

低輝点光源によるリビング空間の活動共存性に関する研究

視線行動の安定化と心理的負担低減に着目して

A STUDY ON ACTIVITY COEXISTENCE IN LIVING SPACES
USING LOW-LUMINANCE LIGHT SOURCES

Focusing on stabilization of gaze behavior and reduction of psychological burden

劉 哲辰^{*1}, 鶴 祐梨子^{*1}, 小林 茂雄^{*2}

Zhechen LIU, Yuriko TSURU and Shigeo KOBAYASHI

The effects of lighting conditions on activity coexistence in a living space were examined from the following 3 aspects.

1. Eye-tracking was used to analyze visual behavior, and gaze distribution, dispersion, and spatial clustering were quantified using Shannon entropy and Moran's I.
2. Subjective psychological responses were evaluated through questionnaires and visual analogue scales (VAS), focusing on discomfort and visual fatigue.
3. By comparing high- and low-luminance conditions, relationships between visual behavior and subjective evaluation were clarified, and differences in visual stability and perceived interference were interpreted.

Keywords : Low-luminance light sources, Activity coexistence, Gaze behavior, Visual psychology, Lighting planning

低輝点光源, 活動共存, 視線行動, 視覚心理, 照明計画

1. 背景と目的

1.1 活動共存空間における照明の課題

近年、働き方の多様化に伴い在宅時間が増加し、住宅内で同時に行われる活動の種類や組み合わせは拡大している。特にリビング空間では、家族の一方が仮眠を取り、他方が読書や作業を行うといった、明るさ要求の異なる活動が同一空間内で共存する状況が日常的に見られる。国内の居間照明に関する調査でも、在宅勤務の広がりに伴い、住宅内照明や室内環境に対する関心が高まっていることが報告されている¹⁾。こうした環境では、照明は作業者にとって視認性を確保するため不可欠である一方、就寝者には視覚的違和感や心理的負担の原因となり得る。近年の研究では、住宅の光環境は視覚的快適性に留まらず、心理状態や睡眠の質、さらにはウェルビーイングにも影響する可能性が指摘されている²⁾。つまり、同一空間における照明は、利用者間で相反する効果を同時に持ち得る。

1.2 生活実態調査

リビング空間における活動共存の現状と照明環境に対するニーズを把握するため、家族と同居しリビングでの就寝（仮眠等を含む）経験がある 20 代の大学生・大学院生 93 名を対象にアンケートを実施した（図 1）。本調査は活動共存時における照明への不満を抽出するための予備調査のため、具体的な仮眠頻度や、自室（寝室）における同室就寝者の有無といった詳細な生活属性までは取得していない。しかし、対象者全員が「リビングにおいて明るさ要求の異なる活動の共

存」を経験しており、その際の心理的負担や課題を概観する上で有効な集団であると判断した。その結果、就寝中に他者が照明を点灯した際のまぶしさ感および覚醒経験の有無について、「まぶしさを頻繁に感じる・時々感じる」「覚醒することがよくある・時々ある」との回答が 6 割以上を占め、照明点灯が就寝者に一定の干渉を与える実態が確認された。なお、回答選択肢には頻度の目安を併記して提示した。

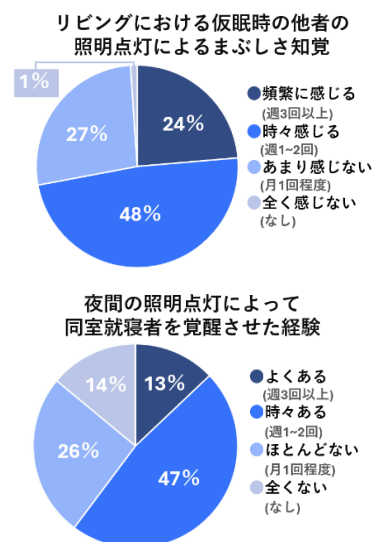


図 1 活動共存時における照明点灯による視覚的干渉の認識 (n=93)

^{*1} 東京都市大学大学院総合理工学研究科 大学院生^{*2} 東京都市大学建築都市デザイン学部建築学科 教授Grad. Student, Graduate School of Integrative Science and Engineering,
Tokyo City University
Professor, Department of Architecture, Tokyo City University

なお、これらの結果は主観的評価に基づくものであり、必ずしも明確な覚醒反応を意味するものではない。しかし、夜間の光刺激は完全覚醒を伴わない場合でも、睡眠の質や生理的覚醒水準に影響を及ぼすことが報告されている^{3) 4)}。

1.3 研究の目的

本研究は、同一空間において異なる活動が同時に行われる状況（以下、活動共存）に着目し、発光面輝度を抑えた照明（以下、低輝点光源）が視線の安定化および心理的負担の低減に寄与するかを、視線行動と主観評価の両面から実験的に検証する。

