

## 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

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

地球環境問題はなぜ発生したのかという疑問から、筆者は人類の起源、言語の起源について考究した結果、現生人類は約7万年前に南アフリカの洞窟で音声通信をデジタル化して誕生したとする仮説を得た。この仮説を検証するために、脳内の言語処理過程と概念体系の構築・操作について学際的な文献調査を行なった。ヒトの言語メカニズムのもっとも重要な特徴は、一度だけの発声によって相手に長く複雑なメッセージが誤りなく届くことである。おかげで文法が生まれ、記憶を文法的・数式的に構築する抽象概念を獲得した。これは、通信回線上の雑音によるエントロピー増大を、送受信点間のエントロピー要求値の差によって吸収するメカニズム、「エントロピー利得」によって説明可能である。

### An Interdisciplinary Overview of Human Language Digital Communication System and the Entropic Gain, lying in-between Digital Speech and quasi-Analog Audition.

Kimiaki Tokumaru (Satellite System Engineer)

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

The author wondered the causes of global environmental crises and came to investigate the origins of human and language. He obtained an hypothesis that modern humans were born by the digitalization of vocal communication around 70 KYA (thousand years ago) in the caves along the Indian Ocean coast of South Africa. In order to validate this hypothesis, he implemented interdisciplinary researches on in-brain language processing procedures and construction/operation of concept system. The most important feature in human language has been discovered as the error-free-listening-automaton being achieved with a just-once vocalization of long and complex messages, thanks to an entropic gain yielded by phonemic vocalization and less accurate audition. Consequently the grammar was born, enabling to combine concepts into an abstract concept. Referring to the information theory, the author investigates the existence of an entropic gain and tries to explain the error-free-listening-automaton.

### 1. はじめに：システム工学的な学際主義

動物から人間への移行ということを真剣に考察せねばならない。(略)本能によって方向づけられるという制約から人間的な許容という驚くばかりの随意性への転換、いかに環境束縛性から世界開放性への移行が、起ったにちがいない。

A. ポルトマン (1974)「生物学から人間学へ」(新思索社, 2006)

かつて勤めていた会社はフランスの人工衛星製造会社と取り引きがあった。人工衛星の設計や製造はきわめて広い範囲の技術を必要とするので、相手を知るため、その後の話題探しのため、私は初対面の技術者には、何が専門かと聞くことにしていた。

P.V.氏はノルマンディー出身の小柄な方で、目がクリクリと輝く好奇心旺盛な子供の気配を漂わせながら、「私はシステム・エンジニアです。私は専門を持ちません。専門を持たないことが私の専門です」と誇らしげに答えてくれた。システム・エンジニアは、特定の衛星プロジェクトに関する技術的取りまとめの最終責任をもつ、もっとも尊敬されるエンジニアである。

衛星はいったん打ち上げられると修理することができない。宇宙という過酷な環境条件の中で設計寿命の期間、きちんと任務を遂行できるよう、関連するありとあらゆることを考えて設計・製造するのがシステム工学であり、システム・エンジニアはその責任を一身に背負い、生命を持たぬ衛星の化身のような存在となる。

システム・エンジニアは専門を持たないかわりに、衛星にとって必要な専門分野をもれなく見極め、各分野の技術を把握して、自分が責任を持つ衛星にとって最適となるようとりまとめる。糸川英夫博士はそれを「焼き鳥の串に刺す」と言ったが、明確な目的意識のもとでの体系化がシステム工学である。「随処に主となれ」という禅語に通ずる一方、人ができることは自分でしないというドライな合理主義が追求される。

私は、人類がなぜ地球環境問題を引き起こしたのかということ調べているうちに、人類の起源、さらに言語の起源の謎に行き当たった。そして言語の起源もそのメカニズムも、まだ誰も解明できていないことを知って驚いた。これはおそらく言語が我々の想像以上に複雑で巧妙なメカニズムであるからだと考え、通信理論とシステム工学の手法によって解明を試みた。結果的にそれは学際主義的になった。

学際主義といっても、異なる専門領域の人を集めるのではなく、一人の人間が必要なすべての領域について最低限の知識を得て、それぞれの分野で論文や本としてまとめ上げられた研究成果を取捨選択し、必要に応じて誤り訂正を施し、ひとつの仮説としてまとめあげるという意味での学際主義である。

他の学者や研究者が書いた論文や書物を読み解くことによって、先行研究者たちが

行なった実験や考察の中身を正確に把握できるなら、この手法は有効である。現生人類にとって言語は、解析する人間の認識枠組み自体をも規定している。客観的な認識を得るためには、できるだけ広い視野にたつて考える必要がある一方、一人の人間がもっている時間には限りがあるので、先行研究の成果を可能な限りかき集めるアプローチしかありえない。

巨額の研究予算や最新式の実験装置があると、予算管理や実験装置の操作習熟やオペレータの教育などに時間を取られてしまう。今求められているのは、すでに誰かが研究した成果については、それが信用するに足るかどうかの検証を行なって成果を受け継ぎ、手法や思考法に問題がある場合は、それを特定して成果に誤り訂正を施すことである。そして最終的に、これまでまだ誰も気づいておらず足を踏み入れてこなかった未解明の領域を特定して、その穴(ミッシングリンク)を埋め、全体像として提示できるひとつの仮説を生み出すことなのである。

