

8

デジタル転換への軌跡



黒田 徹

(元NHK放送技術研究所)

- 1 デジタル化の初期
- 2 デジタル化の課題
- 3 デジタル化を支える基本技術
- 4 国際標準化と国際連携
- 5 デジタル普及とアナログ停波
- 6 今後の展望



2000年から始まった衛星デジタルハイビジョン放送以降デジタル化を支える各種技術はさらに進化が進み、今ではその4倍の精細度を持つ4K、16倍の8K映像も放送されている。これらのデジタル映像は通信経由でも提供され、あらゆる手段で映像を入手できる時代になっている。

しかし、これらデジタル映像が家庭に届くまでに、さまざまな議論や課題があった。本稿では地上デジタル放送の実現を軸に、デジタル転換への軌跡を述べる。

1 デジタル化の初期

放送のデジタル化は、2000年を待たなくてはならないが、1980年ごろより、その動きが始まっていた。ICの進展に伴い、ラジオやテレビの受信機内の回路がデジタル化されていくとともに、1980年代にはCD（Compact Disc）などパッケージメディアが登場し、いわゆる電波の部分を除きデジタル化が急速に進んできた。

放送の分野では、1984年の衛星放送、1989年のMUSEハイビジョン定時実験放送の開始など、放送機器や信号処理の多くはデジタル化されていたが、電波の部分はアナログ方式を継続していた。

このようななか、1985年に文字多重放送が開始された。これは、アナログテレビ放送に文字をコード化してデジタル信号として多重する仕組みであり、誤り訂正やデータをパケット化して多重するなど、その後のデジタル放送の考え方が導入された。また、1990年代に開始されたFM多重放送は、デジタル信号をアナログFM放送に多重するが、文字多重放送の技術に加え、デジタル変調した信号をFM放送に多重するという、技術的にはデジタル放送に向けて一歩進んだものになった。

2 デジタル化の課題

多重放送の進展に伴い、技術要素としてはデジタル放送の基礎が築かれてきたが、完全デジタル化に向けては多くの課題があった。

(1) 新たな帯域の必要性

多重放送は、新たに多重放送が開始されても、従来の受信機はそのまま利用できる特長を持っている。例えば、文字多重放送が開始されても、多重信号を解釈する機能のない従来のテレビでも、引き続きテレビは視聴できる。図1にFM多重放送を例に多重技術と受信機の互換性のイメージを記載する。

図1 FM放送信号と受信機の進化

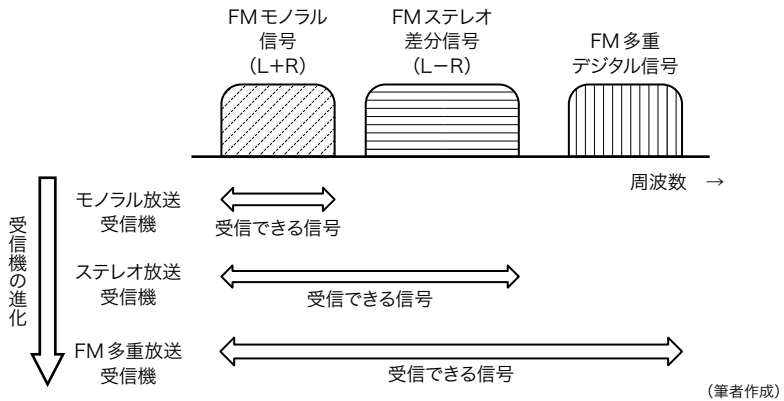


図1に示すとおり、新たなサービスを実現する信号を従来の信号に多重（FM多重放送の場合は周波数多重）する。従来の受信機は従来の信号のみ受信し従来どおりのサービスを受信するが、新たな受信機は、拡張した

信号も受信・解釈でき、新たなサービスが受信できるようになる。

しかし、完全デジタルテレビ放送は、多重放送ではないため従来のテレビでは全く受信できず、別の新しい周波数を確保し、そこでデジタル放送を開始し、従来のアナログ放送と両方同時に放送する、いわゆる「サイマル放送」を行うことが必須となる。

