

# 特集 動物学習 指導のための 基礎づくり

研究速報

no.19

生きかたとしての生物学習指導要領試案研究速報 no. 19 (「CBS 研究速報」を改題しました)

小学校第1学年から高校第3学年までの12年間で「生物学習の道すじ」を発見する

2016年7月25日

## 特集 動物学習指導の基礎

動物世界とその歴史についての学習を指導するには

どのような視点から動物世界とその歴史をとらえればよいか

### I. 動物学習の指導目的と方法の基本

### II. 動物世界とその歴史

1. 動物とはどのような生物か
2. 動物のからだと生活
3. 動物—その受精卵から成体まで
4. 繁殖・死亡と動物世界の持続
5. 動物はどこに他の生物とのちがいがあるか
6. 動物世界の歴史
7. 動物も物質であるが特殊な物質系である

子どもと自然学会生物教育研究委員会

岩田好宏・杉山栄一・中谷治代・吉岡秀樹 (連絡先 [yoshihiro\\_hanamigawa@yahoo.co.jp](mailto:yoshihiro_hanamigawa@yahoo.co.jp))

# 特集 動物学習指導のための基礎づくり1

小学校1学年から中学校2年生の前半まで「動物世界とその歴史」について

の学習を指導するには、どのような視点から動物世界とその歴史をとらえればよいか

## 目次

### I. 動物学習の指導目的と方法の基本

1. 何のために動物についての学習を指導するか
2. 動物学習はどのように指導すればよいか

### II. 動物世界とその歴史

#### 1. 動物とはどのような生物か

- 1-1. 動物とは
- 1-2. 動物はなぜ栄養物質を必要とするか
- 1-3. なぜ動物は運動するのか

#### 2. 動物のからだと生活

- 2-1. クマネズミとドブネズミーすみわけとからだ
- 2-2. からだが大きな動物と小さな動物
- 2-3. オーストラリアの哺乳動物世界
- 2-4. 動物のからだの基本構造—ヒドラのからだ  
とヒトのからだ
- 2-5. ゴウリムシのからだと生活
- 2-6. 動物世界の食物連鎖の基本

#### 3. 動物—その受精卵から成体まで

- 3-1. ヒトの受精卵から成人まで
- 3-2. カエルの発生と生活の変化
- 3-3. 発生にともなう細胞分化—多細胞動物の  
からだの形成のしくみ

#### 4. 繁殖・死亡と動物世界の持続

- 4-1. モンシロチョウの種族維持

4-2. シジューカラとアメリカシロヒトリ

4-3. 産卵数はどのようにしてきまるか

4-4. 動物の食物連鎖

### 5. 動物はどこに他の生物とのちがいがあるか

- 5-1. 動物を食物連鎖の位置からその特徴をみる
- 5-2. からだの基本構造のちがいから
- 5-3. 動物の生きかた

### 6. 動物世界の歴史

- 6-1. 多様とは
- 6-2. 動物の歴史の節目に注目する
- 6-3. 動物の出現
- 6-4. 細胞性動物の出現
- 6-5. 脊椎動物の出現
- 6-6. 動物の陸上への進出
- 6-7. 哺乳類世界の形成
- 6-8. 人間の誕生と動物世界

### 7. 動物も物質であるが、特殊な物質系である

- 7-1. 動物のからだは物質からできている
- 7-2. 生きている物質反応は循環的反応
- 7-3. 酵素という物質
- 7-4. ATP という物質
- 7-5. クエン酸回路という循環的反応
- 7-6. 4つの循環的物質変化
- 7-7. 合成反応と分解反応の共役、エネルギー発  
生反応と吸収反応の共役

## I. 動物学習の指導目的と方法の基本

### 1. 何のために動物についての学習を指導するのか

#### 1

人は、なぜ動物について知ろうとするのか。それは2つのことです。1つは、人は動物であるからです。人が人間として生きていくには、その基盤として‘動物として生きている’ということがあるからです。人は動物としてどのように存在しているか、ほかの動物と比べてどこが同じで、どこが人間独自の性質かを知ることです。それなしには、人は自分自身を知ったということにはなりません。第2に、人をとりまいている環境の中で動物が重要な位置を占めているからです。人は、まわりの環境と関係しながら生きています。環境との関係なしに単独で生きることはできません。その中心に動物がいるからです。

しかし、動物学者であつたら動物について知ることが目的であり、知ることができれば目的は達成できたということもありえることですが、私たち一般人にとっては、それが究極の目的ではなく、知ったことを次に知るための、あるいは動物とのかかわりのための方法や手段、出発点にすることに目的があります。知ることそのことを目的にしているのは、一部の動物学者だけだと思います。動物学者であっても、私たち一般人のことを考えられている人は、自分が知っただけでなく、それを一般人に活用できるよう配慮してくれています。

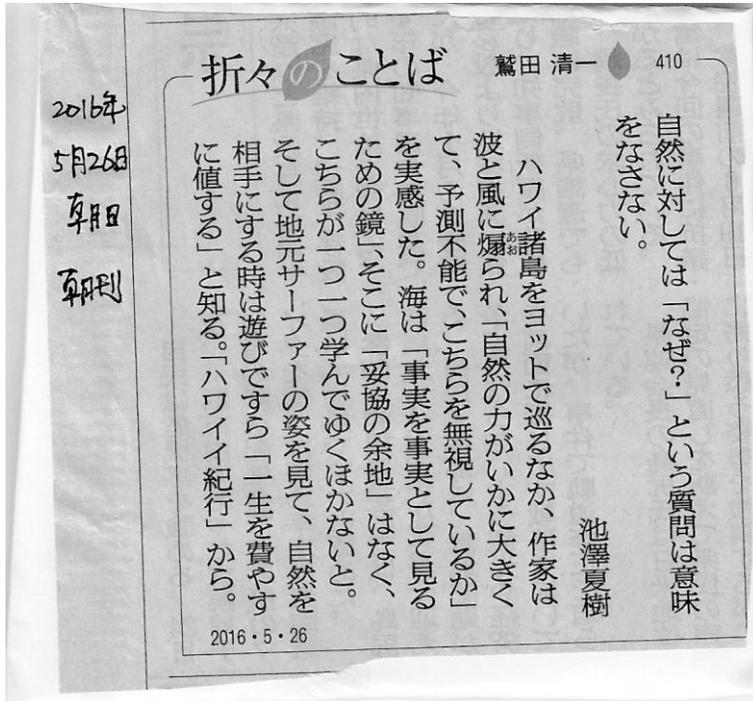
学校の先生も、子ども・若者が動物について知ることを目的にして、それだけにとどまることなく、子ども・若者自身が今を生きる、将来を生きるための指針を見つけるために、あるいは方法、手段を見つけるために役立つものにする必要があると考えます。

したがって、これから述べます‘動物はどのように生きているか’、‘動物はこれまでどのように生きてきたか’ということのうち、指導するための基礎をかためるための素養として必要なことに焦点をあてました。教科書などに書かれているものよりも基本を明確にした事実に近いものと考えています。

#### 2

朝日新聞の「折々のことば」欄の、つぎのページのような記事に目がとまりました。私たちが生きていく中でかかわる自然、生物、動物についてどう知ればよいのかを考える上で示唆を与えてくれています。自然は私たち人間のために存在しているのではない、自然はただ存在しているだけであると。自然が自分たちのためにあると思うのは、人間の立場からの解釈にすぎません。そう思うのは人間の問題です。人間の問題ですから、そのような考え方をすることになります。しかし自然は、人間の考えや思いなどを配慮するようなことをしません。人間は、かかわる相手をそのとおりに知らないと、どうかかわればよいか、わかりません。動物を、人間の思い、期待・願いどおりに保全し、変えるには、思い、願うだけでは実現できません。もしできるのであれば、相手に対して願うだけで、はたらきかける必要はなくなります。しかし、実際は、はたらきかけをしないかぎり、あるいははたらきかけをとめないかぎり思うようには

なりません。



## 2. 動物学習はどのように指導すればよいか

願いや期待を具体的にするための行動として「祈り」というのがありますが、祈りは、自分の願いや期待を強く意識化したり、またそのことによってころのやわらぎをえられたりするから、大事にしている人が多くいますが、「いのり」だけで願いや期待は実現できません。動物は動物独自の生き方で安定したり変化したりするからです。動物の生き方を知ることによって、動物について知る方法がわかり、動物にはたらきかける手段がわかるようになります。その動物の独自の、また変えることのできない生き方を、動物の「理」といっています。この動物の理を知り、人間の立場からではなく、動物をその理とともに知るほかありません。

動物世界とその歴史を知るとは、動物学習の最終目的ではなく、知ったことが、これからの人間の動物世界のかかわりかたを明らかにすることであるならば、つぎのような6つのことが学習指導の核心になると考えます。

- ①動物世界とその歴史をそのとおりに知る
- ②人間は出現してから、動物世界とその歴史に対してどのようなはたらきかけをし、どのような結果を生み出したかを知る
- ③そのことが、人間自身にとってどのような意味をもっているかを評価する
- ④そのことが、動物世界自体にとってどのような意味をもっているかを評価する
- ⑤以上①から④までのことをもとにして、人間の動物世界とのかかわり、学習者自身の動物世

界とのかかわりについての将来展望を明らかにする

- ⑥その将来展望を実現するための実践活動の具体的な目標、方法と手段を明らかにする
- ⑦機会を見つけて、実際に実践に取り組むことができるようにする

## II. 動物世界とその歴史

### 1. 動物とはどのような生物か

#### 1-1. 動物とは

まずははっきりさせておかなければならないことは、動物とはどのような生物かということです。私たちは、つぎのように考えています。

運動し、捕食している生物と、  
それから分かれて運動または捕食をしなくなった生物  
を合わせた生物

動物は、植物のように自分で栄養物質をつくらせて利用することをしません。植物や他の動物、あるいは菌類・細菌類のからだ、あるいはつくり出した物、死がいや捕えて食べて、栄養物質を獲得しています。動物は、植物が「自給栄養生物」であるのに対して、「他給栄養生物」です。他給栄養生物には、ほかに菌類、細菌類がありますが、動物は、捕えて食べ、体内で消化して栄養物質を獲得している点で特徴があります。

‘捕えて食べる’といいますと、トラやオオカミがシカのようなえものとなる動物を追いかけたりまちぶせしたり捕えることを思い描きますが、それだけでなく、シカが木の葉を食べる、アフリカのサバンナで生活しているシマウマが草を食べることも‘捕えて食べる(捕食)’といっています。またハエが口先で食べものをなめるようにしてけずりにとって食べるのも「捕食」です。チョウの成虫がストローのような口先で花の蜜を吸引するのも捕食です。捕食に対して他給栄養生物の、ほかの栄養物質の獲得のしかたは‘吸収する’という方法があります。体表からとり入れる方法です。菌類や細菌類には、その前に体外で消化をするものもあります。

このように整理しますと、動物が、栄養物質獲得のしかたについて、生物全体の中でどのような位置にいるか、わかると思います。ところが、これまでの説明だけでは、動物がどのような生物であるかを完璧に説明したことにはなりません。上の囲みの中の後半の部分についてふれておりませんから、囲みの後半の生物についてもはっきりさせる必要があります。

まず後半部分のはじまりの“それから分かれて・・・”がどのようなことを意味しているかということから説明します。これは、‘生物進化の過程で運動・捕食という生活のしかたをすてて’という意味です。分かれた生物の中には、動かないもの、捕食をせず消化もしない生物がいます。こうした生活のしかたからみますと、これまで説明してきました動物の特徴とは異なり、

むしろ菌類や細菌類に近い生物のように思えます。しかし、動物、植物という区分は、単に栄養物質の獲得のしかたからだけでなく、同じなかまかどうかということも考慮しています。“それから分かれて・・・”というのは、動物のなかまであるけれど、生物進化の過程で運動しないで固着生活や浮遊生活するようになったもの、ほかの動物の体内で生活するというように生活のしかたを変えたものも、動物として考えるということを意味しています。

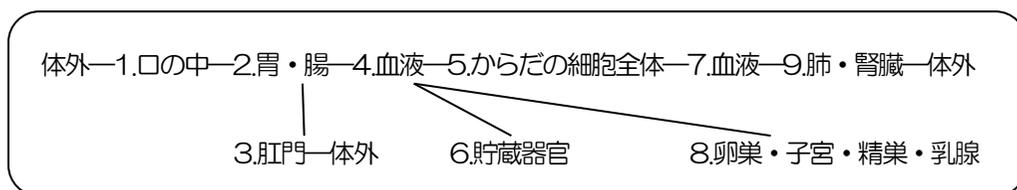
たとえば、フジツボという海の生物がいますが、この動物のまわりをかためている殻をはぎとると、中にエビのようなからだをした生物が見られます。この動物はエビやカニのような動物を祖先にして、からだ・生活のしかたが変わって固着生活するようになりました。捕食はしっかりとしています。水の流れとともに移動してきた小さな動物を捕えて食べます。人の腸に寄生しているサナダムシという生物は、動くことも捕食することも、消化することもしません。からだも筋肉や神経、口や肛門、胃や腸がありません。しかし、体表から人の腸が消化してうみ出した栄養物質を吸収して獲得しています。祖先は、プラナリアのような運動・捕食する動物でした。じつは、植物の中にも、光合成しなくなったものがあります。林の中の暗いところで生活しているギンリョウソウというのは、からだ全体が光るように真っ白ですが、花を咲かせ種子をつくります。祖先は緑色をして光合成をしていた植物ですが、寄生生活するようになって緑色を失い、光合成しなくなり、他給栄養生物になったものです。しかし、植物のなかまとしています。

## 1-2. 動物はなぜ栄養物質を必要とするか—栄養物質と動物の生きること—

動物は、どうして栄養物質を必要としているか、それは、栄養物質なしでは動物が生きていけないからです。では、なぜ栄養物質がないと生きていけないか。それは、栄養物質が動物の体内に入ったあとをたどってゆくと明らかになります。

### 消化というはたらき

人を例にしますと、栄養物質はおよそつぎのように変化していきます。



a. 口の中に入ると、顎の筋肉と骨、歯によって細かくくだかれます。また唾液腺から唾液が出て、その中のアミラーゼという消化酵素によってでんぷんがデキストリン、麦芽糖に分解されます。

b. 胃腸に移動しますと、食べものをつくっていた栄養物質の主な物質についていいますと、タンパク質はペプシン、トリプシン、キモトリプシン、ペプチダーゼの4種の消化酵素によって20種類のアミノ酸に分解されます。脂質はリパーゼという消化酵素によってグリセロールと脂肪酸に分解されます。糖質は、デンプンはアミラーゼ、マルターゼという消化酵素によってブドウ糖に、砂糖はスクラーゼという消化酵素によってブドウ糖と果糖に分解されます。

c. この消化というはたらきによっておきた変化は2つの重要な意味をもっています。1つは、消化によって生成された20種類のアミノ酸、グリセロール、脂肪酸、ブドウ糖、果糖は、細胞の中に吸収されることです。腸の壁をつくっている細胞の中を通り抜け、血管の壁を通り抜け、血液にまざり、血液とともにからだの内部のいたるところに運ばれます。

d. 第2の意味は、食べられた動植物のからだをつくっていた物質の特徴が失われたことです。植物体もタンパク質が主成分ですが、それは植物のタンパク質であって、人のタンパク質とは異なるものです。もし植物のタンパク質が人の体内に入ってきてそれが人のからだをつくるようになったら、人のからだは植物のからだになってしまいます。でんぷんも植物体の貯蔵物質であって、動物は、そのまま自分の貯蔵物質にすることはできません。ところがアミノ酸などの物質になりますと、人が自分のからだを形成する材料とすることができます。それだけでなく、すべての生物が利用できる、生物全体の共通した物質です。

e. これらの物質も普通栄養物質とよばれていますが、このような重要なちがひがありますので、ここでは区別して、植物やほかの動物からとり入れる栄養物質は「原栄養物質」とよぶことにし、20種類のアミノ酸、グリセロール、脂肪酸、ブドウ糖、果糖は「栄養物質」とよぶことにします。

f. ことばの問題ですが、タンパク質や脂質は、植物やほかの動物の体内にある場合は、「体構成物質」、それを人が、あるいは動物が利用するためにとり入れる場合には「原栄養物質」というように意味が変わります。

g. ところが、食べものとして食べた植物やほかの動物のからだをつくっている物質は、すべてが原栄養物質として消化し、栄養物質にできるわけではありません。消化できなかったものは、大腸、直腸を通して肛門から体外に糞として棄てられます。

h. なお糞の中には人のからだをつくっていた細胞が死んだものが多くまじっています。糞の中の死んだ細胞や消化できなかった物質は、人以外の動物や菌類、細菌類が原栄養物質として利用できるものが多くふくまれていますから、ハエなど昆虫類その他の生物が付着したり中に入り込んで、独自の消化酵素をつかって分解して栄養物質にして体内にとり入れます。どの物質が原栄養物質であるかは、動物の種類によって異なります。

### 細胞の中での栄養物質

a. 血液によって運ばれた栄養物質は、すべて各細胞に同じように渡されるわけではありません。細胞は、当面必要がなければわずかししか吸収しません。逆につねに必要なに迫られている細胞はどんどん吸収します。たとえば、脳細胞は、その独自のはたらきを進める上でエネルギーを大量に消費しますから、エネルギーがとり出しやすいブドウ糖を必要としています。ですからブドウ糖をどんどん吸収します。そのほかの細胞も、普通は生きて独自のはたらきを進めるためにはエネルギーを必要としますので、ブドウ糖を吸収します。また、つねに死亡してあらたな細胞を増殖している細胞では、細胞の主成分となる物質、アミノ酸やグリセロール、脂肪酸などをとり入れます。

b. 細胞の中には、さまざまな物質があって、それらが相互に作用しあって生きています。そ

これらの物質は、その相互作用の中で、一部の原子が失われたり、ほかの物質の原子が結合したりしますと、その物質独自のはたらきができなくなり、いわば不要の物質になります。そうしますと、その物質を分解し、あらたに合成するということが行われ、細胞は死ぬことなく再生します。この細胞の再生のための物質合成にも、材料物質としてアミノ酸などの栄養物質が利用されます。

c. また成長の途中である子どもや若者の時期には、成長は細胞の増殖が基礎になっていますから、細胞の増殖はさかんに進められ、その材料物質に利用される栄養物質はどんどん細胞内に吸収されます。細胞の増殖とは、2つの段階から成り立っています。第1段階は、細胞の成長、大きくなることで、第2段階で、大きくなった細胞が分裂してもとの大きさの2つになります。

### エネルギー代謝と排出

a. 細胞が活着しているために、また独自のはたらきを進めるにはエネルギーが必要です。そのエネルギーの利用ととり出しのはたらきを合わせて「エネルギー代謝」といっています。エネルギー代謝のくわしいことはのちに述べますが、要点だけいいますと、エネルギーとり出しは、人や動物の場合、あるいは植物の場合、栄養物質を分解して、二酸化炭素と水、アンモニアに分解することによって実現されます。栄養物質は、からだの構成物質を合成する材料物質だけでなく、エネルギーをとり出す源としての物質、「エネルギー源」としての意味もっています。このエネルギーとり出しは、人の場合、すべて細胞の中で行なわれます。

b. このエネルギー源として利用される栄養物質は、20種類のアミノ酸、グリセロール、脂肪酸、ブドウ糖、果糖です。

c. エネルギーとり出しによってこれらの物質が分解されたあとにできた物質のうち、二酸化炭素とアンモニアは、人にとっては不要であり、濃度が高くなりますと有害となりますので、すみやかに体外に排出しなければなりません。細胞は血液にこれらの物質を渡し、二酸化炭素の多くは、肺から口・鼻を通じて体外に棄てられます。二酸化炭素の一部とアンモニアは肝臓に送られます。肝臓の細胞は、エネルギーをつかいながら、この2種の物質を反応させて尿素という物質にし、これを血液を通じて腎臓に送り、濃縮してから膀胱に送り、尿道を通じて体外に棄てます。人のからだのはたらきの1つである「排出」は、この腎臓から膀胱へ、尿道を通じて尿素などの物質を棄てることをいいます。糞として不消化物を棄てることは排出といいません。肺からの二酸化炭素を棄てることも、また皮膚の汗腺からの汗を棄てることも排出とはいいません。二酸化炭素を棄てるはたらきは「呼吸」、汗を出すことを「発汗」、糞を棄てることは「脱糞」といっています。

d. 「排出」とは、エネルギーとり出しのあと発生した不要で有毒な物質を体外に棄てるはたらきをいいます。カエルの場合、水中生活している卵、幼生のオタマジャクシの時にはアンモニア、二酸化炭素のまま排出されます。水が豊富にありますから、濃度が低いうちに大量の水とともに排出します。成体のかえるになりますと、尿素を合成してから排出します。オタマジャクシに後ろ足が出てきたあと前足が出てくるときに、この転換がおこります。またこの時期

