

# 2016年度 学術交流支援資金 研究活動報告書

大学院プロジェクト科目名：認知・言語の発達と学習  
研究課題名：珠算に観る「高度な直観」の脳情報処理の検討  
研究代表者名：慶應義塾大学 環境情報学部 青山敦

## 1. 目的

近年、人工知能の発展が目覚ましく、囲碁や将棋では人間の能力を凌駕しつつある。しかしながら、名人クラスが熟達によって得られる「高度な直観」については現状のアルゴリズムでは説明が付き、人間の脳情報処理の理解が待ち望まれている。そこで本研究では、囲碁や将棋よりも純粹に解を導くことだけが問われ、直観を最も必要とする競技の一つである「珠算」に注目し、珠算熟達者を対象として脳計測を行った。これにより、人工知能が実装できていない人間の「高度な直観」の脳情報処理に迫ることを目指して研究を推進した。

実際、珠算の熟達者は、「そろばん」を物理的に操作することに熟達しているだけでなく、そろばんのイメージを操作することによって、10桁以上の数字を記憶し、逆からも変わらない速度で読み上げられるなど、数的処理に特異的な能力を持つことが知られている [1]。空間分解能に優れるfMRIを用いた脳計測研究では、珠算の未経験者は数を記憶する際にブローカ野等の言語処理を行う脳領域が活動するのに対して、珠算熟達者は上頭頂小葉等の空間処理を行う脳領域が活動することが明らかにされている [2]。このように、珠算に関する脳活動部位は明らかにされているものの、「高度な直観」の脳情報処理に関わる脳内ネットワークは不明である。そのため、数的処理に明るいNeuroscience Center ZurichのPeter Brugger教授らとの議論の下、珠算に特異的な脳内ネットワークを主たる対象として研究課題を遂行した。

## 2. 実験方法

珠算熟達者群13名、対照群13名が本実験に参加した。熟達者群は全国珠算教育連盟の暗算の段位が平均8段（10段6名、9段3名）である。全員右利きの健常者で、SFC実験・調査倫理委員会の定めた手順に従い参加の同意を得た。

最初に、各実験協力者が記憶できる最大桁数を調べ、その後、脳波計測実験を行った。実験刺激は数字（1～9のアラビア数字）・文字（アルファベットの大文字）・空間配置（Xをランダムに配置）の3種類からなり、図1のように、桁数×桁数の基盤の目の中に数字・文字・Xのいずれかを配置した。このとき、同一の行と列に2つ以上の要素が配置されないようにした。固視点を表示した後、300×桁数msの間だけターゲット刺激を呈示し、3000msのマスク期間中にターゲット刺激の記憶を保持してもらい、最後に表示される結果がターゲット刺激と同一であるかをボタン押しで可能な限り正確に回答してもらった。数・文字・空間配置のうち、同一条件での10回の繰り返しを1ブロックとして、ランダムな順番で各3ブロックずつ合計9ブロック行った。ブロック間には短い休憩を挟んだ。

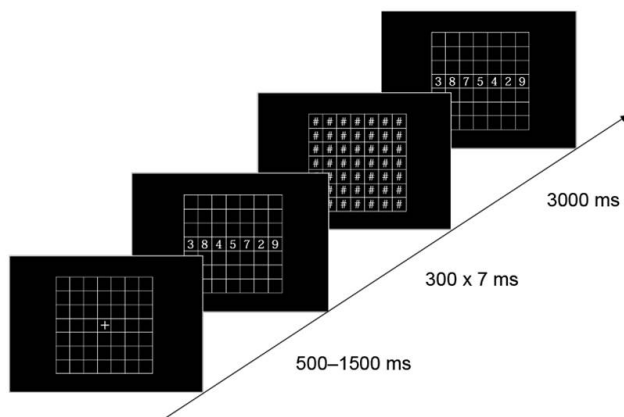


図1. 数字条件の実験刺激。

脳波計測には64チャンネルのBrain Products社製actiCHampを使用した。得られた脳波データに対して独立成分分析を行い、同時計測した眼電位と相関する独立成分を除外した。位相同期の指標であるWeighted Phase Lag Index [3]によって、領域間のネットワークを形成する $\theta$ 帯域（4-7Hz）の律動に関する脳内ネットワークを調べた。

