

住宅照明中のブルーライトが体内時計と睡眠覚醒に与える影響

—すこやかな概日リズムを保つための住宅環境照明の提案—

主査 綾木 雅彦^{*1}

委員 森田 健^{*2}, 坪田 一男^{*1}

生活環境内の自然光と人工照明中のブルーライト成分を試作した光センサーを使用して測定した。ブルーライトを発する光源を使用して眼の角膜上皮細胞への光毒性の培養実験を行って、眼障害の可能性と対策について考察した。ブルーライトならびにブルーライトの覚醒度への影響を検証した。新たに作成した網膜電位図記録装置により、ブルーライトに反応する内因性光感受性網膜神経節細胞の電気活性をヒトで記録することに成功し、住環境で曝露するブルーライトの生体反応の新たな検査法を開発することができた。以上の結果から、通常の視力や視野の確保以外にも眼と全身の健康に配慮した照明、遮光が使用されるべきであると結論した。

キーワード：1) ブルーライト, 2) 体内時計, 3) メラトニン, 4) 内因性光感受性網膜神経節細胞, 5) 培養実験, 6) 角膜, 7) 可視光線, 8) 光曝露, 9) 松果体, 10) 睡眠

Biological effects of blue light contained in artificial lighting on circadian clock and sleep/awake cycle -Suggested living lighting system for maintenance of healthy circadian rhythm-

Ch. Masahiko Ayaki

Mem. Takeshi Morita, Kazuo Tsubota

We measured blue light energy emitted from sun and artificial lamp in house with light sensor we exclusively made for the purpose of the present study. Photo-toxicity of blue light emitted from 405 nm laser probe was tested using cultured corneal and conjunctival epithelium. Finally, sleep quality, sleepiness, and melatonin secretion were examined under control of blue light energy to the eye at night. The present results demonstrated the amount of blue light in our living environment, ocular surface toxicity of visible light, and significant level of lighting to affect sleep.

1. はじめに

1.1 現代の光環境^{*1-12)}

近年、省エネルギー政策の一環としてLED (Light-Emitting Diode ;発光ダイオード) を使用した照明機器が奨励され住宅でも職場でも増加しており、LEDには従来の蛍光灯や白熱電球よりもブルーライト (可視光線の中で波長が380-495nm前後の青色成分) が多い。また、情報処理技術の革新的進歩にともない、住宅内でもコンピュータ画面を見る機会が急速に増加している。それらの液晶画面には、従来よりもブルーライトが多く含まれている。

電灯が発明される以前は夜の灯りは太陽光と灯火のみであったに違いない。太陽は夜明けから日没まで、明るさも波長の変化も一定である。昼間が最も明るく、

入射角の関係で朝焼けと夕焼けとなって赤色光だけが地表に届く時間帯がある。何万年もこのような光環境下で人類の生活リズムは創られ、時計遺伝子の基本的機能と振動周期が決まっていた。それにより約24時間を周期とするサーカディアンリズムを獲得し、全身の臓器と細胞が同じリズムで機能することが健康維持に必須の営みとなった。体内時計を合わせ、人間に昼と夜を知らせるのは光の中でもブルーライト成分である。人工照明はブルーライトを多く含むだけでなく、時刻と場所を選ばず、さまざまな強さと波長で住宅環境、仕事環境で氾濫し、外国では光公害 light pollution という言葉も使われるようになった。照明機器のみならず携帯端末を夜間近距離で見る時間が長くなり、光による健康障害の危険性は増加する一方である。医学生物系では人体をとりまく諸

^{*1} 慶應義塾大学医学部、^{*2} 福岡女子大学国際文理学部

条件はすべて環境として扱うことが多く、住宅内も人体が暴露する環境として認識される。したがって、住宅内での照明光を題材とした本研究で課題名を含め住宅環境照明という用語を使用している。

1.2 ブルーライトと眼の健康^{文13-16)}

光による健康障害は皮膚科領域の皮膚がん、日焼け、精神神経科領域の光過敏性てんかん、片頭痛、眼科領域では日食網膜症、翼状片、白内障、黄斑変性があげられる。これらは主に紫外線が原因であるため住宅照明でこれらの病態がおこる危険性はないと思われるが、可視光線に含まれるブルーライトの人体への影響はほとんど検討されていない。特に眼科領域では網膜障害の報告が少数なされているのみである。波長が短く紫外線に次いでエネルギー量大きいブルーライトには慢性的な暴露により眼を障害する危険性があるかもしれない。携帯端末やパソコンによる眼精疲労はVDT症候群として認知されており、これらや住宅照明からのブルーライトがきたす眼性疲労、体調不良、眼や皮膚の器質的障害は今後究明されるべき課題である。

1.3 ブルーライトと全身の健康^{文17-31)}

ブルーライトはサーカディアンリズム（概日リズム）の保持に必須である。太陽光や人工照明中の可視光線に含まれるブルーライトの暴露が不適切な場合、サーカディアンリズム障害がおこる。地球で生命が創生された30億年前から地球の自転周期とともに生体内のリズムは規定されていて、太陽光中のブルーライト、食事、運動などで調整されている。しかし朝や昼間のブルーライト暴露が少なく、夜間のブルーライト暴露が多いと、生体時計が昼と夜を区別できなくなる。たとえば、昼間の照明や採光が暗いとか、就寝前にブルーライト成分の多い住宅照明下で過ごしていると、昼間眠く作業能率が悪化し事故やミスが増加し、寝つきが悪いとか就寝前に内臓、血管、神経系が昼間同様に活発に活動するような体調不良がおこりかねない。このように生じたサーカディアンリズム障害によって睡眠障害はもとより、がん、肥満、糖尿病、高血圧、うつ病の危険性が高まり、老化現象が加速するという研究報告が多数ある。これらの発病メカニズムとして、時計遺伝子の関与も強く示唆されている。

1.4 ブルーライトと住生活

光環境は快適な住居のための必須の要素である。現代は照明技術、照明機器の発達ならびに、政府の資源エネルギー政策によって、多数の選択肢が可能になってきた。しかし、一方で、従来は問題にならなかったような気が付かない健康問題が発生する危険性も生じてきた。ブル

