

撮像系の空間周波数特性を維持した画像のグレア補正

正岡 顕一郎[†] 菅原 正幸[†] 野尻 裕司[†] 内川 恵二^{††}

Veiling Glare Correction Maintaining the Spatial Frequency Response of Shooting Systems

Kenichiro MASAOKA[†], Masayuki SUGAWARA[†], Yuji NOJIRI[†],
and Keiji UCHIKAWA^{††}

あらまし 撮像系の空間周波数特性を維持したグレア補正法を提案する。グレア (veiling glare) とは撮像系には必ず存在する像平面上の望ましくない入射光で、画像のコントラストや彩度を下げる原因となる。本方法ではカメラの点広がり関数 (PSF : point spread function) を、撮像系の MTF (modulation transfer function) を表す PSF と、グレアを表す PSF に分け、グレアを表す PSF を使って逆畳込みすることによりグレアを取り除く。また、グレア補正を行った場合の輝度・色度の測定精度向上と、画像コントラストの改善を示し、本方法の有効性を明らかにする。

キーワード グレア、レンズフレア、MTF、コントラスト

1. ま え が き

本論文では、撮像系の解像度特性を表す MTF (modulation transfer function) を維持した状態でグレアを画像から除去する方法を提案する。

レンズを用いた撮像システムには必ずグレア (veiling glare) が存在する。グレアの要因には、レンズ素子内の散乱や、鏡筒、レンズ、センサ表面からの反射等がある [1]。グレアとレンズフレアは区別されずに用いられることが多いが、レンズフレアはより形の明瞭なアーティファクトとし、レンズ絞りのゴーストや回折縞などが含まれる [2]。レンズフレアは撮像画角の外にある光源によっても引き起こされるが、フードを付けることによって防ぐことができる。一方、グレアは形が鮮明でない像面上に広く分布する不必要な入射光である。グレアの分布は被写体に依存し、被写体内のレベル差が大きいほど暗部のレベルがグレアによって高

くなり、画像コントラストや彩度が低下する。最近是一般のカメラレンズを用いた輝度・色度測定器も利用されている [3]、これも一般的なカメラと同じくレンズシステムを用いているためにグレアが生じ、輝度・色度の測定精度に影響する。

撮像系全体の MTF は Slanted-edge 法 [4] や正弦波を円周状に配置したチャート (modulated Siemens star chart) を用いた方法 [5] で比較的簡単に高い精度で測定することができる。ただし、後者の方法は、撮像条件により空間周波数の範囲が制限され、特に直流付近の低い空間周波数の MTF は求めることができない。

Slanted-edge 法では、直線で接しているコントラストの異なる二つの領域からなるナイフエッジ画像を、撮像系のイメージセンサに対してエッジが垂直 (または水平) から数度傾くように撮影し、選択した関心領域 (ROI : region of interest) の画素をエッジの傾きと同じ方向に水平 (または垂直) 軸に投影し、1/4 サブピクセル単位ごとに画素値を平均することによって 4 倍オーバーサンプリング相当のエッジ広がり関数 (ESF : edge spread function) を作成する。次に ESF を微分し線広がり関数 (LSF : line spread function) を求め、LSF をフーリエ変換して絶対値をとって MTF を求める。エッジが多様な位相でサブサンプリングされる限

[†] NHK 放送技術研究所, 東京都
NHK Science & Technology Research Laboratories, 1-10-11
Kinuta, Setagaya-ku, Tokyo, 157-8510 Japan

^{††} 東京工業大学大学院総合理工学研究科物理情報システム専攻, 横浜市
Department of Information Processing, Interdisciplinary
Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute
of Technology, G2-1, 4259 Nagatsuta-cho, Midori-ku,
Yokohama-shi, 226-8502 Japan

り、エッジの傾きに対して安定した結果が得られる [6]。ただし、グレアが存在する場合、ROI のサイズによって MTF の結果が異なるため注意しなければならない [7]。また、画像にグレアが存在する場合、ROI のエッジに対して垂直方向の幅が広いほど、低い空間周波数成分で構成されるグレアが MTF の低い空間周波数成分に見積もられ、MTF の高い空間周波数が相対的に低く見積もられる。一方、ROI の幅が狭すぎて ESF が切り詰められると測定誤差が生じ、得られる MTF の周波数間隔も広くなるため、ROI の幅はある程度広い方が望ましい。

