

## 動画像を用いた動物行動の自動計測・認識の研究

濱田 未来 伊藤 雅人 福添 孝明 渡邊 睦

鹿児島大学 大学院 理工学研究科

〒890-0065 鹿児島市郡元 1-21-40 Tel: 099-285-8453

E-mail: {sc102048, sc100005, sc098053, mutty}@ics.kagoshima-u.ac.jp

あらまし 動物行動学的な調査のために動画像を記録し、解析を行うことが必要となる。しかし、多量の動画像を手動で解析することは大変な労力と時間拘束を伴う。そこで、解析に要する負担を軽減すること、また、ヒューマンエラーを防止し、客観的な指標を持つ動物行動解析手法を構築することを目的に研究を行っている。具体的な動物としてウズラを選択し、高速度カメラで撮影した映像を用いてエッジヒストグラムの変化を解析することによる食餌タイミングの自動検出及びエッジ抽出結果に尖度評価を施すことによる嘴先端位置検出・3次元軌跡算出を行うシステムを開発した結果について述べる。

キーワード 動物, 自動計測, 認識, 尖度, サッケード運動

## Automatic measurement and recognition of animal behavior by Image sequence

Miku HAMADA, Masato ITOU, Takaaki FUKUZOE, and Mutsumi WATANABE

Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima University  
1-21-40 Korimoto Kagoshima, 890-0065, Japan

E-mail: {sc102048, sc100005, sc098053, mutty}@ics.kagoshima-u.ac.jp

**Abstract** It is necessary to record and analyzing for ethological investigation. However, the manual analysis of large amount of image sequence accompanies hard labor and constraint time. For the purpose of reducing time and human error, we have started the research of automatic analyzing animal's action to establish objective index.

We selected the quail as a concrete animal. The system consists of two sub-systems;

- Automatic detection of peck timing by analyzing temporal change in edge histogram.
- Automatic detection and tracking of bill position to calculate 3-D locus using "Kurtosis" evaluation.

Experimental results have showed the effectiveness of the proposed method.

**Keyword** Animal, Automatic measurement, Recognition, Kurtosis, Saccadic movement

### 1. はじめに

生物個体は、行動を通じて、環境世界に適應し、生命を次世代へ伝達していく。動物の行動に焦点を当てることにより、そのメカニズム(分子機構、神経系、運動系)、発達(遺伝と環境の相互作用)、能力(生存値)、進化(歴史的由来)の諸相がはっきりと連関して見えてくる。動物の行動を修めるこ

とはいわば、生物学の十字路であり、入り口であ

る。この意味で動物行動に目を向けることの重要性は限りなく大きい。動物行動には、自己防衛のための防衛行動、繁殖のための繁殖行動、餌を食べるための採餌行動、ものを見るための注視行動など様々な行動が挙げられ、さかんに研究されて

いる。

しかしながら、動物行動を解明するためには長期的な調査・解析が不可欠である。そのため、観察者に大変な拘束と労力を伴う。

人間をはじめとする動物は、眼球内の網膜で、光を感知し、脳に信号を伝え、視野に映る物や景色を認識する注視行動を行う。網膜に対して景色が動く、映像が変化し、うまく見ることができないが、人間は無意識に目をこまめに動かすことで物や景色を追う眼球運動ができる。ところが、鳥類は目をわずかし動かすことができない。そこで、鳥類は頸部(頭部)を動かすことでよく見るようにしている。この注視行動は、頭部サッケード運動[1]と呼ばれ、鳥類独特の運動である。

現在、採餌行動中のウズラの注視行動によって脳機能にどのような作用をもたらすのか解明するため、単眼カメラで撮影したウズラの採餌行動を動画像のデータとして蓄積し、解析を行っているが、膨大な量の画像データを目視によって解析を行っているため、疲労などによるヒューマンエラーが問題となっている。

そこで我々はこれらの問題を改善するために、ヒューマンエラーを防止し、客観的な指標を持つ動物行動解析手法を構築する研究を行っている。具体的には、単眼の高速度カメラで撮影した動画像を用い、エッジヒストグラムの変化を解析することによる食餌タイミングの自動検出及びエッジ抽出結果に尖度評価を施すことによる嘴先端位置検出・3次元軌跡算出を行い、ウズラの採餌行動解析を行う。

