光による変退色[†]

正会員 片山 就 司*

専門会員 山本 修 司*

1. はじめに

日光に曝された衣料の一部が色褪せる現象は日常よく経験することである。この場合、一度色褪せたものは二度とは復元できない。これは、衣料に着色されている顔料の分子構造そのものが変化してしまうためである。このように、光は物質そのものの構造を変える力をもっている。

照明はものを正しく快適に見せることが目的であるが、照明されるものが光による損傷を受けることも忘れてはならない、特に照明される対象物が、芸術的価値の高い絵画や織物などの文化財の場合には、照明による損傷を生ずることを極力さけねばならない。また、高価な衣料や色彩を重視する資料の展示やディスプレイにも注意が必要である。

2. 光による変退色のメカニズム

一般には光によって引き起こされる不都合な結果を「損傷」と呼んでいる。損傷には、大きく分けてふたつの異なる様相がある。ひとつは色そのものの変化に関するものであり、もうひとつは、機械的特性の劣化である。これは外力に対する抵抗力の低下を意味している。これらが生ずるメカニズムを概説してみよう。

電磁波は、その波長によってそれぞれ性質が異なり、名称が定まっている。そのうち、図1に示すように380nmから780nmの波長のものが可視放射である。各々の電磁波は固有のエネルギーをもっている。このエネルギーは光子エネルギーと呼ばれ、その大きさは波長に逆比例している。

いま、電磁波が物質に入射した場合、電磁波の一部は物質に吸

収され、残りは透過もしくは反射する。この時、吸収されずに透過したり、反射した電磁波は物質に何の作用ももたらさない。吸収された電磁波は、その光子エネルギーを物質に与える。

この時、物質に吸収された光子エネルギーの大きさが、物質を構成する分子の結合エネルギーより大きい場合、分子間の結合が解き離されたり、新たな結合が生じ、元の物質と異なるものが生成される。このような変化を光化学的反応と呼ぶ。変退色は、この変化が染料や顔料のような着色材に現れる現象ををさしている。

一方、物質に吸収された光子エネルギーが物質を構成する分子の結合エネルギーより小さい場合には、分子間の結合を解き離したり新たな結合を生じさせることはない。これらのエネルギーは、分子や原子の回転や振動となり物質の温度上昇という形で現れる。この現象は物質そのものを変化させるわけではないので直接的な損傷とはならない。しかしながら、物質が温度上昇や冷却を受けると膨張、収縮が生じる。また、絵画の顔料などの場合は、それに含まれる水分を蒸発させて粘着力を奪う。これらは脆弱化、剝離といった物質の機械的な劣化の原因となる。

表1に電磁波の波長と光子エネルギーの関係を示す。紫外放射のように波長の短い電磁波の方が、赤外放射のように波長の長い電磁波より、光子エネルギーが大きいことが分かる。このことから、紫外放射は、物質を構成している分子の結合を解き離したり、新たな結合を生じさせたりする作用が強いと言える。反対に赤外放射は、その作用が弱く、吸収された光子エネルギーは主として物質の温度上昇として現れることになる。

一般にこれらの光による損傷は、照射（吸収）された光エネルギーの量（光エネルギーの強さと照射時間の積）に比例する。ただしこの関係が成り立つのは比較的小さい光エネルギーの量の範囲であって、ある一定量以上の光エネルギーが与えられた場合は、反応の度合いは飽和して変化の度合いは弱まる。その場合、損傷度合いは吸収した光エネルギーの量の対数に比例すると考えられる。

3. 光源の損傷特性

光による損傷の分光特性を系統的に取り扱ったものはほとんどない。唯一、N. B. S（米国標準局）が報告している相対損傷係数 $D(\lambda)$ があるのみである。図2はその分光特性を示したものである。比較としてCIE標準比視感度も同時に示している。これは、セルロース紙をサンプルとして、各波長ごとの損傷の度合いを実験的に求めたものである。したがって、この波長特性がすべての物質の損傷についてあてはまるとは断定できない。しかしながら、現在までのところ、光の損傷を分光的に評価できるものがほかにないので、ここではこの $D(\lambda)$ のデータをそのまま用いて解説することにする。

