

ヘッドライトを用いた点滅光照射による視認性向上の検討

—実環境および実験室環境の比較—

前田 高志[†] 平山 高嗣^{††} 川西 康友[†] 出口 大輔^{†††} 井手 一郎[†]
村瀬 洋[†]

[†] 名古屋大学大学院情報学研究科 〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町

^{††} 名古屋大学 未来社会創造機構 〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町

^{†††} 名古屋大学 情報連携統括本部 情報戦略室 〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町

E-mail: [†]maedat@murase.is.i.nagoya-u.ac.jp, ^{††}takatsugu.hirayama@nagoya-u.jp, ^{†††}ddeguchi@nagoya-u.jp,
[†]{kawanishi, ide, murase}@i.nagoya-u.ac.jp

あらまし 様々な ADAS (先進運転支援システム) が開発されている一方で, 依然として対歩行者死亡事故が多発しており, その多くは夜間に発生している. 近年の前照灯は, 通常の前方向照射に加え, 歩行者に選択的に光を照射することが可能になりつつある. しかし, 歩行者の視認性を効果的に向上させるような照射方法についてはいまだ明らかになっていない. 我々はこれまでに実験室環境において, 視認性向上に有効な点滅光照射パターンについて検討してきた. 本報告では, 視認性向上に有効な点滅光照射パターンについて実環境で行なった結果について報告し, 実験環境の違いが結果に与える影響について検討する.

キーワード ヘッドライト, 点滅光, 視認性, ITS

Study on the Improvement of Visibility by Projecting Flickering Light from Headlights

—Comparison between Field and Laboratory Settings—

Takashi MAEDA[†], Takatsugu HIRAYAMA^{††}, Yasutomo KAWANISHI[†], Daisuke DEGUCHI^{†††},
Ichiro IDE[†], and Hiroshi MURASE[†]

[†] Graduate School of Informatics, Nagoya University Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya-shi, Aichi 464-8601 Japan

^{††} Institutes of Innovation for Future Society, Nagoya University Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya-shi, Aichi
464-8601 Japan

^{†††} Information Strategy Office, Nagoya University Furo-cyo, Chikusa-ku, Nagoya-shi, Aichi 464-8601 Japan

E-mail: [†]maedat@murase.is.i.nagoya-u.ac.jp, ^{††}takatsugu.hirayama@nagoya-u.jp, ^{†††}ddeguchi@nagoya-u.jp,
[†]{kawanishi, ide, murase}@i.nagoya-u.ac.jp

Abstract Despite the fact that a variety of ADAS (Advanced Driver Assistance Systems) are developed, there are still many fatal car accidents involving pedestrians, where many of them occur at night. Recently, headlights are becoming capable of selectively projecting light on a pedestrian in addition to the normal forward projection. However, it is still not known how the light should be projected to effectively improve the visibility of the pedestrian. We have been analyzing effective flickering light patterns for improving the visibility in a laboratory setting. In this report, we report the analysis in the field, and discuss the difference according to experimental environments.

Key words Headlights, flickering light, visibility, ITS

1. はじめに

自動車社会が発達した今日において、様々な ADAS（先進運転支援システム）が開発されており、より安全な道路交通が実現されることへの期待が高まっている。しかし、交通事故死亡者数は依然として高い数値であり、そのうち歩行中の死亡事故が多くを占めている。また、その多くは夜間に発生しているとの報告もあり [1]、原因として歩行者の視認の困難さが挙げられる。

ADAS における歩行者認識支援システムとしては、赤外線カメラや測距センサを用いて歩行者を検出し、音や画像によってその存在を知らせる技術がある。しかし、音の提示だけでは歩行者の正確な位置を把握することは難しく、また、画像提示はダッシュボードに設置されたディスプレイを見る必要があり、注意が車両前方から外れるため危険な場合がある。一方、夜間における環境視認支援システムとしては前照灯が挙げられ、近年ではその制御技術の向上から ADAS への活用に期待が高まっている。近年の前照灯は、従来の HID（High-Intensity Discharge）灯に代わり、多数の LED で構成されることが多くなり、個々の LED が独立にその照射方向や照射強度を制御することが可能なものも存在する。この技術を応用し、一部の LED の光を歩行者に照射することで運転者による歩行者の視認を支援する試みも研究されている [2]。基本的には、事前に歩行者を検出し、運転者の注意を必要以上に誘導しないよう、視認補助を必要とする歩行者を判断し、その後、実際に歩行者に対して光を照射するといった技術である。歩行者検出および視認補助が必要な歩行者の推定に関する研究はこれまでにいくつかなされているものの [3], [4]、効果的に視認性を向上させるような照射法についてはいまだ明らかになっていない。

