

映画の手法を用いた  
劣化した写真フィルムの複製  
および写真の画質評価

---

山口孝子

東京都写真美術館保存科学専門員

清野晶宏

株式会社 IMAGICA Lab.

千陽裕美子

株式会社 IMAGICA Lab.

# 映画の手法を用いた 劣化した写真フィルムの複製 および写真の画質評価

山口孝子 (東京都写真美術館保存科学専門員)

清野晶宏 (株式会社 IMAGICA Lab.)

千陽裕美子 (株式会社 IMAGICA Lab.)

## I. はじめに

美術館は、作品の収集・保存、調査・研究、展示・公開、教育・普及を行いながら、収蔵作品を将来にわたって守り伝える使命を担っている。当館は日本における写真と映像文化の充実と発展を目的に設立され、オリジナル写真作品を中心に、写真文化の理解および体系的な写真史の構築する上で必要な作品の収集し、保存している。写真部門におけるネガフィルムの収集は、作家・作品研究などにおいて必要と考える場合のみ対象となる。2008年の「甦る中山岩太：モダニズムの光と影」展では、フィルムではなくガラス乾板であったものの、当時の写真原板を借用してこの展覧会のために35点の写真を制作した。その後、18点は当館の収蔵作品となっている。

また、「時代を記録した写真原板の散逸を防ぎ、保存管理、活用を図るアーカイブの設立」を目指して活動を続ける「日本写真保存センター」は、山端庸介氏が長崎市への原子爆弾投下直後の被害状況を撮影した、世界で唯一の貴重な写真フィルムの寄託を受けた。<sup>1)</sup> その貴重さゆえに、後年のフィルム劣化の進行を考慮して複製するという選択肢が生まれるかもしれない。しかし一方で、写真用デュープフィルムの白黒は、「KODAK PROFESSIONAL B/W DUPLICATING FILM」が2002年4月在庫限りで製造販売が終了し、カラーは「EKTACHROME SLIDE DUPLICATING FILM E-Dupe」が2009年8月全サイズ製造販売終了、「フジクローム デュープリケーティングフィルム CDU II」は135サイズが2010年、ロールサイズが2009年、シートサイズ(4×5、8×10)が2012年と、それぞれ製造販売が終了してしまった。

それでは、デジタル化による媒体変換の可能性はどうだろうか。デジタルデータの長期保存性に関しては、2007年に米国の映画芸術科学アカデミー(The Academy of Motion Picture Arts and Sciences)から、以下の報告がなされている。<sup>2)</sup> 制作した映像や音声をデジタルデータ化して、デジタルストレージメディア(磁気ハードドライブ、磁気データテープ、光ディスク)に記録する保存方法は、棚に置くのみでは、永きにわたる長期的なアクセス性を確実なものとして保証しない。さらに既存のアナログ保存(フィルム)よりも費用を要する。

そこで本研究では、長期的な確実な保存を念頭に置き、フィルムによる複製方法を検討した。写真分野では上述したようにデュープフィルムは手に入らないが、映画の分野においては、ドライ処理、ウェット処理を用いたフィルムへの複製が現在でも行われている。映画フィルムと写真フィルムはほぼ同じ画像形成材料が使用されているものの、アーカイブ機関は別組織であるため、これまで関連する技術の情報共有や検証は活発に行われてこなかった。今回、映画分野において、長年フィルム技術サービスを提供している株式会社IMAGICA Lab.（以下IMAGICA Lab.と表記）の協力を受け、映画のデュープ手法を用いて、劣化させた写真ネガフィルムからネガフィルムを複製した。この複製したネガフィルムより写真を焼き付け、画質評価を行い、この手法の写真分野での有用性を検討した。

## 2. 実験

今回、2つの評価実験を行った。デュープネガフィルムにおける画質評価およびオリジナルネガフィルムのデジタル化を実験1、写真における画質評価を実験2として、各ワークフローを図1、図2に示す。

