

# アギトアリの大顎の超高速運動解析に向けた 高速度画像計測手法

北海道大学 ○松田朝陽, 北海道大学, 科学技術振興機構 CREST 青沼仁志,  
北海道大学 金子俊一

## 要旨

アギトアリと呼ばれるアリが持つ大顎は超高速運動で閉じる。この速度の生成原理は解明に至っておらず、これを解明することは生物学において有用であり、かつ将来的には工学分野においても応用が期待される。本稿では大顎の運動を高速度カメラで撮影した画像群から大顎部を検出し、高精度に照合する手法について提案する。このとき、2種類の異なる性質の画像間で照合を実施することで、低照度環境下におけるノイズに対応した。

## 1 はじめに

本研究ではアギトアリ属 *Odontomachus* (特にアギトアリ *O. monticola* (図1), オキナワアギトアリ *O. kuroiwa* (図2)) を研究対象と定める。これらのアリが持つ *Trap-jaw* と呼ばれる大顎は大きく開いた状態でロック状態となり、ロックが外れると同時に超高速で閉じる。ロック時に大顎の内転筋および腱が収縮することにより各組織に生じる張力が超高速運動に寄与していると考えられるが[1], 機構の詳細については解明に至っていない。

我々の研究グループでは、高速度カメラによる大顎の運動計測を実施している。高速度カメラは高速で運動する物体の撮影に長けたカメラであるが、一方で、高速なシャッタースピードに起因する光量低下や CMOS センサの撮像方式に伴うパタンノイズやゴーストが課題となる。近年では、カメラの高精度化が進んでいるが、同時にコストが増加する。より安価なカメラで生物の行動計測を行うことは生物学分野において需要があり、計測手法を確立することでこの問題にアプローチすることが本研究の意義である。

以下にて本稿で述べる内容について簡潔にまとめる。使用するデータは、高速度カメラ (HAS D-71C, DITECT) を顕微鏡に装着して、アギトアリの大顎の運動を撮影した画像群 (フレームレート: 30,000fps, シャッタースピード: 1,000,000s) である。これらの各フレームより運動する大顎の回転角度を高精度に算出することを目指す。この際、撮影した画像上には前述した課題が生じるため、いくつかの処理によりこれらに対応する。



図1 *O. monticola*



図2 *O. kuroiwa*

## 2 提案手法

高速度カメラにより撮像される画像はノイズを多く含み、かつ低照度である。そのため、一般的なテンプレート照合法等の適用は困難である。本研究では、運動中の大顎の画素の集合を点群とみなし、M-ICP[2]によりこれらに対応する。また、この際、性質の異なる2種類の画像間で照合を実施することで精度向上を図る。

### 2.1 ゴースト除去

前述したゴーストの除去手法について述べる。図3は時刻  $t$  において右の大顎が先に閉じている例であり、図中  $\alpha$  がこのフレームでの正しい位置を示し、 $\beta$  と  $\gamma$  がゴースト部である。先に、正しい大顎の位置にある画素はゴースト上にある画素より明度が低くなるという知見を実験的に得た。この特性を利用し、2フレーム (画像  $a_t, a_{t-1}$ ) における同一画素間の明度関係を利用することでゴースト除去画像  $b_t$  を式(1)に従い、新たに生成する。

$$I_{(x,y)}^{b_t} = \begin{cases} 0 & \text{if } I_{(x,y)}^{a_{t-1}} > I_{(x,y)}^{a_t} \\ 255 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 $I_{(x,y)}$  は各画像における座標  $(x,y)$  の画素が持つ明度値である。実際に図3に示す3枚の時系列画像をそれぞれ  $a_t, a_{t-1}, a_{t-2}$  とし、式(1)に従い生成したゴースト除去画像  $b_t, b_{t-1}$  を図4に示す。同図から各時刻におけるゴースト部が除去されていることが確認できる。

### 2.2 パタンノイズ除去

次に、パタンノイズの除去手法について述べる。処理には2つの処理を適用する。まず、大顎部は背景部と比較して黒画素の密度が高いことに着目し、 $3 \times 3$  画素の領域毎にゴースト除去画像を全走査し、黒画素をカウントする。そして、各領域において黒画素が6画素以下の場合、中心画素の明度値を255とし、新たに大顎抽出画像

