

平成30年6月5日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K12443

研究課題名(和文)階層化ニューロフィードバックによる認知制御機能の改善

研究課題名(英文)Improving cognitive control by hierarchical neurofeedback

研究代表者

齋木 潤 (Saiki, Jun)

京都大学・人間・環境学研究科・教授

研究者番号：60283470

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、理論指向と応用指向のニューロフィードバック研究を架橋し、複雑な注意機能を改善するために、認知制御課題を題材として、課題間転移が可能なニューロフィードバック技術の確立を目指した。頑健な干渉効果が知られている多資源干渉課題に着目し、行動フィードバックによる干渉効果の減少を試み、有効に干渉を減少させることができる方法を発見した。並行して、多資源干渉課題遂行時の脳活動を計測し、干渉効果の個人差と相関する脳活動、特に干渉の小さな協力者で賦活する領域、大きな協力者で賦活する領域を同定した。これらの知見を基に、今後、ニューロフィードバック信号の設計を行い、その有効性を検証する。

研究成果の概要(英文)：The current study aimed at building a neurofeedback technique whose effect can transfer across different tasks, leading to improvement in complex attentional functions. This project will bridge the gap between theory-oriented and application-oriented studies. Using Multi-Source Interference Task (MSIT), known to show large and robust interference effects, we found a behavioral feedback procedure that could substantially reduce the amount of interference compared with a simple task practice. Also, we measured brain activities during MSIT performance, and revealed brain activities correlated with individual differences in interference effect. In particular, we identified regions strongly activated with people with small and large interferences, respectively. Based on these findings, we will continue to work on designing neurofeedback signal for improving cognitive control, and examine its effectiveness.

研究分野：認知神経科学

キーワード：ニューロフィードバック 認知制御 課題間転移 fMRI 視覚的注意

1. 研究開始当初の背景

注意やワーキングメモリを含む高次認知機能の改善は全ての人の願いである。認知症などの機能低下、ADHDなどの障害への対策だけでなく、健常者の機能改善により社会全体の生産性が向上する。「脳トレ」、ビデオゲーム、マインドフルネス瞑想など機能改善の手法については多くの提案があるが、現象報告のレベルにとどまり、認知機能改善のメカニズムは科学的に未知である。

近年、脳波やfMRI信号のフィードバックにより認知機能の改善を目指すニューロフィードバック研究が注目されている。しかし、ニューロセラピーを含む大多数の応用指向の研究は、機能改善自体が目的で、メカニズムの科学的解明は視野に入れていない。他方、ごく少数の理論指向のニューロフィードバック研究は、認知機能を分析してフィードバック信号を明示化し、機能改善機序の科学的解明を目指している (Shibata et al., 2011)。本研究は理論指向ニューロフィードバックに着目し、これを科学研究のツールとして、注意機能改善のメカニズムの理解を目指す。

注意機能の改善の場合、課題間で転移可能な一般的な機能の改善が求められる。この点で、従来の理論指向アプローチは、特定の限局された認知機能の改善は可能だが、課題間転移は未達成である。この課題を克服するためには、複数の課題に関わる脳活動から一般要因を取り出し、より抽象度の高いフィードバック信号を明示的に作成することが必要となる。この明示的なフィードバック信号は機能改善を実現すると同時に、機能改善のメカニズムに対する一つの科学的な仮説を構成することになり、他の機能改善手法の妥当性を検証する手段を提供する。

2. 研究の目的

本研究は、理論指向と応用指向のニューロフィードバック研究を架橋して、複雑な注意機能改善を実現するとともに、その機序の科学的説明を行う。具体的には、認知制御課題を題材として、課題間転移が可能なニューロフィードバック技術の確立を目指す。このために、(1) フィードバックにより成績が改善する可能性がある課題を模索し、フィードバックの具体的なパラダイムを確立する。(2) 脳機能計測実験によって、これらの課題遂行時の脳活動データを取得する。(3) 階層化ニューロフィードバックの枠組みを提案し、ニューロフィードバックの課題間転移を目指す。階層化ニューロフィードバックでは、脳活動データから課題固有成分、共通成分を抽出し、理論を背景としたフィードバック信号を設計して機能改善を図る。これにより、複雑な認知機能改善や、瞑想など他の機能改善技法の科学的理解への道を開く。また、機能改善の機序の科学的説明は、手法の効率的な改良につながる事が期待される。