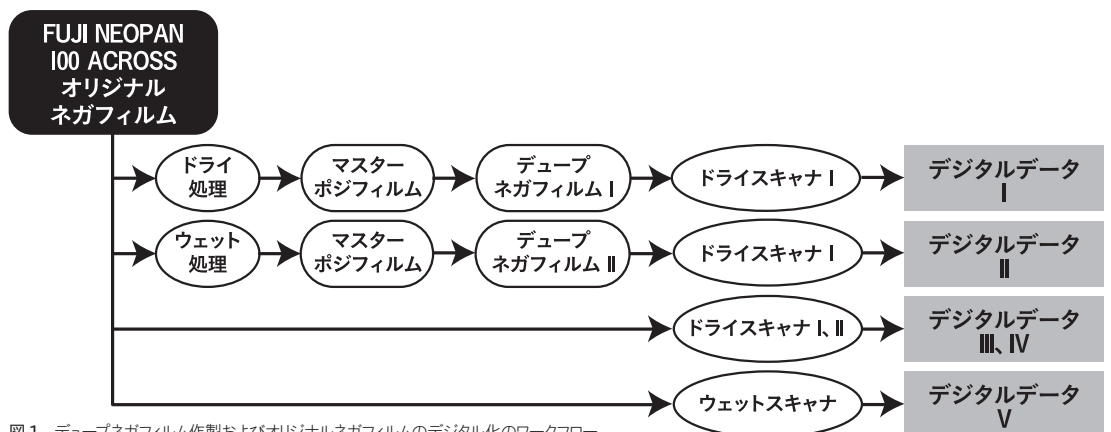


図1 デュープネガフィルム複製およびオリジナルネガフィルムのデジタル化のワークフロー

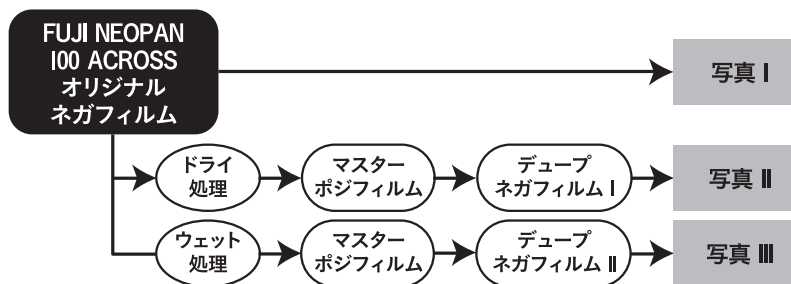


図2 写真作製のワークフロー

### 2-1. 評価用画像および画質評価項目

両実験で使用した評価画像は図3に示す解像力チャート、階調チャート、コダック グレースケール Q-13、風景の4種類である。画質評価項目は解像力、階調、フィルム表面の傷とした。標準試料としたオリジナルネガフィルムは、35 ミリ FUJI NEOPAN 100 ACROS を用いて、前述の評価画像を撮影し、マイロール D で現



図3  
評価用画像  
左上: 解像力チャート/右上: 階調チャート  
左下: グレースケール/右下: 風景

像、マイロールFで定着して乾燥後、風景のコマのみ人為的にベース面ならびに乳剤面に金属製定規にて傷をつけたものである(以下、オリジナルネガフィルムと記す)。ここでは、劣化の指標として擦り傷を想定した。画質は、オリジナルネガフィルムとデューブネガフィルムに写しこまれた各評価用画像を比較して、主観評価と客観評価をすることとした。

## 2-2. デューブならびに評価のために使用したスキャニング機材

図1、2で示したドライ処理、ウェット処理、ドライスキャン、ウェットスキャンで使用した機材について解説する。

### ①マスターポジフィルム作製時に使用した映画用フィルムドライ処理プリンタ [図4]

BHP製の密着プリンタをベースにIMAGICA Lab.で主に制御系を改良したプリンタ。映画フィルムの焼増しプリンタとして使用され、連続動作によりスピードが速く暗室専用機である。レジピンを使用しない構造で、劣化したフィルムにも対応したプリンタである。

### ②マスターポジフィルム作製時に使用した映画用フィルムウェット処理プリンタ [図5]

ドライ処理で使用したプリンタと同じく、BHP製の密着プリンタを基本にIMAGICA Lab.で制御系を主に改良したプリンタ。露光部分に有機溶剤を使用することでフィルム上の傷部分の屈折率が変わり、傷を見えにくくする仕組みとなっており、それ以外の構造はドライプリンタと同じである。

