

文化財撮影時の照明に対する安全についての考察

登石健三・石川陸郎

1. 被写体の照明による影響

文化財の撮影に当っては現在色々な照明を用いており、撮影者はそれによって被害がおこらぬように各自手心はしているようではあるが、その解釈は各自マチマチで、場合によっては危険な照明も行なわれているように考えられる。撮影のため被写体となる文化財に比較的強い照明をあてる場合、当然被写体はその影響をうける。その影響とは

- ① 紫外線及び短波長可視光線による褪色・材質劣化と、
- ② 加熱作用による損傷、特に機械的な被害

であり、②の場合加熱の直接作用よりも、温度上昇によって引き起こされる相対湿度の部分的変動を警戒すべきである。例えば厚塗りの顔料の表面に照明光が当てられれば表面の温度は上昇し、そのために表面が局部的に湿度低下をきたし収縮するため、反りかえりがおこって剥離をうながすといったことである。照明光源を大別するとフラッシュライト、ストロボ、アーク灯、天然外光、無紫外処置を施していない蛍光灯などは、①に対する心配があり、白熱電球のすべての型とアーク灯は、②の警戒をしなくてはならない。現在撮影のため特に多く使われているのはフラッシュ、ストロボ、写真電球であって、これらの使用上の注意とか制限は次の如くすべきであると考えられる。

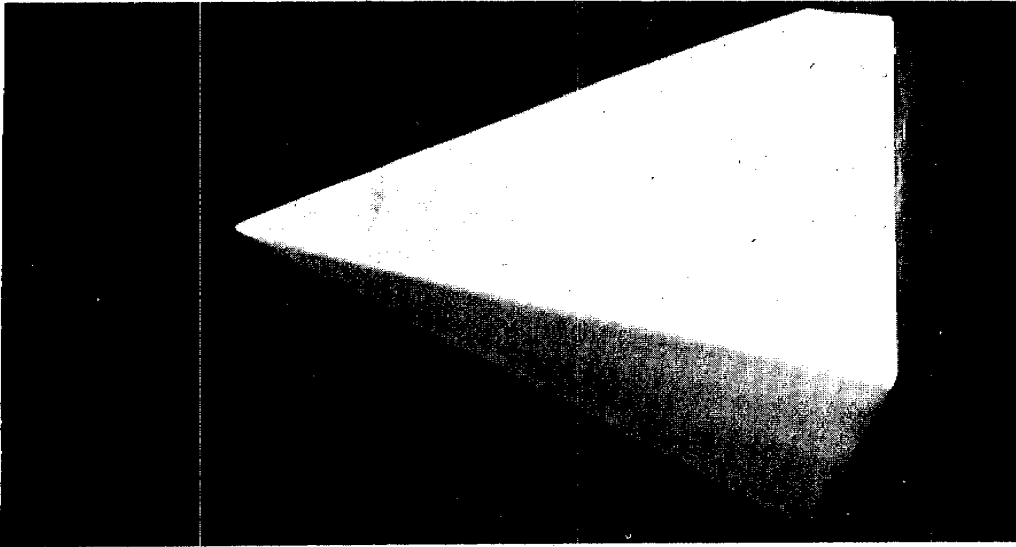
2. フラッシュ及びストロボ

外国の博物館ではかなり撮影は自由であるが、これらの光源を用いることは一般観覧者には禁止しているところが多い。我国でもこの程度の制限は必要であろうと考えられる。但し両光源とも紫外線含有率は大きい時間が極めて短いので、目立った被害がおこるとは考えられない。所有者、管理者自身の必要のため、或は特別の出版のためなどで時たま用いること位は差支ないと思われる。

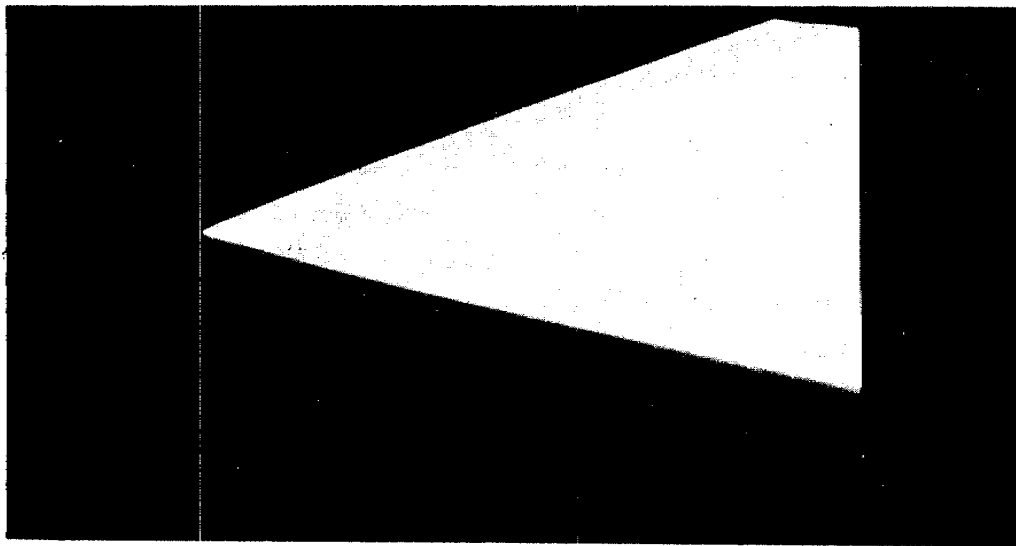
このことを概略数量的に扱ってみる。写真 1a はストロボライト (GN33)¹⁾ を 1.5 米から 1 回発光させて撮ったもの、1b₁、1b₂ は 300 lx (ルクス) の 3200°K²⁾ 写真電球照明でそれぞれ 4 秒、8 秒で撮ったもので、撮影距離、絞りなどカメラの条件は全く同じにしてある。写真の濃さからみてストロボ光は大体 300 lx 電球光の 6 秒に相当すると見積ってよいであろう。すなわち写真効果から云えば、ストロボを 1.5 米から 1 回光らすと、その光量は 300 lx 写真電球光 6 秒分に相当することになる。ここで lx というのは目に対する明るさを表わす尺度である。写真乳剤の光に対する感じ方は目における感じ方とは一般に異っており、写真的光量と目に対する明るさが混っているのは今後の理窟が進まないのでは何か一方に統一してやる必要

1) GN (ガイドナンバー): $GN = \text{距離 (S)} \times \text{絞り (F)}$ 従って GN の二乗がストロボの全光量に比例する。

