4 デジタルシネマの将来に向けて

4-2 デジタルシネマ：その将来に向けて

辻 英 男[†]

キーワード

HD1080/24p, DLP, デジタルマスタリング, カラーマネジメント

1. ま え が き

1999年、アメリカのジョージ・ルーカス監督が映画「スターウォーズ・エピソードI」を高解像度ビデオプロジェクトを使って劇場公開し、映画業界に大きな衝撃を与えた。それから3年あまりが過ぎた現在、業界はそれほど大騒ぎはしていないが、映画の制作と公開にデジタル技術を利用する動きは確実に広まってきた。ここでは、その現状について、主に画質の話を中心に述べる。

まず、デジタルシネマには次の2通りが考えられる。

- (1) 既存の制作、配給、そして映画館での上映という形態を踏襲するもの（現行ビジネスモデル）。一つの作品を数多くの劇場で同時にあるいは時期をずらせて上映するもの。
- (2) (1) にのらないもの。単館であれば上記とは異なる。デジタルプロジェクトを備えた上映館があれば成立する。劇場以外での鑑賞方法としてテレビ放送、インターネット（PC、ケータイ）など、様々な方法での制作、配信、鑑賞があり得る。

ここからは主に(1)の場合について、撮影、編集、加工、上映の順に、アニメーションとマスタリングを加えて述べる。

2. 撮 影

国内で、劇場映画が年間約280作品制作されている中で、HD撮影作品は15%ほどであろうか。アメリカではよく知られているように、ルーカス監督の「スターウォーズ・エピソードII」が、1080/24pのHDカメラで撮影された。しかし作品数では、ヨーロッパも含めて少数にとどまるのではないと思われる。日本が世界で一番デジタル撮影されている作品が多い国なのではないだろうか。これには、①テレビ局が制作に関係する映画作品が多い、②テレビドラマがほとんどすべてテレビカメラで撮影されている、③カメラメーカーが普及をねらって安価に機材を貸し出した、などの理由が考えられる。

[†]東北芸術工科大学
"Digital Cinema: Today and Tomorrow" by Hideo Tsuji (Tohoku University of Art & Design, Yamagata)

次に技術面を見て見よう。多くの場合HD1080/24pが使われており、一部720/60p（撮影フレームレートは可変で上映は24p）の例もある。1080/24pは1080/60iをもとにしたもので、これは放送用の規格である。これを映画に利用するため、24pとしている。24pはフィルムに合わせてHDが妥協した物であるが、今後もフィルム上映が続くことを考えればもっともな選択である。しかし、フィルムを意識する必要のない場合には、異なるフレームレートで制作されるかもしれない。解像度については、4k×2kのシステムを開発する動きもある。色と階調は8ビットまたは10ビットのガンマ補正で、YPbPr 4:2:2としているが、この4:2:2は、解像度と色のバランスをとりつつデータ量（帯域）の削減をしていて、画像の加工の工程では好ましくない場合もある。

撮影段階においては、画質の面でフィルムを越えてはいない。ただし、カメラが小型軽量で、操作性、機動性では優っている。また、テープコストはフィルムに比べ安価で、フィルムより長時間の連続撮影もできる。

HD1080/24pの画質と解像度は一応の水準といえる。階調は充分とは言いがたいが、一応使えるレベルではある。撮像素子としてのCCDの広いダイナミックレンジを利用するため、標準とは異なるガンマを利用する例もある。これは作品の完成までの各過程で、厳密なコントロールが必要となる。しかし、標準規格に準拠していても、良い画質を維持するためには同様のコントロールが必要である。ただし、各種の機材、特にモニタなどの表示装置はガンマの調整が困難で、画像のチェックにはかなりの不都合が生じる。

主要なHDVTRフォーマットでは、画像圧縮が利用されているが、これに起因する画質の劣化を避けるため、ハードディスクを利用したデジタルディスクレコーダ（DDR）に非圧縮で収録することも行われている。

