

高齢者の視覚特性模擬技術の開発

樋口和則，中野倫明，山本新

Simulation of Elderly People's Vision for the Design of Visual Displays

Kazunori Higuchi, Tomoaki Nakano, Shin Yamamoto

要 旨

高齢者（シニア）ドライバの増加と車載表示情報の増加に伴い，高齢者にも見やすい車載ディスプレイが望まれている。我々は，高齢者に対応したディスプレイの設計支援を目的に，画像技術による視覚特性再現システムならびに視覚特性補正表示法を開発した。視覚特性再現システムでは，視覚特性（空間周波数特性，分光特性，焦点調節特性）をモデル化し，加齢に伴う視覚機能の低下を画像処理によりコンピュータ上に再現する。視覚特性の補正では，視覚モデルに基づいて視覚機能の低下を補償した画像を提示する。空間周波数特性は，視覚特性で重み付けしたエッジ強調処理により，高齢者の高域の感度低下を補償する。分光特性は，色温度変換フィルタに相当する処理により，短波長成分の透過率低下を補償する。焦点調節特性は，虚像を用いた遠視点表示により対応する。各年齢用に補正した画像を用いた主観評価実験により，補正により高齢者の見やすさが向上することを示した。

Abstract

With the increased on-board information as well as the increasing number of elderly drivers, such on-board displays as easy to see even for elderly drivers are desired. We have developed a system to simulate human vision using image processing techniques. In this paper, we propose a new approach to designing visual displays for elderly people based on a human vision model. The model is represented by three vision properties; the contrast sensitivity of eyes, the spectral transmittance of crystalline lens and the accommodation, all of which are found in the visual science literature.

For compensating the deterioration of human vision with age, the image was enhanced by sharpening edges and by changing color balance. Simulation results are applied to automotive displays, including navigation systems and speedometers. The visibility has been improved in subjective experiments using the compensated images for various age groups.

キーワード

視覚特性，画像処理，ディスプレイ，高齢者，シミュレーション，再現，補正，人間工学

1. はじめに

総理府の統計によると高齢者（65才以上）の人口比率が1993年には13%を占め，その後も増加を続け2020年には25%に達すると見込まれている。

加齢に伴う生理学的な変化として，身体機能や

判断機能の低下があり，個人差こそあれ避けることはできない。特に，自動車の運転時には，その情報の多くを視覚から得ているため，加齢に伴う視覚機能の低下は自動車の安全性の観点から考慮すべき重要な問題の一つとなっている^{1, 2, 4)}。

一方，メータやナビゲーションシステムに代表

される車載ディスプレイの多様化に伴い、ドライバが視覚で処理すべき情報が増加する傾向にある。車載ディスプレイは、運転を補助する機能を付加する一方で運転者の視覚への負荷を増大させるため、その視認性向上が強く望まれている。

そのため車載ディスプレイの視認性向上を目的に多くの検討がなされている。例えば、文字サイズ・配色・コントラストの人間工学的実験に基づく検討^{13, 14)}、ヘッドアップディスプレイ^{15, 18)}や反射型メタ⁹⁾といった新しいディスプレイの検討などがある。

車載以外のディスプレイでは、テレビ画像に関して、視覚の空間周波数特性に基づいて画像の先鋭度を改善しようとの試みがある¹⁶⁾。これは、視覚の空間周波数特性のピーク付近の周波数利得を持ち上げることで、帯域を広げることなく先鋭度を向上させるというものである。高齢者の視覚特性を考慮したテレビの条件の提言¹⁷⁾もある。ここでは、輝度、色、文字サイズ、視距離、周囲の明るさなどを高齢者に配慮して設定することの必要性が述べられているが、具体的な表示方法については言及されていない。

筆者らは、加齢に伴う視覚機能の低下をコンピュータ上で画像処理により再現する手法ならびに、表示画像を視覚特性に基づいて補正することで、高齢者に見やすくする表示手法を開発した。本稿では、視覚特性の加齢変化に関する研究報告例について概説し、高齢者の視覚特性の再現方法および補正表示手法について述べ、同手法による処理結果および有効性の評価結果を示す。

2. 視覚機能の加齢変化

人間の視覚機能をモデル化する研究は生理物理学的な見地から多くの研究者によってなされ、様々なモデルが提案されている²⁾。

視覚機能の低下は、眼球光学系や制御系の加齢変化に伴う網膜像の画質劣化に起因するものと、網膜系や神経伝達系の加齢変化に伴う網膜像の知覚低下に起因するものの複合結果であると考えられている³⁾。

