30	－	－	－	－	－		
			OFF'	出力減	－	－	0.31	－	0.67	0.25	－	－	－	－		
			OFFr	点灯数減	－	－	0.35	－	0.50	－	0.76	－	－	－		
均一（Uniform）			出力小（low）	U1	基準	0.22	1.01	2.37	0.43	2.92	0.76	5.59	5.95	6.17	10.21	
				Um	基準	0.53	1.98	2.86	0.80	3.33	1.38	6.20	6.36	6.54	11.10	
			出力中（middle）	Um'	出力減	－	－	1.11	－	1.31	0.99	－	－	－	－	
				Uh	基準	2.00	5.88	5.28	2.41	5.73	3.47	8.58	8.88	9.16	13.83	
			出力大（high）	Uh'	出力減	－	－	3.29	－	3.79	2.33	－	－	－	－	
不均一 （Non-uniform）			スポット4	出力小（low）	N14	基準	0.14	－	－	0.30	0.87	0.63	－	－	－	
				出力大（high）	Nh4	基準	0.18	1.47	2.52	0.42	3.12	0.84	5.97	6.19	6.31	10.54
			スポット8	出力小（low）	N18	基準	0.15	－	－	0.32	1.07	0.66	－	－	－	－
				出力大（high）	Nh8	基準	0.20	1.55	2.52	0.39	2.90	0.98	5.73	6.20	6.51	10.53
					Nh8'	出力減	－	－	0.90	－	1.15	0.51	－	－	－	－

A:壁面上, B:壁面中, C:壁面下, D:点光源, E:街路上部, F:路面

表 2 路面照明を組み合わせた照明条件における路面輝度の中央値 [cd/m²]

路面照明			局所照明	詳細	None	F	C	E	A C	D	ABC	ABCE	ABCD	All
均一 (Uniform)		出力小 (low)	U1+Nh8	基準	0.16	1.41	0.42	0.29	0.73	0.34	1.76	2.26	2.09	4.46
不均一 (Non-uniform)	スポット8	出力大 (high)												
均一 (Uniform)		出力中 (middle)	Um+Nh4	基準	0.21	1.62	0.54	0.36	0.83	0.45	1.84	2.40	2.25	4.54
不均一 (Non-uniform)	スポット4	出力大 (high)												

A:壁面上, B:壁面中, C:壁面下, D:点光源, E:街路上部, F:路面

表 3 評価項目および評価尺度

表 4 評価項目間の相関係数 R

	明るさ感	活動性	不安感	調和感	快適性	嗜好性
明るさ感	1					
活動性	0.90	1				
不安感	-0.96	-0.83	1			
調和感	0.60	0.41	-0.75	1		
快適性	0.85	0.72	-0.93	0.89	1	
嗜好性	0.77	0.63	-0.88	0.94	0.97	1

びデジタルカメラ（Canon PowerShot G11）を用いた方法により行った^{*1}。実際の夜間街路空間の輝度値と本実験で用いた模型街路の輝度値の比較を行うため、25か所の実際の街路でデジタルカメラを用いた輝度測定のための写真撮影を行い、得られた画像データから輝度値を算出した。その結果、全街路のうち最大輝度値は約18800cd/m²、最小輝度値は0.01cd/m²であった。また、測定地点毎の撮影範囲全体の輝度平均値は0.32～103.17cd/m²、中央値は0.17～19.92cd/m²であった。一方、本実験で用いた模型内の輝度は、最大値が6566cd/m²、最小値は実空間と同様に0.01cd/m²であった。また照明条件毎の模型街路の輝度平均値は0.14～5.28cd/m²、中央値は0.13～5.28cd/m²であった。模型内の最大輝度値は実空間に比べ約1/3となったが、実際の街路の場所によって、最大輝度が約1600cd/m²や約3000cd/m²の場所もあり、模型内の輝度は実際の街路空間における輝度の範囲を再現できていると言えるだろう。

2.4 模型街路の輝度情報の分析

本実験の結果分析では、主として模型街路の心理印象評価と輝度情報との関係を検討した。そのための模型街路内の輝度情報の取得は、下記のような方法によって行った。まず、それぞれの照明条件による模型内部を上述のデジタルカメラで撮影する。得られた画像1045×625 pixelを視角2°に相当する大きさの正方形のグリッド25×15で分割し、各グリッド内の平均輝度を算出した。次に路面に相当するグリッドの領域を選択し、その領域に含まれるグリッドから路面の輝度分布の算出を行った。図6にグリッド分割および路面領域の選択を示す。

