

薄明視における色の見えと明るさ

湯 尻 照

広島工業大学電気工学科

〒731-51 広島市佐伯区三宅 2-1-1

1. はじめに

夕方になってまわりが薄暗くなると、道路標識や人の服装などの見え方が、昼間の明るいときとくらべて変化してくる。これは、人間の眼が錐体視から桿体視へと移行するためであり、薄明視とは、このように明所視から暗所視の中間の視覚をあらわすことは周知のことであるが、現在、この薄明視における明るさや色を測定する測定器は残念ながら存在しない。それは、これまでに視覚のメカニズムにおいて、薄明視は錐体と桿体の相互作用を考慮しなければならないため複雑であり、さらに色の見えの判定には高照度レベルで行なうことと決められている（表面色の視感比較方法における作業面の最小照度は原則として1000lx以上と規定されている¹⁾）。などの理由によるものである。

現行の測光システムは、錐体視細胞の働く明所視の分光視感効率 $V(\lambda)$ と桿体視細胞の働く暗所視の分光視感効率 $V'(\lambda)$ が、国際照明委員会 (CIE) より勧告されており、測光器にはこの $V(\lambda)$ が用いられているが、これは、スペクトル光を対象として、主に交照法によって求められた結果である。この $V(\lambda)$ による測光量については、明るさ感覚を正しく表現していないことが近年あきらかにされてきており、その特性は、特にあざやかな色光の場合に顕著に差が生じている。そして、1988年 CIE から光源のスペクトル光の明るさ感覚を表す $V_0(\lambda)$ が技術報告書として刊行されている²⁾。

しかし、実際の視環境においては、この明所視および暗所視のみでなく、その中間領域である薄明視もあり、これらの広範囲にわたる視環

境において、われわれは主に表面色を対象として観察している。このような視環境を構成する要因の中で、最も寄与の大きい明るさを $V(\lambda)$ の特性を表す現行の測光器や、スペクトル光の明るさを表す $V_0(\lambda)$ によって測定することは不可能である。したがって、明所視から暗所視に至る広範囲の順応レベルに応じた測光システムを、現行の測光器と対応できるシステムとして構築することが重要な課題として取り上げられている。

本稿では、このような背景をもとに、暗所視から明所視の広範囲の照度レベルによる色知覚と明るさ知覚の特性を、カラーネーミング法および直接比較法という手法によって測定し、(1) 薄明視領域の照度レベルの範囲、(2) 薄明視における表面色の色の見え変化、(3) 薄明視における色の見えの変化と明るさ（等価明度）との関係、について考察する。

2. 照度レベルによる色の見えの変化と薄明視レベル

カラーネーミング法を応用して表面色の色の見えの測定した結果を示す。実験条件として、刺激の種類は色票、色票のサイズは10°視野、背景 N6、照明光源は演色 AAA 形昼白色蛍光灯ランプで相関色温度は5000K、照度レベルは0.01~3000lx、観察状態は両眼の自然視である。

図1は、マンセル表示で5R (赤)、5Y (黄)、5G (緑)、10B (青)、5P (紫) の色票の照度レベルによる有彩色成分 (色み)、白み成分、黒み成分の変化を示すが、照度レベルが低下して約3 lx 以下になると、どの色票についても、

