資 料

博物館展示照明が色材料に及ぼす作用効果[†]

神庭 信幸*

1. はじめに

我々は、展示照明について次のような会話にしばしば出合う。展示担当者が「もう少し照明を明るくしませんか。これでは着物の細部が見えにくいし、色もよく分かりません。展示期間が短いので明るくしても大丈夫のように思いますが」と質問する。これに対する保存担当者の答えは多くの場合、「染織品に対する安全な照度は世界的に 100 lx 前後が採用されているので、これ以上の照度は保存の点から無理でしょう」となる。この説得力に乏しい答えの結果、保存担当者が示した照度基準は無視されるか、あるいはただ盲従される運命を辿る。

一般的には博物館における展示照明を考えると、1) 展示対象物を傷めることなく照す、2) 太陽光と同等な色彩感覚を再現できる、3) 心理的不快感を与えないことなどの3

点を考慮する必要がある。先の問答で両者の関心は共に1)にあるが、展示担当者は照すに、保存担当者は傷めることなくにより重点を置いている。ところが、照明によって肉眼が感じる明るさの増減は「照度」により数値で表わせるが、劣化に関して資料が受ける影響の度合いは数値で表わすことができないため漠然としている。保存担当者の答えが明快さを欠く理由はここにある。

本論では、現在博物館において使用されている展示照度の基準値と、それらを裏付ける色材料の褪色実験およびデータ等を概観した後、褪色の数量化に関する方法について作用関数を用いて述べてみたい。

2. 展示照明の照度基準

現在、博物館等で採用されている照度基準をまとめると表 1 のようになる。展示資料の耐光性は材質によって異

表 1 美術館・博物館における展示照明の推奨照度 (単位は lx)

	文化庁 ¹⁾ (参考文献の番号, 以下同様) (1970)	ICOM ²⁾ (1977)	カルコン レポート ³⁾ (1977)	JIS 規格 ⁴⁾ (1979)	G. Thomson ⁵⁾ (1988)	IES ⁶⁾ (1987)
光に非常に 敏感なもの	染織品、衣裳、タビストリー、水彩画、日本画、素描、手写本、切手、印刷物、壁紙、染色した皮革品、自然史関係標本	150 以下 (特に脆弱なものは30日以内)	50	100 (1日10時間、年50日で積算照度 50000 lx・h)	150—300 (自然史関係標本は 75—150)	50 50 (1日8時間、年300日で積算照度 120000 lx・h)
光に比較的 敏感なもの	油彩画、テンペラ画、フレスコ画、皮革品、骨、角、象牙、木製品、漆器	150 以下	150—180		300—750	200 75 (1日8時間、年300日で積算照度 180000 lx・h)
光に敏感ではないもの	金属、石、ガラス、陶磁器、宝石、エナメル、ステンドグラス		特になし		750—1500	

[†] Deterioration effect to colored materials of exhibition lighting at museums

* 国立歴史民俗博物館情報資料研究部 Nobuyuki Kamba

紹介者 編集委員会委員 河本康太郎

なるため、照度基準は材質別に示される。推奨照度には、光源の種類に関する指定はなく、また展示期間の限定も一部のものを除き明確ではない。

光に対して最も脆弱な染織品や、日本画を含む水彩画あるいは彩色手写本の類は何れの基準も一致して 50 lx 以下である。それらよりやや耐光性のある油彩画や漆器に対しては 200 lx が用いられている。50 lx, 200 lx の何れも 1 年を通じて行われる展示を前提とした照度と考えられ、年間の積算照度は、年間の展示期間を 300 日、1 日当たり 8 時間の照射として、それぞれ 120,000 lx・h, 480,000 lx・h となる。

これらの推奨値の中で JIS 規格は異常に高い値を示している。展示期間と照射期間を上記と同様とすると、染織品

に対する積算照度は 360,000 から 720,000 lx・h になる。一方、文化庁の推奨照度のように年間の展示日数に限定条件があるものは稀で、年間の積算照度は約 50,000 lx・h と少ない。

