

## デジタルカメラのしくみと画像処理

蚊 野 浩 (京都産業大学)

Structure, Function and Image Processing of Digital Camera

Hiroshi KANO (Kyoto Sangyo University)

## 1. はじめに

デジタルカメラの基本機能は、撮像素子表面に形成された光の像に忠実なデジタル画像を生成することである。そこでは、被写体を画像として再現するための写真画像処理技術とともに、顔検出・動被写体の追跡などのコンピュータビジョン技術が利用されている。

デジタルカメラ以前から、放送用カメラや民生用ビデオカメラが存在し、それらにもある程度のデジタル画像処理は実用化されていた。しかし技術的制約から、その範囲は階調特性の制御や色信号の補正、ノイズ除去・輪郭補正などに限られていた。画像処理技術がデジタルカメラの差別化技術として認知された背景は、カメラ用システム LSI (本稿では「画像処理エンジン」と呼ぶ) を「XX エンジン」と固有名詞化する宣伝手法が定着したことである。それとともに顔検出のようにデジタル処理でなければ不可能な機能が実現され、実質的にもデジタルカメラに不可欠な技術になった。

本講座では、デジタルカメラのしくみと実用化されている画像処理技術の幾つかを解説する。なお、これらは文献 1) に基づいている。

## 2. デジタルカメラのしくみ

デジタルカメラを分類すると、レンズ交換式の「デジタル一眼レフ」、一眼レフから反射ミラー系を取り去った「ミラーレス一眼」およびレンズ一体型に分けられる。レンズ一体型でもコンパクトなものから比較的大きな機種まで存在する。一眼レフは最も高度で精密なカメラであり、その構造を図 1 に示す。一眼レフの特徴は被写体像を直視できる光学ビューファインダーと、図示していない位相差 AF (Auto Focus) による高速な焦点合わせである。これらの機能を、反射鏡を用いることなく実現することが、一眼レフ以外のカメラにおける主要な技術課題になっている。

一眼レフは、撮影タイミングに合わせて反射鏡が跳ね上がり、像が撮像素子に導かれる。撮像素子で縦横の空間的なサンプリングおよび光信号から電気信号への変換と電気信号の量子化が行われ、生のデジタル画像が生成される。この生画像が画像処理エンジンで処理され、人間が観察するのに適した

画像への変換と、メモ리카ードに保存するための画像圧縮が実行される。

## 2.1 レンズ

レンズは被写体が発する光を集光し、撮像素子上に像を形成する。レンズの基本特性は口径、焦点距離、F 値である。F 値は「焦点距離/有効口径」で定義される数値である。有効口径が大きくなると像は明るくなり、焦点距離が長くなると像は暗くなる。F 値は像の明るさに対応する。レンズの有効口径を制限する部品を「絞り」と呼ぶが、F 値を絞り値とも呼ぶ。

焦点距離は像の大きさと関係する数値である。焦点距離 20mm の像は 10mm の像の 2 倍である。しかし、前者の像を面積  $10 \times 10 \text{mm}$  で画素数  $1,000 \times 1,000$  画素の撮像素子でデジタル化したものは、後者を  $5 \times 5 \text{mm}$ ,  $1,000 \times 1,000$  画素の撮像素子でデジタル化した画像と同じになる。これでは、焦点距離によって像の拡大率を比較することができない。その場合、カメラ仕様上の焦点距離として、撮像面を 35mm フィルムと同じ大きさに換算した数値を用いる。

デジタルカメラの画素数はどこまで大きくなるのか? という疑問に対して、レンズ性能から決まる限界と撮像素子の製造上の限界から答えることができる。レンズによる限界は MTF (Modulation Transform Function) から解析される。文献 2)

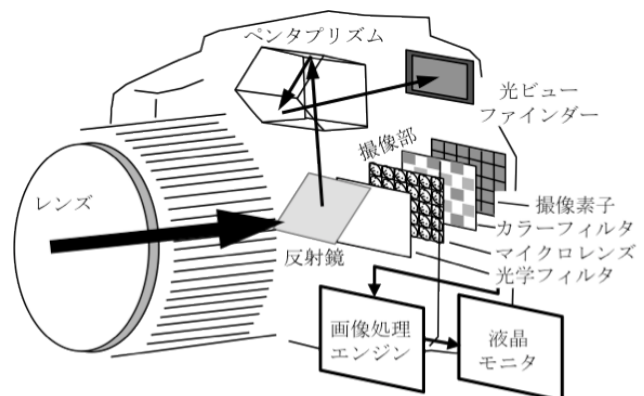


図 1 デジタル一眼レフカメラの構造

Fig.1 Structure of digital single-lens reflex camera

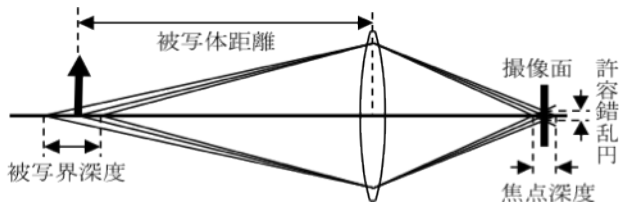


図2 焦点深度と被写界深度

Fig.2 Depth of focus and depth of field

によると、F 値 4.0 のレンズで波長 546.1nm の光を結像する場合、 $1.75\mu\text{m}$  周期の正弦波の MTF は 20% 程度となり、 $1.0\mu\text{m}$  周期では MTF がほぼゼロとのことである。一方、撮像素子の微細化の限界も  $1.0\mu\text{m}$  付近に収束する傾向が見える。小型デジタルカメラではこの限界に近い解像度の撮像素子が利用されている。一眼レフやミラーレス一眼で利用される撮像素子には、まだかなりの余裕がある。