そこで、我々は視認性が低い歩行者に対して視認性向上に有効な光を照射する前照灯を「インテリジェントヘッドライト」と呼び、その実現を目指している。我々はこれまでに実験室環境において歩行者の視認性を向上させる照射法を検討してきた [2]。実験室環境では、歩行者領域の輝度を変化させることで前照灯の光の照射を模擬していたが、背景が不変であったり、輝度補正では完全に光の照射を再現しきれていないという問題点が存在していた。そこで本報告では、実環境において実際に歩行者へ光を照射し、歩行者の視認性向上に有効な照射法について検討する。また、実験室環境においても実環境での実験の際に撮影した映像を用いて実験を行ない、環境の違いが結果に与える影響について分析する。なお、視認性は人間の感覚に基づく尺度であるため、その値を物理量として求めることは困難である。そこで本研究では、Thurstone の一対比較法によって間隔尺度化することで視認性を定量化した。

以下、2. で関連研究について述べた後、3. で歩行者への点滅光照射について述べる。4. で実験およびその結果について述べ、5. で考察する。最後に 6. で本報告のまとめと今後の展望を述べる。

2. 関連研究

本研究で扱う視認性とは、「対象物体に注意を向けた状態での視認のしやすさ」を表す指標である。これに似た指標として「顕著性」や「見つけやすさ」が挙げられる。

「顕著性」とは「領域の目立ちやすさ・視覚的注意の向きやすさ」を表す指標であり、顕著性が高い領域は人の目を惹きやすいことを意味している。従来から領域ごとの顕著性（顕著性マップ）を推定する研究が行われ、大きくボトムアップ型とトップダウン型に分けられる [5]。ボトムアップ型は、外界のシーンに存在する視覚情報のみに基づいて自動的に向けられる注意とされ、代表的な研究として Itti らが、画像中の輝度、色、輝度勾配を用いて画素ごとの顕著性（顕著性マップ）を推定する手法を提案している [6]。一方でトップダウン型は、視認対象に対する知識や行動の目標など、観察者の内的な状態にも影響を受けて向けられる注意とされ、Navalpakkam らは視覚探索の課題における目標刺激と妨害刺激の視覚特徴の差の影響を考慮した推定モデルを提案している [7]。

「見つけやすさ」とは「観察者による特定物体の存在の知覚・認知のしやすさ」を表す指標であり、Wakayama らは車載カメラ映像から抽出した画像特徴を用いて歩行者の見つけやすさを推定する手法を提案している [8]。また、同様な指標の「特定物体の存在を知覚・認知する難しさ」である「見落としやすさ」においては、谷繁らが人間の視野特性を利用した歩行者の見落としやすさ推定を提案している [3]。

「顕著性」、「見つけやすさ」、「視認性」は、注意を引き起こす要因や対象に対する観察者の注意の初期状態が異なる。「顕著性」は初期状態において対象への注意が向いていない状態を取り扱っているのに対し、「視認性」は初期状態において対象に注意を向けている状態をとりあつかっている。また、「顕著性」はトップダウン、ボトムアップ両方の要因が関与するが、「視認性」はトップダウンの要因のみが影響する。一方で、「見つけやすさ」はトップダウンの要因が関与するが、初期状態において対象に注意を向けていない状態を取り扱っている。

自動車運転時においては、歩行者の「見つけやすさ」を向上させることが重要である。加えて、運転者は歩行者を視認することで属性を認識したり動きを予測して操作の判断を行なうため、運転者の視覚的注意を誘導する「見つけやすさ」だけでなく、「視認のしやすさ」である「視認性」も重要であると考えられる。

