

輝度対比量に基づく空間の明るさ感指標 NSB

Natural-Scale of Spatial Brightness: Spatial Brightness Index Based on Variance of Contrast Image

坂田 克彦¹⁾ 中村 芳樹¹⁾
吉澤 望²⁾ 武田 仁²⁾

要 約

筆者らは、不均一な輝度分布における空間の明るさ感を説明する平均輝度以外の要因の多くが、本質的には輝度対比に帰結できそうなことに着目し、単純な測光量に基づきながら、既往の知見を包括する指標を提案することを目指している。本稿では、ウェーブレット分解を用いて輝度分布から検出空間周波数の異なる10枚の輝度対比画像を抽出し、それらの画像の分散の値に基づき、AD値（粗い輝度対比量）とCD値（細かい輝度対比量）を定義した。そして、平均輝度または平均NB値と、AD値、CD値の3つの説明変数からなる重回帰式を導き、空間の明るさ感は粗い輝度対比により減少し、細かい輝度対比により増加することを明らかにした。これらの結果に基づき、輝度対比を考慮した空間の明るさ感推定式NSBを提案した。

目 次

- I. はじめに
- II. 既往の研究と本研究の目的
- III. 空間の明るさ感の評定実験
- IV. 輝度対比量と空間の明るさ感の関係
- V. NSBのオフィス以外への展開
- VI. おわりに

I. はじめに

設計する空間に対して目的に合った適度な明るさの印象が得られるようにすることは、設計者の大きな責務の一つである。あえて明るさという言葉を用いたが、この言葉の使われ方は定義が曖昧であり、照明に関する知識がある人同士であれば、作業面のための明るさは照度を用いたほうが適切であるし、小さい視対象の明るさは明るさ知覚と言うほうが適切である。冒頭に述べた空間から受ける「明るさの印象」は、空間の明るさ感と呼ばれ、近年関心が増している。その背景として、照明や採光の方法を工夫して同程度の空間の明るさ感を少ない人工照明で得ることができれば省電力になることがあげられる。そのような空間の明るさ感を考慮した設計の実現に向けては、これまで多くの取り組みがあり、空間の明るさ感を定量的に予測する様々な推定モデルや影響要因が報告されている¹⁾⁻¹²⁾。しかし、影響要因が新たに指摘されることは、同時に既存の推定法の普遍性が否定されることでもあり、実務で要求される様々な設計要件に適用できるような普遍性の高い空間の明るさ感指標を確立するに

は至っていない。また、普遍性や適用条件の問題以外に、理論の明解さや計算の迅速さといった実用性に関わる課題があることも、それらの手法が広く浸透しない理由の一つにあるように思われる。

筆者らは、空間の明るさ感の推定方法に新たな影響要因を取り入れるのではなく、これまでの多くの知見に立脚しながら、それらを共通の要因に帰結させるようなアプローチによりこれらの問題点を解決できないかと考えた。空間の明るさ感に関わる最も一般的な測光量は視野内の輝度であり、視野全体あるいはその一部の平均輝度を空間の明るさ感の目安とすることについてはおよそ合意がなされていると考えられる。色の影響をひとまず考慮に入れれないとするならば、次に一般的な情報としては輝度の分布ということになる。筆者らは、これまでに指摘された不均一な輝度分布における空間の明るさ感を説明する平均輝度以外の要因の多くが、本質的には輝度対比の有無とその強さに帰結できそうなことに着目し、単純な測光量に基づきながら、既往の知見を包括する指標を提案することを目指している。

II. 既往の研究と本研究の目的

1. 輝度対比の分析法に関する既往の研究

輝度分布の写真測光法¹³⁾が普及して以降、輝度対比の分析法に関する研究は、空間の明るさ感や明るさ知覚をはじめとする視環境の心理的評価に関する研究と並行して発展してきた。乾ら¹⁴⁾は輝度対比の表現には強さのほかに粗さ（または細かさ）の概念が必要であることを指摘し、それに関して、筆者の一人ら¹⁵⁾¹⁶⁾は、異なる粗

1) 東京工業大学 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, 輝度対比, 空間周波数, ウェーブレット

Keywords: spatial brightness, luminance image, contrast, spatial frequency, wavelet transformation

さの輝度対比を空間周波数を用いて定量的に表す方法を示し、フィルタリングを用いた空間周波数毎の輝度対比の検出方法を提案した。さらに、ウェーブレット分解を用いることにより細かい輝度対比から粗い輝度対比までを高速に算出できることを示した¹⁷⁾。

2. 不均一な空間の明るさ感に関する既往の研究

視野内の輝度の大きさは、空間の明るさ感の最大の因子と見られるが、単純に直結しない場合がある。例えば昼光利用は省電力の手段として期待されるが、昼光導入が大きいと空間の明るさを低下させるとの指摘がある⁷⁾¹²⁾。また、インテリアに目を移すと、家具や装飾などに配された黒色のディテールや鋭い陰影のメリハリからは明るい印象を感じ、逆にぼやけた輝度分布からは明るさを感じにくい場合がある¹⁰⁾。このような不均一と空間の明るさ感の関連はこれまで多くの指摘がある。小林ら²⁾は模型とCGを対象として粗い輝度対比が空間の明るさ感を減少させることを示した。Akashiら³⁾は輝きによる空間の明るさ感向上の影響を示した。加藤ら⁴⁾は水平方向の光の到来バランスが空間の明るさ感に及ぼす影響を示した。高ら¹¹⁾は画面を対象として水平および垂直方向のばらつきが空間の明るさ感に影響があることを示した。これらの研究の中には、輝度対比の粗さの概念を含まないものもあるが、それらは特定の粗さの輝度対比を対象としたものと捉えることができる。例えば、Akashiらが扱った輝きは正の細かい輝度対比と見なすことができるし、高らが扱った画面の左右または上下の輝度の違いは粗い輝度対比と見なすことができる。また、加藤らの光の到来バランスでは100°という視角によって水平方向の粗い輝度対比に近い要素を扱っている。昼光導入もまた粗い輝度対比として定量的な表現が可能である¹⁸⁾。したがって、ここに述べた事象は何かの粗さや細かさを持った輝度対比としておよそ表すことができそうである。

一方で、実空間には、小さい光源や細かいテクスチャ、ブラインド、小物や家具の陰影など、模型や実験装置では扱いにくく再現できない細かい輝度対比が多く含まれるため、空間の明るさ感指標として、それらを有する実空間への適用性を得るためには、実空間における実験が必要になるだろう。

