

デジタル発声とアナログ聴覚が生むエントロピー利得とオートマトン—デジタル言語学(2)

得丸公明(衛星システム・エンジニア)

158-0081 世田谷区深沢 2-6-15 e-mail: tokumaru(a)pp.ij4u.or.jp

筆者はヒトとヒト以外の哺乳類・鳥類の根本的な違いは、音声通信方式がデジタルかアナログかに尽きるという見解を得て、この一年間、情報処理学会・電子情報通信学会・人工知能学会の関わりしような研究会に申し込み、理論的な検討の経過と結果を発表し続けてきた1)。言語のデジタル・メカニズムと起源の解明は、現生人類誕生の謎の解明そのものであり、人類学・分子生物学・音響工学・神経生理学・心理学・論理学・通信工学・情報理論それぞれの境界領域を総合する学際アプローチが求められた。なかでも一度発話されただけの音声が大気中を伝播して聴覚で誤りなく知覚されるメカニズムは、ヒト以外の動物には見られない、ヒト固有の特徴である。言語メカニズムの最大の謎、誤りのない聞き取りオートマトンを、情報理論にもとづいて解明することを試みる。

Digital Vocalization and Analog Audition Yield the Entropic Gain and Error-Free Listening. - Digital Linguistic (Part-2) -

Kimiaki Tokumaru (Satellite System Engineer)

The author has identified that the ultimate difference between human and non-human-animals (NHAs) is the method of vocal communication; human uses digital and NHAs analog communications. Since Oct. 2009, he has been presenting the processes and results of theoretical investigation at the study groups of ISPJ, IEICE and JSAI 1). The clarification of digital characteristics of language and its origin is identical to that of the birth of modern human, and thus an interdisciplinary approach is necessary crossing over Anthropology, Molecular Biology, Acoustic Engineering, Neurophysiology, Psychology, Logistics, Communication Engineering and Information Theory. Among all, it is a marvelous and human unique characteristic that a speech voice is just once vocalized, propagates in the atmosphere and is perceived without a single error by auditory organ. The most critical and to-date-unperceived mystery should be recognized as an Error-Free Listening-Automaton, and be investigated by exploiting the Information Theory.

1. はじめに：ヒトというデジタル通信機

耳からヒトの声が入ってきて、それが意味へと変換され、次いでことばが紡がれて口から声になって出ていく過程は、トランシーバーのようである。機能的に、外耳は受信用空中線、鼓膜は給電点、中耳の耳小骨は導波管および低雑音増幅器(LNA)、鼓膜張筋とアブミ骨筋はアッテネータ(減衰器)、内耳の蝸牛有毛細胞が検波装置、そこから神経パルスのベースバンド信号が脳へと送られて、大脳皮質一次聴覚野が音響記号への復調器、母語の音素に自動的に反応する音素記憶を有するウェルニック野はデジタル判別装置、そして記号が長期記憶と結びつけられて意味が生まれる脳はデコーダ(復号器)である。また、単語を紡ぐプロカ野はエンコーダ(符号化器)であり、離散的発声器官とその運動制御を行なう運動野は変調器、呼気を送り出す肺はパワーアンプ(出力増幅器)、それを吐き出す口は送信用空中線と考えられる。

音素や音節は離散的で言語共同体ごとに有限個だから、ヒトをデジタル通信機と考えるのは妥当であろう。日本語では、仮名 50 音を順列に組み合わせるとたくさんの単語を有するが、一音違うだけでまったく別の単語になるところもデジタル的である。

しかしデジタル通信の定義あるいは要件は何だろう。離散有限符号を使えばデジタルといえるのか。通信路符号化・情報源符号化が要件なのか。受信側にデジタル処理回路が必要とされるのか。そういったことは誰も説明していない。かくなるうへは、クロード・シャノンの著作を読むしかないと思ったのが 2 年前。当時「コミュニケーションの数学的理論」の英語版をウェブ上でダウンロードすることはできたが、他にシャノンを読もうとすると旧邦訳ならびに IEEE が出版した『クロード・シャノン論文集』を大学図書館で閲覧する以外になかった 2), 3), 4)。昨年『通信の数学的理論』の新訳が出版されてようやくシャノンの著作が少し身近になった。5)

