

絵巻の電子化手法の開発

Electronic Media Production Technique of a Picture Scroll

川淵明美

近藤智嗣

菊川 健

Akemi Kawafuchi

Tomotugu Kondo

Takeshi Kikukawa

メディア教育開発センター

National Institute of Multimedia Education

<あらまし>筆者等が開発した絵巻撮影装置を用いて絵巻物の電子化手法を検討した結果、絵巻物はアスペクト比と解像度の観点からHDTVによる撮影が適していること、及び、スクロール撮影には15~30mm/secが適切な撮影速度であることが明らかとなった。また、これらの手法を用いて実際に絵巻物の電子メディア教材を制作し、学術・教育分野における絵巻物の電子化による公開促進に有効であることがわかった。

<キーワード> 教育メディア、絵巻、高精細画像、眼球運動、教材開発、高等教育

1. 絵巻物の電子化の必要性

絵巻物は、古代末期から中世にかけて独自の発達をとげ、その伝統が継承された、わが国特有の文化であり、時代の記録性、独特の表現方法、美的感覚に優れた、歴史的文化的に貴重な絵画資料である。一方、絵巻物は、破損・汚損しやすく取り扱い方が困難なため、学術・教育にほとんど利用されず、資料の散逸、死蔵、品質の劣化という問題に直面している。これらの問題を解決し、絵巻物の公開・利用を促進するには、絵巻物の電子化は有効な方法である。

2. 絵巻物の特徴

絵巻物とは、「右から左へと横に繰り広げられる巻物に、時間的に展開する物語や長く連続する情景などの絵を描き、説明の文章をも書き加えた画面形式」と定義されている。絵巻物の起源は中国の画卷とされているが、7~8世紀に伝えられた後、わが国で独自に

発達し、その伝統が継承されている。形態は、幅32センチ、長さ15メートルを平均とし、紐、表紙、見返し（巻頭装飾部分）に続き、詞書（本文）と絵の部分の繰り返しから構成されるのが標準である。

絵巻物に描かれた画面は大まかに3つに類型化することができる。

- (1) 長大な風景を横長に描き連ねる。
- (2) 時間を追って次々に変化する多くの場面を、長大な一連の画面に描き続ける。
- (3) 一定の紙幅に各情景を独立に描き、間に詞書を入れてつないでいく。

3. 絵巻物撮影装置の開発

以上の特徴を持つ絵巻物を記録的に電子化するには、長辺方向に連続してスクロール撮影、あるいは、正確に分断して静止画撮影する必要がある。巻物の撮影には、さらに(1) 資料と非接触で撮影できること、(2) 画像が高品位であること、(3) 資料が高温、乾燥、過度の光量から保護されること、(4)

作業が容易で信頼性があることが求められる。

そのため、一旦巻物を広げてから一定の条件（振動・距離・速度）のもとで一度に撮影することができる、自動搬送絵巻物撮影装置（図1参照）を開発し絵巻物の撮影に使用した。

絵巻物の伝統的な鑑賞方法は、鑑賞者が両手を広げた範囲約60センチを単位とする。平均的な絵巻物の幅は32センチであるから、アスペクト比は60:32（比率1.875）となり、HDTVのアスペクト比16:9（比率1.78）に近い比率となっている。よって絵巻物は、アスペクト比からHDTVにより電子化するのが適切であるといえる。

絵巻物撮影装置の仕様を表1に示すが、このほか、資料のカーリング、レンズの焦点深度、搬送速度むら、温度、照度等を計測評価し、問題のない仕様となっている。

絵巻物は歴史的・文化的観点から資料性が

高く詳細な表現であることが多い。4種類の絵巻物をHDTVにより撮影・電子化し、ATMアナライザを用いて絵巻物の持つ情報量を計測した。

絵巻物の画像伝送実験の結果を図2に示す。また、本実験と同じシステム構成で行われた合唱指導の遠隔授業の伝送量を併記した。

伝送量の平均は、幕末維新絵巻は80.5Mbps、春日若宮祭礼絵巻75.5Mbps、東京芸術大学卒業作品47Mbps、酒天童子絵巻44.8Mbpsの順だが、いずれも遠隔協調学習（合唱）の12Mbpsを大きく越えている。この映像は主に学習者6名の合唱風景であるが、精細な映像ではない、色数が少ない、動きの少ないものである。動きの多いダンス指導の風景では30Mbps程度の経験値が得られているが、これと比較しても絵巻物の持つ情報量の大きさがわかる。よって、絵巻物はHDTVによる電子化に適した資料であるといえる。