本論文では、主として眼球光学系と制御系の変化による網膜像の画質劣化を対象とし、順応や色

の恒常性など脳での高度な視覚情報処理は考慮しないこととする。

視覚機能の加齢変化として1) 空間周波数特性、2) 分光特性、3) 焦点調節特性、4) 眼球運動特性、5) グレア特性などがある。車載ディスプレイの視認性に着目する場合、1)~3)が重要と考えられる。

Fig. 1に三つの視覚特性（空間周波数特性、分光特性、焦点調節特性）について報告されている計測例を示す。

Fig. 1(a)⁴⁾は、視覚の空間周波数特性を示したもので、網膜から脳にいたる視覚系の特性である。眼の屈折系の影響を極力排除するために、レーザ光の干渉縞を直接網膜に結像させてコントラスト感度（縞を判別できる最小コントラストの逆数）を計測したものである。一般に、空間周波数特性は3~5 cpd (Cycles / Degree) にピークを持つバンドパス特性で、加齢に伴い高周波領域での感度が低下する。空間周波数特性を数値モデルで表す試みはいくつかなされている⁵⁾が加齢変化を含めてモデル化したものは見あたらない。

Fig. 1(b)²⁰⁾は、水晶体の分光透過率を示したものである。色覚の加齢変化は、網膜機能の加齢変化¹⁹⁾や水晶体の黄変^{6, 10)}に起因するといわれている。水晶体の分光透過率は、加齢に伴って全体的に低下するが、特に短波長領域での低下が著しい。これは、青色成分の光が透過しにくくなることを意味する。水晶体の摘出手術前後での色覚を比較した結果から、高齢者は黄色味を帯びて知覚していると報告されている^{7, 11, 12)}。

Fig. 1(c)⁸⁾は、加齢に伴う焦点調節力の低下を示したものである。これは、水晶体の硬化や毛様体の筋力低下に起因する。調節力は焦点の合う距離 (m) の逆数として定義され、D (Diopter) という単位で表される。調節力は比較的若い年齢から徐々に低下し、65才では約1D (若年者の約1/10) まで低下する。また、調節力だけでなく、動的な焦点調節特性として調節応答速度も低下することが報告されている²³⁾。

3. 視覚特性の再現方法

Fig. 2に視覚特性再現の基本的な考え方を示す。入力画像（時系列のカラー画像）に対して、三つ

の視覚特性（空間周波数特性，分光特性，焦点調節特性）に応じた伝達関数を持つ画像処理を施し，出力画像を得る方法である。これにより，年齢による見え方の違いを計算機上に再現する。なお，ここでは三つの特性を独立に処理し，人間の視覚のプロセスに従って焦点調節特性，分光特性，空間周波数特性の順に処理することとした。また，再現結果は20才の視覚特性を基準とした標準観察者が観測すると仮定する。以下，三つの特性の再現方法について説明する。

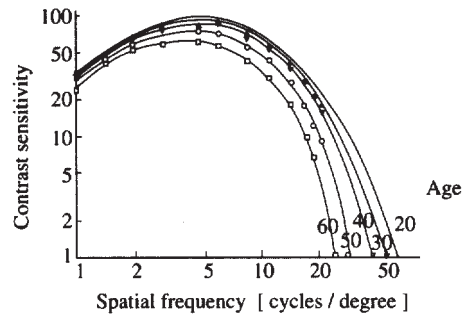
3. 1 空間周波数特性

Fig. 1(a)のように，加齢に伴って高い周波数に対する感度が低下するため，像がボケて知覚される。これを式(1)で示すガウス関数の畳み込み積分（convolution）で近似する。周波数領域で表すと式(2)のようになる。これはローパスフィルタであり，年齢に対応して σ を変えることによりボケ具合を変化させる。車載ディスプレイの視認性を考慮する場合，対象となるのは比較的細かい部分が多いため，空間周波数領域では2～5 (cpd) 以上を近似できればローパスフィルタでも目的に合うと考えられる。そこで，厳密な近似より処理の簡便さ（カットオフ周波数を数学的に容易に定義できることやFFTに比べて計算コストが低いことなど）を優先させ，この方法を用いる。

