

# 永久デジタル保管

—かなわぬ夢

## デイヴィッド・ウォルシュ

David Walsh

### フィルムよ永遠に

1980年代終わりか1990年代初めのことだったに違いありません。ビデオテープの惨めな寿命予測に懸念を抱いた1組のテレビ技術者から、ビデオ録画を35mmフィルムに保存するためのシステムをデモしたいという電話をもらいました。それは素敵なアイデアでした——コマごと、フルサイズの画像1枚に輝度を記録し、ハーフサイズの画像2枚に色差の情報を記録するという、一種のアナログ版4:2:2フォーマットでした。フィルムは従来からのテレシネ機で読み取ることができ、ちょっとした単純処理でフルカラーの信号を再現できる。2人のデモクリップは、中間

素材のフィルムを介したことによるゴミの跡を度外視すれば、オリジナルの1インチビデオ同様、見た目もいいものでした。もちろん、このアイデアはクレイジーでした——データの書き込み・読み取り費用は別としても、わずかばかりのビデオテープの山が、フィルムの大山に取って代わるわけですから。それに、フィルムアーキivistとして、私たちはアセテートフィルムの劣化事例をあまりにも多く見てきたために、フィルムの長期安定性に対する拭いがたい懸念を持っていたのです。

フィルムアーキivistによるただならぬ懐疑にもかかわらず、電子データをフィルムに収めるというアイデアは、生まれてからもう長い時

間が経ちますが、今もなくなっではいけません。というのも、おそらく、私たちにとってはあまりにも壊れやすく脆弱で、注意深く面倒を見てやらなければ生き延びられないと思っているものが、アーキivistでない人たちには、安定した長期媒体に見えるからかもしれません。モノは見方次第——皆さんが削除ボタンのタッチ一つで消えてしまうかもしれないデータの取り扱いになじんでいるとしたら、間違いなく、フィルムはなくなることはない、頼りがいのあるものに映ることでしょう。

IBMがおそらく、1960年代の1360フォト・デジタル・ストレージシステム(PDSS)で一番手だったと思います。これは長期にわたるアーカイブのためのシステムというより、進化するコンピュータ技術の世界において、短期から中期までを対象とした信頼性のあるデータストレージという、より喫緊の課題へのソリューションでした。データはブラウン管によって写真フィルム

の小さな「カード」に書き込まれ、1枚が約6.6メガバイト、数千枚のカード全体で128ギガバイトという当時としては大量のデータを持つことをめざしていました。

それ以来、フィルムにデータを収めることを目的とした企画案はいくつも存在してきました。なぜ他の媒体ではなく、フィルムなのでしょう？ 2010年代までは、フィルムは広く使われていた記録媒体で、メーカー、ラボ、ユーザーの間で極めてよく発達したサポート体制を持っていましたし、時を経るにつれ、データをフィルムに記録し、それを確



国立映画アーカイブ(NFAJ)京橋本館内にあるデータ記録メディア(○は磁気ディスク、◎は磁気テープ、□は半導体メディア、☆は光学メディア)

前列左から、□USBメモリー、□内蔵SSD、□ポータブルSSD、☆ODA(オプティカルディスク・アーカイブ)、☆CD-RW。2列目左から、○内蔵HDD、○ポータブルHDD、☆MOディスク、☆(アーカイバル・ゴールド)DVD-R。3列目左から、◎LT05、◎LT06、◎LT08。最後列左から、○RAIDストレージ、○外付けHDD、◎DDS-90、◎DTF-2。

実に読み取る方法はどんどん高度になってきました。それゆえ、フィルムがデータを収めるのにとりわけ適しているという信念からというより、成熟したテクノロジーを掠め取る能力こそが、これらの努力を誘発したように思えます。こうした動きを試みたのは、熱意あふれる大風呂敷の起業家たちだけではありませんでした。大物プレイヤーたちも興味を持ったのです。たとえば、2000年代の初め、フランス・シャロン=シュル=ソーヌにあるコダック工場のチームが、できるだけ多くのデータを詰め込めるよう、多数の露光値と複数の色の違いを利用した35ミリフィルム・データストレージシステムを考案しました。色素には褪せる傾向があることを考えれば、後者の要素については懸念を抱くかもしれませんが、とにもかくにも、このシステムはうまくいきませんでした。長期間データを保存するための方法として、マイクロフィルムに着目してきた研究者たちもいますが、こちらも理論的段階を越える進展を見せてきてはいないようです<sup>1</sup>。

