

まつ毛によって生じる回折光のシミュレーション とグレア表現への応用

松岡 薫¹⁾ 柿本正憲^{2) 3)} 西田友是⁴⁾ 苗村 健²⁾ 原島 博²⁾

- 1) 東京大学工学部電子情報工学科
2) 東京大学大学院情報理工学系研究科
3) 日本SGI株式会社
4) 東京大学大学院新領域創生科学研究科

1. はじめに

コンピューター・グラフィックス (CG) の研究において、リアルな、つまりより人間が目で見ているものに近い画像を作り出すことは、メインテーマの1つである。CGの基本的なアプローチ方法は、物体から反射して目に入ってくる光を正確にシミュレートすることにある。しかし、実際に人の脳に描かれる画像は人の目を通った後の像であり、眼球及びまつ毛を介することによる像の変化が、とりわけ強い光で起こることがしばしばある。本稿では、まつ毛による光の回折によって生じるグレア現象を、波動光学の理論に基づきフーリエ変換を用いてシミュレートした。また、実際の High Dynamic Range (以下 HDR) 画像にフィルタをかけてリアルなグレアの様子を表現することを試みた。

2. グレア現象

グレア現象とは、明るい光がまつ毛や眼球内で回折を起こすことによって起こる現象である。グレアは、大きくわけて光源まわりにぼやける光 Corona と放射状に線が伸びる Streak (以下これを光条と呼ぶ) とがある。代表的な例として中前らの研究がある[1]。中前らは、夜間対向車の眩しいヘッドライトを見ると、ヘッドライトを中心に放射状に光条が伸びるのが見える現象を表現した。また柿本らはリアルタイムにグレアを描画する手法を提案している[2]。いずれも、まつ毛により生じるグレアの形状は考慮しているが、その具体的な分布は決め打ちされている。それに対して本手法では、任意のまつ毛形状より生じるグレア分布の算出方法を提案する。

まつ毛だけでなく、眼球内でもグレアは生じる。本稿ではレンズの手前にあるまつ毛による回折光に主眼を置いているが、眼球内による回折も類似した

手法によって得ることができると考えられる。カメラのレンズの前にまつ毛をつけて撮影し、実際にまつ毛によってグレアが生じている様子が図 1, 2, 3, 4 である。



図1. 光源のライト



図2. 光源を撮影した画像



図3. 撮影用のカメラにつけまつ毛をつけた様子



図4. まつ毛をつけて光源を撮影した画像

3. まつ毛によるグレア分布

3.1. フーリエ変換

まつ毛により生じる光条はまつ毛による光の回折が原因と言われている。光が光源から発し、まつ毛を通り、眼球、網膜、視神経を経て脳へ伝わり認識される。その中のまつ毛部分での光の回折の像を得るのが目的だが、この一連の光の進行の中で眼球というレンズを通ることにより、回折光の結像は遮蔽物の像のフーリエ変換になることが知られている[3]。光が遮蔽物で回折を起こした後、レンズを通過してスクリーンに結像する場合、回折像の強度分布 $U(X, Y)$ は下図5の座標系を用いると次のように表される。ただし、像はレンズ焦点距離にある。

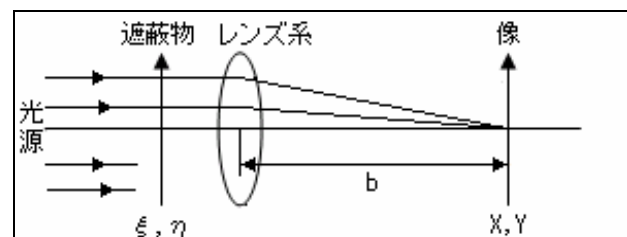


図5. 遮蔽物を含むレンズ系の座標系

Simulating of Diffraction by Eyelashes and Its Application to the Glare.

