

改訂 マルチメディア時代の
情報理論

工学博士 小川 英一 著

コロナ社

改訂版まえがき

本書は2000年4月の初版発行以来20年近くが経過した。この間、十数校の大学や工業高等専門学校で教科書として採用いただき、20刷を数えることができた。初版のまえがきにも書いたが、本書が目標とした「情報理論の基礎からマルチメディアへの応用技術までをバランスよく解説する入門書」についてはある程度達成できたものと思っている。

しかし、書名に付けた「マルチメディア」は20年間で大きく変遷した。今世紀に入って地上デジタルテレビ放送が開始されたが、いまや衛星放送による4Kや8Kテレビも始まった。携帯電話は第3世代が始まってネットやスマートフォンの利用が進んだが、第5世代に入ろうとしている。また、インターネットの高速化や動画共有サービスにより高画質な映像を手軽に楽しめる。

一方、初版で例として取り上げたアナログテレビやPHS、MD（ミニディスク）などは姿を消した。このような時期にコロナ社から改訂版を出してはどうか、との話をいただき、ちょうどいいタイミングと思いお引き受けした。

改訂版にあたって、教科書採用担当の方からは9～10章のマルチメディア機器への応用技術の説明を充実するように要望を受けた。著者もその通りに感じていたので、改訂版ではつぎのように追加・充実を図った。

情報理論の基本である1～6章、および伝送路符号化の8章は基礎事項であり内容的には変えていない。例にあげていた古くなった機器などを新しいものに直した程度である。

7章では、7.2節でリード・ソロモン符号などの説明を充実するとともに、その光ディスクへの応用としてCDに加えて、改訂版ではDVDやBD（ブルーレイディスク）の独特の誤り訂正技術も加えた。さらに、7.4節として「新しい誤り訂正符号」を新設した。従来の代数的理論による誤り訂正符号に対し

て、近年は反復符号法を用いたターボ符号や LDPC（低密度パリティ検査）符号が注目されている。より高性能な訂正能力をもつ新世代の誤り訂正符号として新しいシステムで採用されてきており、これらの概要を説明する。

9章では9.2節を新設して音声や映像の情報量の説明を加えた。特に、画像のカラーの表現と情報としての扱い方を詳しく述べた。また、9.5節を新設し、次世代のネットワークとその基礎となるインターネット技術、および電話音声も含めたオールパケット通信などについて簡単に説明した。

10章の圧縮符号化は10.1～10.4節をそれぞれ、音声、オーディオ、静止画、映像に全面的に整理し直し、新しい方式や機器を取り上げて説明した。おもな新規事項は、携帯電話の CELP 圧縮方式と音声のパケット構成、オーディオの MP3 方式やロスレス圧縮、静止画の JPEG 圧縮方式、映像の動き補償予測と世界標準の MPEG 圧縮方式の技術進展について最新の HEVC（高効率映像符号化）方式までを詳しく説明した。

2018年12月に始まった衛星放送による世界初の8Kテレビの実用放送は、情報理論の応用技術でも画期的で、情報源符号化（データ圧縮）には HEVC、通信路符号化（誤り訂正）には LDPC 符号という最新技術によって実用可能になった。これを機会に情報理論に興味を持っていただければ幸いである。

参考文献は巻末に記載した以外に、新しい方式や機器に関して多くの Web ページを参考にさせていただきました。厚くお礼申し上げます。また、改訂版の執筆を勤めていただいたコロナ社に感謝いたします。

2018年12月

小川英一

まえがき

近年の携帯電話やパソコン、デジタルオーディオ・ビジュアル機器など情報家電の進展はめざましく、マルチメディア時代の到来が実感される。デジタル機器の普及には、もちろん半導体などのハードウェア技術の進展が大きいですが、情報理論に基づくソフト的技術、いわゆるデータ圧縮や誤り訂正などの技術によって初めて実用化されたともいえる。

