

光のア・ラ・カルト

Lighting à la carte



たか はし ふみ お
高橋文雄¹⁾



たか はし じゅん いち
高橋潤一²⁾

キーワード：松明から蠟燭，エジソンと電気事業，照度と輝度，光と睡眠

1. はじめに

火から電気への光源の歴史，明るさの本質，現代における光と人体にまつわる話を読者諸氏の博識に加えていただければと思い，関係の著書や資料を集め，多くを引用させていただき，ア・ラ・カルトとして編集した。浅薄であるが序章としてご一読いただければ幸いである。

2. 光源の歴史

2.1 古代は「火」があかりの主役であった。

- 松明，篝火，油，^{ろうそく}蠟燭
- 電気がない時代のあかり

古代の灯火として利用されたのは，燃えやすい木を使用した「^{たいまつ}松明」や「^{かがりび}篝火」であるといわれている。日本の松明は松の脂の多い部分を束ねて携帯用の灯火に用いた。^{やに}篝火は，松明に使うような木を石製の皿などにのせて燃やしたもので，後には金属製の^{かご}籠の中で燃やした。石や，やきものの皿に油を入れて，灯心を浸して先端を燃え続けさせることも古来より行われている。動物性の油から9世紀ごろに植物油が普及し，生活にあかりを取り入れる工夫が盛んに行われ，火皿を和紙や布でおおった^{あんどん}行燈や長時間油を切らさない仕掛けなどが作られた。蠟燭の起源は明確ではないが，日本では奈良時代から平安時代にかけて蠟燭のはしりと考えられる^{しそく}脂燭や^{しそく}紙燭の記録がある。室町時代に^{まつやに}松脂を^{まつやに}笹の葉で包んだ松脂蠟燭

が，後に和紙を巻いた灯心とハゼの木の樹脂で作った木蠟燭(日本蠟燭)が江戸時代から明治の初期まで多く用いられた。現代のパラフィン蠟燭より燃焼温度が低く暗くて^{すす}煤も出やすく，明治に入るとヨーロッパから来た安価なパラフィン製へ移行していった。

2.2 電球の誕生

- 電球を発明したのは，エジソンではない

電球の原理は，真空にしたガラスバルブの中にフィラメントを取付け，それに電流を流し白熱させて光を取出す。ゆえに白熱電球と呼ばれている。

1897年10月21日，エジソンは木綿糸を炭化させて作ったカーボンフィラメントを使って，電球を点灯させることに成功した。日本ではこの日を記念して「あかりの日」が制定されている。その後，もっと適当なカーボンの材料を求めて，世界各地の材料を調べ，京都・八幡の竹が最も成績が良く，それを使うフィラメントが暫く採用された。

白熱現象そのものは，1800年初期に発見され，様々な人により電球の研究が試みられた。ヨーロッパでは今でも最初に白熱電球を作ったのは英国のスワンだとされている。したがってエジソンが電球を「発明」したというのは適切ではない，彼の功績は研究室の中で電球を作るのではなく，工場やビルの照明を，ガス灯や石油ランプから電灯に切り替える電気配線から，変電所，発電機まで手掛け，電気事業のビジネスモデルを起こしたことではないだろうか。

日本での電気事業としては1882(明治15)年，東京電燈が銀座2丁目の大倉組(後の大成建設)の事務所前で発電機による宣伝用のアーク街灯を点灯(図-1)，我が国での電力供給を開始した。アーク灯が日本の街を照らし，

1) パナソニック電工(株)照明エンジニアリング総合部(略歴はP2)

2) 東芝ライテック(株)営業推進部エンジニアリングセンター

1965年6月生まれ，神奈川県出身。1988年関東学院大学工学部電気工学科卒業，同年東芝電材(株)(現在，東芝ライテック(株))入社。現在，同社営業推進部エンジニアリングセンターにて照明設計業務に従事。

灯りはガス灯と競いながら電灯へと移っていった。

2.3 日本の白熱電球

- 「白熱舎」(東芝の前身)が白熱(炭素)電球を試作
- 1890(明治23)年炭素電球の製造開始(写真-1)

1910(明治43)年にアメリカのクーリッジ博士が引線タングステン電球を発明。GEと提携する世界の電球メーカーに、タングステン電球の統一商標「MAZDA・マツダ」を付与した。我が国では1911年タングステン電球「マツダランプ」を製造開始した。「マツダ」は、ゾロアスター教の主神(光の神)であり、光明・真実・清純の世をつくる「アウラ・マツダ」に由来している。

