

みんなくりポジトリ

国立民族学博物館 学術情報リポジトリ National Museum of Ethnology

Conservation of Motion Picture Films

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2010-02-16 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 園田, 直子 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.15021/00004063

映画フィルムの保存に関する研究の動向

園 田 直 子*

Conservation of Motion Picture Films

Naoko Sonoda

映像資料の保存には、記録された映像情報（内容）の保存、そして、映像の記録媒体（材料）の保存、このふたつの側面がある。ここでは後者に焦点をあて、映像媒体としての映画フィルムの劣化について、フィルムベース（ニトロセルロース、アセチルセルロース、ポリエステル）と写真乳剤層（ゼラチン、ハロゲン化銀、色素）に分け、それぞれの特性と劣化に関する知見をまとめる。次に、映画フィルムの保存環境について、とくに低温保存と保管容器を中心に最近の研究の動向を追い、映画フィルムの保存問題に取り組む上での基礎的な考え方を導き出す。

When dealing with the conservation of motion picture films, we have to consider two aspects, conservation of information (contents), and that of the film itself. In this article, we deal with the latter. At first, the problem of degradation is discussed for film bases (cellulose nitrate, cellulose acetate, PET) and for the emulsion layer (gelatin, silver halide, dyes). Then, recent researches on the conservation environment are surveyed, focussing on cold storage and on film containers, so as to draw basic and practical conclusions for the conservation of motion picture films.

* 国立民族学博物館博物館民族学研究部

Key Words: motion picture films, degradation, conservation environment, cold storage, film container

キーワード：映画フィルム，劣化，保存環境，低温保存，保管容器

はじめに	1.2.2 ハロゲン化銀
1 映画フィルムの劣化	1.2.3 カラーフィルムの色素
1.1 フィルムベースの劣化	2 映画フィルムの保存
1.1.1 ニトロセルロースのフィルム	2.1 保存環境
(a) ニトロセルロースの特性	2.1.1 フィルムの保存環境の範囲
(b) ニトロセルロースの劣化	2.1.2 フィルムの保存環境の具体例
1.1.2 アセチルセルロースのフィルム	2.2 低温保存
(a) アセチルセルロースの特性	2.2.1 低温保存と相対湿度
(b) アセチルセルロースの劣化	2.2.2 低温保存と「収蔵庫外時間」
1.1.3 ポリエステルのフィルム	2.3 保管容器
(a) ポリエステルの特性	2.3.1 温湿度の変動の緩和
(b) ポリエステルの劣化	2.3.2 有害物質の除去
1.2 フィルムの写真乳剤層の劣化	おわりに
1.2.1 ゼラチン層	

はじめに

映画が発明されて1世紀以上が経ち、映画フィルムのなかには、製作当時の画像とはほど遠くなったもの、あるいは、燃えて消滅してしまったものも少なくない。

一般に映像資料の保存は、映像として記録された情報内容の保存、そして、映像の記録媒体の保存、というふたつの側面をもっている。前者の場合、オリジナル映像を、同じ素材あるいは異なった素材の媒体に順次転写していくことで、情報を残すのが通常である。たとえば、1998年、東京大学総合研究博物館において、小津安二郎の映画「東京物語」が、コンピュータの画像処理技術を使ってデジタル修復された（坂村・蓮實 1998）が、このように最新技術を積極的に導入し、よりよい映像の安定性をもとめることも可能である。

映像の記録媒体としてのフィルムの保存を考えるにあたっては、とくに保存環境を重視する。というのも、保存環境を整備することで、ものの劣化の始まりをなるべく遅らせることができるし、劣化が始まってしまったものに対してはその進行を遅くすることができるからである。なお、ここでは劣化ということばを、ものが化学的あるいは物理的に変化し、当初もっていた品質や物性が損なわれ、より劣悪な状態になることを総称して用いることにする。

フィルムの保存問題に関する研究は、とくに1990年前後から欧米諸国において盛んにおこなわれるようになってきた。しかしながら、これら先行研究の成果や新しい知

見をはじめとする最新の研究動向は、とくに映画フィルムに関してはまとまった形で日本に紹介されていないのが現状である。そこで、本稿では、1999年3月および11～12月にスウェーデン、ドイツ、フランスでおこなった映画フィルムの保存環境に関する現地調査¹⁾の結果をまじえながら、映画フィルムの劣化と保存に関する専門家の研究成果をまとめ、映画フィルムの保存に取り組む上での基礎的な考え方を導き出していく。

1 映画フィルムの劣化

フィルムは、支持体となるベースの上に写真乳剤層が塗布されてできている。

フィルムのベースには、映画用のフィルムに限らず、写真フィルムやマイクロフィルムにも同様の素材が使用されている。映画用のフィルムが他のフィルムと異なるのは、非常に長いということと、フィルムの両側（あるいは片側）に一定間隔でパーフォレーションとよばれる小さな穴が設けられていることである。素材としては、火災の危険度が高いニトロセルロースと、比較的 안전한アセチルセルロース、ポリエステルなどが使われてきた。後者ふたつは、「セーフティフィルム」と一括してよばれることも多い。

写真乳剤層は感光膜層としてはたらし、ここに画像が形成される。構造としては、光を受けると化学的変化をおこし画像を形成する性質をもつハロゲン化銀の結晶²⁾が、ゼラチンの膜層の中に細かく分散している。カラーフィルムの場合は、3色光（赤、緑、青）に感光する乳剤が重ねられており、赤感性の乳剤からはシアン画像、緑感性の乳剤からはマゼンタ画像、青感性の乳剤からはイエロー画像が得られ、それぞれの混色で最終の色画像が構成される（白井ほか 1978）。

1.1 フィルムベースの劣化

1.1.1 ニトロセルロースのフィルム

(a) ニトロセルロースの特性

ニトロセルロースは、1846年にスイスの Ch. シューンバインによって発明された。ニトロセルロースは、セルロースを硫酸、硝酸、水の混合物で処理し、セルロースの水酸基をニトロ基で置換させて得られる。理論的には全ての水酸基をニトロ基で置換でき、その場合のニトロ基の置換度は14.4%となるが、このような物質は非常に不安

定である。通常、窒素含量のパーセント（硝化度）を変えて、さまざまな性質や用途に適した各種のニトロセルロースにしている。たとえば、硝化度10.7～11.7%でラッカーやセルロイド³⁾、11.8～12.5%でフィルムやレザー、12.5～13.5%で火薬となる（三羽 1975）。あるいは、硝化度11.5～12.3%でラッカー、12.3～13.5%で爆発物とする研究者もいる（Derrick et al. 1994）。硝化度11.5～12%のものは、接着剤として使用される（Shashoua et al. 1992）。

ニトロセルロースは無色の高分子で、丈夫だが脆く、通常は、可塑剤を加えることで柔軟性を高めている。熱可塑性樹脂の仲間であり、おおよそ 80～90°C で軟らかくなり、150°C で流れだす。非常に引火性の高い物質で、約 180°C で発火する。不純なものは、100°C 内外でも発火する（三羽 1975）。

