

論文

照度レベル変化に伴う表面色の同定特性

Identification of surface colors at various illuminances

石田 泰一郎	Taiichiro Ishida	Kyoto University
清水 友恵	Tomoe Shimizu	〃
池田 光男	Mitsuo Ikeda	〃

Abstract

Color has been shown to be the most efficient dimension for the coding in visual search. The validity of color coding, however, may not be assured at lower illuminances. We investigated the ability to identify colors at various illuminances ranging from the photopic to the scotopic level. Eight colors were chosen from Munsell color charts as sample colors. In a trial, one of the sample colors was specified as a target color using one of following color names: red, orange, yellow, yellowish-green, green, bluish-green, blue and purple. The subject's task was to pick up the plates of the target color from among twenty plates of sample colors at various illuminances. It was shown that subjects identified each of the target colors correctly at 100 and 10 (lx). Then they began to confuse blue, bluish-green and green at 1 (lx). On the other hand, red, orange and yellow were identified fairly well even at 0.1 (lx). The effectiveness of color coding was completely lost at the illuminances less than 0.03 (lx).

要 旨

色は視覚的な探索において最も有効な属性であることが示されている。しかし、この色コードの有効性は低い照度レベルでは保証されない。我々は明所視から暗所視に至るさまざまな照度レベルにおいて、表面色を同定する能力を測定した。サンプル色票としては、マンセル色票から8色を選択した。ある試行においては、これらのサンプル色の中から一つがターゲット色として、次に示す色名の一つによって指定される：赤、橙、黄、黄緑、緑、青緑、青、紫。被験者のタスクは、様々な照度の下で、10色（8色のサンプル色と2色の無彩色）からなる20枚の色票の中から、ターゲット色のプレートを取り出すことである。100ルクスと10ルクスにおいては、被験者は8色の各サンプル色を正しく同定することが示された。1ルクスにおいて、被験者は青、青緑、緑の色票を混同し始めた。一方、赤、橙、黄は0.1ルクスにおいてもかなり良好に同定された。色コードの有効性は0.03ルクス以下の照度においては完全に失われた。

1. はじめに

色は視覚的検索においてターゲットを他の対象と区別するために、最も有効な視覚的な次元であることが明らかにされている^{1,2)}。適切な色を検索コードとして使用した場合には、大きさ、形、明るさなどを検索コードとした場合よりも、ターゲットの検索が容易となり検索時間も短くなる。身近な例を考えてみても、交通信号、様々な案内表示や標識、複雑な計器の操作パネル、配線・配管、分類ラベル、建築物の領域区分など、様々な場面において色が利用されている。ところで、色の見えは様々な要因に影響を受ける。中でも照度レベルの影響は大きい。照度が高いときには鮮やかに見えた色でも、照度が低くなると色みを失い、明暗だけの見えに近づいていく。つまり、検索コードとしての色の有効性は明るい環境で保証されたものであり、照度が低くなった場合には色の効果は失われる。系統的に塗り分けられた配管や配線であっても、暗い環境に設置されたならば色コードは意味をなさない。案内標識の色も夜には分かり難くなる。

照度レベル変化に伴う色コードの有効性を検討するためには、ある色がどの照度レベルまでその色として認識され、どの照度レベルからどのような色と混同されるかという特性、すなわち、色の同定特性を明らかにする必要があると思われる。低照度レベルでの表面色の見えに関しては、これまでも様々な研究がなされている。例えば、低照度での表面色の見えがカラーネーミング法³⁾や両眼隔壁等色法⁴⁾によって測定されている。また、様々な照度レベルでの表面色の明るさの研究⁵⁾も行われている。これらの研究によって、低照度レベルでの色の見えはかなり定量的に扱うことが可能となっており、照度レベル変化に伴う色票の見えの変化を推定することも可能と思われる⁴⁾。

しかし、これらの実験結果を検索タスクにおける色の同定特性に直接あてはめて良いかどうかは検討を要する。ある照度レベルである色票間の色の見えの違いが分かったとしても、それが検索時に色票間の混同を防ぐのに十分な違いであるかどうか分からない。検索コードとしての色の有効性を検討するためには、様々な照度レベルの下で実際に検索時を想定した色同定タスクを行う必要があると思われる。そこで、本研究では、照度レベル変化に伴う表面色の同定特性を直接的な方法で調べ、低照度レベルでの表面色の検索コードとしての有効性を検討することを目的とした。

2. 方法

2.1 方法概要

本研究では、現実に色標識を様々な照度レベルにおいて同定する場合を念頭におき、色の同定特性を評価するために次のような実験を行った。ある照度の下で、被験者にあらかじめ探すべき色を色名で指定しておき、複数の色を含む多数の色票を呈示する。被験者はその中から色名で指定された色票を特定する。このとき、観察者は色名とそれによって想起される色だけを手がかりに、色票を取り上げることになる。このような作業を本論文では色の同定という言葉で表現する。照度レベルが高いときには、この作業は容易に行うことができ、被験者は指定された色の色票を過不足なく取ることができるだろう。照度を段階的に低くしていくと、いずれかの段階で被験者は指定された色を他の色票と混同したり、指定された色の色票を取り残したりすると思われる。本実験では、このような方法によって、照度レベル変化に伴う色の同定の特性を調べる。