2.5 実験概要

被験者は各照明条件による模型内部を1分間観察した後に、夜間街路空間の印象評価を行った。夜間街路空間に対する主要な心理的印象は、室内空間の光環境に対する心理的印象と共通するものがあり、それに加えて夜間街路に特有の印象が重要になると考えた。本研究では、共通の心理的印象として、空間の明るさの印象である「明るさ感」、活気や落ち着いた印象である「活動性」、空間に対する光の「調和感」、「快適性」および「嗜好性」の5項目を設定した。さらに、夜間街路で重要である防犯性や安全性に関係する「不安感」を加え、計6項目を設定した。評価実験では、これら6項目を21段階の評価尺度で評価させた。表3に評価項目および評価尺度を示す。

被験者は、建築学科の学生および教員17名（男性9名、女性8名、

平均年齢25歳）であり、一人1回の評価を行った。各条件の提示順序は被験者ごとにランダムとした。

3. 実験結果

3.1 各心理的印象評価間の関係

各照明条件に対する印象評価について、被験者間の評価の平均値をもとに評価項目相互の相関係数を求めた。表4に各評価項目同士の相関係数を示す。明るさ感、活動性および不安感の相関係数が0.80以上と高いことがわかる。また、調和感、快適性、および嗜好性の各評価項目間においても、同様にそれぞれ相関係数が0.85以上と相関が高い結果が得られた。また、不安感については、調和感との相関係数は-0.75であるが、その他の4つの印象評価との相関係数は0.80以上であり、多くの心理的印象と関係することがわかる。

明るさ感と活動性、不安感、快適性との関係を図7に示す。明るさ感と活動性との関係は、活動性が低い条件でややばつぎが見られるが、高い正の相関関係であることがわかる。明るさ感と不安感では、ほぼ直線上に評価が位置し、不安感は明るさ感と強く相関することがわかる。一方、明るさ感と快適性についても正の相関関係が見られ、明るさ感が高くなるほど快適性の印象も高くなるが、ある程度以上の明るさ感になると快適性の評価があまり上がらない傾向となった。夜間街路空間における快適性は、単に街路の明るさに依存するわけではないことが示唆される。

心理印象評価の相互関係の傾向としては、明るさ感および活動性と、調和性、快適性および嗜好性の2つのグループに分けられ、不安感はこれら2つのグループの双方に関わっていることが示された。特に不安感の印象は明るさ感および快適性との相関が高く、雰囲気性を考慮した照明設計を考える必要があると言える。

3.2 各心理的印象評価と照明条件との関係

図8から図13に各評価項目と全照明条件との関係を示す。横軸が路面照明による照明条件であり、横軸の左側から路面照明の基本条件、路面照明を組み合わせた条件、さらに局所照明を減光した条件、局所照明の点灯数を減灯した条件、および局所照明を減光かつ減灯した条件をとっている。それぞれの区分においては、点灯数および出力の低い順に並んでいる。縦軸は、局所照明の点灯の組み合わせを示しており、縦軸の上になるほど点灯数が多くなる。図中のプロット内の数値は被験者平均値であり、白プロットは被験者平均値が正の値、灰プロットは負の値である。

図7 各評価項目同士の関係

図 8 に明るさ感評価結果を示す。全体的な傾向として局所照明の点灯数が多くなるほど、明るさ感が増す傾向であることがわかる。また、同一の局所照明条件における路面照明条件に着目すると、同じ路面照明条件であれば、点灯出力が高い条件で明るさ感が高く評価されていることも見て取れる。局所照明の点灯数が多い条件で明るさ感が高い結果が得られたが、このことから局所的な高輝度領域が街路の明るさ感に直接作用していたと即断することはできない。局所照明の点灯数が増加するのに応じて路面や建物の鉛直面の全体的な輝度もまた増加しているからである。著者らの先行研究¹⁹⁾によると、路面の全体的な輝度分布が街路空間の明るさ感に強く影響することが明らかとなっている。模型街路の輝度情報に基づいた結果の分析は次の節で行うことにする。

