

# 誤り訂正符号の符号化・復号化と その応用に関する研究

笠原正雄\*

## 1. はじめに

1950年代後半より、データ通信および PCM 通信を二本の柱としてデジタル通信方式は目を見張る発展を遂げてきた。計算機通信、画像通信をはじめとする全世界ベースでのデジタル通信網を統合した、いわゆるデジタル統合網という大きな夢の実現のために各国で多大な努力が払われている。このようにデジタル通信システムの将来にはまことに明るいものがあるが、この通信システムは基本的には図1のようにモデル化することができる。

図1のシステムにおいて情報源は“Yes”および“No”というような簡単な2元のメッセージから成るものであってもよく、また、音声信号あるいは画像信号のような連続信号を出力する情報源であってもよいが、一般性を失うことなく有限個のメッセージ  $\{A_1, A_2, \dots, A_M\}$  から構成されていると仮定することができる。情報源出力  $A_i$  に対し、情報源符号化器は通信路の帯域制限その他の理由により、ある許容された忠実さの範囲で  $A_i \rightarrow B_i$  なる写像 (mapping) を行う。通信路には不可避免的に雑音、符号間干渉等の擾乱が存在するので、これらを克服するため通信路符号化器は  $B_i \rightarrow C_i$  なる写像を行う。 $\{C_i\}$  は通常、誤り訂正符号である。通信路復号化、情報源復号化はそれぞれの符号化の逆写像を行って  $\hat{A}_i$  を受信者に届ける。図1に示した通信システムの目標は情報源メッセ

ージをできるかぎり“正しく”且つ“迅速に”受信者に届けることである。すなわち情報源符号化・復号化は情報源出力を与えられた忠実度規準の範囲で可能なかぎり圧縮し、これによってメッセージのより迅速な伝送・再生をはかる。一方、通信路符号化・復号化はより信頼度の高い通信の実現をはかるのである。通信理論は図1のシステムにおいて、このような目標を首尾よく達成するための理論なのである。

## 2. 通信理論の動向

図1の通信システムに関して最近特に注目されている研究テーマを挙げよう<sup>1)</sup>

### 〔I〕 情報源符号化の研究

#### (i) Rate Distortion 理論の研究

通信路符号化理論では主として復号誤り確率を評価基準とし、無記憶情報源を主要な対象とすればよいが、情報源符号化においては本質的に誤り率、平均自乗誤差、時間遅延等の種々の評価基準を考えていかねばならない。また、記憶のある情報源を主要な研究対象としているため、通信路符号化理論に比べ、奥行きが深いものとなっている。現在はまさに画像通信の幕開けの時代というべきであるが、Rate Distortion 理論<sup>2)</sup> は画像情報理論の中心を形成するものである。

#### (ii) 情報源符号化法の研究

音声、画像符号化に関する研究が各国で活発に行われている。このなかで木符号化、スライ

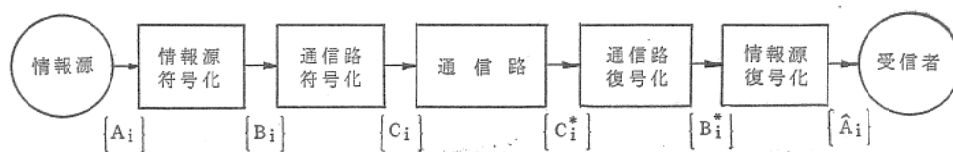


図1 デジタル通信システムのモデル

\*笠原正雄 (Masao KASAHARA), 大阪大学, 工学部, 通信工学科, 助教授, 工学博士, 通信理論

ディング・ブロック符号化方式等が特に注目される。

## 〔Ⅱ〕 通信路符号化の研究

### (i) 通信路符号化理論の研究

Shannon の古典的な通信理論からの脱皮の端緒となった Gallager の符号化定理はあまりにも有名である。Gallager の理論によって通信理論の近代化が進められたのであり、その後の通信理論の研究に計り知れない大きな影響を与えている。