には、水中の酸素分子をとり入れていた「えら呼吸」から、空気中の酸素をとり入れる「肺呼吸」に転換します。

淡水産の魚類は、ほとんどがアンモニアのまま排出します。昆虫やくも、とかげ、鳥は、尿酸という濃度が高くなると沈殿する物質のかたちにして排出します。鳥の糞には白い流動性の物質が付着していますが、これが鳥の尿です。主成分は尿酸です。

e. 栄養物質のつかいみちはつぎの2つです。

①からだの構成物質の合成のための材料物質→細胞の再生、細胞の増殖、からだの成長、生殖に役立っている

②エネルギー源(エネルギーとり出しの原料)→生きることすべてに役立っている

### 1-3. なぜ動物は運動するのか—運動の起原と意味

#### 動物が運動する意味

a. 動物はどうして運動するのか。この「どうして」という問いには、2つの意味がふくまれています。1つは、どのようないきさつから運動するようになったのか。もう1つの意味は、動物が生きてゆく上で運動はどのような意味をもっているかということです。

b. 第1の意味の「いきさつ」は、ごくゆっくりとではありましたが、からだを移動し食べものをのみ込んで体内で消化して栄養物質を獲得していた生物が、酸素呼吸生物をのみ込むことがきっかけでした。のみ込まれた酸素呼吸生物はからだの一部が退化して酸素呼吸を専門的に行なうミトコンドリアという胞状の小器官に変わり、移動に役立っていたべん毛の根元に集まり、べん毛に対して多量のエネルギーをすばやく送るようになって活発な運動をするようになりました。これが動物の始まりです。食べものを探しに運動し、のみ込みのよって見つけた食べものをとり入れるようになりました。

c. ところが植物の中にも活発に泳ぐものがある。クラミドモナスという微小な植物はその例です。この植物は、べん毛で動くのですが、その根元の近くに光を感じる視覚小器官があり、光を感じるとふくまれている物質が変化し、そのことをべん毛の根元に伝え、べん毛は動き、泳ぎ出します。この植物は、べん毛で泳ぐ動物が植物をのみ込み、のみ込まれた植物のからだは退化して、光合成を行なう専門の小器官となったものです。のみ込んだほうの生物は、のみ込むという動物としてはたらきを失い、動きながら光合成する植物に変わりました。光を感じて明るい方へ移動するという生活のしかたを身につけました。その後多くの植物は活発に動くというはたらきが退化して、水の中をただよう生活、あるいは海底に固着する生活をするようになりました。海の中の浅いところならば光がとどくことから運動しなくても光合成することが可能です。

d. ミドリムシという植物がありますが、この植物は、べん毛で行動する動物が、そのように運動するはたらきを失った植物をのみ込んで生まれたものです。まだのみ込みというはたらきが完全に退化していないので、暗く原栄養物質が豊富などころではのみ込んでとり入れます。

e. ですから動物という生物は、字のようにただ動く生物ではなく、運動するはたらきと捕食

するはたらきとが結び付いて、その生活のしかたの基本を確立した動物とすることができます。

### 動物はどのように運動するか

a. 動物の運動は、からだの一部またはからだそのものの変形によって行なわれます。人や背骨をもった動物「脊椎動物」の場合は、筋肉の伸び縮みがもとになり、それと骨格との組み合わせで足や尾、ひれが動くことによりますが、筋肉だけで動く動物もあります。またからだの表面から出た毛(べん毛、繊毛)のようなものが動いて、水を打ち動くという動物もいます。

b. どのような動き方であっても、動物の運動は、ただの動きではなく、あるところに向けて自分のからだを移動させるという環境との対応関係の中で生まれるものです。しかも、その時存在している場所よりも生活条件のよいところに向けての移動です。したがって、動物の運動には、環境の状態を感じることで、感じたことを運動に役立つ部分に伝えて運動を始め、続行する、あるいはやめるという調節が伴っています。チーターやライオンを例にしますと、えものとなる動物に対してつぎのような行動が連続して進められます。

「見つける」—「気づかれないように追いつける距離まで近づく」—「走り出して追いかける」

見つけるのは、目(視覚)、耳(聴覚)、鼻(嗅覚)によって感じとることであり、そのことが脳に伝えられて自分の位置とえものの位置の関係(距離)を感じとります。これはじりじりと近づいている時にも、また全速力で追いかけている時にもはたらいています。その一方で自分のからだの動きの調節がされています。えものとの距離の変化を感じるはたらきと関係しながら、筋肉の収縮具合を感じとり、それに対応して筋肉への収縮の程度を調節しています。これは、筋肉と骨を結合させている腱と筋肉の中に埋め込まれている2種類の感覚器官が役立っています。この2つの感覚器官は、筋肉の縮む激しさ(筋肉の縮んだ長さ)と縮む強さを感じとり、脳へ伝えています。脳はそれに応じてさらに筋肉をはげしく収縮させるかどうかを指令します。

c. 筋肉の収縮・伸長は筋肉を形成しているタンパク質の伸び縮みがもとになっています。脳からの指令がくると、エネルギーが供給されてタンパク質は縮まります。これは2種類のタンパク質がたがいにすべりこむことによって生まれます。筋肉のこの2種の収縮性のタンパク質のすぐ側には、エネルギーを供給するミトコンドリアがたくさん集中してみられます。

筋肉の収縮が長くつづくとき、エネルギーをとり出すための栄養物質の分解に必要な酸素分子の供給が不足します。すると、酸素なしの栄養物質分解にきりかえられます。そのために栄養物質は完全に分解されて二酸化炭素と水にはならず、乳酸になります。これがたまると、筋肉の収縮が脳からの指令どおり進まなくなります。これは、筋肉疲労の1つの原因です。

d. このような収縮・伸長というタンパク質の変形は、筋肉にある収縮性のタンパク質だけでなく、大小のちがいはありますが、タンパク質の一般的な性質としてみられることです。たとえば、物質変化に関係している酵素もタンパク質からできていますが、ある特定の物質と接触しますと結合し、それにもなって酵素であるタンパク質は変形します。そのことによって結合した相手の物質が分解など変化しますと、結合が解けてもとのかたちにもどります。

## 2. 動物のからだと生活

動物にかぎらず、生物は、そのからだから生活のしかたが生まれます。ですから、からだがちがうということは、生活のしかたがちがうということになります。からだの大きさやつくりが大きくなると、生活のしかたの基本にちがいがあることになり、たがいに無関係になるということがあります。サバンナに住むライオンは、足元をアリが歩いていても、これを捕えて食べるということはほとんどしません。同じ場所に住んでいますから、住む世界がちがうとはいえませんが、直接のかかわりはありません。逆に、出会いがあったら必ずライオンに襲われると考えられるカンガルーは、アフリカ大陸とオーストラリア大陸というように、生活場所が海によって隔てられ、かかわり合うということは実現不可能です。

かつてニホンジカの数が殖えすぎ、農林作物の被害がひどくなったことから、北アメリカ大陸のオオカミを移入して、殖えすぎを抑えようという計画がもち上がったことがあります。しかしこの計画は今ではあまり聞かなくなりました。たいへん重大な問題をうみ出す計画だと思っています。たしかに、昔ニホンオオカミが生存していたころは、ニホンジカを捕食して、殖えすぎを抑える1つの要因になっていたと思いますが、ニホンジカは、捕食されて数が減少しながらも、滅びるところまではいかなかったのは、ニホンジカのからだ・生活のしかたとニホンオオカミのからだ・生活のしかたとが、たがいに生存できる対応関係にあったからであると思います。しかし、ニホンオオカミよりはるかに大型の大陸のオオカミに対して捕食されながらも、滅びないという対応関係が成立するかどうかは難しいところです。大陸オオカミに襲われて捕食して死ぬものがある一方で、逃げ隠れして生き残るものが多数いるかどうかわからないからです。伊豆諸島の1つである、三宅島に生息していたドブネズミは、ホンドイツが八丈島から移入されて、いなくなりました。動物のからだもそこから生まれる生活のしかたも、全体としてどのような環境の場所で、どのような生物とどのような関係をもつか、非生物的環境に対してどのような関係をもつかによって生存するか絶滅するかが決まってきます。

### 2-1. クマネズミとドブネズミ—すみわけとからだ

今では、都市でネズミのすがたを見るということは少なくなりましたが、かつては繁華街の中でも夕方になると、ネズミがちょろちょろ歩き回るようすがみられました。イエネズミといわれるネズミで、日本ではクマネズミ、ドブネズミ、ハツカネズミの3種類で、この3種類のネズミのうち、クマネズミとドブネズミは、からだの大きさ、かたちに大きなちがいがなく、場所によっては両方のネズミが生息することがあります。しかし、それは仲良く協力しあって生活している、あるいはいつも争って生活するというものではありません。からだと生活のしかたのわずかなちがいがからすみわけて共存しているのです。

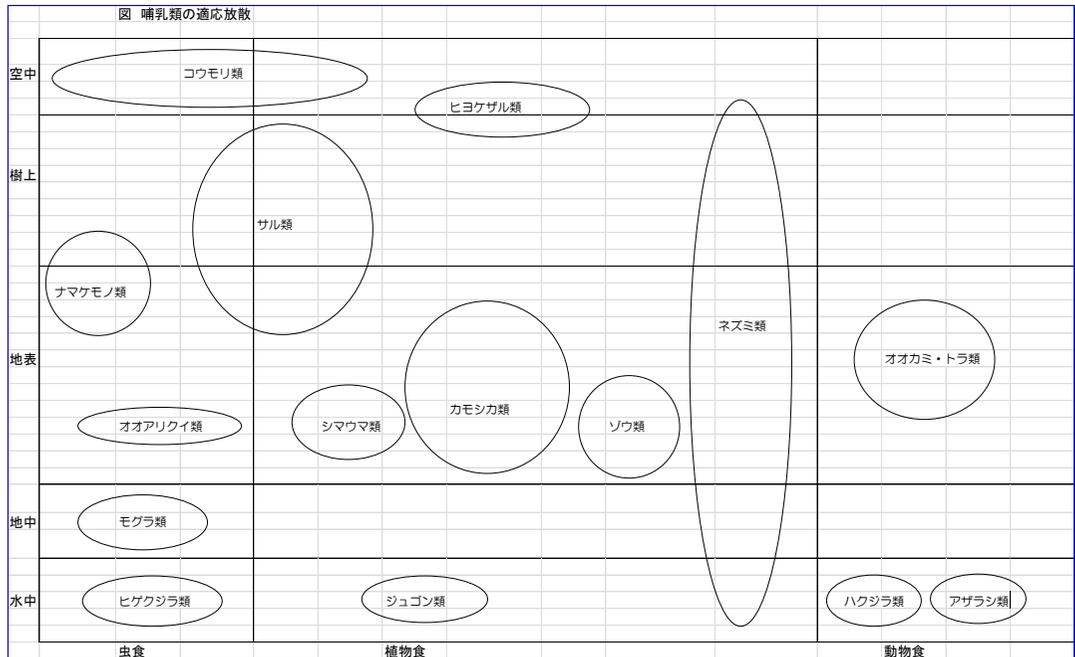
この2種の食べものの好みをくらべてみますと、三宅島で調べられたことですが、つぎのようなちがいがあり、両方がみられるというのは、両方が食べる食物があるということになります。都市の中では、ドブネズミは飲食店や食肉店、鮮魚店などの多い商店街に生息しています。こうした商店のゴミため、食材の貯蔵庫などにあったものを食べていたと見れば、そこでも主として植物性の食べものと動物性のものというように分かれていたと見てよいと思います。

クマネズミの食べもの：種子・果実、葉・茎、根、昆虫、その他

ドブネズミの食べもの：ミミズ、昆虫、ムカデ、その他の節足動物、ナメクジ、種子・果実、根、その他

クマネズミとドブネズミがこのように食べもののちがいがあるといのは、生活環境がちがうということになります。クマネズミは、農家の物置を中心に生息し、ドブネズミは、人の住まいを中心にしています。クマネズミは、地表や地表より高いところが行動場所であり、家の中の地表より1m以上高いところに巣をつくります。それに対してドブネズミは、巣は家の外につくり、家の中に入ってきて、食べものを探すということをしますが、主な行動場所は家の外です。また両方のネズミが同居している家の中では、クマネズミは天井裏や台所、食材貯蔵場所が主な生活場所、ドブネズミは床下に巣を作る傾向がみられ、家の外、台所、食材貯蔵場所というように分かれています。またクマネズミは、木登りが上手で、電線やパイプの上を伝え歩かすことができますが、それは、ドブネズミに比べてからだが細身であり、尾が長く、足の裏の肉球には溝が刻まれていることが役立っています。クマネズミは、目、耳殻が大きく、まわりの環境のわずかな変化を感じることができます。

両方のネズミは、このようなちがいがありますが、また似ているところもあり、それは、両方の祖先にあたるネズミが同じであったことが理由です。この両方のネズミの祖先が進化の中で出現したのは、東南アジアか、その周辺といわれ、全世界で60種類ほどいますが、その80%は熱帯アジアにいます。大部分は森林、草原、耕作地に生息していますが、その中のごく一部だけが人の住んでいる建物の中に入ってきます。日本ではクマネズミとドブネズミの2種だけです。

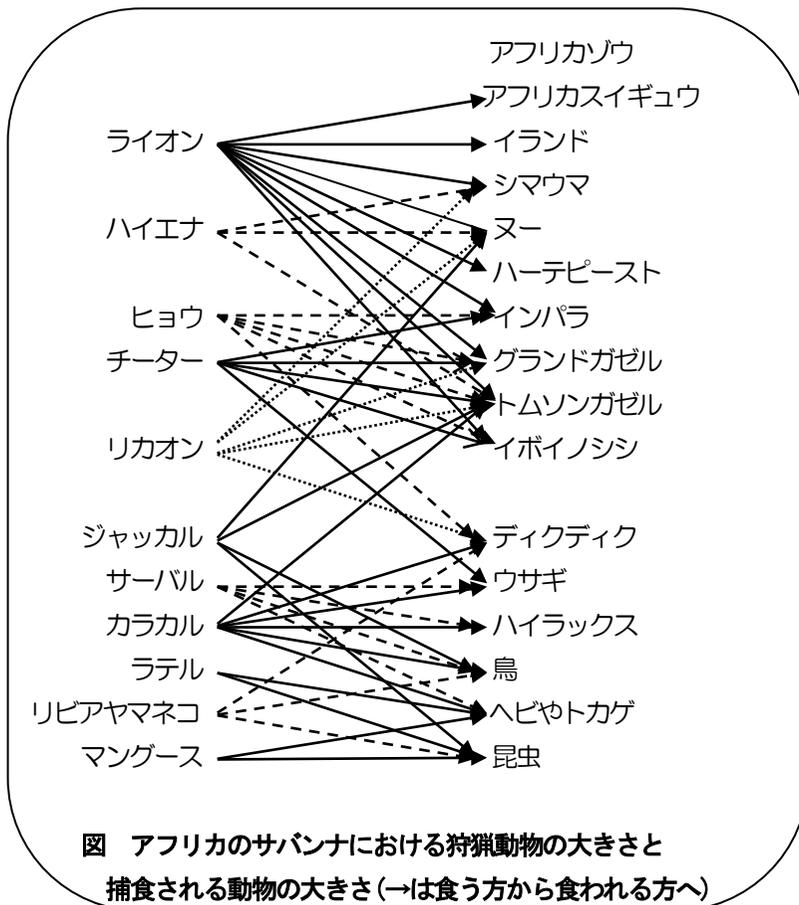


ネズミのなかまは、全体として哺乳動物の中でからだの小さい方の動物です。ほかの哺乳動物に食べられる側に位置しています。しかし、からだが小さいことによってさまざまな環境にすみわけて生活しています。ヤマアラシやカピバラなどの動物、リスやムササビのような樹上で生活しているもの、ビーバーのように水中を泳ぐ生活をしているものがあります。それらはどれも共通して、ずっと伸び続ける非常に発達した上下の前歯があります。クルミのような堅い実をかじることができますし、ビーバーのように樹木をかじり倒すことができるものもあります。どれも植物食ですが、ほかの哺乳動物とちがって、空中から樹上、地表、土中、水中までさまざまな環境で生活しています。これに対して、ほかの哺乳動物は、前のページの図のように、食べものも、生活環境も限られているものが多く、いろいろな場所に広く生活しています。

## 2-2. からだの大きな動物と小さな動物

### 大きな動物と小さな動物は食べものとなる動物がちがう

動物には、からだが大きくすばやく行動するものがくわれにくく、小さくゆっくりと行動するものは食われやすいという傾向がみられます。そして、動物食の動物といえども、自分より大きな植物食の動物を食べるといのは限られた動物にしかみられません。からだの大きさ、行動がすばやかゆっくりかということと食物連鎖の中での位置との関係はつぎのようです。



生きている動物を狩猟して捕食している動物としてよく知られているライオンは、アフリカスイギュウのような大型の植物食動物を食べますが、小さな動物はあまり食べません。とはいえ、アフリカゾウ、カバなどさらに大きな動物を食べることもありません。これらの植物食動物は、子どもを除けば、自分たちを食べる動物がいないということになります。一方、リビアヤマネコやマンダースのようにからだの小さな動物食の動物は、昆虫や小さな動物しか食べることができません。ただしこれにあてはまらないものもあります。

### くいわけ

こうして動物は、からだの大きさのちがいによって、かかわる生物や環境との関係をたがいに別にするることによって共存しています。食べものを別にするという意味で「くいわけ」というように言われることがあります。くいわけは、まず動物食か植物食に分けられます。どちらも生食か死がい食に分けられます。また大きな動物を食べるかどうかのくいわけがあり、葉を食べるか実を食べるかのかのくいわけがあり、果物の周りの果肉を食べるか種子を食べるかのかのくいわけもあります。それに対応して行動のしかた、捕えかたにちがいがあり、それに対応して口や歯にちがいがあります。動物食の動物は歯がするどいですが、ウシ・シカ、ウマなどの植物食の動物は、鋭い歯はなく、堅い植物体をすりつぶす頑丈な歯をもっています。

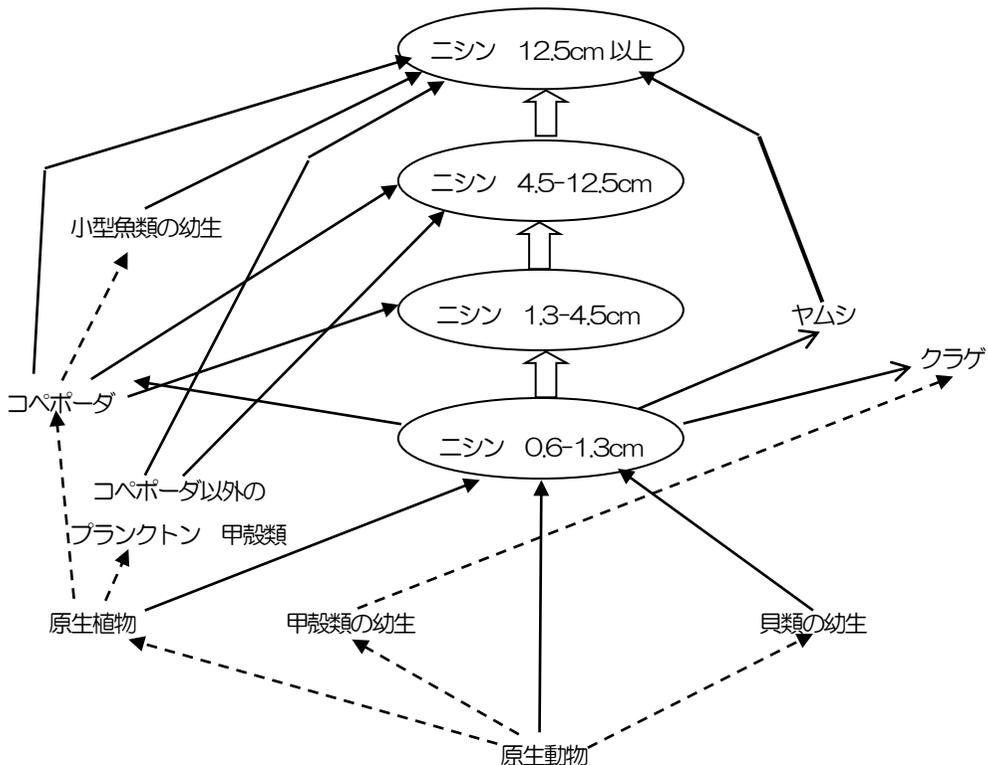


図 ニシンの成長にともなう食物連鎖の中の位置の変化

⇨: 成長過程、→: ニシンが食べる、→: ニシンが食べられる、⋯→: ほかの動物どうし

## 成長にともない「食う—食われる」の関係が変わる

同じ種類の動物であっても、成長しからだの大きさや構造が変化するにしたがって変わっていきます。食べる生物が変わり、自分を食べる動物が変わります。成長するにつれて、からだが大きくなり、動きがすばやくなり、えものをとらえる能力も、敵から逃げる、あるいは立ち向かう能力も高まりますと、小さい段階の時に敵だった動物がそうではなくなり、あるいは逆にえものにして食べるようになり、それまでえさとして食べていたものがえさでなくなるという、「食う—食われる」の関係が変化します。そのことは、死亡する率が変化することを意味します。前のページの図は魚類のニシンの成長にともなう捕食連鎖の変化を示したものです。ニシンの体長 0.6-1.3 cm の時は、コペポードというエビ・カニのなかまである甲殻類に食べられています。体長が 1.3-4.5 cm に育ちますと、逆にコペポードをえさにしています。また大きく成長したニシンは、この図に描いていませんが、もっと大きなさかなに捕食されます。またその大きなさかなは、体長が 0.6-1.3 cm というような小さなニシンを食べることはありません。

