

[研究助成 (A)]

学習内容の定着に関わる脳活動の同定

Identification of neural activity associated with memory consolidation

2191022



研究代表者

東海大学 情報通信学部

講 師

中 谷 裕 教

[研究の目的]

どんなことでも初めのうちは上手には行えない。しかし、学習を通して知識や技術を身に付けることで素早く正確に対処できるようになる。では、効率よく上手に行えるようになるためにはどのようにしたら良いのだろうか。私は効率的な学習法と学習に関わる脳の仕組みに興味を持って研究を行っている。

人間と機械の調和の促進においても学習は重要である。人間と機械が調和するためには、人間にとって扱いやすいように機械を設計する必要があるがそれだけでは不十分で、人間が機械の扱いを学習する必要もある。

学習内容を知識や技術として身に付けるためには、学習内容を忘れることなく記憶に定着させる必要がある。そこで、学習内容を効果的に記憶に定着させる実験課題を開発し、学習内容の記憶への定着に関わる脳活動の解明を試みた。

[研究の内容, 成果]

1. 研究のアイデア

アトキンソンとシフリンの記憶の二重貯蔵モデルによると、記憶のシステムは短期記憶と長期記憶から構成されている。短期記憶は数個程度の情報を一時的に保持し、長期記憶は大量の情報を半永久的に保持する。また、外界からの

情報はまず短期記憶に保持される。それゆえ、学習した内容を知識や技術として身に付けるためには、学習中に短期記憶に格納した情報を長期記憶に移行させる必要がある。

短期記憶に格納した情報を保持するためにはリハーサルと呼ばれる認知的な処理が必要になる。リハーサルには2種類あり、それぞれ維持リハーサルと精緻化リハーサルと呼ばれている。維持リハーサルは情報を一定時間頭の中で繰り返すものである。リハーサル中は情報短期記憶の中にとどまるが、長期記憶には移行しないのでリハーサルが終わると忘れてしまう。一方、精緻化リハーサルでは情報の意味や特徴を認識しながら頭の中で繰り返すものである。意味理解や特徴分析が必要なので認知的な負荷は高いが、情報が長期記憶に移行しやすいので学習した内容は知識や技術として身に付きやすい。

そこで、維持リハーサルと精緻化リハーサルのそれぞれに対応した学習条件を作成し、学習内容の記憶への定着の度合いと脳波活動を学習条件間で比較した。

2. 方法：実験課題

図1に示す視覚運動系列学習課題を用いて実験を行った。この課題では3×3の9個のマスの中に1から5までの数字が提示される。被験者は手元にある3×3の9個のボタンを使い、左右を反転させた状態で1から5までのボタン

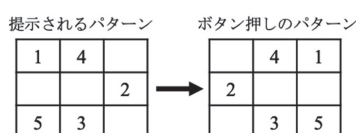


図1 実験課題

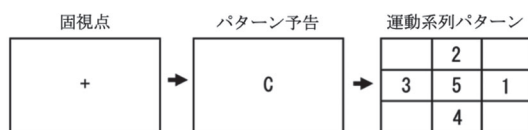


図2 視覚運動系列パターンの提示方法

を順に素早く押す。初めのうちは課題の遂行に時間がかかるが、学習が進むに連れて素早く課題を遂行できるようになる。

学習実験では4つのパターンをそれぞれ40試行ずつ行った。学習内容の記憶への定着を評価するために、学習実験から25分後に評価実験を行った。評価実験では、学習実験で用いた4つのパターンに加え、新規のパターンを4つ用いた。学習内容が記憶に定着していれば、学習実験で用いた4つのパターンの遂行時間は新規のパターンよりも短くなるはずである。

図2に示すように、一回の試行は3秒間の固視点提示、2秒間のパターン予告提示、運動系列パターンの提示の3つの要素から構成されている。本実験で用いた課題は視覚運動系列学習課題であるため、学習は視覚に関する認知的なものとボタン押しに関する運動的なものから構成されている。運動系列パターン提示時は認知と運動の両方の学習に関する脳波活動が観察され、またパターン予告提示時は認知に関する成分のみが観察されることが期待される。そこで、認知と運動のそれぞれの学習に関する脳波活動を切り分けるために、運動系列パターンを提示する前にパターンの予告を行った。