撮影した画像を実物にできるだけ忠実に再現する場合 [8]、MTF 特性に基づいて画像フィルタを設計して所望の解像度特性を実現する必要がある。この場合、MTF 測定にグレアが影響しないように、事前に MTF 測定画像にグレア補正を行う方が望ましい。また、画像コントラストや彩度を改善させるためにもグレア補正を行う必要がある。グレア補正法として、HDR (high dynamic range imaging) などの分野で点広がり関数 (PSF : point spread function) の畳込みによる方法が考案されているが [9]、撮像系の MTF 特性については言及されていない。

本論文では撮像系の PSF を、MTF を表す広がりの小さい PSF とグレアを表す広がりの大きい PSF に切り分け、グレアを表す PSF を使って逆畳込みすることにより、撮像系の MTF 特性を維持してグレアを取り除く方法を提案する。Slanted-edge 法で測定した MTF について ROI サイズの影響をグレア補正前後で比較し、グレア補正を行った場合の輝度・色度の測定精度と画像コントラストに対する影響についても検証し、本方法の有効性を明らかにする。

2. 方 法

2.1 装 置

撮像装置として輝度・色度測定器 ProMetric PM-1400 (Radiant Imaging, Duvall, Washington, USA) [3] を用いた。この測定器は 3072×2048 画素 (画素サイズ: $9 \mu\text{m} \times 9 \mu\text{m}$) のフルフレーム 14 bit CCD 撮像素子を用いて各画素の XYZ 三刺激値を出力する。この CCD 素子はペルチェ素子により -10°C まで冷却され、安定した繰返し精度が得られる。各画素の XYZ 三刺激値はフィルタホイールにセットされた CIE1931 等色関数に基づくカラーフィルタを回転させることにより測定される。今回は 300 mm の単焦点レンズ

Ai AF-S Nikkor ED 300 mm F4D (Nikon, Tokyo, Japan) を用い、撮影距離は 4.7 m、F 値は 16 とした。照明は分光分布に輝線が少なく自然光に近い色温度が 6500 K の人工太陽照明灯 SOLAX XC-100AF (Seric, Tokyo, Japan) を用いた。撮像素子の固定ノイズパターン (FPN : fixed pattern noise) やシェーディングは、今回の撮像条件に合わせて補正した。露出時間は画素単位の最大輝度を測定し、その輝度がセンサ感度のリニア領域で測定できるように調整した。1 回露出するごとに同じ時間だけシャッターを閉じて得た暗電流ノイズ画像を引き去った。この撮影を複数回行い、加算平均することで暗電流ノイズの標準誤差を 0.0063 cd/m^2 に抑えた。

2.2 MTF の測定

撮像系の MTF は Slanted-edge 法を用いて測定する (ただし、この MTF はグレア補正の過程で用いない)。図 1 に MTF 測定に用いた画像とその ESF、LSF、MTF をそれぞれ示す。ROI サイズは幅が 100, 200, 400, 600, 800 画素の 5 通り (高さは幅の 2 倍) とした。図 1 (d) 及びその拡大図である図 1 (e) から分かるように ROI の幅によって MTF が異なる。

2.3 グレア補正

本方法では、次式のように撮像系全体の PSF (PSF_{total}) をグレアのない撮像系の空間周波数特性 MTF を表す広がりの小さい PSF (PSF_{sfr}) と、グレアのみを表す広がりの大きい PSF (PSF_{glare}) とに分けて考える。

$$PSF_{\text{total}} = (1 - k)PSF_{\text{sfr}} + k \cdot PSF_{\text{glare}} \quad (1)$$

ただし、 $\sum_{x,y} PSF_{\text{sfr}}(x,y) = \sum_{x,y} PSF_{\text{glare}}(x,y) = 1$ で、 k は 0 から 1 までの実数とする。

グレアを測定するために、反射のない黒い板にやや傾いた正方形の穴を中央に開け、拡散板を貼ったチャートを作成した。撮影したチャート I_{shot} を図 2 に示す。チャートの背面には、前面白 (色温度: D65) にした LCD を設置した。LCD は画素構造が完全に見えなくなるようにチャートから離し、拡散板以外の場所から光が漏れないように周りを囲んだ。正方形の大きさは、グレアが画像全体に広がる程度になるように決めた。エッジは位相が一定にならないようにわずかに斜めに傾けている。画像のサイズはセンサ中央部の 2000×2000 画素とした。