図 9 に活動性評価結果を示す。局所照明の点灯数が多くなるほど活動性が増加する傾向であることがわかる。これは明るさ感と同様の傾向であるが、明るさ感で見られた路面照明の点灯出力による効果は、活動性では顕著ではない。

図 10 に不安感評価結果を示す。局所照明の点灯数が多いほど、不安感が低くなる傾向が見られる。図 7 に示された通り明るさ感の結果と類似した結果と言える。個別の照明条件について見てみると、照明 D の場合にやや不安感が増す傾向があった。これは、高輝度の光源が単調に配列していることなどの特徴が影響している可能性があると考えられる。

図 11 に調和感評価結果を示す。調和感の評価のピークは、局所照明の点灯数が多い縦軸の ALL や ABCD ではなく、AC~ABCE の条件付近にあることがわかる。街路の明るさと照明パターンの何らかのバランスが調和感をもたらすと考えるべきだろう。また、高輝度光源

の単調な配列である照明 D の調和感が特別に低い結果が得られた。ALL や ABCD 条件の調和感が低くなった結果も照明 D を含んでいたことが影響しているかもしれない。照明の配列と調和感の関係は興味深い問題であるが、本研究では特徴的な結果を指摘することにとどめる。

図 12 に快適性評価結果を示す。調和感と似た評価傾向であるが、局所照明の点灯がない条件(None)において快適性が特に低くなる結果が得られた。これは調和感の結果と異なる点である。

図 13 に嗜好性評価結果を示す。快適性の結果と類似した結果と言える。

3.3 各心理評価と光環境の物理的特徴量との関係

3.3.1 明るさ感評価

先行研究¹⁹⁾において、著者らは夜間街路空間の明るさ感印象と路面領域内の輝度度数分布の中央値が良好な相関を示すことを見出し、夜間街路の明るさ感の有効な評価指標となり得ることを提案した。人が感じる街路空間の明るさ感、その空間に広がっている光の量に影響され、その光の量は路面のベースとなる明るさを構成する量（輝度度数分布の中央値）によって代表させることができる、という考え方である。

そこで本実験の結果に対して路面輝度の中央値が明るさ感の指標として有効であるかどうか検討した。比較対象として、路面輝度の平均値も検討する。なお、路面領域の輝度情報は 2.4 で述べた方法により算出した。路面輝度の平均値と明るさ感評価との関係を図 14 に、路面輝度の中央値と明るさ感評価との関係を図 15 に示す。路面輝度の平均値は明るさ感と正の相関を示すものの、同程度の輝度平均値であっても明るさ感に大きなばらつきがあることがわかる。一

方、路面輝度の中央値と明るさ感評価は高い相関を示している。路面輝度の中央値は本実験においても夜間街路の明るさ感の評価指標として有効であることが示された。路面輝度の平均値よりも中央値の方が明るさ感との相関が高い理由、および建物の鉛直面の輝度の効果については4. 考察で検討する。

3.3.2 活動性評価

先行研究²⁰⁾では、活動性評価の評価指標の検討を行った。そこで著者らは、街路空間の活動性の印象が、空間の明るさ感と高い相関を示すことを見出し、さらに局所的に明るいと感じられる領域の数が活動性印象に関係することを示した。そこで、明るさ感の評価指標である路面輝度の中央値と局所的に明るいと感じられる領域（局所的明所領域）数を説明変数とした活動性評価指標を提案した。本報においても、活動性評価指標の結果と上記の2変数との関係を検討した。

図16に路面輝度の中央値と活動性評価との関係を示す。シンボルの違いは局所照明条件に対応する。活動性評価が低い範囲においてややばらつきがあるが、路面輝度の中央値と正の相関関係であることがわかる。また、局所照明条件ごとにみると、局所照明の点灯数が多いほど、活動性印象が高くなることがわかる。このことは、活動性印象に局所照明の点灯数が影響していることを示唆している。この点を確認するためには、局所的明所領域数と活動性評価との関係を見てみるとよい。

ここで、先行研究²⁰⁾で試行した局所的明所領域の選定方法についてまとめる。局所的に明るい領域の選定を下記のような基準を定めて行った。選択は先述の25×15に分割したグリッド単位で行う。局所的に明るい領域の選定にあたっては、

