

## 白黒写真の現像

### 2.1 はじめに

写真は、我々の日常生活にかかわり合いの深い、化学技術のひとつである。近年、ビデオカメラやデジタルカメラの普及に見られるように、電子デバイスの発達により、写真の使われる割合が減ってきている。CCDの解像力も写真のそれに迫っているが、今のところ、写真の方が解像力は高い。実際、地図などを作成するための航空測量は写真によっているし、ICやCCDなどのデバイスの製造の際の、リソグラフィは写真の応用である。なにより、写真は、電気がなくても映像を記録できる。白黒写真の現像は、絶滅危惧種の保護活動のようにも思えるが、画像記録として重要な地位を占めていることも確かである。

写真を一度も撮ったことのない人は、ほとんどいないはずであるが、自分で写真の現像や焼き付けをしたことのある人は、反対に非常にすくない。ここでは、基本的な白黒フィルムの現像を実習し、写真のメカニズムを理解する。

### 2.2 説明

写真は、我々の見える光、つまり可視光線(波長 400 ~ 700 nm)で起きる光化学反応を利用している。写真フィルムの断面の略図を、図 2.1 に示す。フィルムは、透明なプラスチックのベースの上に、臭化銀をゼラチン中に分散させた均一な感光層から構成されている(図 2.1a)。臭化銀に光があたると、光のエネルギーにより金属状態の銀に還元される(図 2.1b)。しかし、カメラのレンズを通過してくる光の量は少ないため、それだけではフィルム上に認識できる像を作ることはできない。そこで、フィルム上にわずかに生成している銀の像(潜像)をより明瞭に変化させ、不要な臭化銀を除去するのが、いわゆる現像である(図 2.1c)。現像は光の当たった部分に生じた銀を触媒にして、フィルム上に残っている臭化銀を、還元剤を用いて還元する操作である。したがって、光が強く当たっている部分は、より多く銀が析出しはっきりとした像が現れる。また、光が当たらなかった部分は、臭化銀がそのまま残る。この残存している臭化銀は感光性が残っているので、このまま残しておくと、フィルムはやがて全体が黒くなっ

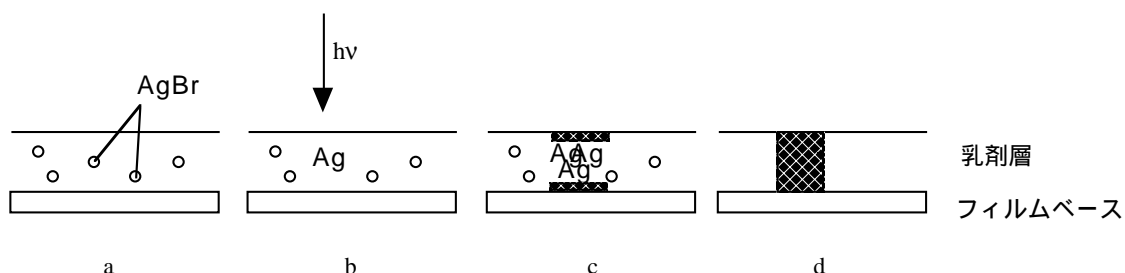


図 2.1 現像処理の流れ.; (a) フィルムの構造, (b) 撮影, (c) 現像, (d) 定着と水洗.

てしまう。そこで、不要となった未反応の臭化銀を除去するのが、定着である(図 2.1d)。定着は、臭化銀を水溶性の塩に変える。定着の後、フィルムを水で洗浄する事によって、完全に臭化銀を除去し、フィルム上の像を安定にすることができる。

操作の流れは、(1) 現像、(2) 停止、(3) 定着、(4) 水洗、(5) 乾燥、となる。(これら一連の操作を総称して、あるいは印画紙への焼き付けも含めて、一般的に現像と呼んでいるが、今回の実験では、特に断らない限り、図 2.1c に示す還元操作のことを現像と呼ぶ。) ここで現像における還元反応は、温度、時間、pH などに影響される。反応が十分進んでいなければ、最終的に得られる写真の像は薄くなる。また、反応しすぎると全体が黒くなる。現像は、温度に注意し、現像時間で調節する。フジフィルム(株)製スーパープロドール現像剤の場合の目安を表 2.1 に示す。現像処理に対する条件の影響を利用すると、撮影時に光量が不足した場合の救済や、フィルムの標準感度よりも感度を増大された現像(増感現像)などを行うことができる。

