

グレアエフェクターの視覚効果に関する研究

A Study on Visual Impact of Glare Effector

宇田紀之・吉田佳祐

UDA Noriyuki and YOSHIDA Keisuke

Abstract:

Flare is rendering diffusing light surround the light source. Streak is light trace to emphasize a brightness of light source. The purpose of our study is to confirm the glare effect of streak with luminance gradients.

Our comparative experiments between flare image with diffusing luminance and streak with luminance gradients showed the amplifier effects of brightness. Streak amplified the glare effect of flare in both condition of back light, low luminance (#00) and high luminance (#5A). In former condition the contrast effect between light luminance and back luminance amplified the glare effects. In another case, the self luminance illusion occurred around the adjacent area of streak and back scene affected brightness perception and made the glare more bright

Keywords: Visualization, Glare, Image Synthesis, Zavagno effect

1. はじめに

眼に強い光を受けた場合に、人間が知覚するまぶしさ感をグレアという。グレアは、眼球内に入射した外光が散乱して視感度に影響を与える生理現象である。グレアの知覚には、光源輝度や背景輝度対比などの光学的環境要因と、光を知覚する人間における心理的要因が影響するものと考えられる。

グレアの可視化は、コンピュータグラフィックスにおける研究課題のひとつであった。可視化したグレア画像を源部位に画像合成して、輝きやまぶしさを表現するグレアエフェクターとして利用されてきた。高輝度光源の周囲に散乱光を擬した光幕（フレア）を加え、光源から放射方向に伸びる光跡（ストリーク）を描き加えることによって、高輝度部位の明るさを強制的に表現する。

イタリアの心理学者 D. Zavagno¹⁾は錯視の研究において、輝度勾配をもった物体を高輝度部分に接近されることにより、接合部分の明るさが増強される錯視現象を発見し、これをグレア効果と名付けた。

本研究では、フレアの輝度分布とストリークの輝度勾配の関係に注目して、グレアエフェクターの明るさ増強効果について研究した。

2. 関連研究

2.1 グレア可視化と視覚効果に関する研究

コンピュータグラフィックスでは、いくつかのグレアシミュレーションモデルが考案されてきた。

Spencer²⁾の眼光学モデルは、眼球内の光散乱モデルと網膜の視細胞分布パターンによってグレアの可視化を試みたものである。Nakamae³⁾は、瞳孔の焦点調節機能を瞳関数に定義して、角膜の反射特性と大気粒子による光の散乱によって光源付近のフレアを表現した。

Kakimoto⁴⁾は、入射光を波動関数として定義し、遮蔽物による光の回折現象を2次元フーリエ関数によって光の散乱とストリークを表現する簡易光学モデルを提案した。Kawase⁵⁾は、光源画像のロバスト処理によってグレア画像を作成する簡便方法を提案した。

Zavagno¹⁾は、試験紙の白色部位を輝度勾配を持った長方形断片で囲むことにより、白色部位の明るさが増強される「自家発光」現象に注目した(図1)。いくつかの錯視実験を行い、白色部位と背景との輝度コントラスト、及び、輝度勾配角が、白色部位の明るさ感に影響することを明らかにした。

2.2 問題提起

カメラで高輝度光源を撮影した場合、画像には、

全体を貫く鮮明なストリークが記録されることがあり、強い光の存在を印象づける。フレアが光源部位の明るさを表現するのに対して、ストリークは、輝きを強調する効果であると考えられる。フレアの輝度分散は、眼球の光学的構造モデルから計算で導き出すことができるが、長い光跡を持った鮮明なストリークは、眼光学モデルからは導出できない。ストリークは、生理学的な現象としてとらえるよりも、むしろ、カメラの虚像現象、あるいは、「輝き」を表現するためのアーティスティックな表現技法と考えるのが妥当である。

フレアの輝度分布だけでも明るさを強調することはできるが、ストリーク輝度を加算したほうが、よりグレア効果は鮮明になる。ただし、ストリーク輝度の加算が、いつも効果的であるとは限らない。

本研究では、ストリーク輝度の加算がグレア効果に及ぼす影響について関心を持った。どのような場合に、ストリーク輝度の加算は、フレアのグレア効果を増幅するのか。実験において検証すべき仮説は次の2つである。

