

■ 要旨

画像は、人間だけが情報伝達手段として駆使できる文化である。人類はまだ文明を持たなかった太古の時代から、画像によって情報を交換し、伝達し、記録するという文化を有していた。

カメラは情報としての画像を手軽に、かつ正確に記録するための手段として生まれ、発展してきた。

レンズやピンホールで光学的に結像させて手書きで像をなぞって記録するカメラオブスキュラをカメラの原点とするが、1839年に発表された最初のカメラであるダゲレオタイプ (Daguerreotype) から2000年の初期に到るまで、カメラは光化学反応を利用した画像記録機器として技術発展を遂げた。

一方では1981年に二次元光電変換素子 (イメージセンサ) を用いて画像を電気信号に変換し、専用のフロッピディスクに記録する電子カメラ (フロッピカメラ) が発表された。これは、従来の化学反応を用いた画像記録から電子的な画像記録という新方式を採用した最初のカメラであった。しかし、すでに市場に出いていたビデオカメラの技術を転用して、その一画面を静止画像として記録してテレビ画面で見るための機器であり、記録画質は従来のカメラ (銀塩カメラ) に及ばず、特記すべき特徴を持つものでもなかった。

同時期に、記録画質の向上を目的として画像信号をデジタル化して記録する試みが東芝から発表された。

これは、それまでの電子カメラがアナログ記録であったのに対してデジタル記録を採用したために記録再生時におけるドロップアウトなどによる画質劣化は防止することができたが、記録媒体は磁気テープであり、画像信号の圧縮方式も未熟であったため記録再生に時間がかかった。更に画質はテレビ再生用の画質であったため、実用にはならなかった。

1980年代後期には、大容量の不揮発性半導体メモリであるフラッシュメモリ (Flash memory) が開発され、画像をデジタル信号として電子的に半導体メモリに記録するデジタル・スチルカメラ (DSC) が発表されたが、画像信号の圧縮効率が低く、価格が100万円以上と非常に高価な上に、画像はそれまでと同様にテレビ画面での再生を目的としたものでプリントして記録する用途には不十分であったため、銀塩カメラの代替となるような機器ではなかった。

1992年には画像信号の圧縮方式として高効率で高性能なJPEGが世界標準として制定され、それをを用いたDSC用の統一規格が日本から提案された。同時にメモリやイメージセンサの価格も低下し、1995年にカシオからQV-10が65,000円で、その翌年にはQV-10Aが49,800円で発売され、民生用DSC市場を拓ききっかけとなった。

1990年代中期は、パーソナルコンピュータ (PC) が急速に普及し始め、それに伴ってインターネットによる画像コミュニケーションの頻度も増大した時期でもあったと同時に、テレビやDVDなど家庭電子機器のデジタル化が進み、デジタル情報化時代に入った時期でもあった。

DSCは単に従来の銀塩カメラの画像記録方式を電子記録に変えたという事実にとどまらず、PC、インターネット、プリンタなどのデジタル環境における画像取り込み端末としての地位を確立した。また画像処理においてPCを対象とすることで画像のサイズの制限がなくなり、画質が著しく向上したこともあって、急速に銀塩カメラにとって替り、2000年には生産額で、2002年には生産台数で銀塩カメラを追い抜き、現在は年間1兆円を超える産業となっている。更に、DSCの技術やフォーマットなどは携帯電話にも転用され、画像通信機器として新しい分野を拓いた。

新しい画像情報機器であるDSCが日本で生まれ、日本で成長して世界を制覇していることは特記すべき事実である。この背景には、日本が培ってきたカメラ技術に加えて、世界市場をリードしてきた日本の電子機器メーカーが市場に参入したことで、DSCという新しい機器の技術開発において日本が先導できたこと、および日本主導で統一規格を制定し、消費者に対して規格不統一に起因する不要な買い控えを払拭できたことで、各メーカーが規格内での技術競争に注力できたことなどが挙げられる。

■ Abstract

Imaging is the culture which only human beings can make use of freely. Our ancestors had possessed the culture to exchange, communicate, and record information by means of images since primeval age when they had no civilization at all.

The camera was invented, and has evolved as a tool to record images easily and accurately.

The origin of the camera goes back to Camera Obscura which was a tool to draw a picture, tracing an image which focused on a screen in a dark box through a pin hole or a lens. Cameras had been developed as tools to record images by means of an opto-chemical reaction since Daguerreotype, the first camera, was announced in 1826 until early 2000s.

On the other hand, in 1981, an electronic camera also known as the "Floppy Camera", which converts the captured images to electronic signals by an image sensor and records it on an exclusive floppy disc, was developed. This Floppy Camera was the first camera which adapted electronic still pictures recording apart from conventional silver halide cameras.

However, the Floppy Camera, which appropriated the technologies employed in existed Video Cam Coders to view images on a TV screen, didn't have enough image quality to replace the silver camera market.

At almost the same time, Toshiba announced a prototype to record images digitally for the sake of improved image quality. It indeed made improved image quality possible by means of digital signal processing instead of traditional analog ones, preventing dropout occurring in the recording and reproduction stages. However, it was of no practical use because of the recording media, which was an audio cassette tape, and poor image compression technology. It took long reproduction time with poor image quality which was provided just for image playback on a TV screen.

In late 1980s, Flash Memory, which is a non-volatile semiconductor mass storage, was developed and a digital still camera (DSC) which records image signals in the semiconductor memory was announced. But it could not replace the silver halide cameras because of poor image compression efficiency, high expense over 1 million yen, and poor image quality which was not enough for printed images just enough for viewing on a TV screen.

JPEG, a image compression technology with high efficiency and high performance, was published as an international standard in 1992, and a standard for consumer DSCs which adopted the JPEG was proposed from Japan. At the same time, the price of memories had decreased, then QV-10 which was launched in 1995 with a sales price of 65,000 yen and QV-10A launched in the next year with 19,800yen triggered the expansion of the consumer DSC market.

The middle of 1990s was a period in which personal computers showed rapid expansion and then frequency to exchange images between computers through internet increased. It was also a period in which digital electronic appliances such as DTV's and DVD's started spreading into the Digital Information Ages.

The DSC is a device which not only makes good use of merit of digitalization, but also a device which established a status as a picture capturing peripheral in a digital environment surrounded by PC's, the internet and printers. As the restriction of image size had been removed on a PC screen, and reproduced image quality has remarkably improved, now the annual total DSC market exceeds 1 trillion yen, catching up with silver halide cameras in 2000 at an amount, and in 2002 at total production. Technologies and format developed for DSC's have been transferred into mobile phones opening up a new market field of image communication devices.

It should be noted as the back ground of the fact that the DSC matured in Japan and conquered the world market, that the technologies required for DSCs had been fostered in Japan. Japan was able to maintain the leadership of this market by Japanese electronics manufacturers who had been leading the world market place and who entered into the DSC market. In addition to this, it can be mentioned that Japanese industries played a leading role in unifying DSC standards to avoid unnecessary confusion among DSC users, which accelerated the fair competition of DSC manufacturers to concentrate on the improvement of technology.

■ Profile

大川 元一 *Motokazu Ohkawa*

国立科学博物館産業技術史資料情報センター主任調査員

昭和37年 東北大学理学部物理学科卒業、同年東京芝浦電気株式会社（現 株式会社東芝）入社、中央研究所で音響の研究に従事。
その後、家電研究所でCATVの開発などに従事。
昭和63年 デジタルカメラの開発に従事。
平成3年 JEIDA（現 JEITA）デジタルカメラ技術委員会委員長。同時にISO TC42エキスパート。
平成7年 新映像産業推進センターに出向。
平成12年 カメラ映像機器工業会（CIPA）技術顧問。
平成19年 CIPA退社。独立行政法人国立科学博物館産業技術史資料情報センター主任調査員、平成20年3月末退任。
その間、JSA色標準化委員会委員長。

■ Contents

1.はじめに	69
2.画像文化の歴史	70
3.デジタルとフーリエ変換	72
4.カメラの歴史	76
5.デジタル・スチルカメラ（DSC）の構成	85
6.DSCの特徴	90
7.DSCの関連技術とその系統化	94
8.画像圧縮およびフォーマット	108
9.DSCに関する標準化	117
10.DSCの今後	119
11.考察および謝辞	124
デジタルスチルカメラの系統図	126
資料1 登録候補一覧	127
資料2 年表	128

1 | はじめに

情報伝達的手段として画像を用いるのは人間だけであり、画像による情報伝達は人間固有の文化である。我々の祖先は既に3万年以上前から、画像により情報を伝え、感情を残すという画像文化を築きあげていた。人間は、画像をより手軽に、より正確に作成し、残すための手段を考案し、発展させてきた。

その発展の結果として、一方では、より芸術性を追求する絵画文化が生まれ、他方では、より正確性を追求するカメラ文化が生まれた。

カメラの歴史は今から約170年前の1839年に発表されたダゲレオタイプに始まるといわれている。それ以来150年以上に亘って、カメラはハロゲン化銀の「光化学反応」を用いて被写体の画像を記録するための機器、すなわち銀塩カメラとして数々の技術改革を重ねてきた。しかるに、1980年台の初期に電子的に画像を記録する電子カメラが現れ、1980年台の終盤において、画像をデジタル信号として半導体メモリに記録するデジタル・スチルカメラ（DSC）が発表された。

初期のDSCは即時性を持つこと、伝送や複写の際に画像劣化が無いこと、メカ部が少ないことなどを特徴として、テレビ画面での再生を目的としたものであり、画質は、それまでの銀塩カメラと比較できるようなものではなかった。

しかし、DSCは画像をデジタル情報として扱うという特徴を持つことからコンピュータや周辺機器で取り扱うことが容易である。このため、パーソナルコンピュータの急速な普及やインターネット網の整備という、いわゆる情報化、デジタル化といわれる技術的なインフラストラクチャーの変化との相乗効果によって情報電子機器としての市場を急速に拡大し、デジタル家電機器としての市場分野を築き上げた。更にDSCは電話機との合体という新しいコミュニケーションツールを生むに至り、画像によるコミュニケーションが飛躍的に進む結果をもたらした。

DSCの急速な発展の背景には、上記のデジタル情報環境の整備の他に、メモリやイメージセンサなどの半導体技術、JPEGなどの画像処理技術の技術革新があった。しかし、特記すべきは、DSCの開発が日本から始められ、日本主導の下で国際的な規格の統一が進め

られ、市場を日本がほぼ独占したことである。このような例は、民生機器市場においては、あまり多く見られないものである。

また、従来は精密機械産業として伝統的なカメラメーカーに独占されていたカメラ市場は、電子技術やソフトウェア開発の得意な電子機器メーカーが相次いでDSC市場に乗り出す場となった。このことにより、それまで商品のサイクルが長く、「名機」と呼ばれるカメラが数十年に亘って使用されていたカメラ市場は、商品のサイクルが短くなり、それに伴ってカメラメーカーにおける開発期間の短縮が必要となり、価格競争が激しくなるという結果を惹き起した。このため、従来銀塩カメラを生産していたカメラメーカー内における大幅な体質改善が求められることとなった。この意味においてDSCはカメラ産業における産業革命をもたらしたものと言えよう。

本編では、日本主導による近代のヒット商品としてのDSCに焦点を合わせ、第2章でカメラが誕生するまでの歴史をのべ、第3章ではデジタルについての解説を行う。続いて第4章でDSCが生まれるまでの歴史的な流れを述べ、第5章でDSCに関する簡単な解説を行い、第6章でDSCの特徴を述べる。

更に、第7章ではDSCに関連する技術を、技術の系統化の視点から述べる。DSCで特徴的な圧縮とフォーマットに関しては第7章とは分けて第8章で述べる。

DSCの標準化の現状に関しては第9章で解説し、今後の方向についての展望を第10章で述べ、日本主体で進められた技術開発や商品開発の変遷の歴史を系統的に記述し、後世への記録として残すことを意図するものである。

なお、本編において、被写体を可視像として記録したものは「画像」という呼び方で統一した。静止画を「画像」、動画を「映像」と呼ぶ文献も見られるが、ここでは区別が必要な場合には静止画を「静止画像」、動画を「動画像」と呼ぶことにした。

また、従来のロールフィルムを用いたカメラは、「スチルカメラ」、「銀塩カメラ」、「フィルムカメラ」、「SH（Silver Halide）カメラ」などと呼ばれているが、ここでは「銀塩カメラ」と呼ぶことにした。

2 | 画像文化の歴史

2.1 人間の基本的欲求としての画像文化

人類は地球に生まれて以来有形無形の種々の文化を創造してきている。その中でも情報の交換や伝達、記録などに画像を用いる画像文化は、他の動物には比類するものが見当たらない特筆すべき文化である。カメラの進歩の歴史は、この画像文化の歴史を支える技術進歩の歴史である。

言葉や文章と異なり、視覚に直接訴える画像は、最も確実な情報伝達の方法である。紀元前300年、中国の漢書趙充国伝に「百聞は一見にしかず」とあるように、人類は、画像が他の手段に比べて、はるかに多くの情報を伝えられることを昔から知っていた⁽¹⁾。事実、例えば音楽用CDステレオの情報量は176.4kByte/s(片チャンネル44.1kHz, 16bit)であるのに対して、デジタルVTR(D2)の情報量は約16MByte/sであることから、画像情報が音声情報の約100倍の情報量を持つことが科学的にも裏付けられる。

この、画像情報を情報伝達的手段として利用できる動物は人間だけであり、人間以外の動物では、動作や表情で表わす視覚によるコミュニケーションはできても、絵を書くなどの画像情報によるコミュニケーションはできない。このように、情報伝達において画像を利用する文化は、人類固有の高度な文化である。

2.2 洞窟壁画が象徴するもの

1994年に、フランスのアルデシュ県(Ardèche département)にある洞窟の中から図2.1に示すような彩色壁画が発見された。300を超えるこれらの壁画は、それまで世界最古と思われていた有名なスペインのアルタミラ洞窟(The Cave of Altamira)壁画(図2.2)より古い後期旧石器時代に描かれたこの壁画は約3万2千年前のものと推定され、発見者の名を取って、ショーベ洞窟壁画(The Cave paint of Chauvet-Pont-D'Arc)と名づけられた。

文字を持たず、コミュニケーション手段としての言語も不十分であったと思われる時代に、人類の祖先達は自分の体験や、表現したいこと、伝えたいことを「画像」を用いて現わしていた。太陽光も乏しい洞窟の奥深くで、おそらくは獣油の灯火を頼りに描いたと思われるこれらの絵画は、数万年の年月を経た現在においても、描いた人の感情を我々に十分に伝えている。



図2.1 ショーベ (Chauvet) 洞窟壁画



図2.2 アルタミラ (Altamira) 洞窟壁画

言葉や文章と異なり、視覚に直接訴える画像は、情報の伝達手段として最も確実なものである。何かを見たとき、あるいは何かを考えた時に、それを身振りや音声や言葉で伝えることは、人間以外の高等動物でも見られることであるが、画像という手段を用いる表現は人間だけができる高度な情報伝達の方法なのである。

このように画像によるコミュニケーションは人間の基本的欲求であり、人類は、この高度な文化を構築し発展させるために、情報伝達手段である画像の作成、伝達および保存を、より確実に、よりリアルに、かつ、より手軽なものとするために数多くの技術革新を行ってきた。その欲求の追求と技術発展が画像文化として人類の叡智を支え、人間社会の進歩をもたらしたと言えよう。

2.3 芸術と技術

古代より、人類は実在する人物や事物を画像情報として後世に残したり他人に伝達したりする手段として風景画や肖像画などを創作してきた。しかし、これら

の画像を残すための絵画の作成には時間がかかるだけでなく、描く人の技量と習熟が不可欠である。このために、専門家としての画家が誕生し、よりリアルに、あるいは、より感情の表現を顕著にするための技術改革と修練が重ねられてきた。この結果、絵画は単に画像を残すための手法から発展して独自の文化を築き上げるに至った。

一方、紀元前より知られていたピンホールカメラの原理を利用したカメラオブスキュラを原点として、習熟した技術を持たない人でも対象を画像として残す手法としての写真術が発明され発展してきた。

「写真術」を意味する英語の“Photography”は、ギリシャ語で「光」を意味する“Photos”と「描く」という言葉を意味する“Graphein”から作られた言葉であり、光によって画像を記録することを意味する単語として1839年にハーシェル卿（Sir John F.W. Herschel）により初めて使用された。写真術は被写体を「写真」として画像に残す技術であり、カメラは、被写体を撮影するための機器として発展してきた。（図2.3）

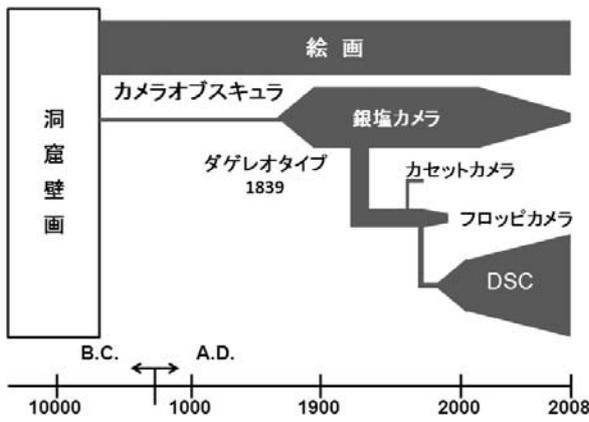


図2.3 絵画と写真

写真は被写体を短時間のうちに正確に写し取ることができ、その技術の習得は絵画を制作するために習得しなければならない技術と比較すると容易である。

したがって、肖像画に替わる肖像写真、風景画に替わる風景写真などが、短時間のうちに正確な画像を作成したいという需要に応える手法として発展してきた。

撮影機器としてのカメラには、より簡単に、より正確な画像を、より短時間のうちに、より安価に作成するための技術改革が重ねられてきた。

写真術の進歩は、単に被写体を正確に写し取る目的だけでなく、高温高圧などの劣悪な環境下や水中撮影など、特殊用途向けのカメラの開発にも向けられた。

また、用途や目的に応じた機械系や光学系との組み合わせにより、人間の目で観測できない体内を見るための内視鏡や、広視野を写すためのパノラマ写真などの特殊用途向けカメラが生み出された。

また、撮影時における技術の進歩、撮影後の画像の再構成や後処理などの画像処理技術の進歩により、単に被写体を写し取っただけの画像では得られない自己表現を写真画像の中に表わすことが可能となり、新たに写真芸術という分野が拓けるようになった。

本来、画像による情報伝達を目的として発生した画像作成法が、技術と修練を要する絵画と、一般の人が容易に取り扱うことができる写真とに分化し、前者は芸術志向、後者は技術志向の方向を辿って進化した。絵画においてもコンピュータ・アートなどのように技術志向のものも出現するとともに、写真においても芸術志向のものが出現した。

このことは、人類の画像文化という普遍的な目的に対して人類は技能の面からも技術の面からも、同じ目的に向かっての進歩を重ねているものであると言えよう。カメラは、その画像文化の一翼を担う手段として普及した機器である。

<注>

- (1) 漢書趙充国伝「百聞不如一見 兵難遙度 臣願馳至金城 図上方略」

3 | デジタルとフーリエ変換

デジタルカメラに関する記述を行う前に、「デジタル^①」という言葉について考察してみる。

デジタルカメラを始めとして、「デジタル」という言葉を良く耳にするが、この言葉が一般に使われるようになったのは、おそらくデジタル時計が最初であろう。その後、コンピュータやインターネット、携帯電話などの普及に伴って、「デジタル」という言葉は我々の生活の中に溶け込んでいる。

一般には「デジタル」といえば「1か0」すなわち「YES or NO」で表現する離散的な表現手段であり、これに対する「アナログ」は、連続的に事象を表現する手段であると思われる。更に、「デジタル人間」などと言う表現も現れ、旧態依然とした保守的なものを「アナログ」、斬新な画期的なものを「デジタル」というように表現する風潮も見られるようになった。

「デジタル」という言葉は、ギリシャ語を語源とした、本来は「指の」という意味であり、指を折って1, 2, 3...と数えるのがデジタルの語源と言われている。数字の桁数のことを「Digit」と言うのもこれに由来する。これに対して「アナログ」というのは、「類似体」「類推物」という意味である。

例えば「カスピ海の面積は371,000km²」という表現はデジタル表現であるが、「カスピ海の面積は日本列島の面積とほぼ同じ」というのがアナログ表現である。面積371,000km²と言われても、どれだけの面積か実感がわからないが、「日本とほぼ同じ」という表現は、その広さを実感として想像することができよう。

このように、「デジタル」の本来の意味は、「アナログ」が「物理量」による表現であるのに対して「数値」による表現を意味する。

我々が日常使用している数字体系は十進法であり、0から9までの10の数字で表現するのに対して、コンピュータなどでは0か1の2つの数字で表現する二進法を使用している。

曖昧な事象を10段階に分別する場合には誤差による間違いが生じやすいが、2段階に分別することは容易であり間違いが少ない。このことから、情報通信分野では桁数が大きくなるという欠点があるにも拘わらず二進法が広く使われてきている。

しかし、前述のように、「デジタル」は「数値表現」が本来の意味であり、二進法を使用するのはデジタルの表現の一形式に過ぎない。

「物理量」で扱うか、「数値」で扱うかは、単なる事

象の表現手段の違いに留まらず、人間の思考のプロセスや、対象事象の処理過程に大きな差異をもたらす。

アナログは「物理量」であるから、人間の感覚に直接働きかける。これは文章表現に対する絵画に相当し、形而下の事象として扱われる。仏教に言う「色」にも通じるものである。

一方、デジタルは数字の羅列であり、そのもの自体には何の物理的な意味も感じ取ることはできない。この数字の構成法が分かって、初めてそのデジタル信号の意味を理解することができる。

DSCの場合では、画像も付属データも全て数値として記録されるので、それらの数値が何を表すものであるかが判別できる仕組み、すなわちフォーマットが必要である。

文字で書かれた文章が、その文字が読めない限り解読できないことと同じであり、この意味で絵画に対する文章もデジタル表現である。また、直接経験則で判断できない表現であることから、デジタルは形而上の事象であり、仏教の「空」に通じるものである。(表 3.1)

表3.1 アナログとデジタル

アナログ	デジタル
物理量	数値
ベクトル量	スカラー量
感覚	論理
絵画	文章
形而下(physical)	形而上(metaphysical)
色	空

また、アナログ対デジタルという言葉の対比の意味が、連続(Continuous)対不連続(Discrete)として扱われることが多いように見受けられるが、連続、不連続という概念はアナログ、デジタルの本質を表すものではない。

アナログ量は連続的な物理量として扱うことができるが、デジタル情報は有限の数値として記述しなければならないのは事実である。

連続量を「表」として記述する場合を考えてみよう。図3.1の第3列にアナログとして表した連続量を表として記述する場合には、第1列のように代表点を決めて、各代表点における値を数値として第2列に示したようにデジタルとして記述する。

デジタルが離散的であるという固定概念は、例えばフィルムの分子の大きさに比してイメージセンサのセルサイズが大きいというように、アナログにおける離

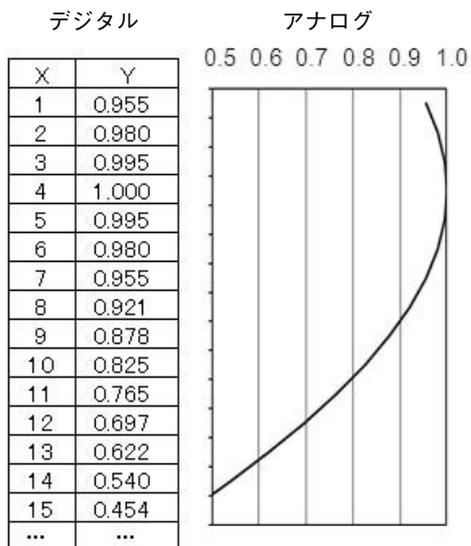


図3.1 連続量の表による記述

散性が無視できるのに対して、デジタルの離散性が無視できない場合に問題となることである。

例えば図3.2のように、濃淡のアナログ信号が記録されたテープ上の一点に微細なプローブを置いて、その位置の濃度をデジタル信号として数値表現する場合を想定すると、プローブの位置は連続的に変化させることができる。このことから、標本化すなわち離散的であることがデジタルの本質的必要条件ではなく、現実的に実行するための十分条件であることがわかる。

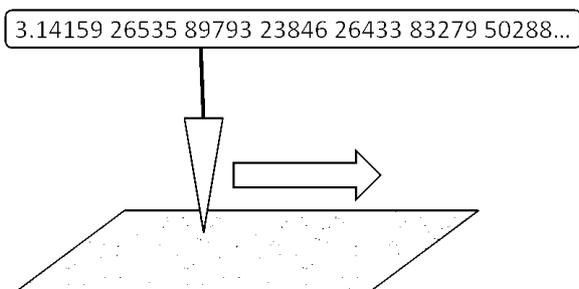


図3.2 連続的なデジタル変換

デジタルでは、表記された最小桁以下の数値が表記されないため、隣接する標本点間で不連続な数値となる。これは表記に用いる数値が有限であることに起因するものであり、もしも無限の桁数表記が可能であり、連続的に標本点を移動することができれば、連続的な

デジタル表記も可能となる。

図3.2における横軸はデジタルではなくて不連続性の性質を有しているのであり、デジタル情報は縦軸に対して得られるものである。このように、デジタルと離散性とは区別して考えなければならない。

デジタルとアナログという意味は、以上のように捉えるべきであり、単なる「表現法の差」と捉える表面的な解釈は避けるべきである。

例えば、1メートルの定義は、国際度量衡総会で決められ、パリの国際度量衡局が管理するメートル原器に刻まれた2点間の距離というアナログ表現であったが、温度、衝撃、経年変化等により不変性を維持することは困難である。このため、1983年には「1秒の299 792 458分の1の時間に光が真空中を伝わる距離」というデジタル表現に改められた。

この意味で、カメラの歴史の中で、従来の銀塩カメラが画像を物理的に記録していたのに対して、画像および関連情報を数値表現のマルチメディア情報として論理的に記録するDSCの出現は、人間の思考過程に転換を与えた画期的な出来事であった。すなわち、それまでの電子カメラと同じように、画像の記録手段として電子技術を用いただけの、ケミカルと対峙する画像記録機器という見方を否定する、カメラ界におけるパラダイムシフトをもたらしたものである。

事実、DSCにおいては、デジタル技術を取り入れたことにより、それまでの電子カメラでは考えられなかった全く新しい可能性を引き出すことができた。

フロッピディスクを記録媒体としたアナログ式電子カメラにおける画像処理は、撮影した静止画をまとめた物理量として扱い、画像全体に、変形、投影、トリミング、色変換、ガンマ変換、明度変換などの何らかの物理変換を施すに留まっていた。

しかし、DSCにおいては、画像を画素に分割し、各画素の情報を数値として扱うことにより、各画素に個別に処理を施すことが可能となった。例えば、単板式イメージセンサにおけるデモザイキング (de-mosaicing) と呼ばれる、色信号の補間や、欠陥セルの救済などである。

3.1 デジタルの特性

物理現象はアナログ量として存在するが、これを論理値であるデジタル情報として表現するためにはA/D変換により、アナログ量をデジタル値に変換することが必要である。

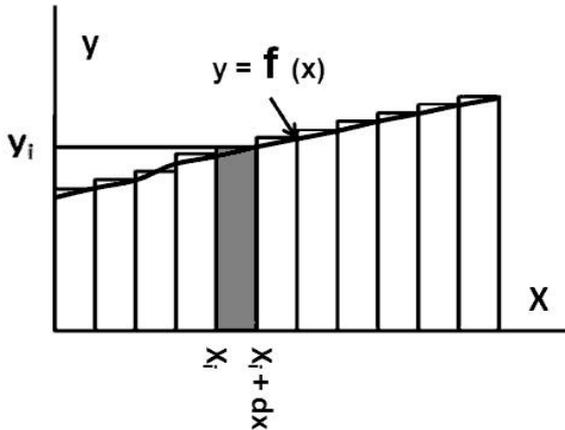


図3.3 AD変換における標本化

AD変換のプロセスは図3.1に示した作表のプロセスと全く同じである。

図3.3に示すような $y = f(x)$ で表わされる連続している物理量をデジタル化する場合には、まず、代表点(これを標本化点=sampling pointと呼ぶ)を求め、各標本化点における値を数値として表現する(これを標本化=samplingと呼ぶ)。

このとき、一つの標本化点 x_i に注目すると、 x_i の次の標本化点 $x_i + 1$ は、 x_i とある距離 dx を隔てた点となる。

アナログ情報を扱う場合では、実質上 $dx = 0$ であるが、デジタル情報として扱う場合は、 dx は有限の値をとらざるをえない。すなわち、図3.3の横軸は離散的(discrete)となる。

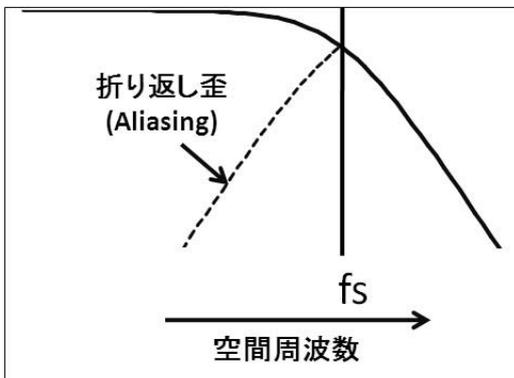


図3.4 折り返し歪

図3.3においてグレイで表わされた、標本化点 x_i と隣接する標本化点 $x_i + 1$ との間の値は、 x_i における値 y_i で

代表される。すなわち、 x_i と $x_i + 1$ の間は値 y_i が保たれることとなり、これをホールド (hold) と呼んでいる。

しかし、例えばアナログ画像記録であるフィルムの場合も、感光材料の分子レベルでは離散的にならざるを得ず、現実的には $dx = 0$ とすることはアナログにおいても不可能である。

$f(x)$ なる特性をもった信号(ここでは画像入力信号)を標本化周波数 f_s で標本化するということは、電気信号において搬送波周波数 f_s で変調することと同等であり、図3.4に示すように、 f_s より高い周波数は折り返し歪み (aliasing distortion) として画像のノイズとなる。

後述する画像圧縮において、民生用DSCの殆どが採用しているExif⁽²⁾ で用いているJPEGは、フーリエ変換 (Fourier transform) の一種である離散余弦変換 (DCT=Discrete Cosine Transform) を用いているが、DCTは離散的な標本化によって得られた値から周波数分析をする手法であり、デジタルでなくても採用可能である。

3.2 フーリエ変換

$0 \leq x \leq 2\pi$ で定義された積分可能な関数 $f(x)$ に対して、

$$\left. \begin{aligned} a_n &= \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \cos nx dx \\ b_n &= \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \sin nx dx \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