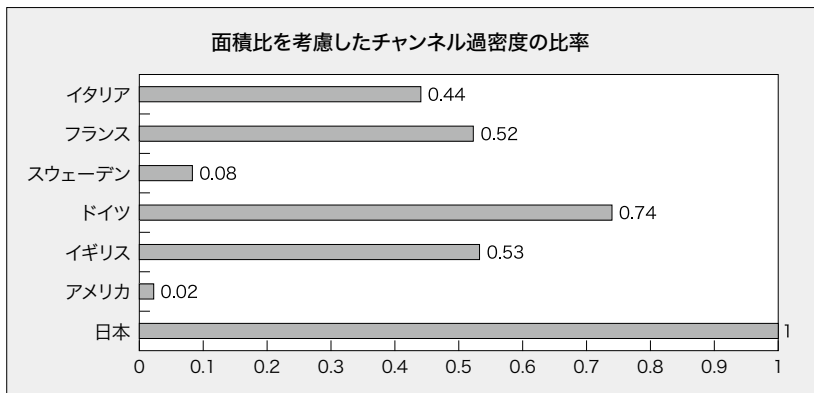
放送の歴史では、図1に示すとおり、白黒からカラー放送、モノラルFM放送からステレオ放送というアナログ時代の進化も含め、すべて「新たな信号を多重」という技術を用い、従来の受信機を利用しながら新たなサービスを開始してきた。そのため、デジタル放送を開始する際に、新たな帯域を必要とすることは放送開始以降初めてのケースであり、その周波数確保や運用面も含め、大きな課題となった。

同じころ、1990年代に携帯電話のデジタル化が行われた。これも、従来のアナログ携帯電話では利用できず、新たな帯域を使って新たな端末で利用するものであり、また将来の普及も見据え、より多くの帯域が必要となってきた。そのため、高い周波数を使っている衛星放送はともかく、携帯電話で利用しやすいUHF帯を使っている地上テレビ放送に、新たなデジタル放送用の帯域を割り当てる余裕はなかった。

当時の日本の地上アナログ放送には、VHF帯で1～12チャンネル、UHF帯で13～62チャンネルの計62チャンネル（1チャンネルは6MHzの帯域幅を持っている）が割り当てられていた。東京地区ではNHKが2チャンネル、民放が5チャンネル、県域放送が各県1チャンネル、放送大学が1チャンネルと合計9チャンネルしか利用しておらず、余裕が十分ありそうだが、実際には、津々浦々まで地上テレビ放送を届けるために、全国で約1万5,000チャンネルが必要で、上記62チャンネルを全国で使いまわしていた。遠くの地域をカバーするための電波が飛んできて、実際にテレビとして受信できないほど弱い電波となっていたり、同じチャンネルに重なった場合は妨害となり、正常な受信ができなくなる。当時のテレビ放送の状況を、面積当たりのチャンネル数で計算すると、図2に示すとおり

図2 面積当たりのテレビチャンネル数

	放送局数	チャンネル数	面積比を考慮した チャンネル過密度の比率
イタリア	5,087	60	0.44
フランス	10,244	57	0.52
スウェーデン	1,297	54	0.08
ドイツ	8,445	51	0.74
イギリス	3,750	45	0.53
アメリカ	8,456	68	0.02
日本	14,973	62	1



〔「'96全国テレビジョン・FM・ラジオ放送局一覧」(日本), Broadcasting & Cable 1996年2月(米国), EBUレポート1995年9月(欧州)をもとにNHK作成〕

り、日本のチャンネルの過密度が突出していることが分かる。

このような状況のなかで、デジタル放送用の新たな帯域を確保できるかが大きな課題となっていた。

(2) デジタル映像信号の圧縮

当時は、まだデジタル映像圧縮の技術研究が始まったばかりでもあり、ハイビジョンはもとより、標準テレビにおいても、アナログ放送と同等の画質を得るために必要なビット数が大きく、テレビの1チャンネルである

6MHz内で放送を行うことは難しく、特にテレビ放送の圧縮では、リアルタイムで処理を行う必要があり、さらに困難であるとされていた。

(3) 伝送技術

限られた帯域での伝送を考えた場合、容量の大きさと性能はトレードオフの関係にある。(2)とも関係するが、あまり圧縮せずに大きな映像信号を送ろうとすると、正常に受信できる範囲が狭くなる。衛星放送の場合は、赤道上空3万6,000kmの静止衛星から飛んでくる電波を、家庭で設置できる45cm程度のパラボラアンテナで受信する必要がある。また、地上デジタル放送の場合には、アナログ放送への妨害を抑えるために、その10分の1程度の出力で、同じ範囲をカバーする必要があるなど、伝送技術への高い性能が求められていた。さらに、地上放送の場合には、ビルや山に反射した信号と重なって受信する、いわゆるマルチパス妨害（アナログ放送では映像が2重に映るためゴースト妨害と呼んでいた）という、デジタル伝送技術としては悩ましい問題もあった。

