

**特別寄稿・連載**

**『お手玉と前頭前野』**

**『お手玉が脳にとって良いのか否か』**

**第9回 脳のネットワークと知恵**

脳科学者 森 昭 雄（日本のお手玉の会顧問）

脳のニューロンは、脳全体で約 1000 億個あると言われています。脳の表面側に大脳皮質と呼ばれている厚さ 2.5～3.0 ミリメートルの VI 層構造で脳を覆っています。その 1 立方ミリメートルの中に 10 万個のニューロンがあります。そして、1 個のニューロンに約 1 万個のシナプス結合があり、興奮と抑制の情報によってネットワークを創っているのです。これは、固定されたものではなく、脳は、外部刺激によって刻々と神経ネットワークを変化させます。

脳のニューロンは、いろいろの内部や外部からの刺激を受けて活動しているので、ただバラバラに活動しているのではないのです。勿論、刺激が少なければニューロン活動は低下します。

例えば、大脳皮質連合野間で皮質-皮質投射（皮質投射）によって次のニューロンに伝達する仕組みになっています。これは、VI 層構造の内 II～III 層の錐体細胞が別の場所に皮質投射ニューロンが活躍しているのです。私の実験結果によれば、III 層のニューロンが II 層のニューロンよりも投射が多くみられます。

ジョン・エックルス教授は、約 50 年前に大脳皮質は川の流れるように興奮と抑制によって起こることを予言していたことを書物で読んだことがあります。皮質投射は、時間分解（1/1000 秒）の多チャンネルのデジタル脳波計の進化によって可能になってきました。

ところで「知恵」とは、道理を判断し処理していく心の働きを指しています。あるいは、筋道を立て、計画し、正しく処理していく能力のことを指します。しかし、これまでの歴史の中で、正しことだけが通用していたかと言うと、そこには偽りがあり、相手をどのように打倒したらよいかを企てた時代がありました。しかしながら、このことは現代社会でも見られます。

孔子（紀元前 552 年～479 年、春秋時代の中国の儒教思想家、哲学者）は、書物で第十八章に「知恵出でて大偽あり」と書かれています。彼は、人々が素朴であった時代には、自然に従って平和だったが、後に人間に知恵が進んで、大きな偽りが生じ、世の中が乱れてしま

った。と記しています。孔子は、温和で礼儀正しく、厳格で威厳はあったが威圧感が無い理想的な先生であったといわれています。彼は、幼少期に父親を失い、母親が育てたといわれています。

知恵が良いとか、豊富だということがあります。このことは、どのようなことなのでしょう。簡単に言うと、脳に多くの情報を記憶させ、かつ、貯蔵した記憶をいつでも関連した情報を瞬時に、前頭前野を経由して引き出せるようにすることです。

### お手玉遊びの脳入力と連合野の皮質投射

脳の大脳皮質は、末梢（手、足、体幹）からの感覚神経を介して脊髄を上行し、対側の視床（大脳皮質への感覚中継核）の体性感覚野に投射しています。その情報は皮質投射によって、体性感覚野から運動野へ情報が伝わります。脳は末梢からの情報を受けて、出力の調節をしているものと思われます。これは、単純な運動の場合です。お手玉遊びの場合は、聴覚野や視覚野などからの情報が、前頭前野に入り細かい調整が必要です。このことは、再三述べてきましたので、ここでは割愛させていただきます。

### 赤ちゃんの脳波変化からみた成長

基本的にニューロンがあっても、その繋がりがないと連絡の情報がとれません。その良い



図1 9か月の赤ちゃんに128chの電極をつけたところ

例として赤ちゃんに128チャンネルの脳波用電極を頭皮上に装着しました（図1）。脳波の出現パターンは、9カ月前後で変わってきます（図2）。赤ちゃんは、外界刺激に対して反応するようになり、いろいろな知恵がつくようになるものと考えられます。

さらに、このころになると、赤ちゃんが歩いたりすることで手足の末梢からの情報量が多くなり（ $\beta$ 波帯域）、平行感覚（三半規管）に関与している前庭核の発達によって、眼筋も含めた脳のネットワークが変化してくるものと思われます（図3）。

