

デジタルな言語記憶に関する仮説

得丸公明 (衛星システム・エンジニア)

158-0081 東京都世田谷区深沢 2-6-15 tokumaru(a)pp.ij4u.or.jp

「ヒト話し言葉がデジタルであるという事実は、ヒトの言語と意識の起源を理解する上できわめて重要であるのに、まだあまり理解されていない。(1)」そもそもデジタルという概念がきちんと定義・検討されていない。通信回線上の雑音が信号の量子エントロピーを増大させるときに、デジタル信号の離散性が信号対雑音比(S/N 比)を高めることによって、信号誤りの確率を大幅に下げることあまり認識されていない。本稿において筆者はデジタルを「(有限個の離散信号によって表現される)情報」として定義づけ、それがアナログ信号に比べて桁違いに多くの符号語を生み出すことや、信号の確達性を高めたことによって、開始信号と終止信号の間で一次元状に配列される信号の位置や結びつきが意味をもつようになった(文法が生まれた)ことを指摘する。我々はこの言語情報を脳内に貯蔵する。それがいったい何でどのようなメカニズムであるのか、まだまったく解明されていない。言語記憶について心理学・脳神経生理学に照らして考えてみる。

A Hypothesis on Digital Linguistic Memories

Kimiaki Tokumaru (Satellite System Engineer)

158-0081 Setagaya-ku, Fukasawa, 2-6-15

"The fact that all human language make use of a digital code has not received general attention despite its crucial importance for an understanding of the origin of human language and consciousness(1)." To begin with, the "Digital" notion itself has not yet been sufficiently discussed and defined. It is not well recognized that, when noise sources over the communication channel increase the quantum entropy of signals, the distinct signal characteristics of high SNR (Signal to Noise Ratio) significantly decrease the signal error rate. In this paper, the author defines "digital" as "information (to be presented by finite and discrete signals)". And he points out that human digital information generates 3 to 4 order more code words than analog code of non-human animals, and that its unidirectional sequence and positions became meaningful thanks to quasi-error-free transmission: this is so-called grammar. Consequently, human brain came to possess digital linguistic information in memories. Although its location and physiological mechanism has not yet been clarified, the author investigates on human in-brain linguistic memories referring to neuro-physiology and psychology.

由よ、女に之を知ること教えんか、之を知るを之を知るとなし、知らざるを知らずとなす、是知るなり。(論語・為政第2)
必ずや名を正さんか(論語・子路第13)

1. はじめに：遺伝子情報システムと言語の類似性

文化人類学者で構造主義者である Levy=Strauss は以下のように述べている。
遺伝子コードの構造と運用についての研究のほうが、いくつかの単語あるいは文の断片を類人猿であるボノボに教え込むために注がれる労力(これによって猿についての知識を得ることにはなっても、言語について知ることにはならない)以上に、分節言語の性質について多くのことを明らかにしてくれるし、また逆もしかりである。というのは、ヴィーコの螺旋に似せて、同一の機能が、遺伝子と分節言語という生命体の異なった段階に回帰的に現れるからである。(略)分節言語のモデルとなる、予めそれを構成している別の言語がある。そしてその起源(さらに同じ属性を有しながらある次元から別の次元で再出現するという神秘)が、心理学者や言語学者だけの手にはおえない様々な問題を提起する(2)。

筆者は言語メカニズムについて考察をしているときに、ヒトとヒト以外の哺乳類の語彙数が3~4桁も違うのは、音節を順列組み合わせできるかどうかの違い、つまり音声通信がデジタルかアナログかの違いではないかと考えた。ところがデジタルとは何かを論じた文献がみつからなかったために、自ら「デジタルとは何か」という予想外に深遠で神秘的な問題と取り組むことになり、情報理論の古典である Shannon や Wiener の著作にはじまって心理学者である Vygotsky や Piaget, 脳神経生理学者 Pavlov, 言語学者 Chomsky や Martinet, さらに脳神経生理学者の時実利彦とその弟子たち, 数学者 von Neumann や分子生物学者 Noll の実験結果や論考を読み、遺伝子情報システムも参考にして、デジタルとは情報だと思ふようになった。

筆者の手法は、自分では実験を行わず、別の研究者の実験や観察の報告を読み解くことで、総合的な仮説を組み立てる「システム工学」的手法である。この手法については昨年本学会人文科学とコンピュータ研究会で報告した(3)。言語のような大きなシステムを考察するにあたっては、全体を表現できるモデルを作り、その各論部分を説明する既存の研究を見つけることが何よりもまず重要である。手探りの作業であるが、信頼するに値する研究成果を探し出して、内容を吟味して、必要ならば誤り訂正を行ってから仮説に組み入れれば、有意な結論に結びつくのではないかと期待する。

本稿では、2でデジタルを定義し、デジタルとは情報であるということを説明する。3では遺伝子情報システムとの比較やチャクマヒヒの観察結果をもとに、我々が学習を運命づけられている動物であることに触れる。4で我々がどのような記憶をもっているのかについて概観する。とくに記憶に関する独自の考察を示した von Neumann, 脳外科医として側頭葉に記憶の領域があることを発見した Penfield の観察結果を紹介し、ヒトの脳内で無声の内言を記憶するデジタル言語記憶が形成されている可能性を論ずる。最後に失語症患者が言語回復のためのリハビリを嫌がる理由について考え、言語メカニズムに知悉することの重要性に触れる。

2. デジタルを定義する

本稿において「デジタル」は、「(有限個の離散信号が表現する)情報」と定義する。だが「情報」の一般的定義もないので、「情報」を「物理的あるいはエネルギー的な実体をもたない、純粋な表現型信号の一次元配列によって、遺伝子発現の手順やタンパク質の構造や文化のノウハウを表現するものであり、しかるべき情報処理回路の中で意味を生み出すもの」と定義する。情報はデジタルな表現型であるので自在に媒体を乗り移りながら自動的に送受され、情報ネットワークによるオートマトンを形成する。

