

# 2017 年度 学術交流支援資金 研究活動報告書

## 珠算熟達者のワーキングメモリと直観の背後にある全脳の神経ネットワークの解明

科目名：認知・言語の発達と学習（今井むつみ・青山敦）

研究代表者：今井むつみ

### 研究目的

一般的に珠算(そろばん)は、ワーキングメモリに関わる計算力・記憶力・注意力・情報処理力などの能力を向上させると言われている。また、そろばん学習を通して習得した珠算式暗算の熟達者は、数字をそろばんのイメージで捉え、直観的な並外れて高い算術能力を誇ることも知られている。先行研究では、そろばん未習者が暗算をする際は、言語的な処理を行う場所が活動しているのに対し、珠算式暗算の熟達者は暗算をする際に、視空間的な処理を司る場所が活動していることが示されている[1]。また、熟達者は、暗算時のみならず数字の記憶の際にも、視覚運動制御に深く関連する、両大脳半球の運動前野-頭頂葉ネットワークの活動が顕著であることが報告されている[2,3]。しかしながら、中国・日本をはじめとしたほぼアジア圏でのみ珠算教育が行われていること(地域的条件) や一般的に幼児から中学生までが指導対象であること(年齢的条件) から、一般の大人の実験協力者を多数集めることが比較的困難であり、珠算に関する研究はなかなか進展が見られていない。また、熟達者のみを調べた研究や、未習者の脳活動がそろばん学習を通してどう変容したかを調べた研究が多く、珠算式暗算の熟達者と未習者の脳活動の違いに着目した研究は少ない。従って、ワーキングメモリや直観に関わる高い算術能力がどのような脳内メカニズムに起因しているのかは、未だにあまり明らかにされていない。そこで本研究では、珠算式暗算の熟達者と珠算未習者を対象として、安静状態における脳波計測を行い、全脳の神経ネットワークを検討した。

### 実験方法

本実験には、18 歳以上で右利きであり心身ともに健常である熟達者 19 名(男性 17 名, 女性 2 名), 未習者 17 名(男性 14 名, 女性 3 名) に協力してもらった。熟達者は、そろばん歴 10 年以上かつ検定科目が最も多い全国珠算教育連盟が主催する珠算検定・暗算検定の両方で段位を取得している方を対象とした。尚、熟達者の取得珠算段位の平均は 6.4 段であり、取得暗算段位の平均は 8.3 段であった。また、SFC 実験・調査倫理委員会の定めた手順に従い、実験協力者全員からインフォームド・コンセントを得た。脳波の計測は、64ch 脳波アンプ actiCHamp(Brain Products 社製)を用いて、暗室内にて行った。リラックスして何も考えない安静状態において、開眼条件と閉眼条件の 2 条件でそれぞれ 3min ずつ脳波を計測

した。また、開眼時は眼球運動の統制のために、画面中央に表示される固視点を見てもらった（図1）。

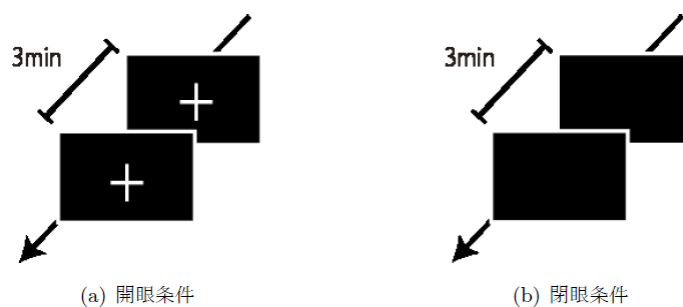


図1：実験条件

## 実験結果

開眼時の安静時脳波について、活動源推定に関して熟達者と未習者の間では、どの帯域においても有意な差は見られなかった。一方で閉眼時の安静時脳波については、 $\theta$  帯域と  $\beta$  帯域において熟達者の方が未習者よりも有意に活動が低く、両帯域共に、左半球の下前頭回で差が見られた（図2）。また開眼時の安静時脳波について、機能的結合に関して熟達者と未習者の間では、どの帯域においても有意な差は見られなかった。一方で、閉眼時の安静時脳波について、 $\theta$  帯域において熟達者の方が未習者よりも有意に左半球の海馬近傍領域と後部下頭頂小葉の間の機能的結合が高かった（図3）。

