

映像記録メディアの変遷 アナログからデジタルへ

橋本 慶隆

The Evolution of Image Recording Media from Analog to Digital

HASHIMOTO Yoshitaka

Abstract

This paper reviews the evolution of image recording media and examines the issues for the future. The information recording technology has advanced from hand writing through printing to signal recording. The signal recording technology has changed further from analog to digital, and consequently the multimedia era has begun. First, this paper gives a brief history of image recording media in line with the above mentioned technological trend. Next, it describes the process of the evolution of image recording media from analog to digital and also the significance of digitalization, taking an example of the case of digital VTR research and development in which the author was involved in its early stages. Finally, it discusses the future issues and expectations for the image recording media. It is clear that higher speed and larger capacity image recording media must be developed for the future. At the same time, the recording media with better keeping qualities should be investigated. In the view point of preservation of cultural heritage, the future development of digital archive system is strongly expected.

Key Word: Film, Magnetic Tape, Optical Disk, Digital VTR, Digital Archive

[要約]

映像記録メディアの変遷を振り返り、今後の課題について考察する。情報を記録する技術は、筆記技術から印刷技術を経て信号記録技術へと変化してきた。さらに、信号記録技術はアナログ方式からデジタル方式へと変化し、マルチメディア時代となった。この流れに沿って、まず映像記録メディアの歴史を概観する。次に、筆者が初期の開発に携わったデジタルVTRを例として、映像記録メディアがアナログからデジタルへ変遷していく過程とデジタル化の意義について述べる。最後に、映像記録メディアに対する課題と期待について述べる。今後も、映像記録メディアの高速・大容量化という目標に向けた技術開発が進められることは疑う余地が無い。一方、長期保存媒体としての性能向上を目指した技術開発も推進されるべきである。文化財保護の意味からも、映像記録メディアを中心とするデジタルアーカイブの今後の発展が期待される。

キーワード：フィルム、磁気テープ、光ディスク、デジタルVTR
デジタルアーカイブ

はじめに

ブロードバンドネットワークの時代を迎えて、大量の情報が創出され、広く流通するようになった。特に、ナローバンド時代には不可能だった高画質映像の送受信が可能となり、それを蓄積・保存するための記録メディアとして磁気ディスクや光ディスク等の高速・大容量化が進んでいる。高画質映像を含むマルチメディアコンテンツを家庭で容易に利用できるようになり、ようやく本格的なマルチメディアの時代が到来したといえよう。この時点で、今後ますます高速・大容量化していくと考えられている映像記録メディアの変遷を振り返り、今後の課題について考察することは意義あることと言えよう。

映像記録メディアに限らず、ある媒体（材料）を記録メディアとして利用するためには、その媒体に情報を記録する技術が伴わなければならない。従って、記録メディアの歴史は記録材料の歴史であると同時に、情報を記録する技術の歴史でもある。情報を記録する技術は、人が用具を使って手書きする筆記技術から印刷技術を経て信号記録技術へと変化してきた。さらに、信号記録技術はアナログからデジタルへと変化し、マルチメディア時代が実現した。そこで本稿では、まず映像記録メディアの歴史を概観する。

次に、映像記録メディアがアナログからデジタルへ変遷していく過程について、筆者が初期の開発に携わったデジタルVTRを例として考察する。今日、デジタルVTRは各放送局の映像記録メディアの主役となっているが、家庭用としてはビデオカメラとして普及したものの、据え置き型としては普及せず、家庭用映像記録装置はアナログVTRであるVHSからデジタル光ディスク装置であるDVDレコーダへと急速に移行し始めている。これは、記録媒体としてみると磁気テープから光ディスクへ移行していることになるが、信号記録技術としてみるとアナログからデジタルへの移行であり、そこには始めて映像をデジタル記録することによって誕生したデジタルVTRで培われた技術が脈々として生きている。テープメディアの利用は徐々に減少していくであろうが、その点にデジタルVTRの今日的意義を見出すことができる。

最後に、映像記録メディアに対する課題と期待について述べる。最近、映像記録メディアについては、DVDレコーダの普及や次世代光ディスクとしてのBlu-RayディスクとHD DVDの規格並立問題など話題に事欠かない。あくまで高速・大容量化を追及していく立場からは、当然の帰結であり、数年を待たずにHDTVクラスの高精細度映像を記録する光ディスクが普及していくであろう。しかし、次々に新しいフォーマットの記録メディアが登場し、旧式のフォーマットは陳腐化していく点は一考を要する。フォーマットの互換性がないことから、昔記録し保存していたメディアを再生できないという事態は避ける必要がある。そこで、今後の課題として、記録された情報をいかに保存していくかという観点からディジ

タルアーカイブについて考察する。

1. 映像記録メディアの歴史

映像記録メディアの歴史を振り返る前に、映像とは何か、メディアとは何かという問題に触れ、本稿で述べる映像記録メディアの位置付けを明らかにしておく。

(1) 映像とは

映像とは、もともと image（英語ではイメージ、フランス語ではイマージュ）の訳語と位置付けられている⁽¹⁾。広辞苑第4版によれば、映像とは『光の屈折・反射などによって映し出された物の形や姿。また、映画やテレビジョンなどに映し出された画像。頭の中に浮んだ、ものの姿』と述べられている⁽²⁾。久保正敏は、工学的な意味で用いられる「イメージ」を「視覚的な情報源」と定義し、心理学的な意味で用いられる「イメージ」を「心的イメージ」と呼び、「心の中に作られる表象のうち、感覚にかかわるもの、準感覚的なもの」と定義している⁽⁴⁾。前者は広辞苑におけるの定義に対応し、後者はに対応するといえよう。ところで、「心的イメージ」を具体的な「視覚的な情報源」として描き出した芸術作品などは、のイメージがのイメージへ変換されたものであるということもできる。そこで、本稿で考察対象とする「記録可能なイメージ」は全ての定義に包含されるものと考えても間違いではないであろう。

