

平成 28 年 4 月 6 日

時間的な『順序』の判断、 からだの動きをつかさどる脳領域が関与

たとえば、私たちは、右手と左手をわずかな時間を隔てて触られたとき、「右(左)が先です」というようにその『順序』を答えることができます。そのような時間的順序の判断は、私たちが周囲の世界の状況や変化を的確に把握するために不可欠な脳の情報処理要素です。

高知工科大学脳コミュニケーション研究センターの門田宏准教授、松崎梢研究員、静岡大学の宮崎真教授(高知工科大学・客員教授)らの研究グループは、その脳の仕組みを探るために機能的MRIを用いた脳活動計測実験を行いました。その結果、触られた『順序』を判断する際には意外にも体の動きを担当している脳領域が関わっていることを新たに発見しました。

本成果により、骨折等の外傷により体を動かすことのできないときの技能維持のためのリハビリテーションに時間順序判断を応用できる可能性が示唆されます。また、時間順序判断は自閉症や難読症の評価に応用できるとする行動科学的知見が蓄積されてきており、本成果はこれらの障害の診断法の開発/検証や発症の神経機序解明に役立つことも期待されます。

本研究成果は、英国の Nature Publishing Group の刊行するオンライン科学誌“*Scientific Reports*”に2016年4月11日(月)午後6時(英国時 午前10時)に掲載される予定です。

お問い合わせ先

高知工科大学総合研究所
脳コミュニケーション研究センター・准教授
門田 宏
TEL: 0887-57-2237
Mail: kadota.hiroshi@kochi-tech.ac.jp

静岡大学情報学部情報科学科・教授
宮崎 真
TEL/FAX: 053-478-1450
Mail: miyazaki-makoto@inf.shizuoka.ac.jp

【取材に関するお問い合わせ】

高知工科大学 企画広報部 長山・藤波
〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口185
TEL.0887-53-1080 FAX.0887-57-2000
E-mail: kouhou@ml.kochi-tech.ac.jp

静岡大学 広報室
〒422-8529 静岡県静岡市駿河区大谷836
TEL.054-238-5179 FAX.054-237-0089
Web: <http://www.shizuoka.ac.jp>

【論文情報】

題名 : Dissociating the neural correlates of tactile temporal order and simultaneity judgements

誌名 : *Scientific Reports* **巻号** : 6:23323 **掲載 URL** : www.nature.com/articles/srep23323

著者 : 宮崎真 (静岡大学・教授, 高知工科大学・客員教授), 門田宏 (高知工科大学総合研究所・准教授), 松崎梢 (高知工科大学総合研究所・学振 PD 研究員), 竹内成生 (上武大学・准教授), 関口浩文 (上武大学・准教授), 青山拓央 (山口大学・准教授), 河内山隆紀 (ATR・研究員)

【今回の発見のポイント】(詳細は次頁からの【背景】、【方法】、【結果】をご参照ください)

- 1) 機能的 MRI (最終頁の【用語解説】参照) を用いた脳活動計測実験により, 触覚刺激の時間的な『順序』の判断に運動前野, 後頭頂野, 視床, 及び小脳が関与していることが分かりました (図 1)。これらは, 本来, 体の動きをつかさどるとされてきた脳領域¹⁻⁵でした。
- 2) 1) のうち, 運動前野, 後頭頂野といった大脳皮質での活動は, 主に左半球に観測されました (図 1A, B)。時間順序判断では右脳と左脳のどちらが優位なのかという論争が続いていますが⁶⁻⁸, 本成果により後者の仮説が支持されました。
- 3) 近年にも時間順序判断中の脳活動を測定した研究がありましたが^{8,9}, 『順序』の判断以外の時間処理に関わる活動も含まれていました。本研究は, 行動科学的な知見/理論¹⁰⁻¹⁵に基づき, 順序判断中の脳活動から同時判断中の脳活動を差し引く実験デザインを策定したことにより, 1), 2) のように, 特に『順序』の判断に関わる脳部位を世界で初めて絞り込むことができました。

