

レンズの収差・回折によるぼけを補正する Deep Learning 画像処理技術 -Neural network Lens Optimizer-

キヤノン株式会社 光学技術統括開発センター
日浅法人

1. はじめに

光学設計では求められる解像性能を満たすように、複数のレンズの組み合わせ、特殊な硝材や非球面レンズなどを用いることで、光学系の収差を抑制する。しかし、製品によってはサイズやコストの制約から、画像の周辺部などにおいて収差を十分に抑えきれないことがある。また、被写界深度を深くするために絞りを絞って撮影すると、如何に高性能なレンズでも回折によって撮影画像にぼけが発生してしまう。これらの問題に対応するため、これまでキヤノンは撮影画像に存在するレンズの収差・回折によるぼけを補正する画像処理技術を開発してきた。本技術は撮影後に実行する画像処理のため光学設計ソフトとは異なるものであるが、光学設計とも関連する部分があることから本特集で紹介させてもらいたい。

まず、キヤノンがこれまでに開発してきたレンズの収差・回折によるぼけを補正する画像処理技術に関し、簡単に説明する。2012年にリリースされた Digital Lens Optimizer (DLO)¹⁾は、撮影条件（レンズの焦点距離、F 値、フォーカス距離）や画素の位置（像面座標）で変化するぼけを高精度に補正する機能である。カメラ・レンズの光学特性や撮影条件などの情報から、撮影画像の各画素におけるぼけの形状を再現し、逆フィルタベースの補正を実行する。これにより、収差・回折によるぼけの形状に応じた補正効果を得ることができる。DLO は 2012 年に PC アプリケーションとしてリリースされた後、2016 年には一部のハイエンドカメラ内に搭載され、2018 年以降はレンズ交換式カメラの標準搭載機能となっている。

しかし、DLO には原理的な課題がある。詳細は後述するが、被写体の失われた周波数成分を復元できないこと、白飛び周辺では補正効果が得られにくいこと、ノイズを増幅することの 3 つである。そこで我々はこれらの課題に対する改善を検討し、2022 年に Neural network Lens Optimizer (NnLO) をリリースした。NnLO は、撮影画像に存在する収差・回折によるぼけを、Deep Learning (DL) を用いて補正する画像処理機能である。DLO だけでなく、DL を用いたぼけ補正の関連研究^{2,5)}に対しても優位性を有する。この優位性を実現した手段に関して、詳細に説明する。

なお NnLO は、RAW 画像を高画質化する PC アプリケーション Neural network Image Processing Tool の機能の 1 つである。本ツールには、NnLO の他に DL を用いたノイズリダクションとデモザイクも含まれる。またキヤノンでは他に、現像された画像（JPEG など）を DL によって高精細にアップスケーリング（拡大）する PC アプリケーション Neural network Upscaling Tool もリリースしている。さらに、2024 年に発売された EOS R1 と R5 Mark II には、DL を用いたノイズリダクションとアップスケーリングがカメラ内に搭載されている。

2. 原理

カメラ・レンズを介して被写体 I_{subj} を撮影した際、発生する劣化過程は以下の式(1)で示される。

$$I_{\text{cap}} = \min(b * I_{\text{subj}} + n, S_{\text{satu}}) \quad \cdots (1)$$