

論文の内容の要旨

論文題目 知覚に基づく意思決定に確率情報と過去の意思決定が影響を及ぼす神経メカニズムの解明

氏名 金子 宜之

[背景と目的]

知覚した情報を利用して適切な意思決定を行うことはヒトの適応的行動のために重要であり、近年の研究において、このような知覚に基づいた意思決定の基本的なメカニズムが明らかになりつつある。一方、知覚された情報が不明瞭な場面においても、知覚情報以外の知識を動員し、推測の元で意思決定を行いうることがヒトの特徴であるが、そのメカニズムは十分理解されていない。これまでに、知覚情報が不明瞭な条件において、判別すべき対象の出現確率を直前に呈示すると、出現確率に従った判断を下す傾向があることが知られており、このような状況における脳機能画像を同時記録することで、知覚対象の出現確率の処理と関連する脳領域が明らかになりつつある。一方、実生活で知覚情報が不明瞭な場面において知覚に基づいた判断を行う場合は、過去の経験に依存した判断が下されることが多く、特に知覚検出課題や知覚識別課題など多くのパラダイムでは先行する試行と同じ判断を繰り返すような傾向があることが知られている。これらのように意思決定が様々な要因の影響を受け特定の判断に偏ることをバイアス効果と呼ぶが、呈示された確率情報と過去の経験による意思決定のバイアス効果について、その階層性や独立性を検討した研究はこれまでにない。

本研究の目的は、先行する試行におけるいかなる要素が意思決定に影響を及ぼすのかを明確にした上で、先行する試行における経験と直前に呈示された確率情報が共通のメカニズムを介して知覚に基づく意思決定にバイアス効果を及ぼすのか、それとも別々のメカニズムを介して知覚に基づく意思決定にバイアス効果を及ぼすのかを明らかにし、知覚に基づく意思決定にバイアス効果をもたらす神経回路網を同定することである。

[方法]

19人の被験者がガボール刺激の下向き運動をターゲットとした知覚検出課題を行った。それぞれの試行の最初に、確率情報を示す手がかり刺激 (probability cue) が呈示された。Probability cueとして、ターゲットの出現確率が67%であることを示す Cue-High とターゲットの出現確率が33%であることを示す Cue-Low の二種類の手がかり刺激が用いられた。その後、白色ノイズが付加された水平方向のガボール刺激が呈示された。このガボール刺激は半分の試行では下向きに運動しており、残り半分の試行では静止していた。被験者はガボール刺激の下向き運動があ

ったか否かの意思決定を行い、人差し指と中指で二つのボタンを同時に押すことで意思決定の終了を報告した。その後、意思決定と運動効果器の関係を示す手がかり刺激が呈示され、被験者はこの手がかり刺激に基づいて二つのボタンのうちの一つを押し、ガボール刺激の下向き運動があったか否かを報告した。

行動解析の最初に、現在の試行と過去の試行においてターゲット検出に影響及ぼす要素を、ターゲット検出についての意思決定 (Decision(+))及び(-) を被説明変数としたロジスティック回帰分析を行い同定した。

次に、被験者ごとのターゲットを検出したと報告した (Decision(+)) 確率に対し、ロジスティック回帰分析で有意に意思決定に影響を及ぼすことが判明した要素であるターゲット刺激の有無 (Target(+))及び(-)、probability cue の種類 (Cue-High 及び-Low) 及び先行する試行における意思決定の種類 (prev-Decision(+))及び(-) を被験者内要因として分散分析を行った。

Probability cue と先行する試行での意思決定がどのようにターゲット検出の処理に影響を及ぼしているかを調べるために、被験者ごとの意思決定指標として刺激弁別能の指標 d' と知覚検出の閾値の指標 c を信号検出理論に従って計算し、 d' と c のそれぞれに対して Cue 及び prev-Decision を被験者内要因として分散分析を行った。次に、被験者ごとの probability cue の利用の程度と先行する試行での意思決定における経験の利用の程度に関連性があるかを調べるために、Cue-Low 試行と Cue-High 試行における c の差 (Diff c) と、prev-Decision(+)試行と prev-Decision(-)試行における d' の差 (Diff d') を被験者ごとに計算し、Diff c と Diff d' の相関の有意性を評価した。

