

## 照 明 と 見 や す さ

大阪大学工学部 伊 藤 克 三

大阪市立大学工学部 手 塚 二 郎

## 緒 言

照明に関する問題は、その取り扱う光源のいかんによって、昼光照明と人工照明に大別される。前者は単に採光とも呼ばれ、光源は一様な、あるいは一定の輝度分布をもった天空とし、後者はもちろん電灯を光源とするが、いずれにしても、一般にはわれわれの視作業に適したように光を利用する技術であることには変りはないのであるが、従来の習慣上、昼光照明は建築学、人工照明は電気工学の分野で主として取扱われてきた。2つの分野ともこれまでの研究は光源からの光の分布を追求して、作業位置の明るさ、すなわち照度の予測と、必要照度の確保をいかにするかといった面に主として向けられていたということができる。

しかし、照明の本来の目的、すなわち、快適な視作業を保障するには、視る対象物に入射する光以上に、それから反射して実際に作業者の眼に入ってくる光の量と質を研究の対象とし、これらを、人間の視覚にまで関連させなければ不十分であることは明らかである。この方面が近時内外において漸次研究されるようになって来たことは当然といわねばならない。この観点から筆者等のこれまで行った見え方についての研究の一部を述べて参考に共したくと思う。

## 1. 視 作 業

視作業は大別して明視と観賞に分けられる。前者は一般の視作業であって、読書、事務作業、工場における各種の作業のような、対象物の識別が主要な視作業であるもので、この照明の良否は、主として視力等で比較的簡単に判定することができる。これに対して、観賞は絵画、彫刻等を対象とするもので、単なる識別以外に複雑な要素が加わり、総合的な判定を必要とするものである。この種のものについては相対的な視力の低下は僅かであっても非常に観賞上差支えが生じるので照明の良否の予測及び判定がむづかしい。

## 2. 材料表面の反射特性

物の見え方を明確に知るにはその材料からの反射光の性状を明確に知る必要がある。

従来反射光の分布をあらわす方法にはいろいろ次のような方法が用いられて来た。

- a. 輝度分布
- b. 光度分布
- c. 部分反射光束比(luminous fractional reflectance)
- d. 一方向反射率(directional reflectance)

著者らは反射光の強さを反射特性函数を用いて表わすことにした。これは、これまでの面光源の光度概念のあいまいさをなくすために導入されたものである。

$d_i$  方向からの平行光線によるP点の入射光の強さを  $J(p, d_i)$ 、 $d_o$  方向への反射光の強さを  $J(p, d_i, d_o)$  としたとき、

$$\rho(p, d_i, d_o) = \frac{J(p, d_i, d_o)}{\lim_{\Delta\omega \rightarrow 0} J(p, d_i) \Delta\omega}$$

$$\text{ただし、} \lim_{\Delta\omega \rightarrow 0} J(p, d_i) \Delta\omega = 1$$

これを反射特性函数といい、 $d_i$  方向から入射する平行光線によるP点の照度が1 (lumen/m<sup>2</sup>) であるときの反射光の強さをあらわしている。ここでは輝度が問題であるので  $\rho$  の代わりに  $\rho' = \rho / \cos\theta_o$  を反射特性として用いることにしている。

## 3. 反射特性の測定

図1で、試料面の中心Pより距離dにおいて立体角  $\omega$

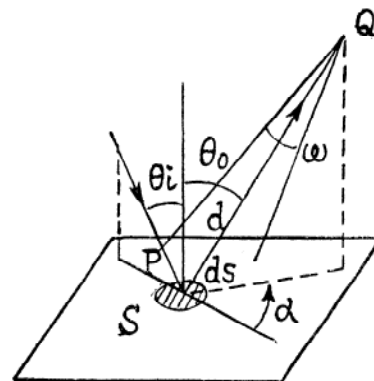


図 1

の開角をもつ受光器で測定するものとする。受光部QにおけるPQに垂直な面の照度をE, 試料面の照度をE<sub>0</sub>とすると、ωが十分小であれば

$$\rho = \frac{E}{E_0} \omega \cos \theta_0$$

として反射特性値を測定することができる。

試料面への入射角θ<sub>i</sub>, 反射光の測定方向(反射角θ<sub>0</sub>, 方位φ)を任意に変えられる装置を作成し, 試料を十分離れた距離においたプロジェクターで照射し, 開角2.5°で測定した。受光部はCdSを用いたが, これの最高感度波長は615 μmで感度曲線が視感度曲線に一致しないため, 補正フィルターを使用しなければ着色光の測光は正しくないで, ここで述べるものは対象を無彩色面に限定した。

