

解説

デジタルシネマの標準化と その最新動向



.....
藤井 哲郎 (NTT 未来ねっと研究所)

fujii.tetsuro@lab.ntt.co.jp



フィルムからデジタルへ

コンテンツの王様といえば映画である。現在、我々の周りにある映像メディアを見渡してみると、アナログで映像を上映し続けているのは35mmフィルムを用いた映画だけである。テレビは昨年末に放送が始まった地上波デジタルに代表されるようにHDTVクラスまでがすでにデジタルで放送されるようになった。正に映画がアナログの最後の牙城となっている。これは、HDTVを超える上質な映像を最大700インチもの大きなスクリーンに表示しなければならないからである。

映画の電子化という意味では、最初のステップはNHKがハイビジョンをアメリカに持ち込みデモを行った1981年であろう。このときからE-Cinema (Electric Cinema) という概念が生まれた。これを支持したのがFrancis Ford Coppola監督である。残念ながら、走査方式がインターレースであり、24Hzの映画のプロGRESS再生には至らず、アナログ信号処理ベースであったことなどから映画の電子化は実現されなかった。

1998年にアメリカのFCCにおいて、デジタルHDTV規格の1つとして、映画を念頭においた1秒間に24フレームを表示するプロGRESSブスキャンの1080/24P方式が規格化された。この規格に準拠したデジタルカメラ、VTR、ディスプレイといった各種ツールが揃いはじめ、デジタルシネマの新しい動きが

始まりだした。1080/24P方式のHDTV用カメラで撮影し、フィルムレス制作・上映を初めて実現したのが「Star Wars - Episode II」である。今までに、デジタル上映が試された映画の作品数は世界中で100本に達し、ビジネス評価が始まったところである。

このデジタルシネマは制作の流れに従って大きく以下のように4つに分けられる。

- ① デジタル制作
- ② ネットワーク配信
- ③ デジタル上映
- ④ フィルム・アーカイブ

近年制作されるほとんどの映画ではコンピュータ上でのデジタル特殊効果が必須となっており、映画制作の側面においてデジタル化はかなり浸透している。この工程をハリウッドではDigital Intermediate (DI) と呼んでいる。第②項の配給に関しては、ハリウッドを中心にビジネスモデル構築に向けた取り組みが始まったところである。第③項に関しては、HDTVクラスのプロジェクタを設置した映画館が全世界でやっと180館を超えたところである。第④項は、文化の継承という意味でヨーロッパなどで重要視されている。

本稿では、このような最新のデジタルシネマの動向をまず、標準化の進展と要求される画質の側面から解説する。次に、機器の開発状況をHDTVを出発点として眺めてみる。また、標準化において重要な役割を果たしている日本発の4K技術をデジタルシネマ・コンソーシアムの活動を通して解説する。ここでは、ネットワーク

画像	サイズ	4K 方式は 4096 × 2160 画素, 2K 方式は 2048 × 1080 画素
	サンプリング	アスペクトレシオ 1:1
	各画素値	ガンマ 2.6, 色座標 CIE の XYZ, 各色 12 ビット
	符号化	JPEG2000 image coding system
音声	信号	24 ビット (非圧縮)、最小 16 チャンネル
	サンプリング	48KHz, あるいは 96KHz
文字	サブタイトル	翻訳の表示機能
暗号	方式	AES 128 ビット, 別途暗号鍵配送, セキュアマネージャを規定

表-1 DCIのデジタルシネマ仕様(案)の特徴

配信の実験についても触れ、最後に将来像を探ることにする。

ハリウッドを中心に進む世界標準

35mm映画フィルムの規格は米国のSMPTE (Society of Motion Picture and Television Engineers) により標準化され、世界統一規格として広く用いられている。ハリウッドを中心にデジタルシネマへの期待は大きく、このSMPTEにおいてすでにDC28と呼ばれる委員会 Committee on Digital Cinema Technologyを組織し、基本検討を進めている。