2. シャノンの情報理論へのいくつかの疑問

筆者は情報理論の専門家でないので、シャノンの情報理論について評価できる立場にはない。しかしシャノンの著作をいくつか読んで、多少違和感を覚えた。以下でそれを述べるのは読者が 5., 6. で論ずる「エントロピー利得」の概念を、シャノン流のエントロピー概念と違うからといって門前払いしないためである。

『通信の数学的理論』をはじめて読んだとき、デジタルとは何かがわかったという気は一切しなかった。実際のところ、シャノンは「デジタル」という用語を一度も使っていない。ただそれがおかしいとは思わなかった。シャノンはデジタル通信技術を論じていると信じきって読んだので、疑うどころではなかったのだ。(おかしいと気づくのはもっと後になってフォン・ノイマンの論文を読んだ後であった。) それでも筆者には 2 つの点で違和感が残った。

2.1 第1の違和感：情報と意味の相互関係

2.1.1 意味を問わずに情報といえるか

第1の違和感は、「しばしば、メッセージは意味を持っており、意味は、物理的または概念的な実体を伴う何らかのシステムに従って、メッセージが参照したり関係したりするものである。このような、意味論的な観点から見た通信は、工学的な通信の問題とは無関係である。」(p61-62, ちくま学芸文庫版, 以下同じ)というところだ。

「情報理論のバイブル」と本の帯に書いてあるのに、本書は情報の定義も行なわないし、情報の意味も問題にしないという。これで情報の理論と呼べるのだろうか。そもそも情報とは、意味をもたらす(生み出す)ものではないか。意味との関係を明らかにしないで、情報は語れなくないか。科学の世界ではいかに聖書であろうとも不可侵な対象ではないと思うので、疑問をはっきりと提示しておきたい。

「重要な観点は、実際のメッセージが可能なメッセージの集合の中から選ばれたものであるということである。システムは、可能性のある選択の各々に対して動作するものでなければならず、実際に選ばれた1つだけに対して動作するものであってはならない」(p62)というのは、ビットの場合0か1かのどちらかが送信されて、そのどちらが届いても処理ができることが重要だと言っているのだろうか。もしそうなら、それはデジタルシステムにとって当たり前のことで、それが意味よりも重要とは思えなかった。ウィーバーも本書中で「意味とは関係ないという点で期待外れであるし、1つのメッセージを扱うのではなく、メッセージ全体の集合の統計的性質を取り扱うという点で奇妙であり、その統計という点について言えば情報と不確かさという2つの語がパートナーになっているということも奇妙である」と指摘している。(p54)

2.1.2 情報の意味に触れたフォン・ノイマン

ジョン・フォン・ノイマンも情報の理論を模索していた。彼は1949年にイリノイ大学で行なった講義の中で、「遺伝子はおそらく次数の低いものであるので、いったいどうやって遺伝子がそれから生まれるヒトの記述を内包するのかということ想像するのは難しい。しかしこの場合、遺伝子は別のヒトの組織体内部にあってはじめてその効果を生むので、何が起きなければならないかということについての完璧な記述をもつことは必要とされないのだろう。2,3の選択肢に対する2,3のきっかけをもてばよいのだろう。」と、遺伝子情報がどのようにして意味を生み出すのか、そしてオートマトンはどのようにして再生産し進化を生み出すのかということに思いを馳せている。6)

「次数が低い」とは、情報が線形で送られてくるということと結びつく。ビット情報も、メッセンジャーRNAの核酸塩基情報も、音声も、離散・有限記号の一次元配列である。これは遺伝子型から独立した表現型であり、保存・複製・伝達するのに適して

