

# 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—

小山恵美<sup>✉</sup>

京都工芸繊維大学 大学院工芸科学研究科 デザイン経営工学部門

ヒトの生物時計についても光が同調因子となるが、パルス状の明暗切替りによるノンパラメトリック同調だけでなく、連続的な明るさ変化によるパラメトリック同調も考慮する必要があると考えられている。本稿では、約千年前から現代にいたる人工光や睡眠習慣の変遷を概説し、社会生活における光環境の昼夜変動状態と睡眠-覚醒サイクルを主な指標とする概日リズムの状態との関係を、日本社会の変動の節目ごとに考察した。その結果、千年前に比べると現代社会での平均的起床時刻は数時間後退しており、夜間の光が過剰となって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たことがその要因であることが示唆された。光によるパラメトリック同調を成立させるためには、夜の暗さをまとまった時間確保し、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であるが、低照度条件では黒体放射を発光原理とする白熱電球の利用が適していると考えられる。

## 1. はじめに

ヒト概日生物時計の物理的同調因子として「光」が最も強力である [1] ことは、1990年代には周知の見聞となったが、筆者が生物リズムの勉強を始めた1970年代終わり頃までは、ヒトは例外で光には反応しないのだと考えられていて、当時は訳がわからないながらも奇妙な感じを抱いた記憶がある。やがて、高照度条件での光曝露による夜間メラトニン分泌抑制についてLewyらが1980年に論文を発表し [2]、大学院の先輩から「人間も光に反応するんだって！ でも光の量が多くないとダメだけどね」と聞かされた時には、驚く一方で生物として同じ反応だと安心したことを思い出す。

その後、ヒトの概日リズムについても光に対する反応があるとして、多くの研究がなされてきたことは、時間生物学に関わりのある諸氏には周知のことと思われる。ヒトの概日生物時計についても光が同調因子となるが、その同調には他の昼行性動物に比べてより明るい光が必要とされる。それはなぜか。人間は人工光を手にしたので光に対する感受性が弱体化したのだ、と一言で片づけられるほど話は単純

ではなさそうなのである。

まず、視覚情報処理についてはヒトの光受容感度は他の動物と比べて遜色なく、対応可能な明るさの範囲も広いとされる [3] (実際、汎用照度計で計測できる下限の0.01lxより低い照度でも何とか見える)。眼から生物時計の中枢への経路は視覚領への経路と途中で分岐し (非視覚系) [4]、かつ、環境の明るさに応じて光受容の感受性が適応進化するとはいえ、非視覚系だけが他の昼行性動物より格段に光感受性が弱体化しているとは考えにくい。次に、夜間のメラトニン分泌抑制などの非視覚的生理反応が生じる光曝露条件を照度について整理 (表1) すると [5]、初期の報告では数千lxであったものが、その後の研究では一桁以上低い照度条件でも反応が生じ始めることが示されている一方で、リズム異常への対策として午前 (あるいは日中) に光を用いる場合には数千lxの高照度条件が必要という説はくつがえっていない。さらに、ヒトにおいても朝に薄明から漸増する光の影響は重要で、季節性感情障害の治療 [6] だけでなく、一般の人々の目覚め改善にも役立つ [7] ことが示されている。

✉koyama28@kit.ac.jp

表1 光の非視覚的生理作用を生じ始める光曝露条件と使用光源 [5]

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 ~	蛍光ランプ (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 蛍光ランプ (天井)	Boivin et al	1996 Nature
メラトニン抑制; 500 ~ 5,000 lx暴露結果による推 定閾値	393 lx × 30分 285 lx × 2時間	cool white フルスベク トル蛍光ランプ	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 蛍光ランプ (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	3.1 μ W/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、あの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すると考えられる。

つまり、ヒトの光受容器の機能自体は特に弱体化傾向はなさそうであるが、その感受性にはもともと昼夜で差異がありそうで、実際の生活環境においては、いわゆるLD切り替りによって位相変位するノンパラメトリック同調だけでなく、連続的な明るさ変化が生物時計の角速度を調節するというパラメトリック同調を考慮する必要がある [8]、ということが、話を複雑にしていると考えられる。もうひとつ困ったことには、人類が人工光を手にする以前の概日リズムや生活習慣の実態を直接知ることはできない。また、ヒトの場合、光以外に社会生活の約束事が同調因子になっている。したがって、人工光を手に入れたから…というほど話は単純ではないのである。

本稿では、人工光や睡眠習慣の変遷を概説するとともに、社会生活における光環境はいわゆるLDサイクルとどう違うと解釈すればよいのか、ヒトの生物時計秩序に影響する光環境の昼夜変動をどう考えればよいのか、などについて、工学的および文化的観点から考察する。

## 2. 人工照明の歴史

「火を使うこと」は人類の特徴のひとつと一般的に考えられ、「火」は、物質の燃焼に伴う「黒体放射」による発光として、人類最初の人工光源と解釈されている。しかしながら、いつ頃から「火」を人類が利用し始めたのかについては、考古学的証拠が

少なく、明確ではない。中国大陸で北京原人や元謀猿人の化石が見つかった付近の地層で火を使った痕跡が発見されたという発表をもとに、約35 ~ 100万年前には火を使っていたと考えられている [9] が、アジア大陸の原人は現生人類 (ホモ・サピエンス・サピエンス) の直接の祖先というわけではなく、また、自然発生した「火」を採火して絶やさないうように利用したとされる痕跡がアフリカ大陸に点在していることから、「火」の起源は未だ謎ではあるが、遅くとも現生人類が出現する10 ~ 20万年前頃までには、世界の広範囲で「火」を利用できるようになっていたと推測される。