次いで、画像のぼけについて説明する。点光源を撮影したときに許容されるぼけの限界を許容錯乱円と呼ぶが、その直径として、フィルム写真では撮像面对角長の  $1/1000 \sim 1/1500$  が基準として使われていた。これをデジタルカメラに当てはめると、1,000 万画素クラスの撮像素子に対して 3.5 画素、2,000 万画素クラスの撮像素子に対して 5 画素程度が許容錯乱円の直径になる。この基準に従うと、デジタルカメラではこの程度のピンぼけ、手ぶれが許容されることになる。

結像に許容錯乱円までのぼけが許されるので、図2に示すように、撮像面とレンズの距離に誤差が許容され、これを焦点深度と呼ぶ。これに伴って、被写体側でも正確にピントが合っていると見なせる範囲が存在することになり、これを被写界深度と呼ぶ。被写界深度は、①焦点距離が短いほど深い、②口径が小さいほど深い、③物体までの距離が遠いほど深い、などの性質がある。同じ F 値のレンズであっても、レンズ口径が大きければ、被写界深度は浅くなる。これによって大口径レンズを用いると、主要被写体だけにピントが合い、その前後の被写体をぼかせる独特な写真撮影が可能になる。

## 2.2 撮像素子

撮像素子はレンズが結像する像を電気信号に変換する。カラー画像を取得する方式に単板式と三板式があり、本稿では単板式について記述する。単板式の撮像部は図3のような構成になる。フォトセンサアレイには CCD センサか CMOS センサが用いられる。カラーフィルタアレイは光像を 3 原色に分解するためのカラーフィルタであり、RGB (Red Green Blue) 個別の微小フィルタがモザイク状に配列される。図の配列は原色ベイヤー型と呼ばれる。マイクロレンズアレイは、各画素に入射する光束をフォトセルに集光する。フォトセンサアレイは配線層などフォトダイオード以外の層が積層されるため、

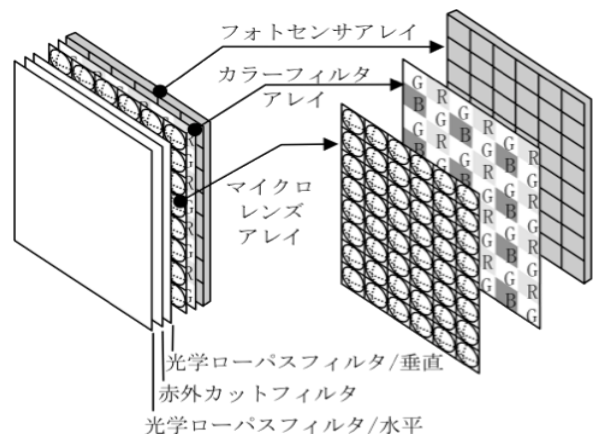


図3 単板撮像部の構造

Fig.3 Structure of single plate-type imaging device

実際の開口率はかなり低くなる。マイクロレンズによって光を集光することで、実質的な開口率を稼いでいる。光学フィルタは、光学ローパスフィルタと赤外カットフィルタで構成される。光学ローパスフィルタは水晶の複屈折性を利用したデバイスで、入射光の半分を水平および垂直に若干ずらせた光線を生成し、それを入射光に重畳させることで、像の高周波成分を減衰させる。

撮像素子のダイナミックレンジは、一つのフォトダイオードが出力する最大電荷量と、ノイズとして発生する電荷量の比である。通常、 $20\log [\text{最大電荷量} / \text{ノイズ電荷量}]$  で計算され、dB 単位で記述される。コンパクトデジカメで用いられる撮像素子で 50dB 程度、レンズ交換式で用いられる撮像素子で 70dB 程度であるので、SN は 300~3000 倍程度である。

## 2.3 画像処理エンジン

画像処理エンジンは撮像素子から出力される生画像に処理を加え、人間が観察するのに適した画像に変換する。これは図4に示すように組み込みCPUやDSP、顔検出などを行う専用演算回路、プログラムメモリ、データメモリ、画像メモリなどで構成されるシステムLSIである。システムLSIの高集積化・高機能化の恩恵によって、豊富な画像処理機能が付加される傾向が続いており、デジタルカメラの主要な差別化要素の一つになっている。

