

配布先: 文部科学記者会、科学記者会、名古屋教育記者会

2025 年 7 月 30 日

報道機関 各位

蚊の“聴覚”を操る鍵は、神経伝達物質と細胞内シグナル ～蚊の繁殖を抑える新たな防除戦略の開発へ重要な一歩～

【本研究のポイント】

- ・神経伝達物質オクトパミン^{注1)}が、ネッタイシマカの聴覚機能を変化させる。
- ・オクトパミン受容体に作用する化合物や細胞内セカンドメッセンジャーである cAMP の投与でも、その変化が誘導できる。
- ・蚊の繁殖の鍵となる、オスがメスの羽音を鋭敏に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・トランスフォーメ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 特任助教らの研究グループは、神経伝達物質「オクトパミン」が、オスのネッタイシマカにおける聴覚器の機能を調節するメカニズムの一端を解明しました。

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ひとつです。オスの蚊は、メスの羽音を頼りに配偶相手を探すため、聴覚は配偶行動を成立させるために重要な役割を果たします。このため、蚊の繁殖を制御する新たな防除手段として、蚊の聴覚機能の利用が注目されています。これまで、私たちの「耳」に相当する蚊の聴覚器の機能は、脳からの信号で制御されることが知られていましたが、そのメカニズムには多くの未解明な点が残されています。

本研究では、ネッタイシマカの聴覚器において、オクトパミンやその受容体サブタイプが多く発現することを発見しました。さらに、薬理学的実験により、オクトパミン受容体に作用する化合物や、細胞内セカンドメッセンジャーである cAMP が、オスの聴覚器の機能を調節することを見出しました。これらの成果は、蚊の聴覚が神経伝達物質と細胞内シグナルによって柔軟に調節されていることを示しており、聴覚を標的とした新しい蚊の防除戦略の開発につながる可能性が期待されます。

本研究成果は、2025 年 7 月 24 日付国際科学雑誌『iScience』に掲載されました。

【研究背景と内容】

蚊も多くの動物と同様に、オスとメスが出会い、交配を行います。多くの種類の蚊は、その出会いの場として、空中に「蚊柱」と呼ばれる飛行集団を形成します。この蚊柱の中にいる蚊のほとんどはオスであり、そこにメスが飛来すると、オスたちは一斉に近づき、飛びながら交尾を試みます。このとき重要な役割を果たすのが、メスが発する「羽音」です。オスは非常に優れた聴覚を持っており、微弱なメスの羽音を鋭敏に聞きつけ、いち早くその音源に向かって接近します。

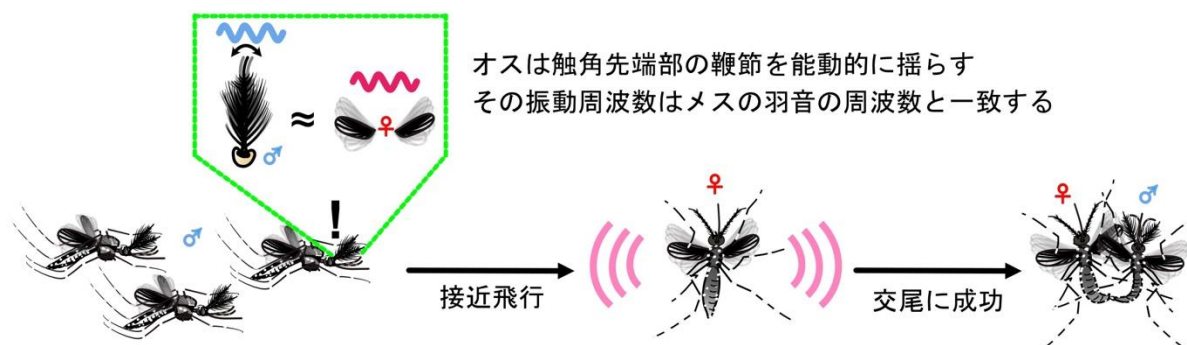


図1. 蚊の配偶行動。オスはメスの羽音を聞きつけて接近し、交尾に至る。オスは鞭節と呼ばれる触角の先端部を能動的に揺らすことで、メスの羽音への感度を上げている。

蚊の「聴覚器」は、ヒトの耳を構成する蝸牛と鼓膜にそれぞれ相当する、「ジョンストン器官」と「鞭節」から構成されており、非常に高い感度を持っています。さらに、オスは鞭節をメスの羽音に近い周波数で能動的に揺らすことで、メスの羽音に対する感度を最大限に高めています。これにより、聴覚器の周波数特性を自ら調整し、特定の周波数の音に高い感度で応答できるのです。