【本研究成果の社会的意義】

- 今回特定された, 『順序』の判断に関わる脳部位は, 本来, 身体運動をつかさどるとされてきた脳領域でした¹⁻⁵。本成果により, 骨折や筋損傷により体を動かすことのできない期間の技能維持のためのリハビリテーションに, 時間順序判断を応用できる可能性が示唆されます。
- 時間順序判断は自閉症¹⁶や難読症¹⁷の評価に応用できることを示す行動科学的知見が蓄積されています。本成果はこれらの障害の診断法の開発/検証や, 発症の神経メカニズムの解明に寄与することが期待されます。

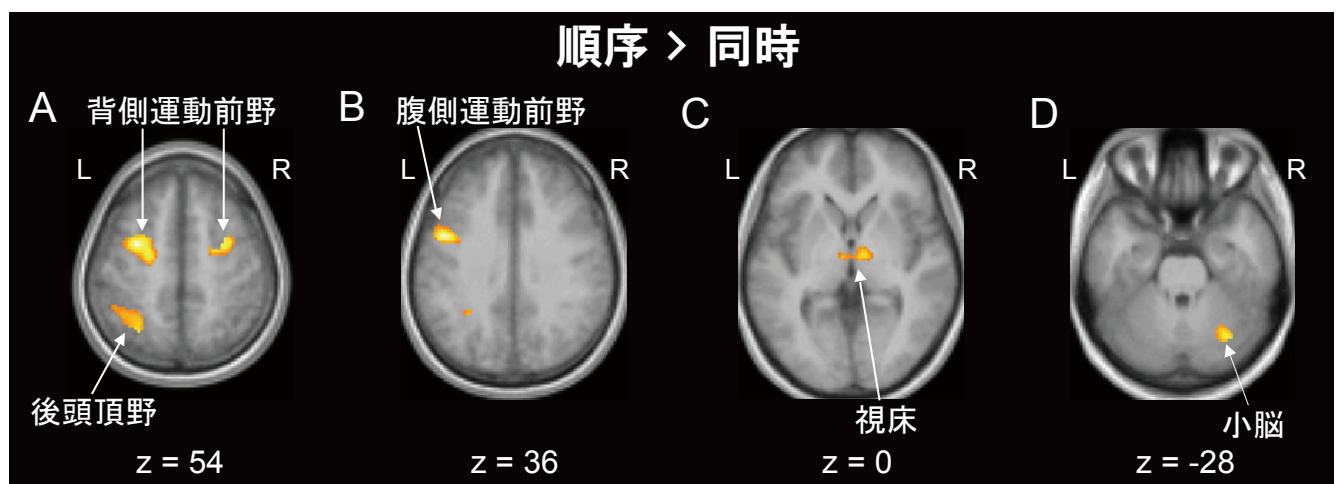


図 1. 機能的 MRI により特定した『順序』の判断に関連する脳活動。両手に呈示された触覚刺激の時間順序判断を行っているときの脳活動から同時判断を行っているときの脳活動を差し引くことにより検出。A, B: 大脳皮質部の活動 (論文中 Fig. 3 から抜粋)。C: 視床の活動 (論文中 Fig. 3 から抜粋)。D: 小脳の活動 (論文補足情報の Table S1 に記載した統計閾値を緩和した結果から図示)。

【背景】

身の周りで起こる出来事の時間的な『順序』は、私たちが周囲の世界の状況や変化を的確に捉えるために不可欠な情報です。その情報処理が私達人間の心的過程でどのように行われているのかを調べるために、時間順序判断を検査課題として用いた行動科学的研究が広く行われてきました。そのなかで、自閉症¹⁶や難読症 (dyslexia)¹⁷などの発達障害の診断に応用できることを示す知見も蓄積されてきました。

近年、機能的 MRI (最終頁の【用語解説】参照) を用いて時間順序判断を行っている実験参加者の脳活動を調べた研究報告が登場しました^{8,9}。これらの先行研究では、非時間的な統制課題 (e.g., 刺激の形状や数の判断) を用いていました。しかしながら、行動科学的研究により、『順序』の判断に先立ち、「刺激間の時間間隔の測定」^{10,11}や「刺激間の時間差の有無の判定」^{12,13}といった時間処理が行われていることが示されています。即ち、非時間的な統制課題を用いた先行研究で検出された脳部位には、『順序』の判断以外の時間処理に関わる部位が差し引かれずに残存していたはずですが。

