



名古屋大学
NAGOYA UNIVERSITY



配布先: 文部科学記者会、科学記者会、名古屋教育記者会

報道の解禁日(日本時間)

(テレビ, ラジオ, インターネット) : 2025 年 6 月 5 日(木) 午前 3 時

(新聞) : 2025 年 6 月 5 日(木) 付朝刊

2025 年 5 月 22 日

報道機関 各位

蚊の脳が音に反応する様子を世界で初めて可視化 オスはメスよりも複雑な音の受容地図を脳に持つ

【本研究のポイント】

- ・蚊の脳がさまざまな音に応答する様子を世界で初めて観察し、雌雄で比較した。
- ・オスの脳では反応する音域が増大し、メスの脳よりも多様な応答性を持っていた。
- ・オスの「耳」では聴覚機能を担う分子群がメスよりも多く発現していた。
- ・蚊の繁殖の鍵となる、オスがメスの微弱な羽音を検知する仕組みの解明につながる。

【研究概要】

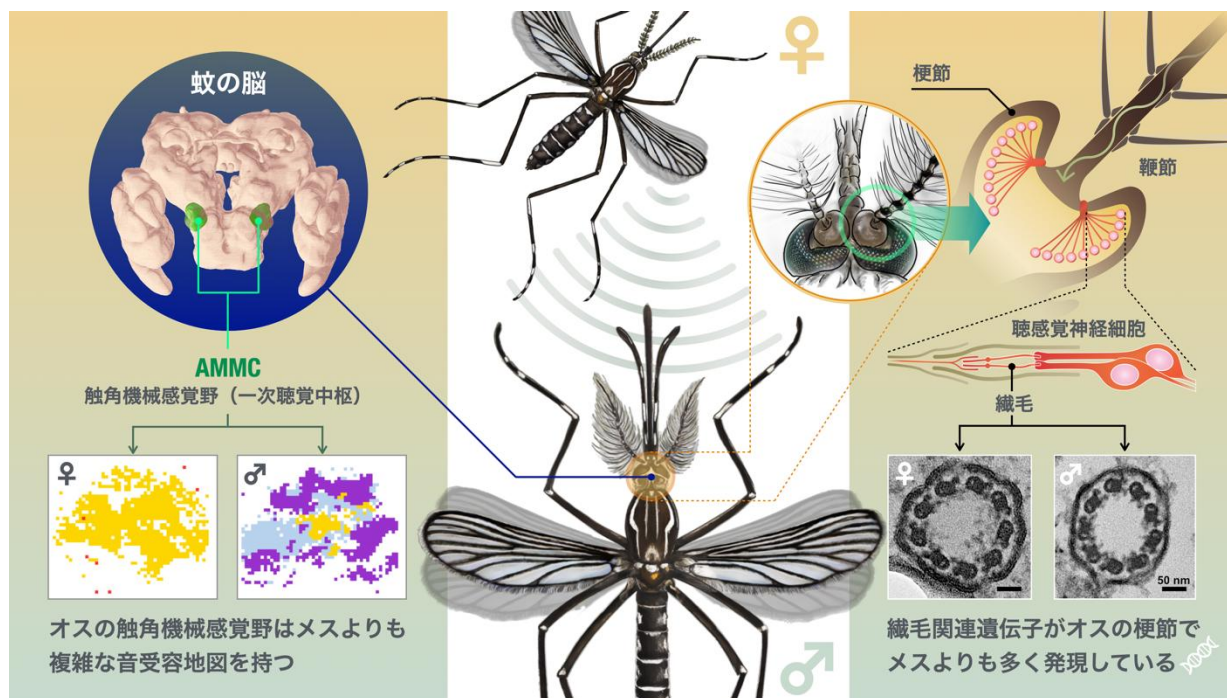
名古屋大学大学院理学研究科・トランスフォーマティブ生命分子研究所(WPI-ITbM※)の上川内 あづさ 教授、マシュー スー 特任助教、大橋 拓朗 博士研究員(現ワシントン大学 生物学部)らの研究グループは、蚊の脳における聴覚情報処理を世界で初めて可視化しました。

