エジソンは偉かった!? 人工光源の光と陰

Artificial Light Sources for Lighted Environment, Obverse and Reverse

1962年3月大阪大学工学部電気工学科卒業。
現在東芝ライテック㈱本部研究所長附、東京農工大学工学部非常勤講師。

河本康太郎
Kohtarō Kohmoto

◀キーワード：光環境，人工光源，光，陰，太陽，火，白熱電球

1. まえがき——人類と光

人類がこの地球に出現したのは、およそ数100万年前といわれている。一方、現在の地球上の人間の光環境における最大の環境要素である太陽が誕生したのは約50億年前である。したがって人類が地球に出現した時には、この地球の周辺では現在とほぼ同等の、太陽による光環境が形成されていたことになる。即ち“始めに光があった”訳である。そして人類はその出現以来、太陽によって形成される光環境の諸要素（始めにあった光）に好むと好まざるとに関わらず順応してきたことになる。

この光環境を地球上の一点で見えてみると、光の照射条件は、太陽と地球の相対位置関係により（地球の場所によって若干異なっているが）きわめて規則的かつ周期的に変化している。昼と夜の交替はその代表的な例である。このため、人類が出現した時の地球上の光環境には、昼間は余るほど十分な量の環境要素としての光が存在するが、夜は反対に、あったとしてもごく僅かの量の月の光や星の光だけで、とても“光”環境とは呼ぶことができない状況であった。

いうまでも無く、光は人間にとって重要な環境要素である。これは、ひとつには、地球における全ての植物や動物の生活のためのエネルギーのほとんど全てが、太陽から光の形態のエネルギーによって供給されているということがある。

光が重要である今一つの理由は、光が人間の視覚支援の媒体となっていることである。人間は、生活し生命を維持していくための周辺からの情報の80%以上を、五感の中の視覚を通じて入手している。そして、光は人間の視覚を支援するための重要な媒体となっている。

それ故、視覚支援の媒体としての光は、視覚がいろいろな感覚の中で最も重要な感覚であること、相俟って、人間の生活環境において最も重要な環境要素となってくるのは当然である。即ち、環境に光が無ければ人間は満足に生活を送ることができない。このことは、例えば月も星も出ていない真夜中の深山の奥を体験してみればよく理解することができる。そのような状況では、一步を歩くことすら困難極まりないことになる。

したがって人類は、その出現以来の大部分の期間（およそ3000年前位までは）日の出と共に起きて昼間に活動

して、夜が来ると休む、という生活をしていたものと考えられる。たまたま、満月の夜などに多少は活動していたであろうか？

そして、前に上げた深山の真夜中の暗闇においても、蠟燭や懐中電灯のようなごく小さな光でも、光があればその重要性を充分理解できることから明らかなように、夜の闇における光への希求は非常に強かったであろうと想像される。この希求を具現したものが人工光源であることはいうまでもない。

現在では良く知られているように、数多くの種類の人工光源が身近に使用されており、特に都会では、人工光による照度も上がり、夜になっても照明が暗くて困るようなことはまず無くなった。（図1、図2）それどころか、

図1 夜の光環境を創る人工光源①（香港）

図2 夜の光環境を創る人工光源②（パリ）

夜間の人工照明のお陰で、生活のパターンが夜にシフトし過ぎ、本来の昼間の活動性が低下したり、夜間照明が明るくなり過ぎて、種々の問題が生じているケースも指摘されている。

本稿では、光環境の重要要素である光について、更めて考える中で、この人工光源について、光環境に果たしてきた役割についてまとめてみることにした。

2. 人類の進歩と人工光源の変遷

2.1 最近の人工光源

最近、スペース・シャトルなど、宇宙技術の開発によ

り、地球を宇宙空間から眺めることができるようになった。そして、宇宙から撮った地球の夜の写真が公開されている。そして、日本列島など一部の先進国の夜が明る過ぎることが大いなる話題になっている。

