

動物界最高レベルのフェロモン感度を誇るゴキブリ

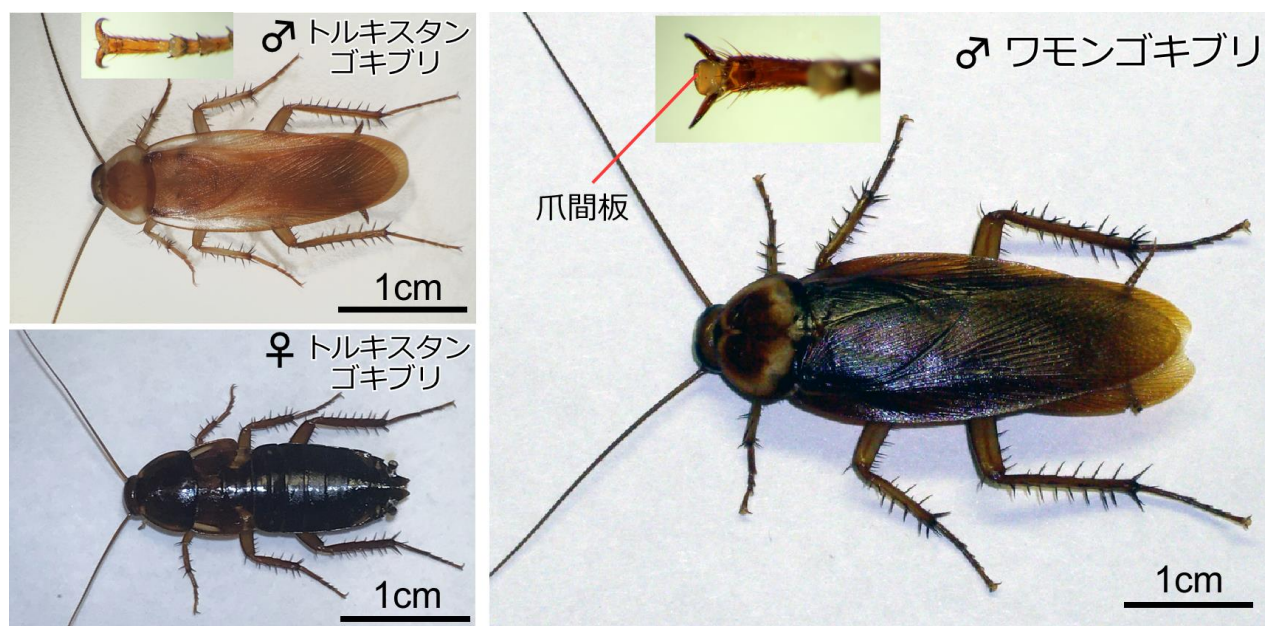
ポイント

- ・トルキスタンゴキブリはワモンゴキブリと同じ性フェロモンに高い感受性をもつ。
- ・わずか0.1 フェムトグラム (10^{-16} g) のフェロモンに反応する動物界最高レベルの感度の神経をもつ。
- ・トルキスタンゴキブリはワモンゴキブリなどの仲間であることを証明。

概要

北海道大学電子科学研究所の堂前 愛研究員，西野浩史助教，北海道大学大学院理学研究院の水波誠教授らの研究グループは，爬虫類の餌として売られているトルキスタンゴキブリ（レッドローチ）がもつ性フェロモン情報を処理する神経が，動物界最高レベルの性フェロモン応答感度を示すこと，このゴキブリが身近な家屋害虫であるクロゴキブリやワモンゴキブリ（*Periplaneta* 属）の仲間であることを，神経生理学的手法を用いて明らかにしました。

