

## 昆虫は運動中に襲われると一時停止することを発見

～運動している時の方が敏感なのか？～

### ポイント

- ・コオロギは歩行中に脅威刺激を受けると、逃げ出す前に一時停止することを発見。
- ・運動中は静止中よりも脅威刺激に敏感であることを発見。
- ・刺激に対する感受性を高めることによって逃げ出すまでの遅れを保障している可能性を示唆。

### 概要

北海道大学大学院理学研究院の小川宏人教授らの研究グループは、歩行中のコオロギの逃避行動を詳細に観察して、刺激に対してそのまま逃げるのではなく、一時停止してから逃避することを明らかにしました。

動物はたとえ同じ刺激を受け取っても、その時の外部環境だけではなく、動機の強さや生体リズムなどの内部状態によっても起こす行動を変化させます。中でも運動中かどうかは、動物の行動に大きく影響します。例えばヒトの場合、ランニング中は認知課題の成績が悪くなるなどの影響があることが報告されています。しかし自由に運動している動物に全く同じ刺激を繰り返し与えることは難しいため、運動状態の行動への影響を詳細に調べることはできませんでした。

研究グループは、共同開発したサーボ型球形トレッドミル装置を用いて、自由に歩行しているコオロギに方向や強さを精密に制御した短い気流刺激を与え、それによって生じる逃避行動を調べました。実験の結果、コオロギは自発的に歩行している最中に刺激を受けると、ほとんどの場合すぐに一時停止し、その後、逃避行動を起こしました。しかも、静止中には何も反応しない様なごく弱い気流刺激に対しても停止し、さらに静止中より高い確率で逃避反応を示すことが分かりました。一時停止する分、逃避反応を開始するまでに時間がかかりますが、刺激に対する感受性を高めることでその遅れを保障している可能性があります。また、運動中の逃避反応における逃げる距離や速度は静止時と変わらないものの、逃げる方向が静止時に比べて不正確になっていました。

以上の結果から、コオロギの逃避行動は運動状態によって変化することがわかりました。運動中に見られる一時停止反応は、他の動物で報告されている「凍り付き反応（Freezing response）」と同じ意味を持つのかもしれません。

本研究成果は、2023年7月11日（火）、iScience 誌にオンライン掲載されました。



運動状態によるコオロギの気流逃避行動の違い。静止しているコオロギを短い気流で刺激するとすぐに刺激の反対方向へ逃げるが（右）、歩行中に刺激すると必ず一時停止してから逃げる（左）。

## 【背景】

動物にとって、刺激を受け取ったときに自分が運動しているか静止しているかは、その刺激に対する反応に大きな、かつ複雑な影響を与えます。刺激の知覚自体も運動中に制限されたり、抑えられたり、逆に高められたりします。このような運動状態による知覚の変化は、覚醒の度合いや注意によって解釈されることもあります。ヒトも含めて多くの動物において、特に学習課題に対する運動状態の影響が調べられてきましたが、学習課題では知覚能力だけでなく、認知過程や学習能力への影響も考慮しなければならないため、運動状態による行動変化をもたらす神経メカニズムを明らかにすることが困難でした。

そこで研究グループは、動物の行動に対する運動状態の影響をより厳密に評価するために、生得的な行動の一つである逃避行動を用いることにしました。

## 【研究手法】

捕食者に襲われたときのような脅威を示す刺激に対する逃避行動は、どのくらい素早く行動を起こせるか、どのくらい速く遠くへ逃げられるか、どのくらい正確な向きへ逃げられるか、を指標として評価することができます。しかし、それらを定量的に評価するためには、動物に与える脅威刺激の強さや方向などを正確に制御して与える必要がありますが、自由に運動している動物に対してこのような刺激を与えることは困難でした。

研究グループは共同開発したサーボ型球形トレッドミル装置（通称「無限平面装置」、図 1A）を用いて、この問題を解決しました。この装置では、発泡スチロールボールの上に昆虫などの小動物を置き、動物の画像を高速ビデオカメラでとらえながら、常に画面の同じ位置で任意の方向に向いてとどまるように、ボールをモーターで回転させます。そのため、動物の動きを全く制限することなく、運動中でも同じ刺激を繰り返して与えることができます。

研究グループは、この装置を使ってコオロギの気流誘導性逃避行動への運動状態の影響を調べました。コオロギは腹部後端に尾葉と呼ばれる機械感覚器官を持ち、短い気流刺激に対して刺激源からすばやく遠ざかる逃避行動を示します。そこで、無限平面装置のトレッドミルの上で歩行中または静止中のコオロギに様々な強さの気流刺激を異なる方向から与え、刺激と同時にトレッドミルを停止させて、刺激に伴う逃避行動を高速ビデオカメラで撮影しました。

