

集団の中の個体の行動の自動計測システムの開発

—オタマジャクシの群行動への応用—
(分担研究：相互作用と乳幼児の心理行動発達に関する基礎的研究)

川田卓嗣* 森本里香* 添田春人* 鈴木良次*+

要約：個体の行動が、集団の中でどの様に影響を受けるかを明らかにするため、集団の中で個体の行動を、個体間距離、速度、方向の分散および集団の大きさを指標として自動計測するパーソナルコンピュータシステムを開発し、オタマジャクシの群行動に応用した。

見出し語：集団行動 個体距離 社会距離 自動計測システム

研究目的：オタマジャクシの成長に見られる密度効果が、過密状態で飼育されるためのストレスによるという考えがある。本研究の目的は、集団の中では、個体の行動が、単独にいる場合と比べどのように制約されるかを調べ、ストレスの原因を推測しようとするものである。そのために、集団の中で個体の行動を長時間にわたって自動計測するシステムの開発を行う。このシステムは、オタマジャクシに限らず、他の集団内の個体の行動の計測に応用できるものを目標としている。

研究方法：

1) 実験システム

図1にシステムの構成を示す。システムは、ビデオ・カメラで撮影した実験画像を、いったんタイム・ラプス・VTRに録画し、適当なスピードで再生しながら、ビデオ信号出力ボードを使って、PC-9801VM本体に取り込むという構成になっている。1画像

あたり64 Kbytesのメモリーを必要とする。今回の計測系では一個体の像が小さいので、個体の特徴を利用出来ない。そこで、位置のみ記録し、移動の特性を使って、その軌跡を推定することとした。VTRからのビデオ信号はグレーレベル256階調、縦横256*256画素の解像度で取り込まれる。水槽は上方から照明されているので、水面は白く、オタマジャクシは黒い画像になる。しかし、水槽の枠の陰や照明のむらがオタマジャクシと紛らわしい画像をつくる。そこでこれら背景画像を差し引いた画像から、オタマジャクシを見だし、その位置を計測することとした。図2は、グレーレベルを縦軸にとり、差を取った画像を3次元表示したものである。この図でオタマジャクシは小さな山で表されている。

2) 位置の検出

次に、適当な閾値を設定して、1,0の2値画像に変換する。その結果、オタマジャクシは1の値の連続した領域で表されることになるが、その重心をオタマジャクシの位置として、その刻々の値を記録することにする。そのためには、画像から、連続領域の切り出しが必要である。その手順を図3に示す。

*大阪大学基礎工学部(Faculty of Engineering Science, Osaka University)

+東京大学工学部(Faculty of Engineering, University of Tokyo)

