

中学校・高等学校における
エネルギー教育の現状と問題点・留意点

重松樫三，巻島三郎，牛田英一，岡村 彰
福岡久雄，貝沼喜兵，大道 明，大谷悦久

ふたばの対学審判・対学中

点意解・点懸問と対題の青雉一年本エ

目 次

	頁
中 学 校 理 科	1
エネルギー概念認識の現状 (高一)	4
高 等 学 校 地 学	6
生 物	8
化 学	9
物 理	11
ま と め	15

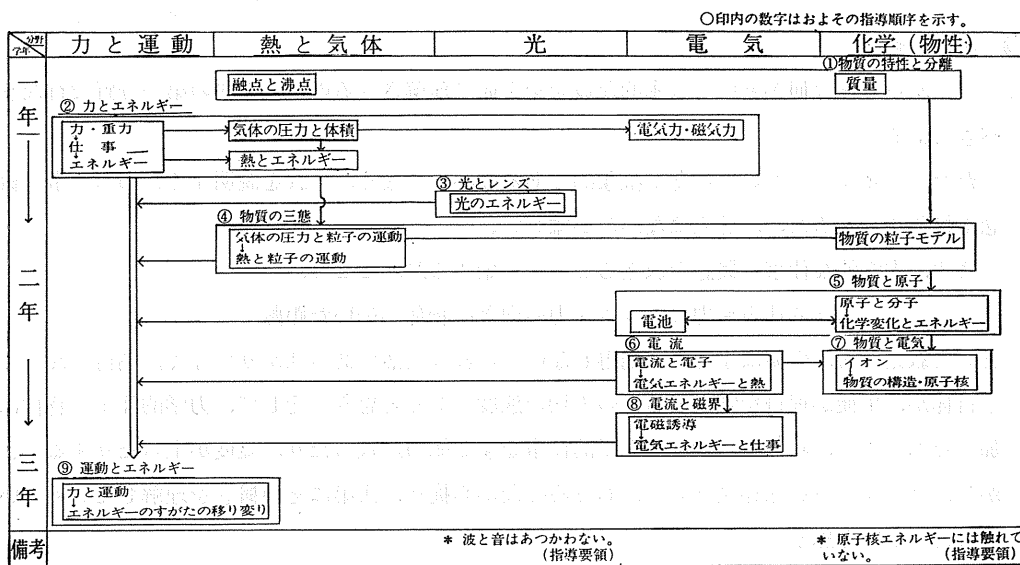
中学校・高等学校における エネルギー教育の現状と問題点・留意点

重松樫三, 巻島三郎, 牛田英一, 岡村 彰
福岡久雄, 貝沼喜兵, 大道 明, 大谷悦久

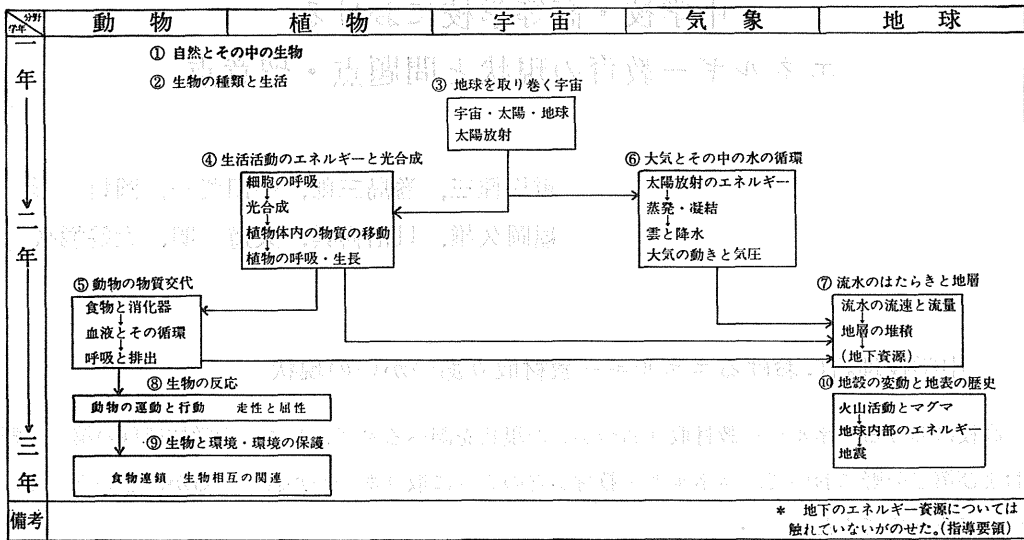
中学校理科におけるエネルギー教材取りあつかいの現状

高校におけるエネルギー教材取りあつかいの現状を調べる参考として, 中学校理科の第一分野および第二分野において, エネルギー教材がどのように取りあつかわれているか, ということについてまとめてみた。

◎ 中学校理科第一分野



○印内の数字はおよその指導順序を示す。



中学校理科におけるエネルギー教材取りあつかい上の留意点（問題点）

◎ 第一分野

1. エネルギーとは何かという基本的な概念を生徒に理解させるのは、理科の第一分野で行なうべきである。

ただ、エネルギーという概念が抽象的であるばかりでなく、これを説明するための仕事の概念も抽象的であるため、導入はなかなか難しい。

まず、力学的な仕事の概念を教えることから始めるが、ここで、

力学的仕事 = 力の大きさ × 力の向きに物体が動いた距離

として教えても、生徒はすぐには納得しない。これは当然であるばかりでなく、納得しないこと自体が、生徒が理科を学習する上の大切な態度であると思う。そして、力学的仕事を物体に加えたあとでは、物体に、新に、力学的仕事をする能力が残ったり、温度が上がったりすることから、エネルギーを保存量として、おぼろげながら捉え、次第にその概念を理解していくというのでよいと思う。

