

# 解説

## 最近の写真技術

久保 走一

千葉大学工学部画像工学科 〒260 千葉市弥生町 1-33

(1982年12月16日受理)

### Recent Photographic Technology

Souichi Kubo

Department of Image Science and Engineering, Faculty of Engineering, Chiba University,  
1-33, Yayoi-cho, Chiba 260, Japan

#### 1. ま え が き

銀塩写真は1世紀以上に亘って多くの改良が重ねられて今日に至っている。現在では多くの新しい画像システムが開発され実用化されているが、銀塩写真は画質・感度などの面で依然として優位にある。

このような銀塩写真は画像を形成する方式から類別すると次の三つの世代に分けられる。

第一世代：銀塩に吸収される放射エネルギーを直接的に金属銀に変換して画像を形成する方式。つまり、現像を行わない方式で感度が低く、撮影用には適切でないがプリント用には実用された時代があった。この基礎となる銀塩の光による変色の現象は18世紀頃から知られていた。

第二世代：露光によって銀塩結晶上に生じた潜像を、現像によって金属銀に変換し画像を形成する方式。現像によってきわめて大きな増幅が行われ、感度が飛躍的に上昇する。現在の普通に使われている黒白写真感光材料はこの世代に属している。

第三世代：露光によって銀塩結晶上に生じた潜像を、現像によって金属銀に変換すると同時に色素を生じ、この色素により画像を形成し金属銀を取り去る方式。つまり、銀を画像形成のキャリアーとして使用するもので、現在のカラー写真感光材料および新しいタイプの黒白写真感光材料がこの世代に属して

いる。

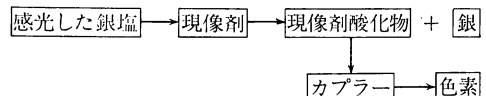
以上のように、現在では、写真感光材料は第三世代の方式によっているが、これに属する実用の感光材料も年々改良が行なわれ感度・画質・処理性の優れたものとなってきた。たとえば上田<sup>1)</sup>は感度と処理性の変遷を図1および図2のように指示した。図1および図2を外挿すれば、ほぼ適切な未来予測ともなる。

この稿では、第三世代の銀塩写真感光材料に関し、カラー画像を形成する方法について簡略に説明し、1980年頃以降に現われた新しい写真システムに関して概説することを目的とした。

#### 2. 第三世代の銀塩写真感光材料

色素によって画像を形成する方式は、現在ではカラー感光材料だけでなく黒白用感光材料にも応用されている。たとえば、Ilford XP 1<sup>2)</sup>、Agfapan Vario-XL Professional<sup>3)</sup>などがこれに属している。これらはともに広い露出許容域を持ち、最終的には銀を取り去って色素による黒白画像を形成することを特徴としている。この場合、現像処理がカラーネガフィルムと共通になることのほかに、カラーネガフィルムに投入されている画質改善の技術を黒白にも応用できる利点がある。