この定義上アナログな情報は存在しない。アナログ信号は単なる合図にすぎない。デジタルの具体例としては、遺伝子、bitを用いる電気通信、言語がある。

デジタル通信は「ミニマムなエネルギー消費で産生・制御・複製でき、物理・化学的な離散性を表現する有限個の信号で表現される通信である。信号は意味をもたないので、別途情報源符号化を行う。S/N比が大きいので、信号数をいくらでも多くつなげて無限個の符号語を作ることができる。デジタルに送信された信号はアナログに受信され、雑音マージンを備えた別の回路が離散値に判定するため、回線雑音によるエントロピー増大を吸収され、誤り確率が大幅に低下する。また送信データ間の親和性にもとづく誤り検出・訂正が可能であり、誤りのない通信が成り立つために、開始信号と終止信号の間で一次元配列し、記憶と対応する概念語を表現規則(文法)にもとづいて紡げば複雑・精巧な意味を正確に伝えることができる」という特徴をもつ。

2.1 自在に産生し分けられる離散・有限信号の一次元配列

デジタル信号は、わずかなエネルギーの制御によって自在に産生し分けられる。物理的あるいは化学的に離散的な特性を示す、相互に置き換え可能な、有限個(一定数)の信号によって一次元状(直鎖状)に配列して送受信される通信である。

2.1.1 自在に産生し分けられること

信号が自在に産生し分けられることが重要である。ヒトが母語の発声において、ほぼ無意識に発声器官を制御して音素をたくみに発声し分け、単語をつなげていく(二重分節化)のは、きわめて繊細な脳神経の運動制御メカニズムがあるからだ。我々はあまりに無意識に言葉を発声しており、その運動制御メカニズムに十分な関心をはらっていないが、母語であっても自由に間違いなく発声できるようになるためには3年くらいかかる、乳幼児にとって大仕事である。

Vygotskyは、我々が脳内で発する独り言である「内言」は、この発声器官運動制御の神経刺激を発声器官を動かさずに脳内でフィードバックするものであり、子どもは

学齢期に達する頃に無音の独り言を獲得し使用できるようになると指摘する(4)。

我々が頭の中で考えるとき、無音の内言を使っている。内言によってことわざや法律の条文も思い出す。言語の記憶は内言として脳に記録されるのではないか。

2.1.2 相互に置き換え可能な離散・有限信号

デジタル信号はもともとアナログであったものが進化したと考えられる。デジタル化に必要なのは、自由に産生でき相互に置き換え可能な有限個の離散信号、受信回路上のデジタル判別回路、そして大容量記憶装置と複雑な処理回路である。

有限個の信号の例としては、細胞核内でDNAから転写されるたびに産生され、生化学特性が離散的であり、相互に置き換え可能なRNAの4元塩基AGUC(アデニン、グアニン、ウラシル、シトシン)、電気通信において電圧によって表現される2つの離散値である0,1の2元信号bit(1信号が4, 8, 16, 64種類等の離散状態を示す多値変調も行われる)がある。ヒト固有の発声器官と肺気流によって産生され、言語共同体ごとに一定数(およそ百あまり)ある音節も、音響周波数特性が離散的な信号である。

ヒトの音節は、哺乳類の音声通信が進化したものだ。哺乳類は、喜びや悲しみや愛情や怒りの感情で鳴き声を変調していた。ヒトは、安全で快適な洞窟という居住空間で晩成化して大きな脳をもつようになり、自由に音を出して楽しむようになって、およそ7万年前に子音と吸着音(click)からなる音節を生み出したと考えられる(5)。

南アフリカのインド洋沿いには砂岩層に穿たれた海拔20mの洞窟が点在する。これらの中期旧石器遺跡の付近で今から7万年前に突如として細石器文化Howiesons Poortが開いた。この地に古くから住むブッシュマンのコイサン語は世界最古の言語といわれており、今なおクリックを使用する(6)。おそらく彼らは母音を生みだすまでの期間はクリックと子音を組み合わせるとおよそ100の音声信号を使っていたのであろう。

肺気流を利用する母音の発声をもたらす喉頭降下は、気道の出口が食道中に移動して口から呼気を出す現象であり、窒息や肺炎という生命の危険を伴う。生命の危険まで冒して母音が生まれた背景には、そのときすでに分節言語が存在していたことが伺える(7)。肺気流のエネルギーを利用して洞窟の外でもコミュニケーションできる母音を獲得したために、彼らはインド洋沿いの洞窟を捨てて北上したと考えるなら、6万年前に母音が生まれたと推定される。

計算機による音声言語処理が難しいのは、音節がおおよそ100種類もある多値デジタル・シンボルであるからだ。子どもの脳神経が多値シンボルに対応できる繊細で複雑な音節処理機構を作るまでに3年もかかっているときに、二値的な処理が基本の計算機で音声言語を処理するのはかなりの工夫が必要であらう。

2.2 純粋な表現型だから情報源符号化が必須であり、通信路符号化が可能

アナログからデジタルへの進化は、通信路上でデジタル信号を使用することにより

誤り確率が低い通信を可能にし、そのおかげで一次元状の配列位置が意味をもちうるようになった。デジタル信号を組み合わせによって増加した語彙は、構文(Syntax)と文法(Grammar)によってさらに複雑精巧なメッセージへと進化を遂げた。

デジタル信号は純粋に離散的表現を行うだけの表現型であり、たとえばもともと生化学物質である mRNA は酵素の働きはしないし、bit 信号の電圧は何かを動かすためではない。哺乳類の鳴き声は感情によって変調されており、やはり哺乳類であるヒトの声にも感情はこもる(感情で変調される)。しかしながら離散信号としての音節は意味から完全に独立している。したがって、表現型である離散信号列は、情報源符号化過程によって別途意味づけされなければならない。(2.2.1, 2.2.4)