2. 次に熱の概念であるが、これは仕事の概念よりももっと抽象的であるため、生徒には理解し難い。

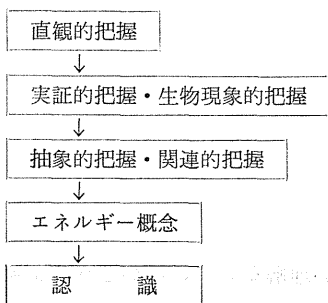
特に、温度の概念と混同し易く、日常生活においても、風邪を引いて、熱が高いなどと言われることになる。熱と温度は、それらの間の量的な関係を知ることによって概念の区別がはっきりしてくるようである。

3. 熱量とエネルギーの理解はさらに難しい。

厳密に言えば、熱量は、仕事と同じように、物体と他の物体との間でやりとぎする量であって、物体自体の持っている量ではないから、エネルギーではない。したがって、熱エネルギーという用語は適当ではない。しかし、この用語は、熱素説の考え方の遺物としていまも残存している。教材書でも、この用語をはっきりと間違いであるといっているものと、気にしないで使っているものがある。深入りしたくないが問題点の一つである。

◎ 第二分野

1. 生物の生活現象を、生徒がエネルギー概念をもとにして理解するとき、生徒は、次のような過程をとる。



「物質とエネルギー」については、小学校5年生の教材「呼吸」での取りあつかいを出発点として、「運動（活動）のためには熱が必要である。」それをどのように発生させているかというような、

- a. 直接感覚的な把握から始まって、
- b. 生物現象的把握（観察）
- c. 実証的把握

という順序で、物理的に正確なエネルギー概念としてではなく、何等かの形で、経験的に認識されることになっており、ここに、エネルギー概念の認識について混乱を来す一つの原因がある。

2. 太陽放射のエネルギーについては、中学校理科の第二分野で測定が行われることになっており、太陽温水器の原理から、生徒に、簡単な放射温度計を考案させることが望ましいとされている。

したがって、太陽放射のエネルギーについては、中学校の段階で、理解が相当深まっているはずであるから、高校で地学を教えるときはこの基礎知識があるものとして指導案を作る必要があると思う。

高一生徒に対するエネルギーについての理解度の調査

この調査の目的は、本校生徒が中学校に於いて、エネルギーに関してどの程度の理解を深めたかを調べることです。特に、熱については別の項目を設けて調査しました。

調査方法は、白紙に回答を羅列させたものですので、やや客観性に欠けています。次の機会には、もっと内容を細分化し、具体的な調査項目を示して客観性のあるデータを得たいと思います。

調査対象 高校1年 2学級 75名

(附属中学校出身者55名、他の中学校出身者20名)

(注) この学年は附属中時代に理科第一分野を物理担当者が指導しエネルギーについてはかなり徹底した指導を行った。そこで、高校より入学した生徒(他の中学校出身者)と附属中出身者との比較も行った。

質問Ⅰ 中学校の理科の学習で、エネルギーに関してどんな学習をしたかを具体的に述べなさい。

回答の内容によって、次の3つに分けた。

- A おおむね理解している
- B 少し理解している
- C ほとんど理解していない

A, B, C の判定には、次の項目について、正しい理解をしているかどうかを調べた。そしてこれらの項目にふれている数も調べた。

- a. エネルギーとは何か
- b. エネルギーの保存則
- c. エネルギーの種類
- d. エネルギーの変換
- e. エネルギーの単位
- f. 生物体とエネルギー

質問Ⅱ 熱とエネルギーとの関連について述べなさい。

回答の内容によって、次の3つに分けた。

- A おおむね正しく理解している。
- B 一部正しいが、かなり誤った考えをもっている。
- C 誤った考えをもっている。また、回答できない。

回答の中から誤った記述の一部を抜きがきした。

質問Ⅰ

	附属中出身者		附属中以外の出身者		全 体	
	人	%	人	%	人	%
A おおむね理解している	19	34	5	25	24	32
B 少し理解している	28	51	10	50	38	51
C ほとんど理解していない	8	15	5	25	13	17

a	エネルギーとは何か	22	10	3	15	25	33
b	エネルギーの保存則	26	47	8	40	34	45
c	エネルギーの種類	28	51	6	45	29	39
d	エネルギーの変換	20	36	9	45	29	39
e	エネルギーの単位	1	2	1	5	2	3
f	生物とエネルギー	6	11	2	10	8	11

質問Ⅱ

	附属中出身者		附属中以外の出身者		全 体 で		
	人	%	人	%	人	%	
A	おおむね正しく理解している	22	40	1	5	23	31
B	一部正しいが誤った考えをもっている	29	53	16	80	45	60
C	誤った考えをもっている	4	7	3	15	7	9

質問Ⅱの回答中の誤った記述

- (1) 熱がなければエネルギーが生じない。
- (2) 物体のもっている熱エネルギーを放出すると、物体の温度は下がる。
- (3) 熱はエネルギーをもっている。
- (4) 熱とは物質を構成している原子および分子の運動のはげしさの度合いである。
- (5) 熱とはエネルギーの一種であり、「仕事」をする上での源である。
- (6) 物質の粒子は熱からエネルギーをうけとり、それが全体として仕事をしている。
- (7) 熱はエネルギーの結果として、物質に変化をおよぼす。
- (8) 物質のもつ熱から、その物質のもつエネルギーが推測できる。
- (9) 熱をもつということは、エネルギーをもつことである。
- (10) 熱はエネルギーそのものではなく、ある物質がエネルギーをもっていること、によっておこる状態である。
- (11) 熱エネルギーは直接仕事をしないで、他のエネルギーに変化をして仕事をする。
- (12) 人間が食物をとらないと、体の中で熱を保てない。

