映画保存技術コラム① 長期保存用フィルムの巻取り

連載： フィルム・アーカイブ の諸問題 第55回

フィルム—この場合、多くのアーカイブが保管し、扱っている中心的な素材、すなわちセルロース・トリアセート(CTA)映画用フィルムを示す—をどのくらいの強さで巻き取るべきか。これは公的アーカイブや映画会社のプリント管理部門等で働く人々にとっても、かなりの難問、あるいはなんとなく問題にしてこなかった問題ではないだろうか。

一般にフィルムは「きれいに巻く」ことが求められている。これは、映写技師、現像技術者を含む、あらゆる映画の現場で働くスタッフにとって、仕事やしやすくなるという点でも当然であり、また、普通の「職人」気質からいっても、フィルムを大切に扱っているという実感の点からも、「新品」を納品する立場からも、分かりやすい話ではある。そして「きれいに巻く」というのは、通常、「ロール全体を同じ強さで固く巻く」ということを意味する。実際、ロール中の箇所によって巻きの強弱がはなはだしかったり、あまりにも巻きがゆるかったりすると、手に取ったフィルム・ロールが大量に解けてしまっぴと騒動などという事態に陥りかねないし、そうなったときの大変さ—あの「帯び解け」騒動の厄介さは経験した者にしか分からないだろう。緩々に巻くなどということは、常識的には考えられない。

ただし、本コラムが扱うのは、きれいに、しかし、「ゆるく巻く」ことの効用である。結論を先に言うと、「長期保存用フィルム」は固く巻いてはならない。実のところ、フィルム・アーカイブの世界では、以前から「ゆるく巻いたほうが保存には効果的だ」という意見は多かったのだが、その科学的根拠、実効的な「ゆるさ」の程度が、示されたことはなかった。以下は、保存実務の参考になることを

願って、そうした(固い表現を使えば)「低張力“保存”巻取り方式」(low tension “preservation” wind)が、なぜフィルムの長期保存に有効かを解き明かし、また、どのくらいの固さ／緩さで巻くべきかを実証した論文を分かりやすく紹介するものである(安澤秀太による試訳を短くまとめたもの)。

論文名は、「低張力巻取り方式(“保存”巻取り)を用いて長期保管するCTA映画用フィルムの内部で低遊離酸価を保持するメカニズムについての研究報告」(Investigation Into the Mechanism of Maintaining a Lower Free Acid Level Inside CTA Motion Picture Films During Long Term Storage Using a Low Tension “Preservation” Wind)と言い、著者はミック・ニューナムとケアリー・ガーヴィ(Mick Newnham and Carey Garvie)で、二人ともスクリーンサウンド・オーストラリアに所属する技術系研究者である。なお、実験とこの論文の執筆に当たって彼らは、ジェームズ・M・ライリー、ジャン＝ルイ・ビグルダン(ロチェスター工科大学IP)、ミッシェル・エッジ(マンチェスター・メトロポリタン大学)といったフィルム化学、同保存研究の専門家による多くの論文を参照している(原文は「FIAF映画保存ジャーナル(JFP)」第66号、37頁～44頁に掲載。なお、この技術論文の上記日本語試訳版はNFC図書室で閲覧可能)。

*

概説

CTA映画用フィルムが劣化する際、酸性の副産物が生成され、この酸性副産物は、さらなる劣化反応の触媒となる。こうしてヴィネガー・シンドロームが発生する。それは、逆に言えば、フィルム内部の酸度を低く保つことが、映画フィルムの有効寿命を引き伸ばす助けともなることを意味する。低張力巻取り[ゆるく巻き取ること](いわゆる“保存”巻取り)は、さまざまな映画保存の実効手段の中でもとりわけ効果が高いという説がある。例えば、ビグルダンとライリーは、「巻取り張力を低くすることは、フィルムからの酸拡散率を高め、その結果としてロール式保管形態による拡散の遅延を最小限に留める事が可能となるだろう」と記している。伝統的に映画用フィルムの保存業務に携わる人々の間では、以前から低張力巻取りの長期保存における有効性が唱えられてきたが、それは伝聞や経験などが

