

解説



脳とコンピュータ†

松本 元†

1. はじめに

脳は学習によって知識を獲得し、それに基づいて情報処理を行うシステムである。知識の獲得は、脳のニューロン回路の形成で表現される。この回路形成に感情が受け容れられることが重要である。また、獲得した知識の発現、すなわち形成された回路の動作にも感情が重要な関与をする。ここでは、脳が意欲によって必要とするニューロン回路を形成しコンピュータとしての働きをすること、さらにこれらのことがどのような脳のアーキテクチャによって担われているか、を述べる。

2. 人は感情の動物である

人は大脳皮質がきわめて良く進化した知性の動物である。人の脳はこの意味でコンピュータとよく比較される。視覚パターンの認識において、現在のどんなコンピュータも脳に及びもつかない。われわれは30年も会っていない旧友に街でふと遭遇して、その人の頭髪の様子は大いに変わり、顔にはしわが増え、顔の造作なども変化し、なかなか眼鏡などもかけるに至っているにもかかわらず、そこに幼いときの面影を見つけて、「君は塚田君ではないか。」と思わず叫んでしまうことがある。そしてこの人を憶い出すと同時にこの旧友と過ごした幼年時代の日々の出来事を懐かしきとともに次々と想起することができる。聴覚パターンの認識においても同じである。「もしもし」とかかってくる電話の一言から、何百人という友人の中から「斉藤君からの電話だ」と分かり、すぐ何の目的で、どういう感情で電話をかけてきたのかを、この「もしもし」の一言から推し測り応答への心の対処をする。このような高速に緻密にパ

ターン情報処理の行えるコンピュータは工学者の夢であり、したがって、人の脳の知性情報処理の妙の解明に医学者のみならず工学者も大いに関心を払ってきた。

このように脳がもつ素晴らしい知性も知性だけで独立に働くわけではない。人は知性の動物であると同時に感情を受けいれてもらえないと知性も働かず、一步も行動に出られない感情の動物でもある。現在では立派な社会人として成長された金藤晃一氏は、高校への登校拒否とそれからの立ち直りを次のように述べている：「私は高校時代に登校拒否をおこしました。学校に行こうとすると足が震え、校門まで来ると吐くという日々が続き、高校1年の秋からまったく学校に行けなくなったのです。両親や親戚から『根性なし』、『頑張れ』と言われるのですが、『学校に行きたくても行けない。頑張りたいくても頑張れない。だからつらいんだ』というのが私の本音でした。だんだん心にストレスと不安がたまり、暴力でそれを紛らわそうとし始めました。家のガラスを割る、家具を壊す、両親を殴る蹴る、ということが毎日続き、わが家は地獄と化したのです。最後には精神病院にもつれて行かれました。しかし自分で自分をどうすることもできず、いつも心は『だれか俺の気持ちを分かってくれ!』『だれかなんとかしてくれ』という気持ちでいっぱいでした。暴力の日々は一年近く続いたのです。そんな中で街の教会の英会話クラスを知ったのです。『外国に行けば人生が変わるかもしれない。そのために英会話を勉強しよう。』という思いで教会の門をたたいたのです。教会に入って驚いたのは、親類からも白い目で見られていた私を温かく受け入れてくれたことでした。教会の人々全員が私を登校拒否をしているそのまま受け入れてくれたからでした。日に日に表情も明るくなり人々とも打ちとけていきました。」このようにして、金藤氏は登校

† The Brain and Computers by Gen MATSUMOTO (Electro Technical Laboratory, Super-molecular Science Division).

†† 電子技術総合研究所超分子部

拒否から立ち直り、復学し、大学を卒業した後立派な社会人として現在はその体験を活かしてハンディキャップ児とかかわられている。

現在、カウンセリング・スクールのディレクタとして活躍されている渡辺裕子氏は14歳から27歳までの13年間強迫神経症というノイローゼにかかり悩んだ末、自分をありのまま受け容れて貰ったことでこの心の傷は完全に癒された。現在ではこの経験を通して同じ心の傷みをもつ人々とかかわられることを人生の生きがいとしている。渡辺氏は神経症から解放される過程を次のように述べている：「私は見るもの、聞くもの、触れるものすべてが気になって仕方がなかったのです。感情の確認を何度も何度も繰り返し、それがうまくできないと思っても行動もストップしてしまうのでした。一足の靴下を干すのに2時間、一枚の皿を洗うのにも1時間といったように、何か観念が起きるとそれに捉えられて今やっている行動はそのままストップし、挙げ句の果てに部屋にうずくまってしまうかトイレの中に逃げ込んで鍵をかけて閉じこもってしまうような状態でした。こんなとき、子供が目の前で泣いていても抱き寄せることもできませんでした。幼い娘は自家中毒症で入院を繰り返し、イライラと焦りで主人を不安神経症におちいらせるほど攻撃して追いつめ、私のまきちらす否定的で破壊的な感情は周りの人々まで病気にしてしまうほど強烈なものでした。」、「私は私が嫌いでした。優しくなれない自分がいやでした。しかしカウンセリングによって、私は少しずつ自分を受け入れるようになっていきました。それは、カウンセラーである先生に、どんなわがままな感情も許され受け入れてもらったことによって、私の内側に、人間としての基本的な自信が取り戻されてきたからです。人は愛されることで愛をおぼえていくこと、受けいられることで自分を好きになっていけること—これらのことが分かってきたとき、なぜ私が神経症であるのかを理解しました。私は3歳で施設に置き去りにされたことから始めて、安心感のない家庭に育ちました。このことから人生や人間に対し何か怨念のようなものさえもっていました。そしてそれをなんとか晴らしたくて、否定的な感情をむき出しにしていたのです。一年間にわたるカウンセリングの中で、私はカウンセラーの先生に恨みごとを言い

罵声を浴びせ、絡んでゆきました。しかし、そのような攻撃を受けても少しもゆるがず、裁かず、忍耐しつづけて下さる先生に対して、私は今まで一度も体験したことのない不思議な感じをもちました。」こうして渡辺氏の心の傷は癒されたのである。

3. 心理学は心をどう捉えるか

脳が知性を働かせるために、われわれは感情(心)を受け入れて貰うことが必要であることをみた。それでは心理学は心をどう捉えるのだろうか。

従来の自然科学の分析的・実験科学的手法を中心に用いて、人間の行動を研究し、この立場から人(心)を理解しようという行動主義心理学がある。ワトソン(Watson, J. B.), トールマン(Tolman, E. C.), ラル(Hull, C. L.), スキナー(Skinner, B. F.)などが代表的心理学者で、現在アメリカ心理学界の主流を形成する。ここでは実験分析手法を強調するあまり、実験・分析の対象となり得る行動に関してのみ主として研究が行われ、人間の内省的な側面(欲求・意欲・感情・思考など)を非科学的なものとしてむしろ排除する。この結果、人間心理の最も重要な側面を扱わず、人間の構造の中で動物と共通する面に重きを置く。

