

# 中国ゴマの技能習得過程と脳活動状態の関係分析

松下和斗<sup>†1</sup> 三浦浩一<sup>†1</sup> 松田憲幸<sup>†1</sup> 内尾文隆<sup>†1</sup> 瀧寛和<sup>†1</sup>

**概要:** ヒトが技能を習得する際、まず基礎的な知識を知り、実際に体を動かして練習する。試行錯誤を繰り返すことで正しい動作を実感し、動作に慣れ、技能が習得される。技能習得の初期段階では感覚からのフィードバックに大きく依存した状態から、練習を積むと経験に依存した正確な状態へと、技能学習は段階的に進行すると考えられる。そこで本稿では、中国ゴマの技能習得に着目し、その習得過程にともなうヒトの脳活動状態の変化について分析を行う。

**キーワード:** 技能学習, NIRS, 脳活動分析

## 1. はじめに

ヒトは運動技能を身につける際、運動に必要な基礎的な知識を知り、実際に体を動かして練習する。試行錯誤を繰り返すことで、正しい動作を実感し、動作に慣れ、技能が習得される。運動学習とは、知覚を手掛かりとして、運動を目的に合うように制御することにより、運動技能が向上していく過程である。

技能学習の過程において着目すべき点として、コツをつかむということ、学習者の気づきによって学習段階が移行することが挙げられる。この学習者の習得段階に応じて必要な気づきを促す指導が、学習者の技能を向上させる上で重要なものとなっている[1][2]。したがって、技能学習の過程における学習者の学習段階を把握することが重要な技術課題となっている。その方法としてこれまで、学習者にアンケートをとる方法や、学習に要する時間を計測する方法などがとられることが多く、特に学習者の気づきについては、学習者にアンケートを実施することによりそれを把握することが一般的である。しかし、アンケートをとる方法は学習者の主観によるところが大きく、気づきを得ていない学習者にとって必要な気づきを分析することは困難である。

また、図形課題遂行時の脳内の血流状態に、道具の有無や、学習者の課題解決方法の獲得時に変化が見られることから、脳内の血流状態を測定することで学習過程を分析できる可能性が示唆されている[3]。

そこで本稿では、技能学習者の脳活動状態から、学習者の学習段階を分析、評価できるか検証することを目的とする。その際、中国ゴマを回す技能に着目し、検証を行う。中国ゴマの回転技術の学習過程において、NIRS (near infrared spectroscopy: 近赤外分光法) 脳血流計を用いて、脳血流の酸化ヘモグロビン量の変化を捉えることにより、技能学習に伴ってみられる脳活動変化の特徴を捉える。

## 2. 技能学習と脳活動

本節では、技能学習と脳活動についての関連研究や、技能学習に関する考え方を取り上げる。

### 2.1 Rasmussen の『行為の3段階モデル』

Rasmussen は人間の行動を知識ベース行為、規則ベース行為、技能ベース行為の3段階のレベルで表している。知識ベース行為とは、不慣れな状況において目的や抽象的な概念からなされる行為を表しており、規則ベース行為は、過去の経験と学習によって獲得した規則や手順を意識的に適用する行為を表す。技能ベース行為は、熟練した状態における自動化された、無意識的な行為となっている。

このモデルを技能学習の段階に適用した場合、人は初めてある技能を為す場合、知識ベース行為として行い、知識ベース行為の経験から、手順が意識的に運用できる、すなわち規則ベース行為へと段階が移行する。そして、規則ベースの行為を繰り返すことで、技能ベース行為へ移行し、無意識化での実行が可能になる。

### 2.2 合同図形弁別過程における脳内の血流動態の分析[3]

この研究では、平面上の合同な図形を弁別する課題において、目的の図形と同じ図形をプリントした透明なシートを用いた実験が行われ、課題遂行時のシートの有無によって、酸素化ヘモグロビン (Oxy-Hb)、脱酸素化ヘモグロビン (Deoxy-Hb)、総ヘモグロビン (total-Hb) の変化に違いが見られることが明らかになった。シート使用時より不使用時のときの Oxy-Hb と total-Hb の増加が顕著であったことから、課題解決の困難さがヘモグロビン上昇量に関連していると予想された。また、被験者の事後感想や、学習過程の観察、ならびに課題遂行に要する時間の減少から、効率的な解決方法が獲得されたと判断され、Oxy-Hb と total-Hb の減少も認められた。脳内の血流動態の測定値が合同図形弁別過程と関連して変化しており、学習過程を分析する一つの指標としての可能性が示唆された。

