

本田財団レポート No.120

「脳とこころを科学する」

東京大学医学部・医学系研究科
副研究科長 教授

宮 下 保 司

財団法人 本田財団

講師略歴

宮下保司 (みやした やすし)

東京大学医学部・医学系研究科 副研究科長
教授 医学博士



《略歴》

- 1949年 東京生まれ
- 1971年 東京大学理学部物理学科卒業
- 1973年 東京大学大学院 理学系研究科修士課程
物理学専攻修了
- 1977年 東京大学大学院 医学系研究科博士課程
生理学専攻修了
東京大学医学部助手
- 1983年 東京大学医学部講師
- 1984年 オックスフォード大学客員講師
- 1989年 東京大学医学部教授
- 2005年 日本学術会議会員 現在に至る

《所属団体》

- 日本生理学会常任理事
- 日本神経科学学会理事

《主な受賞歴》

- 1992年 塚原仲晃記念賞
- 2000年 上原賞
- 2003年 慶応医学賞
- 2004年 朝日賞
紫綬褒章
- 2007年 日本学士院賞

《主な著書》

- 1995年 『脳から心へー高次機能の解明に挑むー』 岩波書店
- 1997年 『Cognition, Computation, & Consciousness.』
Ito, M., Miyashita, Y. and Rolls, E. T. (Editors)
Oxford University Press, New York, 1997.
- 2000年 『Image, Language, Brain.』
Marantz, A., Miyashita, Y. and O'Neil, W. (Editors)
MIT Press, Cambridge, 2000.

このレポートは平成19年6月25日パレスホテルにおいて行われた第102回 本田財団懇談会の講演の要旨をまとめたものです。

「科学する」とは

今日は「脳とこころを科学する」というタイトルでお話しさせていただきます。できれば、私が話すだけというのではなく、いろいろな質問をしていただく方が、皆様方の関心に即して話を広げ深めて行くというダイアログ的意味で良いと思います。

第102回 本田財団懇談会 2007.6.25

脳とこころを科学する
— 脳研究に 想像力の起源を求めて —

東京大学医学部 宮下保司

I gave her my heart but she wanted my soul
(Bob Dylan)
("Don't Think Twice, It's All Right"
from " The Freewheelin' ", 1963)



図 - 1

〈図-1〉今日の話のタイトルですが、「科学する」というのは、厳密に考えようというほどの意味です。いま世の中は脳トレブームで、広い範囲の方々が脳研究に興味を持って下さっているのはありがたいことで、脳科学研究者としても大変励みになりますが、今日は必ずしもすぐにそういう方に行くのではなく、その前提となる「よく考える」ということから始めようということです。「科学する」と言っても、高々歴史を2000年さかのぼれば自然哲学という根っこにたどり着きます。方法論を別にすれば、「よく考える」ということは全ての科学の基本だと思えます。

さて、考える対象は「脳とこころ」なのですが、脳の方は基本的には「もの」であり、ものについて考える方法と知識については過去数百年の近代自然科学の膨大な蓄積があります。たとえ「生命」というものであっても、物質と情報という基礎概念の上に理解できることは過去約150年の生命科学（分子生物学や進化生物学を含む）の成果が示しています。脳は、極めて複雑・精妙で、現在の我々の持つ方法・知識では攻めあぐねる難問があることは事実ですが、脳がどのように働くかということに関しては、ずいぶん沢山のことが判ってきました。脳の働きについて今どこまで判ってきたか、は後ほどお話しします。

「こころ」とは

タイトルのもう一方である「こころ」は難題です。ことに日本語で「こころ」という場合は非常に多義的で、いろいろな文脈・意味あい使われます。複数の人が対話する場合、まずこの文脈を共通にするのが難しい。

私は、いわゆる団塊の世代の一番下の方で、私どもの世代ではボブ・ディランという名前

にはあまり説明が要らないのですが、もしかしたら今日ここにおいでの方々にとっては必ずしもそうではないかも知れません。図-1の下の方をご覧ください。恐縮ですが私の個人的な思いから話を始めさせていただくと、1964年か65年、私は中学生だったのですが、ボブ・ディランというシンガーソングライターが書いた「Don't Think Twice, It's All Right」という曲の中に、こういうフレーズがあったのです。

「I gave her my heart but she wanted my soul」

それを聞いた時に、なるほどと思った記憶があります。つまり我々日本人は平気で「こころ」と言っているけれど、なるほどこのようにハート (heart) とソウル (soul) を使い分けるのかと、非常に印象が強かったのです。少なくとも heart と soul は「I gave her my heart but she wanted my soul」と言うぐらい、概念としては違うものなのか、少なくともアメリカ人にとっては。

そうしてみると、英語表現には heart と soul だけではなく、スピリット (spirit) だとか、マインド (mind) だとか、いろいろある訳です。それを全部十把一からげにして論じて良いものか？ 宗教的背景が影を落としているのは明白なのでますます難しい。

先にお断りしてしまえば、今日私がお話しすることの大部分は、たぶんソウルでも、ハートでもなく、マインドに近いものだと思います。勿論、脳科学流のやり方で（心理学というこころの研究について長い歴史を持つ盟友の学問の力も借りて）ハートやソウルについて考えることはできますので、もし後でご質問をいただければ、現在の脳科学で判っていることはお答えできると思います。

「見る」と「こころの目で見える」

そういう訳で、基本的にこころの問題というのは、どのように対象を設定するか、というところからよく考える必要がある。今日は話を絞って、このスライドから始めます。



図 - 2

〈図-2〉つまり、「見る」ということと、「こころの目で見える」ということの関係や如何？

一方で、我々はものを「見る」ことをします。他方、「こころの眼で見る」ということもします。この関係がどうなっているか、は脳科学で厳密に調べられる。それをモデルにして、もう少し複雑なこころの問題を考えてみようというのが今日の方針・流れです。

「こころの眼で見る」、というのは想像する、イマジン (imagine) することです。「見る」と「こころの眼で見る」ことの間を関係を考えてみようというのは、別に私たち脳研究者だけの専売特許ではありません。昔から哲学者達が一生懸命考えていたのです。認識論の典型的問題の1つとして、2000年以上も考え続けられているのではないのでしょうか。

これも私の学生の頃の個人的な思い出ですが、ジャン＝ポール・サルトルという哲学者・作家がいました。サルトルは著書の中で、こんなことを言っています。「パンテオンのイメージをこころの中に想像してごらん。その破風を支えている円柱が何本あるか、イメージの中で数えられるかい？」と、そういう質問を出して、「見る」ということと、「こころの眼で見る」ということの間を関係を考えてよと言っています。

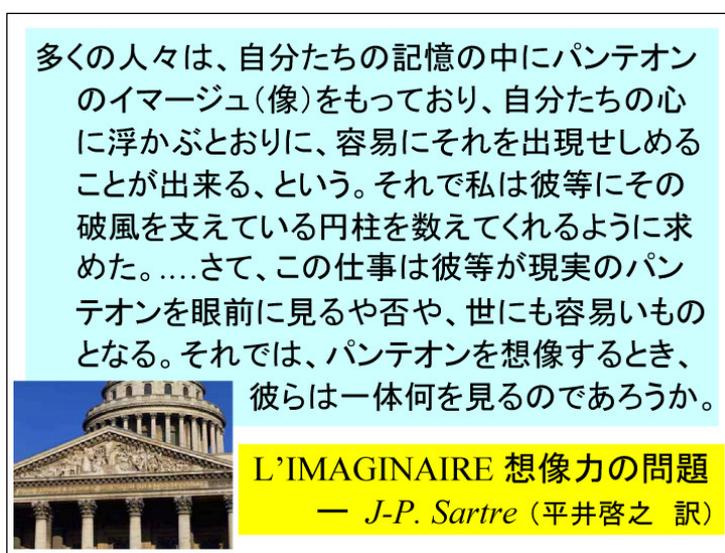


図 - 3

〈図-3〉これは私の言い方ですが、もう少し原典に近い表現では、少し古いですが、平井啓之先生が訳されたサルトルの『L'IMAGINAIRE イマジネール (想像力の問題)』という本から取ってきた訳文があります。「多くの人たちは自分たちの記憶の中にパンテオンのイメージを持っており、自分たちのこころに浮かぶとおりに、容易にそれを想像できている。それで私はその想像の中の破風を支えている円柱の数、それを数えてくれるように求めた」。