## 3. デジタルカメラの主要機能

デジタルカメラには、失敗なく美しい写真が撮影できるように多くの機能が搭載されている。ここでは、基本的なものを説明する。

### 3.1 オートフォーカス

オートフォーカスは被写体に自動的に焦点を合わせる機能

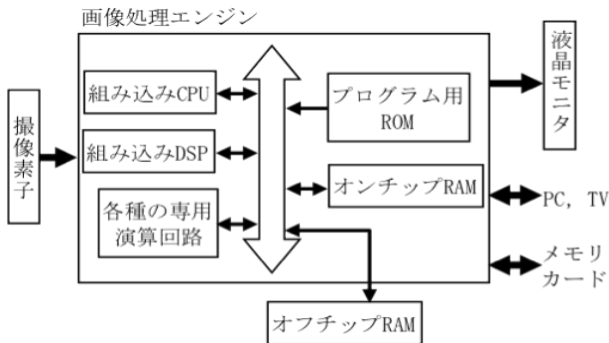


図4 画像処理エンジン

Fig.4 Image processing engine

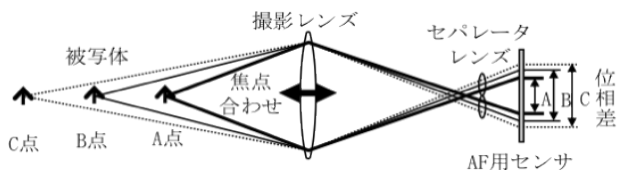


図5 位相差方式オートフォーカス

Fig.5 Phase detection autofocus

である。これを実現するには被写体までの距離情報が必要になる。主に用いられる位相差方式とコントラスト方式について説明する。

位相差方式は一眼レフで標準的に用いられる方式である。図5に示すように、被写体からの光線のなかで撮影レンズの端部付近を通過する光線をセパレータレンズで分離する。撮像素子とは別に設けたAF用センサ上に2つの像ができ、その像の位置の差（位相差）から被写体までの距離を求める。距離を直接求めるため、オートフォーカスが高速に動作する。

コントラスト方式は一眼レフ以外で標準的に用いられる方式である。図6において、B点に焦点を合わせると最もシャープな画像を撮影することができる。その前後のA点、C点に焦点を合わせると画像がぼける。カメラが焦点を合わせる位置を横軸にとり、撮影される画像のコントラストの評価値を縦軸にとると、図6下のようなグラフになる。この性質を利用してコントラストの評価値が最大になるように焦点位置を制御する。この方式は繰り返し計算が必要になるので、合焦に要する時間が長くなる傾向はあるが、合焦精度は高い。

### 3.2 シャッター機能

シャッターには物理的に光の開閉を行うメカニカルシャッターと、撮像素子内で電荷蓄積モードと廃棄モードを切り替える電子シャッターがある。

電子シャッターでもCCDはグローバルシャッター、CMOSはローリングシャッターと大きな違いがある。グローバルシャッターは、その言葉の通り、全画素が同じタイミングでシャッター動作をする。ローリングシャッターは、撮像素子の画素ごとにタイミングをずらしながらシャッターを切る。そ

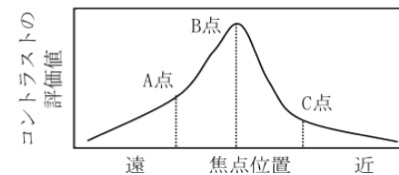
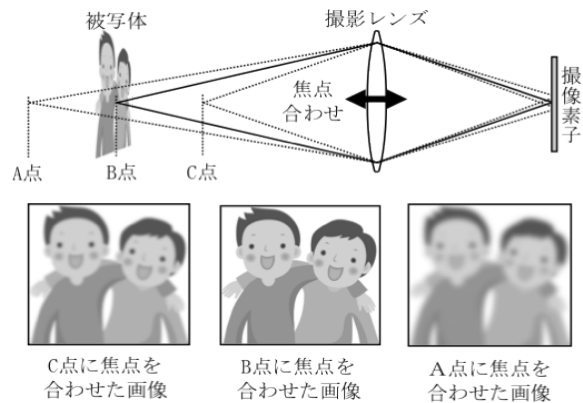


図6 コントラスト方式オートフォーカス

Fig.6 Contrast measurement autofocus

の結果、撮像素子の上部では時間的に早いタイミングで情景を捉え、下部では時間的に遅いタイミングで情景を捉える。

図7にグローバルシャッターとローリングシャッターによる撮影画像の違いを示す。自動車が右から左に移動する場合、グローバルシャッターでは全画素が同じタイミングの情景を撮影するので、自動車の像に歪みを生じない。それに対してローリングシャッターでは、画像の上部と下部で時間的に異なった情景を撮影するので、図のように歪んだ画像を撮影してしまう。このような画像歪みをフォーカルプレーン歪みと呼ぶ。