しかし、次項で述べるように、人類の人工光源使用の歴史を見ると、“夜が明る過ぎる”などといわれるような事態はごく最近のことであることが分かる。

図3に、人類がこれまでに開発・使用してきた人工光源の変遷をまとめたものを示す²⁾。以下に、人類の人工光源使用の変遷の概略をまとめて見ることにする。

図3 人工光源の変遷 [社]日本電球工業会・編：日本電球工業史 第3追補版²⁾より転載]

2.2 火の利用——人工光源の始まり

人間を他の動物から決定的に差別化している点は、“火”を利用していることであると、いわれており³⁾⁴⁾、真にその通りであると考えられる。人類の歴史を見ても、人間は火を調理などの熱源および光源として利用してきている。そして確かにそのことが、生活レベルにおいて、人間を他の動物たちから遥かに引き離れた高いレベルに置くことになった決定的要因になっている。

したがって、人工光源の始まりは火を制御的に利用したことであるということが出来る。人類が何時頃から火を光源として利用してきたかは、明らかではない。旧石器時代（およそ3万年から5万年）には既に人工的に火を造り出す技術を持っていたといわれているが、実際には自分で火を造り出す以前に、火山の溶岩や落雷などによる自然の発火の火を利用していたと考えられるから、10万年以上前かも知れないが、いずれにしても人類の数100万年の歴史から見ると、ごく最近のことであることは間違いない。

火をいわゆる光源の形として利用し始めた最初の形態は、焚火のような形態であったと考えられる。即ち、適度の速度で燃焼させることができ、しかも余り煙りが出ないような木が試行錯誤により調査され、利用されたものと思われる。そして、この木片が様々の工夫を経て、松明や篝火などとして改良され、やがて抽出された液体の油の利用へと発展する。石で出来た容器に油を入れて燃焼させ、光源として利用する、いわゆる油灯といわれるものが利用され始めたのは、今から約2500年前の紀元前500年頃のことと推定されている。したがって人類の歴史からみると、それほど古い事では無く、むしろごく最近のことであるといえるのかも知れない。

次いで加工性に優れた金属の利用技術が開発され、金属製の油灯が製作・使用されるようになったのは、それから1000年を経過した紀元500年頃のことであるといわれている。金属の加工技術と構造の工夫・開発により、石を利用した油灯に比べて、ぐっと人工光源らしくなったものと考えられる。そして、図3に示したように、燭台、蠟燭、いわゆる西洋式ランプを経て、ガス灯の開発へと受け継がれることになる⁵⁾⁶⁾。

2.3 電気エネルギーを利用した人工光源の開発⁷⁾⁸⁾

火を利用した人工光源は、前項で概略述べたように、焚火や松明に始まり、燭台、蠟燭、ランプ、そしてガス灯へと受け継がれ、その度に改良されて、使いがっても良くなってきたが、エネルギーの変換に火（燃焼）を利用するため、とくに室内で使用する場合に、火災のリスクが大きい、という決定的な難点があった。

この難点を克服するために、ガス灯が普及し始めた頃に、ほぼ並行して開発された新しい一次エネルギーである電気エネルギーを変換して光を得る技術の人工光源へ

の適用が検討された。

電気エネルギーは、1796年 A. Volta による電池の発明、および1831年、M. Faraday の電磁誘導の実験を基に発電機が開発されたことによって、利用が検討され始められたものである。

電気エネルギーを光エネルギーに変換して、照明に利用した最初のもは、1801年の H. Davy によるアーク灯の実用化である。この頃は、まだ発電機が開発されていなかったで、この Davy のアーク灯は、電池で点灯された。この時検討されたのは炭素電極によるアーク放電である。即ち、外径約5mm長さ約30mmの炭素の棒2本を接触させて電流を流しておき、その後2本の炭素棒を0.5mm程度分離すると、そのギャップの間にアーク放電が生じ、光エネルギーに変換されるものである。

アーク灯は、それまでの蠟燭や西洋式ランプ、ガス灯に比べると、1灯当りの光束も多く、遥かに高輝度であった。一説には、“2000燭”であったといわれている。したがってアーク灯の場合は、室内で使用するに際して、明るさそのものよりもむしろ、その光を小さく分割することができないことが問題となった。また、炭素電極から蒸発する炭素蒸気による（室内の）よごれも問題であった。

