光環境の活動性印象と光の空間的分布特性との関係

RELATIONSHIP BETWEEN ACTIVE-CALM EVALUATION AND SPATIAL DISTRIBUTION OF LIGHT IN LIGHTING ENVIRONMENT

山路 英洋*, 石田 泰一郎**

Hidehiro YAMAJI and Taiichiro ISHIDA

The purpose of this study was to examine relationship between physical elements and psychological evaluation of lighting space. The study was made using an actual-size space, which were equipped with various luminaries. Subjects evaluated interior ambience generated from various light distribution. We investigated the relationship between active-calm evaluation and characteristics of light distribution, especially its spatial arrangements, and showed that the number of peaks of light distribution and luminance contrast between peak and its peripheral area can be used for estimating active-calm evaluation.

Keywords: interior ambience, light environment, activity, luminance distribution

室内雰囲気、光環境、活動性、輝度分布

1. はじめに

光環境の質を決定する要因は大きく二つに分類することが出来る。一つはその機能性である。対象物がはっきりと見えるかといった明視性や非常に高い輝度の部分が直接視界に入らないかといったグレアの問題がこれに含まれる。機能面に関する問題は定量的に検討しやすく研究も多く行われており、JIS 照度基準などその成果に基づく設計指標が提案されている。これらの指標に基づいて設計を行えば、ある程度の機能性を持った光環境を設計できることになる。

もう一つは場にふさわしい雰囲気を実現しているかといった雰囲気性に関するものである。精神的な豊かさを求める時代背景も伴い、重要となりつつある側面である。多種多様な用途に適した光環境を実現するうえでは、雰囲気性に関する設計・評価の為の定量的指標が必要であると考えられるのだが、現在のところそのような指標は存在しない。

雰囲気性に影響を与える要因の一つに様々な光源の配置によって産み出される光の分布状態があり、いくつかの研究においてその関連性が定性的に示されている^{1)~3)}。これに基づいた指標を作成するには光の分布状態を量的に示すことが必要であり、このような研究も行われている^{4)~6)}のだが、指標を提案するには至っていない。

Loe⁴⁾はこのような問題に取り組んだ1人であり、輝度分布の統計量によって光の分布状態を表すことを提案している。彼はリビング空間において様々な照明条件を呈示し印象評価実験を行い、視覚的な面白さの評価と上下 40° 水平帯の輝度の標準偏差との対応を示し

た。このように光の分布を量的に表す試みには輝度値の累積分布の基本統計量を用いるものが多いが、統計量によって光の分布状態を全て表現できるわけではない。表現できないものの一つが空間的な情報である。その例を図1に示す。これは平面に光があたっている状態を模式的に示し、輝度値の出現頻度ヒストグラムがほぼ同じとなるように作成したものである。従って基本統計量の値は等しくなる。しかし空間的分布に関しては異なっている。輝度の高い部分が図aではまとまって存在し、図cでは散らばって存在する。また図bではそれが下部に集中しているのである。このような位置情報の重要性について言及した研究もある⁷⁾が、雰囲気性の指標として明確に取り入れられるまでには至っていない。雰囲気性には局所光の与える影響が大きく、指標化の際にはこのような光の空間的分布状態を表すことが重要ではないかと考えている。

以上のような考察を元に、筆者は雰囲気性について広く適用可能な評価・設計指標を提案する事を目的とした研究を行っている。

また雰囲気性については、特に落ち着き/にぎやか、静的/動的といった活動性印象を扱っている。これは光環境の印象評価に関する研究報告において頻出する^{8,9)}評価因子であり、実際の適用面でも有

図1 光の空間的分布の例(全て同じヒストグラムとなる)

* 京都大学大学院工学研究科 大学院生・修士(工学)
** 京都大学大学院工学研究科 助教授・工博

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

用であると考えた為である。

筆者は以前、模型実験により光源の数、配光(光の拡がり)、光源の上下位置が活動性印象と関連する照明要因(光の分布状態に影響を与える)であるという結果を得ている^{注1)}。但し縮尺模型で行った実験をもとにしているため、上記の結果が人が空間内部において光の分布を感じ取るような実空間でも成り立つかは不明である。そこで本実験では実大空間中にこれらの照明要因に着目した条件を呈示し、活動性印象をはじめとする印象評価実験を行う。また、その結果をもとに活動性印象に関する指標を提案する事を試みる。