3. 本研究の目的

筆者らは「実空間では自然光による輝度対比と人工光による輝度対比が重なり合っているが、両者は光源の大きさなどに起因する輝度対比の粗さの違いによって区別されるか、同じ粗さの輝度対比であれば空間の明るさ感に対して同じように作用し区別する必要がない。」と仮定した上で、既往の知見から、「粗い輝度対比は空間の明るさ感を減少させ、細かい輝度対比は空間の明るさ感を増加させる。」というシンプルな空間の明るさ感推定モデルをまず考えた。そして、そのモデルの定式化のためには、ウェーブレット分解を用いて空間周波数の異なる複数の輝度対比の画像を求めれば、粗い輝度対比と細かい輝度対比をそれぞれ定量化できると考えた。ウェーブレット

分解は計算が高速であり、また、空間の明るさ感に影響を及ぼすこれらの変数を輝度分布のみより取得できることから、実用性も高い。本研究は、以上の観点から、実空間を対象とした輝度分布による普遍性の高い空間の明るさ感推定モデルを提案することを目的とする。なお、本研究ではまず省電力のニーズが高いオフィスを評価対象とし、着席姿勢における前方視野の空間の明るさ感を扱う。

III. 空間の明るさ感の評定実験

1. 実験条件

空間の明るさ感の評定を行ったオフィスは、Fig.1に示す北側に窓を有する東京都に実在するオフィスで一般的なグリッド天井である。12月の曇天日の午前から夕方にかけて、ブラインドの開閉と室内に設置された天井埋め込み型の天井直接照明(FHP45 蛍光灯ツイン)、スタンド型の天井間接照明(FHT42 蛍光灯)、コーニス型の壁間接照明(FLR40 蛍光灯)の3つの照明の出力調節により Table 1に示すスケジュールで32条件を設定し、Fig.2に示すseat Aとseat Bの2つの座席で、各条件下での目線の高さにおける輝度分布の計測と被験者8名による空間の明るさ感の評定を実施した。

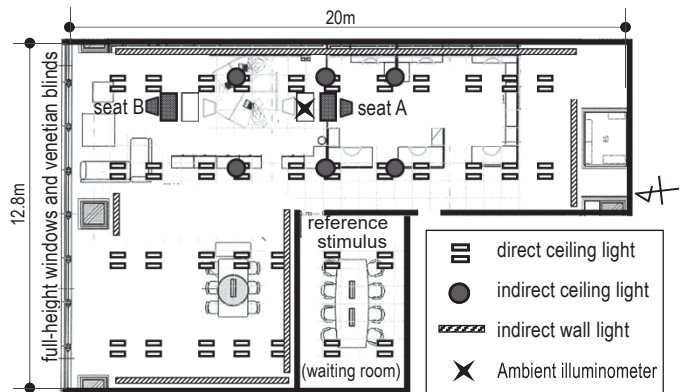


Fig.1 実験室平面図 (Layout of Examination Room)

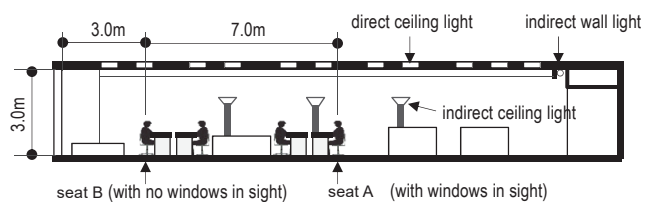


Fig.2 実験室断面図 (Section of Examination Room)

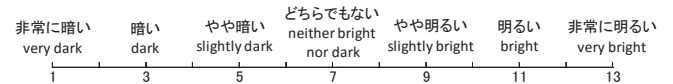


Fig.3 明るさ感の言語尺度 (Rating Natural-scale of Spatial Brightness)

Table 1 実験条件 (Setting Conditions)

experiment number	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	
experiment time	10:00~11:50									13:00~14:50									15:00~16:15				17:00~18:40										
venetian blinds	drawn up (skylight through windows in daytime)																pulled down				drawn up (darkness through windows in evening)												
direct ceiling light	○			△															○		△		×			△		×		△		×	
indirect ceiling light					×										○																		
indirect wall light	△	○	×	△	○	×	△	○	×	△	○	×	△	○	×	△	○	×	△	○	×	△	○	×	△	○	×	△	○	×	△	○	×
task light	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
ambient illuminance (lx)	1030	1188	821	566	738	423	185	358	47	1190	1398	1085	809	943	641	410	580	251	804	927	405	526	13	144	526	391	144	12	641	635	381	242	

