

<研究課題> 疲れ目が歩行者の視認性へ及ぼす影響

代表研究者 北里大学大学院医療系研究科 大学院生
(現所属 交通安全環境研究所) 飯塚 達也
共同研究者 北里大学医療衛生学部 准教授 川守田 拓志
北里大学医療衛生学部 教授 石川 均

【抄録】

本研究は、疲れ目による視界のぼやけが歩行者までの距離推定に与える影響を検討した。若年者 30 名、高齢者 30 名を対象に、個々の眼屈折状態に応じて光学的にぼやけを再現するレンズを調整し、明所視および薄明視環境下で、黒い服の Biomotion と高視認性安全服を着た歩行者までの距離推定を 0.75 秒で評価した。四元配置分散分析の結果、レンズ条件と輝度条件が距離推定に有意な影響を及ぼし、特に若年者ではぼやけ度合が増すほど距離を過大推定する傾向がみられた。高齢者は明るさの影響を強く受けたが、レンズ条件の影響はなかった。また、衣服の違いによる距離推定の差はなかった。疲れ目状態は特に若年者の距離認識に影響を及ぼし、薄明視では全般的に距離を過大推定することが明らかとなった。

1. 研究の目的

薄暮や夜間などの暗い時間は運転者の視覚機能が悪いことから、交通事故の発生リスクが高まるため、運転者の視覚機能と歩行者の視認性をいかに高めるかが、交通事故を減らすうえで重要である。視覚機能を低下させる要因の一つに「疲れ目」がある。疲れ目はピント調節機能の低下によって視界がぼかされ、これまでも疲れ目状態で運転することのリスクは指摘されているが、年齢に関係なくパソコンやスマートフォンを長時間使用することが多い昨今、疲れ目状態での運転は多くの人にその機会があると言える。それゆえ、本研究では、疲れ目状態での運転にどのようなリスクがあるのかを眼科学的視点から明確にすることを目的に、光学的にぼかされた眼鏡を装着することで疲れ目の見え方を再現し、ドライバーが歩行者との距離感をはかる能力（歩行者までの距離推定）にどのような影響が生じるのかを明らかにする。

2. 研究方法と経過

2-1 研究参加者

参加者は重篤な眼疾患のない有水晶体眼の平均（±標準偏差）年齢 21.1（±1.7）歳の若年者 30 名と平均年齢 71.4（±4.0）歳の高齢者 30 名である。参加者は事前の視力検査で矯正視力が 1.0 以上を満たす者を選定した。除外基準には、網膜疾患、眼内手術歴のある者が含まれたが、基準に該当する者はいない。本研究は、ヘルシンキ宣言に則り、北里大学医療衛生

学部倫理委員会の承認（承認番号：2024-005）を得て、参加者全員から書面によるインフォームドコンセントを取得して実施された。

2-2 研究環境

本研究は、北里大学相模原キャンパス内の総合体育館 2 階にある、約 50 m²の広さを有するアリーナにて実施した。模擬道路環境は、直線距離 50 m、車線の幅員 3.5 m の 1 車線道路を想定し、参加者の視点から対向車線側にあたる 30 m の位置に歩行者を配置した。照明環境は、照度 300 lx の明所視環境と、照度 0.3 lx の薄明視環境の 2 条件を設定した（図 1）。薄明視環境においては、天井照明を消灯し、参加者側から自動車のすれ違い用前照灯を照射した。

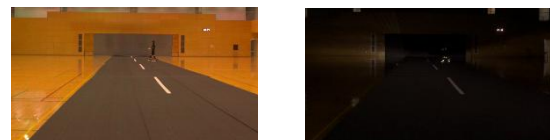


図 1. 明所視と薄明視の実験環境

2-3 歩行者の衣服

歩行者には、黒色の衣服に再帰性反射材を関節部に装着した「Biomotion」スタイルと、ISO 20471（クラス 3）に適合した高視認性安全服の 2 種類の異なる衣服を着用させた。各照明環境下における歩行者の輝度分布は図 2 に示す。

