

## スマートフォン搭載照度センサの集合知による歩道属性情報生成システムの開発

Development of a Secure Sidewalk Information System  
with Collective Light Sensor of Smartphones松田 裕貴<sup>†</sup>  
Yuki Matsuda新井 イスマイル<sup>†</sup>  
Ismail Arai

## 1 はじめに

近年、GPS や加速度センサ、照度センサなど、多種のセンサを搭載したスマートフォンの普及により、歩行者向けナビゲーションの需要が高まっている。従来のカーナビゲーションでは、車線数や道路混雑状況など、目的地への到達速度を重視した情報の提供が中心であるが、加えて歩行者ナビゲーションにおいては、夜道の明るさなど、安心・安全面に配慮した情報の提供が課題となる。現在、夜道の照度情報をマッピングした地図の製作は、多くの自治体や地域団体でおこなわれているが、測定にコンピュータ機器などの大掛かりな装置が必要であるなどの問題点がある。

本研究では、測定に市販スマートフォンの照度センサを利用することによって、前述の問題点を解決する。街灯照度データをスマートフォンに搭載されている照度センサを用いて収集し、2章に詳述する照度基準を満たすかどうかを判定することによって、夜道の照度情報を地図に付加するシステムの開発をおこなう。従来の照度計を用いた街灯照度の測定は、日本工業規格（以下 JIS）の定める照度測定法<sup>[1]</sup>に基づいて行われるが、スマートフォン照度センサを用いた街灯照度データ収集では、スマートフォンのセンサの精度が低い、ユーザが端末を保持する角度が一定でない、歩きながら測定が行われるなどの問題点から、そのままのデータでは安全性判定をおこなうことができない。スマートフォンでの測定値を安全性判定に用いるためには日本工業規格の定める測定法に基づいた測定結果との対応付けをおこなう必要が生じる。これらの詳細については、3章で述べる。

本稿では、歩行者がスマートフォンによって測定した結果（歩行時照度モデル）と、照度計による実際の照度データの関係性について調査をおこない、強い相関を示すデータが存在することを確認した（詳細は 3.3 節で述べる）。

表 1 防犯灯の照度基準

クラス	A	B
平均水平面照度 [lx]	5 以上	3 以上
最小鉛直面照度 [lx]	1 以上	0.5 以上
照明効果	顔の概要が識別できる	拳動・姿勢がわかる

歩行時照度モデルから得られる情報のうち強い相関関係を持つ「最大照度」「照射範囲」の 2 要素を用いた、安全性判定手法を 4 章にて提案する。

## 2 照度基準

夜道の安全性を判定する手法としては、道路面をメッシュ分割し、各地点における照度値が安全基準を満たしているかどうかを判定するもの<sup>[2]</sup>が挙げられる。しかし、この手法は手間・コスト面などから網羅的におこなうことが困難であるため、メッシュ内の平均照度と道路の安全性の関連性を導くに至っていない。各自治体の定める街灯の設置基準の多くは、上記の手間・コストの現実性を考慮して、ある照度基準を満たす街灯を規定間隔で設置するというものとなっている。このことから、本研究では実際の街灯設置基準に沿う安全性判定手法として、街灯直下の照度値から街灯が準拠している安全基準を割出し、街灯周囲の安全な範囲を推定する手法を提案する。この安全性判定の指標となる基準として、JIS 道路照明基準<sup>[3]</sup>に基づき日本防犯設備協会が定める技術標準<sup>[4]</sup>を用いる。

住宅地域における防犯灯の照度基準を表 1 に示す。平均水平面照度とは歩道の路面上（0 [m]）の平均照度であり、鉛直面照度とは歩道の中心線上で、路面より 1.5 [m] の高さにおける道路軸に対して直角な鉛直面の最小照度を示す。また、照明の効果とは、4 [m] 先にいる人の情報をどれだけ得られるかを示している。

