

# 動画像処理による色覚特性シミュレーション

## Simulation of color vision characteristics with dynamic image processing

神戸 秀 Syuu Kanbe

横浜国立大学 工学部

Faculty of Engineering, Yokohama National University

岡嶋 克典 Katsunori Okajima

横浜国立大学大学院 環境情報研究院

Graduate School of Environment and Information Sciences, Yokohama National University

キーワード：高齢者視覚、色の見え、  
画像処理

Keywords : Aging vision, Color appearance,  
Image processing

加齢による空間解像度の劣化（空間特性）や、明順応・暗順応の加齢変化（時間特性）を用いてシミュレーションも可能である。又、本手法は色覚異常のシミュレーションも可能である。

### 1. はじめに

現在、少子高齢化が急速に進む日本では、総人口に対する老年人口（65歳以上）の割合が2004年時点ですでに約20%に達し、高齢社会と位置付けられており、今後もさらにこの比率は増加すると予想されている。一方で「ユビキタス」という言葉が広まっている昨今、我々の身の周りではインターネットや携帯電話といった情報端末が急速な進展を遂げており、高齢者もこのような機器に触れる機会が増えると考えられる。このような情報端末や視環境の設計に際して、高齢者が認識しやすい表示サイズ、配色、優れた操作性といったユニバーサルデザイン（UD）の観点が必要不可欠となってきている。しかし、UDの明確な設計・評価基準が確立されていないのが現状である。このような社会背景から、高齢者の視覚をより忠実にシミュレートし、実際に設計を行う若齢者が高齢者の見えを把握することで、商品や環境の事前評価、定量評価だけでなく、既存製品や環境の改善などへの応用が期待される。

現在、高齢者の水晶体透過率低下を模擬した色眼鏡（光学シミュレーション）が行われているが、これらは視界を単純に黄色味を帯びさせるだけのものが多い。だが実際には、加齢により色相に劇的な変化は見られないことが知られている。この現象は、脳の高次処理による「加齢による色恒常性」が働いているためと考えられる<sup>[1]</sup>。

本研究では、光学的には模擬が困難な「加齢による色恒常性」を考慮した、水晶体透過率低下と老人性縮瞳による高齢者の視界を動画像処理を用いることで若齢者にシミュレーションできるシステムを開発した。カメラ入力によるリアルタイム動画像処理を行うため、高齢者にとって識別し易い配色かどうかなどを、その場で評価ができる。さらに空間的画像処理も適用することにより、色の見えだけでなく、

### 2. 高齢者視覚シミュレーション

水晶体の黄変は光学的には黄色フィルタを介することに相当する。そのため高齢者の網膜上には黄色味を帯びた光が入力されているはずだが、脳で色補正が行われ、知覚の段階では高齢者の見えと若齢者の見えには大きな色相差は生じていない。しかし、水晶体の黄変により光の透過率は低下するため、若齢者に比べ高齢者の実効輝度（実際に網膜上に到達する光量）は低下する。透過率低下は波長全域で生じるが、短波長側ほど低下量が大きい。又、老人性縮瞳（光に対して若齢者より瞳孔が開かなくなる現象）も、実効輝度を低下させる要因となる。そのため高齢者の視界は若齢者に比べて鮮やかさに欠けると予想される。これらの高齢者の視覚特性を光学的に模擬すると、透過率低下の模擬は可能だが、同時に色相にも変化を与えてしまう。逆に、色相を変化させないように、NDフィルタを用いたとすると、波長全域で一定割合で光量が落ちてしまうため、色（波長）ごとに異なる透過率の加齢による低下を模擬することができない。そこで画像処理を用いて、各画素の色に依存する変換を施す必要がある。

以上のことから、本シミュレータに表示される映像は、加齢に伴う色恒常性のため色度は等しく、水晶体黄変と老人性縮瞳のため輝度は異なる。色度を変えないということは、変換前のRGB各出力輝度と、変換後のR'G'B'各出力輝度の比を維持することで実現可能である。以下に変換アルゴリズムを示す。

- 1) PC入力RGB値における表示デバイス出力輝度を計算し $Y_p, Y_g, Y_b$ とする（若齢者に相当）。
- 2) 各色RGBに対する若齢者と高齢者間の実効輝度比を算出し $K_p, K_g, K_b$ とおく。（高齢者の水晶体透過率に相当する光学フィルタを介してディスプレイ

レイ上の RGB 色刺激の輝度値を計測)