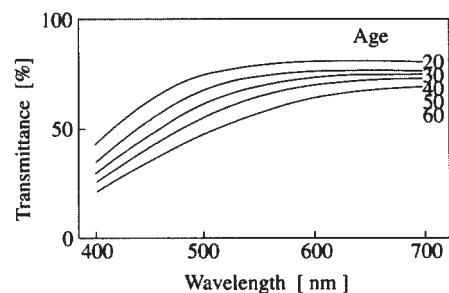
$$h(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{x^2 + y^2}{\sigma^2}\right) \quad (1)$$

$$H(u, v) = \exp\left(-\frac{1}{2} \sigma^2 (u^2 + v^2)\right) \quad (2)$$

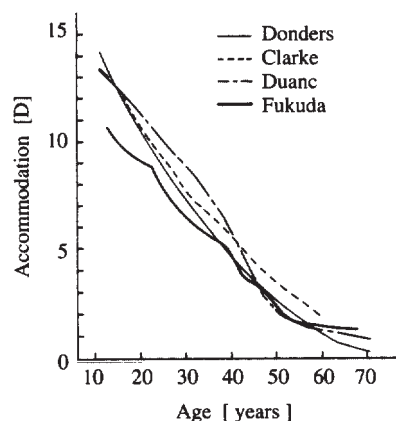
つぎに，年齢に対応した σ の決め方を説明する。基本的には，既存の視覚特性のデータ⁴⁾の2～5 (cpd) 以上の空間周波数のデータに合うように式(2)の σ を決定する。フィッティングの方法にはいろいろあるが，ここではコントラスト感度の最大値（ピーク値）と最小値（感度1）のデータを用いて σ を決定する方法とした。Fig. 3に60才の空間周波数特性のデータと求められたガウス関数を示す。3 (cpd) 以上で良好な近似が得られていることがわかる。



(a) Spatial sensitivity (Ohzu, et al.)



(b) Spectral transmittance (Kanaya, et al.)



(c) Accommodation (Fukuda, et al.)

Fig. 1 Examples of human vision properties.

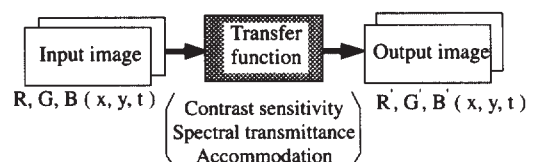


Fig. 2 Block diagram of the basic algorithm.

3.2 分光特性

水晶体と同じ分光特性を有する光学的なフィルタを模擬することを考える。Fig. 4に概念図を示す。水晶体の分光透過率を $T_e(l)$ 、物体からの放射光の分光分布を $E(l)$ とすると、眼球への入射光の分光分布 $P(l)$ は次式のように表される。

$$P(l) = T_e(l) E(l) \quad (3)$$

このような分光特性の光学フィルタを画像処理で再現することを考える。 $E(l)$ に対する三刺激値 X , Y , Z は、等色関数を用いて次式のように表される。

$$\begin{cases} X = K \int T_e(\lambda) E(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ Y = K \int T_e(\lambda) E(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \\ Z = K \int T_e(\lambda) E(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \end{cases} \quad (4)$$

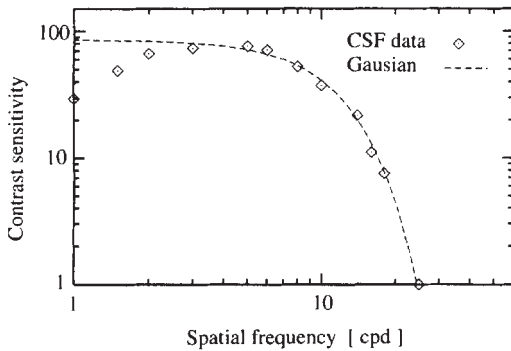


Fig. 3 Gaussian curve and the contrast sensitivity.

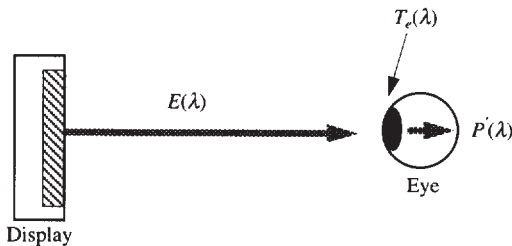


Fig. 4 Illustration of simulating the spectral transmittance.

