

1. はじめに

蚊はデング熱、ジカ熱、日本脳炎などの感染症を媒介し、世界的に人間の健康に大きな影響を与える生物である。温度は蚊の代謝や運動能力に直接影響を及ぼし、宿主探索や環境選択といった行動戦略にも関与していると考えられている。近年の気候変動に伴う気温上昇により蚊の生息域は拡大し、活動期間の長期化も指摘される中、蚊の行動特性を温度環境との関係で定量的に理解することは公衆衛生の観点から重要な課題である。

しかし、これまでの蚊の行動研究では温度条件による活動量の増減といった定性的評価が主流であり、蚊がどの温度領域を選択しどの方向へ接近・回避するかといった飛行行動の詳細な解析は十分になされてこなかった。殺虫剤や忌避剤の効果評価においても「死虫率」などの結果指標が中心であり、薬剤曝露前後の行動変容をリアルタイムに定量化する手法が求められていた。

本研究では、広島大学が培ってきた高速ビジョン技術を応用し、蚊の羽ばたき振動を可視化・計測する「モスクイトカメラ」の開発を行った。本報告書では、温度刺激下における蚊の飛行行動解析の成果を中心に報告するとともに、イベントカメラを用いた三次元飛行軌跡解析技術の応用可能性についても述べる。

2. 研究概要

本研究は、高速ビジョン技術を用いて蚊の羽ばたき振動（450～650Hz）を可視化・計測する「モスクイトカメラ」を開発し、温度刺激環境下での蚊の飛行行動を定量的に評価することを目的とする。研究は以下の三つの柱で推進した。

（1）蚊の羽ばたき可視化技術の確立：高速カメラおよびイベント・フレームハイブリッドカメラを用い、蚊の微細な羽ばたきを安定した信号対雑音比で検出する技術を確立した。ステレオカメラ構成による三次元位置推定も実現した。

（2）温度刺激下での行動評価指標の構築：飛行速度、旋回角、エリア滞在率などの行動定量化指標を定義・検証し、殺虫剤効果測定のための実験プロトコルの策定を完了した。

（3）イベントカメラによる飛翔体モニタリング技術の検討：イベントカメラと可視光カメラを統合したハイブリッドカメラを用いた三次元飛行軌跡解析の適用可能性を検討し、蚊への技術展開の基盤を整備した。

3. 研究成果および今後の課題

3. 1 温度刺激下における蚊の飛行行動解析

本研究の中心的成果として、周囲温度が蚊の飛行運動戦略に与える影響を定量的に明らかにした。供試個体にはヒトスジシマカのメス成虫を用いた。

(a) 実験システムと手法

図1に実験システムの構成を示す。小型アクリルケースを観察空間とし、床面に左右2枚のヒーターを設置して独立に温度を制御した。飛行映像の撮影には高解像度カメラをケース上面方向から設置し、床面温度分布の計測にはサーマルカメラを使用した。30秒間を1サイクルとし各条件で複数回実施した。

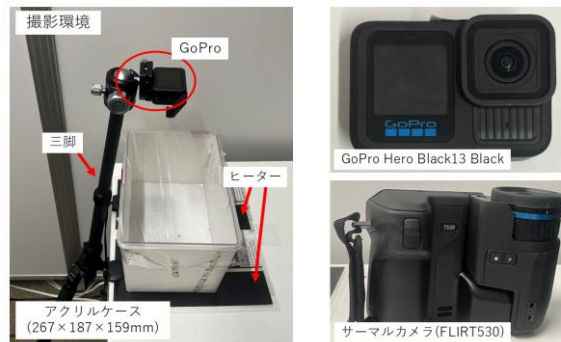


図1：実験システムの構成（左：撮影環境全体、右上：GoPro、右下：サーマルカメラ）

撮影映像に対し、背景差分処理と画像処理を組み合わせ、蚊の位置座標を各フレームで抽出した。得られた座標から、飛行速度、旋回角（進行方向の変化量）、およびエリアごとの滞在率の三つの定量化指標を算出した。