3. 編 集

この次の加工段階とともに、最もデジタル化が進んでいる。この段階では、精度を時間だけに限定して、空間と色や階調に関しては思い切って大幅に妥協したシステムが、ノンリニア編集システムとして広く利用されている。編集結果はEDL（Edit Decision List）として出力され、本来の画質のシステムや、フィルム編集システムで再編集さ

れる。

4. 加工 (合成, エフェクト)

PCや専用システム上で合成, エフェクト, 色補正などを行う。フィルムで撮影された場合は, 専用のフィルムスキャナによってデジタル画像へ変換される。横解像度1828, 階調はビデオガンマで8ビットまたは, 対数で10ビットのフォーマットが主に利用されている。この段階では映像はフレーム単位で処理され (静止画の大量処理), リアルタイムがあまり必要とされていない工程でもある。機械の処理性能によっては, 加工時間がかかるものの, 高価なシステムと同じ処理機能がソフトウェアで実現されているため, PCでの利用もかなり進んでいる。しかし, 画質は重要なファクタで, 時には4k (横解像度3,656ピクセル) での処理も行われる。フィルムのスキャニングとレコーディングに関する技術は確立されており, いまやフィルム作品の合成もほとんどこの方法で行われている。デジタル処理がフィルム処理に比べかなり優位であるが, フィルム撮影後デジタル処理し, 再びフィルムに戻し, フィルムでの上映が通常である。

HDでは, リアルタイム処理など, 便利なシステムもあるが, フィルムの画質に仕上げるには画像圧縮を採用したHDVTRの評価は厳しい。

5. デジタルマスタリング

デジタル上映のためには, 一応でき上がった映像作品を特定のタイプのプロジェクタに最適化する必要がある。これは, タイプにより次のような違いがあるためである。

- (1) アスペクト比, 画郭, 縦横のピクセル数が異なる
- (2) 階調 (ダイナミックレンジ) が異なる
- (3) 色空間が異なる (再現できる範囲)
- (4) 解像度感が異なる

これらの違いを変換, あるいは, 違和感のない状態に調整することをデジタルマスタリングと呼んでいる。

(1) は, 比較的解決しやすいが, 変換回数が増加すると画質の劣化となるので, 最小の変換で済むような工程としなければならない。

(2) は, 調整範囲が狭い場合もあり, 例えば暗部の階調を圧縮したり, 明部のディテールをあきらめるなど妥協せざるを得ない場合もある。

(3) は, これを色調整 (カラーコレクション) で, ある程度解決していくことは可能であるが, 時間がかかり, 仕上りのレベルにも限界がある。階調の問題も含め, カラーマネジメントによる解決方法が期待される。

(4) は, システムのネイティブな解像度の違いもあるが, 画像を構成するミクロの構造の違いに起因する, なかなかやっかいな問題である。フィルムは粒子と呼ばれる色素の細かい点がランダムに散らばっている。DLPは正方形のピクセルから成るが, ワイドスクリーンの作品ではアナモフィックレンズを使用しているため, 縦横の倍率が異なり,

スクリーン上のピクセルは長方形となる (フィルムでもシネマスコープでは同様のことが行われている)。ピクセルのエッジはかなりはっきりしている。CRTは規則的にピクセルが並んでいるが, スポットにはにじみがある。このような違いから, マスタリングは, 上映時と同じタイプのプロジェクタでスクリーンに投影しながら行う必要がある。また, エンハンスの強弱を調整するだけでは微妙な解像度感が調整しきれず, 空間応答周波数特性をかなり柔軟に調整することが必要となるのではないだろうか。

6. 上映

国内の約2,500スクリーンのうち, デジタルプロジェクタでの上映は約10カ所 (0.4%) である。上映設備は長い期間の先行投資が必要であるが, デジタル上映作品が少なく, 同じスクリーンに対しフィルム映写機との併設が必要となることなどから, 今後一定の割合での増加は見込めないであろう。毎年10~20カ所程度の増設ではないかと思われる。アメリカでは全体が36,000スクリーンに対し, デジタル上映は約100スクリーンで, 数の上では多いが, 割合ではわずかな数字となる。

