

脳のふしぎ、脳のしくみ

理化学研究所総合研究センター特別顧問

伊藤正男氏

電気通信大学教授

高柳雄一氏



高柳 みなさん、こんにちは。1年ぶりに、また柏崎にやってきました。サイエンスレクチャーの時間ですね。わたしたちみんなの体の中であって、でも、そのはたらきがよくわかっていない、体の中でいちばん未知の部分である「脳」が今日のテーマです。脳の研究で世界的に有名で、日本の脳研究のリーダーである伊藤正男先生にお話をうかがっていきましょう。まず、伊藤先生はどのようにして脳の研究をしようと決めたのですか。

伊藤 「脳はとても不思議だなあ」と思ったからです。そのきっかけは、医学部の学生のときでした。大学の標本室をのぞいていて、たまたま夏目漱石（なつめそうせき）の脳を見つけたのです。

高柳 夏目漱石は、『吾輩（わがはい）は猫である』や『坊っちゃん』など、すばらしい本をたくさん残した大文豪ですね。

伊藤 この脳からあの作品が全部出てきたのかと考えると、とても不思議に感じました。それが、わたしが脳の研究を始めたきっかけです。



■いろいろな動物の脳を比べてみよう

高柳 脳は、みなさんの頭の中にもありますが、いったいどういう形をしているのでしょうか。脳は、ヒトだけではなく、どんな動物にもあるんですよ。

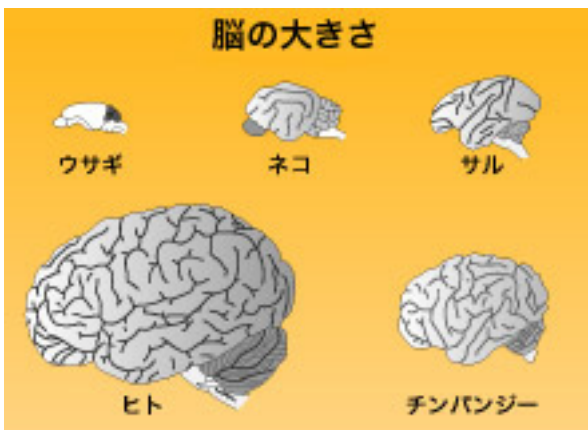
伊藤 背骨をもっている脊椎（せきつい）動物には、みんな脳があります。脊椎動物は、サカナ、カエル、ヘビ、恐竜、トリ、さらに、ほ乳類のネコ、イヌ、ウマ、サル、チンパンジー、そしてヒトと進化してきました。脊椎動物の脳は、基本的にはみんな同じ構造をしています。

高柳 でも、大きさはずいぶん違ってきますね。複

雑さも違うようです。

伊藤 チンパンジーの脳の大きさは、ヒトの脳の3分の1。サルの脳は、ヒトの脳の5分の1くらいです。ヒトの脳は圧倒的に大きい。

高柳 すばらしい能力をもっているヒトは、脳も大きいのですね。でも、自然界にはもっと大きな脳をもつ動物がいそうですね。



伊藤 クジラとゾウの脳は、とても大きい。ゾウの脳は、ヒトの脳の倍以上あります。しかし、大きいからといって、頭がいいというわけではありません。体につられて脳も大きくなった、といったほうが正しいかもしれない。

自然界にはネズミのような体の小さな動物から、ゾウのような体の大きな動物までいろいろいます。脳の大きさもいろいろです。でも、脳の重さを体重の3分の2乗で割ると、だいたいみんな同じになります。

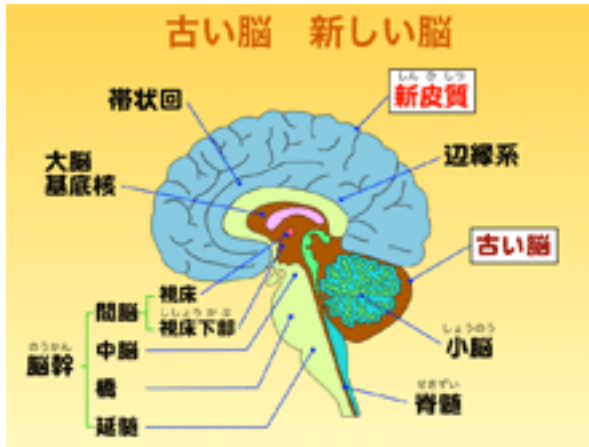
高柳 体重の3分の2乗で割るのは、脳の重さを

比べやすいように、体の大きさをそろえてあげるのですね。

伊藤 ゴウの脳は大きくて重いですが、体重が3トンもありますから、体重の3分の2乗で割ると、ネズミやネコの脳と同じくらいになってしまう。このようにしてみると、ヒトの脳は、ほかの動物に比べてとても大きいことがわかります。

