

オートクローム・プロセスの再現

写真学科

渡辺 晋・石川 寛夫

Reproduction of the Autochrome Process
Shin WATANABE and Hiroo ISHIKAWA

Abstract

Autochrome process, invented by A. and L. Lumière of Lyon in 1904, was reproduced. This process was so-called screen plate process in which the emulsion is exposed through the color screen (mosaic) and reversal processed to yield an additive color transparency.

We made color screen using dyed potato starch grains as color screen element and commercial use B/W negative film as panchromatic emulsion.

The B/W negative film was exposed behind a separable color screen and reversal processed to a silver positive. This positive was combined with color screen to obtain color transparency.

The results obtained were fine. Reproduction of Autochrome was discussed about color, contrast and image details.

1. はじめに

先頃、「明治のカラー写真発見 原料にジャガイモを使う」との見出しで、明治43年(1910)頃、日本人によって米国ポーツマスで撮影されたオートクロームの新発見が新聞紙上で報道された(注1)。5×7インチ、計7枚のこれらの写真は、その後グラフ誌でも採り上げられた(注2)。

これが発端となり、テレビ局が番組制作を企画し、小沢健志教授の指導で、渡辺、石川がその再現を試みることになった。番組の性格上、時間に追われ、また資料もわずかな文献のみに留まるため、再現は困難をきわめたが、最終的に十分満足できる結果が得られたので報告したい。なおこの内容は日本テレビ「謎学の旅」で全国放映された(注3)。

2. 原理と歴史

オートクローム(Autochrome)は、実用化された世界最初のカラー写真である。ただし紙焼き写

真(プリント)ではなく、透明陽画(トランスパレンシー)として鑑賞するタイプである。

このオートクロームはフランスの科学者であった Auguste Lumière (1862~1954) と Louis Lumière (1864~1948) の兄弟によって発明された加色法によるスクリーンプレート・プロセス(Screen Plate Process, 色障乾板)で、1904年に特許が取られ、1907年からは商品として、Lumière 社から発売された。

写真術発明以来カラー写真の要望は強く、様々な研究や実験が行われた。実例をいくつかあげれば、1861年英国の物理学者 J.C. Maxwell (1831~1879) が、いわゆる Young-Helmholz の3原色説に基づいて、3色分解によるカラー再現を試みている。G. Lippmann (1845~1921) は、1891年光の干渉を利用したカラー写真である Lippmann Process を考案した。さらに英国の J. Joly (1857~1933) は、1インチあたり150本もの3原色の色線を平行に描いたガラス板を用いて色彩再現を行い、1895年に特許を得ている。この

Joly の方法はスクリーンプレート・プロセスの一種で、後のオートクロームの発明に深く関連する技法である。

いずれにせよ、これらのカラー写真は、感光材料の未発達さや、再現の不確実さ等により、十分な実用の域には達しなかった。一方オートクロームはそのような不備を解消し、工業的に大量生産された。色再現性も良く、いかなるカメラでも撮影でき、また通常のモノクロームとほぼ同様な現象処理ですむことなどから、広く全世界に普及することとなった。

オートクロームは、加色法の原理で全ての色彩を再現する。その加色法でカラー写真を作ろうとすれば、青・緑・赤の各フィルターを使用して撮影した3枚の三色分解ネガからポジを起こし、これを3台の映写機で投影する際、撮影時と同じフィルターを通して、同一画面に重ね合わせれば、元の色彩と同様なカラー画像が再現できる。ただしこの方法は、同一被写体を3度撮影し、また各々を処理する手間もかかる。先に述べた Joly のスクリーンプレート法は、これを1度の撮影で済ませる簡便な方法であり、オートクローム・プロセスはそれを更に発展させ、実用化した点で高く評価されるカラー写真法である。

製品としてのオートクロームは、以下のような工程で作られる。先ず、青・緑・赤に染めあげたジャガイモのデンプン粒子を、各々同量均一に混合し、これを印度ゴムを薄く塗布した透明ガラス板にふりかけて固着させる。この時、粒子が重ならぬ様、余分なデンプンを十分はらい落とし、圧力をかけて接着した粒子をつぶして平たくする。ジャガイモのデンプン粒の大きさは約10ミクロン程度であるから、ガラス面には3原色の微細なフィルターを不規則に並べたモザイク・スクリーン (Mosaic Screen) が出来上がることになる。このあとデンプン粒子の隙間に、カーボンを付着させて光の洩れを防ぎ、カラースクリーンが完成する。これに保護膜を施し、さらに整色性の乳剤を塗布するとオートクロームすなわち“色障乾板”が完成する。

