

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 30 日現在

機関番号：32660
 研究種目：基盤研究(C)
 研究期間：2010～2012
 課題番号：22560588
 研究課題名（和文） 光源と物体表面の分光特性を考慮した照明計算手法の実用化に向けた
 基礎的検討
 研究課題名（英文） A FUNDAMENTAL STUDY TOWARDS THE UTILIZATION OF COLOUR SIMULATION
 TECHNIQUES IN CONSIDERATION OF SPECTRAL POWER DISTRIBUTIONS
 研究代表者
 吉澤 望 (YOSHIZAWA NOZOMU)
 東京理科大学・理工学部建築学科・准教授
 研究者番号：40349832

研究成果の概要（和文）：建築照明計画の分野では、今後分光情報を加味した光環境・色彩環境
 評価指標の提案が増えていくことが考えられるが、実際の建築・照明設計でそれらを十分に生
 かすためのシミュレーションプログラムの整備が遅れている。本研究では様々なプログラム手
 法の精度を検証するための住宅を対象としたテストケースの提案を行った。実用的な計算コス
 トで正確な色彩計算を実施するための基盤の確立に本研究結果が寄与すると考えている。

研究成果の概要（英文）：In the field of architectural lighting design, indices and guidelines
 using spectral power distributions for the evaluation of colour environment will be much
 more important in future. However, there is not yet enough information about simulation
 programs to calculate them. In this study test cases of houses for the accuracy verification
 of simulation programs were proposed. It will contribute to the establishment of actual
 colour calculation methods with practical calculation-task load.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
22 年度	3,300,000	990,000	4,290,000
23 年度	100,000	30,000	130,000
24 年度	100,000	30,000	130,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学、建築環境・設備

キーワード：建築環境・設備、解析・評価、照明計算

1. 研究開始当初の背景

(1)従来照明計画の分野では、照度や輝度が基本的な指標として使われてきたが、昨今では調色が容易な LED 照明器具や青色防犯灯などが登場し、照明の色が人間に与える影響が改めて注目されるようになってきている。今後は分光情報を加味した光環境評価指標の提案が増えていくことが考えられるが、実際の建築・照明設計でそれらを十分に生かすには、設計段階で正確な分光特性情報や色彩

データを実用的な計算コストで算出可能な手法が必要となる。

(2)従来最も一般的な赤緑青の三原色で色彩計算を行う RGB 計算手法は、実用的な計算手法ではあるが、多数回の反射計算を行った場合に実際の色とは異なった値が算出されることがある。それに対して、波長ごとに分割して計算する手法(以下マルチバンド計算手法と称する)は、光源や反射面の分光特性に

関わらず正確な色再現ができるが、計算時間が膨大である。このような背景から、計算時間を低減しつつ高精度の計算結果を得ることができる色彩計算手法が開発されてきた。例えば、主成分分析により対象に特化した基底を算出し、少ない基底で高精度な色再現を実現する手法や、マルチスペクトル撮影を用いて数バンド程度(6~10)で高い色再現精度を実現する手法などがある。

(3)実務や研究において照明計算手法を使用するためには、その計算精度が保障されていること、あるいは計算誤差の傾向や特性が明らかになっていることが必要不可欠である。照明計算手法の精度検証のための既存のテストケースとしては、CIE (国際照明委員会)のテストケースが挙げられるが、このテストケースは照度・輝度のみを対象としており、分光特性・色彩データにおける精度検証のためのテストケースはまだ検討されていない。

2. 研究の目的

本研究では、光源と物体表面の分光特性を考慮した照明計算手法の実用化に向け、既存の照明計算プログラムを生かした計算手法の確立と、分光特性情報や色彩データの計算精度検証が可能な住宅の室内に特化したテストケースの提案を目的とする。

3. 研究の方法

(1)室内空間の分光データ収集：住宅の室内における精度検証に特化したテストケースを提案するため、住宅の内装に使用される頻度の高い色彩・分光特性データが必要となる。しかし現状では、建築内装材の分光特性は十分にデータベース化されていないため、測定を行う。内装材に関しては、表1に示すように4種類の部材用途(壁・天井、カーテン、床、カーペット)を対象とし、製造元のサンプル見本帳の色見本計3847片を測色の試料に供した。

表1 測定内装材

用途	メーカー	測定数	用途	メーカー	測定数
壁・天井	A社	736	床	A社	197
	B社	498		B社	168
	C社	933	カーペット	A社	182
カーテン	A社	286		B社	276
	B社	571	合計		3847

同時に光源の影響を検討するために、測定光源については、三波長蛍光灯およびLED(いずれも電球型で統一)についてはそれぞれ色温度2700K, 5000K, 6700Kの3種類、白熱電球1種類(2700K)の計7種類を用意した。昼光については、Birdのモデルを用いて法線面直達日射量および水平面拡散日射量の分光分布の計算を行った。太陽高度は10°、20°、

