自動車用多色表示装置の可読性

准員 三浦 弘雅 (名城大学) 正会員 和田 隆 (名城大学) 専門会員 岡林 繁 (名城大学) 専門会員 畑田 豊彦 (東京工芸大学)

Legibility of Multi-color Displayed Images in Automotive Use

Associate Member Hiromasa Miura (Meijo University),
Member Takashi Wada (Meijo University),
Fellow Member Shigeru Okabayashi (Meijo University) and
Fellow Member Toyohiko Hatada (Tokyo Institute of Polytechnics)

KEYWORDS : automobile, display, color, spatial frequency, legibility

1. はじめに

ITS(Intelligent Transport Systems)に代表される自動車の情報高度化に伴い、ナビゲーション表示装置のように多くの情報を表現するため、有彩色表示像が広く用いられている。

表示装置を車載して実際に走行し、同一画面に同一輝度で有彩色表示像を観察すると、「赤色表示像は緑色表示像よりよく読める」¹⁾と多くのドライバが報告することがある。また、多色蛍光表示管を用いたデジタル表示装置においては、強い太陽光が表示面に入射してウォッシュアウトが起こると、表示部輝度と非表示部輝度のコントラスト比が低下し、表示が読みにくくなるといった現象を体験する。この場合にも「赤色は緑色に比べると輝度を上げなくても読める」ことが知られている²⁾。

輝度値を定義している分光視感効率特性³⁾を考慮すると、輝度が同一であるならば「緑色光と赤色光のどちらも同じように読める」はずにもかかわらず、現実には必ずしもそうではない。これを仮に「色相の差異による知覚の不均一」と呼ぶことにすると、「色相の差異による知覚の不均一」は、自動車の有彩色表示像の可読性を輝度値のみ考慮して規定すると、ある色相の情報は読みとることができて他の色相の情報は読みとれないという、自動車用途として大きな問題を引き起こす可能性がある。

本報告では、有彩色表示像の可読性と輝度の関係を短時間視標呈示実験によって明らかにするとともに、「色相の差異による知覚の不均一」と分光視感効率特性との整合性を空間周波数特性の観点から実験評価した。

2. 実験 1-短時間視標呈示実験-

2.1 実験系と実験装置

表示像と背景の輝度コントラストが高ければ色相によらずドライバは表示像を十分読みとることができるはずである。「色相の差異による知覚の不均一」は表示像が低コントラストになる条件で実験考察すればよい。

本実験では、二種類の低コントラスト条件を実験室で再現して「色相の差異による知覚の不均一」をもたらす視覚メカニズムを調べた。一つ目は、周囲が比較的暗く表示像が低コントラストの条件(低照度・低輝度条件)であり、二つ目は明るい状況で太陽光等の

照射によって表示像と背景の輝度コントラストが低下する条件(高照度・高輝度条件)である。

自動車内に表示された情報に対する、運転時のドライバの情報受容を考え、実験は短時間視標呈示法により行った。視標呈示時間は、自動車運転時のドライバの表示像への視点停留時間を参考に 0.5 秒とした⁴⁾。実験は外来光の影響を受けないように光学暗室内で行った。低照度・低輝度条件の場合は、表示装置にカラー CRT を用いた(図 1)。高照度・高輝度条件の場合は、表示像面の輝度を高くするために高照度液晶プロジェクタと透過型スクリーンを用いた。実験条件を表 1 にまとめる。

表 1 実験条件
Table 1 Experimental conditions.

項目	低照度・低輝度条件	高照度・高輝度条件
色相	赤, 緑, 青	←
形状	スネレン図形対	←
輝度	0.4~10(cd/m ²)	70~360(cd/m ²)
背景	黒灰色	←
サイズ(a*)	0.26~0.8(mrad)	←
表示面照度	1(lx)	10000(lx)

*a は被験者から見た視覚で表したサイズ(図 2 参照)

図 1 実験装置(低照度・低輝度条件)

Fig.1 Experimental set up (low illuminance・low luminance condition).