電子シャッターは機構部品が不要で、制御性に優れるが、いくつかの課題がある。CCDセンサは電荷転送中に撮像面に強い光を受けると、転送路への光の漏れこみが原因となって、スミアと呼ばれる筋状の白とびが発生する。メカシャッターを用いて電荷転送中の光を遮蔽することでスミアを避けることができる。CMOSのローリングシャッターによるフォーカルプレーン歪みも大きな問題である。この問題を軽減するためにもメカシャッターが利用される。

### 3.3 手ぶれ補正

撮影時の手ぶれを補正する方式には光学式と電子式がある。光学式はレンズから撮像部までの光学系を機械的に制御することで光像を安定化する。電子式は、ぶれて撮影されてしまった画像や映像を画像処理によって補正する。電子式については4章で説明し、ここでは、光学式についてふれる。

光学式手ぶれ補正には、図8に示すように、レンズシフト方式とセンサシフト方式がある。レンズシフト方式は、撮影レンズの一部を上下左右に移動させることで、撮像素子に対する光像の位置を安定化させる。撮像素子シフト方式は、撮像

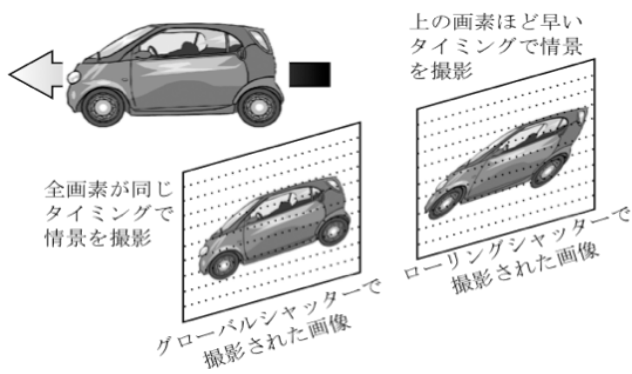


図7 シャッター動作の種類による画像の違い

Fig.7 Difference between global shutter and rolling shutter

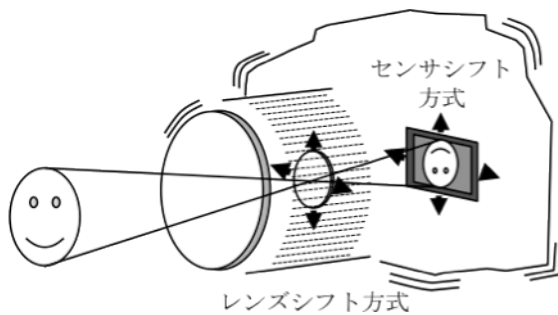


図8 光学式手ぶれ補正

Fig.8 Optical image stabilizers

素子そのものを上下左右に移動させることで、光像の位置を安定化させる。両方式とも効果的に手ぶれを抑えることができるが、センサシフト方式の特徴は、一眼レフに適用した場合、交換レンズの選択肢が広がることである。レンズシフト方式はレンズ一体型とミラーレス一眼において、一般的に用いられている。

#### 4. デジタルカメラの画像処理

画像処理エンジンで実行される処理には図9のようなものがある。まず、最適な撮影が行えるように、撮影前のライブ映像を解析し、フォーカスや絞り・シャッター速度などのカメラパラメータを制御する。撮影後の生画像に対しては、デモザイク以降の処理が施され、最終画像をディスプレイに表示し、また画像データをメモリーカードに保存する。

##### 4.1 デモザイク

単板の撮像素子で撮影される生画像であるCFA (Color Filter Array) 画像は、各画素がRGB いずれか一つの値を保持する不完全なカラー画像である。これをRGBフル解像度の画像に変換する処理をデモザイクと呼ぶ。デモザイクは画像の補