これに対し、フロイト(Freud, S)によって代表される精神分析学は、心理学の中で最も古い伝統をもつ。フロイトは、自己および種族保存を維持し支えるエネルギー(リビドーと称する)が快感原理に従って無意識的に衝動的行動を起こさせる、と考えた。このため、性行動や攻撃行動は人間の基本的欲求の表現であるが、この人間の本性は社会慣習や道徳理念などの社会規範と対立することが多い。この結果、人はこの抑圧を通じて社会規範を学習し、合理的な適応行動をとるようになり成長し、社会的な人格人となる、というのである。フロイトは人間の本性は悪(性悪説)との立場から、衝動の破壊的な性格を論じている。フロイト心理学では、個人の中でこの衝動と抑制との対立、さらには個人と社会との対立の力関係の間で、衝動優位か抑圧優位かのどちらかの人格が形成される。フロイトは人間を部分的に分割して分析的に研究するのではなくトータルに捉え、その全体的過程を諸種の要因との関係から動力的に理解しようと試みた。さらに、人間の行動の原因

が無意識の深層心理にあるとして、内面の心的過程の研究を重視した。フロイトの死（1939年）後、アドラー（Adler, A.）やユング（Jung, C.G.）などに引き継がれ、精神分析学は心理学特に精神療法理論の形成に大きな役割を果たしている。

近年、人間の本性に基づく人間主義心理学がマズロー（Maslow, A.H.）らによって提唱され、アメリカを中心に広く研究されている。マズロー心理学では、心理現象の理解には人格をまず全体（トータル；アズアホール）として把握することが必要であり、人を生物的存在として捉えるのみでなく社会的、精神的に捉えるために立体的（階層的）人間観を提案する。人間の欲求、価値観（真善美などの価値も含む）、生きがい観などの理解に階層性を導入し、人間の発達・成長にともなうこれがより高次の階層に向上し自己実現という人として最も至高な位置に至る、と考える。人間主義心理学では、完成された人格が形成されるすべての要因は、人間そのものに内在し人間性そのものに最高の価値がある、と考える。従来の心理学が動物と共通の生理学的存在としての人間理解に力点を置くため、深層心理の中にあつて無意識の衝動を引き起こす心的動機も性悪であるともみながちであったのにくらべ、人間主義心理学では、人間性は真実や美や善を強く希求する内的欲求をもつ性善説に立つ。もちろん、人間主義心理学では、人間に至高の価値が可能性として潜在することは認めた上で、この内在する価値が本格的に実現するためには人格的成長を階層的に（段階を追って）進む必要がある、というのである。

人間主義心理学におけるマズローの欲求階層論（欲求の5段階説）は、人間の発達・成長が次の5つの欲求水準とともに進展することを述べ、人格形成過程を説明する：「第1次欲求（生理的欲求）は、個体としての生命を維持したいという食欲・飲水欲・睡眠欲などと、種としての維持のための性欲とからなる。第1次欲求は生命体として必須なものであり、生得的にそなわっている。生理学的にも第1次欲求は視床下部でコントロールされていることがよく知られている。食欲は視床下部の摂食中枢・満腹中枢で、飲水欲も視床下部で、睡眠欲は視床下部後部・中脳網様体、橋網様体、視索前野、延髄網様体で、また性欲は視床下部腹

内側核あるいは内側視索前野でそれぞれ支配される。第2次欲求は安全欲である。人は本来不安をもつ存在である。不安は自分の衝動に対する恐れや否定的感情から生じる。すなわち、不安は自己に対する不信と動揺が原因となっている。このため、整然とした秩序や明確に捉えられる対象、しっかりとて動かないものに対する依存や信奉の念が生じる。秩序や理念の絶対化や英雄崇拜などはこの安全欲から生じる。第3次欲求は所屬と愛情の欲求（社会的欲求）である。人は一人では生きられない。人と人との関係をもつことによって、自分を位置づけ、情緒の安定と精神的糧を得ることができる。人との関係の中で特に重要な欲求は、人から愛されたい、人を愛したい、という欲求である。愛を得るために、人は往々にして喜んで自己を犠牲にする。それほど強い欲求ともなり得るのである。第4次欲求は尊重の欲求である。自己をより高い位置にありたいとの欲求であり、第2次欲求である所屬と愛情の欲求より高次である。第5次欲求は自己実現の欲求である。自分でなければできないことを自分の力を最大限に発揮して実現したい欲求である。」マズローは、欲求の階層が低次であるほど、優先して求められる欲求である、とする。すなわち、すべての欲求が満たされていない成長の初期段階（生まれたときなど）では、まず第1次欲求である生理的欲求が求められる。生理的欲求が他のどの欲求よりも強力なのは、生命維持に直結しているがためである、というのである。生理的欲求が満足されると、それで満足しきって日常を無為に過ごすかというとはそうではなく、安全欲求が人の意識や行動を支配する。安全の欲求が満たされた人は、自分が安全であると信じるがゆえに未知で危険性に富んだ状況に立ち向かう勇気のある人となることができる。そして生理的欲求や安全欲求が満たされると第3次欲求である愛情や所屬の欲求が出現するというのである。この欲求が満足されると尊重の欲求が生じ、さらに自己実現の欲求の出現に至る。すなわち、低次より高次の欲求が順次出現して満たされると、満たされた欲求は漸次活動を停止し、ついには意識から消失し行動にも影響を与えなくなる、というのである。

4. 脳科学から心の理解への切り口

心は成長とともに欲求の規準が階層的に変化するものであることをみた。これを脳という空間に位置を占める物質的存在の活動の結果として、心が一元的に理解されるとすると、この背景に非線形非平衡系に関する科学観が必要であると思われる。

