

白内障擬似体験フィルタ装着時のグレアとコントラスト感度

高橋啓介

The Effects of Wearing the Filters Simulating Cataract upon the Contrast Sensitivity and Glare

TAKAHASHI Keisuke

In this study, luminance of glare lights, which elicit discomfort, and intensity of the diffusion of the light transmitter were both controlled systematically. The diffusion of the light transmitter was controlled by using the filters which simulate mild cataract. The purposes of this study is to examine the effects of the systematic control over experimental conditions on the subjective visibility of the visual target and the contrast sensitivity.

The results of this study was as follow: (1) both of the contrast sensitivity and the visibility of the visual target decreased as the illumination of glare lights had increased; (2) this tendency was remarkable when the diffusion of the light transmitter increased; (3) although similar tendency was seen with the estimation of glare, there was a contrastive relationship between the estimation of glare and the diffusion of the transmitter in middle illuminant of glare light. These results suggest that the relationship between the contrast sensitivity and the glare should not be decided unitarily.

Keywords : 白内障擬似体験フィルタ、中間透光体白濁度、コントラスト感度、グレア

filters simulating cataract, degree of diffuseness in light transmitter, contrast sensitivity, glare

1. 問題

加齢による視覚障害の中で一般性が高いのは、水晶体の白濁による白内障であろう。水晶体の白濁は池田ら(2004)が詳細な報告を行っている通り、光の散乱と分光透過率の低下をもたらす。機能的には、光散乱は形態知覚に関与し、分光透過率は色知覚に関与する。池田ら(2004)によると、白内障者が体験する日常生活における不全は、明所での形態知覚の不鮮明さ、薄明でのグレア、暗所での形態認知と色認知の劣化である。従来、白内障者の見えの不全の評価は、主に主観的な見えづらさと視力の低下によっており、その治療法も上記に対する対症療法が基本であり、その典型が遮光レンズの装用であり、根治療法が白濁した水晶体を外科的に吸引除去し、人工眼内レンズをインプラントするものである。しかし、川嶋ら(2006)が報告するように、遮光レンズの装用は、主観的なグレアを低減するものの視力を回復させる効果はなく、さらに色知覚、特に黄-青系に色相の偏位をもたらすことが明らかとなっている。また、白内障の根治療法である、眼内レンズのインプラントは、重度の白内障に対して適用されるものであり、軽・中度の白内障者に対しては、著しい効果をもつ対症療法はなく、したがって、彼らの見えの不全の方が日常生活の面からは深刻な問題となりうる。つまり、手術適用段階以前の白内障に対する有効な対処法の確立は重要な社会的意味をもつものであると考えられる。そのためには、白内障の主要因である中間透光体の白濁が、視覚の機能的側面にどのような効果をおよぼすのかを心理物理学的に明らかにすることが重要であろう。

中間透光体の白濁が視機能におよぼす効果に関する心理物理学的な検討としては、池田らのグループが色の見えの変化に関する一連の研究(池田ら, 2003; Ikeda, M., *et al.*, 2003; 小浜ら, 2004)を行っており、光散乱が黄系を除く色で彩度低下をもたらすことを示している。また、川嶋ら(2006)、川嶋ら(2007)は、白濁フィルターと遮光眼鏡との相互作用をコントラスト視力および色相弁別能において検討しており、白濁フィルター装着によって生じる低コントラスト視力の低下が視感透過率の高い遮光レンズの装着によって改善すること、白濁フィルター装着時に黄-青系の色相混同が生じ、それは遮光レンズの装着によっても改善しないことを示している。

またグレアに関する研究も行われている。Zigman (1990)、Rosenblum, *et al.*(2000)は、散乱光によるグレアは短波長成分の散乱によるものであり、短波長成分に対するカットオフ遮光レンズを用いることで、コントラスト感度の改善が期待できることを報告している。