ーライトの暴露量、タイミングが大きく人体に影響するので、市販されている照明機器やブルーライト遮光機器を使用して、眼科、内分泌科、精神神経科的な検討を行うことにより、ブルーライトの必要性、安全性、危険性を明らかにすることができる。ブルーライトによる健康への影響の検討により、安全快適な照明環境を提案し、住生活の向上の貢献につながることを期待できる。

1.5 研究目的

生活様式と照明機器の多様化と電子情報機器の普及により、環境照明も情報端末も老若男女を問わず24時間ブルーライトに暴露するので、住宅生活環境でおこりうるブルーライトによる健康障害の可能性を明らかにすることは極めて重要である。

研究期間内に計画しているのは、住宅環境での照明光のブルーライト成分を測定し、ブルーライトが網膜電位、角膜、睡眠覚醒に及ぼす影響を明らかにすることである。方法は眼科検査、内分泌検査、精神神経検査の質問票などを使用する。

1.6 従来の研究と異なる本研究の特徴^{文32-38)}

ブルーライトを含む人工照明によって覚醒度や睡眠の質が影響を受けることは以前から生活環境学者や時間生物学者らによって続けられ、多数の研究報告がある。しかし、光の入り口であり光を受容して視覚機能を発揮するのみならず、脳や全身にシグナルを送る眼の専門家による研究は少ない。

われわれは、近年ブルーライトと眼や全身の健康との関係について多数の発表をおこなってきた。視機能や光の眼毒性は、眼の状態によって左右されるので、眼科医が参画し住宅環境、時間生物学の専門家とともに、現代の光環境におけるサーカディアンリズムと光毒性を再考することが、これまでの研究との差異といえる。また、わが国はLED照明とスマートフォンが爆発的に普及し、同時にブルーライトカットの機能をうたった眼鏡も100万本以上が販売されていて、度入り眼鏡も含めると多数の国民がブルーライトカット眼鏡を昼夜使用している。しかし、これら住環境における激変に対応した医学的研究はまだ少ない。本研究はこれらの現代的問題に着目してデザインされている点も、従来の研究との違いである。

2 研究の方法

以下の研究内容は当該施設の倫理審査委員会の承認を得ている。実施にあたり被験者の安全と個人情報の保護に細心の注意を払う。

2.1 ブルーライト測定^{文 39)}

試作した光センサー（図 2-1）を使用して、太陽光、照明装置、計器の光量とブルーライト成分を測定する。眼鏡型センサーで被験者の眼の高さ、角度を適正に調整して測定でき、400-500nm のブルーライト領域を選択的に測定できる。あわせて種々の光源に対する 50%ブルーライト遮光板の遮光効果を検証する。



図 2-1 ブルーライト量を測定する光センサーの全体（上）とセンサーの拡大図（下）

2.2 培養角膜細胞に対するブルーライトの光毒性^{文 40-43)}

市販の細胞株、ウサギ培養角膜上皮細胞（RC-1, SIRC）とマウス線維芽細胞（3T3-L1）の光毒性試験を行った（図 2-2, 2-3）。使用した光源は405nmのレーザー照射装置（リコー光学 RV-1000、花巻市）である。940mW/cm²のエネルギーで3分間照射し細胞生存率を対照との比率を算出した。アッセイ法は MTT 法で、詳細は論文に記載した^文

⁴³⁾。ウサギ角膜上皮細胞 RC-1 を使用して浮遊状態（10⁴ 個/ml）での光毒性も測定した。

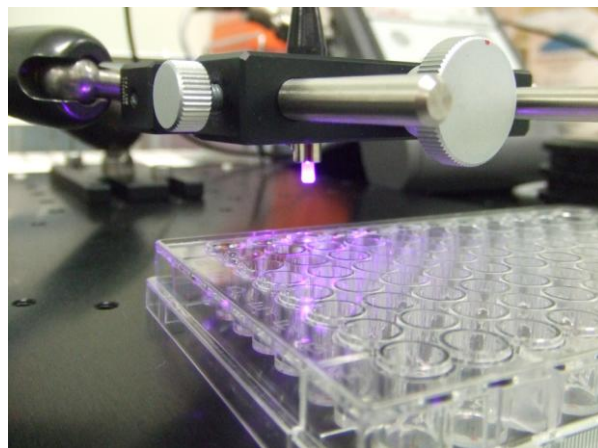


図 2-2 ブルーライト照射装置

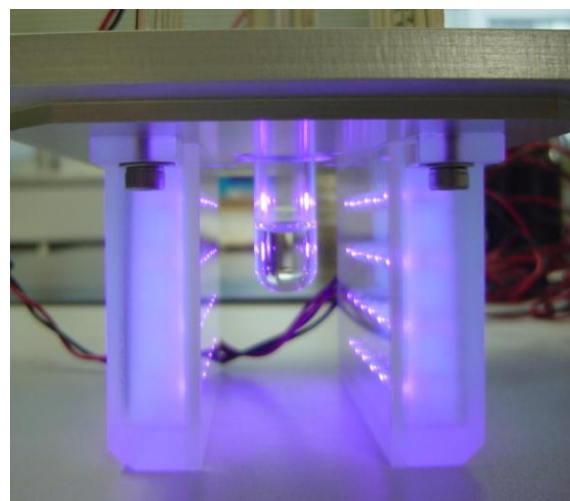
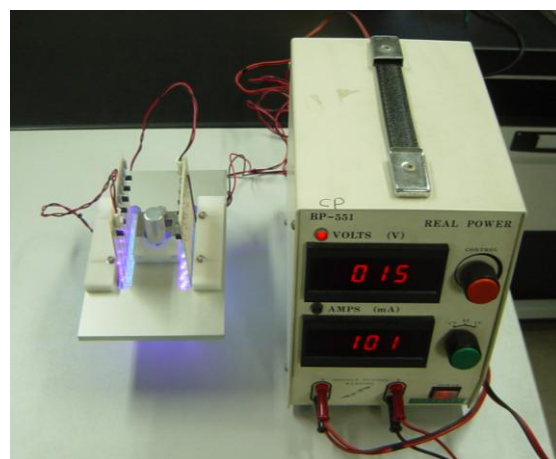