映像論の分野では「映像」という言葉の意味について多くの議論が重ねられてきた。以下に、植条則夫の解説を引用する⁽¹⁾。

『比較的古いものから2、3挙げてみると、佐々木基一は絵画やデザインも含めた視覚的イメージ一般と映像とを区別した上で「カメラという光学器械を通して、また感光、現像、焼付けという科学的プロセスによって生み出されたものである。また、テレビのように電気工学的器械を通して生み出されたものである」と説いている。写真論を基礎に置く近藤耕人は「現実の事物に酷似した表象作用を行わせる」もの、あるいは「表象作用を修正する作用」のことで、映画とテレビの画像、あるいは写真がそれにあたる。さらに映画の客観的研究の日本における先駆者の一人、浅沼圭司の場合は「映像は、ある具象の対象の視覚的側面をカメラによって捉えることによって形成される」と規定している。従って、これらの例では、映像を「写真あるいはそれに類した技術（映画、テレビ、X線など）による物的対象の像」にあたるものに映像研究の対象を限定していることが分かる。こうした、映像をいわば「外界の事物の工学的再生」とする考え方はこれまでの映像論研究の中核をなしてきた。』

『それと同時に、技術的な見方にとどまらず、広く文化のレベルで映像をとらえる見方もあり、映像の諸相を総合した学問として「映像学」も提唱されている。岡田晋⁽³⁾は、映像を写真・映画・テレビにうつしだされたものの像としてとらえる見方を前提としつつ「映像という言葉には2つの意味がある。表示的には映画・写真・テレビを指し、伴示的にはそれ

ら諸媒体における物と意識の像的關係にほかならない⁽³⁾」と述べているように、映像を単にメディア・システムそのものの問題にとどまらず、視覚と結びついた人間の知識や意識の問題にまで枠組みを広げた定義も行われてきた。』

『このように、「映像とは何か」という問題をめぐっては、これまで主に「物体の光学的再生」と「視覚的・心的イメージ一般」という2つの側面からその位置付けがなされてきた。しかしながら、今日の高度情報化社会においては、「物的対象」を「カメラ、レンズ等の光学装置」によってとらえるというプロセスを必要としないコンピュータ・グラフィックス（CG：Computer Graphics）などの新しい映像技術が使われるようになった。これからも分かるように、今日の映像は、もはや単なる現実の技術的複製としての擬似体験や代理体験といったレベルをはるかに超えた、人間の視覚をシミュレートするシステムということができる。

いずれにせよ、今後、映像の問題を総体的に扱うに当たっては、いかなるアプローチをとるにしろ、「映像」の概念規定を明確にすることが、研究上きわめて重要になりつつあるといえる。』⁽¹⁾

一方、工学の分野で映像を取り扱っている映像情報メディア学会（旧テレビジョン学会）の用語辞典を見ると、以下のようになっている。

『映像 image, pictorial image 2次元または3次元上に形成された視覚情報。画像という言葉と厳密な区別はされていない。映画、テレビなどのように一過性のものを映像ということが多い。テレビでは映像増幅器、映像送信機などビデオ（video）の日本語訳として使われる。最近では、画像がテレビ画像だけではなく、写真、ファクシミリ、印刷などハード・コピーをも包含した広い意味で使われるようになった』⁽⁵⁾また、参考までに「画像」に関する同書の定義を見ると、『画像 pictorial image 人間の視覚情報として与えられるもの。映像より広義に使われることが多く、例えばファクシミリ、ハード・コピーを含む。また、可視光の画像だけでなく最近是不可視電磁波の情報であるX線像、赤外線像、または超音波診断像など、取り扱う範囲が広がっている』⁽⁵⁾となっている。

以上、「映像とは何か」という命題に対する答えを模索してみたが、必ずしも明確な定義づけができていないわけではないようである。映像論は筆者にとって新鮮な分野であり、さらに考察を深めたいところであるが別の機会に譲り、本稿では「映像」は「2次元または3次元上に形成された視覚情報であり、映画、テレビなどのように一過性のものを映像ということが多い」という立場から、「動画像を中心とする視覚情報」であると定義する。

（2）映像記録メディアとは

メディアとは、広辞苑によれば『media（mediumの複数形）媒体、手段』と定義されている⁽²⁾。久保正敏は、『コミュニケーションの基本分類としての仕草、化粧、言葉、画像などはもとより、それらを表現するための文字、楽器、絵画、写真、それらを機械的・電子的に固定するための書籍やレコード、伝送するための電話、ラジオ、テレビなど全てをメディ

アと考える』と定義している⁽⁴⁾。文化論としてメディアを捉えれば久保の定義に当てはまる「メディア」全体について考える必要がある。しかし、本稿では映像記録メディア、すなわち映像を記録するメディア（媒体、手段）の変遷について技術史的な観点から論じるので、映像記録メディアとは「映像によって表現された情報を物理・化学的に固定（定着）させる媒体・手段」と捉えるものとする。

