

スマートフォン搭載照度センサの集合知による センサ入光特性を考慮した夜道の安全性判定システムの構築

松田 裕貴¹ 新井 イスマイル²

概要：

多数のセンサを搭載したスマートフォンの普及により、位置情報を用いたアプリケーションの需要が高まっている。中でも歩行者向けナビゲーションでは、従来の経路決定要素に加えて、夜道の明るさなどの「安心・安全面」に関する情報を考慮することが求められる。歩道の安全性を街灯の照度に基づき可視化する取組みは、大学、各自治体等によって実施されているが、安全性判定に必要な街灯の照度測定に掛かるコストや手間などから、網羅的な照度収集の実施が困難であることが問題となっている。そこで本研究では、スマートフォン搭載照度センサを用いて街灯の照度データを収集、集合知を形成することにより、網羅的な照度収集および夜道の安全性判定を行うシステムを検討している。なお、スマートフォン搭載照度センサは、入射角特性および照度追従特性といった入光特性をもつため、これらの特性を考慮した照度補正を行い、JIS 照度測定法に基づく街灯の照度値を推定する手法、および夜道の安全性判定手法を提案し、検証を行った。検証の結果、平均水平面照度に対して限定すると、平均誤差は 0.571 lx となり、また安全性判定は 85% と高い適合率を得ることができた。

Development of Safety Assessment System of Night Sidewalk in Consideration of the Incident Light Characteristics Utilizing Collective Smartphone Light Sensor Data

YUKI MATSUDA¹ ISMAIL ARAI²

1. はじめに

GPS や加速度センサをはじめとする多数のセンサを搭載したスマートフォンの普及、そして防犯意識の向上に伴い、歩行者ナビゲーションや子ども見守りなど、位置情報を活用したアプリケーションの需要が高まっている。従来のナビゲーション（主にカーナビゲーション）においては、経路決定の大きな指標が、事故や工事による規制情報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であるのに対し、歩行者ナビゲーションにおいては、それらの情報に加えて夜道の明るさや人通り、犯罪発生情報など、安心・安全面の情報を考慮することが求められる。



図 1 夜道の明るさのマッピング事例（芝浦工業大学）

¹ 明石工業高等専門学校 専攻科 機械・電子システム工学専攻
Advanced Course of Mechanical and Electronic System Engineering, Akashi National College of Technology, Akashi, Hyogo 674-8501, Japan

² 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, Akashi, Hyogo 674-8501, Japan

安心・安全面の情報を整備する試みとしては、各自治体や県警、民間企業が独自に作成している、犯罪発生情報を地図上にマッピングしたWebサービスが挙げられる。これらは、ユーザが各事案を把握し、安全なエリアを見極めることが必要であるため、ユーザ側に掛かる負担が大きいという点が課題となっている。また、図1に示すように夜道の明るさを可視化した地図を作成している大学や自治体、地域団体が点在しているものの[1]、測定機材やそれに伴うコンピュータ機器など、大掛かりな装置が必要であることなどから、網羅的な情報を提供できていないのが現状である。以上から、安心・安全面の情報を提供するシステムにおいては、ユーザが情報から直感的に安全性を判断しうること、情報を網羅的に整備することが、重要な課題であると考えられる。

そこで本研究では、街灯が犯罪に与える影響[2]に着目し、スマートフォン搭載照度センサによって収集した街灯の照度データから、街灯間の照度や街灯設置間隔などを推定し、安全性判定を行う手法を検討している。前述の網羅的な情報整備を実現するために、筆者らは複数台のスマートフォン搭載照度センサから得られた測定値の集合により、網羅的な街灯設置状況を推定する手法[3][4]を提案している。しかし、スマートフォン搭載照度センサを用いた街灯の照度測定では、歩行中に測定が行われ、かつ、端末保持角度や道路上の歩行位置など測定状況の不確定要素を多く抱えており、また、スマートフォン搭載照度センサのもつ特性から、照度測定値の揺らぎが生じやすい、といった課題点から夜道の安全性判定には至っていない。

本論文では、照度センサの入射角度特性および照度追従特性について調査を行い、これら照度センサの入光特性を考慮した夜道の安全性判定手法を検討する。なお、夜道の安全性判定には、日本防犯設備協会の定める防犯灯の照度基準[5]を用いるが、この照度基準を適用するためには、図2に示すJIS照度測定法[6]に基づく平均水平面照度および最小鉛直面照度を推定する必要がある。平均水平面照度とは歩道の路面上(0m)の平均照度であり、最小鉛直面照度とは歩道の中心線上(LED灯の場合は中心線上および道路の両端線上)で、路面より1.5m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。

提案手法の有効性を検証した結果、平均水平面照度の平均推定誤差は0.708lx、平均相対誤差は27.1%という結果が得られた。街灯種別の相対誤差では、高照度を有するインバータ式蛍光灯およびLED灯が15%程度となったが、低照度を有するスタータ式蛍光灯では52.1%という結果が得られた。また、平均水平面照度に対する安全性判定に関しては、JIS照度測定法に基づいた測定値による判定結果と比較した結果、85%という高い適合率を得ることができた。最小鉛直面照度に関しては、照度基準が厳格に定められていることから、本検証環境においては、安全性判定