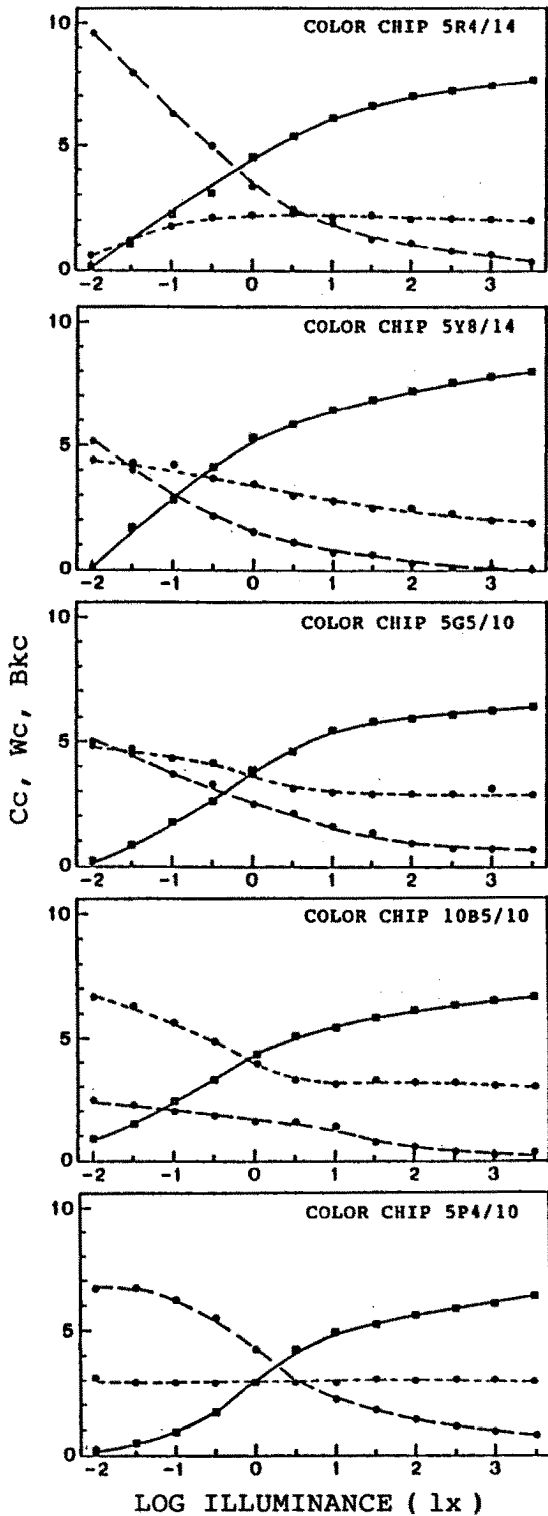


図1 色み(□:Cc), 白み(○:Wc), 黒み(●:Bkc)成分の照度レベルによる変化

色みが急激に減少し錐体の感度の低下の著しいことが示されている。また、青や緑の色票については、約3 lx以下で、その照度レベルの低下にもなって白み成分が増加していることがわかる。このことから、約3 lx以下になると錐体の感度の急激な低下とともに桿体の介入が始まったと考えられる。

図2は、照度レベルによる色相の変化を示す。この図は12種類の色票の照度レベルによる色相な変化を示すが、10lx以上の照度レベルでは、色相の変化は生じないことが示されており、3 lx以下の照度レベルになると、NCS表示でB70G, B30Gの色票の色相がG側にシフトしており、錐体(R, G, B)の感度低下にもなう色覚の変化を生じていることが示されている。

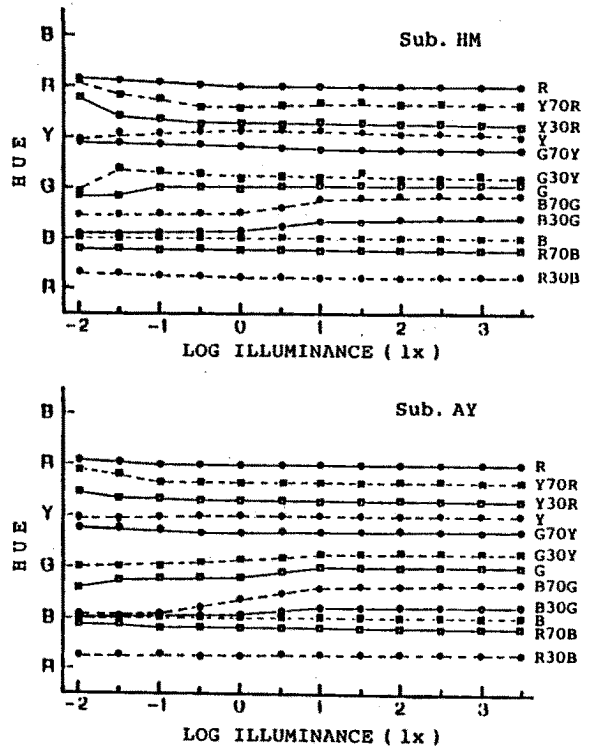


図2 照度レベルによる色相の変化

したがって、以上のように照度レベルによる色の見えの変化からも、薄明視の始まる照度レベルを調べることが可能となる。

3. 照度レベルによる明るさ（等価明度）の変化

実験条件は2項と同じで、測定方法は色票とグレースケールとの明るさマッチングである。図3は、図1と同じ色票の照度レベルによる等価明度 (L^*_{eq}) の変化を示す。

各色票ともに同じバリューであっても、クロマが異なると等価明度も異なることがわかる。そして、5Rの色票については、約3 lxで色票の種類による差がなくなり、それ以下の照度レベルでは、クロマの低い色票の方の等価明度が高くなること示された。また、10Bの色票については、3 lxのときに等価明度が最低の値を示し、3 lx以下に照度レベルが低下すると、そのレベルの低下にともなって等価明度が増加した。このことから、約3 lx以下になると桿体の応答が始まり、照度レベルの低下にともなって錐体の感度が低下し、桿体の応答が強くなることこの結果からも示された。