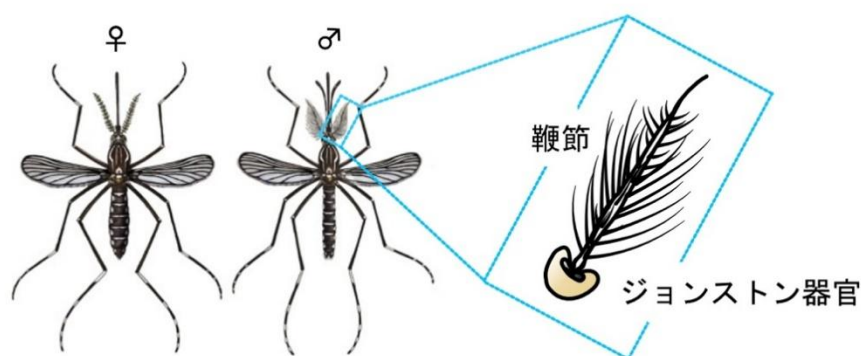


図2. ネットアイシマカの聴覚器。触角基部のジョンストン器官と、先端部の鞭節が聴覚受容を担う。オスの聴覚器はメスよりも格段に発達している。

この周波数特性の調節には、脳からの遠心性制御^{注 2)}が関与していると考えられていました。実際、ハマダラカにおいては、オクトパミンという神経伝達物質が聴覚機能を調節することが知られていました(Georgiades et al., 2023, PMID: 37468470)。しかしどのように聴覚器の機能を調節するのか、その具体的な仕組みはよくわかっていませんでした。

本研究は、デング熱やジカ熱を媒介するネッタイシマカを対象にして、その仕組みの解明に取り組みました。まず、オクトパミンという神経伝達物質が、ネッタイシマカのオスの聴覚器の周波数特性を変化させることを発見しました。さらに、オクトパミンの受容体を阻害または活性化する化合物を注入することで、聴覚器の周波数特性や神経応答が変化することを見出しました。このオクトパミンの作用は、細胞内セカンドメッセンジャーである cAMP を介していることが示唆され、cAMP を直接注入することで同様の聴覚変化が誘導されることも明らかになりました。オスの鞭節に生えている「毛」の立ち上がり具合もオクトパミンによって変化することがわかりましたが、これは聴覚器の周波数特性とは直接関係しないことも明らかになりました。