視認性に関する研究としては、道満らが道路標識を対象とし、道路標識とその周辺のコントラストの特徴、道路標識らしさを表すアピランス特徴の 2 つを統合することにより、視認性の推定精度が向上することを報告している [9]。また、我々はこれまでに歩行者を対象として、その視認性を向上させる前照灯の照射法について点滅光を取りあげ、検討を行ってきた [2]。点滅の視認性に関しては、白岩らが一般的な視覚環境下での LED 点滅パターンについて主観評価実験を行ない、連続点灯時間および連続滅灯時間が LED の視認性に強く関与していることを報告している [10]。しかし、これらは設計された

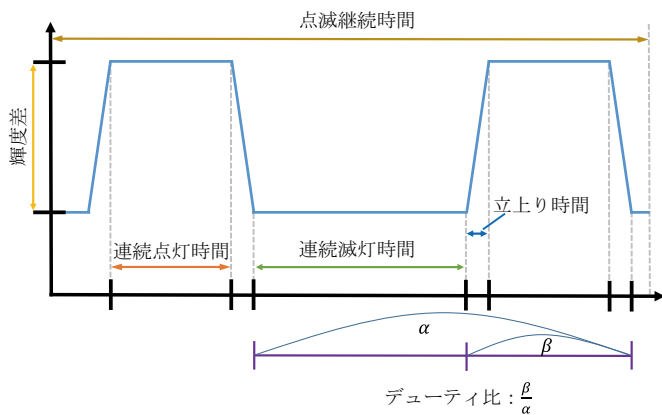


図1 点滅に関するパラメータ。

実験室環境で視認性の評価を行っており、この結果が実環境における結果と合致するとは限らない。

そこで我々は実環境において、実際に歩行者に光を照射し、視認性の向上に有効な照射法について調査を行なう。なお本研究では、照射光として点滅光を用いる。また、同じ点滅パターンを使用して実験室環境でも実験を行ない、得られた結果から実験室環境と実環境での結果の違いについて分析する。

3. 歩行者への点滅光照射

図1に示すように、点滅に関するパラメータとしては連続点灯時間、連続減灯時間、立上り時間、点滅継続時間、輝度差、デューティ比（1回の点滅における連続減灯時間以外の割合）、点滅周波数が挙げられる。2.でも述べたとおり、LEDにおいては、その点滅の視認性について連続点灯時間および連続減灯時間が強く関与するという知見がある[10]。本研究ではLEDの点滅を直接見た場合だけでなく、物体に照射された点滅光の反射を見た場合でもこの知見が有効であると考え、連続点灯時間と連続減灯時間の関係に注目し、それをデューティ比として制御する。ただし、デューティ比だけでは点滅を一意に定められないため、連続点灯時間についても制御パラメータとして加える。

本研究ではデューティ比3種類（0.250, 0.500, 0.750）と連続点灯時間4種類（0.125秒, 0.250秒, 0.500秒, 1.000秒）の組合せにより生成される点滅パターンを採用した。なお、極端に遅い点滅や速い点滅は除外した。また、点滅の有効性を確認するために、常時照射パターン（デューティ比1.000）を追加した。表1に以下の実験で設定した点滅パターンを示す。

立上り時間については、日比らはそれが短いほど歩行者の見つけやすさが向上すると報告している[11]。「視認性」と「見つけやすさ」は異なる指標であるが、「特定物体の存在・認知のしやすさ」である「見つけやすさ」を向上させることは、それによって物体を視認しやすくし、「視認性」の向上にもつながると考えられる。よって、本研究ではこの知見に従い、最も立上り時間が短い矩形波を用いた。

表1 実験で設定した点滅パターン。丸印を付した点滅パターンおよび常時照射パターンを設定した。

		連続点灯時間 [秒]			
		0.125	0.250	0.500	1.000
デューティ比	0.250	○	○	×	×
	0.500	○	○	○	×
	0.750	×	○	○	○