2.4 日本での蛍光灯の登場

- 「熱がなく明るい蛍光灯」で海軍で脚光
 - 20W 昼光色蛍光灯で法隆寺金堂の壁画を照らし模写
- 1940年紀元2600年の記念事業で、法隆寺金堂の壁画を20W 蛍光灯136台の灯りのもとで和田英作画伯が模写し傷んでいた壁を修復した(写真-2)。熱が少なく火災防止の面から潜水艦など海軍の軍需物資として統制され、一般には戦後になって普及していった。

2.5 LEDの登場

20世紀終盤に青色LEDの量産化、蛍光体による白色LEDが登場し、急激な性能向上と時代の要請とあいまってLED照明が急速に普及し、照明の主役にならんとしている。真に新しい光源の時代になる節目に遭遇しているのではないだろうか。

3. 照明の用語の分かりやすい解説

3.1 明るさとは光を測る

- 照度(ルクス lx)は、明るさの単位ではない
- 目に入る光で明るさを感じる(明るさ感)

照度は、「ある場所にどれだけの光が達しているか」の意味であり、同じランプでも照らす範囲やランプからの距離が変われば、照度は全く異なる。ランプから出ている光の量は「光束」(単位はルーメン lm)で表される。光束の値が大きいほど光量の大きいランプであり、照度1 lxというのは、面積1 m²あたりに、1 lmの割合で光が入射しているときのことをいう。

では、照度が明るさを表すかという、実はそうではないからややこしい。照度は前述のように、そこへどれだけの光が到達しているかを示しているだけである。私たちが目にしているのは、そこから反射されて自分のほうにきた光だけで、照度は目に感じない。だから照度が一定でも反射しやすいものは明るく見え、光をあまり反



図-1 東京銀座通電気燈建設之図(錦絵)⁴⁾



写真-1 国産初期の炭素電球¹⁾



写真-2 壁画模写に使用された¹⁾

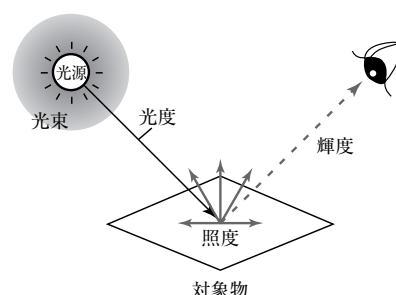


図-2 光束、光度、照度、輝度の関係²⁾

射しないものは暗く見える、これが明るさの本質である。

ある位置から見たときの対象物の明るさは、「輝度」(単位はカンデラ毎平方メートル cd/m²)で表わす(図-2)。しかし、輝度を用いての照明のプランや検証は大変面倒なので照度を利用することが一般的である。しかし、照度は人が感じる明るさ感と一致しないことも多く、最近では空間としての明るさ感の数値化、照明プランや検証のツール化が研究され、活用が始まっている。

照度、輝度などすべての測光量は、単に光のエネルギー量の大小を測っているのではない。人間の目に感じる光は電磁波の一部の領域で(図-3)、その領域の中でも波長により明るさの感度が異なるので、光測定器は人間の明るさ感覚に合うよう、国際的に決めた「標準比視感度」(図-4)に合わせて、補正されている。