2.2 刺激色

上記の方法により色の同定特性を評価する際、刺激として採用する色は結果に大きく影響する^{6,7)}。したがって、色の選択は実験の目的に沿って行う必要がある。例えば、マンセルの色相の効果を純粋に調べるためには、明度とクロマが揃った色票を選択することになる。本実験では色コードとして活用する場合の利点を考慮し、次のような観点から色を選択した。まず、(1) それらの色はマンセル色票から色相全体をカバーするように選択すること。(2) 色名で指定することが可能なこと。さらに、(3) それらの色は十分明るい環境では混同されることなく容易に同定されること。以上の3点である。

表1 ターゲット色の指定に用いた色名と、色票のマンセル記号

色名	マンセル記号
赤	5R 4/14
橙	5YR 7/14
黄	5Y 8/14
黄緑	5GY 7/10
緑	5G 4/10
青緑	7.5BG 4/8
青	10B 4/10
紫	7.5P 4/10

実際に選択した色票（サンプル色票）のマンセル記号を表1に示す。これらは著者らがマンセル色票（JIS標準色票光沢版，日本規格協会発行，日本色彩研究所製作）の中から適当であると思われる色票を判断し決定したものである。ここでの選択には，まず色相を考慮した。色名のみから一貫性を持って色を同定することが可能であるように，選択した色は4つの基本色（赤，黄，緑，青）の単独，あるいは組み合わせによって表現される8色相とした。実験では選択された各色票は表に示された色名によって指定される。また，各色相において，明度の値は4を基本としたが，橙，黄，黄緑については明度4では色名から想起される典型的な色とは異なるため，それより高い明度値の色票を採用している。これらの色相・明度について，最もクロマが高い色票，すなわち，最も鮮やかな色票を選択した。本実験で採用した色票は，選択した8つの色相をいわば代表する色であるように考えた。

2.3 実験装置・条件

実験は室内の水平面照度を正確に制御できるブース内で行われた。図1は実験装置の概略図である。このブース内は天井（高さ240cm）に取り付けられた11本の蛍光灯（National：40W高演色性昼白色型）によって照明されている。蛍光灯の点灯本数，遮光板の開閉，蛍光灯の点灯強度の調整を組み合わせることによって，0.01から1000以上（lx）に及ぶ照度レベルの設定が実現される。照度の設定は，実験台に置かれた

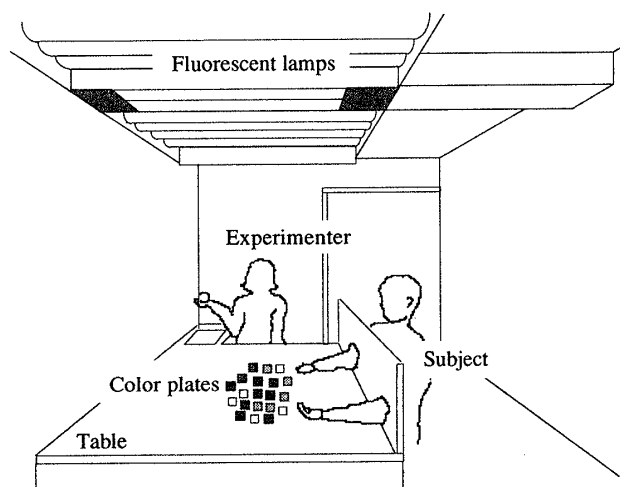


図1 実験概略図

色票は実験台の上に配置される。実験ブース内の照度は，天井に取り付けられた蛍光灯の点灯本数，開口の大きさ，点灯強度を調節することによって設定される。

デジタル照度計（ミノルタ製）の値を実験者が確認することによって行う。この装置における調光では光源の相対分光分布はほとんど変化しないように製作されている。

今回の実験での照度は100，10，1，0.1，0.03，0.01（lx）の6段階を設定した。100と10ルクスは明所視，1～0.03ルクスは薄明視，0.01ルクスは暗所視の照度領域におおよそ対応する。刺激となる色票はブース内の実験台の水平面上に配置される。それぞれの色票は一辺が5cmの正方形の厚紙に貼られており，視角にして4°角の正方形となる。被験者は実験台の横に置かれた椅子に座りこれらの色票を観察する。視距離は約70cmである。被験者の頭部の動きは自由な状態であるが，椅子に姿勢良く座っていることが要請される。また，必要以上に前屈みになることを避けるために，被験者と実験台の間には衝立が設けられている。

一度に配置される色票は20枚であり，実験者が実験台の中央付近に偏りがないように適当な間隔をあけて並べる。このとき色票が配置される領域は直径40cm程度の大きさの円形状になる（図1参照）。呈示される色は，8色のサンプル色及びN4とN6のグレー色票の計10色である。無彩色グレーを加えたのは，低照度において色の効果が失われたとき，明るさの差のみによる色票の区別を困難にするためである。また，8色のサンプル色のうちの1色を指定しターゲット色とする。ターゲット色は1，4，7枚のいずれかの枚数含まれている。ターゲット色が1枚の場合，他のサンプル色は2枚ずつ，N4を3枚，N6を2枚配置する。ターゲット色が4枚含まれる場合は，他のサンプル色を2枚ずつ，N4とN6を1枚ずつ配置する。ターゲット色が7枚の場合は，他のサンプル色を1枚ずつ，N4とN6を3枚ずつ配置する。