3. 方法：学習条件

学習内容の長期記憶への定着度合いを実験的に操作するために、維持リハーサルと精緻化リハーサルのそれぞれの特性に着目して学習条件を2つ設定した。1つは同一のパターンを連続

して学習するブロック学習条件、もう1つは複数のパターンをランダムな順番で学習するランダム学習条件である。

ブロック学習条件では同じことを繰り返すだけなので維持リハーサルで対応可能であるが、ランダム学習条件では各パターンの特徴を認識しないと学習を行えないため、精緻化リハーサルを行うことになる。

4. 方法：被験者

18歳から26歳までの39人（男性：28人、女性：11人）が被験者として実験に参加した。当初はブロック学習条件に20人、ランダム学習条件に20人を予定していたが、ランダム学習条件での成績の個人差が大きかったため、ランダム学習条件の被験者を成績に基づいて上位群と下位群に分け、それぞれ13人から構成されるブロック学習条件、ランダム学習条件上位群、ランダム学習条件下位群の3つのグループとした。

なお、本研究は東海大学・倫理委員会の承認を受け、実験参加に関する同意を書面で得た上で実験を実施した。

5. 方法：脳波計測および脳波解析

国際10/20法に基づいて銀塩化銀電極を被験者の頭皮に装着し、Polymate Pro MP6100（ミユキ技研社製）を用いて標準化周波数500 Hzで脳波信号を計測した。

測定した脳波信号に対して独立成分分析を適用して眼球運動や瞬きに伴ったアーチファクトを除去した。その後、連続wavelet変換を適用して脳波信号を時間周波数領域上に展開し、学習課題遂行中の波形について時間方向での平均を求めて周波数領域上での振幅スペクトルを評価した。

6. 結果：学習内容の記憶への定着度合い

学習実験および評価実験での成績を図3に示す。赤で示す「学習実験：最後の5試行」は学

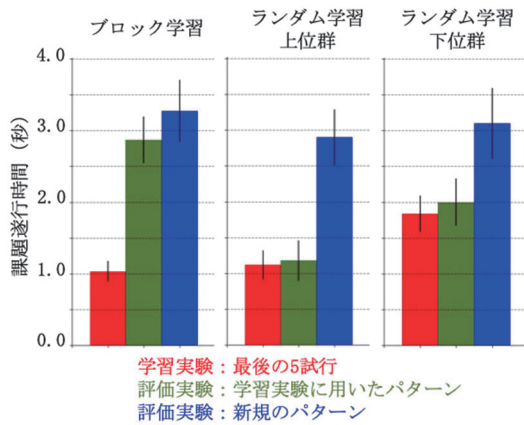


図3 課題遂行時間

習実験で行った各パターン 40 試行のうちの最後の 5 試行の課題遂行時間である。なお、学習パターンは 4 つあるので、その平均値を示している。緑で示す「評価実験：学習実験に用いたパターン」は学習実験で用いた 4 つのパターンについての評価実験での課題遂行時間である。青で示す「評価実験：新規のパターン」は学習実験では用いなかった 4 つのパターンについての評価実験での課題遂行時間である。

ブロック学習条件では学習実験の最後の 5 試行は 1 秒程度で課題を遂行できているにもかかわらず、25 分後に行った評価実験では 3 秒程度の時間を要しており、学習内容は記憶に定着していないことが分かる。

一方、ランダム学習条件の上位群ではブロック学習条件と同様に学習実験の最後の 5 試行は 1 秒程度で課題を遂行できている。評価実験においても学習実験で用いたパターンは 1 秒程度で遂行できている、3 秒程度要する新規のパターンより速いので、学習内容は記憶に定着していると判断できる。

