

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

|                   |                                                                                                                                                                                                |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 題目(和文)            | 実環境への適用性を有する明るさ感評価法の構築と視環境設計                                                                                                                                                                   |
| Title(English)    |                                                                                                                                                                                                |
| 著者(和文)            | 坂田克彦                                                                                                                                                                                           |
| Author(English)   | Katsuhiko Sakata                                                                                                                                                                               |
| 出典(和文)            | 学位:博士(工学),<br>学位授与機関:東京工業大学,<br>報告番号:甲第10845号,<br>授与年月日:2018年3月26日,<br>学位の種別:課程博士,<br>審査員:中村 芳樹,松岡 昌志,室町 泰徳,那須 聖,浅輪 貴史                                                                         |
| Citation(English) | Degree:Doctor (Engineering),<br>Conferring organization: Tokyo Institute of Technology,<br>Report number:甲第10845号,<br>Conferred date:2018/3/26,<br>Degree Type:Course doctor,<br>Examiner:,,,, |
| 学位種別(和文)          | 博士論文                                                                                                                                                                                           |
| Type(English)     | Doctoral Thesis                                                                                                                                                                                |

実環境への適用性を有する明るさ感評価法の構築  
と視環境設計

2018年

坂田 克彦



学位論文 博士（工学）

実環境への適用性を有する明るさ感評価法の構築  
と視環境設計



東京工業大学

坂 田 克 彦





# 目次

|                                           |    |
|-------------------------------------------|----|
| 第1章 序論.....                               | 1  |
| 1-1 研究の背景 .....                           | 2  |
| 1-1-1 明るさ感の定量的評価の必要性.....                 | 2  |
| 1-1-2 低炭素化社会における視環境設計のありかた .....          | 2  |
| 1-1-3 設計の実務で求められる明るさ感指標 .....             | 4  |
| 1-1-4 視環境設計のエビデンスとしての明るさ感評価 .....         | 5  |
| 1-2 研究の目的 .....                           | 5  |
| 1-3 研究の構成 .....                           | 5  |
| 第2章 明るさ感に関する既往研究の再考と評価法の構築に向けた課題の提起 ..... | 7  |
| 2-1 本章の目的 .....                           | 8  |
| 2-2 明るさ感評価における評価対象の範囲 .....               | 8  |
| 2-2-1 「明るさ感」の定義.....                      | 8  |
| 2-2-2 明るさ感の程度評価と価値評価.....                 | 9  |
| 2-2-3 評価対象の範囲と輝度分布計測方法の関係 .....           | 9  |
| 2-2-4 評価対象の範囲による既往の研究の分類.....             | 10 |
| 2-3 既存の明るさ感推定モデルの実環境への適用に向けた課題 .....      | 11 |
| 2-3-1 「実環境」の定義 .....                      | 11 |
| 2-3-2 実環境の観点による既往の研究の分類 .....             | 12 |
| 2-3-3 実環境における空間の形の多様性 .....               | 12 |
| 2-3-4 実環境における輝度対比の空間周波数の多様性 .....         | 15 |
| 2-4 本章の小括 .....                           | 17 |
| 第3章 実環境の空間の形の多様性を考慮した評価対象範囲の設定方法の検討 ..... | 19 |
| 3-1 本章の目的 .....                           | 20 |
| 3-2 什器の有無と奥行きの違いを考慮した模型実験 .....           | 20 |
| 3-2-1 実験空間概要 .....                        | 20 |

|       |                                   |    |
|-------|-----------------------------------|----|
| 3-2-2 | 輝度分布のデータ形式 .....                  | 25 |
| 3-2-3 | 平均輝度の算定 .....                     | 30 |
| 3-2-4 | 実験空間の輝度分布の特徴 .....                | 30 |
| 3-2-5 | 被験者による明るさ感の評定 .....               | 32 |
| 3-3   | 明るさ感推定に有効な評価対象範囲の空間の形による違い .....  | 32 |
| 3-3-1 | 有効な評価対象範囲の自席領域の有無による違い .....      | 32 |
| 3-3-2 | 設定条件による層別をしない場合に有効な評価対象範囲 .....   | 34 |
| 3-3-3 | 有効な評価対象範囲の奥行き長さによる違い .....        | 35 |
| 3-3-4 | 有効な評価対象範囲の窓採光の有無による違い .....       | 36 |
| 3-3-5 | 空間の形に応じた評価対象範囲の調節の有効性 .....       | 36 |
| 3-3-6 | 実空間を対象とした評価対象範囲の調節の有効性の検証 .....   | 38 |
| 3-4   | 評価対象範囲の設定方法の検討 .....              | 39 |
| 3-4-1 | 既往研究が示す評価対象範囲との比較 .....           | 39 |
| 3-4-2 | 奥行きと天井高を変数とした評価対象範囲の設定方法の検討 ..... | 40 |
| 3-4-3 | 視野内の重みづけによる評価対象範囲の設定方法の検討 .....   | 41 |
| 3-4-4 | 視線方向の自由度に関する考察 .....              | 42 |
| 3-4-5 | 画像の射影方法の自由度に関する考察 .....           | 42 |
| 3-4-6 | 評価対象範囲の設定方法に関する適用限界 .....         | 43 |
| 3-5   | 本章の小括 .....                       | 43 |

## 第4章 実環境に混在する輝度対比の空間周波数を考慮した

|       |                                |    |
|-------|--------------------------------|----|
|       | 明るさ感推定モデル NSB の構築 .....        | 45 |
| 4-1   | 本章の目的 .....                    | 46 |
| 4-2   | 窓採光のある実オフィスにおける明るさ感の評定実験 ..... | 46 |
| 4-2-1 | 実験条件 .....                     | 46 |
| 4-2-2 | 被験者による評定 .....                 | 48 |
| 4-2-3 | 輝度分布の測定と輝度画像の作成 .....          | 49 |
| 4-2-4 | 離散ウェーブレット分解による輝度対比画像の抽出 .....  | 49 |
| 4-2-5 | 明るさ画像の作成 .....                 | 50 |
| 4-2-6 | 輝度対比量の算出 .....                 | 50 |
| 4-2-7 | 照明と輝度対比量の関係 .....              | 52 |
| 4-3   | 輝度対比量と明るさ感の関係 .....            | 54 |



|              |                                              |           |
|--------------|----------------------------------------------|-----------|
| 4-3-1        | 平均輝度または平均 NB 値による単回帰分析 .....                 | 54        |
| 4-3-2        | 各分解レベルの輝度対比量を説明変数とした重回帰分析 .....              | 56        |
| 4-3-3        | 輝度対比量に基づく不均一指標値 AD 値・CD 値の定義と重回帰分析 .....     | 61        |
| 4-3-4        | カットオフ周波数の検討 .....                            | 63        |
| 4-3-5        | 明るさ感推定モデル NSB の構築 .....                      | 63        |
| 4-4          | オフィス以外への適用性の検証と NSB 値の価値評価 .....             | 65        |
| 4-4-1        | 明るさ感推定モデル NSB のオフィス以外への適用性の検証 .....          | 65        |
| 4-4-2        | NSB 値の価値評価に関する検討 .....                       | 68        |
| 4-4-3        | 明るさ感推定モデル NSB の適用限界 .....                    | 69        |
| 4-5          | 明るさ感指標の基準化に向けた検討 .....                       | 69        |
| 4-5-1        | 他の指標との統合に向けた指標値算定式の提案 .....                  | 69        |
| 4-5-2        | 尺度値および価値評価の統一の提案 .....                       | 70        |
| 4-5-3        | 不均一指標の展開に向けた輝度画像の射影に関する考察 .....              | 71        |
| 4-5-4        | 不均一指標値の簡易設定法の整備 .....                        | 71        |
| 4-6          | 本章の小括 .....                                  | 72        |
| <b>第 5 章</b> | <b>明るさ感推定モデル NSB に基づく建築と照明設備の視環境設計 .....</b> | <b>73</b> |
| 5-1          | 本章の目的 .....                                  | 74        |
| 5-2          | 昼光制御下のオフィスの明るさ感の年間シミュレーション .....             | 75        |
| 5-2-1        | 昼光制御下のオフィスの明るさ感予測の留意点 .....                  | 75        |
| 5-2-2        | 建物モデル .....                                  | 76        |
| 5-2-3        | 照明シミュレーションプログラムと気象データ .....                  | 77        |
| 5-2-4        | 昼光制御の年間スケジュールの想定 .....                       | 77        |
| 5-2-5        | 明るさ感推定値の算出 .....                             | 80        |
| 5-3          | 変動する明るさ感の年間評価方法の検討 .....                     | 81        |
| 5-3-1        | SB 値の時間率 .....                               | 81        |
| 5-3-2        | 50 パーセンタイルの SB 値 .....                       | 82        |
| 5-3-3        | 時間率 90% レンジ .....                            | 83        |
| 5-3-4        | ケーススタディの結果と考察 .....                          | 83        |
| 5-3-5        | 設計のエビデンスとしての SB 値の年間評価の価値 .....              | 85        |
| 5-3-6        | 年間評価方法の適用限界 .....                            | 86        |
| 5-4          | 本章の小括 .....                                  | 87        |

|                                         |     |
|-----------------------------------------|-----|
| 第 6 章 明るさ感を考慮した建築と照明設備の新しいデザインの展望 ..... | 89  |
| 6-1 本章の目的 .....                         | 90  |
| 6-2 什器の明度のメリハリによる CD 値の増加と明るさ感の創出 ..... | 90  |
| 6-2-1 物件概要 .....                        | 90  |
| 6-2-2 視環境の計画 .....                      | 91  |
| 6-2-3 視環境の評価 .....                      | 92  |
| 6-2-4 考察 .....                          | 93  |
| 6-3 面状照明体を用いた明るさ感演出照明の設計事例 .....        | 93  |
| 6-3-1 導光板の建築化照明への適用 .....               | 93  |
| 6-3-2 導光板の設置形態 .....                    | 94  |
| 6-3-3 什器立設型の設置例 .....                   | 94  |
| 6-3-4 窓取付型の設置例 .....                    | 95  |
| 6-4 直射光の反射による AD 値の低減効果の事例 .....        | 96  |
| 6-4-1 物件概要 .....                        | 96  |
| 6-4-2 調査対象 .....                        | 96  |
| 6-4-3 計測項目 .....                        | 97  |
| 6-4-4 計測結果 .....                        | 97  |
| 6-4-5 考察 .....                          | 98  |
| 6-5 本章の小括 .....                         | 99  |
| 第 7 章 結論 .....                          | 101 |
| 7-1 研究の結論 .....                         | 102 |
| 7-2 今後の課題 .....                         | 104 |
| 参考文献 .....                              | 105 |
| 研究業績 .....                              | 108 |
| 謝辞 .....                                | 115 |



# 第1章

## 序論

## 1-1 研究の背景

### 1-1-1 明るさ感の定量的評価の必要性

部屋の採光や電灯を計画するとき、誰もが適切な明るさにしたいと考えるはずである。明るさを必要とする状況を想像してみれば、第一に文字などの明視性を確保するための照度、第二に部屋の用途に適した明るさの印象を念頭に置くことになる。この両者は同じことではないかと感じる人もいるかもしれない。確かに、シーリングライトやペンダントライトのみで室内を照らすような一室一灯型の照明では、照度と明るさの印象は連動し、照度を大きくすれば明るさの印象も高まる関係にあった。しかし、住宅では多灯分散照明<sup>1)</sup>、オフィスではタスク・アンビエント照明や人感センサーを用いた在/不在制御といった不均一照明が普及するにつれ、机上面照度が十分でも暗い印象となってしまう場合があることや、間接照明などを用いて壁や天井を照らすなどの工夫をすれば照度を低く抑えても明るい印象に改善できることが、多くの人に知れ渡るようになった。このような明るさの印象は「明るさ感」とよばれている。いまでは、明るさ感と省エネルギーの両立は照明計画の共通言語のようになり、照度に加えて明るさ感を考慮した設計を多くの設計者が目指すようになってきている。

今日、照明設備は多様化し、単に上から下に照らすのではなく、天井・壁・什器の中を照らす照明など、どこを明るく照らすかを3次元で計画することが当たり前となりつつあり、2次元の照度分布だけではこのような不均一照明を定量的に計画できないことは明らかである。そのような状況になることを予見して、光環境の研究者は、照度分布に加え、輝度分布による評価の必要性を唱えてきた<sup>2)</sup>。輝度分布は、室内のある視点において、そこから見える視野内の明暗の分布を表したものであり、いわば写真のようなものである。ここには人が知覚する明暗の情報がほぼ網羅されている。すなわち、人がそこから感じとる明るさの印象を説明しうる情報を有しているわけである。

以上のような背景のもと、観察範囲の明るさ感を輝度分布から定量的に推定する方法の研究が30年ほど前から始まり<sup>3)</sup>、今日まで盛んに行われてきている。輝度分布から求めた値が、意図通りの明るさ感を得るための視環境設計の「ものさし」として使えるようになれば、高度な3次元の光のデザインが可能になると期待されている。

### 1-1-2 低炭素化社会における視環境設計のありかた

もし同程度の明るさ感をより少ない電灯で得ることができれば省電力につながることは自明である。その実現のために設計者は照明設備や昼光利用の方法に工夫を凝らすことになる。

民生分野でエネルギー消費の多くを占める一つはオフィスであり、低炭素社会に向けて、オフィスの照明設備の省電力の重要性は高い<sup>4)</sup>。オフィスの照明設備の電力削

減には、照明計画の面では、必要の無い時や必要の無い場所の照明の出力を下げる事が有効であり、作業面以外を低照度に抑えるタスク・アンビエント照明や、不在エリアの消灯などは多くのオフィスで取り入れられている。日本では、大部屋スタイルのオフィスレイアウトが主流であるため<sup>5)</sup>、アンビエント照度を低く抑えることが省電力に効果的である<sup>6)</sup>。しかし、天井に設置しているアンビエント照明の出力を抑えると、壁や天井の輝度も低くなり陰鬱な印象となってしまうため、壁や天井を照射する間接照明などを併用するなど、そのような悪影響を防ぐ工夫を合わせて行うことが求められる<sup>7)</sup>。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、明るさ感という概念はそのような観点で照明の質を評価する代表的な心理量の一つであり、そのオフィス照明設計への展開は省電力を進める上で今や欠かせない。

オフィスにおいて、作業のための照度と感覚的に受け取る明るさの印象である明るさ感、このふたつはどちらも大切で、片方だけを満足しただけではクレームが起きかねない。日本で一般的なオープンプランのオフィスの光環境を見てみると、照明設備は、直接照明主体であり、明るさ感に寄与する間接光が不足しがちである。仮に、直接光主体の照明設備のみで明るさ感を満足しようとするれば、照度が過剰となり、省電力の観点でも無駄を生じてしまうことになる。そのため、直接光と間接光を組み合わせることにより、照度と明るさ感をともにバランスよく無駄なく満たす計画が求められるが、照明設備による間接光は省電力の観点で効率が悪い。その解決策として、オフィスにおける昼光利用には間接光を生み出し照明設備の負担を減らすことが求められる。一昔前の昼光利用といえば、省エネルギーを図る目的で机上面照度の一部を担うという考え方が主流だった。しかし、LEDによって省電力が進んだ今日、その役割は壁や天井面を照らし明るさ感や開放性を高めることに向けられるようになっている。本来昼光は不安定さを合わせ持っているため、作業のための照度に充てるよりも理にかなっているのである。ところが、一部の窓から多くの昼光を取り入れると窓と室内との明るさの違いが大きくなり、かえって室内が暗く感じられてしまう。いわゆる輝度の対比が暗い印象を与えてしまう。昼光利用においても、視野内のどの部分をどの程度明るく見えるようにするか、輝度の対比を防ぎつついかに広範囲に拡散させるか、そのような3次元の見え方のデザインの重要性が増してきているといえる。

また、採光と照明設備の特徴を見てみると、採光は省電力だが外装コストがかかり変動要素であるというデメリットもあり、頼りすぎてはならない。それに対して照明設備は電力と設備コストがかかるがコントロール可能であり、昼光の変動をカバーできる、つまり、両者は補完しあう関係にあるといえる。視環境設計では、照明設備と昼光利用に関わる建築を総合的にとらえることが必要なのである。

### 1-1-3 設計の実務で求められる明るさ感指標

これまでに提案された明るさ感を推定するモデルや指標，明るさ感への影響が示唆された要因は多岐にわたる<sup>8)-22)</sup>．しかしながら，それらの指標<sup>例えば 13)</sup>は，ある特定の環境にはあてはまるが，想定していない輝度分布に対しては，輝度の対比の影響を正しく考慮することができず，適用範囲に限界があることも指摘されている．学会では明るさ感に関する研究会が組織され，明るさ感に関わる基準作成に向けた議論も重ねられているが，信頼できる指標が未整備な段階では実現できそうにない．まずは既存の指標の適用限界を明らかにすることが急がれているが，十分な整備が進まないまま“仮使用”されているのが現状である．既存の指標は適用限界に外れた条件では誤った評価をする脆弱性を抱えてはいるものの，設計段階で明るさ感を検討することがより高度な光環境設計に寄与していることに異論を唱える人は少ない．ニーズが高く今や不可欠な評価項目となりつつありながら，指標として成熟していないことが，明るさ感評価の課題なのである．

既存の指標の弱点は，第一に，指標を導くに際して行われる評価対象空間のバリエーションに偏りがあることであり，その偏りが適用限界の一因となっている．空間の用途によって，部屋の奥行の長さが様々であったり，視野の下方に什器が置かれ上方と下方で空間のボリュームが異なったり，様々な空間の形が存在する．それらのすべてをカバーできる汎用的な明るさ感指標を構築することは容易くない．

第二に，昼光を導入した空間への適用性が不足している点である．昼光を導入した空間には，窓のような立体角の大きな光源の存在，窓廻りと室内側の明暗の対比の存在といった，照明設備のみで与えられた視環境には無い特徴がある．一般に昼光を採り入れることは，視野内の輝度を高め，空間を明るくすることができる．しかし，窓が明るいと，明暗の差も大きくなり，それにより室内が暗く見えてしまい，昼光導入によって期待される明るさ感が結果的に得られないことが多い．さらに，昼光は変動するため，ある昼光条件の明るさ感のみを評価したところで，それは一面しか評価できていないことは明らかである．昼光を含む明るさ感の評価には，そのような難しさがあるのである．このように，昼光を含まない実験から導かれた明るさ感の指標は，昼光を含む空間への適用性が乏しく，また変動に対する評価の方法も用意されていないため，設計の実務に適用するには信頼性が不十分なのである．

実際に明るさ感を配慮した設計が求められる空間は，住宅やオフィスだけではなく，エントランスホールやアトリウムなど，窓を有する空間であることはもちろん，空間のボリュームも様々である．明るさ感の評価もそのような実環境への適用性が求められるのは当然である．明るさ感の推定に関して多くの研究成果の蓄積があるわけであるが，空間の形の多様性，昼光の影響と変動など，実環境のバリエーションへの対応が求められている．

#### 1-1-4 視環境設計のエビデンスとしての明るさ感評価

明るさ感の評価を適切に行うことは、どのように高度な視環境設計に寄与するのだろうか。従来の照度を中心にした設計では行き届かなかった細部を決定するための「ものさし」としての有効性が示されなければ、指標の信頼性が保証されたとしても、その普及は進まないだろう。明るさ感の評価に基づいた優良な設計事例を創出し、時間と手間をかけて明るさ感を検討する価値、実用性があることを示していくこともまた必要である。

### 1-2 研究の目的

前節で述べたように、昼光と照明設備は補完し合う関係にあり、いずれか一方のみでは省電力と快適性を両立させることは難しく、視環境設計で用いる明るさ感評価法には、昼光を想定したうえで様々な用途の空間への適用性が求められる。

そこで、本研究では、まず、明るさ感の評価で用いる明るさ感指標を実環境へ適用するための課題を明らかにし、実験等によりその課題に取り組み、適用範囲が広く推定精度の高い明るさ感推定モデルを構築する。その際、新たな指標の提案ではなく、既存の知見を統合する理論を構築することを念頭に置く。そして、その明るさ感推定モデルを用いて、建築の窓廻りと照明設備の設計を行い、明るさ感評価方法を構築する。以上を通じて、広い適用性と実用性を有する明るさ感評価法を構築し、評価法の基準化という明るさ感研究の大きな目標に向けた提言を行うことを目的とする。

### 1-3 研究の構成

本研究の構成を図 1-1 に示す。



図 1-1 研究の構成



第1章では、視環境設計の実務への適用を念頭においた明るさ感研究に求められる研究の背景を述べ、本研究の目的を明らかにする。

第2章では、明るさ感に関する既往の研究についてレビューし、現状の課題として、実環境への適用性が十分でないことを論述する。

第3章では、実環境では空間の形が様々である点に着目し、空間の形の特徴に応じた評価対象範囲の設定方法について論述する。

第4章では、実環境では昼光や照明設備によって様々な空間周波数の輝度対比が重なり合っていることに着目し、混在する輝度対比の空間周波数を考慮した明るさ感推定モデル NSB を構築する。

第5章では、窓採光を伴うオフィスの設計実務を検討モデルとして、昼光制御に伴い変動する明るさ感の年間評価方法について検討し、明るさ感推定モデル NSB を設計に取り入れることの有効性を明らかにする。

第6章では、明るさ感を考慮した建築と照明設備のデザインの展望について述べる。

第7章では、本研究を総括し、結論を明らかにするとともに、今後の課題を述べる。

## 第2章

### 明るさ感に関する既往研究の再考と 評価法の構築に向けた課題の提起

## 2-1 本章の目的

「明るさ感」という言葉は、オフィスに限らず住宅のようなオフィスよりも狭い空間や光源そのものなど、様々なサイズの領域を対象として使われる。それらの様々な「明るさ感」に対しては、研究のアプローチもまた様々である。本章では、本研究で扱う「明るさ感」の定義を明確にするとともに、既往の研究で扱われた「明るさ感」の定義とその研究のアプローチについて概観する。さらに、本研究が扱う「実環境」に適用するうえでの既存の明るさ感推定モデルの課題を示し、本研究の位置づけを明確にする。

## 2-2 明るさ感評価における評価対象の範囲

### 2-2-1 「明るさ感」の定義

明るさ感に関する研究のはじまりは、1970年代にさかのぼる。1974年の照明学会「快適視環境研究委員会報告」<sup>23)</sup>に「明るさ感」の言葉が登場する。日本建築学会の大会学術講演では、1977年に猪村・乾<sup>3)</sup>により「室内の大きさ感と明るさ感」の発表がある。ここで記される「明るさ感」は、「室内の明るさの感じ」、「人が感じる明るさの印象」を指す言葉であり、「明るさ感」を扱う初期の研究と考えられる。

同じ頃、「アパレント・ブライトネス」<sup>24)</sup>と呼ばれる小領域の「見かけの明るさ」つまり明るさ知覚を対象とした研究も既に行われていた。これに対して、「明るさ感」は「アパレント・ブライトネス」とは異なる概念として、視対象を想定せず、その室の視環境に包まれた人に内在する感情を表す心理量として使われ始めたと考えられる。「アパレント・ブライトネス」が、視対象が明確な明るさの知覚量であるのに対し、「明るさ感」は視対象と要因が曖昧で「アパレント・ブライトネス」よりも高次の心理量として扱われていたと考えられる。

その後、1980年代、三波長型蛍光灯が発売され、同じ電力でも明るく感じられることを表すキャッチコピーとして「明るさ感」という言葉が用いられたことがあった。つまり「蛍光灯の明るさ感」の意味でつかわれており、「明るさ感」が特定の視対象に対しても使われるようになってきたことは成定<sup>25)</sup>の論説から伺える。そして、「明るさ感」の定義について混乱が生じはじめたことを、伊藤<sup>26)</sup>が指摘している。これらの論説は1983年に出版されたが、その後も、小領域の明るさ知覚を扱う研究で「明るさ感」の用語を使う記述が散見され、定義の混乱状態は2000年頃まで続いていた。

「明るさ感」の定義に混乱が生じる原因は、視対象つまり評価対象の範囲がまちまちであることにある。今日では、そのような混乱を避ける意図から、ランプのような

小さい領域を対象とした明るさの知覚量については、「明るさ知覚」の語を用いて「明るさ感」とは区別する記述が一般的である。また、「空間の明るさ感」「壁面の明るさ感」のように単に「明るさ感」と呼ばずに「～の」と対象領域を付けて表し、その定義について混乱を招かないよう配慮されることが多くなった。それでも、混乱が全くなくなるわけではない。たとえば、「空間の明るさ感」の「空間」の定義が曖昧であるため、しばしば議論的となる。一般的には、空間内の見回した領域から受ける明るさの印象を指し示すことになるだろう。元来、「～の」とつかない「明るさ感」とは、視対象によって定義されるのではなく、視対象を想定せずとも人に内在する感情を表したものであったのではないかと考えられる。とすれば、人の行為や視線の動きが違えば、常に「明るさ感」の指す意味もそれに伴い違ってくると考えるのが自然である。つまり、「空間の」と断ったところで「明るさ感」の定義には、視線が動く範囲の想定が不要になることはないのである。「着席時の」明るさ感、「歩行時の」明るさ感などのように、姿勢によって視線の動く範囲を明確にすることもまた明るさ感を定義する有効な方法であるといえる。

## 2-2-2 明るさ感の程度評価と価値評価

人が感じ取った明るさ感を言葉で表現しようとすれば、「どこで」「何をするとき」「どのあたりから」「どのくらい」明るくまたは暗く感じる、のような文脈があると考えられる。このような明るさ感が形成されるプロセスを段階的に分けることを考えたとき、「どのあたりから」「どのくらい」という環境要因によって決まる段階の「程度評価」と、「どこで」「何をするとき」という空間用途と行為によって決まる段階の「価値評価」にわけることができる。「程度評価」は輝度分布から計算される物理指標値、「価値評価」は、空間用途と行為のためのクライテリアの設定ということになる。

住宅とオフィスのように、空間の用途が異なると、「程度評価」の指標値の次元は変わることがないが、そこで設定される評価対象の範囲が異なる可能性があり、さらに「価値評価」のクライテリアも異なる可能性があるということを、理解しておく必要がある。

## 2-2-3 評価対象の範囲と輝度分布計測方法の関係

明るさ感研究を設計に活用することを目的にするのであれば、明るさ感を定義する際に、輝度分布から計算される明るさ感推定値つまり指標値の計算方法を簡便にすることも念頭におく必要がある。明るさ感を推定するための輝度分布は、より大きな領域を対象とするほど、より大きな画角を扱う必要が生じ、計測やレンダリングによる輝度分布データの生成に要する手間や時間が増えるため、評価対象と目的に対して必要十分な画角の輝度画像を用いることが合理的である。人の視野の大きさは、情報受容度の小さい補助視野と呼ばれる最も広いものでも左右最大 200°、垂直 135° 程度で

あり<sup>27)</sup>，見回す行為を伴わない入室時，着席時などにおける短期的な明るさ感，前方の半球の輝度分布によっておよそカバーできる．その観点から，半球の輝度分布を撮影可能な魚眼レンズを用いた輝度分布の計測が広く用いられている．

## 2-2-4 評価対象の範囲による既往の研究の分類

明るさ感に関する既往の研究を分類すると，表 2-1 に示すように，小領域の明るさ知覚<sup>28)~32)</sup>，前方視野に基づく明るさ感<sup>9)~21)</sup>におよそ分類でき，やや特殊なものとして，全方位に基づく明るさ感<sup>22)</sup>と移動を伴う明るさ感<sup>8)</sup>がある．小領域の明るさ知覚は，例えば展示物や標識，光源など視野内の一部の明るさ知覚であり，視対象が明確である．それに対し，前方視野に基づく明るさ感と全方位に基づく明るさ感はいずれも「空間の明るさ感」または「空間の明るさ」と称されることからわかるように，空間内の広範囲から得られる明るさの印象である．前方視野と全方位の違いは，空間の観察姿勢が関係していると解釈でき，前方視野の明るさ感は着席時など視線方向がほぼ一定の場合，全方位の明るさ感は空間を回遊または見回す姿勢の明るさ感を対象にしていると言えるだろう．

表 2-1 評価対象の範囲による既往の研究の分類

| 著者       | タイトル                                                                       | 視対象の範囲 |      |     |    |
|----------|----------------------------------------------------------------------------|--------|------|-----|----|
|          |                                                                            | 小領域    | 前方視野 | 全方位 | 移動 |
| Bodmannら | Predicted brightness luminance phenomena                                   | ○      |      |     |    |
| 中村ら      | 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—輝度の対比を考慮した明るさ知覚に関する研究                          | ○      |      |     |    |
| 謝ら       | 光色の違いが明るさ感に与える影響に関する研究                                                     | ○      |      |     |    |
| 戴ら       | 周辺視野における明るさ知覚に関する研究                                                        | ○      |      |     |    |
| 綿貫ら      | 全視野における明るさ知覚特性                                                             | ○      |      |     |    |
| Loeら     | Appearance of lit environment and its relevance in lighting design         |        | ○    |     |    |
| 小林ら      | 空間の輝度分布が室内の空間の明るさ感に与える影響                                                   |        | ○    |     |    |
| Akashiら  | Effect of sparkling luminous elements on the overall brightness impression |        | ○    |     |    |
| 荻内ら      | 仮想輝度分布法による空間の明るさ感推定の有効性                                                    |        | ○    |     |    |
| 藤野ら      | 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                                                 |        | ○    |     |    |
| 原        | 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                                        |        | ○    |     |    |
| 山口ら      | 色モード境界輝度による空間の明るさ感評価                                                       |        | ○    |     |    |
| 岩井ら      | 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                                      |        | ○    |     |    |
| 岡嶋ら      | 光環境の明るさ感における空間周波数分布の影響                                                     |        | ○    |     |    |
| 高ら       | 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                                            |        | ○    |     |    |
| 山口ら      | 窓面からの昼光導入が空間の明るさ感に与える影響                                                    |        | ○    |     |    |
| 加藤ら      | 光の到来バランスを考慮した空間の明るさ感の評価                                                    |        |      | ○   |    |
| 岩田ら      | 視野照度変化と明るさ感に関する研究：歩行空間の連続性に基づいた照度設計指標の提案 その1                               |        |      |     | ○  |

## 2-3 既存の明るさ感推定モデルの実環境への適用に向けた課題

### 2-3-1 「実環境」の定義

建築環境の心理評価において、しばしば模型やCG、VRなどの映像を用いた評価実験も行われ、それらは、実空間の環境と同等の環境（本研究の分野においては視環境）を再現できているとの前提または検証結果をもって許容されていると考えられる。このような実空間の視環境およびそれを模擬した視環境の提示手段およびその空間を本研究では「実環境」と呼ぶ。ここで留意しなければならないのは、その実験空間が実大であっても、必ずしも実環境とはいえない場合もある点である。具体的な例を挙げると、什器が搬入される前の部屋と什器が搬入された後の部屋とでは、その環境（例えば輝度分布）は大きく異なり、明るさ感や開放感は什器の影響を受ける。住宅やオフィスの視環境を研究対象とするとき、什器の無い部屋は実環境として扱うべきでないとも考えられる。このように、その実験空間が実際に使われる視環境を模擬できているかどうか、ということが実環境であるか否かの線引きとした上で、視環境の評価実験にあたっては、実環境の特徴を十分に模擬しなければならず、実験上の都合により実大空間を用いることができない場合には、実環境の再現性に十分配慮することが必要である。また、実大空間であることよりも、実環境であることのほうを重視すべきとも考えられる。特に、明るさ感の研究においては、その輝度分布の再現性に大きな力点が置かれることとなる。

以上のことから、本研究では、「実環境」「実空間」「実大空間」の3つを区別して用いることとし、それらは図2-1に示す関係で示される。

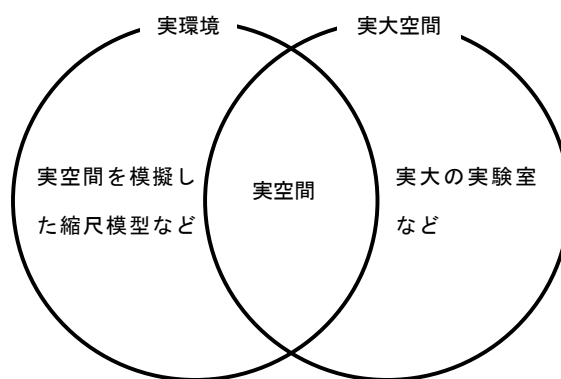


図 2-1 実環境の定義

## 2-3-2 実環境の観点による既往の研究の分類

既往の研究の実験空間の提示方法を表 2-2 に示す。実空間における評価は非常に少なく、多くが模型や実験室において行われていることが分かる。中には、住宅ともオフィスともいえず、そこで行われる行為や姿勢を想定しにくい実験空間もある。ここで、これらの実験で用いた空間が知見を適用しようとしている実環境の特徴を有しているか否かは、その知見の適用の可否に関わってくることに注意しなければならないだろう。つまり、実験空間が想定している同様の特徴を持つ実環境への適用性があるのに対し、そこで想定されていない実環境への適用性については検証が必要と考えられる。特に重要と考えられるのは、空間の形と輝度分布の違いにあるのではないかと考えられる。次節からはその理由について順に考察していく。

表 2-2 実環境の観点による既往の研究の分類

| 著者      | タイトル                                                                       | 空間の広さ |     | 実験の提示方法 |       |     | 観察方法 |      | 研究のアプローチ |                                                                        |
|---------|----------------------------------------------------------------------------|-------|-----|---------|-------|-----|------|------|----------|------------------------------------------------------------------------|
|         |                                                                            | 小居室   | 大部屋 | C G・画面  | 模型・装置 | 実験室 | 実空間  | 内部から |          | 外部から                                                                   |
| Loeら    | Appearance of lit environment and its relevance in lighting design         | ○     |     |         |       | ○   |      |      | ○        | 上下40°の平均輝度による単純推定モデル                                                   |
| 小林ら     | 空間の輝度分布が室内の空間の明るさ感に与える影響                                                   | ○     |     |         | ○     |     |      |      | ○        | 空間周波数により輝度分布を定量化。対象が模型であり、定式化に至っていない                                   |
| Akashiら | Effect of sparkling luminous elements on the overall brightness impression | ○     |     |         | ○     |     |      |      | ○        | 発光部の輝度と立体角により輝度分布の特徴をとらえる                                              |
| 荻内ら     | 仮想輝度分布法による空間の明るさ感推定の有効性                                                    | ○     |     |         | ○     |     |      |      | ○        | ラディオシティ法による仮想輝度分布の計算                                                   |
| 藤野ら     | 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                                                 | ○     |     |         |       | ○   |      | ○    |          | 明るさ知覚の推定値の平均による推定モデル                                                   |
| 原       | 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                                        | ○     |     |         | ○     |     |      |      | ○        | 室内平均輝度と景色の平均輝度により輝度分布の特徴をとらえる                                          |
| 山口ら     | 色モード境界輝度による空間の明るさ感評価                                                       | ○     |     |         | ○     |     |      | ○    |          | パッチが不自然に見える輝度によって局所的な明るさ感を定量化する。不均一な空間では値が決まらない                        |
| 岩井ら     | 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                                      | ○     |     |         |       | ○   |      | ○    |          | 左右100°×上下85°の1000cd/m以上の輝度を除いた平均輝度による単純推定モデル                           |
| 岡嶋ら     | 光環境の明るさ感における空間周波数分布の影響                                                     | ○     |     | ○       |       |     |      |      | ○        | 空間周波数によりコントラストを定量化。カットオフ周波数により影響のある周波数を検討している。                         |
| 高ら      | 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                                            | ○     |     | ○       |       |     |      |      | ○        | 輝度画像内の画素単位の標準偏差により不均一の特徴をとらえる。粗い対比と細かい対比を区別できないが、サンプルには細かい輝度対比を含んでいない。 |
| 山口ら     | 窓面からの昼光導入が空間の明るさ感に与える影響                                                    | ○     |     |         | ○     |     |      |      | ○        | 昼光照度と人工照明照度の比により不均一の特徴をとらえる。                                           |
| 加藤ら     | 光の到来バランスを考慮した空間の明るさ感の評価                                                    | ○     |     |         |       | ○   |      | ○    |          | 光の到来方向のバランスを指向拡散度という指標で定量化し、水平方向の粗い輝度対比の特徴をとらえる                        |
| 岩田ら     | 視野照度変化と明るさ感に関する研究：歩行空間の連続性に基づいた照度設計指標の提案 その1                               |       |     |         |       |     | ○    | ○    |          | 移動に伴う目の位置の鉛直面照度の変化によって時間的変化をとらえる                                       |