2 実大空間による実験

2-1 実験内容

実大空間内に様々な照明条件を呈示し、被験者による印象評価実験を行う。実験は図2に示す幅2.4×奥行3.0×高さ2.4mの実大空間で行った。内装として、壁・天井には一様白色の壁紙(反射率 $\rho \approx 0.75$)を、床には濃灰色($\rho \approx 0.10$)のカーペットを用いた。実大空間内には様々な配光特性を持ち、奥壁面を照明する光源7基(記号a~f, W)と空間内全体を拡散光で満たす天井光(記号C)を設置した

図2 実験に使用した実大空間

C 天井光
40W 白色蛍光灯 8 本
色温度: 6700K

c スポットライト
80W 白熱電球
色温度: 2800K

f スポットライト
80W 散光型白熱電球
色温度: 3000K

a スポットライト
80W 散光型白熱電球
色温度: 3000K

d スポットライト
80W 白熱電球
色温度: 2800K

W ウォールライト
20W 白色蛍光灯 3 本
色温度: 5000K

b スポットライト
50W ハロゲン電球
色温度: 3200K

e スポットライト
80W 集光型白熱電球
色温度: 3000K

*各光源を一灯だけ点灯したときの奥面の輝度分布コンタープロット(単位 cd/m^2)

図3 空間内に設置した光源

(図3)。各光源は設置位置においても互いに異なっている。また、実大空間の手前面には被験者の出入り、輝度分布の計測に用いるための開口を設けているが、実験時これらは暗幕によって塞いでいる。

実験者は各光源の ON/OFF の組合せによって様々な照明条件の呈示を行う。被験者は室中央の椅子に座り前方を眺め、奥壁面の光の状態を主な手掛りとして照明空間に対する印象を様々な項目について回答する。天井光については ON とした時に被験者の顔位置(床上1.4m)での水平面照度が約 300 lx になるように設定した。評価項目は明暗・活動性・評価性の計 3 項目(表1)であり、各項目について両極 5 段階スケールによって回答を行う。活動性については意味性や価値判断といった側面を抑えた形容詞「静的-動的」を用いた。また、各項目の評価点は連続量として取り扱う。

呈示する照明条件は光源 a~f, W の点灯パターンを変化させた 20 条件に天井光 C の ON/OFF のパターンを加え全般照明レベルを変化させた計 40 条件である。呈示条件のプロファイルといくつかの例を図4に示す。条件設定の際には各スポットライトの配光を目視によって3つの定性的カテゴリ(緩やかな光の分布となる光源、急な光の分布となる光源、その中間)に、設置位置を2つのカテゴリ(上に設置、下に設置)に分類し、これを参考とした。また、各照明条件について奥壁面の輝度分布をデジタルカメラによって計測し、以降の検討に用いた。計測範囲は被験者位置から見て顔位置を中心とし鉛直方向が視角 60° 、水平方向が視角 80° におおよそ相当する範囲である。

被験者は室に入るとまず天井光を ON にした状態で3分間順応する。この間に評価項目・実験手順などについてのインストラクションが行われる。その後40の照明条件に対し前述の評価を行う。ま

表1 評価項目

評価項目	非常に暗い	やや暗い	どちらでもない	やや明るい	非常に明るい
明暗					
活動性					
評価性					

光源配置 記号 設置位置 光通記号	天井光		スポットライト						ウォール ライト
	上	下	上	中	急	上	下	下	上
条件No	C	C	a	b	c	d	e	f	W
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									
31									
32									
33									
34									
35									
36									
37									
38									
39									
40

条件 9
使用光源 ac

条件 36
使用光源 Cabcf

条件 39
使用光源 Cabcdcf

図4 呈示条件

た、最初の照明条件を呈示する直前と呈示のインターバルでは実験空間を数秒暗黒状態とし、呈示順は被験者によってランダムに変更した。被験者は建築系学生 10 名(男 6 名、女 4 名)であり全員が心理物理実験の経験者である。

2-2 光環境に対する印象評価

各評価項目について被験者 10 名の平均評価スコアをプロットしたものが図 5 である。各図における縦軸は印象評価、横軸は照明条件を表しており、横軸において同じ座標位置にあることは天井光 C 以外の点灯パターンが同じであることを示している。天井光を ON としたものは○、OFF としたものは●によってプロットを行った。