2.4 実験手順・構成

実験試行は次のような手順に従って行った。まず，実験者が，あらかじめ準備しておいた色票の組み合わせ条件に従って20枚の色票を配置する。この間の様子は被験者からは見るできないようにする。色票の配置が完了すると，実験者は被験者にターゲット色を色名で告げ，試行開始の合図をする。被験者は実験台の上に配置されている色票の中から，指定されたターゲット色であると思われる色票を手で取り上げ，手元の箱の中に入れていく。ターゲット色の枚数は，被験者はもちろん知らされていない。ターゲット色を取

り上げる制限時間は15秒である。15秒経過すると1試行は終了する。実験者は被験者が取り上げた色票、及び、取り残したターゲット色の枚数を記録する。被験者がターゲット色を取り上げる際、ターゲット色と違っていったん手に触れた色票は箱に入れなくてはならない。すなわち、手に取ってから確認することは許されない。また、被験者には取り上げた色票が正しかったかどうか、結果については一切教えない。同一照度条件において、それぞれのサンプル色をターゲット色とする8条件とターゲット色の枚数の3条件を掛け合わせた計24試行が、無作為な順序で行われた。

実験は、高い照度条件（100ルクス）からスタートして順次低い照度条件に移るセッションと、反対に低い照度条件（0.03ルクス）からスタートして高い照度条件に移行するセッションから構成されている。高い照度レベルから低い照度レベルに移行する場合は、新たな照度レベルに順応するために約5分間の間隔をおいた。また、0.03ルクスから実験を開始する場合は、はじめに0.03ルクスの照度で約30分間の順応を行った。低い照度レベルから高い照度レベルに移行する場合は、特に順応時間は設けなかったが、刺激の準備などで1、2分程度の待ち時間が存在する。実験全体では一人の被験者あたり、照度レベル高から低に至るセッションを3回、照度レベル低から高に至るセッションを2回、合計5セッションを行った。

2.5 被験者

被験者は筆者らの研究室の大学院生4名である。内訳は男性3名、女性1名であり、年齢は23歳から25歳である。4名とも色についての心理物理実験の経験を有する。また、全員、過去の色覚検診において色覚正常であることが確認されている。

3 実験結果

3.1 正答率

まず、正しくターゲット色を同定した正答試行の割合を見てみる。ここで正答試行とは、指示されたターゲット色のみを過不足なく取り上げた場合を意味する。それ以外の場合、すなわち、ターゲット色とは異なった色票を取った場合と、ターゲット色票を取り残した場合は、ターゲット色の同定の誤りとする。これらの誤りが一つでも生じた実験試行は誤答試行として処理した。このような基準に基づいて求めた各ターゲット色毎の正答率（正答試行数を全試行数で割った値）を

図2にプロットした。横軸は照度レベル、縦軸が正答率である。各条件ごとの試行回数は、1人の被験者あたり15回であり、その結果から正答率を計算した。図に示した各データ点は4人の被験者の正答率の平均値である。また誤差棒は被験者間の正答率の標準偏差の値を示す。

まず、100ルクスにおいてはすべてのターゲット色の同定の正答率は1.0であり、全被験者、全試行を通して一度も誤りが発生しなかったことになる。つまり、今回選択した8色のサンプル色は十分明るい環境下においては、それぞれ正しく同定され、容易に識別されることを表している。そして、照度があるレベルより

