

福祉・介護・健康に関する画像処理の研究

- 視覚のシミュレーション -

Research of Image Processing for Welfare, Care and Health:

Simulation of Human Vision

河原和好¹

要旨

新潟日報社が中心となり「福祉・介護・健康フェア」が毎年開催されている。私の研究室では、2014年からテーマに沿った研究内容の展示を行ない参加している。2014年は見守りロボット、視覚シミュレーション、手話学習ソフトに関する内容を展示し、2015年は色覚障がいシミュレーションに関する内容を展示した。また、展示以外にステージにて講演も行った。

人間はいわゆる五感のうち視覚から情報を得ることがほとんどである。視覚には視力と色覚があり、人によって見え方が異なるが、それを体験することは難しい。

そこで、視力および色覚の見え方をコンピュータを用いてシミュレートすることによって、それぞれの見え方を体験することができるようなソフトウェアを開発した。視力の強弱と色覚障がいのタイプをそれぞれ体験できるものである。

本稿では、2年連続で展示発表を行なった視覚のシミュレーションに関する報告を行なう。

キーワード：福祉・介護・健康フェア、視覚、視力、色覚、シミュレーション

1. はじめに

人間は大きく分けると味覚・聴覚・触覚・嗅覚・視覚の5つ(いわゆる五感)から情報を得ている。その中でも視覚が占める割合は大きく、全体の約8割と言われている。

人間の目の視力は正常の場合1.0から1.2の値である。しかし、先天的または後天的に視力が悪い人が存在する。また、色覚についても、先天的または後天的な要因により、障がいを持つ人が存在する。

これらについて、視力が良い人、色覚に障がいがない人は、そうでない人がどのように見えているかを想像することはできても、体験することはできない。

そこで、視力が悪い人、色覚に障がいがある人の視覚を体験できるシミュレーションソフトを作成した。当初は画像に対し視力や色覚のシミュレーションをフィルタとして施すようなソフトを開発していたが、USBカメラを接続することによりリアルタイムで撮影した映像にフィルタ処理を行なうものとした。また、2015年の展示においては、ヘッドマウントディスプレイにUSBカメラを搭載して、体験者が見ている方向の映像をリアルタイムでフィルタ処理を行なうことによって、仮想的に視覚シミュレーションを体験できるようなものとした。

2. 人間の視覚

ここでは人間の視覚について、目の構造による視力および色覚について説明する。

¹ KAWAHARA, Kazuyoshi 情報システム学科

2.1 人間の目の構造

人間の目は図 1 のような構造をしている[5]。人間がものを見る時、目から入った光が角膜と水晶体を通り、硝子体の中を通過して網膜に像を結ぶ。

カメラの構造と似ており、カメラのレンズにあたるのが角膜と水晶体で、両方とも凸レンズである。水晶体は対象物の距離に応じて厚さを調節することにより、屈折率を変えてピントを合わせることができる。

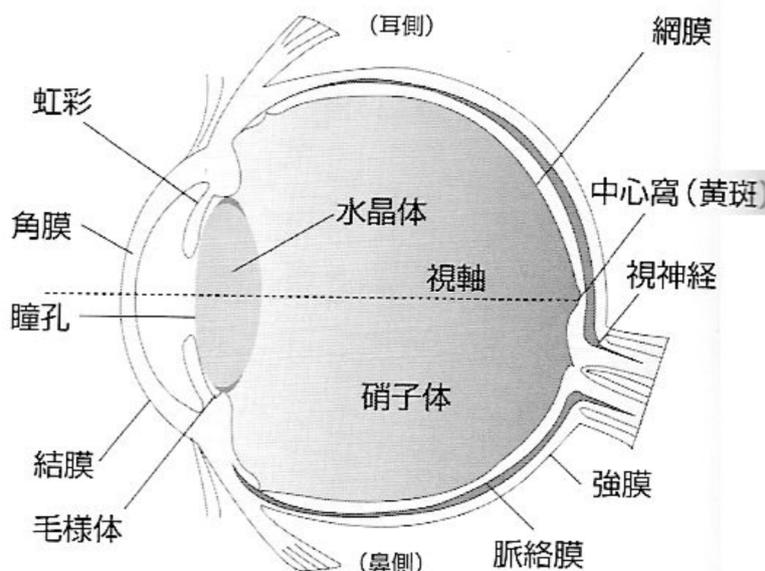


図 1：目の構造[5]