人類がどのようにして「火」の存在とその利用法を考えついたかについて、想像の域を出ないが、火山の溶岩や落雷と並んで、森林の樹木がこすれ合って山火事を起こす例が稀でないことから、摩擦による発火、というのが発火法の基本になっていると推測されている。日本の縄文時代の出土品に、もみ錐式発火具と思われる凹石 (くぼみいし) がみられることから、遅くとも今の日本列島の場所に人類が到達した頃には、摩擦により「火」を発生させる技術を持っていたと考えられている。 [9]

さて、「あかり (人工光照明)」として「火」を利用するための専用の道具がいつ頃出現したのか、これも定かではないが、縄文時代の遺跡にイノシシなどの獣脂を燃やしたと考えられるランプのような土器があったといわれている。また、調理などのため

に「火」を利用していたことが結果として「あかり」にもなっていたと考えられ、それは「いろり」として今も残っている。「いろり」を住宅照明の源流と考えると、屋外照明の源流は、「庭（にわ）火」や「篝（かがり）火」など、携帯光源の源流は「松明（たいまつ）」や「脂燭、紙燭（しそく）」などであるが、これらは植物を直接燃やして「あかり」としており、日本書紀、万葉集、平安文学などにそれらの記述がみられる [9]。

住居内で油を燃やす「燈火」を「あかり」とすることに関しては、仏教伝来（6世紀）後は植物（ハシバミ、エゴマ、ゴマなど）を原料とする油が使われるようになった [9]。植物から作られる燈油は高価であったので、炎を小さく安定させるために、植物繊維を材料とする「燈心」の技術が発達した。燈油に燈心を浸す器具が「燈台」で、スタンド型照明の源流というところであろうか。しかし江戸時代より前には「燈台」の利用は貴族など上流階級に限られ、「燈火」を風から守るため紙を張って火袋を作った「行燈（あんどん）」が江戸時代に多種作られ [10]、少しずつ庶民の生活に普及していったと考えられる。

油を燃やす他に「ろうそく」も現代につながる「燈火」のひとつであるが、融点が常温より高い燃料を植物繊維にしみ込ませて巻くあるいは型に流し込むなどして固め、中心に燈心を配置する、という基本構造は古代から変わらず、炎の安定化という点で、当時としては相当の高度技術であったと考えられる。日本では、奈良時代に中国大陸から輸入された「蜜蠟（みつろう）」のろうそくを宮廷や寺院などごく限られた場所で利用した記録が残っているが、国内でウルシやハゼなどから「木蠟（もくろう）」のろうそくを作り始めたのは15世紀頃からであると推測されている。江戸時代には「提灯（ちょうちん）」の光源としてしだいに普及していくが、「燈油」よりもさらに高価であったとされている。これらの植物燃料のろうそくは、明治以降にパラフィンなどを燃料とする洋ろうそくが輸入されると衰退していった。 [9]

以上のように、日本では江戸時代までは植物を燃料とする「火」があかりとして用いられてきたが、その炎の安定化と効率化のために、現生人類が登場してからほとんどの長さを費やしたと言っても過言ではない。一方、欧州では、18世紀半ば頃から鉱物原料を燃やしてあかりとする方法（石油ランプ、ガス灯）が開発され、その制御の容易さと発光効率の

良さから普及していったと考えられる [11]。日本には明治維新頃から伝えられ、特に石油ランプは、明治30年代（1900年）頃までに、植物油の燈火にとってかわって普及したとされる [12]。ここまでは、物質が実際に燃焼することを利用する燃焼性光源の歴史概説である。

20世紀に入ると、燃焼性光源に代わって、電気エネルギーの一部を光に変換する電気照明が普及することになる。「白熱電球=エジソン」というイメージが強いが、実際には、1800年頃から白熱電球の原理となる発光技術が欧州で研究され始め、1870年代に欧米で複数の研究者が同時期に白熱電球を試作した。そのうちの一人がエジソンで、その後事業化に成功したのでイメージが定着したのであろう。19世紀の白熱電球は、炭素フィラメントをガラスに封入してガラスの中を真空（現在の白熱電球は不活性ガスを充てん）にし、フィラメントに電流を流して高温に熱し、発光させていた。20世紀初頭に、フィラメントがカーボンからタングステンに替わり、現在の白熱電球の基本形ができあがった。これらの発光原理は、燃焼性光源と同様の黒体放射である。欧米では、タングステン電球が軌道に乗った1910年頃から白熱電球がガス灯に置き換わり、日本でも明治20年代（1890年頃）から白熱電球の製造が始まり、電力供給の拡大とともに、大正末（1920年）頃までに普及していったとされる。 [9, 11]

