

研究

色パターンの照明認識視空間と局所照明認識閾

池田 光男・本永 景子*・松澤 伸子・石田泰一郎

京都大学工学部建築学教室 〒606-01 京都市左京区吉田本町

(1992年12月7日受付, 1993年2月22日受理)

Threshold Determination for Unnatural Color Appearance with Local Illumination

Mitsuo IKEDA, Keiko MOTONAGA,* Nobuko MATSUZAWA and Taiichiro ISHIDA

School of Architecture, Faculty of Engineering, Kyoto University,
Yoshida-honmachi, Sakyo-ku, Kyoto 606-01

(Received December 7, 1992; Accepted February 22, 1993)

A Mondrian pattern made of various color charts was illuminated at one of four levels, 3, 10, 50 and 100 lx with a main light source. One color chart in the pattern was additionally and locally illuminated with a separate light source and the threshold was obtained at a point when the subject felt the color appearance of the chart unnatural by referring to his/her recognized visual space based on the observation of the Mondrian pattern excluding the locally illuminated color chart. Twelve different color charts were investigated. In the supplemental experiment the color appearance change of the color charts was measured as the additional illumination was gradually increased with the method of color matching. It was found that the threshold for unnatural appearance, when specified by the additional illuminance, was small when the color chart located at the upper boundary and large when it located at the lower boundary of the color gamut. It was argued that the threshold of unnatural appearance not necessarily corresponded to the outer boundary of real color gamut.

1. はじめに

室内照明ではスポットライトがよく用いられる。これは、たとえば天井に設置された蛍光灯など、室内の主たる照明光源によって照明された空間に視覚的变化をもたらそうとするもので、住環境により快適にするなどの効果を期待している。また、蛍光灯等による照明を主照明、スポットライトによる照明を局所照明と呼ぶことになると、局所照明の強度が低すぎるとそれは視覚系によって認識されず視覚的变化はもたらされない。またある程度の強度があっても今度は主照明の強度が強すぎるとやはり局所照明の存在は認識されないことになり、スポット

ライトの目的が達成されないことになる。したがって局所照明の認識閾を定量的に知ることは室内照明を設計するうえにおいて有用であると考えられる。Ullman は白黒の色票で作ったモンドリアンパターンの一部に開口を設け後方から照明し、その部分が光を発していると認識する強度を調べ、その認識閾はモンドリアンパターン表面を照明する照度が高くなるほど大きくなり、またその関係は直線的であると述べている¹⁾。しかし Ullman の目的は、いわゆるコンピュータビジョンの開発にあり、反射物体から光源を区別認識するモデルをいくつか提案することに重点を置いており、認識閾の実験データの記述はきわめて定性的である。また開口を後部から照明する方法は、たとえば建物内の標識「非常口」などには見られるが、室内のスポットライトの一般的な方法ではない。

そこで本研究では色票で構成するモンドリアンパター

* 現在: 東芝ライテック(株)研究所 〒237 横須賀市船越町1-201-1

Present address: Lamp & Lighting Laboratory, Toshiba Lighting & Technology Corp., 1-201-1, Funakoshi-cho, Yokosuka 237

ン全面を蛍光灯で照明し、かつその一部のみを他の光源で表面から局所照明しその認識閾を測定する。もしこの認識閾が定量化できればそれはひとり照明設計への基礎的データを提供するに留まらず、人間の脳はどのようにして視野の中の一部が他の照明光によって照明されていることを知るのかという高次の視覚認識の問題にも切り込めるし、またコンピュータビジョンの開発者にとって有用なデータを提供することにもなると期待される。

2. 実験

2.1 装置

製作した実験装置の概略を Fig. 1 に示す。T が色票で作られたモンドリアン風の刺激パターンである。これを被験者は約 1 m の距離から窓を通して観測する。実際には T の面は左方からくる局所照明光路にはほぼ垂直になるように置かれているので被験者は刺激パターンを斜めに観測することになる。その角度は約 45 度であった。FL は 20 W の蛍光灯で、これがモンドリアンパターンを照明する主照明となる。その強度は蛍光灯調光器によって調節することができる。被験者から蛍光灯は見えない。IL は EG & G 社製の照度計であり刺激パターン T 上の照度の較正のために常設されている。これも被験者からは見えない。

Fig. 1 の左方にあるスライドプロジェクター P およびその光路は、刺激パターン T の中の一つの色票すなわち単位刺激のみを照明する局所照明用のもので、ミラー M₁ および M₂ の回転によって任意の単位刺激を照明できるようになっている。ミラーの回転は手動である。W は局所照明認識閾を得るためにプロジェクター P からの光量を調節する円形楔型中性濃度フィルターで、濃度範囲は 3 弱である。被験者は手元のスイッチ SW でこのフィルターを回転させることができ、その位置は実験者

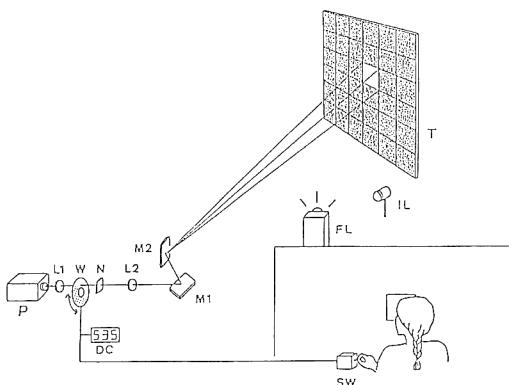


Fig. 1 Scheme of apparatus.

