

交通信号灯の色度範囲とカラーネーミング法による色評価

中嶋芳雄*

交通信号灯の色は、色覚異常者への配慮などから、色度図上の国際的基準がCIEによって勧告されているが、この勧告はわが国の基準においては重視されていない。本研究では、カラーネーミング法を用いて、現在使用されている信号灯の色の見え方を定量的に測定・解析を行うとともに、明所・薄明所における見え方の差異、プルキンエ・シフトについても検討を加え、より視認性・誘目性の高い信号灯への改善に資するデータの提供を試みた。

Color Limits in the Chromaticity Diagram for the Traffic Light Signals and its Apparent Hue Measured by Color-Naming Method

Yoshio NAKASHIMA*

Bearing in mind that there are many people who are colorblind, the colors of traffic signals are regulated by the CIE so that they reach international standards on the chromaticity diagram. However, these regulations are not regarded as important for Japanese standards. In our research, using the color naming method, we added another item of research, that is, a study into the differences of vision in bright places and dim places. We also carried out tests on Dr. Purkinje's shift theory, while measuring and analyzing quantitatively the visibility and colors of traffic signals being used now. By doing this, we have attempted to produce data that will help improve traffic signals so that they are more visible, more easily recognizable and will attract people's attention more readily.

1. まえがき

交通機関は、人または物を多量に、かつ迅速に目的地へ運ぶという重要な使命を担っており、経済、文明が高度に発達した今日では、不可欠なものとなっている。この交通機関の制御および安全確保のための手段の一つとして、交通信号灯がある。近年、交通量の大幅な増加に伴い、交通信号灯の占める役割もその重要性を増しつつある。

一方、我が国で使用されている交通信号灯に関しては、最近、様々な問題が生じ始めている。その中で、信号灯を取り囲む環境に主に原因があるものとしては、たとえば街路樹、広告板、建築物、等による信号灯の視認性の阻害、あるいは朝夕における、太陽光の反射による信号灯の識別能の低下、さらに

夜間におけるネオン灯、街路灯による誘目性の阻害、等がある。Fig. 1は、昭和61年4月5日付けの読売新聞に掲載された信号灯に関する記事である。信号灯の取付け位置が低いために、その前にある「自転車通行可」の円形標識の陰となり、視認できないと訴えている一例である。他方、信号灯自体にも多くの問題が含まれている。たとえば、各信号灯間の輝度値の大幅な変動、発光面の有効径の不統一、取付け角度および位置の不適切、排気ガスまたは煤煙による発光面の汚れ、等がある。その中でも特に問題となっているものに、信号灯の色相の問題がある。現用の交通信号灯の中でも特に青色信号灯は、その色相が青というよりはむしろ緑に近いものが数多い。したがって、その名称も青信号というよりは緑信号と呼んだ方が正当であるかもしれない。Fig. 2は昭和56年1月22日付けの朝日新聞に掲載された投書記事である。現在、使用されている「青」信号の色相が、青色か緑色かはっきりしないと指摘しているものである。

*聖マリアンナ医科大学物理学教室助手
Assistant, Department of Physics, School of Medicine,
ST. Marianna University.
原稿受理 昭和61年10月25日



Fig. 1 交通信号の取付け位置に関する記事
Article of the fixing of the traffic light signals

古来我が国では、「青葉」、「青松」あるいは「青草」、「青菜」といったように、緑を青と呼ぶ習慣があることはよく知られていることである。しかし、道路交通の安全上、最も重要な役割をもつ信号灯の色相の問題を呼称の習慣または風習でかたづけしてしまうことは、非常に不合理で非科学的なことである。

ところで、車両用交通信号灯に対して使用可能な色度範囲は、信号灯の色を国際的に統一するために、CIE 国際照明委員会により定められている。それを Fig. 3 に示す。図中、実線は1975年に、CIE 国際照明委員会が赤、黄、白、緑、青、および紫の、各交通信号灯の色の使用範囲として勧告した境界線である¹⁾。なお、ドット部分は1980年に新規に勧告された範囲である²⁾。色覚異常者の識別特性も考慮に入れ、視認性がさらに向上するように、各色光の白色方向の境界をスペクトル軌跡方向へ移行させたり、隣接する色光の間隔を広げることにより、改善された推奨領域である。たとえば、第一、第二色覚異常者に対しては、緑色の長波長側を制限することにより、赤との識別特性を向上させている。一方、新規の勧告では青と紫領域が、発光効率や色覚異常者に対す



Fig. 2 交通信号の色に関する投書記事
Article of apparent hue of the traffic light signals

る識別特性を向上させるために推奨範囲からは除外され、短距離用の補助的信号灯としてのみ使用を許可されている。したがって、三色方式では、赤、緑それに黄または白のどちらかを採用し、四色方式では黄と白を併用するとなっている。この四色方式もさらに細分化されており(1)黄と白の色光を同時に隣接して表示する場合(区別色) (2)黄と白の色光を交互に点滅して継時的に表示する場合(符号色) (3)黄

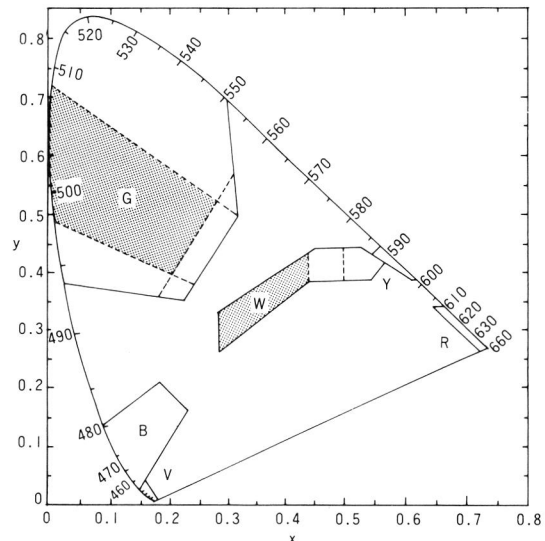


Fig. 3 CIE 勧告による交通信号の色度範囲
Recommended color boundaries for the traffic light signals by the CIE