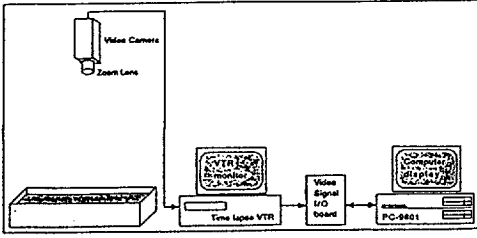


図 1

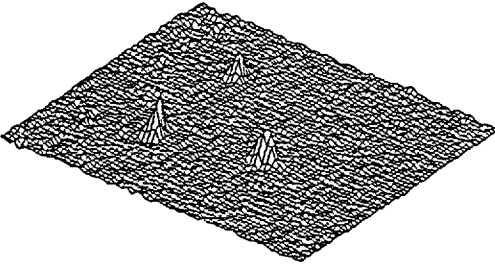


図 2

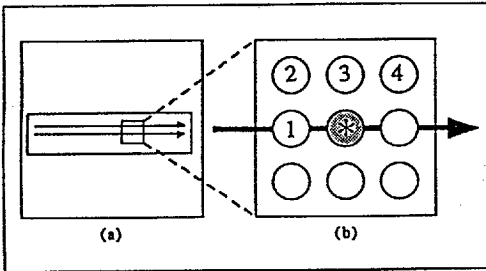


図 3

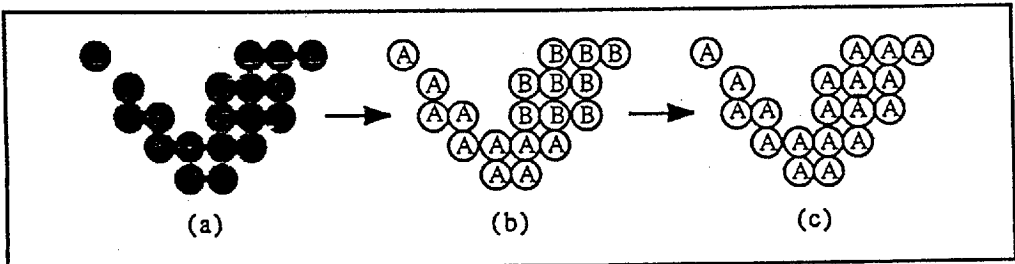


図 4

2値画像は、左上から右下へ順に各点をラスタ・スキャンしながら、値が1の点すべてについてラベルづけを行う。この場合、図のような順序で回りの点を調べ、すでにラベル付けされた点があれば、同じラベルを、無ければ、新しいラベルを付ける。このとき、図4のように、1つの領域に2つのラベルがつけられる可能性もあるので、2度目のスキャンを行い修正する。この方法によれば、われわれの用いた実験画像で、オタマジャクシを見落とすことはほとんど無かった。しかし、この方法は、1画面の処理にかなりの時間を必要とし、軌跡の推定に不利である。軌跡を推定するには、検出位置の時間間隔は短いほどよいからである。そこで、この方法をもとに、1回のスキャンで重心の位置を求めるアルゴリズムを考えた。

まず、前処理は領域検出で各点を参照する時に同時に行うことが出来る。また、連続領域の重心を求めるには、領域内の点の位置の和が求めればよい。そこで各点にラベルを付ける際に、そのラベルが付けられた点の位置の和を同時に計算しておけば、1つの領域に2つ以上のラベルが付けられる場合でも、それぞれの和を合計すればよい。図4のようにラベルを付け直す必要は無くなる。

この方法によると、2匹が重なった場合を除き、オタマジャクシは正しく検出された。また、 256×256 点の画像からオタマジャクシの位置を求めるのに要する時間は匹数によらず約6秒であった。

3) 軌跡の追跡

位置から軌跡を推定する場合、画像のサンプリング間隔が非常に短ければ、オタマジャクシは前後の画像で、ほとんど移動しないので、前後の画面で最も近いもの同士を同じオタマジャクシとみなすことができる。しかし、計算機の処理能力やデータ数をあまり増やさない方がよいなどのことから、サンプリング間隔を短くするにも限度がある。そこでオタマジャクシの動きの性質を考えて、サンプリング間隔を余り細かくせずに、軌跡の追跡を行う方法を考えることにした。

まず、すでに分かっているオタマジャクシと、新しい画像から見つけたオタマジャクシが同一のものであるとした場合の誤りを、軌跡や位置の関数として表現し、それまでに分かっているN本の軌跡と、新しく見つけたN匹のオタマジャクシについて、誤差の総和が最小となるような組合せを求めることとした。

ここでは、図5のようなオタマジャクシの軌跡について、次の予測速度 V_i' 、予測位置 P_i' を、

$$V_i(i) = P_i(i+1) - P_i(i)$$

$$V_i' = \{4V_i(i-1) + 3V_i(i-2) + 2V_i(i-3) + V_i(i-4)\} / 10$$

$$P_i' = P_i(i) + V_i'$$

で表し、この軌跡を持つオタマジャクシと新しく見つけたN匹の内、 Q_k の位置にい

るオタマジャクシが同一のものであるとした時の誤差を、 Q_k と P_i' の間の距離 $D(Q_k, P_i')$ を $(1 + \sqrt{V_i'})$ で割ったものとして表すことにした。誤差関数は、予測位置と実測位置の間の距離に近いほど、また、運動速度が大きいほど小さな値を取るようになっていいる。誤差関数に速度の項をいれたのは、オタマジャクシの運動が活発であるほど、過去の軌跡を用いた位置の予測は信頼度が低くなると考えたためである。

従って、軌跡はすべてのj, kについて、

$$\sum_{i,k} D(Q_k, P_i') / (1 + \sqrt{V_i'})$$

が最小となるようなj, kの組合せを探することで推定することとなる。

このシステムで実際のオタマジャクシの軌跡を追跡すると、1画像ごとのオタマジャクシの移動距離が画像上で最高20ドット程度になる場合でも、複数のオタマジャクシが水槽の角で重なるなど、位置の予測が立てられない場合を除いて、95%以上の成績で正しい軌跡が得られた。

軌跡の推定に要した時間は、6匹の場合、1000画面で約1時間であった。しかし、この方法では $N!$ に比例した処理時間を必要とするので、10匹程度でも5000時間程度となり、高密度の集団には実用的でない。