その理由の大きなところが、フィルムが提供する不十分なデータ密度にあることは、ほぼ間違いないでしょう——アーキビストにとって、元々1巻に収められていたデータを収めるために、何巻ものフィルムを使わなくてはならないというのは非論理的なことなのです。だったら単にオリジナルのフィルムを取っておけばいいんじゃないの？ とすると、フィルムにとって衰えつつある産業基盤が次第に一握りのメーカーやラボに限られていくなかで、フィルムを使った商用のデータストレージシステムを提供している会社が、明らかにそこそこの成功を収めているのは、ちょっとした驚きではあるでしょう<sup>2</sup>。ただし、フィルムアーキビストが彼らの主たるターゲットでないことは認めなくてはなりません——動画におけるデータサイズが他のどの媒体より数桁大きい容量であるという事実が、フィルム式デ

ータを、動画ファイルにとってはほぼ実現不可能なソリューションにし続けているのです。しかも、温暖な地域の環境制御された保存庫から離れた途端、そこには今なおフィルムの寿命への拭いがたい疑念が存在しているのです。

### ハードドライブ ——あの皿を廻し続ける

遺産気質にとって、継続的に再生を行うという考えは居心地が悪いものです。私たちは喜んで古いモノを捨て去れるよう、遺産のプロにはならなかったのです。墓を開け、いまだ見分けもつくし実用性もある、手つかずの遺物を見つけ出すというスリルを味わいたい。石に刻まれた古代のテキストを、それが何世紀も持ち堪えてきたものであろうと、解読できるようになりたい。誰かが先週作ったコピーを読みたいのではなく、オリジナルを手にとって、それが生き延びてきたことに感動したいのです。もしデジタルデータが石に刻まれることになったら、私たちはそのデータにもっと信頼を寄せることでしよう。悲しいかな、石をベースにしたデジタルデータも、視聴覚メディアを保存するには、他の多くの要件を満たすことが必要で、苦勞しています——2010年に出たある論文<sup>3</sup>では、さまざまな媒体における記録密度と存続期間とを比較した評価を提示しています。

1万年の存続期間とは聞こえがいいですが、このレベルのデータ密度だと、1本の長篇映画の2Kスキャンで100平方キロメートル以上の石が必要になります。石板を高く積み上げたとしても、長さ1キロに及ぶ倉庫が必要になりそうで、とても実現できるものではありません。また読み書き速度も問題になりそうです。

考古学者というよりアーキビストである私たちにとって、終わりのない更新によって電子データを保存しつづけるという絶え間のない労苦か

ら逃れさせてくれるのなら、1万年より短くてもよしとするだろう、なんてことは気にしなくてもいいのです。それほどまでにシステムの信頼性が私たちを心配させているわけではないからですが、とはいうものの、それがやはり私たちを心配させているのも確かで——RAIDストレージにデータ入れてますか？(RAID: Random Array of Inexpensive Discs [安価なディスクの冗長性のある配列]——安価ですって？ フィルムアーキビストにとってはちがうけど)。一度にダメになるディスクは一枚だけだなんて、制御ソフトウェアがバグフリーだなんて、バックアップシステムが完全に機能しているなんて、どれほど確信が持てますか？ こうしたリスクにどれだけ落ち着いていられます？ あるいは、皆さんは本当に賭け事が好きで、外付けのハードディスクドライブにデータを入れたまま棚の上に置きっぱなしかもしれません……その瞬間が来たら、立ち上がらないドライブがいくつ出るのでしょうか？

