

## オタマジャクシにおける密度効果と集団保育についての考察

鈴木良次(大阪大学基礎工学部)

曾我部正博(名古屋大学医学部)

寺田藤子(諫早、こどものにわ)

### 1. はじめに

本研究の目的は、集団の大きさや構造が、個体の発達にどのように影響するかを分析し、集団保育のあり方を考察することにある。その目的のために、比較的単純な集団構造をもつアフリカツメガエルのオタマジャクシの成長過程にみられる密度効果を取りあげた。密度効果とは、餌が十分あっても生育密度の上昇に応じて、個体の成長や増殖率が抑制される現象で、微生物から哺乳類に至る広汎な生物にみられる一種の人口調節機構である。

本報告では、密度効果の要因とみられる個体間相互作用の様式と実体及びその基礎となる血縁認知の能力についての解析結果を述べる。あわせて、ヒトの小人数保育での経験を通して、集団の大きさ、行動空間の広さ、保母や仲間との関係が個体の成長に及ぼす影響の大きさを指摘し、集団保育における園舎、庭、人数などの適正と思われる規模について考察する。

### 2. オタマジャクシの密度効果<sup>1),2),3)</sup>

#### 1) 高密度下における個体差の拡大

限られた空間の中では生物は無限に増えることもなく簡単に絶滅することもない。生息密度が上昇すると個体の成長や増殖率が抑制され、人口は一定に保たれる。このような現象はあらゆる生物にみることができ、“密度効果”とよばれている。すなわち個体の成長は周りの仲間によって調節されるのである。本節ではアフリカツメガエル(*Xenopus laevis*)のオタマジャクシの“密度効果”に関する実験結果を報告する。アフリカツメガエルは実験室で容易に飼育でき、季節を問わず人口受精により大量の幼

体を得られる極めて有用な実験動物である。孵化後1 cmに満たない幼体は約2ヶ月の間に5 cm前後に成長して変態を遂げる。実験は体長1.5 cmに育った均一な幼体の集団を種々の密度で飼育し、その体長変化を計測することによって行なわれた。主要な結果を要約すると、(1)各密度群の平均体長は、個体数や容積には依らず、密度のみに依存して減少する。(2)低密度(3匹/l以下)では皆が一様に正常に成長する。(3)高密度になると個体差が現われ、正常成長グループと成長遅滞グループの分化が生じる。(4)正常成長グループの数は飼育容器の大きさに比例する。これらの現象は食料が十分にあっても生じるので、密度効果は食料が十分にあっても生じるので、密度効果は食料ではなく、行動空間をめぐる競合に基くものと思われる。個体間に働く何らかの相互作用によって飼育空間のキャパシティを越える数の個体に成長の遅れが生じたのであろう。

#### 2) 相互作用の様式と実体

モデル実験として、大きな個体と小さな個体を組み合わせて飼育してみたところ、大きな個体は小さな個体の影響を全く受けないが、逆に小さな個体は大きな個体との共存により著しく成長が抑制されることが判明した。この小さな個体を一匹で飼育すれば速やかに成長を回復するので、明らかに小さな個体は大きな個体によって成長が抑制されたのである。このような様式の相互作用があれば、実験初期にはわずかであった体の大小が成長と共に明瞭な個体差となり、正常成長グループと成長遅滞グループが生じることが可能であろう。我々は今まで実験

事実をもとに相互抑制を導入した簡単な成長モデルを構築してコンピュータシミュレーションを行なうことによって、そのような事態の生じること、また正常個体の数が飼育空間の大きさに存在してきまることを確認した。さてこの相互作用は何を介して行なわれるのであろうか？最初に検討したのは飼育水である。密度が上昇すれば、個体からの分泌物や排泄物の濃度が上昇し、これが原因となる可能性が高い。そこで大きな容器をプラスチックメッシュで仕切り、密度の違う飼育群の水を還流して水質環境を一定にしたが、密度効果は現れた。また高密度飼育群の飼育水を低密度群に与えても、あるいは高密度群と低密度群の部屋を一日毎に入れ替えても何の影響もなかった。結局、水質や部屋環境の密度による変化は成長に影響しないので、水溶性物質や容器の壁や底への付着物、推積物などの嗅覚、味覚を介した相互作用は重要でないらしい。また眼球摘出による視覚刺激の奪奪も、密度上昇に伴う衝突頻度の増大も密度効果には関係がないことも確かめられた。残された可能性の一つは振動刺激であるが、この点は今後の課題である。ともかく、飼育密度の上昇に伴ない、小さな個体は大きな個体から何らかの刺激を介してストレスを受け成長が遅れるものと想像される。実際、成長を抑制された小さな個体では体表メラノフォア密度が増し、ストレスの徴候である体色の黒化が観察される。