高柳 ヒトの脳は、どのくらいの重さがあるのですか。

伊藤 大人の脳は、1300グラムから1400グラムくらいです。



■古い脳と新しい脳

高柳 脳は、どういう構造になっているのでしょうか。

伊藤 マツタケのような形をしています。かさは2つあって、大きなかさが「大脳（だいのう）」、小さなかさが「小脳（しょうのう）」、そして柄に当たる部分が「脳幹（のうかん）」です。脳幹は背骨の中を走っている、脊髄（せきずい）に続きます。

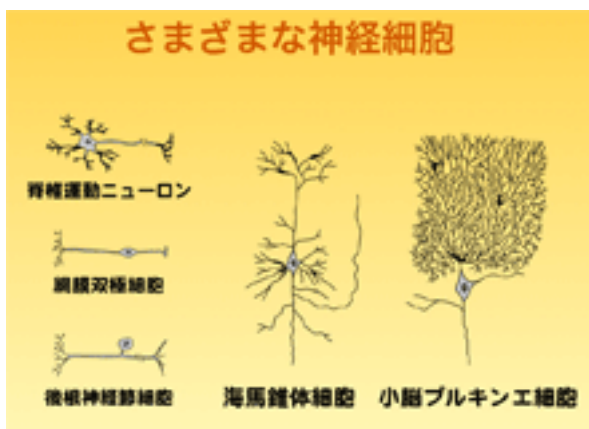
脳の構造を理解するとき、動物の進化をたどってみると、よくわかります。サカナやカエル、ヘビの脳は、脳幹と脊髄がほとんどです。脳幹と脊髄は、進化の早い段階から出てくる「古い脳」です。かつて地球上を支配した恐竜も、ほとんど古い脳だけで行動していました。

高柳 古い脳は、どんなはたらきをもっているのですか。

伊藤 一つが反射です。ひざの下をハンマーでたたくと足が上がる、という検査をしたことがあるでしょう。刺激に対してパッと反応するのが反射です。歩いたり走ったり、反射より少し複雑な運動も古い脳のはたらきです。えさをとって食べるなど、本能的な行動も古い脳で行われます。

進化が進んで、ほ乳類のネコやイヌになると、大脳に「新皮質（しんひしつ）」という部分が積み重なって大きくなります。この「新しい脳」によって、感覚や運動など複雑な情報の分析機能が出てきて、それに基づいて複雑な判断ができるようになりました。

さらに進化したサルやチンパンジー、ヒトなどの霊長類（れいちょうるい）になると、大脳の新皮質がものすごく大きくなります。特にヒトでは「連合野（れんごうや）」とよばれる部分が発達し、もっと複雑な分析や判断、行動ができるようになりました。脊椎動物の脳は、進化にともなって、新しい部分が積み重なることで大きく、複雑になってきたのです。



■脳の中身は？

高柳 わたしたちの体は全部、細胞でできていると聞いたのですが、脳も細胞でできているのですか？

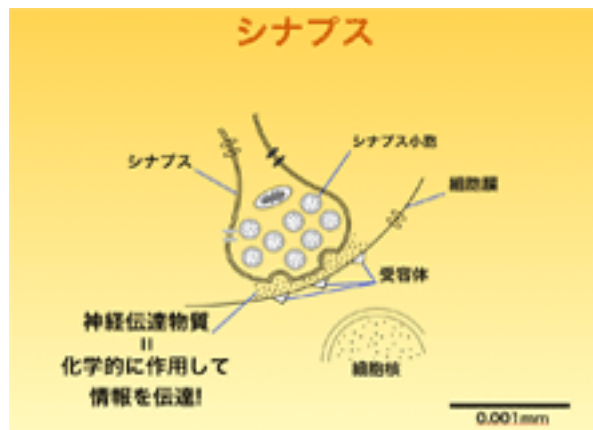
伊藤 はい。大脳だけで100億、脊髄まで全部を入れると、約1000億の細胞があるといわれています。脳の表面にはプルキンエ細胞や錐体（すいたい）細胞など、いろいろな形の細胞がびっしり並んでいます。いろいろな細胞がたくさん組み合わさった複