### 2.3 単純動作と複雑動作時における脳活動の比較[4]

この研究では、手指の複雑動作及び、単純動作遂行時における脳血流量変化と、運動学習における脳血流量変化を、NIRS を用いて検討している。複雑動作としてはピンポン

<sup>†1</sup> 和歌山大学システム工学部  
Faculty of Systems Engineering, Wakayama University

玉、もしくはゴルフボールをそれぞれ2個ずつ掌で半時計周りに回転させる動作とし、単純動作は、ゴムボールを繰り返し握る動作とした。練習については複雑動作を一日15分程度、6日間継続して行った。単純動作に比べ複雑動作の遂行時に、Oxy-Hbが有意に増加することが示された。また、複雑動作の際、ボールを練習前と同じ回数だけ練習後に回す場合、Oxy-Hb増加量が、有意に低い値を示したが、練習後であっても、練習前と同様に可能な限り短時間で多く回そうとした場合、練習前とOxy-Hb増加量に大きな差が認められなかった。これらのことからNIRSを用いて運動学習及び運動制御機構における大脳皮質活動状態を検討することが可能であると示唆された。

### 2.4 学習段階と脳活動

Rasmussenの『行為の3段階モデル』にて示したように、学習過程には複数の段階があるとされている。上述のように、学習の前後で脳活動が異なる変化を示すことがわかってきたが、各段階に応じてどのような特徴を示すかについては明らかになっていない。技能学習を支援するためには、このような学習段階に応じた学習者の脳活動がどのような特徴を示すのかを明らかにすることが重要な技術課題となっている。

## 3. 中国ゴマの技能学習過程と脳活動状態の関係分析

本稿では中国ゴマを回す技能に着目し、ヒトがこの技能を学習する過程において、脳活動状態がどのように変化するかを脳血流の計測によって検証する。

学習状態の推移は、学習者の気づきによって発生すると考えられる。得られた知識が練習や経験を経て、気づきとなり、技能を獲得する。本稿では学習者の気づきに注目し、技能学習の過程で、気づきを得たと思われるタイミングで脳血流状態の計測を行うことで学習状態の推移と、それに伴う脳活動状態の変化の関係を調べる。なお、学習者の申告に基づいて気づきを判断し、計測を行うものとする。

### 3.1 実験環境

実験被験者は19~20歳の男女3名とする。事前に実験についての説明を受け、同意を得た上で行った。計測機器として、日立製作所のウェアラブルトポグラフィ WOT-100[5]を用いて、前額部7~16の10チャンネルを計測した(図1)。被験者は両手に1本ずつ、コマを回す糸の繋がった棒を持ち、立ち上がった状態で計測を行う。身体を動かすことはノイズの原因になるが、実験方法の都合、ある程度は許容し、大きく被験者が身体を動かすことがないように気をつける。また、被験者の集中力、覚醒状態、健康状態に気を配りながら計測を行う。被験者が集中できるよう、室温、照明を調整し、静かな環境で行う。

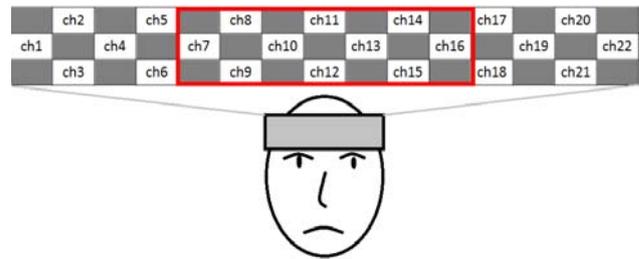


図1 計測チャンネル

Figure 1 measurement Channels.

### 3.2 解析環境

光トポグラフィ装置用解析ソフトとして、Platform Tools Optical Topography Analysis Tools (POTATo) [5]を用いた。得られたデータに対し、帯域0.02~0.1[Hz]のバンドパスフィルタをかけ、刺激の前後5秒間のデータに対し1次式フィッティングを行うベースライン補正を施した。

### 3.3 実験方法

被験者に以下のような内容のメモを見せ、コマの回し方を指導する。

独楽に糸をかけて地面に置く、両手にスティックを持つ

スティックを動かして独楽を右から左へ、地面で転がす

スティックを上げると宙で独楽が回る

右手を上を引き上げるように動かし、独楽に回転を加えていく。左手の動きは程々に糸を戻す程度

傾きの調整：手前側が上がる場合、右手を手前に引く。奥側が上がる場合、右手を前に出しながら回すと傾きが調整される

被験者が内容を十分理解したら、実際に回し始める。被験者は中国ゴマ(図2)を回すために、糸を結んだ棒を両手に1本ずつ持ち、糸をコマにかける。コマが床を離れた瞬間をタスクの開始とし、コマが停止する、床に落ちる、30秒間回り続ける、のいずれかの条件を満たしたときをタスクの終了とする。一回の計測には、このタスクとその前後数秒の脳血流計測が含まれる。各計測間で被験者は練習を繰り返す。被験者がコツをつかんだと判断したときに再度計測を行う。被験者がコツをつかみ、上達を感じるごとにこの計測を繰り返し、1分以上コマを回し続けることが可能になれば、技能習得が終了したとして、最後の計測を行った。