### 3. 仲間の認知

#### 1) 異種混合飼育下での密度効果

前節にも述べたように密度効果は一種の人口調節機能と見做すことができる。例えば有限な環境資源の中で仲間が多すぎる場合に、成長のタイミングをずらすことによって食料資源が一時に枯渇するのを防ぐことができる。オタマジャクシと変態後のカエルは食性が大きく変化するので成長のずれはさらに、効果的に機能するであろう。密度効果は一見ネガティブに見えるが、増えすぎによる共倒れを未然に防ぐ積極的意義を有するのである。こうした意義を持つ密度効

果はどのような仲間の間で有効に働くのであろうか。彼らは相手を見分けてその作用を及ぼし合うのだろうか。異種のオタマジャクシの間ではこの作用は有効なのか、あるいは、兄弟と非兄弟のように血縁度を異にする個体間ではどうなのか？

我々はまず異種個体としてトノサマガエル (*Rana nigromaculata*) のオタマジャクシを用い、これとアフリカツメガエルのオタマジャクシを混合して密度効果の実験を行なってみた。すなわち一定容積の飼育容器を用意して、各容器の総個体数が一定のもとでその混合比を変えて各群の成長を比較したのである。驚くべきことに、アフリカツメガエルのオタマジャクシの成長は混在するトノサマガエルのオタマジャクシの数に関係なく自分達の密度のみに応じて変化した。彼らは自分と同種の仲間を見分け、その間でのみ相互作用を及ぼし合ったと考えられる。我々の関心は彼らがどの程度自分の仲間を見分けられるのかという問題へ移った。

#### 2) 同種の認知

仲間の識別を調べるために出合わせ法という実験手法を用いた。長方形(長さ90cm, 幅15cm, 深さ20cm)の乳白色のプラスチック容器を用意し、その両端からそれぞれ15cm離れたところを透明なプラスチックメッシュで仕切って区画をつくり、それぞれの区画に刺激用として50匹づつのアフリカツメガエルとトノサマガエルのオタマジャクシを配置する。中央の60×15(cm)の空間に被験体のオタマジャクシを泳がせて、それをVTRに記録したのち、どちらの刺激群の近くに好んで滞在していたのかを解析した。その結果、アフリカツメガエルもトノサマガエルも共に同種の自分の仲間を見分けてその近くに滞在することがわかった。仕切りを不透明なプラスチックの2重メッシュにして視覚刺激を遮断してもその結果にかわりはなかった。逆に仕切りを透明なプラスチック板にして視覚刺激のみを与えた場合には種の識別が不可能になったので、視覚刺激は仲間の識別には重要ではない

らしい。一方、刺激区画に刺激用のオタマジャクシを入れるかわりに、別の水槽で飼育している同種の仲間の飼育水を遷流するだけでも被験体はそちらへ近づくことがわかった。密度効果の場合とは違って、仲間の認知は(嗅味)覚刺激に媒介されていることが示唆される。振動刺激はこの場合重要ではないという予備的知見も得られている。

### 3) 兄弟の認知<sup>7)</sup>

我々は次にアフリカツメガエルとニホンアカガエル(*Rana japonica*)を用いて、彼らが自分の兄弟と非兄弟を見分けられるのかという、より微妙な能力をテストしてみた。実験は前述の同種認知と同様の手法を用いた。その結果、両種のオタマジャクシは共に自分の兄弟を見分けられることが判明した。このような血縁認知の能力は先天的なものなのか、あるいは一緒に暮らすという経験によるものなのだろうか? この問題を調べるために、孵化直後の幼体をすぐに隔離して一匹で飼育したのち、出会わせ法でテストしてみると、アフリカツメガエルは兄弟と非兄弟を識別できなかったが、アカガエルは一度も見たことのない兄弟を識別することができた。アフリカツメガエルが兄弟を識別するには一緒に暮らすという経験が必要であるらしい。このような血縁認知の、種による違いが彼らの生活とどのような関係にあるのかは今のところ全く不明である。次に問題となるのは兄弟と非兄弟を混合した場合に密度効果がどうなるのかという点である。もし密度効果が、自分により近い遺伝子を残そうとする遺伝子の働きに基づく血縁淘汰の一つの発現形態であるならば、兄弟のみの集団(今までの密度効果の実験はすべて兄弟集団を用いている)と、非兄弟を混合した集団とでは、密度効果に何らかの差が生じることが予想される。これは今後の興味深い課題の一つである。