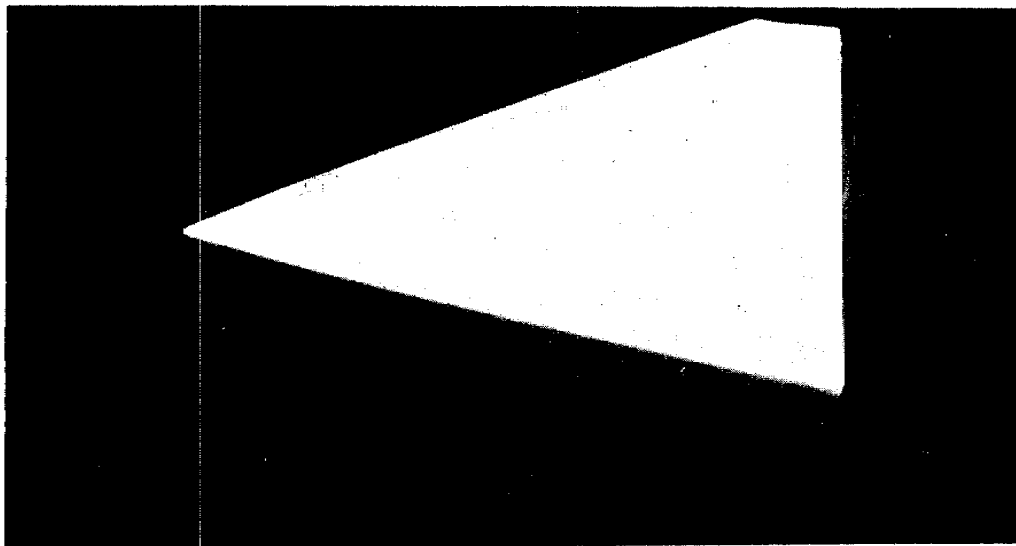
2) °K とは摂氏温度 + 273.155 で表わされる絶対温度のこと。



1b₂



1b₁
写真 1.



1a

第1表

波長 λ (Å)	luminous efficiency Y_λ	probable relative damage D_λ
3000	0.0000	7.75
3200	0.0000	4.50
3400	0.0000	2.63
3600	0.0000	1.45
3800	0.0000	1.07
4000	0.0004	0.66
4200	0.004	0.37
4400	0.023	0.20
4600	0.060	0.12
4800	0.139	0.065
5000	0.323	0.037
5200	0.710	0.021
5400	0.954	0.012
5600	0.995	0.007
5800	0.870	0.004
6000	0.631	0.002
6200	0.381	0.001
6400	0.175	0.0005
6600	0.061	0.0000
6800	0.017	0.0000
7000	0.0041	0.0000
7200	0.0010	0.0000
7400	0.0003	0.0000
7600	0.0001	0.0000
7800	0.0000	0.0000

がある。最も目に近い感じ方をする乳剤はオーソタイプであるが、今はパンクロマチックフィルムを用いた。これは長波長光の多い写真電球の方に甘い結果となっているが、その間に大差はないとして写真的等光量を目に感じる明るさの等光量と置き代えて考えてみよう。すなわち今写真で等光量であることを知ったが、目に対する光量から云っても同じであったと仮定する。

さて目に感じる光というのは波長にして下限 4000Å まで (Å は1億分の1糧) の可視光線であるが、その感じ方すなわち luminous efficiency は第1表に示すように波長 (= 光色) により大いに異っている。一方 Harrison³⁾ は下等な紙の劣化について試験を行ない、各波長の光がどれだけ有害であるかを数字で示した。これを probable relative damage と称し、同じく第1表にのせた。これは厳密には下級紙のみについていえることではあるが一応すべての物について平均的にあてはまる数字であると仮定して採用してみよう。これらの数字を図にすると第1図となる。

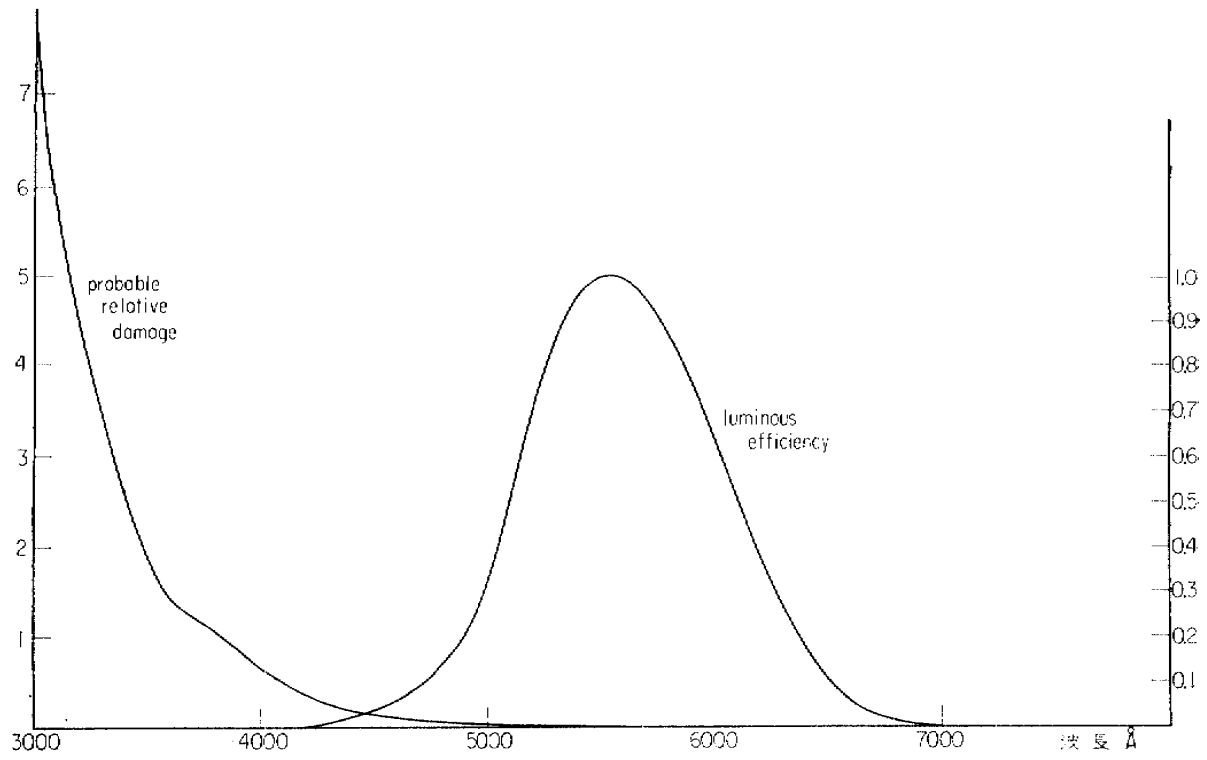
さて 3200°k の黒体輻射の比エネルギーは第2図の a 曲線の如くなっている。(註 黒

体とは当たった光を反射なく全部吸収するような仮想的物体、比エネルギーとは曲線の各点の高さの相互の割合を表わしているという意味で、全体を2倍しても3倍にしてもよいということである)。luminous efficiency を乗じて 3200°k 黒体輻射相当のこの写真電球の光の目に感じる明るさの曲線を書くと b 曲線となる。又このエネルギー分布曲線から計算した damage 曲線は c となる。(但し c 曲線のスケールは第1図の半分とした。)