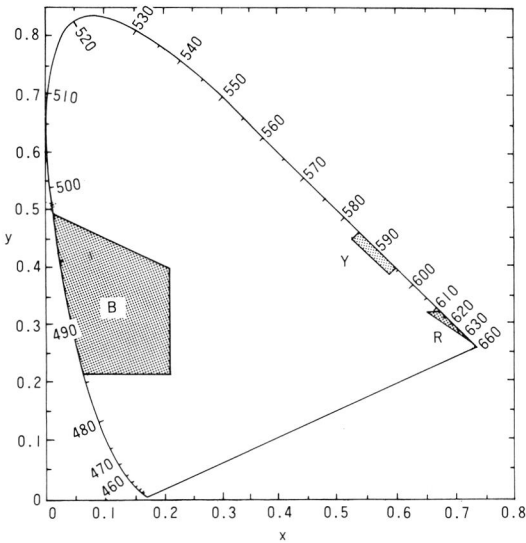


Fig. 4 日本交通管制施設協会勧告による交通信号灯の色度範囲
Same as Fig. 3, but by the traffic control institution in Japan

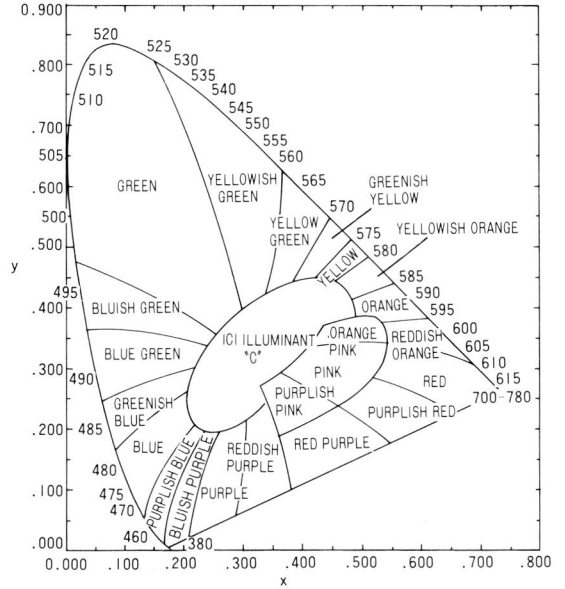


Fig. 6 色度図上における色の領域
Color designation on the chromaticity diagram (by K.L.Kelly)

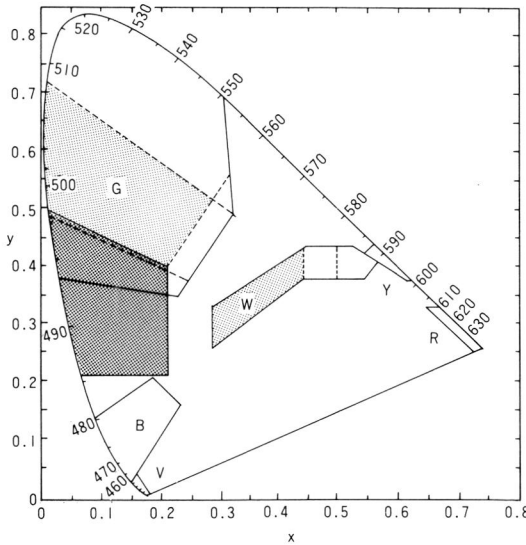


Fig. 5 CIE と日本交通管制施設協会の勧告範囲
Comparison between two recommendations

と白の色光を独立に表示するが、一方、あるいは両方を補助信号としてだけ用い、十分の大きさで見える距離まで色の識別が必要でない場合(識別)の3通りがある³⁾。さらに五色方式では、青または紫の色光を加えて5色とすると定められている。

他方、我が国では交通管制施設協会が、1973年に交通信号灯の色の使用範囲を CIE とは別に勧告している。それを Fig. 4 に示す。Fig. 3 の CIE の勧告範

囲と比較した場合、特に青領域に大きな違いが存在していることが分かる。そこで CIE の勧告範囲に、我が国の青領域の勧告範囲(斜線領域)を重ねたものが Fig. 5 である。CIE と日本で勧告されている青色信号灯の色度範囲の間に、大きな相違が存在することが示されている。いいかえれば、日本の交通信号灯は CIE 国際照明委員会の勧告から大幅に逸脱した、国際性の非常に乏しい信号灯であるといえる。

ところで、我が国で実用となっている青色信号灯が主に分布している、青から緑にかけての領域は、視覚系の波長識別特性の点からいっても色相が大きく変化する領域である⁴⁻⁶⁾。Fig. 6 は Kelly による色の領域図である⁷⁾。480nm から500nm の範囲では、数 nm の波長差でも、色相が大幅に変化することが示されている。したがって、色度図上の勧告領域から少しでも逸脱して分布している信号灯は、その見え方が大きく異なっていることになる。そこで本研究では、まず実際の青色信号灯の見え方をカラーネーミング法⁸⁻¹²⁾を用いて定量的に測定および解析し、我が国の、特に青色信号灯の色の色度図上における分布を求めた。

また、近年交通量の増加に伴い、自動車事故は急激な増加の一步をたどっている。特に夕方薄暮時における交通事故の多発現象は驚くほどであり、これ

は眼の順応状態の違いによる交通信号灯の見え方の変化とも微妙に関係しているとも考えられる。そこで明所視および薄明視環境下（以後、明所視および薄明視下とする）における交通信号灯の見え方の差異を検討し、安全運転上重要な問題と思われるプルキンエ・シフト*についても解析を加えた^{13,14)}。同時に、より視認性および誘目性の高い交通信号灯へ改善するための基礎的データの提供も試みた。