いる。たとえていえば、処方箋あるいは調理法のようなものではないだろうか。情報は、料理人の腕前や食材の質などとは次元を異にするものと思われる。

シャノンは情報の意味を無視し、フォン・ノイマンはそれを気にした。フォン・ノイマンは情報理論を必要と思いつつも、それを体系化できずに亡くなった。その後、情報理論は、フォン・ノイマンのやろうとしていた体系化へと向かわずに、シャノンが1948年に書いた通り、情報の定義や意味を問題にしないままきた。シャノンを鵜呑みにしてよいのか。そもそも情報理論は完成しているのかが第1の疑問である。

2.2 第2の違和感：連続性と離散性

2.2.1 書き言葉がデジタルで、話し言葉がアナログか

シャノンはデジタルやアナログという言葉は使っていないが、「離散的情報源」として「英語、ドイツ語、中国語などの自然言語の書き言葉」(p74)をあげる一方、「連続情報」として「時間関数としての、全ての英語の会話信号の集合」(p141)を挙げ、その関数の例として「一般的な用法の場合の生起頻度によって与えられた確率測度をもつ、英語の会話信号の集合」(p143)を挙げている。長谷川・井上訳では、連続情報の「会話信号の集合」のあとに二箇所とも括弧書きで「(音声をオシロスコープにかけたときにあらわれる波形)」と、おそらく親切心から原文にない説明を入れている。

一般に離散信号はデジタルであり、連続信号はアナログであると思われるので、書き言葉はデジタル、話し言葉はアナログと受け取ってしまう。だがそうすると話し言葉が離散的であることとデジタルは結びつかなくなる。

たしかに話し声をオシロスコープにかければ連続的である。しかし回線上の波形はデジタル携帯電話も地上波デジタル放送もすべてアナログ(連続的)である。話し声をサウンドスペクトログラムにかけると、母音のフォルマント周波数の組み合わせや子音という離散成分が見えてくる。言語学(音韻学)では、子音や母音は離散的な音韻単位として「音素」と呼ばれているし、「音節」も定義上離散的である。音素も音節も言語共同体ごとに有限個に決まっているので、「可能なメッセージの集合」は有限集合となる。話し言葉こそが離散的なのである。

書き言葉の場合、筆記体は離散的というよりも連続的な形状を示し、慣れていないと読みこなせない。活字であっても脳内の記憶にないものは音声化できない。一般の日本人にとってタイ文字やモンゴル文字は音声化できずお手上げだ。これでは「システムは、可能性のある選択の各々に対して動作するものでなければならぬ」という要求に応えようもない。書き言葉は、我々の記憶上の文字形状と音声の対照表にもとづいて、アナログなパターン認識によって処理されている。こう考えると、話し言葉がデジタルで、書き言葉がアナログではないか、というのが第2の疑問であった。

3. デジタルとアナログの違い

3.1 デジタルは離散だけではない?

シャノンの文章にも、ウィーバーの文章にも、デジタルということばはまったく登場しない。ちくま学芸文庫版には、1998年の編者たちが寄せた序文があり、そこで「通信とは本質的にデジタルであるというシャノンの大事な教え」ということばが登場する。しかしシャノンはデジタルについてまったく論じていないのだ。

はじめ筆者は、シャノンが書くことはすべてデジタル技術に関するものだという前提で、「離散」をデジタル、「連続」をアナログに読み換えて読んでいた。離散であればデジタルかと考えると、どうも違うように思えてきたのだ。

3.2 信号雑音比と情報量(ダイナミック・レンジ)

フォン・ノイマンは1948年9月にヒクソン・シンポジウムで行なった講演の中でデジタル計算機とアナログ計算機の原理の違いを説明し、両者の決定的な違いはSN比にあると説明する。

「計算機は例外的なオートマトンの一つである。この人工オートマトンは、10億またはそれ以上のステップを短時間に実行しなければならないばかりでなく、進行中の重要な部分[これは、前もって厳密に指定された部分であるが]において、ただ一回でも間違いをしてはならない。

欠くことのできない指導原理は、通信理論全体のなかでも古典的な原理の一つである「信号雑音比(SN比)」であり、これなしには状況を理解することはできない。

10桁10進式計算機においては、[丸めによる]相対的雑音レベルは $1/10^{10}$ (百億分の1)である。デジタル方式の真の重要さは、どんなほかのアナログ方式によっても完全には得られないところまで、計算結果の雑音レベルを減らすことができるという点にある。その上さらに雑音レベルを減らすことは、アナログ計算機ではますますむずかしいが、デジタル計算機ではますます容易である。