不快グレアに関しては、CIEのUSG(Unified Glare Rating)法(CIE, 1955)、ISEのVCP(Visual Comfort Probability)法(IESNA, 1984)などの評価法が確立されており、照明の分野において広く利用されている。これらの評価法ではグレア光源の輝度、グレア光源の大きさ、背景輝度、グレア光源の位置の4要素が用いられる(Waters, *et al.*, 1949)。グレア光源の位置については、基準BCD(Between Comfort and Discomfort)輝度に対するテスト光源の輝度の比である、Guthのポジション・インデックス(Luckiesh and Guth, 1949)が用いられている。グレアに関する近年の研究はポジション・インデックスに関するものが多く(金ら, 2004; 石倉ら, 2006; 高橋ら, 2006)、グレア光源の視野内の位置によって不快グレアがどのように変化するのかに関心が高まっている。

しかしながら、散乱光による視機能への影響やグレアに対する心理物理学的な研究は端緒についたところであると言え、知見を十分に蓄積するためには、なお多くの課題が残されている。また、グレアに関する研究は、中間透光体の白濁による散乱光との関係で検討されているのではなく、主観的不快度を手がかりとして、視野における光の強度を決定しているに過ぎず、それらが視機能にいかなる効果をおよぼすのかに関する検討は不十分である。

そこで本研究では、主観的な不快感を伴うグレア光源の輝度を組織的に操作し、また軽・中度の白内障をシミュレートする白内障擬似体験フィルタを用いて中間透光体における光散乱の強度を組織的に操作して、これらの操作が、視標の主観的視認度およびコントラスト感度にどのような効果をもたらすのかについて検討する。本研究のような基礎的資料を蓄積する研究は、白内障者のクオリティ・オブ・ビジョンの確立に資するものであると期待される。

2. 方法

1) 装置

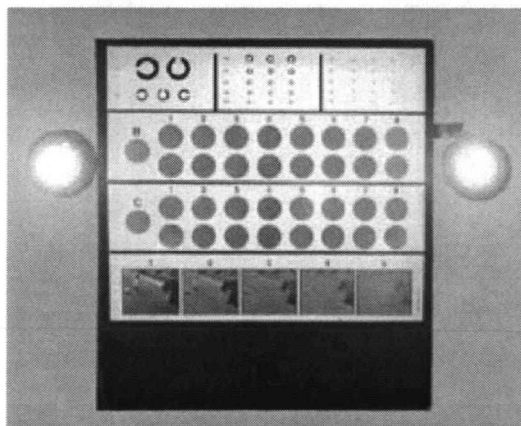


Figure 1 CSV-1000HGT

コントラスト感度測定のための視度表として、CSV-1000HGT (Vector Vision) を用いた。本装置には、視度表の左右にグレア用の白熱灯光源 (A 光源) が 2 灯ついている。本実験では、より強いグレアを惹起する条件を設定するために、白熱灯光源を更に 2 灯付加した。

Figure 1 に CSV-1000HGT のパネル面を例示した。また、Table 1 に CSV-1000HGT の各視標のコントラストを本研究での実験状況下で測定した結果を一覧にまとめた。

Table 1 The contrast of the visual target in CSV-1000HGT

6c/d visual target	13c/d visual target
0.065	0.236
0.050	0.133
0.025	0.114
0.020	0.055
0.015	0.023
0.012	0.015
0.008	0.013
0.005	0.006
0.003	0.005

2) 実験条件

独立変数としては、グレアを惹起する照度レベル (3 水準)、白内障をシミュレートするために被験者に装着させたフィルタの白濁度 (3 水準)、コントラスト感度を測定するための縞刺激 (正弦波) の空間周波数 (2 水準) を設定した。実験計画は被験者内 3 要因実験計画であった。各独立変数の具体的操作は以下に示す通りであった。

(1) 照度レベル

被験者の眼球位置における照度レベルによって、以下の 3 条件を設定した。

- ① 300lx : CSV-1000HGT の視度表パネル面の光源を点灯することで設定した。視度表パネル面は背後から一般家庭用の蛍光灯光源によって照明された。
- ② 450lx : CSV-1000HGT の視度表パネル光源に加え、付属のグレア光源 2 灯を点灯することで設定した。
- ③ 600lx : CSV-1000HGT の視度表パネル光源、付属のグレア光源 2 灯に加え、追加したグレア光源 2 灯を点灯することで設定した。

