1. デジタル一眼レフカメラの歴史と発展

泉 達郎[†]

キーワード ■ デジタル一眼レフカメラ, 歴史

1. ま え が き

デジタルカメラ (Digital Still Camera: 以下DSCと略) 市場は, 2004年から2005年にかけての総出荷台数 (全世界) の伸びが108.4%にとどまり, 普及は, 一段落した感があった。しかし, レンズ交換可能な一眼レフタイプについては, 153.0%と依然大きな伸び率を示している。最新情報の2006年実績でも, 前年比138.9%と高級機市場がより活発であることを示している¹⁾。

図1の市場統計²⁾に見られるように, デジタル一眼レフカメラは, 2003年頃から急速に普及が進んだ商品で, 市場は若くまだ発展途上である。フィルムカメラ時代, コンパクトカメラに対する, 一眼レフカメラの生産台数割合は, おおむね10%で推移していた。これに対し, DSCにおける2005年時点での同様な割合は, 約6%にとどまっている。フィルムカメラとDSCでは, 市場環境など異なる点も多く, 単純に比較できないが, デジタル一眼レフ市場が, まだ

図1 デジタルSLRカメラの市場動向
(カメラ映像機器工業会統計: 総生産台数^{*1)})

*1 CIPA統計データに, デジタルSLR単独の集計項目が現われるのは, 2003年以降である。

[†] ソニー株式会社 デジタルイメージング事業本部 AMC事業部 開発部
"A History of Digital Single-Lens Reflex Cameras" by Tatsuro Izumi
(Sony Corporation, Development Dept. AMC Division Digital Imaging Business Group, Osaka)

まだ成長を続けることを示す一つの根拠となる数字である。

本稿では, デジタル一眼レフカメラについて, 歴史と発展をたどるとともに, その技術を概観する。

まず始めに, 一眼レフとは何かを説明しておく。一眼レフカメラとは, 撮影レンズによる光束を焦点面の直前に置いたミラーで反射させ, ファインダ光学系に導き, 被写体像を確認できるように構成したカメラを指す。「一眼」とは, 撮影に使うレンズとファインダ光学系のレンズが同一であることを示しており, 「レフ」とは, Reflexの略でミラーを指している。撮影時にはこのミラーが光路外に退避し, 撮像素子へ光が到達する。「一眼」にすると, レンズを交換しても自動的にファインダが対応した画角に切替わるため, レンズ交換との相性が非常に良い。このため, 多彩な交換レンズを揃え, ストロボ等のアクセサリも加えた高級システムカメラの構成としては, 一眼レフ方式が主流となっている。英語では, Single Lens Reflex Cameraとなり, これを略しSLRと呼ばれることも多い。本稿でも, 以後, 一眼レフをSLRと略記する。

2. デジタルSLRカメラの歴史

2.1 前 史 ～アナログスチルビデオの時代～

デジタルSLRにつながる前史として, アナログ信号記録のスチルビデオカメラ時代があった。画像を電子化して記録する発想は, 古くからあったようであるが³⁾, それが一気に現実味を帯びたのは, 1981年ソニーによるマビカシステム (図2) の発表であった。このカメラは, 撮像素子としてCCDを使用し, FM変調したビデオ信号を2インチのフロッピーディスクに磁気記録する。すなわち, 静止画の撮影できるビデオカメラに相当する。SLRタイプで, レンズ交換可能な本格的カメラであった。

マビカシステムは, そのままの形で発売されることはなかったが, これを基本として, 記録媒体, フォーマットを統一したスチルビデオカメラ (SV) 規格が制定された。この規格に基づく製品は, 1986年ごろから市場に登場した。この中には, 電子化による即時性に着目し, 報道を主とした業務をターゲットとした製品もあった。これらは, いずれもレンズ交換可能なSLRタイプで, キヤノンRC-701やニコンQV-1000C, ソニープロマビカMVC-7000などの製品が