3. 色材料の褪色

3.1 研究事例

博物館資料に多く見られる色材料に関する褪色実験例を表 2 に示す。劣化促進試験には、試料に照射する光の種類により白色光照射型と単色光照射型とがある。前者は試

表 2 褪色実験研究の事例

1) 実験者, 2) 色材料, 3) 褪色促進法, 4) 褪色評価法, 5) 実験結果, の順にまとめている。			
1) McLaren, K. (1956) ⁷⁾			
2) 117 種類の合成染料。			
3) 300, 360, 400, 460, 600 nm 以下の光をそれぞれ吸収するフィルターを用い、直射日光を照射。			
4) 分光反射スペクトル。			
5) 褪色に最も関与する波長領域は物質の耐光性により変化する。物質に特有な臨界波長があり、光化学反応はこの波長以下の光により起こる。不安定なものほど臨界波長が長波長側にある。			
1) Thomson, G. (1957) ⁸⁾			
2) Caledon Jeda Green 4G, Indanthrene yellow 7GK, Caredon yellow 5G, Caledon Brilliant Orange 4R のそれぞれを木綿布に染色。			
3) 3650 Å 200 μw/cm ² , 4047—4358 Å 200 μw/cm ² , 5461—5780 Å 200 μw/cm ² の単色光を15カ月間照射。			
4) 色差 (詳細は不明)。			
5) 黄緑光, 青色光, 紫外線の順に影響が大きくなる。黄緑光によってもかなりの変化は生じる。			
1) 新井農夫男, 本馬達夫 (1959) ⁹⁾			
2) ニッポンファストイエローBC (住友), ニッポンファストイエローA (住友), ニッポンファストオレンジS (住友), ダイアコットンオレンジR (三井), ジャパノールファストレッドF (住友), ダイレクトグリーンBコンク (化薬), ニッポンファスターコイズブルーGコンク (住友), ニッポンブルーBBコンク (住友), ニッポンファストバイオレットBBコンク (住友), ダイレクトバイオレットLN (化薬), ジャパノールブラウンM (住友), ニッポンブラウンCBコンク (住友), ダイアコットンファストブラックDコンク (三井), ダイレクトブラックBH (化薬)。			
3) 直射日光 5, 10, 15, 20, 30 時間照射, フェードメータにより 37k lx を 5, 10, 20, 40 時間照射, 蛍光灯, 白熱電球, 殺菌灯により 900 lx を 50, 70, 100, 150, 200, 300, 400, 500 時間照射。			
4) 分光反射率, K/S 値			
1) 登石健三, 見城敏子 (1963) ¹⁰⁾			
2) 鉛丹, 朱, 黄土, 朱土, 洋紅。			
3) 真空, 1 気圧の酸素, 1 気圧の二酸化炭素の各条件で試験片をガラスに封入し, 蛍光灯により 2000 lx を 1 時間から 4000 時間照射。			
4) 分光反射スペクトル, 色度図 XYZ および明さ Y。			
1) Padfield, T., Landi, S. (1966) ¹¹⁾			
2) アリザリンレーキ, ラック, カーマイン, うこん, インジゴ, ブラジルウッド, ロッグウッド, サフラン, 紅花, マダー, コチニールなど約 40 種類の天然染料。			
3) 直射日光で 500000 から 2500000 lx・hour, 蛍光灯 16000 から 20000 lx で 6500000 から 9100000 lx・hour の照射。環境の気温は 16 から 20℃, 試料表面の温度は 30℃ 以下。			
4) ブルースケールとグレースケール。			
5) すべての天然染料は 50000000 lx・hour の蛍光灯照明により大きく褪色した。直射日光の場合は更に早い。コチニール, インジゴ, ペルシアンブルー, マダーなどが高い耐光性を示した。インジゴを除き後はアントラキノン系の染料である。耐光性は媒染剤や繊維の種類によるところが大きい。例えばインジゴは木綿布より羊毛布の方が強い。マダーはその逆である。			
1) Duff, D. G., Sinclair, R. S., Stirling, D. (1977) ¹²⁾			
2) ロッグウッド, アリザリン, コチニール, ラック, インジゴ, スルフォネイトインジゴ, オウボク, ペルシアンベリー。			
3) 500 W 水銀ランプを試料面から 20cm 離し, 20 時間毎の測定で 240 時間の照射。			
4) 色差 ΔE (CIE 1976 LAB)。			
5)			
染料 (媒染剤)	色差 ΔE	グレースケール	ブルースケール
ログウッド (Cr)	0.8	4—5	6—7
アリザリン (Al)	3.6	4	5—6
アリザリン (Sn)	6.1	3—4	5—6
コチニール (Sn)	7.9	3	4
ラック (Sn)	8.7	3	3—4
インジゴ	5.0	3—4	5—6
スルフォネイトインジゴ	29.8	1	1—2
オウボク (Sn)	19.0	1—2	1—2
ペルシアンベリー (Sn)	30.6	1—2	2
ペルシアンベリー + インジゴ	15.8	1	1—2

