

## オフィスの明るさ感指標における平均輝度の画角範囲に関する検討

## Suitable Range of View to Calculate Average Luminance for Prediction of Perceived Spatial Brightness in Office

坂田 克彦<sup>1)</sup> 中村 芳樹<sup>1)</sup>  
吉澤 望<sup>2)</sup> 武田 仁<sup>2)</sup>

## 要 約

オフィスの照明計画において、アンビエント照度の抑制が省電力に効果的と言えるが、室内の印象が暗く感じられないよう配慮する観点から、空間の明るさ感の指標値に基づき光環境を評価する必要性が増している。本研究は、オフィスにおける空間の明るさ感推定の基礎的な検討として、空間の明るさ感推定のための適切な平均輝度の画角範囲について検討を行った。検討の結果、視野内にデスクがあるオフィスにおいて、下方視野の輝度は空間の明るさ感への寄与が小さいこと、窓のある条件と室の奥行きが短い条件では、画角範囲を上方により広く設定したほうが空間の明るさ感との相関が高くなることを明らかにした。また、画角を固定せず、対象空間の特徴によって、画角を調節して評価することにより、空間の明るさ感の推定精度が高まることを示した。

## 目 次

- I. はじめに
- II. 本研究が扱う明るさ感の定義
- III. 本研究が扱う輝度画像のデータ形式と平均輝度の算定法
- IV. オフィスにおける垂直方向の輝度分布の特徴
- V. 明るさ感評価と相関の高い画角に関する検討
- VI. 結 論
- VII. 今後の課題

## I. はじめに

オフィス照明の電力削減のためには、効率の良い器具を用いることはもちろんのこと、無駄の少ない照明計画が重要である。無駄の少ない照明計画とは、シンプルに考えれば、必要の無い時や場所の照明の出力を下げることである。近年のオフィスで行われている照明計画や制御を見てみると、作業面以外を低照度に抑えるいわゆるタスク・アンビエント照明や、執務者の不在エリアの消灯などはその具体的な例と言えよう。日本では、大部屋スタイルのオフィスレイアウトが約8割を占めており<sup>1)</sup>、そのようなオフィスではアンビエント照度を低く抑えることが省電力に効果的と言えるが<sup>2)</sup>、そうすると、壁や天井の輝度が暗く陰鬱な印象となってしまうため、間接照明などを用いて壁や天井を明るく見えるようにするなどの工夫がなされることも多い<sup>3)</sup>。そのような壁や天井の輝度に対する配慮は、机上面照度には表れない空間全体の照明の質を高める上で重要であり、空間の明るさ感<sup>4)</sup>という概念はそのような視点で照明を評

価するための代表的な一つと言えよう。

空間の明るさ感（以下、明るさ感）を推定するには、視野内の輝度画像を扱うのが簡易かつ実用的である。例えば、Loe<sup>5)</sup>は仰角-20°~20°の範囲の平均輝度が明るさ感と相関が高いことを示した。この知見は、中央にテーブルのみが置かれた床面積が25.2 m<sup>2</sup>の会議室を模した実験室における明るさ感の評定実験結果に基づいており、そのような小部屋では、人が明るさを知覚する際に、Loe<sup>6)</sup>がMacro Fieldと呼ぶ仰角-20°~20°の範囲の重みが大きいのだと解釈できる。しかし、上述のような大部屋のオフィスの照明計画について明るさ感を仰角-20°~20°の平均輝度に留意して評価しようとすると、その画角の範囲に戸惑うことになる。なぜなら、多くのオフィスでは仰角-20°~20°の範囲にパーティションなどの自席廻りの家具が一部入ってくるからである。パーティションを利用したオフィスでは、パーティション内（以下、自席領域）の明るさは主にデスクライトや座席直上の照明器具からの照射によってもたらされ、パーティション外（以下、周辺領域）の明るさは、主に座席よりも前方の照明器具の点灯によってもたらされる<sup>7)</sup>。すると、そのような条件では実面積の小さいパーティション内を明るく照射するだけで、仰角-20°~20°の範囲の平均輝度、すなわち明るさ感の推定値を上げることができてしまう。これは省電力につながるため一見すると都合が良いように思えるが、周辺領域の暗さに対する配慮が欠けており、明るさ感の視点を踏まえた計画と考えるには疑問がある。このように、視野内に自席領域と周辺領域が混在するオフィスでは、-20°~20°という算定画角に必然性を見出しにくくなる。つまりとこ

1) 東京工業大学大学院 Graduate School, Tokyo Institute of Technology

2) 東京理科大学 Tokyo University of Science

**キーワード:** 空間の明るさ感, 輝度画像, オフィス, 画角範囲, 省エネルギー, アンビエント照明

**Keywords:** perceived spatial brightness, luminance image, office, range of view, energy-saving, ambient lighting

ろ、Loe が行った実験は、照明条件や床、壁、天井、家具などが小部屋として想定された条件であり、大部屋のオフィスへの適用性が十分検討されているとは言えないのである。

オフィスを対象としなければ、明るさ感を推定する方法には、いくつかの研究報告がある<sup>4)</sup>。それらの研究は、主に住宅の居間程度の広さの単純な小部屋を実験空間として、平均輝度では説明できない要因について新たな知見を与えるものである。荻内ら<sup>8)</sup>は拡散光源が作る輝度分布で近似した推定仮想光源輝度が明るさ感と高い相関があることを示した。また、加藤ら<sup>9)</sup>は、光の到来方向のパラツキを考慮することにより明るさ感の説明力が増すことを示した。しかし、オフィスへの適用性の観点では、いずれの研究も十分な検討がされていない。

その一方で、民生分野において、エネルギー消費の多くを占めるオフィス照明に対する省エネ対策の優先度は高いとされ<sup>10)</sup>、今後もアンビエント照明の出力を抑えたオフィス照明の計画は増えると考えられる。したがって、オフィスを対象とした明るさ感推定は省電力照明の質を確保する上でニーズが大きい。

そこで本研究は、オフィスにおける明るさ感推定の基礎的な検討として位置づけ、視野内の光量を示す基礎的な量である平均輝度を取り上げ、そのオフィス空間の明るさ感推定への適用性について検討する。その際、デスク、パーティション、デスクライトの利用といったオフィス特有の条件の輝度分布への影響を踏まえ、明るさ感推定における適切な平均輝度の画角範囲について検討を行う。

## II. 本研究が扱う明るさ感の定義

本研究において、「明るさ感」は、「空間の明るさの印象」の意味で用いる。しかし、オフィスを対象として、明るさ感を被験者による評定実験によって定量的に扱おうとすれば、パーティションやデスクによって空間に境があるため、どの範囲までが評価対象の空間であるのか判断しにくい場合がある。また、パソコンの画面などを注視しているときの周辺視により得られる明るさの印象と、作業面のほか壁や天井を見回すことによって空間全体を注視して得られる明るさの印象とが異なる可能性も否定できない。したがって、明るさ感に関する検討を行う上で、空間を観察する姿勢と観察する範囲について明確にしておくべきである。