表1 絵巻物撮影装置の仕様

対象物からの距離	1.5m
搬送移動距離	最大20m
移動速度	4.5~73mm/s
カメラ	HDTV
VTR	UNIH I等
カメラ重量	20kg以下
照明装置	500W2基

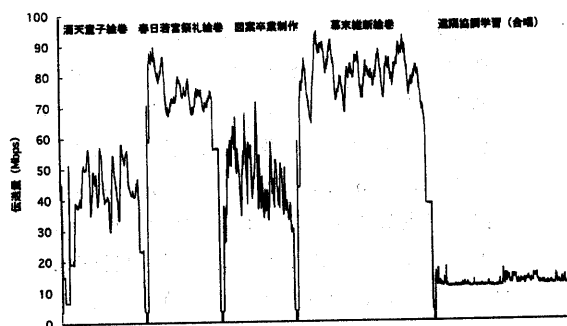


図2 絵巻物HDTV映像の伝送量

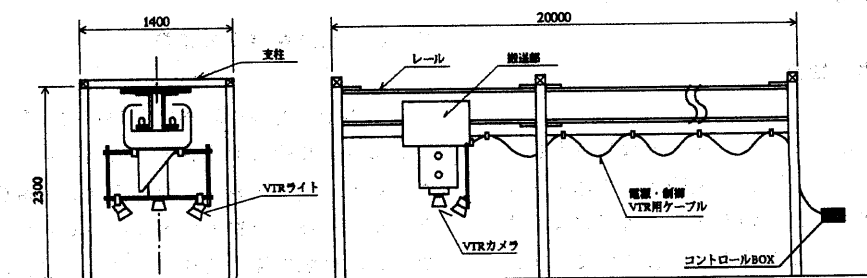


図1 自動搬送絵巻物撮影装置

4. 絵巻の電子化における最適な撮影速度の検証

開発した絵巻撮影装置を用いて、絵巻物「鳥獣戯画」を6つの速度（6.77, 14.94, 24.59, 31.04, 58.07, 74.05mm/sec）でHDTV映像としてスクロール撮影し、2つの方法（映像再生テスト、アイカメラ）による視聴実験を行い、絵巻の電子化における最適な撮影速度を検証した。

4. 1 映像再生テストによる視聴実験

[提示映像]

まず、絵巻「鳥獣戯画」のスクロール映像のなかから6シーンを選んだ。絵巻物を鑑賞する際の画面はHDTVのアスペクト比（16:9）にはほぼ相当することと、一画面分の映像をHDTVモニターの左端から右端までスクロールすることから、1シーンの長さをHDTVモニターサイズの3倍とした。次に、提示映像を6種類編集した。各提示映像はシーン1～6を含み、それぞれ速度の異なった映像より構成した。

[再生テスト]

文章や文字の再生テストに穴埋め方式の設問がよく利用されている。本実験においても、シーン1～6の絵を印刷し、一部を穴あきにし、当てはまる映像を選択枝より選ばせることとした。また、同時に速度の妥当性を3段階で評価させた。

[手続き]

10名ずつ6グループを対象に、32インチHDTVモニターに速度の異なったシーン1～6の映像を1シーンごとに提示し、質問紙に答えさせた。1グループに提示した映像の長さは、6シーン分を合計して10分程度である。

[被験者]

大学生52名（男性13人、女性39人）、平均年齢は19.3歳であった。

[結果]