現像における還元剤は、アルカリ性で作用する。すなわち、酸性にすることで現像反応を時間どりに停止させることができる。現像液を取り出しただけでは反応は停止せず、像にむらが生じる。還元反応を完全に停止させた後、定着を行う。定着は、フィルムに残っている臭化銀を、水溶性塩に変え、除去する処理である。定着は、温度や時間の影響はあまり受けないが、必要以上の定着時間の延長は、写真の質を低下させる。通常、室温で10分程度でよい。定着が済めば、フィルムを取り出して光に当てても大丈夫である。この時、フィルムに白い不透明な部分が残っていれば、再び定着を延長する事ができる。水洗いは入念に行い、フィルムを風とうしのよい場所で乾燥させる。

## 2.3 実験

### 2.3.1 白黒写真の撮影

白黒フィルム、ISO 感度 100 もしくは 400、24 枚どりのフィルムを使って撮影する。大学で用意してあるカメラの数に限りがあるので、カメラを持っている人は持参したほうがよい。撮影対象はなんでも良いが、その中に、1 枚実験者の顔写真を含めること(自分の写真現像実験の写真が撮れないのは、残念である)。撮影したあとのフィルムの取り出しのは、フィルムの先端を少し残した状態まで巻き取ると、次の処理がやりやすい。(フィルムの先をパトローネの中に入れてしまっても、取り出せる器具がある。)

実験日時: \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 日 \_\_\_\_\_

天候、気温: \_\_\_\_\_ °C

フィルム (メーカー、品名、感度) \_\_\_\_\_

カメラ (メーカー、機種名) \_\_\_\_\_

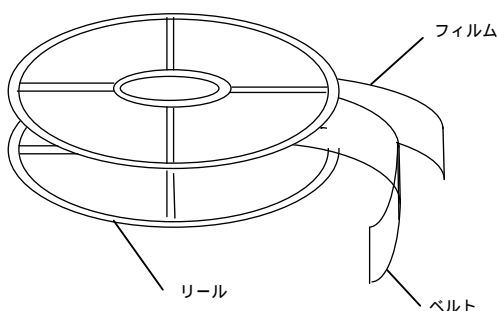


図 2.2 リールへのフィルムの巻き付け方。リールについているベルトを一回転させた後、ベルトの上にフィルムを重ねて巻いていく。フィルムの端まで巻ききったら、残りのベルトを最後までリールに巻き付けて、ベルトの端の金具で固定する。この後リールに軸をつけて、タンクにいれ、ふたをする。

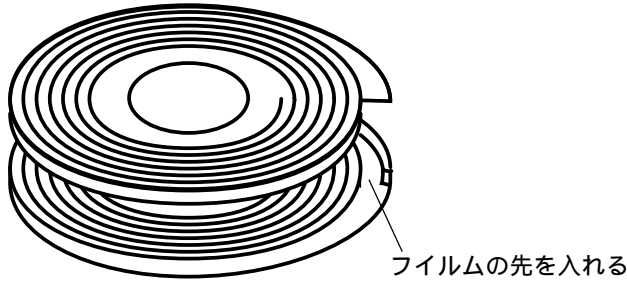


図 2.3 パターソン型リール．溝にフィルムの手を少し入れ，2つのフランジを交互に約30°ずつ回転させると，フィルムが巻きあがっていく．リールにフィルムの手を入れてから，ダークバッグの中で作業をするとやりやすい．巻き取りが済めば，リールに軸をつけ，タンクにいれ，ふたをする．

### 2.3.2 現像タンクの準備

フィルムは，言うまでもなく，光に反応するので，現像はフィルムに光をあてないで操作する必要がある．現像タンクは，暗室を用いなくてもフィルムの処理ができる容器である．ただし，フィルムをケース(パトローネ)から現像タンクにセットする時は，見えない状態で手探りで行うので，白黒フィルムを現像リールに装填する練習を行う．少なくとも一度は練習しておくこと．