あ と が き

質問Ⅰ、Ⅱとも判定がやや厳しかったようです。まえがきに述べたように判定にはかなり主観が入りこみそうで苦労しました。調査結果から、附属中出身者がよりよく理解しているようです。そして、その内容が、エネルギーとは何かという本質的な面に対する理解が深められています。他の中学校出身者は保存則、種類、変換についてよく理解しているのは、中学校の教科書の内容からもうなづける結果です。そして、熱に関する理解度は予想どおりといえましょう。

Ⅲ 物質交代とエネルギー交代についてのべなさい。

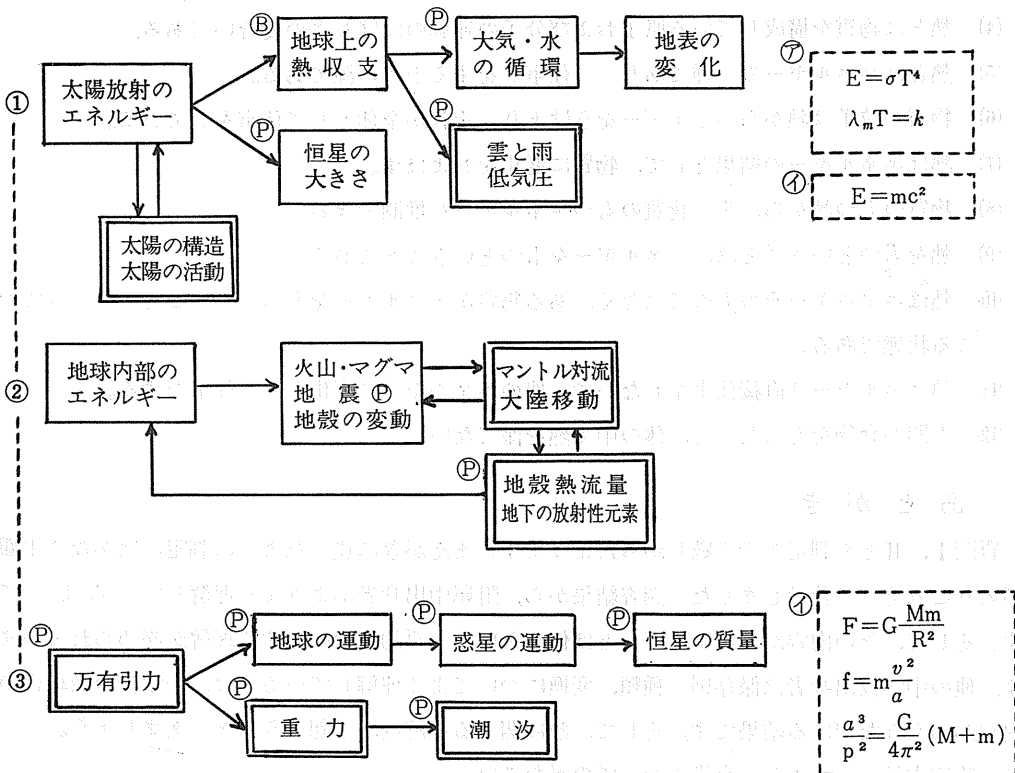
高一の生徒は、細胞における呼吸という項目でミトコンドリアを中心に学習をし、その後、光合成の学習を終了している。このような段階での解答は、すべての生徒が次のような説明をしている。

- 物質交代とエネルギー交代とは、必ずともなっておこなわれる。すなわち、1つの生物現象を物質の立場からみたときには、物質交代となり、エネルギーの立場からみたときには、エネルギー交代となる。
- 生体内の物質交代を物質だけに目をつけて見れば、物質交代であり、それにもなると必要となったり、発生したりするエネルギーに目をつけて見ればエネルギー交代となる。(熱の出入りのことを説明していると思う)

熱とエネルギーを同一視して説明している生徒はいるが、総合的な概念としての理解はなされているようである。

IIの質問に対する回答と同じような傾向で熱とエネルギーの関連を理解しており、特に、中学校以来、同化では、熱のとり入れ、異化(呼吸)では熱の放出がなされるという形で、学習されているのが一般的である。そしてその場合の熱をそのままエネルギーとおきかえて把握しているようである。

地学におけるエネルギーの流れとその取り扱いについての留意点



(註)

1. は指導要領に示された地学Ⅰの領域を は地学Ⅱの領域を示している。
2. ㊦は物理との関連領域 ㊧は生物との関連領域を示す。
3. 万有引力はポテンシャルエネルギーと考えるが実際の扱いは運動の状態を変える力としての性格が強い。
4. 中の式は6社の地学Ⅰの教科書中で、2社以上に見られたものを、表現のちがいはそれをまとめて示したものである。