なお，本研究成果は，2019年6月8日（土）公開の *Neuroscience Letters* 誌に掲載されました。



トルキスタンゴキブリとワモンゴキブリの外部形態。

【背景】

仲間の発見に視覚を用いるヒトとは対照的に、夜行性の動物の多くは仲間を探し当てるために匂いを用います。この種特異的な匂いはフェロモンと呼ばれます。多くの昆虫は、交尾相手呼び寄せるために雌雄のいずれかが性フェロモンを出すことが知られています。性フェロモンは、種特異的に作用する必要があるため、特殊な化学構造をもつものが多く、ごく微量で強い誘引活性をもつのが特徴です。例えば、カイコガはわずか 170 の性フェロモン分子が触角に当たると、フェロモン源への誘引行動を起こします (Kaissling, 1987; 櫻井・神崎、2014)。

日本で最も身近な家屋害虫であるクロゴキブリやワモンゴキブリは、いずれも良く似た構造の化学物質を性フェロモンとして用い、このフェロモンはこれらのゴキブリの属名である *Periplaneta* 属の名前をとって、ペリプラノン*¹ と命名されています。ペリプラノンは未交尾のメスによって放出され、オスはその性フェロモンを触角内の感覚細胞で感じとることで、メスに定位し、求愛・交尾に至ります。

ゴキブリ目の網羅的な分子系統解析*²からは、ワモンゴキブリの近縁種の候補として意外なゴキブリが挙がっています。それがトルキスタンゴキブリ (別名：チュウトウゴキブリ、レッドローチ) です (Maekawa and Matsumoto, 2000; Ma et al., 2017)。もともと中近東の乾燥地帯に生息するゴキブリですが、その分布は今や世界中に広がっています。

トルキスタンゴキブリの特徴は、地下の閉鎖空間に適応していることにあります。メスの翅は退化しており、雌雄の爪の間にある吸着板 (爪間板) も退化しているため、水槽の壁をよじ登れません (1 ページ目図)。そのため、このゴキブリは爬虫類に最適な餌としてインターネットやペットショップを通じて売られています (Kim and Rust, 2013)。

本研究では、トルキスタンゴキブリがペリプラノンに感受性を持つのかどうかについて、ワモンゴキブリとの比較の観点から調べました。

【研究手法】

触角神経に蛍光色素を注入して、匂い情報が最初に処理される脳内領域 (触角葉) に投射する感覚繊維を可視化し、その体積の計測を行いました。次に、性フェロモンを処理する糸球体から出力する神経からの細胞内記録を行い、触角にペリプラノンを吹きつけたり、接触させたりした時の応答について調べました。記録後、出力神経に蛍光色素を注入し、その形態を共焦点レーザー顕微鏡で観察しました。

【研究成果】

トルキスタンゴキブリのオスの触角葉には、性フェロモンを専用に処理する巨大な糸球体がありました (図 1 上段)。トルキスタンゴキブリの体の大きさは、ワモンゴキブリの 2/3 ほどですが (1 ページ目図)、フェロモン糸球体の体積はワモンゴキブリのフェロモン糸球体の実に 3 倍もあることがわかりました。このことは、性フェロモンを特異的に処理する感覚細胞の数が、ワモンゴキブリよりも多いことを示しています。

次に、この巨大糸球体から出力する介在神経 (図 1 中段) の応答について調べたところ、ペリプラノンに対し非常に強い興奮性応答を示すことがわかりました (図 1 下段)。そのフェロモンを含む 1 ミリ幅の濾紙を触角に接触させたときに神経が興奮する (= 活動電位を出す) 最小のフェロモン量は 0.1 フェムトグラム (10^{-16} g) で、その感度はワモンゴキブリの相同神経の 100 倍以上でした。このことは、わずか 100 分子以下のペリプラノンで応答することを意味し、匂いの絶対量に対する神経の感度としてはこれまで知られている動物の中で最高レベルです。ちなみに、0.1 フェムトグラムは 1g の一京分の一の重さで、大腸菌 1 匹の千分の一、ウイルス 1 個分の質量に相当します。

