

画像符号化にみる国際標準化の歴史

小野 文孝

早稲田大学 国際情報通信研究センター

E-mail: ono@image.t-kougei.ac.jp

あらまし 2 値画像, 静止画像, 動画の国際標準化の歴史についてその技術的側面並びに標準化作業の側面から紹介し, 今後の符号化標準活動の課題についても考察する.

キーワード 2 値画符号化, 静止画符号化, 算術符号, 国際標準

Reviewing the History of International Standardization in Image Coding

Fumitaka ONO

Global Information and Telecommunication Institute

Waseda University

E-mail: ono@image.t-kougei.ac.jp

Abstract It is about 35 years after the adoption of Facsimile G3 coding method which was the first international standard using digital image coding technology. After the adoption of G3, the target image was extended from binary to still color and video. In this report, the history of image coding standards is reviewed and its future is prospected.

Keyword binary image coding, still image coding, arithmetic code, international standard

1. まえがき

1970 年代に画像のデジタル化が開始され, 2 値, 多値, 動画の順でその符号化検討が進んできた. 標準化については G3 ファクシミリが嚆矢であり, 標準化がビジネス市場を誕生させた好例として知られる. またその後 JPEG 標準 (ITU-T T.81 | ISO/IEC10918-1) や MPEG-2 標準についても標準化の成功例として取り上げられることが多い. 本報告では各画像カテゴリーの標準化について振り返ると共に今後の展望についても考察する.

2. 2 値画像の符号化標準

2.1 G3 ファクシミリ標準

1972 年の回線開放を契機としてファクシミリの入力・記録方式, デジタル圧縮符号化, モデム技術等の高性能化・実用化が急速に進み, CCITT では 1980 年の G3 国際標準の制定を目指して, 符号化標準の検討が進められることになった.

まず 1 次元符号化であるが主流はランレングス符号化であり日本ではランレングスの計数値を利用した Wyle 符号化を想定していた. これに対しイギリスの BFICC と米国の EIA からはランの長さを $64n+m$ ($0 \leq m \leq 63$) で表現し $64n$ を表すメイクアップ符号と, m を表すターミネイティングコードを組み合わせ送信するモディファイドハフマン符号が提案された. モデ

ィファイドハフマン符号では 2000 程度までのランであつても記憶すべき符号の種類が各色約 100 で済むという利点がある. 審議の結果白と黒のランに異なる符号を利用できるモディファイドハフマン符号は 7% 程度圧縮率がよく, 標準に採用されることとなり, この 1 次元方式が G3 ファクシミリの必須方式となった.

さて, オプションとなった 2 次元符号化方式を日本では G3 符号化の本命と考えておりこのため国内では郵政省の指導の下, NTT, KDD, CIAJ 所属メーカが各方式を提案し評価を行うことになった. その結果, KDD 提案の RAC 方式と, NTT 提案の EDIC 方式とを基にした READ 方式が日本統一案として誕生し 1978 年 12 月の CCITT 会合に提案された. この場には同様の考えに基づく IBM 方式も提案され, 審議の結果 READ が comparison code と位置付けられ 1979 年 11 月の京都会合で最終審議を行うことになった. 京都会合では追加で 5 方式の提案があり計 7 方式の審議が行われた. その結果 READ に他の方式のアイディアを取り入れ, より簡易化した MR 方式が誕生し国際標準となった¹⁾.

ファクシミリは G3 の制定を機に大きく市場を伸ばすことになった. 2012 年 4 月に G3 ファクシミリが IEEE マイルストーンの認定を受けた²⁾のはまさにこの急速な普及に基づくものである.

しかし, 1988 年の時点で 5000 億円市場へと伸長し,

生産金額では前年比 30%増、生産台数で同じく 67%増と順調に成長していたファクシミリ市場が翌 1989 年には何と生産金額で前年の 5%減、生産台数でも前年の 3.4%減という信じられない急落を見せることになる³⁾。これは国内市場においてはファクシミリが殆どのオフィスにほぼ行き渡った結果であり、機器ごとに電話回線への接続が必要という条件が職場への増設における障害要素となって現れたといえる。その結果、以後のビジネス機市場は買い替え需要が中心となり、台数ベースではほぼ横ばい状況が続くことになった。

さて、市場の急成長に魅かれ通信・電機・家電・精密の分野から多くの企業が参入していたファクシミリ市場において、生き残りを図るための活路として注目されたのが家庭向けの G3FAX と G4FAX であった。