2002年春に、この動きをさらに活性化し、ハリウッドの意向に添うかたちでデジタルシネマの世界標準化を策定するために、ハリウッド7大スタジオは米国政府の許可の下にデジタルシネマの標準化を進める団体NEWCOを立ち上げた。なぜ政府の許可を得たかという、米国では独占禁止法に抵触するからである。このNEWCOは現在名前を改め、Digital Cinema Initiatives, LLC (DCI) と呼ばれている。まさにデジタルシネマの標準は映画の世界の中心であるハリウッドが決めるのだという明確な意思表示である¹⁾。DCIからは2004年8月23日にDigital Cinema System Specification V4.1が示され、標準化案はほぼまとまりつつある。この仕様書ではデジタルシネマのマスタであるDigital Cinema Distribution Master (DCDM) の仕様を定義している。その主要なポイントを表-1に示す。今後、DCIはこの案をSMPTE DC28に送り、最終的な標準化を進める予定である。そのためにDC28の組織も再整備され、ChairmanにはWarner Brothers社のWendy Aylsworth氏が今年始めから就任している。

ハリウッド以外でもデジタルシネマの標準化を進めようという試みはいくつかあった。たとえば、放送等の国際的な標準化を進める団体であるITU-Rでは2002年3月よりTask Group 6/9として正式な活動を開始した。しかし、ハリウッド勢が封切り映画をITU-Rで扱う対象から取り除くことを強く主張し、拒否権を振りかざしな

がら強引に要求し、最終的にこれを買いた。そのために、2003年3月に開催されたITU-R TG6/9の会合で作り出された言葉がLSDI (Large Screen Digital Imaginary) である。これは、デジタルシネマ以外での大画面映像システムの活用を目指すものであり、スポーツ、ミュージカル、演劇などを高臨場感でライブ中継することを目的とした標準化策定にその目的を絞り直している。

デジタルシネマの普及を目指す団体もいくつか結成されている。ヨーロッパではデジタルシネマの普及を目指してEDCF (European Digital Cinema Forum) がイギリス、フランス、イタリア、スウェーデンを中心に形成され、ロンドンに映像評価のためのテストベッドを開設した。昨年組織のNPO化を行い、積極的に活動を進めている。日本では、デジタルシネマ・コンソーシアム (DCCJ) が2001年2月に設立され、高品質なデジタルシネマの開発と普及活動を進めている。こちらも2003年6月にNPO化され、EDCF等とも連携しながら活動を進めている²⁾。これらの各種団体の関係を図-1に示しておく。

デジタルシネマの画質の階層化

1080/24Pを採用したHDTV規格の解像度は、1920 (横) × 1080 (縦) 画素である。この解像度では、オリジナル35mm映画ネガフィルムの品質を失うことなく完全にデジタル化することは無理である。これは、ASC (American Society of Cinematographers 全米撮影監督協会) からITU-Rに対するリエゾン文書の中で明確に述べられている。これらの意見を反映して、デジタルシネマに要求される品質のレベルを4段階に階層化する試案がEDCFの技術部会から提案されている。その分類を表-2に示す³⁾。

このレベルに関する定義はほぼ世界的に受け入れられており、ユーザサイドの環境に応じての選択となる。レベル1に対応するにはHDTVを超える超高精細映像が必要となり、たとえばNTT社およびDCCJが提唱している解像度800万画素の超高精細映像システムがこれに該

