

1. カメラレンズの性能を評価する指標

被写体となる物体をフィルムや CCD・CMOS 等の撮像素子上に結像させることがカメラレンズの役割ですが、撮影された像の品位はそのレンズの性能の影響を大きく受けることとなります。では、カメラレンズの性能はどのように評価されるのでしょうか。写真の善し悪しは人それぞれの感覚も関与するため、定量的に数値で示すということは難しいのですが、古くから用いられていた評価指標のひとつとして、レンズの「解像力」というものがあります。物体を色情報を含めた点の集合と考え、その1点1点をどれだけ正確にフィルムや撮像素子上に再現できるか。測定という都合からすると、細かい白黒の線（チャート）をどの程度まで再現できるかを評価することになります。この方法により、1 mm 当たりどれだけ細かい白黒の線を識別することができるかという指標で、解像力を本/mm または lp/mm (lp: line pairs) という形の数値によって表すことができるようになりました (図1)^{1,2)}。

しかしこの方法では、白黒の線の分離判断に人によるばらつきがあるだけでなく、そもそも解像力の高さで得られた写真の鮮鋭度が必ずしも一致しない等の問題がありました¹⁾。そして、後にレンズの性能を最もよく評価する指標として、光学伝

達関数 (OTF: optical transfer function) のコントラスト特性 (絶対値部分) のみを表した変調伝達関数 (MTF: modulation transfer function) が用いられるようになりました¹⁻⁴⁾。被写体は色ごとの明暗の縞模様 (空間周波数) から構成されているといえます。例えば、人の顔など緩やかな輝度変化が観察されるような縞模様は「低周波」、葉脈がわかるような植物の接写や遠目のスカイツリーの撮影など細かなパターンの輝度変化は「高周波」の縞模様となります。カメラレンズの性能は、これらの各空間周波数の縞模様をどれだけ正確にフィルムや撮像素子上に再現できるかということで、定量的に評価することができます。オーディオ機器でいえば、音は高音から低音にわたるさまざまな周波数の音で構成されており、これら各周波数の音をどれだけ正確に再現できるかが音響機器の善し悪しとなります。その際定量的な指標のひとつとして、レンズの性能評価と同じ MTF が用いられています¹⁾。

一眼レフカメラの交換レンズであれば、各メーカーのホームページなどから 10 本/mm (低周波) や 30 本/mm (高周波) などの MTF データを得ることができます。

ひとつ注意すべきは、デジタルカメラでの撮影です。写真の出来にはもちろんフィルムや撮像素子の影響がありますが、特にデジタルカメラで解像力を考える上では、CCD・CMOS といったデジタル素子特有の「ナイキスト周波数」が重要です。画像をデジタル化 (標本化) する際に、撮像素子の画素ピッチから決まる周波数で、再現できる空間周波数は特殊な処理をしない限り、このナイキスト周波数を超えることができません。