符号化技術を扱う情報理論の研究開始から半世紀以上経ているが、当初は通信装置やネットワーク、コンピュータなどの高度な装置に適用され、一般の人々からは見えない存在であった。しかし、マルチメディア時代では、情報理論が非常に身近な存在になっている。すなわち、パソコンやインターネット、携帯電話やデジタル放送、CDやDVDなどのAV機器には符号化技術がふんだんに取り入れられている。

オーディオや映像を記録あるいは伝送する場合、高能率符号化（データ圧縮）技術がなければ、数倍から数十倍のディスク容量あるいは高速な通信回線が必要になる。また、高信頼符号化（誤り訂正）技術がなければ、傷ができないようにディスクの製造工程や取扱いに格段の厳密さが要求され、高度な録音・再生機器、通信装置が必要になる。これらを家電製品として気楽に楽しむのは、情報理論の技術成果のおかげである。

今日ではだれもがデジタル機器・ネットワークの利便性を享受しているが、今後とも扱う情報量の急増と高機能化のため、これらの機器を理解するには情報理論の知識はますます不可欠になる。

情報理論に関する著書は入門書から高度な専門書まで数多くあるが、著者が大学や工業高等専門学校で情報理論を講義して感じたことは、情報理論の成果・技術を身近なデジタル機器や通信技術と関連させて解説している著書が

少ないことである。これが本書を著したきっかけであり、情報理論の基礎から応用技術までバランスよく解説した入門書を目指したものである。

著者は無線通信システムの研究・実用化に携わってきたが、移動通信などの厳しい伝送路では高能率符号化や誤り訂正などが本質的な技術と感じてきた。専門外の者として、改めて情報理論の要点を理解し、あるいは新たな応用技術を理解する立場から情報理論を解説できればと考えて執筆した。

学生は携帯電話やインターネット、オーディオ機器を存分に利用し、ハードの規格には詳しく、身近なデジタル機器や通信技術の話には興味を示すが、案外そこに使われているソフト的な処理の知識が少ない。一方、情報理論や符号理論の面白さは数学的な美しさにあると思われるが、専門書で扱われる高度な確率論は敬遠するのが現実である。

そこで、本書では数学的な厳密さを問わず、基礎的な知識のみで情報理論のアウトラインを知ることができるように心がけた。また、随所に例や例題によってデジタル機器の具体的な応用技術と関連させて興味を持たせるように配慮した。本書が情報理論あるいはデジタル機器に興味を持つきっかけとなることを願う次第である。

本書の執筆にあたり、参考文献あげている多くの優れた著書を参考にさせていただきました。ここに、これらの著者の方々に感謝申し上げますとともに、本書の不備な点などをご指摘・ご叱責いただければ幸いです。また、出版にあたってお世話いただいたコロナ社に感謝いたします。

2000年2月

小 川 英 一

目 次

1. 情報伝送の基礎知識

1.1 情報理論とその役割	1
1.1.1 情報理論とは	1
1.1.2 身近になった情報理論	2
1.2 情報通信のしくみ	3
1.2.1 情報伝送の流れ	3
1.2.2 アナログ情報とデジタル情報	4
1.3 2 元 符 号	6
1.3.1 ビ ッ ト	6
1.3.2 記号の種類と符号の長さ	6
1.3.3 固定長符号と可変長符号	7
1.4 符号化の役割	8
1.4.1 情報源符号化	9
1.4.2 通信路符号化	9
1.4.3 伝送路符号化	10
1.4.4 良い符号とは	10
1.5 情報伝送の制限要因	11
1.5.1 符号誤りの原因	11
1.5.2 情報の伝送速度	12
1.5.3 周波数帯域幅	12
1.5.4 通信路の容量	13
演 習 問 題	13

2. 情報量の数量化

2.1 情報量と確率との対応	15
2.1.1 情報量の大きさ	15
2.1.2 情報量の加法性	17
2.2 自己情報量	18
2.3 平均情報量 (エントロピー)	21
2.3.1 情報源のもつ情報量	21
2.3.2 完全事象と平均値	22
2.3.3 エントロピー	23
2.4 エントロピーの性質	24
2.4.1 エントロピー関数	24
2.4.2 最大エントロピーと冗長度	26
2.4.3 記号間の相関	27
演習問題	28

