

ラズパイで体験!

ご購入はこちら

CMOSイメージセンサ性能の測定評価

第17回 スペックには現れないが画質を左右する「光ショット・ノイズ」 米本 和也

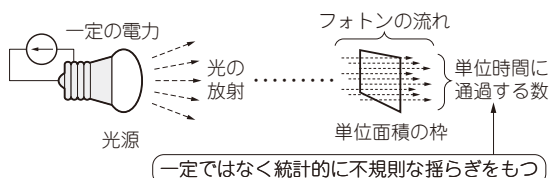


図1 光の放射と光ショット・ノイズ

イメージセンサの性能を評価する項目はたくさんありますが、今回取り上げる光ショット・ノイズは、単独では評価項目にはあたりません。しかし、イメージセンサの主なノイズ源の1つであり、多くの撮像条件で画像信号のSN比を決定づけます。今回はその性質を解説し、測定の実施から実測結果の様子まで見てみたいと思います。

特性

●光の性質とセンサ信号の関係

イメージセンサの信号源はもとをたどれば光で、その光は波動と粒子の両方の性質を持っています。回折格子を通過した光は、回折格子の間隔と波長によって通過する光の角度に分布を持つ回折現象を生じ、これが波動の性質です。

一方でイメージセンサの信号は光子（光子）1個から光電変換して得られた最大1個の電子をもとにした光子の数に比例した離散的な電圧またはデジタル値であり、これが粒子の性質です。

●ゆらぎとしてのノイズの発生

光ショット・ノイズはこの粒子の性質が元になっていますが、ここで何が起こるか考えてみます。ランプから放射された光について、単位面積の枠を通過する単位時間あたりの光子の数を数えることを図1に示します。ランプに与えられる電力が安定に一定でも、この光子の数はいつも一定であるわけではなく、ゆらぎを持っています。つまり、単位時間あたりに通過する光子の数を観測するたびに異なる不規則な数が得られるのです。このゆらぎが光ショット・ノイズです。

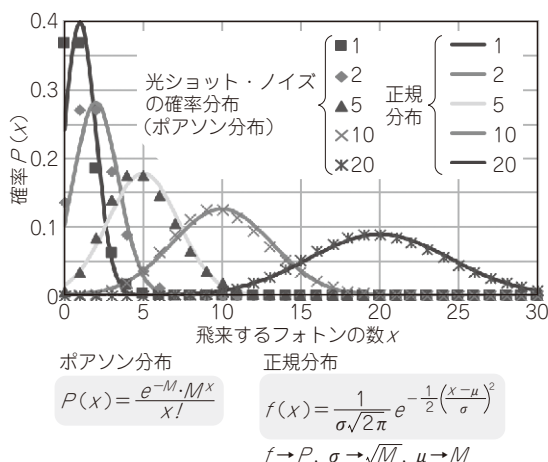


図2 光ショット・ノイズの分布

●確率分布で見るノイズの特徴

光ショット・ノイズの不規則性は、統計的にそのゆらぎの分布が決まっています。ポアソン分布に従います。光子の平均数 M を1個から20個までの5通りを選んだとき、実際にやってくる光子の個数 x の確率分布（ポアソン分布） $P(x)$ を図2のプロットで示します。ここで実線は正規分布を示していて、平均値 μ を光子の平均数 M 、標準偏差 σ を光子の平均数 M の平方根に置き換えて描いています。

プロットと実線を比較すると、おおよそ光子の平均数が5個以上になれば確率分布が正規分布に近くなることが分かります。これは光ショット・ノイズはそれくらいの平均数を上回れば、ゆらぎが光子の平均数 M の平方根で近似できることを示しています。つまり、イメージセンサのノイズが光ショット・ノイズの支配的な条件で撮像されているとしたら、信号のSN比は信号電子数の平方根で示されることを意味します。これはイメージセンサの信号のSN比をおおまか計算するのに都合が良いです。

また、改めて同図を見直すと、たとえ平均10個の光子がやってくるとして、その標準偏差が約3個ですが、分布を見れば光子の数がかなり大きなゆらぎを持っていると感じられるのではないのでしょうか。これこそが光ショット・ノイズの姿です。