テレビジョン用カラーフィルム

NHK 総合技術研究所 高 木 卓 四 郎

1. ま え が き

テレビ放送のカラー番組増加に伴って、カラーフィルムの使用量も今後ますます増していくものと思われる。テレビ用白黒フィルムについては、先にその濃度基準がきめられ¹⁾、現在一応この線に沿ってフィルムが制作され、放送されているが、カラーフィルムについては、放送局あるいは現像所その他で、個々にきめた条件に従って処理され、また、既成の劇場用のカラーフィルムも含めて、各局まちまちの条件で送出されている。テレビ用カラーフィルムについての問題は、本質的には(1)フィルムはどのような条件の下で撮影されなければならないか、(2)いかなる処理を施こせば最もよくテレビ系と適合するか、(3)どのような送像条件で放送をすれば、最も好ましい画像が家庭の受像機で再現されるか、ということの3点になる。

これらの諸点について、すでに発表されている方式、規準あるいは筆者らの行なってきた実験結果などを述べる。

2. カラーテレビに適するカラーフィルム

加色法によるテレビ系と、減色法によるフィルム系とは、色再現上、全域にわたって適合しにくい。このことを説明するには、Brewer²⁾が発表した図がよく利用される(図1)。テレビ系では B+A で示されるように、彩度の高い色は明るい画面中に再現されるが、フィルム系では A+C で示されるように、高い濃度部に彩度の高い色が存在する。テレビ放送で利用されるフィルムの濃度域は、両者に共通したAの範囲だけであるから、フィルム側の彩度の高い部分はつぶれてしまう結果になる。

このことは、映画館におけるフィルム再生、観賞の条件と、家庭におけるそれとをくらべれば、前者は十分に暗い室内で再生されるので、高濃度部の色彩やディテールもよく再現され、好ましく観察できるが、テレビ受像

図1 緑-マゼンタ平面における視覚濃度と彩度の関係

機が比較的明るい室内で、周囲に存在する種々の物体といっしょに観察される場合には、受像管のフレアと相まって、フィルム番組の画質をいっそう低下させる結果になる。この本質的問題をおいても、次のようなことがカラーフィルムに要求される。

(1) カラーセンシトメトリーによって得られた特性曲線は3本ともよく重なること。

発色現象という短い時間のうちに、3種の色素を同じ発色主薬との反応によって作り出す操作では、各色素を別々に入念に合成する場合とは違って、完全なものは得られない。また、濃度計の三色分解特性とビジコンカメラのそれとは、特に赤チャンネルで大きく違うので(図2参照)、特性曲線のガンマ特性が実際の動特性と違うことが考えられる。しかし、少なくとも濃度計で測定した値が大きな差をもつようでは、とうてい満足な色再現性を望むことはむずかしい。

(2) 低濃度域でも彩度の高い色調が得られること。

(3) 色再現性が良好であること(測色学的には被写体の色度点とフィルムの再現画像の色度点とは等しくあるべきであるが、フィルム本来がそのような作られていないことと、実際には現像処理という化学的プロセスを必要とする過程では、できるだけ被写体の色相に対して

"Color Film for Television Use" by Takushiro Takagi (NHK Technical Research Laboratories, Tokyo)

図2 フィルム（エクタクローム ER）色素と撮像系（NTSC方式）の波長特性
（ただし、波長目盛上の垂線は、ASA規格による濃度計の三色フィルターのピーク位置を表す）

その変化が少ないこと）。

色相と彩度の関係に加えて濃度（あるいは輝度）が絡むと、色再現性はますます複雑になり、カラーフィルムでは完全な再現はできないと断言できよう。そこで、従来のフィルムカメラ系の撮像特性を考えてみると、フィルムを被写体と考えて、このものの情報を忠実に再現しようという考えから、生カメラの撮像特性とほとんど同じもので取り出している。ここで注意しなければならないことは、フィルム上の画像というものは、撮影あるいは現像処理という過程を経ているので、相当にデフォルムされたものであって、被写体とは似て非なるものであるということである。

したがって、根本的にはフィルム情報を基にして被写体と同じものが再現できれば良いが、現方式では無理と思われるので、少なくともフィルム情報を能率よく取り出す方策として、赤チャネルの撮像特性を長波長側にずらし、少しでもフィルム色素の特性に合わせるほうが好ましいのではないか。