虹彩は目に入る光の量を調整しており、カメラにおける絞りの役割を果たす。硝子体は無色透明のゼリー状であり、これが眼球の中を満たしているため、球形を維持できている。

網膜はカメラにおけるフィルムに当たる部分である。視細胞が存在し、光からの刺激を受けてそれを電気信号へと変換し、視神経を通じて脳へと伝達する。網膜上で結ばれる像は、対象物の像がちょうど上下左右逆転したもので、その像の情報を脳が本来の向きへと補正し、はじめて人間は像を認識する事が出来る。

網膜の視細胞には、明暗を判断する桿体（かんたい）細胞と、色を判断する錐体（すいたい）細胞の 2 種類がある。桿体細胞は光に敏感なため、暗いところでも働くことができる細胞であるが、細かいものを見分けたり、色を感じたりする機能は無い。一方、錐体細胞は細かいものを見るために適している。さらに、この細胞は赤錐体、緑錐体、青錐体の 3 種類に分けられ、それぞれ特定の波長、すなわち色に反応するようになっている。

2.2 視力

一般的に視力とは、2 つの離れた点を認識できるかで判別され、確認できる最小視野角の逆数で表される。1 分の視角を確認できる能力が「視力 1.0」となる。1 分は角度を表す単位で、1 度の 60 分の 1 の角度のことである。つまり、確認できる最小視角が 2 分であれば視力は $1 \div 2 = 0.5$ となり、10 分であれば $1 \div 10 = 0.1$ となる。

視力測定には通常、ランドルト環が用いられる[4]。これは直径が 7.5cm、隙間が直径の 5 分の 1、つまり 1.5cm の環を 5m 離れたところから正しく認識できれば視力は 1.0 と定めたものである(図 2)。計測する距離を変える場合はランドルト環の大きさを距離の比率で変える。例えば、測定する距離を 1m とする場合、ランドルト環の直径は 1.5cm で、隙間は 0.3cm となり、これが判別できれば視力は 1.0 となる。

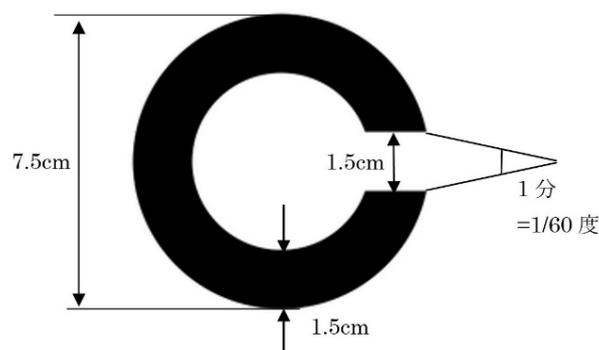


図 2：ランドルト環[4]

5m の距離から 0.1 の指標が見えなかった場合は、その指標が見えるようになった距離で視力を判定する。例えば、2m の距離で 0.1 の指標が見えた場合の視力は以下の式で求められ、視力は 0.04 となる。

$$\begin{aligned}
 \text{視力} &= 0.1 \times \text{見えるようになった距離} / 5 \\
 &= 0.1 \times 2 / 5 \\
 &= 0.04
 \end{aligned}$$

この検査で計ることができるのは中心視力である。これは網膜上の中心窩で像を捉えた時の視力であり、中心窩以外での視力は中心外視力(周辺視力)という。中心視力は正視の場合には視力 1.0 以上が得られるが、黄斑周辺部では 0.3 から 0.4 程度になり、視神経乳頭周辺では 0.1 前後になる。

2.3 色覚

人間が見ることの出来る光を可視光といい、この波長は 780 から 380nm(単位：ナノメートル)である。

2.1 節で述べたように、人間の錐体には赤錐体、青錐体、緑錐体の 3 種があり、これらが感じる光の比率で色が作られている。これを光の 3 原色といい、赤青緑の全てが合わさると白色になり、全てが無い場合には黒色となる。そこで、錐体が色を作り出すモデルとして、図 3 の色覚モデルが考案された。これは輝度と色情報が別々に伝達されることを表している。

