C 1 0 7

飛翔する蝶の翅の挙動とその特性

瀧脇 正樹[○](九州工業大学), 河野 淳 (九州工業大学), 田中 和博(九州工業大学)
Dynamic behavior of butterfly wing and its characteristics

Masaki FUCHIWAKI, Jun KAWANO and Kazuhiro TANAKA

ABSTRACT

In order to clarify dynamic behaviors of a flying butterfly wings, the authors conducted flight observation experiments by a high-speed camera, measured displacements of a butterfly wings using images captured by the camera and transformed flapping angles from the butterfly's view into lead-lag angles. A butterfly moves its wings not only in upward and downward directions spatially but also anteroposteriorly when it flaps. For bound and towing flights, the butterfly changed flapping angles more greatly than lead-lag angles trying to escape from the towing since its legs and body were bound.

Keywords: Visualization, Butterfly wing, Flapping angle

1. 緒 論

近年、構造物の保守点検や災害救助支援、治安維持のための超小型飛翔体や MAV (Micro Air Vehicle) の開発が国内外で盛んに行われている。超小型飛翔体や MAV の活用によって安全・安心な社会を実現することが期待され、これまでに様々なアクチュエータおよびデバイスを用いて開発が試みられている¹⁾。しかしながら、未だ実用化には至っていない。鳥や昆虫の飛翔メカニズムが十分に明らかにされていないのがその大きな理由である。

本研究では、飛翔する蝶の翅の動的挙動とその特性を明らかにすることを目的とする。具体的には、蝶の飛翔観察実験結果より、画像解析を通して、自由飛翔、固定飛翔および拘束飛翔する蝶自身から見た翅の羽ばたき角およびリードラグ角の特性を明らかにする。

2. 実験装置および方法

2.1 飛翔観察実験装置

本研究に用いたヒメアカタテハ(学名: *Cynthia cardui*) を図 1 に示す。その翅弦長 c 、翅スパン長さ l 、翅面積 s および体重 m はそれぞれ 25 [mm], 65 [mm], 655 [mm²] および 160 [mg] である。自由飛翔、固定飛翔および拘束飛翔する蝶の可視化実験を行い、その画像解析結果より蝶自身からみたフラッピング角およびリードラグ角を算出する。自由飛翔はアクリルボックス内を自由に飛翔し、固定飛翔はアクリルボックス内のシャフトに脚を固定した状態での飛翔を示す。また、拘束飛翔は蝶の胴体を細糸で束縛した状態での飛翔を示す。

Fig. 1 *Cynthia cardui*

Fig. 2 Measuring points and transform coordinates

Fig. 3 Flapping angel and lead-lag angle of a butterfly

2.2 座標変換

飛行観察実験により得られた蝶の頭部、重心および右前翅先端の測定位置を図 2 に示す。重心を原点とした XYZ 空間座標系を Y 軸まわりに迎え角 θ [rad.] 回転させることにより、蝶自身から観測した座標系へと変換する。図 3 (a) および (b) に蝶の飛行における羽ばたき角 β [rad.]、リードラグ角 ξ [rad.] を示す。羽ばたき角は蝶の翅先端座標 A と原点 O を結んだ直線 OA と X-Y 平面との角 AOy によって定義し、翅の上下方向の動きを示す。リードラグ角は翅先端座標 A と原点 O を結んだ直線 OA と Y-Z 平面との間の角 AOz によって定義し、翅の前後方向の動きを示す。

3. 実験結果および考察

自由、固定および拘束飛行を行う蝶の羽ばたき角 β およびリードラグ角 ξ の時間変化をそれぞれ図 4 (a), (b) および (c) に示す。破線および実線はそれぞれ羽ばたき角 β およびリードラグ角 ξ を示す。自由および固定飛行においては、羽ばたき角およびリードラグ角ともに周期性が見られる。特に、自由および固定飛行のいずれにおいても羽ばたき角には周期性が顕著に表れている。また、羽ばたき角とリードラグ角の間に $1/4$ 周期程度の位相差があり、打ち下ろし時にリードラグ角 ξ は最大になり、打ち上げ時にはリードラグ角 ξ が最小となる。固定飛行する蝶の羽ばたき角およびリードラグ角の振幅はほぼ一定であり、さらには、羽ばたき角が自由飛行時に比べて大きい。蝶は固定から逃れるために羽ばたき角を大きく変化させている。これは蝶の離陸時の翅の挙動に近いと考えられる。一方、拘束飛行においては、羽ばたき角には周期性が見られるものの、リードラグ角には周期性が確認できない。蝶は胴体を細糸で拘束されているために、細糸から逃れようともがいており、羽ばたき角を大きく変化させているものの乱れが生じていると予想できる。

自由、固定および拘束飛行を行う蝶の翅先端の軌跡をそれぞれ図 5 (a), (b) および (c) に示す。横軸および縦軸にそれぞれリードラグ角および羽ばたき角を示す。軌跡は羽ばたき十周期分の平均値である。自由飛行時は、リードラグ角を大きく変化しているが、固定および拘束飛行時には、リードラグ角の変化は小さい。特に、固定飛行時には、フラッピング角を大きく変化させている。固定飛行は離陸時の翅の挙動に近いことから、離陸時には、フラッピング角のみを大きく変化させるが、自由飛行時には、フラッピング角だけでなくリードラグ角も大きく変化させていることがわかる。

4. 結言

自由飛行時には、フラッピング角だけでなくリードラグ角も大きく変化させて飛行する。一方、離陸や拘束から逃れようとする飛行時には、フラッピング角のみを大きく変化させて飛行する。

(a) Free flight

(b) Bound flight

(c) Towing flight

Fig. 4 Time fluctuations of flapping angles and lead-lag angles of a butterfly

Fig. 5 Trajectory of a butterfly wing tip on (a) free, (b) bound flights and (c) towing flights

参考文献

- 1) Jones K. D. and Platzer, M. F., : Flapping-Wing Propulsion for a Micro Air Vehicle, AIAA-2000-0897, (2000)