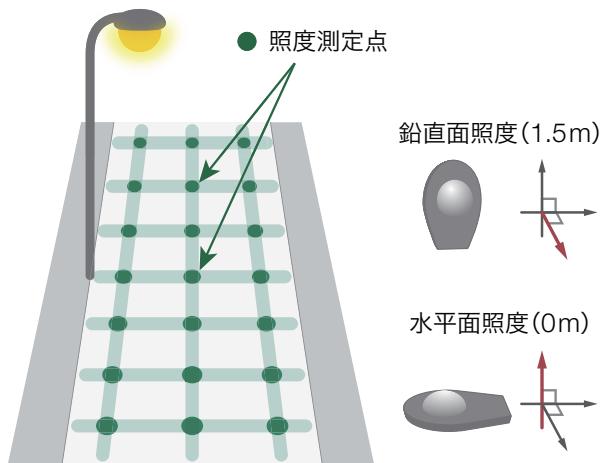


図2 照度測定法 (日本工業規格)

が不可能であるという結果が得られた。

次に、本論文の構成を述べる。まず、2章にて、既存研究の手法を考察し本研究の課題を明らかにする。3章では、スマートフォン搭載照度センサの特性調査結果について述べ、これらの特性を用いた街灯位置・照度推定手法を提案する。各推定手法を用いた実験、評価手法については4章にて述べ、各評価結果について5章で考察する。最後に6章にてまとめる。

2. 既存の安心・安全情報提供手法とその課題

本章では、既存の安心・安全情報を提供する2つの手法について概要および問題点を述べ、本研究にて検討する課題について整理する。

まず、県警が発表する犯罪発生状況データなどを用いたシステムとして、図3に示す、安全安心map[7]が挙げられる。このシステムでは、県警の安全情報メールマガジンにて配信されている情報から、犯罪発生状況(犯罪発生時間、位置情報、犯罪カテゴリ、詳細情報)を抽出し、地図上にマッピングすることで、安全情報提供を実現している。しかし、配信される情報は各県警に委ねられているため、書式が標準化されていない。これにより、データベースを構築するにあたって自動化ができず、人手によって構築しているのが現状である。また、このシステムでは、過去に発生した犯罪の位置と内容が閲覧可能であるが、これから犯罪が起きる可能性のある場所に見られる特徴や、それによる道の危険予測情報など、防犯情報として必要な情報の提供が実現できていない。

次に、山田らが行っている街灯の照度情報を地図にマッピングする研究[1]が挙げられる。日本防犯設備協会の報告[2]によると、街灯の照度と犯罪発生の関係については、明確な根拠は示されていないものの、街灯が地域の公共空間における防犯対策向上に影響を与え、結果的に犯罪抑止へ繋がることが実例により明らかとなっている。この夜道



図 3 安全安心マップ（サイバーエリアリサーチ株式会社）

の安全性を判定する手法は、JIS 照度測定法 [6] に基づいた測定を行い、各街灯の照度が、照度基準を満たしているかどうかによって判定するというものである。しかし、この手法は手間・コスト面などから網羅的に測定することが困難であることから、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。また、各自治体が管理する街灯情報を収集する手法が考えられるものの、私設の街灯が多く存在することや、街灯の経年劣化を考慮しなければならないことから、巡回により街灯の照度を調査する必要があると考えられる。

以上を踏まえると、既存研究における大局的な課題は次に示す 2 項目であると考えられる。

情報整備の網羅性

ユーザに提供する安心・安全情報を網羅的に整備するためのシステムを構築すること

提供情報の明快度

ユーザが提供された安心・安全情報から、そのエリアが安全かどうかを判断し得ること

なお、本研究の安全性判定には、日本工業規格の定める道路照明基準 [8] に基づき日本防犯設備協会が定める照度基準 [5] 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、最小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。ただし、LED 灯の場合は、最小鉛直面照度の測定を中心線上および道路の両端線上にて行い、照度基準はクラス B+ を適用する。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。

3. 照度特性の基礎調査 および 街灯の照度推定・安全性判定手法の提案

2 章で示した課題のうち、情報整備の網羅性については、

表 1 防犯灯の照度基準

クラス	平均水平面照度 [lx]	最小鉛直面照度 [lx]	照明効果
A	5 以上	1 以上	顔の概要を識別可能
B	3 以上	0.5 以上	挙動・姿勢を認識可能
B+	3 以上	0.5 以上	挙動・姿勢や顔の向きを認識可能

筆者らが街灯位置推定手法 [3]、街灯種判定法 [4] として提案している。街灯位置推定手法は、スマートフォン搭載照度センサの測定値の特性と GPS 位置情報、および道路ネットワークデータを用いて街灯の設置位置を推定するものであり、街灯種判定法は、測定値から得られる照度分布と、各街灯種の照度分布モデルを波形比較することにより、街灯の種類を判定するものである。本論文では、もう一方の課題である「提供情報の明快度」、すなわち、スマートフォン搭載照度センサによる測定値から、JIS 照度測定法に基づく街灯の照度を推定し、夜道の安全性を判定する手法について検討することとする。