表 2 のつづき

1) Bowmann, G. J., Reagan, B. M. (1983) ¹³⁾
2) うこん, 茜, 藍.
3) 白熱灯, 蛍光灯, ハロゲンランプと紫外線吸収フィルターおよび赤外線吸収フィルターを組合せ, 1615 lx で 100, 200, 300, 400 時間の照射.
4) K/S 値
5) 茜, 藍, うこんの順に耐光性が高い. フィルターで紫外線および赤外線を取り除いた方が褪色が小さい.

1) 森田恒之 (1985) ¹⁴⁾
2) 民族資料に見られる染色部.
3) 展示室のクールビーム型の白熱灯照明.
4) 資料表面の温度分布, 分光反射スペクトル, 赤外線吸収スペクトル.
5) 熱分布と褪色部位に一致が見られる. 褪色は染料の分解ではなく, 量的な減少により生じる.

1) 見城敏子 (1985) ¹⁵⁾
2) ロードミンB, 密陀僧.
3) 単色光の照射.

nm	erg/cm ² , sec × 10 ⁵	nm	erg/cm ² , sec × 10 ⁵
699	0.162	441	0.330
647	0.186	390	0.300
596	0.195	338	0.255
544	0.260	287	0.084
498	0.303	235	0.010

4) 色差 ΔE
5) 密陀僧は 441 nm 以下の光に敏感, 498 nm 以上には比較的安定. ロードミンBは 338—596 nm の範囲で比較的敏感.

1) Crews, P. C. (1987) ¹⁶⁾
2) オウボク, 茜, うこん, もくせいそう, コチニール, インジゴ.
3) 2500Wキセノン・アーク灯ウエザオメータ.
4) 色差 ΔE (CIE1976 LAB).
5) Giles による褪色傾向分類で, コチニール, インジゴ, オウボク (Cr 媒染) がタイプⅢ, その他がタイプⅡ.

図 1 ブルー・スケールの褐色と光量

料の耐光性の評価に適しており, 照射光源としては太陽光, 蛍光ランプ, 白熱電球, キセノンランプ等がある. 後者は褪色の波長依存性の観察に適するが, 白色光型に比べ実験例は極めて少ない.

3.2 色材の耐光性

一般に, 染織布の太陽光に対する耐光性を測定するとき, ブルー・スケールが標準試料として使用される. スケールには 1 級から 8 級までの 8 種類の青色染料が羊毛布に染め付けられ, それぞれの染料の日光堅牢度は 1 級が最も低く, 8 級が最も高くなっている. Feller¹⁷⁾¹⁸⁾¹⁹⁾, Padfield¹¹⁾等は, ブルー・スケールの等級と博物館資料の光に対する安定性を対比させ, 資料の耐光性を示す目安とした. 図 1²⁰⁾は ISO 規格のブルー・スケールと, その褪色に要する光量との関係を示したものである. 年間の積算照度が約 10 万 lx・h (= 0.1 Mlx・h) の場合, 耐光性が 3

級前後の新しい染織布の色彩は最大約 10 年で肉眼で確認できる程度に褪色することになる.

ブルー・スケールを用いた染料の耐光性の例を幾つか挙げておく. まず, 伝統的な天然染料の中には耐光性が 7 級を越えるものはないと言われている. また, 同一染料でも緯維や媒染剤の種類によって耐光性に差が生じるため, マダーは 2~6 級と大きく変動し²¹⁾²²⁾, インジゴも 3~7 級と幅がある¹⁹⁾²¹⁾. アリザリンはほぼ 5~6 級に相当する¹²⁾¹⁹⁾²¹⁾. それ以外の多くのものは 1~3 級に属し, 特に黄色染料と緑色染料は低い. 絹に染めた天然染料に対して筆者が行った褪色試験では, 照度 75 lx の蛍光灯下に 1 年間試料を置いた場合 (積算照度は約 250, 000 lx・h), うこんは JIS 規格のブルー・スケールの 2 級と同程度の褪色を示し, 以下きはだ, 藍, 紅花と続いた.

