

## 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 4 回 前頭前野と学習（平成 31 年 4 月）

脳科学者 森 昭 雄（日本のお手玉の会顧問）

これまで、学習を調べる方法として、動物実験で脳の局所を破壊、冷却、薬物での一時的な遮断などがあります。その影響によって、動物の記憶が困難となりエサ取りの行動が上手にできなくなるか、あるいは遅延が生じるようになるなどの変化が起こってきます。これらの方法は、倫理面から直接ヒトに応用することは出来ません。

ヒトの場合は、その部位に脳腫瘍、脳梗塞、脳出血を断層写真らによって、どのぐらい損傷を受け、かつ記憶テストで記憶力にどのような影響を及ぼしているかをしらべます。

ここでは、学習に関係している前頭前野について主に述べたいと思います。前頭前野は、脳のなかでもミトコンドリアが最も多く、エネルギーの発生する広い領域を持ち、その領域を外側面、内側面、底部に分けています。以前に前頭前野の入力ならびに出力について詳細に記載しましたので、そちらも参考にいただければより理解されると思います。

大脳皮質の前頭前野には、ワーキングメモリー（作業記憶、作動記憶）に関係した部位が、左右半球の背外側部位に存在しています（図 1）。

脳の中には、記憶に関連した領域は前頭前野以外にも他がありますが、ここではお手玉に関連している前頭前野に絞って述べたいと思います。

ヒトが会話や文章を理解、推論、判断、暗算するなど学習機能は、様々な認知活動に情報の一時的な保持が不可欠であることは、想像がつくと思います。これは、記憶を一時的に保持し、必要な時に引き出したりすることが出来ます。この記憶は、短期記憶に属するもの

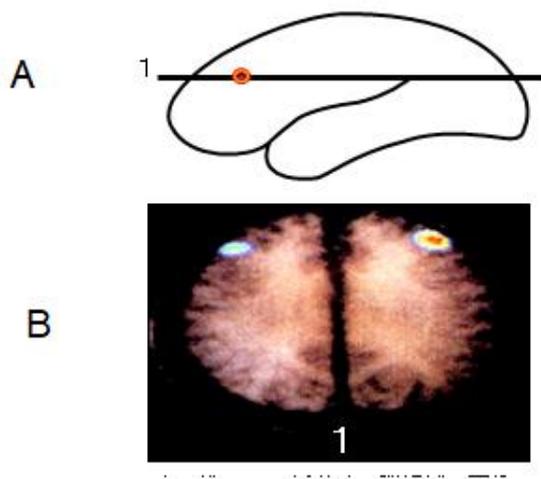


図1 前頭前野のワーキングメモリー領域を示している  
A: 左半球側面 B: PET-MRIで左右のワーキングメモリー部位

で短い記憶で、よく日常使われています。

例えば、相手と会話している時に、相手の話を記憶に留めながら持続的に会話をする時などです。この機能がなくなると会話が成立しなくなります。スーパーで買い物をし、いくらのもを買ったか頭で計算している時などワーキングメモリーが働いています。別の項目で出てきますが、インド人がなぜ認知症になりにくいかと言うと 70、80 歳でも計算機を使わなくても脳の中で計算をして、おつりを出したりしています。

家庭で、ヤカンでお湯を沸かしている時に、お客さんが来たので玄関に出て、その対応をしている間に、お湯を沸かしていることをすっかり忘れてしまっているなどが、そのいい例です。

ワーキングメモリーは、ある作業に対して必要な情報を必要な記憶期間（数秒～数分）に関与しています。しかし、情報は作業中に刻々と変化していくために、保持している情報は変更や更新など、場合によっては長期記憶も引き出しながら、ワーキングメモリーで保持している情報の操作や処理する機能を持ったものでなければなりません。相手の話の内容、書かれた文章の内容、意味など刻々と変化するものに短時間で情報を保持し、かつ処理しなくてはなりません。その意味では前頭前野のワーキングメモリーは、精密に出来ていると思います。

ワーキングメモリーの概念は、1974 年にグラハム・ヒッチ、アラン・バデリーによってはじめて「言語理解、学習、推論のような複雑な認知活動のために必要な情報の一時貯蔵や