本研究では、着席して首を動かさない姿勢で、机上面、家具、壁、天井など前方の視野全体を見回すことによって得られた室内全体の明るさの印象を被験者に評定させ、それを「明るさ感」として扱った。

## III. 本研究が扱う輝度画像のデータ形式と平均輝度の算定法

本研究では、Fig.1 に示す画角が 180°の等距離射影の魚眼レンズを装着したデジタルカメラを用いて輝度画像を計測する。この輝度画像の解像度は、10pixel/degree である。これを正距円筒図法に射影変換することにより、Fig.2 に示すような水平画角が 180°で仰角が -90 ~ 90°の範囲を取めた矩形の輝度画像が得られる。この画像は、1800 行 1800 列の輝度の値を保持している。射影変換に伴う各座標の輝度の値はバイリニア法を用いて算出する。

次に、平均輝度の算定法について述べる。まず、1800 行 1800 列

の各輝度の値の常用対数を取り、正距円筒図法の対数輝度画像を作成する。次に Fig.2 に示すように、設定した水平画角内の仰角下限から仰角上限までの矩形の範囲の算術平均を取るることによって、画角内の平均対数輝度を算定する。その際、この正距円筒図法の画像上では 1 画素の立体角が仰角によって異なるため、平均算出の際に立体角による重み付けを行い、立体角を等価とした平均対数輝度を求めた。以下、平均輝度とはこの平均対数輝度を指す。

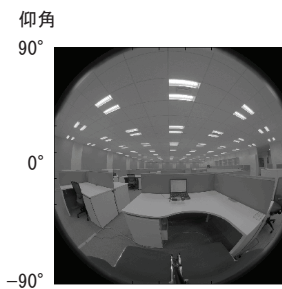


Fig.1 Luminance Image (Equidistance Projection)

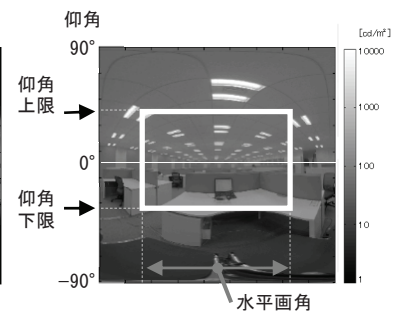


Fig.2 Calculation Range on Luminance Image (Equirectangular Projection)

## IV. オフィスにおける垂直方向の輝度分布の特徴

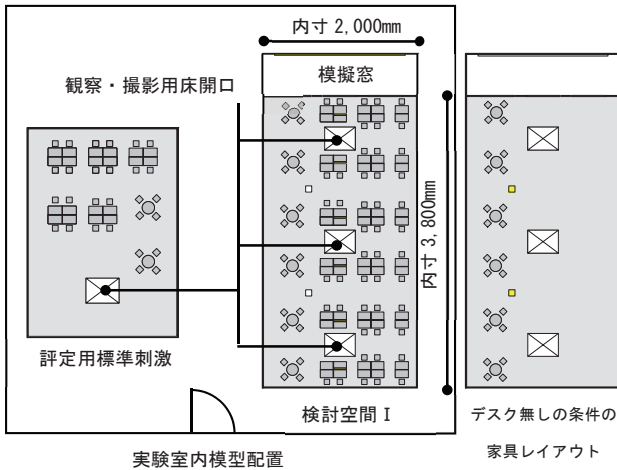
### 1. デスクの有無がオフィスの輝度分布に与える影響

#### (1) 検討概要

オフィス空間の特徴として、デスクやパーティションによって自席領域があることを既に述べた。そこでまず最初に、デスクやパーティションによって自席領域がある条件を「デスク有り」、それ以外を「デスク無し」とし、デスクの有無の違いが視野内の輝度分布に及ぼす影響について、定量的な分析を試みた。大部屋を対象に様々な照明条件においてデスクの有無の影響を検討するにあたり、実大のオフィスでは照明条件や家具の運搬などが容易ではないことから、ここでは Fig.3, Fig.4 に示す縮尺 1/6 の模型（以下、検討空間 I）を用いて検討した。

検討空間 I の内装は無彩色で、床・デスク・パーティションは灰色、天井・壁は白色である。天井照明は、天井面に矩形の穴を開けそこに乳白色の半透明の板をはめこみ、天井裏に設置した蛍光灯を点灯することによってグリッド照明を模擬した。また、壁際にはスリット状の放光部を設け、壁間接照明を模擬した。さらに、蛍光灯のバックライトの前に全閉したブラインドを設置することにより窓採光を模擬した。パーティションの高さは 1.2m とし、デスク無しの条件でも、スケール感を確保するため、テーブルを室内の隅に配置した。

この検討空間 I を用いて、Table 1 に示すように、照明器具（前方の壁間接照明、側方の壁間接照明、頭上付近の天井照明、前方の天井照明、左右側方の天井照明、デスクライト）の点灯と消灯、模擬窓からの採光の有無、デスクの有無、室の奥行き長さの各条件を変えた計 48 条件を設定した。各条件の輝度画像は、Fig.3 に示す床面に設けた開口部から三脚を入れ、内部の輝度画像を床面より実大空間で 1.2m 相当の高さから撮影した。