(4) 日本独自の課題

今ではスマートフォンなどを用い、あらゆる場所で動画を視聴できるが当時動画はテレビ放送のみであり、好きな場所や時間にテレビを視聴したいという要望が強く、自動車やバスでテレビ放送を受信したり、携帯型のテレビも多く販売されており、デジタル放送にするにあたって、これらのニーズを無視することはできないほど普及していた。

3 デジタル化を支える基本技術

(1) 映像圧縮技術の進展

1989年にMUSE（Multiple Sub-Nyquist Sampling Encoding）ハイビジョン放送が始まったころ、2節で述べたとおりデジタル映像圧縮技術が未熟で、デジタル放送に適したビットレートにまで圧縮することが困難であった。映像圧縮技術は、放送への応用のみならずパッケージメディアへの適用など多方面からのニーズもあり、1988年に動画の圧縮にかかわる標準化組織（MPEG, Moving Picture Experts Group）が発足した。1995年、ついに動画の圧縮としてMPEG-2 Videoが標準化された。この圧縮技術が、それまで不可能と考えていたデジタル放送を現実のものとするだけでなく、DVDなどのパッケージメディアへも採用され、世界のデジタル化を大きく進展させた。

日本では、MUSEハイビジョン放送を実施していたことから、デジタル化に向けて難しい判断を迫られることになった。しかし圧縮技術は、さらなる進展に向けて研究開発が進められており、衛星放送のみならず、地上放送でもデジタル化の可能性も見えてきたことから、デジタル化に向けた研究・議論が加速された。

結果としてMUSEは日本におけるデジタル化を阻害する象徴として語られ、2007年までの短命となったが、ハイビジョンによる制作、カメラ・VTRなどのスタジオ機器のハイビジョン化、ハイビジョンディスプレイなどの家庭用機器が、MUSEハイビジョン放送により世界に先駆けて開発されていたことから、その後のデジタルハイビジョン化にも大きなメリットとなった。

MPEG-2 Videoによる圧縮映像は、その圧縮の程度により、アナログ時代では経験したことのない歪が発生するが、数十分の1程度の圧縮では問題にならず、前後処理により100分の1程度まで圧縮することにより、

1.5Gbpsのハイビジョン信号が15Mbps程度になり、地上波でも利用可能なビットレートが実現できた。

その後も、圧縮技術の進化は続き、2003年にはMPEG-2 Videoの2倍の圧縮効率を持つMPEG-4 AVC（Advanced Video Coding）が規格化され、後述するワンセグで採用された。さらに、4K8Kで採用されているHEVC（High Efficiency Video Coding）はさらに圧縮効率があがり、もとの情報の1,000分の1程度まで圧縮して放送可能となっている。

(2) OFDMの出現

映像圧縮技術が進化したからとはいえ、特に地上波においては反射によるマルチパス妨害や、周波数有効利用の問題など、2節に示した各種問題を解決しない限り、デジタル放送を実現することはできない。

そのようななか、OFDM（Orthogonal Frequency Division Multiplexing）と呼ばれる方式が登場した。これは、超マルチキャリア伝送技術で、日本でも古くから研究されており、耐マルチパス妨害、周波数利用効率、移動受信性能の面で理論的に優れた性能を有することが知られていた。しかし、受信機において、当時一部高級な測定器にしか利用されていないFFT（Fast Fourier Transform）を使う必要があるなど、価格や装置の小型化が困難で放送の伝送方式としては俎上にあがらなかった。しかし、半導体技術の進展で、ヨーロッパのデジタル音声放送（DAB, Digital Audio Broadcasting）の伝送方式として採用され、1995年にイギリスで放送が開始された。テレビ放送への適用については、DABが1.5MHzの帯域幅であることに対し、日米では6MHz、ヨーロッパでは8MHzと広く、処理速度も高くなることから、さらに困難であった。しかし、OFDMは伝送特性が良いだけでなく、同じ周波数を使って中継局を設置するSFN（Single Frequency Network）も可能であり、周波数有効利用のためにも不可欠の技術となった。しかし、アメリカでは受信機の価格や普及の観

