

平成 30 年 6 月 7 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2017

課題番号：25350018

研究課題名(和文)輝度ヒストグラムの分析による視環境デザイン手法の開発

研究課題名(英文)Analysis of luminance histogram for visual environment design

研究代表者

大井 尚行(Oi, Naoyuki)

九州大学・芸術工学研究院・教授

研究者番号：40294996

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：照明環境の質を記述しデザインに活かせる可能性の高い、総体的な輝度分布と主観評価の関係について、屋外の夜景(イルミネーション、ライトアップ)を対象に画像データより作成した輝度ヒストグラムと主観評価実験結果の関連について分析を行った。主観評価実験は、現場実験および直視型高解像度(4K)ディスプレイによる実験である。複数の階級幅によるヒストグラムを作成して比較検討し、ディスプレイ上で輝度ヒストグラムの形状をほぼ再現できる階級幅が存在することが確認できた。屋外イルミネーションの評価と輝度ヒストグラムの関係については室内空間における知見とは異なり、単純な相関関係が得られないことも確認された。

研究成果の概要(英文)：About the relationship between the gross luminance pattern and the subjective evaluation which is highly likely to be used in design by describing the quality of the lighting environment, luminance histograms created from image data of outdoor night sceneries and subjective evaluation were analyzed. Subjective evaluation experiments were done as field experiments and experiments using direct viewing high resolution (4K) display. It was confirmed that there is a class interval that almost reproduces the shape of the luminance histogram on the display through the comparison of histograms with multiple class widths. It was also confirmed that the relation between the evaluation of outdoor illumination and the luminance histogram is different from the knowledge in the indoor space, and a simple correlation cannot be obtained.

研究分野：環境デザイン

キーワード：環境デザイン 照明デザイン 夜景 輝度分布

## 1. 研究開始当初の背景

### (1)社会的背景

照明を含む省エネルギーの重要性は地球環境問題の観点からずっと言われてきたことではあるが、平成 23 年の東日本大震災とそれに伴う原子力発電所の停止による電力不足により新たな局面に入ったと言える。これまで一部の関係者のみが感じていた過剰な照明の存在について広く共有されるようになり、単純な消灯や間引きでは解決できないことも一般に認識されたのではないかと思われる。電力供給はさまざまな代替措置がとられるとしても、LNG 火力のように CO<sub>2</sub> 排出量が増加するものも利用せざるを得ないとすれば、照明の省エネルギーの重要性は今後ますます増大すると考えられ、これまでの枠組みにおける照明デザインを超えて、さまざまな場面における照明の質を効率よく実現するためのデザイン手法が今こそ求められている。

### (2)学術的背景

照明の質を扱う研究においては一般に「明視性」(もの見えやすさ)と「快適性」に分けて扱われてきた。しかし、人間にとっての質の高い照明環境デザインを行うためには、この両者をいかに融合するかがポイントである。そのためにさまざまな提案が行われているが、その中のひとつが、応募者らも提案している bright-dim (明るさ)と interesting-uninteresting (おもしろさ、魅力)の2軸による表現<sup>1)</sup>である。

1)Loe D L, Mansfield K P and Rowlands E: Appearance of lit environment and its relevance in lighting design: Experimental study, Lighting Research and Technology 26(3), pp.119-133 (1994)

「明るさ」については単なる物理量ではない視覚面まで含んだ「明るさ感」として近年さまざまな研究が行われている。特に視点・視野を固定した場合の各部の見かけの明るさについては精密な表現が可能となっている<sup>2)</sup>が、空間全体の明るさ感との関係はまだ明確ではないのが現状である。

2)中村芳樹:ウェーブレット変換を用いた輝度画像と明るさ画像の双方向変換 - 輝度の対比を考慮した明るさ知覚に関する研究(その3),照明学会誌,90(2), 97-101 (2006)

一方、照明実務に応用するための明るさ感指標として提案されたものに Feu があり、視野を特定できる場面においては応用例が出始めている<sup>3)</sup>。実空間の照明デザインに展開するために欠けていると思われる点は、どのように視野(視点・視線方向)を設定することが妥当であるか、という知見が不足していることである。

3)岩井彌:空間の明るさ感評価指標「Feu」の開発と照明設計への適用,照明学会誌, 93(12), 907-912 (2009)