3. 研究の方法

(1) 認知制御課題のパラダイムの開発

古典的な認知制御課題としてフランカー課題、サイモン課題が知られている。これらは課題非関連情報の抑制による課題関連情報の処理という制御を含むが、非関連情報が標的刺激に空間的に近接する刺激 (フランカー)、反応する手と刺激位置の対応関係 (サイモン) と異なっている。そこで本研究では、フランカー課題とサイモン課題を合成した課題である多資源干渉課題 (Bush & Shin, 2006, Multi-Source Interference Task [MSIT]) をコアとし、ニューロフィードバックによってこの課題のトレーニングを行うことで下位課題であるフランカー課題およびサイモン課題の成績を改善できるかどうかを検討した。

MSITは3つの数字から仲間はずれを探し、その数字に対応するキーをできるだけ速く押すという単純なものであるが、数字位置と反応指の対応関係 (サイモン)、妨害数字による干渉 (フランカー) の要素を含んでいる。MSITを修正、改変してフランカー課題の要素のみを反映した課題およびサイモン課題の要素のみを反映した課題を作成し、同一刺激セットで干渉を比較可能にする。行動実験により、それぞれの干渉効果が検出できることを確認する。

(2) 脳機能計測実験による課題遂行時の脳活動データの取得

fMRI実験を実施し脳活動データを取得する。それぞれの干渉条件をブロックデザインで組み込み、数試行からなる干渉課題ブロックと統制課題ブロックを交互に実施する。反応時間データを取得し、対になる干渉ブロックと統制ブロックの平均反応時間の差を干渉効果量と定義する。この時の脳活動を計測し、フィードバック信号の設計に用いる。

(3) 課題間の脳活動の比較検討によるニューロフィードバック信号の設計

反応時間から定義された干渉効果量と相関する脳活動を探索し、ニューロフィードバック信号の設計を行う。対象とする脳活動としては、各ボクセルの活性値に加えて、領域間の活動の相関である機能的結合性も視野に入れる。データ駆動的な探索と並行して、干渉効果に関連する脳活動の従来知見を制約条件として、候補となるニューロフィードバック信号を絞り込む。干渉課題ごとに設計されたニューロフィードバック信号を比較し、課題固有の成分と、共通成分に分解する。また、信号設計作業は協力者個人ごとに行うが、個人間の比較により、干渉効果に相関する脳活動パターンの個人間類似性も評価する。

4. 研究成果

(1) 認知制御課題のパラダイムの開発

MSIT をベースとし、同一刺激セットでフランク課題の要素のみを反映した課題およびサイモン課題の要素のみを反映した課題を作成し、その干渉効果量の大きさを計測した。その結果、フランク課題の要素のみを反映させた課題やサイモン課題の要素のみを反映させた課題では、干渉ブロックで統制ブロックに比べて反応時間などが有意に増加するものの、その干渉効果量はオリジナルの MSIT 課題の干渉効果量の大きさに比べて、小さなものしか得られなかった。このことは、MSIT のニューロフィードバックトレーニングに成功したとしても、フランク課題やサイモン課題では干渉効果量が小さいため、課題間転移で成績の改善を検討するには適していないことを示唆している。

この結果を受けて、本研究では、同一刺激セットでの課題間転移ではなく、MSIT の成績改善が他の認知制御課題の成績改善をもたらす可能性について検討することにした。

また、MSIT について、行動指標に基づいたフィードバック (behavioral feedback) を行い、MSIT の成績そのものが改善する余地があるかどうかについても検討を行った。deBettencourt et al. (2015) のパラダイムを援用し、この実験では干渉試行と統制試行がランダムに呈示して、直近の課題の成績がそれ以前の成績よりも上昇していれば、すなわち認知制御機構が改善し干渉効果量が低下していれば、干渉試行の割合を減少させた。逆に、直近の課題の成績がそれ以前の成績よりも低下していれば、干渉試行の割合を増加させた。つまり、成績が上昇している際には、干渉試行の割合を低下させるため、実験参加者は干渉試行の出現に対処するためにより課題に注意を向けなければならない状況であった。成績が低下した際には、干渉試行の割合が上昇したため、干渉刺激を制御する方法を効率的に訓練できるパラダイムとなっていた。実験の結果、このようなフィードバックをもとに訓練を行った群では、単純に試行数を重ねた群よりも有意に干渉効果量が低下した。この結果は、MSIT で測定されるような認知制御機構が、フィードバックによる訓練によって効率的に改善できる可能性を示唆している (上田・齋木, 2017; 学会発表、Ueda & Saiki, 2017; 学会発表)。なお、本研究では他にも数種類の訓練パラダイムを実施したが、上記のパラダイムによる訓練効果が一番大きく効率の良いことがわかった。