アナログ計算機では、 $1/10^3$ の精度に達するのは容易であるが、 $1/10^4$ はいくぶんむずかしく、 $1/10^5$ (10万分の1)になると非常にむずかしい。そして、現在の工学のレベルでは $1/10^6$ (百万分の1)は不可能である。デジタル計算機では、右の精度はたんに、10進法でそれぞれ3, 4, 5, 6桁の計算機を作ることしか意味しない。

デジタル方式が重要なのは、実にこの点においてである。」⁷⁾

デジタル方式の雑音レベルは、計算機ハードウェア上に用意されたレジスターの桁数で決まる。レジスターの桁数が決定づけるSN比が、計算機の扱うことのできる情報量(ダイナミック・レンジ)を決定づける。m進法でn桁の計算機であれば、 m^n が情報量となる。もしかするとシャノンがエントロピーと呼んだのは、このレジスターの桁数(単位数)のことだったのだろうか。

一方、アナログ方式の計算機は、数字を受け止める装置を持たないため、ある物理量を別の物理量に物々交換のように変換することによって計算結果を得る。そのため「物理的な過程とメカニズムが不規則な雑音」を累積していくことになる。

3.3 デジタル通信とアナログ通信の違い：モールス信号はアナログである

通信においても同じことがあてはまる。デジタル方式は、すべてのメッセージをいったん離散的で有限個の記号に置き換えて送受信するので、情報源符号化・復号化の演算処理が必要になるが、通信は劣化しない。回線上の雑音による情報の量子ゆらぎ(熱力学的なエントロピーの増大)は、受信回路上で復調時にアナログ量をデジタル判定するとき、ノイズ・マージンに吸収されてリセットされるからである。

一方、アナログ通信は記号を媒介として用いない。送られてきた物理量が回線上の雑音によって量子ゆらぎを起こしていても、そのままヒトの感覚器官で、ヒトが記憶に照らして処理するのがアナログ通信である。

したがってアナログ通信は、通信速度も雑音耐性も通信員の熟練に大きく依存する。モールス信号はデジタル通信だと教科書にあるが、実際は熟練した人間の技能とパターン認識に依存して、送られてくる音声符号列をアルファベットやカナに置き換えるものであり、アナログ通信と考えるのが妥当である。ヒトの記憶には、後天的・獲得的に記憶する記憶と先天的・遺伝的なDNAが伝える記憶の両方があると考えれば、動物の鳴き声や気配をDNAの記憶に照らして察するのも一種のアナログ通信である。

4. シャノンはアナログしか論じていない

4.1 シャノンの冗長性はアナログ

ブリタニカ百科事典の第14版(1968)の「情報理論」の項目はシャノンが書いている。「もし26の文字すべてが前の文字と独立に生起するとすると、情報レートは $\log_2 26$ あるいは1文字あたり4.76となる。実際に生み出されるのは1ビットだけであるので、英語はおよそ80%が冗長ということになる。英語の冗長性は、多くの文字を削除したとしても、読者が穴を埋めて原文の意味を判断できるという事実にもあらわれている。たとえば以下の文からは母音が削除されている。

MST PPL HV LTTL DFFCLTY N RDNG THS SNTNC.

このように考えると、言語における冗長性は暗号科学において重要な役割を果たすといえる。8) (peopleの最後のeは発音しないのに、削除された文字を母音と呼ぶのは適当だろうか。正確には「a,i,u,e,o」の5文字を削ったというべきだろう。)

ここで冗長性はアナログ的である。つまりMost people have little difficulty in reading this sentence.という削除前の単語列を記憶にもつから、削除した文字列を想像して読む