(2) 白濁度

白内障擬似体験フィルタ (隼東海光学) を用いて、中間透光体の白濁度を操作した。本フィルタは、プラスチックの表面をほぼ均一に研磨することで白濁させ、白内障に近似した光学特性を実現するフィルタである。白濁度を操作することで、可視光の散乱度を操作し、以下の 3 条件と白内障擬似体験フィルタを装着しない晴眼を統制条件として設定した。

- ① 白濁度低 : 可視分光をほぼ均質に約 15% 遮断。
- ② 白濁度中 : 可視分光をほぼ均質に約 20% 遮断。
- ③ 白濁度高 : 可視分光をほぼ均質に約 25% 遮断。

(3) 視標の空間周波数

CSV-1000HGT の視度表により、6c/d と 13c/d の 2 条件を設定した。観察距離は 8feet であった。

3) 評定尺度

検査視標の視認度を「1: 見えない」～「5: 見える」の両極型 5 段階評定尺度によって測定した。また、グレア感を「1: まぶしくない」～「5: まぶしい」の両極型 5 段階評定尺度によって測定した。

4) 被験者

晴眼視力 1.0 以上で、色覚正常な大学生女子 2 名 (平均年齢 22.0 歳)。

5) 手続き

被験者を CSV-1000HGT が前額平行面に位置するよう、視度表から 8 feet 離れた位置に着席させ、明室において、照度レベルと白濁度とを総当りで組み合わせた 12 条件について、まず 6c/d の視標によってコントラスト感度を測定し、続いて同様に 13c/d の視標によってコントラスト感度を測定した。この 24 回の測定を 1 セッションとし、被験者 1 名につき 6 セッションの測定を行った。セッション間間隔は 3 分であった。照度レベルと白濁度とを組み合わせた条件は、被験者間、被験者内でランダムとした。

コントラスト感度は、各空間周波数条件において、視標の縞模様が見える限界の視標のコントラストによって決定した。縞模様の検出は、縞刺激と無縞刺激とを対呈示する 2 者択一の強制選択法によった。

グレアおよび視認度の評価については、各セッションの終了時に評定させた。

3. 結果

1) 照度レベル、白濁度とグレア、視標視認度との関係

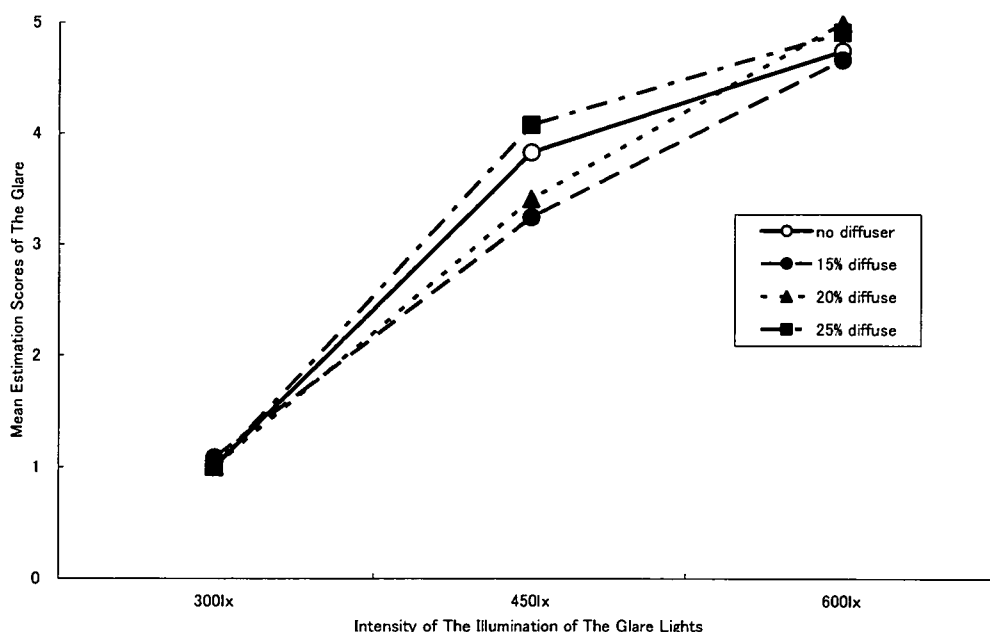


Figure 2 The change of the mean estimation scores of the glare in each diffuse levels as a function of the intensity of the illumination of the glare lights.