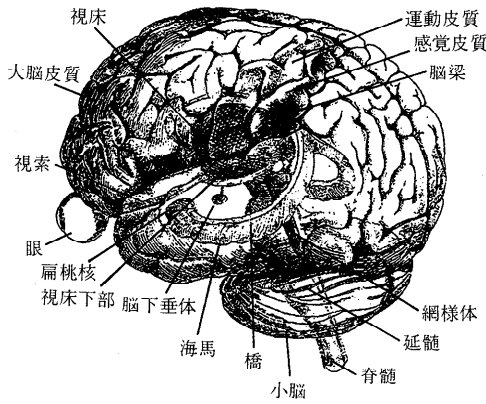
人は非線形非平衡系であり、自分をとりまく外界と自分の内面に対して開いた系である。人という開放系は、通常の物理化学系のように物質・エネルギーに対して開いた系であるのみならず、情報に関しても開いた系である。すなわち、情報を自己生成する系である。外界あるいは自己の内面の状況・状態を感覚器を通して脳に入力し、情報処理する。そしてこの結果、学習・記憶して内部状態を変更し情報を内部に新たに蓄積するとともに、外部へあるいは身体へ、情報としてまた、物理化学過程として出力する。これらの出力結果はまた自己にフィードバックする。この系は自分の状態を認識し、自己の状態についての価値を判断する。自己の状態が良い、と判定すると、系はより良く時間発展する。逆に、良くないと判定すると発展は抑制あるいは阻害される。したがって、この系は自分の状態をそのまま受容することですばらしく自己発展するのである(“性善”である)。このことは、脳の情動系での情報の判断規準に、「現在の自分の状態をトータルとしてそのまま受容したい、受容されたいという欲求(受容欲求)」が存在することになる。これと同時に、系全体の物質とエネルギーに関する判定規準として、人間主義心理学が第1次欲求としてあげた生理欲求が、生得的にそなわっている。われわれの成長の最も初期の段階では、この二つの欲求規準に照らして、自分の置かれている状態や外部の情報を判定し、系の時間発展の方向が判定される。

脳は非線形非平衡系として構造的にも機能的にもきわめてよく発達した構造体であるが、まったく無秩序な状態から時間発展して構造・機能が発現するのでなく、進化の過程で情報系としてきわめて良い状態に自己組織化されるよう(性善)に、遺伝的にすでに情報が与えられた系である、と考えることができる。この時間発展に関する遺伝情報が上記の二つである。人が他の動物と特に

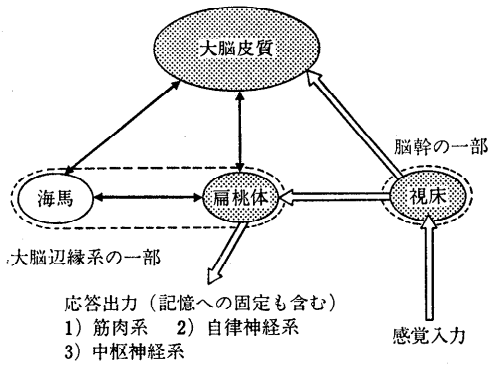
区別される点は、進化の過程で特に上記“受容欲求”が強化された点であろう。脳の前頭葉が特に発達した動物として、言語を獲得した動物として、また二足歩行が行える動物などとして人を特徴づけることもできるであろうが、“心”という観点から“人とは何か”を考えると、人への進化の過程で受容欲求の強化がなされたことは特に重要である。それは後で考察するように、この受容欲求の充足・不充足が脳の自己組織化の方向を決定するからである。すなわち、この受容欲求の強化が進化の過程で遺伝的にまず獲得したことで、人の脳への飛躍的進化がなされた、と考えられるからである。

受容欲求が生得的(遺伝的)であることは、乳児にはほえみかけ、抱きあげ抱擁し、ほほずりし、注視することで、乳児がいかに喜び安心するかを考えるだけでよく分かる。これらの行為によって乳児は決して生理的欲求が次に充足されることを期待して喜んでいるわけではなく、上記行為そのものが乳児に満足を与えるのである。実際、乳児にいかにか生理的欲求を充足したとしても、受容欲求を絶って養育の過程で乳児とかかわらないようにすると、決して乳児は育たず死んでしまうという報告もなされている。すなわち、生理的欲求だけを充足したのでは、人の脳は育たないのである。人の発達・成長の最初の段階においては、脳の情動系は上記二つの欲求規準に基づいて、外部からの感覚情報を判定する。感覚情報が欲求を充足するものであれば快(ポジティブな)情報として受け取られ、欲求が不充足であれば不快(ネガティブな)情報として受け取られる欲求の充足・不充足の程度が大きければ情動情報としての強さも大きい。強い情報として脳に受け取られた情報は、それがポジティブであれネガティブであれ、学習され脳に記憶として蓄えられる。

情動情報に関する最も基本的な生理実験として古典的条件学習がある。ルドー(Le Doux, J.E.)たちは聴覚情報と情動刺激を組み合わせることでネズミの古典的条件学習に対する脳での情報処理伝達路を研究した。この実験ではネズミに条件刺激としてブザー音を聴かせ、無条件刺激として足に電気ショックを与える。この二つの組合せ刺激を数回繰り返すと学習(条件学習)が成立し、ブザー音だけで恐れによる逃避行動(血圧上昇と身



(a)



(b)

図-1 (a) 組み立てられた脳, 感覚と内臓の調節に働く主要な構造と, 辺縁系および脳幹の主要な構造を示す. (b) 五官からの感覚入力情報の大脳処理過程路の概念図と, 大脳よりの応答出力が筋肉系のみならず自律神経系・中枢神経系へ及ぶこと概念図. 大脳辺縁系・視床などでの情動情報が快ならば快行動出力が自律神経・中枢神経系を活性化し, 不快ならば不活性化する.

体の硬直) を起こす. ルドーたちは, ブザー音に対するネズミのこの不快情動行動 (逃避行動) に関係する脳内の情報処理伝達路を脳内の局所部位にマーカ物質を注入することにより研究した. マーカ物質としては神経細胞を順行性に輸送される WGA-HRP (Wheatgerm gluten conjugated Horse-radish Peroxidase) と逆行性に輸送されるフルオロゴールド (fluorogold) などを用いた. そして, これらによって明らかにされた脳内情報処理伝達路の局所部位を損傷し, そのネズミの行動観察を行うことによって, ブザー音に対する不快情動処理に関する脳内神経回路を明らかにした.