4. 実験

4.1 実験参加者

実験参加者は自動車運転の免許を所持し、運転に支障をきたさない視力を有する20代男性9名であった。実験参加者は実環境における実験および実験室環境における実験の両方に参加した。

4.2 実環境における視認性評価実験

4.2.1 データセット

歩行者領域に合わせて光を照射する前照灯がまだ市販されていないため、高輝度プロジェクタを用いて前照灯による点滅光照射を模擬した。測距センサ^(注1)により歩行者領域を取得し、顔以外の領域に対してプロジェクタから白色光を照射した。照射パターンは3.で述べた計9種類の点滅パターンであり、実験参加者は点滅照射されている歩行者を見て主観評価を行なった。

4.2.2 実験環境

図4に実環境における実験環境の模式図を示す。実験参加者からおよそ50m前方に歩行者を配置し、歩行者に対してプロジェクタ^(注2)を用いて光を照射した。実験場所として、背景に過度に視覚的注意を引く物体が存在しない大学構内の道路を使用した。実際の交通環境を模擬するために、実験参加者のすぐ前方にヘッドライト^(注3)を配置し、ロービームで照射を行ない、そのすぐ後方に実験参加者を椅子に着席させた。また、後述の実験室環境における視認性評価実験で使用するデータセット作成のため、実験参加者からの前方映像を撮影^(注4)した。図2, 3に撮影した映像の連続減灯時間、連続点灯時間におけるフレームを示す。

4.2.3 実験手順

実験参加者に、実際に歩行者に照射された異なる2つの点滅パターンを観察し、「運転者からの視点を想定して歩行者を見つけやすいと感じた方」を選択する課題を与えた。このとき詳細な点滅パラメータ等は教えなかった。以下に具体的な手順を示す。

- (1) 提示対における点滅パターン1を歩行者に数秒間照射する。
- (2) 数秒間、何も提示しない時間を与える。

(注1) : Microsoft 製 Kinect for Xbox 360.

(注2) : SONY 製 VPL-FX37. 有効光束 6,000 lm.

(注3) : IPF 製 341HLB. 色温度 6,500K.

(注4) : FLIR Systems 製 Grasshopper3. 解像度 1,920×1,440 画素のカラー映像を 26 fps で撮影可能.