図2 Sony MAVICAシステム

図3 Kodak DCS100

あった。

また、ミノルタからは、既存のSLRカメラシステムに交換式のバック（裏蓋）として、スチルビデオの撮像・記録部を取り付けるスチルビデオバックSB-70/90が製品化されている。リレーレンズを用いて撮像素子上に縮小結像する構成を採用していた。

スチルビデオシステムは、商業的には成功せず、当時、「スチルビデオ最大の貢献は、フィルムメーカーに危機感を抱かせ、フィルムの性能を大幅に向上させたことである」などと春秋の筆法のような話もささやかれたが、その流れは、確実に次のデジタル時代へ繋がって行ったと言えるだろう。

2.2 デジタルSLRの誕生と黎明期

SLRタイプのカメラで、デジタル化した信号を記録した最初は、1991年に登場したコダックDCS100（図3）である。フィルムカメラのNikon F3をベースに、自社開発した14mm×9.3mm：1.3M^{*2}の撮像素子を直接、焦点面に置いた製品である。画像データは、ケーブルを介して、外付けのハードディスクユニットに記録された。コダックからは、引き続きニコン、キヤノンのフィルムSLRボディをベースにしたDCSシリーズが次々に登場し、これらの機種が初期のデジタルSLR市場を牽引する重要な役割を果たした。

*2 DSCの画素数は、100万画素を1M（メガ）として表記することが多く、本稿でも100万画素以上の表記には、この形式を使用した。

図4 Nikon E2s

図5 Minolta RD-175

デジタル専用に新しくボディを設計した機種として、1995年にニコン、富士写真フィルムの共同開発によるE2/E2S（ニコン：図4）、DS505/DS-515（富士）が発売される。リレー光学系によって、銀塩35mmフィルムのフルサイズ（36mm×24mm）を2/3型1.3Mの撮像素子に縮小結像することで、ニコンFマウントの交換レンズを、従来と同じ感覚で使用することができた。しかし、全画面を縮小リレーする光学系を収めたボディは、当然のことながら大型化せざるを得なかった。

同じく1995年には、ミノルタから、フィルムカメラボディを流用し、リレー縮小光学系を用い、かつ撮像素子を3板化したRD-175（図5）が発売された。ビデオカメラ用に大量生産され安価な1/2型 38万画素の撮像素子を流用しつつ、G/G/RBの3板構成でG画素を空間的にずらして配置し、高解像度化を図ったものである。これにより、1.75M相当で65万円の低価格を実現した。

また、1996年には、NECから1/2型40万画素CCDにビデオカメラの共通レンズ規格Cマウントを組合せたPC-DC401が発売されている。

このように初期のデジタルSLRには、フィルムカメラを流用して焦点面に直接、撮像素子を配置したものと、リレー光学系で小サイズの撮像素子に縮小結像するタイプの

ものと大きく2種類があった。前者は、大面積の撮像素子が必要なため高価な製品となり、それでもなお35mmフルサイズをカバーできる撮像素子がなく、撮影画角が小さくなり、レンズシステムが有効に活用できなかった。フィルムカメラボディの流用は、黎明期としては当然の方策で、通るべき道ではあったが、撮影画角の問題以外にも、ファインダ倍率が小さくなる、画像確認用のLCDやバッテリー配置をうまくまとめるににくい等、カメラとしてのまとまりは、フィルムSLR同等にはできなかった。一方、後者のリレー光学系を使用したものは、比較的安価な小フォーマットの撮像素子を利用でき、フルフレームを縮小結像させることも可能であったが、このようなリレー光学系は、非常に大きくなるため、やはりカメラとしてうまくまとめることには成功しなかった。