現在, TI社が開発したDLP技術に基づくプロジェクタが先行している。画面は明るく彩度も高く, 一応の画質であるが, 黒が十分に暗く再現されない, 水平解像度が1,280ピクセルでは不十分といった意見もある。

コダック社はJVC社と協力して, D-ILA素子を採用したプロジェクタの製品化を進めている。こちらは水平解像度が1,920を越え, HDの仕様を満たしている。製品化は2003年なので実績はまだない。また, コダック社によれば, このプロジェクタは, フィルム映写 (プリントフィルム) と同等のルック (見かけ) を実現するリアルタイムカラープロセッシングボードを備えている。

ソニーは, 米ベンチャー企業と協力して, GLV素子を採用したプロジェクタを開発中であるが, 製品化は未定である。今後, どれが主流となっていくかは未知数である。

映像はDDRに収録される。これもQuVIS社のQuビットが先行しているが, AVICA社の製品も一部に導入されており, また, コダック社は別のシステムを提案している。さらに, ほかに複数の企業がDDRを提供している。そして, それぞれ異なる圧縮フォーマットを採用しており, 映像データに互換性はない。

さらに, 色度点をはじめとする色と階調の再現の違い, サウンドとの関係もあって, 24pと23.98pの違いなど, 様々な方式とフォーマットが入り乱れている状態になっている。撮影, 制作システムが多様化した上に, 上映装置もいくつかの選択肢があり, この段階では多種類のフォーマットが集中している。

7. アニメーション

アニメーションは, 対象を撮影する普通の映画制作とは異なり, 映像を手で描くなり, コンピュータで創るなどの

方法を採用していることから、コンピュータ化=デジタル化が進んでいる。アメリカでは、アニメーションを多く制作しているディズニープロダクションが、ルーカスフィルムについてデジタルシネマに熱心である。初めからデジタルで制作されているため、フィルムへの変換が不要な点がデジタル上映に有利である。しかし、制作時に使用するCRTモニタとプロジェクタにおける色をはじめとする種々の画質の違いが存在し、この解決はなかなか困難である。やはりフィルム上映同様、カラーマネジメントが必要であろう。さらに、フィルム上映を前提とし、フィルムに最適化して制作された場合は、デジタル上映でも最高の画質を実現するには注意深いマスタリングが必要となる。

8. 望ましいシステム

解像度の1,920×1,080は一応のレベルであり、これが映写スクリーン上まで維持されれば実用上充分といえる。ただし、映像加工時には拡大して使用する場合もあり、これを考慮すると3kや4kが素材撮影と加工段階では望ましい場合がある。ピクセルが正方形なのは、加工段階で主に利用されるコンピュータと親和性の点でたいへん良い。525系^{*1}のデジタルビデオシステムは、長方形ピクセルであることから、ビデオとコンピュータ間で画像を交換すると画像が歪んだまゝのことさえある。

HD規格の階調と色に関してはITU-Rec601^{*2}からの変更が細かい部分にとどまっている。従来からの放送との共存を考えれば当然であろうが、シネマとしては不十分である。まずダイナミックレンジが明らかに不足している。撮影素子であるCCDには約600%のダイナミックレンジがあり、HDの仕様やVTRが、このレンジに対してボトルネックとなっている。コンピュータとの親和性では、階調特性はリニアが望ましいが、CRTモニタや従来のシステムとの互換性では2.2を基本とするガンマ補正が良い。いずれもビット数とのかねあいもある。10ビット対数、あるいは12ビット以上でリニアかガンマ補正が望ましいと思う。10ビット対数にはコダック社が開発したシネオン、あるいはこれをもとにしたSMPTEの規格、DPX¹⁾がある。蓄積用としてはRGB各10ビット対数で、約30分以上記録できる可換式メディアと、重さが30kg程度の装置が望ましい。加工用としては16ビットリニアが良いだろう。標準として2⁸を0%、2¹⁴を100%、2¹⁶を400%とするのはどうであろうか。撮影では、これだけでは不十分な場合もあるだろうから、0.3NDフィルタ(フィルム撮影で言えば1絞り)相当と0.6ND(同2絞り)のアンダー露光を選択肢として用意する、こんな方法はいかがであろうか。上映時にはノーマルのみとする。モニタ