Kaoru Matsuoka¹⁾ Masanori Kakimoto^{2) 3)} Tomoyuki Nishita⁴⁾ Takeshi Naemura²⁾ and Hiroshi Harashima²⁾

- 1) EEIC Engineering Department, Information and Communication Engineering, The University of Tokyo
2) Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo
3) SGI Japan, Ltd, Japan
4) Graduate School of Frontier Science, The University of Tokyo,

$$U(X, Y) =$$

$$\left(\iint_{-\infty}^{+\infty} F(\xi, \eta) \exp[-i(\frac{2\pi}{\lambda b} X \xi + \frac{2\pi}{\lambda b} Y \eta)] d\xi d\eta \right)^2 \dots (1)$$

λ : 光の波長

b : レンズと像の距離

ここでF(ξ, η)は遮蔽物を表す瞳関数であり、遮蔽物部分は0、通過部分は1という値を取る。(1)式の2重積分部分はF(ξ, η)のフーリエ変換に他ならず、そのためU(X, Y)は像の強度となる。

まつ毛のモデル画像図6を作成して、2次元DFTを施した結果を図7に示す。計算時間は0.400秒であった。測定に使用したマシンはIntel Pentium 4 Mobile CPU 1.40GHzである。放射状に光が伸びているのがわかる。

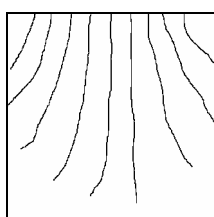


図 6. まつ毛画像

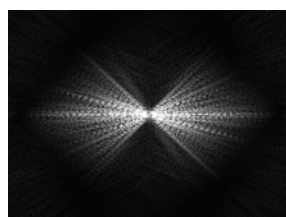


図 7. DFT を施した結果

3.2. 波長による分布変化

グレアはまつ毛による光の回折で起こるため、入力された波長により回折角は異なる。その差により光条の生じる大きさと長さも変わらなければならない。実際に目でグレアが見えた時も虹色状に光が伸びている。そこで次に、波長による回折角の違いを考慮して、色による光条の変化をつけた。それぞれの色の代表的な波長(赤 680.0nm, 緑 530.0nm, 青 457.5nm)を用い、R(赤), G(緑), B(青)で先のフーリエ変換の結果をスケールした。その結果を図8, 9, 10に示す。

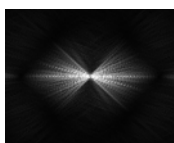


図 8. 赤色分布

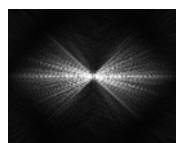


図 9. 緑色分布

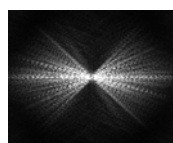


図 10. 青色分布

4. HDR 画像へのフィルタリング

実際のHDR画像にグレアをフィルタという形でつけることを試みた。HDRの高輝度領域に対して、第3節で作成したグレア分布画像を乗せることで実現した。Intel Pentium 4 Mobile CPU 1.40Ghzのマシンを用いて512×780の画像にフィルタを施し、図13の画像を生成する処理にかかった時間は4分3秒であった。

元HDR画像図11に対して、グレア形状を決定するための高輝度領域画像が図12である。



図 11. 元の絵



図 12. 高輝度領域画像

そして、分光効果付きフィルタを施した結果が図13であり、一部を拡大して白色フィルタの場合とを比較した図が図14である。



図 13. 分光効果付きグレア



図 14. 白色(上)と分光効果付き(下)の比較

5. まとめと今後の課題

DFTを用いることで、まつ毛画像からグレアの分布計算を行い波長による広がりに変化をつけて、よりリアルなグレア分布の算出ができた。また、HDR画像を用いることで高輝度領域をグレアの生じる位置を決定し、フィルタとしてグレアを表現ができた。

本稿では分光効果付きグレアを、各色の代表的な波長を用いることで広がり差をつけて表現したが、実際は1つの色でも連続的な波長の分布になっている。そのため、より正確な表現をするためには全パターンの色に対し、波長分布表を作成して各色ごとにDFTで得られたグレアの分布図をスケールして用いる必要があると考えられる。

参考文献

- [1] E. Nakamae, K. Kaneda, T. Okamoto, T. Nishita : "A lighting model aiming at drive simulators," Proc. SIGGRAPH 1990, Vol. 24, pp.395-404, August 1990.
- [2] 柿本, 向井, 芳賀, 西田, 苗村, 原島: "反射特性を考慮した実時間グレア描画手法," 画像電子学会誌, Vol. 32, No. 4, pp. 336-345, July 2003.
- [3] 久保田: "波動光学," 岩波書店, 1971.