燃焼性光源の時代は長かったが、直接何かを燃やして光を得るのであるから、火事の危険とは隣り合わせで、光の点灯消灯や発光量の調節などが不便であることから、電力供給の拡大とともに、制御が容易な電気照明に置き換わっていった。ところで、白熱電球の場合、発光効率を高めようとフィラメントの温度を上げると電球の寿命が短くなり、電球の寿命を延ばそうとすると発光効率下がるといった問題点を抱えていた。そのため、20世紀前半から発光効率を高める発光方式「蛍光」について技術開発がなされるようになり、蛍光ランプの概念は1920年頃には欧米研究者の間に理解されていたといわれる。「蛍光」とは、蛍光物質という、ある種の金属化合物が、紫外線などの照射を受けると発する光のことである。蛍光ランプは1938年に米国で実用化され順調に普及していったが、欧州は受け入れに慎重であったといわれる。日本では、戦前は軍用途に限られ、昭和25年（1950年）頃から一般社会に普及し始め、その後の高度経済成長とともに、欧州をしのいで普及率が上昇した。 [11]

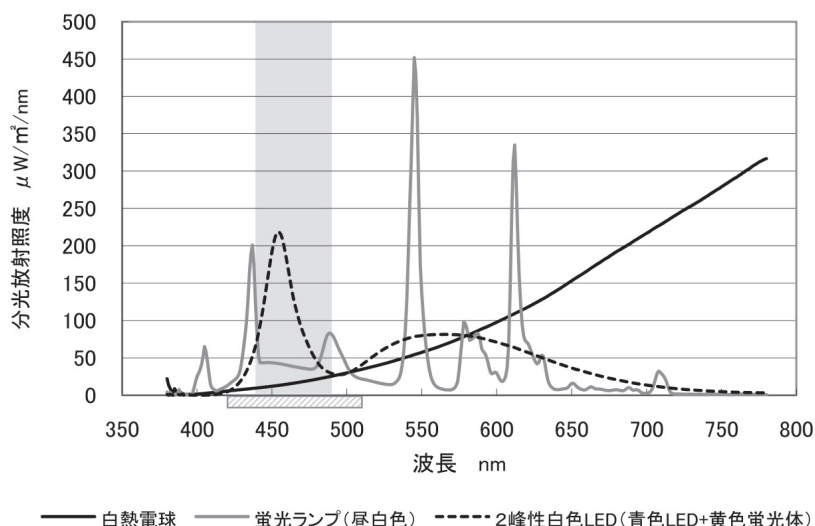


図1 人工光源の分光分布特性（分光放射照度）の例 [5]

水平面照度50lxを得た地点における分光放射照度の計測例を示す。非視覚的生理作用が大きいとされる青色付近の波長成分（440～490nm、グレー塗りつぶし部分）の分光放射照度積算値は、白熱電球に対して、昼白色蛍光ランプで約3倍、青色を励起光とする2峰性白色LED（青色成分相対比が大きいもの）では5倍を超える。メラトニン抑制の波長特性曲線 [23] から得られる推定半値幅（420～510nm）を波長軸の下に斜線塗りで示す。

さらに、1990年代に入ると、電子エネルギーを直接光エネルギーに変換すること（EL効果）を発光原理とする発光ダイオード（LED）を用いて白色光を出す技術が開発された。青色または紫外光を発光するLEDとさまざまな種類の蛍光物質を組み合わせると白色に見える光が出ることから、大分類すると、蛍光ランプと同じく「蛍光」を利用する光源、ということになり、同じ電気照明でも、黒体放射を発光原理とする白熱電球とは、光の質において大きな断絶（可視光の青色側成分が増大、赤外に近い成分が相対的に激減する分光分布となる傾向、図1）がある。現在、LEDが照明用光源として普及し始めているが、懸念もあり、それらについては本稿の後半部分で述べる。

### 3. 燈火時代の光環境と睡眠習慣

社会生活における光環境の昼夜変動とヒト概日リズムとの関係を考察する準備として、植物油燈火の時代について、光環境と睡眠習慣の推測結果 [13, 14] を概説する。概日リズムの指標として何を評価するか、問題点は残るかもしれないが、昔にさかのぼって体温やメラトニンのデータを得ることは不可能なので、睡眠-覚醒サイクルとの内的脱同調は無いと仮定して、睡眠習慣を調べることにした。

どのくらい前の時代にさかのぼるかであるが、現代と離れているほど対比が明確になるであろうが、

少なくとも文字資料が残っていないと推測もできないので、約千年前（平安時代中頃の藤原氏全盛期）の状態を対象とした。平安時代の暮らしを知るための資料としては、燈火についての専門書 [9] の他、時刻制度についての専門書 [15]、当時の生活のある程度反映していると考えられる文学資料として「源氏物語」「紫式部日記」「枕草子」などを活用した。「源氏物語」が考察の対象になることに抵抗感があるかもしれないが、その作者による「紫式部日記」の記録性が他の日記文学より高いという評価がある [16] ことに加え、「源氏物語」には宮中や貴族の暮らしの描写が多いながらも平安京下町や京都以外の地域の暮らしが描かれている部分もあることから、文学としての価値にとどまらず、当時の文化や生活環境、生活様式を研究するための資料としても貴重であると考えられている [17]。

まず、夜間の光環境について、当時の燈火に近いと考えられる条件で燈油を燃焼させた炎の光学特性を計測し、文学資料の記述とあわせてその光環境を評価した。平安時代の燈台実物は入手できないので、金属製の卓上燭台を用い、蠟の受皿部分に木工用エゴマ油を入れ、麻糸をよって試作した燈心を燈油に浸した後、ろうそく立ての金属針に細い竹串を継ぎ足した芯に麻糸を巻きつけて先を上向きに安定させて点火し、計測用の炎を作成した。千年前の燈心を忠実に再現することはできなかったが、照度や