照明条件は使用した光源の数(天井光、ウォールライト除く)が少ないものに小さな条件番号を、多いものに大きな条件番号を与えた。図 5 中条件(1,21)は 0 個、条件(2~7,22~27)は 1 個、条件(8~14,28~34)は 2 個、条件(15~18,35~38)は 4 個、条件(19,39)は 6 個の光源を使用したものであり、条件(20,40)はウォールライトのみ使用したものである(ここで 1~20 は天井光を OFF、21~40 は天井光を ON にした条件であることを示す)。さらに、使用した光源の数と同じ場合には光源 c,d など緩やかな配光の光源を用いるものに小さな条件番号を与え、光源 a,f、光源 b,e と用いる光源の配光が急になるに従って大きな番号となるようにした。また、条件 2 と 3 のように用いた光源の数と同じであり配光も似ているものの、光源の上下配置において大きく異なる組合せも存在する。図 5 下にこれら照明条件の詳細を示す。

図 5 実験結果・上から順に明暗・活動性・評価性の評価

エラーバーは評価スコアの被験者間標準偏差を表したものであるが、明暗・活動性・評価性の標準偏差は各条件の平均でそれぞれ 0.51, 0.89, 1.00 であった。また、被験者のうち 5 名については 2 回目の実験を行ったが、5 名の平均評価スコアはいずれの項目についても 1 回目のそれと強い相関($r > 0.84$)を示した。以下各評価項目と照明要因について考える。

図 6 は明暗の評価スコアを再掲するものだが、○と●によるプロットを比べるとまず明暗の評価に天井光の ON/OFF が大きな影響を与えている事がわかる。また、点線の矩形領域で囲んだ部分は用いた光源の数と同じであることを示しているが、右の矩形領域にゆくほど明るいと評価されており、用いた光源の数によって明暗の評価が変化していることも読み取れる。ここで明るさ感の輝度分布による指標のうち最も一般的だと考えられる平均輝度について明暗の評価との関係を検討すると、その相関は強くなる(図 7、 $R=0.83$)。

しかし図 7 ではおおよそ回帰直線を境として上に天井光を点灯させた条件、下に天井光を点灯させなかった条件が並んでおり、今回の天井光のように空間全体を満たし、緩やかに変化する光が明るさ感覚に大きく影響していることも示唆される。すなわち平均輝度が等しくても光の分布状態によって明るさ感覚は異なる。これは近年の明るさ感評価に関する研究^{10)~13)}から得られる知見に一致する。

図 8, 9 は活動性の評価スコアを再掲するものである。まず図 8 の矩形領域で囲んだ部分を見ると使用した光源の数によって活動性印象が変化することがわかる。使用した光源の数が多いほど活動性は高く、少ないほど活動性は低く評価される傾向にある。また黒矢印は用いた光源の数と同じ場合について配光の違いに伴う活動性評価の変化の傾向を表したもののだが、それぞれの矢印が右上がりになっていることから、急な配光の光源を用いるほど活動性は高く、緩やかな配光の光源を用いるほど活動性は低く評価される傾向にあることがわかる。さらに、○、●によるプロットの比較から、天井光を点灯し照明レベルを上昇させると活動性の評価が上昇することもわかる。図 9 の白抜き矢印は上下配置において大きく異なる条件(その他の条件は類似している)を結んだものであり、矢印の始点に位置

図 6 明暗の評価スコア

図 7 明暗の評価と平均輝度

するものが上に設置した光源を用いる条件、終点に位置するものが下に配置した光源を用いる条件である。●によるプロットを見ると、天井光を OFF にした場合では上下の配置によって活動性の評価が変化し、下に設置した光源を用いる条件では活動性が高く評価される傾向にあることがわかる。

評価性の評価スコア (良い・悪い) を再掲したものが図 10 である。黒矢印を見るとわかるように影響する要因の一つは用いる光源の配光であり、矢印が右下がりになっていることから緩やかな光を用いる条件で評価が高くなる傾向があることがわかる。また白抜き矢印を見ると、天井光を OFF にした場合では上下配置の影響もあり下に設置した光源を用いる条件が良いと評価される傾向にあることもわかる。

図8 活動性の評価スコア

図9 活動性の評価スコア 2

図10 評価性の評価スコア

3 各要因の指標化

いくつかの照明要因について、それが活動性印象に影響を与えることを前章で示した。これをまとめると、

- 光源の点灯数
- 光源によってうみだされる光の分布状態 (配光)
- 光源の上下配置
- 全体的な照明のレベル

のようになる。そこで本章ではこれらの結果をもとに光の空間的分布状態に基づく指標値を作成し、活動性印象の推定式を示す。ただしこのうち d) 全体的な照明のレベルについては明視性など空間に