以下、2章では従来研究と課題について述べ、3章では鳥類の採餌行動について詳細を述べる。4章では、まず、本システムの概要について述べ、その後、各処理の詳細について述べる。5章では、提案手法を検証する実験を行い、6章で考察・検討し、最後に7章でまとめとする。

## 2. 従来研究と課題

近年、動物体の追跡を実現する方法が提案され、それに基づいて機器・技術開発が行われるようになっていく。実現する方法の例として、追跡対象の矩形領域の特徴的な部分をテンプレートとする、テンプレートマッチングを行うことにより実現する方法やオブジェ

カルフローを用いて背景と対象とのフローの違いにより、対象の切り出し追跡を行う方法[2][3]が研究されている。また、機器・技術開発の例として、ラットマウスの行動解析を行う機器として開発された「Smart」[4](バイオリサーチセンター株式会社)や「CompACT VAS/DV」[5](室町機械株式会社)が商品化されており、多数の研究施設で利用されている。

テンプレートマッチングは入力画像と参照画像(テンプレート画像)とを重ねあわせることにより比較照合する方法であり、テンプレートの学習が行えるという利点がある。しかし、単一のテンプレートを用いた場合、光量の変化による対象の見え方の変化や対象の3次元的な見え方に対し、対応できない。

フローを用いた研究では、動きの情報を利用してため複雑背景下において移動物体の動きが正しく抽出されれば安定に追跡を行えるという利点がある。しかし、動物体が一定の動きを行えないような状況ではフローが検出されない。そのため、追跡精度が不十分である。

「Samrt」や「CompACT VAS/DV」は、空間分解能が高いため、僅かな動作も感度良く正確に解析することができる。また、領域の1動物の行動解析から複数領域の複数動物、同一領域内の複数動物の行動を捉えることができる。しかし、取り扱える動画像は一方向からの撮影された動画像のみであるため、平面的な活動を解析することに限られ、3次元的な行動の解析には困難である。

本稿では、高速度1台を用いることによる食餌タイミング及び嘴先端位置の自動追跡方式及び後者の結果に基づき嘴先端位置の3次元軌跡の算出を行った結果について述べる。

## 3. 採餌行動について

本章では動物行動の1つである採餌行動について説明する。

### 3.1 採餌サイクル

ウズラを代表とする鳥類が注視行動のために、対象物(餌など)を捉える際、眼球よりも頸部(頭部)を

大きく動かす。1章においてこの頸部(頭部)を急速に移動させる運動を頭部サックード運動について述べたが、頭部サックード運動の例として採餌サイクルが挙げられる。採餌サイクルとは図1に示す行動サイクルのことである。

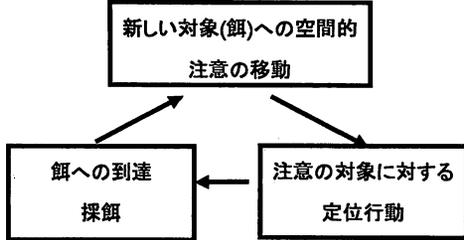


図1 採餌サイクル

本章では採餌サイクルの詳細について述べる。

### 3.2 新しい対象(餌)への空間的注意の移動

空間的注意の移動とは、詳細な処理を行う対象を選ぶ神経過程である。視覚を例にとると、視野の中の多くの対象の中から一つを選択するこの空間的注意の過程は、トップダウン的な影響下での複数の対象間の競合過程であるとみなすことができる。

### 3.3 注意の対象に対する定位行動

「定位」とは位置を定めることである。今回の場合、動物が新しい対象(餌)への空間的注意の水平移動を完了し、餌を見定めたことをいう。

今回我々は、採餌サイクルに含まれる、ついでに行動から新しい対象物(餌)への空間的注意の移動の計測をするため「食餌タイミングの自動検出」を行い、新しい対象物(餌)への空間的注意の移動から注意の対象に対する定位行動を計測するため「採餌行動認識処理」を行う。