## 2-3-3 実環境における空間の形の多様性

### (1) 空間の用途による空間の形と輝度分布の違い

オフィスと住宅のリビングルームを比べてみると、オフィスのほうが広く、オフィスでも個室のオフィスは空間の大きさが比較的リビングルームに近いが、日本で多く

みられるオープンプランオフィスは比較にならないほど大きい。広いオフィスになると、照明器具の台数も多くなり、天井照明が点灯した天井部分と消灯した天井部分が前方視野内に混在することもめずらしくない。一方で、天井から吊るされ全方向を照らすようなペンダントライトなどは、オフィスではほとんど見かけることがない。

Loe<sup>9)</sup>は下方 20° 上方 20° の平均輝度が明るさ感との相関が高いとする理論を述べているのに対し、岩井ら<sup>13)</sup>は左右 100° 下方 50° 上方 35° の平均輝度(ただし 1000cd/m<sup>2</sup>以上の部位を除く)と、Loe に比べると広い評価対象の画角を広くとった理論を述べている。この二つの知見が、いずれも正しいとするならば、それぞれの知見を適用可能な空間の条件に違いがあると考えらるべきである。評価対象の範囲に違いを与える要因には、空間の形、用途、行為、姿勢、照明器具の配置や配光特性など多くのことが考えられる。少なくとも、住宅のリビングルームの環境やオープンプランのオフィス環境は、Loe の実施した実験では考慮されておらず、その適用性は検証されていないとみるべきであろう。

また、空間の形は、壁・天井・床・什器などの空間を構成する面に光が届きやすいかということにも関係する。届きにくい場所は輝度が小さく暗く見えても気にならないが、明るく見えるべき場所の輝度が小さいと暗い印象を生じる可能性がある。ローパーティションが設置された大部屋のオフィスでは、視野内に、ローパーティションとデスクによって構成される自席領域が存在し<sup>16)</sup>、視野の下方と上方とでは空間のボリュームが異なり、壁や天井によって構成される周辺領域と自席領域のそれぞれに異なる輝度が与えられる。その明るさ感に及ぼす比重が両者で同等かどうかは不明である。そのように、空間の形が異なると、視線の向きや観察範囲が変化するという直接的な影響に加え、明るさ感を感じる際の比重も変化することが考えられる。

## (2) 評価対象範囲の比重に影響を及ぼす空間の奥行き長さ

輝度画像は、2次元の画像に表現できるが、その画像には、距離の情報が含まれていない。奥行きの長さが大きいほど、遠くの面は、その実面積に比して立体角は小さく観察される。単位面積当たりで同じ光束であっても、視点からの距離が大きくなると、視野内に占める立体角は小さくなり影響が小さくなっていく。

ここで、筆者が計画した図 2-2 に示すような奥行きが長い通路空間の照明設備の例をあげる。この計画では、人の位置に対してどこまで前方に広く明るく点灯するかを平均輝度の値に基づき決める検討を行った。そこで、通路の照明を 100%の調光率で点灯する範囲を前方 0m、前方 10m、前方 20m、前方 30mの 4 条件について輝度画像を測定した。



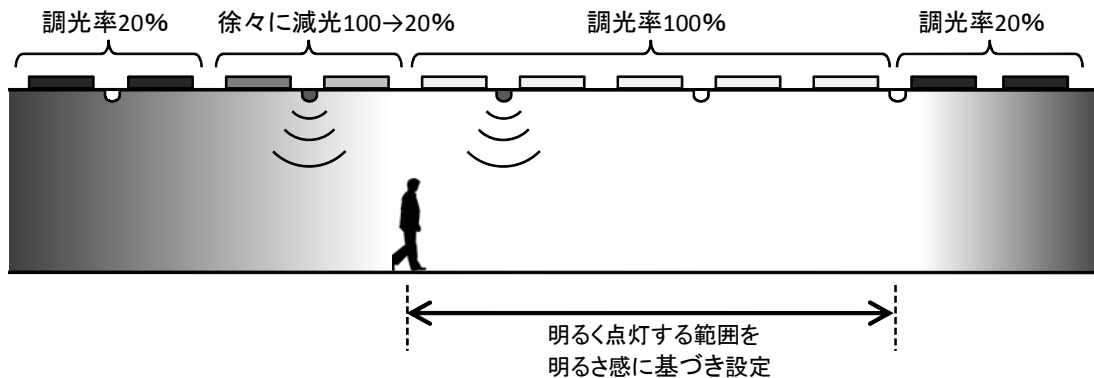


図 2-2 通路の照明検討

測定した輝度画像から明るさ感の推定のために、平均輝度を算定した。廊下のように眼前に什器が無い空間では、明るさ感に影響を及ぼす視野の比重がオフィスに比べて下方寄りとなると考えられる。ここでは、岩井ら<sup>13)</sup>の提唱する、左右 100° 下方 50° 上方 35° の範囲について、平均輝度を求めることによって評価した。また、輝度分布から中村<sup>30)</sup>の方法により明るさ画像を作成し、明るさ画像に示されるの各画素の明るさ知覚の推定値（以下、NB 値）の平均値（以下、平均 NB 値）<sup>11)</sup> も合わせて評価した。

図 2-3 に示すように、10m 先まで 100% の調光率で点灯することにより、0m の場合に比較して、明らかに平均輝度と平均 NB 値が大きくなる。しかしながら、範囲を 20m, 30m とした条件は、視野内の中央部の小さな立体角について輝度が大きくなるが、平均輝度への影響は小さく、10m と比較して指標値が頭打ちとなっていることがわかる。

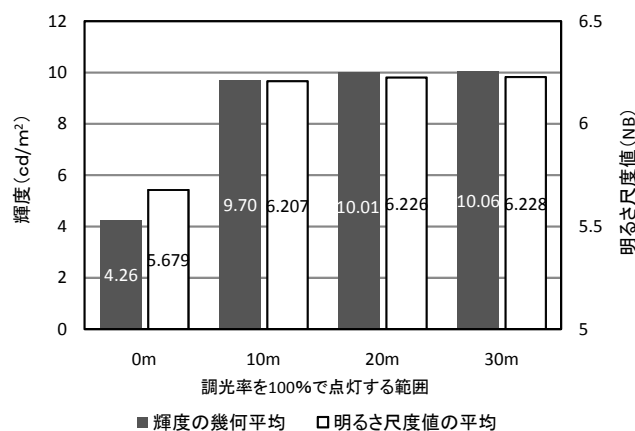


図 2-3 点灯範囲による明るさ感指標値の違い

明るさ感の指標値のみで判断すれば、10m先まで明るくすれば、省エネルギーの観点から最も効果的な制御と言えるが、本件では、体感による主観評価の結果に基づき、30m先まで調光率を 100%とする設定を採用するに至った。主観評価と平均輝度による客観評価が一致しない結果となった。この結果から、適用する空間の奥行きによって明るさ感の推定方法は普遍でないことが示唆される。つまり、適用性を高めるためには、ある程度奥行きのバリエーションが実験条件として必要となると言える。

#### 2-3-4 実環境における輝度対比の空間周波数の多様性

##### (1) 輝度対比の分析法に関する既往の研究

評価対象の小さい「明るさ知覚」が評価対象の範囲の輝度がほぼ均一であるのに対し、評価対象の範囲が大きい「明るさ感」の評価では、自ずとその範囲内に輝度分布を含むことになる。不均一な輝度分布では、平均輝度が同じでも輝度分布が異なる条件が無数にあり、それぞれ明るさ感が異なる。そのような不均一な輝度分布における明るさ感の評価構造を分析するには、まず輝度分布を定量的に表現する必要がある。

輝度分布の写真測光法<sup>34)</sup>が普及して以降、輝度分布の定量的な表現法に関する研究は、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。実環境の輝度分布には、窓からの採光などにより生じる視野の半分近くのまとまった領域が明るいような明暗の分布のほか、立体角の小さいランプ部や細かいテクスチャ、ブラインド、小物や什器の陰影など、とても細かい明暗の分布も存在し、それらが混在している。その多様な輝度分布の特徴は、単に明暗の強さだけでは表現できない。乾ら<sup>2)</sup>は輝度分布の表現には、強さに加えて粗さ（または細かさ）の概念が必要であることを指摘した。本研究では、この概念に基づき、隣接するある大きさを持った領域同士の輝度の違いを「輝度対比」と呼び、ある点の輝度値と他の点の輝度値の単なる比である「輝度比」とは区別して用いる。つまり、「輝度対比」は、隣接する領域のサイズ（視角）という輝度比にない概念が考慮されたものであり、そのサイズの違いによって粗い輝度対比と細かい輝度対比を区別する。それに関して、中村ら<sup>35), 36)</sup>は、空間周波数を用いて輝度対比の粗さを定量的に表現する方法を示し、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、離散ウェーブレット分解（多重解像度解析）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<sup>29)</sup>。

##### (2) 不均一な輝度分布の明るさ感に関する既往の研究

視野内の平均輝度は、明るさ感の最大の因子と見られるが、不均一な輝度分布では、それが平均輝度と明るさ感は単純に比例しない。その観点で既往の研究の知見を整理してみる。例えば昼光利用は省電力の手段として期待されるが、窓などの大光源により視野の一部のまとまった領域が明るいような偏りがある輝度分布（粗い輝度対比）

では、平均輝度から推定される明るさ感よりも、暗い印象となることが知られている<sup>20), 21)</sup>。一方、インテリアに目を移すと、什器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のある細かい輝度対比の多い輝度分布からは明るい印象を感じ、逆に細かい輝度対比の少ない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<sup>32)</sup>。小林ら<sup>17)</sup>は模型と CG を対象として粗い輝度対比が明るさ感を減少させることを示した。Akashi ら<sup>18)</sup>は輝きによる明るさ感向上の影響を示した。加藤ら<sup>22)</sup>は水平方向の光の到来バランスが明るさ感に及ぼす影響を示した。高ら<sup>14)</sup>は画面を対象として水平および垂直方向のぼらつきが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(または空間周波数)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  $100^\circ$  という視角によって水平方向の粗い輝度対比に似た要素を扱っている。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<sup>37)</sup>。したがって、ここに述べた事象は何ら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。そして、画面の左右などの粗い輝度対比と、小光源の輝きなどの細かい輝度対比は、明るさ感の増減の効果が逆であり、その観点から輝度対比は両者に大別できるといえよう。

### (3) 実環境における輝度分布の特徴

既往の明るさ感に関する研究の多くは、特定の要因の影響を明らかにする目的において、それ以外の要因を排除した実験室などによって検討を行っている。一方、実環境では、様々な空間周波数の輝度対比が混在しており、粗い輝度対比の明るさ感を低くする効果と、細かい輝度対比の明るさ感を高くする効果の両方が同時に作用していると考えられる。そのような実環境の輝度分布では、例えば画角内の輝度の分散の大小は、細かい輝度対比と粗い輝度対比のどちらに起因するものか区別できない。したがって、実環境を対象とした明るさ感の推定では、特定の粗さの輝度対比のみを含む条件とは異なり、両者を分離してとらえる必要があるといえる。もし、細かい輝度対比と粗い輝度対比を区別して定量化できれば、明るさ感への作用の異なる両者を正しく指標値に反映することができると考えられる。

今日、輝度対比のサイズは、空間周波数を用いて表現することが一般的となり、そのための画像解析技術も向上している。これらを明るさ感研究に展開することで、実環境への幅広い適用性を有する明るさ感評価法を構築することができると考えられる。

## 2-4 本章の小括

第2章では、明るさ感に関する既往の研究についてレビューし、実環境では、空間の形が多様である点、輝度対比の空間周波数が多様である点を具体的に示した上で、これまでに提案されている明るさ感評価法は、理論を導くに際して行った実験空間の特徴が、実環境として限定的であることを指摘した。空間の形の多様性を考慮すること、視野内に混在する粗い輝度対比と細かい輝度対比を空間周波数によって区別して定量的に扱い明るさ感指標値に反映できるようにすることによって、実環境への幅広い適用性を有する明るさ感評価法を構築できる可能性があるとし、本研究で検討すべき明るさ感評価法の検討課題を提示した。



## 第3章

# 実環境の空間の形の多様性を考慮した 評価対象範囲の設定方法の検討

### 3-1 本章の目的

明るさ感の推定値として最もシンプルな方法の一つは評価対象範囲の平均輝度である。輝度分布を計測あるいは光環境シミュレーションによって取得し、平均輝度に基づき明るさ感を評価しようとするとき、まず初めに考えることの一つに、輝度分布をどの程度の大きさの画角まで取得とするか、取得した画像の中から、どの範囲を切り出して平均輝度を算出するかということがある。

第2章において、オフィスでは、ローパーティションがあることによって、視野の下方と上方では空間のボリュームが異なってくること、住宅に比べて空間が大きいこと、個室とオープンプランオフィスとでは奥行きが異なることを取り上げた。このような空間の形は、人が明るさを感じ取る際の評価対象の範囲およびその比重に影響していると考えられる。

評価対象の範囲が大きくなったり小さくなったりする要因は様々に考えられ、ここで取り上げる要因はその全てではないが、本章では、主にローパーティションとデスクの有無と空間の奥行きの違い、窓の有無を検討ケースとして取り上げ、空間の形の違いなどによって、評価対象範囲の設定を変えることの必要性について実験によって検証する。

### 3-2 什器の有無と奥行きの違いを考慮した模型実験

#### 3-2-1 実験空間概要

オフィスの特徴として、ローパーティションによって自席領域と周辺領域が区分されることが挙げられ、実験では、その特徴の有無によって明るさ感と相関が高い平均輝度の算定画角に違いが生じるかどうかを検証することを念頭に置く。次に、他の特徴として、奥行きが大きい大部屋が多いことや一般に窓採光があることなどが挙げられ、実験空間の作成ではこれらの条件のバリエーションも考慮する。大部屋を対象に照明パターンの違いや自席領域の有無を条件設定するにあたり、実大のオフィスでは什器の運搬などが容易ではないことから、実環境を再現することを念頭におきながら、実験空間は縮尺 1/6 の模型とする。図 3-1 に示すように、昼光の入射のない室内に、マグニチュード推定法によって評定するための標準刺激用模型と比較刺激用模型を設置する。

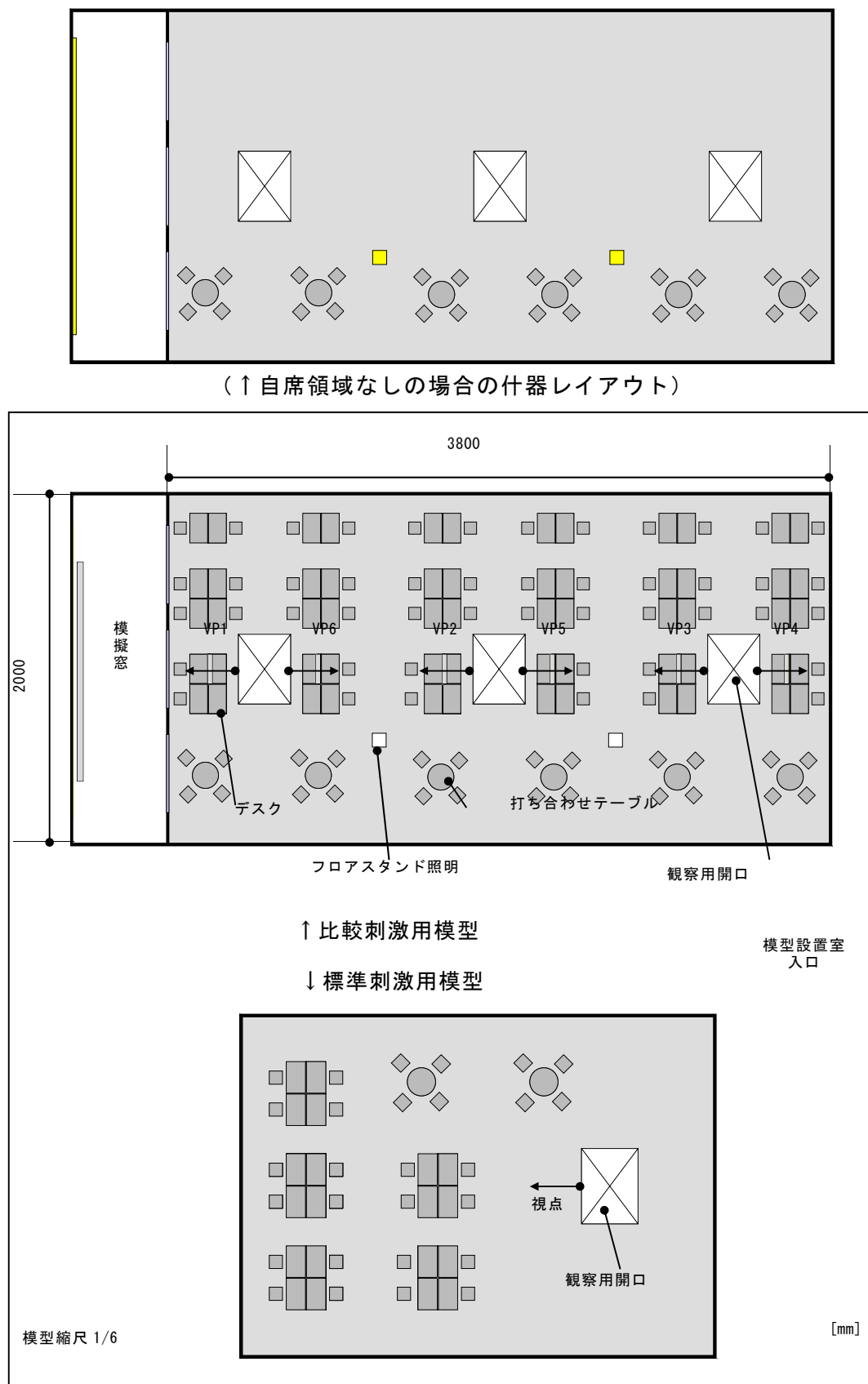


図 3-1 実験模型レイアウト



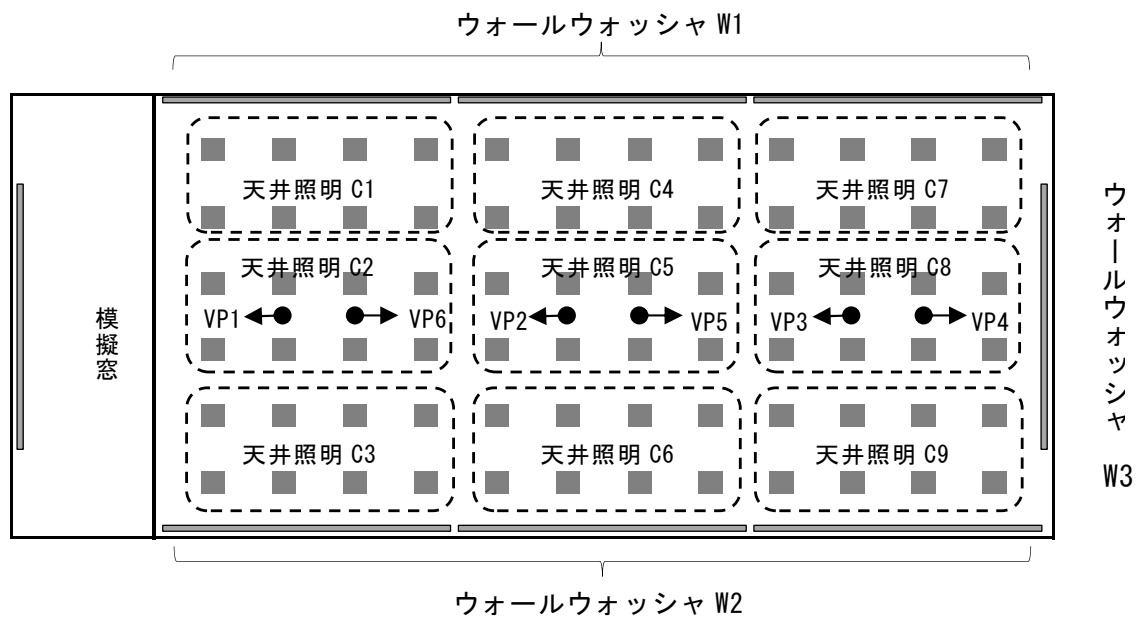


図 3-2 模型天井伏図

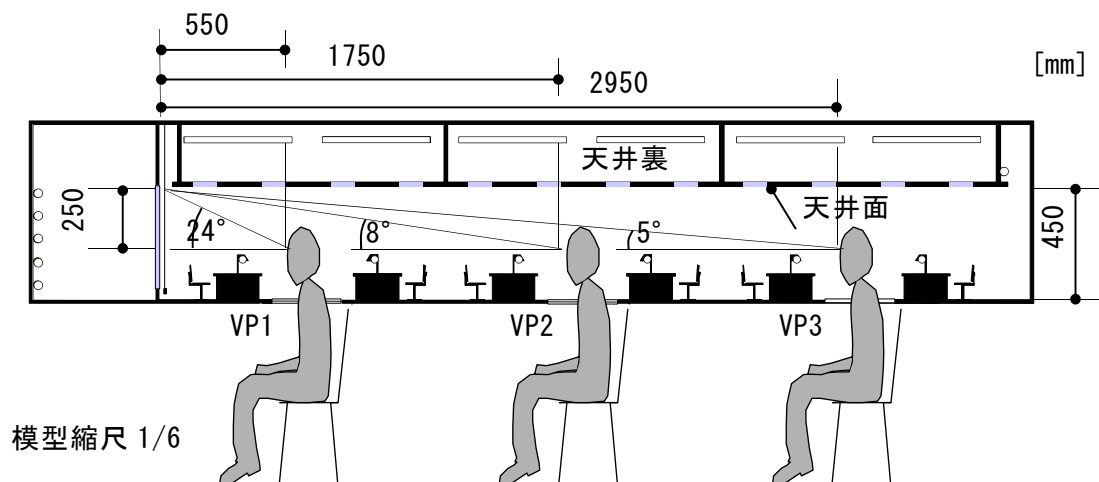


図 3-3 模型断面図

模型内の色は無彩色で、床とデスクとパーティションは N5 ，天井・壁は N9 である。天井には縦 100mm 横 100mm の穴を開けそこに乳白色の半透過性の板をはめこみ、天井裏の蛍光灯（色温度 5000K）を点灯することによって面発光（約 1500cd/m<sup>2</sup>）の天井照明を模擬する。比較刺激用模型の天井照明は図 3-2 の天井伏図に示す C1 ～C9 の 9 つのエリアに分割し、それぞれ独立して点灯できるようにする。三方の壁面には、蛍光灯（色温度 5000K）を光源とした W1～W3 のウォールウォッシュを設置し、それらも独立して点灯できるようにする。もう一つの壁面には、ブラインド類で拡散した窓採光を想定し、拡散透過性の板の背面に蛍光灯（色温度 5000K）のバックライトを配した模擬窓（約 1300cd/m<sup>2</sup>）を設け、点灯できるようにする。自席には縮尺のデスクライトを設置する。パーティションの高さは実大空間で 1200mm 相当とし、自席領域無しの条件では、パーティションとデスクを全て取り除き、縮尺 1/6 のスケール感を確保するための最低限の什器として打ち合わせテーブルのみ残すようにする。床には、図 3-1 および図 3-3 の断面図に示すように、模型内を観察するための開口を 3 カ所設け、VP1～VP6 の 6 通りの視点と視線方向を選択することによって、奥行きの長さ、窓の有無の条件を変えられるようにする。奥行きの長さは、VP1 と VP4 が実大空間で 3.3m 相当、VP2 と VP5 が同 10.5m 相当、VP3 と VP6 が同 17.7m 相当である。

表 3-1 設定条件

| 条件番号 | 自席領域の有無 | 視点・視方向 | (模型内の奥行き×縮尺分母) | 模擬窓の有無(前方壁面) | 模擬窓からの採光の有無 | 照明器具の点灯       |               |               |                 |                 |              | アンビエント照度(机上面) | タスク照度(机上面) | 鉛直面照度(被験者顔面) |        |
|------|---------|--------|----------------|--------------|-------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|--------------|---------------|------------|--------------|--------|
|      |         |        |                |              |             | 天井照明(自席周辺エリア) | 天井照明(前方隣接エリア) | 天井照明(左右隣接エリア) | ウォールウォッシャ(左右壁面) | ウォールウォッシャ(前方壁面) | デスクライト(自席のみ) |               |            |              |        |
| 1    | あり      | VP4    | 3. 3m          | 無し           | 無し          | 消灯            | 無し            | C7, C9        | W1, W2          | 消灯              | 点灯           | 70 lx         | 800 lx     | 200 lx       |        |
| 2    |         |        |                |              |             | C8            | 無し            | 消灯            | 消灯              | 消灯              | 330 lx       | 800 lx        | 210 lx     |              |        |
| 3    |         |        |                |              |             | C8            | 無し            | C7, C9        | W1, W2          | W3              | 400 lx       | 0 lx          | 480 lx     |              |        |
| 4    |         |        |                |              |             | 消灯            | 無し            | 消灯            | 消灯              | W3              | 40 lx        | 0 lx          | 230 lx     |              |        |
| 5    |         | VP1    |                | あり           | あり          | C2            | 無し            | 消灯            | W1, W2          | 無し              | 消灯           | 390 lx        | 0 lx       | 140 lx       |        |
| 6    |         |        |                |              |             | 消灯            | 無し            | C1, C3        | 消灯              | 無し              | 60 lx        | 0 lx          | 30 lx      |              |        |
| 7    |         |        |                |              |             | 消灯            | 無し            | 消灯            | W1, W2          | 無し              | 290 lx       | 800 lx        | 1070 lx    |              |        |
| 8    |         |        |                |              |             | C2            | 無し            | C1, C3        | 消灯              | 無し              | 560 lx       | 800 lx        | 1190 lx    |              |        |
| 9    |         | VP5    |                | 10. 5m       | 無し          | 無し            | 消灯            | 消灯            | 消灯              | W1, W2          | 消灯           | 消灯            | 60 lx      | 0 lx         | 90 lx  |
| 10   |         |        |                |              |             |               | C5            | C7～C9         | C4, C6          | 消灯              | 消灯           | 400 lx        | 0 lx       | 220 lx       |        |
| 11   |         |        |                |              |             |               | C5            | C7～C9         | 消灯              | W1, W2          | W3           | 400 lx        | 800 lx     | 370 lx       |        |
| 12   |         |        |                |              |             |               | 消灯            | 消灯            | C4, C6          | 消灯              | W3           | 70 lx         | 800 lx     | 140 lx       |        |
| 13   |         | VP2    |                |              | あり          | あり            | C5            | 消灯            | C4, C6          | W1, W2          | 無し           | 点灯            | 450 lx     | 800 lx       | 280 lx |
| 14   |         |        |                |              |             |               | 消灯            | C1～C3         | 消灯              | 消灯              | 無し           | 10 lx         | 800 lx     | 170 lx       |        |
| 15   |         |        |                |              |             |               | 消灯            | C1～C3         | C4, C6          | W1, W2          | 無し           | 170 lx        | 0 lx       | 390 lx       |        |
| 16   |         |        |                |              |             |               | C5            | 消灯            | 消灯              | 消灯              | 無し           | 340 lx        | 0 lx       | 280 lx       |        |
| 17   |         | VP6    |                | 17. 7m       | 無し          | 無し            | 消灯            | C4～C9         | C1, C3          | W1, W2          | 消灯           | 点灯            | 70 lx      | 800 lx       | 280 lx |
| 18   |         |        |                |              |             |               | C2            | 消灯            | 消灯              | 消灯              | 消灯           | 330 lx        | 800 lx     | 210 lx       |        |
| 19   |         |        |                |              |             |               | C2            | 消灯            | C1, C3          | W1, W2          | W3           | 460 lx        | 0 lx       | 280 lx       |        |
| 20   |         |        |                |              |             |               | 消灯            | C4～C9         | 消灯              | 消灯              | W3           | 10 lx         | 0 lx       | 80 lx        |        |
| 21   |         | VP3    |                |              | あり          | あり            | C8            | C1～C6         | 消灯              | W1, W2          | 無し           | 消灯            | 340 lx     | 0 lx         | 300 lx |
| 22   |         |        |                |              |             |               | 消灯            | 消灯            | C7, C9          | 消灯              | 無し           | 70 lx         | 0 lx       | 30 lx        |        |
| 23   |         |        |                |              |             |               | 消灯            | 消灯            | 消灯              | W1, W2          | 無し           | 40 lx         | 800 lx     | 340 lx       |        |
| 24   |         |        |                |              |             |               | C8            | C1～C6         | C7, C9          | 消灯              | 無し           | 360 lx        | 800 lx     | 370 lx       |        |
| 25   | 無し      | VP4    | 3. 3m          | 無し           | 無し          | C8            | 無し            | C7, C9        | 消灯              | 消灯              | 点灯           | 520 lx        | 0 lx       | 280 lx       |        |
| 26   |         |        |                |              |             | 消灯            | 無し            | 消灯            | W1, W2          | 消灯              | 70 lx        | 0 lx          | 130 lx     |              |        |
| 27   |         |        |                |              |             | 消灯            | 無し            | C7, C9        | 消灯              | W3              | 110 lx       | 0 lx          | 360 lx     |              |        |
| 28   |         |        |                |              |             | C8            | 無し            | 消灯            | W1, W2          | W3              | 520 lx       | 0 lx          | 560 lx     |              |        |
| 29   |         | VP1    |                | あり           | あり          | C2            | 無し            | 消灯            | 消灯              | 無し              | 消灯           | 430 lx        | 0 lx       | 130 lx       |        |
| 30   |         |        |                |              |             | 消灯            | 無し            | C1, C3        | W1, W2          | 無し              | 120 lx       | 0 lx          | 170 lx     |              |        |
| 31   |         |        |                |              |             | 消灯            | 無し            | 消灯            | 消灯              | 無し              | 520 lx       | 0 lx          | 1690 lx    |              |        |
| 32   |         |        |                |              |             | C2            | 無し            | C1, C3        | W1, W2          | 無し              | 1070 lx      | 0 lx          | 1970 lx    |              |        |
| 33   |         | VP5    |                | 10. 5m       | 無し          | 無し            | C5            | 消灯            | 消灯              | 消灯              | 消灯           | 20 lx         | 0 lx       | 50 lx        |        |
| 34   |         |        |                |              |             |               | 消灯            | 消灯            | C4, C6          | W1, W2          | 消灯           | 600 lx        | 0 lx       | 370 lx       |        |
| 35   |         |        |                |              |             |               | 消灯            | C7～C9         | 消灯              | 消灯              | W3           | 540 lx        | 0 lx       | 340 lx       |        |
| 36   |         |        |                |              |             |               | C5            | C7～C9         | C4, C6          | W1, W2          | W3           | 280 lx        | 0 lx       | 410 lx       |        |
| 37   |         | VP2    |                |              | あり          | あり            | C5            | C1～C3         | C4, C6          | 消灯              | 無し           | 消灯            | 160 lx     | 0 lx         | 240 lx |
| 38   |         |        |                |              |             |               | 消灯            | C1～C3         | 消灯              | W1, W2          | 無し           | 580 lx        | 0 lx       | 450 lx       |        |
| 39   |         |        |                |              |             |               | 消灯            | 消灯            | C4, C6          | 消灯              | 無し           | 600 lx        | 0 lx       | 460 lx       |        |
| 40   |         |        |                |              |             |               | C5            | 消灯            | 消灯              | W1, W2          | 無し           | 180 lx        | 0 lx       | 450 lx       |        |
| 41   |         | VP6    |                | 17. 7m       | 無し          | 無し            | C2            | C4～C9         | C1, C3          | 消灯              | 消灯           | 消灯            | 540 lx     | 0 lx         | 380 lx |
| 42   |         |        |                |              |             |               | 消灯            | C4～C9         | 消灯              | W1, W2          | 消灯           | 160 lx        | 0 lx       | 300 lx       |        |
| 43   |         |        |                |              |             |               | 消灯            | 消灯            | C1, C3          | 消灯              | W3           | 140 lx        | 0 lx       | 130 lx       |        |
| 44   |         |        |                |              |             |               | C2            | 消灯            | 消灯              | W1, W2          | W3           | 560 lx        | 0 lx       | 380 lx       |        |
| 45   |         | VP3    |                |              | あり          | あり            | C8            | 消灯            | 消灯              | 消灯              | 無し           | 消灯            | 440 lx     | 0 lx         | 170 lx |
| 46   |         |        |                |              |             |               | 消灯            | 消灯            | C7, C9          | W1, W2          | 無し           | 180 lx        | 0 lx       | 250 lx       |        |
| 47   |         |        |                |              |             |               | 消灯            | C1～C6         | 消灯              | 消灯              | 無し           | 160 lx        | 0 lx       | 310 lx       |        |
| 48   |         |        |                |              |             |               | C8            | C1～C6         | C7, C9          | W1, W2          | 無し           | 630 lx        | 0 lx       | 610 lx       |        |

比較刺激は、実験計画法の直交表を参考にして、照明器具（自席周辺エリアの天井照明，前方隣接エリアの天井照明，左右隣接エリアの天井照明，左右壁面のウォールウォッシャ，前方壁面のウォールウォッシャ，デスクライト）の点灯と消灯，窓採光の有無，自席領域の有無，奥行きの長さについて異なる組み合わせを作成し，表 3-1 に示す No. 1～48 の 48 条件を設定する．このとき，No. 33 の全消灯の条件では，照明が全くなく明るさ感の評定が難しいと考えられるため，最小限の照明として，フロアスタンド照明を室内の側方に追加して配置し，自席領域無しの条件すべてで点灯する．

標準刺激は，比較刺激 48 条件の平均的な照度および什器配置となるよう配慮し，視点位置の鉛直面照度を 350lx，机上面照度を 500lx に設定する．

模型の床面の開口部から三脚で固定した輝度画像計測用のカメラを入れ，被験者の視点位置となる模型内の床面より 200mm(実大空間で 1200mm 相当)の高さで撮影する．

### 3-2-2 輝度分布のデータ形式

#### (1) 計測装置

輝度分布のデジタル撮影に用いられるデジタルカメラは，デジタル一眼レフカメラ，小型デジタルカメラ，USB カメラが主流である．

本研究で用いる輝度分布計測装置は，市販されている機種の中から，①魚眼レンズを装着できること，②マニュアル操作が可能であること，③コンパクトであること，④解像度が高いことの 4 つの条件を満たす RICOH 製 GX100 を採用する．魚眼レンズは，画角 185° の FIT の UWC-0195 を採用する．射影方式は等距離射影方式である．測定装置の外観を写真 3-1 に示す．



写真 3-1 輝度分布計測装置

## (2) 階調値と輝度の関係式の算出

室内環境の計測を主目的とする場合，およそ  $1 \sim 10000 \text{cd/m}^2$  の範囲を良好なコントラストで撮影することが求められる．一般に 1 枚の画像ではその範囲を撮影することはできないため，絞り・シャッタースピードの異なる設定で数枚撮影し，それらの複数の設定毎に，階調値と輝度の関係を求めておく必要がある．今回用いるデジタルカメラの絞り・シャッタースピードにおいて，階調値と輝度の関係は，図 3-4 に示す曲線で表される．

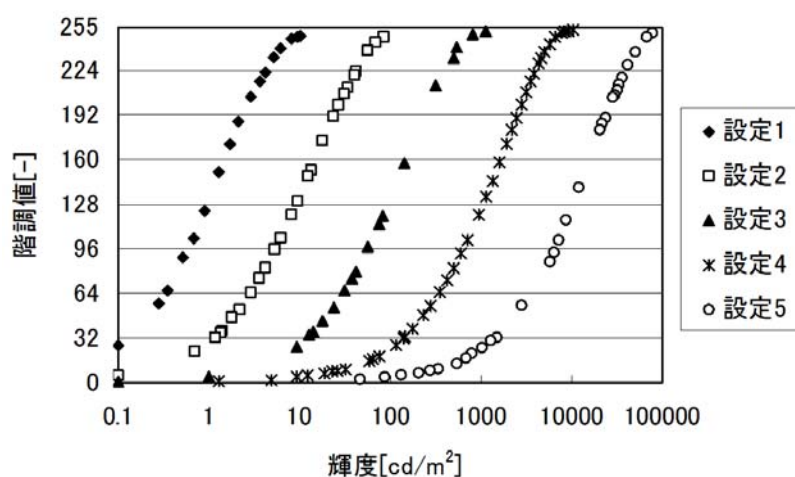


図 3-4 輝度計による計測値と階調値の関係

階調値が 90～220 の間において，ほぼ線形の関係が得られている．この関係式から，今回用いた 5 段階の絞り・シャッタースピードの撮影により， $0.1 \sim 10000 \text{cd/m}^2$  の範囲の輝度を推定可能である．

## (3) 周辺光量減衰の補正

等距離射影方式の魚眼レンズは，画像の中心よりも円周部分のほうが暗く撮影される周辺光量減衰が生じることが知られている．この周辺光量減衰についても事前の計測によって影響を定量的に把握している．関係を図 3-5 に示す．