### 2-3. オーストラリアの哺乳動物世界

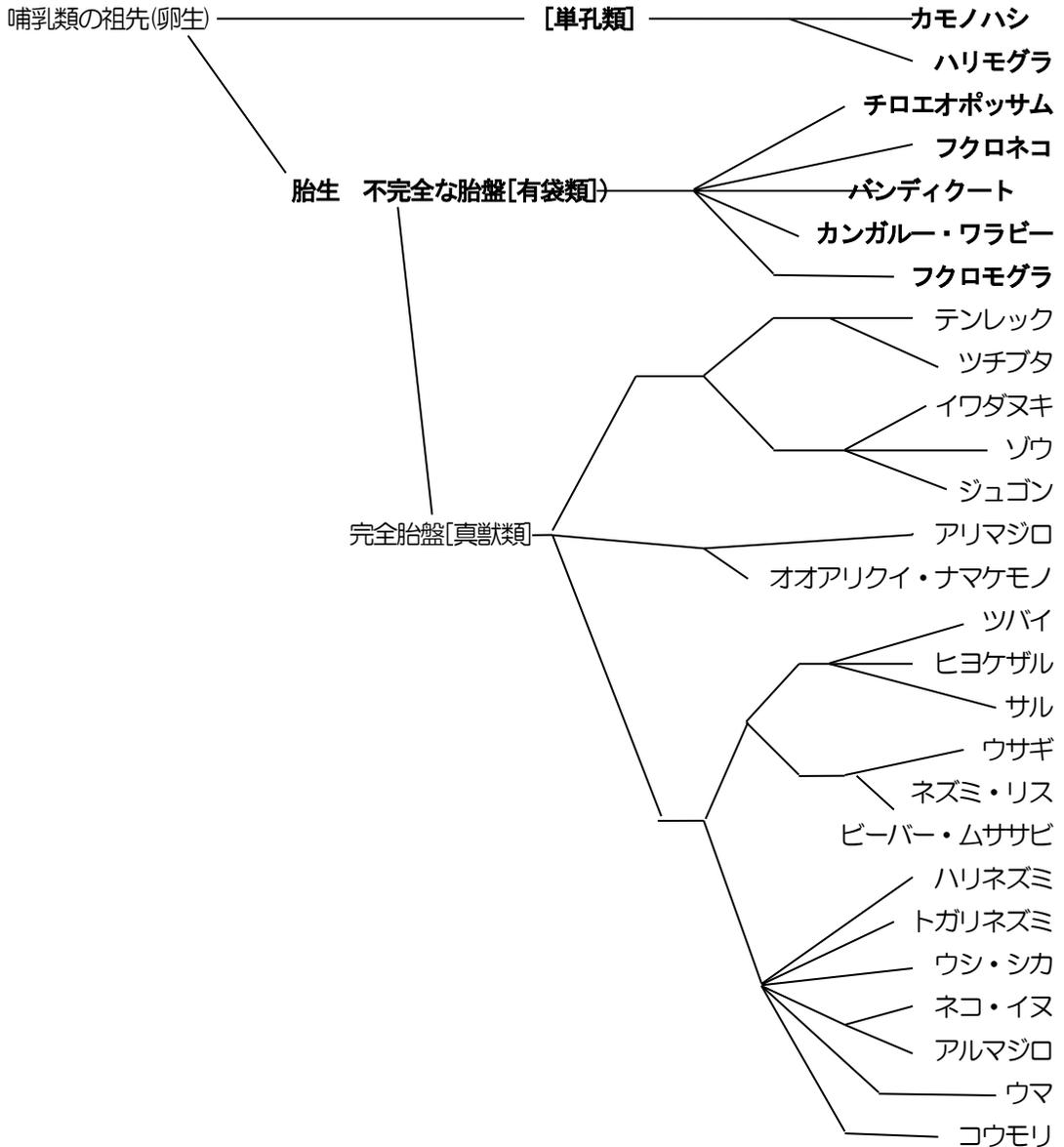
オーストラリア大陸の動物世界のうち哺乳類世界に注目し、現在の状況について見ますと、それは日本の哺乳類世界と同じで、在来の哺乳動物と人間が移入した哺乳動物が入り混じって形成されています。しかし、日本の哺乳類世界とは、1つだけ大変重要なちがいがあります。それは、在来のものが最初の哺乳動物と比べて基本構造が大きくは変わっていないが、進化の別の道を進んだ単孔類と有袋類であることです。そして人間がもち込んだものは真獣類です。日本の哺乳動物は、在来のものも人間がもち込んだものも真獣類です。

哺乳動物の主な特徴はつぎのようなものです。

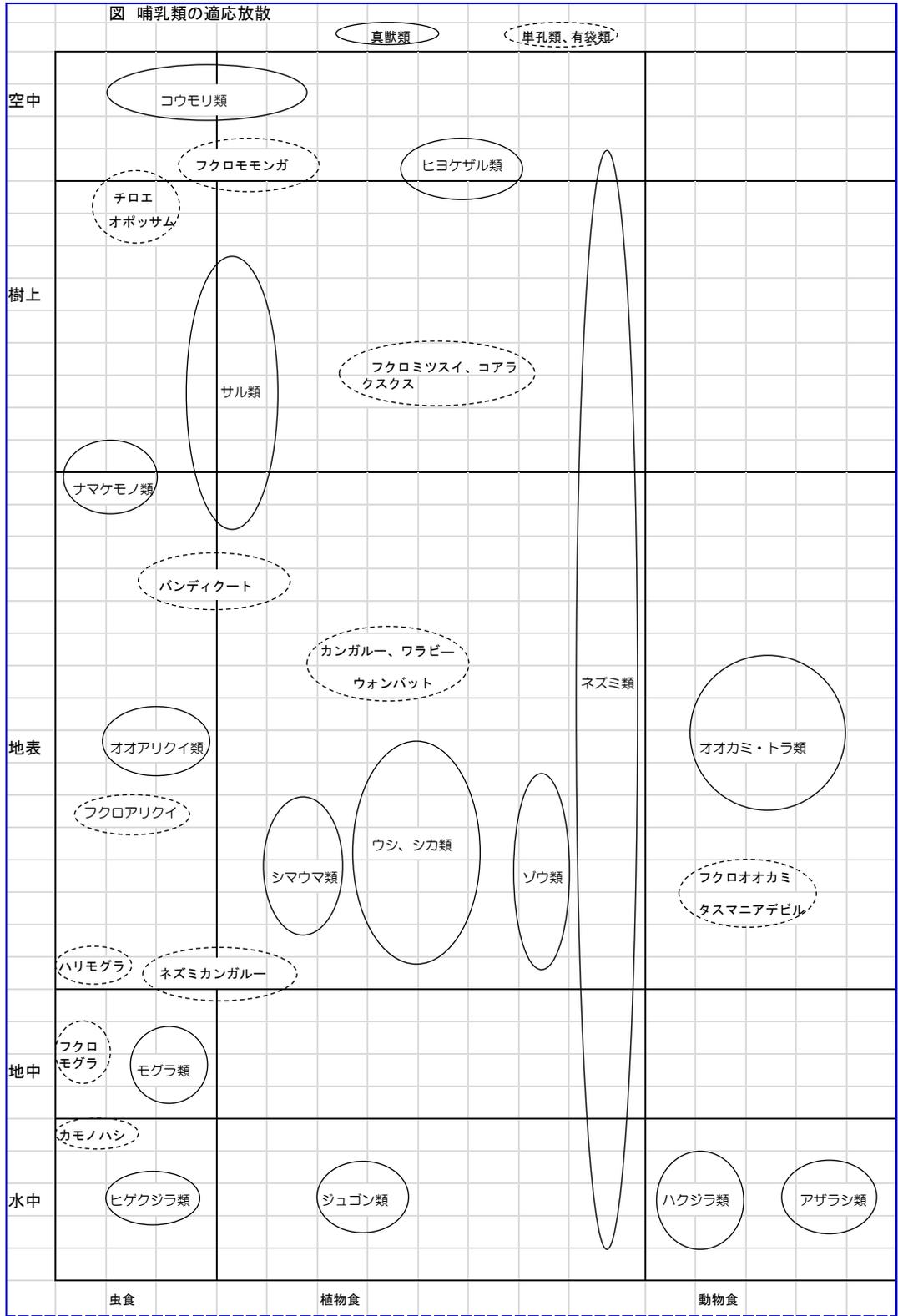
1. 肢が胴体の下から地表に対して垂直に伸びている
2. 体表が密な毛で被われている
3. 恒温性である
4. 脳が発達して、運動と内部環境恒常性維持の器官の調節が進んでいる
5. 子を哺乳する
6. 下顎骨が1つである
7. 歯がはたらきに対応して分化している

「単孔類」という名は、糞をする肛門、尿を排出する排出口、卵を産む産卵口が、鳥や爬虫類と同じく1つであることに由来しています。哺乳動物のほとんどは、母親の体内にある子宮で受精卵を育てて子にしてから産みますが、単孔類は、卵のまま産む「卵生」です。「有袋類」というのは、字のごとく腹部に袋があり、未熟で生まれた子が保護・養育されている動物という意味です。これに対して真獣類は、「有胎盤類」ともいわれています。子宮の内側に胎盤ができてそれで受精卵を育て、子にして産む動物です。3種類とも、母乳で子を育てるという点で

は共通しています。哺乳類という名はこれに由来しています。



単孔類も産み出された卵が孵化して子になりますと、母親は母乳を与えます。有袋類の未熟な子も、袋の中に乳首があってそれに吸い付いて母乳をのみ、育ちます。それぞれにはどのような動物がいるかを次に示しました。単孔類・有袋類というオーストラリアの哺乳類とほかの地域に生活している真獣類を比較しますと、下の図のようにたがいに似たものがたくさんいます。フクロオオカミは、オオカミによく似ています。外形だけでなく、生活のしかたも似ています。ともに地表を行動しほかの動物を捕食しています(フクロオオカミは、ユーラシア・アフリカに生活していた人が入ってきてから、捕殺するようになって、絶滅しました)。



フクロモグラとモグラも、地中にトンネルをつくって昆虫などをたべています。フクロモモンガは、ムササビやモモンガ、ヒョケザルと同じく、樹上生活し空中を滑空します。前足と後ろの間には皮膜があります。コアラやクスクスは、サル類と同じく樹上生活が中心で、前足に似たところがあり、木登りに適したかたちになっています。カンガルーやワラビーには、地表で生活し植物食のものが多くことから考えますと、真獣類のウシやガゼルなどに相当します。しかし、真獣類のコウモリに相当するものはいません。鳥類が多種類生息しています。

新しい土地に進出して、さまざま異なる環境のところへ分布を広げていった時に、環境のちがいに対応して、生活のしかたとからだのつくりが別のものになり、それぞれの場所に定着していくということは、単孔類・有袋類でも真獣類でも同じであるということがわかります。それまで似たような動物がいない地域に移住していった場合には、分布を広げ、長い年月の間にその地域の環境の多様さに対応し、また動物相互の関係からも多様さが生まれるというのは、生物一般にみられることです。これは、これから何回か述べることになりますが、「すみわけ」による共存ということができません。なお、すみわけについては、研究者によって広く考える人と狭く考える人がいますが、ここでは広く、生物世界の一般法則として理解しています。世界の哺乳動物の進化のあとをたどりますと、ユーラシア大陸・アフリカ大陸とオーストラリア大陸がまだ地続きであったころ、哺乳動物は、さまざまな環境のところへ生活場所を広げ、それぞれの場所の環境のちがいに対応して、生活のしかた、からだ異なるものにかわりながら、地球の北の方から南に向けて分布を広げました。最初に出現した哺乳動物は、単孔類のような卵生の動物であり、また骨格・筋肉、行動のしかたが未発達なものでしたが、やがてこれから不完全な胎生の有袋類が生まれ、こうした分布を拡大していきました。そして、北の方に生活していた有袋類の中のあるものから胎盤をもつ胎生で、しかも骨格・筋肉と脳が発達した真獣類がそれを追いかけるように、北から南へと分布を広げていきました。そして有袋類にかわって定着していき、真獣類の世界をつくりました。そうしたことをアフリカ大陸でも実現し、オーストラリア大陸に移るころ、アフリカ大陸とオーストラリア大陸は離れ、海によって隔てられました。そのことによってオーストラリア大陸には、真獣類が進入することなく単孔類・有袋類によって形成されたものがそのまま残りました。

現在のオーストラリア大陸の哺乳類世界をみますと、単孔類・有袋類と真獣類がみられます。しかし、真獣類はすべて人の移住にともない、あるいは人がもちこむことによって生活するようになったものです。ユーラシア大陸やアフリカ大陸に住んでいた人たちが移住してくる前は、単孔類・有袋類と真獣類とは、からだの基本、子孫の生まれ方の基本には大きなちがいはありますが、具体的な生活のしかたと密接な関係のある部分は、どのような生活環境で生活し、何を捕食するかということが密接に関係している点は共通しているところがわかります。

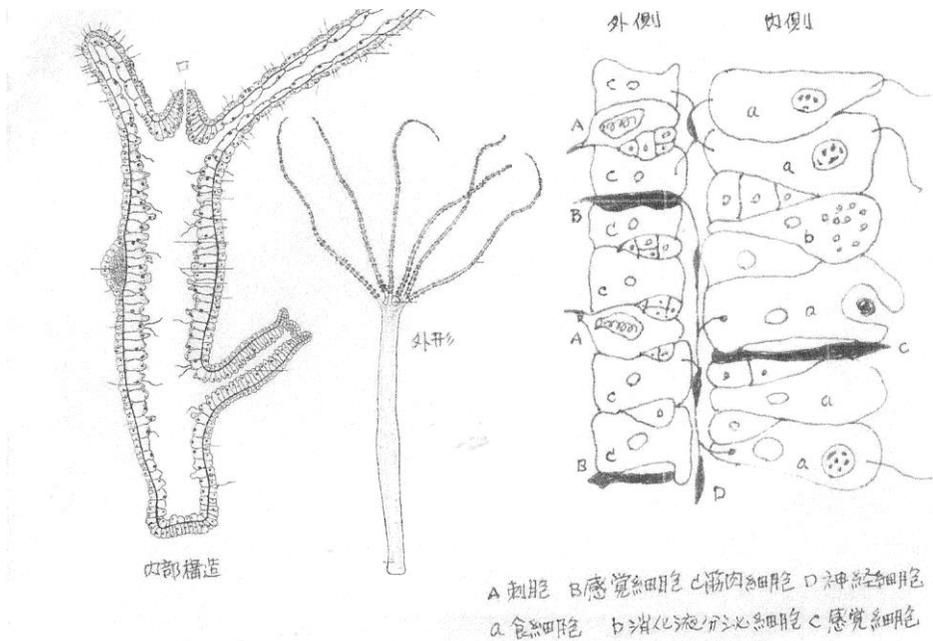
じつをいいますと、有袋類には、オポッサムのように、1部ですが、熱帯アジアや南アメリカ大陸に生活しているものがあります。それらは真獣類と共存しています。これらの地域の哺乳動物は、全体としては真獣類によって形成されている世界ですが、その中の特定の環境のところまで生存しています。

2-4. 動物のからだの基本構造—ヒドラのからだとヒトのからだ

つぎに、動物のからだの基本となる構造がどのようなものであるか、明らかにしたいと思えます。まず細胞性動物としてからだをもっとも単純だと思われるものの1つであるヒドラという動物のからだとそのはたらきについて具体的にみてみようと思えます。

ヒドラのからだは、細胞が内と外の2列に並んで成り立っています。外側の細胞層と内側の細胞でははたらきがちがいます。外側の細胞層は、つぎの図のA、B、Cの3つの細胞が分散するように並んでいます。図では黒く塗りつぶしてあるBは感覚細胞です。何かがこの感覚細胞にふれると、そのことは近くの細胞に伝わります。Cは筋肉細胞です。これが伸びたり縮んだりして2つのはたらきのもとになっています。1つはからだ全体を伸ばしたりちぢませたり、時にはからだ全体が移動するのに役立ちます。2つめのはたらきは、からの中央にある腔腸とよばれる空洞に入ってきたえさを砕くやくわりです。

つぎのページの図のAの細胞は、刺胞細胞とよばれるもので、このヒドラやクラゲ、イソギンチャク、サンゴをまとめて「刺胞動物」といっているように、これらの動物に共通したものです。Bの感覚細胞が何かをふれたことを感じると、この刺胞細胞に伝わり、刺胞細胞は、そのふれたものに対して針をとばします。針には細く長い管がついていて、その中を毒液が流れて、相手に傷害をあたえる、あるいはからだを麻痺させる、あるいは殺してしまいます。このほかにアルファベットがついていない細胞がありますが、これはからだをかためる役割を果たしています。これでわかると思いますが、外側の細胞は、からだの外のえさ、外敵、その他環境条件に対してはいるものです。



これに対して、内側の細胞層は、えさの消化に役立っている細胞の集まりです。えさである生物またはその小片を捕えると、左の図の、口と書いてあるところから内部の腔腸にのみ込みます。右の図のbの分泌細胞とよばれているものは、消化液を分泌する細胞です。aは食細胞といわれていますが、のみ込みによって食物を消化するはたらきをしています。そして、もう1つ大事な細胞があります。それは、Dの神経細胞です。感覚細胞とその他の細胞をつないで、情報をおくる役割をはたし、えものを捕えて食べて消化する、敵をおいはらうという点で、相互につながりをもたせています。神経細胞がある動物としては、ヒドラはもっとも単純なからだをしている動物です。

この図に表わされていませんが、もう1つちがった細胞があります。それは精子と卵子をつくる細胞集団です。環境条件が悪くなってきましたと、この2つの生殖子をつくる細胞集団ができます。また栄養条件がよいと、どんどん成長していくつかに分かれて繁殖します。

動物のからだと生活について、ヒドラのからだの図でははたらきがわからないものがあります。その1つは、栄養物質を分解してエネルギーをとり出す時に必要な酸素分子をどのようにとり入れるかということです。ヒトのからだの場合は、呼吸器官といわれている肺や気管などによってとり入れられ、血液中に入って全身に送られます。これは、酸素分子のとり入れのための特別に専門化した種々の細胞の集まったものです。ヒドラは、エネルギーとり出しの栄養物質の分解に酸素分子を必要としないのだろうか。そんなことはありません。1つひとつの細胞ごとにその表面から環境である水に溶けている酸素分子をとり入れています。特別に専門化した細胞がなくても十分な量をとりに入れています。

つぎのはたらきは、逆に不要になった、あるいは濃度が高まれば有害となる物質の排出をどうしているのかということです。エネルギーとり出しで栄養物質を分解して発生した二酸化炭素やアンモニアは高い濃度になりますと有毒となります。ヒトの場合、肝臓で二酸化炭素とアンモニアを反応させて毒作用の弱い尿素という物質を合成して排出しています。ヒドラには肝臓と同じはたらきをする細胞群はありませんし、体外に棄てる排出器官もありません。ヒトの場合、腎臓などが排出器官です。ヒドラの場合は、1つひとつの細胞が、その表面の細胞膜を通じて体外に棄てています。特別に専門化した細胞群がなくても、有害な濃度にならない内に体外に排出できるのです。

動物として生きていくのに必要なはたらき	ヒドラの場合	ヒトの場合
捕食	食細胞・口	口・運動器官
消化	食細胞・腔腸	胃・腸
えさ・敵をみつける	感覚細胞	目・耳・鼻・皮膚感覚
からだの動き	筋肉細胞	筋肉と骨格
感覚と筋肉細胞を連絡する(神経系)	神経細胞	脳・脊髄・末梢神経
酸素分子のとり入れ	—	呼吸器官(肺や気管、肋骨・肋間筋)
不要・有毒物質の処理・排出	—	肝臓、腎臓などの排出器官
栄養物質などの体内循環	△	血管・心臓・血液

もう1つのはたらきについての疑問は、刺胞細胞や筋肉細胞、あるいは分泌細胞は、生きていく上で必要な栄養物質をどうしているのだろうかということです。刺胞細胞が毒液をつくるには多量の栄養物質が必要でしょうし分泌細胞がつくる消化液は主成分はタンパク質です。筋肉細胞はほかのどの細胞よりも大量のエネルギーを必要とし、そのために大量の栄養物質を分解しているはずですが、それにもかかわらず、自分でえさを捕えて細胞内で消化するということをしていません。これは、細胞から細胞へ連絡ができていないことと、全身の細胞と細胞の間にすきまがあって、そこに水がためられていて、それに栄養物質が溶けて、自体では栄養物質を獲得できない細胞に渡されています。ヒトですと、腸で完全に消化されて生成されたアミノ酸やブドウ糖は、血管内の血液に渡され、その血液が全身を循環していることによって、各細胞に栄養物質は渡されています。ヒドラとヒトでは、動物として生きていく上で必要な基本となるのはたらきは同じです。ちがうのは、はたらきが専門化しているかいないか、少ないかどうかです。

### 2-5. ゾウリムシのからだと生活

ゾウリムシは、からだの大きさが体長でみますと、大きいもので 0.2mm です。肉眼でやっと見えるという大きさです。もちろん顕微鏡を使わないと、内部構造はわかりません。

ゾウリムシはからだが非常に小さい動物であるだけでなく、内部が細胞が集まった構造になっていません。動物として生きていく上ではたらきを分担して専門化しているものはありますが、たくさんの細胞に分かれています。‘たくさんの細胞からからだできていない動物’という意味の「非細胞性動物」といいます。この名は、現在あまり使われておらず、単細胞動物といういいかたがされています。

動物であるならば、動物として生きていく上で必要な基本的なはたらきがあるはずですから、ヒトのからだと比較して確かめることにします。

動物として生きていくのに必要なはたらき	ゾウリムシの場合	ヒトの場合
捕食	□・食胞	□・運動器官
消化	食胞	胃・腸
えさ・敵を見つける	体表にある感覚点	目・耳・鼻・皮膚感覚
からだの動き	体表にある繊毛	筋肉と骨格
感覚と筋肉細胞を連絡する(神経系)	—	脳・脊髄・末梢神経
酸素分子のとり入れ	—	呼吸器官(肺や気管、肋骨・肋間筋)
不要・有毒物質の処理・排出	収縮胞	肝臓、腎臓などの排出器官
栄養物質などの体内循環	△	血管・心臓・血液

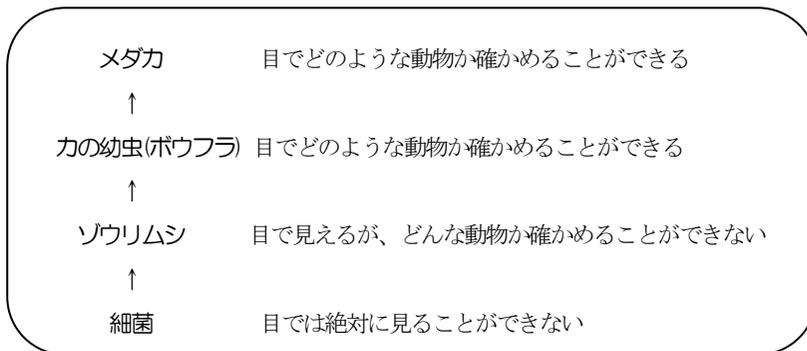
ゾウリムシは、非細胞性動物としてはからだ複雑です。同じような非細胞性動物の中には、えさを捕えるための口や、そこから食胞までの通路がないものもありますし、収縮胞のないものもあります。

体表にあるせん毛など感覚について専門化したものがあり、それが環境のようすを感じてすぐにせん毛の根もとに伝え、せん毛をはげしく動かして行動します。収縮胞は、不要、有毒物質のほか過剰な水を排出します。酸素分子は体表で吸収します。からだの小さな動物は、からだの内部の酸素分子を必要とする部分に対する体表面積の比が大きいので、肺、えらのような専門の器官を必要としていないようです。

ゾウリムシは、からだが分裂してふえます。またゾウリムシの個体どうしの接着して、内容物質を交換します。

ゾウリムシのからだの中には、ヒドラやヒトの細胞の中にある核と同じものがあります。これは、からだを構成している物質を合成するための情報をもったDNAという物質がふくまれている、からだの成長や分裂による繁殖の時にはたります。こうしたことから、ゾウリムシのからだは、1つの細胞であると考えて、「単細胞動物」という名が生まれました。それとは別の考えかたから、私たちヒトやヒドラなどのからだを形成している細胞は、非細胞性動物が変化したものであることから、細胞性動物とよび、細胞に分かれていない動物を非細胞性動物とよんでいます。これについては、あとで具体的に詳しく説明します。