3. 情報源符号化

3.1 符号の条件と性質	29
3.1.1 符号としての条件	30
3.1.2 符号の木	31
3.1.3 クラフトの不等式	33
3.2 符号の長さ	35
3.2.1 平均符号長	35
3.2.2 符号長の短縮限界	37
3.3 ハフマン符号化	39
3.3.1 ハフマンの符号化法	39
3.3.2 拡大情報源	41
3.3.3 ハフマンブロック符号化	42
3.4 情報源符号化定理	45
演習問題	46

4. データの圧縮

4.1 可逆圧縮と非可逆圧縮	47
4.1.1 可逆圧縮	48
4.1.2 非可逆圧縮	49
4.2 ファクスのデータ圧縮	49
4.2.1 ランレングス符号化	49
4.2.2 MH 符号化	50
4.3 テキストのデータ圧縮	51
4.3.1 スライド辞書法	52
4.3.2 動的辞書法	53
演習問題	55

5. 通信路符号化

5.1 誤りの発生と制御	56
5.1.1 誤りの種類	56
5.1.2 誤り制御——ARQ と FEC	57
5.2 誤り検出・訂正の原理	59
5.2.1 符号語と非符号語	59
5.2.2 冗長度と誤り検出・訂正能力	60
5.2.3 符号化の利得	63
5.3 ハミング距離	64
5.3.1 2元符号の演算	64
5.3.2 符号間のハミング距離	65
5.3.3 符号誤りの表現	66
5.3.4 符号空間	67
5.4 誤り検出・訂正能力	69
5.4.1 符号空間と符号語の領域	70
5.4.2 誤りの検出	70
5.4.3 誤りの訂正	71

5.4.4	ハミング距離と誤り検出・訂正	72
5.5	伝送できる情報量	73
5.5.1	通信路の確率モデル	73
5.5.2	相互情報量	77
5.5.3	通信路容量	81
5.6	通信路符号化定理	82
5.6.1	伝送速度と通信路容量	82
5.6.2	通信路符号化定理	83
	演習問題	84

6. 基礎的な誤り検出・訂正符号

6.1	パリティ検査符号	85
6.1.1	単一パリティ検査符号	86
6.1.2	水平・垂直パリティ検査符号	87
6.1.3	誤り検出・訂正能力	88
6.2	ハミング符号	90
6.2.1	ハミング(7,4)符号	90
6.2.2	パリティ検査方程式	91
6.2.3	シンδροーム	93
6.2.4	符号化・復号化の論理回路	96
6.3	符号の性質	98
6.3.1	線形符号	98
6.3.2	線形符号のハミング距離	99
6.3.3	巡回符号	100
6.4	行列による表現	101
6.4.1	符号ベクトル	101
6.4.2	パリティ検査行列	101
6.4.3	シンδροームの計算	103
	演習問題	103

7. 実用的な誤り検出・訂正符号

7.1 巡回検査 (CRC) 符号	105
7.1.1 巡回符号と符号多項式	106
7.1.2 CRC 符号の計算手順	108
7.1.3 CRC 符号の誤り検出	111
7.1.4 符号化・復号化の論理回路	114
7.2 誤り訂正符号	116
7.2.1 BCH 符号, RS 符号	116
7.2.2 組合せ符号	119
7.2.3 インタリーブ	120
7.2.4 光ディスクの誤り訂正	121
7.3 畳込み符号	126
7.3.1 畳込み符号化	126
7.3.2 ビタビ復号	131
7.4 新しい誤り訂正符号	133
7.4.1 ターボ符号	134
7.4.2 LDPC 符号	136
7.4.3 ハイブリッド ARQ	140
7.4.4 放送や無線通信の誤り訂正	141
演習問題	144

8. 伝送路符号化

8.1 伝送路符号	145
8.1.1 波形の制限要因	146
8.1.2 ベースバンド信号波形	146
8.1.3 デジタル記録用信号	148
8.2 変調方式	149
8.2.1 デジタル変調	150
8.2.2 多値変調と伝送速度	151
8.2.3 信号空間	153

