

# 情報理論・符号理論に対する先駆的貢献

ロバート・ギャラガー博士

1931年5月29日生まれ(88歳)  
マサチューセッツ工科大学名誉教授

## デジタル情報通信における誤り訂正の方法

遠隔手術や自動運転などを実現するためには、誤りのない正確なデータを遅延なく送受信する必要がありますが、デジタル情報通信では、通信機器の不具合や雑音電波などに起因するさまざまなノイズ(雑音)が入るために、有線でも無線でも誤りが発生します。これらの雑音の多くは除去することができないため、通信の方法を工夫して、誤りを検出、訂正する必要があります。

もっとも簡単な方法の一つは、データを重複して送ることです。「01」というデータを3回重ねて「01 01 01」として送信すれば、その中の一つがエラーを起こして「11 01 01」を受信しても、多数決により「01」という正しいデータに戻すことができます。

このとき、余分なデータを付け加える操作を「符号化」、誤りを訂正して正しいデータに戻すことを「復号」といいます。

## LDPC符号の原理と特徴

けれどもこの方法は無駄なデータ通信が多く、信頼性もあまり高くありません。1950年代の通信エンジニアが知っていたより良い方法は、長いデータをグループ分けし、縦列と横列に配置することでした。図2が示すように、検査記号が各行と各列に追加されます。その行または列の1の数が奇数の場合は検査記号が「1」、それ以外の場合は「0」に設定されます。特定の行と列の送信データでエラーが発生した場合、その列と行の検査記号はエラーの場

図1 デジタル情報通信における誤り訂正の方法

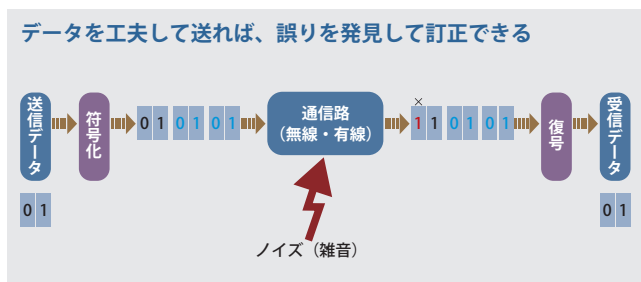
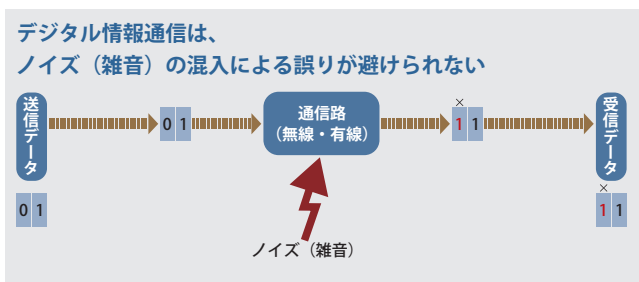


図2 パリティ検査によるエラー訂正例

データをグループ分けして検査する方法を用いる



### 信頼性の高さと効率のよさを共に実現

- ①長い符号に対して縦横のグループの代わりにランダムに選択したグループを用いる。
- ②グループ規模を小さくして、復号を簡素化。

所を示してくれるので修正することができます。

1950年代の多くの研究は、ハミング符号、BCH符号、RS符号やLDPC符号を含む、このアプローチの改善に費やされました。これらの符号体系はすべて、上記の行と列のグループ分けを任意のデータサブセットに置き換えます。次に、検査記号が各サブセットに追加され、送信後に誤ったパリティを持つ検査記号に従ってエラーが修正されます。

ギャラガー博士が発明したLDPC符号では、エラー修正の実装を簡素化するため、データのブロック全体は非常に大きく、上記のサブセットはそれぞれ非常に小さくなるように設計されています。

博士は、これらのサブセットを一定の小さなサイズに保ちながら、ブロック全体の長さを増やすことによって、高信頼性でありながら通信路容量に近づけることを実証しました。

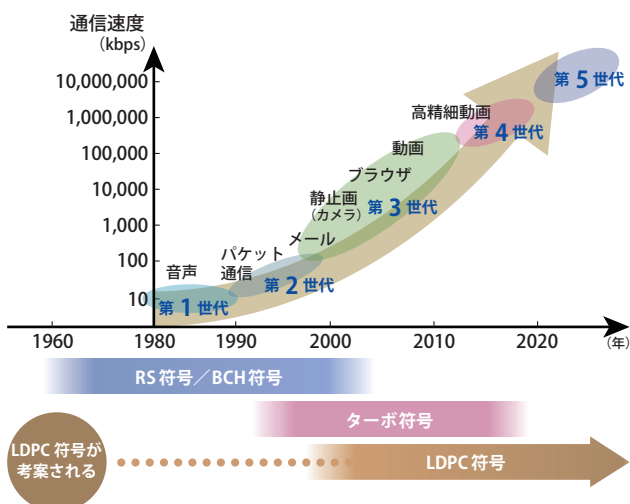
### 2000年以降に主流となったLDPC符号

ギャラガー博士がLDPC符号を提案したのは1960年代でした。けれども当時のコンピュータでこの方法を実用化することはできず、その後約30年間、このアイデアは放置されていました。

1990年代に入り、コンピュータの処理能力が飛躍的に向上したことから、その実用化に向けた研究が活発になりました。1998年には理論的にも優れた方法であること

図3 2000年以降、主流となったLDPC符号

#### 飛躍的に高まる無線の通信速度と通信機器の発展



が示され、大容量情報通信システムへの適用が一気に進みました。

2000年代以降、LDPC符号はデジタルテレビ衛星放送、10ギガビット有線LAN、WiMAX高速データ通信、第5世代移動通信システム(5G)などのデジタル通信システム、ハードディスクや半導体大容量記憶装置などのデジタル記録システムなどに次々に採用され、現代のデジタル化社会を支えるきわめて重要な基盤技術となっています。

### 超スマート社会(Society 5.0)の実現に貢献する技術

LDPC符号は、現在、LDPCを凌ぐ実用的な符号がほかに存在しないこと、今後コンピュータ処理能力のさらなる飛躍的向上が考えられることなどから、その適用範囲はさらに広がることが予想されます。

未来社会の姿とされている超スマート社会(Society 5.0)でも、サイバー空間(コンピュータ上の仮想空間)とフィジカル空間(現実空間)を高度に融合させるにあたり、情報通信の高速化、大容量化、高信頼化、低消費電力化等の諸課題の解決に、本質的かつ基本的な役割を果たすことが期待されています。

図4 超スマート社会(Society 5.0)の実現に貢献する技術

#### LDPC符号は情報通信の高速化、大容量化、高信頼化、低消費電力化を支える技術