従来、住宅での活動共存検討は、平面的ゾーニングやパーティションによる物理的視線遮断を中心に行われてきた。しかし近年主流の開放的LDK空間では、視覚的干渉を完全に分離することは現実的ではない。そこで本研究では、空間を分断せず、光の性質を調整することで干渉を低減するアプローチに着目する。具体的には、タスク・アンビエント照明の考え方を応用し、作業に必要な照度を確保しつつ、周囲への漏れ光や光源の高輝度化を抑制した「低輝点光源」が、就寝者の視覚的快適性に寄与するかを検証する。従来定性的に扱われてきた活動共存時の「まぶしさ」や「配慮」といった概念を、視線行動という客観指標により定量的に捉える点に本研究の特徴がある。

発光面輝度と配光特性に基づき、各光源を以下の通り定義する。

1) 低輝点光源：発光面輝度が低く、配光制御により視野内における高輝度領域の出現が抑制される照明。2) 高輝点光源：発光面輝度が高く、特定の観測角度において視野内に極めて高い輝度点（点状光源）が生じる照明。

以上を踏まえ、本研究の目的は、リビング空間における異なる活動間の視覚的干渉の低減に着目し、配光特性の異なる照明が就寝者の視線行動および心理的快適性に及ぼす影響を明らかにすることである。特に、まぶしさを抑制した低輝点光源の有効性を、高輝点光源との比較によって検証し、活動共存を可能にする光環境の条件を実験的に明らかにすることを目的とする。

2. 被験者実験

2.1 実験環境

リビングでの仮眠と作業を模した実験空間（図2）を構築し、配光角が等しい低輝点光源と高輝点光源を各1台使用した。内装反射率を表1に示す。実験空間の代表点における照度と輝度の実測値を表2に示す。なお、消灯時においても、外光による微細な漏れ光や実験機器の表示灯の影響により微小な照度が観測された。

作業者を照射範囲内、仮眠姿勢をとる就寝者を照射範囲外に配置し、就寝者が約40°の方向で光源を視認する条件とした。これは横臥時に視野周辺へ照明が入り込む日常状況を想定したものであり、本研究では器具中心から約50°方向の配光特性を評価対象とした。図3に配光分布とその就寝者視点（50°付近）の拡大図を示す。

就寝者は床座位としたが、視線高さはソファ等で横臥した際目の線高さと同程度となるよう設定した。これは、リビング空間における短時間の休息や仮眠時における視環境を簡易的に再現することを意図したものであり、事前調査においてもリビングでの仮眠はソファや床上で行われる傾向が確認されている。さらに、作業者と就寝者の距離は約2mとし、住宅のリビングにおける活動共存時の一般的な近接関係を想定した。

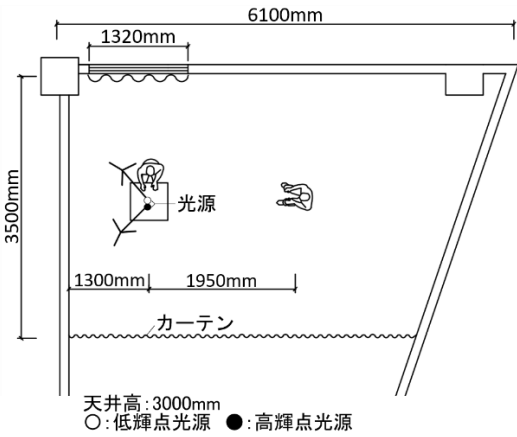


図2 実験空間の平面図

表1 実験空間の内装反射率

部位	素材	マンセル値	反射率[%]
床	カーペット	5PB4/3	12.0
壁	モルタルペンキ塗り	N9.5	80.7
天井	モルタルペンキ塗り	N9.5	80.7

表2 実験空間の代表点における照度および輝度

	照度[lx]		就寝者視点における輝度[cd/m²]			
	机上面	就寝者の目元	光源の顔面	作業者の顔面	机上面	壁面
消灯時	0.16	0.16	0.006	0.006	0.006	0.001
低輝点光源	1098	2.39	3.32	8.29	5.48	0.60
高輝点光源	1160	5.80	2994	8.61	6.36	0.96