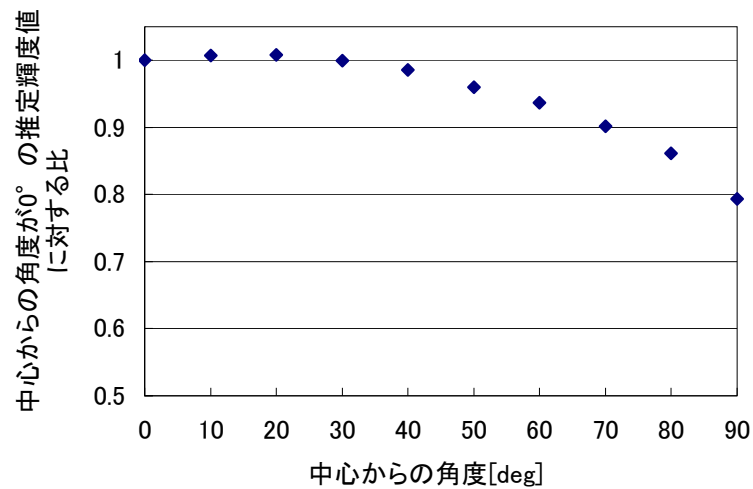


図 3-5 周辺光量の減衰

図 3-5 から明らかなように，中心からの離角が大きくなる周辺部のほうが暗く撮影されている．この減衰率は中心からの角度の関数で表されるため，画像上の座標により決定される．そこで座標に応じた補正係数を求め，プログラムに組み込んだ結果，中心から離れた計測面の輝度を画像の中心と同等の精度で推定することが可能である．

#### (4) 輝度画像の正距円筒射影への変換

撮影したオリジナルの輝度画像は図 3-6 に示す画角  $180^\circ$  の等距離射影であるが，射影変換により図 3-7 に示す画角  $180^\circ$  の正距円筒射影(Equirectangular Projection)の輝度画像を得る．輝度画像の解像度は，10pixels/degree で，射影変換に伴う各座標の輝度値の算出にはバイリニア法を用いる．射影変換後の輝度画像は，1800 行 1800 列の輝度値を保持している．48 条件の正距円筒図法の輝度画像を図 3-8 に示す．

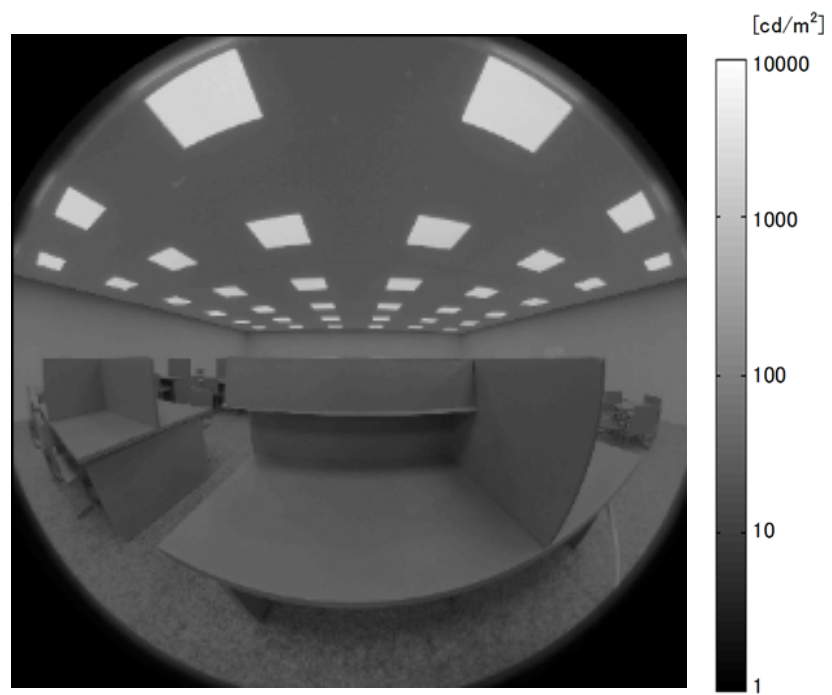


图 3-6 等距離射影輝度画像

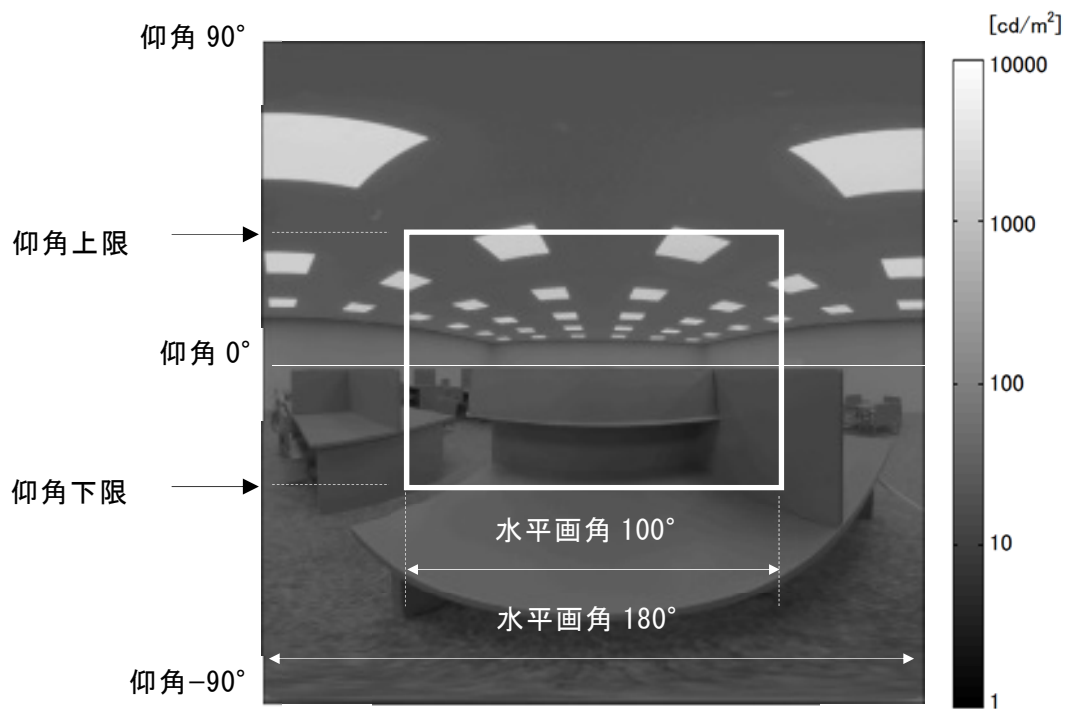


图 3-7 正距円筒射影輝度画像

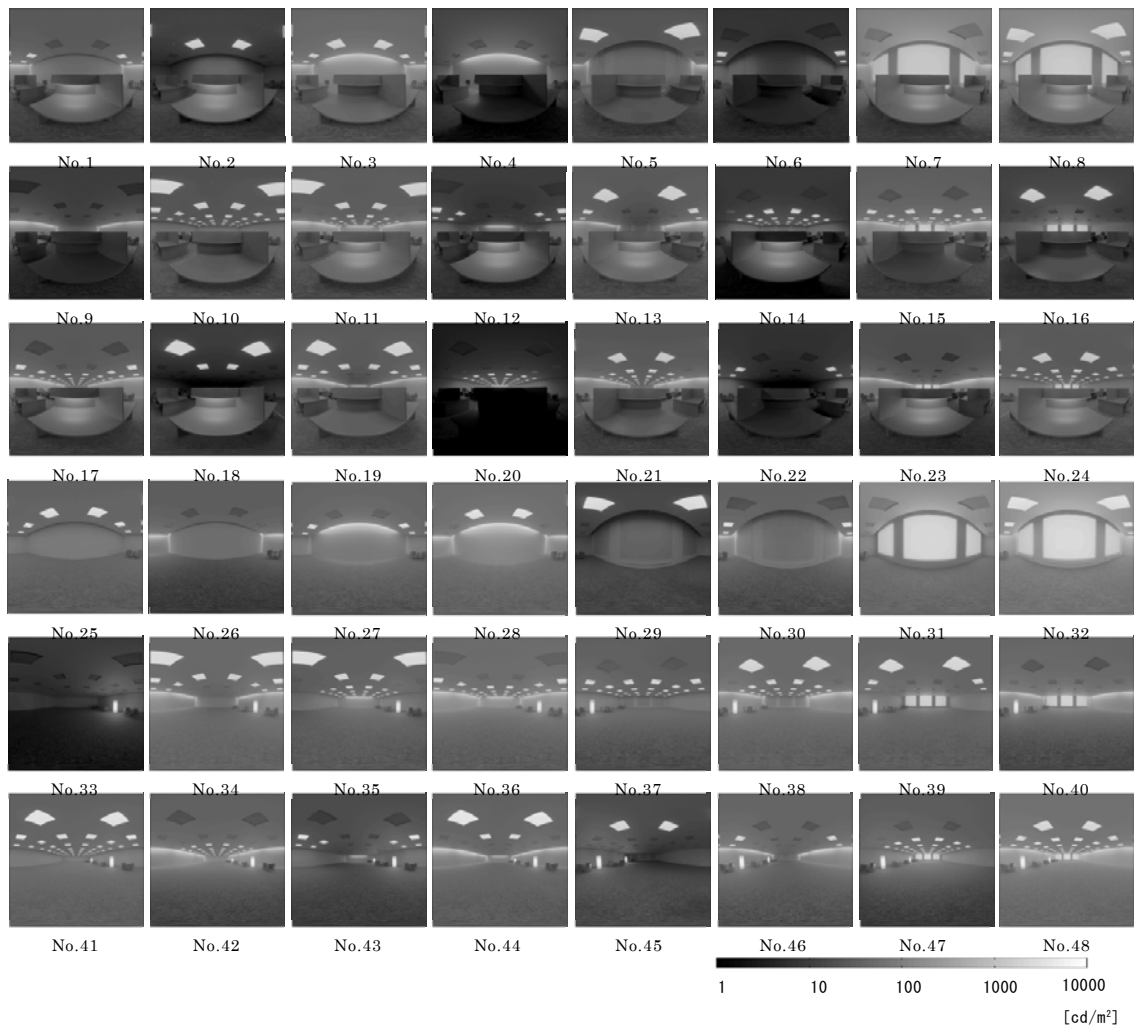


図 3-8 評価刺激 48 条件の輝度画像

#### (5) 正距円筒射影の利点と欠点

##### a) 正距円筒射影の利点

正距円筒射影では、仰角と方位角が直線上に並ぶ。そのため、画角を切り取る際に、矩形で切り取ることができ、データ処理がしやすくなる。また、後述する離散ウェーブレット分解を用いた画像解析を  $180^\circ$  の画角全体に対して行うことができる。

##### b) 正距円筒射影の欠点

射影変換後の正距円筒図法の解像度は、垂直方向については画像全体において  $10\text{pixels/degree}$  となっている。一方、水平方向の解像度については、上端または下端に近付くとそれよりも小さくなる。つまり、正距円筒図法では、高度角  $0^\circ$  の部分では空間周波数が水平・垂直方向共に  $10\text{pixels/degree}$  に一致するが、高度角の絶対値が  $90^\circ$  に近づくにつれて、水平方向の空間周波数が実際よりも粗く表示される特徴がある。平均輝度の算出の際には、立体角による重みづけが必要である。



### 3-2-3 平均輝度の算定

平均輝度の算定では、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。次に図 3-7 に示すように、水平画角と仰角下限と仰角上限を設定し、その画角範囲の対数輝度値の算術平均を取ることによって、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、画素毎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る。以下、平均輝度とはこの平均対数輝度を指す。

なお、仰角上限は  $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$  の間を  $10^{\circ}$  刻みで、仰角下限は  $-90^{\circ} \sim 0^{\circ}$  の間を  $10^{\circ}$  刻みで設定する。水平方向の画角は、 $100^{\circ}$  と  $180^{\circ}$  の二つを設定し、それぞれの平均輝度を計算したが、例えば仰角  $-20^{\circ} \sim 20^{\circ}$  における両者を比較したところ、図 3-9 に示すように、平均輝度への影響が小さいと判断できたため、水平画角  $180^{\circ}$  の結果を用いる。

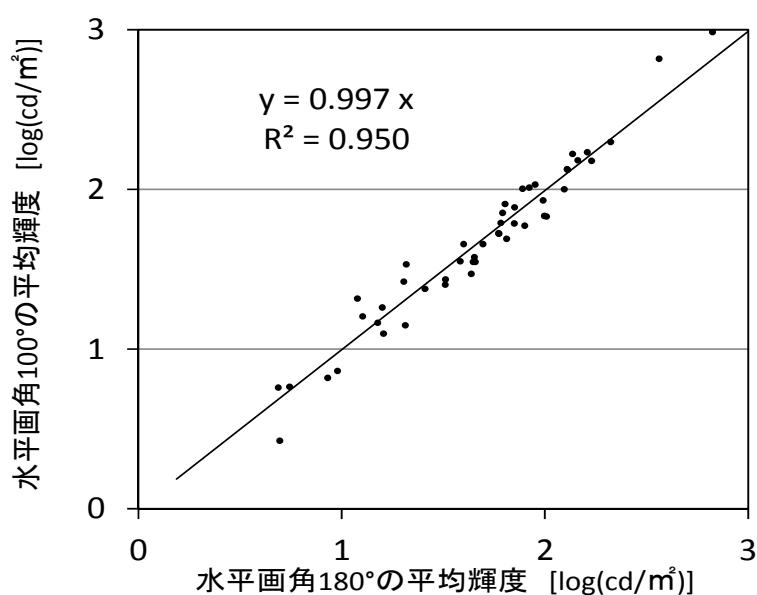


図 3-9 水平画角の平均輝度に与える影響

### 3-2-4 実験空間の輝度分布の特徴

自席領域ありの条件では、図 3-8 の No. 1~24 の輝度画像から分かるように、画像の下半分（仰角  $-90^{\circ} \sim 0^{\circ}$ ，以下，下方視野）のほとんどが自席領域となり、上半分（仰角  $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$ ，以下，上方視野）が上方視野が周辺領域となる。上方視野の輝度は、主にアンビエント照明の条件によって形成され、下方視野の輝度は主に自席直上の天井照明と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。図 3-10 に示すように、上方視野と下方視野の平均輝度の相関は小さく、デスクライト

を点灯した条件では全く相関がない．それに対し，自席領域無しの条件では，図 3-8 の No. 25～48 の輝度画像から分かるように，パーティションのような空間を分断するものがないため，室内のアンビエント照明の条件設定が視野内全体の輝度に作用する．図 3-11 に示すように，上方視野と下方視野の平均輝度には強い相関がある．

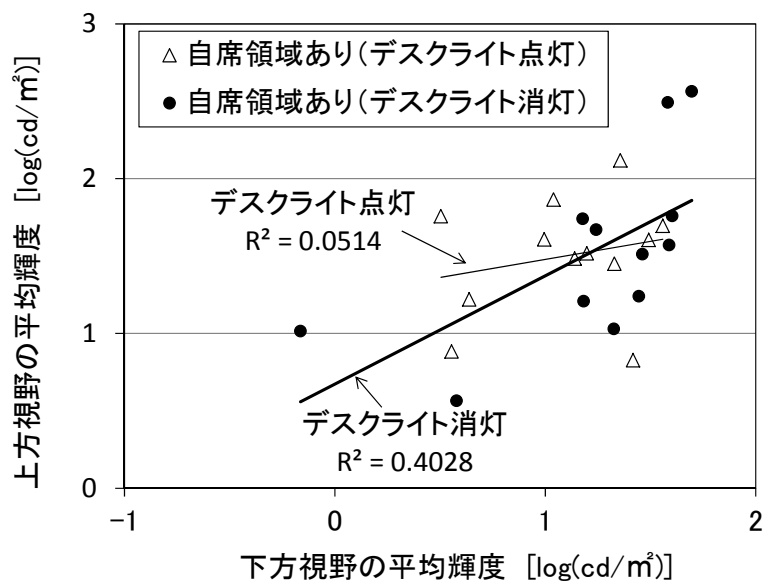


図 3-10 上方視野と下方視野の平均輝度の関係（自席領域あり）

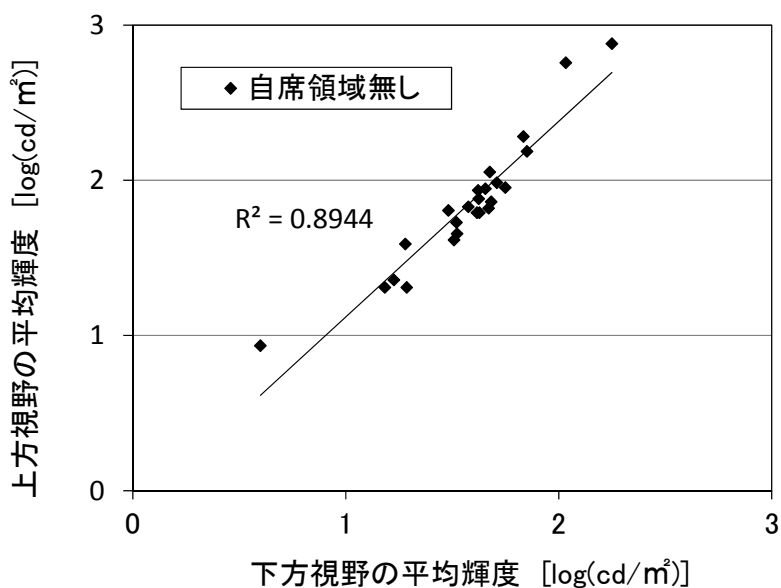


図 3-11 上方視野と下方視野の平均輝度の関係（自席領域無し）

### 3-2-5 被験者による明るさ感の評定

設定した 48 条件について，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る．被験者は建築学科学生 26 名で，標準刺激用模型に頭部を入れて 1 分間順応した後，比較刺激用模型に移動し頭部を入れ，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口答させる．なお，順序効果が生じないように，被験者を 8 グループに分け，グループ毎に異なる呈示順序とする．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する．

第 2 章で述べたように，視線の動く範囲を想定することが必要である．被験者実験では，着席し首を積極的に動かさないリラックスした姿勢で，前方を自然に見回すことによって得られる明るさの印象を被験者に評定させることにより，明るさ感の心理量を扱う．

## 3-3 明るさ感推定に有効な評価対象範囲の空間の形による違い

### 3-3-1 有効な評価対象範囲の自席領域の有無による違い

まず，自席領域の有無で層別して， $10^{\circ}$  刻みで仰角の評価対象範囲を変えたそれぞれ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．表 3-2 に自席領域無しの No. 25～48，表 3-3 に自席領域ありの No. 1～24 を対象とした場合の相関係数を示す．図 3-12 は表 3-2 の結果について，横軸に仰角下限を取って相関係数の大きさを比較したものである．図 3-13 は表 3-3 の結果について横軸に仰角下限を，図 3-14 は同じく仰角上限を取って相関係数の大きさを比較したものである．

表 3-2 評定値と平均輝度の相関係数（自席領域なし）

|      |      | 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 |
|      | -10° | 0.876 | 0.867 | 0.869 | 0.871 | 0.864 | 0.862 | 0.868 | 0.867 | 0.866 | 0.865 |
|      | -20° | 0.908 | 0.892 | 0.886 | 0.884 | 0.877 | 0.874 | 0.878 | 0.877 | 0.876 | 0.875 |
|      | -30° | 0.928 | 0.912 | 0.903 | 0.898 | 0.890 | 0.886 | 0.889 | 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 |
|      | -50° | 0.928 | 0.922 | 0.916 | 0.910 | 0.902 | 0.897 | 0.897 | 0.896 | 0.894 | 0.894 |
|      | -60° | 0.925 | 0.922 | 0.918 | 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 |

表 3-3 評定値と平均輝度の相関係数（自席領域あり）

|      |      | 仰角上限  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|      |      | 0°    | 10°   | 20°   | 30°   | 40°   | 50°   | 60°   | 70°   | 80°   | 90°   |
| 仰角下限 | 0°   |       | 0.912 | 0.913 | 0.893 | 0.881 | 0.867 | 0.847 | 0.841 | 0.838 | 0.837 |
|      | -10° | 0.694 | 0.891 | 0.906 | 0.890 | 0.877 | 0.862 | 0.842 | 0.836 | 0.833 | 0.832 |
|      | -20° | 0.621 | 0.823 | 0.874 | 0.869 | 0.859 | 0.846 | 0.827 | 0.822 | 0.819 | 0.818 |
|      | -30° | 0.564 | 0.753 | 0.828 | 0.838 | 0.834 | 0.824 | 0.808 | 0.804 | 0.802 | 0.801 |
|      | -40° | 0.525 | 0.696 | 0.784 | 0.805 | 0.807 | 0.800 | 0.786 | 0.783 | 0.782 | 0.782 |
|      | -50° | 0.509 | 0.664 | 0.754 | 0.780 | 0.786 | 0.781 | 0.769 | 0.768 | 0.767 | 0.767 |
|      | -60° | 0.508 | 0.650 | 0.739 | 0.767 | 0.774 | 0.771 | 0.759 | 0.758 | 0.758 | 0.758 |
|      | -70° | 0.511 | 0.645 | 0.731 | 0.760 | 0.768 | 0.765 | 0.754 | 0.753 | 0.753 | 0.753 |
|      | -80° | 0.511 | 0.641 | 0.726 | 0.755 | 0.764 | 0.761 | 0.750 | 0.750 | 0.750 | 0.750 |
|      | -90° | 0.511 | 0.639 | 0.724 | 0.753 | 0.762 | 0.759 | 0.749 | 0.749 | 0.748 | 0.748 |

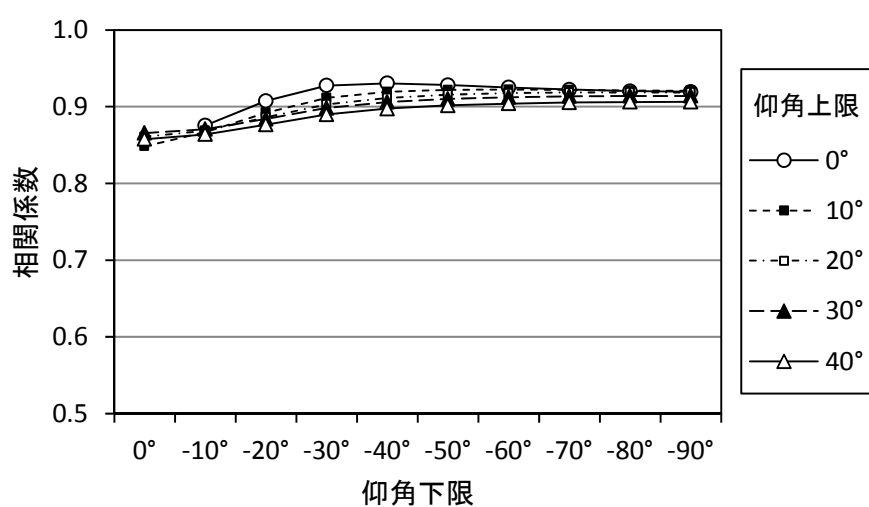


図 3-12 仰角下限の角度と相関係数の関係（自席領域あり）

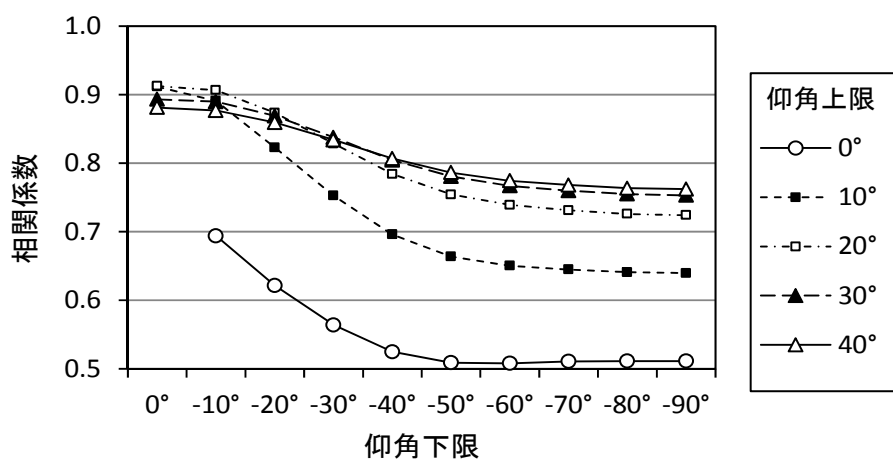


図 3-13 仰角下限の角度と相関係数の関係（自席領域なし）

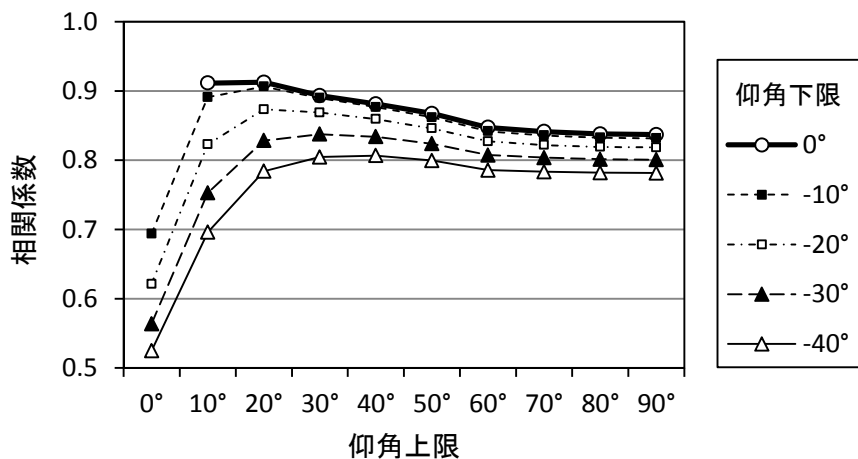


図 3-14 仰角上限の角度と相関係数の関係（自席領域あり）

自席領域無しは、表 3-2 においていずれの評価対象範囲でも 0.8 以上の相関係数が得られているが、図 3-12 より、仰角下限を $-40^{\circ}$  以下とすることでより大きな相関係数が得られることが分かる。それに対し、自席領域ありでは、図 3-13 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 $-20^{\circ}$  以下とした場合、相関係数が著しく低下する。このように、自席領域の無い空間では下方視野の輝度が明るさ感に寄与しているのに対し、自席領域あり、すなわちオフィスでは、下方視野の輝度の明るさ感への寄与が小さいと言える。

一方、最大の相関係数を得る仰角上限は、図 3-14 より、自席領域ありの場合およそ $20^{\circ}$  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 $0^{\circ} \sim 20^{\circ}$  の場合に得られる相関係数 0.913 が最も大きい。以上のことから、自席領域を有するオフィスにおいて、 $0^{\circ} \sim 20^{\circ}$  の範囲の平均輝度が明るさ感の推定に有効である。

### 3-3-2 設定条件による層別をしない場合に有効な評価対象範囲

自席領域の有無による層別を行わず、全 48 条件を対象としたとき、表 3-4 に示すように、自席領域ありと同様に、平均輝度の評価対象範囲を仰角 $0 \sim 20^{\circ}$  とした場合の相関係数が最も大きい。先に示したように、下方視野を範囲に含めないことにより、自席領域ありで明るさ感への説明力が増し、自席領域無しで明るさ感への説明力が低下するが、前者の効果が後者の効果より大きいため、自席領域の有無を区別せずに明るさ感を推定する場合においても下方視野を含めない評価対象範囲が有効なのだと考えられる。しかし、その相関係数は 0.887 であり、表 3-2 の最大値 0.930 と表 3-3 の最大値 0.913 と比較して小さい。したがって、やはり自席領域の有無によって評価対象範囲を別個に設定したほうが好ましいと言える。

表 3-4 評定値と平均輝度の相関係数（自席領域による層別なし）

|      |      | 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° | 0.632 | 0.800 | 0.843 | 0.845 | 0.838 | 0.831 | 0.824 | 0.822 | 0.820 | 0.819 |
|      | -20° | 0.641 | 0.768 | 0.818 | 0.826 | 0.823 | 0.818 | 0.812 | 0.810 | 0.809 | 0.808 |
|      | -30° | 0.636 | 0.745 | 0.799 | 0.811 | 0.811 | 0.807 | 0.802 | 0.801 | 0.800 | 0.799 |
|      | -40° | 0.633 | 0.731 | 0.786 | 0.800 | 0.802 | 0.799 | 0.794 | 0.793 | 0.793 | 0.792 |
|      | -50° | 0.634 | 0.724 | 0.778 | 0.793 | 0.796 | 0.793 | 0.789 | 0.788 | 0.788 | 0.787 |
|      | -60° | 0.636 | 0.719 | 0.772 | 0.788 | 0.791 | 0.789 | 0.785 | 0.784 | 0.784 | 0.783 |
|      | -70° | 0.635 | 0.714 | 0.765 | 0.782 | 0.786 | 0.784 | 0.780 | 0.780 | 0.779 | 0.779 |
|      | -80° | 0.633 | 0.710 | 0.761 | 0.778 | 0.782 | 0.781 | 0.777 | 0.777 | 0.776 | 0.776 |
|      | -90° | 0.633 | 0.709 | 0.760 | 0.777 | 0.781 | 0.780 | 0.776 | 0.776 | 0.776 | 0.775 |

### 3-3-3 有効な評価対象範囲の奥行き長さによる違い

異なる3つの奥行きで層別し、それぞれの仰角上限と相関係数の関係を比較した結果を図3-15に示す。仰角下限は0°とした。奥行き10.5mと17.7mでは仰角上限20°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°以上で大きく30°以下では著しく低くなっており、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、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と言えるが、奥行き3.3mでは、図3-3に示すVP1のように、天井と壁の境界の仰角が24°であり、天井面を画角内に壁と同程度収めるためには、仰角上限を40°以上に広げることが必要である。このことから、明るさ感を形成する画角範囲は、特定の仰角で決定されるのではなく、画角内に壁や天井などをバランス良く含むための仰角が関係しているのだと推察される。

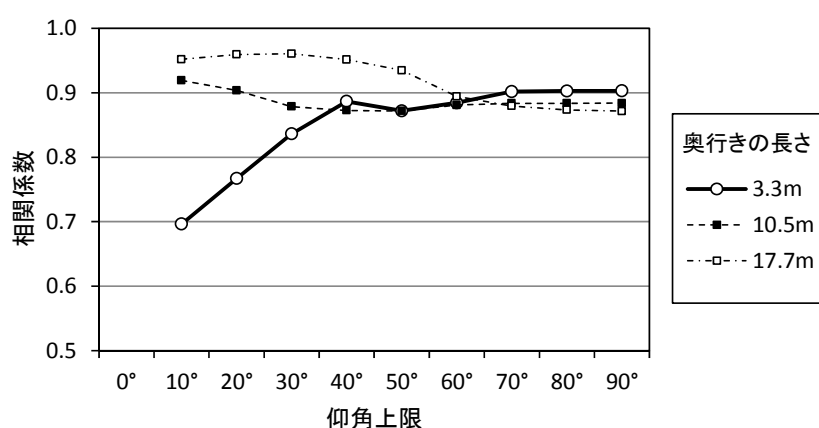


図 3-15 仰角上限の角度と相関係数の関係（奥行きの長さによる層別）

### 3-3-4 有効な評価対象範囲の窓採光の有無による違い

窓採光の有無で層別し、両者の仰角上限と相関係数の関係を比較した結果を図 3-16 に示す。仰角下限は  $0^{\circ}$  とした。窓採光無しでは仰角上限  $20^{\circ}$  で相関係数が大きいものに対し、窓採光ありでは仰角上限  $20^{\circ}$  以下の相関係数が小さく、両者は異なる傾向を示した。この原因の一つに、窓採光ありでは、 $0^{\circ} \sim 20^{\circ}$  の評価対象範囲において窓が多く部分を占め、壁と天井の占める割合が小さくなっていることが挙げられる。窓の輝度は壁と天井と比較して大きいため、 $0^{\circ} \sim 20^{\circ}$  の平均輝度も大きい値となり、被験者の評定する明るさ感に比較して過大に推定する結果となってしまう。そのため、前方からの窓採光がある場合には、窓以外の領域をより広く含む画角を取ることで窓の重みを相対的に小さくすることが有効であると推察できる。

しかし、既往の研究<sup>20), 21)</sup>が示すように、窓採光によって、とても粗い輝度対比が生じるため、その輝度対比の影響によって平均輝度によって推定される明るさ感よりも小さく評定されているとも考えられ、窓の有無によって評価対象範囲が異なるとは断定できない。輝度対比の影響については、第 4 章において検討を行う。

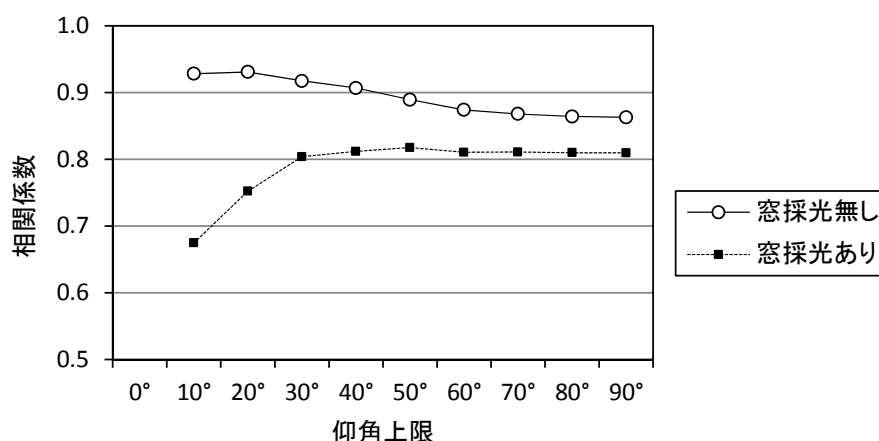


図 3-16 仰角上限の角度と相関係数の関係（窓採光の有無による層別）

### 3-3-5 空間の形に応じた評価対象範囲の調節の有効性

以上の結果をまとめると、仰角  $0^{\circ} \sim 20^{\circ}$  という平均輝度の評価対象範囲は、実験で扱った全ての条件を対象とした場合においてもおよそ高い精度で明るさ感を推定できる評価対象範囲であると言えるが、奥行きの短い条件では、仰角上限を  $40^{\circ}$  まで広げたり、自席領域無しの条件では仰角下限を  $-40^{\circ}$  まで広げたりすることが有効と考えられた。そこで、一つの画角を一律に適用せず、上記の条件に従って仰角の上限と下限を調節することによる推定精度向上の効果について検討した。

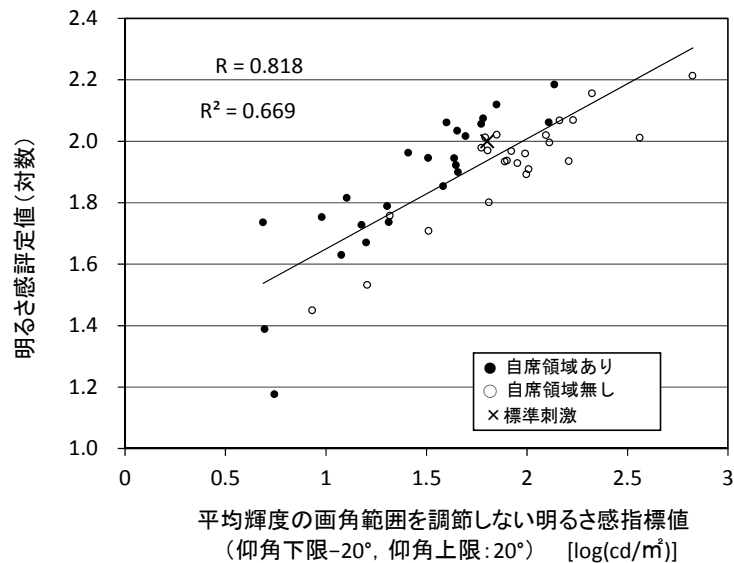


図 3-17 平均輝度と明るさ感評定値の関係（仰角-20～20°）

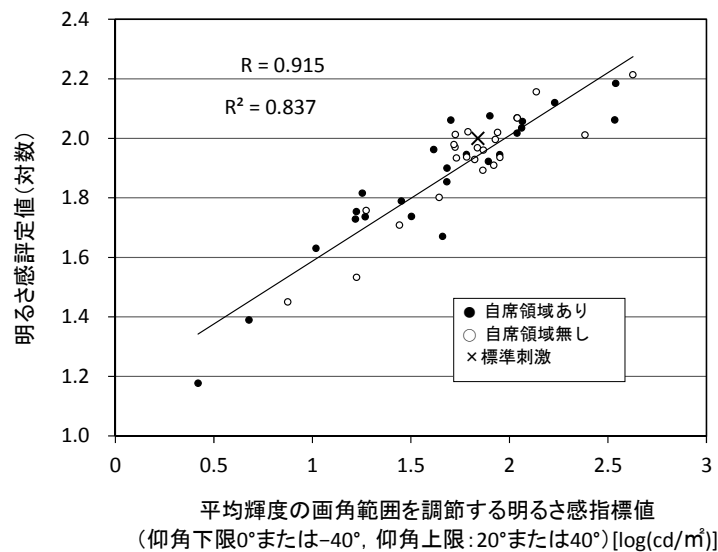


図 3-18 平均輝度と明るさ感評定値の関係（仰角を調節した場合）

図 3-17 は Loe の提言する仰角-20° ～20° の平均輝度を明るさ感指標値とした場合の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 0° ～20° とした場合には表 3-4 より相関係数は 0.887 となる．一方、自席領域の有無、奥行きの違い、窓の有無の条件に応じて、仰角上限を 20° または 40° ，仰角下限を 0° または -40° のいずれか条件に適したほうを選択して平均輝度を算出し、明るさ感指標値を得た場合は、図 3-18 に示すように、相関係数が 0.915 となる．このように、一つの画角を一律に適用せず、対象空間の特徴に応じて評価対象範囲に調節することによって、明るさ感の推定精度が高まる．