まず FAX のホームユースであるがオフィスでは当たり前となった G3FAX も、当時は家電としては高価であり、家庭間 FAX 通信の需要も限られていたため、家庭への普及は遅々として進まなかった。一つの解決策が高価格であった入出力部分のコスト低減であり、そのために A4 原稿を受信しても記録時には縮小記録を行うことで出力部の低廉化と装置の小型化を実現する Note Fax が標準化された。また放送電波でファクシミリ信号を送信する TV-FAX にも期待が寄せられたが結局実現まで至らなかった。こうして家庭への FAX の普及は電話機に FAX 機能が当たり前となるほど低価格化が進む時代まで待たねばならないこととなった。

2.2 G4 ファクシミリ標準⁴⁾

さてオフィスでの文書作成に注目すると英米ではタイプライタが古い歴史を持ち、その後電動タイプライタを経て 80 年頃からワードプロセッサが一般的になり 80 年代の半ばには MS-DOS 上で動く Word Perfect が登場し高いシェアを占めた。その後 Windows の普及とともに Windows 版の Word Perfect と Microsoft Word がシェア争いでしのぎを削るようになった。一方日本のオフィスでは文書は手書きがふつうであったが日本語ワープロの専用機が 80 年代後半からスタンドアロンで使われ始め、PC の普及とともに専用機から PC 上の文書作成ソフトへと移行し、Windows 版の一太郎が高いシェアを占めるようになった。

作成された文書ファイルはオフィス内で互いにやりとりし編集できることが望ましい。このため文書作成ソフト自体も事実上の標準化に向かわざるを得ず、英米では Microsoft Word が事実上の標準の位置を占めるようになると、日本語でもやはり Microsoft Word がトップシェアを占めるようになった。通信においては当初は RTF や BinHex などのファイル形式に変換し、テキストデータとみなせるようにして E メールで送信していたがやがて E メールに各種文書ファイルを添付

する形で文書を交換するのが一般的になった。

さて、G4FAX は 1984 年に最初の国際標準化が行われ、ISDN などのデジタル回線の利用による高速伝送と、高い解像度設定による高画質を売り物に大企業を中心とした普及が見込まれていた。G4FAX では誤りの再送が行われるので MR では必要なライン同期信号を除くなどさらなる効率化が可能であった。この方式を MMR 方式と呼んでおり、G4FAX のほか、G3FAX の誤り訂正モードでも使用されている。

実は G4FAX では G3FAX と同様のビットマップデータの送受信機能をクラス 1 とし、文字 (テレテックスで符号化) とグラフ・写真等 (ファクシミリで符号化) の混在文書を扱う機能 (ミクストモード機能) をその上位であるクラス 2/3 と定義していた。ミクストモード機能は文字のみが取り扱える初期のワープロソフトの機能を上回るものであった。これらの標準の策定に当たっては OSI 参照モデルに従う 7 層の通信機能に応じ、G4 をはじめとする VTX 等のテレマティーク端末をすべて含めたプラットフォームを記載する DTAM (Document transfer and manipulation) を設計するという方針がとられた。DTAM は ISO と ITU-T の共通標準となりそれぞれの会合で審議を行うという極めて過密なスケジュールの下で標準化が進められた。しかし、クラス 1 についても肝心の ISDN 回線の普及が思うに任せず、折角 G4 機を設置しても G4 機能での交信相手は社内などに限定されることとなった。また、ミクストモードの仕様決定においてはまだ未成熟であった文書作成ソフトの機能やその操作性を考慮する必要があり殆どのメーカーでは G3FAX の延長上といえる G4 クラス 1 までしか製品化を行えず、クラス 2/3 については特定機関の試作にとどまった⁵⁾。

このように G4FAX の標準作成に投げられたエネルギーは莫大なものであり、オフィスに必要な文書作成機能まで先取りしていたにも関わらず、実際にはほぼ使われることのないまま、G4 はその役目を終えたといえ、現在のように文書通信は E メールに文書作成ソフトを添付する形に至っている。なお、ISDN 上で G3 と同程度の簡易なプロトコルを規定し装置の複雑化の緩和を図った G3bis 規格が 1989 年に英国より提案されたが反対する国も多く結局承認には至らなかった。