現在、多くのカラー写真感光材料の色素画像は



のような過程で形成され、銀は漂白定着処理で除かれる<sup>4)</sup>。

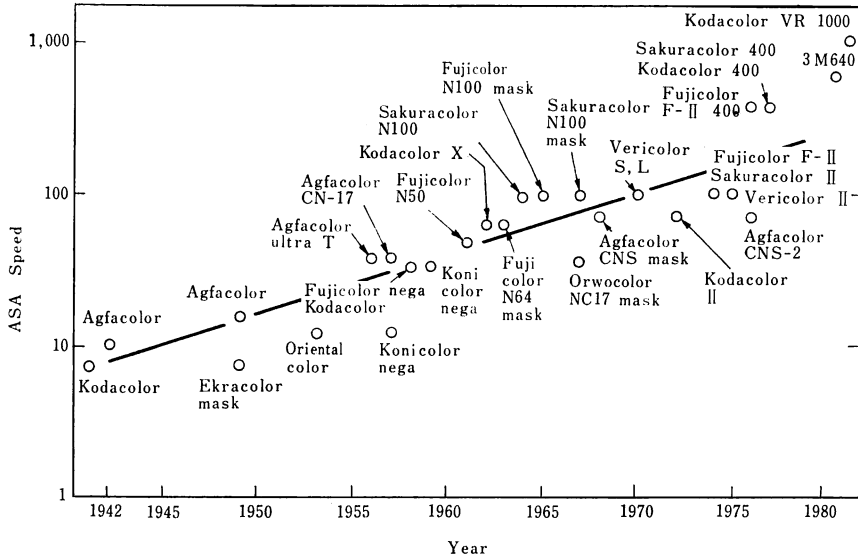


図 1 カラーフィルムの感度上昇 (上田の図<sup>1)</sup> に筆者が Kodak VR 1000, 3 M 640 を加えた)

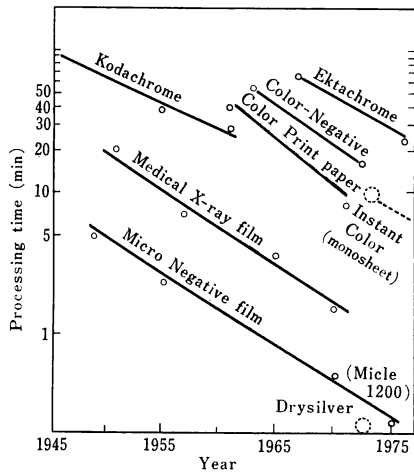
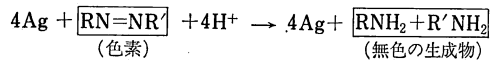


図 2 カラー現像処理時間の短縮<sup>1)</sup>

この過程で用いられるカップラーはフィルムの感光乳剤層に加えられているが、このカップラーに DIR (development inhibitor release, 現像抑制物質遊離型) カップラー<sup>5)</sup>を使用すると、粒状性を良好なものとし、エッジ効果を強めることによる鮮鋭度の上昇、重層効果を強めることによる色補正の向上、などが期待できる。したがって、黑白フィルムでも粒状度、鮮鋭度の改善が可能となる。

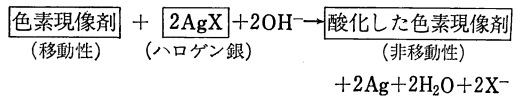
このような発色現像を用いるもののほかに、感光乳剤層中にあらかじめ色素が含まれており、現像によって生じた銀の量の分布に従って色素を漂白してカラーポジ画像を生ずるものがある。つまり



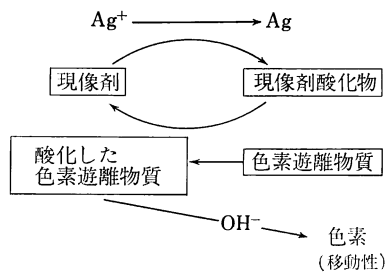
のように金属銀の存在下で色素を漂白する方法で銀色素漂白法と呼ばれている<sup>6)</sup>。

また、撮影後すぐカメラの中で現像処理を済ませてしまう in-camera-process のカラー写真感光材料には Polacolor, Kodak instant print, Fuji Fotorama などがある。

Polacolor では



のように、感光した銀塩を現像すると色素現像剤 (色素が化学的に結合している現像剤; dye developer) が非移動性となり、現像が行なわれない部分では色素現像剤が受像層に移動してカラーポジ画像を形成する<sup>7)</sup>。一方、Kodak instant print film および Fuji Fotorama film では



のように、普通の黒白現像に使われる現像剤で現像を行なうと、感光した銀塩から Ag を生じ、現像剤は酸化される。この酸化した現像剤は色素遊離物質 (dye releaser) を酸化して元の形に戻り、一方、現像液中のアルカリの存在によって移動性の色素が遊離して受像層でカラー画像が形成される<sup>9)</sup>。