で与えられる a_n , b_n を係数として、関数 $f(x)$ は

$$f(x) \sim \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nx + b_n \sin nx) \quad (2)$$

のようにフーリエ (Fourier) 級数として展開できる。

すなわち、 $f(x)$ という実関数が、 $0 \leq x \leq 2\pi$ を基本周波数とする高調波成分の和として周波数領域の関数に変換される。

イメージセンサの一つのセルの出力は、縦方向または横方向におけるセルの寸法に相当する幅をもった孤立波として扱うことができる。

セルの寸法を $2X_0$ 、セルの出力を E とするとセルの出力のフーリエ展開は次式で与えられる。

$$F(j\omega) = 2EX_0 \frac{\sin \omega X_0}{\omega X_0} \quad (3)$$

これを図3.5に示す。

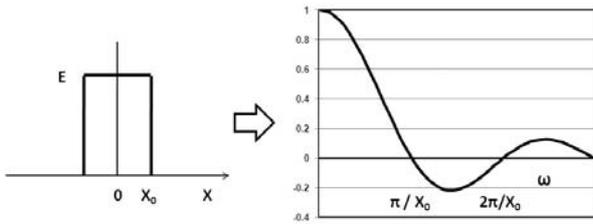


図3.5 孤立波のフーリエ展開

これにより、イメージセンサ上に分布している孤立波の集合として与えられる出力信号は、イメージセンサ内の連続スペクトラムの集合に変換することができ、セルが存在しないような任意の位置における信号値でも計算により求めることが可能となる。

また、離散フーリエ変換を適用すると、離散的に与えられるN個の実数 y_i ($i = 0, 1, \dots, N-1$) に対しては、離散余弦変換を適用して

$$x_k = \sum_{i=1}^{N-1} y_i \cos \left[\frac{\pi}{N} \left(i + \frac{1}{2} \right) k \right] \quad (4)$$

($k=0, 1, \dots, N-1$)

により得られる係数を用いて

$$y_i = \sum_{k=1}^{N-1} x_k \cos \left[\frac{\pi}{N} \left(k + \frac{1}{2} \right) \left(i + \frac{1}{2} \right) \right] \quad (5)$$

($i=0, 1, \dots, N-1$)

と変換できる。

上記の例は一次元の変換であったが、 $M \times N$ の二次元変換も、同様に導かれる。二次元変換では $M \times N$ 個の標本化点によるDCTにより、 $M \times N$ 個の周波数の係数が求められる。

DCTは偶関数に対して適用でき、係数は実数となり、かつ次数の低い係数にエネルギーが集中するという特徴を持っている。この低次にエネルギーが集中するという特徴は、エントロピーの不均一性を生ずるものであり、この性質を利用して情報量の圧縮を行うことができる。

DSCで採用しているJPEGでは、画像に鏡対称の画像を付加して偶関数とした後にDCT演算により周波数領域に変換する。また、前述のエントロピーの不均一性を利用して、効率の高い情報圧縮を施すことが可能となる。

<注>

- (1) 「Digital」は「デジタル」と読む方が原語に近いし、ISOでも「デジタル」となっているが、ここでは一般に流布している「デジタル」を使うことにした。
- (2) Exchangeable Image File Format、(社)電子情報技術産業協会規格CP-3451, 3451-1

4 | カメラの歴史

4.1 概観

紀元前4世紀に活躍したギリシアの哲学者アリストテレスは、小さな穴を通して、外の風景が暗い部屋の壁に倒立像として写ることを知っていたといわれている。このピンホールカメラの原理を絵画作成に応用して、被写体の画像を紙に写し取る装置として15世紀頃に考案されたのがカメラオブスキュラ (camera obscura) であり、絵画のような人間の技量に依存してもたらされる文化から離れて、独自のカメラ文化を築く出発点となった。

カメラオブスキュラは、紙に写る画像を手でなぞって画像として記録するための器具であり、個人の技量が介入する余地が残っていた。そこで、個人の技量に拘わらず、人間の手を借りずに画像を残す手段が望まれた結果、化学的に画像を固定する手法が発明され、その後の長年に亘る銀塩カメラの時代が続いた。

カメラが電子化されたのは20世紀の終りも近い1981年である。更にデジタル技術が導入されて現在のデジタルカメラが誕生したのは20世紀最後の10年に入る直前であった。

ここでは、デジタル・スチルカメラに到るまでのカメラの歴史を追跡してみる (図4.1)。

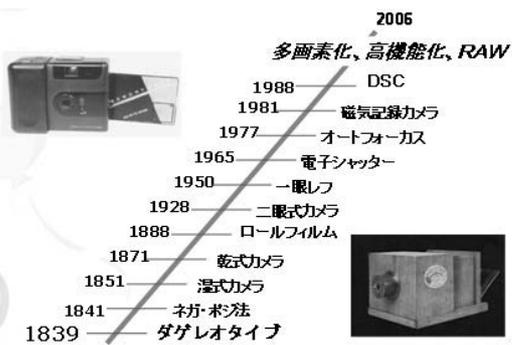


図4.1 カメラの発展

4.2 画像を捉える

1250年頃に、イタリアの作家であり建築家でもあったアルベルティ (Leone Battista Alberti) が、ピンホールカメラの原理を利用してカメラオブスキュラを発明したと言われている。これにより、画家のような技量を持たない人でも、より正確な画像を短時間で記録できるようになった。

この装置はレオナルド・ダ・ヴィンチ (Leonardo da Vinci) も使用したとされ、現在のカメラの原点となっているものである。

16世紀にはカメラオブスキュラにレンズが用いられるようになって小型化されたため、多くのフランスの画家達によって当時需要の多かった肖像画の制作に利用されただけでなく、一般の人たちが風景画を制作する道具としても用いられた。



図4.2 カメラオブスキュラ⁽¹⁾

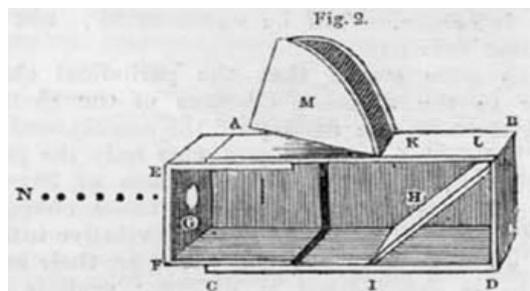


図4.3 カメラオブスキュラの構造⁽²⁾

図4.2にカメラオブスキュラの外観図、図4.3にその構造を示す。因みにカメラ (camera) は「部屋」、オブスキュラは「暗い」を意味するラテン語である。

1725年にドイツのシュルツ (Johan Heinrich Schultze) が硝酸銀の感光性を発見し、1802年には、これを用いて英国の陶器会社ウェッジウッド (Wedgwood) が絵の焼きつけを行ったのが化学反応を利用して画像を記録する写真法の始めと言われている。

1824年にはフランスのニエプス (Nicéphore, Joseph Niepce) がヘリオグラフィ (Heliography) を発表した。これはアスファルトの派生物である瀝青を乾燥したものが感光すると硬化する現象を利用したものであるが、6時間以上という長時間の露光を要するもので

あった。図4.4に1825年に撮影された世界最古の写真と言われているニエプスの「馬を引く男⁽³⁾」を示す。



図4.4 ニエプスの「馬を引く男」

カメラとして世界最初に発売されたものはニエプスと共同研究を行ってきたフランスのダゲール (Louis Jacques Mande Daguerre) がニエプスの死後の1839年3月19日に発表したタゲレオタイプ・カメラである。図4.5にダゲレオタイプを示す。

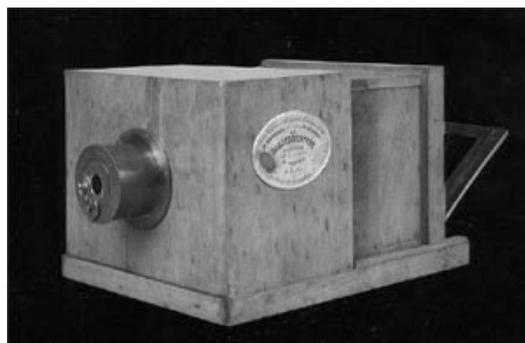


図4.5 ダゲレオタイプ

このカメラは30分の露光時間を要した。因みに、3月19日はダゲレオタイプを記念して「カメラ発明記念日」となっている。

ダゲレオタイプは写真の複製を作ることができなかったが、1841年にイギリス人のタルボット (William Henry Fox Talbot) がネガ・ポジ法を発明して複製がとれるようになると共に露光時間は2、3分と大幅に短縮された。更に、1851年、アーチャー (Frederick Scott Archer) がガラス板にニトロセルロース (nitrocellulose) をエタノール (ethanol) とジエチルエーテル (diethylether) の混合液に溶かしたコロジオン (collodion) という液体を塗布して感光膜を作り、この感光膜が湿っている状態で撮影する湿板写真法を発明して、露光時間は10秒以下となった。

4.3 光学機器としてのカメラ

1871年には、それまでの湿式に代わってガラス板にハロゲン化銀 (silver halide) を塗布した乾板が発明され、1888年にはアメリカのイーストマン・コダック (Eastman Kodak) 社からハロゲン化銀をセルロイドに塗布したフィルムとカメラのセットが発売された。以後、このフィルムカメラはカメラの主流となり、ハロゲン化銀を使用することから、銀塩カメラ (silver halide camera=SH Camera) と呼ばれるようになった。

1928年、ドイツのフランケ&ハイデッケ社 (Franke und Heidecke GmbH) から画面サイズ6×6センチの二眼レフカメラ、ローライフレックス (Rolleiflex) が発売され、1950年になると世界初のペンタプリズム式一眼レフカメラ、コンタックスS (CONTAX-S) がドイツのツァイス・イコン (Zeiss Ikon) 社から発売された。

4.4 カメラの電子化

銀塩カメラにおける電子化としては、フラッシュや電子露光装置、モータによるズーム機能、フィルムのモータ駆動などの他に、1965年には電子シャッターが発表され、1977年にはオートフォーカス機能が発表されたが、カメラ以外の多くの機器が電子化されてきたのに比して、電子化のためには内蔵電池を必要とするカメラの電子化は比較的遅れていたと言える。

それまでの銀塩カメラはハロゲン化銀の化学反応を利用した光学機器であったため、フィルムメーカーやカメラメーカー内の技術者の多くは化学系の技術者もしくは精密機械系の技術者であり、電気・電子系の技術者が関るカメラの電子化は、カメラの撮影機能を補助する技術開発を目的とするものと位置づけられていたことも、その一因となったと言えよう。

写真法自体が電子化されたのは、1981年からであり、デジタル化を採用した現在のDSCの原型は1988年に日本で開発された。

4.5 電子カメラ

1981年、ソニーから発表された電子カメラ「マビカ」(図4.6)は、フロッピー・カメラとも呼ばれ、銀塩カメラにおけるフィルムの代わりにCCD (Charge Coupled Device) と呼ばれる半導体撮像素子を用いた初めての電子機器という意味でエポックメイキングな出来事であった。



図4.6 Floppy Mavica

この電子カメラは既に普及していたビデオムービーカメラ (カムコーダ) の1フレームをアナログ信号として2インチの専用フロッピーディスクに磁気記録するもので、画像品質はビデオカメラと同等で銀塩カメラには遠く及ばないものであったが、従来の銀塩カメラに比して、

1. 画像の再生における即時性
2. 記録媒体再利用の可能性
3. 通信媒体を通しての画像伝送の可能性

などを備えており、化学的プロセスを必要とせず、電子的に画像を記録する画期的なカメラとして報道関係などから興味を以って迎えられた。

この電子カメラは、それまで化学機器と位置付けられていたカメラを電子機器として位置付ける革命の幕を開けた機器であり、この後に出現するDSCの利点の幾つかを先取りしたものであったといえよう。

4.6 静止画像のデジタル記録

1980年に東芝から静止画をデジタル化してオーディオ用のカセットテープに記録する装置に関する研究報告がIECE Japanの磁気記録委員会に提出され⁽⁴⁾、1985年には図4.7に示すような試作機がIEEEで発表された⁽⁵⁾。

これはビデオカメラで撮影した静止画をデジタル化してオーディオ用のカセットデッキに装着したC-90カセットテープに記録する装置で、約300枚の静止画を記録することができた。記録媒体としてC-90を使用したのは、ベース層が薄いためにデジタル記録した際の情報の欠落 (ドロップアウト) が少ないためであった。おそらくこれがデジタル・スチルカメラの原型になったものと思われるが製品発売には結びつかなかった。



図4.7 Cassette Camera

4.7 DSCの時代

4-7-1 DSC誕生の背景

1992年に後述する画像圧縮方式JPEGを採用したフォーマットExifが日本発の統一国際標準として、ほぼ全ての民生用DSCで採用され、市場を加速する原動力となった。

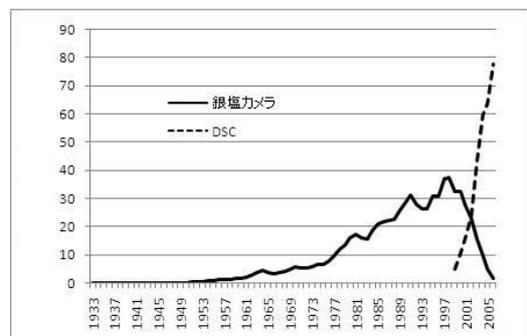


図4.8 銀塩カメラとDSCの生産数量推移⁽⁶⁾

また、多くの技術改革により画質や機能が飛躍的に向上すると共に、PCやインターネットなどのインフラ整備の追い風に乗って、1995年にカシオからQV-10が

65,000円、翌年にはQV-10Aが49,500円で発売されたのを契機に、家庭情報機器として市場を急速に拡張し、2000年には生産金額で、2002年には生産台数で銀塩カメラを凌駕するに至り、年間生産金額1兆円を超える産業に発展した。

図4.8に1935年からの銀塩カメラとDSCの国内生産台数の推移を示す。DSCの出現以後、銀塩カメラの生産台数は急速に減少したが、カメラ全体の生産台数は、1935年以後順調に増加していることがわかる。DSCの統計がとられるようになった1999年以後の銀塩カメラとDSCの国内における月産の台数と金額を図4.9および4.10に示す。これによると最近ではDSCが月産500万台以上で出荷金額は約1000億円に達しているのに対して、銀塩カメラは月産約10万台、出荷金額は5億円程度となっている⁽⁷⁾。

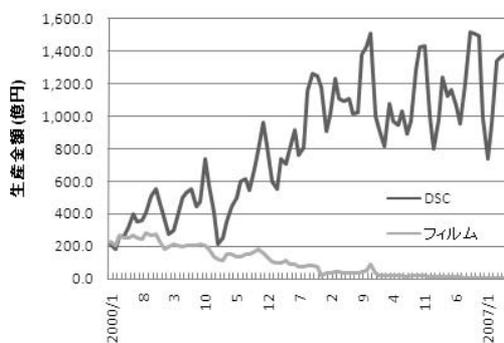


図4.9 DSCと銀塩カメラの生産金額推移

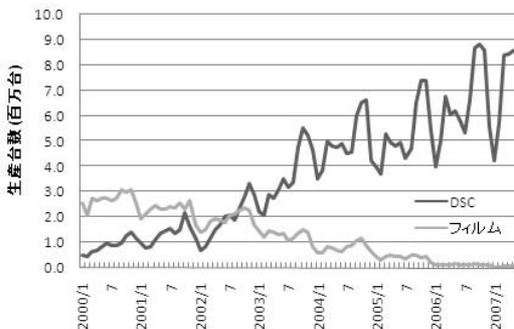


図4.10 DSCと銀塩カメラの生産台数推移

4-7-2 電子化の流れ

DSCの誕生は銀塩カメラで不可欠な銀資源の枯渇に対する対策措置および環境問題対応に帰する意見もあったが、果してその通りであったのであろうか。

確かに1970年代後半から1980年代前半にかけて、資源枯渇と公害防止への対策が大きな社会問題となったことがあった。資源枯渇の恐れがある銀の価格は高騰を続け、米国ではNAPM⁽⁸⁾が議会に対して銀を使用する1ドル硬貨の廃止を働きかけており、日本でも、既に100円硬貨の材質は銀から洋銀に変えられていた

が、銀を素材とした旧100円硬貨の銀素材としての価格が100円を上回る状態であった。

銀塩カメラで使用するフィルムや印画紙は銀を用いており、現像過程において薬品を使用する。

しかし、DSCが開発された1980年代後期においては、すでにこれらの問題は解決済であった。

すなわち、銀の安定供給の見通しと銀資源のリサイクル工程の定着から銀価格は安定してきていた。モノクロ写真（白黒写真）ではフィルムや印画紙に銀が残るために、微量ではあるが銀を消費する。しかるにカラー写真では銀粒子と結合したカプラと呼ばれる染料のみがフィルムや印画紙上に残り、銀は現像工程で完全に回収可能となる。

また現像処理を行うDPE（Develop, Print, Enlarge）店における使用薬品に対しての高度な公害対策が施されて環境汚染問題も完全に解決していた。このように、化学工業である銀塩カメラ業界においては、資源および環境保全への対策を施してきており銀塩写真が抱える問題点は解決してきていた。

しかし、一般的な社会現象としての資源への不安感と環境保全への要求は一種の社会現象であると共に、産業界全体としての化学から電気への転換は、第二の産業革命ともいえる勢いで台頭してきていた。このような技術の流れが求められていた中で、写真産業においても技術の変革を求める動きが生じた。写真業界におけるこのような活動が胎動してきた時期に、それらの動きを助ける技術や周囲環境が整ってきたために、新しい産業形態へのカストロフが生じたものと言える。

日本におけるフィルムのトップメーカーである富士写真フィルム（現富士フィルム）はフィルムメーカーであるとともに、イメージング産業の一環としてカメラやレンズ付きフィルム「写ルンです」なども発売しており、1966年に富士フィルムが発売した8mmフィルムムービー「フジカシングル8」は「私にも写せます」のCMで爆発的に売れた。

しかし、「フジカシングル8」はフィルム代と現像代が高価であったため、その地位は1985年に発表された8mmビデオカメラに短期間の内に置き換えられた。

この交替劇は、電子技術を用いた8mmビデオの即時性、再生の容易さ、記録媒体が低価格であり再利用可能であることなどによってもたらされたものである。

富士フィルムでは現在もDSCで撮影した画像をプリントするサービスシステムを全国的に展開しており、このサービスを通して得られる写真は銀塩写真の印画紙と同じ化学反応によるものである。

このように、品質や大量処理能力を重視する業務用としての化学産業は現在でも継続しているが、民生機器においては電子化による利点が歓迎された。

また、報道関係からは、写真を現像してから電送する電送写真に替わる、即時性のある写真伝送手段が求められており、ロスアンゼルス・オリンピックの報道では、既に電子カメラが使用されていた。このように、写真の世界においても、必然的な技術の流れとして、化学から電子への転換が進みつつあった。

電子技術は電気メーカーが最も得意とする分野であり、専門の技術者も多い。しかし、1980年代後期になって、従来から精密機械や化学を産業の基盤としていたカメラメーカーやフィルムメーカーの中からも、カメラの電子化の流れに沿う形で、更なる技術の発展と商品分野の拡大を目的として電子技術を強化し、DSCの開発に着手する会社が現れた。

同時期に東芝では電子的に書き換え可能な不揮発性メモリを開発して、それを使用したメモリカードの用途を模索していた。また、先に述べた東芝のオーディオカセットテープ静止画記録装置など、画像をデジタル記録する技術やそれを支える半導体素子などの性能も進歩してきた。

それまでは、画像をデジタル化するためのA/D変換器 (Analog to Digital converter) の性能はリアルタイムで画像をデジタル化できるだけの能力がなく、またデジタル化した画像を劣化が少なく高効率で圧縮する技術が未開発であり、さらに、デジタル化された画像を半導体メモリに記録するためにはバックアップ電源が必要なSRAM (Static Random Access Memory) を使用する他に手段がなかった。このためDSCは原理的には提案することはできても、実用化には程遠いと思われてきた。

しかるに、まずは記録媒体に対する障壁を下げる新しい原理によるメモリが開発されたわけである。

4-7-3 初期のDSC

DSCは画像を記録するカメラとしての機能に加えて、後述のように撮影した画像に伴う種々の情報を同時に記録する画像情報機器である。

1988年に富士フィルムから、CCDで取り込んだ画像を東芝と共同開発したメモリカードにデジタル信号として記録する、世界初となるDSCの試作機 DS-1P (図4.11) が発表され、翌1989年12月に東芝と共同で世界初のDSCの市場調査を目的とした製品 (富士フィルム: DS-X、東芝: IMC-100) (図4.12) が発売された。

続いて1990年11月には世界初の市販品となるMC-

200が東芝から発売された。



図4.11 DS-1P



図4.12 DS-X (IMC-100)

これら初期のDSCは電子カメラと同様にビデオムービーカメラ (カムコーダ) の一フレームまたは一フィールドを静止画として取り出し、デジタル化した画像信号を圧縮して半導体メモリに記録するものであり、電子カメラやカムコーダと同様にテレビジョン (TV) で画像を再生することを目的としていたため、画素数はVGA (Video Graphic Array) 並の35万画素程度であった。

静止画を撮影するカメラは、縦と横両方のアングルでの撮影に対応する必要があるため、イメージセンサは正画面素アスペクトを持つことが望ましいが、生産ロット数が少なく、またイメージセンサの特別開発には莫大な費用がかかるため、これら初期のDSCでは非正画面素アスペクト比を持つビデオカメラ用の2/3インチ40万画素FIT (Frame Interline Transfer) 単板CCDを使用して、画像処理により正画面素の情報を作り出した。

また当時は適当な画像圧縮技術が無かったため、二次元圧縮としてのサブサンプリング (sub-sampling) と、符号圧縮としてのADPCM (Adaptive Differential Pulse Code Modulation) を使用し、電池でバックアップした18Mビット (2.25MB) あるいは9Mビット (1.125MB) のSRAM メモリカードに12枚あるいは6枚の画像を記録した。

画像処理回路として専用のLSIを開発するには量産台数が少なく、インデント品になったため、市場調査用の市販機器は、性能が未熟である上に価格が再生機、DAT記録装置、モデムなどの周辺機器込みで160万円と高価であった。

このように、画質は銀塩カメラに比して著しく劣り、しかも高価な初期のDSCは民生用カメラとして一般消費者を対象とした店頭販売に載せることなど到底無理であり、銀塩カメラには無い特長である即時性、伝送可能性を評価して貰える購買対象を探すほかはなかった。

このため、航空会社が北海道の整備工場において、従来は電送写真を使用して羽田の整備工場に整備箇所の確認を行っていた作業をDSCを用いて画像を電話線を通して送信し、双方で確認しながら整備を行う作業に変えるためにまとめて購入したのが最大の顧客であった。この他には、従来電送写真を使用していたユーザや、全国的なオークションネットなど、特定の用途に限定され、その他は独自にDSCの開発を進めていた同業他社の研究開発部門が購入しただけであり、一般市場に出回ることにはなかった。

初期のDSCにおける当時の技術水準では画質や価格の点で銀塩カメラに伍する実力を備えていなかったため、民生用市場を開拓する力は無かった。

しかし、電子カメラは画像を電子化することでカメラを化学機器の分野から電子機器の分野に位置づける改革を行ったのに加えて、DSCは更に電子カメラと比較して、

1. 記録方式をアナログからデジタルに変えることにより、伝送や複写などにおける画像の劣化を排除した
2. フロッピディスクへの磁気記録から半導体メモリへの電子記録とすることにより、記録媒体の駆動部が無くなり、記録・読み出し時間が短縮されたなどの特徴を持っている。

ただし、初期のDSCではパーソナルコンピュータ(PC)に画像を取り込むことはできても、画像処理ソフトウェアの機能が不十分であったため、デジタル信号を用いたことによるPCとの整合性の良さという特徴は、それほど顕著ではなかった。

また、インターネットはまだ国内では整備されていなかったため、撮影した画像をPCに取り込み、インターネットで送受するという、現在ではごく当たり前と思われる特徴は、当時ではまだ現われておらず、画像の送受はVGAレベルの画像をTV電話、あるいはPC通信で行われていた。

4-7-4 TV再生からPC再生へ

TVスクリーン上での再生を目的とした画像品質では、プリントアウトしても走査線が見える粗い画像となり、カメラとしての品質は銀塩の使い捨てカメラの

画質にも及ばない。

さらに、そのDSCの価格は数十万円以上であったため、その当時において、現在のように民生用機器として普及し、結果として銀塩カメラに置き換わるという状況を予測することは困難であった。

米国アップル社は1994年にQuick Take 100という民生仕様のDSCを発売したが普及するには至らなかった。

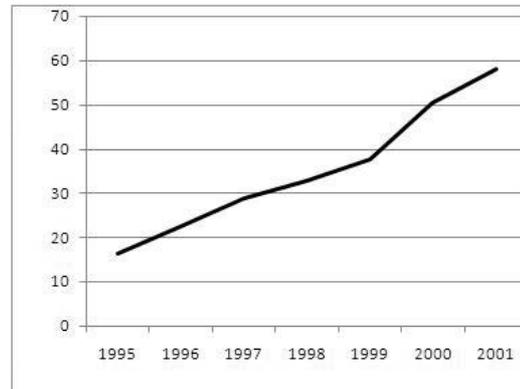


図4.13 PCの普及率⁽⁹⁾

当時のDSCの購買層は、即時性があることと電送が容易であることが評価される報道などの分野が主体となっており、これらの分野を対象として1995年に富士フイルムがDS-505 (140万画素)、ニコンがE2S (140万画素)、キヤノンがEOS-DCS3 (130万画素)、ミノルタ (現コニカミノルタ) がRD-175 (175万画素) のプロ用のDSCを市販した。

しかるに、1993年頃まで単身家庭を除く世帯当たり10%程度の普及率であったPCが、その頃から家庭内にも普及し始めた。(図4.13)

画像をPCに取り込むことを主目的としたDSCの仕様であれば、イメージセンサが対応可能な限り画像に対する制限は無くなり、画素数、画像サイズ、アスペクト比なども自由に選ぶことができるし、PCに接続したプリンタで簡単に家庭で写真を作ることにも可能である。

このように、TV再生からPC再生に目的を変えたことによって、民生用情報機器としてのDSCの将来性が拓けたといえるが、その先鞭をつけた会社がカシオであったということは、TVやビデオの技術に捉われない発想が必要だったのであろう。

PCの世帯普及率は、1994年に15%に近付き、1997年には20%を超え、1999年頃からは急速に普及率が伸びて現時点では70%を超えるに至っている。

また、PCを利用したインターネットは日本では1994年からスタートしたが、インターネット側からホームページに載せる画像作成用のツールとしてDSCが推奨されたり、DSCで撮影した画像をインターネット

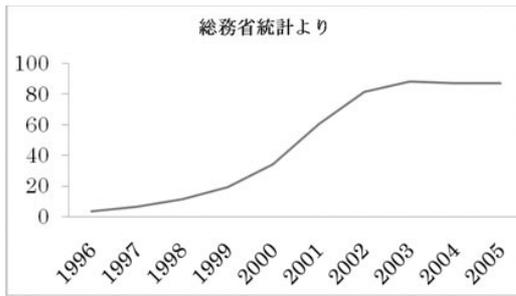


図4.14 インターネット普及率の推移 (10)



図4.16 カシオのDSC試作機「熱子」

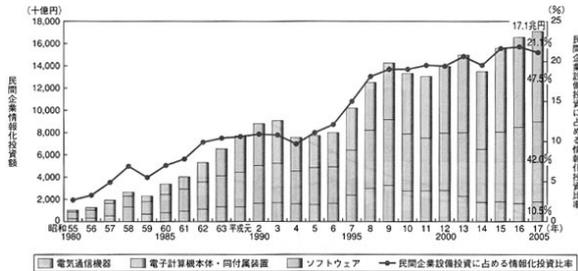


図4.15 実質情報化投資の推移 (11)



図4.17 QV-10

網を通じて配信するなど、インターネットがDSCの市場拡大に及ぼした影響は大きい。(図4.14)

インターネットを始めとする情報化時代に対応しての設備投資も1995年以後急速に増大した。(図4.15)

DSCはこれらの情報化社会への潮流にうまく乗ることにより急速に成長したものとえよう。

4-7-5 民生用DSCの誕生

画像再生の対象がTVからPCになったことは、DSCにおける大きな転換点であった。しかし、PCの普及率が20%未満であった時期において、PC対象だけでは民生機器としての市場を築くことはできず、まずは価格の低減を行って「珍しいもの」が好きな消費者層の好奇心を煽ることも必要であった。カシオでは少数の技術者による非公式プロジェクトとしてDSCの低価格化を目指す開発を行った。

開発の途上においては、それぞれ「重子」、「熱子」(図4.16)と名付けられた非常に重い試作機や、消費電力が多いために高温になる試作機もあったが、最終的に民生機器としての仕様にまとめあげ、1995年に、QV-10 (図4.17)を、当時としては破格の65,000円という価格で売り出した。

さらに翌1996年には機能がほぼ同一のQV-10Aが49,800円で発売された。それまで10万円を下回るDSCは無かったため、この価格付けがカメラメーカーに与えた影響力は多大なものであった。

しかし、QV-10およびQV-10Aは25万画素の画素数しか持たず、専用のプリンタの画質も悪かったため、

DSCがカメラの代替になり、更には銀塩カメラを越える新しい画像情報機器となることを予見したカメラメーカーは殆ど無かったと言えよう。したがって、カメラメーカーの中でのDSC開発部門は、電子技術者が主体となって、主流から外れたところで細々と行われていることが多く、光学系の開発などのカメラの専門家が加わることは少なかった。

QV-10およびQV-10Aは、すでに日本国内のDSC用標準として規格化され、国際規格としても提案されていた後述するファイルフォーマットExifを採用していた。

このExifは当時の最新技術であった画像圧縮方式JPEGを取り込んだ日本発の国際標準規格であり、このExifを全てのDSCメーカーが採用することで製品の仕様が統一されたことにより、消費者の購買意欲を阻害することなく、家庭内に浸透し急速に市場を拡大することができた。

それとともに、従来の光学機器メーカーの市場の中に電子情報技術を得意とする家電機器メーカーが参入することとなり、製造、販売体制を含めたカメラ業界の形態は、DSCの出現により一新された。

現在市販されているDSCの性能はカメラとしての性能に着目しても銀塩カメラを凌駕するものであり、銀塩カメラの同等品と比較すると、はるかに低価格で提供されている。

4-7-6 デジタル一眼レフ

(D-SLR=Digital Single Lens Reflex)

カメラは、撮影する対象物を確認するためのファインダにより次の4種類に分類される。

(1) ビューファインダカメラ

撮影用レンズとは別に、対象物を確認するために覗き窓を設置したカメラ。安価であるため、コンパクトカメラの多くがこの方式である。

(2) 一眼レフカメラ

撮影用レンズの像を反射鏡（ミラー）によりピントグラス上に結像させて対象物を確認し、シャッターを切る瞬間だけミラーを動かして感光面（フィルムまたはイメージセンサ）に結像する構造のカメラ。高級カメラの多くがこの方式であり、レンズ交換ができることを特徴としている。