グレアの点広がり関数 PSF_{glare} を推定するために、

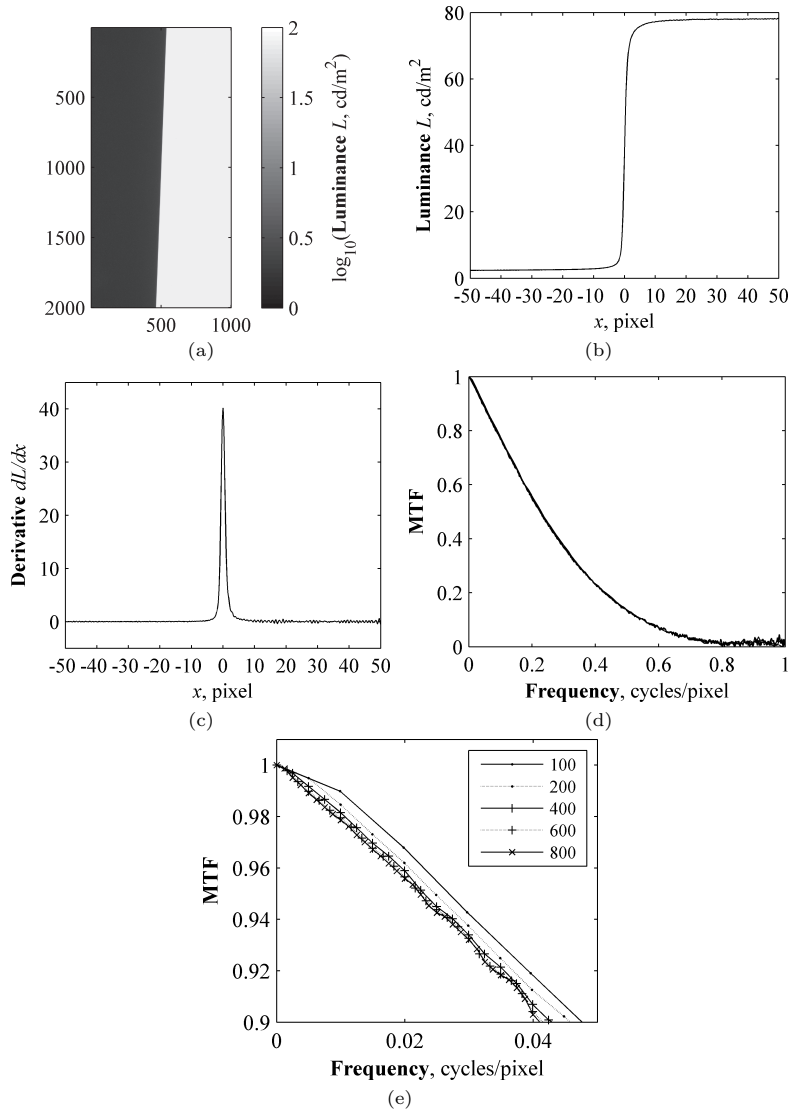


図 1 Slanted-edge 法に用いた ROI 画像とグレア補正前の MTF 結果 (a) グレア補正前の ROI 画像 (b) ESF (中央部分) (c) LSF (中央部分) (d) MTF (ROI 幅: 100, 200, 400, 600, 800 画素) (e) グラフ (d) の拡大部分

Fig. 1 ROI image used in the slanted-edge method and MTF results before glare correction. (a) ROI image before glare correction (b) ESF (central portion) (c) LSF (central portion) (d) MTF (ROI width: 100, 200, 400, 600, 800 pixels) Panel (e) is an enlarged portion of panel (d).