図 2-3 浮遊培養細胞へのブルーライト照射装置（上）と照射中の様子（下）

2.3 ブルーライトと覚醒/眠気度^{文 44-50)}

対象は健康者、22-40 歳 10 名男性 7 名女性 3 名である。環境条件を一定にした宿泊施設にて就寝前 2 時間ブルーライト遮光眼鏡（ブルーライト遮光率 70%）を 3 日間着用し、装用中はタブレット PC で読書などの作業をおこなった。60 分おきに唾液メラトニン、アミラーゼ、血圧、脈拍測定を行った。PC 作業中 1 時間おきにカロリンスカ眠気尺度、日中は毎日エプワース眠気尺度を施行した。対照はブルーライト遮光機能のない眼鏡を使用した。実験期間中は毎日アクチグラフ（睡眠覚醒サイクル記録装置）を装着し記録した。



図 2-4 端末によるブルーライトの照射と遮光眼鏡を使用した実験

2.4 電気生理学的方法によるブルーライトの光受容の測定^{文 51)}

森田らの開発した装置を使用して、健康者の網膜電位図を測定した。照明光中のブルーライト成分にのみ反応する内因性光感受性網膜神経節細胞（ipRGCs; intrinsically photosensitive retinal ganglion cells）の電気信号は非常に弱く、動物や細胞でのみで記録が成功していた。われわれは silent substitution 法を用いて多色 LED の刺激光源、ディフューザー、コンタクトレンズ電極、反応強度積算用解析装置を使用することによって、健康者の ipRGC の網膜電位図の測定を行った。

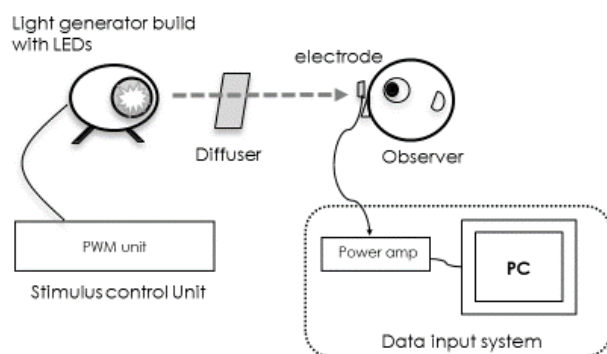


図 2-5 網膜電位図記録装置の模式図

図に示すように、左の LED 刺激装置から発する青色光をディフューザーを通して網膜神経節細胞が受容し、コンタクトレンズに内蔵された電極で記録した電位を積算して解析する。従来の刺激装置はドーム型の全視野刺激法しかなく、検査対象が限られ動物実験は不可能で、しかも測定が煩雑であったが、今回は 4 色の LED を各 1 基のみ使用した刺激装置を自作し、さまざまな対象と条件下で実験が可能となった。

3. 結果と考察

3.1 ブルーライト量の測定

試作したブルーライト成分測定機能付きの眼鏡型照度計により、屋外、屋内の自然光、人工照明、液晶パネル類の計測を行った。直射日光や LED は測定限界値を超えていて測定不能であった。実際に直接これらの光源を見ることはないので設定を変えて測定することはしなかった。市販のブルーライト遮光板（PC 用眼鏡レンズ）の効果も測定した。全光量ならびにブルーライトの測定値を表に示す。

これらの結果より、光源によってブルーライト成分の含有量は異なり、それぞれの波長特性に依存すると思われる。特に携帯端末の光量が大きく、しかもブルーライトエネルギーの割合が大きいことは注目に値する。光源による差異については、太陽光は地面や地上の物体からの反射も多く、刻々と数倍から数千倍以上変化するため、参考値として理解するのがよいであろう。窓ガラスだけでも紫外線やブルーライトが相当量遮光されていると思われる。逆にいえば窓際や日差しの強い日は十分な対策が必要と言える。

市販のブルーライトフィルターによる遮光効果は光源や環境によって大きく異なる。太陽光の場合全方向からの照射や反射があるので、通常のサングラスでは必ず上下左右からの入射がある。一方顔全体を覆うような遮光では湿度や快適性などの問題がある。パソコンやスマホは発光部位が限られているので遮光眼鏡や遮光フィルムやソフトウェアで防御可能である。

最近問題にされているコンピュータやスマホからのブルーライトであるが、眼に近い距離では昼間の屋内の明るさに等しいことがわかる。さらにブルーライト成分も十分に多い。夜間にこれらの光が眼に入ることを考えると、光エネルギー量とともに眼や全身、覚醒度への影響を検証することは重要と思われる。携帯端末やコンピュータ画面を光源とした結果は住宅建築とは直接関係ないかもしれないが、光源と眼の距離が近く夜間は瞳孔径が大きくなり、少ない光量でも眼や人体への影響は大きい。太陽光や照明光を受ける側の状態をも考慮する材料

としては意義ある結果と考える。

表 3-1 各種光源の光エネルギー実測値、ブルーライト成分（400-500nm）とブルーライト遮光板の効果（光エネルギーの単位は mW/m²）

光源	全光量	ブルーライト量	遮光時のブルーライト量	ブルーライト含有率(%)	遮光板の遮光率(%)
太陽光（夕陽）	102	18	5	17	38
太陽光（窓越し、曇天）	628	68	66	10	3
太陽光（窓越し、晴天）	814	77	63	17	18
パソコン画面（距離 50cm）	73	16	14	10	13
スマホ画面（距離 0 cm）	769	150	121	20	19
スマホ画面（距離 15 cm）	463	97	87	21	10

パソコン：NEC AS191WM-c 白色画面、最大光量

スマホ：アップル社 iPhone4 白色画面、最大光量

3-2 角膜培養細胞に対するブルーライトの光毒性

予備実験で細胞分裂過程の時期にブルーライトを照射し、さらに 100-80%コンフルエントの培養状態で細胞生存率を測定した。倒立顕微鏡写真で培養細胞の状態を示す。その結果、細胞増殖は抑制され、コンフルエントの状態では細胞障害は認められなかった。

一方サブコンフルエント（10-30%）の状態では照射後は細胞が障害され、細胞数が著明に減少している。グラフにはウサギ角膜上皮細胞（RC-1、SIRC）と比較対象としてマウス線維芽細胞である 3 T3 細胞の結果を示した。ブルーライト照射により有意に細胞生存率が下がっている。

ブルーライトの網膜への影響は広く知られている。2012 年の日本における皆既日食のときに大々的に啓蒙されたように、太陽光の光エネルギーは非常に大きく、不用意に直視すると太陽網膜症といわれる不可逆的な網膜障害がおこる。また、眼表面に関しては、雪目（電気