JIS 照度測定法は、上記の通り、街灯の照度および街灯間における照度を測定し平均することにより、照度を測定する方法であることから、街灯が安全性判定の指標となる照度基準を満たしているかどうかについては、「街灯の照度」および「隣接する街灯との距離」が重要なパラメータとなる。スマートフォン搭載照度センサで測定した連続データを用いた夜道の安全性判定を行うためには、上記の 2 つのパラメータを推定することで、JIS 照度測定法による照度測定結果に近似する必要がある。

そこで、以降では照度の基本的な特性、およびスマートフォン搭載照度センサの特性についての調査結果を 3.1 節に示し、スマートフォン搭載照度センサの照度特性を考慮した、街灯の照度推定手法および夜道の安全性判定手法を 3.2 節にて提案する。

3.1 照度特性の事前調査

照度とは単位面積当たりに入射する光束量であるため、光源からの距離の 2 乗に反比例し減衰する「距離の逆二乗特性」、光源からの入射角によって照度が減衰する「余弦特性」をもつことが知られている。また、これらの 2 つの特性から、光源から垂直な対向面の照度に対する、ある入射角における面上の照度は余弦の 4 乗に比例する関係となることから、照度は一般的に距離や角度に影響を受けやすいと考えられる。また、スマートフォン搭載照度センサは、一般に普及している照度計と、形状や精度に大きな違いがあるため、特有の性質をもつと考えられる。

以上のことから、スマートフォン搭載照度センサを用い、照度計による測定値を推定するためには、両者の照度特性を明らかにし、ユーザの測定状況に応じた照度補正を施す



図 4 一般的な照度計の受光面

必要があると考えられる。そこで、光の入射角を変化させた場合における「照度入射角特性」、および光源の照度を変化させた場合における「照度追従特性」について、事前調査を実施した。なお、特性調査においては、照度計（型番：LX-1108、メーカー：佐藤商事、測定範囲〔分解能〕：0～40.00 [0.01] lx, 36.0～400.0 [0.1] lx）、スマートフォン（型番：Galaxy Nexus GT-I9250、メーカー：サムスン電子、測定範囲〔分解能〕：4～約183000 [1] lx）を用いた。以降に各特性調査およびシミュレーションの概要について述べ、結果を示す。

■ 照度入射角特性

スマートフォン搭載照度センサは、一般に普及している照度計が図 4 に示すような半球状の受光面となっているのに対し、端末内部に設置されているため図 5 に示すような平面状の受光面となっている場合が多い。このことから、スマートフォン搭載照度センサは照度計とは異なる特性を有すると考えられるため、入射角度の変化に対する照度特性を調査した。

図 6 は、照度入射角特性の調査結果を示したものである。各散布点は、スマートフォンの Z 軸を中心に 30 度ずつ回転させた場合における測定値である。この散布図から、照度測定値は Z 軸方向の回転角度の影響を受けないことが明らかとなった。また、一般的な照度計においては、図中の破線で示すように入射角度に対して式 1 に示す余弦特性を示すが、スマートフォン搭載照度センサにおいては、式 2 に示す余弦 3 乗特性を示すことが明らかとなった。

$$E_{lx} = E \cdot \cos \theta_{l_{sp}} \quad (1)$$

$$E_{sp} = E \cdot \cos^3 \theta_{l_{sp}} \quad (2)$$

つまり、ある入射角 $\theta_{l_{sp}}$ における、照度計の相対照度値 E_{lx} とスマートフォン搭載照度センサの相対照度値 E_{sp} の間には、式 3 に示す関係をもつといえる。

$$E_{sp} = E_{lx} \cdot \cos^2 \theta_{l_{sp}} \quad (3)$$



図 5 スマートフォン搭載照度センサの受光面

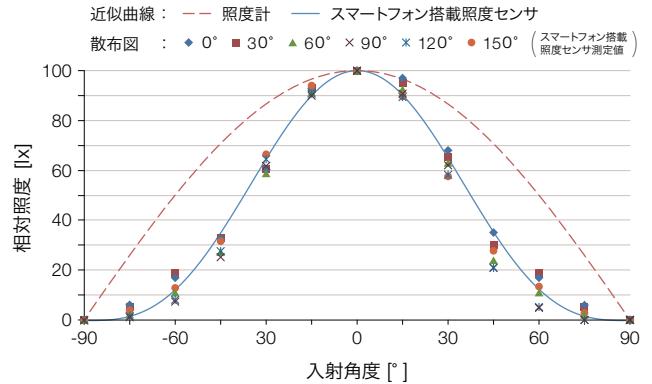


図 6 入射角による照度減衰特性

■ 照度追従特性

前述の照度入射角特性では、相対照度での照度計とスマートフォン搭載照度センサの関係性を調査した。しかし、照度値や入射角、距離といった測定環境が同一である場合においても、照度計およびスマートフォン搭載照度センサの照度測定には差異が生じることが、これまでの調査で明らかとなっているため、照度値を変化させた場合における測定値の追従性を調査した。