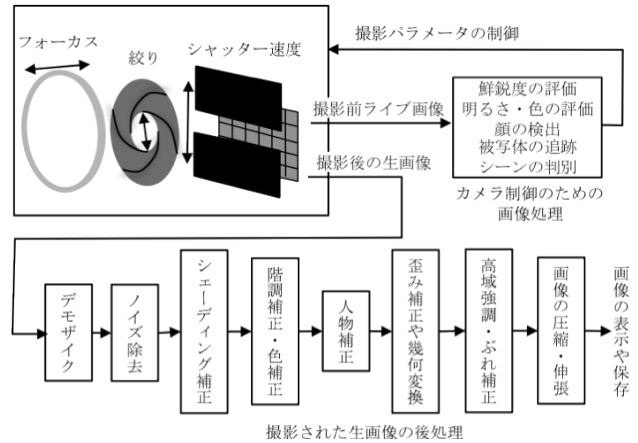


図9 デジタルカメラで行われる画像処理

Fig.9 Image processing performed in digital camera

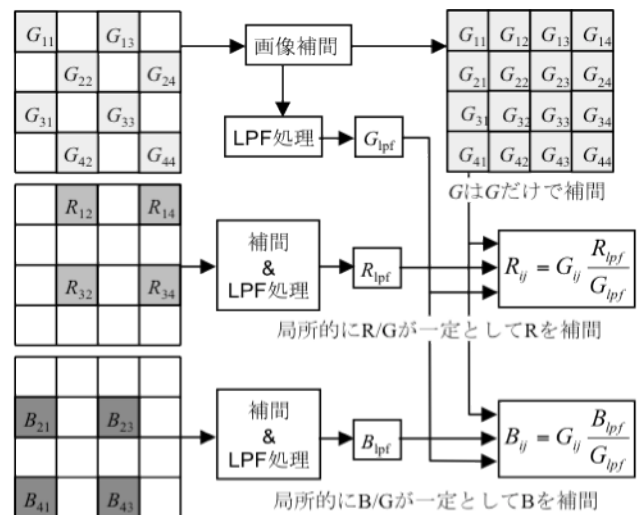


図10 色相関補間方式によるデモザイク

Fig.10 Demosaicing algorithm utilizing color correlation

間であるから、バイリニアやバイキュービックなどの基本的な補間手法を用いることもできる。しかし、これだけでは細かい絵柄やエッジ部分に、本来存在しなかった色が偽色として発生して好ましくない。これを軽減するための手法が開発されており、代表的なものに、局所的に色信号の割合が一定であると見なす色相関補間方式がある。

図10に色相関補間方式によるデモザイク処理を模式的に示す。図中、左側のR、G、Bの小画像はベイヤー配列のCFA画像を各色に分解したものである。白い升目には画素値が存在しない。まず、一般的な補間処理によってG成分だけをフル解像度の画像に変換する(図右上)。また、これを平滑化(LPF処理)した中間画像を生成する( $G_{lpf}$ )。RとB成分についても補間処理と平滑化によって中間画像を生成する( $R_{lpf}$ ,  $B_{lpf}$ )。RとBの最終画像は、局所的にR/G, およびB/Gが一定であるという仮定から、図中の式によって計算する。



## 4.2 ノイズ除去

画像に表れるノイズは撮像素子の特性によるものや撮像素子表面に付着したごみ、レンズ光学系に起因するものがあるが、ここでは素子特性が原因となるものを考える。その主たるものは、フォトダイオードの暗電流による固定パターンのインパルスノイズ、CMOSではフォトダイオードに近接した増幅器の  $1/f$  ノイズやランダムテレグラフノイズ（電波形状のノイズ）、画素をリセットするときに発生するリセットノイズ、および電荷を転送するときに発生するさまざまな回路的なノイズである。素子特性に起因するノイズは、半導体プロセスの改良と回路的な工夫によって年々、改善されている。しかし、画素数の増加と撮像素子の小型化も並行して進んでおり、フォトダイオードのセルサイズは縮小されている。したがって画素あたりのノイズは必ずしも改善されておらず、画像処理によるノイズ除去への期待は大きい。

古典的なノイズ除去手法は平滑化フィルタやメディアンフィルタである。本稿では代表的なエッジ保存型平滑化フィルタであるバイラテラルフィルタ（BF）を、1次元信号を用いて説明する。図11左上はノイズを含むステップ信号波形である。この波形上の、ステップ直前の注目点に対してBF処理を施す場合を説明する。まず、注目点からの距離に応じたガウス分布重みと、注目点との値の差に応じたガウス分布重みからなる、2つの重み係数を設定する（図左下）。これを掛け合わせることで、注目点からの距離の差と値の差の両方を考慮した重み係数を決定する（図右下）。この最終的な重み係数で近傍画素を平滑化する。全ての原信号にBFを適用してノイズを除去した信号波形を右上に示す。ガウス型平滑化フィルタと比較して、優れたエッジ保存性があることがわかる。

## 4.3 光学的劣化と幾何学的歪みの補正

カメラにはレンズや撮像部に由来するさまざまな特性や劣化、歪みが存在する。球面収差、コマ収差、非点収差、像面収差、歪曲収差はザイデルの5収差と呼ばれるが、これらは光が1点に集光しない現象や、像が幾何学的に歪む現象である。また、光の色によって屈折率が異なるため、軸上色収差と倍率色収差と呼ばれる色のにじみが発生する。画像の周辺は光量が減少するため暗くなる。この現象はシェーディングと呼ばれる。これらの劣化・歪みの中で歪曲収差、倍率色収差、シェーディングが画像処理によって補正される。

## 4.4 階調と色の補正

撮像素子は、基本的に、被写体の輝度に比例した電荷を出力する。一方、代表的な表示装置であったCRTディスプレイの画面輝度は入力電圧の約2.2乗に比例し、この特性をガンマ特性と呼ぶ。カメラとCRTディスプレイで構成される入出力システムで忠実な階調再現を行うには、カメラ信号に  $1/2.2$  乗の特性を持たせることが好都合であり、これを逆ガンマ補