(3) 二眼レフカメラ

撮影用レンズ系とは別に、連動する対象物確認のためのレンズ系を設置したカメラ。撮影の瞬間も像を確認できるが、視差（パララックス）が生じる欠点がある。

(4) ビューカメラ

結像面にピントグラスを置いて確認した後、シートフィルムや乾板などに置き換えて撮影する、写真館などで使用するカメラ。

一眼レフカメラは図4.18に示すように機構が複雑ではあるが、感光面に写る画像と全く同じ画像を目で確認しながら撮影できるため、高級機種に採用されてきている。

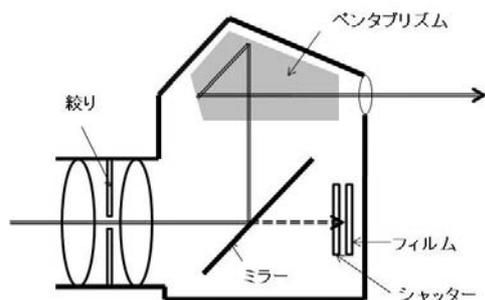


図4.18 一眼レフカメラの構造

最初の一眼レフカメラは1884年に市場に出たIhagee Kine-Exaktaと言われている。

しかし、商品として市場に迎えられたのは1949年5月に発売されたCONTAX Sである。日本では旭光学（現ペンタックス）が1952年にASAHI FLEXを発売した。

DSCにおいても、民生用DSCが台頭してきた時期から、報道関係などを対象とした一眼レフ型のDSCが市場に出始めたが、普及するには至らなかった。

デジタル一眼レフ（D-SLR）普及のきっかけを作っ

たのは1999年にニコンが65万円で発売したD1および翌年にキヤノンがAPSサイズのイメージセンサを用いて35万8千円で発売したEOS D30である。このD30以後レンズ交換可能なD-SLRにおける焦点距離の「35mm相当」の考え方が普及した。

DSCはセンサの信号をLCDなどのモニタスクリーン上で確認しながら撮影できるため、「撮影される画像そのままをファインダで確認する」という目的は達している。しかし、

(1) レンズ交換ができる

(2) より精細な画像で確認できる

という目的のために、DSCでも一眼レフタイプが業務用、プロ用、高級アマチュア用として市場を伸ばしてきている。

特に、SLRだけが持つ、レンズ交換可能、より精細な画像の確認という特長を更に発展させて、より高画質化を目指したDSCとして、DSC市場の主流となりつつある。

一般民生用DSCの画像データはビット数8bit、JPEG圧縮でテレビモニタの色再現範囲と同じsRGB色空間で出力されるが、高画質化を目指すSLRの殆どは、センサの出力信号をほぼそのまま取り出す「ローデータ（Raw data）」により、8bitより大きなビット数やsRGBより広い色再現域を扱うことができる。

しかし、ローデータはイメージセンサに固有の形式で出力されるため、画像を得る（現像する）ためには、それぞれのカメラに専用のソフトウェアを使わなければ画像が得られないという欠点を持っている。

民生用DSCの画像ファイルが、統一規格Exifに準拠して記録され、ファイル取り扱い規定「DCF⁽¹²⁾」に従って統一的に処理可能となったため、カメラの種類を問わずに共通の画像処理が可能であったことに照らして、ISOでもローデータの共通化を図ろうとする動きもあるが、各社のノウハウを開示することに繋がる可能性もあるため、DSC製造者側は消極的である。

4-7-7 カメラ付携帯電話（Camera Phone=CP）

携帯電話機にカメラ機能を備えた最初の機種は、1999年に京セラが端末を製造し、DDIポケット（現WILCOM）から発売されたVP-210である。同機は11万画素のCMOSセンサーを備えたPHSであるが、TV電話用として使うことを意図して、液晶画面とカメラとが同一面に設置されていた。この他にも、TUKAやNTT DOCOMOから携帯電話機にアダプタとしてカメラ機能を付加できる機種は試験的に発売されたが、普及するには至らなかった。

CPが本格的に商品化されたのはJ-PHONE（現ソフトバンクモバイル）とシャープが共同開発して2000年11月に市場投入したJ-SH04が最初である。撮影した画像をメールとして送信できる機能が歓迎され、J-PHONEは急速にシェアを拡大した。

その後、キャリア各社があとを追い、2001年にはTUKAと三洋電機がTS11、2002年にはauとカシオがA3012CA、同年NTTとシャープがSH25liを発売した。

初期のCPは画素数が少なく、撮影した画像はCPの画面で再生するためのものであったが、2003年から各社が100万画素を超える機種を発売し、同年12月にはNTT DOCOMO, Vodafone, au共に200万画素の機種を発売、2005年には400万画素の機種まで発売され、現在は500万画素の機種まで発売されるに至り、画素数だけで比較すると一般のDSCと同等のものとなっている。

携帯電話全体の生産の推移を図4.19に示す。

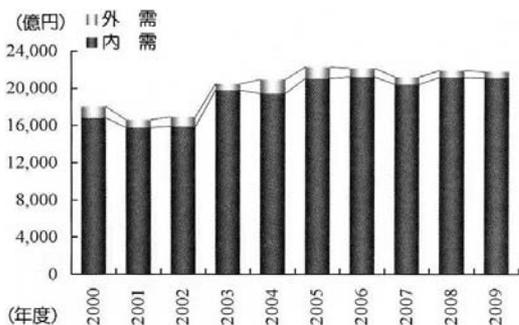


図4.19 携帯電話生産高の推移 (18)

CPの技術的なコンセプトに関しては、端末機器メーカー主導で開発されており、これらのメーカーはDSCのメーカーでもあるため、DSCの技術がCPに転用されている。したがって、CPの画像ファイルフォーマットはDSCで採用されているExifを採用しており、CP間およびCPで撮影した画像をファイルとしてPCに保存する場合の互換性が保たれている。

画素数だけで見ると、CPはDSCと比肩するまでに至っており、ズーム機能などのカメラ機能も充実してきたが、小型で通信主体の携帯端末に搭載する副次的な機能としてのカメラという位置づけから、レンズの性能や画質の点では、撮影専用のDSCの性能には及ばないのが現状であり、CPのカメラとしての性能が向上するとDSCの性能は更に一歩先に進むという関係にある。しかし、携帯に便利で、写した画像を転送して保存でき、必要最小限の撮影機能を備えたCPは、携帯電話の他にカメラを携帯する必要が無く、スナップ写真の撮影用として便利であり、2003年にはカメラ機能なしの携帯電話を凌駕して携帯電話の主流となった。

DSCに通信機能を持たせることは法的に規制されて

いるのに対して、CPは通信機能を主機能とする新しい民生用情報通信機器として位置付けられる。常時携帯する電話機にカメラ機能が付加されたことで、画質をそれほど重要視しないスナップショットなどを目的とする場合には、電話機と別にDSCを携帯する必要性が薄れたといえる。

このため、今後もスナップ用のカメラとして、高級カメラ、コンパクトカメラと共に、大きな市場を形成していくものと思われる。

<注>

- (1) 財団法人日本カメラ博物館所蔵写真提供
- (2) 1838年のSaturday Magazineから（号数不明）
- (3) 従来1826年にニエプスが撮影した「自室からの眺め」が最古の写真とされていたが、今世紀に入ってから「馬を引く男」が発見され最古ではないかと言われている。
- (4) 「カセットデッキを使用したデジタル静止画記録装置」, 景山他, Magnetic Recording Committee of the IECE Japan, MR80-25, October, 1980
- (5) "Digital Still Picture Recorder utilizing an Ordinary Audio Cassette Deck", Satoshi Kageyama, Kyoichi Kudo, Masatoshi Tanaka, Masao Ohyama and Motokazu Ohkawa IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol.CE-31, No.2, May 1995 pp96-107
- (6) カメラ映像機器工業会統計資料およびカメラ博物館提供資料より
- (7) カメラ映像機器工業会統計資料を基に作成
- (8) "National Association of Photographic Manufacturers" 米国のカメラ工業会として1946年に設立され、1997年に "PIMA = Photographic and Imaging Manufacturers Association" と改称、2001年にDIG (Digital Imaging Group) と合併して "I3A = International Imaging Industries Association" となり現在に至る。
- (9) 総務省「通信利用動向調査報告書世帯編」平成13年版 1頁
- (10) 総務省「情報通信白書」平成19年版151頁
- (11) 総務省「情報通信白書」平成19年版12頁
- (12) (社)電子情報技術産業協会 (JEITA) 規格 Design rule for Camera File system (カメラファイルシステム規定DCF 2.0 2003年9月
- (13) (社)電子情報技術産業協会「産業用電子機器需要予測」2006～2009年度 16頁

5 | デジタル・スチルカメラ (DSC) の構成

ISO12231 (Vocabulary) によると、DSCの定義は、“portable, hand-held device which incorporates an image sensor and which produces a digital signal representing a still picture” とあり、注記として

“The digital signal is typically recorded on a removable memory, such as a solid-state memory card or magnetic disk.” とある。

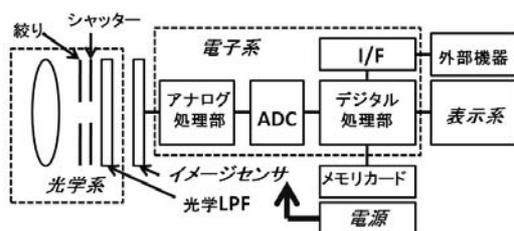


図5.1 DSCの構成

すなわち、DSCにはイメージセンサが不可欠であり、被写体からの光を、平面上に光電変換素子のセルが並んだイメージセンサ上に結像させて、各セルからの電気出力を取り出し、デジタルに変換して一般的には半導体メモリや磁気ディスクに画像情報として記録する携帯形の画像情報機器である。

図5.1にDSCの基本構成図を示す。全体は光を電気信号に変換するイメージセンサ、光学系、電子系、記録系（メモリカード）、LCDディスプレイなどの表示系、および電池などの電源とに分けられる。

さらに、光学系はレンズ (lens)、シャッター (shutter)、絞り (iris)、光学ローパスフィルタ (optical low-pass filter)、赤外線除去フィルタ (IR cut filter) などで構成される。コンパクトDSCでは、露光時間の調整を電子的に行い、機械的なシャッターを備えていないものもある。

電子系はアナログ信号処理部、デジタル信号処理部、コントロール部、出力部、記録部などに分けられる。以下、DSCを構成する主要な要素について述べる。

5.1 イメージセンサ

DSCに用いられる撮像素子 (イメージセンサ) には各セルの信号の読み出し方法と読み出した信号の増幅方法の差異によってCCDとCMOS (Complementary Metal Oxide Silicon) センサの二種類があるが、両者共、半導体 (シリコン) の内部光電効果を利用した数ミクロン程度の非常に小さな光電変換素子 (フォト・

ダイオード) を規則的に二次元配列した構造を有している。

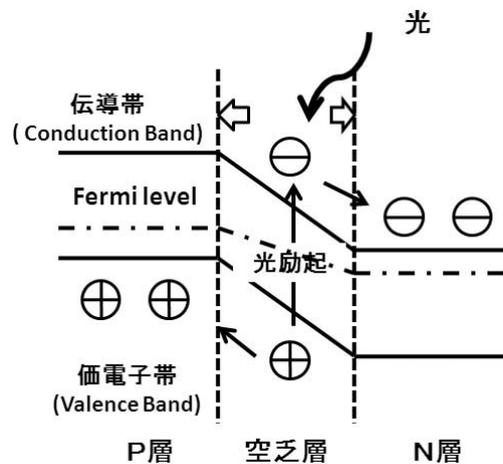


図5.2 半導体PN接合のバンド構造

シリコン (Si=Silicon) などの半導体のPN接合部に逆バイアスを印加した状態は、図5.2に示すようなエネルギーバンド構造として表される。この接合部に外部から光を照射すると空乏層内で価電子帯 (valence band) 内の電子が伝導帯 (conduction band) 上に励起され、価電子帯には正孔 (positive hole) が残される。これらの電子と正孔は印加された電位に引き寄せられ、広い照度範囲に亘って光の強度 (照度) に比例する電流が流れる。これがフォトダイオードの原理であり、イメージセンサの各セルは、このフォトダイオードの出力を取り出すものである。

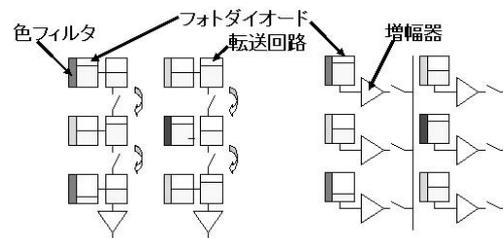


図5.3 CCDとCMOSセンサ

図5.3に一般に使用されているIT-CCD (Interline Transfer CCD) とCMOSイメージセンサの構造を模式的に示す。

IT-CCDではセルが基盤の目状に形成されており、光の量に応じて各セルに生じた電荷を、各セルごとに設けられた電荷転送部 (バケツ) に一斉に移し、バケツの中身を垂直方向の伝送路に沿って上から順に次々と下のセルのバケツの中に入れ渡し、最下段では水平伝送路で左から順に右送り読み出すのに対して、

CMOSセンサではアドレス線を用いて各セルを個別に読み出す。

また、CCDではバケツリレーの最後の段階で、一つの増幅器で信号を増幅するのに対して、CMOSセンサでは各セルごとに増幅器が付属している。

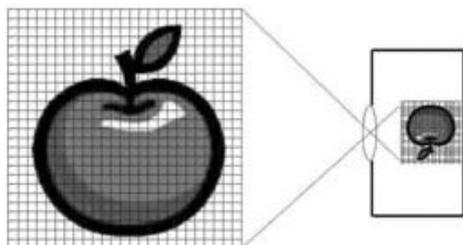


図5.4 被写体とイメージセンサ

被写体とイメージセンサとの対応を図5.4に模式的に示す。各セルはイメージセンサを構成する最小単位であるから、入射光における各セルへの立体角内の情報は、その立体角内の情報量の平均値として扱われ、レンズから被写体を見た立体角内の情報を、それ以上細かく分けることは不可能である。したがって、被写体上での非常に接近した二点から放射された光が同一のセル内に入射した場合は、被写体上の二点を識別することができない。

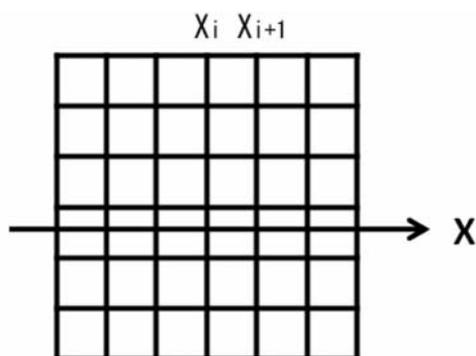


図5.5 セルの模式図

すなわち、被写体はセルのパターンに相当したモザイク状の画像として記録される。一般的に、画素数が多くなるほど一つのセルに見こむ立体角が小さくなり、このモザイクのパターンは微細になる。したがって、各セルは被写体の十分に小さな部分に対応していなければならない。

いま、図5.5に示すような碁盤の目状の正方セル構造のイメージセンサを考えたとき、このイメージセンサ上の一方は図3.3における横軸xに対応する。

つまり、イメージセンサで捉えた画像は、空間的に離散的であり、各セルからの出力信号は後段の処理によってデジタル値として与えられるものである。

イメージセンサ上のセルの総数は「総画素数」として表される。しかし、画像の構成には全てのセルが用

いられるのではなく、画像構成に使用されるイメージセンサ上のセルは「有効画素」と呼ばれ、イメージセンサ上の有効画素の数は「有効画素数」として記述される。

図5.6にイメージセンサ上の画像を示す。中央のグリッド部が出力画像となるが、周辺のグレイ部分のセルも輪郭補正や画素補間などの画像処理用信号として使用されるセルであり、「リングピクセル」と呼ばれている。

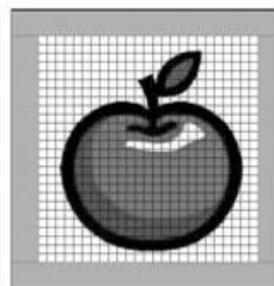


図5.6 リングピクセルの概念

この領域のセルの情報は画像自体としては表示されないが、表示された画像の品質向上に有効な役割を果たしているため、有効画素数の表記にはリングピクセルを含めることが許されている。

解像度の定義は被写体に対する空間周波数応答特性を表す物理量であり、これを測定するには、図5.7に示すような空間周波数が連続的に変化しているチャートを撮影して、どの空間周波数まで再現できたかで表示するか、あるいは図5.8に示すような白と黒が階段状に変化するパターンを撮影して、出力信号のフーリエ分析により空間周波数応答 (SFR = Spatial Frequency Response) を求める方法もある。



図5.7 解像度測定チャートの一例



図5.8 SFR測定用階段状パターンの一例

この他にも解像度を測定するための様々な方法や、その測定に用いるチャートや解像度の計算用ソフトウェアなどがISO TC42において提案され、審議されている。図5.9は日本から提案された解像度測定用チャート (ISO 12233チャート) である。

一般にDSCの解像度は画素数で一義的に決まってい

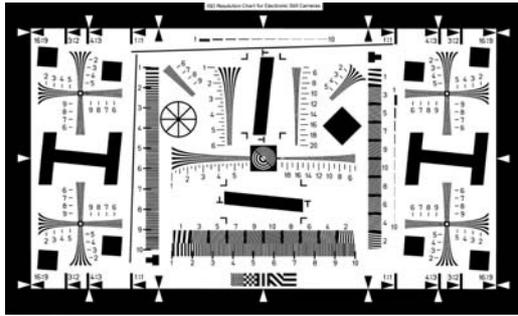


図5.9 解像度測定用ISO12232チャート

まうと誤解されていることが多い。確かに画素数は解像度を決定する要因の一つではあるが、解像度は画素数以外の要因、例えば画像処理の方法やフィルタの構成、光学性能などによっても支配されるし、撮影する際に選択する、ファイン、ノーマルなどと表示される画質によっても変わる。

フィルムの場合は感光物質の粒子が規則的に配列しておらず、また感度によって感光物質の粒子サイズが異なるため、DSCの画素数に対応するような数値を求めることは困難であるが、ISOチャートなどを用いて空間周波数特性を測定することにより推定することができる。これによると、ISO100のフィルムで600万～1,000万、ISO400のフィルムで450万～1,000万画素相当になる。

したがって、最近のDSCは画素数で比較する限りにおいてはフィルムカメラに匹敵あるいは凌駕するものもあると言える。

CCDまたはCMOSセンサの各セルは、そのままでは光の強弱に反応するだけであり、いわばモノクロームフィルムのようなものである。したがって、色に反応させるためには、各セルにカラーフィルタを装着しなければならない。単板式イメージセンサでは各セル上に色フィルタがモザイク状に配置されており、三板式イメージセンサではプリズムなどを用いて、被写体からの入力光をカラーフィルタを通して三枚のイメージセンサに導く。

カラーフィルタには赤 (R=Red), 緑 (G=Green),

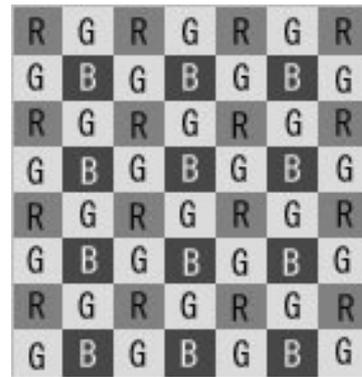


図5.10 Bayer型原色カラーフィルタ

青 (B=Blue) の三原色を通過させる原色型と、シアン (C=Cyan)、マゼンタ (M=Magenta)、イエロー (Y=Yellow) を通過させる補色型とがある。

図5.10に原色型フィルタの一例 (Bayer型) を示す。

Gの部分にRとBの二倍あるのは、人間の目の緑に対する感度が他の二色に比して高いため、Gを多くとることにより、視覚的な解像度を高める効果があるためである。

イメージセンサの各セルを「ピクセル (pixel=picture element)」と呼ぶこともあり、DSCのイメージセンサの有効画素数を表すときに例えば「3Mpixel」というような記述も見られる。

一方において、イメージセンサの出力に圧縮や画像補正などの画像処理を施した後の画像の最小構成要素をピクセルという呼び方もある。

前者は画像を取り込むイメージセンサ上の物理的な最小構成要素部分を表す概念であり各イメージセンサに特有であるが、後者は出力された画像の最小構成要素という概念であって、例えば画像の圧縮などの処理によって変わるものである。

ここでは、入力側のイメージセンサの最小構成要素を「セル」、出力画像の最小構成要素を「ピクセル」と呼ぶこととする。

1mmに何個のセルが並んでいるかを、イメージセンサの空間周波数として表示する。

5.2 光学系

レンズ設計やフレア対策などの光学技術は、銀塩カメラにおいて長年にわたって培われてきた技術であり、銀塩カメラで独自のノウハウを確立してきたカメラ会社にとっては最も独自性が発揮できる得意分野である。

しかし、最適なレンズ系を設計するにはイメージセンサの寸法や物理特性を考慮にいれなければならない。

図5.11に示すように、35mmフィルムの受光面サイズは36×24mmであり対角長は約43.3mmである。これに対してDSCのイメージセンサは35mmフィルムと同サイズのものもあるが、一般にフィルムのサイズより小さく、一眼レフDSC用でほぼ24×16mm（対角長約28.8mm）程度であり、レンズ一体型のDSCに多く用いられている2/3型は8.8×6.6mm（対角長11mm）、1/3型になると4.8×3.6mm（対角長6mm）である。

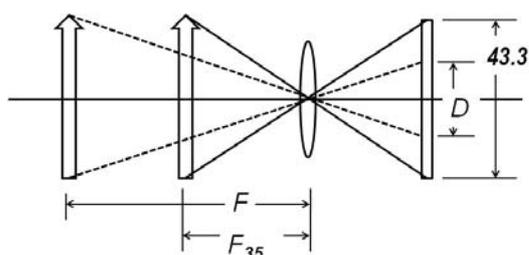


図5.11 イメージセンサのサイズと焦点距離

イメージセンサのサイズが小さくなると、撮影可能な被写体の範囲（画角）が小さくなり、撮影した画像を同じ大きさの画像として再生した場合、画角の狭い画像は望遠レンズで撮影したような画像となる。すなわち、35mmフィルムを使用したときに F_{35} (mm)であったレンズをイメージセンサの対角長が D (mm)であるDSCに使用すると、見かけの焦点距離 F は次式によって与えられる。

$$F = F_{35} \times \frac{43.3}{D}$$

したがって、レンズ交換可能な一眼レフ型DSCに、35mmフィルム用のレンズを取り付けた場合には、焦点距離は望遠側にシフトする。また、35mmフィルムの焦点距離の表示に慣れているユーザーのために、上式で換算した焦点距離を「35mm換算」として表示している。

イメージセンサの受光面において、前述の空間周波数よりも高い周波数の画像、すなわち、セルの大きさよりも細かな画像は、一つのセル内に一つ以上の画像

情報が入力されることになる。この結果、セルの空間周波数よりも高い空間周波数を持つ画像の再生は不正確になるばかりでなく、偽画像（artifact）を生ずることになる。これを防ぐために必要なものが光学ローパスフィルタ（LPF）であり、水晶などの複屈折を利用して、セルの空間周波数よりも高い空間周波数を持つ画像信号を遮断するものである。

デジタルという斬新な技術を使った機器として、その開発の主体としては、ややもすると電子情報系の技術が強調され易いが、DSCの光学性能を高めるためには銀塩時代から受け継いだ光学設計の能力が不可欠である。

5.3 電子系

イメージセンサ自体の出力はアナログ信号である。この出力信号はイメージセンサのノイズを低減するための相関二重サンプリング（CDS=Correlated Double Sampling）と呼ばれる回路を通した後でAD変換器によりデジタル信号に変換される。民生用のDSCにおけるデジタル信号は8ビット（256階調）である。

このAD変換器およびデータの直線化、暗電流低減、シェーディングおよび感度補正、フレア除去、ホワイトバランスを施しただけの出力データはローデータと呼ばれる。

デジタル画像処理部では、セルの欠陥やばらつきの補正、後述の画素補間（de-mosaicing）、輪郭補正などを行なった後、民生用DSCでは、画像ファイルフォーマットExifに従って画像ファイル、および画像に関連する種々の情報が構成される。

5.4 記録系

殆どの民生用DSCでは、この記録媒体として半導体メモリを内蔵したメモリカードを使用する。

初期のDSCではSRAMを内蔵したPCカードを使用した。カード内にバックアップ用の電池を装備することが必要であり、メモリサイズも小さいものであった。

1984年にFlash Memoryが発表されてから、これを内蔵して1994年にSanDiskからCompactFlash、1995年に東芝からSmartMedia⁽⁴⁾、1997年にSiemensとSanDiskからMMC⁽⁵⁾、1998年にはSonyとSanDiskからMemory Stickというように、各社から次々に新しいメモリカードが発表された。

これらのカードは、それぞれの用途に応じた形状・寸法をもっているほか、メモリ・コントロールの方法、

データ転送の方法、セキュリティの有無などの特徴を有している。しかし、その中に記録された画像ファイルは、どのメモ리카ードを使用する場合でもExif規格に則っており、カード内でのディレクトリ構造はDCFに基づいている。

このため、PCが目的のカードの読み出し、書き込みができる場合は、カードの種類に関係なく画像ファイルを扱うことができる。

DSCでは、このように記録媒体に依存しないフォーマットを策定したことが大きな特長であり、このことはビデオにおけるVHS対ベータに見られたようなフォーマット競争で市場を混乱させるという状況が未然に回避され、DSCのフェアな競争を促した結果、市場の急速な伸長に貢献したことは確かである。

5.5 表示系

DSCは、撮影した画像をその場で確認して、失敗であれば撮り直しをすることができるという長所を持っている。民生用DSCにおいて最初に液晶（LCD =

Liquid Crystal Device）ディスプレイを備えた機種はカシオのQV-10であった。

フィルムカメラを構える場合は、カメラを顔面に固定してファインダーを片目で覗くというスタイルが固定していた。ところがDSCでは殆どのカメラが光学ファインダーを備えているにもかかわらず、腕をある程度伸ばしてカメラを顔から離し、液晶画面を見ながら撮影するというスタイルが多い。手ぶれなどの点からは、顔面に固定する方が望ましいが、画像を確認しながら撮影できるという機能が好まれているようである。

DSCで採用しているファイル取扱い規定「DCF」では、画像を再生する装置を「Reader」と呼び、副次的に画像再生機能を備える装置をReader 1、画像再生機能を主機能とする装置をReader 2として区別している。

DSCは画像を撮影することを主機能とするため、本体に装備されている表示系はReader 1として扱われる。Reader 1では後述の表8.6に示すように、主画像を表示することは必須条件ではなく、縮小画面（サムネイル = thumbnail）を表示してもよいこととなっている。

6 | DSCの特徴

DSCにおけるイメージセンサは、フィルムカメラにおけるフィルムに相当する。フィルムカメラでは受光量に応じた化学変化の進捗度として記録するのに対して、DSCでは受光量に応じた電荷の発生量として記録する。その結果として、DSCでは画像の即時再生が可能となり、記録媒体の繰り返し使用が可能になったなどの特徴が挙げられる。DSCと銀塩カメラの一般的な比較を表6.1に掲げる。

表6.1 DSCと銀塩カメラの一般的比較

	DSC	銀塩カメラ
構成	光学系と撮像系とが一体化	光学系・・・カメラ 撮像系・・・フィルム
有利な点	即時性 安価なランニングコスト 化学処理不要 PCに直接書込み可能 自分で画像処理可能 保存が嵩張らない 経年変化なし	カメラ本体は安価 画像を見るのに機器不要 色の再現性が良い 露光の余裕度が広い 引伸ばしての劣化少ない
不利な点	カメラ本体が高価 電池の消耗	現像するまで結果が不明 電子化には別機材が必要

しかし、DSCとフィルムカメラとの差は単に画像再生時の特徴の差に留まらない。

6.1 感度特性

DSCが銀塩カメラと決定的に異なる点として、銀塩カメラでは画像を作り出すための装置（カメラ）と、記録媒体（フィルム）が別個になっており、一台のカメラで種々のフィルムを選ぶことが可能であるのに対してDSCでは、それ自体が撮影用および記録用の機器となっていることが挙げられる。

銀塩カメラにおける画像の最適露光は、カメラ本体の光学系の明るさを表すF値と、フィルムの感度指数を表すISO値の組み合わせで選択できる。手で露出を合わせる場合、フィルム感度に合った適切な露光量が、推奨露光指数として与えられる。

これに対して、DSCでは使用するイメージセンサを換えることができないため、撮影時の最適露光は、使用するDSCにより決まる。

スタジオ撮影などのように、強力な照明を用いてDSCのイメージセンサが飽和する寸前までの入射光を取り込む場合には、推奨露光指数は用いるDSCのイメージセンサを飽和させる光量から導き出される。

一方、比較的光量の少ない被写体を撮影する場合には暗部におけるノイズが問題となるため、推奨露光指数はノイズの量から算定される。

また、一般的な撮影の場合においては、被写体の照度分布の中間付近の照度でイメージセンサの出力が飽和値の半分程度になるように推奨露光値が定められる。

また、センサの特性の差によって、フィルムカメラとDSCとは設計上、カメラの特性上、および構造上で基本的な差が生じる。

フィルムには、カプラという色素を含んだハロゲン化銀乳剤が塗布されていて、感光すると銀分子がカプラと共に析出する。現像工程で銀分子を取り去れば、カプラだけが残り発色する。

露光量（入力）をH、カプラの濃度（出力）をDとすると、ある範囲にわたって

$$D = \gamma \times \log(H)$$

なる関係が成立する。この関係が保たれる露光範囲、すなわち適正露光範囲をラティテュード (latitude) という。図6.1にネガフィルム、リバーサルフィルムおよびDSCに用いられるイメージセンサの感度特性を模式的に示す。

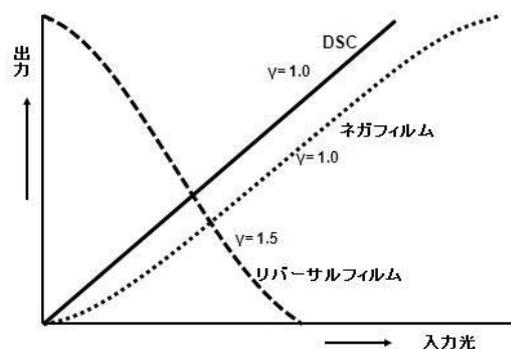


図6.1 感度特性の模式図

γ が大きいと露光量の差に対する感光度の差が大きくなり、いわゆる硬い画像となり、逆に γ が小さいと広い露光範囲を狭い出力範囲で表すこととなり、軟調の画像となる。ネガフィルムの感度特性においては一般に γ は小さく、更に全体的にS字特性を持っているために、露光範囲をより広くとることができる。一方、リバーサルフィルムでは $\gamma=1$ に近い部分を使用し、この範囲の露光、いわゆる適正露光範囲もネガフィルムに比して狭い。