図から分かるように損傷度の大きいのは紫外域であり、可視域

図1 電磁波の波長と名称（照明学会・1968）

[†] Fading of Colored Materials by Light and Radiant Energy

* 松下電工株式会社 中央 EC Syuji Katayama Syuji Yamamoto

図2 損傷の分光特性 (Harrison・1954)

では大幅に低くなっている。仮に分光分布が波長に対して一様であるとすれば、300nm～400nmの紫外域の損傷が全損傷の95%を占めることになる。反対に、400nm～780nmの可視光では5%の損傷を占めるに過ぎない。紫外放射を多く含む光源は、紫外放射の少ない光源にたいして損傷度が飛躍的に大きくなることが推察される。

この相対損傷度を使用して、日常使われている各種光源についてそれぞれの光源に固有の損傷係数（単位光量当たりの損傷）が算出できる。各種の光源について求めた結果を表2に示す。また、各種光源より400nm以下の短い波長の光を除去した場合（フィルタを用いた場合）の損傷係数も同時に示す。ここから言えることは、一定の光量（照度×時間）を与えた場合、

- ・天空光（天頂光）の損傷係数が最も大きい
- ・光源では美術館・博物館（紫外放射防止形）演色AAA電球色蛍光灯の損傷係数が最も小さい。
- ・紫外放射防止用蛍光灯は一般蛍光灯に比べて損傷係数は半分以下になる。
- ・400nmより波長の短い光エネルギーを除去すれば3200Kの白熱電球が最も損傷係数が小さくなる。ただしその値は美術館・博物館用演色AAA電球色蛍光灯にほぼ同じである。

なお、複合光源の損傷係数は、それぞれ単独の光源の損傷係数と光量（照度×時間）の積和として求めることができる。

4. 損傷の防止

光による損傷を避けるためには、まず第一に紫外放射量の少ない光源を選ぶことになる。ただし、先のN.B.S.の損傷係数が示すように、損傷は可視光域でも発生する。したがって、表2を参考にして損傷係数の小さい光源を選択することである。変退色などの損傷を問題とする箇所では、色彩の見え方も照明条件の一つ

として考える場合が多いので、このような場合には、演色性の面から考えても、美術館・博物館用蛍光灯を使用することが望ましい。

表1 電磁波の波長と光子エネルギー (Bickford・1972)

波長 (nm)	名 称	光子エネルギー (ev)
100,000	赤 外 放 射	0.01
10,000	"	0.12
1,000	"	1.24
800	可 視 光 線	1.55
700	"	1.77
600	"	2.07
500	"	2.47
400	"	3.10
300	紫 外 放 射	4.14
200	"	6.20
100	"	12.4
1	エ ッ ク ス 線	1240.
0.1	"	12400.
0.01	ガ ン マ 線	124000.
0.001	"	1240000.

表2 単位照度当りの損傷係数（青空・天頂の天空光を100として）

光源の種類	単位照度当りの 損傷係数相対値 (%)	400nm以下を除いた ときの単位照度当りの 損傷係数 相対値(%)
青空・天頂の天空光	100.0	8.5
曇天の天空光	31.7	5.1
太陽の直接光	16.5	4.0
昼光色蛍光灯 (FL-D)	6.9	2.9
白色蛍光灯 (FL-W)	4.8	2.5
温白色蛍光灯 (FL-WW)	4.5	3.0
紫外放射防止用蛍光灯 (FL-W・NU)	2.4	2.4
演色AAA昼白色 美術・博物館用蛍光灯 (FL-N・EDL・NU)	2.5	2.5
演色AA白色 美術・博物館用蛍光灯 (FL-W・SDL・NU)	3.5	3.5
演色AAA電球色 美術・博物館用蛍光灯 (FL-L・EDL・NU)	1.3	1.3
白熱電球 (3,200K)	5.2	1.2
白熱電球 (2,856K)	3.1	1.4