なお、本研究では各街灯におけるクラス判定およびその街灯の明るさの及ぶ範囲（0 [lx] となるまでの範囲）の

<sup>†</sup> 明石工業高等専門学校 電気情報工学科  
Department of Electrical and Computer Engineering,  
Akashi National College of Technology

表2 使用機器一覧

	スマートフォン端末	照度計
製品名	Galaxy Nexus	データロガー照度計
型番	GT-I9250	LX-28SD
メーカー	サムスン電子	株式会社 佐藤商事
測定範囲	4 [lx] 以上	0~1999 [lx]
精度	—	±(4%+2dgt)
分解能	—	1 [lx]

データを集合的にマイニングする。また、照度基準のクラス判定をおこなうためにはスマートフォン照度センサと照度計の相関関係を知る必要があるため、3章においてこれらの関係について述べる。

### 3 照度センサ

本研究において、測定に用いる機器を表2に示す。照度基準によって安全性を判定するにあたり、平均水平面照度（路面の照度）を得る必要があるが、使用する照度計の分解能と精度から、路面での照度値には約2 [lx] の誤差が生じると考えられる。そのため、本稿では減衰がまだ弱く、十分な精度で照度が計測できる地上約1.5 [m] における平均照度（以降、街灯直下平均照度）を測定し、平均水平面照度の推測をおこなうこととする。照度計の特性については3.1節、スマートフォン照度センサ特有の特性については3.2節、照度計・スマートフォン照度センサの関連性については3.3節で詳述する。

#### 3.1 照度の特性

照度は単位面積あたりに入射する光束量であるため、光源からの距離の2乗に反比例する「距離の逆2乗特性」と、受光面に入射する光の入射角の余弦に比例する「斜入射光特性」をもつ。この2特性を用いて、光源から角度 $\theta$ 方向の受光面上の照度は、直下照度の余弦( $\cos\theta$ )の4乗に比例する「余弦4乗特性」を得ることができる。つまり、図1に示すように、光源との角度の増加に伴い照度は急激に減少する。

#### 3.2 スマートフォン搭載照度センサの特性

一般に普及している照度計は、前述の照度特性を考慮した構造となっていることが多い。例えば、図2のように受光面を半球状にして前後左右180 [°] の角度の変化に対応する照度計がある。これに対し、スマートフォン搭載の照度センサは、受光面が平面状となっているのがほとんどである。つまり、スマートフォンを用いて照度測定をお

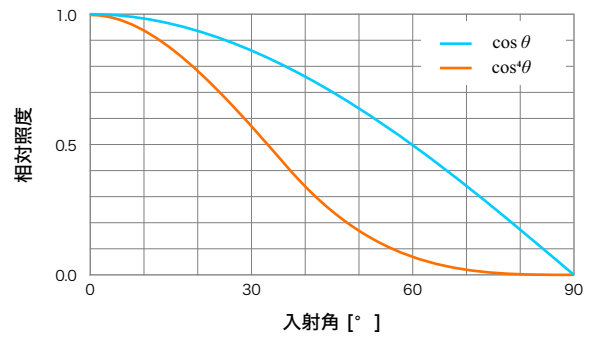


図1 余弦4乗特性



図2 照度計受光部の形状

こなう際には、3.1節で述べた「余弦4乗特性」の影響を考慮しなければならない。また、照度計を用いて測定をおこなう際には、JIS照度測定法に従うが、スマートフォンを用いる場合、多くの歩行者は受光面が傾いた状態で保持する可能性を考慮しなければならない。

図3は、実際にスマートフォンを持ち、街灯の前後を通過した際の照度の変化（以下歩行時照度モデル）を示している。街灯手前での照度値に注目すると、変化が現れないことがわかる。これは、歩行者が画面の見える方向に端末を傾け、受光面が進行方向手前に傾くためである。同条件により、照度値が最大になる場所は街灯が設置されている地点ではなく、受光面と光源とが直角になる場所付近、つまり街灯直下よりも進行方向奥の地点となることがわかる。また、最大値を迎えた照度値は、おおよそ「距離の逆2乗特性」や「余弦4乗特性」に従い減衰する。

