

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 1 日現在

機関番号：14701

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H02930

研究課題名(和文) 認知状態の脳活動分析を利用したスキル学習支援システムの研究

研究課題名(英文) Skill Learning Support System using Brain Activity Analysis of Cognition

研究代表者

瀧 寛和 (Taki, Hirokazu)

和歌山大学・学内共同利用施設等・学長

研究者番号：10304180

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,100,000円

研究成果の概要(和文)：スキル学習において、人は、同じものを見ても触れても、何を認識するかで感覚スキルに大きな差が出る。スキル学習支援システムにおいて、脳計測(脳波、脳血流計測)により客観的に感覚認知状態を把握する分析方法を開発した。力覚と視覚におけるスキル学習時の感覚認知は、習熟につれて、脳の活性部位が局所的になること、活性状態が減衰に推移する傾向にあることなどが計測された。開発した分析方法と脳活動の状態を利用することで、客観的に学習効果を把握しながら、学習支援を行うことが期待できる。スキル学習の対象としては、スポーツや中国ゴマの技術の学習がある。

研究成果の概要(英文)：In the skill learning, the beginners' perception and the experts' one are different for same objects. Therefore we developed the method of the brain activity analysis which helps us to understand the skill acquisition levels of learners in the skill learning support system. According to perception level in force and sight sense, we measured and found that areas of brain activity are reduced and each of them becomes low. Observing the brain activity by our brain analysis methods, the skill learning support system will be able to help the learner. The application of the methods will be used for skill learning of sports, the Chinese diabolo and so on.

研究分野：知能情報システム

キーワード：教授学習支援システム スキルサイエンス 脳計測

### 1. 研究開始当初の背景

学習は、学習内容で分類すると、数学、物理、英文法など、記号で表現可能な形式知の学習と、スポーツ、芸術（絵画描画、楽器演奏、陶芸、書道、華道など）、もの作りなど、実技、あるいは、身体動作（身体知）がかかるスキルの学習に大別される。前者の形式知学習とその支援システムについては、長い間研究が行われ、非常に多くの試作システムと研究論文が発表されている。しかしながら、後者のスキルについての学習支援システムは、ここ数年、研究事例が増えつつあるが、まだまだ、研究すべき課題は多い。先行研究事例としては、スポーツの学習支援については、国立スポーツ科学研究所の後藤田らのランニング学習支援の研究があり、ペン字の学習支援については、香川大学の富永、山崎らの研究がある。これらのシステムは、それぞれのドメインで支援方法を最適化して、システム設計を行っている。

そして、形式知の学習支援に比べて、スキル学習支援環境の設計方法論の体系的な理論や認知モデル構築は遅れている。申請者らは、ある適切な抽象度で様々なスキルを比較すると、スキルに共通な性質が存在することを明らかにしてきた。その成果は、人工知能学会のスキルサイエンス特集号解説論文、曾我真人、瀧寛和、松田憲幸、高木佐恵子、吉本富士市、スキルの学習支援と学習支援環境、人工知能学会誌 Vol. 20 No. 5, pp. 533-540, 2005, に掲載されている。その内容の一部を抜粋すると、次のようになる。絵画描画を含め、一般に、スキル行為は、右図のように、対象物の①知覚・認識、②認識結果に応じた最適な行動の選択、③行動、のサイクルを繰り返す。芸術やもの作りのスキル行為の場合は、行動の結果として、④成果物を作成する過程となる。この①知覚・認識の状態を従来のスキル学習支援では、学習者に主観的にどのように感じたかや認識したかを確認していた、また、④成果物の状態から認識水準を判断していた。しかし、我々の絵画描画スキル学習の研究からも、「人は見た通りの絵を描けない」、つまり、「見たものを脳が再認識して、個人で異なるものを認識している」ことが分かっている。そこで、認識の状態を客観的に分析することが、スキル学習支援に必要な要素となっている。我々は、スキルを伴う動作時の客観的な認知状態を脳波計測と脳血流計測により分析した。そこで、簡単な力覚動作の基礎実験で、力を認識しない状態、仮想空間での力の感覚、手の動作と視覚状態の違いから生まれる擬似力覚で脳血流の状態が大きく異なることを発見した。つまり、感覚提示が同じようなものでも脳の認知状態が変わること、また、認知状態は脳活動解析で判定できる可能性があることが分かった。この発見を利用し、認知状態を脳波分析と脳血流計測から、認知状態（スキル獲得状態）を判断することで、客観的に感覚認知の