点から OFDM ではなく従来のシングルキャリアを用いた方式を導入した。そのため、ビルの反射によるマルチパス妨害の多い都市部では受信困難との指摘があったが、アメリカの都市部はケーブルテレビが中心であるなど、直接受信をしているケースがほとんどなく、あまり問題にならなかったようだ。また、図2に示したとおり、アメリカでは面積当たりの使用チャンネルがヨーロッパや日本に比べても少ないことから、周波数に余裕があり、SFNの活用も大きな要件にはならなかった。

一方、ヨーロッパでは比較的周波数が混雑していることや、DABで OFDM を用いた実績もあることから、テレビ放送においても OFDM を採用した。

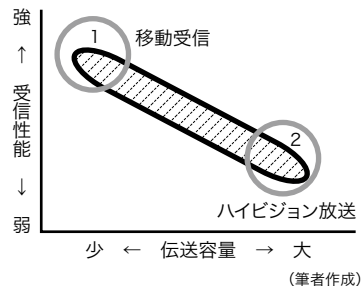
日本では、さらに周波数がひっ迫していることや、移動受信もできる方式であることが望まれたこともあり、OFDMを採用するだけでなく、さらに発展させた方式であることが求められた。

(3) BST-OFDM (Band Segmented Transmission - OFDM) の開発

デジタル伝送では、一般にデータ量を多くしようとすると伝送性能が劣化するなど、伝送容量と受信性能はトレードオフの関係にある(図3の斜線部分)。

地上放送に例えれば、ハイビジョンのような情報の多い信号を放送しようとする、図3の右下の②印となり受信性能は弱くなるため、屋外にアンテナをしっかりと立てることが必要となる。移動しながら簡易アンテナで受信するためには図3の左上の①印となり、容量が少なくなりハ

図3 伝送容量と受信性能の関係 (イメージ)

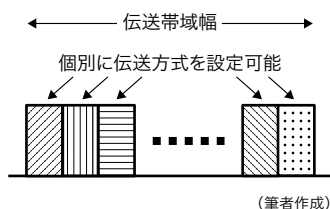


イビジョン放送はできなくなる。

アメリカやヨーロッパの地上デジタル放送では、図3の右下の②印を選択しているため、移動しながらテレビを視聴することはできない。従来のデジタル伝送の考え方では、図3の斜線範囲のどこか一か所しか選択することができず、欧米では容量重視の方式を選択した。

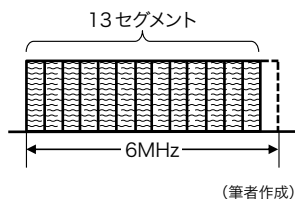
日本では、ハイビジョンと移動受信の両方を達成したいとする要望があ

図4 BST-OFDMの考え方



り、BST-OFDMが開発された。BST-OFDMは、図4に示すように伝送帯域幅を複数のセグメントと呼ばれる部分に分割し、それぞれ個別に伝送方式が設定できる。すなわち、一つのセグメントでは図3の斜線部分一つしか設定できないが、伝送帯域幅全体では図3の斜線の範囲を複数持つことが可能となる。

図5 セグメント帯域幅



日本の地上デジタル放送では、従来のアナログ放送1チャンネルの帯域幅をそのまま活用するため、デジタル放送でも帯域幅は6MHzである。その帯域にBST-OFDMを導入するため、図5に示すとおり6MHzの帯域を14分割して、そのうち13個を使って放送を実施している。そのため、セグメント帯域幅は $6\text{MHz}/14$ (約429kHz)である。残りの1つは、隣のチャンネルとの干渉を防ぐために使用していない。

図6 地上デジタル放送のセグメント構成

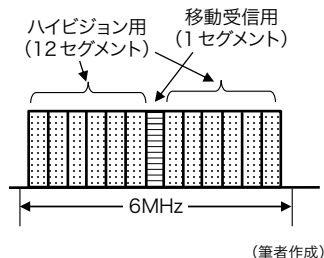


図6に、現在の地上デジタル放送のセグメントの利用状況を示す。13セ

グメントのうち12セグメントを用いてハイビジョン放送、1セグメントを用いて移動受信に利用している。1セグメントを利用していることから、「ワンセグ」という愛称がつけられた。

BST-OFDMを用いることで、図3の①移動受信と②ハイビジョン放送の両方を同時に放送することが可能となった。「ワンセグ」は、ハイビジョン用の帯域の12分の1しかなく、さらに移動受信も可能な方式としているため、伝送できる容量が極めて少なくなる。そこで、ハイビジョン用の圧縮技術よりもさらに進んだMPEG-4 AVCという技術を用い、低解像度ではあるが携帯用の端末で視聴するのに十分な画質を得ることが可能となった。

