1. MPEG の経緯と展望

正会員 安 田 浩†

1. ま え が き

マルチメディアでは、各種形態の情報（これをメディアと定義する。例えば、文字、音声、静止画像、動画像など）を同時にかつ時空関係を明確にして表現・処理・蓄積することが必要となる。対象とするメディアの性質が似ている場合は扱いが容易となるが、図1に示した各種メディアの情報量からも明らかなように、画像メディアは音声メディアや文字メディアに比較して3～6桁情報量が多い。このため、従来技術の状況では画像メディアを他のメディア（音声メディアや文字メディア）と同時に処理できず、マルチメディアの実現は困難であった。この状況を救い、マルチメディアへの扉を開いたのが画像圧縮技術である。

筆者は、大学院修士課程において東大 猪瀬博教授の指導の下に、この画像信号帯域圧縮符号化に取り組み始め¹⁾、以来28年、生涯のテーマとして取り組んで来た。幸いにして、フレーム間符号化装置の世界初の実用化導入²⁾を指導することができ、その後、CCITT（現在ITU-T）、ISOにおける本技術の標準化活動に関ることができ、MPEGの生みの苦しみを体験できたことは誠に幸運でありかつ望外の喜びである。

画像信号帯域圧縮のうち、動画像信号帯域圧縮方式であるH.261、MPEG等の国際標準化実用技術、なかでもMPEGは、コンピュータ、通信、放送、情報家電、エンターテインメントなど多くの業域への応用が期待でき、とりわけその貢献度が大きい。本特集は、マルチメディアの第一の鍵であるMPEGに焦点をあて、その技術的特長から応用に至るまで解説を加えたもので、マルチメディアを志す技術者にとって必ずや大きな福音となろう。

図1 各種メディアの情報量比較（1時間分の娯楽）

2. MPEG 設立の経緯³⁾⁷⁾

1987年10月末、秋も深まって紅葉のきれいなワシントンDC郊外のベセスダマリOTTホテルで、WG8 (ISO/IEC JTC 1/SC 2/WG 8: 画像符号化ワーキンググループ、2代目議長：安田浩、NTT)の会合が開かれていた。JPEGアルゴリズム（カラー静止画帯域圧縮符号化アルゴリズム）の草案作りが精力的に進められているのを横目で見ながら、私を初めとするWG8幹部は、次のターゲットを何にすべきか頭を悩ませていた。10月29日の昼食時、CD-ROM会議でのフィーバを思い浮かべながら、「いま動画をCDに入れたいという声があるが、JPEGが使えないか」と提案してみた。「面白そうだ。検討しよう」と真先に賛成したのがイタリア代表のキャリレオーネ氏であった。彼は会合最中から人集めを始め、帰国するや欧州内の組織を作り始めた。これに影響されて、日本にも

† NTT 法人営業部

“Now and Future of MPEG” by Hiroshi Yasuda (NTT Business Communications Headquarters, Tokyo)

図 2 画像符号化関連標準化活動

図 3 オーディオ符号化関連標準化活動

動画符号化を検討するための組織「DAPA: Digital Audio and Picture Architecture 座長: 原島博 東大教授」が生まれた。DAPA 設立のニュースは世界中から大きな衝撃で迎えられ、欧米からの WG 8 動画符号化活動への参加者を増やすトリガとなった。

このような背景をもとに、1988 年 4 月、WG 8 オタワ会合から、MPEG サブグループ(議長: キャリレオーネ, イタリア代表)を結成、標準化活動が始まったのである。MPEG 活動の特長のひとつは動画像符号化標準を検討するかたわら、必要とするオーディオ符号化標準の検討にも同時に取り組んだことである。当時の画像符号化標準化活動ならびにオーディオ符号化標準化活動は図 2、図 3 にそれぞれ示す状況であった。すなわち、MPEG は当時の CCITT での対応する活動を手本とし、参考とし、また協調しながら検討を進めたわけである。特に CCITT/SG 15 ATM ビデオ符号化専門家グループ(ラポータ: 大久保栄, NTT, 現在 GCL)とは合同会合を開催し、JTC 1/ITU-T 統一標準の作成という輝かしい成果を上げている。以来、6 年を越える歳月を経て、1994 年 11 月 14 日、シンガポールでの JTC 1/SC 29 会合でついに MPEG-2 が標準として採択されることになり、長い活動が一段落したわけである。

