



2022年1月28日

報道関係者各位

慶應義塾大学
岡山大学
高知工科大学

複雑な意思決定における認知機能の役割

－不確実性と待ち時間が変化するギャンブルで起こる方略の切り替え－

慶應義塾大学理工学部の地村弘二准教授（高知工科大学客員准教授）と岡山大学の松井鉄平准教授は、慶應義塾大学の服部芳輝（大学院理工学研究科修士課程1年）、高知工科大学の中原潔教授、竹田真己特任教授らとの共同研究で、ヒトが複雑な状況で意思決定をするとき、将来の不確実性が低いと、前頭・頭頂皮質の認知の制御機構により意思決定の方略が切り替わり、選択に偏りが生じることを発見しました。今回の結果は、どのような要因を考慮して意思決定を行うかが、状況に応じて認知の制御機構により切り替わることを示しており、ヒトの意思決定と認知の柔軟性を例示しています。この研究は学術論文誌 NeuroImage の速報版で1月8日発表されました。

1. 本研究のポイント

- ・不確実性と待ち時間が同時に変化する複雑なギャンブルをするときのヒト脳の活動を測定した。
- ・複雑な状況で不確実性が低くなると、意思決定に時間がかかり、選択に偏りが生じた。
- ・意思決定の方略の変化には認知の制御に関わる前頭・頭頂皮質の活動が関わっていた。

2. 研究背景

私たちは、日常において意思決定と選択を繰り返しています。意思決定では、どのくらい確率的な不確実さがあるか（不確実性）、重要な事象が起こるまでどのくらいの時間がかかるか（遅延時間）、が重要な要因とされています。とりわけ、金銭や食べ物などの報酬に関わる意思決定では、不確実性と遅延時間は選択に大きな影響を与えることが知られており、不確実性はリスク選好、遅延時間は衝動性が関わると考えられています。

行動経済学において、意思決定における不確実性と遅延時間の影響は、長らく別々に研究されてきました。しかし、私たちの日常生活における意思決定の状況ははるかに複雑です。一方で、本研究グループは、意思決定が難しい状況では、要因の構造が単純であっても、要因を評価するための認知的な計算負荷が大きくなり、前頭前野における認知の制御機構が重要な役割を果たしていることを2018年に明らかにしました（参考文献1）。そこで今回、不確実性と遅延時間が同時に変化するような複雑な意思決定では、認知の制御機構がどのような役割をするのかという問いを立てました。

3. 研究内容・成果

本研究グループはまず、当たる確率、遅延時間、賭け金、獲得金の4つの要因が変化するギャンブルの状況を作成しました（図A）。比較のため、不確実性または遅延時間が要因として表示されない3要因のギャンブル条件が作成されました（図B）。ヒト被験者は、これらの与えられたギャンブル条件に応じるかどうかを意思決定することが要求されました。そして、機能的MRIを用いて、このギャンブルに関する意思決定を行っているときの脳活動を計測しました。

3 要因のギャンブルと比較して、4 要因のギャンブルは状況が複雑であることは明白です。しかしここで重要なのは、4 要因で当たる確率 100% の状況は、3 要因で当たる確率が示されない状況と論理的に同じです (図 C)。同様に、4 要因で遅延時間が 0 の状況は、3 要因で遅延時間が示されない状況と同じです。そこで、これらの論理的には等価で、複雑さが異なる状況で、意思決定がどのように変化しているかを調べました。

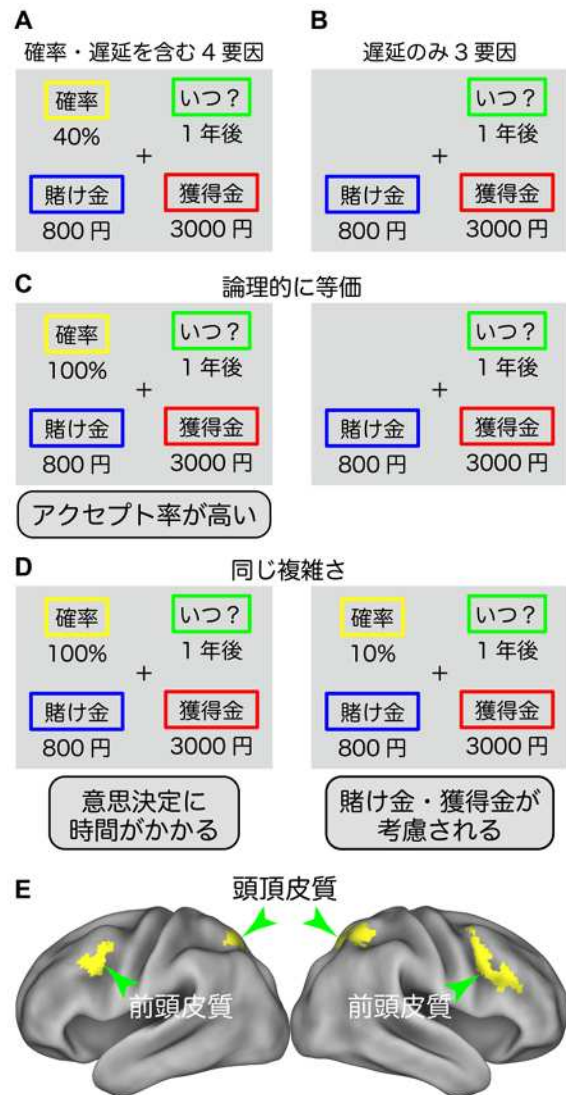
4 要因で確率 100% の状況では、ギャンブルに応じる割合 (アクセプト率) は、3 要因で確率が示されない状況と比較して高くなっていました (図 C)。そして、4 要因で確率が 100% でないときには、賭け金が小さく、獲得金が大きいとアクセプト率が上がりました (図 D)。しかし、確率 100% のときにはこのような変化がありませんでした。この結果は、4 要因で確率 100% の状況では、どの要因を考慮するかギャンブルの方略が異なることによってアクセプト率が上昇することを示唆しています。