がデジタルカウンター DC で読みとることができる。

N は必要に応じて使用する中性濃度フィルターである。

この実験装置で重要なことは刺激パターン T を構成する単位刺激を空間的に正確に局所照明することである。プロジェクター P からの照明光が単位刺激より広く照明したり、逆に狭く照明したりすると認識閾の決定に影響を与えるかもしれない。そのためプロジェクターのスライドの位置に設置する開口を T 上の単位刺激の形とサイズに正確に対応するよう製作することが肝要であるが、実際にはその厳密な対応は困難なので、T 面上での開口の像の大きさを微調整する手段が必要である。このために加えられたのが二つのレンズ L₁ と L₂ で、これらの位置を光学ベンチ上で前後に調節することによって T 上の局所照明サイズを微調整することができる。

主照明用の蛍光灯 FL およびプロジェクター P からの局所照明用光の色特性を見るために、刺激パターン面上に標準白色板を置き被験者の位置からミノルタ CS-100 によって測色したところ、それぞれの色度座標は (0.388, 0.397) および (0.431, 0.413) であった。これでわかるように局所照明光はやや赤みをおびた白色である。

実験装置全体は暗室の中に設置されているが被験者の周辺はさらに暗幕等で囲い、被験者には刺激パターン T およびその背景となる暗幕以外は見えないようにし、認識閾設定ができるだけ T のみの観測によってなされるよう配慮した。

2.2 刺激

本実験で採用した刺激パターン T は Fig. 2 に示すように 30 cm × 30 cm の正方形の面にいろいろの色の色票を貼り付けた、いわゆるモンドリアンパターンである。使用した色票は Table 1 に示す 12 種類であり、それぞれ 5 cm × 5 cm と、5 cm × 10 cm の 2 枚を準備した。合計 24 枚の色票を順不同に並べた。このとき色相がパターン内で偏らないように配慮した。局所照明認識閾の測定は 12 種類すべての色票を対象とし、その単位刺激サイズは 5 cm × 5 cm とした。したがって 5 cm × 10 cm の色票を単位刺激とする場合はその半分のみが局所照明されることになる。Fig. 2 の白い部分が単位刺激として採用した 12 の色票である。

前記したように被験者は刺激パターンを約 1 m の距離で、45 度傾斜した状態で見ることになるので、刺激パターンの観測時の大きさは視角で約 17 deg × 12 deg となる。また最小単位の 5 cm × 5 cm は視角で 2.9 deg × 2 deg となる。

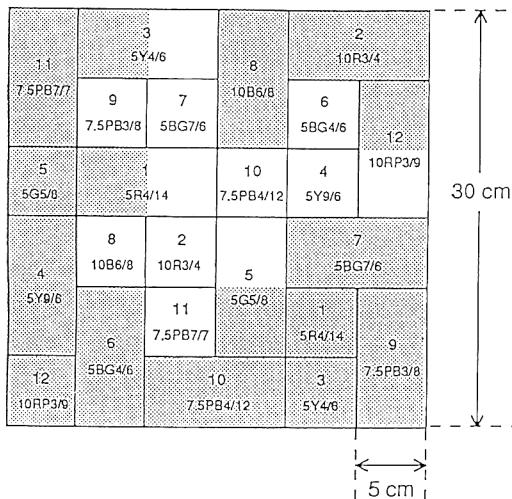


Fig. 2 Stimulus pattern with color specifications. The upper numbers are color chart numbers and the lower, Munsell color notations. Clear portions indicate the stimulus color charts.

Table 1 Color specifications of color charts expressed in Munsell notation HVC and in the CIE xyY .

No.	HVC	x	y	Y
1	5 R 4/14	0.573	0.319	13.7
2	10 R 3/4	0.445	0.360	7.7
3	5 Y 4/6	0.455	0.453	12.4
4	5 Y 9/6	0.413	0.428	78.0
5	5 G 5/8	0.278	0.457	20.1
6	5 BG 4/6	0.247	0.379	12.7
7	5 BG 7/6	0.284	0.382	42.9
8	10 B 6/8	0.246	0.301	29.0
9	7.5 PB 3/8	0.250	0.234	7.6
10	7.5 PB 4/12	0.232	0.214	12.6
11	7.5 PB 7/7	0.295	0.230	42.9
12	10 RP 3/9	0.499	0.296	7.2

使用した色票は、日本色研事業製のつやありである。Table 1 に示したマンセル HVC は色票に添付してあった値である。また x , y , Y は日立製のカラーナライザーで測定したもので、光源は蛍光灯を代表する F 光源、等色関数は 2 度のものを採用した。Fig. 2 の各色票の上段に便宜上各色票に付した番号と、下段にマンセル表色記号を記しておいた。

2.3 被験者

被験者は、KM (女, 23 歳), NM (女, 23 歳), HS (男, 25 歳), TI (男, 29 歳), MI (男, 58 歳) の 5 名、いずれも色覚正常者である。視力は、矯正も含めて、

1.0 以上であった。HS, TI, MI の 3 名はこのような色覚実験を十分に経験しているが、KM, NM の 2 名はこれが初めての被験者体験である。

2.4 主照明条件

刺激パターン全体を照明する主照明は Fig. 1 の蛍光灯 FL によって提供されるが、その強度を調節して刺激パターン T での照度が 3, 10, 50 および 100 lx となるような 4 レベルの主照明を設定した。照度測定には EG & G 照度計を用い、受光面を蛍光灯に向けて測った。しかしこの測定は装置の較正時のみ行い、通常の実験の時は受光器が被験者の視野に入らないよう蛍光灯に近づけた状態で測定した。