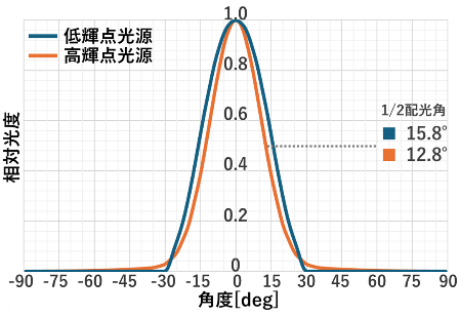


図3 (1) 配光分布

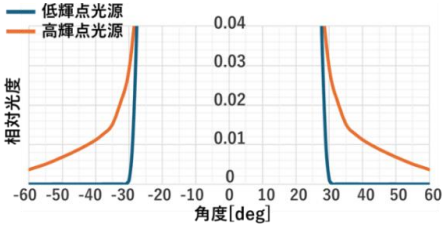


図3 (2) 就寝者視点（50° 付近）の配光分布拡大図

この配光分布により、机上面では約1100lxの照度が確保される一方、就寝者視点では光源の直接視認が抑制され、視野内の輝度コントラストが制御された状態となる。

本実験で使用した照明器具の視覚的な直接露出度を表す指標として、幾何学的遮光角を用いた。遮光角は器具寸法の実測値から算出し、遮光角 θ は式(1)により求めた^{注1)}。

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{d}{r} \right) \tag{1}$$

[d]:器具開口縁から発光面までの垂直距離

[r]:発光面半径

遮光角が大きいくほど、観測位置から直接見える発光面の割合が小さくなり、光源の直接視認性は低下する。また、CIE が定義する不快グレア評価指数 UGR について検討したが、本研究の観測条件では、就寝者が光源の照射範囲外に位置し、視線方向と光源位置の関係が UGR の想定する標準視環境（視対象方向内に光源が存在する条件）と大きく異なる。そのため、UGR 算定式に基づく評価は適用条件を満たさないと判断した。なお、高輝点光源については幾何条件上 UGR 算定が可能であるが、本研究では就寝者視点における視覚的影響の評価を目的としているため、UGR は主要指標とはせず、観測条件に依存しない幾何学的指標である遮光角を用いて照明器具の視覚的特性を評価した。以上の方法により求めた遮光角および基本的な配光特性を表 3 に示す。

表 3 使用した照明器具の幾何学的特性および配光特性^{注2)}

	色温度	最大光度	配光角	遮光角
低輝点光源	2700K	2466.3cd	24°	53.1°
高輝点光源	2700K	3783.7cd	24°	38.7°

実験時の被験者配置を図 4、実験環境を図 5, 6 に示す。壁面および天井面には間接光が生じるが、本研究では光源の直接視認による影響に着目するため、間接光の影響は統一条件として扱った。

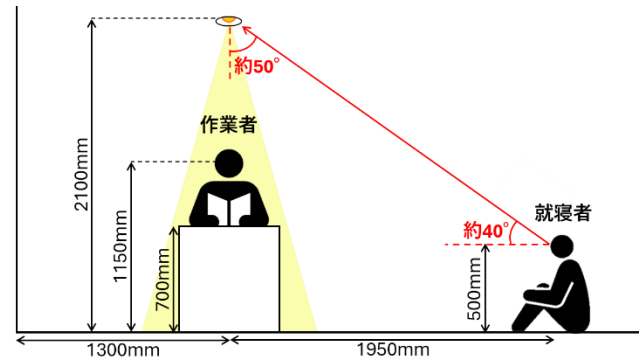


図 4 被験者配置

低輝点光源は発光面輝度を低減する一方で、配光制御により照射領域へ光束を集中させる特性を有する。そのため、光源輝度は低いものの、床面における照射照度は高輝点光源と同等水準が確保されている。一方、高輝点光源は発光面輝度が高いが、視野内に高輝度点を形成する一方で照射分布は相対的に拡散的であり、床面の局所的な照度は低輝点光源と比較して均一性が低い。このため、図 5 に示す低輝点光源での床面が明るく見える結果となっている。



図 5 低輝点光源点灯時の実験環境



図 6 高輝点光源点灯時の実験環境

2.2 実験手順および被験者条件

就寝者の視線行動を定量的に把握するため、就寝者 21 名を対象にアイトラッカー (Pupil Labs) による視線計測を行い、水平約 87°、垂直約 77° の視野範囲における注視分布を比較した。併せて、活動共存時の心理評価を把握するため、就寝者 95 名および作業者 19 名に対して主観評価を実施した。影響を受ける主体である就寝者側の反応を重点的に把握することを目的としており、就寝者の被験者数を多く設定した。一方、作業者は照明環境の提供側として位置づけ、条件の再現性を確保するため被験者数を限定した。なお、視線計測は機器制約により 21 名、VAS 評価はそのうち 18 名を対象として行い、時間経過に伴う心理変化を取得した。また、VAS 評価は点灯前、点灯時、点灯中、消灯後の計 4 時点で実施した。