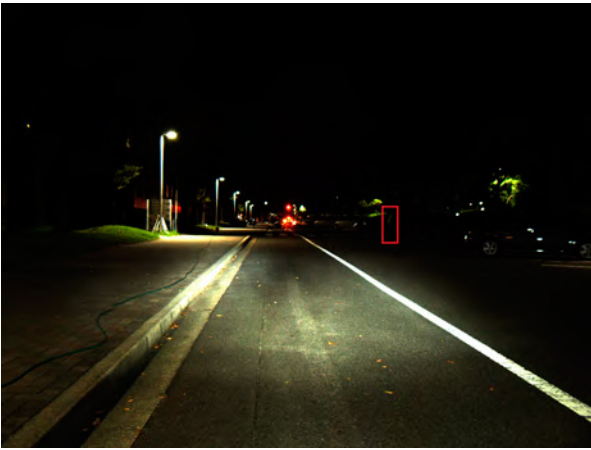


図2 連続滅灯時間におけるフレーム。赤枠で囲まれた領域内に歩行者が存在する。

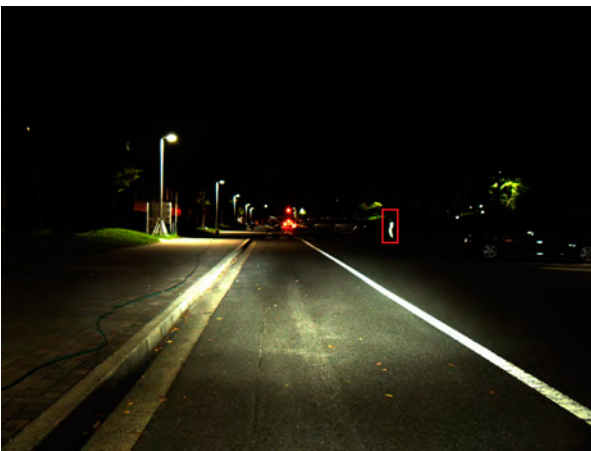


図3 連続点灯時間におけるフレーム。赤枠で囲まれた領域内に歩行者が存在する。

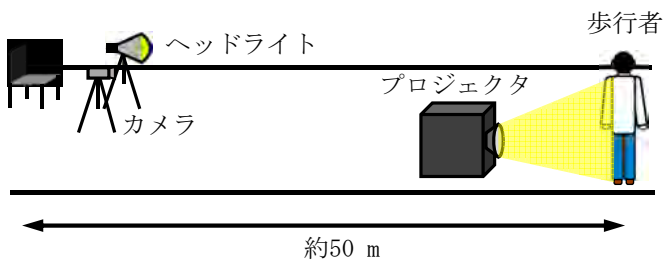


図4 実験環境（実環境）の模式図。

(3) 提示対における点滅パターン2を歩行者に数秒間照射する。

(4) 実験参加者に回答時間を与え、実験参加者は「運転者からの視点を想定して歩行者を見つけやすいと感じた方」を回答する。

手順(2)で数秒間何も提示しない時間を設けたのは、前の点滅パターンにおける残像の影響を低減させるためである。提示は全組合せである36(= ${}_9C_2$)対について行ない、提示対における提示順および全組合せにおける提示対順は無作為とした。また、提示対における各点滅の観察回数および各提示対の観察回数は1回とした。

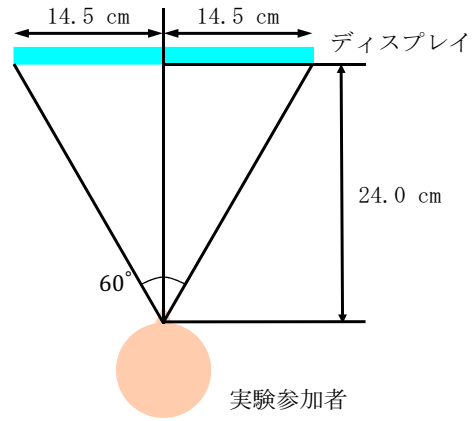


図5 実験室環境におけるディスプレイと実験参加者の位置関係。

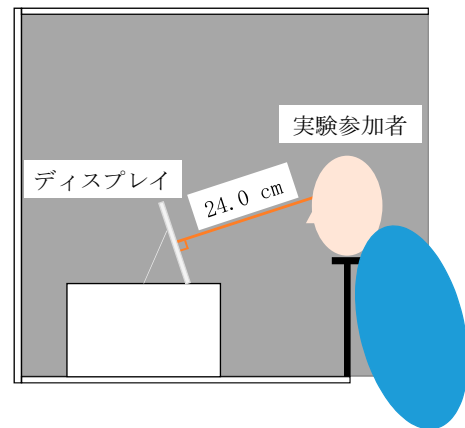


図6 実験環境（実験室環境）の模式図。

4.3 実験室環境における視認性評価実験

4.3.1 データセット

4.2.2で述べた通り、実環境における視認性評価実験で撮影した前方映像を使用した。前方映像から各点滅パターンに対して4秒間の映像を切り出し、それを各点滅パターンの評価映像とした。なお、本実験で実験参加者が見る映像は自身が実環境における実験に参加したときに撮影された映像であり、他の実験参加者が実環境における実験に参加したときに撮影された映像は使用しなかった。

4.3.2 実験環境

図5, 6に実験環境の模式図を示す。本実験では夜間における交通環境を扱うため、外部光の影響により視認性が変化する恐れがある。そのため、図7に示すように、実験参加者および実験装置全体を暗幕で被覆し、外部光の侵入を防止した。

また、ディスプレイ自体の発光の影響を抑えるため、有機ELディスプレイを備えたタブレットPC^(注5)を使用した。有機ELディスプレイはその発光原理から高いコントラスト比が実現でき、黒色の再現度が高い。そのため、本実験のような暗闇や暗所における照明環境を再現することに適している。