4 国際標準化と国際連携

(1) 国際標準化の必要性

日本で放送を実施するためには、総務省令により方式が規定されることが必要であるが、そのためには方式が国際規格であることが求められている。すなわち、国際標準規格となっている方式を、日本の方式として採用することになる。そのため、日本の放送のために、日本の要件に応じて開発された方式であっても、まずは国際標準化を進めることが必要となる。

放送方式の国際標準は、ITU-R（International Telecommunication Union Radiocommunication Sector：国際電気通信連合無線通信部門）で審議され、勧告に記載されることで標準化される。

ITU-Rでは、提案された研究課題に対し、その解決法として勧告があり、その勧告は基本的に1つの方式が望まれている。複数の方式がある場合には、それを選択するための基準もあわせて記載することが必要となる。

(2) 名称と標準化

MPEGでは、3節で示した映像圧縮だけでなく、デジタル放送にかかわる各種標準化を進めていた。特に1994年に規格化されたMPEG-2 Systemsは、映像、音声、データを効率的に伝送するためのパケット（TSパケット、Transport Stream Packet）を標準化し、それ以降の世界のデジタル放送に利用されている。この技術により、映像、音声、データを同じ考え方で扱うことができるだけでなく、例えば地上と衛星放送などのメディア間で共通した信号処理が可能となり、受信機においても受信回路が共通化されることで、地上、BS、CSのすべてのデジタル放送が受信できる「3波共用受信機」の実現にも大きな影響を与えた。ちなみに、新4K8K衛星放送では通信で採用されているIPパケットとの整合性を取った方式（MMT・TLV、MPEG Media Transport・Type Length Value）に進化している。

NHKでも、デジタル放送においては、映像、音声、およびデータを統合して扱い、新しいサービスを実現するとしてISDB（Integrated Services Digital Broadcasting：統合デジタル放送サービス）の考え方が提案され、デジタル放送の名称においても、BSデジタル放送はISDB-S（Satellite）、地上デジタル放送はISDB-T（Terrestrial）と呼んでいる。

ITU-Rでは、地上デジタルテレビジョン放送の実現に向けて、米国からはATSC（Advanced Television Systems Committee）、欧州からはDVB-T（Digital Video Broadcasting - Terrestrial）、そして日本からはISDB-Tが提案され、議論が進められた。基本的には1つの方式を希求するものの、それぞれ特徴が異なることから、例えばATSCはデジタルハイビジョンを放送するため、DVB-Tはマルチチャンネル、ISDB-Tは移動体での受信を含めた階層伝送を実施するためなど、選択するためのガイドラインの議論もあわせて行われた。

欧米の方式の名称には、TelevisionやVideoといった単語が含まれてお

り、テレビを放送するための方式が明確になっていることに対し、ISDB-Tは名称にテレビという表現がないことや、ハイビジョンなどの大容量伝送や、移動体に向けたサービスなど、テレビにもラジオにも適用可能なコンテンツに依存しない放送方式であることから、デジタルテレビジョンというよりもISDBの実現としたほうが良いとの考え方もあった。しかし、主なサービスがテレビジョンであることから欧米とともに選択するためのガイドラインの作成を進めた。

(3) 国際連携

ITU-Rでは議論の俎上に載せるためには、複数国の提案や賛同が必要となる。欧州方式はヨーロッパ各国からの提案であり、米国方式はアメリカ、カナダ、および韓国の賛同を得ていた。日本方式は、技術的には興味を示されたものの、方式そのものへの賛同がなかなか得られない状況であった。しかし、技術的な説明や議論を進めた結果、ワンセグなどの多様なサービスが可能など方式に柔軟性があることから、ブラジルなど南米各国がISDB-Tに興味を示し賛同したことから、欧米方式に次ぐ第3のデジタルテレビジョン放送として国際標準規格となった。

特に、ブラジルではハイビジョンと同時にワンセグを活用し、より簡易なアンテナや受信機でも地上コンテンツを視聴でき、早期普及が可能ではないかとして、ブラジルでの地上デジタルテレビ方式としてISDB-Tが採用された。ブラジルでの採用を受けて、南米ではISDB-Tの採用が進むなど、日本の放送のために開発した方式であるが、柔軟な方式であることや国際標準化したことで採用国が広がった。

