

生きかたとし ての生物学習 指導要領試案

研究速報

no.16

「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

2015年8月1日

特集 植物学習指導基礎資料

植物について教えるのに、何を知っておけばよいか

この「植物学習指導基礎資料」は、学習指導者として植物について教えるのに、どのようなことを知っておけばよいかというものをまとめたものです。現に目にする植物を、どのような理由でそこにあり、どのように生活しているかということを考え出すことができます。また植物の基本になることもわかります。

1. どれが植物か
2. 植物も動物、菌類(カビ・キノコ・コウボなど)、細菌と同じ生きものである
3. 植物はほかの生きものたちがう独自の生きかたをしている
4. 植物は、それぞれによってちがう独自の生きかたをしてたがいに共存している
5. 植物はほかの生きものとはちがう独自の世界を生み出し、歴史的にずっと発展してきた
6. 植物はほかの生物から被害を受けながら、また助けられながら生きている
7. 植物も物質から成り立っている。植物が生きているというのはひとつの物質変化である
8. 人間は植物に支えられながら生きてきたが、植物世界を破壊し続けてきた
9. 自分たちが生活する地域には独特の植物世界がある
10. 人間はこれから植物世界とゆたかにかかわる展望をもって生活する

子どもと自然学会生物教育研究委員会

岩田好宏 (連絡先 yoshihiro_hanamigawa@yahoo.co.jp) ・ 杉山栄一 ・ 中谷治代 ・ 吉岡秀樹

「植物について何を学習指導するか、その 1」 —「植物学習を指導する者として何を知っておけばよいか」案—

はじめに—植物、何がわかればよいのか

植物について、何がわかればよいのか。それは、学ぶ側の子ども・若者が判断することである。小学校一年生から高校三年生までの 12 年間における学校での植物学習指導とは、その判断の基盤を築くための支援・助成することである。そのために指導する者として、知識、考え方の点でどのようなことを身につけておけばよいか。それをこれまでの人間の歴史のなかでの植物世界との関係から抜き出してみた。これは、人間が植物世界とかかわるための知的手段というべきものである。それはつぎのようなものになった。

I 植物とは何か

1. どれが植物か
2. 植物も動物、菌類(カビ・キノコ・コウボ)、細菌と同じ生きものである
3. 植物はほかの生きものたちがう独特の生きかたをしている
4. 植物は、それぞれによってちがう独自の生きかたをしてたがい共存している
5. 植物はほかの生きものとはちがう独自の世界を生み出し、歴史的にずっと発展してきた
6. 植物はほかの生物から被害を受けながら、また助けられながら生きている
7. 植物も他の生きものと同じように物質から成り立っている。植物が生きているというのはひとつの物質変化である

II 人間は植物とどのようにかかわってきたか

8. 人間は植物に支えられながら生きてきたが、ほかの生きものとはちがって植物世界を破壊し続けてきた
9. 自分たちが生活する地域には独特の植物世界がある

III 人間は、これから植物とどのようにかかわればよいか

10. 人間はこれから植物世界とゆたかにかかわる展望をもって生活する

1. どれが植物か、植物とは何か

1-1. ‘植物とはなにか’ と ‘どれが植物か’

どれを植物にするかということと植物とは何かということとは不可分な関係にある。どちらかをはっきりさせるにはもうひとつのほうははっきりしないといけないという関係にある。目の前にあるものが植物であるかどうかを判断するには、植物とは何かはわからないとできない。また植物とは何かを定義するためには、どれを植物の中にふくめ、どれを植物から除外するかということを見極めなければならないということであり、そうであるならば、どちらを先にしてもよいことになる。子どもの認識の発展にともなって進めていけばよい。その時大事なことはほかのものと対比することと相互関係に目を向けることである。生物学の歴史をみても明らかであるが、「植物」概念が変化すると何を植物にするかがかわり、植物とし

て認定したものがかわると「植物」概念がかわるということをくりかえしてきた。現在でもそうである。

1-2. 植物とは

植物とは、二酸化炭素と水を材料物質にし、光のエネルギーをつかって自分で栄養物質を合成し、利用している生きものをいう。植物がこのような生きものであることがわかると、いろいろなものを見たときに、一つひとつ‘二酸化炭素と水を材料物質にし、光のエネルギーをつかって自分で栄養物質を合成し、利用しているかどうか’、確かめないと、厳密には植物かどうか判定することにはならない。しかし簡単な手がかりがある。栄養物質を光のエネルギーを利用して合成する生きものはすべて緑色をしているので、からだの色が緑色をしているかどうかでわかる。ただし、植物以外にも緑色をしているものがある。緑色した置物や植物の模型などがあるが、これが植物でないことはすぐわかる。植物のなかに身をかくし、自分をねらう敵を避けている動物が緑色をしている。それらとの区別は、かたちと動くかどうかで区別できる。また‘光合成細菌’といわれている細菌類も、光のエネルギーを利用して栄養物質を合成するので、緑色をしている。これは、硫化水素などが発生する特別の、ごく限られたところにしかない。

まず‘植物とは、からだが緑色をしている葉と細長い形をした茎と地中に枝分かれている根から成り立っていて、花が咲き、実ができるもの’というところから始めて、それから‘水を水素供与体^{*1}とする光合成生物’へ植物概念を発展させていく。一方、光合成生活していたものが、進化のなかで葉緑素を失って他給栄養生活に転換したのも植物とみる。ここでは、植物を進化的歴史の角度からとらえる必要がある。また、藻類のように水中生活しているものは、根や茎、葉からなっていないものもあるし、未細胞性植物^{*2}や多細胞植物も植物とみられるようにする。さらに、他の自給栄養生物(化学合成生物、光合成細菌)との対比、それらとの関係に目を向けながら、植物の特徴と生物世界のなかでの植物の位置をはっきりさせてゆく。

*1：植物が、光合成で材料物質としてつかう水は、光を受けて水素と酸素に分解され、水素だけ利用されて、酸素は排出される。そこで水を水素供給物質といっている。他の光合成生物のなかには、光合成細菌のように水ではなく硫化水素を利用するものもある。硫化水素が光を受けて、硫黄と水素に分解され、水素が栄養物質合成につかわれ、硫黄は体外に排出され、からだの表面に付着する

*2：単細胞植物といわれているが、原生生物のなかの光合成する生物という言い方もされる。これらは、生物の個体と細胞との関係をきちんととらえていないことによって生じた誤った呼び方である。なぜ「未細胞」としたかは、後の「5-3. 植物世界のさらなる分化」で詳細に述べる。

2. 植物も動物、菌類(カビ・キノコ・コウボ)、細菌類と同じ生きものである

2-1. 生きものとは、

植物も動物も、菌類(かび・きのこ・酵母など)、細菌類と同じ生きものである。生きもの

とはなにか。生きものではないものどどこがちがうか。

生きものは、物質としてみた場合に、‘環境との対応関係の中で自己保存的、自己更新的、自己発展的代謝を進めている物質系である’。このところが、他の物質、物質系とちがう。ここに生きものの特徴がある。このような特徴は植物にもみられる。

「自己保存的」とは、‘自分で自分を存続できる’という意味であり、「自己更新的」とは、‘自分で自分を新しくつくりかえることができる’という意味である。この2つの性質を合わせると、矛盾していると思うにちがいない。しかし、そうしたことが事実なのであるから、おかしいと思ってもみとめないわけにはいかない。人間の考え方のほうを変えるほかない。

‘生物とはどのような物か’という問いに厳密に答えると、このようにむずかしいものになる。しかし、生きものか生きていないものかの区別は、目で見て可能である、“生まれ成長し、子孫をつくって死ぬ”という過程が、‘生きている’という、自己保存、自己更新の具体的なすがたである。また時にはたがいに別々のものに分かれ、長い年月の経過のなかで、それが複数の新たな生物に分かれ、生物世界全体が多様に、複雑になる。この過程が自己発展性である。これは、動物でも植物でも、また菌類・細菌類でもかならずみられることであり、また生きもの以外には絶対にみられないことである。

生物は、こうした自己保存や自己更新、自己発展を単独ではできない。取り巻いている環境からさまざまな物質を取り入れ、体内でできた不要物質や有毒物質に変わった場合に、それを体外に排出することによって実現できている。これを物質代謝と言っているが、生物の場合は、単なる物質代謝ではなく、そのため自己保存、自己更新の基礎となっている独特のものである。それが自己保存的、自己更新的物質代謝と言っているのである。こうしたことがすべての植物においてみられるから、植物は動物と同じ生きている物であり、生物である。二酸化炭素や窒素イオン化合物を取り入れ、それを糖質やアミノ酸に変え、さらにそれらを変化させたり、たがいに結合させたりして多糖類、タンパク質、核酸、リン脂質を合成し、他方それらを分解して、もとの二酸化炭素や窒素イオン化合物に変える。

それが植物の場合の物質代謝である。自己保存、自己更新、自己発展している状態を生きている、あるいは生命と言っている。この点で植物とヒトとは共通しており、この性質‘環境と関係しながら生まれ成長し殖え生きながらえる性質’は、ヒトと植物に分かれる前の、生物がこの地球上に誕生した時と同時にそなわった性質である。すべての生物にとって欠くことのできない共通した性質、つまり本質である。生物独特の存在のしかたということもある。

2-2. 生きものとは個体の離合集散

生きものは、また全体がひとつのかたまりではなく、生物は、個体というまとまり独立したものが集まったり離れたり、分散したり結合したりして存在している。だから、生きているということは、2つに分けて考え、その2つを統合してみると具体的にみることができる。生きるということについて個体(生物体)の内部では、どのようなはたらきが展開されているかということと、ほかの個体とどのようにかかわっているか、非生物的環境とどのように関係しているかということである。この2つは「生命現象」と「生活」というようにいわれ

ている。この生活と個体の内部で展開されている生命現象とは相互に密接な関係がある。

植物も生物として「生きている」ということを具体的にとらえるには、2つの角度から追究する必要がある。ひとつは、「生きている」という特徴が植物にみられるかどうかという角度からの追究である。もう1つは、現に植物の存在している状態に「生きている」ということを探し出す角度からの追究である。この2つを結合させ統一すると、植物が生物として生きているということが具体的に明確にできる。「生きる」を支えているお主な特徴はつぎのようなものである。

- ①生物は成長する
- ②生物は、個体が死ぬが、その前に子孫を残し、更新して持続している
- ③生物は必要なものを環境から取り入れ、不必要なもの、有害なものを環境へ排出する
- ④生物は、環境に左右されながら、環境が生活条件になっており、環境の変化に対応して関係を変更し、時には自体も変化する
- ⑤生物は、環境である外界と密接な関係にありながら、外界と明確な区分がされて独立して存在している
- ⑥生物が必要としている物質の中の栄養物質は、それを酸化してエネルギーを取り出すことと体構成物質を合成するのにつかわれる
- ⑦栄養物質の酸化で取り出されたエネルギーは、はたらきを進めることと、体構成物質を合成するのに利用される
- ⑧生物は、ほかの生物とかかわりながらたがいに争うことなく共存している。
- ⑨生物の存在のしかたは、生物としての基本はかわらないが、別の方向へかわっていき、さまざまな生物へ分かれて、生物世界^{*3}として多様で複雑な世界へ変化している。

*3:「生物」といういいかたは漠然としたもので、生物の個体、種、地域生物界、生物世界の全部ふくめる場合、あるいはこれらを明確に区別しない場合につかわれる。

物世界」は地球上に存在するすべての生物をいい、地域生物界は、地域ごとの、植物(生産者)、動物(消費者)、菌類、細菌類(還元者)がそろい、栄養物質を中心とする物質循環が完結的に成り立ち、全体として自立的で、他の地域の生物世界とは異なる独自性がみられるものである。これに地域の非生物的物质を合わせたものが地域生態系である。

3. 植物はほかの生きものたちが独特の生きかたをしている

栄養物質は生きものが生きていく上で欠くことのできない物質であるが、酸素分子などのように、地表のどこにでもあるという物質ではなく、その獲得のために特別に重点をおかないと得ることができない。栄養物質の獲得方法がちがうということは、生活のしかたの基本がちがうということである。したがって、他の獲得方法をしている生きものと競うということがなくたがいに共存できる。植物の「水を水素供給物質とし、それと二酸化炭素を材料物質にし、光のエネルギーをつかって自分で栄養物質を合成し、利用して生きている」という生きかたは、ほかの生物はしない。植物と競争して植物の生活をおびやかす生物はまったく

いない。植物以外の生きもののなかには、植物を食べて生活しているものがあるが、そのことによって植物を減ぼすということはない。植物は食べられて害を受けたり死亡したりしても、その一方で再生したり繁殖したりして回復する。

3-1. 生物の栄養物質の獲得方法のちがい

生物の栄養物質の獲得方法は、つぎのようにちがう。

A 自給栄養生物*4	
A1.化学合成生物	A1-1.有機物酸化型(A1 を行なっている生物は化学合成細菌) A1-2.無機物酸化型
A2.光合成生物	A2-1.水素供与体が水：植物 A2-2.水素供与体が水以外：光合成細菌
a 他給栄養生物*4	
a1.生きた生物体から	a1-1.生物体そのもの a1-2.生物体が生成したもの
a2.死骸・排出物	

*4：普通、独立栄養と従属栄養といているが、原語である英語の autotrophs、heterotrophs の誤訳である。また動物などは栄養的に植物に従属しているわけではない。光合成やアミノ酸合成に必要な材料物質としての二酸化炭素や窒素イオン化合物は、動物や菌類、細菌類によって多くが供給されている。また、これら生物が存在しなければ、植物の死骸の分解がきわめておそく、材料物質の不足によって植物の存在が脅かされる。独立、従属という言い方は適当ではない。また、最初に出現した生物は、自体で栄養物質を合成することのできない生物であり、まわりの環境のなかに栄養物質が豊富に存在していたので、それを取り入れていた。栄養物質を自体で合成できる生物は、その後他給栄養生物を祖先にして出現した。

表 1 生物の栄養摂取方法と生活様式との関係

	寄生生活	固着生活	浮遊生活	運動生活
自給栄養生物 化学合成細菌 光合成細菌 植物		褐色べん毛藻	コンブ・スダジイ	ケイソウ クラミドモナス
他給栄養生物 捕食生物 吸収生物	センチュウ 大腸菌	フジツボ アカパンカビ	サルパ コウボ	イワシ

寄生生活：生物体の表面あるいは内部に常住する生物

生物の、生きていく上で必要な栄養物質の摂取のしかたには、自分で合成できる生物(自給栄養生物)と、自分では合成できず他の生物のからだや死骸などを分解して栄養物質を得ている生物(他給栄養生物)に分かれた。なかには、限られてはいるが、自給栄養と他給栄養の両方をする生物もいる。

他給栄養生物は、自分のすぐ近くにほかの生物かその死骸がないと生きていけない。動物のように行動できる生きものは、そうしたほかの生物やその死骸の存在を感じると感覚が発達していて、みつけるとそこまで動いていってとらえて食べる。キノコやカビのなかまである真菌類は、胞子をたくさんつくって飛ばし、そのうちのどれかがほかの生物かその死体にたどりつけば、そこで栄養物質を得ることができる。最近発見されたばかりのウシグソコナヒトヨタケというきのこは、胞子を飛ばし、そのなかのあるものが、エゾシカの糞の上に落下して付着し、糞のなかにふくまれている栄養物質を取り入れて、新たな生活を展開することになる。他給栄養生物は、生きたものから栄養物質を獲得するものと死骸や糞から得るもの、シカやシマウマのような大型の動物をとらえるものと、カタクリの種子のような小さなものを食べるもののちがいがあ。また植物を食べるものと動物を食べるもののちがいがあ。植物の葉を食べるものと蜜を食べるものなどのちがいがあ。こうしたちがいによって、たがいに争うことなく共存している。