以下は省略しますが、サルトルはそんなものは数えられないと言っています。想像の中では柱の数は数えられない。想像の中では数えられないが、現実のパンテオンを実際に見ると、それは非常に簡単に数えられる。そういうところが「想像」と「見る」との違いだという議論をしています。

しかし私はいささかこれに異論があります。私見では、想像の中で柱を数えられる場合もある。単に、どのくらい対象を良く知っているかという問題なのではないか。普通我々は、あまり対象を細部まで良く知らないで想像するので、柱の数までは数えられない (大体の大

きさとか大体の幾何学的構造のように意味的知識・意味ネットワークで表現されているレベルのことは、眼前に浮かび上がらせることができる）。しかし本当に細部まで良く知っていれば、実は柱も数えられるのではないか。その辺のところは、サルトルといまさら論争する訳にも行かないのですが・・・。

少し先回りして、この問題に関する現代的な解釈というものを申し上げてしまいます。想像の中で柱を数えるという作業を脳はどうやるかと言うと、大脳前頭葉から側頭葉へ（高次の中枢から低次の中枢へ）下りていく信号——トップダウン信号と私は呼んでいます——、それがイメージの中で柱を数える。正確に言うと、トップダウン信号が、大脳側頭葉に貯蔵されている対象についての知識（もっと正確に言うと、それを表現しているニューロン群）を活性化することによって、破風と柱についての幾何学的イメージがこころの中に現前する。

一方、実際にものを見て柱の数を数えるのは、ボトムアップ信号と呼ばれる、目から側頭葉へ行く信号で数える。ですからどういう信号を使って柱を数えるのかというのは違うが、最終的に数えられる相手、それは大脳側頭葉の中のイメージの内部表現である。つまり脳の中に、パンテオンなり、破風なりのイメージの構成要素となる要素的イメージとでも呼ぶべきものがあり、それを数える。目からきた信号で数えるか、前頭葉からきた信号で数えるかは異なるが、この内部表現というのは共通ではないか、というのが、私の答えです。

「もの」としての脳の働き—全体論と局在論—

これが先ほど「見る」と「こころの眼で見る」ということの関係やいかにとということの、現代的な（但し非常に単純化した）答えです。しかし多分これだけではピンとこないだろうと思いますので、もう少しかみ砕いた話をしたいと思います。

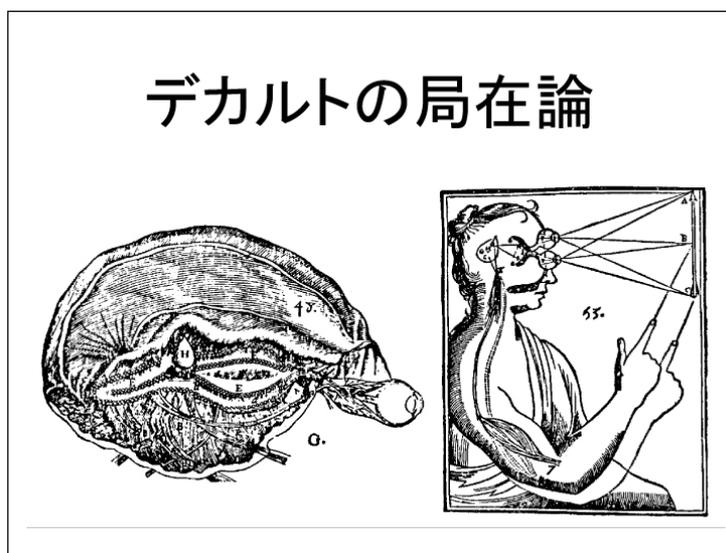


図 - 4

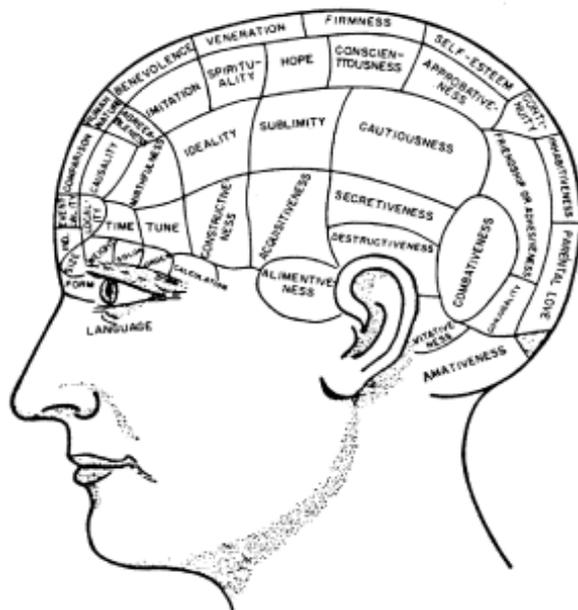
（図－４）そのためには脳は「もの」だと申しましたが、脳がどのように働くかについての、歴史的な長い論争を振り返ってみる必要があります。脳の働きについての「全体論」と「局在論」です。脳は全体として一体となって働くという考え方と、ある機能は脳の一部に局在するという考え方の対立です。

これは古くからの論争です。例えばルネ・デカルトは、400年も前の哲学者ですが、彼はある意味では非常に現代的な考え方をする人でした。彼はこころというの、脳の真ん中にある松果体という器官に局在すると考えました。

この論拠はなかなか面白いのです。人間の脳というの、右半球、左半球というように左右に分かれています。デカルトもそれをよく知っていました。ところが人間のこころというの、1個しかない。こころが二つある訳がない。だからデカルトは、こころというの、脳の真ん中であって1個しかないような、そういう器官にあるに違いないという推論をしたらしいのです。こうした筋道で、この脳の真ん中であって1個しかない松果体というところをこころの在りかと考えたらしく、デカルトの本にはこんな図が書いてあるのです。ですから「ものを見る」時には、最終的に目から入った信号というの、松果体に集まり、それが我々のこころに浮かぶイメージの像になると考えた訳です。非常に現代的です（「Neural Correlate of Consciousness, NCC, 脳における意識の対応物」という概念についての論文をフランシス・クリック——あのワトソン&クリックのクリックです——とクリストフ・コッホが書いたのは、高々20年前に過ぎません。勿論、NCCと松果体を結び付ける議論は出ませんでした）。

Franz Joseph Gall による

骨相学的脳機能局在論



ACQUISITIVENESS=所有欲, AGREEABLENESS=愛想のよき, ALIMENTIVENESS=食欲, AMATIVENESS=性欲, APPROBATIVENESS=同調性, BENEVOLENCE=慈愛, CALCULATION=計算, CAUSALITY=原因究明力, CAUTIOUSNESS=慎重さ, COLOR=色, COMBATIVENESS=闘争性, COMPARISON=比較力, CONJUGALITY=夫婦愛, CONSCIENTIOUSNESS=誠実さ, CONSTRUCTIVENESS=建設性, CONTINUITY=連続性, DESTRUCTIVENESS=破壊性, EVENTUALITY=順序記憶, FIRMNESS=頑固さ, FORM=形, FRIENDSHIP OR ADHESIVENESS=友情・愛着, HOPE=希望, HUMAN NATURE=人間性, IDEALITY=理想を追求する能力, IMITATION=模倣, IND.=独立心, INHABITIVENESS=同一の場所にいたがる傾向, LANGUAGE=言語, LOCALITY=場所感覚, MIRTHFULNESS=陽気さ, ORDER=秩序, PARENTAL LOVE=親の愛, SECRETIVENESS=秘密主義, SELF-ESTEEM=自己崇拝, SIZE=大きさ, SPIRITUALITY=脱俗性, SUBLIMITY=崇高なものを感じる能力, TIME=時間感覚, TUNE=音楽的才能, VENERATION=尊敬, VITATIVENESS=生への執着心, WEIGHT=重さ.

