

昆虫ロコモーションの時空間ダイナミクス解析

日大生産工(学部) ○田中 智也 日大生産工 佐々木 真
基礎生物研 左倉 和喜 駒澤大・総合教育研究部、理研 仲田 資季

1. 背景・目的

生物の運動やシステムには、ロボットの設計を行う上で有益な情報が含まれていることがある¹⁾。例えば、何百万年もの進化の末に生まれたメカニズムは、ロボットの動作の改良につながる可能性がある。こうした生物の動作から着想を受けたロボットは、着想元の生物と同条件の環境で動作する場合、効率的な動作をすることができる。この事は、複数の環境で動作するロボットにも当てはまる。

現在活発に使用されている移動ロボットは、主に追跡型の地上移動機構やプロペラ駆動の水中ビークルなど、特定の環境での動作に限られている。より汎用的なシステムにするためには、複数の動作環境に適応する必要がある。そのため、複数環境における生物の動作を模倣することは、ロボットにおいて重要である。

本研究では、カブトムシの歩行と遊泳での運動パターンの特徴を示すことを目的とする。加えて昆虫の動作が複数パターンに分類できるかに役立つため、歩行データから遊泳の特徴への予測変換および、遊泳データから歩行の特徴への予測変換を行うことを目的とする。

2. カブトムシの歩行と遊泳データ

カブトムシの歩行と遊泳の特徴の解析には、高速度カメラで撮影された観察データを使用する。カブトムシの前端と後端の二点の中心を重心と定義し、重心から見た各脚の先端の軌跡データを解析の対象とした。観察データは、基礎生物学研究所の左倉博士から提供いただいた。

3. 歩行と遊泳における脚の軌跡

カブトムシの歩行と遊泳における運動の特徴を可視化するために、各動作における重心からの脚の軌跡をプロットする。プロットに際し、データごとにカブトムシの移動方向や全長が異なっていたため、向きとサイズの調整を行う。

前脚の軌跡の中心点を (x_1, y_1) とすると、Y軸からの傾き θ は

$$\theta = \tan^{-1} \frac{x_1}{y_1} \quad (1)$$

となるので、元のデータを $\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$ とすると、修正後のデータ $\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix}$ は式(2)のようになる。

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \quad (2)$$

また、全長を l 、基準とする全長を l' 、各脚の重心からの相対座標を D とすると、調整後の相対座標 D' は式(3)のようになる。

$$D' = D \cdot \frac{l'}{l} \quad (3)$$

式(2)および式(3)を用いて観察データの調整を行い、各脚の重心からの軌跡をプロットする。軌跡のプロットにおけるカブトムシの各脚の色をFig.1に、プロットした図をFig.2に示す。なお、調整後の向きは頭がY軸に正の方向で統一し、基準とする全長は100とした。

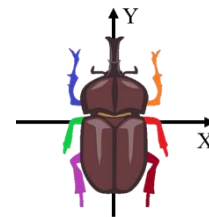


Fig.1 軌跡におけるカブトムシの各脚の色

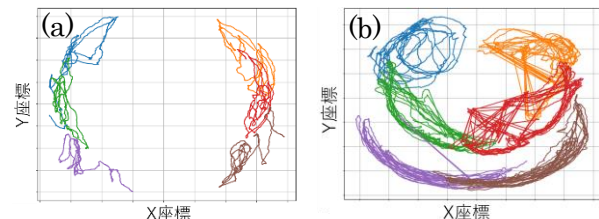


Fig.2 重心からの脚の軌跡：(a)歩行、(b)遊泳

4. 各脚の標準偏差の算出

Fig.2のような重心からの軌跡をプロットした画像を用いて歩行から遊泳、および遊泳から歩行の予測変換を行うにはデータが足りず、変換を行うことができなかった。そこで、簡単な特徴量に落として予測変換を行う。特徴量には、各脚の先端の軌跡におけるばらつきを示すために、標準偏差を使用する。各脚の軌跡の標準偏差をプロットした図を、Fig.3に示す。なお、薄い線のグラフは各実験のデータでの標準偏差を示しており、実線のグラフは標準偏差の平均値を示している。

