

メスコオロギがオスの呼び歌に近づく過程を解明

～オスへのアプローチはあの手この手～

ポイント

- ・メスコオロギがオスの呼び歌に近づく行動は二つのステップ（彷徨・接近）に分かれることを発見。
- ・後半の接近フェイズへの移行は音の刺激以上にメスが「その気になる」ことが重要。
- ・状況に応じて適切に行動するための神経メカニズムの解明への貢献に期待。

概要

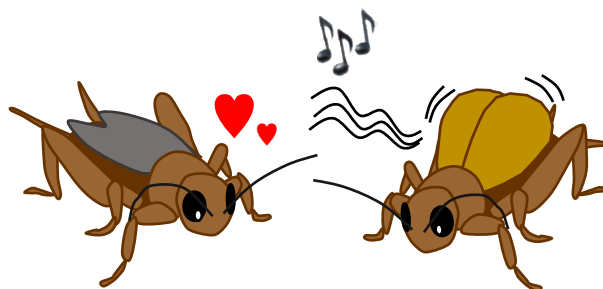
北海道大学大学院理学研究院の小川宏人教授らの研究グループは、メスコオロギがオスの呼び歌に近づいて行く音源定位と呼ばれる行動を詳細に観察して、メスがどのようにしてオスに近づいて行くのかを明らかにしました。

動物は交配のために様々な方法で異性の個体に近づいていきます。コオロギはオスが翅をこすり合わせて呼び歌を奏で、メスはその歌に呼び寄せられてオスに近づいていきます。この行動は音源定位と呼ばれ、どのように音源の方向を認識するかについて、これまでたくさんの研究が行われてきましたが、メスコオロギがどのような過程を経てオスへ近づいて行くかはよくわかっていませんでした。

研究グループは、防音室内に設置した円形アリーナの中心からメスコオロギをスタートさせ、アリーナ壁のスピーカーから人工歌を流して、メスがどのような経路をたどり、どのくらいの速さで音源に近づいて行くかを調べました。その結果、メスは呼び歌を聴いてもすぐに近づき始めるのではなく、最初はスタート位置のまわりをウロウロとして（彷徨フェイズ）、ある時突然まっすぐに音源に近づいて行くことを発見しました。このまっすぐ近づいて行く「接近フェイズ」の開始場所や時間はバラバラで、そこでの音の大きさやそれまで聞いていた時間には関係しません。つまり「接近フェイズ」に移るのは、外部からの刺激に対する単純な反応ではなく、コオロギ内部の状態が変化して起こると考えられます。さらに、「接近フェイズ」の途中で呼び歌を失うと、頻繁に Go-Stop を繰り返す「探索フェイズ」に移ることも発見しました。このように、メスコオロギは単に呼び歌に対する反射的な行動の結果として音源に定位するのではなく、音響的環境やコオロギ内部の状態に依存して、いくつかの行動戦略を切り替える複雑なプロセスによってオスに近づいて行くと考えられます。

本研究の行動解析結果に加えて、さらに神経解剖学や神経生理学的な知見を積み重ねることで、状況に応じて適切に行動するための神経メカニズムの解明につながることを期待されます。

なお、本研究成果は、2020年11月18日（水）公開の *Journal of Experimental Biology* 誌に掲載されました。



メスコオロギ（左）がオスコオロギ（右）の鳴き声に呼び寄せられる様子（音源定位）

【背景】

交配相手を見つけ出しそれに接近して行くことは、あらゆる動物にとって最も重要な行動の一つです。異性を呼び寄せ、接近の手掛かりを与えるために、動物たち（多くはオス）は匂いや音、そして視覚的に目立つ色や装飾などを示します。コオロギではオスが前翅をこすり合わせて音を出し、それが一定の音の周波数と発生パターンを持つ「誘引歌」として、メスに認識されます（p.1 図）。メスはこの誘引歌に引き寄せられ、オスに近づいて行きます。このメスの行動は「音源定位」と呼ばれ、古くから神経行動学のモデルとして長い間研究されてきました。

メスコオロギは前肢にある一对の鼓膜器官で誘引歌を聞きます。これまでは「より大きな音の方へターンする」という単純な反射行動の繰り返しでオスに近づいて行くと考えられてきましたが、それはコオロギにトレッドミルというボールの上を歩かせて調べた結果から推測されたものでした。実際には動物が移動することによって、音源への方向や音の大きさは刻々と変化していきます。また、メスがどのように音源定位を始め、どのような行動を経て音源に近づいて行くかはわかっていません。

そこで研究グループは、遮音した実験室内の円形アリーナを使って音源定位の様子を詳細に観察し、メスコオロギがどのような経路をたどり、どのような運動をして音源にたどり着くのかを調べました。

