

## コバネイナゴの跳躍における疲労の解析

### Fatigue analysis of grasshoppers in jumping experiments

毛利無限, 岩谷靖

Mugen Mori, Yasushi Iwatani

弘前大学 大学院理工学研究科

The Department of Science and Technology, Hirosaki University,

キーワード: コバネイナゴ(Grasshopper), 位置・姿勢推定(Position and posture estimation), トレッドミルシステム(Treadmill system), 跳躍解析(Jumping experiments), 仰角解析(Elevation analysis)

連絡先: 〒036-8560 青森県弘前市文京町 3 弘前大学 大学院理工学研究科 理工学専攻  
機械科学コース 毛利無限

### 1. 研究背景

バッタ目(直翅目)に属するコバネイナゴは, 跳躍に特化した後脚を有し, その後脚を利用して体長に比して約 20 倍もの大きな跳躍を行う<sup>1)</sup>. 跳躍はコバネイナゴにとって特徴的な運動の一つであるが, その動作原理は未解明な部分が多い. 跳躍動作の解析は, コバネイナゴの生態や行動原理の解明に欠かせない.

解析を行うことで, 今後のコバネイナゴの実験における疲労というノイズを排除することが目的となる.

### 2. 跳躍実験

#### 2.1 研究対象

跳躍実験は短翅型のオスのイナゴを対象に, 2019年10月4日~11月5日に, 弘前大学内で行った.

イナゴは, 観察を行う前日の午前9時から午前10時までに, 弘前大学のグラウンド周辺で採取した. 自切体での実験を行う場合は, 採取した際に自切させ, 実験までに24時間以上の時間を確保した. 採取後のイナゴは環境の変化による影響を考慮し, キャンパス内の中庭で飼育した.

## 2.2 実験環境

実験環境は跳躍台 (2 m四方), LED 照明, それぞれフレームレート 100fps, 1000fps のハイスピードカメラ (HAS-L1, DITECT Co., Japan), 球型トレッドミルシステム<sup>2)</sup>, フレームレート 60fps のビデオカメラ (HDR-CX480, Sony Computer Entertainment Inc, Japan), PC から構成される (図 1). 視覚からの刺激を考慮し, 跳躍台周辺を障子紙で囲い, 室内照明を含め左右対称になるように LED 照明を配置した.

## 2.3 実験手順

跳躍実験は以下の手順で実施した. はじめにイナゴを跳躍台の中央手前で頭が奥行方向を向くように載せる. 90 秒経過しても自発的に跳躍しない場合, イナゴの後方から音による刺激で跳躍を誘発する. 120 秒以内に跳躍しなかった場合は実験を終了する. 各個体で 5 回の試行を 1 セットとし, 午前に 2 セット, 午後に 2 セット実施する事で 1 個体につき最大で 20 回の跳躍を観察できる. ただし, 各個体が次のセットの跳躍を行うまで 30 分の休憩ができるように時間を確保した.

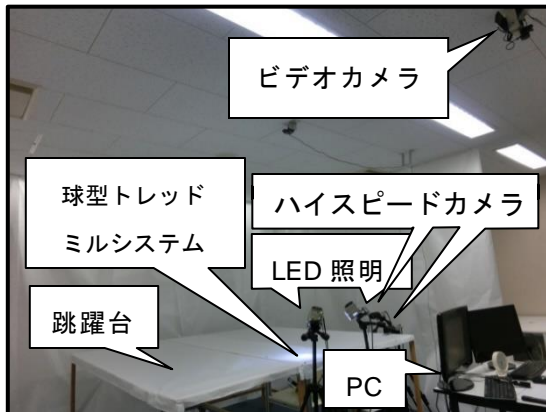


Figure1. 実験環境

## 3. 跳躍距離

ビデオカメラの映像より, イナゴの初期位置を  $(x_0, y_0)$ , 着地位置を  $(x_1, y_1)$  とすると, 跳躍距離  $l$  は次式で与えられる (図 2).