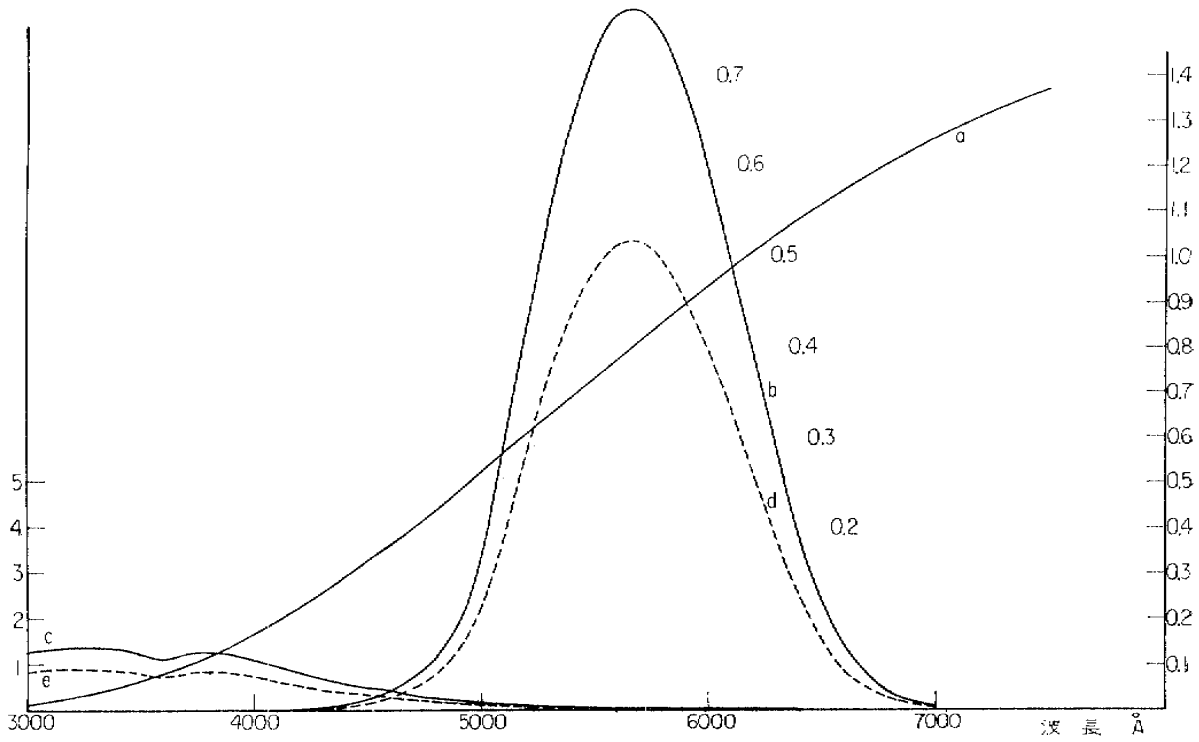
次にストロボであるが、これに対するエネルギー分布は判然とした材料がないのでクセノンアーク灯のエネルギー分布をとり第3図に示す。(註 ストロボも一種のクセノンアークであり大差はないと考えられるし、又後に出す写真2からもこのことは容易にうかがえる。) 計算の便のため第4図 a をこのエネルギー分布と仮定して、明るさと damage 曲線を書くとそれぞれ b, c 曲線となる。

次にストロボ1回と 3200°k 光線 300lx 6秒とが同じ光量であったということに合わせて第2図、第4図の明るさの曲線下の面積を等しくしてやる。このため 3200°k 曲線の各点を一定率で引き下げ、点線 d の如くすると、両者の面積が同じとなり、両者における目に対する

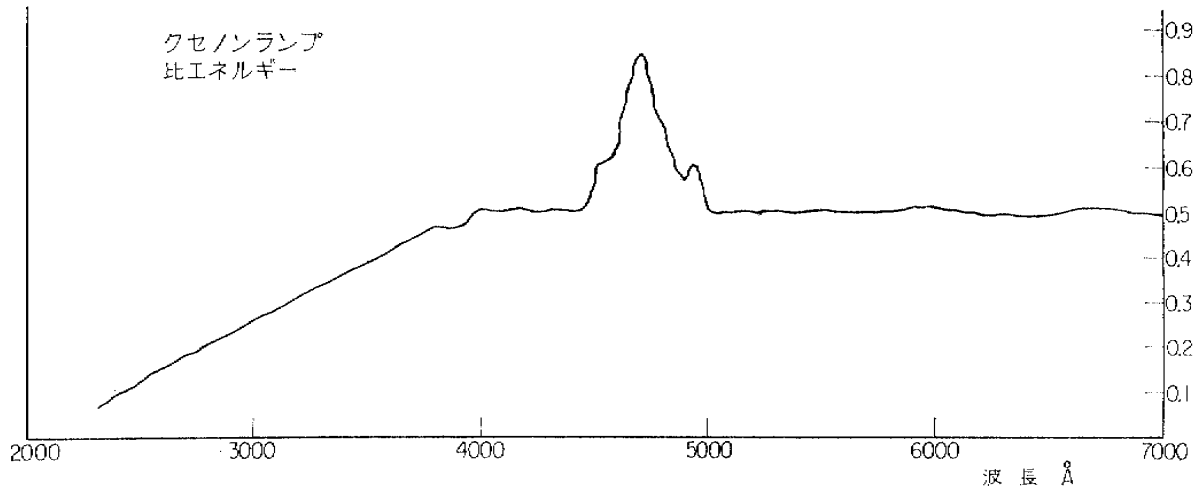
3) L. S. Harrison: Report on the deteriorating effects of modern light sources, New York. The Metropolitan Museum of Art. 1954. Illum. Engr, 48 (1954), p. 253.