しかし、このような歩行時照度モデルは、測定環境に影響されやすいことがわかっている。たとえば、歩行者が街灯直下を通過することを考えた場合、照度が十分減衰するより先に歩行者の影に入ってしまうと考えられる。影の影響を受ける場合の歩行時照度モデルを図4に示す。前述のとおり、歩行時照度モデルは破線で示す変化をとると推測できるが、この場合では影によって受光部が遮蔽され、照射範囲（街灯直下から減衰最終点間の範囲を示す）が正しく得られていないことがわかる。

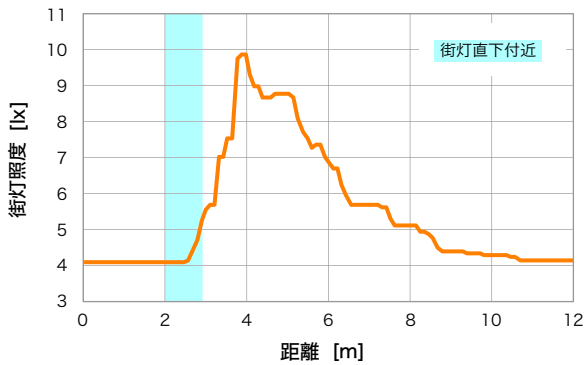


図3 歩行時照度モデル

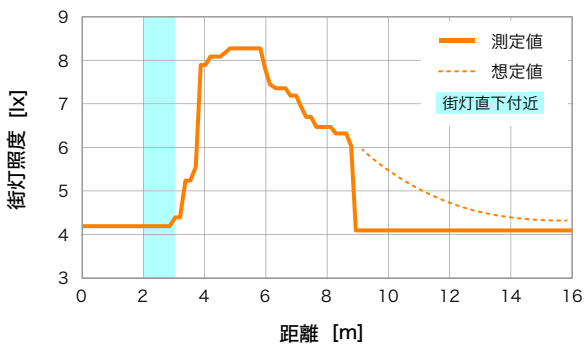


図4 影の影響を含む歩行時照度モデル

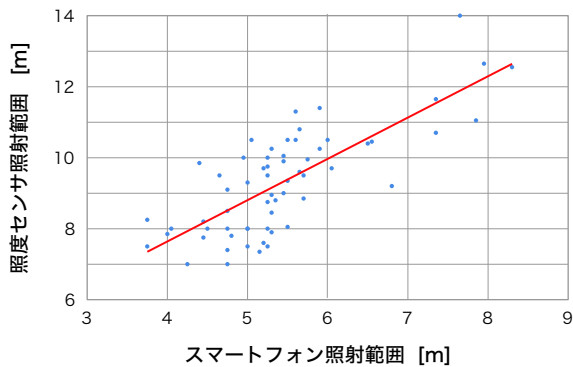


図5 照射範囲相関関係

### 3.3 歩行時照度モデルと照度計測定値の相関性

スマートフォンによる測定で得られた歩行時照度モデルと照度計による諸測定値の相関性についても述べる。なお、使用するスマートフォンの測定可能範囲から 4 [lx] 以下を示す街灯については調査の対象外とした。

図5に照射範囲の関係、図6に照度値の関係を示す(標本数は62)。図6の縦軸の街灯直下平均照度  $E_f$  については、3章冒頭と同様に地上約 1.5[m] での照度とする。これらの関係について、自由度 60、有意水準 0.01% として無相関検定を行ったところ、照射範囲の標本相関係数は約 0.77、照度値の標本相関係数は約 0.97 となり、相関係数の限界値 0.325 以上となっていることから、相関関係があることがわかる。