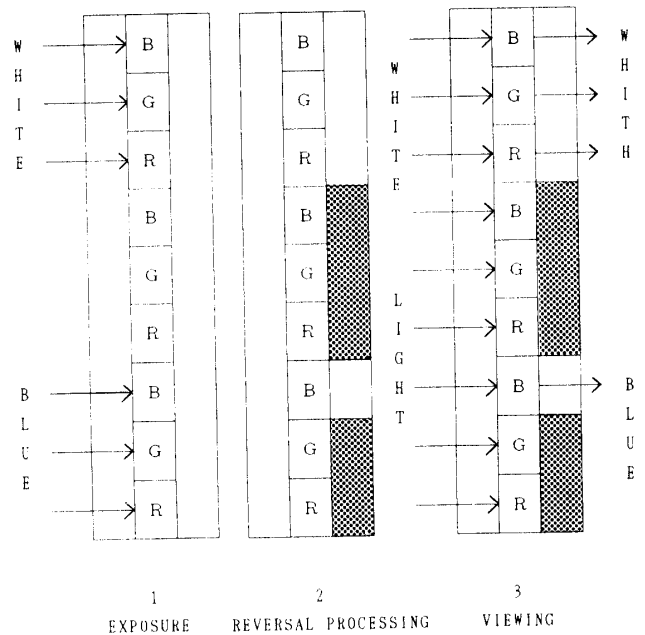


Fig-1

今更述べるまでもないが、色再現できる理屈は以下のとおりである。すなわち、これら微細なデンプン粒による3色のフィルターが、被写体の色に応じて各々の成分を透過し、その部分の乳剤を感光させる。したがって3色分解を行ったのと同様な結果となる。乳剤を反転現像し、白色光を透過させて観察すれば、元の色彩に応じた部分だけに、その色のフィルターを透かして光が通過してくることになり、色再現ができる訳である。この様子を Fig-1 に示す。

オートクローム乾板は、工業製品として安定製造及び供給され、また大衆のカラー写真への熱望もあって、1913年には、Lumière 工場で1日に6,000枚もの製品が作られたという。日本へも発売の翌年の1908年(明治41年)、写真材料商の小西本店(現・株式会社コニカ)が一手販売契約を結び輸入を開始している。この時の売価は1枚13円50銭で、現今の金額に換算すると、約16万円にもものぼる高価なものであった。

3. 方法

今回、我々がオートクローム・プロセスを再現するに当たっては、特別な材料、処方、処理を用

いず、かつ再現性に優れた方法の採用を念頭に置いた。従って、殊に困難を極めるであろう感光乳剤を製造、塗布することは止め、感度、感色性の安定した市販の感光材料（黑白ネガティブフィルム）を利用することにした。よって本来のオートクローム・プロセスと大きく異なるところは、カラースクリーンと乳剤が分離しているという点にある。このため最終段階で、カラースクリーンと現像処理されたフィルムとを正確に重ね合わせねばならないという作業を伴うこととなった。

我々の行ったこのオートクローム・プロセスの再現手順を示せば次のようになる。

- ①カラースクリーンを作製する。
- ②フィルムセンシトメトリーを行い、使用感光材料（黑白ネガティブフィルム）の特性を調べ、現像処理条件を決定する。
- ③カラースクリーンと感光材料を重ねて撮影する。
- ④撮影済み感光材料を反転現像処理して、黑白ポジティブ画像を得る
- ⑤得られたポジティブ画像とカラースクリーンを正確に重ねて、透過光で観察する。

以下、手順にしたがって各ステップを説明する。

(1) カラースクリーンの製作

a. ジャガイモデンプンの調製⁽¹⁾

ジャガイモをすりおろし、少量の水を加えて攪拌する。繊維を取り除き汚液をしばらく放置すると、白いデンプンの沈澱物が出来る。上澄みをすて、新たに水を加えて沈澱させる操作（デカンテーション）を2, 3度繰り返す、最後に沈澱物を自然乾燥させる。

