

## 緊張を乗り越える脳内メカニズムを解明

### 概要

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の渡邊 言也 (わたなべのりや) 助教授らの共同研究グループ (高知工科大学、米国ラトガース大学、名古屋大学、情報通信研究機構) は、行動実験とfMRI (磁気共鳴機能画像法) を組み合わせて、人間が興奮状態 (緊張感やプレッシャー) を抑制的にコントロールし、課題の成績を向上させる脳内メカニズムを解明しました。この結果は今後、強いストレスやプレッシャー状態に晒されることの多い職業、例えば、消防士や救急救命士、アスリートや演奏家などが、それぞれの現場で自身の持つパフォーマンスを最大限に発揮できるようになるためのトレーニング方法の開発などに応用することができます。本成果は2019年11月15日に国際科学誌ニューロイメージにて掲載されます。

### 本研究成果のポイント

- 人間が興奮や緊張を乗り越え、課題パフォーマンスを向上させるために、腹内側前頭前野が感情の中核である扁桃体を抑制的にコントロールしていることを発見した。
- さらに、腹内側前頭前野から扁桃体への情報伝達がより強い人の方が、課題の平均成績が良いことが明らかとなった。
- 今回明らかになった脳内のコントロールシステムは強いストレスやプレッシャーのある環境で働く人々が、自身の持つ最大限のパフォーマンスを発揮するためのトレーニング方法の開発に応用できる。

### 原著論文

論文タイトル: Ventromedial prefrontal cortex contributes to performance success by controlling reward-driven arousal representation in amygdala

(日本語訳: 腹内側前頭前野は、扁桃体内の報酬によって誘発された興奮の表現を制御することで、課題パフォーマンスの成功に貢献している)

筆者: Noriya Watanabe<sup>\*1,2,3,4</sup> Jamil P. Bhanji<sup>2</sup>, Hiroki C. Tanabe<sup>3</sup>, and Mauricio R. Delgado<sup>\*2</sup> (\*責任著者)

著者 (日本語表記): 渡邊言也<sup>1,2,3,4</sup> ジャミル P. バーンジ<sup>2</sup>, 田邊宏樹<sup>3</sup>, マウリシオ R. デルガド<sup>\*2</sup>

所属: <sup>1</sup>高知工科大学総合研究所、<sup>2</sup>ラトガース大学心理学研究科、<sup>3</sup>名古屋大学大学院情報学研究科、<sup>4</sup>情報通信研究機構脳情報通信融合研究センター

掲載誌: NeuroImage, Volume 202, 15 November 2019, 116136,

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.116136>

## 研究の背景

例えば、人前でピアノのソロ演奏をする状況を想像してみましょう。挑戦するのは大変難しい曲ですが、うまく演奏できれば大きな評価が期待できます。人は結果を意識してしまうと、演奏が始まる前から緊張感やプレッシャー（生理的覚醒の上昇\*1）を感じてしまい、結果的に練習と比べて上手に演奏ができないことがあります。また、反対にうまく心を落ち着けることによって興奮をコントロールし、結果的に素晴らしい演奏ができる場合もあるでしょう。似たような出来事は誰も経験があると思います。しかしながら、基本的な疑問として、なぜ、私たちは興奮したり、緊張してしまうとパフォーマンスが低下してしまうのでしょうか？また反対に、私たちの脳はどのようにこの緊張をコントロールしてプレッシャーを乗り越えているのでしょうか？これらの疑問は、脳のメカニズムの観点からは説明できていませんでした。そこで、研究グループでは緊張を乗り越える脳の仕組みを行動実験とfMRIを用いて検証しました。

## 実験方法（図1）

実験参加者22名はストップウォッチを使った課題に取り組んでもらいました。この課題では、スタートの合図（図1のドン！のタイミング）から5秒ちょうどでストップボタンを押すことが要求されます。しかし、時計がカウントアップしていく様子は画面に表示されません。そのため、参加者は頭の中で時間を数え、なるべく5秒に近いタイミングでストップボタンを押すこととなります。5秒に限りなく近い時間（例：4.900秒～5.100秒）の間でボタンを押すことができれば成功です。もし、それより遅過ぎたり（5.421秒）、早過ぎたり（4.767秒）すると失敗です。まず、参加者は実験初日に賞金なしで80回、成績が安定するまで練習をし、できる限り難しいレベルで課題をクリアできるようにトレーニングしました。