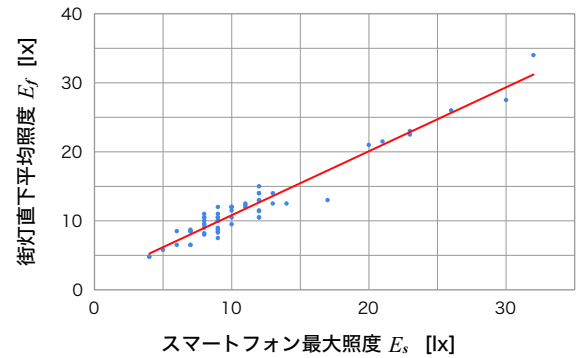


図6 照度値相関関係

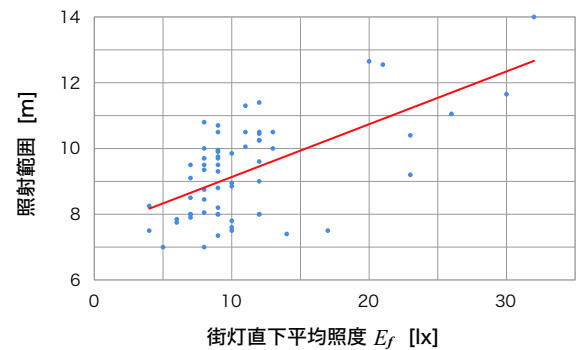


図7 照射範囲・照度値相関関係

また、図7に示す照射範囲・照度値の関係についても同様の無相関検定をおこなうことで、相関関係であることを得た。しかし、この関係の標本相関係数は 0.61 であるため、前述の2要素と比較すると相関が弱いと考えられる。

## 4 スマートフォンによる街灯照度解析手法

### 4.1 概要

3.3節で述べたように、照射範囲・照度値の相関が比較的弱いことから、どちらか1つの要素から夜道の安全性を判定するのは難しいと考えられる。

本稿では、最大照度となった地点での端末の角度を用いた、実際の電柱直下の地点推定をおこない、その地点で構築される歩行時照度モデルから得られた「最大照度」「照射範囲」の2要素から、電柱周辺の安全性を判定する手法を提案する。

### 4.2 安全性判定手法

夜道の安全性判定は、各街灯地点での「街灯直下平均照度」と「照射範囲」を歩行時照度モデルから得ることによっておこなう。

街灯直下平均照度  $E_f$  は、3.3節で述べた通り、スマートフォン最大照度  $E_s$  と強い相関を持つ。これにより、歩行時照度モデルの値から容易に街灯直下 1.5 [m] の高さ

表3 街灯直下平均照度 - 照度基準対応

クラス	街灯直下平均照度 [lx]
A	10.8 以上
B	6.5 ~ 10.8
不安全	6.5 以下

での照度を得ることが可能である。また、表1に示す、各クラスにおける平均水平面照度  $E_0$  から路面より 1.5 [m] の高さでの満たすべき平均水平照度  $E_{1.5}$  を式1を用いて求めることができる。ただし、光源高は全標本の平均値 (4.7 [m]) を用いることとする。

$$E_{1.5} = \left( \frac{4.7}{4.7 - 1.5} \right)^2 \times E_0 \quad (1)$$

街灯直下平均照度と各クラスの対応を、表3に示す。

照射範囲についても、同じようにスマートフォン照射範囲と相関を持つため、その地点での街灯が、周囲のどのくらいの範囲まで明るさを保持できるかを推測することが可能である。