- (1) 光源自体、または光源によって照明されて周辺に比べて明るいと感じる領域を選択する。
- (2) 光源とそれによって照射されて明るくなっている領域が連続している場合は、光源と照射面を個別に選択する。
- (3) 1グリッドの中に光源が複数含まれている場合は、1つの明所領域とする。
- (4) 広範囲に渡って明るい領域ではなく、周辺に比べて局所的に明るくなっていると感じる領域を選択する。

グリッド分割の方法を用いることで、1つのグリッド内に小さい光源が多く存在する場合でも、それらは1つの明所としてカウントされることとなり、実際の照明要素を個別に数え上げる方法とは異なる。明所領域の算定は照明条件毎の画像を観察して、視感評価により数え上げた。上記のような判定基準を定めることにより、視感評価であっても安定した判定が可能であった。

図17に、上述の方法により求めた局所的明所領域数と活動性評価との関係を示す。相関係数 $R=0.95$ であり、非常に強い正の相関関係であることがわかる。先行研究¹⁹⁾²⁰⁾では、局所的明所領域数と活動性評価との間に正の相関が見られたが、ばらつきも大きかった。本実験では、観察する街路に含まれる自動車や人、街路の用途などによる影響を排除した街路模型となっており、このような場合、夜間街路空間の光環境に対する活動性印象は、空間の光の分布の特徴そのものによって強く影響されると考えられる。

ここで、路面輝度の中央値と局所的明所領域数の物理量どうしの関係を確認しておく。局所的明所領域数が増えると、一般に路面輝度の値も高くなるので、2変数は正の相関を示すはずである。図18に路面輝度の中央値と局所的明所領域数との関係を示す。予想通り、

図14 路面輝度の平均値と明るさ感評価

図15 路面輝度の中央値と明るさ感評価

図16 路面輝度の中央値と活動性評価

図17 局所的明所領域数と活動性評価

図18 路面輝度の中央値と局所的明所領域数

図19 活動性予測値と活動性評価値

局所的明所領域数が上がるほど、路面輝度の中央値が上がる傾向であった。しかし、局所照明が少ない条件では、2変数の増減が乖離することがわかる。これは局所照明による路面輝度への影響が小さく、主として路面照明が路面輝度に寄与している範囲であろう。局所的明所領域数と路面輝度の中央値は関係するものの、完全に一致する量ではなく、光の分布の異なった特徴を捉えていると考えることができる。

さて、活動性評価値に対して路面輝度の中央値と局所的明所領域数を説明変数として重回帰分析を試みた。それによって算出した活動性評価の予測値と、活動性評価との関係を図19に示す。ここでの相関係数 $R=0.96$ であり、路面輝度の中央値あるいは局所的明所領域数との単独の相関に比べ、相関関係は高くなった。一般の夜間街路を考慮するならば、これら2変数を用いた活動性評価指標が有効となるだろう。

3.3.3 不安感および評価性印象

本研究で行った不安感、調和感、快適性、および嗜好性の評価値を、照明環境の主要な心理量である明るさ感および活動性を2軸とする座標上に布置して、これらの心理量の関係性を検討した。

図20に、それぞれの照明条件に対する不安感評価を明るさ感および活動性を2軸とする座標上に位置づけた結果を示す。白いシンボルが正の値、灰色のシンボルが負の値を示し、不安感評価の絶対値とシンボルの大きさが対応している。図より明らかなように、活動性および明るさ感が高いと不安感が低く、活動性および明るさ感が低いと不安感が高くなる傾向であることがわかる。また、活動性が低く明るさ感が高い場合、不安感がやや低くなる領域がある。これ

は、静的な印象による不安な印象が明るさの印象によって軽減されていることを示唆している。

図21に調和感評価結果を示す。活動性および明るさ感が正值となる中程度の領域に調和感のピークがあることは、図11の結果と整合する。また、活動性と明るさ感が負値の場合も、その中程度の領域に調和感の低くなる条件が集中していることは興味深い。

図22に快適性評価、図23に嗜好性評価の結果を示す。これらの評価は基本的に調和感の評価結果と類似した傾向を示している。ただし、快適性と嗜好性の評価は活動性、明るさ感が最小となる領域で最低の評価となっている。