ニトロセルロースのフィルムは、1880年代の終わりから製造されている。35ミリフィルムとしての需要は、1950年初頭にトリアセチルセルロースにおきかわるまで続く。ニトロセルロースは16ミリや8ミリフィルムに使用されたことはない（Reilly 1993）とされる一方で、稀に35ミリフィルムを縦2本に分けて16ミリフィルムとして使用した（MacIish et al. 1996）という見方もある。

(b) ニトロセルロースの劣化

温度や相対湿度が上がると、ニトロセルロースの劣化は促進される。また、ニトロセルロースは 360～400 nm の波長の光に弱く、紫外線の照射は劣化を早める要因となる。製造過程で使われた硫酸や硝酸が残留していると、劣化が早まることも指摘されている（Shashoua et al. 1992）。

ニトロセルロースが劣化する過程で形成される各種の酸化窒素は、水分と反応し、亜硝酸、硝酸などの酸をつくる（Edge et al. 1990）。これらの物質の存在により劣化がさらに促進し、その結果、より多くの酸化窒素や酸が形成されるという悪循環がおきる。

劣化したニトロセルロースのフィルムには、刺激臭のほか次のような兆候があらわれる。フィルムベースは黄化し、脆くなる。ハロゲン化銀は酸化し、像はセピア色になる。ゼラチンは軟化し、べとついてくる。フィルム自体が収縮し変形したり、フィルムの巻全体がくっついてかたまったり、粉状になったりする（図1）。このような劣化は必ずしも均一にあらわれるとは限らず、ときには一部は完全に崩壊しているながら、ほかの部分は比較的よい状態を保っていることもある（Edge et al. 1990; Edge 1994）。

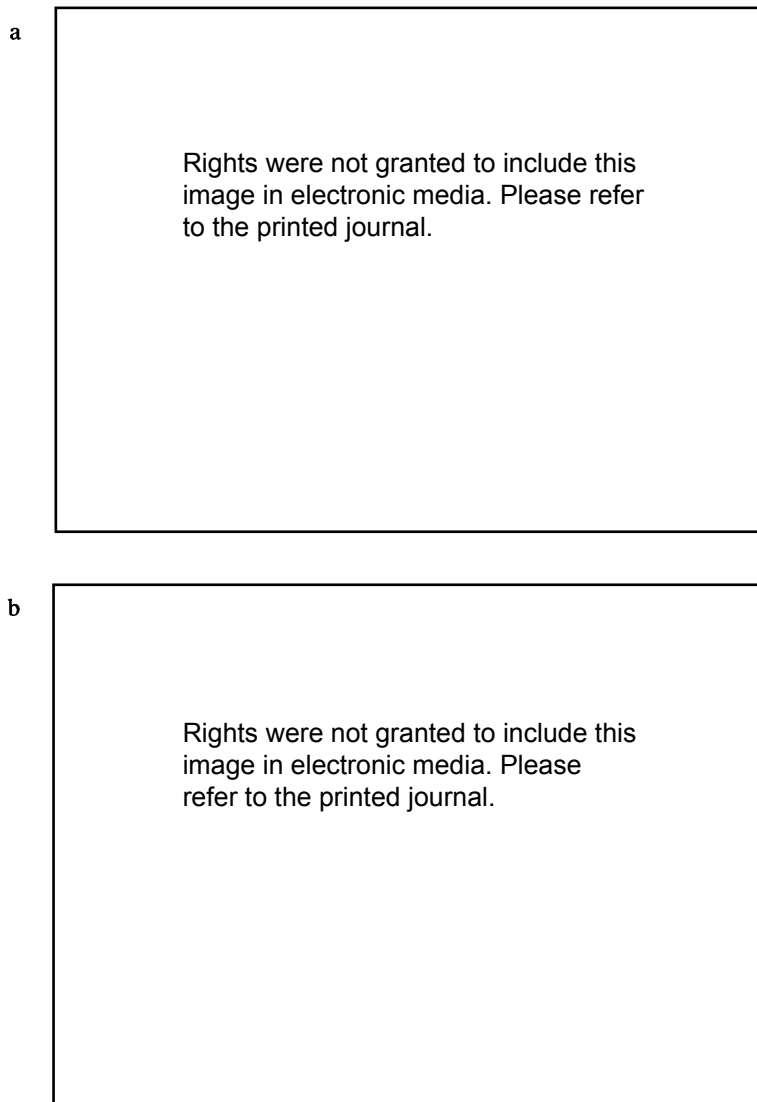


図1 劣化したニトロセルロースのフィルム
a 巻全体がくっついてかたまったフィルム
b 粉状になったフィルム
フランス国立映画技術センター・フィルムアーカイブ
Service des archives du film, Centre national de la cinématographie, France

1.1.2 アセチルセルロースのフィルム

(a) アセチルセルロースの特性

セルロースに無水酢酸を作用させると、セルロースの水酸基が全部アセチル化されたトリアセチルセルロース（酢酸含量62.5%）が得られるが、通常は、溶解性を高めるために酢酸含量を52~60%くらいに下げて使用している。酢酸含量と分子の長さによって性質や用途の異なるアセチルセルロースが得られる（久保ほか 1987）。

一般に、アセチルセルロースは無色透明の光沢のある樹脂で、耐衝撃性がある。可塑剤の量によって異なるが、おおよそ 80°C で軟化し、200°C で溶解する。難燃性だが火の中では燃え、日光にあてると長時間で徐々に変色する（三羽 1975）。

酢酸含量の違いによる各種のアセチルセルロースのうち、酢酸含量の低いジアセチルセルロースは1940年代から、トリアセチルセルロースは1950年からフィルムとして使われている（Edge 1994）。トリアセチルセルロースのフィルムとしての使用開始年には諸説があり、1948年から（Bigourdan and Reilly 1998）、あるいは1951年から（Reilly 1993）ともされている。トリアセチルセルロースは加工しにくく、当初、用途は少なかったが、溶剤となるメチレンクロライドが量産化されるようになってから、フィルムの製造に大量に使われるようになり（三羽 1975）、今ではフィルム用として最も一般的に使用されるようになっている（Adelstein et al. 1994）。

現在市販されているフィルムは、アセチルセルロース、あるいは、後述のポリエステルいずれかである。どちらも無色透明で、裂けにくく、ひずみが少ない。また、写真的に不活性であり、水分あるいは現像処理に用いられる薬品に反応しないという特徴をもつ（白井ほか 1978）。今日「セーフティーフィルム」とよばれるフィルムのうち、少なくとも1955年以前のはアセチルセルロースである（Reilly 1993）。

(b) アセチルセルロースの劣化

アセチルセルロースの最大の問題は「ビネガーシンドローム」とよばれる現象である。これは、アセチルセルロースが空気中の水分により加水分解され、酢酸が生成されておきる。この劣化は急に始まるのではなく、最初は非常にゆっくりと進行し、ある時点になると、劣化生成物である酢酸の存在で劣化が急激に進んでいくという特徴がある。また、この劣化は、熱や水分が加わることで促進される（Reilly 1993）。