文献研究だけでどこまでそれができるかは、言語情報のもっとも高次な処理技法を求める挑戦であり、自らを高性能の言語情報処理装置として高める実験である。

## 2. 地球環境問題から言語の起源へ

### 2.1 人類と文明に原罪はあるか？

水俣の作家石牟礼道子は、水俣病患者の日常を描いた『苦海浄土 わが水俣病』(1969年)で知られるが、『苦海浄土 第二部 神々の村』1)の公刊は30年以上も遅れて2004年になった。第二部は胎児性水俣病患者とその母たちを描いた作品であり、なんの罪も犯していない心清らかな子供たちが、脳中枢神経の切断による運動障害を背負って生まれてくる姿はなんともいたましく、21世紀の水俣から発せられた「水俣病は人類文明の原罪である」というメッセージと重なった。

筆者は、2002年に南アフリカで開かれた「国連・持続可能な開発のための世界サミット」に、日本から市民の声を届けるというNGOに個人加入した。日本から届けるべきメッセージは水俣にあると考え、『チツソは私であった』2)や『水俣病の科学』3)を読み、「水俣病は人類文明の原罪である」というメッセージに出会った。

原罪とは存在自体に伴う罪である。何の罪も犯していない胎児性患者の姿を正視することが辛いのも同じ理由でこれは重たいことばだ。人類はそれほどまでに間違った存在であるのか。そもそも人類とは、文明とは何なのだろうかと考えながら南アフリカに向かったと当時の手帳に書いている。

サミットのNGO会場でその答には出会えなかったが、帰国するなり立ち寄った書店で、西原克成博士の『内臓が生みだす心』4)に出会い、地球上でおきた生命進化の枠組みの中で人類を捉える発想を得た。その延長で、霊長類学者である島泰三博士の

『はだかの起原』5)を知り(はてな人力検索を利用)、人類は7万5千年前に言語獲得と裸化という「重複する突然変異」が起きて生まれたとする説を知った。

### 2.2 「人類のゆりかご」から「最古の現生人類遺跡」へ

筆者は、裸化は自然洞窟内に居住したから起きたか、少なくとも裸化した後は自然洞窟に居住したであろうと考えた。さもないと裸の身では生きていけない。南アフリカでは1999年にヨハネスブルグの北西郊外にあるスタークフォンテン洞窟が、「人類のゆりかご」としてユネスコの世界文化遺産に認定されていた。

1924年におでこの発達した原人の子どもの頭蓋化石が南アフリカのタウングで発掘され、南アフリカに赴任して間もなかったオーストラリア人のレイモンド・ダート医学博士がそれをアウストラロピテクス・アフリカヌスと命名し世界に発表した6)。しかし世界は南アフリカで人類が生まれるなど想像もしていなかったし、1913年にイギリスで発見されたピルトダウン偽造化石を本物と信じていたのである7)。

イギリスから南アフリカに移住した古生物学者のロバート・ブルームがダート説を支持して化石を探し続け、1948年に2~300万年前のアウストラロピテクスの化石を発掘したのがスタークフォンテン洞窟であり、それによってようやく世界は南アフリカに現生人類とつながる原人がいたことを認めはじめたのである。

人類が生まれた洞窟の中に住んでみたら、人類誕生の謎を解くカギが得られるかもしれないと考えた筆者は、2007年4月に南アフリカへの航空券を購入し、洞窟内部で宿泊すべく現地の旅行ガイドを探した。すると、「人類のゆりかご」は、ドロマイト石灰岩層が雨水による侵食作用によって地底深くに穿たれたものであり、宿泊できないことがわかった。発掘された化石も、誤って洞窟に落ちたか、殺されてから捨てられたかで、そこに住んでいたものではなかった。アウストラロピテクスの化石の時期が2~300万年前であるのは、現生人類発祥の時期とされる10~20万年前に比べると1桁以上も遠い昔であることにまでは頭がまったく回っていなかった。

「人類のゆりかご」は比喩的表現でしかなく、実際は違う。だがすでに航空券は購入しており、出発まであと一週間しかない。そのとき不意に、「ヨハネスブルグから700マイル離れた川にある洞窟で、現生人類が誕生した」という新聞記事の一節が記憶に甦ってきた。1994年の南アフリカ民主化後初の総選挙を取材していたリアン・マランというオランダ系白人(アフリカーナ)のジャーナリストが、イギリスのThe Guardianという新聞に5週連続で寄稿していた選挙の現地報告「南アフリカ日記」8)が面白く、自分で和訳して友人に配ったので記憶に残っていたのだ。

その川が東ケープ州のクラシーズ川であることはすぐにわかったのだが、川の間所がわからない。人類学の入門書には最古の現生人類遺跡として必ず名前が出てくるのだが、実際にそこに行った人の話や旅行情報はどこにもない。現地の旅行会社ですら知らないという。それもそのはず、クラシーズ川はインド洋に注ぐ直前まで川幅1~2m

の小川であり、洞窟は河口を出て東に1kmほど離れたインド洋沿いの岩壁の中にあった。洞窟は一般公開されておらず、発掘が終わったままの状態に放置されていた。

たまたま私が会員である国際縄文学協会で2007年1月に国立科学博物館の海部陽介先生の講演会があったことと、ご著書9)でもクラシーズ河口洞窟を紹介しておられたので行き方をご相談したところ、1967-8年にクラシーズの発掘にも参加したヒラリー・ディーコン博士(2010年5月逝去)の著作10)と電子メールアドレスをご紹介頂いた。出発の3日前、ヒラリー宛に、私がこれまでに読んできた南アフリカの本の感想と今回の洞窟訪問の目的を書いてメールを送った。するとその日のうちに「君を信じる」と返事をもらい、単身レンタカーでそこに行こうとしている私のために、出発の日の朝、JPEGファイルで付近の地図が届いた。