また、符号誤りを防ぎ、それを検出し訂正するための通信路符号化が行われるのはデジタル通信に固有である。(2.2.2, 2.2.3)

情報源・通信路符号化処理を適切に行わなければコミュニケーションが成り立たないことから、デジタルとは情報である、言語は情報であるというのだ。

2.2.1 情報源符号化 1: 信号対雑音比が符号語の種類を増やす

デジタル信号は離散的であり、信号対雑音比がよいので、信号を順列に組み合わせで並べることによって、いくらかでも多くの異なる符号語を作り出すことができる。このため、離散信号をもたない場合に比べて数桁も桁違いに多くの語彙数を容易にもつことができる。

ヒトの細胞の核内にある DNA は 30 億塩基対あり、そこでひとまとまりの遺伝情報であるゲノムとして推定されている領域は約 26,000 ある。電気信号 bit は 0 と 1 の 2 値であるが、電子計算機の処理速度が高速かつ正確なため符号語長をいくらかでも長くして使うことができる。

言語の場合、辞書の収録語数を参考にすると、数万から数十万規模の単語数をもつと考えられる。一方、ヒト以外の哺乳類や鳥類がもつ符号語の数は、10 から多くても数十しかなく、ヒトの語彙数が 10 の 4 乗ほど多く、それだけ多様な現実に対応した言葉を生み出すことができる。

2.2.2 通信路符号化 1: 信号対雑音比と離散受信回路が符号誤り確率を減らす

離散信号を送信し、受信側には離散信号に対応した信号判別回路が用意されることによって、符号誤りが起きる確率が大幅に減少し、送信信号が回線雑音の影響で一定程度歪んでも誤りなく自動受信できるようになった。たとえていえば、信号判定装置はルーレット盤のようにあらかじめ枠で仕切られており、受信した信号はかならずあらかじめ決められているどれかの枠に収まることになっている。

細胞核内で紡がれて核膜を通りぬけてきた mRNA に対しては、酵素機能をもつトランスファー(t)RNA のアンチコドンが待ち受ける。mRNA は塩基が 3 つ集まってひとつ

のコードンを形成するため $4 \times 4 \times 4 = 64$ 通りのコードンが存在する。それが 20 種類のアミノ酸へと翻訳される縮重(degeneracy)がおきることで信号誤りがおきにくくなっている。

bit は変調によって搬送波の電圧や位相に変換されるが、大気中で雑音によって熱力学的な量子歪みが生まれる。この歪みを吸収するために、たとえば 0V と 5V として送信した信号は、受信回路上では 0V-2.2V は 0, 2.8V-5.0V は 1 として判定されるようになっていて、回線上で受けた歪みがリセットされる。

ヒトの場合は、生後まもなく母語の音素に特化した痕跡記憶がウェルニッケ野付近につくられ、母語音素とそうでない音素を聞き分けるとともに、外国人や幼児や酔客の訛った声やたどたどしい声でも無意識に正しい音節に復元して聞き取っている(8)。

2.2.3 通信路符号化 2: 信号間の親和性による誤り検出・訂正

離散信号を送信することで符号誤りの確率が大幅に減少したが、ゼロではない。通常は、回線状態と送信出力と受信感度に合わせて、1 信号あたりのエネルギーを最適化した無駄のない送信が行われるものの、予期せぬ大きな雑音によって符号が受信できない事態もおこりえる。そのため、受信側で、符号が届かないことや誤って届いても送信元に確認することなく独自に誤りを検出し訂正できなければならない。

言葉は、発音しやすく聞き取りやすい音韻列として単語が構築されていることほかに、オノマトペなど自然語源をもつ単語が多く採用されることで親和性をもつことはすべての言語にみられる。また、多義語・同音異義語は同一分野内では避けられる。

2.2.4 情報源符号化 2: 文法による意味の二重分節化

時間軸に沿って一次元配列された信号列を、1 信号の誤りもなく受信できるようになると、メッセージを送る順番や前後関係が意味を持ちうようになり、開始点と終止点を明示し、その間で符号語を一定の法則にしたがって組み立てて送るようになった。個々の符号語は一定の意味と結びついているが、それを法則にしたがって組み立てることによって、より複雑・精巧な意味を表現できるようになった。

遺伝子情報システムにおいてこのメカニズムはまだすべて解明されていないが、開始コドンと終止コドンには含まれた mRNA 列が、転写後に非コーディング(nc)RNA によるスプライシング(切り取り)や発現抑制などの修飾を受けたあとでコドンとしてアミノ酸に翻訳されることが知られている。電気信号の bit 列は、プレアンブル(preamble)と呼ばれる開始部と、ポストアンブル(postamble)と呼ばれる終止部の間で、様々な規約にしたがって符号語が組み立てられる。

ヒトの言語の場合は、始まりと終わりに挨拶が行われ、その間で概念が文法によって紡がれる。昔話は、「昔々あるところにお爺さんとお婆さんが」で始まり、「めでたしめでたし」で終わって、その間で物語が時系列にしたがって展開する。途中で寝た子のために、どこまで覚えているかを確認して、途中から話すこともできる。

ヒトの子供は学校にいかなくても文法を自然に獲得する。文法は生得的であるので生成文法(generative grammar)とよばれるが、遺伝子も文法をもつことから、文法をもつのはデジタルの特徴であると考えられる。Martinet は、ヒトの言語の特徴は、音節を組み合わせる単語をつくり、単語を紡いで文や節にする「二重分節化」(double articulation)であるという。これは意味の二重分節化を反映したものである(9)。

文法を獲得したことにより、ヒトは実体験できないマクロやミクロの世界、過去や未来の事象を科学的な概念や歴史的概念など抽象概念としてもつようになった。

3. 本能の記憶と知能の記憶

3.1 遺伝子情報システムとヒト言語システムの類似点

生命体の遺伝子情報システムとヒトの言語(話し言葉)はともにデジタルという特徴を共有する。レヴィ=ストロースが指摘するように、この点に注目すれば、遺伝子情報システムでまだ解明されていないことも解明されるかもしれない。