一方、自給栄養生物は、自分で栄養物質を合成できるので、どこでも栄養物質を確保して生きていけるかというところではない。植物は、栄養物質合成の材料物質としてつかう水も二酸化炭素も、地球上の水が著しく欠乏している地域や、気温が極度に低い場所では生存できない。また地中や深海、洞窟のなかのような光が通らないところでは光合成ができない。光が射しているところでも、木の高いところにある葉によって被われた、光の弱い日陰では栄養物質の必要な量を合成することはできない。

自給栄養生物には、栄養物質を合成するのに光エネルギーを利用するもの(光合成生物)と、物質の酸化によって発生した化学エネルギーを利用するもの(化学合成生物)とがある。光合成生物には、植物とは別に、合成に必要な材料物質のひとつが、水ではなくて硫化水素を利用する生きもの(光合成細菌)がいるが、海底火山のような硫化水素が発生している特別の場所でないとは生活できない。光合成細菌にとっては、植物が光合成によって発生する酸素分子は猛毒物質であるから、植物がいるところでは生活できない。逆に、植物などにとっては、硫化水素は猛毒物質であるから近寄れない。化学合成生物は、光がなくても栄養物質合成ができるので、深海の底のようなところ、地中深くの暗いところで生活できる。しかし、酸化する特定の物質がないと合成できないから、特別の場所でしか生活できない。こうして、自給栄養生物の場合もすみわけて共存ができています。

4. 植物は、それぞれによってちがう独自の生きかたをして共存している

4-1. 植物のからだは、そこから生活のしかたが生まれる

植物のからだは、そこから生活のしかたが生まれる。からだの形、構造、性質がちがえば、

生活のしかたがちがうし、生活する環境や他の植物との対応関係がちがってくる。また生活環境が大きく変化すると、からだが変わり、生活のしかたが変わることがある。

都会でも身近にみられるタンポポとセイタカアワダチソウを例に、比較してみると、ともに背丈の低いロゼットというかたちで冬を生きのびるが、セイタカアワダチソウのほうは、春の終わりごろには茎を伸ばし始めて背丈を高くしていくが、タンポポのほうは、いつまでも背丈は高くない。背丈を高くしない植物である。

セイタカアワダチソウは高く伸びて、ほかの植物の日かげになることはなく、茎の表面にたくさん葉を展開して、光を受けて光合成する。その栄養物質を利用してさらに高くなっていく。その一方で茎の地中の元では白い細い茎をいくつも枝分かれさせて伸ばし、生活場所を拡大していく。秋になる頃には、背丈は 2 m をこえるものも出てきて、その先がいくつも細かく枝分かれして、黄色の小さな花を咲かせてわた毛のついた実をつくる。

表 2 陸上植物の生育のしかた

茎は長い	茎は自立	主軸が明確		直立植物
		主軸が明確でない	空中で分枝	分枝植物
			地面で分枝	叢生植物
	茎は自立しない	他物にのぼる		つる植物
地表をほう		ほふく植物		
茎は短い				ロゼット植物

タンポポは、茎がほとんど地中にもぐっているのので、一生を通じて葉を高く支えることをしない。近くに背丈の高い草が生えてきて日陰になると光合成できなくなって生活できなくなる。また種子をつくるための栄養物質がなくなって、つくることができない。すると子孫を残すこともできなくなる。タンポポの生活できる場所というのは、ほかの植物が生活するのがむずかしい生活環境がきびしいところである。学校や地域にタンポポがみられるが、そうしたところはすべてほかの植物が少ないところか、背丈の低い植物だけの草はらである。人間の踏み付けや草刈によって、背丈が高くなる草は高くないうちに傷害を受けて死亡する。タンポポも草刈や踏み付けによって地表の葉が傷害を受けるが、地中の茎に貯めておいた栄養物質をつかって葉を再生して回復する。明るいところで多量に合成した栄養物質は、からだを高くするのに利用するのではなく、このような傷害を受けたときの再生のために利用される。また地中の茎は短いが節がたくさんある。節は、葉や花が出るところで、節が多いことはたくさん再生するのに役立つ。タンポポもセイタカアワダチソウも生活している場所がいつまでも日かげにならずに続くとは限らない。刈取りや踏み付けなど人のはたらきかけがなくなれば、いつかは、自分より背丈が高くなる木が少しずつ成長して、ついにセイタカアワダチソウより高くなり、枝を大きく広げ、セイタカアワダチソウを日かげにしてしま

う時が来る。あるいは、地形や気候の大きな変化があったり草原が火災になったりして生活できなくなる場合がある。わた毛のついた実を風に飛ばされて遠くに行き、落ちたところが日かげになりにくいところであれば、新たな生活を展開することになる。

4-2. 植物の生活のしかたはそれぞれによって異なる

a. からだの大きさ・複雑さが基本的ちがい

植物の生活のしかたは、それぞれによってちがう。自分にあつた環境がちがう。まわりをとりまいてる植物もちがう。まわりに植物がほとんどないところが適しているものもあるし、たくさんの植物が密集して生えているところでも、そのなかで背丈を高くして生きのびることのできる植物もいる。その生活のしかたのもっとも基本になるちがいは、動物も同じだが、からだの大きさ、複雑さがもたになっている。からだ小さく単純な植物は死亡ははげしく、繁殖もはげしい。からだ小さく単純なものは、生まれると短い期間で成体になり、つぎの繁殖ができる。逆に、からだ大きく複雑なものは、生まれ出てから成体になるまでの期間が長く、繁殖できるようになるのがおくれる。だからはげしく繁殖できない。動物のからだの大きさ、複雑さと植物の場合とはちがいがある。動物は、何を食べるか、なにに食べられるかが大きな問題である。からだ大きい動物は、小さな動物に食べられるということがあまりない。アフリカゾウは植物食の哺乳動物だが、狩猟動物食のライオンに食べられることはあまりない。植物食の動物は必ず食べられる動物というみかたは誤りで、むしろからだの大きさが基本となる。すごい速さで走り、するどい牙をもっているチーターといえでもキリンをとらえることはできない。小さな動物は大きな動物に食べられやすい。

それに対して、植物の場合、からだがただ大きいというのではなく、背丈が高く、茎は枝分かれてして伸ばし、広く張りめぐらせるところに特徴がある。背丈の高い樹木は、成長して成木になるまでに長い年月がかかるが、成木になればほかの植物の日かげになることはまれとなり、環境の大きな変化がないかぎり寿命がつきるまで長い期間生存できる。樹木のなかには、セコイアやスギのような数千年生きつづけているものがある。樹木には、背丈が高くなっても上のほうにある葉を支える強度があるし、上のほうまで水を運び上げるはたらきがある。樹木が生活できなくなる危険は、種子から発芽したばかりの背丈が低い若い時期である。

b. 植物の生活と光

植物の場合のからだや生活のしかたの基本は、光をめぐる植物間の関係がもたになっている。ほとんど植物が光を必要とし、光なしには生活できない。だからたくさんの種類、数の植物が込み合つて生活しているような、環境がおだやかなところでは、日かげになるか日かげにするかのちがいが生存できるかどうかの分かれ目となる。からだ小さいものは、大きなものの日かげになって、栄養物質が十分合成できないで死んでしまう。

このようにみると、からだ小さく、背丈の低い植物は、光を十分受けることなく滅んでしまうように思えるが、そうではない。タンポポのような背丈の低い植物は、背丈の高い植物ができない生活のしかたをして、別の環境のところで独自の生活を営む。

背丈の低い植物は、一般的に環境のきびしいところに生活している。タンポポは、すでに

ふれたが、道端という環境のきびしいところに生活していることによって生存が可能になっている。踏みつけ、草刈りという環境のきびしさが、長い期間かけて背丈を高くする植物は、芽生えたばかりの小さい時期にそのきびしさによってからだに傷害を受けると、回復することなく死亡する。環境のきびしいところは、そこに生活している植物の種類も数も少なく、日かげになることはほとんどないから背丈の低い植物でも生存可能なのである。

表 3 翌年まで生き残り、利用するもの

	散布体 種子	成長でできて翌年利用するもの		
		地中部	地上部	
			地上茎	葉
一年生植物 一年生草	種子			
多年生草	種子	地中部		
常緑草	種子	地中部		葉
多年生植物 落葉樹	種子	地中部	地上茎	
常緑樹	種子	地中部	地上茎	葉

木：地上茎が翌年まで生き残り、毎年地上茎を継ぎ足して成長する

草：新しい芽が地中部、種子から出る

一年生植物：種子を除いて、成長したものがすべて枯れ死に、利用できない

多年生植物：成長したからだは翌年利用される

散布体：からだから離れて別の場所で生活する可能性がある

c. 砂丘の植物

砂丘は、時々吹く強い風によって飛ばされた砂が、そこに生活している植物を被ってしまう。そのことによって植物は光を受けることができず、栄養物質の合成ができず、死亡する。砂丘にみられる植物は、そうした砂が被いかぶさって葉が枯れても、茎が枯れることなく、そこから芽が出て、強い風がおだやかになって飛砂がおさまる頃になると、地表に葉を展開して回復する植物である。風がおだやかで飛砂のない時期は、こうした砂丘植物だけでなく、ほかの植物も発芽して生活を始めるが、高く成長しないうちに砂をかぶって枯れるから砂丘に常住できないのである。

砂丘植物のなかには、砂に被われたほうが成長に適している植物もいる。砂に埋もれた茎から複数の茎が枝分かれしながら伸びれば、生活範囲を広げることになり、そのことによって砂止めをして、砂丘環境のもうひとつのきびしさである、根元の砂が奪われて死ぬことから免れる。

砂丘では、強い風が吹いた時からつぎの強い風が吹くまでのおだやかな時期の長さのちがいで生活する植物の種類にちがいが出る。おだやかな期間が長いところでは砂丘植物

だけでなく、おだやかな環境のところでは背丈を高くする植物も生活できるが、飛砂がはげしく、長く続くところでは、砂丘植物といえども常住できない。

d. 沙漠^{きぼく}*5 の植物

沙漠と砂丘は、植物にとってきびしい環境の場所であるが、きびしさにちがいがあある。砂丘は、雨量の多いところでも形成される。土の移動のはげしいところである。砂丘の植物にとってのきびしさは飛砂である。これに対して、沙漠は雨量が極端に少ないところにみられ、土中の水分が少なく、地表付近の水分がなくなることが、環境のきびしさとなっている。

*5：普通「沙漠」という字がつかわれるが、雨が降る量が少なく、水不足が植物にとっての環境の厳しさであるから、水が少ない意味の「沙漠」とする。

沙漠の植物は、環境としての特徴から推定して、少ない水分で生きている植物と考えるだろうが、どれも生きかたが同じというわけではなく、基本的には2つのちがいがみられる。ひとつは、サボテンのように、雨季になって雨が降って、土の中にしみこむとただちに吸収して体内に大量の水を長期間貯えることができること、乾季になって水の蒸散を極力抑える生活のしかたに特徴がある。沙漠のなかには、1年の平均雨量が2mmというようなどころもある。1年中雨が降らない年があるという地域もある。しみこんだ水が蒸散して空気中に放散しないうちに吸収できる特徴は根にある。細かく枝分かれした細い根を地表のすぐ下、地中の浅いところにはりめぐらせる。水の蒸散は、厚い表面の細胞集団がしっかりと防止している。二酸化炭素を吸収するのに、気孔を開けねばならないが、蒸散が激しくなる昼間はしない。夜に吸収して体内の細胞に貯えて、昼に光を受けるとその二酸化炭素をつかって光合成を行なう。体内には水をためる貯水組織がある。しかし、それでも水は失われていく。サボテンは乾季になると、徐々に水が失われてからだがしぼんでいく。そして死亡するものもあるが、雨季まで生きのびたものは、水を十分に吸収すると成長する。花を咲かせ実をつくる。

もうひとつ、別の乾季の乗り切り方をしている植物がいる。雨が長期にわたって降らなくなり、土中の水分がなくなったら、活発な生活をやめて地上部は枯れて、種子や地中茎などが土中で休眠状態になる植物である。栄養物質の消費も水分の消費も極端に少なくする生活のしかたである。このような植物は、雨が降り地中にしみこむと、地中の種子ないし茎から芽を出し、地表に葉を展開する。雨季の期間が短いところほど、背丈は低く、ほとんどは地表に出るのは葉と花であり、背丈は低い。雨季が終わり乾季に入って土中の水がなくないうちに、花をさかせ種子をつくって飛散させ、地中で休眠に入る。雨季の期間が長く、逆に乾季の期間が短い、十分な水分が確保できる地域では、背丈を高くする、生育期間の長い植物も生活でき、長い年月かけて成長し続けられれば、樹木が優勢になる。

e. 河川敷^{かせんしき}の植物

川の内部でありながら、川の水量が少なく水面が低くなると陸地になるところを「河川敷」といっている。そこに川の上流から流されてきた土砂が堆積して、丘のようになっていると

ころもある。そこに種子が飛来してきて生活を始める植物がいる。また根ごと流されてきた樹木が漂着して生活する植物もいる。

河川敷は、大雨や雪解けの後、大量の水が流れてくると、水面が高まり水没する。河川敷のまわりの低い部分は、少しでも水面が上がれば水没して、植物はほとんど枯れ死んでしまう。水面が下がって陸地に戻っても、植物が生活していない無植物地帯、裸地となる。水面が下がって陸化すると、地中の種子や茎から芽が出て、あらたな植物世界が形成される。河川敷のまわりの低いところは、水没と陸化を頻繁にくりかえすから、安定した植物世界は形成されにくく、さまざまな植物が多く生活するところではなく、短い期間で成長できる植物だけが生活可能となる。他の植物の日かげになることはない。これに対して、丘のようになっているところの高い部分は、水面がよほど高くならなければ水没することはない。そうしたところでは、普通の陸地の植物世界と同じように、長期にわたってさまざまな植物が生活するようになり、背丈の高い樹木が優勢な植物世界をつくり、森林のようになる。同じ樹木でも、河川敷の周辺の低いところでは、背丈の低い、小型で枝がほふくして、まわりに広げるものがみられるが、高いところでは、幹を直立させて生育のしかたが高木になるのに適したかたちのものが多い。

f. 弱い光で生活する植物

弱い光でも生活する植物がいる。森林のなかのずっと下のほうの地表近くのうす暗いところに葉を広げている背丈の低い植物である。同じ背丈の低いタンポポとはちがう生活のしかたをしている。強い光を受けないから、光合成による栄養物質の合成量は少ない。その少ない栄養物質でなんとか生活している植物である。背丈が低いことによって多くの栄養物質を消費することはない。森林内は環境が安定しているから、きびしい環境によって傷害を受けることがないから、回復のための栄養消費も少ない。多くのものは葉の寿命が1年ではなく、数年長持ちをする。毎年葉を出すにはそれだけ栄養物質の消費が多いことになる。しかし、長持ちできる葉をつくるのであるから、それだけ栄養物質を多くつかう。弱い光でわずかに合成できた栄養物質を毎年少しずつ貯蔵して蓄積し、葉が枯れる前に、その栄養物質をつかって芽を出し、それが葉になって地表に出て再生する。少ない生産で消費を少なくして生活する栄養経済生活をおくっている。こうして光の弱い地表近くの生活を長く続ける植物である。ジャノヒゲなど常緑草とよばれている植物である。