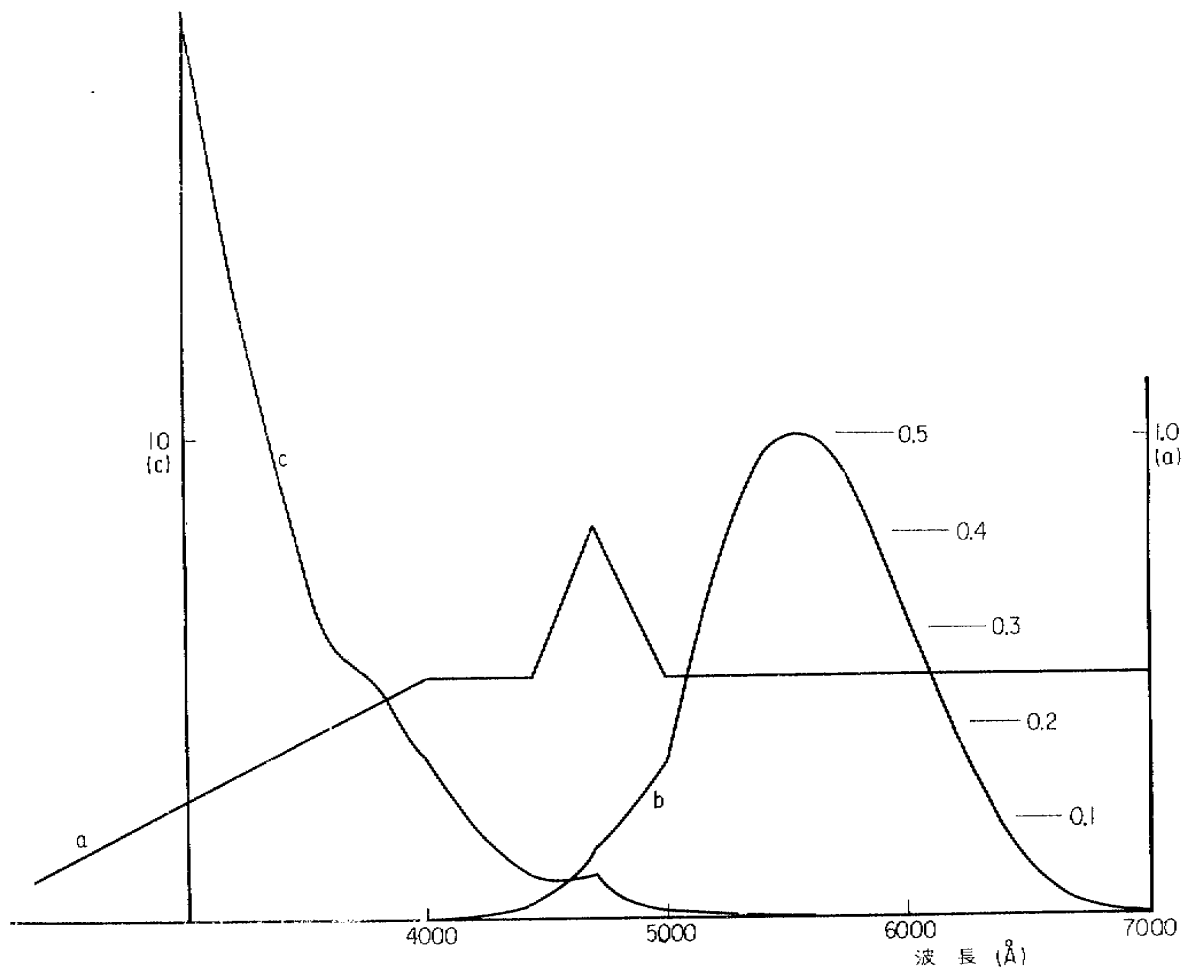
第1図



第2図



第3図



第4図

光量が同じとなるが、このとき比 damage 曲線も同率だけ下がり e 曲線とせねばならない。ここで第2図 e 曲線と第4図 c 曲線との下の面積比は約 1:8 と読みとることが出来る。すなわちクセノンアークは同じ光量を出したとき、写真電球より8倍危険であるということである。以上は 3000Å 以上でのみ考えた。クセノンアーク灯ではこれより短い紫外線が出ていて、更に危険であるように見えるが、写真2で見られるようにストロボには樹脂製 (ABS

即ちアクリルニトリルブタジエンスチロール共重合体散光板がはめられていて、実際には 3000\AA 以下は出ておらず、更にそれより長波長の領域でもかなり吸収されている。写真2は左から第一帯がクセノンアーク灯光、第二帯がストロボ光、第三帯がフラッシュ光（総光量 31000 lm の閃光電球 class M super press）、第四帯は波長を知るための鉄アーク光のスペクトルで、第四帯を基にして更にその右に波長目盛を書き込んだ。ついで乍らフラッシュにおいても同様 3000\AA 以下は考える必要はないことは写真上明らかである。写真3は写真電球の管球硝子の吸収を示した。これも 3000\AA 以上から吸収が見られる。以上のように電球もストロボも共に 3000\AA 以上から吸収があり、どちらかというともストロボの方が吸収が大きいから、上の8倍という数字はむしろ実際の数字より大き目となっているのであろうが、更にこれを round number として、ストロボは同じ光量で 3200\AA 写真電球光の10倍危険として見積っておけば充分であろう。これを要するに、この程度のストロボを1.5米から一回照射することは写真電球の光 300 lx を60秒当てたのと褪色（或は材質劣化）効果は等しいということになり、あまり心配することはないという結果となる。

しかし乍らこれまでののはこびにはかなり仮定とか大ざっぱな見積りとかを用いた。その中で特に考慮する必要のあるのは次の諸点であろう。

① 下級紙に対する危険度の数字が他のすべての材質に当てはまらないのは事実であろう。紫外線に対して特に弱く、可視光に対してはさほどでもないというような材質があったとすれば、ストロボは写真電球より10倍は危ないとふんだ見積りもくずれのかもしれない。しかし極めて極端な場合でもこの10倍が100倍になるというようなことはおこり得ないことである。

② 光が物に及ぼす影響は光量で定まると勝手に仮定しているが、カラー撮影の際弱光を長時間当てて光量だけ同じとしても写り方は違うように、光量で物質変化が定まるとするのは厳密には正しくない。光量子一個が一個の材質変化を与えるのなら、全変化量は光量 It (I は明るさ、 t は時間) に比例するであろう。しかし光量子二個が与かるなら I^2t に比例する項が加わり、三個なら I^3t に比例する項も入ってくる筈である。

褪色など光による材質劣化の際の quantum efficiency は数百分の一、すなわち数百個の光量子が当ててやっと一個の材質変化がおこるといわれており、材質劣化に複数個の光量子が与かる可能性は否定出来ない。

しかしこの際も材質変化の大部分を定めるのは It に比例する項であるということは一般の材質について言えることであろう。（カラー写真の違いはこれで説明されるのか、或は他の原因からかは分らない。）

フラッシュについては写真2で第二帯目は先のストロボを10回光らせたもの、第三帯目は上述の super press を同じ距離から2回光らせたものである。大体においてこのフラッシュは先のストロボ20回分位の光量と見込まれるし、更に比較的短い波長の紫外線もこの方が多いようである。

しかしこのフラッシュ光においても 3000\AA 以下の紫外線は出ていないことは前と同様であり、光量にして20倍、危険性については30~40倍、せいぜい大きく見積って50倍危険であると仮定しても、 3200\AA 写真電球を 300 lx で3000秒すなわち50分当てたのと同程度にしかならない。何れにせよ大して危険とは考えられないが、先のように不確な点も残っているので、あまり安心してボンボン光らすことは避ける方がよい。又硝子とか樹脂とかの層を通さずに光が来るもの、すなわち熔融石英管だけのクセノンアークとか、空中でマグネシウムをたくとかの方式のものは用いることは不可である。これらはここでの割り出しから外した 3000\AA

