

報酬を得るためのコストは、中脳ドーパミンニューロンの報酬予測誤差情報を高める

Shingo Tanaka, John P O'Doherty, Masamichi Sakagami

The cost of obtaining rewards enhances the reward prediction error signal of midbrain dopamine neurons

Nature Communications 2019 Aug 15;10(1):3674.

PubMedPMID: 31417077, DOI: 10.1038/s41467-019-11334-2

「働いた後のビールはうまい」という言葉が示すように、報酬を得るために努力する（コストを支払う）ことで、報酬の価値が変化すると人々は考えてきた。この現象はヒト以外の動物でも実験的に観察されてきたが、その脳内メカニズムについては不明であった。脳内において報酬情報と行動や刺激との関連付けは脳基底核において行われている。特に中脳に存在するドーパミンニューロンが報酬予測誤差（予測した報酬と実際の報酬との差）をコードし、報酬価値についての信号を伝えていることから、コストの影響を受ける可能性が考えられた。そこで我々は、ドーパミンニューロンのコードする報酬予測誤差信号に対するコストの影響について検証した。また、報酬予測誤差信号は刺激と報酬の関連学習に関与することから、報酬を得るためのコストが学習に与える影響についても検証した。

本研究では、高コスト vs. 低コスト課題を行う二頭のニホンザルの行動と神経活動を解析した (図 a)。この課題は高コスト試行と低コスト試行の二種類の試行から構成された。報酬であるジュースを得るために、高コスト試行では目の前の画面に呈示される点を 1 秒以上見つめ（固視し）なければならないが、低コスト試行では画面のどこを見ている構わない（自由視）。どちらの試行でも、与えられるジュースの量は同じであったので、二つの報酬の客観的な価値は同一であった。コストの後の報酬刺激に対する反応時間は、高コスト試行の方が低コスト試行より有意に早かったことから、報酬量は同じであるにもかかわらず、サルは高コスト試行の報酬の方を好んでいたことがわかった (図 b)。この課題遂行中のサルの中脳ドーパミンニューロンから電気信号を記録したところ、高コスト試行における報酬刺激に対しての応答が、低コスト試行における応答より大きくなっていった (図 c)。この結果は、高コスト試行において報酬価値が大きくなっている可能性を示していた。もし報酬価値が大きくなっているのであれば、報酬と刺激の関連付けをより早く学習できるはずである。そこで、高コスト・低コストそれぞれの条件において、二つの新規視覚刺激のうち片方を選べば報酬が得られる課題を行い、視覚刺

激と報酬の関係を学習する速度を調べた。その結果、高コスト条件の方がより早く視覚刺激と報酬の関係を学習できることが分かった (図 d)。

以上の結果から、報酬を得るためのコストによって、ドーパミンニューロンの報酬予測誤差信号が増幅し、学習が促進されることが示された。本研究は報酬の主観的価値形成メカニズムや報酬をもとにした意思決定メカニズムの解明に、新たな知見を与えるものであると考えている。

(新潟大学 医歯学総合研究科 田中慎吾)