雑なネットワーク。それが脳の中身です。ネットワークを電気的な信号が伝わることで、脳がはたらきます。

高柳 細胞から細胞へつながる線のようなものが、脳の中にあるのですか。

伊藤 脳の細胞からは、1本の長い突起と短い突起が何本か出ています。長い突起が信号を送り出す送信線、短い突起はほかの細胞からきた信号を受けるアンテナです。

長い突起の先端は少しふくらんでいて、ほかの細胞にくっついていて、この部分を「シナプス」とよびます。信号がシナプスまでくると、次の細胞に信号が受け渡される、というしくみになっています。



高柳 シナプスでは、どのように信号を受け渡しているのでしょうか。

伊藤 信号がシナプスまでくると、「神経伝達物質」とよばれる化学物質が入っているカプセルが破れて、中身が外に出てきます。

神経伝達物質が次の細胞の表面にある「受容体(じゅようたい)」とよばれる部分と反応することで、信号が伝わります。

細胞の中は電気的な信号が伝わってきますが、次の細胞に信号を伝えるときには化学物質に変わり、次の細胞の中ではまた電気的な信号に変わって伝

わって行くのです。なぜ、こんな複雑なことをしているのでしょうか。

化学物質に変えることで、ただ信号が流れるだけではなく、ここで信号をもっと強くしよう、弱くしよう、あるいは止めてしまおう……。そういう調節ができるようになっているのです。シナプスのこのしくみのおかげで、記憶や学習といった、脳のとても大事で複雑なはたらきが生み出されるのです。くわしいことは、もう少しあとでお話しましょう。

■脳 VS コンピュータ

高柳 たくさんの細胞がネットワークをつくっていて、そこを信号が流れる。そういう話を聞くと、コンピュータを思い出します。コンピュータとわたしたちの脳は、どう違うのですか。

伊藤 脳の中は、とても複雑で細かい構造があって、精密機械のようになっています。たしかに、脳はコンピュータのように見えますね。

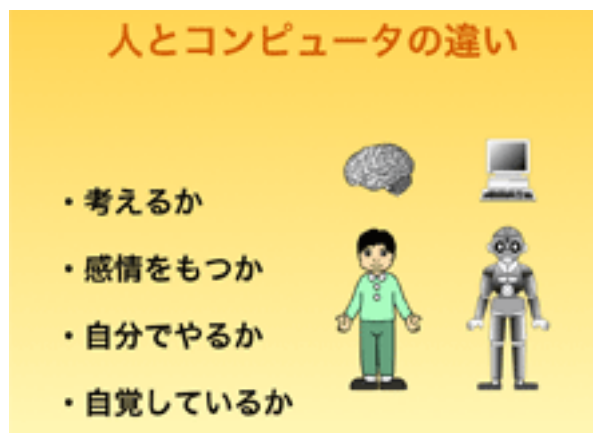
シナプスは、コンピュータの「チップ」とよばれる記憶素子のはたらきに似ています。

記憶素子は、大きなコンピュータはもちろん、みなさんが使う計算機にも入っています。記憶素子が

あるおかげで、計算したり記憶したりすることができるのです。

でもコンピュータは、まだまだ脳におよびません。コンピュータと脳を比べてみましょう。たとえば、コンピュータは物を考えるか。コンピュータもかなり考えますが、わかっていることを元にしてまだわかっていないことを考える「推論」はできません。感情をもつか。コンピュータは、うれしい、悲しいといったことを感じることはできません。今日はこれを計算しようと自分で決めてはたらいたり、自分がやっていることの意味を自覚することができるか。コンピュータはできません。ヒトの脳は、それらを全部やっているのです。

