



## コオロギは哺乳類と同じく「驚いて」学習

### 研究成果のポイント

- ・ヒトなどの哺乳類では、学習が「予想外の出来事に驚いた時」に起こるという「予測誤差」理論が提案されているが、この学習理論が罰に関する学習へ適用可能であるかの論争が残っていた。
- ・今回の研究では、コオロギの罰に関する学習に予測誤差理論が適用できることを証明。
- ・さらに罰に関する予測誤差の情報を伝達する神経伝達物質が「ドーパミン」であることを解明。ドーパミンは哺乳類で予測誤差の情報を伝達する物質として知られていた。

### 研究成果の概要

動物が2種類の刺激を関連づけて記憶することを連合学習といいます。ヒトなど哺乳類の連合学習は「予測誤差」に基づいて起こるという理論が提案されています。この理論は広く普及していますが、罰に関する学習での行動学的な証明は必ずしも完全なものではありませんでした。北海道大学の大学院生である寺尾勘太氏と水波 誠教授のグループは、「コオロギの罰に関する学習は予測誤差理論で説明できるが、他の対抗理論では説明できない」ことを明らかにしました。コオロギが学習するには「驚き」が必要なのです。さらにコオロギではドーパミンを伝達物質とするニューロンが罰に関する予測誤差を伝えることが示唆されました。

### 論文発表の概要

研究論文名 : Roles of dopamine neurons in mediating the prediction error in aversive learning in insects (ドーパミンニューロンは罰学習において予測誤差を媒介する)  
著者 : 寺尾勘太 (北海道大学大学院生命科学院博士課程3年), 水波 誠 (北海道大学大学院理学研究院教授)  
公表雑誌 : Scientific Reports  
公表日 : 英国時間 2017 年 10 月 31 日 (火) (オンライン公開)

## 研究成果の概要

### (背景)

ヒトを含めた哺乳類の連合学習は「予測誤差」に基づいて起こるという理論が提案されています。これは、予想していなかったことが起こったときに学習が起こり、予想どおりのことが起こった場合には学習は起こらないという理論です。

連合学習は、刺激を「報酬（美味しい食物など）」と結びつける学習と「罰（嫌な味の食物など）」と結びつける学習の2つに大別されます。報酬に関する学習にはこの予測誤差理論が当てはまり、哺乳類ではドーパミンと呼ばれる神経伝達物質を含むニューロン（神経細胞）が予測誤差の情報を伝達することが知られていました。しかし、罰に関する学習にこの理論が適用できるかは明らかにされていませんでした。

### (研究手法)

コオロギは高い学習能力を持っています。たとえばフタホシコオロギは、匂いを嗅がせた直後に罰（塩水）を与える訓練を2回行っただけで、その匂いを避けることを学習します。北海道大学の寺尾氏と水波教授のグループは、フタホシコオロギの匂いと罰の連合学習が、予測誤差に基づいて起こるのかについて調べました。

研究方法として、「ブロッキング」と呼ばれる従来からの学習手続きに加え、寺尾氏らが考案した「オートブロッキング」という学習手続きを用いました。ブロッキングとは、ある刺激Xと罰との連合学習訓練を行うと、刺激Xともう一つの刺激Yを同時に提示し罰と連合させる学習訓練を行っても、刺激Yに対する学習は成立しないという現象、あるいはそれを示すための学習手続きです。予測誤差理論は、ブロッキングを説明するための理論として提案されたものです。

オートブロッキングとは、ある刺激Xと罰との連合学習訓練の際に、脳内で罰に関する情報を伝えて学習を引き起こすニューロンからの情報伝達を阻害すると、その後、その刺激Xと罰との連合学習訓練を行っても学習が成立しなくなるという現象、あるいはそれを示すための学習手続きです。寺尾氏らは、コオロギではドーパミンを伝達物質とするニューロンが罰についての情報を運び学習を成立させることを示唆する結果を得ていましたので、この実験が可能となりました。

### (研究成果)

コオロギの学習は予測誤差理論で説明できるが、選択的注意説<sup>\*1</sup>などの対抗理論では説明できないことが明らかになりました。オートブロッキングの実験で使う刺激は1種類だけなので、選択的注意説ではその刺激に対する学習が起こらないことが説明できないのです。コオロギは、予想外の出来事に直面し「驚いた」ときに学習するのです。さらにオートブロッキングの実験により、コオロギの脳では、ドーパミンを伝達物質とするニューロンが、罰について予測誤差の情報を伝えていることが示唆されました。この結果から哺乳類と昆虫の間には、ドーパミンが予測誤差の情報を伝達するという点で共通性があることが示唆されました。

### (今後への期待)

今回の研究で、予測誤差理論が報酬だけでなく罰に関する学習にも当てはまることがわかりました。今後、コオロギの脳のドーパミンニューロンの神経活動を解析することで、予測誤差を計算する脳のしくみの解明が期待できます。その成果は、ヒトの脳での予測誤差の計算のしくみの理解にもヒントを与えるものと期待されます。

## お問い合わせ先

北海道大学大学院理学研究院 教授 水波 誠 (みずなみ まこと)

TEL : 011-706-3446 FAX : 011-706-3446 E-mail : mizunami@sci.hokudai.ac.jp

ホームページ : <https://www.sci.hokudai.ac.jp/~mizunami/MICROB~2/>

### 【用語解説】

\*1 選択的注意説 … すでに学習したことが起こると、学習した刺激に対して選択的に注意が向き、それ以外の刺激に注意が向かなくなるとする説。これにより新たな学習が起こらないことが説明できるとしている。

### 【参考】



匂いを探索するフタホシコオロギ。コオロギは匂いを罰（嫌いな味）と結びつけて覚える。今回の研究で、コオロギの罰に関する学習が予測誤差理論で説明できることがわかった。