まず、撮影された画像から実際の輝度分布を予測した画像 I_{real} を作成する。画像 I_{real} は次式のように 0 と ℓ_{max} の 2 値画像とする。 ℓ_{max} は後述するようにグレア PSF の推定の過程で変動する。

$$I_{\text{real}}(x, y) = \begin{cases} \ell_{\text{max}}, & I_{\text{shot}}(x, y) > \ell_{\text{max}}/2 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

次に、 PSF_{glare} として次式で示すようなガウス関数を変形した関数を仮定する。

$$PSF_{\text{glare}}(x, y) = \exp(-r(x, y)^p / 2\sigma^2)^p / \sum_{x, y} \exp(-r(x, y)^p / 2\sigma^2) \quad (3)$$

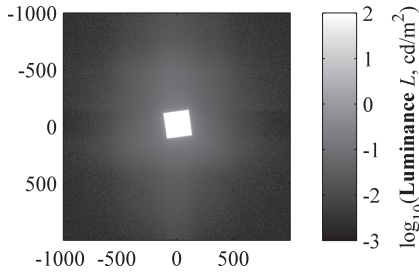


図 2 撮影したチャート画像 I_{shot} の輝度分布．縦軸と横軸は画像の画素を表す．

Fig. 2 Luminance distribution of the shot image I_{shot} . The axes show the pixel of the image.

ここで、 $r(x, y)$ は画像中心から画素位置 (x, y) までの距離を表した行列で、

$$r(x, y) = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (4)$$

と表す．今回、 x と y は -2000 から 1999 までの整数とした．この PSF_{glare} を実物予測画像 I_{real} に畳込み演算を行い、グレア画像 I_{glare} を得る．

$$I_{glare} = k(I_{real} \otimes PSF_{glare}) \quad (5)$$

PSF_{glare} のサイズは大きいので、FFT を用いた畳込み演算を行う．ここで I_{real} にグレア画像 I_{glare} を加えたグレア付加画像 I_{real_glare} を

$$I_{real_glare} = (1 - k)I_{real} + I_{glare} \quad (6)$$

とする． PSF_{glare} のパラメータ k, p, σ と輝度 l_{max} は、実際に撮影された画像 I_{shot} とグレア補正画像 I_{real_glare} の各画素の差の二乗和が最小となるように繰返し計算によって求められる．ただし、エッジ付近は PSF_{sfr} による影響があるので、 PSF_{sfr} の広がり幅程度のエッジ周辺部は差の二乗和の対象外とする．対象外エリアを設けることにより、単純に 2 値化したために生じた I_{real} のエッジの位相誤差による影響も防ぐことができる．グレア補正した画像 I_{shot_corr} は次式で表す．

$$I_{shot_corr} = (I_{shot} - I_{glare}) / (1 - k) \quad (7)$$

3. 結 果

3.1 グレア補正の点広がり関数

今回、エラーの見積りを行わないエッジ周辺部分の幅は 100 画素程度とした．対象外エリアは 2 値画像 I_{real} に 50×50 画素の平滑化フィルタを掛けたときの

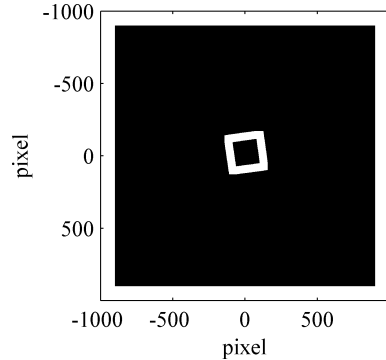


図 3 エラー見積りの対象外エリア

Fig. 3 Excluded area for error estimation.

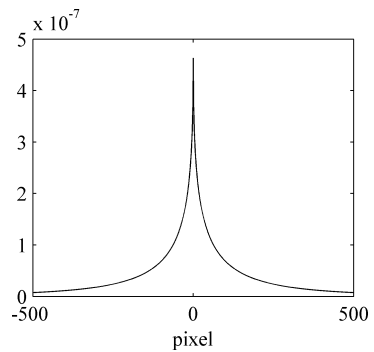


図 4 $k \cdot PSF_{glare}$ のプロファイル

Fig. 4 Profile of $k \cdot PSF_{glare}$.

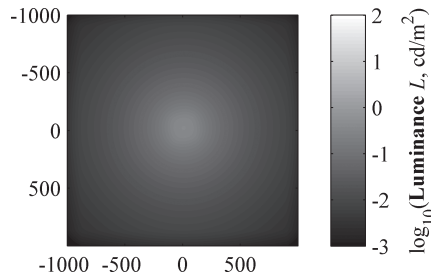


図 5 グレア画像 I_{glare} の輝度分布．画像の縦軸と横軸は画素を表す．

Fig. 5 Luminance distribution of the glare image I_{glare} . The axes show the pixel of the image.