カタクリという赤紫色の美しい花を早春に咲かせる植物は、林のなかのうす暗い林床に生活しているが、これとはちがった生活のしかたをしている。秋になると樹木の葉が落ちて林床が明るくなる落葉樹林に生活するロゼット植物である。樹木が葉を広げ、地表が暗くなる頃には、地表に展開していた葉を枯らし、花を咲かせて実をつくって地表から姿を消す。葉を広げ光合成するのは、早春の少し温かくなり、樹木が葉を繁らせない林内が明るい時期だけである。林内が暗くなる初夏から翌年の早春までの長い期間は地中で休眠し、栄養物質の消費を極度に少なくしている。

このように森林は、高く茎を伸ばし高く葉を展開して強い光を受けて光合成を活発に行なって大量の栄養物質を合成し、大きなからだを維持するのに栄養物質を多く消費する樹木が

生活する一方で、ジャノヒゲやカタクリのように合成が少なく消費も少ない植物が生活し、その中間の光の強さのところに葉を展開して、栄養物質の合成も消費も中程度のものが生活するものなど、あたる光の強さのちがいに対応した生活のしかたが異なる植物が共存している。それに対して草原では、夏の盛りには高く茂る背丈の高い植物が独占するように生活しているが、秋の終わりから春までの背丈の高い草が枯れた冬の時季には、冬に耐える植物が生活をしていて、別のしかたで共存がみられる。このようにからだ・生活のしかたのちがいは、植物の共存の基礎となっている。

4-3. 水中植物—藻類の生活

海にも多種類の植物が生活している。海は、植物の環境として2つの部域に分かれる。光合成ができないほど光が弱い深い部域と、それより浅い部域である。水は、光を吸収するので、深いところほど光の強さが弱くなる。

光が届かない深海部は、栄養物質を合成する植物が存在しないから、生物が生存できない世界と思われるかもしれないが、そうではない。光がとどく浅いところで生活していた動物や植物の死骸が深海部まで降下してきて、それを栄養源としている動物や細菌類、菌類が生活している。またそれら動物や菌類から栄養物質を摂取して生きているものもいる。

もうひとつ、深海部には、海底火山の噴出口があって、そこから吹き出ている硫化水素をとり入れ、化学合成をしている細菌類がいる。これが体内に共生している動物がいて、そうした化学合成細菌から栄養物質を取り入れて生存している。

光が比較的強い海の浅いところで光合成して生活している植物は、2つに分けられる。ひとつは、海に誕生した最初の植物から進化して、陸上生活に移った後、再び海や河・沼の水の中に生活場所を移したものである。これは普通海に生活しているものを「海草」、池や川などに生活しているものを「水草」とよんでいる。陸上植物と同じように、からだは、根・茎・葉から成り立っており、花が咲き実をつくって繁殖する。浅い海の底が砂地のところを主な生活場所としている。水草は、からだの構造がこのように陸上植物によく似ているが、陸上の植物にみられる、水が蒸散によって失われるのを防ぐはたらきがなくなったのと、からだを空中に支えるのに役立っている強い細胞集団がなくなったこと以外は、陸上植物とかわらないからだをしている。

もうひとつは、陸上に移住することなく、ずっと海で生活しているもので「藻類」といっている。

藻類の生活のしかたは、2つに分けられる。ひとつは、浮遊生活で、水面近くから光の強さが光合成できる程度の弱いところまで、さまざまなものが分散して生活している。もうひとつの生活のしかたは、固着生活で、海底のかたい岩盤や土のかたまりにからだの一端を固着させて定住生活している。浮遊生活しているものはからだ小さく単純で、未細胞性の植物である。体内が細胞に分かれていない。固着生活しているものは、未細胞性植物の群体か多細胞藻類で、大きなものだと長さが100m近くあって、深い海の底から水面近くまでからだを伸ばしている。こうした大型の藻類の大部分は、からだは葉と茎から成り立っている茎葉

体をしている。葉のような部分で光を受けて光合成して栄養物質を合成する。茎の部分は表面で栄養物質を合成するが、内部は栄養物質の運搬の役目をしている細長い細胞がつながったものの集まりである。大きなからだが岩盤に固着させている部分を仮根といっているが、陸上植物の茎とはちがって水の吸収をしない。水は体表全体で吸収する。藻類には、このほか多細胞藻類でありながら、あまりからだが大きくないものもあり、それらは、からだが糸状のもの、葉状のもの、糸状のものが枝分れたものなどいろいろな形をしている。いずれも浅い海の底にからだを固着させて生活している。

藻類には、このほか運動生活しているものがある。ミドリムシやクラミドモナスのようにべん毛という長い毛で水を打って運動する。光を感じる物質があつて、光を感じるとそのことをべん毛の根元に連絡して、明るいほうに向けて移動する。

4-4. ^{みずくさ}水草の生活

水草とよばれる植物は、それぞれ独特のからだをし、独自の生活のしかたをしている。共通していることは水から離れないことである。池などで水の量が減って水面が下がると、周辺は陸地になる。そういうところは、種子や地中茎から芽が出て成長を開始する陸上生活している植物が地表を被い、水草の生活できない環境となる。

水草のそれぞれによってちがう生活のしかたを、からだのちがいを手がかりにしてみると、まずからだのすべてを水中に沈めているものとそうでないものに分かれる。からだのすべてが水中にあるものは、沈水植物といっているが、空中より光が弱く光合成による栄養物質の獲得量が多くないが、葉を高く支える強い茎をつくることはなく、栄養物質の消費が抑えられる。しかし、2つの点で生活が安定している。ひとつは強い風が吹いて波がたっても、からだがちぎれたり岸辺に打上げられたりすることが少ないことである。第2のことは、光が光合成できるだけの強さであるところならば、池のなかの深いところでも生活できることである。他の水草は、沿岸近くの浅いところでしか生活できない。

表 4 水草のからだと生活のしかた

	a. 根は水底の泥中に没している (漂流しにくい)	b. 根は水底に没していない (漂流しやすい)
1. 葉は水中に没している (強い光を受けない)	水中の深いところでも生活可能	
2. 葉は水面上にある (強い光を受ける)	定着生活が可能 あまり深いところには生活できない	小さな波の立ちにくいところに 生活場所が限定される 強い波に沿岸に打上げられる

生活のしかたをみる第2の着眼点は、根が水底の土中にあるかどうかである。ウキクサ

のような浮漂^{ふひょう}する植物は、水底の泥に根を固着させていないで、からだ全体が水面に浮かんでいるから、強い風が吹くと、水面を漂って沿岸に打上げられることが多い。波がほとんどたたない小さな水たまりのようなところでしか安定的な生活ができない。その他の植物は、水底の泥のなかに根があって定着生活ができる。そのためヨシやハス、ヒシのような水面に、あるいは空中に葉を展開するものは、土中の根と葉を茎・葉柄によってつないでいる。そのため池などの深いところでは生活できない。底地に落ちた種子や茎から、その限られた貯蔵物質では葉柄・茎を水面まで伸ばす成長ができないからである。また強い風により大きな波が立つと、葉柄が切れて葉が水面を漂い沿岸に打上げられたり、茎が折れて葉が水浸しになったりして生活できなくなる。したがって、ヒシ、スイレンのような浮葉植物や、ハスやヨシのような抽水植物は、小さな池や大きな池の入り江のような大きな波が立たないところに、生活場所が限定される。しかし、葉が空中に出ているので、強い光を受けて光合成を活発にでき、多量の栄養物質を獲得する可能性がある。

4-5. 植物体の構造

植物体をその構造からみると、植物にはさまざまに分化した細胞の集団からできている細胞性植物(多細胞植物)と細胞分化がみられない未細胞性植物とがあり、未細胞性植物を祖先にして細胞性植物が出現したので、未細胞性植物を原生植物、細胞性植物を後生植物とよぶこともある。

多細胞植物は、植物として生存するためのはたらきを 2 種以上の異なる細胞によって分担し、その共同でからだの生存を実現させている。もっとも単純な構造をした多細胞植物は、主として光合成を行って栄養物質の摂取している細胞と、生殖を行っている細胞から成り立っているものの 2 つに分かれる。さらに細胞分化が進んだ藻類と陸上植物では、細胞のはたらきの分担のしかたにちがいがみられる。葉状をした藻類のからだをつくっている細胞には、生殖について専門化したもののほかに光合成と固着の役割分担がみられる。陸上の葉状体植物は、陸上生活であることから、水蒸散防止と固着・給水に特化した細胞のある植物もみられる。さらに細胞分化したものは、水蒸散防止と水の吸収、二酸化炭素など気体の交換を調節している気孔の細胞などの表皮細胞、光合成を行なう細胞、水や溶けているイオン化合物を通す管状の細胞、栄養物質の水溶液を通す細胞、からだを高く支える丈夫な細胞などに分かれている。それらは、葉、茎、根の 3 つの器官では別々の役割を果たしている。地上に出ている葉と茎の表皮細胞は水蒸散防止をしているし、気孔は葉の表皮にある。光合成細胞は葉に多く、茎ではないか少なく、水やイオン化合物、栄養物質を運搬する細胞、からだを支える細胞が高度に発達して大部分を占めている。根の表面の大部分の細胞は水の消失を防いでいるが、根の先端に近くでいくつにも枝われしている部分の細胞は、水吸収に特殊化した細胞が多くある。

表 5 植物体の形状

	浮遊生活	運動生活	固着生活				
			糸状体	葉状体	茎葉体		
					小型	中型	大型
水中生活	ケイソウ	クラミドモナス	ケイソウ	アサクサノリ	ツノマタ	アラメ	マクロキスチス
陸上生活	×	×	×	ジャゴケ	スギゴケ	シロザ	セコイア

4-6. 植物の栄養生活

a. 植物にとって生産・消費とは

生物の生活を、栄養物質の生産と消費の関係からみた場合、それを栄養生活といっている。栄養物質の生産とは、栄養物質を獲得することで、植物は光合成などによる栄養物質の合成をいう。動物の捕食による獲得、細菌や菌類の栄養物質獲得も生産という。消費とは栄養物質を失うことである。

なぜ栄養物質の生産と消費、栄養生活を重視するか。それは、栄養物質の生産した量より消費した量が少ない場合、栄養物質が残るから、それはからだの成長や繁殖、貯蔵にまわす。生産した栄養物質の量が消費する量よりも少なければ生存がむずかしくなる。どのような方法で栄養物質を生産しようと、どのようなところに栄養物質を利用しようとも、そのようなことには関係なく、生産した量が消費に必要な量よりも少ない場合には、生活の危機となる。

生産した量が消費に必要な量よりも少ない場合には、貯蔵してあった栄養物質をつかう。それでも足りない場合には、体構成物質を利用する。それでも足りない場合には、植物は死亡する。栄養生活は、植物の生活のもっとも基礎となるところに目を向けているのである。

生物は、栄養物質をどのように利用しているのか。およそつぎのとおりである。

- ①分解してエネルギーをとり出す→エネルギーは体内の物質反応を進めるのに利用される
 生きているということを物質反応としてみると、生物体内で進められているさまざまな物質変化がたがいに関係しながら、つながりながら全体として途切れることなく継続している状態ということになる。それにエネルギーは欠かせない。

②体構成物質の合成→栄養物質から体構成物質へのつくりかえ
 a.はたらけなくなり分解された体構成物質を補う
 b.はたらけなくなって死んだ細胞を補う
 c.死亡による個体数の減少を補う

③栄養物質を十分に獲得できない時の補いとして貯蔵する。

人間生活の場合の生産・消費は、ものをつくるのが生産、つかうのが消費と言われている

が、生物の場合は利用することは消費にはふくまない。人間の生活の場合も、消費を‘ものを使って失う’ことをいう。

栄養物質の生産から始まる栄養生活の基本となることを順に上げると、まず生産があり、つづいて栄養物質を必要とする体内の他の部分への運搬がある。運搬された栄養物質を受けると 2 つのはたらきがある。ひとつは、栄養物質の利用であり、もうひとつは貯蔵である。利用のほうは、栄養物質をつくりかえてからだを形成する物質にするはたらきと、エネルギーをとり出す分解があるが、この分解が消費である。栄養物質は、分解によってつかいみちのない、あるいは有毒な物質にする。有毒な物質は、変化させて無害にして体内にとどめておく。体構成物質になったものも、その一部が欠けたりほかの物質が結合したりして、役に立たなくなる。その場合には、分解してエネルギーをとり出す。だから、栄養物質から体構成物質へのつくりかえは消費ではない。

b. 卵・子をつくることは、生産か利用か消費か

生物の栄養生活としてはもうひとつ重要な栄養物質のつかいみちがある。それは、卵と子、孢子と種子がつくられ、親のからだから独立して 1 つの個体になる場合である。卵、種子をつくることは、子孫を生み出すことと生まれたばかりの子孫が自立できるまでの間つかう栄養物質の貯蔵である。これは、栄養物質のつかいみちの「c. 死亡による個体数の減少を補う」にあたる。これが生産でないことはわかるが、利用なのか、消費なのか。どちらに入れるかはむずかしい。エネルギーをとり出しのための分解ではないから消費とはいえない。植物だけでなく生物はすべて、個体には自分が生きるということだけでなく、ふやして死亡した分を補い存続することに役立つという役割を担っている。このようにみれば、子孫をつくることを消費というわけにはいかない。栄養物質の利用を、「エネルギーをとり出し」と分けた、「体構成物質の合成」のうちの、「a. はたらけなくなり分解された体構成物質を補う」と「b. はたらけなくなって死んだ細胞を補う」は自分のからだの回復であり、「からだづくり」になるが、卵・子をつくるは、「子孫づくり」となる。そして、子孫をつくることは、それをつくる個体(親)にとっては意味がない。なかまの維持という問題としてみた場合に役立つことである。自分の生存に役に立たないものをつくり、対外に出すのであるから消費となる。

このように考えると、卵・子が生まれることは、生まれる側からみると、動物の場合と同じように親というほかの個体から自分のからだをつくっている物質を譲り受けることになる。卵や子にとっては、外からの栄養物質の獲得ということであるから生産となる。植物の栄養物質の生産も修正しなければならぬ。植物の生産は、光合成による獲得だけでなく、卵・子が生まれることもふくまれる。消費は、分解だけでなく、自分のからだから物質が失われることもふくむ。栄養生活というのは、栄養物質が植物生存にとってどのように役立つかということよりも、栄養物質の生産と消費の関係でみていくことである。

c. 生産器官と消費器官

植物のからだは、栄養物質を合成する生産器官と消費だけしかしない消費器官に分けられる。陸上植物でいえば、葉が生産器官で茎・根・花が消費器官である。葉も、その生存のために栄養物質を消費してエネルギーをとり出す。それは、自分が光合成とアミノ酸合成によっ