このような情勢下で、市場開拓の努力は必然的に多値静止画応用分野へと向かうこととなった。

2.3 JBIG 誕生の経緯と JBIG2 の標準化

G3 符号化の 2 次元方式の審議において最終的に評価の対象となった 7 方式のうち 6 方式が変化点符号化方式であり 1 方式がマルコフモデル方式 (TUH 方式) であった。しかし、TUH 方式は周辺 4 画素参照による 16 通りのコンテキストを 6 通りに縮退し仮想予測誤り付

与でラインごとに終端していたため本来の性能が得られず、変化点方式の後塵を拝していた。

その後、後述する JPEG 標準の審議において 2 値と多値の共通符号化の実現が困難と判明したことから JPEG から分離する形で JBIG(Joint Bi-level Image Group)チームが誕生し、2 値画像の新たな標準化が開始された。JBIG では MH/MR では実現が不可能であったプログレッシブ表示用符号化を前提とし、TUH での仮想予測誤り付与を算術符号で避け、変化点符号化では圧縮が難しいハーフトーン原稿への高い適応性を Adaptive Template で実現する標準を策定することになった。この新たな標準は策定チーム名から JBIG 標準 (JBIG-1) と呼ばれることになった⁶⁾。

JBIG の基本はマルコフモデル符号化と算術符号の組み合わせであり、マルコフモデル符号化では参照画素の最適組み合わせの検討が課題であり、算術符号では如何に簡易化を図りつつ効率を保つかが課題となった。またプログレッシブ符号化に伴う符号化効率の低下を防ぐために DP (絶対予測) や TP (典型予測) などの技術が採用された。

算術符号としては IBM の Q-Coder、三菱電機の MELCODE、AT&T の Minimax-coder の 3 通りの算術符号化方式が提案されていたため、早期に 3 方式を一本化し JBIG と同時期に検討されていた JPEG も含めて共通の算術符号を採用することが JBIG・JPEG 共通の認識となった。なお統一化後の名前としては QM-coder を使用することが早期に決められていた。算術符号の統一化には熾烈な議論が繰り広げられたが結局 3 機関のそれぞれが有する技術を取り入れた QM-coder が誕生した⁷⁾。また特許使用の対価として 3 機関への等額の一時金の支払いが生じることとなった。

なお、JBIG の標準化の最終段階で FAX へのアプリケーションの必要性が重要視され、必ずしもプログレッシブ表現を行わなくてもよいモードも規定されることになった。こうして JBIG の標準化が行われ G3 ファクシミリ用のプロファイルを制定した結果、JBIG は G3 ファクシミリのオプション符号化としても認定され、JBIG を搭載した FAX はほぼ同時期に採択された V.34 規格の 33.6kbps モデムの搭載もあわせて業界ではスーパーG3FAX と呼ばれることとなった。

JBIG の標準化に続いて JBIG2⁸⁾の審議が開始された。これはパターンマッチングを特徴とするもので、文字原稿に対して既出の文字との同一性を判定し同一である時は既出の文字に置き換えることによりロッシーではあるが高い効率を実現するものである。またパターンマッチング判定は周期的なハーフトーン画像にも適用が可能でありハーフトーン画像でも大きな圧縮性能の向上が実現できる。なお、JBIG2 の標準にはソフト

パターンマッチングと称する、パターンマッチングでの置き換え誤差を追加送信する技術も採択されており、ロスレスも実現できる。実は、パターンマッチングを利用した符号化は CCITT において G3 符号化の標準化に続いて提案されたことがあったが当時は時期尚早とみなされ標準化に至らなかった経緯がある。なお、JBIG2 は PDF の符号化としても採択されている。

MH/MR/MMR から JBIG, JBIG2 と 2 値画像の標準化が進むにつれ符号化の装置規模は複雑化するが符号化性能は各種の画像に対し順に向上するといえる。

