

監視や車載など組み込み向け 小型カメラの画像評価術

第4回 色測定結果の読み方

戸田 浩一, 芦垣 彩菜

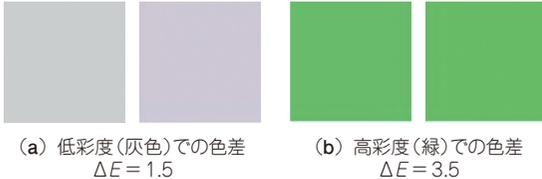


図1 人間の視覚感覚と ΔE の不一致
灰色の方が ΔE の値が小さいにもかかわらず、色差に気づきやすい

連載ではカメラの画質評価術を紹介します。今回はカメラで撮影した色がどれだけ正しいのかを、その見方から解説します。(編集部)

色の基礎知識…表色系と色差

● $L^*a^*b^*$ 表色系…色の数学的な表現の1つ

色を数学的に表現するために座標系で表したものを表色系と言います。代表的な表色系にはRGB, HSV, HSL, CIELAB ($L^*a^*b^*$) などがあります。カメラの色測定を行う場合、一般的に $L^*a^*b^*$ 表色系が使われます。

$L^*a^*b^*$ 表色系は1976年に国際照明委員会(CIE)で規格化され、日本でもJIS (JIS Z 8781-4)において採用されています。

$L^*a^*b^*$ 色空間では、
明度を L^*

色相と彩度を示す色度を a^* , b^*

で表します。 a^* , b^* は、色の方向を示しており、 a^* は赤方向、 $-a^*$ は緑方向、 b^* は黄方向、 $-b^*$ は青方向を示し、数値が大きくなるに従って色鮮やかになり、小さくなるに従ってくすんだ色になります(モノクロ画像では a^* , b^* が共に0となる)。

● 色差…2つの色の間の距離

色差は表色系内の2つの色の間の距離として定義されます。表色系 $L^*a^*b^*$ の色差を表す式は制定された順に ΔE , ΔE_{94} , ΔE_{00} と3種類あります。数値が人の視覚感覚と近くなるように改定され、現在は2000年に改訂された ΔE_{00} の使用が推奨されています。規格制定時の色差式を式(1)に示します。

$$\Delta E = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2} \dots \dots (1)$$

この式では単純に L^* , a^* , b^* の3軸空間にある2点間の距離を求めています。しかし人間の視覚感覚は灰色や薄い色の差に対しては非常に敏感ですが、原色に近い彩度の高い色に対しては色の差に気づきにくい特性を持っています。このため、 ΔE が5以下の小さな色差では人間の視覚感覚との相関が高くありません。図1に示すように、彩度の高い色の差ではほとんどその差に気づくことはできませんが、 ΔE の値は彩度の低い色の差よりも高くなっています。

そこで1994年と2000年に改定が行われ、2000年に導入された ΔE_{00} では先行する色差計算式(ΔE , ΔE_{94})よりも人間の色覚の非線形性を正確に模倣できます。その反面、色差式が式(2)のように、より複雑になっています。

$$\Delta E_{00} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{k_H S_H}\right)^2} + R_T \frac{\Delta C'}{k_C S_C} \frac{\Delta H'}{k_H S_H} \dots \dots (2)$$

詳細は割愛しますが、 ΔE_{00} は特に低彩度の色や色相の近い色での差異をより正確に評価できるように改善されており、 ΔE_{00} の値が1未満であればその色差は目視でほとんど認識できないとされています。

色測定において、測定したカメラの色が必ずしもチャート基準値に近いほど良いとは限りません。もちろん正しい色を測定する目的で、カメラの色キャリブレーションを行う場合は全色パッチの平均 ΔE_{00} をできるだけ小さな値(例えば3未満)にすることを目指しますが、1眼レフ・カメラやスマートフォンでは色鮮やかな画像が好まれ、平均 ΔE_{00} が結果的に10を超えることも少なくありません。このため、色評価の目的によって使う指標を選ぶ必要があります。

例えば撮影した赤の色が、ピンクがかったりオレンジがかったりするような特定の色の色相ズレについて評価したい場合は、別途 L^*C^*h 色空間の Δh という指標を使います。 Δh が小さいほど、基準色と色相が近いことを表します(図2)。

また、そのカメラがどのくらい鮮やかに色を表現しているかを評価する場合は、平均飽和度という指標を使います。平均飽和度は式(3)のように $L^*a^*b^*$ 色空間の a^* と b^* の中心からの距離 C (彩度)を使って計算され、基準値より彩度が高い場合、100%を超える値

第1回 解像度チャートの種類と測定準備(2024年9月号)

第2回 スマホ/車載カメラ/監視カメラの解像度と周波数応答を比べる(2024年10月号)

第3回 色測定の基礎知識…カラー・チャートと照明条件(2024年12月号)