たとえば、濃度計と同じ分解特性にすれば、写真の特性曲線と動特性とは比較的一致するはずである。ここでさらにその帯域を狭くすれば、色素のコンタミネーションを少なくするという考え方もあるが、あまり狭帯域にすると、フィルムの種類によっては、かえって能率を低下するものも出てくると思われるので、適当な幅があるであろう。

3. テレビ用カラーフィルムの制作

ネガ・ポジ方式の場合も、反転方式の場合も、得られたポジ像の質が最終画像の品質に大きい影響を与えることは容易にわかる。初めの撮影の際に、テレビ用という用途を考慮に入れず、不注意に撮影されたものは、後の過程でいくら改善しようと試みても、その程度は些少な

ものであることを知らなければならない。さらに、白黒のテレビ受像機でみている人が多いということを、いつも頭に入れて撮影することが大切である。色彩的には好ましいコントラストの画面であっても、白黒でみていて何のコントラストもつかないようなものであってはならない。この項では撮影に関する基本的事項と、処理上の問題点に分けて述べることにする。

3.1 撮影に関すること

スポット輝度計などを使って、いつもテレビ画像を考えながら撮影することが必要である。これには、テレデキシコン法³⁾の採用がよい。実際の推奨基準はWaner⁴⁾によって述べられている。(1) 十分に照明された重要な被写体の反射率は最大 60%、最低 3% の範囲に保つこと、(2) 人間の顔の明るさ、輪郭には特に注意を払い、できるだけ自然感（記憶による）をもつように、そして、出場人物の間に極端な差がないようメーキャップさせることも必要である。一応の目安として、規準の白（60% 反射率）の半分よりやや少なめに再現すればよい。したがって、顔の部分のフィルム濃度は、同一条件で撮影された 25% 反射率の灰色のものにだいたい同じである。(3) セット撮影における晴天の昼間の場面では、キーライトの当たっている部分の照明比は 2:1 であること。顔の細部を良く出すためには、背景は前景の半分にまで照明をおとし、顔を浮き上がらせることが大切である。セットでない実際の外景の前で撮影する場合には、顔や興味の中心となる部分の明るさを、その場面の最も明るい部分の明るさと適当な関係をもたせるようにしなければならない。これらの推奨策は、もちろん特殊な場面や夜景に対してはそのまま当てはまらない。いずれの場合にも、画面の中に基準白と基準黒を含むことが望ましい。

3.2 処理に関すること

撮影の際の照明光色温度、現像処理過程、現像所の仕上げ規準その他によって、フィルムの仕上り（白バランス）は異なる。テレビ系では、ビジコンカメラを各チャネルの出力信号レベルが等しいときに無彩色となるように調整し、これがモニター上で C 光源白色に再現される。筆者ら⁵⁾は、同一の標準ネガをプリントの段階で色バランスを変えた各種試料を作り、標準条件にセットしたテレビ系で送像し、カラーモニター上の画像について視覚評価した。評価者はフィルム送像および現像処理にたずさわる者約 20 名で、いずれも色については専門家とみなせる立場の者である。

その結果、図3に示すように、6300°K の光源で映写をしたときにフラットな特性になるように仕上げたものが最も良い評価を得た。図には一般の 16 mm フィルム

図3 各種仕上げによる中性灰色の波長特性

の標準処理したものの特性も示してあり、これらはいずれも濃度約0.6の部分の測定値である。これから、従来の16mmフィルム標準仕上げは、タングステン光源の赤味を補正するために、やや青味がかって仕上げられていることがわかる。このものを3チャンネルが等しいエネルギーをもつ光源で照明した同じ状態で信号を取り出し、C光源白色のモニターに映し出すならば、画面全体が青くなるのは当然である。

ここで、筆者らの実験では、6300°K光源用仕上げのものが平均して良い評価点を得たが、シーンによって異なることもあり、6300°Kが絶対的な値をもつものではない。また、SMPTEのカラーテレビ用標準フィルム⁶⁾が16mmおよびスライドと35mmでは、色温度表示の値が違っているが、これは仕上げ色バランスの表示ではなく、単なる従来の規格による光源の色温度を併記したものにすぎないと解釈でき、実際に同種の2本の標準フィルムの白バランスを測定して相違のあることもわかった。