仮説1. フレアの輝度分布にストリーク輝度を加算することによって、グレア効果が増幅される。

仮説2. ストリークのグレア効果は、背景輝度とのコントラストに影響を受ける。

3. 実験

3.1 ストリークの輝度加算に関する実験

フレアのみ画像とストリーク輝度を加算した画像の対比較法で、明るさ知覚におけるストリーク輝度加算のグレア効果を検出して、仮説1を検証した(図2.1)。

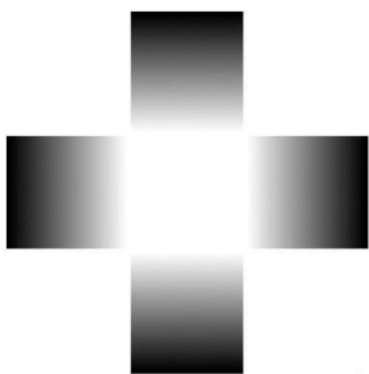


図 1:Zavagno のグレア錯視

3.1.1 刺激画像と実験装置

刺激画像は、フレア輝度分布だけで作成した刺激画像をフレア画像 (FL画像)、FL画像にストリーク輝度を加算したフレア+ストリーク画像 (FS画像)、領域内均一拡散画像 (UD画像) の3種類である。明るさ (平均輝度) を5段階に設定して、15個の画像を作成した(図2.2)。対比較の組み合わせは、全部で45通りである。

フレアの輝度分布は、ガウス関数で定義した。FS画像で使用するストリークは、白から黒への線形輝度勾配を持ち、中心から8本のストリークを放射状に配置する。実験に利用したディスプレイの解像度は、1280X1024ピクセルで、輝度計を用いてホワイト部分の輝度が100cd/m²になるように調整した。実験室は薄明かりで、ディスプレイ部位の照度は3⁻¹⁰lx程度である。

3.1.2 実験手続

画像評価用ビューワーは、刺激画像を2枚ずつ並べて表示する。被験者は、十分な順応を行なった後、2枚の刺激画像の明るいほうを、左右の方向キーで選択する。評価画面1回あたりの表示時間は5秒で、20回前後を1セットとして、数回の評価実験を繰り返した。被験者は、名古屋産業大学の男子学生8名である。

3.1.3 結果

評価実験の結果を、図3.1と図3.2に示す。横軸は平均輝度 (5段階) を示し、縦軸は1対比較の選択数である。FL画像とUD画像の対比較では、光源領域内の輝度均等分布よりも、フレアの輝度分布のほうが、明るい画像として選択された (選択率:0.87)。

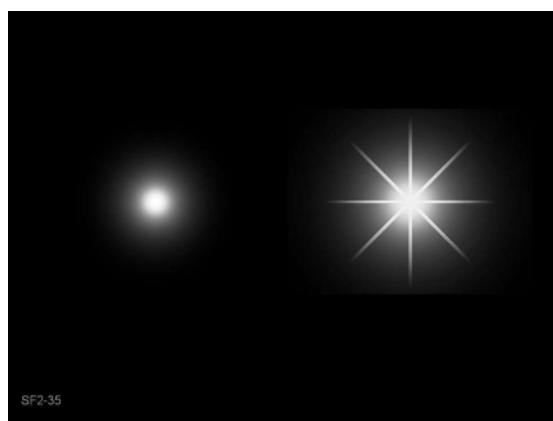


図 2.1 対比較法の評価画面

| 画像番号 | FL1 | FL2 | FL3 | FL4 | FL5 |
|-----------|-------|------|-------|-------|-------|
| フレア画像 | | | | | |
| 半径(PIXEL) | 65 | 90 | 120 | 150 | 180 |
| 分散 | 19.98 | 34.8 | 44.8 | 51.69 | 62.39 |
| 平均明度 | 4.12 | 13.9 | 28.35 | 43.51 | 59.06 |

| 画像番号 | FS1 | FS2 | FS3 | FS4 | FS5 |
|-------------|------|-------|-------|-------|-------|
| フレア-ストローク画像 | | | | | |
| ストローク長 | 65 | 90 | 120 | 150 | 180 |
| 平均明度 | 4.14 | 13.92 | 26.36 | 43.51 | 57.33 |

| 画像番号 | UD1 | UD2 | UD3 | UD4 | UD5 |
|------|------|-------|-------|------|-------|
| 均一拡散 | | | | | |
| 円の明度 | 18 | 61 | 116 | 189 | 255 |
| 平均明度 | 4.12 | 13.98 | 28.35 | 43.3 | 57.05 |