## 2.3 現生人類が南アフリカで生まれた可能性

### 2.3.1 7万年前の南アフリカで人類が生まれた可能性

この洞窟は1967-8年にヒラリーを含む考古学者によって発掘調査が行われ、1982年に報告書が出ている11)。第1号洞窟の貝塚からは13万年前から6万年前の断続的居住跡と、現生人類の頭蓋骨などが発見されている。

洞窟はインド洋に面した厚さ9kmの堅い砂岩層の岩盤にあり、かつて今よりも温暖で潮位が今より20m高かったときに砂岩層中の石英が海食によって穿たれて形成された。南アフリカの西ケープ州から東ケープ州の海岸線は約1000kmにわたってテーブルマウンテン砂岩層が続くが、これは今から1億4500万年前に、小惑星がボツワナのモロケン(Morokweng)付近に衝突し、ゴンドワナランドが割れた時、形成された。海拔20mのところには中期・後期石器時代の居住跡のある洞窟がいくつもある。

この一帯では、今から約7万年前に突如として細石器文化が興り、矢尻や釣り針のほか、ダチョウの卵の殻の装飾品なども発掘されている。7万4000年前に、過去百万年で最大規模であったインドネシアのトバ火山の噴火がおき、世界の気温は数年にわたって低下し、世界の人口は1万人に減ったというトバ火山ボトルネック仮説12)がある。筆者は、この時期に洞窟に居住していた人々の音声通信がデジタル化して言語が生まれ、現生人類が生まれた可能性があると考えている。

現生人類が今から約10万年前にアフリカで生まれたとするアフリカ単一起源説は、ミトコンドリアDNAの突然変異解析などによってすでに定説と化しているが、ではアフリカのどこでいつ発生したかについての定説はまだない。そもそも何をもって現生人類として扱うのかの要件も確立していない。一方、クラシーズ河口洞窟が現生人類最古の遺跡であることは、40年以上前に発掘調査によって確認されている。アフリカ単一起源説と最古の現生人類遺跡が、言語の発生という謎を解明することによって結びついたとき、人類の謎が解明されないだろうか。

### 2.3.2 安全で静かで夜間は漆黒の闇に包まれる美しい洞窟

ディーコン博士の紹介で近所の方が洞窟に案内してくれた。発掘が行われた貝塚のある第1号洞窟をはじめに見たが、5つあるクラシーズ洞窟の中でここだけ海拔8mで、波の荒いときにははしぶきを浴びるほど海に近く、風も吹き込んでくるさうで、裸になって安住するのに適した場所には見えなかった。あくまでゴミ捨て場として使われたのかもしれない。

筆者ががっかりしていた様子を見て、案内の人が「ここから10分ほど歩くと別の洞窟があるけど見たいか。誰もそこには行かないけど」と声をかけてくれた。せっかくなのでここまでのことから行ってみようと思い、海岸伝いに東南方向に歩いた。

本の中ではほとんど触れておらず、写真すらしない第3号洞窟は、一歩足を踏み入れただけで快適さを感じる洞窟だった。広くて天井が高く、奥の壁は緑色の石でできていて美しい。入り口は断崖の中腹にあるので安全このうえなく、西に向かって開口しているのでインド洋に沈む夕日を眺めることができる。開口部は狭くなっていて風も吹き込まないし、近くにある川で飲み水も手に入る。住むには最高の環境である。ここなら現生人類が誕生してもおかしくない。

## 2.4 洞窟こそ言語を生み出す環境

この洞窟に出会ったことで、それまでの裸化についての興味が言語に移った。裸化は毛皮の退化で説明がつくが、言語は前向きな要素が作用する進化である。

洞窟で言語を獲得して現生人類が生まれたと考えることは、他の条件とも整合する。

### 2.4.1 安全な音響シェルター

洞窟の中は外部の雑音が入ってこないため静かであり、昼でも奥のほうは暗いが、夜になるとどこもかしこも真っ暗になるため、音響通信が発達する必然性がある。

ヒトの赤ん坊が生まれてすぐに産声を上げ、その後もよく泣くのは洞窟のようなシェルターの中で育つようになったからであろう。ジャングルやサバンナでワンワン泣いていたら肉食獣に襲われる。

また霊長類は一度の妊娠で一匹しか産まず、妊娠期間も比較的長いため、生まれてすぐに母親の胸にしがみついて森林の中を移動できる早成動物である。ヒトだけがその中の例外である。

ヒトの赤ん坊が歩けるまでに1年もかかるのは、数万年前という最近になって獲得した「二次的な晩成性」であり、このためにヒトの脳は生後1年間、胎内にいるときと同じように、体重の増加と同じ比率で大きくなる13)。他の霊長類は生後に脳の成長率が1/5ほどに低下する14)。こうしてヒトは他の大型霊長類に比べて4倍も大きな脳をもつようになった。1年間寝たきりで育てられる安全な環境としては、自然洞窟より他に考えつかない。榎本知郎氏は5万年前に天才が現れて家を発明したというが、

もっと前から洞窟に住んでいたのだから、家はむしろ人工の洞窟ではないか 15).