照明環境デザインの質を考えると「明るさ」だけでは不十分であることは明らかである。同じように明るくものが見えていても照明環境の快適性や魅力は大きく異なる。また単純な白い壁のようなものであっても照明によって明暗の分布がつくことによって魅力的に感じられることもある。このようなことを評価するためにさまざまな評価尺度を検討した結果、提案しているのが interesting-uninteresting (おもしろさ、魅力)の軸である。デザインに用いるためには、これに対応するような簡潔な表現が物理量によってなされる必要がある。そのために D.L.Loe らが最初に提案した<sup>1)</sup>のが、特定視野内の最大輝度/最小輝度である。応募者らはこれを改良して、同様の視野内の最大輝度/平均輝度がおもしろさを表現するのにある程度有効であることを示した。さらに視野内の輝度ヒストグラムの形状を分析することで、おもしろさが感じられるために必要となる条件をいくつか見いだした<sup>4)</sup>。

4)大井尚行:光環境の質に関する考察 - 室内照明環境の輝度ヒストグラムによる表現 -, 日本建築学会九州支部研究報告(環境系), No.40-2, 25-28 (2001)  
H22 年度および H23 年度に共同研究として「住宅の照明評価に関する研究」を行った際、おもしろさ・魅力に関する知見を整備しておくことが必要でありニーズもあることがわかったが、共同研究の枠組で基礎的な検証の部分を行うことは現状ではほとんど不可能であることも実感されたことが本研究課題を応募する経緯となっていた。

## 2. 研究の目的

光環境の質に関する研究分野では、その定義や測定・記述についてさまざまなアプローチがなされている。しかし未だ決定的な定義はなく、照明環境の質の記述についても糸口がつかめていないと言いがたい。そこで本研究では、照明環境の質を記述しデザインに活かすことのできる可能性の高い、総体的な輝度分布とその主観評価の関係を対象とし、予備的な分析で有効と見られる仮説を検証することを最終的な目的とする。本研究における考察は最近の脳機能に関する知見や自然景観に関する考え方、そして心理生理的反応に関する分析などを反映したものである。

研究期間内の目標として以下の項目を想定した。

- ・さまざまな環境(視環境)の画像・輝度ヒストグラムを撮影収集し、データベース化する。

- ・データベース化した環境画像について「明るさ」と「魅力」の2尺度を中心とする主観評価実験を行いその結果をデータベースに加える。

- ・輝度ヒストグラムと主観評価データの関係性を分析し、主観評価を規定する輝度ヒストグラムの視野範囲、形状特徴とその簡潔な記述

方法を見いだす。

・上記で見いだされた特徴記述の異なる輝度ヒストグラムを持つ照明環境を構築し、主観評価実験を行うことによって記述の有効性を検証する。

・研究成果を照明デザインに用いるための手法としてとりまとめ公表する。

### 3. 研究の方法

本研究では、対象環境画像をデジタルカメラで撮影し、この画像を用いて主観評価実験を行うとともに、同じ画像データをソフトウェアで変換することにより輝度ヒストグラムを作成して、両者の関係进行分析するというのが基本的な流れである。

低予算で導入可能な輝度分布作成ソフトウェアとして岩崎電気の QUAPIX を選定し、それに合わせて Canon EOS Kiss X4 及び魚眼レンズ(Sigma Ex Dc Circular Fisheye)による撮影用のシステムを構築した。撮影においては、最大7枚の画像を、露出を変えながら撮影し、これらを合成して輝度データに変換を行った。

主観評価実験のためには広い視野で映像を提示する必要があるため、スクリーンとプロジェクターを用いたシステムを設計した。しかし、今回の研究範囲ではこのようなシステムの構築は不可能であることが判明したため、低価格化によって導入が可能となった直視型高解像度ディスプレイを用いた映像提示システムとした。このシステムでは被験者の目の高さに合わせてディスプレイの高さを変更することができ、ほぼ正確なパースペクティブを再現することができる。

主観評価には主に5段階16尺度のSD法を用いた(表1)。基本的には複数の両極段階尺度を用い、得られたデータを間隔尺度とみなして分析する、実績のある手法である。まず、日本語の尺度を準備し、それを基にして被験者に合わせてドイツ語と英語に翻訳した。