正答率は、6つの速度について遅い方から、89.9, 82.2, 73, 67.9, 56.7, 56.4%であり、スクロール速度が速くなるにつれ正答率が下がることがわかった（表2参照）。また、速度の妥当性は、遅すぎるから速すぎるまでの評価を-1～1に換算したところ、-0.956, -0.481, -0.169, 0.091, 0.426, 0.735であり、ちょうどいい速度0にあたる速度は28mm/secであった（表3参照）。この速度は、およそ正答率70%に相当する。

4. 2 アイカメラによる視聴実験

[提示映像]

基本的に映像再生テストに使用した提示映像を使用することとした。絵巻映像は常に左から右に一定速度で移動する。アイカメラによる映像視聴は頭部の固定など被験者に負担

表2 正答率

速度 (mm/s)	6.77	14.94	24.59	31.04	58.07	74.05
グループ						
1	100	77.8	62.5	50	40	22.2
2	65	87.5	64	44.4	40	30
3	87.5	75	84.7	63.9	62.5	75
4	96.3	79.2	85.2	91.7	58	60
5	90.6	80.6	75	70	84.4	71.9
6	100	93.3	66.7	87.5	55.5	79.2
平均	89.9	82.2	73.0	67.9	56.7	56.4

表3 速度の妥当性

速度 (mm/s)	6.77	14.94	24.59	31.04	58.07	74.05
グループ						
1		-0.56	-0.125	0	0.1	0.44
2	-1		-0.5	0.44	0.22	0.875
3	-1	-0.875		-0.11	0.375	0.56
4	-0.78	0	-0.22		0.875	0.8
5	-1	-0.67	0	0		1
6	-1	-0.3	0	0.125	0.56	
平均	-0.956	-0.481	-0.169	0.091	0.426	0.735

をかけるため、1シーンの長さは30秒とし、シーンとシーンの間には頭部のぶれによる眼球位置の補正を目的としたキャリブレーション映像を挿入した。提示映像は合計4分以内におさえた。

〔手続き〕

映像提示には21インチHDTVモニター、眼球運動の測定にはアイマークレコーダ(NA C EMR-7)を用いた。被験者はHDTVモニターに正対して着座した。モニターとの距離はおよそ60cm、提示映像の視角は約50度であった。6つの速度で撮影した映像の角速度は、順に0.6、1.6、2.8、3.6、6.9、8.9 deg/secに相当する。

〔被験者〕

実験補助員、女性10人、平均年齢は45歳であった。

〔結果〕

絵巻映像はモニターに向かって左から右に一定速度で移動する。新しい情報は常に左から現れるため、画面左側に視点を置くことが多い。絵巻映像視聴時の平均座標は、角速度の遅いものから順に、-36、-60、-64.4、-74.3、-75.5、-79.3で、速度が速くなるとますます新しい映像が出現する方向方に視点が集中することがわかる。

図3に、眼球の移動速度に対する頻度を示す。角速度0.6(deg/sec)の映像においてこれより速く視点を移動させる頻度は4.1%、以下13.05、18.6、21、39.25、45.8%と速度が速くなるにつれ映像に追従することが難しくなることがわかる。

4.3 考察

眼球運動の測定結果から、絵巻のスクロール映像に対しては、新しい映像が登場する画面の方向に視点が集まりやすい傾向があることがわかった。また、角速度0.6、1.6、2.8、3.6(deg/sec)ではスクロールへの追従が80%以上であるが、58.07、74.05(deg/sec)では6

0%以下と減少し、スクロールへの追従が難しくなっている。山田等の家並みを描いた長尺の図面のパンニング映像(角速度2.8、4.2、7.1 deg/sec)に対する眼球運動の研究では、眼球は十分画像に追従しかつ画像の他の部分を余裕を持って見ることができる(2.8)、パンニングへの追従が中心となり他の部分へ眼球を動かす割合は減少する(4.2)、追従は行わずパンニングによって新しい映像が登場する画面付近に集中する(7.1)ことが報告されているが、これにある程度即した結果を得たといえる。