実験は以下の手順で実施した。外光を暗幕で遮断し既設照明を消灯した暗室で行った。就寝者は入室後、設定した照明条件に順応させるため、計測開始前に室内の全般照明を消灯した状態で 5 分間の順応時間を設けた。この間、視覚感度の安定を図るとともに、暗順応状態でのベースラインを確保した。続いて実験内容の説明後、アイトラッカーのキャリブレーションを行った。作業者には文字の視認性が確保された標準的なフォントサイズの読書課題を与えた。計測中、就寝者は光源方向を注視する開眼状態を維持し、視野内に入る光環境に対する反応を評価した。計測は、順応状態から開始し、消灯 5 秒間、点灯 55 秒間の計 60 秒間とした。なお、光源の呈示順は一定とした。順序効果の影響を考慮し、各条件間には 5 分間の休憩時間を設け、視覚的順応のリセットを図った。点灯直後の過渡応答を避け、定常状態の視覚・心理反応を取得するため、計測終了後に再度消灯し、残像感や回復過程に関する主観評価を行った。被験者は矯正視力 1.0 以上の 20 代の

大学生・大学院生（男女）とし、アイトラッカーの精度を保つため全員裸眼で参加した。本研究は光源の輝度特性に対する反応を主眼としており、視力の個人差による像の鮮明度の違いが、まぶしさの主観評価や視線行動の傾向に及ぼす影響は極めて限定的であると判断した。また、若年層に限定することで、加齢による縮瞳等の影響を排除した。なお、心理的負担を考慮し、作業者と就寝者は知人関係にある組み合わせとした。全被験者に対し、ヘルシンキ宣言に基づき事前説明と同意を得て実施した。

3. 結果

3.1 視線行動

就寝者(n=21)における照明条件別の視線ヒートマップの代表例 5名の結果を図 7 に示す。本図は注視頻度を色相(高:赤, 低:緑)で可視化し、被験者の視野画像と重畳したものである。高輝点光源条件では、視線が光源方向へ誘引される傾向が顕著であり、注視点の分布は空間全体へ広範に及んだ。一方、低輝点光源条件では視線分布が限定的であり、特定領域周辺に安定して留まる傾向が確認された。なお、同様の傾向は他の被験者においても一貫して確認された。すなわち、高輝点光源は空間全体に対する探索的な視線移動を誘発するのに対し、低輝点光源は視線の揺らぎを抑制し、注視行動を安定化させる効果が示唆された。

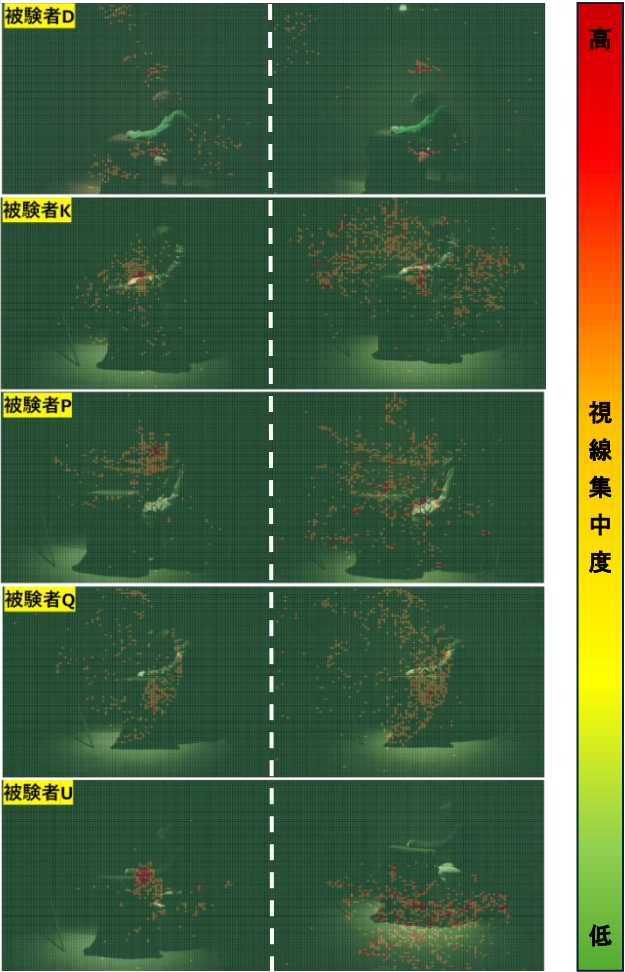


図 7 被験者の視線ヒートマップの代表例
(左：低輝点光源下, 右：高輝点光源下)