## 4. 自動計測システムについて

本章では、はじめに処理の概要について述べ、その後、各処理の詳細について説明する。

### 4.1 処理の概要

本システムは、

- ・食餌タイミングの自動検出
- ・採餌行動の認識処理

の2構成から成り立つ。各々の処理の流れを図2、

図3に示す。各処理の概要は以下のとおりである。

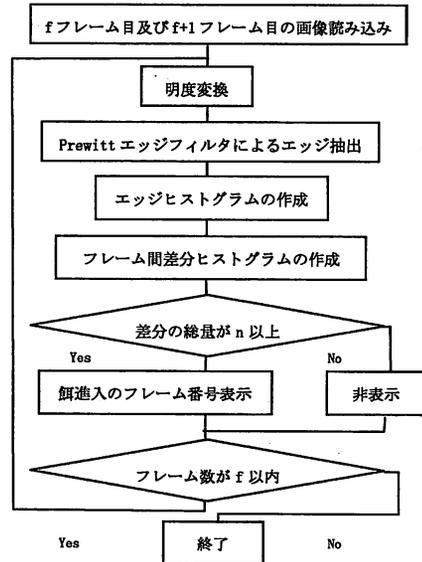


図2 食餌タイミングの自動検出の流れ

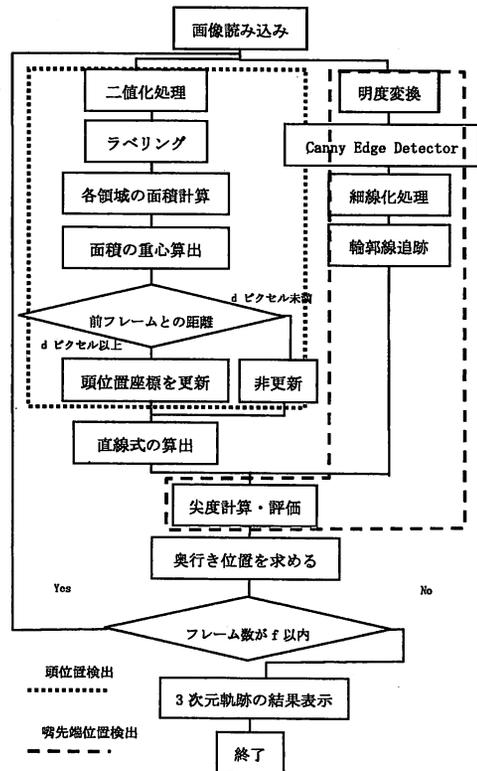


図3 採餌行動の認識処理の流れ

## 4.2 食餌タイミングの自動検出

まず、 $f$  フレーム目及び  $f+1$  フレーム目の画像読み込み ( $f \geq 0$ )、各画像について明度変換を行い、白黒画像を生成する。そして、生成された白黒画像に対しエッジ処理を行い、エッジヒストグラムを作成する。

### (4.2.1)

次に、生成された差分ヒストグラムに、閾値処理を行い、餌の進入を判定する。(4.2.2)

これらの処理を繰り返すことにより食餌タイミングの検出を進める。以下では、まず差分ヒストグラムの作成について説明し、餌進入の判定について述べる。

### 4.2.1 差分ヒストグラム

差分ヒストグラムを生成するため、はじめに得られた  $f$  フレーム目及び  $f+1$  フレーム目の画像に明度変換を行い、白黒画像を生成する。次に、得られた白黒画像に対し、Prewitt エッジフィルタ処理を行い、エッジ画像を生成する。エッジフィルタには、Sobel エッジフィルタやラプラシアンフィルタがあるが、Prewitt エッジフィルタは、ぼけた部分に対して差分をとる範囲の広いという特徴をもつことから利用した。でさらに、生成した  $f$  フレーム目、 $f+1$  フレーム目のエッジ画像から餌箱領域のヒストグラムを作成する。そして、1 フレーム間の差分ヒストグラムを作成する。

### 4.2.2 餌進入の判定

餌が進入した際、エッジの差分ヒストグラムの総量が増加する。餌の進入を濃度値の変化ではなく、エッジ全体の変化としてみるため、餌進入の判定には4.2.1 で作成した差分ヒストグラムを用いる。差分ヒストグラムの総量が  $n$  以上であった場合、餌が進入したと判定する。

## 4.3 採餌行動の認識処理

まず、画像を読み込み、ウズラの頭位置 2 箇所を検出する。(4.3.1)

次に、嘴先端位置を検出する。(4.3.2)

最後に、頭位置 2 箇所と嘴先端位置に 3 次元情報が既知の静止画像とのキャリブレーションを行い、奥行き位置を求める。そして、頭位置、嘴

先端位置、奥行き位置の 3 点から嘴の 3 次元軌跡を算出する。(4.3.3)