ゾウリムシは、からだが小さいので、動物として食物連鎖の食われる側に位置し、細胞性の動物を食う側には位置していません。逆にカの幼虫であるボウフラのような細胞性動物に食べられる側にいます。ボウフラは、からだ小さいといっても、細胞性動物であることによってゾウリムシよりもはるかにからだ大きい動物です。ゾウリムシの主な食べものは、細菌のような、同じ非細胞性生物であっても、さらに小さな生物をえさとして食べています。



## 2-6. 動物世界の食物連鎖の基本

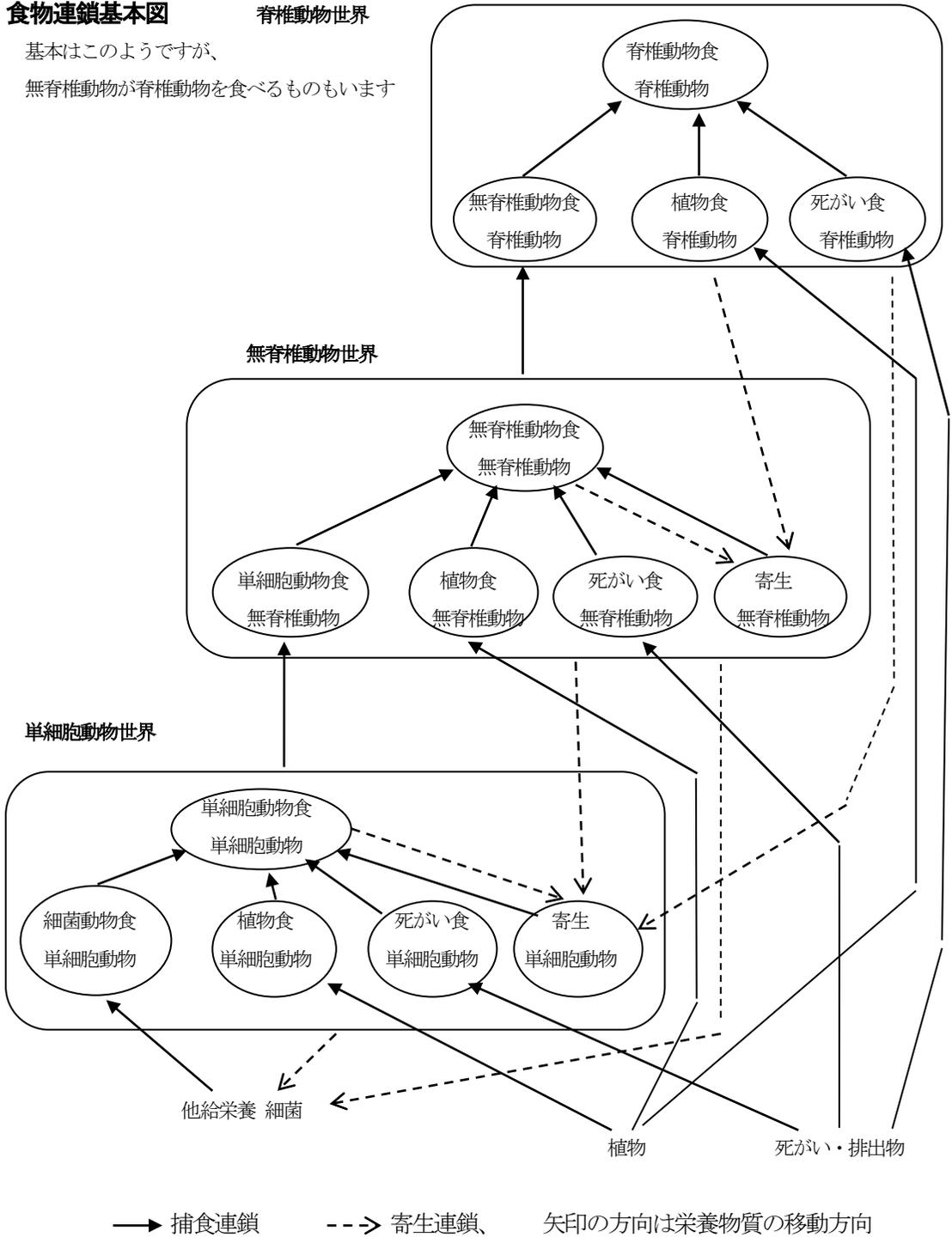
動物世界を、からだの基本構造に焦点をあててみますと、おおまかに見ますと、ヒトのような背骨をもっている大型な動物、ヒドラのような背骨をもたない動物、ゾウリムシのような非細胞性動物の3つの動物群のたがいの関係の中で成り立っています。その関係の中の、捕食連

鎖、寄生連鎖の2つを合わせた食物連鎖をみますと、つぎの図のようになります。これは動物世界の食物連鎖の基本というべきものです。

**食物連鎖基本図**

脊椎動物世界

基本はこのような、  
無脊椎動物が脊椎動物を食べるものもあります



動物世界全体の生活は、植物と死がい栄養源としていることが基盤になっています。また動物の「食う一食われる」の関係は、3つの動物群ごとに独立して成り立っています。脊椎動物の動物食のほとんどのものは、他の脊椎動物を食べている。3つの動物群のたがいの関係は、それぞれ一部の動物をとおして成り立っています。たとえば無脊椎動物を食べる脊椎動物は、ミミズや昆虫などを食べるモグラ、あるいは小型のサル類、小型の甲殻類をのみ込んで食べるハクジラなどの一部です。非細胞性動物群を食べる脊椎動物はいません。多くの脊椎動物は、植物と死がいを基盤にお互いにつながっています。動物食動物は、同じ脊椎動物の他のものをたべています。ところが寄生連鎖に目を向けますと、細菌類、菌類だけでなく非細胞性動物の中の多くのものは、脊椎動物、無脊椎動物の体表に付着したり、体内に入り込んだりして寄生生活しています。食物連鎖を捕食連鎖と寄生連鎖にわけてみることによって、動物世界を形成している3つの動物群は、一方通行の関係ではなく、相互に関係していることがわかります。

このような点から、非細胞性動物は、あとから無脊椎動物や脊椎動物が出現しても滅亡しなかっただけでなく、むしろ他の動物の体内という新たな生活環境が生まれて、この2つの動物群が出現する前にはまったく見られなかった寄生生活という動物としては独自の生活様式を身につけて、そこに多様な世界を形成することになりました。同じことは、無脊椎動物と脊椎動物との関係にもみられます。脊椎動物が出現して、無脊椎動物は、その脊椎動物の「虫食」といわれる一部のものには食べられるようになりましたが、それで滅びませんでした。逆に脊椎動物のようなからだが大きな動物が出現したことは、その体内に入り込んで寄生生活する機会が訪れ、運動・捕食という生活とは別の生活のしかたを身につけることができました。これは、からだが大きくこととちがいのちがいは、優劣の関係にあるのではなく、生活のしかたのちがいであるという見方をしたほうが、動物の生活をそのとおりにとらえる手段になります。

このような点から、非細胞性動物は、あとから無脊椎動物や脊椎動物が出現しても滅亡しなかっただけでなく、むしろ他の動物の体内という新たな生活環境が生まれて、この2つの動物群が出現する前にはまったく見られなかった寄生生活という動物としては独自の生活様式を身につけて、そこに多様な世界を形成することになりました。

### 3. 動物—その受精卵から成体まで

#### 3-1. ヒトの受精卵から成人まで

ゾウリムシのような非細胞性の動物は、分裂で2つになると、分裂前の個体よりも重量、体積にして半分になりますが、からだのつくり・はたらきは、1つのゾウリムシとして生きていく上で必要なものは完備しています。ところが細胞性動物は、非細胞性の卵と精子が合体してできた受精卵から出発します。

受精卵は非細胞性の動物体です。受精卵は、捕食も運動もしません。ヒトや他の哺乳動物のように胎生で生まれてくる動物では、子または子に近い状態で生まれますが、それまでの母体内にいる間は、捕食・運動というような動物らしさはみられません。ですから、細胞性動物は、

非細胞性動物から細胞性動物へ、動物ではない状態から出発して動物になるというのが、発生という変化の特徴といえます。受精卵のつぎの変化である多細胞化は、からだをいくつもの細胞に分割するはたらきです。受精卵の分裂から始まります。その後も分裂はくり返し何回も行なわれ、細胞の数を増していきます。細胞の数がどんどん増えていく中でからだに第2の変化が現われます。ヒトの場合は、将来子になる胚と、その胚を守り養育する部分に分かれます。分裂による細胞の増加は継続していますが、その細胞の大きさやかたち、あるいは細胞の並び方に大きな変化がおこります。この保護・養育器官を、ここだけの呼び方ですが、「保護器官」ということにします。母体内における発生過程の進展にともなって受精卵がどのように変化していくかは、次のようです。

### 受精卵→多細胞化→胚と保護器官のもと→胎児と保護器官(羊のう・さい帯・胎盤)

保護器官は2つの部分に分けられます。1つは、膜のようになって胚を包んで保護するものです。もう1つは、胎児とその胞状の保護部分と母体とを結び付ける部分です。このあとのものは、胎盤とさい帯です。さい帯とは胎盤と胚をつないでいる血管とその保護膜からできています。胎盤は、母体の血管と胎児の血管が接近したものです。栄養物質や酸素分子は母体の血管から一度出て、それを胎児のほうの血管が吸収します。老廃物はその逆で、胎児のほうの血管からしみ出し、それを母体の血管が受け取ります。胎児のほうの血管とは胎児の血管の一部が枝分れしてさい帯の中を通過して胎盤まで伸びたものです。母体の血管と胎児のからだから伸びた血管は、接着していませんから、母体の血液と胎児の血液が混じり合うことはありませんが、血管の壁を通り抜けられる物質の場合には、受け渡しができます。胎児性水俣病というのがありますが、母体がつり入れた水銀を、この胎盤を通じて子のほうの血管につり入れたことによって発生した公害病です。ウイルスが同じように受け渡しされるものがありますが、ウイルスが病原性のものであれば、胎児に異変がおこります。

胎児というのは、胚の後半ですが、胎盤をつくって子を母体内で育てる場合の胚のことをいいます。胎生で生まれてこない動物では胎児という成長段階はありません。

それでは、生物として生きていく上で必要なはたらきはどうなのか、受精卵の段階では、まだ生物らしさもみられないのだろうかという問題が浮かんできます。受精卵から成人に向けての発生、成長の過程は、単にからだのかたちがどのように変化して成り立つかというだけにとどめず、こうした生物としての、あるいは動物として存在のしかた、それを支えるさまざまなはたらきがどのように形成されているかということが1つの大事なこととなります。主なはたらきの変化を整理しますと、つぎの表のようになります。

受精卵は、栄養物質を分解してエネルギーをとり出しています。その結果発生した不要で有毒な物質「老廃物」の排出もしています。酸素分子を体表からとり入れています。しかし、体外から原栄養物質をとり入れることはしません。その体内にすぐ利用できる栄養物質がふくまれていますから糞はしません。運動することもあります。受精卵には、心臓も脳はありません。

受精卵には、普通の「動物らしさ」がみられません。生物としてはしっかりと生きています。

表 ヒトの発生にともなうからだのはたらきの変化							
	受精卵	多細胞化	胚	胎児	乳児	子ども	おとな
エネルギーとり出し	○	○	○	○	○	○	○
体構成物質の合成	○	○	○	○	○	○	○
心臓のはたらき				○	○	○	○
脳のはたらき				○	○	○	○
酸素分子のとり入れ	△	△	△	△	○	○	○
老廃物の排出	△	△	△	△	○	○	○
運動					○	○	○
捕食					○	○	○
繁殖							○

受精卵は、栄養物質を分解してエネルギーをとり出しています。その結果発生した不要で有毒な物質「老廃物」の排出もしています。酸素分子を体表からとり入れています。しかし、体外から原栄養物質をとり入れることはしません。その体内にすぐ利用できる栄養物質がふくまれていますから糞はすせん。運動することもあります。受精卵には、心臓も脳はありません。受精卵には、普通の「動物らしさ」がみられません。生物としてはしっかりと生きています。

上の表では、酸素分子のとり入れ、老廃物の排出は、受精卵、多細胞化、胚、胎児のところを△にしてあります。これらのはたらきは、すべて直接環境との間でしているのではなく、母体が仲立ちしていることを意味しています。たとえば酸素分子のとり入れは、つぎのようです。

母体外→母体の肺→母体の血液→胎盤(母体側の血液→胎児側の血液)→胎児の血液→胎児の各細胞

つづいて、‘からだを構成している物質を合成しているだろうか’という問いに対してはどのような答えになるのでしょうか。外から栄養物質を獲得することなく、栄養物質をエネルギーとり出しのために消費していますから、体重は増加することなく減少していきます。しかし、体構成物質の合成は行なわれています。受精卵をつくっている物質は、現に生きていることを進めている物質と「貯蔵物質」から成り立っています。貯蔵物質は、エネルギーとり出しや体構成物質合成の材料として利用されているものです。ニワトリの卵でいえば、大部分を占める卵黄が貯蔵物質です。貯蔵物質に対して生きていることに役立っている物質ですから、「機能物質」ということにします。機能物質は、ニワトリの卵の場合、ごく一部です。「胚」といわれている白い部分です。ヒトの受精卵は、直径が0.1mmくらいで、ふくまれている貯蔵物質はほん

のわずかです。機能物質は、貯蔵物質を消化して利用します。ヒトの受精卵や胚は、母親から供給されます。その利用の1つは、体構成物質の合成があります。貯蔵物質から機能物質の転換です。具体的には、まず核が2倍になります。核の中には、DNAとRNAを合成する物質群が入っていますから、分裂して2つの細胞になる時には、この物質群が合成されます。また、細胞膜をつくっている物質は2倍とはなりません、増加します。その膜物質は、リン脂質という物質ですから、そのはたらきを進める酵素も合成されます。酵素はタンパク質が主成分ですから、タンパク質の合成も行なわれます。受精卵は、分裂するたびに、こうして体構成物質を合成します。貯蔵物質は、エネルギーとり出しと、体構成物質への転換が重なってどんどん減少していきます。かわって機能物質はふえていきます。からだ全体としては、貯蔵物質、体構成物質を合わせますと、エネルギーとり出しのために減少していきます。

このように見てきますと、‘ヒトは、生まれてからだけでなく受精卵の段階から生物として欠かせないはたらきをしている’ということが出来ます。しかし、受精卵から胎児までは、捕食、運動をしませんから動物らしさはありません。受精卵から胎児までの生活は、腸に寄生しているサナダムシの生活とほぼ同じです。サナダムシも、栄養物質など必要な物質はすべてヒトの腸からとり入れ、老廃物の排出は、ヒトが外界に棄てます。サナダムシの体内では、エネルギーのとり出し、体構成物質の合成が活発に進められています。

### 3-2. カエルの発生と生活の変化

カエルは、ヒトとちがって、受精卵を母胎内で保護、養育して子どもになってから産むということはありません。受精卵は親から独立して発生を進めます。つぎの表のように4つの段階を経ています。胎生ではないので、胚と胎児に分かれていません。乳児という段階もありません。

表 カエルの発生にともなうからだのはたらきの変化						
	受精卵	多細胞化	胚	幼生	子ども	おとな
エネルギーとり出し	○	○	○	○	○	○
体構成物質の合成	○	○	○	○	○	○
心臓のはたらき				○	○	○
脳のはたらき				○	○	○
酸素分子のとり入れ	○	○	○	○	○	○
老廃物の排出	○	○	○	○	○	○
運動				○	○	○
捕食				○	○	○
繁殖						○
生活場所	水中	水中	水中	水中	陸上	陸上

かわって幼生という段階があります。幼生は、ヒトの胎児の前半のように成体とはからだが大きくちがう時期に泳ぎ、捕食し、成体とはちがった生活をする段階をいいます。受精卵から幼生まで水中生活、子ガエルから陸上生活というように変化します。動物としての生活のしかたの特徴である運動と捕食は、幼生の段階から成体まで行なっています。受精卵と胚の段階は、捕食、運動はしません。エネルギーとり出しと体構成物質の合成に必要な栄養物質は、親から供給された貯蔵物質を利用して行なっています。

生物としての基本的なはたらきである体構成物質の合成とエネルギーとり出し、老廃物の排出は行ないます。また酸素分子のとり入れは、受精卵の段階からずっと進めています。生物としての基本的なはたらきである体構成物質の合成とエネルギーとり出し、老廃物の排出は行ないます。また酸素分子のとり入れは、受精卵の段階からずっと進めています。

こうした発生過程の途中で、生活のしかた、生活する場所の環境が大きく変わることによって、からだにも大きな転換が見られます。運動は胚までしませんから、運動のための器官はありません(つぎの幼生の生活の準備段階として、その最終段階で見られるようになる)。幼生は、水中を泳いで行動するので、大きな尾びれがあります。これに対して陸上生活する子ガエル、成ガエルは、その尾びれがなくなり、4つの足があります。また運動をしない受精卵から胚までは、酸素分子をとり入れる特別な機関がありませんが、幼生の段階から呼吸器官が現われます。幼生は水中生活ですから「えら」で水に溶けている酸素分子をとり入れ、二酸化炭素を排出します。陸上生活の子ガエル、成ガエルは、ヒトと同じ肺で行ないます。また幼生は、やわらかい食物をけずりとして捕食しますから、口は小さいのですが、子ガエル、成ガエルは、動物を丸呑みして捕食しますので、そのために耳の近くまで開く大きな口をしています。また動く動物が主食ですから、目が大きく水中にもぐらず水面を泳ぐ時には上に出ています。

カエルの幼生からカエルへのこのような生活の転換は、からだの大きな変化が伴いますが、その転換点は、尾びれがなくなる少し前の、後ろ足が出たあとの、前足が出てくる時です。また老廃物の排出も、陸上は水不足になりがちなので、幼生時代は、アンモニアのまま排出していますが、アンモニアと二酸化炭素を材料に尿素を合成して排出するようになります。このはたらきも前足が出てくる時が転換点です。

### 3-3. 発生にともなう細胞分化—多細胞動物のからだの形成過程

受精卵からカエルになるまで、受精卵から成人になるまでのからだの変化は、4つのことが要素になっています。1つは多細胞化です。受精卵の最初の分裂によってからだは2つの細胞に分かれ、その後何回となく分裂をくりかえしたくさんの細胞が生まれました。第2は、それら多くの細胞がたがいにちがうものになることです。目の網膜をつくっている細胞と、脳細胞ではちがいますし、足の筋肉をつくっている筋細胞ともちがいます。このように、細胞がちがった別々のはたらきをするように変化することを「細胞分化」といいます。

この細胞分化は、進化の中で細胞性生物が出現した時から始まりました。細胞分化のない生物は、細胞性生物ということはできません。第3のことは、そうした1つひとつ特殊化した細胞が、たがいに接着して同じ細胞が集団ではたらくことによって、‘大がかりな’、あるいは‘大

規模な' はたらきになり、からだの大きい細胞性生物の生活を実現させていることです。もつとも単純な細胞性生物の1つであるヒドラでさえ、腔腸をつくっている内側の層をつくっている細胞と外側の環境の細胞ではちがいます。そしてヒドラではみられません、同じ特殊化した細胞の集団を「組織」といっています。さらにこの組織のいくつもちがったものが互いに結びついて、さらに進んだ、また大がかりなはたらきをまとめてするようになったものを器官といいます。いくつもちがったはたらきを結合させて高度なはたらきをするものです。このようちがった細胞と細胞の結合は、発生の過程で生まれてきます。そして第4のこととして、それら器官がからだ全体の中の位置が決まり、たがいの関連も生まれ、からだ全体が動物として生きるということが実現されます。これが細胞性動物の発生の進み方です。

カエルやイモリでくわしく調べられていますが、受精卵が分裂で2つに分かれた細胞は、そのまま発生過程が問題なく進行すれば、からだ全体の2つの部分になります。しかし、分かれた2つの細胞をたがいに切り離して、その後の発生過程をみますと、2つの細胞それぞれが小さいながらも1個体のからだに完璧にできます。また分裂が完全に2つの細胞にすることなく、ごく一部が接着していた場合は、2つの個体になりますが、接着していた部分がたがいに接着した2個体になります。

この3つの例からはっきりしたことが3つあります。1つは、分裂によって分かれた細胞それぞれに、将来1つの個体になる可能性があるということです。第2に、2つの細胞が接着しているか、それとも完全に離れてたがいに独立した細胞であるかのちがいによって、将来2個体になるか、あるいは1個体かを決めることになります。第3のこととして、接着した細胞それぞれには1個体になる可能性がありながら、その半分しか実現できないということです。

このようにして、分裂によって細胞の数がふえながら、可能性は限定されていきます。そして動物としてのからだの基本構造から順に、可能性の中のある特定の一部分になるように決定付けられていきます。その最初は、カエルを例でいえば、胚が胞状になったあと、一部が内側に陥入して胚のからだ全体が二重の層になって、入口のある袋のようになった時、その一部の細胞群が、将来何になるかが単なる可能性ではなく、決定がされます。それは、入口の背中側の部分で、二重の内側の細胞層の一部にしわが3つできます。その中央の部分は、背骨の原形となる「脊索」になります。背中側の頭から尾にかけて細長い棒状になります。するとそれに誘導されて、近くの外側の細胞層が内側にくびれて、これも頭から尾にかけて管状の細胞群になります。これは将来脳と脊髄になる決定がされます。やがてこの管状のものの先端がふくらんで、脳原形ができます。この部分は、もうほかの器官になりません。それだけでなく、このように将来どのような細胞、器官になるかが決まりますと、その周辺の細胞群に影響をおよぼして、どのような器官になるかを誘導します。こうしてそれぞれの細胞群が将来どのようなものになるかが決定され、他の細胞や器官になることは歯止めがかけられるようになります。そしてこうした変化がからだ全体に広がっていき、からだ全体がどのようなからだでどのような生活のしかたを生み出すかということがまします。