性眼炎）と言われ、紫外線による角膜炎がおこることも知られている。ブルーライトは加齢黄斑変性との関連が細胞培養実験、動物実験、疫学調査などから強く示唆されており、長い日照時間、白内障手術後、抵抗力低下、加齢などが悪化因子とされている。特に高齢者に対してはサングラスや黄斑色素や抗酸化物質を含むサプリメントが推奨されている。

われわれは今回眼表面の培養細胞を使用してブルーライトの光毒性を測定した。今回使用した光源のブルーライトエネルギーは太陽光を直視するくらいの強さで細胞毒性が出現している。日常の光環境で眼が暴露する光量とは 10⁴ 倍程度の差があるが、短時間で変化の有無を検出するための加速実験であり、日常生活ではこのような急性毒性は発症しないと推測される。ただし、窓際では常時太陽光が眼に入るため、紫外線による皮膚がん発症と同様に慢性的な影響を考慮する必要はある。網膜の実験では市販されている蛍光灯でも superoxide dismutase（抗酸化酵素の一種）ノックアウトマウスでは容易に網膜障害が生じたと報告されている⁵¹⁵⁾。したがって、コンタクトレンズ装用者や寝不足、栄養不良など全身状態不良者はブルーライトによる障害に対する抵抗力が低下しており、さまざまな急性ならびに慢性眼表面異常がおこりうる。以下に結果と図説を示す。

図 3-1 細胞増殖時期では細胞増殖が抑制された

図 3-2 コンフルエントの状態では光毒性はなかった（倒立顕微鏡写真）

図 3-3 コンフルエントの状態ではブルーライト照射にて細胞生存率に変化はなかった。

図 3-4 サブコンフルエントの状態では 3 種類の細胞とも光毒性がみられた。

図 3-5 光毒性は照射エネルギーと照射時間に依存していた。アルファベットが同じ同士は有意差あり（P<0.05）

図 3-6 浮遊細胞に対しては光毒性はなかった。

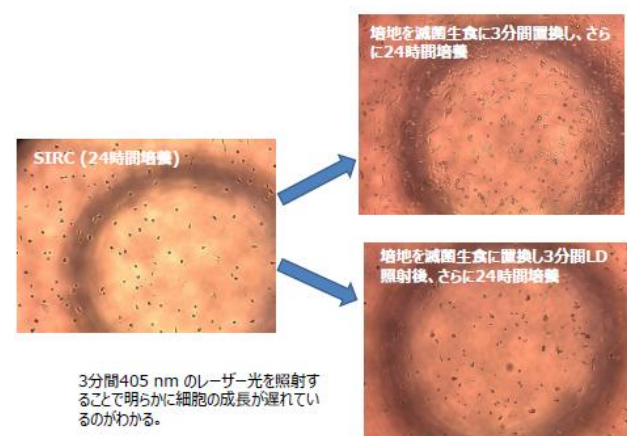


図 3-1 細胞増殖時期の光毒性

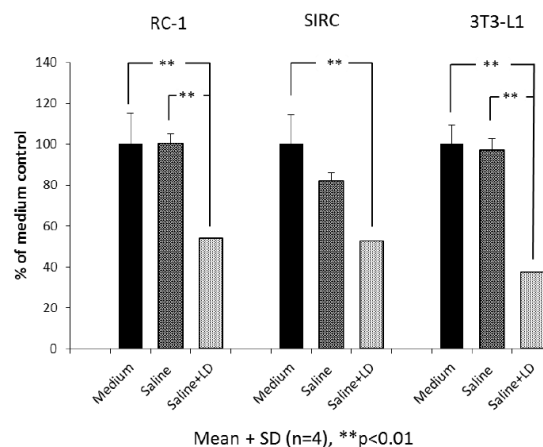
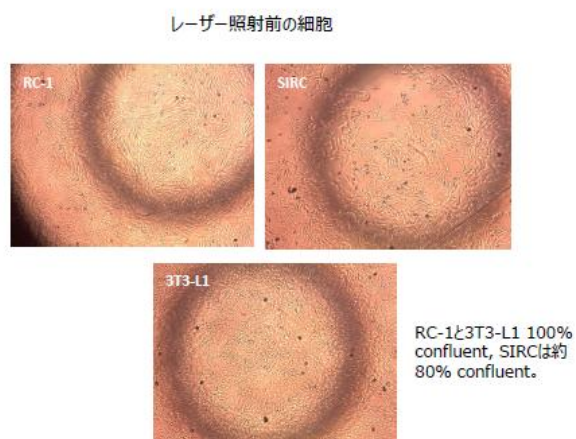


図 3-4 サブコンフルエントの状態での光毒性

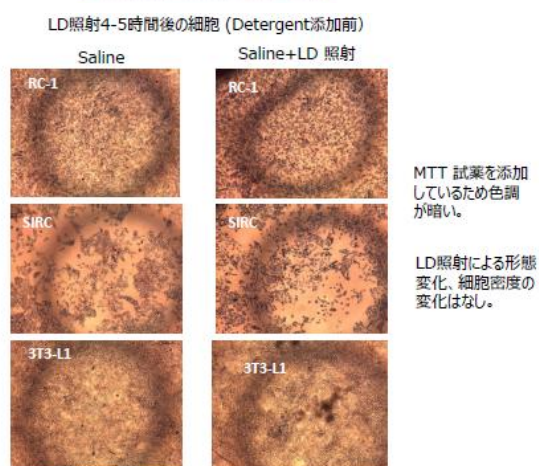


図 3-2 コンフルエントの状態での光毒性 (倒立顕微鏡)