ここで、水晶体の透過率 $T_{e0}(l)$ の標準観察者が知覚している刺激値を原画像のRGB値に対応すると仮定すると、 $T_e(l)$ の水晶体を通して見る場合の三刺激値 X_1 , Y_1 , Z_1 は次式で得られる。 Y_1 , Z_1 も等色関数が入れ替わるだけであるので省略する。

$$X_1 = \left(\frac{\int T_e(\lambda) E(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda}{\int T_{e0}(\lambda) E(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda} \right) X \quad (5)$$

入力のRGB値から直接 $E(l)$ は求まらないので、 $E(l)$ は既知として与えた。

3.3 焦点調節特性

焦点調節特性は眼球を単純な光学系と考え、調節力の不足による合焦位置のずれで生じるボケを画像処理により近似する。Fig. 5にGullstrandの略式模型眼No. 2を元にした最も単純化した眼球光学モデルを示す。瞳孔径を d 、像側主点と網膜曲面間の距離を f_0 、大気屈折率を n_1 、眼内液の屈折率 n_2 とする。

調節力がDD不足している場合、合焦位置の網膜からのずれ量 e は次式で表される。

$$e = \left| 1 / \left(\left(\frac{n_1}{n_2} \right) \Delta D \times 10^{-3} + \frac{1}{f_0} \right) - f_0 \right| \quad (6)$$

合焦位置のずれにより、本来網膜上で1点に結像するはずの光線が半径 R のボケを生じるとして、次式が得られる。

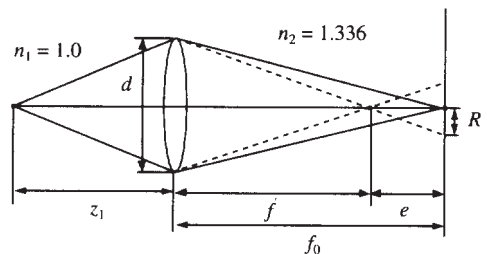


Fig. 5 Illustration of the eye optical model.

$$R = \frac{1}{2} \cdot \frac{d}{f'} \cdot e \quad (7)$$

焦点調節力の不足による画像のボケは、Fig. 6 に示す半径 R の円筒状の伝達関数を定義し、これと原画像の畳み込み積分で近似する。

静特性の再現は、対象物までの距離にピントを合わせるための調節力と、その年齢における調節力の限界値（Fig. 1(c)の近点）との差を ΔD とし、この値を式(6)、(7)に代入してボケの半径 R を計算する。

つぎに、動特性の再現は、対象物に視点を移動した瞬間から一定の調節速度で調節力がリニアに変化すると仮定し、最終的にその年齢の静的な調節力の限界値まで変化するものとする。

4. 視覚特性を考慮した表示方法

基本的な考え方は、加齢による視覚特性の低下を見込んだ補正画像を提示することにより、設計者が意図した画像を知覚させるというものである。Fig. 7に基本的なブロック図を示す。入力画像を F_i 、視覚系伝達関数を H_e 、 H_e による劣化を補償する処理を H_c と表すと、視覚系を通して観察した画像 F_0 は次式で表される。

$$F_0(u, v) = F_i(u, v) \cdot H_c(u, v) \cdot H_e(u, v) \quad (8)$$

視覚系を通した画像 F_0 が標準観察者の場合に近くなるように、 H_e を決める。以下では、三つの視覚特性（空間周波数特性、分光特性、焦点調節特性）を考慮した表示の実現方法について述べる。

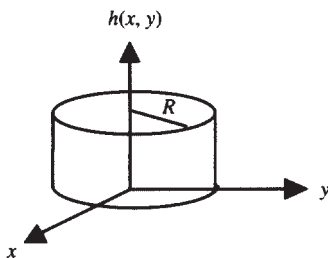


Fig. 6 Defocusing function.