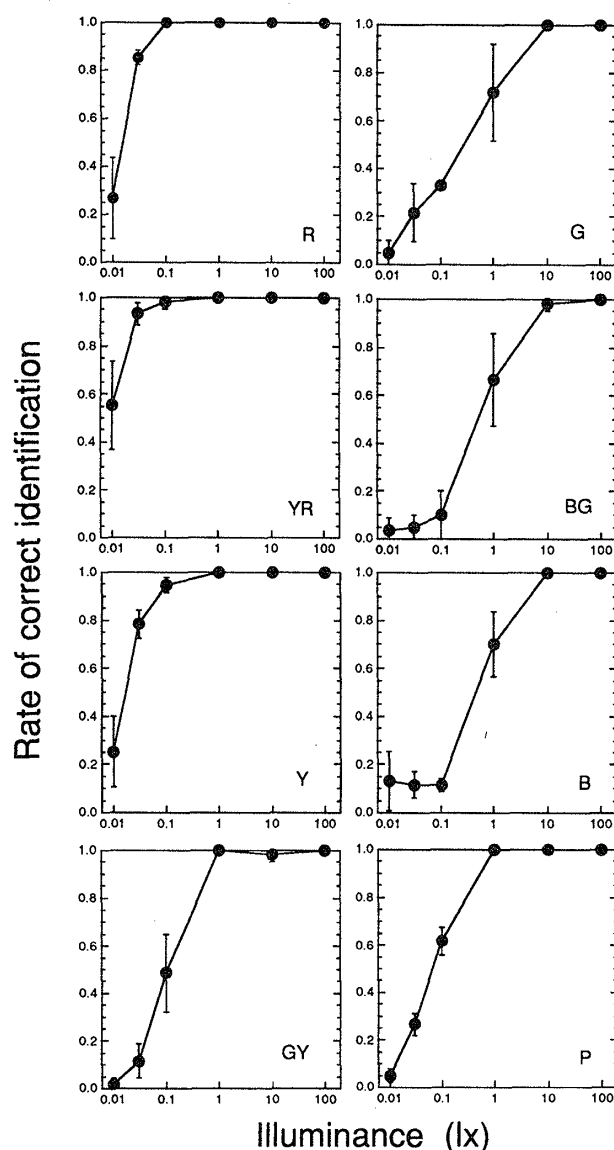


図2 実験結果：色同定の正答率
ターゲット色毎に、色同定の正答率（正しくターゲット色を同定した試行の割合）を照度レベルに対してプロットした結果。各データ点は4人の被験者の平均値、誤差棒は被験者間の標準偏差。

低くなると、正答率は著しく低下する。ただし、正答率の低下の特性は色によって異なっているようである。緑から青の系統の色は1ルクスから正答率の低下が始まり、0.1ルクスにおいては正しく同定することがほとんど不可能である。一方、赤から黄色の系統の色は、0.1ルクスであってもほとんど誤答試行が発生せず、0.03ルクスに至ってようやく正答率の大きな低下が見られる。赤黄系統と青緑系統の色の中に存在する黄緑と紫は、それら2つの系統の中間的な結果となっており、1ルクスまでは正答率の低下は見られず、0.1ルクスから正答率の大きな低下が始まっている。

正答率の標準偏差の値に着目すると、被験者間の正答率のばらつきが大きくなるのは、赤から黄色系統の色では0.01ルクスにおいて、青から緑系統の色は1ルクスにおいてであることがわかる。それ以外の照度条件では各被験者の結果はきわめてよく一致している。この結果は、被験者間のばらつきが大きくなる照度は、それぞれのターゲット色に対する同定能力が低下する過程においてであり、それより高照度においてはすべての被験者が確実にターゲット色を同定できていたこと、そしてそれより低照度においてはすべての被験者がターゲット色に対する同定能力を失っていたことを示唆している。

3.2 誤答内訳

次に、ターゲット色の同定の誤りが、具体的にどのような色票間で生じていたのか集計してみた。図3にその結果を示す。結果はいずれも4人の被験者の結果をまとめたものである。それぞれの同心円状のグラフは、各ターゲット色に対して、混同して取り上げられた色票の結果を表している。各グラフにおいて、ターゲット色の色記号が四角で囲まれている。このプロットでは、円の中心から放射線上に各サンプル色票の色相をとり、同心円上に各照度レベルの結果が示してある。放射線の角度はサンプル色のマンセル色相に対応し、同心円の直径は照度レベルの対数値に対応する。グラフ中の黒丸のシンボルは、そのサンプル色がターゲット色と混同して取り上げられた試行の発生を示している。また、各シンボルの大きさでその混同が生じた割合(%)を示している。すなわち、4人の被験者の各条件での計60回の試行のうち、そのサンプル色をターゲット色と混同して取り上げた試行の割合である。集計の際は混同が生じたかどうかを問題としており、混同して取り上げた色票の枚数は考慮しない。また、

白丸のシンボルはターゲット色の取り残しが生じた試行の発生を表しており、黒丸と同様にシンボルの大きさで、誤試行の発生割合を示している。さらに、点で塗られた領域は、グレーの色票とターゲット色の混同が生じた照度レベルを表している。