MPEG の初期活動を支えた DAPA は、画像電子学会テレマティーク研究会(委員長: 富永 早大教授)の中に設けられ、国際標準化活動参加組織間の意見交換、協調作業に大きな貢献を果たした。WG 8 が MPEG 活動とともに大きな集団となり、1991 年 6 月 JTC 1 で SC 29 (議長: 安田浩, NTT)への昇格が認められたため、DAPA は SC 29 日本国内委員会(情報処理学会情報規格調査会所属, 委員長: 安田靖彦 早大教授, 幹事: 富永 早大教授)として発展的に解消した。以来、SC 29/WG 11 (議長: キャリレオーネ, イタリア代表 CSELT)で行われるようになった MPEG 活動は、国内委員会傘下の VIDEO 小委員会(主査: 原島博 東大教授)と AUDIO 小委員会(主査: 白井克彦 早大教授)に支えられている。

3. MPEG への要求条件^{4)~6)}

3.1 MPEG-1, 2, 3 から MPEG-4 が生まれるまで

1988 年 4 月、オタワでの最初の MPEG 会合は参加者 15 人であり、後の 250 人を越える会合となろうなどとは想像すべくもなかったが、MPEG への最初の要求条件が出されている。当時 CCITT/SG 15 では、H.261 が 384 kb/s 符号化から $p \times 64$ kb/s へと変更され、ISDN を通じたテレビ電話/会議での使用を目的

とする、動画符号化標準の作成へと急転回を見せていた。MPEG のメンバーは、この CCITT における技術検討結果と、通信ではなく蓄積への応用という分野の違いを考慮して、以下の目標を立てたわけである。

MPEG-1 1.5 Mb/s 前後で許容限度を上回る品質の動画符号化

MPEG-2 16 Mb/s 前後で高品質動画符号化

MPEG-3 50~80 Mb/s で HDTV 信号符号化

上記動画像符号化に対する目標値設定に並んで、オーディオ符号化の同時進行も提案された。これは、CCITT での動画像符号化と音声符号化の足並みの乱れによる、テレビ電話/会議システム実用化への悪影響(当時、テレビ電話システムが複数社から発表されていたが、映像はつながるものの、音声は符号化方式がそれぞれ独自なため、接続できない事態が生じていた)を横目で見ていた結果と思われる。オーディオ符号化については、同じ年の 12 月に最初の会合がハノーバで開かれ、動画像符号化と歩調を合わせるべく、精力的な検討が開始された。

MPEG-1 は 1988 年 4 月にスタートを切り、1989 年 10 月、久里浜会合で評価試験(ビデオのみ、オーディオは 1990 年 6 月、ストックホルムで評価試験実施)を終え、統一モデル作成と性能改善が行われ、1992 年 3 月 20 日に仕様が確定(CD 投票終了)された。性能改善の途中から CCITT との協調関係が強化され、このとき、将来の B-ISDN/ATM 網を考慮した品質改善が要求された。本条件は、1.5 Mb/s を絶対条件とする MPEG-1 の枠組みの中では処理できず、必然的に MPEG-2 のスタートを促した。