ら引き出されたものに過ぎなかった。有益性は認められながらも、これまで巻取り張力の基準設定は行われず、最適張力は主観的に算定されてきた。

これまでもゆるく巻いたフィルム・ロールは「通気性」がよく、酸性副産物が拡散されやすいとは言われてきた(ただし、フィルム缶内の空気の流れは、ごく微小なものにすぎないことが実験によって検証されている)。“保存”巻きの状態は一般的に次のように表現される——「フィルム・ロールをロール状態が崩れないぎりぎりのゆるさに巻くこと、つまりロールの両端を手で持ち上げたときに巻きが崩れないこと。」「崩れない」ためにはある程度の保持張力が必要であり、小さいロールで250から300グラム、大きなロールではさらに大きな張力が必要となる。

拡散経路

ここに一つの疑問がある——そうした張力で巻かれたロールには、劣化副産物を除去するメカニズムとして効果を得るだけの拡散に必要な空間が確保できていないのはいか。また、拡散性の鍵が、「保存」巻取りフィルムと高張力巻取りフィルムの表面積の差異にあるとして、典型的なフィルム・ロールにおける「保存」巻取りと高張力巻取りのロール直径の差異はそれほど大きくない。しかも、ロールの表面積の大部分はフィルム缶の底部と蓋に近接している。このことは、飽和状態に近い酢酸ガスがフィルムの表面付近に滞留し、そこには拡散・換気に必要な空気がほとんど無いということを示している。そのような換気条件下において酢酸ガスの滞留は、巻取り張力の違いにほとんど関係ないということになるのだろうか。

ゼラチンによる吸収という側面

一方で、M・エッジによれば、ゼラチン・エマルジョンが、酸を吸い取る雑巾のような働きをしているおかげでフィルム・ベースは思ったよりも安定しているという要素もあるようだ。同じアーカイブの所蔵フィルムについて、エマルジョン層の薄いポジ・フィルムのほうが、厚いエマルジョン層を持つネガ・フィルムよりも劣化の多いことを、彼女は報告している。フィルム・ベースの劣化を抑制する要因のひとつとして、ゼラチンの果たす役割を検討することが必要だと考えられる。

ゼラチンは、分子が相互的かつ内的に結びつく、すなわち架橋結合されたポリマーである、とされる。クロスリンクされたポリマーのネットワークは、不溶性を保ちつつエントロピ

ー(希釈エントロピー)の増大に伴い大量の液体を吸収する。ポリマー・ネットワークに液体が侵入すると、希釈力が発生しゼラチン鎖を押し広げ、結果としてエマルジョン層の膨張を引き起こすのである。しかしながら、ゼラチンの膨張は無限ではない。クロスリンクされた鎖は収縮力を発揮して鎖を引き戻そうとする。この収縮力と希釈力が等しくなったとき、平衡状態が達成される。ただし、ゼラチンが酢酸に対して溶性であることを考えると、劣化が進行しているフィルムにおいて、平衡状態に達する前にゼラチンの溶解が始まる可能性もある。また、外部からの圧力もゼラチンの膨張を制限する要因となるだろう。

TPPIについて

近年、学者の間では、フィルムの劣化過程におけるリン酸トリフェニル(TPP)の役割が論議的となっている。フィルム・ベースの製造過程において、その素材には滑らかでむらのないベースを得るためにさまざまな添加物が加えられている。それらの大部分は10~15%希釈のTPPを添加することで製造工程中に取り除かれる。それでも少量の製造添加物が残留しており、これらはフィルム・ベースからゆっくりと滲出し、経年的にはフィルム収縮の要因のひとつとなっている。コルベットによると、自然の経年変化としてネガにおいては0.15%、ポジでは0.30%の年間収縮率を示しているという。標準的な環境下(例:保存環境15~18°C・45%RH)で10年~20年間保存された、著しい劣化の見られないフィルムにおいても2%内外の収縮はよく見られる。確実に言えることは、フィルム・ベースの酸性レベルが上がるにつれて、TPPはベース内部から拡散する傾向にあり、さらなるフィルムの収縮を促しているということだ。TPPは劣化フィルムのエマルジョン面に薄い結晶パターンとして現れ、極端な場合、フィルム・ロールの側面に結晶化する。理論的には、すべてのTPPがベースから拡散した場合、10~15%の収縮率が予想される。ただし現実的には、最も劣化の激しい映画用フィルムにおいても、その収縮率が4~5%を超えることはごく稀である。

メカニズムのまとめ

ここまでの議論をまとめると次のようなメカニズムが見えてくる——一般的な保存環境において、CTAベース・フィルムは例外なく加水分解性の劣化反応を示し、その副産物として酢酸を生成する。この反応は遊離酸の量が一定値を超えると自触媒作用を呈する(この