生成した酢酸が徐々にフィルムの表面に出てくるため、酢酸特有のにおいがする。劣化が進んだ場合、長さ4フィートの35ミリフィルムからティースプーン9杯分、あ

るいは、それ以上の酢酸が生成されるという。1000フィートの35ミリフィルムに換算すると、ティースプーン250杯分の酢酸が生成されることになる (Reilly 1993)。

「ビネガーシンドローム」がおきたフィルムには特徴のある酢酸臭のほか、次のような劣化があらわれる (図2)。フィルムには通常、柔軟性を与えるために重量にして約12~15%の可塑剤を混ぜてある⁴⁾が、可塑剤は年月が経つとフィルムベースから移行し、表面に針状の結晶としてあらわれることがある。この結晶は熱で容易に溶けるが、冷めるとまた出てくる。あるいは、フィルムの中央部に多くみられることだが、可塑剤が液体状にしみ出て、乳剤層の下に小さな泡状のふくらみとなったりする。可塑剤が流出してしまうと、フィルムのベースは物理的に脆くなり、少し曲げただけで折れたり、収縮がおき、ひどい場合には10%程度縮む。フィルムベースが収縮しても、その上のゼラチン層にはそれほど収縮はおこらない。そのため、両者の収縮率の差から、写真乳剤層はねじれ、部分的にフィルムベースからはがれるか、あるいは、ひきさかれる。このほか、酢酸の影響でゼラチンが軟化したり、カラーフィルムの色素が褪色したりする (Reilly 1993; Edge 1994)。

1.1.3 ポリエステルのフィルム

(a) ポリエステルの特性

一般にポリエステルフィルムとよばれているのは、ポリエチレンテレフタレート樹脂をフィルム状に成形したものである。強靱性、耐熱性、耐光性、耐水性、耐薬品性、絶縁性にすぐれ、一般の有機溶剤に不溶という性質をもつ (三羽 1975)。

ポリエチレンテレフタレートを映画用フィルムに使用する試みは1950年代半ばにあらわれ、その使用は1980年代に急激にのびた (Reilly 1993)。

ポリエステルフィルムは、アセチルセルロースのフィルムに比べるとより強靱であり、刃物を用いない限り切断できない。強靱であるということは、厚みが薄くても使えるということであり、その結果、フィルムがかさばらないという利点がある。ポリエステルフィルムは簡単に接合できないため、カット数の多い編集などの利用には不向きで、実際の利用は限られてしまう (白井ほか 1978)。フィルムの編集作業が必要な場合、主流になるのは、前述のアセチルセルロースのフィルムである。

(b) ポリエステルの劣化

ここ50年あまりの使用の実例から判断すると、ポリエステルフィルムの保存性は、かなりよい。温度 20°C で保管した場合、予想寿命は1000年という実験結果もある

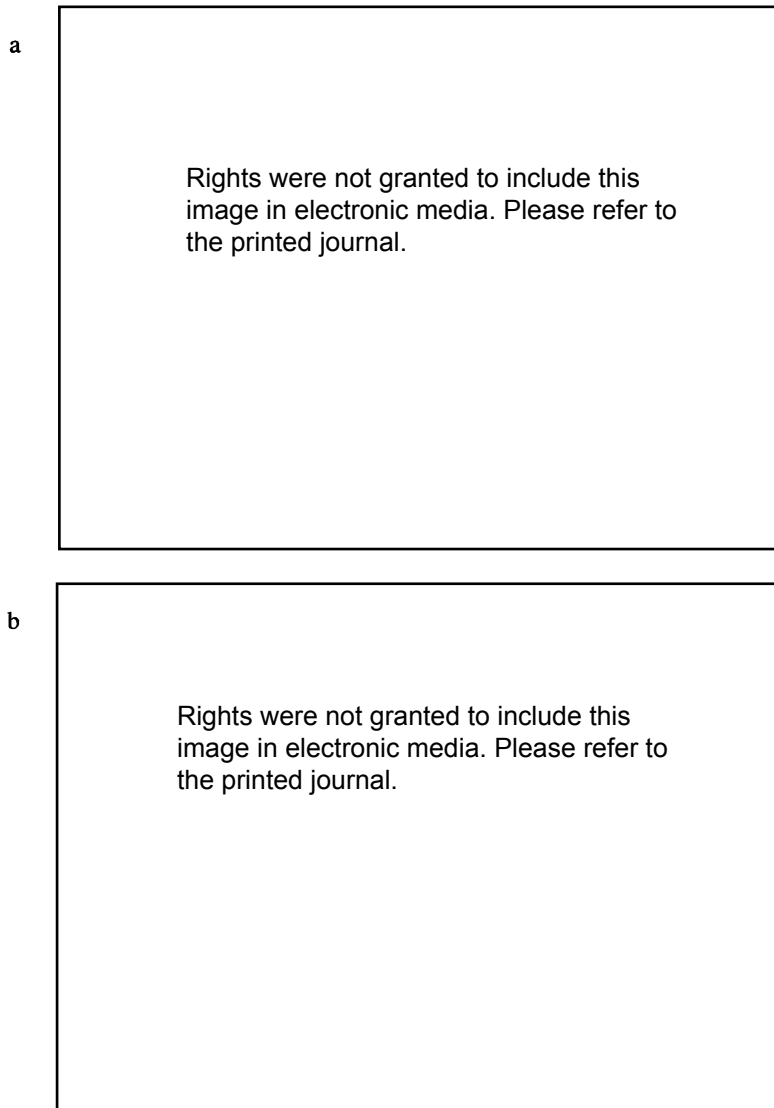


図 2 劣化したアセチルセルロースのフィルム
a かたまって粉状になったフィルム
b 変形して波打っているフィルム
フランス国立映画技術センター・フィルムアーカイブ
Service des archives du film, Centre national de la cinématographie, France

(Adelstein et al. 1994)。

ポリエチレンテレフタレートは、ニトロセルロースやアセチルセルロースと異なり、可塑剤を含んでいない。そのため表面に油性の斑点が出たり、白い結晶があらわれたり、などという可塑剤の移行による不都合はおきない (Edge 1994)。

ポリエチレンテレフタレートなど直鎖の高分子化合物は、融点より下にガラス転移点とよばれる点があり、この点を境に物性が大きく変化する。高分子化合物は、ガラス転移点より低い温度では硬く固化しているが、この点より高い温度ではゴム状半固体となる (三羽 1975)。ポリエチレンテレフタレートのガラス転移点 (80~90°C) より高い温度に数秒でもおかれると、フィルムが不可逆的に5%ほど収縮することが指摘されており、保存の際の温度は60°Cを超えないように注意する (Mallinson 1994)。

ポリエステルフィルムの弱点は、ゼラチン層の下塗りつまり感光剤を固着させるために塗る部分であり、ここからフィルムベースと乳剤層がはがれるおそれがあるとされている (Edge 1994)。