40°、60°の4種類を使用した。測定には分光放射輝度計CS-2000(コニカミノルタ)を使用し、可視光域(380~780nm)の分光分布データを測定した。測定する際に、光源以外の光を通さないように内装を黒一色としたボックスを用意し、その中で測定した。内装材の測定の際は試料を光源に対し45°方向にセットし、白色校正板を用いて校正した後、分光反射率を測定した。人工光源の測定の際は、発光する光源表面の分光放射輝度を直接測定した。

(2)各種色彩計算手法：色彩シミュレーション手法には、計算精度は高いが計算時間が膨大なもの、実用的な計算時間であるが計算結果に大きな誤差が出るもの等、それぞれの長所と短所が存在する。本研究では特徴の異なる4種類の手法を用いてシミュレーションを行う。

①マルチバンド計算手法：波長ごとに分割して色彩を表現する手法で、照明の種類に関わらず、正確な色表現ができるが、可視光域を細かく分割するため、膨大な計算量となり、実用性に劣る場合がある。

②RGB計算手法：赤(Red)、緑(Green)、青(Blue)の3つの原色を混ぜる加法混色をもとに、3次元で色を表現する手法を指し、現在の一般的な照明計算プログラムで採用されている手法である。利点としてはRGB値の設定が感覚的につかみやすい、比較的データが得やすい、実用的な計算時間があげられるが、大きな欠点として多数回反射を行った場合、誤差が蓄積し実際の色とは異なった値が算出されることがある。

③主成分分析縮約モデル計算手法：線形モデルに基づく分光特性計算手法で、主成分分析によって本来の情報をなるべく崩さずに、かつ低次元で表すことができるようになるため、計算量を減らしながら精度の高い結果を得ることができる。この手法では、実用的な計算時間で精度の高い結果を得ることが可能だが、対象に特化した基底はその対象以外には適用できない。本研究では1回反射光を主成分分析にかけ、光源別の基底関数を算出した。

④仮想カメラ計算手法：被写体の分光反射率を数バンドの仮想マルチスペクトルカメラの信号として表し、仮想カメラ信号空間における反射シミュレーションにより実用的な計算量で色彩を表現する手法である。光線経路における反射率の仮想カメラ表現の近似値を、仮想カメラ信号空間での反射シミュレーションにより算出することが出来る。

(3)色彩計算プログラム用のテストケースの提案：既存のテストケースとしては、CIE(国際照明委員会)の照度・輝度計算用のテスト

ケースが挙げられるが、本研究では住宅に特化した色彩計算テストケースを提案する。まず(1)における測定結果から、住宅に使用される頻度が高い内装材を用途ごとに選択する。始めに a^*b^* 色度グラフを 0.5 四方のマスキ目で区切る。1 マスの中は同じ色とみなす。次に 1 マスの中のサンプル数を数える。その結果、壁、床、カーペット、カーテンごとに最も頻度の高いものを抽出し、その組み合わせから 12 種類のテストケースを決定した。さらに全サンプル数に対して、1 マスの中のサンプル数の割合を求めた。選出した内装材が白・茶系統といった無彩色あるいは低彩度なものばかりなので、高彩度なケースとして、光源の演色性評価に用いられる 5 つの色票を使用したテストケースも用意する。なお、この高彩度なケースは、低彩度の住宅用テストケースを基準とした際、仮に高彩度な物体が存在した場合の誤差程度と傾向を確認するためのものである。テストケースの形状は CIE (国際照明委員会) の TC3-33 における間接照明計算用の TEST CASE に倣った。

(4) 実測値とマルチバンド計算値との比較：本研究ではマルチバンド計算手法の結果を正しい値としているが、実空間での測定値には必ず測定機器・方法などに基づく誤差が存在する。したがって、実際の建築・照明設計でそれらを十分に生かすには、実空間測定値とマルチバンド計算値との誤差の傾向や特性が明らかになっていることが必要である。そこで、実空間の測定値と照明計算プログラム Radiance におけるマルチバンド計算値との比較を通して精度検証を行う。

①測定方法：測定には分光放射照度計 CL-500A を使用する。 u^*v^* 色度座標を測定し、シミュレーション結果と比較する。

②測定空間

図 1 に模型空間を示す。この模型はテストケースの 1/10 の大きさである。光源は、模型空間の外部にある積分球によって拡散させ、拡散板を通して模型空間内に導入することにより、完全拡散光の面光源とみなした。光