output ratio
○:100%
△: 50%
×: 0%

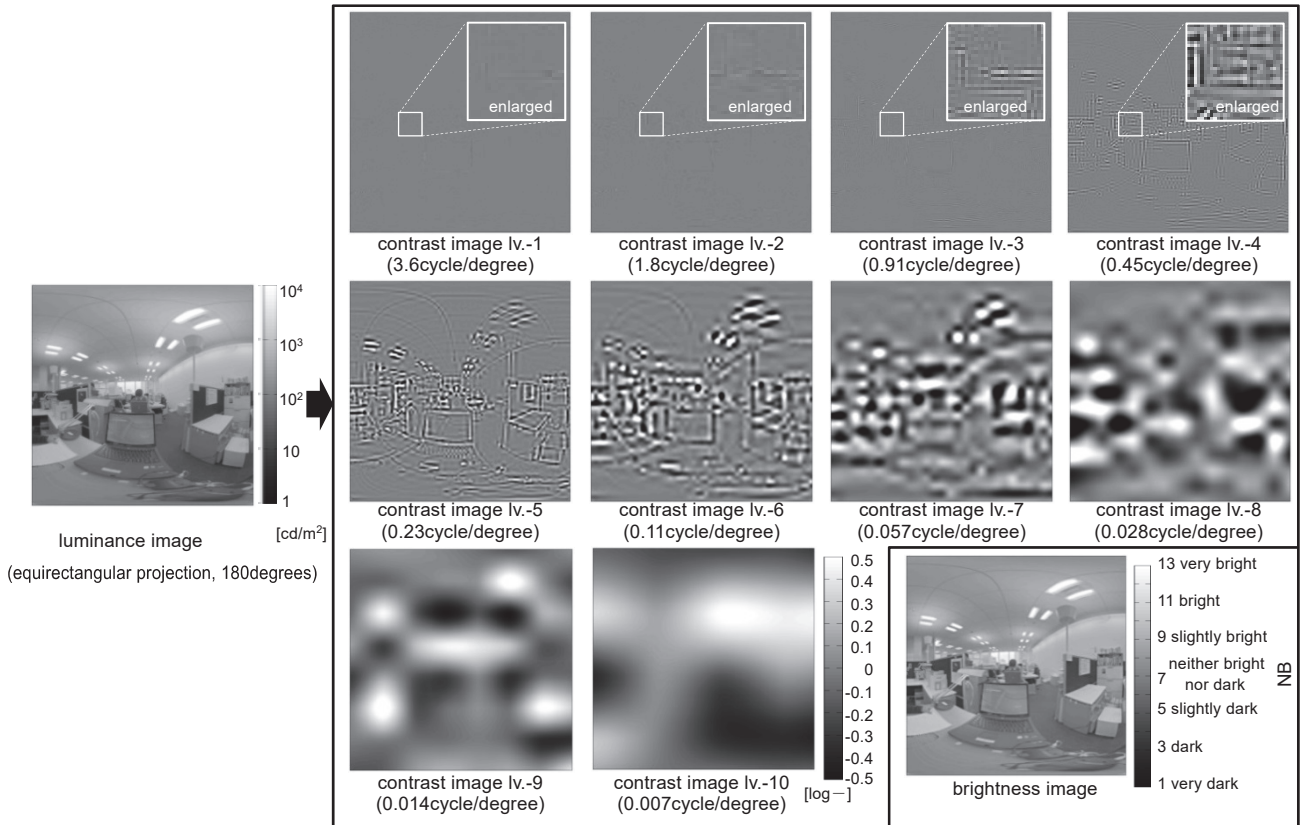


Fig. 4 輝度画像より抽出される輝度対比画像および明るさ画像の例 (No. 11 seat A)
 (Example of Decomposition by Symlet6 and Conversion into Brightness Image from Luminance Image, No. 11 seat A)

2. 被験者による評価

seat A は正面に, seat B は背面に窓が位置しており, 8名の被験者はあらかじめ設定した順番でそれぞれに着席し, それらと向かい合う座席には実験協力者が着席した。被験者は, 各評価の前に毎回必ず間仕切られた会議室(天井直接照明のみ, 机上面照度 700lx) 内で待機しながら1分以上順応し, 会議室の空間の明るさ感を標準刺激としたME法による評価と, Fig. 3に示す言語尺度を用いた評価(目盛以外への回答可)を全条件について行い, 評価用紙に記入した。座席への移動時は足元を見て空間を観察しないよう指示した。

3. ウェーブレット分解による輝度対比画像の抽出

まず, 計測した輝度分布 (10pixel/degree) を, 正距円筒射影に変換¹⁹⁾することで矩形の数値データとし, これを輝度画像と呼ぶ。この輝度画像について, ウェーブレット分解(symlet6)をレベル(以下, lv.) -10まで進めると, Fig. 4に示す検出空間周波数が異なる10枚の画像が得られる。これらをそれぞれ輝度対比画像と呼ぶことにする。これらのうち, lv.-1の輝度対比画像は最も細かい輝度対比, lv.-10の輝度対比画像は最も粗い輝度対比である。輝度対比画像の値は輝度比の対数に相当し, 正の値はその空間周波数で周囲より明るく, 負の値は暗いことを示す。また, 文献¹⁷⁾の方法により Fig. 4右下に示す正距円筒射影の明るさ画像もあわせて取得した。

Fig. 5に示すように, 各条件の視野内に含まれる輝度対比はその粗さの違いにより異なるlv.の輝度対比画像上で検出される。例えば, No. 6 seat Aのlv.-4の画像には天井直接照明の光源部のやや細かい輝度対比が, lv.-9の画像には窓採光による非常に粗い輝度対比が, それぞれ光源の付近で検出されている。No. 18 seat Aのlv.-9の窓付近の値がNo. 6 seat Aのlv.-9の窓付近の値よりも小

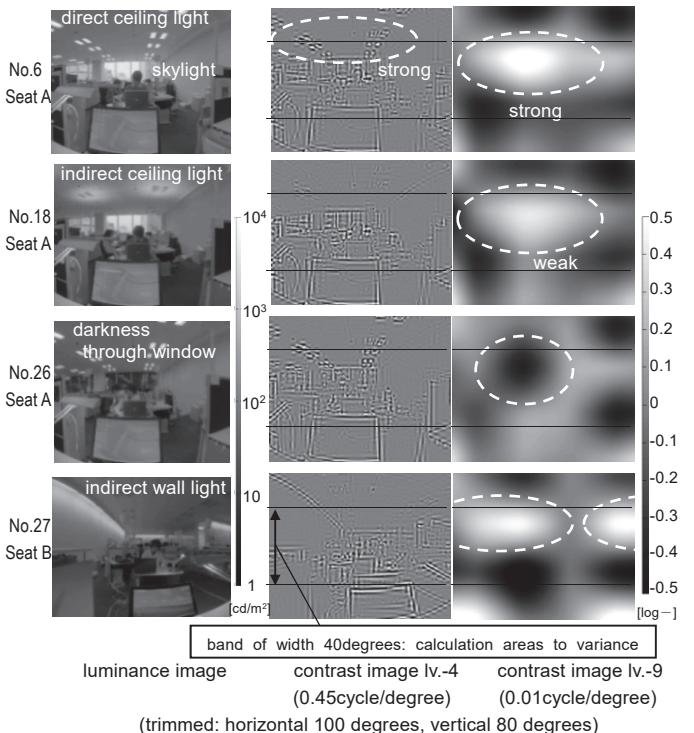


Fig. 5 輝度対比画像に表れる照明の影響
 (Effect of Lighting on Contrast Images)

さいのは, 非常に粗い輝度対比がNo. 6 seat Aの条件よりも弱いことを示している。No. 26 seat Aのlv.-9の画像では暗い窓による非常に粗い輝度対比が, また, No. 27 seat Bのlv.-9の画像では壁間接照明による非常に粗い輝度対比が表れている。

4. 輝度対比量の算出

輝度対比画像の画像内の分散は、その空間周波数の輝度対比がどの程度視野内に存在しているかを示す量と言える。ここでは Fig. 5 に示すように水平 100° 垂直 40°^{注1)}の範囲の分散の値をその lv. (または空間周波数)の輝度対比量と定義し、全 lv. の輝度対比量を計算した。Fig. 6 に例として lv. -4 (やや細かい) と lv. -9 (非常に粗い) の輝度対比量および平均輝度²⁰⁾を示す。これらの値は各条件各座席における視環境の輝度分布特性とすることができる。

5. 実験条件との関係からみた輝度対比量の持つ意味

横軸に lv. -4 の輝度対比量を、縦軸に lv. -9 の輝度対比量をとって条件設定の影響を概観してみたのが Fig. 7~Fig. 10 である。Fig. 7 は天井直接照明の点灯が輝度対比量に及ぼす影響を示す。時間帯と座席の違いによらず、lv. -9 の輝度対比を減少させ、lv. -4 の輝度対比を増加させている。Fig. 8 は天井間接照明の点灯が輝度対比量に及ぼす影響を示す。窓採光のある seat A の昼の条件において、lv. -9 の輝度対比量が大きく減少している。この効果は天井直接照明より