耐光性の違いが資料にもたらす興味深い褪色の例がある. 草木など本来緑色の場所が青色を呈した染織品を見か

図2 染料の日光堅牢度と可視放射が褪色に関する割合

けることがあるが、それは青と黄の染料で染めた緑の部分から耐光性のより低い黄色染料が褪色によって先に失われ、後に青色染料のみが残ったためである。

3.3 褪色の波長依存性

白色光を使用した博物館資料の耐光性の研究に比較し、単色光による褪色の波長依存性の研究は、まだ端緒についたばかりである。

1950年代において既に、合成染料の褪色に最も強く作用する波長は染料の日光堅牢度に依存することが McLaren⁷⁾によって示されている。図2⁷⁾は、羊毛に染め付けた100種類余りの染料について、青色光から赤色光にかけての可視光領域が褪色に与える影響の割合を染料の日光堅牢度に対しプロットしたものである。試料の90%以上が実線線で囲まれた領域に納めることから、堅牢度の低い染料は可視領域の光からより作用を受けやすいことが分った。従って、紫外放射の除去による褪色防止効果は図1のように級数の高い物ほど顕著に現われる。

Harrison は新聞紙のような低品質の紙について行なった実験²³⁾から、300 nm から 780 nm までの波長が紙に与える損傷の程度を相対比によって求めている。係数は 300 nm から可視光域に近づくに従い急激に減少する。この損傷係数は、文化財に対する紫外放射の影響が如何に重大であるかを示すためにしばしば引用されるが、応用できる対象は厳密には低品質の紙に限られる。

見城¹⁵⁾はローダミンBと密陀僧に生じる褪色の波長依存性を調べている。密陀僧は 600 nm 付近に反応のピークを持ち、ローダミンBは 400 nm 付近にピークを持つことが分っている。

4. 光放射が資料に及ぼす作用効果

4.1 作用効果

照明光源からの光放射により資料に生じる褪色や劣化

を、光源が及ぼす作用効果と言う。放射による作用効果には、入射した放射に対して反応の結果(効果)を残さないものと、放射により生じた効果が後に残り、時間と共に蓄積されるものがある。肉眼が光に対して示す明るさの感覚は前者に属し、色材料の褪色や黄変が後者に属する。

照明光源からの放射が展示資料に入射すると、その一部は反射され、一部は透過し、残りの放射が資料内部に吸収される。吸収された放射エネルギーは内部に放射による効果を生じさせる。これが褪色や黄変などの現象として現われる。染織品に使用された染料の褪色、油絵具に使われている乾性油の黄変²⁴⁾、紙、羊毛、木綿の黄変²⁵⁾、合成樹脂の黄変²⁸⁾などは放射による作用効果である。

4.2 作用関数とハリソンの損傷係数

今、例えば青味の強い光を出す蛍光灯を使用した展示ケースと白熱電球を使用した展示ケースを同じ照度に保ち、それぞれにブルー・スケールの3～6級程度の材質の展示物を置いたとしよう。同一照度の下で、光源の分光放射スペクトルが全く異なる場合、褪色量の差はどの程度生じるのだろうか。これを議論するためには、作用関数を用いることによって褪色や劣化の量を数量的に表わす必要がある。

照度について、光源の放射と肉眼に生じる反応量(照度)との関係を波長的に表すと、次の様になる：

$$L = K_m \int_{360}^{830} E(\lambda) V(\lambda) d\lambda$$

ただし、

L : 照度

$V(\lambda)$: 比視照度(相対値)

$E(\lambda)$: 光源の分光放射エネルギー強度

K_m : 重み、この場合 683 lm/W

($K_m \cdot V(\lambda)$ で標準比視感度になる)