4.3.3 実験手順

実験参加者に、異なる2つの点滅映像を観察し、運転者から

(注5)：サムスン電子製 Galaxy TabPro S。コントラスト比 10,000:1



図7 実験室環境における実験装置の様子。実験時には実験参加者と暗幕で被覆する。

の視点を想定して歩行者を見つけやすいと感じた方を選択する課題を与えた。このとき点滅のパラメータ等は教えなかった。以下に具体的な手順を示す。

(1) 実験参加者に画面中に存在する歩行者のおおよその位置を口頭で伝える。

(2) 映像選択画面を提示する。このとき、左右には同一のサムネイル画像を提示した。

(3) 実験参加者は左右の映像のうち観察する映像を任意に一つ選択する。

(4) ノイズ映像を1秒間提示した後、選択された点滅映像を4秒間提示し、再びノイズ映像を1秒間提示する。

(5) 手順(2)と同様の選択画面を提示する。

(6) 手順(3)、手順(4)を繰り返しながら左右の映像の両方を観察し、「運転者からの視点を想定して歩行者を見つけやすいと感じた方」を選択する。なお、左右の映像の観察順、観察回数は任意とする。また、実環境における実験では、複数人同時に行なった関係上、観察順や観察回数を任意にすることが困難であったため、固定とした。

手順(4)で点滅映像提示の前後にノイズ映像を提示することによって、残像の影響を低減させる。また、左右の映像の観察順を任意にすることで、観察順による主観評価への影響を抑えた。なお、提示は全組合せである $36 (= {}_9C_2)$ 対行ない、提示順は無作為とした。

4.4 視認性評価方法

1. でも述べた通り、視認性は「視認のしやすさ」を表す指標であり、人間の感覚に基づく尺度であるため、その値を物理量として求めることは困難である。そこでThurstoneの対比較法[12]によって間隔尺度化することで視認性を定量化した。その後、間隔尺度値の最小値が0、最大値が1になるよう正規化し、その値を歩行者の視認性とした。視認性が1に近いほど視認しやすい点滅パターンである。

4.5 実験結果

4.2.3および4.3.3の手順に従い、4.1で述べた9名の実験参加者に対して、評価実験を行なった。実験で得られたデータに基づいて、4.4で述べた方法で視認性を定量化した。なお、連続点灯時間で表現した場合、点滅の速さが直感的にわかりにくくなるため、時間的特性の代表的な説明因子である周

