

令和 4 年度研究開発成果概要書

採 択 番 号 21701
研究開発課題名 国際共同研究プログラムに基づく日米連携による脳情報通信研究（第 3 回）
副 題 月面ジャグリング課題を用いたスキル獲得の脳内メカニズムの解明

(1) 研究開発の目的

本委託研究では、運動スキル（技術）獲得の脳内メカニズムの解明を目指す。スキル獲得とは、運動学習に関する一つの側面であり、例えば、自転車の乗り方を覚えることや、楽器の演奏やスポーツを習うことがスキル獲得の例として挙げられる。多彩なスキルを獲得する能力はヒトにおける優れた能力の一つと考えられるが、スキル獲得を可能とする脳の情報処理メカニズムの全容は未解明である。本委託研究では、ヒト特有の複雑な運動課題であるボールを用いたジャグリング課題を研究対象として、スキル獲得がどのように脳内で行われるのかを可視化するとともに、スキル獲得メカニズムの計算論的なモデル化を目的とする。

特に、スキル獲得の初期段階においてしばしば効果を発揮する「ゆっくりと体を動かしながらトレーニングする（以後、スローテンポトレーニング）」という事象や、「トレーニング後の睡眠による運動スキルの上昇（オフラインゲイン）」というスキル学習の固有の事象に着目する。また、ジャグリングのスキルを構成する三つの能力、1) ボールの動きを予測する能力（prediction）、2) 正確にボールを投げる能力（accuracy）、3) ボールや腕の間の時空間的協調関係を調節する能力（sequencing）を仮定し、これらの能力を行動データから定量化する実験パラダイムを提案する。

日本側研究グループは、仮想現実（VR）技術を用いて、ボールが通常より速度よりもゆっくりと動く環境でジャグリングを行うスローテンポトレーニングを可能とする VR システムの開発を行う。さらに、ジャグリング初心者を集めた脳活動・行動計測実験を実施し、スローテンポトレーニングによるジャグリングの能力やオフラインゲインへの影響を検証するとともに、ジャグリングスキルやオフラインゲインと関係する脳活動を脳波データから抽出することで、スキル獲得に関連する脳活動を可視化する。最後にそれらの知見をもとに、ジャグリングのスキル獲得に関する脳内メカニズムの計算論的な理解を米国側研究分担者のカリフォルニア大学サンディエゴ校（UCSD）とともに目指す。

(2) 研究開発期間

令和 2 年度から令和 5 年度（36 か月間）

(3) 受託者

国立大学法人東京工業大学〈代表研究者〉
学校法人五島育英会 東京都市大学
学校法人名古屋電気学園 愛知工業大学

(4) 研究開発予算（契約額）

令和 2 年度から令和 5 年度までの総額 29 百万円（令和 4 年度 10 百万円）
※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発項目と担当

研究開発項目 1 視覚と力覚を提示する仮想現実システムの構築

- 1-3. 脳波計測のためのヘッドマウントディスプレイアダプタの開発（愛知工業大学）
- 1-4. 視覚・力覚提示システムの統合した仮想現実システムの開発（東京工業大学）
- 1-7. 仮想現実システムと現実空間の運動と脳波データの統計比較（東京都市大学）

研究開発項目2 ジャグリングの運動スキル構成要素の定量化と関連する脳活動を抽出するための脳波解析手法の開発

- 2-3. 運動スキル構成要素の定量化（東京工業大学）
- 2-4. 運動と脳活動データの相関解析（東京都市大学）

研究開発項目3 視覚・力覚仮想現実空間を利用したスローテンポジャグリングトレーニングの効果の検証とスキル獲得の脳内メカニズムのモデル化

- 3-1. スローテンポトレーニングの実施と脳波・運動計測実験の実施（東京工業大学）
- 3-2. スローテンポトレーニングによる運動スキル構成三要素への効果検証（東京工業大学）
- 3-3. 運動スキル構成三要素と関連する脳活動抽出（東京工業大学）
- 3-4. 運動スキル獲得の計算論的学習モデルの構築（東京都市大学）
- 3-5. 運動スキル獲得の計算論的学習モデルの評価（東京工業大学）

(6) 特許出願、外部発表等

		累計（件）	当該年度（件）
特許出願	国内出願	1	1
	外国出願	0	0
外部発表等	研究論文	2	1
	その他研究発表	11	8
	標準化提案・採択	0	0
	プレスリリース・報道	0	0
	展示会	2	2
	受賞・表彰	1	1