2.4 エジソンによる白熱電球の実用化

電気エネルギーによるアーク灯は、光束、光色はなかなかのものであったが、前項で記述したような問題点があった。そこでこれらの難点を解消した電気エネルギーによる人工光源が検討され、その結果 T. A. Edison (図4)により、実用的白熱電球が開発された。時に1879年10月21日のことである。

このエジソンによる白熱電球実用化の経過については、数多くの文献に詳述されている^{9)~16)}ので、ここでは省略する。ただ、これも過去十分に伝えられていることであるが、白熱電球については、エジソンと同世代または、エジソンの以前に、白熱電球の開発を手掛けていた技術者や研究者はエジソン以外にも沢山いた。エジソンがこれらの技術者や研究者に比べて優れていたのは、白熱電球を開発しただけでなく、それを世間に普及させることに對しても同等の（むしろ見方によっては同等以上の）力を尽くしたことである。

即ち、エジソンは電球と同時に発電機を製造し、その電気を各家庭にまで配分するために、配電方式（エジソン・システムといわれる¹⁷⁾）を開発すると共に、配電の実務推進のためにエジソン・カンパニーという配電を事業とする電燈会社を設立した。このエジソンが開発した配電方式は、直流210Vの三線方式であった。

また、白熱電球用の簡便かつ信頼性の高い口金を開発・実用化し、それを世界的に標準化した。現在世界中で広く使用されているE形口金がこの口金であり、E形

図4 エジソン (Thomas Alva Edison)

のEは Edison のEに因んで命名されたものである。

この白熱電球の開発成功の発表の時にエジソンはこう言ったと伝えられている¹⁸⁾。

“白熱電球の光の輝きと、費用の安さが公衆に知れ亘った時、——そして、それは数週間のうちであろうが、炭化水素ガスによる照明は、完全に棄て去られるであろう。15か20の発電機があれば、私は、ニューヨークの下層地域の隅々まで完全に照明してみせる。”

その後の経過は歴史が示しているように、エジソンの言葉通り、炭化水素ガスによるガス灯は、照明の主役の座を追われ、一方白熱電球は現在もなお、人工光源の主役の座のひとつを占めている。

なお、電気エネルギーを利用した人工光源は、図3に示すように、エジソンの実用化以降、1938年の蛍光ランプの実用化や、1906年の高圧水銀ランプの開発を起源とし、その後のメタルハライドランプ、高圧ナトリウムランプに引続く HID ランプの開発・実用化を経て今日に至っているのは、良く知られている通りである。

3. 人工光源の光と陰

3.1 人工光源と自然光源の比較

前項までに記述してきたように、地球上の人類の光環

境における光源としては、長い間の太陽を主とし、一部夜の月や星などを含む光源（自然光源）だけの時代を経て、現在の、特に夜が見違えるばかりに彩られる人工光源を併用する時代へと変ってきた。そして、人工光源により、夜が明るくなるにつれて、人間が自然光源だけで無く、人工光源からの光の照射を受ける機会も増加し、照射される量も増加してきた。その結果として、とにかく人工の光があればそれだけでありがたかった時代から、人工光源からの光の質に対する要求が強く出されるようになってきた。

そこで、太陽を主とする自然光源と、エジソンの実用化以降、電球、蛍光ランプ、HID ランプによった代表される人工光源について、関連の諸特性を比較して見た。結果を表1に示す。この表を見ると、やはり自然光源と人工光源には非常に違った点があり、最近の光環境の質的議論において、そのことが大きな話題になっている。

人工光源が地球環境の夜間に光を提供したことを“人工光源の光の部分”とすれば、この問題となっている自然光源との質的差の面は、いわば、“人工光源の陰の部分”とも言えるかも知れない。

そこで、以下にこの比較表の中から、1～2の特性について、この人工光源の光と陰の部分に注目しながら、特に、最近の新しい問題点について述べて見たい。

3.2 光の照射リズムに関連する諸問題

地球上の光環境における人工光源と自然光源の決定的違いのひとつは、表1に示したように（マクロに見て）自然光源の照射条件は変化するのに、人工光源の照射条件は、変化しない点である。