赤ちゃんから大人になるまでの安静開眼時の $\beta$ 波帯域と、 $\theta$ 波帯域の脳波における大脳皮質の電位分布図を示しました（図4）。

特に、 $\beta$ 波帯域が赤ちゃんの時、幼児期で一時的に活動が低下するのかわからないが、この時期に抑制性のニューロンの活動が増しているのではないかと推測しています。 $\alpha$ 波帯域は、大人になると後頭部に強い電位分布が認められました。

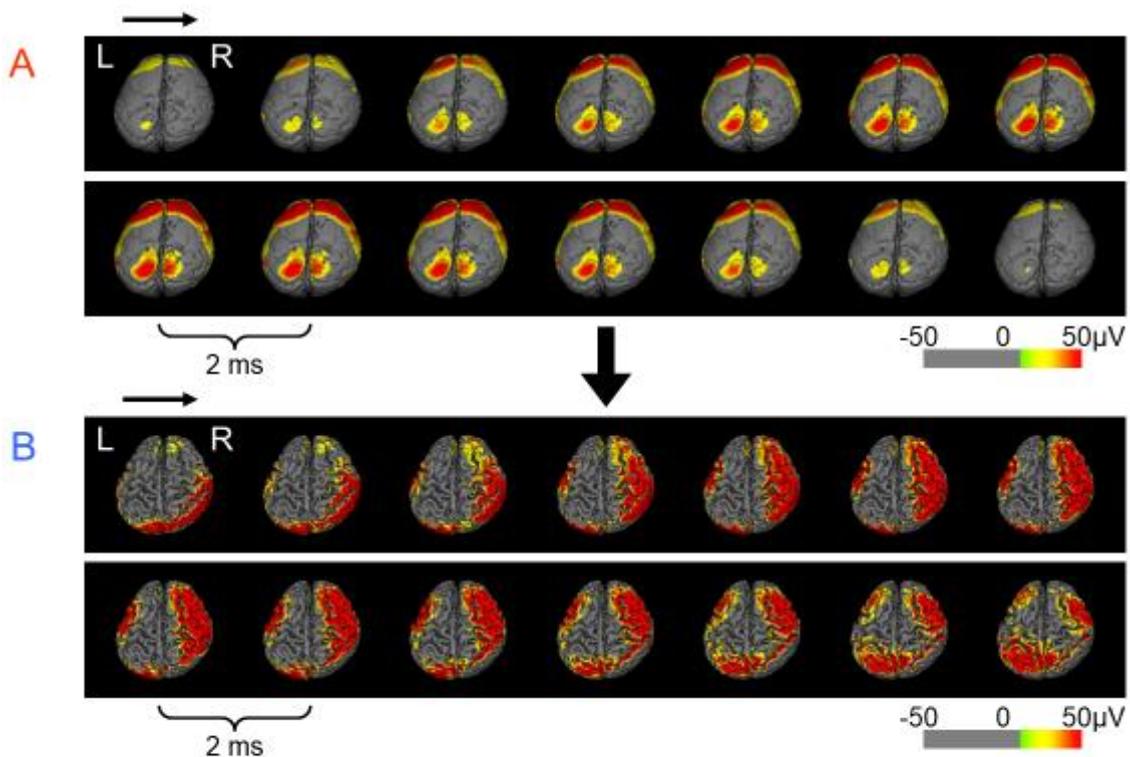


図2 赤ちゃんの開眼安静時のβ波帯域(13-30 Hz)が発達による時系列的変化  
A: 8ヶ月, B: 12ヶ月(A, B共に同赤ちゃん)

#### 0か月～9か月

脳: 大脳皮質は下位の感覚中継核である視床からの入力が少ない(手足からの)、かつ、大脳皮質の連合野間の皮質投射が非常に少ないために左右半球のβ波帯域、α波帯域ともに出現パターンは類似していた。