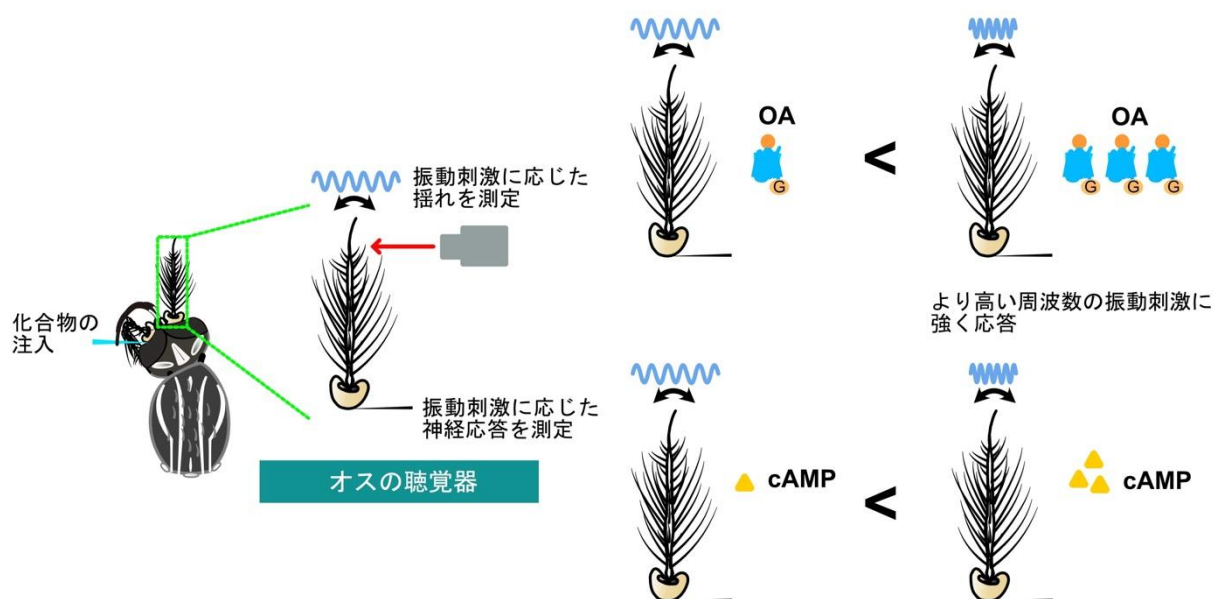


図3. 振動刺激を与えた際の、オスの聴覚器の振動と神経応答を測定した。オクトパミン(OA)や cAMP を投与すると、より高い周波数の振動刺激に強く応答するようになった。

また、オクトパミン受容体の遺伝子構造が蚊の種によって異なり、ネッタイシマカを含んだいくつかの種では、当該遺伝子がゲノム上で分断された位置にコードされていることも発見しました。このようなゲノムレベルの違いがどのように生じたのか、またそれが種ごとの聴覚特性とどのように関係するのかについては、今後の研究による解明が待たれます。

【成果の意義】

蚊の繁殖を制御するための、新規な標的を持つ新しいツール開発は、世界的な最重要課題の一つです。オスの蚊が示す、メスの羽音への接近行動が配偶パートナーとの遭遇に重要であることを踏まえると、聴覚を標的とする戦略は有望な選択肢といえます。

今回の研究では、蚊の聴覚機能が神経伝達物質オクトパミンと、それに続く細胞内シグナルによって柔軟に調節されていることが明らかになりました。さらに、この機能は化合物の投与で制御可能であることも示しました。私たちは以前、別の神経伝達物質であるセロトニンがネッタイシマカの聴覚機能を調節することも発見しており(Xu et al., 2022, PMID: 36105279)、これらの知見は、複数の神経伝達物質が組み合わさって聴覚機能を制御していることを示唆しています。今回の発見は、聴覚を標的とした新しい蚊の防除戦略の開発に向けた重要な一歩になると期待されます。

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)オクトパミン:

昆虫をはじめとする無脊椎動物において広く存在する神経伝達物質であり、哺乳類におけるノルアドレナリンに相当する機能を持つと考えられている。主に行動の調節、覚醒状態、学習、記憶、代謝などに関与しており、神経機能の調節に重要な役割を果たす。

注 2)遠心性制御:

中枢神経系から末梢の感覚器官や筋肉などの効果器へ向かう遠心性神経によって、感覚入力や運動出力を調節する仕組み。特に感覚系においては、感覚器官に対する中枢からの制御によって、感度や応答性が動的に調整される現象が知られる。

【論文情報】

雑誌名:iScience

論文タイトル:cAMP-related second messenger pathways modulate hearing function in *Aedes aegypti* mosquitoes

著者:YiFeng Xu*, YuMin Loh*, Tai-Ting Lee*, Wan-Tze Chen*, WenWei Loh*, 大橋 拓朗*, Daniel Eberl, Marta Andrés, Matthew Su*, 上川内 あづさ* (* 名古屋大学関係者)

DOI: 10.1016/j.isci.2025.113202

URL: <https://doi.org/10.1016/j.isci.2025.113202>

※【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さまざま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/>