分光放射輝度を計測するために炎の位置を安定させる必要があったので、燈心の固定はやむを得ないことであった。照度の計測条件は、燈火の近辺で文字を読むという状況を想定して、炎の位置を机上30cm高さに配置し、光源位置からの水平距離20、30、40cm地点の机上水平面照度を計測した。電気照明との比較のため、5W白熱豆電球についても同様の光源配置で計測を実施、加えて、炎と豆電球それぞれについて、行燈を模した和紙の囲いを追加した条件でも照度を計測した。

それぞれの照度計測結果および光源露出状態での分光放射輝度（相対分光分布）や色度図上の位置を図2と図3に示す。机上面照度については、炎（燈火条件）では白熱豆電球の5分の1程度で、水平距離30cmの地点で1lxを下回るが、物の形は識別可能で、大きなフォントの文字は読める状態であった[13]。相対分光分布の特徴としては、炎も白熱電球も黒体放射を発光原理としているので、青色が少なく赤色から赤外領域に向かって指数関数的に放射エネルギーが増大しているが、比較すると、燈火条件よりも白熱電球で短波長成分が相対的に多い（発光効率がよい）。色度図上では、両者ともに黒体軌跡に乗っているが、燈火条件の方がより赤色方向に寄っている。なお、相関色温度は両者とも2500K未満で、数値は実測できなかった。

「源氏物語」の記述からも、燈火の近傍では墨書き文字を読めていたようである（「大殿油（おとお

なぶら；燈台のこと）近くて書どもなど見たまふ」、『帚木』[18]より）。しかしながら、庶民にとって燈油は高価で入手できず、煮炊きに使った残り火（いろりの「埋み火」）や、建物、特に板葺きの屋根の隙間から差し込む月光（「八月十五日夜隈なき月影、隙多かる板屋残りなく漏り来て」、『夕顔』[18]より）などが実質の「あかり」になっていたと考えられている。

月光について補足すると、夜間の屋外の光源としては、月光が無い（月の出が遅い）闇夜に「火」を用いていた（「月もなきころなれば、遣水に篝火ともし、灯籠などにもまゐりたり」、『若紫』[19]より）ようである。満月で晴天の場合には0.2lx程度、月が細い場合でも0.01lx程度の水平面照度が広範な面積で得られることになる[20]ので、燃料コストの問題だけでなく、月光の方が「火」の局部照明より視覚的にも有利であったと考えられる。「枕草子」に「月のいと明かきに、川をわたれば、牛の歩むままに、水晶などのわれたるやうに、水の散りたるこそをかしけれ。『二一七』」[21]という記述がみられるように、月が明るい夜には、少なくとも薄明視（網膜の錐体と桿体の双方が働き、物の色と形がいくらかわかるくらいの視環境）での視覚は確保されていたと思われる。なお、月光の分光分布は燃焼光源の分光分布とは異なり、月光の方がより高い相関色温度（4500K程度）となるが、色の見え方の良し悪しについての記述が「枕草子」にある

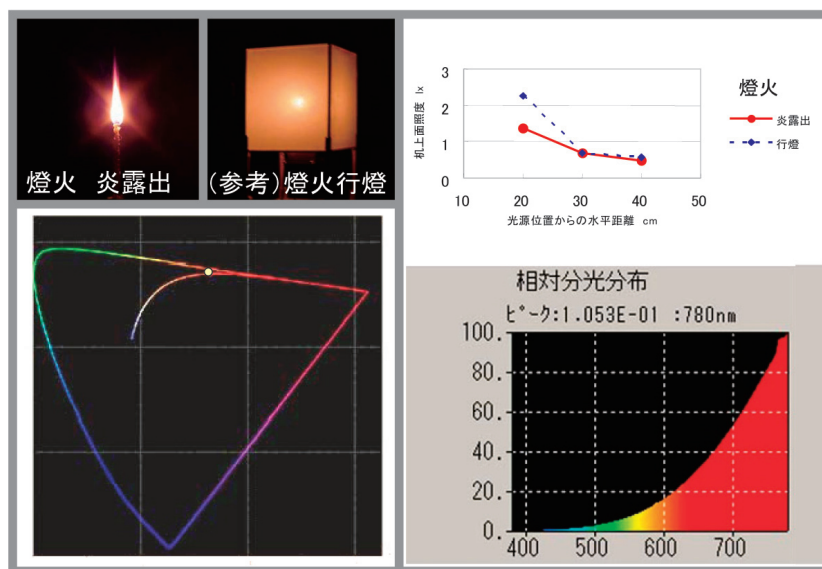


図2 燈火（麻糸+竹芯、荏胡麻油）の光学特性  
 炎の位置を机上30cm高さに配置した場合の光源位置からの水平距離20、30、40cm地点の机上水平面照度および光源露出状態での分光放射輝度（相対分光分布）と色度図上の位置を示す。照度計測については、光源を和紙で囲んだ場合の結果も示した。