このため、一般のスナップ写真などでは、適正露光

を重視しなくても現像段階である程度の露出補正が可能なネガフィルムが多く用いられ、印刷や画像資料として露光量に応じた正確な出力が要求される場合にはリバーサルフィルムが用いられる。

すなわち、ネガフィルムの場合は被写体の情報をなるべく多く取り込むことを重視するのに対して、リバーサルフィルムの場合は人間の視感度特性に近い感光特性を有しているため、スライド映写機などを用いた透過光の特性は自然に近いものが得られるが、適正露光範囲が狭いため、ダイナミックレンジの広い被写体の撮影には不向きであるし、被写体を適正露光範囲に保つための照明を要することもある。この意味で、ネガフィルムは被写体指向 (scene referred) のフィルムであり、リバーサルフィルムは出力指向 (output referred) のフィルムである。

一般的な民生用DSCの場合、イメージセンサは $\gamma = 1$ で出力は8ビットであるから、出力の範囲は1:256つまり、約24dBとなる。このため、コンパクトDSCではネガフィルム特性に近づけるために、電氣的にガンマ特性を付加している。

また、図7.8に示す富士フィルムのスーパーハニカムSRのように、サイズの異なる二種類の単位センサ(セル)を組み合わせることにより、latitudeを拡大する効果を狙ったイメージセンサもある。

前述のように、フィルムはカプラをハロゲン化銀の乳化剤で包み込んで塗布したものであり、銀の粒子は不規則に並んでいる。これに対してDSCに用いるイメージセンサは規則的に配列されているため、入力信号(画像信号)の空間周波数との間に混変調歪(modulation)を生ずる。これはDSCにおける光学的低周波濾過フィルタ(optical low pass filter)が不可欠な理由である。

6.2 シャッター遅延

DSCでは、一般にシャッターを半押しにした状態でフォーカス合わせが行われ、更に押し込んだ状態(深押し)でシャッターが作動する。しかし、半押し状態から深押しをした時に、直ちにシャッターが作動せず、露光の時間遅れを生ずる場合がある。特に周囲の光量が不足しているときに、この遅れを感じる人が多い。

DSCの場合は半押し状態でイメージセンサの出力を焦点距離測定のために画像処理とは別系統の回路を用いて使用し、その結果得られた適正焦点距離に光学系を機械的に駆動して合わせている。距離の測定に用いられたイメージセンサの信号は、シャッターの深押し

の前に全て破棄されなければならない。これらの動作のために遅延が生じるが、技術的な改良の結果、この遅延は徐々に改良されている。

6.3 スミア(smear)

イメージセンサとして用いられるCCDでは、入力光の強度に応じて各セルに発生した電荷は、バケツリレーのように、まず垂直方向に伝送され、その後水平方向に伝送される。このとき、もしある一つのセルに過大な入力光が入射して、発生した電荷量がセルに収まりきれなかった場合、余剰電荷が垂直方向の各セルに重畳され、結果として画面上に白い線状のパターンが現れる。これをスミア(smear)とよぶが、これは電荷をリレーする構造のCCDに特有のものである。これを防止するためには、機械的シャッター(メカニカル・シャッター=mechanical shutter)を用いて過剰な入力光を遮断する。

6.4 カラーフィルタ

DSCの色フィルタには原色フィルタ(R=red, G=green, B=blue)と補色フィルタ(C=cyan, M=magenta, Y=yellow, G=green)の二種類がある。PCなど、原色信号を扱う機器との整合性を重視する場合は原色フィルタが用いられ、民生用のDSCの殆どは原色フィルタを用いている。一方、補色フィルタの場合は人間の視感度の高いG信号を用いて見かけの解像度を向上できるなどの特徴を持っている。いずれの場合も、表示色域は出力信号の計算によって変えることができ、また、異なる色表示系に変換することも可能である。このため、DSCでは出力信号を調整することにより、白色点を変える(white balance)ことができるものが多い。これは、フィルムカメラではできなかった機能である。

6.5 手ぶれ補正

殆どのDSCにおいては背面に液晶ディスプレイを備えており、撮影の際にはディスプレイを見るために腕を伸ばして撮影することが多く、このために手ぶれがおこり易い。フィルムカメラでも手ぶれ補正装置を備えたものはあるが、DSCでは多くの機種がこの機能を具備している。

手ぶれ補正には、電子的手法と光学的手法とがある。電子的補正はDSCに特有のもので、イメージセンサの

各セルの出力から補間処理によって手ぶれを除去するものである。一方、光学的補正は、ジャイロなどの信号を参照して、光路が一定に保たれるように光学系を制御するもので、光学系自体を駆動する方法や、偏光板などを用いて光路を制御する方法が知られている。

6.6 筐体の薄型化

フィルムカメラの場合は、カメラ本体を、マガジン（フィルムが装填されている容器）の太さ以下にすることはできなかった。一方、DSCの場合は厚さを制限するものが無いため、イメージセンサの配置法に工夫をすると、反射鏡などで光路を曲げることにより薄型化を図ることができる。

2002年に発売されたミノルタのディマージュXはプリズムで光路を90度曲げることにより、本体の厚さを20mmにしている。このように、フィルムカメラでは考えられなかったワイシャツのポケットに収まるような薄型DSCも可能となった。

6.7 レンズ一体型一眼

一眼レフカメラでは、イメージセンサへの入力信号を、反射鏡を用いて実像として結像したものをファインダーで覗く構造になっている。この方式では、入射光の光路は、シャッターを切る瞬間にイメージセンサへの光路に切り替えられ、ファインダーの像が消えるという欠点がある。富士フィルムが開発した方式などでは、一眼レフ型のファインダーで小型CCDディスプレイの画像を見る構造となっている。光学的な実像を観察するものではなく、解像度もピントグラスより落ちるが、シャッターを切った瞬間でもファインダーの画像が消えないという特徴を持っている。

6.8 消費電力

最近のフィルムカメラにおいても、オートフォーカス、ズーム、露光調整、フラッシュなどの機能が電子化され、また、連続撮影機能を有するカメラではフィルムの送りが電子化されていて、いずれも電池を必要としている。しかし、DSCにおいては、フィルムカメラの有する諸機能の他に、イメージセンサ、画像処理用LSI、およびメモリの書き込みや読み出しのためにフィルムカメラ以上に電力を消費する。この問題を解決するために、電子回路の低消費電力化や電池の長寿命化が図られている。

6.9 オートフォーカス

フィルムカメラのオートフォーカス（自動焦点合わせ）には、カメラから超音波や赤外線などを放射して被写体からの反射を受けるまでの時間から距離を測定するアクティブ方式と、光学的に焦点を合わせるパッシブ方式がある。パッシブ方式は、コニカミノルタ（コンパクトカメラ用が旧コニカ、一眼レフ用が旧ミノルタ）が世界で初めて実現した機構であり、アクティブ方式がガラス越しの撮影での測距が不可能である欠点を解決した。

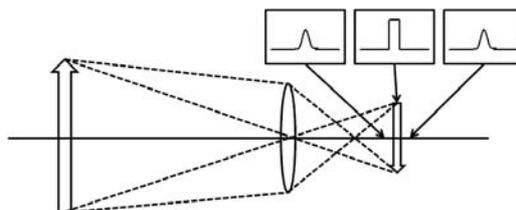


図6.2 オートフォーカスの原理

被写体の空間周波数に対する応答は、図6.2に示すように、焦点が合っている場合に最も高く、焦点からずれるに従って低下する。この原理を利用して、レンズの位置をずらしながら、空間周波数応答が最大になる位置を求めれば適正なフォーカスが得られる。ただし、被写体の空間周波数が特定できないような被写体、例えば単一色の壁などの場合には適正焦点位置を求めることは困難となる。

フィルムカメラの場合には、この焦点合わせのためのセンサが必要となるが、DSCではイメージセンサの出力をそのまま焦点合わせに利用できるため、フォーカス専用のセンサは不要となる。

6.10 デジタルズーム

DSCにおいては、機械的にレンズの焦点距離を変えることによるズームの他に、イメージセンサに結像した画像の中心部分を電子的に拡大して出力することにより望遠効果を得る電子ズーム機能を使うことができる。

例えば400万画素のイメージセンサの中央の100万画素を拡大して出力すると、縦横共に2倍に拡大された画像となり、焦点距離が2倍のレンズで撮影した画像と同等の画角となる。この電子ズーム機能により、DSCは銀塩カメラより遙かに広いズーム範囲を実現することが可能となった。

ただし、上記のように望遠の倍率を上げるほどイメ

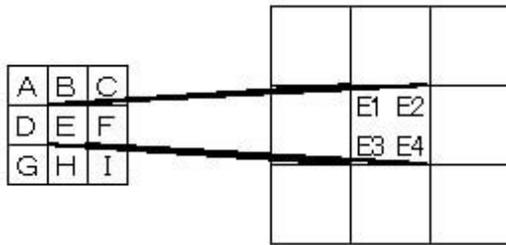


図6.3 デジタルズーム

ージセンサで使用する画素数は減少し、そのままでは画像のモザイクパターンが大きくなる。

図6.3の場合では、イメージセンサのセルEの信号はE1, E2, E3, E4の4つの画素信号に拡大表示されることとなり、ジャギーな (jaggy = ギザギザな) 粗い画像となる。これを改良するために、例えばセルEおよび隣接するA, B, C, D, F, G, H, Iのセルの信

号から計算でE1からE4に相当する位置の信号を求めなどの画像補間技術を用いている。しかし、拡大率を大きくすると情報源となる元の画素数は少なくなるため、光学ズームによる望遠映像と比較すると画質の劣化は大きい。

DSCのデジタルズームや、画面サイズを変更する場合には、画面を構成する画素の数を連続的に変更する必要がある。これもデジタルフィルタ技術を用いて、新しい画面上の画素の位置の情報を、元の画面から補間して生成する。これにより、画像を拡大した場合のジャギー (ぎざぎざ) を低減することもできる。

DSCにおいては、レンズの焦点距離を変えることによるズームの他に、イメージセンサに結像した画像の中心部分を電子的に拡大して出力することにより望遠効果を得る電子ズーム機能を使うことができる。

7 | DSCの関連技術とその系統化

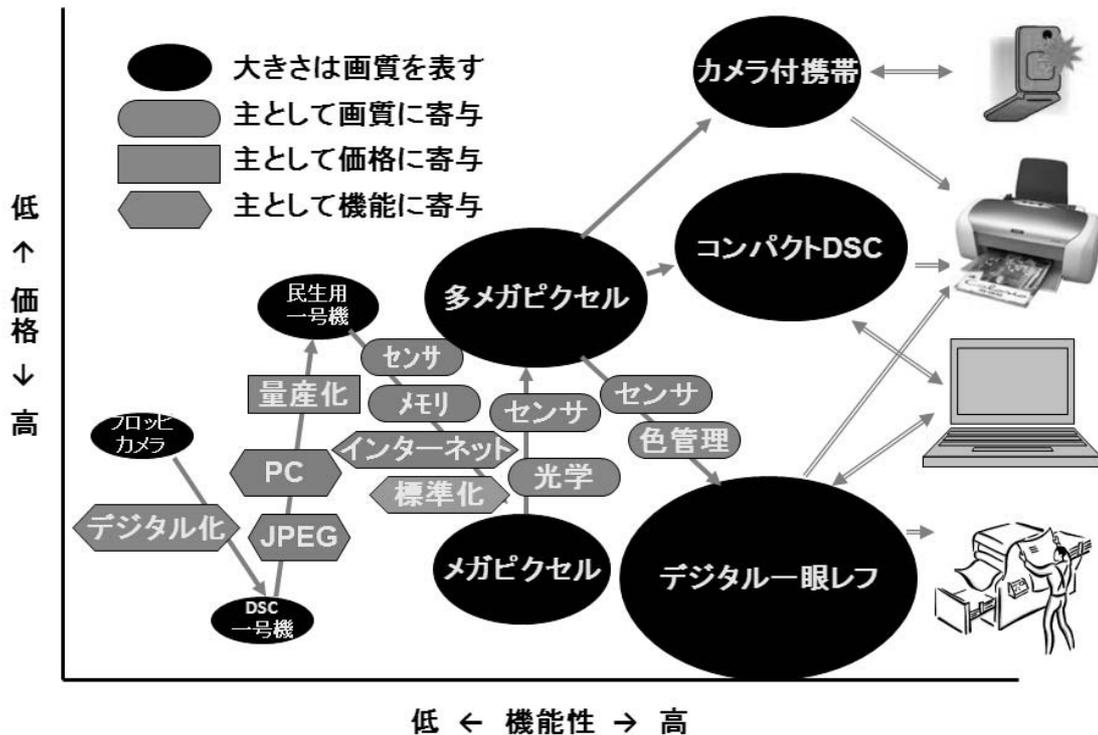


図7.1 DSCの展開

DSCの発展に寄与した技術としては、

1. 半導体技術
 - (1) メモリ
 - (2) 撮像素子
 - (3) 専用LSI
2. デジタル信号処理技術
 - (1) 画像処理
 - (2) 画像圧縮
 - (3) コンピュータ用OS、画像処理ソフト
3. 色再現管理技術
4. PCおよび、プリンタなどの周辺機器

などが挙げられるが、従来の銀塩カメラで培ってきたレンズ設計等の光学技術や精密機械技術もDSCで活かされてきた。これらの中の主な技術について概要を述べる。(図 7.1)

7.1 撮像素子 (イメージセンサ)

DSCの発展に寄与した技術の中でも特記されるのは半導体である。とくに撮像素子とメモリはDSCの民生機器としての発展に大きな貢献をした。最初に撮像素子の技術進歩について述べる。

7-1-1 多画素化

1988年に試作された最初のDSCであるDS-1Pおよび翌1989年に初めて市販品として発売されたDS-X (IMC-100) は共に40万画素のCCDを用いた。

これらのDSCは、テレビでの再生を目的としていたため、VGA (Video Graphic Array) 並の307,200 (640×480) 画素で十分との設計思想によるものであった。

1995年に市販されて民生市場を拓く牽引者となったカシオのQV-10および翌年発売されたQV-10AはPCのディスプレイ上の再生を意図していたが、記録画素数は25万画素であった。

PCのディスプレイで再生するのであれば、VGAより高精細なSVGA (Super VGA = 800×600), XGA (eXtended Graphic Array = 1,024×768), SXGA (Super XGA = 1,280×1,024), UXGA (Ultra XGA = 1,600×1,200) などの画素数での再生が可能であり、画像処理によって分割表示や拡大表示をする場合には画素数に制限を生じない。

また、画像をプリントアウトしてみる場合にはテレビの画像並では不十分で、手札版の大きさで約100万画素は必要である。

このような要求に沿って、1997年にはFujix DS-300

(富士フィルム)、Camedia C-1400 (オリンパス)、Konica Q-M100 (コニカ) など、100万画素を超えるCCDを備えたDSCが発売され、翌1988年にはEOS D2000 (キヤノン)、Dimage RD3000 (ミノルタ)、FinePix700 (富士フィルム)、Nikon D2 (ニコン) など200万画素を超えるDSCが発売された。

その後、DSCの画素数は年を追って多画素化に進み、2007年時点で1000万画素 (10MPixel) を超える機種も発売されている。

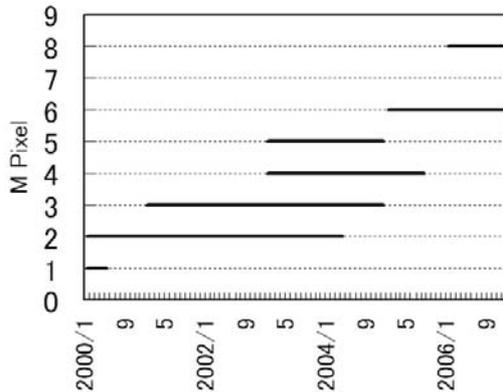


図 7.2 多画素化の動向⁽¹⁾

多画素化を図るには、

1. 単位セルの寸法を小さくする
2. イメージセンサ全体の寸法を大きくする

の二つの手法が考えられる。しかし、単位セルを小さくすると、同じ光量に対するセル当たりの発電量が低下するため、入力光が無い場合の暗電流によるノイズを減少しなければ、信号対雑音比 (SNR = S/N Ratio) が低下してノイズの多い画像となる。

また、イメージセンサ全体の寸法を大きくすると、完全に欠陥の無いイメージセンサが得られる歩留りが低下する。1992年のIS&T (Society for Imaging Science & Technology) では、イメージセンサの歩留まりはサイズの3乗に逆比例するとの発表もあり、これによると寸法を2倍にすると歩留まりは1/8に低下するため、大型のイメージセンサは実用品としては成功しないだろうとの見方もあった。

大型のイメージセンサを可能にしたのは、欠陥セルの信号を隣接セルの信号から得る画素補間技術により、ある程度の欠陥セルがあっても商品として使用できるようになり、イメージセンサの低価格化が図れたからである。

CIPA (有限責任中間法人カメラ映像機器工業会) で公開しているDSCの統計は画素数別に区分されているが、この境界となる画素数は2000年には [1M未満、1M~2M、2M以上] であったが、2006年からは [6M未満、6M~8M、8M以上] と大きく変更されており、

DSCの多画素化の流れを表している。図7.2にこの境界の推移を示す。

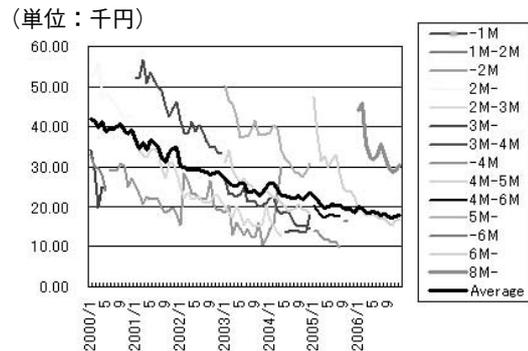


図 7.3 画素数の変遷⁽²⁾

図7.3にイメージセンサの有効画素数別のDSCの平均価格の推移を示す。同一画素数のDSCの価格は年ごとに下落しているが、多画素化した新製品を主力製品とすることにより、DSC全体の市場を支えている。

7-1-2 DSC専用メーサセンサの開発

一枚の画像は画面を細かな画素に分割し、各画素の信号を順次取り出して構成される。この信号の取り出し過程を「走査」と呼ぶが、走査には図7.4の左に示す「飛び越し走査 (interlace scan)」と、右に示す「順次走査 (progressive scan)」とがある。

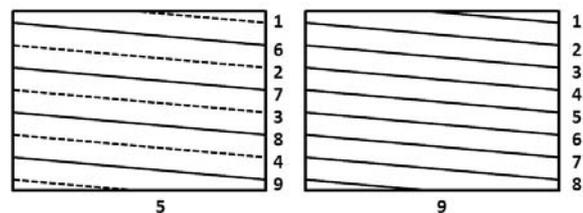


図 7.4 飛び越し走査 (左) と順次走査 (右)

映画やビデオは、静止画を連続して提示することで人間の目に動画として認識させるものである。人間の目の特性は静止画が提示される時間間隔が短いほどチラつきの少ない滑らかな動きとして捉えることができ、その時間間隔は約1/50である。したがって家庭用のビデオムービーカメラではチラつきの改善を重視して飛び越し走査を採用し、約1/60秒で図5.2の左に示す実線の走査を行い、次の約1/60秒で点線で示す走査を行う。それぞれの走査は、奇数走査 (odd scan) および偶数走査 (even scan) と呼ばれ、得られる画像は奇数フィールドおよび偶数フィールドと呼ばれる。

飛び越し走査を行うと、図7.4の右に示すように全画面 (フレーム) を順次に走査して約1/30秒ごとに提示するプログレッシブ方式よりもチラつきの少ない、滑らかな動きと認識される。



図7.5 動体を飛び越し走査で撮影

ところが、飛び越し走査では奇数フィールドと偶数フィールドの走査に時間差が生じるため、図7.5に誇張して示すように動いている被写体を写すと、画像にずれが生じる。

初期のDSCでは、後述のようにCMOSセンサの性能が低かったため、ビデオムービーカメラ用の飛び越し走査型CCD (IT-CCD=Interline Transfer CCD) を使っていた。しかし、IT-CCDをそのまま静止画記録に用いると、上記のような問題が生じる。

DSC用CCDとしては、このような欠点を除くために、電荷転送部にフレーム蓄積部を設けたFIT-CCD (Frame Interline Transfer CCD) も開発されたが、構造が複雑になり、同サイズのIT-CCDに比して感度が低下するという欠点もある。

したがって、CCDを用いたコンパクトDSCではFIT-CCDを用いるか、IT-CCDを用いて機械的なシャッターを用いて、全てのセルを同時に感光させた後に、インターレースで読みだす方法をとっている。

ビデオカメラでは、カメラを横向きにして撮影することがないが、DSCではポートレートなどの場合に縦長の画像を撮ることがある。ビデオカメラのイメージセンサのアスペクト比 (イメージセンサの1セルの縦横比) は、信号処理の容易さから非正方形素である。

第3章で述べたように、孤立波の集合であるイメージセンサの出力は、フーリエ変換によりイメージセンサ内における連続周波数スペクトラムの集合に置き換えられる。

したがって、図7.6に示すように間隔 T_1 で配列されているイメージセンサの各セルの出力を連続信号化した後に、縦方向と横方向とを同じ間隔 T_2 でサンプリングし直す (リサンプリング=resampling) ことにより、正方形素のイメージセンサを用いた時と同じように扱うことが可能となる。

この信号処理は、イメージセンサ上の各セルを一定時間間隔 t_1 で読みだした信号を低域通過フィルタを通した後に縦方向と横方向に共通な時間間隔 t_2 で切り出すことにより得られる。

しかしながら、このようにして非正方形素のイメージセンサを用いて正方形素相当の信号を作り出すこと



図7.6 セル出力のリサンプリング

はできるが、この場合、縦横の最高空間周波数が異なるため、解像度が縦方向と横方向とで異なってしまいます。

したがって、DSCではイメージセンサのセルは正方形であり、かつ全てのセルが同時に感光する形態のものが望まれる。このような目的から、DSC用のイメージセンサを独自に開発する必要があったが、まだDSCの市場が立ち上がっていなかった1990年代初期において、DSC用途だけを目的として新しいイメージセンサを開発することは困難であった。

7-1-3 CMOSイメージセンサの実用化

CMOSセンサの場合、CMOS ロジック部分を同一基板上に構成することが可能であり、電源部がCCDに比較して簡単になること、CCDの場合に生じるスミア (強い光によりCCDの電荷蓄積部に入りきれない電荷が生じた場合、隣接するセルにあふれこみ、結果として直線上の光の筋が画面に生じる現象) が生じないことなどから、多画素イメージセンサ用の素子として期待されていた。

しかし、CMOSでは各素子を個別に読み出すため、動いている被写体を撮影する場合、各セルの読み出し時刻が異なるため、そのままでは像に歪みが生じる。これを防ぐためにCMOSでは機械的なシャッターが不可欠となる。

また、前章で述べたように、CCDではバケツリレーの最後の段階で、一つの増幅器で信号を増幅するのに対して、CMOSセンサでは各セルごとに増幅器が付属しているため、各セルごとのばらつきを抑えることが困難であった。したがって、CCDは消費電力が大きく、複数の電源が必要となり、高速化が困難であるなどの欠点を持ちながらも、長く使用されてきていた。

一方、キヤノンはCMOSセンサを独自に開発し、製造プロセスを改良するとともに各セルの暗電流を画像処理用のプロセッサに記憶してノイズを削減することにより、CMOSセンサの実用化に成功し、2000年に

APSサイズのCMOSセンサを用いた「EOS D30」を発売した。

これ以後、CMOSセンサは前記の特長を生かして、デジタル一眼レフカメラなどの多画素DSCに広く使われるようになった。

7-1-4 特殊配列イメージセンサの開発

富士フイルムは、スーパーハニカムCCDを2000年に開発して240万画素CCD市場で432万画素相当の縦横解像度を持つ「ファインピックス4700Z」を発売した。このスーパーハニカムCCDは、図7.7に示すようにフォトダイオードが市松格子状に配置されており、その開口形状は八角形という特徴がある。

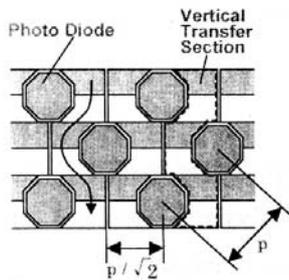


図7.7 ハニカムCCD (3)

蓄積された信号電荷は、IT-CCDと同様に垂直転送路で順次転送されるが、この垂直転送路がフォトダイオード間を縫うようにしてジグザグに配置されている。

この結果、ハニカムCCDは、従来のIT-CCDに比較して、フォトダイオード部の面積が大きく高感度となり、水平垂直の画素ピッチがIT-CCDの0.71倍であるため、水平垂直解像度がIT-CCDの1.4倍となる。また、自然界は水平垂直方向にエッジ部分が多く、人間の視覚特性も水平垂直方向の方が斜め方向よりも高感度であることから、視覚的にも高解像度感をもたらす。

さらに同社は2003年に、第IV世代「スーパーCCDハニカム」として「スーパーCCDハニカムHR」および「スーパーハニカムSR」を開発し、前者は「ファインピックスF410」、後者は「ファインピックスF700」に搭載して発売した。

図7.8に「スーパーハニカムSR II」を示す。これは、高感度のSセルとダイナミックレンジ拡大を図るためのRセルという面積の異なる二種類のセルを組み合わせ配置したハニカム構造を持っている。

これは、銀塩カメラ用のフィルムが、高感度の大型ハロゲン化銀粒子と、低感度だが光量が多いときに感光する微細なハロゲン化銀粒子が塗布されている構造に類似している。

すなわち、図7.9に示すように、Sセルで感度を向上

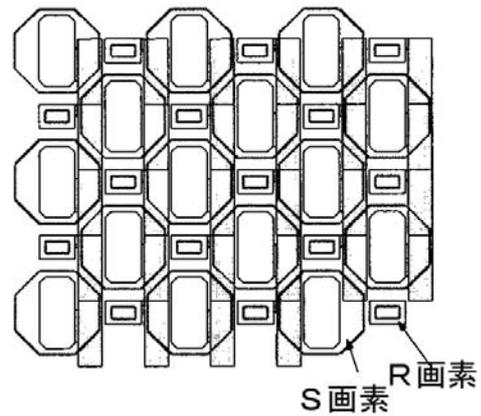


図7.8 スーパーCCD SR IIの構造 (4)

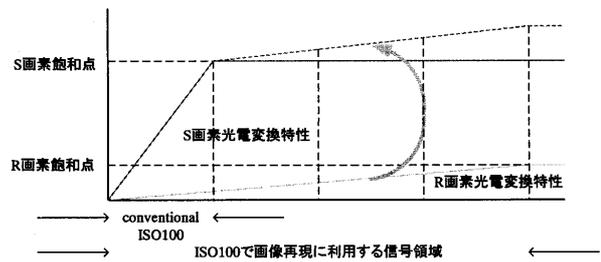


図7.9 スーパーCCD SR IIの特性 (5)

しつつ、RセルではSセルが飽和するような強い入力光に対応して、全体として広範囲な入力光に対して作動するように図られたものであり、同社の以前のものに比して約4倍のダイナミックレンジを達成した。

一方、Foveon社は、各原色に対応するセンサ層を重ねた多層構造にすることにより、解像度の向上を図った「Foveon X3 (図7.10)」を開発し、2002年に発売されたシグマの「SD9」に搭載された。

これは、銀塩カメラ用のカラーフィルムの構造と類似したものであり、各層のセル全体が一つの色に対応している。

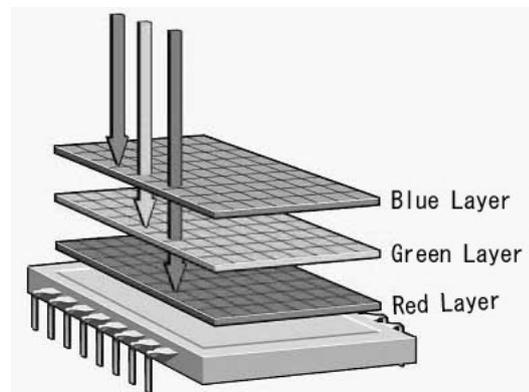


図7.10 Foveon X3の構造 (6)

7.2 フラッシュメモリの発明

DS-1PやDS-Xなど、初期のDSCの記録媒体は小型電池を組み込んだSRAMチップを組み込んだメモリカードカードであった。これはメモリカード内にバックアップ用の電池が必要であるだけでなく、記憶容量も2MB程度と非常に小さいものであり、撮影枚数は10枚程度であった。しかるに、小型長寿命で電源を必要とせず、書き換えが容易なフラッシュメモリ (Flash memory) が東芝で発明され、大容量のメモリが安価で供給されるようになってからDSCはその特長である経済性、即時性が更に強化されるようになった。

DSCが現在のような発展を遂げた原動力となった最大の技術は、このフラッシュメモリであると言っても過言ではない。

フラッシュメモリは、電子的消去可能かつプログラム可能な読み出し専用メモリ (EEPROM=Electrically Erasable Programmable Read Only Memory) の一種であり、単位メモリが一つの素子で構成されているため、単位メモリの面積が小さく、大容量のメモリチップの製造が可能である。

このフラッシュメモリは、1980年代当時東芝で半導体を研究していた舩岡富士雄氏 (現東北大名誉教授) によって発明されたもので、浮遊ゲート (フローティングゲート=floating gate) にトンネル効果を利用してチャージを蓄える新構造を持ち、国内外で高い評価を得ている発明である。

構造を模式的に図7.11に示す。

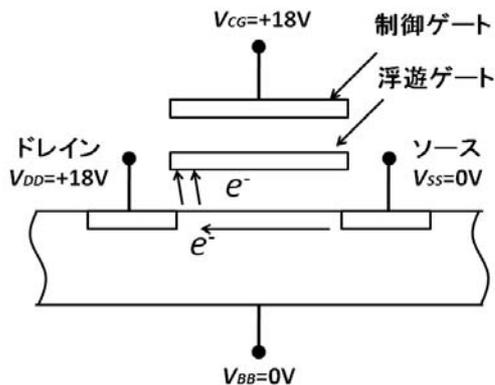


図7.11 Flash Memoryの構造 (7)