現在、実用されているカラー写真感光材料のほとんどは以上のうちのいずれかの画像形成方法によるものである。

また、発色現像で色素形成の段階において増幅を行ない、感度上昇を期待する研究がコバルト錯体、過酸化水素などの処理を基礎として進められている<sup>9)</sup>。

### 3. 新しい写真システム

#### 3.1 ディスク写真システム

1982年の前半に Kodak から disc system が発表さ

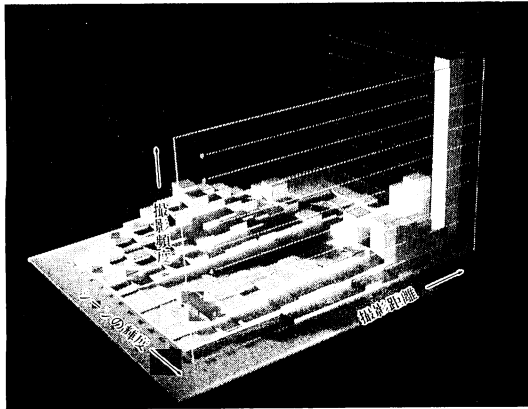


図3 Photographic space

れカメラ、フィルム、プロセッサなど一連の製品が発売された。このシステムでは従来のシステムで包括できなかった低レベルの被写体輝度あるいは撮影距離などを「写真空間; photographic space」という概念<sup>10)</sup>で解析し確実な写真記録を可能とする対象の範囲を拡大することを目的としている。この目的により短焦点レンズ、ストロボ内蔵、その他の特徴を持つカメラが開発された。また、ディスク状に画面を配列した新しいフィルムフォーマットが提案された。写真空間とは図3のように、従来の多くの撮影を対象にして、被写体輝度・撮影距離・撮影頻度で分類し空間として表示したものである。この空間から、新しいシステムで包括すべき領域が求められ図4に示される撮影領域の拡大が得られた。このシステムに使用するカラーネガフィルムは 8.2×10.6mm の画面から約11倍の拡大プリントを作ること一般的な使用条件として粒状度、鮮鋭度などが設計されている。粒状度や鮮鋭度などをコントロールするためには DIR カプラーが使用されるが Kodacolor HR disc film では、現像時に現像抑制物質が感光乳剤層内を拡散する速度をコントロールして任意の空間周波数の位置で MTF を最大とすることのできる新しい技術が投入されている。このシステムでは最終プリントの空間周波数 1 line/mm で MTF 最大となるようにカラーネガの MTF 最大値は 11 lines/mm 近辺で示されるように設計されている。また、粒状性は 110カメラに Kodacolor 400 を使用した場合と同程度になっている。感度は ISO 200 で設計された。