図 3 において、V は輝度を表し、R,G,B はそれぞれ赤緑青それぞれの錐体からの信号を表し、r,g,b は赤緑青の色、y は黄色で、脳に伝えられる信号は、L(明るさ)、 $C_{yb} = y - b$ (黄色と青の差)、 $C_{rg} = r - g$ (緑と赤の差)となることを表している。

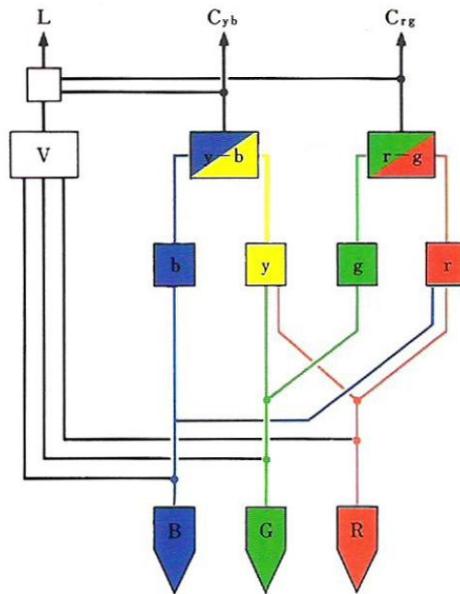


図 3 : 3 つの錐体による色の混合[6]

2.4 色覚障がい

色覚障がいとは、錐体の機能に不具合があるため正常に色を認識できなくなることであり、後天性と先天性のものがある。これまでは、いわゆる「色盲」「色弱」という言葉が使われていたが、「色が全く見えない」というような誤解が生じ、いろいろな場面で不利益を被る場合があったため、現在は使わなくなっている。本論文でも、「色覚障がい」という言葉を用いている。

先天性の色覚障がいの多くは遺伝により生じる。一般に知られているように、人間の染色体のうち性に関する染色体の型の組み合わせが XX (X 染色体を 2 つ有する) の場合は女性として、XY (X 染色体と Y 染色体を 1 つずつ有する) の場合は男性として発育する。色覚障がいは X 染色体に関する遺伝であり、男性は X 染色体が 1 つなため、これが色覚障がいに関する遺伝子であれば色覚障がいとなるが、女性は X 染色体が 2 つあるため、片方が色覚障がいに関する遺伝子であったとしてももう片方が正常であれば通常の視覚となるため、男性に色覚障がいが多くなる。いわゆる伴性劣性遺伝という遺伝によるものである。日本人の成人男性においてはおよそ 5% が先天性の色覚障がいを持つとされている (成人女性は 0.2%)。

後天性のものは、眼球や脳の疾患の症状として現れる。疾患の病状に伴い症状が変動する。また、先天性のものとは異なり遺伝子に起因しないため、眼の左右で症状が異なったり、見えない色の分類が困難であったりする。

先天性の色覚以上については、表 1 のような分類が可能である。

1 色覚は色を感じる錐体が機能せずに明るさを感じる桿体のみが機能している状態であり、10 万から 20 万人に 1 人である。3 つの錐体のうち 2 つが機能しない状態はほとんど少なく、3 つのうちどれか 1 つが機能しなくなる例が多い。さらに、1 型 2 色覚と 2 型 2 色覚が多くなっている。これは、赤錐体と緑錐体の構造が似ており、遺伝子が誤って組み立てることに起因する。3 型 2 色覚については、後天色覚異常の場合に見られる場合がある。これは青錐体が赤や緑錐体よりも損害を受けやすい構造をしているためである。

名称	状態
3色覚(C型)	通常の色覚
1色覚(A型)	色の識別が困難
1型2色覚(P型)	赤の識別が困難
2型2色覚(D型)	緑の識別が困難
3型2色覚(T型)	青の識別が困難

表1：色覚障がい分類[9]