表1 主観評価尺度

明るい-暗い	楽しい-退屈だ
面白い-つまらない	好奇心がでる-無関心だ
綺麗だ-綺麗ではない	驚きがある-驚きがない
暖かい-冷たい	自然だ-違和感がある
冬の季節感がある-冬の季節感がない	落ち着きがある-落ち着きがない
圧倒される-圧倒されない	安心感がある-不安心だ
華やかだ-質素だ	非日常的だ-日常的だ
シンプルだ-ごちゃごちゃしている	おしゃれだ-おしゃれではない

研究の最終段階では、さらに研究を発展させるために屋外夜景の評価構造について改めて検討するため、PAC分析(Personal Attitude Construct分析)も用いられた。

### 4. 研究成果

#### (1)概要

デジタルカメラを用いて広視野の画像撮影を行い、画像データより輝度ヒストグラムを作成する手法を確立した。

ドイツにおいてデータを作成する機会があったため、対象環境として新たに屋外のイルミネーション、ライトアップを加えることとした。

実験設備は検討の結果、当初予定していたスクリーンへの投影映像に代わり、低価格化によって導入が可能となった直視型高解像度ディスプレイを導入して提示環境を構築することとした。

屋外イルミネーションの輝度分布について標準的な広視野角の範囲についてヒストグラムのピーク形状特徴による記述を行い、初期的な分析を行ったところ、基本的に室内照明で立てられた仮説を支持する結果が得られた。しかし、一部の仮説については異なる部分もあったため、継続して検討を行うことにした。

以後、撮影した画像データより輝度ヒストグラムの作成・分析を継続して行った。対象環境は主としてヨーロッパの屋外イルミネーション、ライトアップである。

デジタル画像データのような階調値の細かいデータからヒストグラムを作成する場合の階級幅について知見がなかったため、複数の階級幅によるヒストグラムを作成して比較検討を行った。

また主観評価実験については、現場実験のデータの分析および直視型高解像度(4K)ディスプレイによる実験を行った。ディスプレイ実験においては、視野角が現場実験と同じになるように設定するとともに、輝度ヒストグラムがどの程度再現されているかについてもデータを収集し分析した。

#### (2)現場実験

主観評価実験のための映像実験装置の構築の間、実環境での評価実験を行った。現場実験の対象は2014年冬のドイツ各地のクリスマスマーケットである。クリスマスマーケットはヨーロッパの伝統的なイベントとして毎年11月末から1月頭にかけて開催される。多くの人が集まる場であり、照明を用いた様々な飾りが特徴である。写真の例を図1に示す。

現場実験の被験者は55人、内ドイツ人が49人(89%)、その内20代が42人(76%)、女性が29人(52%)である。

輝度値の分布を分析するための写真撮影では感度ISO400、絞りをF4に固定し、露出時間は1秒・1/4秒・1/15秒・1/60秒・1/250秒・1/1,000秒であり、測定可能な輝度範囲は0.071cd/m<sup>2</sup>~1,887cd/m<sup>2</sup>であった。



対象 A



対象 B



対象 D

図1 評価対象(写真)の例

ヒストグラムを作るため、まず Quapix を用い、同じ対象で異なる露出時間 6 枚を 1 枚に合成した。その後、広角レンズの焦点距離 28mm 相当の、水平画角約 67 度、垂直画角約 48 度の部分を切り出した。

ヒストグラムの横軸は輝度であり、右の方に行けば行くほど高い輝度とし明るくなることを意味する。縦軸はピクセル数であるが、等立体角射影方式を従い、同時立体角である。ピクセル数が多くなればなるほど山の形、つまりピークになる。

ここでは前述した尺度の内「明るい-暗い」・「面白い-つまらない」について報告する。

「明るい-暗い」尺度と輝度ヒストグラムの関係を見ると、高いピークを持つもののピークの輝度値はいずれも  $1\text{cd}/\text{m}^2$  前後であった。ヒストグラム形状に注目すると、ピークよりも高輝度側に小さなピークがある H、A、F はいずれも比較的明るいと評価されており、逆に最大ピークよりも低輝度側にピークが見える B、D、E は中くらいの明るさと評価された。