現像タンクには，いくつかの種類がある．ここではベルト式現像タンクとパターソン式現像タンクについて述べる．なお，フィルムの初めの部分がケース(パトローネ)の中に入り込んでいる場合は，ジグを使ってパトローネから端を取り出しておいた方がフィルムの巻き取りが容易である．フィルムの先端がパトローネに巻き込んでいる場合には，栓抜きを使ってパトローネのフタを開ける必要がある．

#### a ベルト式現像タンク

遮光袋(ダークバッグ)の中に撮影済みフィルム，ハサミ，現像リール，現像タンク本体とタンクのフタを入れ，遮光袋のチャックを閉める．パトローネにフィルムの先端を巻き込んだ場合は，栓抜きも必要である．

現像リールからベルトをほどき，図 2.2 に示すように，フィルムとベルトを重ねてリールに巻いていく．フィルムをパトローネの軸から，はさみで切り離し，現像タンクに入れる．現像タンクの蓋をする．遮光袋より取り出す．

#### b パターソン式現像タンク

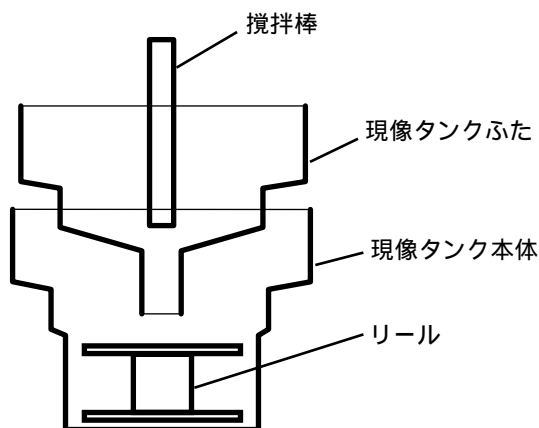


図 2.4 現像タンクのしくみ．ふたをすると，光は入らないが，溶液の出し入れは簡単にできる．



図 2.5 ダークバッグ．首のないシャツのようなふくる．暗室を用いなくても，フィルムの操作ができる．ファスナーを開け，現像タンク，フィルム，はさみを入れる．

表 2.1 フィルムのスーパープロドールによる現像処理時間

フィルムの種類	感度	温度(°C)				
		18	20	22	24	26
ネオパンSS 標準	(100)	4'45"	4'	3'30"	3'	
ネオパンSS 2倍増感	(200)	6'	5'	4'30"	3'45"	3'15"
ネオパン400 標準	(400)	5'	4'15"	3'30"	3'	
ネオパン400 2倍増感	(800)	7'45"	5'45"	4'45"	4'	3'30"
ネオパン400 4倍増感	(1600)	11'	9'	7'30"	6'15"	5'15"

表 2.2 T-Max 400 フィルムの現像処理時間<sup>a)</sup>

現像薬	温度(°C)			
	18	20	22	24
T-Max		7'	6'30"	6'
D-76	9'	8'	6'30"	5'30"

a) Kodak Black and white darkroom dataguide, 1996

表 2.3 T-Max3200 フィルムの現像処理時間<sup>a)</sup>

現像薬	感度	温度(°C)			
		21	24	27	29
T-Max	3200	11'	9'30"	8'	6'30"
T-Max	6400	13'	11'	9'30"	8'
T-Max	12500	16'	12'	11'	10'
D-76	3200	13'30"	11'	8'30"	7'30"
D-76	6400	16'	12'30"	10'30"	9'

a) Kodak Black and white darkroom dataguide, 1996

準備はベルト式現像タンクと同じである。現像リールが水で濡れていると、フィルムの巻き取りがうまくいかない場合があるので、タオル等で拭いておく。遮光袋(ダークバッグ)の中に撮影済みフィルム、ハサミ、現像リール、現像タンクを入れる。遮光袋のチャックを閉める前に、現像リールにフィルムの先端を取り付けておいた方がやりやすい。準備ができたなら、遮光袋のチャックを閉める。

現像リールの両側を交互に動かしてフィルムを巻き込んでいく。フィルムをパトローネの軸からはさみで切り離し、現像タンクに入れる。現像タンクの蓋をする。遮光袋より取り出す。

### 2.3.3 処理液の準備

市販の調整済み現像剤と定着剤を用いる。公表されている現像剤の例を、表2.5に参考として示す。現像剤と定着剤を溶解し、現像液は褐色のプラスチック性タンクに定着液は白色のプラスチック性タンクにそれぞれ保存する。(すでに溶解して準備してある場合もある)