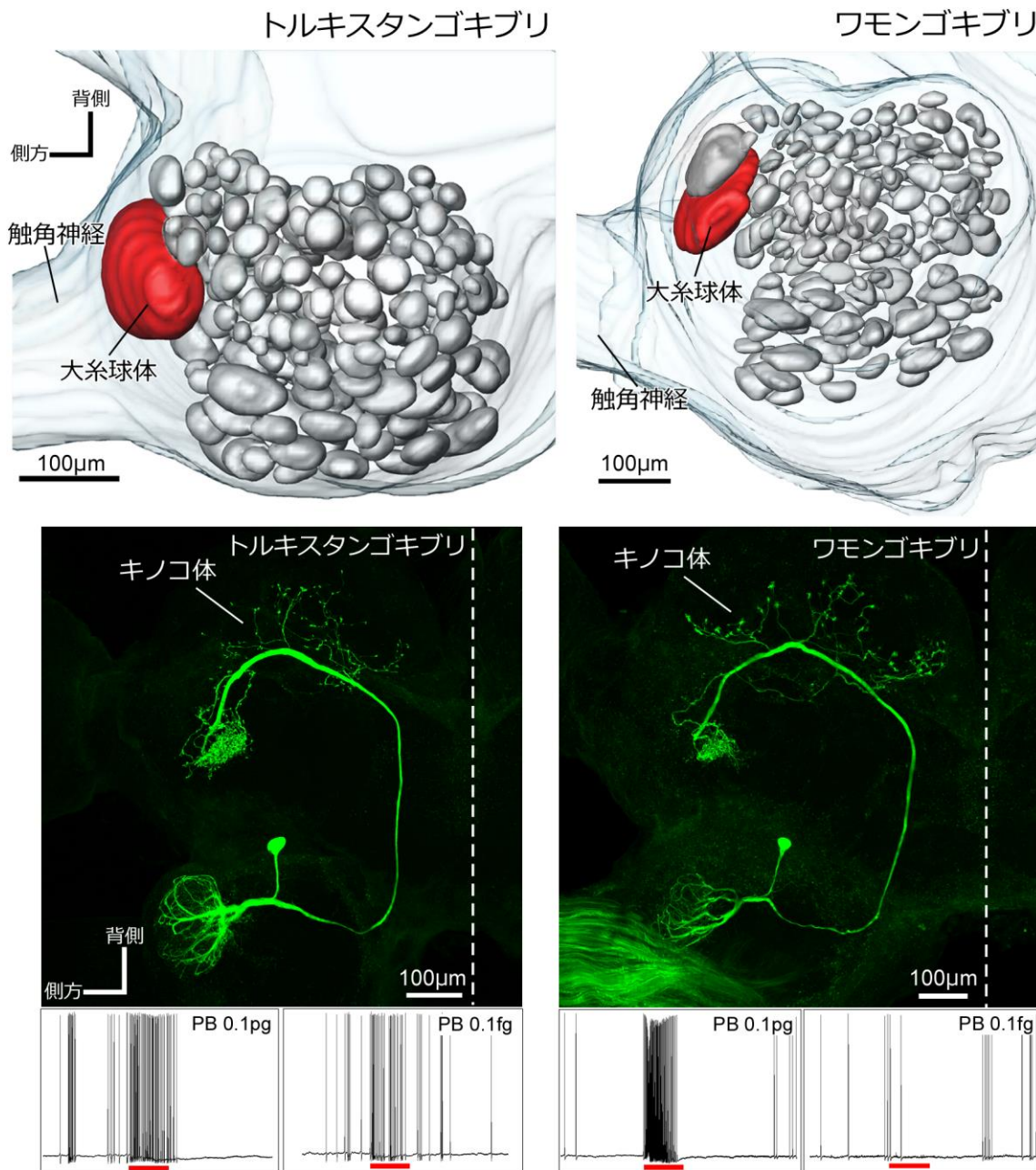


図1. トルキスタンゴキブリとワモンゴキブリのフェロモン処理経路。上段は触角葉中の糸球体，中段はフェロモン応答性介在神経，下段は介在神経の性フェロモン（ペリプラノンB: PB）に対する応答を示す。