留意点

1. 地球は、エネルギーの流れからみた場合は開かれた系である。
 2. 地球やそれをとりまく環境にみられる現象をエネルギーの流れの中にとらえるためには、3つの柱、つまり、太陽放射のエネルギー、地球内部のエネルギー、万有引力を立てている。
 3. 指導要領ではⅠ、Ⅱの領域を定めて、太陽放射のエネルギーの原因になっている太陽の活動や、地球内部のエネルギーを知る手段になっているマントル対流、地殻熱流量、あるいは天体の運動、性質を考えるのに必要な万有引力をⅡで学習することにしてある。しかし、エネルギーの流れの中で現象をとらえていく必要から考えると、これらのⅡでの学習を先ず始めに行いたい。
 4. 上の3の必要を教科書の著者も認めているが、太陽の放射エネルギーに関係ある $E = \sigma T^4$ は6社が、また万有引力は同じ5社、マントル対流については6社がこれを扱っている。
 5. に示した式、法則について㊦は高校物理では取り扱わず、㊧については物理Ⅱで扱っている。したがって高1で地学Ⅰを指導する場合は生徒の理解度を考慮する必要がある。
 6. 地球内部のエネルギーについては不明の点も多いので、生徒にもその現状をつかませることが必要である。
 7. 教科書の順序にこだわらず、エネルギーの流れに沿って指導計画を立てたい。
 8. 6社の教科書に現れた用語は次の通り。(1社で二通りの使い方もある)
- | | |
|-------------------|----------------------|
| 太陽エネルギー…………… 4 | 太陽放射のエネルギー…………… 1 |
| 太陽からのエネルギー…………… 1 | 地球内部のエネルギー…………… 3 |
| 太陽放射エネルギー…………… 1 | 地球の内部エネルギー…………… 1 |
| 太陽の放射エネルギー…………… 1 | (この種の用語のないもの…………… 2) |

地学Ⅰ 教科書にあるエネルギー関係の式

事項 教科書	万有引力	遠心力	ステファン・ ボルツマンの 法則	ウィーンの 法則	ケプラーの第3法則
啓林	$f = G \times \frac{mM}{R^2}$		$L = kR^2 T^4$		
実教	$F = G \frac{mm'}{r^2}$		$0.0000567 \times T^4$ (エルグ/cm ² ・s)		$\frac{a^3}{P^2} = \frac{G}{4\pi^2} (W_1 + W_2)$
大日本	$G \frac{mm'}{a^2}$	$\frac{mv^2}{a}$	$0.0000567 \times T^4$ (エルグ/cm ² ・s)	$\lambda_0 T = 0.290$	$\frac{a^3}{T^2} = \frac{G}{4\pi^2} (M+m)$
東書			$E = 0.0000567$ $\times T_e^4$	$\lambda_m T = 0.289$	
教出	言葉		$\frac{L}{4\pi R^2} = \sigma T^4$	$l_m = \frac{k}{T}$	
清水	$G \cdot \frac{M \cdot m}{R^2}$	$m \frac{v^2}{r}$	$5.75 \times 10^{-12} \times T^4$	$\lambda_0 T = 2897$	$\frac{a^3}{T^2} = \frac{G}{4\pi^2} (M+m)$

上に示したもののほか、次のものがある。

大日本 $g = G \frac{M}{R^2}$ (cm/s²)

東書 $E = mc^2$

清水 $g = G \cdot \frac{M}{R^2}$, $E = mc^2$

地学Ⅱ 教科書にみられる地学Ⅱの領域

教科書	啓林	実教	大日本	東書	教出	清水
事項						
重力	○		○	○		○
重力異常				○		○
地磁気			○			
雨と雲		○		○	○	
低気圧		○		○		○
地殻熱流量	○		○		○	
マントル対流	○	○	○	○	○	○
大陸移動	○	○	○	○		○

生物におけるエネルギー概念形成の現状と問題点

◎エネルギー関連単元

I 生命活動の基礎	II 恒常性の維持	III 生命の連続性
1. 物質交代とエネルギー交代 ○エネルギー交代とATP ○酵素のはたらき(活性化エネルギー) 2. 同化(光合成) 3. 異化(呼吸) ○生命と物質交代(生物II) (カルビン回路・TCA回路) ○生態系(生物II) 生態系における物質循環とエネルギーの流れ、植物の物質生産など	1. 神経系の構造と機能 (受容器) → (中枢) → (効果器) 神経系 ○ニューロンの静止電位と活動電位維持のためのナトリウムポンプ ○脊椎動物の神経系 {中枢…脳・脊髄など {末梢…体性神経・自律神経 ○ホルモン分泌(物質の合成) 2. 効果器(筋収縮・発電・発光) {動物の行動 {動物の集団(生物II)	1. 生体高分子の合成 ○タンパク質合成 ○核酸(DNA・RNA合成) ○生命現象と分子(生物II)

◎問題点

1. 「……」エネルギーが多い。

教科書にでてくるエネルギー	生物学的仕事	備考
機械的エネルギー 熱エネルギー 光エネルギー 電気エネルギー 化学エネルギー 活性化エネルギー 反応エネルギー	運動(筋収縮) 体温の保持 (光合成 動植物の発光 ニューロンの刺激伝導 発電魚などの発電 (生体高分子の合成 能動輸送	運動エネルギー 熱 太陽輻射(光量子 $h\nu$) 電気エネルギー 化学エネルギー (イオンの吸収・排出を含めて) 熱 化学エネルギー

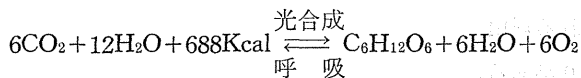
2. 系の設定があいまいである。

光合成、呼吸、神経系の活動など生物現象を問題にする場合、教科書では、その現象が、個体、器官、細胞のいずれでおこるのかの系を明示していないのが一般である。したがって、これらの現象にともなうエネルギー転換の際の熱力学第一法則(保存則)的押えが不十分の場合が多い。

3. エネルギー転換の説明は定性的である。

光合成、呼吸、ナトリウムポンプなど、もろもろの生物現象のエネルギー転換現象では、そのしくみの説明が中心であって、保存則的な観点が欠落している場合が多い。

4. 光合成と呼吸



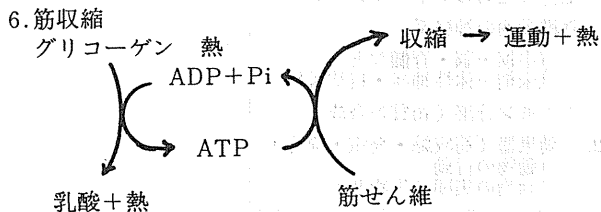
(1) 光合成では輻射エネルギー(光量子)を,呼吸では発生する熱量のいずれの場合も 688Kcalの根拠を明示していない。

