

2020年12月2日

報道関係者各位

慶應義塾大学
高知工科大学

将来の期待が自制心の強い意思決定を形成する 経験がない環境でのヒト脳の機構

慶應義塾大学理工学部生命情報学科の大学院生田中大輝（研究当時、2019年理工学研究科修士課程修了）と地村弘二准教授は、高知工科大学の中原潔教授、竹田真己特任教授、青木隆太助教（研究当時）、メルボルン大学の鈴木真介准教授との共同研究で、ヒト脳の前頭前野が経験したことのない未来の好ましい出来事の期待に関連しており、その機構は、自身の経験に基づいて自制心の強い意思決定を形成する個人ほど増強されていることを発見しました。今回の結果は、未経験で不確実な状況では、将来を期待することにより長期的に最適な行動を選択できることを示唆しています。そして、未来の期待に関連する前頭前野の機構が、薬物・アルコール依存症などの精神病理と関わっていることを示唆しています。この研究は米国神経科学学会（Society for Neuroscience）が発行する The Journal of Neuroscience の速報版で11月13日発表されました。

1. 本研究のポイント

- ・実物の液体（ジュース）を報酬とし、将来報酬が得られる状況で、ヒトの脳の活動を計測した。
- ・経験をしたことがない報酬を待っているとき、前頭前野は将来の期待を反映する脳活動を示した。
- ・期待に関連する前頭前野の活動は、自制心の強い選択が形成される個人ほど大きかった。

2. 研究背景

「今5千円または1年後1万円をもらえるなら、どちらを選ぶか」という問題は、すぐ得られる少量の報酬か、待つことが必要な多量の報酬のどちらを好むかという問題として扱われており、行動経済学では異時的選択とよばれています。前者を好むことは衝動的、後者を好むことは自制（自己制御）的であると理解されており、自己制御が強いと、報酬の獲得を長期的に最大化できると考えられています（図A）。衝動と自己制御は、報酬に対する個々人の選択傾向を反映しているだけでなく、薬物やアルコールなどの依存症とも関連していることが知られています。

異時的選択は、ヒトだけでなく、非ヒト動物でも研究されてきました。これまでのヒトの実験では、仮想的な状況で、お金を報酬としてきた一方で、非ヒト動物の実験では、食べ物や飲み物を報酬とし、待つことも報酬を消費する（食べる・飲む）ことも、実環境が用いられてきました。そして、非ヒト動物の実験では、選択の好みは、実験中の直接の経験を通じて形成される一方で、ヒトの実験では選択の好みは実験前に形成されていることが前提となっていました。

これらの実験手続きの違いは、衝動と自己制御を研究する上での制約となっていました。とりわけ、ヒトにおいては、選択の好みはどのように形成されるか、未経験の報酬を待っている時に何が起きているのかが不明でした（図A）。

3. 研究内容・成果

今回、田中らのグループは、非ヒト動物で用いられている異時的選択の実験手続きをヒトに適用しました。そして、経験したことがない報酬を待つ消費するときの脳活動を機能的MRI（※1）により

断続的に撮像しました。

機能的MRI撮像中、ヒト被験者は、まず、数十秒経ってから飲むことができるジュースの報酬（遅延報酬；図B・赤丸印）を経験しました。次に、それよりも量が少ないすぐ飲める報酬（即時報酬；同青星印）を経験しました。最後に、両者のどちらか好きな方を選ぶことが求められました。ここで重要なことは、最初に遅延報酬を経験するとき、その報酬は未経験なので、被験者はいつ飲めるのかわかっていません。

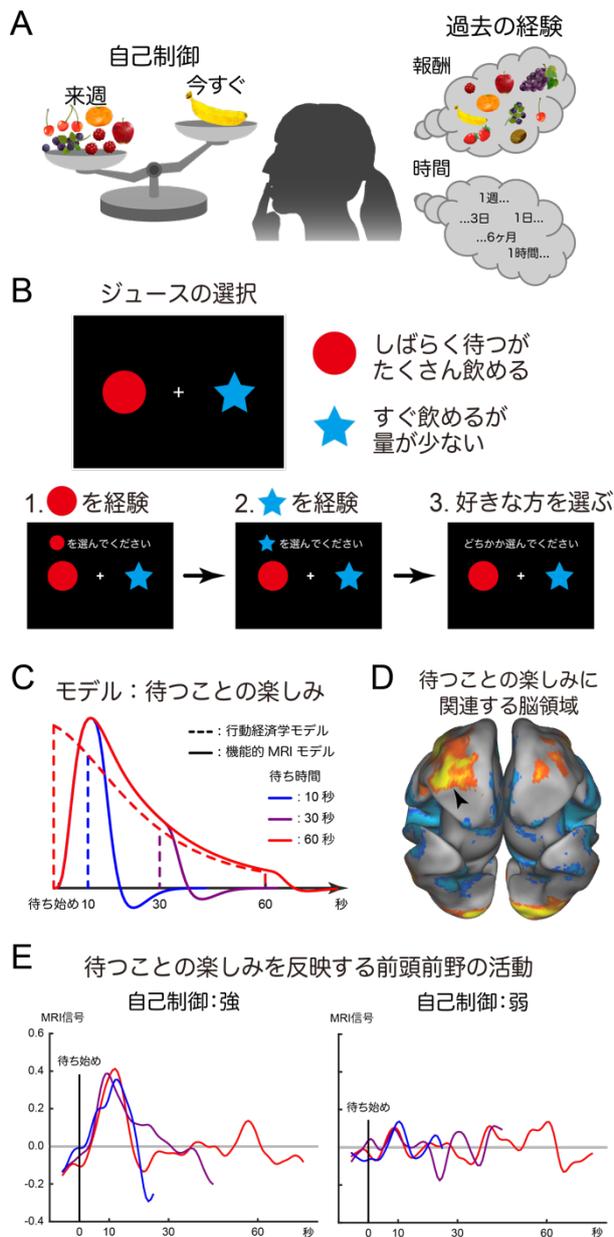
そして、未経験の報酬を待っているときの期待の度合いを説明するために、行動経済学の理論に基づいて、予期効用（※2）というモデルを用いました（図C）。予期効用は「待っていること自体の楽しさ」を反映していると考えられます。