書き込み (W) 時は、ソースに0V、ドレインに18V、および制御ゲートに18Vの電位を与えてチャンネル付近の電子を活性化してホット・エレクトロン (Hot Electron) を発生させ、これをトンネル酸化膜を通して浮遊ゲート上に取り込む。この電子は周囲から絶縁されているため、半永久的にトラップされる。

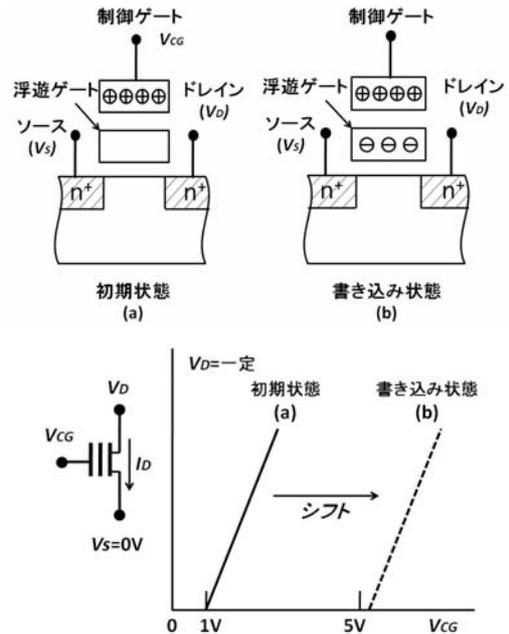


図7.12 Flash memoryの書き込み・読み出し原理 (8)

読み出し (R) 時の動作原理を図7.12に示す。グラフの横軸は制御ゲートに印加した電圧、縦軸はその時にソース、ドレイン間に流れる電流である。浮遊ゲート上に電荷が無い左図の場合、制御ゲート (コントロールゲート) に1V以上の電圧を印加すると電流が流れる。これを閾値電圧が1Vであるという。

一方、図7.12の上の図の右のように浮遊ゲートに電子がトラップされていると、制御ゲートに印加した電圧は、最初のうち浮遊ゲートの電子にとられてチャンネルまで影響しないため、ソース、ドレイン間に電流が流れるのは制御ゲートに6V以上の電圧を印加した場合となる。したがって、制御ゲートに1Vから6Vの電圧を印加して電流の有無を調べることにより書き込まれた信号が0か1かを読み出すことができる。

消去 (E) 時は、図7.13に示すように、消去ゲートに正の高電圧を印加して浮遊ゲート上の電子を消去ゲートに掃き出す。

書き込みも消去もトンネル電流で行うため、消費電流は、それまでのSRAMよりも少なく、同容量のHDD (Hard Disk Drive) と比べても1/10程度である。

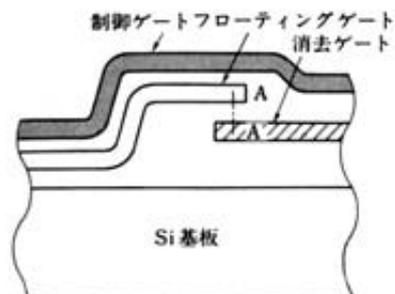


図7.13 Flash memoryの消去 (9)

舩岡氏は1980年頃にFlash Memoryの構造を発想し、1984年6月に国際デバイス会議 (IEDM) および国際固体回路会議 (ISSCC) に投稿した。

舩岡氏は、当初からFlash MemoryをHDDに替わる記録媒体と位置付けていたが、この開発を援助したのは社内でDSCを開発していた部門であり、この援助により1983年2月には4MBのNAND型Flash Memoryを試作し、1984年12月に発表し、85年2月のSan FranciscoのISSCC (International Solid State Circuits Conference = 国際固体素子回路会議) で発表した。

このFlash Memoryを用いて1Byte (8bit) 単位のメモリを構成する方法としては、NOR型とNAND型がある。

舩岡氏の説明では、NOR型は、一戸建て住宅のような、個別の玄関を持った構造であり、NAND型は集合住宅のように共通の玄関を持った構造である。

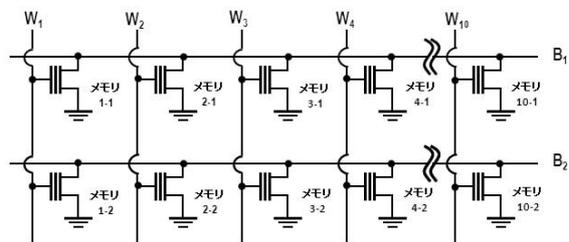


図7.14 NOR型構成⁽¹⁰⁾

NOR型のメモリは図7.14に示すようにビットラインBとアースとの間に一つのメモリセルが接続されている。

このため、一つのビットラインに接続されているどれか一つのメモリセルが導通すると、そのビットラインの電位が下がり、接続された全てのメモリセルは作動しない。選択されたメモリセルを作動させるには、そのメモリセルが接続されているビットライン以外のビットラインを全て導通にして、そのメモリセルの書き込み線Wをコントロールすれば良い。

一方NANDは図7.15に示すように、メモリセルが直列接続された形を持っている。

ある選択されたメモリセルの読み出し (R) あるいは書込み (W) を行う場合は、そのメモリセルのゲートに0V、他のメモリセルのゲートには5Vの電位を印加する。これにより、選択されたメモリセル以外はすべて導通状態となる。

読み出しの場合、もし選択されたメモリセルが0であればビットラインは非導通、1であれば導通となる。消去の場合は、すべての浮遊ゲートから電子を抜き取り、全ビットを1状態にする。

このNAND EEPROMはNOR型のようなランダムアクセス (Random Access) はできないが、小型で大容

量化が可能であり、消費電力が小さく、画像データのような一括書き換えのデータ蓄積に適している。

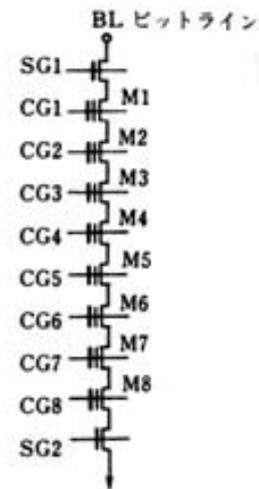


図7.15 NAND型構成⁽¹¹⁾

7.3 メモリカード

7-3-1 PCカード

1985年にJEIDA⁽¹²⁾にICメモリカード技術専門委員会が設置され、メモリカードの規格審議を開始した。1989年には米国にPCMCIA⁽¹³⁾が設立され、同様の検討を開始したが、日本からの呼び掛けにより共同作業を進めることとなり、1990年に1993年に統一規格のPCカードが制定された。

初期のDSCでは画像の記録媒体として、SRAMを記憶素子としたPCカードが用いられた。SRAMは記録の保持のために外部から電圧を印加する必要があるため、このPCカードにはバックアップ用として小型電池が組み込まれていた。SRAMの記録容量は小さかったため、PCカードの記憶容量は2MB程度と非常に少なかった。

7-3-2 各種メモリカードの誕生

フラッシュメモリは、従来のSRAMに替ってメモリカードに採用された。同時に主としてラップトップPC用の標準カードとして普及していたPCカードの他にも、1994年にCF、1995年にSM、1997年にMMC、1998年にMSと、いくつかのメモリカードが発表された。

これらのメモリカードの内、CFは大容量でATA互換、SMは薄型でメモリのみの内蔵、MSはシリアルI/Oという、それぞれの特長をもっており、DSCメーカーは、それらの特長を吟味してDSC用記録媒体を選定していた。

以下に、1990年代後期にDSCに採用された主流のメモリカードであるCF、SM、およびMSについて概要を述べる。

1. CF：CompactFlashは、1994年にSanDisk社が提唱し、CFA（CompactFlash Association）で仕様が決められた。図7.16にブロック図を示す。

外部入出力はATA規格に準拠しているため、ホスト側からはHDDと同じように扱うことができる。内蔵するメモリの特徴はコントローラで吸収されるので、ホスト側には影響を与えない。また、大容量のメモリを内蔵することが可能であり、簡単なパッシブアダプタを介してPCカードスロットに接続可能である。

外形寸法は、42.8 (W) × 36.4 (L) mmで、厚さ3.3mmのType Iと、5mmのType IIがある。

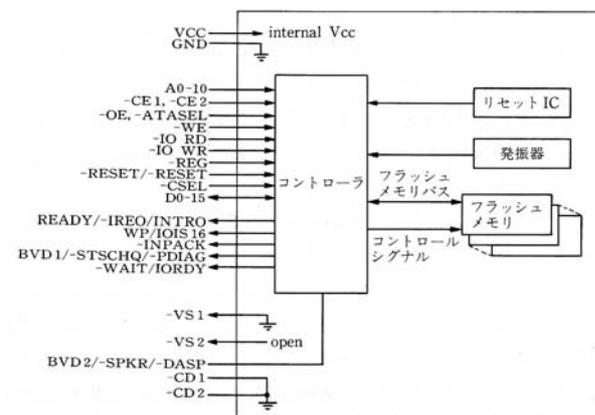


図7.16 CFカードブロック図⁽¹⁴⁾

2. SM (SSFDC = Solid State Floppy Disc)：Smart Mediaは1995年に東芝が発表した切手サイズの小型・薄型のNAND型Flashメモリカードで、形状は37 (W) × 45 (L) × 0.76 (T) mm、容量は2MBから128MBで、容量に依存せず共通の22ピンインタフェースを持つ。このインタフェースは、図7.17に示すように8ビットの平行のバスで構成されるI/Oインタフェースで、2本のI/Oアドレスの割り

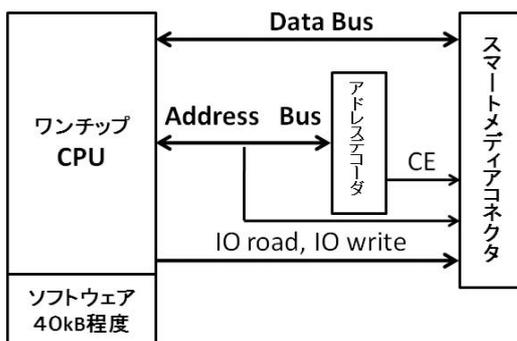


図7.17 スマートメディアインターフェイス⁽¹⁵⁾

付けで制御可能である⁽⁴⁾。

このSmartMediaは非常に薄いという長所を持つが、容量を増加させたい要望とセキュリティ向上のために、東芝はSMの後継機種としてxDカードを発表し、同時に松下と共同でSDカードも発表した。

3. MS：Memory Stickは1998年にSonyから発表された。ホストとのインタフェースにバスステートコントロール式シリアルインタフェースを持つことを特徴としている。図7.18にブロック図を示す。

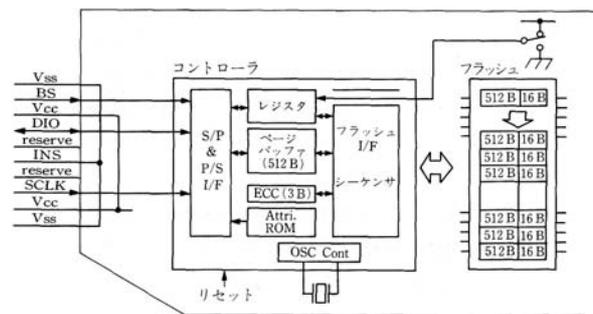


図7.18 Memory Stickブロック図⁽¹⁶⁾

このMemory Stickファミリーは、大容量化と転送速度の高速化を可能にしたMemory Stick PRO、小型化したMemory Stick Duo、更に小型化したMemory Stick Micro (M2) というバリエーション展開を行っている。

記録媒体によって記録される画像のフォーマットが異なるという事態は、DSCの使用者にとって非常に不便であり、更には記録媒体とそれに付随するフォーマットの優劣に関する不要な論争が生じ、それによる消費者の買い控えを招く事態ともなる。

このような事態を回避すべく、日本から記録媒体に依存しないフォーマットExifおよびDCFを提案し、現在全世界中の殆どの民生用DSCで使用されることに成功している。

これらのメモリカードは、それぞれの外形や機能が異なるばかりでなく、それぞれのメモリカードを使用した場合のDSCの画像の構成法、蓄積法などのフォーマットも異なるものであった。

一方、各種のメモリカードを主体とする記録媒体は、現在でも使用するメモリチップの差の他に、メモリコントローラを内蔵するか、セキュリティ機能を持つか、などにより、幾つかの種類のもが市場に出され、それぞれの特長を活かして利用されている。現在ではハードディスク (HDD) と同等の容量を持つものも市販されているが、DSCで使用する場合、カードが異なっても、記録される情報はどのメモリカードを使用しても同じである。

2008年現在、主なメモリカードとして表7.13に示すものが挙げられる。

表7.1 主なメモリカード

大分類	製品
CompactFlash	I
	II
SmartMedia	SmartMedia
MMC	MMC
	RS-MMC
	MMCMobile
	MMCplus
	MMCmicro
Memory Stick	Standard
	PRO
	PRO Duo
	PRO-HG Duo
Secure Digital	Micro (M2)
	SD
	miniSD
	microSD
	SDHC
	miniSDHC
xD	microSDHC
	xD
	Type M
USB flash drive	Type H
	USB flash drive

7.4 デジタル信号処理技術

A/D変換器でデジタル信号に変換されたDSCのイメージセンサ出力は、デジタルの特性を活かして様々な信号処理を施すことができる。

DSCでは画像をデジタル化して扱うことにより、銀塩写真では難しかった画像処理をDSC内部で行い、画質の向上やDSCの価格低下、および新しい機能の付加などに結び付けることが可能になった。

初期のDSCでは1チップマイコンと呼ばれる汎用のCPU（中央演算素子）を用いてこれらの処理を行っていたが、DSCが大量生産システムに乗るようになってからは画像処理エンジンと呼ばれる特製のLSIまたはDSC内のCPU（中央演算素子）で行われているが、画像処理の対象、画像処理のアルゴリズム等は、各社のノウハウであり、DSCの差別化要因の一つとなっており、各社とも専用のLSI開発に努力している。

以下、デジタル信号処理に採用された、いくつかの技術について述べる。いずれもデジタル信号処理ができるようになって初めて実用化できたものであり、DSCが従来の電子カメラとも一線を画するところである。

7-4-1 画像のエフェクト処理

DSCの空間周波数応答特性（SFR = Spatial Frequency Response）は、図7.22に示すように被写

体の空間周波数が増大するにつれて低下し、遮断周波数 f_c で応答は0になる。

f_c 以上の空間周波数に対して再び応答特性が現れるが、これは混変調によるものでアーティファクトと呼ばれるノイズの原因となるため除去しなければならない。DSCでは f_c 以上の空間周波数成分を遮断するために水晶などの複屈折を利用した光学的ローパスフィルタを装着している。

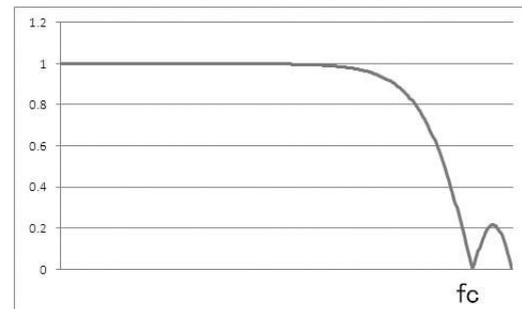


図7.19 周波数応答特性

一方、空間周波数応答特性において高周波成分が f_c で鋭利に遮断されていると、被写体の輪郭がはっきりしなくなり、視覚的に画像の甘さを感じる。これを補正するために、デジタルフィルタを用いて f_c 付近での空間周波数応答特性を持ちあげる輪郭強調が採用されることが多い。ただし、過度な輪郭強調は不自然となるため、どのような輪郭補正を施すかは各社のノウハウとなっている。

このような画像処理用は、各社独自のアルゴリズムを持つ専用のプロセッサで行われる。このプロセッサは、後述の画素補間にも用いられ、一枚のイメージセンサ基板上に何個かの不良セルがあっても、出力画像では欠陥画素を補完して表示できるため、イメージセンサの製造歩留りを大きく向上させることに寄与した。

7-4-2 イメージセンサの欠陥補正

イメージセンサの各セルは均一な特性を有することが必要であるが、すべてのセルに欠陥が無く、かつ均一な特性を有する大型のイメージセンサの製造上の歩留まりは極端に低く、商業としての採算には合わないと思われていた。

アナログ信号による静止画撮影においては、イメージセンサのセルに欠陥があると、そのセルに対応する部分の出力画像が欠落するため、そのセンサは不良品とみなされた。

しかし、セル全体の信号をデジタル情報として蓄積しておき、欠陥セルの周囲の情報を基に補間することにより、従来不良品とされていた欠陥セルを持つイメ

ージセンサが使えるようになり、DSCの価格引き下げに大きく貢献した。

一般に、この画素補間には

$$\sin(x)/x$$

の特性を有するフィルタが用いられる。これにより隣接するピクセルの情報を元に、欠陥ピクセルの位置の情報を補間する。これは、従来のVTRでは不可能であった技術であり、デジタルになって初めて実用化されたもので、DSCの価格引下げに対する寄与度は最大であったといっても過言ではない。

7-4-3 画素補間 (de-mosaicing)

一般のDSCは単板型のイメージセンサを用いており、イメージセンサの各セルの表面に色フィルターを備えて、特定の色（原色ではR、G、B、補色ではC、M、Y）だけを通し、例えばRのフィルタを備えたセルではR信号しか再生しない。

したがって、例えば400万画素の単板型原色イメージセンサを用いたDSCにおいては、一般にR100万画素、B100万画素、G200万画素となっている。

しかし、画像圧縮を行う場合や、外部へ出力する場合などには、各セルの位置における三原色全ての情報が求められる。このため、DSCではRの位置におけるGやBの信号も、近接したGやBの信号からデジタルフィルタの技術を用いて補間再生している。

また、画素補間により、例えば300万画素のCCDの出力情報を400万画素の記録画素数として出力するものもあるが、画素補間は新しい情報を生み出すものではなく、元の画像情報をいかに情報量を失うことなく、必要な形式に変換するかという技術であることに注意する必要がある。

7.5 DSC用光学技術

レンズ設計やフレア対策などの光学技術は、銀塩カメラにおいて長年にわたって培われてきた技術である。球面レンズにはサイデル (Philipp Ludwig von Seidel) が分類した5つの収差、すなわち球面収差 (Spherical Aberration)、コマ収差 (Coma)、非点収差 (Astigmatism)、像面湾曲 (Curvature of Field)、およびディストーション (Distortion) と色収差があり、これらを如何に抑えるかがレンズ設計の重要テーマである。

また、理想的なレンズの場合には点光源を被写体とした場合、完全に焦点が合った位置で撮像素子上に点として結像し、光源を前後に動かすと像がぼける。し

かし、実際には光源を前後に動かしても、許容できる範囲で結像が得られる。

この時の光源の許容範囲を被写界深度とよぶ。被写界深度は撮像素子の大きさにも依存し、撮像素子が小さいほど被写界深度は大きくなる。

35mmフィルムのサイズよりも小さな撮像素子を用いるDSCにおいては、35mmの銀塩カメラよりも被写界深度が大きくなるため、近接撮影などで効果を発揮する「ぼけ具合」が出しにくいという欠点もあった。この問題は35mm サイズ同等の撮像素子を使用した最近のDSC一眼レフカメラなどでは解決している。

初期のDSCの開発は、家電メーカーではビデオカメラ開発部門が担当することが多く、またカメラ会社では非主流であった電子技術者が担当することが多かった。したがって初期のDSCでは専用の光学系を設計することが困難であったため、既存のレンズ系を流用して光路を変換するためのリレーレンズと共に用いたものもあった。

東芝が開発したIMC-100の光学系は富士写真フィルムに依存し、IMC-200の光学系は光学専門の系列会社では取り上げてもらえず、レンズ専門会社に依頼した経緯がある。

DSCが急速に市場を伸ばし、それに押される形で銀塩カメラの市場が急激に低下する傾向が見られるようになってからは、各社において優秀な光学技術者がDSCの光学系設計に投入されるようになり、DSCの性能は著しく向上した。

7-5-1 斜め入射光

フィルムにおいては、発色を受け持つ感光層が層状に重なっているため、斜め入射光に対しては色の位置ずれの問題はあっても、受光効率は大きな影響を受けない。

一方、半導体イメージセンサの光電変換素子部は、図7.20に示すように層 (layer) 構造となっており、感光部である単位フォトダイオード (セル) は半導体基板上に設けられた井戸 (well) の底部に設置された形になっている。

このため、入射光がセルの垂直線からずれるとセルに届く光量が減少する。また、各セルに装着されている色フィルタは垂直線上からの入射光に対して効率良く、かつ正確な色フィルタとして作動するように設計されているため、斜め入射光に対しては光電変換効率が落ちるのみならず、正確な色再現にも支障をきたす恐れがある。

また、小口径のレンズの場合は、イメージセンサの

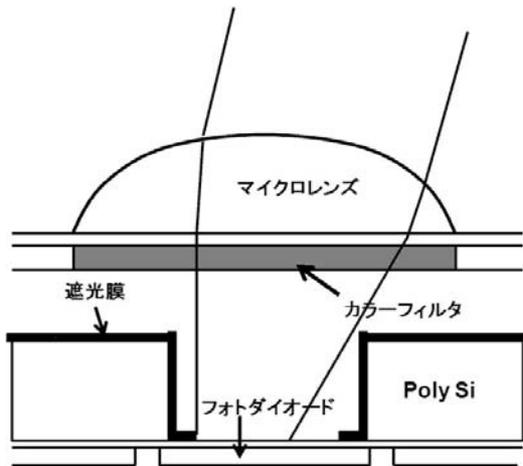


図7.20 斜め入射

周辺部では入射光が鉛直軸からずれて斜め入射となり、誤差が大きくなる。

したがって、DSCにおけるレンズ系は、イメージセンサに近いほど口径が大きくなるように設計され、イメージセンサへの入射光はなるべく鉛直入射となるように考慮される。

7-5-2 フレア

カメラの筐体内部は完全な暗黒であることが望ましいが、レンズを通して入射した光の一部は焦点面に置かれたフィルムやイメージセンサ上で反射して筐体内に漏洩する。これはフレア (flare) と呼ばれる現象であり、半導体イメージセンサの表面は、そのままではフィルムの表面よりも反射率が高いため、フレアを抑えるための表面処理などの対策が必要となる。

7.6 色再現管理

我々の周囲には電磁波が充満しているが、この中で人間の目が認識できる可視光の波長は短波長端が360~400nm (1nm=1/10⁶mm)、長波長端が760~830nmという電磁波の中の非常に限られた範囲内にすぎない。(図7.21)

人間の目の網膜上には、図7.22に示すように、杆状体細胞 (杆体=rod) と呼ばれる比較的弱い入射光の明暗のみを感知する細胞と、(錐体=cone) と呼ばれる比較的強い入射光の色を感知する錐状体細胞の二種類の視覚細胞がある。

錐体には、それぞれ赤 (R)、緑 (G)、青 (B) の光に反応する三種類があり、それらはほぼ32:16:1の割合で存在する。杆体の総数は約1億個であるのに対して錐体の総数は約700万個と少なく、図7.23に示すように、中心窩 (ちゅうしんか) と呼ばれる視軸の中

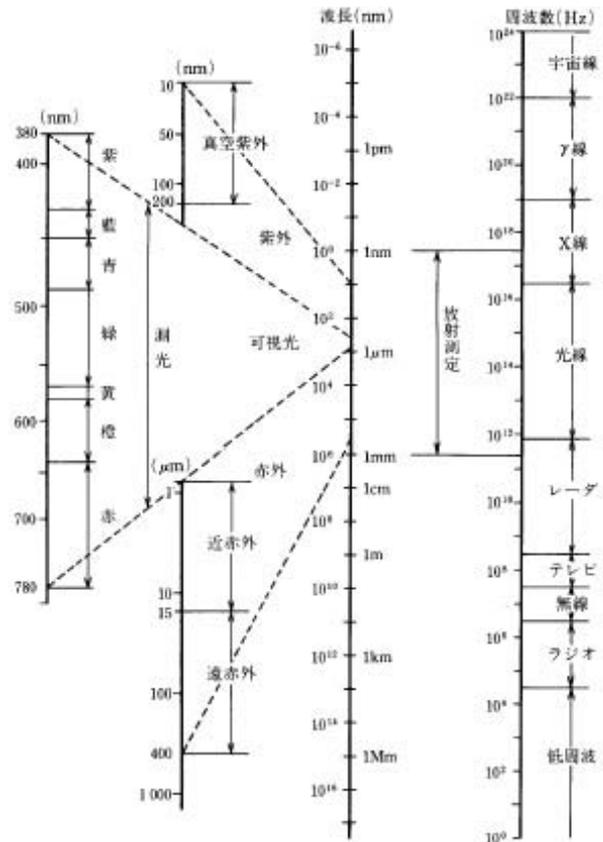


図7.21 電磁波の波長⁽¹⁷⁾

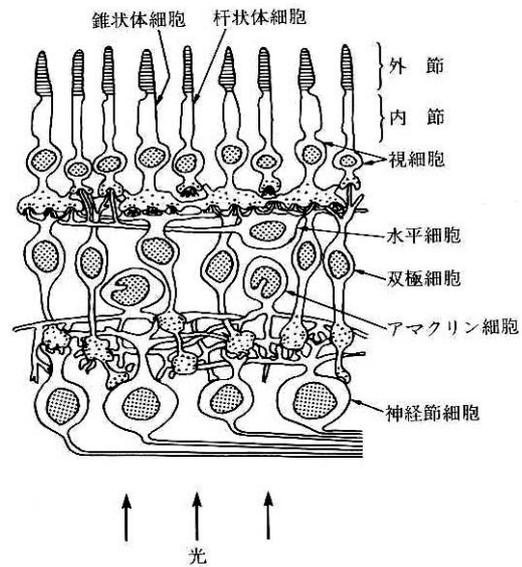


図7.22 網膜の構造⁽¹⁸⁾

心付近に集中している。

すなわち、多数の杆体で視野全体を把握するが、色の認識は主として視軸の中心部で行われている。

図7.22に示した外節の直径は、杆体が1~2μm、錐体が1~5μmである。因みに銀塩写真に用いられるハロゲン化銀の直径は0.05~3μmである。中心窩付近での視覚細胞の密度は1mm²あたり約6万個であり、DSCの約1,500 (1200万画素、35mmサイズ) やカラー銀

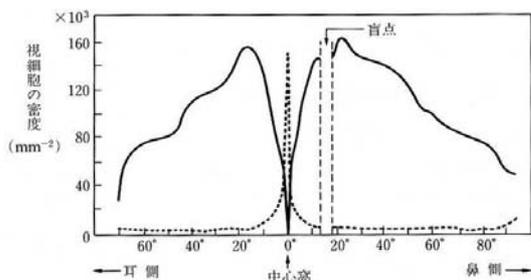


図7.23 杆体と錐体の分布⁽¹⁹⁾

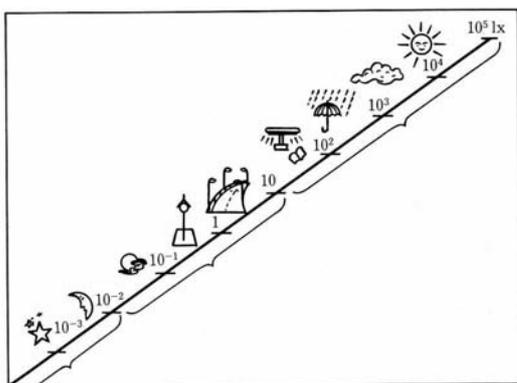


図7.24 明るさの目安⁽²⁰⁾

塩写真の約3万個より多い。

自然界の照度は、図7.24に示すように、真夏の海岸での直射日光下から、真夜中の星明りに至るまで、 10^5lx から 10^{-3}lx 以下に亘る、実に8桁、160dB以上の広範囲に及んでいる。

人間の目では、これら広い明るさの範囲に対して、瞳孔の開閉により光量を調節し、明るい範囲では錐体、暗い範囲では杆体が反応して、この広い照度範囲に対応している。

それに対して民生用DSCでは8bit、つまりそのまま使くと256階調、約48dBのダイナミックレンジしか持たない。DSCでは絞り調整により適正照度範囲に対応するように調節している。

すなわち、被写体の照度範囲に対応するためには、広い照度範囲を非直線的にダイナミックレンジを圧縮した符号化により取り込むか、あるいは目的とする適正照度を中心とする照度範囲のみを取り込む選択肢がある。

前者の場合は、適正露光値から外れていても、ある程度の補正が可能であるが、非直線性を用いた値のずれやノイズが生じる。一方、後者の場合は色再現の直線性は優れているが、適正露光値から外れた場合に修復不能な画像となる。

一方、人間の目における色の認識は、三種類の錐状体細胞によって行われることを述べたが、この三原色理論はDSCを始めとする画像分野で広く応用されている。

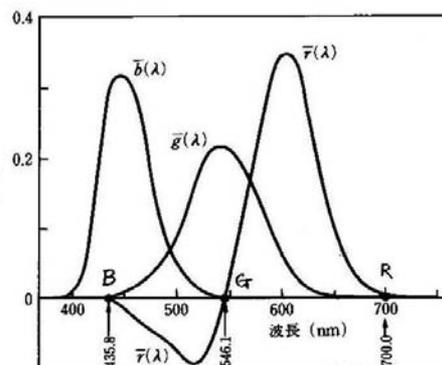


図7.25 RGB表色系における等色⁽²¹⁾

1931年に、CIE⁽²¹⁾は、原刺激と呼ぶR (700.0nm)、G (546.1nm)、B (435.8nm)の三つの単色光の混合により、任意の色と等しいと感ずることができることを示し「RGB表色系」とした。

しかし、図7.25に示すように、435.8nm~546.1nmの間は、Rを負（マイナス）にしなければならない。これは、対象となる色にRを混ぜた色と、G、Bとの適切な混色とが等しいと感ずることを表す。実際には負の色は存在しないため、そのままでは実現不可能である。このため、新たに理論的な色である原刺激 [X], [Y], [Z] を定めて負の領域が生じないように定めた「XYZ表色系」が導入された。この「XYZ表色系」における等色関数はx, y, zで表わされるが、一般的に

$$x + y + z = 1$$

として、x, yの二次元座標の色空間として表示する。

PCなどの情報機器ではR,G,Bの三色で色再現を行うものが多いが、テレビなどではコンポジット (composite) 方式といって明度信号 (Y) と輝度信号 (Cb, Cr) により色再現を行う。

DSCにおける色情報の再現も、人間の目と同じように三原色を用いて行われる。

DSCでは撮影用のイメージセンサはRGBの三原色、あるいはその補色である CMY (Cyan, Magenta, Yellow) フィルタを用いているが、JPEGはコンポジット信号対応なのでRGBからYCbCrに信号の変換を行う。

記録媒体に圧縮画像として記録する場合は、このコンポジット信号のまま記録するが、PC上で画像処理 (レンダリング = Rendering) を行う際には、RGB信号に変換する。