前節までに述べてきたように、自然光源の照射条件は、地球と太陽との相対位置関係によって、実に規則正しく周期的に変化している。（この背景には、光源としての太陽の放射特性（大気圏外での特性）が極めて安定していることがある。太陽が億年単位で、安定した放射特性を保持していること、すなわち地球に対して極めて安定した一定の放射エネルギーを供給してくれていること、は良く考えて見ると実に驚異的な事である。この理由については、本稿の内容を逸脱するので、ここでは触れないこととする。別の機会にしたい。）

そしてこの周期的変化のリズムに長年（何世代にも亘って）順応した結果、人間を始めとするこの地球上の植物・動物の生活リズムが形成されてきた。ところが、一方人工光源は、日常生活において一旦設備されると、原則的には（on-off 以外は）照射条件は変化しない。そのため、人工光源による照射を受ける機会が増加し、人工光源の照射量が多くなると、本来の（長年の自然光源との関連で形成された）リズムが乱され、いろいろと影響が出てくることになる。この影響の具体例などについては、本特集号の別の資料でも論じられているので、ご

表 1 光環境要素としての自然光源（太陽）と人工光源の比較

区 分		光色の変動	光 量 の 時 間 的 変 動		光の空間分布の変動
			マクロな変動	ミクロな変動	
太陽	大 気 圏 外	○億年単位で安定。	○億年単位で安定。	○不規則な微小変動はあるが概ね安定。	○億年単位で安定。
	地 球 上	○天候，気象条件，太陽と地球との相対位などにより変動。 [変動範囲] 3000～12000 [K]	○太陽と地球の相対位置により，周期的に（日周期と年周期）変動。 ○天候，気象条件により，変動。 [変動範囲] 0～130000 [lx]	○不規則な微小変動はあるが，ミリ秒単位では安定。	○天候，気象条件，太陽と地球の相対位置などにより変動。
人 工 光 源		○光源の種類によって異なるが，同じ光源については使用中の変動はほとんど無い。	○使用中にゆるやかに（数1000時間単位で）減衰。	○100Hzまたは120Hzで脈動（商用交流電源の場合）。	○組合わせる照明器具の空間分布そのものは異なるが，同じ光源・器具については，使用中変動はほとんど無い。

図 5 白熱電球（100V，100W）からの光が脈動している様子（50Hz点灯した場合，光は100Hzで脈動している。）

参照下さい。

3.3 光のミクロな変化

前項で人工光源からの光の照射条件は，一旦設定するとマクロには変化しない，と記述したが，実は表 1 に示したように，大半の人工光源の照射条件はミクロには，実に規則的・周期的に変化している。この理由は世界中で大半の人工光源を点灯するために配電されている電力が50Hzまたは60Hzの交流であることに起因している。

実は前節で述べたように，エジソンが白熱電球の点灯のために開発した配電システムの場合の電力は，210Vの直流であった。この直流配電が現在の交流配電になるについては，複雑な経緯があったが，結果的な理由としては以下のように考えられている。即ち，配電線路内の電力損失は，電圧の2乗に逆比例するから，大電力を効

率良く送るには電圧を高くした方がよい。ところが直流は簡単に電圧を上昇させる装置が無いのに対して，交流の場合は変圧器があり，簡単に昇圧することができるからである。そして，時代の推移と共に直流配電システムは姿を消し，50Hzまたは60Hzの交流配電システムが主流となってしまった¹⁹⁾²⁰⁾。

したがって，現在広く使用されている人工光源である白熱電球，蛍光灯，HID ランプなどは，一部の，例えば高周波に変換して点灯するような回路を除いては，点灯中に放射される光は100Hz または120Hz の周波数で脈動していることになる（図 5 参照）。

この脈動が人間や動・植物にどのような影響を与えるかは，未だ充分明らかにされていない。余り影響が無いという見解もある。実際に，現在はその影響の結果と思

われる現象は具体的に確認できていない。ただし、現在影響が現れていないから、大丈夫であると断言するのは早計である。何世代かを経た後に影響が現れる可能性もあるからである。電気による人工光源が地球の光環境に登場してから、高々100年——3世代である。3世代は影響が現れるには短すぎるという意見もある。