8.3 変調方式と誤り	155
8.3.1 雑音と誤り率	155
8.3.2 符号化変調	157
演習問題	159

9. アナログ信号の情報量

9.1 アナログ信号のデジタル化	160
9.1.1 標本化	161
9.1.2 量子化 (PCM化)	165
9.2 音声・映像の情報量	166
9.2.1 音声・オーディオの情報量	167
9.2.2 色の表現と情報量	168
9.2.3 画像・映像の情報量	170
9.3 伝送速度と周波数帯域幅	172
9.3.1 伝送速度	172
9.3.2 周波数帯域幅	173
9.4 通信路容量定理	174
9.4.1 伝送速度の上限	174
9.4.2 符号化定理との関係	176
9.5 これからのネットワーク	177
9.5.1 電話もパケット通信で	177
9.5.2 次世代ネットワーク	179
演習問題	181

10. 音声・映像の圧縮

10.1 電話音声の圧縮符号化	183
10.1.1 波形符号化	184
10.1.2 携帯電話のハイブリッド符号化	185
10.1.3 電話音声のパケット化 (VoIP)	187

10.2 オーディオの圧縮符号化	189
10.2.1 人の聴覚特性の利用	189
10.2.2 MP3 などのオーディオ符号化	190
10.2.3 ロスレス符号化	191
10.3 静止画の圧縮符号化	192
10.3.1 JPEG による圧縮の概要	192
10.3.2 離散コサイン変換	193
10.3.3 量子化	195
10.3.4 エントロピー符号化	196
10.3.5 その他の圧縮方式	197
10.4 映像の圧縮符号化	198
10.4.1 MPEG による圧縮の概要	198
10.4.2 動き補償予測	199
10.4.3 符号化回路の構成	201
10.4.4 フレーム系列	202
10.4.5 映像符号化の進展	203
演習問題	205

付 録

付録1 情報交換用8ビット符号 (JIS 標準符号)	206
付録2 モールス符号	207
付録3 符号長短縮限界の証明	207
付録4 ファクスで使われる MH 符号	210
参考文献	212
演習問題解答	214
索引	221



1

情報伝送の基礎知識

情報を伝送、あるいは蓄積・記録する場合には、いかに効率良く、かつ信頼性高く行うかが重要な課題である。また、効率や信頼性を評価するには情報を数値化する必要がある。このような問題を扱うのが情報理論である。

まず本章では、情報理論を学ぶ前に必要な基礎知識や用語を説明する。情報理論は通信と結びつきが深いため、関連する通信系も含めた概要を説明し、情報理論の全体像を把握する。

1.1 情報理論とその役割

1.1.1 情報理論とは

情報理論の始まりは、当時のベル電話研究所（米国）のシャノン（C. E. Shannon）が、1948年にその機関誌に発表した「通信の数学的理論」と題する論文である。これは情報理論の体系の始まりと同時に、すでに情報理論の問題全体を扱った歴史的論文で、題目からわかるように通信工学の問題と密接に関連している。

一般に、情報通信では通信文を0、1の2値符号に変換して伝送する。情報理論の中心課題は、能率良く、かつ信頼性高く情報を伝えるための符号を見いだすことであり、おもにつぎの項目を扱う。

- ・ **情報量の定量化**：情報を理論的、定量的に扱えるように情報量を定義し数値化する。
- ・ **符号の高能率化（情報源符号化）**：情報量を失わずにデータ全体の長さを

2 1. 情報伝送の基礎知識

短くする符号化の方法である。データ圧縮とも呼ばれ、情報に含まれる冗長性をできるだけ削除する。

- ・ **符号の高信頼化（通信路符号化）**：途中の雑音によって生じる符号の誤りに対処できる符号化の方法である。情報に冗長を付加して、受信側で誤り検出や誤り訂正を可能にする。

高能率符号化および高信頼符号化ともに、その理論的な限界を与える定理が、すでにシャノンの論文で明らかにされている。しかし、符号化の具体的な実現方法は必ずしも明らかでなく、特に、誤りを検出・訂正できる符号は、符号理論という大きな分野として、現在も理論限界に向けた研究が精力的に続けられている。