状態を計測し、スキルに対応した適切な感覚提示内容とその効果を測ることで効果的なスキル学習支援の方式を構築できる。



図1. スキル学習の過程

### 2. 研究の目的

スキル学習では、感覚を磨くことが必要となっている。人は、同じものを見ても触れても、何を認識するかで感覚スキルに大きな差が出る。従来のスキル学習支援では、感覚提示を拡張現実感を利用し、その効果を主観的な評価で測るスキル学習支援システムが作成されていた。しかし、実際のものに触れるのと、仮想的なものに触れるのでは、感覚に対する脳の反応が違うことを我々は発見した。そこで、本研究では、適切な感覚提示のできるスキル学習支援のための感覚提示方式を開発する。様々な感覚提示に対して、脳計測により客観的に感覚認知の状態を把握することを試みる。実際のものに触れる力覚や視覚、仮想現実でもものに触れる力覚や視覚、仮想現実と実際の差から擬似的に発生する感覚について、脳波分析と脳血流計測から、認知状態（スキル獲得状態）を判断することで、スキルに対応した適切な感覚提示内容（感覚提示モデル）とその効果を脳活動から客観的に計測するスキル学習支援方式（実験システム）を構築する。

### 3. 研究の方法

#### (1) 力覚の度合い・視覚の提示方法の違いによる脳活動の分析とモデル化

力覚を人が受けているときに、それをどこまで詳細に感じているかは、スキルの度合いにより、大きく異なっている。初心者と熟練者では、感覚の鋭さに差がある。そこで、シンプルな感覚で、その力覚等の感覚を認知できる人（熟練者等）とうまく認知できない人（初心者等）の脳活動を計測し、感覚認知の差を詳細に分析し、モデル化を行う。また、力の大きさ・種類を被験者に指示して、被験者の発生する力の量を計測し、その際の脳活動計測データから、力覚を認知できているかを識別するモデルを構築する。視覚を伴う身体動作や視覚認識においても同様の実験を行う。各種の感覚認知対象に対応できる「脳波解析方法」「脳血流解析方法」を開発する。

#### (2) スキル学習のための感覚（力覚・視覚）提示モデルの開発

どのような感覚提示方法で、感覚スキルの学習度合いを客観的に把握できるかを計測し、感覚提示モデルと学習度合いを客観的に把握できるかを明らかにする。「実際のものに触れる力覚や視覚、仮想現実でももの触れる力覚や視覚、仮想現実と実際の差から擬似的に発生する感覚」を被験者に与えて、脳活動計測データから、認知状態を識別するモデルを構築する。「感覚認知（感覚学習）と脳活動解析方法の組合せ」による感覚提示モデルを実験により探索する。

### (3) 学習支援システムの構築

仮想現実を利用したスキル学習支援システムを構築し、仮想現実の提示内容等でスキル学習に及ぼす効果を実験する。手本と学習者姿勢の重ね合わせ（ゴルフスイング）での学習、「2次元表示と3次元表示」の効果の違い、表示位置の遠近での違い、アバターの効果（コミュニケーションスキル）などを評価する。

### (4) 両手を使うスキル学習支援方式（曲芸ゴマ：中国ゴマ）の構築

感覚提示モデル（提示方法と脳活動分析方法の組）を利用して、熟練者と初心者の力覚等認識時の脳活動状態を比較、評価する。認識レベルの客観的評価は、力の大きさ等やものの見え方の脳活動分析により、初心者が熟練者の認識に近づくかを評価する。初心者の脳活動と学習が進んだ状態での脳活動を比較分析して、学習度合いを評価する。また、片手動作の力覚だけでなく、両手に、中国（曲芸）ゴマのステックを持ち、ステック間の紐の張力を両手に感じながら、中国ゴマのスキル学習度合いを判断できる方式を開発する。「認識レベルの客観的評価」と「中国ゴマの上達度合いの評価」を合わせて分析する。

