

# 生物授業における「呼吸」の扱いについて

吉田 修久

## 1. はじめに

かつて教鞭をとっていた高校や本学での「生物」授業の導入で、必ず「生きものはどのような特徴を持っているか？」と質問する。これから生きものを学んでいくにあたって、とりあえずどんな生物像を持っているかを改めて考えてもらうためである。よく出てくるのが「動く」「食べる」「息している」などである。これらの特徴は学校での学習が始まる前、かなり小さな頃からの日常生活に基づいて実感をもって知っていることだろう。そして次に、「その特徴は何のためにあるのか？」と問いかけるといろいろな答えがでてくる。「動くことは食べものを求めるため」であり、「食べるのは、生きるエネルギーを得るため」、そして「成長を支える材料を取り入れるため」でもある。小さな子どもでも、それまでの自分自身のさまざまな体験から、このような回答は可能だろう。

しかし、「息している＝呼吸」の意味についてはなかなか正解がでてこない。小学校から高校まで理科で学習してきたにもかかわらず、「呼吸は何のためにしているのだろうか？」と質問すると多くが黙り込んでしまう。では「呼吸は何を取り込み、何を出している？」と聞くと「酸素を吸って二酸化炭素を出す。」と正解を答えるが、「植物は？」と問うと、「二酸化炭素を吸って酸素を出す。」と、光合成での気体の出入りを答えてしまう者が少なくない。これは「呼吸」というものを、「光合成」と一緒にして誤解し

ているためであろう。これも含めて呼吸の意味が混乱をきたしている。

「食べる」と「呼吸する」ことは対になって生物の重要な特徴である。にもかかわらず正しい理解をしている者の少なさがずっと気になっていた。小学校や中学校でも触れられているし、高校での「生物基礎」ではもちろんしっかりと学習する。理系の大学生に対する同様の質問で、「呼吸はエネルギーを得るため」という答えを出してくる者はいる。この答えは一見正解ではあるが、「エネルギー」のとらえ方や、その元となるものに関して、きわめて漠然としている。「食べたものを分解して、そのエネルギーを取り出すため」という、エネルギーの元にも言及した答えを出す者はかなり少ない。このように「呼吸」は生きものの重要な特徴の一つであり、その大切さは感じていながらも、その意味は多くの人たちにとってしっかりとした理解に至っていないのが現状である。

このような傾向はいったいなぜ起こってしまうのか改めて小学校、中学校、高等学校の生物教科書での「呼吸」の扱いを調べ、そしてより正しい「呼吸」への理解を促すには、どのような授業展開が望ましいのかを考えてみたい。

## 2. 「呼吸」に関する理解度

今までの経験で感じていた「呼吸は何のために行うのか」の理解度の低さを、実際に大学の授業の中で調べてみた。以下がそのアンケート

の結果である。

本学の「自然の体験学習」授業の中で、2018年6月に以下のような簡単なアンケートを行った。回答者は50人、理学部が49名で経営学部が1名である。理学部のうち生物科は34名、その他が15名である。記述式で答えてもらった。このアンケートがほぼ理学部の学生だったので、比較するために経営学部の学生に対しても、後日10月に「基礎生物学Ⅱ」の授業の中で同様なアンケートを実施した。

(質問1) 生きものが「食べる」のは何のためですか？

(質問2) 生きものが「呼吸する」のは何のためですか？

記述式にしたため、質問の回答結果はもちろん多様であったが、以下のように分類した。

(質問1) 「食べる」のは何のためか？

回答① エネルギー源として

- ・エネルギー源の吸収という認識がわかる答えである。

回答② 必要なものをつくり出すため

- ・からだをつくるためなど、エネルギーとしてではなく、材料として考えている答えである。

回答③ その他

- ・①②をかなり限定的にすると、そこに入らないものが多く出てしまう。それらをすべてここに分類した。例としては、「食べないと死ぬから」「栄養が必要」「増えるため」などである。

(質問2) 「呼吸する」のは何のためですか？

回答① 取り入れた有機物を分解し、そのエネルギーを取りだすため

- ・有機物からのエネルギーの取りだしという認識がわかるものに限

定した。

回答② エネルギーを取りだすため

- ・有機物という言葉はないが、酸素を利用してエネルギーを得ることを示している答えである。

回答③ その他

- ・質問1と同様に、①②をかなり限定的に絞ったため、その他をここに分類した。「細胞のはたらきに大切」「体内循環のため」「酸素を得るため」「血流を止めないため」「脳に大切」などである。

はじめの「自然の体験学習」を利用したアンケートでは経営学部の学生が1人入っていたので、それはずしてすべて理学部学生とし49名で集計した。次の基礎生物学Ⅱをとっている学生全体にアンケートしたものでは、その中から経営学部学生50名をランダムにピックアップして集計した。選択肢を与えてしまうと、それがヒントになってしまうので、記述式で答えてもらった。そうすると答えが多様化するが、解答結果の分類は上記したように、①と②の解答はその内容にしっかり即していると思われるものだけをカウントした。

	理 学 部		経 営 学 部	
Q1①	38人	78%	21人	42%
②	4人	8%	4人	8%
③	7人	14%	25人	50%
Q2①	12人	24%	3人	6%
②	7人	14%	5人	10%
③	30人	61%	42人	84%