図 - 5

〈図－5〉今のはデカルト流のある種の局在論ですが、もっと極端な局在論の例もあります。骨相学的脳機能局在論というのがあり、これは今から200年ぐらい前のフランツ・ガルと言う人の説です。

当時は骨相学というのが非常に流行っていました。例えば側頭部が非常に出っ張って大きく発達している人がいます。そういう人の挙動をじっと眺めると、その人は非常に注意深い。だから、脳の側頭部にそういう注意深さという特性の座があるのではないか、ということによってここに「注意深さ」というラベルが貼ってあるわけです。同じように、ここに「希望」というラベルが貼ってありますが、脳のその辺が非常に発達している人は、困難な事態に直面してもたじろがず前向きに対処するという特性がある、ということなのではないでしょうか。

多分非常にたくさんの人間の挙動とその頭蓋骨の格好を観察して、その結果を帰納的に要約してこのような図を作ったのだと推察します。ガルという人が、ある種の科学的手続きと観察によってこの結論に到達したことは疑えないと思います。もちろん今から考えると、脳のそれぞれの部分にどのような特性が局在しているのか、という根本的な仮定に問題があった訳で、脳の各部分に注意深さだとか、希望の持ちやすさ、という特性が局在するという事は誤っていた、と言って良いと思います。

ではなぜ私がこんなことを言っているかということ、現在の脳の科学の哲学的な基盤（フレームワーク）には、実はかなりガルの骨相学的脳機能局在論に近いところがある、という危うさがあるからです。勿論、現在の脳の科学は、頭蓋骨の格好を観察して帰納的推論をする訳ではありません。後ほどお話しますように、脳という器官は細胞（中でも神経細胞すなわちニューロン Neuron が重要）という単位からできていて、非常に沢山の神経細胞のつながりが作るネットワーク（神経回路）が情報処理を行うことにより最終的にヒトの行動が生まれてくるのだ、との考えが基本になっています——ある意味で、コンピュータのシリコン回路が情報処理をする結果として、コンピュータは私たちの望む仕事（例えば情報の検索）をやってくれている、のと似たところがある、と考えている訳です。

しかし、脳トレ等の話は、場合によっては、こうした地道な考察をとばして結論を急ぎがちです。例えば、現在の脳の科学の有力な方法の1つとして、「脳の機能イメージング」という方法があります。「何らかの知的作業」をしている時に「脳のどこが活動するか」、画像として示すことのできる方法で、最近10年ほどの間に非常に発展しました。後で私のお話にも出てきます。しかし、「何らかの知的作業」ということの内容をどのように考えたら良いのか、という点はよく吟味することが必要です。もし、この点の吟味が甘いと、脳の機能イメージングで「脳のどこが活動するか」を調べたとしても、それは単にガルが頭蓋骨の格好を観察していた部分を、現代的表現に置き換えたにすぎないかも知れないのです。ですから、骨相学的脳機能局在論というのを、我々の反省材料としていつも意識するようにしています。後でお話するように、現在の脳の科学は基本的には機能局在論に立っていますので、それを全体論的にもう一度再構成することができるかというのが大問題で、将来の課題かも知れません。

「ものを見る」ということ

さて少し抽象的な話が長くなりました。具体的なことを考えないと、たぶん局在論だ何だと言ってもピンとこないと思いますので、まず「ものを見る」過程を少し踏み込んで考えてみます。「ものを見る」ということが、どのように脳の中でできるのかというのは（つまり視覚のメカニズムは）、非常に良く分かっています。

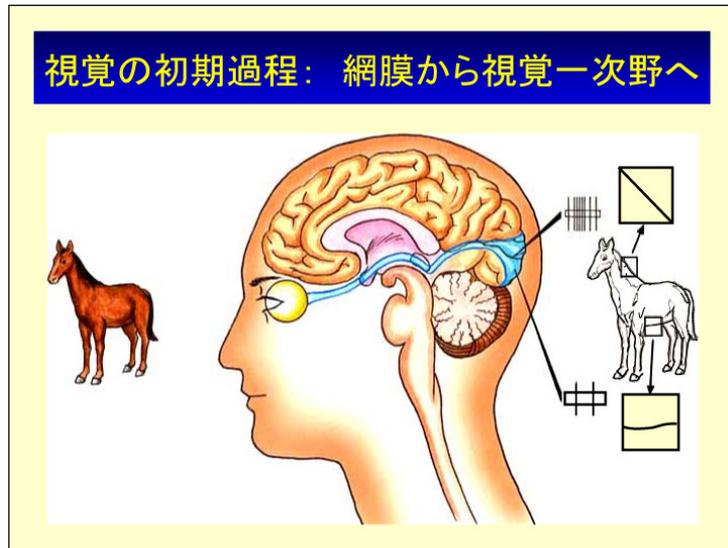


図 - 6

〈図-6〉「ものを見る」時は、外の世界からの光の信号がまず目の網膜に入ってきます。それが網膜で電気信号に変えられて、この電気信号が視神経を伝わって脳本体に送られ、大脳皮質の中で後頭葉にある一番初めの視覚中枢にまず到達します。この一番初めの視覚中枢を視覚一次野と呼びます。そこで信号がいろいろに解析されます。

どのような解析がなされるかということ、例えば、輪郭の抽出をやっていました。ものの形を認識するには、輪郭がまず重要な手掛かりであることは納得していただけたと思います。

ただ、今日ここで覚えておいていただきたいのは、輪郭の抽出が重要ということではなくて、この視覚一次野をはじめとする脳の視覚領野がやっているのは、基本的には目から入ってきた画像情報から様々な特性を抽出して、圧縮して、頭の中で再構成しているということです。

つまり、ものを見るというのは、外にある世界を、カメラのように（もしくはビデオカメラのように）写し撮って脳の中で再現する過程では「ない」、ということです。そうではなく、外の世界から例えば輪郭のような手がかりを得て、それをもとに脳の中で世界の見え方を再構成する。私たちが見ている視覚世界というのは、全部そういう再構成された産物なのだということです。

それはいろいろなところから分かるのです。例えばそもそも私たちには世の中が三次元的に見えるということも考えてみればおかしな話です。私たちの目に入ってくる画像というのは網膜に入る訳ですから、そもそも二次元的なものです。そもそも目に入ってくる時には二次元なのに、私たちは決して二次元のものを見るのではなく、三次元的なものを見ます。それは脳が再構成しているからです。

典型的な例をもう一つだけご覧に入れようと思ってこんなデモ用のスライドを持ってきました。

THE PSYCHONOMIC SOCIETY 提供

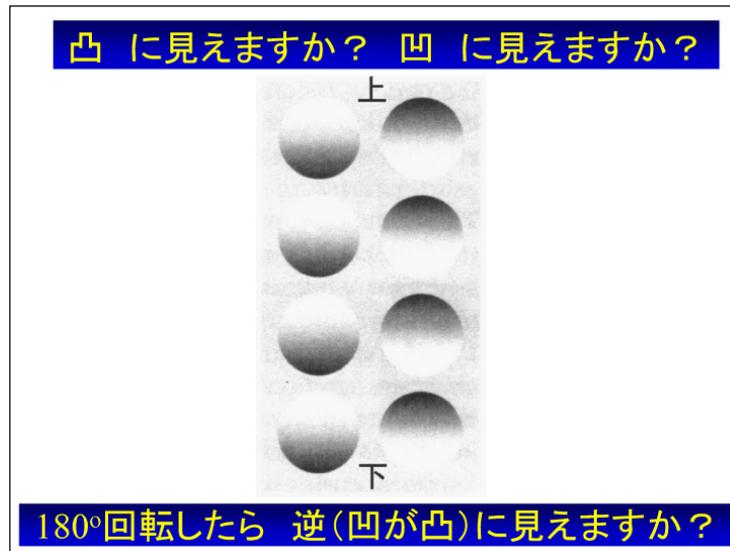


図 - 7

〈図-7〉ご覧のように丸い形のものがあります。左の列と右の列がありますが、良く見ていただくと、左の列の丸は皆さんの方にお椀のように出っ張って見えませんか？（つまり凸面に見えませんか？）