2. 実験方法

実験は予備実験と本実験とに大別される。まず予備実験について説明する。

2-1 予備実験

予備実験は各信号灯の輝度の分布を測定する実験と、カラーネーミング法における観測者間の応答分布を検討する実験より構成されている。前者では、輝度計(TOPCON LUMINANCE METER BM-3, TOKYO KOGAKU)を用いて、無作為に選出した10基の交通信号灯の赤、黄および青色信号灯の輝度値(cd/m^2)を測定した。ただし測定は、背景光の入射による誤差を除外するために夜間のみとした。また、背景に街路灯およびネオン灯等があるものは除いた。

一方後者では、無作為に選出した100基の交通信号灯に対して観測を行った。色覚正常者3名が観測者として実験に参加した。いずれも男性である。3名(YN, NA, TM)の観測者は同一時刻に、同一の観測場所から、同一の青色信号灯に注目し、その色相を10段階評価のカラーネーミング法を用いて表現した。カラーネーミング法は、全ての色相を、R, Y, G, Bの中から選択した2色の適当な比率により表現しようとするものである。ここでは、10段階評価を採用したので、10点を2色に割り振ることになる。たとえば、60%の緑色と40%の黄色を含んでいると知覚される黄緑色に対しては、6G4Bと応答し、50%の緑色と50%の青色を含んでいる青緑色では5G5Bとなる。ただし、ユニーク色**に対しては1色のみで表現可能であるために、たとえばユニーク青では10B、ユニーク緑では10G、さらにユニーク黄では10Yとなる。また、色相評価と同時に、青色信号灯に含まれている白色成分についても、純白を10とする10段階評価を行い、色相評価の後に白色成分評価を付加して応答した。たとえば20%の白色成分が含まれている緑青色の信号灯に対しては7B3G2W、30%の白色成分が含まれている青緑色の信号灯に対しては8G2B3W、さらに60%含まれている白っぽい緑色の

信号灯に対しては10G6Wとなる。このような観測を100基の信号灯に対して同様にを行った。

2-2 本実験

次に本実験について説明する。実験に参加した観測者は色覚正常者5名(YN, NN, NA, TM, SN)であり、内2名(NN, SN)は女性である。また3名(YN, NA, TM)は予備実験にも参加している。観測者はまず、各自が無作為に選出した50基の交通信号灯に対して番号を付ける。たとえば、ガソリンスタンドの前の信号灯をNo.1、駅前の交差点の信号灯をNo.2、交番の前の信号灯をNo.3というように番号を割り振る。各観測者は、この1から50までの番号順にしたがい、各青色信号灯のカラーネーミングを行う。この50基の観測実験を便宜上1セッションとし、各観測者は明所視、薄明視下でそれぞれ3セッションずつの観測を行った。したがって観測者1名あたり、各順応条件下で $50 \times 3 = 150$ 回の観測を行うことになる。ただし観測者TMとSNに関しては、測定時間の都合上、32基の信号灯の観測となった。したがって両者は、各順応条件下で $32 \times 3 = 96$ 回の観測を行った。なお一日の観測量は、観測者の疲労等を考慮して1セッションに限定した。また明所視下の観測条件としては、信号灯への太陽光の直接入射を避けるために、太陽が中天にある約10から14時までの時間帯とした。一方、薄明視下の観測条件としては実用面を考慮して、道路上の約半数の車両が前照灯を点灯している時間帯とした。なお観測距離は、車の停止線から信号灯までの平均的な距離に設定し、20mとした。また街路樹、街路灯、広告板、建築物およびネオン灯等により、信号灯の正常な観測が阻害されているような信号灯は、対象から除外した。

*人間の視覚系は、明順応下においては主に500nmに感度のピークを持つ錐体系が働いているが、暗順応下においてはより短波長側の505nmにピークを持つ桿体系が働くようになる。したがって、後者の観測条件下では前者に比べて青の感度が上昇する。この明順応状態から暗順応状態への活動組織の移行をプルキンエ・シフト(Purkinje shift)と称している。

**カラーネーミング法では、一般的に色相をR、Y、GおよびBの中の二色の適当な組合せにより表現するが、混色していない純粋な赤、黄、緑および青色についてはその色相のみ、すなわち一色のみで表現可能となる。そこで、これらの四種類の純粋な色相は特にユニーク色と称して、他の色相とは区別している。

Table 1 交通信号灯的輝度値 (cd/m²)
Luminance of the traffic light signals (cd/m²)

NO.	TRAFFIC		SIGNAL
	BLUE	YELLOW	RED
1	356.1	2073.6	1117.9
2	1927.3	7930.0	4347.5
3	1324.5	4588.3	2645.8
4	462.7	2593.7	1002.9
5	175.2	1661.3	718.0
6	144.0	1125.7	383.0
7	1732.6	8846.7	3071.4
8	56.6	759.3	155.0
9	2133.0	14930.0	5308.0
10	1615.8	12950.0	2934.0
\bar{X}	992.8	5745.9	2168.4
σ	785.5	4881.5	1674.6

3. 実験結果

3-1 予備実験

まず、予備実験において測定した信号灯的輝度値 (cd/m²) について説明する。無作為に抽出した10基の交通信号灯的測定輝度を Table 1 に示す。各数値は、同一信号灯に対する10回の測定より求められた平均輝度である。青、黄および赤色信号灯間の輝度値に大きな差が見られる。また同色の信号灯においても、各信号灯器間で大きな輝度差が見られる。たとえば青信号灯では、一番高い輝度値は2133.0(cd/m²)であるが、反対に、一番低い値はわずか56.6(cd/m²)であり、両者間には約38倍もの輝度差が存在している。同様に黄色信号灯では、一番高い値は12950.0(cd/m²)であるが、一番低い値は759.3(cd/m²)であり、その差は約17倍である。また、赤色信号灯では一番高い値が5308.0(cd/m²)であるのに、低い値はわずか155.0(cd/m²)であり、約34倍の差となっている。