（3）記録メディアの役割

映像記録メディアに限らず、記録メディアとしての基本要件は以下の通りであろう。

- i) 書き込めること
- ii) 読み出せること
- iii) 保存できること

有史以来、石（岩、粘土板）、板（木、竹）、草（パピルス）、羊皮紙、カンバス（布）、紙、フィルム（写真、映画）、蝋管、レコード盤、磁気ワイヤー、磁気テープ、磁気シート、磁気ディスク、光ディスク、半導体メモリなど、色々な記録メディアが利用されてきた。

「書き込めること」に関しては、当然ながら上記のすべての記録メディアで可能である。しかし、記録できるメディアにも、一旦書き込んだら読み出すことしかできないROM（Read Only Memory）型のもの、記録されていない部分に追記ができるWO（Write Once）型のもの、および、書き換え可能なRW（Re-Writable）型のもの3種類が存在する。石（岩、粘土板）、板（木、竹）、草（パピルス）、羊皮紙、カンバス（布）、紙、などは、基本的にはROMあるいはWOメモリであるといえるが、壁を塗りなおしたり、木を削ったりすれば書き換えることもできるメディアである。（もちろん、通常ROM、WO、RWという言葉は半導体メモリや光ディスクメモリなど電磁気や光などの工学的手段を用いて記録や再生を行うメディアに対して付けられる名前であることは言うまでもない。）

「読み出せること」に関しては、読み出し方法が「人間の視覚」に基づく場合と「ピックアップ」（機械的、磁氣的、光学的機構と電子的機構を組み合わせたもの）に基づく場合に大別されるが、どのメディアを用いた場合にも読み出しが可能でなければならない。「ピックアップ」に基づく場合は、さらに、ピックアップ方式によって分類されるが、いずれも工学的手段によって記録された情報を読み出す方法が用いられる。

「保存できること」に関しては、石（岩）が非常に長い保存寿命を持っていることが指摘されている⁽⁶⁾。1879年にスペインのアルタミラの洞窟で約B.C.2万年前の彩色壁画が発見されたという有名な事例や、B.C.3500年頃に古代オリエントで使用された粘土板に彫られた楔形文字などは、きわめて長い保存寿命を持っている。また、板（木、竹）、草（パピルス）、羊皮紙などには1000年以上経った今日でも読み取り可能なものもある。後述する第3章の図1が示すように、新しく開発されたメディアほど保存寿命は短くなる傾向があると言えるようである。

記録メディア技術は上記のような基本要件を満たした上で、使い勝手が良くなる方向で開発されてきたが、長期保存の観点にはあまり重きを置かれていなかったと言えるかもしれない。

い。

(4) 映像記録メディア発展の足跡

まず、記録メディア全体に関する進歩の過程について考えてみる。石(岩)から紙に至る記録メディアにデータを記録する装置は、人間が手で直接書き込む筆記用具から15世紀半ばに発明された活版印刷技術による複製装置へと発展した。その後、1839年にダゲールによって銀板写真が発明され、光の強弱を化学反応の利用によって物体の像を銀板(あるいは銅版)上に定着させるという全く新しい記録技術が登場した。この技術は、1888年に発表されたロールフィルムを装着した小型カメラへと進歩し、さらに1895年のリュミエール兄弟による「シネマトグラフ」の発表、すなわち映画の誕生へと発展した。石から写真に至る間、記録データを再生する装置は特に存在せず、強いて言えば「眼」そのもの、すなわち記録された文字、絵画、写真などを人間の感覚器官である眼で直接読み取るものであったといえる。映画の場合には映写機が再生装置であると言えるだろう。これが、映画が登場するまでの映像記録メディアの大きな流れである。

一方、音については、1877年にエジソンによって蝋管を用いた蓄音機が発明されるまで記録メディアは存在しなかった。エジソンが蓄音機を発明する前年にはベルが電話機を発明しているので、音声を電気信号に変換する技術は既に存在していた。しかし、エジソンの蓄音機は、音の強弱を「信号波形として記録すること」に関する世界初の発明としてきわめてユニークである。このように、人間の感覚器官を刺激する情報(例えば、音)を一旦信号波形として記録しておき、何らかの技術(例えば、蓄音機のピックアップ機構など)を用いて記録された波形情報を、人間の感覚器官を刺激する情報として再生することができるようになったことは、19世紀終盤以降とそれ以前の記録メディアを区別する画期的な出来事であった。その意味でエジソンによる蓄音機の発明は記録技術にとって大きな転換点であったといえる。

蝋管蓄音機以降に発明されたレコード盤による電蓄(電気蓄音機)やテープレコーダなどは、いずれも音の強弱を信号波形として記録するものである。フィルムを用いる映画は写真の延長上にあり、光の強弱を直接フィルム上に記録するものであるが、VTRや光ディスクなどは信号波形を記録し、再生信号を電気信号として出力するものである。最近の記録メディアは、文字、静止画、動画、音などの情報を何らかの信号に変換して記録し再生するという技術を用いて実現されていることをあらためて確認しておきたい。

表1は映像記録メディアの歴史を年表形式にまとめたものである。映像を「動画像を中心とする視覚情報」と考えると、写真を含めることには異論もあるだろうが、映画の前提技術として重要な位置を占めているので、写真の誕生も含めてある。

映画の始まりは、繰り返しになるが、1895年12月28日にリュミエール兄弟によって発明された「シネマトグラフ」がパリのグランカフェで有料公開されたことであるとされている。シネマトグラフは、撮影機、現像機、投影機が一体となったシステムである。この時、