一方、幅広い輝度範囲に分布がみられる C、G の比較では分布範囲の輝度によって明るさの評価が決まっていると考えられるが、相対的に高い輝度が多くても H や A と比べて明るいとは評価されないことが分かる。

「面白い-つまらない」と輝度分布の関係としては高いピークを持つものではピークよりも高輝度側に小さなピークがある H、F、

A の順に面白いと評価されており、大井<sup>1)</sup>の研究の結果と一致する。

一方、室内照明環境では面白いと評価された幅広い輝度範囲に分布が見られる G、C や E はつまらないと評価されており、屋外のイルミネーションでは評価が異なることが分かった。

### (3)ディスプレイによる実験

ディスプレイによる実験のため、2014 年 12 月に撮ったドイツ・フランス・オランダのクリスマスマーケットやライトアップされた建物の写真 30 枚を用意した。30 枚の中には現場実験を行った 7 か所の写真も含まれている。

写真撮影には Canon EOS Kiss X4 及び広角レンズ(Tamron SP B005)を使用した。撮影の条件は 感度 IS0400、絞りを F4 に固定し、露出時間は 1 秒・1/4 秒・1/15 秒・1/60 秒で、この 4 枚の写真を Photoshop の HDR 合成の機能を使って合成した。測定可能な輝度範囲;  $0.071\text{cd}/\text{m}^2 \sim 1,887\text{cd}/\text{m}^2$  である。被験者は全 37 人でその内、日本人が 28 人(76%)、女性が 20 人(54%)、20 代が 35 人(95%)である。

評価や実験の説明は日本語のみで行った。まず、参加者に現場のパースペクティブが再現されるようディスプレイから 82cm 離れたところに立ってもらった。その後眼の高さが画面の中央になるようにディスプレイの高さを調整した。SD 法で用いた評価尺度は現地評価実験で使ったものと同じである。前述した合成した写真を見せ、15 か所の評価が終わってから約 2 分間の休憩を取り、その後また 15 か所に対する実験を行った。

輝度測定のためには、現場で用いたのと同じ Canon EOS Kiss X4 と魚眼レンズ(Sigma Ex Dc Circular Fisheye)を使用した。参加者と同様に現場の画角のように 82 cm 離れてカメラを設置し、参加者の平均目線の高さに当たる 156cm になるように高さを調整した。撮影の際には感度 IS0400、絞りは F2.8 に固定し露出時間は 1 秒・1/4 秒・1/15 秒・1/60 秒・1/250 秒・1/1,000 秒である。測定可能な輝度範囲は  $0.036\text{cd}/\text{m}^2 \sim 242\text{cd}/\text{m}^2$  である。撮影後、現場の輝度ヒストグラムの同様な方法でディスプレイの輝度データをヒストグラム化した。

印象評価の分析のため、尺度ごとの相関関係を比べ、その後、因子分析を行った結果、「華やかさ」「楽しさ」「落ち着き」の 3 つの因子が得られた。3 因子の累積寄与率は 81% であった。「明るい-暗い」「面白い-つまらない」の両尺度はともに「華やかさ」因子に含まれる。「冬の季節感」以外の「落ち着き」因子に含まれる尺度はいずれも他の因子とはあまり関係していない。「落ち着きがある」以外では自然さと安心感が「落ち着き」因子に関連している。

ヒストグラムを作成する際の階級幅を対数変換値で 0.25 から 0.1 まで 4 種類比較し



たところ、実環境のヒストグラム形状は階級幅の影響を受けにくいことがわかった。ただ階級幅が小さくなると各階級の画素数が減るため全体に低い形状となる。一方、ディスプレイ上の輝度ヒストグラムは階級幅の影響を受けやすい。とくに階級幅が広い場合かなり異なる形状を示す。たとえば階級幅が0.25になると第2第3のピークが見分けにくくなったり消失したりすることがある。

最終的に階級幅についてふたつの知見が得られた。実環境の輝度ヒストグラムにおいて卓越したピークが存在する場合、階級幅に寄らずディスプレイ上の輝度ヒストグラムにおいても同様のピークが現れる。しかし複数のピークが見られるような場合には、ヒストグラムの形状特徴は階級幅によって異なる。階級幅が大きくなるとディスプレイ上の輝度ヒストグラムは実環境のそれとは異なる特徴を示す。一方、階級幅が0.1と極端に小さくなると全体の形状が低くなり特徴が判別できなくなる。