一方、 \bar{X} は10基の平均輝度、 σ はその標準偏差である。平均輝度では黄、赤、青色信号灯の順でその値が低くなっている。輝度は信号灯を製作する際の色フィルタの発光効率等によっても大きく影響を受けるが、安全運転を守るために必要な緊急性または重要性の点からいえば、“危険”を示す赤、“注意”を促す黄、それに“安全”を示す青信号の順番が妥当であろうと考えられる。ちなみに、黄色信号灯の平

均輝度値は赤色の約2.6倍、青色の約5.8倍となっている。このように、現用の車両用交通信号灯はその輝度値に大きな差が存在することが示されている。

次にカラーネーミング応答における、観測者間の分布について説明する。Fig. 7は、3名の観測者が同時に、同一の観測条件下で観測した、100基の青色信号灯に対するカラーネーミング応答の結果である。観測は全て明所視下で行われた。黒丸は3名の応答の平均値であり、誤差棒は観測者間の変動を示している。横軸はB, G, Y, Wで表示される、各色および白色成分を示し、縦軸は10段階のカラーネーミング応答より得られる、各成分に対するポイントを示している。たとえば、7G3B2Wの応答では、G、BおよびWの各成分に対するポイントはそれぞれ7、3および2となる。したがって、100基の信号灯に対する応答より得られるポイントを全て集計すればFig. 7で示される特性が得られる。ただし特性は、最大値であるG成分が100ポイントとなるように、正規化されている。特性は、青色信号灯にもかかわらず、G成分が最も高く、B成分は極めて低い値となっている。また、Y成分も数%含まれていることが示されている。さらにW成分については、約40%の白色が含まれていることが分る。また、今回の実験では、いずれの観測者においてもR成分は一度も観測されなかった。一方、観測者3名のカラーネーミング応答に対する個人差は誤差棒として示されている。心理物理実験にもとづいて得られた、カラーネーミング応答の誤差は比較的小さいことが示されている。

次に、10段階に分けた各色成分比を横軸に、その度数分布を縦軸にとり、Fig. 7をリプロットしたも

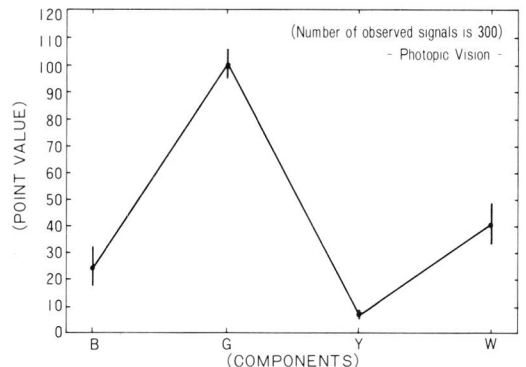


Fig. 7 青色交通信号灯の色成分
Relation between hue component and point value. Same signals were observed by three subjects.

のを Fig. 8 に示す。これは Fig. 7 の横軸をさらに細分化し、10段階としたものである。特性は、最大値に相当する横軸 9G1Y の値が100となるように正規化されている。8G2B および 9G1Y 近辺に極大値をもつ、ダブルピーク型を示していることが大きな特徴である。また 9B1G 以上に青成分が強いもの、あるいは 5G5Y 以上に Y 成分が強いものは観測されなかった。全体的な傾向としては、Fig. 7 で示唆されたように、緑成分が強い青色信号灯が多いことが示されている。個人差については、横軸に表示されている成分比の目盛りが10段階と細かくなっているために、Fig. 7 に比べて多少大きな値となっている。同様に、白色成分に対する度数分布特性を示したものが Fig. 9 である。特性は横軸が3のところで正規化されている。図より、30%の白色成分を含んでいる青色信号灯が最も多いことが示されている。また、白色成分を全く含まないもの、あるいは90%以上含むものは観測されなかった。以上が予備実験の結果である。

3-2 本実験

次に本実験の結果について示す。明所視および薄明視下において観測された青色信号灯の色、色度図上における分布を Fig. 10 および Fig. 11 に示す。これは観測者 5 名の結果である。図中の実線および破線は、以前に光学装置を用いて測定した各観測者の B : G と G : Y の比率を示す等色相線である。こ

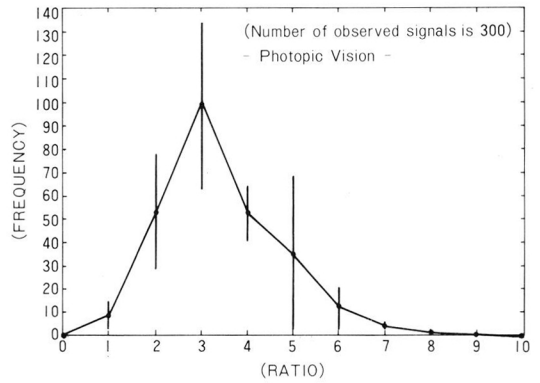


Fig. 9 白色成分比と度数分布との関係
Same as Fig. 8, but abscissa shows white component ratio

の等色相線は、各観測者にとって、色度図上の各点がどのように見えるかを示したものであり、実際の信号灯の色の分布を色度図上にプロットする際に基準となるものである。色度図上の各点に対する見え方も、観測者によって微妙に変化していることが示されている。ただし、観測者 NN と SN に関しては等色相線の測定を行っていないために、便宜上、観測者 YN のものを標準観測者の等色相線として用いることにした。各観測者の等色相線上あるいは等色相線の、黒丸および白丸で表示されたシンボルはそれぞれ10基の交通信号灯に対応している。各観測者で、明所視と薄明視下における分布を比較した場合、後者の青領域における分布に多少の増加が見られるが、全体的な傾向は両順応条件下でよく類似している。なお、同一の信号灯群に対する、観測者のカラーネーミング応答の差を検討するために、YN と NN は、同じ50基の信号灯群を観測した。したがって、両観測者間の分布は他のものと比べて比較的類似した分布となっている。この結果からも、Fig. 10 と同様に、カラーネーミング応答に対する個人差は比較的小さいということが示唆される。いずれの観測者においても、青色信号灯は、緑青領域から黄緑領域まで広く分布しているということが示されている。