$$l = \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2} \text{ [pixels]} \quad (1)$$

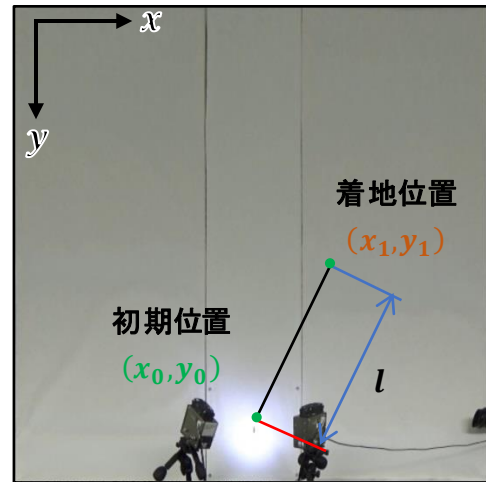


Figure2. 跳躍距離

## 4. 結果

### 4.1 時間における跳躍距離解析

コバネイナゴの跳躍距離に関して, 各個体の跳躍セットごとに平均値を算出し, さらに午前と午後のセットの平均値を求め, 午前と比較したときの跳躍距離の変化をグラフ化する. また, 跳躍距離の変化を「跳躍距離変化率」と定義する.

トレッドミルシステムの材質を無視して, 健全体と左右自切体における全個体の棒グラフ (Figure 4.1) を作成したところ, 健全体はばらつきがみられ, 100% を超える個体とそうでない個体が半数ずつ確認でき, 左右自切体は明らかに 100% を超える個体が少ないことから, イナゴは自切することによって時間経過とともに, 疲労あるいは衰弱などの何らかの影響が確認できる結果となった.

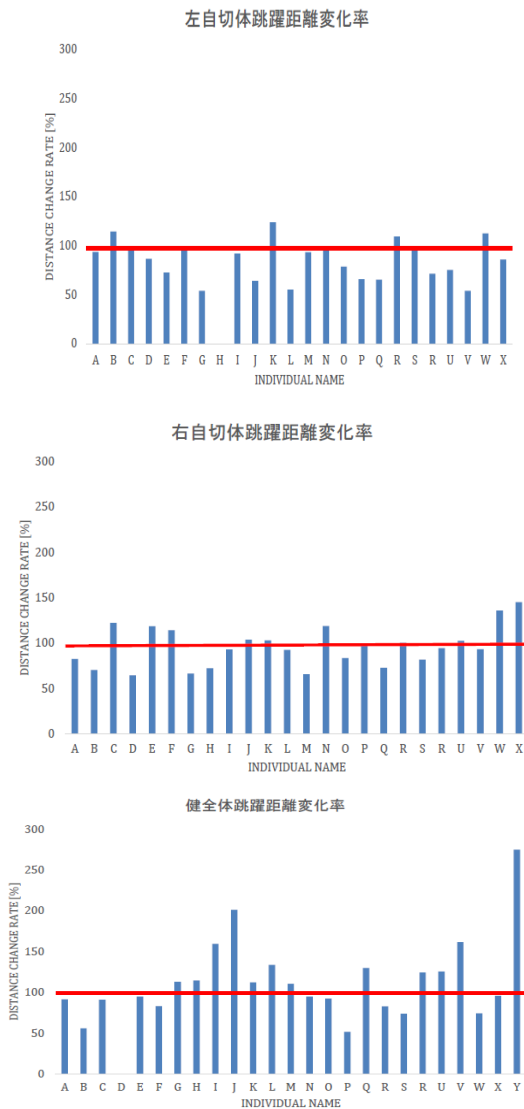


Figure4.1. 各個体の跳躍距離変化率

#### 4.2 回数における跳躍距離解析

時間単位で解析を行った結果、評価方法に跳躍回数のパラメータが含まれていないため、跳躍回数を考慮したデータが必要であることが分かった。時間単位での解析をさらに拡張して、回数における跳躍距離解析を行う。

