

令和 2 年 6 月 26 日現在

機関番号：82626

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K16080

研究課題名（和文）小脳を中心とした脳内ネットワークによる認知制御機構の解明

研究課題名（英文）Exploring cerebro-cerebellar network for cognitive control

研究代表者

長谷川 国大（Hasegawa, Kunihiro）

国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・研究員

研究者番号：10741837

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000円

研究成果の概要（和文）：小脳はこれまで運動制御の座と目されてきたが、最近では高次認知機能との関連が指摘されてきている。本研究では認知制御機能を中心とした高次認知機能の実現におけるその役割を明らかにすることを目的とした。まずこれまで高次認知機能に関する研究では小脳の活動が見出されてもその役割について論じられてこなかったため、過去研究のレビューとメタ解析を実施した。さらに認知的競合課題における手がかり効果を使って、高次認知機能を補助する小脳の働きを実験的に検討した。また実験の最適条件を探るための予備的検討の中で、副次的に、人の知覚・認知のしくみを理解する上で重要と考えられる新しい現象を複数発見できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高次認知機能を大脳皮質の働きだけでなく、小脳を含めたネットワークで捉える足がかりを得られたことで、そのメカニズムの解明に向けた新しいアプローチの可能性を示すことができた。また、副次的に発見された知覚・認知現象は更なる人の心的機能の解明に寄与するものと期待される。

研究成果の概要（英文）：In recent, the cerebellar cortex is no longer considered just a motor structure. Some recent studies revealed the connectivity between the cerebral cortex and the cerebellar cortex. The present project aimed to investigate the cerebellar contributions in cognitive control. A meta-analysis of the previous fMRI studies on some higher cognitive functions was conducted. Then, an fMRI experiment on cue-based conflict adaptation was conducted. Both suggested the role of the cerebellum in the preparation for cognitive conflict resolution. In addition, the phenomena on visual perception and cognition were found by the psychological experiment.

研究分野：認知科学

キーワード：認知制御 小脳 脳機能イメージング 実験系心理学

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

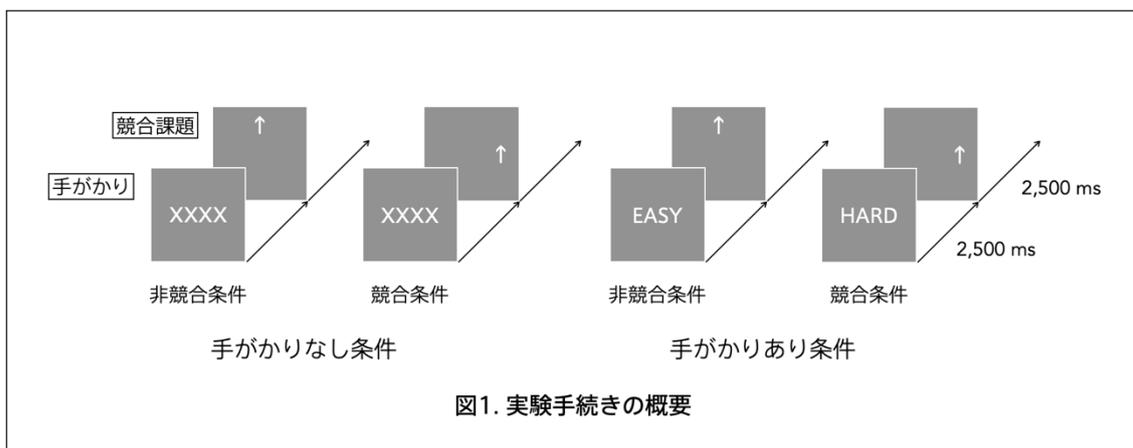
認知制御はヒトが自動的に駆動する行動を抑えて意図的にふるまうための働きであるが、未だその機序は不明な点が多い。近年では認知的競合課題を用いて実験的な検討が行われており、そこでの競合効果が環境文脈に応じて最適化される変調効果 (Botvinick et al., 1998) が解明の鍵となる現象として注目されてきた。申請者は最近、この変調効果には環境文脈の潜在学習が深く関わっていることを明らかにした (Hasegawa & Takahashi, 2013, 2014)。同様の研究報告も多く見られるようになってきており (e.g., Desender et al., 2014; Schmidt, 2013), その役割の解明が認知制御メカニズムを理解する上での重要課題に位置づけられていた。