特に、脳は平行感覚に関与している前庭核や体部位からの筋紡錘からの感覚入力が非常に少ないと思われる。

#### 10か月以降

脳: 赤ちゃんが伝い歩きしたり、バランスをとりながら二足歩行を経験することにより、大脳皮質は手足からの入力が視床を介して多くなり、かつ、前庭核が良く活性化します。また、前庭核は目の筋肉や手足の伸筋にも影響しています。このことによって大脳皮質の連合野間の皮質投射は活発になってきて、β波帯域、α波帯域ともに出現パターンは、左右半球からの情報が脳梁を介して伝わり、非対称になります。すでにその様子は、図2に示しています。脳幹網様体から大脳皮質に覚醒の情報を出し、全体のニューロンの活動性を高めます。そこに、手足からの情報入ってくるようになっていきます。

脳幹のニューロン活動は、幼児、児童と成長とともにクリアになってきます。それは、睡眠と覚醒ではっきりしてきます。参考のために脳幹のニューロンの活動性をMRI画像を示しておきました(図3)。

図3 赤ちゃんの発達に伴う脳波の出現パターンからみた脳内変化

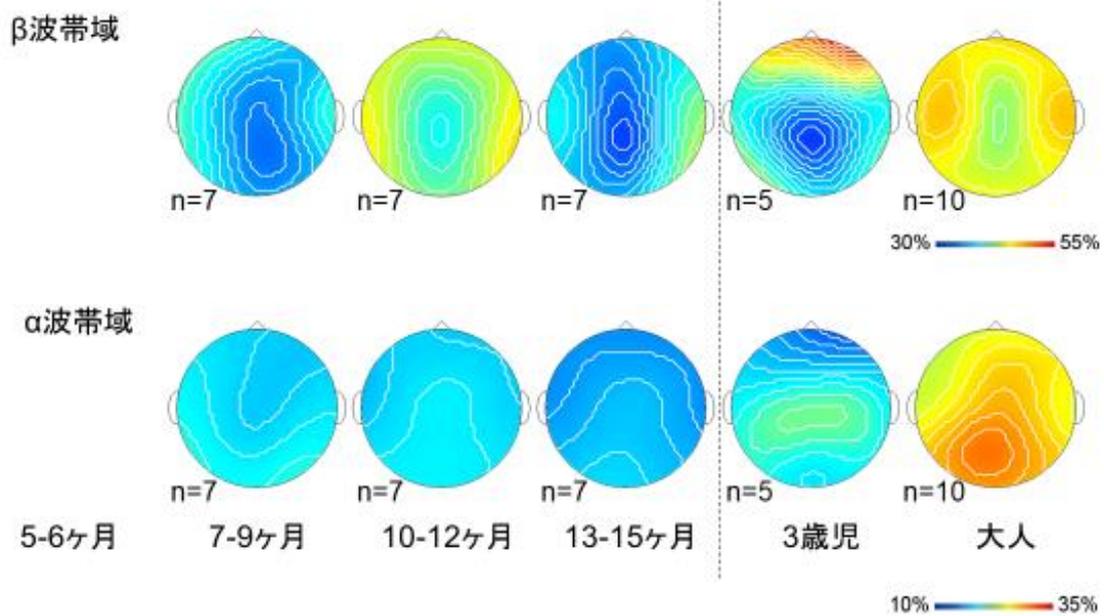


図4 月齢の安静開眼時のβ波とα波における大脳皮質の電位分布図

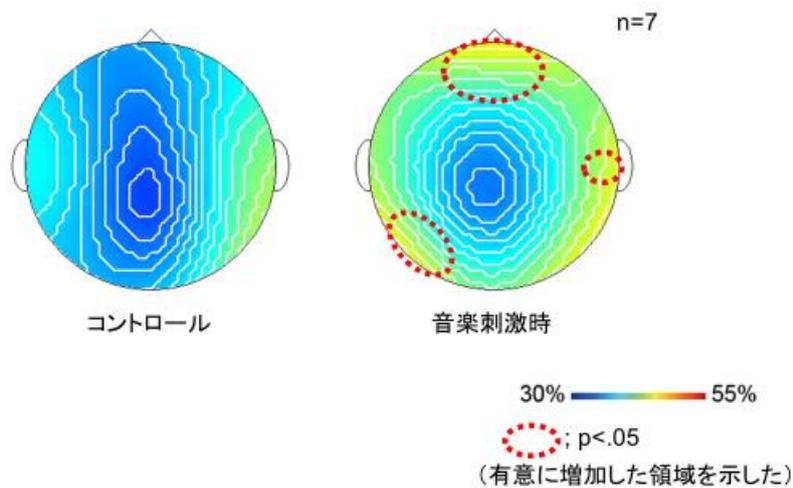


図5 13-15ヶ月時の安静時と音楽刺激によるβ波帯域における大脳皮質の電位分布図(128チャンネル)