図 7 は、照度追従特性の調査結果を示したものである。スマートフォン搭載照度センサにおいては、図中の緑菱形で示すように 4.143 lx 以下の測定値を得られない特性が見られた。そこで例外的な照度値を示す緑菱形の部分を除外した、橙円形で示す標本を線形回帰分析した結果が、図中の青実線である。以上より、照度計の照度測定値 E_{lx} およびスマートフォン搭載照度センサの照度測定値 E_{sp} は、式 4 に示す関係をもつことが明らかとなった。

$$E_{sp} = \begin{cases} 1.43E_{lx} + 0.73 & (E_{lx} \geq 2.38) \\ 4.143 & (E_{lx} < 2.38) \end{cases} \quad (4)$$

3.2 街灯の照度推定手法・夜道の安全性判定手法の提案

本節では、3.1 節で述べた照度およびスマートフォン搭載照度センサの入光特性を考慮した、街灯の照度推定手法

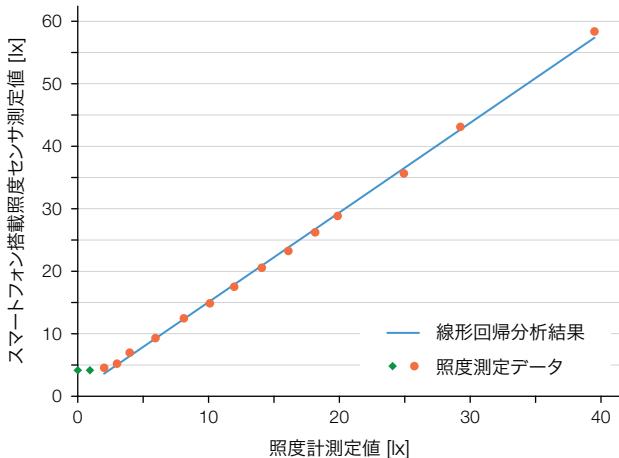


図 7 照度変化に対する追従特性

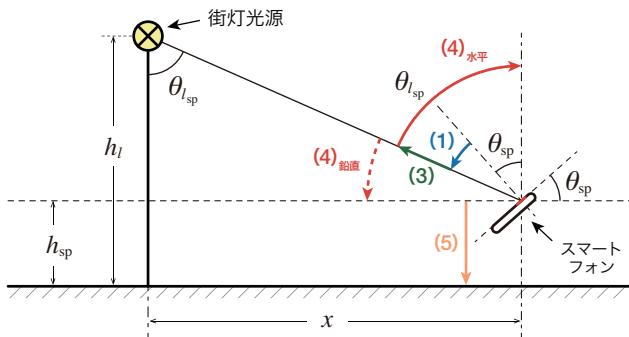


図 8 照度補正手順(1)～(4)における位置関係図

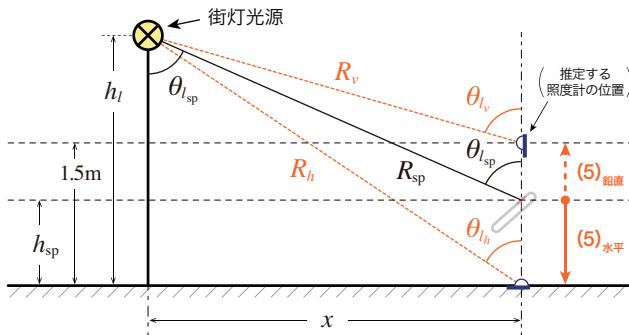


図 9 照度補正手順(5)における位置関係図

について提案する。

本提案手法では、ユーザが夜道を歩行する際に断続的に測定する環境を想定しているため、スマートフォン搭載照度センサによって測定された照度データは、時系列の連続データとなる。また、過去の調査により、街灯設置地点付近の照度変化はパルスのような形状を示し、それ以外の地点においては最低照度値付近を保つことが明らかとなっている。このことから、パルスを抽出することで一街灯ごとにデータを分離し、同時にロギングしているGPS情報から、ある2点間の距離を導出することで、一街灯ごとの距離系列測定データに変換することが可能である。以降では、この距離系列測定データを用い、街灯の照度を推定する。

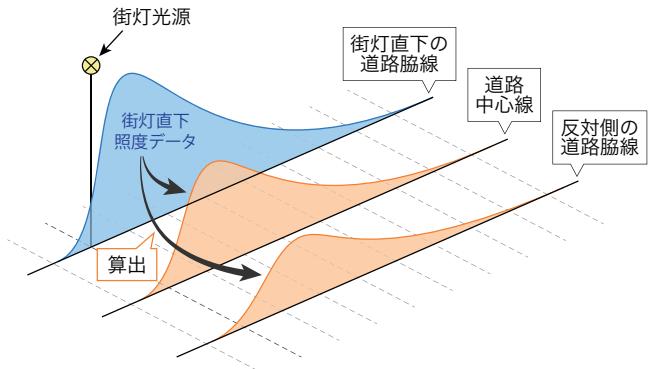


図 10 道路中心線、反対側の道路脇線上の照度推定

はじめに、スマートフォン搭載照度センサによる照度測定値から、照度計による測定値を推定する。この推定に伴う照度補正の手順を以下に示し、位置関係図を図8、図9に示す。