比視感度 $V(\lambda)$ は肉眼が光に対して反応する特性を表わしており、反応の最大値は 555 nm、その両側はなだらかに減少する曲線で表わすことができる。照度については $K_m \cdot V(\lambda)$ とほぼ同じ感度の受光器が実現されているため、照度計で計測することができる。

光放射によって展示資料に生じる反応量 D を求めるには、上記の式を用いて考えればよい。 $V(\lambda)$ と重み K_m の代わりに、資料が各波長に対して示す反応の特性を表わす $S(\lambda)$ と重み k を決定し、光源の放射エネルギー強度との積を波長について積分すればよい。これらの $V(\lambda)$ と $S(\lambda)$ が作用関数と呼ばれるものである。資料に対する作用関数 $S(\lambda)$ は、褪色に関する波長依存性と耐光性の等級とを併せ持つものと考えればよいだろう。

Harrison の損傷係数は、低品質の紙に対する作用関数と考えることができる。反応量の求め方は：

$$D/lx = \sum_{300}^{760} E_{\lambda} D_{\lambda} \Delta\lambda / \sum_{300}^{760} E_{\lambda} V_{\lambda} \Delta\lambda$$

ただし、

$$D/lx : 1 \text{ lx 当たりの反応量}$$

D_{λ} : 相対損傷係数

E_{λ} : 光源の放射エネルギー強度

$\Delta\lambda$: 20 nm

V_{λ} : 標準比視感度

Harrison の相対損傷係数には重み k が与えられていないため、反応量の絶対量を得ることはできない。各種の光源によって低品質の紙に生じる反応量の相対値を損傷係数から求めると、青天光を1とした場合、太陽光が0.16、白熱電球が0.02、ハロゲンランプが0.04、無紫外蛍光ランプが0.01となり、紫外放射量の多い光源にど作用量が大きくなる。

4.3 反応特性曲線と分光反応度曲線

作用関数の求め方は中川²⁷⁾によって詳しく解説されているので、ここでは要点を述べる。

一般的には、光源から放射される光のエネルギー (E) と照射時間 (T) の積である入射量 (W) と、反応によって生じた効果の反応量との関係は斜S字形の曲線になり、反応特性曲線と呼ばれる。Giles²⁸⁾は各種の染料について行なった照射試験から、染料の反応特性を図3²⁸⁾のように5種類の曲線に分類している。この内、IIとIIIが天然染料に見られる形状である。

作用関数を求めるには、まず単色光を放射光源として、波長毎に入射量と反応量との関係を示す反応特性曲線を得る。次に反応がある特定レベル D_0 に到達したときの D_0 に対応した入射量を波長毎に決める。入射量の逆数を縦軸に、入射光の波長を横軸にとることによって分光反応度曲線が得られる。この曲線が目的の作用関数である。作用関数は図4²⁹⁾のように植物の光合成や、皮膚の色素沈着効果などについて詳しく研究されている。

5. ま と め

これまでに行なわれた博物館資料の褪色に関する保存科学的研究を概観し、更に作用関数について述べた。

実験データの蓄積により、色材料の褪色に関する一般的傾向は整理されてきていると言えるだろう。特に、色材料の耐光性とブルー・スケールとの対比は、照明の積算照度と褪色量との関係を概略的に示す簡便な方法であり、様々な色材について対応関係を明らかにすることは有意義である。

しかしながら、展示照明によって予想される褪色をより詳細に検討するためには、予想される褪色の数量化という新しい発想が必要である。それには光放射に対して個々の色材が示す反応の特性、つまり作用関数を求めることが重要である。この作用関数と光源の分光放射強度との積を波長について積分することによって具体的な反応量の算出が可能となる。このような方法によれば、様々な照明環境下における資料の保存をより効果的に行なうことが可能となり、それはまた積極的な展示行為の可能性を拡大することにつながる。

タイプ I : 時間と共に褪色率が低下
タイプ II : 初期に急激な褪色があり、その後緩やかになる
タイプ III : 一定の割合で褪色が進む
タイプ IV : 褪色の初期に色が暗くなる
タイプ V : 褪色率が徐々に増加する