2.5 手順

実験者は主照明レベルの一つをランダムに選び Fig. 1 の蛍光灯 FL の強度を調節してそのレベルに設定する。次に刺激パターン T の中の 12 箇所の単位刺激のうちの一つをランダムに選び、それにプロジェクター P からの照明光をミラー M_1 , M_2 を介して精密に当てる。

被験者は被験者ブースに入り T を眺め、設定されている主照明レベルに約 10 分間順応する。実験者からの合図があれば手元のスイッチ SW を動かし局所照明された単位刺激の照度を調節し、刺激パターン全体を見ながら局所照明認識閾と判断するところに円形楔型中性濃度フィルター W を設定する。実験者はデジタルカウンター DC 上の W の読みを記録する。これを一つの単位刺激につき続けて 5 回繰り返す。それが済むと実験者は次の単位刺激をランダムに選び、ミラーを調節し、その単位刺激にプロジェクターからの照明を当てる。被験者の観測が始まる。これらの操作を次々に 12 色の単位刺激について行い、合計 60 回のデータをとる。これで 1 セッションとする。1 セッションには約 25 分間必要であった。

一つの主照明レベルについては 5 セッション、したがって一人の被験者は全部で 20 セッションの実験を行うことになる。

2.6 被験者へのインストラクションと局所照明認識閾の定義

被験者へのインストラクションは次のようにした。「刺激パターン全体が均一に照明されています。この照明条件下で、刺激パターンのうちのある 1 箇所を別の光源で照明します。そして局所照明認識閾をさがしてもらいたいのですが、他の色票の色の見えに比べてそこだけ不自然に感じないように、自然であると思える範囲での上限をさがしてください」。

不自然でない状態とはやや漠然としたインストラクシ

ヨンではないかとの指摘があるかもしれない。たとえば光源色に見え始めるところとか、蛍光を発するように見えるところとか、単に明るすぎるところなど、具体的な見え方の指示の方が被験者にとって閾値は求めやすいであろう。たとえば Evans は 1° 直径の単色光の刺激を 10° 直径の白色光で囲い、刺激光の強さをゼロから徐々に上げて刺激光の見えを調べたとき、灰色が見えなくなり蛍光のように見え始める点を設定するよう被験者に指示している²⁾。また岡島らは刺激色票をいろいろの明度の無彩色色票の中央に張りつけたものを観測し、刺激色票が光源色に見えるか物体色に見えるかを被験者に尋ねている³⁾。いずれの場合も被験者の判断は色のある特定の見えに基づくもので被験者にとっては比較的容易な判断であると思われる。

しかし本研究は、被験者がある照明された空間にあるとそこがどのような主照明光によって照明された空間であるかを直ちに認識する、すなわち照明認識視空間が頭の中に形成されるという考え方から出発している。そしてある部分が別の照明光によって照明されその強さが大きくなり過ぎると、その部分の色がすでに形成されている照明認識視空間と矛盾するものに被験者には見えるのではないか、すなわち不自然に見え始めるのではないかと考え、それを局所照明認識閾としてとらえたい、あるいはそもそもとらえることができるか、そのことも知りたいということである。

3. 結果と考察

局所照明照度を増大していくときの被験者の内観報告

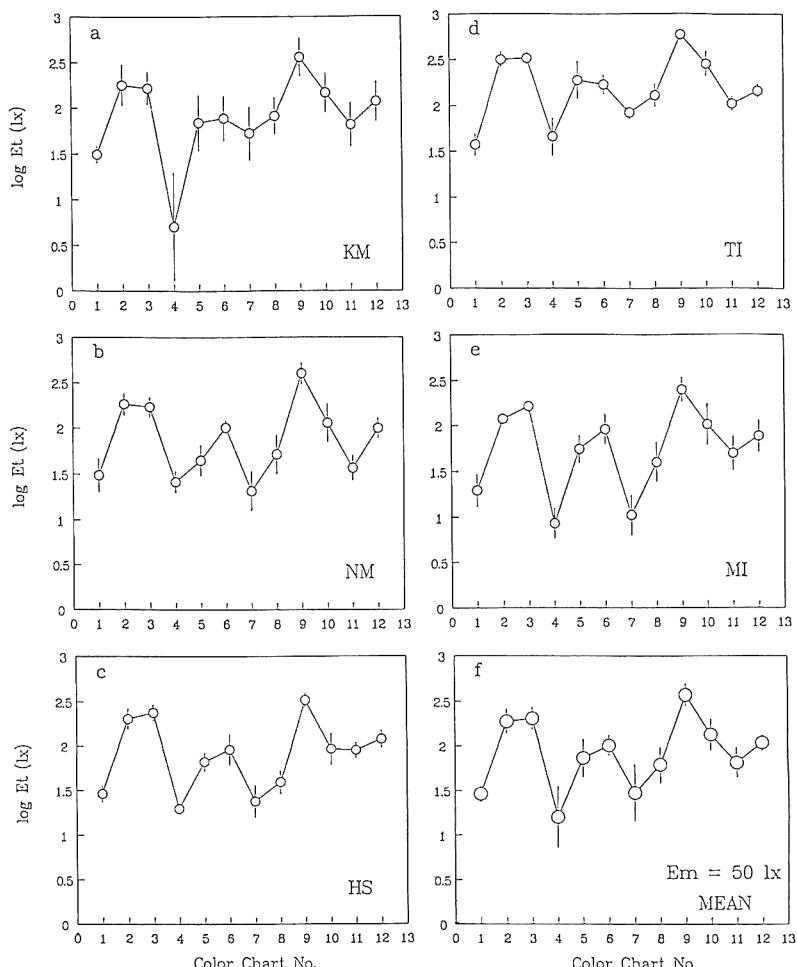


Fig. 3 Threshold of local illumination expressed in illuminance E_t for each stimulus color chart. Main illuminance is 50 lx. a, subject KM; b, NM; c, HS; d, TI; e, MI; f, mean of 5 subjects.