一方、右の列の丸はお椀を逆に向けたように、つまり皆さんと反対の方に引っ込んでいるように（つまり凹面に）見えませんか？ 左の列は出っ張っていて、右の列は引っ込んでいる。そのように見えた方は手を挙げていただけますか。なるほど、ほとんどの方がそのように見えたようですね。

さてそこで、問題は左の列の丸い図形が出っ張って見えるという性質は、このもの自身の性質であるか？ と問うてみましょう。つまり視覚が、外の世界のものをそのまま写し取るのであれば、左の列の丸い図形が出っ張っているというのは、このもの自身の性質であるということになるはずですが。

ここで、この画像を180度回転して上下をひっくり返してみましよう。その時に、出っ張って見えていた丸い図形がどう見えるかを、じっと観察していて欲しいのです。それでは図-7を180度回転させて見て下さい。さて、もともと出っ張っていた丸い図形が右にきました。出っ張っていますか？ 引っ込んで見えるでしょう？ 逆に、先ほど右側にあった丸い図形は引っ込んでいたはずですが、出っ張って見えるでしょう？

もう一度やって見て下さい。左が出っ張っています。右が引っ込んでいます。どこかでひっくり返る訳ですが、どこでひっくり返るかもじっと見ていて下さい。

さてここまでくれば結論は明らかで、出っ張っているとか、引っ込んでいるというのはものの性質ではない（スライド上に描かれている図形の性質ではない）。私たちにどう見えるかということに過ぎない。

今のデモンストレーションは更にそれ以上のことを教えてくれます。なぜ左の列の丸い図形は出っ張って（凸面に）見えるのか？ これは少し観察すれば明らかでしょう。左が出っ

張って見える理由は、丸い図形の下側が暗いからなのです。下側が暗くて、上側が明るい。逆に右の列の丸い図形が引っ込んで見える理由は、上側が暗くて、下側が明るい。だから、180度回転すると、先ほどのように、凸凹が逆になります。

更にもう一步踏み込んでみましょう。ではなぜ、丸い図形の下側が暗くて、上側が明るいと出っ張って見えるのか？ これも少し考えると答えは明らかで、推論される理由は一つしかない：我々は——もっと正確に言えば、我々の脳は——光は上からくるものだと思っている。別に我々はそうと意識して考えている訳ではありませんが、網膜からくる外からの画像に対して、「光は上からくる」という仮説——自然科学という仮説のことではなく、いわば脳の神経回路のハードウェアとしての性質を論理化したのですが、取りあえずこう表現しておきます——を付加して、画像の意味を解釈している（つまり対象物が凸か凹かという3次元的性質を推定している）のです。

もちろん私が「解釈している」と言ったのは、意識的にやっているという意味ではありません。私の話の後の方で、「我々は実は自分のことを知らない。意識して行っていることは、我々の脳がやっていることのほんの一部だ」という話をします。今の面が凸凹に見えるのも一例で、我々は自分たちの脳が行っている推論過程を意識できない。しかし明らかに、我々の脳は、ものを見る際に、光が上からくるという仮説を使っている。

では更にもう一步踏み込んで、この「光は上からくる」という仮説はどのようにして私たちの脳に組み込まれたのか、考えてみましょう。おそらくこの仮説は、我々が（我々の祖先が）地球の上で進化してきた、ということに由来している。もっと違う世界では、例えば地面自体が（苔か放射性同位元素で？）光っているような世界では、「光は上からくる」という仮説は成り立ちません。ですから我々は、そういう進化の過程で得た世界解釈の手がかりを使って、脳の中で画像を再構成・推定して、不足している意味を賦加することによってものを見る。つまりものが見えるというのは、そういう再構成の結果であるということをお話ししたかった訳です。

では実際に脳はそれをどうやってやるのかということに関しては、少し話が細かくなりますので急ぎます。脳が世界を解釈するためには、視覚属性——色だとか、形だとか、動きだとかいうものですが——、そういう属性ごとに世界の内部表現と呼ばれるものを作って解釈します。

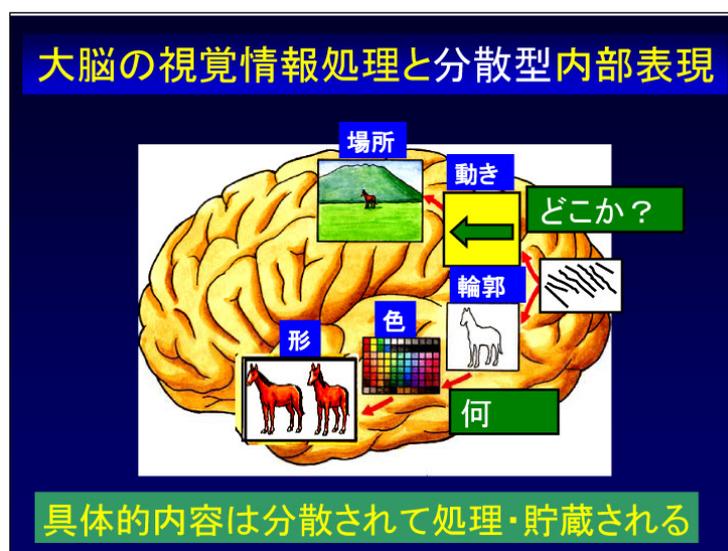


図 - 8

〈図－8〉一つだけ例を持ってきましたが、脳の中で色に関する内部表現を作っている部分がたまたま事故による障害で損傷を受けると、左半球側が損傷した場合には、視野の右半分の色が全然ないような、変わった世界が見えるはずですが。遺伝的に網膜レベルで色覚に障害がある場合は、視野の全体で色覚異常が出ますから、視野の半分だけに色覚異常が出るケースがあるということは、脳の中で色に関する内部表現を作っている部位があるということを示している訳です。

結論ですが、色だとか、輪郭だとか、形だとか、動きだとか、場所だとか、そういういろいろな視覚属性ごとに、脳の中にはバラバラに、別々の内部表現というのが作られている。それを分散型内部表現と言いますが、それが我々の世界解釈を助けてくれる。それらが統合されて、形に基づいた対象物の内部表現ができるところが、先ほど私が言った「見る」と「こころの眼で見る」の、ちょうど交わる場所になります。

記憶のシステム—陳述記憶と手続き記憶—

すでにお話ししましたように、「見る」ことにおいても、網膜から入ってくる画像だけが私達の知覚を構成する素材ではなくて、ある意味で脳に記憶として蓄えられているさまざまな仮説を使って世界を再構成する作業だったわけです。「こころの眼で見る」においては、網膜から入ってくる画像がない訳ですから、なおさら記憶に頼る部分が多いことは明らかです。ですからここで記憶の問題を扱わなければいけないことになります。記憶の話は始めるときりがありませんが、今日は最も重要なことだけをお話しします。いわゆるテークホーム・メッセージ（講演が終わった時に覚えて家に帰ってもらいたい最重要のメッセージという意味）ですが、最低限私が言わなくてはならないことは、まず「記憶には二つの種類がある」ということです。

2つの記憶システム

- **陳述記憶**
Declarative Memory
健忘で失われやすい： 大脳側頭葉、海馬
- **手続記憶**
Procedural Memory
健忘で失われにくい： 大脳基底核、小脳

図 - 9

〈図-9〉つまり私たちは単に「記憶」と言っていますが、実は記憶のシステム（正確には、長期記憶を支える脳のシステム）というのは、二つの非常に異なったシステムからできています。一つは「陳述記憶」と呼ばれる記憶のシステムであり、もう一つが「手続き記憶」と呼ばれる記憶のシステムです。これらのシステムは基本的に独立して別々に働きます。