MPEG-2 はこのように、MPEG-1 作業中の 1990 年 7 月から開始されることになったが、MPEG-1 の品質が当初の予測よりも良かったことを受けて、当初 16 Mb/s だった目標を 10 Mb/s 以下と切り替えることとした。MPEG-2 提案の評価は 1991 年 11 月に行われ、モデル作成・改善と MPEG-1 と同じステップが踏まれていった。1992 年中の要求条件改善の中で応用範囲が再論議され、高速対応、低速対応および HDTV 対応が再評価された。高速および HDTV 対応は、特にアルゴリズムの変更なく適用可能であるとされ、10 Mb/s としていた上限速度をはずし、汎用符号化とすることとなった。この結果、MPEG 開始当初に計画されていた MPEG-3 は、MPEG-2 に包含されることになり、自動的に消滅した。一方、低速対応、特に超低速、アナログ電話線および無線回線対応は、別な技術が必要となる可能性が指摘され、新しい活動が要求された。この活動は MPEG-4 の動きとな

り、1993年6月、新活動項目として承認され、AOE (Application and Operational Environment for very low bitrate coding) というグループ名称のもとに活動を開始した。

3.2 MPEG-2 への要求条件

(1) ビデオ符号化への要求条件

MPEG-2 標準規格草案 (ISO/IEC 13818) は、ディジタル蓄積メディアだけでなく放送や通信の分野のアプリケーションに対して、先に述べたように汎用的に用いることを目的としている。そのために表1に示すような広範な領域のアプリケーションからの要求条件を考慮する必要がある。トリックモードやビットストリームの編集機能はすでに MPEG-1 である程度達成されている。MPEG-2 と MPEG-1 はフォワード互換が成立している。また、MPEG-2 と H.261 との互換性は、別のハードウェアを用意してスイッチにより切り替えるサイマルキャスト方式、あるいは空間スケラビリティの一種であるエンベディッド方式で実現することができる。ビットストリームスケラビリティは、従来の符号化ではピラミッド符号化として知られ

ていた階層符号化を拡張した概念である。すなわち、空間/時間解像度や SNR、色差情報に関して、情報量を多く得れば順次画像の品質が改善される、あるいはサイズが拡大されるような特徴を指す。

(2) オーディオ符号化への要求条件

オーディオ信号は多種多様な音源から構成され、信号帯域も広いために情報量が多く、4 kHz 帯域の音声信号と比較すると帯域圧縮符号化に困難が伴う。検討の結果、オーディオ信号を1つのアルゴリズムでチャンネル当たり 198 kb/s 以下とすることは困難なことが判明し、表2に示すようにアルゴリズムに階層を設けて対処することが考えられた。なお、国際標準符号化アルゴリズムを決定するに当たって満たすべき数々の要求条件は MPEG-1/Audio, MPEG-2/Audio に対して、それぞれ表3、表4、表5に示すように定めら

表2 MPEG オーディオターゲットビットレート

レイヤ	ターゲットビットレート (kb/s)
I	192, 128
II	128, 96
III	128, 96, 64

表1 MPEG-2 ビデオへの要求条件

項 目	要 求 条 件
画像フォーマット	ITU-R 勧告 601 (4:2:0, 4:4:4, 付録 A 参照), EDTV (アスペクト比 16:9), HDTV 順次走査 (Progressive), コンピュータ用 (画素アスペクト比 1:1)
画像品質	3~5 Mb/s: PAL, SECAM, NTSC レベル, 8~10 Mb/s: ITU-R 勧告 601 に近いレベル
ビットレートの柔軟性	CBR (Constant Bit Rate: 固定レート), VBR (Variable Bit Rate: 可変レート)
符号化・復号化遅延	通信のアプリケーションでは 150 ms 以下
ランダムアクセス/ チャンネルホッピング	ランダムアクセス応答時間は 0.5 s 以下 チャンネルホッピング反応時間は 0.3~1 s
ビットストリーム スケラビリティ	ビットストリームの一部を復号化し、適当な品質の画像を再生 空間解像度, 時間解像度, SNR, 複雑さなどがスケラブル
複雑さの柔軟性	CATV, 放送, 蓄積ビデオサービスでは複雑なエンコードと簡単なデコード ENG では簡単なエンコードと複雑なデコード 通信, デジタル TVR では複雑さのバランスのとれた状態
互換性	フォワード互換: 新標準のデコードが旧標準のデータを復号化可能 バックワード互換: 旧標準のデコードが新標準のデータを復号化可能 アップワード互換: 高解像度デコードが低解像度エンコードのデータを復号化可能 ダウンワード互換: 低解像度デコードが高解像度エンコードのデータを復号化可能
編集機能	符号化状態のままでの編集を可能とする
トリックモード	早送り, スロー再生など VCR で典型的な機能
符号化・復号化反復	編集やプログラム分配
蓄積, 伝送への適応	ビット誤り対策, セルロス対策
ビデオウィンドウ	16:9 の画像から 4:3 の一部を取り出す場合など