たとえば、将来脳になるふくらんだ部分の左・右2カ所で細長い細胞群が、からだの表面に

向かって伸びていき、体表の細胞群のすぐ近くなると、その体表の一部の細胞群は、内部にくぼみ、脳予定細胞群から伸びた細長い部分と結合して目の原基になります。細長く伸びた細胞群は先端が杯状になり、それは将来目の網膜になります。また内側にくぼんだ細胞群は目のレンズになります。

#### 4. 繁殖・死亡と動物世界の持続

動物はどのように生活しているのだろうか。動物にかぎらず生物の生活の中でもっとも重要なことは、生か死かです。それを左右している基本となることは、十分な栄養物質が獲得できるかどうかです。動物は、栄養物質が豊富な時期になると大きく成長し卵や子を産み育てます。栄養物質が不足するとどんどん死んでいきます。動物の場合は、栄養物質を捕食によって、ほかの生物やその死がいを食べることで獲得しています。

もう1つはどのようにして死亡するかということです。栄養不足によって死ぬこともその1つですが、それだけでなくさまざまなことが原因して死亡します。人間とくらべて、死亡がおだやかなのかはげしいのか、何が原因となって死亡するのか。この栄養物質を獲得すること、死亡を避けることの2つを中心に生活が展開されています。ところが、動物の生活にはもう1つ重大なことがあります。それは、動物はいずれ死亡します。死ぬ前に子孫を残します。以上3つのことに焦点をあてて、動物の生活を見ていきますと、「動物はどのように生活しているのだろうか」ということの基本がわかってきます。

それでは、この3つのことがよく調べられている、モンシロチョウ、アメリカシロヒトリの2種類の昆虫と、シジウカラという鳥類の生きているようすをみることにします。また動物の生活にとって重要な意味をもっています「食物連鎖」に注目して見ていくことにします。

##### 4-1. モンシロチョウの種族維持

###### a. モンシロチョウの生活

最初に、かつての農村ではごく普通にみられた昆虫、モンシロチョウがどのように生活しているか、具体的にみることにします。

モンシロチョウの一生は、春、産みつけられた卵から始まり、卵は、孵化して幼虫になります。幼虫は緑色をしていて、「アオムシ」と呼ばれています。それは、キャベツの葉をどんどん食べて成長していきます。その途中で4回、まわりのから（外骨格）を脱ぎすてます。「脱皮」といっています。昆虫の研究者は、こうした脱皮ごとに齢を数えています。このような成長と脱皮をくり返して、幼虫は5齢まで育ちます。そのあとさなぎになって休眠し、からだのつくりががらりと変わって成虫のチョウになり、卵を産みます。

この一生の中で、モンシロチョウの生と死、繁殖による数の増加と死亡による減少との関係はどうようになって、種族の維持が実現されているか、見ることにします。

### モンシロチョウの生活と成長

モンシロチョウは、春になると、キャベツの葉のうらで休眠していたさなぎが孵化して成虫になります。さなぎの背の皮が割れて、からだが出てきます。はじめは羽が閉じていますが、さなぎのぬけがらにぶらさがっていると羽が少しずつ広がっていきます。そして、羽ができあがると、おすは、めすを探しに飛び立ちます。

めすは、キャベツの葉のうらにとまっています。おすは、めすの近くに来ると、モンシロチョウのめす独特の羽の色を感じとり、近寄って精子をめすのからだの中に注入します。めすのからだの中では、卵と精子が受精して受精卵ができます。おすは、交尾が終わると、方々に飛びまわり、花にとまると蜜を吸いますが、やがて死んでいきます。めすのほうは、交尾が終わるとキャベツを探して飛び立ち、キャベツの葉を見つけて、そこにとまって卵を産みます。1株のキャベツの葉に尾の先端を葉にぎゅっと押し付けて、卵を一つ産みつけます。それから、別のキャベツの株に行き、同じように卵を産みます。それは、横が 0.4mm、縦が 0.8mm の細長い小さな卵で、その数は 300 粒から 400 粒で、平均して 1 匹あたり 386 粒産むということが明らかにされています。

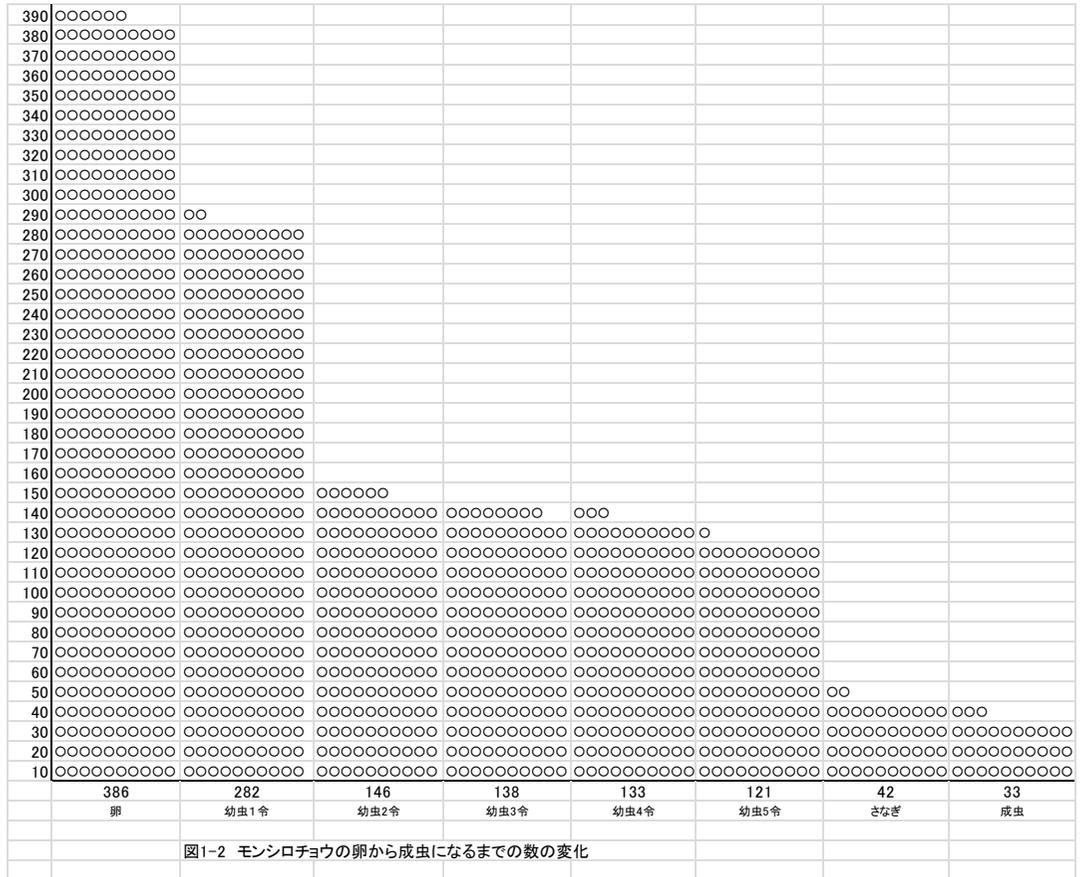
ここまでの成長過程を体重の変化に注目してみますと、卵は体重が 0.09mg で、幼虫になるまでえさを食べることなく体内の栄養物質を使って、エネルギーとり出しとからだづくりに使います。だから体重は減っていきます。幼虫になってからは自分でえさを食べて利用するようになりますから、体重は増えます。1 齢幼虫がキャベツの葉を食べ、脱皮する前の体重は 0.17mg になります。5 齢幼虫では 86mg となり、さなぎ直前では 306mg となります。5 齢幼虫は、キャベツの葉の裏側に移動して行って、そこに糸をかけてからだを支え、休眠します。これがさなぎです。さなぎは、この時移動することもキャベツの葉を食べることもやめます。さなぎのこうした休眠は、キャベツ畑のものでは 6 日間かかり、栄養物質は、体内に蓄えていたものを使うだけですから、体重は減少して 227mg となり、さなぎからかえった成虫の体重は 134mg になります。成虫になったおすは、めすを探しに飛び立ちます。

この一生の中で、モンシロチョウの生と死、繁殖による数の増加と死亡による減少との関係はどうようになって、種族の維持が実現されているか、見ることにします。

1 ぴきのモンシロチョウのめすが産むの卵の数は平均 386 粒で、全部が成虫になるわけではありません。四国の香川県高松市で、蓮井英昭さんという人が 1977 年に調べた例ですと、あるキャベツ畑で 794 の卵を見つけて、1 齢幼虫になるまでに 214 死亡して、生き残ったのは 580 でした。その 580 の 1 齢幼虫のうち、280 が死亡して、生き残って 2 齢幼虫になったのは 300 でした。こうして死亡してどんどん数が減っていく中で、さなぎになったのが 87、成虫になったのは 67 でした。このようすを示したのがつぎの図 1・2 です。生き残り率は、 $67 \div 794 = 0.084$  (8.4%) となります。

人間におきかえて計算して推定しますと、子どもが 10 人生まれて、おとなになるまでに育つのは 1 人もいません。子どもが 12 人生まれると、おとなまでに 1 人生き残ることになり、ほ

かの11人は、それまでに死んでしまうことになります。794粒の卵が67生き残って、成虫となってその半数がめすで卵を産むとしますと、卵の数は、どれくらいになるのでしょうか。かりに794粒よりも少なく600粒だとしますと、生き残り率が0.084(8.4%)と同じであるならば、生き残る数は67より少なくなつて  $600 \times 0.084 = 50$  となります。するとつぎの成虫が産む数は、さらに少なくなります。このようなことが毎年続きますと、年々生き残る数が減少して産む数も少なくなつて、ついにはほろんでしまいます。それとは逆に794粒より多かつたら、生き残るものは多くなり、それらがつぎに産む数は、さらに多くなり、生き残る数も年々多くなります。しかし、そのまま増え続けていったら、えさ不足になります。



ところが、実際はいつもそのように生き残るわけではありません。時には全滅することがあります。蓮井さんの高松市での調査では、6月に生まれた686粒の卵の場合、さなぎになって生き残ったものはありませんでした。しかし、7月に288粒の卵が産まれましたが、それもさなぎになる前に全滅しました。10月には、また卵が見つかり、それらは、さなぎになって冬を越したのは114匹でした。6月に全滅したのに、7月に現われて、卵を288粒産んだというのは、他所のキャベツ畑で生き残ったものが飛んできて、産卵したからです。しかしそうであっても、少なくともめす・めす2匹ずつが生き残って、つぎの年の春に成虫になって産卵すれば、種族

を維持することができます。

おす・めす1組の産卵数は平均386粒ですから、それが、おすめす1組残れば、そのおす・めすから、また386粒産んで2匹の成虫が残ることになります。こうしてモンシロチョウという種族は残るのです。たとえば、群馬県の嬭恋村のような広いキャベツ畑に、おすめす1万組が386万粒の卵が産んだとすれば、それが成虫になって産卵可能になるまでに生き残り、つぎも同じ386万粒産むには、何匹生き残ればよいのでしょうか。それは、1万組残れば可能となります。

### b. モンシロチョウの死亡原因

モンシロチョウの成虫が産んだ卵、それからかえった幼虫（アオムシ）、さなぎはすごい勢いで死亡していくことがわかりました。

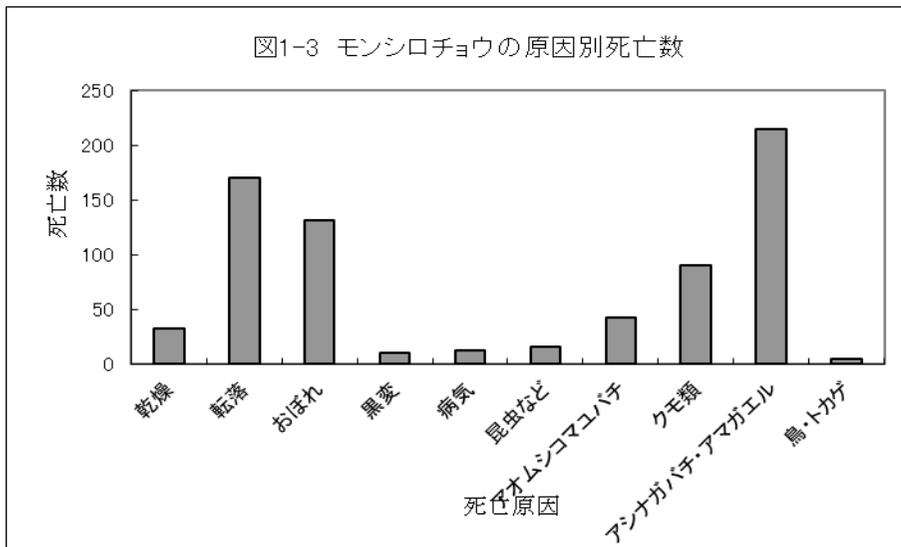
モンシロチョウの死亡原因	4月世代								計		
	卵	1齢	2齢	3齢	4齢	5齢	さなぎ				
乾燥	33								33	33	不明
転落	170								170	301	事故
おぼれ		130	1						131		
黒変	11								11	24	病気
病気		5	2	3		1	2		13		
昆虫など		4.5	3.2	0.4	7.9				16		
アオムシコマユバチ						30	13		43	369	食べられて
クモ類		80	10.8						90.8		
アシナガバチ・アマガエル		60.5		5.6	13.4	130	5		214.5		
鳥・トカゲ					4.7				4.7		
合計	214	280	17	9	26	161	20		727		

その主な死亡原因は、人間ならば、病気、事故、老衰、自死などが上げられますが、モンシロチョウの死亡原因の、葉から転落する、葉にたまった水玉に落ちておぼれるというのは事故ですが、人間とまったくちがうのがあります。それは、食べられて死ぬことです。死亡原因別の死亡数をグラフに描いてみました。

ほかの動物に食べられて死ぬことが圧倒的に多いことがわかります。アシナガバチやアマガエルなどに食べられます。アマガエルは丸呑みして食べますが、2種類の昆虫は、アオムシのからだに卵を産みつけ、それが孵化して幼虫になりますと、アオムシが死なないようにしながら栄養物質をとり入れて成長していきます。そしてハチやハエの幼虫が羽化して飛び立つころ、アオムシは食べつくされて死んでしまいます。こうしてモンシロチョウの卵や幼虫の数はどんどん減少していきます。

しかし、モンシロチョウにとってはもっと恐ろしい敵がいます。それは、私たち人間です。農村の畑からモンシロチョウのすがたがなくなった、あるいは少なくなった原因は、これらの動物に食べられたことではありません。人間がしたことが原因です。モンシロチョウの成虫が産卵し、孵化した幼虫がキャベツなどの葉を食べるといことは、人間の立場からすると、自分

たちが栽培している作物が害を受け、収穫が落ちることになります。人間は、これらアオムシを徹底的に死滅させるために、農薬という殺虫剤を開発し、それを散布して全滅に近い状態にしています。また畑を工場にしたり住宅地にしたりして、生活環境を消滅させています。



### c. モンシロチョウのなかま—シロチョウ属

日本にいるモンシロチョウのなかまには、ほかに2種類います。一つはスジグロシロチョウ、もう一つはエゾスジグロシロチョウ\*です。この3種は、生活している環境も、食べる植物も微妙にちがいます。それで、たがいに住み場所や食べ物を争わないで共存しています。「すみわけ」といっています。3種のシロチョウは、どれもキャベツなどアブラナ科の草をえさとしています。アブラナ、ダイコン、ワサビといった作物だけでなく、イヌガラシ、タネツケバナ、ハタザオといった作物以外の植物も、これらのチョウのえさとなっています。しかし、この3種は、それぞれえさとして重点をおいている草の種類がちがいます。モンシロチョウは、キャベツ、ダイコンなどの作物とイヌガラシを主なえさとしています（ワサビは食べない）。スジグロシロチョウのえさはタネツケバナが中心です。またエゾスジグロシロチョウはハタザオという草を主なえさとしています。

\*モンシロチョウという名は、漢字で書くと紋白蝶となる。羽に黒い●のような紋の模様のあるシロチョウという意味です。スジグロシロチョウは、羽に黒いすじの模様が入っています。またエゾスジグロシロチョウのエゾとは北海道の別の呼び名ですが、このチョウは、北海道だけでなく、九州まで広く日本列島の主なところにみられます。

すみわけは、チョウだけでなくすべての動物にみられます。たとえば、ライオンとトラは生息している地域がちがいますから、たがいに会えることはなく、争うということはありません。アフリカゾウとインドゾウも、住んでいる地域がちがいますから、会えることがなく共存しています。テントウムシとテントウムシダマシはよく似た昆虫ですが、食べ物がちがいますから、

争うことがありません。片方はアブラムシのような昆虫を食べますが、片方は植物です。

### モンシロチョウのなかまは外国産

モンシロチョウが食べるキャベツは、明治時代になって外国から移入された作物です。江戸時代にはキャベツはつくられていませんでした。モンシロチョウは、江戸時代には何をえさにしていたのでしょうか。それはダイコンや菜（アブラナ、コマツナなど）でした。しかし、これらの作物も、人間によって外国から移入されたものです。ダイコンは弥生時代、カブは1250年前に栽培されるようになったとのこと。最初から日本で栽培が始められたアブラナ科の作物はワサビだけだそうです。ところが、モンシロチョウの幼虫はワサビの葉を食べることはありません。

モンシロチョウ、スジグロシロチョウ、エゾスジグロシロチョウの故郷は、地中海からヒマラヤにかけての乾燥地帯だそうです。そこで3つの種族に分かれました。また、そこはアブラナ科の植物が分かれていろいろな種族が出現したところでもあります。そこで別の生活場所に移動し、別のアブラナ科の植物を食べ分けるようになり、別の種類のシロチョウになったと考えられています。

## 4-2. シジュウカラとアメリカシロヒトリ

### a. シジュウカラという小鳥

林に住む小鳥の1種で、シジュウカラという動物がいます。チョウやガの幼虫（イモムシやケムシ）にとっては敵です。シジュウカラは、昆虫やその幼虫をえさとして食べて生活しています。動物たちを、「食う—食われる」という関係（食物連鎖の1つである「捕食連鎖」）でみますと、シジュウカラは昆虫にとっては食う側の動物、昆虫はシジュウカラにとって食われる側の動物です。ガの幼虫は、シジュウカラに見つかれば、まちがいない捕らえられ食べられてしまいます。モンシロチョウも、アマガエルや小鳥、他の昆虫にとっては食われる側の動物です。その食われる側の動物としてモンシロチョウの生活を、これまでみてきました。今度は、食う側の動物としてシジュウカラの生活を見ることにします。

モンシロチョウの生活をくわしく見て、明らかになったことですが、人間の場合とはちがって食べられることが原因で死亡し、ものすごい数の個体が死亡します。しかし、その一方でたくさん卵を産むので、種族が絶えることがありません。シジュウカラも、モンシロチョウと同じように、たくさん産んでたくさん死んで、種族を維持しているのでしょうか。主な死亡原因は食べられることでしょうか。

シジュウカラは鳥類で、背骨をもっている動物です。ライオンなど哺乳動物とモンシロチョウなどの昆虫と比べて、シジュウカラはどちらに近い動物かといいますと、ライオンなど哺乳類に近い動物です。からだは、モンシロチョウなど昆虫にくらべるとずっと大きいです。動物の「食う—食われる」の関係でみますと、シジュウカラは「食う」側の動物なのです。シジュウカラを中心に、捕食連鎖の図を描きますと、上のようになります。シジュウカラが生活して

いる場所には、同じ背骨をもった動物(脊椎動物)で、からだをもっと大きく、すばやく行動する動物がいて、その中にはシジュウカラをえものとして捕食している動物がいます。ヘビやフクロウなどです。またイタチやリスは卵を捕えて食べます。ですから、シジュウカラは、都市や農村では、アメリカシロヒトリなど小形の動物にとっては食う側の動物ですが、農村の林が広がっているところではシジュウカラを食べる動物が何種もいます。

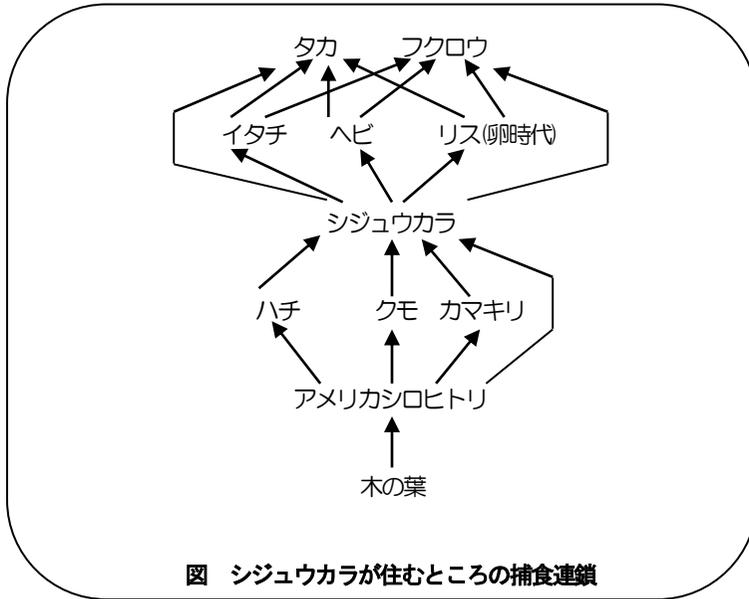


図 シジュウカラが住むところの捕食連鎖

### シジュウカラの生活と成長

シジュウカラは、林の中の生活が中心です。群れは、エナガ、ヒガラなどほかの種類の小鳥と一緒に行動します。その群れをつくっている数は、それぞれの土地によってちがいますが、多くて60羽くらいです。秋から冬にかけて、葉を落とした枝先にぶら下がったり、幹にとりついたりして、また地上においてカサカサ音をたてて虫を探しています。‘虫をみつけると食べ、ふたたび探して’ということをくり返しながら、少しずつ林の中を移動していきます。しばらくして、1羽が突然さえずると、それに合わせてほかの小鳥たちも一斉にさえずります。それから少しして、1羽が急に飛び立つと、ほかのものも、それにつれて飛び立って、新しい場所へと移動します。群れには、リーダーのようなものはいません。最初にさえずるものも、飛びたつものもきまっていません。その時々によってちがったものがさえずり、飛び立たつようです。

