

2000 年版

生物物理学とは？ — Z 会記者と対談

増進会会誌 中学 VAC コース 「ぜとらん」 2000 年「脳力アップ大作戦」特集より

Z 会 先生、中学生の脳みそというのは、発達段階でいうと、どの段階にあたるのですか？

先生 中学生くらいの年齢だと、生物学的な視点から言うと、すでに「完成」している段階ですね。脳は 3～4 歳ですでに脳の基本的な神経のネットワークは完成してしまうんですよ。

Z 会 …………… ということは、これから何か手を打とうとしても、すでに手遅れということですか？

先生 ははは（笑）。生物学的には手遅れですね。でも、生物学的というのは、例えば、ものを見たら自分が何を見ているのかきちんと理解できるとか、そういう基本的なレベルのことで、この世界で生きていく上で、必要な機能の 発達という意味です。あらゆる面が完成してしまっているというわけではないですよ。

Z 会 そうですか、よかったです（ホッ）。

先生 脳の中に記憶を書き込んで、積み重ねた情報をもとにして、ものごとを 解釈したり、何か質問されたときに、的確に答えるという高いレベルの部分 は、発展途上ですよ。

Z 会 とすると、中学生がこれから実力を伸ばすということは可能なんですね。

先生 そうです。記憶や学習などの高次（高いレベル）のものはまだまだ発達 段階なので、あきらめてはいけませんよ。

Z 会 安心しました。

先生 人間の脳は、とても未熟な状態で生まれてくるんですよ。ほかの動物は ほとんど完成状態で生まれてくるんですけどね。人間の赤ちゃんは自力で歩け ないでしょう。でも動物の赤ちゃんは生まれてまもなく、立ち上がって歩くこ とができる。これは脳の運動能力をつかさどる神経ネットワークがきちんと出 来上がっているからなんです。しかし、生まれた直後の人間の脳は心拍や呼吸 をつかさどる回路くらいしか出来上がってなくて、生後長い時間をかけて成 熟して、じょじょに歩いたり、ものを見て聞いて認識したり、ことばを理解し 話したりするために必要な神経のネットワークを強化させていくのです。そのネットワークが完成するのが 3～4 歳くらいなんです。

Z 会 ということは、中学生の脳は、生物学的には完成状態で、記憶や学習に ついては発達段階ということですね。

先生 その通りです。

Z会 よく「ぼくの成績が悪いのは、お父さんとお母さんのせいだ」というせりふを耳にしますけれど、頭の善し悪しというのは、遺伝するものなんですか？

先生 多分遺伝しないでしょう。ふつう「脳に問題がある」というのは、生まれつき脳にハンディキャップ、つまり障害や欠陥があるということです。脳に何も欠陥がない、つまり、生物学的に問題がなければ、あとのことはすべてその人の「努力の問題」だと言えます。第一、学校ではそんなにむずかしいことを教えてはいないはずですから、ふつうに勉強すれば、だれでも理解できるはずですよ。もちろん、理解するスピードに多少の差はあると思いますが、親のせいにする問題ではない、ということは確かなことです（笑）。

Z会（きびしー）。つまり、遺伝のせいにはしてはいけないということですね。

先生 そうです。もちろん、中には、遺伝的に決まってしまうものもあります。例えば、いわゆる天才や、ベンチャービジネスなどを成功させるような新 奇な才能を持つ人です。これは、かなり遺伝子レベルで決まっているのではないかな。

Z会 ということは、天才や才能は親から子へ遺伝するということですか。

先生 いいえ。

Z会 へ？。だって今先生が遺伝的に決まっているっておっしゃったじゃないですか。

先生 「遺伝的」というのは親から子へ同じ形質が伝わるということではなくて、生まれた時点で働いている「遺伝子レベルの形質」が決まっているという意味です。天才の親兄弟や子供はほとんどの場合天才ではないですからね。天才は遺伝子の突然変異で生まれる場合が多いと考えられています。私たちの分野ではこの天才に関係あるかもしれない好奇心の遺伝子についても研究しているんですよ。