脚注：本速報の一部は平成 14 年度照明学会全国大会で発表。

実験は同一条件でスネレン図形対(図 2)を 100 回呈示し、スネレン図形対の開口方向を答えさせた。正答した比率から正答率(%)を定義し、可読性の指標として用いた。

正答率は被験者の視機能によって異なるので、緑色の視標を用いて低照度・低輝度条件は 1cd/m²で、高照度・高輝度条件は 100 cd/m²で正答率が 50%になるよう、予め視標サイズを視機能に応じて基準化した。被験者は色覚正常かつ自動車免許を有する 20 代の男女 20 名。

aは被験者から見た視角で表したサイズ
(0.26~0.8mrad)

図 2 指標として用いたスネレン図形対
Fig.2 Pair of Snellen figures used in the experiment.

2.2 結果

- (1) 低照度・低輝度条件と高照度・高輝度条件について、赤色表示像、緑色表示像、青色表示像のそれぞれの輝度と正答率の関係を 図 3、4 に示す。横軸は輝度値の対数軸とした。データは全被験者の平均の正答率である。
- 可読性の閾値を正答率 50%の値と考えると、低照度・低輝度条件、高照度・高輝度条件のどちらも青色表示像の必要輝度値が最も高く、緑色表示像、赤色表示像の順に低くなっている。表示像がすべて同一輝度であるとする、赤色表示像の正答率が最も高く、緑色表示像、青色表示像の順に低下し、色相によって可読性の程度が異なる「色相の差異による知覚の不均一」が発生していることが分かる。また、赤色表示像が分光視感効率の高い緑色表示像がより読みやすいという、実車走行時のドライバの報告とよく符合する結果が得られた。
- (2) 「色相の差異による知覚の不均一」の要因として背景部と表示部の色差によるものと仮定して、低照度・低輝度条件の実験結果で輝度値 1cd/m²の表示像について、色差(L*a*b*)を算出した。表 2 に示す様に、背景色と表示像の色差(L*a*b*)の大小と正答率の高さの間には有意な相関は認められなかった。

3. 実験 2 -色相別空間周波数特性-

A.Roorda や D.Williams, 坂田らの研究^{6)~8)}では、網膜の中心窩近傍では、赤色、緑色、青色の光に感度が高い 3 種類の錐体(L, M, S)が分布し、その分布密度は L 錐体(長波長の光に感じる錐体)の密度は高く、S 錐体(短波長の光に感じる錐体)の密度はもっとも低いことが報告されている。本実験のように、視点を移動して中心視野で表示像を受容する場合には、3 種類の錐体(L, M, S)の分布密度に依存して有彩色表示像の可読性が影響を受ける可能性がある。実験 2 では、表示色相の空間周波数に着目して有彩色表示像の可読性を実験評価した。

3.1 実験系

17 インチのカラーCRT を上下に分け、上部に輝度値が横方向に正弦関数で変化する一定色相の空間周波数パターンを呈示した。下部には空間周波数パターンの平均輝度値で同じ色相の像を呈示した。空間周波数と色相は独立に変化させ、被験者が上下の

図 3 表示像輝度と正答率(低照度・低輝度条件)
Fig.3 Correct response rates vs. luminance of the indication images
(low illuminance・low luminance condition).

図 4 表示像輝度と正答率(高照度・高輝度条件)
Fig.4 Correct response rates vs. luminance of the indication images
(high illuminance・high luminance condition).

表 2 背景色と表示像の色差と正答率
Table 2 Comparison of correct response rates and color difference
between the background and displayed image.

色相	色差	正答率(%)
赤	50	75
緑	48	50
青	85	20

(表示輝度 1cd/m²)

像を区別できなくなるぎりぎりの閾値(弁別閾)を色相ごとに計測した。計測は上下法を用い、高周波から低周波へ、低周波から高周波へそれぞれ 20 回、計 40 回を 1 試行とした。実験 1 と同様に、背景地には黒灰色を、色相には赤色、緑色、青色を用いた。空間周波数パターンの最大輝度値は 1cd/m²に設定し、平均輝度値は 0.5cd/m²とした。呈示パターンが存在する視野は中心 5 度以内、被験者は色覚正常かつ自動車免許を有する 20 代男子 4 名。

補足実験として、実験 1 の低照度・低輝度条件の実験における輝度値 1cd/m²一定の条件で、正答率 50%を得る視標サイズを色相ごとに計測した。弁別閾と定量的に比較するため、計測した 4 人の被験者の視標サイズを平均し、開口方向に垂直な方向の基本空間周波数を求めた^{9)~11)}。

図 5 呈示画像パターン例
Fig.5 Spatial frequency and equal luminance image.