て調達するが、そのほかに自体がつかう分だけでなく、茎・根・花の消費器官の分も生産する必要がある。その植物の生存からみたはたらきとは別にして栄養生活からみれば、消費器官は小さければ小さいほど栄養物質の消費量が少ないから、適しているといえる。樹木のように葉を高く支える太く長い茎やそれを支える地中の根を発達させるだけの栄養物質を生産する必要がある。逆に、すでにふれたタンポポのようなからだの小さな陸上植物は、茎が小さいので成長のための栄養物質と消費する栄養物質の量は少ないが、草刈、踏みつけなどによる傷害を受けたときに葉を再生するだけの栄養物質の貯えをしておかなければならない。同じからだ小さい植物でも、森林内の光が弱い林床で生活しているジャノヒゲのような植物は、同じように消費器官である茎や根が小さいので消費量が少なく、長い期間にわたってわずかな余剰栄養物質を少しずつ貯蔵して、繁殖や再生、成長のために備えておく、日かげ生活に見合う栄養生活を進めることによって生存していることになる。

未細胞性藻類のからだにも、生産器官と消費器官の分化がみられる。光合成をする葉緑体が生産器官であり、その他が消費器官である。クラミドモナスは、からだの一端に光を感じる器官があり、その近くにある運動器官であるべん毛の根元に連絡して、明るい方向にからだを移動させている。動物同様運動にはたくさんの栄養物質が消費されるので、葉緑体が大きく光合成を活発にして栄養物質の生産量を多くしなければならない。

c. 生物世界の生産者と消費者

植物のように自分が必要な栄養物質を合成する自給栄養生物は、生物世界の中の生産者という。これに対して、動物のように、自分では合成できない、植物から摂取する他給栄養生物は、生物世界の消費者といっている。「生産と消費」と、「生産者と消費者」とでは、生産・消費ということばの意味がちがうから気をつけよう。

菌類、細菌類は、生物世界の生産者か消費者か、というように生物世界を2つに分けた場合には、消費者である。しかし、菌類、細菌類は、栄養物質を分解して最終的に植物が栄養物質の材料物質として再び利用する、二酸化炭素、水、窒素や硫黄、リンのイオン化合物に戻すので、還元者といっている。また細菌類の中には、イオン性窒素化合物をさらに分解して窒素分子にするものがあるし、逆に窒素分子から植物がアミノ酸合成につかうイオン性窒素化合物をつくるものがある。

4-7. 遷移と極相

a. 遷移とは

火山が噴火した時に、溶岩が流れたり土石流があったり、あるいは火山灰が降ったりしたところは、それまで生活していた植物がすべて死滅する。そうした場所は、長い期間無植物地帯となる。が、溶岩がかたまってできた岩石地帯であっても、くぼみに土が積もり、その土に水がふくまれるようになると、飛んできてそこに落ちた種子や胞子が発芽して植物が現われる。それは長い年月かけて、草原から低木林へ、さらに高木林へと変化する。

火山爆発の時だけでなく、河川敷が、大雨により水かさが増して水没したり、流れに運ば

れた土砂が堆積したりすると、水面が低くなって河川敷が現われた場合に、同じように無植物地帯となり、すぐ後で、土砂の中にまじっていた種子や地中茎、あるいは新たに飛んできて落下した種子が発芽して、植物が生活を始める。そして、その後人の手が加わらなかったり水没しなかったりして何年も続くと、草原ができ、さらに低木林になり、高木林になる。そうしたことは大きな河川の至るところに見ることができる。こうした植物世界の長い年月をかけての一定方向への変化を遷移といっている。

田畑も農作をやめると、まず草原になる。それから低木林になり、高木林へと進む。早い時期に放置され、長い年月にわたってそのままのところは、高木林になっており、農作をやめてからあまり年月が経っていないところは草原になっている。

b. 校庭を放置すると

春、校庭のどこかに空き地（広さは2 m×2 mくらいの面積）をつくろう。その空き地は、生えていた植物を全部取り除き、ゴミも取り除き、地中にある植物の根や地中茎も除いた空き地である。その後、人がつくったゴミを取り除く以外のことは一切しないで放置し、その後の変化の様子を見よう。少なくとも夏休みになる直前、あるいは夏休みが終わった直後には見てみよう。関東地方だと、大抵はメヒシバという草が優勢になり、そのほかの草が少し生えてくる。しかし、それは、畑を耕した後放置した場合のことで、学校の校庭でも同じということは必ずしもいえない。しかし、一つだけ共通したことがある。それは、メヒシバのように1年で成長し、秋の終わりには地上部が枯れて、種子だけが残る草、1年生の草である。厳密に言えば、夏に優勢になる一年生夏植物である。

メヒシバが枯れた頃、夏の終わりから秋の始まり頃、どうなったか、見てみよう。夏の終わり頃から成長を始めた植物、草があるはずである。まだ小さいが、背丈が低く、葉を平らに広げている草がみられるにちがいない。そういう葉の広げ方を「ロゼット」という。フランスの文様で、バラの花を押しつぶしたようなかたちをそう呼んでいる。そのようなかたちをした植物を「ロゼット植物」という。形が少しちがっていても、茎が短く半ば地中に埋もれて、その短い茎からたくさんの葉を広げている場合もロゼットとよぶことにしよう。

このロゼットという葉の広げ方は、冬を越す植物の1つの特徴である。そのことは、前に植物の冬越しのところで説明した。寒さに葉が枯れ、少し温度があがって寒さがおだやかになると、地中の茎の節から伸び始めていた葉が地表に出て、ロゼット状に広げる。またきびしい寒さになると、早くに出た葉からしおれ枯れる。そして、おだやかになると地中から伸びた葉が広がる。そうしたことを繰り返して冬を越す。こうした植物のことを越年生の草という。越年は、「えつねん」とも「おつねん」とも読む。

春が近づいてくると、冬を越した植物だけでなく、そのほかの植物も、茎を伸ばし葉を広げて成長を開始する。これらの植物には、春の終わりごろまでに花を咲かせ実をつくって生活を終わらせるものと、夏から秋まで生活期間の長いものがある。長いものは、春の終わり頃から茎を高く伸ばし始めるものがある。それらの大部分は、冬を越したロゼット植物である。春になる頃に背丈は高くないが、地中に多くの栄養物質を貯え、それをつかってどんどん伸びる。成長の開始時点が早い。ほかの植物は、春に芽を出したばかりであるから、背

丈を高くする準備段階に時間がとられる。こうして、冬をロゼットで過ごし、初夏急激に背丈を高くする越年生の植物が優勢になる。これも、どの地域でも共通している。あるところではヒメムカシヨモギが、別のあるところではオオアレノギクが優勢になる。ヒメジョオンという白い花を咲かせる植物が優勢になるところもある。

3年目になると、夏から秋にかけて優勢になる植物が別の種類のものになる。現在は、オオアレチノギクやヒメジョオンのほかに、セイタカアワダチソウが優勢になっている。この草は、ほかの土地で親植物が花を咲かせ、わた毛のついた小さな実をたくさんつくり、それが風に吹かれて広い範囲に飛び、空き地に落ちたものであえる。空き地にした時に実は芽を出して葉を広げるが、メヒシバほど高く成長することなく1年がおわる。まだ花を咲かせて実をつくることはしない。しかし、地中に茎を残す。冬をむかえると、その地中茎から芽が出て、小さなロゼットになって冬を越すが、ヒメジョオンやヒメムカシヨモギほどは優勢にならない。背丈も大きくはならない。背丈を高くすることと地中の茎を大きくしてそこに栄養物質を貯えることの両方をするからである。しかも、その地中の茎はいくつも枝分かれして、ただ冬越しのためでなくそれで生活範囲を広げる。そして、その年の秋近くになると、地中の茎に貯えた栄養物質をつかって芽を出し、ロゼットをつくる。空き地の方々にセイタカアワダチソウのロゼットがみられるようになる。冬を越し初夏になって背丈を高く成長する頃には、セイタカアワダチソウが優勢になる。

ところが、今から60年くらい前に調べられた結果によると、2年目までは同じようにヒメジョオンなどが優勢になっているが、3年目の優勢植物は、ヨモギであった。その頃は、北アメリカ原産の帰化植物であるセイタカアワダチソウが広くは生活場所を広げてなかったからである。このセイタカアワダチソウが優勢になることによって、かつて優勢だったヨモギは、現在では滅んではいないが、限られた場所にしかみられなくなった。ヨモギとセイタカアワダチソウの間には、重要な共通点がある。それは、秋になるとつくった実を飛ばして落ちた場所の地中で冬を越す点では、これまでの草の冬越しのしかたと同じであるが、両方の植物だけの共通点は、初夏から秋までの間に成長して広がった地中の茎が残って冬越しすることである。地中茎は種子よりはるかに大きく、そこに貯えられている栄養物質の量は、実1つにふくまれる栄養物質の量よりもはるかに多くの栄養物質が貯蔵されている。それは、発芽すると、初夏になって地上の茎を高く伸ばすのにつかわれる。その量の多い少ないのちがいで、うす暗い草原の中でも茎を高く伸ばせるかどうかが決まる。小さな種子からおこれて発芽した植物は、日かげの中で光合成が十分行なえず、栄養物質不足で死んでしまう。これが、地中茎で冬越しする植物が3年目になって優勢になるもとになっている特徴である。

セイタカアワダチソウのつぎに、ススキが優勢になり、その後では、これまで優勢になった植物とは基本的にちがう特徴をもった植物が優勢になる。それは樹木である。樹木は、地上の茎も残り、その茎の先端またはそれに近いところに新たな枝を継ぎ足して、さらに高くなる。1本の茎が1年に2m以上の高さに伸びるセイタカアワダチソウは、冬越し後、成長を再開するのは、地中の茎からであり、高さの成長は、地表0mから出発することになる。

ところが、樹木の高さの成長の出発点は、前年まで伸びた枝の先、地表からはるかに高いところである。ヌルデという落葉低木を例にすると、高さ 2 m の草はらの中で約高さ 50 cm まで成長したものは、秋の終わりに葉を落とし、枝の先端近くに冬越しする芽をつけ、翌春それが発芽して枝を伸ばし、1 m をこえる高さになる。翌年には、それより少し低いところから枝を伸長させ、樹高は 2 m 近くになる。こうしたことをくり返す中で、ヌルデは枝先を草はらの葉層から抜け出て、そこに葉を広げ、さらには背丈の高い草を被うようになる。そうした樹木が何本を現われて、ついに草が優勢だった草原から樹木優勢の森林へと、植物世界は転換する。

樹木の種子も、校庭や田畑が放置された時、あるいはその前からそこに落下する。そして発芽する。しかし、冬にそなえて凍死しないからだをつくるために、成長がおそい。少しずつ成長し、毎年少しずつ高さを増していき、10 年かそれより少し前にわずかであるが、ススキの高さよりも茎を高くするものが現われる。それからそういうススキの上に抜き出た樹木が多く現われ、そして森林に変わる。はじめはススキは枯れずに樹木の枝の下に葉を展開して生き残っているが、地中茎に貯えた栄養物質がなくなり、暗いところでのわずかな光合成量のために姿を消す。入れ替わるように、弱い光のもとで光合成量が少なくても、消費を少なくして生活できる植物が高木のすぐ下に枝・葉を展開するようになる。こうして完全な森林へと変わる。

自然災害によって、森林が全面的に破壊されないかぎり、森林優勢の状態は続く。こうした植物世界の変化を「遷移」といつている。森林は、関東地方でいえば、落葉の低木林から落葉の高木林へ、さらに常緑の高木林へと遷移を進める。そして、常緑の高木林は、ほかのものに変わることはなく、安定した状態になると考えられている。この段階の植物世界は、「極相」とよばれている。しかし、その安定状態は見かけ上のことであって変化は繰返しおこっている。早く常緑高木林になったところから寿命がつかきて、あるいは何かが原因して寿命がつかきて、その場所だけ、優勢であった常緑の高木が枯れて倒木がおこる。それは 1 本ずつおこる。すると、その高木は直径 10 m 以上にわたって枝を伸ばし葉を広げていたから、その木が倒れると、そこだけ林床まで明るくなる。それが森林内の至るところで順々におこる。そして、そこでは、明るいところならば、速い速度で成長する植物たちが一斉に成長を開始し、ちょうど草原から森林に移り変わる過程が再現されたような変化が生まれる。そして、再び草原から低木林へ、それから落葉高木林へ、常緑高木林へと変化していき、もとの極相の植物世界に戻る。

校庭につくった空き地を草刈したり木を切り倒したりすることなく、枝を折ったり、実をとったり、花をとったりしないで、ゴミを捨てたりしないで、もちろん植物のためにと違って水をまいたり肥料を与えたりすることなく、その中に踏み込むこともしないで放置した場合に、3 年を過ぎる頃になるとセイタカアワダチソウの草原になる。いやだからといって刈ることはしないで、10 年くらい経つと低木林になる。そして、20 年経てば森林になる。子ども時代に空き地にしたところがそうした植物世界に変わっていく。やがて夏に白い花の集団が咲くミズキや鳥が好きなムクノキやエノキの高木がみられるようになる。

それはほんものの自然の林である。その林からみると、農村や公園などにみられる林や樹園は人工的につくられたもので、どこがちがうか、人間がしたことの結果がよくわかり、人間という動物が、植物に対してどういうことをしているか、してきたかがわかる。水田も畑もほんものの自然ではなく、人間がつくり出した自然であることがわかる。夏、どこかに行くと、メヒシバの草原を見つけたら、そこはその年に空き地になったとみることができる。ヒメジョオン草原をみたら、そこは昨年か 2 年前に空き地になったと理解してよいだろう。セイタカアワダチソウやススキの草原があったら、そこは 3 年前か 4 年前に空き地になったところか定期的に刈り取りや火入れをして一時的に遷移が止まっているところである。

常緑の高木の森林を見つけたら、そこは 100 年以上前からずっと人の手が大きくは加わらなかったところだと判断できる。しかし、低木や林床の植物がなかったり少なかったりしたら、人間の手が届く範囲は人が枝を折ったり草を除いているところだとみてよい。

5. 植物はほかの生きものとはちがう独自の世界を生み出し歴史的にずっと発展してきた

5-1. 植物世界が出現するまで

①最初の生物は他給栄養生物だった

生物世界は、まず栄養物質を合成できる生物(自給栄養生物)不在のところからできた。つまり現在のような自給栄養生物(生物世界の生産者)と他給栄養生物(生物世界の消費者と還元者)がそろってはいない、他給栄養生物だけの世界として生まれた。生物が栄養物質として摂取する物質は、生物が出現する前から高濃度で原始海水のなかに溶けていた。それは、アミノ酸や糖質、脂質、リン酸、硫黄化合物などの小分子化合物やイオン化合物である。それらの物質は、最初の生物誕生のもとになった物質であるから、自分を生み出した物質を栄養物質として摂取して生きることになった。その頃の地球の生物は、栄養物質は消費するだけで、それに見合うだけの栄養物質を合成することができなかった。栄養物質不足は、いずれはおこり、その時は、生物世界は絶滅することはまちがいないことであった。

②自給栄養生物の出現

ところが、栄養物質不足の危機に陥る前に、生物の中に栄養物質を合成する生物が出現した。物質を酸化して発生したエネルギーを利用して、硫化水素(H_2S)のような水素化合物から水素をとり出し、複雑な物質反応を進めながら、その水素と二酸化炭素から糖質を合成できる生物、最初の自給栄養生物の出現である。「化学合成生物」と呼ばれている。このため、それまでいた他給栄養生物の中には、この自給栄養生物を生産者として頼って生活する新しい生物が現われた。その後、海の中に溶けていた栄養物質が乏しくなった。生物が出現する以前から大量にあった小分子化合物が欠乏しはじめ、こうした海中に溶けた栄養物質をとり入れて生活していた、最初に出現した時のままの生物に危機が迫り、それらの生物は滅んだ。しかし、新たに出現した自給栄養生物(化学合成生物)を栄養物質源として体内にとり入れた生物は滅びることはなかった。あるものは、食作用によって体内にとり入れ、消化して栄養物質である小分子化合物にして利用し、あるものは食作用によってのみ込まれたほうが、の