停止液は、酢酸約 10 ml を水約 1000 ml に溶解して作る。

### 2.3.4 フィルムの現像

現像液を現像タンクに注ぎ込む。すぐに反応が始まるので、最初の 1 分間は、連続して攪拌を続ける。その後は、1分おきに少しずつ攪拌する。現像時間は、5分から 10分程度であるが、処理時間を正確にする必要がある。温度が低い場合やフィルムの種類が異なる場合、増感現像をする場合には現像時間を変更してもよい。この間に停止液を 1000 ml のプラスチックビーカーに準備をしておくといよい。

所定の現像時間が終われば、素早く現像液を元の褐色のプラスチック性タンクに戻す。(現像液は10回程度使えるので捨てない。)

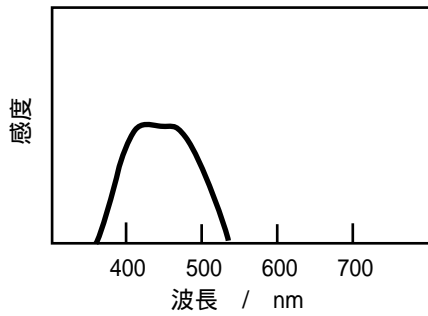


図 2.6 普通の印画紙の感度分布．普通の白黒印画紙は赤系統の光(低エネルギー側)の光には応答しないように作られている．コントラストを自由に設定できるタイプの印画紙では，2種類の感度特性の感光相を持つので，この図より範囲が広い．

現像タンクから現像薬を移し終わったら，素早く，停止液を現像タンクに注ぎ込む．30秒程度攪拌した後，停止液は，廃液だめに捨てる．停止液により反応は進行しないので，この後は操作や処理の時間は厳密でなくてよい．

定着液を注ぎ込む．定着の処理時間は10分である．所定の時間が終われば，定着液を元のプラスチック性タンクに戻す．(定着液は100回程度使えるので捨てない．)

現像タンクのふたをあけ，フィルムを取り出し，少なくとも10分間流水中で洗う．(水洗促進剤を使うと短縮できる．) 風通しの良いところで乾燥させる．(仕上げ用界面活性剤を使うとムラを残さず乾燥できる．)

#### 2.4 引き伸ばし(焼き付け)

現像したフィルムは，明暗が反転したネガ像である．これを反転させ拡大し，より見やすい写真にするのが，引き伸ばしと焼き付けである．いわゆる写真となる用紙を印画紙と言う．化学反応からみれば，フィルムと印画紙は同じである．したがって，現像，停止，定着，水洗そして乾燥の順で処理する．

フィルムは，我々の見える光に反応する必要があるので，赤から青までのすべての色によって像が得られる．白黒印画紙の場合は，白黒フィルムにおいて色の情報が失われているので，すべての色に反応する必要がない．白黒印画紙は，黄色から赤色の長波長側(低エネルギー側)の光には感じない(図 2.6)．