れている。MPEG-1/Audio から MPEG-2/Audio への大きな特長は、マルチチャンネル/マルチリングルへの拡張、および低サンプリング周波数の採用による情報圧縮率の向上である。

4. MPEG 標準の位置付けと活動の特色

4.1 MPEG 標準の位置付け⁴⁾⁵⁾⁷⁾

MPEG-1 規格 (ISO/IEC 11172) は、コンパクトデ

表 3 MPEG-1/オーディオの要求条件

項 目	内 容
サンプリング周波数	32, 44.1, 48 kHz, 入力と出力で一致する
入力信号精度	16 ビット直線量子化
ビットレート(ステレオ)	128, 192, 256, 384 kb/s
アンシラリデータ	伝送可能, 大きな品質劣化を生じない
処理遅延 (符号化・復号化)	80 ms 以下 (48 kHz サンプリング, 256 kb/s [ステレオ] 動作時)

表 4 MPEG-2/オーディオ (マルチチャンネル/マルチリングル符号化) の要求条件

項 目	内 容
サンプリング周波数	32, 44.1, 48 kHz
入出力信号精度	16 ビット量子化以上
互換性	MPEG-1/Audio と前方および後方互換性を有する
スケラビリティ	ビットストリームは, MPEG-1/Audio の 2 チャンネルだけを, 他のチャンネルを復号化せずに復号化できる形式であること
誤り保護	最低 MPEG-1/Audio と同程度の誤り保護
付加情報	ビットストリームは, マルチチャンネルの構成を表現/制御するための付加情報を含むことのできる形式であること
処理遅延	可能な限り少ないこと

表 5 MPEG-2/オーディオ (低サンプリング周波数符号化) の要求条件

項 目	内 容
サンプリング周波数	32 kHz 以下
入出力信号精度	16 ビット量子化以上
互換性	MPEG-1/Audio と前方互換性を有する
誤り保護	最低 MPEG-1/Audio と同程度の誤り保護
付加情報	ビットストリームは, 付加情報を含むことのできる形式であること
デコード出力	1 または 2

ィスク (CD), デジタルオーディオテープ (DAT), ハードディスク, 光記憶装置などの 1.5 Mb/s 程度の転送レートを持つデジタル記録媒体 (DSM: Digital Storage Media) に, 動画データを圧縮して蓄積するための国際標準(表題は "約 1.5 Mb/s までの, デジタル蓄積メディアのための動画と関連するオーディオの符号化") である。

MPEG-2 規格 (ISO/IEC 13818) は, デジタル蓄積メディアだけでなく放送や通信の分野のアプリケーションに対しても汎用的に用いることのできる符号化標準である。ITU-T/SG 15 WP 1 と合同で標準化作業が行われ, ビデオパート 13818-2 (1) は ITU-T/H.262 と共通テキストになっている。現行の標準テレビジョン方式や HDTV 方式を, それぞれ 3~6 Mb/s 程度, 15~20 Mb/s 程度で符号化することを目標としている。

標準の中での MPEG 方式の位置付けは, ビデオが図 4 に示すようになり, オーディオは図 5 に示す位置にあり, 特にビデオは中心をなすものであることが伺いしれよう。