はさまざまであるが、共通していたのは照度が低い段階では局所照明された単位刺激の部分の色票が次々と新しい色票によって置き換えられていくというものであった。しかしさらに照度が上げられるとその部分が明るすぎるとか、輝き始めるとか、白い粉がかかったように見えるとか、人によって異なった不自然を感じたようである。

主照明 50 lx に対して得られた局所照明認識閾のデータを 5 人の被験者全部について Fig. 3(a)～(e) に示す。横軸は対象とした単位刺激の色票番号、縦軸は認識閾を照度の対数として示したものである。この照度は局所照明のみの照度であり、主照明の 50 lx は含まれていない。各点は 5 回のセッションの測定値の平均であり、縦棒はその標準偏差である。

これらのデータからまず最初にわかるることは局所照明認識閾が測定可能だということである。各被験者とも例外はあるが標準偏差値は 0.2 以下がほとんどで、全体の色票の中で一つだけを特別に照明するとある照度で色票の見えが他とは異なって不自然に感じる点のあること、しかもその点は安定して求められることを示している。

次にわかるることはすべての被験者がほぼ同じ結果を出していて、局所照明認識閾が被験者にわたって普遍的であることである。Fig. 3 の (f) は 5 人の平均値を示し、縦棒は被験者間のばらつきを示す標準偏差であるが、それらはほとんどの色票においてきわめて小さい。観測はとくに練習期間を持つこともなく、最初からデータをとったことを考えれば、この測定が誰でもいつでも可能で、かつ安定した結果を与えることを示している。

第三にわかることは局所照明認識閾が色票によって異なることである。これはスポット照明など応用を考える場合はきわめて示唆的である。色票番号 1 (5 R 4/14) や 4 (5 Y 9/6) などの色票はごく少量の局所照明でスポットライトの効果が生じるし、逆に色票番号 2 (10 R 3/8) や 3 (5 Y 4/6) 等の色票はそれらより 6 倍強の照度が必要ということになる。

他の主照明レベルの 3, 10, 100 lx でも、曲線の形状、標準偏差、被験者間の類似性などこの 50 lx の場合とよく似た結果となっている。4 レベルの結果を被験者 KM と MI について示したのが Fig. 4(a), (b) であり、5 人の被験者すべての平均を示したのが(c)である。被験者 KM の色票番号 9 (7.5 PB 3/8) の主照明 100 lx でのデータ点が欠損しているのは、この被験者にとって局所照明光源の強さが足りなくてデータが得られなかつたからである。実際にこの色票に対して 5 セッ

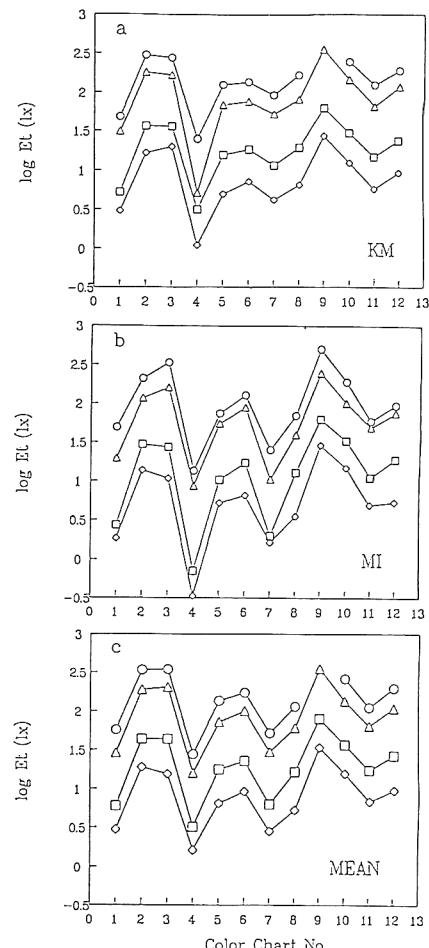


Fig. 4 Threshold of local illumination under four different main illumination, 3 lx (\diamond), 10 lx (\square), 50 lx (\triangle), and 100 lx (\circ). a, subject KM; b, MI; c, mean of 5 subjects.