一方、Fig. 10 および Fig. 11 で示される、観測者 5 名の分布を集計したものが Fig. 12 である。左図は明所視下、右図は薄明視下の分布である。図に示されるように、我が国における青色信号灯は、明所視および薄明視下において、色度図上の緑青、青緑、緑および黄緑領域に渡って広く一様に分布しており、CIE はもとより日本の勧告範囲からも大幅に逸脱しているものが数多く見られる。

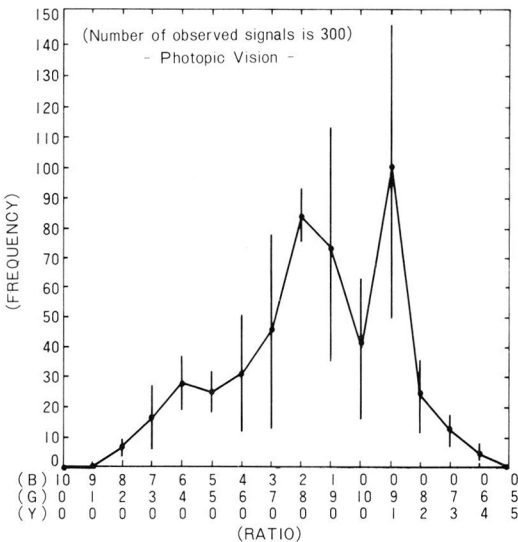


Fig. 8 色成分比と度数分布との関係
Relation between hue component ratio and frequency. Same signals were observed by three subjects.

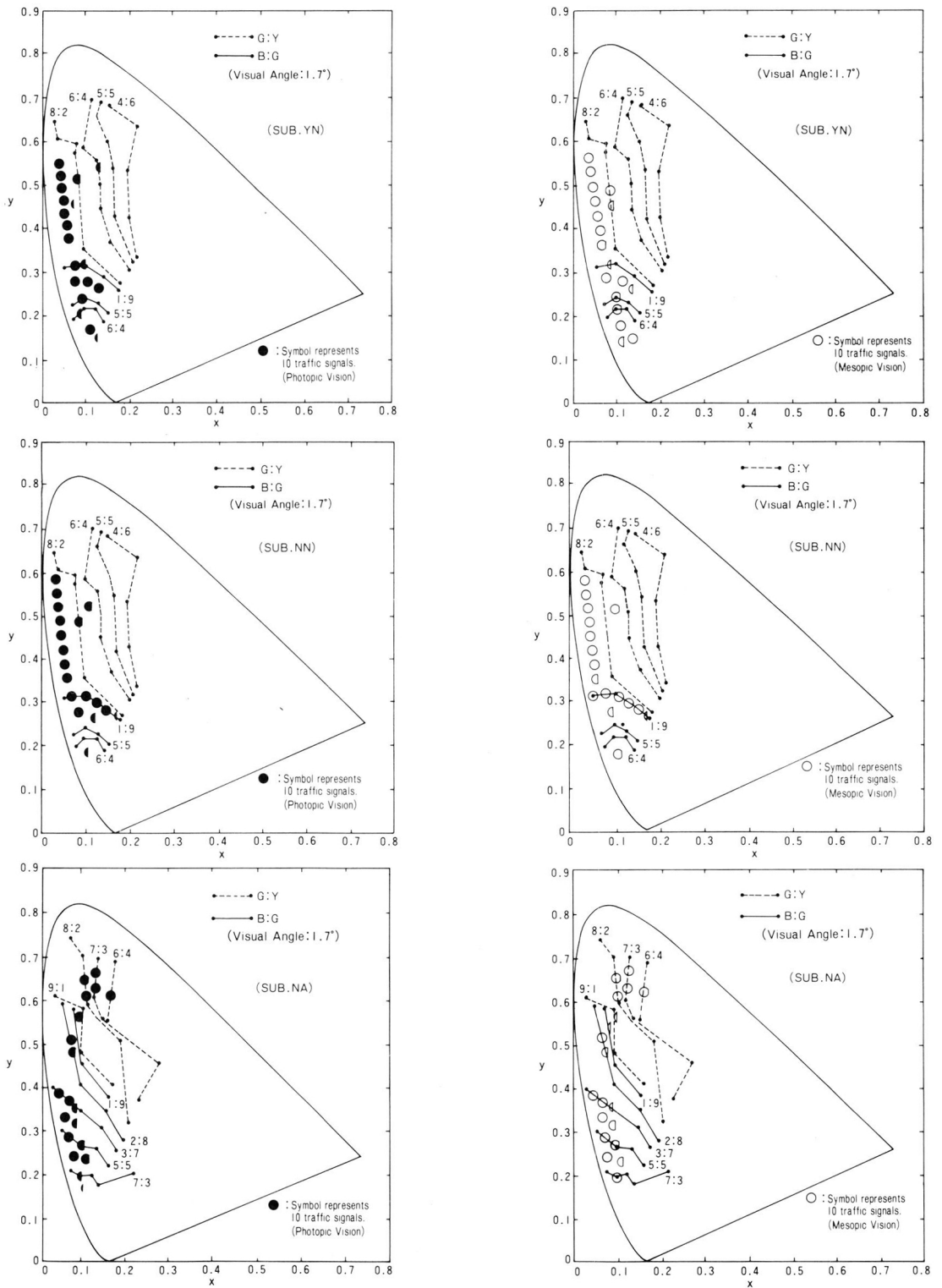


Fig. 10 明所視および薄明視下における青色信号灯の分布。ただし観測者 YN, NN, NA の場合
 Distribution of the blue traffic light signals in the chromaticity diagram for three subjects YN, NN, NA, left for photopic and right for mesopic vision