Probability cue と先行する試行における経験が脳賦活に及ぼす影響を評価するために機能的磁気共鳴画像法 (functional magnetic resonance imaging; fMRI) を用いた。MR 機器を用いてエコープラナー画像データを取得し、前処理後に一般線形モデルを用いて画像データを解析した。Decision, Target, Cue 及び prev-Decision の全ての組み合わせに対して、ガボール刺激呈示中の賦活が別々にモデル化された。条件特異的な効果を調べるために、ボクセルごとに回帰係数の推定を行い、関心を持った効果を説明するコントラスト画像を被験者ごとに作成した。次に、16人の被験者のコントラスト画像に対して一標本 t 検定を行いパラメトリックマップを作成し、probability cue や先行する試行での意思決定と関連する脳賦活を示す領域を同定した。同定された領域の賦活のピークにおいて Target, Cue 及び prev-Decision の組み合わせごとに信号変化を計算し、分散分析を行った。

最後に、probability cue と先行する試行での意思決定に関連する脳賦活が被験者ごとの意思決定指標と相関するか否かを調べた。全脳解析で Cue と prev-Decision の主効果がみられる領域として同定された領域のピークの賦活の条件間の差と、行動データに信号検出理論を適用して得られた意思決定指標の条件間の差をそれぞれ計算し、相関性を評価した。

[結果]

ロジスティック回帰分析により、意思決定に影響を及ぼす要素として Target、Cue 及び prev-Decision が同定された。

分散分析において、Decision(+)確率に対して Target 及び Cue の有意な主効果が認められた。一方、Target と Cue の有意な交互作用はみられなかった。Decision(+)確率に対する prev-Decision の有意な主効果はみられなかったが、prev-Decision と Target 間にて有意な交互作用が認められた。Target(+)試行においては Decision(+)確率は prev-Decision(+)試行の方が prev-Decision(-)試行よりも大きく、一方、Target(-)試行においては prev-Decision は Decision(+)確率に有意な影響を及ぼさなかった。

信号検出理論を用いた解析において、 d' に対して prev-Decision の有意な主効果が認められたが、Cue の有意な主効果は認めなかった。一方、 c に対して Cue の有意な主効果が認められたが、prev-Decision の有意な主効果は認めなかった。また、被験者ごとの Cue 条件間の c の差 (Diff c) と prev-Decision 条件間の d' の差 (Diff d') の有意な相関はみられなかった。

fMRI を用いた全脳解析では、左頭頂間溝の賦活において Cue の主効果がみられた。この領域の賦活では prev-Decision の影響はみられなかった。一方、prev-Decision の主効果は右下前頭回、右頭頂間溝及び腹側後頭葉の賦活においてみられたが、この領域の賦活では Cue の影響はみられなかった。また、prev-Decision と Target の交互作用は右中前頭回及び頭頂弁蓋の賦活においてみられたが、この領域の賦活においても Cue の影響はみられなかった。さらに、Cue と prev-Decision の交互作用を示す領域はみつからなかった。

被験者間の脳賦活と意思決定指標間の相関解析において、Cue の左頭頂間溝の賦活への影響は Cue の c への影響と有意な相関を示し、prev-Decision の右下前頭回の賦活への影響は prev-Decision の d' への影響と有意な相関を示した。

[考察と結論]

行動学的解析において、先行する試行における様々な要素の中で、特に意思決定が次の知覚に基づいた意思決定にバイアス効果を及ぼすことが明らかになった。また、ターゲット出現についての確率情報がターゲットの有無にかかわらず意思決定にバイアス効果を及ぼす一方、先行する試行での意思決定はターゲットが呈示された試行においてのみ意思決定にバイアス効果を及ぼすことが示された。信号検出理論における意思決定指標を用いた解析からは、ターゲット出現の確率情報は知覚検出の閾値に関連する指標に影響を及ぼす一方、先行する試行における意思決定はターゲットの弁別能に関連する指標に影響を及ぼすことが示された。これらの結

果から、確率情報と過去の意思決定は別々の処理過程を介して知覚に基づいた意思決定にバイアス効果を及ぼすことが示唆された。

fMRI解析の結果からは、確率情報と先行する試行における意思決定は異なる脳領域の賦活と関連することが示された。この結果から、確率情報と過去の意思決定が異なる神経回路網で処理され、知覚に基づいた意思決定へのバイアス効果に関与することが示唆された。

本研究からは大脳皮質には知覚に基づいた意思決定においてバイアス効果を担う複数の神経回路網が解剖学的に独立して存在し、意思決定における異なる処理過程を修飾すると考えられた。