ヨンとも局所照明認識閾が得られたのは被験者 MI のみであった。したがって (c) の平均値においてもこの点は欠損したままにしてある。

これらの図から明らかなことは、主照明レベルの如何にかかわらず曲線の形状がよく似ていることである。そこで各色票について局所照明認識閾 E_t と主照明照度 E_m の関係を求めてみるとほぼ

$$\log E_t = 0.84 \log E_m + C$$

で表現できることがわかった。ここで C は定数で色票によって異なる。光源の検出閾を測定した Ullman の結果と直線性においては同じということになる¹¹。Ullman は単位刺激のすぐ周辺の色票の明度によって直線の傾斜は異なると述べているから、ここで得られた 0.84 の値は普遍的なものではないことが考えられる。また、本実

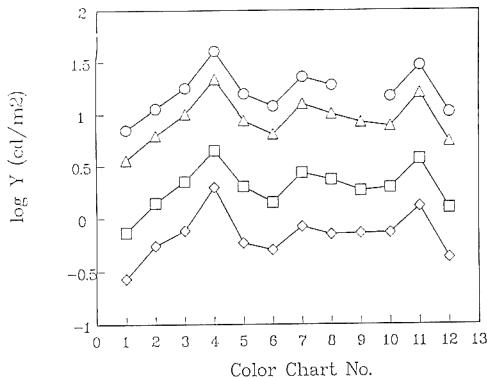


Fig. 5 Threshold of local illumination expressed in luminance Y for each stimulus color chart. Symbols for main illumination are same as in Fig. 4. Mean of 5 subjects.

験で検討した主照明は $3 \sim 100 \text{ lx}$ という比較的狭い範囲であるから、この直線性がもっと広い範囲の主照明に対しても成り立つかは不明である。

Fig. 4(c) の局所照明認識閾の表示は E_t すなわち局所照明として加えた照度 ($\text{lx}, \text{lm}/\text{m}^2$) であったが、次は輝度 ($\text{nt}, \text{cd}/\text{m}^2$) で再プロットしてみる。それが Fig. 5 である。輝度測定にはミノルタ CS-100 を用いた。縦軸の輝度は主照明のみであって、(主照明+局所照明) の輝度である。もしこの図で曲線がフラットになるなら、局所照明認識閾を決めているのは単位刺激の輝度ということになる。しかし Fig. 4(c) に比べて一部ではやや平坦になっているものの、輝度だけが局所照明認識閾を決めているというには曲線の形状がまだでこぼこし過ぎているように思われる。

次は局所照明認識閾を明度に変換してプロットしてみた。Fig. 6 である。明度の計算には CIE 1976 の L^* の式を用いた。Fig. 6 で明らかなことは、曲線の形状は当然のことながら Fig. 5 と変わらないが、上下位置がほとんど一致したことである。局所照明認識閾は色票の輝度でなく色票の上に感じられる明度に関係する。部屋が明るく照明されているか、あるいは比較的暗く照明されているかにかかわらず、色票ごとにその見えがある一定の明度に到達すれば局所照明認識閾に至るのである。さらに Fig. 6 では L^* が 100 を越えるものがほとんどないというのも示唆的である。そもそも明度の定義においては、部屋の照明の高低にかかわらず真っ白い物体が最高の明るさに感じられることからそれに明度 100 の値を与えたのである。本実験においても被験者は色票の見えが真っ白いと思われるものより明るいと感じたときそれを不自然と判断したのではないかと思われる。

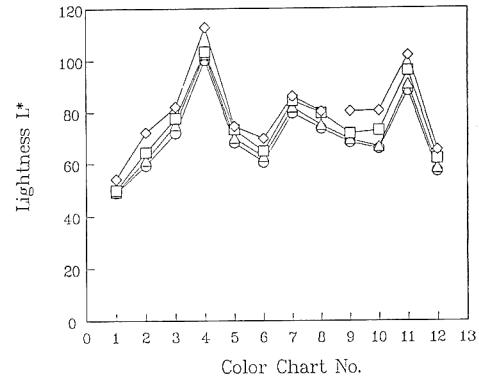


Fig. 6 Threshold of local illumination expressed in lightness L^* for each stimulus color chart. Symbols for main illumination are same as in Fig. 4.

しかし Fig. 6 では、色票番号 1 (5 R 4/14) のように L^* がわずか 50 くらいで局所照明認識閾に到達しているものもあり、見えの明度 100 だけが認識閾を決定しているのではないこともまた明らかである。では局所照明認識閾を決定するものは何であるか。被験者がある照明された空間を眺めるとき空間全体がどのように照明されているかを直ちに判断し、そこに有る諸物体の表面の色はどう見えるかを認識する。これを照明認識視空間と名づけた。Pointer は実存する物体を C 光源で照明した場合にそれらの色の占める領域を $L^*a^*v^*$ 空間および $L^*a^*b^*$ 空間で表現している⁴⁾。この Pointer の物体色領域を照明認識視空間を具現化するものと考え、われわれの得た局所照明認識閾はいずれの刺激色票においても局所照明されたときの色の見えがちょうどこの領域の外限に来たときではないかと仮定し、主照明を 50 lx としたときの刺激色票の局所照明認識閾の $L^*a^*b^*$ 値をミノルタ CS-100 で測定し、Pointer の物体色領域にプロットしてみた。しかし 10 B 6/8 や 7.5 PB 3/8 などの局所照明認識閾の点は Pointer の与える物体色領域外に出ているが、10 R 3/4 や 5 Y 4/6 の点は領域内にあるという具合になり、局所照明認識閾が物体色領域の外限を形成するという単純な説は妥当ではないように思われる。

4. 補足実験

4.1 単位刺激の色の見えの変化の測定

局所照明された単位刺激の照度を増大していくとあたかもその部分の色票が取り替えられていくように色の見えが変化する。そしてやがてその見えはモンドリアンパターントの他の色票の見えとは異質なものに見え始め局所照明認識閾に至る。そこで局所照明認識閾あるいは照明

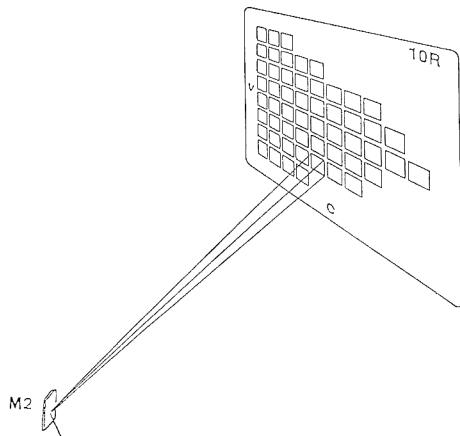


Fig. 7 Setup of a standard color sheet in the supplementary experiment. The color sheet is of 10 R and the stimulus color chart is 10 R 3/4.