表1 映像記録メディアの歴史

年	特記事項
1839	ダゲレオタイプの公式発表。写真の誕生
1877	エジソン フォノグラフを発明 最初の蓄音機
1891	エジソン 「キネトスコープ」を完成
1895	リュミエール兄弟 シネマトグラフの完成・上映映画の誕生
1919	トライ・エルゴン社(独) 光学式トーキーを開発
1946	米、英でテレビ放送再開(戦争により中断していた)
1951	米 CBS方式によるカラーテレビ放送開始(後にNTSC方式に変更)
1960	日本 NHKと民放11局 NTSC方式によるカラーテレビ放送開始
1956	米 AMPEX 4ヘッド式放送用VTRを開発
1969	ソニー 世界初のカセット式VTR(VCR)を発表
1975	ソニー ベータマックスVCRを発売
1981	パイオニア レーザビジョン方式によるビデオディスクプレーヤを発表
1981	ソニーとフィリップス 音楽フォーマットとしてCDを開発
1981	ソニー 放送用コンポーネント・デジタルVTR試作機発表
1982	ソニー 民生用CDプレーヤを発売
1985	CD-ROM規格標準化
1986	ソニー コンポーネント・デジタルVTR-D1発売
1995	ソニー 家庭用デジタルVCR発売
1996	Video CD規格標準化
1996	DVD-ROMおよびDVD-Video規格発表 DVD-Videoプレーヤ発売
2002	Blu-Ray Disk規格発表
2003	HD DVD規格発表

[文献1)に記載されている年表から引用加筆した]

既にエジソンは「キネトスコープ」を公開していたが、一人の人間が「覗きからくり」のように穴から映像を覗き見る装置であったため、今日のように劇場で多数の観客が有料で鑑賞する形式を始めて実現したものとして、「シネマトグラフ」が映画の始めとされている。余談であるが、無声映画としてスタートした映画は、その後トーキーの開発やカラー化を経て今日に至っており、早い段階から、文字、映像、音声といった視聴覚情報を取り扱うメディアであった。従って、多くの情報を扱うメディアという意味から見ると、まさにマルチメディアであったといえる。

映画の始まりから約50年後の1954年にテレビジョンが実用化されたが、1956年にアンペックス社によって放送用4ヘッドVTR(Video Tape Recorder)が開発されるまで、その映像を記録するためにはフィルムが用いられていた。1970年代半ばに家庭用カセットVTRが発売され、映像記録メディアがパッケージメディアとして普及していくことになる。1995年には家庭用のデジタルVCR(Video Cassette Recorder)が発売され、ビデオカメラとして普及した。このころから家庭用映像記録メディアのデジタル化が進み、1996年にはDVD Video Playerが発売された。

一般にパッケージメディアと呼ばれているものは、磁気テープ装置(主にカセットテープ)と光ディスク装置(CD-ROM、DVD-ROM、DVD-Videoなど)であり、主として音響・映像

の記録メディアとして発展してきた。一方、HDD（ハードディスク装置）や半導体メモリは主としてコンピュータ用の記録メディアとして発達してきた。半導体メモリは主記憶装置として、HDDは主要な補助記憶装置として用いられている。従って、表1にはHDDや半導体メモリは含めていないが、HDDや半導体メモリも映像記録メディアとしての重要性を増している点に注目する必要がある。映像記録メディアとしては磁気テープ装置や光ディスク装置が主流であったが、コンピュータを中心としてデジタル技術が発達するとともに、補助記憶装置としてのHDDも大容量化・高速化して、映像記録にも利用されるようになった。半導体メモリはフラッシュメモリの発達により、補助記憶装置としても用いられるようになり、今日では静止画はもとより圧縮された映像データの記録にも用いられている。HDDはDVDレコーダと組み合わせ、VTRに代わる家庭用の映像記録メディアとして急速に普及しつつあるが、これが発展するとホームサーバのデータベース用記録メディアとしての地位を確立するものと考えられている。

2. アナログ記録からデジタル記録へ

(1) 記録技術と信号処理技術、通信伝送技術の融合によるシステム化

レコード盤やテープレコーダでは聴覚情報を信号波形に変換して記録している。写真・映画では視覚情報を色の濃淡という一種の信号波形に変換して記録している（走査の概念によれば、色の濃淡を波形と考えても大きな間違いではないだろう）。このように、情報を一旦信号に変換して取り扱うという技術が19世紀終盤以降発達して今日の先端記録技術へとつながっている。特に20世紀に入って、情報を信号（特に電気信号）として取り扱うことができるようになってから、伝送技術が進歩し、その流れの中で記録技術も発展してきた。情報を信号に変換して取り扱うことは当初、アナログ処理によって行われていたが、電気電子技術の発達に伴ってデジタル処理へと移行してきた。

記録技術の進歩、特に高密度化は記録メディア自体の進歩もさることながら、信号処理技術によって支えられているところが大きい。その信号処理技術は、多くの部分が先行する通信伝送技術からもたらされている。記録技術に通信伝送技術の考え方が取り入れられた主なところは、記録メディアにおける信号の流れを伝送路における信号の流れに対比にさせてモデル化したことであろう。磁気記録系の特性を伝送系におけるパーシャルレスポンス特性として理論付けたH. KobayashiとD.T. Tangの研究はその代表例である⁽⁷⁾。また、高密度デジタル記録の実用化には符号理論による誤り訂正技術が不可欠であり、何度記録再生を繰り返しても劣化がないというデジタル記録の特長は通信伝送理論分野で発達した符号理論の賜物である。さらに、デジタルVTRやDVDに長時間の映像データを記録する技術は、情報理論の分野で発展したデータ圧縮技術に負うところが大きい。このように、記録技術は、記録メディアに関する材料技術と信号処理技術、通信伝送技術さらには機械技術の融合したシステム技術として発展してきた。