4. 考察

4.1 夜間街路の明るさ感指標の統計量

著者らの先行研究¹⁹⁾²⁰⁾および本研究の結果は、夜間街路空間の明るさ感が路面領域の輝度分布の中央値と高い相関を示すことを明らかにした。その理由として、夜間街路空間の明るさ感はその空間に広がる光の量によって強く影響されると考えた。これは室内空間における明るさ感の研究¹⁴⁾からも示唆される。そうだとすれば、街路空間の明るさ感を評価するためには、その空間に広がる光の量をうまく記述する物理量を指標とすればよい。さて、空間に広がっている光は路面のベースとなる明るさ（局所的な明るさではなく、全体的な明るさ）を構成するはずである。この路面のベースの明るさに対応する物理量、その一つが路面輝度の中央値である。ただし、路面のベースの明るさを良好に表現する物理量であれば、別の物理量も指標になり得るだろう。それは将来的な検討課題である。

図20 不安感評価結果

図21 調和感評価結果

図22 快適性評価結果

図23 嗜好性評価結果

図24 路面輝度値の歪度頻度分布

平均値 [cd/m ²]	中央値 [cd/m ²]	最小値 [cd/m ²]	最大値 [cd/m ²]	歪度
26.07	10.53	0.56	132.61	1.86

図25 路面輝度値の頻度分布(歪度 1.86)

では、路面輝度の平均値よりも中央値の方が街路空間の明るさ感と良い相関を示すのは何故か。これには、夜間街路の路面領域の輝度の度数分布の形状が関係していると考えられる。すなわち、一般に夜間街路の輝度の度数分布は正規分布ではなく、高輝度の方向に延びた歪度が大きい分布を形成しているものが多い。街路の明るさに強く影響する要素が局所的な高輝度領域ではなく、路面のベースとなる明るさであるとするれば、歪度が大きい度数分布においては中央値の方が輝度度数分布の山を捉えた統計量となる。平均値は高輝度領域の影響を受けやすく、全体の分布よりも高い値に偏りがちである。

図 24 に本実験で設定した照明条件における路面領域の輝度度数分布より得られた歪度の分布を示す。歪度の値が 0 に等しいとき、路面輝度の度数分布の形状が正規分布の形となり、0 より大きいほど右裾広がりの分布となり、0 より小さいほど左裾広がりの分布となる。図 24 に示されているように本実験の全照明条件において路面輝度の度数分布の歪度が 0 以上であることがわかる。また、一例として、図 25 に歪度 1.86 となった照明条件の路面領域の輝度度数分布を示す。中央値の方が平均値よりも輝度度数分布のピーク、すなわち路面に広く広がっている明るさの特徴を反映していることが示されている。

4.2 鉛直面方向の輝度が夜間街路空間の明るさ感評価に与える影響

夜間街路の明るさ感に影響する要素がその空間に広がる光の量であるとするれば、その指標としては路面の輝度情報だけではなく、建物等の鉛直面の輝度情報も有力な手掛かりになり得るだろう。実際、本実験の結果では鉛直面（壁面）の輝度の中央値も明るさ感評価と

図 26 鉛直面輝度の中央値と明るさ感評価

図 27 明るさ感予測値と明るさ感評価値

図 28 路面平均照度と明るさ感評価

図 29 路面照度均斉度と明るさ感評価

図 30 路面照度と均斉度を考慮した明るさ感評価

高い相関関係が得られた (図 26)。路面あるいは地面は屋外空間に必ず存在する面であることを考えると、その輝度情報を評価の基準とする妥当性は高いが、鉛直面も含めて全体的な輝度情報を有効に活用することができれば、より汎用性が高い評価モデルが構築できるだろう。

本論文では、試みとして、路面輝度の中央値と鉛直面輝度の中央値を変数として、それらの重み付けの線形式と明るさ感評価との相関を検討した。

このモデルでは、夜間街路空間の明るさ感は式(1)で示される。

$$B = \alpha \cdot L_r + (1 - \alpha) \cdot L_w \quad (1)$$

B : 夜間街路空間の明るさ感

L_r : 路面輝度の中央値

L_w : 鉛直面輝度の中央値

α : 係数

ただし、 $0 \leq \alpha \leq 1$

α を 0.1 間隔で動かし、明るさ感評価値と式(1)で表された明るさ感予測値が、最も高い相関を示す α を求めたところ、 $\alpha = 0.4$ となった。この明るさ感予測値と明るさ感評価値との関係を図 27 に示す。明るさ感予測値との相関係数が 0.95 であり、路面輝度のみおよび鉛直面輝度のみの結果に比べて、やや高い相関結果が得られたが、今回は顕著な改善は見られなかった。路面以外の面の輝度情報も考慮した総合的な評価モデルは将来的な検討課題である。