通信の場合は有線や無線の伝送路を対象とするが、記録・蓄積の場合はメモリやCD（コンパクトディスク）、DVD、BD（ブルーレイディスク）などの装置・媒体が対象となるが、通信と同様に扱うことができる。

1.1.2 身近になった情報理論

情報理論の研究開始当初は、通信装置や伝送路の性能が低かったため、これを克服する理論、技術が非常に重要であった。現在は、装置の性能は大幅に向上したが、伝送・処理すべき情報量がそれを上回る速度で飛躍的に多くなっているため、情報理論の課題である高能率・高信頼符号化法の重要性がさらに増している。

以前は、ネットワークやコンピュータなどの処理装置は一般の人々からは見えない存在であり、情報理論もこのような領域に適用されてきた。現在のマルチメディア時代では、家庭にデジタル機器が普及し、情報理論が非常に身近な存在になっている。パソコンやインターネット、携帯電話やデジタル放送、CDやDVDなどのAV（audio visual）機器には、符号化技術がふんだんに取り入れられている。

例えば、地上デジタルテレビ放送は、以前のアナログテレビよりはるかに高品質で情報量は大幅に増加しているが、アナログテレビと同じ周波数帯域幅

で放送できるのは高能率符号化（データ圧縮）技術のおかげである。また、少々の雑音や受信状態の劣化があっても高品質を確保できるのは高信頼符号化（誤り訂正）技術のおかげである。

データ圧縮や誤り訂正などの情報理論に基づいた技術開発の成果によってデジタル家電製品の利便性を享受できるようになった。これらの機器を理解するには情報理論の知識は不可欠であり、今後ますます重要になる。

1.2 情報通信のしくみ

1.2.1 情報伝送の流れ

情報 (information) とは、受け手に新知識を与えるものである。情報理論における情報の定量化・数値化は2章で述べ、ここでは図1.1の情報通信系のモデルで情報伝送の流れを説明する。

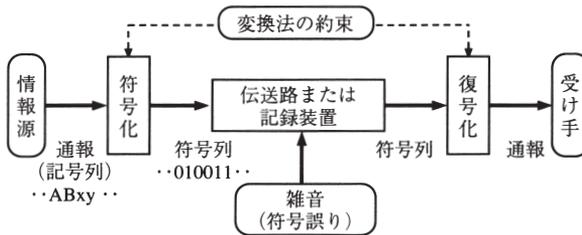


図1.1 情報通信系のモデル

- ・ **情報源** (information source)：情報の発生源で、人間やパソコンなどが相当する。アナログやデジタルの情報源があるが、まず簡単なデジタルの情報源を扱う。
- ・ **通報** (メッセージ, message)：情報源から出てくる伝えたい情報で、普通に使う文字や数字、記号の系列で構成される。通常は人にとって意味のある文章やデータ列である。
- ・ **記号** (シンボル, symbol), または**情報源アルファベット**：通報を構成する個々の文字や数字、記号で、有限個の種類をもつ。例えば、「This is a

4 1. 情報伝送の基礎知識

pen] のような英文通報の場合、記号は英文アルファベットそのもので、スペースも含めて 27 種類の記号を使う。

- ・ **符号化** (coding, encoding) : 伝送路に通すため、記号をそれに対応する 0, 1 の並びである **符号** (コード, code) に変換する。記号-符号の変換は 1 対 1 に対応する。
- ・ **伝送路** (transmission line) : 符号化された 0, 1 からなる符号を電気信号として伝える。情報を記録・蓄積する場合、送信と受信の間は記録装置や記録媒体であるが、これも通信と同じに扱える。
- ・ **雑音** (noise) : 符号の誤りを生じる原因を広い意味で雑音と呼ぶ。伝送路に雑音が加わると、符号の 0 と 1 が反転することがあり誤って受信される。
- ・ **復号化** (decoding) : 受信した符号を記号に戻す操作で、送信と受信の両者であらかじめ決められた変換法を用いて復号する。