(2) アナログ記録とデジタル記録

デジタル記録技術がアナログ記録技術に対して優れている最も大きな点は、何度記録再生を繰り返しても劣化がないことであろう。「デジタルだから音や映像がきれいだ」という誤った議論があるが、記録技術の観点から見れば、音質や画質の良いことが本質ではなく、「デジタルだから音質や画質が劣化しない」ことが本質なのである。例えば、VTR テープに記録された映像を長期保存することを考えると、どうしても記録メディア自体の保存寿命に限りがあるので、ある時点で新しいメディアに記録し直す必要が出てくる。アナログ記録されたデータを新しいテープに記録し直すと、その段階でどうしても若干の信号劣化が生じる。筆者が携わった初期の放送用デジタル VTR 開発においても、この点がデジタル化を推進する最大の動因であった。誤り訂正が可能な形でデジタル記録されたデータは、誤りを含む再生データに誤り訂正処理を施すことによってほぼ完全な形で復元できるので、復元したデータを記録し直すことによって、ほぼ完全な複製を作ることができる。この特性があるからこそ、デジタルアーカイブ(文化財をデジタル情報の形で保存・蓄積すること)の重要性が叫ばれているわけである。デジタル記録したメディアを適切な保存環境に保管し、メディアの寿命が来る前に定期的に新しいメディアへ記録し直すというシステムが完備すれば、永久保存も決して夢ではないと思われる。長期保存に関しては、あらためて第3章で考察する。

(3) デジタル VTR の果たした役割

家庭用のデジタル VTR といえば DVCR (Digital Video Cassette Recorder : DV と略称されることが多い) が思い浮かぶであろう。これはビデオカメラとして広く普及しているが、家庭用のビデオ記録装置としては普及しておらず、アナログ方式の VHS が主流であった。それが今日では DVD レコーダに置き換わりつつある。その大きな理由は、DVD の画質が良いこともあるが、ディスクという記録媒体自体の取り扱いやすさによるところが大きい。

テープ装置は、記録媒体の価格が安いこと、体積記録密度が高く長時間記録が可能であることから、ビデオカメラ用の記録媒体としては依然として主流であるが、カセット化されているとはいえ、テープが緩んで傷がつくことや、再生情報の頭出しに時間がかかることなど、ディスクメディアに比べて取り扱にくいという欠点があり、ディスク媒体の記録密度の向上と伴にテープメディアは徐々に使われなくなっていくものと考えられている。

筆者が放送用デジタル VTR の初期開発に携わったのは約 30 年前である。今日では放送用 VTR のほとんどがデジタル VTR になっており、放送用映像記録メディアとして依然重要な位置を占めているが、DVD の普及と共に家庭用映像記録メディアとしての VTR の役割は終わりつつあるといえよう。しかし、デジタル VTR で培われた技術は DVD の開発に当たっても活用されている。そこで、映像記録メディアのデジタル化における源流として始めて実用化されたデジタル VTR が演じた役割を振り返ることによって、映像記録メディアのデジタル化に関する意義を確認してみたい。

デジタル信号はアナログ信号に比べて次のような利点を持っている⁽⁹⁾。

- i) ノイズに強い、言い換えればデジタル VTR 再生信号の SN 比はアナログ VTR に比べて低くすることができるので、短波長化や狭トラック化が可能である。
- ii) SN 比の劣化に伴う符号誤りは、誤り訂正や修整によって視覚検地限以下にすることができる。実際、あるレベル以上の SN 比が得られれば、ほぼ完全に誤りを訂正することができる。
- iii) 高速データは並列化やパイプライン化することによって、比較的低速の回路素子で処理することができる。

これらのデジタル信号処理の特徴を活用して、アナログ VTR に比べて高速・高密度記録が可能でかつテープ消費量も少ないデジタル VTR を開発することができたわけであるが、開発に着手した時点では以下の諸点を実現することが強く望まれていた。

- i) 画質の向上： テープ・ヘッド系の非直線性やジッタによる影響を受けにくく、基本的な画質は A/D-D/A 変換の過程で決まる。時間軸誤差（ジッタ）は VTR 内部の半導体メモリによって補正されるので、デジタル VTR にはアナログ VTR に必要な TBC（Time Base Corrector）機能が必然的に組み込まれる。
- ii) ダビング特性の向上： デジタル VTR における画質劣化の主な要因は符号誤りであるが、誤り訂正・修整方式の導入によって正しいデータを復元することや、補間や置換によって誤りを検地限以下にするための修整（concealment：修正とも言う）を行うことができるので数 10 回のダビングにも十分耐えることができる。
- iii) スタジオシステムの全デジタル化への対応： 高画質な番組作成と効率的なスタジオ運用のために、放送スタジオシステムを全デジタル化することが望まれる。VTR のデジタル化はもっとも困難な課題と考えられていたが、必須の研究課題であった。
- iv) 運用コストの低減： 高密度記録によるテープ消費量の低減、回路の LSI 化による機器の小型化と低消費電力化、調整工程や保守工数の低減を図ることができる。テープ消費量は、当初、デジタル VTR の最大の難点と考えられていたが、今日ではむしろアナログ VTR の数分の 1 の消費量で実現されている。最近の 10 年でデータ圧縮技術が進歩しテープ消費は更に数分の 1 に低減されている。