(b) 単一温度条件下での実験結果

左右ヒーターを同一温度に設定した単一温度条件として、温度1（約27℃）、温度2（約36℃）、温度3（約42℃）の三段階で実験を行った。図2に各温度条件における飛行速度分布の比較を示す。

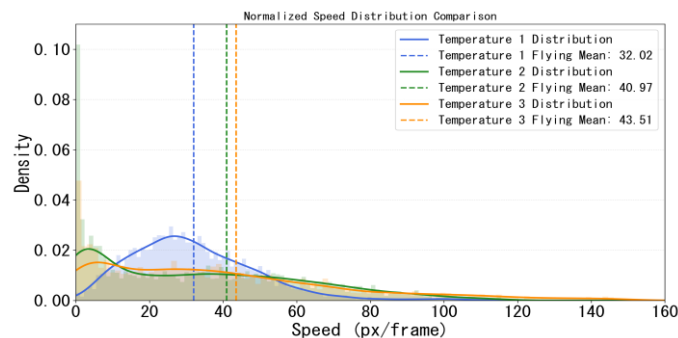


図2：単一温度条件下における飛行速度分布の比較（温度1：27℃、温度2：36℃、温度3：42℃）

図2に示すように、温度が高いほど平均飛行速度が上昇し、温度上昇により運動代謝が高まり飛行活動が活性化したことが示唆された。速度分布の形状に着目すると、低温条件では低速域にピークが集中する一方、高温条件では分布が高速域に広がり出現頻度が増加した。旋回角分布については、低温条件では小角な方向転換に集中し直進的な移動が主体であったのに対し、高温条件では急激な方向転換が出現し、局所的な探索行動への切り替えが観察された。

(c) 二温度選択条件下での実験結果

次に、左右ヒーターを異なる温度に設定し、蚊に温度選択の行動選択肢を与えた。図3に二温度選択条件のサーモグラフィ画像を示す。条件1では左側を約30℃、右側を約37℃に、条件2では左側を約37℃、右側を約41℃に設定した。

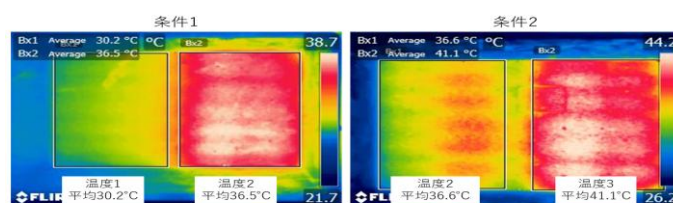


図3：二温度選択条件のサーモグラフィ画像（左：条件1、右：条件2）

条件1では低温エリアでの滞在率が高く、蚊が体温に近い温度側を選好する傾向が見られた。条件2では高温エリアでの滞在率がやや高い結果となった。いずれの条件でも高温エリアでは飛行速度が上昇し、温度刺激に対する行動応答の増大が一貫して確認された。図4に条件1における左右エリア別の速度分布を示す。

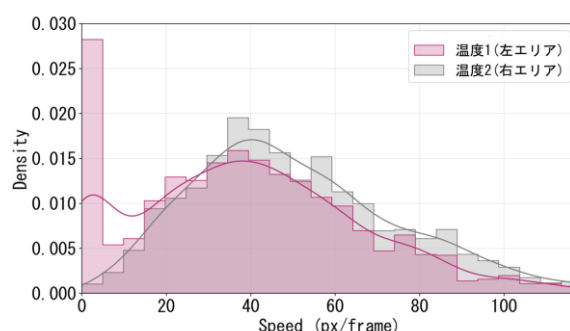


図4：二温度選択条件1における左右エリア別の飛行速度分布（ピンク：低温側30℃、灰：高温側37℃）

図4より、高温側の速度分布は低温側と比較してピークが高速域にシフトし、分布の広がりも大きいことが確認できる。特に注目すべき点として、選好エリア（滞在率が高いエリア）において急旋回の割合が増加する傾向が認められた。これは、蚊が好む温度領域にとどまるため局所的な方向転換を増やす行動戦略をとっている可能性を示唆する。単一温度条件と二温度選択条件での旋回角特性の違いは、蚊が温度勾配を能動的に感知し行動を切り替えていることを定量的に裏付ける結果である。