一方、再生テストの結果から、速度28mm/secの映像が適切な速度と評価されたが、これは角速度2.8と3.6の中間に相当する。今回教材化に用いられるナレーションやテロップ等は付加されていない。情報が増えるとその処理にはより多くの時間が必要と考えられるため、教材化を目的として絵巻撮影を行う場合は、この評価より遅い速度での撮影が必要であろう。また、今回は正答率70%に相当する速度が好まれたが、正答率80%を目標とする場合は14.94mm/sec(角速度1.6)以下の速度が求められる。以上を総合すると、撮影速度は14.94~31.04mm/sec(角速度1.6~3.6deg/sec)が適切であるといえる。

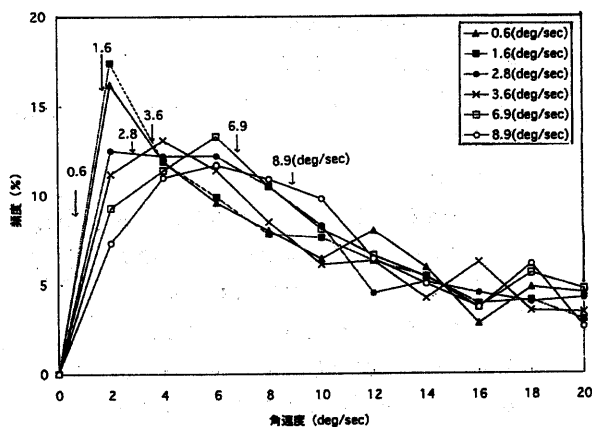


図3 視点移動角速度

5. 絵巻物の電子メディア教材の制作

絵巻物の電子化には、資料の記録としての電子化と、作品としての電子化の2つの側面がある。記録としての電子化では、映像をできるだけ加工せず、実物に近い形で再生することが求められる一方、作品としての電子化では、視聴者の興味を喚起し理解を深めるための加工や編集技法が求められる。

絵巻物の効率的な電子化には、絵巻物の電子メディア教材の共通フォーマットの開発が効果的と考えられる。プロトタイプとして、図4に示すフォーマットを設定した。これに基づいて、実際に絵巻物映像を用いて電子化を試み、各種電子化手法を検討した。

テキスト	絵巻物に関する基礎知識	
	固有の絵巻物に関する知識	
画像	N	絵巻物のスクロール映像
		高精細静止画像

N：ナビゲーター

図4 絵巻物の電子メディア教材の共通フォーマット

(1) 絵巻物に関する知識

絵巻物の定義、歴史、分類など、絵巻物全般に関する基礎知識と対象となった固有の絵巻物に関する知識が代表的なもので、テキスト情報を中心となることが考えられる。

(2) 絵巻物のスクロール映像

絵巻物のスクロール映像は、絵巻物を記録として電子化する際、効率的な方法である。今回、「春日若宮祭礼絵巻」を対象にスクロール映像を制作した。これは、絵巻物を速度25mm/secで撮影したスクロール映像そのも

のに、テロップ、ナレーション、音楽のみを付加したもので、約3分の他の部分と独立して利用可能な教材となっている。本教材は、現在、NTSC映像によるLD化され、国立歴史民俗博物館のビデオテープに登録されている。

(3) 高精細静止画像

HDTVによるスクロール映像は、従来の絵巻物と比べて、何度も繰り返して利用でき、取り扱いが容易な点が長所である。HDTV映像は、詞書が鮮明で充分読みとることができ、見たい箇所を静止しても映像にみだれない点が評価されたが、絵画中に書き込まれた小さな文字の読みとりにはさらに高解像度である必要があること、一部分の拡大などユーザーコントロールが十分でない点が指摘された。

これに対して、より高解像度で、拡大等が容易にできる電子化手法として、高精細デジタルカメラによる絵巻物の電子化を試みた。

同様に「佐渡金座絵巻」を対象に、絵巻物撮影装置に高精細デジタルカメラを設置し、絵巻物の各場面を静止画像としてデジタル化した。使用した高精細デジタルカメラは、6×6cmのフルCCDを使用しており、これにより最大4100×4100ピクセルの1600万画素、データ量48MBのデータ入力が可能である