一日単位での全個体の跳躍回数と跳躍距離の散布図を作成し、それらの平均値を取ったグラフ(Figure4.2)が以下ようになる。

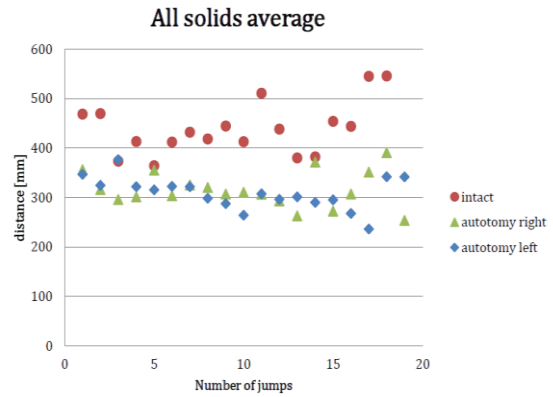


Figure4.2. 跳躍距離と跳躍回数の平均

Table4.1. 各状態の相関係数と標準偏差

	健全体	右自切体	左自切体
相関係数	0.412	-0.079	-0.449
標準偏差	52.243	35.152	31.903

左右自切体の両方の個体に偏差が見られ、一日単位で、跳躍するごとに距離が減衰していることがわかる。これにより、時間単位同様に自切することによって衰弱あるいは疲労等の影響を確認でき、跳躍力の低下が定量的に見られた。

#### 4.3 仰角と跳躍回数における疲労の関係

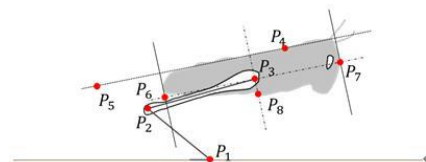


Figure4.3. イナゴの 8 点プロット

上記の図に示す、 $\angle P1P3$  で構成される角度を「仰角」と定義し、跳躍における角度の変化と跳躍回数との関係について解析を行うことで疲労を計測できると考える。

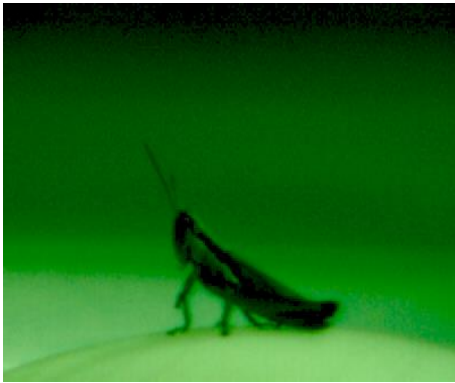


Figure4.4. 跳躍開始角度

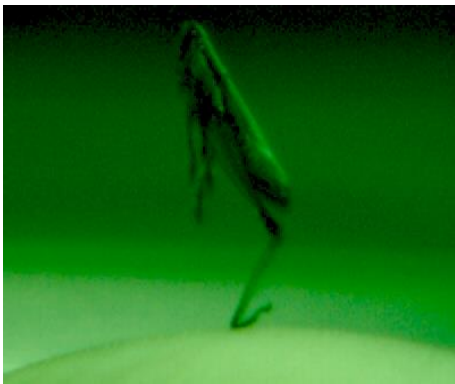


Figure4.5. 完全跳躍角度

上の写真は、コバネイナゴの跳躍動作を観察した動画の1フレームに該当する。

跳躍動作を30フレーム分の画像に分割し、それらを手動でP1~P8に打点することで角度を算出することができる。(以下、点打ちと呼ぶ)

回数を重ねるにつれて仰角が小さくなることを確認するためには、Pic2で示した、完全跳躍時の仰角が小さくなっていればよい。つまり、各個体の跳躍回数と仰角の相関が負であればよいという仮説を立てる。

Table4.2. 健全体の相関係数

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
0.29	-1.00	0.14	-	-0.14	-0.33	-0.83	-0.23	-0.43	0.47	0.46	-0.55