表-1 視床-扁桃核経由の情報処理と大脳皮質-扁桃核経由の情報処理の性質の違い

視床-扁桃核経由	粗い 速い
大脳皮質-扁桃核経由	緻密 遅い

この結果, 聴覚入力は視床を介して扁桃核に直接入力する経路と大脳皮質の聴覚野を介して直接あるいは間接的に海馬を通して扁桃核に入力する二つの経路が併行して存在するのを見いだした. そして, 扁桃核中心核から出力し, 血圧上昇などに関与する自律反応は外側視覚下部を介して自律神経系へ, また身体の硬直化などに関与する行動反応は中心灰白質を介して運動神経系へ, それぞれ出力されることを明らかにした. ルドーたちはさらにネズミの大脳聴覚野を完全に破壊しても, ブザー音に対する不快情動学習はあたかも大脳皮質になんらの損傷を与えないネズミに対してとまったく同様に成立し, 逃避行動を起こさせることを発見した. この結果, 逃避行動を起こさせる情動記憶の成立には大脳皮質聴覚野を介する脳内情報処理伝達路は必ずしも必要でない. 情動情報の処理の二つの独立な情報処理路の特徴として, ルドーは, 扁桃核への直接入力により時間的に速いが感覚情報の認識としては質の低いレベルと, 大脳皮質を介しているため情報処理により時間を要するが感覚情報の認識の質としては高次のレベルのものが並列に存在することが生命体の維持にきわめて重要であると考えている. このことはたとえば, われわれが足もとに細くて長い縄のようなものを見た, と思ったときのことを考えると

ラットの古典的条件学習実験の概念図

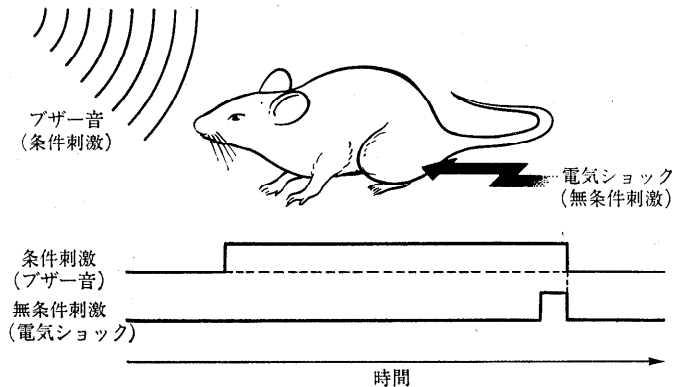


図-2

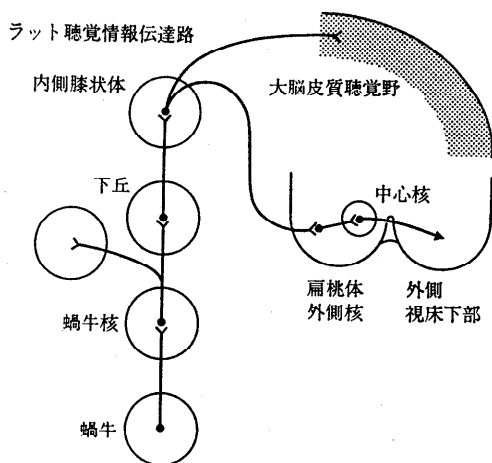


図-3

納得できる。われわれの感覚器(目や耳など)はこの情報を視床を介して直接扁桃体に送り、足もとのものがまだはっきりと認識されていないけれど「怖い」と感じて身体は逃げ血圧は上昇し心臓はドキドキする。しかし、すぐ大脳皮質からの情報認識の結果がこれに続いて足もとのものは蛇ではなく縄と分かってホッとする。すなわち、大脳皮質経由の情報認識は高度であるが時間がかかるため、緊急時の身の対処には間に合わないのである。場合によっては生命にかかわる。このために、粗いが速い情報処理と緻密で高度であるが時間のかかる情報処理の二つの経路が脳には用意されている。前者の処理は直観と呼ばれるものに関係するかもしれない。しかし、この二つの情動処理路の存在は脳でさらに重要な役割を担っている(次章参照)。

いずれにしても強い情動情報は学習によって脳内に記憶として貯えられる。ルドーたちは、ブザー音の条件刺激による情報処理路が電気ショックの無条件刺激の情報伝達路に出会い、情動記憶として固定される場所は扁桃体外側核であろうと推定している。こうして、脳は大脳皮質での質の高い感覚情報と情動情報を連合して記憶に留め、この学習した記憶をそれ以後の外部情報の情動の判定規準として採用してゆくのである。

欲求規準が発達成長とともに変化し階層を形成するのは、大脳皮質の発達成長と同時に情動系の発達成長、特に欲求規準の学習による変化によるのである。遺伝的に与えられている受容欲求

は、われわれが人と人との関係で生きることができ動物であり、一人では生きられず人から愛されないと生きられない動物であるということの意味する。人から愛されることによって初めてわれわれは人を愛することを学習し、人に受けいられることによって受けいれてくれた人をまず好きになり、連想的に人というものを好きになっていくことを学習するのである。こうして第3次欲求としての所屬と愛情の欲求が形成される。さらに、「自分が他の人から意義深い存在と思われているかどうか」の欲求(第4次欲求としての尊重の欲求)へと進展するだろう。大脳皮質の発達成長にともない欲求規準の高度化が進展するからである。自我にめざめ自己認識のできる少年期から青年期にかけては、「自分が家庭で、あるいは学校で意義深い存在として受けいれているか」が、情動情報としての最大関心事となる。もし意義深い存在として家庭があるいは学校が自分を受けいれてくれないと、その人が感じたら、このことはその人にとってきわめて不快な情報となる。脳的情動情報処理の基本原理は、快情報に対してはそれを与えてくれた人に快応答を、不快情報に対してはそれを与えてくれた人に不快応答を、それぞれ示すことである。したがって、家庭からあるいは学校から不快情報を得たと感じると、家庭や学校に対し不快応答を示す。それが家庭内暴力であり校内暴力(非行という言葉で総称されることもある)という形として現れることになる場合がある。この逆に家庭や学校あるいは社会がこの人を受けいれて、その人が自分の存在がそこで意義深いと感じられると、その人は快応答(この場合、社会的な行動)を家庭・学校あるいは社会に示す。ここで重要なのは、情動情報の記憶が意識下に蓄積し、われわれが意識なしに快・不快応答を示していることが多いということである。また、このように潜在意識として蓄積された情動記憶は長期記憶(一生涯にわたる記憶)として消去できないということである。情動記憶が消去できないことは、パブロフの犬に対する古典的条件学習実験でも示されている。パブロフは条件学習後の犬が、その後行動上で学習したことを忘れたかのように振る舞ったとしても、自発的に条件反応(快・不快応答)が回復することを報告している。ルドーたちもネズミに対するブザー音と電