安静開眼で前頭前野の電位分布の低い状態に対して外部刺激として音楽刺激(童謡)で前頭前野、左半球の頭頂連合野や右半球の聴覚野などに電位の活性化が見られました(図5)。

一方、α波帯域はβ波帯域の出現パターンが異なり、特にα波帯域は大人で後頭部が他の領域よりも優位に電位分布の出現がみられます。以前に述べたようにα波帯域はリラックス、β波帯域はものを考えたり、情報を皮質投射で伝えたりするときにニューロンの活性化

するものと考えています。記憶の話は、後ほどします。

### 知恵がつくための情報伝達とは？

あるものを覚えるために情報を繰り返すことで、ニューロンとニューロンの接合部分であるシナプスが肥大化し、さらに分裂によってシナプスの数の増加が起こり、情報（興奮）の伝達が起こりやすくなります。これが皮質投射で大脳皮質連合野間を情報の流れを知る方法の一つとしてβ波帯域の観察だと思えます。これが、同時に細胞の興奮が生じて電位が大きくなり、それが川の流れるようにみることが出来ると考えています。

これまで、精神作業に集中すると前頭正中部の電極 Cz, Fz に出現するθ波を Fmθ (front midline θ, 6～7 Hz) が出現することがよく知られています。

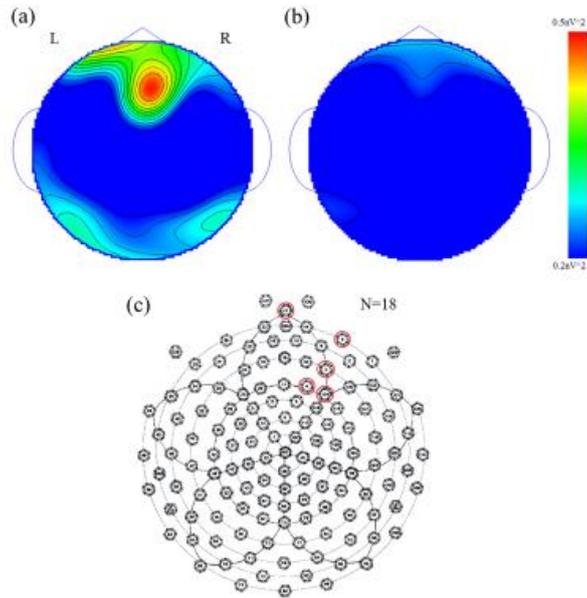


図6 下段の(C)は fMθ 帯域の出現パターン

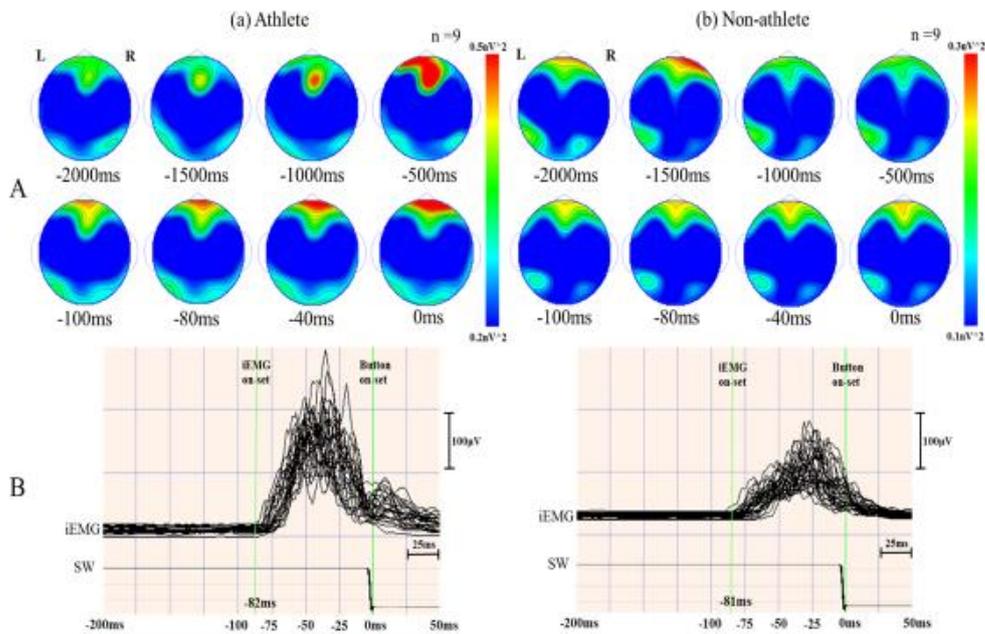


図7 筋放電開始前のfMθ帯域の出現パターンと全波整流した筋放電  
A: fMθ帯域 B: 全波整流した筋電図 0ms: onset(筋放電開始点) I

これがスポーツ選手の熟練した人ほどよく前頭前野に高い電位が前部帯状回 (24 野、32

野、33野)に出現します(図6,7)。それも4Hz~7Hzでよく出現します。これまでの研究報告では、前頭前野の正中線付近の前部帯状回が関与していることが知られています。また、海馬で $\theta$ 波がよくでるので、こことFm $\theta$ の関連性が指摘されています。筋放電開始前まで頭皮上から記録した電位分布図を3秒から示しています。スポーツ選手の方が非スポーツ選手よりも高い電位が出現しています。筋放電量はスポーツ選手の方が非スポーツ選手よりも高く、集中性もよいことが解ります。