4. 1 空間周波数特性

加齢による視覚の空間周波数特性の劣化を補う処理を考える。数学的には、劣化した画像はその逆フィルタにより原画像に復元できる。しかし、ノイズの影響や処理の有限性から逆フィルタによる復元は必ずしも良好な結果が得られるとは限らない。そこで、このような高周波領域の劣化を補償するために、原画像に対する高域強調処理を行うこととした。高域強調の代表的な方法として、入力画像とその高周波成分を用いたアンシャープマスクによる鮮鋭化処理がある。これは、写真技術の分野で従来から用いられるもので、エッジ部分を強調させる効果がある。入力画像を $f(x, y)$ とすると、ラプラシアンを用いた場合の補正画像 $f_1(x, y)$ は式(9)で表され、周波数領域では式(10)のようになる。

$$f_1(x, y) = f(x, y) - k \cdot \nabla^2 f(x, y) \quad (9)$$

$$F_1(u, v) = (1 + k(u^2 + v^2)) F(u, v) \quad (10)$$

ここで、補正係数 k は視覚特性の劣化度合いに応じて設定する必要がある。補正系と高齢者の視覚系を合わせた周波数特性が標準観察者のそれと等しくなるような補正係数 k を式(10)を用いて近似により求めた。しかし、こうして得られた k は処理の有限性などを考慮していないため、必ずしも最適値ではない。そこで、得られた補正画像を入力にして高齢者の視覚特性を通した画像をシミュレーションにより生成し、原画像との二乗平均誤差を用いて実験的に k を修正した。

このようなエッジ強調処理は、視覚のマッハ効果をあらかじめ提示画像に施すことと同等であり、濃度のエッジ部分を強調して知覚する視覚効果が期待される。

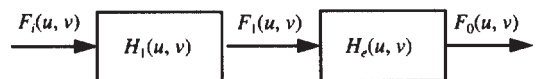


Fig. 7 Basic diagram of compensating the visual deterioration.

4.2 分光特性

視覚の分光特性に対する補正は、加齢による水晶体の分光透過率の変化を見込んだ画像を提示することで行う。

Fig. 8に概念図を示す。眼の前面に分光透過率 $T_c(\lambda)$ なる補正フィルタをおいた場合に相当する。補正フィルタを透過して眼球に入射する光の分光分布 $P'(\lambda)$ は次式で表される。

$$P'(\lambda) = T_c(\lambda) T_e(\lambda) E(\lambda) \quad (11)$$

ここで、標準観察者の水晶体の分光透過率を $T_{e0}(\lambda)$ とすると、補正フィルタにより標準観察者と同じ眼球への入射光を得る条件 $P'(\lambda) = P(\lambda)$ から次式が得られる。

$$T_c(\lambda) = \frac{T_{e0}(\lambda)}{T_e(\lambda)} \quad (12)$$

これは、いわゆる色温度変換フィルタと等価な処理と考えることができる。

つぎに、このような分光特性の光学フィルタを画像処理で実現することを考える。第3.2章と同様な仮定を行い、標準観察者が補正フィルタを通して見る場合の三刺激値 X_1, Y_1, Z_1 は入力画像から計算される X, Y, Z を用いて次式で得られる。 Y_1, Z_1 も等色関数が入れ替わるだけであるので省略する。

$$X_1' = \left(\frac{\int T_c(\lambda) T_{e0}(\lambda) E(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda}{\int T_{e0}(\lambda) E(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda} \right) X_1 \quad (13)$$

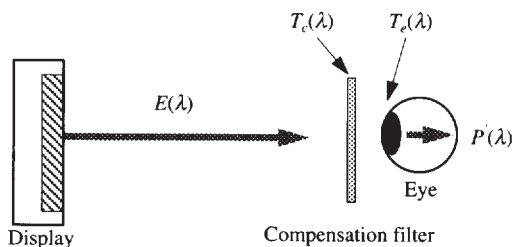


Fig. 8 Illustration of compensating the spectral transmittance.

4.3 焦点調節特性

加齢に伴う焦点調節力の不足により、近くに焦点が合わなくなる。これを補うためには、遠くに表示する方法が直接的かつ確実な方法である。具体的方法として、反射鏡やホログラムを用いた虚像による遠視点表示がある。Fig. 9に鏡を用いた遠視点表示メータの概略図を示す。

この場合、どの距離に表示するとどれくらい効果があるのかをあらかじめ見積もることが重要である。第3.3章で述べた方法において遠視点表示した場合の視距離を与えることにより、その効果を計算機上で視覚的に再現できる。

5. 結果と考察

Fig. 10にナビゲーションシステムの表示画面について、視覚特性（空間周波数特性と分光特性）を再現した例を示す。これは、視距離75cmの位置にある5インチのディスプレイを(a)30才と(b)60才がそれぞれ見た場合について計算したものである。加齢に伴って、全体的に暗く黄色っぽくなり細かい部分がぼける。特に、地名や道路を示す線のコントラストが低く、運転中にナビを見る短時間では把握しづらいと思われる。同様に、Fig. 11にコンソールの操作部について、60才の見え方を再現した例を示す。操作ボタンの細かい文字やシンボルなどは判別しにくくなることわかる。