図 6 実験装置
Fig.6 Experimental set up (Measurement of the differential threshold).

3.2 結果

赤色、緑色、青色のそれぞれの弁別閾と補足実験から得られた基本空間周波数を表 3 に示す。弁別閾は、赤色が最も高く、緑色、青色の順に低下する。この順は実験 1 における輝度値と正答率の関係の順と整合する。弁別閾と視標から求めた基本空間周波数との間に良好な一致を認めることができる。これらの結果は、低コントラスト条件のような劣悪な視環境条件での表示装置における可読性が、色相別空間周波数特性により規定されることを示唆している。

表 3 正答率 50%を得る視標の基本空間周波数と弁別閾

Table 3 Spatial frequency differential threshold and basic component of spatial frequency for the Sunellen figure with 50% correct response rates.

色相	基本空間周波数(cpd)	弁別閾(cpd)
赤	22	25
緑	18	21
青	15	17

分光視感効率特性が空間周波数的には低周波成分での感度特性を表現しており、本報告で評価してきた中心視野近傍での表示像の可読性は、高周波成分での感度特性を表現していると考えられる。従って、分光視感効率特性から導出した輝度値だけで、微細な有彩色表示像を有する自動車用多色表示装置の表示像の条件を設定するのは、大きな問題を含んでいることが分かる。定性的に表現すれば自動車用多色表示装置では、表示像ごとの色選択にお

いて、空間的に微細構造を有する表示像には赤色系表示色を、空間的に粗い構造を有する表示像には緑色や青色を用いることが望ましいことを示唆している。

4. まとめ

- (1) 実際の運転環境でドライバから報告されていた「赤色表示像が緑色表示像よりよく読める」という「色相の差異による知覚の不均一」が実験室実験で正答率という指標を用いて定量的に示された。
- (2) 輝度を規定している分光視感効率特性は空間周波数的には低周波成分での感度特性を表現しており、「色相の差異による知覚の不均一」に関わる可読性は、表示像の高周波成分での感度特性が大きな要因であると考えられる。
- (3) 自動車用多色表示装置設計では、空間的に微細構造を有する表示像には赤色系表示色を、空間的に粗い構造を有する表示像には緑色や青色を用いることが望ましい。

本研究の一部は平成 14 年度文部科学省科学研究費補助金によって実施致しました。

参考文献

- (1) 和田, 岡林, 杉江, 畑田: 色相別空間周波数特性から見た自動車用多色表示装置の表示像認識, 照学大全, p.168 (2002).
- (2) Y. Yoshida, F. Maruyama, T. Horigome, and R. E. Bartlett: Multi-Color Surface Light Emitting FIP™ for Automotive Applications, Electronic Displays and Information Systems SP-565, Society of Automotive Engineers, Inc., pp.99-102, (1984).
- (3) 大山, 今井, 和氣編: 新編感覚・知覚心理学ハンドブック, 誠信書房, pp.412-413 (1994).
- (4) 岡林, 古川, 畑田: 自動車用ヘッドアップディスプレイにおける前景情報と表示情報の認識について, 照学誌, p.75 (1991).
- (5) 日本色彩学会編: 新編色彩科学ハンドブック, 東京大学出版会, p.275, (1998).
- (6) C. M. Cicerone and J. L. Nerger: The Relative Numbers of Long wavelength sensitive to Middle wavelength sensitive Cones in the Human Fovea Centralis, Vision Res., 29, pp.115-128 (1989).
- (7) D. R. Williams: Topography of the Foveal Cone Mosaic in the Living Human Eye, Vision Res., 28, pp.433-454 (1988).
- (8) 坂田晴夫: 網膜の錐体分布と三原色空間周波数特性の関係, 通学論 Vol.J65-A No.6 (1982).
- (9) S. Okabayashi, T. Wada, T. Hatada & N. Sugie: Driver's Percognition of Images in Automobile Multi-Color Display System, 9th Vision in Vehicle, pp.32-36 (2001).
- (10) 大石進一: フーリエ解析, 岩波書店, pp.72-80 (1989).
- (11) 三浦弘雅, 岡林繁: 色相別空間周波数特性に基づく有彩色文字情報の認知, 電気関係学会東海支部連大, p.240 (2002)

(受付日 2003 年 1 月 27 日 / 採録日 2003 年 4 月 11 日)