disc system では図5に示すように、disc film から従来のようにカラープリントを作るのと同時に video

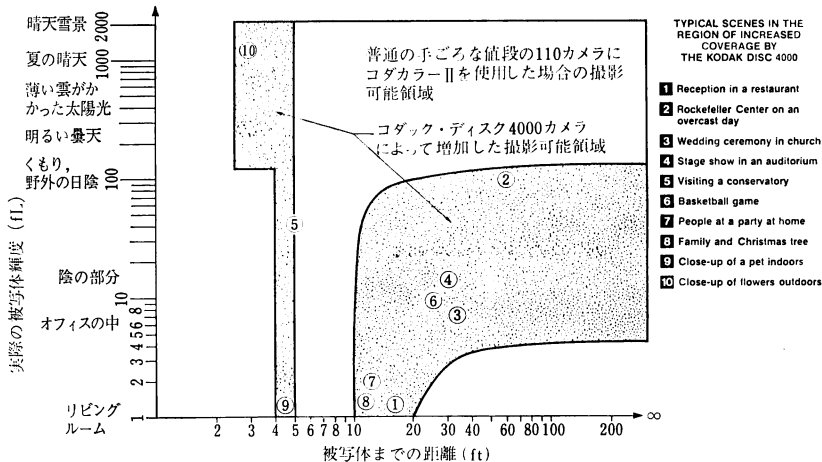


図4 Kodak Disc Camera 4000 でカバーすることのできる撮影対象

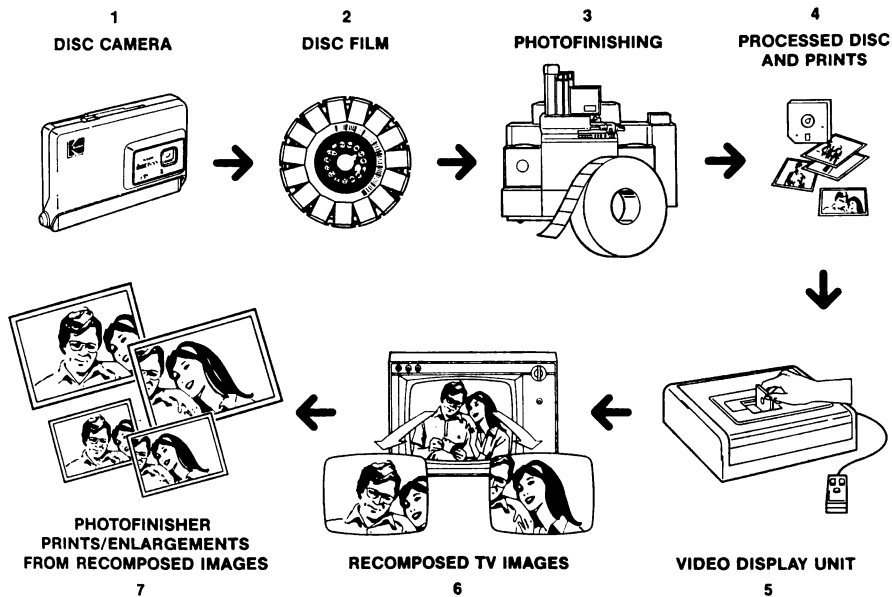


図5 コダック・ディスクフィルムのビデオディスプレイシステム

表1 写真とビデオ画像の情報容量に関する比較

Imaging system	Information capacity	Ratio
Video still camera ( $0.6 \times 10^6$ bits/cm <sup>2</sup> )	$0.48 \times 10^6$ bits/frame	1
Disc film (color)	$0.98 \times 10^6$ bits/frame	1.6
110 film (color)	$2.63 \times 10^6$ bits/frame	4.0
135 film (color)	$1.05 \times 10^7$ bits/frame	18.0
6×7 film (color)	$5.12 \times 10^7$ bits/frame	88.0
4×5 inch film (color)	$1.53 \times 10^8$ bits/frame	256.0
10×16 inch film (color)	$1.22 \times 10^9$ bits/frame	2040.0

information capacity of color film :  
( $1.22 \times 10^6$  bits/cm<sup>2</sup>)

display unit を通して CRT に画像を映し出すことができる。この場合、CRT 上で任意のトリミングが可能で、さらにトリミングの後の画像をフォトプリンターでカラーペーパー上にプリントすることもできる。画像は時系列的画素配列に変換されるが、画素間の情報を内挿処理することで画質は良好に保たれる。このビデオディスプレイにおける画質は表1に示すように、きわめて小型のカラーネガを使用する disc system でも CRT に映されるビデオ画像に比較すると十分な情報容量を持っている<sup>11)</sup>。

disc system ではフィルム画面以外の空間にプリント処理や画面検索に必要な情報が入り、また磁気記録も可能なので video display unit と結合させるには有利なシステムである。このように、従来まではカラー印画

紙に焼き付けてカラープリントを作るための媒体として使用することだけが主たる目的であったカラーネガ画像はビデオ画像の中間体として使用することが考慮されるようになる傾向にある。

Kodak disc system に適用する disc film が富士写真フィルムからフジカラー HR フィルムとして 82 フォトキナで発表された。このフィルムでは新しい二重構造の銀塩結晶、新しい DIR カプラーを使用し、乳剤層を薄くすることによって鮮鋭度、粒状度、色再現性を向上させたと説明されている。とくに粒状度は Kodacolor HR よりも良好である。