ことができるのだ。もともと単語を知らない人には読めない。

4.2 音節文字と拍(モーラ)をもつ日本語の離散的性格

シャノンの冗長の考えはアナログ的であり、フォン・ノイマンが、デジタル計算機においては「どんな間違いでも結果を完全に台なしにしよう」から、「ただ一回でも間違いをしてはならない」というのと違う。デジタル計算においては、ひとつも無駄なもの、不要なものは存在しない7)。

ではなぜシャノンやウィーバーは、英語表記では50%なり80%の冗長性があるといえたのか。それは一音節が複数のアルファベットで表記される英語音声表記のためである。一音節が複数文字で構成されるため、文字を一部削除したとしても、もとの音節を想起できるのだ。これも記憶に依存するアナログな現象である。

音節文字を使っている民族は世界でも珍しい。平仮名と片仮名の2セット持っているのは世界でも日本だけだ。音節文字は、離散信号と文字が1:1で結びつくため、日本語の仮名表記の冗長性は少ない。たとえば、「藍色」からa,i,u,e,oを削ると「r」しか残らない。また「あ〇いろ」は、藍色、青色、赤色、秋色と読め、特定できない。

ちなみに日本語は発音のタイミングに拍を用いる。これは仮名1文字を1拍に扱う原則で、撥音「ん」、促音「っ」、長音「ー」は1拍と数える一方、拗音「ゃ」「ゅ」「ょ」は数えない。俳句が575、短歌が57577というのも拍である。日本語では拍が原稿用紙の罫目のようにクロックパルスの働きをし、周波数ドメインで離散的な音節が、時間ドメインにおいても離散的に発せられる、きわめてユニークな言語である。

4.3 シャノンの誤り検出・訂正は個人の知識に依存

同じブリタニカ百科事典の記事で、シャノンは誤り訂正符号について、「誤り訂正符号の働きは、個人が構造と文脈に関する知識に基づいて、原稿中に相当数のタイプミスで訂正する能力と結びついている」という8)。これもアナログ的な発想である。

『通信の数学的理論』にも「ある通信システムと、何が送信されて何が受信されたか(雑音による誤りを含めて)を共に見ることができる観測者(あるいは補助装置)を考えよう。この観測者は、復元されたメッセージにおける誤りを観察し、「訂正通信路」を通じて訂正データを受信点に送ることで、受信者が誤りを訂正することが可能になっている。」と書かれていて図も示されている。(pp119-120)

この部分は、シャノンが雑音による符号誤りを意識していたことを示すので重要だ。だが、送信点と受信点のデータを両方見ることができる人がいたら、通信の必要性はない。また、仮にその人が訂正データを受信点に送ったとしても、回線雑音によってそれが再び誤りとなる可能性がある。

実際のデジタル通信で誤り検出・訂正は、人間の知識に依存せず、自動で行なわれる。0,1のビットデータは、もっとも単純な2元符号であり、データ間に親和性がな

い。つまりある符号の後に0がくるか1がくるか必然性はなく、予測がまったくつかない。そのため、受信したデータが正しいかどうか確かめるためには、送信前にデータ列に(符号間で)演算を施し、意味ある冗長性である演算結果とともに送信するのである。これがブロック符号や畳み込み符号というデジタル誤り訂正符号の基本にある考え方である。シャノンはこれについてまったく触れていない8)。

4.4 アナログとデジタルで異なる復調メカニズム

ウィーバーもシャノンも、受信機は「送信機とは逆の操作をする」(p22)、「送信機によって行なわれた操作とは逆の操作を行なう」(p66)というが、これは物理量を別の物理量に変換するアナログ通信の変調・復調原理については正しい。アナログ変調の変調と復調は、逆操作である。

しかしデジタル受信機は、受信アナログ搬送波から位相成分や振幅成分や周波数成分を抽出した後、ノイズ・マージンを加味したデジタル判定回路を通過させ、クロック同期にもとづいて新たにデジタル値を判定するので。変調とは「別」の操作である。

4.5 シャノンのエントロピーは回線雑音を含まない

シャノンの定義するエントロピーは、「情報源から得られる1記号当りの情報量」であり、熱力学的なエントロピー概念とは無関係である。シャノンは、ブリタニカ百科事典の中でも、あらためてエントロピーが熱力学的な概念であることを否定しているが、その理由は説明しない。「熱力学の第二法則を正しく理解すると、情報との関係が必要になると信じている学者もいる。しかしながら、これらの物理学的な関連性は工学ならびに情報理論の他の適用においては考慮する必要がない。」8)