(2) 上記の反応式の生起する系が明示されていない(反応を単にモルの整数で表示しているにすぎない)。

5. 体温の保持(恒常性維持の例として)

恒温動物が,寒冷刺激や運動による体温上昇などの変化に対応して体温を一定に保つための物理的,化学的調節のしくみに中心を置いて保存則的観点が欠落している。

6. 筋収縮



収縮の分子レベルでのしくみの説明と保存則の定性的説明をしている教科書もある。

7. ナトリウムポンプ

ニューロンの刺激伝導や発電魚の発電には,ナトリウムポンプと呼ばれる能動輸送が前提になる。ところで教科書では,ポンプで水をくみ上げることを例にATP利用の必要性を指摘するだけで系の設定,熱力学的説明,しくみの分子的な説明はされていない。

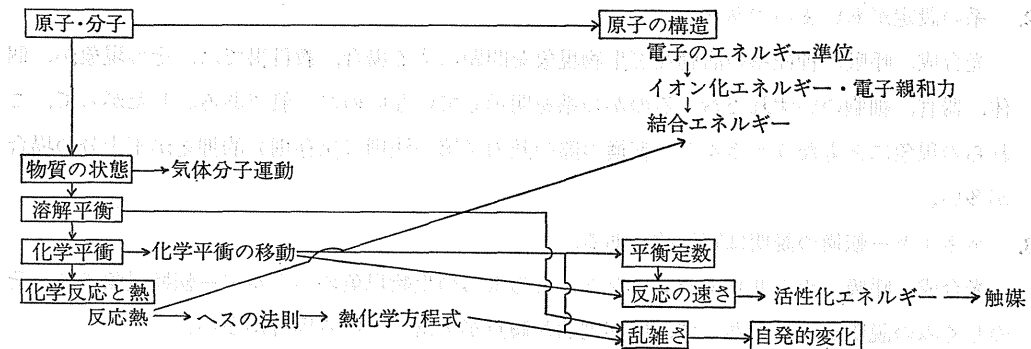
8. 生態系におけるエネルギーの流れ。

学問的にもこの分野はまだ十分解明されていない。したがって現在は定量的な説明は不十分である。

1. エネルギー学習から見た化学の学習の流れ

主として化学Iで扱われるもの

主として化学IIで扱われるもの



2. 化学でエネルギーが取り上げられる理由

2-a 化学変化の前後で熱の出入りがある。

cf. 指導要領「……特に物質の構成，化学反応とエネルギーなどの基本的な事項を理解させるようにする。」

2-b 熱や電流により化学変化を起こさせることができる。

2-c 化学変化における原子どうしの結合する力は，物理的な力ではなくエネルギーである，例えばH-Hの結合エネルギーは，



に際して吸収される熱量（この場合は，104.2 Kcal/mol）である。

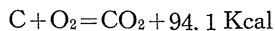
2-d 元素（原子）の化学的性質を理解するには，原子の構造（特に核外電子の配置）を知らなければならない。

3. 指導上の留意点・問題点

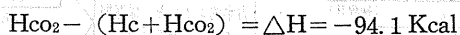
3-a 2-c に関して粒子モデルからいけば，H-Hの結合は力で表わしてもよさそうなのに，それがエネルギーになってしまうという点は，生徒には理解しにくいようである。またH-Hが一定の核間距離で“エネルギー極小となる，安定になる”ということもわかりにくいようである。

3-b 高校化学でのエネルギーの扱いは，熱力学での扱いよりは，ラフで漠然としている。例えば，熱とエネルギー，内部エネルギーとエンタルピーの区別も明確でない。また系という概念もあいまいなようである。

次の熱化学方程式を参考に考えてみる。



ここで左辺と右辺のエネルギーが等しいと考える。しかし，系のエネルギー（普通はエンタルピー）の変化と考えるなら



となる。（Hco₂，Hc，Hco₂はそれぞれ1モルのエンタルピー）これは高校では発熱反応（感覚的にはわかりやすい）と表わしているのに，熱力学では-となる混乱も生じさせる。

3-c 反応熱の扱いが位置エネルギー的になっているため，化学Iの範囲では吸熱反応がなぜ自然に進行するのかが説明しにくい。乱雑さを定性的部分的に導入する方が，巾広い理解に役立つように思える。

3-d 乱雑さが化学Iで学習されれば自発的变化の方法も同時に充分理解可能であろう。ただあまり厳密で定量的な扱いは無理であろう。

3-e 3-c，3-d をふまえれば，反応の方向を決める一要素として反応熱を位置づけて学習できる。これは中学の時学んだエネルギー保存則からさらに一歩進める。反応熱を熱化学方程式の計算への導入のようにしてしまうと，エネルギー保存則の計算又は教値化の意味しかなくなってしまう危険がある。

3-f 活性化エネルギーと触媒については恐らく生物でも学習する。化学でこれらを学習した上で，生物で酵素の働きのしくみとの関連で扱うとよいのではないか。またせっかく化学II