4.3 路面照度の平均値および均斉度と明るさ感評価との関係

これまでに歩行者のための屋外照明基準として街路の路面照度の平均値および均斉度が定められている²⁾。そこで、本実験で街路模型に対して設定した各照明条件の路面照度の平均値および均斉度と明るさ感評価との関係について検討する。模型内の路面照度値の測定 (KONICA MINOLTA 色彩照度計 CL-200A, T&D Corp. 照度ロガー TR-74Ui) では、路面の中心線上で各建物の正面および建物間を測定地点とし、計 23 か所を測定した値を用いて平均値および均斉度 (照度の最小値/平均値) を求めた。

図 28 に路面照度の平均値と明るさ感評価との関係を示す。これより、平均照度が上がるほど明るさ感が上がる傾向であるが、ばらつきも大きく、同じ程度の路面平均照度値でも明るさ感に差があることがわかる。模型の路面はつや消し表面の素材を使用したことを考えると、路面の照度と輝度はおおよそ一定の関係性を有しているはず

である。実際、図 28 に示した路面平均照度と明るさ感評価の関係と、図 14 に示した路面の平均輝度と明るさ感評価の関係には類似した傾向が見られる。しかし、やはり明るさ感との相関は路面照度値よりも路面輝度値の方が良いようである。視覚的な印象は目で見える街路空間によって決まることを考えると、眼に入る光の情報を表す輝度が空間の視覚印象の評価に有効な変数となると考えられ、路面に対する光の分布を工夫した照明計画を行うような場合には、路面輝度の分布情報が有益な情報となることが考えられる。あるいは、今回の実験には路面に対する照明に局所的分布がある条件も含まれており、照度測定点の取り方が路面平均照度と明るさ感評価のばらつきの一因になった可能性も考慮しておく必要がある。

次に、光のばらつきを示す照度の均斉度と明るさ感評価との関係を図 29 に示す。均斉度と明るさ感とは明確な関係性が見られないことがわかる。さらに、路面平均照度を横軸、照度均斉度を縦軸とした時のそれぞれの明るさ感評価を図 30 に示す。図中のプロットの大きさは被験者平均値の正の値および負の値が大きくなるほど大きくなり、白プロットは被験者平均値が正の値、灰プロットは負の値である。例えば、図 30 に示す a (照明条件 U1-OFF) と b (照明条件 U1-ABCD) はほぼ同じ均斉度の約 0.45 で比較的均一な光環境であるといえるが、明るさ感は大きく異なる。これは a と b で平均照度が異なることが影響していると考えられる。また図中に示す c (照明条件 U1-E) と d (照明条件 U1+Nh8-A11) では、ほぼ同じ平均照度約 90lx であるが、明るさ感評価は大きく異なる。これは均斉度が大きく異なることが影響すると考えられる。以上のように、平均照度や均斉度は明るさ感評価の指標として単独で説明力がある指標になりづらいと考えられる。本論文で示した路面輝度の中央値は明るさ感評価との相関係数が 0.94 と非常に高く、精度良く明るさ感を予測できる指標であると言える。

5. まとめ

本研究では、街路模型を用いて夜間街路の印象評価実験を実施し、著者らがこれまでに提案した明るさ感および活動性印象の評価指標の検討を行った。さらに、不安感、調和感、快適性、嗜好性の印象評価を明るさ感と活動性を 2 軸とする座標上に布置し、これらの心理量の関係性を検討した。その結果、明るさ感においては、実際の街路画像を用いた画像評実験¹⁹⁾と同様に、路面輝度の度数分布の中央値と高い相関関係が得られ、路面輝度の中央値が夜間街路の明るさ感評価の良好な指標となることが示された。また、活動性においては、明るさ感指標と局所的照明領域数によって予測可能であることが示された。ただし、街路画像の評価とは異なる傾向も見られ、活動性評価は局所的明所領域数との相関関係がより高くなった。本実験で用いた模型は抽象化された街路であり、街路の立地、人物や自動車など光環境要素以外の影響が抑えられている。その場合、夜間街路空間に対する活動性印象は、空間内における光の分布そのものの影響が優位となった可能性がある。不安感については、明るさ感評価と高い相関関係が得られ、空間の明るさレベルによる影響が大きいことが示唆された。