蚊は、世界中でさまざまな感染症を媒介し、ヒトの命を最も奪っている動物の一つです。オスの蚊は、メスの羽音を頼りに配偶相手を探します。そのため、蚊の聴覚は繁殖を防ぐための有望なターゲットとして注目されています。しかし、これまで蚊の脳における音の情報処理機構の研究はほぼ手付かずの状態でした。

本研究では、ネッタイシマカの脳における聴覚応答を世界で初めて可視化することに成功しました。この方法を利用して、オスの脳はメスよりも多様な応答タイプの聴覚神経細胞を持つことを発見しました。さらに蚊の「耳」として機能する触角で、聴覚機能を担う分子群の発現量が、オスで増加していることを発見しました。

「オスはどのようにメスの微弱な羽音を検知するか？」は蚊の繁殖行動における大きな謎のひとつです。この謎に脳のレベルで切り込んだ本研究の成果は、蚊の繁殖メカニズムの解明と防除戦略の構築に大きく貢献することが期待されます。

この成果は 2025 年 6 月 5 日午前 3 時(日本時間)付国際科学雑誌「Science Advances」に掲載されます。



【研究背景と内容】

蚊は世界中で重篤な感染症を媒介し、ヒトの命を最も奪っている動物の一つです。近年では、殺虫剤の耐性を持つ蚊も出現し、多様なアプローチによる防除戦略の構築が求められています。その一つとして、蚊の繁殖行動を標的とした戦略があります。本研究で対象としたネッタイシマカをはじめとする多くの蚊は、オスが群れを作り、少数のメスがその群れに進入します。オスは、周りのオスの羽音の中から、わずかなメスの羽音を頼りに配偶相手を探して接近します。雑音の中から特定の音を聞き分けて音源方向に向かう、この「走音性」という性質は、蚊の繁殖行動の重要な「鍵」として注目されています。しかし、これを標的とした実効性の高い防除戦略が考案されていないのが現状です。

走音性を標的とした有効な戦略の開発には蚊の聴覚についての深い理解が必要です。蚊は触角に「耳」を持っており、オスの「耳」はメスよりも格段に大きく、その機能も複雑化しています。この顕著な「耳」の雌雄差は研究者の注目を集め、音受容器としての形態や機能の解明は進んできました。一方で、実験の困難さから、脳の内部がどのように音に反応しているのかはほとんど分かっていませんでした。