4.2 MPEG の応用

MPEG, なかでも MPEG-2 は, 放送, 通信, 蓄積メディア 3 領域のアプリケーションからの要求条件が考慮されているため, その応用範囲はデジタル放送, CATV, ニュース収集, テレビ会議/電話, インタラクティブ映像蓄積等広範である。現在すでに, 米国では衛星放送への適用が始まっており, 次世代テレビといわれている ATV (Advanced TeleVision) での採用も確定的となっている。1996 年アトランタオリンピックでの HDTV レベルの放映に際しても MPEG-2 の使用が有力である。

先に述べたように, MPEG では入力テレビ信号をデジタルで扱い, 家庭用テレビで見られる品質を保ったまま 1/20~1/50 の圧縮を実現した。従来, 音声(音響)信号と映像信号はデジタル化した際に量的に 1:1500~1:600 位の比率となり, 音声圧縮技術の実用化・導入とともにその比はますます大きくなる傾向にあった。“まえがき”で述べたとおり, このように量的に大きな差がある 2 つの信号を同時に扱うことは難しく, したがって, マルチメディアのコンピュータとの結び付きは, 適切な映像圧縮符号化方式の登場を待たなければならなかった。MPEG-2 はまさにその要求に答えたものであり, MPEG により, マルチメディアは本格的幕開けになったといっても過言ではないであろう。マルチメディアは MPEG なくしては語れないのである。

4.3 MPEG 活動の特色⁶⁾⁷⁾

MPEG が成功した理由の第一は、もちろん時代に合ったことであるが、その他にも幾つかの活動上の特色が、成功に導いたと思われる。

第二の大きな理由は、広い分野から多くの専門家の参加を求め、大きなパワーによる、短期集中型の活動が行えたことである。広い分野の参加から応用範囲の広さが保証され、それがまた価値を高めるというポジティブフィードバックとなったことは明らかである。さらに、多くの技術専門家集団が参加したため、アルゴリズム検証が短期にまた確実に行われ、標準案の質を高めるとともにタイムリーな決定が行えた。この検

証には、日本の貢献度が大変大きく、MPEG を完成した裏方貢献度 No.1 は日本からの参加者といっても過言ではない。

第三の理由は、特定アプリケーションに偏しない汎用的なアルゴリズムの標準化という方針を守りぬいたことである。4年にわたる討論のうちには、ある特定の応用に特化した機能の導入を主張する組織があり、深刻・苛烈な議論のもとに何とか汎用性を保つことができたこともあった。

MPEGを支える中核、各サブグループの議長や各国代表が、本職を省みずMPEGの完成のため努力し、能力の限りを尽くしたことが、何にも増してMPEG活動の支えであったことはいうまでもない。ここでも、日本の貢献（日高・JVC、木暮・松下、大久保・当時NTT、米満・ソニー、他）は抜群であったことは万人の認めるところである。

5. MPEG 今後の展望⁵⁾

MPEG-2 の国際標準化も 1994 年 11 月に終了し、すでに複数社から LSI 化の実現、試みが発表されている。インターネットの世界にはすでにフリーソフトのデコーダが提供されており、動画コンテンツそのものも小さな画面ながらすでにかけめぐっている。順調な発展をとげつつある MPEG の今後の課題は、以下に述べる 3 点であろう。

5.1 高圧縮化

MPEG では品質をある程度保った時の圧縮率が1/20～1/50である。現在この能力でほとんどの応用がカバーできているが、携帯電話や最も普及している普通の電話回線で映像を提供しようとするのが困難である。この領域への拡張を目指して、先に触れた「超低速度符号化アルゴリズム標準案検討 (AOE: Application and Operational Environment for very low bitrate coding)」が進められている。1997 年標準草案完成を目標に精力的な活動がなされている。