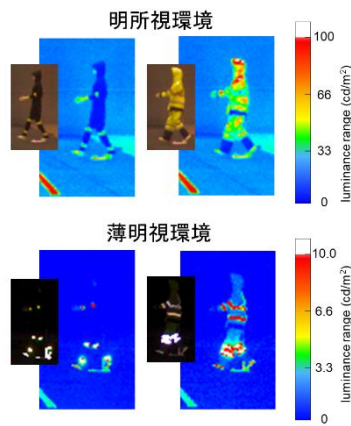


図 2. 各環境での歩行者の輝度分布

2-4 疲れ目の見え方の再現条件

疲れ目による視界のぼやけを再現するため、各参加者の眼屈折異常を自覚的屈折検査によって測定した。個々の完全矯正状態 (± 0.00 Diopter : D) を基準とし、そこから $+0.50$ D、 $+1.00$ D、 $+2.00$ D の 3 段階の球面レンズを付加することで、光学的に視界をぼかした (図 3)。これにより、すべての参加者において同程度のぼやけ感が得られるよう調整し、屈折異常の有無にかかわらず、疲れ目度合に応じた視覚状態を均等に再現した。

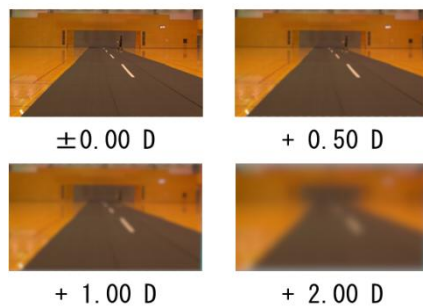


図 3. 各レンズによる見え方

2-5 歩行者までの距離推定法

参加者は、地上高 1.2 m の位置に視線が来るように調整された座席に着座した。歩行者は、参加者の視点から 30 m の位置に配置されたが、その距離は参加者に事前に知らせていない。また、歩行者が視野内に提示される時間は 0.75 秒間とし、提示前後は遮蔽板で視界を遮った。参加者は、歩行者がどの程度の距離に見えたかを 5 m 間隔 (5-50 m) で選択して回答した。なお、実験開始前には、参加者が 5 m 間隔の距離感を把握できるよう、十分な時間を確保してデモンストレーションを行った。

2-6 距離推定データの統計解析

年齢 (若年者・高齢者)、レンズ条件 (± 0.00 D、 $+0.50$ D、 $+1.00$ D、 $+2.00$ D)、輝度条件 (明所視・薄明視)、および歩行者の衣服条件 (黒い服の Biomotion、高視認性安全服) が歩行者までの距離推定に与える影響を検討するため、データの正規性および等分散性を考慮し、非正規分布に適した整列ランク変換法 (Aligned Rank Transform: ART; Wobbrock et al., 2011) を適用したデータに対して四元配置分散分析を実施した。

交互作用または主効果が有意であった場合は、単純主効果検定および下位検定として ART-C による Tukey HSD 検定を用いた多重比較を行った (Elkin et al., 2021)。有意水準は 5% とした。

3. 研究の成果

3-1 四元配置分散分析

年齢の主効果 ($F_{(1, 58)} = 1.8$, $p = 0.19$) および衣服条件の主効果 ($F_{(1, 870)} = 2.9$, $p = 0.09$) は有意ではなく、若年者と高齢者、また黒い服の Biomotion と高視認性安全服との間で、全体的な距離推定に差は認められなかった。一方で、レンズ条件の主効果 ($F_{(3, 870)} = 8.6$, $p < 0.001$) および輝度条件の主効果 ($F_{(1, 870)} = 97.0$, $p < 0.001$) は有意であった。

さらに、交互作用は年齢とレンズ条件 ($F_{(3, 870)} = 2.7$, $p = 0.04$)、および年齢と輝度条件 ($F_{(1, 870)} = 13.4$, $p < 0.001$) で有意であったが、三要因および四要因の交互作用は有意ではなかった。

衣服条件の主効果について、特に薄明視環境において関節の部分的なコントラストを高める Biomotion と身体全体のコントラストを高める高視認性安全服との比較において、反応時間 0.75 秒の条件下で距離推定に差がなく、同等の効果であることが示された。これは歩行者に対して前照灯が照射されている足元の動きに基づき距離推定をしていることが示唆された。