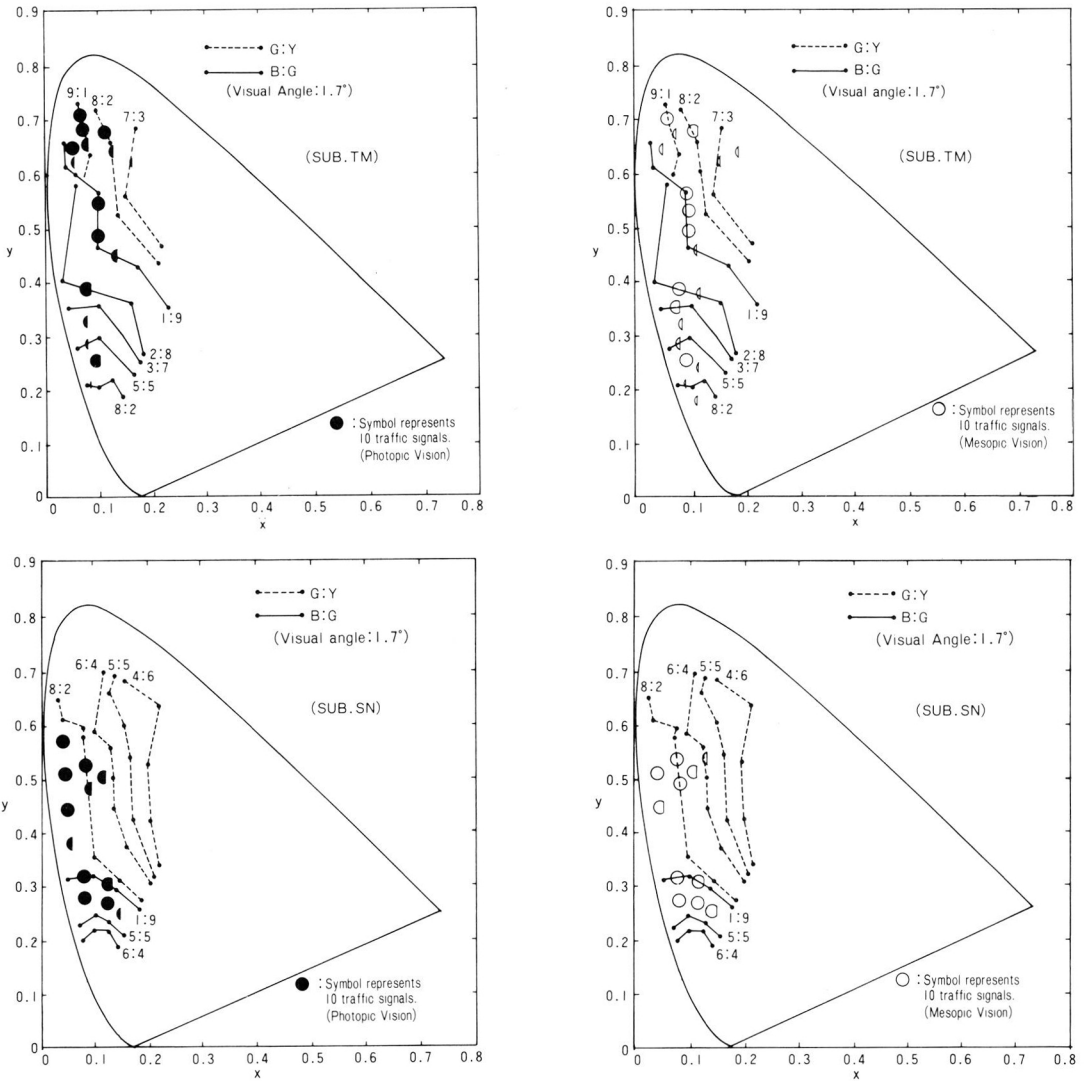


Fig. 11 Fig.10と同じ。ただし観測者 TM, SN の場合
Same as Fig. 10, but for TM, SN

4. 考察

眼の順応状態により色覚特性が大きく変化すること
いうことは、周知のことである。特に明所視から薄
明視へと移行する際に現れるプルキンエ・シフトは
その代表的なものの一つである。これは順応レベル
の低下に附随して、Cone から Rod へと視細胞の機能
が移行するために生じる現象である。このプルキン
エ・シフトにより、交通信号灯の見え方も昼間と薄
暮においては当然異なってくる。つまり、信号灯を
とり囲む周囲の明るさレベルの変化が、眼の順応状
態に大きな影響をおよぼし、その結果として信号灯

の見え方に変化が生じるのである。そこで明所視、
薄明視下における青色交通信号灯の見え方の違いを
検討するために、色成分比と出現頻度との関係を示
したものが Fig. 13 である。5名の観測者により観測
された、10Bから10Gまでの範囲の色相を持つ833基
の信号灯の分布である。黒丸、白丸はそれぞれ明所
視、薄明視下の分布に対応している。薄明視下にお
いては、B成分の多い信号灯の出現頻度が増加して
いることが示されている。この増加現象を、さらに
分かり易く図示したものが Fig. 14 である。横軸は色成
分比、縦軸は薄明視と明所視下における出現頻度の
差を示している。30%以上のB成分を含んでいる青

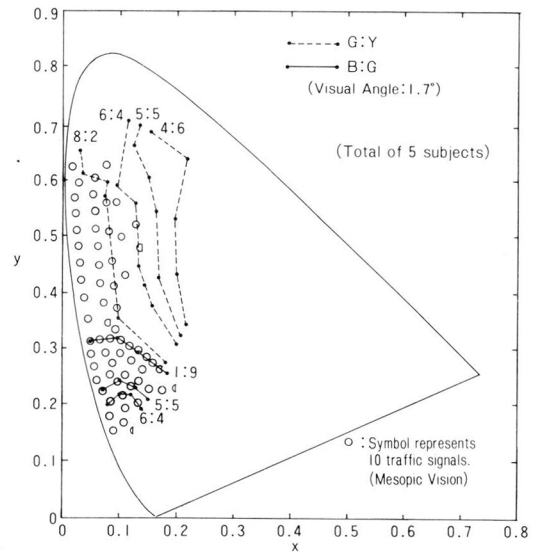
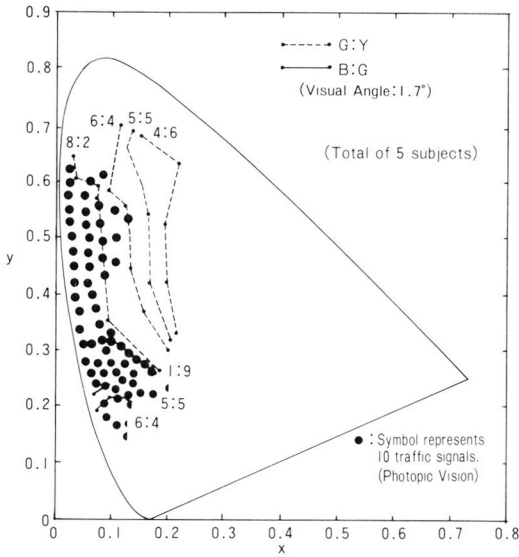