3.2 視線分布の定量分析

視線分布の拡散性を定量化するため、視線中心を原点とした平均距離と標準偏差を算出した。机上面は作業者の活動領域として空間内で明確に位置づけられる領域であり、就寝者の視野内においても常に一定の位置関係で認識される視覚的基準点であることから、視線行動を評価する基準位置として設定した。なお、視線中心は被験者ごとに定義しており、画像の回転補正等を行っていない。本研究では個人内比較を主目的としているため、各被験者内での相対的な視線分布の変化に着目して分析を行った。視線座標は正規化座標系（左上(0, 0)～右下(1, 1)）に変換して分析を行い、距離指標は無次元量として評価した。さらに、視線探索の不確定性を評価するため、式(2)によるシャノンエントロピーに基づく指標を導入した。これは視野内の滞在確率から算出され、値が大きいくほど注意配分のランダム性や探索性が高いことを示す^{7)~9)}。

$$H(X) = - \sum_{x \in X} p(x) \log_2 p(x) \tag{2}$$

- [X]: 確率変数
- [x]: 各可能な結果
- [p(x)]: 発生確率（各視線エリアに滞在した割合）

加えて、視線分布の局所的なまとまりを補助的に評価するため、空間的自己相関指標であるグローバルモラン値（Moran's I）を式(3)より算出した¹⁰⁾¹¹⁾。本研究では、視線ヒートマップを Excel 上で 101×101 のセルグリッドに分割し、各セルにおける視線滞在確率を用いて解析を行った。具体的には、アイトラッカーにより取得した注視点座標（視野画像上の座標）を対応するセルに割り当てることで、各セルにおける視線滞在確率を算出した。なお、セル数（101×101）は視線分布の空間的傾向を十分に把握可能な解像度として設定した。表 4 に代表的な被験者の視線分析結果を示す。

$$I = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (Z_i - \bar{Z})(Z_j - \bar{Z})}{\sum_{i=1}^n (Z_i - \bar{Z})^2} \tag{3}$$

- [Z_i]: セル i における視線滞在確率
- [$\bar{Z}$]: 全セルにおける視線滞在確率の平均値
- [w_{i, j}]: セル i, セル j の空間的近接関係に基づく重み係数
- [n]: セルの総数

表 4 代表的な被験者の視線分析傾向								
被験者	机上面からの 平均距離		視線中心からの 平均距離		エントロピー		モラン値	
	低輝点	高輝点	低輝点	高輝点	低輝点	高輝点	低輝点	高輝点
D	0.46	0.40	0.09	0.16	2.61	4.66	0.23	0.28
K	0.29	0.32	0.03	0.18	3.51	5.77	0.55	0.30
P	0.25	0.20	0.03	0.18	3.83	5.33	0.50	0.26
Q	0.21	0.20	0.12	0.15	2.56	4.00	0.01	0.08
U	0.21	0.35	0.03	0.18	4.10	5.75	0.66	0.25

高輝点光源条件では多くの被験者において視線中心からの平均距離およびエントロピーが増加する傾向がみられ、視線分布の拡散および探索性の増大が示唆された。一方、低輝点光源条件ではこれらの値が相対的に小さく、視線の集中および安定化傾向が確認された。図 8 および図 9 は、それぞれ机上面および視線中心を原点とした平均距離を示し、照明条件による視線分布の拡散性の違いを比較したものである。図中には対応のある t 検定の結果に基づき有意差をアスタリスクで示した。

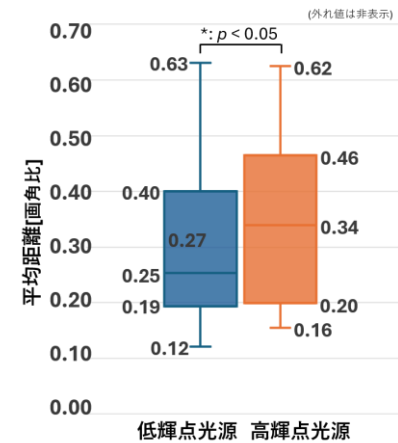


図 8 机上面を原点としたときの視線移動の平均距離

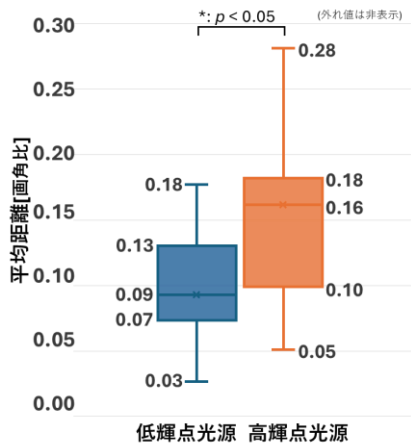


図 9 視線中心を原点としたときの視線移動の平均距離

本研究では、同一被験者に対して異なる照明条件を提示しているため、対応のある t 検定を用いて比較を行った（表 5）。表 5 に示す平均値は幾何平均として算出した。