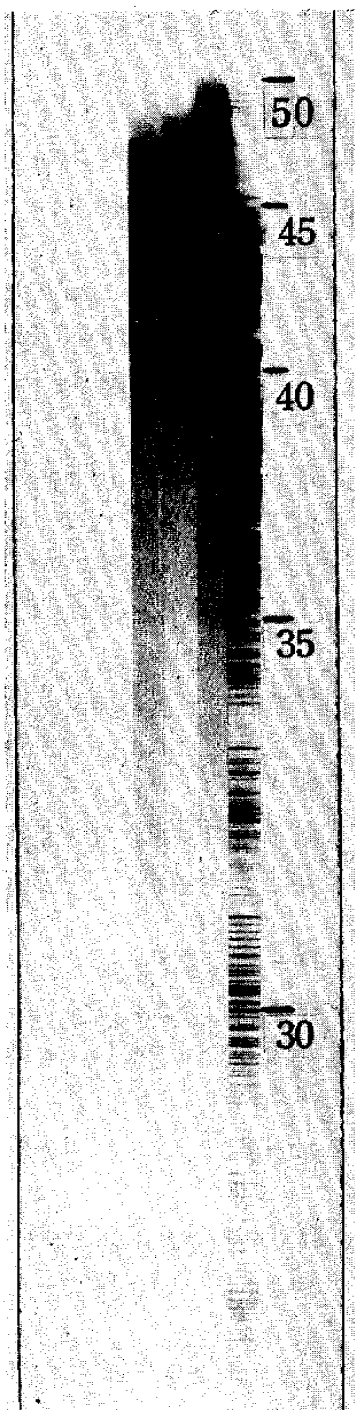


写真 2. クセノンアーク光, ストロボ光, フラッシュ光, 鉄アーク光, 波長目盛 ($\times 100\text{\AA}$)

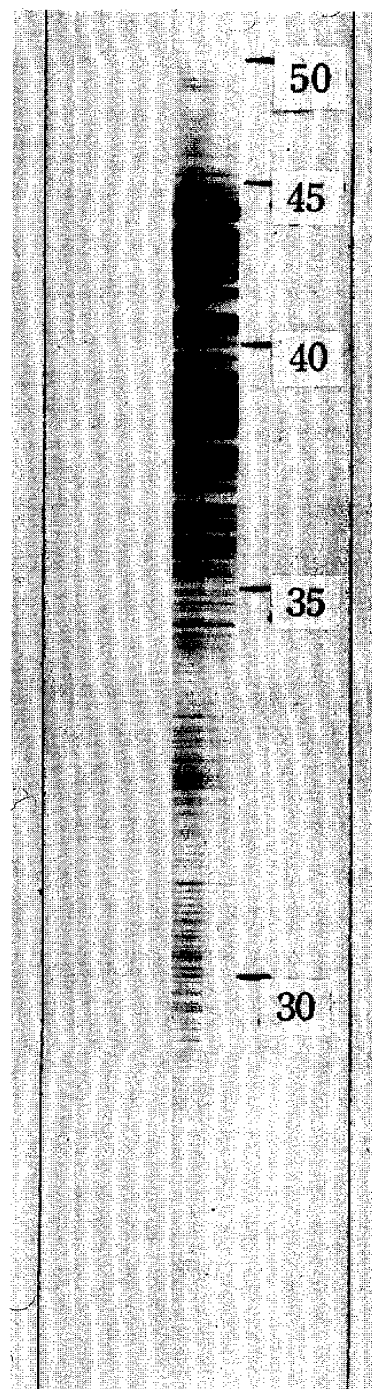


写真 3. 鉄アーク光, 写真電球管硝子を通した鉄アーク光, 波長目盛 ($\times 100\text{\AA}$)

以下の紫外線の大きい危険を含んでいるものと考えべきである。

3. 白熱電球

白熱電球とはタングステンフィラメントを硝子管球内に封じて電流で加熱するもので、使用される電気エネルギーの大部分は熱に変化し、光として射出される率は実は小部分なのである。従ってどうしても熱線（或は赤外線）輻射による加熱効果を伴う。これまでは撮影の際このことは黙過されていたようであるが、嚴重な制限が必要と考えられる。

熱線による被害は被写体の温度上昇そのものが直接引き起こすものよりも、温度上昇によって起こされる相対湿度の部分的低下が原因となるものの方が多い。そのため金属・陶器などそれ自体吸湿性のないものは表面乾燥に対しては平気である。これに反して厚塗りの顔料層とか、漆層などは乾いてそりかえり、剝離を容易におこす。

何如なるケースが熱線に最も弱いかを掴み、これについて実験的に安全限界を割り出すことが最も合理的と考えるが、例えば漆器一つとっても、何年経った、どのように作られた、どのように保存された、何所産の等々数多い条件の漆サンプルをさがし、どれが最も弱いかをきめることは不可能に近い。従って次の最も弱い被写体に対してもまず合理的と考える仮定をもうける。

仮定（周囲空気の相対湿度が $H\%$ であり、これに慣れている文化財の表面湿度が照明の加熱によって低下するとき、その低下の許容範囲は $0.1 \times H\%$ までであるとする。但し $H - 0.1 \times H$ が 40% 以下になることは避けねばならない。）

例えば 60% に慣れた物の表面は 54% まで、 50% に慣れたものは 45% まで低下してもまず安全であろうということであるが、 40% 以下に下ると膠や糊などの材質中に内部亀裂が入るので、この領域は危険領域として避けるべきなのである。

実際の撮影の場合、周囲空気湿度は 45% 以上なら、一割低下で 40% を割ることはないが、この限界は少し余裕をもたせて 50% をとるのが妥当であるように思われる。すなわち空気湿度が 50% 以下のときは、以下に述べるようなライトでも使用することを避け、加湿機などで湿度を上げてから仕事を始めるとか、別の日を待って写すとかすべきである。さて相対湿度一割低下はよろしかろうと云っても、実際それをどうして測るかは難しい。もっと使い易い別の形に直してやる必要がある。