これらの問題は、結局は、大サイズの撮像素子を安価で製造することが困難なためであり（それは、レベルの差こそあれ現在でも続いているが）、当時、SLRタイプのカメラは、もっともデジタル化が遅れていたと言えるだろう。コンパクトカメラは、1995年に発売されたカシオQV-10の大ヒットが契機となって、小フォーマット撮像素子の高解像度化、低価格化が実現し、デジタル化が急激に進み出した。また、スタジオ撮影を中心とした商業フォト分野では、本体価格が高価でもビジネスが成立したことや、必要の高解像度をラインセンサによるスキャンタイプのカメラで実現するなど、デジタル化は一足先に進みつつあった。

2.3 本格化・多様化・低価格化の時代

APS-CサイズのCCD (23.7mm×15.6mm:2.7M) を用い、かつ専用ボディとして設計した本格的なデジタルSLRは、1999年に発売されたニコンD1 (図6) である。撮像素子サイズに合わせたボディ設計を行うことで、画像確認用LCDや記録メディアも含め、SLRカメラとして違和感のない大きさにまとめあげた。しかも、65万円という当時としては、画期的な低価格で発売された。この機種の登場で、いよいよデジタルSLR時代が本格化した。

2000年には、キヤノンからEOS D30が発売される。このカメラは、358,000円で発売され、さらに低価格化を進めただけでなく、撮像素子として自社開発のAPS-Cサイズ3.25M CMOSセンサを採用したことで注目を集めた。すなわち、CMOSセンサには、数々の特徴があるが、画質的にはCCDに及ばないという当時の常識の中、画質に対する要求がもっとも厳しいSLRにそれを搭載したことから、大いに話題を集めた。同じ2000年には、富士写真フィルムから、コンパクトカメラで実績のあった自社開発ハニカム配列CCDを、APS-Cサイズ (3.4M) に大型化して搭載したFinePix S1 Proが発売された。

2002年には、ついに35mmフルサイズの撮像素子を搭載したデジタルSLRとしてContax N Digitalが京セラから

図6 Nikon D1

図7 Canon EOS Kiss Digital

発売された。フィリップス社製の6M CCDを搭載した製品であったが、商業的には成功したとは言えず、その後2005年に、同社はカメラ分野から撤退してしまう。35mmフルサイズ機は、この年の後半に発売されたキヤノンEOS-1Ds (11M CMOS)、翌年発売のコダック DCS Pro 14n (14M CMOS) が続いた。同じ2002年には、交換レンズメーカーのシグマから、Foveon社の多層色分解の3.4M CMOSセンサ (20.7mm×13.8mm) を採用したSD-9が発売され、製品の多様化が一層進んだ。

2003年には、キヤノンから10万円台前半の価格を実現したEOS Kiss Digital (6.3M CMOS: 図7) が発売された。キヤノンが、普及価格帯フィルムSLRでおなじみのKissの名称を冠したデジタルSLRを発売したことで、いよいよ普及価格帯SLRにもデジタル化の波がやって来たことを実感させた。

その後、2003年にペンタックスが*ist D (APS-C 6.1M CCD)、オリンパスがE-1 (4/3型 5M CCD)、2004年にコニカミノルタがα-7 DIGITAL (APS-C 6.1M CCD) でそれぞれ市場参入し、フィルム時代に活躍した主要なSLRメーカーが揃う。オリンパスは、フィルムSLRから一旦撤退したが、フォーサーズと名づけた、レンズと4/3型撮像系を共通規格化したシステムの採用を呼びかける形で、SLRに再参入した。

さらに2006年には、二大電機系メーカーである松下電器産業とソニーが、LUMIX DMC L-1 (4/3型7.5M CMOS)、α-

図8 Sony α-100

100 (APS-C 10M CCD：図8) で、ほぼ同時にデジタルSLR市場に参入した。デジタルSLRは、交換レンズを中心としたシステムの充実度合が、ユーザにとって、製品を選択する際の重要な要件であり、メーカーにとっては、これが参入障壁となる。松下は、オリンパスが提唱したフォーサーズ規格を採用することで、この点をカバーした。一方、ソニーは、コンシューマ写真市場から撤退したコニカミノルタの資産を引き継ぎ発展させることで市場参入を果たした。