Figure 2 に、各白濁度条件におけるグレアの平均評定値の照度レベルに対する変化を示した。Figure 2 によると、グレアの平均評定値は照度レベルの上昇に伴って上昇した ($F(2,22)=1439.69$, $p<.001$)。白濁度とグレアとの関係については、晴眼と白濁度高条件で、白濁度低条件、白濁度中条件に較べ高かった ($F(3,33)=3.804$, $p<.05$)。また、白濁度によるグレアの平均評定値の差異は、照度レベル 450lx 条件で顕著であり、300lx、600lx の 2 条件では、白濁度に関して明確な傾向は認められなかった ($F(6,66)=5.310$, $p<.001$)。

Figure 3 に各白濁度条件における視認度の平均評定値の照度レベルに対する変化を示した。

Figure 3 によると、視認度の平均評定値は照度レベルの上昇に伴って低下し ($F(2,22)=269.22$, $p<.001$)、白濁度の上昇に伴って、同様に低下した ($F(3,33)=96.943$, $p<.001$)。しかし、300lx では晴眼と白濁度低条件とでは視認度に明らかな差異は認められなかった ($F(6,66)=4.317$, $p<.01$)。

グレアの平均評定値と視認度の平均評定値との間には有意な負の相関が認められた ($r(144)=6.33$, $p<.001$)。

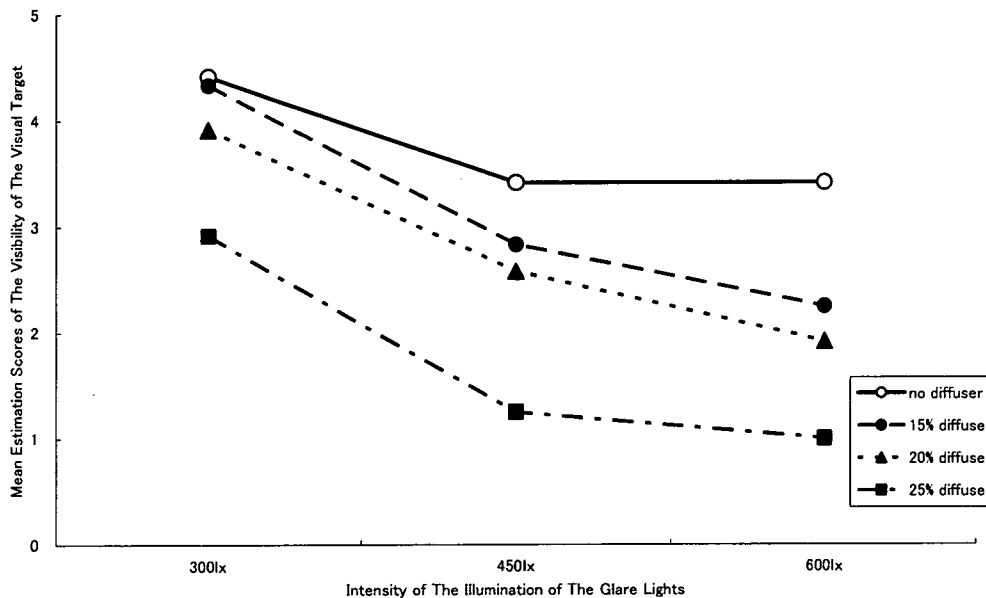


Figure 3 The change of the mean estimation scores of the visibility of the visual target in each diffuse levels as a function of the intensity of the illumination of the glare lights.