### ③デジタルデータ I、II、IIIの作製の際に使用したドライスキャナ I [図6]

DFT製Scanity。映画用途で使用され4300の水平アクティブ・ピクセルに対して6 $\mu$ mピクセルサイズでスキャンすることが可能

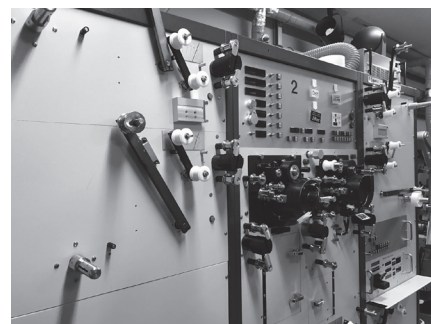


図4 映画用フィルムドライ処理プリンタ

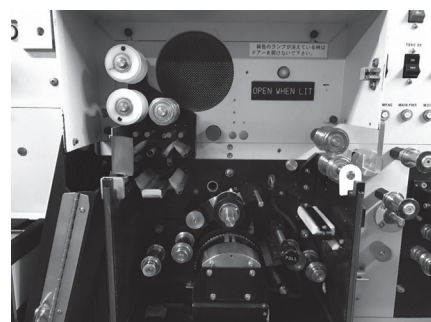


図5 映画用フィルムウェット処理プリンタ

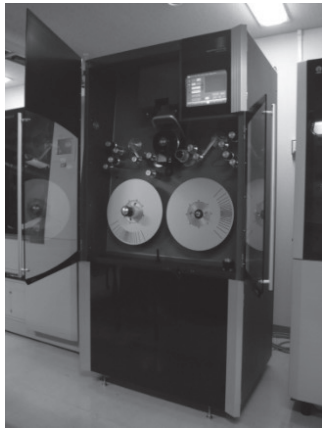


図6 DFT製 Scanity

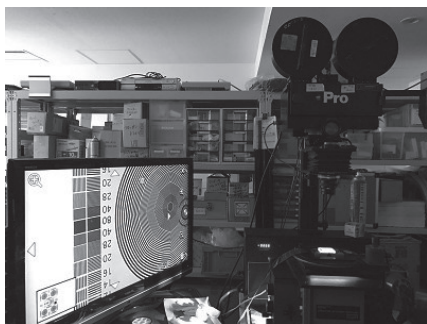


図7 IMAGICA Lab. 製ウェストスキャナ



図8 IMAGICA Lab. 製 CineVivo

でフィルムを固定する物理的なレジピンは無く、キャプスタンタイプのフィルムトランスポートを備え、フィルムに対し負荷のない設計となっている。

#### ④ デジタルデータⅣの作製の際に使用したドライスキャナⅡ [図7]

劣化が進み搭載が困難なフィルムに対しスキャンが行えるようにIMAGICA Lab. で自社開発した一眼レフカメラを搭載したウェストスキャナ。フィルムを装填や走行する機構はなく1コマ1コマフィルムを固定しスキャンする。

#### ⑤ デジタルデータⅤの作製の際に使用したウェットスキャナ [図8]

IMAGICA Lab. 製 CineVivo。映画用のオプティカルプリンタを改良したIMAGICA Lab. 自社開発のスキャナで、フィルム複製時のウェット処理で使用した同じ溶剤にてスキャンが可能となる。なお、1コマ8パーフォーレーションでのスキャンには対応しておらず、4パーフォーレーションのみの仕様となっている。

### 2-3. 実験方法

#### 実験1：デュープネガフィルムの作製およびオリジナルネガフィルムのデジタル化

オリジナルネガフィルムに対して、ドライ処理によりマスターポジフィルム、さらにデュープネガフィルムⅠを作製。そのデュープネガフィルムⅠをドライスキャンしデジタルデータⅠを作製した。同様にオリジナルネガフィルムからウェット処理によりマスターポジフィルム、さらにデュープネガフィルムⅡを作製。そのデュープネガフィルムⅡをドライスキャンしデジタルデータⅡを作製した。オリジナルネガフィルムを揮発性の有機溶剤に浸した状態でマスターポジフィルムを作製する手法がウェット処理であり、対して有機溶剤を使用せずにマスターポジフィルムを作製する手法がドライ処理である。

またマスターポジを介さずにオリジナルネガフィルムを直接ドライスキャナⅠ、ⅡにかけてデジタルデータⅢ、デジタルデータⅣも作製した。最後にウェット処理と同様に有機溶剤を使用してオリジナルネガフィルムをウェットスキャナにかけてデジタルデータⅤを作製した。デュープネガフィルムの評価は「デジタルデータⅠ、Ⅱ、Ⅲ」を用いて行い、オリジナルネガフィルムのデジタル化の評価は、「デジタルデータⅢ、Ⅳ、Ⅴ」で行った。

なお「デジタルデータⅠ、Ⅱ、Ⅲ」の作製にあたり、ドライスキャナはScanityで統一した。Scanityは、ウェストスキャナよりCTF<sup>3)</sup>は劣るものの見た目の解像力が高いこと、そして通常の映画作品で一般的に使用している機材という理由から選択した。またマスターポジフィルムには、EASTMAN Fine Grain Duplicating Positive Film 2366、デュープネガフィルムには、EASTMAN Fine Grain Duplicating Panchromatic Negative Film 2234を使用した。

## 実験 2：写真の作製

オリジナルネガフィルムに対して、直接焼付けをして写真Ⅰを作製した。また、同オリジナルネガフィルムからドライ処理によりマスターポジフィルム、デューブネガフィルムを介して焼付けをした写真Ⅱ。同様にオリジナルネガフィルムからウェット処理によりマスターポジフィルム、デューブネガフィルムを介して焼付けをした写真Ⅲを作製した。なお印画紙はイルフォードの多階調のパライタ紙を使用し、写真Ⅰ～Ⅲの中間調が同じ濃度になるよう、焼付けの際に多階調印画紙用フィルタにて調整している。このフィルタの影響についても考察する。

### 3. 評価および考察

#### 3-I. 実験 1 のデューブネガフィルムおよびオリジナルネガフィルムにおける評価

##### 3-I-I. 解像力

オリジナルネガフィルム、デューブネガフィルムが比較できるように作製したデジタルデータⅠ～Ⅲを用いて評価する。解像力チャートについては、図 9 に表記した白色の四角の部分で各スキャナで切り出し [図 10]、風景については、図 11 に表記した白色の四角の部分で各スキャナで切り出して観察した [図 12]。残念ながらオリジナルに比べると、デューブネガフィルムⅠ、Ⅱ、共に焦点の甘い画像となった。