もし、どちらかに片寄って仕上げられたカラーフィルムが送像される時、わずかの調整誤差が最終画像の色調に大きい影響を与え、いちじるしく画質を損なうことは充分に考えられる。したがって、フィルム3層の色素はバランスをとって仕上げられることが必要であり、センシトメトリーによって得られる3本の特性曲線は、よく重なり合うことが必要である。このようにバランスをとって仕上げられたものであれば、どのような色温度の光源で映写され、あるいはディスプレイされても、その画像に不自然さは感じられないであろうということである。

これに対して、ABCのMorris⁷⁾は、初期の論文の中でカラーフィルムの仕上げ白バランスは、C光源に対応

させることを主張しているが、後にSMPTEの推奨標準にしたがうように修正している。

制作標準として、NTVの原田氏⁸⁾は、カラーフィルムのカラーバランスは、中性灰色の露光に対して濃度計で測定した三色色濃度は等しくなければならないと規定している。本来はこの方法が一番好ましいといえるかもしれないが、このためには常に使用するカメラで、実際の撮影条件と同じ条件で無彩色色票を撮影しなければならない。日常の各種の条件の下では実施しにくく、かつ、撮影機のレンズの透過光の色は図4に示すように相当のばらつきがあり、またフレアその他でさらに大幅に差を生ずる。

そこで筆者らは、カメラを通したセンシトメトリーとセンシトメーター露光による本来のセンシトメトリーとの相違を確かめる実験を行なった。

16mmカラーネガとしてイーストマンカラーネガSO-216を使い、規定の現像処理をし、カメラ露光によるネガを6300°K光源用に仕上げる条件で、両者をイーストマンカラーポジ7385にプリントしたものの分光特性から、その逆特性の色温度を求めると表1(a)のように900°Kの相違があることを確認し、色光露光による色再現性についても(b)の結果を得た。

表1 センシトメトリーとカメラ撮影による色再現性

(a) 中性灰色露光

$D_v=0.6$	色 度	逆 特 性 の 色 温 度
センシトメトリーによる	$x=0.315$ $y=0.337$	6300°K
カメラ撮影による	$x=0.340$ $y=0.354$	5400°K

(b) 色光露光 (6300°K 用仕上げ)

	センシトメーター露光					
	D_v	主 波 長	彩度(%)	D_v	主 波 長	彩度(%)
R	1.66	618.6	100	1.68	618.6	99.7
G	1.17	545.2	82.4	1.24	543.5	82.5
B	1.83	468.2	94.5	1.88	466.9	95.4
C	1.21	482.4	66.6	1.23	481.0	73.6
M	1.06	526.5	68.1	1.09	529.8	71.1
Y	0.58	585.6	97.2	0.56	585.3	97.2

使用カメラは、コダックシネスベⅡ、レンズはエクター f25mm, F1.4

図4 レンズの色

これらのことは、逆にいえばカメラ露光による規準化が実際に最も則していることを裏書きするが、もし、撮影の実技上実施困難であれば、とうてい処理のコントロールには適しないことを意味しており、本来のセンシトメトリーによる方法がすぐれていることをあらわす。さらに原田氏は、中性灰色の 0.85 の濃度辺では三色濃度は ± 0.05 以内であることを規定し、筆者らは 25% 反射率の無彩色色票を撮影し、その再現濃度は視覚濃度で 0.70 ± 0.1 以内が適当であるとした。

ネガ・ポジ法の場合には、このようにプリントの段階でかなり大幅に白バランスその他を補正できるが、反転フィルムでは、照明光の色温度、カメラレンズ、乳剤本来の特性などによって、その仕上りを厳密に一致させる

ことは非常にむずかしい。そこで、十分な試験をすることによって、撮影時に使う色温度補正フィルターの正しい使い方をきめ、できるだけ好ましい色再現を示す方向に修正しなければならない。

4. テレビ用カラーフィルムの濃度基準

SMPTE では、主観的判断の規準としての標準フィルムを發表しているが、細かい濃度値については規定していない。現在、濃度値を發表しているのは、NHK（筆者らの考え方）、NTV、ABC だけである。それらをまとめると表 2 のようである。NTV と ABC のものは、だいたいにおいて白黒フィルムの規準値にキャリア係数 ($Q=1.3$) を乗じた値のように思えるが、筆者らはさら