このような要望がほぼ完全に満足され、今日では放送用 VTR の大部分がデジタル VTR となっている。

放送用映像記録メディアとしてデジタル VTR が何時まで主流であり続けるかは予測できないが、家庭用の映像記録メディアとしては徐々に DVD などのディスクメディアに主役の座を譲りつつある。しかし、DVD や Blu-Ray ディスクなどの信号処理系ではデジタル VTR で開発された、高速信号処理回路、変復調方式データのフレーム構造、誤り訂正・修整方式、データ圧縮方式等の技術が基盤となっている。デジタル VTR の命脈が尽きたわけではないが、徐々にディスク媒体に移行しつつある今日、初期の開発に携わった技術者の立場から見ると、記録メディアの形態は変わっても多くの信号処理技術は生かされている点にデジタル VTR の歴史的意義があったと考えている。

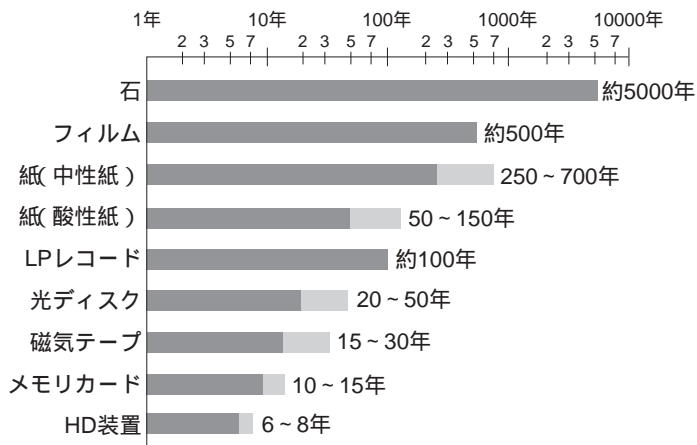
3. 映像記録メディアの今後の課題

(1) 記録メディアに望まれる性能

記録メディアとして望ましい性能は、先に述べたように、「書き込めること」、「読み出せること」、「保存できること」であるが、使い勝手 (usability) からいえば、次のような点が要求される。

- i) 容易に記録できること。容易に書き換えができること。多量の情報が記録できること。すばやく記録できること。
- ii) 容易に読み出せること。すばやく読み出せること。
- iii) 長期間安定に保存できること。

図1 記録メディアの保存寿命



「日経エレクトロニクス 2004.7.5 p100-101」および「日経サイエンス 2000年12月号 p41-43」の表より引用統合した。

これらの要求を満たすために飽くなき技術開発が行われてきた。しかし、これらの要求には矛盾するところがある。その最たるものが、「容易に書き換えができること」と、「長期間安定に保存できること」を同時に満足させることが困難だという点であろう。長期間安定に保存できるためには、メディアが極めて安定で、記録されたデータが消滅しないことが要求される。一方、容易に書き換えが可能であるためには、記録されたデータは簡単に消去できなければならない。図1は各種の記録メディアの保存寿命の概略を示したものである⁽⁶⁾⁽⁷⁾。図1で長期保存可能な記録メディアの筆頭に挙げられている「石に刻まれた情報」は何万年も持つという実績があるが、書き換えるためには石の表面を削り取る必要があり、書くことにも消去することにも大変な労力(コスト)がかかる。それに比べて、磁気テープや磁気ディスクは記録も、読み出しも、書き換えも極めて容易にできる。光ディスクには再生専用型、追記型、書き換え可能型があるが、データの保存寿命から言えば再生専用型が一番安定して

いる。つまり、容易に書き換えできる（融通性のある）メディアは、書き換えできない（融通性の無い）メディアに比べて保存寿命が相対的に短いのはやむを得ないところであろう。従って、書き換えも追記もせず、長期保存のみを目的とするのであれば、再生専用のいわゆる ROM タイプが最も安定しているといえよう。つまり、用途によって使い分けることと、長期保存に対しては保存環境を整備して、適切なバックアップを取ることが不可欠となる。

（２）映像記録メディアの保存対策

現在行われている映像記録メディアの保存対策についてフィルムと VTR テープの例について述べる。

映画フィルムの保存

映画フィルムの保存について、園田直子は次のように解説している⁽¹⁰⁾。

『映画用のフィルムは、1880 年代の終わりころから製造されるようになった。当時はニトロセルロース製のフィルムが使用されていたが最大の欠点は、非常に引火性が高いということである。また、保存状態が悪いと経年変化が早まり、フィルムの収縮や変形、画像の変色などがおきてくる。ひどい場合には、ゼラチンが軟化してフィルムがくっついて固まったり、あるいは全体が粒状になる。

1948 年以降、映画用フィルムは、ニトロセルロースからアセテートセルロースにかわった。さらに、1950 年代半ばには、ポリエステル製のフィルムが出てくる。いずれも火災の危険度が少ないことから、セーフティフィルムと呼ばれ現在も使用されている。

アセテートセルロース製のフィルムの最大の問題はビネガーシンドロームと呼ばれる現象である。劣化の過程で酢酸が生成し、特長ある「酢」のにおいがしてくる。劣化がひどくなると、フィルムの収縮や変形、画像の変色、ゼラチンの軟化などがおきる。このような欠点はあるが、フィルムを簡単に接合できることから、このタイプのフィルムが、今でも、主流となっている。

一方、ポリエステル製のフィルムは保存性が良い。また、非常に強靱であるため、薄くても使用に耐え、かさばらないという利点がある。

いずれのフィルムも、劣化を遅らせるためには、保存環境を整備することが大切である。例えば、国立民族学博物館では、国内外の民族誌映画、映像資料、あわせて約 3000 点を収蔵している。いずれもセーフティフィルムである。収蔵庫は、用途に応じて 2 種類設けられている。ひとつは、試写用のフィルムの収蔵庫で、保存環境は、温度 18℃、湿度 45% に設定されている。もうひとつは、マスターフィルムあるいはそれに準ずる保存用フィルムの収蔵庫である。こちらは、温度 12℃、湿度 40% に保たれている。』

