

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—

日大生産工(学部) ○島崎 滉 日大生産工 佐々木 真

1. 背景

昆虫のロコモーションは遺伝的に受け継がれており、陸生昆虫は異常な環境である水域で泳ぐことができる¹⁾。アリの先行研究では水中に置かれても歩行と同じパターンで泳ぐことがわかっているが、これはただもがいて泳いでいるとも言えてしまう²⁾。しかし、他の昆虫で例外が見つかった。その1つがカブトムシである。カブトムシにとっては異常な環境である水域に置かれると、歩行とはまったく異なる運動パターンを示した。カブトムシの陸域(通常環境)での歩行と水域(異常環境)での遊泳に着目し、突発的な環境変動に対するリズム運動の応答や変化から種の弁別ができる可能性がある。昆虫の運動パターンから種の弁別をするという新たな視点から生物の進化論の基盤となる手法を提案する。

2. 目的

今回の概要では、カブトムシの歩行と遊泳運動のパターンをいくつかの視点から検討し、最終的に機械的に分類することを目的とした。カブトムシの脚の軌跡を画像データとして入力し機械学習を用いて歩行と遊泳の運動パターンを分類していく。

3. 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運動において、特有の運動パターンがあるかを調査した。カブトムシの各脚、頭、尾の軌跡データを取得するために国立生物学研究所にて核融合科学研究所の仲田資季博士に協力の下、高速度カメラによる撮影を行った。遊泳運動の撮影は水槽にカブトムシを浮かべ、水槽下に設置されている鏡を利用して行った。

カブトムシの頭、尾、脚の位置を座標データとし、各部位の描く軌跡を画像データとして出

力した。各脚、頭、尾の座標を Fig.1 に示す。頭と尾の2点の中心を重心として定義し、重心から見た各脚の軌跡データを解析対象とする。

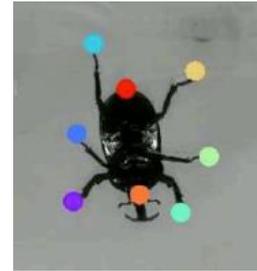


Fig.1 遊泳中のカブトムシの重心と各脚の様子

4. 実験と結果

カブトムシの脚の運動パターンを時系列データからどのようなリズム運動をしているかについて調査をした。Fig.2は時間ごとに左前脚の歩行と遊泳の座標の位置をグラフにしたものである。カブトムシの歩行と遊泳の運動パターンは特徴的である。歩行のグラフは階段状の軌跡を描き、遊泳はスパイク上の波形を描いている。各6本脚すべてが特有の運動パターンを示し、別の個体においても同じ軌跡を描くことがわかった。このことから歩行から遊泳、遊泳から歩行の推定が行える可能性がある。

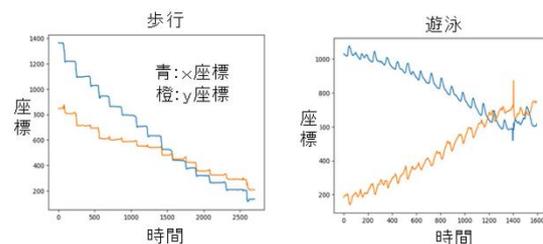


Fig.2 歩行と遊泳時のカブトムシの脚の動き x座標、y座標の時間発展

まず、機械が歩行と遊泳の違いを認識できるかを調べる。各6本脚の軌跡を同時に描いた画像データをニューラルネットワークに入力をし、歩行と遊泳運動の弁別精度を調べた。Fig.3

Analysis spatio-temporal dynamics of insects locomotion
— walking and swimming movements of Beetles —

Hiro SHIMAZAKI, and Makoto SASAKI

は歩行と遊泳の重心から見た各脚の軌跡データである。遊泳は脚の振り幅が大きい軌跡を描き、歩行は脚の振り幅が小さいことがわかる。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。