表 2 テレビ用カラーフィルム濃度基準

局	濃 度	視 覚 濃 度				色 濃 度		
		$D_{\min}$	$D_{\max}$	ΔD	D_{face}	$D_{\min}$	$D_{\max}$	ΔD
NHK		0.40 ± 0.05	$1.9 (\pm 0.1)$	$1.5 (\pm 0.1)$	0.78 ± 0.10	0.50	1.70	1.20
NTV*		0.4 以上 (0.5)	2.4 以下 (1.7)	2.0 (1.2)	0.7~1.0	0.85 ± 0.05		
ABC		0.50 ± 0.10	2.30 ± 0.10	2.0	—	—	—	—

* () 内は良好な色再現を必要とする部分の視覚濃度値、色濃度の項の値は中性灰色露光を与えた試料の各色濃度の許容範囲を示す。

表 3 各種フィルムの部分濃度 (D_V)

(a) 最良評価試料 (EKネガ→7385)

	$D_{\max}$	$D_{\min}$	ΔD	D_{face}	
女 性 B S	2.0	0.46	1.54	0.59	$\bar{D}_{\max}=2.06$
女性とテーブル	1.64	0.35	1.29	0.68	$\bar{D}_{\min}=0.41$
ナイトシーン M S	2.40	0.31	2.09	{0.91(男) 0.94(女)}	$\bar{D}_{\text{face}}=0.81$
生地の相談 M S	2.15	0.50	1.65	0.90	$\Delta \bar{D}=1.64$
スキー(男女) M S	2.09	0.45	1.64	{0.85(男) 0.85(女)}	

(b) 屋外自作試料 (SO-216→7385)

	$D_{\max}$	$D_{\min}$	ΔD	D_{face}	
女 性 B S (空を含む)	2.01	0.41	1.60	0.60	$\bar{D}_{\max}=2.06$
女 性 B S (空なし)	2.17	0.36	1.81	0.88	$\bar{D}_{\min}=0.42$
女 性 C U	2.29	0.37	1.92	0.98	$\bar{D}_{\text{face}}=0.89$
女性2人 M S	1.75	0.53	1.22	{0.94(右) 1.04(左)}	$\Delta \bar{D}=1.65$

(c) 旧 SMPTE 標準フィルム (16mm)

	$D_{\max}$	$D_{\min}$	ΔD	D_{face}	
ミス T A S O	1.39	0.36	1.03	0.41	$\bar{D}_{\max}=1.23$
老人2人	0.95	0.53	0.42	{0.53(男) 0.61(女)}	$\bar{D}_{\min}=0.39$
ス キ ー	1.32	0.38	0.94	0.61	$\bar{D}_{\text{face}}=0.56$
キッチンシーン	0.85	0.38	0.47	0.67	$\Delta \bar{D}=1.03$
キッチンとグレースケール	1.63	0.31	1.32	—	

(d) 新 SMPTE 標準フィルム (16mm)

	$D_{\max}$	$D_{\min}$	ΔD	D_{face}	
女 性 C U (緑服)	1.64	0.60	1.04	0.71	$\bar{D}_{\max}=1.82$
女 性 C U (黄服)	1.76	0.50	1.26	0.75	$\bar{D}_{\min}=0.49$
キッチンシーン M S	2.04	0.60	1.44	—	$\bar{D}_{\text{face}}=0.73$
ナイトシーン L S	2.02	0.49	1.53	—	$\Delta \bar{D}=1.31$
女性とグレースケール	1.59	0.29	1.30	0.74	

に、カラーテレビにおける色再現を重視しなければならないことから、視覚濃度による規準化と同時に、色再現を重視する部分は別に色濃度で規定した。筆者らの濃度値提出根拠を以下に簡単に述べる。表3に各種試料フィルムの部分濃度値を示す。

被写体の重要部分については、 $D_{\min}$ は白黒フィルムの視覚評価結果からもその再現輝度が比較的鋭敏に評価に影響すること、および、カラーフィルムの3本の特性曲線のそろい方などを加味して、白黒フィルムの値に Q 係数を乗じた値とした。