### 3-3-6 実空間を対象とした評価対象範囲の調節の有効性の検証

本検討の結果は、実環境を模擬した縮尺模型によって得られた知見であるため、実大の実環境つまり実空間において適用性があるかどうか、検証を行った。検証を行ったオフィスは、第4章の実験対象とするオフィスであり、その詳細は第4章で後述するものとし、ここでは検証結果について述べる。窓採光の有無、奥行きの違い（5mまたは10m）を変えた各条件について、明るさ感の評定と輝度分布の測定を行い、平均輝度と明るさ感評定値の相関分析を行った。対象をオフィスに限定しているので、評価対象範囲を仰角  $0^{\circ} \sim 20^{\circ}$  に固定する場合と、奥行き 5m または窓採光ありのときに仰角  $0^{\circ} \sim 40^{\circ}$  に調節する場合を比較する。

図 3-19 は評価対象範囲を固定した場合の平均輝度と明るさ感評定値の関係で、決定係数は 0.60 である。これに対し、図 3-20 は評価対象範囲を調節した場合で、決定係数が 0.72 となる。以上のことから、前節で述べた知見は、実空間においても有効であると考えられる。

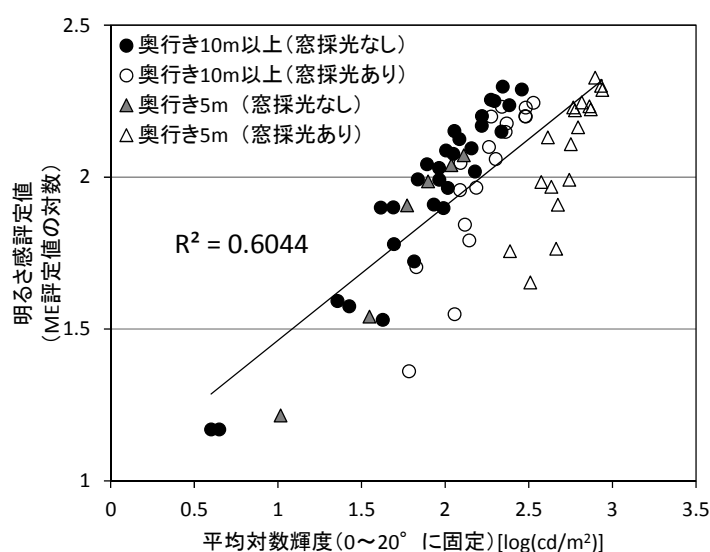


図 3-19 実空間における平均輝度と明るさ感評定値の関係（評価対象範囲固定）

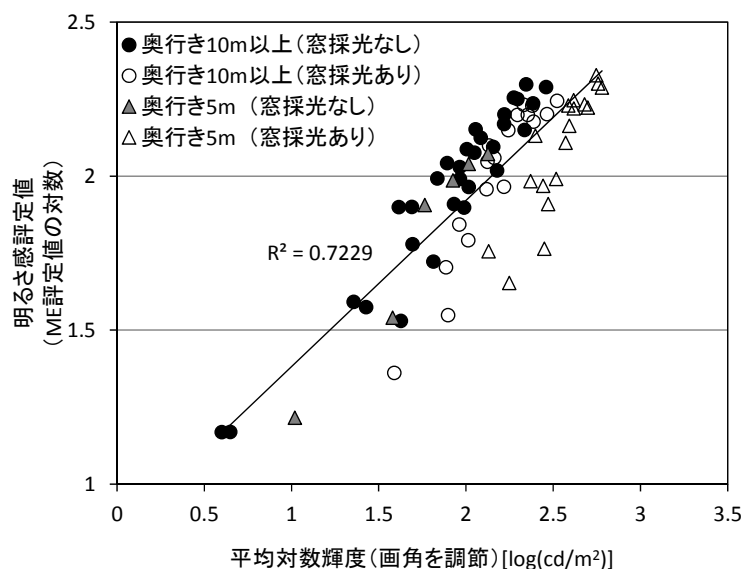


図 3-20 実空間における平均輝度と明るさ感評定値の関係（評価対象範囲調節）

### 3-4 評価対象範囲の設定方法の検討

#### 3-4-1 既往研究が示す評価対象範囲との比較

前節において、仰角下限は、自席領域無しの場合 $-40^{\circ}$ ，自席領域ありの場合 $0^{\circ}$ ，仰角上限は、奥行きが長い場合は $20^{\circ}$ ，短い場合は $40^{\circ}$ などのように、空間の形によって評価対象範囲が異なることが示唆された。

これに対し、評価対象範囲（仰角）について言及している既往研究が2つあり、ひとつはLoeら<sup>9)</sup>の仰角 $-20^{\circ} \sim 20^{\circ}$ ，もうひとつは、岩井ら<sup>13)</sup>の $-50^{\circ} \sim 35^{\circ}$ である。Loeの対象空間は会議室または個室オフィス，岩井らの対象空間は住宅であり，両者の仰角の違いは，空間の形や用途などにあると考えられる．そこで，横軸に仰角下限，縦軸に仰角上限をとって，それぞれの評価対象範囲を表すと，図 3-21 のようになる。

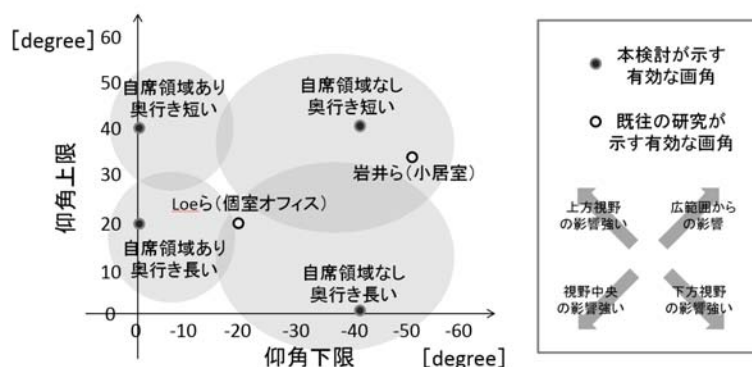


図 3-21 既往研究の評価対象範囲との比較

図 3-21 に示すように、自席領域の有無、奥行きの違いなどが異なると、適切な評価対象範囲は異なる。より広範囲を見渡すような空間の形の場合には、明るさ感や広範囲の影響を受けることから、図の右上のほうに位置する。逆に、視野中央の影響を強く受けるような空間の形の場合には、図の左下のほうに位置することになる。

このように、前節の知見は、特定の条件に限定されていた既往の研究の知見を拡張する結果としてとらえられ、置換するものではないといえる。

### 3-4-2 奥行きと天井高を変数とした評価対象範囲の設定方法の検討

ここまで述べたように、評価対象範囲は、空間の形に応じて適切に設定されるべきであるが、その範囲を空間の形に基づき設定できるようになれば便利である。前節の検討では仰角上限を、本検討では  $20^\circ$  または  $40^\circ$  としたが、ある奥行きの長さを境に両設定を切り替えることを意図するものではない。空間の形によって徐々に評価対象領域が狭くあるいは広く変化していくと考えられる。そこで、空間の形に基づき、適切な仰角上限を算出する式を検討した。例えば、本検討の結果を基にすると、図 3-22 に示すような、奥行きの長さ  $d$  と天井距離（天井高-視点高さ） $h$  の比  $R=d/h$  を求め、 $R$  によって仰角上限を設定する方法が可能である。

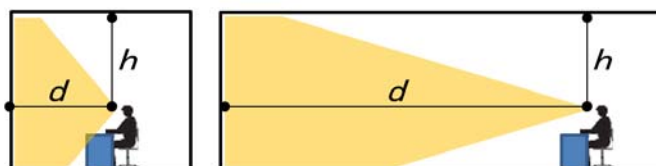
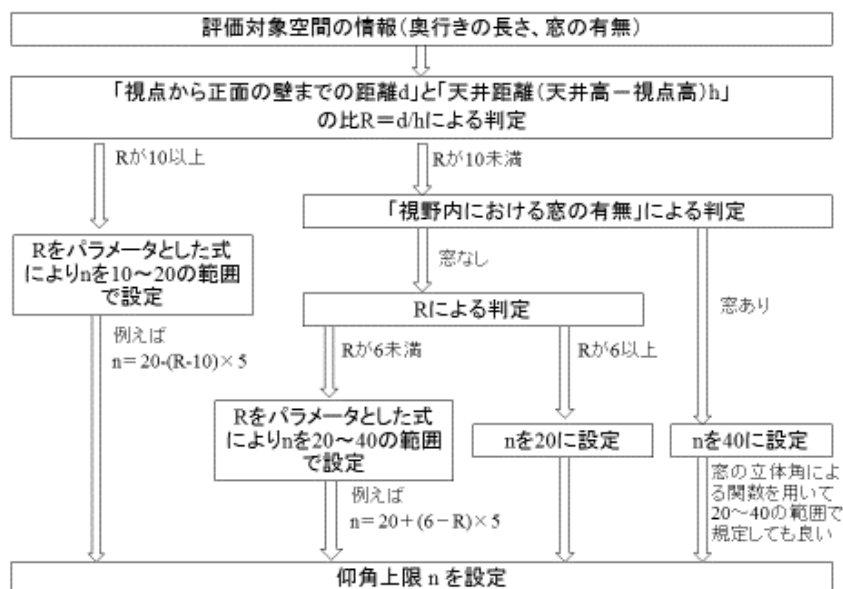


図 3-22 仰角上限の設定法

### 3-4-3 視野内の重みづけによる評価対象範囲の設定方法の検討

平均輝度などの算定において、「視野の中心座標と各座標のなす角の垂直成分」（仰角の離角）や「視野の中心座標と各座標のなす角の水平成分」（水平角の離角）による重み付けについては、それらの角度に基づく重み関数として記述することが可能である。

ある仰角を境に、算定除外するような矩形の重み関数は、小さい画角の輝度画像から算出できるメリットがあるが、不均一な輝度分布において、視点の位置のわずかな違いなどが平均輝度に影響し、指標として脆弱になりやすい欠点がある。

そこで、図 3-23 に示すように、視野の中心座標の重みが最大で、視野の中心座標からの離角 $\theta_v$ が大きくなるにつれ小さくなる重み関数  $\cos^2\theta_v$  ( $=1-\sin^2\theta_v$ ) を応用した重み関数  $1-\sin^n(k\theta_v)$  を用いることを検討する。この重み関数では、 $n$  と  $k$  の値を調節することにより尖度を矩形に近づけつつ、算定に必要な輝度画像の画角を  $\pm\pi/2k$  に抑えることが可能である。例えば  $k=2.5$  を与えたとき、算定に必要な輝度画像の画角は、 $\pm 36^\circ$  の範囲であり、魚眼レンズでなく一般的な広角レンズでも輝度分布の撮影が可能になるため実用性を高めることができる。

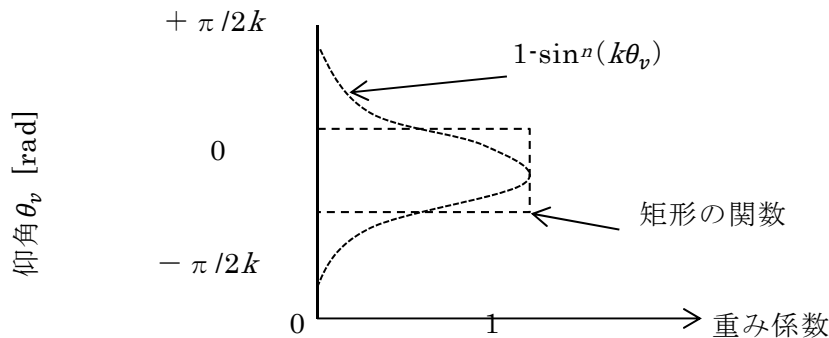


図 3-23  $1-\sin^n(k\theta_v)$  による重み関数

以上の観点を踏まえ、山口ら<sup>37)</sup>の重みづけ平均輝度の式に変更を加えた式 (3-1) を提案する。

$$WL = \int_{-i}^i \int_{-j}^j L(\theta_h, \theta_v) \{1 - \sin^n(k\theta_v)\} d\theta_v d\theta_h \cdots \text{式 (3-1)}$$

$\theta_h$  : 視野の中心座標と各座標のなす角の垂直成分

$\theta_v$  : 視野の中心座標と各座標のなす角の水平成分

式(3-1)を用いることにより、観察範囲に応じて、 $\theta_v$ の範囲と重みの尖度は  $j, k, n$  の値を、 $\theta_h$ の範囲は  $i$  の値を調整することができ、評価対象範囲を柔軟に設定することができる。

#### 3-4-4 視線方向の自由度に関する考察

「明るさ感」を得る際の空間の観察範囲に上方や後方が含まれるか否かという議論があることを踏まえれば、「明るさ感」とは、「見廻す範囲の明るさ感」であり、その観察範囲すなわち平均輝度などの算定範囲は、固定されるべきではない。重要なのは、視線方向や画角範囲が異なっても、算出される値の次元と価値評価が普遍となるよう配慮されるべきという点であって、それが普遍となるためのある程度の制限は必要となるかもしれないが、算定対象の視線方向と画角範囲は、目的や利便性に応じて自由に選択できることが好ましいと考える。

3-3 節において、什器の設置されたオフィスにおいては、明るさ感を推定するための平均輝度の適切な算定範囲が上方寄りになることを報告した。その際の分析では水平前方の輝度画像を用いていたため、その輝度画像から上方視野を切り取る方法を取ったが、視線方向が上方となった場合には、カメラを上方に向け、その中央を基準とした画角を切り取る方法でも良いと考えられる。広角で撮影できる場合は、撮影後に自由に切り取る方法も可能だが、CAD モデルを用いてレンダリングする場合など、狭角で輝度画像を得る場合も多く、カメラの向きに自由度が与えられることにはメリットが多い。では、視線の向き、カメラの向きはどの方向に向くのだろうか。おそらく、室内を広く見回しやすい方向、たとえば、画角内の天井・床・壁などの構成面の実面積の合計が最大になるような方向に向くことなどが考えられる。その検討は今後の課題としたい。

#### 3-4-5 画像の射影方法の自由度に関する考察

前節の検討では、正距円筒射影の輝度画像から矩形で切り取る方法によって評価対象範囲を設定した。切り取る形は、表計算などを行う上で矩形であると都合が良いが、同じ視点の輝度画像でも射影方法が異なると、各画素の立体角が変わり、その結果、矩形で切り取られる範囲も変わってくる。逆に、画像の射影方式の違いによって、切り取る範囲を変えないようにしようとするには、切り取る形は矩形にならずに、糸巻き型や樽型に歪むことになる。

同じ仰角となる座標を結ぶ線は、正射影では直線となるが、他の射影では、糸巻き型に歪み、等立体角射影、等距離射影、中心射影の后者ほど大きく歪曲する。逆に中心射影の画像上で直線で切り取った範囲は、他の射影では樽型に歪み、等距離射影、等立体角射影、正射影の latter ほど大きく歪曲する。

画像から評価対象範囲として切り出すことは、人が見廻す範囲を設定することであるから、射影によらず、切り出す範囲は自由に設定でき、射影に応じて切り出す範囲を調節すればよいことになる。つまり、切り出す範囲が適切であることが第一で、それが適切であれば、樽型、糸巻き型、矩形のいずれで切り出すことも可能である。実用性を考慮すれば、矩形で切り出すことが便利であるから、矩形で切り出す範囲が、評

評価対象範囲として相応しいと思われる射影方式を選べばよいといえるだろう。

しかし、それを厳密に設定すべきとする根拠を示すことは難しい。実用的には、射影の影響は重視されていないのが現状である。3-4-3 で述べたように、環境視にあたる視野の外寄りの部分の重みを小さく設定することによって、射影の影響は、さらに小さくすることができると考えられる。各画素の立体角の大きさにより輝度を加重平均するルールを整えることができれば、視線方向、観察範囲の大きさ、切り取る形、射影方法は自由に設定しても問題は少ないように思われる。

### 3-4-6 評価対象範囲の設定方法に関する適用限界

本章では評価対象範囲の設定を主に仰角に基づいて検討を進めた。空間の形がシンプルであれば画角によって評価対象範囲を設定することに問題は少ないと考えられる。しかし、複雑な空間の形状では、おそらく対応できなくなる。例えば、今回検討したパーティションを有する空間を例にとると、パーティションの内外を仰角で分離できるとは限らない。複雑な空間の形においては、人が観察する範囲は空間の認識と大きく関わってくるものと考えられる。引き続き様々な空間の形に対する適用性を検討していく必要があるといえるだろう。

## 3-5 本章の小括

本章では、模型を用いた実環境における被験者実験により、什器の有無が異なる空間、奥行きが異なる空間の明るさ感評定を比較し、空間の形と明るさ感の評価対象範囲の関係性について検討した。オフィスのような自席領域がある条件では、自席領域の平均輝度の明るさ感への寄与は小さく仰角  $0\sim 20^\circ$  の輝度の比重が大きいこと、空間の奥行きの短い条件や窓のある条件では評価対象範囲を仰角  $40^\circ$  まで広げることが適切であること、つまり、空間の形によって適切な評価対象範囲が異なることを明らかにした。また、評価対象範囲を常に固定してしまうのではなく、空間の形の多様性によって評価対象範囲を調節することにより、明るさ感をより高い精度で推定できることを明らかにした。

次に、評価対象範囲の設定方法を検討し、視野の中心座標の重みが最大で、視野の中心座標からの離角  $\theta_v$  が大きくなるにつれ小さくなる重み関数  $1-\sin^n(k\theta_v)$  において、例えば  $n=4$  と  $k=2.5$  を与えることにより、尖度を矩形に近づけつつ、算定に必要な輝度画像の画角を  $\pm \pi/2k$  に抑えることができることを示した。また、各画素の立体角の大きさにより輝度を加重平均するルールを整えることができれば、視線方向、評価対象範囲、評価対象の形、輝度画像の射影方法は自由に設定することが可能との見解を示した。



## 第4章

実環境に混在する輝度対比の空間周波数を考慮した明るさ感推定モデル NSB の構築



## 4-1 本章の目的

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明るさ感の目安とすることについては既に広く普及していると考えられる。色の影響をひとまず考慮に入れないとするならば、次に一般的な情報としては視野内の輝度分布ということになる。筆者は、これまでに指摘された不均一な輝度分布における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。つまり、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解決できないかと考えた。

筆者は「実空間の輝度分布には、自然光や人工光による様々な輝度対比が含まれ重なり合っているが、それらは通常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できる。」と考え、また、異なる光源に起因する輝度対比の粗さが同じ場合には、「両者とも明るさ感に対して同じように作用し、両者を区別する必要がない。」と仮定した上で、既往の知見から、「輝度分布上の粗い輝度対比は明るさ感を減少させ、細かい輝度対比は明るさ感を増加させる。」というシンプルな明るさ感推定モデルを考えた。

ここで、粗い輝度対比と細かい輝度対比をそれぞれ定量化するためには、離散ウェーブレット分解を用いて輝度分布内のすべての輝度対比を空間周波数毎に分離すればよさそうである。離散ウェーブレット分解は計算が高速であり、また、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、実用性も高く好都合である。昼光の有無や光源の大きさなどの明るさ感への影響要因を定性的に扱わず、輝度対比に関する定量的な特徴量として扱うことにより、実空間の複雑な輝度分布にも適用可能な普遍性の高い推定モデルの提案につながるだろう。本章は、オフィスの実空間における明るさ感の評定実験に基づき、上記の明るさ感推定モデルを定式化することを目的とする。

## 4-2 窓採光のある実オフィスにおける明るさ感の評定実験

### 4-2-1 実験条件

明るさ感の評定を行ったオフィスは、平面図を図 4-1、断面図を図 4-2 に示す北側にフルハイトの窓を有する東京都に実在するオフィスの実空間であり、一般的なグリッド天井である。壁と天井がおおよそ明度 9 の白色、床が明度 4 の灰色のタイルカーペッ

ト、什器は明度 1～9 と様々で有彩色も含まれている。12 月の曇天日の 10 時から 18 時 40 分にかけて、表 4-1 に示す 4 つのセッションからなるスケジュールで、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、32 条件を設定した。

表 4-1 実験条件

|                          |                                                   |      |     |     |     |     |     |     |    |             |      |      |     |     |     |     |     |     |             |     |     |     |    |     |     |     |                                                   |    |     |     |     |     |                                                |   |   |  |  |
|--------------------------|---------------------------------------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-------------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|---------------------------------------------------|----|-----|-----|-----|-----|------------------------------------------------|---|---|--|--|
| 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<br>(skylight through windows in daytime) |      |     |     |     |     |     |     |    |             |      |      |     |     |     |     |     |     | pulled down |     |     |     |    |     |     |     | drawn up<br>(darkness through windows in evening) |    |     |     |     |     | output ratio<br><br>○: 100%<br>△: 50%<br>x: 0% |   |   |  |  |
| direct ceiling light     | ○                                                 |      |     | △   |     |     | x   |     |    | ○           |      |      | △   |     |     | ○   |     |     | △           |     |     | x   |    |     | △   |     |                                                   | x  |     |     | △   |     |                                                | x |   |  |  |
| indirect ceiling light   | x                                                 |      |     |     |     |     |     |     |    | ○           |      |      |     |     |     |     |     |     | x           |     |     |     |    |     |     |     |                                                   | ○  |     |     |     |     |                                                |   |   |  |  |
| indirect wall light      | △                                                 | ○    | x   | △   | ○   | x   | △   | ○   | x  | △           | ○    | x    | △   | ○   | x   | △   | ○   | x   | x           | △   | x   | △   | x  | △   | △   | x   | △                                                 | x  | △   | x   | △   | x   |                                                | △ | x |  |  |
| 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%  
x: 0%

1・2 番目のセッションはブラインドを巻き上げた昼光導入の条件、3 番目のセッションはブラインドを閉じた昼光導入のほとんどない条件、4 番目のセッションは日没後 (日の入時刻 16 時 28 分) で、ブラインドを巻き上げ、窓の外が暗い条件である。また、図 4-1 に示すように、オフィスに隣接した会議室を被験者評定のための順応室とした。順応室内の照明は、天井直接照明のみで、机上面照度 700lx に設定した。室内には会議テーブルを囲んで座席が 8 席あり、座席から見て天井直接照明はおよそ仰角 50～90° に位置し、視野内の多くはおよそ均一な壁面 (明度 9 の白色、平均輝度 103cd/m<sup>2</sup>) で占められている。

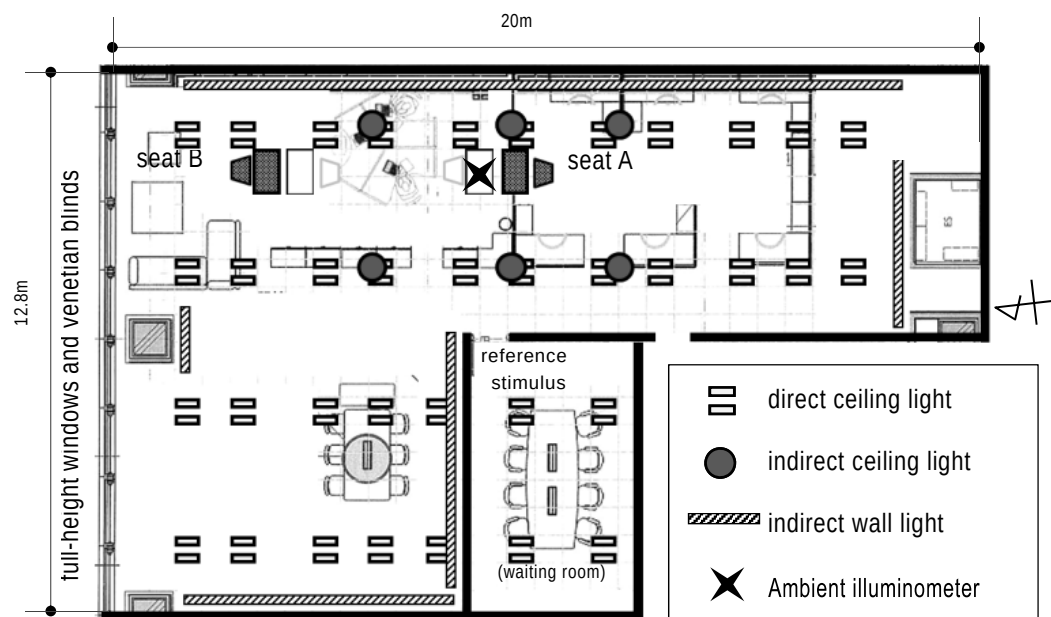


図 4-1 実験室平面図

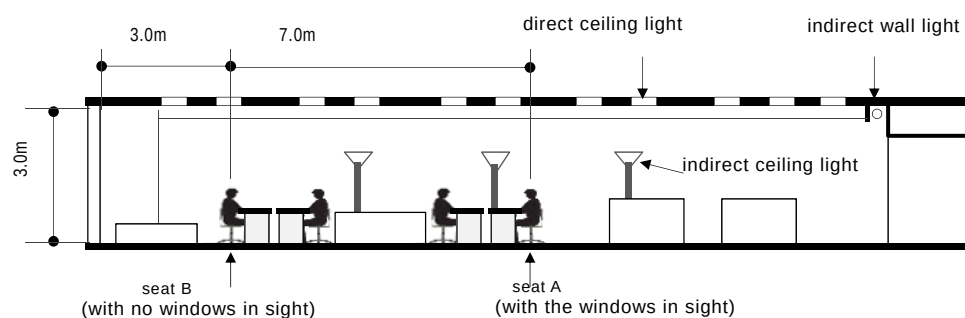


図 4-2 実験室断面図

#### 4-2-2 被験者による評定

明るさ感の評定を行う座席は図 4-1 および図 4-2 に示す seat A, B の 2 つである。seat A は正面に、seat B は背面に窓が位置しており、被験者（8 名）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する。被験者は、各評定前に毎回必ず順応室内で 1 分以上順応して待機し、seat A, B への移動時は空間を観察せず足元を見ながら移動する。被験者は、seat A, B に着席後、リラックスした姿勢で首を左右に動かさずに前方の空間を観察し、会議室の明るさ感を標準刺激（100）とした ME 法による相対評価（100 に対する相対値）と、図 4-3 に示すカテゴリカル尺度（順序尺度）を用いた絶対評価（評定用紙には 1～13 の表記なし、目盛以外へのマーク可）を全条件について行い、評定用紙に記入する。ME 法による評価は明るさ感の程度評価を調査し、カテゴリカル尺度による評価は明るさ感の価値評価を調査する目的において行う。

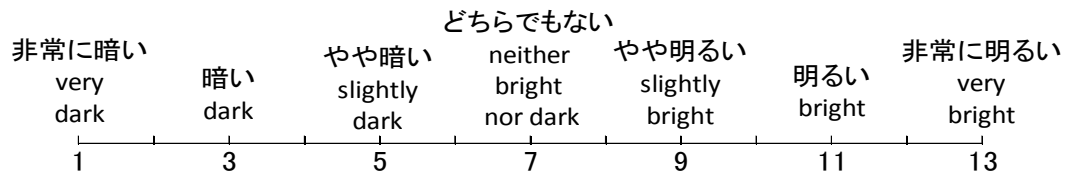


図 4-3 明るさ感のカテゴリカル尺度（順序尺度）

#### 4-2-3 輝度分布の測定と輝度画像の作成

seat A と seat B の両座席の目線の高さ（FL+1.1m）で，第 3 章で用いた輝度分布計測用のカメラ（180° 等距離射影，解像度 10pixels/degree）を用いて輝度分布を計測する．第 3 章と同様に等距離射影の輝度分布データを，正距円筒射影に射影変換することにより，矩形の 2 次行列に配列された数値データ（水平 180°，仰角 180°，1800 行×1800 列）として扱い，輝度画像とする．

#### 4-2-4 離散ウェーブレット分解による輝度対比画像の抽出

異なる空間周波数の輝度対比が混在している輝度画像から，空間周波数毎の輝度対比を抽出するために，symlet6 をウェーブレット関数とした離散ウェーブレット分解を用いる．離散ウェーブレット分解では，図 4-4 に示すように，主に隣接する画素間に存在する最も空間周波数が細かい輝度対比をレベル（以下，1v.）-1 として最初に取り出し，以下，残りの成分から，前に取り出した 1v. の空間周波数の 1/2 の粗さに相当する輝度対比を順々に取り出していく．今回用いた輝度画像の画素数の場合，1v. -10 の輝度対比まで取り出すと，輝度対比の無い画像が残り，分解は終了する．その結果，図 4-4 に示すように 2 のべき乗で検出空間周波数の異なる 10 枚の画像（元の輝度画像と同じ画素数の矩形の 2 次行列）が得られる．これらを各 1v. の輝度対比画像と呼ぶこととする．輝度対比画像の値は輝度比の常用対数に相当し，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．10 枚の輝度対比画像は輝度画像に含まれるすべての輝度対比を空間周波数別に 10 段階に分解したものであるから，相対的に 1v. -1～-5 を細かい輝度対比，1v. -6～-10 を粗い輝度対比とひとまず呼ぶこととする．

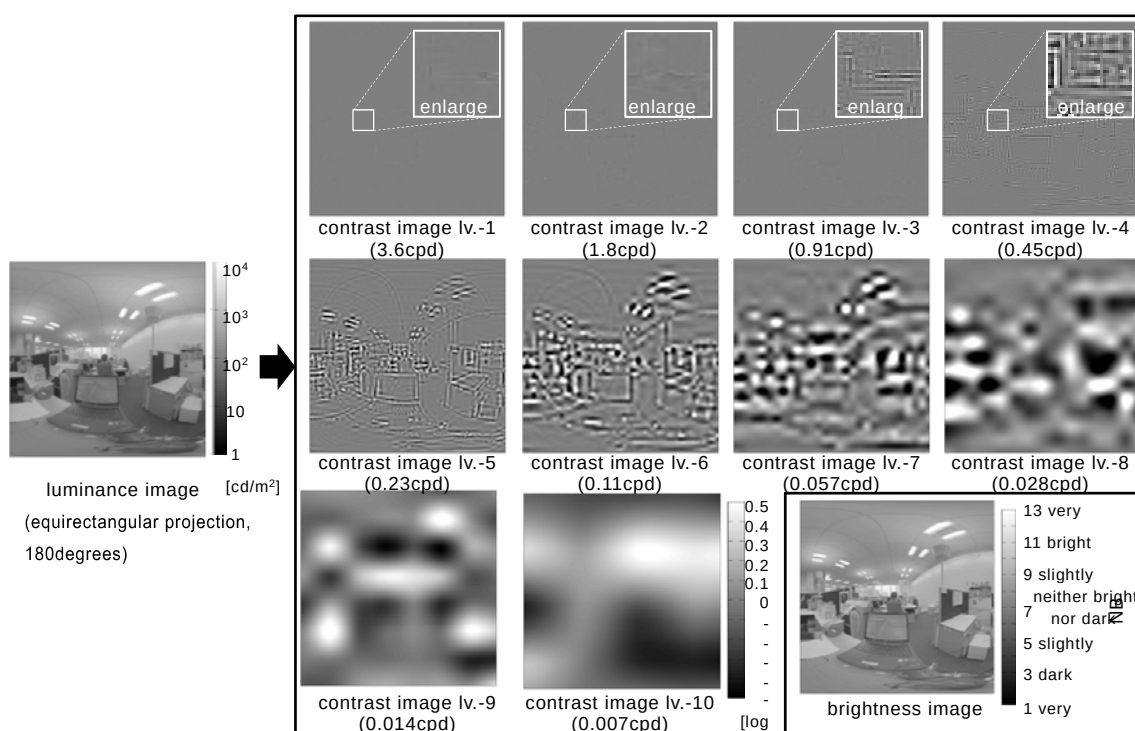


図 4-4 輝度画像より抽出される輝度対比画像および明るさ画像の例 (No. 11 seat A)

#### 4-2-5 明るさ画像の作成

中村<sup>29)</sup>の方法により図 4-4 右下に示す正距円筒射影の明るさ画像もあわせて取得する．ここで得られる明るさ画像は、視野内の各画素の明るさ知覚の推定値（以下、NB 値）が配列された数値データ（元の輝度画像と同じ解像度の矩形の 2 次行列）である．この明るさ画像は、後述する明るさ感評定値との回帰分析において、平均輝度の代わりに NB 値の平均値（以下、平均 NB 値）<sup>11)</sup>を説明変数とすることを検討する際に用いる．

#### 4-2-6 輝度対比量の算出

図 4-5 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細かい輝度対比が、lv. -9 の画像には窓採光による粗い輝度対比が、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さいのは、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粗い輝度対比が表れている．

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．ここでは図 4-5 に示すように水平  $100^\circ$  垂直  $40^\circ$  の範囲の分散の値をその  $1v.$  (または空間周波数)の輝度対比量と定義し, 各条件の全  $1v.$  の輝度対比量を計算した．

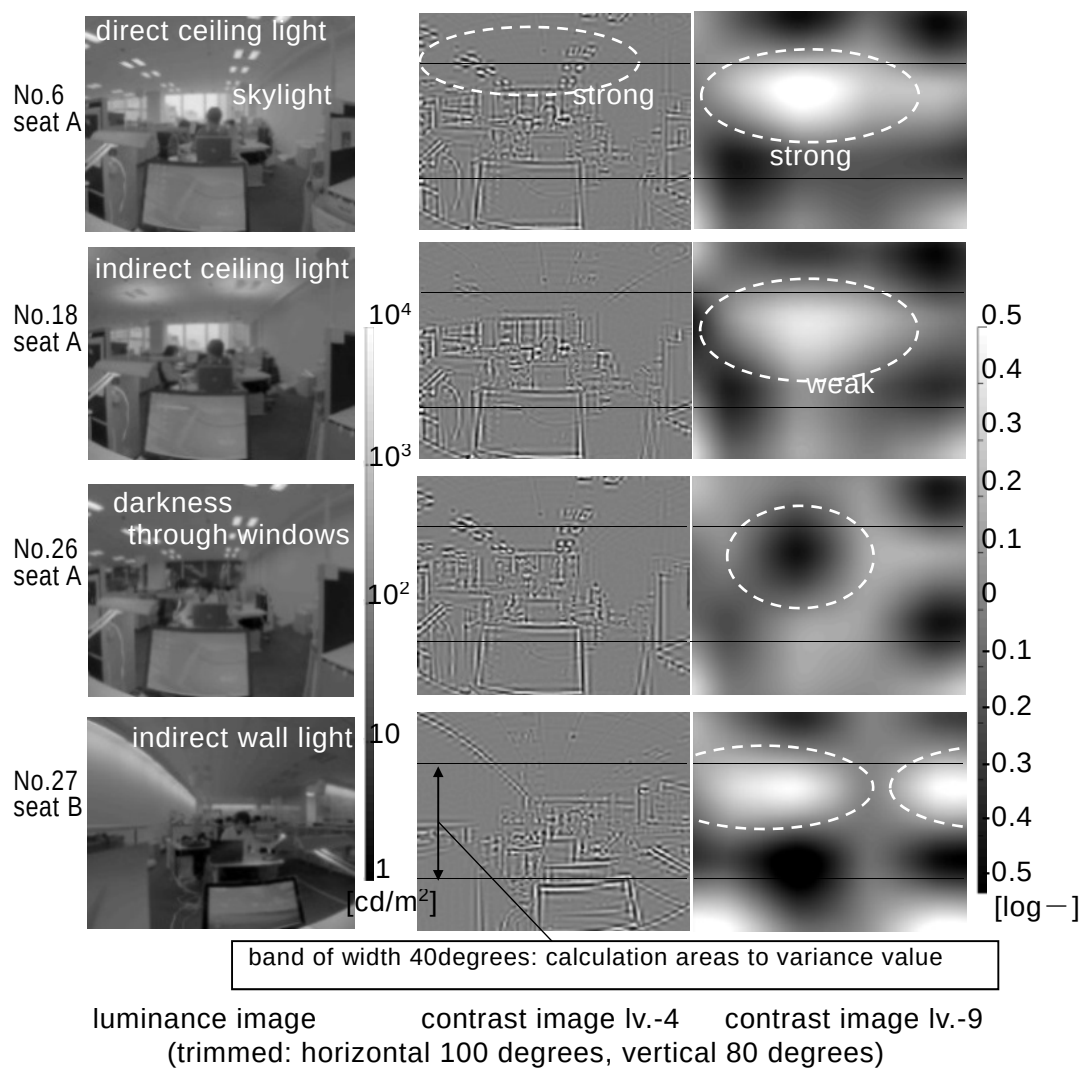


図 4-5 輝度対比画像に表れる照明の影響

図 4-6 に例として,  $1v.-4$  (細かい) と  $1v.-9$  (粗い) の輝度対比量および平均輝度を示す．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．なお, 平均輝度は, 仰角  $0 \sim 40^\circ$  の各画素の常用対数について立体角による重み付け平均によって算出しており, 対数表記である．