み込んだほうの体内にある栄養物質を吸収して利用するようになった。またあるものは他の生物体の表面に接着しそこから相手の体内にある栄養物質を吸収するという方法をとった。現在も、最初の自給栄養生物と同じ栄養物質の合成のしかたをしている生物が、暗い海底火山の噴出孔付近にみられる。その自給栄養物質から栄養物質を摂取して生活している生物がいるし、ずっと後になって動物になってからそこに移住した貝類やカニ類もいる。

③光合成生物の出現

つづいて、最初の自給栄養生物から光のエネルギーをつかって栄養物質を合成する自給栄養生物が分かれて出現した(「光合成生物」と呼ばれている)。葉緑素という緑色の物質ができて、光のエネルギーを吸収し利用して硫化水素のような水素供給物質から水素をとりだすことができるようになった生物である。この生物を生産者として、栄養物質を摂取する他給栄養生物も出現した。

④植物の出現

さらに、この光合成生物から、栄養物質を合成するための水素供給物質を、硫化水素から酸化水素(水、 H_2O)に切り替えるものが出現した。この光合成生物は、光のエネルギーを効率よく生物が利用できるエネルギーに転換できるようになり、水がどこでもあることと重なって、地球表層全体に分布を広げることになった。植物の出現である。それまでの硫化水素を材料とする光合成生物(光合成細菌)は、少しずつ変化をしているが、今日まで硫化水素がある限られた場所で生活している。植物は、それとは別の広い範囲の場所に生活することが可能になり、たがいに生活場所を別にすることになった。この最初の植物から栄養を摂取して生活する生物も出現した。

5-2. 植物世界の初期進化

光を受けて、二酸化炭素と酸化水素(水)を材料にして合成することによって栄養物質を確保する生きものは、植物以外にはいなかったのので、植物は、ほかの生物と生活場所を奪い合うことなく地球表層の水域全体に分布を拡大した。分化していろいろな植物が出現した。それらの植物は、それぞれが独自の生活のしかたをして共存し、全体として多様で複雑な世界を形成した。植物世界である。

①地球自然の大変化

植物の光合成は、水を分解して水素と酸素にし、水素を栄養物質合成の材料に利用する。酸素は不要で有毒なので体外に放出する。

酸素分子が有毒であるというのは、他の物質とはげしく反応する性質があるからであり、地球上のさまざまな物質と反応して大量の酸素化合物をつくり出し、自然を大きく変化させた。海にふくまれていた大量の鉄は酸素と反応して酸化鉄になり、海底に厚く堆積した。こうして海中の鉄が減少すると、酸素分子と結合するものがほとんどなくなり、海中の酸素分子は増加し、濃度が高くなった。それは生物にとってはたいへんな脅威であった。からだを構成している物質が酸素と反応して変化し、みな死亡し始めた。

また海のなかの酸素分子の濃度が高まると、空气中に発散した。それまでの空気は、窒素分子と二酸化炭素が大部分を占めていたが、二酸化炭素が少なくなり、酸素分子が多くなり

現在の空気に近いものになっていった。空気中の酸素分子は、強い紫外線を受けてオゾンに変化した($3O_2 \rightarrow 2O_3$)。そして地球上層にオゾンの層を形成し、強い紫外線を吸収して地表に照射するのを妨げた。そのことによって海の水面近くでも生物が生存可能となった。それまでの生物は強い紫外線がとどかない深いところに生活していた。とくに光を受けて光合成する植物にとっては環境が大きく好転した。

②酸素呼吸生物世界の出現

生物の側にも重要な変化が生まれた。酸素分子の毒性を防ぎ、逆に酸素分子をつかって栄養物質からエネルギーをとり出す「酸素呼吸生物」が出現した。栄養物質を酸化してとり出された水素をすぐに酸素とは反応させず、徐々にエネルギーを発生させる複雑な物質反応が生まれ、エネルギーレベルが下がったところで酸素と結合するので、強大なエネルギーを発生して生物の死をまねくことがなくなった。酸素呼吸は、「無酸素呼吸」よりもはるかに多量のエネルギーを発生させるので、動物などエネルギーを大量に消費する生物が出現することになった。地球上の生物世界は、エネルギーとり出しと栄養物質摂取のしかたから、3つの生物世界に分化してたがいにすみわけて共存した。

1.植物を生産者とする世界

2.化学合成生物を生産者とする世界

3.植物とは別の光合成生物を生産者とする世界

また、酸素分子の濃度が低い、限られたところに生活する無酸素呼吸生物の世界と、酸素分子の濃度が高いところに住む酸素生物とが生活場所を分けて、ここでも競うことのない共存が実現した。

③新しい構造をもった植物(真核植物)の出現

新しい生物が出現して生物世界が大きく変化した。その新しい生物は、「真核生物」と呼ばれている。真核生物とは「真の核をもつ生物」という意味である。それまでの古い生物は「原核生物」といっている。現在の生物世界の中では、細菌類が原核生物で、それ以外の生物は真核生物である。植物にも「真核植物」がうまれた。

真の核とは、核物質が核膜というふくろ状の膜に包まれたものである。原核生物のからだは、核物質が膜に包まれていない。このふくろ状の膜に包まれているというのは、2つの点で大きな役割を果たしている。ひとつは、核膜と生物体の外側の膜によって二重の防御がされ、環境の変化を受けにくくしていることである。もうひとつは、核物質が核外にある物質と混ざり合うことなく、そのはたらきが能率的に進めることができるということである。核物質というのは、生物体をつくるにあたって大事な情報をふくんでいる DNA という物質と、DNA の複製などを進めるはたらきをする物質のことである。真核生物の核は、それだけでなく、遺伝情報を保持している DNA にクロマチンというタンパク質を主成分にした物質系が結合していて、DNA を保護する、DNA の情報発現を調節するという2つの重要なはたらきをして、DNA とそのはたらきを助け、安定させている。

真核生物のからだは、そのほかに膜で包まれたものがある。胞状体というように呼ぶことにする。胞は入り口・出口のないふくろという意味である。生物が生きていく上で欠くこと

のできない重要なはたらきを進める物質がふくろ状の膜に包まれているものがいくつもある。たとえば、植物の場合、光合成とアミノ酸合成を進める「葉緑体」というものがあるが、これもふくろ状の膜で包まれたものである。二酸化炭素と水を取り入れ、光があたってからブドウ糖のような糖質にするまで、いろいろな物質反応が順序良く進められるようになっていく。その物質反応を進める物質、酵素や酵素のはたらきを助けている物質が反応の順に膜に埋め込まれて配置されている。また光合成に関係しない物質が混ざるとということもない。そのことによって光合成というはたらきが円滑に進められている。

酸素呼吸もミトコンドリアという胞状体のなかで進められる。酸素呼吸は非常に複雑な物質反応で、それに役立っている酵素、酵素のはたらきを助ける物質が、反応が進む順に膜内に埋め込まれている。

葉緑体やミトコンドリアができるきっかけになったのは、2つの生物体の合体である。2つの生物体が接近し接着して、片方がもう一方にのみ込まれて、2つのからだか1つになる現象である。真核生物は、のみ込んだほうとのみ込まれたほうが、まわりの膜は消失しない。合体によって膜が消失すると、一方が消化酵素で分解される場合がある。また2つのからだの内容物が融合して、胞状体はできない。膜が残ったままだと、2種の生物体が合体のままになるが、真核生物の出現の場合は、双方の膜が残りながら、内部にあるはたらきをする物質の一部を分担して、その他は消失させ、両方の物質のはたらきで生物体のはたらきを行なうように分担した。

植物の場合は、光合成を行う原核生物(藍藻類、シアノバクテリア)が、光合成しない生物の体内に入り、中に入ったほうの藍藻は、光合成とアミノ酸合成に関するものと DNA の一部を残して、ほかのはたらきに関係した物質は消失した。藍藻をのみ込んだほうは、呼吸やその他のはたらきをする物質を残した。

このほか、2つの生物体の合体がきっかけになって、いろいろな生物が生まれた。原生動物は普通に行っていることであるが、のみ込まれたほうを消化して栄養物質として取り入れている。のみ込まれたが、そのまま生きているものもいる(互利共生)。のみ込まれて、のみ込んだほうの栄養物質を取り入れるようになったのが、寄生生物である。受精の場合は、のみ込みのみ込まれたではなく、2つの生物体の外膜の一部が溶けて一方の内容物が他方に移動して1つの生物体になったものである。ゾウリムシが行なっている接合は、融合した内容物を双方に分けて2個体になるから合体ではない。

原核生物から真核生物への進化の過程は、整理するとつぎのようなものであることがわかる。

- 1.のみ込みのみ込まれの合体がおこった
- 2.のみ込まれたほうの生物体のまわりの膜は消失しなかった
- 3.双方の内容物の一部を退化させ、両方あわせて1個体になった
- 4.のみ込まれたほうは、のみ込んだほうの一部となって、生物の生存にとって重要で複雑なはたらきを専門的に能率よく進める器官にかわった

5-3. 植物世界のさらなる適応放散

a. 細胞性(多細胞性)植物の出現

植物には、さらに変化がおこり、さまざまなものが出現した。中でももっとも重要な変化は、多細胞植物の出現である。多細胞生物というのは、植物だけでなく動物にもみられる。カビ・キノコなどにもみられる。からだがたくさん細胞という小さな胞状体からできている生物である。

多細胞生物のからだをつくっている小さなふくろ状のものが細胞であるが、これは、細胞と細胞の間に連絡を取り合いながら、それぞれの細胞が異なる特徴をもっていて、からだ全体に対して特別な役割を分担しているものである。多細胞生物は、細胞性生物ともいわれる。

細胞性生物が生まれる前にいた生物は、どれも細胞からからだできていないので、未細胞生物と呼ばれている。細胞性生物の中には、たくさんの細胞からからだできていた状態から、細胞と細胞の間の境界がなくなり、細胞性という性質を失ったものもある。これを非細胞性生物と呼んでいる。「変形菌」という生物がその代表的なものである。

多細胞生物の出現はつぎのようであった。分裂して2つになった植物体がたがいに離れることなく接着したままですぎの分裂によって生物体の数が増え、その全体が1個体になり、それまで個体であったものは、全体に対する部分になり、それぞれ生物として生きていく上で必要なはたらきの1部を専門的に行なうようになり、特殊化した。それが細胞である。

はじめは、たがいに接着しながら増えていった個体は、どれも同じで同じ植物体が接着したもので、植物の群体であった。そのうち、この多くの接着した植物体の間に植物体として生存していく上ではたらきを分担する分化が発生した。最初は、生殖について専門化したものと、その他のはたらきをするものとの分担であった。それでも、一方だけでは1つの植物体ではなくなった。両方でひとつの植物体としてのはたらきをするという変化であった。この専門化したものが「細胞」である。このあたらしい植物は、たくさんの細胞の集まりであることから「多細胞植物」といわれる。生きていく上での基本になるはたらきを細胞内で進めながら全体としてはからだが大形化し、細胞ごとにはたらきを専門化するという一方で、植物体として一段と複雑で高度のはたらきをするようになった。

多細胞生物は、植物だけでなく、動物にも菌類にも出現した。多細胞植物の多くのものは、海の岸辺に近い浅い海の海底にからだを固着させる生活をするようになった。生殖と他のはたらきの分担に加えて、海底に固着する細胞群と、その他の細胞群細胞に分かれた。岸辺に近いところで固着生活するというのは、植物のアミノ酸合成に必要な材料物質がおもに陸地から海水に供給されていることと、光の強いところであり、そこで安定した生活をおくることになった。

未細胞性の植物は、そのほとんどが浮遊生活をするもので、それらは陸地に打上げられる危険性が強く、死亡するものが多いが、からだ単純であることから、成長して大きくなるとすぐに分裂して殖える。未細胞性藻類には固着生活をしていたものがみられるが、多細胞性の大型植物が岸辺を占有することによって、光の弱いところでの生活をせざるをえなくなった。

こうした植物の多細胞化は、光合成を行なう細胞群と行なわない細胞群の分化でもあったので、光合成を行なう細胞群は、自分たちがつかう栄養物質だけでなく、ほかの細胞群が使う分まで合成することになった。植物のからだの生産細胞群と消費細胞群の分化であった。

固着生活するものは、細胞が糸状につながったものから、平面状に細胞が結びついたからだへ、さらに仮葉・仮茎・仮根に分かれて大型化した茎葉体が現われた。マクロキスチスのように 100m くらい深い海底に固着して水面近くまでからだを大きく発達させて、海中に森林をつくるものも現われた。藻類の仮根を陸上植物の根と比較すると、外形は枝分かれして似ているが、根は、水やアミノ酸の材料物質の吸収を行わず、またからだ水中にあるので高く支えるというはたらきはないが、それによって底土に固着するのに専門化したものであり、からだ波によって流されない。仮茎を陸上植物の茎と比較すると、太い幹のような中心となるものがあり、枝分かれしているものもあるという点では似ている。しかし、上層の葉を高く支えるという支持のはたらきはなく、水の通導というはたらきもしない。仮茎も、仮根と同じように固く丈夫ではなく、柔軟性のある丈夫さがある。多細胞藻類は、いずれも沿岸近くで生活している点では共通しているが、からだの形状、生活場所のちがいが、つぎの 3 つに分けられる。

- ①波の荒い岩礁地帯の沿岸という生活環境と対応して、からだ全体が柔軟性がありながらちぎれにくいという丈夫さがある
- ①-2 岩礁地帯のとくに波荒い干満帯にみられるもの→からだは小型でとくに頑強なからだをしている
- ①-3 岩礁地帯の中では波のおだやかなところにみられるもの→大型で、頑強ではないが、丈夫なからだ
- ②波がおだやかな浜や干潟に生活しているもの→仮根・仮茎が未発達で、からだは小型。葉状のものが多い。

5-4. 陸上植物の出現と進化

植物世界のつぎに大きな進化は、陸上植物の出現である。生物が海に出現したことから、陸上は海中と異なって、生物が生活する上でさまざまな困難なことがあった。そのひとつは、海中よりも受ける紫外線が強いことであった。しかし、これはオゾン層の発達で強い紫外線が地表まで届かなくなったので、難しさの要因の 1 つが消えた。

第 2 の問題は、水の問題で、からだ空中にさらされるようになったことが原因である。その 1 つは、光を受けて光合成をするから、地中にもぐるわけにはいかない。体表からの水消失がはげしいことである。さらに、水中で生活する植物にとって、まったく問題でなかった水の吸収が、特別の場合を除いて体表からできなくなったことである。

最初に上陸した植物は、このような陸上生活の困難さを乗り越える性質がなかったから、雨が降るなどして地表に多くの水分がふくまれている短い期間だけ生活し、増殖して水が地表からなくなるころには多くのものが死亡し、一部が地中で耐えるということをしていたと考えられる。現在でもそうした植物がみられる。