3.2 色の見え方と効率を両立させたランプ

- 色の見え方が良いランプは、効率が悪い?
- 三波長域発光型蛍光ランプの登場

蛍光灯が普及し始めのころ、色の見え方が悪く、すし

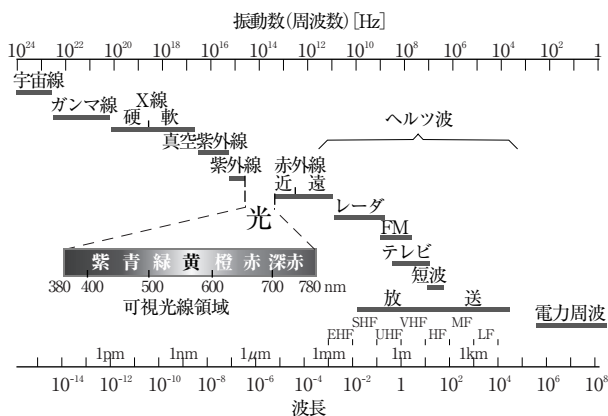


図-3 電磁波の可視光線の領域

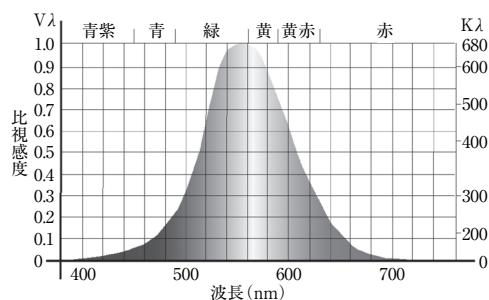


図-4 波長と標準比視感度曲線

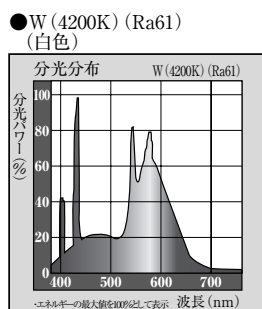


図-5 従来の蛍光ランプ⁶⁾

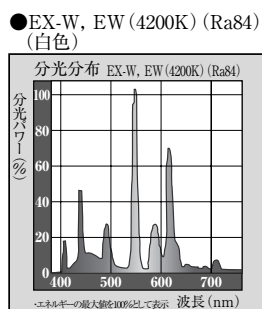


図-6 三波長域発光型蛍光ランプ⁶⁾

屋の照明には使えない、衣服の色が違って見えるので要注意など、一昔前まではこれが常識であった。しかし、蛍光灯がどれも、色の見え方が悪かったわけではない。美術館や色の検査用に使われる、演色性の良い蛍光ランプもあったが効率が悪く一般に普及しなかっただけである。

色をきれいに見せるためには、可視光のすべての色をできるだけ均等に含んだランプを作る必要がある。だが人間の目の感度は可視域の中央の 550 nm (黄緑色) のあたりにピークがあって、両端にいくほど感度がなくなってしまう (図-4)。

効率と演色性の改善は、相反する条件で両立はできないと考えられていたが、この常識が破られた。青色域の 450 nm、緑色域の 540 nm、赤色域の 610 nm、この三つの波長を含む領域に光があれば色が十分見えることが分かり、効率と演色性の改善の両立が可能になった。

この考えに基づいて、三つの波長域に効率よく発光す

る蛍光体が開発され、我が国では 1977 年に三波長域発光形蛍光ランプが誕生した (図-5, 6)。今日では、蛍光ランプの中で最も明るく、色が美しく見えるランプとして、蛍光ランプの主流となっている。

3.3 目の構造と働き

- 人間の目は、カメラと比べ桁違いに高機能
- 素晴らしい人間の目の構造と働き

目に入った光は、角膜で屈折されて瞳孔を通り、虹彩と呼ぶ膜で瞳孔の大きさを変化させ、目に入る光の量を加減している。水晶体は眼球の底にある網膜に対象が網膜上に鮮明な映像として投影されるよう屈折を調節している。網膜は非常に多くの視細胞で構成され、視細胞に当たった光は、視神経を経て脳へ送られる (図-7)。

網膜の視細胞には、明るいところで働く錐体と、暗い所で働く桿体という二つの細胞がある。錐体には、更に赤、緑、青それぞれに感度をもつ三タイプがある。桿体は一種類しかなく色判別はできないが、非常に感度が高く、人間が暗い所で行動できるのはこの桿体の働きによる。つまり、光が十分なところでは網膜はカラーフィルムとして働き、明るさが不十分なときには自動的に高感度のモノクロフィルムに切り替わる。

3.4 目の構造と働き「順応」(明暗順応)

- 人間の目は、明るさによって感度を自在に変える
- 順応には、時間がかかる (明所視→暗所視)

私たちは、満月の夜の 0.2 lx くらいから真夏の日中の照度 10 万 lx くらいまでの 50 万倍以上の明るさが変化する環境の中でもものを見ることができる。人間の目にはこの変化に対応できるよう「順応」という機能をもっている。昼間、明るい屋外から、窓のない場所に入ったとき、しばらくは真っ暗闇のようで何も見えないが^{*}、やがて周囲の様子が分かるようになり「真っ暗だと思ったけれど、意外とどこからか光が入ってくるのだな」と経験することがある (※明順応は比較的短時間に順応する)。これは、初めの明るさに反応する網膜の視物質が少なく目の感度を低く抑えられていたのが、次第に視物質が増加し

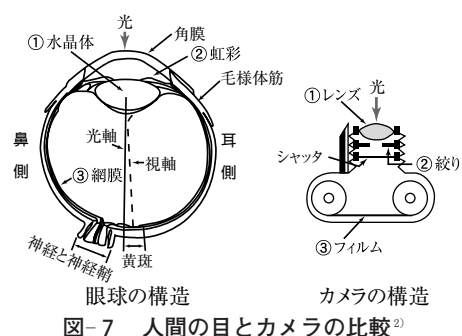


図-7 人間の目とカメラの比較²⁾

て目の感度が上がってきたためである。初めの順応は、瞳孔の変化である。瞳孔の大きさは直径 2 mm から 8 mm まで変化し、目に入る光の量を加減する。この変化は明るさの変化に対しすばやく反応するが、最小から最大に変化しても 16 倍の範囲でしか対応できない。これでは 50 万倍もの明るさの変化に対応できない。主な順応は、網膜で感度の高い視細胞(桿体)と、感度の低い視細胞(錐体)を交替させたり、更に明るさに反応する視物質の量を増減させ、目の明るさ感度を変化させることで対応している。この順応変化は多少時間がかかり、暗闇でしばらく見えないのはこのためである。