なおこれは市販されている片栗粉（馬鈴薯澱粉）を利用することもできる。

b. デンプン粒子の染色

次にデンプンの粒子を青・緑・赤に染色する。文献によれば⁽²⁾、青色染料は Methylene Blue, 緑色染料は Indian Green, 赤色染料は Safranin などを使用されていたようであるが、当時と現在とでは、乳剤の感色性が異なると想像されることから、今回は入手可能な塩基性染料の中から、3色

Table-1 Dyeing solution used.

| | |
|----------------------|---------|
| * Blue Dye Solution | |
| Victoria Blue | 1.0 g |
| Water to make | 1 liter |
| * Green Dye Solution | |
| Brilliant Green | 1.0 g |
| Water to make | 1 liter |
| * Red Dye Solution | |
| Rhodamine B | 2.5 g |
| Auramine | 1.0 g |
| Water to make | 1 liter |

分解フィルターである、Kodak Wratten No. 47, No. 58, No. 25 フィルターに近い色相を持つ染料を選ぶことにした。

青色染料は Victoria Blue, 緑色染料は Brilliant Green を用いた。赤色染料溶液は、マゼンタ染料の Rhodamine B とイエロー染料の Auramine を適量混ぜて調製した。なお染料溶液の最適濃度は実験的に求めた。Table-1 に使用した染料溶液の処方を示す。

染料溶液約200 ml にジャガイモデンプン15 g を入れ、良く攪拌して数分間放置し、ろ紙で汚過し、デシケータで十分乾燥させる。乾燥後、各染色デンプンの塊は乳鉢で砕いて細かくしておく。

c. 染色デンプン粒子の混合

各色に染色されたデンプン粒子を乳鉢に採り、これらを中性灰色に見えるような割合に混合する。染料の不正吸収のため、実際は厳密な灰色にはならない。今回は染色デンプンを青：3, 緑：7, 赤：5の割合で混ぜた。混合デンプンは多少青みを帯びた灰色になった。

d. 混合染色デンプン粒子のベースへの付着

混合された染色デンプン粒子を、透明なベース（支持体）上に均一に、かつ粒子が重ならないように配置しなければならない。

ガラスをベースとし、アラビアゴム、ラッカー、透明ニス、スプレーのりなどを接着剤として薄く塗布し、その上にデンプン粒子を散布して、粒子の付着状態を顕微鏡で観察してみた。その結果、

いずれも均一な付着が困難であることがわかった。そこで粘着性のシートを用い、じかにデンプン粒子を散布してみたところ、粒子は均一かつ一層に付着されることが分かった。

粘着性のシートは、セロファン、ポリエチレン、ビニール等、種々供給されており、入手可能なものを集めて、予備実験を行った。その結果、後に述べる感光材料の選択と同様、ポリエステル粘着シートが、最適であることが判明した。最大の理由は、伸縮率が極めて少ないことであるが、そのほか、丈夫であること及び透明度が高いことも考慮している。

ポリエステル粘着シートへのデンプン粒子の付着は、まず粘着面に染色混合デンプンを十分にふりかけ散布する。次に、余分な粒子をやわらかいハケで良く払い落とす。

本来はこのあと、付着したデンプン粒子を押しつぶす工程を伴うのであるが、適切な道具等が身近に無いこともあり、今回の再現ではこの作業を省略した。

e. カーボン粒子の付着

デンプン粒子の隙間を埋めるために、この部分にカーボンの粉を充填する。このためデンプンの付着したシートの上に、さらにカーボンブラックの粉を散布する。余分なカーボンは刷毛で十分に払い落とす。これでカラスクリーンが完成するが一見すると真っ黒な状態である。

(2) フィルムセンシトメトリー

撮影に先立ちフィルムセンシトメトリーを行い、反転現像処理の場合の感度、コントラスト等の特性を見ることにした。

a. 感光材料の選択

予備実験として、手近な Fuji Neopan SS を用いて色再現を試みた。その結果、最終段階のスクリーンとフィルムとの重ね合わせを、いかに慎重に行っても、色彩が出現しないことが明らかとなった。種々検討した結果、フィルムの処理による伸縮が最大の理由であろうことが想定された。