### (ii) 誤り訂正符号に関する研究

より優れた誤り訂正能力を有する符号の探究および将来のデジタル通信路として脚光を浴びているフェージング通信路のような記憶のある通信路における誤り訂正符号化の問題が重要となろう<sup>9)</sup>。Cover, Liao 等の論文に端を発した放送形通信路, 多元接続形通信路に関する研究は現在極めて活発に行なわれているが, 最近における計算機通信, 移動通信の進展にともない, これらの通信路に対する実用的な符号化法の発見が希求されよう。

一方, 誤り訂正符号の復号化に関しては, Viterbi 復号法が実用上の立場から大きな注目を集めている。

筆者らの研究グループでは上記のテーマのうち主として(Ⅱ)の(ii)に関する幾つかの研究を並行して進めているが, 要約すると“誤り訂正符号の符号化・復号化とその応用に関する研究”というテーマになろう。以下その概要を紹介させていただこう。

## 3. 誤り訂正符号の符号化・復号化とその応用

筆者らはここ数年来, 複数個の符号を結合することによって新しい能率の良い符号を構成することを試みてきたが, 予想以上に多数の高能率の符号を発見することができた。最近, ベル電話研究所の MacWilliams-Sloane<sup>4)</sup> によって高能率符号の表が編纂されたが, 筆者らのグループが発見した符号はこの表の20%強を占めるに至っており, 大きな喜びを感じている。

数学的に極めて美しい構造をもつ RM (Red-Muller) 符号は マリナー計画における高信頼度通信のために用いられたこともあり, 実用

上も大きな注目を集めている符号である。大阪大学基礎工学部の嵩教授らの RM 符号に関する研究は広く知られ且つ高く評価されている。筆者らは RM 符号に極めて単純な復号法が存在することを発見し, ここ二・三年考察を重ねている<sup>5)</sup>。RM 符号には多数決論理復号法という広く認められた復号法が存在するが, この多数決論理復号法の牙城を何とか崩そうと全力を傾注している。なお, 筆者らは計算機の主メモリーの高信頼度化のために用いられる SEC·DED (単一誤り訂正・二重誤り検出) 符号も RM 符号同様, 復号過程の単純化が可能であることを見出している<sup>6)</sup>。

数年前に筆者らが発見した Euclid 復号法は幸いなことに予想以上に高く評価され, 欧米で出版された情報理論関係の専門書<sup>7)</sup>にも引用され解説されている。より単純, より明快な復号法の探索という努力が実ったと思う。

次に誤り訂正符号の応用という立場からの研究を紹介しよう。

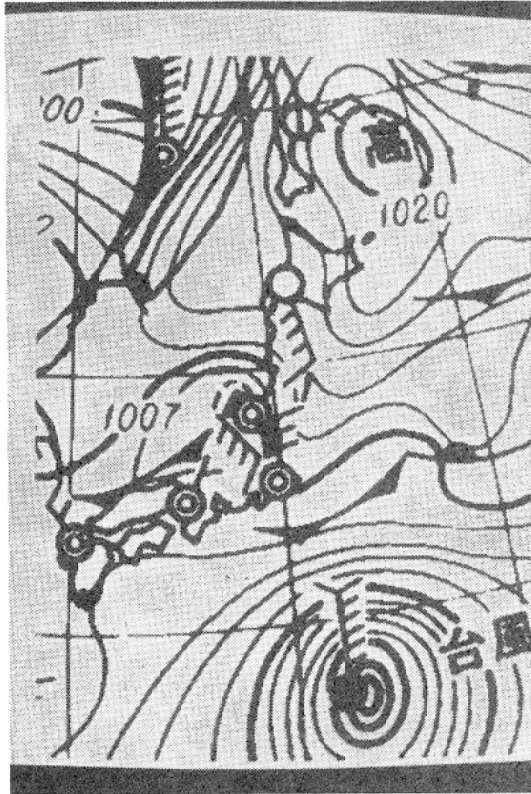
前述のようにフェージング通信路は将来のデジタル通信路として, 現在華やかな脚光を浴びている。このフェージング通信路には,