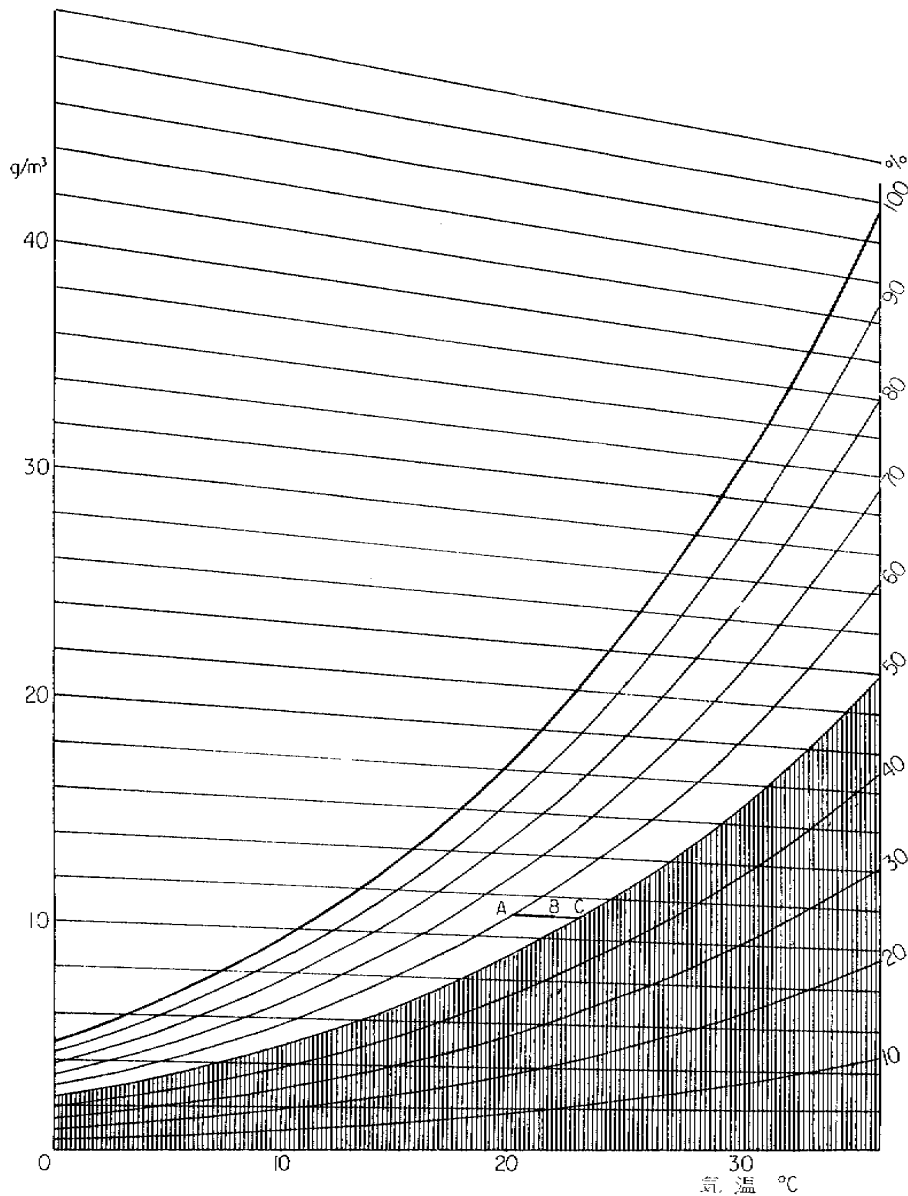
実際に我国で撮影する場合におこり得る温度において、各湿度の状態が、どれだけ水分を含んだ状態であるか、すなわち 1 立方メートルの空気中に何瓦の水分が含まれるかを図であらわすと第 5 図となる。

いま 50% 以下は除外したので縦線を引いた。或状態の空気温度のみ上昇した場合は水平に右に辿れば湿度変化が分かる筈であるが、実際には温度変化で膨張がおこるから、右下りの斜線に添って辿らねばならない。

例えば 20°C 、 60% の状態（点 A）の温度を上げると A-B-C と変化して、C 点では 50% となる。この温度上昇は約 3°C である。 $60\% - 6\% = 54\%$ となるのは B 点になったときであり、そのときの温度上昇は 1.8°C である。この AB に相当する変化を 50% 以上の各線上の各点についてとり、そのときの温度上昇を読んでみると

0°C 近傍で 1.5°C

30°C 近傍で $1.8 \sim 1.9^\circ\text{C}$



第5図

でその間は中間の値をとる。従って 0°C 以上の周囲気温、50% 以上の湿度の全領域で表面温度上昇を 1.5°C 以下と制限すれば充分である。

この温度上昇を測定することは比較的容易で、被写体表面と同じ照度の点で撮影の邪魔にならないところを選び、黒い物体をおいて、その温度上昇を寒暖計（サーミスター温度計が便利である。）で測る。黒い物体は他の色の表面より温度上昇が大きいから、これで 1.5°C 上昇以内にとどまれば被写体はそれ以下に保てる。但し黒い物体の表面条件、すなわち荒さ、形、向きなどは被写体と同じであるべきであり、これが同じに出来ない場合は常に被写体より温度上昇が容易なような条件で測って 1.5°C 以内を保てばよいのである。

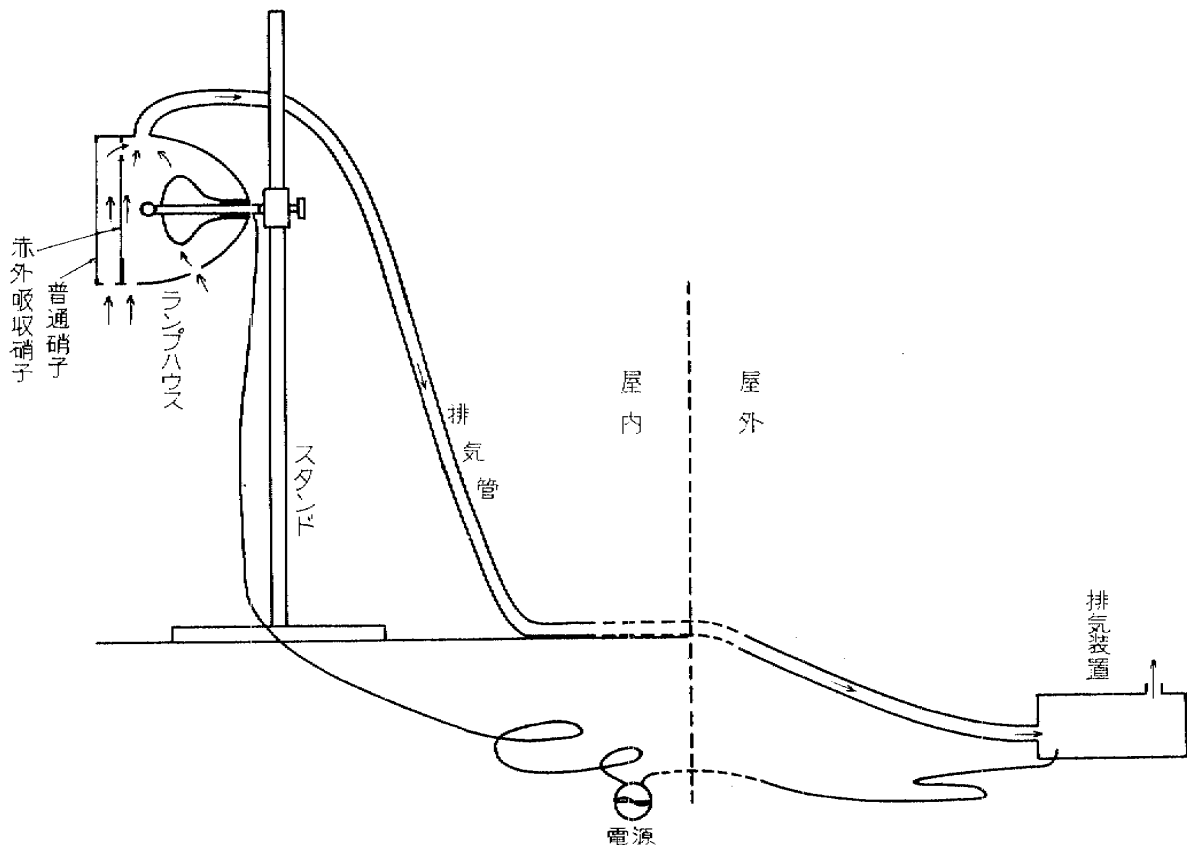
更に照明何ルクスならば 1.5°C 上昇以内にとどめられるかの線を出せば、撮影者には最も便利であろう。