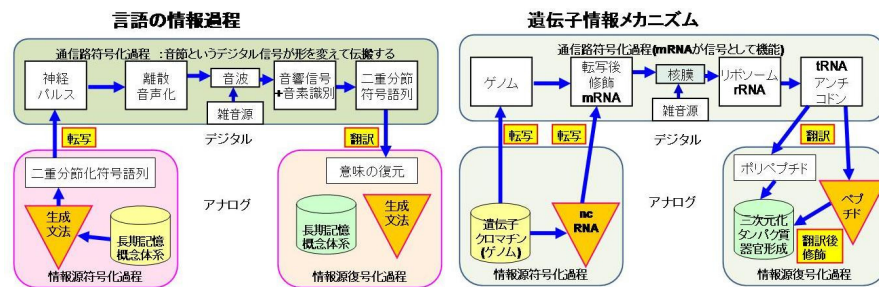


図1, 図2 一般通信モデルにもとづいた言語と遺伝子の情報過程

二つの情報メカニズムは相似であり、「分節言語のモデルとなる、予めそれを構成している別の言語」(2)とは遺伝子の言語のことだったか。そうであるなら、ヒトが文法を生得的に獲得するのもきわめてもつともなことである。

3.2 遺伝子情報システムとヒト言語システムの相違点

遺伝子情報システムとヒト言語の間に違いはあるだろうか。デジタルは表現型の情報であり、適宜媒体(搬送波)を乗り換えてネットワークする。DNA の遺伝情報は、mRNA になり、tRNA に導かれてアミノ酸に翻訳され、三次元化してタンパク質になる。ヒトの言葉は、意識が内言を産みだし、内言が音声になり、それが大気中を伝播して相手の聴覚が単語単位の音響シンボルとして処理し意味へと復元する。だとすれば、OSI(Open System Interconnections)参照モデルにそれぞれのシステムをあてはめて

比較すると何かわかるかもしれないと筆者は考え、電子情報通信学会のインターネット・アーキテクチャ研究会で検討結果を発表した(10)。

図3はOSIモデルに言語をあてはめた例である。物理層から表現層までは、ほぼ無意識なオートマトンとして作用する。遺伝子の場合はアプリケーション層のタンパク質合成や器官形成もオートマトンによって運用されており、そのための記憶はDNAによって先天的に遺伝されるのに対して、言語から生業・芸術に至るヒトの文化的な記憶は、自動的に獲得できない意識的な知能活動の結果として獲得される。ヒトは自発的に文化習得しなければ発展しない運命にある。「少年老い易く、学成り難し」と孔子が嘆息したのも、ヒトは積極的に学ばなければならない生き物であることを本能的に知っておられたからではないか。

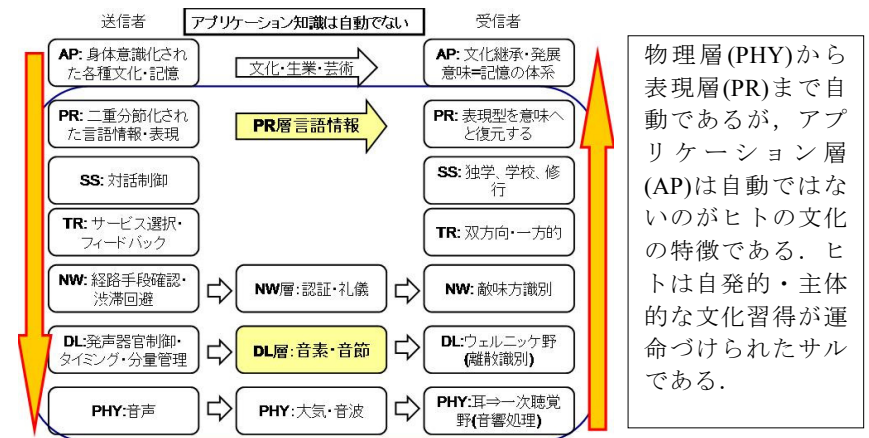


図3 OSI参照モデルにあてはめてみたヒト・デジタル言語モデル

3.3 知能が本能に優先する霊長類の行動様式

ヒトは30億塩基対のDNA情報を遺伝によって受け継ぐ。この本能的な記憶と、後天的に獲得する文化の記憶はどのような関係にあるのだろうか。またこれは、ヒトに限った現象であろうか。

南アフリカの自然思想家マレーズ(Marais)は20世紀初頭にチャクマヒヒと3年間の共同生活した結果、本能の記憶が自動的に発現しないのは高度な霊長類に共通の現象であることに気づいた(11)。そして、更新世(170万年前から1万年前)にかけて地殻と気象の大変動が周期的に発生していたために、霊長類は唐突に変動する自然条件に対応するため、脳とそのはたらきを変更して、属性はすべからず後天的なものでなければならぬとした、という考えに至った。つまり本能の記憶に対して個体が生後に獲得

する記憶を優先するようになったのだ。

「実際のところ、それは経験知の記憶の一般的な活動の成果にすぎない。しかし、それは結果的に、ある動物が直接体験をすることなく、祖先が蓄積した記憶の恩恵を受けることができることを可能にする。最高位の霊長類においては、分節言語が範囲を広げ、伝統の恩恵を上げた。伝統の一般的効果は、したがって、本能の記憶の一般的効果と同じになった。これは柔軟性のなさを取り去った本能に等しい。」(11, p86)

