

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 31 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25289199

研究課題名(和文)空間の明るさ感評価指標に基づく設計手法の構築と普及促進手法の整備

研究課題名(英文)Development and promulgation of light environment design methods based on space brightness evaluation

研究代表者

吉澤 望(Yoshizawa, Nozomu)

東京理科大学・理工学部・教授

研究者番号：40349832

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 9,500,000円

研究成果の概要(和文)：東日本大震災後、照明はその節電対策において大きな役割を果たしてきたが、本研究ではこれからの省エネルギー照明の継続・普及を目指して、鉛直面方向の光の配分を重視することで視的快適性の担保と省エネの両立を可能とする明るさ感推定モデルの構築を行った。不均一な光環境の場合は室全体の平均輝度のみでは推定が不十分であり、輝度分布に対して鉛直・水平方向でそれぞれ異なる重みづけを施したのちに平均化することで、明るさ感の推定が可能であることを示した。さらに日仏における適切な明るさ感範囲に関する基礎的な知見を得ることができた。また鉛直面の光分布計測ツールを開発したことで、本手法を普及させるための準備を行った。

研究成果の概要(英文)：Development and promulgation of energy-efficient design methods are important today because the energy efficiency of buildings is expected to be further improved. The visual comfort of the indoor environment must also be ensured at the same time. In this study, we developed a new evaluation method of space brightness as the index of visual comfort. For non-uniform light environment, average luminance distribution, weighted by its vertical and horizontal direction respectively, was proved to be efficient for estimating space brightness. To diffuse the evaluation method, we also developed a light distribution measurement tool that uses a commercially available digital single-lens reflex camera.

研究分野：建築光環境

キーワード：空間の明るさ 光環境 輝度分布 光分布計測ツール

1. 研究開始当初の背景

2011年3月の東日本大震災後の電力需給逼迫により、各地で節電対策が進められたが、照明は電力消費量の削減に対して大きな役割を果たしてきた。今後とも節電からの反動を防いで省エネルギー照明を持続させるためには、照明環境の質的要件を満たしながら省エネルギー性を両立させる照明手法の提案が求められる。

(1) 水平面照度の問題について：これまで照明の省エネルギー性を議論する際に、担保されるべき照明環境の質は水平面照度のみで規定されることが多かった。しかしながら、照明環境に不満を持つ場合に最も問題となりやすい空間全体の暗さを解消するには、鉛直方向への光の配分が重要であり、水平面照度基準のみで空間の明るさ感を確保しようとすると、無駄にエネルギーを消費する過剰設計を誘発しやすい。

(2) 明るさ感指標の必要性について：「明るさ感指標」は一つの数値で空間全体の明るさ感を直接規定できる。室内に発散する総光束を押さえて省エネルギー性を達成する場合、鉛直面に配分する割合あるいは内装反射率を高くして明るさ感を確保すれば、水平面照度を現状より下げても、作業性と空間の満足度の両立を図ることが可能である。

(3) 既存の明るさ感指標の問題点について：既存の明るさ感指標には、a.中明度の内装で照明が均一な空間でしか精度の良い推定ができない、b.昼光の扱いに統一された見解が得られていない、c.明るさ感を計測するための簡易で精度の高い測光ツールが提供されていない、等の未解決の問題が残されている。

2. 研究の目的

上記の問題点を受けて、本研究では以下の点を明らかにすることを目的とした。

(1) 明るさ感推定モデルの確立：明るさ感評価軸を既存の明るさ感指標の適用条件を整理し、明るさ感に影響を及ぼす項目（昼光導入の有無・内装反射率等）の抽出を行うと共に、明るさ感評価軸の再検討を行う。平均輝度に加えて、それらの項目を変数に組み込んだ明るさ感推定モデルを構築する。

(2) 室用途・行為ごとの適切明るさ感範囲の導出：室用途や行為ごとに適切な明るさ感範囲を、国内および国外における被験者実験を通して導出する。

(3) 明るさ感計測のための輝度・色度測光ツールと明るさ感計算プログラムの開発：明るさ感計測に必要な輝度分布及び色度分布を精度良く簡易に取得可能とする測光システムと、明るさ感を照明設計段階で予測可能な計算プログラムの開発を行う。