表1 質問1, 2に対する回答数

理学部、経営学部どちらの学生たちも、9割以上が高校で「生物基礎」は履修していた。このデータを見るとさすがに理学部学生の正答率は比較的高い。経営学部の学生でも「食べるのはエネルギーを得るため」というのは半数近くが正答している。これは「食べること」が「元気」につながるという実感に根ざしているから

であろう。しかし、「呼吸による酸素の取り込みは、有機物を分解しそのエネルギーを取り出すため」と答えられているのはかなり減り、理学部でも24%、経営学部では6%しかない。②の「エネルギーを取り出すため」を合わせたとしても、理学部で38%と半分に満たないし、経営学部では16%しかない。以前より感じていた「呼吸すること」の意味をしっかりと把握していないことが明らかになったといえる。

考えさせられたのは「エネルギーをつくり出す」という表現をしている学生が少なからずいたことである。これも「エネルギー保存の法則」がしっかりと理解できていないための表現である。高校までの学習の理解が、自分の実感と食い違っているためであろう。エネルギーは力であり、湧いてきたり、切れたりするものであるという素朴な理解のままである。そしてまた、呼吸が「心臓や肺など循環器系を動かすため」とか「脳に必要なため」と答えた学生がかなり多くいた。(ちなみに経営学部で心臓などを動かすためと答えた者は12人で24%、脳に必要なと答えた者は4人8%であった。)これは呼吸によって取り入れられた酸素が血液によって運ばれるという学習、その後心臓や血液循環の学習が出てきていることに関連があると思われる。また、前述したように植物の呼吸を光合成と誤解していることも反映し、呼吸が動物に特有と思ってしまうと血液や循環に関連しているというつながりも考えられる。

そして「酸素を取り入れるため」という回答も多くはないが出てきて③に分類したが、これは設問ミスであった。「呼吸によって酸素を吸収するのはなぜ」というように聞いた方がよかった。そうすれば結果が少し①②に移動したと考えられるが、これは両方のグループを合わせて3名であったので、結果に対する評価に大きな影響はないと考えられる。

ここでは回答を記述させたが、いくつかの選択肢を与えて回答させたら、かなり正答率は上

がるだろうことが予測される。前述したように、それがヒントとなってこれまでの授業での知識が思い出されるのと、小さい頃から体に染みついた実感での回答かの違いがあらわれるだろう。本来は体に染みついた実感が、授業での学びで変化、整理され、正しい理解になっていくことが望ましい。しかし、学校での学習が生活につながっていないために、このような間違った理解のままになってしまっているのである。この簡単なアンケートから、たとえ理系の学生でも「呼吸」の意味がうまく理解できていないことは明らかである。このような事になってしまうのは一体なぜであろう。

### 3. 小・中・高等学校における教科書の「呼吸」の扱い

次に小学校から高校までの教科書では、「食べる」や「呼吸する」ことがどのように扱われているかをみていく。参考にしたのは、小学校、中学校、高等学校ともに、啓林館と東京書籍であるが、内容的に大差はなかった。しかし、中学ではいくつか「発展項目」として欄外で「呼吸」の扱いに特徴のある差があったので、大日本図書、教育出版の教科書も参考にした。ここでは小学校、中学校、高等学校の同じ東京書籍の教科書内容を資料として抜粋する。これらの教科書は、内容的に他社の教科書よりもやや踏みこんで書かれていた。小学校は「新しい理科」、中学校は「新しい科学」、高等学校では「Biology 生物基礎」で、すべて平成30年版である。

#### (1) 小学校の理科教科書からの抜粋

(東京書籍「新しい理科」5～6)

##### (ア) 5年生

#### ①植物の発芽と成長 種子の発芽と養分 P28

「種子の中には、でんぷんがふくまれています。種子の中でんぷんは、発芽するときの養分として使われます。」

「はってん」:

「わたしたちは、米(イネ)やトウモロコシなどを食べることで、植物からでんぷんを養分としてとり入れ、運動したり、成長したりするためのエネルギーにしています。さらに、アブラナやヒマワリの種子からとり出した油は、自動車などを走らせるための燃料(バイオディーゼル燃料という)として利用することもできます。」

使って成長します。動物は、自分で養分をつくることができないので、植物やほかの動物をたべて、その中にふくまれる養分をとり取れます。動物の養分は、植物がつくり出しているといえます。

生き物どうしは、「食べる」「食べられる」という関係でつながっています。」

#### ④生き物のくらしと環境

生き物と空気のかかわり P74

#### (イ) 6年生

##### ①動物のからだのはたらき

呼吸のはたらき P36

「人は空気を吸ったり、はき出したりして、空気中の酸素の一部をとり入れ、二酸化炭素をはき出しています。酸素をとり入れ、二酸化炭素を出すことを呼吸といいます。」

※ 実験として気体検知管を利用して、呼吸、吸気の成分を調べている。その後、肺や血液で酸素、二酸化炭素の運搬を学ぶ。

「植物は、日光に当たると、二酸化炭素をとり入れて、酸素を出します。」

「理科のひろば」

植物も、人やほかの動物と同じように、絶えず呼吸をして酸素をとり入れて、二酸化炭素を出しています。しかし、日光に当たったときには、呼吸のはたらきよりも、二酸化炭素をとり入れて、酸素を出すはたらきのほうが大きいため、酸素を出しているだけのように見えるのです。