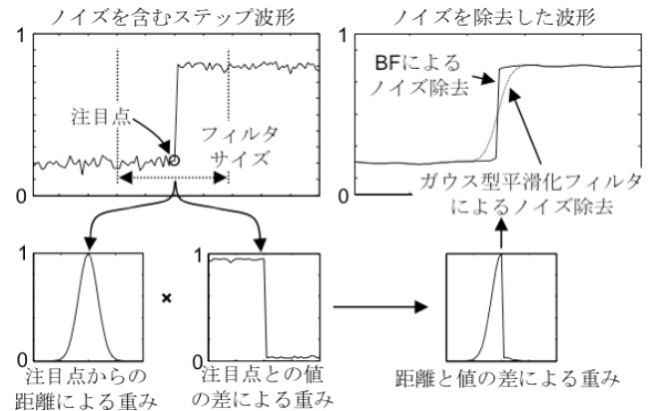


図11 バイラテラルフィルタによるノイズ除去

Fig.11 Denoising by bilateral filter

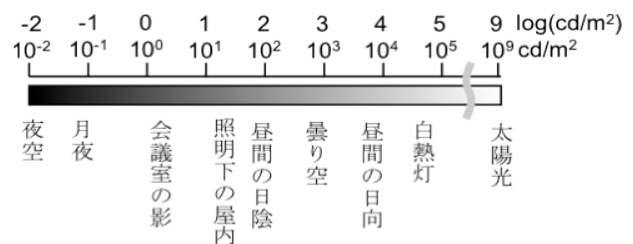


図12 現実シーンの輝度範囲

Fig.12 Dynamic range of luminance in real scene

正と呼ぶ。液晶など最近のディスプレイデバイスは、必ずしもCRTと同じ表示特性ではないが、ディスプレイ装置としてはガンマ特性を持たせている。また、デジタルカメラの画像信号も、従来どおり、逆ガンマ補正されている。

明・暗が混在しダイナミックレンジが広いシーンに対して適切な露光量と階調特性を決定することは重要である。デジタルカメラの自動露光機能では、入力画像を100以上の領域に分割し、領域ごとの平均画素値などを求め、その全体的な分布から露光量を決定する。さらに、あるレベル以上の明部の信号を圧縮して階調再現するニー補正が行われる。ニー補正のように、シーンの性質に応じて適応的に階調特性を制御することをトーンマネジメントと呼ぶ。より高度なトーンマネジメント手法は、画像のヒストグラムを解析し、画素値が密集する階調近傍を伸長し、画素値が疎になる階調近傍を圧縮する手法などである。

現実シーンの輝度範囲は図12のようになる。したがって、撮影されるシーンのダイナミックレンジが100dB（対数スケールで5桁）以上になることもある。このようなシーンに対して、コンパクトデジカメのダイナミックレンジは50dB、高性能な一眼レフでも70dB程度であるので、カメラのダイナミックレンジが不足する。これを補うために、同じシーンに対して露光量を変化させて複数枚の画像を取得し、それらを合成することでハイダイナミックレンジ（HDR, High Dynamic Range）画像を取得する手法が用いられる。

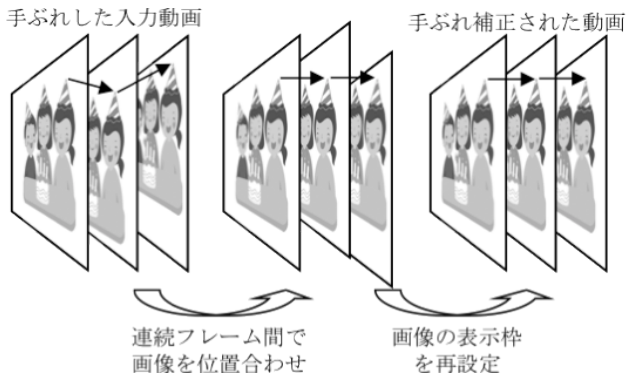


図 13 電子式動画手ぶれ補正  
Fig.13 Digital video stabilizer

表 1 代表的な電子式静止画手ぶれ補正

Table 1 Representative digital still image stabilization algorithms

方式	処理の内容
加算合成式	通常の 1/4 程度の短い露光時間で複数枚の画像を連射撮影し、それらを位置合わせして加算平均する。
画像復元式	手ぶれが生じた 1 枚の画像を、推定した PSF を用いて画像復元する。
長短露光画像合成式	手ぶれが生じやすい通常露光画像と生じにくい短露光画像を連射し、それらを適応的に合成する。

#### 4.5 電子式手ぶれ補正

電子式手ぶれ補正は、ぶれて撮影されてしまった画像を、画像処理によって補正する技術である。動画に対する補正手法と静止画に対する補正手法がある。

高い倍率で撮影した動画や歩きながら撮影した動画は、手ぶれが生じて見難くなる。これを補正する電子式動画手ぶれ補正は、図 13 に示すように、連続するフレーム間の動きを計算し、フレームごとに画像を位置合わせした後、画像の表示枠を再設定する処理である。フレーム間の動きをジャイロセンサで計測することも可能であるが、画像処理による位置合わせを用いることで、これが不要になる。