中間値とほぼ一致する．また、画像の周辺部も対象外とした．得られたパラメータは $k = 0.0255, p = 0.479, \sigma = 1.54, l_{max} = 87.4$ となった．図 3 に対象外エリアの例を示す．図 4 にこのパラメータで計算された $k \cdot PSF_{glare}$ の中心の x または y 方向のプロファイル、図 5 にグレア画像 I_{glare} 、図 6 にグレア補正画像 I_{shot_corr} を示す．

3.2 グレア補正後の MTF

Slanted-edge 法で ROI サイズの幅を 100, 200, 400, 600, 800 画素の 5 通り (高さは幅の 2 倍) としたときに求められたグレア補正後の MTF を図 7 に示す. 図 1 (d) と比較して ROI サイズによる MTF 測定結果のばらつきが小さくなっていることが分かる. また, 補正後の MTF は補正前の ROI 幅が 100 画素での MTF とほぼ一致している.

3.3 輝度・色度の測定精度

輝度・色度の測定精度について述べる. チャートは ColorChecker (X-Rite, Grand Rapids, Michigan, USA), 照明は 2.1 と同じ色温度が 6500 K の人工太陽照明灯を用いた. この照明は測定器のキャリブレーションに用いた光源とは異なるので, リニアマトリックスによる輝度・色度補正が有効となる. 精度は分光放射輝度計 SR-UL1 (Topcon Technohouse, Tokyo, Japan) の測定値との色差 ΔE_{ab} で評価した. 表 1 に

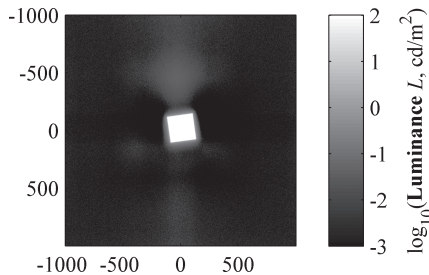


図 6 グレア補正画像 I_{shot_corr} の輝度分布. 画像の縦軸と横軸は画素を表す.

Fig. 6 Luminance distribution of the glare image I_{shot_corr} . The axes show the pixel of the image.

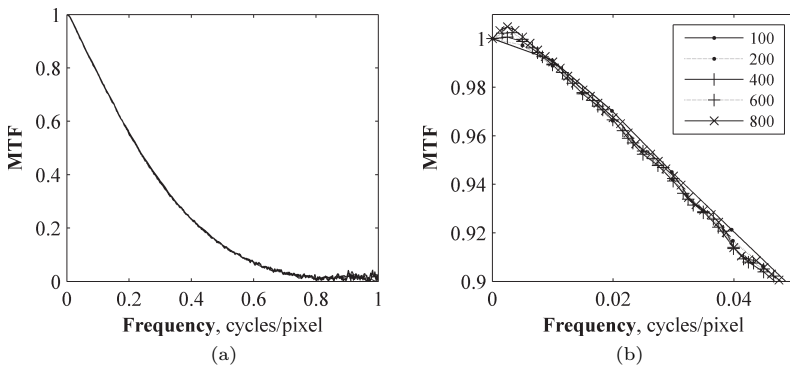


図 7 Slanted-edge 法に用いたグレア補正後の MTF 結果 (ROI 幅: 100, 200, 400, 600, 800 画素). グラフ (b) はグラフ (a) の拡大部分.

Fig. 7 MTF results after glare correction. (ROI width: 100, 200, 400, 600, 800 pixels). Panel (b) is an enlarged portion of panel (a).

グレア補正の有無と, 色差を最小にするリニアマトリックスによる補正の有無による 4 通りの 24 色の色差の平均値を示す. まず, リニアマトリックスによる補正がない場合, ΔE_{ab} は約 3% 改善し, 本グレア補正が輝度・色度の測定精度向上に有効であることが確認できた. リニアマトリックスによる補正がある場合, グレア補正の効果は約 2% の改善となった.

3.4 画像コントラストの改善

次に自然画像のコントラストについて評価する. 被写体として, 図 8 に示すような無彩色の石膏像と低輝度を実現するための遮光箱を用いた. 遮光箱は全面植毛紙で覆った四角錐の上部を切り取って, 底面に光が届かないようにしたものである. 石膏像の左側の遮光

表 1 グレア補正・リニアマトリックス補正の有無による 24 色票の色差 ΔE_{ab} の平均

Table 1 Average ΔE_{ab} color error for the 24 patches with and without glare removal and matrix correction.

