

# 光環境と睡眠

## Light environment and sleep

小山 恵美\*      澤井 浩子\*\*  
Emi KOYAMA      Hiroko SAWAI

\*京都工芸繊維大学 情報工学・人間科学系

Faculty of Information and Human Sciences, Kyoto Institute of Technology

\*\*京都工芸繊維大学 研究戦略推進本部

Research Strategy Promotion Center, Kyoto Institute of Technology

キーワード：光環境 (Light environment)、睡眠衛生 (Sleep hygiene)  
非視覚的生理作用 (Non-visual physiological effects)  
分光分布 (Spectral distribution)、照度 (Illuminance)

### 1. はじめに

睡眠の生理学的な成り立ちを考慮すると、自分の意志や意識によって自分の睡眠そのもの（入眠のタイミング、睡眠段階の時間的分布など）を制御することは不可能である。また、起床後の活力につながるような睡眠がとれるとヒトは眠りを本能的に心地よいと感じるものである一方、睡眠量の不足や睡眠状態が適正でない期間が長く続くと心身への悪影響がさまざまな面で生じることも知られている。したがって、個人にとって満足感の得られる睡眠をとり、日常の生活を充実させるためには、覚醒中の生活行動や生活上の工夫、生活スタイルの改善などによって、「睡眠衛生」を向上させることが求められる。

「睡眠衛生」とは、健康な睡眠の確保を目的として、睡眠関連の問題点を解消し、質の良い睡眠をとるような条件を整えることである。睡眠衛生の分類には諸説あるが、本稿では、白川らの分類4項目<sup>1)</sup>（①概日リズムの規則性の確保、②日中や就床前の良好な覚醒状態の確保、③適正な睡眠環境の整備、④就床前のリラックスと睡眠への脳の準備）をとりあげ、睡眠衛生の向上という観点から、光環境と睡眠について概説する。

### 2. 睡眠衛生と光環境

一般的には、睡眠環境を睡眠衛生の分類項目の一つとしてとらえる場合に、「③適正な睡眠環境の整備」の項目で、具体的には寝室の音（騒音）、温湿度、光（照明）などの物理的な環境条件や寝室の雰囲気を整え、寝具や寝衣に配慮すること<sup>2)</sup>、に着目することが多いと思われる。就寝前や就寝中の寝室空間および寝床内部の物理的環境要素が睡眠中の心身の状態に直接的な影響を与えることは確かであるが、生活環境における何らかの物理的刺激が脳の睡眠中枢に直接作用して睡眠をもたらすという知見は得られていない。むしろ、感覚器から入力される物理的刺激が増大すると、一般的には覚醒・緊張方向の反応につながり、睡眠に悪影響を与えることに留意する必要がある。したがって、夜間の物理的睡眠環境については、覚醒・緊張方向の刺激を極力減らして、脳が自然に眠ろうとする力を妨げないように整備することが基本の考え方になる<sup>3)</sup>。この考え方は、睡眠衛生分類項目の④ともつながるものである。光の覚醒・緊張方向の作用については、3. で具体的に解説する。

一方、睡眠衛生向上に役立つ生活空間の光環境整備は、睡眠の概日リズムとの関連性や光の概日リズム調整作用、さらには、睡眠と覚醒との相補的な関係（日中の覚醒状態が良好であれば夜間の睡眠の質も良くなるという好循環を形成し、逆の場合には悪循環に陥る。）を考慮すると、夜間の就寝前や就寝中に限られるものではなく、日中の光環境もまた、夜間の睡眠に影響を及ぼすことがわかっており、前記の睡眠衛生分類項目の①や②とのつながりも大きい。

以上のことから、光環境をはじめとする生活環境整備や生活行動の工夫などによって睡眠衛生の向上を図る

場合に、1日の時間帯を考慮に入れて、それぞれの生活時間帯に適した方法を選択することの必要性が導かれる。それらの生活行動を時間帯別にまとめた例を図1に示す。図1において、光環境の項目は昼夜にわたってみとめられるが、単に光環境の物理的特性に着目するだけでは不十分で、それらの特性を時間帯別にどのように使い分けるのが重要となる。