色覚障がいの種類におけるカラスペクトルの見え方が図4である。1型2色覚(P型)と2型2色覚(D型)については、障がいが強い場合と弱い場合との例も示されている。「色覚障がい」という言葉にも差別感を感じる場合があり、「1型2色覚」「P型色覚」のような「色覚」という言葉で表現することも多くなっている。

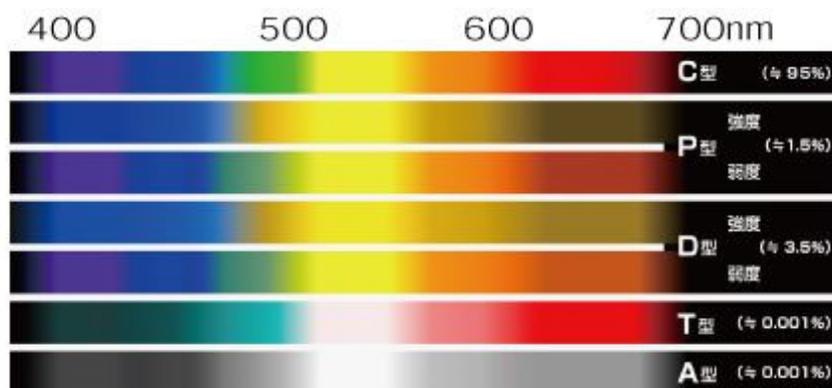


図4：色覚障がいにおけるカラスペクトルの見え方[9]

色覚障がいの検査については、以前は義務教育の段階で色覚検査が行なわれていたが、前述した言葉の理由もあり、現在は廃止されている。そのため、自分も周囲も色覚障がいであることに気付かないままの人が増えている。そのため、色覚の違いを問わず、より多くの人にとって利用しやすい製品やサービス、情報を提供するという考えが重要になっている。この考え方を「カラーユニバーサルデザイン」という[8,9]。

3. 視覚のシミュレーション

「カラーユニバーサルデザイン」の観点からも、色覚障がいのある人がどのように見えているかをシミュレートすることは重要であり、本研究ではそのためのシミュレーションソフトを作成した。

まずは一般的なPCとそれに接続されたUSBカメラを用い、プログラミングはプロトタイプを容易に形にしやすいため、Processingを用いた。

3.1 視力のシミュレーション

視力については、USBカメラから入力された画像に対して、ガウシアンフィルタを適用することで画像を平滑化することによって実現した。ガウシアンフィルタはガウス分布の関数を用いて画像を平滑化するもので、Processing にあらかじめ用意されているフィルタ機能を用いて実現した。

シミュレートに使用した原画像（福祉・介護・健康フェアのパフレットを USB カメラから取り込んだもの）が図 5 であり、視力が悪い場合のシミュレートを行なった画像が図 6 である。



図 5：原画像

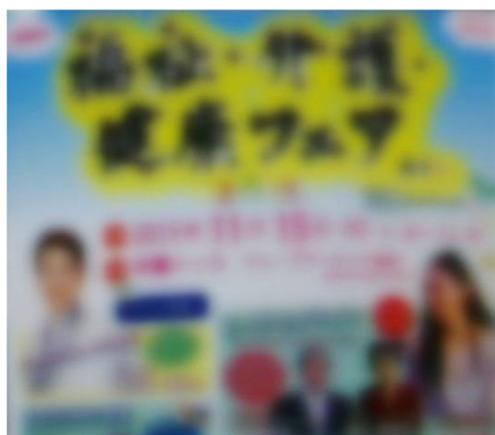


図 6：視力が悪い場合

3.2 色覚のシミュレーション

色覚については入力画像の RGB の値を取り出し、各タイプによって RGB 値の置き換えを行なうことによって実現できる。

1 色覚（A 型、色の識別が困難）については、RGB の値をグレースケールに変更することによって実現した（図 7）。変換は、桿体のメド反応値をもとに考案された、以下の変換式を使用した。