#### 2.4.2 離散的信号である音素(子音)の獲得

ヒトが離散信号である音素(子音と母音)を獲得したことは、人類の起源、言語の起源にとって最重要な事件といえる。恣意的に単語を作り出す記号を、鈴木孝夫は意味から独立した「空(カラ)の記号」と名づけ、「人間の言語記号とその中身、つまり対象との関係が恣意性をもつためには、時間的にまず主のいない空の貝殻としての、内容がゼロの音声の先に用意されていなければならない。動物の発声のように、どれも特定の内容が既に詰まっている音声だけしかなければ、他の任意の中身が入りこむ余地がない」という 16). 明確に空の記号の役割を論じた言語学者は他には知らない。

「空の記号」は離散的で有限個だから、数学的・通信工学的には「デジタル記号」である。電気通信の世界で用いられる 0,1 の二元記号 bit, DNA の遺伝子情報を mRNA に転写し、細胞質内でアンチコドンがそれをアミノ酸に翻訳する際にはたらく 4 種類の核酸も生化学的特性(プリン塩基かピリミジン塩基か、水素結合が 2 本か 3 本か)にもとづくデジタル記号として作用している。

言語獲得の前段階で、ヒトも動物と同様に感情を込めて鳴き声をあげていた可能性はある。20 世紀初頭の南アフリカで 3 年間にわたってチャクマヒヒと生活・行動をともにして、その生態を観察したマレイスの記録によれば、チャクマヒヒたちは夕暮れになると、ねぐらに移動し、いっせいに一日の終わりを悼むような悲しみの声を上げるのだという。そしてそれはあたりが完全な闇に包まれるまで続いた 17).

チンパンジーやゴリラの群れが歌うのかどうかかわからないが、ある程度の安全が確保されている環境で、何かに対する感情を共有したとき、いっしょにドラミングして、声を合わせて歌うとしてもおかしくない。

歌うサルであったヒトにとって、真っ暗で音響的に外界から隔離され、敵に襲われることのない安全な洞窟の環境は、歌うには最適であった。洞窟から眺めるインド洋に沈む夕陽のさびしさ、月の明かりの美しさ、朝を迎える喜び、さらに鳥や動物の鳴き声、波音や風の音、雨や雪や雷といった現象を歌ったと考えられる。自然現象を音まね(音表象)して声を合わせて楽しんでいるうちに、離散的な発声運動制御ができるようになり、自由に子音を出せるようになって、子音は意味から独立して「空の記号」になる。自然界には子音しかないのだから、音素のはじめは子音であったと考えられる。

#### 2.4.3 命を賭して母音を獲得

ヒトは歩き始める 1 歳頃に喉頭が降下して、肺からの呼吸を口から吐き出せるようになり、母音のフォルマント周波数が出るようになる。母音を生み出すためには、喉頭から舌の付け根までの声道の垂直部分と、舌の付け根から口の先までの声道水平部分が同じ長さで直角でなければ、フォルマント周波数の共鳴がおきない 18).

しかしそのためには、気道の出口である喉頭が食道の真ん中あたりに位置するために、喉頭蓋で気道を保護し、きわめて複雑な嚥下の運動制御が行なわれるようになった。それに失敗すると、お餅やこんにやくゼリーで老人や子供が窒息死する事故が起きているように、食べたものによって気道が塞がれて窒息したり、食べ物の滓が肺の中に入って肺炎になる。

母音が命がけの、健康上の不利益にもかかわらず獲得されたのは、母音が生まれる前に、すでに言語が存在していたからではないか。子音だけの言語が存在して、言語の有用性や重要性が確立されており、ことばを遠くまで送り届けるため、気持ちを込めるために、母音が生まれたのだらう。

人類最古の言語はブッシュマンたちが話しているコイサン語だといわれる 19). コイサン語には音素が 100 以上あり、クリックと呼ばれる吸着音の子音が多い。コイサン語は子音だけの時代を経験していて、その名残りとして今も子音がたくさん残っていると考えられる。母音が生まれ、母音と子音の二元マトリックスによって「空の記号」を作り出す音素の節約ができ、洞窟外の雑音のある環境でも声が遠くまで届くようになって、人類は北上して世界に広がったと考えられる。

#### 2.4.4 二重分節化、誤りなし通信、文法そして抽象概念の獲得

マルティネが指摘した言語構造の二重性は、文は意味を持つ最小単位である形態素(morphèmes, 単語)レベルに分割され、形態素はさらに音素(phonèmes)に分割されるということで、二重分節(double articulation)と呼ばれる。動物の鳴き声にこうした性質はなく、二重分節は言語だけの特徴である 20).

デジタル記号は、受信装置にデジタル回路がつけられることで、一回だけの送信で複雑・精巧な内容のメッセージを誤りなく送ることができる。ヒトの場合は、生後 2~3 ヶ月のときに、ウェルニッケ野に母語音素の長期記憶がつけられて、母語音素に対しては自動的・反射的な聞き取りが誤りなく行なわれることが確かめられている 21).

この聞き取り能力のおかげで、メッセージの時系列(一次元)空間上の配置が意味をもつようになり、わずかな音韻符号の付加・変化(活用)によって、意味を接続・変化・修飾できる文法が生まれたのだ。そして文法を手に入れたために、ヒトは長くて複雑・精巧なメッセージを紡げるようになり、また、未経験の事象であっても既成概念を文法的に構築することで想像をはたかして理解する抽象概念をもてるようになった。文法と抽象概念こそがヒトの文化発展を生み出す原動力である。

レヴィ=ストロースも指摘するように、この巧妙なヒトの言語は遺伝子情報システムと相似である 22). とともに構文、誤りなし通信、意味復元の 3 つの過程を自動的に行なうデジタル符号を用いたオートマタを形成している 23).