おそらく皆さんは、すでにその代わりに、データテープによるロードマップの旅を始めていることでしょう。LTOテープのシステムはとても信頼できるものと見受けられますし、テープも、言うところでは、30年までは存続期間があるとのことですが、2、3年ごとに新たなジェネレーションが登場することを考えると、これもいさかまやかしっぱい。どんなによい道路標識が立っていても、このロードの、この終わりなき牛歩に全信頼を置く用意が、私たちにあるのでしょうか？ 当初のLTOロードマップでは、現時点でのジェネレーションのドライブで、当該のジェネレーションと2つ前のジェネレーションのテープまで読み込めることになっていましたが、どういうわけかジェネレーション8では、一つ前のジェネレーションまでしか読めないことが明らかになり、システム自身が道を外してしまいました。この設定では、資金の乏しいアーカイブがより新しいジェネレーションのLTOにすべてをマイグレーションするための待ち時間がどのくらいになるかは、リスクに対する許容度次第になる——そのリスクとは、つまり、テープ自身のいかなる品質低下にもよるものではなく、むしろ陳腐化のせいで、古いジェネレーションが読めなくなる、ということ

媒体	記録密度(1平方センチにおけるビット数)	存続(年数)
石	10	10,000
紙	10 <sup>4</sup>	1,000
フィルム	10 <sup>7</sup>	100
ディスク	10 <sup>10</sup>	10

なのです。山となった初期ジェネレーションのテープの上に胡坐をかいていた人は、今や誰もが手汗の止まらぬ思いをしていることでしょう。

でも、確かなのは、この情け容赦ない更新の必要性にとって中心課題はハードウェアやソフトウェアにあるのではなく、人と組織にあるということなのです。10年、20年経ったとき、何を必要があるのか憶えている人たちは、まだそこにいるでしょうか？ 皆さんはまだそこにいます？ 政治家たちはすでに組織を閉鎖し、予算を取り上げてしまっているんじゃないでしょうか？ いざあのデータをすべてマイグレーションしようというタイミングになって、誰もテープを失くしてないなんて、確信持てますか？（「あれってただのバックアップだったんですよ？……えっ、すいません、知らなかった」）。アーキビストが棚に置いたままほったらかしにできるような、実体があって長持ちするものを持ちたがるのも、不思議ではないのです。

## 金(ゴールド)だ！

デジタルデータのための永続的な記録メディアの追求は、デジタルデータそのものと同じくらい歴史があります。コンパクトディスク(CD)が1980年代初頭に出始めたころ、マスコミによるバカ騒ぎの多くは、ディスクって何て丈夫で長持ちするんだろうということでしたし、データをCD-ROMに収めるというアイデアは、便利で信頼も置いて、収納にもやさしいソリューションとして、すぐにはやり出しました。確かに、他の選択肢——規格化されていない独自のディスクドライブやテープによるシステムがいろいろありました——と比較すると、多くの事業にとってわかりやすいソリューションでした。たとえば、BBCラジオ1アーカイブが1990年代半ばにオーディオテープのコレクションをデジタル化しようとしたとき、あらゆるものの記録メディアとしてオーディオCDとCD-ROMの使用を決めたのは、とりわけCDが当時BBCで使用していたフォーマットであったことを考えれば、実際には唯一の実行可能な決定だったのです<sup>4</sup>。

その後、研究者たちが光学式メディアの寿命に関する研究について報告をし始めたことで、

現実が邪魔をし始めます——たとえば、パリのジョイント・テクニカル・シンポジウム2000を思い出す方もいるでしょうが、CD-Rにおける受け入れがたいほど高いエラーレートについて、その場で明らかにしたグループは一つに留まりませんでした——しかも、エラーレートは媒体が古くなればなるほど上昇するのです。MITSUI GOLD CD-Rのような製品は、Kodak Preservationディスクとしても市場に出ていましたが、アルミニウムの反射層を金に置き換えることで、媒体劣化の恐怖を和らげることを意図していました。追記型ディスクの脆弱性が別の層に由来する可能性の高いことを考えれば、これが本当にディスクの余命を延ばせたのかは疑わしいのですが、ディスクに本当に金が含まれているのか、それとも単に金色をしているだけなのか、必ずしもはっきりしていなかったとしても、確かにやり口としてはうまいマーケティングでした。金にも何とかデータ保管に居場所を与えるべきだと感じている人にとっては、何だかんだ言われようが、データをファッションアイテムとして使えるオプションになるわけですから<sup>5,6</sup>。