Z会 好奇心の強い人の遺伝子はどちらがうんですか？

先生 この研究はまだ結果ははっきりとはしていませんが、一つには、快感の伝達をうけもつ“ドーパミン”という物質を受け止める受容体の型がちがうと考えています。好奇心の強い人の脳に存在する受容体はふつうの人の受容体よりドーパミンに敏感に反応するため、より強く快感を感じるのかもしれない。みなさんも楽しいことや興味のあることには夢中になるでしょう。これは快感によって、脳の活動が活発になるからなんです。好奇心の強い人の脳はふつうの人より、さらにのめりこみやすく、達成感などを強く感じられるように作られているのではないかと考えています。

Z会 なるほど。

先生 あと、学習効果をあげるうえで、ほめられるというのは非常に影響が大きいです。ほめられると気分がよくなる。すると脳の活動が活発になり、さらに能率が上がり、どんどん学習が進むことになります。

Z会 では、その逆に苦手意識を植えつけてしまうと、たいへんですね。苦手 意識は克服できるものですか？

先生 できますよ。目的意識を持って、苦手とってしまった分野の問題 をできるところから取り組んで、「自分はできるんだ」ということを脳にすりこんでいくことですね。時間はかかると思いますが、できたという達成感が、脳を気持ちよくさせてくれるはずですよ。

Z会 目的意識と言うと、具体的にはどんなものがありますか？

先生 志望校に合格というのが一番わかりやすいかな。

Z会 なるほど。でも、いやなことやきらいなことをおぼえたり、理解するのには、時間がかかりますよね。

先生 いやなことにはストレスを感じますからね。脳の活動にかかわる物質に、ステロイドホルモンというのがあって、その中に非常に重要なステロイドホルモンとして、ストレスステロイドというホルモンがあります。これは、生体防御にかかわる物質で、この物質がなくなると、体がバランスを失ってしまうという非常に大切な物質なのです。ですが、わたしたちがストレスを感じると、その物質の量が一気に 1000 倍になるんです。

Z会 1000 倍ですか？

先生 そう、1000 倍です。そうすると、脳は一気にやる気をうしなってしまうんです。私の研究室でおこなった 実験では、記憶をつかさどる脳の海馬という部分に、ストレスステロイドホルモンをかけると、神経細胞で 情報を受信するカルシウム濃度が上がりっぱなしになって、海馬が機能しなくなりました。つまり これ以上情報を受信することができなくなりましたのです。さらに、3 週間海馬に ストレスステロイド ホルモンをかけつづけたら、海馬の神経細胞の一部が消失 したという実験結果も別の研究室から報告されています。

Z会 神経がなくなってしまったんですか？

先生 そうです。しかも一度失った神経細胞は、二度と再生されません。

Z会 ストレスって、とても怖いんですね。ストレスステロイドホルモンから脳 を守れる手だてはあるのですか？

先生 ずばり、「ストレス解消」です。ストレスホルモンをふりかけられた海馬も、きれいに洗い流してやれば、あっというまに正常な状態に戻るのですから、効果絶大です。私たちの体の中で一気に 1000 倍になってしまったストレス ホルモンも、気分転換をすれば、すぐにスッと値が下がります。

Z会 ストレス解消はとても大切なんですね。ところで、集中力というのは遺伝ですか？

先生 集中力も遺伝ではないでしょうね。もっとも、天才的な集中力となると、これは生まれつきということになると思いますが、ドーパミン受容体も人によって差があることですし。しかし、学校の勉強を理解し、実力をのばしていく集中力は、だれにでも備わっているはずですよ。もちろん、家庭環境が安定しなかったり、親から過度のプレッシャーを受けたりすれば、集中力が発揮できないということもあるでしょう。しかし、大半の場合は、自分自身でその状況に対処できて、なんとか集中力を維持することができると思います。

Z会 創造力や発想力は、どうでしょうか。よく親子でもの書きという方がいらっしゃいますが、やっぱり遺伝ですか？

先生 これは、子供は親の背中を見て育つという環境の方の影響が大きいのではないかな。親がもの書きだと、生まれたときから本に囲まれて育つわけだから、自然とそっちの方へ進んでいくでしょう。中には、親の職業には絶対つきたくないという人もいますが(笑)。それに、親を見ていると、その世界がどんな世界かも把握できるし、そういう意味で、抵抗がないことも多少影響していると思いますよ。そもそも天賦の才能による発想力と、学校で求められている発想力というのはちがうと思いますし、学校の勉強で必要な発想力というのは、訓練や経験を積むことで得ることができるはずですよ。