またランダム学習条件の下位群では学習実験の最後の 5 試行は 2 秒程度と時間がかかっており、学習はまだ完了していない。しかし、評価実験でも学習実験で用いたパターンを同様に 2 秒程度で遂行していることから、学習内容は記憶に定着していると考えられる。

7. 結果：学習内容の記憶への定着に関与した脳波活動

学習時の脳波振幅スペクトルを図 4 に示す。ブロック学習条件では頭頂葉にアルファ波 (10 Hz)、ランダム学習条件では成績の上位群と下位群ともに前頭葉にシータ波 (6 Hz) が特徴的に観察された。図 3 に示す課題遂行時間の結果からランダム学習条件時に学習内容が記憶に定着すると判断できるので、ランダム学習条件時に観察された前頭葉のシータ波が学習内容の記憶への定着に関与していると考えられる。

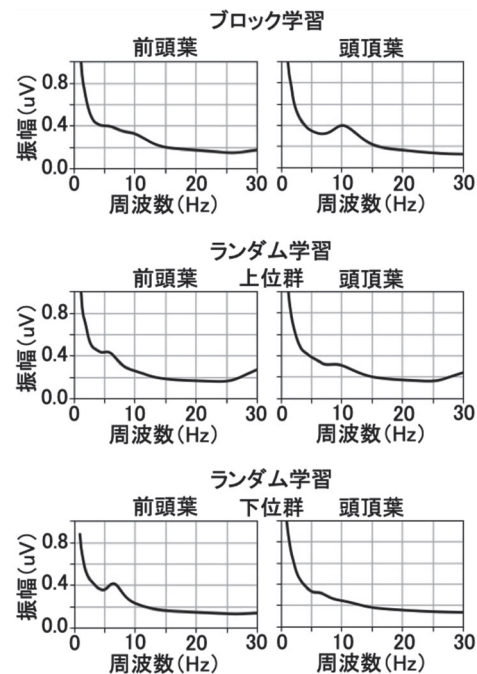


図4 学習時の脳波振幅スペクトル

8. 結果：学習時の前頭葉シータ波

学習内容の記憶への定着に関わる前頭葉のシータ波の振幅が学習にともなってどのように変化するかを調べたところ図 5 の結果を得た。赤は固定視点が提示されている時の、青はパターンが提示されて学習を行っている時の振幅である。1 つのパターンにつき 40 試行の学習を行っており、5 試行ずつの結果を表示している。なお、学習には 4 つのパターンを用いたので、この結果は 4 つのパターンの平均値である。また、紫色の * は固視点提示時と学習時の

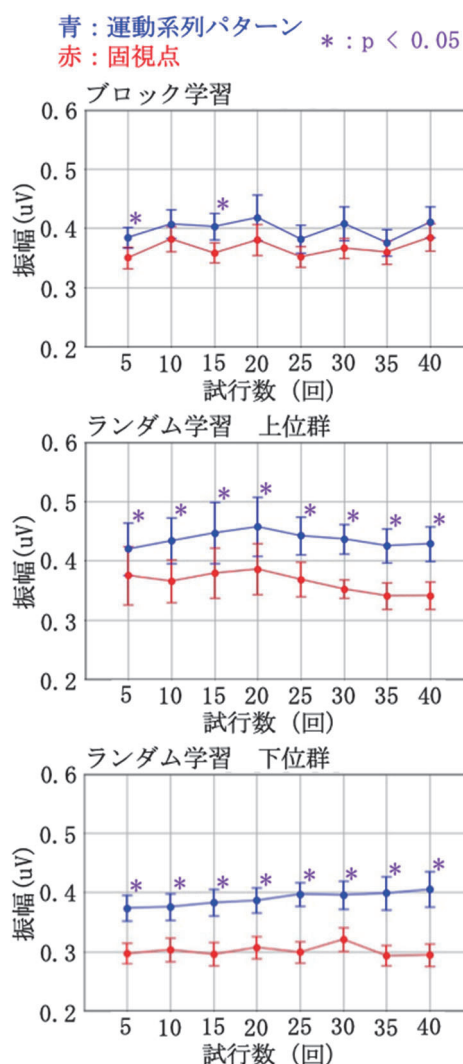


図5 学習時の前頭葉シータ波の時間発展

シータ波の振幅値に統計的に有意な差異 ($p < 0.05$, 対応のある t 検定) があることを示している。

図5より、ブロック学習条件では学習時のシータ波に振幅の増大はみられないが、ランダム学習条件においては学習成績の上位群と下位群ともに学習の初期段階から振幅が増大していることが分かる。