電子式の静止画手ぶれ補正技術は、レンズや撮像素子を物理的に移動させることなく、静止画に生じる手ぶれを補正する技術である。いくつかの考え方があり、代表的なものを表 1 に示す。加算合成式は高速連射が可能な CMOS センサが必要であるが、処理が比較的単純なため、確実な補正性能を期待できる。画像復元式は、手ぶれの原因である PSF (Point Spread Function, 点拡がり関数) を推定した後、ウィナーフィルタなどで画像復元する。演算に畳み込みを含むため、ノイズを増幅する傾向がある。長短露光 2 画像合成式は加算合成式に近い方法であり、露光時間の異なる 2 枚の画像を取得し、

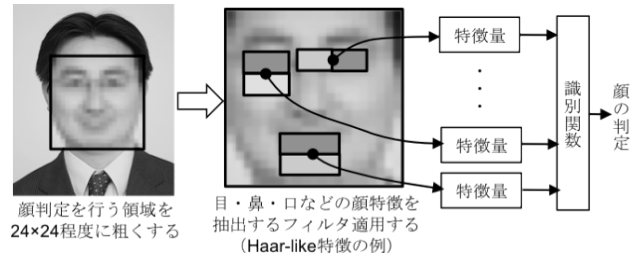


図 14 顔画像の検出アルゴリズム

Fig.14 Human face detection algorithm

平坦部は長露光画像を用い、エッジ部は短露光画像を用いるように適応的に画像合成する。

#### 4.6 顔画像処理

画像中の正面顔を検出する技術は、Viola3)らの研究をきっかけに急速に発展した。その手法は、Haar-like 特徴と呼ばれる一種のエッジ検出オペレータを用い、顔中の目鼻口など大小さまざまな部位に対応した多数の Haar-like 特徴を、AdaBoost と呼ばれる学習アルゴリズムで、効率的に選択する。さらに、計算を高速に実行するために積分画像を用いるであるとか、階層的に計算を進めるなどの工夫がなされた。現在の顔検出技術はアルゴリズム的により高度である。また、正面顔だけでなく、首振り回転や顔を傾けることによる変形、表情変形、人種の差にも頑健で、広く実用化されている。

検出された被写体の顔情報に基づいて、以下のような機能が実現されている。

- ①顔最適撮影：顔オートフォーカスや顔オートアイリス、特定個人優先撮影など。
- ②顔最適タイミング撮影：笑顔撮影、目つむり防止など。
- ③顔最適補正：美肌補正、美白補正、赤目補正、小顔補正など。
- ④顔画像の検索：顔画像による分類、検索など。

#### 4.7 動きがある被写体の追跡

画像処理による被写体の追跡は、指示した対象物が動画像の中で移動する経路を推定する問題である。簡単な被写体追跡は、テンプレートマッチングや色追跡などの方法で実現されていた。しかし従来手法は、被写体の移動や姿勢変化による見えの変動に弱く、利用場面が限られる。それに対して、最近の手法は、コンピュータビジョン技術の成果を取り入れることにより、動作が頑健になった。本稿では、領域ベースの追跡手法について簡単に説明する。

領域ベースの手法は対象に対応した矩形小領域を追跡する。従来手法であるテンプレートマッチングは、対象の変形に非常に弱いという問題があった。これに対して、最近では画素値を直接の手がかりとするのではなく、カラーヒストグラムを用いるものが多い。カラーヒストグラムは色信号の度数

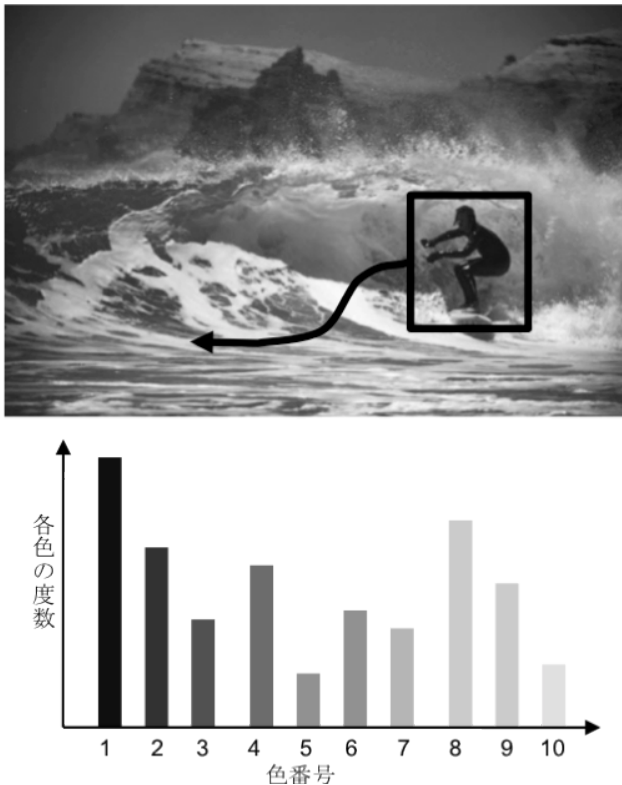


図 15 動被写体領域とそのカラーヒストグラム

Fig.15 Moving Subject and Its Color Histogram

分布であり、これによって被写体の変形に強くなる。領域間のカラーヒストグラムのマッチングにはヒストグラムインタセクションと Bhattacharyya 係数が用いられる。