画像の解像度は800x600である。均一拡散画像の円の半径は184PIXCELである。

図 2.2: 刺激画像のリスト

FL画像とUD画像の選択数に有意差(サーストン尺度 1.77)が見られたことから、フレア輝度分布にグレア効果が確認できた。FL画像とFS画像の比較では、低輝度画像を除く、すべての比較において、FS画像が明るい画像として選択された(選択率:0.77)が、FS画像とFL画像の比較検定においては、有意差は認められなかった。

3.2 背景輝度の評価実験

背景輝度の異なるFL画像を参照画像として、被験者の調整作業によって調整画像(FS画像)の明るさを参照画面と同じ以上になるように輝度調整する主観的調整法である。参照画像よりも、低い輝度値で調整画像(FS画像)を「同等以上の明るさ」として評価した場合、ストロークの輝度加算によるグレア効果の増幅があったと認められる。

3.2.1 刺激画像と実験装置

参照画像は、FL2(平均輝度13.9)、FL3(平均輝度28.35)、FL1(平均輝度43.51)の3つで、それぞれ背景輝度を低輝度(0/255)、中輝度(45/255)、高輝度(90/255)に設定した9枚の画像である。調整画像は、FS2,FS4,FS5の3個である。キー操作により、調整画像の輝度を平均輝度の0.3から1.5倍の範囲で変えることができる。

3.2.2 実験手続

評価用ビューアは、右に参照画像、左に調整画像を表示する。FS画像の輝度を調整して、参照画面と同じ明るさになったところで停止する。9個の参照画像を使った調整実験を1セットとして、2回の実験を繰り返した。

3.2.3 結果

144件の評価の結果、FS画像の調整輝度が参照画像よりも低いものは133件(93.8%)であった。ストローク輝度の加算によるグレア効果増幅の仮説は、t検定の

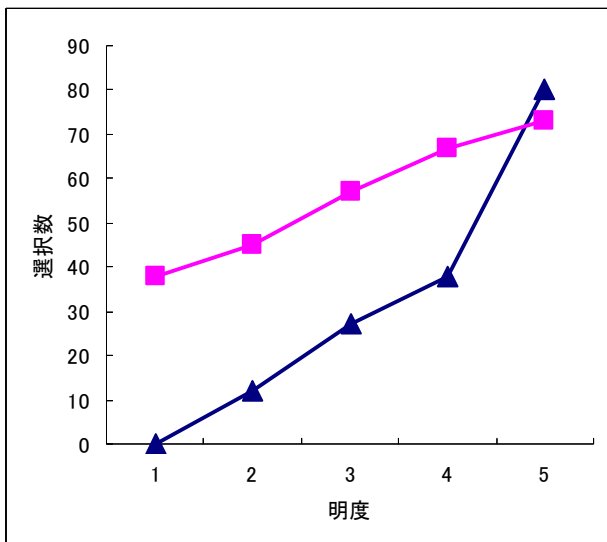


図 3.1 FL 画像と UD 画像の一対比較

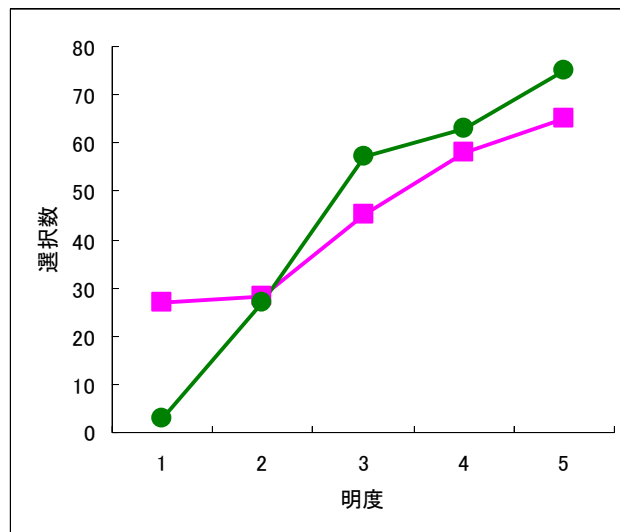


図 3.2 FL 画像と FS 画像の一対比較

図 3: 一対比較における刺激画像の平均明度と選択数

● FS 画像
■ FL 画像
◆ UD 画像

結果、0.01%水準で有意差が認められた。

参照画像の平均輝度 $M(f_l)$ と、調整画像の平均輝度 $M(f_s)$ の差分を、調整画像の平均輝度 $M(f_l)$ で除した比率を、ストリーク輝度比 V とした。

$$\text{ストローク輝度比}(V) = \frac{M(f_l) - M(f_s)}{M(f_l)} \times 100$$

図4に背景輝度別のストリーク輝度比の変化を表示した。低輝度背景と高輝度背景の場合に、ストリーク輝度比が高くなることが確認された。背景輝度とストリーク輝度比の間にも、有意な相関が確認された。