3. 静止画像の符号化標準

3.1 VTX 標準

多値の静止画符号化についてもその最初の標準はアプリケーションに基づくものであり、ファクシミリでは実現困難な情報検索機能を達成するために、どの家庭にもあるカラーテレビをソフトコピー端末として使い、通信路として電話線を利用する情報提供サービスとして考案されたのがビデオテックス (VTX) である。イギリスでは 1979 年からプレステルというシステムが商用化されており、日本でも 70 年代後半から日本電信電話公社を中心に研究が開始された。CCITT では、1980 年の勧告 S.100 (後の T.100) でビデオテックス業務として共通に使用される機能と図形表示のためのオプション機能とが規定され、次の会期では新 SGVIII (テレマティーク端末のための端末装置) の課題 24 の中で VTX のプロトコルが審議された。VTX の国際標準化にあたっては、日本、北米、欧州からそれぞれ CAPTAIN, NAPLPS, CEPT という異なる 3 方式が CCITT に提案されていた。そしてファクシミリの場合とは異なり、1984 年にはこれらのローカル標準のすべてが CCITT 標準として認められることになった。これは決して安易な結論ではなく、当時想定されていた情報検索は、天気予報、電車時刻表、電話番号などに限られ、テレビ放送の走査方式の相違や、海外の情報提供元にアクセスする際の国際電話のコストなどの問題もあり、サービス自体が高い地域性を有していたことがその背景にあった³⁾。つまり、当時の VTX は現在のインターネットとは異なるローカルなサービスであったといえる。また、当時のディスプレイの仕様や通信環境から来る制作画像の制約のため、汎用的なコンテンツ制作が課題として残った。

さて、国際標準化がなされたものの、日本におけるキャプテン、英国のプレステル、カナダのテリドンなどの VTX システムはいずれも伸び悩むこととなった。この大きな理由の一つは、画像の表示が受信時のみに限られることであった。つまり、当時はメモリがまだ高価で取得情報の蓄積がままならず、電子データが残

らないソフトコピー画像はまさに「まぼろし」に過ぎなかった。勿論、コストの点からもフル画面のカラーハードコピーの出番はまだ見込めない状況であった。また画像符号化の観点からは上記したように VTX 画像は人工画像であり自然画像の符号化が課題となった。なお、フランスは同国の VTX システムであるテレテルの使用を喚起しようとして端末（ミニテル）を無償配布し紙の電話帳発行をとりやめている。

3.2 JPEG 誕生の経緯とその規格内容

さて、CCITT では 1984 年に VTX の標準化を終えた後、1985 年の会期から課題 18 として New Image Communication (NIC) Group を発足させた。

一方 ISO/TC97 ではそれより以前の 1982 年の 9 月に画像符号化を担務とする WG8 を発足させていたが、1986 年の 3 月にこれまでの審議の仕切り直しの形で検討が再スタートを切ることになった。そこで NIC と ISO/TC97/WG8 は 1986 年 11 月の Parsippany 会議から画像符号化標準化の共同作業を開始した。これが JPEG (Joint Photographic Experts Group) というチームの誕生であり、その目的は Digital Photovideotex の符号化方式の策定であった。

JPEG での審議には、当初多くの方式が提案されたが最終的には米・欧・日からそれぞれ提案された ABAC (Adaptive Binary Arithmetic Coding), ADCT (Adaptive Discrete Cosine Transform), BSPC (Block Separated Component Progressive Coding) の 3 方式に絞り込まれ、これらを評価した結果、1988 年 1 月の Copenhagen 会合で ADCT 方式が選ばれた⁹⁾。

さて DCT が JPEG の基本方式となり、すべての JPEG デコーダが備えるべき必須仕様の名称をベースラインとすることとなったが、引き続いていわゆるオプションとされる機能も審議することとなった。この時点ではオプションを別のパートとする発想はなくいずれも Part1 に記載することとなった。

まずベースラインは符号化による歪みを許容したロッシェン符号化であるが、符号化による歪みを伴わないロスレス機能も標準としては備えておいた方がよいということになった。しかし、DCT 方式の復号には受信側の演算精度に依存する要素があるため、ロスレス符号化については結局 DCT を使わず空間予測方式を用いることとなった。空間予測は DCT とは全く共通性がないためロスレス機能にはインディペンデントファンクションという用語が用いられている。

さてベースライン機能にはエントロピー符号化としてハフマン符号があれば問題はなかったがオプション機能のエントロピー符号化としては算術符号がより望ましかったことから算術符号化についてもオプションとして採用することになった。これについては既に

述べたように並行して審議中の JBIG とも共通の方式を採用することになり QM-coder が策定され採用されることになった⁷⁾。

その後 part2 (compliance test) で膨大な種類のテストデータを網羅し part3 (Extensions) では適応量子化、タイリング、SPIFF (Still Picture Interchange File Format) などの拡張機能を規定した。この結果いわゆるオプションの部分が part1 と part3 とに分かれてしまうことになった。また part4 では JPEG profile や Application marker の登録を規定している。