4) 処理の高速化

軌跡の追跡を高速化するために、予測誤差に何段階かのレベルを設定することにした。

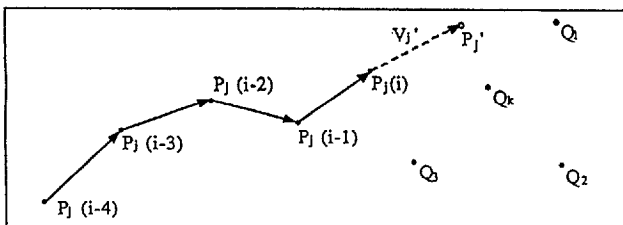


図 5

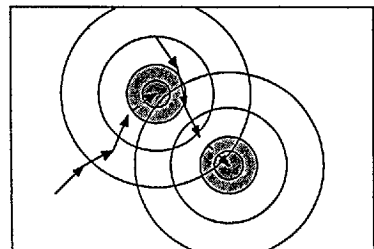


図 6

すなわち、予測位置を中心とした同心円を描き、その同心円の半径を少しずつ大きくしながら最も近いオタマジャクシを探すようにした。

図6でまず最小半径の円内を探し、そこにオタマジャクシが見つければ、その軌跡については、移動先が分かったものとする。すべての軌跡について一通り調べた後、円内に相手が見つけれなかった軌跡については、次の大きさの円まで広げて、移動先のオタマジャクシを探す。これを、円の半径が、オタマジャクシの考えられる移動距離の最大値になるまで繰り返す。それでも相手が見つからなかった場合は、どこかで重なっていると見なし、最短距離にあるオタマジャクシを重複して用いた。

レベルの設定は、オタマジャクシの移動速度の分布や、予測位置と実測位置間の誤差分布を参考に、最も良いものを試行錯誤で選んだ。この方法では、誤差を何段階かに分けることで、集団の中の数匹の個体が予測とまったく異なる動きをした時に、予測に従って泳いでいる個体の軌跡推定に及ぼす影響を少なくすることが出来る。そのため、サンプリング間隔を広げることが可能となる。

結果：以下は、試作したシステムを用いて、オタマジャクシの群を計測した例である。群の性質を調べるための尺度として計測したデータは、滞在分布、分散、個体間距離、速度、方向変化の5つである。滞在分布は、オタマジャクシの滞在位置の分布で、刺激に対する逃避、接近反応を反映する。分散は各画像での、オタマジャクシの位置の平均位置からの距離の自乗平均のヒストグラム。集団内の各個体の広がり具合を示す。個体間距離は各オタマジャクシから最も近い位置にいるオタマジャクシまでの距離のヒストグラム。速度分布はオタマジャクシの速度のヒストグラム。方向変化分布はオタマジャクシの移動方向変化のヒストグラムである。すべてのデータは正規化されており、個体数の違いを無視して比較することが出来る。

1) 集団内の個体数とオタマジャクシの行動

体長2cmのオタマジャクシについて、1-4匹まで個体数を変えた時の行動の変化を調べた。また、体長4cmのオタマジャクシについても1-2匹の場合のみ計測している。

実験に用いた水槽は縦横30cm、水深4cmの白色で、水槽が画面一杯になるように撮影した。オタマジャクシの位置の検出には、1枚当たり、5秒を要した。軌跡の検出に必要な

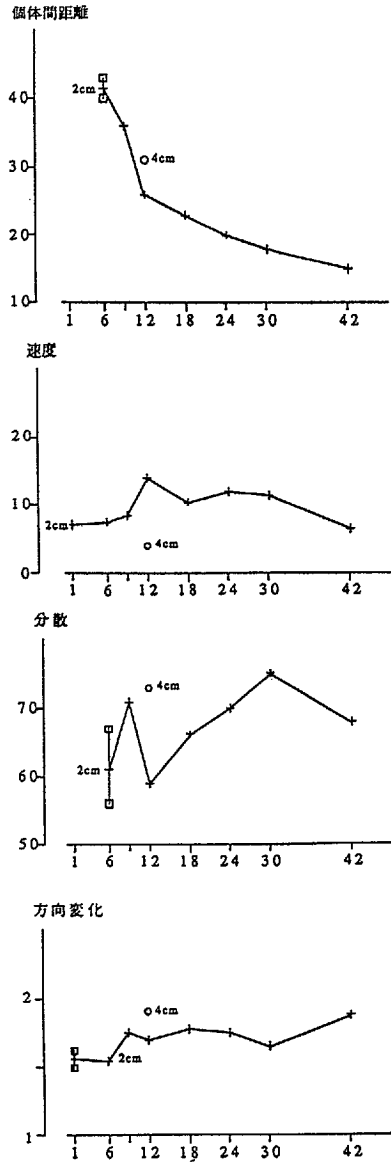


図 7

画像のサンプリング間隔は、オタマジャクシの移動速度に依存するが、この実験では1秒程度で十分であるので、VTRを6倍スローで再生し、6秒毎に画像をサンプルすることとした。従って、10分間の実験の位置検出に要する時間は1時間となった。