### 3.2 DTR 加法混色カラーフィルム

DTR (diffusion transfer reversal) プロセスは、はじめ Agfa および Gevaert で開発され黑白コピー用感光材料が作られた。このプロセスは Edwin H. Land によって撮影用感光材料として応用され Polaroid の one-step photography が完成した<sup>12)</sup>。Land による one-step photography の実現は 1947 年に報告されている<sup>13)</sup>。

1982 年の後半に、この黑白タイプの DTR プロセスと加法混色の原色を微細に配列したフィルムベースとを組み合わせた新しいタイプのカラー透明陽画システムが Polaroid 社から発表された。このシステムは先年発表された Polavision と同じ発想のものであるが、Polavision と異なる点は銀画像を転写した後の乳剤層を剝離除去することである。このシステムのフィルムは 135 フォ

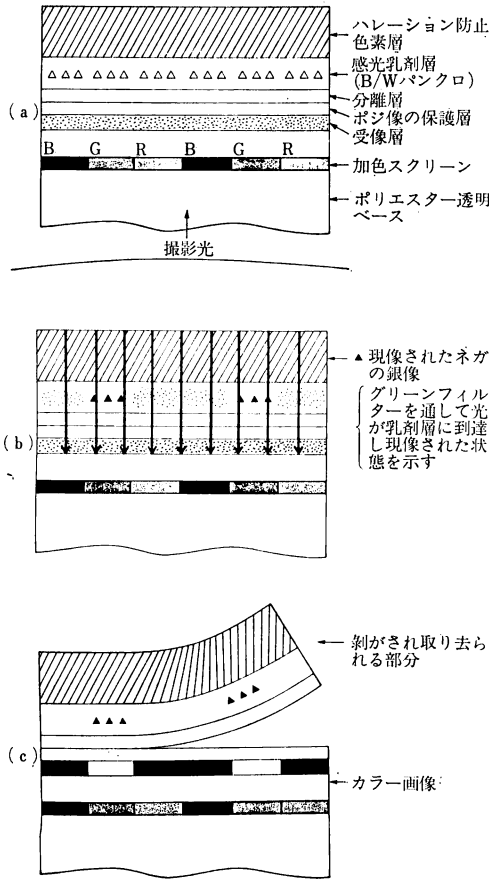


図6 Polaroid Polachrome 135 カラーズライドフィルムの構造と色再現

- a) 露光前のフィルムの構造(横断面)
- b) 露光後オートプロセッサに引き込まれ現像が行なわれている状態を示す。現像された部分のハロゲン銀は溶剤(ハイポ)で移動性となり受像層で還元されカバリングパワーの高い銀像(ポジ)となる。
- c) 現像完了後、分離層からは引き剥がされる。フィルムベース上には加色スクリーンと銀のポジ像が残り被写体の色を加法混色により再現する。

ーマットで普通のカメラに入れて使用できる。フィルムの構造と色再現のメカニズムは図6に示すとおりである。

この Polachrome 135 カラーズライドフィルムは、ISO 40、スクリーンの3色ストライプの幅  $8\mu\text{m}$ 、黒白DTR方式の乳剤層・受像層で構成される。撮影後オートプロセッサに巻き込み、再び巻き戻すとカラー透明陽画が得られ、きわめて短時間に処理が完了する。

### 3.3 オートプロセス DTR 黒白フィルム

1982年秋、Polachromeと同様にオートプロセッサ

で処理する DTR 黒白フィルム Polagraph HC (ハイコントラスト)、Polapan CT (連続階調パンクロ) が発表された。従来からポラロイド・インスタント写真の問題点は専用のカメラを必要とすることであったが、これらのフィルムは普通の 35mm カメラで撮影できるもので、とくに学術的な写真用途を広めるために適切な感光材料といえよう。前項の Polachrome とともにこのシステムの性能を表2に示す。