### 4) 数もしくは密度の認知<sup>7)</sup>

視覚刺激は密度効果においても、仲間の認知においてもあまり重要ではないと述べてきた。

ところが同種認知の実験中に非常に興味深い事実がみつかった。透明プラスチック板の仕切りを用いて視覚刺激のみを与える条件下で、刺激群のオタマジャクシの数を変えると、その数に応じてアフリカツメガエルのオタマジャクシの接近の距離が変化するのである。その距離を定量化するために、仕切りの位置を起点にして滞在時間を積算し、それが全滞在時間の50%を超える距離を選好距離( $D_p$ , preference distance)と定義した。遊泳距離の最大値は60cmなので、もし $D_p = 30$ cmならば被験体は刺激群に対して中立であり、それ以下なら接近する傾向があり、それ以上なら回避する傾向があると判断される。図1は刺激個体数を変数として $D_p$ をプロットしたものである。白丸はアフリカツメガエルを、黒丸はトノサマガエルをそれぞれ刺激として用いたデータである。面白いことに刺激個体の種に関係なく、2~3匹の時に接近し、8匹を越えると回避する傾向が認められる。アフリカツメガエルとトノサマガエルは前者が透明に近く後者は黒褐色というように全く異なる外見をもつにも関わらず、アフリカツメガエルはその数のみを認知して接近距離を決めているかのように見える。密度効果は眼球摘出個体でも生じると述べたが、正常個体ではこのような視覚による数の認知が密度を感じる上で何らかの役割を果たしている可能性は否定できない。

密度効果と仲間の認知という二つの現象を結びつけると次のような想像ができる。“アフリカツメガエルのオタマジャクシはまず、(嗅味)覚刺激を介した化学的手段で仲間を見分け、視覚刺激により密度を補助的に認知し、更に未知の物理的・心理的相互作用によって互いの成長を調節するという階層的な調節機構を通じて自然の荒波を越えて生き延びているのではないだろうか。”

### 4. 小人数保育の効果(一児の事例から)

2年ないし3年の多人数保育園に通う園児が残り6ヶ月ほどの時期に他の保育園にうつることは、教育効果上マイナスであるというのが従

来からの定説であった。しかし、ここで報告する事例は、多人数制から小人数制保育への変更が、良い結果をもたらした例である。

その園児(Aと呼ぼう)は、一学級40名、7学級編成の幼稚園に通っていたが、入園後、日を追って表情が暗くなり、情緒不安定となった。入園当初は、他の園児と変わったこともなかったが、徐々に先生の指示も無視するようになり、友達もなく、室内で本にかじりついている状態が続いたという。心配になった母親が、「こどものにわ」に相談に来たのは、入園後1年6ヶ月経った時であった。入園前は特に問題のある子どもとは思えなかったのに、通園してから大きく変わったのは、幼稚園への不適応ではないかと考え、家庭的な雰囲気での集団の遊び場としての保育園を探していたという。

「こどものにわ」は、園舎52m<sup>2</sup>、庭1000m<sup>2</sup>の規模で、園児数は約10名、厚生省の基準(1名あたり庭3.3m<sup>2</sup>、園舎1.98m<sup>2</sup>)に比べはるかにゆったりした行動空間が園児たちにあたえられている。定説によれば就学前6ヶ月に変わっても、教育効果はあまりないということを承知の上で、Aは「こどものにわ」に通うようになった。

初めの一週間、Aは周囲の者の出方を観察する様子でいたが、何らの指示もあたえないでいると、ついに「どうして私に何をしなさいと言わないのか」とたずねるようになり、自分のしたいことは何をしてもよいのだということがわかると、これまでの不安を一気に解消するかのようになり、満足そうな表情で、両手を高くあげ「ワァ」と喜びの声をあげた。その後、Aはめざましい成長をみせ、現在、小学校に進んで友達や先生と非常に良い人間関係をつくっているという。

150~200名という多人数保育では、どうしても幼児の行動が規制される。10~30分単位できざまれたカリキュラムの一斉実施が多く、自由な遊び時間がわずかというのが現状である。この状況では、先生と子どもという縦の関係で動かされることが多く、子ども同志の横の関係は

発達しにくい。さらにいえば一学級30~40名という編成では、縦の関係も極めてうすいものとなりがちである。そこでは、園児一人々々の個性に適した保育がむずかしく、Aのように適応できない子どもが出てくるのも当然のことといえよう。

一方、小人数ならばいくらでも少ない方がよいかといえば、そうではない。経験から判断すると、4名程度以下では、かえって子ども達の行動が不活発になる。

一学級15名程度、全体でも50名(3~4級)程度、1名当たりの庭50m<sup>2</sup>、園舎4m<sup>2</sup>の規模が、これまでの経験から判断して適当と思われる。