例えばこの陳述記憶というのは、だいたい日常生活で記憶と言った時に思い浮かべるような、いつ、どこで、誰が、どうしたというような、そういうタイプの記憶です。つまりいつ、どこで、誰が、どうした、と述べられますから、陳述記憶と呼ぶ訳です。このタイプの記憶は、大脳の側頭葉とか、海馬とか、そういうところが障害されると割合に失われやすいのです。

それに比べて手続き記憶というのは、もう少し違う脳の場所で営まれています。大脳基底核とか、小脳という部位です。そして、このタイプの記憶は失われにくいのです。健忘の場合でも、手続き記憶をもっと上手く使えばそんなに日常生活は困らない。手続き記憶のシステムというのは基本的に体で覚えるシステムで、繰り返し、繰り返しやることによって覚えるので、これを上手く使うことはリハビリ等でも重要ではないかと思います。

健忘のテストに興味のある方がいらっしゃると思います。陳述記憶をテストする方法は沢山あるのですが、今日は典型的なものを一つだけ持ってきました。

海馬損傷患者 RB 氏の ReyOstereidテスト結果

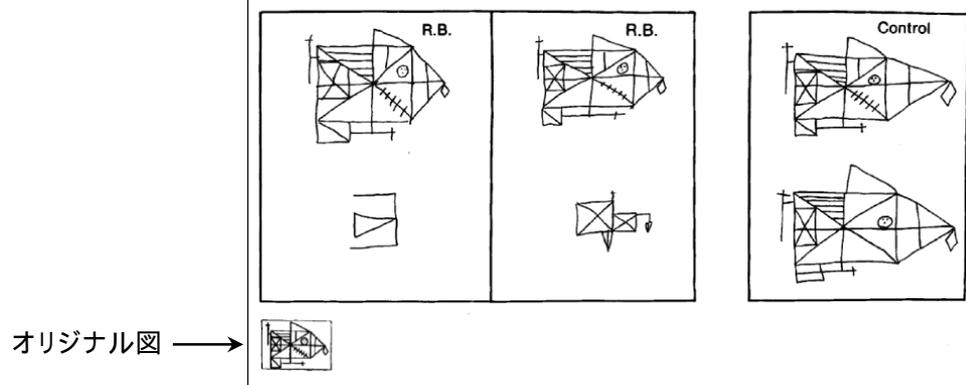


図 - 10

〈図-10〉これは Rey-Osterrieth の図形というものです。左下のオリジナルの絵を見て覚えて下さい、と被験者の方に申します。もちろん言葉を使って陳述を要求するテストもありますが、言葉を使わなくてもできるテストの例とお考え下さい。

本当は「覚えて下さい」と言った後に、20分ぐらい無駄話をして、それから「思い出して下さい」と言うのです。即座にテストをすると、今問題にしている長期記憶ではなく短期記憶を使ってもできてしまうので、いろいろな無駄話をして短期記憶では答えられないような状況を作ってから回答してもらう訳です。

さて、「図形を思い出して下さい」という指示が出て、どれぐらい思い出せるか、がテスト結果になります。このスライドに実際にやった例があります。RBさんという患者さん——脳の一部、海馬という場所に損傷がある患者さん——の場合です。スライドの上側は、先ほどのオリジナルの絵を見ながら描いた時の絵で、横にお手本を見て描けばこんなにちゃんと描けます。視覚障害や手の運動の障害がないことも同時に証明されています。スライドの下側は、思い出して下さい、と言った時に、描いてもらったものです。ほとんど描けていません。RBさんは脳卒中で倒れたのですが、すぐに調べた時には全然描けない。3カ月ぐらい経って、少し描けるようになった時の結果が真ん中のパネルですが、やはり重篤な記憶障害を示しています。RBさんと年齢が同じぐらい——50歳代ですが——記憶障害のない人（正常被験者 age matched control と言うのですが）を集めてこのテストをやってもらうと、このスライドの右のパネルに示されているくらい描けます。つまり左側のRBさんの絵の上段2枚はオリジナルの絵を見て描いた時の絵で、2枚共下の図は思い出して描いた絵です。

多分ここまでできてこれをご覧になった方は、「とんでもない。私はこんなに思い出せない」とおっしゃるのではないかと思います（笑）。そのとおりです。今ここで思い出してこんなに描けはしない、と思われるでしょうが、そのとおり描けない方が普通です。私の話には1カ所トリックがありました。実は私は正確にテストの手続きを再現しませんでした。つまりこのテストでは、まずオリジナルの絵を見ながら書き写す、という手順が重要なのですが、この会場ではそれを省略しました。

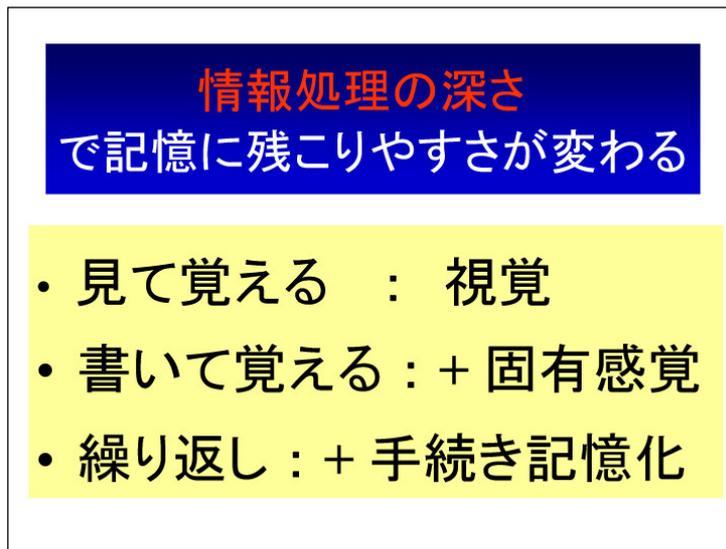


図 - 11

〈図-11〉そのかわりに、見て覚えて下さい、と先ほどは申しました。しかし、見て覚えるのは、オリジナルの絵を見ながら描き写す作業とは似て非なる作業です。実は、見て覚えるというやり方では、私たちの脳で営まれる情報処理の深さが浅く、あまり深くは記憶に刻み込まれないのです。それに対して描いて覚えるというのは、視覚だけではなく、固有感覚（手の動きに伴って発生する関節位置や筋肉の長さの変化といった意識に上らない感覚情報のこと）なども動員して行う作業です。つまり描いて覚える場合には、視覚プラス固有感覚で、私たちの脳で営まれる情報処理の深さが深くなり、記憶にも深く刻み込まれることになります。

さらに記憶に深く刻み込むためには、繰り返すという手があります。1回描いて覚えるだけではなく、繰り返し描いてやる。つまり手続記憶化するのです。繰り返すことによって、通常の陳述記憶の範囲を超えて、手続記憶に転化する。単に目で見ただけなのか、描いて覚えるのか、というのは、ちょっとした違いのように思いますが、記憶の形成はこういう違いに大きな影響を受けます。

今日は時間の関係もあって、ではどうして情報処理の深さと記憶の残りやすさというのには関係があるのか、というところまで踏み込みませんが、記憶にはそういう奥の深い問題があることは覚えておいていただく価値があると思います。

順向健忘と逆向健忘

記憶に関してのテークホーム・メッセージということを先ほど申しましたが、陳述記憶と手続記憶の2種類があるということ以外に、もう一つテークホーム・メッセージに値することがあります。それは忘れるということにもいろいろな種類があり、例えば順向健忘と逆向健忘という区別があります。



図 - 12

〈図-12〉 順向健忘と言うのは、新しいことが覚えられない、というものです。一方、逆向健忘と言うのは、昔覚えていたことを思い出すことができない、ということです。逆向健忘では、昔はしっかり覚えていたはずのものが——脳の中からなくなってしまう訳ではないのだけれども——思い出せない。