文字化された分節言語は、保存手段や伝達手段の改良によって、時間的・空間的な情報の到達距離をさらに伸ばしており、本稿もその恩恵を受けている。

4. 記憶の種類とメカニズム

4.1 遺伝によって伝えられる DNA の ROM 記憶

最高位の霊長類であるヒトも、DNA の遺伝情報を受け継いで生まれる。筋肉細胞であろうと神経細胞であろうと白血球であろうと血管の細胞であろうと、我々の体内にある 60 兆個の細胞は、ひとしなみに受精時に配列の決まった同じ 30 億塩基対の DNA を核内にもっている。これは生まれた時から死ぬ時まで情報の構成が変わらない ROM(Read Only Memory)にたとえられる。

文明社会の中でこれらの ROM 情報はあまり表に出てこないが、我々が意識していないところで、自律神経系の制御や本能的な判断に役立っていると考えられる。催眠状態にあるとき、こちらの記憶が働くことがあることを Marais は実験している(11)。

インドで釈尊が 6 年半の修行をされたように、千日回峰行や滝行など禪ぎ修行のように、水や食料を絶ったり身体を限界まで酷使する修行が古来行われているが、これらの修行には 30 億塩基対の DNA の生命記憶を活性化し、60 兆個の細胞間の情報ネットワークを再構築あるいは再活性化する効果があるのではないだろうか。

4.2 三つ子の魂百まで：生後すぐに獲得される痕跡記憶 PROM

Marais はシラアリの観察も行っていて、驚くべきことにシラアリの女王が最初の出産のときに陣痛に苦しんでいる様子が書き残されている(12)。最初の子供だけは、面倒を見てくれる働きアリがいなかったために、女王自ら育てなければならぬからだ。

ヒトのお産の陣痛が痛いのも、腹を痛めて生まれてくる子供を愛しむようにと自然が教えているのだという。閉経後のメスが子育てを手伝うのもヒトに固有の現象であり、これも子供をかわいがるようにという自然の配慮であると考えられる。老人が孫をかわいがるのは、数少ないヒトに固有の本能かもしれない。

「三つ子の魂百まで」というが、生まれてから 3 年間の子供の言語能力・認知能力は著しい発達をみせる。とくに母語音素に対する聴覚記憶がつくられることは重要で

ある。母語の音素を正しく発声できる能力を獲得するのも時間がかかる。乳幼児期に獲得する音素はプログラム可能 ROM(PROM)として書き換えのきかない共同体成員の目(耳)印になり、旧約聖書の時代から敵味方を識別するのに用いられてきた。

4.3 知能の追記型記憶 シナプス説と分子説の対立を超えて

1948 年にカリフォルニア州パサデナで行われたヒクソンシンポジウムで von Neumann は「人工頭脳と自己増殖」という講演を行って、生命体が完璧な自己複製をつくるだけでなく、ときとしてより複雑な方向に進化する謎を指摘するとともに、デジタルとアナログの最大の違いが S/N 比にあると説明している(13)(14)。

von Neumann の次に行なわれた講演が McCulloch の「なぜ心は頭にあるのか(Why the Mind is in the Head)」であり、マカロック・ピッツモデルと呼ばれるニューロンのモデルを紹介している。von Neumann はマカロック講演の後の質疑応答中に、記憶のシナプス説を批判して、興味深い発言をしている。(13, pp62-3)

「記憶がニューロン内部に現実に存在するなんらかの形態であるという考えを否定するのは、単なる否定論であり説得力がない。それが何の説明になるというのだ。議論をするなら以下のものでなくてはならない。記憶は、安定していて、消すことができず、不可逆的な変化の結果であるということの証拠はたくさん存在している。(つまり、「反響する(reverberating)」、動的で、消去可能な記憶ということの真逆である。)このことを否定する物理的な証拠は何もない。もしこれが正しければ、一度獲得されると真の意味で忘れることのできる記憶は存在しないということになる。ひとたび記憶の保存場所が埋まると、そこは永遠に占拠され、その分の記憶容量は消費され、そこに何かを新たに保存することは不可能になる。「忘れる」ようにみえる現象は真の忘却ではなく、その特定の記憶保存領域が迅速かつ容易にアクセス可能な状態から、アクセス可能性がより低い状態に移行することである。それはファイルシステムの破壊ではなく、むしろファイリング・キャビネットを地下倉庫に移動するようなものだ。このプロセスは多くの場合、可逆的である。状況によって、ファイリング・キャビネットは地下室から持ち出されて、再び迅速かつ容易にアクセスできる状態に戻る。」

「このような組織をしていると考えることは説得的である。(略)すると、記憶はニューロンの中のスイッチング装置の中には収まりきれないことになり、容量ももつとつと大きいことになる。スイッチング機構の接触点により入出力上の深刻なボトルネック状態をもつ、非常に大きな記憶組織あるいは組織体を考えなければならない。」

この von Neumann の指摘は、記憶のシナプス説に対する分子説の立場を先取りしている。遺伝情報が二重らせん状の DNA のデジタルな塩基配列であるように、「生後、環境から手に入れる情報を蓄える脳の記憶」も核酸の塩基配列であると考えるのは「ごく素朴な発想」である。「記憶の分子説とシナプス説との論争は、かつての光の粒子説と波動説に似た状況にある」というのは、塚原伸晃である(15)。

「これらは量子力学の出現によって解決され、本質的に光は波動と粒子の性質を合わせもつことが明らかとなった(略) 粒子とは物質であり、波動とはその存在様式であり、量子力学の世界ではこの二つは互いに矛盾しない(略)」

「同様に、シナプスとは脳における物質=分子の存在様式であり、これがそれを構成する物質=分子と切り離しては考えられない」「神経細胞やそのシナプスは一つの基本的な階層であり、また蛋白質や核酸といった分子はその下の階層での構成要素である。(略)ひとまず神経細胞のレベルで把握された上で、その分子的機序が明らかにされたとき、はじめて光の粒子説と波動説が統一されたような形で終結するのでは」(15)