これを受けて、南米と日本で、より詳細な仕様について議論をする枠組みを作り、南米でのISDB-Tの早期導入に向けて協力を進めてきた。実際、ブラジルでISDB-Tの電波が発射され、日本のワンセグ対応のスマホを使ってブラジルのワンセグが受信できたときには、感慨深いものがあった。

5 デジタル普及とアナログ停波

2節で述べたとおり、日本のテレビ放送用周波数はひっ迫しており、デジタル放送を導入するためには、アナログテレビ放送のチャンネル（周波数）を移行するなど、デジタル放送用周波数を確保することが必要であった。アナログテレビ放送のチャンネルを変更すれば、受信機の設定変更や、場合によっては混信が発生するなど、その対策に多大な経費が必要となる。デジタル放送導入の経費に加え、これらの経費を放送事業者のみで負担することは極めて困難であることから、アナログテレビ放送を2011年の7月までに終了することや、アナログテレビ放送終了後はテレビ放送に利用していた周波数の3分の1を別の用途に利用することなどを条件に、アナログテレビ放送周波数移行の変更対策は国主導で行うこととなった。

アナログテレビ放送の周波数移行と並行して、地上デジタル放送は、2003年に東名阪、2006年には全国の親局（各地域ごとの中心となる送信所）から電波が発射された。その後段階的に中継局を整備して全国展開していくなかで、2011年にアナログ放送を終了するためには受信機の早期普及が大きな課題となった。当時、アナログテレビ受信機は全国で1億台程度あるといわれており、そのすべてが2011年に廃棄せざるを得なくなり、最低限世帯に1台はデジタルテレビを購入いただくことが必要となる。まだデジタル放送の電波が届いていない地域の視聴者の方々に対しても、地上デジタル放送が受信できるテレビを購入していただくなど、デジタルテレビの普及とアナログテレビの終了を並行して進めることとなった。

実際、2000年に開始された衛星デジタル放送は普及がなかなか進まず、2003年の地上デジタル放送開始後も、その普及に苦戦が予想されていた。しかし、いわゆるデジタル放送化とは直接的に関係のない技術ではあるが、テレビのディスプレイが液晶やプラズマになり、それまでの「箱」

型のブラウン管テレビから、「板」型のテレビになり、ハイビジョン画質を効果的にアピールできる大型画面でも部屋のなかでスマートに設置できるようになった。テレビの設置位置も、それまで主に部屋の角に置かれていたものが、壁に平行に設置できるなど、デジタルテレビ＝薄型テレビ、テレビは「箱から板に」、など、視聴者の満足度も高められ、極めて順調に普及が進んでいった。

結果として2011年の7月24日、一部東日本大震災による被災地域を除き全国のアナログ放送が停波、翌年3月には日本全国で大きな混乱もなく完全デジタル化が達成された。

6 今後の展望

デジタル放送にかかわる基本技術は3節に述べたとおりだが、その後も研究開発が進み、さらに高効率で動画圧縮が可能になってきたり、限られた帯域でより多くの情報を送信できる伝送方式も登場してきている。しかし、これらを実現するためには、5節で述べたように今のデジタル放送と並行して新たな仕組みでの放送を行い、将来的に今のデジタル放送を終了するといったプロセスが必須となる。しかし、デジタル化に際してテレビ放送に利用できる周波数が減少したことから、このような手法が事実上困難であることに加え、放送事業者の経費や、視聴者への負担も大きなものになることから、新たな方式を導入するためにはデジタルテレビ放送を高度化するだけでなく、より多くのメリットを視聴者に提供していくことが必須となろう。

(1) 映像の視聴は伝送路フリーに

現在の地上デジタル放送が開始された当初は、動画はテレビ放送から提

供されることがほとんどであり、動画を見ることとテレビを視聴することは同義であった。しかし、現在は動画と言えばネットで提供されるものであり、自ら発信することも可能となっている。すなわち、ユーザーにとってみれば、テレビ放送は提供されるコンテンツの一つの種類となっている。さらに、ネットで提供される動画は、好きなときに視聴できることや、速度を速めた視聴も可能となるなど、リアルタイムのテレビ放送にはない機能が多く含まれている。テレビ局も放送された番組をネットで提供したり、家庭で録画した番組もネット経由で視聴できる機能を持つなど、テレビコンテンツの視聴方法が広がってきている。ユーザーからすると、スカイプに代表されるような送信所から発射される電波を受信しているのか、通信のネットワークを経由して送られてきているのか、区別をすること自体意味がなくなってきている。大容量のコンテンツを効率よく送信するには、いわゆる放送型のネットワークがコスト面でも安定性の面でも有利であるが、ユーザーのし好に合わせたコンテンツの提供を考慮すると、双方向性が必須となる。今後の映像サービスを考える際には、配信という観点のみを考慮した場合、放送と通信の区別はなくなり、配信形態の特性を利用し、ユーザーメリットを最大化しつつ伝送コストを最小化とした視点での検討も必要となろう。