『行為の3段階モデル』に則ると、初回の計測が知識ベース行為、習得完了までの数回の計測が規則ベース行為、習得完了後の最終計測が技能ベース行為に対応すると仮定している。



図 2 実験に使用した中国ゴマ  
Figure 2 The diabolo in our experiment.

### 3.4 実験結果

実験より得られた各計測チャンネルの Oxy-Hb (酸素化ヘモグロビン) の時間変化を図 3~図 5 に示す. 図の縦軸は脳血流変化量, 横軸は時間変化を表し, タスク時は色付きの区間で示している. また, 7 チャンネル側は右脳側, 16 チャンネル側は左脳側となっている.

また, それぞれの計測について, タスク時の各チャンネルにおける平均 Oxy-Hb 変化量を棒グラフにし, 特徴を分析した (図 6~図 11).

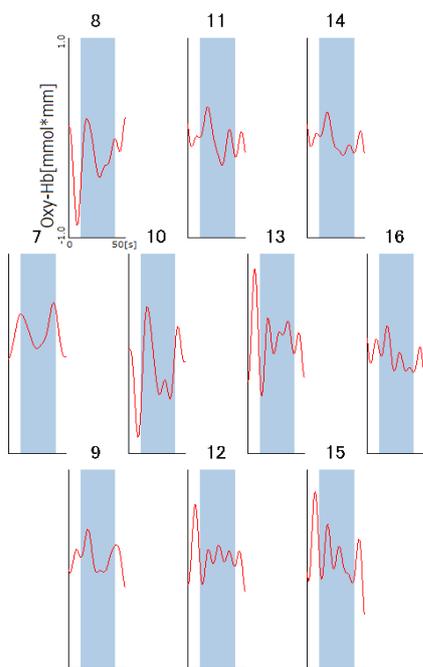


図 3 被験者 B の初回計測における脳血流変化  
Figure 3 cerebral blood flow in the first measurement (subject B).

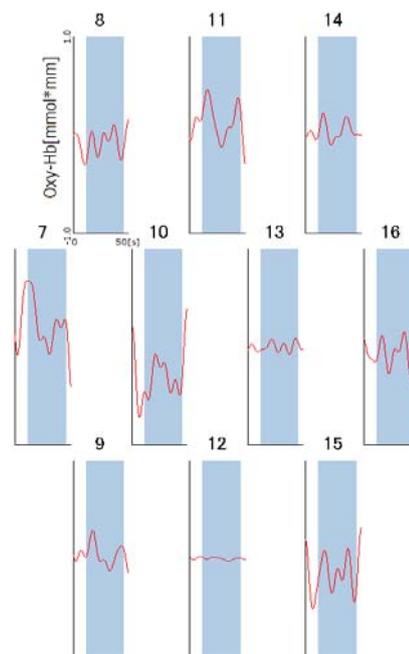


図 4 被験者 B の 3 回目の計測における脳血流変化  
Figure 4 cerebral blood flow in the third measurement (subject B).

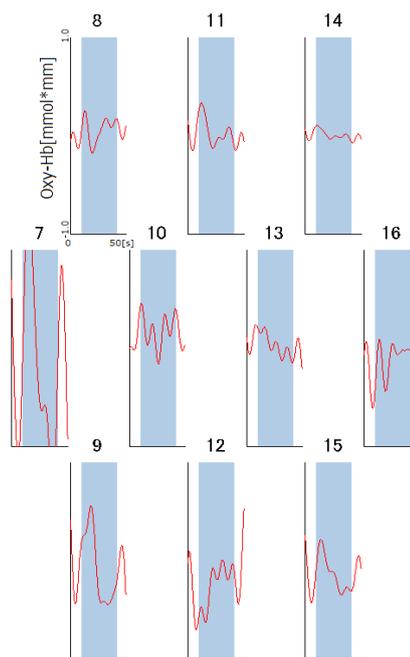


図 5 被験者 B の最終計測(5 回目)における脳血流変化  
Figure 5 cerebral blood flow in the final (5<sup>th</sup>) measurement (subject B).