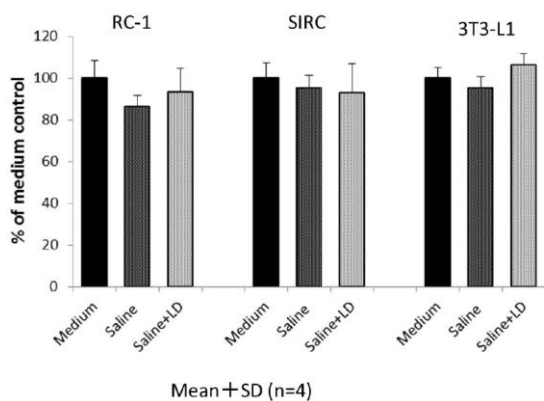
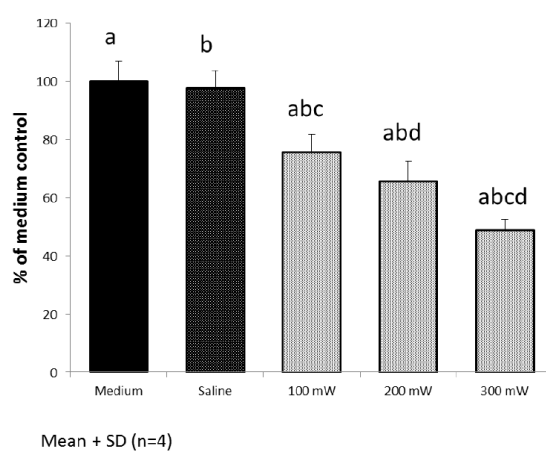


図 3-3 コンフルエントの状態での光毒性

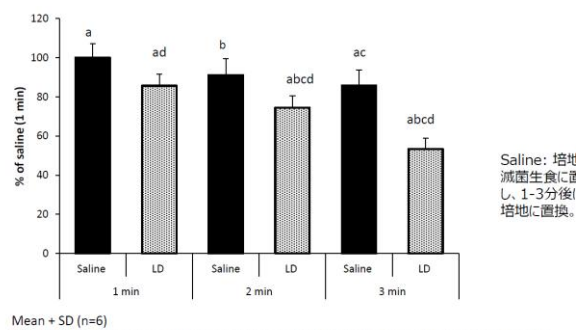


図 3-5 照射エネルギー依存性 (上図) と照射時間依存性 (下図)

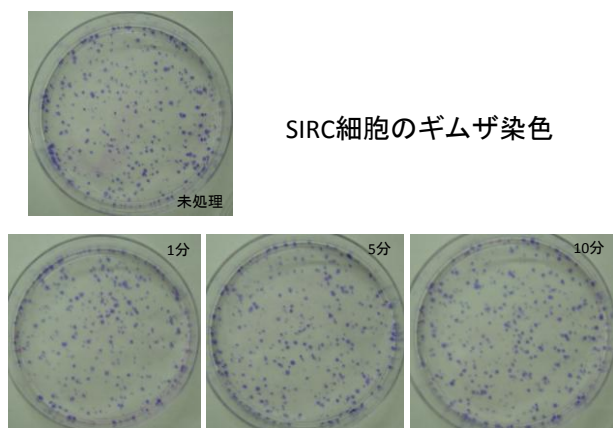


図 3-6 浮遊培養細胞への光毒性

3-3 ブルーライト遮光の覚醒度への影響

夜間就寝前、人工照明からのブルーライトを遮光することにより、メラトニン分泌が増加した（図 3-7、3-8）。メラトニン分泌は時間とともに増加するが、実験 1 日目よりも 3 日目、ブルーライトのみよりも遮光したほうが多かった。すなわち、ブルーライトを遮光することによりメラトニン分泌が増加し睡眠への導入効果がよくなると考えられた。脈拍、血圧、アミラーゼ、日中の眠気には差がなかった（メラトニンの測定は全部終了していないため、一部のみ報告）。自覚的にも、ブルーライトを遮光した場合はしない場合よりも眠気が増強した（図 3-9）。以上の結果から、人工照明やコンピュータ液晶端末から発するブルーライトには覚醒作用があり、ブルーライトを遮光すると覚醒作用が減り、眠気が増すと考えられた。

昼間太陽光のもとで運転する場合には、覚醒度は光以外の要因でも決まってくると思われる。普段の睡眠習慣、全身状態、疲労などが関与するであろう。ブルーライトの影響を調べるには夜間が最も適していると考え、ブルーライトの曝露と遮光の場合で覚醒度（眠気）の程度を測定した。その結果、ブルーライトを遮光することで眠気が有意に増加した。対照としてブルーライトは遮光せず、可視光線を同程度遮光する眼鏡を使用した場合には眠気は少なかった。照明や窓ガラス、カーテンはブルーライトの発光量や透過性を考慮するべきと考えられる。