このように、老舗のフィルムカメラメーカーに加え、電機系メーカーも加わったデジタルSLRの市場は、はじめに書いたような活況を呈するに至っている。

3. デジタルSLRカメラの特徴と技術、今後の動向

本章では、デジタルSLRカメラの特徴と技術について解説する。

フィルム時代のSLRは、次々と新製品が登場していたものの、一度買ったボディは、比較的長期間にわたって大きな遜色なく使用可能であった。しかし、デジタルSLRは、まだ発展途上のため、数年経つと基本仕様で見劣りしたものになってしまうことが多い。現在の図式は、市場に行きわたっているレンズに対し、新しく登場したボディが入れ替わる、交換レンズならぬ交換ボディ的な様相をも示している。また、後から登場した下位クラスの機種が、以前に出た上位クラスの機種のスペックを上回る、巷で下克上などと呼ばれる現象も生じている。

3.1 撮像素子、サイズと画素数

デジタルSLRが、大きなサイズの撮像素子を使用するのは、フィルムカメラによって市場に普及したレンズ資産を有効に生かすためである。このことは同時に、コンパクトDSCと比べた、デジタルSLRの第一の特徴である、高画質を生み出す基ともなっている。撮像素子の面積は、例えば、デジタルSLRのAPS-CサイズとコンパクトDSCの1/2.5型とでは、約15倍の違いがある。

画像を同一サイズにプリントして鑑賞するとき、撮像素子が大きいほど拡大倍率が小さくて済む。したがって、同

図9 A3のびプリント面上でのデジタルSLRとコンパクトDSCのMTF比較
(光学的な要素のみを考慮。レンズ：F8無収差。光学ローパスあり。
デジタルSLR：APS-Cサイズ 6 μ mピッチ、コンパクトDSC：1/2.5型 1.86 μ mピッチ)

図10 デジタルSLR (APS-Cサイズ撮像素子) における画素数の変遷

一性能のレンズであれば、プリント上でのMTF (Modulation Transfer Function：空間周波数特性) は、サイズの大きな撮像素子ほど高くなり、高鮮鋭な画像が得られる。例えば、同一光学性能のレンズ (F8無収差、回折限界) を使用したデジタルSLR (APS-C 10M機) とコンパクトDSC (1/2.5型7.2M機) で、A3のびサイズのプリントを作成した場合、プリント面上でのMTFは、図9に示すようになり、両者には大きな差がある。

画素ピッチに関しては、ここで比較したAPS-C 10M機で約6 μ mあり、上記コンパクトDSCの1.86 μ mに比べるとかなり大きい。このため受光する光量が増え、かつ回路構成も無理なくできるため、高S/Nでダイナミックレンジも広がる。階調再現やノイズの点でもコンパクトDSCとは、大きな差がつくことになる。

APS-Cサイズの撮像素子を用いたデジタルSLRについて、画素数の変遷を見ると図10のようになる。画素数の増加傾向が、鈍化する兆しはまだない。先に書いたように、小さなサイズの撮像素子で実現している画素ピッチに比べれば、

図11 デジタルSLRにおける処理パフォーマンス（画素数×連写速度）の変遷

まだまだ寸法的な余裕があり、かつ、総合画質も向上していることから、今後も画素数の増加は続くであろう。

3.2 高速レスポンス

SLRで重視されるもう一つのポイントに、カメラのレスポンスがある。もちろん、コンパクトDSCでも重要な要素であることは間違いないが、業務用や、よりクリエイティブな撮影に多用されるSLRでは、思ったときにシャッターが切れる、撮影のリズムを乱さない、高速連写可能、などの要求が非常に高い。これら撮影時のレスポンスに影響する因子としては、シャッターやミラー駆動などのメカ的な要素に加え、撮像素子の読出し速度、画像処理エンジンの処理速度、記録メディアへの書き込み速度などの回路的な要素が重要になっている。