##### ②植物のからだのはたらき

植物と日光のかかわり P58

「植物の葉に日光が当たると、でんぷんができます。植物は、成長するための養分を自分でつくっています。」

※ ここで葉にアルミ箔を貼り、ヨウ素デンプン反応によって光の当たっている葉にでんぷんができることを実験で確認。

※ 小学校における理科教科書の「呼吸」についてまとめたが、実はもう一つ重要な学習場面として家庭科がある。家庭科教科書「わたしたちの家庭科 56」(開隆堂)の中に「五大栄養素のはたらき」という項目があり、そこには「炭水化物と脂質は、体内で燃焼してエネルギーになります。」、またその下の挿絵で「エネルギーになる・・・体温は36度くらいに保たれているよ。運動するにはエネルギーが必要だね。」と記載されている。家庭科の中で、「食べ物が体内で燃焼されてエネルギーになる。」とあり、またそのエネルギーが「熱や運動のもとになっている。」ことが書かれているのである。

##### ③生き物のくらしと環境

食べ物をとおした生き物のかかわり P70

「人やほかの動物の食べ物のもとをたどると、すべて植物に行き着きます。植物は、日光に当たると、でんぷんをつくり、それを

## (2) 中学校の理科教科書からの抜粋

(東京書籍「新しい科学」1～2)

### (ア) 1年生

#### ①植物の世界 植物と呼吸 P40

「植物も呼吸を行い、酸素を取り入れて二酸化炭素をだしている。」

「植物も動物と同じように一日中、呼吸を行っている。しかし、昼は植物に光が当たり光合成が行われるため、二酸化炭素が使われ、その量は呼吸によって出される量より多い。この結果、昼には二酸化炭素を取り入れて酸素を出しているように見える。」

※ポリエチレンの袋に植物を入れ、暗いところに置く。その袋の中の空気が二酸化炭素を含むようになる実験を提示。

### (イ) 2年生

#### ①動物の生活と生物の変遷

細胞 P91

呼吸のはたらき P105 107

「ミトコンドリア：酸素を使って、養分からエネルギーをとり出す。」

「私たちは、息をしないと生きていられない。これは酸素が必要だからである。からだの中で吸収された養分は全身の細胞へ運ばれ、エネルギーが取りだされる。このとき、酸素が重要なはたらきをする。」

(発展)

「見る、走る、考えるなどの私たちが行う行動は、体の器官によって行われている。細胞からつくられている器官がはたらくにはエネルギーが必要である。このエネルギーは、細胞内で養分から取り出される。自動車の動きを考えて見る。ガソリン車では、エンジンで酸素を使ってガソリンを燃焼させ、燃焼のエネルギーで車輪を回転させている。おもし

ろいことに、細胞が養分からエネルギーをとり出すときにも、ものが燃焼するときのように酸素が必要である。

細胞の活動に必要な酸素は、どのようにからだにとり入れられ、細胞に届けられて何に使われるのだろうか。」

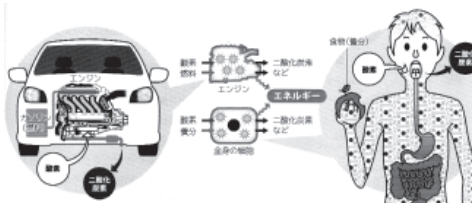


図1 ガソリン車とヒトのエネルギーの取り出し方の共通点(東京書籍「新しい理科2」)

#### 図1 ガソリン車とヒトのエネルギーの取り出し方の共通点(東京書籍「新しい理科2」)

「ひとつひとつの細胞では、酸素を使って養分からエネルギーが取り出されている。このとき、二酸化炭素と水ができる。細胞のこのような活動を、細胞による呼吸という。」

※この後、内容は血液や循環器系になり、かなりのページをさいて説明されている。

## (3) 高等学校の理科教科書からの抜粋

(東京書籍「生物基礎」)

### (ア) 1年生

#### ①生物の多様性と共通性

生物の特徴 エネルギーを利用する P16

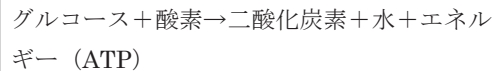
「生物はエネルギーを利用して、さまざまな生命活動を行う。生物はエネルギーを得るために物質の合成や分解を行っている。また、得られたエネルギーを利用して、さまざまな物質の合成を行っている。このような生体内における化学反応を代謝という。」

「ミトコンドリアは、球形あるいは円筒形で、呼吸によりエネルギーを取り出す働きを行っている。」

② 生命活動とエネルギー代謝 P26

「生体内では、物質の合成や分解などさまざまな化学反応が行われている。このような生体内における化学反応をまとめて代謝という。代謝のなかで、簡単な物質からより複雑な物質を合成して、物質内にエネルギーを蓄える作用を同化という。二酸化炭素と水から有機物を合成する光合成は同化の代表的な例である。一方、複雑な有機物を分解してエネルギーを取り出す作用を異化という。呼吸は異化の代表的な例である。」

用いて有機物を分解してエネルギーを取り出し、二酸化炭素を放出するしくみも呼吸（細胞呼吸）という。呼吸は、さまざまな酵素がかかわって行われる化学反応である。多くの生物は、主なエネルギー源として、グルコース（ブドウ糖）を利用している。グルコースは、酸素を用いて完全に分解されるとき、水と二酸化炭素を生成するとともにエネルギーを放出する。生物は、この化学反応により放出されたエネルギーでATPを合成し、化学エネルギーとして蓄えている。呼吸によるグルコースの分解をまとめると次のようになる。