この2つも基本的には、脳の違う場所の障害で起こることが判っています。新しい記憶が作れないのは、大脳辺縁系や海馬と呼ばれる部位の障害に関係が深く、一方、逆向健忘は大脳皮質連合野の障害に関係が深い。通常は順向健忘が起こりやすく、逆向健忘はあまり起こらない。それは一方で新しい記憶を作るのに海馬が重要だということを意味しますが、他方、海馬の中に長期記憶情報が蓄えられるのではない、ということも意味しています。なぜそのようなことが判るかといえば、様々な理由で海馬に障害を受けた人は、新しいことは覚えにくいのですが、基本的に昔のことは忘れないのです。ですからもし海馬の中に長期記憶情報が入っているとすれば、昔覚えた記憶もなくなってしまうはずなのですが、そんなことは起こらない。だから脳の記憶システムというのはなかなか複雑で、新しい記憶情報を作る時には海馬を中心としたシステムが必要だが、記憶情報自身は海馬の中には蓄えられない。

記憶と連想のメカニズム

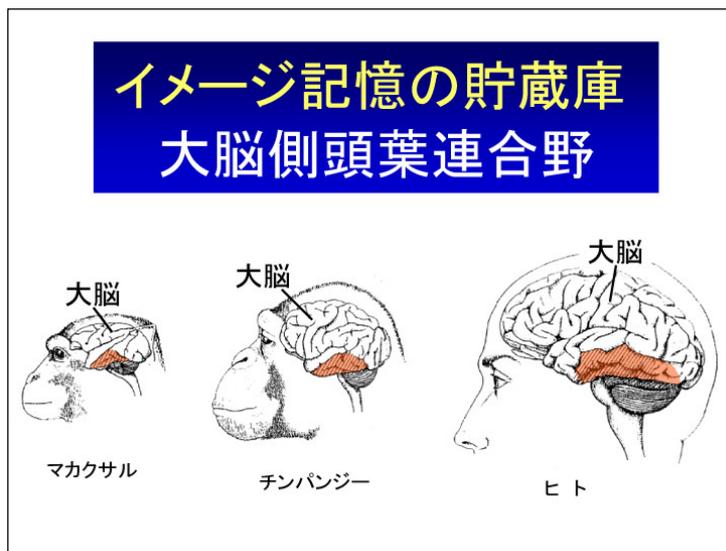


図 - 13

〈図-13〉では記憶情報はどこに蓄えられるのかと言うと、大脳皮質の連合野です。たいていの場合、側頭葉の連合野というところに最終的には記憶は蓄えられます。これがどのようにして起こるかに関しては、私たちの研究で詳しく判っていますが、今日は時間ありませんので簡単にお話しします。

人間の記憶というのは、基本的には「連想」というものが基礎です。何か手掛かりがあるとそれに関連したことを芋づる式に思い出す。その辺がフォン・ノイマン型のコンピューター（基本的に現在の全てのコンピュータ）と一番違うところです。もともと我々の脳は、ハードウェアからして連想を基礎にするようにできています。では実際どのようにできているのか。それについての私たちの研究をこれから少しお話しします。



図 - 14

〈図-14〉連想の一番単純な形として、二つのものが結び付いているということ覚えてもらうことにします。ここにいろいろな図形があります。これらの図形のうち、どれとどれ

が組になっている（対になっている）かを覚えてもらいます。これは人間にやってもらっても良いですが（実際、WMS-R という標準的な健忘のテストに入っています）、サルにやってもらうことも可能です。サルにやってもらう時はどうするかというと、1つの図形を見せて、この図形の相手方はどんな図形だったかと聞きます。

実際にどのようにするかは、のぞみ君という僕のパートナーが仕事をするところをパネルでご紹介します。



図 - 15

〈図-15〉これがのぞみ君に新しく覚えてもらう図形の対です。異なった図形が対になっていることを覚えて欲しい訳です。のぞみ君はテレビ画面を見ています。初めに図形対の一方の図形（手掛かり図形と呼びます）が提示されます。次に2枚図形が現れますが、二つのうちのどちらかが先ほどの手掛かり図形と対になっている図形か、が問題です。テレビ画面に銀行のATMと同じタッチセンサーが貼ってあるので、のぞみ君がどこを触ったか、仕事を管理しているコンピュータが判定します。正解だとジュースが出ます。

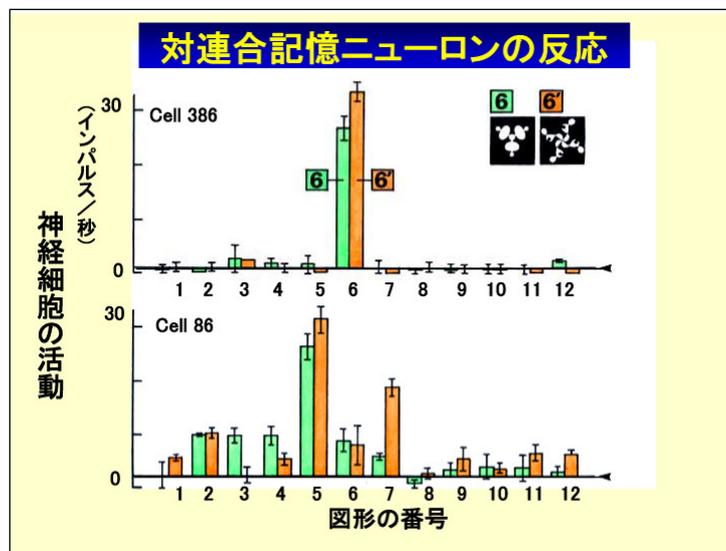


図 - 16

〈図-16〉 こうしてどの図形とどの図形が対になっているか、を覚えたサルはどの
 ようなことが起こっているかを調べることができます。結論を言えば、ある図形とある図形
 が対になっていることをコードする——擬人的に言えば、記憶する——神経細胞（ニューロ
 ン Neuron）が、記憶の形成とともに、大脳の側頭葉の中にできてきます。具体的には、例
 えば 24 枚の図形が 2 枚ずつ対になっているのですが、そのうち図形の 6 と 6 や 5 と 5 と
 という対になっている絵だけに選択的に反応するような、そういうニューロンができてくる
 （記憶ニューロンと呼びます）。それが連想のもとになっているということが研究の結果分
 かってきました。

もう一つ重要なのは、そういう記憶ニューロンが、どのように脳の中に分布しているか、
 という問いです。これこそまさに局在論と全体論の検証そのもので、記憶ニューロンが、脳
 全体にばらまかれているのか、それとも特定の部位に局在しているのか、ということです。
 結論から申しますと、非常に局在しています。

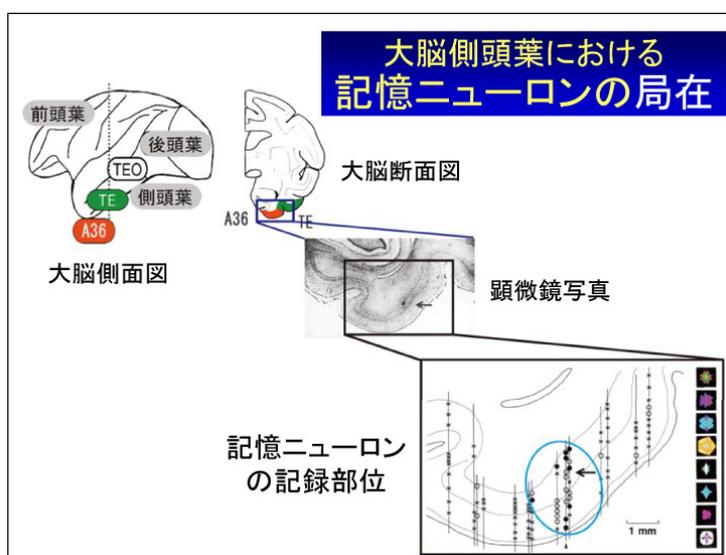


図 - 17

〈図-17〉 これはサルの脳の 3 次元描画です。前頭葉が前で、側頭葉、後頭葉が後ろです。
 この点線の部位で切った断面図が右側に示してありまして、側頭葉は緑色部分周辺ですが、
 その一部を拡大した顕微鏡写真です。

