Helmholtz-Kohlrausch 効果, 測色純度弁別, および G_0 関数について

専門会員 納 谷 嘉 信

Relation between the Helmholtz-Kohlrausch Effect, Purity Discrimination, and Go Function.

Yoshinobu Nayatani (Osaka Electro-Communication University)

KEYWORDS : Color appearance, the Helmholtz-Kohlrausch effect, purity discrimination,
Go function, chromatic strength of spectral colors.

1. まえがき

Helmholtz-Kohlrausch 効果 (B/L 比または L/Y 効果)¹⁾, 測色純度弁別²⁾, および Evans の zero-gray point G_0 ³⁾は, それぞれ全く異なる色知覚現象である. しかし, それらに関する既報の実験結果は, 相互に密接な関係が3種の現象間に存在することを示唆している.

本研究では著者および協力者による非線形色知覚モデル^{4),5)}により上記の3現象が充分好精度に予測しうることを見出した.

この結果, 上記の3現象は基本的な色知覚構造の異なるフェーズへの反映であることが明らかになった. なお, 本研究の過程で, 従来測色界であまり考慮されていなかった Evans の G_0 関数こそが, 基本的色知覚現象であることが判明した.

2. G_0 関数について

Evans は1967年, 開口色の色見えについて次の実験結果を報じている⁶⁾. 10° の白色背景の中心にある 1° 開孔より, スペクトル色および赤紫軌跡上の色光を提示する. 背景色は7143Kの白色光で輝度100ml ($=320\text{cd}/\text{m}^2$) となるよう照明される. 実験はスペクトル光 (x_λ, y_λ) の輝度を零値から次第に増大して, その色光の見えを評価する. 見えは物体色モードである. 輝度が零の状態では, 中心の色刺激は白色背景中で黒に知覚される. 輝度の上昇とともに黒味は減り, クロマおよび灰色味が増大する. さらに灰色味の減少とともにクロマが増大する. Evans はさらに輝度の増加によって灰色味が丁度零になり, クロマ知覚のみ存在する輝度の点 G_0 を定めた. G_0 に至るまでは中心刺激は物体色としての見えを呈し, 明度も知覚される.

さらに, G_0 を越えて輝度を増大すると中心刺激は発光色として知覚される. Evans はこの状態を Fluorence と名付けている. すなわち G_0 に対応する輝度は, 物体色モードとは発光モードの境界値を与える. Evans はこれを zero-graypoint と名付け, 次式で

定義している.

$$G_0 = \text{Log} (L_0/L_t) \quad (1)$$

ここで, L_0 は背景輝度, L_t は G_0 に対応する中心刺激の輝度である. Evans の実験結果を図1の点線に示す. 570~580nm 付近で最小となる. G_0 に到達するためには黄色相で L_t が高く, 赤または青, 紫において L_t の低いことを示す.

以上の結果を非線形色知覚モデルを用いて予測する.

背景は白色 ($Y_0=100$), 照明は C 光, 照度 $E_0=1000\text{lx}$ (輝度 $L_0=320\text{cd}/\text{m}^2$), 非線形色知覚モデルの基準化照度 $E_{0r}=1000\text{lx}$, 中心刺激は400~700nm の各スペクトルごと (10nm 間隔) に, $Y=0.581\sim120.0$ の22段階のサンプルを用いる.

これらの諸条件を用い, 非線形色知覚モデルにより推定した G_0 関数の推定値 $\langle G_0 \rangle$ を図1に実線で示す. 両者はほぼ良好な一致を示す.

図1 G_0 と $\langle G_0 \rangle$ の比較
点線は G_0 に実線は $\langle G_0 \rangle$ に対応する.

ここで G_0 の意味を考える. これは黒味知覚を完全に打消し, 色味知覚のみとするための, 各波長ごとの最低必要輝度を与えてい

大阪電気通信大学,
本研究は照明学会第1回研究・教育助成 [一般研究] による助成課題である.
成果の発表

Nayatani Y., Sobagaki H., and Hashimoto K.: Relation between Helmholtz-Kohlrausch effect, purity discrimination, and Go function, J. of Light & Visual Environment, Vol. 17, No2(1993)16-24.

る。黄波長で、この輝度が他の波長に比べて高いことは、次の2つの事実を示す。

- 1) 黄波長が achromatic な知覚成分を打消す力が弱い。
- 2) 黄波長の chromatic strength が弱い。

3. 測色純度弁別

無彩色光に、各スペクトル光を混ぜる。全輝度を一定に保つように工夫する。混色スペクトル色の量の少ない状態では無彩色と知覚され、量の大きい状態では有彩色味の存在が明らかに知覚される。丁度その閾値が存在する。

測色純度弁別閾値 $\Delta P_{c\lambda}$ は次式で与えられる。

$$\Delta P_{c\lambda} = \Delta L_{\lambda} / (L_w + \Delta L_{\lambda}) \quad (2)$$

ここで ΔL_{λ} は閾値に対応するスペクトル光の輝度、 L_w は白色光の輝度、 $L_w + \Delta L_{\lambda}$ は一定に保つ。図2の曲線1は Priest ら⁷⁾による純度弁別閾値の実験結果に基づく。曲線2は内川らの実験⁸⁾に対応する。閾値より高い等クロマ軌跡に対応する測色純度を求めたものである。非線形色知覚を用いて(2)式に対応する値を、 $E_0 = E_{0r} = 1000lx$, $Y = 20$, C光の条件で求めた。用いた等クロマ軌跡は $Q = 0$, $C = 4$ に対応する。