オスは群れの中で羽音を頼りにメスを見つける

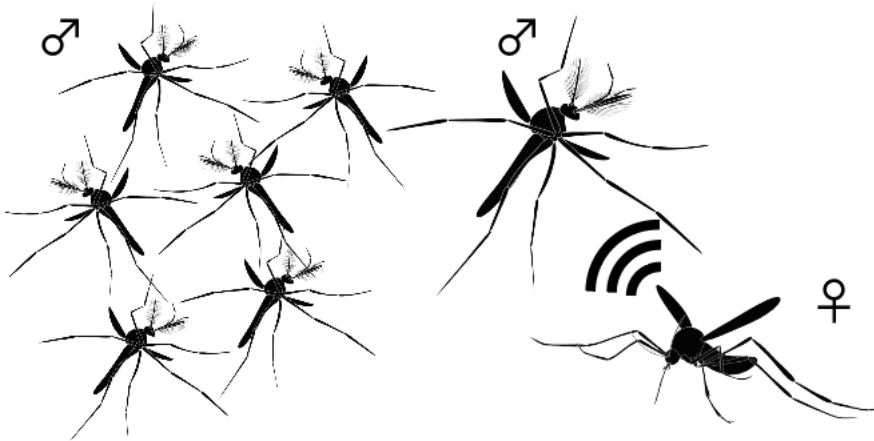


図1:蚊の繁殖行動

多くのオスの蚊は群れをつくり、そこに入ってきたメスを羽音を頼りに探し出す。その一方、メスにはオスの羽音への走音性は見つかっていない。

研究グループはまず、ネッタイシマカの触角で受容された音が脳のどの領域に伝わるかを調べました。触角の基部には音を受容する聴感覚神経細胞が内包されており、これらの細胞の軸索が脳へと伸びています。この聴感覚神経細胞全体を特殊な色素で染め、軸索の束が脳にどのように投射するかを調べました。その結果、雌雄ともに、ショウジョウバエで聴覚一次中枢として同定されている「触角機械感覚野」に軸索束が伸びていることが分かりました。脳深部に投射するにつれて、軸索束は触角機械感覚野の中で徐々に分岐し、オスではメスよりも複雑な分岐パターンを示しました。触角機械感覚野は脳の左右に1対存在しますが、片方の触角から左右両方の触角機械感覚野に投射することも確認されました。ヒトの視神経は、片方の目から脳の両側に軸索を伸ばし、両目の情報を統合して空間把握を行います。これと同じように、蚊では音の情報処理の最初の段階で両方の触角由来の情報を統合し、音空間の把握に役立てている可能性が考えられます。

では、蚊の脳はどのような音情報を受け取っているのでしょうか？これを調べるために、研究グループは「カルシウムイメージング」^{注1)}という方法を用いて、触角機械感覚野における音への神経応答を可視化しました。その結果、雌雄の脳は全く異なる高さ(周波数)の音に最も強く応答することが分かりました。さらに研究グループは、「階層クラスタリング」^{注2)}という手法を用いて、聴覚領域の中でも異なる応答パターンをもつ領域を分類しました。その結果、メスの聴覚領域の応答パターンはほとんど一様であったのに対して、オスの聴覚領域はさまざまな応答パターンの領域で構成されることが分かりました。これは、オスがメスと比べて複雑な音受容地図を脳内に持つことを示唆しています。

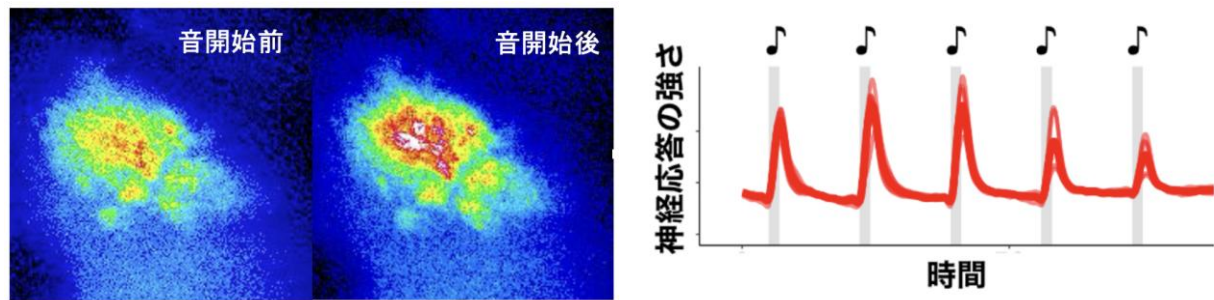


図 2: 蚊の脳のカルシウムイメージング

蚊の脳の「触角機械感覚野」における神経応答をカルシウムイメージングで観察した様子。
(左) 触角機械感覚野の顕微鏡画像。音の開始前に比べ開始後で蛍光が強いことが分かる。
(右) 音に対する神経応答の強さを表した波形の一例。灰色の影のタイミングで音を再生した。

このような脳の音受容における雌雄差の背景には、どのような分子メカニズムがあるのでしょうか？これを調べるために、研究グループは「トランスクリプトーム解析」^{注 3)}や「プロテオーム解析」^{注 4)}を駆使して、雌雄の触角基部で発現する遺伝子を網羅的に比較しました。その結果、オスでは「繊毛」に関連する分子がメスよりも有意に多く発現していることが分かりました。繊毛は聴感覚細胞の一部で、特定の音に対する受容感度を高める機能があると考えられています。このことは、蚊の「耳」で発現している繊毛関連遺伝子の種類や量が聴覚機能の雌雄差をもたらしている可能性を示しています。