符号と符号化は情報理論の中心課題であり、1.3 節でその概要を述べる。

1.2.2 アナログ情報とデジタル情報

情報源や伝送形式は、音声や映像などのアナログ情報と、テキストやデータなどのデジタル情報に大別される。それらの概念を図 1.2 に、その比較を表 1.1 に示す。

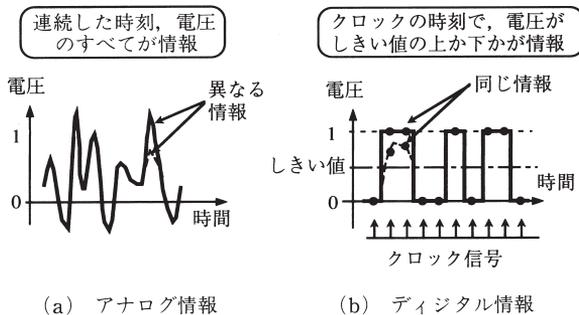


図 1.2 アナログおよびデジタル信号

表 1.1 アナログとデジタルの比較 (○：利点, ×：欠点)

	アナログ	デジタル
情報の内容	波形そのもの (忠実な伝送が必要)	0 か 1 かの判別 (区別できればよい)
クロック (同期信号)	○不要	×必要
雑音への耐性	×弱い	○強い
中継時の雑音	×相加する	○相加しない (再生可)
所要周波数帯域幅	○狭くてよい	△広い帯域が必要 (信号処理で削減可)
信号処理	×困難 (A-D 変換必要)	○容易

デジタル情報では、信号点を判別するタイミングを決める**同期信号** (クロック) が必須である。受信側でクロックがずれたり消失すると復号が不可能になる。情報信号にクロック信号を組み入れて伝送するため、信号波形や記録波形には工夫が必要である。

よく知られているように、デジタル技術の進展により現在ではデジタルがすべての面で有利になっており、本来アナログ情報である電話もネットワークではデジタル化されて伝送する。

アナログ情報でも図 1.3 に示すように、情報源でアナログーデジタル変換 (A-D 変換, analog to digital conversion) によりデジタル情報となる。現在、映像は元からデジタルの場合が多い。本書では、まず、扱いが簡単で基本的なデジタル情報を考え、アナログ情報に関しては 9 章以下で扱う。

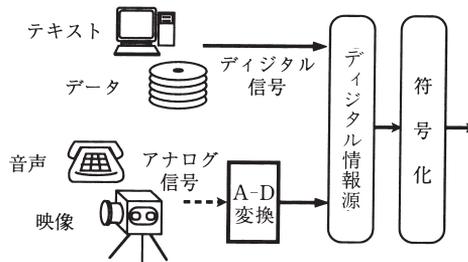


図 1.3 アナログおよびデジタル情報源

索引

【あ】		ガウスの記号	72	最小ハミング距離	66
アドレス	178	拡大情報源	41	再送要求	57
誤り検出・訂正符号化	9	可逆圧縮	47	最大エントロピー	26
誤り検出符号	59	画素	168	最大距離分離符号	118
誤り制御	57	可変長符号	7	最大事後確率復号法	135
誤り多項式	111	可変長符号化	196	最短符号	37
誤り訂正	58	完全事象	22	最尤復号	131
誤り訂正符号	59, 116			雑音	4
誤りパターン	66, 94	【き】		——がある場合の符号化	
【い】		記憶		定理	83
一意的に復号可能	30	——のある情報源	27	——のない場合の符号化	
イレージャによる訂正	119	——のない情報源	27	定理	45
インターネット	179	記号	3	サブバンド符号化	190
インターネット電話	181	輝度	169	サンプリング周期	162
インター予測	199	ギランティ型	178	サンプリング周波数	162
インタリーブ	120	記録符号化	148	サンプリング定理	161
イントラ予測	199			【し】	
【う】		【く】		しきい値	11
動きベクトル	200	組立符号	50	色差	169
動き補償予測	199	クラフトの不等式	34	色差成分係数	169
内符号	120	グレイ符号	155	事後エントロピー	78
【え】		クロック	5	事後確率	19, 75
枝	32			自己情報量	19
エラーテーブル	95	【け】		事象	17
エリアシング	164	結合確率	74	次世代ネットワーク	181
エントロピー	23	検査ビット	59	事前エントロピー	78
エントロピー関数	24			事前確率	19, 75
エントロピー符号化	48	【こ】		時分割多重	167
【お】		高信頼符号化	9	シャノン	1
音声符号化	183	拘束長	128	——の第1基本定理	45
【か】		高能率符号化	9, 29	——の第2基本定理	83
回線交換	178	硬判定	135	シャノン・ハートレーの定理	
解凍	48	固定長符号	7		174
		コンパクト符号	37	終端符号	50
		【さ】		巡回検査符号	105
		最小可聴曲線	189	瞬時符号	30
		最小距離	66	条件付き確率	74
		最小ハミング重み	99	状態遷移図	129