## 側頭連合野と長期記憶

海馬は、視覚や聴覚等の外部からの情報が脳皮質連合野を経由して海馬に入力されま  
す。海馬から側頭連合野に長期記憶として保存されていると考えられています。また、側頭  
連合野は形、色の認識に関与しています。さらに、言葉のファイルの感覚性言語野(ウエル  
ニッケ野)や聴覚野があります。人間は、過去に経験した言葉や音声を、感覚性言語野でフ  
ァイル化して必要なときに引き出すのです。

側頭連合野の感覚性言語野(ウエルニッケ野)から前頭前野の運動性言語(ブローカー野)  
に情報がいき、そこで必要な言葉をつくり、運動野の口の筋肉に関する出力細胞を刺激して  
いるのです。

## 頭頂連合野は空間位置に関与

赤ちゃんが、積み木でよく遊ぶ様子をみかけることがあります。それは脳にとって大切  
なことなのです。それは、脳の発達にとって側頭連合野で○□△とか形と色を認識してい  
るのです。さらに、その情報は側頭連合野で空間位置を認識して運動野からの出力細胞から髄  
に下降し手、指の筋肉を動かします。

そして、その皮膚や筋肉内の筋紡錘(伸展受容器)らの情報が脳の体性感覚野で入力され、  
皮質投射で運動野にフィードバックされ、かつ、前頭前野にも情報が行き、意思決定され、  
この繰り返しで脳と手、指の動きが上達していくのです。この赤ちゃんは、無いものをつく  
り出す創造性を鍛えていると思ってください。私達、大人から見ると何を創っているのだろ  
うと思っていても、赤ちゃんにとって、真剣そのものです。

以前に述べましたように、生まれた時には、側頭連合野、頭頂連合野、前頭前野(前頭連  
合野の一部でオデコに近い部位)は、ニューロンはほとんど活動していなくて、初めて外部  
刺激によって活性化します。

## 大脳皮質のミラーニューロン

最近、ミラーニューロンは、サルの腹側運動前野(F5野)で見いだされました(図8,  
9)。F5野は運動関連野として知られています。そして、かつ視覚情報も入ってマルチニュー

ーロンの働きがあるのが特徴です。対象物を手で握ったり、口に近づけたりすると活動します。

手や口という身体部位の動きと関係しているといわれています。その後、サルの下頭頂小葉（7b野）でも見いだされたが、少し働きがことなり、F5野に比べてより抽象的な刺激に反応するといわれています。