	Without glare corr.	With glare corr.
Without linear matrix corr.	2.92	2.82
With linear matrix corr.	1.74	1.70

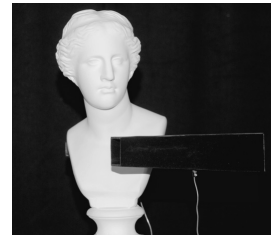


図 8 被写体と遮光箱

Fig. 8 Object and light-blocking boxes.

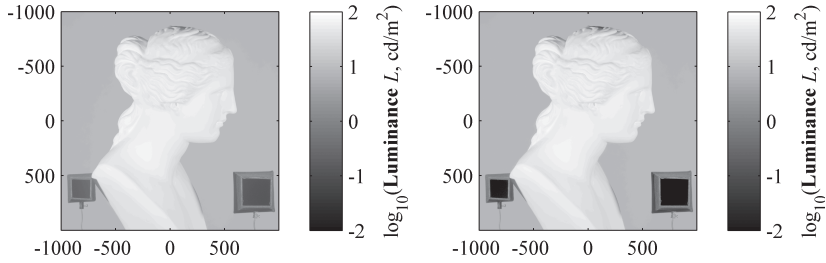


図 9 石膏像の画像コントラストの比較 (左: グレア補正前, 右: グレア補正後). 画像の縦軸と横軸は画素を表す.

Fig. 9 Comparison in image contrasts of the plaster bust. Left panel: before glare correction. Right panel: after glare correction. The axes show the pixel of the image.

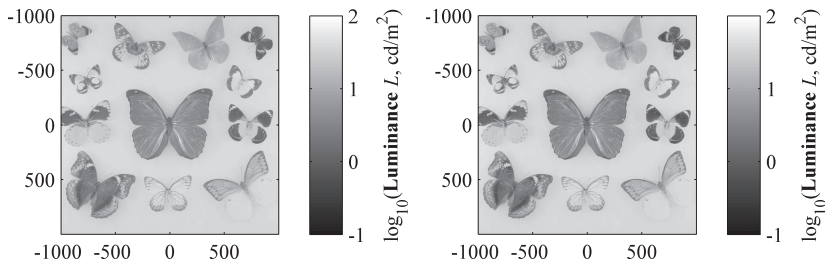


図 10 蝶標本の画像コントラストの比較 (左: グレア補正前, 右: グレア補正後). 画像の縦軸と横軸は画素を表す.

Fig. 10 Comparison in image contrasts of butterfly specimens. Left panel: before glare correction, Right panel: after glare correction. The axes show the pixel of the image.

表 2 遮光箱の輝度値比較

Table 2 Comparison in luminance levels of the light-blocking boxes measured using the shooting system and a spectroradiometer.

	Left hole	Right hole
Spectroradiometer	0.019cd/m ²	0.011cd/m ²
Camera (before glare corr.)	0.30cd/m ²	0.14cd/m ²
Camera (after glare corr.)	0.0045cd/m ²	-0.017cd/m ²

箱は石膏像の輝度が高い部分に近い場所に設置してあり、右の遮光箱は周りが低輝度になるように石膏像から離して設置してある。照明条件はカラーチャートに用いたものと同じとした。図 9 にグレア補正前後の画像の輝度分布を示す。グレア補正後の画像の石膏像と背景は全体的に輝度分布が補正前と変わらず、リングングなどのアーティファクトも生じていない。ウェーブのかかった髪の上部分ではコントラストが改善されている。表 2 に左右の遮光箱の輝度値を分光放射輝度計による測定値と併せて示す。分光放射輝度計による測定値は補正前の画像の輝度値に比べて小さい。また、どちらの測定値も左の遮光箱の方が高い値を示し、お

およそ 2:1 の比率になった。このことは、分光放射輝度計も程度は小さいがグレアの影響を受けることを意味する。実際、本分光放射輝度計のグレアに対する要求条件 [10] でグレアが許容されている。グレア補正後の遮光箱の輝度値は 0 に近づいているが、負の値になっているので問題が残る。次にコントラストの高い被写体の画像の例を図 10 に示す。蝶の黒い部分のコントラストと彩度の低下がグレア補正により改善し、モニタ上で確認できた (印刷では再現することが難しいので、カラー画像は載せていない)。