- (1) スマートフォン搭載照度センサへの入射角 ($\theta_{l_{sp}} - \theta_{sp}$) および入射角特性を用い、スマートフォン搭載照度センサの照度測定値 E_{sp} を、直角方向 (0°) から入射した照度値 E'_{sp} に補正する。

$$E'_{sp} = \frac{E_{sp}}{\cos^3(\theta_{l_{sp}} - \theta_{sp})} \quad (5)$$

- (2) 各サンプルの最大照度を比較し、最大となるサンプルを選択する。
- (3) 照度追従特性を用い、照度計の測定値 E_{lx} をスマートフォン搭載照度センサの測定値 E'_{sp} から推定する。

$$E_{lx} = \begin{cases} \frac{E'_{sp} - 0.73}{1.43} & (E'_{sp} \geq 4.143) \\ 2.38 & (E'_{sp} < 4.143) \end{cases} \quad (6)$$

- (4) 照度計の入射角特性を用い、照度計による水平面照度値 E_{lx_h} 、鉛直面照度値 E_{lx_v} を推定する。

$$E_{lx_h} = E_{lx} \cdot \cos \theta_{l_{sp}} \quad (7)$$

$$E_{lx_v} = E_{lx} \cdot \sin \theta_{l_{sp}} \quad (8)$$

- (5) 距離の逆二乗特性および余弦特性により、各照度 E_{lx_h} 、 E_{lx_v} を、路面上 0 m における推定水平面照度 E'_{lx_h} 、路面上 1.5 m における推定鉛直面照度 E'_{lx_v} に補正する。

$$E'_{lx_h} = E_{lx_h} \cdot \left(\frac{R_{sp}}{R_h} \right)^2 \cdot \frac{\cos \theta_{l_h}}{\cos \theta_{l_{sp}}} \quad (9)$$

$$E'_{lx_v} = E_{lx_v} \cdot \left(\frac{R_{sp}}{R_v} \right)^2 \cdot \frac{\sin \theta_{l_v}}{\sin \theta_{l_{sp}}} \quad (10)$$

なお、光源入射角 $\theta_{l_{sp}}$ は、街灯の位置情報およびGPSから得た位置情報を用い、算出した街灯直下からの距離 x 、そして、一般的な街灯設置高 $h_l \approx 5\text{ m}$ を式11に適用することで算出可能である。同様の手順で、 θ_{l_h} 、 θ_{l_v} も算出可能である。

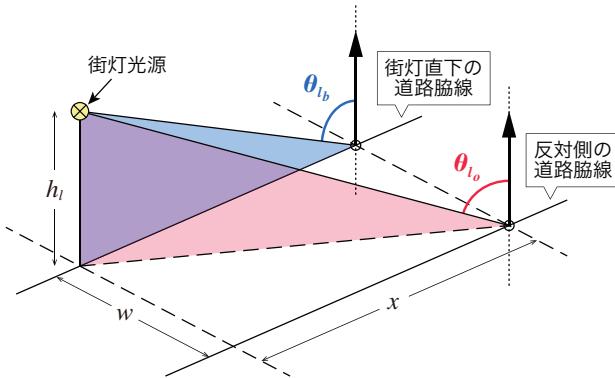


図 11 JIS 照度測定法に基づく測定値の推定（水平面照度）

$$\theta_{l_{sp}} = \arctan\left(\frac{x}{h_l - h_{sp}}\right) \quad (11)$$

式 9, 10 で導出した水平面照度および鉛直面照度は、街灯直下における、二次元的な照度測定値である。しかし、JIS 照度測定法に基づく照度測定値を得るために、図 10 道路面上をメッシュ状に分割し測定を行わなければならない。そのため、道路中心線上および反対側の道路脇線上における水平面照度、鉛直面照度を算出する必要がある。図 11 および図 12 は、水平面照度、鉛直面照度に関する位置関係を示したものである。照度計は、入射する方角が異なっても照度値は変化しないため、光源を中心とした回転を考えた場合の照度補正式は、式 12 に示すものとなる。なお、式 15 に示す P_{dist} は、補正前後の光源からの距離の比率である。

$$E_{lx_{h_o}} = P_{dist}^2 \cdot \frac{\cos^4 \theta_{l_o}}{\cos^4 \theta_{l_b}} \cdot E_{lx_{h_b}} \quad (12)$$

$$\theta_{l_b} = \arctan\left(\frac{x}{h}\right) \quad (13)$$

$$\theta_{l_o} = \arctan\left(\frac{\sqrt{x^2 + w^2}}{h}\right) \quad (14)$$

$$P_{dist} = \frac{\sqrt{h^2 + x^2}}{\sqrt{h^2 + x^2 + w^2}} \quad (15)$$

同様に、鉛直面照度の照度補正式は、式 16 に示すものとなる。 P_{dist} は、水平面照度の補正式と同様に式 15 を用いる。

$$E_{lx_{v_o}} = P_{dist}^2 \cdot \frac{\cos^3 \theta'_{l_o} \cdot \sin \theta'_{l_o}}{\cos^3 \theta_{l_b} \cdot \sin \theta_{l_b}} \cdot E_{lx_{h_b}} \quad (16)$$

$$\theta'_{l_o} = \arctan\left(\frac{x}{\sqrt{h^2 + w^2}}\right) \quad (17)$$

なお、上記の図および補正式は、反対側の道路脇線の場合であり、中心線上における照度補正については、道路幅 w を $1/2$ 倍することで同様に算出できる。

以上の補正を行った、水平面照度 ($E_{lx_{h_b}}$, $E_{lx_{h_c}}$, $E_{lx_{h_o}}$) および、鉛直面照度 ($E_{lx_{v_b}}$, $E_{lx_{v_c}}$, $E_{lx_{v_o}}$) から、JIS 照度測定法に基づく、街灯間を均等分割しメッシュ状に測定した照度値を算出する。