認識視空間に関する基礎的知識を得るためにその色の変化の過程を調べてみることにした。

Fig. 1 の刺激パターンの位置に検討しようとする単位刺激を含む標準色票（日本規格協会出版の光沢版）1枚を置く。たとえば単位刺激が色票番号2（10 R 3/4）であれば Fig. 7 に示すように標準色票の色相が 10 R のものである。この標準色票の中の単位刺激相当つまり 10 R 3/4 の色票に Fig. 1 で示したプロジェクター P からの光で局所照明をほどこす。標準色票の各色票のサイズは横 18 mm, 縦 14 mm であるから P のマスクをこれに合うように縮小する。標準色票の台紙はやや黄みをおびた無彩色でその明度 L^* は約 97 であった。主照明は 50 lx のみ採用する。

実験者は円形楔型中性濃度フィルター W を調整して局所照明の強さをある所定のものに設定する。被験者は局所照明された色票の色の見えを判断し、それと同じと思う色票を標準色票の中に探し報告する。内挿、外挿は自由である。局所照明が強くなり、その色票の見えが被験者が見ている標準色票の色票群によって判断する自然な物体表面の色の見えからはみ出したと感じたならそのように報告する。これは主実験での局所照明認識閾に相当するが単位刺激の背景の条件など主実験とは異なるので参考までである。局所照明の強さは主実験で得た局所照明認識閾を含む数レベルとした。また単位刺激の色によっては局所照明の強さを変えていくとその色相が変化し、等色する色票がその標準色票にはなくなる場合があった。そのときは近辺の色相の1枚から2枚の標準色票を T の位置に並べて呈示しその間から等色する色票を選べるようにした。

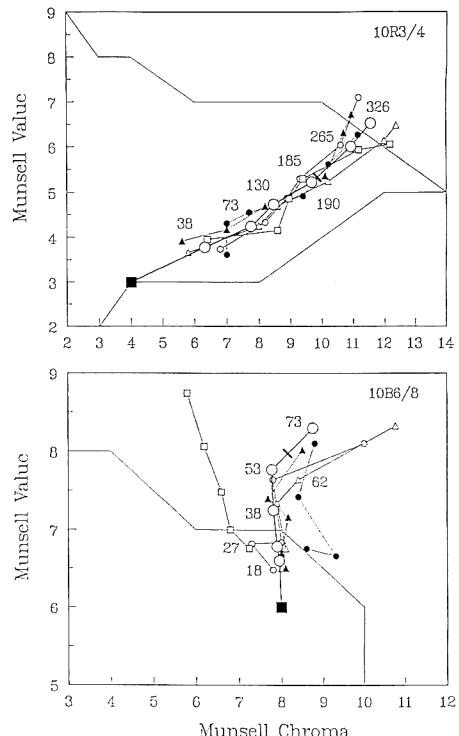


Fig. 8 Loci of color appearance of two stimulus color charts with different local illumination levels. Upper figure for 10 R 3/4 and lower for 10 B 6/8. Main illumination at 50 lx. ■, stimulus color chart; ●, subject, SF; ○, NM; △, HS; ▲, TI; □, MI. Large open circles, mean of 5 subjects.

この補足実験で採用した刺激は色票番号 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9 および色票番号 1 相当の 5 R 3/10 と 12 相当の 10 R 3/8 の 9 枚とした。主実験の色票番号 4, 10, 11 はその色がすでに標準色票の上限にあるか、外にあるかのために測定に意味がないと考え対象から外した。

被験者は 5 名。このうち 4 名は主実験にも参加したものの、被験者 SF (女, 22 歳) は主実験の被験者 KM に代わるもので色覚正常者である。この種の実験には多少の経験がある。

4.2 結 果

色票番号 2 (10 R 3/4) および 8 (10 B 6/8) の結果を Fig. 8 に示す。横軸に彩度、縦軸は明度である。記号のつかない折れ線はこれらの標準色票の領域限界を示している。データを示す異なった記号は各被験者に対応している。また大きな黒四角は測定対象とした刺激の位置を表している。大きな白丸と太い実線は平均値であり、これは対象刺激から線を引いている。大きい白丸の横に付した数字は局所照明として加えた光の照度であり、太い

実線をカットするように引いた短線と数値は主実験で設定された局所照明認識閾に対応する点とその照度である。

まず 10 R 3/4 の赤の単位刺激の場合を見ると、局所照明が強くなるにしたがって、各被験者とも色の見えがスムーズに標準色票の中を右上方向に移動しているのがわかる。すなわち徐々に彩度が増し明度もゆっくり上昇する。この単位刺激に対してはどの被験者も色の変化がとらえやすいと表現している。また被験者間の差が小さいのも特徴である。さらに SF を除くすべての被験者がこれらの局所照明にたいして色の見えは不自然でないと報告している。主実験での局所照明認識閾は標準色票領域のかなり内側に存在している。