3.3 画像符号化チームの派生と JPEG 標準の普及

1) 画像符号化チームの派生

JPEG の標準化がほぼ固まったことを受けて本稿では既に述べた JBIG が 1988 年 8 月に分離独立し、動画を CD-ROM に記録するという応用を目的にして MPEG (Moving Picture Experts Group) が 1988 年 5 月からスタートした。さらにマルチメディア情報の表現に関する標準化を行う MHEG (Multimedia Hypermedia Experts Group) が 1989 年 5 月に生まれ、それぞれが独立に活動を行うことになった。これらの 4 チームはその後 1990 年 4 月に SC2 の中で独立の WG となり、1991 年 11 月には JTC 1 の中に新たに SC29 が設けられ、その中の独立 WG として活動することになった。このような画像符号化標準化組織の体制整備は新しいビジネスの誕生を予測させるものであり、大きな期待が寄せられたが必ずしもすぐにマーケットに結びついたわけでもなかった。

2) JPEG の応用分野

さて JPEG が標準化されたもののその利用ビジネスはなかなか育たなかった理由の一つは「JPEG では画像が汚くなるので使えない」という思い込みであり、たとえば画像関係の企業の筆頭である印刷会社からもまったく相手にされなかった。また、カラーファクシミリは、ファクシミリメーカー各社の開発計画として常に (モノクロ)ファクシミリの先に位置づけられていたものの興味を示すユーザは少なく精々アパレル産業程度であった。

こうして、有効なビジネスもなく苦しんでいた JPEG の前に救世主ともいえる形で登場したのがデジタルカメラであった。1995 年に初めて液晶のモニタを搭載したデジタルカメラが発売されて以来、メモリの低価格化、PC の普及があと押しをしてデジタルカメラ市場は飛躍的な伸びを示すことになった³⁾。おかげで、デジタルカメラにおける画像符号化標準の地位を占めていた JPEG も大いにその恩恵を被ることになった。さらにその後のインターネットの普及により、JPEG

はインターネットでの静止画符号化のデフォルト標準として活躍の確固たる場を得ることになり、2 値でも多値でもまずは JPEG が使用される状況を迎えた。

なお JPEG を利用した動画符号化であるモーション JPEG については多くの私的な仕様が林立してしまい、あとから標準化を行うことは困難であった。この教訓は後の標準である JPEG2000 に活かされ、モーション JPEG2000 という規格を早期に規定することになった。

3) 特許問題

JPEG の標準化においても G3 ファクシミリと同様に少なくともベースラインは無償実施を前提として審議が進められたものの周知のように JPEG の普及後に Philips 社と Forgent Networks 社 (当初 Compression Lab 社が保有) からランレングス符号化特許についての実施料請求が生じ大きな話題となった。

この問題は JPEG の後継標準の JPEG 2000 にも影響を与え、JPEG 特許と類似の問題を危惧したユーザが JPEG 2000 の特許に対しても必要以上に慎重となってしまうという現象を導いた。また JPEG XR でも標準文書にはマイクロソフト以外の機関の特許の記載があり、標準の普及の妨げになったとする意見もある。

なお、後述する動画標準では MPEG では MPEG LA と呼ばれる特許プールが有効に機能している。動画は特許が有料でも成り立ち、静止画ではロイヤリティフリーとせざるを得ないという現象は動画では一般ユーザの多くはコンテンツを受信するのみであるのに対し、静止画ではデジタルカメラの例を見ても一般ユーザは受信者であると同時に送信者であること、また、動画ではパッケージビジネスとして他業界からコンテンツ収入が期待できるのに対し静止画では自業界に閉じる、つまり、静止画では特許の支払い者と受け取り者はいずれも装置の製造業者となり特許料をやり取りする手間だけ無駄ということなどが主因と考えられる。JPEG の特許問題が起きた後は、静止画でも動画と同様にパテントプール制をとる方がよいのではという意見も出ているが大勢とはなっていない。

なお、G3FAX では日本として MR 符号化方式に関する特許の無償提供を行ったが現実には海外から特許権侵害を訴えられる事態が発生し、多くの企業が特許料を支払う事態になっている¹⁰⁾。