現在の植物の祖先である水中植物は、今でも生存しているシャジクモのなかまと考えられ

ている。多細胞植物で、生殖のための細胞群がよく発達し、体内受精ができるものであった。造精器ができて精子をたくさんつくる。蔵卵器ができて卵をひとつつくる。精子は水中を泳いで蔵卵器に達し、そこで受精をして発育が少し進んでから親植物から独立する。また現在のシャジクモ類とは異なって、遊走子という受精しない繁殖子をたくさんつくって、それが方々に泳いでいって、新しい場所の水底に着生して成長し、生活するようになる。生殖以外の細胞は、あまり専門化しておらず細長い細胞が糸状、枝状につながった単純なものだった。

この植物が、安定的な陸上生活をするには、つぎの困難なことを乗り越えねばならなかった。

- ①からだの表面を、水消失を防ぐ特別の細胞または物質で被う
- ②しかし、それでは、外部との物質の出入りができないから、ところどころに孔をあける
- ③恒常的に水分がふくまれている土中から水を吸収する
- ④精子、遊走子のような水中を泳ぐ繁殖子ではなく、乾燥に耐え、地表を動くか空中をとびものになる

現在生存している 3 種類の陸上植物をみると、この 4 つの条件を充たしているのは、種子植物だけである。シダ植物は、精子が水中を泳いで、蔵卵器に達する。ほかの問題は解決できている。体表は、表皮細胞がクチクラを分泌して水の蒸散を防いでいる。ところどころには、二酸化炭素や酸素が出入りする孔がある。地中には、水吸収に専門化した根がある。受精をしない生殖のための繁殖子は、かたい殻で被われて水消失を防いで空中を飛ぶ。コケ植物も、胞子をつくって空中を飛んで繁殖する。しかし、精子は水中を泳いで蔵卵器まで行くから、この点ではシダ植物と共通している。しかし、体表を被って水蒸散を防ぎ、からだの地中部をつくっている細胞の一部が水吸収に専門化したものもあるが、逆にそれができず、体表から水吸収するものが多い。陸上生活についてもっとも進んだ植物は種子植物である。

この 3 種の陸上植物には、もう一つ大きなちがいがあある。それは、からだの大きさ、高さである。種子植物とシダ植物は、からだが大形化し、背丈が高くなったが、コケ植物は、どれも小型である。そのため現在のコケ植物は、種子植物、シダ植物が生活できないような、困難な環境で独自の生活を営んでいる。からだが小さく、からだの光合成をする部分に比べて光合成しない部分が小さいことで、種子植物など高くのびて上空を被うことによって暗くなった林床でも生活できる。水吸収がむずかしい岩石の表面で張り付いて生活できるものがある。北極や南極など環境のきびしい時季が長いところでも、からだの小さいことから短い期間で成長し、受精・胞子散布を完了させることができる。火山爆発などで一面が無植物地帯になった時に最初に生活を始める植物は、コケ植物である。シダ植物・種子植物のからだはなぜ大型化できたか。それに対してコケ植物は小型のまま今日まできているか。そのちがいは、植物が上陸して定着した後の進化が、2 つの道すじに分かれたことが関係している。

陸上植物の進化が 2 つの方向に分かれた。それは、陸上生活を進める上での同じ問題の解決のしかたにちがいが関係している。

最初に陸に上がった植物も、水中生活している多くの多細胞藻類も、繁殖子*をつくって繁殖するのはたらきを、1 世代で 2 度行なう。ひとつは、卵と精子が受精した受精卵によるもの

が1つである。卵と精子という2つの個体が1つになるのだから、個体数の増加ではなく減少になるが、卵も精子もともに分裂によって多数つくられるので、繁殖となる。もうひとつは、そうした受精をとまなわれない個体数を増加するだけの繁殖である。水中植物では、べん毛で水をうって動く遊走子によるもので、遊走子ができる時に分裂がさかんに進められて多くのものが生まれる。陸上生活に移った植物は、早い段階で、この遊走子が孢子に変わった。べん毛を退化させ、かわりにまわりを水の蒸散を防ぐ殻で被われた。これは2つの方向に進化が分かれる前のことである。

*: 繁殖のための小さなからだ。孢子や卵・精子

陸に上がった最初の植物の進化の第1歩であった、遊走子が孢子に変わることによって空中散布を実現させた植物は、孢子体(孢子をつくるからだ)と精子・卵をつくって受精するからだ(配偶体という)が別であった。どちらも光合成細胞があつて栄養物質を自給していた。その一生をみると、孢子体から離れ、飛散した孢子が発芽してできた多細胞のからだは、光合成をして栄養物質を合成して育つ。そして蔵卵器と造精器ができて配偶体になる。卵と精子をつくり、精子は蔵卵器まで水中を泳いでいって卵と受精する。受精卵は、初めは配偶体に養われて育つが、自体も葉緑体ができて光合成して独立する。そして成長して孢子体となり、ふたたび孢子をつくって飛散する。

こうした生活のしかたで問題になるのは、〈孢子体は受精卵から〉、〈配偶体は孢子から〉というように、小さな繁殖子から長い時間をかけて成長して成体になる。その受精卵からはじまる成長途中のからだの小さい時期も、孢子から始まるからだの小さい時期も、日かげになりやすい、植物としてはもっとも危険な時期である。発芽して生育を始めても、幼い段階では背丈の高いほかの植物に囲まれて日陰になりやすく死亡しやすい。そういうことが一生に2度ある。問題の解決とは、この2つのうちのどちらかの成長過程を短縮または省略することであった。からだが複雑化した動物では、受精卵を作るところで繁殖するだけで、それ以外のところでは、小さな繁殖子で繁殖することはなく、危険な幼い時期が1つしかない。

問題の解決のしかたの1つは、コケ植物へ向けての進化のみちであった。最初の陸上植物は、受精を蔵卵器の中で行ない、受精卵から孢子体までを配偶体に養ってもらっていたから、そのまま配偶体に保護され養われる生活をし、孢子体は独立することなく、光合成というはたらきを失ってからは小型化して、配偶体に寄生する生活をするようになった。

もうひとつの、シダ植物へ向けての進化は、コケ植物への進化のみちとは逆の方向に進んだ。孢子が発芽してできた配偶体が十分大きくならない早い時期に卵と精子が受精し、受精卵は、しばらく配偶体内で寄生するが、配偶体が微小なものであるために、すぐに独立して葉緑体をつくって光合成するようになり孢子体になる進化をとげた。コケ植物は、孢子体が退化する進化であるのに対して、シダ植物の進化の方向は、配偶体を退化させて微小にする方向に進んだ。

このちがいは、植物の生活にとって重大なことであった。精子が泳いで蔵卵器にたどりつくことになるから、配偶体は水中に没し精子が泳げるだけの小型でなければならない。一方孢子体は、孢子を散布するから、背丈が高いほうが有利である。光合成するからだは、いうまでもなく高ければ、日かげになりにくい。2つの方向に分かれて進化した植物のその後の

進化はどうなったか。シダ植物の方向は、孢子体が光合成体であることによって、両方とも背丈が高いことが有利であったから、大型化の進化をとげた。これに対してコケ植物の方向に進化した植物は、配偶体が光合成体となったから、からだの大型化は中途半端になった。

シダ植物は、それにともなってからだのつくりの上で大事な変化が、進化のなかで実現した。体表全体を表皮細胞という細胞で被い、その細胞の層が体表に水を通さない物質を分泌して水蒸散を防げる性質がそなわった。根という土中の水吸収の専門的な器官が生まれた。密集して繁茂できるようになり、植物間で光をめぐる競い合いがはげしくおこった。茎が高くのび、葉を広く展開するものが現われた。支えるのに専門化したかたく丈夫な細胞もできた。土中で吸収した水を高いところの葉まで送り込む通導について専門化した細胞もできた。

5-5. 種子植物の出現

a. 種子とは

マツやシイなど種子植物になって、陸上生活する上で大事な形質が生まれた。ひとつは、種子をつくったことである。コケ植物やシダ植物は、親植物がつくった細胞が水蒸散防止の被いがある繁殖子であり孢子になり、空中を飛んで新しい場所に行くが、種子は受精卵が育って若い植物体になったものが、栄養物質をそなえながら水蒸散防止の被いをかぶったものである。発芽後の生存率、成長の速さは種子植物がはるかにすぐれている。種子植物の特徴はそれだけではない。精子と卵が受精するにあたって、精子が水中を泳ぐことがなくなった。シダ植物の孢子に似た花粉という水蒸散防止の被いに包まれた繁殖子が空中を飛んだり動物に運ばれて、めすの生殖器官であるめしべまでたどりつく。そしてそのなかで生育して小さな配偶体になって精子をつくり、卵のあるところまでたどり着き受精する。精子ではなく「精核」という名がつけられている。種子植物はすべて体内受精で、親の体内で幼植物まで育つ性質をそなえ、完全に陸上生活に適したからだになった。

b. 花とは

種子植物には、花が咲く。花は種子植物の生殖器官である。しかし、生殖器官は、多細胞の植物のすべてにあるから、花は種子植物だけの生殖器官である。

花には、めすの配偶子である卵細胞をつくるめしべと、おすの配偶子ができる花粉をつくるおしべがある。このほかに花弁とがくがある花もあるが、ないものもある。どれも進化の過程で葉が変形して生まれたものである。花は、花弁その他が色鮮やかで大きいか、小さい花が集合して目立ち、また誘引する物質を出して、その所在場所を昆虫などに知らせ、昆虫などに花粉をはこんでもらう虫媒花と、そうではなく風によって花粉がめしべまで運ばれる風媒花などがある。風媒花は花粉の大きさが小さい。

6. 植物は、ほかの生物から被害を受けながら、また助けられながら生きている

この地球上に生活している生物をからだの基本構造と栄養物質の摂取のしかたから整理してみると、つぎの表ようになる。

からだの基本構造のちがいは、それぞれの生物の自己保存からみて、環境変動による影響の受け方、はたらきの分担と統合のしかた、大きさにちがいがある。

- 1.基本構造は、a1 原核生物と a2 真核生物で大きくちがう。
- 2.真核生物は、a22 細胞性生物(からだがたくさん細胞から成り立っているもの)と a21 未細胞性生物(そうでないもの)とがあり、からだの大きさ、環境変動による影響の受け方、はたらきの分担と統合に大きなちがいがある。
- 3.細胞性生物のなかには、a22 細胞性生物から脱細胞性生物(細胞性がなくなった生物)に分れた。
- 4.細胞性生物は、[a22-1 生殖に関係した細胞だけが専門化したもの]と、[a22-2 生物としてのはたらきのいろいろな面で専門化したもの]に分けられる。

栄養物質の摂取のしかたのちがいは、どのような環境のところで生活するか、どのような生物と関係するかという点で重要な意味をもつ。

- i. 栄養物質の摂取のしかたのもっとも基本となるちがいは、
 - b1 自給栄養(自分で栄養物質を合成できる)か、b2 他給栄養(自体では栄養物質を合成できず、他の生物またはその死骸を栄養物質供給源とする)かのちがいである。
- ii. 自給栄養生物は、
 - b11 光合成(栄養物質合成にあたって光エネルギーを利用する)か、b12 化学合成(栄養物質合成にあたって化学エネルギーを利用する)かのちがいがある
- iii. 光合成生物は、b11-1 必要な水素の供給物質を水にするもの、b11-2 水以外の物質を水素供給物質にするものに分けられる。
- iv. 他給栄養生物は、b2-2 体内に他生物またはその死骸を取り入れて体内消化して吸収するものと b2-1 体表で消化して体表からとり入れるものに分けられる。

このように整理することによって、植物を、他の生物とは異なる、‘水を水素供給物質として利用する光合成生物’と定義したことが誤りでなかったことがわかる。生物全体世界のなかで、際立って特徴ある生物群であり、独自の世界を形成してきた生物である。

しかし、植物の中には、進化の過程でこうした特徴を失って、生活のしかたが他の生物に似た、とくに菌類に似た生活をするようになったものもいる。ギンリョウソウやナンバンギセルという種子植物は、花を咲かせ種子をつくり、からだの外形も種子植物と変わらないが、光合成能力を失って、腐植物や他の植物に寄生して生活している。未細胞性の藻類のなかには、菌類と共生して生活している地衣類や、動物の中のサンゴ類と共生しているものもいる。

植物には、ほかの生物とくらべてもうひとつ特徴がある。それは、動物とくらべて種類数も多様性も低いということである。それは、光合成によって栄養物質摂取をしており、どの植物も光が必要であることに原因している。生活上もっとも基本となる要求が同じであるからである。密集すればどれかが優勢になり、どれかが劣勢になり、死滅するものもあるということである。動物も、どれも栄養物質をほかから摂取するが、捕食する相手がちがうと、あるいは捕える相手のどの部分を食べるかによって行動のしかた、からだが別になって別種となる。また、植物を食べる動物を食べる動物、その動物を食べる動物というように、食べる・食べられる関係が複雑になる。それはそれだけ種類数が多くなることであり、生活のしかたが多様になることだからである。

表 6 栄養摂取の方法とからだの基本体制からみた生物界

	b1 自給栄養			b2 他給栄養	
	b11 光合成		b12 化学合成	b1 体表吸収	b2 体内消化
	b11-1 水が水素 供給	b11-2 水以外が 水素供給			
a1 原核生物		光合成細菌	化学合成細菌	他給栄養細菌	
a2 真核生物	植 物			真菌類	動物
a21 未細胞性生物					
a22 細胞性生物				動物	
a22-1 生殖だけが専門化 脱細胞性生物					
a22-2 いろいろな 面で専門化					

表 7 生物の栄養摂取方法と生活様式との関係

	寄生生活	固着生活	浮遊生活	運動生活
自給栄養生物				
化学合成細菌				
光合成細菌				
植物	褐色べん毛藻	コンブ・スタジイ	ケイソウ	クラミドモナス
他給栄養生物				
捕食生物	センチュウ	フジツボ	サルパ	イワシ
吸収生物	大腸菌	アカパンカビ	コウボ	

* 寄生生活：他の生物体の表面あるいは内部に常住する生物

植物は、ほかの生物にとってどのような存在なのか。ひとつは、栄養物質を供給している生物であり、生物世界の中の生産者という位置を占めている。2 番目に、光合成によって酸素分子を発生するので、酸素呼吸生物にとっては重要な意味をもっている。しかし、無酸素呼吸生物にとっては、酸素分子は強烈な毒物質であるから、植物の存在を基盤としている生物世界に近づくことができない。果実や種子、あるいは球根、芋などを食べられることは、種の持続にとって重要な生殖が損なわれることである。酸素分子は、植物も酸素呼吸をしているので欠かせない物質である。

それらの生物は、植物にとっては加害者である。ところが、それらのことによって植物世界そのものが滅びるとか、ある植物種が絶滅するということはほとんどない。その意味では、植物と人間以外の他の生物との関係は、共存関係にあるといえる。動物や菌類が栄養物質を

消費(分解)して発生した、二酸化炭素、イオン窒素化合物やリン酸、イオン硫黄化合物は、ふたたび植物の光合成、アミノ酸合成の材料物質として利用される。

7. 植物も他の生きものと同じように物質から成り立っている。植物が生きているというのはひとつの物質変化である

7-1. 植物のからだも物質の集まり

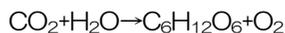
植物のからだも、他の生物と同じように物質から成り立っている。作物のトウモロコシを例にすると、水が 69.5%、糖質が 23.8%、タンパク質が 3.8%、脂質が 2.1%、イオン化合物が 0.7%、核酸が 0.01% となっている。糖質は、炭水化物ともいわれ、ブドウ糖、デンプン、セルロースなどである。ハツカネズミという哺乳動物の肝臓では、水が 68.0%、タンパク質が 21%、脂質が 5.6%、糖質が 3.8%、イオン化合物が 0.4%、核酸が 1.2% 含まれている。