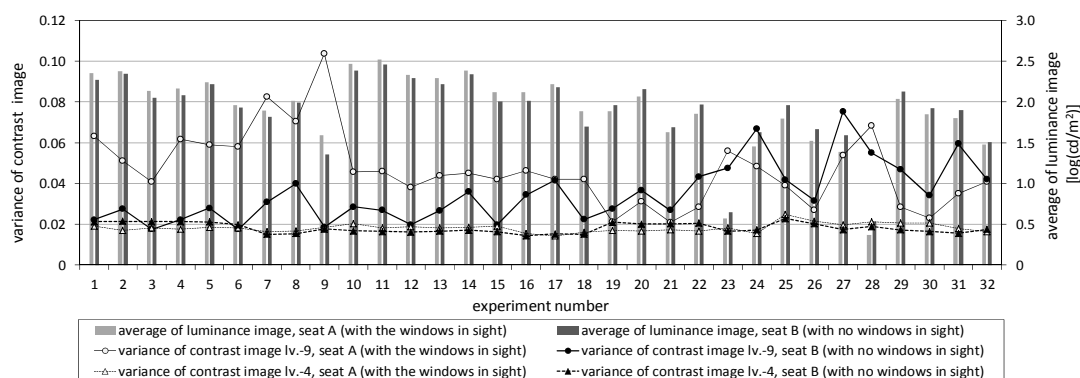


図 4-6 評価刺激の平均輝度と輝度対比量

#### 4-2-7 照明と輝度対比量の関係

横軸に細かい輝度対比量の一例として lv.-4 の輝度対比量を，縦軸に粗い輝度対比量の一例として lv.-9 の輝度対比量を取り，各照明の点灯とブラインドの開閉が両者に及ぼす影響を，時間帯と座席の違い別に概観してみたのが図 4-7～図 4-10 である。

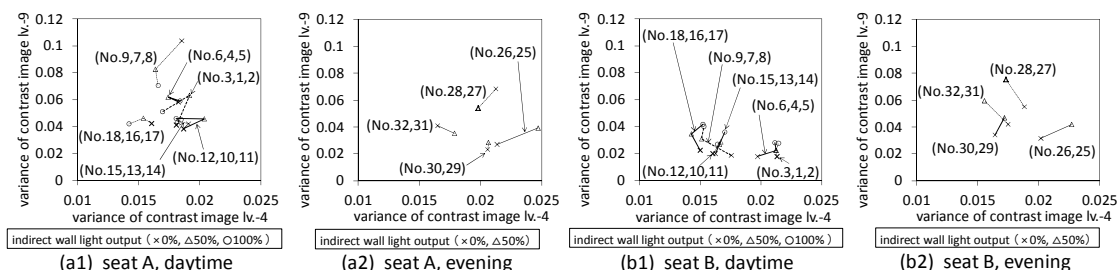


図 4-7 天井直接照明の輝度対比量への影響

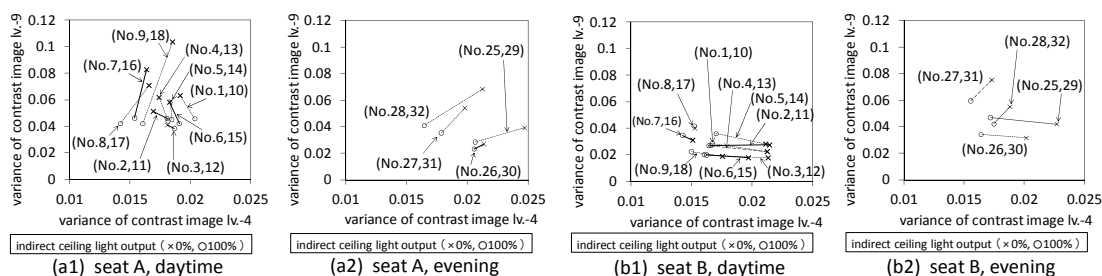


図 4-8 天井間接照明の輝度対比量への影響

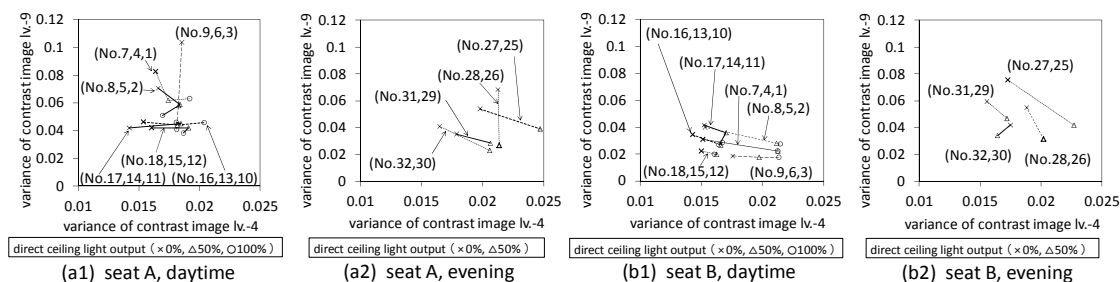


図 4-9 壁間接照明の輝度対比量への影響

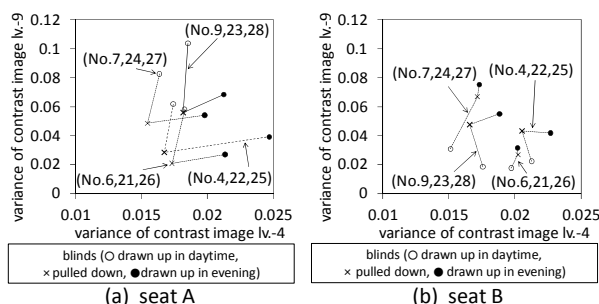


図 4-10 ブラインドの輝度対比量への影響

図 4-7 (a1) (a2) (b1) (b2) より, 天井直接照明の点灯時は消灯時と比較して lv. -4 の輝度対比量が大きくなる傾向がある. 主に天井の光源付近で細かい輝度対比が生じることがその理由と考えられる.

また, 図 4-7 (a2) (b2) より, 夕方には, 天井直接照明の点灯時は消灯時と比較して lv. -9 の輝度対比量小さくなる傾向もある. 室内の輝度が低下する夕方には, 天井間接照明の点灯は, 天井・壁・什器など視野内全体の輝度を高くするため, 局所照明 (壁間接照明・タスク照明) によって生じる粗い輝度対比を低減すると推察される.

図 4-8 (a1) より, 前方に窓採光のある条件において, 天井間接照明の点灯時は消灯時と比較して lv. -9 の輝度対比量小さい. 天井間接照明の点灯が室内の輝度を高め, 高輝度の窓面との輝度対比を抑える効果が特に大きいことを定量的に表していると言える.

また, 図 4-8 (a2) (b2) より, 夕方の天井間接照明の点灯時は lv. -4 の輝度対比量小さい. 天井間接照明には, 天井面の輝度増大により光源部の輝度対比を低減する効果や, 天井で反射した拡散光により室内の細部の陰影を弱める効果があると考えられ, 昼光がなくなった夕方において, その効果が特に表れたものと推察される.

図 4-9 (b1) (b2) より, seat B において, 壁間接照明の点灯時は, 消灯時と比較して lv. -9 の輝度対比量大きい. 壁間接照明が一部の壁面の輝度を高め, それ以外の部分との輝度対比を増加する効果が現れている. しかし, seat A (a1) (a2) においてはその傾向が見られない. これらの窓面と室内の輝度対比を有する条件では, 壁間接照明



の点灯が、窓面と室内の輝度対比の低減にも作用するためと考えられる。

図 4-10(a)より、seat A の条件において、昼のブラインド開はブラインド閉と比較して 1v. -9 の輝度対比量大きい。昼光導入による窓面と室内の輝度対比がこの原因であることは明白であろう。また、夕方のブラインド開は 1v. -4 の輝度対比量が増加させる。窓面に天井直接照明のランプ部が映り込むことなどが原因と推察される。

図 4-10(b)より、seat B の条件において、昼のブラインド開はブラインド閉と比較して 1v. -9 の輝度対比量小さい。天井直接照明の効果と同様に、昼光による拡散光が天井・壁・什器など視野内全体の輝度を高くするため、局所照明（壁間接照明・タスク照明）によって生じる粗い輝度対比を低減すると推察される。

以上のように、実空間における照明の点灯や窓採光は、各照明により生じる輝度対比の空間周波数において、輝度対比量に表れる。さらに複数の照明による交互作用も輝度対比量に反映されると推察される。つまり、光源が増えると各照明の点灯条件による質的変数では実空間の複雑な輝度分布の特徴を表現しにくくなるが、輝度対比量は、それが可能と考えられ、実空間の輝度分布と明るさ感の関係を定式化する上で適切な量的変数と考えられる。

## 4-3 輝度対比量と明るさ感の関係

### 4-3-1 平均輝度または平均 NB 値による単回帰分析

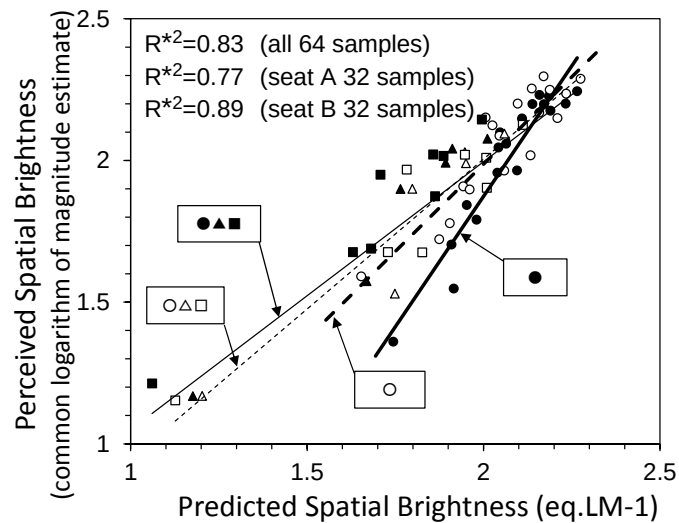
ME 法による評定値の対数 ( $SB$ ) の被験者平均 ( $\overline{SB}$ ) を目的変数として、A, B 両座席の全 64 サンプルを用いて回帰分析を行った。説明変数 ( $xI$ ) は、平均輝度（の常用対数）または平均 NB 値（算定画角：水平  $100^\circ$  仰角  $0\sim 40^\circ$ ）とした。単回帰式は、表 4-2 に示す式 LM-1 および表 4-3 に示す式 NB-1 となる。両式から推定される明るさ感推定値と  $\overline{SB}$  との関係を図 4-11、図 4-12 に示す。seat B における自由度調整済決定係数  $R^{*2}$  が比較的大きい（式 LM-1 では 0.89）のに対し、seat A の  $R^{*2}$  は小さく（同 0.77）、特に窓からの昼光導入のある No. 1~18 では平均輝度から推定される明るさ感推定値が過大な傾向がある。この傾向は、既往の知見<sup>20), 21)</sup>と合致し、式 LM-1 と式 NB-1 の説明力低下の原因になっている。

表 4-2 回帰式の係数と説明力（第一の説明変数：平均輝度）

| 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                   |                                             |                                 |                                                                    |

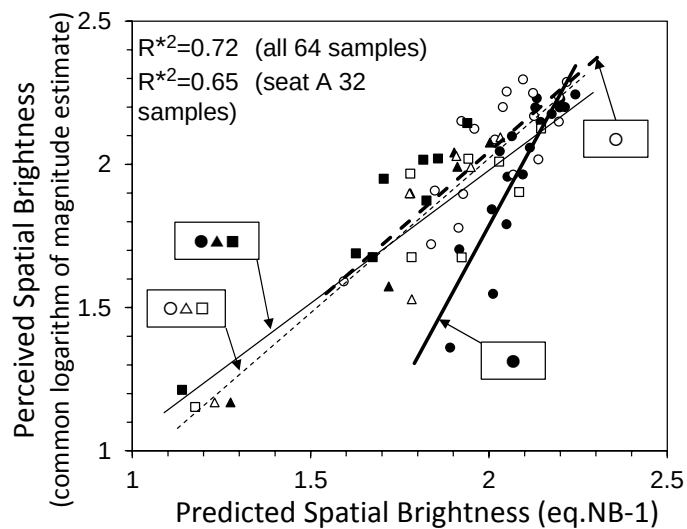
表 4-3 回帰式の係数と説明力（第一の説明変数：平均 NB 値）

| 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 (AD)          | -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 (AD)          | -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                            | 0.31                   | 0.86                                        | 0.95                            | 0.91                                                               |
|                     | x2:variance of lv.-9 image (AD)          | -7.86                  | -0.47                                       | -0.86                           |                                                                    |
|                     | x3:total variance of lv.-1~-5 image (CD) | 11.61                  | 0.26                                        | 0.67                            |                                                                    |
|                     | constant                                 | -0.69                  |                                             |                                 |                                                                    |



(a1) eq.LM-1, x1:average luminance

図 4-11 単回帰式による明るさ感推定式の推定精度（第一の説明変数：平均輝度）



(b1) eq.NB-1, x1:average NB

図 4-12 単回帰式による明るさ感推定式の推定精度（第一の説明変数：平均 NB 値）

#### 4-3-2 各分解レベルの輝度対比量を説明変数とした重回帰分析

(1) 第二の説明変数  $x_2$  (明るさ感を減少させる輝度対比)

3 節で求めた各 1v. の輝度対比量を説明変数に加えることによって、まずは主に昼光導入に起因するばらつきの低減を検討する。第一の説明変数 ( $x_1$ ) を前述と同様に平均輝度と平均 NB 値とし、2 つ目の説明変数選択において、各 1v. 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、それぞれ図 4-13、図 4-14 のようになった。

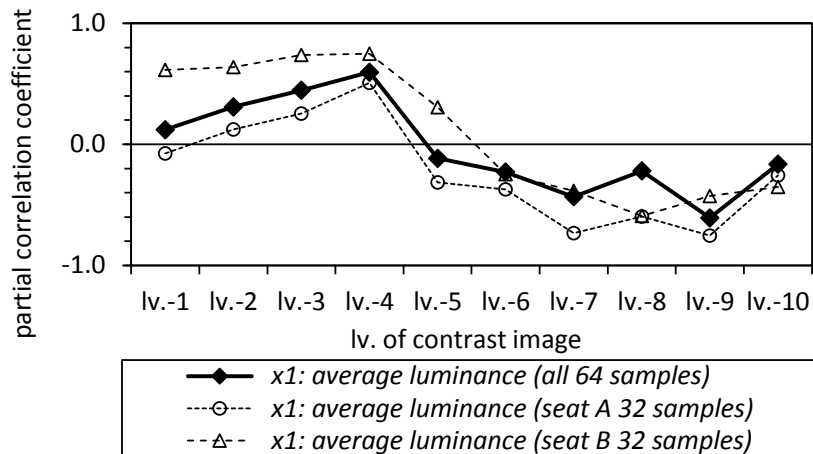


図 4-13 第二の説明変数選択における偏相関係数( $x_1$ : average luminance)

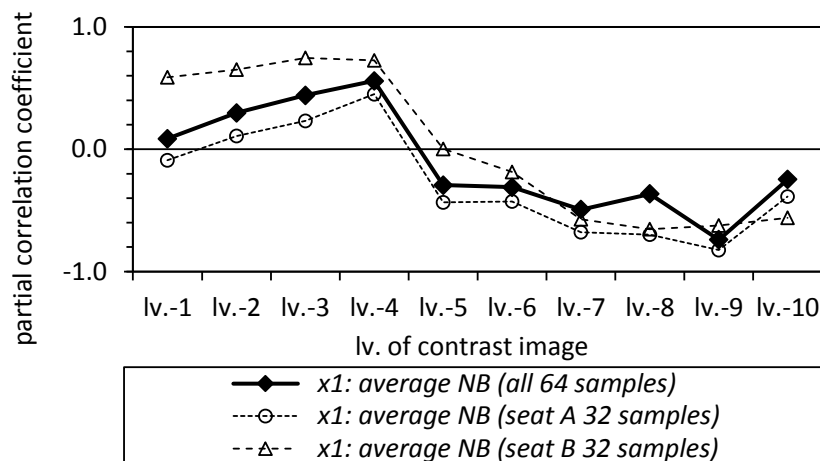


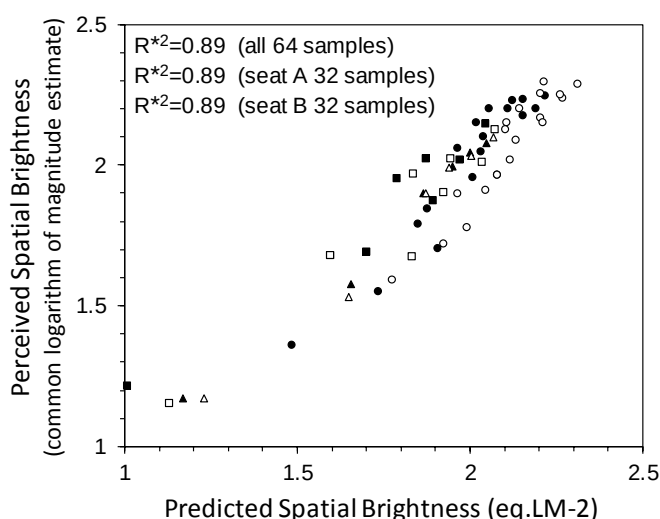
図 4-14 第二の説明変数選択における偏相関係数( $x_1$ : average NB)

lv.-3～-4あたりの細かい輝度対比量が明るさ感と順相関があるのに対し、lv.-7～-9あたりの粗い輝度対比量が逆相関があり逆の作用がある傾向が明らかである。この傾向は、既往の研究が示した明るさ感へ影響を与える輝度対比の粗さまたは細かさの傾向と一致していると考えられる。また、このメカニズムは、次のように考察できる。高周波が少ない状態は、物体のエッジがぼやけた状態を示し、明るさ感の低下を招き、一方、低周波の輝度対比は、視線方向によって順応状態が変化するという高周波の輝度対比にはない特徴があり、その際、明順応のほうが順応に要する時間が暗順応に比べて短いため、明順応の影響を受けやすく、そのため、明るさ感が低下すると考えられる。seat Aとseat Bでこの傾向を比べてみると、さほど同様の傾向を示しており、seat Bのサンプルにおいても粗いlv.の輝度対比量が逆相関であることから、粗

い輝度対比による明るさ感の低下は、窓採光によるものに限定されず、人工照明による粗い 1v. の輝度対比についても、ほぼ同じ空間周波数帯において作用していると推察できる。

ただし、seat A では粗い 1v. の輝度対比量の逆相関が seat B と比較してより大きく、seat B では細かい 1v. の輝度対比量の順相関が seat A と比較してより大きい傾向があり、それぞれの結果が各サンプル群に含まれる輝度対比のバリエーションの影響を受けている可能性がある。したがって seat A, B 毎のサンプルから得られる結果より全サンプルから得られる結果のほうが普遍性が高くなると考えられるため、説明変数の導入は全 64 サンプルから得られる結果に基づき検討する。

まず、1v. -1 から 1v. -10 までの輝度対比量の中で最も相関が大きく逆相関の特徴が顕著な 1v. -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、表 4-2 に示す式 LM-2 および表 4-3 に示す式 NB-2 となり、図 4-15、図 4-16 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。



(a2) eq.LM-2,  $x_1$ : average luminance,  $x_2$ : variance 1v.-9

図 4-15 重回帰式による明るさ感推定式の推定精度（第一の説明変数：平均輝度）

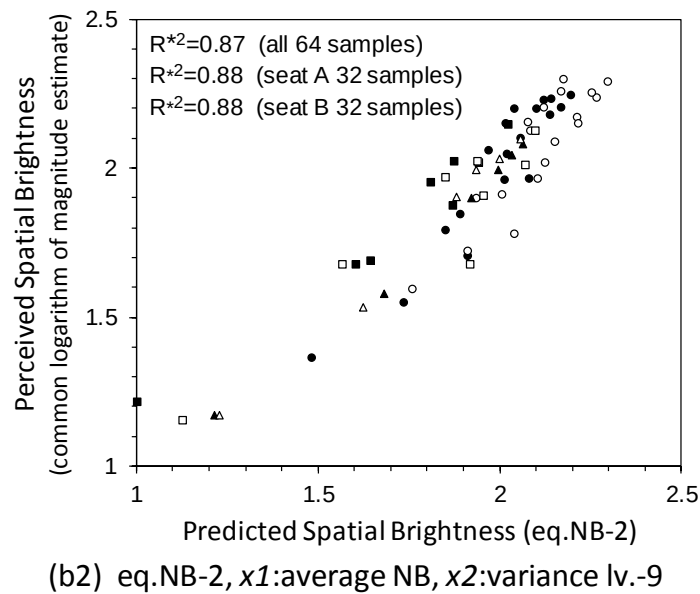


図 4-16 重回帰式による明るさ感推定式の推定精度（第一の説明変数：平均 NB 値）

seat A の 32 サンプルの  $R^2$  は seat B の 32 サンプルの  $R^2$  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ばらつきの問題点は、この変数導入により大きく解消することが分かる。

（2）第三の説明変数  $x_3$ （明るさ感を増加させる輝度対比）

$x_2$  に lv.-9 を選択した後、3 つ目の説明変数選択において、各 lv. の輝度対比量を  $x_3$  とするときの偏相関係数は、それぞれ図 4-17、図 4-18 のようになり、これは  $x_1$  と  $x_2$  の影響を取り除いた後の明るさ感との相関である。

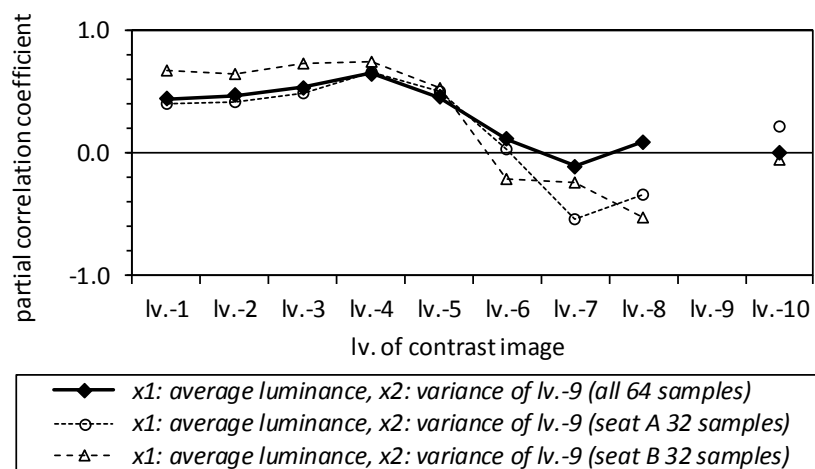


図 4-17 第三の説明変数選択における偏相関係数 ( $x_1$ : average luminance)

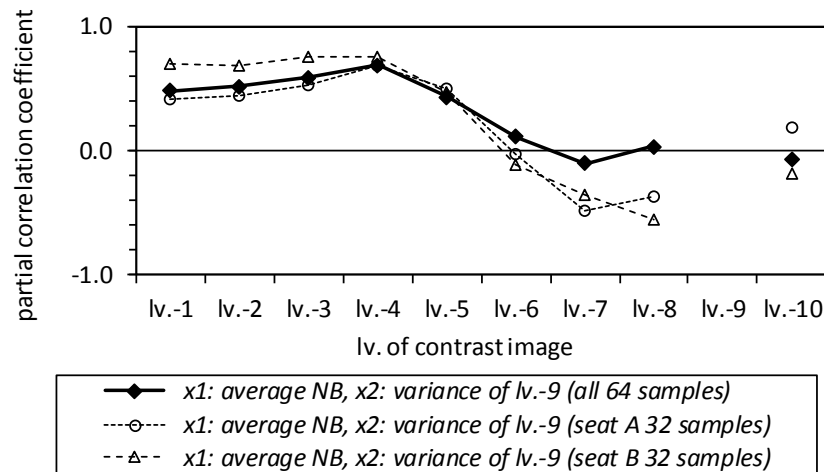


図 4-18 第三の説明変数選択における偏相関係数 ( $x1$ : average NB)

lv.-6 から lv.-10 までの輝度対比量との偏相関係数は小さく (64 サンプルの場合), 変数増減法では, 細かい lv. の輝度対比量が第三の変数変数として次に検討されることとなる. 図 4-17, 図 4-18 において, lv.-1~5 の輝度対比量はいずれも 0.4 以上の順相関を示し, lv.-5 の輝度対比量は図 4-13, 図 4-14 では順相関の傾向が見られなかったが, lv.-9 の影響が取り除かれたことによって, 順相関が顕在化したといえる. そして, これらの細かい lv. の輝度対比量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, 表 4-2 に示す式 LM-3 および表 4-3 に示す式 NB-3 となり,  $R^2=0.93$  の高い説明力の推定式が得られる.

以上の検討により, 粗い輝度対比が明るさ感を減少させ, 細かい輝度対比が明るさ感を増加させる推定式を導いたことになる. しかし, これらの式では, lv.-4 と lv.-9 以外の輝度対比量の大小が明るさ感の推定値に反映されない. 図 4-4 に見られるように, 実空間の輝度分布では前後の lv. においても同じ座標で輝度対比が検出される傾向があり, その画角内の分散である輝度対比量も前後の lv. と連動しやすいとは言え, 各 lv. の輝度対比量は 10 個の lv. に分離されたその一部でしかなく, 理論上は独立しており, それぞれ異なる値と意味を持つ. したがって, 仮に lv.-4 と lv.-9 以外の輝度対比のみを含むような評価対象があれば, これらの式は明るさ感を精度良く推定できないだろう. また, 被験者実験のサンプルに含まれる輝度対比の空間周波数に偏りがあれば, 異なる lv. の輝度対比量が変数選択されることは起こりえる. これらを踏まえれば, lv.-4 と lv.-9 の輝度対比量のみを説明変数に加える式に普遍性があるとは言えない. 理想としては, lv.-1 から lv.-10 までの全ての輝度対比量を説明変数に加え, 個々に偏回帰係数を得ることであるが, 64 というサンプル数からそれを導くことは妥当ではない. このような多重共線性のある変数群においては, 値が連動する変数群の総和など, それらの変数群を包括する説明変数を新たに立てることが有効である. そこで, 次節ではその検討を行う.

### 4-3-3 輝度対比量に基づく不均一指標値 AD 値・CD 値の定義と重回帰分析

まず,  $lv. -1 \sim -p$  の輝度対比量の総和を「CD 値 (明るさ感を増加させる細かい輝度対比量)」,  $lv. -q \sim -10$  の輝度対比量の総和を「AD 値 (明るさ感を低下させる粗い輝度対比量)」,  $lv. -(p+1) \sim -(q-1)$  の輝度対比量を明るさ感に影響を及ぼさない輝度対比量とする. 次に, AD 値を  $x_2$ , CD 値を  $x_3$ , とする重回帰分析を  $p$  と  $q$  の値を順に変えながら行い, 得られる重回帰式の  $R^{*2}$  を比較する. 分析の結果,  $p=5$ ,  $q=7$  とした場合が最も説明力が高くなり, 明るさ感を減少させる輝度対比と増加させる輝度対比の空間周波数の境は  $lv. -6$  に相当する  $0.1\text{cpd}$  付近であることが分かった. これより得られる重回帰式は, 表 4-2 に示す式 LM-4 および表 4-3 に示す式 NB-4 である. 両式の自由度調整済決定係数  $R^{*2}$  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  $R^{*2}$  は大きい, 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) に対する特殊解と解釈すべきである. 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. 式 LM-4 の重回帰式の概要を表 4-4 に示す. P 値はいずれの変数ともに  $0.0001$  以下であり, 有意水準  $0.01\%$  である. 標準偏回帰係数は, 平均輝度が  $0.87$  に対し, AD 値が  $-0.31$ , CD 値が  $0.24$  であり, 明るさ感の寄与が最も大きいのは平均輝度であり, AD 値や CD 値はそれを補正する寄与に相当する.

表 4-4 重回帰分析の概要

| 回帰統計               |         |
|--------------------|---------|
| 重相関 R              | 0.96084 |
| 重決定 R <sup>2</sup> | 0.92320 |
| 補正 R <sup>2</sup>  | 0.91936 |
| 標準誤差               | 0.08214 |
| 観測数                | 64      |

| 分散分析表 |     |         |         |           |         |
|-------|-----|---------|---------|-----------|---------|
|       | 自由度 | 偏差平方和   | 不偏分散    | 分散比(F値)   | 有意 F    |
| 回帰    | 3   | 4.86692 | 1.62231 | 240.43141 | 0.00000 |
| 残差    | 60  | 0.40485 | 0.00675 |           |         |
| 合計    | 63  | 5.27177 |         |           |         |

|                            | 回帰係数     | 標準偏回帰係数  | 偏相関係数    | 標準誤差    | t 値      | P 値        |
|----------------------------|----------|----------|----------|---------|----------|------------|
| 切片                         | 0.62167  |          |          | 0.11035 | 5.63344  | 0.00000050 |
| 平均輝度                       | 0.53773  | 0.87489  | 0.94790  | 0.02333 | 23.04706 | 0.00000000 |
| CD 値 ( $lv. -1 \sim -5$ )  | 11.04357 | 0.24414  | 0.62438  | 1.78363 | 6.19162  | 0.00000006 |
| AD 値 ( $lv. -7 \sim -10$ ) | -1.94254 | -0.31694 | -0.71501 | 0.24521 | -7.92205 | 0.00000000 |

図 4-19, 図 4-20 に示すように, 式 LM-4 と式 NB-4 では, 視野内に窓からの昼光導入を含む 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昼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, 平均輝度を用いた推定式だけでなく, 平均 NB 値のような輝度に演算を施した尺度値に対しても有効と言える.



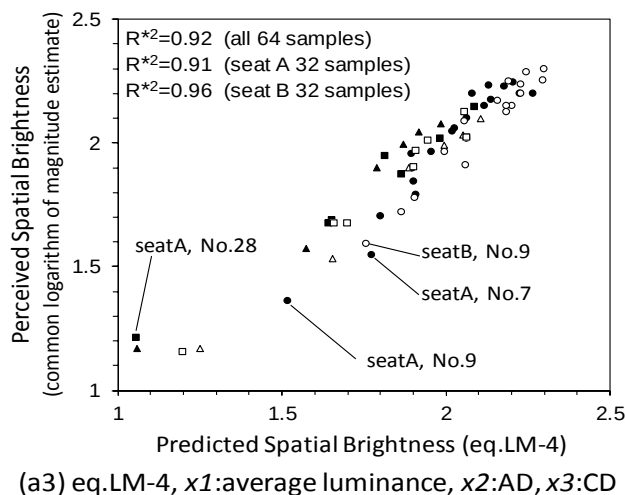


図 4-19 AD 値と CD 値を第二第三の説明変数とした重回帰式による  
明るさ感推定式の推定精度（第一の説明変数：平均輝度）

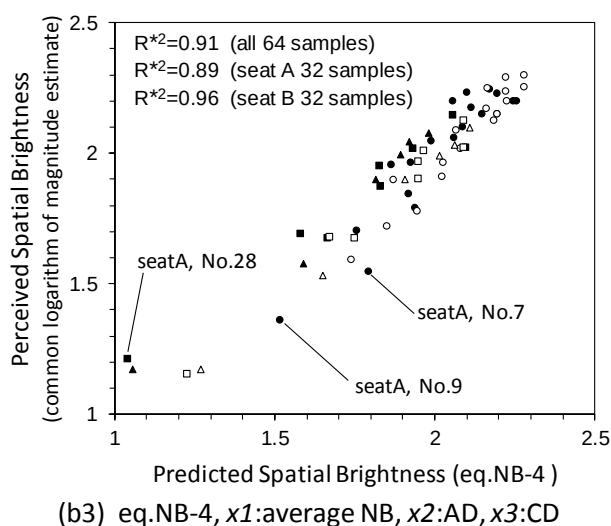


図 4-20 AD 値と CD 値を第二第三の説明変数とした重回帰式による  
明るさ感推定式の推定精度（第一の説明変数：平均 NB 値）

式 LM-4 と式 NB-4 の両式は高い説明力を示すが、図 4-19、図 4-20 に示すように、いくつかの外れ値（スチューデント化残差 2.0 以上）がまだ存在する。式 LM-4 においては、seat A の No. 7, 9, 28 と seat B の No. 9, 式 NB-4 においては、seat A の No. 7, 9, 28 である。No. 28 は点灯している照明がタスク照明のみで、No. 9 も昼光を除くとタスク照明のみの条件である。すなわち、人工照明によるアンビエント光がない条件である。Seat A の No. 7 も壁間接照明が 50% の出力で点灯しているが、昼光導入があるため、点灯を感じにくい条件である。このような人工照明によるアンビエント光が極端に乏しい条件に対しては式の有効性がやや低いといえる。

#### 4-3-4 カットオフ周波数の検討

##### (1) カットオフ周波数（上限）に及ぼす画像解像度の影響

離散ウェーブレット分解を用いる本検討では、取り扱うことができる空間周波数の値とその範囲は、輝度画像の解像度と画角に左右される。

視環境測定で扱われる輝度画像の解像度は、用いるカメラによって、20pixels/degree を超える高解像度のものから、5pixels/degree 程度の比較的低解像度のものまでである。また、シミュレーションの解像度はまちまちだが、一般的には印刷や画面表示する目的に対し、10pixels/degree 程度と考えられる。これらを踏まえると、3.6cpd 程度までの細かい輝度対比は得ることは通常の解像度で十分であり、3.6cpd の輝度対比量を反映させる推定モデルにおいても、解像度不足の問題は、計算する上では生じない。

しかし、式(1)で影響を考慮している最も細かい空間周波数の 3.6cpd の輝度対比は、隣接する画素間の輝度対比に相当し、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こととなるため、十分な解像度を保持しているか留意する必要がある。

##### (2) カットオフ周波数（下限）に及ぼす輝度画像の画角の影響

輝度分布は全方位 360° まで記述することが可能であり、輝度対比の最大波長も 360°（約 0.003cpd）となる。空間の観察範囲がとても広い（例えば、後方まで見回すような観察方法）場合、そのような粗い空間周波数の輝度対比まで知覚できる可能性があるが、人の視野の大きさは最大 200° 程度であるため、同一の順応状態による全方位の同時対比はできず、粗い対比の空間の明るさ感への影響は、ある波長を超えると小さくなると考えられる。そこで、それらの影響が及ばない空間周波数以下をカットオフし、その空間周波数に近くなるにつれ、係数が徐々に 0 に近づくような重み関数を用いた修正も可能である。

なお、取り扱うことができる空間周波数の下限は、輝度画像の画角の大きさにも左右される。輝度画像を撮影またはシミュレーションする画角は、180° の等距離射影や等立体各射影を用いるもの、さらに 360° の正距円筒射影を生成するものまでであるが、とりわけシミュレーションで設定できる最大画角としては、心射影の場合、最大でも 100°（およそ 16mm レンズ相当）程度が限界である。その結果、輝度対比画像として得られる最も粗い空間周波数は 0.007cpd となり、それ以下の空間周波数をカットオフしていることを意味する。

#### 4-3-5 明るさ感推定モデル NSB の構築

式 LM-4 と式 NB-4 の目的変数は ME 法で評定した  $\overline{SB}$  であり、この尺度は線形性があるものの、標準刺激の明るさ感（100 の常用対数である 2）を基準とした相対的な関係