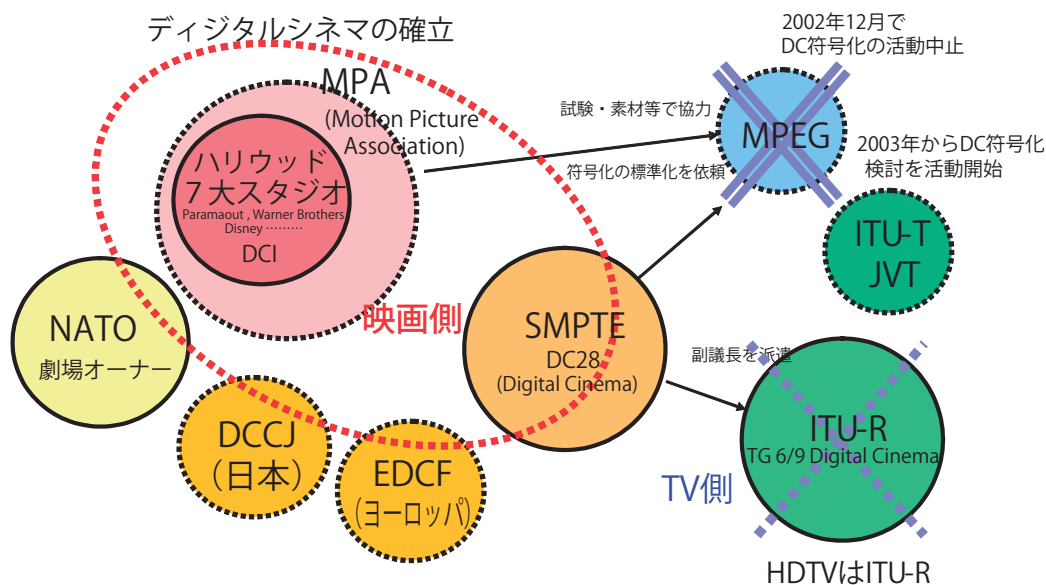


図-1 デジタルシネマ標準化に向けた各種団体の相関関係

レベル 1 :	35mm オリジナルネガの画像品質を完全に維持できる方式 (映画品質)
レベル 2 :	35mm 上映用フィルムの画像品質 (映画品質)
レベル 3 :	HDTV 1920 (横) × 1080 (縦) 画素 (テレビ品質)
レベル 4 :	Standard TV (テレビ品質)

表-2 デジタルシネマの品質の階層化. EDCF 技術部会の提案

当する。このHDTVの約4倍の解像度を有する超高精細画像システムを用いれば35mmフィルムの品質を維持したままデジタルシネマが実現できる。実際にこの画質がDCIに受け入れられ、前述のDCIから提示されたDigital Cinema System Specification V4.3にはレベル1相当の画質として「4K」方式が、レベル2相当の画質として「2K」方式が採用されている。

HDTVから進められる映画用機器の開発

世界に先駆けてHDTVの概念を提唱し、E-Cinemaの概念をアメリカに伝えたのは日本のNHKである。これがデジタル化され、さまざまなHDTVの撮影、録画、表示装置が日本のメーカーにより開発され、世界中に提供されている。特に、映画をターゲットに、プログレッシブスキャン方式を導入し、映画と同じ24fpsを最初にサポートしたのがソニー社のCineAltaである。このカメラをGeorge Lucas監督が利用していることはあまりにも有名な話である。松下電器社からは走査線数が720本の解像度ながらもスローモーション用の撮影等が可能なVariCamが開発され、より安価なデジタル映画の撮影を可能にしている。このカメラで「突入せよ!『あさま山荘』事件」などが撮影されている。

HDTV用カメラの限界を超え、さらなる高解像度の映画用カメラの開発も進められている。日本では、オリンパス社と日本ビクター社が4K方式のカメラを開発している。外国では、Thomson社がViperと呼ばれるフィルムと同じ特性のlogデータをカメラから直接出力する映画用カメラを開発している。このほかにもドイツのARRI社、カナダのDALSA社が映画用の4K方式の高解像度カメラの開発を進めている。

近年のデジタルシネマの概念を大きく進展させたのは、カメラとは対極の立場にあるプロジェクタの大きな進歩であろう。つまり、DLPあるいはD-ILAという新しいデバイス技術に基づくデジタルHDTV対応プロジェクタの登場である。これまでの高解像度のプロジェクタはCRT管を用いて構成されていたため、画面の明るさに限界があり、映画館で実際に使えるには至らなかった。しかし、TI社は画素数分の微小な鏡を百万個並べたDMD (Digital Micromirror Device) を開発し、非常に輝度の高い映像を得ることに成功した。最新型の解像度は2048 × 1080画素を実現している。これに対して、日本ビクター社も、D-ILAと呼ばれる高解像の反射型液晶を用いることにより高輝度のデジタル対応HDTVプロジェクタを製品化している。日本ビクター社あるいはソニー社からはさらに解像度が高い超高精細液晶を用いた4K方式のプロジェクタもプロトタイプとして登場してき



図-2 ハリウッドにおける DCCJ 主催の超高精細デジタルシネマ評価実験。南カリフォルニア大学 ETC（ハリウッド）で実施。スタジオ関係者 100 名および ASC 関係者 20 名参加。2002 年 10 月。