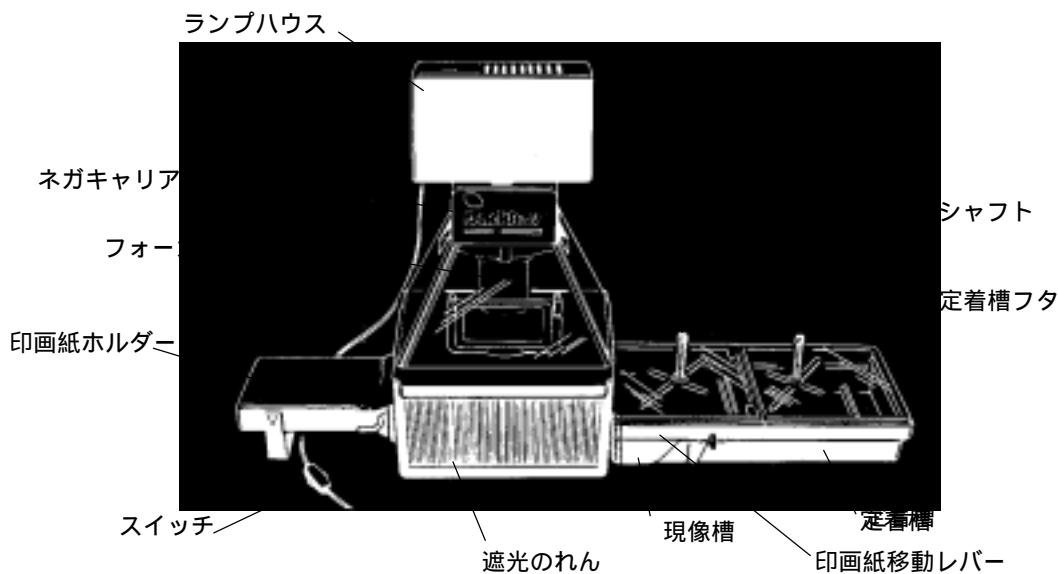


図 2.7 富士写真フィルム製 ダークレス引き伸ばし現像装置．暗室を用いなくても日中の引き伸ばしと現像ができる装置である．白黒印画紙はオレンジ色の光には応答しない．

そこで引き伸ばしと焼き付けは、暗室内の赤色の光のもとで操作する事ができ、印画紙に像が現れる様子を見ることができる。引き伸ばしは引き伸ばし機を用いて、ネガの像を印画紙上に拡大して投影する(図 2.8)。引き伸ばし機はスライド映写機とほぼ同じで、スクリーンの代わりに印画紙に投影する。引き伸ばしの光源は、印画紙が反応する波長の光を含む白色光が使われる。

暗室を使わずに白黒印画紙の引き伸ばしと現像ができる装置が市販されている(図 2.7)。操作の手順を以下に示す。

ネガをネガキャリアにはさみ、ネガキャリアを本体に取り付ける。ピント調節用の用紙をイーゼルに置く。スイッチを入れ、フォーカシングリングを回してピントを合わせ、スイッチを切る。ピント調節用の用紙を取り除き、印画紙ホルダーから印画紙を1枚取り出し、イーゼルにセットする。

スイッチを入れ、露光する。露光時間は5秒から12秒程度である。

露光の済んだ印画紙を現像槽に移す。現像液を飛ばさないようにすばやく入れ、少し攪拌する。現像時間は1分から1分30秒にする。現像が済めば、定着槽に移す。露光時間が適切であれば、この現像時間で像の変化は止まる。露光時間が長すぎた場合には、像は急激に変化(黒くなるのが早い)するので、現像時間を短くして、定着槽に印画紙を移す。露光時間が短い場合には、十分な像が現れない。現像時間を延長すると多少改善するが、全体的にネズミ色から黒くなってしまう。また、現像槽の容量が小さいので、印画紙の処理枚数が多くなると、現像が進まないことが起きる。この場合には現像液を入れ替える必要がある。

定着は10分程度おこなう。定着がある程度進めば、定着槽のフタを開けて印画紙を直接操作しても良い。実習者が多い場合には、時間を節約するために、定着槽を外部にもう一つ用意してある場合がある。この場合、装置の定着槽での定着を2~3分おこなった後、外部の定着槽で残りの定着をおこなう。

定着がすめば、印画紙を水洗する。水洗時間は10分程度おこない、その後乾燥させる。

## 2.5 あとかたづけ

現像タンクは水洗いをする。

現像液と定着液はもとの容器にもどす。

現像液は、還元剤が含まれているので、これを酸化処理してから廃棄する必要がある。現像剤は、空

表 2.2 現像剤の標準的組成 (D-76)<sup>a)</sup>

メトール	2	g	現像主剤	銀の還元剤
ハイドロキノン	5	g	現像主剤	銀の還元剤
無水亜硫酸ナトリウム	100	g	保存剤	酸化防止
ホウ砂	2	g	pH 調整	

a) 水 1000 ml に溶解するグラム数

表 2.3 定着液の標準的組成<sup>a)</sup>

チオ硫酸ナトリウム	240	g	定着主剤	塩化銀の可溶化
無水亜硫酸ナトリウム	15	g	チオ硫酸ナトリウムの安定剤	
酢酸	13	ml	pH 調整	
ホウ酸	7.5	g	pH 調整	
カリみょうばん	15	g	硬膜剤	ゼラチンの硬化

a) 水 1000 ml に溶解するグラム数

気により徐々に酸化され、現像力が落ちるので、保存はあまりできない。

使用済みの定着液には、銀が溶け込んでいるので、廃液処理が必要である。現像所から出る廃液は、商業的に処理されている。電解還元により回収する。チオ硫酸イオンや亜硫酸イオンは、ゆっくりではあるが、環境中で硫酸イオンに酸化されていく。チオ硫酸ナトリウムは、熱帯魚の水槽に入れるハイポや金属の中毒の解毒剤としても使われる。