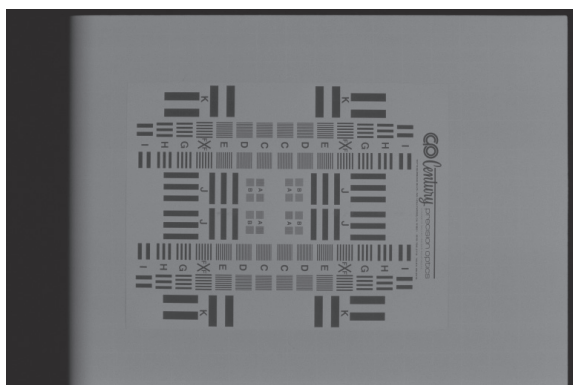


図 9 解像力チャート

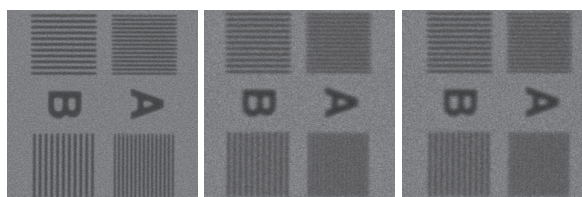


図 10 フィルム解像力比較Ⅰ  
左からオリジナルネガフィルム、デューブネガフィルムⅠ、デューブネガフィルムⅡ

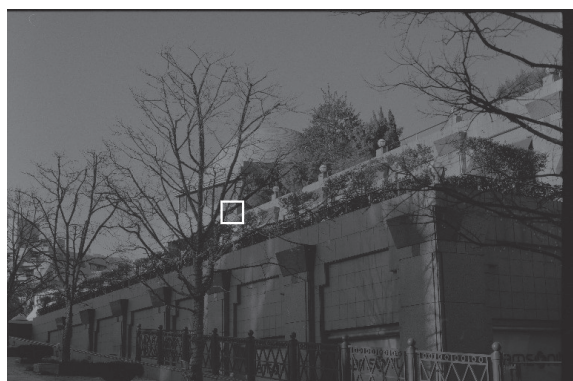


図 11 風景

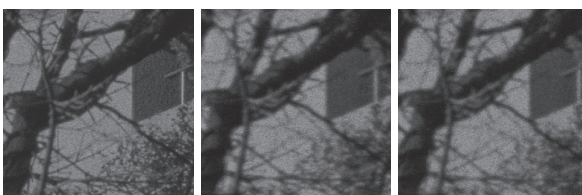


図 12 フィルム解像力比較Ⅱ 左から オリジナルネガフィルム、デューブネガフィルムⅠ、デューブネガフィルムⅡ

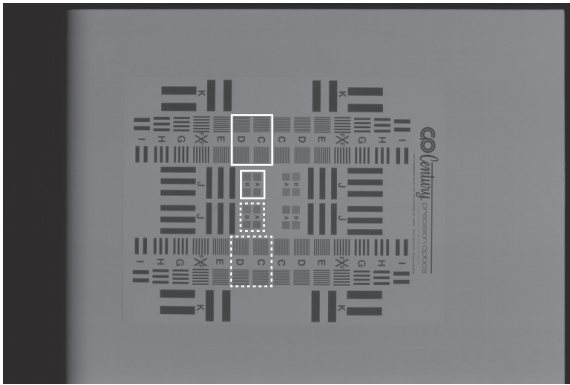


図13 CTFの算出エリア

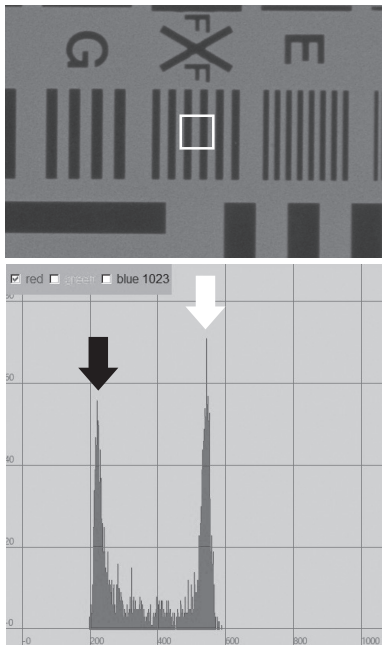


図14 ヒストグラム選択エリアとMaxCVならびにMinCVのピーク

客観評価は、CTF (Contrast Transfer Function) の値を求め比較した。

$$CTF = \frac{(MaxCV - MinCV)}{(MaxCV + MinCV)} / \frac{(MaxCV(0) - MinCV(0))}{(MaxCV(0) + MinCV(0))}$$

CTF は 1 に近いほど解像力が高いと評価される。具体的には、図 13 に白色の実線四角で示した解像力チャート上の A、B、C、D の各エリアにおいて、垂直および水平方向の白線／黒線のピッチのヒストグラムの高輝度値のピーク（の黒矢印の箇所：MaxCV）と低輝度値のピーク（同白矢印の箇所：MinCV）を求める。ここでは、白色の破線四角で示した A、B、C、D についても同様に値を求め、CTF を平均化することで位置による誤差を排除した。CTF の結果を図 15 に示す。なお MaxCV(0) および MinCV(0) は、空間周波数ゼロの時の値を意味する。ドライ処理のデュープネガフィルム I の方がウェット処理のデュープネガフィルム II よりも CTF が高い値となった。またオリジナルフィルムも含め、2つの処理においても垂直よりも水平方向の方が高解像力であった。