(2) 箱から板へ、板から紙へ、さらに先へ

受信機の形態の変化も必要である。デジタル化の際に、「箱から板へ」で普及が加速したように、ディスプレイの形状の変化も必要となる。現在では、スマートフォンでも動画が視聴できるが、家庭での視聴を考慮した場合、より大きなディスプレイでの視聴が望まれる。そのディスプレイが、今と同じ形状で鮮明になるだけでなく、例えばシート型ディスプレイのように、壁に貼れるような紙状のディスプレイが実現できれば、家庭内での視聴スタイルにも変化が生じ、普及が進むことになろう。さらに将来的に

は、視聴環境そのものがコンテンツのなかに入り込むような、空間ディスプレイに進化していくことが期待される。

今のテレビと同様、プッシュ型でコンテンツを視聴する、し好に合わせて見たい時間に見たいコンテンツを視聴する、臨場感高くコンテンツそのものを楽しむなどなど、映像を活用した情報は、今後さらに増加することになる。本稿で述べたデジタル化の初期は、デジタル化することが大きな目的であったが、今後はデジタル技術を活用し発展させて、どう表現していくか、さらに、それら情報を効率よく安価にユーザーのし好に合わせてどのように伝送するかなど、研究開発を継続し、新たな映像表現を実現してもらいたい。



黒田 徹（くろだ・とおる）

1982年NHK入局。1985年より放送技術研究所において、FM多重放送、地上デジタル放送の研究および国際標準化業務に従事。1999年より技術局計画部にて地上デジタル放送の設備整備、2002年より総合企画室デジタル放送推進（当時）にて、地上デジタル放送の普及業務を担当。2009年より放送技術研究所、2014年より同所所長。2018年退職。工学博士。

用語解説

本文で記載した用語について、その背景を含め概要を以下に示す。なお、技術の詳細については、専門書等を参照されたい。

(1) ハイビジョン、標準テレビのビット数

映像信号の1秒当たりのビット数、すなわちビットレートは、ハイビジョンの場合、

$$1,920(\text{横}) \times 1,080(\text{縦}) \times 8(\text{ビット}) \times 3 \times 30(\text{フレーム}) \\ = \text{約}15\text{億}(\text{ビット}/\text{秒}) = \text{約}1.5\text{Gbit/s}$$

同様に、標準テレビの場合は、

$$720(\text{横}) \times 480(\text{縦}) \times 8(\text{ビット}) \times 3 \times 30(\text{フレーム}) \\ = \text{約}2.5\text{億}(\text{ビット}/\text{秒}) = \text{約}250\text{Mbit/s}$$

となる。

仮に、今の地上デジタル放送でハイビジョンをそのまま放送しようとする、地上デジタル放送1チャンネル当たり15Mbit/s程度なので、 $1.5\text{Gbit/s} \div 15\text{Mbit/s} = 100$ チャンネルくらいが必要となる。すなわち、地上デジタル放送でハイビジョンを1チャンネルで放送するためには、100分の1程度まで圧縮する必要がある。

(2) MUSE (Multiple Sub-Nyquist Sampling Encoding) とデジタル放送

(1)で示したとおり、デジタル放送においては映像信号の圧縮が必須である。これはアナログ放送においても同様で、例えばアナログ標準テレビであるNTSC (National Television System Committee) を例に考えてみると、白黒テレビとカラーテレビが同じ帯域幅になるよう、色信号の帯域を圧縮し、輝度(白黒)信号の隙間に挿入している。すなわち3分の1に圧縮しているといえる。