【研究手法】

遮音した実験室内に直径1mの円形アリーナ（図1左）を設置し、その中心からメスコオロギをスタートさせ、同時にアリーナの内側の壁に設置したスピーカーから人工的な誘引歌を流しました。アリーナ全体を実験室の天井からつり下げたビデオカメラで、スタートからスピーカーもしくは壁にたどり着くまでを撮影しました。撮影された映像からメスの位置と頭が向いている方向を自動的に割り出して、その移動軌跡と時々刻々の移動速度や頭が向いている方向などを計測しました。さらに、誘引歌を再生するタイミングや音源位置をメスの位置や運動に応じてその場で変化させ、メスが音のどのような情報を使って音源定位の行動を行っているのかを調べました。

【研究成果】

スピーカーから流す誘引歌の大きさを60 dB, 70 dB, 80 dBの3段階で与えたところ、音が大きくなるほどより多くのメスコオロギがスピーカーの近くにたどり着きました。そこで、スピーカーの近くにたどり着いた、すなわち音源定位に成功したメスの軌跡だけに注目して、音源までの距離の時間変化を調べました。すると、メスはスタート後しばらくはスタート位置のまわりをウロウロします（彷徨フェイズ）が、ある時点から急に音源へ向かって近づいていく（接近フェイズ）ことがわかりました（図1中央・右）。また、その近づき始める点はまちまちで、スピーカーに近い点もあればスタート位置よりも音源から遠い点もありました。つまり、その場で聞いている誘引歌の大きさが接近の開始を決めているのではなかったのです。

では、誘引歌を聞き続けたことが「接近フェイズ」を開始させるのでしょうか？このことを調査するため、スタート位置にメスをとどめたまま、しばらく天井に設置したスピーカーから誘引歌を流し、誘引歌を聞いている状態でスタートするメスの行動を観察しました。もし、メスが接近フェイズを開始させるためにある程度誘引歌を聞き続ける必要があるなら、あらかじめ聞いていた場合の方が早く接近フェイズを始めるはずですが、予想とは反対に先に聞かせた場合の方がさまよい歩く時間が長くなり、接近フェイズに入る時間が遅れました。これは天井からの指向性を持たない誘引歌を聞くことによって、メスが音源位置を認識するのに時間がかかってしまったものと考えられます。すなわち、メスの音源定位には少なくとも二つの行動フェイズ（彷徨フェイズ・接近フェイズ）があり、後半の「接近フェイズ」への移行は外部からの刺激に対する単純な反応ではなく、メスコオ

ロギ内部の状態が変化して起こると考えられます。

メスが接近を開始した後まっすぐ音源に近づいて行くのは、音源の方位を記憶しているからなのでしょう。このことを調査するため、接近フェイズ中に誘引歌を白色雑音に切り替えて、どのような行動をとるかを観察しました。すると、途中で雑音に切り替えたメスでは音源に辿り着ける割合が減っただけではなく（図 2 左）、終始雑音を聞かせたものよりも、壁に辿り着くのに時間がかかったのです。しかも、より頻繁に Go-Stop を繰り返す小刻みな歩行を示しました（図 2 右）。つまり、メスは音源位置を記憶しているわけではなく、誘引歌を途中で失うと彷徨フェイズとも接近フェイズとも違う、音源を積極的に探している「探索フェイズ」に入ってしまうことがわかりました。

メスコオロギは自発的な歩行か音源定位かに関わらず、歩いたり止まったりを繰り返しながら移動します。そこで、観察しているビデオカメラの動画からメスの運動を検出し、歩行している間だけ、もしくは止まっている間だけ誘引歌を流しました。その結果、歩行中のみでも停止中のみでも定位率はやや落ちるものの、音源にたどり着くことができました。つまり、メスは運動している間も止まっている間も誘引歌の音源方位を認識し続けていることを意味します。さらに、歩行中と停止中に誘引歌を壁もしくは天井に設置したスピーカー間で切り替えて流したところ、歩行中に壁から流した場合の定位率は、壁からずっと流し続けた場合と同程度向上しましたが、停止中の場合は変化しませんでした。すなわち、歩行中に聞いた誘引歌の方が音源定位には重要であることがわかりました。

【今後への期待】

今回の研究では、メスコオロギが誘引歌をたよりにオスに近づいて行く行動は、単純な音に対する反射の繰り返しではなく、複数の行動フェイズから構成される複雑な過程を踏むものであり、その行動フェイズ間の移行は、外部からの刺激だけではなく、コオロギの内部状態にも依存することがわかりました。より効率的にオスに出会うためには、環境に合わせていくつもの方略を使い分けることが有効ですが、まずなによりもメスが「その気になる」ことが重要なのかもしれません。

研究グループでは、音源定位のほかに捕食者に襲われた時の逃避行動など動物の生得的な行動をモデルとして、状況に依存した行動切替やそのための複数の感覚統合の神経メカニズムに関する研究を進めています。今後は、神経解剖学や神経生理学的な知見を積み重ねることによって、「状況を把握して、それに応じて適切な行動を切り替えるための神経メカニズム」の解明につながることを期待できます。