## 【研究成果】

静止中に気流刺激を与えた場合には、コオロギは刺激開始から 0.1 秒以内に走るかジャンプして刺激の反対側へ逃避します。一方、歩行中に刺激した場合は、ほとんどの場合いったん歩行を停止して、その後逃避する行動を示しました。静止中も運動中も刺激が強くなるほど逃避行動を起こす確率が高くなっていきましたが、運動中は静止中では反応しないような弱い気流刺激に対しても、逃避行動を示しました（図 1B<sub>1</sub>）。したがって、運動中は静止時よりも気流刺激に対する感受性が高くなっていると考えられます。

また、歩行を停止する反応は、実験で用いた最も弱い刺激に対してできえ、ほぼ 100%の確率で生じた（図 1B<sub>2</sub>）ことから、静止中・運動中に関わらず、コオロギが弱い気流刺激に対して逃避行動を起こさないのは刺激を検出できないからではなく、あえて動かないという「凍結反応」を示している可能性があります。一方、逃避行動のうちジャンプした割合は、運動状態に関わらず刺激が強くなるほど大きくなりましたが、静止時と運動中でその割合は変わりませんでした。

次に逃避運動を起こすまでの時間を比較したところ、運動中の逃避行動では、一時停止する分だけ時間がかかるため、刺激開始から逃避をはじめるまでにかかる時間は長くなりました（図 1C<sub>1</sub>）。しかし、逃避運動における最大速度や移動距離には、運動状態による違いは見られませんでした（図 1C<sub>2, 3</sub>）。す

なわち、運動中に起こした逃避行動であっても、その運動パフォーマンスは静止時のものと変わらないことが分かりました。

コオロギは、気流刺激を受けると刺激のやってきた方向の反対側に逃げます。これは捕食者などの脅威からできるだけ距離を取ろうとしている行動だと考えられます。そこで、刺激に対してどのくらい正確に移動できているかを、刺激の正反対の方向と実際に逃げた方向の角度差の値で評価しました。

その結果、静止時に比べて運動中の方が角度差は大きく、逃げる方向の制御が不正確になっていました(図 1C<sub>4</sub>)。

運動中のコオロギは、なぜ逃避するのが遅れるのにも関わらず、一時停止するのでしょうか。もしかしたら、例えば、そのまま逃避する場合よりも一時停止した方が、より速く、遠くへ、正確に刺激の反対方向に逃げられるのかもしれませんが。気流刺激が強くなると、コオロギが一時停止せずにそのまま逃避行動を示す場合も見られるようになります。

そこで、一時停止する反応がそれに続く逃避反応にどのような影響を及ぼすのかを調べるため、一時停止した場合の逃避行動とそのまま逃避した場合で、最大速度や距離、移動方向を比較しました。しかし、予想に反して、逃避行動の最大速度、移動距離、刺激の反対方向と移動方向の角度差のいずれも、一時停止しているかどうかで差は見られませんでした。したがって、一時停止はそれに続く逃避行動のパフォーマンスを上げるためのものではないことが分かりました。

以上の結果から、コオロギの逃避行動は受け取った刺激や外部環境だけでなく、刺激を受けたときの自分自身の運動状態によって変化することが分かりました。一般に動物は、運動中は静止しているときに比べて捕食者に見つかりやすくなります。そこでコオロギは、運動中に脅威刺激を受けると、まず一時停止して捕食者の目を逃れようとしているのかもしれませんが。このような反応は「凍り付き反応 (Freezing response)」と呼ばれ、他の動物でも報告されています。研究グループは、コオロギも「凍り付き反応」を捕食者に対する行動戦略の一つとして採用している可能性を初めて示しました。

### 【今後への期待】

これまで神経系に対する運動状態の影響についての多くの研究は、自分自身の運動によって生じた刺激と外部環境がもたらす刺激をいかに区別するか、という視点で行われてきました。一般に、動物は運動するとその運動指令の内容が感覚系にも送られて、自分自身の運動による刺激をキャンセルするメカニズムを持っています。一方で、実際に起こした行動に対する運動状態の影響は複雑で多岐にわたるため、その原因となっている神経メカニズムを解明することが困難でした。コオロギの気流逃避行動は生得的であり、特に気流刺激を検出するための感覚器官や神経経路についてはよく分かっています。

現在、研究グループでは、運動中のコオロギから気流感覚処理経路の神経活動を計測し、気流刺激に対する神経応答が運動中と静止中でどのように異なるのか、異なる場合にはその原因は何か、を明らかにしようとしています。このような神経生理学的な研究を進めることによって、運動状態が行動を変化させる神経メカニズムを明らかにできるかもしれません。

### 【謝辞】

本研究は、文部科学省科学研究費補助金 (16H06544、21K06259、21H05295、18J00589、19K16283、20K04393) 及び内藤記念科学振興財団特定研究助成金 (2017) の助成を受けて実施されました。