1.2 フィルムの写真乳剤層の劣化

1.2.1 ゼラチン層

フィルムの写真乳剤層には、ゼラチンが使用されている。この層の中に、黑白フィルムではハロゲン化銀の結晶が分散している。カラーフィルムの場合は、シアン画像、マゼンタ画像、イエロー画像それぞれの混色によって最終色画像が構成されるため、ハロゲン化銀のほかにも、それぞれの発色剤が含まれている (白井ほか 1978)。

ゼラチンは、酸、アルカリ、空気中の汚染物質の影響を受けると、ゆっくりと化学変化する。とくにベースがニトロセルロースの場合、ニトロセルロースの劣化生成物である強酸の存在により、ゼラチンの劣化が早まることが指摘されている。

保存環境を整える上での重要な因子である温度と相対湿度のうち、ゼラチンはとくに相対湿度の影響を受けやすい。相対湿度とは、ある気温において、そのとき空気中に含まれている水蒸気の質量を、その空気が飽和したときに含有できる水蒸気の質量と比べて、どのくらい空気が湿っているのか (あるいは乾燥しているのか) を示すもので、パーセントであらわされる。相対湿度が高いと、ゼラチンにカビが生えやすくなる。カビは、ゼラチン層を軟化させる酵素を出し、斑点状にしみをつける。ゼラチン層は高湿度下では膨潤し、空気中の汚染物質を自由に通過させてしまうが、逆に

相対湿度50%以下では、汚染物質からハロゲン化銀や色素を保護する働きをする。相対湿度が低すぎる（15%以下）と、ゼラチン層は脆くなってしまうので、極端な低湿度の環境は避けたい。低湿度下では、フィルムがカールしてしまうこともある（Reilly 1993）。

1.2.2 ハロゲン化銀

ハロゲン化銀を相対湿度の高い環境におくと、銀が酸化する。この現象は、空気中の汚染物質の存在で、より促進される（Reilly 1993; Adelstein 1998）。酸化してイオン化した銀は、移行し、再び還元されて、別の場所に付着する。このような現象が一部に集中すると、赤みがかかったスポットや汚点として残る。フィルム全体が褪色したり、変色することもある。

1.2.3 カラーフィルムの色素

室温でも、色素の褪色は進行する。カラーフィルムには、シアン、マゼンタ、イエローの3種の色素が使われているが、このうちマゼンタが一番褪色に強いいため、古いカラーフィルムは特徴的な紫がかかった色になる。1980年以前の、比較的古いカラーフィルムに使用されていた色素は現在のものに比べ安定性がなく、室温で保存した場合、20年から30年くらいの色調の寿命しか期待できない（Reilly 1993）。

色素の劣化は、湿度が高いとより進行する。空気中の汚染物質も、劣化を促進させる要因となる（Reilly 1993）。高湿度下で一番褪色がひどかったのはイエローであったという実験結果がある（Ram, Pytlak et al. 1994）。このときの褪色の原因としては、色素が加水分解した可能性と、高湿度下でトリアセチルセルロースの劣化がおり、そのとき生成した酸が色素の褪色を促進させた可能性、このふたつがあげられている。

2 映画フィルムの保存

映画フィルムの保存の問題を、保存環境と保管容器のふたつの視点からみていく。

保存環境に関しては、とくに温度と相対湿度をいかに設定すべきかについてのべた後、調査した各国のフィルムアーカイブでの保存環境を紹介する。その後、フィルムの寿命をのばす上でとくに効果的とされる低温保存についての論考をまとめる。

映画フィルムは容器の中に保管されていることが多いが、容器の役目は、単に中の

ものを物理的に守るといふことにとどまらない。マイクロ環境をつくる手だてであり、外部の急激な環境（マクロ環境）の変化を緩和する働きが要求される。また、容器内の環境をいかに清浄に保つか、言い換えればフィルムの経年劣化で生成される有害物質をいかに除去するか、という問題も取り上げる。

2.1 保存環境

2.1.1 フィルムの保存環境の範囲

一般に化学反応は、温度が上がるほど、あるいは、湿度が高いほど、早まることが知られているが、劣化の反応もまた、同様の傾向をもつ。映画フィルムの保存環境を設定するにあたって何より考慮しなければならないのが、温度と相対湿度ということになる。

温度や相対湿度が変われば、ものの含水率が変わり、ものの大きさが変化するが、膨張あるいは収縮する率は材質によって異なる。さまざまな材質でできているものは、温度や相対湿度の急激な変化がおこれば、伸縮の差から内部にストレスが生じるため、もの全体が破壊されてしまうこともある。映画フィルムの場合は、フィルムベースの素材には吸水性はないが、写真乳剤層のゼラチンは吸水性が高く、温度や相対湿度の変化の影響を一番受けやすい。

たとえば、ゼラチンは、温度 22°C、相対湿度50%では、重量にして14%の水分を含んでいる。温度はそのまま相対湿度が80%になると、含まれる水分は20%に達する。すなわち、温度が一定のときは、相対湿度が上がるほど、ゼラチンの含水率は増えるということになる。一方、相対湿度を一定に保ちながら温度を下げると、ゼラチンの含水率は増える。そのため、温度が 10°C 下がるごとに相対湿度も 3～4%下げないと、ゼラチン層の含水率を一定に保つことができない（McCormick-Goodhart 1996）。

ゼラチンにとって安全な温度および湿度圏内は、横軸に相対湿度、縦軸に温度をとった場合、温度 25°C・相対湿度35%、温度25°C・相対湿度60%、温度マイナス25°C・相対湿度20%、温度マイナス25°C・相対湿度40%、これら4点で囲まれた正方形の内側とされている。この範囲内であれば、カビが繁殖する心配はない。また、ゼラチンのように吸水性にとむものは含水率によってガラス転移点が変わる⁹⁾特徴をもつが、この範囲内であればゼラチンのガラス転移点もそれほど低くならないので、軟化したりくっついたりすることもない（McCormick-Goodhart 1996）。

アセチルセルロースフィルムの「ビネガーシンドローム」の問題が深刻になったことを受け、近年、保存環境についての研究が進んでおり (Adelstein et al. 1994; Adelstein 1998)、新しいフィルムを長期保存 (500年間くらいの寿命を想定) するときには、次のような条件が推奨されている (Adelstein 1998)。

- 白黒フィルム (トリアセチルセルロース) : 温度 7°C で相対湿度20~30%, 温度 5°C で相対湿度20~40%, 温度 2°C で相対湿度20~50%
- 白黒フィルム (ポリエステル) : 温度 21°C で相対湿度20~50%
- カラーフィルム : 温度 2°C で相対湿度20~30%, 温度マイナス 3°C で相対湿度 20~40%, 温度マイナス 10°C で相対湿度20~50%