なお、本研究は、文部科学省科学研究費補助金 新学術領域研究「生物移動情報学」の計画研究として実施されました。

論文情報

論文名	Internal state transition to switch behavioral strategies in cricket phonotaxis (コオロギの音源定位での行動戦略を切り替える内部状態遷移)
著者名	本丸尚人 ¹ , 設楽久志 ² , 安藤規泰 ³ , 小川宏人 ² (¹ 北海道大学大学院生命科学院, ² 北海道大学大学院理学研究院, ³ 前橋工業大学工学部)
雑誌名	Journal of Experimental Biology (比較動物生理学の専門誌)
DOI	10.1242/jeb.229732
公表日	2020年11月18日(水)(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

北海道大学総務企画部広報課（〒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 kouhou@jimu.hokudai.ac.jp

【参考図】

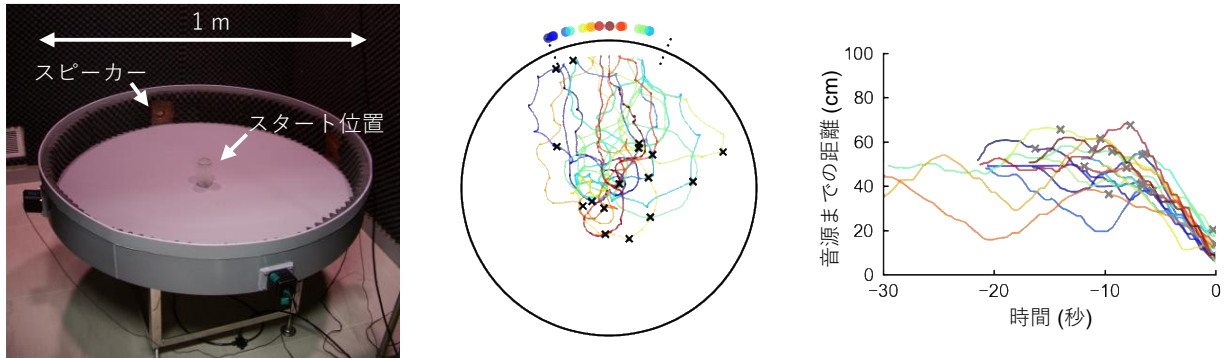


図 1. (左) 実験アリーナ

(中央) 70 dB の誘引歌の音源に定位した（点線で挟まれた範囲に達した）メスの移動軌跡。メスは円の中央からスタートし、上側のスピーカーに向かう。円の外側のカラーの点は到着場所を示す。
×印は接近フェイズの開始点、
(右) 定位したコロロギにおける壁に達した時刻を 0 としたときの音源までの距離の時間変化。
×印は接近フェイズの開始点。

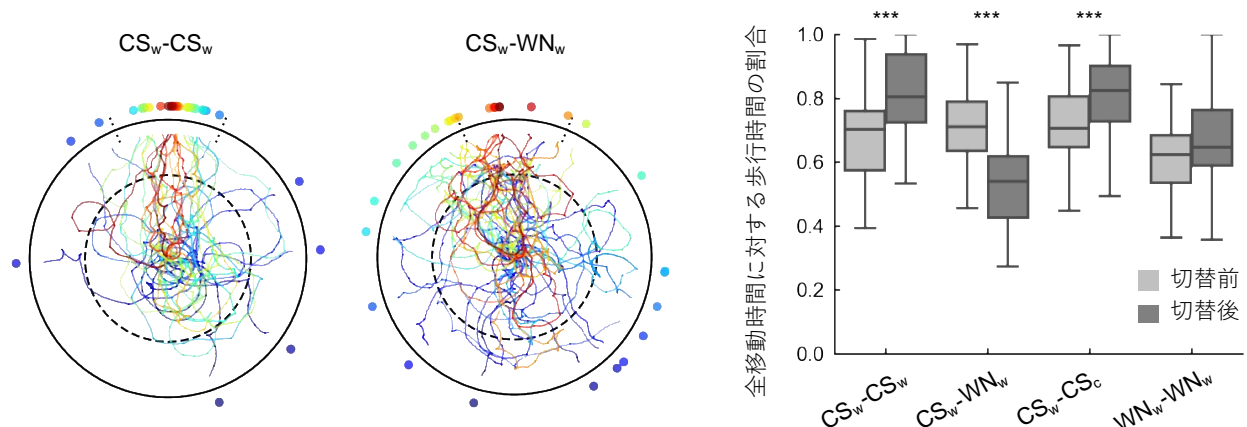


図 2. (左) 終始誘引歌を壁のスピーカーから流した場合（左： CS_w-CS_w ）と、スタートから 30 cm 離れた地点で誘引歌から白色雑音に切り替えた場合（右： CS_w-WN_w ）の移動軌跡。
(右) スタートから 30 cm 離れた地点で音刺激もしくは音源位置を変化させた場合の全移動時間に対する歩行時間の割合。左から、終始誘引歌を壁のスピーカーから流した場合（ CS_w-CS_w ）、壁から流す音を誘引歌から白色雑音に切り替えた場合（ CS_w-WN_w ）、誘引歌を流すスピーカーを壁から天井に切り替えた場合（ CS_w-CS_c ）、終始白色雑音を流した場合（ WN_w-WN_w ）。誘引歌から白色雑音に切り替えた場合だけ、歩行時間が短くなった。