1月末から2月はじめ頃になると、群れには分解のきざしがあらわれます。群れから離れたおすとめすの2羽連れが目立ってきます。おすは、いくつかのさえずり場所とその周辺のせまい地域を守るようになります。ほかのおすがその場所に入ろうとすると追い払います。

「なわばり」です。4月になると、シジュウカラのつがいは、樹のうろなどを利用して、これにスギゴケなどを運び込みます。また、イヌやヤギ、モグラなどの毛、ゼンマイ(植物

の1種)の新芽の綿毛を使って巣作りをします。巣をつくり始めてから約1週間後卵を産みはじめます。光沢のない白地にやや淡い赤褐色の小さな斑点が散在した模様の卵です。毎朝1個ずつ産みます。卵の大きさは、長径が17mm、短径が13mm、重さは平均1.7gです。ニワトリの卵より小さいが、モンシロチョウの卵よりはるかに大きいです。全体の数は平均して9個です。

このように卵を産み始めますと、めすが巢の外に出てえさをとりに飛び立つ時間が短くなり、やがて卵を抱いて暖めるようになります。卵を抱き始めてから11日ないし15日経ったころ、卵はかえってヒナになります。はじめは毛がうすく、目は大きいがあいていません。歩くこともできません。もちろん飛ぶこともできません。えさをとることもできません。おすがえさを捕らえて、運んできて与えます。やがてめすもえさ探しに出て、1日に平均160回運びます。こうして孵化したばかりのヒナは、体重が1.1gであったのが、10倍以上の14gにまで成長します。そして19日くらいで若鳥になって巣から離れます。目は見え、毛も羽毛も完全にそろい、足もしっかりして歩けるようになり、飛べるようになります。巣から飛び立てるようになって2~4週間たつと、親鳥のもとを離れて独立生活するようになります。完全に成長しきったシジュウカラは、翌年の春、相手を見つけつがいをつくります。そして、親たちがしたと同じように、巣作りをし、卵を産み、育てます。

**b. シジュウカラの産卵数と死亡数**

モンシロチョウは、平均して386粒の卵を産み、そのうちの384粒が成虫になるまでに死に、おすめす二つが残ることによって、種族維持ができています。それは、次の表が明らかにしてくれています。

**表 シジュウカラの各成長段階の特徴と死亡\***

成長段階	生活の特徴	主な死亡原因	各段階初めの生存数(率)	各段階の死亡率
卵	巢の中で親に養育される	未受精、イタチ・リスに食べられて	9(100%)	17%
ヒナ	巢の中で親による養育	イタチ・ヘビなどに食べられて	7~8(83%)	22%
若鳥	巣から飛び立つ自分でえさをとる	餓死	5~6(65%)	87%
成鳥	秋から冬は群れ	フクロウ、タカに	0~1(8.6%)	52%
翌春の成鳥	おす・めすのつがい(繁殖)		0~1(4%)	

シジュウカラは、卵を毎日1個ずつ合計9個しか産みません。モンシロチョウにくらべると、

産卵数が少ないけれどもそれで種族維持できるということは、死亡数も少ない動物とみることができます。大きな卵を産み、親鳥がひな(幼鳥)を保護しているからだけではありません。からだ大きいことからアメリカシロヒトリと比べれば、食われる立場ではなく、食う立場であることも重要な理由になっています。しかし、卵が大きく幼鳥を守るというのは親鳥の負担が大きく、それだけに多くの卵を産むことができないということになります。

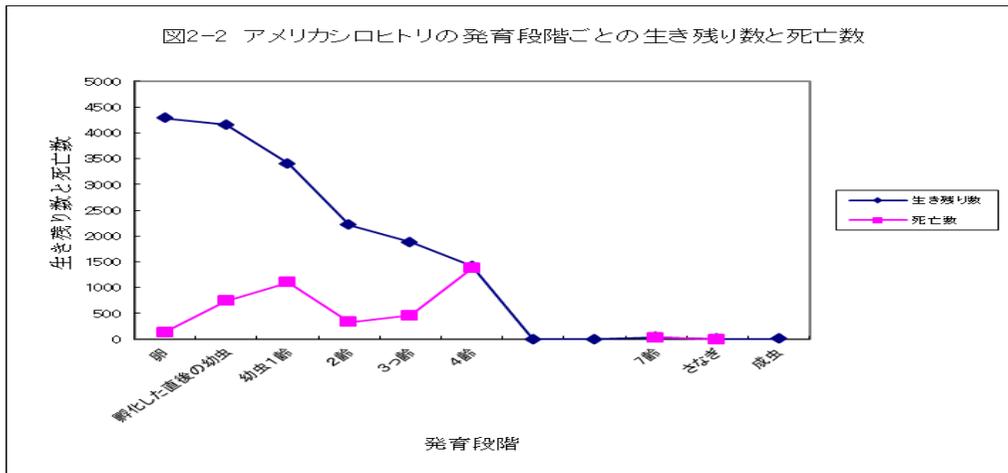
シジュウカラの産卵数が少ないということから、二つのことがわかると思います。一つは多くは産めないということです。もう一つは、少なく産んでも種族は守られるということです。それに対して、モンシロチョウや、つぎのアメリカシロヒトリは、多く産めて、多く死ぬ動物とすることができます。また、親のチョウは、卵を食べものとなる葉の上に産むということだけはしますが、生まれたあとの卵や幼虫を守る、養育するということはありません。

**c. アメリカシロヒトリの場合**

シジュウカラは、地域によっては、都市の公園や個人の住宅の庭などに來ることがあります。伊藤嘉昭さんという研究者が、林に近い公園で調べたところ、シジュウカラにとって、公園のサクラの木に大繁殖するアメリカシロヒトリというガの幼虫が重要なえさであることがわかりました。

このガは、モンシロチョウなどと同じ鱗翅類と呼ばれる昆虫です。羽の表面にたくさんの粉のような物質がついています。名のとおり外来の昆虫です。シジュウカラは食べるほうの動物であり、アメリカシロヒトリは食べられるほうの動物です。

次のページの表やグラフでわかりますように、最初に見つけた卵の数は、4287粒でしたが、



どんどん減少して成虫のガになったのは、わずかに7個体でした。生存率は 0.16%で、99.84%が死亡しました。死亡率の一番高い時期は、4齢で 97.1%になっていました。その死亡の主な原因は、シジュウカラに食べられたことです。死亡全体の原因をみますと、ほとんどがいろいろな動物に食べられたことでした。

モンシロチョウもそうでしたが、アメリカシロヒトリの場合も、人間と比べると、産む数が大きくちがうし、また死亡数が多いし、死亡の原因もちがいます。それがこれらの昆虫と人間

を比べた場合に、どのようなことのちがいと結びついているのかが、動物の生活を見ていく上での核心となることです。

**表 アメリカシロヒトリの成長段階別の生存率、死亡数、死亡率と死亡原因**

成長段階	生存数(率)	死亡数(率)	死亡原因
卵	4287(100%)	134(3.1%)	孵化しない
かえったばかりの幼虫	4153(96.9%)	746(18.0%)	クモに食べられるなど
幼虫1 齢	3407(79.5%)	1104(35.2%)	クモその他に食べられる 1093(32.1%) 原因不明の病死 104(3.1%)
2 齢	2210(51.4%)	333(15.1%)	クモその他に食べられる 322(14.6%) 原因不明の病死 11(0.5%)
3 齢	1877(43.8%)	463(24.7%)	クモなどに食べられる
4 齢	1414(33.0%)	1373(97.1%)	シジウカラに食べられる
...			
7 齢	41(1.0%)	29(70.7%)	アシナガバチその他に食べられる
さなぎ	9(0.2%)	2(22.2%)	プランコヤドリバエ寄生
成虫	7(0.16%)*		一生のうちの死亡数(率) : 4280(99.84%)

### 4-3. 産む数はどのようにしてきまるか

食われる側に位置しているからだの小さな動物は、たくさん産んでたくさん死にます。逆に食う側に位置しているからだの大きな動物は、産む数が少なく死ぬ数も少ないといえます。

しかし、海の動物の産む数とからだの大きさ、食物連鎖の中での位置との関係はそうなっていません。どこにこのくいちがいが生まれる理由があるのでしょうか。

#### 海の動物

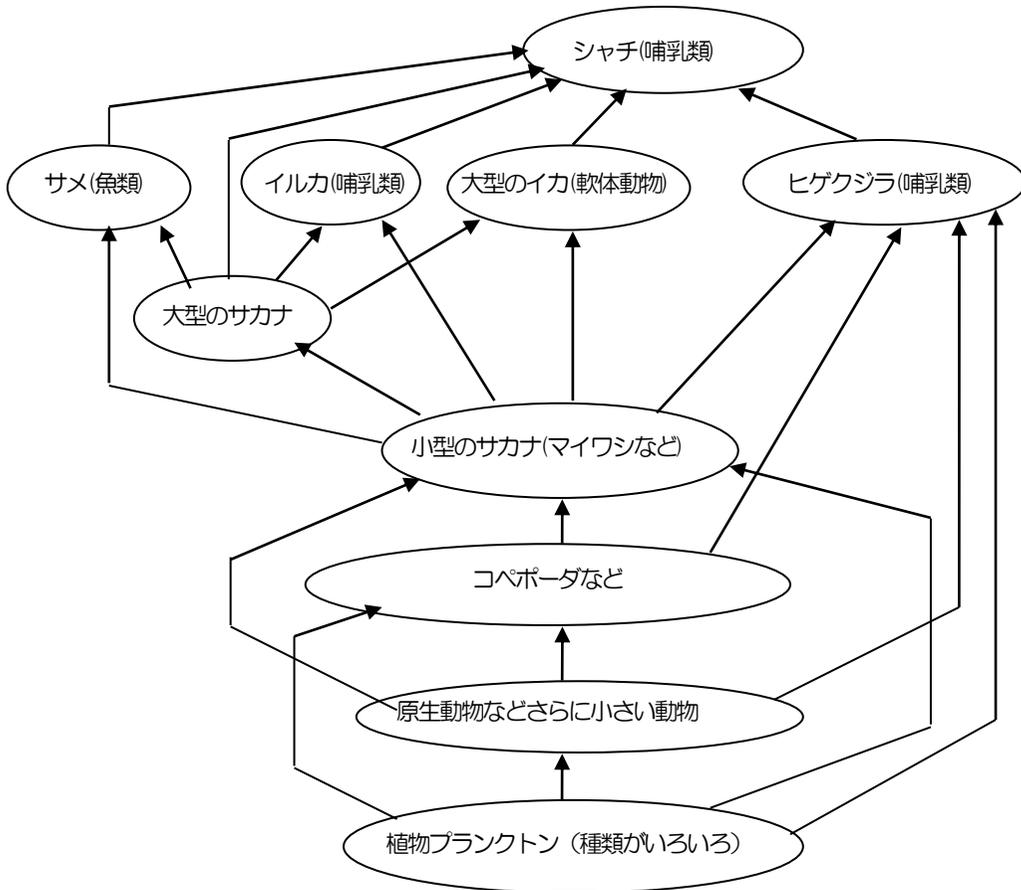
まず海の動物の食物連鎖と、それぞれに位置している動物の産む数をみることにします。海の主な魚類の食物連鎖の図を描くとつぎのようになります。この中で、大型のサカナになるブリは、シャチに食われることは、生活域がちがうのでありませんが、体長が100cmぐらいで、一度の産卵数が平均すると180万粒です。そうだとしますと、そのブリに食べられる側に位置している小型のサカナのマイワシは一度に産む卵の数は何れくらいか、1000万粒とか、2億粒、あるいは1兆粒をこすというように考えられるかもしれません。実際のマイワシの一度の産卵数は5～8万粒です。これは、親の体長が20cmくらいという数字からしますと、妥当な値です。しかし、これでは、ブリなど大型の魚類の産卵数よりはるかに少ないから、種族の維持はむずかしいのではないかと考える人がいるかもしれません。これは、シジウカラとアメリカシロヒトリの場合とはまったくちがいます。

\*: 「海の動物」についての具体的な資料は、本誌改題前の『CBS 研究速報』no. 2 をご覧ください。

つぎのマイワシが主なえさとしているコペポーダの産卵数の場合は、親の体長が約1mm、産卵数は10~20粒。やはり少なく、イワシとコペポーダの産卵数の関係は、ブリとイワシの産卵数の関係と同じです。食べられる側の動物がからだ小さく、産卵数は少ない、食べる側の動物はからだ大きく産卵数は多いという関係になっています。さらにコペポーダが食糧としているさらに小型の動物や植物は、細胞分裂によって殖えますので、一度に1個体しか増えませんが、

ここで1つの整理をします。

- 1.からだの小さい動物：死亡ははげしい。繁殖もはげしいはず。産卵数は少ない。
- 2.からだ大きい動物：死亡ははげしくない。繁殖もはげしくないはず。産卵数は多い。  
親になってからだが大きくなれば死亡しにくい。  
しかし、卵や幼く小さい段階のものは死亡がはげしい。



からだの大きな動物で、卵が小さくたくさん産むものとして知られているマンボウは、一度

に平均2億粒産むといわれています。からだが大きく小さな卵ならば、たくさん産めます。しかし、卵から成体になるまでに長い年月がかかり、その間にどんどん死亡すします。マンボウの場合、成魚になってから死ぬまでの間に毎年2億粒の卵を産みますが、それらの合計のうちのおす・めす1個ずつ2個が成魚になれば種族維持は可能です。かりに成魚になってから10年間毎年2億粒を産むとしたら、生涯に20億粒産むこととなりますから、そのうち19億9千万9998粒が成魚になるまでに死に、2ひきが生き残って産卵すれば、種族維持は可能となります。生まれたばかりのものほど小さく、死亡がはげしいから、個体数はたちまちのうちに減少していきます。胎生その他の、卵、子の保護は、その死亡のはげしい時期のものを守り、養育することによって死亡数が少なくなっています。しかし、大きな卵、大きな子で産むには親の負担が重く、多く産むことはできません。もう1つの整理をします。

3.からだ大きい動物：卵・子の保護、養育をすると産む数が少なくなる。  
卵や幼く小さい段階も死亡しにくくなる。

ところが卵や子を保護したり養育したりする動物の死亡ははげしくないとは必ずしもいえません。保護・養育する側の親のほうのからだ小さかったり単純だったりするものでは、親子もろとも食べられ、はげしく死亡することになります。農林業の害虫として知られているアブラムシは胎生ですが、親のからだも小さいので、テントウムシなど昆虫にさかんに食べられ、親もその体内にいる胎児もはげしく死亡します。

4.からだの小さな動物：死亡がはげしいはず。卵・子が保護、養育されているものは、からだと同じように小さなものと比較すれば死亡しにくい、大きな動物と比べれば、親とともにはげしく死亡する

このように整理してみますと、シジュウカラの繁殖・死亡は、成体のからだ大きいことと、卵・ひなの保護、養育の2つが重なって死亡数が少なくなり、繁殖数も少なくなったとみることができます。同様に大きなさかなとそれを食べるイルカなどのさらに大きな動物の繁殖・死亡の関係も、からだの大きさと卵・子の保護、養育が重なって小さくなっているとみることができます。

また、イワシとブリとの繁殖・死亡、イワシとコペポーダの繁殖・死亡の関係から、繁殖数の多寡と産卵数の多寡を同じにみることに誤りがあることがわかります。コペポーダよりもさらにからだ小さく、食べられる側にいる微小な動物は、はげしく死亡しており、繁殖もはげしいはずですが、実際の繁殖は、分裂で1回に1個体しか増えません。1度に生まれる数と繁殖のはげしさとの間には、同じに考えることのできない問題がかくれています。それは、繁殖のはげしさは、1度の産卵数よりも、同じ時間内でどれだけ生まれるかが基準であって、たとえ1度に1個体しか生まれなくても、すぐに成体になりすぐに分裂してふえるほうがはるかに

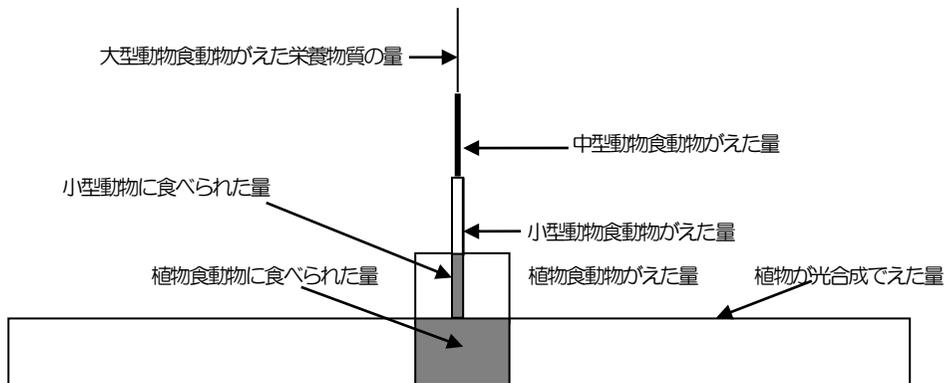
繁殖がはげしいと考えることができます。小さな卵から大きな成体になるまでの成長が何年も長い年月がかかれば、その間は繁殖できませんから、むしろ繁殖は劣っているとみるべきです。ゾウリムシは、分裂で増えますが、分裂は1日に1度ありますから1か月で30回分裂して $2^{30}$ になり、約10億個体になります。からだの小さな動物は、すぐに成体になって産卵できるようになりますから、繁殖力は大きいとみることができます。このように考えれば、イワシとブリとの繁殖・死亡、イワシとコペポードの繁殖・死亡の関係から、繁殖数の多寡と産卵数の多寡との関係がはっきりします。

### メクラチビゴミムシ

ところがこのような考え方では理解できない動物の繁殖に関する問題があります。具体的にはメクラチビゴミムシという洞穴の中に生活している小さな昆虫にみられます。この昆虫は、からだ小さいから産卵数が少ない。しかしすぐに成体にならないので、繁殖力は小さい。それでも種族が減びることはありません。その理由は、洞穴内では、この昆虫をとらえて食べる動物がほとんどいないことと、環境がはげしく、また大きく変動することはないことに理由があります。また食べ物が極度に少ないから、繁殖のための栄養物質を確保することが難しいのです。

### 4-4. 動物の食物連鎖

動物は、たがいに「食う—食われる」の関係(食物連鎖)にあります。この関係の中で、食う側にあるか、食われる側に位置しているかによって、生活のしかたが大きくちがいます。もちろん食う側が優れていて食われる側が劣っているということではありません。食われる側の動物は、食われることによってどんどん死亡していくというきびしさがあることは、すでに明らかにしましたが、それに対して、まだふれていませんが、食う側にも生活上の問題があります。その1つは、動かない植物を捕えて食べるよりも、はげしく運動して逃げる動物をとらえることのほうが難しいということです。そうした難しさの中でもっとも重大なのは、食う側の動物ほど栄養物質の絶対的な量が少ないことです。その理由は、植物を食べる小型の動物の食べる量は、植物が光合成によって得た栄養物質の一部だからです。



中型動物がその小型の動物を食べる量は小型動物が食べた量の一部です。大型動物が食べる

量も中型動物が食べた量の一部です。

## 5. 動物はどこに他の生物とのちがいがあるか

### 5-1 動物を食物連鎖の位置からその特徴をみる

「2. 動物とは」では、栄養物質の獲得のしかたから動物の特徴について基本になるところを明確にしました。それは、‘他給栄養生物の1種で、運動し、環境から捕食した食物を体内で消化して栄養物質を獲得する生物と、それにそこから分かれて運動しなくなった生物と、捕食消化をしなくなった生物を合わせた生物群を動物という’ というものでした。ここでは、それに加えて、生物世界全体からどのような位置にいるか、食物連鎖の関係から明らかにしたいと思います。

この地球上に存在する生物世界は、大きく分けてつぎのように、3つの生物世界から成り立っています。

- 生物世界1 ①化学合成細菌と、それを栄養源として獲得している②他給栄養細菌
- 生物世界2 ③光合成細菌と、それを栄養源として獲得している②他給栄養細菌
- 生物世界3 ④植物と、それを栄養源として獲得している②他給栄養細菌、⑤菌類(コウボ・カビ・キノコ、ヘンケイキン)、⑥動物

この3つの世界は、その環境が基本的に大きくちがうことによって、たがいの関係は希薄で

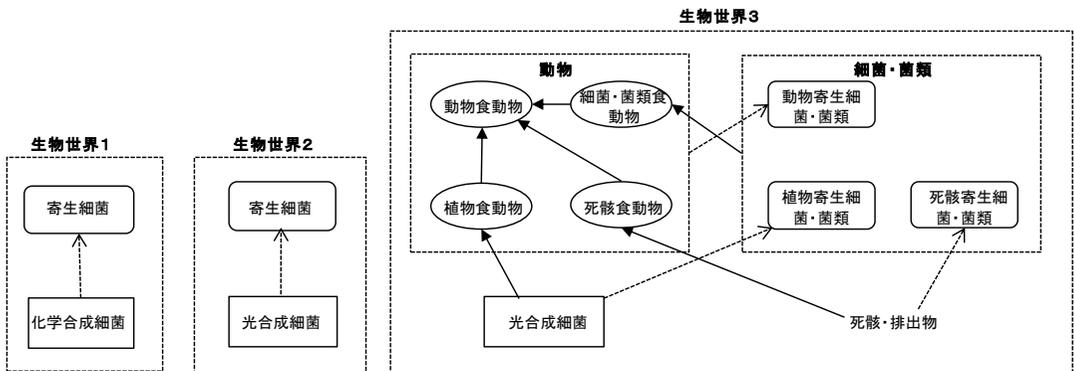


図 食物連鎖の原形

矢印の方向は栄養物質の移流の方で捕食: → 寄生: ----->

あり、それぞれが半ば独立しているといってもよい関係になっています。動物が出現した当時の食物連鎖がどうであったか、推定しますと上の図のようになります。

動物は、この地球上にみられる3つの生物世界の中で生活している①～⑥の生物のうちの⑥ですが、現在生活している生物は、つぎの表のように栄養物質の獲得のしかたの基本のちがいが

から、自給栄養生物と他給栄養生物に分けられます。

自給栄養生物とは、字のとおり生存していく上で必要な栄養物質を自分で合成して供給できる生物をいいます。合成するのに、物質を酸化した時に発生するエネルギーを利用するものと、光のエネルギーを利用するものがあります。