実験室内模型配置

家具レイアウト

Fig.3 Layout of Examination Space I

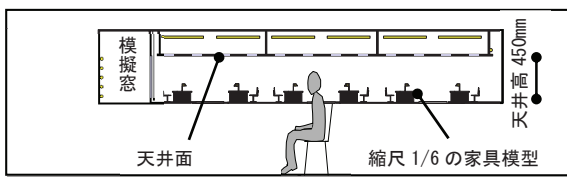


Fig.4 Section of Examination Space I

Table 1 Setting Conditions of Examination Space I

条件番号	デスクの有無	(模型寸法を6倍に換算した値)	模擬窓の有無	模擬窓からの窓採光の有無	天井照明 (頭上付近)	天井照明 (周辺・前方)	天井照明 (周辺・側方)	壁間接照明 (側方壁面)	壁間接照明 (前方壁面)	デスクライト	フロアスタンド照明	アンブレント照明 (机上面)	タスク照度 (机上面)	鉛直面照度 (被験者顔面)		
															×	○
A	有	3.3m	×	○	×	○	×	○	×	×	×	70 lx	800 lx	200 lx		
B			×	○	×	○	×	○	×	×	×	×	330 lx	800 lx	210 lx	
C			×	○	×	○	×	○	×	×	×	×	400 lx	0 lx	480 lx	
D			×	○	×	○	×	○	×	○	×	×	×	40 lx	0 lx	230 lx
E			×	○	×	○	×	○	×	×	×	×	×	390 lx	0 lx	140 lx
F			○	○	×	○	×	○	×	×	×	×	×	60 lx	0 lx	30 lx
G			○	○	×	○	×	○	×	×	×	×	×	290 lx	800 lx	1070 lx
H			○	○	×	○	×	○	×	×	×	×	×	560 lx	800 lx	1190 lx
I			○	○	×	○	×	○	×	×	×	×	×	60 lx	0 lx	90 lx
J			○	○	×	○	×	○	×	×	×	×	×	400 lx	0 lx	220 lx
K			○	○	×	○	×	○	×	×	×	×	×	400 lx	800 lx	370 lx
L			○	○	×	○	×	○	×	○	×	×	×	70 lx	800 lx	140 lx
M	有	10.5m	×	○	×	○	×	○	×	×	×	450 lx	800 lx	280 lx		
N			×	○	×	○	×	○	×	×	×	×	10 lx	800 lx	170 lx	
O			×	○	×	○	×	○	×	×	×	×	170 lx	0 lx	390 lx	
P			○	○	×	○	×	○	×	×	×	×	340 lx	0 lx	280 lx	
Q			○	○	×	○	×	○	×	×	×	×	70 lx	800 lx	280 lx	
R			○	○	×	○	×	○	×	×	×	×	330 lx	800 lx	210 lx	
S			○	○	×	○	×	○	×	×	×	×	460 lx	0 lx	280 lx	
T			○	○	×	○	×	○	×	○	×	×	10 lx	0 lx	80 lx	
U			○	○	×	○	×	○	×	×	×	×	340 lx	0 lx	300 lx	
V			○	○	×	○	×	○	×	×	×	×	70 lx	0 lx	30 lx	
W			○	○	×	○	×	○	×	×	×	×	40 lx	800 lx	340 lx	
X			○	○	×	○	×	○	×	○	×	×	360 lx	800 lx	370 lx	
a	無	3.3m	×	○	×	○	×	×	×	○	○	520 lx	0 lx	280 lx		
b			×	○	×	○	×	○	×	×	○	○	70 lx	0 lx	130 lx	
c			×	○	×	○	×	○	×	×	○	○	110 lx	0 lx	360 lx	
d			×	○	×	○	×	○	×	○	×	○	520 lx	0 lx	560 lx	
e			×	○	×	○	×	○	×	×	○	○	430 lx	0 lx	130 lx	
f			○	○	×	○	×	○	×	×	○	○	120 lx	0 lx	170 lx	
g			○	○	×	○	×	○	×	×	○	○	520 lx	0 lx	1690 lx	
h			○	○	×	○	×	○	×	×	○	○	1070 lx	0 lx	1970 lx	
i			○	○	×	○	×	○	×	×	○	○	20 lx	0 lx	50 lx	
j			○	○	×	○	×	○	×	×	○	○	600 lx	0 lx	370 lx	
k			○	○	×	○	×	○	×	×	○	○	540 lx	0 lx	340 lx	
l			○	○	×	○	×	○	×	○	×	○	280 lx	0 lx	410 lx	
m	無	10.5m	×	○	×	○	×	×	○	○	○	160 lx	0 lx	240 lx		
n			×	○	×	○	×	○	×	×	○	○	580 lx	0 lx	450 lx	
o			×	○	×	○	×	○	×	×	○	○	600 lx	0 lx	460 lx	
p			○	○	×	○	×	○	×	×	○	○	180 lx	0 lx	450 lx	
q			○	○	×	○	×	○	×	×	○	○	540 lx	0 lx	380 lx	
r			○	○	×	○	×	○	×	×	○	○	160 lx	0 lx	300 lx	
s			○	○	×	○	×	○	×	×	○	○	140 lx	0 lx	130 lx	
t			○	○	×	○	×	○	×	○	×	○	560 lx	0 lx	380 lx	
u			○	○	×	○	×	○	×	×	○	○	440 lx	0 lx	170 lx	
v			○	○	×	○	×	○	×	×	○	○	180 lx	0 lx	250 lx	
w			○	○	×	○	×	○	×	×	○	○	160 lx	0 lx	310 lx	
x			○	○	×	○	×	○	×	○	×	○	630 lx	0 lx	610 lx	

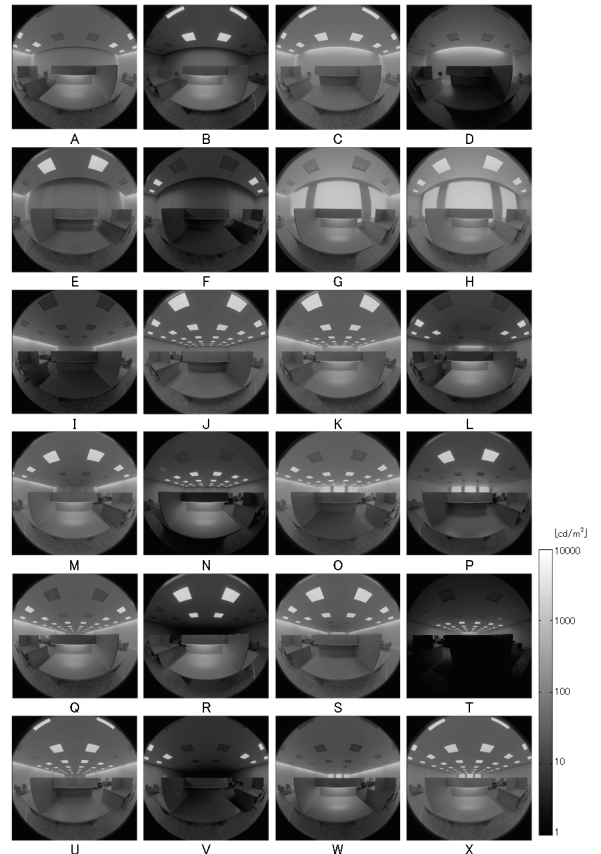


Fig.5 Luminance Images of the 24 Setting Conditions (Examination Space I, With Desk)

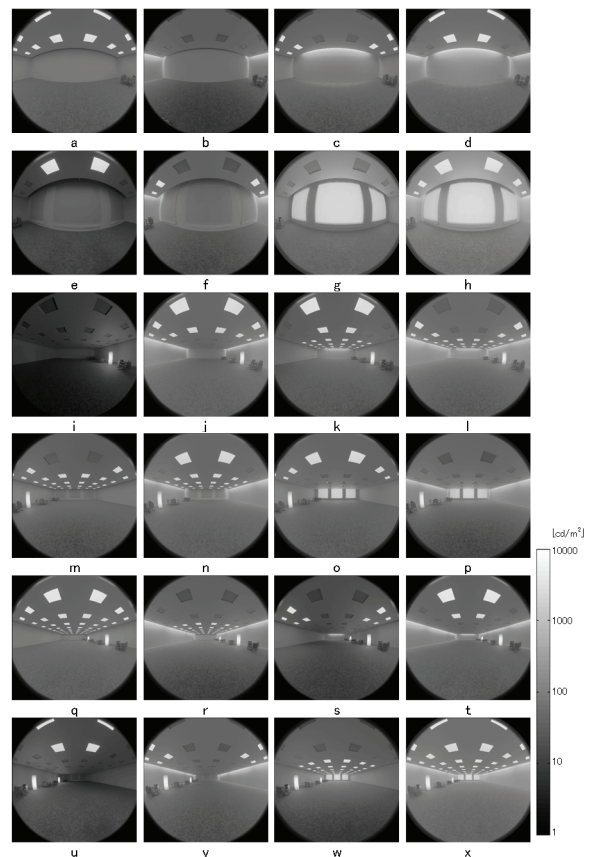


Fig.6 Luminance Images of the 24 Setting Conditions (Examination Space I, Without Desk)