(i)等化技術 (ナイキスト理論), (ii)誤り訂正符号, (iii)定包絡線デジタル変調方式, (iv)多元接続通信方式,

等の技術が積極的に導入されようとしており, 情報理論的にも, また, 通信方式論的にも大いに研究意欲をそそられる魅力あふれた未開拓の通信路である。筆者らはここ数年, フェージング通信路のような記憶のある通信路に関する研究を進めているが, ごく最近, これらの通信路における軟判定復号法の有用性を情報理論的に明らかにしている<sup>8)</sup>。

一方, フェージング通信路においては多元接続形通信システムの有用性が増そう。筆者らはいわゆる“中国人の剰余定理”を応用した代数的多元接続形通信方式を提案し, この方式について詳細な検討を重ねてきているが, 最近, この方式が優れたデータ保護能力をも有することを発見している<sup>9)</sup>。

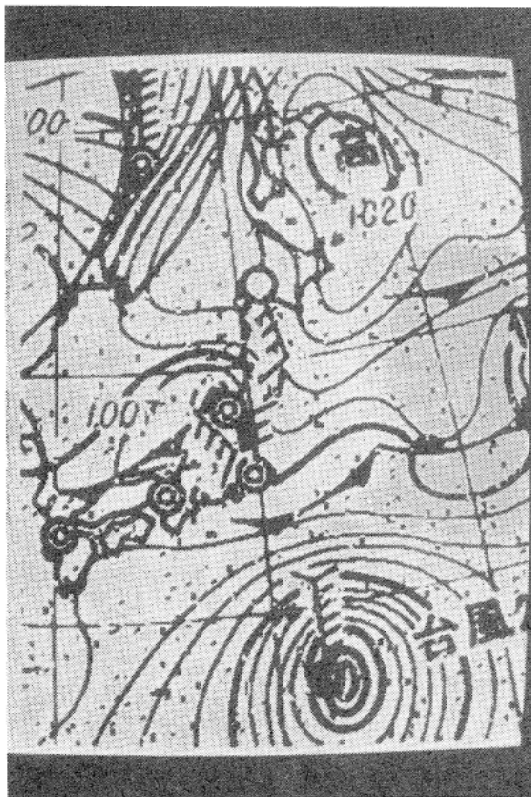
近年, 移動通信方式等において, 定包絡線の変調方式が注目され, 活発に議論されている



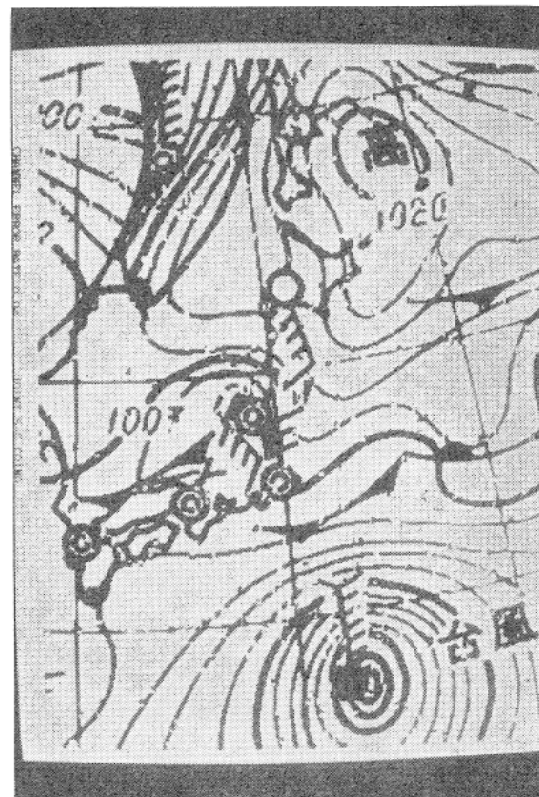
(a) オリジナル



(b) 復号前



(c) 分離符号化方式



(d) 同時符号化方式

図2 同時符号化方式と分離符号化方式の比較<sup>1)</sup>

が、そこに展開されている理論はますます情報理論に密着した内容をもつようになってきている。定包絡線変調方式においては(i)変調指数を可変にすること、(ii)パーシャル・レスポンス形の位相平滑関数を用いること、等によって希望スペクトルの形成をはかり、誤り訂正能力を付加することができる。筆者らはさらにデータ系列に誤り訂正能力を付加することにより、この変調方式をより総合的な立場からとらえ、信号帯域幅、時間遅延、平均誤り率等の間に成立する普遍的なトレードオフの関係を明らかにしていきたいと考えている<sup>10)</sup>。