#### 4. 印刷紙面の反射特性

明視対象として最も一般的なものは印刷文字である。印刷物はその使用用紙の表面と印刷インク面の性質とによって読み易さに大きな差異を生じる。たとえば光沢ある表面をもったものでは, 照明のいかんによって非常に読み難く, 全く読書不可能な状態になる場合も生じる。

ここで対象とした用紙の試料は, 反射性状に差があると考えられる次の6種類を製紙メーカーのサンプル中より選んだ。

- 上質紙, ざら紙, インディアペーパー
- MC スーパーボード オフセットペーパー
- ヘンリーコート

上質紙は学会誌等に用いられている上質の紙であり, インディアペーパーは辞書に広く使用されている。スーパーボード, オフセット紙というのは広くアート紙といわれている用紙で表面滑面な, 写真印刷に一般に供せられているもの, ヘンリーコートはこれの下級品で週間誌の写真印刷等に用いられている。いずれも名称, 紙質にはメーカーにより, かなりの違いはあるが, その一般的な性状を知るには差支えないものと考えられる。

測定に際してはそれぞれ白紙の状態と, 全面黒色に印刷したものにつき行った。活字面そのものの反射特性と全面黒色印刷面のそれとは若干の違いは予想されるが, 測定不可能なため, 全面黒色印刷面をもって活字面に代用することにした。

測定結果を図2~5に示す。図3~7は, 上質紙, ざら紙, インディアペーパー, スーパーボード, について, 入射角θ<sub>i</sub>=15°, 30°, 45°, 60°についての各方位φの垂直断面上の反射角θ<sub>0</sub>による反射特性値の分布を示してある。方位φは入射面の方位を0としている。図中15-0, 30-30はθ<sub>i</sub>-φを表わし, 上方の曲線は白色

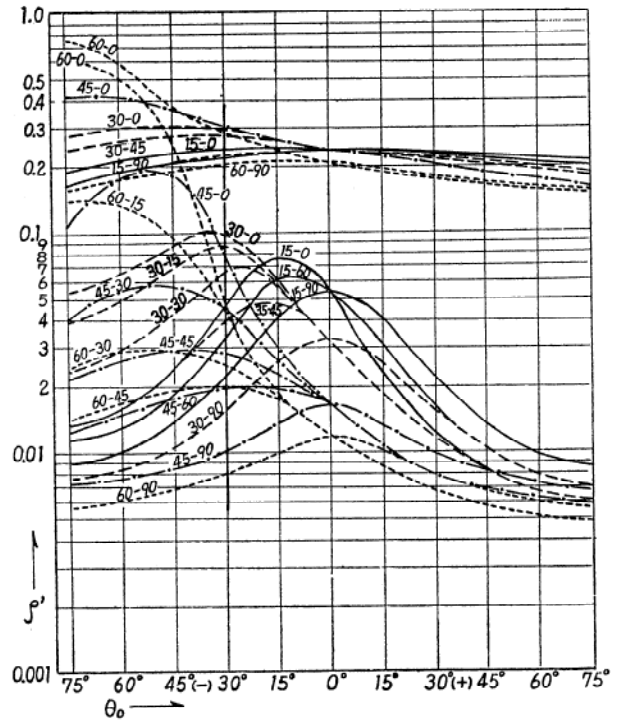


図2 ざら紙の反射特性

面, 下方の曲線は黒色印刷面に対するものである。反射特性値ρ'に山があるのは反射光の中の表皮正反射成分によるものであって, 山の高いのは正反射性が強いことを示している。上質紙, ざら紙, インディアペーパーは入射角θ<sub>i</sub>が小なときは正反射性が少ないが, 大になれば, 正反射方向附近に正反射成分が多くなる。スーパーボード, オフセット紙はθ<sub>i</sub>のいずれのときも正反射性が強