これらの処理を繰り返すことで採餌行動の認識処理を進める。以下では、まず頭位置の検出方法について説明し、次に嘴先端位置の検出方法について説明し、最後に嘴の 3 次元軌跡の算出方法について述べる。

### 4.3.1 頭位置の検出

ウズラの頭位置を検出するためにラベリング処理を用いる。ロバストな青色コンデンサ 2 箇所を頭位置とする。まず、コンデンサの青色領域を抽出しなければならない。そこで、照明条件が変動しても青色識別が可能となるように識別条件を 2 つ設定し、青色識別を行う。次に、抽出した青色領域に対し、ラベリング処理を行い、連結領域を抽出する。抽出した連結領域の面積上位  $S$  位までの領域について各々の重心座標を求める。この  $S$  点を頭位置の候補点とする。そして、頭位置の候補点から頭位置を決定する。連続的な動きであるということからも 1 フレーム間での急激に座標が変化するとは考えにくい。そのため、1 つ前のフレームの頭位置座標と頭位置候補の座標の距離が  $d$  ピクセル以内の座標を頭位置座標とする。

### 4.3.2 嘴先端位置の検出

嘴位置は鳥類の嘴の特徴である「くの字型」に注目する。嘴位置を抽出するために入力画像に明度変換・Median Filter 処理を行う。次に、Canny Edge Detector 処理・細線化処理を行う。Canny Edge Detector には、

- ・ガウシアンフィルタの利用により、ノイズに対してロバストである。
- ・非極大点抑制処理を行い、得られるエッジの幅が 1 である。
- ・エッジを求めるための閾値が 2 つあるため、得られるエッジが途切れにくい

という特徴があり、エッジの途切れの無い嘴の形状を得るために、Canny Edge Detector を使用した。しかし、エッジが途切れにくいという特徴が挙げられては

いるが、実際、エッジの形状が一本のひも状のものや途中で途切れているなど、エッジが完全に取りえない場合がある(図4)。そこで、細線化処理を行った画像の有効画素に対する輪郭線追跡を行う。そして有効画素(エッジ部分)の座標を取得する。最後に、取得した座標に尖度評価を行い、嘴位置を決定する。

以下、尖度評価[6]について述べる。尖度  $K_w$  とは、データの分布の尖り具合を表す指標である。有効ケース数を  $n$ 、各ケースの測定値を  $X_i(i=1,2,\dots,n)$  とすると、以下の①式で定義される。

$$K_w = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4 / (n\sigma^2) - 3 \quad \dots \textcircled{1}$$

$$K_w = \begin{cases} = 0, & \text{正規分布と同程度} \\ > 0, & \text{正規分布より鋭い} \\ < 0, & \text{正規分布より扁平} \end{cases}$$

尖度は1次元のデータを取り扱う。ところが、取得した有効画素は2次元であるため、尖度を取り扱うためには1次元のデータに変換する必要がある。まず、3.3.1章で得られた2箇所の頭位置座標を用いて2点間の直線式を求め、直線と有効画素の座標との距離を1次元のデータとする。下の表5は、変換した1次元データ(距離)の例、図6は基になるエッジ画像例の模式図である。縦軸は距離(ピクセル)を、横軸は追跡した順番を表している。



図4 生成されたエッジ画像例のパターン模式図

表5 距離データ例

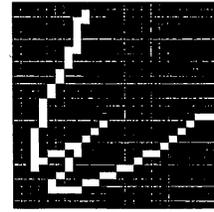
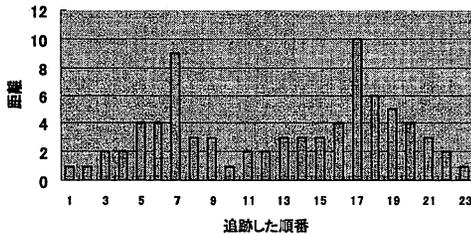


図6 生成されたエッジ画像例の模式図

次に、得られた1次元データを用い、有効ケース数  $n=11$  としたグループの尖度評価を行う。以下に評価方法を示す。

- (1) 1~11を1グループとした尖度評価を行い、尖度値を記憶する。
- (2) 次に、2~12を1グループとした尖度評価を行い、尖度値を記憶する。
- (3) 横軸の開始位置を1つつ増加させ、グループが作れなくなるまで尖度評価を行い、尖度値を記憶する。