を示す値にすぎず、絶対評価に適さない。一方、ME法と同時に評定したカテゴリカル尺度の評定を数値化した値（*NSB*）は「オフィスとして」という但し書きは必要であるが、 $\overline{SB}$ と比較して一般性があり、絶対評価に適している。ただし、間隔尺度ではないため、被験者間の平均をとれないことや、測光量との直接の相関分析に適さないなどの制約がある。そこで、被験者平均をとる前の全 512 サンプルの *NSB* と *SB* の散布図より回帰式を求め、両者の欠点を相補する。図 4-21 に示すように、*NSB* に 1～13 の値を与えたとき、*NSB* の尺度は等間隔でないと言えるが、指数関数によって *SB* との近似曲線が得られる。

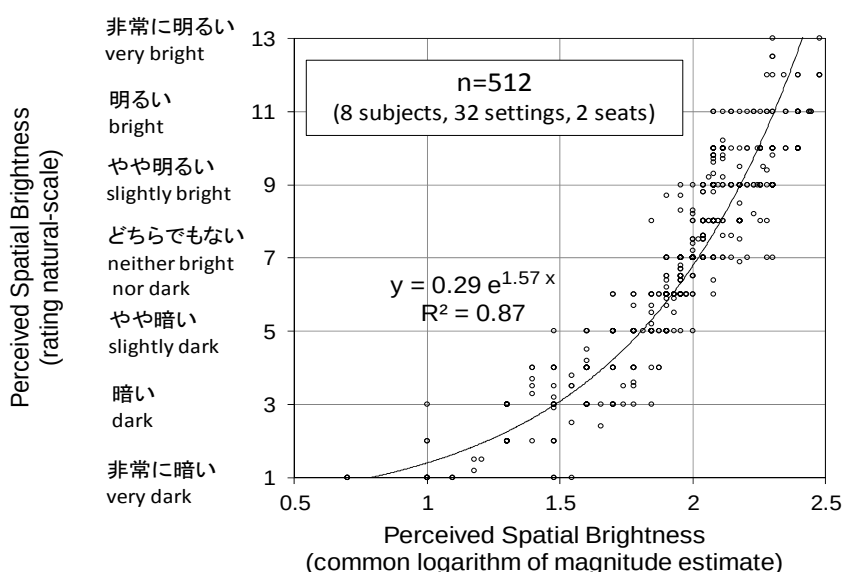


図 4-21 ME 法による評定値とカテゴリカル尺度の評定値の関係

この *NSB* と *SB* の回帰式 4-1 に式 LM-4 を組み込むと、式 4-2 が、式 NB-4 を組み込むと、式 4-3 が得られる。これらの式は、明るさ感のカテゴリカル尺度 *NSB* を測光量から推定する式である。

$$NSB = 0.29 e^{1.57 SB} \quad \dots \text{式 4-1}$$

$$\begin{aligned} NSB &= 0.29 e^{1.57(0.54 \overline{LM} - 1.94AD + 11.04CD + 0.62)} \\ &= 0.29 e^{0.85 \overline{LM} - 3.06AD + 17.38CD + 0.98} \quad \dots \text{式 4-2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} NSB &= 0.29 e^{1.57(0.30 \overline{NB} - 2.83AD + 12.85CD - 0.59)} \\ &= 0.29 e^{0.47 \overline{NB} - 4.46AD + 20.21CD - 0.93} \quad \dots \text{式 4-3} \end{aligned}$$

$\overline{LM}$  : 平均輝度 (水平 100°, 仰角 0~40°)     $\overline{NB}$  : 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°)

*NSB* : 明るさ感の尺度値

以上の検討により，明るさ感を減少させる輝度対比と増加させる輝度対比の空間周波数の境を明らかにし，両者を考慮した明るさ感推定モデルを定式化することができた．このモデルは，粗い輝度対比による明るさ感低下と細かい輝度対比による明るさ感増加の両者を包括するものであり，異なる空間周波数の輝度対比が混在する実空間への適用性が高いと考えられる．

## 4-4 オフィス以外への適用性の検証と NSB 値の価値評価

### 4-4-1 明るさ感推定モデル NSB のオフィス以外への適用性の検証

既往研究が提起してきた指標については，照明学会の「空間の明るさ感」検討のためのリファレンス・データ<sup>15)</sup>を用いた検討結果が報告されている．このデータに含まれる実験空間は，用途を具体的に与えていない抽象的な空間である．報告書ではその実験条件に対する各指標の適用性が比較されており，明るさ感推定モデル NSB についても，まずは，その実験空間への適用性について検討することから始める．

このリファレンス・データの被験者実験データは，2つの条件群からなる．一つは図 4-22 に示す標準反射率の内装における 17 パターンの照明条件で，もう一つは，図 4-23 に示す低反射率の内装における 18 パターンの照明条件である．リファレンス・データに含まれる輝度画像に基づき，SB 値の算出を行う．この際，平均 NB 値<sup>11)</sup>による推定値，これに AD 値を変数に加えた 2 変数による推定値，さらに CD 値を変数に加えた 3 変数による推定値の 3 つを算出し，AD 値と CD 値を変数に加えることの効果を検証する．明るさ感評定値と SB 値の関係を図 4-24～図 4-26 に示す．



図 4-22 標準反射率内装の実験条件（出典：照明学会 2010）



図 4-23 低反射率内装の実験条件（出典：照明学会 2010）

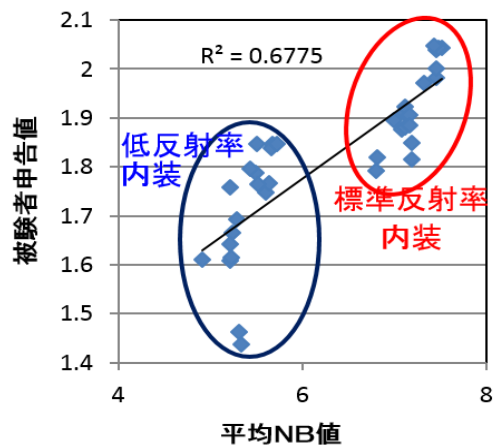


図 4-24 平均 NB 値と被験者評定値の関係

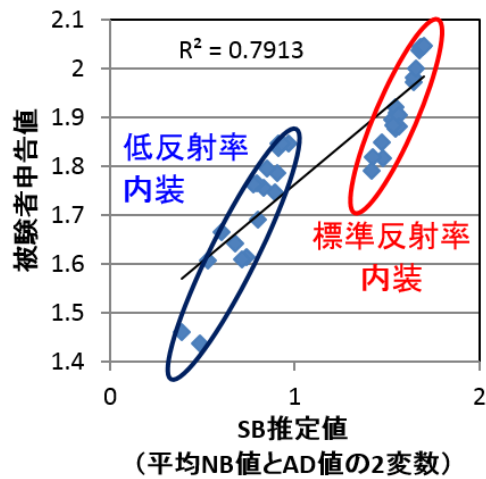


図 4-25 AD 値を変数に加えた 2 変数による SB 値と被験者評定値の関係

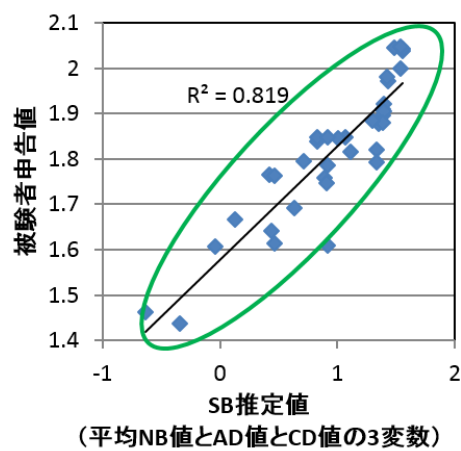


図 4-26 CD 値を変数に加えた 3 変数による SB 値と被験者評定値の関係

まず、図 4-24 の平均 NB 値による明るさ感推定を見てみると、標準反射率内装と低反射率内装の 2 群に大きく分かれ、かつ各群内でもばらついている傾向がある。それに対して、図 4-25 の AD 値を変数に加えた 2 変数による明るさ感推定を見てみると、2 軍に分かれている傾向は変わらないものの、各群内のばらつきが改善されていることがわかる。さらに、図 4-26 の CD 値を変数に加えた 3 変数による明るさ感推定を見てみると、2 群がまとまる傾向があり、全体としての相関が高くなっていることがわかる。このことから、明るさ感推定モデル NSB は、オフィス以外へも適用性があることがわかる。NSB は、AD 値と CD 値を説明変数に加えることにより明るさ感推定精度を向上するモデルとして、さらに汎用性を高められる可能性が示されたといえる。さらに広い汎用性を確立するためには、より多くの条件の被験者実験データを対象として検証していく必要がある。学会の委員会およびワーキングにおける継続的な活動が望まれる。

#### 4-4-2 NSB 値の価値評価に関する検討

##### (1) 検討概要

明るさ感の評価が求められる設計対象には、アトリウムやエントランスホールなども多い。そこで、NSB 値をアトリウムやエントランスホールに適用する際の NSB 値の取り扱いについて補足的な検討を行う。

実在するオフィス 8 件、アトリウムおよびエントランスホール 12 件において、輝度分布の測定と被験者 (9 名) による空間の用途に対する要求レベルを考慮した明るさ感の評定実験を行う。被験者による明るさ感の評定値と測定した輝度画像から求めた NSB 値との関係をオフィスとアトリウムそれぞれについて求める。

##### (2) 検討結果

図 4-27 に示すように、オフィスの関係式とアトリウムの関係式を比較すると、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。このような既存の空間の価値評価のデータベースをオ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。

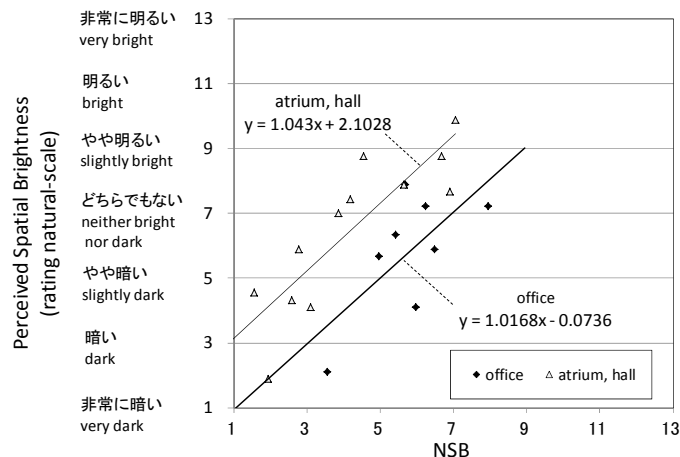


図 4-27 評定値と NSB の関係（オフィスおよびアトリウム）

#### 4-4-3 明るさ感推定モデル NSB の適用限界

明るさ感推定モデル NSB の導出は、オフィスを対象にした 64 のサンプルに基づくもので、それらの条件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。例えば、窓のサイズ、直接照明の光源のサイズ、内装仕上のテクスチャの違いなど、設定していないバリエーションがある。また、サンプルの平均輝度はおよそ  $3 \sim 300 \text{cd/m}^2$  の範囲である。したがって、オフィスのような居住空間とは輝度分布の特徴が大きく異なる暗所や、屋外などの輝度が  $300 \text{cd/m}^2$  超える空間への本モデルの有効性については引き続き検証が必要である。

### 4-5 明るさ感指標の基準化に向けた検討

#### 4-5-1 他の指標との統合に向けた指標値算定式の提案

明るさ感推定モデル NSB は、窓採光のような粗い輝度対比の影響や、きらめきのような細かい輝度対比の影響を明るさ感の推定値に反映することができ、異なる空間周波数の輝度対比の混在する多くの条件にも適用できる可能性を有している。本節では、明るさ感推定モデル NSB を指標として汎用的に展開するとともに、他の指標とも統合した指標の基準化に向けた方向性を提案する。

式 4-1 は、説明変数の特定に際し、重回帰分析の変数選択法を用いた経緯から、一次多項式で示しているが、その式の形はモデルの本質ではない。明るさ感推定モデル NSB 以外の既存モデルにおいても、式の形が本質でないならば、多くのモデルは、スティーブンスのべき法則の式で再構成できるだろう。そこで、平均輝度と不均一性の影響を考慮できる式を一般化したものとして、式 4-4 を提案する。



$$Br = W \cdot x^{\alpha} \cdot (1+y)^{\beta} \cdot (1+z)^{\gamma} + C \quad \dots \text{式 4-4}$$

$Br$ : 明るさ感の尺度値

$x$ : 平均輝度

$y$ : 明るさ感を下げる要因となる不均一指標

$z$ : 明るさ感を上げる要因となる不均一指標

$\alpha$ : 0.3～0.35 の指数 (例えば 0.31)

$\beta$ : 負の指数 (例えば -0.1,  $y$  に用いる指標によって決まる)

$\gamma$ : 正の指数 (例えば 0.1,  $z$  に用いる指標によって決まる)

$W$ : 使いやすい尺度値にするための係数

$C$ : 使いやすい尺度値にするための定数

例えば、式 (1) における  $AD$  値  $\times 100$  を  $y$ ,  $CD$  値  $\times 100$  を  $z$  とし、式 (1) の係数に換えて、新たに  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  を設定することにより式 4-4 にあてはめる。また、鉛直面照度を  $x$  に用いる場合にも、その次元が  $\text{cd}/\text{m}^2$  に合うように換算することで、式 4-4 に当てはめられる可能性がある。また、尺度値の価値評価が観察範囲の大きさによって変わらないよう、必要に応じて、 $W, C$  を観察範囲の大きさの関数とすることによる微調整を検討する。

#### 4-5-2 尺度値および価値評価の統一の提案

$x$  の単位は  $\text{cd}/\text{m}^2$  であり、指数  $\alpha$  を例えば 0.31 とすれば<sup>28)</sup>、指標値の次元が決定する。すると、 $y$  や  $z$  に用いる不均一指標の違いや、それらを用いない単なる平均輝度による評価法も含め、同一の尺度値として統一できる可能性が開ける。そこで、学会においては、まず式 4-4 における  $\alpha, W, C$  の統一に向けた議論を進めることを提案したい。

指標が統一されていない現在の状況において、例えばオフィスで標準的な値の目安は、 $NSB$  の場合は 5～9,  $Feu$ <sup>13)</sup> の場合は 10～16 とされており、尺度とその値の解釈が異なることは、混乱を生じさせる。尺度が統一されることで、標準的な値の目安についても、統一する展望が開けると考えられ、学会ではその議論を進めるべきである。

学会が明るさ感を考慮する設計基準を設けるならば、まずは平均輝度による評価法とその評価の目安を示すことから着手することになるだろう。しかし、不均一な空間を扱う実際の設計において、平均輝度では詳細な検討に不十分なケースは多く想定され、そのような不均一性による補正を要する場合に、補正後の指標値の評価基準が平均輝度のみで評価する場合と変わらなければ、その補正は設計者にとって使いやすく、さらには個々の補正方法の効果や必要性への理解が進み、それらを用いたより緻密な設計が普及することにも寄与するだろう。

#### 4-5-3 不均一指標の展開に向けた輝度画像の射影に関する考察

射影方式の違いが不均一指標の値に及ぼす影響は、平均輝度への影響に比べると少し複雑である。AD 値と CD 値を求めるために行う離散ウェーブレット分解は、矩形の画像に対して行う必要があり、評価対象の範囲を矩形にしたい場合には、その範囲を包含する一回り大きな矩形の輝度画像を用いて、離散ウェーブレット分解を行う必要がある。そうして得られた輝度対比画像上で、適切な評価対象の範囲を切り出し分散を求めれば良い。ただし、正射影と中心射影では、 $100^\circ$  を超えるような広角の画像では、画像の周辺部と中心部の解像度 (deg/pixel) の違いが特に大きく、ある分解レベルの輝度対比画像上に、空間周波数が 1 段階異なる輝度対比が混在することになってしまう。離散ウェーブレット分解の分解レベルと空間周波数を対応させるためには、画角を  $100^\circ$  以下に抑えることが必要である。評価対象範囲を  $100^\circ$  よりも広く設定するような場合には、解像度の歪曲が小さい等距離射影または等立体角射影を用いることが好ましい。

#### 4-5-4 不均一指標値の簡易設定法の整備

近年デジタルカメラは高画素化が進んでおり、3.6cpd の空間周波数の輝度対比を抽出するのに必要な 10pixels/degree の輝度画像の撮影は容易である。一方、CAD を用いた輝度画像シミュレーションでは、画素数は十分得ることができるものの、レンダリングのディテールの精度を得るためには、3次元の形状データにおいて、光源や部材の大きさやそれらの反射率を細やかに設定する必要がある。例えば 3.6cpd の空間周波数の輝度対比を予測するのに十分とは言えない。その結果、レンダリングした輝度画像に現れる輝度対比の量は小さく、設計段階では  $z$  に用いる不均一指標値を正しく予測できない。

また、例えば AD 値と CD 値の算出には、輝度画像を離散ウェーブレット分解するツールが必要となることから、それらを所持しない設計者にとっては使いづらい面がある。そこで、AD 値と CD 値を定量的に計算できない場合でも、輝度分布の特徴から定性的に判断し、簡易に式 4-4 の  $y$  と  $z$  を与えるためのガイドを整備する。そのイメージを表 4-5 に示す。このガイドを用意することで、より多くの設計者が式 4-4 を用いて設計できるようになる。

表 4-5  $y$  値と  $z$  値の簡易設定のためのガイドのイメージ

| 粗い輝度対比の特徴                                                                                                                                                                                   | $y$ 値 | 細かい輝度対比の特徴                                                                                                                                                                                      | $z$ 値 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・粗い輝度対比が無い<br/>(鉛直面照度が方位によらず一定)</li> <li>・チェックリストにおいて該当項目が無</li> </ul>                                                                               | 0     | <ul style="list-style-type: none"> <li>・細かい輝度対比が無い<br/>(床・壁・天井の各面がすべて均一)</li> <li>・チェックリストにおいて該当項目が無</li> </ul>                                                                                 | 0     |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・チェックリストにおいて該当項目が少</li> </ul>                                                                                                                        | 2     | <ul style="list-style-type: none"> <li>・チェックリストにおいて該当項目が少</li> </ul>                                                                                                                            | 2     |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・チェックリストにおいて該当項目が中</li> <li>・採光・照明計画の詳細が未定</li> </ul>                                                                                                | 5     | <ul style="list-style-type: none"> <li>・チェックリストにおいて該当項目が中</li> <li>・内装・照明計画の詳細が未定</li> </ul>                                                                                                    | 5     |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・チェックリストにおいて該当項目が多</li> </ul>                                                                                                                        | 10    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・チェックリストにおいて該当項目が多</li> </ul>                                                                                                                            | 10    |
| チェックリストの例<br><input type="checkbox"/> 昼光導入が視野内の一部にある<br><input type="checkbox"/> 不均一照明を用いている<br><input type="checkbox"/> 壁・床・天井の反射率が同じではない<br><input type="checkbox"/> 壁・床・天井のいずれかのみを照射している |       | チェックリストの例<br><input type="checkbox"/> 照明器具の数が多<br><input type="checkbox"/> 内装・什器による凹凸が多い(陰影が多い)<br><input type="checkbox"/> ストライプ・ドット・チェックなどの内装がある<br><input type="checkbox"/> 様々な色のトーンの什器が混在する |       |

## 4-6 本章の小括

本章では、実環境では空間周波数の異なる様々な輝度対比が重なり合っていることに着目し、オフィスの実環境を対象として、離散ウェーブレット分解を用いて輝度画像に含まれる輝度対比を空間周波数毎に定量化した。被験者の明るさ感評定を目的変数とした重回帰分析により、明るさ感を減少させる輝度対比と増加させる輝度対比の空間周波数の境はおよそ 0.1cpd であることを明らかにした。また、窓からの昼光導入に起因する粗い輝度対比と人工照明に起因する粗い輝度対比は、いずれも明るさ感を減少させる粗い空間周波数として同様に扱うことができることを示した。これらの検討に基づき、平均輝度に、AD 値（粗い輝度対比量）と CD 値（細かい輝度対比量）の 2 つの説明変数を加えることにより推定精度を向上する、明るさ感推定モデル NSB を構築した。

この推定モデルでは、窓から入射するの昼光の有無とその大きさ、光源の立体角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、輝度分布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。他で実施された明るさ感評定実験に対しても、NSB を用いた予測値は高い説明力を有しており<sup>39)</sup>、基準化に展開が期待できる。基準化に向けた検討として、他の指標との統合に向けた指標値算定式の検討、尺度値および価値評価の基準化の検討、射影方法の取り扱いの検討、不均一指標値の簡易設定法の整備状況について整理した。

## 第5章

明るさ感推定モデル NSB に基づく

建築と照明設備の視環境設計

## 5-1 本章の目的

近年のオフィス照明の設計事例を見てみると、天井に設置されるベース照明に加えて、壁面や天井面を照らす間接照明を用いたものも多い<sup>7)</sup>。それらは、省エネルギーの観点からベース照明による机上面照度を低く設定する場合でも、壁面や天井面の輝度を確保して明るい印象を損なわないように配慮されたものと考えられる。そして、そのような設計をサポートする必要から、設計時における輝度の検討が可能となるように、指針や規準<sup>40) 41)</sup>が改定・刊行されている。日本建築学会の照明環境規準・同解説<sup>40)</sup>においては、昼光照明は主として「空間の明るさ」つまり「明るさ感」を担うと位置づけられた。明るさ感の概念自体は、意匠設計者や一般のユーザーに既に浸透していたため、その位置づけは違和感なく受け入れられたように思われる。そして、明るさ感研究を応用して、輝度分布から推定する明るさ感推定値に基づいた明るさ感一定制御への取り組みも進んでいる<sup>42)</sup>。明るさ感の推定手法については、視野内に大きな輝度対比を生じる昼光照明の評価に課題があったが、第4章で提案したNSBは、その対比を考慮した指標であり、人工照明に加えて昼光利用による明るさ感の評価できる。とはいえ、明るさ感に配慮した設計が行われるようになった今日でも、利用実績の多い照度一定制御をベースとした昼光制御がスタンダードであることに大きな変化はない。このような昼光制御の現状における明るさ感評価に求められる役割について今一度考えてみる必要がある。

オフィスにおける昼光制御において、日射遮蔽装置としては、水平型ブラインド（以下、ブラインド）を用いることが一般的である。この場合、窓に入射する昼光は、まずブラインドによって一部が遮光され、次にブラインドを通して室内に入射した昼光の程度に応じてベース照明が調光制御される。ここで、ブラインドのスラット角度自動制御機能を設ける場合、そのロジックによっては直射光のカットやグレアの抑制が行われる<sup>43)</sup>。採光制御を机上面照度や明るさ感を高めるように配慮することは必要であるが、ベース照明の調光制御でもそれらの調節が可能になることを踏まえれば、ブラインドは、第一に不快グレアを抑えつつ眺望をできるだけ確保することを優先することは合理的といえる。グレアをおさえることは、過剰な昼光照度や視野内の輝度対比を抑えることにもつながり、机上面照度や明るさ感を適正範囲に保つ上でも適切に作用することから理にかなっている。

次に、調光制御の位置づけについて考えてみる。調光制御で一般的なのは、照度一定制御であるが、近年は前述のように明るさ感を一定に保つ明るさ感一定制御も提案されている。明るさ感の確保を主としてデザインされたアンビエント照明の場合、明るさ感が得られやすい反面、机上面照度が得られにくくなる。仮に照度への配慮がなければ、明るさ感が十分であったとしても、照度は300lx未満あるいは200lx未満の場合もありえる。机上面以外で想定される行為が歩行のようにJIS推奨照度が100lx程度の行為のみである場合は、照度の点で支障がないため明るさ感一定制御でも問題

は生じにくい。それに対し、机上面以外にコピー機や書棚などがある場合には、視作業に必要な JIS 推奨照度を確保できず、明るさ感一定制御では支障が生じる危険性がある。したがって、明るさ感を得るためのアンビエント照明であっても、照度一定制御による運用を行うことは安全な方法といえる。また、前述の明るさ感一定制御を採用しても問題が生じにくい要件であっても、フィードバック制御における実績と信頼性を考慮すると、机上面照度を検知するセンサは採用しやすい。つまり、JIS 照明基準における推奨照度と明るさ感の双方を担保する確実性と合理性を念頭に置けば、照度一定制御は、今後もスタンダードな選択肢であるといえる。

昼光の変動のない環境に限れば、照度と明るさ感が無駄なく満足するためのターゲット照明とアンビエント照明のバランスは収束し、その設計は難しくない。ここに昼光の変動が加わると、双方を一定に保つ制御は理論的には可能であるとしても、一般的には、いずれか一方を一定に保ち、他方の変動をある程度許容する制御手段によって設計することが経済的である。そこで、変動する昼光照度あるいは明るさ感の評価が必要となってくる。変動する昼光照度の指標としては、UDI、DA などが提案されている<sup>44)</sup>。UDI は有用な昼光照度の範囲を例えば 100lx～2500lx とし、そのレンジの照度が得られる時間の割合によって評価する。これに対し、照度一定制御の場合、明るさ感の変動の程度を評価する必要があるが、前述のとおり指標が整備されていない。UDI による評価法を参考にすれば、照度一定制御下において、明るさ感推定値に上限値と下限値を設定し、その範囲の明るさ感推定値が得られる時間の出現率が大きくなるように設計するといった方法が一案である。この出現率のように、サンプリングした全時間数を分母とした割合を本研究では時間率と呼ぶ。時間率に基づく評価法は、他に変動する騒音レベルの評価などに用いられている。変動する明るさ感における時間率に基づく評価は、建物のファサードデザインや採光計画を比較検討する際の判断基準としての適用が期待できる。

本章では、変動する明るさ感进行评估するため、窓採光を伴うオフィスを対象として、調光とブラインド制御のスケジュールを踏まえ、年間シミュレーションする手順を例示し、明るさ感の時間率に基づく評価の有用性について検討する。また、年間評価の結果を通じて、照度一定制御を用いながら明るさ感に配慮する設計・制御の可能性を検討する。

## 5-2 昼光制御下のオフィスの明るさ感の年間シミュレーション

### 5-2-1 昼光制御下のオフィスの明るさ感予測の留意点

明るさ感は、分布の影響を受けるため、非線形であり、窓周辺だけ明るくなっても、周辺との対比が強くなり、明るさ感は大きくならないことを第4章で述べた。窓と室

内の明暗の差を抑え、連続性を持たせることなどが、採光と照明設備の優れた相性といえるだろう。しかし、非線形であるため、設計段階における明るさ感指標値の計算は、CAD モデルを用いて昼光と照明設備の光源を与えることにより、輝度画像をレンダリングすることを前提とする必要がある。

もう一つ、昼光を含む明るさ感を評価するうえで難しい点として、変動・制御を踏まえた年間評価が必要ということがあげられる。代表日の評価は、ワンシーンの結果にすぎず、設計のエビデンスとしては不十分といえる。さらに、変動する昼光に合わせて調節するブラインドなどの日射遮蔽装置、照明の調光制御を踏まえる必要があり、その点でも年間評価は不可欠となる。

## 5-2-2 建物モデル

オフィスビルの窓廻りには、柱・梁・壁、庇・ルーバー・ガラスなどの固定要素があり、そこにブラインドなどの可変要素が加わる。本検討では、図 5-1 に示すオフィスビルの 7 階の南側オフィス（南側窓面より奥行約 9m、長手方向約 50m）を対象として、図 5-2 に示す中庇なしと中庇ありにおいてブラインドを用いる 2 つの採光条件を検討する。天井高は直天井で 3.8m、ベース照明の取付高さは 2.9m で、窓から 1.8m 毎に 1 列ずつ全部で 5 列、床から 2.9m の高さに配列する。室内にはオフィス用家具を配置する。

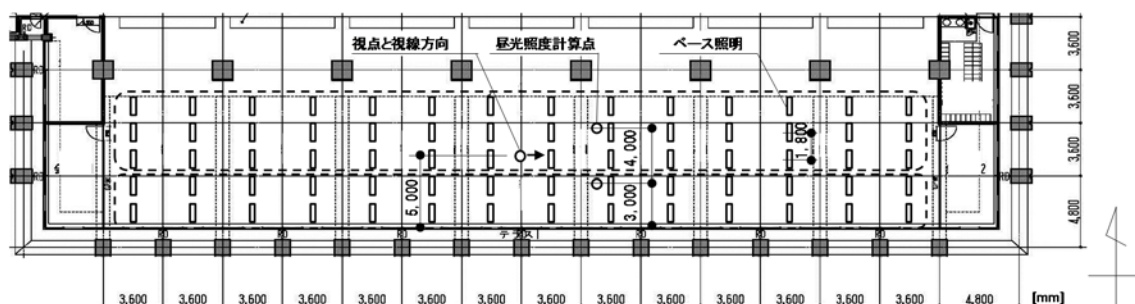


図 5-1 オフィス平面図およびベース照明レイアウト

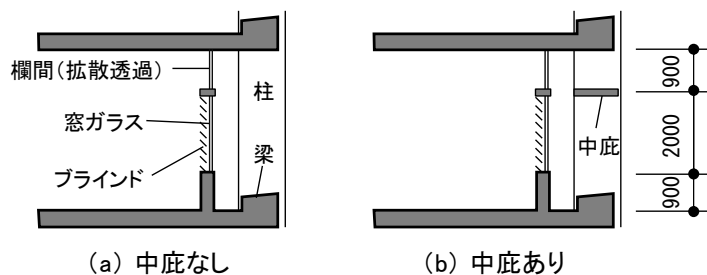


図 5-2 開口部断面図

### 5-2-3 照明シミュレーションプログラムと気象データ

照明シミュレーションの代表的なプログラムとして Radiance<sup>44)</sup>が知られている。Radiance は、Greg Ward によって開発されたプログラム群であり、3次元 CAD でモデル化した室形状と表面の反射・透過特性を与え、モンテカルロ光線追跡法により照度や輝度を計算するものである。その計算精度は高いとされ、ソースが公開されているため信頼性の高い照明計算プログラムの一つである。年間評価には多大な計算時間を要することになる。そのため、従来は明るさ感の年間評価をする事例はほとんど見られなかった。しかし、近年、3次元 CAD の普及と PC の高速化によりその問題点も解消されつつある。

建築モデルは、3次元 CAD を用いて作成し、Radiance でレンダリングする。主要部の内装反射率は、天井・壁・机は0.7、床は0.2の均等拡散、窓ガラスの透過率は0.7、欄間は、反射率を0.46、透過率を0.34で均等拡散とする。ベース照明器具は、乳白色のカバーが均一に面発光するものとしてモデル化し、調光率は、Radiance 内で light のマテリアルを与えた形状モデルの発光面の RGB 値(光源の輝度と比例する値)によって設定する。昼光計算を行うため天空輝度分布データは、拡張アメダス気象データの東京(1990年代の標準年)<sup>46)</sup>より作成する。年間の毎時の日射量の値に基づき、井川<sup>47)</sup>の improved All Sky Model を用いて天空輝度を211か所の座標について算出し、Radiance 用の天空輝度分布と太陽輝度データを書き出す。計算対象の日時は、年間365日の各日の9時、12時、15時の合計1095時刻とする。

### 5-2-4 昼光制御の年間スケジュールの想定

#### (1) 昼光制御なし

ブラインドなどの開閉を伴う要素は、計算の煩雑さから開閉状態を同一と仮定した上で開口部の比較をすることが多い。しかし、本来、制御の自動・手動に関わらず、太陽の入射角や直射照度などにより、ブラインドの上げ下げ、スラットの角度は毎時一定ではなく、検討する開口部形状それぞれに対して異なる開閉スケジュールを想定しないと実態に合った評価ができない場合がある。今回年間計算をする上で、ブラインドとベース照明の調光制御を想定するが、ブラインドとベース照明の年間固定の条件についても検討する。ブラインドは45°に固定、ベース照明の設定照度は300, 400, 500lxの3通りとし、昼光のない環境下において設定照度を満たす調光率にて、終日および年間を通じて固定する。

#### (2) 昼光制御あり

ブラインドを調節する理由としては、眺望の確保や採光のほかに、グレアや日射などの不快を取り除くことが挙げられ、ここでは、レンダリングする輝度分布に基づきグレアを計算し、グレアを防止するブラインドの調節を想定する。ただし、計算のフ



ードバックの煩雑さを軽減するため、本検討では照明設備は消灯に固定した条件の輝度画像に基づき評価する。実際の空間では、照明設備が点灯すると、照明設備のグレアが加わったり、天井や壁との輝度対比が小さくなるため窓のグレアが低減する可能性があると考えられるが、本検討ではそれらを考慮しない。したがって、リアルタイムでグレアを判別するようなスラット角度自動制御機能とは異なる。

グレアの評価法は輝度画像に基づく推定法がいくつか提案されているが、グレア指標値を算定する際に、人的な判定や判断を不要とし、自動的にグレア指標値を算定できること、プログラムが公開もしくは市販されていることを念頭におき、橋本ら<sup>48)</sup>が提案する修正グレア画像による評価法を用いる。グレア指標値算定に用いた輝度分布画像の一例を図 5-3 に、修正グレア画像を図 5-4 に示す。修正グレア画像の中心座標の値（画像中央を向いたときの不快グレア）を不快グレア予測値とする。修正グレア画像で示される不快グレア予測値の解釈は、表 5-1 に示され、オフィスでは 22 未満となることが推奨される。

本検討では、ブラインドの状態を不使用、使用 0°、使用 45°、使用 70° の 4 通りから選択するものとし、それぞれの不快グレア予測値を得た後、その値が基準値を満足するような開閉状態の中から最も開度の大きい制御状態を決定するものとし、基準値は、オフィスの推奨値を踏まえて 21 に設定する。各条件の各時刻について、グレア指標値の基準値を満足する開閉状態を決めることによって、ブラインドの年間の使われ方、スケジュールが決まる。この結果、中庇の有無で毎時のブラインド制御結果は異なってくるようになる。年間を通じたブラインド使用率は図 5-5 のようになる。今回の設定条件においては、中庇ありのほうが「使用 70°」の時間数が少なくなる。この開閉状態の割合は、各ケースにおいて眺望を確保できる割合として評価できる。中庇は、眺望を阻害すると考えられがちだが、ブラインドによる遮蔽が不要となりやすく、結果的に眺望が得られやすくなることもあるといえる。このような眺望の得られやすさもまた、外装のコストの価値を決める要素といえる。



図 5-3 グレア指標値算定に用いる輝度画像の一例

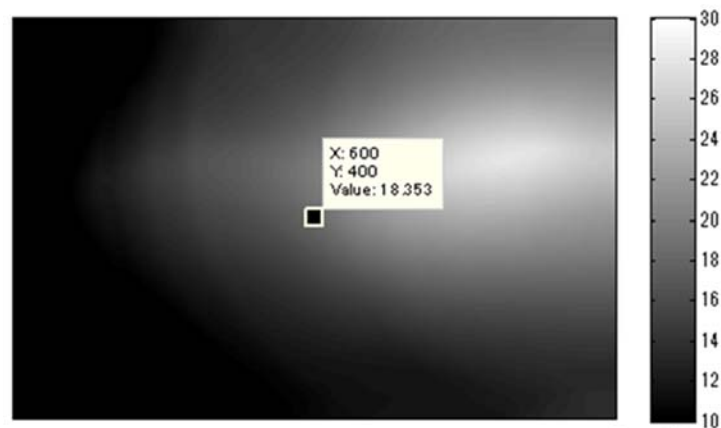


図 5-4 修正グレア画像の一例

表 5-1 不快グレア予測値の解釈

| 修正グレア画像の値 | グレアの程度      |
|-----------|-------------|
| 28        | ひどすぎると感じ始める |
| 25        | 不快である       |
| 22        | 不快であると感じ始める |
| 19        | 気になる        |
| 16        | 気になると感じ始める  |
| 13        | 感じられる       |

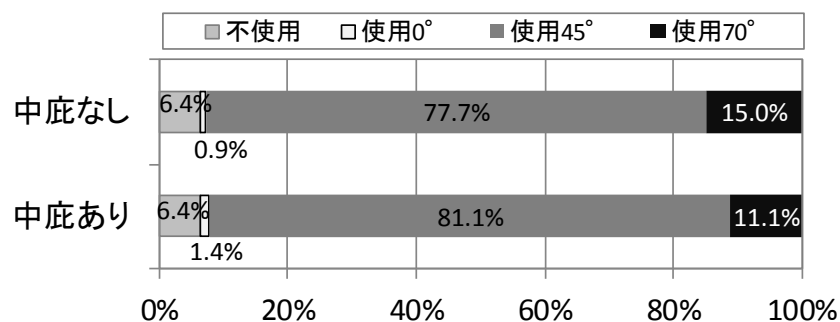


図 5-5 ブラインドの開閉比率

照度一定制御は、窓側の 2 列と室奥側の 3 列に制御区分を分け、窓から 3 m の昼光照度に応じて窓側の 2 列の RGB 値を、窓から 7 m の位置の昼光照度に応じて室奥側の 3 列の RGB 値をそれぞれ調節する。