確率が 0% または 100% に近い場合、すなわち、不確実性が小さくなると、ギャンブルに応じるかどうかの意思決定は短時間でされると予想されます。しかしこの予想に反して、4 要因確率 100% の状況では、不確実性がないにもかかわらず、意思決定には長い時間がかかっていることがわかりました (図 D)。この結果は、4 要因で確率が 100% の状況では、ギャンブルの方略が切り替わることによって意思決定に長い時間がかかることを示唆しています。

一方で、4 要因で遅延時間が 0 の状況では、3 要因で遅延が示されない状況とアクセプト率は差がありませんでした。この結果は、不確実性と遅延時間が同時に変化する場合には、不確実性がより優位な要因である (参考文献 2) ことを支持しています。

意思決定中の脳活動を調べてみると、4 要因確率 100% の状況では、論理的に等価な 3 要因確率なしの状況と比較して、前頭前野と頭頂皮質で活動が大きくなっていました (図 E)。これまで、報酬に関する意思決定では、要因に依存して脳活動が変化することは知られていました。しかし、論理的に等価な状況間で脳活動の差が観察されたことがなく、この脳活動がどのような心理機能を反映しているか先見的 (ア・プリオリ) にはわかりません。そこで、脳活動のパターンを逆符号化 (デコーディング) することにより、脳活動から関連する心理機能を推定したところ、認知の制御が関与していることが示唆されました。この結果は、確率が 100% になると、認知の制御が機能して、ギャンブルの方略が切り替わることを示唆しています。

以上の一連の結果は、複雑な状況での意思決定では、前頭・頭頂皮質による認知の制御により、柔軟に方略が変化することを示唆しています。



4. 今後の展開

意思決定に認知の制御がどのように関連しているかという問題は、ヒトに特有な高度な情報処理の脳機構がリスク選好や衝動性に関係しているのかという点において重要です。しかし、解くべき問題が多くあります。これら多くの問題を地道に解いていくことにより、認知の制御機能が、病的なギャンブルや薬物・アルコール乱用などを予防・改善するきっかけを作ることができないかと考えています。

<参考文献>

1. Jimura K, Chushak MS, Westbrook A, Braver TS (2018) Intertemporal decision-making involves prefrontal control mechanisms associated with working memory. *Cereb Cortex* 28, 1105-1116.
2. Vanderveldt A, Green L, Myerson J (2015) Discounting of monetary rewards that are both delayed and probabilistic: Delay and probability combine multiplicatively, not additively. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn* 41, 148-162.

<原論文情報>

Matsui T, Hattori Y, Tsumura K, Aoki R, Takeda M, Nakahara K, Jimura K (2022) Executive control by fronto-parietal activity explains counterintuitive decision behavior in complex value-based decision-making. *NeuroImage* 249, 118892.

<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2022.118892>

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 <http://ja.jimuralab.org/>

岡山大学学術研究院 自然科学学域 准教授 松井 鉄平 (まつい てっぺい)

TEL : 086-251-7860 Email: tematsui@okayama-u.ac.jp

高知工科大学 脳コミュニケーション研究センター センター長・教授 中原 潔 (なかはら きよし)

TEL : 0887-57-2237 E-mail : nakahara.kiyoshi@kochi-tech.ac.jp

・本リリースの配信元

慶應義塾広報室 (澤野)

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

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

岡山大学 広報課

TEL : 086-251-7292 E-mail : www-adm@adm.okayama-u.ac.jp <https://www.okayama-u.ac.jp/>

高知工科大学 学生支援部 入試・広報課 (濱田)

TEL : 0887-53-1080 E-mail : kouhou@ml.kochi-tech.ac.jp <https://www.kochi-tech.ac.jp/>