③生体内におけるエネルギー変換

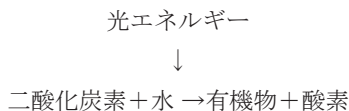
光合成 P30

呼吸 P32

「光合成」

「植物は、光エネルギーを用いて無機物から有機物を合成することができる。二酸化炭素から有機物を作る反応を炭酸同化といい、光エネルギーを用いた炭酸同化を特に光合成という。光合成では、光エネルギーがATPのもつ化学エネルギーに変換され、その化学エネルギーを利用し、さまざまな酵素のはたらきにより、二酸化炭素などからでんぷんなどの有機物を合成している。結果として、光合成によって合成された有機物内には、化学エネルギーが蓄えられることになる。」

光合成の反応をまとめると、次のようになる。」



「呼吸」

「私たちは空気を吸って、肺で酸素を吸収し二酸化炭素を放出する。この活動を一般的には呼吸（外呼吸）というが、細胞が酸素を

以上、小学校、中学校、高等学校のそれぞれの理科教科書から、「呼吸」が取り上げられている部分を示した。ここで改めて強調したいのは、示した資料はその部分の一部を抜粋したのではなく、「呼吸」に関して書かれている教科書の内容をそのまま引用したということである。実験やグラフは割愛したが、教科書の本文はそのままである。その内容の流れをまとめてみる。

（ 小学校 ）

- ・ 種子の中でんぷんは発芽の際の養分として使われる。また「発展」部分であるが、人はイネなどを食べることによってでんぷんを養分としてとり入れ、運動などのエネルギーにしている。
- ・ 家庭科ではあるが、炭水化物は体内で燃やされてエネルギーになる。
- ・ 呼吸でとり入れられた酸素は、血液の中に入り、身体の各部分に運ばれ、生きるために使われる。

( 中学校 )

- ・ 酸素と養分をとり入れて、生きるためのエネルギーをとり出し、二酸化炭素を放出している。これを細胞の呼吸という。
- ・ 吸収されたブドウ糖、脂肪酸とモノグリセドなどの養分は、全身の細胞に運ばれ肺でとり入れられた酸素を使って二酸化炭素と水に分解される。このときに、生きていくために必要なエネルギーが得られる。

( 高等学校 )

- ・ 光合成と呼吸で化学反応式を示し、ちょうど逆向きの反応が起こって、エネルギーの出入りがあることを示す。

小学校の理科では酸素は生きるために使われると言う程度であるが、家庭科では炭水化物を燃焼させてエネルギーにするという記載までがある。理科ではその後、光合成は実験も示してページも割いて説明されているが、呼吸に関しては光合成ほどには深く学ばせてはいない。呼吸項目の中心は心臓、血管などの循環系で、酸素がどのように運ばれていくかに重点が置かれている。

そして中学でも「呼吸」は、酸素と養分で生きるためのエネルギーを取り出すという程度であった。教科書によっては「生物の呼吸は、くるまのエンジンがガソリンをエネルギー源として、それを酸素で燃やすことによってエネルギーを取りだしていることと同様である。」という説明があるが、これはあくまで欄外の「発展」である。この部分を教室ではどの程度でいねいに説明されているのか気になるところである。それにもかかわらず、高校では中学では呼吸により養分からエネルギーを取りだすことを学んだ、という前提で始まってしまっている。

小学校から中学校、そして高等学校と進むにつれて、より深く本質に迫っていくという流れ

はもちろん当然である。小学校や中学校では有機物の分解に酸素を必要とし、その過程でエネルギーが取り出されるという反応系を理解させるのは無理であるということだろう。しかし、小学校でも種子を発芽させるためのエネルギーがでんぷんによっていることを説明し、欄外や家庭科では、そのでんぷんが私たちのエネルギー利用にも貢献していることを指摘している。同様にいくつかの中学校教科書で載せられていたように、くるまのガソリンエンジンと対比させることによって、酸素による反応でエネルギーを取り出していることは十分に理解できるはずである。ガソリンでなく紙や木が燃えるという現象でも、説明がつくであろう。そのことで光合成にまでもつなげることができる。

有機物が燃えることによって、そのエネルギーが放出されるということをしっかり説明することによって、生徒たちは「食べる」と「呼吸する」ことの意味を概略的であっても理解できるだろう。ここがあまりに軽くしか触れられていないため、生徒たちの呼吸の理解が動物の血液による酸素運搬に比重がかかっていき、心臓、血管系が呼吸の理解の中心になってしまっている。その結果、酸素の役割は「心臓を動かすため」といった回答も出てきてしまうのではないだろうか。

#### 4. 中学校における他分野との関連

生きものの本質的な特徴である「食べる」と「呼吸する」ことを合わせて理解させることはとても重要なことである。中学校において、この呼吸部分につながる理科の他分野の項目がいくつかある。ここではそれを指摘してみたい。

