

動画像解析によるテントウムシの羽ばたき動作モデリング

相澤綾一¹ 李根浩¹

概要: 近年、災害時の活用を目的としたロボットが多く開発されている。しかし、走行と飛行を両立し瓦礫内を探索するものは少ない。そこで走行・飛行を行い、体を保護する鞘翅を持つ小型な甲虫類であるテントウムシに着目する。また、昆虫の羽ばたき飛行には未解明な点が多いため、本研究では羽ばたき動作のモデリングを行う。そのため、ハイスピードビデオカメラを用いてテントウムシの飛行を撮影する。次に動画解析ソフトを用いて、翅の根元や翅の先端などの身体上の特徴点の座標を逐次的に求める。これらの座標から、羽ばたき動作の周波数、振幅角、位相差、ストローク平面などの特徴を抽出し、これらを含む羽ばたき動作モデルを算出する。

キーワード: ロボット, 画像特徴抽出, 情報可視化

Modeling of ladybug's flapping motion by video analysis

RYOICHI AIZAWA^{†1} GEUNHO LEE^{†1}

Abstract: In recent years, many robots have been developed for use during disasters. However, few of them can both run and fly and search through rubble. We focus on the ladybird beetle, a small insect with protective sheath wings that can both run and fly. In addition, since there are many unexplored aspects of insects' flapping flight, we model their flapping behavior in this study. For this purpose, a high-speed video camera was used to capture the flight of ladybugs. Next, using video analysis software, we sequentially obtain the coordinates of characteristic points on the body, such as the wing bases and wing tips. From these coordinates, features such as the frequency, amplitude angle, phase difference, and stroke plane of the flapping motion are extracted, and a flapping motion model including these features is calculated.

Keywords: Robotics, Image Feature Extraction, Information Visualization

1. 緒言

近年、災害現場における探索や観測を目的とした救助ロボットが多く開発されている。その中でも移動方法の観点から走行と飛行を両立したロボットが注目されている。そこで走行と飛行の両立を念頭に、より研究の余地のある飛行ロボットの開発を行う。飛行ロボットは飛行に用いる翼で分類され主に固定翼、回転翼、羽ばたき翼の3種類が挙げられる。その中でも狭小な災害現場においては機敏な飛行が可能な羽ばたき飛行が適している。また、羽ばたきロボットは生物の動作を模倣した研究が盛んであり、模倣されている生物として、鳥類と昆虫類が挙げられる。昆虫類は鳥類と比較し、一般的には小型でより機敏な飛行を行うため限られた空間での利用に適切であると考えられている。そして、甲虫類は昆虫の中でも特徴的な鞘翅と呼ばれる主に自身の保護を目的とした翅を有しているため非常時の運用においては有用であると考えられる。甲虫類の中でも鞘翅の模倣のしやすさ、身近さを加味し本研究ではテントウムシの模倣を行い、飛行には影響がないとされる鞘翅による飛行への影響を明らかにする事を最終目標とし、羽ばたき動作のモデリングを行う。

2. 記号と座標の定義

はじめに、記号と座標を定義する。テントウムシの重心を原点 O とし重力加速度の方向を \vec{g} とすると、原点 O を通り \vec{g} と逆方向の軸を z 軸とする。そして、 z 軸に対して垂直であり、テントウムシの進行方向に平行な原点 O を通る軸を x 軸とし、 x 軸を時計回りに 90° 回転した原点 O を通る軸を y 軸とする。そして、テントウムシの鞘翅の根本を O_e 、先端を p_e とし、 O_e を通る x 軸、 y 軸、 z 軸に平行な軸をそれぞれ \vec{x}_e 、 \vec{y}_e 、 \vec{z}_e とする。同様に後翅の根本を O_h 、先端を p_h とし、 O_h を通る x 軸、 y 軸、 z 軸に平行な軸をそれぞれ \vec{x}_h 、 \vec{y}_h 、 \vec{z}_h とする。また、 $\vec{O_e p_e}$ と \vec{y}_e の成す角を θ_e 、 $\vec{O_h p_h}$ と \vec{y}_h の成す角を θ_h とする。

3. 羽ばたき動作の撮影

次にテントウムシの羽ばたき動作の撮影方法について説明する。まず、テントウムシを捕獲する。一定の飛行条件とするため、水槽の中にて無風状態で撮影を行う。

テントウムシの離陸行動を利用し、水槽内に支柱を設置し観察を行う。の照明とハイスピードカメラ (FDR-AX700, SONY) を用いて撮影する。このとき、観察のためにてんとう虫の鞘翅の根元を O' とし、先に定義した3平面毎に撮影を行う。

¹ 宮崎大学
University of Miyazaki

4. 羽ばたき動作の動画像解析

撮影した3平面の動画像を解析し、テントウムシの羽ばたき動作の特徴を抽出する。解析方法としては、動画解析ソフト Kinovea を用いて先に定義した、鞘翅の根本 O_e 、鞘翅の先端 p_e 、後翅の根本 O_h 、後翅の先端 p_h の4点を1フレームごとの座標を記録する。次に p_e 、 p_h の座標から O_e 、 O_h の座標を引き、これを羽ばたき軌跡とする。図1、図2、図3は xy 平面、 yz 平面、 zx 平面における羽ばたき軌跡である。また、図4は θ_e と θ_h を時間変化をグラフにしたものである。

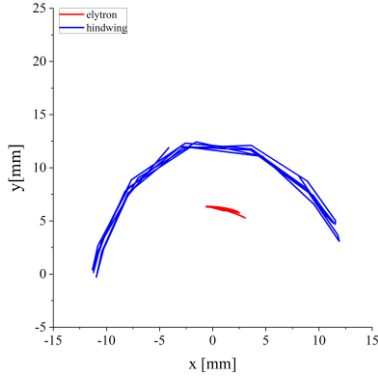


図1 xy 平面における羽ばたき軌跡
Figure 1 Flapping trajectory in the xy -plane.