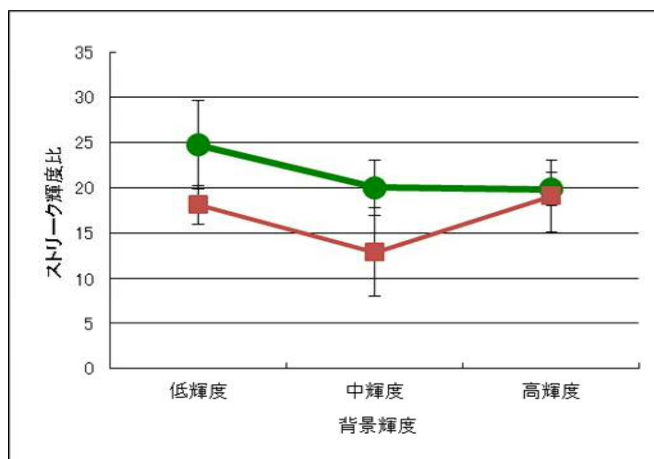


図 4: 背景輝度とストリーク輝度比

4. 考察

フレア輝度分布だけで作成したグレア画像よりも、輝度勾配を持ったストリークの輝度を加算した画像のほうが明るさを増幅して認識されることが、実験によって確認された。フレア、および、ストリークのグレア効果は、背景輝度が低く輝度差が高い場合と、背景輝度が高く輝度差が低い両方条件で、増幅されることがわかった。

背景輝度が低い場合は、フレア領域と背景領域の間で輝度対比が作用して、光源はより明るく認識される。ストリークは、フレアよりも周辺部の輝度対比が鮮明なため、対比効果を増幅して、光源領域をより明るく認識させるグレア効果があると考えられる。

高輝度背景の場合は、フレアの輝度分布領域と背景領域の融合点付近で、輝度同化による明るさ認識の増幅がある。背景輝度を徐々に上げてゆくと、フレアの輝度分布と背景の融合部で、帯状の区分帯が出現するマッハバンド効果が知られている。輝度勾配をもったストリークをフレアに加算することでマッハバンドが切断されて、ストリーク示す放射線方向にフレアの輝度粒子が拡散され、フレア部位は、より明るく認識された。フレア領域の輝度同化作用が、ストリークにより、一層促進されたためにグレア効果の増幅があったと考えられる。

5. まとめ

ディスプレイの出力輝度には限界ある。その制限のなかで、自然界の多様な輝度変化を表現する工夫が必要である。本実験の結果から、輝度勾配を持ったストリーク輝度加算によりの高輝度部分の明るさをより強調されて認識されることが分かった。ストリーク輝度の加算効果は、背景画像との輝度対比に影響を受ける。グレアエフェクターを明るさ感増幅のツールとして利用するには、フレア輝度分布とストリーク輝度勾配のバランス、背景輝度対比がグレア効果に及ぼす影響の解明などが課題である。

参考文献

1. ZAVAGNO, D. 1999. Some new luminance-gradient effects. *Perception* 28, pp. 835 - 838.
2. SPENCER, G., SHIRLEY, P., ZIMMERMAN, K., GREENBERG, D. Physically-based glare effects for digital images. In *Proceedings of ACM SIGGRAPH*, ACM. (1995)
3. NAKAMAE, E., KANEDA, K., OKAMOTO, T., NISHITA, T.: A lighting model aiming at drive simulators. *Computer Graphics* 24, 4, pp. 395 - 404. (1990)
4. KAKIMOTO M., MATSUOKA K., NISHITA T., NAEMURA T., and HARASHIMA, H.: Glare simulation and its application to evaluation of bright lights with spectral power distribution. In *Proceedings of ACM SIGGRAPH*. (2005)
5. KAWASE, T.: Practical implementation of high dynamic range rendering. In *Game Developers Conference*. (2005)
6. YOSHIDA M., MATTHIAS I., MANTIUK R., HANS-Peter S.: Brightness of the glare illusion, *Proceedings of the 5th symposium on Applied perception in graphics and visualization SESSION: Image processing and rendering* Pages 83-90, ACM SIGGRAPH, pp.83-90