3-2 単純主効果検定及び多重比較検定

年齢とレンズ条件の交互作用が有意であったため、各年齢群におけるレンズ条件 (± 0.00 D、 $+0.50$ D、 $+1.00$ D、 $+2.00$ D) の影響について単純主効果検定を実施した。若年者群では、レンズ条件の主効果が有意であり ($F_{(3, 447)} = 9.2$, $p < 0.001$)、ぼやけ度合いが増すにつれて距離推定に変化が見られた。事後比較の結果、基準となる ± 0.00 D と比較して $+1.00$ D (ART

スコア差分 = 36.8, SE = 10.3, $p = 0.002$) および+2.00 D (ART スコア差分 = 49.0, SE = 10.3, $p < 0.0001$) の条件で有意に距離を長く推定していた (図 4)。さらに、+0.50 D と+2.00 D の比較でも有意差が認められた (ART スコア差分 = 35.8, SE = 10.3, $p = 0.003$)。一方、高齢者群ではレンズ条件の主効果は有意ではなく ($F_{(3, 447)} = 0.9$, $p = 0.40$)、屈折度数の変化による距離推定への影響はなかった (図 5)。これらの結果から、若年者群ではレンズの屈折度数の増加が距離推定に有意な影響を及ぼし、特に+1.00 D 以上の条件で距離を長く推定する傾向が強いことが示唆された。一方、高齢者群ではレンズ条件による影響は統計的に有意でなく、距離推定に大きな変化はみられなかった。これは、加齢に伴う眼の生理的変化に起因すると考えられる。瞳孔径は加齢により小さくなるが知られている。瞳孔径が小さいほど、焦点深度が深くなるため、眼屈折異常や焦点ずれがあっても網膜像は比較的鮮明に保たれる。

このため、高齢者はぼやけの程度に関わらず、距離推定の誤差が若年者ほど顕著に現れなかったと推察される。

年齢と輝度条件の交互作用が有意であったため、各年齢群における輝度条件の影響についても単純主効果検定を行った。若年者群では輝度条件の主効果が有意で ($F_{(1, 449)} = 22.1$, $p < 0.001$)、事後比較において薄明視の方が明所視よりも距離を長く推定していた (ART スコア差分 = 34.5, SE = 7.33, $p < 0.001$)。高齢者群でも輝度条件の主効果が有意 ($F_{(1, 449)} = 137.6$, $p < 0.001$) であり、薄明視の方が明所視より距離を長く推定する傾向は若年者群よりも顕著であった (ART スコア差分 = 85.9, SE = 7.32, $p < 0.001$)。高齢者群は若年者群に比べて輝度条件による影響をより強く受けることが示唆された。この結果は、薄明条件下では視覚的情報の低下や距離の手がかりの喪失により、歩行者を実際より遠方に誤認しやすくなることを示唆している。