一般的な照度一定制御では、天井埋め込みの明るさセンサが検知する入力信号によって、机上面照度を推定するが、本検討では、机上面照度を正しく検知できる前提で、

机上面の昼光照度の計算値に基づき，設定照度に満たない照度をベース照明によって確保する．計算手順として，はじめに，各開口部について選択されたブラインド制御状態において，窓から 3 m，7 m の 2 か所の昼光照度を前述の CAD モデルを用いて Radiance によって計算する．次に，昼光照度が設定照度に満たない場合，設定照度を過不足なく満たすための適切なベース照明の RGB 値を与える．

以上に基づき，各条件の各時刻について，ブラインドと調光制御の状態を決める．

#### 5-2-5 明るさ感推定値の算出

以上の検討で設定したブラインドと照明設備の年間の制御スケジュールを踏まえ，各条件の明るさ感の年間評価のための輝度画像の計算を行う．修正グレア画像と同様に，365 日の 9，12，15 時を評価の対象とする．明るさ感推定値の算定に用いる輝度画像の一例を図 5-6 に示す．



図 5-6 明るさ感推定値の算定に用いる輝度画像の一例

本章では昼光を含むオフィスを評価対象とすることから，明るさ感の推定には第 4 章で提案した明るさ感推定モデル NSB を用いる．明るさ感推定モデル NSB は粗い輝度対比を生じる昼光を含む輝度分布の推定精度が高く，本検討の目的に合致している．このモデルに基づき定式化した明るさ感推定値としては，モデルの構築に際して行ったマグニチュード推定法による被験者評定の対数に基づいた SB 値を輝度分布より推定する式 5-1 と，SB 値をカテゴリーカル尺度に置き換えた NSB 値を推定する式 5-2 がある．

$$SB = 0.54 LM - 1.94AD + 11.04CD + 0.62 \quad \dots \text{式 5-1}$$

$$NSB = 0.29 e^{1.57SB} \quad \dots \text{式 5-2}$$

$LM$ : 評価対象範囲の平均輝度の常用対数

$AD$ : 評価対象範囲の空間周波数が 0.007~0.05cpd の輝度対比

$CD$ : 評価対象範囲の空間周波数が 0.2~3.6cpd の輝度対比

第4章にて実施した被験者実験では、SB 値と NSB 値の解釈は表 5-2 に示される。NSB 値は順序尺度ではあるが SB 値とは違って間隔尺度ではないため、クライテリアの解釈には適しているが、定量的な評価には不都合であり、後述する年間計算結果の正規性の観点から、本検討では SB 値を用いる。

表 5-2 NSB 値と SB 値のオフィスにおける解釈

| NSB 値 | SB 値 | オフィスにおける値の解釈 |
|-------|------|--------------|
| 1     | 0.79 | 非常に暗い        |
| 2     | 1.23 | }            |
| 3     | 1.49 | 暗い           |
| 4     | 1.67 | }            |
| 5     | 1.81 | やや暗い         |
| 6     | 1.93 | }            |
| 7     | 2.03 | どちらでもない      |
| 8     | 2.11 | }            |
| 9     | 2.19 | やや明るい        |
| 10    | 2.26 | }            |
| 11    | 2.32 | 明るい          |
| 12    | 2.37 | }            |
| 13    | 2.42 | 非常に明るい       |

以上の年間計算により、中庇の有無、照度一定制御の有無の各条件において、ブラインドと照明設備の年間の制御スケジュールを踏まえた、年間の各時刻の SB 値が得られる。

## 5-3 変動する明るさ感の年間評価方法の検討

### 5-3-1 SB 値の時間率

計算された年間の各時刻の SB 値を値によって色の濃淡を変えて順に並べるとたとえば図 5-7 のようになる。

|       | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | SB値       | 表示色 | 2.05~2.10 |  |
|-------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----------|-----|-----------|--|
| 9:00  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     | 1.95以下    |     | 2.10~2.15 |  |
| 12:00 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     | 1.95~2.00 |     | 2.15~2.20 |  |
| 15:00 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     | 2.00~2.05 |     | 2.25以上    |  |

図 5-7 年間の各時刻の SB 値の例（中庇なし・昼光制御あり・設定照度 300lx）

図 5-7 に例示する中底なし，昼光制御ありの条件においては，夏季に暗く冬季が明るいといった年間の傾向を概観することができる．次に，変動の程度を定量的に評価するために，図 5-8 に示すような年間のすべての SB 値を降順で表す降順グラフを作成する．降順グラフの横軸は，累積相対度数であり，グラフの表す曲線の形が平坦な場合，年間の変動が小さく，逆に勾配が大きい場合，年間の変動が大きいことを示す．本検討では年間の各時刻の SB 値をサンプリングしたものであるため，累積相対度数が表す比率は時間率に相当する．

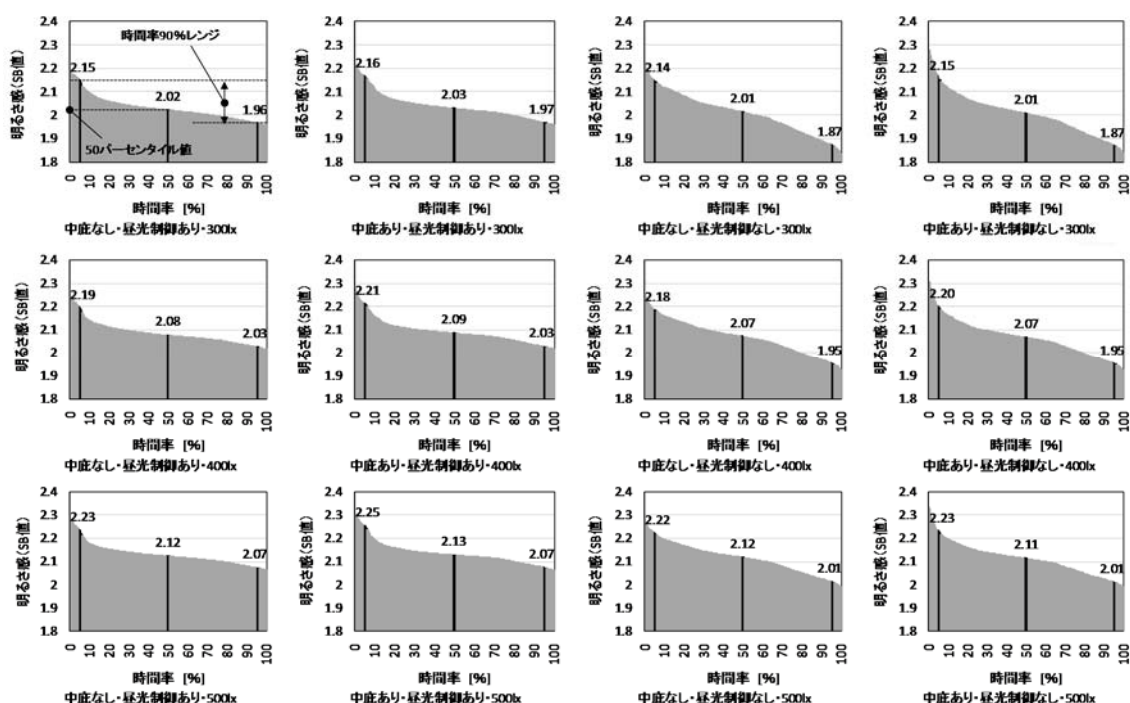


図 5-8 SB 値の降順グラフの比較

### 5-3-2 50 パーセンタイルの SB 値

図 5-8 を見ると，SB 値の降順グラフの曲線がほぼ対称な S 字を描いていることから，今回の検討では SB 値が正規性を有していることがわかる．仮に完全に正規分布するとき累積相対度数の 50 パーセンタイルにおいて降順グラフの傾きが最も緩やかになり，50 パーセンタイルの SB 値を中心として SB 値が分布する．つまり，50 パーセンタイルの SB 値は，年間を通じた明るさ感指標値の平均的レベルの目安となるので，この値が設定する SB 値の目標値に近くなるような設計が望ましいといえる．

### 5-3-3 時間率 90%レンジ

次に、明るさ感の変動の大きさを定量的に評価する方法を検討する。変動が小さいことは、明るさ感が安定して快適に保たれることを意味する。前述した UDI と同様、SB 値についても設定した範囲内となる時間率の大きさはその快適性の目安となる。しかしこの時間率の算定には、SB 値の目標値の範囲をあらかじめ決めておく必要があり、また設定照度の影響が大きいと考えられることから、設定照度が適切に設定されていない段階ではここで算出される時間率の大きさはさほど意味を持たない。

そこで、SB 値の設定範囲に対する時間率を評価するのではなく、まず時間率のレンジを設定し、そのレンジに対する SB 値の変動幅の大きさを評価する方法を検討する。本検討では、95 パーセンタイルの SB 値と 5 パーセンタイルの SB 値の差を「時間率 90%レンジ」とし、その大きさによって年間の明るさ感の変動の程度を評価する。この場合、SB 値の目標値の範囲をあらかじめ決めておく必要がない。時間率と比べると時間率 90%レンジへの設定照度の影響は小さいと考えられるため、開口部形状や昼光制御の方法について相対比較する上では問題が少ない。したがって、設定照度検討前の例えば開口部形状の計画段階などでも、年間の明るさ感の変動の程度を相対的に比較して評価する方法として有効と考えられる。

### 5-3-4 ケーススタディの結果と考察

#### (1) 時間率 90%レンジの評価

各条件の時間率 90%レンジの比較を図 5-9 に示す。図 5-9 において、時間率 90%レンジの値は、昼光制御ありのほうが昼光制御なしに比較して小さく、このことから昼光制御は明るさ感の変動を軽減する効果があることがわかる。中庇の有無を比較すると、中庇なしのほうが、時間率 90%レンジが小さいが、優劣を判断できるほどの差はない。次に、設定照度の影響を見てみると、設定照度が大きいほど時間率 90%レンジが小さい。明るさ感の変動は、昼光に起因するが、ベース照明の照度を上げることにより軽減することを示している。ただし、昼光制御ありの条件ではその効果は昼光制御なしに比べてとても小さい。つまり、本検討においては、昼光制御を前提とすれば、適切な明るさ感のレベルを確保する観点で設定照度を決めても明るさ感の変動の大きさへの悪影響は小さくなっている。

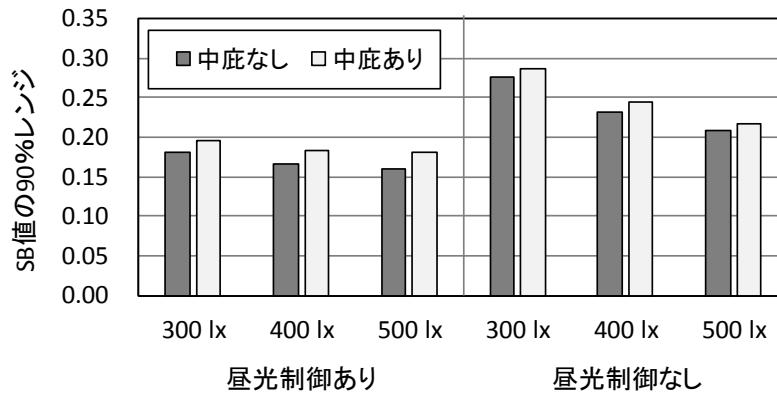


図 5-9 SB 値の時間率 90%レンジの比較

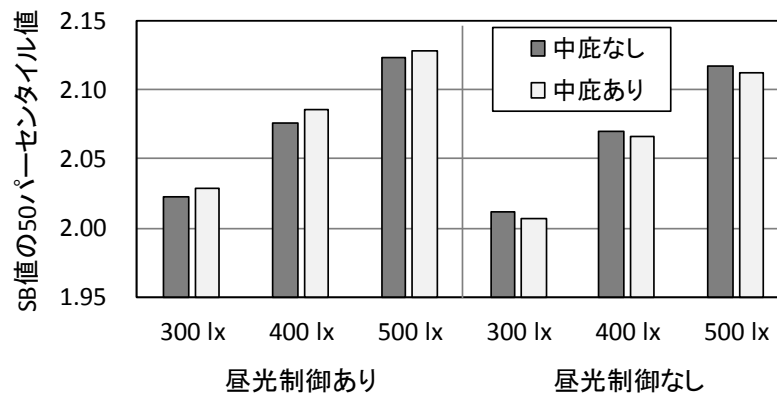


図 5-10 50 パーセンタイルの SB 値の比較

## (2) 50 パーセンタイルの SB 値の評価と設定照度の検討

各条件の 50 パーセンタイルの SB 値の比較を図 5-10 に示す。図 5-10 において、中底の有無を同一設定照度で比較すると、「昼光制御なし」では中底ありのほうが中底なしに比べて 50 パーセンタイルの SB 値が小さい。ブラインドを年間 45° に固定しており、今回のモデルでは、単純に中底によって明るさ感が低下するケースとなっている。中底による遮蔽効果と反射効果のバランスが関係していると考えられる。一方、「昼光制御あり」では逆に中底ありのほうが中底なしに比べて大きい。ここではブラインドは年間一定ではなく、ブラインド全閉の時間は、中底ありのほうが中底なしに比べて少なく、これが影響していると考えられる。今回のケーススタディでは、いずれも影響は小さく優劣を判断できるものではないが、ブラインドの調節スケジュールの違いを踏まえることの影響を確認することができる。

次に、SB 値の目標値を、例えば表 2 に基づき「どちらでもない」の 2.03、許容できるレンジをその前後の 1.93～2.11 の範囲とした場合について考える。このとき、図 5-

8 において、SB 値が 1.93～2.11 となる頻度が高くなると考えられる設定照度は、50 パーセントの SB 値が目標値の 2.03 に最も近くなる 300 lx の条件である。今回検討した窓条件において、300 lx は、400、500 lx と比較して、設定した目標値に近い明るさ感が得られていると評価できる。また、50 パーセントの SB 値が目標値よりも大きい場合、適切な明るさ感を得るための設定照度を低減できる余地があると解釈できる。

次に、図 5-11 に示すように、横軸に設定照度、縦軸に 50 パーセントの SB 値をとり、両者の関係に基づき適切な設定照度を検討する。ここでは、中庇なし、昼光制御ありの検討例を示す。図 5-7 において夏季（4～9 月）と冬季（10～3 月）で SB 値の大きさが異なる傾向が見られたことから、夏季と冬季それぞれに式を求めている。図 5-11 において 50 パーセントの SB 値の目標値を例えば 2.03 とすると、適切な設定照度はおよそ、夏季は 320lx、冬季は 280lx とわかる。このように、各条件における適切な設定照度は、仮に設定したいくつかの設定照度における 50 パーセントの SB 値に基づき、概算できる。また、今回のケーススタディのように、夏季と冬季で傾向が異なる場合、異なる設定照度を与えることにより、年間を通じた SB 値の変動レンジを小さく抑えられる可能性がある。

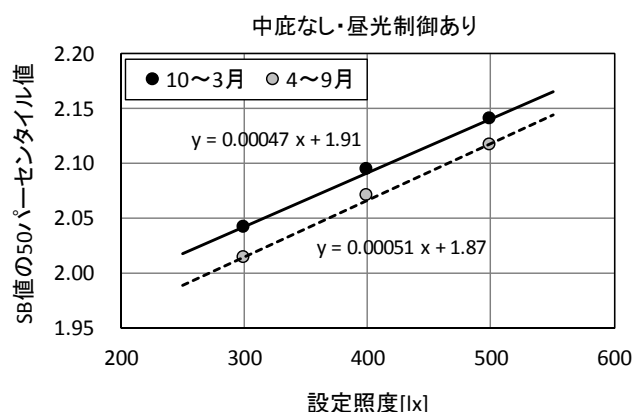


図 5-11 設定照度と明るさ感 50 パーセント値の関係

#### 5-3-5 設計のエビデンスとしての SB 値の年間評価の価値

今回の検討の結果、変動する明るさ感の時間率評価の検討対象は、設定照度、開口部、昼光制御のすべての設計要素に及ぶため、それらの設計は単純とはいえなかった。しかし、時間率 90%レンジに基づいて制御方法や開口部を相対評価し、50 パーセントの SB 値によって設定照度を最適に決めていけば、それらの適切な組み合わせを絞り込むことができた。今回検討した中では、たとえば、設定照度 300lx、昼光制御



(照度一定制御) ありの条件は, 50 パーセンタイルの SB 値が 2.02 (中庇なし) または 2.03 (中庇あり), 時間率 90% レンジが 0.19 と, 適切な明るさ感かつ変動が少ない条件である. この結果は, 90% の時間率で SB 値がオフィスとして明るすぎることも暗すぎることもない適切な明るさ感に設計可能であることを示す一例である. つまり, 照度一定制御を用いる場合でも, 変動を抑えた窓廻りの設計と適切な設定照度を与えることによって明るさ感を快適なレンジで安定させられることを定量的に示すことが可能であり, 施主と設計者の合意形成に寄与すると考えられる.

眺望性や熱性能の評価も総合的に行う場合, 図 5-12 に示すような設計のフローとなる.

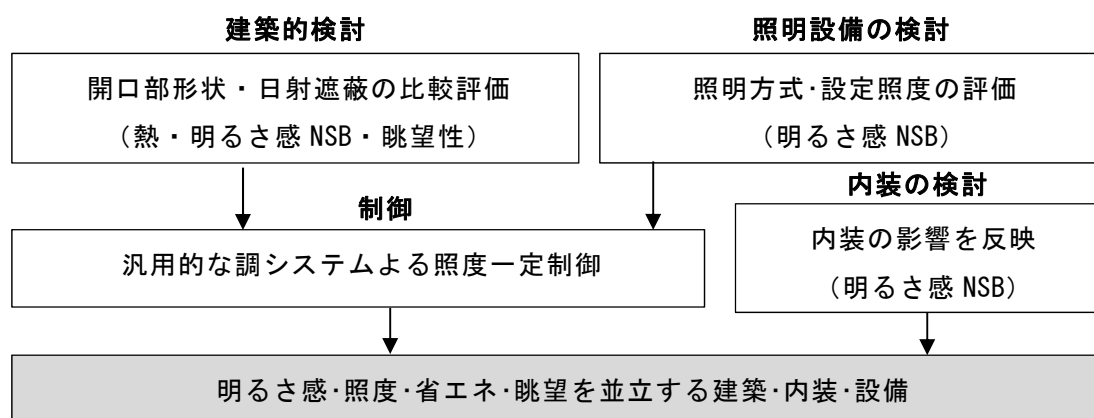


図 5-12 各評価項目を並立する設計のフロー

この設計手法の検討によって得られる「年間評価のエビデンス」は, 外装コスト・設備コストに対する価値の創出や VE, 安心のエビデンス, ZEB の提案, 制御に頼らない建築など, 合理的な解の導出に役立つものと思われ, 設計の実務において大きな価値を持つものと考えられる.

また, 検討の過程で設定する, 開口部仕様, ブラインド制御条件, 照明器具仕様, 照明制御条件, 照度設定, NSB 値の評価基準の各条件, 各基準は, 多様なニーズに応じて, カスタマイズすることが可能である.

### 5-3-6 年間評価方法の適用限界

照度一定制御下における明るさ感推定値, およびその安定性は, 設定照度, 開口部, 昼光制御の条件, 視点位置の設定, 評価対象とする時刻の選定の影響を受け, 今回のケーススタディの結果はそれらのすべてにおいて高い安定性が得られることを示すも

のではない。たとえば、ケーススタディで想定したブラインド調節のスケジュールは、開口部の条件の違いは反映されてはいるものの、消灯条件におけるグレア試算に基づくもので設定照度の違いは反映されていない。すなわち、リアルタイムでグレアを判別するような自動制御機能とは異なる調節方法であるとともに、想定したスケジュールは一例にすぎず、ケーススタディによる推定値の優劣は、想定する調節のロジックによって異なることに留意が必要である。

また、明るさ感推定値の年間計算の結果が正規性を有さないケースについては、本検討で示した評価方法の適用性は未検討である。

## 5-4 本章の小括

本章では、ブラインドと調光制御を伴うオフィスの明るさ感推定値を拡張アメダス気象データを用いて年間計算し、年間の明るさ感推定値について累積相対度数を横軸としたグラフで示すことにより、時間率に基づく評価法を検討した。

開口部のデザインの違いや昼光制御の違いによる明るさ感の変動への影響を定量的に評価する方法として、明るさ感推定値の時間率 90%レンジによる評価の有効性を確認した。また、明るさ感推定値が正規分布するとき、50 パーセンタイル値を評価することにより、採光条件に合わせて適正な設定照度を検討できることを示した。

この設計手法を用いることにより、照度一定制御を用いる場合においても、オフィスとして明るすぎることも暗すぎることもない適切な明るさ感に保つ窓廻りや照明設備を設計できる可能性を示した。

本手法により、昼光と人工照明の総合的な検討が可能となり、たとえば、明るさ感の安定しやすい照明設備、効果の小さい日射遮蔽などを窓面方位毎に見極め、優れた設計を探ることができる。これによって、照明デザイナー、ファサードエンジニア、建築設計者、入居者など多くに利便性が生まれると期待できる。

既往の明るさ感指標の研究においては、明るさ感の昼光による変動を考慮した検討は少ない。しかし、外装や制御設備のコストが良質な光環境として還元できていることをチェックする手段は、設計提案の際に有用である。変動の評価に基づいた採光や照明設備の設計の妥当性の評価は、設計技術の向上につながると考えられ、明るさ感指標の整備のあたっては、変動の評価法まで視野に入れていくことが必要である。



## 第6章

# 明るさを考慮した建築と照明設備の 新しいデザインの展望

## 6-1 本章の目的

第5章までの検討により，昼光の変動を含めた実環境への適用性を有する明るさ感評価法を構築することができた．この明るさ感評価法はあくまでも設計のための道具にすぎず，デザインそのものではない．最終的な明るさ感はデザインされた建築と照明設備を通じて受け取るものである．第5章で述べたように，この新しい明るさ感評価法によって定量的に評価された検討データは，設計案を比較検討し判断するうえでエビデンスとなることが期待でき，視環境設計の実務における有効性も示すことができた．さらに期待されることは，明るさ感推定モデル NSB を構成する指標値である NSB 値，SB 値，AD 値，CD 値を視環境設計の道具として用いて明るさ感や輝度分布を評価することにより，これまで実現できなかった革新的なデザインを提案する推進力を作り出すことである．例えば，細かい輝度対比に着目するならば，CD 値に基づきメリハリのあるインテリアデザインをすることがあげられる．あるいは，粗い輝度対比に着目するならば，窓採光の方法を AD 値に基づき設計していくことが考えられる．

本章では，定量的な明るさ感評価から期待される建築と照明設備のデザインの具体例を述べ，明るさ感を考慮した建築と照明設備の新しいデザインについて展望する．

## 6-2 什器の明度のメリハリによる CD 値の増加と明るさ感の創出

### 6-2-1 物件概要

本物件は，東京都調布市に所在する研究所のオフィスである．様々な分野の研究者それぞれが技術開発に専念でき，相互のコミュニケーションが活性化するようなワークプレイスづくりを目標として，ローコスト・ハイパフォーマンス建築の実現を目指して計画された．オフィスレイアウトを図 6-1 に，断面パースを図 6-2 に示す．

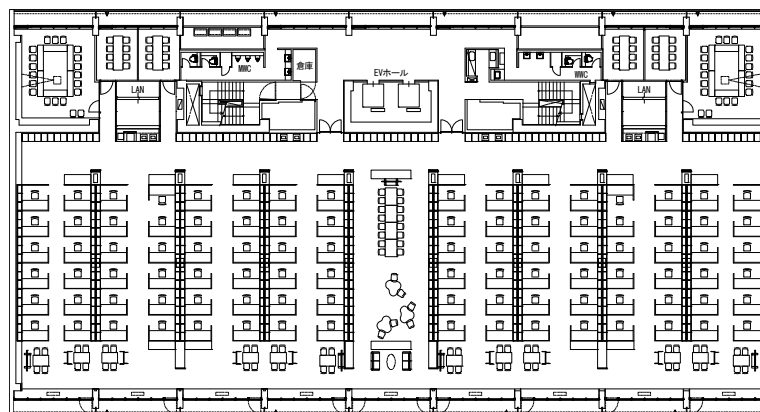


図 6-1 オフィスレイアウト



図 6-2 オフィスの断面パース

### 6-2-2 視環境の計画

明るさ感推定モデル NSB の理論によれば，明るさ感を大きくするためには，粗い輝度対比を抑えることのほかに，細かい輝度対比を大きくすることがあげられる．細かい輝度対比には，豆電球のような発光体を数多く並べることも，もちろん有効であるが，縞模様や市松模様のように，異なる反射率の部分を交互に数多く並べることも有効であると考えられる．

このオフィスでは，タスク・アンビエント（アンビエント照度 370lx）による明るさ感の不足を補うための天井間接照明を用いているほか，パーティションに白と黒の 2 色を配し，コントラストを高めることにより，明るさ感を創出する試みを行っている．また，間接照明を照射する天井のみ，二重天井とし，それ以外の部分は直天井とすることでコストダウンやダクトレス空調の実現につなげているが，2 つの天井を組み合わせることによって，天井間接照明によって生じる輝度ムラが感じられにくくなっている．照明計画概要図を図 6-3 に，内観写真を写真 6-1 に示す．

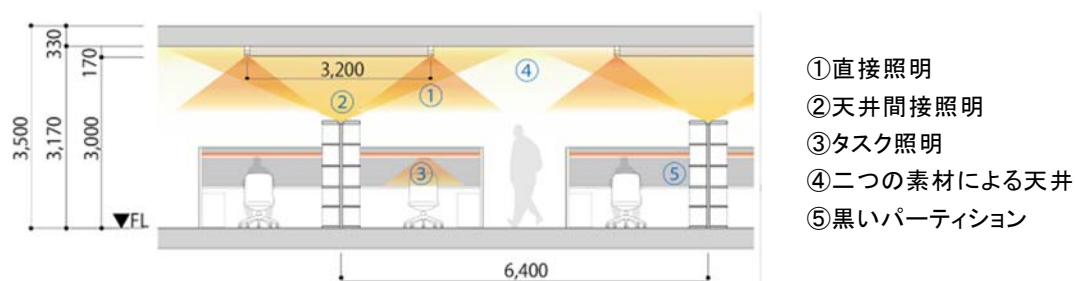


図 6-3 照明計画概要図



写真 6-1 内観写真

### ． 6-2-3 視環境の評価

このオフィスの評価にあたり、同社の本社ビルのオフィスと比較を行った。比較対象のオフィスは日本で馴染みのあるオープンオフィスで、照度も全般照明方式で 750lx と標準的である。両者の輝度分布と電力を測定し、平均 NB 値、NSB 値、AD 値、CD 値をそれぞれ計算した。結果を表 6-1 に示す。本物件のオフィスは、比較対象のオフィスに比べて省電力でありながら、NSB 値が大きくなっている。この要因としては、間接照明によって天井照明の高輝度部を少なくし AD 値を抑えながら天井面の輝度を全体的に高めることによって平均 NB 値を同等レベルに確保していること、さらに、CD 値を高い値にできていることがあげられる。CD 値が大きくなっている理由として、パーティションの一部に黒色を配したことがあげられる。ただし、通路部の NSB 値 9.66 に対し、ブース内では NSB 値が 6.18 と比較的小さい。この原因としては、ブース内では黒色の部分が大きな立体角でまとまって見えるため、AD 値も 0.46 と大きな値をとってしまっていることがある。反省点としては、黒色部分がまとまって見えないよう、分散させることなどが考えられる。

表 6-1 一般的なオフィスと本物件の比較

|                     | 比較対象とした<br>全般照明方式オフィス                                                             | 本物件のオフィス                                                                          |                                                                                     |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|                     |  |  |  |
| アンビエント照度            | 750lx                                                                             | 370lx<br>(直接300lx、間接70lx)                                                         |                                                                                     |
| 平均NB値<br>(仰角0°~40°) | 7.63                                                                              | 7.74                                                                              | 7.62                                                                                |
| NSB値                | 5.74                                                                              | 9.66                                                                              | 6.18                                                                                |
| AD値                 | 0.042                                                                             | 0.024                                                                             | 0.046                                                                               |
| CD値                 | 0.048                                                                             | 0.063                                                                             | 0.056                                                                               |
| 電力                  | 15W/m <sup>2</sup>                                                                | 6.8W/m <sup>2</sup>                                                               |                                                                                     |

#### 6-2-4 考察

このオフィスは、特別な設備に依存せずとも、意匠・設備・構造・施工・什器の垣根を廃し合理的かつ最小の装備によって視環境・建築デザインを創造した結果として、最大限のパフォーマンスにつなげた好事例である。そして、照明やインテリアの計画が建築の付属品ではなく、意匠や構造のパフォーマンスを高める存在になりえる可能性も示している。そして、NSB 値、CD 値、AD 値に基づく検討は、それを下支えしているといえる。

### 6-3 面状照明体を用いた明るさ感演出照明の設計事例

#### 6-3-1 導光板の建築化照明への適用

近年のオフィス照明は、人感センサーを用いて不在エリアを消灯制御したり、タスク照明を併用してアンビエント照度を 300lx 程度に抑えるなど、省電力な計画が求められている。このような計画では、執務者から見える天井面や壁面の輝度が低くなり、明るさ感が低下しがちであり、天井や壁面への間接照明の併用はその解決策の一つとして考えられる。間接照明を用いるとき、二次光源となる照射面の実面積と前方視野内に占める立体角の関係から、天井面よりも鉛直面へ照射する間接照明のほうがより小さい照射面で明るさ感を向上させることができる。また、その鉛直面は執務者により近接しているほうがさらに効率的である。しかしオフィスを分断しないように鉛直面を室内に配置することは容易ではない。そこで、筆者は空間の連続性を損なうことなく省電力で明るさ感を向上させる手段として、導光板を用いた照明制御の可能性を検討した。



### 6-3-2 導光板の設置形態

導光板はLEDなどの光源とアクリルパネルを組み合わせた面状照明体で，消灯時に高い透過性を持たせることが可能である．照明制御時に輝度の不足が予想される天井面や壁面と執務者の視点の間に透過性を持った導光板を設置しておくことで，輝度の不足時に導光板を点灯させることで，暗い天井面や壁面を発光する導光板で見えなくし，明るさ感を向上させることができる．また，消灯しているときは執務者から導光板の背後が透けて見えるため，鉛直面を設置することにより生じる圧迫感を最小限に留めることができる．したがって，執務者に近接して設置することも比較的容易であり，より小面積の点灯で明るさ感を向上させることができると思われる．そこで筆者は，導光板の設置方法として，図 6-4 に示すように①天井取付型，②床立設型，③什器立設型，④間仕切型，⑤窓取付型などを考案した．

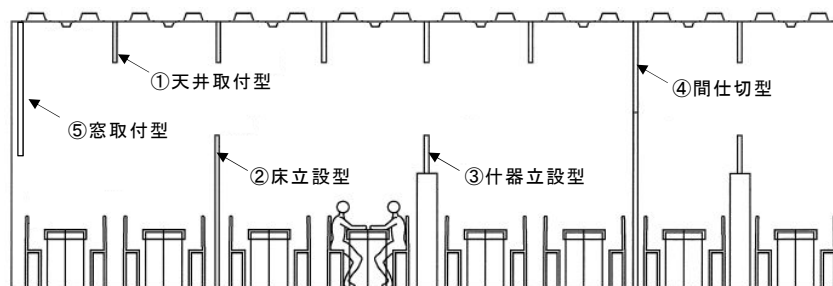


図 6-4 導光板の設置形態

天井取付型は，空間の連続性への影響が小さい点が利点であるが，明るさ感を満足するために必要な導光板の面積が大きく高コストとなり，また天井間接照明などと比較して必ずしも省電力とならない点が欠点である．それに対して什器立設型は，小さい導光板面積で視野内の多くを覆うことができるのが利点である．図 6-4 のように複数の導光板を配置し，執務者の在席状況に応じて，明るさ感指標などに基づき，点灯する導光板や他の照明器具を選択する方法も有効と考えられる．また，昼光照度に応じて窓からの明るさの不足を補うことも可能と考えられる．

### 6-3-3 什器立設型の設置例

筆者は，K社の技術研究所の共用の執務デスクにおいて，写真 6-2 のような什器立設型の導光板を設置した．

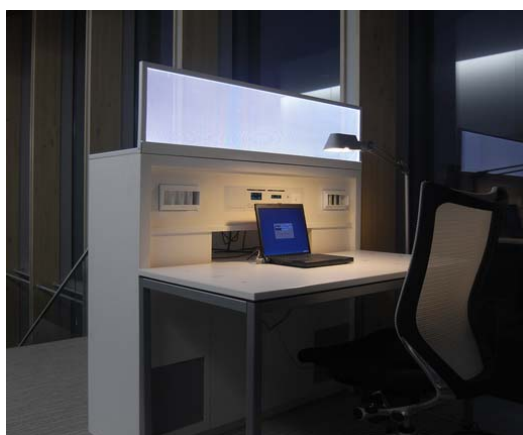


写真 6-2 什器立設型の導光板設置例

執務者のデスク前面のパーティションに導光板とそれを点灯・調光させるためのスイッチを設け、執務者が要求する明るさ感が得られるように、自ら調節できるようにした。また、発光体には2つの異なる色温度のLEDを交互に組み込み、2つのバランスを変えることにより、調色可能とした。設置したデスクにおける体感評価の結果、パーティションに立設させたこのケースの場合、消灯時は透過性を有しているため周辺領域として感じられた導光板部が、点灯時は作業領域として感じられたため、結果的に周辺領域の明るさ感の変化は小さいと推察される。自席に近接して設置すれば、小さい導光板面積で暗い箇所を隠すことはできるが、周辺領域の明るさ感を向上させるためには、導光板部分を周辺領域として認識するような設置方法を検討する必要がある。

#### 6-3-4 窓取付型の設置例

什器は入居時に計画されるのに対し、建築に備わる天井取付型や窓取付型は、建築と照明設備をトータルで制御できるメリットがある。図 6-5 に示すのは、窓取付型の事例である。

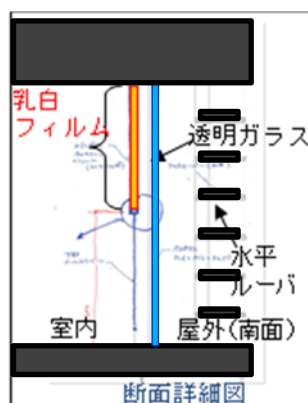


図 6-5 窓取付型の設置例



写真 6-3 日没後に点灯させた窓面

欄間に設けたガラスを発光させる仕組みで，日没後に点灯させることにより，夜間の窓面の輝度低下に伴って輝度対比が生じることを防ぐねらいがある．

## 6-4 直射光の反射による AD 値の低減効果の事例

### 6-4-1 物件概要

明るさ感を生み出すアイディアは，新しい建築デザインだけではなく，日本古来の建築からも学ぶことができる．今回研究対象として選定したのは，臨春閣である．臨春閣は三溪園に移築された数寄屋風書院の建築である．

臨春閣は第一屋から第三屋の三棟が雁行に連なる形態となっている．臨春閣の移築前の所在地については諸説があり，移築前の配置を知ることは容易ではないが，現在の配置も巧みに考えられたものであることがその採光の特徴から推察できる．

### 6-4-2 調査対象

調査したのは，水盤に張り出した配置で採光に特徴のある第二屋（写真 6-4）の浪華の間の光環境についてである．浪華の間は第二屋の南面に位置し，午後になると南側の水盤の水面で反射した光が障子を介して入射する．また，鴨居の上部には欄間障子があり，これを開けると水盤で反射した光を天井面へ導くことができ，室内は明るい印象になる（写真 6-5）．調査日時は 2015 年 3 月 2 日 10 時～16 時で，障子および欄間障子の開閉条件を順次変えながら内観の観察と光環境の計測を行った．天候は晴であった．



