

氏か育ちか 一脳のできる仕組み

山本巨彦

大阪大学大学院生命機能研究科 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-3)

(E-mail: nobuhiko@fbs.osaka-u.ac.jp Website: <http://www.fbs.osaka-u.ac.jp/~neurobiol/>)

姿や形、毛髪の色が遺伝の影響を強く受けていることはよく知られている。では、学校でのいわゆるお勉強、音楽や絵画などの芸術的能力も生まれつきの才能、即ち遺伝的要因によってあらかじめ決められているのであろうか。身体的な特性を別にすれば、今のところこの間に答えるだけの科学的な証拠はない。様々な分野で二世が話題になることがあるが、これを才能が遺伝したと見る前に、ひとつ重要な点は彼等がそういう環境で育ってきたということである。ただし、一口に環境と言っても家庭環境や教育環境だけではない。

昨今、さまざまなクローン動物が生み出されているが、一卵性双生児の兄弟あるいは姉妹はまさしくクローンであり、遺伝的には全く同一である。しかも通常一つ屋根に暮らし、一見同じ環境下で育っているにも関わらず、個体としての様々な能力は同一ではない。胎児期にお母さんのお腹の中のどの位置に居たのか、生まれてから最初に出くわしたおもちゃが犬の縫ぐるみであったのかミニチュアカーであったのか、あらゆる外的な環境を考慮しなければならないのである。

これまでの脳研究から導き出される一つの結論は、人間の能力、言い換えると脳の機能は、それを構成する神経細胞(ニューロン)のネットワークに依ること、そしてそのネットワークの基本構造に個体差はないが、生後数歳までの環境要因によって大きく変化し得るということである。

人類の脳は1000億個もの神経細胞(ニューロン)から構成されている。発生期にニューロンは軸索と呼ばれる突起を伸長させて別のニューロンに結合し、緻密なネットワークを構成す

る。問題はこのネットワークがどのようにして作り出されるかである。実は、神経ネットワークには個体を越えても普遍的な基本構築のあることがカエルの脳で見事に示されている。

カエルなどの両生類では、人間を含めた哺乳類とは異なり、視神経(軸索の束)が切断されても再び成長し、網膜ニューロンの軸索の一本一本は再生後も元どおりに視覚中枢内のニューロンにつながるのである。それが証拠に神経再生後に蛙は以前と同様に正確に虫を捕捉できる。さらに面白いことに、視神経の切断後に眼球を上下左右反転させておくと、今度は虫のいる位置とは正反対の方向に向かうようになるのである。この場合も網膜ニューロンが行き先を誤ったためにそうなったのではなく、以前につながっていた視覚中枢のニューロンに軸索が正しく接続されたからこそ、行動が逆転したのである。つまり、網膜の一つ一つのニューロンは視覚中枢に五万とあるニューロンの中から正しいパートナーを選び結合するのである。これは神経再生に特有の現象ではなく、ネットワークが作られる発生期にも当てはまる。

このような正確なパートナーを選びだすメカニズムは完全に証明されてはいないが、細胞表面に存在する化学物質に依ると考えられている。即ち、網膜ニューロンから伸長する軸索先端は視覚中枢側の個々の細胞に発現する化学物質の質的あるいは量的な差を感知して、自分にマッチした細胞を選択すると言うのである。実際、蛙の網膜から視覚中枢への投射に限らず、このような仮説を受け入れなければ脳内のニューロンネットワークの形成を説明することは困難である。

では、最初に構築される基本的な神経連絡

で、脳は機能するのであろうか。答えはノーである。例えば、赤ん坊は生まれてすぐにものが見えているのではなく、徐々に見えるようになる。さらに生後3、4歳までの視覚体験はその後の視覚機能に決定的な影響を与えることになる。例えば、幼児期に眼帯で1週間片目が隠されていると、眼帯を外した後でも隠されていた側の眼の視力は著しく低下し、放って置けば一生回復しない。

この片眼遮断は、脳内の神経回路にもれっきとした痕跡を残す。人間の視覚中枢は脳の後頭部に位置するが、そこには左右の眼からの入力線維(軸索)が約 0.5 mm の間隔で交互に侵入し、ちょうどシマウマの縞模様状に分布している。同様の入力線維の分布はサルやネコでも見られる。ところが、これらの動物で幼弱期に片目を閉じておくと、開いていた側の眼からの入力線維の分が増大するのである。これは、大脳皮質への入力線維1本1本の枝分かれが広範囲に広がったためなのである。

次のような興味深い実験もある。小ネコを縦線だけを描いたドラム缶の中で育てると、大脳視覚領ニューロンの大半は縦線を呈示したときだけに反応し、横線を見せて反応するものはわずかになってしまう。以上の実験は、脳内の配線が生後の視覚刺激によって作り出されることを強く示唆している。では、視覚刺激、視覚体験とはどのようにして軸索の成長などに影響を及ぼすのであろうか。