## 3. 結果

各実験協力者が記憶できた最大桁数を図2に示す。数字条件において、熟達者では対象者に比べて最大桁数が有意であり（ $p < 0.01$ ）、文字条件、空間条件については有意ではなかった（多重比較補正をしたウィルコクソンの順位と検定）。

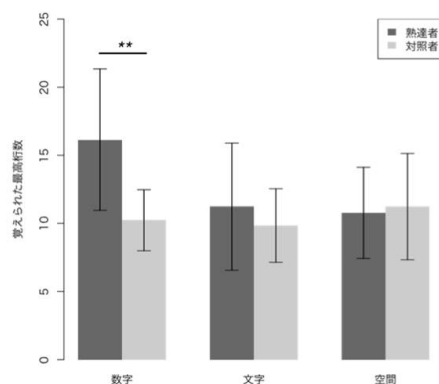


図2. 数字・文字・空間条件において記憶できた最大桁数。

数字条件の記憶の保持時において有意であった脳波チャンネル間の位相同期ネットワークを図3に示す。珠算熟達者では約200msから後頭領域と前頭領域間での広範な位相同期ネットワークが見られたのに対して、対照者ではこのようなネットワークは見られなかった。

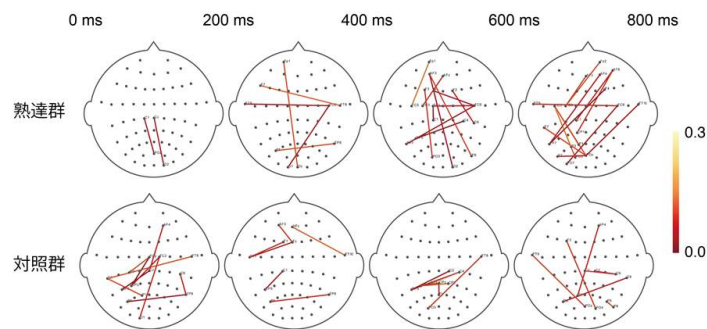


図3. 数字条件における位相同期ネットワーク。

#### 4. 考察と結論

文字条件と空間条件では珠算熟達者と対象者で記憶のパフォーマンスに差がなかったが、数字条件では記憶可能な桁数が熟達者で有意に多かった。この行動結果は先行研究 [3] と一致しており、珠算熟達者が数的処理に特化した機能を有していることを示している。

数の記憶保持時における脳波データの解析によって、熟達者に特有の後頭-前頭領域間のグローバルな位相同期ネットワークの存在が明らかになった。後頭領域は低次の視覚情報を処理しており、前頭領域はワーキングメモリの中央実行系を担っていることから、珠算熟達者の数的処理における特異な能力は、この後頭-前頭領域間のネットワークの形成に起因していると考えられる。

以上のように、本研究では、囲碁や将棋よりも純粋に解を導くことだけが問われる珠算を対象とすることで、「高度な直観」の生成において後頭-前頭領域間の低周波律動の位相同期が重要であることを明らかにした。このような知見は人工知能のアプローチでは知り得ないものであり、fMRIによって脳部位を特定しても分からないものである。人間（脳）と人工知能の両者を理解し、得られた知見を相補的に還元するフレームワークは今後の共存社会で重要であり、本研究はその良い例になり得る。

#### 参考文献

1. Hatano, G. and Osawa, K. (1983). Digit memory of grand experts in abacus-derived mental calculation. *Cognition*, 15(1-3):95-110.
2. Hanakawa, T., Honda, M., Okada, T., Fukuyama, H., and Shibasaki, H. (2003). Neural correlates underlying mental calculation in abacus experts: a functional magnetic resonance imaging study. *Neuroimage*, 19(2):296-307.
3. Vinck, M., Oostenveld, R., van Wingerden, M., Battaglia, F., and Pennartz, C. M. (2011). An improved index of phase-synchronization for electrophysiological data in the presence of volume-conduction, noise and samplesize bias. *Neuroimage*, 55(4):1548-1565.