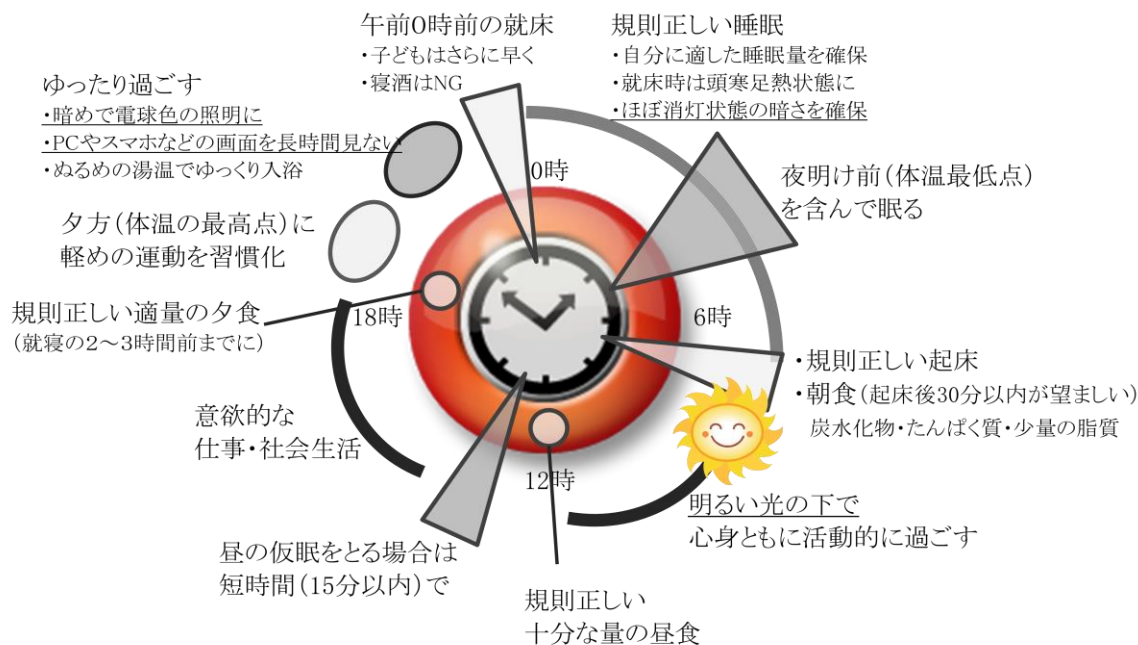


図1 睡眠衛生の向上を図るための時間帯別生活行動の例 (小山<sup>4)</sup>の図3-4、p71 を一部修正) 光環境に関わる項目を強調表示している。

### 3. 光が心身に及ぼす影響

日常の生活空間における「光」は、可視光波長域(約 380~780nm)を中心とする自然光(太陽光、月光など)あるいは人工照明光(炎、電気照明光など)であり、対象物の形や色を認知するために必要な「あかり」としての役割が大きい。生活空間での光環境において「あかり」としての役割を担う光源としては、自然光・人工光ともに、物体の色彩を識別する必要があることから、可視光域の中で複数の波長帯域を含み特定の色相に偏って見えない光(白色光)が用いる必要がある。「あかり」としての光は、日常の生活空間に対する適合性や満足感の向上、あるいは、暗闇に対する不安感の軽減などの心理的・精神生理的な影響を人間にもたらすと一般に考えられている。