4. 光と睡眠

4.1 光と睡眠リズム関係

- 朝日と目覚めの密接な関係
- 自然な目覚め、快適な目覚めのための工夫

自然光の射すところでの眠りは、日の出の時刻と目覚めの時刻に強い関係がある。朝日の当たる部屋で寝起きすると、夏は早く目覚め、冬には目覚めが遅くなる。これが、自然と人間とのいい関係といえる。

明るさと、眠りの深さは強く関係する研究報告がある。50 lx 以上の照度があると、明るいほど眠りが浅くなる。人間が眠り始めると、40～60 分で一番眠りが深くなり、その後、眠りが浅い REM 睡眠の状態になる。この繰り返しを一晚に 3～4 回繰り返す。眠りの深さは、最初の眠り始めが一番深く、朝に近づくほど浅くなる。50 lx 以上の明るいところで眠らせると、眠り始めの眠りが浅く、朝方になるほど眠りの深い時間が長くなる。明るい眠りが浅くなることを利用して、目覚めの 30～40 分前から徐々に室内の明るさを増やすことで、爽快な目覚めが期待できる。実際そのような効果をねらった商品や仕組みも提供されている。

4.2 光と睡眠リズムの関係—体内時計

- 時差ぼけの解消にも明かりが役に立つ

私たちには、脳からの指令によって一日を周期とする生物時計が組み込まれている。この生物時計によって刻まれるリズムは「サーカディアン・リズム」と呼ばれその代表的なものに「体温リズム」と「睡眠・覚醒リズム」がある。体温は朝方に低く、夕方に最高点になる一日サイクルを描く。睡眠・覚醒リズムのほうは、深夜から朝にかけて眠り、昼間に活動状態になるリズムをもつが、暗い時間帯には体温が下がって活動が低下し、明るい間は体温も上昇して活動するように、二つのリズムが

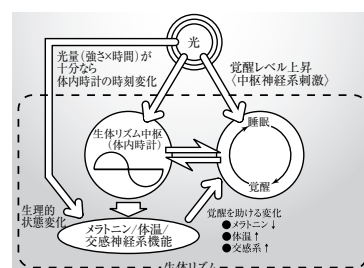


図-8 光の生理的影響を示す概念図⁵⁾

連動して一日の生活を維持している。このリズムが連動しなくなる例が、海外旅行で昼夜が逆転したときの時差ぼけである。ところが、国内で生活しているながら、二つのリズムが調和しなくなるという症状が増加している。それが引き金となって、子供の登校拒否、家庭内暴力、自閉症、痴呆老人の夜間徘徊などが引き起こされるなど、深刻な社会問題でもある(図-8)。

このような症状の治療法として、注目されているのが「光パルス療法」である。この療法は、1日2～3時間、続けて3000 lx～5000 lx以上の光を体に照射する。症状にもよるが、朝のうちに毎日継続してこの高照度の光を照射すると昼間の体温が上昇して体の新陳代謝が活発になり、昼間の眠気が減少し、昼夜の体温の差が大きくなり、夜間の睡眠が安定するようになる。この効果は、蛍光灯などの連続照射に限らず、朝の太陽光のもとで2～3時間の日光浴でも、近似の効果が得られるそうである。

4.3 光と睡眠リズムの関係

- 光によるメラトニンの分泌抑制

生体リズムを刻む体内の時計の1日は、昼夜の明暗変化がなく、時刻の情報がない場合は24時間ではなく、少し長めになっている。そのため、毎日少しずつ時計を調整して、24時間のサイクルに合わせる必要がある。体内時計の調整作用をもつ物理的因子の中では最も影響が大きいのが「光」である。

睡眠や生体リズムと関係の深いメラトニンというホルモンの分泌が盛んになる夜間に光刺激が与えられると、その分泌が抑制される。就寝前にパソコンに向かいモニタ画面の光を浴びると寝つきが悪くなる傾向があるのは、このためではないか。

このように光と睡眠は、密接に関連している。知識を深め大いに活用したいものである。

参 考 資 料

- 1) あかりの百科：1992 松下電器照明研究所東洋出版
- 2) 照明学会：照明の基礎知識
- 3) 松下電工：照明 50 年史
- 4) 東芝ライテック：研修資料
- 5) パナソニック電工：技術資料，光と健康
- 6) パナソニック：ランプ，カタログ