図2 2種の測色純度の識別曲線

曲線1は閾値における弁別実験に基づく。曲線2は閾値より高い一定知覚クロマを推定する実験に基づく。

計算結果を図3に示す。図3の結果と、図2の曲線2の結果の一致は良好である。一定クロマ測色純度軌跡の予測が、これに対応する実験結果を充分予測したことは興味深い事である。

色知覚モデルは弁別を目的とするものでないため、図2曲線1の弁別実験に対応するデータと予測の一致は充分ではない。これは、色知覚モデルを弁別実験に適用するためには、メカニズムの追加を必要とすることを示唆しているのかも知れない。

4. B/L 比と L/Y 比

各スペクトルの輝度は Flicker 法に基づく $V(\lambda)$ で与えられる(正しくは $V_M(\lambda)$ ⁹⁾の方がよい)。しかし、各スペクトルをすべて等輝度に保っても等明るさに知覚されない。例えば、570nm の

単色光と450nmの単色光を同一輝度に保ち、併置して明るさ比較すると前者の方が後者に比べて暗い。

このため、CIE では、異色明るさ合わせによる比視感度曲線 $V_{b,2}(\lambda)$ 等を1988年発表した¹⁰⁾。

このずれは B (明るさ)/L (輝度) 比効果などと呼ばれており、色度図内の全色度領域について各方面で研究されている。

以上のデータに基づき、B/L 比効果は、次式で推定される。

$$\delta(\lambda) = \text{Log} [V_{b,2}(\lambda)/V_M(\lambda)] - \text{Log} [V_{b,2}(570)/V_M(570)] \quad (3)$$

計算結果を図4の実線で示す。

同図の点線には、非線形色知覚モデル^{4),5)}および有彩色の明るさ仮説¹¹⁾に基づいて、B/L 比に対応する L (明度)/Y (Y 置) 比を求めたものである。

両者の一致は極めて良好である。さらに、黄スペクトルにくらべ、他の波長において明るさへの寄与の高いことを示している。再び、黄波長の chromatic strength の低いことを示す。

図3 物体色群 $Q = 0$, $C = 4$ の測色純度と主波長の関係

図4 2種の Helmholtz-Kohlrausch 効果の推定。実線は(3)式による値、点線は非線形モデルによる推定値である。

5. まとめ

異なる3種の色知覚現象(G_0 関数, 測色純度弁別, および Helmholtz-Kohlrausch 効果)には共通の特性のあることが判った。

その結果, 波長570nmの黄スペクトルが他の色相のスペクトル(特に赤, 青, 紫の色相)にくらべ, 1) chromatic strength の低いこと, 2) achromaticness 成分をキャンセルする能力の低いこと, などの特性が明らかとなった。

これらの諸現象に対し, 非線形色知覚モデルはすべての実験結果によく一致した予測を与える。すなわち非線形色知覚モデルは, 輝度および色順応に関する物体色の見えの予測を含め, 広範な応用分野を有することが判る。

なお強調したいことは, Evans の G_0 関数が色の見えに関する(物体色と発光色を含めて)基本的な量であることを確信している。

本研究の遂行に対し与えられた学会の研究助成に謝意を表す。

参 考 文 献

- (1) G. Wyszecki and W. S. Stiles : Color Science, 2nd ed., John Wiley & Sons, New York, (1984) 410-420.
- (2) Reference 1, pp. 571-574.
- (3) R. H. Evans : The perception of color, John Wiley & Sons, New York, (1974) 410-420.
- (4) Y. Nayatani, K. Hashimoto, K. Takahama, and H. Sobagaki : A nonlinear color-appearance model using Estevez-Hunt-Pointer primaries, Color Res. Appl. Vol. 12(1987) 231-242.
- (5) Y. Nayatani, K. Takahama, H. Sobagaki, and K. Hashimoto : Color-appearance model and chromatic-adaptation transform, Color Res. Appl. Vol. 15(1990) 210-221.
- (6) R. M. Evans, and B. K. Swenholz : Chromatic strength of colors : dominant wavelength and purity, J. Opt. Soc. Am. Vol. 57(1967) 1319-1324.
- (7) I. G. Priest, and F. G. Brickwedde : The minimum perceptible colorimetric purity as a function of dominant wavelength, J. Opt. Soc. Am. Vol. 28(1938) 133-139.
- (8) K. Uchikawa, H. Uchikawa, and P. K. Kaiser : Equating colors for saturation and brightness : the relationship to luminance, J. Opt. Soc. Am. Vol. 72(1982) 1219-1224.
- (9) Publication No. CIE 86, CIE 1988 2° spectral luminous efficiency function for photopic vision, CIE Central Bureau, Vienna, (1990).
- (10) Publication CIE No. 75, Spectral luminous efficiency functions based upon brightness matching for monochromatic sources, Central Bureau of CIE, Vienna, 1998.
- (11) Y. Nayatani, Y. Umenura, H. Sobagaki, K. Takahama, and K. Hashimoto : Lightness perception of chromatic object colors, Color Res. Appl. Vol. 16(1991) 16-25.