(2)・(3)脳機能計測実験による課題遂行時の脳活動データの取得とフィードバック信号の設計

MSIT 遂行時の脳機能計測データを基に、フィードバック信号の設計について検討した。実験では、数試行の干渉試行からなる干渉課題ブロックと数試行の統制試行からなる統制課題ブロックを交互に実施するブロック

デザインを採用した。反応時間データを取得し、干渉効果量の大きさと脳の賦活部位および活動が関連するネットワークについて検討した。

その結果、MSIT で干渉効果量が小さい実験参加者、すなわち認知制御機構が優れた実験参加者では、干渉課題ブロックにおいて、背外側前頭前野・中前頭回・楔前部・角回において、干渉効果量が大きい実験参加者よりも有意な賦活が見られた。さらに興味深いことに、干渉効果量が小さい実験参加者では、様々な認知制御課題やコンフリクトモニタリングで活動が見られる背外側前頭前野と前部帯状回の間機能的結合性 (functional connectivity) が低いことが示された。このことは、認知制御機構が優れた実験参加者では、これらの領域が別個に活動することでより柔軟な処理体系を形成している可能性を示唆している。

MSIT 遂行時の脳機能データからは、様々な認知制御課題で賦活が見られる脳領域が、MSIT 遂行時に賦活していること、また効率的な機能的結合性の在り方に関する示唆が得られた。そのため、これらをフィードバック信号として用いて MSIT を訓練することによって、MSIT の成績の改善およびこの脳機能ネットワークの一部を使うような課題については、課題間転移が見られる可能性が考えられる。本研究を通じて、認知制御機構における階層的ニューロフィードバックの枠組みとこれの実現に資するデータを収集することができ、パラダイムについても実行可能性のあるものを決定することができた。しかし、階層化フィードバックによる機能改善の課題間転移を実証までは行えておらず、今後本研究によって構築されたパラダイムを基に、課題に取り組んでいく必要がある。

(4) 関連する研究成果

研究期間中に実施した、本課題と密接に関連する、フィードバックによる認知機能の変化の研究について以下に示す。

瞑想実践による認知機能の変化

近年、伝統的な仏教の智慧と慈悲を近代的に再編集したマインドフルネスに注目が集まっている。このようなマインドフルネスの訓練はうつや不安といった精神症状の改善や認知機能の変化をもたらすことが示されている。この研究では、瞑想実践によってどのような脳機能の変化が生じて、どのような行動の変化が生じるのかについて検討した。その結果、いくつかの機能的結合性がこの行動変化に寄与していることが明らかになった。これにより、将来的に本研究で提案する階層的ニューラルフィードバックの方法を援用することで、より広範な認知機能の改善を行うことができる可能性がある (藤野・上田, 2017; 雑誌論文、藤野ら, 2017; 学会発表)。

身体化認知に関するフィードバックによる認知機能の変化

ヒトの認知機能は身体からのフィードバックを受けて変化することが知られており、これらは身体化認知と呼ばれる。実験では、参加者にペンを咥えてもらうことによって本人が意識しない状態で表情を変化させた。その結果、これに付随して対面する人物の性格特性の認知が変化することが示された (Ueda et al., 2017; 雑誌論文)。また別の実験では、非常に精巧に作られたシリコンマスクを被ることで、別人のように感じられることを示した (Sanders, et al., 2017; 雑誌論文)。これらのフィードバックによって生じる脳機能の変化を検討し、フィードバック信号を設計することで、対人認知や自己の認識などにも本研究の提案する方法が活用できる可能性がある。