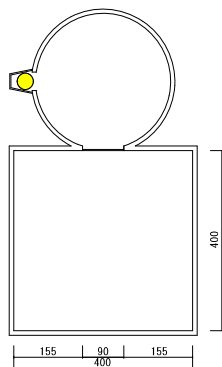


図 1 実空間模型 断面図

源は三波長型蛍光灯(電球色・昼白色・昼光色)と LED(電球色・昼白色・昼光色)の計 6 種類を使用した。

4. 研究成果

(1)内装材の測定結果：図 2 に測定した内装材の a^*b^* 色度プロット図を示す。 $L^*a^*b^*$ 表色系色度図では、明度を L^* 、色相と彩度を示す色度を a^* 、 b^* で表す。数値が大きくなるに従って高彩度となり、中心に近づくに従って、白や黒などの無彩色となる。床材はほとんどが白あるいは茶色系で色のばらつきが小さく、カーペット、壁紙・天井は黄みがかかった白が多いことが分かる。最も色のばらつきが大きいのはカーテンであるが、内装材全体を見ると、白色系統のものが圧倒的に多くなっている。以上より、住宅における室内の色彩は無彩色に近いものが多い。これは 1970 年代の調査結果で建築における色彩の拘束性として報告された結果と一致している。

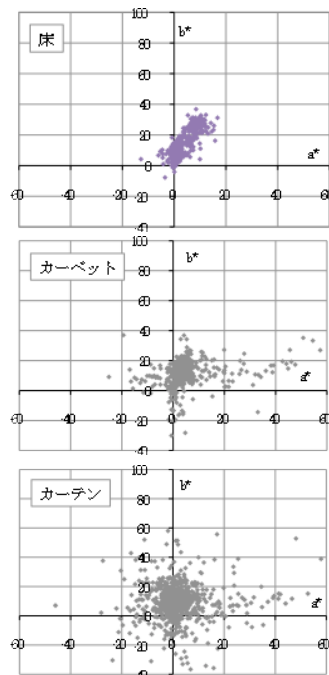


図 2 サンプル a^*b^* 値分布図

(2)テストケースの提案

①形状：図 3 にテストケースの形状を示す。床面 1 面 (青) は床材およびカーペットを、壁面 1 面 (茶) はカーテンを想定し、残り 4

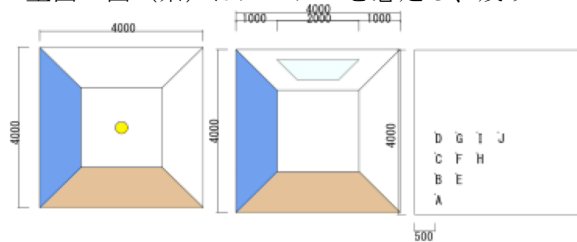


図 3 テストケース形状

左：人工光源用 中：昼光用 右：測定点

面を天井・壁として同一の内装材を用いる。
 ②テストケースの提案：図4に選出した内装材の分光特性を示す。さらにテストケースとして床2種類・カーペット4種類・カーテン2種類・壁1種類の組み合わせから表2に示す12パターンを作成した。

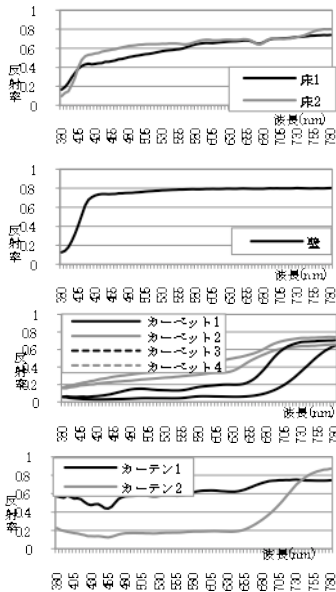


図4 内装材分光特性 (テストケース用)

表2 テストケース番号一覧

テストケース番号	床・カーペット	カーテン
テストケース 1	床 1	カーテン 1
テストケース 2	床 1	カーテン 2
テストケース 3	床 2	カーテン 1
テストケース 4	床 2	カーテン 2
テストケース 5	カーペット 1	カーテン 1
テストケース 6	カーペット 1	カーテン 2
テストケース 7	カーペット 2	カーテン 1
テストケース 8	カーペット 2	カーテン 2
テストケース 9	カーペット 3	カーテン 1
テストケース 10	カーペット 3	カーテン 2
テストケース 11	カーペット 4	カーテン 1
テストケース 12	カーペット 4	カーテン 2