写真 6-4 臨春閣第二屋外観

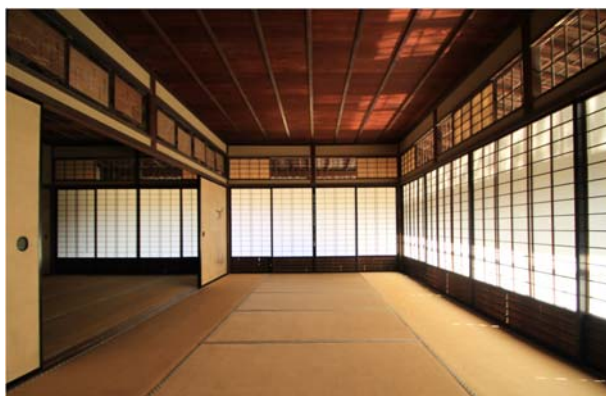


写真 6-5 反射光入射の様子（浪華の間）

#### 6-4-3 計測項目

計測項目は、全天空照度、グローバル照度、室内床面照度、室内輝度分布（等距離射影．主に 12 時，14 時，16 時に計測．）である．

#### 6-4-4 計測結果

図 6-6 に障子および欄間障子の開閉条件と室内照度分布の関係を示す．障子の開閉が照度へ及ぼす影響が大きいことは自明であるため，欄間障子の開閉の影響がより興味深いと考え，その比較を行った．欄間障子を閉じると障子が二次光源となり，開くと天井面が二次光源となるが，それによる床面照度分布の違いは認められなかった．今回の条件では天井面の反射率が高くないため，ライトシェルフと白色の天井を有するオフィスで見られる昼光導入の効果に比べると，天井面が二次光源であることの利点は小さいのだろうと考えられる．次に，輝度分布について比較した．図 6-7 に 12 時の輝度画像を示す．輝度画像からも床面の輝度の分布における両者の差異がほとんどないことは確認できるが，障子から天井面にかけての分布において，差があることが

分かる．欄間閉では，反射光を障子面で受けるため，障子面の輝度が高い一方で天井面の輝度が低く，粗い輝度対比に関する指標値である AD 値を計算すると  $10.6 \times 10^{-2}$  を示し，輝度対比が大きく昼光の指向性が強いことが分かる．それに対し，欄間開では，反射光は欄間を通して入射し，天井面を照射するため，天井面の輝度が高くなり，欄間部からは軒下が見えるため，輝度は高くない．AD 値を計算すると  $8.4 \times 10^{-2}$  を示し，欄間閉に比較して輝度対比が小さく昼光の拡散性が高くなっていることが分かる．欄間閉に比較して明るく感じられる原因を定量的に示している．

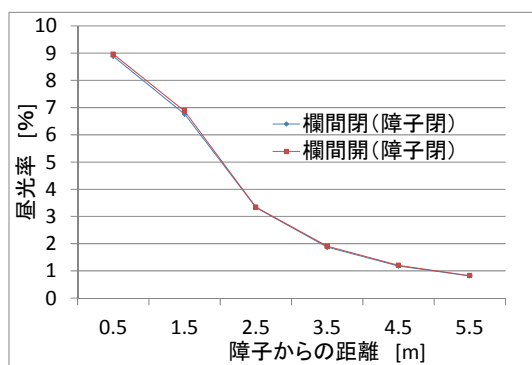


図 6-6 床面昼光率分布の比較(15 時)

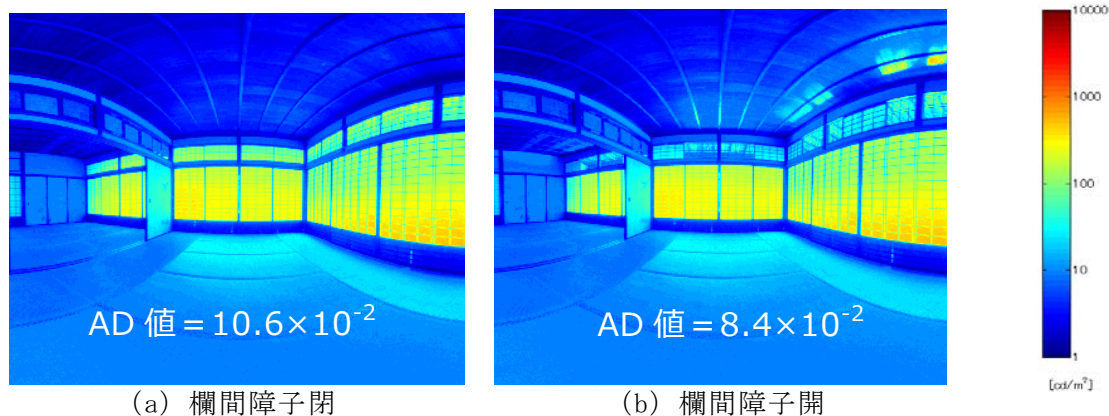


図 6-7 輝度画像の比較(12 時)

#### 6-4-5 考察

臨春閣の水面の反射光が天井を照射する特徴について，また，明るさ感が大きくなる現象について，輝度分布から AD 値を算出して分析することによりその理由を推察した．この視環境の特徴は，移築の際の配置計画の巧妙さを示す一つと言えるだろう．また，このような採光の工夫からは今も学ぶべき点が多い．今回示した光の拡散性は窓廻りの視環境の違いを示す論点の一つとなるはずである．

## 6-5 本章の小括

本章では，CD 値に基づいたインテリアデザイン，AD 値に基づいた窓採光の評価など，明るさ感推定モデル NSB の理論に基づいた視環境設計の事例を示した．このような輝度対比に着目した新しいデザインに取り組む結果，時には意図通りにならないこともある．しかし，そのトライ&エラーを継続することにより，少しずつ新しいデザインや素材などの創造につながっていくことが期待できると考える．



## 第7章

## 結論



## 7-1 研究の結論

本論文は、「実環境への適用性を有する明るさ感評価法の構築と視環境設計」と題し、7章で構成した。

第1章「序論」では、省電力のニーズやLEDの普及などによって多様化している視環境設計の現状を分析した上で、昼光と照明設備は補完し合う関係にあり、いずれか一方のみで省電力と快適性を実現できるものではなく、その複合的な視環境を評価するための「ものさし」が必要であることを述べた。以上を踏まえて、建築の窓廻りと照明設備を対象とした視環境設計において幅広い適用性と実用性を有する明るさ感評価法を構築するという本研究の目的を述べた。

第2章「明るさ感に関する既往研究の再考と評価法の構築に向けた課題の提起」では、明るさ感に関する既往の研究を整理した上で、幅広い適用性と実用性を有する明るさ感評価法が確立できていない主な理由として、各研究が扱う空間の用途や空間の形が多様であるが故に明るさ感の評価対象範囲が異なること、実際の環境では様々な空間周波数の輝度対比が混在しているのに対し多くの研究では実環境とは異なる単純な環境における実験に基づき理論を導いていることを指摘した。それらを踏まえて、実環境への適用性を有する明るさ感評価法を構築するためには、空間の形が多様性を考慮すること、様々な輝度対比を空間周波数によって区別して定量的に扱うことの必要性を明らかにした。

第3章「実環境の空間の形が多様性を考慮した評価対象範囲の設定方法の検討」では、家具の有無と空間の奥行きが異なる空間の明るさ感評定実験を行い、オフィスのような自席領域がある条件では、自席領域の平均輝度の明るさ感への寄与は小さく仰角  $0\sim 20^\circ$  の輝度の比重が大きいこと、空間の奥行きの短い条件や窓のある条件では評価対象範囲を仰角  $40^\circ$  まで広げることが適切であること、つまり、空間の形によって適切な評価対象範囲が異なることを明らかにした。以上を踏まえて、空間の形が多様な実環境を評価対象とする際においても、空間の形に応じて評価対象範囲を調節することにより、明るさ感をより高い精度で推定できることを明らかにした。

第4章「実環境に混在する輝度対比の空間周波数を考慮した明るさ感推定モデルNSBの構築」では、離散ウェーブレット分解を用いて実環境の輝度分布画像に含まれる輝度対比を空間周波数毎に定量化する手法を用いて、オフィスの実環境を対象とした明るさ感評定データを分析した。明るさ感評定値を目的変数とした重回帰分析により、明るさ感を減少させる輝度対比と増加させる輝度対比の空間周波数の境はおよそ  $0.1\text{cpd}$  であることを明らかにするとともに、窓からの昼光導入に起因する粗い輝度対比と人工照明に起因する粗い輝度対比は、いずれも明るさ感を減少させる粗い空間周波数として同様に扱うことができることを示し、実環境における様々な光源に対する適用性を明らかにし、既往の手法の問題点を解決した。以上を踏まえて、平均輝度に、

AD 値（粗い輝度対比量）と CD 値（細かい輝度対比量）の 2 つの説明変数を加えることにより推定精度を向上する，明るさ感推定モデル NSB を導いた．

第 5 章「明るさ感推定モデル NSB に基づく建築と照明設備の視環境設計」では，ブラインドと調光制御を伴うオフィスの明るさ感推定値を年間計算し，変動する明るさ感の年間評価法について，時間率に基づく評価法を検討した．開口部のデザインの違いや昼光制御の違いによる明るさ感の変動への影響を定量的に評価する方法として，明るさ感推定値の時間率 90%レンジによる評価の有効性を確認した．また，明るさ感推定値が正規分布するとき，50 パーセンタイル値を評価することにより，採光条件に合わせて適正な設定照度を検討できることを示した．さらに，この設計手法を用いることにより，照度一定制御を用いる場合においても，オフィスとして明るすぎることも暗すぎることもない適切な明るさ感に保つ窓廻りや照明設備を設計できる可能性を示し，昼光による変動を伴う視環境設計における明るさ感推定モデル NSB の実用性を明らかにした．

第 6 章「明るさ感を考慮した建築と照明設備の新しいデザインの展望」では，AD 値に基づいた窓採光の評価，CD 値に基づいたインテリアデザインなど，輝度対比に着目した設計事例を示し，明るさ感推定モデル NSB の理論を展開することにより新しい素材やデザインの提案，価値の創造が期待できることを示した．

## 7-2 今後の課題

本研究において、構築した明るさ感推定モデル NSB は、従来の明るさ感指標に比べて実環境への幅広い適用性を有する明るさ感評価法であると考えられる。しかし、これまで、明るさ感に関する研究が長年継続されているにも関わらず、その基準化が進まない現状を打破するためには、これまで提案されている各指標を包括する統合モデルが必要と考えられる。明るさ感推定モデル NSB は、明るさ感指標としての計算式を確定させておらず、評価対象範囲も自由に設定できることから、他の指標との統合や基準化に向けて、改変の余地を残している。また、明るさ感指標の研究には、評価構造が不明な点に対して理論を追究していく側面と、実際の設計で使いやすい指標にしていく側面があり、指標の基準化に向けて、その観点からも柔軟に議論を進めていくことが必要である。

一方、視環境設計の実務では、指標の基準化の準備状況にとらわれることなく、新しい評価法を設計にどんどん取り入れていくべきである。今後は IoT、人工知能の活用が進み、輝度分布の画像処理に機械学習を組み合わせた複合的な評価技術も可能になると考えられる。既に、快適性と省電力の両面において優れた光環境を設計するための道具はそろっている。これからは、それらの設計手法を活用し、輝度対比を活用した新しい素材やデザインの提案、価値の創造につなげ、それが先端的な技術開発の推進力となり、好循環を生むことを期待したい。

## 参考文献

- 1) (一社)照明学会：住宅照明設計技術指針 JIEG-009, 2006
- 2) 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, pp. 36-43, 1988. 2
- 3) 猪村彰, 乾正雄：室内の大きさ感と明るさ感, 日本建築学会 1977 年度大会学術講演梗概集, D, pp. 187-188, 1977
- 4) 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
- 5) 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
- 6) 稲沼實, 渡部耕次, 坪田祐二, 坂田克彦, 武田仁：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, No. 548, pp. 9-15, 2001. 10
- 7) 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
- 8) 岩田利枝, 張峨寧, 木村健一：視野照度変化と明るさ感に関する研究：歩行空間の連続性に基づいた照度設計指標の提案その 1, 日本建築学会計画系論文集, No. 523, pp. 15-21, 1999. 9
- 9) 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), pp. 119-133, 1994
- 10) 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
- 11) 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, pp. 13-17, 2005. 11
- 12) 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. 226-271, 2007. 5
- 13) 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), pp. 64-66, 2008. 1
- 14) 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, pp. 429-435, 2013. 8
- 15) 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
- 16) 小林茂雄, 中村芳樹, 乾正雄, 佐藤仁人：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, No. 497, pp. 7-14, 1997. 7
- 17) 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, pp. 33-41, 1996. 9
- 18) 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), pp. 19-26, 2000
- 19) 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. 2
  - 20) 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, pp. 9-14, 2007. 5
  - 21) 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, pp. 593-599, 2014. 11
  - 22) 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, pp. 17-23, 2003. 6
  - 23) 乾正雄: 快適視環境研究委員会報告, *照明学会誌*, Vol. 58, No. 8, pp. 39-45, 1974
  - 24) 小林朝人: 明るさの知覚尺度—APPARENT BRIGHTNESS SCALES—, *日本建築学会論文報告集*, No. 178, pp. 83-92, 1970. 12
  - 25) 成定康平: 明るさ感—ある複雑な感じ, *照明学会誌*, Vol. 67, No. 7, pp. 297-299, 1983. 7
  - 26) 伊藤弘, 狩野雅夫, 村上勝男: 明るさ感, *照明学会誌*, Vol. 67, No. 9, pp. 451-453, 1983. 9
  - 27) 畑田豊彦: VDT と視覚特性, *人間工学*, 22-2, pp. 45-52, 1986
  - 28) Bodmann, H. W., Haubner, P., and Marsdan A. M.: A unified relationship between brightness and luminance. *CIE Proc.*, 19th Session (Kyoto), pp. 99-102, 1979
  - 29) Bodmann, H. W. and La Toison, M.: Predicted brightness luminance phenomena, *Lighting Res. Technol.*, 26(3), pp. 135-143, 1994
  - 30) 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*, Vol. 90, No. 2, pp. 97-101, 2006. 2
  - 31) 戴倩穎, 中村芳樹: 周辺視野における明るさ知覚に関する研究—周辺視位置と輝度比の効果—, *照明学会誌*, Vol. 96, No. 11, pp. 739-746, 2012. 11
  - 32) 綿貫将, 高橋宏, 入倉隆: 全視野における明るさ知覚特性, *照明学会誌*, Vol. 99, No. 5, pp. 258-262, 2015. 5
  - 33) 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, pp. 77-82, 2008. 2
  - 34) 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, pp. 73-79, 1976. 5
  - 35) 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, pp. 1-8, 1992. 8

- 36) 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, pp. 230-235, 2005. 5
- 37) 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, pp. 379-380, 1995. 7
- 38) 山口秀樹, 安益圭祐, 呂秀秀, 加藤未佳, 原直也, 三木保弘, 吉澤望: 空間の輝度分布に基づく明るさ感推定法の構築(その1), 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, pp. 551-552, 2016. 8
- 39) 吉澤望, 呂秀秀, 加藤未佳, 山口秀樹: 空間の明るさ指標の適用度・適用範囲の比較検討, 日本建築学会 2017 年度大会学術講演梗概集, D-1, pp. 503-506, 2017
- 40) (一社)日本建築学会: 日本建築学会環境基準 AIJES-L0002-2016 照明環境規準・同解説, 2016
- 41) (一社)照明学会: オフィス照明設計技術指針 JIEG-008, 2017
- 42) 張本和芳, 田村仁人, 鈴木崇平, 市原真希, 鹿毛比奈子, 吉澤望: オフィス空間における明るさを確保した昼光利用制御手法の開発 その3 制御状況とエネルギー削減効果の検証, 日本建築学会 2017 年度大会学術講演梗概集, D-1, pp. 523-526, 2017
- 43) 谷口智子, 岩田利枝, 平井大介, 間瀬亮平, 伊藤剛: 不快グレア抑制制御ブラインドを利用した昼光アンビエント照明制御, 日本建築学会 2015 年度大会学術講演梗概集, D-1, 457-458, 2015
- 44) Reinhart, C.F., Mardaljevic, J., Rogers, Z.: Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design, The Journal of the Illuminating Engineering Society, Vol.3, Issue 1, 2006
- 45) Larson, G.W. and Shakespeare, R., Rendering with Radiance: The Art and Science of Lighting Visualization, Morgan Kaufmann Publishers, 1998
- 46) (一社)日本建築学会: 拡張アメダス気象データ 1981-2000, 2000
- 47) 井川憲男: 天空輝度・放射輝度分布を推定する天空モデルの整備, 日本建築学会環境系論文集, No. 687, pp. 393-399, 2013
- 48) 橋本健史, 中村芳樹: 明るさ画像を用いたグレア評価, 日本建築学会 2006 年度大会学術講演梗概集, D-1, pp. 223-224, 2006

## 研究業績

### 本論文に関連した研究業績

#### ■学術論文（査読付き）

- 1) 坂田克彦，中村芳樹，吉澤望，武田仁：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関する検討，日本建築学会環境系論文集，No. 723，pp. 421-428，2016. 5 （本論文の第 3 章に関連）
- 2) 坂田克彦，中村芳樹，吉澤望，武田仁：輝度対比量に基づく空間の明るさ感推定モデル—異なる空間周波数の輝度対比が混在する実オフィスにおける検討，日本建築学会環境系論文集，No. 732，pp. 129-138，2017. 2 （本論文の第 4 章に関連）
- 3) 坂田克彦：昼光制御下のオフィスにおける明るさ感の時間率評価，照明学会誌（査読中・公表予定） （本論文の第 5 章に関連）

#### ■資料（査読付き・依頼原稿）

- 1) 坂田克彦：明るさ感指標に基づく設計・制御と今後の課題，照明学会誌，Vol. 93，No. 12，pp. 913-916，2009. 12 （本論文の第 2 章に関連）

#### ■特許

- 1) 坂田克彦：照明装置及び照明方法，特許 05258704 号，2013. 8
- 2) 坂田克彦：照明装置，特許 05584795 号，2014. 9 （本論文の第 6 章に関連）
- 3) 坂田克彦：画角設定方法，特願 2014-260388
- 4) 上村健，坂田克彦，相原幸一，松岡里衣子，米田浩二：照明器具，特願 2015-007500
- 5) 坂田克彦：光環境評価装置及び光環境評価方法，特願 2015-141286

#### ■国際会議プロシーディング（査読付き）

- 1) Takemasa, Y.; Sakata, K.; Hiromoto S.; Tarama, J.; Kamimura, T.; Hiraoka, M.; Katoh, M.; Kubota, K.; Sori, M.; Miura K., Energy-Saving Technologies Incorporated in Low-Carbon Office Building Located in Tokyo, Proc. of SB13 Singapore, 2013 （本論文の第 6 章に関連）
- 2) Takemasa, Y.; Sakata, K.; Hiromoto S.; Tarama, J.; Kamimura, T.; Hiraoka, M.; Katoh, M.; Kubota, K.; Sori, M.; Miura K., Energy-Saving Technologies Incorporated in a Low-Carbon Office Building Located in Tokyo, Proc. of World SB14 Barcelona (Best Papers SB13 Singapore , invited), 2014

#### ■国内学会口頭発表（査読なし）

- 1) 坂田克彦，近藤純一，吉澤望，武田仁： オープンプランオフィスの明るさ感推定に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，D-1，pp. 523-524，2008
- 2) 坂田克彦，近藤純一，吉澤望，武田仁： オフィスの明るさ感指標に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，2010. 9
- 3) 坂田克彦： パーティションの反射率が光環境評価指標値に及ぼす影響，平成 23 年度照明学会第 44 回全国大会講演論文集，p. 124，2011. 9
- 4) 坂田克彦，杉岡正敏，飯島貴広： 三溪園臨春閣の昼光照明，平成 27 年度照明学会第 48 回全国大会講演論文集，2015. 8
- 5) 上村健，坂田克彦： 明るさ感に配慮した省エネ照明計画事例，第 33 回電気設備学会全国大会，0417，2015. 9
- 6) 坂田克彦，中村芳樹，吉澤望，武田仁： 輝度対比を考慮した空間の明るさ感指標 NSB，日本建築学会大会学術講演梗概集，2016. 8
- 7) 上村健，坂田克彦： 明るさ感に配慮した照明計画及び照明制御事例，第 34 回電気設備学会全国大会，2016. 9
- 8) 坂田克彦： 空間の明るさ感推定モデルの標準化に向けた検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，2017. 9

#### ■紀要

- 1) 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，pp. 77-82，2008. 9
- 2) 坂田克彦，中村芳樹，吉澤望，武田仁： 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，鹿島技術研究所年報，No. 63，pp. 123-130，2015. 9
- 3) 坂田克彦，： 輝度分布と明るさ感に基づく建築と照明設備のトータルデザイン，鹿島技術研究所年報，No. 65，pp. 123-130，2017. 12



## その他の研究業績

### ■学術論文（査読付き）

- 1) 稲沼實，渡部耕次，坪田祐二，坂田克彦，武田仁：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，No. 548，pp. 9-15，2001. 10

### ■国内学会口頭発表（査読なし）

- 1) 坂田克彦，小林茂雄，中村芳樹，中村一樹：室の移動に伴う印象と室内光環境の関係，日本建築学会大会学術講演梗概集，D-1，pp. 355-356，1997
- 2) 坂田克彦，稲沼實，藤田茂明，渡部耕次，岩淵邦彦，武田仁：タスク・アンビエント照明の快適性とエネルギー評価（その 1）照明低減の可能性に関する評価実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，D-1，pp. 363-364，1998
- 3) 藤田茂明，稲沼實，坂田克彦，岩淵邦彦，武田仁：タスク・アンビエント照明の快適性とエネルギー評価（その 2）長時間の執務における照度の影響，日本建築学会大会学術講演梗概集，D-1，pp. 365-366，1998
- 4) 山川和美，稲沼實，坂田克彦，渡部耕次，松本隆志，武田仁：タスク・アンビエント照明方式の実用性に関する研究－その 1 実験室実験による許容照度及び照度比の検討，照明学会全国大会講演論文集，p. 112，1999
- 5) 渡部耕次，松本隆志，稲沼實，坂田克彦，山川和美，武田仁：タスク・アンビエント照明方式の実用性に関する研究－その 2 フィールド実験による許容照度および照度比と省エネルギー性の検討，照明学会全国大会講演論文集，p. 114，1999
- 6) 竹村智明，坂田克彦，稲沼實，山川和美，武田仁：タスク・アンビエント照明の快適性とエネルギー評価（その 4）行為の内容と適切な照度に関する調光実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，D-1，pp. 423-424，1999
- 7) 坂田克彦，稲沼實，竹村智明，山川和美，武田仁：タスク・アンビエント照明の快適性とエネルギー評価（その 5）明るさの調節と評価との関係，日本建築学会大会学術講演梗概集，D-1，pp. 425-426，1999
- 8) 山川和美，坂田克彦，稲沼實，渡部耕次，武田仁：タスク・アンビエント照明の快適性とエネルギー評価（その 6）オフィスにおける長期適用実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，D-1，pp. 427-428，1999
- 9) 渡部耕次，稲沼實，坪田祐二，山川和美，坂田克彦，岩田利枝，武田仁：タスク・アンビエント照明の快適性とエネルギー評価（その 7）パーティションの有無と評価の関係，日本建築学会大会学術講演梗概集，D-1，pp. 465-466，2000
- 10) 山川和美，稲沼實，坂田克彦，渡部耕次，白石隆宏，武田仁，岩田利枝：タスク・アンビエント照明方式の実用性に関する研究：パーティション条件の違いに

- よる快適性評価の検討, 照明学会全国大会講演論文集, p. 164-165, 2000
- 11) 坂田克彦, 加藤正宏, 荒井良延, 古賀貴士, 柴崎和則, 吉田一樹, 荒金仙英: 床先行工法における間仕切壁リフォームの施工性および廃棄物削減のケーススタディ: 集合住宅の内装・設備工事の合理化に関する研究(その 1), 日本建築学会大会学術講演梗概集, E-1, pp. 675-676, 2006
  - 12) 古庄真一郎, 石井勇, 荒井良延, 坂田克彦, 松本年男, 椎野潤, 高橋暁: IC タグ利用による建設ロジスティクスの研究(その 4)集合住宅における UHF 帯タグの読み取りの基礎実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, F-1, pp. 1169-1170, 2006
  - 13) 松本年男, 石井勇, 荒井良延, 古庄真一郎, 坂田克彦, 椎野潤, 高橋暁: IC タグ利用による建設ロジスティクスの研究(その 5)集合住宅間仕切りパネルへの UHF 帯タグの適用性実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, F-1, pp. 1171-1172, 2006
  - 14) 後藤真一郎, 松島俊久, 荒井良延, 坂田克彦, 藤藁貴夫: 住戸内給水・給湯における最適流量検証のための一考察(第 1 報)給水器具の圧力・流量特性に関する P-Q 線図と実使用での問題点について, 空気調和・衛生工学会学術講演会論文集, pp. 1537-1540, 2006
  - 15) 坂田克彦, 後藤真一郎, 松島俊久, 荒井良延, 藤藁貴夫: 住戸内給水・給湯における最適流量検証のための一考察(第 2 報)ループ配管システムにおけるタンクレストイレの流量検討, 空気調和・衛生工学会学術講演会論文集, pp. 1541-1544, 2006
  - 16) 藤藁貴夫, 荒井準一, 松島俊久, 後藤真一郎, 荒井良延, 坂田克彦: 消火用 SP 配管ポリブテン・ループ継手の流量性能, 空気調和・衛生工学会学術講演会論文集, 2006
  - 17) 坂田克彦, 内山卓郎, 吉澤望, 近藤純一, 武田仁, 稲沼實: 窓スクリーンのモデル手法の違いによる昼光シミュレーション精度の比較ー室内光環境のシミュレーション手法に関する研究 その 1, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, pp. 393-394, 2007
  - 18) 内山卓郎, 坂田克彦, 吉澤望, 近藤純一, 武田仁, 稲沼實: 輝度分布シミュレーションを用いた窓の明るさおよびグレアの推定ー室内光環境のシミュレーション手法に関する研究 その 2, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, pp. 395-396, 2007
  - 19) 坂田克彦, 吉澤望, 近藤純一, 武田仁, 橋本洋: 昼光を導入したオフィスの視環境設計・制御手法に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, pp. 413-416, 2009
  - 20) 橋本洋, 近藤純一, 坂田克彦, 武田仁, 吉澤望: オフィスの視環境とエネルギーの最適化を考慮したブラインド制御に関する研究ーRadiance を用いた昼光利用の検

- 討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, pp. 27-28, 2009
- 21) 近藤純一, 橋本洋, 武田仁, 吉澤望, 坂田克彦: ベネシャンプラインド付窓における昼光利用の年間評価ーその 1ー検討モデルと熱負荷評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, pp. 1113-1114, 2010
  - 22) 橋本洋, 近藤純一, 武田仁, 吉澤望, 坂田克彦: ベネシャンプラインド付窓における昼光利用の年間評価ーその 2ーエネルギー評価と視環境評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, pp. 1115-1116, 2010
  - 23) 権藤尚, 坂田克彦, 矢入幹記, 浜野拓微, 尾崎章子, 安武綾, 鈴木広子, 谷口尚美: 入院患者の睡眠に配慮した病院環境に関する建築的検討ー夏季室内環境と睡眠に関する調査事例ー, 日本睡眠学会第 39 回定期学術集会, 2014. 7
  - 24) 坂田克彦, 荒井良延, 大和田淳, 井田卓造, 菰田英晴: ZEB に向けた建物ファサードの熱計画手法の検討(その 3) 昼光導入に伴う照明負荷の簡易算定法, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, pp. 1067-1068, 2014. 9
  - 25) 荒井良延, 小野永吉, 坂田克彦, 井田卓造, 大和田淳, 菰田英晴: ZEB に向けた建物ファサードの熱計画手法の検討(その 4) ペリメータの空調及び照明エネルギー消費を最小化するファサード特性, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, pp. 1069-1070, 2014. 9
  - 26) 井田卓造, 大和田淳, 荒井良延, 坂田克彦, 小野永吉: ZEB に向けた建物ファサードの熱計画手法の検討(その 5) 可変ルーバおよび自然換気窓による可変モデルの構築, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, pp. 1071-1072, 2014. 9
  - 27) 大和田淳, 荒井良延, 井田卓造, 菰田英晴, 坂田克彦: ZEB に向けた建物ファサードの熱計画手法の検討(その 6) 外皮仕様の違いによる年間熱負荷のケーススタディ, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, pp. 1073-1074, 2014. 9
  - 28) 菰田英晴, 大和田淳, 荒井良延, 井田卓造, 坂田克彦: ZEB に向けた建物ファサードの熱計画手法の検討(その 7) エネルギー性の評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, pp. 1075-1076, 2014. 9
  - 29) 坂田克彦, 矢入幹記, 権藤尚, 浜野拓微, 遠藤拓郎, 末永和榮: 睡眠におよぼす病室環境の影響ー光環境(模擬窓を用いた光暴露の影響), 日本睡眠学会第 40 回定期学術集会, 2015. 7
  - 30) 権藤尚, 坂田克彦, 矢入幹記, 浜野拓微, 遠藤拓郎, 末永和榮: 睡眠におよぼす病室環境の影響ー温熱環境(送風効果の検証), 日本睡眠学会第 40 回定期学術集会, 2015. 7
  - 31) 矢入幹記, 権藤尚, 坂田克彦, 浜野拓微, 遠藤拓郎, 末永和榮: 睡眠におよぼす病室環境の影響ー音環境(入眠時におけるブラウンノイズの効果), 日本睡眠学会第 40 回定期学術集会, 2015. 7
  - 32) 権藤尚, 坂田克彦, 矢入幹記, 浜野拓微: 病院の睡眠環境に関する研究ー送風に

- よる温熱環境改善に関する実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，D-2，pp. 337-338，2015. 9
- 33) 澤田裕樹，高砂裕之，坂田克彦，天野和洋，田林紀子，青木隆，後藤英司，彦坂晶子，松村健：LED 光源を用いた省エネルギー型栽培照明設計法の開発，日本生物環境工学会 2015 年大会，2015. 9
- 34) 矢入幹記，田中彩，榎藤尚，坂田克彦：病室の音環境が睡眠におよぼす影響－入眠時におけるブラウンノイズの効果－，日本音響学会 2015 年秋季研究発表会，2015. 9
- 35) 榎藤尚，坂田克彦，矢入幹記，浜野拓微：睡眠環境向上型病室の研究と展開 2，第 44 回日本医療福祉設備学会予稿集，病院設備，Vol. 57，No. 6，p. 157，2015. 10
- 36) 榎藤尚，坂田克彦，矢入幹記，浜野拓微，嶺野あゆみ，中村健治，末光伸行，井上暁，遠藤拓郎，末永和榮：睡眠におよぼす病室環境の影響－高齢者を対象とした送風効果の検証，日本睡眠学会第 41 回定期学術集会，2016. 7
- 37) 榎藤尚，坂田克彦，矢入幹記，浜野拓微，嶺野あゆみ：病院の睡眠環境に関する研究－その 2－高齢者を対象とした送風効果の検証，日本建築学会大会学術講演梗概集，D-2，pp. 399-400，2016. 8
- 38) 菰田英晴，大和田淳，荒井良延，井田卓造，坂田克彦：ZEB に向けた建物ファサードの熱計画手法の検討(その 8) 西面ファサードの熱負荷及びエネルギー性の評価，日本建築学会大会学術講演梗概集，D-2，pp. 1161-1162，2016. 8
- 39) 羽山拓也，加藤正宏，坂田克彦，荒井良延，大和田淳，井田卓造：多孔ブラインドの熱・光環境評価(その 1) 日射特性値・不快グレアの測定およびシミュレーションによる基本性能評価，日本建築学会大会学術講演梗概集，D-2，pp. 1163-1164，2016. 8
- 40) 加藤正宏，羽山拓也，坂田克彦，荒井良延，大和田淳，井田卓造：多孔ブラインドの熱・光環境評価(その 2) まぶしさを考慮した多孔ブラインドの運用方法に関する検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，D-2，pp. 1163-1164，2016. 8
- 41) 榎藤尚，坂田克彦，矢入幹記，嶺野あゆみ：睡眠環境向上型病室の研究と展開 4，第 45 回日本医療福祉設備学会予稿集，病院設備，Vol. 58，No. 6，p. 140，2016. 10
- 42) 坂田克彦，榎藤尚，矢入幹記：睡眠環境向上型病室の研究と展開 5，第 45 回日本医療福祉設備学会予稿集，病院設備，Vol. 58，No. 6，p. 141，2016. 10
- 43) 上村健，合田和弘，坂田克彦：明るさ感簡易予測型照明制御システムの開発（第 1 報）導入建物概要とシステム概要，第 35 回電気設備学会全国大会，2017. 8
- 44) 合田和弘，上村健，坂田克彦：明るさ感簡易予測型照明制御システムの開発（第 2 報）導入による省エネ効果と主観評価，第 35 回電気設備学会全国大会，2017. 8
- 45) 下田聖，渡部裕一，坂田克彦：グリッド天井照明器具配置についての検討事例，第 35 回電気設備学会全国大会，2017. 8

## ■受賞歴

- 1) 第 51 回空気調和・衛生工学会賞技術賞  
弘本真一, 平岡雅哉, 多羅間次郎, 枡川依士夫, 蘓理萌子, 武政祐一, 加藤正宏, 三浦克弘, 坂田克彦, 日沖正行, 高山秀利, 内藤研二, 矢鳴勉, 山岡正明：第 51 回空気調和・衛生工学会賞技術賞／鹿島技術研究所本館研究棟の設備計画, 空気調和・衛生工学, 第 87 巻, pp. 545-550, 2013. 7
- 2) 2017 年度日本建築学会技術部門設計競技優秀賞  
風間健, 柴田作, 田中重良, 原利明, 北川萌奈美, 古賀貴士, 矢入幹記, 三浦克弘, 坂田克彦, 原直美：Inter Scape－五感でつなぐ環境技術－, 2017

## ■学協会活動歴

- 1) 日本建築学会, 環境工学本委員会 光環境運営委員会 省エネルギーと光環境小委員会, 委員, 2013. 4～2015. 3
- 2) 日本建築学会, 環境工学本委員会 光環境運営委員会 視環境設計小委員会 明るさ感 WG, 委員, 2016. 6～
- 3) 日本建築学会, 環境工学本委員会 光環境運営委員会 光環境制御シミュレーション小委員会 光・視環境制御 WG, 委員, 2017. 6～
- 4) 日本建築学会, 環境工学本委員会 光環境運営委員会, 委員, 2017. 6～

## 謝辞

本論文の執筆にあたり，お世話になりましたすべての方々に感謝の意を表します。

東京工業大学教授・中村芳樹先生には，修士課程にはじまり鹿島技術研究所に入社してからの研究期間も含め博士後期課程までの長きにわたり，私の意見を尊重しながら適切なご指導とご支援をいただきました。結論を急がず深く追究する時間をいただき，温かく見守りいただけたことは本当に幸せなことでした。ここに本論文をまとめることができたのは先生のご寛容の賜物であり，心より感謝いたします。

東京工業大学准教授・室町泰徳先生，同准教授・松岡昌志先生，同准教授・那須聖先生，同准教授・浅輪貴史先生には，ご多忙の中，本論文全体を通して詳細に査読していただき，建設的なご意見・ご助言をいただきました。また，同名誉教授・大野隆造先生，同教授・翠川三郎先生，同教授・屋井鉄雄先生，同教授・盛川仁先生には論文発表会および中間発表会において貴重なご意見をいただきました。心より感謝いたします。

東京理科大学名誉教授・武田仁先生，同教授・吉澤望先生には，実験を共同で進めるにあたり多くのご指導をいただきました。武田研究室の皆様には，実験模型の製作，被験者実験のご協力をいただきました。本論文で何度も再分析したわくわくする程の豊富かつ貴重な実験データはまさに宝物でした。皆様に心より感謝いたします。

鹿島建設の戸河里敏博士，近藤純一博士，荒井良延博士，塩谷正樹博士，古賀貴士博士，武政祐一博士，権藤尚博士には，長きにわたって視環境設計の研究に取り組む機会を与えていただき，また，多くの助言をいただきました。目標に向かってじっくり取り組むことができたのは，皆様の支えがあつてこそであり，心より感謝いたします。また，米田浩二氏，杉岡正敏氏をはじめとする設計者の皆様，実地調査にご協力いただきました施主および建物管理者の皆様にお礼申し上げます。

東京工業大学名誉教授・乾正雄先生，東京都市大学教授（当時東京工業大学助手）・小林茂雄先生には，学部および修士課程の在学中，本研究の着想につながる多くのことを教えていただきました。この場を借りてお礼申し上げます。また，乾研究室・中村研究室の諸先輩からは博士後期課程に再入学してから何度も激励をいただきました。中村研究室の学生の皆様には研究室でいつも楽しく迎えていただき，社会人として大学院生を続ける活力となりました。皆様に心より感謝いたします。

また，日本建築学会明るさ感WGの活動の中で委員の皆様と交わした多くの議論は，本論文をまとめる上で大変意義深いものでした。関係の皆様には心より感謝いたします。

最後に，研究を続けるにあたって常に心の支えであった妻と二人の息子，そして両親にこの論文を捧げ，本論文がそれに報いることができればと願います。

2018年1月 坂田 克彦