植物体だけでなく、ほかの生物のからだ、岩石や砂、海や川の水とそのなかに溶けている物質、地球全体も、あるいは遠く離れた木星も、月も、すべて原子を要素とした分子化合物、イオン化合物、金属の 3 とおりの物質、あるいはそのなかのどれかからできている。水、タンパク質、脂質、糖質、核酸は、そのうちの分子化合物である。イオン化合物というのは、電気を帯びた物質どうしが電氣的に結合したもので、水に溶けると+の電気を帯びたものと、-の電気を帯びたものに分かれる。食塩は、イオン化合物で、ナトリウムイオン Na^+ と塩素イオン Cl^- が電氣的に引き合って結合したもので、水に溶けると+、-の 2 種のイオンに分かれる。

7-2. 植物のはたらきは物質変化の集まり

植物体のいろいろなはたらきも、物質の変化である。光合成を物質変化としてみると、つぎのようになる。

二酸化炭素と水が、光のエネルギーを受けて反応し、ブドウ糖と酸素になる化学変化
また、化学反応を表す化学反応式ではつぎのようになる。



この式のうち、 CO_2 が二酸化炭素(炭素原子 C が 1 と酸素原子 O が 2 が結合した化合物)、 H_2O は、水(酸化水素ともいう。水素原子 H が 2 と酸素原子 O が 1 が結合した化合物)、 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ はブドウ糖(炭素原子 C が 6 と水素原子 H が 12、酸素原子 O が 6 結合した化合物)、 O_2 は酸素分子(酸素原子 O が 2 つたがいに結合したもの)である。現在は、植物のからだのはたらきが、物質変化としてはどのようなものであるか、ほとんどがわかっている。

a. 光合成の物質変化

光合成の、二酸化炭素と水からブドウ糖と酸素への変化はどのようにおこるのか。いっぺんに変化するのではなく、1 つひとつの小さな変化が連続してつぎつぎにおこってブドウ糖と酸素になる。

この物質変化は、葉緑体^{*1} という胞状の小器官の内部でおこる。最初の変化は、葉緑体にふくまれている葉緑素という物質でみられる。この物質に光があたると、はげしく変化する

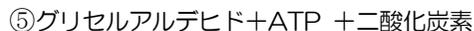
特別な状態になる。光のエネルギーが変化して葉緑素に移ったからである。そのエネルギーを放出して、もとの安定的な葉緑素に戻る時に水を分解する。水の電気分解というのが実験にあるが、そこでも電気エネルギーが役立っているが、この時は葉緑素がもとに戻る時に発生するエネルギーが役立つ。水は、水素と酸素に分かれる。さらに ATP*という物質が、ADP という物質とリン酸が結合してできる



あらたにできた 3 種の物質のうち酸素は、不要なので葉緑体の外へ出される。水素はそれがそのままほかの物質と反応すると、植物細胞を破壊するほどの非常に大量のエネルギーをふくんでいる。水素は、葉緑体内のいろいろな物質と順々に反応して、少しずつエネルギーを発生し、そのエネルギーがはたらいて ATP が、ADP とリン酸の結合でできる。そして、水素と ATP が、葉緑体内にあるグリセリン酸という物質と反応して、グルセルアルデヒドという物質に変化する。



ここまでの物質変化は、植物独特のもので、ほかの生物ではできない。できたグリセルアルデヒドは、炭素数が 3 つの単純な糖類である(ブドウ糖の炭素数は 6)。このグリセルアルデヒドが複雑な物質変化の中でべつの物質になっていく途中で二酸化炭素が結合する反応と、「 $\textcircled{4}$ 水素 + ATP + グリセリン酸 \rightarrow グリセルアルデヒド + ADP + リン酸」の反応がくり返されてブドウ糖ができる。



*1: 植物体を構成している緑色の光合成細胞の中にある。

b. ブドウ糖

ブドウ糖が合成されたことが、生物にとってどのような意味があるか。そのひとつは、以上のような物質反応からわかることであるが、ATP がもっていたエネルギーが、ブドウ糖のなかに封じ込まれたことである。ATP という物質は、さまざまな物質と反応する重要な物質であるから、そのまま存在していると、ほかの物質と反応して ATP は失われてしまう。そのエネルギーを貯蔵している物質としての役割をブドウ糖は担っている。ブドウ糖よりもっと安定的な物質として、このブドウ糖がたくさん結合してできる、植物の場合はデンプン、動物の場合はグリコーゲンという物質になる。これは、貯蔵に適した物質である。

第 2 の意味は、流通物質であることである。ブドウ糖は、体内で安定した物質なので、植物の細胞内や篩管に多くみられる。また貯蔵されているデンプンが、必要な時にはブドウ糖に分解される。動物では、体内の流通物質となっている。動物でいえば、肝臓にグリコーゲンとして貯蔵されていたものが、分解されてブドウ糖になって血液に流入し、それがブドウ糖を必要とする体内の各細胞に運ばれる。脳細胞はこの物質しか、エネルギー源として利用しない。

ブドウ糖の 3 つめの重要な役割は、それが分解されて小さな糖になると、あるいは酸化されて酸

になると、リン脂質の材料物質の1つであるグリセロールというアルコールに変化する。また酸のほうは、脂肪酸の材料物質にもなるし、イオン性窒素化合物であるアンモニウムと反応するとアミノ酸になる。アミノ酸はタンパク質の材料物質であり、変化してアデニンなどの核酸の材料物質になる。生物体には、現に変化している物質、流通に適した物質、貯蔵に適した物質というように、そのはたらきから分けることができる。またブドウ糖は、リボースまたはデオキシリボースという別の糖質に変化して、RNA、DNA の主成分であるヌクレオチド、デオキシヌクレオチドを形成する。アデニンヌクレオチドは、リン酸とリボースが結合したものに、アデニンが結合した物質である。

c. アデニンヌクレオチドニリン酸という物質

ATP というのは、adenosine tri-phosphate(アデノシン三リン酸)の略。アデニンヌクレオチドニリン酸(adenine-nucleotide di-phosphate, AN2P)ともいえる。アデニンヌクレオチドに2つのリン酸基が結合した物質という意味。アデニンヌクレオチドは、体内で進められている重要な物質変化を担っている物質の主成分であるとともに、タンパク質合成の時に、DNA のもっている情報を受け取る RNA という物質の主成分。RNA は4種のヌクレオチドが結合してできているが、アデニンヌクレオチドはその1種。

この2つのリン酸基、または1つのリン酸基が離れる時に、膨大なエネルギーが発生して、植物体内だけでなく、すべての生物体の内部の物質変化に利用される重要な物質。ADP は adenosine di-phosphate(アデノシン二リン酸)の略。リン酸基が1つ少ない。ADP+リン酸→ATP は外からのエネルギーが必要、ATP→ADP+リン酸はエネルギー発生の反応。

たとえば、ブドウ糖は、体内で安定した物質なので、そのままではなかなかほかの物質と反応することはない。そこで、これにリン酸を結合させると不安定な状態になり、酵素のはたらきによって、たとえばつぎのように反応する。またブドウ糖は、そのままでは細胞の外に流出しやすいので、リン酸と結合して流出を防ぐ。



d. 酵素

以上で紹介してきた生物体内での物質反応は、すべて反応する物質が接触してもおこらない。必ず酵素が関与している。酵素は、生物体内の物質反応を促進し、方向づけをしている。デンプンが分解されて麦芽糖に変わり、麦芽糖がブドウ糖に分解するのは、それぞれアミラーゼとマルターゼという2種の酵素が関係している。グリコーゲンがブドウ糖になる時にフォスホリラーゼという酵素がはたらくと、ブドウ糖にリン酸が結合してグリコーゲンから分離する。光合成のグリセリン酸* がグリセルアルデヒド*に変わる変化も酵素が関与している。酵素の大部分は、タンパク質を主成分としている。RNA が主成分となっている酵素も一部にある。

* : 正確には「グリセリン酸リン酸→グリセルアルデヒドリン酸」である。「グリセリン酸→グリセルアルデヒド」という反応はおこらない。

e. 植物が外からとり入れる物質

植物が光合成をするのに必要な物質は、二酸化炭素と水で、陸上植物は、二酸化炭素は空

気中から、水は地中からとり入れ、水中生活をしている植物は、二酸化炭素も水もまわりの水からとり入れている。植物がまわりの環境からとり入れる必要な物質はこれだけでなく、タンパク質の材料物質であるアミノ酸を合成するには、イオン性窒素化合物を水に溶けた状態でとり入れなければならない。たとえば、多くの陸上植物は、アミノ酸合成にとって重要な硝酸イオン(NO_3^-)をとり入れている。細胞膜の主成分のリン脂質という物質の材料物質は、リン酸イオン(PO_4^{2-})が主なものである。また、タンパク質の材料物質のアミノ酸の中には、硫黄原子がふくまれているが、この材料は、硫酸イオン(SO_4^{2-})である。

を土中の水に溶けた状態でとり入れている。また、光合成を進める中心物質である葉緑素は、大部分はアミノ酸が変化した物質がもとになって合成されるが、マグネシウムイオン(Mg^{2+})が欠かせないが、これも土中の水に溶けたものをとり入れている。そのほか、外からとり入れる物質の中には、カリウムイオン(K^+)、カルシウムイオン (Ca^{2+})、ナトリウムイオン (Na^+) など、酵素のはたらきを助けたり、体内の環境条件を恒常的にしたりするのに必要な物質もある。

f. 作物栽培の工業化、食物の人工的合成

かつては、土中から必要な物質をとり入れるには、植物の葉などの腐りかけた腐植質、動物の死骸やその腐りかけたもの、排出物が欠かせないと考えられていた。しかし、植物は、それらを直接とり入れるのではなく、これらを細菌類、菌類が分解してイオンにしたものをとり入れることがわかった。こうしたことから、とり入れる物質としては、土は必ずしも必要でないことがわかり、水耕栽培といわれるような、イオン類が溶けた水の中で植物の栽培が可能になった。また水に溶ければこうしたイオン類になる、人工的に合成した肥料(化学肥料)が使われるようになった。また、光の供給や温度などの環境調節、化学肥料の利用などによって、土から離れた工場の中で進められる「作物栽培の工業化」も実際に行われるようになった。また、光合成を進めている物質が明らかになったことによって、植物体のはたらきを借りず、人工的な物質と機械装置、電気などのエネルギー源を利用して、人工的な光合成によって食料を合成する研究が盛んになっている。

8. 人間は植物に支えられながら生きてきたが、

ほかの生きものとはちがって植物世界を破壊し続けてきた

8-1. 採集狩猟生活時代における人間の植物世界とのかかわり

人間は、その祖先であるサル類の時代から、植物を食物としてとり入れ、栄養物質を獲得した。樹上で樹木の果実、やわらかい葉や若い芽を主食として生活していたと考えられる。昆虫や時には小型の哺乳動物を食べるということもしていたと思われるが、植物が主食だった。もうひとつ、人間にとって重要な道具の材料として植物体を採取した。しかし、それなしでも生活が成り立っていたと思われ、人間にとって重要だったということも、植物にとって重大だったとはいえない。

森林からサバンナに生活場所を移し、直立二足歩行をするようになり、道具の重要度が増

した。食料としての植物の種類に大きな変化があったが、主食は植物だった。そして人間になって、狩猟が食料獲得の手段となって、動物のからだは食料の中に加わり、道具も発達したものが作られるようになった。しかし、量的には植物が食料としてもっとも重要なものであることにはかわりなかった。採集方法、手段が発達したから、採集する植物の量は増したし、道具の材料として獲得する植物体も大きくふえたと思われる。掘り棒の発達は、地中深くにある芋や球根を獲得できるようになった。毒抜きの方法が実現できるようになって、食物の種類と量が豊富になった。とくに発火の発明は、燃料として暖房や調理に利用され、周辺の森林を焼き払って、食料の獲得しやすい環境にした。植物の消費は大きくなった。

ところが、現在の人間社会とちがって、そのように植物を多く殺しながらも、植物世界は、そのことによって受けた損傷を、植物体の成長や繁殖によって回復した。それは、人間による被害が植物の自力による回復を上回るほど甚大なものでなかったからである。シマウマやヌーなどの植物食動物が食うことによってある植物種を滅亡においこんだとか、ある地域の植物世界に壊滅的な損傷をおわせたということはなかったのと同じことであつた。道具の製作と使用、共同と分配という点で、人間の生活は特異ではあつたが、人間は生物世界の一員としてそこから逸脱することはなかった。人間の歴史の中ではほかの時代とは比べられないほど長い時代であつたが、採集狩猟時代の人間は、植物にとってはほかの植物食動物と大きく変わるものではなかった。

8-2. 農耕生活時代における人間の植物世界とのかかわり

植物に対して、人間のかかわりが重大な影響を与えたのは、農耕時代になってからである。田畑、里山をつくることによって、それぞれの地域にそれまであつた植物世界を破壊した。植物の側からみれば、同じ生物のただ 1 種によってこのような被害を受けたというのは、30 億年の歴史の中でなかったことである。そしてまた、ことによると、この 1 万年余の人間が行なつたことによって、30 億年つづいてきた自然な植物の歴史が今後そのまま延長できるかどうか難しい場面に現在はある。

農耕生活を人間と植物との関係からみた場合に、もっとも基本となることは 2 つある。ひとつは、採集狩猟生活時代では、人間が必要とする有用植物は、その当時の植物世界のなかのごく一部であり、有用植物を採取するためにその他の植物を除くということはほとんどしなかった。田畑では、その大部分が有用な作物であり、それ以外の植物はわずかというように、田畑における有用植物と他の植物の比は、同じ面積の野生植物世界では逆であつた。田畑では、作物以外の植物は、作物にとって光をめぐる競争相手であり、それを取り除かないと作物は、人が望んだようには育たず収穫も少ない。だから、作物以外の植物は、害草として除かれた。採集狩猟生活では、有用植物を採取した後は、そのまま放置することが最高の方法であつたが、農耕では、有用なものを収穫した後、そのまま放置することなく、つぎの収穫を期待して、さまざまな準備作業をする。人のはたらきかけがなければ、田畑は田畑にはならない。田畑は、作物にとって最高の環境になるよう、人が意図的にはたらきかけすることによってできたものである。多分家族単位の小規模経営で、1960 年代より前の伝統的農法による農耕生活というのは、人間にとっては 1 つの典型的な生活のしかたであるが(もちろ

ん社会的には、農民が許しがたい差別・搾取と過酷な生活を強いられた時代の生活ではあったが)、植物世界からみれば、重大な悪影響を受けることになった。

もうひとつは、すでに述べたことであるが、田畑をつくるためには、それまでその地域にあった植物世界を破壊し、人間がつくり出した自然を環境として生活できる植物だけが生きているということである。

最初の農耕である焼畑栽培のなかの、もっとも単純な作業によるものでは、畑にしようとするところにあった森林の木を切り倒し、乾燥すると火をつけて燃やすということから始まる。それから種まきをし、その後はそのまま放置し、稔ると収穫するというように、伐採・火入れ、種まき、収穫以外の作業をしなかった。栽培という作業は作物の競争相手を除くことと種まきだけである。これが、農耕のもっとも基本になる作業である。常畑では、このほかにさまざまな作業が加わっているが、それは収穫量を多くするための追加の作業であり、この2つの作業なしには農耕は成り立たない。またこの2つの作業をすれば、農耕は成り立つ可能性がある。