$D_{\max}$ については、最終的に受像機で再現されるコントラスト範囲には制限があり、白黒フィルムの値に Q 係数を掛けると 2.47 になるが、表3の $D_{\max}$ の平均値が 2.0 強であって、この中には重要部分でないと思われる箇所も含まれており、実験の結果からみて、2.0 以上の濃度部分はカラーモニター上でつぶれてしまうことが多い。テレビ系の再現コントラストを 30:1 とすると濃度域は 1.5 であり、 $D_{\max}$ 1.9 が算出される。これらのことから、重要部分の濃度を 1.9 に押えた。しかし、実際はそれほど顕著な差としては認められないと思われ、したがって、 $D_{\max}$ を $D_{\min}$ ほど厳密に規定する必要はないであろう。

顔濃度は画面中で最も興味の中心となるので、その濃度は重要である。表3の値はかなりばらつきがあるが、一般にアップショットは低く、ロングショットは高い。表の平均値と白黒フィルムの基準値に Q 係数を乗じた値 0.78 から求めた。

カラーフィルムは、本来はカラーテレビで観賞されるべきものであることを考えれば、色再現を重視し、その部分の色濃度を規定するのは当然である。 $D_{\min}$ については特性曲線がだいたいそろい、かつ直線となる濃度から算出して 0.5 をきめ、テレビ系の再現輝度域対彩度の特性を考慮して、色再現に必要な濃度域はだいたい 1.2 であることから、 $D_{\max}$ を 1.7 とした。

SMPTE の標準フィルムについては、最初に述べたように、これはあくまでも主観的な評価規準用として作られたものであって、あらかじめセットされたテレビ系のチェックのために使用するものである。すなわち、このフィルムを送像して好ましい色調などが再現されているかどうかの判断に使う。要するに、各現像所はこのフィルムに似かよった仕上げを行なえばよいということである。

各シーンは Waner によって推奨された方法⁴⁾にしたがい撮影されたもので、7つのシーンから成り立ってい

る。室内のナイトシーンが1つ含まれているが、この際に黒レベルが少しでも変化してはならない。5番目の台所のシーンではカラーコントラストはすぐれているが、白黒受像機上では若干フラットに再生されるだろう。ラストシーン中に3段階のグレースケール（マンセル表示で明度 8.0, 5.0, 2.0 のもの）が加えられている。これは中性灰色の全体的な感じをチェックするためと、20:1 の被写体コントラストから得られる再生の輝度比を示すためのものであって、決して送像系のカラーバランスを調整するためのものではない。

5. その他の系に関すること

テレビ系では、この他にカラーモニターの白バランス調整法が最も大きな問題となり、常にフィルム制作者側とテレビ送像系の人達の議論の中心となる箇所である。これまでは主観的判断によってだけこの調整が行われてきたので、数値的にはっきりした調整法を打ち出す必要がある。調整法の確立と安定度の高いカラーモニターの実現が切に望まれる。また、本来は最初にきめる必要のあるカラー画像の標準観視条件や、スクリーン投写条件など、いろいろの問題が未解決のまま山積している。これらについても、できるだけ早いうちに決めなければならない。

6. む す び

カラーフィルムのテレビ系における再現性の問題は、いろいろな分野の問題が複雑に絡み合って解決困難なことが多いように思う。しかし、われわれが望むのは、1本のすぐれたフィルムを制作し送像することではなく、各種条件下で撮影されたカラーフィルムによる番組の画質を全般的に向上させることであろう。

【参 考 文 献】

- 1) 橋渡他：テレビ画像における主観的調子再現とテレビフィルム濃度基準値，NHK 技術研究，16，1 (1964) 8-37
- 2) W. L. Brewer et al: Brightness Modification Proposal for Television Color Film, Proc. IRE, 1 (1954) 174-191
- 3) L. J. March, H. Wright et al: An Engineering Approach to TV Film, J. SMPTE, 68, 11 (1959) 739-763
- 4) J. M. Waner: Consideration in Color Film Production for Color Television, J. SMPTE, 73, 5 (1964) 411-414
- 5) 家木，斎藤，高木：テレビ用カラーフィルムの処理法と画質基準，NHK 月報，9，10 (1966) 471-477
- 6) J. M. Waner et al: SMPTE Color Television Subjective Reference Test and Slides, J. SMPTE, 75, 3 (1966) 218-220
- 7) R. M. Morris: Color Film Standards and Operating Practices for Television, IEEE Trans., BC, 2 (1964) 8-11
- 8) 原田：テレビ用カラーフィルムの最適特性と制作実技，テレビ誌，20，9 (1966) 636-638