(2) 検討結果

デスク有りの条件では、Fig.5 に示すように、仰角が負となる画像の下半分（仰角-90°~0°、以下、下方視野）のほとんどが自席領域となり、上半分（仰角0°~90°、以下、上方視野）が周辺領域となる。それに対し、デスク無しの条件では、Fig.6 に示すように、自席領域と周辺領域の区別が無いいため、上方視野と下方視野の両者に特徴の違いが生じにくいと考えられる。そこで、まず上方視野と下方視野の平均輝度を求め、両者の相関関係からデスクの有無の影響について分析した。

Fig.7 に示すように、デスク無しの条件の上方視野と下方視野の平均輝度には強い相関が見られる。デスク無しの条件では、パーティションのような空間を分断するものがなく、室内のアンビエント照明の条件設定が視野内全体に作用することから、視野内の各領域の平均輝度がおおよそ連動していることが分かる。

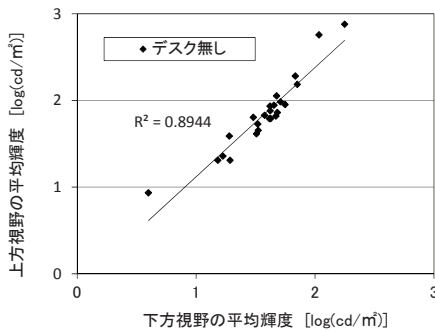


Fig.7 Relations between Upward Field Average Luminance and Downward Field Average Luminance (Without Desk)

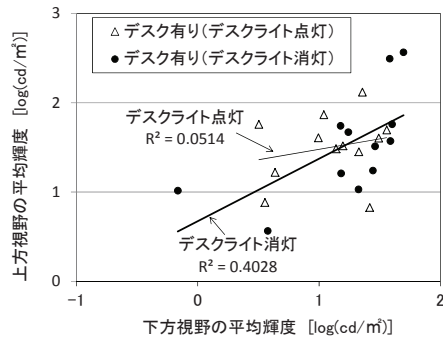


Fig.8 Relations between Upward Field Average Luminance and Downward Field Average Luminance (With Desk)

一方、Fig.8 に示すデスク有りの条件では、Fig.7 と比較すると両者の相関が小さく、デスクライトを点灯した条件ではほぼ相関がない。上方視野の平均輝度は、主にアンビエント照明の条件によって形成されるが、下方視野の平均輝度は主にデスク直上の天井照明やデスク照明の条件によって形成されるため、両者は連動しない。

以上のことから、デスク有りの条件では、垂直画角の設定によって平均輝度の値は左右されやすいことが分かった。一方、水平方向の画角設定については、今回 100°と 180°の二つの水平画角を設定し、それぞれ平均輝度を計算したが、例えば仰角-20°~20°の垂直画角における両者を比較したところ、Fig.9 に示すように、その差が小さかったため、以降については、水平画角 180° について計算した平均輝度の値に基づき論述する。

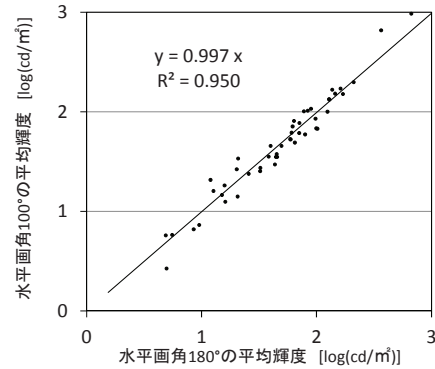


Fig.9 The Influence of Level Angle Size to Average Luminance

2. パーティションの明度とデスクライトの点灯が輝度分布に与える影響

(1) 検討概要

デスクを有するオフィスでは、主に自席領域となる下方視野の輝度分布が、上方視野の輝度分布と比例しないことに特徴があった。本節では、模型では設定できなかった実物大のデスクライトの点灯の有無とパーティションの明度が輝度分布に与える影響について、Fig.10 のような内観のオフィスを模擬した実験室（以下、検討空間 II。幅 7m 奥行き 7m 天井高さ 3m）において、さらに分析を行った。Table 2 に示す 12 条件について、Fig.10 に示す輝度画像を計測した。視点の高さとパーティション高さは共に 1.2m である。

Table 2 Setting Conditions of Examination Space II

条件番号	パーティションの明度	アンビエント照明器具	アンビエント設計照度	デスクライト	机上面実測照度
B110	N1(黒)	天井間接照明	110 lx	消灯	110 lx
B110TAL	N1(黒)	天井間接照明	110 lx	点灯	670 lx
B400	N1(黒)	天井埋込直管蛍光灯	400 lx	消灯	397 lx
B400TAL	N1(黒)	天井埋込直管蛍光灯	400 lx	点灯	954 lx
B750	N1(黒)	天井埋込グリッド照明	750 lx	消灯	750 lx
B750TAL	N1(黒)	天井埋込グリッド照明	750 lx	点灯	1310 lx
W110	N9.5(白)	天井間接照明	110 lx	消灯	114 lx
W110TAL	N9.5(白)	天井間接照明	110 lx	点灯	695 lx
W400	N9.5(白)	天井埋込直管蛍光灯	400 lx	消灯	407 lx
W400TAL	N9.5(白)	天井埋込直管蛍光灯	400 lx	点灯	990 lx
W750	N9.5(白)	天井埋込グリッド照明	750 lx	消灯	768 lx
W750TAL	N9.5(白)	天井埋込グリッド照明	750 lx	点灯	1350 lx

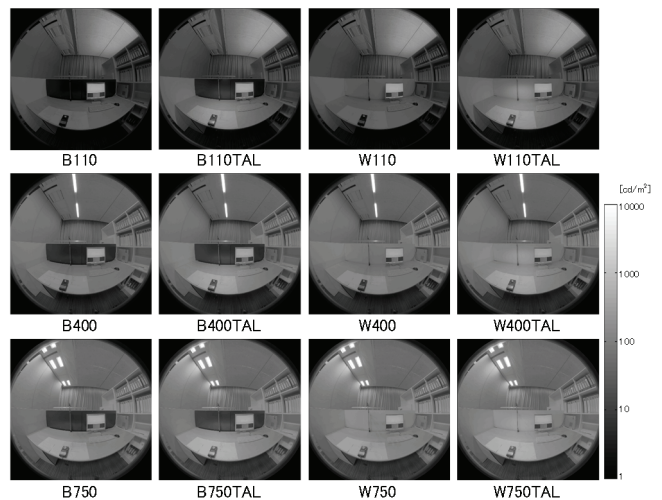


Fig.10 Luminance Images of the 12 Setting Conditions (Examination Space II)