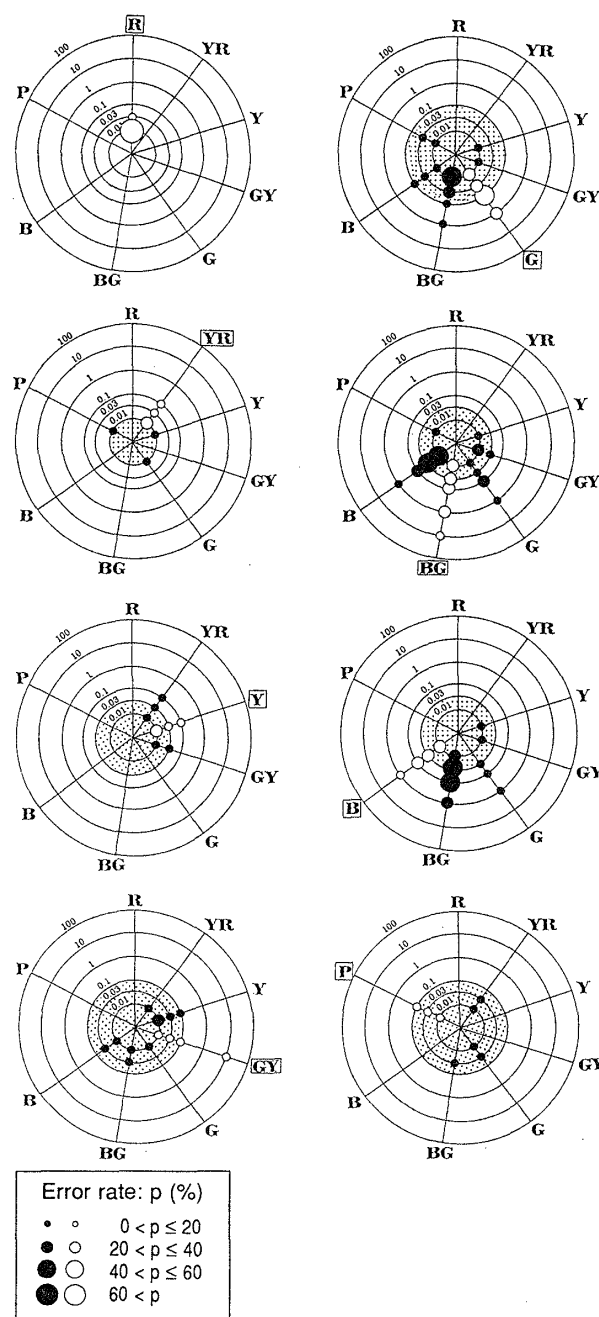


図3 実験結果：色同定エラーの内訳

ターゲット色（四角で囲まれている）の同定エラーの発生頻度を表す。同周上に各サンプル色の色相をとり、同心円が照度レベルを示す。黒丸はターゲット色と混同したサンプル色を表し、白丸はターゲット色の取り残しの発生を表す。それぞれ、シンボルの大きさで、エラーの生じた試行の頻度を表している。

全体的な傾向では、ターゲット色の同定ミスは、まずターゲット色の取り残しと、ターゲット色と近接した色相の色票との混同というかたちで発生していることがわかる。照度が低くなりグレーとの混同も生じるようになると、近接した色票のみではなく、色相が大きく異なる色票間での混同も頻発している。この状態では、色票の色情報は効力を失い、明るさ（等価明度⁵⁾）の違いが色票弁別の手がかりになっていたと思われる。

個々のターゲット色に注目すると、それぞれ色票の混同パターンには特徴が見られる。図2の結果にも示されたように、ターゲットが赤から黄色系統の場合は、0.1ルクスの照度まではターゲットの同定ミスが発生していない。ターゲット色が赤（R）の場合、他のサンプル色票との混同は全く生じておらず、低照度においてターゲット色の取り残しが生じているのみである。ただし、0.01, 0.03の低照度においては、ターゲット色票の取り残しに加えて、色票が置かれていない位置に被験者が手を触れるケースが見られた。（この場合もターゲット色取り上げミスとして集計している。）つまり、低照度における赤のターゲット色の見えは、背景のグレーの紙とほぼ同一な見えになっていたと考えられ、この照度レベルにおいては赤の色情報は失われていたと解釈すべきである。ターゲット色が橙（YR）の場合は、0.1, 0.03ルクスにおける黄（Y）の色票との混同は見られないが、ターゲット色が黄の場合は、同じ照度で橙を混同して取り上げている。これは、色の混同が単に色の見えのみによって決定されるのではなく、被験者の注目点にも影響されることを示唆していると思われる。

ターゲットが緑から青系統の場合は1ルクスから同定ミスがかなりの頻度で発生している。ターゲット色が緑（G）の場合、混同する色は青緑から青の方向に集中しており、黄緑の方向では少ない。また、ターゲット色が青緑（GY）の場合、混同する色票は青に重心があるが、緑の色票についてもかなりの混同が見られる。さらに、ターゲット色が青（B）の場合、混同する色票は大部分が青緑であり、紫の色票との混同は見られない。このような特性から緑から青系統の色は、1ルクス程度から類似した見えとなり一つのグループに吸収されたことが示唆される。

ターゲット色が黄緑（GY）と紫（P）の結果は類似した特徴を示している。すなわち、ターゲット色の同定ミスが頻発するのは0.1ルクス以下からであり、

そのときグレーとの混同と広範囲な色相との混同が発生していることである。

4. 補足実験：カラーネーミング

これまでの実験データから、照度の低下に伴う色の同定能力の変化及び色の混同の様子が明らかになった。ターゲット色をある色票と混同する場合、それらの色の見えは類似したものとなっていたと思われる。また、ターゲット色票の取り残しが生じた場合、ターゲット色を特定づける色の見えが失われていたと思われる。そこで、今回採用したサンプル色票が、各照度においてどのような色の見えを呈していたのか調べることにし、色同定の結果を検討することにした。なお、カラーネーミングの実験は色の同定実験（主実験）が完了した後に行われたものである。

4.1 実験方法

色の見えはカラーネーミング法によって調べた。今回のカラーネーミングは次の方法に従った。まず、有彩色成分と無彩色成分を10点の中で割り振る。回答には小数点以下を含んでよい。次に、有彩色成分について、赤、黄、緑、青の成分を10点の中で割り振る。このとき、反対色（赤と緑、黄と青）の組み合わせは許されない。さらに、無彩色成分について、白と黒の成分をやはり10点の中で割り振る。これらの結果から、ある色票の見える成分構成比を算出する。