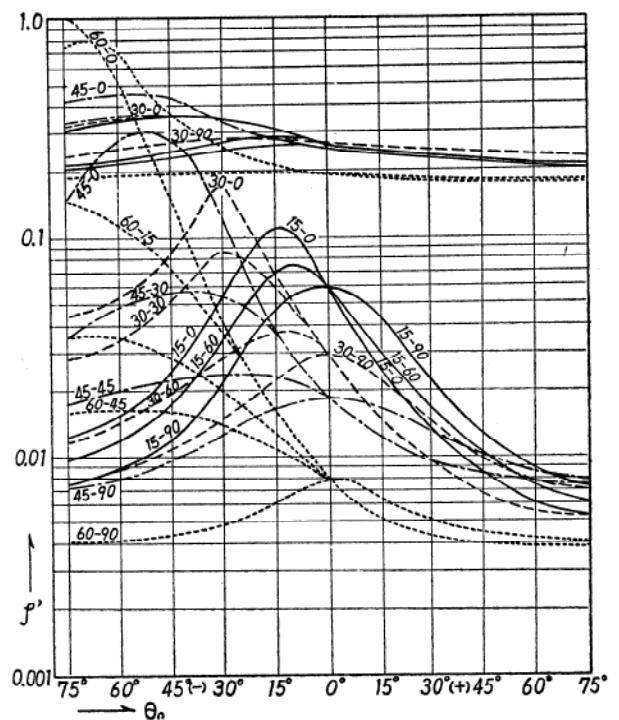


図3 上質紙の反射特性

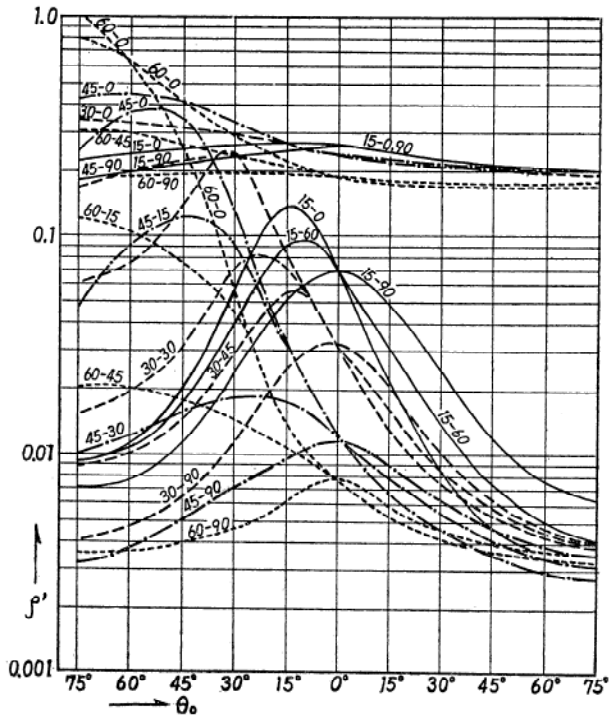


図4 インディア紙の反射特性

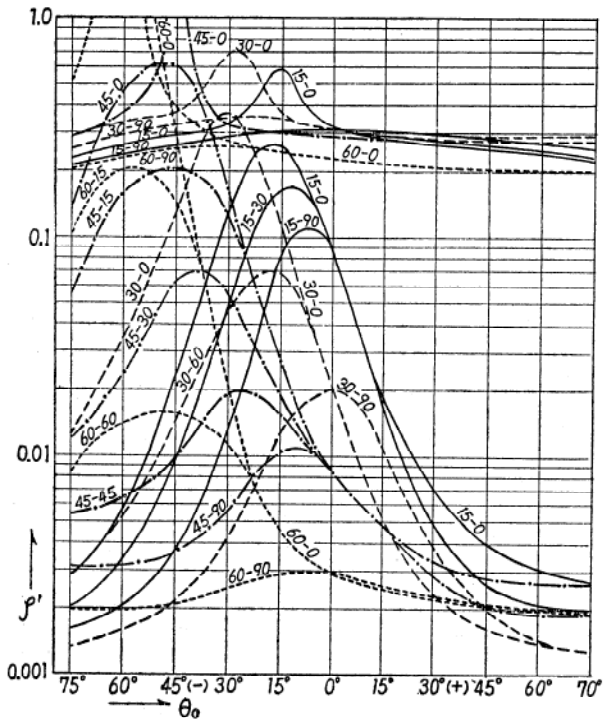


図5 スーパーボードの反射特性

い、黒色印刷面は上質紙、ざら紙、インディアペーパーでも正反射性が強いが、アート紙では更に顕著である。

### 5. 紙面と印刷面との対比

白色面、黒色面ともに  $\theta_i, \theta_o, \varphi$  により表皮反射成分が異なるため、反射光の輝度対比は大きく変る。