CDとDVDは、これまでで最も成功した光ディスクのフォーマットですが、デジタルデータ保管のためにレーザー光学を利用したライバルたちは、他にも数多く存在してきました。光磁気(MO)ディスクもその一つで、データを読み書きするために、レーザーと共に強磁性体を用いる技術です。これが最初に紹介されたのは1980年代半ばで、さまざまなメーカーによって、とりわけ日本では採用されたのですが、容量が多くて数ギガバイトまでに制限され、ユーザー層も限られていたことから、このフォーマットはもはや使われなくなってしまいました。変種の一つであるソニーのミニディスクは今なおどうにかこうにか生き延びています。この時期に登場したもう一つのシステムが、Plasmon Laser Driveディスクです。この会社は2008年に倒産した時点で、240ギガバイトの収容能力があるディスクに取り組んでいるところでした——かなりの記録量ですが、急速に容量と速度を向上させていたライバルの磁気記録システムとの間には、やはりそこそこの隔りがありました。仕方がないこ

とですが、大半のユーザーは光ディスクによる保管から背を向け始めたのです。BBCの場合、1990年代にデジタル化した収録物は、2000年代半ばにディスクからデータテープへマイグレーションされました——多くの人がデジタル保管の必要性を永久に解決すると思っていたものは、わずか10年の存続期間だったのです。

とはいうものの、長期デジタル保管のために光ディスクのメディアを用いるという選択肢は、完全にはなくなっていません。「Archival Grade Gold DVD-R」は、見るからに金銀双方の層を持っているようですが、今でもあるメーカーから入手可能です<sup>[脚註1]</sup>。一方、ソニーは1.5テラバイトまでの容量を誇り、「超長期アーカイブ」に理想的なオプティカルディスク・アーカイブカートリッジ・システムを提供していますが、50年の予想寿命しかないフィルムを祝福の対象というよりむしろ懸念の原因と感じているかもしれないフィルムアーキビストに対し、「50年以上の寿命」保証で好印象をもたらすのは難しいでしょう<sup>[脚註2]</sup>。

## ガラス

記録メディアとしてガラスを用いる可能性を調べていた研究者たちから、近年ちょっとした興奮もたらされていますが、それはデータを高強度で超高速のレーザーパルスを用いてガラス内部に刻印するというもので、驚くべきことに、これまで50年から100年という、言葉に詰まるほどの見込みしかなかった余命が、百数億年の存続期間になることがわかったのです——とある報道を信じるなら、正確には138億年<sup>7</sup>。この技術に映画業界が関心を示すのに、長くはかかりませんでした——マイクロソフトのProject Silicaでは、ワーナー・ブラザースと共同で、「飲み物のコースターとほぼ同じ大きさのガラスに」1978年作品『スーパーマン』(リチャード・ドナー監督)を収めるため(だけでなく、喜ばしいことに、取り出すため)の概念実証プロジェクトを行ってきました<sup>8</sup>。この手のデータストレージが提示する容量や余命に関する主張を疑う理由はありませんが(なんで138億年で、137億年じゃないのって、疑問を呈する人がいるかもしれませんが)、このような研究プロジェクトと金になる商品との

間には、いまだ大きな溝が残されています。

同じことは、DNAにデータを収めることについても言えます。この分子レベルのテクノロジーは大きな潜在能力を持っています——ある報道では、「科学者たちは、これまでに作られたすべての映画がDNAのなかに配列されたとしたら、角砂糖1個よりも小さな分量で収まるだろうと述べている」ことを伝えています<sup>9</sup>。DNA上でデジタルファイルを記号化し、首尾よく解読するのが素晴らしい科学的達成であることに、疑問の余地はありませんが、私たちが自分たちのフィルムスキャナーにDNAドライブを取り付けるにはまだ長い道のりがありますし、関与した科学者の一人から出たコメントに隠されていますが、ほんのちょっとばかりの懸念材料もあるようです——「…温度を十分に低く保っている限り、データは数千年持ち続けるでしょう…」。これって以前どこかで聞いたことない？