### 4.3 電柱直下地点の推定手法

3.2節で述べた通り、歩行時照度モデルにおいて最大照度となる地点は実際の電柱の位置とは異なる位置となっているため、電柱直下地点の推定をおこなう必要がある。

図8は、歩行時照度モデルが最大照度となった時点での位置関係を示したものである。端末の角度  $\theta_s$  については、スマートフォン搭載加速度センサおよび地磁気センサを用いることで求めることが可能である。さらに、最大照度時の街灯との角度  $\theta_l$ 、照明高  $h_l$ 、センサ高  $h_s$ 、スマートフォン最大照度  $E_s$ 、高さ  $h_s$  における街灯直下照度  $E_h$ 、前述の街灯直下平均照度  $E_f$  を用いると、式2に示す関係式を導くことができる。また、式3、4に示す関係式を用い、 $\theta_l$ 、 $E_h$  を導くことができる。これらの関係式により最大照度距離  $x_{\max}$  を得ることができる。

$$E_s = \cos^3 \theta_l \cdot \sin(\theta_s + \theta_l) \cdot E_h \quad (2)$$

$$E_h = \left( \frac{4.7 - 1.5}{4.7 - h_s} \right)^2 \times E_f \quad (3)$$

$$\theta_l = \tan^{-1} \left( \frac{x_{\max}}{h_l - h_s} \right) \quad (4)$$

ただし、本稿において照明高・センサ高は、全標本の平均値を用いるものとする。

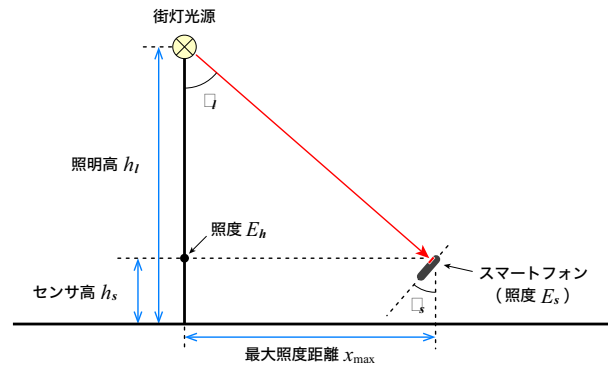


図8 電柱直下地点の推定

### 4.4 外乱への対応策

照度センサは、環境の変化（外乱）に大変影響を受けやすいセンサであることがわかっている。提案手法で用いた推定照度モデルに適合しないモデルが多く構築される可能性は無視できない。

そこで本研究では、外乱への対応策として「集合知」を用いることとし、外乱の影響の少ない、歩行時照度モデルの概形に適合するデータのみを安全性判定の標本とする。そして、同じ地点のデータを多く集めることにより、安全性判定精度を向上する。

## 5 今後の展望

本稿では、スマートフォンの各種センサを用いて、歩行時照度モデルから各街灯地点での「街灯直下平均照度」と「照射範囲」を抽出し、夜道の安全性判定をおこなうための手法を提案した。提案手法では上記の2要素のみを取り上げたが、街灯照度推定・安全性判定をおこなうためのファクターは他にも存在すると考えられる。また、表1に示す照度基準には「最小鉛直面照度」というクラス分けの基準が存在するが、本稿では、歩行時照度モデルとの関連性が得られていないため、正しい安全性判定をおこなえているとは言えない。

今後の課題としては、「最小鉛直面照度」と歩行時照度モデルとの関連性を調査し、照度基準に準拠した安全性判定手法の考案をおこなうこと、スマートフォン照度センサのみを用いた街灯照度推定のファクターを新たに考案し、街灯照度推定、安全性判定の精度向上をおこなうことがあげられる。また、これらの手法により得られた安全性判定結果を地図にマッピング、ナビゲートをおこなうシステムの開発を進めていく。

## 参考文献

- [1] 照度測定方法，日本工業規格，JIS C 7612
- [2] 社団法人照明学会 北海道支部 LED 街路灯研究委員会：札幌市 LED 街路灯 導入実証実験報告書，(2010)
- [3] 道路照明基準，日本工業規格，JIS Z 9111
- [4] 日本防犯設備協会：防犯灯の照度基準，日本防犯設備協会技術標準，SES E 1901-3