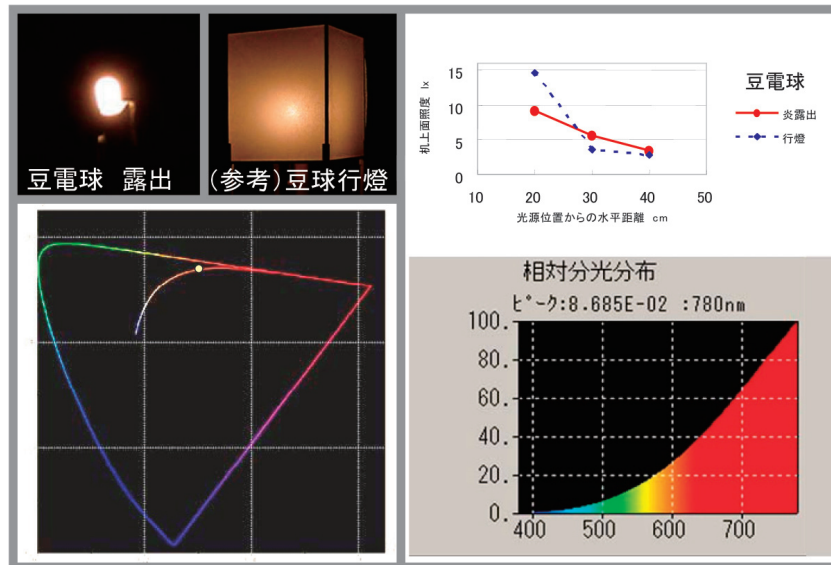


図3 白熱電球（5 W 豆電球）の光学特性

豆電球の位置を机上30cm高さに配置した場合の光源位置からの水平距離20、30、40cm地点の机上水平面照度および光源露出状態での分光放射輝度（相対分光分布）と色度図上の位置を示す。照度計測については、光源を和紙で囲んだ場合の結果も示した。

（「ひかげ（ほかげ、燈火）におとるもの むらさきの織物。藤の花。すべて、その類はみなおとる。くれなるは、月夜にぞわるき。」『一本の二段』[21]）ことから、燈火や月光の下で、桿体だけでなく錐体も働き、色の識別が可能であったと推測される。

燈火は就寝前には消灯していたと思われる。防火目的はもちろんのこと、燈油が高価だったことが理由であろうが、実際にエゴマ油を燃やしてみると結構臭うので、点灯したままでは眠れるとは思えない[17]。なお、江戸時代の行燈については、常夜灯のように利用したという資料もある[10]が、綿の栽培が始まって綿実油が利用できたとすると、臭いの問題は多少解消されていたかもしれない。消灯後は、月光が漏れてこない限り、ヒトの薄明視あるいは暗所視（網膜の桿体のみが働き、明暗だけがおぼろげにわかる程度の視環境）での視覚能力をもってしても、物の形の識別ができないうくらい暗かった（「人の御けはひ、はた、手さぐりもしるきわざなりければ」、「いかでまからん、暗うて」、『夕顔』[18]より）と考えられる。『末摘花』[19]の巻で、光源氏が朝の雪明かりで姫君の容貌を初めて見て驚く場面なども象徴的である。

次に、昼間の光環境は、屋外については、曇天であっても桁でいうと $10^3 \sim 10^4$ lxレベルの照度が得られ、千年前と現代と差異はないと思われるので、屋内について建築資料などをもとに評価する。一言で結論すると、千年前の日中の屋内は、洋の東西を問

わず、日中でも電気照明を点灯する現代のオフィスなどに比べると、照度レベルは2桁近く暗かったと考えられる[11]。光を透過させる「ガラス窓」が無いのはもちろんのこと、自然光を部屋の奥にまで多く採光しようという考え方もなかった。和紙を用いる「明かり障子」が普及し始めるのは鎌倉時代と考えられ、平安時代は、寝殿造りといえども、格子や蓐（しとみ）という上下に開閉する建具が外界との仕切りになっていて[22]、さらに、軒下部分の奥行きが長く、格子を開いた状態でも直射日光が部屋の奥までは届かない。庶民の家では開放部が入口だけであるか、窓があっても小さいため、住居内はさらに暗い。それでも、夜間に燈火などを用いるよりはずっと明るい状態と推測される。

千年前の睡眠習慣はどのようであったか。起床時刻については、おおよその推定が可能である。「日本書紀」などの古代文書や室町時代の公卿の日記などの記述に加え、星食などの天文学的検算結果から、社会慣行上「1日の始まり」は「丑寅の境（午前3時頃）」であったと考えられていて[15]、夏至の頃では天文薄明（太陽伏角約 $18^\circ$ まで、東方の天空が少し明るくなって、夜明け前の東の空に見えていた6等星が見えなくなる時期）に相当する。「源氏物語」でも、下町の庶民が「暁」の頃（夜明け前のまだ暗い時間帯）に起き出して活動を始めている記述（「暁近くなりけるなるべし、隣の家々、あやしき賤の男の声々、目覚まして…」、『夕顔』[18]

より)がみられ、天文薄明の頃には活動が始まっていたことを示唆している。紫式部日記でも、物語の巻物製作のために、夜が明けるとすぐに式部が中宮の御前に伺候している記述がある(「…御前には、御冊子づくりいとなませたまふとて、明けたてば、まづむかひさぶらひて…」、『三二：御冊子づくり』[16]より)。当時は午前3時～4時頃には起床して活動を開始していたと考えられる。一方、就寝時刻に関しては明確な規則性についての記述がみられず、一般的には現代より数時間早いと推察されるが、夜間にも仕事などをしていて必ずしも日没後の早い時間帯に就寝するとは限らない場合(「作夜縫ひし御衣ども…」、『若紫』[19]より)や、宮仕えでの交替勤務や深夜におよぶ行事などもあったようである[16]。