2. 研究の目的

この認知制御メカニズムを理解するための新しい切り口として、本研究では、小脳の役割に注目した。小脳は、長らく運動制御の座として理解されてきたが、近年では高次認知機能 (e.g., Ramnani, 2006) や内部モデルの形成・保持 (e.g., Ito, 2008) に関連することが示されてきていた。本研究は認知制御を支える脳内機構に小脳を中心としたネットワークを仮定し、その存在と働きの検証を計画した。

3. 研究の方法

内部モデルの形成に関連するとされる小脳の認知制御に果たす役割を明らかにするため、認知的競合課題成績の手がかり変調効果を用いた実験的検討を実施した (図1)。手がかり変調効果とは、競合が生じる試行の直前にそれを予期させる手がかり刺激を提示することで、手がかりがない場合に比べて課題成績が変化する現象である (Bugg & Smallwood, 2016; Gratton et al., 1992)。これは手がかり刺激によって課題遂行前に何らかのトップダウン的準備状態が形成されることを示唆しているが、その詳細は不明であった。



小脳に関する先行研究より、その役割は課題遂行に必要な手続き記憶の事前想起などの課題への準備ではないかと考えられたため、この手がかり効果によって小脳の働きが検証できると考えられた。そこで実験では、手がかり刺激観察時の脳機能イメージングを実施し、その際の賦活部位の特定を目指した。

4. 研究成果

実験的検討では、仮説通り、手がかり観察時における小脳の賦活が観測された。同時に補足運動野の賦活も観測された (表1; 本実験の結果は未公開であるため、代わりに予備実験の結果を掲載する)。その賦活パターンは、本実験と類似した研究における賦活 (e.g., Peterburs & Desmond, 2016) と類似していたとともに、指タッピング課題で観測される賦活 (e.g., Witt, Laird, & Meyerand, 2008) とも類似していた。本研究での手がかり観察時には全く指運動を行っていなかったことから、手がかり観察時に課題遂行に必要な運動の準備状態が形成されていたことが示唆される。ただし、観察された脳活動が正しく課題遂行準備と関連するかどうかについての知見はまだ不足しているため、今後も引き続き検討を進めていく予定である。

また、実験的検討の遂行に先立ち、他の研究プロジェクトと連携して高次認知機能に関わる研究のレビューとメタ解析を実施した。その結果、計画段階での予測通り、小脳を含む脳内ネットワークの存在を示唆する結果を得た (Miura, Sasaki, Hasegawa, & Tanabe, 2020; Tanabe, Kubo, Hasegawa, Kondo, & Kochiyama, 2017)。

さらに、本研究では課題難易度の調整が難しく、その最適化を目的とした予備的調査を多く実施した。これには多くの時間を要したが、一方で、副次的に人の知覚・認知機構を理解する上で重要と思われる現象を複数発見できた (Hasegawa, 2020; Hasegawa & Takahashi, 2018)。これらについても掘り下げて検討を行うことで、人の環境適応行動を支える知覚認知メカニズムの総合的な理解につながると期待している。