3.4 JPEG ファミリー標準

JPEG 標準以降の SC29/WG1 JPEG SG での標準を一般に JPEG ファミリー標準と呼んでいる。以下にその内容について紹介する。これらの実現機能をまとめると JPEG LS はロスレス・ニアロスレス機能、JPEG 2000 はロスレフトゥロスレス機能と JPEG より高いロッシ一機能、JPEG XR は JPEG 2000 の機能を効率としては

劣るがより簡易的装置で実現したこと、JPSearch は画像検索機能といえる。

1) JPEG LS

JPEG LS の標準化は、JPEG のロスレス符号化では極めてシンプルな予測符号化が殆ど審議なしに取り入れられたため、圧縮率の点で充分改良の余地があるであろうという見解に基づき開始された。提案された 9 通りの方式の中には周波数変換符号化も含まれていたが、より圧縮性能の高い予測符号化を中心に審議が進められ、JPEG のロスレス符号化を充分しのぐ方式が規定された。算術符号については JPEG とは異なるものが part2 (拡張) に採用され、必須機能の part1 では規則的ハフマン符号が採択されている。標準化の詳細については文献 11) を参照いただきたい。

2) JPEG 2000

JPEG LS の審議で提案された周波数変換方式の中には、ロッシ一符号化、ロスレス符号化のいずれでも JPEG の性能を上回るものがあつたため、ロッシ一、ロスレスを共通アルゴリズムで実現し JPEG でも JPEG LS でも実現されていないロッシ一トゥロスレスの符号化機能をもつ新たな標準の策定が俎上に上ることになった。またインターネットの普及によりオールマイティ的性能を要求されることになった JPEG の様々な問題点を新たな標準で解決したいという要望もあつた。当時は、西暦 2000 年を前に「~2000」という言葉が当時流行していたため、新標準の名称は JPEG 2000 に決まった。

JPEG 2000 の標準化の経緯については文献 12) に詳述されている。JPEG 2000 はデジタルシネマに採用されたほか、パスポートや運転免許証、アーカイブ、医用画像などの分野で活用されている。特にアーカイブのように必ずしも 2 値ではない画像の符号化に高い評価を得ている。しかしながら JPEG チームとしてこれまで最大の参加者数を集めたプロジェクトとしてはまだその期待の大きさには応えていないともいえる。

3) JPSearch

JPSearch は他の JPEG ファミリー標準とは少し異なり、画像の検索目的とするものである。現状では画像データに対するメタデータは人が個別に与えざるを得ないわけであり、メタデータが各アーカイブ特有の管理となってしまうためにデータの移動が容易ではないという問題がある。これに対し MPEG で検討されている MPEG-7 などでは汎用的メタデータ体系を制定しその利用を促すことで、課題を解決しようとしているが必ずしも広範な支持は得られていない。JPSearch はシステムレベルの着眼点に基づき、多様なスキーマを共存させ、異なる体系下での情報交換・相互アクセスを

可能とすることを旨としたものである。なお、詳細内容については文献 13) の解説が詳しい。

4) JPEG XR

JPEG XR は Microsoft が提唱し Vista 以降の Windows に搭載している画像符号化方式 HD Photo をベースとする符号化標準である。特に WG1 として方式募集をしていたわけでもない時期に Microsoft から提案されたため委員会の内部でも議論があったが、JPEG・JPEG 2000 とのパフォーマンス比較では装置の複雑さも画質も両者の中間に位置していたため、委員会の審議の中で方式の修正要望が生まれた場合はそれに応じること、特許を無償提供すること等を前提とし審議が開始された。結果的にはオリジナルの提案に若干の修正があったが、HD Photo でもほぼ等価な復号が可能となる方式が開発されている。JPEG XR の技術的詳細については文献 14) を参照いただきたい。

5) 現在審議中の標準

JPEG XR に続いて成立したプロジェクトは AIC (Advanced Image Coding) で画質評価の標準化とそれに関連して高いパフォーマンスを持つ符号化方式の開発を課題としている。これは MPEG での AVC の成功が刺激になり静止画の符号化についてもいわば究極の符号化標準を目指したものであった。しかしながら全メンバーのコンセンサスが得られるような進め方に至らず、残念ながら活動が滞っている。