MUSEにおいては、デジタル放送というMPEGに相当する圧縮処理を、アルゴリズムは異なるがデジタル信号処理で実施している。受信機側においても、受信した信号をデジタル化し、信号処理をしてハイビジョン画像を復元してハイビジョンディスプレイに表示している。これは、処理のアルゴリズムが異なるだけで、デジタル放送と同じ流れとなり、どちらもデジタル信号処理が基本となっている。すなわち、電波に変換する部分(変調と呼ばれている)が、MUSEではアナログ変調であるFMを用い、BSデジタル放送ではデジタル変調である8-PSK (Phase Shift Keying) を用いていることが異なっている。

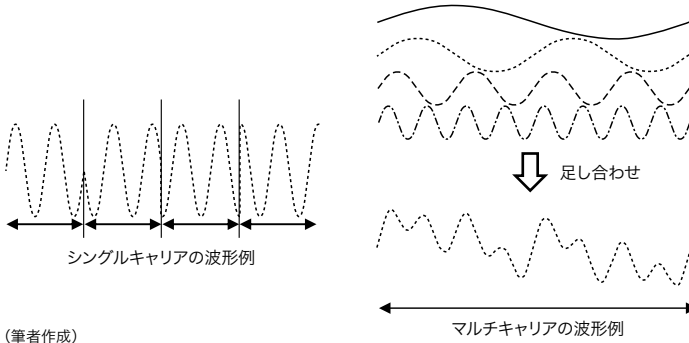
当時は、デジタル圧縮技術とデジタル変調技術が成熟しておらず、MUSEによる圧縮とFM変調による組み合わせでしか、ハイビジョンを放送することができなかった。このことは、アナログからデジタルという特徴的な言葉で表現されてい

るが、BSデジタル放送の圧縮方式や変調方式が進展し、今の新4K8K衛星放送が実施されていることと同様、技術の進展により放送方式が進化したものである。

(3) OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

シングルキャリアの場合は、デジタル信号を正弦波に割り当てて、図A-1に示すように、1つの区間で1つのデジタル信号を送信するので、図で示す範囲では4つのデジタル信号を送信できる。マルチキャリアは、図の例では4倍の長さを持つ区間を、周波数の異なる4種類の信号にデジタル信号を割り当てる。そのため1つの区間で4つのデジタル信号を送信できるので、同じ時間では、シングルキャリアとマルチキャリアでは同じ数のデジタル信号を送信できる。山やビルなどによる反射で発生するマルチパス妨害では、この区切りの長さが長いほうが影響を受けにくいので、マルチキャリアはシングルキャリアよりも有利となる。マルチキャリアのうち、用いている信号の周波数が、整数倍（2のn乗倍=1, 2, 4, 8, …倍）の信号を用いているものをOFDMと呼ぶ。今回の例では4つの周波数を組み合わせたが、地上デジタル放送で用いられているOFDMは、組み合わせられる周波数が5,617本となり、シングルキャリアに比べて5,617倍の長さを持つため、マルチパス妨害に強いことが分かる。

図A-1 シングルキャリアとマルチキャリアの波形例



(4) FFT (Fast Fourier Transform)

(3)で示したように、OFDMは、1つの区間で異なる周波数の正弦波にデジタル信号を割り当てる必要がある。すなわち、周波数領域で信号を割り当て、それを波形に直して送信することになる。受信機では、送られてきた波形から周波数ごとに割り当てられたデジタル信号を求める必要がある。周波数と波形（時間信号）を変換する方法は、フーリエ変換（デジタル信号処理では離散フーリエ変換）と

呼ばれており、処理の数が増えると、計算量（＝回路規模）が急激に大きくなる。これを、少しでも減らし効率的に計算するアルゴリズムがFFTと呼ばれているのである。

(5) SFN (Single Frequency Network)

SFNは、複数の送信所で、同じ内容を同じ周波数で送信する方法である。アナログ放送では、同じ周波数で送信すると、混信妨害となりSFNは利用できなかったが、より高い周波数利用効率求められるデジタル放送では、SFNを用いることが必須となった。

図A-2の上側にマルチパス妨害の例を示す。OFDMは(3)で述べたように、1つの信号が継続する区間が極めて長いので、マルチパス妨害に強い特徴を持っている。図A-2の下側にSFNの例を示す。SFNを運用している2つの送信所の間の地域などでは、両方の電波が受信され、混信を起こすことがある。しかし、図の上下を見比べて分かるとおおり、SFNによる妨害はマルチパス妨害と同様であり、マルチパス妨害に強いOFDMはSFNによる混信にも影響を受けにくい。

図A-2 マルチパス妨害とSFN