冗長度	26, 60	タナーグラフ	138		
情報	3	ターボ符号	134	【な】	
情報源	3	単一パリティ検査符号	86	ナイキスト周波数	162
情報源アルファベット	3	短縮化	118	軟判定	135
情報源符号化	9, 29			【に】	
情報源符号化定理	45	【ち】		2元対称通信路	75
情報量	23	遅延時間	178	2元符号	6
情報量の加法性	17	聴覚特性	189	2重符号化リード・ソロモン符号	122
情報量の単位	19	直交振幅変調	153		
剰余多項式	108			【ね】	
信号空間	153	【つ】		根	32
信号電力対雑音電力比	156	通信規約	179		
伸張	48	通信路行列	74	【は】	
シンドローム	94, 112	通信路線図	74	葉	32
シンボル	3	通信路符号化	9, 56	排他的論理和	64
シンボルレート	153	通信路符号化定理	83	バイト	7
		通信路容量	13, 81	バイト誤りの訂正	118
【す】		通信路容量定理	174	ハイブリッドARQ	140
水平・垂直パリティ検査符号	87	通 報	3	ハイブリッド符号化	183
				波形符号化	183
スライド辞書法	52	【て】		パケット	178
スレッシュホールド	11	ディジタル変調	150	パケット交換	178
		低密度パリティ検査符号	136	バースト誤り	57, 112
【せ】				ハフマン符号	39
生成行列	101	デインタリーブ	121	ハフマンブロック符号化	42
生成多項式	108	適応差分PCM	184	ハミング重み	66
積符号	119	適応変調	155	ハミング距離	65
接頭語条件	33	適応量子化	184	ハミング符号	90
線形符号	98	データ圧縮	9, 29, 47	パリティ検査行列	102
		伝送速度	12	パリティ検査符号	85
【そ】		伝送路	4	パリティ検査方程式	93
相互情報量	77	伝送路符号化	10, 145	パリティビット	85, 93
送信多項式	108			パルス振幅変調	163
相対エントロピー	26	【と】		パンクチャド符号	134
組織符号	60	同期信号	5	搬送波電力対雑音電力比	156
外符号	120	等長符号	7	反復的復号法	134
疎な行列	137	動的辞書法	53		
		独立事象	17	【ひ】	
【た】		トレリス線図	129	非可逆圧縮	47
多重化	167	トレリス符号	129	ピクセル	168
多数決符号	62	トレリス符号化変調	157		
畳込み符号	126				
多値変調	152				