今、 $\theta_i = \theta_o = 15^\circ, \theta_i = \theta_o = 30^\circ$  について、視る方位  $\varphi$

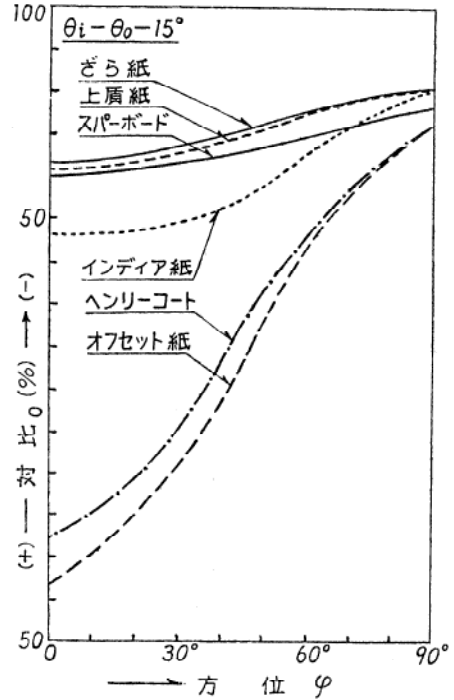


図6 紙面と印刷面との対比

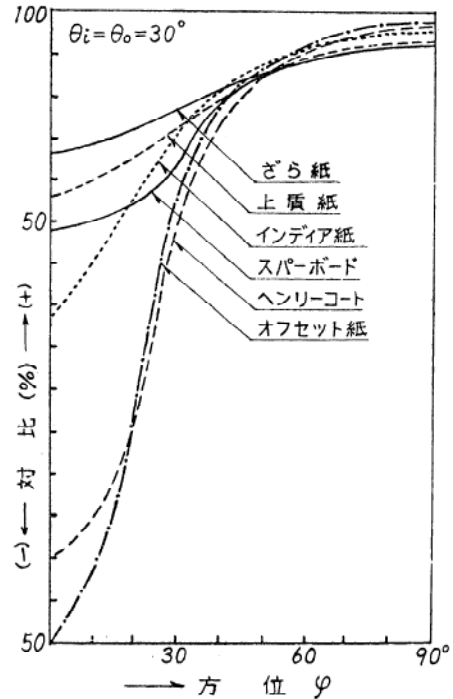


図7 紙面と印刷面との対比

を  $0$  (正反射方向) から  $90^\circ$  までの間に対して、各試料につき対比  $C$  を求めれば図 6, 7 のようになる。対比  $C$  は次式による。