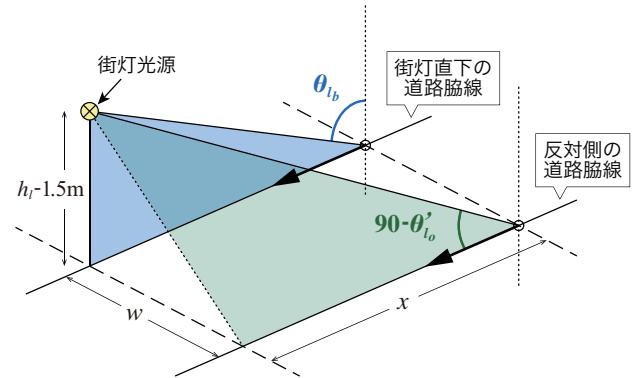


図 12 JIS 照度測定法に基づく測定値の推定（鉛直面照度）



図 13 実験フィールドおよび対象街灯設置位置

最後に、水平面照度は平均値 $\overline{E_{lx_h}}$ 、鉛直面照度は最小値 $\min(E_{lx_v})$ を算出することにより、街灯の照度を推定する。また、これらの照度値を表 1 に示す照度基準と照らし合わせることで、夜道の安全性を判定することが可能である。

4. 街灯の照度推定・夜道の安全性判定実験 および評価方法

4.1 街灯の照度推定・夜道の安全性判定実験の概要

街灯の照度推定および夜道の安全性判定手法を検証するために、図 13 に示す、兵庫県明石市魚住町の東西約 0.5 km、南北約 0.3 km の一般生活道路を検証フィールドとし、被験者 3 名によって 1 ヶ月間の調査を行った。なお、この検証フィールドは、一般生活道路に多く設置されているスタータ形蛍光灯、インバータ形蛍光灯、LED 街灯の 3 街灯種が設置されている地域である。実験機材は、3.1 節で述べた事前調査で用いた機材と同様である。また、実験中ににおいて測定者は自然な速度で歩行しつつ、端末の画面を直視できるように端末を保持するものとし、端末保持角度についても条件を設げずに測定者の任意とした。

4.2 街灯の照度推定・夜道の安全性判定実験の評価方法

街灯の照度推定および夜道の安全性判定手法の評価を行うために、JIS 照度測定法 [6] に基づく照度測定結果から、

日本防犯設備協会の定める照度基準 [5]に基づき、安全性判定を行う。この結果と、本稿提案手法により推定した街灯の照度および夜道の安全性判定結果を比較する。街灯の照度については、各街灯につき推定誤差を算出、夜道の安全性判定結果については、判定結果の適合率により評価する。

評価の対象とする街灯は、前述の検証フィールドにおいて、街灯光源以外の外乱が存在せず、かつ連続して設置されている街灯群とした。この街灯群は、図 13 中にマークで示した箇所である。

5. 街灯の照度推定・夜道の安全性判定実験の評価結果および考察

5.1 防犯灯の照度基準と夜道の安全性についての考察

JIS 照度測定法 [6]に基づく照度測定結果から、日本防犯設備協会の定める照度基準 [5]に基づき、安全性判定を行った結果を、表 2 に示す。なお、平均水平面照度、最小鉛直面照度の各々に対して、表 1 に示す防犯灯の照度基準と照らし合わせた結果を照度値と共に示した。この結果から、インバータ式蛍光灯、LED 灯に関しては、平均水平面照度は基準を満たしていることがわかる。しかし、どの街灯間においても、最小鉛直面照度が基準を満たしておらず、検証フィールドの対象街灯間では、「不安全」という結果が得られた。

ここで、最小鉛直面照度について、防犯灯の照度基準クラス B を満たすための距離を算出すると、表 3 に示す街灯間隔で設置する必要があるという結果が得られた。現在の都市計画等と比較して、照度基準は現実と乖離したものとなっている可能性があるため、今後、現実の設置状況に沿った照度基準に代わる指標を検討する必要があると考えられる。

5.2 街灯の照度推定・夜道の安全性判定実験の評価結果および考察

実験の結果、検証フィールド内の対象街灯（9 街灯）に対し、約 120 の検証用サンプルが得られた。本提案手法により、スマートフォン搭載照度センサを用いて測定した測定データから推定した平均水平面照度と最小鉛直面照度、また、各照度値より安全性判定を行った結果を、表 4 に示す。なお、平均水平面照度、最小鉛直面照度の各々に対して、表 1 に示す防犯灯の照度基準と照らし合わせた結果を照度値と共に示した。

安全性判定については、平均水平面照度のみに着目したところ、JIS 照度測定法に基づく平均水平面照度の場合と比較すると、適合率 83 % と高い判定率が得られた。しかし、最小鉛直面照度については、5.1 節にて述べたとおり、安全性判定を行うことが困難であることが明らかとなっていることから、評価対象外とする。