4. 考 察

本グレア補正法により、Slanted-edge 法において ROI サイズの依存性が小さい MTF 測定が可能になることと、画像コントラストや彩度などの画質の向上が確認できた。

図 9 の遮光箱のように、グレア補正により輝度が負の値をとる問題については、光軸のずれが原因の一つと考えられる。例えば、図 11 に示すようなレーザーラインマーカーをカメラに入射した画像を見ると、フレ

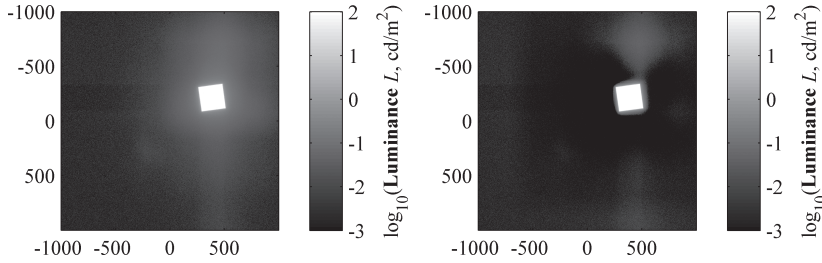


図 12 ターゲットを右にずらした画像の輝度分布 (右: 撮影画像 I_{shot} , 左: グレア補正画像 $I_{\text{shot_corr}}$). 画像の縦軸と横軸は画素を表す.

Fig. 12 Luminance distribution of the image. Left panel: before glare correction. Right panel: after glare correction. The axes show the pixel of the image.

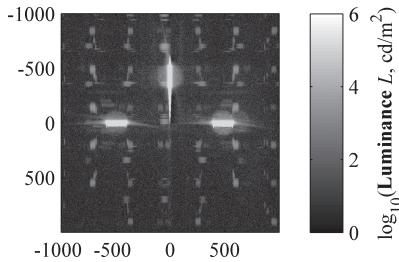


図 11 レーザを入射したときの輝度分布. 画像の縦軸と横軸は画素を表す.

Fig. 11 Luminance distribution when a laser line illuminates the shooting system. The axes show the pixel of the image.

アが全体的に左上に寄っていることが分かる. 図 2 からこの傾向は確認できる. このことはグレア PSF が回転対称にはならないことを意味している. また, 図 6 から分かるように, グレアの除去にむらがあり, 輝度値が負になる部分も生じる. 更に, 被写体の位置によってレンズフレアの現れ方が異なる. 図 12 に示すようなグレア測定のターゲットを右にずらした場合の輝度分布を見ると, フレアが全体的に右上よっていることが分かる. よって, 畳込みによる補正法ではグレアあるいはレンズフレアを完全に除去できない. 特に, 非常にコントラストの高い画像や点光源が存在する場合, 本手法は適用できない. コントラストの高い被写体を撮影する方法として, Talvala ら [2] は被写体とカメラの間に遮光メッシュを挟み, それを少しずつ移動させながら複数回撮影して合成することでグレアによる画質劣化を解決しているが, リンギングなどのアーティファクトが生じる問題が残る.

また, グレア PSF を求める過程でエッジ周辺の 100 画素をエラーの見積りから除外したが, この除外の影響を評価する必要がある. 除外の幅を 200 画素と

すると, グレア PSF (PSF_{glare}) を表すパラメータは $k = 0.0249$, $p = 0.463$, $\sigma = 1.46$, $\ell_{\text{max}} = 87.3$ となった. 幅を 100 画素としたときのパラメータとの差は, 仮定したグレア PSF が実際のグレア PSF と完全に合っていないことが原因の一つと考えられる. しかし, 両パラメータで Slanted-edge 法で測定した MTF の差は空間周波数が直流からナイキスト周波数までの間で $\pm 0.1\%$ 以内で大きな誤差とはいえない. また, 除外の幅を 200 画素とした場合のパラメータを用いてグレア補正を行うと, 石膏像の遮光箱の輝度は左側が $5.8 \cdot 10^{-3} \text{cd/m}^2$, 右側が $5.4 \cdot 10^{-5} \text{cd/m}^2$ となり, 除外幅 100 画素の場合に近い値となった. 負の輝度値とならなかったが, これはグレア PSF のモデルと実際のグレア PSF との適合度の問題と考えられる. グレア PSF を正確に求めることができれば理想的ではあるが, 実際の撮像系の特性から解析的に求めるのは非常に難しい.