相対湿度の下限が20%となっているのは、実際には映画フィルムが、ほかの写真資料などと同じ収蔵庫で保管されている場合が多いことを考慮したためである。たとえば古いガラス板の写真などは、相対湿度が低すぎると、ゼラチン層の剥離がおきる恐れがある。

ロチェスターのイメージ・パーマネンス・インスティテュート (IPI) は、アセチルセルロースフィルムの保管に関する詳しいガイドラインを作成している (Reilly 1993)。そのなかに、保存環境 (温度、相対湿度) からトリアセチルセルロースのフィルムの寿命を簡便に予想するグラフがある。横軸は相対湿度、縦軸は温度となっており、それぞれの保存環境下において、どのくらいの年月で、トリアセチルセルロースのフィルムの遊離酸度が0.5になるかがグラフから読みとれる仕組みである。遊離酸度とは、フィルムベースの酸性度を中和するのに必要なアルカリの量から計算される値で、遊離酸度が0.5のフィルムには酢酸臭以外の劣化の兆候はあらわれず、使用にはなんら差し支えない状態にある。しかし、遊離酸度が0.5を超した時点から、劣化の進む速度が急激に早まるため、この値を超すか超さないかが、劣化の状態を推測するひとつの指標となる。予想寿命のグラフをみると、温度と相対湿度が低ければ低いほど予想寿命が長くなることが分かる。また、温度や相対湿度のいずれかが多少高くても、片一方を低くすることで予想寿命をのばすことも読みとれる。

2.1.2 フィルムの保存環境の具体例

具体的な保存環境の事例をあげてみよう。

スウェーデン・フィルム・インスティテュートのフィルムセンターでは、ストックホルムの研究所の地下に収蔵庫がある。収蔵庫内の温度はマイナス 5°C、相対湿度は

35%である。収蔵庫から出すフィルムは、温度 10°C、相対湿度35%以下の前室で24時間おいてから外に持ち出すようにしている。

ドイツのゲッティンゲンの学術映画研究所では、今までに制作した学術映画のマスターポジを温度 10°C、相対湿度30~40%の収蔵庫で保管している。永久保存というよりも中期保存という考え方である。というのも、フィルムのプリントが必要な場合には、このマスターポジからつくられており、ある程度頻繁にフィルムの出し入れがおこなわれる。

フランス国立映画技術センター・フィルムアーカイブでは、フィルムの材質別に保管方法を変えている。ニトロセルロースのフィルムは専用の特別収蔵庫⁷⁾に小分けして保管されており、保存環境は温度 12~13°C、相対湿度50%である。一方、アセチルセルロースのフィルムは温度 14°C、相対湿度約45%の収蔵庫に保管されている。

日本の東京国立近代美術館フィルムセンター相模原分館では、地下1階の白黒フィルム収蔵庫は温度 10°C±2°C、相対湿度40%±5%、地下2階のカラーフィルム収蔵庫は温度 5°C±2°C、相対湿度40%±5%に設定されている。「ビネガーシンドローム」の始まったフィルムは、独立した空調システムを供えた一室に、温度 2°C、相対湿度35%で保管されている。

国立民族学博物館においては、試写用フィルムの収蔵庫は温度 18°C、相対湿度45%であり、マスターフィルムの収蔵庫は温度 12°C、相対湿度40%に保たれている。

このように、各国のフィルムアーカイブでは、フィルムの材質、活用度、劣化の程度、さらには、それぞれの国の気候も考慮しながら、可能な限り低温低湿の保存環境を設定している。

2.2 低温保存

2.2.1 低温保存と相対湿度

フィルムの保存環境は化学反応の速度が遅くなるようになるべく低温低湿の環境に設定するのが好ましいが、なかでも温度がフィルムの寿命に与える影響は大きいとされ、P. Z. アーデルスタインらは、30年前にコダック社で研究員をしていたときから低温保存を推奨している (Adelstein et al. 1970)。

低温保存の場合、限られた空間内で単に温度を下げると、相対湿度は必然的に上がる。除湿機能のついた低温収蔵庫であればよいが、経費がかかりすぎるという問題が生じる。そこで、除湿機能のない低温収蔵庫の場合、フィルムを高い湿度にさらさな

いために、さまざまな方法が考えられてきた。

①スウェーデン・フィルム・インスティテュートの方法

フィルムを低湿度に慣らしてから真空パックする方法であり、そのために特別に開発されたフィカとよばれる装置 (FICA, film conditioning apparatus) を用いる。この装置内で、フィルムは一定の力で巻き直された後、目的の相対湿度になるまでコンディショニングされる。具体的には、相対湿度を20%までに下げることが、この「慣らし」に要する時間はフィルムのそれまでの保存環境によって異なってくる。通常は4～7日間かけておこなう。低い相対湿度で十分に慣らしたフィルムは、その環境下で真空パックされる。用いるのは3重構造 (外側はポリエステルまたは紙、中央の層はアルミホイル、内側はヒートシールのためのポリエチレン) の袋で、これによってパック内に低湿の環境が保たれる。フィルムは、最終的には2重に真空パックされ、マイナス5°Cの収蔵庫に保管される (Gooes and Bloman 1983)。

②アメリカ、スミソニアン・インスティテューションの方法

フィルムを2重の透明なポリエチレン (低密度) の袋に入れて保管する方法で、ふたつの袋の間には、吸湿剤 (紙、シリカゲルなど) と内部の相対湿度をチェックするための臨界湿度インジケータ (CMI, critical moisture indicator) が入れられている。スウェーデンの方法とは異なり、袋は水蒸気を通してしまうタイプのものであるが、マイナス18°Cという低温で保管するので、水蒸気が拡散する速度は遅く、フィルムが高湿度にさらされることはないという考え方である。湿度インジケータは濾紙に塩化コバルトを含ませたもので、袋内の相対湿度が60%を大幅に超えるようであれば、湿度インジケータの色が青色からピンク色になる。袋内の湿度が高いことが判明したら、吸湿剤を新しいものと入れ替えて対処する (McCormick-Goodhart 1998)。

③低湿庫

温度の設定により各種のタイプがある。室温なりゆきのタイプ、周囲の温度より約10°C低温を保つタイプ、そして温度5～10°Cに設定された低温タイプである。いずれの場合も、相対湿度は30～50%に制御されている。常温常湿に放置したときと比較すると、低湿を保つことで、室温なりゆきタイプでは約2～3倍、周囲より約10°C低いタイプでは約3～5倍、5～10°C保管タイプでは約10倍以上、保存性が向上すると期待されている (瀬岡 1996)。

以上、いくつか例をあげた。スウェーデンの方法は、完璧な低湿度の空間をつくる長期保存用の袋と理解できる。袋を開いてしまわない限り良好な環境が保たれ、永久保存を目的とした場合にはとくに有効な手段となる。ただし、この方法では、フィルムを真空パックする前に低湿度の環境に慣らす時間が必要であり、活用を目的としたフィルムの場合には、後でのべる「収蔵庫外時間」との兼ね合いがでてくる。相対湿度を低くすることで得る効果は、低湿度に慣らすために「収蔵庫外時間」が通常より長くなってしまいうことで相殺されてしまうという見方もできるからだ。スウェーデン・フィルム・インスティテュート内にあるフィルムセンターの保存の責任者であるロルフ・リンドフォード氏によれば、経費上の都合から、1999年12月現在、長期保存目的のポリエステルベースのポジフィルムにのみ、この方法を用いているということであった。