上記から、中間透光体を照射する光量の増加に伴ってグレアが強くなること、照射光量がある水準を超えると、フィルタの白濁度の効果は生じず、一様に強いグレアを惹起するが、照射光量が中程度 (本実験での 450lx 条件付近) の場合は、フィルタの白濁度によってグレアの強さに差があり、白濁度の高い方が、晴眼や白濁度の低い場合に較べてグレアが抑制されることが示された。

視認度については、照度レベルが高い程、また、フィルタの白濁度が高いほど視標が見えづらくなることが示された。さらに、グレアの強さと視認度の低さとの間には対応関係があることが示された。しかし、フィルタの白濁度とグレアのとの間には、フィルタの白濁度と視認度との間に認められる線形的な関係は認められず、グレア、視認度とフィルタの白濁度との関連性には一元的に捉えることが不適切であると考えられる。

2) 照度レベルおよび白濁度とコントラスト感度との関係

Figure 4 に視標の各空間周波数での各白濁度条件における平均コントラスト検出閾の照度レベルに伴う変化を示した。視標の空間周波数の効果に関しては、白濁度、照度レベルにかかわらず、低空間周波数に較べて高空間周波数においてコントラスト検出閾が高くなることが認められた ($F(1,11)=96.72, p<.001$)。白濁度の効果については、視標の空間周波数、照度レベルにかかわらず、晴眼で最もコントラスト検出閾が低く、白濁度が高くなるのに伴ってコントラスト検出閾が上昇することが認められた ($F(3,33)=72.64, p<.001$)。照度レベルの効果については、全体として、照度レベルが高くなるのに伴ってコントラスト検出閾が高くなったが ($F(2,22)=103.01, p<.001$)、視標の空間周波数によってその傾向の顕著さに相違が認められ、低空間周波数に較べ高空間周波数で、照度レベルの上昇がコントラスト検出閾の上昇に強く作用することが認められた ($F(2,22)=24.85, p<.001$)。さらに、高空間周波数視標では白濁度の効果も顕著となり、白濁度の上昇がコントラスト検出閾を有意に上昇させ ($F(3,33)=36.94, p<.001$)、その特徴は照度レベルが高いほど顕著であった ($F(6,66)=3.26, p<.01$)。

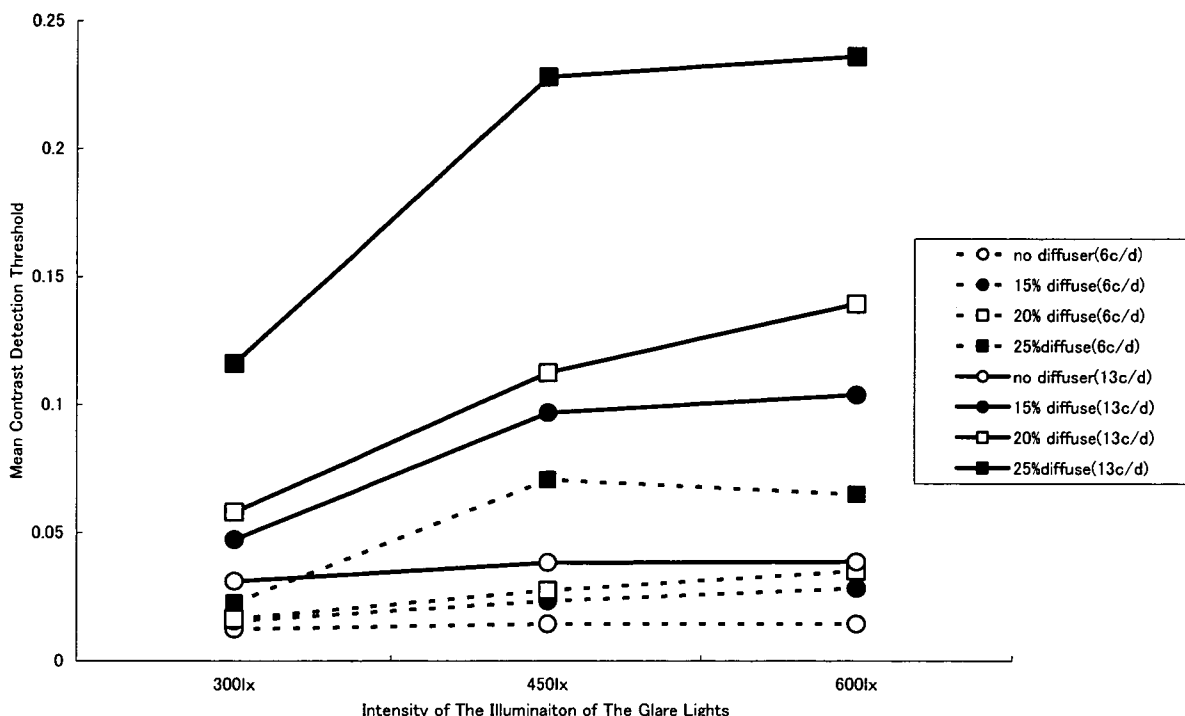


Figure 4 The Change of the mean contrast detection threshold in both of each spatial frequencies of the visual target and each diffuse levels as a function of the intensity of the illumination of the glare lights.