でも、これからコンピュータが進歩すれば、脳と同じことができるようになるかもしれませんね。脳のようなはたらきをもつコンピュータをつくる研究も進められています。



■脳はどのようにものを見ているの？

高柳 脳は、外からの情報どのように受け取っているのですか。

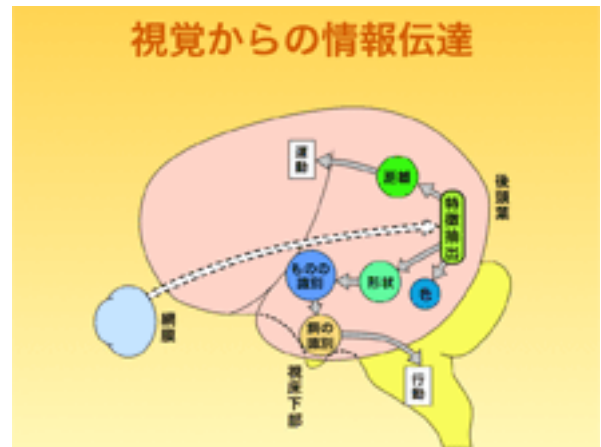
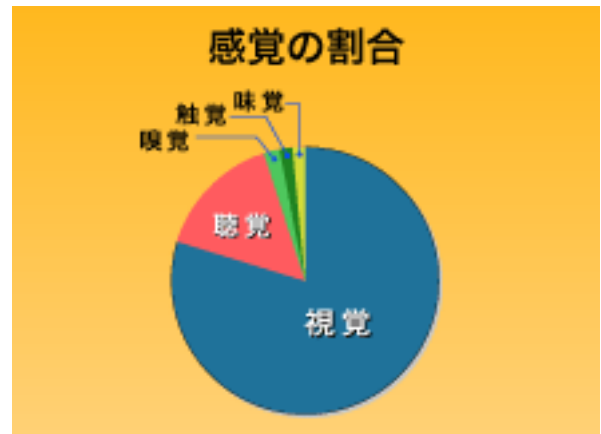
伊藤 脳は、五感の感覚器から情報を取り入れて、外界で起きていることを知ります。ヒトの場合は、目から入ってくる「視覚」の情報が圧倒的に多く、全体の4分の3を占めます。残りのほとんどは、耳から入ってくる「聴覚」の情報です。それに、においの「嗅覚（きゅうかく）」、触った感じの「触覚」、甘い、すっぱいといった「味覚」の情報が加わります。

高柳 ものを見ることが、外の世界を知るうえでとても重要なのですね。

伊藤 その通りです。では、視覚はどのようにはたらくかを簡単に説明しましょう。

まず目で何かを見ると、その情報が頭の後ろのほうに送られます。ここで見たものの特徴を取り出し、形や色、距離の情報に分けられます。距離の情報とは、遠い、近い、動いている、近づいてくる、遠ざかるといったことで、運動するときに役立ちます。次に、形の情報はここ、色の情報はここ、距離の情報はここと、脳の違う場所に送られて処理されます。それぞれの場所で処理された情報から見たものが何かを判断し、それに基づいて行動をおこします。

こういう説明を聞いて、みなさんは「あれ!？」と思いませんか。わたしたちは、「丸い赤いリングが落ちてくる」という場面を一瞬に認識しますね。ところが「丸い」「赤い」「落ちてくる」という情報は、それぞれ脳の離れたところで処理されます。どうやって、それぞれの情報をまとめるのでしょうか。これは、脳科学に残された謎の一つになっています。いま、一生懸命研究が進められているところなんです。



■失敗は成功のもと

高柳 記憶はどのようにつくられるのかも、すごく気になりますね。

伊藤 脳の奥のほうには、「海馬（かいば）」という部分があります。海馬とはタツノオトシゴのことです。形が似ていることから、こうよばれています。

学校で勉強したり、見たり聞いたりした情報は、海馬にいったん蓄えられます。そして、大事な情報は脳の表面に送られて、そこに蓄えられます。これが「頭で覚える記憶」のしくみです。