値は“開始点”として知られる)。この酸性物質の一定量はエマルジョン層に浸透しその内部に滞留する。自身の収縮力あるいは外的な圧力によって膨張が止まるまで、エマルジョンは酸性物質を取り込み続ける。こうした反応はゼラチン構造の膨張臨界まで作用し続けるものとして、想定してきたが、収縮の度合いが進むにつれフィルム・ロールの内圧もまた高まるものと考えられる。

検証実験

以上の理論を検証するために、以下の3種の実験が実施された。

実験1:さまざまな巻取り張力におけるフィルム・ロールのガス/蒸気の透過性・浸透性の計測

計測装置は真空ポンプに取り付けられた吸気管、真空計、ネオプレーン製のOリング・シール(28mm径)で構成された。450フィートの映画用35mmCTAフィルムを「ワインドマスター」で、各500グラム(高張力)、300グラム、250グラム、200グラム(低張力)の張力で水平巻取りし、吸気管をロール表面に押し当て吸引することで、フィルム・ロールのガス透過性を計測した。実験環境は気温20°C、45%RH。

実験2:さまざまな巻取り張力におけるフィルム・ロールの表面積の対比

700フィートのフィルムを実験1と同じ4種の巻取り張力で巻き取った後、ロールの直径を計測し、ロールの表面積を算出した。フィルムのコアはその表面積をフィルム・ロールの総面積から差し引いた。計測精度を高めるために、実験1よりも直径の大きいロールが使用された。

実験3:フィルム・ロールの収縮にともなう内圧の変化測定

感圧式圧力測定フィルム「プレッシャーレックス」をフィルム・ロール内数箇所に挟み込んで巻取り内圧測定を行なった。収縮フィルムのサンプルは、高純度エタノールに24時間浸してTPPを除去し人工的に収縮させたもので、収縮率はシュナイダー社製のデジタル・ゲージによって測定した。

結論

この研究と検証実験から、以下の結果が得られた。

(1)フィルムの劣化時に生成拡散される副産物を滞留させないためにフィルムにかかる張力を低くすることは有効であり、それは巻取り張力範囲が250~300グラムの時にいくつかの決定的な計測値を示すことで理解しやす

い。

(2)フィルムの収縮は、それが急激なものでもなく、フィルム・ロール内の圧力を大幅に高め、これにエマルジョンの膨張能力の低下が組み合わされて、フィルムの劣化速度を高めるものと考えられる。(3)二つの要素——張力と収縮——は長期保存において、フィルム・ベースにおける劣化性の酸性物質濃度を低レベルに保ち得るか否かに大きく関与している。

また、次のような保管の指針を示すことができるだろう。

(1)長期保存向けには、巻取り張力が300グラム以下であることが望ましい。これは、リスク・マネジメントおよび定期的なメンテナンス戦略の目標値としても守るべき数値である。

(2)直接フィルムに接するスタッフが、このような低張力で巻き取られたフィルムの扱いに慣れ、一方で、上映等のフィルムの利用時には、より高い張力で再巻取りを行う慣習を身につけるといってトレーニング・プログラムの開発も求められよう。

(以上、論文より抄訳・再構成)

*

もちろん、こうした結論が出たからと言って、それをすぐに適用するフィルム・アーカイブは少ないだろう。現実には次のような困難さが予想されるからだ。

- 膨大なコレクションの巻き直しだけでも、膨大な労力と資金が必要になる(巻取り機の張力調整や缶の入れ替え等も必要になろう)。
- “映写”巻きと“保存”巻きを2種とも採用するため、アーキビストの作業形態等に変化が生じる。

多くのフィルム・アーカイブにとって、当面の現実的な方法は、むしろ、上映用プリントと原版を含む保存用プリントとの意味ある峻別であり、後者に限定して保存巻きの適用を検討することであろうが、この適用プロセスそのものも、世の急速なデジタル化(フィルム・アーカイブ的には、この場合、デジタル技術による高解像度データ保管およびデジタル上映用複製物の作成を示す)の影響を受けることは確実だろう。大いに単純化して言えば、すべてのフィルムが上記の意味でデジタル化された場合には、すべてのフィルムが長期保存用オリジナルの扱いを受けようになり、それらすべてに「低張力“保存”巻き」が適用されることになるのだろう。

■

(H0)