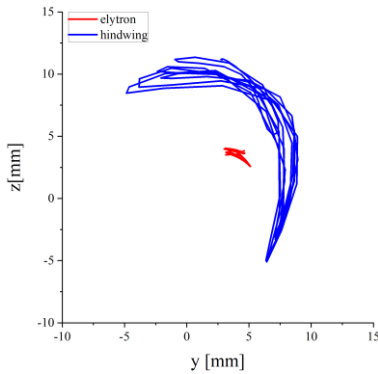


図2 yz 平面における羽ばたき軌跡
Figure 2 Flapping trajectory in the yz -plane.

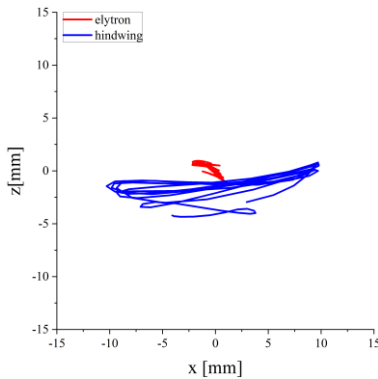


図3 zx 平面における羽ばたき軌跡
Figure 3 Flapping trajectory in the zx -plane.

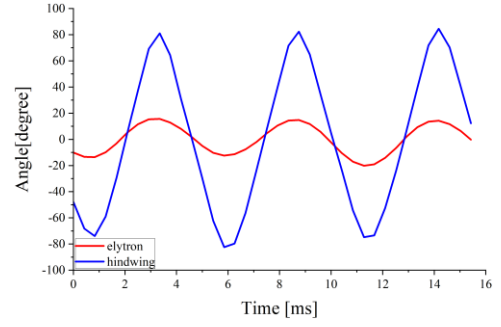


図4 羽ばたき振幅角
Figure 4 flapping amplitude angle.

5. 羽ばたき動作モデリング

動画解析をふまえ、テントウムシの羽ばたき動作のモデリングを行う。動画解析から以下の3つの特徴が得られた。1つ目に鞘翅、後翅共に半円軌道を描いている。これにより翼長を半径とした円運動となる。2つ目に zx 平面における羽ばたき軌跡から、羽ばたき動作は xy 平面のみの変化ではなく一定の傾きがある。これをストローク平面的の傾きと考え、回転軸の傾きを後翅に加える。 xy の円運動に加えてストローク平面的の傾きからさらに回転が加わっていると考えられる。3つ目に羽ばたき振幅角のグラフから、鞘翅と後翅の羽ばたき動作は同位相であることが分る。これを踏まえ、角度変化が同期する。以上の特徴を踏まえた羽ばたき動作をモデリングすると式(1)のようになった。このとき、鞘翅、後翅の長さを l_e 、 l_h 、鞘翅のストローク平面的の傾きを β 、鞘翅の根本と後翅の根本の y 軸方向の距離を d_y 、 z 軸方向の距離を d_z 、鞘翅、後翅の羽ばたき振幅角速度 ω_e 、 ω_h 、時刻を t としている。

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} p_{ex} \\ p_{ey} \\ p_{ez} \\ p_{hx} \\ p_{hy} \\ p_{hz} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} l_e \sin \theta_e \cos \beta \\ l_e \cos \theta_e \\ l_e \sin \theta_e \sin \beta \\ l_h \sin \theta_h + d_y \\ l_h \cos \theta_h + d_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_e \\ l_e \\ l_e \\ l_h \\ l_h \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sin \theta_e \cos \beta \\ \cos \theta_e \\ \sin \theta_e \sin \beta \\ \sin \theta_h \\ \cos \theta_h \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ d_y \\ d_z \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} l_e \\ l_e \\ l_e \\ l_h \\ l_h \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sin \omega_e t \cos \beta \\ \cos \omega_e t \\ \sin \omega_e t \sin \beta \\ \sin \omega_h t \\ \cos \omega_h t \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ d_y \\ d_z \end{bmatrix} \quad (1)
 \end{aligned}$$

参考文献

- [1] M. Karásek, F. T. Muijres, C. D. Wagter, B. D. W. Remes, G. C. H. E. de Croon, A tailless aerial robotic flapper reveals that flies use torque coupling in rapid banked turns, Science 14 Sep 2018:Vol. 361, Issue 6407, pp. 1089-1094.
- [2] Schneider P, Hermes M. Aerodynamische Eigenschaften der Kaferelytren. Zoologische Jahrbücher. Abteilung für allgemeine Zoologie und Physiologie der Tiere, 1977, 81, 273 – 280.
- [3] Burton A J, Sandeman D C. The lift provided by the elytra of the Rhinoceros beetle, Oryctes boas Fabr. South African Journal of Science, 1961, 57, 107 – 109.