Z会 数学の問題を解くのに必要な発想力というのも、やはり訓練ですか？

先生 そうですね。数学の問題には必ず答えがあるでしょう。答えがあるような問題には、たいていは訓練をすることで対処できます。遺伝的に特別な発想力を必要とするものはないので、安心していいですよ。

Z会 よく集中力が続くのは30分だとか、60分だとか言いますが、これは本当ですか？

先生 せいぜい30分くらいだと思いますよ。脳の中では情報伝達が行われているときは、ものすごい勢いで、カルシウムイオンなどを動員していて、大量のグルコースつまり糖分(ブドウ糖)と、酸素を消費しているんです。それは、ちょうど、全力疾走と同じようなもので、脳はそうとうくたびれます。

Z会 脳みその全力疾走ですか。

先生 よく陸上のトレーニングで、全力疾走してインターバルをおいて、また全力疾走するというのがありますが、勉強もこれと同じですよ。集中して、休んで、また集中するようにしないと、脳がたいへんなことになります。

Z会 休みをはさむのは、そういう意味でとても大切なんですね。

先生 そうですね。休んでいる間に、脳は情報伝達に使ったさまざまな物質を回収して、酸素と糖分の補給をして、つぎの情報伝達に備えるのです。とくに酸素と糖分は脳の活動にはなくてはならないものです。こうやって、話をしているときの脳をある機械で測定すると、脳のある部分がぱっと赤く見えるんですよ。その赤く見える部分というのが、今現在働いている部分なのですが、これが赤く見えるのはその部分に酸素を含んだ血液が大量に流れこんでいるからです。脳では何か情報が入ってくると、情報を処理するのに必要な

部分の毛細血管に酸素を含んだ血液がぱっと流れ込むのです。また、糖分は、脳の活動にとって最も重要な栄養源です。脳が活動するときに糖分を供給しないと、すぐに栄養不足になって活動が低下してしまいます。

Z会 よく朝食抜きだと授業に集中できないといわれますが、それは脳が栄養不足になって活動できなくなるからなんですね。

先生 そうですよ。あと、集中するためには、ある程度さしせまった危機感が 必要ですね。

Z会 でも、危機感は積もりすぎると、あせりやイラ立ちにつながりませんか？

先生 そのあせりやイラ立ちをコントロールするのが、それまで積み重ねてきた経験なんですよ。いろいろな状況を体験することで、こういう場合はどう気持ちを持ち換えていけばいいのかわかるようになるのです。

Z会 集中しているときの脳では、どんなことが起こっているんですか？

先生 だれかと会話しているところをテープレコーダーで録音してみたら、会話以外のたくさんのノイズ（雑音）が録音されていたという経験をしたことがある人は多いと思いますが、人間はノイズに囲まれながら、生活をしています。ところが、人間はそれを上手に聞き分けているんですね。集中しているときは、一つのネットワークだけを働かせて、ほかのネットワークは働かないようにしています。私たちの耳には必要な音も、 unnecessary 音もどんどん入ってきますが、あるところで遮断されて、必要な情報だけが伝達されるのです。

Z会 不思議ですね。集中するのも訓練ですか？

先生 受験勉強は、集中力をものにするための最初の練習の場でしょうね。受験勉強で、勉強をしながら、こういうときに集中できるという自分なりのスタイルを作ることが大切です。

Z会 次は記憶力についてお聞きしたいのですが？.

先生 記憶ということでは、おもしろい実験があるんですよ。これは非常に有名な実験なんですけどね、スクリーンに果物のスイカをうつして、スイカがスクリーンにうつったら、レバーを押すとスイカの切り身が出て食べられるようにしておきます。これを練習すると、サルはスイカの形と味を記憶します。すると、サルの脳の中に、スイカ細胞という一つの細胞ができます。

Z会 スイカ細胞？

先生 そうです。スイカという果物を記憶してる場所がスイカ細胞なんです。このスイカ細胞にじかに電極を差し込んで、信号を測定していると、スクリーンにスイカがうつると、サルのスイカ細胞が興奮するのが見えます。