### 3.4 超高感度カラーネガフィルム

Kodak は Kodakolor VR 1000 を発表した。このフィルムはカラーネガフィルムで感度が C-41 処理(コダックによるカラーネガの標準処理ですべてのカラーネガに適用されている)で ISO 1000 を示す。カラーフィルムの高感度化は年とともに進み、その変遷は図1でみたとおりである。普通のカラーネガでも増感処理により2~4倍の感度増加を期待できるが、Kodakolor VR 1000 の場合は標準処理で ISO 1000 であるから増感処理によって 2000~4000 も期待できることになる。

このフィルムの特徴は、層構成および銀塩結晶が従来と異なっている点にある。図7に示されるように、感色乳剤層の構成は Kodakolor CG 400 に近いが、青感層と緑感層の間のイエローフィルターが除かれ透明な中間層のみとなっている。イエローフィルターは緑感および赤感乳剤層に固有な青色領域の感度に対して入射光から青色光を除き、事実上固有青感度を除去するうえで必要なものである。しかし、ISO 1000 のフィルムが使用される状況を考えれば、照度の低いタングステン光など短波長成分の少ない照明もあり、保護層や中間層を UV 吸収層にすることと各乳剤層中に加えられたカラードカップラーやハレーション防止色素によって色分離効果があり、十分に良い色再現が可能になっているものと考えられる。

また、起高感度化のもう一つの要因は高感度層に使用された銀塩結晶の形状である。これは非常に薄い平板大型結晶で T 型 (tablet 型) 結晶と呼ばれている。このような結晶を含む乳剤がフィルムベースに塗布・乾燥されると乳剤層は厚み方向にだけ収縮するので、平板大型結晶はその面はフィルムベースと平行に並んで配列される。これは、図6の高感度層中に横長の結晶断面が多くみられることから実証される。平板型で大型の結晶がこのように配置されると乳剤面に入射する光量子の捕捉効率が高まり感度上昇につながる。また、カラーフィルムの現像に用いられる発色現像剤は、薄い結晶に対して現像効率が高いので、この点も感度上昇につながって

表 2 ポラロイド・オートプロセス 35mm フィルムの性能

特 性	ポラクローム・カラー・ トランスペアレンシイ (カラー透明ポジ)	ポラグラフ HC ハイコントラスト (高コントラスト)	ポラパン CT コンティニューアストーン (連続階調)
パ ラ ン ス 感 度 (ASA/DIN)	昼 光 40/17	パンクロ 400/27	パンクロ 125/22
ラ チ テ ュ ード	±1½ 絞り	±1/3 絞り	±1½ 絞り
相 反 則 特 性			
1 秒 露 光	+1/3絞り(フィルターなし)	+1/3 絞り	+1/3 絞り
10 秒 露 光	+2/3絞り(フィルターなし)	+2/3 絞り	+2/3 絞り
コ ン ト ラ ス ト (ガンマ)	2.0	3.5	2.0
フ ィ ル ム 解 像 力 (黑白縞の対の数/mm)	80	100	100
カ メ ラ 内 解 像 力 (黑白縞の対の数/mm)	60	60	60
粒 状 性	普 通	微 粒	微 粒
色 再 現 性	良 好	—	—
色 分 離 性	良 好	—	—
処 理 時 間*	3分	3分	3分
現 像 時 間	60 秒	60 秒	60 秒
処 理 温 度 域 (°C)	22±7	22±7	22±7
映 写 時 ベ ー ス 濃 度	0.7	0.1	0.1
撮 影 枚 数	12 または 36	12	36