領域ベースの手法で特に重要になるのは、探索手法である。単純な全探索は計算量が大いだが、領域特徴としてカラーヒストグラムを用い、全探索を効率化する手法にアクティブ探索<sup>4)</sup>がある。アクティブ探索によって 100 倍程度高速化される。アクティブ探索は探索範囲内をもれなく探索するが、それでも正解が発見できるとは限らない。それに対して、局所的な演算によって移動位置を決定するアルゴリズムとして Mean Shift<sup>5)</sup>がある。これはアクティブ探索に比較しても、さらに高速である。

#### 4.8 超解像処理

画像の拡大処理はサンプリング定理に基づいて実行される。最近隣補間、バイリニア補間、バイキュービック補間、窓関数をかけた sinc 関数補間などがあり、結果画像に若干の違いはあるが、いずれも元画像に存在しない成分を発生させる意図はない (図 16 (a))。

単純な拡大とは異なる超解像処理は、元画像に存在しない高周波成分を生成することで、より詳細な画像表現を目指すものである。図 16 (b)に示す複数画像からの処理と、(c)に示す 1 枚の画像からの処理がある。複数画像からの処理は、サ

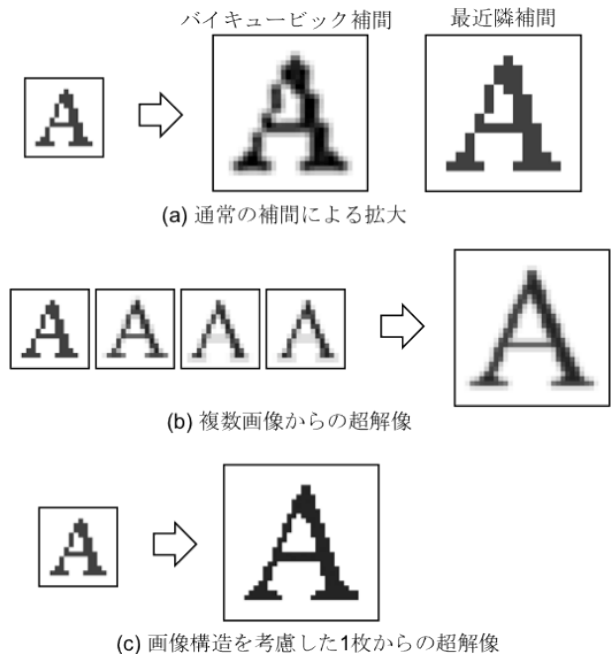


図 16 画像の拡大と超解像処理

Fig.16 Image Enlargement and Super Resolution

ブピクセル精度で位置合わせした画像群に、画像復元処理を行うことで画素数を増やす処理である。複数の画像を、元シーンの高周波成分の折り返しが残るように撮影し、それらを位置合わせした後に、高周波成分を強調する。1 枚の画像からの超解像処理は、サンプリング定理の枠組みを外した処理である。撮影された画像は顔画像である、などと仮定し、その仮定のもとで、結果画像を推定する。いずれの方式も実用化されているが、その効果が十分に検証されているとはいえない。

#### 5. まとめ

電子式カメラはテレビジョン技術の中で発展したものであるが、デジタルカメラの時代になり、テレビジョンシステムの枠組みが外れ、結果的に大きく発展した。本稿では、現在のデジタルカメラのしくみと画像処理技術の一部を説明したが、デジタルカメラ技術の全体はもっと膨大なものである。画像処理技術に限っても技術開発の余地が大きい。

デジタル写真技術に対する新しいアプローチとして、Computational Photography と呼ばれる技術が提案されている。これは、現在の画像処理から一歩踏み出して、レンズ・撮像部の設計変更までも考慮したデジタル写真技術である。デジタルカメラのための画像処理技術は、従来技術が発展しながら新しい技術が導入され、まだまだ進歩すると思われる。

#### 参考文献

- 1) 蚊野浩監修: デジカメの画像処理, 映像情報メディア学会編, オーム社 (2011).

- 2) 竹村裕夫: CCD・CMOS カメラ技術入門, コロナ社 (2008).
- 3) P. Viola, M. Jones: "Robust Real-Time Face Detection", Int. Journal of Computer Vision, Vol.57, No.2, pp.137-154 (2004).
- 4) 村瀬洋, V.V. Vinod: "局所色情報を用いた高速物体検索: アクティブ探索法", 信学論 D-II, Vol.J81-D-II, No.9, pp.2035-2042 (1998).
- 5) D. Comaniciu, V. Ramesh, P. Meer: "Real-Time Tracking of Non-Rigid Objects using Mean Shift", Proc. of IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, pp.142-149 (2000).



蚊野 浩 (正会員)

1984 年 京都大学大学院情報工学専攻修了。同年三洋電機株式会社入社。カラー記録装置, 画像処理技術, コンピュータビジョン技術などの技術開発に従事。2010 年京都産業大学コンピュータ理工学部教授。工学博士。