2. 地上デジタル放送の概要

正会員 大塚 吉道[†]

キーワード ● 地上デジタル放送, 衛星デジタル放送, 標準化, ISDB, MPEG-2, ハイビジョン

1. ま え が き

放送衛星3号から4号, その後発機の設計や使用法を巡って議論が沸騰した時期があった。議論の対象はアナログかデジタルかである。総務省(当時は郵政省)の諮問機関「BS-4後発機検討会」は, この難題を解決すべく, 放送業界や電子業界の関係者から意見聴取を行うなど, 約1年の調査・研究を行い, 表1に示す骨子を発表した。まさに, テレビ放送50年の歴史を変える答申であった。

この答申を受けて, 放送のデジタル化が急ピッチで進み, 2000年12月, BSデジタル放送が始まった。地上デジタル放送は, 2003年12月より東名阪の大都市を中心に開始される。また, 2006年頃には県域放送が始まる見込みである。

ここでは, 地上デジタル放送に関してレビューし, 標準化の経緯および主要技術の紹介を行う。

2. 地上デジタル放送レビュー

映像圧縮技術の進展, LSIの高集積化と高速化, デジタル伝送方式の開発等, デジタル技術の飛躍的な進歩により, 番組制作から受信機までトータルなデジタル放送が実現できる見通しがたったのは1990年代になってからである。しかし, デジタル放送の研究開発はそれ以前から行われていた。例えばNHK技研では, 1983年から, アナログ放送のサービスを単にデジタル信号に置き換えるのではなく, デジタル信号の長所を備え, 視聴者にとって魅力ある放送サービスを提供することを目標に, 柔軟性, 拡張性, 共通性をもった新しい放送の概念としてのISDBについて, 研究を行ってきた。1985年には国際的な標準化機関であるITU-R(当時はCCIR)に, 新しい研究課題としてISDBを日本から提案し, 承認されている¹⁾。

一方, ISO/IECの合同の作業部会であるMPEG(Moving Picture Experts Group)は, 映像・音声の符号化方式と多重システムについて放送, 通信等に共通な方式として, MPEG-2を1994年11月に標準化した²⁾。ITU-Rにおいても, デジタルの要素技術としてこの規格を採用する勧告が成

表1 BS-4後発機検討会報告(1997年5月)

1. 2000年を目途にデジタル放送を開始
2. アナログ放送を引き継ぎ, 同内容の放送を行う移行チャンネルを確保
3. サイマル放送以外はHDTV放送が中心
4. 受託・委託放送制度を導入

立しており³⁾, 世界中の放送機関がMPEG-2を採用することを表明した。

このような状況のもとで, 各国がデジタル放送の実用化を進めてきた。1994年にアメリカが世界で最初に多チャンネル衛星デジタルテレビ放送を開始し, ヨーロッパでも1996年から同様な多チャンネルデジタルテレビ放送を始めた。一方, 地上デジタル放送については, アメリカはATSC方式によりHDTVを含んだサービスを, 1998年5月から主要な10都市で開始した。また, ヨーロッパではBBCが1998年に, DVB-Tに基づく標準テレビの地上デジタル放送を開始した⁴⁾。

日本では, 通信衛星を用いたCSデジタル放送が, BSデジタル放送に先立ち, 1996年6月より始まっている。一方, BSを用いたデジタル放送については, 1997年5月に「BS-4後発機利用検討会」が, 2000年に打ち上げられるBS-4後発機による放送をデジタルで実施するという検討結果を郵政省に報告した。総務省は, 直ちにこの答申に沿って, BS-4後発機を, HDTVを中心とするデジタル放送で行う方針を決め, 電波監理審議会に諮問した。電波監理審議会は, この諮問に沿った答申を行っている⁵⁾。また, 地上のデジタル放送に関しても, 技術的に欧米に遅れないよう2000年以前に方式の確立を目指して研究開発が進める方針を打ち出した。

世界の地上デジタル放送の方式は, 大きく分類して表2に示す3方式が実用化されている。日本のISDB-T方式は, ヨーロッパのDVB-Tと同様にOFDMを用いた方式であるが, 1チャンネルを13セグメントに周波数分割し, セグメントごと最大3種類の変調諸元を指定することができる。技術的にゴースト妨害に強く, 移動受信にも対応できるのが特長である。また, 移動受信用に音声や簡易動画像を放送しながら, 同時に, 固定受信用にハイビジョン放送を行う