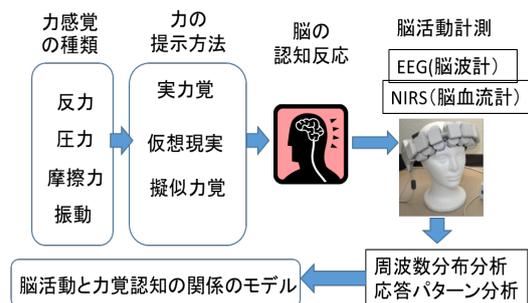


図2. 認知スキル脳活動分析過程（力覚）

## 4. 研究成果

スキル学習における脳活動の解析技術として以下を開発した。

### (1) 脳波解析による感覚スキルの分析方法

EEG（脳波計）で観測した脳波の解析に対しては、「周波数分布の違いによる識別」「 $\beta/\alpha$ 波の比率分析」を開発し、感覚スキルの初心者・熟練者識別が一定以上の確度で行え

るようになった。

「周波数分布の違いによる識別」は、FFTによる周波数分布の把握、主成分分析を利用した認知レベルの違い（初心者と熟練者）での差の大きい脳活性化部位の把握、主要な脳波周波数を基にしたニューラルネットワークとDeep Learningによる認知レベル識別による方式を開発した。中国コマの技能習熟には、無駄な動作（広範囲な脳活動）から必要な動作（余裕のある脳活動）への移り変わりがあることから、脳波の $\beta/\alpha$ 波の比率分析での分析方式を開発した。

### (2) 脳血流解析による感覚スキルの分析方法

NIRS（近赤外による脳内ヘモグロビン濃度計測）によるスキル学習の認知レベル判定では、学習内の血流量の平均値等が判定に有効であることが分かった。この血流量の変化を識別指標として、感覚認知の評価を行う方式を開発した。

本研究では、提示モデルの違いに対応した脳活動解析の技術（上記の方式）と、感覚スキルの初心者・熟練者識別が一定以上の確度で行える技術を開発した。

感覚認知提示モデルとしては、「オブジェクト想起判定と脳血流解析」「既知のもの視覚と脳血流解析」「力覚調整と脳波解析」「立体視と脳血流計測」「中国ゴマ技能と脳波解析」の各モデルを評価した。力覚と視覚におけるスキル学習時の感覚認知は、習熟につれて、脳の活性部位が局所的になること、活性状態が減衰に推移する傾向にあることなどが計測された。

しかし、各実験は、短期間に学習するスキルを対象としていたので、学習に時間を要するスキル学習（認知レベルが徐々に変わるもの）には、新たな方式の研究が必要である。また、単一の知覚のスキル学習を想定していたが、ほとんどのスキルは複合的な知覚（視覚、力覚、聴覚）によって学習されることが判明し、より複雑なスキル学習提示モデルの研究が必要であることが分かった。

## 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 件）

〔学会発表〕（計 12 件）

- ① 松下和斗, 三浦浩一, 松田憲幸, 内尾文隆, 瀧寛和, 中国ゴマの技能習得過程と脳活動状態の関係分析, 情報処理学会 教育学習支援情報システム研究会予稿集, 2018-CLE-24(3), 1-5 (2018-03-13), 2018
- ② 米澤和也, 三浦浩一, 松田憲幸, 内尾文隆, 瀧寛和, 視覚疲労状況下での事象関連電位変化特性にする考察電気学会 次世