### 3. ヒト話し言葉デジタル通信システムの学際的検討

#### 3.1 デジタルの定義がない

ヒトの話し言葉が、離散的かつ有限個からなる「空の記号」(=音素・音節)によって二次的に分節されていることは、言語学では議論されていない。言語がデジタル通信であるということを主張している学者も見かけないし、遺伝子情報の通信システムとの構造的相似性をデジタル性に求める議論もない。

言語のデジタル起源については、若い頃に免疫学者イエルネの薫陶を受けた分子生物学者 Noll による短い論文を見つけ、何度も読み返し、和訳も作成して生物学に通じた友人に目を通してもらった(24)。紹介されていた参考文献もできるだけ目を通した。

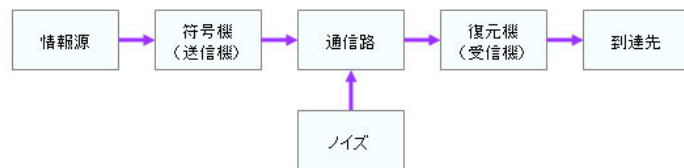
しかし音声は離散的周波数成分をもてばデジタルなのだろうか。「デジタル」と「デジタル通信」の定義は、コンピュータ科学にも通信工学にも離散数学にも聴覚神経学にも見当たらない。言語はデジタルだと論じたところで、誰も概念をもっていないから理解しようがない。知らない外国のことばで話しかけられているようなものだ。

しかしデジタル性こそがヒトとヒト以外の動物を分け隔てる根本的な違いであるならば、そして人類が原罪をもつかどうか、言語は善なのか悪なのかを見極めたければ、言語のデジタル性、遺伝子情報システムとの相似性を調べるほかない。筆者は、ヒトの感覚や長期記憶や論理操作を生物物理的に解明することで、言語現象の本質を見極め、それがデジタルと呼ぶに値するものかどうかを確かめようと思った。

これまででも考古学、霊長類学、生命進化など学際的ではあったが、どちらかというとな人類と言語の起源という問題に出会うために縦に深い穴を掘るような作業であった。ここからヒトの発声や聴覚の脳生理現象、記憶体系の心理や論理操作、さらに発声と聴覚を結びつける情報通信という、システム内部の水平的な分析がはじまった。

#### 3.2 脳の内部をサブシステムに分けるモデル

漠然と考えていても罫が明かない。分析のためにはツールあるいはモデルが必要である。回線を中心におくか、ヒトを中心におくかで、2つのモデルが考えられる。



(図1 通信モデル)

送信機から回線を経由して受信機に情報が送られるモデル(通信モデル)は、シャノンの『通信の数学的理論』にあった一般通信モデルを参考にした(25)。情報源でメッセージが構築されると、それは送信機に送られ、回線(大気中)を通過して聞き手の受

信機に送られ、到達先で意味が復元される。

シャノンは「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」と言い切つて、情報の意味を問わない悪しき慣行を打ち立てた。シャノンのことばに影響されて、情報理論は情報伝送だけを考える傾向がある。だが、この図には情報源から宛て先までが描かれているので、情報の意味が含まれている。

一方で、回線から受け入れた物理的刺激を感覚器官が脳に送り、脳内で情報を抽出し、記憶に照らして意味を復元し、必要に応じて効果器を制御するモデルも必要である。筆者ははじめヴィゴツキーの内言論や概念論を参考にして心理モデルの構築を試みた(26)。後に偶然出会った時実利彦の『人間であること』にあった「神経系モデル」を利用した(27)。時実は、N1として「反射モデル」、N2として「環境適応モデル」を提示し、さらに言語活動を含むヒトの神経系をN3として示した。

N1型の神経系は、受容器(R)で受けとめた信号を、定められた仕組みで運動や分泌の指令に変換して効果器(E)へ伝える伝導器(Co)の役割をする。この特徴は、記憶をもたないことだ。しかし、外部環境を評価して悪い環境を逃れるとすれば、何かを参照として好悪の判断が下されている。おそらく遺伝子の記憶にもとづいていると思われる。判断の結果として運動制御が起きるので、N1型は、後天的記憶(知能)をもたない環境適応型と考えることもできる。N1の反応効果は、骨格筋にみられる反射運動や、内臓器官にみられる調節作用や本能・情動を含む。ヒトの音素処理は反射的であるのでN1に含めて考えるのが適当であろう。

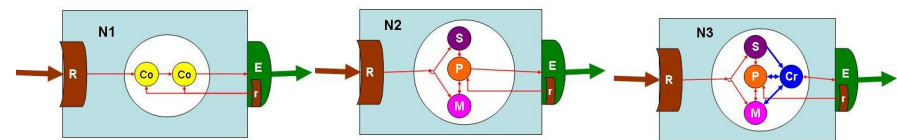


図2, 3, 4 神経系モデル N1:知能記憶なし, N2:知能記憶あり, N3:言語あり

N2型は、受容器で受けとめた信号を感覚(S)し、記憶(M)し、記憶の内容に照らしたパターン認識によって感覚情報を論理判断し、その結果を運動や分泌の指令として送り出す情報処理・運動発現器(P)をもつ。反応効果は適応行動である。パプロフのイヌの実験は、後天的に形成された記憶の学習成果であるので、反射ではなく、N2型の感覚と学習記憶を結びつける適応行動と考えるべきである(28)。

N3型は、適応行動であるところはN2型と同じであるが、ヒトだけがもつ言語情報処理装置(創造器, Cr)をもつ。ヒトは感覚情報も記憶も判断もいったん言語化してから判断する傾向をもつ。それによって思考の効率を高め、概念体系や概念操作をより複雑にできる一方で、現実(遺伝子型)の裏づけがない言葉(表現型)に過剰に依存することになり、嘘や迷いや遅延などヒトに固有の多くの問題を伴うようになった。禅問答

や現代芸術が言語や常識を否定するのは、言語の表現型と馴れ合いの関係となって、現実の遺伝子型を直視しなくなることを戒めているのだ 29).