これらの領域は、視覚情報、運動も関連していると思われま。

また、ヒトの場合には、ブローカー野に相当するところで発声しながら手振り運動が生じることからも関連性を持つといわれています。この解明には、まだ研究が必要です。

現実的に赤ちゃんが相手の口の動きを観察して、赤ちゃん自身も同じように真似をすることを、よく見かけることがあります。これも、脳内のミラーニューロンが関与しているものと推測されます。

赤ちゃんが言葉を覚える時は、前頭連合野のニューロンを働かせることにより相手の口元を観察し、口の動きを真似て、同時に側頭連合野の聴覚野やそれに隣接している感覚性言語野（ウエルニッケ野）言葉のファイルで整理されます。

私が調査したところ、子どもの頃から、いろいろの体験や読書をする事は、脳に沢山の知識が貯蔵され、そのことにより、「知恵」や「ひらめき」が生まれやすいのだらうと思ひます。

インドの子どもたちは、毎日、一冊の本を読み、図書館に入荷した本を何十冊と読みます（チェンナイ、南インド）。年間300以上を10年間読んだ子と、まったく読まなくて、脳に知識が無い子どもの場合、どちらが良いかは問うまでもないと思ひます。

幼児からは是非、読書する習慣をつけて欲しいと思ひます。この習慣がつくと自然と勉強す

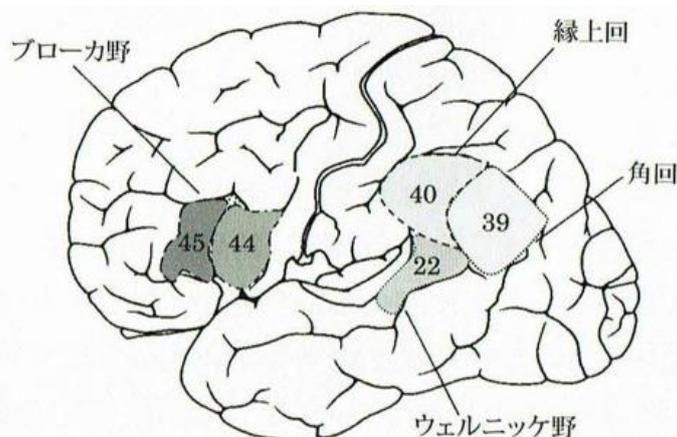


図 8 言語野（ブローカー野，ウエルニッケ野，角回，縁上回）の大脳皮質上の位置（乾，2005 を改変）

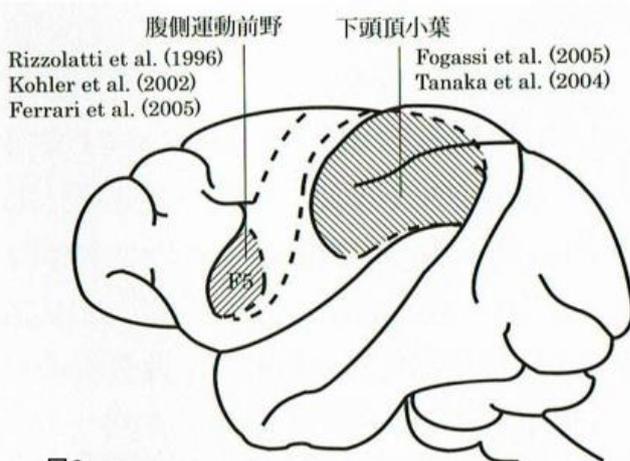


図9 ミラーニューロンが記録された部位（マカクザル）

るようになると思います。勿論、会話力は高まり、知識は豊富で教養が高いと評価されると思います。

耳で聴いて、黄色の花を想像して季節が春から夏にかけて開花し、オランダで有名な植物と言っただけで想像することができます。きっと、皆さんはチュリップだと決定することができるのではないのでしょうか？

この時、脳の中で何が起きているかという、側頭連合野の聴覚野、感覚性言語野（ウエルニッケ野）から頭頂連合野の花のファイルからチュウリップを選び、側頭連合野から黄色の情報を頭頂連合野に皮質投射し、かつ国別のファイルからオランダのチュウリップの咲いている風景が想起され、これらが連結することで鮮明になります。さらに、これを口で説明したり、あるいは書かせることで理解度がわかります。