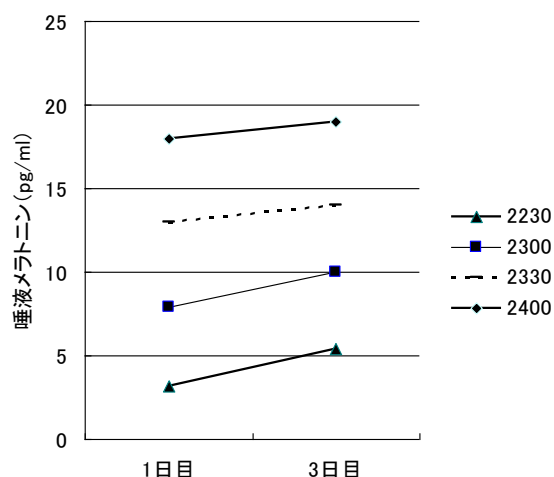


図 3-7 ブルーライトが唾液メラトニンに与える影響

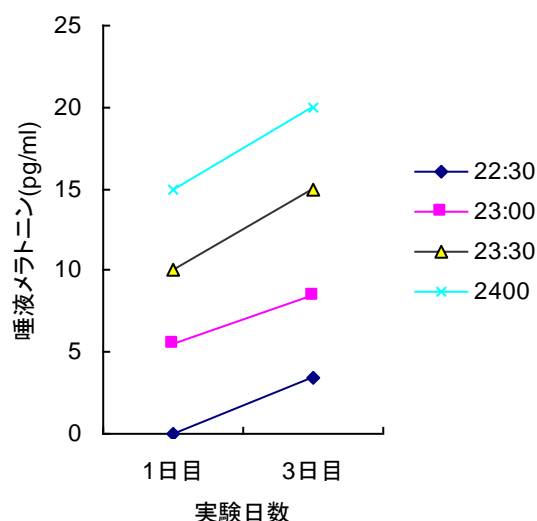


図 3-8 ブルーライト遮光眼鏡が唾液メラトニンに与える影響

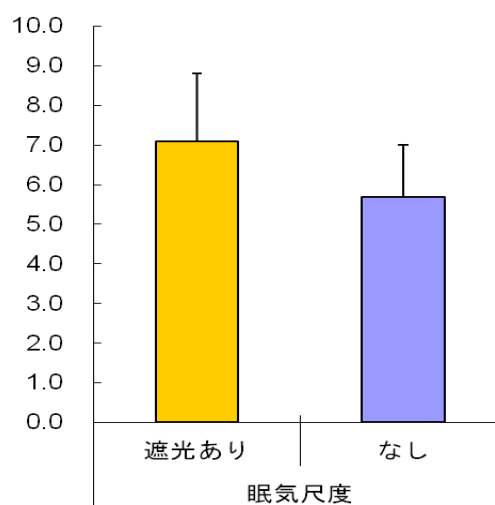


図 3-9 ブルーライトが眠気を与える影響

3-4 電気生理学的方法によるブルーライトの光受容の測定

健康若年者 6 名（平均 30 歳）、年長者 3 名（平均 50 歳）の測定に成功した。ipRGC（=mRGC; melanopsin expressing RGC）の反応は極めて微弱なため、動物では大光量で刺激して測定されていたが、従来人間では測定不可能であった。そのため今回は多数の条件で、刺激回数、刺激強度、刺激時間などを調整して測定に成功した。その結果、刺激開始時の ON 反応と刺激終了後の OFF 反応があり、通常の錐体や杆体の網膜電位図と比較して潜時が長く振幅は極めて小さいことが推測された（図 3-10）。今後は多数の健康者、緑内障や網膜色素変性などの網膜視神経疾患患者、糖尿病網膜症や網膜中心静脈閉塞症などの網膜循環障害患者などの臨床例で測定する予定である。

今後の問題点として、刺激強度が強く測定が長時間にわたるため、適用できる症例は限られる。反応が微弱なため多数回の結果を加算する必要がある、解析が複雑で 1 例の結果を出すのに長時間かかる。サーカディアンリズムに必須の網膜機能の測定は、時間生物学的にも眼科的にも重要な検査であり、研究目的をこえて一般臨床で使用する時代を念頭において、今後もさらなる改良が必要と思われる。

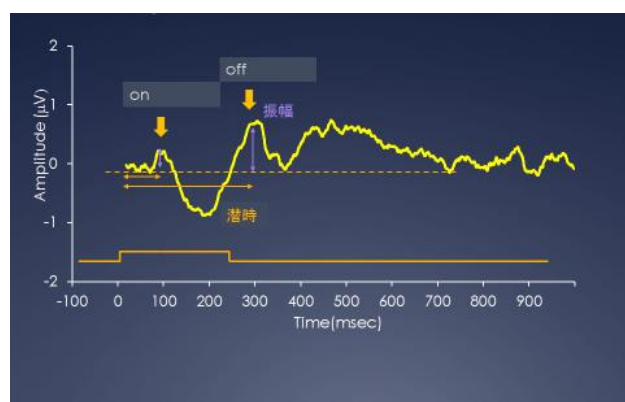


図 3-10 得られた網膜電位図の若年者（上）と年長者（下）の波形

以上、新たに作成した網膜電位図記録装置により、ブルーライトに反応する内因性光感受性網膜神経節細胞の電気活性をヒトで記録することに成功し、住環境で曝露するブルーライトの生体反応の新たな検査法を開発することができた。

4. 研究の総括と今後の課題

冒頭に述べたように、人工照明の LED 化、生活習慣の 24 時間化を念頭においた住宅生活と健康の関連を検討することが本研究の出発点であった。昼光には大量の光エネルギーが含まれ従来から多方面での研究がなされてきた。一方、ブルーライト、夜間の人工照明に着目することにより、人体への影響を検証することができ、ブルーライトの毒性や体内時計への影響が確認された。今回の研究は加速実験、急性実験であるが、近年発展と普及が著しい人工照明の慢性的影響を十分に示唆する結果と思われる。

住環境の中での光環境や視覚に関わる条件はきわめて多彩であり、一般化かつ単純化した実験系が望まれる。これまでブルーライトに関連した眼科的研究がほとんどなかったので今回の結果は今後の研究の目安になりうると思われる。気候、日照、人工光源、窓ガラスが多種多様であり、実際の住宅での実験を実施することには困難を感じた。また、建築分野での光量の定義は $1\text{m} \cdot \text{s}$ となり、比較感度が定義に含まれている。光に関連した単位は多く、目的に適した単位が使用される。眼や全身を対象とした実験では光源や実験条件に有効性・安全性等の多数の条件を考慮しなければならず、建築分野で通常使用される光源や実験とは異なる条件になったことは、本研究の限界と課題であろう。

本研究では種々の住宅照明を試験に供する予定であったが、諸般の事情で研究期間内ではそこまでに至らなかった。今後、さらに詳細なブルーライトの影響を検証していくとともに、実験条件を実際の家屋での条件に近づける工夫をしていくことが望まれる。

駅のホームにブルーライトを設置することで転落事故が減少したことで社会的にもブルーライトの効果が認知されてきたが、住宅照明は明るさや色合いだけでなく、高齢者の各制度、注意力にも配慮して転倒事故防止や認知機能低下防止の効果にも注目していくべきであろう。高齢者のうつや睡眠障害に高照度光療法が使用され、有効であるとする報告が多い。高齢者向けの住宅に最適の光環境を提供することは重要である。

近年、睡眠ホルモンであるメラトニンの分泌調節がメラノプシン発現神経節細胞がブルーライトを受容することで行われていることが発見されたが、ヒトで網膜神経節細胞の活動電位を測定する方法はなかった。本研究は

委員である森田らが確立した網膜電位図記録を若年者、高齢者、白内障眼、眼内レンズ眼に行い、ブルーライトに対する網膜の反応を定量的に調べる初めての実験である。サーカディアンリズム障害と眼精疲労は健康や生産性に重大な影響を及ぼすため、これらを研究する意義は大きいと思われる。本研究によりブルーライトと健康障害、サーカディアンリズムの解明に寄与する実験結果を与えることができた。

5. すこやかな概日リズムを保つための住宅環境照明の提案

今回の結果から、可視光線に含まれるブルーライトといえども眼表面の細胞に光毒性があることが明らかになった。また、夜間のブルーライトには睡眠の質を下げる作用があった。朝や昼間のブルーライトには覚醒や体内時計のリセットという重要な役割があることから、午前、午後の日照にあわせて室内に入る光が最適になるような住宅設計、窓、カーテンなどの遮光、照明が設置されるのが望ましい。特に夜間過ごす居間や寝室にはブルーライトが減らせるような調光装置や照明の位置を考慮したい。