##### (1) 化学分野

###### (ア) 水の電気分解、有機物の燃焼

中学1年では「身のまわりの気体の性質」で、二酸化炭素、酸素、水素を発生させ、それぞれ

の気体の性質を調べている。酸素は線香を入れて、ものを燃やすはたらきがあり、水素では爆発的に燃えることが確認される。ここでこの教科書では「水素は無色、無臭の気体で、空気中で燃えると水になる。」と書かれている。

また、中学2年では「化学変化と原子・分子」で、物質がどのような変化を見せるかを示しており、「水に電流を流したときの変化」で水の電気分解を紹介している。発生した酸素と水素は1年の時と同様に、火を近づけ爆発させることによってその気体を確認している。

続いて「物質どうしの化学変化」では、炭を燃やすと二酸化炭素ができることを、炭素+酸素→二酸化炭素で示している。この反応はその後、物質の酸化で化学反応式でも表される。また、「ロウやエタノールなどの有機物は、主に炭素と水素からできた化合物である。有機物を十分に燃焼させると、有機物にふくまれる炭素や水素が酸化されて、二酸化炭素や水ができる。」とあり、「有機物+酸素→二酸化炭素+水+熱、光」という式も示されている。

ここでは水の分解に電気エネルギーが利用され、有機物を燃焼させると二酸化炭素と水に分解され、その反応から熱や光のエネルギーが放出されることが示されている。この単元の「ねらい」からは外れるかも知れないが、深入りはしなくとも「化学変化に伴って、エネルギーの出入りが起こる」ことをしっかり指摘しても良いのではないだろうか。私自身にも覚えがあるが、水の電気分解で水素と酸素を確認することはとてもインパクトのある実験であり、印象にも残る。しかし、多くの生徒達には「電気分解」自体の意味はほとんど語られることなく、水の分解のための方法程度の理解しかない。ここで「電気エネルギー」が投入されて化学変化が起こっていること、また逆に燃焼させることによって、分解とともに「熱エネルギー、光エネルギー」の放出が起こっていることをもっと強調してもよいのではないだろうか。「エネルギー

保存の法則」までいかずとも、「物質の中にエネルギーが入ったり、また出たりする」という認識は、その後のさまざまな現象の理解をより高めるだろう。そのことが同じ2年での「生物分野」で、「吸収された養分は全身の細胞へ運ばれ、エネルギーが取りだされる。このとき、酸素が重要なはたらきをする。」という「呼吸」につながってくる。生物の起こす現象は、化学的なものがベースになっていることを示すことにもなる。

### (イ) 化学変化とその利用

この項目の中における「化学変化と熱」で、発熱反応、吸熱反応が示され、「もともと物質がもっているエネルギーを化学エネルギーという」と記載されている。ここで再び水の電気分解や有機物の燃焼などが語られれば、一層包括的な物質とエネルギーの理解は深まると思われる。これを踏まえれば、私たちが食べた養分から酸素を利用してエネルギーを取り出すことにつながる。また、その逆で二酸化炭素と水に太陽エネルギーを投入することによってデンプンなどの化学エネルギーを多く持った有機物がつくられることまでつながってくる。

中学2年生の教科書では単元1で化学分野、それに続いて単元2で生物分野である。この順序で授業がおこなわれているとすると、上記のあとに生物での「呼吸」が語られていることになる。

### (2) 物理分野

物理分野でエネルギー関連が出てくるのは、3年になってからである。3年の教科書「単元3」の第3章「エネルギーと仕事」の最後に「エネルギーの移り変わり」という項目で、光合成による光エネルギーを化学エネルギーに変換することが図示されて出ている。残念ながらこの図には、光合成の逆の「呼吸」は示されていない。また、ここで「エネルギー保存の法則」が出てくる。「エネルギー」という言葉自体はよ



く語られるので、子どもでも知っている。しかし、では「エネルギーとは何か」についてはなかなか本質的理解が難しく、この部分でまとめて定義づけをしているのであろう。この定義がそのまま今まで使っていた「エネルギー」という言葉の理解、または修正につながっていないのではないだろうか。

### (3) 生物分野

生物分野は前述した通りであるが、直接「呼吸」に関わる場所ではないが、3年で単元5「地球と私たちの未来」の第1章「自然の中の生物」で、「炭素循環」がでてくる。ここでは光合成による二酸化炭素の固定と、呼吸による二酸化炭素の放出が図示される。

そして「発展」ではあるが、生物が生きるためのエネルギーは、光エネルギーを光合成によって固定して有機物に化学エネルギーとして閉じ込め、それを食べることによって得ていることが示されている。

こうしてみると、いたるところで「呼吸」の本質に関わるものが語られている。にもかかわらずなぜ「食べる」と「呼吸する」ことの意味が、生徒たちに残っていないのだろうか。前述したようにあまりに個別に散在し、それぞれの学習が統合されてこないであろう。しかし、本来「生物」の学びで「生命現象」を理解するためには、物質の変化とエネルギーの出入りなど、「化学」や「物理」の学びと共に、そこでの現象の理解が生物の呼吸に収斂していったほしいものである。

参考資料として、中学理科教科書の各分野の展開を載せておく。(別添資料)