測定対象とした色票は主実験で用いた全種類のサンプル色票（2つのグレーも含む）であり、照度も主実験と同じく、100, 10, 1, 0.1, 0.03, 0.01の6段階である。被験者も主実験に参加した4人の被験者である。

測定は照度を段階的に低下させるセッションと、上昇させるセッションの2セッションからなる。照度の移行に伴う順応の条件などは主実験と同様である。それぞれのセッションでは、各照度レベルである色票について2回のカラーネーミングを行う。色票の呈示順は無作為である。したがって、各被験者について、各照度レベルにおいて、それぞれの色票の4回のカラーネーミングのデータが得られる。

4.2 実験結果

図4に8色のサンプル色票のカラーネーミングの結果を示す。結果は4人の被験者の各条件16回のデータを集計して平均したものである。したがって、カラーネーミングの結果に反対色成分が含まれるものがある。

それぞれのグラフの左上に測定対象の色票の色名が示してある。横軸に照度レベル、縦軸は色み成分の構成比を表す。照度レベルと表面色の色の見えに関してはすでに詳細な研究もなされているので^{3,4)}、ここでは結果の細かな分析は行わない。色の同定実験の結果を裏付ける特徴について見ていくことにする。

色の同定が困難になる原因として、知覚される色み成分(彩度)の低下が考えられる。そこでまず、全体の色評価の中で有彩色成分が占める割合の変化を見つめる。図4のグラフには、照度の低下につれて、どの色票も有彩色成分が低下し、色みが失われていったことが示されている。それに伴って、各色票とも無彩色成分が増加し、特に黒み成分の増加が著しい。しかし、照度低下に伴う有彩色成分の減少の様子に、赤黄色系統の色票と青緑系統の色票間で顕著な差は見られない。つまり、青緑系の色票の方が早い段階で色みが失われ

たということはない。したがって、本実験での青緑系統の色と赤黄色系統の色の同定特性の差の原因を、照度低下に伴う有彩色成分の低下の違い、あるいは黒み成分の増大の違いに求めることはできないようである。

次に有彩色成分の構成内容、すなわち知覚される色相の変化に着目してみる。1ルクスにおけるR, YR, Yの色票の有彩色成分は、100ルクスでのそれぞれの有彩色成分と比べて、ほぼ同様な色の構成比が保たれている。すなわち、100ルクスでも1ルクスであっても、Rの色票の色み成分はほとんどが赤み、YRでは赤みと黄みが拮抗、Yはほとんど黄みとなっている。言い換えると、これらの色票の見えは、1ルクスにおいても色名に対応した色相を保っており、混同されることなく同定が可能であったことが示唆される。一方、G, BGについては、すでに1ルクスにおいて色みの成分構成に変化がみられる。1ルクスでのGの色票の有彩色成分は、100ルクスにおいてはほとんど存在しなかった青みの成分が増加しており、反対に100ルクスにおいて存在した黄みの成分はなくなっている。BGは100ルクスにおいては緑みと青みの成分はほぼ拮抗していたが、1ルクスでは青みが優勢となっている。このようにG, BGの色票は照度の低下につれて、知覚される色相が青みが増す方向に変化している。このことが色名による同定を困難にしたと考えられる。また、GとBG, BGとBの知覚される色相が類似していることにより、これらの色票間で混同が多く発生していることが裏付けられる。このように低照度において、青緑系の色票の見えが、青み成分の増加によって類似してくる結果は過去の研究^{3,4)}とも合致する。

0.1ルクスにおいてはさらにこの傾向が顕著である。すなわち、R, YR, Yを特徴づける有彩色成分の構成は0.1ルクスにおいても維持されており、色名による同定が依然可能であったことをうかがわせる。しかし、G, BG, Bの色み成分は緑と青が混在したものであり、わずかにその比率のみが異なっている。これらの色票では、ターゲット色の取り残しや混同が頻発したことを裏付けるものである。青緑系の色票の混同は知覚される色相の変化が主要因であると考えられる。

GYとPの色票のカラーネーミングの結果は、1ルクスまでは100ルクスでの色み成分の構成比をほぼ維持しており、それぞれ同定ミスが発生していない結果を支持している。ところが、いずれの色票ともに、0.1ルクスに至ると有彩色成分が極端に減少し、色みはほとんどなくなっている。このような急激な変化は