- 代産業システム研究会予稿集, IIS-17-031, 2017
- ③ 山本明依, 東野利貴, 曾我真人, 瀧寛和, NIRS を用いた立体視と非立体視時の脳血流計測, 電気学会 次世代産業システム研究会予稿集, IIS-17-030, 2017
- ④ Masahiro Hakoda, Hirokazu Miura, Noriyuki Matsuda, Fumitaka Uchio, Hirokazu Taki, Measurement of Brain Activity on Force Adjustment Skill Acquisition by using EEG, 21th International Conference on Knowledge Based and Intelligent Information and Engineering Systems (KES2017), Volume 112, 2017, Pages 1273-1280, 査読有 (open access journal Elsevier Procedia Computer Science)  
DOI:  
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.08.083>
- ⑤ Masahiro Hakoda, Hirokazu Miura, Noriyuki Matsuda, Fumitaka Uchio, Hirokazu Taki, Measurement of Brain Activity on Force Adjustment Skill Acquisition by using EEG, 21th International Conference on Knowledge Based and Intelligent Information and Engineering Systems (KES2017), Volume 112, 2017, Pages 1273-1280, 査読有 (open access journal Elsevier Procedia Computer Science)  
DOI:  
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.08.083>
- ⑥ 山本明依, 曾我真人, 瀧寛和, 教員志望者のコミュニケーションスキル自主学習支援環境の構築, 教育システム情報学会全国大会予稿集, pp. 285-286, 2016
- ⑦ Daiki Kurematsu, Hirokazu Miura, Noriyuki Matsuda, Hirokazu Taki, Analysis of Cerebral Blood Flow in Imagination of Moving Object, 20th International Conference on Knowledge Based and Intelligent Information and Engineering Systems (KES2016), Volume 96, 2016, pp. 1756-1763, 査読有 (open access Elsevier Procedia Computer Science)  
DOI:  
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.08.224>
- ⑧ Riku Nakamura, Hirokazu Miura, Noriyuki Matsuda, Hirokazu Taki, Analysis of the Cerebral Blood Flow Affected by Brand Impressions of the Products, 20th International Conference on Knowledge Based and Intelligent Information and Engineering Systems (KES2016), Volume 96, 2016, pp. 1748-1755, 査読有 (open

access journal Elsevier Procedia Computer Science)

DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.08.223>

- ⑨ 中村陸, 三浦浩一, 松田憲幸, 曾我真人, 瀧寛和, 商品ブランドイメージによる脳血流変化への影響分析, 電気学会 次世代産業システム研究会予稿集, IIS-16-003, 2016
- ⑩ 呉松大樹, 三浦浩一, 松田憲幸, 曾我真人, 瀧寛和, オブジェクト移動想起時の脳血流解析, 電気学会 次世代産業システム研究会予稿集, IIS-16-002, 2016
- ⑪ 高良貴博, 曾我真人, 瀧寛和, 手本動作と学習者の動作の重ね表示が可能な KINECT を用いたゴルフ学習支援環境, 2015 年度人工知能学会全国大会予稿集, 1L3-0S-15b-2in, 2015
- ⑫ Takahiro Kora, Masato Soga, Hirokazu Taki, Golf Learning Environment Enabling Overlaid Display of Expert's Model Motion and Learner's Motion Using KINECT, 19th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems (KES2015), Volume 60, 2015, pp. 1559-156, 査読有 (open access journal Elsevier Procedia Computer Science)  
DOI:  
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.08.265>
- ⑬ 高良 貴博, 曾我真人, 瀧寛和, 学習者の動作を鏡像の手本動作にリアルタイムに重ね表示可能な動作学習支援環境, 教育システム情報学会全国大会予稿集, pp. 127-128, 2015

[図書] (計 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

○取得状況 (計 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:

番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

瀧 寛和 (TAKI Hirokazu)  
和歌山大学・学内共同利用施設等・学長  
研究者番号： 10304180

### (2) 研究分担者

松田 憲幸 (MATSUDA Noriyuki)  
和歌山大学・システム工学部・准教授  
研究者番号： 40294128

曾我 真人 (SOGA Masato)  
和歌山大学・システム工学部・准教授  
研究者番号： 60252839

三浦 浩一 (MIURA Hirokazu)  
和歌山大学・システム工学部・助教  
研究者番号： 70362861

呉 海元 (WU Haiyuan)  
和歌山大学・学内共同利用施設等・理事  
研究者番号： 70283695

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：

### (4) 研究協力者

( )