そこで、伸縮率の極めて少ないガラス乾板の入

手を試みたが、現在では恒常的に生産している国内メーカーは無く、海外からの輸入も時間がかかり、結局不可能であった。そこで再度検討し、ポリエステルを支持体とするフィルムから、適切と思われるものを選択することにした。なお、調べたところ、Neopan SS は三酢酸セルロースをベースとしており、処理による伸縮率は約0.8%、ポリエステルは約0.1%と小さいことが判明した。

ベースの条件のほかに、感色性がパングロマティックであること、カブリ及びベース濃度ができるだけ低いこと、仕上がりサイズ等の条件を考慮して

①Kodak Plus-X pan professional Film

②Kodak Separation Negative Film

③Fuji Neopan ID Film

の3種を選び、その特性を調べることにした。

b. 反転現像処理の工程および処方

反転現像の各処理液の処方を決定するに当たり以下のことを考慮した。

黑白ネガティブフィルムは元来軟調で、硬調な印画紙にプリントして、はじめて適度なコントラストの画像が得られる。したがって、このようなフィルムに対して標準的な反転現像処理を行ったのでは、画像のコントラストは不足してしまう。よって第1現像液には、硬調な処方を選ぶ必要がある。またネガティブフィルムの乳剤層は比較的厚いので、ハイライト部のぬけを良くするために、チオシアン酸カリウム (Potassium Thiocyanate) を適量加えることが必要となる。さらに処理液は、良い再現性を得るために、出来るだけ市販の調合済み薬品を利用することにした。これらの条件を考慮して、処方と処理時間を決定した。これを Table-2 に示す。

c. 特性曲線

Fig-2 に得られた特性曲線を示す。

①Kodak Plus-X pan professional Film の感度は ISO 50 でコントラストは低く、ダブルガンマとなっている。

②Kodak Separation Negative Film の感度は ISO 40 で、直線部の長い比較的良好な曲線を示し

Table-2 Reversal Development Process employed (20°C)

| | | | |
|------------------------|---------|-----------------------|----------|
| (1) Exposure | | * First Developer | |
| (2) First Development | 7 min. | Kodak D-19 | 1,000 ml |
| (3) Washing | 5 min. | Potassium Thiocyanate | 2 g |
| (4) Bleach | 3 min. | * Bleach Bath | |
| (5) Washing | 3 min. | Water | 750 ml |
| (6) Clearing | 4 min. | Potassium Bichromate | 9.5 g |
| (7) Washing | 5 min. | Sulfuric Acid | 11 ml |
| (8) Second Exposure | 3 min. | Water to make | 1,000 ml |
| (9) Second Development | 3 min. | * Clearing Bath | |
| (10) Washing | 30 sec. | Water | 750 ml |
| (11) Fixing | 2 min. | Sodium Sulfite | 50 g |
| (12) Washing | 20 min. | Water to make | 1,000 ml |
| (13) Drying | | * Second Exposure | |
| | | 150watt Fladlamp 1 m. | |
| | | * Second Developer | |
| | | Kodak Dektol | |
| | | * Fixing | |
| | | Kodak Fixer | |