非瞬時符号	30	フレーム内予測	199		
ビタビ復号	131	ブロック化	41	【ゆ】	
ビット	6, 19	ブロック符号	126	ユニバーサル符号化	51
ビット誤り率	12, 57	プロトコル	179	ユニポーラ NRZ	147
ビット/記号	23	ブロードバンド	173	【よ】	
ビット/シンボル	23	分析合成符号化	183	予測符号化	184
ビットレート	153	【へ】		【ら】	
非等長符号	7	平均値	22	ランダム誤り	57
非符号語	59	平均情報量	23	ランレングス符号化	50
非ブロック符号	126	平均符号長	35	【り】	
標本化	161	——の限界定理	38	離散コサイン変換	193
標本化関数	163	ベストエフォート型	178	リード・ソロモン符号	118
標本化周期	162	ベースバンド信号	145	量子化	161, 165
標本化周波数	162	ヘッダ	178	量子化誤差	165
標本化定理	161	変調	10, 150	量子化雑音	165
【ふ】		変復調器	10, 150	量子化テーブル	196
復号化	4	【ほ】		量子化ビット数	166
復調	10, 150	ボーレート	153	【る】	
符号化	4	【ま】		ルータ	178
——の効率	38	マスキング効果	190	【れ】	
符号化変調	157	マルコフ情報源	27	接続符号	120
符号化率	60, 128	マンチェスタ符号	148	【ろ】	
符号化利得	64	【め】		ロスレス圧縮	47
符号間干渉	173	メッセージ	3		
符号空間	67	メトリック	131		
符号語	59	【も】			
符号多項式	107	モデム	10, 150		
符号の木	31	モールス符号	8		
符号ベクトル	101				
節	32				
フレームレート	171				
フレーム間予測	199				

【A】		ASK	150	bps	12
AAC	191	AVC	204	BPSK	152
ADPCM	184	【B】		BSC	75
ALS	191	Bピクチャ	202	【C】	
AMI	148	BCH符号	117	CELP	185
ARQ	57	BER	12	CIRC	122
ASCII	7	bit	6	CN比	156

CRC 符号	105					
CS-ACELP	188					
		【D】	【J】		【Q】	
			JPEG	192	QAM	153
			JPEG2000	197	QPSK	152
DCT	193					
DCT 係数	194		【L】		【R】	
		【E】	LDPC 符号	136	RGB	168
			LZ 符号化	52	RS 符号	118
EFM	149				RTP	188
		【F】	【M】			
			MC	199		【S】
FEC	58		MDCT	195	SN 比	156
FSK	151		MH 符号化	51		
		【G】	MP 3	190		【T】
			MPEG	198, 204	TCM	157
GIF	198		MR 符号化	51	TCP	180
		【H】	MV	200	TDM	167
HARQ	140		【N】			【U】
HEVC	204		NGN	181	UDP	181
H.26x	204		(n, k) 符号	59		
		【I】	【P】			【V】
			P ピクチャ	202	VoIP	181
I ピクチャ	202		PCM	165		【X】
IP	180		PNG	198	XOR	64
IP 電話	181		PSK	151		
IP ネットワーク	181					【Y】
ISO	192				YUV	169
ITU	167					

— 著者略歴 —

1969年 大阪大学工学部通信工業科卒業
1974年 大阪大学大学院博士課程修了(通信工学専攻), 工学博士
1974年 日本電信電話公社(現NTT)電気通信研究所勤務
1990年 ATR光電波通信研究所勤務
1996年 摂南大学教授
2014年 摂南大学名誉教授

改訂 マルチメディア時代の情報理論

Information Theory in Multimedia Era (Revised Edition) © Eiichi Ogawa 2000, 2019

2000年4月21日 初版第1刷発行
2018年2月10日 初版第20刷発行
2019年4月25日 改訂版第1刷発行

検印省略

著者 小 川 英 一
発行者 株式会社 コロナ社
代表者 牛来真也
印刷所 新日本印刷株式会社
製本所 有限会社 愛千製本所

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10

発行所 株式会社 コロナ社
CORONA PUBLISHING CO., LTD.
Tokyo Japan

振替00140-8-14844・電話(03)3941-3131(代)
ホームページ <http://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-02893-5 C3055 Printed in Japan

(大井)



JCOPY <出版者著作権管理機構委託出版物>

本書の無断複製は著作権法上での例外を除き禁じられています。複製される場合は、そのつど事前に、出版者著作権管理機構(電話 03-5244-5088, FAX 03-5244-5089, e-mail: info@jcopy.or.jp)の許諾を得てください。

本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられています。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めていません。落丁・乱丁はお取替えいたします。