本研究では光の特微量と印象評価との関係を明らかにしたが、実際の街路空間における照明設計では、人物の存在、隣接する建物や路地など建物、街路の形状など様々な要素が加わる。今後は、本報

で示した評価指標の実空間における有効性の検証が必要であると考ええる。これらの評価指標に基づいて、住宅地や商業地など場所別に光環境を検討する場合、それぞれの空間構成に求められる明るさや活動的、安心な印象などを設定し、適切な指標値の設定を行う照明設計の方法についても検討を進めたい。

謝辞

本研究の一部は日本学術振興会特別研究員奨励費 (25・2164) の助成を受けた成果の一部である。

*1 デジタルカメラを用いた輝度分布算出の性能

本実験で用いた模型内および実空間の輝度を比較するためにデジタルカメラ (Canon PowerShot G11) から得た撮影画像のデータを用いて輝度値の算出を行った。方法は、まずデジタルカメラを用いて実際の夜間街路 25 か所において写真撮影を行った。撮影では、デジタルカメラのダイナミックレンジをカバーするために、シャッタースピードを 1/2、1/60、1/2000 の 3 段階設定した。なお絞りは F2.8、感度は ISO400、ホワイトバランスは曇天で固定した。また、撮影と同時に、各街路において街路内で高輝度に相当する光源部分、路面中央、街路内で低輝度に相当する路面などの影の 3 か所の輝度値を、色彩輝度計 (KONICA MINOLTA CS-200) を用いて測定した。実測輝度値と色彩輝度計を用いて測定した箇所のデジタルカメラの画像データより算出した輝度値とを比較した結果を補図 1 に示す。決定係数 0.969 と非常に高い相関関係が見られた。このことから、本実験において、デジタルカメラを用いて模型内の輝度の測定を行った。

補図 1 実測輝度値と算出輝度値

参考文献

- 1) 歩行者に対する道路照明基準 : JIS Z 9111-1988.
- 2) 照明学会技術指針, 歩行者のための屋外公共照明基準 : JCIE-006-1994
- 3) 小林茂雄、角館政英、名取大輔 : 街路の隣接する空地の見通しを高めた屋外照明の提案—岐阜県白川村の平瀬地区を対象として—、日本建築学会環境系論文集、No.621, pp.1-7, 2007, 11
- 4) Fotios S. A., Cheal C. : Lighting for subsidiary streets: Investigation of lamps of different SPD. Part 2 – Brightness, Lighting Research and Technology, Vol. 39, pp.233–252, 2007
- 5) Rea M.S., Bullough J.D., Akashi Y. : Several views of metal halide and high pressure sodium lighting for outdoor applications, Lighting Research and Technology, Vol. 41, pp.297–320, 2009
- 6) Fotios S. A. and Cheal C. : Predicting lamp spectrum effects at mesopic levels. Part 1: Spatial brightness, Lighting Research and Technology, Vol.43, pp.143-157, 2011