続いて、オリジナルネガフィルムに対して、以下の3つのスキャナにおける主観評価と客観評価で解像力を検討する。

- Scanity (ドライスキャナ I)
- ウェストスキャナ (ドライスキャナ II)
- CineVivo (ウェットスキャナ)

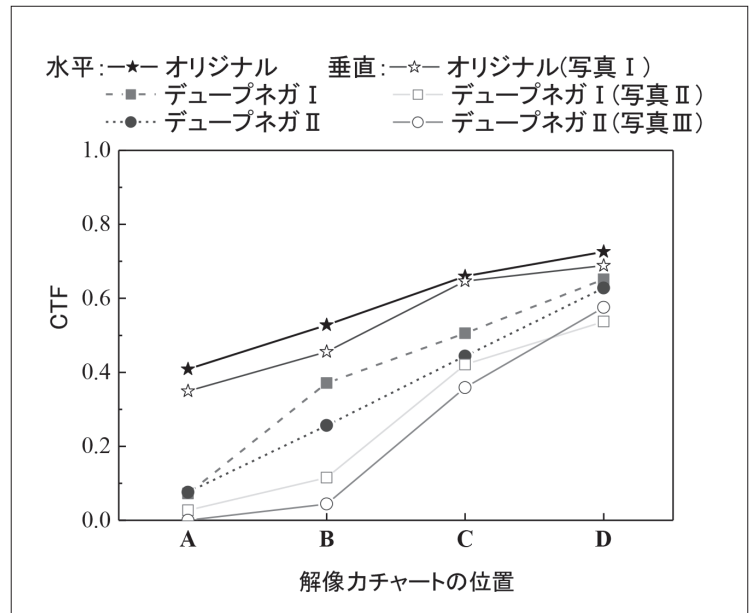


図15 デュープネガフィルムの CTF 比較

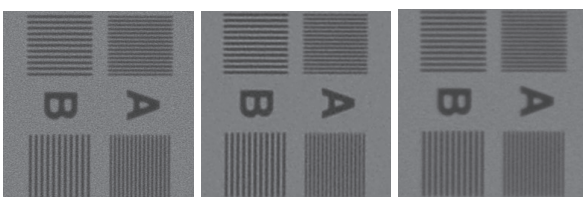


図16 スキャナの解像力比較 1  
左から Scanity, ウェストスキャナ, CineVivo

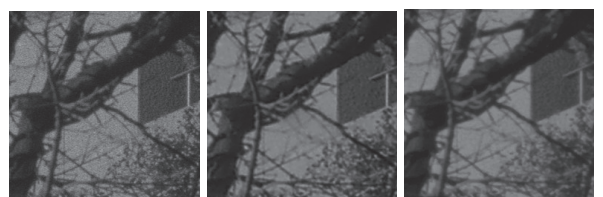


図17 スキャナの解像力比較 2  
左から Scanity, ウェストスキャナ, CineVivo

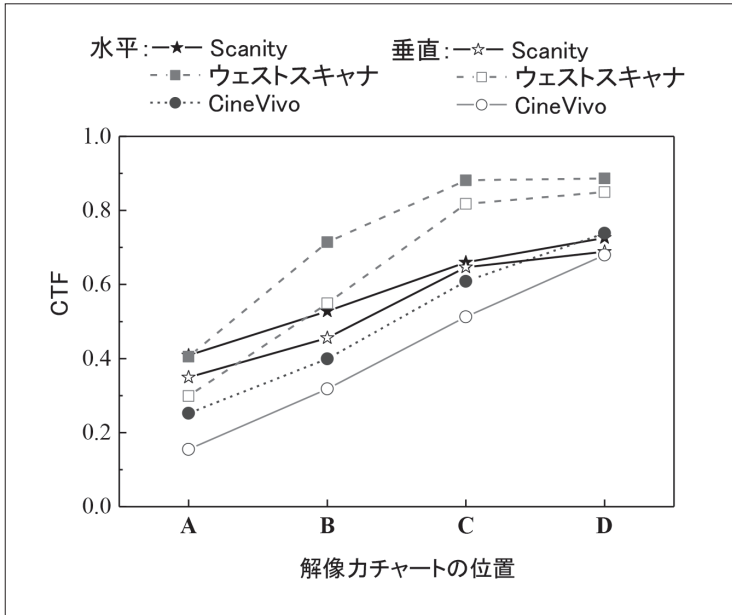


図18 スキャナのCTF比較

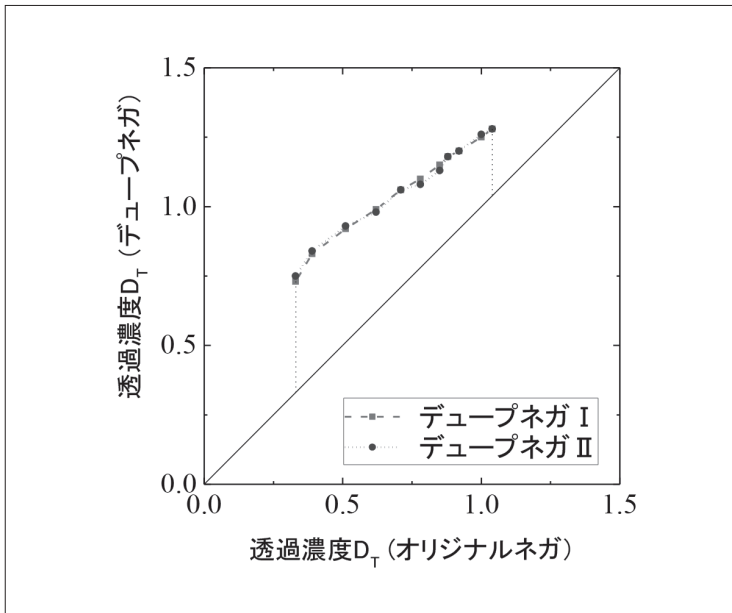


図20 デュープネガにおける透過濃度の比較

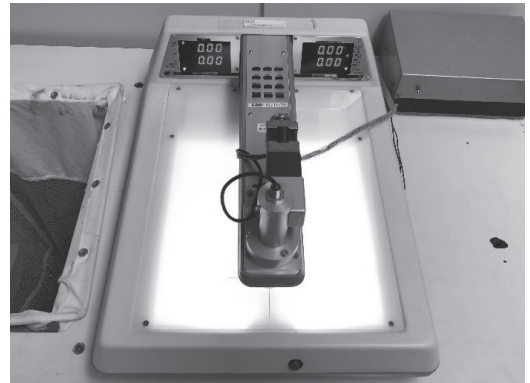


図19 カラー透過濃度計 (X-Rite 製 310T)

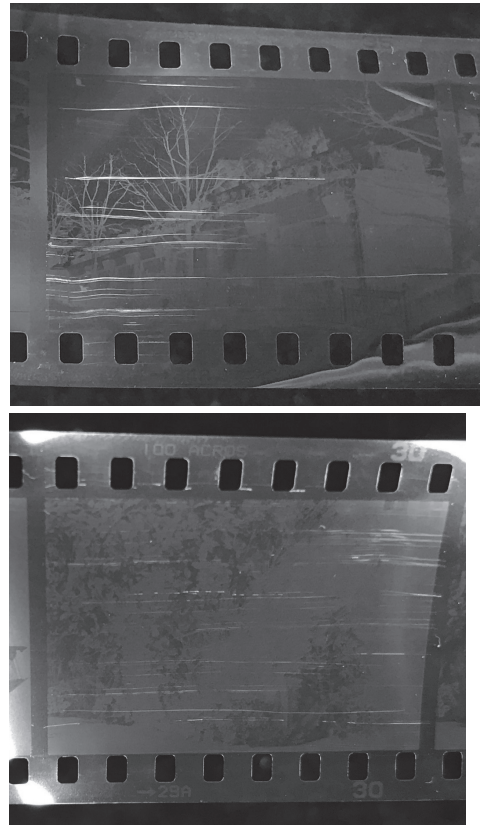


図21 傷をつけたフィルム表面 上:ベース面、下:乳剖面