3) 実効輝度比  $K$  を算出。

$$K = (K_R * Y_R + K_G * Y_G + K_B * Y_B) / (Y_R + Y_G + Y_B)$$

さらに老人性縮瞳による網膜照度の低下を模擬するため、実効輝度比  $K$  をさらに定数倍 ( $K' = \alpha K$ ) した。

$$Y'_R = K' * Y_R \quad Y'_G = K' * Y_G \quad Y'_B = K' * Y_B$$

$Y'_R, Y'_G, Y'_B$  が高齢者視覚を再現する表示輝度となる。ただし、70 歳:  $\alpha = 0.6$ 、80 歳:  $\alpha = 0.5$  である。

4) 表示デバイスの  $\gamma$  特性より  $Y'_R, Y'_G, Y'_B$  を満たす  $R'G'B'$  を逆算して出力。

この変換により、若齢者に対して、高齢者が入力画像 (光量) に相当する実環境を観察している際に実際に見ているであろうイメージを再現可能となる。

### 3. 結果と考察

実際上記変換でどのように色変換されるかを例で示す (表 1)。PC 入力 RGB 値による表示画像 (20 歳) と高齢者変換後の  $R'G'B'$  値による表示画像の輝度  $Y$  と色度  $xy$  を色彩色差計で計測した。ただし、ここではまだ老人性縮瞳の効果は考慮していない。

| 色名 | 若齢者  |       |       | 高齢者 (80 歳) |       |       |
|----|------|-------|-------|------------|-------|-------|
|    | Y    | x     | y     | Y          | x     | y     |
| ①白 | 100  | 0.345 | 0.381 | 42.0       | 0.344 | 0.378 |
| ②灰 | 9.29 | 0.337 | 0.366 | 4.17       | 0.338 | 0.350 |
| ③青 | 11.6 | 0.243 | 0.225 | 4.98       | 0.242 | 0.215 |
| ④黄 | 70.2 | 0.433 | 0.480 | 29.8       | 0.435 | 0.483 |

表 1: 色変換例

上記アルゴリズムで変換前後の色度がほぼ一定に保たれていることが確認できる。ここで配色に注目する。例えば②と③の組み合わせで標識などを設計した場合、若齢者には認識可能だが、高齢者にとっては 2 色の実効輝度差がわずかなために、色の境界が識別しにくいことがわかる。一方で、①と③の配色では若齢者であっても高齢者であっても、ある程度の実効輝度差が得られるため誰にでも認識し易い優れたデザインと言える。又、②と④の配色でも同様な効果が得られる。つまり、青など高齢者が認識しにくい色であったとしても、配色によって認識し易い表示を設計することは可能であることがわかる。このような配色による若齢者と高齢者間の色の見えの違いを、本シミュレータを用いることで、確認することができる。

### 4. 色覚異常シミュレーション

日本では男性の約 5% である 300 万人、女性の約 0.2% である 12 万人に相当する人が、赤緑の色を弁別しにくいという特性を有している (第一・第二色覚異常)。また極めて稀ではあるが、青黄の色が弁別しにくいといった特性もみられる (第三色覚異常)。高齢者視覚と同様に、このような色覚異常者の色覚特性を模擬することは UD の観点から非常に有意義であると言える。色覚異常は染色体異常によって LMS 錐体のうち、特定の錐体の働きが鈍る又は働かないことで起こる。例えば第一色覚異常の場合、L 錐体の出力を 0 と置き換えることにより模擬できると考えられるが、実際には第一色覚異常の人も色覚正常者と同様に、白色光や青黄など、同様に知覚することができる色がある。そのため LMS 錐体の内一つを 0 に置き換えるという操作では正確なシミュレーションは行えないため、これらの条件を考慮した錐体感度の変換式が提案されている<sup>[2]</sup>。色度図上で見ると、識別が困難になる色は  $xy$  色度図の混同色線で表すことができる。これまでに、等エネルギー白色順応下で、第一・第二色覚異常は 475nm と 575nm の単色光と白色点、又第三色覚異常は 485nm と 660nm の単色光と白色点を同一の色と認識することが知られており、この二つ単色光と白色点を結んだ直線と混同色線の交点 (色覚正常者と同一に認識できる主波長色) を求めることで、色覚異常者のシミュレーションが行われている<sup>[2]</sup>。

高齢者・色覚異常者の色変換に本シミュレータはパレットを用いており、各色 (RGB 値) に複雑な変換を施し、リアルタイムで動画像処理を行うことが可能である。

### 5. まとめ

光学シミュレーションが困難な加齢による色恒常性を考慮した高齢者視覚ならびに色覚異常の動画像処理シミュレーションを試みた。今後、実際にシミュレータを装着した若齢者と高齢者間の見えを比較することで、本シミュレータの妥当性を検証する予定である。

### 参考文献

- [1] "Age-Related Nonlinear Compensation in the Color Vision Mechanism," Proc. the First Asian Conference on Vision, 65 (2001)  
 [2] "Computerized simulation of color appearance for dichromats" J.Opt.Soc.Am.A Vol.14, No.10 2647-2655 (1997)