## 論文情報

論文名 Motor state changes escape behavior of crickets (運動状態によるコオロギ気流誘導性行動の変化)  
著者名 木内和秀<sup>1</sup>、設楽久志<sup>2,3</sup>、岩谷 靖<sup>4</sup>、小川宏人<sup>2</sup> (<sup>1</sup>北海道大学大学院生命科学院、<sup>2</sup>北海道大学大学院理学研究院、<sup>3</sup>三重大学大学院医学研究科、<sup>4</sup>弘前大学大学院理工学研究科)  
雑誌名 iScience (自然科学全般の専門誌)  
DOI 10.1016/j.isci.2023.107345  
公表日 2023年7月11日(火)(オンライン公開)

## お問い合わせ先

北海道大学大学院理学研究院 教授 小川宏人 (おがわひろと)

T E L 011-706-3525 F A X 011-706-3525 メール hogawa@sci.hokudai.ac.jp

U R L <https://www.sci.hokudai.ac.jp/~hogawa/>

## 配信元

北海道大学社会共創部広報課 (〒060-0808 札幌市北区北8条西5丁目)

T E L 011-706-2610 F A X 011-706-2092 メール jp-press@general.hokudai.ac.jp

## 【参考図】

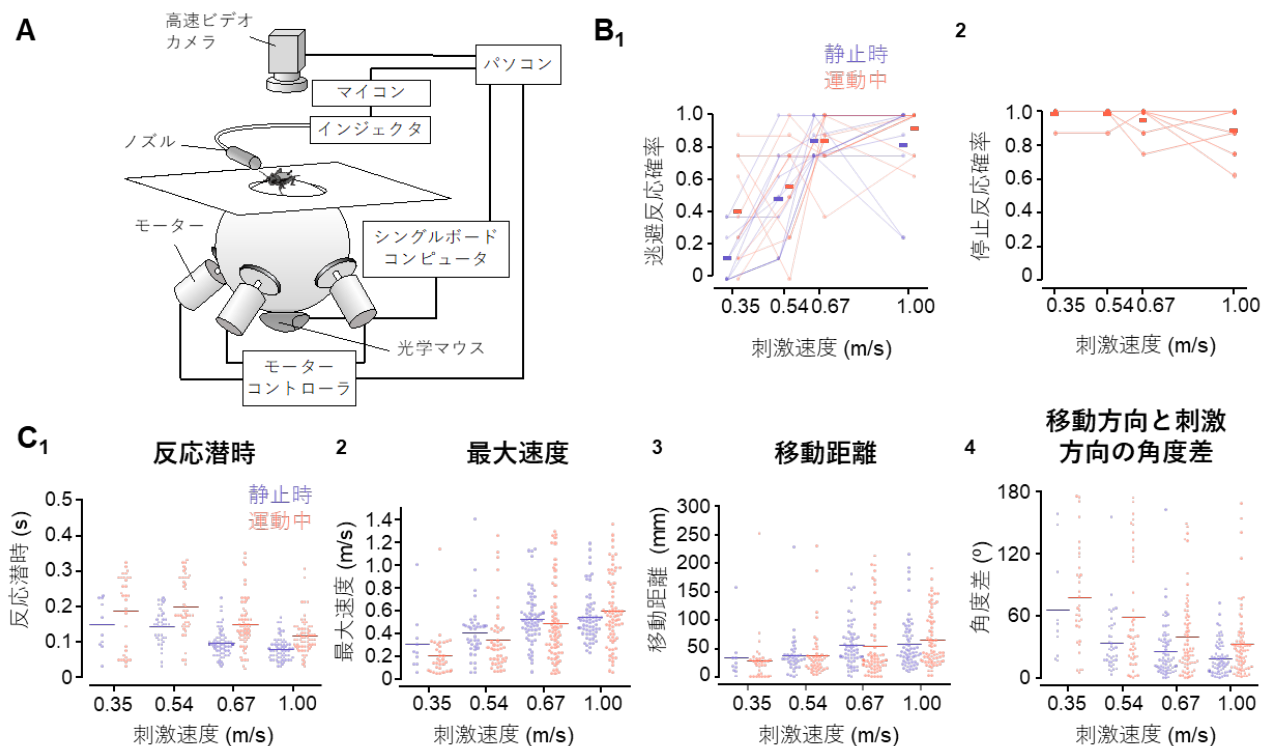


図 1. A: 実験装置の模式図。B: 静止時と運動中の気流刺激に対する逃避行動 (B<sub>1</sub>) と停止反応 (B<sub>2</sub>) の反応確率。運動中の方が逃避反応確率は高く、停止反応確率は 100% 近いことが分かる。C: 静止時と運動中の逃避行動における反応潜時 (C<sub>1</sub>)、最大速度 (C<sub>2</sub>)、移動距離 (C<sub>3</sub>)、及び移動方向と刺激の反対方向との角度差 (C<sub>4</sub>)。運動中は反応潜時が長く、移動方向のズレが大きくなった。