これまでの蚊の聴覚研究では、オスはメスの羽音ではなく、雌雄の羽音が合わさってできる「歪み(ひずみ)」という周波数成分を受容していると考えられてきました。しかし、今回の脳における神経応答の観察から、オスの脳内では歪み成分だけでなく、メスの羽音自体も含めたさまざまな周波数の音を受容していることが明らかになりました。本研究の発見は、オスがメスの羽音を脳内で複雑に処理し、メスの居場所を認識していることを強く示唆しています。

【成果の意義】

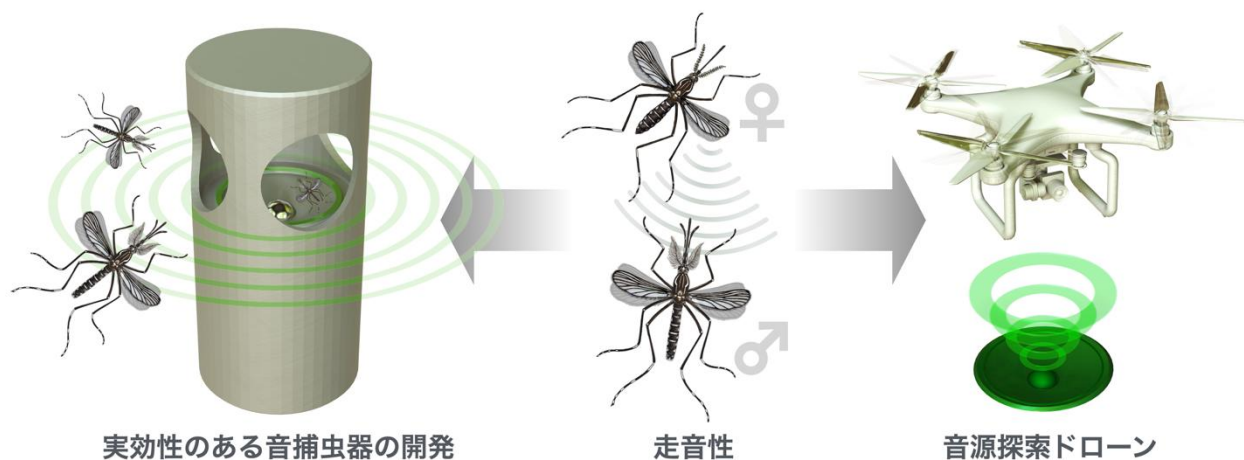


図 3: 成果の意義

蚊のオスの走音性の研究は、蚊の防除(音捕虫器の開発)に役立つだけでなく、音源探索ドローンのような産業分野にも貢献する可能性がある。

本研究では、蚊で整備されつつある遺伝子操作ツールや比較的近縁なモデル生物であるショウジョウバエの知見を駆使して、初めてオスの脳の複雑な音受容地図を明らかにしました。また、遺伝子発現の網羅的な解析によって、雌雄で異なる聴覚機能の背景にある分子メカニズムに迫ることができました。本研究で得られた知見は、蚊の繁殖行動における重要な要素であるオスの「走音性」のメカニズムをさまざまな側面から理解する大きな足がかりとなります。

本研究の成果は、繁殖行動を標的とした蚊の防除戦略の構築に大きく貢献するものです。これまでにさまざまな研究グループが、オスの「走音性」を利用してメスの羽音に似せた音を発する捕虫装置を開発してきました。しかし、これらの装置は野外では一日に数匹の蚊しか捉えられず、実効性が低いことが課題となっています。本研究は、オスの蚊の脳内でメスの羽音を複雑に処理している可能性を初めて示しました。今後、脳内の情報処理メカニズムを解き明かすことで、より実効性の高い捕虫装置が開発できると期待されます。

蚊のオスは夕方になると群れを作り、その群れに入ってきた少数のメスを、羽音を頼りに見つけます。つまり、オスは他のオスの羽音で満ちた空間の中で、わずかなメスの羽音を探し出す卓越した音源定位能力を持っているのです。今回発見した脳内の音受容地図の複雑さは、オスの蚊が雑音の中でわずかな羽音の音源を突き止めるための洗練された情報処理メカニズムを持っていることを示唆しています。この音源情報処理メカニズムは、ほかの動物にはない、特殊で高度なしくみを備えているかもしれません。今後の蚊の聴覚研究によってこのしくみを明らかにすることで、音源探索ドローンの開発など、産業分野にも大きく貢献できると期待されます。