さらに、ペリプラノンがゴキブリに与える行動への影響について調べました。5 ナノグラム (1ng=1gの十億分の一の重さ) のペリプラノンを染み込ませた濾紙を提示すると、ワモンゴキブリのオスは直ちに強い求愛行動を起こします (図2)。意外なことに、トルキスタンゴキブリのオスは、5 ナノグラムのペリプラノンやメスから抽出したフェロモンに誘引されるものの、求愛行動は示しませんでした (図2)。ところが、同じオスは、麻酔されたメスに触角で触れると直ちに求愛行動を示します。このことから、トルキスタンゴキブリのオスの性行動は、1) ペリプラノンによる誘引、2) 接触による同種のメスの確認、の二段構えになっており、メスの体表についている未知の低揮発性物質が生殖隔離^{*3}に重要な役割を果たすことがわかりました。

トルキスタンゴキブリは入り組んだ閉鎖空間に生息するため、隙間からわずかに漏れ出してくる性フェロモンを検出できるように超高感度の検出システムを発達させたと想定されます。また、特殊な化学物質であるペリプラノンもしくはその類縁体を性フェロモンとして利用することは、トルキスタンゴキブリが *Periplaneta* 属のゴキブリとみなされる分子系統解析の結果を強く支持するものです。



図2. トルキスタンゴキブリとワモンゴキブリの行動実験。トルキスタンゴキブリはペリプラノンに誘引されるだけだが、ワモンゴキブリは強い求愛行動を示す。

【今後の展望】

Periplaneta 属のゴキブリは全ての種が世界に広く分布する家屋害虫として知られていますが、その繁栄の一端には、長い触角のごく一部に当たるフェロモンを高感度で検出できることにあるようです。

トルキスタンゴキブリは、アメリカ南部では他の種より優勢な家屋害虫としてその生息範囲が拡大していますが、日本でも今後重要な家屋害虫になる恐れがあり、取り扱いには注意が必要です。

【謝辞】

本研究は、2017～2019年度日本学術振興会科学研究費基盤研究(C)「明瞭分離された2つの嗅覚経路のシグナルフローの意義の解明」(代表：西野浩史)による支援を受けて行われました。また、本研究は桑原重文教授(東北大学)・森 謙治名誉教授(東京大学)によって合成されたペリプラノンなくしては遂行不可能でした。

論文情報

論文名	Functional unification of sex pheromone-receptive glomeruli in the invasive Turkestan cockroach derived from the genus <i>Periplaneta</i> . (<i>Periplaneta</i> 属から派生したトルキスタンゴキブリの大系球体にみられる機能統合)
著者名	堂前 愛 ¹ , 岩崎正純 ¹ , 水波 誠 ² , 西野浩史 ¹ (¹ 北海道大学電子科学研究所, ² 北海道大学大学院理学研究院)
雑誌名	Neuroscience Letters (神経科学の専門誌)
DOI	10.1016/j.neulet.2019.134320
公表日	2019年6月8日(土)(オンライン公開)

お問い合わせ先

北海道大学電子科学研究所 助教 西野浩史（にしひろし）

T E L 011-706-2596 メール nishino@es.hokudai.ac.jp

U R L <https://www.es.hokudai.ac.jp/labo/nishino/>

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

【用語解説】

- *1 ペリプラノン … *Periplaneta* 属のメスがオスを誘引するために出す性フェロモンで、テルペン的一种。構造が特殊であるため合成が難しく、桑原・森ら（1990）によって初めてその合成手順が示された。ちなみにヒトが嗅いでも無臭で、毒性もない。
- *2 分子系統解析 … DNA の配列がどれくらい似ているのかによって、動物間の類縁関係を調べる手法のこと。特に、母性遺伝するミトコンドリア DNA の配列が用いられることが多い。
- *3 生殖隔離 … 異なる種が同じ場所に生息している時に、互いの中で交雑が起きないようにするしくみのこと。種の存続に不可欠である。