さらに、画像をプリンタで印刷する場合には補色信号系であるCMYに黒 (K) を加えたCMYK に変換しなければならない。この流れを図7.26に示す。

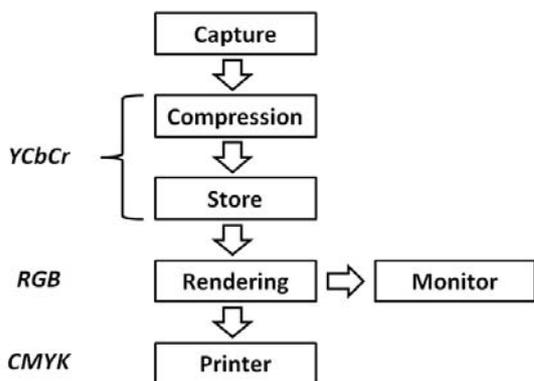


図7.26 DSCシステムにおける色表示系の流れ

Exifでは当初IEC TC100で定めたIEC61966-2-1 sRGBを採用していた。このsRGBはブラウン管モニターでの色再現性管理を目的として、ブラウン管の色再現特性に沿った仕様となっている。しかるにプリンタなどの出力機器ではブラウン管ディスプレイよりも広い色再現性を有しているため、sRGB系での色管理では不十分であるという意見が出てきた。このため、DCF 2.0からはDTP (Desk-top Publishing) などでよく用いられており、sRGBより広い色域 (Gamut) を持つ Adobe RGB もサポートすることに改訂された。

DSCは物理的な事象である被写体の画像をデジタル情報という形で論理空間内に蓄積し、論理情報として画像処理等を行った後に、ディスプレイ、プリンタ、PCなどへデジタル信号として出力する。

この間、物理的情報として視覚に働きかけるのは、DSCに装備されたLCDなどによるディスプレイのみである。

すなわち、図7.27に示すように、DSCにおける画像情報は論理領域内で処理されており、プリンタやディスプレイなどのインターフェイスを介して知覚に働きかける物理情報となる。

我々は、このインターフェイスを介して視覚化された物理情報によってのみ、画像を認識することが可能となるのである。

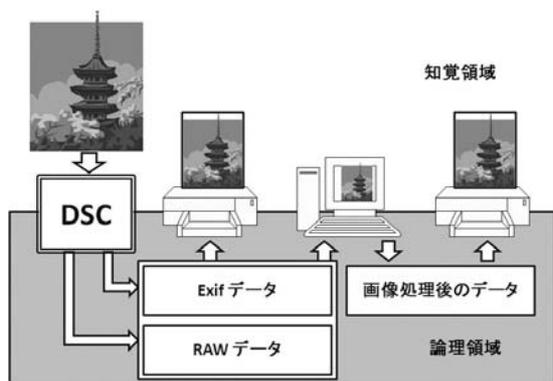


図7.27 知覚領域・論理領域の画像の流れ

色度、彩度、明度を含めての色を取り扱う色再現管理の概念には、被写体の色を何らかの形で忠実に取り込み、色再現は被写体を拠り所として行うインプット・レファード (Input Referred) と、撮影した画像を再生する機器を考慮して、再生環境に合った色再現性をもくろむアウトプット・レファード (Output Referred) の考え方がある。この概念をイメージステートと呼ぶ。これを表7.2に示す。

表7.2 イメージステート

Input Referred
Scene Referred . . . DSC
Original Referred . . . Copy, CG
被写体基準の色作り
Output Referred
出力装置基準の色作り

このイメージステートの考え方は、ISO/TC42内での国際規格化審議において生まれたものであるが、他の機器との接続や、画像情報の授受において非常に有効な考え方である。

また、インターフェイスを介して得た画像の、最も適切な色再現を行おうとする場合、その基準の拠り所として、

1. 被写体の色
2. 記憶している色
3. 好ましい色

の三種の選択肢が与えられる。

コピーなどのように、被写体が出力画像と同じ形態で与えられ、等価に評価可能な場合には「被写体の色」を基準にした色再現管理が可能となる。しかし、DSCのように三次元空間に存在する自然物である被写体をディスプレイあるいは紙による二次元媒体の画像として出力する場合は、照射光などの観察環境によっても評価条件が変わる。この場合、色再現管理は「記憶色」あるいは「好ましい色」を基準として行われる。

色再現領域内の色であれば、数学的演算により色を変換することも可能である。DSCの画像を取り込んで色を変えたり、効果を変化したりできるソフトウェアも数多く市場に出ている。

DSCによって取り込まれる色の範囲は使用しているフィルタの特性によって決定されるが、色空間としてsRGBを使用しているDSCにおいてもsRGBで定めているR, G, Bの範囲よりも広い色域を取り込むことができる。しかし、このDSCの色信号出力をsRGBで表記したときには、sRGBの再現範囲外の色域は削除される結果となる。

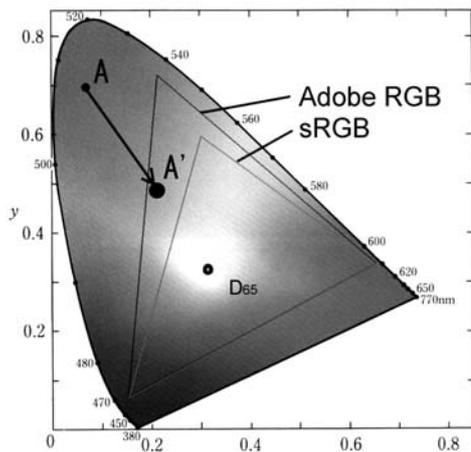


図7.28 Gamut Mapping

したがって、例えば図7.28に示すA点の色は、sRGBで再現する場合はA2C、AdobeRGBで再現する場合でもA1C点で飽和してしまい、例えばAdobe RGBの場合にはA点とA1C点との間の色の差が表現できない。これを避けるために、色変換の演算により、例えばA点の色をAdobe RGBの場合にはA1、sRGBの場合にはA2に置き換える作業（Gamut Mapping）を行う。

図7.29は、ISO 17321に記載されているDSCにおける画像処理のフローである。

イメージセンサの出力はA/D変換器を通過して、イメージセンサに固有の形式を持っているRAWデータ出力となる。このRAWデータはカメラ補正部により、

露出、ホワイトバランス（White balance）、イメージセンサの特性補正などを施した後に被写体を参照した画像編集（Scene referred editing）の対象となる。

ここまでの過程は、どのような機器を用いて出力されるのかは未知であるため、出力が何であるかを問わない入力側だけで行われる編集行程であり、シーンレファード編集（scene referred editing）と呼ばれる。

また、原紙をコピーするスキャナやCGなどの場合はOriginal referred editingと呼ばれ、この両者を合わせてInput referred editingと呼んでいる。

この工程を経た情報は、カラーレンダリング（Colour rendering）工程に導かれ、PCなどにより色調の補正などが施される。

Exifでは色空間として、当初IEC TC100で定めたIEC61966-2-1 sRGBを採用していた。このsRGBはブラウン管モニターでの色再現性管理を目的として、ブラウン管の色再現特性に沿った仕様となっている。しかるにプリンタなどの出力機器ではブラウン管ディスプレイよりも広い色再現性を有しているため、sRGB系での色管理では不十分であるという状況が生じてきた。このため、DCF2.0からはDTP（Desk-top Publishing）などでよく用いられており、sRGBより広い色域（Gamut）を持つAdobe RGBもサポートすることに改訂された。

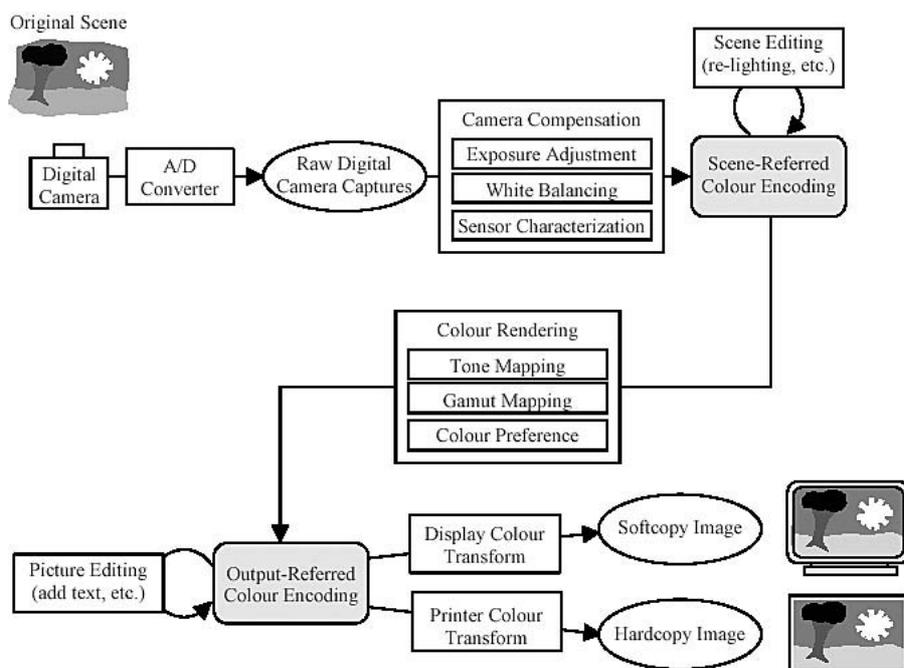


図7.29 画像処理のフロー

<注>

- (1), (2) CIPA統計資料より
- (3) 富士フイルム乾谷氏御提供
- (4), (5) 富士フイルム研究報告 No.50-2005「一眼レフ
用広ダイナミックレンジ撮像素子スーパー
CCDハニカムIIの開発」より、乾谷氏御提供
Design Rule for Camera File System、(社)
電子情報技術産業協会規格CP-3461
- (6) シグマ報道発表資料より
- (7), (8), (9), (10), (11)
舛岡富士雄著「躍進するフラッシュメモリ」
工業調査会より
- (12) Japan Electronic Industries Development
Association
日本電子工業振興協会、現在はEIAJと合併
して社団法人電子情報技術産業協会 (JEITA)
- (13) Personal Computer Memory Card
International Association
- (14) 「ファインイメージングとデジタル写真」
コロナ社 p.174
- (15) 「ファインイメージングとデジタル写真」
コロナ社 p190
SmartMedia仕様書 (SSFDCフォーラム 発
行 1999年版) 物理、電気、物理フォーマ
ット、論理フォーマット、インタフェース設
計ガイドライン、電圧容量表記ガイドライン
- (16) 「ファインイメージングとデジタル写真」
コロナ社 p180
- (17), (18), (19), (20), (21)
「色彩工学」東京電機大出版局より

8 画像圧縮およびフォーマット

8.1 画像圧縮とJPEG

100万画素のイメージセンサを持ち各セルの出力が1バイトであるDSCの出力情報量は単純計算により1メガバイトとなる。これは64MBのカードでは約64枚の画像しか記録できない。記録容量の限られたメモリカード内に、より多くの画像を記録したいという要求は大きく、これに応えるために、画像を効率的に、かつ劣化が少ない状態で情報量を削減する手法が開発されてきた。

画像圧縮手法としては、空間的圧縮、時間的圧縮、およびエントロピー圧縮がある。この内、静止画を扱うDSCでは、空間的圧縮とエントロピー圧縮が用いられる。初期のDSCではエントロピー圧縮の一種であるADPCMが採用された。これは隣接する画素の情報量の差が少ないことを利用して、各画素の信号をデジタル化した後に、第一の画素の信号と第二の画素の信号から第三の画素の信号を予測し、その予測値と実際の値との差を情報として扱うものである。

この他にも静止画の圧縮法としては、空間周波数成分に分解するフーリエ変換の一種であるコサイン変換（デジタルの場合は離散コサイン変換 DCT=Discrete Cosine Transform）やウェーブレット変換（wavelet transform=局所的なフーリエ変換）、周期性のあるパターンに分解するフラクタル（fractal）変換などが検討の対象となる。また、符号化した後の情報の冗長性を最小にするエントロピー圧縮は通信効率および記録効率を向上させるために有効である。

1986年に、画像圧縮方式の国際標準化を目的としてISO TC7 SC2 WG8とCCITT（International Telegram and Telephone Consultative Committee）SC VIIIとの合同委員会がISO/IEC JTC1 SC2 WG8の下にJPEG（Joint Photographic Experts Group）として結成された。

当初はヨーロッパからDCT方式、日本からVQ（Vector Quantization）方式、米国からは算術符号化方式（arithmetic coding）が提案され激しい議論が交わされたが、これを収束させたのは、当時のWG8の議長であったNTT武蔵野中研の安田浩氏であった。

安田氏の指導の下に、1992年に制定し、1994年にISO 10918-1として規格化された静止画圧縮方式（Digital Compression and Coding of Continuous-

Tone Still Image）は、制定したグループの名前をとってJPEGと呼ばれている。尚、このグループはISO/IEC JTC1 SC29 WG1として現在もJPEG 2000やJPEG XRなどの審議を行っている。

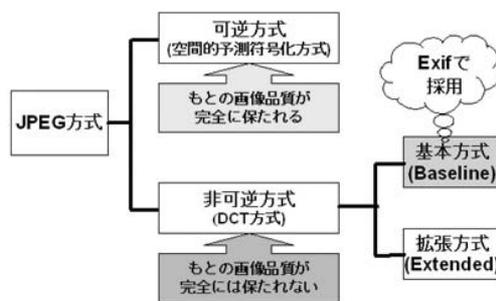


図 8.1 JPEGの構成

JPEGは、図8.1に示すように、空間的予測符号化方式により可逆圧縮を可能とする可逆方式（lossless）である「空間的予測（spatial prediction）方式」と、ADCT（適応離散余弦変換 = Adaptive Discrete Cosine Transform）により空間周波数に分析して符号化処理を行い、更にエントロピー圧縮とを組み合わせた非可逆方式（lossy）である「DCT符号化方式」とを包含している。

可逆方式では圧縮後に復元しても、元の画像品質が再現できるが、圧縮率を大きくすることはできない。一方、非可逆方式では圧縮により原画像の情報の一部が失われるが、画像品質をそれほど劣化させることなく10：1以上の画像圧縮を行うことが可能である。

表8.1 JPEG基本方式と拡張方式

		Baseline	Extended
Bit/	8	Y	Y
(Pixel, Colour)	12		Y
Mode	Sequential	Y	Y
	Progressive		Y
Coding	Huffman	Y	Y
	Arithmetic		Y

この非可逆圧縮方式は 取り扱うビット数、モードおよび符号化方式により、表8.1に示すように「基本方式（baseline）」と「拡張方式（extended）」に分類される。民生用DSCでは、この中の「基本方式」を採用した。

JPEGで使用されるDCT符号化方式における符号器（coder）のブロック図を図8.2に示す。

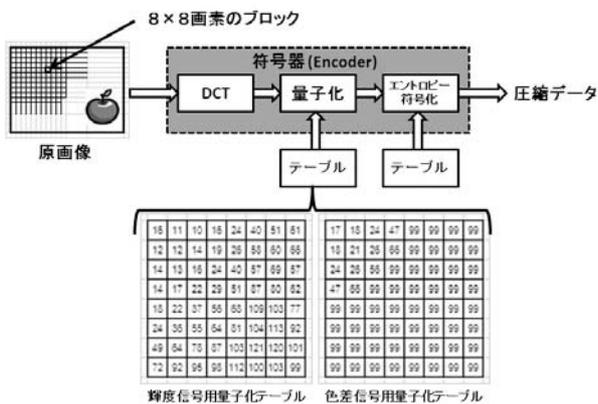


図8.2 DCT符号化器のブロック図

符号化器への入力画像は8×8画素のブロックに分割され、各ブロック単位でDCT演算が行われる。

DCTは離散的な標本化点を扱うフーリエ変換 (Fourier transform) 中の対称サンプルに対して行う余弦変換 (cosine transform) であり、これにより二次元空間関数であった画像を8×8の係数を持つ二次元周波数関数に変換する。この時点で情報量の削減はなく、そのまま復号 (decode) すれば、原画像が品質劣化なしに再生できる。

このDCT係数を図7.21に示す。左上の係数 (0, 0) は直流 (DC) 成分であり、右下が高周波成分となる。DCTの特性として低周波領域に成分が集中することと、人間の視覚特性として空間周波数の高周波領域での感度が低下することから、得られたDCT係数は左上から右下に行くにしたがって重要性が低下する。

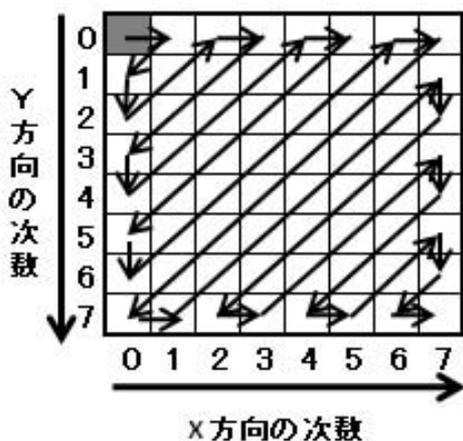


図8.3 DCT係数とジグザグスキャン

すなわち、左上から右下に向かって図8.3に示すようにジグザグに係数を取り出す場合、右下に向かうに従って精度を粗くして情報量を削減することができ、10：1以上の圧縮でも画像品質の劣化は少ない。

JPEGにおけるDCT符号化では輝度、色差の双方に対して量子化テーブルを用意して、各係数に対応した

テーブルの数値で除算を行う。

量子化の行程で得られた数値は、ハフマン符号化 (Huffman coding) と呼ばれるエントロピー符号化の手順に従って、出現頻度の高い数値に短いコードを与えることによりデータ量を圧縮する。量子化テーブルの値はデフォルト値を使用することも可能であるが、一般的にはエントロピー符号化テーブルと共に画像ファイルの中に添付される。

JPEGでは8×8のブロックを単位としてDCT演算を行うため、圧縮率を高くすると (1画素あたりのビット数を少なくすると) 隣接するブロックとの境界線が目立つ現象、すなわちブロックノイズが生ずることがある。ちなみにウェーブレット変換を用いるJPEG2000や二重DCTを用いるJPEG XRは、ブロックノイズ削減の効果を強調している。

8.2 フォーマットの必要性

銀塩カメラでは、現像処理により撮影した画像を直接見ることができるが、DSCで撮影した画像は符号化 (coding) された論理値の羅列であり、その符号化の仕組みが判らなければ、論理数値を復号 (decoding) して情報の内容を物理量として読み出すことはできず、画像として再生することはできない。

このため、画像データファイルに含まれている情報の種類 (メタデータ = metadata)、例えば色情報を記述するための座標である「色空間 (colour space)」、およびそれらのメタデータの構成についての共通の約束が決められていなければならない。

このような画像情報の他に、撮影日時やシャッター速度などの撮影条件やコメントなどが附属情報として添付され、全体として「画像ファイル」を構成する。この画像ファイルの構成条件を指定するものが広義のフォーマットである。

すなわち、ファイル内に記録される情報の種類、記録される各情報の構成法、各情報の識別法、ファイル形式、ファイルの記録方式などがフォーマットの構成要素として要求される。

情報をデジタル信号として記録し、情報として再生するためには、その情報処理のために最適な、かつ共通のフォーマットが不可欠なのである。

フォーマットを議論する際には、表8.2に示すOSI (Open Systems Interconnection = 開放型システム間相互接続) の7階層モデルを引用するのが便利である。

表8.2 OSI 7階層モデル

上位層	応用層	データの意味内容の制御
	プレゼンテーション層	データ表現形式の制御
下位層	セッション層	会話単位の制御
	トランスポート層	システム間データ転送制御
	ネットワーク層	中継制御
	データリンク層	伝送誤りの制御
	物理層	回線の電気・物理制御

このモデルに従って、相互接続における情報の授受における決まり（プロトコル）および授受される情報の内容を階層的に定義することにより、情報の受け渡しに際しての授受法を特定できる。この考え方の導入はISOにおける審議において日本から提案され、審議対象を特定するために有効であるとしてISO 12234に取り込まれている。このOSI7階層モデルを表8.2に示す。階層は媒体に依存しない上位3階層と、媒体に依存する下位4階層から成り、各階層の制御は、その階層の下部にある階層の内容により定義される。

DSCのフォーマットにおける階層は下部階層より、

1. 物理層：記録媒体
2. 記録媒体の読み出し書き込み制御法
3. 画像およびその他の情報を含めた画像ファイルの取り扱い方法
4. 画像ファイルの構成
5. 記録する各情報の記述形式
6. 画像ファイル内の各情報の作成方法

のように定義することができ、これら各階層における定義を規定することにより誤りの無い情報授受が可能となる。

8.3 記録媒体依存のフォーマット

記録媒体とフォーマットに関する議論は、1990年にJEIDAのパソコン技術委員会の下部に設置されたDSC Ad-Hoc WG（臨時作業班）で行われることとなり、日本国内のほぼ全てのカメラメーカ、電子機器メーカの他に、米国からも関心を寄せることとなった。

初期のDSCフォーマットにおいては画像をデジタル信号として所定の記録媒体に記録するための手法を規定することが主体であり、媒体に依存しないフォーマットという概念もなかったし、デジタルの特性を利用した情報機器としての扱いという発展方向という具体的な考えまでには至っていなかった。

JEIDAのDSC Ad-Hoc WGでは、PCカードとしての選択肢が残されていた20pin カードおよび68pinカードの双方に対するフォーマットの規格化を、それぞれ

20pin SWG (Sub WG), 68pin SWGを設置して進めた。

特に20pinカードはピン数が少ないため、挿抜にお要する力が68pinカードよりも小さいという利点を活かしてDSC用メモリカードの主流にしようというもくろみもあった。

表8.3に20pinカード用フォーマットを示す。

表8.3 20pinカードのフォーマット

#	記号	I/O	意味
1	GND	-	グラウンド
2	D0	I/O	双方向データバス
3	D1	I/O	〃
4	D2	I/O	〃
5	D3	I/O	〃
6	D4	I/O	〃
7	D5	I/O	〃
8	D6	I/O	〃
9	D7	I/O	〃
10	Vcc	-	電源
11	(Vpp)	-	プログラム電源
12	RDY/BSY	O	レディ信号
13	CE	I	カードイネーブル
14	A/D	I	アドレス/データ
15	R/W	I	リード/ライト
16	BCK	I	バスクロック
17	RFU	NC	リザーブ*
18	RFU	NC	リザーブ*
19	RFU	NC	リザーブ*
20	GND	-	グラウンド

この20pin カードのフォーマットは、次のような特徴を持っていた。

- a. バス方式を「I/Oバス方式」とし、JEIDAのガイドラインに定める「I/Oバス方式」ICカードに準拠したカードとする。
- b. ピン数は、20Pとする。JEIDAの規定によれば、20Pカードの厚さはエッジ部において2.2mm（中央部最大5mmが許容されている）となるが、本メモリカードでは、全面で2.2mmとする。
- c. 画像、音声、その他の情報を、各々一つの「パッケージ」として扱う。
- d. パッケージの記録方式は、クラスタ方式を採用する。
- e. 1クラスタの大きさは8kByteとする。

以上のことから判るように、このフォーマットはカードの読み出し（Read）／書きこみ（Write）をコントロールするためのものであり、扱うデータとして画像、音声、その他が想定されているものの、具体的な画像のフォーマットなどは規定されていない。

当初のDSCにおいては、画像データはNTSC⁽³⁾方式の各走査線の情報を8ビットでデジタル化し、予想値と実際の値との差を記録するADPCM方式を用いた。

初期のDSCは20pinカードを使用することを想定し

てフォーマットを規定したが、JEIDAおよびPCMCIAにおいて審議されていたPCカードは68pinカードで統一されることとなり、20pinカードに対しては、市場の混乱を避けるという理由により、PCMCIAから強い排除要請が出された。このため、JEIDAにおけるフォーマットの審議は68pinカードが主体となり、結果として市販用DSCで20pinカードを用いた製品は発表されなかった。

表8.4に68pinカードのフォーマットを示す。このフォーマットはPCカードの物理的なフォーマットの上に構築する論理的なMAT(Memory Allocation Table)として構成されている。

表8.4 68Pin カードのフォーマット

00h	ダブル ID [90h]
01h	次ダブルポインタ
02h	走査方式
03h-05h	画像モード
06h	画素のビット数
07h	ガンマ特性
08h-17h	信号レベル
18h-1Fh	画素数
20h	予約 [00h]
21h-25h	画面/画素縦横比
26h	符号化方式
27h	圧縮率
28h	非圧縮データ記録モード
29h-2Fh	予約 [00 0000 0000 0000h]
n-1	空き
n	次のダブル

一方、DSCメーカー各社は、PCカード以外の固有のメモリカードと、そのメモリカード専用のフォーマットを使用するDSCを開発し、市場に出し始めた。すなわち、PCカードを用いるSISRIF以外に、SM用にはExif、CF用にはCIFF、MS用にはUDFという別個の独自フォーマットが用いられていた。更に、米国からはAIMS カードというコンピュータ主体のメモリカードが提案され、ビデオテープレコーダにおけるVHS対Betaを想起させるようなフォーマット戦争が生じる危険性が醸し出されていた。

このような状況を打破するために、JEIDAの委員会は「記録媒体に依存しないフォーマット」を標榜し、記録媒体の議論とは切り離すこととして、既に存在していた個別のフォーマットの統一化を図った。

8.4 記録媒体に依存しないフォーマット

JTC1 で規格化されたJPEGでは、符号化方式と圧縮データの記述方法についての詳細が規定されているが、画像データを転送したり記録したりする際の手順は規定されていない。一般にJPEGで記録するという場合は、JFIF (JPEG File Interchange Format) での記録を指す。

JFIFはC-Cube Microsystems社が1991年に提唱し、1992年にv1.02として発表したJPEG圧縮ファイルに特化したファイル交換規定であり、JPEG内のアプリケーションセグメント0 (App0) 内に“JFIF”と記すことにより識別される。圧縮された画像データに付属情報を付加して一つの画像データファイルとするためのフォーマット規定であり、例えば使用する色についての規定はJPEGには無いがJFIFで規定される。

一方、当初スキャナで取り込んだ画像の処理のために1986年にAldus社 (現Adobe) とMicrosoft社によって開発されたTIFF (Tagged Image File Format) は、異なる仕様によって作成された種々の画像データの一つのファイルにまとめて格納するためのフォーマット規定である。(図8.4参照)

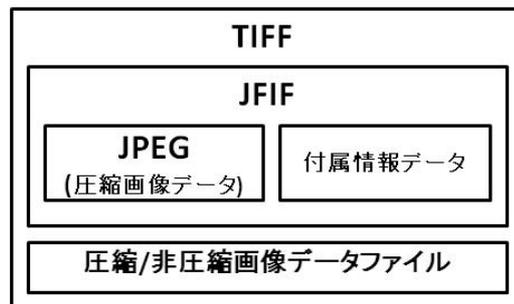


図8.4 JPEG, JFIF, TIFFの関係

TIFFでは画像ファイル内のメタデータを個々のパッケージとして、それぞれのパッケージの内容を示す荷札 (タグ=Tag) をつける。

JFIFがJPEGファイルのみを対象としているのに対して、TIFFではJPEG以外の方式で作成された画像データファイルも扱うことができる。しかし、1992年にTIFF 6.0に改訂されるまでは、圧縮画像を扱うことはできなかった。

JFIFおよびTIFFは、いずれも記録媒体やシステムに依存しない論理的な概念であり、まさにデジタルに相応しいフォーマット概念であると言える。

8.5 Exif

DSCの普及のために不可欠な記録媒体に依存しない汎用のDSC用フォーマットを作るためには、OSIにおける下位層で定義される以下の諸制御方式を決めなければならない。

1. 画像ファイルとして取り扱われる画像情報の種類、ファイルの構成法
2. 記録する各情報の記述形式…タグ方式、XML方式などの書式
3. ファイル内の各情報の作成方法…画像や音声などの圧縮法およびコーディング法、使用する色空間など

新しいフォーマットでは圧縮・非圧縮両方の画像ファイルを扱うことを目的としたが、圧縮画像を扱う場合、特に民生機器としての普及を意図するためには画像品質の劣化が少ない画像ファイルの圧縮法を採用することが必要である。

このような目的から、JEIDA委員会ではJPEGの内容を公表前に入手して検討を開始した。

JPEGには図8.1に示したように、元の画像品質が完全に保たれる可逆方式と元の画像品質が完全には保たれないがファイルのサイズを小さくできる非可逆方式が含まれている。

検討の結果、JEIDAではこの非可逆方式の中の「基本方式 (Baseline JPEG)」を1992年に国際規格として公表される前に前倒しで採用することとした。

また、画像ファイルの記述形式としてはTIFFをベースとすることとしてAdobe, Microsoftの両社と交渉した。しかし、JEIDA委員会が原案を作成した1992年初頭のTIFF5.0では圧縮画像を扱っていなかったため、圧縮画像に対してはJPEG (正確にはJFIF) を適用し、非圧縮画像および全体の構成とメタデータはTIFFに倣う形とした。

このようにして策定したDSC用の画像ファイルは新たに「Exif」と名付けられ、同時にOSI下位層で定義すべき項目は、Exif R98として制定した。

Exifの基本案が策定された後の1992年6月にTIFF Version 6.0がJPEGをサポートするように改訂され、それを基に米国からExifの対案としてTIFF/EPがISOに提案された。

両者の構成は基本的に同一であることから、その後ISO内での話し合いの結果、タグの共通化を図ることで両者の互換性を維持し、Exifは民生用、TIFF/EPは業務用の画像ファイルとしての棲み分けを行った。

現在TIFF/EPはISO 12234 Part2として制定され、ExifはISO 12234 Part1の中でJEITA規格としてのExifを認定する形となっている。

JEIDAが記録媒体に依存しないフォーマットの統一規格としてExifを策定した当時は、幸いにして、まだDSCの市場規模が小さかった。このため、フォーマット方式を譲歩して新フォーマットに変えることによる各社の損失は比較的少なく、逆に統一による利点がJEIDA委員会内における技術者達の議論で認識され、それに対する各社の理解も得られた。

一方、米国からISO TC42 (Photography) の中に、DSCに関する規格を審議するための新WG設置案が提案され、賛成多数で承認された。これにより1991年9月にWG18が結成されて、露光指数、標準チャート、用語、およびメモリカード (Memory Modules) の審議を行うことが決まった。

これを受けてJEIDAのWGはフォーマットに関するISO審議の受け皿となることがJISC (Japanese Industrial Standards Committee = 日本工業標準調査会) から指示され、WG18の第一回審議となった1992年2月のLas Vegas会議にJEIDA規格を提案することとなった。

このようにして、DSCのファイルフォーマットは、「日本発」の国際提案として、JEIDA規格策定の審議と同時進行でISOに持ち上げて民生用DSCの事実上の世界統一規格Exif/となった。