Z会 とすると、私たちの頭の中は、スイカ細胞やら、タマネギ細胞やらでつまっているということですか？

先生 そこが難しいところで、脳の細胞の数には限界がありますよね。一つの細胞で一つのことを記憶するのでは、限りがある。そこで考えられたのが、複数の細胞が集まってパターンで記憶しているのではないかという考え方です。これは、一つのものを記憶するとき、その形や要素をいくつかの細胞にふりわけて記憶して、ふりわけた細胞がヒットしたら、全体としてある一つのものの記憶を呼び出すことができるという考え方です。これだと、細胞の組み合わせは無限ですよ。人間はこんな方法で、さまざまなものを記憶して、日常生活を送っているというわけです。

Z会 でも、覚えなくてはいけないことはなかなか覚えられないというのが現実で、理想的な記憶の方法というのはあるのでしょうか？

先生 人間は本来五感を使って、情報を入力していくので、記憶にもこの五感を上手に利用するのがいいですね。一つだけの感覚だけを使って記憶しようとしても、上手に定着しないのではないかな。

Z会 とすると、書いて覚えるというのは、効果があるんですね。

先生 そうですね。

Z会 では先生、人間は、一度覚えたことをなぜ忘れてしまうのですか？

先生 ものごとをたった一度で覚えられる人はほとんどいないですよ。何回も何回も神経のネットワークを回して初めてしっかり記憶することができます。何度も情報伝達をおこなうことで、情報伝達の信号が強くなるのです。1回めの記憶では、20分くらいで、その信号が消えてしまうのですが、何回も繰り返すことで、その時間がだんだん長くなります。そして、効率よく繰り返し学習していると、5時間くらいで、その情報が短期記憶をつかさどる海馬から、大脳へ運ばれて、長期間記憶することが可能になるのです。

Z会 つまり大脳に記憶させることが大切なんですね。

先生 そうです。学習したといっても、一時保存状態で学習を終えては、その情報はまもなく消滅する運命にあります。きちんと、記憶するには、繰り返して覚えるようにしないとイケないというわけです。

Z会 だとすると、一夜漬けというのは、あまりおすすめできない勉強法ということになりますね。

先生 これも難しいところでね、一夜漬けでも大脳に情報を書き込めれば、記憶は定着するので、そこまでいけば、一夜漬けでも十分効果があると言えます。要するに、大脳に長期記憶として書き込めるかどうかの問題なんです。実際、一夜漬けでもきれいに記憶できてしまう人がいますからね。

Z会 それにもコツがあるんですか？

先生 コツというよりは、事実として、脳の中で強烈に神経ネットワークを働かせることができるのでしょ。一夜漬けには向き不向きがあると思いますよ。

Z会 短期に記憶を定着させるのに、必要なものは何ですか？

先生 集中力でしょう。それも、雑音や雑念つまりノイズに勝てるような集中力です。これも練習だと思います。そうすると、どんな場所やどんな状況でも自分をコントロールすることができるようになるし、そうなれば、自然と自分を集中するモードに持っていくことができる。

Z会 自分をコントロールすることが大切なんですね？

先生 自分をあやつれるようになったら、一人前ですよ。受験勉強などは、そのいい訓練じゃないかな。そうやって自分を上手にあやつれるようにならないと、大人になって社会に出たときだって、困るでしょう。

Z会 たしかに。

先生 よく脳は、理性の象徴のように言われますけれど、感情ほど脳の記憶学習に影響しているものはないんですよ。例えば、映画をみたとき、とても感動した映画というのは、一度観ただけなのに、よく記憶できるでしょう。反対にまったく感動しなかった映画は、きれいに忘れてしまう。これは、感情が記憶に大きな影響を与えている一例です。