要求される機能によって決まる側面が大きいと考えられるため、雰囲気性に注目する今回はカテゴリとしての扱いに留め、説明変数としては扱わない。

まず、a) 光源の点灯数は活動性評価に関わる大きな要因であった。ここで各照明条件の輝度分布をみると多くの光源を点灯させると輝度分布に多くの山ができる様子が認められた。そこで輝度の局所的な分布に着目し周囲より輝度の高い分布の山の数を数える。具体的には図 11 に示されているようにこれを求める。すなわち、得られた輝度分布画像を縦 8 横 8 の矩形領域に分割し、ある領域内の平均輝度がその領域と頂点を共有する近傍 8 領域の平均輝度のいずれよりも高い場合、これを輝度のピーク領域とし、この数 N を求める。 N の値は実際に使用した光源の数に関連し、多くの光源を用いるほど大きな値となる傾向があった。 N と活動性評価との関係を天井光を ON にした場合、OFF にした場合に分けて図 12 に示す。 N の値が大きくなるに従って活動性評価が上昇する様子がみてとれる。

また b) 光源の配光も影響する要因であった。ここで、各照明条件の輝度分布をみると、配光の急な光を用いると輝度分布の山が急になり、緩やかな光を用いると山が緩やかになる様子が認められた。そこで図 13 に示すように各ピーク領域についてピーク領域とその近傍 8 領域の輝度比を求め対数値に変換し、ピーク領域間の平均値をとりピーク領域近傍輝度比 LC とした。 LC の値は実際に使用した光源の配光に関連し、用いる光源の配光が急であるほど大きな値となる傾向があった。 LC と活動性評価との関係を図 14 に示す。 LC の値が大きくなるに従って活動性評価が上昇する様子が見てとれる。

c) 光源の上下配置は上下領域の輝度比 Cul (輝度分布画像の鉛直中央を境とした上側の平均輝度を下側の平均輝度で割り、対数をとる) によって指標化する。 Cul の値は光源の上下配置に関連し、上に設置した光源を用いると大きな値となる傾向があった。活動性印象との関係を図 15 に示す。 Cul の値が大きくなると活動性評価が低下する傾向もみられるが、活動性評価との相関は弱くなっている。

ここで、 N , LC , Cul 相互の相関係数は低い (天井光 ON の場合、OFF の場合共に全組合せで $|R| < 0.10$)。

図11 指標値・ピーク領域数 N 図12 ピーク領域数 N と活動性評価

これらの要因が活動性印象に与える影響を検討するために、 N 、 LC 、 Cul を説明変数、活動性評価を目的変数とした重回帰分析を行った。結果が表2である。

標準偏回帰係数を見ると、全体的には指標値 N 、 LC が活動性印象に大きな影響を与えていることがわかる。また天井光 OFF の場合には指標値 Cul もやや影響する。下に配置した光源を用いる場合に活動性評価が高まるという結果は低い位置の光源が落ち着き感を与える¹⁴⁾という照明デザインでよく知られている手法と異なる^{注2)}が、上記2つの指標値に比べるとその効果は小さく、天井光の ON/OFF によって影響の度合いも異なることから、今回は特に N 、 LC に注目することとする。

図13 指標値・ピーク領域近傍輝度比 LC

図14 活動性印象とピーク近傍輝度比 LC との関係

図15 活動性印象と上下輝度比 Cul との関係

表2 N 、 LC 、 Cul を説明変数、活動性評価を目的変数とした重回帰分析結果

重回帰式/天井光OFFの場合					
変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	F 値	T 値	P 値
LC	1.67	0.48	36.29	6.02	0.00
N	0.48	0.84	110.82	10.53	0.00
Cul	-0.26	-0.20	6.48	2.55	0.02
定数項	0.76		22.49	4.74	0.00
重相関係数	0.95				

重回帰式/天井光ONの場合					
変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	F 値	T 値	P 値
LC	1.59	0.39	13.76	3.71	0.00
N	0.43	0.76	52.80	7.27	0.00
Cul	0.04	0.02	0.02	0.15	0.88
定数項	1.87		109.77	10.48	0.00
重相関係数	0.91				