資料的に確認されてはいないが、もしかするとエジソンが直流で白熱電球を点灯することを提唱したのは、このような要素も考慮したからなのかも知れない、といったら考え過ぎであろうか？

4. あとがき

以上、地球上の光環境を構成する基本要素である光源の中の、人工光源について、人類とのかかわりの歴史、自然光源との特徴的違い、およびその違いに起因すると考えられる影響の一部を述べてきた。

人類の活動による結果的な地球環境に対する破壊行為（必ずしも明確に認識してこなかった部分もあるが）が大きな話題になってきている今日、上記記述してきた内容が、われわれの行動を今一度考え直し、地球環境とのかかわりを再検討するための資料となれば幸である。

参考文献

(1) 週刊朝日百科 日本の歴史34—原始・古代①宇宙と人類誕生，朝日新聞社（昭61）

(2) (株)日本電球工業会・編：日本電球工業史 第2 追補版（昭58）
(3) 柳田 国男：火の昔，實業之日本社（昭19）
(4) 熊谷清一郎：火，岩波書店，（昭54）
(5) 關 重廣：燈火の變遷，河出書房（昭16）
(6) 照明學會・編：照明工學ポケットブック，（昭16）
(7) 小林 秋男：電燈の話，岩波書店（昭28）
(8) (株)日本電球工業会・編：日本電球工業史，（昭38）
(9) 澤田 謙：エヂソン傳，大日本雄辯會講談社（昭4）
(10) 沢田 謙：エジソン，偕成社（昭27）
(11) 三石 巖：エジソン，金子書房（昭29）
(12) M. Josephson：Edison- a Biography, McGraw-Hill Paperbacks（1959）
(13) 中山 光義：エジソン，偕成社（昭42）
(14) スターリング・ノース（藤川正信・訳）：メンロパークの魔術師，学習研究社（昭49）
(15) 光瀬 龍：エジソン，講談社（昭63）
(16) 生江 有二：エジソン，ブロンズ新社（平2）
(17) 飯野 貞雄：エジソンシステム，照学誌，63-10 pp.603-608（昭54）
(18) R. C. Chirnside（河本康太郎・訳）：スワンと白熱電球の發明，照学誌，63-10 pp.614-619（昭54）
(19) 日本電氣事業史編纂會・編：日本電氣事業史，電氣之友社（昭16）
(20) 内山 一正，尾見 定之：送電配電と屋内配線，オーム社（昭35）

インテリジェントオフィスの
照明実態調査報告書の頒布

インテリジェントオフィスの照明実態を明らかにすることを目的に実施された同調査委員会（委員長：高橋貞雄）の報告書がまとまりましたので、頒分致します。

本実態調査は、平成4年度の照明学会東京支部（支部長：小林孝一）の特別企画として実施されたもので、1985年以降に新築あるいはリニューアルされた全国のインテリジェントビル208施設を対象に、ビルの概要、基準階一般執務室の建築、照明、エネルギー等について、施主・設計事務所・建築会社などの協力を得て行なわれた。

報告書の目次は次の通りである。

〈報告書目次〉

まえがき（目的）

1 委員会の構成と経過

2 調査方法

2. 1 調査方法

2. 2 調査期間

2. 3 調査対象

2. 4 調査内容

3 調査結果

3. 1 ビルの概要

3. 2 基準階一般執務室【建築編】

3. 3 基準階一般執務室【照明編】

3. 4 エネルギー

4 考察（規模別，自社／貸ビル別）

4. 1 基準階一般執務室【建築編】

4. 2 基準階一般執務室【照明編】

4. 3 エネルギー

5 まとめ

5. 1 過去の調査結果との比較

5. 2 インテリジェントオフィスの平均像

資 料

1 アンケート調査用紙

2 データー一覧とその見方

頒 分 価 格 3,000円（送料別：1冊400円）

問 合 せ 先 照明学会・東京支部（担当，中村） TEL 03-5294-0101 FAX 03-5294-0102

〒101 千代田区神田司町2-8-4 吹田屋ビル3階