スミソニアン・インスティテューションの方法は、スウェーデン・フィルム・インスティテュートの方法に比べると、低湿度へ「慣らす」時間が省略できる。包装袋が透明で、中の様子が見えるというのも利点である。必要に応じて吸湿剤を入れ替えることもあるとした上で、簡便に、開けたり閉じたりできる保存袋を開発したのである。活用頻度の高いフィルムの保存に適している。しかし、活用頻度が高い場合、はたしてマイナス 18°C まで低温の収蔵庫をつくる必要性があるのか、という疑問は残る。一方では、これほど低温であるからこそ、このような簡易な袋である程度の低湿度が保たれている事実も無視できない。

これらふたつの方法は、フィルムひとつひとつを処置しなければならず、煩雑さは免れない。その意味においては、低湿度の方法が簡略とも考えられる。収蔵庫全体に除湿機能をつけるほどの費用はかからない、というのも強みであろう。さまざまな資料が同居している収蔵庫では、効果的な方法であろう。

いずれの方法を選択したとしても、結露の問題には注意を要する。冷えているフィルムを、急に室温に出してはならない。室温の暖かい空気中に含まれる水蒸気が、冷たいフィルムの表面に結露してしまうからである。密閉容器に入れたままで「慣らす」ための時間と場所を設ける配慮が必要である。

2.2.2 低温保存と「収蔵庫外時間」

低温保存の場合、資料の相対的な安定性を大いに左右するのが「収蔵庫外時間」である。「収蔵庫外時間」とは、その資料を「1年のうちに何日間使用する（常温に戻す）か」ということで、使用頻度を考慮した上で最も実現可能な保存環境を設定しよ

うという考え方である。スミソニアン・インスティテューションの M. H. マコーミック・グッドハートら (McCormick-Goodhart and Mecklenburg 1993) は、温度 24°C、相対湿度40%、で保管した場合の予想寿命を1とした。その上で、フィルムを年間0日、1日、2日、5日、10日、収蔵庫から出した場合、どのくらい寿命が短縮されるか（あるいはのびるか）を相対的な値で示している。このとき用いられたのは、色素の褪色率を基準としてアセチルセルロースの予想寿命を計算する方法⁹⁾である。具体的な例をあげてみる。

- 年間をとおして収蔵庫から出さなかった場合、温度マイナス 26°C で保管すると、プラス 24°C で保管するより、フィルムの寿命は1000倍のびる。ただし、1日でも収蔵庫から外に出すと、予想寿命は268倍にしかのびない。収蔵庫外時間2日では154倍、5日では68倍、10日では35倍、と予想寿命は急激に縮まる。つまり1年のうち10日間以上活用するフィルムの場合、マイナス 26°C で保管する必要性はほとんどないことになる。というのも、相対的な寿命は、マイナス 26°C 保管では上述のように35倍になるのに対して、マイナス 18°C 保管でも33倍であり、大差がないからである。温度条件を設定するにあたっては、年間の使用頻度を考慮した上で決めなければ、期待したほどの効果が上がらないばかりでなく、経費を無意味にかける結果となる。
- 同じ低温保存でも、常温より少し低い程度（室温に近い範囲）では、相対湿度の与える影響のほうが「収蔵庫外時間」より大きい。温度 15°C、相対湿度50%の保存環境の例をとると、常温に年間10日間出したときの予想寿命は2.2倍、全然出さない場合は2.3倍であり、ほとんど変わらない。相対湿度を40%に下げると、「収蔵庫外時間」によって多少ちがうが、3.1倍から3.3倍にのびる。30%まで下げると、4倍から4.3倍と、予想寿命の伸びはさらに大きくなる。

2.3 保管容器

2.3.1 温湿度の変動の緩和

フィルムを入れる容器の材質は、厚紙、金属、プラスチックに大別できる。いずれの場合も、フィルムに害を与えるような物質を含んではならない。紙は中性、あるいは、ごく弱いアルカリ性のものを用いる。金属は、さびやすいものであってはならない。スチール製の場合は、表面加工（塗装、錫メッキなど）を施したものがよい。プ

プラスチックとしては、ポリエステル、ポリエチレン、ポリプロピレンなどがよく、塩素や窒素を含んでいる製品は避けるようにする (Adelstein 1998)。

活用のたびに出し入れされる映画フィルムは、その都度、急激な温湿度の変化を受ける。また、たとえ容器内に保管されたままでも、映画フィルムは、周囲の温度や相対湿度の変化の影響を受ける。

さまざまな容器を対象に、周囲 (マクロ環境) の相対湿度の変化がどの程度、容器内 (ミクロ環境) の相対湿度を変動させるかを調べた実験がある (Bigourdan et al. 1997)。たとえば、相対湿度を20%変化させたとき (50%±10%)、厚紙の箱内では変化が15%以上あるのに対し、金属製の容器内では10%程度、プラスチック製の容器内では5%以下に抑えられている。相対湿度を40%変化させた実験 (60%±20%)でも、同程度の結果がでていいる。厚紙の箱では、外の湿度の変化がほぼそのまま中の環境を変化させるが、ある程度密閉性のある容器 (金属製、プラスチック製) では、外の環境の変化が緩和されて中に伝わるということである。この結果から、マクロ環境 (温度および湿度) が制御されているときは通気性のある厚紙製の容器の使用が適しており、マクロ環境が1日のうちに、あるいは、季節毎に変動する場合は、金属製やプラスチック製など密閉性の高い容器の使用が向いていることが導かれる。

2.3.2 有害物質の除去

容器内の揮発性物質としては、フィルム製造時に使われた溶剤 (メチレンクロライド、アセトン、N-ブタノール、シクロヘキサンなど)、フィルムの洗浄に使われた溶剤 (トリクロロエタンなど)、フィルムの劣化過程で発生する物質などがあげられる (Reilly 1993)。このうち劣化の過程で生成する物質は、経年劣化に伴い、量が増えていく。

トリアセチルセルロースの劣化は加水分解の一種であり、劣化の過程で発生する酸によって、反応がより促進されることが知られている。既に劣化の始まっているフィルムを、密閉性の高い容器 (金属製またはプラスチック製の容器) で保管すると、発生する酸を中にこもらせる結果となり、かえってフィルムの劣化が促進される (Bigourdan and Reilly 1998)。このような汚染物質を容器内にとじこめないようにするには、容器の中と外で、ある程度の空気の流通が必要となる。

また、密閉性の高い容器に保管したときに発生する有害物質を、モレキュラー・シーブで吸収させる方法が提唱されている (Ram, Kopperl et al. 1994; Ram, Pytlak et al. 1994)。モレキュラー・シーブは、特殊な結晶構造をもつゼオライトでできており、