\* 装着にかかる時間, 60 秒の現像時間, 取出し等にかかる時間を含む。

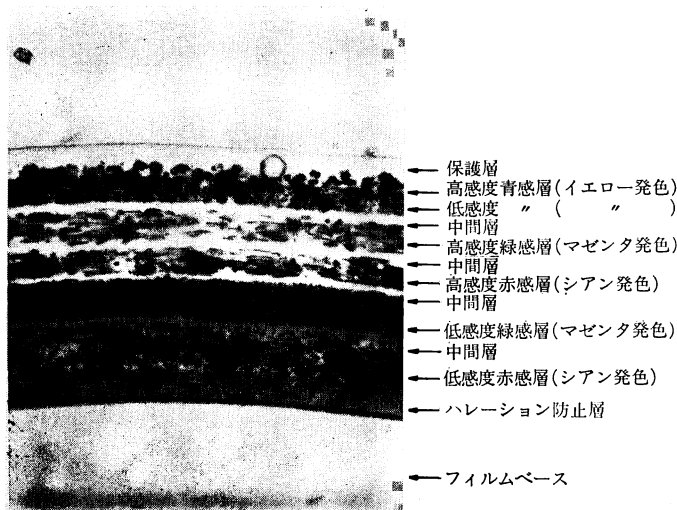


図 7 Kodacolor VR 1000 の層構成 (横断面)

る。

このような大型結晶を用いても, DIR カプラーなど像特性を向上させるエレメントを応用すると, 粒状の増大, 解像力などの低下を防ぐことが可能で Kodacolor VR 1000 の解像は図 8 の MTF 曲線に示されるように Kodacolor CG 400 にわずかに劣る程度である。図 9 に

は参考として  $D\text{-log } H$  曲線を示した。

### 3.5 カラー DTR 方式のプリント用感光材料

1981 年に Kodak Ektaflex color print making system が発売された。これは, 撮影用の Kodak instant print film と同様に色素遊離物質 (ダイレリナー) を応用したものである。この感光材料は引伸し機でプリントを

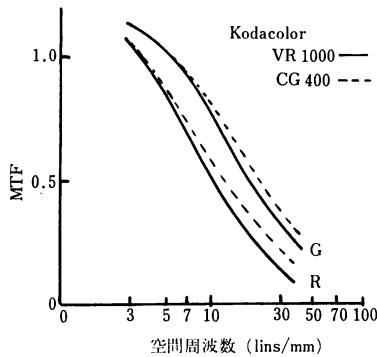


図8 Kodacolor VR 1000 の MTF 曲線

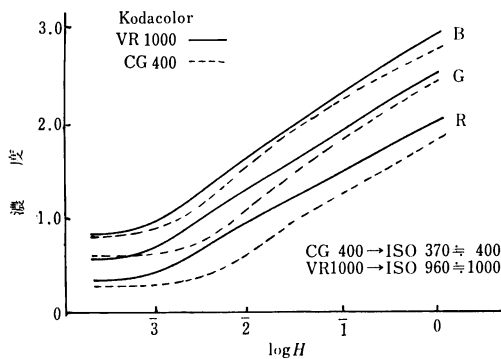


図9 Kodacolor VR 1000 の  $D$ - $\log H$  曲線

作成するために設計された。感光シートは、内部潜像乳剤を用いたポジ-ポジ型と普通の乳剤を用いたネガ-ポジ型の両方があり、カラースライドおよびカラーネガからカラープリントを作ることができる。感光シートは露光後 Ektaflex print maker に挿入され、処理剤を介して受像シートに圧着される。この際、ダイレリナーから遊離した色素が受像層に転写されカラー画像が形成される。6分後に感光シートと受像シートを引き離すとカラープリントが得られる。このシステムによって小規模暗室におけるカラープリント処理は非常に容易なものとなった。

1982年後半には、Agfachrome Speed が同じ目的の感光材料として発売された。これは、乳剤層と受像層が1枚の同じシートの上に重層塗布されているので、露光後、アクチベーターに浸すだけで処理ができる。アクチベーターに浸漬後90秒で画像が得られ、水洗3分のち乾燥させればよい。この感光材料はポジ-ポジ型で、感度もISO 10~25程度なので撮影用に大型フォーマットのカメラに入れて使うと良い写真が得られる。もちろん、本来の使用目的は引伸し機によるプリント用として