一方、生物としてのヒトにとって、「光」の役割は「あかり」だけでなく、他の生物と同様に生命活動に直結する生理的な役割がある。眼球に入る光の情報は、網膜のさまざまな光受容器で電気信号に変換され、視神経を通過して脳に伝達されるが、「あかり」としての信号が脳(視覚情報処理に関わる後頭葉視覚野)に伝わる途中で分岐し(図2<sup>5)</sup>)、視交叉上核(概日生物時計の中核)から脳幹を經由して一度脳の外に出た後、再び脳に入って松果体に到達する。この途中で分岐した光の信号は、生物時計の調節の他、直接的な脳の覚醒作用、交感神経の亢進作用、夜間に分泌されるメラトニンの生合成を(夜間の光曝露で)抑制する作用など、総じていうと覚醒・緊張方向の生理的作用を視覚情報処理とは無関係にもたらすことが知られている。このような生理的作用は、非視覚的(非イメージ形成的)生理作用と呼ばれており、眼球で受光する光の量や時間が増えるにしたがって(当然、下限と上限は存在する)、覚醒・緊張方向の刺激が増大するが、それらの作用は、その光をどう感じるか(好き嫌いなどの印象)とは無関係に生じることが特徴的である。



態でも、瞼により受光量は減衰するが、光量が多ければ、信号は脳に伝達される。ここで、表1に示されている非視覚的生理作用が（有意に）生じ始める光曝露条件というのは、その条件より少ない曝露量では覚醒・緊張方向の作用が生じないことを意味しているわけではない。したがって、たとえば、寝室の明るさとして 30 lx 未満であれば覚醒・緊張方向の影響を生じないと解釈するのは誤りである。

表1 光の非視覚的生理作用を生じ始める光曝露条件（小山<sup>8)</sup>、表IV.6、p 343を転載）

非視覚的生理作用	光曝露条件	使用光源	発表者	発表年・発表誌
メラトニン分泌ピーク付近 時間帯の抑制	2,500 lx ×2時間 (1,500 lx で部分抑制)	白熱電球 (投光器)	Lewy et al	1980 Science
夜間睡眠の質低下 (浅眠化, 遮光動作など)	50 lx ×就寝中 睡眠後半では 30 lx ~	蛍光灯 (天井)	岡田 他	1981 家政学研究
メラトニン分泌開始の抑制	250 lx ×3時間	白熱電球 (卓上箱)	Trinder et al	1996 J. Sleep Res
体温リズム位相反応におけ る dose-response	180 lx ×5時間×3夜	cool white 蛍光灯 (天井)	Boivin et al	1996 Nature
メラトニン抑制; 500~5,000 lx 曝露結果による推定閾値	393 lx ×30分 285 lx ×2時間	cool white フルスペクト ル蛍光灯	Aoki et al	1998 Neuroscience Letters
メラトニン抑制と メラトニンリズム位相反応	120 lx (dose-response の 中央照度) ×6.5時間	cool white 蛍光灯 (UV カット)	Zeitzer et al	2000 J. Physiology
メラトニン分泌ピーク付近 時間帯の抑制	3.1μW/cm <sup>2</sup> ×1.5時間	単波長光, 460nm 付近 (キセノンアークランプ を分光)	Brainard et al	2001 J. Neuroscience

非視覚的生理作用を生じ始める光曝露条件を報告した先行研究結果を抜粋した。Lewy らの発表後、夜間の一般的室内照度レベルでも非視覚的生理作用を生じ始めることが示されたが、その光曝露条件は、ある環境の明るさだけでは決まらず、曝露時間や光源の波長特性にも依存し、昼光色や昼白色の蛍光灯では白熱電球よりも低い照度条件から影響が生じ始めると考えられる。

光の波長による重み付けについて、白熱電球や蛍光灯を光源とする先行研究においては、蛍光灯の相関色温度 (K) による生理作用の違いが検討されてきた。光の非視覚的作用は、受光する波長によってその大きさが異なり、青色付近の短い波長成分の影響が相対的に大きいといわれている<sup>9)</sup>。現状では、夜間のメラトニン抑制率の予測式が提案されている<sup>10)</sup> 例はあるが、覚醒・緊張方向の生理作用がメラトニン抑制率ですべて説明できるとは限らない可能性もある<sup>11)</sup> ことから、波長成分による重み付けが明確に数値化されているわけではなく、実用上は、光源の種類によって非視覚的生理作用をもたらしやすい順位がだいたい決まる、と考えればよい。つまり、相関色温度が高くなるほど、その光源に含まれる短波長 (青色) 側の成分が多くなるので、非視覚的な覚醒・緊張方向の作用も相対的に増大する<sup>12-14)</sup> ことになる。ただし、これは大まかな傾向であって、相関色温度に近い光源であってもその分光分布が同様になるとは限らず、ヒトに及ぼす生理的あるいは精神生理的影響が異なる場合もあるので、特に分光分布のパターンが多様な LED 光源については、相関色温度の値だけでなく、分光分布も考慮する必要がある。