も大きく、窓と室内の輝度のバランスをより緩やかにする効果を定量的に示していると言える。また、夕方の条件(グラフ a2 と b2)では lv. -4 の輝度対比量が低下しており、間接照明の拡散光により室内の細部の陰影が弱まった結果と推察される。Fig. 9 は壁間接照明の点灯が輝度対比量に及ぼす影響を示す。より広く壁面が見える seat B の条件において lv. -9 の輝度対比量がやや増加している。Fig. 10 は昼と夕方それぞれにおけるブラインドを開くことによる輝度対比量への影響を示す。seat A の条件において昼は lv. -9 の輝度対比が増加、夕方は lv. -4 の輝度対比が増加している。前者は日光導入が、後者はブラインドで反射する拡散光が弱まることや窓面にランプ部が映り込むことが原因と推察される。また、夕方の lv. -9 の輝度対比量の増加は、暗い窓が原因と考えられる。seat B の条件において、昼は lv. -9 の輝度対比が減少している。日光による拡散光が人工照明により生じる輝度対比を弱めた結果と推察される。

以上のことから、輝度対比量は、日光と人工照明の輝度分布への複合的な作用を表す量的変数であるといえる。

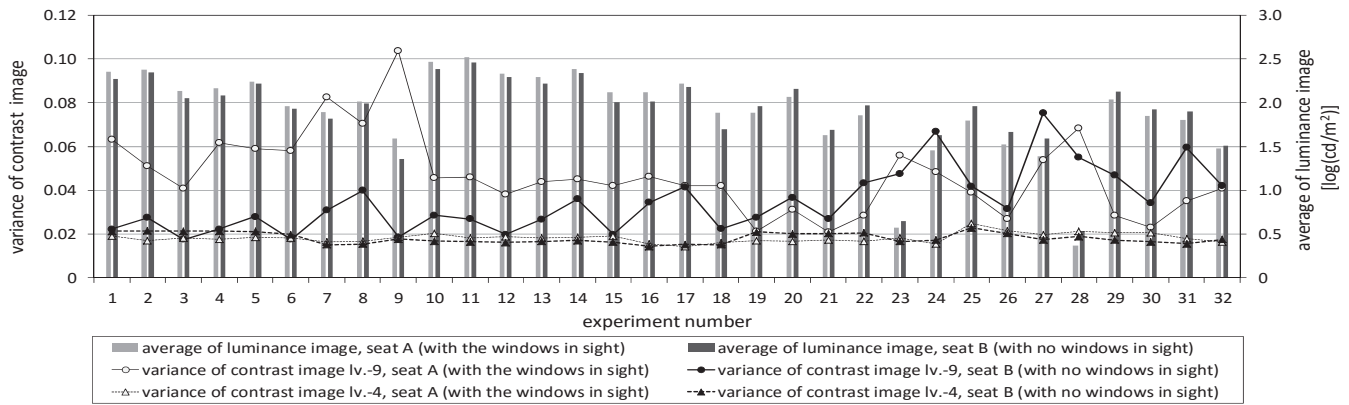


Fig. 6 評価刺激の平均輝度と輝度対比量 (Calculated Results)

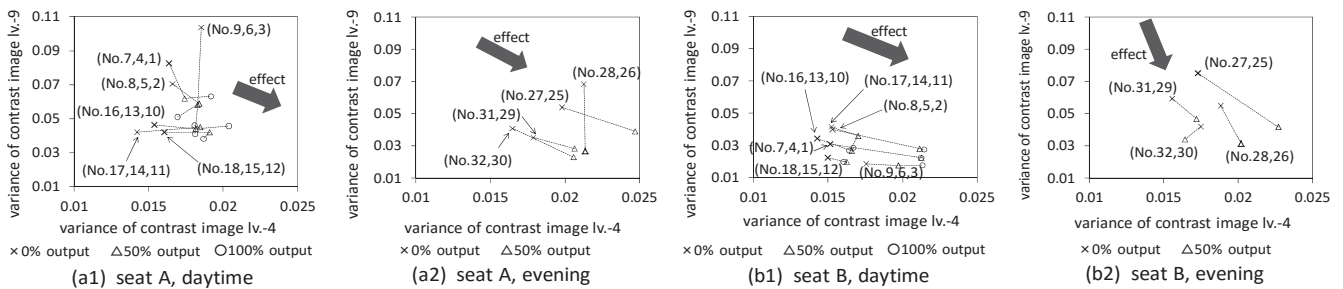


Fig. 7 天井直接照明の輝度対比量への影響 (Effect of Direct Ceiling Light on Variance of Contrast Image)

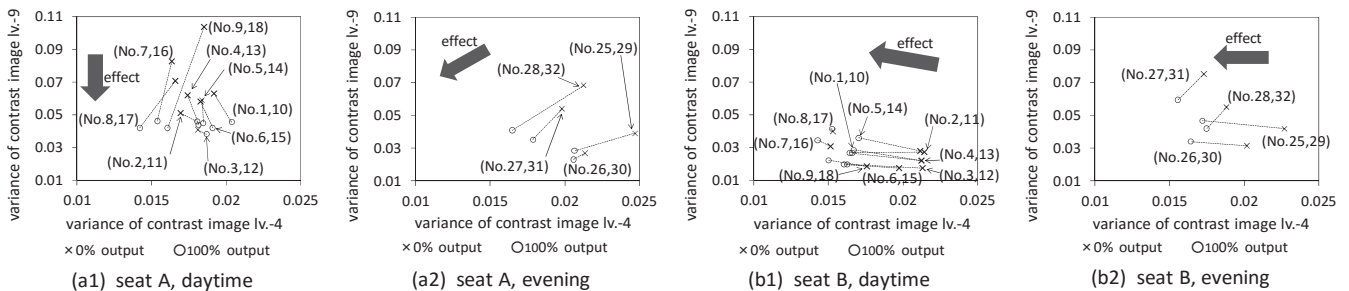


Fig. 8 天井間接照明の輝度対比量への影響 (Effect of Indirect Ceiling Light on Variance of Contrast Image)

