

(53) 防犯灯シミュレーションのための 実測に基づいたモデル化手法

安室喜弘¹・浦中勇佑²

¹正会員 博（工） 関西大学環境都市工学部都市システム工学科（〒 564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35）

E-mail: yasumuro@kansai-u.ac.jp

²学士 関西大学環境都市工学部都市システム工学科（〒 564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35）

近年の犯罪予防の意識の高まりから、各自治体では、必要などころに防犯灯設置する一方、節電対策の意味から、必要以上の設置を避けるという考え方が主流であり、LED などの低コストな照明の導入も含めて、防犯灯設置の見直す動きが見られる。しかし、そのバランスを図る上で必要となる既設照明と新設照明との比較や相乗効果の定量的な推定は容易ではない。本研究では設置基準、照度基準に基づき、 unnecessary 防犯灯の確認や撤去、新たに防犯灯を設置する際に、他の屋外照明の影響を考慮し 3DCG シミュレーションが行えるよう、歩行者の視認性も含め現実世界の照明環境を仮想世界で再現するための、実測に基づいた簡便な照明モデリング手法を提案し、その効果について報告する。

Key Words: Streetlight, Illuminance, CG, Simulation, HDR(high-dynamic range) Imaging

1. はじめに

(1) 背景

街灯には設置目的によって様々な種類があり、設置・維持管理も地域によって様々である。防犯灯は通学路や生活道路での犯罪防止のために設置されており、主に蛍光灯や水銀灯が使用され、設置・維持管理は自治会、町内会、防犯管理団体などが行っている。自治体や町内会は、安全な街を実現することを最優先に考え、防犯灯を増設していった。現在では、膨大な量の屋外照明により、夜間に漆黒の闇に包まれるという居住地域はほとんどなくなったが、同時に別の問題が生じている。地域によっては設置間隔のアンバランスが生じ、他の屋外照明との重複による過剰な明るさが「光害」を招いている。そこで自治会や町内会は、犯罪予防のために必要などころには設置しつつ、必要以上の設置を避けるという考え方へ転換を行い、また LED などの低コストな照明技術の導入も含めて、防犯灯設置の見直しを図っている¹⁾。防犯灯の推奨基準では、「4m 先の歩行者の見え方」という基準で照度が規定されている。特に、生活道路としての重要性・歩行者の量などを勘案し、明るさの基準を「クラス A」と「クラス B」に分類している。クラス A の方が高い照度基準となっている²⁾。

A, B どちらかのクラスの照度レベルを採用するかは、その道路の交通上や防犯上の重要性、歩行者・交通量の多少あるいは周辺環境の明るさ、照明にかけられるコストなど、個々の状況によって照明の設置者が

適宜選択することになる。

(2) 関連研究

宇田らは背景画像と光源画像の色温度差操作によって、野外照明器の輝き（グレア）効果や演色効果、光環境変化を可視化する簡易型照明シミュレーションの方法を提案している³⁾。角館は対象街路に防犯灯・既存の照明（門灯・玄関灯）・ボイドに配置した照明を用いて、街路照明の有効性を検討するために模型によるシミュレーション方法を提案している⁴⁾。

これらの研究では 2 次元画像に対する操作技術であったり、物理的な模型を要する検証方法であるため、3 次元空間での、防犯灯の配光特性に基づいたシミュレーションを計算機上で行えるようになることが望ましい。本研究では設置基準、照度基準に基づき、 unnecessary 防犯灯の確認や撤去、新たに防犯灯を設置する際に、他の屋外照明の影響を考慮し 3DCG シミュレーションが行えるよう、歩行者の視認性も含め現実世界の照明環境を仮想世界で再現することを目的とする。

2. 提案手法

(1) 概要

本研究では現実世界を照明、地物、人物の 3 要素に分けてそれぞれのモデル化を行う。まず、照明として防犯灯、道路街路灯などの屋外照明の光がある。その光はデジタルカメラによる配光計測を行う。撮影された