$$c = \frac{\rho'_w - \rho'_b}{\rho'_b}$$

$\rho'_w, \rho'_b$  は白紙面および印刷面の反射特性値である。

なお、 $\rho'_w < \rho'_b$  のときは  $c = (\rho'_w - \rho'_b) / \rho'_b$  とし、こ

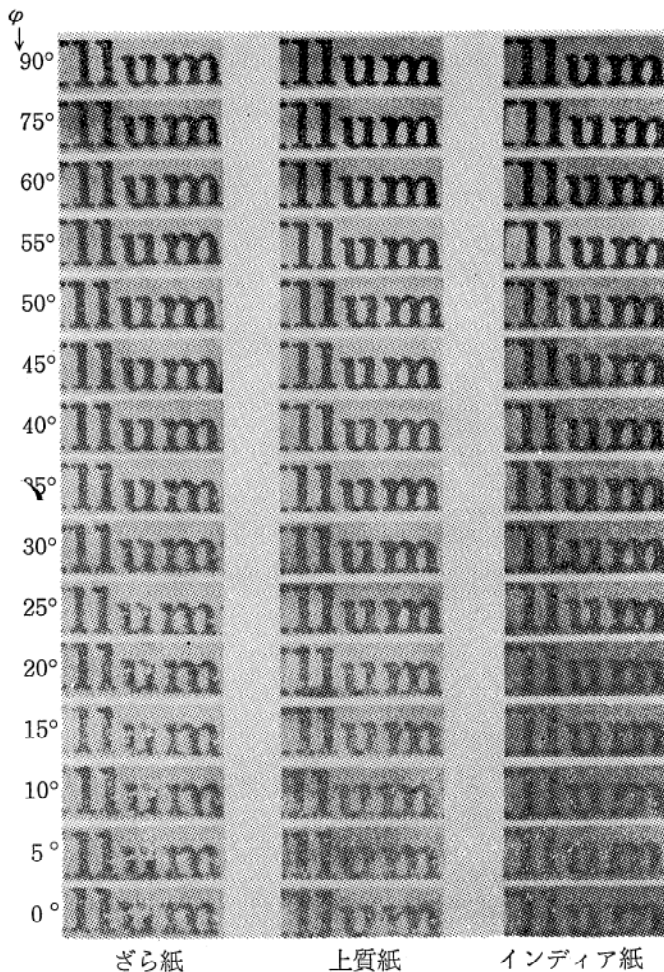
のときは負対比となる。

$\theta_i = \theta_o = 15^\circ$  では側方から見ても80%以上の対比は得られず、 $\theta_i = \theta_o = 30^\circ$  のものに比べて非常に条件が悪いことがわかる。どの種類の紙も正反射方向の近傍では明らかな対比の減少が見られるが、特にオフセット紙、ヘンリーコート紙は顕著で、可成の範囲において逆対比となる。

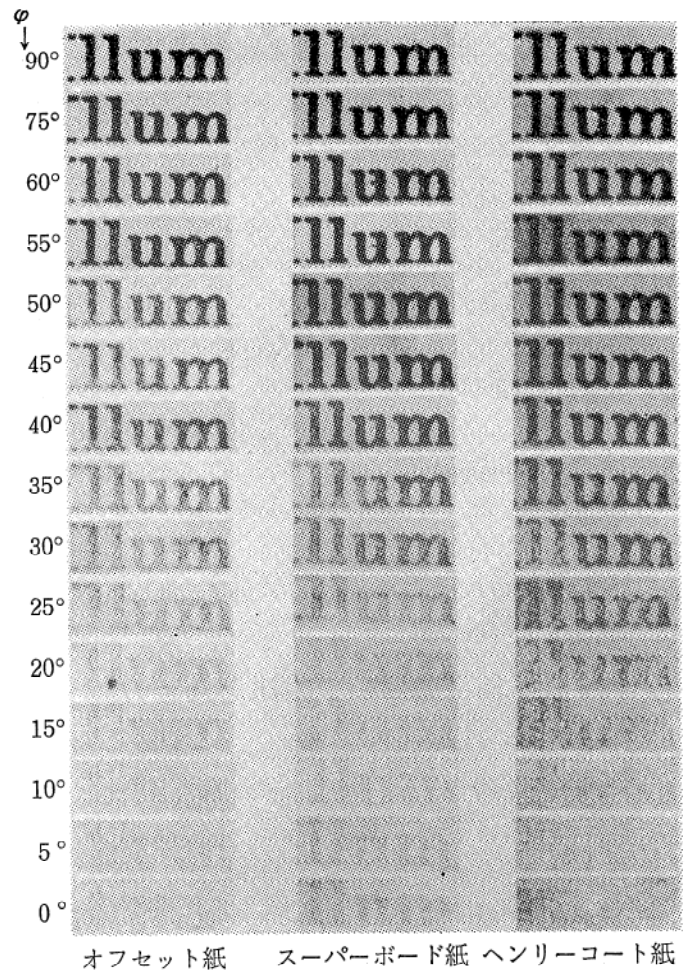
### 6. 印刷文字の見え方

上記6種の用紙に Illuminating Engineering 誌の本文と等しい大きさの活字で印刷した英文の試料をつくり、これを対比計算を行ったと同じ条件で写真をとって、見え方の実状を調べることにした。アサヒペンタックスS・3に接写リングを取付け倍率約1.1倍に撮影し、これを引伸して現活字の約7.5倍に焼付けて、インクの附着状態、反射光の状況を見た。