(2) 検討結果

正距円筒図法に変換した輝度画像それぞれについて、仰角 10°毎に 18 個の帯状に領域を分割し、各領域（以下、10°帯）毎に平均輝度を算出することにより、各条件の垂直方向の輝度のバラツキを比較した。Fig.11 に各条件の輝度分布を示す。これを見ると、上方視野の輝度分布は、デスクライトの点灯とパーティションの明度の影響を受けておらず、室内照明の違いによって輝度分布が形成されていることが分かる。一方、パーティションの上端の仰角である 0°を境にして、それより下方の領域の輝度分布は、室内照明の条件が同じでも、デスクライトの点灯条件と、パーティションの明度が異なると、それらが位置する-30~0°の付近の平均輝度が異なっており、それらの影響が大きいことが分かる。

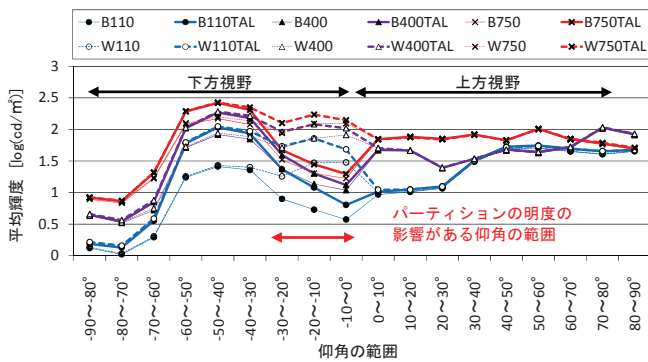


Fig.11 Luminance Vertical Distribution of Each Setting Condition (Examination Space II)

3. 視点位置の違いが輝度分布に与える影響

(1) 検討概要

デスク前の視点における下方視野は、ほぼ全てが自席領域となるが、通路の視点における下方視野は、床面の占める割合が増えると考えられる。そこで、両者の視点位置の違いが輝度分布に与える影響について検討を行った。調査対象の空間は、Fig.12 に輝度画像を示す実際のオフィス（以下、検討空間Ⅲ。幅 13.7m 奥行き 21.2m 天井高さ 2.7m）で、ブラインドを全閉にして、天井グリッド照明の点灯パターンを 4 通りに変化させ、机前の視点と通路の視点の二箇所にて延 8 条件の輝度画像を計測した。通路の視点は、机前の視点から左と後ろに約 1m ずらした場所とした。視点の高さは 1.2m、パーティション高さは 1.1m である。

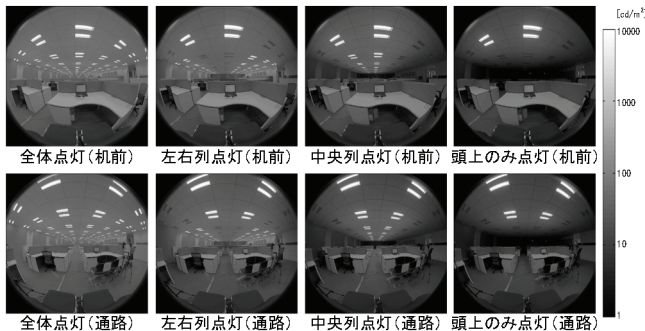


Fig.12 Luminance Images of the 8 Setting Conditions (Examination Space III)

(2) 検討結果

検討空間Ⅱの分析と同様に、各 10°帯毎に平均輝度を算出し、各条件の垂直方向の輝度分布を Fig.13 のように比較した。すると、視点の位置の違いにより、平均輝度の算定値に影響が生じる画角範囲と生じない画角範囲があることが分かる。

Fig.13 において、仰角-60~-10°の範囲を見てみると、机前の視点と通路の視点とで輝度分布が異なっている。これは、デスクと床面の視野内における位置と立体角が両者で大きく異なることが原因と考えられる。次に、仰角 50~70°の範囲において、机前の視点のほうが通路の視点よりも平均輝度が大きくなっている。この原因は、視点のずれと共に、視点上部近傍の天井グリッド照明の視野内における位置がずれるからだと考えられる。オフィスでは、この検討空間Ⅲのように、天井に照明器具が間隔を空けて設置されることが一般的である。したがって、この結果のように、仰角 50°を超えるような高い仰角に位置する視点上部近傍の天井照明器具は、その視野内における位置が視点の位置の影響を受けやすく、それを含む領域の平均輝度もまた影響を受ける。

一方、仰角がおよそ-10~30°の水平に近い範囲は、視点の位置の違いによる平均輝度の差が小さい。この画角は、主に遠方の天井照明を含む天井面と壁の領域であり、視点の位置が数mずれてもそれらの視野内における位置はほとんど変化しない。したがって、その平均輝度はほぼ室内照明の条件によって決まり、視点位置の影響は受けにくいのだと言える。

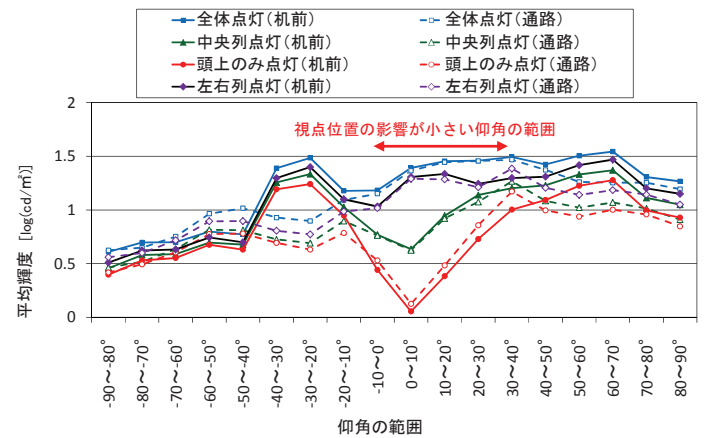


Fig.13 Luminance Vertical Distribution of Each Setting Condition (Examination Space III)

4. オフィスの輝度分布の特徴のまとめ

以上の検討から、オフィスの輝度分布には次の特徴があることがわかった。

- a. オフィスでは、下方視野は、パーティションの明度、デスクライトの利用の有無の影響を受け、上方視野の平均輝度と相関が小さい。
- b. 視点上部近傍の天井照明器具付近の領域となる仰角 50°以上の範囲や、デスクが位置する仰角-10°以下の範囲の平均輝度は、視点位置の影響を受ける。