画像から絶対的な輝度情報を異なる角度で取得し、その情報を基に IES 規格のデータファイルを作成し、照明モデルとして活用する。また、撮像画像は照明の外観のモデルにも利用できる。次に、地物として壁や地面、建物、照明器具等の形状や位置関係がある。これは TOF (Time Of Flight) 方式を用いた広範囲計測可能な 3D レーザースキャナを用いて 3 次元形状計測を行い、形状モデルを作成する。さらに、照明下の歩行者や自転車等の視認性を確認するために、単眼 RGB-D カメラを用いて人物の形状計測を行い、通行時の人物モデルを作成する。最後に、これらを 3 次元空間に配置した CG のレンダリングを行い、明度や視認性のシミュレーションを行う。

(2) IES データを用いた照明モデル

現実世界における照明環境を計算機での仮想世界で再現するには、実在する照明器具の照明効果を数値的に再現する必要がある。本研究では、照明器具の照明特性を記述する規格として IES (Illuminating Engineering Society) を採用する。これは照明器具の光の指向性や発光強度を表す配光の記録フォーマットであり、照明製品の仕様として使われる。また、多くの 3DCG ソフトでも利用でき、煩雑なライティング設定をすることなく、照明器具の特徴を CG で再現することができる。

通常、IES ファイルは、配置角度が制御できる専用の光学センサを備えた暗室で取得され、カンデラ値 (光度) と、その照射方向に対応する鉛直角、水平角の値により配光特性が記録される。本研究では、露光条件を設定できるデジタルカメラで複数個所から光源を撮影し、HDR (High Dynamic Range) 画像技術で得られる絶対輝度情報を用いれば、実在する稼働中の照明器具の配光特性を IES ファイルとして、簡便に取得できると考えた。

(3) 輝度情報の取得

HDR 画像を作成する際、撮影した風景の絶対的な輝度情報が必要となる。人の視覚に入射する光量は瞳孔によって調節されるが、カメラに入射する露出量は絞り値とシャッター速度、ISO 感度の 3 つのパラメータで制御される。本研究ではこのパラメータを利用した方法で絶対的な輝度情報を取得する。まず、露出を変えた複数枚の画像それぞれの露出量 (絞り値 F 、シャッター速度 $T(sec)$ 、ISO 感度 S) を取得し、それぞれの絶対輝度 $B(cd/m^2)$ を算出する。絶対輝度の計算には日本工業規格のデジタルカメラ用画像フォーマット規格として用いられている APEX 規格に基づく計算方法で輝度値を取得する⁶⁾。

画像の露出量は、絞り値 F 、シャッター速度 $T(sec)$ 、

ISO 感度 S の各要素で決定されるが、単位系が統一されていない。例えばシャッター速度は単位が「時間」であり、絞り値は「焦点距離÷口径」からなる「寸法比」である。これを、同じ尺度で考えられるようにした単位系として「APEX 値」というものがある。各要素を APEX 表現したものが表-1 である⁵⁾。APEX 値への変

表-1 APEX 表現

絞り値 F	AV (Aperture Value)
シャッター速度 $T(sec)$	TV (Shutter Speed Value)
ISO 感度 S	SV (Film Speed Value)
絶対輝度値 $B(cd/m^2)$	BV (Brightness Value)

換方法は式 (1)-(4) である。

$$AV = 2 \log_2 F \quad (1)$$

$$TV = -\log_2 T \quad (2)$$

$$SV = \log_2 \frac{S}{3.125} \quad (3)$$

$$BV = \log_2 \frac{B}{3.42} \quad (4)$$

適正露出における被写体の輝度 (BV) と (AV)、(TV)、(SV) の関係は式 (5) のようになる。

$$BV = AV + TV - SV \quad (5)$$

式 (1) を式 (4) に代入すると、式 (5) のようになる。

$$\log_2 \frac{B}{3.42} = 2 \log_2 F - \log_2 T - \log_2 \frac{S}{3.125} \quad (6)$$