上記から、低空間周波数視標では高空間周波数視標の場合ほど照度レベルやフィルタの白濁度がコントラスト感度の低下に影響しないことが示された。ただし、眼球内入射光量が25%以上遮断されると(白濁度高条件)、低空間周波数視標であっても照度レベルの上昇がコントラスト感度の低下を惹起することが示唆された。

高空間周波数視標の場合は、フィルタの白濁度が高いほど、また、照度レベルが高いほどコントラスト感度が低下し、外界の視覚情報の獲得を著しく阻害することが示された。

3) グレア、視認度とコントラスト検出閾との相互関係

グレアおよび視認度の評定値と低空間周波数視標、高空間周波数視標によるコントラスト検出閾のそれぞれ2従属変数について、ピアソンの相関係数を算出し、無相関検定を行ったところ、グレアの評定値と低空間周波数視標のコントラスト検出閾との間に有意な正の相関 ($r(144)=.463, p<.001$)、高空間周波数視標のコントラスト検出閾との間に有意な正の相関 ($r(144)=.406, p<.001$) がそれぞれ認められた。また、視認度と低空間周波数視標のコントラスト検出閾との間に有意な負の相関 ($r(144)=-.586, p<.001$)、高空間周波数視標のコントラスト検出閾との間に有意な負の相関 ($r(144)=-.755, p<.001$) がそれぞれ認められた。

4. 考察

白内障擬似体験フィルタは、加齢による水晶体の白濁が原因となって生じる眼球内入射光量の減少をシミュレートしている。水晶体の老化による眼球内入射光量減少を惹起する光学的要因は、水晶体での光吸収度の上昇と、水晶体表面および内部における光散乱の2つが主たるものであると考えられるが、白濁という現象的特性から考えると、光散乱の要因の主要性が予測される。小浜ら(2004)の所見が示唆するように、白内障擬似体験フィルタは、この光散乱による見えの障害のよいシミュレーションとみなすことができるだろう。

光散乱は眼球内入射光量の減少をもたらすだけではなく、グレアの主要因でもあり得ると考えられる。白内障者が見えの不全とともに、グレアやそれに伴う痛みを訴えることがしばしばあることが知られており、グレアやそれに伴う痛みが、目を正常に開けられない要因となり、結果的に眼球内入射光量の不足をもたらすと考えることには妥当性があるだろう。本研究で用いた白内障擬似体験フィルタは、こうしたグレアのシミュレーションとしても有効であると考えられる。

本研究では、白内障擬似体験フィルタを用いて、その白濁度を組織的に操作し、グレアを惹起する光源の照度を組織的に操作することで、中間透光体での光散乱度を操作した。そして、上記2要因の操作を組み合わせた12条件下で、6c/dの低空間周波数視標と13c/dの高空間周波数視標とを用いてコントラスト感度の指標であるコントラスト検出閾を測定した。併せて、グレアの程度と視標の見え易さの程度についても評定法を用いて測定した。その結果以下の所見を得た。

- ① 照度レベルの上昇はグレアを増大させ、視標の視認度を低下させる。
- ② 照度レベルの上昇に伴う視標の視認度の低下は、白濁度が高いほど顕著である。他方、グレアは、白濁度との明確な対応関係は見出すことができず、中程度の照度レベルである450lxの時に、晴眼や白濁度が低い場合にグレアが強くなる傾向が認められる。
- ③ 視標の空間周波数はコントラスト感度に対して効果を有し、6c/dの場合に比べ、13c/dで低下する。この傾向は、白濁度が高くなるのに伴ってより顕著となる。
- ④ 低空間周波数視標では、白濁度高条件を除いて、光散乱度の増加はコントラスト感度にほとんど影響しない。白濁度高条件ではグレアが生じる条件でコントラスト感度の明確な低下が認められたが、照度レベル450lxと600lxの間には明確な差異は認められない。
- ⑤ 高空間周波数視標では、白濁度低、中条件で、照度レベルに伴ってコントラスト感度が低下する。他方、白濁度高条件では450lxの照度レベルでコントラスト感度は著しく低下し、その後の照度レベルの増加は効果をもたない。
- ⑥ グレアの上昇、視認度の低下、コントラスト感度の低下には、相互的な関係があると考えられる。