この「学者」とはフォン・ノイマンのことだろうか。シャノンがなぜこのようなことを書いたのか、不思議である。回線上の雑音が、メッセージに量子レベルのゆらぎを与えることによって不確かさを増大させていることは、ウィーバーもシャノンも理解していることだ。それは熱力学的な量子ゆらぎによっておきるのではないか。

現実のデジタル回路の物理層では、0と1のビット信号はたとえば0Vと5Vとして離散的に送信され、受信時にはデジタル判定回路が、回線上での情報のゆらぎに対する遊び部分(ノイズ・マージン)を含めてたとえば0~2Vを0、3~5Vを1として判定する。信号の離散性のゆらぎは受信装置のデジタル判別回路に用意されたマージンとの相互作用によって、デジタルシステムは誤判定を起す可能性を低下させて自律的に作動できる。このシンプルだが極めて有効なノイズ・マージンによって、回線上のエントロピー増大はデジタル中継(デジタル送受信)のたびにリセットされる。

すべてのデジタル回路において、ノイズ・マージンがきわめて重要な役割を果たしているが、仕組みが単純すぎるから、デジタル回路の物理層の設計に実際に関わらないかぎり見過ごされてしまうのかもしれない。

シャノンが本来熱力学的な概念であるエントロピー概念を誤解して、受信回路上でS/N比を決定するレジスタの桁数と取り間違えた可能性はないだろうか。

5. 誤りのない聞き取りオートマトン

5.1 情報理論とオートマトン

以下では、なぜヒトが一度しか発声しないメッセージを誤りなく聞き取って、メッセージを復元できるのかのメカニズムについて検討する。

これはヒトの音声通信に固有の現象であり、ヒト言語を驚くほど効率的にする。離散・有限符号は、まず単語レベルで分節され、続いて「文法」語によって「概念」語が紡がれて長い文章になると、発声器官によって音声化されて、時間軸上で線形に展開される。一度話すだけのメッセージが一音の誤りもなく伝わるから文法が生まれたのであり、文法があるから科学的抽象概念を構築できるのである。

しかしながら、なぜ一度話すだけで長い物語が相手に伝わるのかということ、まだ誰も説明していない。フォン・ノイマンが考えていた情報理論は、これを説明できないだろうか。彼は情報理論が未完成であることを認識していた。

「私は、情報理論が必要である、必要とされているもののうちほんのごく僅かなものしかまだ存在していないという思いを理解してもらおうと努力してきた。

わずかながらも現在存在しているものの特徴と、隣接する領域に関する情報が示すのは、もし情報理論というものが見つけたときには、それはすでに存在している2つの理論と似たものであるだろうということである。2つとは、形式論理学と熱力学である。情報理論という新しい理論が形式論理学のようであることは驚くに値しない。しかし、それが熱力学と共通のものをたくさんもつことは驚くべきことである。」6)

5.2 複雑さを生みだすものの解明

いったい何のために情報理論は必要なのだろうか。フォン・ノイマンは「生物体は複雑さがなにも減少していない新しい生物体を生産する。さらに、長い進化の時期には、その複雑さが増加しさえする」オートマトンを解明したかった。

この「『複雑さ』を構成するものの厳密な概念を形づくる方向」で、「オートマトンについての系統的な理論の建設を目標とし」た7)。情報理論は、オートマトンの系統的な理論なのである。残念ながらそれは彼の存命中には理論として確立できなかったし、その後もオートマトンの系統理論として発展・成熟していないが、フォン・ノイマンはきわめて示唆に富むことば(情報)を残している。