式 (6) は式 (7) に変換してプログラムで実装する。

$$B = \frac{(F^2 \times 3.125 \times 3.42)}{T \times S} \quad (7)$$

a) 3D レーザースキャナによる形状モデル

地物の 3 次元形状計測には、TOF 方式の 3D レーザースキャナを使用する。TOF 方式は照射したレーザー光が対象物との間を往復する時間の測定による測距方式であり、レーザーを走査することにより広範囲の 3 次元計測が可能のため、屋外の 3D モデル化に有効である。校正済みのデジタルカメラを搭載したレーザースキャナでは、カラー情報とスキャンデータとを組み合わせることが可能である。計測結果として、3 次元座標とカラー情報をもった点群として形状データを得ることができる。

b) RGB-D カメラによる人物の挙動と形状モデル

人物の 3 次元計測には、RGB-D カメラを使用して作成する。RGB-D カメラは、パターン光投影とカメラ撮像による三角測量に基づいており、カラー情報も取得する。近距離の被写体を対象にリアルタイムに形状計測ができるので、フリーハンドで動かしながら、人

物の3次元スキャンを行い、歩行姿勢での形状モデルを作成する。

3. 実験

(1) IES データファイルを用いた照明モデルの作成

既存の屋外照明は固定されているので、移動しながら撮影するカメラとの位置関係から角度を算出し、異なる角度での照明強度を計測した。また、今回は照明形状（長方形平面）の対称性を考慮して、図-1のように0度と90度の水平角方向で行い、図-2に示す配光特性を得た。

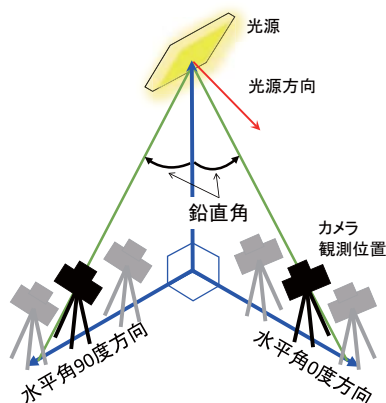


図-1 カメラの移動

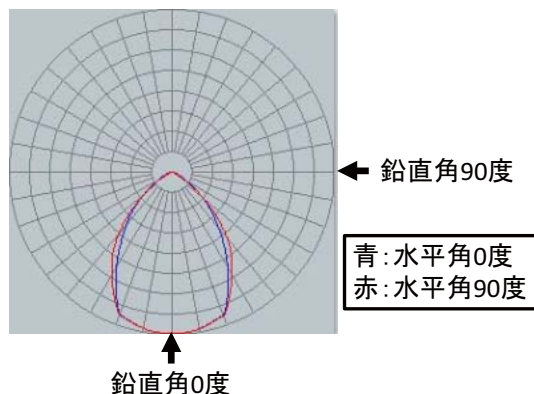


図-2 屋外照明の配光曲線

(2) 3次元形状計測を用いた地物、人物のモデル化

配光計測を行った照明の付近に存在する地物（壁や地面、木、建物、照明器具等）の形状や位置関係を3Dレーザースキャナを用いて3次元形状計測を行い、3次元点群からポリゴンを作成し、日中に撮影した色情報を付与した地物の形状モデル（図-3）を作成した。

人物はRGB-DカメラとしてKinect(Microsoft社製)を用いて計測を行った。Kinectによって人の歩容や立ち姿、自転車などあらゆる人物を簡便に3次元スキャンを行うことが可能である。人の立ち姿の3次元スキャンを行い、モデルを作成した。例を図-4に示す。



図-3 地物モデル



図-4 人物モデル

(3) 3DCG シミュレーション

作成した照明モデル、地物・人物モデルをレンダリングし、シミュレーションを行う。シミュレーション内容としてはまず、現実世界で本来なら照明がない暗い場所の撮影を行う。そして仮想世界ではその場所に照明を設置し、現実世界で撮影したときと同じカメラ設定でレンダリングを行い比較をする。レンダリングソフトには、Maxwell Render (Next Limit Technologies)を用いる。図-5に対象現場を撮影した写真を示す。図-6は、現状を再現したものと（左図）と照明を増設した場合（右図）のシミュレーション結果である。現場を撮影したカメラと同等の露光設定でレンダリングすることで、異なる照明下での人物の視認性が再現され、直感的に比較できることが確認できた。

(4) 定量的な評価

本研究では、使用されている既設の照明設備に対する実測によるため、モデルとして得た配光曲線の真値を確認することが難しい。ここでは、地表での照度も実測し、レンダリングされた地表部分の照度と比較を行った。反射率90の標準反射板CG-1 2in1 White Balance & Gray Card (JJC社製)を図-7に示すように、地表に設置し、1眼レフカメラにて撮影した。CGレンダリングは、実測時の1眼レフカメラと同様の感度と露光