以上の所見は、従来の白内障者が見えづらさに関する主訴の経験的知見と大変よく整合しているように考えられ、ここから、臨床場面における、白内障者のクオリティ・オブ・ビジョンを確保するた

めの有効な対応についていくつかの指摘が可能である。

たとえば、中間透光体における光散乱が強くなるような光環境は、コントラスト感度の低下、視標の見えずらさ、グレアをもたらすので、視標周辺の光源を統制することで白内障者の見えをある程度保障できる可能性がある。ただし、川嶋ら（2007）が指摘するように、従来の遮光眼鏡では光量不足を促す可能性があり、その点についてはさらに検討する必要がある。

また、視標は低空間周波数応答を可能とするようなものである方が有利である。たとえば文字の大きさがある一定以上の大きさ、少なくとも 6c/d 以下の空間周波数を実現するものであれば、主観的なグレアや見えずらさに関らず、比較的良好な分解能を確保できる可能性がある。

臨床的な観点から今後さらに検討を進めるべき問題の第一は、グレア光源の位置の効果であろう。ポジション・インデックスは視野のどこにグレア光源を配置するかによって、グレアの程度が異なることを示している。本研究では、いわゆる逆光状況によってグレアを成立させたが、日常場面ではグレアをもたらす光源が必ずしも視標と同方向、同視野に存在する場合ばかりではない。グレアやそれによる視認度の低下が、光源の位置に依存するのかそれとも視野全体の光量に依存するのかは、なお検討すべき問題であろう。つまり、視野全体の光量が問題であれば、グレアへの対策は、眼球内入射光量のある程度犠牲にせざるを得ない。その場合、川嶋ら（2007）の指摘する問題点は避けられない。他方、光源の位置が問題であれば、場面によって光環境設計を考慮することで対応できる可能性もあるだろう。

ここまで、眼科臨床的な観点から本研究の所見について検討したが、心理物理学的な観点からは、なお多くの問題がある。

まず実験手続き上の問題について論じておく。コントラスト感度の測定を本研究では、臨床場面で使用される視度表を用いた。そのため、コントラスト感度と照度レベルとの関係に関する検討は不十分となっている。具体的には、白濁度が高いフィルタ着用して高空間周波数視標を用いてコントラスト検出閾を測定した結果をみると、450lx と 600lx とではコントラスト感度に差異が認められなかった。これは、CSV-1000HGT のコントラストの下限設定の限界を超えたことによるアーチファクトの可能性が高い。したがって、恒常法、極限法、信号検出理論などの心理物理学的な測定法を用いてコントラスト感度を測定する必要がある。社会的な障害の基準とは別に、心理物理学的な感度の限界を明らかにするということは、白内障者のクオリティ・オブ・ビジョンを確保にとって、有用性の高い基礎資料を提供できる可能性がある。

さらに、科学的には次の問題がある。本研究のパラダイムでは、中間透光体での光散乱によって生じるコントラスト感度の低下に対して、グレアがどのように関与しているのかが明確にならない。

グレアがコントラスト感度の低下とは独立した現象であるのか、光散乱によるコントラスト感度の低下と何らかの相互関係や媒介関係を有するものであるのかは重要な問題であろう。本研究の所見は、コントラスト感度の低下とグレアとは少なくとも一定の共変的な関係にあることを示唆しているが、因果関係や媒介関係、またその関係の強さについては不明である。被験者数を多くし、分析対象データを量的に増やし、視標の見えやグレアに関する主観的評定尺度の多次元化を図り、パス解析や重回帰分析などを通して、この間に対する一定の回答を見出せるかもしれない。ただ、本研究では、照度レベルの上昇と視認度低下との間に認められる線形的な関係は、照度レベルの上昇とグレア強度の上昇との間には認められず、晴眼、白濁度低の場合の方が、白濁度中・高よりもグレアが強くなる傾向にあり、一方、コントラスト感度の低下は、照度レベルの上昇、中間透光体の白濁度の上昇とほぼ線形的な関係にあることが認められている。この所見は、グレアとコントラスト感度との間には、一義的な関係は成立しない可能性を示唆する。この点について、より詳細な条件分析を行なうことが求められている。