このように、下方視野すなわち仰角 0°以下の領域と仰角 50°以上のような仰角の大きい領域の平均輝度は、オフィスの室内の照明の設定に比して決まるとは言えない。

V. 明るさ感評価と相関の高い画角に関する検討

1. 検討の目的

前節で示したオフィスの輝度分布の特徴を踏まえると、平均輝度による明るさ感の推定精度を高めるうえで、平均輝度を算定する際の仰角の範囲の設定が重要であると推察される。そこで、本節では、被験者が明るさ感評定した明るさ感評定値と平均輝度の相関に基づき、その適切な画角範囲について検討する。

2. 実験概要

Fig.3 に示す検討空間 I において、Table 1 に示す 48 条件を設定し、被験者に明るさ感をマグニチュード推定法により評定させた。被験者は建築学科学学生 26 名で、検討空間 I と類似した内観を持つ標準刺激（鉛直面照度 350lx、水平面照度 500lx、視点近くにはデスク無し）で 1 分間順応した後に検討空間 I に移動し、さらに 1 分間順応した後、標準刺激を 100 としたときの相対的な明るさ感の数値を評定させた。なお、順序効果を取り除くため、実験計画法を参考にして被験者毎に呈示順序を変えた。被験者の評定値の常用対数の全被験者平均を実験条件に対する明るさ感評定値とした。

3. 実験結果と考察

(1) 有効な画角範囲のデスク有無による違い

呈示した 48 条件は、照明条件以外の要素として、デスク有無、奥行きの違い、昼光窓の有無の異なる条件を含むが、まずは、デスク有無で層別して、明るさ感評定値と平均輝度との相関を検討した。ここで、平均輝度を算定する際、仰角上限と仰角下限をそれぞれ 10° 刻みで画角範囲を変え、それぞれの画角範囲の平均輝度について明るさ感評定値との相関係数を算出した。Table 3 にデスク無しの 24 条件、Table 4 にデスク有りの 24 条件、Table 5 に全 48 条件を対象とした場合の相関係数を示す。Fig.14 は Table 3 の結果について、横軸に下限値を取って相関係数の大きさを比較したものである。Fig.15、Fig.16 は Table 4 の結果について、横軸に下限値または上限値を取って相関係数の大きさを比較したものである。

Table 3 Correlation Coefficient Between Perceived Spatial Brightness and Average Luminance (Without Desk)

		仰角上限									
		0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
仰角下限	0°	0.849	0.861	0.866	0.858	0.855	0.863	0.862	0.860	0.860	0.860
	10°	0.876	0.867	0.869	0.871	0.864	0.862	0.865	0.867	0.866	0.865
	20°	0.908	0.892	0.896	0.884	0.877	0.874	0.878	0.877	0.876	0.875
	30°	0.926	0.912	0.903	0.896	0.890	0.886	0.888	0.888	0.886	0.886
	40°	0.930	0.919	0.912	0.906	0.897	0.893	0.895	0.893	0.892	0.891
仰角下限	50°	0.928	0.922	0.918	0.910	0.902	0.897	0.897	0.895	0.894	0.894
	60°	0.923	0.922	0.919	0.912	0.904	0.899	0.899	0.897	0.896	0.895
	70°	0.922	0.922	0.919	0.914	0.906	0.900	0.900	0.898	0.897	0.896
	80°	0.920	0.921	0.919	0.914	0.906	0.901	0.900	0.898	0.897	0.897
	90°	0.919	0.921	0.919	0.914	0.906	0.901	0.900	0.898	0.897	0.897

Table 4 Correlation Coefficient Between Perceived Spatial Brightness and Average Luminance (With Desk)

		仰角上限									
		0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
仰角下限	0°	0.694	0.891	0.906	0.890	0.877	0.882	0.842	0.836	0.833	0.832
	10°	0.821	0.823	0.874	0.869	0.859	0.846	0.827	0.822	0.819	0.818
	20°	0.854	0.753	0.928	0.838	0.834	0.824	0.808	0.804	0.802	0.801
	30°	0.823	0.696	0.784	0.805	0.807	0.800	0.786	0.783	0.782	0.782
	40°	0.809	0.664	0.754	0.780	0.786	0.781	0.769	0.768	0.767	0.767
仰角下限	50°	0.808	0.650	0.739	0.767	0.774	0.771	0.759	0.758	0.758	0.758
	60°	0.811	0.645	0.731	0.760	0.768	0.765	0.754	0.753	0.753	0.753
	70°	0.811	0.641	0.728	0.755	0.764	0.761	0.750	0.749	0.750	0.750
	80°	0.811	0.639	0.724	0.753	0.762	0.759	0.749	0.749	0.749	0.749
	90°	0.811	0.639	0.724	0.753	0.762	0.759	0.749	0.749	0.749	0.749

Table 5 Correlation Coefficient Between Perceived Spatial Brightness and Average Luminance (With and Without Desk)

		仰角上限									
		0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
仰角下限	0°	0.880	0.887	0.875	0.863	0.853	0.844	0.840	0.837	0.836	
	10°	0.832	0.800	0.843	0.845	0.838	0.831	0.824	0.822	0.820	
	20°	0.841	0.768	0.819	0.826	0.823	0.819	0.812	0.810	0.809	
	30°	0.838	0.745	0.799	0.811	0.811	0.807	0.802	0.801	0.800	
	40°	0.833	0.731	0.786	0.800	0.802	0.799	0.794	0.793	0.793	
仰角下限	50°	0.834	0.724	0.778	0.793	0.796	0.793	0.789	0.788	0.788	
	60°	0.836	0.719	0.772	0.786	0.791	0.789	0.785	0.784	0.784	
	70°	0.835	0.714	0.765	0.780	0.785	0.784	0.780	0.780	0.780	
	80°	0.833	0.710	0.761	0.778	0.782	0.781	0.777	0.777	0.776	
	90°	0.833	0.709	0.760	0.777	0.781	0.780	0.776	0.776	0.776	

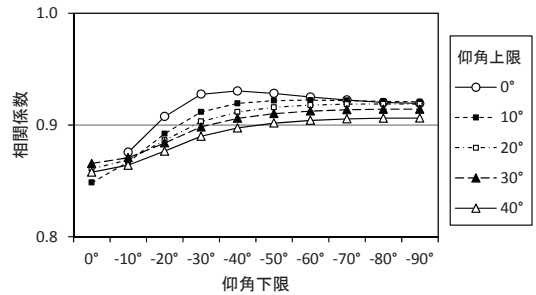


Fig.14 Relations between Correlation Coefficient and Angle of Elevation Bottom (Without Desk)

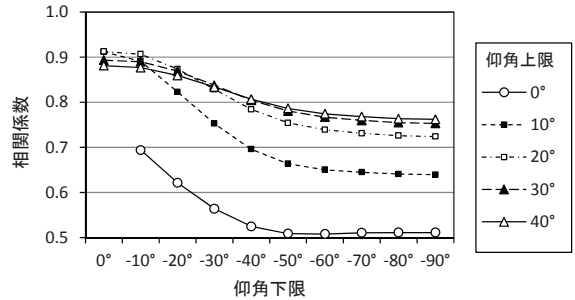


Fig.15 Relations between Correlation Coefficient and Angle of Elevation Bottom (With Desk)