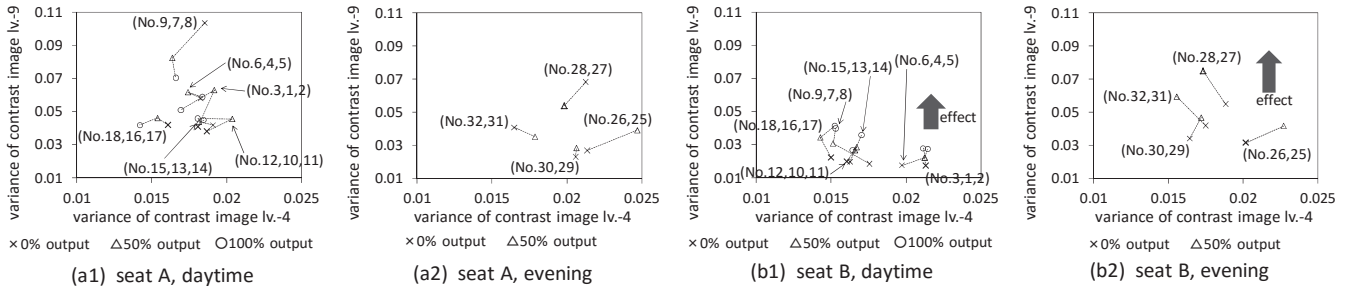


Fig. 9 壁間接照明の輝度対比量への影響
(Effect of Indirect Wall Light on Variance of Contrast Image)

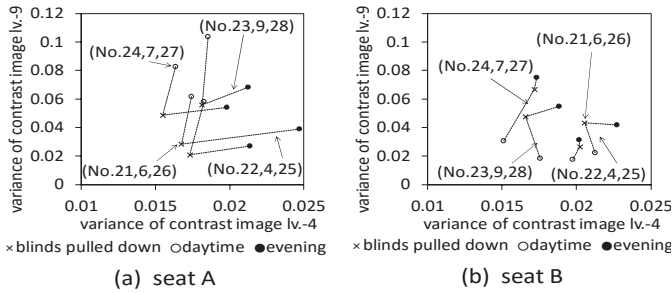


Fig. 10 ブラインドの輝度対比量への影響
(Effect of Drawing up Blinds on Variance of Contrast image)

IV. 輝度対比量と空間の明るさ感の関係

1. 第一の説明変数 x_1 (輝度または明るさ知覚の平均値)

ME 法による評定値の対数 (SB) の被験者平均を目的変数として、A, B 両座席の全 64 サンプルを用いて重回帰分析を行った。説明変数は、平均輝度または NB 値 (明るさ画像の pixel 毎の値であり、明る

さ知覚の推定値¹⁷⁾の平均 (平均 NB 値)⁶⁾を x_1 とした。画角はいずれも水平 100° 仰角 $0 \sim 40^\circ$ ²⁰⁾ とした。1 変数による単回帰式は、Table 2 に示す式 LM-1 および Table 3 に示す式 NB-1 となり、Fig. 11 (a1) (b1) に示すように、推定誤差が大きい。特に、視野内に窓のある seat A の推定に問題がある。

2. 第二の説明変数 x_2 (空間の明るさ感を減少させる要因)

2 つ目の変数選択において、各 lv. の輝度対比量を説明変数 x_2 とするときの偏相関係数は、それぞれ Fig. 12 のようになった。まず、細かい輝度対比の lv. は空間の明るさ感と順相関、粗い輝度対比の lv. は逆相関という傾向が明らかである。そして、この中で最も相関が大きく逆相関の特徴が顕著な lv. -9 の輝度対比量を x_2 として説明変数に加える。すると、2 変数による推定式は、Table 2 に示す式 LM-2 および Table 3 に示す式 NB-2 となり、Fig. 11 (a2) (b2) に示すように、それぞれ式 LM-1 および式 NB-1 に比較して説明力が向上する。seat A の 32 サンプルの自由度調整済決定係数 R^2 は seat B の 32 サンプル

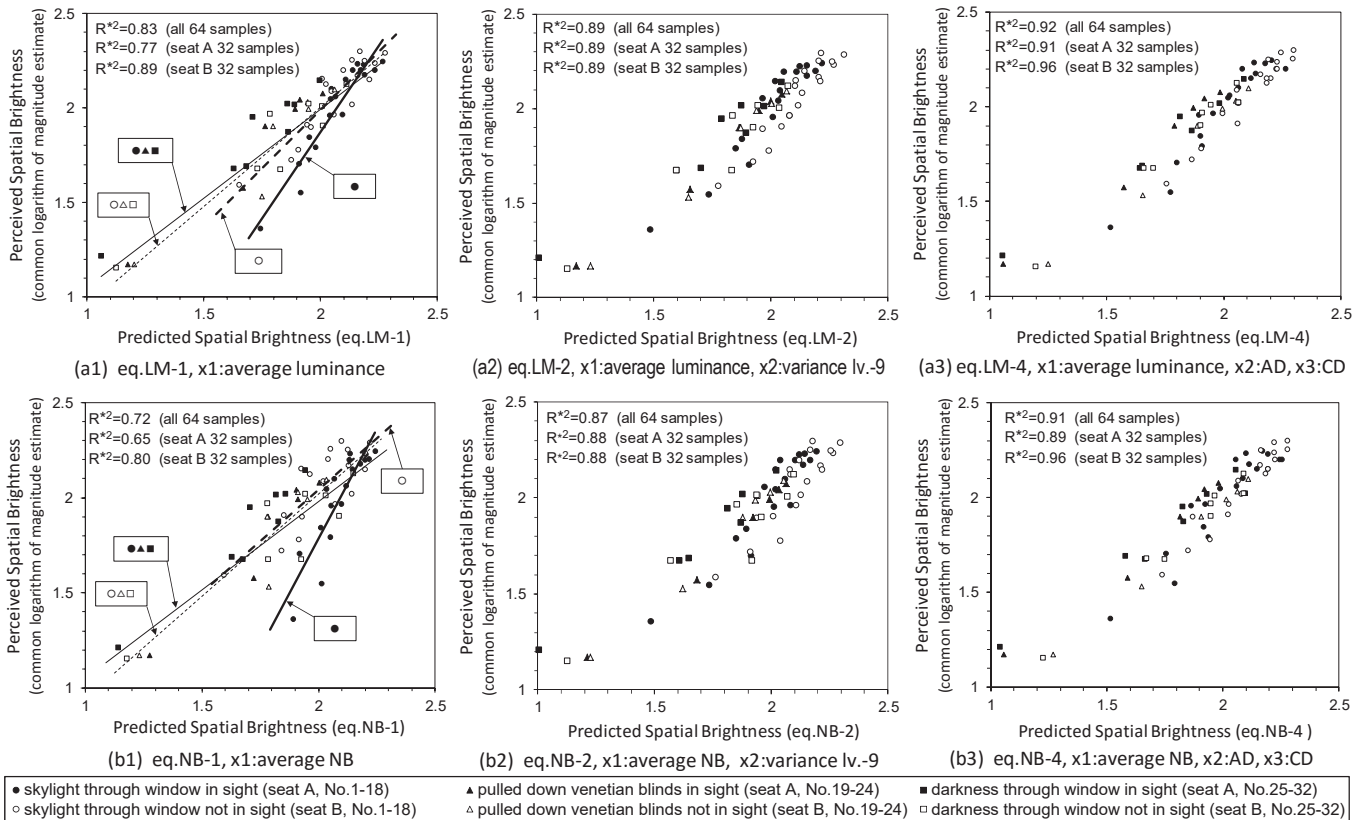


Fig. 11 実験より導いた明るさ感推定式の推定精度の比較
(Comparison of Prediction Equations)