一方、練習をしてテニスや野球がうまくなったな



ど、「体で覚える記憶」は、小脳に蓄えられることが最近わかってきました。

高柳 今日は、会場のお友だちに、体で覚える記憶を体験してもらいましょう。

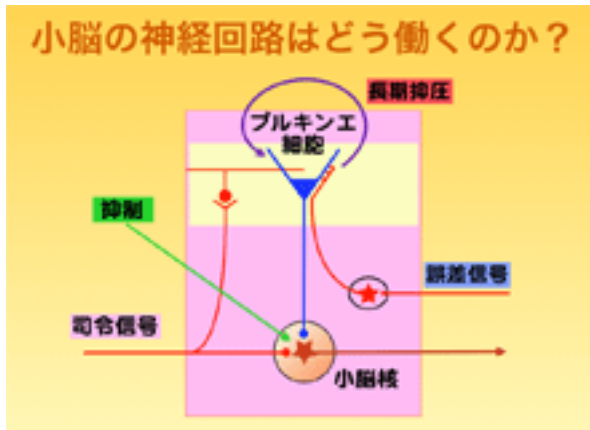
まずは、ふつうの状態ではボールを投げてゴールに入れてください。……うまく入りましたね。目から入った情報を脳で処理して、どの方向に投げればボールがゴールに入るか、もう体が覚えました。

次に、メガネをかけてボールを投げてもらいましょう。実は、このメガネにはしかけがあります。このメガネをかけると、すべてのものが本当の位置よりも左にずれて見えるのです。このメガネをかけてボールを投げ入れたらどうなるでしょうか。……はずれちゃった。また、はずれ。いま、脳が一生懸命学習しているんですよ。……お、入った。体がしっかり覚えました。学習完了。

体で覚える、ということがわかったかな？ 伊藤先生、脳の中ではどういうことが起きているのでしょうか。

伊藤 見えるものの位置がずれるメガネをかけると、ボールをゴールに入れることが難しくなりましたね。ところが、3～4回くりかえすうちに、ちゃんと体が覚えて入るようになる。このような運動の練習効果は、どのように出てくるのか、説明しましょう。

小脳の中には、いろいろな種類のたくさんの細胞がつながったネットワークがあります。ボールを投げると、小脳に入ってきた信号が小脳の奥にある「小脳核」という部分を通って出ていきます。実はこのとき、出ていく道だけではなく、小脳の表面を通ってもどってくるわき道もあるのです。ボールを投げた結果を視覚が判断して「失敗した」となると、信号がわき道を通ってもどってきて、プルキンエ細胞という細胞に伝わります。すると、次の細胞に信号を伝える機能が切れてしまいます。



信号がわき道を通ってもどってきて、プルキンエ細胞という細胞に伝わります。すると、次の細胞に信号を伝える機能が切れてしまいます。

さきほど紹介した、シナプスの調節機構がはたらき、信号が通らなくなってしまうのです。少し難しい言葉では「長期抑制」といいます。

ボールがゴールに入らないと、「失敗したぞ」という信号が入ってきて、そのときにはたらいでいた、つまり間違いに責任のあるつなぎ目を全部止めて、信号が伝わらないようにしてしまうのです。一つの細胞には、信号が入ってくる道が10万個もあります。失敗するたびに責任のある道をどんどん止めていって、最後は成功したときの道だけが残る。これが、練習をくりかえすと運動がうまくなるという、小脳を使った運動を記憶するしくみです。

高柳 「失敗は成功のもと」という言葉がありますが、まさに脳のはたらきでも、そういえるわけですね。

伊藤 その通りです。たとえば卓球がすぐにうまくなる方法を教えてくれといわれても、そんな方法はありません。くりかえし練習して何度も失敗をすることが、成功のいちばんの秘けつです。

■バッターはどうしてボールを打てるの？

伊藤 みなさん野球は好きですか？ バッターがどうしてピッチャーのボールを打てるのかを考えてみましょう。バッターがボールを打つというのは、非常に不思議なことなのです。

ボールがピッチャーの手を離れてバッターに届くまでに0.2秒しか時間がありません。ところが、ボールが飛んできたという目からの情報を脳が判断して、打てという指令を出し、体が動くまでに0.1秒かかってしまうのです。

高柳 ボールがピッチャーとバッターの真ん中にきたときに、バッターはもう運動を開始していないといけない。それでボールが打てるのですか？

伊藤 不思議ですよね。実は、見こみをつけて打っているのです。くりかえし練習しているうちに、ボールの「モデル」が脳の中のでき上がる。実際のボールを見ないでも、脳の中にあるボールのモデルを見ながら打つと本当のボールにも当たる。そういうことが起きていると、考えられています。