高精細デジタルカメラによる絵巻物の電子化により、HDTVによる絵巻物の電子化で問題となった、より高解像度で、拡大等が容易にできる特性を得た点が明らかになった。ただし、これだけでは場面と場面のつながりが明確に示されない点に問題があり、先のHDTVによる画像等と統合したマルチメディア化を検討する必要がある。

(4) ナビゲーター

スクロール映像と高精細静止画像をつなぐナビゲーターとして、実写映像を使用できるVR技術の一つ、オブジェクトムービーの手

法を利用することができる。この場合、立体物ではない絵巻物を、巻頭と巻末をつなげて円柱状にした立体物（オブジェクト）にとらえ、取り込みフレーム数を充分大きくすると、自動搬送絵巻物撮影装置を用いたスクロール映像はオブジェクトムービーに近似する。

操作性としては、パソコンのディスプレイ上でマウスをドラッグすることで見たい方向の画像を探ることが容易になり、また、任意の場所でクリックすることで、さらに高精細な画像や解説等を表示することも可能である。このVR技術は、データグローブやヘッドマウントディスプレイ等の特殊な装置を必要とせず、ディスプレイ上で、空間や物体を表現することが実現できる。特徴は、実写映像を素材として使用できることであり、CGでその画面毎に計算して表示している物とは異なる。実写映像をそのまま使用可能なことは、絵巻物のような学術映像資料の表現には適しているといえる。

今回、「佐渡金座絵巻」のスクロール映像より、絵巻物が約5cmずつ動く間隔でキャプチャリングした静止画像を取り込んだ。取り込みの解像度は640×480ドットである。現時点ではHDTV映像に対応することが難しく、ダウンコンバート映像を用いているため、ナビゲーターとしての利用にとどまっている。

（5）作品としての電子化

絵巻物の電子化映像を題材に、少し観点の異なった作品（教材）を制作することができる。絵巻物撮影装置を用いて「江戸金座絵巻」の電子化映像を撮影し、これを題材に「銭貨のできるまで 絵巻に見る天保通寶の鋳造」を制作した。

絵巻物は大変貴重な資料で、厳重に管理されており、撮影の機会も通常は一日数時間のみであることがほとんどである。そのため、絵巻物の撮影には、通常、すぐに使用しないにかかわらず、15、25mm/sec2種類のスクロール映像、場面毎の静止映像、特徴

的な人物などのクローズアップ静止映像などをまとめて一度に撮影している。

「銭貨のできるまで」については、あらかじめ作品の台本を作成し、通常撮影の他に作品の演出にそったショットを追加した。本作品のショットの数と種類を以下に示す。

静止映像	：ワイド	5（139秒）
	ミディアム	2（25秒）
	クローズアップ	18（307秒）
動画像	：スクロール	4（224秒）
	特殊な動き	4（204秒）
ショット数	：40（33種）	（約15分）

従来と異なるショットとしては、逆方向のスクロールなどがある。映像の内容は、1ショットのみ、実物の天保通寶を撮影したが、後は全て江戸金座絵巻の映像を用いた。1つの絵巻物のみからでも映像教材を制作可能であることが明らかになった。本作品は、1997年3月～5月、国立歴史民俗博物館の特別展にて展示された。

今後は、さらに絵巻物の電子メディア教材の共通フォーマットを研究し、高等教育における有効性を検証することで、絵巻物の電子化手法を明らかにしたい。

引用文献

Yamada, M. etc. "Quantitative Evaluation of Eye Movements as Judged by Sight-Line Displacements", SMPTE Journal, pp1230-1241, 1986

謝辞

絵巻物の電子化映像は、国立歴史民俗博物館・朝岡康二教授、山本光正助教授、福原敏男助手、高橋照彦助手と共同で制作した。また、HDTV映像の編集には、郵政省通信総合研究所・鈴木龍太郎室長、眼球運動の測定には、当センター・高橋秀明助教授の協力を得たことを深く感謝します。