$\theta_i = \theta_o = 30^\circ$  のときの各種印刷紙面の見え方を写真1, 2に示す。上質紙、ざら紙、インディア紙では正反射方向においても見難くても識別できるが、ヘンリーコート、スーパーボード紙、オフセット紙では広い範囲にわたり



写1 活字の見え方



写2 活字の見え方

文字を読取することは不可能である。オフセット、ヘンリーコートでの逆対比は、印刷インク面に非常に明るい部分が生じるためのもので、完全に逆対比の文字になるということではない。詳細なことを省くが、一般に読書等のときの視角は25~30°であることから言えば、正反射方向から35~40°ふれなければ見難くなることを示している。

### 7. 各種絵具表面の反射性状

各種絵具を塗布した表面の反射特性の測定を行った。その詳細は省くが、絵具の種類により異るとともに、同種絵具にあっても色によりかなり大きな差がみられた。パステルのような面でも  $\theta_i, \theta_o$  が大きくなれば相当著しい表皮反射が見られるが、最も観者に障害を与えるものは、光沢をもち、かつ表面に凹凸のある油絵の如きもので、表皮反射が広範囲にわたり大きく、その防止が困難である。測定結果より見て、油絵に対して観賞に妨げを生じなければ他の種類に対しては大體安全と考えられる。

### 8. 油絵の輝度対比と見え方

カンバスに油絵の白、黒絵具を適量の油を混じて塗布した表面の反射特性の測定値より視方向の輝度対比を計算した結果は図8の通りである。入射角  $\theta_i$ 、反射角（視線方向） $\theta_o$ 、視方位  $\varphi$  として、 $\theta_i = \theta_o = 15^\circ, 30^\circ$  に対し  $\varphi$  を  $0^\circ$ （入射面内）から  $90^\circ$  の側方までの範囲を示している。正反射方向に近づけば輝度対比が可成減少して正しい観賞を妨げることは明らかである。これと同じ条件で白黒および実物の油絵の見え方を示したものが写真3、4であって、上記白黒の見え方と対照して示した。明視の場合の対比の減少による視力障害に比べ、この場合の障害は非常に著しく、観賞のほとんど不可能な視条件が広範囲にわたっている。したがって、観賞を対象とする照明にあったは、輝度対比の減少に対して非常に厳しくなければならない。

### 9. 絹目印画紙の対比と見え方

油絵のような凹凸ある光沢表面をもった対象物の照明の良否の判定はその規準が定め難く、設計に際しても明確な基礎をもっていない現状である。

われわれの測定値より見て、絹目印画紙の表面が視条件としては油絵に類して非常にむづかしいことがわかったので、これの白黒を標準視標面として採用するのが適当と思われる。簡単に質の一定したものが得られ易いのも大きな利点である。

図8に対比、写真5にそれに対応した見え方を示してある。非常に表皮拡散反射性が強く、広範囲に顕著な輝度対比の減少がみられ、これとさきの実物の油絵と対照

すると非常によく関連が認められる。この絵は光沢が強い暗い色調のため、油絵の中でも条件のわるいことを考慮しても、観賞を妨げないためには、絹目印画紙の対比約97%を要するものといえることができる。