2. MTF による評価方法

MTF の評価方法のひとつに「コントラスト法」があります。中でも「チャート法」は、白黒の濃淡が各種周波数で正弦波状に変化するチャートを配置

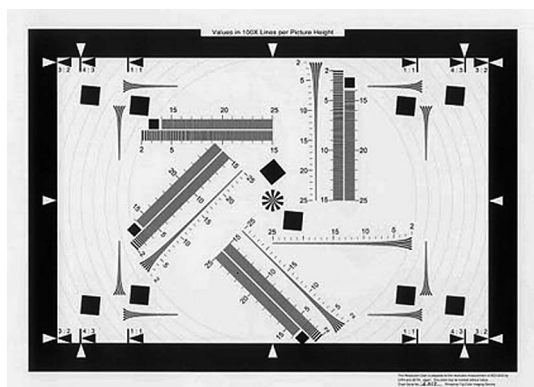


図1 ISO 12233 準拠 CIPA 解像度チャート²⁾。

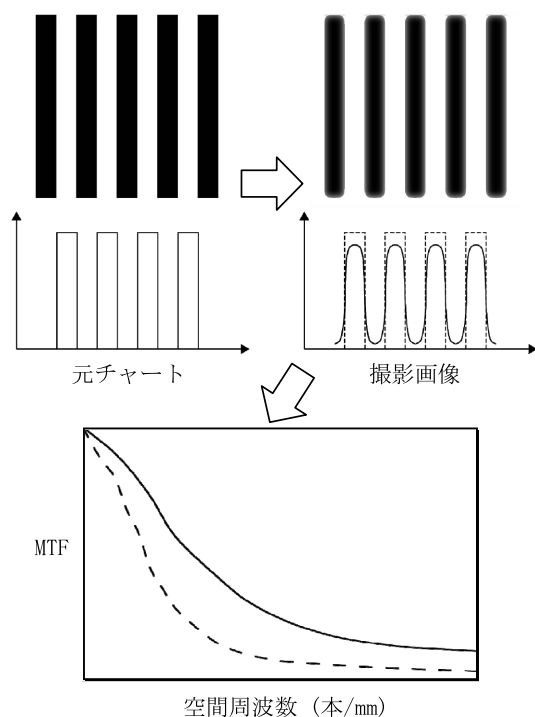


図2 コントラスト法 (矩形波チャート法).

し、カメラレンズを通して得られたチャートのコントラストの測定を行います^{1,3)}。より実用的には、作製しやすい矩形波状の白黒パターンのチャートを利用する「矩形波チャート法」が一般的ですが、補正 (コルトマンの式) が必要となります (図2)。

上で述べた MTF の評価方法は、後述する方式と対比して「正投影方式」とよばれることがあります。しかし、チャートと評価するカメラレンズとの距離を大きく取るため評価装置が大型化し、またチャート像の撮影に実際の製品で用いる撮像素子を使うことが好ましいため、撮像素子の入手性や性能ばらつきがあるなど、カメラレンズを量産する検査装置としては課題が多く、この正投影方式に対して「逆投影方式」を用いることが主流となっています。

逆投影方式ではフィルムや撮像素子の位置にスリットを設置し、評価するカメラレンズを通してスリットからの光を投影したものを別のカメラで

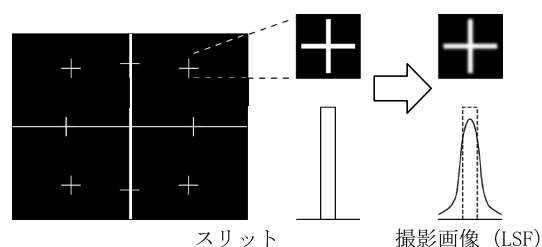


図3 フーリエ変換法.

撮影します。ちょうど実使用時と物体と像の関係が逆になることから、逆投影方式とよばれています。撮影されたスリット像は線広がり関数 (LSF: line spread function) であり、フーリエ変換によって LSF から MTF を算出することから、先のコントラスト法に対して「フーリエ変換法」と分類されます (図3)^{1,4)}。

3. 近年の評価方法

パソコンの処理の高速化等により、評価方法にも変化がみられています。近年開発が進められているシャック・ハルトマンセンサーを用いた方法では、パソコンで波面収差と MTF の算出が高速にできるようになったことから、実用レベルになりました。

このように、カメラレンズの MTF を評価する方法は進化を続けており、各装置メーカーやレンズメーカーではさらなる高速化・高精度化等に向けた開発が進められています。

(コニカミノルタ(株) 藤代一朗)

文 献

- 1) 小倉敏布：写真レンズの基礎と発展 (朝日ソノラマ, 1995)。
- 2) カメラ映像機器工業会規格：デジタルカメラの解像度測定方法 (CIPA DC-003-2003) (カメラ映像機器工業会, 2003)。
- 3) 河合 滋：光学設計のための基礎知識 (オプトロニクス社, 2006)。
- 4) ユージン・ヘクト (尾崎義治・朝倉利光訳)：ヘクト光学Ⅲ (丸善, 2003)。