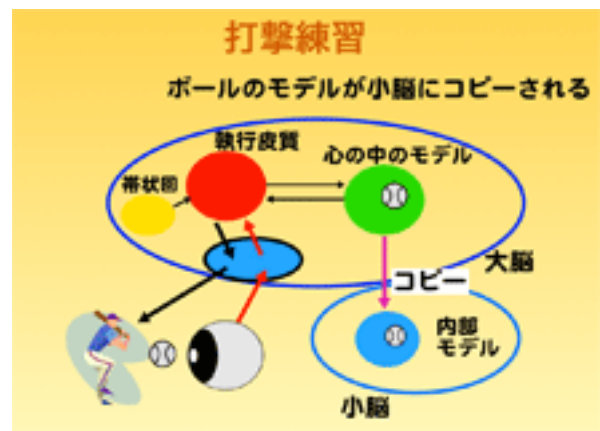
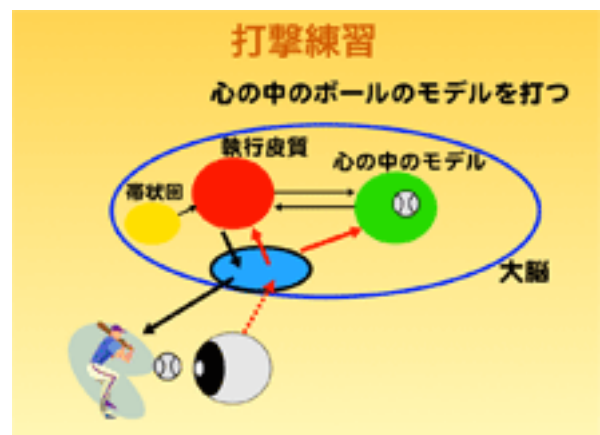
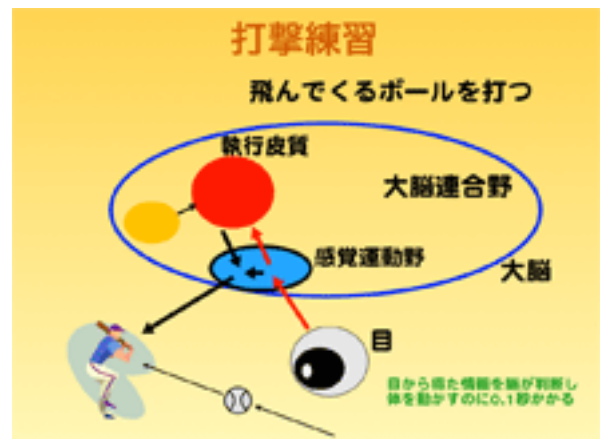
さらにくりかえし練習していると、脳の中のモデルが小脳に写し取られていきます。そうすると、小脳の中のモデルを見ながら打つことになります。大脳で起きるできごとは意識にのぼってくるのですが、小脳で起きるできごとは意識にのぼってきません。ですから、モデルが小脳に写し取られてしまうと、「見て打つ」という過程が無意識のうちに行われるようになってきます。だから、バッターはあまり意識しないでもボールを打つことができるのです。

高柳 小脳は、大脳で理解したことを自分の中に取りこんで本能的なものにするために、非常に重要なはたらきをしているのですね。

伊藤 最近では運動だけでなく、ものを考えるときにも同じしくみがはたらいていると、考えられるようになってきました。みんなが学校で勉強をして考えぬいたことは、いつのまにか身につけていて、何も考えなくても答えが出てきます。たとえば、かけ算九九を一生懸命に覚えてしまえば、「 3×5 は？」と聞かれると、考えなくても「15」と答えが出てきます。練習を積み重ねたあとでは、小脳の中のモデルを使って瞬間的に、無意識のうちに計算できるためだと考えられています。

どうして大脳と小脳の2つがあるのかとても不思議だったのですが、少しずつ理解が進んできました。大脳のはたらきをくりかえし練習するうちに、小脳が肩代わりしてくれるようになる。そうすると、大脳は新しいことに使えるようになります。

高柳 なるほど。脳のしくみは、うまくできているものですね。さて、脳の中身やしくみについて紹介してきましたが、みなさんの脳の中では、はてなマークがたくさん芽生えていると思います。会場のみなさんから質問をお受けしましょう。