で取り上げるなら、反応速度との関係をもう少し厳密に取上げて、場合によってはアレニウスの式、ボルツマン分布の導入も考えられる。

4. 他の分野との関連

4-a 物理との関連

気体分子運動……分子運動論

ヘスの法則……エネルギー保存則

乱雑さ、自発的变化……熱力学第2法則

電子のエネルギー準位……エネルギー量子、位置エネルギー的考え方

イオン化エネルギー

結合エネルギー

反応熱

……エネルギー保存則、位置エネルギー的考え方

4-b 生物との関連

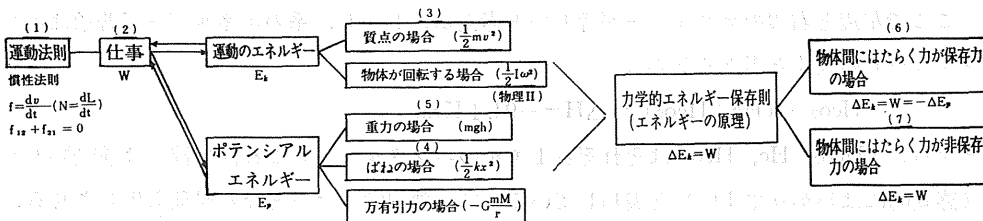
活性化エネルギー、触媒……酵素のはたらき

自発的变化……生体内における化学変化

反応熱……ATPの働き、生体内の反応

物理におけるエネルギー教材取り扱いの現状と問題点、留意点

I 仕事と力学的エネルギー

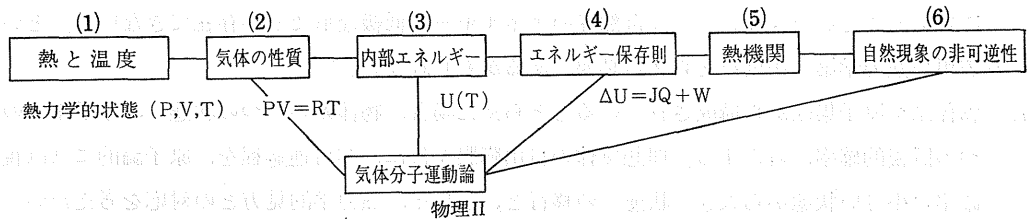


留意点

1. 保存則を考える際には、力が相互作用としてはたらくことを重視して、注目する物体系を明確にしなければならない。この観点から、仕事量を扱う際には、何が何にした仕事かを明確にし、例えば、重力場の中で物体を持ち上げる場合の物体に加えられた正味の仕事量と、物体にはたらく個々の力のする仕事量との区別をはっきりさせたい。
2. エネルギーは状態量である。従って、物体(系)の力学的な状態はどのような量によって、特徴づけられるかを明確にする必要がある。力学的な状態の変化に伴って、エネルギーの出入り

- があるのだから、力学的に安定な状態（物体に作用が加わらなければ、時間的に変わらない状態）は、慣性の法則により、物体の位置座標と速度によって指定できることに気付かせたい。
- 系という考え方を重視する場合、エネルギー保存則は $E_K + E_P = \text{一定}$ という形でなく、エネルギーの原理の形 $\Delta E_K = W$ で表現する方がよいと考える。物体（系）のエネルギーの変換が仕事を通じてなされることがはっきりするし、系に対する仕事の有無を通じて、どんな系でエネルギーが保存されるかが明確になるからである。また、熱分野を含むエネルギー保存則への拡張が容易でもある。
 - 重力のポテンシャルエネルギー mgh を、地面からの高さにある質量 m の物体がもつエネルギーという言い方には問題がある。物体—地球系がもつエネルギー、あるいは、重力場にたくわえられるエネルギーとして理解させたい。また、物体—地球系でのエネルギー保存則を考える場合、地球の運動エネルギーを考えなくてよい理由を、運動量保存則と関連させて教えたい。
 - 物体に加えられる仕事为非保存力による場合は、仕事の効果が力学的な状態の変化としてあらわれず、物体の温度変化としてあらわれることに注目させたい。

II 熱, 仕事, 内部エネルギー



留意点

- 物体は熱をもち、それは温度によって計量されるという認識を糺す必要がある。そのために熱は物体が「もつ」量ではなく、物体間を「移る」量であることを、熱素説の否定を通して明確にしたい。そして、摩擦力に逆って仕事をする場合、熱が発生し、そのことにより、物体の温度があがったのではなく、物体の温度をあげるに関して、熱と仕事は同じ役割を果たしているのであるというように捉えさせたい。
- 内部エネルギーは状態量であり、理想気体の場合には、温度だけで決ってしまう。しかし、気体分子運動論を物理IIで取り扱うことによって、このことが非常にわかりにくくなっている。物理Iに取り込むような工夫が必要であると思う。
- エネルギー保存則を熱過程に具体的に適用することにより熱、仕事、内部エネルギーの関係が明瞭になる。その意味で、もっと熱過程を重視すべきである。

例 理想気体の場合

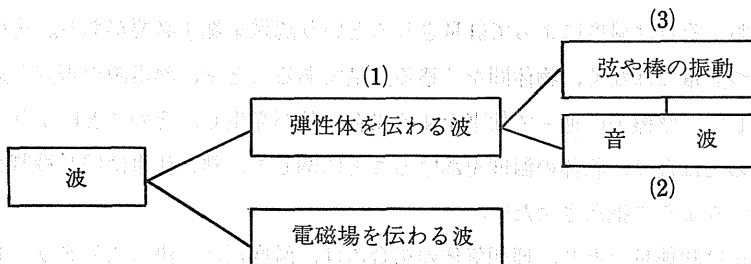
- 等温変化 $Q \rightleftharpoons W (\Delta U = 0)$
- 等積変化 $Q \rightleftharpoons \Delta U (W = 0)$
- 等圧変化 $Q \rightleftharpoons \Delta U + W$
- 断熱変化 $\Delta U \rightleftharpoons W (Q = 0)$
- 自由膨脹 $\Delta U = W = Q = 0$