気ショックによる古典的条件学習によって、このことを確認するとともに、情動情報の脳内処理の機構についてさらに研究を進めた。条件学習付けされたネズミに無条件刺激（電気ショック）を与えず条件刺激（ブザー音）だけを与え続けると、条件反応（身体の硬直化と血圧上昇を指標とした反応）は徐々に小さくなり、1~2カ月後には行動面からはこのネズミには条件反応はみられなくなる。しかし、大脳皮質の聴覚領を局部的に切除するなどして聴覚野に損傷を与えたネズミでは、古典的条件学習は普通のネズミと同じように成立するが、条件反応は上記の手続き（条件刺激だけ与え続けること）では消去も緩和もされなかった。これらから、ルドーは古典的条件学習が成立すると、その記憶は消去できないと結論した。正常のネズミが行動上から条件反応が消えたのは、記憶が消去されたのではなく、大脳皮質聴覚野からの抑制性ニューロンが発芽して情動記憶を抑制しているのとした。したがって、なんらかの原因でこの抑制がはずれると、条件反応は容易に行動面に現れ回復するというのである。

脳の情動情報の処理にはルドーたちがネズミで研究した最も基本的な古典的条件学習にともなう処理過程もあれば、さらに大脳皮質—大脳辺縁系—脳幹を含む高次の処理過程もあって、階層構造を形成している。しかし、情動情報に関する記憶の特性として次の4つの点は共通していると考えられる：(1)情動記憶は大脳皮質経由の感覚情報と大脳辺縁系などの情動情報とが連合されて脳内に蓄積されたものである。(2)情動情報は欲求規準と照合しポジティブであれネガティブであれ強い情報であるものは記憶として蓄積され、これによってまた欲求規準は変化する。欲求規準の出発点となるものは生理的欲求と受容欲求である。(3)情動情報の記憶は時間の経過とともに意識下に蓄積される。情動記憶の脳内の存在部位についてはいまだ解明されていない。また、記憶が呼び出されるとき、貯えられた時間順序で自発的に想

起されることが一般的であるので、時間情報もなんらかの形で付随して記憶されている。(4)情動記憶は脳内に一生涯の痕跡として形成され消去することができない。これらの情動記憶の特徴がわれわれの個性を形成すると言えよう。

情動記憶と個性との関係を具体的な例で示そう。：きわめて仲の良い夫婦がいて、その奥さんが旦那さんにお使いを頼んだ。旦那さんがお使いから戻って品物を奥さんに手渡しそこから去ろうとしたとき、奥さんが何気なく、「あなたおつりは？」と聞いた。これを聞いた途端旦那さんは烈火のごとく怒り、我を忘れて奥さんを罵倒してしまった。奥さんは今まで旦那さんを温厚で良い人と思っていたのに、いきなり何がなんだか分からないうちに悪口雑言を言われて、それ以後旦那さんに不信感を抱いてしまった。それからこの夫婦の間柄は急速に冷えて離婚ということになり、家庭裁判所へ持ち込まれた。そこで、カウンセリン

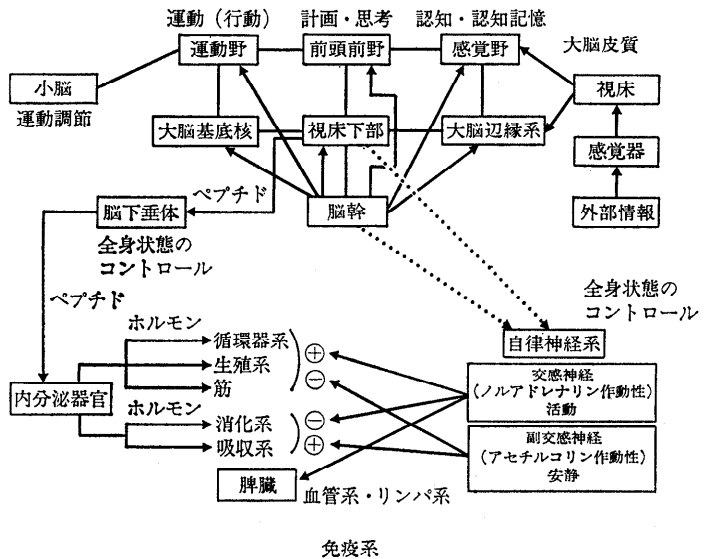


図-4 感覚情報の流れと心 外界よりの感覚情報は各種感覚器を通し、視床を介し、大脳皮質と大脳辺縁系に並列に入力する。大脳皮質は知的な情報処理を行い、情報認識とその記憶に関与する感覚野、計画をたて認識された事柄をもとに推論し思考する前頭前野、および運動を企画し行い制御する運動野などからなる。これに対し、大脳辺縁系は情動情報の処理と記憶形成に関与し、記憶形成にかかわる海馬、価値判断を行う扁桃核などから構成される。大脳皮質と大脳辺縁系とは視床下部でも結びついており、視床下部は意欲・意識と関係する脳幹に投射がある。視床下部は、脳下垂体を通し、内分泌器官から内臓器官系・筋などを、ペプチド・ホルモンで液性制御する。また視床下部と脳幹は、自律神経系（交感・副交感神経）によって内臓器官系・筋を制御している。ここで ⊕、⊖ はそれぞれ活性化、鎮静化の作用を示す。また脾臓を介して免疫系の活性制御もある。点線は神経性制御、実線は液性制御の経路を示す。

グを受けたところ旦那さんは小学校3年生のときお父さんに買物を頼まれておつりをネコババしたという幼児体験のあることが発見された。すなわち、旦那さんは「お父さんにおつりを返さなければいけない」と思いつつ返さないで、精神性に関するネガティブな強い刺激として「おつり」という言葉と「自己嫌悪」などの感情を強く連合させ、潜在記憶下に蓄積してしまったのである。それは、もう遠い昔のこととして本人は意識の下にしまい込んでしまってそんな事件があったことさえ気付かず、カウンセラとの長い対話の中でようやく思い出せる程度のもとなっていたが、記憶は消えずに残っていたのである。奥さんから昔とどこか同じ状況を思わせる雰囲気の中で「あなたおつりは？」と聞かれたとき、あたかも脳に強い電気ショックを受けたように「おつり」という言葉にまつわるあの忌まわしい精神的嫌悪の情が引き出されたのである。そして、奥さんから不快情報が引き出されたので、不快行動を奥さんにぶつけ返してしまったのである。旦那さんのもっている情動記憶の成立の経過については、奥さんは一切関与しておらず、この場合奥さんはとんだとばかりを受けたことになる。脳は不快情報を引き出した人に対して不快行動を返すのである。旦那さんも何がなんだか分からず奥さんを自分を卑下する人として見えたに違いない。普段よくしてくれる奥さんがそのとき急に憎らしい存在に見えて罵倒し悪口雑言をつくってしまったのではないか。このような情動情報の表現は極端であるが、われわれの個性が、そして心がいかにして形成されるかの例として大変参考になる。人は生まれてから今日に至るまでの多くの違った体験をそれぞれ遭遇し、それを各人各様の情動記憶として脳内に蓄積し一生の記憶として保持している。われわれはその記憶をもとに現在と対峙し軽い推論を通して未来を予測し行動を決定する。そしてそれに基づいて行動した結果、大脳皮質の情報処理回路を学習によって変更すると同時に新たな情動経験を心得て情動記憶を新しくする。このようにして、各人各様の個性が育っていくのであろう。