同様に主観評価では「解像力チャート」、「風景」の2つに対して実施し [図 16, 17]、客観評価ではCTFを求め、その結果は図18にまとめた。ドライスキャナでは、ウェストスキャナが Scanity よりも解像力が高く、ドライとウェットではドライスキャナの方が高解像力であった。Scanity はウェストスキャナよりCTFは低いものの、「風景」の葉やガラスの細部表現が優れ、見た目の解像力が高いことを確認した。またどのスキャナにおいても、水平方向の方が垂直よりも解像力の高い結果となった。各処理プリンタおよび各スキャナは、水平方向・垂直方向の解像力の差は出にくい構造であること、既にオリジナルネガにおいて水平 > 垂直という解像力となっていることから、この傾向は、オリジナルネガ作製時の複写照明によって生じ、それがそのまま引き継がれたと考えられる。



### 3-I-2. 階調

カラー透過濃度計 (X-Rite 製 310T [図 19]) による階調チャートの測定値を比較する。図 20 に濃測値の結果をまとめた。オリジナルネガフィルムの階調チャートは、DT=0.33~1.04 であったが、デュープネガ I では 0.73~1.28、デュープネガ II では 0.75~1.28 となった。デュープネガは、45 度の直線の上部にプロットされたことから、オリジナルネガより濃度が 高く複製されたことが分かる。またデュープネガのプロットから 45 度の直線に下ろした 2 本の点線で示すオリジナルネガの濃度域は、デュープネガでは狭くなった。デュープネガ I と II の間には、特筆すべき差は認められなかった。

### 3-I-3. フィルム表面の傷

「風景」に対するフィルム表面の傷の評価を行う。オリジナルネガフィルムのベース面ならびに乳剤面に金属製定規で傷をつけた状態は、図 21 に示した。オリジナルネガフィルム、デュープネガフィルム I、II の 3 つのフィルムにおいて、それぞれの面に対する傷の