近年、網膜光受容器への刺激の大きさ (刺激値) を受容器別に推定する試みが注目されている。これは、眼球付近の分光放射照度の値から、光が眼球の各細胞を透過して網膜上で受光される量を、光受容器の刺激値として予測する式を作成する試み<sup>15)</sup> であり、視覚情報処理を司る桿体 (ロドプシン; 緑~青緑の 500nm 付近にピーク) や錐体 (L 錐体; 黄周辺にピーク、M 錐体; 緑周辺にピーク、S 錐体; 青~青紫周辺にピーク) に加えて、視覚情報処理には関わらない神経節細胞 (メラノプシン; 青~青緑付近にピーク) の一部 (ipRGC) も受容器として機能すると考えて予測式が作成されている。このよう

に、生理作用に関与する網膜の光受容器は複数種類あり、その分光吸収度のピーク波長が受容器の種類によって異なるが、青色付近の単色光がもたらすメラトニン分泌抑制作用が相対的に大きいというもの、他の波長成分を加えると減衰することが報告され<sup>16)</sup>、複数の波長成分を含む白色光の影響を調べる際に、各光受容器への刺激の大きさを把握する必要があることが背景になっていると思われる。このような光受容器の刺激値を用いて生理的作用を予測することは、今後の課題として残されている。

生活空間における居住適合性という観点では、光の非視覚的生理作用という生物的影響だけでなく、視覚がもたらす生理心理的影響とともに、特に寝室では安全確保という安心感をもち形や色を知覚するのに必要な「あかり」本来の役割についても考慮する必要がある、非視覚的生理作用が小さいと考えられる低照度領域では、視覚による心理的影響の重みが相対的に増大すると考えられる。したがって、一般照明用途においては、黒体軌跡付近の白色光範囲内の分光分布を有する光源を利用する必要がある。白熱電球や蛍光灯を対象とした先行研究において、通常的生活空間で利用する光環境という観点から、照度と相関色温度を白色光範囲内で変化させて主観評価を比較した結果をまとめると、1940年代の古典的研究から1990年代の3波長型蛍光灯を用いた複数の研究を通して大筋で一貫性がみられる。相関色温度が低い空間（～3000K程度）については落ち着いた暖かい雰囲気となって比較的照度（～200 lx程度）条件が適切であるのに対し、相関色温度が高い空間（4000K程度～）については低照度では寒々とした陰気な雰囲気となるので高照度条件が適切である、という結果が示されている。<sup>5)</sup>

良質な睡眠確保のために睡眠と覚醒のサイクルに着目すると、1日の時間帯に応じて光環境の生活適合性が変動することが示される。すなわち、夜間は眠りに入ろうとする心身の状態を妨げないように覚醒方向の作用を弱める（受光量を減らす）必要があり、逆に昼間は覚醒維持を助けるように受光量を確保する必要がある。さらに、光環境が心理的違和感を生じないような分光分布（相関色温度）の光源を選択する必要がある。生活空間の光環境を大まかに照度と相関色温度の2軸で生活適合性を昼夜で評価した模式図を図3に示す。