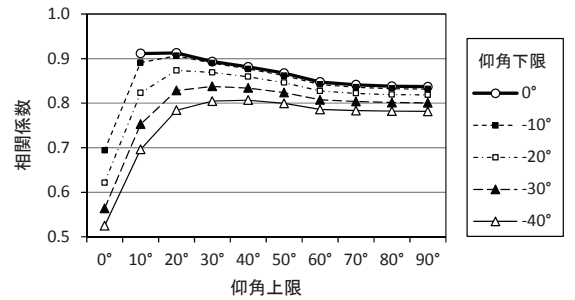


Fig.16 Relations between Correlation Coefficient and Angle of Elevation Upper Limit (With Desk)

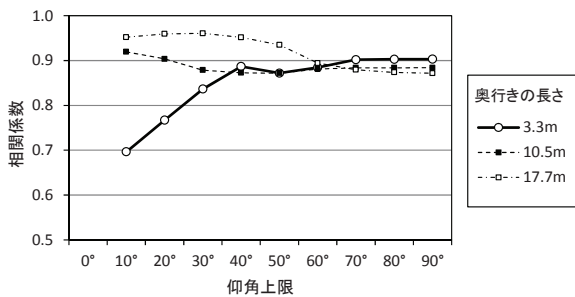


Fig.17 Relations between Correlation Coefficient and Angle of Elevation Upper Limit (Classifying by Forward Depth)

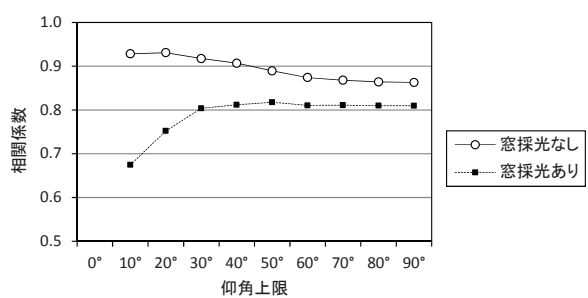


Fig.18 Relations between Correlation Coefficient and Angle of Elevation Upper Limit (With or Without Daylight)



デスク無しの条件で高い相関が得られた画角範囲についてみてみると、Table 3 に示すいずれの画角設定でも 0.8 以上の相関係数が得られているが、Fig.14 より、仰角下限を $-40^{\circ}$ より下まで上げると相関係数が大きくなる傾向が分かる。それに対し、デスク有りでは、Fig.15 に示すように、仰角下限を $0^{\circ}$ としたときの相関係数が最も大きく、仰角下限を $-20^{\circ}$ より下まで含めた場合、相関係数が 0.8 以下に著しく低下する。このように、デスクの無い空間では下方視野の輝度が明るさ感へ寄与するのに対し、デスクのあるオフィスでは、下方視野の輝度の明るさ感への寄与が小さいと考えられる。

一方、最大の相関係数を得る仰角上限は、Fig.16 より、デスク有りの条件で  $20^{\circ}$ 付近であり、最大の相関係数を得る仰角下限の値と総合すると、仰角下限  $0^{\circ}$ 、仰角上限  $20^{\circ}$ のときの相関係数 0.913 が最も大きい。この仰角  $0^{\circ}\sim 20^{\circ}$ の画角範囲は、前節の検討において、オフィスの室内の照明以外の要因の影響を受けにくい画角に相当し、そのため明るさ感と高い相関が得られたと考えられる。

以上のことから、オフィスにおいて、 $0^{\circ}\sim 20^{\circ}$ の範囲の平均輝度は明るさ感の推定に有効と考えられる。

#### (2) 設定条件による層別をしない場合に有効な画角範囲

全 48 条件を対象としたとき、Table 5 に示すように、デスク有りの場合と同様に、平均輝度の算定範囲を仰角  $0^{\circ}\sim 20^{\circ}$ としたとき、明るさ感との相関係数が最も大きい。下方視野を算定範囲に含める場合、デスク無しの条件における相関係数の向上の効果よりも、デスク無しの条件における相関係数の低下の影響のほうが大きい。そのため、デスク有りと無しを区別せずに一つの画角で明るさ感を推定する場合には、下方視野を含めないほうが、両者への適用性があるのだと考えられる。しかし、その相関係数は 0.887 となり、Table 3 の最大値 0.930 と Table 4 の最大値 0.913 と比較して小さくなるため、デスクの有無によって画角範囲を別個に設定したほうが好ましいと考えられる。

#### (3) 有効な画角範囲の奥行きによる違い

次に、3.3m、10.5m、17.7m の異なる 3 つの奥行きで層別して相関係数を比較した結果を Fig.17 に示す。奥行き 10.5m と 17.7m では仰角上限  $20^{\circ}$ 以下で 0.9 以上の高い相関があるのに対し、奥行き 3.3m では相関係数が仰角上限  $40^{\circ}$ 以上で大きく  $30^{\circ}$ 以下から著しく低下しており、両者で傾向が異なる。この原因については、一つの推論ができる。仮に天井面の輝度が明るさ感に寄与しているとするならば、奥行きが短い条件では、天井面が位置する高い仰角の範囲も明るさ感の推定に反映することが適切である。空間の明るさ感の印象を形成する範囲は、特定の画角で決定されるのではなく、画角内に天井などの部屋全体を含むための仰角が関係しているのだと推察される。

#### (4) 有効な画角範囲の窓の有無による違い

正面の壁からの窓採光の有無について層別して相関係数を比較した結果を Fig.18 に示す。窓採光有りの条件では、仰角上限を  $20^{\circ}$ より小さくすると相関係数が著しく低下し、仰角上限  $20^{\circ}$ 以下で相関係数が大きい窓採光無しの条件と傾向が異なる。この原因について推察してみると、正面に窓がない場合には、 $0^{\circ}\sim 20^{\circ}$ の画角の平均輝度より空間の明るさの印象を得ることができるかもしれないが、窓がある場合には、 $0^{\circ}\sim 20^{\circ}$ の画角範囲内の多くを窓が占めてしまうた

め、空間の明るさの印象を得にくくなり、窓よりも上部の領域をより広く見回す必要が生じることなどが考えられる。

#### (5) 仰角上限と仰角下限の条件に即した調節の有効性

(1) ~ (4) の結果をまとめると、仰角  $0^{\circ}\sim 20^{\circ}$ という平均輝度の算定範囲は、様々な条件についておよそ高い精度で明るさ感を推定できる画角であると言えるが、奥行き短い条件や窓のある条件では、仰角上限を  $40^{\circ}$ 程度まで上げたり、デスク無しの条件では仰角下限を $-40^{\circ}$ 程度まで上げたりすることが有効と考えられた。そこで、条件によって仰角の上限と下限を調節することによる推定精度の向上の効果について検討した。