また、フィルムの保存と活用について、次のように述べている。

『博物館の資料一般に通じることだが、映画フィルムの場合も、「保存」と「活用」の両面を考慮しなければならない。

一般に、フィルムの保存には、低温低湿が適している、と同時に、急激な環境の変化は避けなければならない。永久保存用のフィルムは、0℃以下など、なるべく低温で保管するの

が効果的である。ただし、この場合、収蔵庫から出し入れする回数を厳しく制限しないと、低温の効果は極端に薄れてしまう。

活用のためには、できれば専用のプリントを用意したい。出し入れすることが前提になるので、極端な低温で保管するのは、現実的ではない。室温よりやや低い程度の温度でも、低湿度に保つことで、フィルムの寿命を延ばすことができる。

フィルム保存の問題は、フィルム自体の保存にとどまらない。重要なのは、内容（情報）の記録保存である。フィルムの複製作業やフィルム以外の媒体へのデジタル処理などを進めることも大切である。』

VTR テープの保存

VTR テープの場合、テープベース素材よりもバインダの保存寿命が問題となる。1枚に見える磁気テープも、実はテープの土台であるベースフィルムに、磁性粉とバインダ（磁性粉を接着している合成樹脂）を混ぜて塗った構造。磁性粉に記録された信号は（酸化鉄の場合）数千年の安定性があり、ポリエステル製のベースフィルムも数百年以上は持つ丈夫な素材である。一方、バインダは常温常湿（15～20℃、40～60%RH）で30年以上の保存実績があるといわれているが、各素材のうち、バインダの寿命が保存期間のポイントとなる。なお、ビデオテープの内容が再生不能に陥る実際の原因は、それ自体の寿命よりも、再生するVTRが磨耗したり調整に不具合があったためにテープを切ったり、片伸びしてワカメ状になったり、またカセットを落したり、炎天下の車中に放置して箱が歪んでしまうことなどの方がはるかに多いといわれている⁽¹¹⁾。従って、フィルムの場合と同様に保存環境には十分注意を払う必要がある。

VTR テープの保存管理に関しては、埼玉県川口市にあるNHKアーカイブスが有名である。NHKアーカイブスにはテレビの草創期から現在までの膨大な番組やニュースの映像がフィルムからデジタルテープまでさまざまな媒体で保存されている。制作管理室では、かつてのフィルムやオープンリール式ビデオで記録されているアナログ資料を、順次デジタル処理し、カセット式のビデオテープへ変換している。データベースセンターには、アーカイブシステムの中核である総合データベースがある。デジタル伝送室、保管庫、ユーザーの端末は全てここにつながってシステムを形成している。映像保管庫には最大180万本まで収納可能であり、デジタル伝送室には、発注された映像を大容量専用光回線（IP回線）を使って渋谷の放送センターへ送る設備が整っている⁽¹²⁾。

（3）長期保存メディア開発への期待

上記の例で見ると、記録メディアを保存するために多くの努力が払われているが課題も多く残されている。記録メディアを長期保存するためには、デジタル記録を前提として、記録メディアの長寿命化と保存環境の整備を進めると共に、再生システムの保存にも注力していくことが必要である。新しい装置の出現によって再生装置が陳腐化し、再生できなくなることが一般化していることを忘れてはならない。

参考文献（6）では、これらの問題を解決し永久保存メディア（Eternal Storage）を実現す

るための3要件として次の点を挙げている。以下要点を引用する。

- i) データを永続的に保存する
- ii) どのような機器でもデータにアクセスできる手段を提供する
- iii) アクセスしたデータを常に利用可能にする

また、それを可能にする永久保存メディアの実現手段について次のように述べている。

- i) 記録メディア自体の長寿命化
- ii) システムレベルでのデータ保護

- ・記録メディアの仮想化

ファイルシステムの変更や陳腐化に左右されずに、いつの時代にもすべての記録メディアにアクセスできる仕組みを作り上げること。記録メディア自体がファイルを管理する仕組みを持つこと。OSの種類や世代が変わっても記録メディアとの間のインタフェースの互換性さえ保てれば、常に任意のメディアにアクセスできるようになる。

- ・ネットワーク上に分散した記録媒体を連携して動作させる手順の共通化

- ・保存条件の記述方式の標準化

個々の点を詳細に引用することは避けるが、記録メディア自体を長寿命化することに加えて、データファイルの管理システムを標準化することの重要性が指摘されている。これらの目標を実現するための記録技術として、デジタル記録が前提となっていることは言うまでもない。つまり、長寿命化されたメディアで構成されたストレージ群がネットワークで連携して管理されており、保存期限が切れるまでに自立的にバックアップをとることによって、永久保存の要請に応えていこうという趣旨である。このようなシステムが実現して始めてデジタルアーカイブの理想が実現すると言えるだろう。