これに伴い、PCカード用のフォーマットも、記録媒体に依存しないフォーマットとは別途にISOに提案され、PCカード用の国際規格SISRIF (Still Image, Sound and Related Information Format) として認定された。

Exifの基本構造は図8.5に示すように、ヘッダー、撮影条件などに関連した情報や音声などを収納する情報ファイル、縮小画像情報を収納するサムネイル画像、および画像情報を収納した画像ファイルで構成される。

TIFF構造を適用しているExifでは、画像ファイルに収納する物理量を個別のメタデータとして、それぞれに内容を示す荷札 (タグ) で表示する。

それぞれの情報内容を表すメタデータの内TIFFで規定されているものは、それらのタグをそのまま使用し、DSCに特有かつ必要なメタデータに関しては新たにタグを追加した。

具体的なタグの構成および配置は、圧縮ファイルと非圧縮ファイルとで異なる。図8.6にExif圧縮ファイルの構造を示す。圧縮ファイルではJPEGのApplication Marker Segment (App) にExif用のマーカを確保し、



図8.5 Exifの基本構造

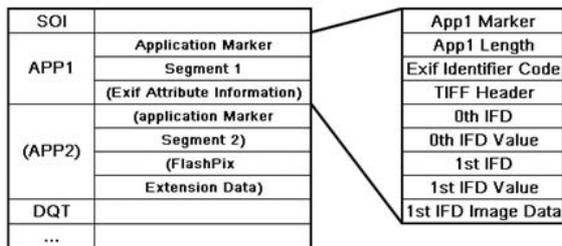


図8.6 Exif圧縮ファイルの構造

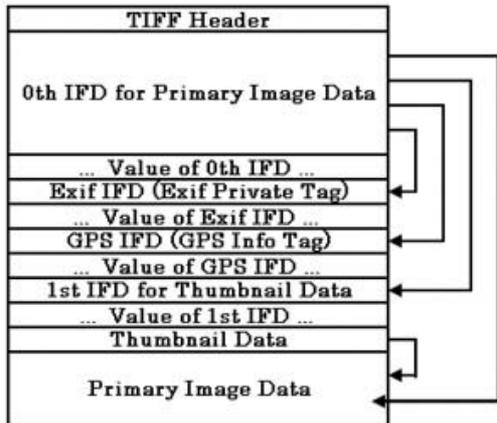


図8.7 Exif非圧縮ファイル構造

App1にExifの付属情報を、App2にFlashPix対応のマークをそれぞれ記載することにより、Exif対応のファイルであることが認識できるようにしてある。

一方、非圧縮ファイルの場合は図8.7に示すようにTIFFの基本構造をそのまま踏襲している。

Exifに用いられるタグの一部を表8.5に示す。各タグは「タグ番号」で表わされる荷札をつけたメタデータであり、それぞれのタグには必要レベルに応じて「M

(Mandatory = 必須)」、「R (Recommended = 推奨)」、「O (Optional = 任意)」の三レベルがある。Mで規定されるタグは全てのDSCが記録機能を具備しなければならない。

Exifは画像ファイル交換用フォーマットとして、次のような特徴を有している。

1. 圧縮、非圧縮両方の画像ファイルを扱う
2. タグ (個別のチャンクごとに、内容を示す共通の番号が割り振られている) 構造である。
3. 画像フォーマット取り扱い規定であるDCFと組み合わせて用いる。
4. 基本的に民生用DSC志向である。
5. 画像だけならばJPEGで見ることができ、Exif対応の機器またはソフトウェアを使用すれば、Exif情報およびExif属性情報を見ることができ、レタッチして再保存してもExif情報は失われない。

Exifには画像情報の他に、銀塩カメラでは記録できなかった撮影に関する諸情報、例えばGPS (Global Positioning System = 全地球方位システムによる撮影場所情報や音声、動画などを記録するためのタグも備わっている。

これがDSCが単なる画像記録のための機器ではなく、情報端末機器として位置付けられる所以である。

表8.5 Exif タグの例

分類	タグ名称	Field Name	タグ番号
A. 画像データの構成に関するタグ			
	画像の幅	ImageWidth	256
	画像の高さ	ImageLength	257
	画素のビットの深さ	BitsPerSample	258
	圧縮の種類	Compression	259
	画素構成	PhotometricInterpretation	262
	画像方向	Orientation	274
	コンポーネント数	SamplesPerPixel	277
	画素データの並び	PlanarConfiguration	284
	YCCの画像構成(Cの間引き率)	YCbCrSubSampling	530
	YCCの画像構成(YとCの位置)	YCbCrPositioning	531
	画像の幅の解像度	XResolution	282
	画像の高さの解像度	YResolution	283
	画像の幅と高さの解像度の単位	ResolutionUnit	296
B. 画像の記録位置に関するタグ			
	画像データのロケーション	StripOffsets	273
	1ストリップあたりの行数	RowsPerStrip	278
	ストリップの総バイト数	StripByteCounts	279
	JPEGのSOIへのオフセット	JPEGInterchangeFormat	513
	JPEGデータのバイト数	JPEGInterchangeFormatLength	514
C. 画像データの特性に関するタグ			
	再生調関カーブ特性	TransferFunction	301
	参照白色点の色度座標値	WhitePoint	318
	原色の色度座標値	PrimaryChromaticities	319
	色変換マトリックス係数	YCbCrCoefficients	529
	参照黒色点値と参照白色点値	ReferenceBlackWhite	532
D. その他のタグ			
	ファイル変更日時	DateTime	306
	画像タイトル	ImageDescription	270
	画像入力機器のメーカー名	Make	271
	画像入力機器のモデル名	Model	272
	使用ソフトウェア名	Software	305
	作者名	Artist	315
	撮影著作権者/編集著作権者	Copyright	33432

8.6 DCF

Exif規定に則って記録された民生用DSCの画像ファイルは、Exifをサポートする機器やソフトウェアを用いれば、記録媒体に関係なく再生可能である。しかし、例えば一枚の記録媒体内に画像ファイルの他にテキストファイルなどが混在している場合や、同じ記録媒体を他のDSCで用いたとき、ファイル取り扱いのルールが規定されていないと記録してあった画像ファイルを消去してしまう事故等の発生が考えられる。したがって、画像ファイルを記録する側で一定の規則に従って記録を行い、再生側はその規則に従うというルールが求められる。

画像ファイルに関する規格は、旧Exifを基本としたExifとして標準化されたが、このような記録媒体の読み出し書き込み制御法、画像およびその他の情報を含めた画像ファイルの取り扱い方法などに関するプロトコル規定は、PCなどで異種のファイルの混在を扱うことを想定していないExif R98では不十分であった。

これに関してJEIDA内で検討した結果、画像ファイルの記録媒体内での扱いに関する規格として新たにJEIDA規格DCFをCIFFおよびExif R98をベースとして制定した。(図8.8)

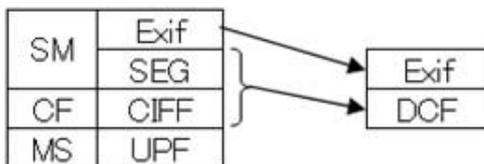


図8.8 Exif, DCFの位置づけ

すなわち、OSI7階層モデルにおける上位層をExif、下位層をCIFFから取り込んだ形となった。

DCFでは画像を記録する側、例えばDSC等をWriter、再生側をReaderと名づけた。Readerには、DSCのモニタディスプレイのように、必ずしも主画像の再生を必要としないものと、プリンタのように主画像再生を主機能とするものがあり、前者をReader1、後者をReader2とした。コンピュータなどはReader、Writer双方の仕様を要求されることになる。

ExifとDCFの位置づけのイメージを図8.9に、Reader1、Reader2それぞれに対する規定を表8.6に示す。

Exifに基づいて構成された画像ファイルは、撮影時のデータなどと共にDCF規定に基づいて取り外し可能な記録媒体に蓄積される。

この日本提案のDCFもISO規格ISO 12234 Part1の中で認定される段階にある。

表8.6 DCFにおけるReaderとWriter

	主画像	サムネイル	機器例
Reader 1	任意	主画像が再生できない場合、代替可能	DSC
Reader 2	1800 × 1200 まで必須		プリンタ

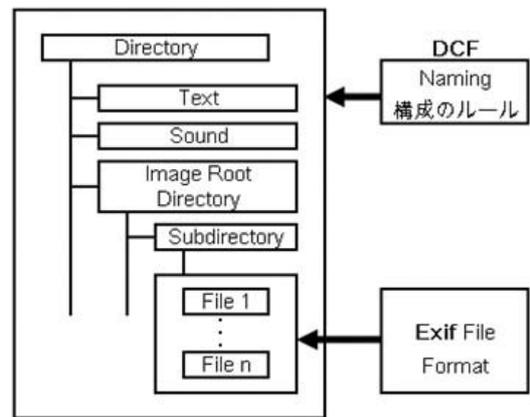


図8.9 ExifとDCFの関係

8.7 Exif, DCFの改訂

Exifは、1992年に素案がJEIDAで策定され、1994年4月にISOに改訂提案として正式に提出された後、2003年に現在のVersion 2.21となるまでに、表8.7に示す改訂の過程を経ている。これらの改訂は常に旧バージョンとの互換性を保つように考慮されているが、その中で特に代表的なものはExif 2.1からExif 2.2の改訂とExif 2.2からExif 2.21への改訂である。

表8.7 Exif改訂の歴史

1994/4	JEIDAが提唱	
1995	Version 1.0	
1997/5	Version 1.1	(オプションの付属情報追加)
1997/11	Version 2.0	(FlashPix対応、音声データの処理機能)
2000	Version 2.1	
2001	Version 2.2	(ExifPrint)
2003	Version 2.21	(DCF 2.0 [色空間拡張]に対応)

2001年に発行されたExif 2.2は「Exif Print」と呼ばれるが、これはDSCで撮影した画像をプリンタで印刷するときに、プリンタに自動画像処理機能があって自動的に画像処理を行う場合、撮影意図に反した画像が出力されることがあるため、撮影者の意図を反映すべき画像はそのままプリントし、ミスショットを救済して、シーンに適した好ましい絵を印刷することを目的とする。このため、Exifファイル内に撮影者が設定し

たカメラの情報を記録し、その情報を参考にして自動処理を行うことで、撮影シーンに合わせた最適な印刷が行えるようにした。

例えば露出モードにおいて、マニュアル／露出補正／オートブラケット使用の場合は、撮影者が露出を意図的に制御している可能性が高いため補正を行わず、自動露出の場合は露出最適化処理を行う。

ホワイトバランスにおいては、自動処理が行われている場合のみ色カブリの補正処理を行う。また、ストロボのオン／オフ情報を見て、オンの時には白飛びを改善し、全体のコントラストや背景の明るさを改善・補正する。

撮影シーンに「人物モード」、「風景モード」、「夜景モード」を設定することにより、人物モードの場合は肌が美しくなるように補正しつつコントラストを最適化して印刷し、風景モードの場合は硬調の風景を実現するためにコントラスト、明るさのレベル、色補正、彩度強調などを行い、夜景モードの場合は暗い部分を抑えたままで明るい部分を強調する、というように適切な画像印刷を可能とした。

DSCではIEC 61966-2-1で規定されているsRGB色空間を用いるとされていたが、sRGB色空間はモニタ対応の色空間であり、DSCが記録する色空間はモニタの色空間よりも広い色再現域の可能性を持っていた。

また、DSCで用いる画像圧縮方式JPEGはYCC系を用いるため、実際にはDSC内部でRGB系からYCC空間への変換がなされていた。

そこで、Exif 2.2からは色空間をsYCC (IEC 61966-2-1 Amendment 1) と定義した。sYCCはsRGBからの数学的な演算で求められ、sRGBよりも広い色域を扱うことが可能である。

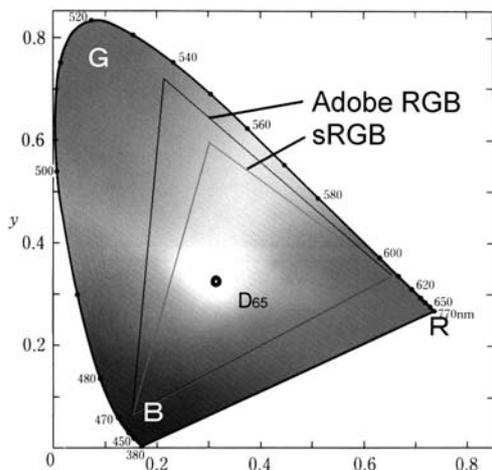


図8.10 sRGBとAdobe RGBの色域比較

Exif 2.2からExif 2.21への改訂は、DCF 1.0からDCF 2.0への改訂に伴って行われた。

DSCの高機能化に伴い、印刷やパブリッシング用途としてDSCが使用されるようになったが、それらの目的にはsRGB色空間での色再現では不十分であった。そのため、レンダリング用として一般的に使用されているPhotoshopが採用しているAdobe RGBを取り込む動きが一部のカメラメーカで生じた。sRGBとAdobe RGBの色域の比較を図8.10に示す。

しかし、従来のReaderではAdobe RGBを識別することができないため、Adobe RGB色空間で撮影した写真もsRGB色空間で再生することとなり、プリンタが持っているAdobe RGB色空間の再現能力が発揮できない。あるいはプリンタでAdobe RGB色空間で色再現を行うように補正すれば、sRGBで撮影した場合とAdobe RGBで撮影した場合とで微かな色再現の差を生じる。

このため、2002年よりCIPAで検討を行い、2003年にAdobe RGBを「DCFオプション色空間」として用いる「DCFオプションファイル」を追加したDCF2.0を発表した。DCF 1.0からDCF 2.0への改訂内容を表8.8に示す。

表8.8 DCF1.0からDCF2.0への改訂内容

改定目的	改定内容	詳細
Adobe RGBも使用可能	DCFオプションファイルを追加定義	下線から始まるFile名
		Interoperability Index = "R03"
		ColourSpace Tag = "Uncalibrated"
		色空間特性(*)を表示すTag
Writer規定改定	DCFオプションファイルの記録が可能	
Reader 1改定	DCFオプションファイルのサムネイルの再生が必須	
Reader 2改定	DCFオプションファイルの再生は任意	

*色空間特性: 白色点、三原色、YCbCr特性、γ

DCF 2.0ではAdobe RGB色空間で撮影した写真を「DCFオプションファイル」として " _ " (under bar) で始まるファイル名をつけることにより識別できるようにした。

表8.9 DCF Readerが可能な色再生

Writer	Reader	
	DCF 1.0	DCF 2.0
sRGB	sRGB	sRGB
Adobe RGB	sRGB	Adobe RGB

表8.9に示すように、Adobe RGB色空間を用いて撮影した画像は、DCF 1.0 ReaderではsRGBとして再生されるが、DCF 2.0をサポートするReaderではAdobe RGB色空間として再生可能となった。

ExifとDCFとは相補関係にあるため、このDCFの改訂に伴い、ExifもVersion 2.2から2.21に改訂された。この改訂内容を表8.10に示す。

ExifもDCFも国際規格としてISOで審議され、ExifはISO 12234-1で認定され、DCFも同様に認定される

段階にある。しかし、Adobe RGBは一般的に普及しているとはいえ、一企業の定めた規格（Proprietary Standard）であったため、国際規格の中に取り込むことはできない。このため、IECではAdobe社が開示した内容を基にopRGB（IEC 61966-2-5）なる新規格を制定しようとしている。2006年にAdobe社がAdobe RGBをICC（International Colour Consortium）に提示したことにより、形式的には公開されたこととなったが、著作権はAdobe社が保持したままとなっている。DSCとしてはAdobe RGBをサポートすることが国際規格内に何らかの形で盛り込まれれば良いわけであるが、どのような形で規格化するか、IECとISOとの協調を含めて、現在検討が行われている段階である。

表8.10 Exif 2.2からExif 2.21への改訂内容

ExifVersion Tag	"2.21"
Gamma Tag	追加
ColorSpace Tag	定義変更
InterOperabilityIndex Tag	設定値追加
Flash Tag	定義変更
FileSource Tag	設定値追加
TransferFunction	記載レベル変更
追加記載	構成要素と画像サンプリング

Exif 2.2（ExifPrint）とAdobe RGB対応のためのExif/DCFの改訂の他にも、プリント機能に対する付属規定DPOFおよびPictBridgeがそれぞれコンソーシアム規格および業界規格として策定された。

DPOFは、キヤノン、イーストマンコダック、富士

写真フィルム、松下電器産業が作成したコンソーシアム規格であり、DPOF規格対応のデジタル機器なら、

- a. 自分のDSCでプリントしたいコマや枚数、日付プリントの指定が可能。
- b. 自宅のプリンタにメモ리카ードを入れるだけで、指定した通りに自動的にプリント可能。
- c. 店にプリントを注文する際、注文用紙にプリントしたいコマの指定や枚数などの記入が不要となることを目的としたものである。

PictBridgeはDSCからの画像をコンピュータを介さずにプリンタで印刷するダイレクトプリントに対応する規格としてキヤノン、富士写真フィルム、ヒューレット・パカード、オリンパス光学工業、セイコーエプソン、ソニーの6社により提案され、2003年2月にCIPA規格（CIPA DC-001-2003）として発表された。

従来、所有するDSCの画像をダイレクトプリントする場合には、専用あるいは特定のプリンタしか対応しなかったが、このPictBridgeに対応する機器であれば、メーカーや機種を問わずに相互接続が可能となった。

<注>

- (1) 最新MPEG教科書 アスキー出版局 p.57
- (2) OSI 日本規格協会からまとめた
- (3) NTSC : National Television Standard Committee

9 | DSCに関する標準化

9.1 ISO活動

DSCの国際標準化はISO/TC42 (Photography) 内で行われている。TC42のスコープは「主として、しかし排他的ではなく、化学的および電子的な静止写真画像分野における標準化であり、次の項目を含むが、それに限定したものではない」として、

- ・静止画像化システムに対する定義
- ・測定、試験、評価、包装、ラベリング、寸法の明記および分類、媒体の特性および性能特徴、化学および電子静止画に用いられる素材および装置に対する方法
- ・静止画の取り込み、処理、および出力に対する論理的および物理的特性、実行、インターフェイスおよびフォーマットの明記および推奨
- ・画像化媒体と素材の蓄積、実行、完全性および安全性に対する方法、計測、明記および推奨実行、および画像化素材の処分

が挙げられている。TC42に関連する標準化のうち、次の各項はISOの他のTCあるいはIECやJTC1で行われるが、それらの団体とはリエイゾンによって相互連携を図っている。

- ・音響、映像およびAVの分野での機器およびシステム (IEC/TC130)
- ・映画撮影術 (ISO/TC369)
- ・グラフィック技術 (ISO/TC130)
- ・文書画像応用 (ISO/TC171)
- ・事務機器 (ISO/IEC JTC1/SC28)
- ・文書の物理的保存 (ISO/TC46/SC10)

ISO/TC42には次に掲げるWG (Working Group) およびJWG (Joint Working Group) がある。

- WG 2 写真用フラッシュユニット (休眠)
- WG 3 センシトメトリー、画像計測および検視
- WG 4 写真機材の機械的部品
- WG 5 写真素材の物理的特性および画像表現性
- WG 6 写真用化学薬品および処理法
- WG 8 TC 42とTC 6のJoint WG：写真フィルムおよび印画紙-寸法
- WG 9 静止画用プロジェクタおよび透過原稿 (休眠)
- WG 17 TC 42/WG 3とTC 106と世界歯科連盟とのJointWG
- WG 18 電子的静止画像

WG 19 写真素材のリサイクルング (休眠)
JWG 20 ISO/TC 42とIECとのJWG：デジタルスチルカメラ

WG 21 TC 42とTC 130とのJWG: デンシティ計測
JWG 22 IEC/TC 100とISO/TC 42とTC 130のJWG：色管理

WG 23 TC 42とTC 130とCIEとのJWG：拡張色空間
JWG 24 TC 42とTC 130とのJWG：ISO 3664：200の改定

DSCは「カメラ」の製品分類に属するため、国際標準化はISOが担当することでスタートした。しかし、2000年にIECからISO-IEC JTABに異議が提出され、協議の結果、

- ・DSCおよび色再現管理に関しては、ISO,IECそれぞれが関心を持つ場合にはJointで行う。
- ・上記の場合、DSCに関してはISOが管理するJWGとし、色再現管理に関してはIECが管理するJPT (Joint Project Team) で行う。という裁定がなされた。

現在、最も能動的に活動しているのは、WG18および関連するJWG20, 22, 23であり、DSC用のフォーマットはISO12234としてWG18で審議されている。

ISO12234はPart 1およびPart 2から成り、Part 1においてDSC用の記録媒体として満たすべき諸条件が規定されている。この中で、同規定に準拠する媒体および記録用フォーマットがAnnexとして次のように記載されている。

Annex A (informative) Media profile - PC Card
Annex B (informative) Image data format - SISRIF (日本 提案のPCカード用記録フォーマット)
Annex C (informative) Image data format - Exif
Annex D (informative) Image data format - TIFF/EP

この中で、Annex Dに記載されている米国提案のTIFF/EPは、ISO12234 Part2として独立した標準にもなっている。

Exif が独立した標準とならずにAnnexとして記載されているのは、ISO化すると著作権等の権利がISOに所属するために、日本だけで改定作業を行うことができなくなることを懸念してのことである。

また、同じく日本提案のDCFもISO-12234-1 Annex Eとして審議されている。

ISO/TC42のWG18関連では、表9.1に示す標準化作業を行っている。この中でISO12234-1 Annex B,C,E、ISO20462-2は日本からの提案であり、その他の

ISO12231, 12232, 22028等も日本意見を多く盛り込んだものとなっている。

表9.1 ISO TC42におけるDSC関連審議課題

ISO 番号	表題	内容
12231	専門用語	用語
12232	感度	測定法
12233	解像度	ツール
12234 (1-2)	フォーマット	方式
14524	OECF	測定法
15739	Noise	測定法
15740	PTP	方式
16067 (1-2)	スキャナ	測定法
17321	色特性	色管理
20462 (1-3)	心理評価	評価法
21550	スキャナDレンジ	測定法
22028	拡張色空間	色管理

国内におけるISOの審議体制は、写真感光材料工業会（感材工＝PMMA [Photo Materials Manufacturers Association]）がISO TC42国内協議会の事務局となっていて、技術委員会の中にデジタル画像に関する課題を審議する「デジタル画像部会」が設置されている。

この「デジタル画像部会」は、ISO課題の国内審議機関として機能するため、CIPAの事業対象とならない課題も担当して審議する。このため、「デジタル画像部会」の事務局はCIPAが担当しているが、組織的にはCIPAから独立した形となっている。

9.2 CIPA規格

CIPAは、銀塩カメラ及びデジタルカメラ並びにこれらの関連装置、機器及びソフトウェアの開発、製造又は販売に従事する会員のため、環境問題、製品の互換性確保、公正な市場競争の確保その他の産業全体の課題に対処し、さらなる発展のため調査研究、情報交換を行うことにより、会員の発展に寄与することを目的として、2002年7月1日に設立された業界団体である。会員は、上記に該当する会社であれば外国企業の日本法人でも参加可能である。

同工業会の事業目的の一つとして、「映像関連装置等に係る互換性、相互接続性等に関する標準規格の策定及び普及」が掲げられており、CIPA内に「標準化委員会」が設置されて上記目的の活動を行っている。

ただし、CIPAは会員会社の発展に寄与する標準化を目標としているため、ISOで審議される全ての審議課題が対象となる訳ではなく、CIPA独自の標準化活動を行っている。

2007年11月時点でCIPA規格となっているものは、CIPAが設立される前にカメラ業界の工業会として機能していた日本写真機工業会（日写工＝JCIA [Japan

Camera Industries Association] からの移管を受けた日本写真機工業規格（JCIS）、とデジタルカメラ委員会規格（DSCSG）の他に次の規格類がある。

- ・CIPA DC-001
Digital Photo Solutions for Imaging Devices
(2003年2月3日)
- ・CIPA DC-002
電池寿命測定方法 (2003年12月17日)
- ・CIPA DC-003
デジタルカメラの解像度測定方法 (2003年12月17日)
- ・CIPA DC-004
デジタルカメラの感度規定 (2004年7月27日)
- ・CIPA DC-005
"Picture Transfer Protocol" over TCP/IP networks
(2005年11月8日)

また、「デジタルカメラのカタログ等表記に関するガイドライン」および「デジタルカメラの仕様に関するガイドライン」がガイドラインとして制定されている。

9.3 米国I3Aとの連携

米国内におけるカメラ映像機器等に関する業界団体はI3A (International Imaging Industries Association) である。I3Aには技術委員会とInitiativeと称する開発部門とがある。技術委員会はISO TC42の米国外務局であるANSI (American National Standards Institute) の委嘱を受けて実務を担当している。このため、技術委員会に参加する企業は工業所有権に関して、ISOのIP (工業所有権=Intellectual Property) ポリシーである「RAND (Reasonable And Non-Discriminatory term and condition)」を遵守することで自由に参加できるがInitiativeは限定された会員による開発業務であり内容は非公開である。

I3Aの技術委員会は日本におけるISO TC42国内協議会技術委員会に相当し、米国技術委員会の事務局としてのI3Aの立場は日本におけるISO TC42国内協議会事務局の感材工に対応している。また、I3AのInitiativeはそのIP Policyの類似性からCIPAの標準化委員会に対応しているといえる。

I3AもCIPAも国際組織であり、映像機器メーカーを対象とした工業会であるため、双方の協力体制が過去何度か協議されてきたが、IPに対する考え方の相違などから、相互の交流はあるが協力体制を築くまでには至っていない。

10 | DSCの今後

経済社会総合研究所が発表した消費動向調査によると、図10.1に示すようにDSCは急速に普及し、平成19年には60%を越えたとの報告がなされている⁽¹⁾。

また、総務省によると、世帯当たり保有台数は、カラーテレビが2.5台、携帯電話が1.9台、パソコンが1.0台、DVDプレーヤー・レコーダーが0.9台、デジタルカメラが0.7台となっている⁽²⁾。

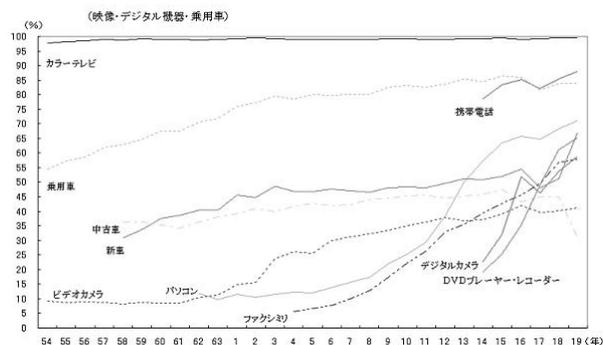


図10.1 耐久消費財の普及率

民生機器として一般市場に出てから僅か10年程度の間に、このように普及したということは驚嘆すべきであるが、今後の課題も山積している。

DSCは法律的には光学機器として、所管の官庁である経済産業省製造産業局産業機械課で工作機械や時計などと同列で扱われている。しかし、すでに単なる銀塩カメラの代替品としての位置づけのみならず、画像を電子情報として生成するための情報機器の一つとして位置づけられてきている。

このような立場を含めて、今後DSCが検討していかなければならない問題について述べる。

10.1 DSC用フォーマットの今後

Exif//DCFが民生用DSCの統一フォーマットとして制定されてから既に10年以上が経過した。その間、数度の改訂を行ったが、改訂はいずれも旧バージョンとの互換性を維持することを最大の課題と位置づけてきた。カメラ市場の中で、既にDSCが圧倒的なシェアを有している現在において、旧バージョンとの互換性を破棄するような新フォーマットを制定することは市場を混乱させユーザからの不満を呼ぶことが予測されるため、メーカーにとっても得策ではない。したがって民生用DSCとしては今後も現行のExif//DCFを技術の進化に合わせて互換性を維持しながら改訂を続けることが必要であろう。

しかし、Exif//DCFとの互換性を維持するよりも新技術を導入した新フォーマットを策定する方が、業界および消費者にとって有効であるとの意見も米国を始めとする一部に見られることは事実である。

ここでは、現在俎上に上っている課題を中心として、フォーマットに関する検討課題について述べる。

10-1-1 色空間に関する検討

DCF 1.0からDCF 2.0への改訂、およびそれに伴うExif 2.2からExif 2.21への改訂は、色再現域の拡張要求によるものであった。

色空間は、Input referredとOutput referredに分類される。Input referred colour spaceは実際のシーン、コンピュータ・シミュレートしたシーン、スキャナで取り込んだ画像などの入力画像データ (Input referred image data) を表記するための色空間であり、広いダイナミックレンジに対応するRAW dataや銀塩のネガ・フィルムがこれに相当する。

一方、Output referred colour spaceは特定の観察 (モニタ、プリンタなど) を想定して加工された画像データ (Output referred image data) を記録するための色空間で、一般のDSCや、リバーサルフィルムがこれに相当する。

表10.1 種々の色空間

	sRGB	sYCC	ROMM RGB	RIMM RGB	Adobe RGB
Referred	Output CRT	Output 拡張	Output Print	Scene	Output Print
R: xy	0.6400 0.3300		0.7347 0.2653		0.6400 0.3300
G: xy	0.3000 0.6000		0.1596 0.8404		0.2100 0.7100
B: xy	0.1500 0.0600		0.0366 0.0001		0.1500 0.0600
	IEC61966-2-1	IEC61966-2-1 Amend1	ANSI/I3A-IT10 7666	ANSI/I3A-IT10 7466	Adobe RGB (ICC)

表10.1にDSCでの使用対象となる種々の色空間を示す。この中で米国からISOに提案され、審議の結果、米国国内規格 (ANSI/I3A-IT10 7466) となったRIMM RGBはinput referredの一つであるscene referred色空間を表すものである。後述するCamera RAW Fileと合わせて、このRIMM RGB対応をフォーマットの中に取り込む検討が米国内で行われている。

また、RGBという三原色だけでなく、多色化、究極としてSpectrumで色を扱うという検討も一部では行われているが、まだ具代的な提案にまでは持ち上げら

れていない。これらの検討は多色を前提とする印刷業界との交流により活性化されることが期待される。

10-1-2 Camera RAW Image Dataに関する検討

図7.3に画素数別のDSCの平均単価を示したが、同等の画素数を持つDSCの単価が下がると、多画素化により1ランク上の機種層が市販され、これの繰り返して市場全体の発展を保っていることが判る。(CIPA統計より)

最近のCIPA統計によると、図10.2に示すように、DSCの市場においてSLR（一眼レフ）の占める比率が上昇してきおり、台数で約10%に達しも金額では20%を超えている。これらのSLRのほとんど全ては、独自のRAW Image Data出力を持っている。