(7) 具体的な実施内容と成果

米国側の連携研究機関（University of California, San Diego）と隔週で定例ミーティングを実施し、互いの進捗状況について継続的な情報共有を実施した。研究開発項目1-3、2-4、3-1について国際会議にて共著で発表し、2022年11月には相手研究機関を訪問し、研究開発項目3について主に議論した。

研究開発項目1：視覚と力覚を提示する仮想現実システムの構築

- 1-3. ヘッドマウントディスプレイの頭部固定部分と脳波電極との接触を防ぐアダプタ機構の改良と動作検証を行った。頭部の揺れに伴い生じる脳波電極ケーブルの揺れを抑制するために、ケーブルをヘッドマウントディスプレイに固定するクリップを製作した。クリップをつけた条件と付けない条件で脳波を計測し、アーチファクトの低減を示唆する結果を得た。
- 1-4. 仮想空間内で3つのボールによるジャグリングを可能とする仮想現実システムの改良を行い、より直感的にボールのスローイングとキャッチングが行えるようにした。
- 1-7. 仮想現実空間内、及び、現実空間内でのジャグリング運動時の運動と脳波データの計測実験を行うとともに、統計比較を行うために必要なデータ解析に関する議論を行った。

研究開発項目2：ジャグリングの運動スキル構成要素の定量化と関連する脳活動を抽出するための脳波解析手法の開発

- 2-3. ジャグリングの運動スキルを構成すると仮定した三つの基本能力を定量化するための実験手順の策定を行い、ジャグリング上級者計9名を参加者とした計測実験を行った。
- 2-4. 研究開発項目2-3で実施した計測実験の脳波信号データから、脳の局所的な部位の活動を表していると考えられる信号成分を抽出し、さらに事象関連電位や時間周波数成分解析を行い、ジャグリングの周期運動と連動する脳活動成分を抽出した。また、ジャグリング上級者と初心者の脳MRIデータ比較から、視覚と運動に関連する脳内ネットワークに違いがある可能性を得た。

研究開発項目3：視覚・力覚仮想現実空間を利用したスローテンポジャグリングトレーニングの効果の検証とスキル獲得の脳内メカニズムのモデル化

- 3-1. 実空間よりもゆっくりとボールが動く環境でジャグリングを練習することによる効果を検証するため、計10名（実験群と対照群5名ずつ）の参加者に対する計測実験を実施した。
- 3-2. 研究開発項目3-1で実施した計測実験のデータ解析を行い、仮想現実空間内のスローテンポトレーニングが、実空間におけるスキル向上に効果がある可能性を得た。
- 3-3. 研究開発項目3-1で実施した計測実験の脳波データの解析を行い、脳内の複数の部位の活動に起因する考えられる信号を抽出することができた。
- 3-4. ジャグリング行動解析から、参加者の予測性能の評価可能性を検討した。その行動解析に基づき、スキル獲得における自己運動と外界の予測性の計算論モデルを検討した。
- 3-5. 研究開発項目3-1で実施した計測実験においてトレーニング期間前後のMRIデータを計測する実験を実施した。

(8) 今後の研究開発計画

研究開発項目1については、仮想現実空間内、及び、現実空間内でのジャグリング運動時の運動と脳波データの統計比較を行うためのプログラム開発と解析を行い、構築した仮想現実システムの評価を行う。

研究開発項目2については、ジャグリングの運動スキルを構成すると仮定した三つの基本能力の定量化を行うためのプログラム開発と解析を行うとともに、総合的な運動スキルと三つの基本能力との関係性を明らかにする解析を行う。

研究開発項目3については、スローテンポジャグリングトレーニングの効果を継承するための計測実験を引き続き行うとともに、ゆっくりとしたテンポでトレーニングすることが運動スキルの上達に与える影響を、脳波、MRI、および運動計測データの解析を通じて検証する。また、ジャグリングの運動スキル獲得に関する計算論的なモデルの構築と計算機シミュレーション実験を行い、トレーニング中の参加者の行動データが再現できるかを検証する。さらに学習モデルに含まれる変数やパラメータと関係する神経基盤をトレーニング中の被験者の脳活動データから抽出する。

(9) 外国の実施機関

University of California, San Diego (アメリカ合衆国) <代表研究者>