求めた尖度値の高いグループの中央値の座標を嘴先端位置座標とする。

#### 4.3.3 嘴の3次元軌跡の算出

4.3.1および4.3.2で求めた頭位置と嘴先端位置座標を用いた3次元軌跡の算出を行う。まず、ウズラの頭部を30度ずつ回転させた画像をあらかじめ撮影しておき、奥行き情報を記録する。次に、3次元軌跡の算出を行うために、奥行き情報既知の画像から得られた頭位置と嘴位置の2点間の距離情報と4.3.1と4.3.2で求めた頭位置と嘴位置の2点間の距離情報に対応づけさせ、キャリブレーションを行い、奥行き情報を求める。最後に、頭位置、嘴先端位置、奥行きを3点から嘴の3次元軌跡の算出を行う。

## 5. 実験

### 5.1 実験条件

前章で述べた方式に基づき、動物行動の自動計測・認識を行うシステムを汎用パソコン上のソフトウェアとして試作し、提案手法の妥当性を確認する実験を行った。実験に使用したPCのCPUはPentiumIV 3.2 GHz、OSはWindows XP Professional、プログラ

ミング言語は Microsoft 社製 Visual C++ 6.0 である。モデリングツールは OpenGL を使用した。PC への動画像の取込みには Matrox 社製 Meteor II キャプチャボードを用い、サイズ 200×200 画素、秒間 100 フレームの朋栄社製高速度カメラ VFC-300 で撮影した動画像を使用した。

## 5.2 実験結果

この試作プログラムを用いて、まず、上方向から撮影した動画像を用いて食餌タイミングの自動検出を行う実験を行った。次に、横方向から撮影した動画像を用いて採餌行動を認識する実験を行った。最後に採餌行動を認識する実験から得られた結果を用いて嘴先端位置の 3 次元軌跡を算出・可視化する実験を行った。

### 5.2.1 餌進入認識の実験

食餌タイミングの自動検出の評価を行うための実験をフレーム数  $f=1360$  に対して行った。初期パラメータとして差分ヒストグラムの総量  $n=30$  の処理結果を図 7 の①～④に時系列的に示す。