引用文献

- CIE 117-1995 (1995) Discomfort Glare in Interior Lighting. *CIE*.
- Hopkinson, R. G. and Bradley, R. C. (1960) A study of glare from very large sources. *Journal of Illuminating Engineering Society*, 55, 288.
- IES (1984) *Lighting Handbook Reference Volume*. IESNA, 9-47.
- Ikeda, M., Obama, T., Kusumi, A., and Shinoda, H. (2003) Color appearance of color charts observed with a cataract experiencing goggle. *Proc. AIC Bangkok*, 417-421.
- 池田光男・久住亜津沙・小浜朋子・篠田博之 (2003) 「白内障擬似体験ゴーグルによる色票の見えの変化」. 『日本色彩学会誌』, 27, 113-124.
- 池田光男・小浜朋子・久住亜津沙・篠田博之 (2004) 「一人の高齢者の白内障手術前後における物の見えと色の見えの比較」. 『日本色彩学会誌』, 28, 26-35.
- 石倉知永子・上山大輔・澤田朋克・金谷末子 (2006) 「屋内照明における不快グレアの研究－全視野における Position Index の起案－」. 『照明学会誌』, 90(2), 106-109.
- 川嶋英嗣・川瀬芳克・高橋伸子・高橋啓介 (2006) 「実験用白濁フィルタ装着時における遮光レンズの効果」. 『眼紀』, 57, 472-476.
- 川嶋英嗣・渡辺あゆみ・伊藤夢美・川瀬芳克・高橋啓介 (2007) 「遮光レンズ着用者の色相弁別能」. 『眼紀』, 58, 279-284.
- 金源雨・古賀靖子・メロオダレア, B. C. (2006) 「全視野におけるグレア光源のポジション・インデックスに関する研究」. 『照明学会誌』, 88(11), 847-852.
- Luckiesh, M. and Guth, S. K. (1949) Brightness in visual field at borderline between comfort and discomfort(BCD). *Journal of Illuminating Engineering Society*, 44(11), 650.
- 小浜朋子・池田光男・久住亜津沙・篠田博之 (2004) 「白内障擬似体験ゴーグルに入射する環境光によって生じる色票の彩度低下」. 『日本色彩学会誌』, 28, 95-101.
- Petherbridge, P. and Hopkinson, R. G. (1950) Discomfort glare and the lighting of buildings. *Journal of Illuminating Engineering Society*, 15, 39.
- Rosenblum, Y. Z. and Zak, P. P., Ostrovsky, M. A., Smolyaninova, I. L., Bora, E. V., Dyadina, V. V., Trofimova, N. N., and Aliyev, A. G. (2000) Spectral filters in low-vision correction. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 20, 335-341.
- 高橋宏・入倉隆・戸田雅宏・森山巖典 (2006) 「白色 LED 照明光源による不快グレア－光源呈示位置による影響－」. 『照明学会誌』, 90(11), 822-827.
- Waters, C. E., Mistrick, R. G., and Bernecker, C. A. (1949) Discomfort glare from source of nonuniform luminance, *Journal of Illuminating Engineering Society*, 24(2), 73-85.
- Zigman, S. (1990) Vision enhancement using a short wavelength light-absorbing filter. *Optometry and Vision Science*, 67, 100-104.

付記

本研究で使用した白濁フィルタの作成には榊東海光学の協力を得た。また、本研究は平成 18 年度愛知淑徳大学研究助成より研究費の補助を受けた。

本研究での実験に際しては、愛知淑徳大学文化創造学部環境文化専攻 2002 年度入学生深川津也子が助手として実験実施に協力した。