視覚、聴覚、触覚などのすべての感覚はそれぞれ異なる細胞によって受容されるが、いずれの場合も最終的には電気信号に変換される。それはちょうどコンピューター内の電気パルスのようなもので、感覚の強さはパルスの頻度によって表現される。感覚が強ければその頻度は高く、弱ければ低いと云った具合である。この電氣的パルス波、これを活動電位と呼ぶが、これが脳内の神経回路網を駆けめぐるのであ

る。特定の刺激が繰り返し加えられた場合には、同じ神経回路に何度も活動電位が走ることになる。活動電位が一つのニューロンから別のニューロンへ繰り返し伝搬されると、ニューロンとニューロン間のつながりも強化されるようになる。逆に滅多に活動電位がやっこない場合にはそのつながりは弱められる。ニューロン間の結合が強化されたり減弱されたりする機構はまだ定かではないが、活動電位の頻度に応じて軸索先端部と受け手側の細胞との間で特定の分子が行き来することによって、構造的変化が生ずるとの説が提唱されている。

ニューロンネットワークの構造変化は大人の脳内でも起こり得る。事故や疾病が元で運動機能や言語機能が一旦低下しても、後に機能が回復するのは新たな軸索伸長などの構造的変化によるとする実験的証拠がある。新生児から幼年期ではその能力は極めて高く、成人では起り得ないようなネットワークの変化も生ずるのである。実際、先に述べたような大脳視覚領での変化はヒトでは3、4歳までと言われている。ヒト以外の動物でも事情は同じである。例えば、歌鳥は住んでいる地域ごとに微妙に異なった歌い方をするが、一旦覚えた方言は大人になってからではもはや変わりようはない。ところが若い時期であれば変更可能なのである。

このような幼年期に神経回路網が変化しうる特性は、大人になってからの個人の能力の違いを十分に説明できる。そうであるからこそ、子供の頃に習い事をはじめめる意味がある。例えば、絶対音感は大になってからでは習得できないと言われており、幼年期に鍛錬することは必須であろう。しかしながら、訓練さえすれば親の思い通りのスペシャリストになれるかという、事態はそれ程単純ではない。環境からの刺激は生後直後、ものによっては胎児の頃から絶え間なく訪れ、子供に何か習い始めさ

せる頃には一部のネットワークはもう既に固定化されているかもしれない。もともと絵が上手だとか、リズム感があるだとか、このような評価できる行動を示すのはせいぜい2、3歳になってからであり、子供にとってみれば既に3年もの間環境からのさまざまな影響を受け続けてきたことになる。この間、何をどのような順序で見たり聞いたりしてきたのか、あるいは触れてきたのか、またそれに対する反応の仕方がどのようなであったか、あらゆる周囲からの感覚刺激が神経回路を変化させるのである。才能と呼んでいるものも、実は知らず知らずの間に環境因子によって構築されてきた脳の神経回路のせいかもしれないのである。

ニューロンネットワークの多様性は遺伝子に書き込まれた情報量だけでは説明ができませんとする試算がある。だからといって、膨大な数のニューロンがでたらめに連結する訳ではない。基盤となる神経回路は遺伝子に書き込まれた情報をもとに個体の中で自動的に形成されること、そしてその基本構築に個体差がないことは前述したとおりである。しかし、細部に及ぶ神経回路を規定する遺伝的要因が在るかと言う問に対しては答えられないままである。

これまでの脳研究は神経回路の形成原理を個体を越えても成立する共通点から解析してきた。これは、実験科学としては当然のことである。ただし、様々な動物の脳の形成機構を比較して言えることは、単純な体制の動物ほど遺伝的要因によって形成される基本的構築が変化しにくいということである。先に述べた網膜から視覚中枢への投射でも、キンギョやカエルでは網膜ニューロンの軸索は最初から正しい部位と結合を開始するのに対して、鳥類やげっし類では最終的に結合する部位よりも広い範囲に一旦軸索が投射して、徐々に入力の影響を受けながらその領域が収束するのである。進化の過程を考えると、ヒトではますますこの

特性は増大しているはずである。

生物は、遺伝子を用いて種の生きていく術を子孫に伝達してきた。しかし、進化が進むに連れ、遺伝子だけに頼ることをやめ、脳・神経系を発達させることによって環境に適応する能力を与えたとも解釈できる。人の脳は、このような進化の産物であり、環境によって個体の能力を大きく変化させるようにも設計されているのである。

(「頭脳学のみかた」AERA Mook, 朝日新聞社 136-139. 1997より)

1957年、京都市生まれ。1975年、京都府立桂高等学校卒。1980年、大阪大学基礎工学部生物工学科卒業。1985年、大阪大学大学院基礎工学研究科博士課程修了、工学博士。日本学術振興会奨励研究員を経て、1986年京都府立医科大学医学部生理学教室助手。1990年、同大学講師。1994年、大阪大学基礎工学部助教授。2002年、大阪大学大学院生命機能研究科教授、ならびに同大学基礎工学部教授。現在に至る。

研究を始めた頃は、視覚系における眼球のレンズ焦点調節機構の脳内制御機構を電気生理学的な方法により研究を行った。博士課程以降は、脳の神経回路の形成に興味を持ち、遺伝子と環境が脳形成を司る仕組みを探求している。落語、漫才など「お笑い」を聞くこと、サッカーが趣味。