● skylight through window in sight (seat A, No.1-18) ▲ pulled down venetian blinds in sight (seat A, No.19-24) ■ darkness through window in sight (seat A, No.25-32)
○ skylight through window not in sight (seat B, No.1-18) △ pulled down venetian blinds not in sight (seat B, No.19-24) □ darkness through window not in sight (seat B, No.25-32)

Table 2 回帰式の係数と説明力 (第一の説明変数: 平均輝度)
(Results of Variable Regression, x1: average luminance)

regression equation	x variable and constant	regression coefficient	standardised partial regression coefficient	partial correlation coefficient	coefficient of determination (adjusted for the degrees of freedom)
LM-1	x1: average luminance	0.56	0.91	0.91	0.82
	constant	0.86			
LM-2	x1: average luminance	0.52	0.84	0.93	0.89
	x2: variance of lv.-9 image	-4.40	-0.26	-0.61	
	constant	1.12			
LM-3	x1: average luminance	0.53	0.87	0.96	0.93
	x2: variance of lv.-9 image	-3.84	-0.23	-0.65	
	x3: variance of lv.-4 image	27.99	0.22	0.64	
	constant	0.55			
LM-4	x1: average luminance	0.54	0.87	0.95	0.92
	x2: total variance of lv.-7~-10 image (AD)	-1.94	-0.32	-0.72	
	x3: total variance of lv.-1~-5 image (CD)	11.04	0.24	0.62	
	constant	0.62			

Table 3 回帰式の係数と説明力 (第一の説明変数: 平均NB値)
(Results of Variable Regression, x1: average NB)

regression equation	x variable and constant	regression coefficient	standardised partial regression coefficient	partial correlation coefficient	coefficient of determination (adjusted for the degrees of freedom)
NB-1	x1: average NB	0.30	0.85	0.85	0.72
	constant	-0.38			
NB-2	x1: average NB	0.29	0.80	0.91	0.87
	x2: variance of lv.-9 image	-6.57	-0.39	-0.74	
	constant	0.02			
NB-3	x1: average NB	0.30	0.85	0.95	0.93
	x2: variance of lv.-9 image	-6.00	-0.36	-0.81	
	x3: variance of lv.-4 image	32.16	0.25	0.69	
	constant	-0.71			
NB-4	x1: average NB	0.30	0.84	0.94	0.91
	x2: total variance of lv.-7~-10 image (AD)	-2.83	-0.46	-0.82	
	x3: total variance of lv.-1~-5 image (CD)	12.85	0.28	0.65	
	constant	-0.59			

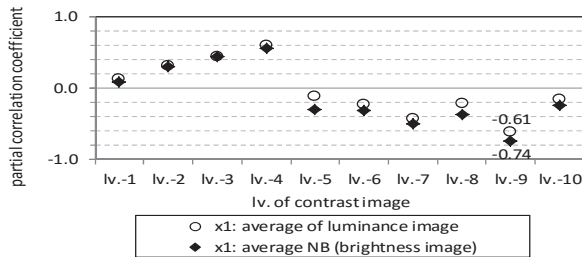


Fig. 12 第二の説明変数選択における偏相関係数
(Partial Correlation Coefficient for x2)

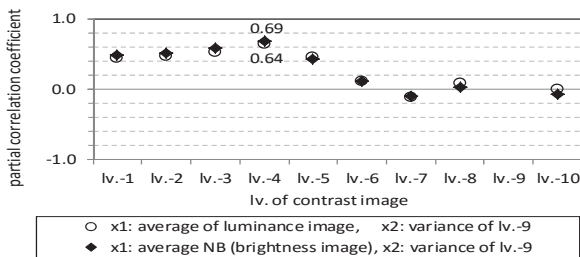


Fig. 13 第三の説明変数選択における偏相関係数
(Partial Correlation Coefficient for x3)

のR²と同等となり、窓からの日光導入のある条件に起因する散布図のパラつきは、この変数導入により大きく解消することが分かる。

3. 第三の説明変数 x3 (空間の明るさ感を増加させる要因)

x2に lv.-9 を選択した後、3つ目の変数選択において、各lv.の輝度対比量を x3 とするときの偏相関係数は、それぞれ Fig. 13 のようになり、これは x1 と x2 の影響を取り除いた後の空間の明るさ感との相関である。すると、lv.-1 から lv.-5 までが 0.4 以上の順相関があるが、その他の lv. はほぼ相関がなくなり、この中で最も相関が大きいのは lv.-4 である。これを x3 とすると、Table 2 に示す

式 LM-3 および Table 3 に示す式 NB-3 となり、R²=0.93 の高い説明力の推定式が得られる。

しかし、実空間では Fig. 4 に見られるように、前後の lv. において輝度対比が同様の場所で検出される傾向があり、輝度対比量についても前後の lv. で多重共線性が生じており、lv.-4 と lv.-9 の輝度対比量のみが説明変数に適しているとする結果に普遍性があるとは言い難い。このような多重共線性のある場合は、連動する変数群を包括する新たな説明変数の検討が有効である。そこで、lv.-7~-10 の輝度対比量の総和を「AD 値 (粗い輝度対比量)」, lv.-1~-5 の輝度対比量の総和を「CD 値 (細かい輝度対比量)」と定義し、これらをそれぞれ x2, x3 として重回帰分析を行い、Table 2 に示す式 LM-4 および Table 3 に示す式 NB-4 を得た。なお、両式の R² は 0.92 (式 LM-4) および 0.91 (式 NB-4) である。式 LM-3 と式 NB-3 のほうが R² は大きいですが、それは本実験条件 (窓のサイズや直接照明の光源のサイズ) に対する特殊解であるためと解釈できる。異なる光源のサイズへの適用性や式の普遍性の観点から、式 LM-4 と式 NB-4 のほうが適切と考えるのが妥当であろう。