Table4.3. 右脚自切体の相関係数

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
0.35	0.58	0.14	0.06	0.26	0.18	0.28	-0.65	-0.24	0.22	0.19	0.28

Table4.4. 左脚自切体の相関係数

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
0.70	0.30	-0.25	0.41	-0.05	0.54	-0.20	-	-0.07	0.82	0.46	0.39

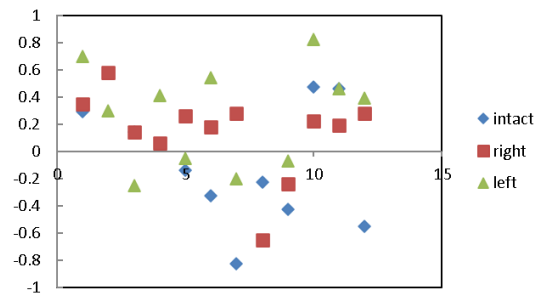


Figure4.6. 全個体の相関係数

Figure4.6.で示す通り、健全体(足を欠損していない個体)に関しては、仮説通りに、負の相関を持つ個体が多くみられた。同様の解析を左右後脚自切体に対しても行った結果、正の相関を持つ個体が多いことが確認された。

健全体には負の相関を持つものが多く、自切体には正の相関を持つものが多く見て取れる。

跳躍開始時と完全跳躍時の仰角の差分は、健全体が負の相関を持つことに対して、左右自切体が正の相関を持っていた。また、過去の論文より、仰角が大きくなれば跳躍高さも高くなることがわかっている。

以上のことより、健全体は跳躍回数が増えると、仰角が小さくなる。つまり、跳躍高さは低くなる。また、跳躍距離は

特定の傾向がなく、個体差依存が強い。

左右自切体は跳躍回数が増えると、仰角が大きくなる。つまり、跳躍高さは高くなる。また、跳躍距離は小さくなっている。

## 5. 考察

健全体においては仮説通りに負の相関がみられるため、疲労の影響を受けている可能性が高い。対して、左右自切体は正の相関をもつため、疲労の影響を受けるどころか、仰角と高さの関係だけでみるとパフォーマンスが向上しているかのように見える。

左右自切体に関しては、仰角・跳躍距離・跳躍高さの3つのパラメータだけでは、疲労しているかどうかを確実に測るには難しいため、他のパラメータを研究する必要がある。そこで、現在行っているのがコバネイナゴの身体データ(脚の重さや長さなど)を用いた疲労解析である。

## 6. 本研究の展望

時間単位と回数単位の2点から疲労による影響の解析を行ったが、どちらも時間或いは回数が経過するごとに、自切を行ったイナゴの跳躍距離は小さくなることがわかった。本実験から得られた影響の可能性を詳しく考察すると、跳躍するごとに疲労あるいは衰弱している。また、虫かごで飼育したことにより虫かごのサイズを超える跳躍に慣れていない可能性がある。外の環境から実験室での跳躍に移行したことによって環境への順応速度の影響も考えられ、跳躍率や跳躍距離に影響していると考えられる。本実験から得られたデータ、結果にてイナゴの疲労あるいは衰弱などの何らかの影響

が跳躍に関係することがわかったが、何が最も影響しているのかが不明の為、別の実験環境にて考察した影響に関して再度実験を行う必要があると考える。本実験では着目していない、横方向からハイスピードカメラで撮影した跳躍高さに関するデータを用いることでより正確な影響を検出することができるのではないかと考える。あるいは、前年度以前の実験環境での試行回数に対する跳躍率と今年度の跳躍率の比較を行うことで、さらなる原因究明につながると考えている。

## 参考文献

- 1) Tsurui, S. Narita, Y. Iwatani and A. Honma: Change in take-off elevation angle after limb autotomy mitigates the reduction in jumping distance in rice grasshoppers *Oxya yezoensis*, *Entomological Science*, Vol. 17, No. 2, pp.181-190, 2014.
- 2) 一杉 大輝: バッタ類の跳躍解析のための球形トレッドミルシステムの開発, 卒業論文, 2015