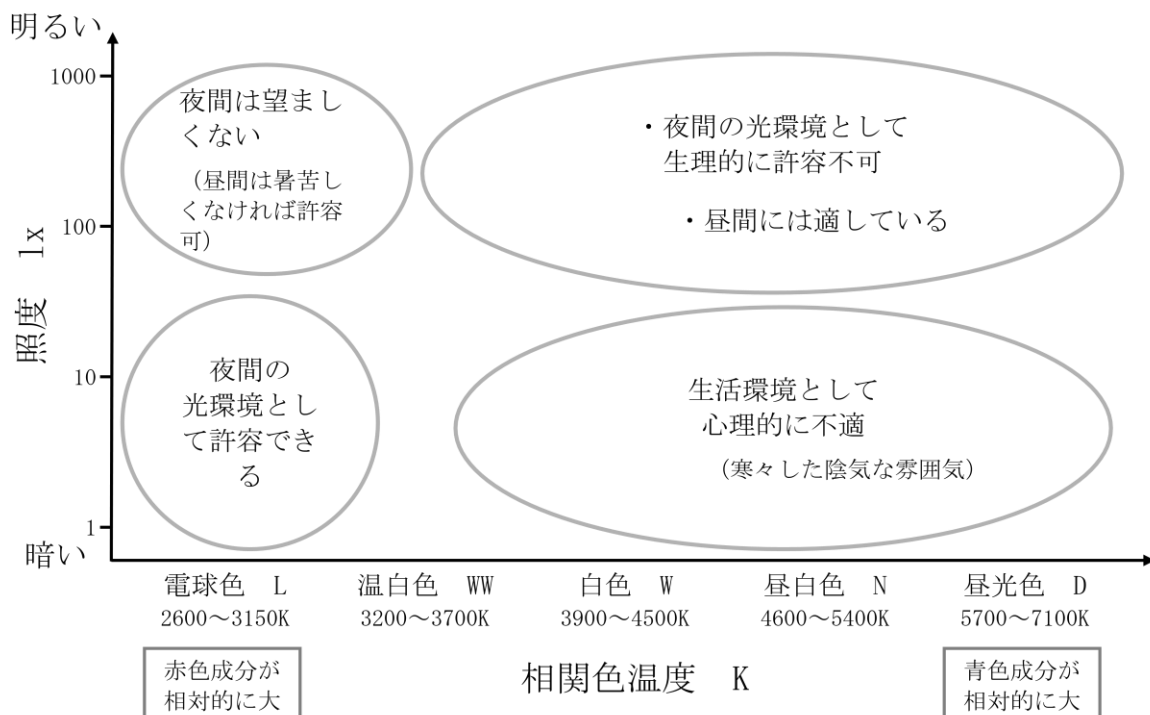


図3 明るさ（照度）と分光分布（相関色温度）による生活適合性評価（模式図）

（小山<sup>5)</sup> の図3、p 31 を転載）

照度軸・相関色温度軸ともに、数値はおおよそ目安である。相関色温度軸の光色（3波長型蛍光灯）とその相関色温度範囲は、JIS Z 9112 による。

#### 4. 睡眠と光環境の現状問題点と解決方向性について

以上のことから、夜間の睡眠と日中の覚醒を適正に確保するためには、分光分布に留意して光の量を1日の生活時間帯に応じて使い分ける、すなわち、朝は目覚めを助け、日中は覚醒維持のために光を活用し、夜には余分な覚醒作用を生じないよう不必要な光を減らし、就寝時はできるだけ暗い環境を確保することが、光環境整備の原則である。この原則は、一見、生物学的にごく当たり前のことである印象を受けるが、現代の日本社会で、当たり前に思える光環境整備ができていないことが問題である。

日本人が睡眠（という行動）に費やす時間が20世紀後半以降減少傾向にあることは、さまざまな調査により示されている。「日本人の生活時間・2010—NHK国民生活時間調査」<sup>17)</sup>によると、30分以上の仮眠も含めた睡眠に費やす時間は、就寝時刻が遅くなる夜型化が進行したことから1960年代から2000年にかけて減り続け、2005年で減少傾向が下げ止まりとはならず、20歳代・30歳代以外の年代では、起床時刻が若干早くなる傾向も加わったために、2010年にかけてもさらに減少傾向を示している。