図-3 超高精細 (4K) デジタルシネマ配信システム。左から、1 テラバイトのサーバ、ギガビットイーサ・スイッチ、JPEG2000 方式のマルチレートデコーダ、800 万画素超高精細プロジェクタ。

ており、ホットな話題となっている。このような大きな技術開発の流れに乗って DCI が前述のデジタルシネマ標準化案を策定している。

日本発の 4K 技術－DCCJ の活動から

走査線数 2,000 本クラスである超高精細デジタルシネマの実現を目指して、2001 年 2 月日本においてデジタルシネマ・コンソーシアム (DCCJ) が結成され、活動を開始した。同コンソーシアムは、35mm 映画フィルムの品質を完全に保ったまま非常に高品質な走査線数 2,000 本の解像度で映画のデジタル化を実現し、アーカイブ・映画配信などを世界に先駆けて行うことを目標としている⁴⁾。この DCCJ および NTT 社が提唱する走査線数 2,000 本クラスの画像を DCI が 4K 方式として採用したのである。

4K 方式の装置は日本の各企業において要素技術として個別に開発されてきた。日本ビクター社の D-ILA 方式の QHDTV プロジェクタ、オリンパス社の超高精細画像

カメラ、IMAGICA 社の 35mm 映画フィルムの 4K 方式スキャナ、NTT 社の超高精細画像伝送装置等である。これらを DCCJ というコンソーシアムの下にひとまとめにして、超高精細デジタルシネマというコンセプトを世界中に示してきた。これが DCCJ の果たしてきた大きな役割の 1 つである。2002 年 10 月には図-2 に示すように、ハリウッドにて映像評価実験を行い、ハリウッド技術関係者から世界初の 4K 方式デジタルシネマとして高い評価を受け、DCI が進めるデジタルシネマの標準化に採用されたのである。以下に 4K 方式の超高精細デジタルシネマ配信システムの詳細とネットワーク実験を紹介する。

[超高精細デジタルシネマ配信システム]

4K 方式の超高精細デジタルシネマ配信システムの外観を図-3 に、システム構成図を図-4 に示す。2002 年 3 月には、本システムをメトロイーサ (NTT 東日本社が提供するビジネス用 IP ネットワーク) に接続し、IP ストリーム伝送による 2 時間映画の完全デジタル配信・上映実験を行っている⁵⁾。以下、本システムの概要を述べる。

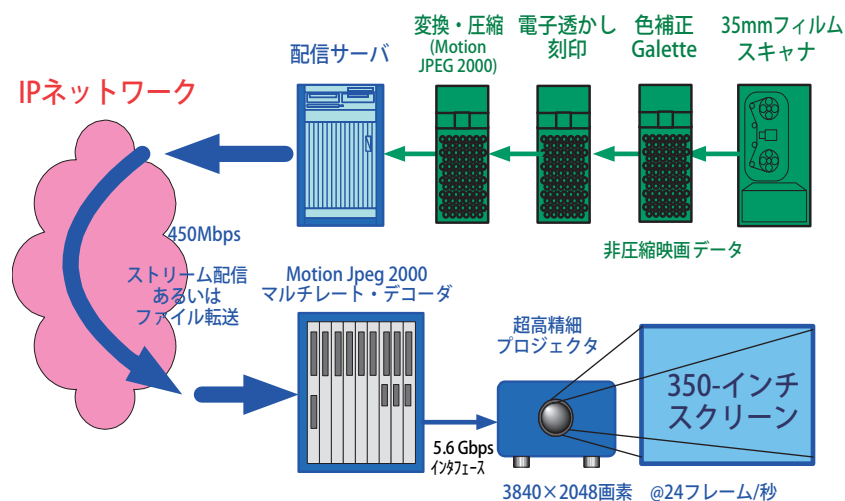


図-4 超高精細デジタルシネマ配信システムの構成

(1) フィルムデジタル化

2002年3月に行った配信実験では101分のハリウッド映画「トゥームレイダー」を素材として用いた。スキャン用の素材はデュープ・ネガ（上映プリント作成用ネガフィルム）で提供され、IMAGICA社のデジタル・フィルムスキャナIMAGER XEを用いて1コマごとスキャンしてデジタル化した。これはCCDを採用した高解像度フィルム・スキャナで、35mmフィルム（4p）を最大4096×3112画素、14ビットRGBで取り込むことが可能である。同作品はシネマスコープ（アスペクト比2.35:1）であり、プロジェクタの表示可能な最大サイズとして、3840×1634画素で取り込んだ。総コマ数は144,000フレームである。