## ブロックチェーンが その答えなのか？

そこで、本物のテクノロジー・オタクには、データが至るところにあって、どこにもない、誰もが制御して、誰もが制御しない、分散型クラウド・ストレージの登場です。ブロックチェーン技術は実際、ホスト役のコンピュータの一つひとつが情報を保持するといった方法で、皆さんのデジタル資産を理論上変更不可能な形で世界中のコンピュータに分散させる可能性を切り拓いています。少なくとも、ある企業ではこれを実現可能な計画にしようとして試みているのですが、限られた量のデータにとっては試みる価値があるかもしれないものの、動的映像に対する現実的なソリューションとして、すぐには受け入れられそうにありません。

ここまでくると、私たちは何かを見失っているのかもしれない。誤った問いに答えを求めてはいないでしょうか？ 永遠にデータを保管することなんてできるのでしょくか？ たぶんできるでしょう。というか、少なくとも138億年間はそうでしょう。でもこれって、使い勝手が悪く、失くしてしまいうようなカギで、自分たちの資産を地下牢にしまい込んでしまうようなものです。私たち

の生活から何かを学ぼうとする来るべき新時代の考古学者たちだったら掘り起こせるかもしれないものに、アーキビストである私たちの関心はありません——私たちの望むことは、私たちの資料が今も、そして限りない未来に向けて、アクセス可能であることなのです。保管は、このアクセスを提供するシステムのほんの一部に過ぎませんし、アクセスの形態が急速かつ頻繁に発展し変化し続けることを、私たちは確信できますので、完全なデジタル・マネジメント・システムの維持とアップデートの必要性は常に存在しつづけるでしょう。石の中に設けられた不変のデジタル記憶装置とは、まったく改編する必要のないオンラインの映画視聴プラットフォームと同じくらい、幻想なのです。この絶え間のない更新の必要性というのは、デジタルデータの避けられない特徴であり、私たちアーキビストは、デジタル資産を引き受けるということが、決して終わることのない旅に出るという意味であることを、ただただ受け容れなければならないのです。しかしながら、私たちがデジタル保存の基本原則(複製物は多く、フォーマットは多数で、保管場所はいくつかに、注意深くモニタリング)を守っている限り、データを失う理由など本当は存在しないのです。正しくは、今あるような文明が終わり、もっとも強靱な文化的記録物以外、すべてのものが塵芥と化すときが来るまでは、ですが。おそらく、私たちのコレクションから誰もが知るフィルムを少しばかり選び出し、それらを乾燥した洞窟のなかに、判読が容易で、すぐには朽ちそうにないフォーマットで、しまっておくことの意義はきっとあるでしょう。そのフォーマットとはいったい何でしょうか？

ことによると、ポリエステル素材の35mmモノクロ映画フィルムだったりして？

(帝国戦争博物館(IWM)デジタル保存コンサルタント、FIAFトレーニング&アウトリーチ・コーディネーター／翻訳:とちぎあきら)

出典:David Walsh "Eternal Digital Storage: The Impossible Dream," Journal of Film Preservation, vol. 108 (FIAF, 2023) pp.33-37.

### 註

1 たとえば、C Nomand, R Gschwind, W J Riedel, "Long-term preservation of digital images on color microfilm" (カラー・マイクロフィルムによるデジタル画像の長期保存) The Society for Imaging Science and Technology, NIP 21: 21st International Conference on Digital Printing Technologies, Baltimore, MD, Sept. 18, 2005, p.353-356; Nomand, Gschwind and Peter Fornaro, "Digital images for 'eternity': Color microfilm as archival medium" (「永久」のためのデ

ジタル画像——アーカイバル・メディアとしてのカラー・マイクロフィルム) Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering, January 2007.