この部分をさらに拡大すると、先ほどお話しした連想記憶をコードする記憶ニューロンが、
 水色の○印の中に集まっています。1mm のスケールを記しましたが、大体 1mm ぐらいの
 範囲に集まっています。ですから記憶というのは、記憶の種類ごとに大脳皮質の狭いところ
 に局在してできるようです。

最初に申しましたが、現在の脳の科学は、脳は局在論的にできていると考えます。連想記
 憶ニューロンの局在は、そうした考え方に強い支持を与えています。全体に瀰漫的に（物理
 系の先生方にはホログラフィックにと言うとピンとくるかも知れませんが）できているもの
 ではない、ということです。そうではなく離散的にできている。残る問題はそういう離散的
 にできているものが、全体としてどうやって共同して働くか。これは非常に難しい問題です。

今までのところを要約すると、連想のメカニズムというのは、何と何が結び付いているか

という連想の最小単位を共有する記憶ニューロン同士が相互に結び付いて連想の核を成している。そして目の網膜由来の情報がこの記憶ニューロンのネットワークに到達すると、網膜由来の情報に直接に結びついたニューロン一つをまず活性化し、それが芋づる式にその周辺のニューロンに、記憶ニューロンを介して広がって行く。連想というのはそうやって広がって行く。

一つのニューロンが活動すると、それと記憶ニューロンを介して結び合わされているニューロンは、次々と自動的に連想、活性化されるようにできています。ですから最初のニューロンを活性化させるのは、目の網膜からの入力でも良いが、別に目からこなくても、別の大脳連合野から入力がきても同じことが起こる訳です。それが「内部表現のボトムアップ入力による活性化でも、トップダウン入力による活性化でも、同じことが起こる」と初めに申し上げたことの細胞レベル・神経回路レベルの説明になります。

記憶の操作信号をとらえる

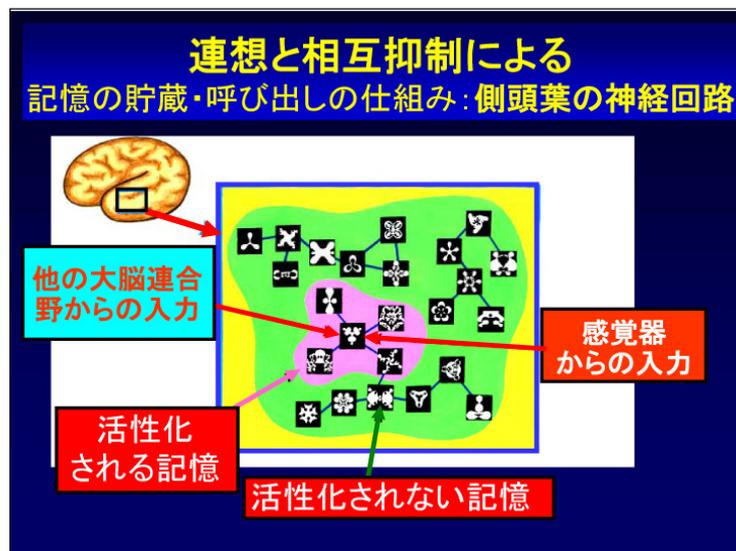


図 - 18

〈図-18〉では、他の大脳連合野からの入力によって記憶ニューロンが活性化される、というのは、もう少し具体的にはどういうことでしょうか。これはいろいろな例があります。海馬からの入力もあるし、前頭葉からの入力もあります。つまり大脳側頭葉の内部表現——すなわち記憶ニューロンのネットワーク——が活性化されるやり方というのは沢山あるのです。ですから、ものを思い出すにはいろいろなやり方がある、いろいろな記憶術・記憶方策が可能な所以です。逆に、通常ものが思い出せなくなるのは、対象を表現している記憶ニューロン群に検索信号が到達できなくなるからです。この記憶ニューロンを活性化する信号のことを、記憶の操作信号と呼びましょう。

私達の研究に基づいて、前頭葉からの操作信号についてお話しします。脳の活動を画像化する機能画像法（イメージングと呼びます）という方法があります。過去15年くらいの間に急速に発達したテクノロジーです。その方法を使って、実際にものを思い出そうとする時の記憶操作信号関連部位を画像化できます。

詳細は後回しにして、ここでの一番重要なメッセージを先に申しますと、先ほどの一般論で少し申しましたが、記憶を探す信号、記憶を操作する、もしくは記憶を想起しようとする信号は、意識に上ることが少ない。人間は自分のことは自分が一番よく知っていると思いたがるのですが、実は必ずしもそうではない。実際、自分の記憶を検索する信号が出ているというのは、意識の上にはほとんど上らないのです。

つまり記憶の想起信号、操作信号というのは、あまり意識の上には上ってこない。それを典型的に表わすのは、メタ記憶という現象です。メタ記憶というのは、自分の記憶に関する認識、自分自身の記憶に関して自分が何を知っているか、ということです。メタ記憶は機能的には、直感的な記憶貯蔵庫の管理システムのようなものです。例えば、自分が何かを思い出せないが、その何かは自分の記憶の貯蔵庫にあるかないか。日常的な経験に即していえば、自分が思い出せないことについても、それが自分の記憶の貯蔵庫にあるかないか、は分かることが多い。或る程度の年齢になると、思い出せなかったことが後になって突然出てくるとか、これは絶対知っているという確信があるのに思い出せない、とかいうのは、日常的に経験があると思います。しかし、そういう現象を厳密に研究するためには、実験室で繰り返し再現できる厳密な課題が必要です。

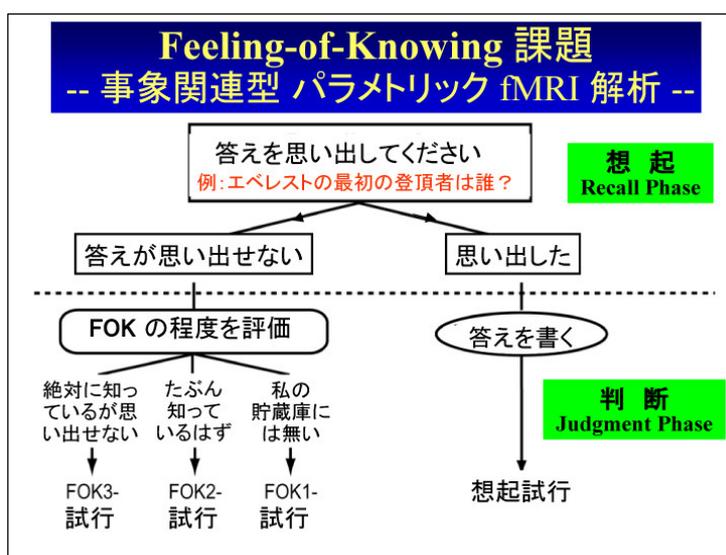


図 - 19

〈図-19〉私たちが開発したのは、フィーリング・オブ・ノーイング Feeling-Of-Knowing, FOK という課題です。FOK というのは、自分が知っている感じがするという事です。厳密に思い出すことはできないが、知っている感じがするという現象を、厳密に実験室の中で研究するための課題です。

機能画像法（イメージング）の研究というのは学生さんを被験者にしてやることが多いのですが、ここでは三つのカテゴリーの質問を用意します。例えばアメリカ合衆国の首都はどこですかと聞きます。これは簡単です。すぐにワシントン D.C.と答えが返ってきます。ケニアの首都はどこですかと聞くと、これは学生さんでもパッと思い出す人と、考えこむ人がいますが、たいていケニアの首都は知っています。知っているが、思い出せないということはあります。そういう時は、答えは思い出せない。しかし答えを知っているという感じはある。