(2) 符号化処理

デジタル・マスタ・データに、ネットワーク配信を行うために最初に処理すべき作業は、デジタル権利管理（DRM）のための「電子透かし」⁶⁾を入れることである。電子透かしはその名前から推察できるように、人間の目では見ることができないけれども、特別な透かし検出装置にかけると刻印された権利関係を読みとれる電子的なマークである。

次に、この大量のデータを人間の視覚では映像品質の損失が分からない範囲で圧縮を行う。これは「Visually Lossless Coding」などと呼ばれている。現在、本システムで利用している符号化方式はJPEG2000である。1個のフレームごとに画像を圧縮・符号化する方式である。テレビのような動画の符号化には、高圧縮を目的としてMPEG2と呼ばれるフレーム間の相関を利用して圧縮する方式もある。しかし、①動画の1コマごとの編集が行えない、②伝送路誤りが発生したときにその影響が前後のフレームに波及する、③MPEG2では4K方式の

解像度に対する規格が未定である、などの問題点があり、JPEG2000で約1/10～1/15程度に圧縮して高品質を実現している。このような手順で作成された配信用データがNTT東日本社のデータセンタ（飯田橋）に設置されたコンテンツ配信サーバ上にアップロードされ、上映会場である銀座ヤマハホールへ配信された。

(3) マルチレートデコーダ

コンテンツ・サーバよりネットワークを介して配信されたデジタルシネマのデータを受け取り、高速に復号化し、800万画素クラスの画像を再生する装置がNTT社が開発したマルチレート・デコーダ（復号装置）である⁷⁾。この装置はリアルタイムで処理を行う必然性のため、ハードウェアで実現されており、演算ユニットを並列に動作させて高速処理を実現している。出力画像のサイズは要求に応じて可変であり、このような柔軟性は並列信号処理構成とFPGAを中心とするフレキシブルな回路構成を全面的に採用することにより実現している。

(4) 超高精細プロジェクタ

銀座ヤマハホールのスクリーン幅は約8mであり、対角で表すと約350インチのスクリーンになる。スクリーンの背面にスピーカが配置されており、スクリーンは穴あきである。このスクリーンに解像度800万画素で24フレーム/秒の映画をデジタルで上映するために、日本ビクター社で新しく開発された4K方式のD-ILA方式反射型液晶プロジェクタを用いた。これは1.7インチD-ILA素子をそれぞれRGB用に3枚用いて実現されたプロジェクタである。画素数はRGBそれぞれ3840×2048画素（現在は4096×2160画素に拡張）である。D-ILA素子は、シリコン基板上に垂直配向の液晶をはさむかたちで細かく分割された反射画素電極と透明電極が配置されている。反射画素電極は電極であるとともに液

晶を通過した光源からの光をほぼ 100%反射させる鏡の役目も果たしており、開口率 92% を実現している。これにより、5000ANSIルーメンの大光出力と 1000:1 の高コントラスト比を実現している。

[ネットワーク配信実験]

HDTVの品質を超える超高精細デジタルシネマの配信実験を下記のように試みてきている。

- 2001年10月：東京シネマショーでの配信実験
- 2002年3月：国際デジタルシネマシンポジウムでの2時間ハリウッド映画のデジタル配信・上映
- 2002年10月：Internet2大会（ロサンゼルス）での長距離伝送実験（300Mbps, 3,000km伝送）
- 2003年6月：デジタルシネマシンポジウムでの450MbpsでのIPストリーム配信

これらの実験に用いられた伝送方式に関して以下にその実験内容を簡単に紹介する。

(1) 転送方式について

たとえばVoIP（Voice over IP）に見られるように、IPプロトコルを流用することによりユーザは通信費用の大幅なコストダウンが期待される。またブロードバンドネットワーク自身もIPプロトコルを利用した使い勝手の良い高速ネットワークを目指している。このような状況にあるので、超高精細デジタルシネマの配信についても今後IPネットワークを用いたシステムが主流になると考えられる。