練習の翌日、参加者はMRIの中で本番課題に取り組みました（全80回）。本番では参加者に、「用意」のタイミングで試行ごとに50セントから40ドルの賞金額（およそ日本円で54円から4400円）が提示され、成功したらその賞金がもらえることを説明しました。これによって、参加者の試行ごとの緊張感を操作しました。参加者の生理的覚醒\*1レベルは目の瞳孔のサイズを計測しました。過去の研究によって、動物の瞳孔は、興奮しているときほど散大することがわかっています。この指標を使って、参加者に賞金額が提示されてからストップウォッチ課題を遂行する寸前の5.5秒間の覚醒レベルと脳活動を解析しました（図1のオレンジ色で囲まれたタイミング）。

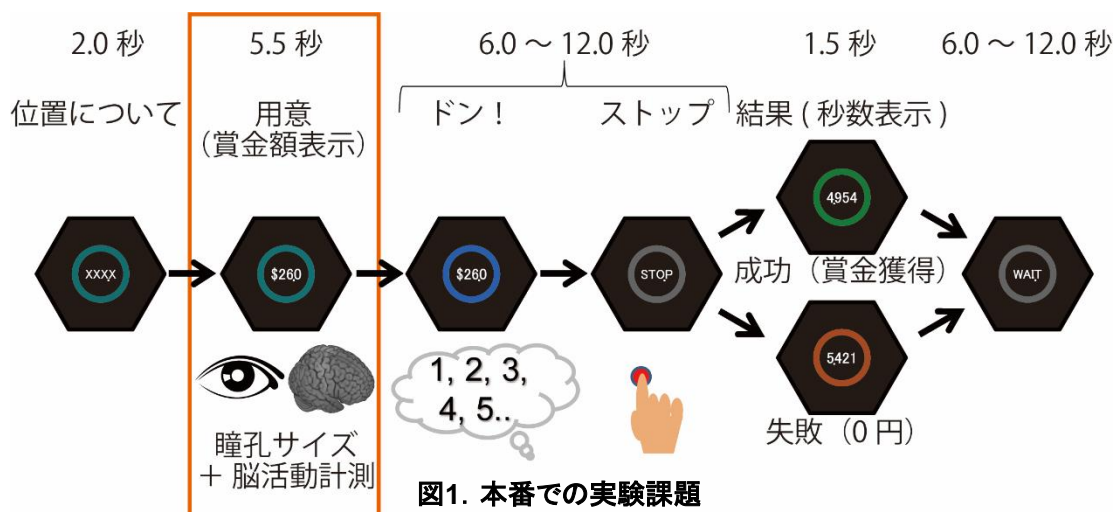


図1. 本番での実験課題

## 実験結果（図2）

1. 課題を遂行する直前の瞳孔のダイナミクスを調べたところ、失敗する試行では、瞳孔が賞金額の大きさに影響されて大きくなったり、小さくなったりしました。一方で、成功する試行では、その傾向は少なく、瞳孔は賞金額に影響されにくいということが分かりました。
2. 試行ごとの賞金額に一致する脳活動を調べたところ、失敗する試行では、将来成功する試行より強く線条体(特に尾状核前部)<sup>\*2</sup>の活動が見られました(図2Aの右下の脳活動)。
3. 試行ごとの興奮レベルに一致する脳活動を調べたところ、失敗する試行では、成功する試行より強く扁桃体<sup>\*3</sup>の活動が見られました(図2Aの左下の脳活動)。
4. 落ち着いているとき(興奮レベルが低い時)に、よく活動している脳活動を調べたところ、腹内側前頭前野<sup>\*3</sup>の活動が観測されました(図2Aの上の脳活動)。
5. 腹内側前頭前野が、線条体や扁桃体の活動をコントロールしているのではないかと仮説を立て、Dynamic Causal Modelingという脳内領域間の影響の因果関係を推定する方法を用いて、この三領域の関係を検証しました。
6. 解析の結果、成功する試行においては、課題遂行直前から腹内側前頭前野が扁桃体を抑制的に制御していることが明らかになりました(図2Aの水色の矢印)。
7. 腹内側前頭前野から扁桃体への情報伝達が強い人ほど、ストップウォッチ課題の平均成績が良いことが明らかとなりました(図2B)。