5.2 MPEG を使用するシステムの構築

MPEG は動画像符号化アルゴリズムであり、実際のサービスはこのアルゴリズムを組み込んだシステム構築を必要とする。例えば、ISDN を使用した通信カラオケにしても、どのように選曲情報を伝え、曲を送り出し、課金をするかなど、いろいろな取り決めが必要となる。動画像符号化アルゴリズム以外のこうした取り決めは、MPEG の場ではなく、他のいろいろな標準化機構で行われようとしている。MHEG (Multimedia and Hypermedia coding Experts Group) などのマルチメディア標準化活動もこの一環である。最近では、The ATM Forum や DAVIC など、この分野の業界標準 (de Facto Standard) を作る動きも顕在化してきており、MPEG 組込みシステムが大きく広がるのも時間の問題といえよう。

5.3 知的所有権の問題

MPEG では実用化前の技術が学界的雰囲気のもとに続々と持ち込まれ、最新の技術を取り入れた形で標準が決まった。それ故、考案途上の技術もあったために、標準化された技術の実現に際し、特許などの知的財産権が問題となった。数多くの特許を恐れるあまり使わなくなってしまうのでは、標準化活動は失敗である。このため、特許についても安心できるような体制を作る必要があり、現在、特許問題に関する特別グループが結成され、皆が納得する特許処理法を検討中である。なお特許権だけでなく、MPEG の場合には作り出された1と0の出力系列に著作権が生ずるとの見方もあり、慎重な対処が必要である。

6. む す び

MPEG の作り出した世界の現状と今後について述べた。大きな技術であり、マルチメディアの核をなす

ところから、検討する側も、組み込む側も、大切に扱って欲しいものである。

(1994 年 12 月 26 日受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) 猪瀬, 安田: “多比較レベルを持つ予測符号化方式”, 信学論, 54-A, 2, p.73 (1971)
- 2) 黒田, 橋本, 安田: “4 MHz テレビ信号用フレーム間符号化方式”, 信学論 A (1976)
- 3) 安田浩編著: “マルチメディア符号化の国際標準”, 丸善 (1991. 6)
- 4) 原島博監修: “画像情報圧縮”, オーム社 (1991. 8)
- 5) 安田浩編著: “MPEG/マルチメディア符号化の国際標準”, 丸善 (1994. 9)
- 6) 藤原洋監修: “最新 MPEG 教科書”, アスキー出版局 (1994. 8)
- 7) ISO/IEC JTC 1/SC 29, “Standing Documents 01-10”, 第 5 回総会決定 (1994. 11)

(註) CCITT: International Telegraph and Telephone Consultative Committee, 国際電信電話諮問委員会

ITU-T: International Telecommunication Union—Telecommunication Standards Sector, 国際電気通信連合電気通信標準化部門

ISO: International Organization for Standardization, 国際標準化機構

H.261: ITU-T (International Telecommunication Union—Telecommunication) で標準化されたテレビ電話/テレビ会議用動画像圧縮符号化方式

MPEG: Moving Picture coding Experts Group の作業により生み出された通信・放送・蓄積 3 分野に汎用的に使用可能な動画像符号化方式

ISO/IEC JTC 1/SC 2/WG 8: ISO 既出

IEC: International Electrotechnical Commission, 国際電気標準会議

JTC 1: Joint Technical Committee 1, ISO/IEC 合同技術委員会 1

SC 2: Subcommittee 2

WG 8: Working Group 8

JPEG: Joint Photographic Image coding Experts Group

The ATM Forum: The Asynchronous Transfer Mode Forum

DAVIC: Digital Audio Video Council

やすだ ひろし
安田 浩 昭和 42 年、東京大学工学部
電子工学科卒業、47 年同大学院博士課程
修了。同年、NTT 入社。以来、画像信号高
効率符号化、画像信号処理、ファクシミリ通
信網、高速広帯域通信 (B-ISDN) 網/サービ
ス、知的/臨場感通信画像符号化の研究に従
事。現在、同社法人営業部に勤務。工学博
士。正会員。