

# 蝶の飛行に関する研究

泉田 啓<sup>1)</sup> 藤原直史<sup>1)</sup> 菅沼直樹<sup>1)</sup>  
 田中 剛<sup>2)</sup> 沢本雅和<sup>1)</sup> 芝原孝徳<sup>1)</sup> 野寺正人<sup>1)</sup>  
 1) 金沢大学 2) 大阪府立大学

## 研究の背景と目的

### 背景

歩行や遊泳、羽ばたきといった生体のリズム運動は環境の不確実性や変動に適応する能力を持ち、所望の運動を安定に継続することが可能である。また、蝶の飛行は他の飛行体と比べ特徴的であり、飛行安定化のメカニズムが解明されていない。蝶は風などの外乱があっても飛び続けられるが、なぜだろうか？

### 目的

- 蝶の飛行メカニズムを解明する。
- この安定化原理を解明し、ロボットの制御に応用する。

## 蝶の飛行の特徴

- 基本的には翅を上下(フラッピング)運動するだけで、あまり複雑な動きはできない。
- 翅が大きく、羽ばたき周波数が他の昆虫と比べて小さい。
- 羽ばたきにより翅に生じる様々な空気力の効果を利用している。
- ほぼ一定のリズムで羽ばたき、安定に飛行を継続する。

## アプローチ

### 1. 蝶の羽ばたき計測実験

- 羽ばたきに伴う空気力の計測
- ステレオ視による3次元運動計測
- 空気流の可視化および計測

### 2. 蝶の数理モデルの構築

- 蝶のモデル化
- 非定常流体力のモデル化

得られた計測データを基に、数理モデルを構築。妥当性を検討

### 3. 数理モデルを用いた安定化軌道の探索

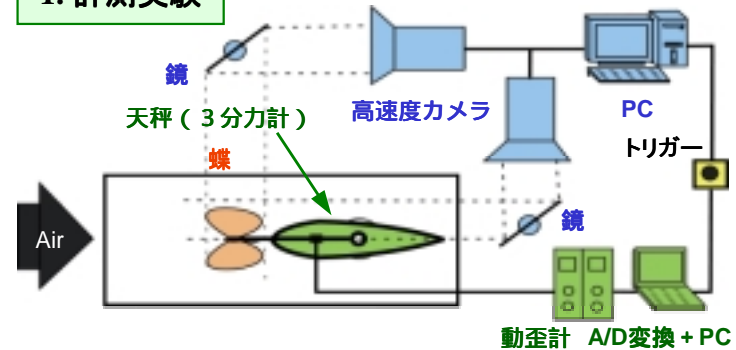
- 学習や探索を用いて**定常飛行**を実現するような羽ばたき軌道を探索する。
- 得られた軌道の安定性や適応性について解析する。

**定常飛行**・・・羽ばたき周期 $T[s]$ 後に同じ状態が繰り返される周期的な飛行

## 安定化と適応性の根源を探る！

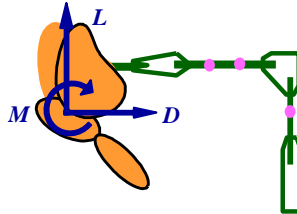
- 身体と環境との相互作用(空気流, 渦)
- 安定化のための制御(制御量, 制御方法)
- 周期的な飛行運動に引き込みを生じ、安定化と適応？

## 1. 計測実験

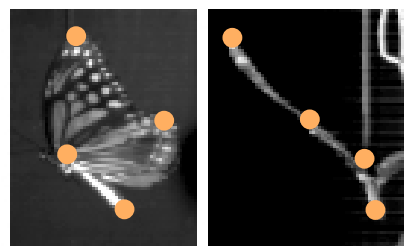


### 羽ばたきに伴う空気力の計測

歪ゲージによる3分力の測定



### ステレオ視による3次元運動計測



### 空気流の可視化および計測



↑ 図に示す特徴点を追跡し、3次元的に羽ばたき運動を計測する

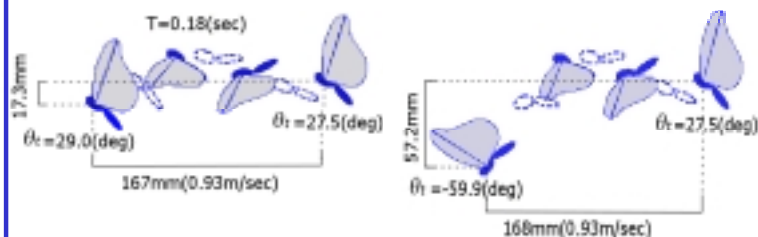
←スモークワイヤ法により羽ばたきによって生じる渦や空気流を可視化

## 2. 蝶の数理モデル

- 系全体は左右対称に動くとする。
- 前翅, 後翅を一枚の翅とし, 左右の翅, 頭・胸部, 腹部の4リンクの剛体系としてモデル化
- ラグランジュ法により運動方程式を導出
- 渦法やパネル法に基づいた空気力計算法



## 3. 数理モデルを用いた安定化軌道の探索



(a) 定常飛行に近い飛行

(b) 僅かな摂動で不安定化する飛行

- 探索により、周期的な定常飛行に近い軌道を得た(図(a))
- 不安定モードを有し、図(b)のように僅かな摂動で不安定化した安定性、適応性は、まだ実現されていない。