## 言語システム

ヒトだけが言語能力を持っている理由は、言語機能のために分化したといわれています（図6）。脳損傷研究から言語システムは、ほとんどのヒトで左半球優位です（図8）。

知識をみるためには、脳に外部刺激が必要で脳内に貯蔵されているものを言語で出力する必要があります。さらに、書いたものを見て言語で表現することもあります。

ヒトの大脳皮質言語野は、頭頂連合野から側頭連合野にかけて発達した特有なものであり、思考系の重要な部分であります。チンパンジーを例にとると、ヒトと同じように喋ることができるかという、まったくできません。

その理由は、チンパンジーの喉の構造が発音に適していないこともありますが、頭頂連合野はヒトに比較して発達していないのが現状です。

話は、速聴の話になりますが、普通のテープスピードよりも4倍、3倍で聴くと、その内容が聴き取れない。しかし、2倍スピードから徐々にあげていくと、その内容も分かるようになります。要するに、脳の感覚性言語野あるいはウエルニッケ野（言語のファイル化した場所）と呼ばれている領域をフル回転させることが注意集中力を高めます。

あるテレビ番組で速聴の実験取材がありました。速聴を教えている先生が4倍のスピードでテープを回していて、手を挙げた人がいました。私達には、まったく聴き取れなくて哑然としていました。内容は、「工藤さん、手を挙げてください」と言っただけ。

そこで、その人の脳波から分析をするために実験をしました。頭の回転を良くするための方法の一つであると思います。このことについては、別の機会に述べたいと思います。

**頭頂連合野は、脳に入った多くの情報や空間位置を分析。**

**側頭連合野は、記憶への組み入れ、形、色や音の分析、言語のファイル、記憶との照合。**

**前頭連合野は、上記の連合野からの情報に基づき計画を立案、プログラム化して意思決定、運動野に出力。**

## ソロバンの脳の活動

ソロバンの達人が3桁の見取り暗算を行った時のfMRIから、両側半球の背外側運動前野の後部頭頂皮質で左右対称性に強く活動しました。一方、ソロバン経験のない被験者が1桁の見取り暗算を行った場合、左半球のブローカー野（運動性言語野）、前頭前野、左腹側一背外側運動前野、両側前補足運動野、左後部頭頂皮質に活動を認めました（図10）。

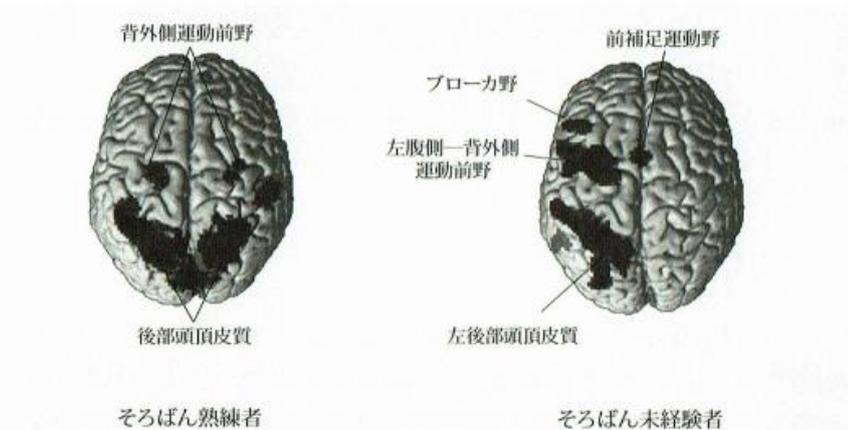


図10 そろばん熟練者と未経験者の暗算時の脳活動  
そろばん熟練者では左右対称な活性化が認められるのに対して、未経験者では左半球の言語領域を中心に活性化が認められる。

ソロバンの達人は脳内の空間情報を処理していることが明らかで、ソロバンの達人は脳内でソロバンの球が上下に動いている映像が見えていると主張しています。特に、右半球の頭頂連合野の空間情報を上手に使っているのではないかと推測されます。

インドでは、幼児期にソロバンよりも暗算のみで頭を使わせるようにしています。暗算の場合は、左半球頭頂連合野が働き、これは、明らかにソロバンと暗算とは脳の働きまったく異なります。  
(つづく)