### 3.3 デジタルシステム概観

#### 3.3.1 ハードウェア要求：大きな脳と離散的発声器官

ヒトがデジタル記号を使って音声通信を行なうとき、大量の記憶をもつために大きな脳が必要となる。2.4 で述べたように、動物生態学者ポルトマンと人類学者マーティンによれば、それは生後1年間もの間、歩くこともできないで過ごす「二次的晩成性」によって獲得されたと考えられる 12), 13).

また母音のフォルマント周波数の共鳴が起きる発声器官こそが現生人類の特徴であるが、これは1歳のころ喉頭が降下することによって、獲得される 17).

大きな脳と離散的発声器官が、ヒトのデジタル通信を可能とするハードウェアであり、それをもたない他の動物に言語を話させようとしても不可能である。

#### 3.3.2 内言

通信モデルや神経系モデルを考えたとき、モデルの中を流通する言語が存在することに気づいた。我々がものを考えるとき、頭の中で無音の音がするこの声である。これはいったい何であるのかと調べてみると、ソ連時代の心理学者ヴィゴツキーが、内言として研究をしていた 26).

もの心ついた子どもは、ひとり言をいうようになる。学齢期になるころには、自分に向けて話すときには実際に声に出さなくてもよくなる。これが内言である。内言は発声器官を運動制御する神経作用が発展したと思われる。

#### 3.3.3 記憶の種類

内言として流通する言葉が、記憶と結びつく概念になる。記憶に関する研究は教育心理学の分野で行なわれており、タルヴィングによるエピソード記憶、意味記憶、手続き記憶といった分類が有名であるが、今ひとつ洗練されていない。より客観的な分類を求めたが見つからなかったため、筆者は、五官が感知する感覚の記憶を「五官の記憶」、言語的な記憶を「言葉の記憶」、身体を鍛錬して連合的な感覚の制御によって身につける技芸の記憶を「文化的記憶」と名づけ分類している。

#### 3.3.4 概念

内言と記憶が結びついたものが概念である。ヒトの成長にともなって概念が発達する様子は、ヴィゴツキーが研究しており、「コトバの意味は発達する」と指摘する。

「子どもが、一定の意味と結びついた新しいコトバをはじめて習得するその瞬間に、コトバの発達は終わるのではなくて、始まるのだ。コトバは、はじめは、もっとも初歩的なタイプの一般化である。子どもは自分自身の発達につれて初歩的な一般化からだんだんより高次なタイプの一般化へと移行し、そうして真の概念の形成をもってこの過程を終える」。ヴィゴツキーの「真の概念」とは科学的概念のことである 26).

#### 3.3.5 概念体系構築・概念操作・思考

ヒトはいったん概念を獲得すると、その属性・性質を、無意識のうちに論理に照らして吟味し、「群性体」と呼ばれる集合の中に分類・収納する。これが体系化であり、そうして構築された群性体を論理操作することが思考である。

ピアジェは「論理は思考の鏡である。その逆ではない」という。思考という心理作業があるというよりも、ヒトの心の中に論理装置があらかじめ存在しており、その論理にしたがって概念を操作した結果が思考と呼ばれているというのだ 30).

これはヒトだけの現象ではなく、生命体が生得的にもっている論理であり、ブール演算の AND, OR, NOT があれば概念体系は構築され、概念操作が行なえる 31). パプロフがイヌを使った実験において、「相互誘導」と呼んだ実験の結果は、イヌが概念体系を構築したことを示唆するものである 32).

### 3.4 ミッシングリンクとの出会い

#### 3.4.1 発声する音素数は聴覚能力を超えている

筆者は当初、聴覚は音声の中のデジタル成分を音素単位で抽出しているのではないかと思っていた。内言は、発声器官運動制御の神経刺激が発達したのだから、脳内の無音の言葉も、発声と同じように離散的であってもおかしくないと考えていた。したがって、内言は音節によって構成されているものだと思い込んでおり、2010年3月まで内言は phonit (phonetic digit) として流通しているのではないかと仮説していた。

ところが、たまたま2010年3月5日の信学会音声研究会の招待講演の中で 33), 廣谷定男博士が紹介された Liberman の運動理論を原著論文で読んでみたところ、「発話された音素の伝送レートが、聴覚の処理限界を超えている」ことがわかった 34).

「会話においては、最大限一分間に300単語の理解が可能である。それぞれの英単語が平均4から5の音素であるとする、一秒間に30の音素が生み出されている。しかしながら、聴覚心理物理学の研究によれば30音素/秒というのは耳の時間分解能力を超えている。そのレートでは離散的音響イベントは分析不能なひとつのうなりとして融合してしまう。」 34) というのだ。

#### 3.4.2 聴覚神経生理学の研究成果

聴覚神経生理学もその点は認めている。

「周波数局在地図が、刺激の表現において正確に何を意味するのかについては議論の余地があるかもしれないが、聴覚刺激情報の中核『処理』が周波数にもとづいて行なわれていることは疑いがない。(略)ヒトの話し声に関する限り、皮質神経細胞が、声の絶対音程を設定した声門のパルスに同調した神経発火を復元することはありそうにない。しかしながら、話し声信号の音学的に重要な要素のタイミングを示すことができることは疑いようがない。

この点において、最近明らかになったことは、話し声信号においてもっとも重要な

時間的成分はよりゆっくりとした振幅の包絡線であって、正確な波形構造ではないということである。(略)話し声の皮質上での表現は、音声的というよりもむしろ音響的であり、声の絶対音程とも無縁である。」35)