平均距離、標準偏差（ $p < 0.05$ ^{注 3)}、およびエントロピー（ $p < 0.01$ ）において照明条件間に有意差が認められ、いずれも低輝点光源下で値が小さかった（表 5）。一方、モラン値には有意差がみられなかった。この結果は、低輝点光源が特定の一点への強い注視を生じさせるのではなく、視線移動の振幅を縮小し、不要な探索行動を抑制することを示唆する。高輝点光源下では空間の視覚的活性化により探索的視線が増加するのに対し、低輝点光源では注意が作業領域周辺に留まり、視線挙動が相対的に安定化したと解釈できる。

以上より、明暗要求の異なる活動が共存する状況において、低輝点光源は視覚的干渉を軽減し、各個人の行動を安定化させる可能性が示唆された。

表 5 照明条件による視線分析の有意差検定結果

原点	指標	低輝点光源	高輝点光源	p 値
机上面	平均距離	0.27	0.34	0.03*
	標準偏差	0.12	0.24	0.04*
視線中心	平均距離	0.09	0.17	0.02*
	標準偏差	0.11	0.25	0.02*
	エントロピー	4.48	5.18	<0.01**
	モラン値	0.38	0.36	0.53

3.3 主観評価（選択法および VAS 法）

就寝者（ $n=95$ ）と作業者（ $n=19$ ）へのアンケート結果を図 10、図 11 に示す。就寝者の約 97%が、高輝点光源において眼のストレスや疲労を強く感じると回答した。また、低輝点光源下では仮眠中の点灯許容度が高く、他者の照明使用に対する心理的負担も有意に軽減されると評価された。作業者においても約 90%が低輝点光源の利用を希望し、その主因として「他者（就寝者）への配慮」が挙げられた。低輝点光源は、就寝者と作業者の双方に対し心理的メリットをもたらすことが確認された。

VAS による連続評価（図 12）についても対応のある t 検定を実施した結果、点灯時から消灯後に至る時点において、低輝点光源は「まぶしさ感」「他者に対する不快感」「仮眠への影響度」の各項目で心理的ストレスを有意に低減することが分かった。図中には各時点における有意差検定の結果を示した。消灯後も有意差が残存した点は、点灯中に受容した光刺激量の差が残像感や覚醒水準に影響した可能性を示唆する。高輝点光源では網膜刺激が強く、消灯後も瞳孔応答の回復遅延や視覚的不快感が生じた可能性があり、点灯時との輝度差も大きいいため不快感が残留したと解釈される。

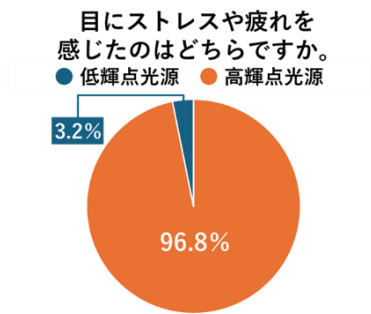


図 10 (1) 就寝者アンケート結果（ $n=95$ ）

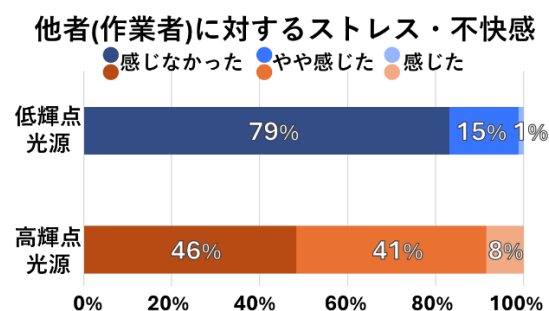
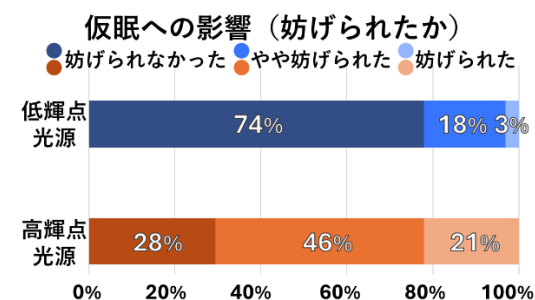
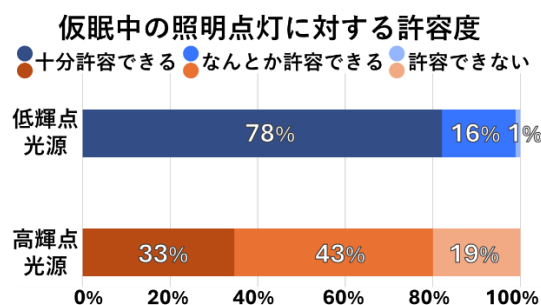


図 10 (2) 就寝者アンケート結果 (n=95)