9. 結果：学習の成績と前頭葉シータ波

ランダム学習条件での学習の成績は個人差が大きいため、成績の個人差と前頭葉シータ波の関係についても調べた。結果を図6に示す。

赤は固視点提示時、緑はパターン予告時の

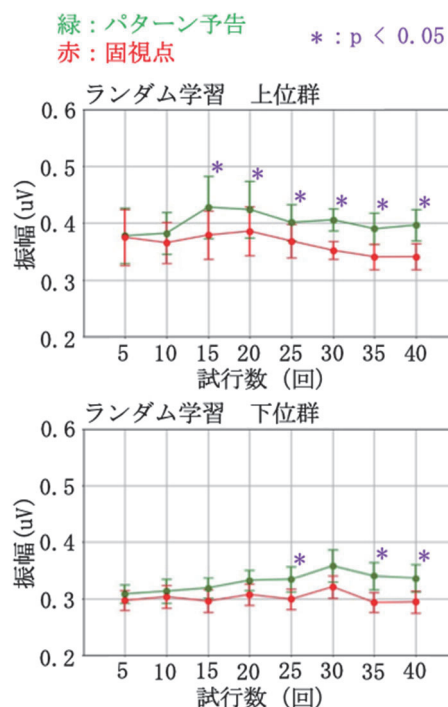


図6 学習の成績と前頭葉シータ波の関係

シータ波の振幅を5試行ごとに表示したものである。また、紫色の*は固視点提示時とパターン予告時のシータ波の振幅値に統計的に有意な差異 ($p < 0.05$, 対応のある t 検定) があることを示している。

成績上位群では学習の比較的早い段階からパターンの予告に対してシータ波の振幅が増加するのに対し、下位群では学習の後半になってようやく増加した。このことから、パターン予告の情報に反応できるかどうかは学習の成績を決める要因の一つになっていると考えられる。

10. 結果のまとめ

これまでに示した結果から、前頭葉のシータ波は学習内容の記憶への定着と学習の成績の両方に関係していると結論づけられる。そのため、学習を効率的に行うためには前頭葉のシータ波が重要な鍵を握っていると考えられる。

[今後の研究の方向、課題]

今後の研究の方向と課題は大きく分けて2つ

ある。1つは学習に関わる脳の仕組みの解明である。本研究で観察したシータ波は海馬での記憶処理に関与していることが知られている。海馬は個人が経験した出来事に関する陳述記憶において主要な役割を担っている。一方、本研究で扱ったボタン押しに関する運動学習は言葉では表現しにくい非陳述記憶に関するもので、小脳での記憶処理に関与しているはずである。視覚運動系列学習課題における認知的な部分の学習には海馬が、運動的な部分の学習には小脳が担当し、海馬と小脳が連携して学習内容の記憶への定着に関与している可能性がある。今後はMRI装置を用いた脳機能イメージング実験を

行って検証していきたい。

もう1つは教育の現場への応用である。本研究で得られた知見に基づいて授業の組み立て方や教材を工夫して、教育効果を高める取り組みを行っていきたい。また機械やコンピュータの操作の学習にも応用することで、人間と機械の調和の促進にも貢献していきたいと考えている。

[成果の発表, 論文等]

- [1] 中谷裕教, “視覚運動系列学習課題におけるシータ波帯域脳波活動の記憶定着への寄与”, 電気学会C部門大会 マグネティックス & 医用・生体工学合同研究会 (2021年3月16日 オンライン開催)