(4) 国際基準化に向けた明るさ感基準の提案：提案する明るさ感推定モデルを現行の基準等に反映させる準備を行うと共に、明るさ感指

標の国際基準化に向けて、文化圏の違いを考慮した明るさ感基準を提案する。

3. 研究の方法

研究計画の基本的な流れを以下に示す。

(1) 想定される照明環境（人工照明／昼光、内装反射率等の組み合わせ）における明るさ感評価を被験者実験にて把握する。

(2) 実験空間における輝度分布及び色度分布を精度良く取得する測光システムを整える。

(3) 被験者実験の評価結果と測光システムより得られた輝度・色度分布から明るさ感推定モデルを構築する。

(4) 明るさ感による設計を実現するために、用途に応じた明るさ感推奨値を被験者実験から把握する。

(5) 提案する明るさ感推定モデルを現行の基準等に反映させる準備を行う。

4. 研究成果

(1) 明るさ感推定モデルの全体像整理

本研究では、まず既存モデルの考え方を再整理することで、モデル構築に必要な要素を定め、次に要素を組み合わせることで、新たな明るさ感評価の暫定モデルを提案した



図1 空間の明るさ感評価モデルの全体像

①モデルの概要：図1に本研究で提案する明るさ感評価モデルの全体像を示す。本モデルは、3+1段階の処理を行うことで、空間の明るさ感推定を行うものである。

②輝度分布取得処理：評価モデルの入力となる鉛直面の光分布には輝度分布を用いることとする。輝度分布の取得においては、明るさ感評価対象とする空間領域との関係を考慮する必要があり、一方向の視野領域の輝度分布取得、または空間全方向の輝度分布取得のいずれかが候補となる。

③輝度値前処理：まず取得した輝度分布から、計算対象とする画素と計算対象外とする画素

を仕分ける外れ値除外を行う。既存モデルにおける光源輝度の除外などがこれに相当する。次に画素の輝度値を、そのまま真数として扱うか、感覚量は刺激量の対数値に比例するとの考え方から対数値に変換して扱うか、あるいはNB値のように明るさを表す値に変換して扱うかを決める必要がある。

④平均化処理：輝度分布情報から空間の明るさ感への変換には、既存モデルに倣い、輝度値に何らかの重みづけを行い平均化することで対応する。重みづけに当たっては、仰角方向(θ_v)の重みづけと、水平角方向(θ_h)の重みづけが考えられる。本研究では仰角方向にのみ重みづけを採用し、式(1)に基づいて平均化を行うモデルを提案する。

$$WL = \int_0^{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} L(\theta_h, \theta_v) \{m + (1-m)\cos^n(\theta_v)\} d\theta_v d\theta_h \quad (1)$$

この式において m 、 n の値を調整することで、仰角に応じた輝度の重みづけを変更することができる。 $m=1$ とすれば、仰角方向に重みづけを行わない式となる。また $m=0$ とすれば、仰角方向に $\cos^n(\theta_v)$ の重みづけ平均を行うこととなる。

⑤補正処理：不均一な光環境における明るさ感は、均一な光環境の明るさ感に補正項を付与することで対応する。補正には加藤ら³⁾が提案している指向拡散度による補正を検討する。指向拡散度は、光分布の偏在を指標化したものである。

⑥明るさ感評価の暫定式：以上の要素の組み合わせから、不均一な環境における明るさ感評価の暫定式を式(2)で提案する。評価対象空間の明るさ感 BL は明るさ感判定の基準条件における重みづけ平均輝度 WL_0 と評価対象の重みづけ平均輝度 WL との比の関数で与えられ、不均一環境による影響は、補正項として指向拡散度の関数として与えられるとした。

$$\log BL = \alpha \log(WL/WL_0) + \beta (d - 1) \quad (2)$$

(2)明るさ感推定モデルの確立

①総光量が異なる場合

図2(左)に示す部屋において、複数の照明器具を設置し、これらの点灯パターンを組み合わせることで、総光量が異なる条件における明るさ感推定モデルについて検討した。図2(右)は室の平均輝度と明るさ感の関係を示したものである。平均輝度の算出は、室中央から室全体の輝度分布を計測し、その平均を求めたものである。ほぼ均一な光分布で総光量が異なる場合は、室全体の平均輝度で良く推定できるといえる。