図 3~図 5 は, 被験者 B の各計測における脳血流の時間変化グラフである. 初回の計測では回し始める前後に Oxy-Hb 量が上昇し, 大きく減少してから小さな変化を繰り返すチャンネルが多い.

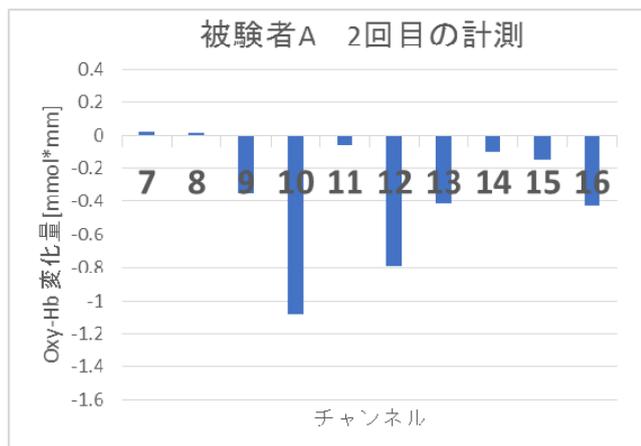


図 6 被験者 A の 2 回目の計測における Oxy-Hb 変化量  
 Figure 6 Oxy-Hb of the subject A in the second experiment.



図 7 被験者 B の 2 回目の計測における Oxy-Hb 変化量  
 Figure 7 Oxy-Hb of the subject B in the second experiment.

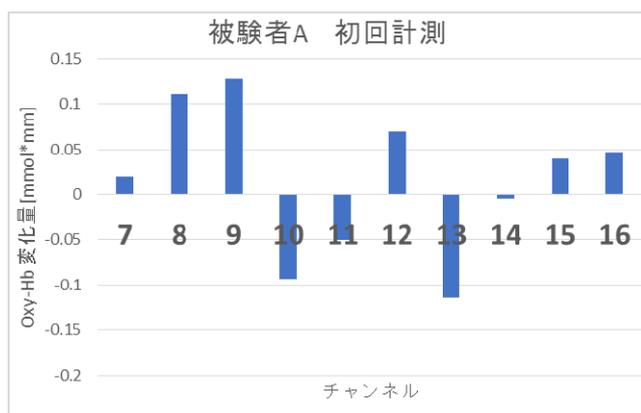


図 8 被験者 A の初回計測における Oxy-Hb 変化量  
 Figure 8 Oxy-Hb of the subject A in the first experiment.

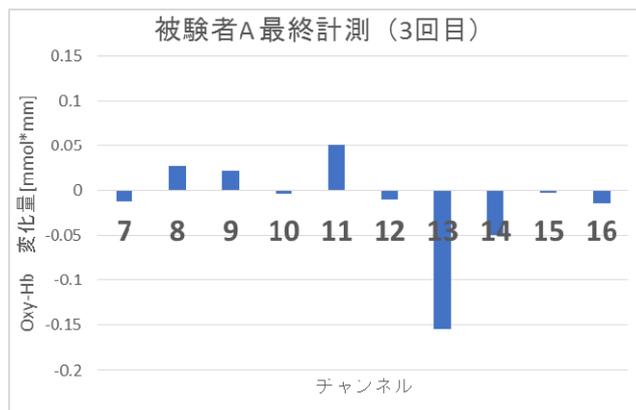


図 9 被験者 A の最終計測(3回目)における Oxy-Hb 変化量  
 Figure 9 Oxy-Hb of the subject A in the third experiment.

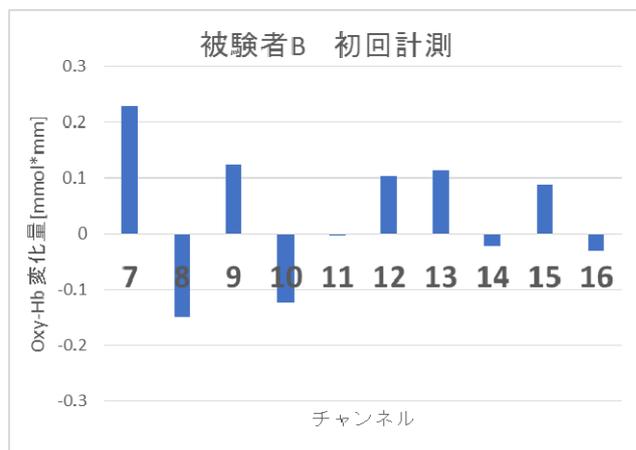


図 10 被験者 B の初回計測における Oxy-Hb 変化量  
 Figure 10 Oxy-Hb of the subject B in the second experiment.