塚原の期待はまだ実現していない。最近ではヒトの脳の記憶領域に関する Penfield の研究や哺乳類の脳で記憶と結びついた蛋白質が合成されるという Hyden の研究もあり話題にならなくなった。一方で昨今グリア細胞の研究が急速に進展しており、細胞レベルでの把握に続いてすぐに分子レベルでの解明が行われるかもしれない(16)。

4.4 大脳皮質上の知能記憶の記録領域

脳外科医である Penfield は、カナダのモントリオールにあるマギル大学附属モントリオール神経学研究所所長として、1934 年から 30 年にわたって、700 人以上の脳腫瘍性てんかん患者の腫瘍部分の切除手術を行った。その際、局部麻酔状態にある患者の大脳皮質の各所に微弱な電圧(0.5~5V)で短いパルス刺激(1ms)を 1 分間に数十回発する電極を当てながら、患者の反応を記録し、患者の証言を記録している(17)。

実験結果として、大脳皮質の機能局在を反映して、感覚が生まれたり、運動が生まれたり、記憶がよみがえる様子が報告されている。反応があった場所には数字が書かれた札を置いて、実験の最後に写真を撮影している。なかでも興味深いのは、記憶の領域が、視覚野と聴覚野の間にある側頭葉にあることの発見である(18)。

「側頭葉には無数の神経細胞パターンがあり、記憶の記録となっている。電極は患者に過去の出来事の記憶など心理的経験をもたらし、患者は手術台でそれを説明できる。

こうして生み出される幻覚は、視覚か聴覚かその両方であるが、決して単音や静止画ではない。これらの心理的幻覚は、大脳皮質の聴覚野や視覚野を刺激したときに生み出される視覚や聴覚の感覚経験とは著しく異なっており、秩序だっている。

これは体験記憶であり、患者が聴いた歌の再生かもしれない。もしそうならば、患者はそれを始まりからお終いまで「聴いている」のであって、一度に全部を聴くわけではない。患者にとっては正確な記憶というより夢のようなものにうつる。しかしこの夢には、なじみの場所が登場し、親しい人々が話しかつ行動する。このような幻覚、記憶、あるいは夢が、電極がそこに当てられている間中、ゆっくりと展開する。

これは驚くべき発見である。これによって心理現象は生理学となった。もし我々が記録を正しく読み取れるなら、心理研究においても重大な意味をもつだろう。(略)

明らかに電極の下の部分には出来事の記憶を記録するメカニズムがある。しかしこ

のメカニズムは単純な出来事を記録する以上のことをしているようにみえる。活性化すると、元の経験に付随する感情も再生する。さらに、神経節のメカニズムは、その出来事を思い出したときに感じる感情の記憶やその出来事の重大性に関する論理判断の内訳を、あらたにその記憶に付け足すのである。

過去の出来事の記憶を思い出すときには、中枢神経システム内部の神経細胞メカニズムを作動させなければならない。回想において、記憶は片側の大脳半球で見える片眼失明的な像ではない。単一の感覚器官からの素材に限られているわけでもなく、むしろその逆である。(略)両半球に届く視覚刺激と聴覚・体性感覚がすべてひとつにまとまっている。それに加えて、原初の体験のときに個人が感じた感情や、その経験に関してその人が行った真か偽かの推論ももたらすことがある。

刺激によって生み出される記憶の場合も同じである。側頭葉には、まちがいなくたくさん神経節パターンがあるのだが、刺激が活性化するのはたったひとつのパターンだけであり、ひとつだけの回想が意識に提示される。しかし記録は出来事の記録だけではない。その経験に関する個人の思考の内訳やそのときの感情も記録されている。脳外科手術の最中に我々が遭遇し、おそらく 2 つの半球の対応する領域にも同じメカニズムがある神経メカニズムは、1) 記憶された出来事や経験、2) その出来事に関連した思考、3) それが引き起こす感情を、再生する機能をもつようである。(略)

この記憶パターンの再生は、両半球を通過するすべての神経刺激(つまりその出来事に関連するすべての神経刺激)の調整あるいは統合なしには、大脳皮質上で形成されえない。記録されているものは統合された全体なのである。」(18, P142-4, なおペンフィールドは 1975 年に書いた本の中で、側頭葉に記憶領域があると主張したことは誤りであったと述べているが、その理由を明らかにしていない(19)。実験結果を見るかぎり側頭葉に記憶領域があると考えerるほうが妥当ではないだろうか。)

「1) 記憶された出来事や経験、2) その出来事に関連した思考、3) それが引き起こす感情」はすべてアナログな記憶であり、デジタルな言語記憶は含まれていない。

Penfield は主な半球の側頭葉か前頭葉に言語野があること、左半球の後部側頭葉にも言語のための領域があることは観察しているが、それ以上は観察できていない。

「おそらく出来事を思い出すという意識作業は、話したり読むための意識作業とは別のものである。皮質を刺激したときに患者が人々の話し声を聴いたりその話を理解することはできたが、刺激によって患者が話したり、個別の単語を思い出すということはなかった。(18)」

左半球の後部側頭葉というのはウェルニッケ野に近いが、ここにデジタル形式の言語記憶がまとまって記憶されているのだろうか。デジタル形式というのは、その部位に記録されているデジタルな情報が、読み取りや書き込みの都度ウェルニッケ野の母語音素痕跡記憶を参照することで音韻符号に変換されるということだ。ウェルニッケ失語症における単語単位の錯語や音韻性の錯語の症状はこの変換メカニズムの機能不

全や「記憶と音素の変換表(look up table)」の異常として説明がつかないだろうか。

この領域にデジタルな単語の記憶は記録されているが、電極の外部刺激は記憶から音素への変換表を起動しなかったため、一点だけを刺激しても言葉は生まれなかったのだ。この部位を分子レベルで解析すれば単語の記憶がどのようなフォーマットで記録されているのかが明らかにならないか。