N 、 LC と活動性印象との関係についてさらに検討する。各照明条件の N 値、 LC 値、活動性評価スコアを元に、 N を横軸、 LC を縦軸とした活動性評価のコンタープロットを作成したものが図16である。図ではさらに評価中間値3を評価の転換点と捉え、静的あるいは動的な印象を与える N 、 LC の組合せの範囲を大まかに示した。

また、図16からは N と LC の積によって活動性評価が良く推定できることが予想される。ここで N と LC の積は個々のピーク領域に近傍領域との輝度比を得点としてあたえ、総和をとった値と解釈できる(図17)。今回は LC の値の算出の際に単純に N で平均をとっているため、 $N \times LC$ は実質 $\sum LC_i (i=1 \sim N)$ で計算される値であり、計算上 N は消えてしまうことになる。ただし、2章に示したように光源の数は活動性印象を左右する照明要因であり、活動性評価指標を考慮するにあたって重要な変数であると考えられる。この考え方を示すため今回は $N \times LC$ と表記を行う。

$N \times LC$ を説明変数、活動性評価を目的変数として回帰分析を行い、天井光の ON/OFF 別に結果を示したものが図18である。相関係数は高く、指標値 $N \times LC$ によって活動性評価をよく推定できていることがわかる。また、天井光の ON/OFF に伴う両回帰式の違いが主に切片の違いであり、回帰係数は大きく変化しないことから、 $N \times LC$ と活動性評価との関係が照明レベルの高低によって大きく変化しないことがわかる。ただし表2を見れば分かるように活動性印象への影響の度合いは N と LC で異なっている。従ってより高い推定の精度を求めるなら変数に何らかの重み付けが必要であることが考えられる。しかし今回は重み付けを行わない $N \times LC$ という値が図17のように実際の物理状況から捉えやすい値であると判断したため、これをそのまま用いた。

図16 N 、 LC の値の組み合わせと活動性評価

$$\begin{aligned}
 N \times LC &= N \times \frac{\sum LC_i}{N} \quad (i=1 \sim N) \\
 &= \sum LC_i \\
 &= 0.39 + 0.47 + 0.11 + 0.42 \\
 &= 1.40
 \end{aligned}$$

図17 指標値 $N \times LC$

図18 $N \times LC$ と活動性印象との関係

この指標に従えば、読書などに支障がない程度の照明レベル(水平面照度 300 lx 程度)が要求される場合に活動性の低い光環境にするためには $N \times LC$ の値をおよそ 0.5 までに抑える必要があるということになる。また、全般照明を特に使用しない場合であれば、活動性印象の高い光環境とするためには $N \times LC$ の値が 1.3 程度必要であることになる。

また、今回は輝度分布画像を 8×8 の矩形領域に分割し $N \times LC$ を算出しているが、この値は領域分割数によって異なると考えられる。そこで、領域分割数を変化させ $N \times LC$ の値を算出し、活動性評価との相関の強さを求めた。結果を図 19 に示す。横軸は領域分割数を表しており、 128×128 のように分割数が多いほど個々の領域は小さくなり、 2×2 の分割では個々の領域は大きくなる。縦軸は $N \times LC$ の値と活動性評価との相関係数を示している。

図より、今回採用した 8×8 分割で活動性評価と $N \times LC$ との相関は最も高く、 32×32 分割あたりまでは比較的良好な相関が得られていることがわかる。

8×8 分割～ 32×32 分割で算出された $N \times LC$ の値で活動性評価が良好に推定できたのは、それらの分割数が今回の実験条件における照明光の分布パターンの細かさに対し適当な大きさであったためであると考えられる。これより粗い分割では個々の領域が大きくなりすぎ、複数の分布の山が同じ領域に含まれるなどのため、照明光の分布の特徴を捉えるのに適さなかったと考えられる。一方、より細かく分割すると分布の勾配の違いを表現することが難しくなり、また壁の凹凸の影響もあらわれ、照明光の分析には適さなくなったと考えられる。

このように領域分割数は照明の分布の特徴を適切に表現するように定める必要があるが、それを一般的に決定するための方法は本論文の段階では定式化できていない。そのためには、照明条件や観察距離などの状況によって変化する照明光の分布パターンの細かさに応じた算出方法の検討が必要となり、今後の検討課題の一つである。

図 19 領域分割の大きさを変更し算出した $N \times LC$ の値と活動性印象との相関関係の強さ

4 まとめ

実大空間に様々な照明条件を呈示し、被験者にその光環境に対する活動性印象を評価してもらった。実験結果から光源の数などいくつかの照明要因についてそれが活動性印象に関連することを示した。