聴覚の研究は、視覚よりも複雑であるために遅れていたが、21世紀にはさまざまな種類の聴覚細胞の音響特性の違いも解明されている。また、2~3ヶ月目の乳児期に、左脳のウェルニッケ野に母語音素の記憶痕跡(memory trace)が形成されて、母語音素を反射的・自動的に受け入れる。これはデジタル受信回路の形成である21)。

### 3.4.3 送信情報のオーバーフローは何を意味するのか

音響工学的にも聴覚神経生理学的にも、発話された音素の伝送レートは、聴覚の処理限界を超えていることが確かめられた。それで会話が途切れたり間違えたりするかというと、そういう指摘はない。会話はなんの問題もなく成り立つ。内言は、音素単位や音節単位というよりも、単語ごとの音響記号として流通しているようである。

だがしかし、発声側の送り出す情報量が聴覚側の受け取り能力を超えているという事実は、いったい何を意味するのか。これは、音響工学の問題でも聴覚神経生理学の問題でもない。通信理論あるいは情報理論が解明しなければならない問題であるが、これまで誰一人としてこの問題の所在を指摘しているようにはみえない。

## 4. ことばはなぜ一度話すだけで相手に伝わるのか

### 4.1 デジタル記号の通信誤りを防ぐ通信路符号化技術

携帯電話がデジタル化し、地上波テレビ放送がデジタル化し、家庭内でデジタル無線 LAN が日常的に使用されるようになった。どのシステムにおいても用いられている記号誤りの防止策として、ノイズ・マージンと誤り訂正符号化技術があるが、残念ながらあまり知られていない。

デジタル通信では、1つ1つの記号が意味をもつので、送られた情報には1つとして誤りがあるてはならない36)。万一、誤りが発生した場合には、それを検出し、誤りを訂正する能力(あるいは誤りがあっても問題がおきない措置)が求められる。

通信回線にはさまざまな雑音があり、それが量子レベルで情報にゆらぎを与える。(これは熱力学的な意味でのエントロピー増大であると考えますが、シャノンがそれを否定したものだから、一般の情報理論の教科書はあまりこのことに触れない。)したがって、デジタル通信において、送信したメッセージが誤りなく受信されるためには、回線上で熱力学的エントロピーが増大してもそれを吸収できるメカニズムが必要となる。また、誤りを検出しやすいように、記号間の親和性が生み出される。

電気通信の場合には、たとえば送信時には0=0V、1=5Vとして搬送波の変調を行ない、受信して復調後の0、1の判定の閾値にノイズ・マージンを加えて0~2Vを0、3~5V

を1として離散値に戻すというきわめて単純なやり方が取られている。このノイズ・マージンが回線上の雑音などによって増大したエントロピーを吸収しリセットする。

ノイズ・マージンを越える大きなゆらぎによって、符号のデジタル判定を誤ったときはどうなるだろうか。0と1だけで構成される二元デジタル符号bitには、記号間の親和性がない。0の後に1がくるか0がくるか、まったく予測がつかないため、bitデータに符号誤りが起きたかどうか、どこに誤りがあるかを確かめる術がない。

実際の電気通信で行なわれているのは、ブロック符号や畳み込み符号という誤り訂正符号化である。送信するbit列に一定の演算を施して、演算結果と一緒に送るのである。受信した側は、受信したbit列に同じ演算を施して、送られてきた演算結果と照合して誤りが発生したかどうかを確かめる。そして誤り率が一定範囲以内であれば、送信元に問い合わせなくても、受信側で独自に誤り訂正できる。これが前方誤り訂正(Forward Error Correction, FEC)である。FEC抜きにデジタル通信は成り立たない。

### 4.2 受信側の波形精度要求を低くするエントロピー利得

言語の場合には、発声は繊細な運動制御によって正確な発音が行なわれる一方、聞き取りは「正確な波形構造」ではなく「ゆっくりとした振幅の包絡線」として、「音声的というよりもむしろ音響的」に受け取られている。これがノイズ・マージンに相当する。

送信側の波形を詳細にしおき、受信側の要求精度が少し劣るメカニズムになれば、回線上で雑音が混じっても、病気で元気がなくても、酩酊状態で多少ろれつが回らなくても、正しく聞き取れる。

送信側より受信側の要求精度が低ければ、エントロピー増大分を吸収でき、誤りの発生確率が低くなって、ことばは一度話すだけでちゃんと相手に伝わるのだ。

一方で記号間の親和性は、語源論つまりものの名前やことの名前が自然の音表象(オノマトペ)によって生まれたことと結びつく。意味する表現型(音響符号列)と、意味される遺伝子型(現実存在)が音表象によって結びつくことによって、誤りが起きにくく、誤りが起きてもわかる仕組みが生まれる。

これらの誤り防止メカニズムがあるから、ヒトはデジタル言語を日常的に無意識に使える。デジタルとは、自動装置(オートマトン)である。

## 5. おわりに

筆者は通信モデルと神経系モデルに照らして、ことば記号と五官知覚や記憶がどう相互作用するかを明らかにすれば、言語の脳内メカニズムは明らかになると考えた。

意識的に学際をめざしたわけではないが、関係する分野の論文を探して片っ端から読んで、利用した図書館とそこで何を讀んだかを整理したところ、通信モデルのサブ

システムごとに文献がそれぞれ別の学部図書館に蔵書されていた。

そしてまだ誰もつきつめて検討をしていない発声と聴覚の間の送信音素オーバーフロー現象を、通信路符号化理論を参考にして読み解いてみたところ、そこに言語のデジタル性を支えるメカニズムとしてのエントロピー利得、送信側と受信側の情報精度の要求格差を見つけたように思う。