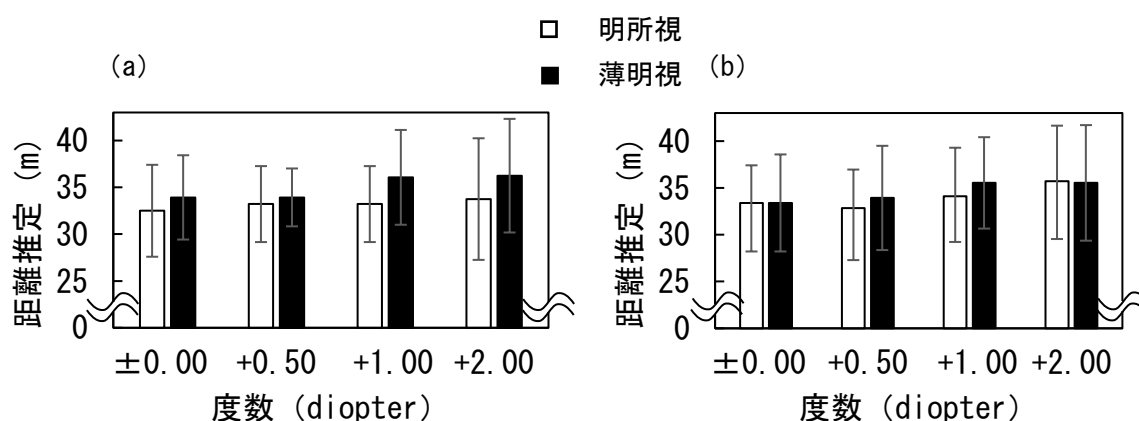


図 4. 若年者の歩行者への距離推定結果
(a) 黒い服のBiomotion (b) 高視認性安全服

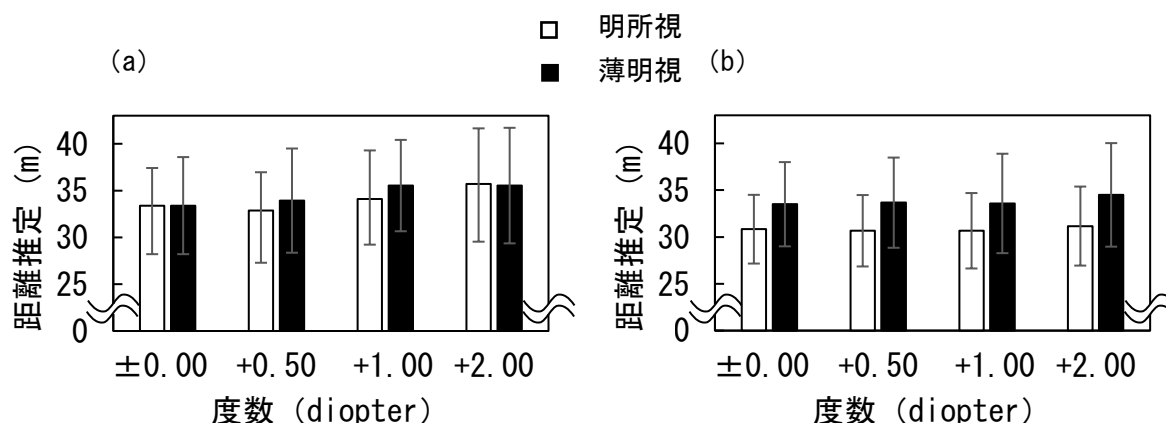


図 5. 高齢者の歩行者への距離推定結果
(a) 黒い服のBiomotion (b) 高視認性安全服

4. 今後の課題

本研究では、光学的ぼやけや輝度の違いが歩行者までの距離推定に与える影響を明らかにしたが、現実の運転環境では、歩行者の動きや背景の複雑さ、対向車のグレアなど、より多くの視覚要因が関与する。今後は、動的な視覚刺激を取り入れた実験や、対向車前照灯のグレア効果との交互作用を検討することが必要である。また、実際の疲労状態や長時間運転後の視機能変化との関連も明らかにすることで、視覚的負荷と距離認識の関係をより実用的に評価が可能となる。

5. 研究成果の公表方法

本研究の成果は、2025 年度（第 58 回）照明学会全国大会において発表予定である（2025 年 8 月）。現在は、国際学会の学術誌に論文を投稿中である。

以上

Impact of Visual Fatigue on Pedestrian Distance Estimation

Primary Researcher: Tatsuya Iizuka
Ph.D. student, Kitasato University
(Current institution: Researcher, National Traffic Safety and Environment Laboratory)
Co-researchers: Takushi Kawamorita
Associate Professor, Kitasato University
Hitoshi Ishikawa
Professor, Kitasato University

Abstract

This study investigated the impact of visual fatigue, simulated via optical blur, on drivers' ability to estimate the distance to pedestrians. Thirty younger and thirty older adults participated. Binocular spherical blur was introduced by adding +0.50 diopter (D), +1.00 D, and +2.00 D lenses to each participant's optimal refractive correction (± 0.00 D), ensuring equivalent levels of defocus across individuals. Participants estimated the distance to a pedestrian—wearing either black Biomotion clothing or high-visibility safety clothing—under photopic (300 lx) and mesopic (0.3 lx) lighting conditions, with a presentation time of 0.75 seconds. A four-way factorial analysis revealed significant effects of lens condition and luminance, with younger adults showing a tendency to overestimate distance as blur increased. In contrast, older adults were more affected by reduced luminance, but not by blurs. Clothing type did not significantly affect distance estimation. These results suggest that blurred vision particularly impairs distance perception in younger adults and that mesopic lighting leads to overestimation of pedestrian distance across age groups.