次にこれらの結果を手掛りとして輝度の空間的分布特性によって活動性を推定する指標値を作成することを試みた。作成した指標値は活動性印象を精度よく推定できるものとなっており、(輝度分布の領域分割を行い)ピーク領域数 N とピーク領域と周辺領域との輝度対比値 LC の積 $N \times LC$ によって活動性印象を推定するという基本

的な考え方の有効性を示すことができたと思う。

今後の検討課題として 2 点挙げる。まず今回の実験では用いた実大空間の反射率が一定であるため各照明条件の輝度分布が光の分布に対応するものになっている。そのため、指標値 $N \times LC$ は光の分布状態と活動性印象の関係を表したものであるということが出来る。一方実際の空間では絵画やポスター、家具などが存在することが多く、この場合本報告のような指標を適用すると精度よく活動性印象を推定できない可能性が存在する。また指標値の算出方法の一般化も課題の一つである。様々な空間に対して輝度分布の計測範囲や分割大きさなどをどのように決定すればよいのかについて検討する必要がある。

注

注1) 平成 16 年度照明学会全国大会において同実験の報告を行った(山路、石田:平成 16 年度照明学会全国大会講演論文集 p.197)。本文中の記述はこれにさらなる検討を加え、得られた知見である。

注2) 模型実験でも全体的に暗い場合に活動性印象と光源の上下位置に比較的強い関連が見られており、下に配置した光源を使用すると落ち着いた光環境になるという照明デザイン手法と一致する結果が得られた。今回そのような関係が見られなかった理由の一つに形容詞として静的・動的といった形容詞を用いたことが考えられる。対して模型実験では落ち着いた・にぎやかなといった形容詞を用いている。このような形容詞に含まれる意味的、価値判断的な側面が光源の上下位置と関連している可能性がある。今回の結果でも、評価性においては上下位置が大きな影響を与えているケースが存在した。

参考文献

- 1) Flynn, J.E. et al.: Interim study of procedures for investigating the effects of light on impression and behavior, J. Illum. Eng. Soc. Vol.3, No.1, pp.87-94, 1973.10
- 2) 三木保弘, 宮田紀元: 光源の配置と室内表面の構成が雰囲気及ぼす影響—光の空間的配分に関する研究—, 日本建築学会計画系論文集, No.488, pp.111-119, 1996.10
- 3) 中村肇, 唐沢宣典, 沢辺真由美: リビング照明の心理要因と物理要因の体系化, 照明学会誌, Vol.80, No.11, pp.811-818, 1996
- 4) Loe, D.L. et al.: A step in quantifying the appearance of a lit scene, Lighting Res. Technol. Vol.32, No.4, pp.213-222, 2000
- 5) A Pellegrino: Assessment of artificial lighting parameters in a visual comfort perspective, Lighting Res. Technol. Vol.131, No.3, pp.107-115, 1999
- 6) 中村芳樹, 乾正雄: オフィスの輝度分布特性とその心理的效果, 日本建築学会計画系論文報告集, No.445, pp.27-33, 1993.3
- 7) 中村芳樹, 乾正雄: 視環境の輝度分布特性に関する研究, 日本建築学会計画系論文報告集, No.438, pp.1-8, 1992.8
- 8) 田淵義彦他 2 名: 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, 1985
- 9) 湯尻照: 縮尺模型による照明条件の視環境評価に関する実験, 照明学会誌, Vol.61, No.3, pp.43-50, 1977
- 10) 荻内康雄, 石田泰一郎: 参照マッチング法による空間の明るさ感評価の基礎的検討, 照明学会誌, Vol.83, No.5, pp.295-395, 1999
- 11) 荻内康雄, 石田泰一郎: 空間の明るさ感の心理決定要因—光源の強さ感と空間の光量感—, 照明学会誌, Vol.84, No.8A, pp.473-479, 2000
- 12) 荻内康雄, 石田泰一郎: 仮想輝度分布法による空間の明るさ感推定の有効性, 照明学会誌, Vol.87, No.2, pp.105-112, 2003
- 13) 小林茂雄他 3 名: 空間の輝度分布が室内の明るさ感に与える影響, 日本建築学会計画系論文集 No.487, pp.33-41, 1996.9
- 14) 中島龍興他 2 名: 照明デザイン入門, 彰国社

(2006年 3月10日原稿受理, 2006年 8月1日採用決定)