次に、JIS 照度測定法に基づく照度値について評価する。

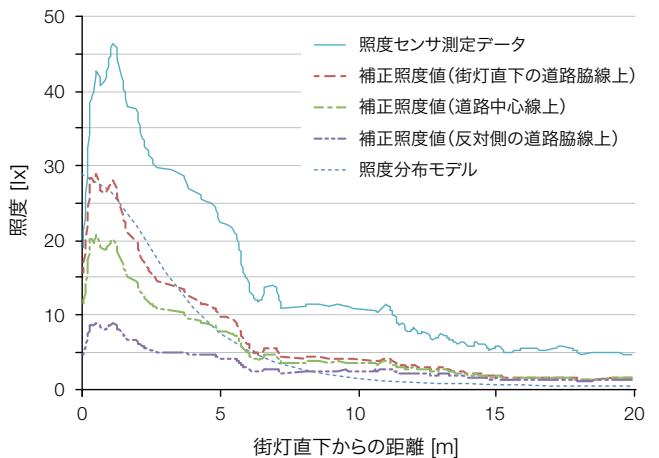


図 14 センサ測定値と照度補正後の照度分布

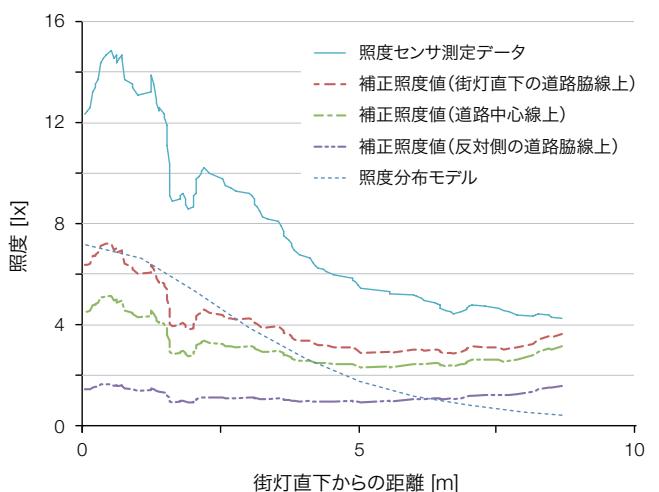


図 15 補正によりノイズが増幅した場合の照度分布

街灯の照度推定手法の評価結果を、表 5 に示す。最小鉛直面照度については、前述の理由から評価対象外としたため、ここでは平均水平面照度について考察する。平均水平面照度の各街灯間における誤差に着目すると、インバータ式蛍光灯や LED 灯の街灯間において誤差が大きくなる傾向をもつことがわかる。この原因としては、以下の項目が考えられる。

- 両者が、比較的高照度を有する街灯であり、道路幅が広い箇所に設置されることから、ユーザが道路上において通る経路にばらつきが生じること。
- LED 灯が、強い指向性をもつため、他の街灯と同様の照度補正が適していないこと。

これらの要因から、測定結果のばらつきが大きくなり、本検証に用いたサンプル数では、集合知としての特性が十分に機能するに至っていないと考えられる。

今後の課題としては、LED 灯など指向性の強い光源に対する、照度特性などの調査を行った上で、照度補正の手法を検討すること、サンプル数を増やすことにより、ばらつきによる影響を集合知的に除去することなどが挙げられる。

表 2 JIS 照度測定法に基づく測定結果および安全性判定結果

対象街灯種（街灯間隔）	街灯間隔 [m]	平均水平面照度 [lx] (照度基準クラス)	最小鉛直面照度 [lx] (照度基準クラス)	安全性判定結果
スタータ式蛍光灯（No.1-2 間）	36	0.776 (×)	0 (×)	不安全（クラス B 以下）
スタータ式蛍光灯（No.2-3 間）	28	0.950 (×)	0 (×)	不安全（クラス B 以下）
インバータ式蛍光灯（No.4-5 間）	24	5.612 (A)	0 (×)	不安全（クラス B 以下）
インバータ式蛍光灯（No.5-6 間）	28	3.575 (B)	0 (×)	不安全（クラス B 以下）
LED 灯（No.7-8 間）	24	7.033 (A)	0.201 (×)	不安全（クラス B 以下）
LED 灯（No.8-9 間）	24	6.057 (A)	0 (×)	不安全（クラス B 以下）

表 3 防犯灯の照度基準（クラス B）の最小鉛直面照度を満たす街灯間隔

対象街灯種（街灯間隔）	基準を満たす 街灯間隔 [m]	実際の 街灯間隔 [m]
スタータ式蛍光灯（No.1-2 間）	4	36
スタータ式蛍光灯（No.2-3 間）	4	28
インバータ式蛍光灯（No.4-5 間）	12	24
インバータ式蛍光灯（No.5-6 間）	16	28
LED 灯（No.7-8 間）	18	24
LED 灯（No.8-9 間）	14	24