すなわち「オートマトンの形式的研究は、論理学、通信理論、生理学の中間領域に属する問題である。それはこの3分野のどれか一つだけにとらわれた立場で見たので

は片輪なものになってしまうような抽象化を内包している。(略)この理論を正しく取り扱うには、これら3分野別々の立場からの見方を融和させることが必要である。」

そしてオートマトンの存在定理を確立するにあたって、「かなり重要な点に至るまで、熱力学の型と概念形成のあとをたどることになるだろう」という9)。情報理論においてエントロピーはそもそも熱力学的な意味で導入されていた、そしてそれが生命の自己複製と進化を説明することにつながると考えられていた。

5.3 音声の自動受信回路

ヒトの発声は、喉頭から舌、唇の先に至るヒト固有の発声器官によって行なわれ、周波数領域で離散的な音声を生みだす。これを聞き取るための聴覚は、生後の一定期間(2~3ヶ月まで)に、周囲が語りかける離散的な音韻構造に対応して、聴覚のウェルニッケ野付近に母語の音素に反射的に対応する長期記憶が形成される。この音素対応メカニズムのおかげで、ヒトは聞き取った音声を離散信号からなる音韻列に反射的に(無意識に)復元できる10)。

生命をもたないコンピュータは、01の信号を自力で判別できるようノイズ・マージンがデジタル判定回路上にとられる。その回路に類した仕組みとして、生命体であるヒトの聴覚は、ウェルニッケ野付近に母語の音素記憶をもち、それが反射的に作用してメッセージを自動復元する回路をもつようである。

ヒトの言語聞き取り回路におけるノイズ・マージンは、音素単位で発声されたことばを、単語単位の音響信号として処理することによって生みだされる11)。このため受信点での情報の確からしさの要求値が低くなり、回線上の雑音や外国語訛りや酩酊状態でろれつが回らないために音声揺らいだときでも、自動受信可能領域から逸脱する可能性が大幅に減って、誤りなく元のメッセージを復元することができるのだ。筆者はこの情報の確からしさの要求値の差を**エントロピー利得**と名づけた。

6. おわりに：情報理論的統合の必要性

まずフォン・ノイマンのいうように3分野別々の立場から見てみよう。進化を生みだす遺伝子の通信システムではなく、ヒトの話し言葉についてのみ検討する。

神経生理学的には、非常に繊細な発声器官運動制御の結果である離散的な音声が聞き取られると、内耳有毛細胞で神経パルスに変換して、左脳ウェルニッケ野の音素記憶のデジタル判定回路と、大脳皮質一次聴覚野上の周波数遷移識別回路が作用して、言語的な音響シンボルとして取り扱う。

通信工学的には、きめ細かな神経刺激による発声器官運動制御によってデジタル変調された音声を、聴覚がアナログ信号として処理するために、要求される情報の確か

らしさが、受信点では送信点よりもよりゆるやかなものとなる。この差が「エントロピー利得」であり、デジタル復調回路が回線上で増大したエントロピーを吸収するノイズ・マージンの役割を果たしている。送信点と受信点の間にエントロピー利得があるために、回線上の雑音によって情報の確からしさが多少攪乱されたとしても、エントロピー増大分が吸収されて、送信された元通りの単語列が復元されるのだ。

論理的には、脳が復調した音響シンボルとしての単語は、生命の生存本能によって記憶と結びつく。記憶には、DNAによって伝えられる本能の記憶と、生後の知覚と思考活動によって獲得される知能の記憶の両方がある。通常は言葉の意味は知能の記憶と結びつくが、状況によっては本能の記憶を呼び覚ますこともあるだろう。

次に情報とは何かと考えてみよう。

- (1) 情報は離散・有限なデジタル信号の直鎖配列である。
- (2) 情報は遺伝子型を伴わない表現型であり、遺伝子型の制約を受けずに複製できる。
- (3) 情報自体は何も生まないが、所定の回路で処理すると意味(現実存在)が生まれる。
- (4) 情報と情報処理回路は相互的に、自動処理を行なうオートマトンを形成すると、考えることができる。