5. む す び

画像のグレア補正法として, 簡単なグレア広がり関数を仮定することにより, 撮像系の MTF を維持したままグレア補正することができた. 非常にコントラストの高い画像や, 被写体に点光源があるような場合には適用できないが, リンギングなどのアーティファクトを生じさせることなく, 輝度・色度の測定精度向上と画像コントラストの改善が確認できた.

文 献

- [1] ISO9358: 1994, Optics and optical instruments. Veiling glare of image forming systems. Definitions and methods of measurement.
- [2] E.-V. Talvala, A. Adams, M. Horowitz, and M. Leboy, "Veiling glare in high dynamic range imaging," ACM Trans. Graph., vol.26, no.3, p.37, 2007.

- [3] R.F. Rykowski, "Illumination system measurement using CCD cameras," Int. Optical Design Conference, Technical Digest, 1994.
- [4] ISO12233: 2000, Photography - Electronic still picture cameras - Resolution measurements.
- [5] C. Loebich, D. Wueller, B. Kligen, and A. Jaeger, "Digital camera resolution measurement using sinusoidal Siemens stars," Proc. SPIE, 6502, 65020N, 2007.
- [6] D. Williams, "Benchmarking of the ISO 12233 slanted-edge spatial frequency response plug-in," IS & T PICS Conf., pp.133-136, 1998.
- [7] D. Williams and P.D. Burns, "Low-frequency MTF estimation for digital imaging devices using slanted edge analysis," Proc. SPIE, 5294, pp.93-101, 2004.
- [8] K. Masaoka, M. Emoto, M. Sugawara, and Y. Nojiri, "Comparing realness between real objects and images at various resolutions," Proc. SPIE, 6492, 64921F, 2007.
- [9] E. Reinhard, G. Ward, S. Pattanaik, and P. Debevec, "Lens flare removal," in High Dynamic Range Imaging: Acquisition, Display, and Image-Based Lighting (The Morgan Kaufmann Series in Computer Graphics), Chapter 4-8, Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, CA, 2005.
- [10] JIEG 006: 1986 "輝度計の性能評価方法及び使用方法"; 学会技術指針, 照明学会, 1986.

(平成 21 年 1 月 6 日受付, 5 月 11 日再受付)



野尻 裕司

1979 早稲田大学大学院理工学研究科博士前期課程了。同年, NHK 入局, 1982 より, 放送技術研究所にて, HDTV の研究開発, 特にフィルムと HDTV との変換及び変換装置の研究・開発や異なる画素数, フレーム周波数の HDTV 間的方式変換及び変換装置の研究・開発に従事。1999 から 2001 まで NHK エンジニアリングサービスに出向し, 放送番組のアーカイブとその公開施設の建設に従事。現在, 同所(人間・情報)にて超高精細映像の研究に従事。研究主幹, 博士(工学)。



内川 恵二 (正員)

1980 東京工業大学大学院総合理工学研究科了。York Univ. (Canada) Post doctoral fellow, 東京工業大学助手, 助教授を経て, 1994 より東京工業大学大学院総合理工学研究科教授。工博。視覚情報処理, 色覚認識, 心理物理学を専門とする。



正岡 顕一郎

1996 東京工業大学大学院工学研究科修士課程了。同年, NHK に入局。放送技術研究所配属後, 放送技術局(製作技術センター)を経て, 2002 より, 放送技術研究所に勤務。立体映像システム, 超高精細映像システムの研究に従事。現在, 同所(人間・情報)にて超高精細映像の研究に従事。博士(工学)。



菅原 正幸 (正員)

1983 東北大学大学院工学研究科修士課程了。同年, NHK に入局。神戸放送局を経て, 1987 より, 放送技術研究所に勤務。固体撮像素子, ハイビジョンカメラ, 超高精細撮像技術, 超高精細映像システムの研究に従事。2000 ~ 2004 電気通信大学大学院客員助教授。現在, 同所(人間・情報)主任研究員。博士(工学)。