図-5 昼間（左）と夜（右）の現場写真



図-6 シミュレーション結果：現状再現 (左) と増設予想 (右)

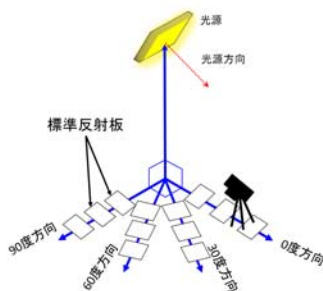


図-7 地表での照度検証

設定にして行い、反射板モデルとして表面が完全拡散反射面で RGB それぞれ 255 に 0.9 を乗じたカラーの数値もつものとして、実環境と同様に配置して行なった結果を図-8、図-9 に示す。いずれの方向においても距離に対する反射光の強度分布が実測と CG とで類似しており、防犯灯の照度基準に照らし合わせて有効な照度範囲を検証する手段として当モデルが利用できるものと考え。一方、2m 付近で CG での輝度が実測より高い値となっている。これはカメラの露光設定自由度が限られていることにより、高輝度部分で絞りが不足し測光誤差が出ている可能性が考えられる。ただし、この部分は照明のほぼ正面でもっとも明るく、地面との距離も近い範囲であることから、防犯灯の設置間隔等を検討する上でのシミュレーションとしては大きな問題にはならないと推測される。

4. おわりに

本研究では、歩行者の視認性も含めた現実世界の照明環境を仮想世界で再現する手法を提案した。現実環境を照明、地物、人物の 3 要素に分けそれぞれをモデ

輝度の広がり(現実世界)

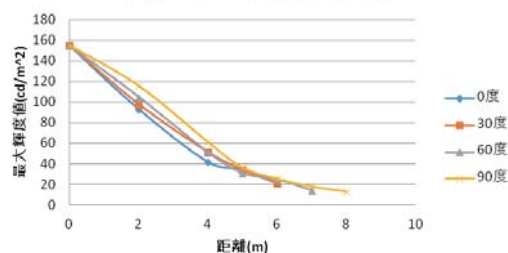


図-8 実環境での照度分布

輝度の広がり(仮想世界)

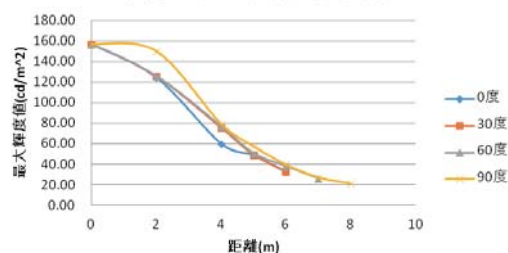


図-9 CG レンダリングによる照度分布

ル化することで、3次元空間での、防犯灯の配光特性に基づいたシミュレーションが可能となった。人の肌の反射率や天候による光の減衰、ヒトの視覚特性⁶⁾などを考慮したモデリングが今後の課題として挙げられる。

謝辞： 本研究の一部は独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 (24510239) の助成による。

参考文献

- 1) 防犯灯のあり方について 検討会からの提案, 横浜市防犯灯のあり方検討会 <http://www.city.yokohama.lg.jp/shimin/bouhan/settijigyoku/arikata/image/houkokusyo.pdf> (2014.7.29 入手)
- 2) 日本防犯設備協会「技術標準 SES E 1901」
- 3) 宇田他, 色温度を用いた光源画像の輝き表現に関する研究: 野外照明設計のための簡易型照明シミュレーション, 信学技法, MVE, 111(235), pp.49-50, 2011.
- 4) 角館, 街路空間における防犯性・安全性を高めるための照明環境に関する研究, 照明学会誌 93(8B), 648, 2009.
- 5) Breath of Aqua 「露出単位と APEX 値」 <http://reflex.matrix.jp/boa/photo/photo107.htm> (2014.7.29 入手)
- 6) 平井経太, 中口俊哉, 津村徳道, 三宅洋一, 視覚モデルに基づいた高ダイナミックレンジ動画像の見え再現, 信学論誌 A Vol.J89-A No11 pp.922-931, 2006.