送受信点間で情報の確からしさの要求値が違うことによってエントロピー利得が発生し、おかげで雑音が多いストレスフルな環境においても情報は正しく伝わる。一方、雑音が少ないとき主体に余裕があるときは、アミノ酸配列や言葉の情報の組み換え・創意工夫・新解釈が可能になる。これが生命体の複雑さを増大させる力であり、人間の文化を生みだし、それをより精巧なものとして発展させる力ではないだろうか。図1において、この余力を「進化マージン」として示す。

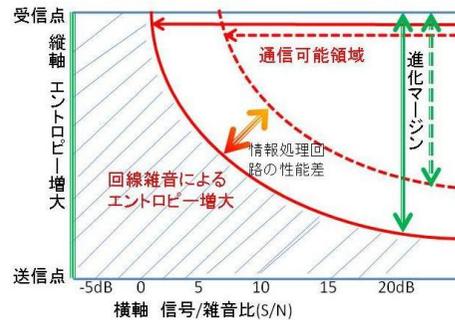


図 1

一度ストレスの多い環境を経験すると、環境が穏やかな状態に戻ったときに、生命システムが進化の必要性を理解して、情報の新たな組み合わせや情報処理回路との新たな相互作用が生まれるのではないだろうか。個体が厳しい環境を体験することで、

耐える力や頑張る力を獲得するので、情報処理回路の能力が向上するのかもしれない。人間は苦勞することによって生きる知恵を獲得する、あるいは先人の言葉の中に新たな意味を発見する。

生命体の複雑さと多様性、人類の文化発展の深淵さ・精巧さは、エントロピー利得によって生まれた信号対雑音比(S/N)上の余裕が、ダイナミックに創造しつづけてきた結果であると考えられないだろうか。

フォン・ノイマンの言葉が正しいとすれば、情報理論は現在もなお未完成な状態にあり、生命進化のオートマトンや人類の文化発展のメカニズムを解明するためのツールとして完成されることが待ち望まれる。シャノンはアナログ的な考え方で本来デジタルな情報を取り扱おうとした結果、情報理論発展の方向性を見失い、基本となる諸概念について誤った知識を広めてしまったということはないだろうか。

参考文献

- 1) 得丸.SIG-KBS-A904-10(2010/03/30), 写真測量とリモセン 48:1,pp41-44, 48:4, pp242-245 2009, 49:4, pp274-277 2010, 情報処理学会 71 全国大会 5H-7 2009.3, 情処学会研究会報告 BIO19-48, SLP79-41, NL195-4, SLP81-11, MUS-87-7, CH-88-6, 信学技報 2009:TL-28, TL-40, SP-169, 2010:LOIS-8, TL-10, AI-1, MVE-39, IT-23, DE-14, TL-24, HCS-32
- 2) C.E. Shannon The Mathematical Theory of Communication 1948
- 3) C.E.シャノン, W.ヴィーヴァー, コミュニケーションの数学的理論:情報理論の基礎 ; 長谷川淳, 井上光洋訳 明治図書出版 1969.5
- 4) Claude E. Shannon; Collected Papers, IEEE Press 1993
- 5) C.E. シャノン, ワレン ウィーバー, 通信の数学的理論 (ちくま学芸文庫) 植松 友彦訳 2009
- 6) J. von Neumann, Statistical Theories of Information, pp 460-466, Papers of John von Neumann on computing and computer theory / edited by William Aspray and Arthur Burks MIT Press, 1987
- 7) J. von Neumann,(1951) The General and Logical Theory of Automata, 「人工頭脳と自己増殖」,『世界の名著 66 現代の科学 2』中央公論新社 1970 所収
- 8) C. E. Shannon; Collected Papers, IEEE Press 1993, Information Theory, pp212-220
- 9) J. von Neumann, 自己増殖オートマトンの理論, p109, 1975 岩波書店
- 10) R. Näätänen, The Perception of speech sounds by the human brain asreflectedby the mismatch negativity (MMN) and its magnetic equivalent (MMNm), Psychophysiology, 38(2001), 1-21
- 11) D.P. Phillips, Introduction to the Central Auditory Nervous System, in A.F.Jahn and J.R. Santos-Sacchi (Eds), "Physiology of the Ear", 2nd Ed. 2000, San Diego, CA: Singular, pp613-638