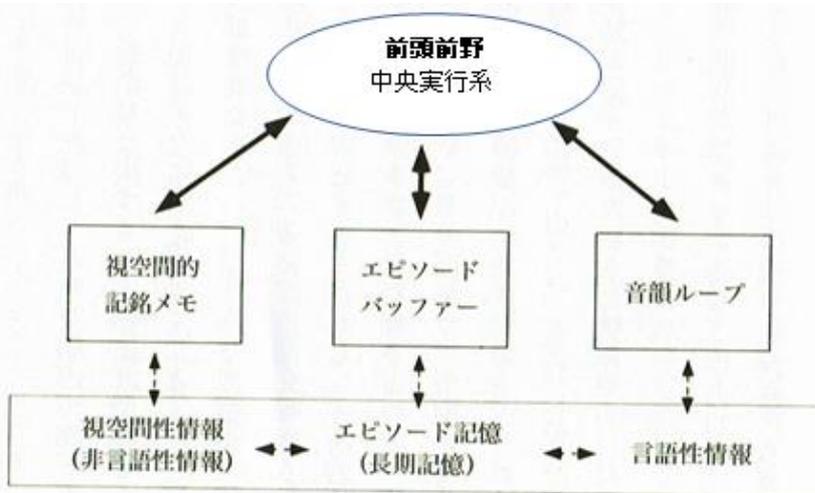


図2 前頭前野のワーキングメモリーの要素分類

操作を提供するシステムであり、さまざまな活動や課題の要求に柔軟に対処できる性質を備えたものである」と提唱されたのです。

また、この記憶を「受動的記憶」と「能動的記憶」に分けています。

受動的記憶：入力された情報が時間的

経過で安定しない貯蔵。

能動記憶：入力された情報をリハーサル、注意など能動的に一時貯蔵。

ワーキングメモリーを説明するための 4 つの要素からなる構成図をつくり、分類しています（図 2）。

構成要素は、「会話、文章の理解など言語によって生じる情報系の処理に関する「音韻ル

ープ」、視覚的なもので聴覚が関与しない情報系の処理に「**視空間的記録メモ**」、長期記憶からの情報系と関連しているエピソード情報を一時的に保留する「**エピソード・バッファー**」、これらの三つの情報を制御する前頭前野の意思決定に関与している「**中央実行系**」となります。

エピソード記憶は、宣言記憶（人の記憶で事実と経験を保持し、意識的に議論したりすることから陳述記憶とも言う）の一部であり、事象の記憶であり、時間や場所、その時の感情が含まれています。自伝的記憶はエピソード記憶の一部であり、その時の感情が強く影響します。

私たちは、日常生活で会話したり、雑誌や写真を見たりし、それらを一時的に保持するために脳内で反復して記憶を一時的に保持することが出来ます。これが言語であれば「音韻ループ」であり、相手が話した言葉はすぐ消えてしまいますが、その内容を整理して一時的に保持する仕組みが必要であります。

最近のパソコンやアイホン、進化して音声の出るものや文章を手書きしたら、それを活字に自動変換できるタイプのものが購入できるようになりました。先日、ある喫茶店に入っていたら、隣で女性が凄いスピードでパソコンの画面に人差し指で文字を書いて、それを変換する機能がついているのを見て感心しました。ITも脳のことを考えるようになってきたと思いました。

非言語化として視覚イメージを使って写真や映像のように、一時的に保持する「**空間的記録**」もよく利用しています。

私ごとになりますが、所ジョージさんの子ども向き科学テレビ番組の実験収録で、「人間は、1秒間で何桁を記憶することができるか」、をしらべることです。課題は、「TVスクリーンで15個までの数字を見せ」、また、同時に脳波（128チャンネル）を頭皮上から記録を行うことでした。協力者（被験者）は、小学校3年生のフラッシュ暗算の日本一の子でした。

私個人としては、人間の脳は最大どのぐらい記憶できるのか、大変興味がありました。課題は、モニターで0.3秒間15個までの数字を表示し、それをいかに覚えていることができるかです。被験者は、15個の数字は全て正解でした。実験が終了した後、被験者に聞いたところ、数字は12個まで覚えて、後の数字は写真のように映像化して記憶しています。と本人が話をしていました。

人間のワーキングメモリーは、見たものを「音韻ループ」としては、最大12個ぐらいで、後の3個は言語化できないので「**視空間的記録メモ**」で一時的に数字を保持しているようです。このことから、ワーキングメモリーの容量は小さいと思われ、上記の2つを上手に使っているようです。この数字は、直ぐに記憶から消えてしまい、次の課題に移行します。前の記憶が消えることが大切で、次に新たな数字を保持しなければならないのです。実験が終わったら課題の時の数字は、思い出すことができません。