やプロジェクタでは、対象とする画像のガンマや階調特性に対応して、表示する機能を是非備えて欲しい。パナソニックのカメラにおけるシネガンマや、ソニーのユーザガンマは、カメラ側のみにその機能があり、画像の確認に不都合をきたしている。モニタにもこれに対応した調整機能が必要で、それも自動的に撮影条件に合わせることを望ましい。また、各ユーザがあまりに自由に基準を変更しては、その後の工程が混乱してしまう。この設定の選択肢は数種にとどめ、それ以上の細かい変更やクリエイティブなことは、制作、加工システムにまかせたい。

色については、新しいデバイスでは色再現域を広げるためにRGBの色度点が標準とは異なるが、互換性の観点からは好ましくない。標準が異なればカラーマネジメントが必要である。

9. む す び

以上のように、各段階で複数の機器が提案され、技術、システム、フォーマット、これらすべてに多様な選択肢がある。また、フィルムと同等以上の品質とコストでかつトータルなシステムがまだない以上、今後も機器とシステムの開発が続くであろう。

制作段階(撮影、編集、加工)では、いわば一品料理として作品が作られるので、作品ごとにコストを含め最適な物を選択し組合せて利用することになるだろう。この場合、標準や互換性はそれほど重視しなくともよい。したがって、ある程度の速さでデジタルの利用は進んでいくであろう。しかし、配給と上映では一定水準以上の標準化、規格の統一が普及のためには欠かせない。ところが、デジタル技術はパソコンをみればわかるように、標準化されない部分が多い。例えば、パソコン画面の解像度はVGA(640×480)からUXGA(1600×1200)まで、フレームレートも60~85Hz程度まで、それぞれ数種類が利用されている。カラーに関してはsRGBという物があるがあまり利用されてはいないし、かなり緩い標準である(精度が粗い)。

大きな流れとして映画におけるデジタル化は進んで行くが、経済的な要因もあり、そのスピードは2~3年前に言われていたよりもかなり遅いのではないだろうか。

(2002年10月15日受付)

【文 献】

- 1) SMPTE Journal, pp.712-714 (Aug. 1993)

渡辺 英男 1970年、早稲田大学理工学部機械工学科卒業。同年、(株)IMAGICA入社。現像機、プリンタなど映像処理機械の開発・設計・試験・調整などを担当。1984年以降、CGのシステム開発・販売に、1994年より、映画フィルムとデジタル画像の双方向変換処理サービスに従事。各種映像の技術を担当。主要担当作品：「もののけ姫」「劇場版ポケットモンスター」「ブラッド」「スプリガン」「泉の城」「ガメラ1, 2, 3」「うなぎ」他。2001年4月より、東北芸術工科大学デザイン工学部情報デザイン学科未来デザイン学系教授。

*1 NTSCと同じ走査線数とフレームレートを持つビデオ信号。

*2 ITU-R BT.601 (通称CCIR-601 or Rec.601)、アナログビデオ信号をデジタルデータに変換する際のデータ形式を規定した国際規格。ビデオ信号をA/D、D/A変換する際の、デジタルデータのフォーマットを規定したもので、色形式、サンプル構造、サンプリング周波数、水平サンプル数、水平有効サンプル数、適用可能アスペクト比、符号化形式、データ範囲等が規定されている。