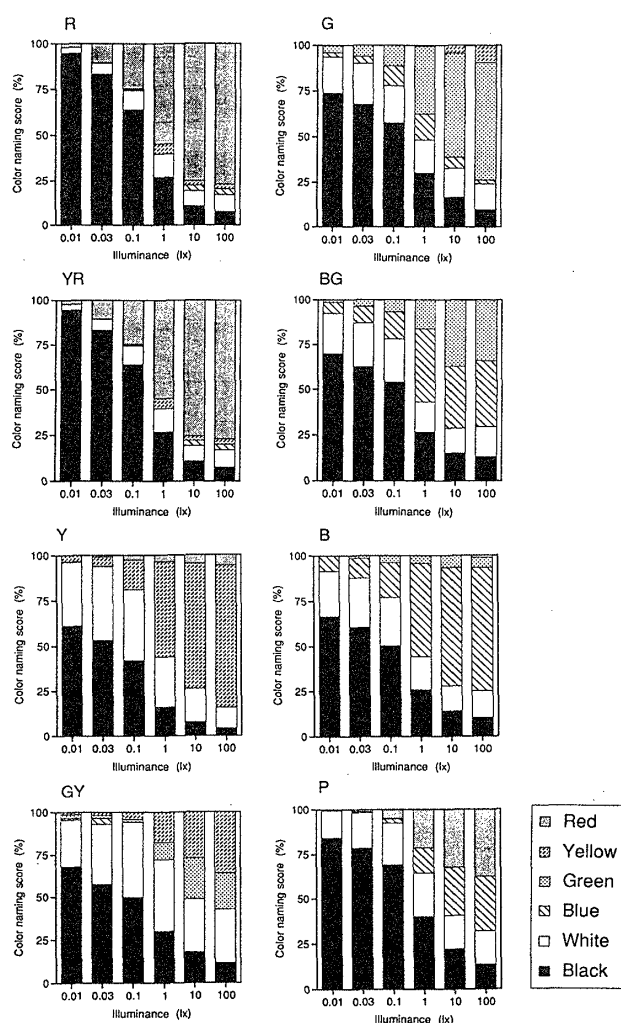


図4 実験結果：カラーネーミング
各サンプル色票に対する、各照度レベルにおけるカラーネーミングの結果。結果は4人の被験者の平均値。

他の色票では見られないものであり興味深い。GYとPの色票は、このような見えの変化によって、0.1ルクスにおいてグレーを含めた広範囲な色票との混同が生じたと推測される。

5 考察及び結論

赤、橙、黄、黄緑、緑、青緑、青、紫の色名でそれぞれ想起される典型的な色を表面色の色コードとして採用した今回の実験の結果は、次のようにまとめることができる。照度レベルが今回の設定で10ルクスまで、すなわち明所視レベルにおいては、8つの色は色名のみから正しく同定され、色コードは互いに独立であり有効である。照度レベルが薄明視レベルの1ルクスになると、緑から青系統の色は類似した見えとなり、青緑系の色みを持つ一つのカテゴリーに吸収される。その結果、相互に同定の誤りが生じ始める。したがって、1ルクスで有効な色コードは赤、橙、黄、黄緑、青緑系、紫の6色となる。薄明視の下限近くの0.1ルクスになると、橙と黄で混同が始まり、黄緑と紫は色みが急激に減少し色コードとしての効力を失う。青緑系の色票もグレーとの混同が生じるようになり色コードの効力を失う。ただし、赤から黄色系統の色は、わずかなではあるが色名に応じた色みが依然として維持されており、他の色との区別もかなりの程度可能である。照度レベルが0.03以下になり暗所視レベルに入ってくると、赤、赤黄系の色もグレーとの混同が発生し、すべての色が色コードとしての効力を失なう。

色の同定能力が低下し始める照度が被験者によってばらつく結果が得られたが、この理由のひとつとして、色覚閾の絶対値の違いが考えられる。また、今回のタスクは刺激の単なる検出ではなく、指定された色を同定するという対象の認識に関わるタスクであるため、色票の見えの中からどのような情報を手がかりとして活用できたかによって、同定能力に差が出た可能性も考えられる。この推測に関連して、実験セッションが進むにつれて、わずかに色同定の正答率が高くなる傾向が見られた。例えば、0.1ルクスでの正答率は、全被験者・全ターゲット色を平均した値で、第1セッションが0.52であるのに対して、第5セッションでは0.68となっている。これは実験タスクや手順に対する慣れなどの効果と共に、回を重ねることによって、色票の見えの中から色を同定するための新たな手がかりを獲得していった効果も考えられる。

今回の結果から、選択された8色の色コードを活用

するには次のような注意が必要であろう。まず、色コードを8つのカテゴリーで利用するならば、その色コードが有効なのは明所視レベルに限定される。薄明視レベルの比較的高い照度まで色コードに有効性を持たせるためには、最大6色（赤、橙、黄、黄緑、青緑系、紫）のコードまでである。この場合、例えば、4色の色コードとして基本色である赤、黄、緑、青を選択するのは望ましくない。なぜならば、緑と青は混同する危険性が高いからである。従って、例えば青の代わりに紫を採用した方がよい。また、薄明視の下限から暗所視レベルに及ぶような照度レベルにおいて有効な色コードはあり得ない。ただし、赤黄系統の色は比較的最終段階まで色を確認できるようである。

色が検索コードとして有効な理由は、色が量的な差のみではなく、質的な区分を与える感覚であるためと思われる。色は連続的に変化する感覚であるが、そこには混同し得ない質的な区分が生じる。それによって、複数の対象物を色によっていくつかのクラスに分類することが可能となり、ある特定のクラスへ注目することも容易となる。今回の結果でいえば、まず、1ルクス程度からの緑から青系の色票の有色成分は、いずれも緑みと青みの混成となり、色票を区別する手がかりはそれらの比率の違いのみであった。一方、赤から黄にかけては、1ルクスでは依然として、赤、赤と黄、黄という異なった構成要素が維持されていた。このことが、色の同定の結果の違いを生んだと思われる。