撮像素子の読出し速度は、画素数の増大にともない深刻な問題となるが、CCD・CMOSとも主に読出し線を多チャネル化するなどの工夫により、要求される速度を達成している。

画像処理エンジンの処理速度が不十分だった初期の機種では、バッファメモリを大量に積むことにより、必要な連写速度を達成していた。このような構成は、コストが高くなるため、画像処理エンジンの速度を向上する努力を重ね、最近では、ほぼリアルタイム画像処理が可能なエンジンが実現されている。エンジンの処理能力は、単純化すれば、単位時間に処理できるデータ量で規定されるので、市販されているカメラについても画素数×連写速度を見れば、およその傾向をつかむことができる。この指標で、市販されたデジタルSLRのトレンドを見ると、図11のようになる。

記録メディアの書き込み速度も、各メーカーの努力で着実に高速化した新規格が登場してきている。例えば、メディアとしては古参のコンパクトフラッシュカードも、DSC初期に比べ10倍を越える高速化が達成されており、さらに高速化が続いている。

3.3 交換レンズ

SLRの特徴として、レンズ交換可能なことを挙げないわ

けにはいかない。レンズ交換により、焦点距離（ズーム比）、開放Fナンバ、最短撮影距離の異なった、さまざまな特徴を持ったレンズが利用でき、多彩な撮影シチュエーションや作画意図に対応できる。ズームレンズのズーム比拡大、大口径化あるいは小型化は、今後も着実に進んで行くと思われる。

また、APS-Cサイズの機種に対しては、その撮像サイズに合わせた専用レンズの製品化も行われている。

3.4 画像処理

画像処理については、さらに発展の余地が大きいと言えるだろう。現在、実装されている処理よりもさらに高度な処理でも、アルゴリズム的には、すでに完成しているものが多くある。一部の製品で、すでに搭載され始めた画面内の場所ごとに異なる階調変換を行う処理（覆い焼き効果）や、それをさらに発展させた高ダイナミックレンジ撮像処理、より正確で自由度の高い色変換、高度なノイズリダクションなど、これらは、今後、画像処理エンジンの能力や回路規模が増えるにしたがって、徐々に実装されていくだろう。

また、現在でも、主に色情報を利用した人物等の検出技術が搭載されている製品があるが、さらなる高画質化に向けては、より高レベルな被写体認識も重要なポイントになると思われる。

4. む す び

デジタルSLRの歴史と技術についてまとめた。後半の技術解説は、限られた内容で、しかも各種の専門用語を説明抜きに使わざるを得ず、専門外の方にわかりにくいものになってしまったことをお詫びする。

それでも、もし本稿からデジタルSLRの魅力が伝わり、より多くの方から高画質で創造的な写真が生み出される一助となれば幸いである。

製品写真をご提供いただいた、コダック、ニコン、キヤノンの各社にお礼申し上げる。なお、文中、各社の社名については、現在の社名を元に慣用で通じる範囲に省略させていただいたところがある。ご容赦いただきたい。

（2006年11月30日受付）

〔文 献〕

- 1) 有限責任法人カメラ映像機器工業会（CIPA）、プレスリリース（2007.1.30）、<http://www.cipa.jp/>
- 2) 同上、統計データ（Jan. 2000～Sep. 2006）
- 3) 豊田堅二：“デジタルカメラ発達史”，日本写真学会誌，69，4，pp.259-265（2006）

泉 達郎 1974年、大阪大学工学部機械工学科卒業。同年、ミノルタカメラ（株）（現コニカミノルタフォトイメージング（株））入社。以来、主に、一眼レフカメラの開発に従事。2006年、ソニー（株）入社。引き続きデジタル一眼レフカメラの開発に従事。