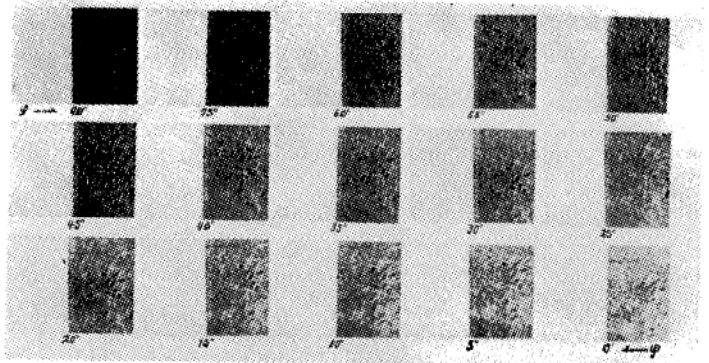


写真3 油絵白黒の見え方

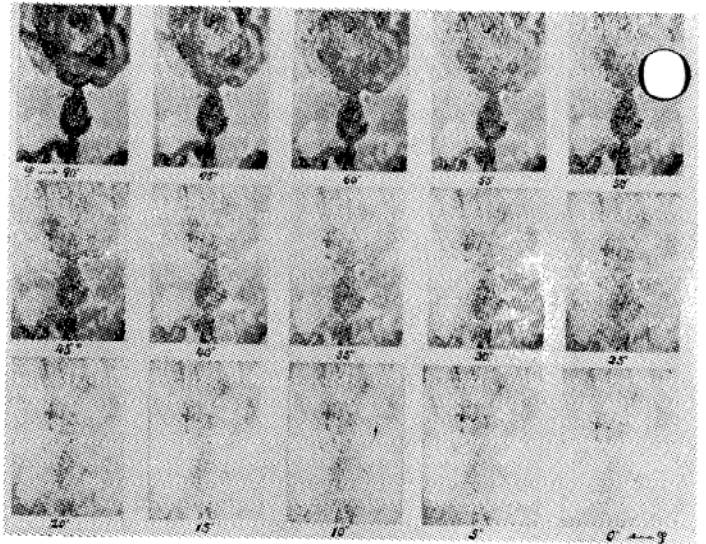


写真4 実物油絵の見え方

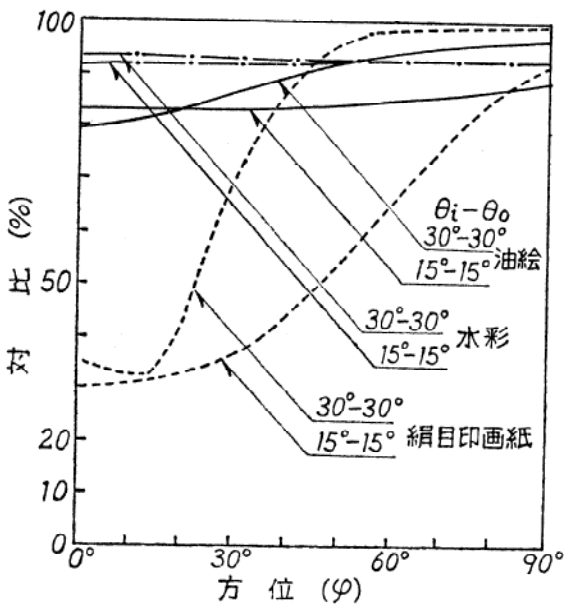


図8 輝度対比

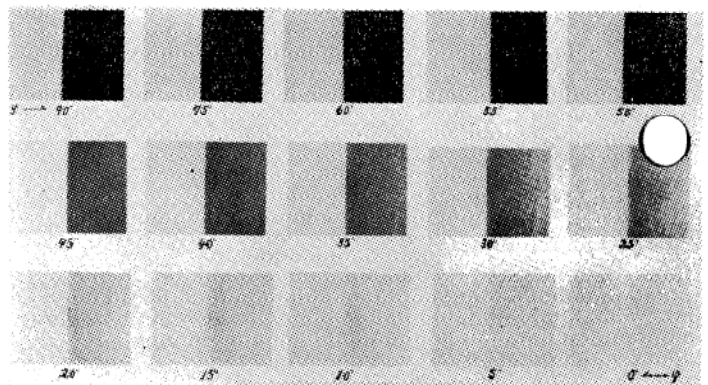


写真5 絹目印画紙の見え方

### む す び

快適な視作業を得るには照度、輝度対比、環境輝度、露出時間、対象物の大きさ等、関連因子は多いが、直接対象の見え方に関係の深いものは輝度対比で、作業面に

(以下24頁へ続く)

(16頁より続く)

ついでに照明の良否はこれで判定されるべきものとの考えから、明視対象、観賞対象についての照明に関して述べてきた。明視にあっては対比の低下は照度の増加で補償されるが、観賞物にあってはこれを償う方法がないの

で照明設計に際しては十分の考慮が必要である。

ここで述べたことは、視作業面のみに関することにとどまり、照明の全般にわたっては、この外に上に挙げた視環境を同時に考えねばならないことはいうまでもない。照明に関して何らかの参考になれば幸である。