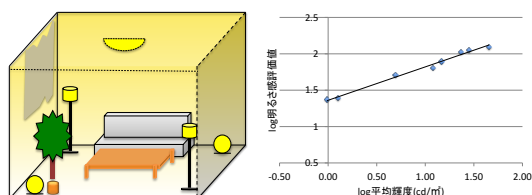


図2 総光量が異なる場合の明るさ感評価実験

②光分布が不均一な場合

図3のように各壁面の光分布に大きな偏りが総じている場合における明るさ感推定モデルについて検討した。これらの条件で総光量はほぼ等しく設定されているが、明るさ感評価が異なることが示された。光分布に大きな偏りがある場合では、室全体の平均輝度のみでは推定が不十分であり、光分布の偏りによる影響を加味する必要がある。光分布の偏りを評価する手法を検討したところ、輝度分布に対して上下(鉛直)方向と左右(水平)方向でそれぞれ異なる重みづけを施したのちに平均化することで、明るさ感の推定が可能であることを示した。

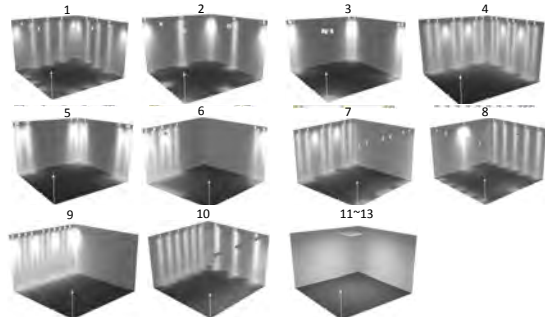


図3 光分布が不均一な場合の明るさ感評価実験

以上の成果から、室全体の輝度分布に基づく明るさ感推定モデルについて、基本的なスキームを示すことができた。

(3)室用途や行為ごとの適切な明るさ感範囲の導出

適切な明るさ感範囲の検討結果の一例を図4に示す。図4はリビング等での雑談を想定した場合における空間の明るさ感の適否を、室全体の平均輝度との関係で示したものである。雑談等に適切な明るさと判断される平均輝度は、日仏とも差がないことが示された。平均輝度が高い条件においては、フランスのほうが「明るすぎる」側に判定する傾向が見られたが、平均輝度が低い条件での「暗すぎる」側の判定には日仏の差が見られないことを示した。

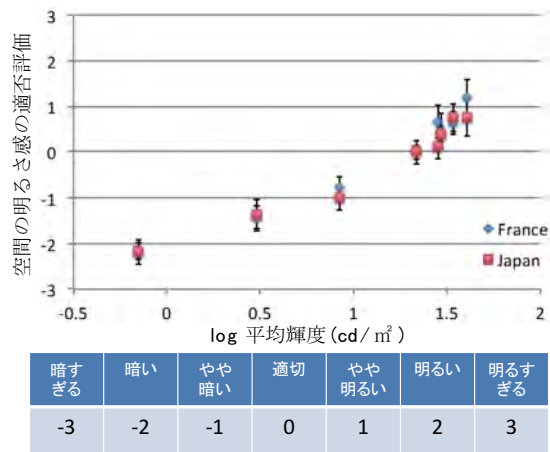


図4 雑談時における空間の明るさ感の適否と平均輝度の関係(日仏比較)

(4)普及促進のための光分布計測ツールの開発

カメラの機種に依存することなく、光分布の計測が可能となるツールの開発にあたっては、任意のカメラに対応可能なカメラ制御プログラム、および画像から光分布(輝度分布、色度分布)へ変換するための校正手法が必要であり、これらの開発を行った。得られた校正データを計測ソフトウェアに読み込むことで、任意のカメラによる視野の光分布(輝度分布、色度分布)の取得が可能となる(図5)。