Fig. 12に焦点調節特性を再現した例を示す。これは、10m前方を見ながら運転している状態から75cmの視距離にあるメータに視点を移動した直

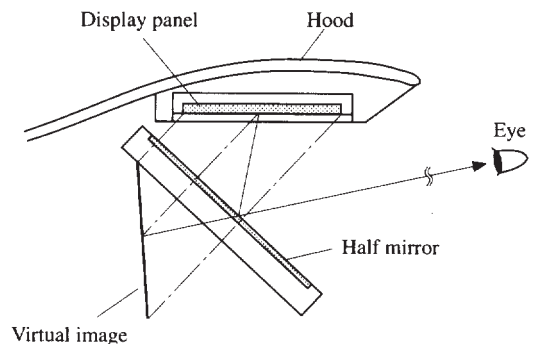


Fig. 9 Basic setup of a virtual image display.

後の状態を計算したものである。この場合に必要な調節力は1.23 (D) ($= 1/0.75-1/10$) である。焦点

深度に影響を及ぼす瞳孔径は通常の照明下で標準的な3mmとした。



(a) 30years



(b) 60years

Fig. 10 Comparison of the simulated images with a contrast sensitivity and a spectral transmittance (navigation display).



Fig. 11 Simulated image with a contrast sensitivity and a spectral transmittance (instrumental panel, 60years).

Fig. 13に30, 40, 50, 60才の視覚特性(空間周波数特性と分光特性)に基づく補正画像を示す。年齢が高くなるほど高周波成分を含むエッジ部分が強調され、さらに全体的に青色成分の割合が増加されている。

Table 1に遠視点表示の効果を試算した結果を示す。これは、視点を10mから75cmに移動した場合に必要な焦点調節時間を30才と60才について計算したものである。通常表示(75cm)の場合、30才では0.24秒でピントが合うのに対して、60才では1.9秒かかる。実際には、加齢により瞳孔径は小さくなる(老化に伴う縮瞳)ため、焦点

深度の点で高齢者の場合の焦点ボケの程度は良くなると考えられるが、いずれにしろ、運転中の短い視認時間では多少ぼけた状態で読み取っているのが実情と推察される。

つぎに、視覚特性(空間周波数特性と分光特性)の補正の効果を確認するために、官能評価と定量評価実験を行った。官能評価実験では、各年齢用に補正した4種類の画像(Fig. 13)を被験者(19名)に提示し、滑らかさと鮮明さを尺度に見やすい補正画像を選ばせた。その結果をFig. 14に示す。30才代の被験者では30才用または40才用の補正画像を見やすいとした答えがそれぞれ45%で合計90%



Fig. 12 Result of simulating an accommodation (speedometer, 60years).

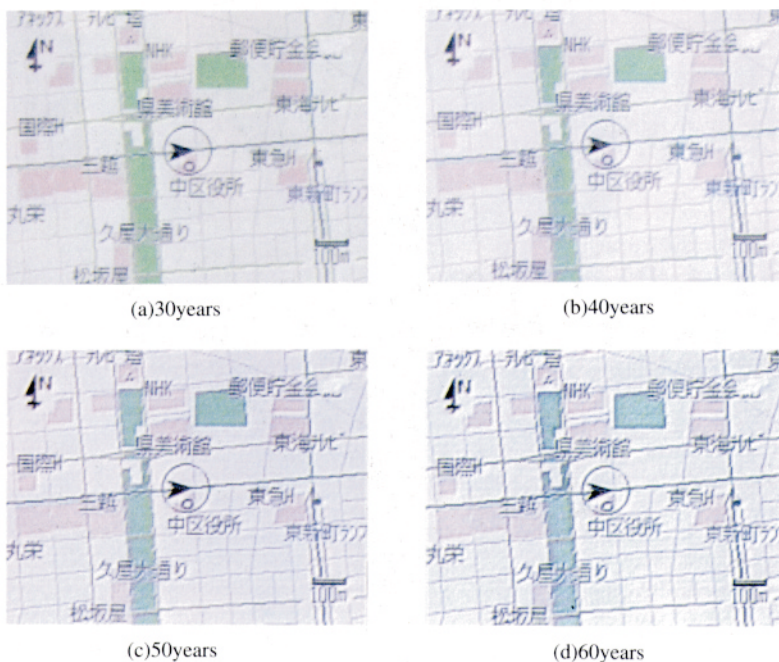


Fig. 13 Examples of simulated images to recover the visual deterioration.