図 22 フィルム表面の傷の比較 (部分)  
上からオリジナルネガフィルム、デュープネガフィルムI、デュープネガフィルムII



図 23 フィルム表面の傷の比較 (部分)  
上から Scantity、ウェストスキャナ、CineVivo

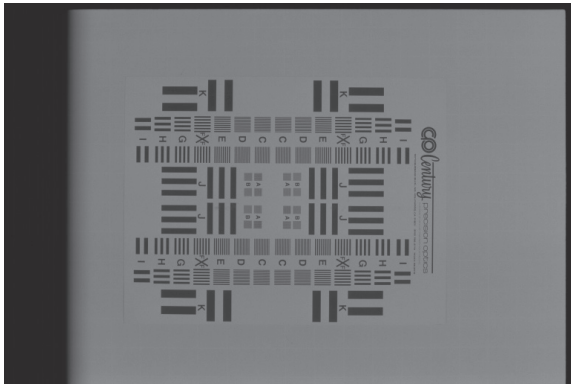


図24 解像力チャート

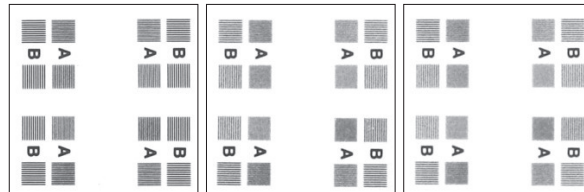


図25 写真解像力チャート比較 (左から写真I、II、III)



図26 風景写真の比較 (部分) (左から写真I、II、III)

見え方を比較した [図22]。デュープネガフィルム I は、再現性が高く、傷は僅かに幅が細く濃度が薄くなったのみであった。デュープネガフィルム II では、ウェット処理の効果によって傷は肉眼で認められず、消えていた。

続いて、オリジナルネガフィルムのデジタル化に対する傷の見え方を比較する。3つのスキャナ (Scanity、ウェストスキャナ、CineVivo) から得たデジタルデータ III～V を用いて検証した [図23]。Scanity は CTF ではウェストスキャナに劣るためか、傷の幅は狭く濃度は薄くなっていた。ウェットの効果もたらされる CineVivo では、傷は消え肉眼では判別できなくなっていた。

### 3-2. 実験2の写真における評価

#### 3-2-1. 解像力

「解像力チャート」ならびに「風景」の2つに対して解像力の評価を行った。解像力チャートでは、図24に示す白四角の部分に対して比較を行い、その結果は図25に示す。なお、本紙面に掲載するための写真のデジタル化は、複合機 (RICOH MP C5503) のスキャナ機能を使用し、設定は白黒ならびに 600dpi としている。目視により、解像力チャート上の「A」の垂直および水平の白線/黒線のピッチがどこまで見分けられるかで判定する。ドライ処理の写真 II の方がウェット処理の写真 III より解像力が高い結果を得た。水平方向と垂直方向には大きな違いは目視では認められなかった。[図26] に示す風景の画像を用いた主観評価においても、葉の細かさが鮮明に表現されていることから、写真 II の方が写真 III より解像力が高いと判断できる。しかしながら風景の写真全体を観察した場合には、解像力チャートで得られた差は感じられなかった。

#### 3-2-2. 階調

階調の評価は写真 I、II、III のグレースケールを用いた。Macbeth 社 TR-924 [図27] による、各グレースケールの反射濃度の測定結果を示す [図28]。オリジナルの写真 I の濃度が処理後に完全に再現された場合には、45度の直線上にプロットされる。ドライ処理は、オリジナルよりも  $D=1.5 \sim 1.75$  付近でわずかに低濃度となったが、全体的には調子再現が複製されたとと言える。一方、



図27 反射濃度計 (Macbeth 製 TR-924)

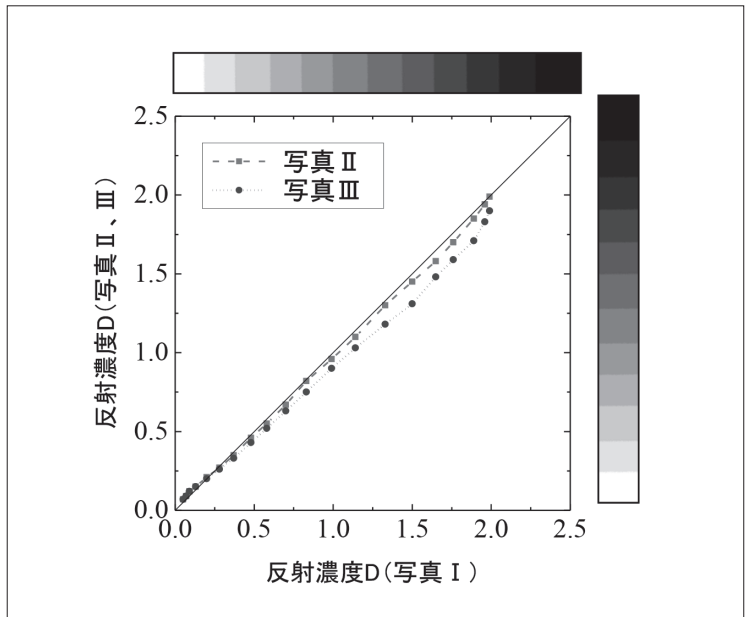


図 28 写真における処理前後の濃度比較



図 29 フィルム表面の傷比較 上から写真 I、II、III

ウェット処理は、D=0.5 付近から濃度の低下が始まり、中間調から高濃度域になるに従い、僅かではあるがその低下が顕著となった。ただし最高濃度は誤差範囲で、変換はできていた。これらの結果から、複製後の階調表現の豊かさはⅡ>Ⅲと言えよう。