## 5. あとがき

オタマジャクシの密度効果を通して、行動空間の大きさや仲間との相互作用の性質が、個体の成長に大きな影響をもつことが示された。この結果直ちにヒトの保育にあてはめるのは危険であるが、保育園の規模、園児数、人間関係が園児の発達に大きく影響することは容易に推測される。本研究では、その要因を具体的に抽出し、定量的なモデルをたて、適正な規模、コミュニケーションネットワークの構造を求めることを目的としたが、そこまでに到らず、事例報告にとどまった。

ヒトの成長という複雑なプロセスの安易な数量化・モデル化は危険であるが、それを十分考慮した上での、この方向の研究を今後の課題としたい。

## 文献

- 1) 曾我部正博, 宮本健作(1984)オタマジャクシの密度効果と個性  
文部省科学研究補助金(総合A)研究成果報告書「個性の発現過程の解析」(代表, 鈴木良次)16-23
- 2) 曾我部正博(1985)オタマジャクシの個性。  
幼児開発, 6月号, 68-73
- 3) 曾我部正博(1985)下等動物のコミュニケーション —オタマジャクシの密度効果と血

縁認知— 子供の看護, Vol.1, No5, 15-19.

4) Nakata, K., M. Sokabe and R. Suzuki (1982)

A model for the crowding effect in the growth of tadpoles.

Biol. Cyber, 42, 169-176

5) Yamaji, N. and M. Sokabe (1984) Growth inhibition and melanogenesis in *Xenopus* tadpoles reared in crowded condition.

Dobutsu seiri, Vol.1, p168.

6) Fukabori, A. M. Sokabe and K. Miyamoto (198

4) Conspecific recognition in larvae of *Xenopus laevis* and *Rana nigromaculata*.  
ibid. p198.

7) Fukabori, A and M. Sokabe (1985) Sibling association and visual association in larvae of *Xenopus laevis*.  
Dobutsu seiri (in press)

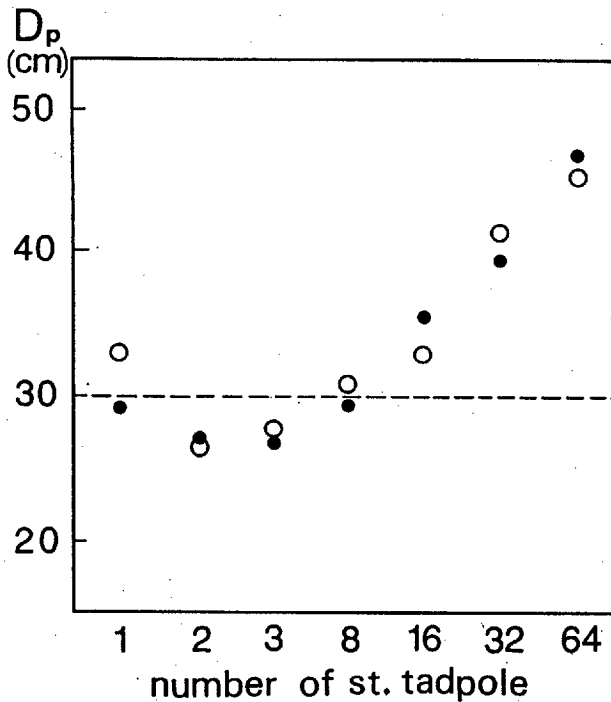


図1 オタマジャクシの選好距離 ( $D_p$ ) の刺激個数依存性破線より上は回避、下は接近傾向を示す(説明は本文)



## 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



### 1.はじめに

本研究の目的は、集団の大きさや構造が、個体の発達にどのように影響するかを分析し、集団保育のあり方を考察することにある。その目的のために、比較的単純な集団構造をもつアフリカツメガエルのオタマジャクシの成長過程にみられる密度効果を取りあげた。密度効果とは、餌が十分あっても生育密度の上昇に応じて、個体の成長や増殖率が抑制される現象で、微生物から哺乳類に至る広汎な生物にみられる一種の人口調節機構である。

本報告では、密度効果の要因とみられる個体間相互作用の様式と実体及びその基礎となる血縁認知の能力についての解析結果を述べる。あわせて、ヒトの小人数保育での経験を通して、集団の大きさ、行動空間の広さ、保母や仲間との関係が個体の成長に及ぼす影響の大きさを指摘し、集団保育における園舎、庭、人数などの適正と思われる規模について考察する。