一方、10 B 6/8 の青の場合、単位刺激がすでに標準色票領域の右上限界に近いこともある、色の見えは局所照明とともに直ちに領域外に出てしまっている。すなわち各被験者とも色の見えを外挿で決めている。対象刺激の色の見えを不自然と被験者が感じたのはそれが標準色票領域を大きく外れたところであるが、主実験で得られた局所照明認識閾も標準色票領域を大きく出てしまったところに位置している。

被験者間の差は 10 R 3/4 に比べて大きいように思われる。なかでも最も顕著な違いを示しているのは被験者 MI である。これはこの被験者の高年齢(59歳)と、またこの被験者が從来示している短波長側での低い分光感度に起因するものと思われる^{5,6)}。すなわちこの被験者は局所照明光を他の被験者より赤みの多いものを感じるために、局所照明光を強くすればするほど単位刺激の見えは赤の方向に引っ張られ彩度が低く感じられるようになったとみることができる。この傾向は今回検討した色票番号 5 から 9 までの緑から青系にいたるすべての単位刺激において現れていた。とくに色票番号 9 の場合の色の見えは標準色票領域の上限を沿うように移動しており、領域からほとんど外れることはなかった。主実験の主照明 100 lx で MI のみがこの色票の局所照明認識閾を得た理由はここにあることがわかる。

Fig. 9 はすべての対象刺激の結果を平均値のみで示したものである。標準色票領域を示す細線の他に点線や破線があるのは局所照明によって単位刺激の見えの色相が変化していくことを示している。たとえば色票番号 3 の場合は局所照明を強くしていくにしたがって見えの色相が 2.5 Y, 10 YR と変化したのである。ただし 5 BG の場合は色相が変化したのは 5 BG 4/6 の方だけであった。また色票番号 1 (5 R 4/14), 4 (5 Y 9/6), 11

(7.5 PB 7/7) および 12 (10 RP 3/12) は実験対象刺激としなかったが、それらの位置は対応する色相に白四角で示しておいた。

これらの結果からわることは、主実験における局所照明認識閾のあるものは標準色票領域の内側にあり、他のものは完全に外側にあり、またあるものは境界のところにあるというように、標準色票領域限界とは関係なく閾に到達するということである。

5. 総合考察

補足実験結果の Fig. 9 を主実験結果の Fig. 3(f) に対応させて見るとある程度の相関が存在するように思える。すなわち Fig. 3(f) で局所照明認識閾 E_t が小さい色票(色票番号 1, 4, 7) は Fig. 9 でいずれも色票領域の上限あるいは右限に近いところにある。また Fig. 3(f) で E_t が大きい色票(色票番号 2, 3, 9) は Fig. 9 でいずれも色票領域の下の方にある。残りは E_t の大きさが中くらいの色票(色票番号 5, 6, 8, 10, 11, 12) であるが、領域の比較的下の方にある 6, 12 は E_t は大きく、領域の中程にある 5, 8 は E_t は小さい傾向にある。例外は 10 と 11 で、これらは領域の上端あるいは右端をはみ出しているにもかかわらず E_t はそれほど小さい値とはなっていない。ただこれらの場合は色票番号 9 から推測して色の見えの変化が彩度が上昇する方向ではなく真っ直ぐ上方向つまり明度のみが上昇する方向であること、また被験者の内観報告でも局所照明が増大すると、色の変化というよりも青い表面に白く粉がふりかかったように見えたとあるので、他の色票とは異なった局所照明認識閾が得られたのかもしれない。

Fig. 9 からはいま一つ規則性質が見られるようである。それは 10 R 3/4 や 5 Y 4/6, あるいは 10 RP 3/8 のように局所照明が色の見えを主として彩度増大の方向に変化させる場合は標準色票の領域内で局所照明認識閾に達し、10 B 6/8 や 7.5 PB 3/8 のように色の見えを主として明度増大の方向に変化させる場合は標準色票の領域を大きくはみ出たところで局所照明認識閾に達するということである。5 BG の場合はそれらの中間的性質を示すものと見える。

被験者の判定規準について言及しておきたい。被験者に与えたインストラクションは局所照明された色票が不自然と感じない、自然と感じられる上限の照明に設定するようにということであった。この教示はやや漠然としているので、実際は各被験者が局所照明認識閾設定の際に持った拠り所は人によって多少異なったと想像され