しかしこれは諸条件すなわち被照射面の性質、方向、気温、空気の動きなどでかなり異なる。従って以下に 1.5°C 上昇に相当するルクスを示してみるが、これは大ざっぱな目安であるこ

とを留意しておかねばならない。3200°k の写真電球をつけて 700 lx の点に黒布を鉛直に吊るときの温度上昇が大体 1.5°C であった。室温 19°C、湿度 52% から出発、約 20 分かかって 1.5°C 上昇し、その後は上昇が止った。従って他に測定器具がなく、照度計のみで制限を加えようとするときはこの値 700 lx を制限値としてとればよいであろう。写真 4 は剝離のはなはだしい漆面 (a) に 350 lx を 20 分当てた場合 (b)、と 700 lx を 20 分当てた場合 (c)、1400 lx を 20 分当てた場合 (d) の比較を示した。(c) の 700 lx あたりで漆層のそり反りがみられる。

もし光源に熱線 (赤外線) 吸収フィルターをかけてやれば加熱効果は減少する。非常に性能のよいフィルターを使用した例では輻射熱量は 1/15 に減少、可視光は 20% 減少に止った。従ってこれをかけた照明の場合は、照度は 12 倍まで明るくなしうる。但しこのような赤外吸収性能のよいフィルターは一般に赤色光をもやや吸収するので、カラー写真撮影のためにはその補正に猶問題が残っており、カメラに補正フィルターをかけるとか、現像で直すとかせねばならない。このような熱線吸収フィルターは熱線吸収の結果温度が上昇し、光源自体の熱とともに天井へ高温空気が対流をおこす。もし部屋全体とくに高い場所にも可熱して悪い彩色などが存在するときは、この光源とフィルターを共にランプハウスに入れて空冷し、その循環空気は屋外に設置した吸引装置で吸引して、屋外に排出する必要がある。

二条城の襖絵等の撮影に実際用いられた装置の略図を示すと第 6 図の如きもので、このような装置 6 基が用意された。空冷といったが適当に装置すれば水冷でも勿論間に合うこともあるであろう。



第 6 図

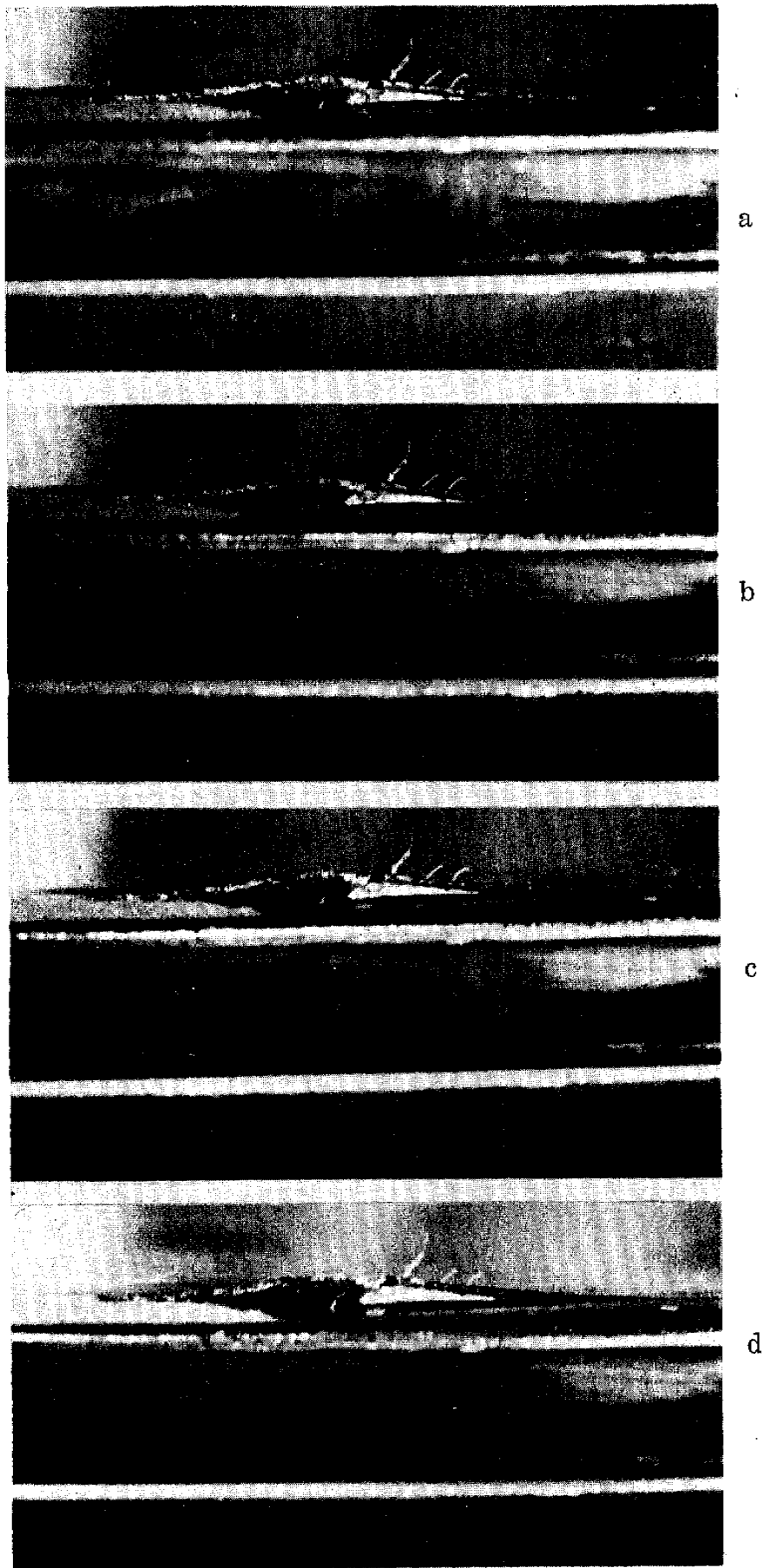
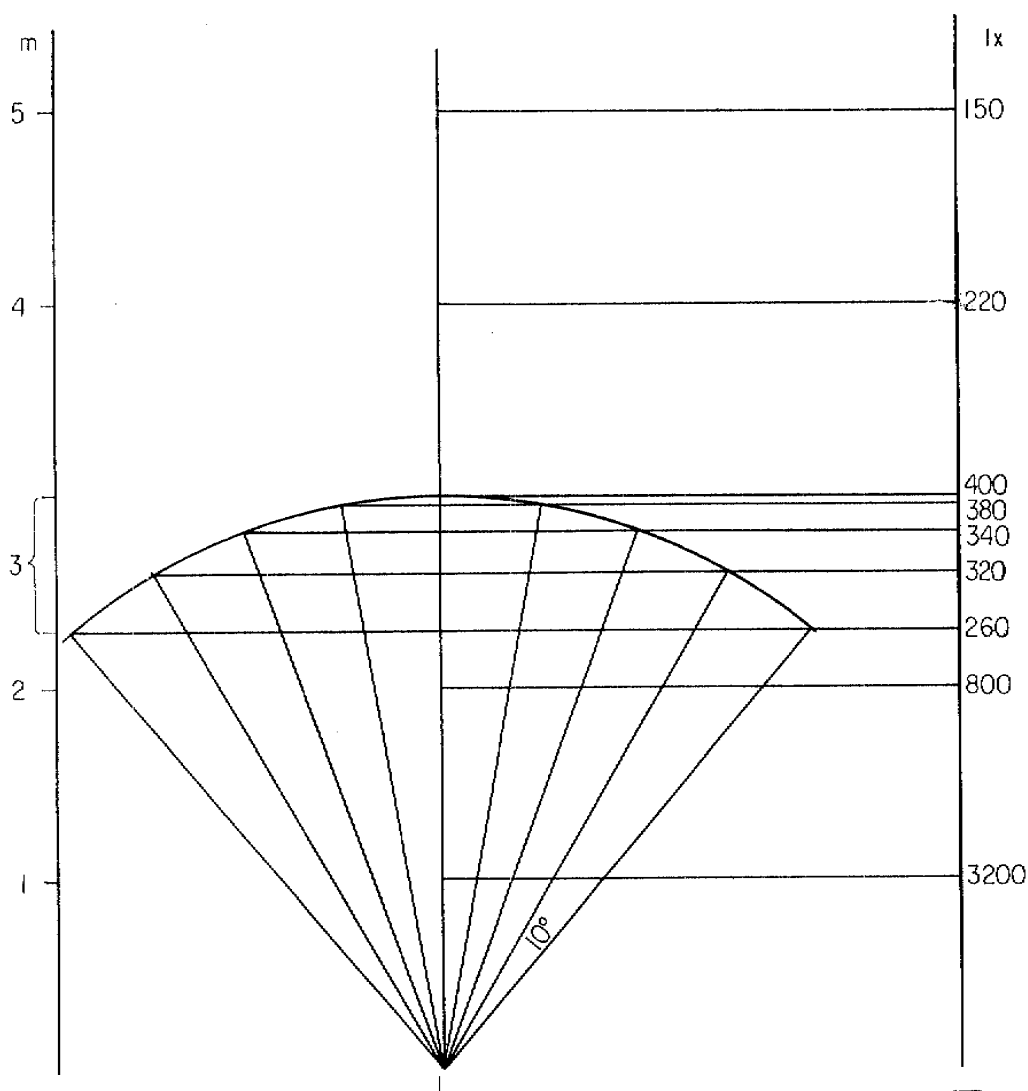