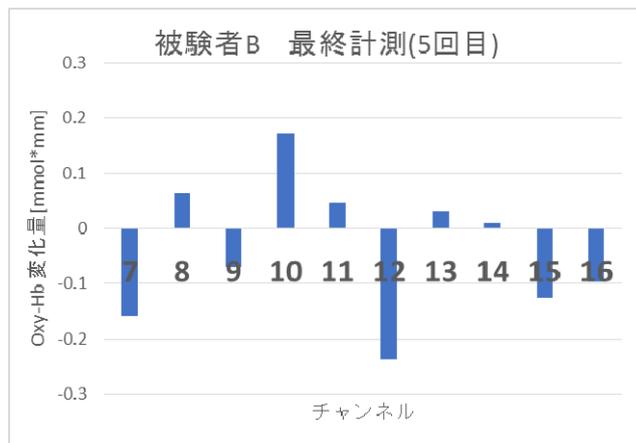


図 11 被験者 B の最終計測(5回目)における Oxy-Hb 変化量  
 Figure 11 Oxy-Hb of the subject B in the final experiment.

図 6, 図 7 とともに, 被験者がコマの回転を途中で失敗したときの平均 Oxy-Hb 変化量である. 多くのチャンネルについて, Oxy-Hb 量が大きく減少している.

図 8 ~ 図 11 は, 被験者 A と被験者 B, それぞれの初回と最終計測における平均 Oxy-Hb 変化量である. それぞれ

の被験者について初回計測と最終計測の Oxy-Hb 変化量を比較すると、酸素化ヘモグロビンの変化量が小さくなる。他のグラフについても、計測が進むにつれ変化量が小さくなる傾向がみられた。

### 3.5 考察

被験者や習得段階に関わらず、多くの計測において、一度大きく Oxy-Hb 量が増加、減少してから、小さな減少を繰り返すチャンネルが確認された。このことから、習得段階に関わらず、中国ゴマを回転させる際には、安定してコマが回転し始めるまでの時間に脳活動が活発になることが推測できる。

また、被験者がコマの回転を途中で失敗した際の計測では、Oxy-Hb 量の減少を確認した。これは、被験者の脳が失敗を感じたとき、Oxy-Hb が計測した前額部以外の場所へ移動し、別の場所での脳活動を活発にする必要があったと推測できる。

習得段階が進むにつれ、Oxy-Hb の変化量が小さくなる傾向を確認した。技能学習において、行為の自動化が進むと、前額部での脳活動状態が安定すると推測できる。

## 4. おわりに

技能学習の過程において着目すべき点として、コツをつかむということ、学習者の気づきによって、学習段階が移行することが挙げられる。気づきを得ていない状態の学習者によって主観的な気づきの評価をすることは困難である。そこで本稿では、学習者に中国ゴマを回転させ、その技術習得過程に伴って見られる、脳血流状態の変化の測定、分析を行った。

分析の結果、中国ゴマは、回転開始時に特に脳活動が活発になるということ、回転失敗時は前額部での Oxy-Hb が減少し、他の部位に Oxy-Hb が移動した可能性を推測できた。また、学習段階の自動化に伴い、前額部の脳活動状態が安定する傾向を推測できた。今後の課題として、コツをつかむ前後での脳活動状態の変化の特徴をより詳しく捉えること、前額部以外での脳活動状態の変化を計測すること等が挙げられる。

### 謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP15H02930 の助成を受けたものです。

## 参考文献

- [1] 佐々木 久子, 藤田 恵聖.  
手先動作の熟達過程における所要時間分析.  
人間工学 Vol.30 179-186 (1994)
- [2] 平田 大輔, 森井 大治, 平田 聡, 佐藤 周平, 佐藤 雅幸, 野呂 進, 西條 修光.  
テニスの学習に伴う認知過程の変容に関する研究 II : サーブの場合.  
専修大学体育研究紀要 (33), 1-9, 2009-10

- [3] 黒田 恭史, 江田 英雄, 菅井 勝雄, 前迫 孝憲.  
合同図形弁別過程における脳内の血液動態の分析.  
日本教育工学会論文誌 28(2), 131-140, 2004
- [4] 内藤 幾愛, 大西 秀明, 古沢 アドリアネ 明美.  
単純動作と複雑動作時における脳活動の比較 : 近赤外分光法(NIRS)による検討.  
理学療法学 35(2), 50-55, 2008-03-19
- [5] “脳科学を活用したソリューション提供 NeU”.  
<http://neu-brains.co.jp/>, (参照 2018-02-20)