どちらの照明を使用したい
と思いますか。

● 低輝点光源 ● 高輝点光源

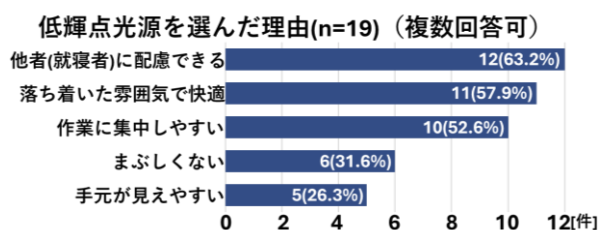
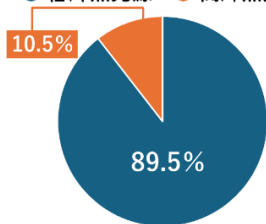


図 11 作業者アンケート結果 (n=19)

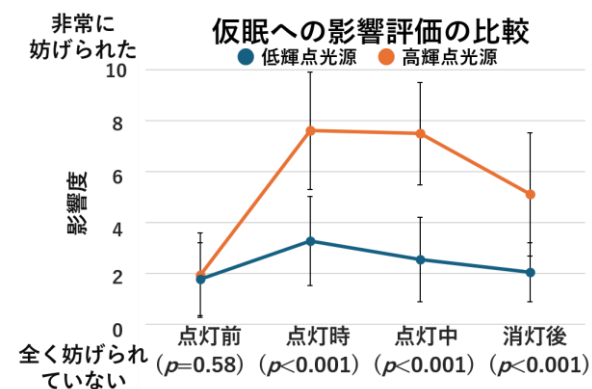
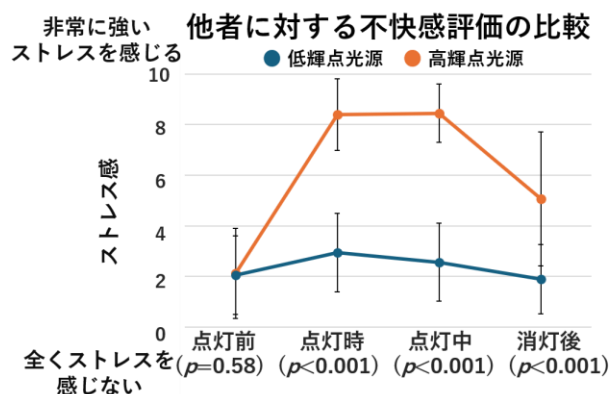
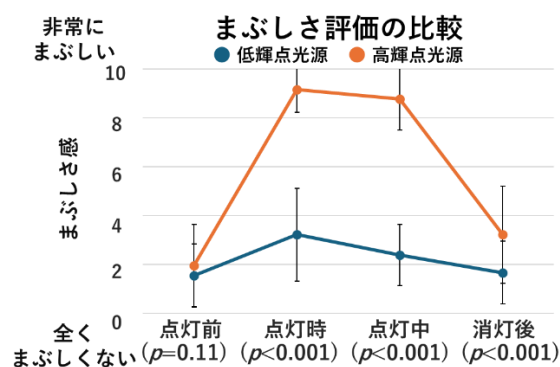


図 12 VAS アンケート結果 (n=18)

4. 考察

低輝点光源は就寝者の視線行動を安定化させ、心理的負担を軽減する効果が示された。高輝点光源下では、視覚的に目立つ領域が空間全体に分布するため注意が分散し、無意識的な探索行動が増加して視線が不安定化したと考えられる。一方、低輝点光源では刺激が作業員周辺に限定され、視覚的ノイズが低減することで、視線が特定の高輝度点に捕捉されにくく、視覚的負担の少ない状態が維持された。

定量分析では、平均距離・標準偏差・エントロピーに有意差が認められた一方、モラン値では有意差が認められなかった。つまり、視線の局所的な集中ではなく、全体的な分散傾向の変化が主要因であることを示唆する。このことは、低輝点光源が視線を特定の一点に強く集中させるのではなく、視線行動全体のばらつきを抑制する方向に作用したことを示しており、エントロピーや平均距離の結果と補完的な関係にあると解釈できる。また、VAS 評価との対応から、低輝点光源は

心理的負担の軽減に寄与する可能性が高い。

さらに、就寝者・作業双方における主観評価から、低輝点光源は他者への配慮を可能にし、活動共存環境での心理的メリットをもたらすことが確認された。消灯後に残存する不快感の差は、点灯中の光刺激蓄積や覚醒レベルの差に起因すると考えられる。高輝点光源は網膜刺激が強く、明暗差が大きいため消灯直後にも視覚的不快感および心理的負担が残留しやすいことも示された。これらの結果から、低輝点光源は就寝環境や活動共存空間における照明設計において、視覚的干渉を抑えつつ心理的負担を軽減する有効な手段であるといえる。