③テストケースの検証：各計算手法による計算結果を、 $u'v'$ 色度図およびマルチバンド計算手法との色度差 $\Delta E_{u'v'}$ で記したものを図5に示す。この結果から、各計算手法によって生じる誤差の傾向を見ることができる。RGB計算では、 v' 座標が小さくなる方向、つまり、より青みがかった色が算出される傾向がある。また、主成分分析縮約モデル計算では、 60° 直射光を除き、 u' 座標が小さくなり、緑がかった色が算出される。仮想カメラ計算手法は高精度だが、わずかに v' 座標が大きくなり、わずかに黄みがかった色が算出される。また、全ての計算手法において、色温度が高くなるにつれて誤差が大きくなる。この結果は全てのテストケースにおいて共通している。今回は住宅室内に高頻度で使用される内装材でテストケースを作成したため、住宅室

内の色彩は本テストケースとほぼ同等になることが多いと考えられる。そのため一般的な住宅室内において色彩計算を行った場合、計算結果が大きく変わることはないことが予想される。12個のテストケースのいずれを選択しても共通した傾向が見られるため、選出された内装材のマス目周辺がより密度が高くなっている内装材の組み合わせとして、テストケース3を【代表的テストケース】として選択した。

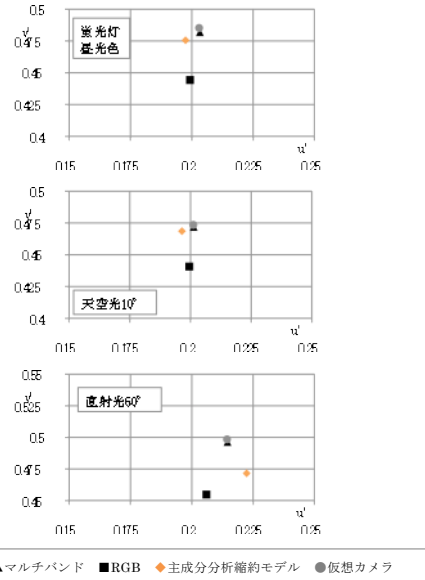


図5 住宅用テストケース：各手法による計算結果

(3) 実測値とマルチバンド計算値の比較：マルチバンド計算手法と実測値の色度差 $\Delta E_{u'v'}$ と $u'v'$ 色度座標を図6に示す。また、マルチバンド計算手法の精度も同時に検証するため、理論値も併せて記す。

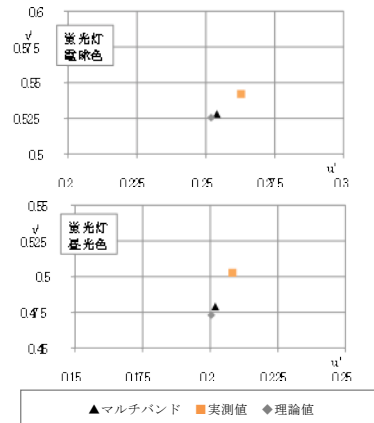


図6 実測値との比較【代表的テストケース3】

(4) まとめ：本研究では、住宅に特化した色彩計算の精度検証のためのテストケースの提案を行った。精度検証においては、マルチバンド計算手法を基準として、RGB計算手法、仮想カメラ計算手法、主成分分析縮約モデル

計算手法の3種類の計算手法との誤差の傾向を検証した。住宅室内を想定したテストケースでは、いずれの計算手法もほぼ全ての光源において共通した傾向が見られ、また誤差の程度は光源によって異なるが、同一の光源ならばテストケースによる差異はほとんど見られなかった。この結果から、一般的な住宅室内において色彩計算を行った場合に計算結果が大きく変わることはないことが予想され、住宅室内の色彩計算をする際の精度検証は、本研究で提案したテストケースで十分だと言えるであろう。また、低彩度な空間を基準とした住宅室内に高彩度の物体が置かれた場合の、各計算手法ごとの誤差の程度と傾向をつかむために、高彩度なテストケースの検証も併せて行った。

なお本研究ではマルチバンド計算手法の結果を正しい値としているが、現実空間での測定値には必ず誤差が生じるため、実測値とマルチバンド計算値との誤差の程度や傾向を検証した。シンプルなモデルで校正済みの測定器を用いて実測を行っても、基準となるマルチバンド計算手法および理論値とは若干の誤差が生じることは事前に織り込む必要がある。

本研究での検討は住宅室内を想定した低彩度のモデルを中心に行ったが、高彩度な空間では内装材の分光特性ごとに各計算手法による色彩計算結果が大きく異なることが予想される。今後、住宅以外の商業空間等を扱うためには、高彩度な面の影響により留意していく必要があるだろう。

なお本研究成果は、現在(2013年5月)日本建築学会技術報告集への投稿に向けて準備中である。

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0件)

〔学会発表〕(計0件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉澤 望 (YOSHIZAWA NOZOMU)

東京理科大学・理工学部建築学科・准教授
研究者番号：40349832

(2) 研究分担者

一ノ瀬 雅之 (ICHINOSE MASAYUKI)

首都大学東京・都市環境学部・助教
研究者番号：00408709