Fig. 11 (a3) (b3) に示すように、式 LM-4 と式 NB-4 では、視野内に窓からの日光導入を含む seat A だけでなく視野内に人工照明のみを含む seat B の推定精度も高く、これらの推定式が人工照明と日光の区別を必要とすることなく全般的に高い説明力を有していることがわかる。また、AD 値と CD 値の変数導入は、平均輝度と平均 NB 値のいずれに対しても有効と言える。

4. 空間の明るさ感の尺度値 (NSB) の推定

最後に Fig. 14 に示すように、言語尺度の評定を数値化した値 (NSB) と SB の回帰式 (1) を両者の関係より求め、これに例えば式 NB-4 を組み込むことにより、次の空間の明るさ感推定式 (2) を得た。

$$NSB = 0.29 e^{1.57 SB} \dots (1)$$

$$NSB = 0.29 e^{1.57(0.30 NB - 2.83 AD + 12.85 CD - 0.59)} \dots (2)$$

$$NSB = 0.29 e^{0.47 NB - 4.46 AD + 20.21 CD - 0.93} \dots (3)$$

NB: 平均 NB 値 (水平 100°, 仰角 0~40°)

AD: lv.-7~-10 の輝度対比量の総和 (水平 100°, 仰角 20~20°)

CD: lv.-1~-5 の輝度対比量の総和 (水平 100°, 仰角 20~20°)

以上の検討により、空間の明るさ感を減少または増加させる空間周波数のおよその範囲を明らかにし、それらを考慮した空間の明るさ感推定モデルを定式化することができた。

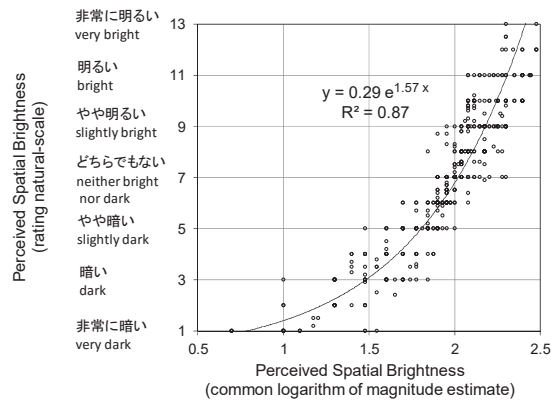


Fig. 14 ME 法による評定値と言語尺度の評定値の関係
(Relations between Rating Natural-scale and Common Logarithm of Magnitude Estimate)

V. NSB のオフィス以外への展開

以上の空間の明るさ感推定式の導出においては、オフィスを対象にして検討を進めた。しかし、アトリウムなどの空間を対象とした検討のニーズも少なくない。そこで、NSB をアトリウムに適用する際の値の取り扱いについて補足的な検討を行った。

検討方法は、実在する空間を対象として、被験者に空間の明るさ感を評定させ、Fig. 15 に示すように、評定値と測定した輝度画像から求めた NSB との関係をおフィスとアトリウムそれぞれについて求めた。両者を比較すると、アトリウムでは、NSB により推定される明るさ感評定よりもおよそ2明るく評定される傾向があることが分かる。言い換えれば、アトリウムのほうが要求される NSB のレベルが2低く、NSB が5 の場合が「どちらでもない」(標準的な明るさ感)と見なすことが適当であると言える。このような結果をおフィス以外の用途の空間について収集しそれらをリファレンスとすることにより、NSB を用いた空間の明るさ感評価法の適用範囲をより簡易的に多くの空間用途に拡張していくことが可能と思われる。

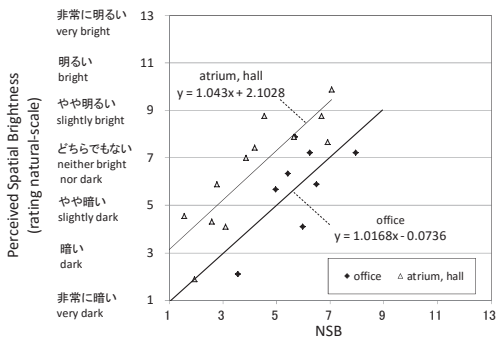


Fig. 15 評定値と NSB の関係 (オフィスおよびアトリウム)
(Relations between Rating Natural-scale and Predicted NSB, Comparison Office with Atrium)

VI. おわりに

本稿では、ウェーブレット分解を用いて輝度画像から検出空間周波数の異なる 10 枚の輝度対比画像を抽出し、それらの画像の分散の値に基づき、AD 値 (粗い輝度対比量) と CD 値 (細かい輝度対比量) を定義した。そして、平均輝度または平均 NB 値と、AD 値、CD 値の 3 つの説明変数からなる重回帰式を導き、空間の明るさ感は粗い輝度対比により減少し、細かい輝度対比により増加することを明らかにし、それらを考慮した空間の明るさ感推定式 NSB を提案した。

この推定モデルでは、昼光導入の強さと粗さ、人工照明の光源の大きさなどの輝度分布特性の違いが推定値に反映されるが、それらを定性的に考慮する必要がなく、輝度画像のみから推定が可能なモデルとなっており、実用性が高いと考えられる。

一方で、いくつかの課題があることを以下に補足する。

まず、推定式は 64 のサンプルに基づく結果であり、ここで設定された輝度分布のバリエーションが限定的であることは否定できない。したがって、さらに多くの空間への本モデルの適用性については引き続き検証が必要である。

次に、算入する空間周波数の重み付けについても課題がある。本稿では、例えば CD 値を単に lv. -1 ~ -5 の総和としており、それらの重み付けは行わなかった。3 変数よりも多くの説明変数を重回帰分析で扱うには、64 というサンプル数は十分といえないことがその理

由であるが、lv. -1 ~ -5 に相当する 0.23 ~ 3.6 cycle/degree という空間周波数帯はコントラスト感度の高い帯域と重なるため、視認性に関わる既往の知見の応用について検討の余地がある。また、lv. -1 の輝度対比画像は隣接する pixel 間の輝度対比を検出するため、輝度分布の撮影時の光学系の解像度やその後の画像処理の影響を受ける。さらに、実際の設計で用いる際、レンダリングのディテールの精度が計算される輝度画像の細かい輝度対比量に関わることとなるため、3次元の形状データにおいて、光源や部材の大きさやテクスチャの設定を細やかに設定する必要があるなど、実用上で不都合がある。したがって、それらの影響を排除するようなカットオフ周波数¹⁰⁾の適用の検討が必要と考えられる。AD 値についても、後方まで見回すような観察方法による空間に明るさ感に適用する場合には、全方位輝度分布¹⁸⁾の輝度画像を用いて、より粗い空間周波数の輝度対比量の変数導入を検討する必要がある。このように、変数に算入する空間周波数の上限と下限には検討の余地があるといえるだろう。