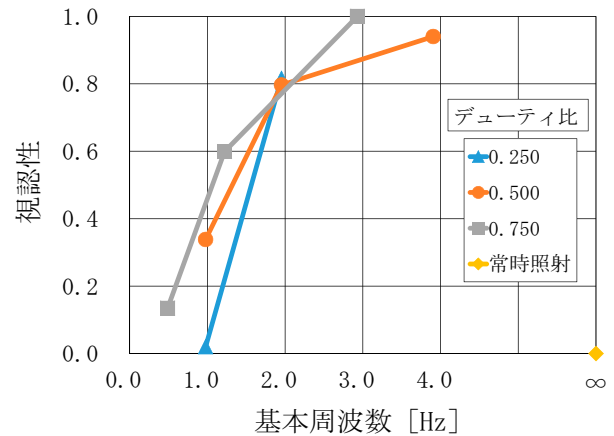


図8 実環境における点滅パターンと視認性の関係。

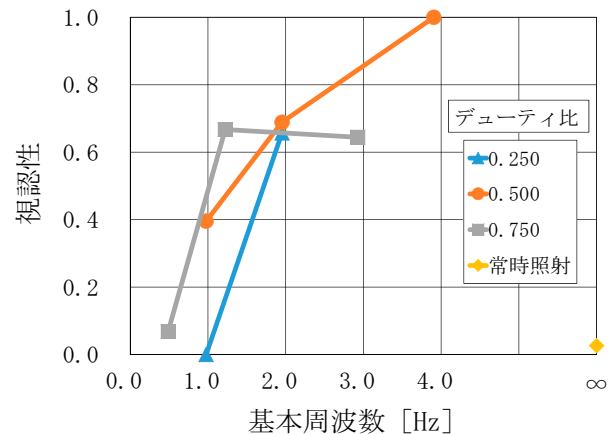


図9 実験室環境における点滅パターンと視認性の関係。

波数に着目し、基本周波数を用いることで各点滅パターンを表した。

図8、9にそれぞれの実験環境における点滅パターンと視認性の関係を示す。実環境ではデューティ比0.750、基本周波数3.0 Hzの点滅パターンにおける視認性が最大であった。一方、実験室環境ではデューティ比0.500、基本周波数4.0 Hzの点滅パターンにおける視認性が最大であり、実環境において視認性が最大であった点滅パターンにおける視認性は実験室環境では実環境ほど高くはならないという結果が得られた。

5. 考察

図8、9で示した通り、実環境と実験室環境の結果には類似している部分と相違している部分が存在する。

類似部分については、まずどちらの実験環境においても常時照射パターンよりも点滅光照射の視認性が高いという結果が得られた。これより、点滅光照射の有効性が示唆される。従来研究においては「顕著性」の計算に点滅の特徴が考慮されており[13]、顕著性には点滅が重要な要素であると考えられる。同様に、「視認性」に関しても点滅が影響し、視認性を向上させるために有効であると考えられる。また、どちらの実験環境においても基本的には周波数が大きくなると視認性が向上する傾向が見られた。人間には点滅が知覚できなくなる周波数(臨界融合周波数, CFF: Critical Fusion Frequency)が存

在し、その周波数を超えてしまうと点滅とは知覚できず、点灯として知覚してしまう。点滅よりも点灯の視認性が低いことが実験結果から示されたことを勘案すると、周波数が高くなりすぎると逆に視認性が低下することが考えられる。しかし、本研究では実験室環境において、その低下を観測することができなかった。そのため、視認性が最大となる周波数の特定にも至らなかった。よって、今後は本実験で取り扱った周波数よりも大きい周波数を混ぜて実験を行なう必要がある。

相違部分については、歩行者の視認性が最大となる点滅パターンが異なっていた。また、デューティ比 0.750、基本周波数 3.0 Hz の点滅パターンにおいて実験環境による結果の違いが顕著に表れている。この結果については以下の原因が考えられる。デューティ比 0.750、基本周波数 3.0 Hz の点滅パターンは連続点灯時間が 0.125 秒、連続滅灯時間が 0.042 秒であり、連続滅灯時間が非常に短いため点灯に近い点滅である。このような点滅が実環境と実験環境で異なる視認性の結果となったことから、点滅が早くなり点灯に近くなると実験室環境では表示装置やカメラの性能により実環境の再現が十分に行なえなかった可能性がある。なお、デューティ比 0.500、基本周波数 4.0 Hz の点滅パターンにおいては、連続点灯時間が 0.125 秒、連続滅灯時間が 0.125 秒であり、デューティ比 0.750、基本周波数 3.0 Hz の点滅と比べて滅灯時間が長いいため、より実環境に近い結果になったと考えられる。

また、実環境では各点滅パターンを 1 回のみ観察させたのに対し、実験室環境では複数回観察することを許容した。これにより、実環境では直感的に見つけやすいと感じた歩行者が選択されたのに対して、実験室環境においては比較をよりじっくりと行なえるため、吟味したうえでの結果が得られた可能性がある。

さらに、実環境においては対比較における各点滅パターンの観察間で想定よりも長い時間が空いてしまう状況が発生した。各点滅パターンの間の時間的空白は前の点滅パターンにおける残像の影響を低減することが本来の目的である。しかし、他の歩行者や自転車等の横断により、想定よりも長くなることもあり、実験参加者がどのような点滅であったかを忘却してしまい、正しく評価を行なえなかった可能性が考えられる。今後の実環境における実験では、そのような外的要因を排除し、適切に評価が行える環境を準備する必要があると考えられる。