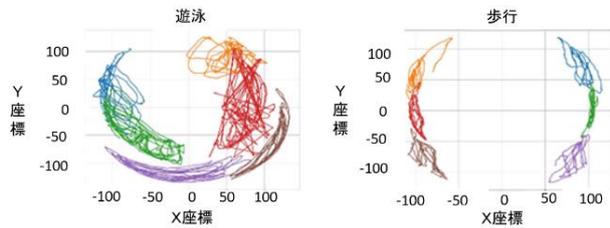


Fig.3 重心から見た各脚の軌跡データ
左図：遊泳運動 右図：歩行運動

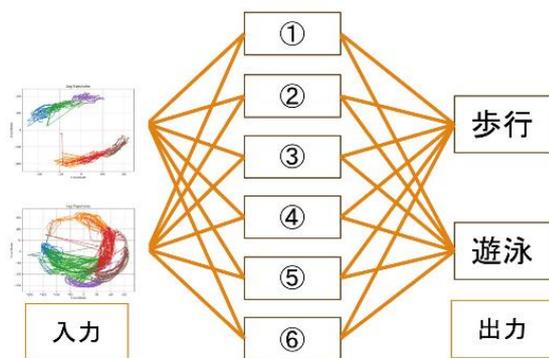


Fig.4 ニューラルネットワークの構造

中間層は画像のパターンや特徴を検出するための畳み込み層①Conv2D(32)、③Conv2D(64)、⑤Conv2D(128)、計算負荷を軽減するためのプーリング層②Maxpooling2D(2,2)、④Maxpooling2D(2,2)、畳み込み層とプーリング層で抽出された特徴を結合し、ネットワークの最終的な出力を生成する、全結合層から構成される。

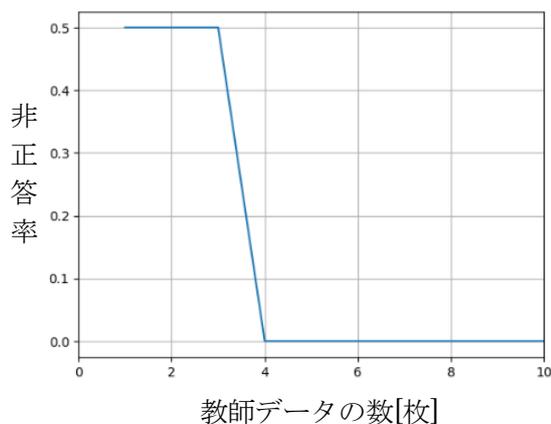


Fig.5 非正答率と教師データの数の関係

Fig.5に教師データに対する非正答率を示す。教師データが4枚以上あれば完全に遊泳と歩行を分類できることが分かった。

5. 展望

上述のように歩行と遊泳の識別はネットワークが行えることをふまえ、歩行から遊泳パターンを推定することを考える。入力データとして、Fig.6に示すような時空間パターンを作成した。脚6本にchannelを対応させ、それを軸にとった時のx座標の値を等高線で示している。Fig.6の左図は歩行、右図は遊泳に対応する。このどちらかを入力し、他方を出力するモデルを検討する。

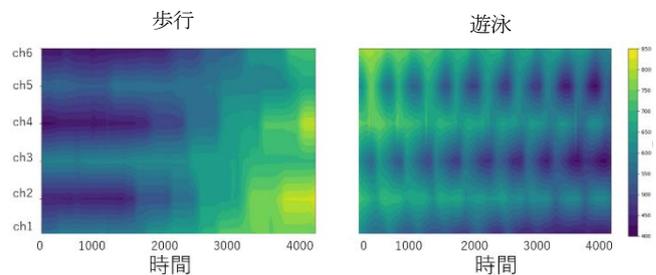


Fig.6 各channelとx座標の時空間パターン

6. まとめ

高速度カメラによる撮影によってカブトムシの重心からの脚の座標をプロットした。カブトムシの歩行運動と遊泳運動には特有のパターンを示すことが分かり、各脚の画像を学習させ歩行と遊泳の分類を機械的にすることができた。

参考文献

- 1) Yehuda Ben-Shahar, "The comparative investigation of the stick insect and cockroach models in the study of insect locomotion", *Current Opinion in Insect Science* (2015), 12, pp.1-10
- 2) Holger Florian Bohn, "Ants swimming in pitcher plants: kinematics of aquatic and terrestrial locomotion in *Camponotus schmitzi*", *Journal of Comparative Physiology A*, 198, (2012), pp. 465-476