さて、本稿の冒頭で述べたように情報源符号化と通信路符号化とは通常別個に行なわれている。これは符号長が十分大きい範囲では分離して符号化しても最適性が失われないためである。しかしながら符号長が数百程度の実用上の範囲ではこのような“分離符号化”は必ずしも最適の方法ではなく、情報源符号化と通信路符号化の両者をいわば融合して同時に符号化すること、すなわち“同時符号化”を検討する必要がある。筆者らのグループは静止画を対象として、Golay 符号および BCH 符号を応用した同時符号化法を提案し、理論的および実験的に検討を進めている<sup>11)</sup>。図2は従来の分離符号化と筆者らの同時符号化法とを同一条件のもとに比較したものである。但し同図の(a)はオリジナルの図であり、(b)は復号前の図である。また、(c)が従来の分離符号化方式であり、(d)が同時符号化方式である。これを見ると明らかに同時符号化が優れている。同時符号化の問題は興味深く、将来さらに研究が進められねばならないと思う。

#### 4. むすび

本稿で述べてきた多種、多様な研究が大学院学生を中心とする若い研究者のエネルギッシュな研究活動によって支えられていることは論を俟たない。大阪大学における情報理論とその応用に関する研究のレベルは極めて高い。このた

め筆者らの研究グループへの訪問客も多く、過去数カ月の間にも計算機通信で著名な Chu 博士 (UCLA) の滞在、基礎工学部有本研究室に滞在した名著“Rate Distortion Theory”の著者 Berger 博士 (Cornell 大学) の訪問等のほか、今秋にはエルゴード理論の権威者である Gray 博士 (Stanford 大学) が筆者の属する工学部滑川研究室に滞在等が予定されている。若い大学院学生諸君は各自の研究テーマを磨きあげるのに余念がないが、こうした研究者との交流を通じて何ものかを学びとっていただくと願っている。

#### 文 献

- 1) 笠原正雄：“情報理論の動向”，昭和51年電気四学会連合大会，昭和51年10月。
- 2) T. Berger：“Rate Distortion Theory”，Prentice Hall, 1971.
- 3) 笠原正雄：“誤り制御とフェージング”，昭和56年電気四学会連合大会，昭和56年10月。
- 4) F. J. MacWilliams and N. J. A. Sloane：“The Theory of Error-Correcting Codes”，North-Holland, 1977.
- 5) 常盤欣一郎，杉村立夫，笠原正雄，滑川敏彦：“Reed-Muller 符号の復号法”，情報理論とその応用研究会第3回討論会資料，1980年。
- 6) 久米敦也，常盤欣一郎，杉村立夫，笠原正雄，滑川敏彦：“復号の容易な SEC—DED 符号の構成”，電子通信学会通信方式研究会資料，1980年6月。
- 7) R. J. McEliece：“The Theory of Information and Coding”，Addison-Wesley, 1977年。
- 8) 笹野 博，笠原正雄，滑川敏彦：“符号間干渉のある通信路に関する基礎的考察”，電子通信学会通信方式研究会資料，1981年7月。
- 9) 秦 淑彦，笠原正雄，滑川敏彦：“代数的多重化・多重分離法を用いたループ・ネットワークに関する考察”電子通信学会通信方式研究会資料，1981年7月。
- 10) 中野幸男，笠原正雄，滑川敏彦：“パーシャルレスポンスを用いた狭帯域デジタル変調方式”，電子通信学会通信方式研究会資料，1980年9月。
- 11) 熊沢宏之：“情報源・通信路の同時符号化に関する研究”，大阪大学工学部工学科特別研究報告，1981年3月。