Fig. 12 Fig. 10と同じ。ただし観測者5名の結果の集計
Same as Fig. 10, but for the total of five subjects

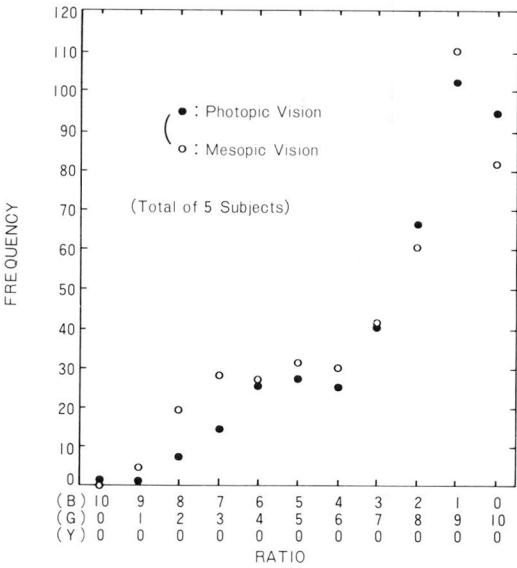


Fig. 13 明所視、薄明視下における色成分比と出現頻度
Comparison of frequency between photopic and mesopic vision

色信号灯が、薄明視下で多いことが示されている。

次に、交通信号灯の明所視および薄明視下における色相変化をさらに定量的に解析するために、本実験より得られたカラーネーミングのデータをもとに、順応レベルの変化による青色信号灯のB成分の推移を図示してみた。それを Fig. 15 に示す。横軸は順応レベル、縦軸はB成分の得点を示している。各順応条件下で観測された150回の応答の集計より得られた

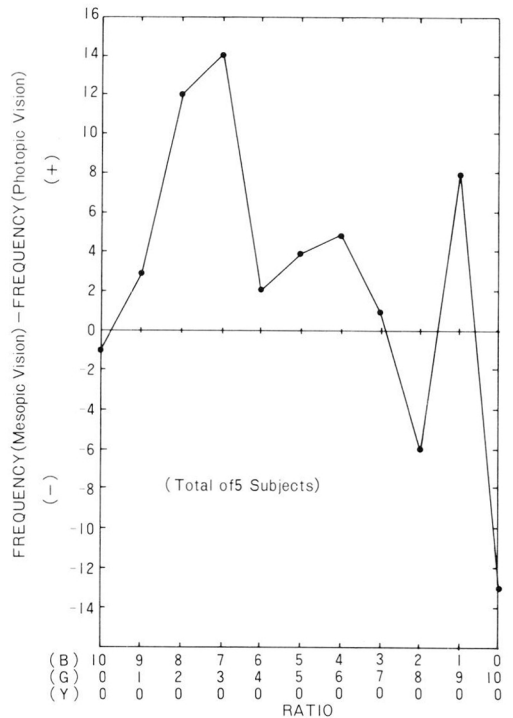


Fig. 14 色成分比と明所視、薄明視下における出現頻度差
Difference of frequency between photopic and mesopic vision

ものである。薄明視下で、全ての観測者がB成分の増加を示している。また同様に、順応レベルの違いによるW成分の推移を示したものが Fig. 16 である。

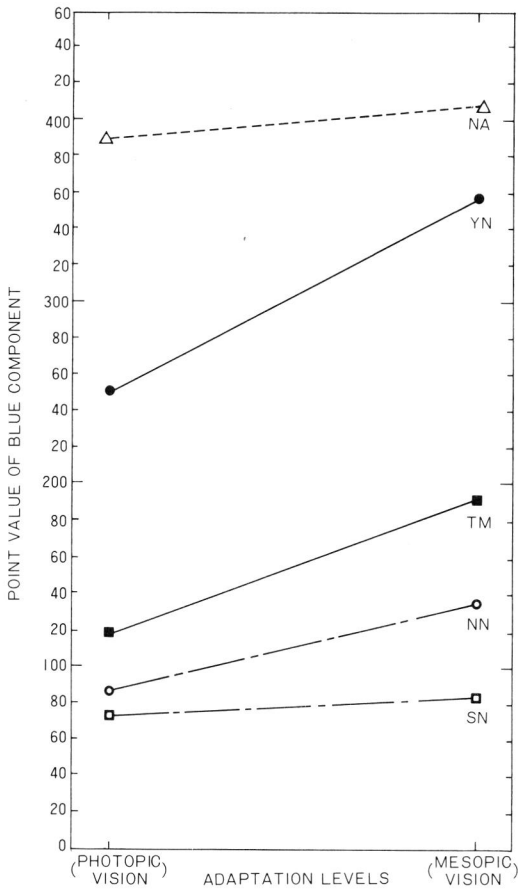


Fig. 15 順応レベルとB成分との関係
Relation between adaptation levels and point value of blue component