<p>1.自給栄養生物</p> <p>1-1.化学合成生物→①化学合成細菌</p> <p>1-2.光合成生物</p> <p>a.水以外の物質を材料物質として利用する→③光合成細菌</p> <p>b.水を材料物質として利用する→④植物</p> <p>2.他給栄養生物</p> <p>2-1.すぐ利用できる物質をそのままとり入れる生物→②細菌、⑥動物、④植物の一部</p> <p>2-2.消化してから利用する</p> <p>a.体外で消化して体表からとり入れる生物：②細菌、⑤菌類</p> <p>b.捕食によって体中にとり入れ体中で消化する→⑥動物</p>
--

前者を化学合成生物といいます。海底深くにある火山の噴出口周辺で生活しています。すべて細菌類であり、「①化学合成細菌」です。光のエネルギーを利用して栄養物質を合成している生物を「光合成生物」といいます。これは、合成にあたって材料とする物質のちがいで2つに分けています。1つは、水を材料としているもので、これを、この報告書では「④植物」とよんでいます。もう1つは、水以外の物質を材料としている生物です。すべて細菌であることから③光合成細菌とよんでいます。たとえば火山噴出口付近に生活している緑色硫黄細菌のように、水のかわりに硫化水素を利用しているものがあります。

他給栄養生物は、栄養物質のとり入れかたのちがいで2つに分けられます。1つは、生きた生物、死がい、排出物、あるいはその小片を捕えて体内にとり込み、体内で消化して栄養物質として利用する生物です。これを⑥動物とよんでいます。これに対してもう1つの栄養物質のとり入れ方は、1つは、生きた生物、死がい、排出物、あるいはその小片の表面に付着したり、内部に入り込んで、体外に消化酵素を分泌して体外で消化してから吸収する生物です。寄生生物といっています。ただし、寄生している生物には、寄生動物のように他の生物の体表や体内で常時生活していながら、食物を体内に吞み込んで体内消化をしているものがあります。厳密に区別する場合には「寄生吸収生物」というべきだと思います。②細菌類の中の他給栄養のもの⑤菌類がこのような生物です

この地球の生物世界全体は、この化学合成細菌、光合成細菌、植物の3種類の自給栄養生物を生産者として、相互関係が希薄な3つのものから成り立っています。それぞれに自給栄養生物を栄養源とする他給栄養生物が加わって形成されています。ただし、動物の中には、p. 41の図の生物世界3から生物世界1へ移住したものがあります。シロウリガイのように化学合成細菌

を体内に住まわせて、その合成した栄養物質をもらうという生活をしています。

また生物世界3の中で捕食体内消化をやめて寄生吸収生活をするようになったものもいます。サナダムシがその例です。

### 5-2. からだの基本構造のちがいがから

生物世界を形成している生物は6種類のものがあるというのは、栄養物質の獲得のしかただけでなく、からだの基本構造のちがいを考慮した結果です。生物のからだの基本的なちがいがから生物を分類しますと、次のようになります。

- |                       |
|-----------------------|
| 1.原核生物→細菌のすべてと植物の中の藍藻 |
| 2.真核生物                |
| 2-1.非細胞性生物→菌類・植物・動物   |
| 2-2.細胞性生物→菌類・植物・動物    |

真核生物というのは、からだ、あるいは細胞の内部が、膜によって細かく分けられ、分けられた各部分は、生物体として、あるいは細胞として存在していく上ではたらきを専門的に行なっています、たとえば、核は、DNAとRNAという2種類の物質を合成するはたらきなどを行なっていますが、このはたらきを進める物質などが核膜という膜で包まれています。植物の葉の細胞の中にみられる葉緑体も、光合成とアミノ酸合成を専門的に行なっていますが、この2つのはたらきを進める物質が、葉緑体膜という膜に包まれていて、ほかの部分と区別されています。これに対して、原核生物というのは、からだの内部がそうした膜で区別されていない生物です。



**図 からだのつくりの基本と栄養物質の獲得のしかたからみた各生物の特徴**

こうしたからだの基本構造と栄養物質の獲得のしかたのちがいがから、各生物をみますと、上の図のようになります。

### 5-3. 動物の生きかた

動物の特徴が捕食・体内消化であるということ、具体的に知るには、人間も動物の1種ですから、自分のことを考えればわかります。私たちが食物を食べるのが捕食です。ただし、「捕える」というところは、農業や漁業を営んでいる人以外はほとんどしていません。人間は生きていく上で必要な仕事を分担して、分業して進めていますから、農民や漁民が育てたもの、捕えたものを、他の人は受け取り食べています。つまり人間の中には、自分で栄養源を獲得して食べる人だけでなく、自分では獲得しないで食べる人がいます。しかし、農民・漁民とその他の人たちとを合わせて人間全体としてみた場合には、「運動・捕食動物」の1種とみることができます。人間以外の動物は、乳呑み児や幼子を除けば、自分が食べるものは自分で捕えています。中には、ウシやニホンジカのように、シカがえさを捕えて食べ、微小生物が消化するという分担・分業をしているものもいます。シカは、移動しながら森林の中や草原で、草や木の若い葉を探し、見つけると口先や歯で食いちぎり食べてのみ込み、食道を通過して胃に運びます。しかし、シカには葉に多くふくまれているセルロースという物質を消化する酵素がありません。胃に生息しているさまざまな微小生物が、セルラーゼというセルロースを消化する酵素を分泌して分解し、ブドウ糖にします。

消化による分解は、どこまで進められるか。セルロースやデンプンの場合はブドウ糖まで、タンパク質は20種のアミノ酸まで、脂肪は脂肪酸とグリセロールまで消化されると、体構成物質の材料として、また分解してエネルギーをとり出すための材料として利用できるようになります。また、タンパク質などの物質は、それぞれの生物にとって特有のものですが、消化されてきたアミノ酸などはどの生物にもあり、どの生物も利用できるものです。また消化して得た物質は、腸の壁をつくっている細胞の中に入り、細胞の外に出て血液に渡されます。

これに対して、自給栄養生物である植物は、自分で栄養物質を合成するといいましたが、材料となる物質は空気中にある二酸化炭素と、土中にふくまれている水です。それぞれ葉の表面にある気孔、地中の根の表面になる根毛という細胞によって吸収されます。両方の物質は、葉の緑色をした光合成細胞へ運ばれ、その中にある葉緑体に移送されます。

葉緑体では、まず光合成によって糖質を合成し、それを変化させ、アンモニウムを結合させてアミノ酸を合成します。

## 6. 動物世界の歴史—その多様性とその形成過程

### 6-1. 多様とは

生物の多様性とは、生物の生存にとってどのような意味があるでしょうか。石や川などにも多様さはみられるはずですが、それらとどこがちがうでしょうか。この問いは、動物をふくむ生物の世界について知る上で重要な意味を明らかにする糸口となります。

最初に「多様」という語はどのような意味をもっているか、日本語辞典で調べてみました。岩波書店から発行されています『広辞苑』の第四版は、つぎのように説明しています。

## “いろいろ異なるさま。異なるものの多さ”

ここでは、生物の多様性を明らかにする糸口にはなりません。そこで同じような意味をもつ別のことばを捜してみました。「百花斉放」:“種々の花が一斉に咲きそろう”という意味ですが、つづいて“科学、文化、芸術活動が自由活発に行なわれること”とありました。また「百花繚乱」という語がありましたので、これも見ました。“種々の花が咲きみだれている。転じて、すぐれた人・業績などが一時にたくさん現われることをいう”とありました。

生物学では、普通「多様性」といいますと、たくさんの種が存在していることを言います。この考え方に反対の人も多くいます。たとえば、ある地域の多様性保全とは、どれだけの数の種が存在しているかによって判断されます。しかし、昆虫45種いるのと、昆虫30種と哺乳動物10種いるのとでは、どちらが多様性が高いかという場合に、種類数だけを問題にするのでしたら、昆虫45種のほうが多様性が高いというでしょう。しかし、昆虫と哺乳類の生活のしかたは基本になるところで大きくちがいますから、種類数の多い少ないではなく、生活のしかたの多様性というように考えれば、種類数は少なくとも昆虫30種と哺乳動物10種のほうが多様であると考えることができます。もちろん種がちがうというのは、生活のしかたがちがうことですから種類数が多いことは重視しなければならないと思います。

それについて興味深い記述を『細胞の分子生物学』第5版(ニュートンプレス、2010年)に見つけました。細菌(原核生物)の特徴について“非常に多様な生態的地位(ニッチ)に生きている”と、また“その生化学的能力は驚くほど多様で、真核生物を凌駕して・・・”と書いています。生態的地位というのは、非生物的環境と生物から成り立っている生物世界の中で、ある生物がどのような位置にいるかということと言います。1つひとつの生物は、非生物的環境とさまざまな生物との関係の中で生きています。そのような相互関係の中でどのような関係をもっているかということでもあります。ダーウィンの「自然選択」というのは、こういうさまざまな相互関係の中で、ある位置(生態的地位)にはまりこんだ時に、新しい種として生存していけることを言っています。

これに対して、植物や動物の多様性をどう考えたらよいのでしょうか。からだ小さく単純なものから大きく複雑なものでさまざまなものがあることであるということになります。

細菌の生態的地位が多様であるというのは、からだ細菌よりも大きいものがいれば、かならずといってよいほど、その体内に細菌が寄生しているからです。ヒトのからだの中にはおよそ500種類の寄生生物が生活しているそうです。

## 6-2. 動物の歴史の節目に注目する

歴史には、一般的に、大きな転換点があつて、その時点をさかんに、前とあとでは世界が大きく変わったといわれてています。動物世界の歴史にもそのような転換点がいくつかあるといわれています。その転換点を、どのようにすれば見つけ出すことができるか。それは、それまでの動物とは変わったものが出現したというのではなく、その動物の出現によって動物世界がどのように変わったかという視点から考える必要があると思います。

たとえば、動物の陸への移住が足がかりになって、陸上動物世界が形成されたことは、その1つであるといえます。それまで動物がまったく生活していなかった環境の場所に生活の場を確保し、しかも陸上の自然としての多様性に対応して、いままでにない多様な世界をつくりだしました。また、これまでも見てきました非細胞性動物だけの世界に、細胞性世界が出現したことも大事な転換点ということが出来ます。細胞性動物は、それまであった非細胞性動物の世界を滅ぼすことなく、独自の動物世界をつくり、非細胞性動物世界と共存するようになりました。動物世界の多様さと広がりを実現しました。また、非細胞性動物は、細胞性動物のからだが大きいくことから、その体表や内部に寄生するという新しい生活を展開することになり、非細胞性動物世界のほうも多様になりました。脊椎動物の出現についても同じことがいえます。

このような見かたから、動物世界の歴史のあとを見ますと、つぎの6つのできごとを転換点としてあげることができます。以下、どのようにしてこれらのことが実現してきたかについて見ることにします。

- 1.動物の出現
- 2.細胞性動物の出現
- 3.脊椎動物の出現
- 4.陸上への進出
- 5.哺乳動物世界の形成
- 6.人間の出現

### 6-3. 動物の出現

動物がどのようにして出現したのか。最初のきっかけは、生物体をのみ込めるほどのみ込みが発達した生物が、酸素呼吸をする生物をのみ込んだことです。やがてそのような2つの生物体の一時的な共生状態の段階につづいて2つの変化がおきました。その1つは、のみ込まれた生物が、酸素呼吸を進める反応系と一部の反応系を残して、その他の生物として必要な他のはたらきを失った変化です。その一方、のみ込まれた生物が退化によって失われたはたらきが、のみ込んだ方の生物に残りました。こうして2つの生物体の合体によって新たな生物が生まれました。その酸素呼吸を進める上で専門化したものは、現在ミトコンドリアと呼ばれています。2つ目の変化は、このミトコンドリアが、べん毛など動くのに役立つものの周囲に集結して、運動に必要な大量のエネルギーをすばやく供給できるようになりました。これが動物の誕生です。

### 6-4. 細胞性動物の出現

#### 細胞性動物出現のきっかけ

細胞性動物の出現のきっかけになったのは、それまでいた動物(非細胞性動物)の中のあるものが分裂して2つのからだになりましたが、その2つが離れることなく接着したままつぎの分裂をし、そのようなことをくり返してたくさんのがらがたがいに接着したものが現われたことです。この段階の動物は、非細胞性動物の「群体」ということになります。

## 非細胞性動物の群体から細胞性動物への変化

つづいて、群体を形成しているいくつかの動物体に、動物として生きていく上で必要なはたらきの中である特定のものについて専門化し、他のはたらきの中のいくつか異なるはたらきが退化した動物の出現です。最初は、繁殖にかかわる生殖に関して専門化したものが現われました。これは、必要な栄養物質の獲得は、他のからだから供給されることによって、自体が生きていくことと子孫を残すことの両方ができるようになりました。これに対して他のものは、栄養物質など生きていく上ではたらきは完備していましたが、生殖に関するはたらきはできなくなりました。こうして群体を形成していた各個体は、捕食について専門化したものと、生殖に関係したものに分化しました。そしてこの2種が共同しなければ、個体の維持と子孫づくりという生物のもっとも重要なはたらきが実現できなくなりますから、この2つがそろっている群体全体が新たな個体となり、それまでであった非細胞性動物の個体は、専門化した部分になりました。この専門的部分化したものが細胞です。

動物の中でこうした専門化がもっとも進んでいないものは、海綿動物です。生殖に関する細胞、捕食に関する細胞、固着に役立つ細胞の3種類の細胞が集まって個体が成り立っています。

### からだの細胞性であることの意味

からだの細胞性になったこと、つまりさまざまに専門化した細胞の集まりになったことの意味は、2つあります。1つは新たに個体になったからだの大型化が実現できたことです。と同時に、体内の物質反応を進めるには小ささが維持できたことです。この2つのことが実現できたことが細胞性になったことの最大の意味です。以後高さ100mをこえる樹木が生まれ、体長100mをこえる動物が出現し、菌類の中には、広がり100mをこえるものが出現しましたが、物質代謝は、小さな細胞内で進められています。

動物のからだの大型化というのは、ただからだが大きくなることではありません。その大きなからだを高速で移動できるからだの大規模化と専門化が実現したことも大事な意味です。

## 6-5. 脊椎動物の出現

### 脊椎骨とは

脊椎骨とは、からだの背中側の頭から尾の先までとおって、ふしに分かれている骨のことです。脊椎動物には、ほかにそこから枝分れたような関係にある肋骨、4肢の中の関節に分かれた骨のことです。役割を殻と比較しますと、殻は節で分かれておらず、役割は柔らかい部分の防御であるのに対して、骨は、からだの支柱であり、筋肉との協働によって関節運動をうみ出していることで、運動の時の足やひれ、尾の力強い曲げ伸ばしの時に支点になっています。また部分的にいくつかの骨が集まって全体として殻となり脳のような柔らかい部分を防御するというはたらきもします。

骨格には、内骨格と外骨格があります。外骨格は名のとおりからだの外側にあります。昆虫やエビ・カニなどでよくわかります。内骨格よりも力学的には能率的なものです。骨をつくる物質の性質と量が同じならば、外骨格の方がはるかに強力な力に耐えることができます。しか

し骨は、殻と同じように外側にありますと、からだの大型化に妨げとなります。脊椎骨など脊椎動物の骨格は、内骨格であり、成長の妨げにはなりません。その結果として外骨格の昆虫やエビ・カニ類には大きなからだのものがなく、脊椎動物には大きなものがあります。

### 脊椎動物出現のきっかけ

脊椎動物がどのようにして出現したか、その最初のきっかけは、「脊索」という細胞のかたまりができたことです。からだの背中側の頭から尾まで細長い棒状の細胞群ができたことです。これは、生まれたころは特別のはたらきはしないが、害にもならないことから、遺伝的に代々子孫に受け継がれてきました。この脊索をもった動物を「脊索動物」といっていますが、この動物は、その後進化の中で分化しました。1つは固着生活するようになった動物群です。これは、発生の途中までは脊索がありますが、成体になって固着生活するようになった時には脊索は退化して消えます。浮遊生活しているサルパという動物も、成体になるところで脊索は退化します。浮遊生活していますが、からだの小さなものは成体になっても脊索が退化しないものもあります。成体になっても脊索が消えない動物に、もう1群います。半ば地中にもぐりながら、時々運動する動物です。

これらの動物とは別の方向に分化した動物があります。脊索が何のはたらきもしないということから、カルシウム化合物の貯蔵所としての役割をし、脊索の表面に骨片が沈着する動物の出現です。こうした動物は現存しておりますが、運動には役立っていません。小片程度ですが、骨ができたので、この動物は脊椎動物の中に入れてあります。ヤツメウナギなどです。つづいて軟骨になったもの、顎だけは硬骨からできた動物が出現しました。さらに硬骨が脊索の表面に付着し、脊索そのものが骨にかわり、節に分かれた脊椎骨をもった動物が出現しました。このように現在でも脊索から脊椎骨への変化の各段階の状態でも現在も生きている動物がいますが、これらは、脊索が退化しても繁殖による個体数の増加と死亡による個体数の減少とが平衡して存続していますから、脊椎骨になっていない動物、小片の脊椎骨しかもっていない動物もそれが生活上負の意味をもっているわけではありません。からだのつくり、各動物の生活のしかたの個性となっています。

## 6-6. 動物の陸上への進出

前に述べましたように、動物の中のあるものが陸に上がり定着できるようになり、そこで多様な動物世界ができたことは動物世界にとって重要なできごとでした。

陸上生活の一番の問題は、水が川や湖沼のように特定の場所にしかなく、つねに乾燥の危機にあることです。この乾燥による危機から脱するために、動物のからだの表面を水を通させるて失うことを避ける水不透過性の物質で被うようになりました。また水中の酸素分子ではなく、空気中のものを吸収することからえらとは別の特別の呼吸器官「肺」ができました。肺は体中奥深くしまわれていて、乾燥が防がれています。また水中とちがって浮力がなく、からだを支えるのに、骨格と筋肉が発達しました。こうした陸上生活に対応したからだになったものは、陸上全体に広く分布を広げ多様になりました。

## 6-7. 哺乳動物世界の形成

哺乳動物は、は虫類から分かれて出現しました。その分岐点は、下あごが、複数の骨から成り立っているは虫類の中のあるものから1つの骨でできた下あごをもった動物が出現した時と考えられています。しかし、下あごの骨が複数か1つかのちがいが、その動物の生活にとってどのような意味をもつことになったか、さらにそういう動物が出現して動物世界がどのように変化したかという点からの意味が明確にされない限り、その分岐は、は虫類の中の分化としてみても誤りではありません。

哺乳動物の特徴についてはすでに述べましたが、もう一度示します。

1. 肢が胴体の下から地表に対して垂直に伸びている
2. 体表が密な毛で被われている
3. 恒温性である
4. 脳が発達して、運動と内部環境恒常性維持の器官の調節が進んでいる
5. 子を哺乳する
6. 下顎骨が1つである
7. 歯が分化している

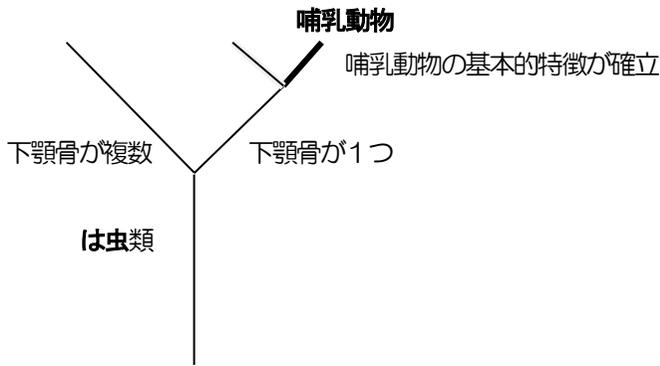
哺乳類が現在のように、さまざまな環境のところに分布を広げ、さまざまな生物とかわるることによって多様になり、1つの世界を形成できるようになったのは、これら7つの特徴を中心としてからだのしかたが成り立っているからです。それだけで哺乳動物と他の動物と区別するわけにはいきません。

現在の分類学が基準としているのは、進化ではなく、種の起原にあたっての分岐がもとになっています。そして分岐した年が古いか新しいかのちがいを唯一の基準にしています。これは、系統を基礎にした分類であるかぎり、唯一の方法であると考えます。しかし、動物の進化は、単なる分化だけではありません。分化して生まれた生物が生物世界、あるいは動物世界の発展にとってどのような意味をもった存在となったかということが最も基本となることです。多分、「下顎骨が1つである」という特徴は哺乳動物の重要な性質であっても、それだけで現在の哺乳動物世界が形成されたとは考えられません。大型は虫類が減った時、ほかにもさまざまなは虫類は残っていました。それらの動物との関係の中で、むしろ1から7までの特徴はたがいに直接的な関係がなく、生まれたものと見たほうが妥当のように思えます。たとえば、哺乳は、生まれてきた子を育てる意味があり、そのための母乳を分泌する乳腺は、汗腺が変化したものです。

また、哺乳動物の中の有袋類と真獣類にみられる「胎生」もつぎのような順序で確立したと思われるが、「下あごの骨が1つになった」ことと直接的な関係はないと思われます。

下あごの骨が1つになってから残りの6つの特徴が生まれるまでは、長い年月を要し、‘変化がおこり、定着し’ということは何回もくり返す中で生まれたものです。そして、この7つの特徴を身につけ、大型は虫類が絶滅した時、生き残ったは虫類が存在したにもかかわらず、哺

哺乳動物が、地上を中心に動物が生活できるほとんどすべてのところへと分散して移住し、それぞれの異なる環境、出会った他の動物との関係の中で分化を進め、前に紹介した図のような「適応放散」を遂げ、1つの世界を形成できたのだと思います。すると、は虫類と哺乳類の分岐点がどこかということを決めるのはたいへん難しいことです。



## 6-8. 人間の誕生と動物世界

### 動物世界にとっての人間の出現の意味

‘人間が出現したことはどのような意味をもっているのか’ということ動物世界の立場から考えますと、動物の起原ほどではないにしても、ほとんど同じくらい重大なことになるのではないのでしょうか。それは、動物世界が、人間によって人間が出現する前まででき上がっていた動物世界を破壊つくし、人間の必要性から独自の動物世界をつくり出しつつあるからです。動物世界は、人間出現前までは、どの動物もたがいの相互関係の中で共存してきましたが、今は人間中心の動物世界に変わる可能性が高いからです。