4.5 記憶を生みだすタンパク質、意識を生みだす網様体

筆者が Penfield の観察について知ったのは大脳生理学者時実利彦が一般読者向けに書いた入門書であった(20)(21)(22)。そこでは、記憶にもなって RNA が移動してタンパク質が産生されるスウェーデンの Hydén や、中脳の網様体賦活系が意識中枢であるとするアメリカの Magoun の研究も紹介されている。

2010 年 10 月にスウェーデンのカロリンスカ研究所の 200 周年記念講演会が東京のスウェーデン大使館で開かれたときに、スウェーデンの脳科学者に Hydén の研究のその後について質問してみたが、誰も後追いついていないようだった。von Neumann が「安定していて、消すことができず、不可逆的な変化の結果である」という記憶が、特定のタンパク質であるかは現在の科学技術で確認できるはずである。

また「記憶パターンの再生は、両半球を通過するすべての神経刺激(つまりその出来事に関連するすべての神経刺激)の調整あるいは統合なしには、大脳皮質上で形成されえない」という Penfield は、実際に Magoun の中脳網様体賦活系に関する研究を踏まえていた(18)。彼らの研究を統合した研究成果が現れることに期待したい。

4.6 デジタル符号語のためのデジタル記録領域があるのではないか

脳の記憶の細胞レベル・分子レベルの生理学はまだ解明されていない。しかしながら、出来事の記憶はアナログデータであり、言葉の記憶はデジタルデータであると考えられるならば、双方が同じ記憶領域に記録されていないことも納得がいく。

ヒトが音声通信をデジタル化して、デジタル符号語を組み合わせた単語を使うようになったのは 7 万年前から考えられる。これは人類の歴史の中では比較的最近の出来事である。その起源もメカニズムもいまだ解明されておらず、ましてや脳内での記録メカニズムやフォーマットもわかっていない。

耳から覚える歌やお経などの言語記憶はアナログデータとして記録されるが、内言にもとづく言語記憶は 4.4 で考えたデジタル変換メカニズムによって、各音素か音節に対応した特定の塩基配列からなる mRNA が、特定のタンパク質を合成し、デジタルな記録をつくっていて、ウェルニッケ野で音韻変換されているのではないだろうか。

Pavlov の実験結果をていねいに読むと、犬がブザーやメトロノームなどのアナログな音響刺激と餌の記憶を生命論理に基づいて結びつけることがわかる。さらに犬が相互に関係する音響刺激を概念体系化していることもわかる(23)(24)。ヒトはこのメカニ

ズムをデジタルな言語記憶と結びつけ、複雑な意識を生涯かけて体系化する(25)。

旧友に思わぬところでばったり会っても名前がすぐには思い出せないことがある。アナログな以前の出来事の記憶が喚起され、なつかしいという感情や、好人物かどうかの評価は思い出すのに、名前がどうしても浮かんでこない。これは、デジタルな言葉は出来事記憶とは別の領域に記録されており、言葉の記録を音韻化するためにはさらに脳の別の領域に記録されている音韻変換メカニズムを駆動しなければならないからではないか。

昔の吟遊詩人や琵琶法師や浪曲師は詩物語をアナログで記憶したのだろうか、それともアナログとデジタルの両方で記憶していたであろうか。日々法律条文とつきあう法律家は法令をデジタル記憶で記録しているのだろうか。巷に氾濫する記憶術を調べてみると、言語にはアナログ記録とデジタル記録の 2 種類が存在することをふまえたものもあるかもしれない。

4.7 すべての概念は抽象概念である

ヒトは、「直接体験にもとづいた出来事の記憶をもたない概念」も用いる。これを抽象概念と呼ぶ。時間的・空間的な制約上体験することのできない過去や未来の出来事(歴史的概念)、マクロやミクロな現象(科学的概念)は、抽象概念である。これらの抽象概念を理解するためには、正しく認識された概念を文法的・論理的に演算して想像・類推することが求められる。Vygotsky は科学的概念こそが真の概念であるというが、同時にそれを正しく獲得し使用することが難しいと指摘している(4)。

泳ぎや自転車乗りや料理や園芸など生後獲得する手続き記憶をはじめとして、芸術活動や稽古事、武道、宗教的实践などのように、自己の身体と感覚を修行・鍛錬してより深く研ぎ澄まされた感覚や連合的運動制御を獲得する場合は、訓練された身体や意識を処理回路とする概念が使用される。「ピチカート」、「腰を切る」、「無我一念」など。これらの概念を文化概念と呼ぶ。

抽象概念は具体概念と区別されることなく一括してデジタル記録領域に保管されるのだろうか。そもそも概念の一般的定義がなく、抽象概念の研究はほとんど行われていない。ここに言語コミュニケーションが誤解を生みだす危険の源泉がある。

しかし、たとえば、食べたことのない料理の名前や行ったことのない街の名前は、それを実際に食べるまで、そこに実際に行くまでは抽象概念である。いや、たとえその町に何十年も住んでいてその街をよく知っているつもりであっても、知らないことわからないことは必ずある。結局、概念が指し示すものはたまたま自分が経験して知っていることだけであると考えれば、すべての概念は抽象概念であるといえる。

我々の脳が出来事記憶と結びつく具体概念と、結びつかない抽象概念の別扱いしているようにはみえない。デジタルの性格上、すべての概念は抽象的概念であり、注意して扱わなければならないのかもしれない。禅や現代芸術が「言葉以前のもの」を問

うのも、概念の限界を知らしめ、概念を正しく使うためであると考えられる。

日本の民話に登場する一休さん・彦一・吉四六さんらのとんち話には、言葉の使い方に注意を促すものも多々ある。ほかに「餅屋の禅問答」や「ふるやのもり」も言葉のもつ面白さや恐ろしさを伝えている。民話の知恵には恐れ入る。