5. 愛は脳を活性化し育てる

情動情報に関する快・不快応答は運動系・自律神経系とよく結びついている。不快情報によって

運動系に不快行動を出力し身体の硬直などが起こる。不快情報によって自律神経系に不快応答を出力し、血圧上昇などが起こる。さらに、情動情報は脳の活性化を調節する。不快な情報を得るとイライラして頭が働かないことはよく経験する。情動情報が脳の活性化のみならず再生にもいかに強く関係しているかを、具体的な例を掲げる。：1988年11月18日の夕方、つくば市の高校1年生（当時）であった野堀拓路（のほり・たくろう）君は帰宅途中自動車と衝突し、右頭蓋骨陥没・右大脳半球広範部分（前頭葉・側頭葉・頭頂葉）に急性硬膜下血腫・硬膜外血腫を引き起こし、さらに外傷によるクモ膜下出血、強い脳腫張により大脳半球の左方への偏位とこれにともなう鉤ヘルニアを起こすなどによって、意識不明の重体となった。18日夜、右脳の広範囲な減圧手術を施した。この結果、術後3日目のX線CTでは硬膜外水腫は残るが事故による脳の正中偏位はほぼ消失した。しかし、右大脳半球前頭葉・側頭葉には脳挫傷にともなう遅発性脳内血腫があり脳室内血腫もみられた。脳外科の執刀医の先生はこのような状況から家族に対し「手術としては最善をつくしてうまくいったが、植物人間となる可能性が非常に高い」と言われ、手術時の状態はきわめて悪かったのである。しかし、家族の方は拓路君を集中治療室に隔離された状態に委ねず、ベッドサイドに毎日の大半をとともに過ごして、語りかけ足や手を愛撫し続けた。まったく動かない手や足を毎日何時間もさすりながら応答のない子に語りかけるのは至難のことであろう。

事故後約1カ月経った12月24日に拓路君の身体がピクリと少し動くのが初めて見られた。家族の人はこれで大いに勇気づけられさらに集中治療室での語りかけと愛撫を続けて、漸進的な回復の様子が徐々に見られるようになり、ついに翌年（1989年）1月中旬に意識を取り戻した。このころにおいては右大脳半球に脳萎縮がみられ、このことが原因と思われる脳室系の拡大が生じていた。このため意識が戻ったときにおいても担当医は家族に「意識は戻ったが、左半身は絶対に動かないと思う」と告げた。しかし、その後病院での治療・リハビリテーションやあたたかい看護のおかげで、左半身はほぼ正常に動くまでに回復し、高校に復学・卒業してカナダに留学するに至って

いる。ジョギングや柔道などで身体を鍛え、自転車で走り回りスキーを楽しむなどの様子、また勉学にいそしみ常人と変わらぬ社会生活を送っている様子から、右脳に萎縮があり脳室系が拡大しているとは思えない。

これらの著しい回復は拓路君が意識なく集中治療室のベッドに横たわっている間に家族が語りかけ愛撫を続けたことと密接に関係する。それは退院後高校に復学したとき、まったく逆のことが起こったからである。拓路君は1990年4月より高校に1年生として2年遅れで復学した。その年の夏休み前に、先生から「君は一生懸命頑張っているようだが、右脳が挫傷していることもあって皆についてゆくのは大変そうだね。君のようなハンディキャップを負った子のための学校もあるので、そういう学校に転校することも考えてもよいかもしれないね」という趣旨のことを言われた。拓路君は先生のこの忠告を「先生は学校における自分の存在を否定している」と捉えてしまった。これは拓路君にとって致命的な不快情報であった。その日の夕方、家に帰るとそれまでほとんど正常だった左半身が動かなくなったのである。不快情報によって脳活動の活性が著しく低下したのである。

そこで、拓路君と「先生が上のように忠告してくれたのは、決して学校に来て欲しくないとか学校に来ては無駄であるという意味ではなく、むしろ親切心から心配して、君に適した学校を選択したほうが苦しくない向上も早いからという意味ではなかったのだろうか」などと話した。そして、拓路君が経験した苦難や試練が心を鍛練し精神的に向上するとともにどんなに大切なことかを話し合った。自分が困難や苦しみに遭うことは、苦難や悲しみに遭う人の気持ちを理解するためにどんなに重要なことか、また人と人との絆を得るにはお互いに体験を共有して共鳴できる心を養うことが必要であること、さらにこれらのことを通してわれわれは人として成長してゆけるのではないか、などを話し合った。そして、このような体験がないと本人は気づかないで相手を傷つけてしまうことがあることを話した。学校の先生の忠告も、君が右脳の挫傷のことで心までも傷ついていることに思いが至らず、きっと親切心で言ったのに君を傷つけてしまったのは、先生が君と同じ体

験をしていないためなので許さなくてはいけないのではないだろうか、などを話した。このような会話を交わしているうちに、拓路君が「先生の気持ち分かって、何かゆったりとした気分になった」という趣旨のことを言ったとき、それと同時に左半身がゆるんでまた元通り自由に動くようになったのである。