(d) 殺虫剤評価への展開

以上の結果から、本研究で定義した三つの定量化指標（飛行速度、旋回角、滞在率）は温度刺激に対する蚊の行動応答を多角的に捉えるうえで有効であることが実証された。これらを殺虫剤・忌避剤の効果評価に応用することで、従来の「死虫率」に代わる新たな行動ベースの評価指標を構築できる可能性がある。薬剤曝露前後の飛行行動の変容をリアルタイムに定量化することで、製品開発における新たな評価基盤としての活用が期待される。

3. 2 イベントカメラによる三次元飛行軌跡解析の適用可能性

蚊の飛行行動をより高度に解析するための技術基盤として、イベントカメラを用いた三次元飛行軌跡解析の適用可能性を検討した。イベントカメラと可視光カメラを統合したハイブリッドカメラを用い、飛翔体のダイナミクス特徴量（面積変化や速度ベクトルの時間相関など）を利用することで、外観が類似した複数個体間の対応付けを可能にした。鳥類群集団を対象とした屋外実験で良好な対応付け精度を確認し、長距離環境においても従来手法を上回る検出性能を達成した。これらの成果は、将来的に蚊の三次元飛行行動解析へと拡張することで、温度勾配や薬剤に対する接近・回避行動を三次元空間で詳細に捉えるための技術基盤となる。

4. おわりに

本研究では、高速ビジョン技術およびイベントカメラ技術を融合した「モスクイトカメラ」の研究開発を推進し、温度刺激下における蚊の飛行行動を定量的に評価する手法を確立した。飛行速度・旋回角・滞在率の三指標を用いた解析により、温度条件に応じた蚊の行動戦略の変化を明らかにした。単一温度条件では高温環境下での飛行速度上昇と探索行動の活性化が確認され、二温度選択条件では選好温度域での局所的旋回増加という温度勾配に応じた行動切り替えが定量的に示された。また、イベントカメラを用いた三次元飛行軌跡解析技術の適用可能性を検討し、蚊のモニタリングへの技術展開の基盤を整備した。これらの成果は、殺虫剤や忌避剤の効果を行動変容の観点から評価する新たな手法の基盤となるものである。

5. 本研究の今後の計画

本研究で構築した定量的行動評価手法をさらに発展させ、以下の展開を計画している。

- (1) **殺虫剤実験の実行・定量化**：温度制御・薬剤気化制御を統合したチャンバー実験を実施し、殺虫・忌避成分が蚊の飛行行動に与える影響（分散、接近阻害、回復時間など）を定量化する。行動ベースの評価指標の体系化を図る。
- (2) **ステレオ+イベント融合・3D 追跡の拡大**：マルチカメラによる3D蚊追跡システムの精度向上と、羽ばたき周波数変動と接近・回避行動の相関モデル構築を行う。
- (3) **フィールド検証・実環境テスト**：ラボから居住空間に近い環境での検証を行い、温度・湿度・気流・照度の厳密な制御と実験プロトコルの標準化を進める。
- (4) **外部資金への応募**：JST A-STEP、METI 地域プログラム、JST CREST/FOREST 等への応募を検討する。

6. その他

(1) 出願特許

該当なし（知財面を考慮し、今後の出願を検討中）

(2) 投稿論文・学会発表

・河江 真, 島崎 航平, 石井 抱「イベントカメラによる複数飛翔体のダイナミクス同定を同時実現する三次元飛翔体モーションキャプチャ」, 第26回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2025), (2025).



競輪の補助事業

この報告書は、競輪の補助により作成しました。

<https://jka-cycle.jp/>