表3 各国の推奨照度基準と JIS

		JIS (日) (1979)	ICOM* (仏) (1977)	IES** (英) (1970)	IES*** (米) (1987)
光放射に非常に敏感なもの	織物、衣装、水彩画、 つづれ組、印刷や素描 のもの、切手、写本、 泥絵具で描いたもの、 壁紙、染色皮革など	150-300 (はく製品、標本に ついては75-150)	50 できれば低い方が良い (色温度：約2900k)	50	12000lx・h／年
光放射に比較的敏感なもの	油絵、テンペラ絵、天 然皮革、角、象牙、木 製品、漆器など	300-750	150-180 (色温度：約4000k)	150	18000lx・h／年
光放射に敏感でないもの	金属、石、ガラス、陶 磁器、ステンドグラス、 宝石、ほうろうなど	750-1500	特になし 但し、300lxを超える照明 を行う必要はほとんどなし		200-500

*ICOM:International Council of Museum **IES (英):Illuminating Engineering Society, London

***IES (米):Illuminating Engineering Society, New York.

第二に、先に述べたように、照明による損傷は、その照明光源の分光分布が一定ならば、照射光量に関係する。したがって照度と照射時間の積を小さくする配慮が必要になる。実際の場においては、照度を適切な値にし、かつ、照射時間も短縮することにより損傷が防止できる。参考として照明される対象物による各国の推奨照度とわが国の JIS 基準を表 3 に示す。例えば観覧者がいない場合には、照明の必要がないわけであるから、その間照度レベルを下げるか、あるいは消灯しておくといった工夫で照射光量を抑制できる。

なお、光以外の原因による損傷として

- ・外的な力による損傷（機械的損傷）
- ・空気中の酸素、オゾンなどの結合による損傷（酸化）
- ・周囲温度の変化による損傷
- ・周囲湿度による損傷

が挙げられる。これらは、相互に影響しあい、複合的に損傷を促進する可能性があるので注意が必要である。

参 考 文 献

洞口、森田、中矢：照学誌74-4（1990）206

（照明器具の適正な清掃とランプ交換の時期）

参 考 文 献

- 1) 照明学会・技術指針：照明設計の保守率と保守計画 改正版 JIEG-001(1987)
- 2) 松下電器照明研究所編：あかりの百科，東洋経済新報社(1992) 120～121
- 3) A.K. Gaetjens: Lighting Maintenance in War Industry Plants, Illum. Engng. 37 (1942) 403～410
- 4) P. Moon and D.E. Spencer: Lighting Design, 藤原、斎藤 訳：照明設計，技報堂（1955）160～175
- 5) E.Wittig: Ermitteln des Verminderungsfaktor für Innenraum-Beleuchtungsanlagen. Siemens Zeitschrift 47 (1967) 914
- 6) 黒沢涼之助：照明経済の諸問題とその考え方，照明学会雑誌 40-9 (1956) 367～371
- 7) 黒沢涼之助：全般照明におけるランプ交換の最適化，照明学会雑誌 58-1 (1974) 16～21
- 8) 黒沢涼之助：保守率の話，照明学会雑誌 63-1 (1979) 7～12
- 9) 池田栄一他：照明基準と照明設計のポイント，日本規格協会 (1982) 213～222
- 10) 照明学会：照明実務講座12，照明の保守と経済 1～9

正 誤 表

本年度発行の会誌において、下記の号に各々誤りがありました。慎んでお詫びをすると共に、ご訂正頂きますようお願い致します。

5月号：P14 資料「施設用照明器具のエレクトロニクス化技術の動向」の参考文献

9)～16)を10)～17)に訂正

(9)→10), 10)→11)のようになり下がる)

10) ㊦垣谷ほか→㊥上岡ほか

9) 垣谷ほか：蛍光ランプ用高出力形電子安定器 平成4年度照明学会全国大会論文集 No.13

を挿入する。

5月号：P38 「やさしい照明技術」脚注

㊦ Yasuhira Narisada

↓

㊥ Kouhei Narisada

6月号：P12 「無窓執務空間の視環境が心理行動に及ぼす影響」の著者・乾正雄氏の写真を下記のようにご訂正下さい。

いぬい まさお
乾 正雄君（専門会員）

昭和9年生まれ。昭和38年東京大学大学院数物系研究科博士課程修了，工学博士。建設省建築研究所設計計画研究室長，東京工業大学助教授を経て，現在同大学教授。昭和48年度日本建築学会賞受賞，昭和53年度照明学会賞受賞。照明学会前副会長，現在同会監事。照明学会，日本建築学会，日本色彩学会，MERA等の会員。