現在 JPEG のプロジェクトで最も関心が高いのが JPEG XT である。これは各コンポーネントが 8 ビットを超える精度を有する HDR (High Dynamic Range) 画像に対しトーンマッピング¹⁵⁾などを用いて LDR (Low Dynamic Range) のディスプレイへの表示も可能とするものである。JPEG XT には 3 機関からの提案があり、現時点ではそのいずれをも採用する方向で進んでいる。それぞれの規格は異なる part として記述される見込みでありプロファイルなどの規定が必要と考えられている。デジタルカメラの符号化方式については JPEG が依然独占状態にあるため、従来の JPEG 受信機でも一部復号が可能でかつ高ダイナミックレンジ画像の送信やロスレス符号化を小さな実装規模で実現できる JPEG XT への期待は高いといえる。

また JPEG ファミリー標準の中でファイルフォーマットやトランスポートメカニズムなどの仕様の統一化を目指した JPEG Systems も最近発足した。さらには JPEG ファミリー標準を用いた拡張現実感提供サービスにおけるコンポーネントレベルのインタフェース、ファイルフォーマット、アプリケーション記述等を規定する JPEG AR プロジェクトも発足している。

なお、以前より新たなプロジェクト候補として検討

が行われている JPEG Privacy は、主にインターネットで共有される画像を対象とし、付随する個人情報等の保護を目的とする、日本提案のワークアイテムである。JPEG をはじめとする各種規格ファミリーへの適用が考えられており、仕様検討の具体化が進んでいる。

4. 動画符号化

4.1 テレビ会議用符号化

動画符号化の国際標準としては当初テレビ会議やテレビ電話をアプリケーションとして想定していた。その最初の標準が H.261 であり CCITT により、1990 年に勧告として承認された。

この勧告は動き補償 (MC) と、離散コサイン変換 (DCT) とを組み合わせた、最初の国際標準であり、その後規格化された H.263 や H.263+, H.264, MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4 など、数多くの動画画像圧縮方式の基礎となっている。その後の標準でも動き補償+DCT の大枠はほぼ不変であるが 1991 年に標準化された MPEG-1 では、1/2 画素(ハーフペル)精度の動き補償が導入され、2003 年に承認された ITU-T 勧告 H.264 では、1/4 画素精度の動き補償が導入されるなど画質改善が進んでいる。

H.261 では ISDN 上でのテレビ会議に利用することを想定し、符号化ビットレートとして 64kbps ~ 1.92Mbps の間を 64kbps 刻みで指定することができる。当時は、出力端末をテレビジョンの受像機と考えていたため NTSC や PAL などの各種信号方式に対応できる中間的な共通画像フォーマットを策定する必要があり、352×288 画素の CIF(Common Intermediate Format) とその 1/4 の 176×144 画素の QCIF(Quarter CIF) が規定されている。

4.2 蓄積媒体用符号化

既に述べたように JPEG の標準化が一段落したところで MPEG チームが発足し蓄積媒体向けの標準化が開始された。このため早送りや巻き戻し機能が符号化方式にも要望されることになった。MPEG シリーズでは MPEG-1 がビットレート 1.5Mbps 以下、続く MPEG-2 が 10Mbps までという棲み分けで検討が開始されたが 10Mbps 以上で検討予定であった MPEG-3 が MPEG-2 の策定時点で中止になり、64kbps 以下で検討を予定していた MPEG-4 もビットレートとは無関係に搭載技術の審議を行うこととなった。

MPEG-2 は DVD、地上波デジタル放送に採用され、極めて大きな社会的インパクトを生んだといえる。またより高性能な MPEG-4 part10AVC (H.264) はワンセグ放送に採用されている。AVC よりさらに高性能な HEVC についてはスーパーハイビジョンのほか高性能性を利

参考文献

用して無線配信での利用も想定されている。また、MPEG ではオーディオ符号化の標準化にも対応しているほか、MPEG-7 で画像検索機能を標準化し、MPEG-21 で E-commerce などの画像応用用途に対応している。

さて動画では画質の空間的要素(静止画としての画質)と時間的要素(動き)の優先度は送信側の判断に委ねられているため、それらのバランスによっては、同一符号化標準の使用が必ずしも同一の画像を意味しない。また、その意味で送信側の処理の規定は標準化にはなじみにくく、受信側の満たすべき機能さえ標準化すればよいという考えに結びつく。

勿論静止画においても送信側の処理は必ずしも規定する必要がなく受信側の処理さえ決めておけば復号が可能となる。これはパターンマッチングの判定処理などでは自明であろう。ただ送信側の処理を参考情報としてであっても記述しておくのが実装者に対してより親切であるといえる。