ここで、デジタルシネマの配信を考えると、あらかじめスケジュールに従い、各映画館まで事前にファイル転送を行う方式と、上映ごとにストリーム配信を行う方式が考えられる。これはネットワークのコストと著作権処理に絡んでのコントロール方式により選択されることになるであろう。

(2) メトロイーサによるIPストリーム配信

2002年3月のハリウッド映画「トゥームレイダー」の4Kデジタルシネマ上映実験では、配信方式としてTCP/IPストリームを用いたネットワーク配信を行った。映像配信システムはすべて高性能な汎用品であるGbEを用いて構成し、これを効率的に活用できる高速伝送用プロトコルを組み込んだ専用のソフトウェアを開発した。この実験では、NTT東日本社のセンタ（飯田橋）に設置されたコンテンツ・サーバより上映会場である銀座ヤマハホールにメトロイーサを介して配信した。伝送レートは平均で約300Mbpsであり、光ファイバを用いて放送と同じような感覚で、しかもオンデマンドによりデジタルシネマを鑑賞することが可能となった。

(3) Internet2での配信実験

2002年10月にロサンゼルスで開催された次世代インターネットであるInternet 2に関する会議において、4Kデジタルシネマの長距離・高速配信実験をイリノイ大学、南カリフォルニア大学と共同で行った。実験は、シカゴの配信サーバよりロサンゼルスに設置したデジタルシネマ上映システムまで約3,000kmの長距離を300Mbpsの速度にてIPストリーム配信するというものである⁸⁾。IPネットワークのパスは、次世代高速ネットの実験網であるInternet 2の高速バックボーンであるABILINEを経由して南カリフォルニア大学までルーティングされた。ネットワークの構成図を図-5に示す。同図より、6段のルータを介しての中継であることが分かる。また、Internet2に関しては、実際に他のヘビー・ユーザとネットワークをシェアしながらの配信実験でもあった。

4Kデジタルシネマ配信システムにはすべて高性能な汎用ギガビットイーサ（GbE）のボードを装着した。ネットワーク伝送方式としてはTCP/IPプロトコルを用いた。古典的帯域積の解決方法に従えば、単純にTCPのバッファを大きくするだけで、高速伝送が可能ではある。ところが、複数のユーザでシェアしているインターネット環境下ではこれだけでは十分な速度を引き出せない。実際に測定したところ、50Mbpsまでしか伝送速度を引き出せなかった。このために、長距離高速伝送用に開発された64本のマルチTCPストリーム方式を用いて多重化し、出力パケットのレート平滑化制御を行うことにより、伝送レートとして300Mbpsを引き出すことに成功した。

以上紹介したように、デジタルシネマの配信ですらIPプロトコルを用いてIPネットワークを介して配信が行われようとしている。今後ますますさまざまなメディアがIPネットワークに統合され、低コストで伝送されるものと考えられる。



デジタルシネマの将来

映画関係者に話を伺うと、将来は必ずデジタルになると答えられる。ただし、この大きなデジタル化の波は今のところ日本発で起こってくるとは思えない。誰もが、ハリウッド発で日本に津波のように伝わってくると直感している。しかも、いつ来るのか確信を持てずにいるのが現状であろう。ハリウッドではDCIによりデジタルシネマの標準案が策定され、ポストプロはデジタルマスタリングを拡大中である。すでに、これから制作されるハリウッド映画の1/3はDIで作業が進められる