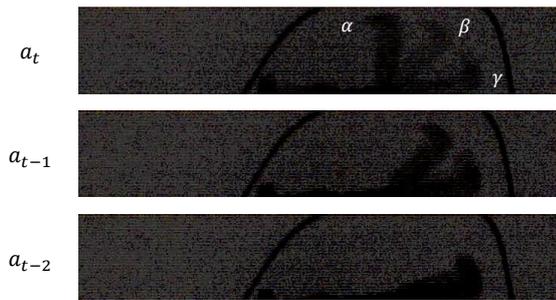


図3 大顎部のゴースト

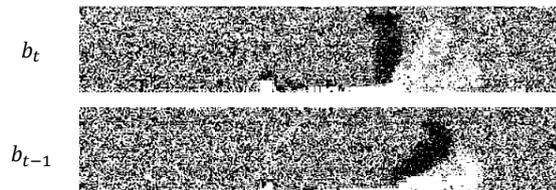


図4 ゴースト除去画像

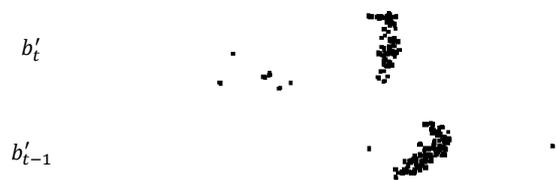


図5 ノイズ除去画像

を生成した. さらに, 次の処理として収縮・膨張を実施する. この一連の処理を2回繰り返すことで, 図5に示すノイズ除去画像 $b'_t$ ,  $b'_{t-1}$ を生成する.

### 2.3 M-ICPに基づく大顎の照合

照合の際, 高速度撮影画像は低画質のため参照画像には適していない. そこで本研究では, 高速度画像と同じ環境下でフレームレートおよびシャッタースピードを下げて撮影した画像を良質画像と定義し, これを照合に使用する. すなわち, 良質画像とノイズ除去画像の2つの異なる性質の画像間で M-ICP[2]による照合を行う. M-ICP は例外値を含む場合に頑健な M 推定法に基づく ICP (Iterative Closest Point) であり, 2つの点群が整合するように, それぞれの姿勢関係を調整する方法の一つである. 良質画像とノイズ除去画像群間でこの手法を適用し, 大顎の回転角度を算出する.

### 3 実証実験

提案手法の有効性を示すため, 実証実験を行った. ここでは, 良質画像 (図6; フレームレート: 500fps, シャッタースピード: 1/1000s) から図7に示す参照画像を生成し, 低品質画像群 (図8; フレームレート: 30,000fps, シャッタースピード: 1/100,000s) に対して照合を実施した. 実験結果を図9に示す. 同図は, 参照画像の大顎の角度を基準とした際の角度差をプロットし, サンプル点間を3次スプライン曲線で補間したものである. 青色プロットは本提案手法により自動照合された角度値, 橙色プロットは目視計測による観測値 (真値とみなす) を示す. これより提案手法による照合誤差はいずれも10度以内となった.



図6 良質画像



図7 ノイズ除去画像

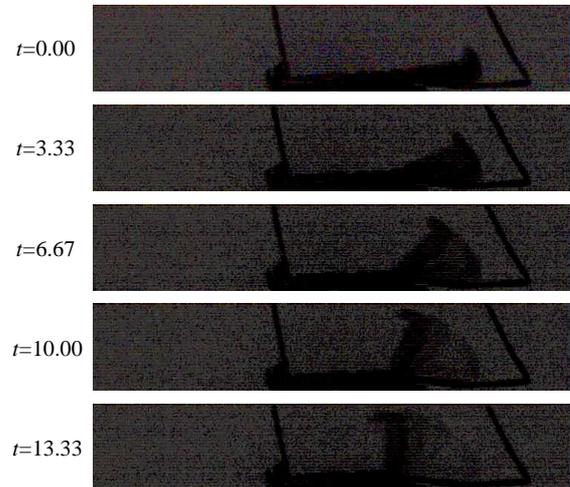


図8 高速度画像群

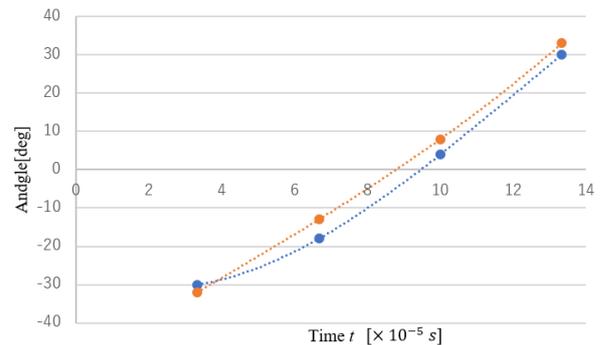


図8 回転角度算出結果

## 4 おわりに

本稿では, アギトアリの大顎の超高速運動の高精度な計測を目的とし議論を展開した. 高速度カメラにて撮影された画像に生じるゴーストに対応するため, 2枚のフレーム間の明度関係を利用することで大顎部を抽出し, 2種の異なる性質の画像による回転照合を実施した. 結果として, 自動照合による角度算出を可能とし, 主観評価に依らない自動計測の可能性を示唆した.

### 参考文献

- [1] W. Gronenberg: "The trap-jaw mechanism in the dacetine ants *Deceton amigerum* and *Strumigenus sp.*", *The Journal of Experimental Biology*, vol. 199, no. 9, pp. 2021-2033, 1996.
- [2] 金子俊一, 近藤友紀, 宮本敦, 五十嵐悟: "M 推定を導入したロバストICP 位置決め法", *精密工学誌*, vol. 67, no. 8, pp. 1276-1280, 2001.