#### 4. 光環境および睡眠習慣の変遷

燈火による明るさ(実測)は机上水平面で1lxに満たず、5W白熱電球の5分の1程度であったので、60W相当の白熱電球を1つ点灯するだけでも燈火の数十倍もの明るさが得られることになる。一般に、電気照明では、各光源の明るさは電力(ワット数)に応じて増大し、同じワット数であれば、光源の発光エネルギー効率が低いほど明るい。蛍光ランプの方が白熱電球に比べて発光効率が高いので、同じ電力では蛍光ランプを用いる方が明るくなる。現代の住宅では、部屋の主照明として、部屋の広さに

応じて天井に60～100W相当の蛍光ランプが用いられることが多く、机上水平面の照度は500lx程度以上の明るさが容易に得られる状態になっている。したがって、21世紀初頭まで約1000年間について、夜間の一般的な室内照明能力を推定すると、この1000年間に明るさは1000倍近く増大しただけでなく、白熱電球が普及し始めた100年前頃と比較しても約100倍になるという急激な変遷をしたと推測される。

さらに最近100年間についても、明治時代に電燈会社によって電力供給が始まった当初は、夜間みの電力供給であったので、昼間に電気照明を用いることはなかったが、電力が安定して供給されるにしたがって、照明に関する要求も、環境の安全を主とする単なる暗さの駆逐から、視作業の効率や生活行動の能率の向上へと変化し、1950年代以降、蛍光ランプの普及とともに室内は昼夜ともに高照度化していった。1970年代以降は、石油ショックの影響もあり、省電力について目が向けられるようになったが、1990年代からは、パーソナルコンピュータの普及によって、発光する画面に直接視線を向けるという光環境変化が特徴的である。

また、20世紀後半から半世紀余りの間に、発光能力増大によって夜間の室内が明るくなっただけでなく、その分光分布の変遷によって可視光短波長成分が増大してきた。非視覚的生理作用が大きいとされる分光放射照度の短波長成分[23](440～490nm)積算値は、白熱電球と比較して昼白色蛍光

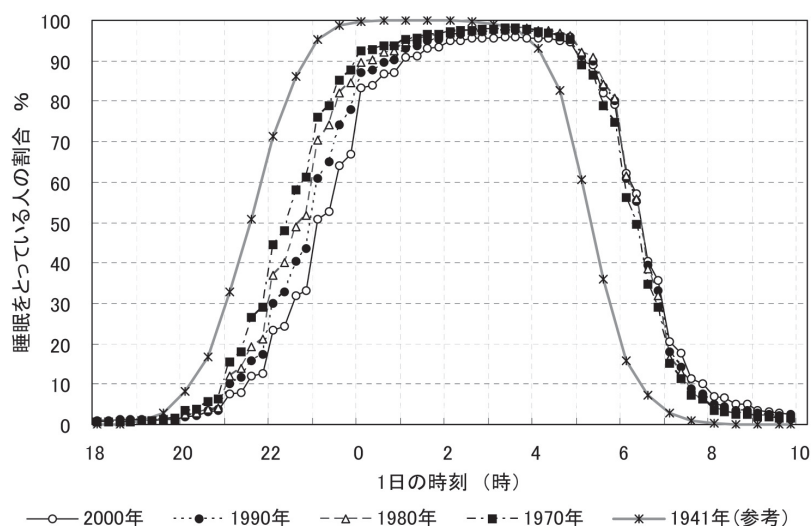


図4 時間帯別の睡眠率(国民全体、平日)[14]

国民生活時間調査結果の睡眠時間帯別分布数値[24, 25]をグラフ化した。なお、1941年については、昭和16年の国民生活時間調査[26]のデータ(10分刻み)から平均睡眠率を算出し、30分毎の値を参考値としてプロットした。

ランプで約3倍、青色LEDを励起光とする2峰性の分光分布を持つ昼白色LEDでは5倍を超えるエネルギーレベルに達することが図1の例で試算されている。したがって、これらの光源では、白熱電球利用時より低い照度レベルから覚醒度増大などの非視覚的生理作用が生じ始めると考えられる。

一方、日本人の睡眠習慣はどのように変遷していったのであろうか。国民生活時間調査(1970～2000) [24,25]によると、日本人の平均的睡眠習慣がこの30年間で激変しているという調査結果が得られている。国民全体の平日のデータ(図4) [14]から、特に就床行動の夜型化に伴う睡眠時間の減少が顕著であり、その変化の大きさは世界的にも群を抜くといわれる。国民生活時間調査は戦後1960年から5年ごとに実施されているが、1965年までと1970年以降とは調査方法が異なるため、年代間の直接的な比較は難しいといわれている。戦前では1941年に生活時間調査 [26] がなされている。これも現行の調査方法と異なることから比較に注意を要するが、その集計結果によると、俸給生活者や小売業の一部を除くと、23時頃で睡眠率が95%を超えており、国民の平均的な就寝時刻に関しては、2000年に比べて2時間程度早かったことがうかがえる。起床時刻についても、午前3時頃から起床する人の割合が増え始め、午前6時では8割程度の人が起床していて、1970年以降の起床率(約3割)を大幅に上回っている。睡眠習慣の夜型化は、戦後の混乱期を過ぎた1960年頃から起床就寝時刻ともに進行していった(1970年以降は主として就寝時刻が夜型化)のであるが、1941年の調査結果は睡眠時間帯が1960年よりもさらに早かったことを示している [27]。