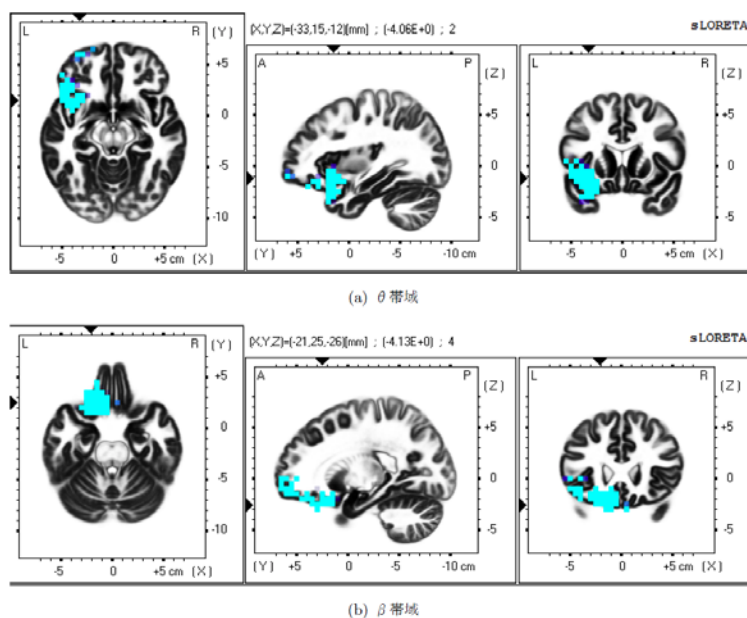


図2：活動源推定結果(熟達者 vs 未習者)

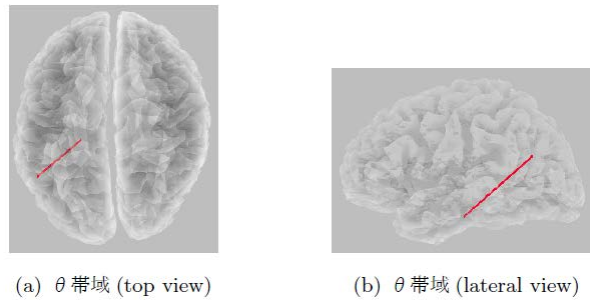


図3：機能的結合推定結果(熟達者 vs 未習者)

## 考察と結論

閉眼時の $\theta$ 帯域と $\beta$ 帯域において、熟達者の方が有意に活動が低かった下前頭回は、言語機能において文法を中心としたモジュールが位置するとされている部位であり[4]、珠算式暗算トレーニング後の安静状態において補足運動野との機能的結合が見られた部位である[5]。先行研究から、計算をする際に未習者は、数的情報を一度言語情報に置き換えてから計算をする「言語的戦略」を用いているのに対し、熟達者は、イメージで捉える「視空間的戦略」を用いていることが分かっている[6]。よって、日頃から熟達者は数的情報をそろばんのイメージとして捉えており、言語情報に変換するというステップを介する必要がないため、数的情報を処理する際に言語機能に関する部位である左下前頭回をあまり活動させる必要がないと考えられる。次に、海馬近傍領域と後部下頭頂小葉間で熟達者の方が有意に強かった $\theta$ 帯域の機能的結合は、ワーキングメモリの中央実行系と音韻ループや視空間スケッチパッドなどのネットワークを反映すると報告されている[7]。また両部位は共に、デフォルトモードネットワークの内側側頭葉サブシステムを構成する部位である[8]。このサブシステムはメンタルイメージの情報処理に関するネットワークであることから、熟達者ではその効果が安静状態の脳活動にも反映されたと考えられる。以上のように、珠算式暗算においては、下前頭回と下頭頂小葉の重要性が示され、安静状態のネットワークの変化に高い算術能力の一端が反映されていることが示唆された。

## 参考文献

1. Huang, J., Du, F., Yao, Y., Wan, Q., Wang, X., & Chen, F. (2015). Numerical magnitude processing in abacus-trained children with superior mathematical ability: an EEG study. *Journal of Zhejiang University Science B*, 16(8), 661-671.
2. Hanakawa, T., Honda, M., Okada, T., Fukuyama, H., & Shibasaki, H. (2003). Neural correlates underlying mental calculation in abacus experts: A functional magnetic resonance imaging study. *NeuroImage*, 19(2), 296-307.
3. Tanaka, S., Michimata, C., Kaminaga, T., Honda, M., & Sadato, N. (2002). Superior digit memory of abacus experts: an event-related functional MRI study. *NeuroReport*, 13(17), 2187-2191.
4. Yamamoto, K., & Sakai, K. (2016). Language functions in the frontal association area: brain mechanisms that create language. *Brain and Nerve*, 68(11), 1283-1290.

5. Li, Y., Hu, Y., Zhao, M., Wang, Y., Huang, J., & Chen, F. (2013). The neural pathway underlying a numerical working memory task in abacus-trained children and associated functional connectivity in the resting brain. *Brain Research*, 1539, 24-33.
6. Hatano, G., Amaiwa, S., & Shimizu, K. (1987). Formation of a mental abacus for computation and its use as a memory device for digits: A developmental study. *Developmental Psychology*, 23(6), 832-838.
7. Kawasaki, M., Kitajo, K., & Yamaguchi, Y. (2010). Dynamic links between theta executive functions and alpha storage buffers in auditory and visual working memory. *European Journal of Neuroscience*, 31(9), 1683-1689.
8. Andrews-Hanna, J. R. (2012). The brain's default network and its adaptive role in internal mentation. *Neuroscientist*, 18(3), 251-270.