## 5. つなげ、考えさせる授業

「生物」の授業の中で、「食べる」「呼吸する」ことの重要性や、この2つの現象の本質的なつながりが、それぞれの段階の学習の中でなかなか理解されていない現状がある。それも教科書において、一定程度の記述がなされているにも関わらずである。この問題は、一つには教科書自体の記述で、その関連やつなげて考えることが強調されていないことのように思える。なにより教科書の作り方自体をもっと「つなげる」ことを意識したものにして欲しいものである。理科学習における、統合・総合化と分散・深化の問題は以前からあるし、さまざまな提案がなされてきた。最近の科学、特に生物分野の進展には目を見はるものがあり、あまりに複雑すぎる状況が互いの理解を妨げているということもありそうである。しかし、最先端までを要求される必要のない基礎的な理科教育の中では、やはり「総合的な理解」を重視したい。特に生物分野では、丸ごと生きているものこそ「生きもの」であり、その生命現象は化学や物理の知見をベースとして、つながっているということの理解を促していきたいものである。

個別分散した各知識を覚える事によって良い成績を取ってきた生徒たち。ある学生が試験のまえに聞いてきたことがある。「生物は好きで成績も良かったのですが、単語を覚えることはできても、論述になるととんとうまく記述できません。どう勉強したら良いのでしょうか」これは特別な例ではなく、多くの学生の抱える問題であろう。従来の教育の弊害とも思われる。各単語を理解し、覚えることに終始し、それを自分の頭の中で消化し、つなげて考え、全体像を理解し、それを表現する。このことの重要さとそれができていない状況が、この「食べる」と「息する」ことの意味がなかなか伝わっていないことに、象徴的に現れているように思えるのである。

以前にこの論集(42号)でも指摘したが、あることを学習しても、それが自分自身の身体やまわりの世界の理解とつながっていないことも多くあった。教室で教わったことは、そのまま「学校世界の知識」に閉じ込められてしまっている。それは自分の実感とかけ離れてしまっており、学校での学習が自分の生活上の誤解や先入観の修正になっていないのである。その事例を以下に再録する。

・植物の成長は、根や茎の先端部分の分裂組織によって促されるので、先へ先へと成長する。この学習の後でも、「低い枝にぶら下げられたものが、十年後に見ると成長した木のずっと上の方についてぶら下がっていた。」というその話を難なく信じてしまった。

・緑色は多くの色(波長)の光が当たって、緑以外は吸収され、緑の波長部分のみが反射されることによって、私たちの目には緑と映る。この話の後、「では、植物が葉で吸収して光合成に利用する光はどんな色ですか?」という質問に、「緑」と答えてしまう生徒が多い。

これらは私の今までの授業において、何度も経験したことである。ある学習が授業内だけ、教科書だけの知識でしかない。ある学習を過去の学習とつなげて考える。また、自分自身の体験や経験に照らして考える。そのことによって学習したものが社会にも開かれ、つながっていくはずである。しかし、多くの生徒たちが試験の終わった後でもう思い出すことも、使うこともなく、このこと自体を間違った理解のままでもり過ぎてしまうということも当然あり得るだろう。しかし、ここで指摘したいのはこの呼吸についての例だけにとどまらず、多くのせつかくの学習が、こういった状況に陥っていないだろうかということである。これからの時代はAIの発達で、わからないことはなんでもPCや

スマホで検索をかければたちどころに正解が示される。では小学校、中学校、高等学校の12年間という膨大な学習の時間はいったい何のためにあるのか。理科、科学という側面から、自分を知り、世界を知っていくその手立ての習得は、自分の生き方、社会のあるべき姿の構築にやはりとても重要である。個々の時間の学習をそこだけのものにせず、それぞれをつなげていくことで、より確かなものにし、自分自身そして社会につながってこそ意味ある学習であろう。

このことに関連して、今回の「高等学校学習指導要領の改訂のポイント」では、次のように述べられている。一部を抜粋する。

1. 今回の改訂の基本的な考え方

\* 教育基本法、学校教育法などを踏まえ、これまでの我が国の学校教育の実践や蓄積を活かし、子供たちが未来社会を切り拓くための資質・能力を一層確実に育成。その際、子供たちに求められる資質・能力とは何かを社会と共有し、連携する「社会に開かれた教育課程」を重視。

\* 知識及び技能の習得と思考力、判断力、表現力等の育成のバランスを重視する現行学習指導要領の枠組みや教育内容を維持した上で、知識の理解の質をさらに高め、確かな学力を育成。

2. 知識の理解の質を高め資質・能力を育む「主体的・対話的で深い学び」

\* 「何ができるようになるか」を明確化

知・徳・体にわたる「生きる力」を子供たちに育むため、「何のために学ぶのか」という学習の意義を共有しながら、授業の創意工夫や教科書等の教材の改善を引き出していけるよう、全ての教科等を、①知識

及び技能、②思考力、判断力、表現力等、③学びに向かう力、人間性等の3つの柱で再整理。

\*主体的・対話的で深い学びの実現に向けた授業改善

選挙権年齢が18歳以上に引き下げられ、生徒にとって政治や社会が一層身近なものとなっており、高等学校においては、社会で求められる資質・能力を全ての生徒に育み、生涯にわたって探求を深める未来の創り手として送り出していくことがこれまで以上に求められる。そのため、主体的・対話的で深い学びの実現に向けた授業改善が必要。特に、生徒が各教科・科目等の特質に応じた見方・考え方を働かせながら、知識を相互に関連付けてより深く理解したり、情報を精査して考えを形成したり、問題を見いだして解決策を考えたり、思いや考えを基に創造したりすることに向かう過程を重視した学習の充実が必要。