スポンジのような内部構造をもっている。スポンジの微小な孔の大きさを調整することで、吸収する分子の大きさを調整する。水分のみならず、酸、溶剤、あるいは、それ以外の劣化生成物も吸収できる。水の分子の直径は $2.8 \times 10^{-10} \text{m}$ 、酢酸の分子の直径は $3.6 \times 10^{-10} \text{m}$ である。これらの物質を吸収するには、孔の大きさが $4 \times 10^{-10} \text{m}$ のモレキュラー・シーブを用いる。モレキュラー・シーブは、質量にして22%もの水分を吸収できるといわれる。

室温あるいは低温収蔵庫では、重量にしてフィルムの2%程度のモレキュラー・シーブを入れると効果があるとされている。ただし、フィルムの劣化の程度に応じて、逐次、新しいモレキュラー・シーブと交換していくことが前提である (Ram, Kopperl et al. 1994; Ram, Pytlak et al. 1994)。

モレキュラー・シーブをフィルムの容器内に入れてから、 35°C で劣化促進させた実験がある (Bigourdan and Reilly 1998)。遊離酸度0.5のフィルムを、温度 21°C 、相対湿度50%で慣らしてから金属製の容器に入れた。そこに、重量にして2.5%と5%のモレキュラー・シーブを加えると、何も入れなかった場合と比べて、予想寿命は、それぞれ1.5倍と3倍にのびた。このときの予想寿命とは、遊離酸度が0.5からその倍の1になるまでの期間を比較したものである。一方、モレキュラー・シーブを入れずに、温度 21°C 、相対湿度20%という低湿度の環境においた場合には、フィルムの予想寿命の伸びは3.5倍であった。このことから、モレキュラー・シーブを使用することで、有害物質が除去され清浄な環境が保たれ、結果的には低湿度の環境下に保管するのと同程度程度の効果が得られることが分かる。現在、取り扱いに便利なようにパック詰めされたモレキュラー・シーブが、フィルムの専門業者から酸と湿気の吸収剤として市販されており、日本でも入手できる。

おわりに

映画フィルムの保存には、低温低湿の環境が適している。しかし、現実的には、永久保存を目指すのか、あるいは、保存と同時に活用も考えているのか、いずれかによって保存環境の選択が変わる。

- ・永久保存を目的とするフィルムは、なるべく低温（できれば 0°C 以下）で保管するのが効果的である。ただし、資料を収蔵庫外におく時間を極力短縮しないと、低温の効果は極端にうすれる。

- 活用を目的にしているフィルムの場合、低温保存といっても、室温に近いほうが急激な環境の変化を生じさせなくてすむし、経済面でも効率的である。このとき、なるべく低湿度の環境をつくることで、寿命をのばすことができる。理想的には、活用目的のプリントフィルムを、保存用とは別につくる。
- 除湿設備のない低温収蔵庫の場合、スウェーデン・フィルム・インスティテュートの方法やアメリカ、スミソニアン・インスティテューションで採用されている方法などを用いて、フィルムを個々に包装するのも有効である。前者は永久保存向き、後者は活用資料向きといえる。低湿庫を収蔵庫の中に設ける方法も有効である。相対湿度は低いにこしたことはないといっても、ゼラチンのガラス転移点などを考慮すると、15%以下になるのはのぞましくない。
- 保管容器の材質の選択は、フィルムにとって、通気性と密閉性のいずれを優先させるべきかで判断する。除湿設備のある低温収蔵庫にフィルムを保管している場合のように外部環境が良好で一定に保たれているときは、通気性のよい厚紙の容器の利用が適している。反対に、ある程度の変動が予想される場所であれば、密閉性の高い金属製あるいはプラスチック製の容器のほうが向いている。
- 予防保存の考えにたつと、アセチルセルロースフィルムの容器内には、酢酸や余分な水分を吸着するためのモレキュラー・シーブ、そして、相対湿度インジケータを入れておきたい。効果を十分に発するには、ある程度、密閉した空間が必要である。しかし、このような処置は、あくまでも劣化の進行を遅らせるためのものであり、根本的に劣化のメカニズムを抑制しているのではない。
- 劣化の始まったフィルムは、健康なフィルムとは別に、換気のよい環境におく。通気を考えれば、厚紙の箱がのぞましい。密閉性のある容器であれば、モレキュラー・シーブを併用し、生成する有害物質を吸収する手だてをとる。
- 既に劣化が始まっているものは、保存環境を整備することで、劣化の進行を遅らせるように努めると同時に、より安定性のあるポリエステルフィルムへの移し替えをおこなう。ニトロセルロースのフィルムに限って言えば、安全面を考慮し、劣化状態にかかわらず、なるべく早期に「セーフティーフィルム」に移し替える。
- 保管の際、ニトロセルロースは引火性が強いので、ほかのものから隔離する。日本では、消防法により、危険物第5類の扱いを義務づけられている。

以上、映画フィルムの保存を考える上で指針となることをまとめた。しかし、フィルムの保存に関しては、未解決の問題が数多く残っているのが現状である。

たとえば、修復や移し替えの優先順位を決めるときでも、フィルムの保管方法を選定する場合でも、フィルムの劣化度を簡便かつ正確に判断する方法が求められる。たとえば、アセチルセルロースフィルムの酸性度をはかるキットなどが各種販売されているが、それぞれの精密性や有効性についての検証や比較実験が待たれる。

これらのフィルムがいつまで活用可能かを予測するための方策は今のところない。フィルムの劣化が極端に進んでいる場合、破棄以外に方法はないのだろうか。くっついたフィルムの巻をほどく手段はないのだろうか。

フィルムの子想寿命に関する実験データは、即物的で、分かりやすい。しかし、これらのデータは人工的に劣化を促進させ、ある物理的（または化学的）特徴の変化を時間軸にとって計算したものである。基準とした特徴が、フィルムの劣化を確かにあらわすといえるのだろうか。

映画フィルムの保存環境については、ここ数年、かなりの数の研究が報告されてきた。劣化したフィルムを修復あるいは移し替えるには、その数が多ければ多いほど莫大な費用がかかる。保存環境を整備することで、映像資料の寿命をのばそうという傾向が強くなったといえる。博物館資料の保存全般についていえることだが、ここでも、予防保存の考え方が強くなってきている。専門家そしてアーカイブの人々の間にさらなる協力体制を築き、映画フィルムという20世紀の文化遺産を後世に伝えていかねばならない。

最後につけ加えると、推奨されている保存環境は、温帯・亜寒帯の国々の気候条件では、手段さえあれば、比較的容易に実現できる。近年、熱帯地方の国において、映画フィルムをはじめとする各種映像資料の保存の問題がますます深刻化している。熱帯地方の気候条件を考慮した上で、設備、人手、経費を最小限に抑えつつ、実現可能な対処方法を開発することが急がれる。