5. おわりに：言語という精巧複雑なシステムを理解して使いこなす時

言語がデジタルであるという理解のもと、失語症患者の症例をみてみたい。岩田誠は臨床神経内科医としてさまざまな失語症患者と接している(26)。

50歳そこそこの男性の「脳のいちばん大きな動脈の中大脳動脈が詰まってしまって、左側の大脳半球にかなり大きな脳梗塞が生じ、常にはっきりした右側の完全な片麻痺がでて、同時に全失語という状態」になった。全失語は、話せない、読み書きができない、言語を理解できない状態である。

一見すると知的能力がほとんどないかのように見えるが、この患者は認識能力も伝達意志ももっていたほか、将棋を指すこともまったく支障なくできた。また、賛美歌のメロディーを口ずさむこともできたという。

おそらく将棋や賛美歌についての記憶はアナログ記録領域に残っており、それをデジタル符号語に結びつける部分やデジタル符号語の語彙が破壊されたのであろう。

岩田はほかに、「言葉は理解できるけれど、しゃべったり文字を書いたりすることができにくい」ブローカ失語や、「しゃべれるけれど言葉を理解することはできない」ウェルニッケ失語の患者の症例を紹介している。もっとも興味深かったのは、やりたい仕事をもっている患者は必死で努力して3年ほどかかって言語能力を回復するのだが、仕事をもっていない患者や引退している患者には、「本人が不自由を感じないので言語訓練をいやがる」ことである。これはいったいどういうことだろうか。

もし機能しなくなったのがデジタル言語に関連する部位だけだとすると、「1」記憶された出来事や経験、2) その出来事に関連した思考、3) それが引き起こす感情」の記憶の追加記録や統合化というアナログ記憶に限った部分は、なんの支障もきたさない可能性がある。つまり全失語の患者は、デジタルな言葉を喪失したが、アナログな哺乳類としては何の不自由もない状態で生きていることになる。

この場合、生理的欲求や喜怒哀楽の感情や論理的判断という点では何の不自由もなく、自然の美を味わって暮らせる。一方、言葉を失ったことの不便よりもむしろ便利さを感じていないだろうか。たとえば言葉によってあれこれと想像を膨らませて余計な心配をすることもなくなるし、言語情報を受け取って送り手の真意を忖度したり、テレビやラジオから欲しくもないもののCMを受け取ることもなくなる。いうならば、禅者が厳しい修行の末に到達する言葉以前の状態、心の平静・無の境地を失語症のお

かげで味わっているといえる。

失語症患者の気持ちを筆者が代弁することなどできないが、もし彼らが本当に言語能力がないほうが心安らぐと考えているのなら、言葉は人類にとってやや重荷であったということになる。しかし言葉を放棄するのではなく、精巧複雑な言語をその限界や陥穽を知悉した上で正しく使いこなすという選択肢もある。言語のデジタル性に気づくことで、言語の起源とメカニズム、人類の起源と他の動植物との関係の対等性を人類が自覚し、他の生物と平和的に共存する新しい文明が生まれることを期待する。

参考文献

- 1) Noll, H. The Digital Origin of Human Language, BioEssays, 2003, 25:489-500
- 2) Levy=Strauss, C. アメーバの譬え話, 出口顕訳, みすず, 2005.7.
- 3) 得丸 ヒト話し言葉デジタル通信システム研究の学際的性質概観と, 発話と聞き取りを結びつけるエントロピー利得(情報理論)について 情処学会 SIG 人文科学とコンピュータ 2010.10
- 4) Vygotsky, L (1934) 思考と言語, 柴田義松訳, 明治図書出版, 1962
- 5) Portmann A. 人間はどこまで動物か 高木正孝訳, 東京, 岩波書店 1961
- 6) Cavalli-Sforza, L.L. (1996) 文化インフォーマティクス 産業図書 2001
- 7) Lieberman, P., McCarthy R. 'Tracking the Evolution of Human Language and Speech-Comparing Vocal Tracts to Identify Speech Capabilities' Expedition 49-2, 2007
- 8) Näätänen, R. The Perception of speech sounds by the human brain as reflected by the mismatch negativity (MMN) and its magnetic equivalent (MMNm), Psychophysiology, 38(2001), 1-21
- 9) Martinet, A. (1965) 共時言語学 白水社 2003
- 10) 得丸 ヒト・デジタル言語の OSI 参照モデルによる解析 信学技報 IA2010-64(2010-12)
- 11) Marais E., The Soul of the Ape, Stephan Phillips, South Africa, 1969
- 12) マレーズ著 白蟻談義 永野為武・谷田専治訳, 東京:日新書院 1941.2
- 13) Cerebral mechanisms in behavior : the Hixon symposium / New York, Wiley 1951
- 14) von Neumann J. 人工頭脳と自己増殖, 世界の名著 66 現代の科学 II 所収 中央公論社 1970
- 15) 塚原仲晃 脳の可塑性と記憶 岩波書店 2010
- 16) Science 誌がグリア細胞の特集を行っている Glee for Glia, Science Vol.330 5 September 2010
- 17) Penfield W., Rasmussen T. The cerebral cortex of man : a clinical study of localization of function, New York, Macmillan, 1952 第1章において手法の詳しい説明が行われている
- 18) Penfield, W., Jasper, H. Epilepsy and the functional anatomy of the human brain, Boston Little 1954
- 19) ペンフィールド 脳と心の正体 塚田・山河訳, 1977 文化放送
- 20) 時実利彦 心と脳のしくみ 講談社学術文庫 1988
- 21) 時実利彦 人間であること 岩波新書 1970
- 22) 時実利彦 脳の話 岩波新書 1962
- 23) 得丸 パブロフの条件反射実験の言語学的解析 信学技報 LOIS2010-8
- 24) 得丸 犬が獲得する概念と犬が構築する概念体系 信学技報 DE2010-14
- 25) 得丸 概念体系構築と概念操作を行なう生命のブール代数 人工知能学会 SIG-KBS-B001-06
- 26) 岩田誠 臨床医が語る脳とコトバのはなし 日本評論社 2005