これらの過程を組み合わせて、ある状態から他の状態に状態を変える場合、どんな過程を選んでも $W + JQ$ が一定になることを示したい。

その際、熱力学的系を明確にし、変化のプロセスが準静的であることを、おさえる必要がある。

4. 熱としてとりだされたエネルギーは 100% 仕事に変えることができない。熱機関でこのことが明らかになるまでには、仕事を連続的に取り出す意味、可逆的なサイクルの設定、温度差のある 2 つの熱源間での可逆サイクルの設定などの意味をはっきりさせるプロセスが必要である。
5. 熱は自然には、高温から低温に移る。これが熱力学で定義された熱の特質である、伝導の形で伝わるのが熱であるといいかえてもよい。その意味で、輻射や対流による温度変化は熱の移動に帰着できないことを明らかにしたい。
6. 他分野との関連で言えば、エネルギーを高級なものから低級なものへ
 1. 機械的エネルギー、電氣的エネルギー
 2. 化学的エネルギー
 3. 熱の形でとりだされたエネルギー
 のようにランクづけし、「外から作用を加えることなく、低級なエネルギーを高級なエネルギーに変えることができない。」「自然界のエネルギーは低級な形でしか存在できない。」という表現で熱力学第二法則をとらえる必要があるかもしれない。
7. 物体系が原子集団から構成されているととらえた場合、物体系の一つの状態は、原子集団の一つの巨視的確率に対応する。理想気体の自由膨脹を例に、非可逆過程を、原子論的には巨視的確率の小さい状態から大きい状態への移行と、とらえ、熱力学的見方との対応を考えたい。

III 波はエネルギーを運ぶ



物理 II

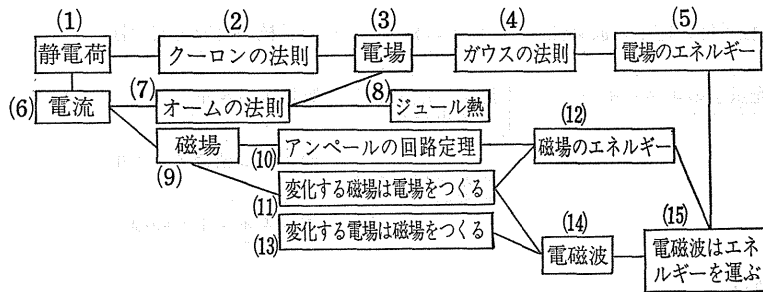
問題点と留意点

1. 物質の移動がなくてエネルギーの流れがあることを示す典型教材が波である。また、作用が媒達的に伝わることを最もよく示すことができるのも波である。現行の波教材の取り扱いは、

どちらかと言えば、波動一般の波動性を示すことや、音波の波源としての発音体の特徴を示すことにおかれ、波が媒達的に空間を伝わるメカニズムを明らかにしたり、分散のある波を扱うことにより、波のエネルギーの運ばれ方の特徴を浮き彫りにすることに重点がおかれていない。

2. 波をおこすにはエネルギーが必要であり、そのエネルギーは波によって、運ばれ、他の物体との作用により仕事としてとりだせること、すなわち、波がエネルギーをもつことは、連成振りの共振で視覚的に示せる。
3. 波が伝わる式は、時間座標と空間座標を同時に含む2変数関数である。エネルギーの流れを示す式も同様である。波のエネルギーを定量的に扱う難しさはこの点にある。波の変形(位置)エネルギーと運動エネルギーは、領域を定めるといつでも等しいことや、単振動と同じ形でエネルギー保存則を考える場合には、1波長にわたる積分(平均)をとらなければ意味をなさないことなどは、変位、速度、歪、エネルギーの相互の関連を正しく理解していなければ明らかにすることができない。
4. 騒音の大きさをホーンで表わしたり、ステレオスピーカーの出力音圧レベルをデシベルで表わすことは、常識的に知られていることである。音波のエネルギーに関する事柄として取り扱ってはどうかであろう。

IV 電磁場のエネルギー



問題点と留意点

1. 電位のわかっている点に電荷をもちこんだ時のもちこんだ電荷のポテンシャルエネルギーを求めることや、いくつかの電荷からなる系のある点の電位を求めたりする事は取り扱われるが、系そのもののエネルギーに注目することは少ない。帯電導体のエネルギーなどはコンデンサーなどで扱われるのだから、この観点はもっと重視されてよい。
2. 電磁気で取り扱われるエネルギーは、基本的には荷電粒子の運動エネルギー(マクロな取り扱いの場合、定常電流でジュール熱としてあらわれる)と電磁場のエネルギーである。電磁波とそれが運ぶエネルギーまで行かないと、電磁場の実在性とそのエネルギーはわからないが、普通、コンデンサーで電場のエネルギーを扱い、コイルで磁場のエネルギーを扱っている。コ

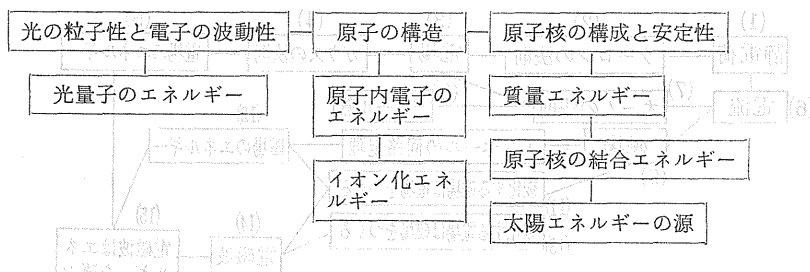
コンデンサー、コイルをそれぞれ一様な電場、一様な磁場をつくるものとして扱い、コンデンサーのエネルギー、コイルのエネルギーではなく、電場のエネルギー、磁場のエネルギーとしておさえ、 $1/2 CV^2$ 、 $1/2 LI^2$ でなく、単位体積あたり、それぞれ、 $1/2 \epsilon_0 E^2$ 、 $1/2 \mu_0 H^2$ ($1/2 B^2/\mu_0$) と弾性体の場合と対応させて考えて見たらどうであろう。