情動情報は脳の活性化を調節するのである。情動情報が快（ポジティブ）のとき、脳は活性化され脳の機能構築も促進されて育つ。これに対し、情動情報が不快（ネガティブ）のとき脳は不活性となり育たない。これらについては、ペンフィールド（Wilder G. Penfield: カナダの脳外科医でかつ脳神経科学者）もその事実を見て、詳しく記述している。しかし、その重要性については気づかなかったように思われる。：「ソ連の天才的な物理学者レフ・ランダウは自動車事故で頭部に負傷した後、6週間にわたって完全な昏睡状態を続け、強力な看護によって辛うじて生命を取り留めていた。最初の診断で私（ペンフィールド）は彼が完全な意識不明の状態にあるという意見に同意した。そして診断を目的とした小手術（脳室写を）勧めた。患者は手足が麻痺し、眼は開いていたが明らかに何も見ていなかった。翌朝、私は2度目の診察をするために彼の病室に入っていったが、このとき彼の妻が一緒だった。彼女は私の先に立ち、ベッドの傍らに腰を下ろして夫に話しかけた。私は頭越しに見守りながら黙って立っていたが、患者にははっとするような変化が起こったことに気がついた。彼は妻の方を見ているようだった。妻の話聞き、妻の顔を見、妻の言葉を理解しているらしいのだ！これをどう説明すればいいのか？彼女は話を終えて口をつぐんだ。すると患者は眼を上げ、私の方に正常とまったく変わりなく焦点を合わせた。私は頭を左右に動かしてみた。患者の眼はまちがいなくそれを追って動いた。それからまた別々に勝手な方に向けてしまい、患者は前の晩と同じような意識不明の状態に戻った。ランダウが意識を取り戻していたことは明らかだった。」（塚田裕三・山河宏訳、脳と心の正体、1987年、法政大学出版局）患者であるランダウが事故後奥さんと再会したのはこのときが初めてだったのである。奥さんに会ったことによるきわめて快な情動情報が脳を活性化し、と

りわけこの場合脳幹の意識中枢に働いて、短時間ではあるがランダウは意識を取り戻したのである。ランダウの悲劇は、彼が偉大なあまりにその当時の最善と思われる医療技術と医療施設の中で丁重に取り扱われてしまい、このことのために最愛の人から6週間も引き離されまったくの孤独の中で過ごさなくてはならなかったことである。このように、情動情報は意識のレベルの調節にも関与することが分かる。情動情報は意欲のレベルも調節する。たとえば朝なかなか起きられないということがある。これは、今日起きてこれをしたいという意欲がないからである。今日はこのことをしたいという意欲があれば、脳は活性化され目覚めるものである。ある情報を得たとき、その情動情報を快と捉えるか不快と捉えるかで、脳の活性化はプラスにもマイナスにもなりうる。そして快か不快かを決めるのは、外部の情報ではなく、その情報を受ける人の心である。

私たちが毎日を生き活きと生きるには、どんな情報をも快と捉え、感謝できる心をもてるよう、心の訓練をすることである。

6. 脳科学と聖書の教え

科学と宗教は対立する哲学として、水と油のように決して融合しないものと信じられてきた。宗教は心のあり方を追究し、人としての生き方を教えてくれる。脳科学が心のあり方を同じく追究し「人とは何か」を解明するものであれば、古い歴史をもち、多くの人々が信じ、生き方の規範としてきた宗教と必ず融合するところがあるはずである。ここでは、キリスト教の聖書を脳科学の立場から考察する。

聖書を貫く基本精神は、人がいかに素晴らしい創造物であるかということと、人は愛によって初めて生きることができる創造物である、ということだと思われる。人がいかに素晴らしい創造物として形造られたかは、聖書の創世紀をはじめとする諸処に珠玉のような言葉でちりばめられている。旧約聖書創世紀1章27節には“神は自分のかたちに人を創造された”とある。霊なる神のかたちに似せて造られた人は霊的存在であり、人として生まれたからには、もうそのことだけですが素晴らしい存在であるのだ、ということを実証的にあらわしている。また、旧約聖書イザヤ書43章4節

には“私(神)の目からあなた(人)は高価で尊い”と述べられている。人は人であるかぎり、どんな人でも神の目から高価で尊いのである。したがって、人は自分を勝手に卑下してはならないのである。新約聖書ヨハネによる福音書15章16節には、キリストは“あなたがたがわたしを選んだのではない。わたしがあなたがたを選んだのである”とある。こうして聖書は人が神によって素晴らしい存在物として成長できる可能性のあるものとして造られた、ということを実証している。このことは、人は性善であり、素晴らしい自己組織能を秘めているということと合致する。神という概念は、唯物論的な視点から人を理解することはできず、素晴らしい自己組織体になり得るという目的をもったものであるので導入せざるをえなかった、と言えよう。

人は愛によって初めて生きられる、ということとは聖書のもう一つの基本思想である。人は人との関係で生きられる動物であり、その関係がポジティブであること(すなわち、愛を受けることあるいは愛を授けること)で初めて生き活きと生きられる。新約聖書コリント人への第一の手紙13章4~7節には愛の定義・愛の性質が明確に述べられている; “愛は寛容であり、愛は親切である。愛はねたまず、自慢せず、高慢にならず、礼儀にそむかない。自分の利益を求めず怒らず、受けた悪を気にしない。不正を喜ばず、真理を喜ぶ。愛はすべてを包み、すべてを信じ、すべてを希望し、すべてを耐え忍ぶ。”

「愛は寛容であり、愛は親切である。」ということとは、まさに人の情動系の基本原理である。すなわち、人はそのままの自分をそっくりそのまま受け入れて貰う(寛容)と、それは人にとっての最高の快情報であるので、受け入れてくれた人に対し快応答を示す(親切になる)のである。愛が寛容であることの重要性を示す聖書箇所として新約聖書ヨハネによる福音書8章1~11節が特によく知られている: “イエスに言った。「先生、この女は姦淫の場でつかまえられました。モーセの律法の中で、こういう女を石で打ち殺せと命じましたが、あなたはどう思いますか。」彼らがそう言ったのは、イエスを試して、訴える口実を得るためであった。しかし、イエスは身をかがめて、指で地面に何か書いておられた。彼らが問い続けるの

で、イエスは身を起こして彼らに言われた。「あなたがたの中で罪のない者が、まずこの女に石を投げつけるがよい」。そしてまた身をかがめて、地面にものを書き続けられた。これを聞くと、彼らは年寄りから始めて、ひとりひとり出て行き、ついにイエスだけになり、女は中にいたまま残された。そこでイエスは身を起こして女に言われた。「女よ、みんなはどこにいるか。あなたを罰する者はいなかったか。」女は言った。「主よ、だれもごいません」。イエスは言われた。「わたしもあなたを罰しない。お帰りなさい。今後はもう罪を犯さないように」。愛は寛容であり、裁かないのである。罪を犯したという行為は改めなくてはならないが、犯した人も人として尊いことは変わらず、愛の人は裁かず（その犯した行為についてあれこれ言ったり罰したりするのではなく）、その人を受容する（そのような罪を犯さなければならなかった心を理解する）。人は受容されることによって、快情動を得て、受容してくれた人に快応答で答えよう（親切になろう）として、イエスの意向「今後はもう罪を犯さないように」に真心から答えるというのである。これは、まさに性善な自己組織系で、自己組織系がポジティブな方向に時間発展するとき、自己がどんな位置であろうとその置かれている位置を肯定することが必要十分であることを示している。このようにすることで、自己組織化の発展ベクトルは上向きとなり前向きの成長となるのである。