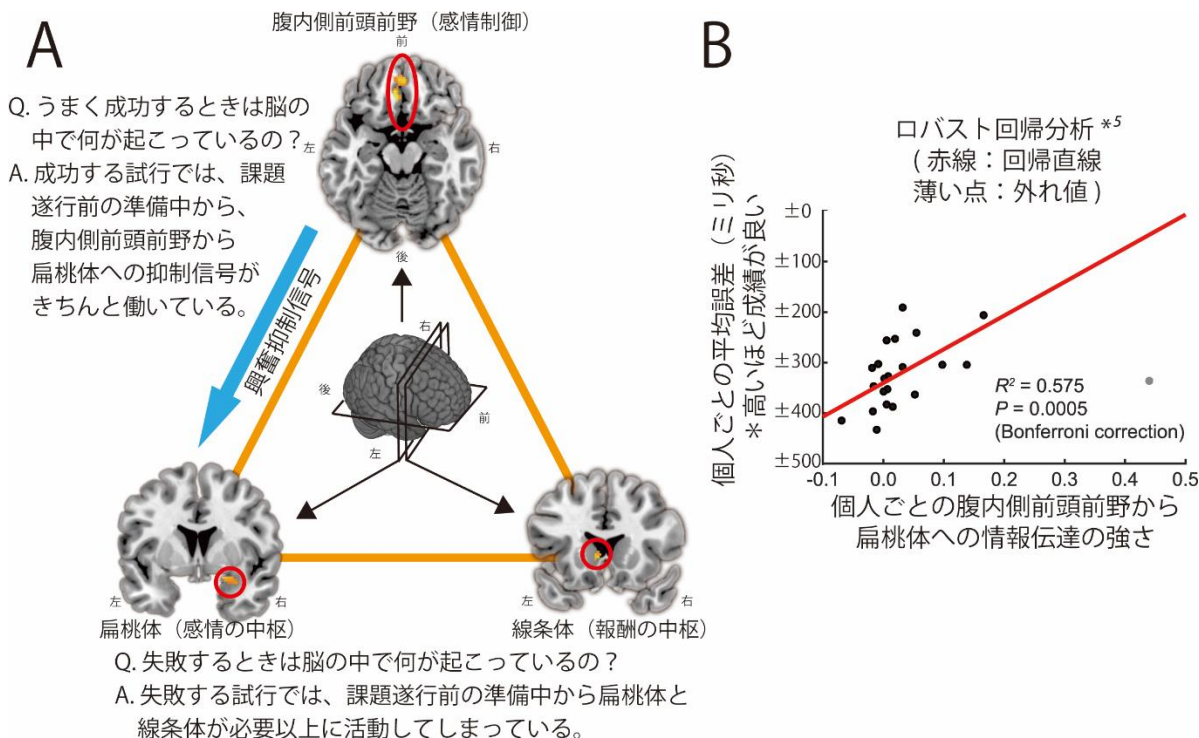


図2. 興奮の上昇によって課題遂行寸前に変化する脳活動と、それをコントロールする脳ダイナミクス

## 社会的意義および今後の展開

研究グループの一連の研究によって、実際に課題パフォーマンスに影響する脳内生理的覚醒の制御システムが明らかになりました。これらの研究結果は、極度の緊張状態に晒されることの多い職業、例えば、消防士や救急救命士、アスリートや演奏家が、それぞれの現場で自身の持つ最高のパフォーマンスを発揮できるようになるためのトレーニング方法の開発に応用可能です。また、人前に立つと過度の緊張で思いどおりの能力が発揮できない不安障害の方々のトレーニング方法の開発などにもつながる可能性があります。

## 用語解説

- \*1 **生理的覚醒の上昇**: 脅威や挑戦を目の前にして、心拍が上昇したり、呼吸が荒くなったり、手に汗をかいたり、瞳孔が散大するような体の反応を指す。多くの場合は緊張感やプレッシャー、または「あがり」として意識される。
- \*2 **線条体**: 大脳基底核に位置する脳領域。側坐核、尾状核、被殻から構成されている。特に腹側部分は報酬の処理に関わっており、報酬期待の大きさや、実際にもらった報酬と期待報酬の誤差の情報などが処理されている。
- \*3 **扁桃体**: 大脳辺縁系に位置する脳領域。感情の中核と考えられており、感情を伴う学習や記憶の処理に関与している。また、近年、生理的覚醒にも関与していることが報告されている。
- \*4 **腹内側前頭前野**: 前頭前野は脳の前方にあり、思考や創造性、反応の抑制などを司る中枢であるが、腹内側部はその中でも下の内側部分である。この領域は特に、恐怖感や緊張感に対し、心を落ち着けさせるような感情制御 (Emotion regulation) に関わっていると考えられている。
- \*5 **ロバスト回帰分析**: 二つの事象の相互関係を解析する統計方法の一つ。似たものに相関解析があるが、ロバスト回帰分析はそれに比べて外れ値 (他の値から大きく外れた値) の影響を受けにくい。

本研究は日本においては渡邊言也に対する日本学術振興会 (JSPS) の若手研究費 (B) (研究番号: 25780454 および 16K17358)、特別研究員奨励費 (H26, Social Science, 2502)、特別研究員制度 (PD)、海外特別研究員制度にサポートしていただきました。加えて、米国においては Mauricio Delgado に対する National Institutes of Health (NIH) の研究サポート (研究番号: DA027764) と Jamil Bhanji に対する National Science Foundation (NSF) の SBE Postdoctoral Research Fellowship にサポートしていただきました。