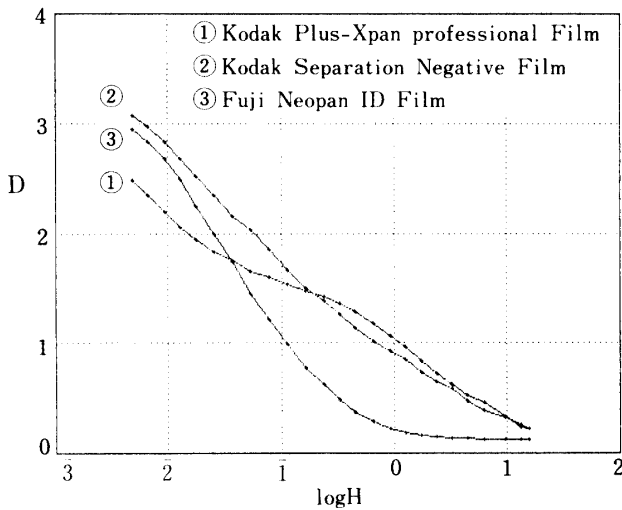


Fig-2

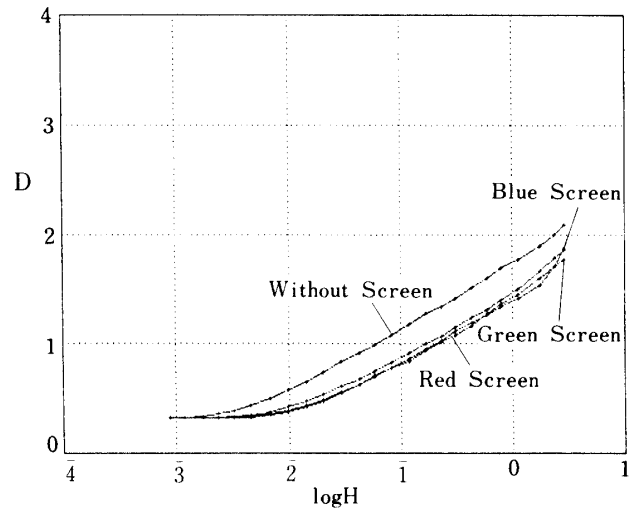


Fig-3

ている。

③Fuji Neopan ID Film の感度は ISO 125 となり、適度なコントラストを示している。

Kodak Plus-X pan professional Film はダブルガンマであるため、好ましい調子再現は不可能であろうと判断した。又、Kodak Separation

Negative Film はやや感度が低く使いにくい。Fuji Neopan ID Film は感度もコントラストも適度であり、調べた 3 種のフィルムの中では、最も都合のよい結果を示している。そこで今回は、Fuji Neopan ID Film を使用することに決定した。

d. カラースクリーンによる感度低下率

カラースクリーンの染色デンプン粒は3色分解フィルターとして作用するわけであるから、それらの感度低下率はそろっていることが望ましい。そこで各単色のカラースクリーンを作り、これをパンクロマティックフィルムに重ねて露光し、特性曲線により感度の低下率（露光倍数）を調べた。なお時間の関係もあり、今回は Kodak Plus-X pan Film と Kodak D-76 現像液との組合せのデータだけにとどめた。

Fig-3 にその結果を示す。フィルム自体 (Without Screen) の感度 ISO 200 に対して、青スクリーンをかけたときは ISO 80, 緑及び赤スクリーンでは共に ISO 64 となり、多少青に感じやすい結果となっている。しかし3本の特性曲線は傾きも比較的良好にそろっており、総合的に判断して理想に近いといえる。

(3) 撮影

撮影は取枠の関係もあり、キャビネの暗箱を用いる事にした。本来これらは乾板用の器材のため、このオートクロームの撮影に適合するよう、若干の改造を行った。

なお、先立つ実験で、スクリーンを使用した際のフィルムの実効感度は、およそ ISO 4 程度であることを経験的に確かめていた。

実際の撮影はテレビ局の希望もあり、4つの異なるシーンを撮ることにした。先ず、第1は学内の日当たりの良い屋外で、ベンチに座った人物3人を、後方の風景を入れて撮影。撮影データは F 32½, 2秒。第2は、予備実験で赤色の再現が鮮やかである事を考慮して、福岡市中央区天神の九州歴史資料館の赤レンガの建物を撮影。これは太陽が頂度真上に近かったため、F 32, 4秒の露光。第3は、福岡市東区筥崎宮の最も海に近い鳥居を