また、スマートフォン搭載照度センサの測定値および照度補正後の照度分布を、図 14 および図 15 に示す。図 14においては、照度分布がモデルに近い形で補正されている場合である。これに対し、図 15 では、距離が離れた際に、測定対象の街灯とは別の光源の影響で十分に照度が低下せず、補正を行った際にノイズとして増幅されてしまうという問題がある。

今後の課題としては、低照度領域におけるノイズ除去手法について検討するほか、補正測定値を用いず、補正測定値から得られたパラメータを照度分布モデルに与え、そのモデルを用いて街灯の照度を推定する新たな手法の検討などが挙げられる。

6. おわりに

本稿では、スマートフォン搭載照度センサにおける、入射角特性および照度追従特性を事前調査した。そして、これらの特性と照度の性質を考慮した、街灯の照度推定法、夜道の安全性判定手法について提案し、有用性を検証した。

街灯の照度推定においては、平均水平面照度に関しては、およそその街灯間に對して、1 lx 以下の誤差で推定することが可能であるという結果が得られた。しかし、高照度や指向性といった特徴をもつ、インバータ式蛍光灯および LED 灯の街灯間では、絶対誤差が大きくなる傾向にあるため、これらの特徴に対応した照度補正手法の検討を行うことが課題としてあげられる。また、鉛直面照度に関しては、本検証フィールドで JIS 照度測定法により測定した際にも、最小照度が 0 lx になるなど、防犯灯の照度基準を満たすことが現実的でないことから、今後、照度基準に代わる新たな指標を検討する必要があると考えられる。

参考文献

- [1] 山田祥人、青木政幸、綿野広樹、三浦昌生：街灯増設後のアンケート調査による住民意識の把握と夜間照度実測街灯を増設した地区における住環境の改善活動のさらなる活性化の支援その 1、日本建築学会大会、pp.1139–1140 (2008).
- [2] 日本防犯設備協会防犯照明委員会：防犯照明ガイド Vol.4 (2010).
- [3] 松田裕貴、新井イスマイル：スマートフォン搭載照度センサの集合知による網羅的な街灯情報収集システムの開発、情報処理学会論文誌、Vol.55、No.2、pp.750–760 (2013).
- [4] Y.Matsuda, I.Arai : An Experiment of A Streetlamp Classifying and A Vertical Illuminance Assessing Utilizing Smartphones' Light Sensors, 3rd International Symposium on Technology for Sustainability, No.264 (2013).
- [5] 日本防犯設備協会 技術部会規格調査委員会：防犯灯の照度基準、日本防犯設備協会技術標準 SES E 1901-3 (2012).
- [6] 日本工業標準調査会：照度測定方法、JIS C 7612:1985 (1985).
- [7] サイバーエリアリサーチ株式会社：安全安心マップ、入手先 (<http://www.ananmap.com/>).
- [8] 日本工業標準調査会：道路照明基準、JIS Z 9111:1988 (1988).

表 4 街灯の照度推定法による街灯の照度推定値および安全性判定結果

対象街灯種（街灯間隔）	街灯間隔 [m]	平均水平面照度 [lx] (照度基準クラス)	最小鉛直面照度 [lx] (照度基準クラス)	安全性判定結果
スタータ式蛍光灯 (No.1-2 間)	36	1.201 (×)	0 (×)	不安全（クラス B 以下）
スタータ式蛍光灯 (No.2-3 間)	28	1.420 (×)	0 (×)	不安全（クラス B 以下）
インバータ式蛍光灯 (No.4-5 間)	24	4.617 (B)	0 (×)	不安全（クラス B 以下）
インバータ式蛍光灯 (No.5-6 間)	28	4.019 (B)	0 (×)	不安全（クラス B 以下）
LED 灯 (No.7-8 間)	24	8.276 (A)	0.099 (×)	不安全（クラス B 以下）
LED 灯 (No.8-9 間)	24	6.728 (A)	0 (×)	不安全（クラス B 以下）

表 5 JIS 照度測定法に基づく測定結果と本提案手法の推定結果の比較

対象街灯種（街灯間隔）	平均水平面照度			
	JIS 照度測定法 [lx]	本提案手法 [lx]	絶対誤差 [lx]	相対誤差 [%]
スタータ式蛍光灯 (No.1-2 間)	0.776	1.201	0.425	54.8
スタータ式蛍光灯 (No.2-3 間)	0.950	1.420	0.470	49.5
インバータ式蛍光灯 (No.4-5 間)	5.612	4.617	0.995	17.7
インバータ式蛍光灯 (No.5-6 間)	3.575	4.019	0.444	12.4
LED 灯 (No.7-8 間)	7.033	8.276	1.243	17.7
LED 灯 (No.8-9 間)	6.057	6.728	0.671	11.1

対象街灯種（街灯間隔）	最小鉛直面照度			
	JIS 照度測定法 [lx]	本提案手法 [lx]	絶対誤差 [lx]	相対誤差 [%]
スタータ式蛍光灯 (No.1-2 間)	0	0	0	-
スタータ式蛍光灯 (No.2-3 間)	0	0	0	-
インバータ式蛍光灯 (No.4-5 間)	0	0	0	-
インバータ式蛍光灯 (No.5-6 間)	0	0	0	-
LED 灯 (No.7-8 間)	0.201	0.099	0.102	50.7
LED 灯 (No.8-9 間)	0	0	0	-