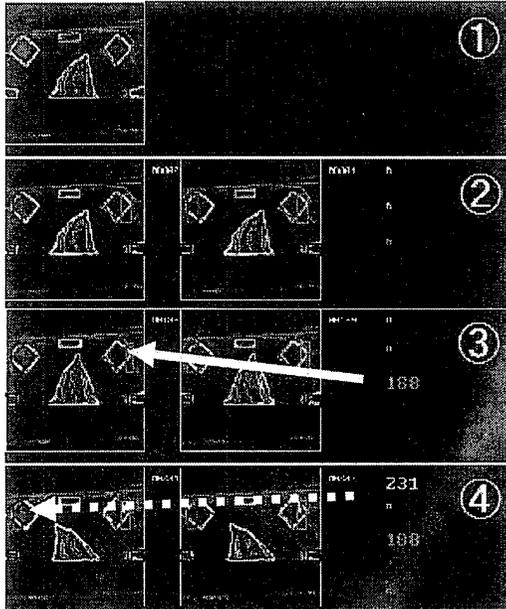


図 7 食餌タイミングの自動検出処理例

③では 188 フレーム目で実線の矢印が示す餌箱に餌が

進入したことが、④では 231 フレームで破線の矢印が示す餌箱に餌が進入したことがわかる。餌進入の認識率の結果を表 8 に示す。

表 8 食餌タイミングの認識結果

	赤	黄	緑	青	紫
システム	1	0	1	0	0
目視	1	0	1	0	0

認識率(システム/目視)は 100%となった。

### 5.2.2 実験 2 頭位置・嘴先端位置の実験

頭位置と嘴先端位置の検出精度を評価する実験をフレーム数  $f=4061$  に対して行った。初期パラメータとして青色であるという条件を、

$$R: 50 \sim 110 \quad G: 70 \sim 220 \quad B: 168 \sim 255$$

$$R: 50 \sim 110 \quad G: 70 \sim 220 \quad B: 95 \sim 255$$

とし、面積の上位  $S=4$  位、前フレームとの距離  $d=5$  とした。処理結果を図 9 の①～⑧に示す。

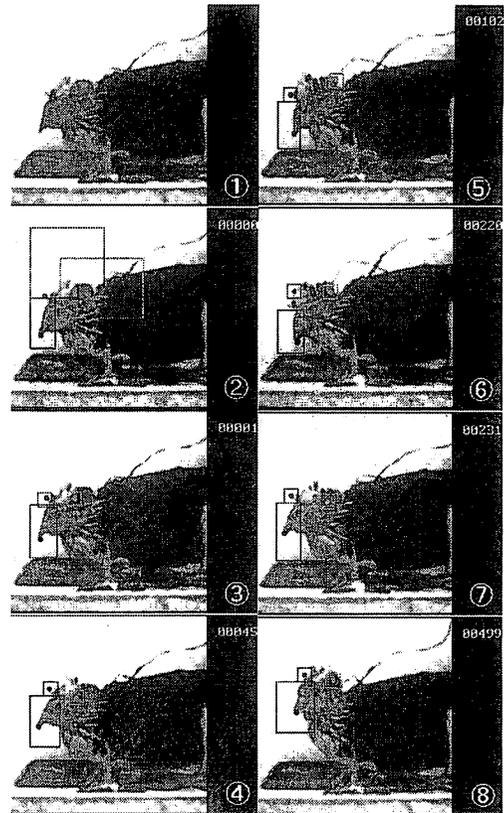


図 9 頭位置・嘴先端位置の追跡処理例

②において、ウズラがカメラから見て頭を横方向に移動した際、頭位置 2 箇所・嘴先端位置 1 箇所が追跡できていることが確認できる。その後、②③④で下方向に頭が移動した際でも見失うことなく 3 箇所とも追跡できていることが確認できる。⑤⑥⑦⑧では、頭がカメラから見て横方向から正面方向へ移動しているが、追跡できていることが確認できる。頭位置、嘴先端位置の認識率は、それぞれ 75.83%, 83.15% となった。

### 5.2.3 嘴先端位置の 3 次元軌跡可視化

図 10 は嘴先端位置の軌跡を 3 次元化した画像の説明である。白領域は実際の画像を表す。赤色の軸は画像上の  $x$  座標、緑色の軸は画像上の  $y$  座標を表す。また、青色の軸は奥行きを表す。■は嘴位置の 3 次元軌跡を、一は残像を表す。■は嘴が手前方向に向いた場合明るい緑色(■)、奥方向に向いた場合暗い緑色(■)に変更するように設定し、視覚的に嘴がどの方向に向いているか分かるようにした。図 11 は、嘴先端位置の 3 次元軌跡を算出・可視化を行った結果である。

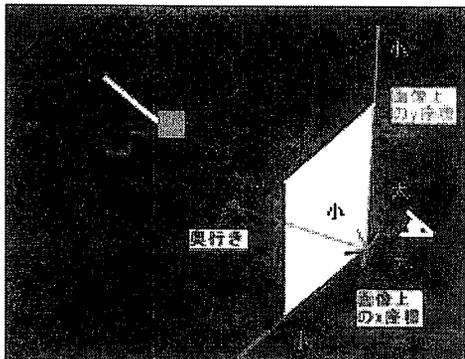


図 10 可視化画像の説明

①～②は可視化処理を実行する直前の画像である。③～⑧は 4.2.2 の②～⑧の頭位置・嘴先端位置から 3 次元軌跡を算出し、可視化した結果である。嘴先端位置が定性的に正しく 3 次元軌跡として捉えられていることが分かる。