以上のような課題はあるものの、明解な推定モデルによって空間の明るさ感推定の普遍性を高める方向性を見出せたことは意義があると言えよう。

謝 辞

本稿の分析には、鹿島建設株式会社 (当時) の近藤純一博士、東京理科大学卒論生 (当時) の須郷聖美氏、村上俊彦氏、星雅寿氏と共同で実施した実験データを用いた。記して謝意を表す。

注 1) この範囲を設定した理由を 4 つ記す。1 つ目は、文献 1) よりその画角範囲がおよそ人が見まわす領域と考えられること。2 つ目は、この範囲は正距円筒射影への射影変換時に生じる空間周波数の歪みが小さいこと。3 つ目は、ウェーブレット分解では画像の端部では鏡像に基づき対比を算出するため、粗い空間周波数に相当する lv. -9 や lv. -10 の画像の端部に近い範囲では検出される輝度対比の値が実態と異なる可能性があること。4 つ目は、指標を用いる際の輝度画像の撮影やレンダリングのしやすさを考慮すると、100° 程度の小さい画角の画像からも指標値を得ることができるほうが実用上好ましいことである。

参考文献

- 1) Loe, D.L., Mansfield, K.P., Rowlands, E.: Appearance of lit environment and its relevance in lighting design: Experimental study, Lighting Res. Technol. 26(3), 1994, pp.119-133.
- 2) 小林茂雄, 中村芳樹, 木津努, 乾正雄: 空間の輝度分布が室内の空間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, 1996.9, pp.33-41.
- 3) Akashi, Y., Tanabe, Y., Akashi, I. and Mukai, K.: Effect of sparkling luminous elements on the overall brightness impression: A pilot study, Lighting Res. Technol. 32(1), 2000, pp.19-26.
- 4) 加藤未佳, 太田裕司, 羽生敏樹, 関口克明: 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, No.568, 2003.6, pp.17-23.

- 5) 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, 2004.9, pp.7-14.
- 6) 藤野雅史, 中村芳樹, 井上修作, 岩井彌: 照明設計ツールとしての輝度—明るさ変換システムの構築, 日本建築学会環境系論文集, No.597, 2005.11, pp.13-17.
- 7) 原直也: 窓外に景色を有する室の明るさ評価に基づく種々の明るさ指標の有効性の検討, 日本建築学会環境系論文集, No.615, 2007.5, pp.9-14.
- 8) 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, 2007.11, pp.266-271.
- 9) 岩井彌, 井口雅行: 空間の明るさ感指標「Feu」による快適な空間創りのための新しい照明評価手法, 松下テクニカルジャーナル, 53(2), 2008.1, pp.64-66.
- 10) 岡嶋克典, 藤本新之助: 光環境の明るさ感における空間周波数分布の影響, 照明学会誌, Vol.92, No.2, 2008.2, pp.77-82.
- 11) 高秉佑, 魯斌, 古賀誉章, 平手小太郎: 輝度のばらつきを考慮した空間の明るさ感の予測に関する基礎的研究, 照明学会誌, Vol.97, No.8, 2013.8, pp.429-435.
- 12) 山口秀樹, 丸山隆志, 篠田博之: 窓面からの昼光導入が空間の明るさ感に与える影響, 照明学会誌, Vol.98, No.11, 2014.11, pp.593-599.
- 13) 中村洋: 正射影カメラによる輝度および輝度分布の測定—その1 写真測光法と正射影カメラ・感光材料—, 日本建築学会論文報告集, No.243, 1976.5, pp.73-79.
- 14) 乾正雄, 中村芳樹: 景観の輝度分布に関する研究, 日本建築学会計画系論文報告集, No.384, 1988.2, pp.36-43.
- 15) 中村芳樹, 乾正雄, 沢田敏実: 輝度分布の表現法に関する研究, 日本建築学会計画系論文報告集, No.438, 1992.8, pp.1-8.
- 16) 中村芳樹, 江川光徳: コントラスト・プロファイルを用いた明るさ知覚の予測—輝度対比を考慮した明るさ知覚に関する研究(その2)—, 照明学会誌, Vol.89, No.5, 2005.5, pp.230-235.
- 17) 中村芳樹: ウェーブレットを用いた輝度画像と明るさ画像の双方向変換—輝度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, Vol.90, No.2, 2006.2, pp.97-101.
- 18) 中村芳樹, 中村一樹, 乾正雄: 全方位輝度分布に基づいた視環境評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, 1995.7, pp.379-380.
- 19) 坂田克彦, 近藤純一, 吉澤望, 武田仁: 正距円筒図法の明るさ画像を用いた明るさ感の推定, 鹿島技術研究所年報, No.56, 2008.9, pp.77-82.
- 20) 坂田克彦, 中村芳樹, 吉澤望, 武田仁: オフィスの空間の明るさ感推定に有効な平均輝度の画角範囲に関する検討, 日本建築学会環境系論文集, No.723, 2016.5, pp.421-428.

Natural-Scale of Spatial Brightness: Spatial Brightness Index Based on Variance of Contrast Image

Katsuhiko Sakata, Yoshiki Nakamura¹⁾, Nozomu Yoshizawa²⁾ and Hitoshi Takeda²⁾

Studies have previously been undertaken on the prediction of perceived spatial brightness aimed at achieving designs that take account of a feeling of brightness of space, and various estimation models and factors affecting the prediction of perceived spatial brightness are known. In this study the authors focused their attention primarily on factors other than average brightness to explain perceived spatial brightness in nonuniform luminance distribution with the aim of proposing an index which encompasses existing knowledge while being based on simple quantities.

The authors set 32 different lighting conditions in an office with north-facing windows and measured the luminance images for each condition. They then asked subjects to evaluate the perceived brightness from two seats, one with the windows in sight and with no windows in sight, thereby providing 64 different luminance distribution and estimation value samples. Ten contrast images of different spatial frequency were decomposed from each luminance image by wavelet transformation symlet6, then AD (ambient directivity, low spatial frequency) and CD (contrast detail, high spatial frequency) were defined on the basis of each variance of contrast image.

The authors used multiple regression analysis to obtain a multiple regression equation to explain spatial brightness using three variables: average luminance, or NB value; AD; and CD. AD lowers spatial brightness, while CD raises it. The estimated accuracy was greater than that achieved using a conventional equation.

After considering the above, the authors suggested NSB (Natural-Scale of Spatial Brightness), a spatial brightness index based on luminance contrast.