Fig.19 は Loe の提言する仰角上限  $20^{\circ}$ 仰角下限 $-20^{\circ}$ の場合の平均輝度と明るさ感評定値の関係で、相関係数は 0.818 である。ここで、仰角下限  $0^{\circ}$ とした場合は Table 5 より相関係数は 0.887 である。さらに、デスクの有無、奥行きの違い、窓の有無の条件によって、仰角上限を  $20^{\circ}$  または  $40^{\circ}$ 、仰角下限を  $0^{\circ}$  または $-40^{\circ}$  から適したほうを選択して平均輝度を算出した場合は、Fig.20 に示すように、相関係数が 0.915 となる。このように、特定の画角で推定することに必然性がないとすれば、より条件に即した画角設定をすることによって、明るさ感の推定精度が高まる。

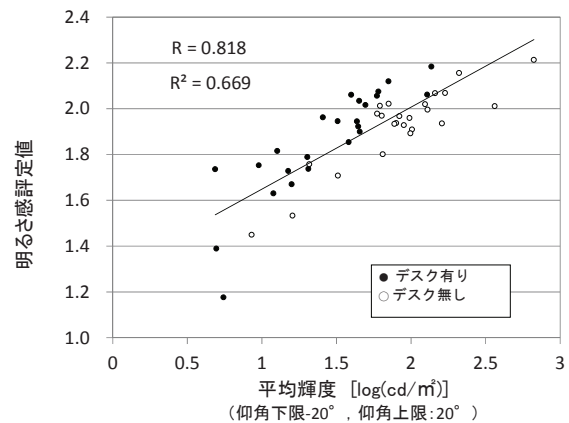


Fig.19 Relations between Perceived Spatial Brightness and Average Luminance (With and Without Desk, Angle of Elevation Upper Limit  $20^{\circ}$  Bottom  $-20^{\circ}$ )

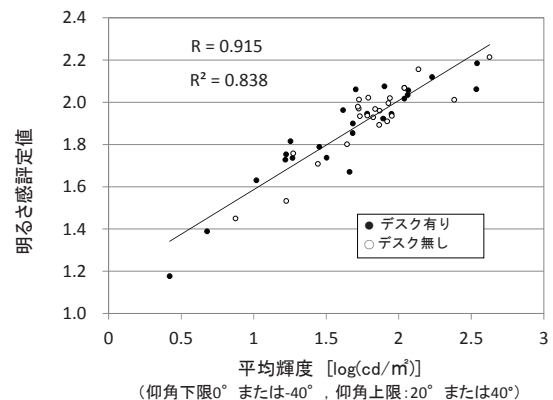


Fig.20 Relations between Perceived Spatial Brightness and Average Luminance (With and Without Desk, Angle of Elevation Upper Limit  $20^{\circ}$  or  $40^{\circ}$  Bottom  $0^{\circ}$  or  $-40^{\circ}$ )

## VI. 結 論

オフィスにおける垂直方向の輝度分布の特徴を明らかにし、その特徴に基づき、オフィスの明るさ感推定に有効な平均輝度の画角範囲について検討を行った結果、以下の結論を得た。

- a. デスク有りの条件では、自席領域を含まない仰角 0~20° の平均輝度が明るさ感推定に有効である。また、デスクや窓の有無、室の奥行きなどの条件による区別を行わずに、いずれも同一の画角範囲の平均輝度によって明るさ感を推定する場合も、仰角 0~20° が有効であるが、相関係数は小さくなる。
- b. デスクや窓の有無、室の奥行きの違いによって有効な平均輝度の算定画角は異なる。デスク無しの場合では仰角下限を-40°程度まで広げたほうが、奥行きの短い条件や窓のある条件では仰角上限を40°程度まで広げたほうが、明るさ感との相関が大きくなり、それらの条件では仰角 0~20°の算定画角が適正とは言えない。
- c. 算定画角を固定せず、対象空間の特徴によって、画角を調節して平均輝度を算出することにより、明るさ感の推定精度が高まる。

## VII. 今後の課題

評価対象に適した適正な画角で算定し評価することにより推定精度は向上したが、さらに、既往の研究で提言されているような他の要因について、オフィスを対象として検討を重ねていくことで、近年増えつつある不均一で省電力な様々なオフィス照明条件について、精度の高い明るさ感推定を実現していくことが今後の課題である。

## 謝 辞

IVおよびVの検討の一部は、東京理科大学卒論生（当時）の笹川拓也君、佐藤佳那子さんと協同で実施した。記して謝意を表す。

## 参考文献

- 1) ニューオフィス推進協議会；オフィス環境に関する調査，1993.
- 2) 稲沼實ほか；オフィスにおけるタスク・アンビエント照明方式の適応性に関する実証的研究，日本建築学会計画系論文集(548)，2001.10, pp.9-15.
- 3) 照明学会；タスク・アンビエント照明(TAL)普及促進委員会報告書，2012.
- 4) 照明学会；「空間の明るさ感」検討のためのリファレンス・データ，2010.
- 5) Loe,D.L.ほか；Appearance of lit environment and its relevance in lighting design: Experimental study, Lighting Res.Technol. 26(3), 1994, pp.119-133.
- 6) Loe,D.L.；Lighting Quality - an Exploration, Proceeding of the first CIE symposium on lighting quality, CIE x015-1998, 1998, pp.183-192.
- 7) 小林茂雄ほか；昼光を導入したオフィスにおける執務者視野内の明るさ評価，日本建築学会計画系論文集(497), 1997.7, pp.7-14.
- 8) 荻内康雄ほか；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，87-2, 2003.2, pp. 105-112.
- 9) 加藤未佳ほか；光の到来バランスを考慮した空間の明るさ感の評価，日本建築学会環境系論文集(568), 2003.6, pp.17-23.
- 10) 環境省地球環境局；民生（業務）分野における温暖化対策技術導入マニュアル，2004.

## Suitable Range of View to Calculate Average Luminance for Prediction of Perceived Spatial Brightness in Office

*Katsuhiko Sakata, Yoshiki Nakamura<sup>1)</sup>, Nozomu Yoshizawa<sup>2)</sup> and Hitoshi Takeda<sup>2)</sup>*

Low illuminance is effective for power-saving in office lighting. Therefore, it is useful to evaluate the lighting quality based on index value of spatial brightness from the point of view to consider so that the lighting is not felt darkly. There exists studies on prediction of perceived spatial brightness, but applicability for office environment is not sufficiently investigated yet. In this study, the authors examined suitable range of view to calculate average luminance for prediction of perceived spatial brightness in office on the basis of characteristics of luminance distribution. As a result of examination, the authors showed that contribution of luminance of the micro field of view to the perceived spatial brightness was small, and in conditions with window or short depth, the interrelation rose by making the macro field range wide in office. In addition, it was shown that the estimation precision of perceived spatial brightness rose by adjusting the range to calculate average luminance according to the characteristic of the space.