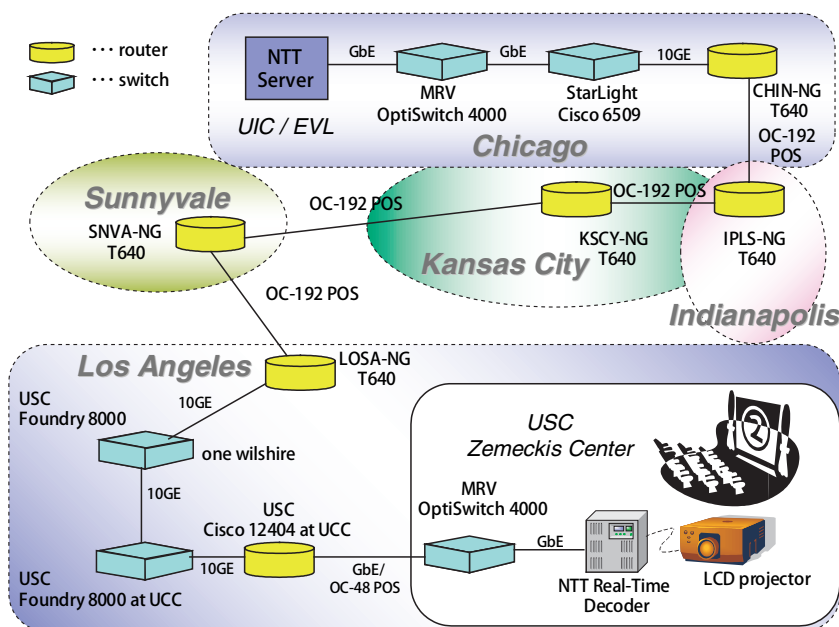


図-5 Internet2 を用いた 4K デジタルシネマの長距離伝送実験。シカゴからロサンゼルスまでの 3,000km を 300Mbps で伝送。

という話が聞こえてくる。また、「スパイダーマン2」は世界初の4Kの解像度でDI制作されたと報じられている。ハリウッドではデジタルシネマが着実に浸透している。この波はすでに韓国には伝わっており、DIが韓国ではブームになっているという話も伝え聞く。

最近、ハリウッドにとってのデジタル化の大きな意義は配給面におけるセキュリティではないかと筆者は考え始めている。デジタル化することにより、アナログ・フィルムの物流で起こるさまざまなセキュリティの問題を一挙に解決しようとしているように読みとれる。全世界で数百億円稼ぐことを目標に作られる映画に対する考え方であろう。

このように映画制作・配給におけるデジタル化のメリットは明白であり、今後ますますデジタル化は促進されていくだろう。これに対して、ハリウッドの映画産業は最大のビジネス課題として取り組みを強化している。一方、日本は技術が先導する状況にあり、日本の産業として4Kデジタルシネマ・システムを世界にこれから供給するというチャンスを迎えている。このチャンスを同時に技術にサポートされたコンテンツ・クリエートの新しい産業振興のチャンスとしてもとらえることが重要である。このデジタルへのパラダイムシフトを先行する技術とミックスさせ、日本のコンテンツ産業を活性化させなければならない。最近、数多くの大学でクリエイターを生み出す学科の新設が見受けられ、この方向に一歩踏み出しつつある。さらに国の支援を巻き込んでの一層の取り組みが必須であろう。

参考文献

- 1) 藤井: 映画が変わるーデジタルシネマの世界ーITUにおける標準化活動と日本における動向ー, ITU ジャーナル, Vol.32, No.9, pp.36-39 (Sep. 2002).
- 2) Aoyama, T., Ono, S., Hagimoto, K. and Fujii, T.: The Emergence of Next Generation Digital Cinema - Digital Cinema Consortium in Japan, Asia Display/IDW 2001, October 16-19 (2001).
- 3) EDCF Technical: IBC 2002 Technical Report, http://www.digitalcinema-europe.com/technical_docs/IBC%2002%20EDCF-T%20Status%20Report.pdf
- 4) Ono, S., Ohta, N. and Aoyama, T.: Super High Definition Images beyond HDTV, Artech House Publisher (1995).
- 5) 藤井, 中村: 超高精細デジタルシネマとそのネットワーク配信, 映画テレビ技術, No.599, pp.33-37 (July 2002).
- 6) 小野 束: 電子透かしとコンテンツ保護, オーム社 (2001).
- 7) 藤井竜也, 野村 充, 藤井哲郎: 超高精細 (SHD) 画像システムによるデジタルシネマの実現, NTT R&D (Aug. 2001).
- 8) Yamaguchi, Shirai, Fujii, Nomura, Fujii and Ono: SHD Digital Cinema Distribution Over a Long Distance Network of Internet2, VCIP2003 (July 2003).

(平成 16 年 10 月 1 日受付)