- 7) 白倉公隆、明石行生、齋藤孝：街路照明の分光特性が空間の明るさに及ぼす影響、照明学会誌、Vol.96, pp.259-271, 2012
- 8) Flynn, J.E.: A study of subjective responses to low energy and nonuniform lighting systems, the Illuminating Engineering Society, pp.167-179, 1977
- 9) 田淵義彦、中村肇、長谷川吾郎：雰囲気分析に基づくリビング空間の照明技法の開発、照明学会誌、Vol.69, No.10, pp.563-569, 1985
- 10) 明石行生、向健二、明石泉：住宅リビングルームにおける行為に対応した照明条件、照明学会誌、Vol.78, No.11, pp.599-603, 1993
- 11) Shepherd A.J., and Julian W.G.: Gloom as a psychophysical phenomenon, Lighting Research and Technology, Vol.21, pp.89-97, 1989
- 12) Loe, D. L, Mansfield, K. P. and Rowlands E.: Appearance of lit environment and its relevance in lighting design: Experimental study, Light Research and Technology, Vol.26, No.3, pp.119-133, 1994
- 13) Iwai W., Saito Y., Sumi S. and Sakaguchi T.: Sensation of Brightness for a Living Room with Downlights, Journal of Light and Visual Environment, Vol.25, No.1, pp.1-6, 2001
- 14) 荻内康雄、石田泰一郎：仮想輝度分布法による実大空間の明るさ感推定に関する検討、日本建築学会環境系論文集、No.583, pp.7-14, 2004, 9
- 15) 山口秀樹、篠田博之：色モード境界輝度による空間の明るさ感評価、照明学会誌、Vol.91, No.5, pp.266-271, 2007
- 16) 山路英洋、石田泰一郎：光環境の活動性印象と光の空間的分布特性との関係、日本建築学会環境系論文集、No. 609, pp.1-6, 2006, 11
- 17) 山下葉：夜間の公共空間の快適性評価実験について、日本都市計画学会学術研究論文集(23), pp. 445-450, 1988
- 18) 大井尚行、平手小太郎、安岡正人：時刻変化に伴う心理量の変化：都市景観評価における変動要素の影響に関する研究 その1, 日本建築学会計画系論文集, No. 453, pp. 45-51, 1993, 11
- 19) MOCHINAGA Aimi, ISHIDA Taiichiro: How does street light affect our psychological impression?, Proceedings of AIC 2012 Interim Meeting, Taipei, pp.466-469, 2012
- 20) 持永愛美、石田泰一郎：街路模型を用いた夜間街路の光環境が心理的印象評価に与える影響、日本色彩学会誌、Vol.37, pp.574-575, 2013

EVALUATION OF BRIGHTNESS AND ACTIVITY IMPRESSIONS OF OUTDOOR SPACE BY A SCALE MODEL EXPERIMENT

Aimi MOCHINAGA and Taiichiro ISHIDA***

* Graduate Student, Graduate School of Engineering, Kyoto University, M. Life Des.
Research Fellow, Japan Society for the Promotion of Science

** Assoc. Prof., Graduate School of Engineering, Kyoto University, Dr. Eng.

Outdoor lighting environment in the night-time has been attracting academic interest from the viewpoint of safety precaution and improvement of visibility, expecting prevention of crime or traffic accident. In addition to such functional aspects, psychological impressions are also important in planning outdoor lighting environment, e.g., atmosphere of the street. Therefore, it is believed that a comprehensive design method of the outdoor lighting environment considering both functional and psychological aspects is required.

The authors has conducted an experiment of psychological evaluation using night-time street images, and proposed two indexes that indicate brightness and activity impressions of the street respectively. As for the brightness index, we postulated that human impression be affected by the dominant luminance level over the road surface, which can be given based on median value. It is shown that the activity impression can also be affected by luminance level. In addition, activity impression is also varied by the distribution of luminance, i.e., activity index could be given as a function of both luminance level and distribution.

This paper aims to validate these two indexes, and presents psychological experiment for night time impressions using a scaled street model. The human impression factors associated with lighting environment, i.e., anxiety, harmony, comfort, and preference, are evaluated by subjects, and the effect of above-shown indexes on each human impression is to be shown.

A scaled street model of 1/50 was used, where two building rows were set on both sides. The test model was assumed to have the street of 7.5 m width and two-story building rows of 8.0 m width, 6.0 m height. The road surface was made of the paper whose lightness N2, and as for the building walls, the paper of N9 or N5 was used. In order to make it possible to vary the condition of luminance and its distribution over the road surface, fluorescent lamps and LEDs were provided above the street, on building wall, and on the road surface. The luminous flux of these lamps could be controlled, and lighting pattern in the model could also be varied. Combining conditions of output and lighting pattern, 104 cases were studied in total. Seventeen subjects (9 males, and 8 females) whose average age was 25 participated in the experiment. After 1 minutes observation, subjects evaluated impressions once for each of 104 cases. Here, evaluated factors were “brightness”, “activity”, “anxiety”, “harmony”, “comfort”, and “preference”.

The experimental results shows that proposed brightness index had a strong correlation with brightness impression. This indicates that the median value of the road surface luminance can be a good index to predict brightness impression for the nigh-time outdoor spaces. It is also shown that the activity impression could be predicted based on brightness index and the number of locally bright area. As for anxiety impression, it is highly correlated with brightness impression. This paper showed the effectiveness of proposed indexes based on the scaled-model experiment. As future prospect, these indexes are to be verified and validated in actual outdoor environments.

(2014年5月10日原稿受理, 2014年9月5日採用決定)