B成分同様に、すべての観測者が、薄明視下におけるW成分の増加を示しており、白味も同時に増すことが示されている。Fig. 15およびFig. 16より、明所視下に対する薄明視下のBおよびW成分の増加率を示したものがFig. 17である。黒丸、白丸はそれぞれ、各順応条件下における、観測者5名のBおよびW成分のポイントの平均値である。ただし、特性は明所視下におけるポイントが100となるように正規化されている。薄明視下におけるBおよびW成分の増加率はそれぞれ37.4%と27.2%である。このことは、薄暮時においては、青色信号灯は青味が約4割、白味が約3割増加して見えるということを示している。換言すれば、青色信号灯の見え方が大きく変化するというを示している。この現象は、前述したプルキンエ・シフトと何らかの関連があると同時に、薄暮時における交通事故多発現象にも微妙に関係しているものと考えられる。

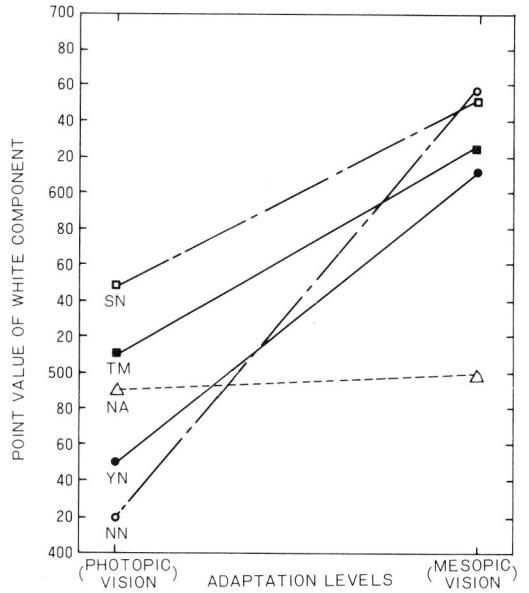


Fig. 16 Fig. 15と同じ。ただしW成分の場合
Same as Fig. 15, but of white component

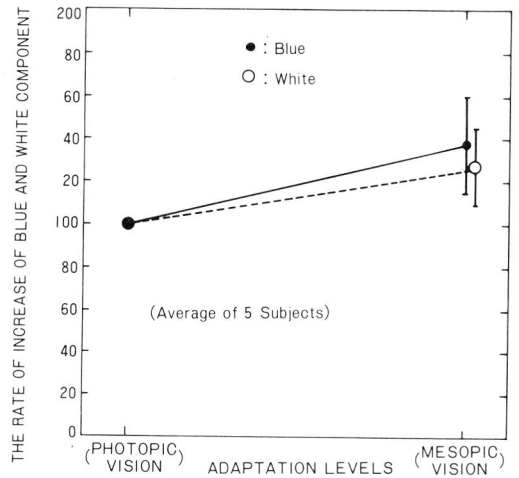


Fig. 17 薄明視下におけるBおよびW成分の増加
Comparison of the increase between blue and white component in the mesopic vision

5. おわりに

本研究結果を踏まえて、将来の交通信号灯に関して言及しておく。実験結果より、現在使用されている青色交通信号灯は、青色というよりはむしろ緑色に近いものが大多数であるということが指摘された。また、世界的に見ても、「緑」信号をあえて「青」信号と呼んでいるのは日本だけであるともいわれている。したがって、現在我が国で使われている「青」

色信号灯は、名実ともに「緑」色信号灯に移行させた方が望ましく、また、その結果生じる利点も数多い。たとえば、日本の交通信号灯がCIEの国際規格にも合致した、国際性豊かなものとなる。また、色覚異常者に対する識別能も向上する。さらに発光効率も上げることができ、一段と明るい視認性の良い信号灯を製作することができる。また、実際の信号灯の色とその名称とが合致する、等の利点を挙げることができる。今後、我が国の交通信号灯がさらに改善され、交通事故が少しでも減少することを願って結びとする。

参考文献

- 1) Publication CIE No. 2. 2 (TC-1.6) : Colours of Light Signals, Bureau Central de la CIE, 1975
- 2) J. G. Holmes : Coloured Light Signals of the 1930s and 1980s, Golden Jubilee of Colour in the CIE, Great Britain, H.Charlesworth & co., 1981, pp. 78-97
- 3) 正木光『色彩科学ハンドブック』東京大学出版会 1981年、pp. 795-821
- 4) 中嶋芳雄、池田光男『色の両眼融合限界、光学9』 1980年、pp. 12-18
- 5) W. D. Wright and F.H.G.Pitt : Hue-Discrimination in Normal Colour-Vision, Proc. Phys. Soc. 46, 1934, pp. 459-473
- 6) R. E. Bedford and G.W.Wyszecki : Wave-length Discrimination for Point Sources, J. Opt. Soc. Am., 48, 1958, pp. 129-135
- 7) K. L. Kelly : Color Designations for Lights, J. Opt. Soc. Am., 33, 1943, pp. 627-632
- 8) 中嶋芳雄、中嶋夏子、高橋滯子「青色交通信号灯の見え方とその色度範囲」第33回応用物理学関係連合講演会予稿集、1986年、P. 68
- 9) R. M. Boynton and M.E.Neun : Hue-Wavelength Relation Measured by Colour-Naming Method for Three Retinal Locations, Science, 146, 1965, pp. 666-668
- 10) R. M. Boynton and J. Bordon : Bezold-Brucke Hue Shift Measured by Color-Naming Technique J. Opt. Soc. Am., 55, 1965, pp. 78-86
- 11) R. T. Kintz, J. A. Parker and R. M. Boynton : Information Transmission in Spectral Color-Naming, Perception & Psychophysics 5, 1969, pp. 241-245
- 12) 池田光男『色彩光学の基礎』朝倉書店、1980年、pp. 160-186
- 13) 中嶋芳雄、中嶋夏子、高橋滯子「交通信号灯のカラーネーミングによる解析—ブルキンエ・シフト—」第46回応用物理学学会学術講演会予稿集、1985年、P. 116
- 14) 中嶋芳雄、望月卓視、中嶋夏子「青色交通信号灯のカラーネーミング法による解析—ブルキンエ・シフト—」第2回色彩工学コンファレンス論文集、1985年、pp. 57-60