<引用文献>

- Botvinick, M., Nystrom, L. E., Fissell, K., Carter, C. S., & Cohen, J. D. (1999). Conflict monitoring versus selection-for-action in anterior cingulate cortex. *Nature*, *402*(6758), 179–181.
<https://doi.org/10.1038/46035>
- Bugg, J. M., & Smallwood, A. (2016). The next trial will be conflicting! Effects of explicit congruency precues on cognitive control. *Psychological Research*, *80*(1), 16–33. <https://doi.org/10.1007/s00426-014-0638-5>
- Desender, K., Van Opstal, F., & Van den Bussche, E. (2014). Feeling the conflict: The crucial role of conflict experience in adaptation. *Psychological Science*, *25*(3), 675–683.
<https://doi.org/10.1177/0956797613511468>
- Hasegawa, K. (2020). The size-value compatibility effect. *Scientific Reports*, *10*, Article 5383.
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-62419-8>
- Hasegawa, K., & Takahashi, S. (2013). Functional difference between sustained and transient modulations of the cognitive control in the Simon task: Evidence from false alarm responses on no-go trials. *PLOS ONE*, *8*, Article e81804. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0081804>
- Hasegawa, K., & Takahashi, S. (2014). The role of visual awareness for conflict adaptation in the masked priming task: Comparing block-wise adaptation with trial-by-trial adaptation. *Frontiers in Psychology*, *5*, Article 1347. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01347>
- Hasegawa, K., & Takahashi, S. (2018). Jump across the gap! A new type of colour spreading illusion. *i-Perception*, *9*, Article 6. <https://doi.org/10.1177/2041669518819511>
- Ito M. (2008). Control of mental activities by internal models in the cerebellum. *Nature Reviews Neuroscience*, *9*(4), 304–313. <https://doi.org/10.1038/nrn2332>
- Kochiyama, T., Ogihara, N., Tanabe, H.C., Kondo, O., Amano, H., Hasegawa, K., Suzuki, H., Ponce de León, M.S., Zollikofer, C.P.E., Bastir, M., Stringer, C., Sadato, N., & Akazawa, T. (2018). Reconstructing Neanderthal brain using computational anatomy. *Scientific Reports*, *8*, Article 6296.
<https://doi.org/10.1038/s41598-018-24331-0>
- Miura, N., Sasaki, Y., Hasegawa, K., & Tanabe, H.C. (2019). Neural underpinnings of creative thinking and tool use: A meta-analysis of neuroimaging data. In Y. Nishiaki, O. Jöris (Eds.), *Learning Among Neanderthals and Palaeolithic Modern Humans* (pp. 9–21), Springer.
- Peterburs, J., & Desmond, J. E. (2016). The role of the human cerebellum in performance monitoring. *Current Opinion in Neurobiology*, *40*, 38–44. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2016.06.011>
- Ramnani N. (2006). The primate cortico-cerebellar system: Anatomy and function. *Nature reviews Neuroscience*, *7*(7), 511–522. <https://doi.org/10.1038/nrn1953>
- Schmidt J. R. (2013). Questioning conflict adaptation: proportion congruent and Gratton effects reconsidered. *Psychonomic Bulletin & Review*, *20*(4), 615–630. <https://doi.org/10.3758/s13423-012-0373-0>
- Tanabe, H. C., Kubo, D., Hasegawa, K., Kondo, O., & Kochiyama, T. (2017). Cerebellum: Anatomy,

physiology, function, and evolution. In E. Bruner, N. Ogihara, H. C. Tanabe (Eds.), *Digital Endocasts: From Skulls to Brains* (pp. 275–289), Springer.

Witt, S. T., Laird, A. R., & Meyerand, M. E. (2008). Functional neuroimaging correlates of finger-tapping task variations: an ALE meta-analysis. *NeuroImage*, *42*(1), 343–356.

<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2008.04.025>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Hasegawa Kunihiro	4. 巻 10
2. 論文標題 The Size-Value Compatibility Effect	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-020-62419-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Hasegawa Kunihiro, Takahashi Shin'ya	4. 巻 9(6)
2. 論文標題 Jump Across the Gap! A New Type of Colour Spreading Illusion	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 i-Perception	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） doi.org/10.1177/2041669518819511	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Kochiyama Takanori, Ogihara Naomichi, Tanabe Hiroki C., Kondo Osamu, Amano Hideki, Hasegawa Kunihiro, Suzuki Hiromasa, Ponce de Leon Marcia S., Zollikofer Christoph P. E., Bastir Markus, Stringer Chris, Sadato Norihiro, Akazawa Takeru	4. 巻 8
2. 論文標題 Reconstructing the Neanderthal brain using computational anatomy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 6296
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-018-24331-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Naoki Miura, Yukako Sasaki, Kunihiro Hasegawa, Hiroki C. Tanabe	4. 巻 5
2. 論文標題 Neural Underpinnings of Creative Thinking and Tool Use: A Meta-Analysis of Neuroimaging Data	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Replacement of Neanderthals by Modern Humans Series	6. 最初と最後の頁 9-21
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/978-981-13-8980-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hiroki C. Tanabe, Daisuke Kubo, Kunihiro Hasegawa, Takanori Kochiyama, Osamu Kondo	4. 巻 7
2. 論文標題 Cerebellum: Anatomy, Physiology, Function, and Evolution	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Replacement of Neanderthals by Modern Humans Series	6. 最初と最後の頁 275-289
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-4-431-56582-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----