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$$

1 型 2 色覚（P 型、赤の識別が困難）、2 型 2 色覚（D 型、緑の識別が困難）、3 型 2 色覚（T 型、青の識別が困難）については、RGB 値の変換を行なうことによって実現した（図 8～図 10）。変換には図 3 で示した色覚モデルを参考にしている。変換前の RGB 値を r, g, b 、変換後の RGB 値を R, G, B 、1 型 2 色覚の強度（最大が 1）を p 、2 型 2 色覚の強度を q 、3 型 2 色覚の強度を s とすると、変換式は以下ようになる[6,9]。

$$1 \text{ 型 } 2 \text{ 色覚} : R = (1 - p) \times r, \quad G = g, \quad B = b$$

$$2 \text{ 型 } 2 \text{ 色覚} : R = r, \quad G = (1 - q) \times g, \quad B = b$$

$$3 \text{ 型 } 2 \text{ 色覚} : R = r, \quad G = g, \quad B = (1 - s) \times b$$



図 7：1 色覚



図 8：1 型 2 色覚



図 9：2 型 2 色覚



図 10：3 型 2 色覚

3.3 その他の機能

視力および色覚障がいについては、強弱が指定できるようにした。また、視力と色覚障がいの両方を同時にシミュレートできるようにした。また、それらを簡単に操作できるようにするため、マウスのボタンおよびキー入力でおこなえるようにした。

さらに、今後の実験も踏まえて、以下のようなシステムも構築した(図 11)。USB カメラをヘッドマウントディスプレイに装備し、体験する人にヘッドマウントディスプレイを装着してもらおう。これにより、リアルタイムで見ている風景に対してリアルタイムで視力や色覚障がいのシミュレートができるようになった。



図 11：ヘッドマウントディスプレイを使用したシステム

3.4 シミュレーションの評価

2014年および2015年に行なわれた「福祉・介護・健康フェア」において、このシミュレーションソフトの展示を行ない、多くの方に体験していただいた[10]。2014年は視覚シミュレーションのソフトのみで、2015年はヘッドマウントディスプレイを用いたシステムの展示も行なった。

体験していただいた方からは「興味深い」「今後役立ちそう」といった感想が得られた。フェアに参加することにより、一般の方や実際に福祉や介護に携わっている方々の感想やアドバイスが得られ、有意義な時間となった。

4. まとめ

本研究では、福祉・介護・研究フェアで展示発表を行なった、色覚障がいシミュレーションソフトを作成した。これにより、実際に体験することが難しい視力および色覚のシミュレーションが可能となり、実際の展示においても一定の評価を得ることができた。

視力については眼鏡やコンタクトレンズまた手術によって修正することは可能であるが、色覚障がいについては修正用のメガネなども一部存在するが、一般的に修正することは難しい。

そのため、色覚障がいについて、以前は検査が行なわれ、様々な場面で不利益を被ることがあるような状況であったが、このシミュレーションによる結果からも分かるように、完全に色が見えないというものではなく、一部の色の区別が難しくなるだけである。そこで、カラーユニバーサルデザインのように、色が区別できないような色の組み合わせを無くすようにしていくことにより、色覚障がいによる問題は解決することができる。本研究で作成したシミュレーションソフトは、そのような目的に適したものである。

参考文献

1. 本田仁視, 視覚の謎 : 症例が明かす「見るしくみ」, 福村出版, 1998
2. 乾敏郎, 視覚情報処理の基礎, サイエンス社, 1990
3. 大頭仁, 行田尚義, 視覚と画像, 森北出版, 1994
4. 矢作徹, 近視をレーザーで治す, 旭書房, 2000
5. 矢作徹, イントラレーザーでよみがえる視力, ウィズダムブック, 2004
6. 池田光男, 芦澤昌子, どうして色は見えるのか : 色彩の科学と色覚, 平凡社, 2005
7. 日本色彩研究所, 色のユニバーサルデザイン: 誰もが見分けやすく美しい色の選び方, グラフィック社, 2012
8. 伊賀公一, 色弱が世界を変える カラーユニバーサルデザイン最前線, 太田出版, 2011
9. NPO 法人カラーユニバーサルデザイン機構, 事例・資料・FAQ, <http://www.cudo.jp/resource/>, 2015
10. 新潟日報社, 新潟県社会福祉協議会, 新潟市社会福祉協議会, 福祉・介護・健康フェア, <http://www.niigata-sn.co.jp/nippo-hukushi/>, 2015