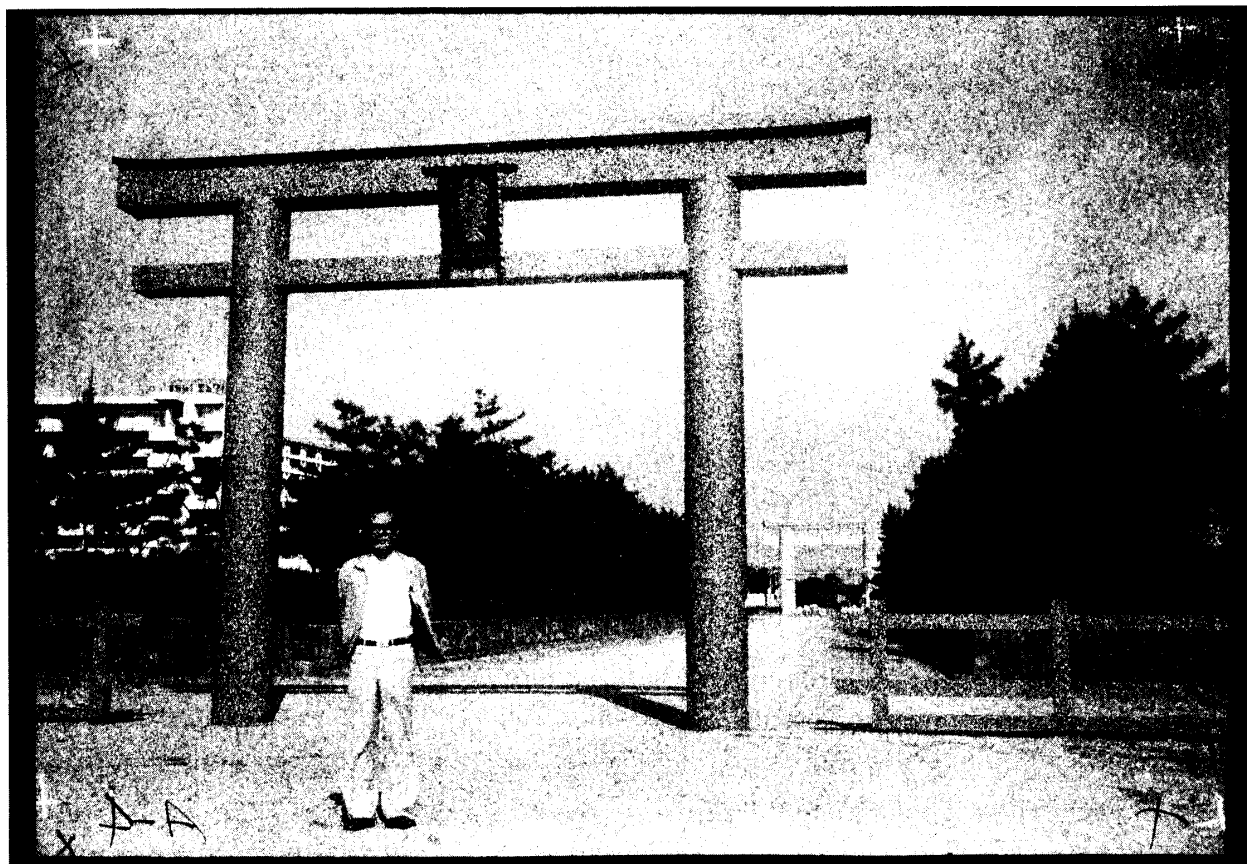


Photo-1

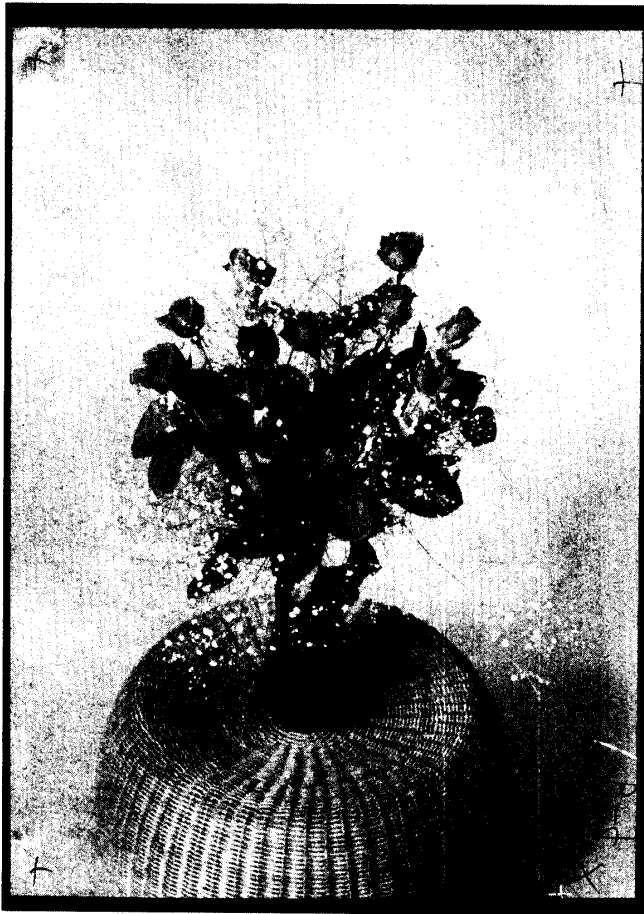


Photo-2

入れての人物撮影で、これは先と同様、朱色の鮮やかな再現を見込んだためである。データはF45, 2秒の露光。最後はスタジオで、黒い花瓶に活けた、真赤なピロード様の花卉のバラの花束をカスミ草を添えて、ブルーの背景紙で撮影。スタジオ用大型ストロボ6灯、計5,600 W/Sの大光量を8回発光させ、F22で撮影した。これらは各々2カットずつ撮影している。

(4) 反転現像処理

Table-2 に従い、手作業による皿現像処理を行った。なおこの処理は安全を見込んで、2度に分けて行った。最初の処理では、出来上がったポジ画像はやや濃度が高く、結果的に黒っぽい画像の仕上がりが予想された。そこで2度目は、第1現像の処理時間を7分から12分へと思いきって延長

した。一般常識的には、これ程多く現像時間を増加させると、画像の濃度は極端に大きく変化してしまう。しかし予備実験で、さほどではない事が判明していたので、このような大胆な変更を行った。その結果、ポジ画像は明るく再現され、理想に近づいた。

(5) 見当合わせ及び最終処理

先に述べたように、今回のオートクローム再現は、カラースクリーンと感光材料とが分離する形態をとっている。そこで再現は事前に付けておいた目印をもとに、カラースクリーンとフィルムとを、ライトボックス上で慎重かつ正確に重ね合わせなければならない。デンプン粒子の大きさ以下での実に細密な作業となる。ミクロン単位の極めてわずかなズレであっても、色彩は全く描出しない。完全一致したら両面から透明ガラスで挟み、周囲をテープで固定して出来上がる。

4. 結果および考察