そこで、本研究では、特に『順序』の判断に関与する脳部位を抽出するために、上述の時間処理¹⁰⁻¹³を含むとされる「同時判断」を統制課題として用いて、機能的 MRI による脳機能測定を行いました。

【方法】

健常成人 16 名 (男女各 8 名、平均 25.7 歳) が本実験に参加しました。機能的 MRI 測定中、参加者は、左右の親指に触覚刺激 (タップ刺激) を受け (図 2), ①順序判断「左右の刺激のどちらが先であったか?」、及び②同時判断「左右の刺激が同時 (= 時間差無) であったか、非同時 (= 時間差有) であったのか?」を行いました。左右の指に与えられる触覚刺激には、-180, -90, -30, -10, -5, 0, +5, +10, +30, +90, +180 ミリ秒 (+ 値 = 右先) の 11 種類の時間差を設定しました。1 ブロック 11 試行 (30 秒間) のなかで 11 種類の刺激時間差が疑似ランダム順に出現しました。参加者は、各ブロック開始時に呈示される音声教示に従って、順序判断、同時判断のいずれかを行いました。各参加者は休憩を挟みながら、順序判断と同時判断をそれぞれ 16 ブロック (= 176 試行) ずつ行いました。

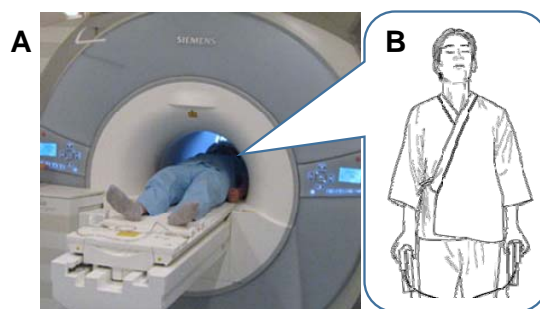


図 2. 実験参加者は MRI ガントリー内 (A) で被刺激-応答用デバイスを両手に持ち (B)、左右の親指に触覚刺激を受けた。順序判断で右先だと感じたときは人差指、左先だと感じたときは中指で応答、同時判断で同時と感じたときは人差指、非同時と感じたときは中指で応答した。測定の前半と後半で応答する手を左右入れ替えて、手の左右の影響を相殺した。(A の写真は ATR-Promotions 提供)

【結果】

同時判断中に比べて、順序判断中では、左側の腹側運動前野と後頭頂野、両側の背側運動前野と視床に有意に強い脳活動が検出されました (図 1A-C)。加えて、統計閾値を緩和すると小脳にも強い活動が検出されました (図 1D)。なお、休憩中の脳活動と比べたとき、図 1A-C と同様の厳しい統計閾値を用いても、順序判断中では小脳に有意に強い活動が検出され、一方、同時判断では検出されませんでした。また、順序判断に比べて同時判断で活動が強まった脳部位は島皮質後部のみでした。

運動前野、後頭頂野、小脳は、身体運動の制御に関与する脳領域として広く知られています¹⁴。また視床も、身体運動の制御に寄与していることが報告されています⁵。本研究により、時間的な『順序』の判断に、本来、体の動きをつかさどる脳領域が関与していることが示されました。また、この結果は、腕の動きの計画が触覚刺激の時間順序判断と干渉することを示した最近の行動科学的研究の結果¹⁵とも一致しています。即ち、本研究により、行動観測と脳活動観測とで一貫した知見が確立されました。

もう一つ注目すべき点として、運動前野、後頭頂野といった大脳皮質での活動は、主に左半球に観測されていることが挙げられます (図 1A, B)。時間順序判断では右脳と左脳のどちらが優位なのかという論争が続いていますが⁶⁻⁸、本成果により後者の左脳優位仮説が支持されました。