Z会 そう言われると、自分の好きなことはどんどんおぼえられるし、思い当たることが多いです。

先生 人間の脳というのは、論理的な存在なんだけれども、感情が入り交じった存在なんですよ。だから、気持ちがとても重要になってくる。

Z会 やる気が大切になってくるわけですね。

先生 そうそう。人間は感情から逃れることができないのだから、上手に感情を使って、学習に使うようにしないと。

Z会 知的好奇心や興味・関心はとても重要なんですね。

先生 それがすべてでしょう。好奇心や情熱がなくなったら、人間、だめになっちゃいますよ。よく、プロスポーツ選手が引退の理由に「情熱がなくなった」とか、「気力がなくなった」とか言いますが、私は、まさにその通りだと思いますよ。情熱や気力がなければ、自分を進化させていくことはできないのですから。私もなまけものだったので、受験勉強のときは、どうやって自分を勉強に向かわせるか苦労しましたよ（笑）。だから、好奇心や興味・関心を常に意識するようにしました。

Z会 気持ちの問題と一言で片づけることは簡単ですが、感情と脳がこんなに深く関わっていることがわかって、たいへん勉強になりました。ありがとうございました。

赤ちゃんの脳は、みんな女の子！？

先生 生まれたての赤ちゃんの脳は、どんな状態だと思いますか？

Z会 どんな状態だと言いますと？

先生 実はね、人間はみんな生まれてきたときは、女性の脳なんです。生まれ てから2, 3週間後に、男の子の性器からテストステロンという男性ホルモン が出て、それが脳にシャワーのように降り注いで、その結果、男の子の脳は男 性の脳になるのです。そのとき非常におもしろいのは、男性ホルモンはいったん 女性ホルモンに変化してから脳に降り注ぐ、ということなんです。ものすごい量の 女性ホルモンが降り注ぐと、男性の脳になるというのは、とても興味深い現象ですよ。

先生の集中法

Z会 先生ご自身はどういうときに集中モードになりますか？

先生 私は電車に乗ると、集中しますね。論文執筆が進むのは、電車の中なんです。あのう るさい電車の中で、よく集中できるなと思うでしょ。でも不思議なことに、ぼくの脳には まったく騒音は入ってこないんですよ。大学の研究室では、学生と議論したり、片づけ けないといけない事務の仕事が多いので、論文に集中できません。

Z会 先生も訓練されたんですか。

先生 しましたよ。練習もなく、いきなり集中できる人はそうそういません よ。やはり練習は必要です。いまのうちから訓練しておくといいですよ。

高校生への一言

新しい発想に挑戦して下さい。脳力は訓練によって発揮される部分が多い。僕は中学の頃、物理学と 生物学の融合した生物物理学があるということを知り、カップブックスという本で読んで、面白いと思いました。今の仕事につながっています。勉強は過去の結果を学ぶ だけなので面白くはありません。しかし新しいこと を見つけて作り出す研究は面白いものです。普通の日本の映画は逆立ちしてもハリウッド映画にかなわないけど、 漫画映画はポケモンなどのように世界で一番強いし、このようなソフトが21世紀のハイテク情報家電を支える。これも新しい発想。

生物物理学とは？

物理を高校の時に選択した諸君なら、教科者の触りの所で、物理学というのは近年様々の分野へと発展し、原子核物理・素粒子、……「生体への応用としての生物物理」という程の説明で、一応「生物物理」という耳なれない言葉を耳にした事があるかと思うが、その実体は何なのか、実際に駒場のカリキュラム等でも殆ど触れられないので、知る機会は殆どないのではないだろうか？本紙編集部では、駒場の物理教官では、唯一人、「生物物理」を専門にされている、川戸先生の研究室を訪れて、その概要について尋ねてみた。

最初に、生物物理学が、物理学の一分野として成立するようになった経過から、お願いします。

“生物物理”という事が言われるようになったのは、第二次大戦後の話で、1950年代からです。シュレディンガーの“ What is life? ”というのが、出たのを契機として、物理学をやっていた人で生物に興味を持っていた人が物理学のフロンティアとして“生物物理学・分子生物学”を始めたのです。初期の頃には「生命の内には全く新しい物理法則があるのではないかとそれを見つけ出そう」という熱っぽい雰囲気がありました。しかし研究が進むにつれて、どうも生命現象は未知の物理法則に従って営まれているのではなく、通常の物理の法則に従っているのだけれども、その発現のからくりがすばらしいんだ、という認識になってきています。生物物理学の最初の大きな業績は、ワトソン・クリックによるDNA構造のX線回折による解明だったと言えるでしょう。それからペルツとケンドルーによるヘモグロビン、ミオグロビンのX線構造解析、デルブリュックによるウイルスや原核生物の分子遺伝学といった所でしよう。そういった仕事があった後、多くの物理・化学・生物出身の人が、この分野に入ってくるようになったんです。現在、日本生物物理学会には、物理学・生化学・高分子学・分子生物学・医学・薬学・工学と多様な分野の研究者が参加しています。