健康という意味では眼に入るブルーライトを必要最小限にするためにも、室内照明は間接照明やカバーをかけるなどの方策をとりたい。これによって、眼障害や眼痛、頭痛、精神障害などの健康障害を避けることができる。

光環境は大気、土壌、水質、音、臭い、放射能などの他の環境要因と異なって普段あまり意識することはないが、ただちに健康障害や自覚症状がでるものではないが、長期的には重大な影響が確実に発生する。光環境と健康に関しての正しい知識のもとに、快適で健康的な住環境が推進されることを願ってやまない。

6. 研究結果の公表方法

今後、解析をさらに進めて、国内外の学会で発表し国際英文誌に投稿予定である。

<参考文献>

- 1) 岡村 均: 地球と時と時間遺伝子. 脳と発達 40(2):97-102, 2008
- 2) 林 博史: 生命を刻む体内時計 健康長寿の鍵. 日本未病システム学会雑誌 18(3):37-42, 2012
- 3) Gardner MJ, Hubbard KE, Hotta CT, et al: How plants tell the time. The Biochemical Journal 397 (1): 15-24, 2006
- 4) Lockley SW, Brainard GC, Czeisler CA: High sensitivity of the human circadian melatonin rhythm to resetting by short wavelength light. J Clin Endocrinol Metab. 88(9):4502-4505, 2003
- 5) Zanello SB, Jackson DM, Holick MF: Expression of the circadian clock genes clock and period1 in human skin. The Journal of Investigative Dermatology 115 (4): 757-760, 2000
- 6) Kasukawa T, Sugimoto M, Hida A, et al: Human blood metabolite timetable indicates internal body time. Proc Natl Acad Sci U S A. 109(37):15036-15041, 2012
- 7) Chellappa SL, Viola AU, Schmidt C, et al: Human melatonin and alerting response to blue-enriched light depend on a polymorphism in the clock gene PER3. J Clin Endocrinol Metab. 97(3):E433-7, 2012
- 8) 高橋 良香: 非視覚的作用をもたらす受光器. 日本生理人類学会誌 16(1):27-30, 2011
- 9) 樋口 重和: 光の非視覚的作用 光環境への適応. 日本生理人類学会誌 16(1):21-26, 2011
- 10) European Union. Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks. Health Effects of Artificial Light. http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenihr_o_033.pdf.
- 11) Blask D, Brainard G, Gibbons R, et al. Light Pollution: Adverse health effects of nighttime lighting. Report 4 of the council on science and public health (A-12). Action of the AMA House of Delegates 2012 Annual meeting. American Medical Association.
- 12) Falchi F, Cinzano P, Elvidge CD, et al: Limiting the impact of light pollution on human health, environment and stellar visibility. J Environ Manage. 92(10):2714-2722, 2011
- 13) Ide T, Toda I, Miki E, Tsubota K: Effect of Blue Light-Reducing Eye Glasses on Critical Flicker Frequency. Asia Pac J Ophthalmol (Phila). 4(2):80-5, 2015.
- 14) Moulton EA, Becerra L, Borsook D: An fMRI case report of photophobia: activation of the trigeminal nociceptive pathway. Pain. 145(3):358-63, 2009.
- 15) Imamura Y, Noda S, Hashizume K, Shinoda K, Yamaguchi M, Uchiyama S, Shimizu T, Mizushima Y, Shirasawa T, Tsubota K: Drusen, choroidal neovascularization, and retinal pigment epithelium dysfunction in SOD1-deficient mice: a model of age-related macular degeneration. Proc Natl Acad Sci U S A. 103(30):11282-7, 2006.
- 16) Narimatsu T, Ozawa Y, Miyake S, Kubota S, Yuki K, Nagai N, Tsubota K: Biological effects of blocking