4点のオートクロームは、いずれも我々の予想を上回る出来となった。内2点を Photo-1, 2 にモノクロームで示す。

(1) 色再現

赤色の再現は素晴らしい。肉眼の観察ではややオレンジないし朱色を帯びてはいるものの、鮮やかで美しい。レンガや鳥居等赤系統の再現は、存在感もあって好感が持てる。赤いバラの花は、背景紙と補色関係になるためもあり、落ち着いた深みのある再現となった。本来赤は刺激的な色であり、予備実験の段階からよく目立ち、再現の楽な色である。

青色はノーマルな再現で、自然の感じに近い素直な描写である。

緑色が最も再現しにくい色である。学内での人物は緑の葉のツツジを背景としているが、これが赤味を帯び、鮮やかさが足りない。

その他、予備実験の段階で黄色の発色がほとんど不可能であったが、最終的にはあまり目立たな

かった。また人物の顔はやや赤みが加わって、不自然でない程度の、血色の良い感じに再現されている。

(2) 調子再現

多くの予備実験を経て、今回用いた Fuji Neopan ID Film と Kodak D-19+チオシアン酸カリウムの組み合わせは理想的と思われる。トランスパレンシーとして鑑賞した場合、適度なコントラストを持っており心地よい。調子再現においては十分であると考えられる。

(3) 微細部の再現について

全体に肌理の荒い印象を受ける。特にカスミ草等細かい柄のものは、粒子の荒れが目だって細部の描写に劣る。顕微鏡で観察すると、小粒子のデンプンはカーボンの中に埋まってしまう、比較的大粒のものだけが認められる。デンプン粒子の大きさを揃えれば、この問題は解決するであろう。粒子が揃えば、たとえ大粒のものだけでも、今回の例ほどには、粗粒子の感じは受けられないものと思われる。デカンテーションの際に、デンプンの沈降速度の相違を利用して、ある程度粒径を揃えることができる。また、デンプン粒子を適度なメッシュのふるいにかけて、選別することも可能であろう。