このような傾向の背景のひとつには、電力および電気照明の普及によって、自然の夜と生活の夜とが乖離してきたことが考えられる。現代社会の光環境においては、光への曝露量が昼間不足して夜間過剰となっていること、灯火や白熱電球に比べて青色波長成分を多く含む光源の夜間利用が増えていることが、健康的な睡眠を阻害する問題点である。千年前の睡眠習慣や光環境との比較研究などから、現代では夜間の室内の明るさが増大し、かつ任意に消灯時刻を決められるようになったことから、生物リズムのパラメトリック同調を司る明暗変化のうち昼から夜への移行の薄明部分が消失し、生物にとって昼間に相当する時間が延長し、就寝起床時刻の後退につながっていることが示されている<sup>7)</sup>。したがって、昼間の受光量が不足することよりも、夜間の光が過剰であることの方がより深刻な問題点と考えられ、相関色温度の高い分光分布を有する光源が夜間に使われた場合には、青色波長成分も増大することが懸念される。昼夜の覚醒と睡眠のサイクルを健康的に維持するためには、昼間はできるだけ明るくするとともに青色波長成分を白色光としてのバランスの範囲内で確保し、日没後は相関色温度の低い光環境で過ごし、さらにパラメトリック同調を成立させるために、夜間就寝前から就寝中にかけてまとまった時間の暗さを確保し、起床前には暗から明への移行部分の薄明漸増状態を作ることが重要と考えられる<sup>7)</sup>。

さらに、光源選択も重要である。短波長成分が相対的に多い光源（昼光色や昼白色の蛍光ランプ・LED）を室内照明<sup>18)</sup>やLCDディスプレイのバックライト<sup>19)</sup>に用いて就寝前の時間を過ごすすと、一般家庭の室内照明レベルの高照度ではない条件においても、その後の睡眠状態の不安定化など好ましくない影響を及ぼす可能性が示唆されている。さらに、相関色温度の高い光源を夜間の照明に使用することは、特に、子ども達に好ましくない影響（概日時計の位相後退やメラトニン分泌抑制）を及ぼすことが懸念されている<sup>20)</sup>。

夜間の生活行動における安全確保のためには、電気照明を全く利用しないわけにはいかないが、空間の照度を下げる場合には、光源の選択に注意する必要がある。黒体放射を発光原理とする白熱電球については、電力を減らして調光しても、さほど違和感を生じないが、短波長成分の多い昼白色あるいは昼光色の蛍光ランプやLEDの場合には、低照度条件では寒々とした陰気な印象となる傾向があるので、生理的覚醒作用が生じるかどうかにかかわらず、その利用は望ましくない<sup>21)</sup>。白熱電球と同程度の相関色温度（電球色；2600～3150K）を示す蛍光ランプやLEDも実用化されているが、白熱電球と全く同じ印象にはならず、低照度条件ではその差異が大きくなる傾向がみられる<sup>22)</sup>。

3波長型蛍光ランプに比べて、LEDの場合はより多様な分光分布特性を有する光源が同程度の相関色温度を示す場合があり、相関色温度数値だけで光源を評価することには問題があり、その分光分布や空間の印象に着目して光源を選択することが望ましい。最近では電球色LED照明の分光分布特性や配光特性に改良が加えられ、夜間の照明として用いた場合の違和感が減る傾向にはあるが、低照度条件では白熱電球の方が心理的適合性において優っており、さらなる技術的改良が望まれる<sup>5)</sup>。

## 5. おわりに

眼球から大脳視覚領域に伝わる途中で分岐した光の信号は、総じて覚醒・緊張方向の生理作用を視覚情報処理とは無関係にもたらすことが知られている。したがって、睡眠衛生の向上という観点から適正な睡眠確保を考える場合に、朝は目覚めを助け、日中は覚醒維持のために光を活用し、夜には余分な覚醒作用を生じないよう不必要な光を減らし、就寝時はできるだけ暗い環境を確保することが、光環境整備の原則である。さらに、光の量や相関色温度だけでなく分光分布・光源の種類にも留意する必要がある。