停止液は指定された容器に廃棄する(まとめて処理する)。酢酸は環境中で容易に分解される。酢酸は、お酢の主成分。

## 2.6 レポート

白黒写真の現像焼き付け方法についてのマニュアルを、レポート用紙5枚程度で作成せよ。実験のレポートや論文における方法の記述は、第三者が報告されている実験方法をもとに再実験を行ったとき、全く同じ結果が得られるものでなければならない。図を用いてわかりやすく説明するのもよい。なお、今回はマニュアルであるので、文体は現在形で書きなさい。今回は、実験をもとに実験指導書を補い、完全なマニュアルを作成すること。自ら開発した商品の説明のつもりで、読み手の立場になって、記述しなさい。

現像操作をするうえで注意すべき点があれば書く。写真について、その有用性や欠点などを今回の実験を元に考察してもよいし、最近の電子機器との比較を自分なりに述べるのもよい。焼き付けた写真を添えると、説明がしやすい。

## 2.7 参考

カラー写真は、白黒写真を発展させたものである。光を感じるのは、ハロゲン化銀であり、カラーフィルタの層と組み合わせて作られている。現像処理の過程は、銀を色素に置き換えていく。白黒写真

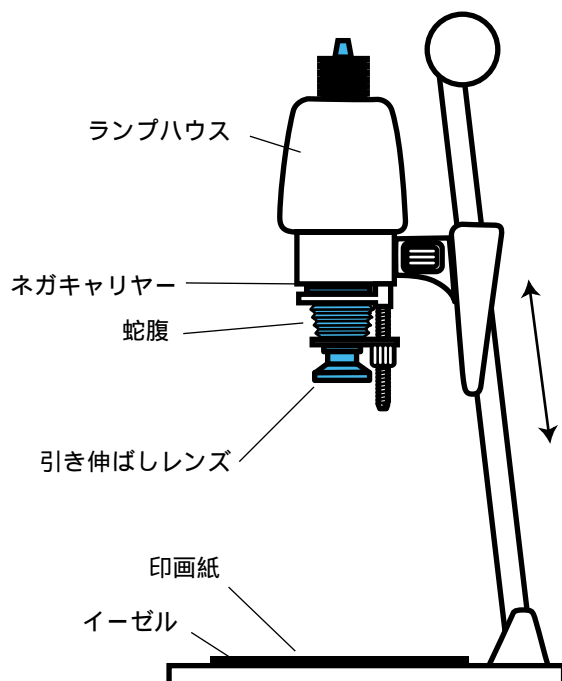


図 2.8 引き伸ばし機。本体を上下させることによって拡大倍率を変える。暗室で操作する。光量は、引き伸ばしレンズに付いている絞りと露光時間で調節する。

に対しても、同じように処理をすれば、単色であるが、着色できる。銀を硫化銀に変えれば、セピアと呼ばれる色調になる。普通のカラーフィルムには、3種類の有機色素(カプラー)が始めら入れられてあり、現像処理によって、銀が色素に変わり、銀は除去される。コダクロームと呼ばれるスライドフィルムは、色素を外部が供給するため、処理が特殊であるが、保存性が極めて優れている。(現像を依頼してから1週間は必要)。

普通のカラーフィルムの処理方法で、白黒写真をつくれるフィルムが、各社から市販されている(例、コダック、T400CNなど)。これらは、白黒フィルムであるが、逆に、今回の実験方法では、処理できない。

#### 2.7.2 参考書

モノクロ写真の現像とプリント，日本カメラ社，1996．

荒井宏子，手作り写真への手引き，写真工業出版，1997．

田中益男，写真の科学，共立出版，1995．

カラー写真の処理については，

阪川武志，内藤明，実務者のためのカラー写真，共立出版，1991．