[†]NHK 放送技術研究所

"An Outline of the Terrestrial Digital Broadcasting" by Yoshimichi Otsuka (NHK Science and Technical Research Laboratories, Tokyo)

ことができる。あるいは、同時に三つの別々の標準テレビ番組を放送することもできる。

3. 地上デジタル放送の標準化

日本の地上デジタル放送は、テレビ放送と音声放送の共通性を考慮してISDB-Tとして研究開発が進められた。テレビ放送については1999年5月に、また音声については同年9月に、電気通信技術審議会から技術的条件の答申が公布された。ISDB-Tのテレビ放送は、音声放送との共通性のほか、移動受信、単一周波数ネットワーク(SFN)の可能性、柔軟な帯域利用など、欧米の方式に比べ多くの利点を有している。

日本の場合は、1998年10月に発表された地上デジタル放送懇談会の最終報告によれば、関東地区などの3大都市圏

では2003年までに、そのほかの地区では2006年までに本放送を開始するとしている。これに伴い、北海道から沖縄まで、国のプロジェクトによる共同実験設備整備事業が、放送や通信事業者、メーカ、地方自治体などの協力によって進められた。

NHKでは1990年頃から、マルチパス妨害に強い性質に注目して、OFDM伝送についての本格的な研究を開始し、1995年のNHK技研の公開では世界で初めて、テレビ放送の移動受信の試乗展示を行った。また、1996年にはNHK技研の鉄塔とNHK放送センタとの間でSFN実験局を設置し、技術的に課題の多い移動体向けテレビ放送の伝送方式について主に研究を続けてきた。加えて、ほかのメディアとの共通性を確保しつつ、各種サービスが柔軟に多重でき、階層伝送も可能な多重化方式を開発した。この成果をもとに、次世代デジタルテレビ放送システム研究所と共にさらに検討を行い、地上デジタルテレビ放送の伝送方式案として1997年7月に電波産業会(ARIB)に共同提案した。1997年9月には電気通信技術審議会において暫定方式原案となり、伝送に関する技術方式のベースラインが定められた。その後、約1年間にわたる放送事業者、メーカなどの多くの関係者による審議と、室内および野外伝送実験の成果を反映し、1998年9月に暫定方式が電気通信技術審議会で承認された。

その後、暫定方式仕様の実験装置を用いた東京および千葉県佐原地区での大規模実証実験の結果を踏まえ、さらに、メディア横断的な共通部分については、先行するBSデジタル放送方式の開発成果を最大限に活用して、地上デジタルテレビ放送の方式がARIBにおいてとりまとめられた。

日本のデジタル放送標準化は、「デジタル放送方式に係わる技術的条件」に関する諮問74号(1994年6月27日)に基づき、衛星、地上、CATVのデジタル放送実用化のための技術基準策定に向け、その放送方式の技術的条件について精力的な検討が進められ、表3に示す答申がまとめられた。これら放送方式に関する答申が公布されたことにより、衛星、地上、CATVの放送方式がすべて制定されたことになる。

表2 地上デジタル放送の日・欧・米方式の比較

	日本	ヨーロッパ	アメリカ
方式名	ISDB-T*1	DVB-T*2	ATSC*3
キャリア	マルチキャリア (OFDM)	マルチキャリア (OFDM)	シングルキャリア
変調方式	DQPSK QPSK 16QAM 64QAM	QPSK 16QAM 64QAM MR-16QAM MR-64QAM	8VSB-AM
セグメント 単位の運用	階層ごとに変調 方式を指定可能	不可能	不可能
チャンネル間隔	6 MHz	7 or 8 MHz	6 MHz
多重方式	MPEG-2 System		
映像符号化方式	MPEG-2 Video		
音声符号化方式	MPEG-2 AAC	MPEG-2 BC	Dolby AC3
マルチパス妨害	○	○	×
SFN	○	○	×
移動受信	○	△	×
部分受信	○	×	×