千年前の睡眠習慣(推測)と比較すると、1941年調査の平均的起床時刻よりも千年前はさらに1～2時間早いことになる。したがって、就寝時刻の夜型化については、千年前から戦前までの変位と戦後から1970年頃までの約30年間の変位とがほぼ同じ大きさとなり、光環境の変遷と同期するように、少なくとも2段階の変動を示し、20世紀後半の変動が特に急激であったことを示唆している。

## 5. 社会生活における光環境昼夜変動と概日リズム

以上の結果をもとに、社会生活における光環境の昼夜変動状態と、睡眠-覚醒サイクルを主な指標とする概日リズムの状態との関係を、人工光の変遷とともに、日本社会の変動の節目ごとに考察する。

まず、千年前の社会については、夜間の室内は燈

火を使える比較的恵まれた境遇であっても現代よりはるかに暗く、月光と同程度の明るさであったことから、照度レベルだけをとってみると、自然の昼夜変動と同じくらいであると考えられる。そして、当時の暮らしぶりから、昼行性の動物と同様に明け方の天文薄明の頃から活動を開始できていると推測されることから、概日リズム位相後退につながるような非視覚的な生理作用が夜間に生じる可能性はなかったと考えられる。しかしながら、燈火の月光との違いは、人間の意思や生活行動によって明るさを制御できることであり、そのことによって、活動終了(就寝)のタイミングについては規則性が必ずしも維持されるとは限らない場合もあった [28] と推測される。一方、夜間だけでなく日中の室内についても現代とは比較にならないほど暗いことから、日中は屋外に近い場所で過ごさない限り、概日リズム位相調節(ノンパラメトリック同調)に必要な光を得られそうになかったと考えられる。ただ、「宮仕え」の場合はともかくとして、一般庶民の生活では、住居内に終日滞在して生計を営むことは極めて稀で、屋外あるいはそれに近い照度レベルの場所で日中過ごしていたと考えられる。

次に、白熱電球が普及し始めてから戦前までの社会では、自然の日没以降の時間帯に、少なくとも月光の数十倍の明るさを維持しようと思えばできる状態になり、一方、特に都市部では日中に屋内で過ごす人々の割合は千年前に比べると増加していると思われる。社会生活における光環境の昼夜変動は、照度レベルにおいて、既に自然環境とは乖離し、特に、日没以降の薄明状態が消失したと考えられる。千年前と比べて、起床時刻が1～2時間程度後退していることから、白熱電球の夜間点灯によって、覚醒方向の非視覚的生理作用が生じている可能性が考えられる。

戦後から1970年代にかけて、起床と就寝時刻ともにさらに1～2時間後退しているが、昼夜ともに蛍光灯ランプの普及によって照度レベルと短波長成分が増大したことが、生物時計にとっては昼に相当する光環境が延長し、概日リズム位相後退につながる非視覚的生理作用をもたらしていると考えられる。さらに、その後の社会の24時間化によって、生物時計にとっての昼間光環境はさらに延長して就寝時刻は後退し、一方で社会生活の制約から起床時刻の後退は限界に達していると思われることから、睡眠時間の減少というひずみの顕在化につながったと考えられる。



ヒトの生物時計の秩序を維持するために、光環境昼夜変動のどの部分がどのように重要なのか、24時間周期への同調のしくみという観点から考えてみる。平安時代の「宮仕え」のように、睡眠習慣の規則性が強くないだけでなく、毎日屋外に出るとは限らないような生活においても、夜明け頃から活動を開始するという概日リズムが比較的安定していたということは、パルス状の周期的明暗変化によって毎日位相調節をするというノンパラメトリック同調のしくみだけでは不十分で、薄明時間帯も含む明るさの連続的变化が生物時計の角速度を変化させるというパラメトリック同調のしくみを想定する必要があると考えられる。千年前に比べると現代社会での平均的起床時刻は数時間後退しているが、その差異を生じさせる物理的要因として、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、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、生物時計にとって昼間に相当する時間が延長してしまったことがあげられる。すなわち、現代社会の光環境の問題点としては、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が深刻であり、光によるパラメトリック同調を成立させるためには、夜の暗さをまとまった時間確保し、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。

## 6. おわりに

谷崎潤一郎が「陰翳礼讃」を発表したのは昭和8～9年にかけてであったが、その時すでに、欧州に比べて日本では電燈を惜しげもなく使っていることや、月の名所といわれる寺で池の周りを電飾が取り巻いていて月見が台無しになってしまったこと[29]を嘆いている。白熱電球の時代でさえ、夜間の光は過剰になりつつあったわけで、蛍光灯や白色LEDが白熱電球に置き換わってしまうと、光の量のみならず短波長成分も相対的に大きくなることが懸念される。

このように短波長成分が相対的に多い光源（高色温度の蛍光灯やLEDなど）を室内照明やLCDディスプレイのバックライトに用いて就寝前の時間を過ぎすと、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実験により示唆されている[30]。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、子ども達に大きな影響（概日時計の位相後退やメラトニン分泌抑

制）を及ぼし、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れらの好ましくない影響が生じることが懸念されている[31]。