デジタルシステムとは、自己増殖と、より複雑なシステムへの進化を可能にする自動メカニズムであり、ここに**遺伝子情報による生命の進化と言語情報による人間精神の文化的解放**を可能にする秘密が隠されていると思われる。我々はまだ人間という生き物が潜在的にもつ底知れぬ可能性を知っていないし、それをきわめてもいないのではないだろうか。

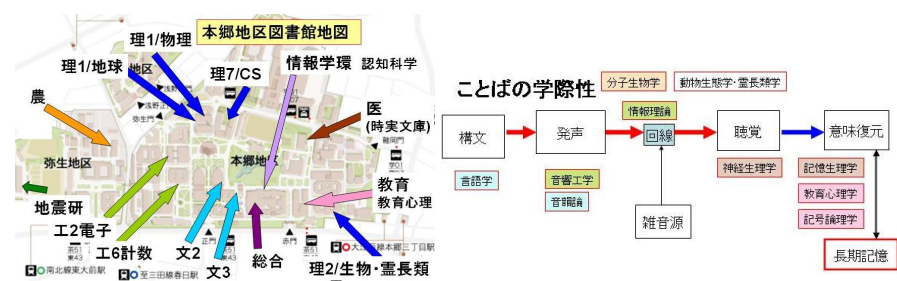


図5, 6 東大・本郷で利用した図書館一覧と通信モデルのサブシステムの相関

### 参考文献

- 1) 石牟礼道子 「苦海浄土 第二部 神々の村」, 藤原書店, 2006
- 2) 緒方正人 「チツンは私であった」 葦書房, 2001
- 3) 岡村達明・西村肇 「水俣病の科学」 日本評論社, 2001
- 4) 西原克成 「内臓が生みだす心」 NHK ブックス, 2002
- 5) 島泰三 「はだかの起原-不適者は生きのびる」, 木楽舎, 2004
- 6) Dart, R. ミッシング・リンクの謎, 山口敏訳, みすず書房, 1960
- 7) Spencer, F. ビルトダウン 化石人類偽造事件, 山口敏訳, みすず書房, 1996
- 8) Malan, R. "South African Diary", The Guardian, London, April 28, 1994
- 9) 海部陽介 「人類がたどってきた道」 NHK ブックス, 2005
- 10) Deacon HJ & Deacon J., Human Beginnings in South Africa, David Phillip, 1999
- 11) Singer, R. & Wymer, J. The Middle Stone Age at Klasies River Mouth in South Africa Chicago Univ. Press 1982
- 12) Ambrose, S. Late Pleistocene human population bottlenecks, volcanic winter, and the differentiation of modern humans. J Human Evol 34(1998): 623-651.

- 13) Portmann A. 人間はどこまで動物か 高木正孝訳, 東京, 岩波書店 1961
- 14) Martin R.D. Primate origins and evolution Princeton Univ Pr 1991 p371, p426
- 15) 榎本知郎 「ヒト 家をつくるサル」 京都大学学術出版会, 2006
- 16) 鈴木孝夫 「教養としての言語学」 岩波新書, 1996
- 17) Marais E., The Soul of the Ape, Stephan Phillips, South Africa, 1969
- 18) Lieberman, P. et al., 'Tracking the Evolution of Human Language and Speech-Comparing Vocal Tracts to Identify Speech Capabilities' Expedition 49-2, 2007
- 19) Cavalli-Sforza, L.L. (1996) 「文化インフォーマティクス」 産業図書 2001
- 20) Martinet, A. (1965) 共時言語学 白水社 2003
- 21) 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
- 22) Levy-Strauss, C. アメーバの譬え話, 出口顕訳, みすず, 2005.7.
- 23) 得丸: 「話す」・「聞く」・「わかる」: ことばの3つのオートマトン(上), 写測とリモセン 49:4, pp274-277 2010
- 24) Noll, H. The Digital Origin of Human Language, BioEssays, 2003, 25:489-500
- 25) Shannon, C.E. The Mathematical Theory of Communication 1948 通信の数学的理論 植松友彦訳, ちくま学芸文庫 2009
- 26) Vygotsky, L (1934) 思考と言語, 柴田義松訳, 明治図書出版, 1962
- 27) 時実利彦 「人間であること」, 岩波新書 1970
- 28) Pavlov I.P. (1927) 大脳半球の働きについて 条件反射学 川村浩訳, 岩波文庫 1975
- 29) 荒川修作・Gins, M., 意味のメカニズム, リプロボート, 1988
- 30) Piaget, J. (1947) 知能の心理学 みすず書房 1967
- 31) 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 SIG-KBS(2010/10/14) ピアジェの『知能の心理学』第2章を参考にして概念体系構築メカニズムの生得性を論じた。
- 32) 得丸 信学技報 2009:TL-40, 2010:LOIS-8, TL-10, AI-1, MVE-39, DE-14, HCS-32 条件反射実験において, パブロフが謎だとして解明しきれなかった「相互誘導」実験を手がかりに, 犬の意識内部で概念体系が構築されることを論じた。
- 33) 廣谷定男 調音と脳活動の計測による音声知覚の運動理論の検証, 信学技報 SP-2009-162
- 34) Liberman, A.M, et al. Perception of the Speech Code, Psychological Review, 74:6, pp 431- 461 Nov. 1967
- 35) Phillips, D.P. (2000) Introduction to the Central Auditory Nervous System, in A.F.Jahn and J.R. Santos-Sacchi (Eds), "Physiology of the Ear", 2nd Ed. San Diego, CA: Singular, pp613-638
- 36) 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