写真 4. 毛が3本ひついた黒い層の持ち上りに注目

4. おわりに

では実際に写場ではどのようにしているかを示す。例えば被写体の大きさが $1\text{m} \times 1.5\text{m}$ の絵画の撮影時の照度は 500W フラッド電球 4 灯を距離 3m から平均に当てた時約 800lx となった。また部分撮影の場合には写真電球と被写体 (50cm^2) との距離を約 1.3m 位に接近させるため照度は約 4 倍の 3200lx となった。(光の明るさは距離の二乗に反比例する)。市販の写真電球の一つをとり照度分布の実測値を第 7 図に示しておく。被写体が平面の時は照明も比較的簡単にセットすることが出来るので、撮影完了までそう時間がかゝらないであろう。しかしながら彫刻や漆芸品等で形の複雑なものに対しての照明は、平均に当てることばかりでなく撮影者の表現の仕方によってある部分を強調させたりする照明を行なうため、セット完了までかなりの時間がかかるであろうし、電球の数も多く使われることになる。従って美術品が物理的影響を受ける時間も長くなる。

さて 1.5°C 温度上昇、或は 700 ルックス照度の制限はかなり厳しいものと思われるかもし



第 7 図 写真電球の距離及び角度に対する照度分布 (100 V 500 W フラッド型)

1-2 m の照度は強照度用のフィルター (1/10) をはめて測った。このフィルターは光量を 1/10 に落すものであるが実際は正確に 1/10 でないらしく、3 m 以上の照度との間に少し不連続がある。

れない。これは上述のように最も弱いものについて立てた充分安全と思われる仮定から引き出したものである。

文化財の中には先にも述べたように湿度変化にかなり強いものも存在し、これらも一律の制限を課する必要はないように思われる。弱いものをこれまでの経験上あげてみると、

襖, 屏風
 表面が漆である製品
 厚塗りの顔料彩色のあるもの
 薄塗りでも母体層が硬いもの
 複雑に組立てられた工芸品
 吸湿性のものとそうでないものが結合された製品

などである。これらには上述の制限を適用し、他の強いものには更にゆるい制限を当てはめることもよいであろう。

参 考 文 献

呉屋充庸：日本顔料に対する強照明の影響に関する一実験，古文化財之科学，第16号，pp. 11-18.

Résumé

Kenzō TOISHI and Rikuo ISHIKAWA: Estimations about Safety Concerning Lighting in Photographing Cultural Properties.

The main damages caused by lighting when photographing cultural properties are discoloration and deterioration due to ultra-violet ray and visible short-wave light, and those, especially mechanical ones, due to heat of infra-red light. Among luminescent sources used for photographing, flashlight, strobotron, arc-lamp, natural outdoor light, and fluorescent light without ultra-violet elimination, are liable to cause the former, while incandescent light and arc-lamp are liable to cause the latter.

Flashlight and strobotron are used frequently for photographing, but the amount of their harmful light is not held too dangerous because they are instantaneous. We compared flashlight and strobotron with 3200°K electric-light tube in respect to their blackening effect, spectrographic distributions, and risk rate according to Harrison's test, and measured the extent of harm done by flashlight or strobotron in comparison with that by electric tube: that is, to how many lux-minutes of electric tube they are equivalent in this respect.

Harm directly from heat is only slight; the main harm results from decrease of relative humidity caused by increased temperature. If the fall of relative humidity on the surface of an object is permissible to the extent of 10% of the relative atmospheric humidity of the time, it means that, experimentally, the rise of temperature by 1.5°C, or incandescent lighting at 700 lux, is permissible. The hypothesis stated above is regarded appropriate from the fact that distortion of a warped lacquer

layer began to take place under lighting at 700 lux. Lighting within the above-mentioned limit is not permissible when the relative humidity falls lower than 40%.

For eliminating infra-red rays from light, infra-red absorption filter is advisable. With the use of an effective filter, lighting can be made ten times stronger.

Susceptible to change of humidity among Japanese cultural properties are:

fusuma (wooden-framework sliding doors), *byōbu* (folding screens);

objects whose surface is made of lacquer coat;

objects coated thickly with pigments;

objects with hard ground, even if the surface coating is thin;

decorative art works of complex construction;

objects consisting of absorbent and inabsorbent materials.

The lighting limitation stated above is necessary for such objects.