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という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灯やLEDの場合には、低照度条件では寒々とした陰気な雰囲気という印象を生じる傾向があるので、非視覚的生理作用を生じることがどうかにかかわらず、その利用は望ましくない[32]。

白熱電球と同程度の相関色温度（2500～3000K）を示す電球色の蛍光灯や電球色のLEDも実用化されているが、それらについても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ある[33]。したがって、省電力のみに気を取られて白熱電球を全廃することには賛同しかねるのである。人類は少なくとも数十万年の間、黒体放射の光に馴染んできたわけで、低照度（すなわち、低電力）条件で白熱電球を利用することは、省電力の観点からも問題にはならず、違和感を生じることなく夜間の過剰な光を減らすことに役立つと考えられる。

## 参考文献

- 1) 本間研一、本間さと、広重力：生体リズムの研究、pp 207-221、北海道大学図書刊行会（1989）
- 2) Lewy AJ, Wehr TA, Goodwin FK, Newsome DA, Markey SP : Science 210 : 1267-1269 (1980)
- 3) 山崎昌廣、村木里志、坂本和義、関邦博：環境生理学、pp 70-73、培風館（2000）
- 4) 本間さと：光と人間の生活ハンドブック、佐藤愛子・利島保・大石正・井深信男 編、pp 90-98、朝倉書店（1995）
- 5) 小山恵美：からだと光の事典、太陽紫外線防御研究委員会 編、pp 340-345、朝倉書店（2010）
- 6) Terman M, Schlager D, Fairhurst S, Perlman B : Biological Psychiatry 25 : 966-970 (1989)
- 7) 野口公喜、白川修一郎、駒田陽子、小山恵美、阪口敏彦：照明学会誌 85 : 315-322（2001）
- 8) 本間さと：環境生理学、本間研一・彼末一之 編著、pp 161-174、北海道大学出版会（2007）

- 9) 深津正：燈用植物；もの与人間の文化史50、pp 3-22, 134-177, 190-203, 280-281, 297-310, 376-401、法政大学出版局（1983）
- 10) 平凡社・下中直人 編：日本史モノ事典、pp 254-259、平凡社（2001）
- 11) 乾正雄：夜は暗くてはいけないか；暗さの文化論；朝日選書600、pp 75-101, 137-158, 185-212、朝日新聞社（1998）
- 12) 内田星美：遅刻の誕生；近代日本における時間意識の形成、橋本毅彦・栗山茂久 編著、pp 267-288、三元社（2001）
- 13) 小山恵美：（独）日本学術振興会 繊維・高分子機能加工第120委員会 第105回講演会資料：32-39（2005）
- 14) 小山恵美：環境生理学、本間研一・彼末一之 編著、pp 390-404、北海道大学出版会（2007）
- 15) 斉藤国治：日本・中国・朝鮮 古代の時刻制度；古天文学による検証、pp 50-84、雄山閣出版（1995）
- 16) 藤岡忠美、中野幸一、犬養廉、石井文夫 校注・訳：紫式部日記；新編日本古典文学全集26、pp 5-10, 123-222、小学館（1994）
- 17) 小山恵美：睡眠文化を学ぶ人のために、高田公理・堀忠雄・重田眞義 編、pp 122-123、世界思想社（2008）
- 18) 阿部秋生、秋山虔、今井源衛、鈴木日出男 校注・訳：古典セレクション；源氏物語①：桐壺～夕顔、小学館（1998）
- 19) 阿部秋生、秋山虔、今井源衛、鈴木日出男 校注・訳：古典セレクション；源氏物語②：若紫～花宴、小学館（1998）
- 20) 三星宗雄：光と人間の生活ハンドブック、佐藤愛子・利島保・大石正・井深信男 編、pp 188-206、朝倉書店（1995）
- 21) 松尾聰・永井和子 校注・訳：枕草子；新編日本古典文学全集18、小学館（1997）
- 22) 秋山虔、小町谷輝彦 編：源氏物語図典、pp 24-43、小学館（1997）
- 23) Brainard GC, Hanifin JP, Greeson JM, Byrne B, Glickman G, Gerner E, Rollag MD : J Neurosci 21 : 6405-6412（2001）
- 24) NHK放送文化研究所 編：1990年度国民生活時間調査全国編、日本放送出版協会（1991）
- 25) NHK放送文化研究所 編：データブック国民生活時間調査2000<全国>、日本放送出版協会（2001）
- 26) 日本放送協会 編：国民生活時間調査（昭和16年調査）一般調査報告1～4；第5～8巻、大空社（1990）
- 27) 鈴木泰：日本放送協会編国民生活時間調査（昭和16年調査）解説；第8巻付録、大空社（1990）
- 28) 千葉喜彦：からだの中の夜と昼；中公新書1315、pp26-34、中央公論社（1996）
- 29) 谷崎潤一郎：陰翳礼讃；中公文庫、pp 56-60、中央公論新社（1995改版）
- 30) Koyama E: Proceedings of the 3rd ICHES'05 in Tokyo, Japan : 145-150（2005）
- 31) 原田哲夫、竹内日登美：体内時計の科学と産業応用、柴田重信 監修、pp 204-217、シーエムシー出版（2011）
- 32) 小山恵美：照明学会誌 92 : 650-653（2008）
- 33) 山田浩嗣、岡田若奈、松原明央、小山恵美：平成22年度（第43回）照明学会全国大会講演論文集、pp 193-194（2010）