*1 ISDB-T: Integrated Services Digital Broadcasting for Terrestrial

*2 DVB-T: Digital Video Broadcasting for Terrestrial

*3 ATSC: Advanced Television Systems Committee

表3 諮問第74号「デジタル放送方式に係わる技術的条件」に基づくデジタル放送の標準化

種 別	タイトル	答申年月日
CS	12.2~12.75GHzを使用する衛星デジタル放送方式(27MHz帯域を使用するもの)の技術的条件	1995年7月24日
CATV	有線テレビジョン放送におけるデジタル放送方式の技術的条件	1996年5月27日
BS	11.7GHzを超え12.2GHz以下の周波数の電波を使用する衛星デジタル放送方式の技術的条件	1998年2月9日
CS	12.2~12.75GHzを使用する衛星デジタル放送方式(27MHz帯域を使用するもの)における高精細度テレビジョン放送導入のための技術的条件	1998年10月26日
地上	地上デジタルテレビジョン方式の技術的条件	1999年5月24日
2.6G	2.6GHz帯衛星デジタル音声放送システムの技術的条件	1999年7月21日
地上音声	地上デジタル音声放送方式の技術的条件	1999年11月29日
CATV	有線テレビジョン放送施設における地上デジタルテレビジョン放送の伝送に係わる技術的条件	2000年1月24日
110° CS	12.2~12.75GHzを使用する衛星デジタル放送方式(34.5MHz帯域幅を使用するもの)の技術的条件	2000年2月28日

4. 地上デジタル放送の技術的概要

ここでは、地上デジタル放送の技術的諸元を、例えば、文献6)に譲り、読者に理解しやすい観点で、重要な技術的要素について述べる。

4.1 OFDMとは

OFDMとは、Orthogonal Frequency Division Multiplexing (直交周波数分割多重)の略である。

図1にその原理を示すとおり、IFFT(逆フーリエ変換)で変調し、FFT(フーリエ変換)で復調する。まず、送信信号のビットストリームを位相平面にマッピングする。例えば、64QAMであれば、信号を6ビットずつに区切り、それぞれの6ビットを図のような位相平面に64点で割り付ける。次にIFFTをかけるが、位相平面の横軸を実数部、縦軸を虚数部と考えればよい。そして、これをIFFT出力の実数部と虚数部による直交変調により所望の周波数にアップし、伝送路に送り出す。復調は変調の逆の過程をたどる。

IFFTの動作を子細にみるならば、64QAMの場合、最初の6ビットが直流成分に変換され、次の6ビットが第1の周波数成分に変換される。このように、次々に高い周波数成分に変換されていき、最後の6ビットが最高周波数成分に変換される。そして、再び、直流成分へ戻る。すなわち、OFDM変調はブロック化された信号処理であることがわかる。

このように、OFDMは単純な原理であるが、これが地上デジタル放送の開発において、大きな学術テーマとなったことは喜ばしいことである。そのテーマの主なものは、クロック再生、マルチパスやフェージングなどの妨害、移動受信で生ずるドップラシフト、SFN放送波中継で生ずる電波の回り込み対策などである。

4.2 ガードインターバル

OFDMのキャリアとは、一つの周波数成分であり、狭帯域で低速な信号である。すなわち、IFFTを施すことによって時間軸上の信号に変換される。このことがマルチパス妨害に強い理由であるが、さらに耐性を高めるため、図2に示すようなガードインターバル(GI)を設ける。ここでは、IFFTの一つの周波数成分は正弦波と考えてよい。ガードインターバルには、有効シンボル長(IFFT長)の時間的後方の部分が、有効シンボルの先頭部分に付加(コピー)される。IFFTの周波数成分の波形は、有効シンボル長で繰り返すため、付加した境界でその波形は連続である。

今、マルチパス妨害を受けた場合、その遅延がガードインターバル以下であるとき、有効シンボルの部分には、自分自身を遅延した信号が加算される。このような加算が起っても、有効シンボルの部分は、波形が連続であるため、正常に復調できる。

有効シンボル長に対するガードインターバルの比を「ガード比」という。ガード比の最大値は1/4であり、MODE 3のシンボルレートが約1kHzであることを考えると、最大

図1 OFDMの原理

図2 ガードインターバル

図3 セグメント分割

0.25msまでのマルチパス妨害を許容できる。これは、自由空間光路長で75kmのマルチパスに相当する。このように、長大なマルチパスに対する耐性もOFDMの特長である。

4.3 セグメント分割

セグメント分割は、図3に示すように、電波の帯域6MHzを14のセグメントに分割し、このうち、13セグメントを使用する。残りの1セグメントは、隣接チャネルとのガード周波数として使用しない。また、セグメント当たりのOFDMキャリア数は、次のとおりである。

Mode 1: 108(約4kHz間隔)

Mode 2: 216(約2kHz間隔)

Mode 3: 432(約1kHz間隔)