図 3 Giles の褪色パターン

図 4 各種効果の分光反応度曲線

参 考 文 献

- (1) 文化庁監修：文化財保護要一法規編一，第一法規，1970
- (2) International Council of Museum, La lumière et la protection des objets et specimens dans musées et galleries d'art, De L'Association Francaise de L'Eclairage, Paris
- (3) CULCON 博物館交流小委員会：海外展の際の美術品の取扱いに関するスタヂー・グループ報告書，1977
- (4) JIS Z 9110：照度基準，日本規格協会，1979
- (5) Thomson, G., Staniforth, S., Conservation and museum lighting, Museum Association Information Sheet, 6, 1985
- (6) IES Lighting Handbook-Application Volume, Illuminating Engineering Society of North America, 1987
- (7) Eaclaren, K., "The spectral regions of daylight which cause fading", Journal of the Society of Dyers and Colourist, 72 (1956), 86-99
- (8) Thomson, G., Visible and ultraviolet radiation", Museums Journal, 57 (1957), 27-32
- (9) 新井農夫男，本間達夫：人工照明による染色理の褪色，染色研究，13-1 (1959), 31-36
- (10) 登石健三，見城敏子：岩絵具の褪色，古文化財の科学，17 (1963), 6-22
- (11) Padfield, T., Landi, S., "Light-Fastness of the natural dyes", Studies in Conservation, 11 (1966), 181-196
- (12) Duff, D., Sinclair, R., "Light-induced colour changes of natural dyes", Studies in Conservation, 22(1977), 161-169
- (13) Bowman, G., Regan, B., "Filtered and unfiltered lights and their effects on selected dyed textiles", Studius in Conservation, 28 (1983), 36-44
- (14) 森田恒之：民族資料の展示におけるクールビームライト照明の影響について(1)，国立民族学博物館研究報告，10(1985), 755-722
- (15) 見城敏子：変褪色に対する光モニター，保存科学，25(1985), 25-31
- (16) Crews, P., "The fading rates of some natural dyes",

- Studies in Conservation, 32(1987), 65-72
- (17) Feller, R., "Speeding up photochemical deterioration", Bulletin de L'institut Royal du Patrimoine Artistique, 15 (1975), 135-150
- (18) Feller, R., "Studies on photochemical deterioration", Preprints of the Meeting of ICOM Committee for Conservation, Venice, 1975, 75/19/4
- (19) Feller, R., Curran, M., Bailie, C., Identification of Traditional Organic Colorants Employed in Japanese Prints and Deterioration of their Rates of Fading, Allen Memorial Art Museum, Oberlin, Ohio, 1984
- (20) Michalski, S., "Damage to museum objects by visible radiation (light) and ultraviolet radiation (uv)", Preprints of the Conference on Lighting in Museums, Galleries and Historic Houses, 1987, 3-16
- (21) Colour Index, 3rd edn., S.D.C., Bradford, England 1971
- (22) 柏木希介, 山崎青樹: 天然染料の耐光堅牢性, 古文化財の科学, 27 (1982), 54-65
- (23) Harrison, L., "An investigation of the damage hazard in spectral energy", Illuminating Engineering, 49 (1954), 253-257
- (24) Rakoff, H., Thomas, F., Gast, L., "Reversibility of yellowing phenomenon in linseed-based paints", Journal of Coating Technology, 51 (1979), 25-28
- (25) Duffield, P., Lewis, D., "The yellowing and bleaching of wool", Review of Progress in Coloration, 15(1985), 38-51
- (26) Down, J., "The yellowing of epoxy resin adhesives: Report on high-intensity light aging", Studies in Conservation, 31 (1986), 159-170
- (27) 中川靖夫: 光放射の測定の方法, 照明学会誌, 70 (1986), 177-181
- (28) Giles, C., "The fading of colouring matters", Journal of Applied Chemistry, 15 (1965), 541-550
- (29) 照明学会編: 照明ハンドブック, オーム社, 1985
- (受付 1989 年 11 月 15 日)

5 月号掲載予定目次

(光源システムの技術動向と展望特集)

資 料 ○ 光源システムの技術動向と展望・総論

○ 白熱電球の技術動向と展望

○ 蛍光ランプの技術動向と展望

○ H I D ランプの技術動向と展望

○ 産業用光源の技術動向と展望

○ 点灯装置の技術動向と展望

○ 新光源の可能性とその応用

その他