所属する文化による認知機能の差異

ヒトが所属する文化によって様々な認知が影響を受けることが知られている。例えば、日本や中国をはじめとする東アジア文化圏では、人やモノをそれぞれの関係性や場との関係性で捉えるようなコンテキスト指向性が優勢であり、北米やヨーロッパをはじめとする西洋文化圏では、人やモノは場と切り離して独立したものと考えるオブジェクト指向性が優勢である。階層化ニューラルフィードバックでは、このような文化が認知に与える影響に関する信号を抽出することで、文化的なものの見方の科学的理解への道が開ける可能性がある。Nakayama et al. (2017; 図書) では、文化が認知に与える影響について、記憶システムの面からレビューを行った。また、Ueda et al. (2017; 雑誌論文) は、文化によって視覚探索非対称性の現れ方に有意な差異があることを示した。

報酬のフィードバックによる注意機能の変容

近年、報酬と連合した視覚特徴が注意を捕捉するという価値駆動的注意捕捉という現象が注目を集めている。Mine & Saiki (in press; 雑誌論文) は価値駆動的注意捕捉を生起させる視覚特徴と報酬の連合学習が古典的条件づけのメカニズムによっていることを示す行動実験による証拠を示した。従来行われていた価値駆動的注意捕捉の研究では、課題関連の視覚特徴が報酬と連合されていたため、特徴と反応とフィードバックの関係を分離することができず、古典的条件づけと道具的条件づけを区別することが困難であったが、本研究では、課題非関連の色特徴を報酬と連合することにより古典的条件づけが生起因であることを明らかにできた。

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 5 件)

Ueda, Y., Nagoya, K., Yoshikawa, S., & Nomura, M. (2017). Forming facial expressions influences assessment of others' dominance but not trustworthiness. *Frontiers in Psychology*, 8, 2097. [査読有] doi:10.3389/fpsyg.2017.02097

Sanders, J. G., Ueda, Y., Minemoto, K., Noyes, E., Yoshikawa, S., & Jenkins, R. (2017). Hyper-realistic face masks: A new challenge in person identification. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 2, 1-12. [査読有] doi:10.1186/s41235-017-0079-y

藤野正寛・上田祥行 (2017). マインドワングリングの低下に関わる集中瞑想と洞察瞑想の神経基盤. *精神科治療学*, 32, 645-650. [査読有]

Ueda, Y., Chen, R., Kopecky, J., Cramer, E. S., Rensink, R. A., Meyer, D. E., Kitayama, S., & Saiki, J. (2017). Cultural Differences in Visual Search for Geometric Figures. *Cognitive Science*, doi: 10.1111/cogs.12490 [査読有]

Mine, C., & Saiki, J. (in press). Pavlovian Reward Learning Elicits Attentional Capture by Reward-Associated Stimuli. *Attention, Perception, & Psychophysics*.

[学会発表](計 3 件)

上田祥行・齋木潤. (2017). 成績にもとづくフィードバックによる認知制御の促進. Technical Report on Attention and Cognition 2017, No.16, 1-2.

Ueda, Y., & Saiki, J. (2017). "Adoptive procedure training succeeds in facilitating cognitive control," Psychonomic Society's 58th Annual Meeting, British Columbia, Canada. 2017.11.

藤野正寛・上田祥行・井上ウイマラ・大石悠貴・北川智利・野村理朗 (2017). 「洞察瞑想の短期介入が表情への注意バイアスを変容させる」日本マインドフルネス学会第4回大会(早稲田大学, 東京都) 2017.12.

[図書](計 2 件)

Nakayama, M., Ueda, Y., Taylor, P. M., Tominaga, H., & Uchida, Y. (2017). Cultural psychology as a form of memory research. In T. Tsukiura & S. Umeda (Ed.), *Memory in a Social Context: Brain, Mind, and Society* (pp. 281-295). Springer Japan, ISBN 978-4-431-56591-8.

齋木潤. (2017). 視覚性短期記憶とそ

の神経基盤．児童心理学の進歩（pp.1-21）．
金子書房．

〔産業財産権〕

出願状況（計 0 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 0 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
齋木研究室ホームページ
<http://www.cv.jinkan.kyoto-u.ac.jp/site/>

6．研究組織

(1)研究代表者

齋木 潤 (SAIKI, Jun)

京都大学・大学院人間・環境学研究科・教授

研究者番号：60283470

(2)研究分担者

上田 祥行 (UEDA, Yoshiyuki)

京都大学・こころの未来研究センター・特定助教

研究者番号：80582494