キャリア数が多いほど、マルチパスに対する耐性が高くなるが、一方で、高速で移動するときには発生するドップラシフトに弱くなる。したがって、固定受信ではMode 3、移動受信ではMode 1というのが定説である。

表4 ビットレートに関するパラメータ値	
Mはシンボル当たりのビット数	6(64QAM), 4(16QAM), 2(QPSK, DQPSK)
Cは畳み込み符号化率	7/8, 5/6, 3/4, 2/3, 1/2
Gはガード比	1/32, 1/16, 1/8, 1/4
Nは使用セグメント数	1~13の整数

日本の地上デジタル放送は、セグメントごとに変調方式やガード比など変調諸元を変えることができる。これは、外国の地上デジタル放送にない特長である。図4にセグメント分割とそのサービス例を示す。本例は、1セグメントを利用して携帯受信向け、3セグメントを使用して移動受信向け、残りの9セグメントを利用して固定受信向け放送の例である。ここで、セグメントごと変調諸元を変えることができるといっても制限があり、分割は最大3分割まで、また、中央のセグメントから外方向に順番に割当てなければならない。

受信機では、FFTでOFDMを復調するが、FFTは線形変換であるため、部分的FFTによって所望のサービスを受信できる。必ずしもすべてを復調する必要はない。

4.4 情報源ビットレート

OFDMでは、キャリア間隔がデータのシンボルレートに等しい。このことが直交周波数の条件であり、すべてのクロック周波数は、6MHzにフェーズロックされる。

地上デジタル放送の情報源ビットレートは次式で計算できる。

$$R = (376/1071) M \cdot C \cdot N / (1 + G)$$

ただし、式中のパラメータは表4のとおりである。

また、定数 (376/1071) の根拠は、

セグメント当たりの帯域	6/14MHz
リードソロモン符号化率	188/204
制御信号等の挿入損失	96/108
計(上記の積)	376/1071

今、中央の1セグメントを携帯受信向け放送に使用し、残りの12セグメントをハイビジョン放送に使用するときのビットレートは、携帯向け放送をDQPSK、1/2畳み込み符号、1/4ガード比と仮定すると、280kbpsとなる。次にハイビジョン放送を64QAM、3/4畳み込み符号、1/8ガード比と仮定すると、16.8 Mbpsである。

一方、BSデジタル放送では、22スロットをすべて使うとそのビットレートは26 Mbpsとなる。これは、単純な比例計算で、地上デジタル放送用のハイビジョンの符号化は、BSデジタル放送のおよそ1.5倍に圧縮しなければならないことを意味する。この点に関し、BS並みの画質を確保し、かつ、現行デコーダを変えないで、地上デジタル放送に向けた画質改善の研究が行われている⁷⁾。しかし、2003年12月には間に合わないが、エンコーダの設計を変えるだけで対応できるため、いずれ、より画質が改善されたハイビジョン放送が登場することを期待したい。

5. む す び

2003年12月1日から地上デジタル放送が始まったが、これを育てるも殺すも、そのコンテンツやサービス内容にかかっている。デジタルであることの特質を生かすことが、地上デジタル放送の成功への道であると信ずる。生まれたばかりの地上デジタル放送ではあるが、今後の進展を期待するとともに、長寿であることを願いたい。

(2003年10月23日受付)

〔文 献〕

- 1) ITU-R Question 1012-1/11: "Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB) in the Broadcasting Satellite Service"
- 2) ISO/IEC 13818: "Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio Information" (1994)
- 3) ITU-R Recommendation BT. 1208: "Video Coding for Terrestrial Television Broadcasting"
- 4) BBC: "Digital Terrestrial TV", Intermediate Special Report, 25, 2 (1997)
- 5) 郵政省電波監理審議会: "放送普及基本計画の一部変更に関する答申について" (1997)
- 6) 映情学編: "デジタル放送ハンドブック", オーム社 (2003)
- 7) 大塚ほか: "HDTV高圧縮技術～低ビットレート化符号化アルゴリズムの主観画質評価～", 映情学技報, 27, 29, BCT2003-3 (2003)

おおつか よしみち
大塚 吉道 1974年、東京工業大学大学院修士課程修了。同年、NHKに入局。高松放送局を経て、1978年より、放送技術研究所にて、映像の帯域圧縮、符号化の研究に従事。2000年より、NHKエンジニアリングサービスに出向。2003年、NHKに復帰。正会員。