本研究では、加齢による視覚特性の影響を排除するため若年層に被験者を限定した。そのため、本結果は高齢者を含む全居住者に直接適用できるものではない。しかし、輝度コントラストと視線探索行動の関係性という基本的傾向については年齢層を問わず成立する可能性があり、今後は高齢者を対象とした追試により適用範囲を検証する必要がある。

5. まとめ

本研究では、視線行動と主観評価の両面から、低輝点光源が活動共存時における視線の安定化と心理的負担の低減に有効であることを確認した。高輝点光源は空間全体への視線探索を促すのに対し、低輝点光源は他者との視覚的干渉を抑え、個々の活動を尊重する光環境を形成することが示された。その結果、各活動の質を高めつつ、他者への配慮がしやすい環境を提供できる可能性が示された。

また、視線安定化と心理的負担の低減が同時に確認され、両者の関連性が示唆された。本知見は、多目的化する現代住宅における照度設計に加え、光源輝度の制御が居住者の心理的プライバシーと活動共存を両立させる重要な設計変数であることを示すものである。低輝点光源は単なる眩しさ抑制の手法にとどまらず、異なる活動が同一空間で共存する状況を支える有効な光環境設計の手法といえる。また、タスク・アンビエント照明の観点からも、光源差だけでなく空間全体の輝度分布の適正化が活動共存をサポートすることが示唆される。

本研究の知見は、同一空間内で異なる行為や覚醒レベルが混在する生活空間において、視線行動の安定化を通じて心理的境界を形成する光環境設計の可能性を示すものである。以上より、光源輝度の制御は、活動共存環境における視覚的干渉の抑制と心理的負担の軽減に寄与する重要な設計要素である。

本研究で使用した低輝点光源は、京セラ株式会社により制作されたものである。竹内絵梨氏、杉田丈也氏、上野新氏には、実験実施にあたり貴重なご助言を賜った。また、共同研究者である東京都市大学大学院の池上善紀氏には、本研究の遂行にあたり多大なる協力をいただいた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 旭化成建材株式会社: “共働き夫婦 在宅勤務経験者”の住まいと暮らしの意識・実態, 旭化成建材株式会社ニュースリリース, 2021
- 2) Osibona, O., Solomon, B. D., Fecht, D.: Lighting in the home and health: A systematic review, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol.18, No.2, Article 609, 2021
DOI: 10.3390/ijerph18020609

- 3) Cho, J. R., Joo, E. Y., Koo, D. L., Hong, S. B.: Let there be no light: The effect of bedside light on sleep quality, *Sleep Medicine*, Vol.16, No.1, pp.154–157, 2015
DOI: 10.1016/j.sleep.2014.09.012
- 4) Fotios, S.: A review of subjective methods for evaluating glare, *Lighting Research & Technology*, Vol.47, No.5, pp.513–533, 2015
DOI: 10.1177/1477153515594059
- 5) CIE: Discomfort Glare in Interior Lighting, CIE 117:1995, CIE Technical Report, 1995
- 6) CIE: Calculation and Presentation of Unified Glare Rating (UGR), CIE 190:2010, CIE Technical Report, 2010
- 7) Shannon, C. E.: A Mathematical Theory of Communication, *Bell System Technical Journal*, Vol.27, No.3, pp.379–423, 1948
- 8) Shiferaw, B., Downey, L. A., Crewther, D.: A review of gaze entropy as a measure of visual scanning efficiency, *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, Vol.96, pp.353–366, 2019
DOI: 10.1016/j.neubiorev.2018.12.007
- 9) Chen, W., et al.: Eye-tracking metrics as measures of visual attention dispersion, *Transportation Research Part F: Psychology and Behavior*, Vol.89, pp.109–128, 2022
DOI: 10.1016/j.trf.2022.08.003
- 10) Moran, P. A. P.: Notes on Continuous Stochastic Phenomena, *Biometrika*, Vol.37, No.1, pp.17–23, 1950
- 11) Xiong, H., et al.: Spatial autocorrelation analysis of gaze data in naturalistic tasks, *Scientific Reports*, Vol.13, No.1913, 2023
DOI: 10.1038/s41598-023-29078-1

注

- 注1) 遮光角は光源の視覚的露出度を示す幾何学的指標であり、不快グレアを直接評価する指標ではない。本研究では、UGRの算出条件の限定的であることを踏まえ、その補助的指標として併記した。
- 注2) 最大光度は、メーカーが公開するIES形式の配光データを用い、鉛直角0°における規格化光度分布から算出した。なお、配光データはJIS/CIEに基づく基準条件で提供された値である。
- 注3) 標準偏差は、データの正規性を確保するためln変換を行った上でt検定を実施した。

(2026年2月9日原稿受理, 2026年6月2日採用決定)