## 6. 考察

以下の 2 点について考察を行った。

1. 餌進入タイミングの精度
2. 嘴位置の 3 次元軌跡の算出精度

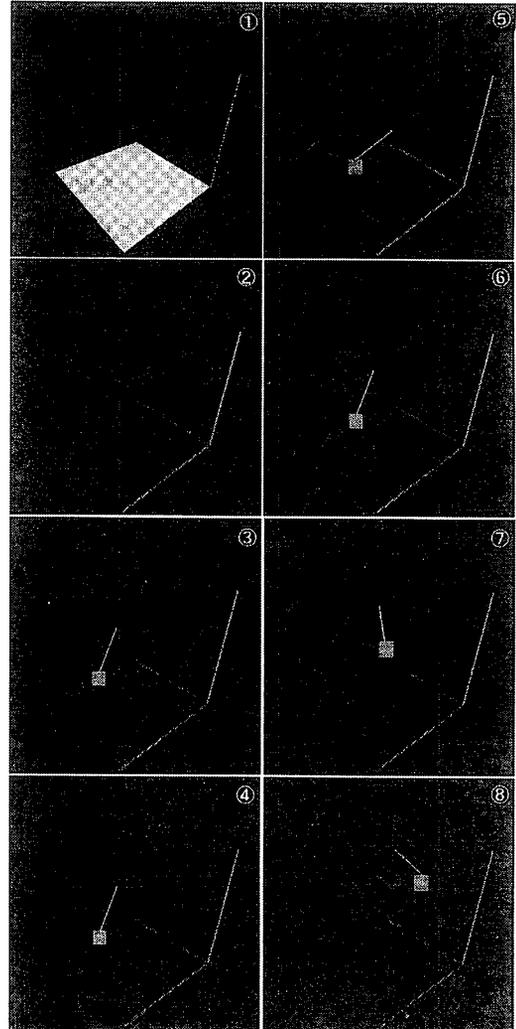


図 11 嘴先端位置の 3 次元軌跡の可視化例

以下各々について考察する。

### 6.1 餌進入タイミングの精度

設定した餌箱の処理領域内に餌が進入していることを正確に捉えられているか精度について考察する。餌侵入は目視で確認した回数とシステムが認識した回数で評価した。

今回の実験では、目視とシステムの認識回数が同一であったことから食餌タイミングを自動検出する方法として有効であったと考察される。

### 6.2 嘴位置の 3 次元軌跡の算出精度

嘴位置の 3 次元軌跡の算出が正しくできているか考

察する。今回は定量的な計測を行うことができなかったため、定性的に3次元軌跡を確認した。

3次元軌跡を確認すると、頭位置の検出率 75.83%、嘴先端位置の検出率 83.15%と双方の追跡が成功した場合、定性的に軌跡を算出が成功したことを確認できた。よって、3次元軌跡を算出する方法として有効であったと考察される。しかし、頭位置、嘴先端位置のどちらか一方でも追跡が失敗すると誤った3次元軌跡が見られた。

以上のことから誤った3次元軌跡の算出される原因は以下の理由であると推察される。

#### (1) 2次元画像における嘴位置座標と頭位置座標の誤検出

高速度カメラで撮影していることからフレーム間に急激な変化が見られることは考えにくい。このような問題点の改善策としては補間処理が考えられる。補間処理を行うことでフレームの前後の関係から誤りを訂正し、正しい座標にすることが可能であると考えられる。

## 7. まとめ

本研究では、単眼の高速度カメラで撮影した動画像を連番BMPファイルに変換した静止画像を連番処理し、擬似的な動画像を用い、ウズラの採餌行動を自動計測・認識するための手法を提案し、食餌タイミングを自動計測できることが確認できた。また、採餌行動中の嘴位置の3次元軌跡を定性的に確認できた。

## 謝 辞

本研究は、日本学術振興会の科学・基礎研究(C)(2)のプロジェクト「分散視覚エージェントの統合に基づく親和的情報空間の展開」(平成15年度～17年度、課題番号:15500115)の援助を受けた。

また、本研究を進めるにあたり、ウズラの画像の提供して下さいました鹿児島大学工学部情報工学科の内山研究室の皆様へ深謝します。

## 文 献

[1] 大野裕史, 大迫政徳, 有村ふく, 福田仁, 内山博之: "視覚誘導性行動時の向網膜ニューロンの活

動", 電子情報通信学会技術報告書 NC2004-199, Vol.104 No.760 pp35-39, 2005

[2] 白井良明, 三浦純: "複雑背景における人の追跡", 情報処理学会論文誌: コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM) 研究会論文誌, vol.43, no.SIG4, 2002

[3] 羽下哲司, 鷺見和彦, 八木康史: "時間平均シルエットを用いた能動カメラによる人の追跡", 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol. J88-D-II No.2 pp.291-301, 2005

[4] パイオリサーチセンター株式会社, ビデオ画像行動解析装置「Smart」  
[http://www.brck.co.jp/product/smart\\_sp32.htm](http://www.brck.co.jp/product/smart_sp32.htm)

[5] 室町機械株式会社, DV-Track ビデオ・トラッキング・システム「CompACT VAS/DV」  
<http://www.muromachi.com/products/vasdv.html>

[6] 青木繁信, 『尖度 (Kw)』, 群馬大学 社会情報学部 社会情報基礎講座  
<http://aoki2.si.gunma-u.ac.jp/lecture/Univariate/kw.html>