注

- 1) 平成10～12年度文部省科学研究費補助金（基盤研究(A)(2)-10044019)「文化変容にかかわる民族誌映像資料の再検証」（研究代表者：大森康宏）によっておこなわれた。
- 2) ハロゲン化銀は、臭化銀，ヨウ化銀，塩化銀をさす。ハロゲン化銀は感光してすぐに目に見える像をつくるのではない。感光したハロゲン化銀を選択的に還元する処置（現像処置）を経て、はじめて目に見える像があらわれる。
- 3) セルロイドとは、ニトロセルロースに可塑剤として樟脳を加えたものである。
- 4) 可塑剤を添加することは、ほかにも次のような利点がある。万が一火がついた場合、燃焼の速度が遅くなる。溶剤の蒸発や湿度の変化などによっておきるフィルムの大きさの変動が抑えられる。

- 5) 暖かい空気は冷たい空気よりも多くの水蒸気を含むことができるため、温度によって、空気が水蒸気の形で含有できる水分量が違ってくる。
- 6) 非常に乾燥したゼラチンのガラス転移点は 200°C 以上だが、相対湿度70~75%に調整されたゼラチンのガラス転移点は 22°C 近くまでに下がる。
- 7) 敷地内に 220 ほどある。それぞれの特別収蔵庫には、表と裏の 2 カ所に入出口が設けてあり、何かがおきた場合、中にいてもすぐに避難できるようにしてある。また、屋根は内部の圧力が高くなれば、ガス抜きができる仕組みになっている。
- 8) アセチルセルロースの遊離酸度の変化と、色素の褪色は、それぞれ化学的には異なるメカニズムに基づく。しかし、温度と相対湿度の組み合わせが、それぞれに与える影響に相互関係がみられるところから、マコーミック・グッドハートは、アセチルセルロースの予想寿命を、色素の褪色率 (R) を基準として計算した。

$$R = [(Ts \times Rs) + (Tu \times Ru)] \div (Tt)$$

Ts : 収蔵庫内におかれた時間

Rs : 収蔵庫内での褪色率

Tu : 常温 (20°C, 40% RH) での使用時間

Ru : 常温 (20°C, 40% RH) での褪色率 = 1 として計算

Tt : 全体での時間

文 献

- Adelstein, P. Z.
1998 The preservation of photographic film. In *Care of photographic moving image & sound collections* (Conference Papers, 20-24 July, York, England), pp. 13-18.
- Adelstein, P. Z., C. L. Graham and L. E. West
1970 Preservation of motion-picture color films having permanent value. *Journal of the SMPTE* 79, 1011-1018.
- Adelstein, P. Z., J. M. Reilly and D. W. Nishimura
1994 Recent changes in recommended storage of photographic film. In *Environnement et conservation de l'écrit, de l'image et du son* (Actes des deuxièmes journées internationales d'études de l'ARSAG, Paris), pp. 109-113.
- Bigourdan, J-L., P. Z. Adelstein and J. M. Reilly
1997 Moisture and temperature equilibration behavior and practical significance in photographic film preservation. In *La conservation: une science en évolution. Bilan et perspectives* (Actes des troisièmes journées internationales d'études de l'ARSAG, Paris), pp. 154-164.
- Bigourdan, J-L. and J. M. Reilly
1998—Preservation strategy for acetate film collections based on environmental assessment and condition survey. In *Care of photographic moving image & sound collections* (Conference Papers, 20-24 July, York, England), pp. 28-37.
- Cook, V.
1994 Looming issues in film conservation. *National Library of Australia News*, August, National Preservation Office Quarterly Supplement, pp. 12-15.
- Derrick, M., V. Daniel and A. Parker
1994 Evaluation of storage and display conditions for cellulose nitrate objects. In *IIC Preprints of the contributions to the Ottawa congress*, pp. 207-211.
- Edge, M.
1994 Factors influencing the breakdown of photographic film: Implications for archival storage. In *Environnement et conservation de l'écrit, de l'image et du son* (Actes des deuxièmes journées internationales d'études de l'ARSAG, Paris), pp. 114-120.
- Edge, M., N. S. Allen, M. Hayes, P. N. K. Riley, C. V. Horie and J. Luc-Gardette
1990 Mechanisms of deterioration in cellulose nitrate base archival cinematograph film.

- European Polymer Journal*, 26, 623-630.
- Gooes, R. and H-E. Bloman
 1983 An inexpensive method for preservation and long-term storage of color film. *SMPTE Journal* 92, 1314-1316.
- 久保亮五・長倉三郎・井口洋夫・江沢 洋 (編)
 1987 『岩波理化学辞典 第4版』東京：岩波書店。
- Macleish, B. and G. Harris
 1996 Bringing up boomer: Archival care of mid-twentieth century media. *History News Technical Leaflet* 51, 8.
- Mallinson, J. C.
 1994 Preservation of video recorded images. In *Environnement et conservation de l'écrit, de l'image et du son* (Actes des deuxièmes journées internationales d'études de l'ARSAG, Paris), pp. 177-186.
- McCormick-Goodhart, M. H.
 1996 The allowable temperature and relative humidity range for the safe use and storage of photographic materials. *Journal of the Society of Archivists* 17, 7-21.
 1998 Methods for creating cold storage environments. In *Care of photographic moving image & sound collections* (Conference Papers, 20-24 July, York, England), pp. 19-24.
- McCormick-Goodhart, M. H. and M. F. Mecklenburg
 1993 Cold storage environments for photographic materials. In *IS&T's 46th Annual Conference*, pp. 277-280.
- 三羽忠広
 1975 『基礎・合成樹脂の化学〈新版〉』東京：技法堂出版。
- Ram, A. T., D. F. Kopperl, R. C. Schlin, S. Masaryk-Morris, J. L. Vincent and P. Miller
 1994 The effects and prevention of the "vinegar syndrome". *Journal of imaging science and technology* 38, 249-261.
- Ram, A. T., J. P. Pytlak, H. D. Heuer, D. F. Kopperl and D. Carroll
 1994 Molecular sieves: An aid to film preservation. In *Environnement et conservation de l'écrit, de l'image et du son* (Actes des deuxièmes journées internationales d'études de l'ARSAG, Paris), pp. 121-127.
- Reilly, J. M.
 1993 *IPI Storage Guide for Acetate Film*. Image Permanence Institute (minor revision 1996).
- 坂村 健・蓮實重彦 (編)
 1998 『デジタル小津安二郎——カメラマン厚田雄春の視』東京：東京大学総合研究博物館。
- 瀬岡良雄
 1996 「第8章 写真保存の対策と実際」日本写真学会画像保存研究会編『写真の保存・展示・修復』東京：武蔵野クリエイト。
- Shashoua, Y., S. M. Bradley and V. D. Daniels
 1992 Degradation of cellulose nitrate adhesive. *Studies in Conservation* 37, 113-119.
- 白井 茂・山本豊孝・八木信忠・広沢文則 (共著)
 1978 『映画撮影技術ハンドブック』東京：写真工業出版社。