昨今のPC、スマホ等の急速な普及と発達などの社会状況を考えると、どうしても学校教育自体も変わらざるを得ない状況が生まれている。このところ影をひそめつつある「アクティブラーニング」であるが、読み替えての「主体的・対話的で深い学び」とはいったいどうしたらよいのか、それで教科書をすべて終えることができるのかなどなど、通達を受ける現場は混乱する。しかし、現場の一教員としても、いまはやはり変わるべき時が来ていると思わざるを得ない。「改訂のポイント」にある「社会に開かれた学び」や「各教科、科目の知識の関連付け」「問題を見出し、考えを創造すること」などは、やはりとても大切なところである。

## 6. 「息することの意味」についての授業試案

「食べる」「息する」ことをまとめて理解するためには、どうしても「エネルギー」という言葉を使わざるを得ないし、その言葉自体の理解がとて重要である。しかし、この言葉の定義が出てくるのは、中学三年の物理分野を待たねばならない。その問題点はさまざまな理科教育研究でも指摘されている。身のまわりに「エネルギー」という言葉はあふれているし、子どもたちも何気なく使っている。そんなふだんの生活の中で扱われている「エネルギー」という言葉を、やや漠然とでも一定程度正しく理解させることはできないだろうか。この部分こそが「食べる」「息する」ことへの理解への基礎となるだろう。ここでは「エネルギーとはどのようなものか」を導入として、「食べる」「息する」ことへの理解を促す中学校での授業を想定した試案を提示したい。

そこでまず小学校の子どもたちが、「エネルギー」というものに関して、どんなイメージを持っているのか調べた。これは小学校の先生に協力して頂き、小学5年生の児童たちに質問して回答してもらった。教科授業以外の時間に「エネルギーとはどんなものだろう？エネルギーを持っているものは？」という質問をしてもらい、その答え集めてもらった。その結果はだいたい以下のようなものであった。

体力 何かを動かす力 ガソリン カロリー  
パワー 電池 灯油 電気 栄養 波動拳

「波動拳」はアニメキャラクターが使う技である。これらの回答ではエネルギー＝力という認識で、それを持っているものがガソリンであり、電気や栄養といったイメージであろう。先生の話では児童が「朝ご飯を食べてこなかったので、エネルギーが出ない！」といった発言や

「エネルギー注入！」といった発言に象徴されているとのことであった。このイメージは実はそのまま大学生への質問でも、残念ながらさほど変わることはない。

社会的にはよく使われる「電気エネルギー」など、「～エネルギー」といった言葉が出てこなかったので、熱や光とエネルギーはまだつながっていないようであった。

中学生を対象とした試案であるが、「エネルギー」に対する認識は、はじめはこの小学生のイメージを前提とした。

(質問1)

私たちの身のまわりにはいろいろな「エネルギー」があります。エネルギーとはどんなイメージですか？

予想回答： 力 強さなど

(質問2)

どんな「～エネルギー」を知っていますか？

予想回答：

電気 (エネルギー)・火力 (エネルギー)  
風力 (エネルギー) など

(質問3)

前問の答え以外に、どんなものがエネルギーを持っていると思いますか？

予想回答：

ガソリン・石炭・灯油・燃料・炭・栄養など

(質問4)

では一体エネルギーって、何だろう？

予想回答：力 何かができる力 など

この質問4には高校生、大学生でも、多くが答えられない。よく出てくるのが前述した小学生の答え「力」である。しかし、これだけでは「光」や「熱」が「力」を持っているようには

思えないことを指摘する。そこでよく使われる「エネルギー」や「エネルギーを持っているもの」が一体何をしているのかを、生活の中から答えを探させる。

(質問5)

「力」ではないとしたら、エネルギーって一体何をしているものですか？

私たちがよく使う電気エネルギーがなくなったら、何ができなくなるかで考えてください。

予想回答：

光らない、温まらない、動かない、携帯が使えない、飛べない、力が出せない

これら全体をまとめて「エネルギー」とはどのようなものかを考え、その定義として以下のようにもいえるだろう。

結局、エネルギーとはいろいろなことができる能力だ！

これでは漠然とはしているが、小学生から中学生で、まだ物理分野での定義を学ぶ前だとしたら、これでも良いのではないだろうか。中学の物理分野ではじめて「仕事のできる能力」と定義されているが、このときには「仕事」の定義もなされ「力を加え、物体を動かす能力」とされる。

次にエネルギーの変化が重要なので、それも生活範囲の経験から引き出させたい。

(質問6)

電池にある電気エネルギーは、どんなエネルギーに変わることができますか？

予想回答：

光エネルギー 熱エネルギー モーターを動かすエネルギー

エネルギーは電気エネルギーから光エネルギーになったり、熱エネルギーになったり、また物を動かすエネルギーにもなる。いろいろなエネルギーは、違うエネルギーに変わることができる。

これらは電池、電気からむ懐中電灯や電熱器、またソーラーパネルなど生活の中にあり、おおむね受け入れやすく理解されるのではないだろうか。

次にこのエネルギーの変化に伴って重要なのが、エネルギーが「いろいろな物質の中に入ったり、出たりする」という認識である。

太陽の光エネルギーはソーラーパネルに入り、電気エネルギーに変わった。その電気エネルギーは蓄電池の中に入れてためることができる。そして、その電気エネルギーが懐中電灯の電球の中を通ると、今度はまた光エネルギーとして出てくる。エネルギーはいろいろなものの中に入ったり、出たりする。