本研究での問題点及び今後の検討課題について触れておく。まず、本研究の結果は基本的に今回選択されたサンプル色について成り立つということである。テスト色の同定ミスは、色票の色相のみならず、明度、彩度の3要因の複雑な関係で発生すると思われる。したがって、異なった色サンプルを採用した場合、色票の混同の様子は当然異なってくるだろう。今回の実験では、主にサンプル色の色相について検討を加えたが、明度や彩度の変化についての系統的な検討も必要であろう。ただし、今回採用した色は、全色相をカバーするように選択されたものであり、個々のサンプル色は、4基本色（赤、黄、緑、青）の組み合わせによる色名によって指し示される典型的な色である。これらの色サンプルの結果は、色コードの活用の際には利用価値が高いと思われる。

また、上記の問題点とも関連するが、検索コードとして今回の色の選択が最適とは限らない^{6,7)}。検索コードの数を増やすことが目的であれば、彩度、明度方

向の変化も加えて、例えば、ピンクや茶といった色を加えることも一つの選択である。過去の研究では11のカテゴリカルな基本色が検索コードとして適していることが指摘されている⁷⁾。ただし、そのような色の選択が照度条件の変化に対して、どのような特性を示すかについては未解明である。

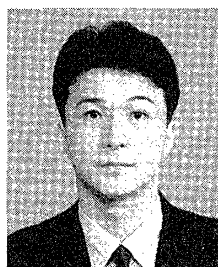
本研究での実験方法についても今後検討すべき点がある。まず、色の同定特性を評価することを目的としたが、実際の実験タスクは、与えられたサンプルの中から指定された色を弁別することによっても可能な実験課題であった。色コードとしては単独で呈示された時でも、そのサインが示す色を認識できることが必要であろう。また、今回は色の同定に比較的十分な観察時間が与えられており、短時間でターゲットの発見を要求するタスクではなかった。じっくり観察した場合には同定できる色であっても、短時間で広い視野内からターゲットを発見するという負荷の大きなタスクに対して、その色が有効であるかどうかは別に検討を要する。さらに、今回は各照度レベルに十分順応した状態で測定が行われた。照度変化による色コードの効果を検討すべき場面には、緊急時の停電や暗い場所への移動など、急激な照度変化を伴う場合も多く含まれると思われる。応用的な面を考えると、照度変化に時間的な要因も含めた検討も必要だろう。

文献

- 1) C. W. Eriksen: Location of objects in a visual display as a function of the number of dimensions on which the objects differ, J. Exp. Psychol. 44, 56-60, 1952
- 2) R. E. Christ: Review and analysis of color coding research for visual displays, Hum. Factors, 7, 542-570, 1975
- 3) 湯尻 照: 照度レベルによる表面色の色の見えの変化: 刺激サイズの影響, 光学, 19, 97-104, 1990
- 4) 門馬智春, 本間園乃枝, 矢口博久, 塩入 諭, 羽石秀明, 三宅洋一: 両眼隔壁等色法による薄明視における表面色の見えの測定, 光学, 22, 273-280, 1993
- 5) M. Ikeda, C. C. Huang and S. Ashizawa: Equivalent lightness of colored objects at illuminances from scotopic to the photopic level, Col. Res. App., 14, 198-206, 1989
- 6) M. C. Cahill and R. C. Carter, Jr.: Color code size for searching displays of different density, Hum. Factors, 18, 273-280, 1976
- 7) H. S. Smallman and R. M. Boynton: Segregation of basic colors in an information display, J. Opt. Soc. Am. A, 7, 1985-1994, 1990

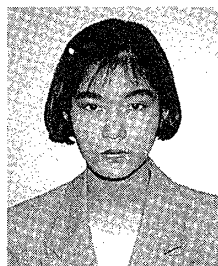
(受付日: 1994年7月11日)

著者紹介



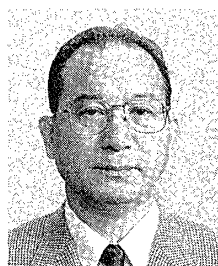
いしだ たいちろう
石田泰一郎

昭和37年9月11日生
東京工業大学大学院物理情報工学専攻博士課程修了, 平成3年
京都大学工学部建築学教室勤務
日本色彩学会, 日本建築学会, 日本光学会, 日本視覚学会等
工学博士



しみずともえ
清水友恵

昭和47年1月5日生
京都大学工学部建築学科卒業, 平成6年
㈱東畑建築事務所勤務



いけだ みつお
池田光男

米国ロチェスター大学大学院博士課程修了, 昭和37年
京都大学工学部建築学教室勤務
日本色彩学会, 国際色彩学会副会長, 日本建築学会, 日本照明学会, 応用物理学会, 日本光学会, 日本視覚学会等
Ph.D.