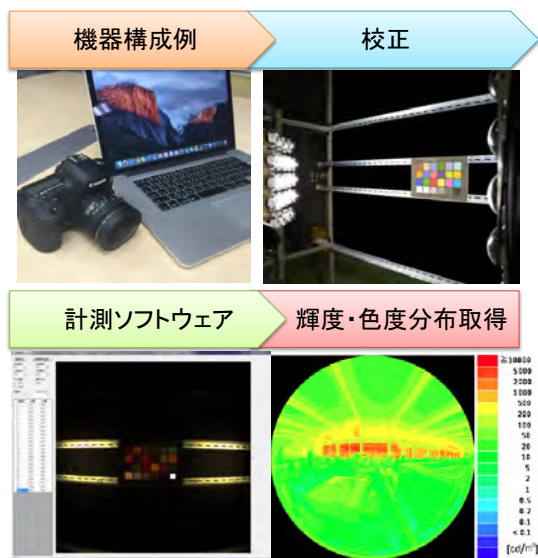


図4 光分布計測ツールの概要

(5)まとめ

以上の成果から、鉛直面の光分布に基づく明るさ感推定モデルの構築と、適切な明るさ感範囲について基本的な知見を得ることができた。また鉛直面の光分布計測ツールを開発したことで、本手法を普及させるための準備が整いつつある。今後は推定モデルの精緻化や、計測ツールの更なる簡易化を行うことで、視的快適性の担保と省エネルギー性の両立を可能とする照明環境の整備手法の開発へと活用する。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

① Kato.M., Aya.K., Yamaguchi.H., Yoshizawa.N., Hara.N., Miki.Y.: EVALUATION METHOD OF SPATIAL BRIGHTNESS BY DIRECTIONAL DIFFUSIVITY AND MEAN LUMINANCE, Proceedings of CIE Lighting Quality and Energy Efficiency Conference, 査読有, 2016.3

② Aya.K., Yoshizawa.N., Yamaguchi.H., Hara.N., Kato.M., Miki.Y.: THE RELATIONSHIP BETWEEN THE BRIGHTNESS OF OVERALL SPACE AND THE BRIGHTNESS IN THE SPECIFIC VISUAL FIELD IN THE NON-UNIFORM ILLUMINATED SPACE, Proceedings of the 28th CIE Session, 査読有, 2015.6

③ Yoshizawa.N., Aya.K., Kato.M., Yamaguchi.H., Hara.N., Miki.Y., Dumortier.D., Jost.S. and Iborra Bernad.M.: A COMPARISON STUDY ON SPATIAL BRIGHTNESS EVALUATION BETWEEN DIFFERENT CULTURAL GROUPS, Proceedings of the 28th CIE Session, 査読有, 2015.6

[学会発表] (計 5 件)

① 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)空間の明るさ感評価モデルの検討, 日本建築学会大会(福岡・福岡市), 2016.8

② 呂秀秀, 安益圭祐, 山口秀樹, 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)不均一な照明環境での空間の明るさ感評価式, 日本建築学会大会(福岡・福岡市), 2016.8

③ 山口秀樹, 林大樹, 高杉敬吾, 伊藤大輔, 加藤未佳, 原直也: 任意のデジタル一眼レフカメラによる輝度・色度分布計測システムの開発, 平成28年度(第49回)照明学会全国大会(東京都・千代田区), 2016.8

④ 安益圭祐, 山口秀樹, 加藤未佳, 原直也, 三木保弘, 吉澤望: 不均一な照明環境における空間の明るさ感, 日本建築学会大会(神奈川県・平塚市), 2015.9

⑤ 安益圭祐, 永松雄大, 山口秀樹, 加藤未佳, 原直也, 三木保弘, 吉澤望: 縮尺の異なる空間における明るさ感の違いに関する検討, 日本建築学会大会(兵庫県・神戸市), 2014.9

[その他]

ホームページ

http://www.kenken.go.jp/japanese/information/information/press/2014/2_3.pdf

6. 研究組織

(1)研究代表者

吉澤 望 (YOSHIZAWA, NOZOMU)
東京理科大学・理工学部・教授
研究者番号: 40349832

(2)研究分担者

原 直也 (HARA, NAOYA)
関西大学・工学部・教授
研究者番号: 00330176

(3)研究分担者

三木 保弘 (MIKI, YASUHIRO)
国立研究開発法人建築研究所・環境研究グループ・主任研究員
研究者番号: 90356014

(4)研究分担者

加藤 未佳 (KATO, MIKA)
金沢工業大学・基礎教育学部・講師
研究者番号: 00409054

(5)研究分担者

山口 秀樹 (YAMAGUCHI, HIDEKI)
国土交通省国土技術政策総合研究所・建築
研究部・主任研究官
研究者番号：60411229

(6)研究分担者

高杉 敬吾 (TAKASUGI, KEIGO)
金沢工業大学・工学部・講師
研究者番号：80710235