本研究は、以下の事業による支援を受けて行われました。

文部科学省 科研費 学術変革領域研究(A)(JP24H02200)、科学技術振興機構 創発的研究支援事業(JPMJFR2147)、ヒューマンフロンティアサイエンスプログラム(RPG0033/2021)、文部科学省 科研費 研究活動スタート支援(JP23K19365, JP22K15159)、名古屋大学 世界的課題を解決する知の「開拓者」育成事業(0121an0002)、文部科学省 外国人研究者招へい事業(短期)(S22091)、名古屋大学 外国人 PI 招へいプログラム

【用語説明】

注 1)カルシウムイメージング:

神経細胞の活動を観察する方法。神経細胞が活動する時には細胞内部カルシウムイオンの急激な濃度上昇が起こる。この濃度上昇を、カルシウムイオンに結合すると蛍光を発するカルシウムセンサータンパク質を用いて、蛍光強度の増加として観察する。

注 2)階層クラスタリング:

似ているデータをまとめる手法の一つ。ここでは、顕微鏡画像 1 ピクセルごとの聴覚応答の波形データを解析にかけ、似た応答パターンを示す領域を同じグループとして分類した。

注 3)トランスクリプトーム解析:

遺伝子発現パターンを分析する手法の一つ。細胞内の mRNA の量を網羅的に測定し、どの遺伝子の転写産物が多いかを解析する手法。

注 4)プロテオーム解析:

トランスクリプトームと並んで遺伝子発現パターンを分析する手法の一つ。細胞内のタンパク質の量を網羅的に測定し、どの遺伝子の翻訳産物が多いかを解析する手法。遺伝子発現において、DNA からまず mRNA が転写され、それを鋳型にしてタンパク質が翻訳される。トランスクリプトームは遺伝子発現の中間産物である mRNA を測定するのに対し、プロテオームは最終産物に近いタンパク質を測定するところに違いがある。

雑誌名: Science Advances

論文タイトル: Diversity and complexity of auditory representation in the hearing systems of *Aedes aegypti* mosquitoes

著者: 大橋 拓朗^{*}、YiFeng Xu^{*}、志垣 俊介、中村 有紀子^{*}、Tai-ting Lee^{*}、YuMin Loh^{*}、Matthew Su^{*}、三城 恵美^{*}、Daniel Eberl、Matthew Su^{*}、上川内 あづさ^{*} (^{*} 名古屋大学関係者)

DOI: 10.1126/sciadv.ads2689

URL: <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.ads2689>

※【WPI-ITbM について】(<http://www.itbm.nagoya-u.ac.jp>)

名古屋大学トランスフォーマティブ生命分子研究所(WPI-ITbM)は、2012 年に文部科学省の世界トップレベル研究拠点プログラム(WPI)の 1 つとして採択されました。WPI-ITbM では、精緻にデザインされた機能を持つ分子(化合物)を用いて、これまで明らかにされていなかった生命機能の解明を目指すと共に、化学者と生物学者が隣り合わせになって融合研究をおこなうミックス・ラボ、ミックス・オフィスで化学と生物学の融合領域研究を展開しています。「ミックス」をキーワードに、人々の思考、生活、行動を劇的に変えるトランスフォーマティブ分子の発見と開発をおこない、社会が直面する環境問題、食料問題、医療技術の発展といった様々な課題に取り組んでいます。これまで 10 年間の取り組みが高く評価され、世界トップレベルの極めて高い研究水準と優れた研究環境にある研究拠点「WPI アカデミー」のメンバーに認定されました。



東海国立大学機構は、岐阜大学と名古屋大学を運営する国立大学法人です。
国際的な競争力向上と地域創生への貢献を両輪とした発展を目指します。

東海国立大学機構 HP <https://www.thers.ac.jp/>