さらにカーボンの付着量自体も多すぎるようである。顕微鏡で観察すると、デンプン粒子の隙間だけでなく、粒子そのものにもかなり付着しているのが認められる。もっと適切なカーボン付着方法、あるいは余分なカーボンの除去方法を検討すべきであろう。

いずれにせよ黄色の発色から推して、粒状性が良くなれば、色彩自体の再現も一層豊かになると思われる。

(4) 最後に

カラースクリーン自体の濃度が高く、従って画像全体が暗い。原理的にも2/3の光が遮光されているからであろう。大光量の透過光で鑑賞すれば

何ら問題は生じないが、当時のオートクロームは、今回我々が制作したものに比べ、はるかに明るい画面である。カーボンの量を減らすことは、この点においても有効となろう。

また、今回の実験では、先に述べた圧力をかけてデンプン粒子を扁平にする工程を省略した。しかし、この作業を上手に行えば、カーボンの量を減らすことにも大きく関与し、効果が期待できよう。

ところで我々の再現は、本来のオートクロームに添っての実験であった。そこで、ジャガイモのデンプンを使用した。このほかサツマイモ、トウモロコシ、コメなどのデンプン粒子も使用可能と考察される。特に、トウモロコシやコメの粒子は、ジャガイモに比較してはるかに微細である。したがって、これらを巧みに用いて再現を行えば、本来のオートクロームを越えた、ディテールの再現が期待できよう。

次に、カラースクリーンとポジ画像を重ねる作業は、想像以上に大変な時間と労力を要する。我々の再現では、1カット合わせるのに30分ないし1時間の労苦を強いられた。安定した乳剤を自作し直接カラースクリーンに塗布すれば、このような作業は一切必要がなくなる。この点は今後の課題としたい。

なお、当時市販されていたオートクロームは、イエローのフィルターを付けて撮影するよう指示され、それが付属していたという。おそらく感光材料の感色性の不足を補うためのものであったと考えられるが、今回の我々の再現では、このようなフィルターは何一つ用いてはいない。それにもかかわらず、ほぼ完全な再現ができたのは、染料の選択とパングロマティックフィルムのマッチングが良好であったためと考えている。

5. 謝辞

今回オートクローム・プロセスを再現するに当たり、本学芸術学部写真学科・小沢健志教授の御指導を頂いた。また4年生の浜井光徳氏には、特に撮影・現像処理で御尽力願った。さらに大学院

生の上田安彦氏の御協力で、積水化学株式会社よりポリエステル粘着シートを提供して頂いた。以上の方々にこの紙面を借りて深く感謝申し上げます。

最後に、オートクローム・プロセス再現の機会を与えて頂いた、日本テレビ「TV ムック」のスタッフの方々にも御礼を申し上げます。

6. 参考文献

- (1) 第十一改正 日本薬局方解説書, 広川書店(1986)
- (2) 江頭, 最新写真科学大系 天然色写真術, 新光社(昭和10年)
- (3) 江頭, アルス写真大講座14巻, 天然色写真法, アルス(昭和5年)
- (4) カメラ毎日, 1981年10月号, 特別企画, オートクローム
- (5) 有機合成化学協会編, 新版, 染料便覧, 丸善(昭和45年)
- (6) 宮本, 奥沢, 写真技術講座5, 共立出版(昭和41年)

- (7) コダック, 写真大百科辞典, 講談社
- (8) 化学大辞典編集委員会編, 化学大辞典, 共立出版
- (9) T. H. James, The Theory of the Photographic Process (4th ed.), Macmillan
- (10) E. Mutter, Farbphotographie, Springer Verlag (1967)
- (11) D. A. Spencer, The Focal Dictionary of Photographic Technologies, Prentice Hall
- (12) C. B. Neblette, Photography its materials and processes (6th ed.), Van Nostrand

7. 注釈

- (1) 毎日新聞, 1988年(昭和63)4月6日(夕刊)
「明治のカラー写真発見, 原料にジャガイモを使う」
- (2) 毎日グラフ, 1988年5月22日号
「明治時代のカラー写真発掘, 一枚一枚を名画のように鑑賞した!」
- (3) 日本テレビ系, 「TV ムック, 謎学の旅」1988年6月24日放映
「イモで写る!!百年前のカラー写真」