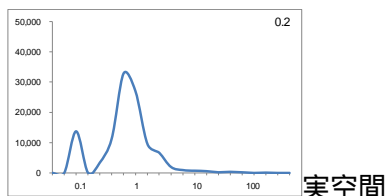


図2 輝度ヒストグラムの例(対象B)  
X軸:輝度(cd/m<sup>2</sup>), Y軸:画素数(立体角)

印象評価と輝度ヒストグラムの関係としては、まずピークが1つ(約1cd/m<sup>2</sup>)であるような対象は相対的に「暗い」と評価された。それ以外の対象についての明るさの評価はさまざまである。低輝度域にピークがあり、それよりも高輝度に小さなピークが見られる対象はおおむね「面白い」と評価されていた。しかし同様の特徴を持つものの中に一部「つまらない」と評価されたものがあり、今後の検討が必要である。

#### (4)まとめ

屋外イルミネーションより得られた結果は室内照明環境より得られた結果と若干の相違が見られた。このことは、室内照明環境に関する知見が求められた会議室の環境と比べ、対象とした屋外環境により複雑な要素が含まれていたためであると考えられる。

それでも輝度ヒストグラムがひとつのみピークを持つ場合ひとつの例外を除きすべての対象が暗いと評価された。これらのヒストグラムは約1cd/m<sup>2</sup>のピークを持ち、高輝度

域の画素数は少ない。例外であった対象のピークは約3cd/m<sup>2</sup>であり、環境が複雑でない場合には輝度ピークが明るさの指標として利用できる可能性がある。しかしながら、屋外イルミネーションの環境において明るさ尺度は「華やかさ」因子に属していることがわかったため、輝度値だけが明るさの印象を規定するとは言えない。

2つのピークが見られるヒストグラムにおいて「面白い-つまらない」の印象とヒストグラム形状の関係は室内照明環境の場合の結論を支持するものであった。しかしこちらについても例外が見いだされた。また室内照明環境において面白いと評価される傾向が見られた幅広い輝度域に分布が見られるような形状のものは今回の屋外環境の対象ではつまらないと評価されていた。面白さの尺度は屋外イルミネーション環境においては「楽しさ」因子に属しており、これも輝度が主たる規定要因ではない場合があると考えられる。

屋外イルミネーションの輝度ヒストグラムのディスプレイ上での再現に関しては、輝度ヒストグラムの形状をほぼ再現できる階級幅が存在することが確認できた。今回の実験からは適切な階級幅は対数変換した値で0.15~0.2であると考えられる。

最後に、屋外夜景の評価構造について改めて検討を行う必要が生じたため、PAC分析による評価構造抽出調査を実施し、今後の研究への手がかりを得た。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

Naoyuki Oi, Hongjoo Park: Impressions and Luminance Distribution of Outdoor Illumination for Winter Events, The 8th Lux Pacifica Life and Lighting Proceedings, 査読有, 10-13, 2018.03

Naoyuki Oi, Kevin P. Mansfield, LIGHTING QUALITY: POSSIBILITY OF LUMINANCE DISTRIBUTION AS ITS DETERMINANT, 28th CIE SESSION Manchester, Volume 1, Part 2, 査読有, 1111-1120, 2015.06

〔学会発表〕(計4件)

朴泓ジュ・大井尚行: 映像による屋外照明環境の再現性に関する研究 ヒストグラムを用いた分析, 日本建築学会研究報告九州支部第55号, pp.1-4, 2016年3月

Hongjoo Park: The impression evaluation and the histograms of luminance distribution of the exterior light in winter, 芸術工学会誌 No.69, pp.58-59, 2015年11月

朴泓ジュ・大井尚行・高橋浩伸: 冬季の屋外照明に関する印象評価と輝度分布, 日本建

築学会大会学術講演梗概集 D-1 ,pp.413-414 ,  
2015 年 9 月

朴泓姝・大井尚行・高橋浩伸：冬季の屋外  
イルミネーションに関する評価構造，日本建  
築学会大会学術講演梗概集 D-1 ,pp.425-426 ,  
2014 年 9 月

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

大井 尚行 ( OI , Naoyuki )

九州大学・芸術工学研究院・教授

研究者番号：40294996