こういった流れで「エネルギー」の性質を学ぶと、生活上のさまざまなものにつながった理解が進むだろう。エネルギーを持っているものとしての石炭や石油から、火力発電を通じて電気エネルギーが作られることにも理解が進んでいく。そして木からつくる薪や炭に想像が向かえば、いよいよ小学校での学習「葉に光が当たってできたデンプンはタネが成長するエネルギーになる」ということは、光エネルギーがデンプンの中に入ったということにもつながってくるだろう。

二酸化炭素と水という材料を使い、光エネルギーを取り込んで、デンプンを作る。これが光合成である。そして光合成はデンプンだけでなく、植物の体自体も作っている。だから木を燃やすとエネルギーが出てくる。そして木を燃やしてエネルギーを取り出すことが、私たちの身体の細胞で、食べた栄養を息して取り込んだ酸素で燃やすことによって、生きるためのエネ

ギーにしていることにもつながる。物理、化学、生物の様々な場面で、つながる話しをもっと積極的に行うことによって、相互で本質的理解が深まるのではないだろうか。

## 6. 終わりに

生物の特徴である「食べる」と「呼吸する」ことが、つながって理解されず、誤解、曲解さえされている状況を指摘し、その原因と思われる教科書の扱いについて論述してきた。ここには細分化されてしまった個々の学習と、それをつなぐべき学習の不完全さなどの問題が露呈されているともいえる。教科書の内容にちょっとした工夫をするだけでも大きく違うと思うが、教科書作成の現場はなかなか大変なものと思う。しかし、小学校、中学校の教科書も少しずつ変化がみられる。教科書のいくつかの部分を少し変えるだけでも、この「呼吸」にまつわる学習の理解は格段に良くなると思える。これから改訂される高校の教科書の充実と、現場での個々の先生方の新たな取り組みを大いに期待したいものである。

## 謝辞

このレポートの執筆にあたり、本学の日野晶也教授、そして理科教育法をとっていた学生たちからもさまざまな示唆を頂きました。

「試案」の作成には、学生たちからの指摘と意見が反映されています。

また、伊勢原の小学校の先生方にはお忙しい時間を割いていただき、小学生児童の貴重な回答をいただきました。

この場をかりて、深く感謝申し上げます。

〔資料〕中学校理科分野別「呼吸」に関する項目一覧（東京書籍「新しい科学」平成30年版）

	(生物分野)	(化学分野)	(物理分野)
中学1年	<p>単元1 植物の世界</p> <p>第2章 葉・茎・根のつくりとはたらき</p> <p>2 葉と光合成 (植物は光のエネルギーを使い、二酸化炭素と水を材料にしてでんぷんなどの養分をつくる)</p> <p>3 植物と呼吸 (植物は光合成とともに呼吸もおこなっている)</p>		
中学2年		<p>単元1 化学変化と原子・分子</p> <p>第1章 物質の成り立ち</p> <p>2 水に電流を流したときの変化</p> <p>第2章 物質どうしの化学変化</p> <p>1 異なる物質の結びつき (炭が燃えて二酸化炭素になる)</p> <p>第3章 酸素がかかわる化学変化</p> <p>1 物が燃える変化 (有機物+酸素→二酸化炭素+水+光・熱)</p> <p>第5章 化学変化とその利用</p> <p>1 化学変化と熱 (炭素化合物が燃えて熱・光をだす) (化学変化と化学エネルギー)</p>	

<p>単元2 動物の生活と生物の変遷 第1章 生物と細胞 1 細胞のつくり (発展:ミトコンドリア:酸素を使って, 養分からエネルギーを取りだす) 第2章 動物のからだのつくりとはたらき 2 呼吸のはたらき (細胞の呼吸:養分からエネルギーをとりだすとき酸素が重要なはたらきをする)</p>		
<p>中学3年</p>	<p>単元5 地球と私たちの未来のために 第1章 自然のなかの生物 1 生態系 3 炭素の循環 (エネルギーの移動) 光合成で取り入れられた光エネルギーは有機物の化学エネルギーになって、呼吸によって生きるためのエネルギーとして利用されている)</p>	<p>単元3 運動とエネルギー 第3章 エネルギーと仕事 6 エネルギーの保存 (発電所では石油などのもつ化学エネルギーを電気エネルギーに変換している)</p>

---

**【引用・参考文献】**

- (1) 「わくわく理科4～6」 啓林館 平成30年度版
- (2) 「新編 新しい理科4～6」 東京書籍 平成30年度版
- (3) 「自然の探求 中学校理科1～3」 教育出版 平成30年度版
- (4) 「未来へひろがる サイエンス1～3」 啓林館 平成30年度版
- (5) 「新編 新しい科学1～3」 東京書籍 平成30年度版
- (6) 「新版 理科の世界1～3」 大日本図書 平成30年度版
- (7) 「改訂 生物基礎」 東京書籍 平成30年度版
- (8) 「高等学校学習指導要領の改訂のポイント」 文部科学省
- (9) 神奈川大学心理・教育研究論集第42号 「社会につながる深い学び」
- (10) 「わたしたちの家庭科5 6」 開隆堂 平成30年版