### 3-2-3. フィルム表面の傷

「風景」に対してフィルム表面の傷の見え方を比較する主観評価を行う。結果を図 29 に示す。ウェット処理をした写真Ⅲでは、未処理の写真Ⅰやドライ処理による写真Ⅱと比較して、ほとんどの傷が消えていた。

### 3-3. ウェット処理に関する考察

ここで写真においてウェット処理がドライ処理よりも解像力ならびに階調が劣った結果を考察する。はじめに写真作製時の多階調印画紙用フィルタの影響を検討するために、フィルタを使用せずに写真Ⅰ、Ⅱ、Ⅲを作製した。結果を図 30 に示す。全ての写真において階調の不均一さが認められた。これにより解像力ならびに階調の細かさの低下の原因は、フィルタに起因するものではなかったと考える。

続いて、写真への焼付けに使用したフィルムの解像力に注目する。結果は、未処理>ドライ処理>ウェット処理となり、写真上での評価と同じ結果であった。そのため、写真を作製する際に元となったウェット処理済みのフィルムで、既に解像力ならびに階調数が低下していたと考えられる。その原因として、オリジナルネガフィルムからウェット処理によりマスターポジフィルムを作製、そのフィルムからデューブネガフィルムを作製するという2つのプロセスで、情報量が減ったと推測できる。このことは「3-1-2.」の評価でも現われている。

ここで、その解像力が低下して焦点が甘くなり、階調表現が狭まることに関する現実的な影響について考えてみたい。実際にはそのフィルムの劣化度合いに応じた検証を必要とするが、一般的に経年劣化によりその写真が本来持っていた情報量は減少していく。そのため、今回実験で使用した新品よりも実際に劣化が進んでいるフィルムにおいては、ウェット処理と経年劣化で失われる情報量が相殺され、むしろ処理の効果が発揮されやすい状態であろう。この推測に基づくと、現存の劣化したフィルムの場合には、ウェット処理を活用することによって、写真家の意図により近い形で再現できるのではと期待する。

また、フィルムの持つ長期的な保存が可能という特徴についても考えてみたい。今回、映画の手法を用いることでマスターポジフィルムならびにデューブネガフィルムが物理的に作製される。これらのフィルム自体が長期保存可能な媒体であるため、結果的に写真と共に後世へ伝えることができる。写真が何らかのダメージを受けた場合や紛失などが発生した際に、作製されたフィルムから再び写真を製作することができる。また修復などを必要としない費用的なメリットや将来にわたって焼き増し可能という担保も享受できる。



図 30 多階調印画紙用フィルタなし  
上から写真Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ

## 4. まとめ

デュープネガフィルムの解像力は、オリジナルフィルム>ドライ処理のデュープネガフィルム>ウェット処理のデュープネガフィルムとなり、オリジナルフィルムよりやや低下した。階調においてもその差は0.2～0.3程度であったが、オリジナルよりもデュープネガフィルムは濃度域を狭める結果となった。ウェット処理を施したデュープネガフィルムでは、フィルムの表面の傷を劇的に低減させ、劣化したオリジナルフィルムの複製に有用であることが分かった。写真においてもウェット処理は、オリジナルと比べ解像力CTFや階調の忠実性がやや劣るものの、最終媒体である焼付けた写真では肉眼による差は僅かであった。フィルム表面につけた傷は消えていることが確認でき、劣化したフィルムからの写真の再生に有用であることが示された。

ウェット処理はフィルム表面の傷を軽減し、映画フィルムで確立されている手法を写真に適用可能と考える。また、本研究が映画と写真の分野を横断する技術的な交流のきっかけになればと期待する。

### 【引用文献・注釈】

- 1) 「日本写真保存センター」調査活動報告(13)
- 2) ザ・デジタル・ジレンマ  
<http://www.dmc.keio.ac.jp/digitalarchives/digitaldilemma.html>  
デジタル・ジレンマ2  
[http://www.momat.go.jp/fc/wp-content/uploads/sites/5/2016/04/DigitalDilemma2\\_JP\\_NFC.pdf](http://www.momat.go.jp/fc/wp-content/uploads/sites/5/2016/04/DigitalDilemma2_JP_NFC.pdf)
- 3) ウェストスキャナは、搭載されている一眼レフカメラのエンハンス(画質向上)の影響により、白と黒の境目で判定するCTFがScanityより高くなる。フィルムの情報を忠実に画像化するScanityはそのようなエンハンスはないが、エッジ以外のところでウェストスキャナよりも解像しているため、CTFでは劣るものの再現性が高い結果となる。