あるのに対し、60才代の被験者では50才用または60才用の補正画像を見やすいとした答えがそれぞれ40%、50%で合計90%あった。これより、被験者の年齢と一番見やすい補正画像との間でかなりよい相関が得られ、本補正手法が有効であることが分かる。

定量評価実験では、補正のコントラスト感度への影響を調べた。実験では、高齢者を被験者に、補正がある場合とない場合について、コントラスト感度（最小コントラストの逆数）を計測した。空間周波数特性と分光特性の補正効果の寄与を調べるために、2組のテストパターン（白黒パターンと輝度一定の青 - 黄パターン）を用いた。テストパターンは縦縞で、各々正弦波でレベルを変調した。Fig. 15に白黒パターンを用いたときのコントラスト感度特性を補正の有無で比較して示す。補正によりコントラストが向上するため特に高周波領域で感度が向上することが確認された。

Table 1 Comparison of the accommodation time between conventional and virtual image display.

	Distance [m]	Accommodation time [s]	
		30years	60years
Conventional	0.75	0.24	1.9
Virtual image	1.0	0.17	1.4
	1.5	0.11	0.9

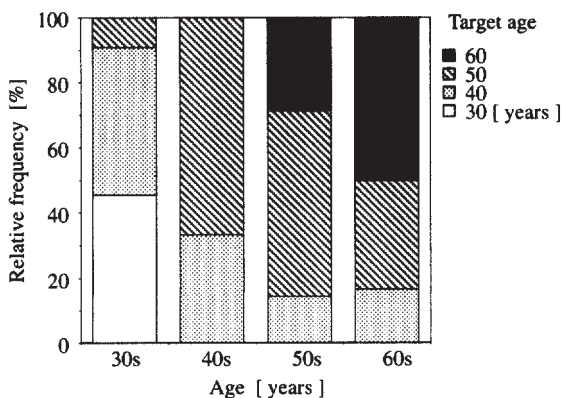


Fig. 14 Subjective evaluation of the compensated images at each age group.

6. まとめ

高齢者に見やすい車載ディスプレイの設計支援を目的に、画像処理による視覚特性再現システムならびに補正表示法を開発した。視覚特性の再現とは、若年者が仮想的に高齢者の視覚機能を体験し評価することであり、視覚特性の補正とは、加齢に伴う視覚特性の低下を補償して高齢者に表示を見やすくすることである。

開発した視覚特性再現システムは、ディスプレイの表示だけに限らず、操作部分を含む運転席全体の操作系の見え方の再現にも適用できる。本システムは、人間の視覚系を厳密にモデル化したものではないが、設計者が高齢者の視覚を直観的に体験できる設計ツールとして意義が大きいと考えられる。

さらに、視覚特性の補正では、加齢に伴う視覚機能の低下をあらかじめ見込み、それを画像処理により補償する表示手法を提案し、実験によりその有効性を確認した。これは、加齢による視覚機能の低下を積極的に補って高齢者に見やすくなるための試みであり、ディスプレイの改良に生かされつつある。今後は、対象の三次元的な配置や環境の明るさの影響を考慮し、視覚機能と合わせた見え方を再現する方法などが課題である。

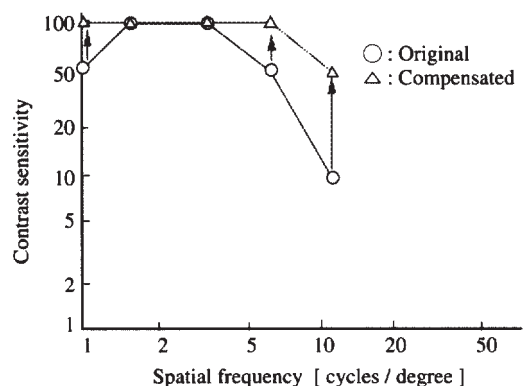


Fig. 15 Improvement of the contrast sensitivity.