Fig.3より、歩行と遊泳において各脚はそれぞれ異なる特徴を示しており、各運動において各脚は異なる動かし方をしていることがわかる。

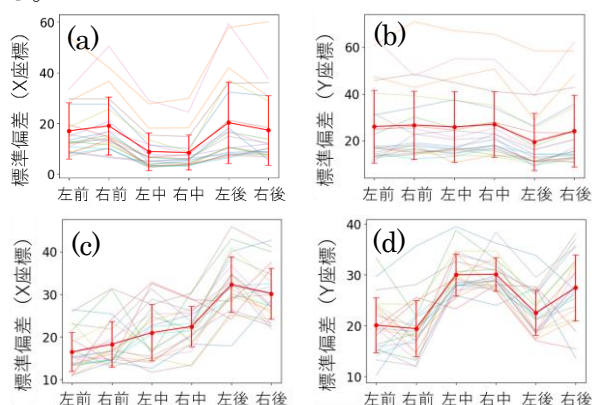


Fig.3 各脚の標準偏差: (a)歩行・X座標、(b)歩行・Y座標、(c)遊泳・X座標、(d)遊泳・Y座標

5. 歩行から遊泳、遊泳から歩行への予測変換

4章で求めた各脚の軌跡の標準偏差を用いて機械学習を行い、歩行データから遊泳の特徴の予測変換および、遊泳データから歩行の特徴の予測変換を行う。学習には、歩行と遊泳それぞれ21個の標準偏差のデータを使用した。また、予測元のデータには、学習データとは異なるデータを使用した。ここで用いたニューラルネットワークの構造をFig.4に示す。



Fig.4 ニューラルネットワークの構造

入力層では歩行または遊泳における各脚の標準偏差の値が入力され、出力層では予測した各脚の数値が出力される。また、中間層は入力データの関係を学習するための層①Dense(64)と②Dense(64)で構成されている。

歩行データから遊泳の特徴を予測変換した結果を、Fig.5に示す。また、遊泳データから歩行の特徴を予測変換した結果を、Fig.6に示す。なお、青色の線は測定データから求めた標準偏差の平均値 (Fig.3の実線のグラフと同じ値) を示し、オレンジ色の線は予測変換した値を示している。

Fig.5より、歩行データから遊泳の特徴の予測において、90%程度の精度で予測することができた。また、Fig.6より遊泳データから歩行の特徴の予測において、50%程度の精度ではあるが、グラフの形状は似た特徴を示して予測する

ことができた。ただし予測変換は振幅のみであり、位置特長量にすぎないことに注意すべきである。遊泳から歩行への予測変換が困難な原因は、歩行の標準偏差の変位が小さいからである可能性があり、今後検討すべき課題である。

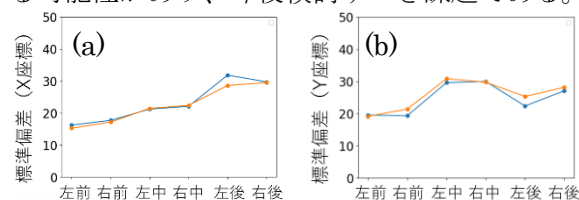


Fig.5 歩行データから予測した遊泳の特徴 (a)X座標、(b)Y座標

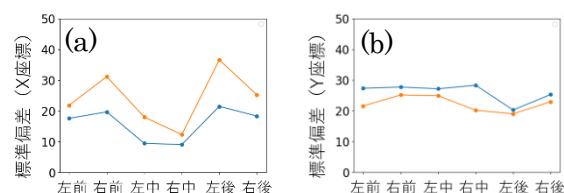


Fig.6 遊泳データから予測した歩行の特徴 (a)X座標、(b)Y座標

6. まとめ

カブトムシの歩行と遊泳における重心からの各脚の先端の軌跡をプロットした。また、軌跡のプロットを簡単な特徴量に落とすために、歩行と遊泳における各脚の軌跡の標準偏差を求め、プロットした。これらによりカブトムシの歩行と遊泳においてそれぞれ異なる特徴を示すことがわかり、各脚の振れ幅に関しての歩行から遊泳の特徴、および遊泳から歩行の特徴への予測変換を行うことができた。

今後は各脚の動かす順番の位相関係を観察データから抽出し、位相情報の推定まで可能な変換器の作成を目指す。

参考文献

- 1) R J Lock, S C Burgess and R Vaidyanathan, "Multi-modal locomotion: from animal to application", R J Lock et al 2014 Bioinspir. Biomim. 9 011001, (2014) pp18
- 2) 島崎滉, 佐々木真, "昆虫歩行・遊泳の時空間ダイナミクス解析-カブトムシの歩行運動と遊泳運動-", 卒業論文, 2023 年