したがって、桿体の介入の始まる照度レベルは、本結果と色の見えの変化から約3 lxであるといえる。

次に、暗所視感度、すなわち、桿体だけの応答による照度レベルは、図4に示すように0.01lxのときの等価明度の測定値と、 $V'(\lambda)$ によって算出した色票のバリューがほぼ一致し、その相関係数 $R=0.995$ となった。このことから、照度レベルが0.01lx以下では、ほぼ桿体だけの明るさの感度で示されているといえる。

したがって、薄明視領域の照度レベルは、以上の結果から0.01~3 lxであることが証明できた。

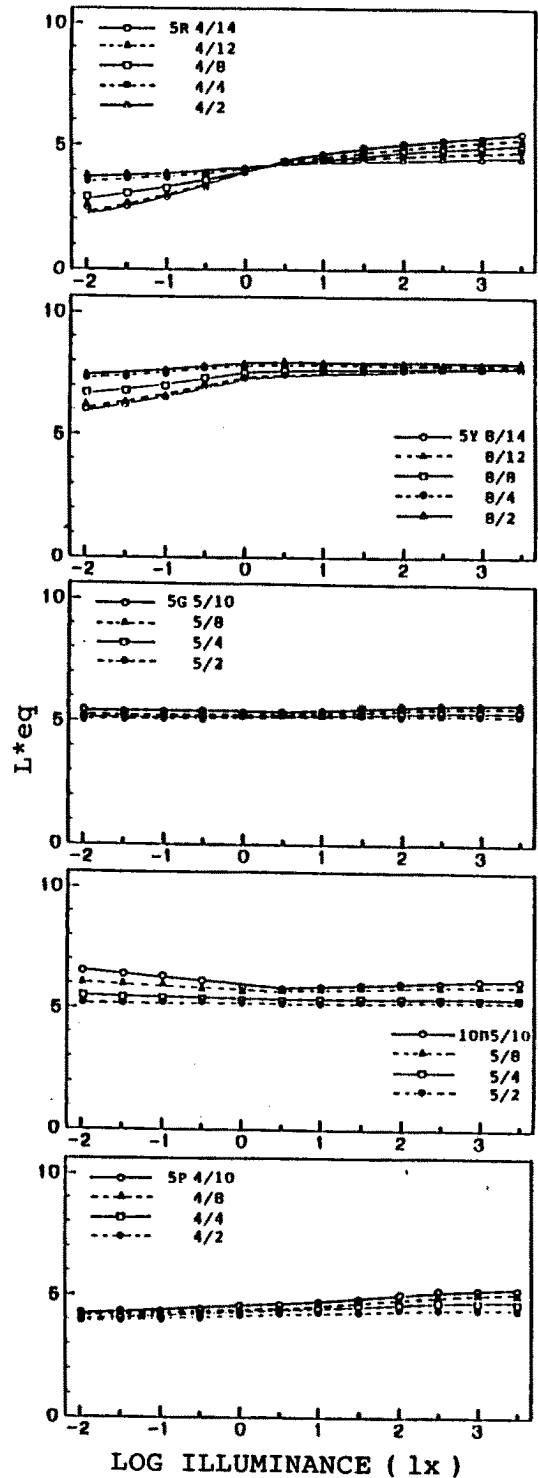


図3 照度レベルによる等価明度 (L^*_{eq}) の変化

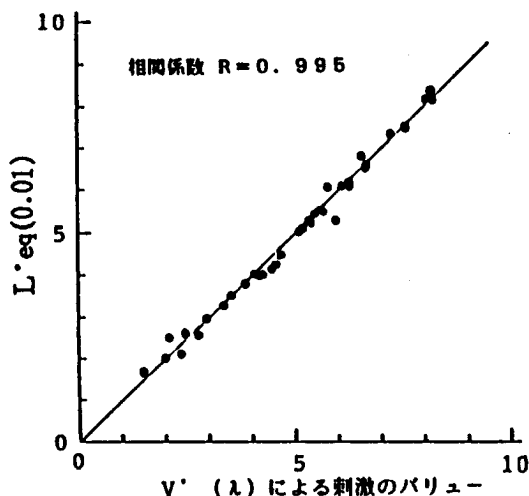


図4 $V'(\lambda)$ による色票のバリューと0.01lxにおける等価明度 (L'_{eq}) の関係 (39種類の色票を使用したときのデータを示す)