ということはフィーリング・オブ・ノーイング FOK はある。一方、ガイアナの首都はどこですかと聞かれた時には、多分答えを思い出さないし、自分は知らないという確信があることが多い（最近ガイアナの大統領が来日しましたので変わったかもしれませんが）。つまりフィーリング・オブ・ノーイング FOK がない。ですから答え自身を知らなくても、それが自分の記憶の貯蔵庫の中にあるかどうか分かるというのは、実は人間にとっては非常にやさしい、普遍的な現象なのです。

これをコンピューターにやらせると非常に難しい。普通のコンピューターの検索というのは、記憶を検索して行ってターゲットに当たればあった、当たらなければなかったというのが一番基本的なアルゴリズムです。ターゲットに到達しないのに、それが自分の記憶の中にあるという判断はありえないのです。ところが人間はそういうことが得意なのです。

実際に機能画像法で研究する時には、例えば先ほどの、ケニアの首都はどこですか、というのに似た質問を沢山します。エベレストの最初の登頂者は誰ですか。それから日本人相手では駄目ですが、外国人を被験者にしてやる時は、例えばホンダの創立者は誰ですか、もしくはソニーの創立者は誰ですかなど、いろいろな有名な会社の創立者の名前を聞いたりすると、ちょうど良い質問になることがあります。

そうするとその答えが思い出せることもあるし、思い出せないこともある。思い出した時は良いのですが、思い出せなかった時には、先ほどのフィーリング・オブ・ノーイング、つまり自分がどのくらい知っている感じがするかという程度を評価してもらいます。絶対知っているが、思い出せないというのが3点、たぶん知っているはずというのが2点、絶対知らないというのが1点。この3段階で評価してもらいます。

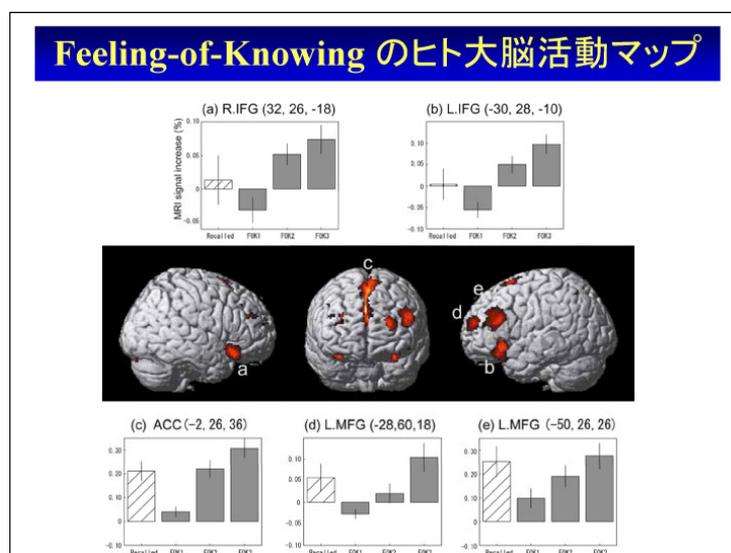


図 - 20

〈図-20〉 その点数に応じて、脳の活動にグレードを付けて、点数が多ければ多いほど活動するという脳の部位を探してることができます。機能画像法を使って、3点を付けた時つまり絶対知っているという時には活発に活動する、1点を付けた時つまり絶対知らないと言った時にはあまり活動しない、そういう脳の部位を探してきます。そうすると予想どおり、前頭葉のいくつかの場所が同定されました。自分が知っているかどうかということを検索す

る時には、これらの部位が活発に働くのです。これは検索信号が前頭葉から出て側頭葉に行くとの仮説を支持する事実の1つとなります。

ただし FOK のイメージングの結果を見ても明らかなように、前頭葉全体が働くわけではありません。前頭葉の中でもほんの一部、複数のパッチ状の部分しか働かない。この複数のパッチ状に活動している部分が、一体どのようにお互いに連携して働くのか、どんな情報処理をやっているのか、ということはまだ良く分かっていません。

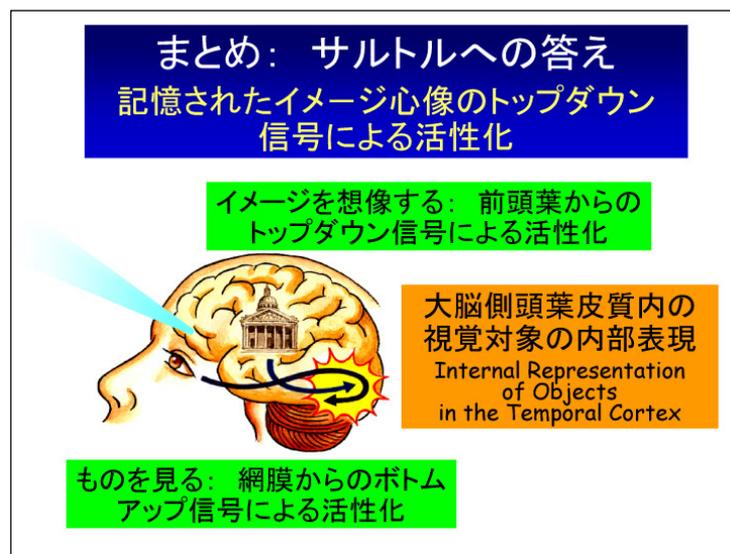


図 - 21

〈図-21〉しかしとりあえず最初のサルトルへの答えを要約すると、視覚記憶では——これはおそらく記憶一般に対しても正しいのですが——大脳側頭葉の中に記憶ニューロンの連想ネットワークがつくる内部表現というものが存在する。「見る」と「こころの眼で見る」のは、この内部表現を活性化するやり方が違う。ものを「見る」時には、網膜に由来するボトムアップ信号で活性化するし、「こころの眼で見る」という時には、前頭葉に由来するトップダウン信号によって活性化する。ですから「こころ」というのは、こうした我々の脳の大域的活動全体から生まれるものだ、と言えるでしょう。側頭葉の連想ネットワークモジュール単独でも、前頭葉のトップダウン信号生成モジュール単独でも、こころは生まれません。局在論的に把握される機能モジュールの大域的相互作用によってこそ「こころ」が生まれる、というのが現代脳科学の考え方です。

まとめ



図 - 22

〈図-22〉少し駆け足になりましたがまとめますと、記憶に関して言えば大脳側頭葉に基本的なデータベースがあって、そこに我々が外の世界を解釈する時に使う、もしくは何かを思い出す時に使うような情報が詰まっている。そして側頭葉の内側に海馬があって、新しい記憶を作る時にはその海馬が重要です。通常、自発的にものを思い出す時には、海馬と大脳側頭葉連合野との相互作用が重要ですが、意図的にものを思い出す時は——意図的と言っても、先ほど説明しましたように検索信号自身の脳内の往来は我々はコントロールできないのですが——この前頭葉と側頭葉との間の情報の交換が重要です。

こうした複雑な分散型のシステム、つまり非常に局在しているのだけれど空間的には離散的であり、お互いに密接に情報交換・相互作用するような、そういう構造のシステムが脳なのです。「こころの目で見ると」という例で典型的にお話ししましたが、こうしたシステムから「こころの世界」が生まれてくると私は考えています。

今日は話題を絞ってお話ししました。「こころの世界」のうちでも Mind に相当する働きは、おそらく基本的に同じ構造として理解できるだろうと思っています。Mind に含まれにくいもっと違うカテゴリーの「こころ」について、今日お話ししたような私の考え方がどこまで拡張できるか、現在の時点では不明ですが、近い将来に具体的解明の糸口が掴めるのではないかと考えています。少なくとも、現在の脳科学の方法で原理的に解明できない謎が「こころ」に含まれていると考えるべき理由はないと思っています。

本日はご静聴ありがとうございました。

■このレポートは本田財団のホームページに掲載されております。

講演録を私的以外に使用される場合は、事前に当財団の許可を得てください。

発 行 者 伴 俊 夫

発 行 所 **財団法人本田財団**

104-0028 東京都中央区八重洲2-6-20ホンダ八重洲ビル

Tel.03-3274-5125 Fax.03-3274-5103

<http://www.hondafoundation.jp>