6. む す び

本報告では、実環境における歩行者の視認性向上に有効な点滅光照射パターンについて検討するとともに、実験環境の違いが視認性の評価結果に与える影響についてその原因を考察した。実環境では、デューティ比 0.750、基本周波数 3.0 Hz の点滅パターンにおける視認性が最も高く、実験室環境では、デューティ比 0.500、基本周波数 4.0 Hz の点滅パターンにおける視認性が最も高かった。これらの違いは、再現するための環境に表現力の限界があることがその一因であると考えられ、より正確な結果を得るためには実験室環境だけでなく、実環境での評価も必要であることがわかった。

今後の展望としては、より高周波の点滅パターンにおける視認性の変化の調査や、点滅だけでなくテキストの投影や白色以外の光の照射を用いることが考えられる。また、本研究においては背景に視覚的注意を強く惹く物体がない 1 つの実環境において実験を行なった。しかし、繁華街などでは視覚的注意を引く物体が多様に存在するため、そのような環境においても歩行者の視認性を向上させるような照射光について検討していく必要がある。

謝辞 本研究の一部は科学研究費補助金による。

文 献

- [1] 交通事故総合分析センター, “交通統計 平成 27 年版,” <https://www.itarda.or.jp/materials/publications.php?page=4>, 2017. (2018/1/19 参照).
- [2] 前田高志, 平山高嗣, 川西康友, 出口大輔, 井手一郎, 村瀬洋, “ヘッドライトを用いた視認性向上のための歩行者への点滅光照射パターンの検討,” 情処学コンピュータビジョンとイメージメディア研報, 2017-CVIM-207-35, 2017.
- [3] 谷繁龍之介, 道満恵介, 出口大輔, 目加田慶人, 井手一郎, 村瀬洋, “運転時の人間の視野特性を考慮した歩行者の見落としやすさ推定手法,” 信学論 (D), vol.J99-D, no.1, pp.56–66, 2016.
- [4] Y. Imaeda, T. Hirayama, Y. Kawanishi, D. Deguchi, I. Ide, and H. Murase, “Can a driver assistance system determine if a driver is perceiving a pedestrian? –Consideration of the driver’s visual adaptation to illumination change,” Proc. 12th Int. Joint Conf. on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications (VISIGRAPP 2017), vol.4, pp.611–616, 2017.
- [5] A. Kimura, R. Yonetani, and T. Hirayama, “Computational models of human visual attention and their implementations: A survey,” IEICE Trans. Information and Systems, vol.96-D, no.3, pp.562–578, 2013.
- [6] L. Itti, C. Koch, and E. Niebur, “A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis,” IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.20, no.11, pp.1254–1259, 1998.
- [7] V. Navalpakkam and L. Itti, “Search goal tunes visual features optimally,” Neuron, vol.53, no.4, pp.605–617, 2007.
- [8] M. Wakayama, D. Deguchi, K. Doman, I. Ide, H. Murase, and Y. Tamatsu, “Estimation of the human performance for pedestrian detectability based on visual search and motion features,” Proc. 21st IAPR Int. Conf. on Pattern Recognition, pp.1940–1943, 2012.
- [9] 道満恵介, 出口大輔, 高橋友和, 目加田慶人, 井手一郎, 村瀬洋, 玉津幸政, “コントラスト特徴とアピランス特徴の統合による道路標識の視認性推定,” 信学論 (D), vol.J95-D, no.1, pp.122–130, 2012.
- [10] 白岩史, 飛谷謙介, 下斗米貴之, 猪目博也, 藤澤隆史, 饗庭絵里子, 長田典子, 北村泰彦, “LED 警光灯の視認性向上のための感性指標に基づく点滅パターン解析,” 精密工学誌, vol.79, no.11, pp.1159–1164, 2013.
- [11] 日比雅仁, 平山高嗣, 出口大輔, 川西康友, 井手一郎, 村瀬洋, “輝度の明滅が歩行者の見つけやすさに与える影響の初期検討,” 2016 年信学総大, D-12-20, 2016.
- [12] L.L. Thurstone, “Psychophysical analysis,” American J. Psychology, vol.38, no.3, pp.368–389, 1927.
- [13] L. Itti and N. Dhavale, “Realistic avatar eye and head animation using a neurobiological model of visual attention,” Proc. SPIE, vol.5200, pp.64–78, 2004.