5. むすび

「画像符号化にみる標準化の歴史」というテーマで筆者が関わってきた2値画と静止画の標準を中心にその歴史を振り返った。符号化の標準は初期にはアプリケーションがまず先行しその符号化手法として標準化されるのが一般的であったといえる。また一旦標準が決まっても性能の改良や仕様により複数の標準のニーズが生じ、それに伴い新たな標準が策定されてきた。

今後の標準化の可能性としては2値では誤差拡散画像の効率的符号化、静止画ではコンピュータビジョンを取り入れた高度なパターンマッチング、動画ではズーム対応の動き補償などが考えられる。また算術符号化の簡易化¹⁶⁾も各分野に共通な課題と言える。

しかし、既存の標準が普及している中で新たな標準を策定した場合、その標準に対する新たな市場やアプリケーションがないと作成された新標準を普及させるのは難しいといえる。また、標準化には技術が成熟するタイミングや社会が受け入れるタイミングも重要で、時期的に早すぎても標準化としては成功しないといえる。

画像符号化については既に研究がしつくされたという意見もあるが本質的な課題である画質対符号量の最適化や装置規模も含めた最適化については依然課題が山積しているともいえる。今後も画像符号化の機能やビジネスでの位置づけを意識しつつ、符号化標準化や市場活性化に向けた活動を期待するとともに関係各位のご支援・ご貢献を賜りたいと考えている。

- 1) 寺村浩一：“デジタルファクシミリの国際標準化に向けて—2次元符号化方式 Modified READ が生まれるまで—”，画像電子学会誌，Vol.9, No.3 pp.208-210；Vol.9, No.4, pp.267-269；Vol.9, No.5 pp.397-398;(1980)
- 2) “G3 ファクシミリの IEEE マイルストーン受賞特集”，画像電子学会誌，Vol.41, No.3 (2012)
- 3) 小野文孝：“講座 デジタル画像符号化応用ビジネスと標準化における歴史”，画像電子学会誌，Vol.34, No.2, pp.159-166 (2005)。
- 4) 山崎泰弘：“G4 ファクシミリの端末特性”，画像電子学会誌，Vol.13, No.3 pp.187-195 (1984)
- 5) 小野文孝 他：“ワークステーションを用いたミクスモード通信端末”，三菱電機技報 Vol.61, No.7, pp.35-38 (1987)
- 6) 山崎泰弘，小野文孝，吉田正，遠藤俊明：“技術解説 JBIG2 値画像階層形符号化方式—JBIG アルゴリズム—”画像電子学会誌，Vol.20, No.1, pp.41-49 (1991)。
- 7) 小野文孝：“技術解説 カラー静止画符号化国際標準方式 (JPEG) の概説 (その2: 算術符号)”，画像電子学会誌，Vol.20, No.2, pp.113-120 (1991)
- 8) 小野文孝：“JBIG, JBIG2 の標準化動向”，映像情報メディア学会誌, Vol.55, No.5, pp.616-621 (2001)
- 9) 大町隆夫，小野文孝：“技術解説 カラー静止画符号化国際標準方式 (JPEG) の概説 (その1)”，画像電子学会誌，Vol.20, No.1, pp.50-58 (1991)。
- 10) 小林一雄：“ファクシミリにおける国際標準と特許”，画像電子学会誌，Vol.24, No.1, pp.58-68 (1995)。
- 11) 上野幾朗，梶原浩，望月孝志，小野文孝：“技術解説 多値ロスレス符号化技術と国際標準”，画像電子学会誌，Vol.27, No.4, pp.405-412 (1998)。
- 12) 小野文孝：“標準化現場ノート JPEG2000”，映像情報メディア学会誌，Vol.64, No.10, pp.1458-1460 (2010)。
- 13) 山田昭雄：“技術解説 JPSearch (ISO/IEC 24800 シリーズ)の最新動向”，画像電子学会誌，Vol.40, No.2, pp.387-393 (2011)。
- 14) 原潤一：“技術解説 JPEG XR 標準化の最新動向”，画像電子学会誌，Vol.37, No.4, pp.502-512 (2008)。
- 15) 奥田正浩：“技術解説 HDR 画像”，映像情報メディア学会誌，Vol.64, No.3, pp.299-305 (2010)。
- 16) 上野幾朗，小野文孝：“状態遷移テーブル参照型算術符号 STT-coder の設計 “画像電子学会誌，Vol.43, No.1 pp.62-70 (2014)