本研究に先行して、触覚刺激の時間順序判断中の脳活動を報告した研究がありました⁹、統制課題として刺激の数の判断を用いていました。そのため、『順序』の判断以外の時間処理に関わる活動も含まれていたはずですが、実際、その先行研究では、関連脳活動が、本研究で観測された部位に加えて、下前頭野、側頭野、大脳基底核等にも検出され、また左脳優位性もなく、大脳の両半球に活動が観測されていました。本研究は、これまでに蓄積されてきた行動科学的知見/理論¹⁰⁻¹⁵を精査し、同時判断を統制課題に策定したことにより、『順序』の判断に関わる脳部位を世界で初めて絞り込むことができました。

【今後の課題】

今回の研究では、触覚刺激の時間順序判断と同時判断を遂行中の脳活動を測定しました。非時間的な統制課題を用いた先行研究では、触覚刺激の時間順序判断⁹と視覚刺激の時間順序判断⁸とで類似した関連脳部位が報告されています。従って、視覚刺激を用いても本研究と同様の結果が得られる可能性も予想されますが、実際に測定しなければ、今回の結果が時間順序判断一般の基本特性なのか、触覚刺激ならではの結果なのかを結論づけることはできません。今後、視覚刺激や聴覚刺激を用いた実験を継続していく必要があると考えられます。

【引用文献】

1. Shadmehr & Holcomb. *Science* 277, 821–825 (1997).
2. Kurata. *J. Neurophysiol.* 69, 187–200 (1993).
3. Pisella et al. *Nat. Neurosci.* 3, 729–736 (2000).
4. Imamizu et al. *Nature* 403, 192–195 (2000).
5. Sommer. *Curr. Opin. Neurobiol.* 13, 663–670 (2003).
6. Battelli et al. *Trends Cogn. Sci.* 11, 204–210 (2007).
7. Woo et al. *Brain Cogn.* 69, 337–343 (2009).
8. Davis et al. *J. Neurosci.* 29, 3182–3188 (2009).
9. Takahashi et al. *Cereb. Cortex* 23, 1952–1964 (2013).
10. Schneider & Bavelier. *Cogn. Psychol.* 47, 333–366 (2003).
11. García-Peréz & Alcalá-Quintana. *Psychon. Bull. Rev.* 19, 820–846 (2012).
12. Hirsh & Sherrick. *J. Exp. Psychol.* 62, 423–432 (1961).
13. Pöppel. *Mindworks: time and conscious experience* (1988).
14. Fujisaki & Nishida. *Exp. Brain Res.* 198, 245–259 (2009).
15. Hermsillo et al. *J. Neurosci.* 31, 10019–10022 (2011).
16. Wada et al. *Sci. Rep.* 4, 5985 (2014).
17. Jaśkowski & Rusiak. *Psychol. Res.* 72, 65–73 (2008).

【用語解説: 機能的 MRI】

MRI (磁気共鳴画像)を用いて、脳の活動した場所を可視化する方法。たとえば私達が何かを見たり、触ったり、体を動かしたりすると、それに関連した脳の領域の神経細胞が活動し、酸素が消費されます。すると、消費された酸素を補うために、活動した神経細胞の周りに血流が集まります。その血流量の変化と酸素代謝の変化をMRIによって捉えることにより、活動している脳領域を特定します。現在、人間の脳の活動領域を調べるために最も優れた手法の一つです。

* 本研究は、下記の文部科学省科学研究費補助金の支援を受けて行われました。

- ・若手研究(S)『知覚－運動系におけるベイズ統合の神経機序』(21670004)
- ・基盤研究(A)『身体知覚の時空間的適応性の神経機序』(25242058)
- ・新学術領域 (こころの時間学)『こころの中の「いま、この瞬間」をとらえる－主観的同时性を形成する脳の仕組みの探究』(26119521)

科研費
KAKENHI

高知県公立大学法人 高知工科大学 ウェブサイト <http://www.kochi-tech.ac.jp/kut/index.html>
○企画広報部 〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口 185 TEL : 0887-53-1080 FAX : 0887-57-2000

国立大学法人 静岡大学 ウェブサイト <http://www.shizuoka.ac.jp/>
○広報室 〒422-8529 静岡県静岡市駿河区大谷 8 3 6 TEL : 054-238-5179 FAX : 054-237-0089