8-3. 大規模工業時代における人間の植物世界とのかかわり

人間は、その生存にとって植物をどのように利用しているか、主なものをあげるとつぎのようになる。

a. 動物にとって

- ①食料を提供してくれる
- ②酸素呼吸に利用する大量のエネルギー発生のための酸素分子を提供してくれる
- ③排出した二酸化炭素やアンモニアを取り入れて、環境浄化してくれる
- ④環境がはげしく変動するのを緩和してくれる

b. 人間にとって

- ⑤さまざまな材料を提供してくれている(衣料、建材、薬剤、染料、塗料、顔料、装飾材、香料、調味料、接着剤、洗剤、灯材、燃料、肥料など)
- ⑥人間にとって有用なものをつくり出す上で参考となる
- ⑦景観として精神的なやすらぎを与えてくれる
- ⑧知識獲得・思想形成、表現活動、植物とのかかわりかたの源泉となっている

現代における人間生活のなかの基盤にあたる自然との関係からみると、現代は大規模工業時代といえる。食糧獲得は依然として農耕によっているが、その農耕の技術は、大規模工業生産に強く影響されているし、そのほかの自然・物質の生産は、大規模工業による生産が中心となっている。

この時代になって、都市の中の植物がほとんどない環境に常住する人間が多くを占めるようになり、人間の多くは、植物との関係を基盤とした生活から離れた。植物との関係で食糧を生産している農民は、自分たちが必要とする食糧の2倍以上生産しなければならなくなった。植物世界の破壊の拡大は、農業そのものが主要因ではなく、人口増加と都市化の拡大による消費の増大にある都市化は、無生物地帯であることがあたかも理想の環境であるかのよ

うに、そこから生きものを排除している。

また人口の過半が生活している都市は、公園・庭園などそこにも植物が生活しているから、あたかも生態系の中の生産者が存在しているかのように思えるが、そこに生活する人間や大型の動物は、それらを食料として得るといような食物連鎖の関係をもっていないから、それらのほとんどは生態系の重要な構成生物である生産者を欠く世界で生活している生物となった。それは、生物的には深海生物、洞穴生物と同じ生活をしていることになる。過半の都市生活者は、人間が必要とする植物性のもののほとんどすべてを都市以外の農村植物世界、野生植物世界からえている。現在のほとんどの人間は、自分にとって必要な植物、あるいは愛好している植物、それは植物全体からみればごく一部のものであるが、それを大事にし、そのためにそのほかの植物の生活を破壊し、絶滅させている生きものである。

8-4. 植物の変り者づくりと環境改変

人間が植物にしたことの第2のことは、自分が必要としているもの、愛好しているものを自然のままに存在している植物から大きくかけ離れた植物につくりかえたことである。育種とよばれている。極端に花が大きいものとか、色があざやかなものとか、花が咲いても種子ができない植物とか、外観からすると緑色以外の色をしている葉をつけた植物とか、茎が奇妙なかたちをしている植物をうみ出した。それらは、自然のままでは、生活できないことから、人間は特別の環境をつくって生活させている。

植物世界全体を自然のままではありえない形態に変えることもした。剪定された庭木を人間の好みに合わせて配置させて生存させている。

田畑、植林地のような、有用な植物、好みの植物だけからなる植物世界が造成された。氾濫を防ぐためにつくった堤防のある水辺は、渇水・洪水のくり返しの変動のはげしい環境に対応して進化の中で生活様式を身につけた植物の生存を不可能にさせた。家畜の放牧には草原が欠かせないが、日本のように温暖湿潤な気候のところでは、自然状態では草原は成立しにくく森林になってしまう。そのため刈り込み・火入れによって森林になることを妨げて草原にしている。

8-5. 作物・里植物・野生植物

現在地球上の植物は、人間の影響を受けないものがなくなった。すべて人間の影響を受けているものであるが、その影響の受け方のちがいで、つぎのように3つに分類できる。

A 人間の影響を受けながらも、自律的自立的に生存している植物→野生植物

a 人間の影響がなくなると消滅する植物

a1 人間がその生存について意図的なはたらきかけをしている植物

→作物：イネ、チューリップ、植林地のスギ

a2 人間がそれ生存について意図的にはたらきかけをしないが生存しており、人間の影響がなくなると消滅する植物

→里植物：人里のタンポポ、オミナエシ、畑地雑草のハマスゲ

イヌには、野生のイヌはいないが、カイヌは作物など、ノライヌは里植物に相当する。イエネズミ、ツバメ、スズメ、カラスも里植物に相当する里動物となる。

里植物が生活している環境は、人間が提供した代替環境といえる。里植物は、かつてそれらが生活していた環境が破壊されて絶滅の危機に陥った時に、人間によってつくられた自然の中に、それらの植物が生存可能な環境になったために生存している。里山は、作物、里植物とその代替環境と合わせた全体をいう。

9. 自分たちが生活する地域には自地域独特の植物世界がある

学校のなかになどどのような植物が生活しているのか。どのような植物世界が成立しているのだろうか。それを明らかにすることによって、自分が学校のなかでどのような植物世界とかわかっているかを知るための基礎がはっきりすることができる。またそうした植物世界とどのようにかわっているかも大事なことであるから、自分自身で調べる必要がある。この2つの調査で明らかになったことは、植物を頭のなかの観念としてではなく、現実を知るということの基盤となる。そして現実の自分をとりまいている植物世界とそれとの自分のかかわりこそが、自分の植物観を生み出して基盤であることも知っておく必要がある。

同じことは、自分が生活している地域の植物世界についてもいえることである。自分が住んでいる地域になどどのような植物が生活しているのだろうか。どのような植物世界が形成されているのだろうか。その地域に生活するようになってから、自分はそうした植物世界とどのようにかわってきたのだろうかを見つめ直すこと重要な意味をもつ。

a. 地域植物史

わたしが住んでいる、千葉県の船橋市習志野台を例にすると、ここの現在の植物世界に直接つながる歴史は、6万年～1万1000年前のウルム氷期から始まる。地球全体がたいへんな寒冷期に入った時代である。陸地に降った雨や雪が凍って堆積し、海に戻らず海水の量がどんどん減った時代である。そのため海の浅いところが陸になった。わたしが生活している場所はそのひとつである。それ以来、海底に沈んだことはない。

その前の12万年～6万年前には、そこはずっと浅い海となっていた。それは広い湾で、入り口は、千葉県の九十九里海岸から茨城県の鹿島灘までの大きなもので、湾の奥は筑波山に近いところ、群馬県の高崎付近までであった。現在の関東平野と呼ばれている範囲である。この浅い海にまわりの山地を水源とする川が水とともに運び込んだ土砂が底に堆積した。それがつぎの時代になって、海水面の下降によって陸地になったのが、現在の関東平野の原形である。船橋市習志野台はその中央部に近い南に位置している。標高が30mほどのところである。この新しくできた陸地にたくさんの川ができ、それが谷を形成した。河口は、現在の東京湾の入り口付近の館山より少し北のところであったから、この付近を流れていた川は、その最上流部であり、深いV字谷となった。今でいえば房総半島の南部の丘陵地帯にみられるような谷だったようである。

ここに生活していた植物がどのようなものであったか。隣の八千代市平戸新川という低地

の泥土のなかにふくまれた花粉化石の分析によってその概要がわかってきた。放射性炭素による推定された年代による 28,930 年(±920 年)年前から 17,460 年(±260 年)のウルム氷期の終わりごろのことであるが、マツ類、トウヒ類、モミ類などの針葉樹とコナラ類、ハンノキ類などの落葉広葉樹が混じった森林、それにイネ科とカヤツリグサ科の草原があったようである。この時代は、人類の歴史でいえば旧石器時代といわれ、ここより北東にあたる千葉県北部からは、この時代に生活していた大型植物食哺乳類のナウマンゾウや大型シカ類が生息していた。船橋市には、わずかながら旧石器時代の遺跡が発見されている。研究者は 13,000 年前を境に、針葉樹林から落葉広葉樹林へ移行したことがはっきり示されているといっている。

つぎの 17,460 年(±260 年)～4540 年(±110 年)前になると、隣の松戸市和名ヶ谷での花粉分析によると、コナラ類の高木が優勢になり、それにハンノキ類、アカガシ類(常緑広葉樹)が混ざった林が広がり、イネ科とカヤツリグサ科の草が多かったようである。この時代の後半にあたる 6000 年～5000 年前は、ウルム氷期以後もっとも暖かい時期で、現在よりも 2～3℃高温だった時代である。日本人の歴史からいえば、縄文時代である。つぎの 4540 年(±110 年)～4050 年(±100 年)前では大きな変化が現われた。ハンノキ林が拡大したほか、クリ類とコナラ類の高木が多い。クリ類が多いのは、栽培によるという考え方をする研究者が少なくない。さらに 4050 年(±100 年)から紀元 1108 年前では、ハンノキ林が優勢となり、イネ科とカヤツリグサ科の草が圧倒的に増加し、ヨモギ類の草もふえている。またスギ類の花粉化石も多くなった。3種類の草とスギ類の増加はいうまでもなく農耕生活が始まったためとみることができる。

この地域に人が入ったときから、植物世界は人間の影響を受けることとなった。しかし、すでに述べたように、採集狩猟生活では、植物世界の人間とのかかわりは、他の動物とのかかわりと比べて、大きなちがいはなかった。ちがいがあるとすれば、植物体の使いみちが栄養物質の摂取だけでなく、道具の材料として利用されていたことである。旧石器時代のことは、遺跡が多くないのでしっかりと調べられてはいないが、その後の縄文時代の遺跡は、千葉県は、他の地域とくらべて非常に多いので、よく調べられている。明らかに加工された木片の遺物が発見されているし、炭化した木片が見つまっているから、それは燃料として使われ、暖房や調理に利用されたと考えられる。また原始的な農耕は縄文時代にあったといわれる。これは、人間による植物世界の破壊と人為的な植物世界の造成の先駆けである。

弥生時代になって、農耕生活者が大幅に増加し、また分業化が生まれた。祈祷師や支配者など食料生産に直接かかわることなく、農民が生産したものを徴収する人が現われたのも、この時代になってからである。その後、工業、商業に従事する人たちが増えて、農民は自分たちが利用する量以上の食料を生産しなければならなくなった。

戦争がされるようになったのも、このころからである。金属製の道具が開発され、それらは主に戦争の道具である武器であった。金属器の使用の拡大は、鉱石から材料として金属をとり出したり道具にしたりするのに高温を必要とし、森林の伐採、植物世界の破壊を加速させた。

やがて、農耕を中心とした世界である「農村」とはちがう、食料生産をしない、商業・工業、政事を中心とした社会「都市」が生まれた。生物的には農村との結びつきがないかぎり、都市生活は成り立たない。生物的には自立できない世界の出現である。今や都市民の数が農民の数を上まわり、農民への負担はさらに増大している。

b. 現代になって植物世界は大きく変わった

近代になって工業生産が大規模化した。それはやがて人間と植物世界とのかかわりである農耕にも重大な影響を及ぼすことになった。現代農業は大規模工業化した。a. 農業機械の開発と利用の進展、b. 化学肥料の大量使用、c. 病虫害防除と雑草除去を中心とした農薬の使用拡大、d. プラスチック製の温室、温床などの栽培施設の設置が農耕技術として欠かせなくなった。このことによって、農耕生活者でありながら、植物世界との直接的なかわりが弱まった(都市民はさらに植物世界とのかかわりを希薄にしている)。現代においては、さらに食料生産の工業化が拡大しつつある。食料生産にとってこれまでのような農村環境が必要となくなり、農業が環境保全の役割を放棄する危機がきている。植物世界に大異変がおきようとしている。農村世界は放置されて野生世界に向けて変化するか。それとも食料工場の拡大が進んで、農村は都市に転換するか。

a. 優勢になっている植物からみる

常緑針葉樹林	19.3%
常緑広葉樹林	7%
落葉広葉樹林	10%
落葉・常緑混合広葉樹林	0.1%
ササ・タケ林	0.3%
高茎草原	1.2%
砂丘・塩生植物群	0.2%
畑・休耕畑雑草群	13.3%
水田雑草群	25%
牧草群	2%
樹園	1%
市街・工場・造成地	12%
緑の多い市街	6%
池など水域	1%
自然裸地	0.4%
不明	0.02%

b. 人による影響との関係からみる

自然草原	1.1%
自然林	0.5%
放置林	16.5%
植林地	17.5%
放置草原	29.2%
農耕地	47.3%
市街地	11.3%

c. ‘これから植物はどうなるか’ からみる

定着した外来植物	22.3%
絶滅あるいはそのおそれがある在来植物	32.9%
絶滅の心配のない在来植物	44.8%
2073 種のうちの 980 種	
(維管束植物の場合)	

自分が住んでいる地域のこうした人々の植物世界とのかかわりの実態を明らかにし、地域の人のにとって、また地域の植物世界にとってどのような意味があるか、評価しよう。また自地域が食料生産について自立できるところか、それとも農村に従属する地域なのか。農民の

農業経営は適切で、農耕という仕事に従事することが生き甲斐になっているか、生活が安定しているかどうか、調べる必要がある。地域のなかに、都市世界、農村世界、野生世界の 3 つがそろっているかどうか、地域生活にとって重要な問題となる。

人間の影響による植物世界の変化の様子をみる、ひとつの例を示すと、日本の植物世界を「自然度」という規準で分けて、植物が生活している面積から、それぞれがどれくらいの割合になっているかを調べた結果がある。それによると、千葉県は、自然度 1 の自然草原と自然度 2 の自然林が、人の影響を大きく受けていないものであるが、それは、合わせて 1.6% である。残りはすべて人間によってつくられたもので、98.4% となっている。全国でみると自然度 1 と 2 は合わせて 19.1% で、残りの 90.9% は人によってつくられたものである。千葉県も全国も、大部分は、それぞれの場所に生活していた植物が除かれて、代わりに人間が必要と考えるものにつくりかえられた。

10. 人間はこれから植物世界とゆたかにかかわる展望をもって生活する

10-1. 植物が存在している現状の評価

以上わかったことをもとにして、植物が存在している現状をどのように思うか。どこがよくてどこがわるいかを自分の立場から、人間全体からの視点で、また植物自体の立場から評価する必要がある。これによって「⑩人間はこれから植物とどうかかわればよいか、展望をもつ」の基盤ができる。

- a 植物世界の現状は、その歴史からみてどのような状況か
- b 現在の植物世界が、地球上の自然からみてどのような存在か
- c 植物世界の現状は、宇宙の物質世界全体からみてどのような存在か

上の b の課題は、ほかにもいろいろな視点から取り組むことができるが、1 つとして、もしこの地球上から植物がいなくなったら、地球上の生物世界、非生物世界はどのように変化するのだろうかということと、その変化の原因を考えると明確になる。またそのように変化した地球は、宇宙全体に対してどのような影響をあたえるかということから考えると、c の問いの答えが出てくるだろう。

10-2. 人間は、これから植物世界とどのようにかかわればよいか

‘人間は、これから植物世界とどのようにかかわればよいか’ この課題について考えるには、つぎの 2 つを人間存在の基本原理にする必要がある。

- a. 世界中のすべての人がたがいに傷つけ合うことなく、みんな幸せになるために
- b. 自然を著しく損なうことなく、自然がこれまでの自然な発展の歴史をこれからも引き継いでいくことができるために