聖書は心の育て方につき、人生の生き方について多くの指針を示している。まず、新約聖書テサロニケ人への第1の手紙5章18節に「すべてのことについて感謝しなさい。これがキリスト・イエスにあって神があなた方に求めておられることである」と書かれている。外部の情報を快か不快かと判別するのは人の心であって、外部情によるのではない。感謝できないような状況にあっても感謝できる心をもつことが、自分を前向きに肯定的に発展させることの基本要因であり、聖書は心の持ち方についての目標をこのように述べている。それではどうしたらどんな状況にあっても感謝できるのか。新約聖書はローマ人への手紙5章3～5節で次のように述べている。「患難さえも喜んでいます。それは患難が忍耐を生み出し、忍耐が練られた品性を生み出し、練られた品性が希望を

生み出すと知っているからです。この希望は失望に終わることがありません。」すなわち、心を鍛えるために平坦な人生だけを歩んでいてはできず、困難や悲しみを逃げず対峙して乗り越えなくてはならないというのである。さらに、人は人から受け入れて貰いたいという欲求のためにすばらしい存在となり得る可能性があるが、このためにまた罪を犯すのである。人からもっと愛されたい、という欲求は、人の評判を気にするあまり、人をかえって恐れることとなり、人と同じような人生を歩むことで安心を得るような結果となる。これでは自己実現ができずかえって苦しむ。人から愛されたいとの欲求が、人頼み人生となり甘えを生む。自分だけが愛されたいという自己中心的な考えにとらわれ、わがままとなる。自己中心的な人は自分の価値の狭い尺度でしかものごとを判断できず、他人のもつ自分と異種の価値を認めることができない。この結果、狭量な心となり人生を豊かに過ごすことができない。欲望の強い人はもっともっと愛されたいという欲望が果てしなくなり、本当の満足がなく、したがって、心に平安がない。これらの罪は凡人がすぐ陥りやすいものである。科学は心や人を説明するが、どのようにこの科学の所産を実際の場に生かすかについては何も教えてこなかった。これらは、心理学や宗教が従来より進めてきたことである。従来の科学が技術と組み合わさって人や社会に役立ってきたように、心の科学は心理学・哲学・宗教と融合して人生をさらに豊かにするものと思われる。

7. 脳の情報処理アーキテクチャ

脳は5官を通じ情報を入力し、入力した情報を大脳辺縁系と大脳皮質に同時並列に入力する。大脳辺縁系では入力情報の価値を判定し、大脳皮質では入力情報の知的処理を行う。価値の判定結果は知的処理に要する時間より著しく速く、その結果をトロフィックファクタの脳内放出という形で出力する。入力情報の価値がある、あるいは入力情報が自分の欲求を充足するものであるとき、トロフィックファクタによって脳の活性化を促す。この活性化の促進は大脳皮質のみならず脳幹にも及ぶ。脳幹の活性化は意識レベルの活性となる。このように、大脳辺縁系での感情の処理の結果によって大脳皮質で行われる情報処理はフィードフ

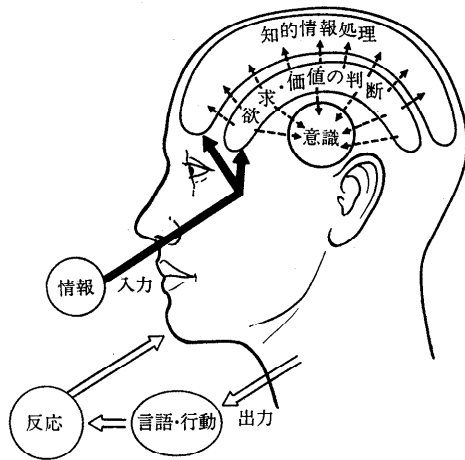


図-5 脳の情報処理アーキテクチャ

ワード制御を受ける。脳全体の活性が調節されるのである。特に、大脳辺縁系と同じ情報を得た大脳皮質の領野は神経ネットワークの可塑性に基づき回路形成が進む。このようにして、入力情報の処理回路が形成される。脳が意欲で働くコンピュータ、というゆえんである。

大脳皮質の活性は意識中枢より同時に調節される。これは上記の活性が意識下で行われるのとまったく独立した制御をもつ。もし情報が自分としては不快であると思われ辺縁系の応答としては脳の活性を高めるものではないとしても、しかしやらねばならないと判断し意識を高揚させて大脳の活性をあげるものである。たとえば、朝起きられない子は基本的に意欲がなく朝起きられないのであるが、朝起きなくては学校に遅刻するなどを考えてベッドから抜け出ると脳が活性化し目が覚めるのはこの意識中枢による脳の活性化機構である。しかし、このように辺縁系の意に反して（頭

張りによって)脳を活性化しことを処すのは、自律神経系・液性調節系に無理をさせるので疲れる。

脳は情報処理を行い言語や行動で出力し、外部からの応答をみて行った情報処理が果して適切であったかどうかを評価する。このようにして入力情報についての評価基準を修正し、次の行動判断のためのワーキングメモリを書き改める。強い刺激として得た記憶は数日～数週間すると一生の記憶として消去不能なものとして固定されるので書き改めるのはこの間である。固定された後は、新しい記憶は積み重ねられ、新しい記憶をワーキングメモリとして使用してゆく。こうして、ワーキングメモリを中心にこの蓄積した記憶をもとに入力情報の価値を判定し軽い推論によって事態を処理し、行動出力しその応答を評価しては価値基準を修正するのである。

(平成4年9月11日受付)



松本 元 (正会員)

昭和39年東京大学理学部物理学科卒業。昭和44年同大学院理学系研究科物理学専攻修了。理学博士。昭和44年日本学術振興会奨励研究員。昭和44年東京大学理学部物理教室助手。昭和46年通産省工業技術院電子技術総合研究所主任研究官。昭和59年同研究室長。平成元年同研究部長、現在に至る。昭和51年米国 NIMH (National Institute of Mental Health) 客員研究員。昭和62年筑波大学電子情報工学系教授 (併任)、現在に至る。

科学技術庁長官賞、通商産業大臣賞、市村学術賞受賞。日本神経回路学会会長。