報酬を待っているときに予期効用を反映しているような脳領域を探索したところ、前頭前野の一番前にある頭極部が見つかりました（図D・黒矢印）。さらに、前頭前野の予期効用を反映した脳活動は、自己制御の強い選択（すぐ得られる少量の報酬よりも、待つことが必要な多量の報酬を好む傾向）が形成される被験者ほど大きくなっていました（図E）。

一方で、報酬を消費している（ジュースを飲んでいる）とき、脳の深部にある腹側線条体の活動が大きいと、その後少量のすぐ得られる報酬が選択される（衝動的になる）ことがわかりました。そして、報酬を待っているとき、腹側線条体の活動は前頭前野から抑制的な調節を受け、その調節は自己制御の強い被験者ほど強くなっていました。

以上の結果は、経験したことがない好ましい出来事を期待しているとき、期待を反映している前頭前野の活動が大きいと、長期的に最適な自己制御の強い選択傾向が形成されることを示唆しています。そして、その期待に関連する前頭前野の信号は、進化的に古く、ヒトでは衝動性に関連しているとされる腹側線条体の活動を抑制することを示唆しています。

前頭前野の頭極部は、異時的選択をする多様な動物種のなかでヒトにおいてもっとも発達しています。その脳領域で「いつ起こるかわからない楽しいこと期待する」機能が観察されたことは興味深く、ヒトらしさを例示しているのではないかと考えます。そして、楽しい未来を期待し、自分の経験に基づいて自制心のある選択を形成する前頭前野機能の理解が、薬物・アルコール依存症などの精神疾患の解明のきっかけになると期待されます。



4. 今後の展開

今回の研究で、ヒトを含めた動物種間で異時的選択に関わる脳機能を直接比較できるようになりました。脳機能計測の自由度が高い非ヒト動物と比較することで、明るい未来を期待するようなヒトらしさを理解できないかと考えています。また、直接消費可能な報酬としてアルコール飲料や食べ物を使うことによって、二日酔いや肥満の原因となるような脳機構を、衝動性と関連づけて解明できないか考えています。

<原論文情報>

Tanaka D, Aoki R, Suzuki S, Takeda M, Nakahara K, Jimura K (2020) Self-controlled choice arises from dynamic prefrontal signals that enable future anticipation. J Neurosci doi: 10.1523/JNEUROSCI.1702-20.2020.

<用語説明>

※1 機能的MRI：神経細胞の活動に関連する生理信号を非侵襲で計測する手法の1つ。ヒトの全脳の活動を非侵襲で計測することができる。物理学者小川誠二らにより開発された。

※2 予期効用 (anticipatory utility)：将来の好ましい出来事を待つこと自体に効用(価値)があるという考え方。たとえば、1年後に旅行をする計画を立てたとして、その旅行が待ち遠しく、待つこと自体が楽しい状況を考えてとき、その楽しみを反映する。行動経済学者 George Loewenstein により提唱された。

※ご取材の際には、事前に下記までご一報くださいますようお願い申し上げます。

※本リリースは文部科学記者会、科学記者会、各社科学部等に送信させていただいております。

・研究内容についてのお問い合わせ先

慶應義塾大学 理工学部 生命情報学科 准教授 地村 弘二 (じむら こうじ)

TEL : 045-566-1625 E-mail : jimura@bio.keio.ac.jp

・本リリースの配信元

慶應義塾広報室 (澤野智)

TEL : 03-5427-1541 FAX : 03-5441-7640

Email : m-pr@adst.keio.ac.jp <https://www.keio.ac.jp/>

高知工科大学 入試・広報部 広報課 (濱田康太)

TEL : 0887-53-1080

E-mail : kouhou@ml.kochi-tech.ac.jp <https://www.kochi-tech.ac.jp/>