生物物理学の主要な研究対象とかトピックにはどのようなものがありますか？

主要な研究対象としては生体膜・筋肉・蛋白質・遺伝子といったものがあります。生体膜の研究では生体膜中の蛋白質や脂質の分子運動や相互作用を物理計測したり、分子の空間配置を構造解析したりして、(1)膜を介して外界と情報や物質のやりとりをするしくみ、(2)電子伝達を介する生体エネルギー産成のしくみ、(3)光を利用した視覚やイオンポンプのしくみ、などを研究しています。筋肉の研究ではアクチン繊維やミオシン繊維の相互作用でおきる筋収縮機構を、三次元構造を解析したり、収縮運動を分光学的に観測したりしながら研究しています。蛋白質の研究は、構造のゆらぎ・構造転移・誘電率の研究など物性物理学的な面が強いですね。遺伝子の研究は、DNAの三次元構造や熱安定性の測定、遺伝子操作を用いた実験、コンピュータによる遺伝暗号解析などを行っています。

研究分野としては生化学や分子生物学などかなり重なっているのでは？

そうです。研究対象は他の生命科学（生化学、分子生物学、生理学など）と重なる部分が多いのですが、理念や研究方法が違います。生物物理学は生体を非常に精巧に出来た分子機械だと考えて、この分子機械の作動メカニズムを物理的手段を用いて解きあかそうという学問です。分子運動や生体内反応を時間分解して追跡するとか、筋肉・遺伝子・生体膜の反応中間体の構造を正確に捉えるとかいう所に生物物理学の重点があります。研究方

法としては各種レーザーを光源とした時間分解分光法（吸収・蛍光・りん光・ラマン散乱・光散乱などを測定）を用いた生体分子の運動・反応・構造の解析、ESR（電子スピン共鳴）や NMR（核磁気共鳴）を用いた生体分子の運動・反応・構造の解析、X線回折や電子顕微鏡を用いた生体分子の三次元構造解析、などが代表的なものです。一方、生化学は生命現象を生体内でおこる化学反応として捉えようという意識が強く、反応に関与する蛋白や化学物質の化学構造・機能を解析することに重点がおかれています。分子生物学は 遺伝情報の発現機構の解析に重点があり、遺伝子の同定・遺伝暗号解析・遺伝子操作などを行っています。

最後に、先生の研究テーマを紹介して下さい。

僕の研究室は、大学院／総合文化研究科／広域科学専攻／生命環境科学系と大学院／理学系研究科／物理学専攻に所属していて、情報生物物理・細胞生物物理・量子生物物理を看板にしています。研究目標は「脳や副腎での情報変換を生物物理学/分子細胞生物学で解明する」ことです。神経伝達物質が引き起こす Ca 信号、電子信号、ホルモン信号、NO/CO 信号など情報の受信・変換・発信メカニズムに、特に興味を持っています。これらを、レーザー分光・顕微光CTのハイテク計測法を縦軸とし、細胞生化学を横軸として、機能イメージングし分子運動を測定して解明するわけです。具体的に大学院生は現在以下のようなことを研究しています。(1) レーザー蛍光顕微鏡で細胞内器官や細胞間のクロストークを解析。Ca,NO,CO 信号, 電気信号,神経伝達物質信号を見る。近視野原子間力顕微鏡などの新しい解析法の開発。(2) パルスレーザー 時間分解吸収・発光異方性を用いた、細胞内の蛋白質の運動と相互作用の解析。(3)脳・副腎での、神経 情報伝達物質を介した情報変換を、レセプター・チャンネル蛋白・膜・細胞の各レベルで解析。(4) チトクロム P 4 5 0系によるステロイドホルモン合成機構の研究。P 4 5 0系が合成するニューロステロイドは神経 可塑性物質で、精神作用（恐れと逃避、怒りと攻撃）に関与している。詳しく理解するのはめんどろですが、まあこんな所ですかね。