- blue and other visible light on the mouse retina. Clin Experiment Ophthalmol. 42(6):555-63, 2014.
- 17) Moser M, Schaumberger K, Schernhammer E, Stevens RG: Cancer and rhythm. Cancer Causes Control. 17(4):483-487, 2006.
- 18) Doi M, Takahashi Y, Komatsu R, et al: Salt-sensitive hypertension in circadian clock-deficient Cry-null mice involves dysregulated adrenal Hsd3b6. Nat Med. 16(1):67-74, 2010
- 19) Scheer FA, Hilton MF, Mantzoros CS, et al: Adverse metabolic and cardiovascular consequences of circadian misalignment. Proc Natl Acad Sci U S A. 106:4453-4458, 2009
- 20) Arble DM, Bass J, Laposky AD, et al: Circadian timing of food intake contributes to weight gain. Obesity (Silver Spring) 17 (11): 2100-2102, 2009
- 21) Rosenthal NE, Sack DA, Gillin JC, et al: Seasonal affective disorder. A description of the syndrome and preliminary findings with light therapy. Arch Gen Psychiatry. 41(1):72-80, 1984
- 22) Cain N, Gradisar M: Electronic media use and sleep in school-aged children and adolescents: a review. Sleep Med. 11(5):735-742, 2010.
- 23) Owens JA, Spirito A, McGuinn M. The Children's Sleep Habits Questionnaire (CSHQ): psychometric properties of a survey instrument for school-aged children. Sleep. 23 (10) :1043-51, 2000
- 24) Cajochen C, Frey S, Anders D, Späti J, Bues M, Pross A, Mager R, Wirz-Justice A, Stefani O: Evening exposure to a light-emitting diodes (LED)-backlit computer screen affects circadian physiology and cognitive performance. J Appl Physiol. 110(5):1432-8, 2011
- 25) Owens J, Maxim R, McGuinn M, et al: Television-viewing habits and sleep disturbance in school children. Pediatrics 104(3):e27, 1999.
- 26) 岡 靖哲, 井上 雄一:睡眠専門クリニックを受診した小児睡眠障害患者の臨床的検討 睡眠医療 2(2):187-191、2008
- 27) 肥田昌子、三島和夫:概日リズム睡眠障害。睡眠医療 3 (2) : 221-227、2009
- 28) LeGates TA, Altimus CM, Wang H, et al: Aberrant light directly impairs mood and learning through melanopsin-expressing neurons. Nature. 491(7425):594-598, 2012
- 29) Davidson AJ, Sellix MT, J Daniel J, et al: Chronic jet-lag increases mortality in aged mice. Curr Biol. 16(21): R914-R916, 2006.
- 30) Adam EK, Till Hoyt L, Granger DA: Diurnal alpha amylase patterns in adolescents: associations with puberty and momentary mood states. Biol Psychol. 88(2-3):170-173, 2011
- 31) van Coevorden A, Mockel J, Laurent E, et al: Neuroendocrine rhythms and sleep in aging men. Am J Physiol. 260(4 Pt 1):E651-61, 1991.
- 32) 綾木雅彦:ブルーライトとメラトニン アンチエイジング医学 10 (3) : 722-726、2014.
- 33) 坪田一男 綾木雅彦:ブルーライトは目に悪い? 養護教諭のための教育実践に役立つ Q&A V 健康教室 2014 年 7 月増刊号 32-36 ページ 東山書房
- 34) 綾木雅彦、坪田一男:ブルーライトは健康によくないか。電設技術 59 (2) :138-140、2013
- 35) 綾木雅彦、坪田一男:最近話題になっているブルーライト問題とアンチエイジング(網膜障害とサーカディアンリズムへの影響) Geriatric Medicine 51(7):719-722, 2013.
- 36) 綾木雅彦 坪田一男:がん、肥満、高血圧などのリスクを高めるブルーライトが引き起こすサーカディアンリズム障害 ナーシングビジネス 7(9)通巻 92 号 52-53, 2013.
- 37) 綾木雅彦:ブルーライトとサーカディアンリズム. 眼科, 55(7):795-801, 2013
- 38) 綾木雅彦 坪田一男 先端的眼科治療 ブルーライト対策:時計としての眼の治療 メディカルサイエンスダイジェスト 2014;40(3)128-131.
- 39) 衛藤憲人、田中太一郎、西脇祐司、坪田一男:疫学応用に向けた可視-紫外線個人曝露量測定システムの開発. 日衛誌 68 (1) : 118-125、2013.
- 40) Kennedy M, Kim KH, Harten B, Brown J, Planck S, Meshul C, Edelhauser H, Rosenbaum JT, Armstrong CA, Ansel JC: Ultraviolet irradiation induces the production of multiple cytokines by human corneal cells. Invest Ophthalmol Vis Sci. 38(12):2483-91, 1997.
- 41) Ibrahim OM, Kojima T, Wakamatsu TH, Dogru M, Matsumoto Y, Ogawa Y, Ogawa J, Negishi K, Shimazaki J, Sakamoto Y, Sasaki H, Tsubota K: Corneal and retinal effects of ultraviolet-B exposure in a soft contact lens mouse model. Invest Ophthalmol Vis Sci. 53(4):2403-13, 2012.
- 42) Karagas MR, Zens MS, Nelson HH, Mabuchi K, Perry AE, Stukel TA, Mott LA, Andrew AS, Applebaum KM, Linet M: Measures of cumulative exposure from a standardized sun exposure history questionnaire: a comparison with

histologic assessment of solar skin damage. *Am J Epidemiol.* 15:165(6):719-26, 2007.

- 4 3) Niwano Y, Kanno T, Iwasawa A, Ayaki M, Tsubota K: Blue light injures corneal epithelial cells in the mitotic phase in vitro. *Br J Ophthalmol.* 2014 Jul;98(7):990-2, 2014.
- 4 4) Arendt J: Melatonin: characteristics, concerns, and prospects. *J Biol Rhythms.* 20 (2):291-303, 2005.
- 4 5) Viola AU, James LM, Schlangen LJ, Dijk DJ. Blue-enriched white light in the workplace improves self-reported alertness, performance and sleep quality. *Scand J Work Environ Health.* 34(4):297-306, 2008.
- 4 6) Figueiro MG, Bierman A, Bullough JD, Rea MS. A personal light-treatment device for improving sleep quality in the elderly: dynamics of nocturnal melatonin suppression at two exposure levels. *Chronobiol Int.* 26(4):726-39, 2009.
- 4 7) Cajochen C, Frey S, Anders D, Späti J, Bues M, Pross A, Mager R, Wirz-Justice A, Stefani O. Evening exposure to a light-emitting diodes (LED)-backlit computer screen affects circadian physiology and cognitive performance. *J Appl Physiol.* 110(5):1432-8, 2011.
- 4 8) Santhi N, Thorne HC, van der Veen DR, Johnsen S, Mills SL, Hommes V, Schlangen LJ, Archer SN, Dijk DJ. The spectral composition of evening light and individual differences in the suppression of melatonin and delay of sleep in humans. *J Pineal Res.* 53(1):47-59, 2012.
- 4 9) Chang AM, Aeschbach D, Duffy JF, Czeisler CA: Evening use of light-emitting eReaders negatively affects sleep, circadian timing, and next-morning alertness. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 112(4):1232-7, 2015.
- 5 0) West KE, Jablonski MR, Warfield B, Cecil KS, James M, Ayers MA, Maida J, Bowen C, Sliney DH, Rollag MD, Hanifin JP, Brainard GC: Blue light from light-emitting diodes elicits a dose-dependent suppression of melatonin in humans. *J Appl Physiol.* 110(3):619-26, 2011.
- 5 1) Kuze M, Matsubara H, Ayaki M, Tsubota K, Kondo M, Morita T: Effect of blue light cut-off filter on the electroretinogram from intrinsically photosensitive retinal ganglion cells. *Inv Ophthalmol Vis Sci* 2015 ARVO eAbstract No 5570, 2015

<研究協力者>

根岸一乃 慶應義塾大学医学部
久瀬真奈美 三重大学医学部
近藤峰生 三重大学医学部
福田裕美 福岡女子大学国際文理学部
辻村誠一 鹿児島大学工学部
吉村道孝 慶應義塾大学医学部大学院博士課程
北沢桃子 慶應義塾大学医学部大学院博士課程
神成淳司 慶應義塾大学環境情報学部
庭野吉己 東北大学歯学部
岩澤篤郎 東京工業大学大学院
服部淳彦 東京医科歯科大学教養学部
丸山真樹 東京医科歯科大学教養学部
中野雄介 東京医科歯科大学教養学部