また、この子は所ジョージさんのTV番組で野球経験が無いのにバッティングセンターで時速150キロのボールを軽々打つことが出来たと言うことで話題になりました。これは、瞬時

に 15 個の数字を読み取り、一時的に記憶することが出来る目とワーキングメモリーを持ち備えていることに深く関係しているのではないかと考えています。これまでの公式最高記録は約 169 キロで、2010 年にメジャーリーグのアロルディス・チャップマン選手です。日本人では、大谷翔平選手が国内で出した公式記録が時速 164 キロとされています。プロ野球のイチロー選手は、野球ボールが一瞬止まって見え、かつボールに書いている文字も読める。と言っていることから好きな所にボールを打つことが出来るのであろう。このことから、通算安打世界記録保持者のイチロー選手は、目が良くて、かつワーキングメモリーの機能が良いと推察されます。

サンプル・カード



テスト・カード



図3 ウィスコンシン・カード

ヒトの前頭前野の学習機能を調べる方法としては、外側部位の損傷例から検討するしかなく、動物実験のように局所破壊ができないのです。前頭前野の外側部の働きとワーキングメモリーの関係性を調べる方法としてテスト式のものがあります。それは、「位置異同課題」、「新近性記憶課題」、「ウィスコンシン・カード分類テスト」などがあります。

**位置異同課題：**1枚のカードの上下にそれぞれ異なる図形や文字が描かれた8枚のカードを検査する人に順次見せた後、二種類の図形や文字が横並びに描かれた1枚のカードを見せます。さらに、先に見せた8枚のカードの上側（または下側）に描かれていたのは、どちらかを問います。空間性視覚情報の一時的保持を必要とする課題です。この部位の損傷で記憶の低下がみられます。

**新近性記憶課題：**異なる図形や文字が一つだけ描かれた8枚のカードを順次検査する人に見せた後、二つの図形や文字が先に見せられたかを聞きます。このテストも一時的記憶の保持を必要とするものです。この部位の損傷によって、記憶の時系列が狂ってしまいます。

**ウィスコンシン・カード分類テスト：**128枚のカードを検査する人が正しく分類する課題です。カードには、**四種類の図形**（丸印、星印、十字印、三角印）の一つが、**四種類の色**（赤、緑、黄、青）のどれかで、**四種類の数**（1、2、3、4）のうちのある数が描かれています。被験者は積み重ねたカードを上か順に1枚ずつ取り、各カードに描かれた図形、色、数をもとに、実験者が決めた分類カテゴリー（形の違い、数の違い、色の違い）に従って、これらのカードを分類しなければなりません。

カードの分類した結果に対して、「正解」か「不正解」かを答え、実験者は被験者にカードの分類に対して的確に答えたかをしらべます。被験者は、決められた手順で見つけたカ

ードを分類カテゴリーに照らし合わせて、それが「図形」、「色」、「数」であるかを決定していくことを要求されます。被験者が10の課題をすると、実験者は分類カテゴリーを変更します。分類カテゴリーを変更したことを被験者に知らせるために前のカード分類の結果に対して、実験者はわざと「不正解」と答えます。そして、再び実験を続けます。

このことによって、前の一時的な記憶が消えて、新たな記憶が出来るかをしらべることができます。簡単に言うとカテゴリーの消去や更新の切り替えができるかです。もし、それが出来ないようであれば、ワーキングメモリーの部位に問題があることを推測します。

お手玉を黙々とこなす場合と、それに歌いながらやる場合には、脳の使い方が違います。歌を口ずさんでお手玉をやる場合には、歌に合わせてリズムカルに身体を動かして、手でお手玉を受けたり、上にあげたり、しないと持続することはできません。

すなわち、お手玉は脳と身体各部位および歌と連動しないとできません。歌がはいることで、より脳の働きは複雑になることが想像できるかと思います。それは、ワーキングメモリ一、長期記憶、体性感覚野、運動連合野、運動野、聴覚野、言語野および視覚などを総動員しなければなりません。

できれば、お手玉に歌を伴うようにした方が、脳の働きが複雑になり、より効果的です。日本の伝統文化であるお手玉は、声を発する歌が大切なので世界に類をみない誇れるものと確信しています。

(つづく)