図7に1秒間隔でサンプルした1000枚の画像を解析した結果から、個体間距離、速度、集団の分散、方向変化の集団及び観測時間にわたっての平均値を個体数を変えて示す。実験回数が少ない故、これらから何らかの結論を導くことは難しいが、個体数が少ないときは、個体間距離をゆったりととり、分散や、速度変化にも集団としての効果がみられないが、個体数が多くなると、個体間距離も小さくなり、方向も頻繁に変えるようになるなどの様子を知ることが出来る。

2) 黒色円図形刺激に対する逃避反応

すでに昨年度報告した実験を、本自動計測システムによって再度行ったものである。

幅12cm、長さ60cm、水深12cmの水槽にオタマジャクシを12匹入れ、水槽の一端に直径10cmの黒色円図形刺激を置いたとき、刺激が無い場合とでの比較を行う。

2値化したときのオタマジャクシの大きさが、1)に比べ、4分の1になるため、体長の小さいオタマジャクシでは計測は不可能である。しかし、実験水槽の面積が小さいので、位置検出は1秒程度で可能で、サンプリング間隔を3秒にした。図8に示すように、滞在分布の違いから逃避反応が明らかに見られるが、個体間距離や速度分布などにはおおきな差は見られない。

考察：大きさ以外個体差のほとんど無いオタマジャクシ1匹1匹の集団内での行動を追跡するという試みは、本来無理があるが、過去の軌跡からどの程度追跡できるかを試してみた。今回は、画像の大きさの都合で個体の向きや形の情報も利用できなかったため、1匹の行動を実験時間を通じて追跡することは出来なかった。しかし、集団平均とはいえ、集団の内部に立ち入って、個体間距離、速度分布、方向変化分布、集団の分散の時間変化などを定量的に評価できる方法が確立できた。さらに、分解能を高め、個体の形や向きが利用できるようになれば、特定の1匹の行動を追跡することも可能となろう。その時は、オタマジャクシに限らず、集団生活での子供の行動の解析への応用も期待できる。

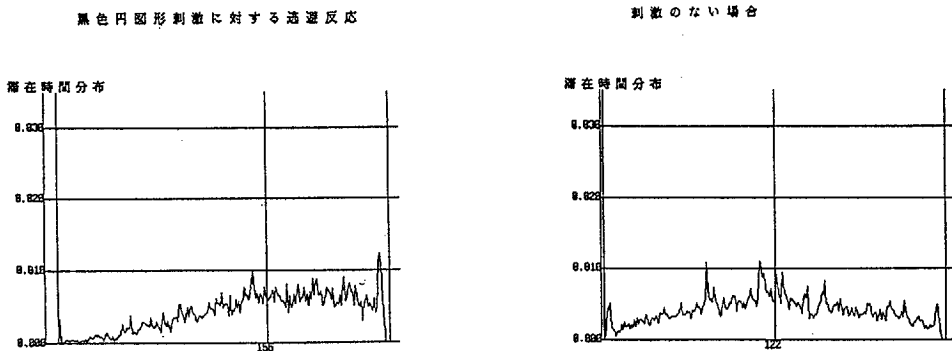


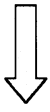
図 8

Abstract

Development of automatic measuring system of the behavior of individuals in a group. -Application to the behavior of tadpole group

Takuji Kawata*, Rika Morimoto*, Haruhito Soeda*, Ryoji Suzuki*+

In order to investigate the effect of the existence of other individuals on the behavior of each individual in a group, the automatic measuring system of the distributions of the distance between individuals, the velocity and the direction of individual movement was developed. This system can be applied to not only of tadpole group but to other groups.



検索用テキスト OCR(光学的文字認識)ソフト使用

論文の一部ですが、認識率の関係で誤字が含まれる場合があります



要約:個体の行動が,集団の中でどの様に影響を受けるかを明らかにするため、集団の中での個体の行動を,個体間距離,速度,方向の分散および集団の大きさを指標として自動計測するパーソナルコンピュータシステムを開発し,オタマジャクシの群行動に応用した。