設計されたものである。

### 3.6 カラーリバーサルフィルム

1981年の末から3M 640 カラーリバーサルフィルムが発売され、従来ISO 400が最も感度の高いカラーリバーサルフィルムであったが、カラーリバーサルも高感度化の方向に向かいつつある。このフィルムはタングステンタイプでプロセスE-6処理である。色の再現も良好である。高感度化の一つの方法として、Ektachrome 400の増感処理が、第1現像時間の延長あるいは第1現像温度の上昇など、E-6処理を多少調整することで2~4倍程度まで可能となった。同時にFujichrome 400を2~4倍程度まで増感処理することが可能となった。これは、E-6同等の処理の前に、第1現像液とは組成の異なる特殊な処理液で前浴を行なうものでISO 1600程度の実用感度が得られている。

一方、カラーリバーサルフィルムの高品質化も進み、1982年末にプロ用フジクロームのシリーズが発表されている。これらのフィルムはISO 50, 100 (ともにデライトタイプ)、ISO 64 (タングステンタイプ)で発色性、鮮鋭性など画質面での改善が示されている。とくにフジクローム50は微粒子・高解像に設計され高画質のカラースライドの作成に期待される。

### 3.7 その他の写真システム

Polaroidのinstant color systemは、きわめて短時間に最終的な色調に安定するtime-zero super color systemを発表し、インスタント写真はますますインスタントの方向を目指している。

その一方で、Polaroidの大型instant color systemでは、ピールアパート方式の感光材料によって全紙大の印画を作ることが可能にした。また、工業用、科学用のハードコピー材料としてDTR感光材料の改善が進んでいる。

## 4. おわりに

現在、実用されている写真感光材料は、発色現像方式、銀色素漂白方式、色素現像剤方式、ダイレリナー方式など各種の方式がある。最も多量に使用され普通の写真システムとなっているのは発色現像方式を応用した感光材料である。これらの感光材料は、実用感度が年々上昇する方向にあり、また、高感度化にもかかわらず画質も良好に設計できるようになった。この意味で、発色現像方式の技術は円熟の領域にあると考えられる。今後、新しいエレメント—たとえばDIRカプラーのような—の開発がなされれば、またいちだんと性能の向上を

期待することができるであろう。

一方、インスタント写真方式も複数の方式が実用されるようになりその特長を競い合うようになった。使用目的別に特長が生かされた新しいシステムが今後ますます開発されることになろう。

また、従来の写真感光材料は記録した画像を印刷への情報源として適用するための特性を考慮したが、今後はビデオシステムに対する情報源であることも考慮した設計が必要となるであろう。多くの新しい画像システムを良きパートナーとして考える写真の設計は今後の大きな課題の一つである。

#### 文 献

1) 上田博造: 日写誌, 42 (1979) 5.

- 2) Br. J. Photogr., 127 (1980) 982.
- 3) Popular Photogr., 87 (1980) 102.
- 4) 笹井 明: 写真の化学 (写真工業出版社, 1982) p. 272.
- 5) C.R. Barr, *et al.*: Photogr. Sci. Eng., 13 (1969) 74, 214.
- 6) 笹井 明: 写真の化学 (写真工業出版社, 1982) p. 293.
- 7) 笹井 明: 同上 (1982) p. 297.
- 8) 笹井 明: 同上 (1982) p. 301.
- 9) 羽生禎待: 日写誌, 41 (1978) 93.
- 10) T.W. Faulker, *et al.*: *A Description of Photographic Space* (Kodak Publication, 1981).
- 11) 久保走一: 昭和 57 年電気四学会連合大会論文集, 3-143 (1982).
- 12) *Neblette's Handbook of Photography and Reprography, Materials, Processes, and Systems*, 7th ed., ed. J.M. Sturge (Van Nostrand Reinhold, 1977) pp. 247-260.
- 13) E. H. Land: J. Opt. Soc. Am., 37 (1947) 61.