4. 色の見えの変化と明るさ (等価明度) の関係

図1と図3の関係から、3 lx以下の薄明視レベルにおける色み成分と白み成分を加算した値と等価明度の関係の相関係数を求めると表1のようになる。その結果、非常によい相関が得られ、薄明視における明るさは錐体の応答による白み成分と色み成分、桿体の応答による白み成分を加算することによって得られるということがあきらかとなった。

表1 照度レベルによる色票の等価明度 L'_{eq} と色み成分+白み成分との相関

色票の種類	相関係数
5R4/14	0.983
5Y8/14	0.972
5G5/10	0.984
10B5/10	0.989
5P4/10	0.977

5. おわりに

薄明視における色の見えと明るさの関係を調

べた結果、薄明視領域の照度レベルは0.01~3 lxの範囲であることが解明された。そして、その明るさの変化は、錐体の応答による色み成分と白み成分、および桿体の応答による白み成分を加算することによって得られたが、色み成分は薄明視領域では照度レベルの低下にもなって急激に減少することが示された。

以上のように、薄明視領域の照度レベル、色の見えの明るさへの影響についてはあきらかとなったが、その視認性、視作業性などについては今後の課題として残る。

最後に、本研究に関して、これまでに貴重なご意見やご助言を賜った東京工業大学大学院総合理工学研究科 池田光男教授に感謝いたします。

文献

- 1) JIS Z 8723-1988: 表面色の視感比較方法
- 2) CIE TC 1-02 Technical Report: "Spectral luminous efficiency functions based upon brightness matching for monochromatic point sources 2° and 10° fields," CIE Publ., No.75 (1988)
- 3) R. W. G. Hunt: "A model of colour vision for predicting colour appearance in various viewing conditions," Color Res. Appl., 12 (1987) 297-314.
- 4) 芦澤昌子, 池田光男: "色の目立ちの照度レベルによる変化—実験式の導出—", 照学誌学会誌, 72 (1988) 79-82.
- 5) J. A. S. Kinney: "Comparison of scotopic, mesopic, and photopic spectral sensitivity curves," J. Opt. Soc. Am., 48 (1958) 184-190.
- 6) D. A. Palmer: "Standard observer for large-field photometry at any level," J. Opt. Soc. Am., 58 (1968) 1296-1299.
- 7) S. Kokoschka and H. W. Bodmann: "Ein Konsistentes System zur photometrischen Strahlungsbewertung im gesamten Adaptation-sbereich," CIE Publ., No.36 (1976) 217-225.

- 8) D. A. Palmer : "Rod-cone mechanism underlying the Purkinje shift," *Nature*, 262 (1976) 601-603
- 9) M. Ikeda and H. Shimozono : "Mesopic luminous-efficiency functions," *J. Opt. Soc. Am.*, 71 (1981) 280-284.
- 10) H. Yaguchi and M. Ikeda : "Mesopic luminous-efficiency functions for various adapting levels," *J. Opt. Soc. Am. A*, 1 (1984) 120-123.
- 11) K. Sagawa and K. Takeichi : "Spectral luminous efficiency functions in the mesopic range," *J. Opt. Soc. Am. A*, 3 (1986) 71-75.
- 12) K. Sagawa and K. Takeichi : "Mesopic spectral luminous efficiency functions: Final experimental report," *J. Light Vis. Env.*, 11 (1987) 22-29.
- 13) 中野靖久, 池田光男 : "明視における明るさ知覚モデル", *光学*, 15 (1986) 295-302.
- 14) 池田光男, 永田吉明, 矢口博久, 芦澤昌子 : "昼光照明下における薄明視の出現時刻と照度レベル", *照明学会誌*, 67 (1983) 491-496.
- 15) 芦澤昌子, 池田光男 : "布地の明るさの照度レベルによる変化", *照明学会誌*, 67 (1983) 503-508.
- 16) 芦澤昌子, 池田光男, 中野靖久 : "照度レベルによる色布地の明るさ変化の実験と解析", *照明学会誌*, 69 (1985) 274-280.
- 17) M. Ikeda, C. H. Huang and S. Ashizawa : "Equivalent Lightness of Colored Objects at Illuminance from the Scotopic to the Photopic Level," *Color Res. Appl.* 14 (1989) 198-206.
- 18) 湯尻照 : "色票の色の見えの輝度レベルによる変化", *光学*, 18 (1989) 208-214.
- 19) 湯尻照 : "照度レベルによる表面色の明るさ知覚", *照明学会誌*, 73 (1989) 295-302.
- 20) 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 (1990) 97-104.
- 21) 湯尻照 : "照度レベルによる表面色の明るさの変化: 色相, 明度, 彩度の影響", *照明学会誌*, 74 (1990) 668-673.