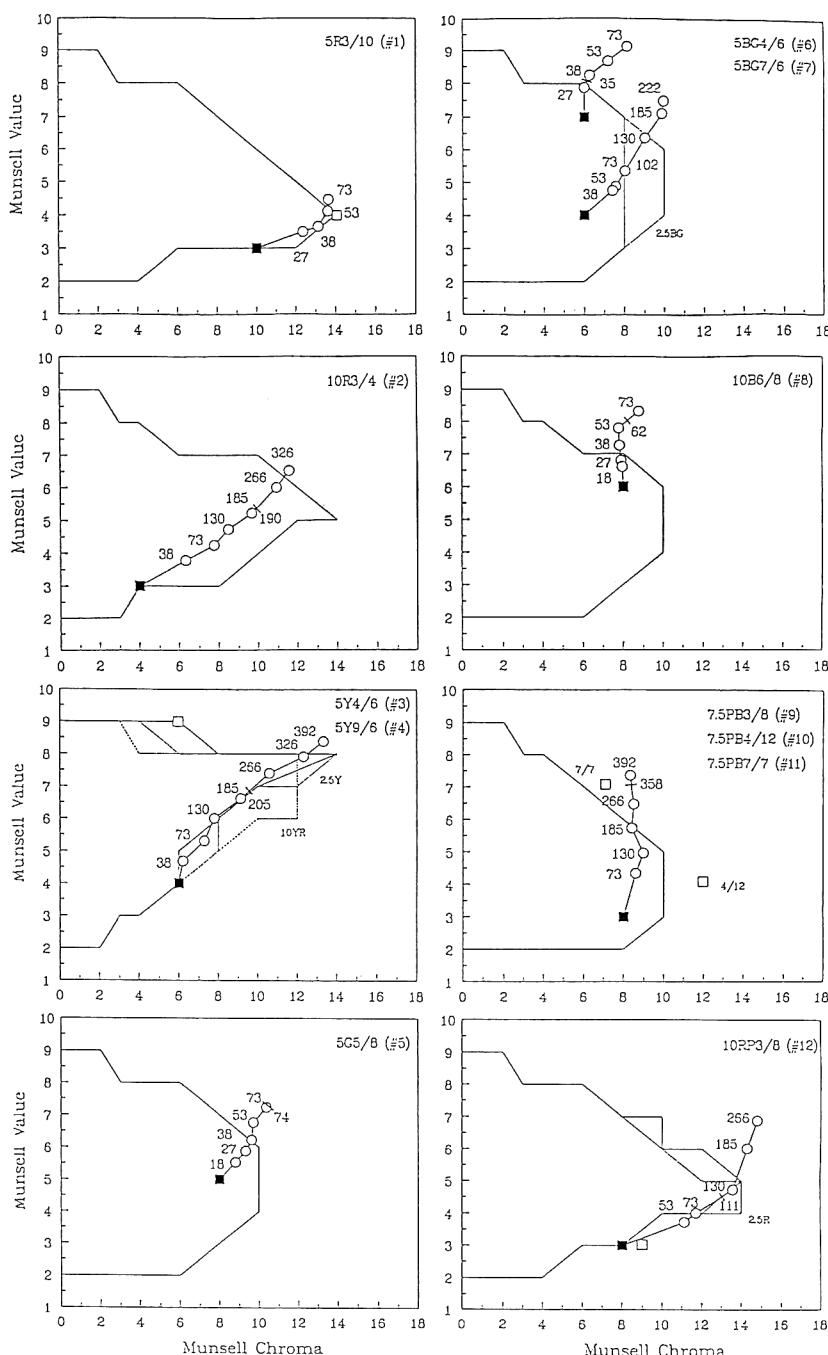


Fig. 9 Loci of color appearance of stimulus color charts shown by solid squares. The number beside each open circle indicate the local illumination in lx at the open circle. A short bisecting line along a locus corresponds to the threshold obtained in the main experiment. Open squares indicate stimulus color charts employed in the main experiment but not investigated in the supplementary experiment. Mean of 5 subjects.

る。実験後の内観報告では、まず主照明のレベルを判断し、その照明下では明るすぎると明るさを手がかりにしたもの、この照明にとってこの色の輝きは強すぎると強光色的見え方を拋り所としたもの、あるいは透明色に見える、光を発しているように見える、表面に粉がふいているように見え始める、全体のバランスがくずれるなどと多様であった。それにもかかわらず局所照明認識閾は被験者間であまり差がなかったことは、被験者の形成している照明認識視空間の大きさがほぼ等しいこと、そして局所照明された単位刺激の色の見えがその空間をはみでたときの色の見えはいろいろの様相を呈するのではないかということを示していると考えられる。

本研究では、人は外界を見てその空間がどのくらいの照度で照明されているかを判断し、それを基にその空間に存在する物体の色はどう見えるのが自然であるかを知っているという考えを基礎に置いている。このとき人が認識している照明空間を照明認識視空間と言ったのである。もしある物体が格別に照明されるとその色の見えはこの人が持っている照明認識視空間に含まれないとこの人は判断し、それを不自然と表現すると考えたのである。そういう基本的な考え方からいくと、Fig. 9 で示さ

れる局所照明認識閾の位置は照明認識空間を模擬すると考えた標準色票の外界の所に位置すると期待された。しかしすでに Pointer の物体色領域との比較からもわかったようにそとはならなかった。ある色はまだ標準色票の十分内側なのに局所照明認識閾になってしまい、また他のものはそれを大きく逸脱してやっと閾に達するという具合であった。標準色票領域の限界以外に何らかの要因が照明認識視空間の限界を決めているということであろう。

文 献

- 1) S. Ullman: "On visual detection of light sources," *Biol. Cybern.*, **21** (1976) 205-212.
- 2) R. M. Evans: *The Perception of Color* (Wiley, 1974).
- 3) 岡嶋克典, 阿山みよし, 内川恵二, 池田光男: "光源色モードと表面色モードにおける明るさ効率の比較", 光学, **17** (1988) 582-592.
- 4) M. R. Pointer: "The gamut of real surface colors," *Col. Res. Appl.*, **5** (1980) 145-155.
- 5) M. Ikeda and H. Shimozono: "Luminous efficiency functions determined by successive brightness matching," *J. Opt. Soc. Am.*, **68** (1978) 1767-1711.
- 6) M. Ikeda, J. Ikeda and M. Ayama: "Specification of individual variation in luminous efficiency for brightness," *Col. Res. Appl.*, **17** (1992) 31-44.