■脳についてもっと知りたい

?? わたしは音楽が好きで、ピアノをひいたりします。勉強で使う脳と、音楽で使う脳は同じですか？

たくさん練習すれば、音楽で使う脳は発達するのですか？（長岡市・小学6年生）

伊藤 算数や社会の勉強と、音楽の勉強では、脳のはたらき場所が違います。だから、人によって得意なことと苦手なことが出てきます。練習すれば、ある程度は上達しますが、生まれつきの素質が非常に強いんですね。ですから、音楽の素質がない子に無理やり音楽を教えるのは、あまり得策ではありません。

その子には、もっと別な得意なことがあるはずですよ。お父さん、お母さんは、子供がもって生まれた得意なことを見つけてあげることが大事です。

脳は大きく、細胞は1000億個もありますから、何でもできるはずだと思ってしまうかもしれませんが、そうではありません。一人ひとりには万能ではなく、限られたことしかできません。だから、いろいろな得意なことをもった人が集まってこそ、全体としてとても厚みのある社会になるのです。

高柳 いろいろ失敗して、自分は何が得意かを早く見つけることも大事かもしれませんね。

?? たくさんの方が話している中で、1人の話だけが聞こえるのはなぜですか。（十日町・小学2年生）

伊藤 いい質問だな。脳には、こういうすごい力があるんです。専門的な言葉では、「カクテルパーティ効果」といいます。カクテルパーティでは、たくさんの方がお酒を飲みながら、わいわい話をしています。でも、混ざって聞こえてくるたくさんの方の声をさえぎって、1人の声だけを抜き出して聞くことができる。これは、脳のたいへんすぐれた情報処理のはたらきによります。

?? 聖徳太子が7人の声を一度に聞くことができたといわれますが、本当ですか？

伊藤 ありうろと思えますよ。それは、脳とコンピュータの大きな違いなんです。コンピュータは問題を一つずつ次々と解いていく。脳はたくさん問題を一度に解くことができる。「並列処理」といいますが、同時にいくつもの情報を処理できることは、脳の大きな特徴です。

聖徳太子の場合は、特にそういう能力がすぐれていたんでしょうね。普通の人も程度の差はありますが、できますよ。ラジオを聞きながらご飯を食べたりしますよね。ぼくも「ながら族」が好きですが、そういうこともできるのが脳の特徴です。

?? 「こころ」は、脳のはたらきで説明できるのでしょうか。こころの研究は、どこまで進んでいるのでしょうか。（長岡市・男性）

伊藤 いちばん難しい問題ですね。自然科学では、脳のはたらきがこころになる、というのが基本的な考え方です。でも、「こころ」と一口でいいますが、いろいろなものが入っています。たとえば、知識、感情、意志や意欲といった「知情意」がありますし、さらにもっと細かく分かれる。かなりの部分は、脳のはたらきで説明できるようになってきたのですが、最後はまだとらえられない。

自己、アイデンティティがどうして脳から出てくるのか、わからないのです。それは脳科学の最後の問題だといわれています。

?? 集中力と脳は、どういう関係があるのですか。（新潟市・大学生）

伊藤 集中力を発揮するのは、大脳の前の部分である前頭葉だといわれています。そこから出てきた信号によって、感覚を受け取る脳の部分が活性化されるのです。たとえば目をつぶっている人に、「くちびるに触りますよ、触りますよ」といっていると、くちびるからの感覚を受け取る部分が活性化します。注意を集中することで、感覚系を活性化して、非常に鋭敏になってきます。

しかし、前頭葉がどのようににはたらいて注意を向けるのか、そのしくみはまだよくわかっていません。



高柳 今日、だれにでもあって、でもまだよくわかっていない脳について、興味津々の話を伊藤先生からうかがいました。こころの問題など、知りたいけれどもまだまだわからない問題はたくさんあります。ぜひこれからも研究を進めていただきたいと思います。伊藤先生、ありがとうございました。

みなさんは、いかがでしたか。脳の中はまだ未知の世界ですから、少し難しいところもあったかもしれません。でも、脳では「失敗は成功のもと」ということを生かしてはたらいっているとか、何度も同じことをくりかえすことによって本能的に能力を高めているとか、日ごろわたしたちが無意識のうちに使っている脳のはたらきが科学からも理解されはじめていることが、わかってもらえたと思います。

今日聞いたことを何か一つ覚えておいて、「大きくなったら脳を研究してみよう」という人が現れたら、これほどすばらしいことはありません。