ここで、デジタル技術による文化遺産の蓄積・保存について数年前から開発されてきたコンピュータ・ビジョンとコンピュータ・グラフィックスを用いた新しい技術について触れておきたい。それは、レーザ光や多視点カメラを用いた3次元レンジセンサー (range sensor) を用いて3次元物体の形状を計測すると共に、カメラで撮影したテクスチャ情報を物体表面に貼り付けることによって、3次元物体をコンピュータ上で正確に構成する技術である。この技術は、映画などのエンタテインメントにも応用されているが、人類の文化遺産である貴重な彫刻や建築物のデータを蓄積・保存していくためにも活用されつつある。今年のSIGGRAPH 2004では"Cultural Heritage and Computer Graphics: What Are the Issues?"というパネル討論が行われ、多大の関心を呼んでいた⁽¹³⁾。このように、コンピュータを用いたデジタル映像の分野はどんどん拡大している。これらのデータを蓄積・保存するための記録メディアとしてはハードディスク装置 (HDD) やデータ記録用テープレコーダが用いられているが、この例からも、今後、映像記録メディアの多くの部分が、VTRなどの映像記録専用メディアから汎用のデータ記録メディアへと移行していることが予想される。また、このようにして蓄積・保存されたデータを不正なアクセスから保護することを目的とした研究も進んでいる⁽¹⁴⁾。

ところで、記録装置 (ストレージ群) の寿命と言う観点から見れば、機械的な可動部を持

たない装置が望ましい。今日、半導体メモリが比較的安価になり、特にフラッシュメモリは静止画ばかりでなく動画の記録にも使われるようになってきている。フラッシュメモリは電荷を蓄積しておくタイプなので保存寿命は約10年といわれているが、ヒューズを切断するタイプのROMを長期保存のアーカイブ用に利用すれば「石」なみの長期保存が可能になることも夢ではないかもしれない。現在はコスト的に見合わないであろうが、いずれ可能になれば「石器時代」への先祖がえりが一段と浸透することになる。

いずれにしても、デジタル記録メディアを用いて、温度・湿度の管理された環境で保管すると共に、定期的にバックアップをとる（記録し直す）というメンテナンスをしっかりと行えば、ほぼ永久的に保存できると考えてよいだろう。一般家庭での過酷な使用条件で数百年後の再生は保障できないとしても、公のアーカイブ機関等が一定のルールに則って保存に勤めれば、数千年後に今日の我々の映像文化資産が利用されることも決して夢ではない。長期保存技術の今後の発展を期待したい。

むすび

映像記録メディアの歴史を振り返り、映像文化資産の保存管理の重要性とデジタル技術を活用した長期保存システム実現への期待について述べた。映像記録メディアの長期保存というテーマは、ひたすら高速・大容量化という技術目標に向かって突き進んできた一技術者である筆者が、映像制作の教育現場に入って改めて文化資産保存の重要性を認識し、是非一度考えてみたいと考えていた課題であった。

長期保存メディアを実現する手段としては、「記録メディア自体の長寿命化」と「システムレベルでのデータ保存・管理」が必要であるが、そのためには現在の技術レベルで考える限り、データのデジタル化が必須である。データがデジタル化されていることによって、ファイルをネットワークで自律的に連携すること、データへ容易にアクセスすること、まったく品質を劣化させることなく何世代にも亘ってバックアップを取り続けることなどが可能となる。この意味で、デジタルアーカイブを推進していくことには大きな意義があると言える。今後とも映像記録メディアとデジタルアーカイブに関する技術進歩に注目していきたい。

引用文献

- (1) 植条則夫編、「映像学原論」ミネルヴァ書房、1997年3月第1版第7刷
- (2) 広辞苑第4版（CD-ROM版）岩波書店（1996）
- (3) 岡田晋、「映像学・序説 - 写真・映画・テレビ・眼に見えるもの - 」（財）九州大学出版会 新装版（1996.3）
- (4) 久保正敏、「マルチメディア時代の起点 - イメージから見るメディア」、NHK放送出版協会 1996年9月20日第1刷 ISDB4-14-001779-1
- (5) 「映像情報メディア用語辞典」、映像情報メディア学会編、コロナ社（1999.1）
あるいは、「テレビジョン用語辞典」、テレビジョン学会編、コロナ社（1984.9）

- (6) 「エターナル・ストレージ 永久記憶媒体」, 日経エレクトロニクス, 2004年7月5日号 p99-121
- (7) 久保田啓介, 「情報社会からこぼれ落ちる知的資産」, 日経サイエンス, 2000年12月号 pp41-43
- (8) H. Kobayashi, D.T. Tang, "Application of Partial-response Channel Coding to Magnetic Recording Systems", IBM J. RES. DEVELOP., pp.368-375, July 1970
- (9) 橋本慶隆, 「放送用デジタルVTRのシステム構成と高速・高密度化に関する研究」, 1996年3月 電気通信大学博士論文
- (10) 園田直子, 「映画用フィルムの保存」, 大森康宏編著, 「進化する映像 - 影絵からマルチメディアへの民族学」, 財団法人千里文化財団発行 p50-51
- (11) 伊藤敏朗, 「ビデオテープの保存・管理を考える」, <http://www.iic.tuis.ac.jp/edoc/original/itoh/vtape.html>
- (12) 「NHKアーカイブズの概況」, http://lc.i.hosei.ac.jp/_shiry03/2003/archives/shisetsu.html
- (13) D. Arnold, A. Chalmes, K. Ikeuchi and M. Mudge, "Cultural Heritage and Computer Graphics: What Are the Issues?", ACM SIGGRAPH 2004 Full Conference DVD-ROM Disc 1
- (14) D. Koller, M. Turizin, M. Levoy, M. Tarini, G. Croccia, P. Cignoni, R. Scopigno, "Protected Interactive 3D Graphics Via Remote Rendering", acm Transactions on Graphics, Proceedings of ACM SIGGRAPH 2004 p695-703