### 【引用・参考文献】

- 1) 白川修一郎 (1999) : おもしろ看護睡眠科学, 第3章 睡眠健康・睡眠衛生. メディカ出版, pp. 88-97
- 2) 松本一弥 (1994) : 睡眠学ハンドブック ; 日本睡眠学会 編, 10.4. 睡眠衛生. 朝倉書店, pp. 100-102
- 3) 小山恵美 (2009) : 睡眠学 ; 日本睡眠学会 編, 18-1. 光環境と騒音. 朝倉書店, pp. 421-424
- 4) 小山恵美 (2013) : 睡眠環境と寝具『睡眠編』. (一財) 日本ふとん協会, pp. 70-73
- 5) 小山恵美 (2013) : 応用講座 睡眠改善学 ; 日本睡眠改善協議会 編, 第1部-4. 光の利用による睡眠改善法. ゆまに書房, pp. 25-34
- 6) 本間さと (2007) : 環境生理学 ; 本間研一・彼末一之 編著. 北海道大学出版会, pp.161-174
- 7) 小山恵美 (2011) : ヒトの社会生活における光環境と生物時計について—工学および文化的考察— . 時間生物学, 17(1), pp.35-44
- 8) 小山恵美 (2010) : からだと光の事典 ; 太陽紫外線防御研究委員会 編, IV. 2.2. 現代社会の光環境. 朝倉書店, pp. 340-345
- 9) Brainard G. et al. (2001): Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor. *J. Neurosci.*, 21, pp.6405-6412
- 10) 高橋良香 他 (2009) : 光曝露によるメラトニン分泌抑制率の推定. 照明学会誌, 94(2), pp.124-134
- 11) 澤井浩子 他 (2014) : 日中実務課題時における白色照明光環境の精神生理的影響—照度と分光分布に着目した比較—. 人間生活工学, 15(1), pp.34-44
- 12) Mukae H., et al. (1992) : The effects of color temperature of lighting sources on the autonomic nervous functions. *Ann. Physiol. Anthropol.*, 11(5), pp.533-538
- 13) Deguchi T., et al. (1992) : The effect of color temperature of lighting sources on mental activity level. *Ann. Physiol. Anthropol.*, 11(1), pp.37-43
- 14) Viola A., et al. (2008) : Blue-enriched white light in the workplace improves self-reported alertness, performance and sleep quality. *Scan J Work Environ Health*, 34(4), pp.297-306
- 15) Lucas R.J. et al. (2014): Measuring and using light in the melanopsin age. *Trends in Neurosciences*, 37(1), pp.1-9
- 16) Figueiro M., et al. (2005) : Demonstration of additivity failure in human circadian phototransduction. *Neuro Endocrinol. Lett.*, 26(5), pp.493-498
- 17) NHK 放送文化研究所 編 (2011) : 日本人の生活時間・2010—NHK 国民生活時間調査. NHK 出版, pp.144-171
- 18) Koyama E. et al. (2011): Consideration of the optical properties in the nocturnal indoor light environment related to sleep. *Proc. 4th Int. Conf. Human-Environment System (ICHES 2011)*, pp.49-54 (USB)
- 19) Koyama E. (2005): Non-visual Physiological Effects of the Light Source Spectrum on the Nocturnal Sleep. *Proc. 3rd Int. Conf. Human-Environment System (ICHES '05)*, pp.145-150
- 20) 原田哲夫・竹内日登美 (2011) : 体内時計の科学と産業応用 ; 柴田重信 監修. シーエムシー出版, pp.204-217

- 21) 小山恵美 (2008) : 夜間の青色光が近隣居住者の生活におよぼす影響について —非視覚的生理作用および生活環境適合性についての考察— . 照明学会誌 ; (特集) 防犯照明と青色光照明, 92(9), pp.650-653
- 22) 山田浩嗣 他 (2010) : 夜間の生活環境での使用を想定した光源の印象評価 (第 1 報) ; LED 電球, 白熱電球, 電球形蛍光灯での実空間における印象評価比較. 平成 22 年度 (第 43 回) 照明学会全国大会講演論文集, pp.193-194