こうした人間による自然な動物世界が破壊され始めたのは、狩猟採集を基盤とした生活から農耕を基盤とした生活に切り替わった時からです。農耕とは、それまであった自然な生物世界を破壊し、作物・家畜中心の生物世界に変えることです。そのように中心に考えている作物・家畜も、人間の立場からみて有用と判断した植物・動物ですから、農耕は、人間の生存と人間社会の拡大のための自然破壊とみることができます。とくに農耕が発達して生まれた工業生産、その大規模化した時代になって自然な動物世界の縮小と単純化は、加速度的にはげしくなっています。人間の起原や動物世界とのかかわりの歴史については、次号でくわしく述べます。

### 人間はどのように出現したのか

人間は、サル類の中のオナシザル(ヒトニザル)類のあるものが変化し、さらに変化して生まれました。オナシザル類のあるものとは、ボノボとチンパンジーに分かれる前の、つまりボノボ、チンパンジーとヒトの共通した祖先にあたるサル類です。きっかけは、現在の東アフリカの大地溝帯の地形変化によって気候が変化し、今まであった森林がサバンナに変わったことです。オナシザル類のあるものが縮小していく森林にとどまって生活するものと、新たにできたサバンナで生活するものに分れたことが最初の変化です。それは、森林生活時代に直立二足歩

行に近い姿勢、行動のしかたをしていたもので、時にはサバンナに出て食物を食べるという生活をしていたものではないかと考えます。

サバンナは、森林と比べて環境が大きくなり、樹上生活ができなくなり、地表で行動することになりました。食物も樹木の柔らかい葉、若芽、果実などではなく、サバンナにある草の種子、果実などを食べざるをなくなりました。この人間の祖先であったこの動物は、植物や昆虫などの小動物、あるいはほかの狩猟生食哺乳動物が食べ残した哺乳動物の死がいを食べ生活していたと思われます。サバンナに森林とはちがったライオンなどの祖先にあたる大型の狩猟生食動物は、自分たちを襲って食べる恐ろしい敵でした。なれない二足歩行、牙や鋭い爪を失った当時、代わる物として未発達な道具と集団で防ぐ、あるいは隠れる、逃げるということをしていたと思われます。

生活のしかたの特徴

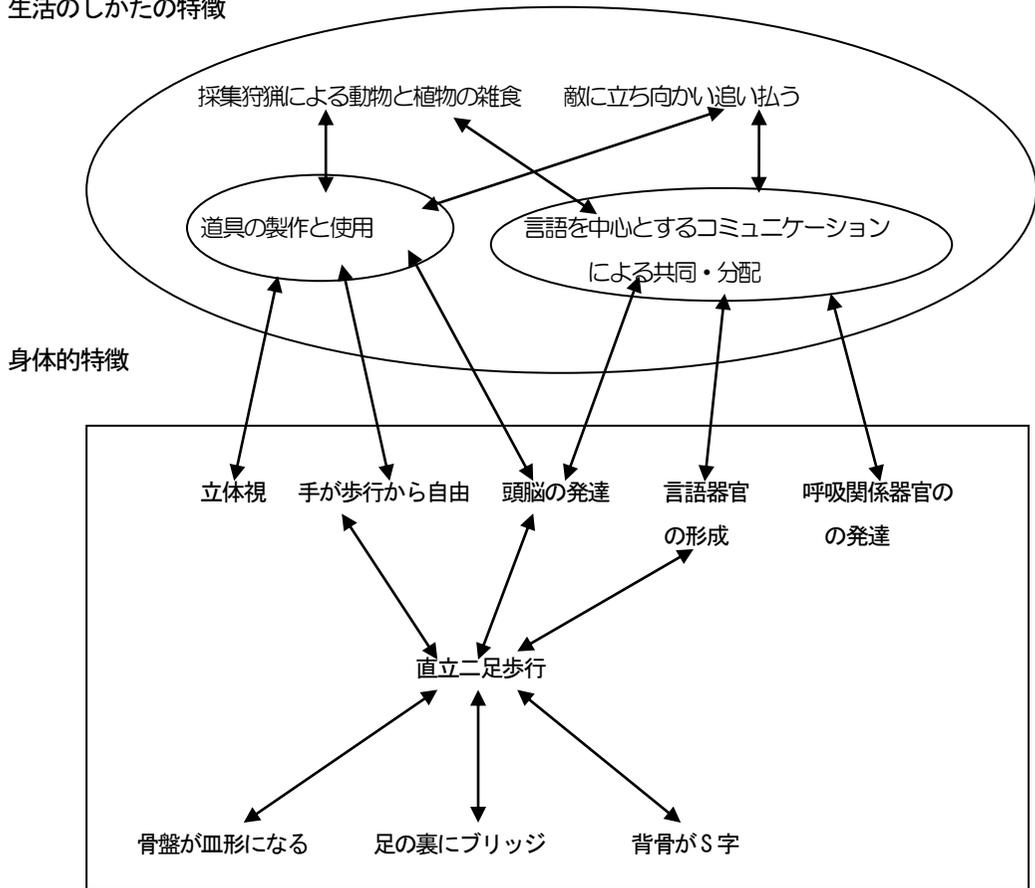


図 人間の起原の基礎となったからだの変化と生活の変化の相互作用

そうした生活の中で、その後大きな転機がおとずれました。狩猟が食物獲得の手段として重要な意味をもつことになったことです。これには、発達した道具の製作と、共同狩猟・分配の

社会生活を可能にした、頭脳の発達、直立二足歩行の確立とそれともなう前足の手への変化、骨盤・足の変化などからだのさまざまな変化が生まれ、また原始的ながらことばの使用などが支えたと思われます。このようになった時が人間が出現した時です。サル類から分かれて人間になるまでには、何百万年という年月がかかりました。

このような人間出現に向かうことになった複雑で多様な変化は、さまざまな変化のたがいの作用(co-action)が基盤になっていると思います。‘からだの1つの変化が生まれると、それが他の部分に作用してそこに変化をもたらす。すると、その変化は作用した部分の変化に作用する。そうした相互作用は、からだの諸部分についてだけでなく、生活のしかたに作用し、変化を誘発する。するとその生活のしかたの変化した結果は、からだに対して作用する’。こうしたことが間断なく進められることによって、「人間」という、それまでの動物世界からみれば予想もつかない大きくちがった動物が生まれたのではないかと考えています。

このような人間出現に向かうことになった複雑で多様な変化は、さまざまな変化のたがいの作用(co-action)が基盤になっていると思います。‘からだの1つの変化が生まれると、それが他の部分に作用してそこに変化をもたらす。すると、その変化は作用した部分の変化に作用する。そうした相互作用は、からだの諸部分についてだけでなく、生活のしかたに作用し、変化を誘発する。するとその生活のしかたの変化した結果は、からだに対して作用する’。こうしたことが間断なく進められることによって、「人間」という、それまでの動物世界からみれば予想もつかない大きくちがった動物が生まれたのではないかと考えています。

上の図はそうしたことを具体的に表わしたのですが、姿勢が斜め立ちから不完全な直立に変わると、それが胴体・頭を支える骨盤や後ろ足に作用して変化を誘発したのではないかと考えます。不完全な二足歩行から少し進んだ二足歩行に変わると、後ろ足や前足に作用してその変化を誘発する。骨盤や後ろ足が変化すると、それは姿勢、歩行のしかたに作用して変化を誘発する、前足は、歩行の補助をしながら、道具を製作・使用に役立つ段階から、歩行の補助をしなくなり、自由となり道具を製作・使用の専門器官に変わったのは、こうした相互作用的変化の過程の中で生まれたとみることができます。

## 7. 動物も物質系だが、特殊な物質系である

### 7-1. 動物のからだは物質からできている

動物のからだをつくっている器官、たとえば肝臓のようなもの、それを切りとって細かくきりきざんで、さらにすりつぶしたものを遠心分離機にかけて、器官をつくっている物質の比重のちがいで分けることができます。そしてそれらの物質がどのような物質であるかを薬品と反応させて調べ、重さを調べますと、肝臓をつくっている物質、たとえば、水が重さでいうと何%ふくまれているか、タンパク質が何%ふくまれているか、というように、ふくまれている物質の比がわかってきます。ネズミの肝臓について調べられた結果が教科書など掲載されていますが、主な物質はつぎのようです。

水	68.0%
タンパク質	21%
脂質	5.6%
糖質	3.8%
核酸	1.2%
無機イオン化合物	0.4%

## 7-2. 生きている物質反応は循環的反応

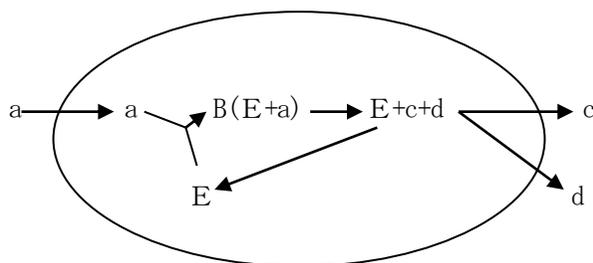
### 循環的物質反応とは

細胞がすりつぶされても、まだ酵素が破壊されていない場合には、物質変化がしばらくは進みます。しかし、それは生きていることではありません。もはや破壊というべき現象です。すりつぶされた物質はつぎつぎにほかの物質に変わり、2度と同じ物質変化はみられなくなります。そしてついには、生物体の中でみられた物質変化は止まり、その片鱗もみられなくなります。また間もなく、いろいろな微小生物や菌類の胞子がすりつぶしたものに落下してすりつぶされた細胞とは関係のない、微小生物、菌類独自の物質変化が始まり、すりつぶしたものが分解されて二酸化炭素やアンモニアになるまで進行します。

生物が「生きている」ということは、物質変化が絶え間なく進行していることです。しかもその物質変化は、同じことがくり返され持続していきます。そのように絶えず変化しながら、その変化が持続していることが生物の「生きている」ことです。ただ物質変化が続いているではありません。それでは、つぎつぎに別の物質に変わってしまいます。同じ物質変化がくり返し持続するというのは大きく2つに分けられます。1つは、からだの中にある物質変化です。もう1つは、その物質変化の最初の、出発点にあたる物質を外から内部に移動させる(とりに入れる)ことと、物質変化の最終産物を外に移動させる(棄てる)ことです。体内の物質変化によってその物質がほかの物質に変わってなくなっても、つぎにすぐ外からとりにいれれば、物質変化は再開できます。

この2つの物質変化のうち、内外の物質の出入りをきちんと進めているのは、からだのまわりをつつんでいるふくろ状の膜です。これが外と中を区別し、外から必要な物質をとり入れ、その他の物質をとり入れないようにしています。また不要・有毒な物質だけを棄てて、必要な物質を外に出さないようにしています。体内の物質変化が絶え間なく同じに進む基本となっていることは、物質変化が循環的であることです。さまざまな反応が順々に進んでいくうちに最初の反応にかかわった物質にもどる反応です。もどった物質は次に同じ物質と同じ反応をすることによって、またもとにもどります。そして、入ってきた物質と反応してほかの変化をもたらす単物質がないことです。物質には、いろいろな物質と接してさまざまな物質変化が発生し、いろいろな物質になる可能性があります。それでは、物質変化はその時々によってちがったものになり、同じ物質変化がくり返し継続することはできません。どうしても反応する物質が外から入ってきたらすぐに接触して反応する物質がつねに体内にあり、その物質が反応が

終わったあかつぎの物質反応のために準備されていることが欠かせない条件となります。それが、循環的な物質反応です。そのもっとも単純な例を図に表わしますとつぎのようになります。



この図で、 $a$ はからだの外からとり入れて、 $E$ という物質と反応する酵素です。 $E$ は体内にもともとある物質で、 $a$ と結合して $B$ という物質になり、そのことによって $a$ という物質は、 $c$ と $d$ という物質に分解されます。そして体外に棄てられます。しかし、 $E$ は体内に残り、つぎにとり入れた $a$ と再び反応することになります。

### 循環的物質反応が成立する要件

このような循環的な反応が進められるためには、いくつかの条件が満たされなければなりません。4つ、その条件となることを述べることにします。その1つは、 $a$ という物質が、からだを取り囲んでいる環境の中に不足することなく、あるということです。言い換えますと、 $a$ のある環境でないと生活できないということになります。第2の条件は、 $E$ という物質が体内にあることです。第3の条件は、この反応で発生した $c$ 、 $d$ という物質が体外に棄てられるか、体内で何らかの処理がされることで、第4の条件は、 $a$ と $E$ の反応を妨げる物質がないことです。具体的にいいますと、 $E$ が $a$ と反応する前に、 $a$ という物質と反応する物質がないことです。

### 7-3. 酵素という物質

$E$ という物質は、具体的にはタンパク質を主成分とする酵素です。ほかの物質と比べて非常に大きな物質で、他の物質と反応しながら自体は変化しないというのは、異常な物質です。その異常であることを実現させている物質です。酵素は、他の物質と結合しますと変形します。ですから、変化しないわけではありません。しかし、変形してももとに戻る物質です。物質の変化の基本になることは、たがいに結合していた原子がなくなる、あるいはそれまでなかった原子が加わるという変化です。タンパク質のような物質の場合は、基本になるところは原子どうしが共有結合という強い結合をし、そのほかに水素結合などゆるい結合をしている物質ですが、共有結合には変化がなく、ゆるい結合に変化が現われます。これが変形となって現われます。しかし、結合した相手の物質が分解など変化をして離れると同時に、形の変化がもとに戻ります。

### 7-4. ATP という物質

ATPという物質は、変化しますが、あとでもとに戻る物質で、体内の物質変化にとって重要な役割を果たしています。ATPは、ADPとリン酸に分解しますと、エネルギーを発生し、からだを構成している物質を合成する場合のように、エネルギーを吸収する反応に渡します。その一

方で、ADP とリン酸は、エネルギー発生反応と反応して、発生したエネルギーを吸収してもとのATPにもどります。ですから、ATP と、ADP・リン酸の分解、合成反応は組にしますと、1つの循環的反応とみることができます。このことによってエネルギー発生反応とエネルギー吸収反応という2つの逆向きの反応を間接的に結び付ける役割を果たしています。

ATP という語は、adenosine tri phosphate を略したものです。ADP という語は、adenosine di phosphate を略した語です。日本語でいいますと、アデノシン三リン酸とアデノシン二リン酸となります。

### 7-5. クエン酸回路という循環的反応

循環的反応にはもっと大がかりのものがあります。1つひとつの反応は酵素が関係した循環的反応であるとともに、そうした反応が順序良く連鎖的につながり、その全体が循環的になっている反応です。「クエン酸回路」というのは、そうした循環的な反応の代表的なものです。図で表わしますと、つぎのようになります。これは、栄養物質を分解してエネルギーを発生するはたらきの重要な一部となっています。

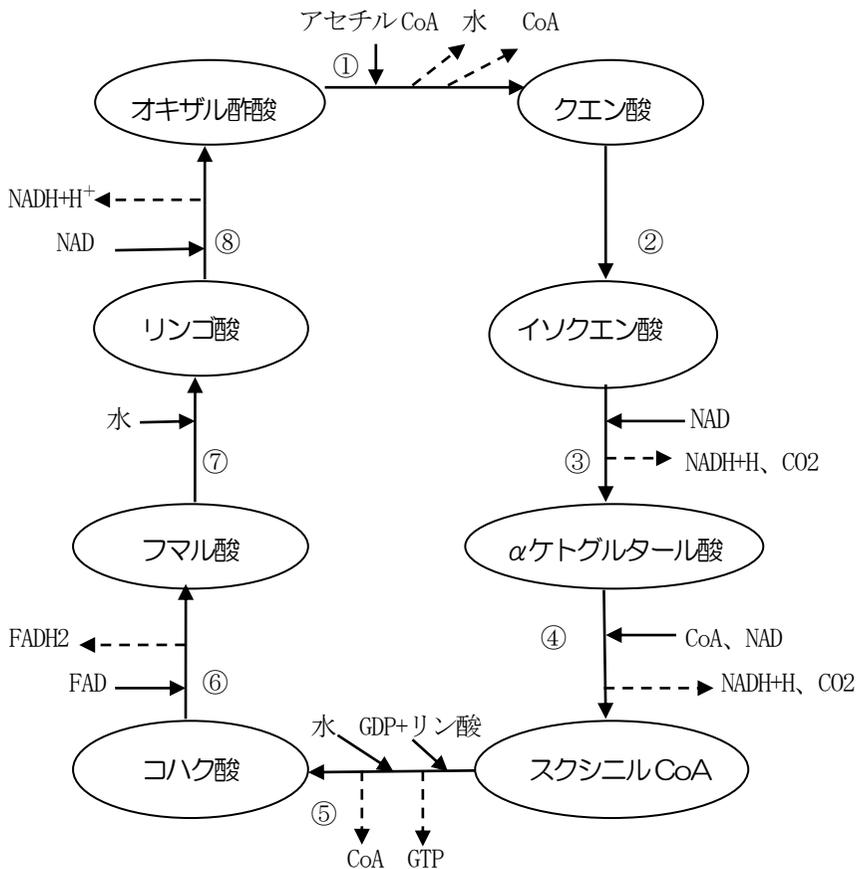


図 クエン酸回路における主な物質とその変化

この回路になっている1つひとつの物質変化は、酵素によって進められています。1つひとつの反応が終わると、酵素はもとに戻ります。小さな、単位になる循環的反応がみられるわけです。しかしそれだけでなく、図を見てわかりますように、このひとつつながりの反応全体が縦貫的な反応になっています。左上のオキザル酢酸と CoA(コエンザイムA)という物質が反応して CoA とアセチル基が離れ、それがオキザル酢酸と結合してクエン酸になります。このところからクエン酸回路の反応が始まります。そして、その途中でいろいろな物質が追加され、またふまれていた物質が外されながら最後のリンゴさんという物質が変化してオキザル酢酸になり、もとに戻ります。この複雑な循環的な反応で何がおきたか、それはアセチル基と水が二酸化炭素と水素になりました。そして、このあとの電子伝達系という物質反応ののちに、水素は酸素と結合して水になり、膨大なエネルギーが少しずつ発生し、そのエネルギーを利用して ATP が大量に合成されます。

#### 7-6. 4つの循環的物質変化

ここまで循環的物質反応は、酵素反応と、このようないくつもの酵素反応が連鎖的に結合した複合反応の2つが生物のからだの中でおこっていることがわかりましたが、循環的物質反応は、これだけではありません。もう2つあります。1つは、からだの中で起こっている物質反応全体が循環的であることです。もう1つは、生物世界全体が循環的な物質反応によって存続していることです。具体的にどのようなことかといいますと、循環的反応は、ただ物質反応が循環しているのではなく、循環的反応の中に組み込まれた物質が必ず別の物質になっていることです。かりに体外の環境の中にふくまれている a のような物質がどんどん循環的反応の中に組み込まれたとしたら、いずれ p. 53 の図の a のような物質は不足しなくなって、生物は存在できなくなります。しかし、現実には、生物の中に c、d のような棄てた物質をもとの a のような物質に変えている生物がほかに存在しています。じつは、c、d のような物質は、二酸化炭素やアンモニアです。ところが、a のような物質は、動物や菌類、他給栄養細菌は栄養物質ですが、生物の中には植物のように、a は二酸化炭素やアンモニア、水で、a から c、d への物質変化には中間としてそれを材料にしてブドウ糖やアミノ酸といった栄養物質を合成しているものがあります。そのあとでからだの損傷したからだを修復したり、繁殖のためにタンパク質や核酸、脂質、糖質にしなから、それを分解してエネルギーをとり出している生物がいます。栄養物質などの循環からみますと、どの生物も栄養物質を分解して二酸化炭素、水、アンモニアにする点では共通していますが、栄養物質の合成できるかどうかのちがいで、生物世界全体からみますと、栄養物質の生産者(植物、化学合成細菌、光合成細菌)と消費者(動物、菌類、他給栄養最近)に分れ、栄養物質からその材料物質への分解と材料物質から栄養部室への合成が循環的に進められて、生物世界全体が存続できているのです。

#### 7-7. 合成反応と分解反応の共役、エネルギー発生反応と吸収反応の共役

生物体内では、この循環的物質反応の中でつくり出されている物質が3種類あります。その中に1つは、これまで何回となく述べてきました、体外に棄てる物質です。もう1つは貯蔵物質です。かりにまわりの環境の中の栄養物質が不足した時に、あるいは将来多くの栄養物質を

消費する可能性があるための貯蔵です。冬越するリスやクマなどの動物は、秋の終わりまでにたくさん食物を食べ、体内に貯蔵します。環境の中に貯蔵場所をつくってそこに貯蔵するものもあります。もう1つの物質は、実際に体内の物質反応を進めている物質です。酵素の主成分であるタンパク質や、細胞の周りにあって内部を包んでいるふくろ状の膜をつくっているリン脂質、遺伝の中心になっている核酸などです。ただし貯蔵物質以外の実際にはたらいっているは、つぎの3つの時以外は合成されません。その1つは、はたらいていた物質を形成している原子または原子群が欠損した場合、あるいは余計な原子または原子群が結合した場合です。そのことによってはたらいなくなり分解し、そのあとを補います。その補いとして特定の物質の合成が進みます。第2は、からだが成長して大きくなる場合です。第3は、生物が死ぬ場合です。死ぬ前に栄養物質が豊富にあった場合に、物質合成の反応をさかんに行ない、子孫をたくさん増やす時です。

そして、この合成反応は、必ずエネルギーを必要とし吸収する反応ですから、他方でエネルギーを発生する反応が始まります。しかし、この2つの逆向きの反応は直接かかわって、つまり共役して進むことはなく、その仲立ちをする物質変化があります。それは、前に紹介しましたATPという物質の合成と分解です。エネルギー発生の反応とATP合成の反応が共役的進められ、他方で合成されたATPは、分解してエネルギーを発生し、エネルギー吸収の反応と共役的に進みます。

こう見ますと、生物が「生きている」とはどういうことかをまとめますと、‘物質の複雑な変化が進行しながら、その物質変化が維持されている’ということになります。