2 PIQL promise that they "...can ensure your valuable information is archived appropriately for any length of time, with guaranteed accessibility" (PIQL社では…「皆さまの価値ある情報について、アクセシビリティの保証とともに、どんな期間でも初めから終わりまで、適切なアーカイブを確実に行うことができる」ことを約束している)。

(同社HP) <https://www.piql.com>

[訳註]現在のHPでは、テキストが若干異なっている(最終アクセス:2024年2月5日)。

3 Matthew Addis and Richard Wright, *Audiovisual presentation strategies, data models and value-chains* (視聴覚保存戦略、データモデル、バリューチェーン) Southampton, University of Southampton, PrestoPrime Consortium, 2015.

4 この情報については、1990年代にBBCの情報アーカイブズ/放送ITマネージャーだったリチャード・ライトさんに感謝いたします。

5 Totenpass: The New Paradigm for the Permanent Storage of Precious Digital Data (トテンパス——貴重なデジタルデータの永続的な保管のための新たなパラダイム)

(同社HP) <https://www.totenpass.com> (最終アクセス:2024年2月5日)

"Totenpass is a permanent digital storage drive made of solid gold. End your dependence on the cloud, the internet, energy sources, and destructible hardware." (トテンパスは、合金で作られた永続的なデジタル保管ドライブです。クラウド、インターネット、エネルギー資源、ハードウェアへの依存は終わりにしてください)

6 The Rosetta Project: The Rosetta Wearable Disk (ロゼッタ・プロジェクト——ロゼッタ・ウェアラブル・ディスク)

(ロゼッタ・プロジェクトHP) <https://rosettaproject.org> (最終アクセス:2024年2月5日)

7 David Neild, "This Tiny Glass Disc Can Store 360TB of Data for 13.8 Billion Years," (この小さなガラスディスクは、360テラバイトのデータを、138億年保つことができる) ScienceAlert, February 2016. (サイエンスアラートHP) <https://www.sciencealert.com/this-new-5d-data-storage-disc-can-store-360tb-of-data-for-14-billion-years> (最終アクセス:2024年2月5日)

8 Jennifer Langston, "Project Silica proof of concept stores Warner Bros. 'Superman' movie on quartz glass", Microsoft website, 4 November 2019.

(マイクロソフトHP) <https://news.microsoft.com/source/features/innovation/ignite-project-silica-superman/> (最終アクセス:2024年2月5日)

[訳註]この記事は日本マイクロソフト社のHPにて、抄訳が掲載されている(ジェニファー・ラングストン「Project Silicaの概念実証でワーナー・ブラザーズの映画『スーパーマン』を石英ガラスに保存」(2019年11月6日)

<https://news.microsoft.com/ja-jp/2019/11/06/191106-ignite-project-silica-superman/> (最終アクセス:2024年2月5日)

9 Paul Rincon, "Scientists claim big advance in using DNA to store data", (データ保管のためのDNA利用に大きな進展、と科学者たちが主張) BBC News Website, 1 December 2021.

(BBCニュースHP) <https://www.bbc.com/news/science-environment-59489560> (最終アクセス:2024年2月5日)

### 訳註

1 このディスクはVerbatim社から販売されている。(Verbatim社HP) <https://www.verbatim.com/prod/optical-media/dvd/archival-grade-gold-dvd-r/ultralife-archival-grade-gold-dvd-r/> (最終アクセス:2024年2月5日)。

バーベイタムジャパン社では、これとは別に、ISO/IEC16963に準拠した寿命推定試験により、100年以上の寿命を有するとしたBD-Rを、「生涯保存用ディスクM-DISC」の名称で、アイ・オー・データ機器社を通じて販売している。

(バーベイタムジャパン社HP) [https://www.verbatim.jp/products\\_mdisc.html](https://www.verbatim.jp/products_mdisc.html) (最終アクセス:2024年2月5日)

2 ソニーのHPによれば、現在販売している第3世代のオプティカルディスク・アーカイブカートリッジは、ディスク1枚あたり500GBの容量で、11枚搭載のカートリッジで5.5TBとなる。また、ISO/IEC16963を参考にした同社の加速試験による寿命推定値は100年以上とされている。

<https://sony.jp/products/Professional/ProMedia/goo/odc3.html> (最終アクセス:2024年1月28日)