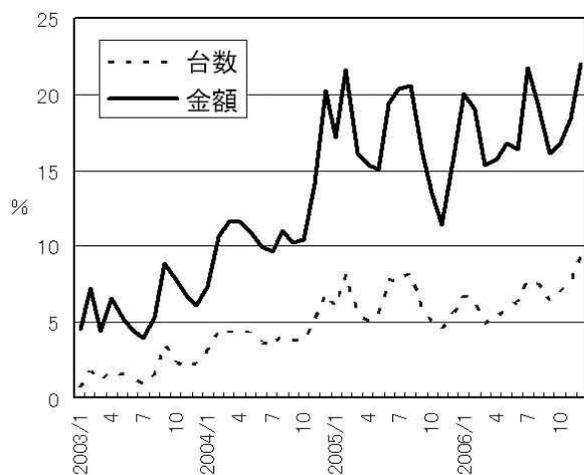


図10.2 デジタル一眼レフの動向

DSCのRAW Image Dataとは、画像処理を受けていない、DSCが生成する「生の」画像データを意味する。この画像処理の定義には、A/D変換、直線化、暗電流やフレームの削減、Shadingおよび感度(直線領域)補正、フレア除去、White balance、欠如画素の再生は含まれない。RAW Image Dataは高画質を維持しているため、後から画像処理を行い易く、写真家や出版業界などにはこのRAW Image Dataが好まれる。

しかし、ファイル形式は各社、各機種ばらばらであり統一的な規格なく、仕様は各社のノウハウとなっている。

例えば、RAW Image Dataは撮像素子の種類、配列、画素数、色特性などによって異なる。表10.2にSLR用に用いられている撮像素子の例を挙げる。

このため、各社は独自のRAW Imageを識別するための拡張子と、各拡張子に対応するソフトウェアを用意しなければならない。表10.3にRAW Image Fileを識別するための拡張子の例を示す。

表10.2 SLR用イメージセンサの例

DSC	Sensor	Size (mm ²)	Pixels
Canon EOS 20D	CMOS	22.5×15.0	8.2M
Canon EOS 5D	CMOS	35.8×23.9	12.8M
Nikon D70S	CCD	23.7×15.6	6.1M
Nikon D2X	CMOS	23.7×15.7	12.4M
Nikon D200	CCD	23.6×15.8	10.2M

表10.3 拡張子名の例

種類	拡張子	ファイル形式
Nikon	NEF	TIFF/EP
PENTAX	PEF	
Minolta	MRW	TIFF
Olympus	ORF	
Fujifilm	RAF	
SONY	SRF	
EPSON	ERF	
Adobe Digital Negative	DNG	
Canon	CR2	CIFF
	CRW	
SIGMA	X3F	独自形式
ProBack	DRF	独自形式

現在のExif/DCFには、このRAW Image Fileを取り扱うための規定は含まれていない。したがって、TIFFやTIFF/EPなどのExif/DCFよりも規定範囲の広いファイルフォーマットを用いるか、独自のフォーマットを用いたものとなっている。これらを統一的に扱うことは困難であり、現在RAW Image Dataを扱えると公称しているAdobe DNG (Digital Negative) やWindows VISTAでも、登録されたRAW Image Dataの形式をPlug-inとして用いる形態をとらざるをえない。

TIFF/EPでRAWをサポートしようとする動きはあるが、まだ、どのような条件が必要かという調査段階である。

10-1-3 圧縮方式に関する検討

Exifで採用した画像圧縮方式JPEGは、1画素あたり8bitで8×8のブロック内でDCT (離散余弦変換) を行い空間圧縮を行った後で、ハフマン符号化によるエントロピー・コーディングで符号長の圧縮を行っている。この圧縮方式は演算が容易であり、10:1程度の圧縮では画質の劣化が殆ど見られないという特長をもっている。しかし、圧縮率を大きくすると8×8のプロ

ックの境界線が顕在化するブロックノイズが生じることや、ハフマン符号化に対して特許権を主張する企業が現れたなどの懸念点もある。

一方、ISO/IEC JTC1 SC29ではJPEGを規格化した後で、JPEG2000を2001年1月に規格化した。JPEG2000では画像圧縮のアルゴリズムとして図8.3に示すDWT (Discrete Wavelet Transform) を用いる。

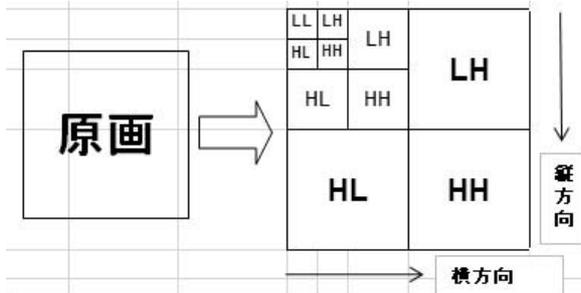


図10.3 DWTの原理

すなわち、DCTでは画像全体に共通な直交関数を用いて空間周波数に変換するのに対して、DWTでは局所的な直交関数であるウェーブレット (wavelet) を用いる直交変換をデジタル演算で行う。

直交変換によって得られた空間周波数の値は画像上の場所によって異なる。図10.3におけるHは空間周波数が高い成分を、Lは低い成分を表している。上記の例では縦横方向共に低い空間周波数成分で構成された画像はLL、共に他界周波数成分で構成された画像はHHで表わしている。LLだけの画像は全体にぼけた画像となり、右下の成分が加わるにつれて鮮鋭な画像となる。JPEG2000では可逆圧縮もサポートしているし、同一画像ファイル内に圧縮率の異なる画像を同時に蓄積できるという特徴も持っている。

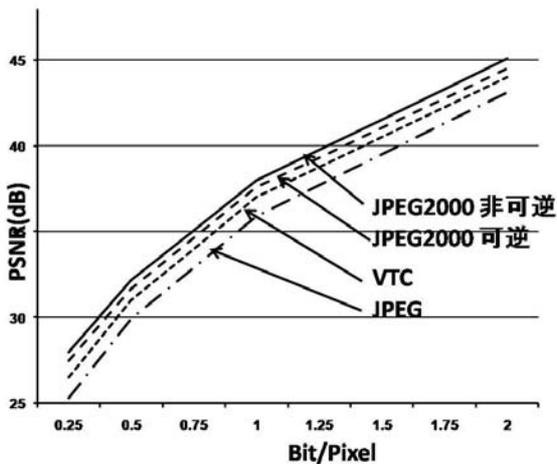


図10.4 圧縮方式とノイズの比較

IEEE Signal Processing Magazineによれば、図10.4に示すように、JPEG2000は高圧縮下においてもJPEGよりノイズが少ないことが報告されているが、その差

は2~3dBである。

JPEG2000は演算が複雑になるという欠点があるのみならず、JPEGとの互換性が全く無いということから、互換性を重視して改訂を行ってきたExif/DCFの中に取り込むことは困難であろう。JPEG2000の画像ファイルをJPEG画像ファイルと共存する形でExifの中に設置し、JPEG2000ファイルの存在を認識するための新たなタグを制定するという案も出されているが、民生用DSCとしての機能をどこに求めるかという観点から見ると実現は難しいと思われ、現時点ではDSCに関するMetadataの共通化を図っておくという段階に留まっている。

表10.4にExif/DCFとJPEG2000の比較を示す。

表10.4 Exif/DCFとJPEG2000の比較

	Exif/DCF	JPEG2000
画像圧縮	DCT	DWT
Bit/画素	8	~32
色空間	sRGB/Option	特定せず
符号化	Huffman	EBCDT (Embedded Block Coding with Optimized Truncation)
圧縮画像の可逆性	Lossy	Lossy から Lossless まで
欠点 特記	高圧縮でブロックノイズ 最大普及	処理が複雑 階層画像

10-1-4 記述形式に関する検討

Exif/DCFではファイルをTIFF形式で記述する。これに対して米国からXML (Extensible Markup Language) で記述する案が提示されている。XMLもTIFFと同様にタグを用いて記述する言語体系であるが、その書式は両者で異なる。現時点では、DSCのタグをXML形式で記述するように変更することは困難であり、タグとして採用するMetadataの共通化を図る試みがなされている。

また、色空間を指定する替わりに、ICC Profileを記述するという案が主として米国から提示されている。ICC ProfileはICCが定めた仕様であり、入力デバイスの諸元をProfileという形で埋め込むことにより、入力画像をデバイスに依存しない色空間、例えばXYZやLab内に記述し、出力の際には出力機器のProfileに応じた補正を行うことにより、入出力機器に依存しない

色再現を実現しようとするものである。TIFF/EPには、このICC Profileを埋め込むスキームが用意されている。

これは、民生用DSCとして要求される機能を越えた要求のようにも見え、また、現在のICC Profileでは完全な色再現には至っていないことも事実であるが、高画質が要求される印刷や出版等への対応として検討しておく必要があるかもしれない。

DSCの最大の魅力は撮ったその場で画像を確認することができ、必要な画像は専用あるいは汎用のプリンタを使って家庭で手軽に、しかも待たずに印刷してハードコピーを残せることである。DSCは現代生活に不可欠な画像情報を生成する最も手軽かつ適切な手段として、静止画産業界の中心となり、周辺環境との整合性を考えつつ産業界全体の発展を牽引する義務がある。

従来、プリンタはオフィス機器として扱われてきており、家庭内で写真の印刷に使用されるようになったのは、DSCが普及してからである。したがって、DSCとプリンタとの整合性は必ずしも十分であるとは言いきれない。これまでも、DSCとプリンタとの整合性を図るために、Exifの改訂や、DPOF、PictBridgeなどが策定されてきたが、DSCで取り込んだ色の範囲をプリンタの色再現範囲内にいかに適切に反映させるかの問題や、RGB系とCMYK系との整合の問題、多色化の検討等、課題は少なくない。

DSCは当初モニタディスプレイ用の色空間であるsRGBを採用した。しかし、DSCの色再現範囲はモニタより広い。逆に見ると、モニタの色再現能力はカメラ側に追いついていなかったと見ることもできる。このため、画像処理用ソフトウェアの代表であるAdobe社のPhotoshopを使用する場合において、実際の色はディスプレイで確認できないため、表示されるRGBの数値で確認するという作業が行われていた。

しかし、最近では、モニタの改良が進み、Adobe RGBの色域を再現するディスプレイが例えば三菱電機から発表されている。このように、今後ともDSCは画像を取り扱う業界の中心的機器として、DSCを取り巻く機器群と相互に関連を保ち、影響を及ぼしながら技術的および市場的に発展するであろう。

10.2 他業界との整合

銀塩カメラでは写真を作成するという閉ざされた視野の中で考えるだけで良かったが、DSCでは関連する他分野との整合性も考えて行かなければならなくなった。このような要求は、特に業務用DSCに対して大き

いが、民生用と業務用との分類は必ずしも明確ではないため、DSC全体に対する問題提起とも受け取れる。

10-2-1 情報機器との整合

当初、TVでの再生を念頭において開発されたDSCであったが、コンピュータの普及やインターネット環境の拡大にしたがって、コンピュータとの整合性に重点が置かれるようになった。このため、OSメーカーと接触し、Exif/DCFをOSでサポートして貫うことに成功した。DSCが普及した現在において、OSでのサポートはコンピュータ側にとっても大きなメリットとなっており、双方の発展に対して相乗効果をもたらすことになった。今後とも、コンピュータとの関連は更に親密なものとなることが予想される。

10-2-2 印刷関係との整合

印刷、およびその前工程である画像編集におけるデジタル化は急速に進んでおり、DSCは印刷用画像入力機器として一般的に使用されているが、Exif/DCFに準拠した民生用DSCでは、ダイナミックレンジ、色再現域ともに十分であるとは言えない。

当初DSCで採用した色空間はモニタディスプレイを基準としたOutput referred色空間のsRGBであったが、DSCはsRGBより広い色空間を取り込むことができることから、色空間はsYCCであると解釈を変更した。更に、画像編集用として普及しているPhotoshopなどのソフトウェアに対応するために、Exif 2.21/DCF2.0からはAdobe RGBに対応可能となった。

業務用として使用されているSLR (Single Lens Reflex = 一眼レフ) 型DSCではRAW Dataが取り出されるが、これはダイナミックレンジの広い被写体への対応が考慮される。このため、RAW Data用の色空間としてInput referredの色空間を使用する考えが米国から提示されている。

印刷関係との情報交換によるDSCのブラッシュアップは標準規格を策定する上でも重要である。このため、DSCの国際規格を審議しているISO TC42は、Graphic Technologyを担当するISO TC130との強調関係を密にしており、色再現関連を審議する作業部会はTC130とのJoint WGとなっている。

10-2-3 通信機器との整合

近年、カメラ機能を備えたカメラフォン(Cameraphone)が携帯電話機の主流になっているが、日本における携帯電話産業は、電波利用の面では民生用産業とは別の領域で動いている。ただし、電話機を製造してキャリ

ア各社に提供しているのはDSCを製造している会社と重複するため、カメラフォンにはDSCの技術がかなり活用されているので、カメラフォンに関する技術検討をカメラ技術を主体として行うことも不可能ではないと思われる。

既に、米国のI3A (International Imaging Industry Association) の先進事業 (Initiative) の一つとして、CPIQ (Camera Phone Image Quality) がカメラフォンの画像に関してカメラ側からの検討を加えることを始めている。

<注>

- (1) 平成19年4月に経済社会総合研究所景気統計部が発表した消費動向調査
- (2) 総務省情報通信白書平成19年版 資料編

11 | 考察および謝辞

人類は太古の昔からコミュニケーションの手段として画像を用いてきた。画像によるコミュニケーションは言葉や文字のような構成規則を知らなくても、見ただけで意味を感じ取ることができる優れた手段である。しかも、この画像という優れたコミュニケーション手段を用いているのは人類だけである。

人類はこの「画像文化」を育て上げ、その画像文化発展のための様々な技術革新を重ねてきた。画像文化は絵画という大きな文化を形成し、絵画の制作のための技術革新も数多く残してきた。

一方では、技能的に習熟が困難な絵画を、安易にかつ満足できる品質で作成するための技術開発も行われ、カメラとして発展した。

このカメラ発展の流れを、カメラを画像機器としての側面から支えた技術、および情報機器としての側面から支えた技術に分類して、付図に系統的に示す。

カメラの原点は、紀元前のアリストテレスが言及したカメラオブスキュラに遡る。

光化学反応を利用して画像を残すことに成功したのは19世紀に入ってからである。その後、写真術は、より短時間に正確な画像を手軽にかつ安価に得るかに関して技術改革が重ねられ、さらに自動露出やオートフォーカスなどのユーザフレンドリな機能も開発された結果、戦後の日本ではカメラはステータスシンボルとしての必携品といわれるまでになった。

しかし、電子化時代といわれる20世紀後期において、様々な日用品が電子化される中で、カメラは化学主体の機器としての立場を保ち続けるかに見えた。

画像機器の電子化は、放送用機器から始まった。家庭用ビデオカメラや8mmカムコーダなどのビデオ機器類は、この放送用の機器を民生用機器に応用したものである。これらの機器は、しかしながら画像情報をアナログ信号として磁気テープや磁気ディスクなどに記録するものであり、伝送や転写における画質の劣化を完全に除去することはできなかった。

1981年に発表された電子カメラは、ビデオカメラの一場面を切り取って静止画としてフロッピディスクに記録するもので、初めて静止画記録の電子化が行われたものとして注目すべきものである。しかし、この電子カメラにおいてさえ、画像情報の他に音声情報を同時に記録することは可能であるが、それらは記録される画像の補助情報として付随的に用いられるもので、撮影時の情報や画像に関する情報まで記録することはでき

なかった。

画像情報が論理情報として、真にマルチメディア化された状態で扱われたのは、DSCが初めてである。

デジタルは人間の知覚を離れて、物理現象を論理的に記述する手法である。従来の銀塩カメラは化学変化により潜像を得るものであったが、その潜像は特別なルールや取り決めがなくても顕像化して見るができる。

それに対してDSCでは画像は特定の規則に従ってコード化され、記録されているため、その規則が判明しなければ潜像さえも見ることはできない。画像によるコミュニケーションが、視覚を通して直接相手に働きかける物理的な手段としてスタートしながら、DSCでは伝送や蓄積の手段を論理的手法に委ねたことに注目すべきである。

従来の情報伝達手段が、感覚的な物理量をそのまま伝送あるいは蓄積していたのに対して、DSCでは感覚に働きかける入出力部分を物理量とする以外は、全て伝送、蓄積、加工などに合理的なデジタルという論理量を用いた。したがって、画像と同時に付属情報も論理的記述に従って画像情報と共に記録することも可能となった。

銀塩カメラが画像取り込みのための機器であったのに対してDSCが画像情報システム内における画像入力機器として位置づけられる所以である。

この実現には、JPEG、TIFFをベースとしたフォーマットの構築が大きな貢献をした。また、フラッシュメモリやそれを使用したメモ리카ードの実現の貢献も大きい。

最初に市場に出されたDSCの価格は再生機や記録装置などを含んだ1セットで乗用車1台が買えるほどであったが、1995年にQV-10Aが5万円を切ってから、DSCの価格は毎年下落してきた。その一方で性能は毎年のように向上してきている。1989年の初期のDSCでは40万画素のCCDを使用しており、画質は銀塩カメラにとっても及ばなかったが、1983年には100万画素を超える「メガピクセル」CCDが採用され、その後毎年のように多画像化が進んだ。

DSCの画質が銀塩カメラに比して見劣りしていた時代には、ポスターや出版物などの印刷分野においては、大判のフィルムを使用するのが主体であった。しかし、最近のDSCは解像度でも色再現性においても大判銀塩

カメラと遜色のない画質が得られるものが発売されており、印刷分野などでもデジタル化が急速に進み、技術的にもDSC分野との交流が盛んになってきている。

民生用コンパクトDSCにおいては、現在1万円代のものも発売されているが、PCを始めとする画像情報機器としての存在意義は大きい。PCはDSCの画像をOS内で処理できるようにOSを改良してきたし、プリンタはDSCからの画像印刷を容易にするための機能改善のためにDSC側と協力してきた。

また、個人情報機器として急速な発展を遂げてきた携帯電話においてもカメラ機能を付属させたものが生産の過半数を占めるようになった。

このカメラ付携帯電話も、DSCからの技術移転を受けて、同じフォーマットで作動するため、DSCで撮影した画像との互換性を持っている。このため、このカメラ付携帯電話もDSCの範疇に入れて差し支えないと思われる。特に、常時持ち歩く携帯電話以外にさらにDSCを持ち歩くことを不便と感じるユーザー層や、カメラ付携帯電話の画質で満足しているユーザー層、撮影した画像は保存するよりも友達などへ送信することが多いユーザー層などにとって大きな市場となる。

このように、DSCは画像情報機器としてこれからも発展を続ける。その目標の一つは画像機器としての性能を重視したものであり、高画質・高性能を追求する業務用およびハイ・アマチュア用と、一般民生用の使い勝手の良いコンパクトDSCという二極分化の方向がある。第二の目標は、コミュニケーションを重視する

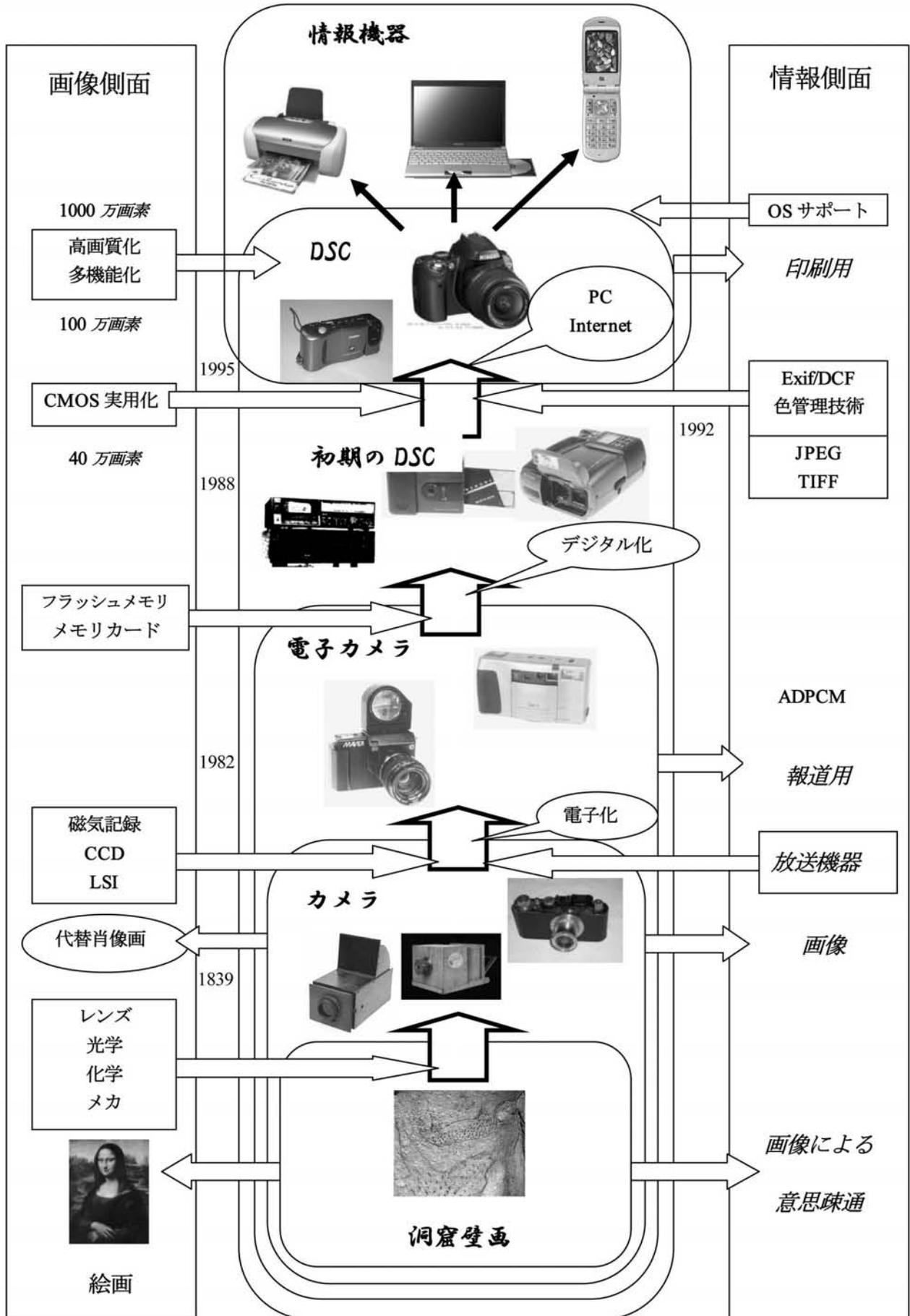
情報機器として、DSCを持たなくても携帯電話の画質で満足できるユーザー向けのカメラ付携帯電話であり、これら二つの目標を合わせた三極分化に向かうと思われる。

最後になったが、本報告を纏めるに当たり、貴重なお話を伺う機会を設けて頂き、資料の提供などのご協力を頂いた次の各位に対して深い謝意を表す。

1. 財団法人日本カメラ財団
2. 有限責任中間法人カメラ映像機器工業会
3. キヤノン株式会社イメージコミュニケーション事業本部および広報部
4. 富士フイルム株式会社広報部
および先端コア技術研究所 乾谷正史氏
5. カシオ日立モバイルコミュニケーションズ
末高弘之氏
6. 株式会社東芝科学館
7. 東北大学名誉教授 舩岡富士雄氏
8. 株式会社イメージリンク社長 内山雅之氏
9. InvenSense日本代表 元富士写真フイルム
大地成治氏
10. 財団法人インターネット協会副理事長
株式会社インターネット戦略研究所
代表取締役会長 高橋徹氏
11. インプレスR&D社長 井芹正信氏

(順不同)

デジタルスチルカメラの系統図



	名称	資料形態	所在地	制作者	制作年	コメント
1	デジタルカメラ試作機 DC-90 愛称：熱子	実体	東京都東大和市桜が丘2-229-1 カシオ日立コミュニケーションビルディング	カシオ計算機株式会社	1991	1995年にカシオ計算機から発売した液晶表示付きデジタルカメラ「QV-10」の機能試験用として「熱子」と共に作成した機能試作品。発熱が激しかったため、「熱子（あつこ）」という愛称がつけられた。特に発熱については動作が不安定になるためにファインダの部品を取り払い払い送風機を取り付けたためファインダの代替として液晶テレビを使用したことから液晶表示付きデジタルカメラを発売するに至った。
2	デジタルカメラ試作機 DC-90 愛称：重子	実体			1991	「QV-10」の機能試験用として「熱子」と共に作成した機能試作品。汎用部品を多用したため、カメラ試作品としては重量が重かったため、「重子（おもこ）」という愛称がつけられた。
3	EOS Kiss DIGITAL	実体	東京都大田区下丸子3丁目30番2号	キヤノン株式会社	2003	自社開発の約630万画素大型単板CMOSセンサー（22.7×15.1mm：APS-Cサイズ相当）と、その能力を最大限に発揮するキャノン独自の高性能画像処理プロセッサ「DIGIC」により、幅広いユーザーの要求に応える高精細・高画質・自然な色あいを実現。
4	FUJIX DS-IP	実体	東京都港区赤坂9丁目7番3号 （東京ミッドタウン）	富士フイルム株式会社	1988	光をCCDで電気信号に変換した後、AD変換したデジタルデータをメモリカードに記録する世界初のデジタルカメラ。2MbitのSRAMカード1枚に、フィールド画像で10枚、フレーム画像で5枚の画像が記録できた。なお信号処理はメモリカードからPCにデジタルデータを読み出して処理していた。105(W)×75(H)×50(D)mm、本体質量約400gであった。
5	FUJIX DS-X	実体			1990	量産・市販された世界初のデジタルカメラ。約2MBのSRAMカード1枚に、6枚のフレーム画像を適応差分PCM（ADPCM）方式で圧縮記録することが出来た。また、デザイン的にも従来のフィルムカメラと一線を画する双眼鏡型である。
6	FinePix4700	実体			2000	富士フイルム独自のスーパーCCDハニカム（総画素数240万画素）を採用した初めてのデジタルカメラ。従来のCCDの画素配置を45度回転しハニカム状にすることにより、人間の視覚特性に合わせて縦横の解像度を向上し、合わせて画素の形状を八角形にすることで集光効率を最適化しSN比の向上も実現した。記録画素数は432万画素。
7	FinePix F700	実体			2003	独自の感度が異なるふたつの画素（有効画素数620万画素：感度が高いS画素：310万画素、ダイナミックレンジを広げるためのR画素：310万画素）を持ったスーパーCCDハニカム4SRを搭載し、従来比400%の広ダイナミックレンジを実現したデジタルカメラ。白とびや黒つぶれといった現象に強く、明るいところから暗いところまでなめらかな画像を撮影することが出来た。

年代	特記事項	画素数 (万画素) <small>(注)</small>	パソコン 普及率 (%)	インター ネット利 用者(%)	DSC生 産額(億 円)
B.C.30000	Altamira洞窟壁画				
B.C.16,000 -8,000	Aristoteles、Camera Obscuraの原形				
~B.C. 350	古代エジプト壁画				
B.C.2400	キトラ古墳、高松塚古墳壁画、日本最古の肖像画(聖徳太子)				
7世紀末-8 世紀初頭	Camera Obscuraの流行				
18世紀	Thomas Wedgewood硝化銀による画像固定法				
1802	Nicephore Niepce、Heliography発表				
1824	現存する最古の写真(Niepce 馬引く男)				
1825	Daguerreotype公開				
1839	Talbot、ネガ・ポジ法を発明				
1841	Archer、湿板写真法発明				
1851	乾板写真法発明				
1871	Eastman Kodak、CameraとFilmのセット発売				
1888	RolleiFlex発売				
1928	オート・フォーカス				
1965	マビカ発売(Sony)				
1981	オーディオ・カセット静止画記録装置発表				
1985					
1986					
1987	世界初のDSC試作機 DS-1P(富士フィルム)	40	11.7		
1988	世界初のDSC市販製品 DS-X(富士写真)、IMC-100(東芝)		9.7		
1989			11.6		
1990	JEIDAデジタルカメラWG発足		10.6		
1991	ISO TC42 WG18設置、日本からフォーマット提案 「熱子」「重子」試作機(カシオ)		11.5		
1992	Exif策定(JEIDA) JPEG規格化(ISO/IEC JTC1)		12.2		
1993	VC-1000(オリンパス)		11.9		
1994	QV-10A(カシオ) Exif ISOに提案(JEIDA)		13.9		
1995	QV-10(カシオ)(¥49,800) Exif Version1		15.6		
1996	各社30~80万画素DSCで市場参入		17.3		
1997	Exif Version1.1 / Version2.0	100	22.1	9.2	
1998	コンパクトメガピクセルDSC FinePix700(富士フィルム)		25.2	13.4	
1999	デジタル一眼レフ台頭	200	29.5	21.4	
2000	スーパーCCDハニカム(富士フィルム) Cサイズ相当CMOSセンサ搭載EOS D30(キヤノン) コンパクトDSC IXY DIGITAL(キヤノン) カメラ付携帯電話(シャープJ-SH04)	300	38.6	37.1	4,257
2001	500万画素 COOLPIX 5000(ニコン)	500	50.1	44.0	5,725
2002	FOVEON X3		57.2	54.5	6,742
2003	スーパーCCDハニカム4 SR(富士フィルム) デジタル一眼レフ入門機 EOS Kiss DIGITAL(キヤノン)		63.3	60.6	10,720
2004	IOS2234でExifを認定		65.7	62.3	13,628
2005	Adobe DNG		64.6	66.8	12,762
2006	1000万画素一眼レフ	1000	68.3	68.5	14,033
2007	1200万画素 D3 / D300(ニコン)		71.0		

(注) 民生用DSCを対象とした。

本報告書は平成19年度科学研究費補助金特定領域研究『日本の技術革新—経験蓄積と知識基盤化—』
計画研究「産業技術史資料に基づいた日本の技術革新に関する研究」(17074009)の研究成果である。

国立科学博物館 技術の系統化調査報告 第10集

平成20(2008)年3月19日

- 編集 独立行政法人 国立科学博物館
産業技術史資料情報センター
(担当:コーディネイト・エディット 永田 宇征、エディット 大倉敏彦・久保田稔男)
- 発行 独立行政法人 国立科学博物館
〒110-8718 東京都台東区上野公園 7-20
TEL: 03-3822-0111
- デザイン・印刷 株式会社ジェイ・スパーク

正誤表(デジタル・スチルカメラの技術発展の系統化調査)

年月日	箇所	誤	正
2010年5月10日	P128年表18行目	1965 マビカ発売	行削除
	P128年表19行目	1981 オーディオ・カセット静止画記録装置発表	1981 マビカ発売
	P128年表20行目	1985	1985 オーディオ・カセット静止画記録装置発表
	P128年表21行目	1986	行削除