3. エネルギーに関連する物理量に起電力と電位差（電圧）がある。この相異は生徒にとらてわかりにくい。回路の起電力を含む一部分について、起電力があればかならず電位差があるという誤解が多い。誘導起電力を含む回路での誤解である。

静電場でしか電位は決らないから、誘導電場を含む部分では電位は決らないという言い方は正しい。しかし、抽象的でわかりにくい。起電力をエネルギー供給者側の問題として捉え、電位差をエネルギー消費者側の問題として捉えて、供給者が供給するエネルギーを全部供給者と同一人である消費者が使ってしまった場合を、起電力部分を含むが電位差ゼロの例として取りあげてみたらどうであろう。このようなエネルギー的な見方から起電力と電位差の相異を明らかにしたい。

4. 電磁波のエネルギーを定量的に扱うのは難しいが、物体に作用して、物体の状態を変えることを、具体例を通して定性的にでも示しておくことが、電磁波の実在性を示すうえで必要である。

V. 電子、原子、原子核とエネルギー



留意点、問題点

- この単位では、分子レベルでは原子と原子の結合、原子レベルでは原子核と電子の結合、原子核レベルでは核子間の結合というように、結合とその状態に重点を置いて教材が展開されていると考えられる。そして、そこでのエネルギーの取扱い方は、古典論と異なり、ある状態から他の状態に変化する際のエネルギーの変化に注目し、状態の変化に必要なエネルギーを、例えば、イオン化エネルギー、結合エネルギーと呼んでいる。状態量としてのエネルギーという観点からすれば、ここで問題になっているのは、運動エネルギー、位置エネルギーとその和のエネルギーである。ある状態から他の状態に移ると全エネルギーが変化すると共に、物質の形態も変化する（例えば、原子→イオン、重水素核→陽子+中性子）が故に、イオン化エネルギーとか結合エネルギーのような呼称が生じたと思われる。
- 物質の結合のくみかえによってエネルギーがとりだせるという観点は、物理では、この単位

独自のものである。

3. コンプトン散乱，質量エネルギー等，特殊相対論の知識が必要な単元である。現行の教科書では，非常に唐突に質量エネルギーを導入しているが，質量エネルギーの背景には，時間，空間概念の変革があるのだから，この単元に入る前のどこかで，相対論の初歩的なことは導入しておく必要があるのではないか。
4. 原子内電子のエネルギーが量子化されることに関して，定常波からの類推が大切だと思う。

ま と め

自然界には，実に様々の形態でエネルギーが存在している。そして，エネルギーの出入りを通じて，物質はその形態・状態を変えている。理科の各分野でエネルギーが，いわば，共通項のように登場してくるのには，たぶん，こんな所に背景があるのだろう。ところが，各分野での理解のされ方は，実に様々である。

教科書に熱エネルギーという言葉があるから，熱はエネルギーであると考えたり，熱は自然には高温から低温にしか移らないという記述がある一方で，熱の伝わり方には，放射，伝導，対流があると教えたり，混乱は生徒達だけでなく，私達にもある。従って，作業は生徒にエネルギーをどう教えるかということよりも，私達が各分野でのエネルギー教材取り扱いの現状を知り，共通の認識をつくることを重視してなされた。

実際に作業を進めてみると，あらためて，各分野での教材取扱いの視点の相異と全分野を視野においた教材展開の難しさを知らされた。その中で明らかになってきたことを以下に挙げる。

1. エネルギー保存則は，孤立系で成立し，エネルギーの原理として次のように定式化できる。

$$\text{(終りの状態できる量)} - \text{(始めの状態できる量)} = \text{(系が変化する間に外界からなされる量)} \quad (1)$$

右辺がエネルギーの変化量を示し，左辺が系の状態変化がどのようなプロセスで進むかを示している。

物理分野の力学，熱分野では系の指定と保存と転化という視点が明確になっている。化学の分野を含めて，分子・原子・原子核レベルでは，状態量としてのエネルギーが定量化されておらず，物質の結合の変化が状態の変化になることから，(1)式の左辺（エネルギーの変化量）をさして，例えば，イオン化エネルギー，結合エネルギーという呼び方をしている。そこでは，エネルギー転化のプロセス（式右辺）は余り問題にされていない。

生物，地学では系が大きく，かつ開いた系としての取り扱い上，系の設定と系内系外の区別が難しく，かつ系を設定できたとしても，状態を少数のパラメーターで記述するのは困難である。従って，始めにエネルギーがあって，それが現象の変化と共にどう姿を変えるかという視点で扱われている。従って，エネルギーの保存量としての側面と転化のプロセスが不鮮明になっている。中学校でもだいたい同様の取り扱いがなされ，現象変化とエネルギー転換の関係し

か問題にされていない。

2. 熱概念が多様に理解されている。
熱力学で規定されるように熱概念を使用する場合と物体の移動がない温度上昇をすべて熱効果に帰着する場合があります、このことが、用語の混乱だけでなく、理解の混乱の一因となっている。熱エネルギーという用語も気になる用語の一つである。
3. 熱力学第二法則に規定されるエネルギーの質が余り問題にされていない。
熱機関や化学平衡の所で若干取りあげられているが、転換を重視していることにくらべて、質の問題は軽視されている。

4. 残された課題

自然科学教育では、科学の体系を重視して、概念を正しく厳密に教えることにウェイトを置くのか、それとも生徒の関心、興味・理解を重視して、概念の厳密性を多少犠牲にしてもよいのだろうか。大変難しい問題である。いずれにしても、その前提として、教師は正しく厳密に理解していることが望ましいことは言うまでもない。