参 考 文 献

- 1) 深野, 廣田: "自動車用表示装置の技術動向と将来展望", テレビジョン学会会誌, IDY92-175, (1992), 5
- 2) 樋渡: "視覚とテレビジョン", 日本放送協会, 201p
- 3) 福田: "高齢者の視覚機能", 電子情報通信学会技術研究報告, IE90-409(1991), 1
- 4) 大頭, 行田: "年齢による時空間周波数特性の変化", 日本眼光学学会誌, 8-1(1987), 32
- 5) Rohaly, A. M. and Owsley, C.: "Modeling the Contrast-Sensitivity Functions of Older Adults", J. Opt. Soc. Am. A, 10-7(1993), 1591
- 6) Said, F. S. and Weale, R. A.: "The Variation with Age of the Spectral Transmissivity of the Living Human Crystalline Lens", Gerontology, 3(1959), 213
- 7) 森, 河本, 秋山ほか: "水晶体着色による色の見え方変化の心理物理的測定", 日本色彩学会誌, 7-3(1983), 107
- 8) 福田, 浜田, 丸尾: "本邦人に於ける調節力と年齢との関係について", 日眼会誌, 66-3(1962), 181
- 9) 河合, 伊藤, 嶋: "自動車ディスプレイの設計要件", テレビジョン学会誌, 47-5(1993), 585
- 10) Lerman, S. and Borkman, R.: "Spectroscopic Evaluation and Classification of the Normal, Aging, and Cataractous Lens", Ophthal. Res., 8(1976), 335
- 11) 矢野, 橋本, 金谷: "高齢者の色識別能力 - 光色との関係 - ", 第8回色彩工学コンファレンス, 7-2(1991), 121
- 12) Granville, W. C.: "Colors Do Look Different after a Lens Implant!", Color Res. & Appl., 15-1(1990), 59
- 13) Poynter, D.: "Contrast Sensitivity and Image Recognition: Applications to the Design of Visual Displays", Displays, Technol. Appl., 13-1(1992), 35
- 14) 岸, 杉浦, 木村: "自動車用ナビゲーション画面の視認性検討", 自動車技術, 46-9(1992), 61
- 15) 岡林, 畑田: "自動車用ヘッドアップディスプレイの前景視認特性", テレビジョン学会誌, 46-4(1992), 508
- 16) 佐々木, 長岡: "テレビ系と視覚系の関係についての検討", テレビジョン学会視覚研究委員会資料, No.9-1, No.10-1 (1968)
- 17) 福田: "高齢者とテレビ", テレビジョン学会誌, 44-1(1990), 39
- 18) Inuzuka, Y., Osumi, Y. and Shinkai, H.: "Visiblity of Head Up Display (HUD) for Automobiles", Proc. Human Factors Soc. 35th Annu. Meet., (1991), 1574
- 19) 塚原監修: "老人と眼", 図説臨床眼科講座4, メジカルビュー, (1984), 213p
- 20) 金谷, 明石, 矢野: "高齢者の視覚と視環境", National Tech. Rep., 38-6(1992), 651
- 21) Woodhouse, J. M.: "The Effect of Pupil Size on Grating Detection at Various Contrast Levels", Vision Res., 15(1975), 645
- 22) 応用物理学会編: 生理光学, (1975), 朝倉書店, 302p
- 23) Fukuda, T.: "An ergonomic Evaluation of Lens Accommodation Related to Visual Circumstances", Ergonomics, 33-6(1990), 811
- 24) 佐々木: "高齢者用の車は非高齢者につくれるか", 自動車技術会中部支部報, No.45(1996), 2

著 者 紹 介



樋口和則 Kazunori Higuchi

生年: 1962年。

所属: 画像情報研究室。

分野: 3次元画像計測・検査および自動車におけるヒューマンインタフェース分野の研究開発。

学会等: 電子情報通信学会, 電気学会会員。



中野倫明 Tomoaki Nakano

生年: 1956年。

所属: 画像情報研究室。

分野: 画像処理による計測・検査および自動車におけるヒューマンインタフェース分野の研究開発。

学会等: 電子情報通信学会, 電気学会, 自動車技術会会員。
工学博士。

山本新 Shin Yamamoto

生年: 1942年。

所属: 画像情報研究室。

分野: 画像処理による計測・検査および自動車におけるヒューマンインタフェース分野の研究開発。

学会等: 電子情報通信学会, 計測自動制御学会, 日本ロボット学会会員。
1984年 IEEE-VTS Paper Award受賞。
工学博士。