

## 環境問題への物理学的アプローチ — 高校物理におけるエネルギーの質の概念 —

片岡久明

函館大学附属柏稜高等学校, 〒042-0942 函館市柏木町1-34

### Dealing with Environmental Issues from the Physical Perspective: Conceptualizing 'the quality of energy' in high school physics class

Hisaaki KATAOKA

Hakuryo High School attached to Hakodate University

1-34 Kashiwagi, Hakodate, Hokkaido 042-0942, Japan

#### Summary

The lesson plan was designed and put into practice in order to have the students conceptualize 'the quality of energy' by studying the energy conservation law and the thermal efficiency of heat engines. The students learned that the heat energy cannot be entirely harnessed in the actual heat engines. In so doing, they found out that 'the quality of energy' differs in kind despite the quantity of it. The point was clearly made that 'the waste of energy' is to reduce the quantity of high-quality energy unnecessarily; that is, to lower the quality of energy meaninglessly. From the viewpoint of 'the quality of energy', for instance, the students had a proper understanding that saving electricity will lead to improving environmental problems. Along with discussing a variety of environmental issues from a single perspective, it would be effective to have students conceptualize 'the quality of energy' in the environmental education in high school.

Keywords: environment, physics, quality, energy, high school

#### 1. はじめに

蒸気機関の発展による産業革命以来、人類は熱エネルギーから動力を得て交通機関や産業を発展させてきた。熱機関から排出される排気ガスや廃熱が、環境に対して悪影響をおよぼすことが認識されるようになったのは、公害が大きな社会問題になってからである。熱機関は技術の方が先行し、熱力学の理論はあとから明らかにされてきた。しかし、環境問題が生物の生存そのものを脅かすようになった今日、この問題に対してその本質を理解し解決の道を示唆するものは熱力学の理論である。

現代の生活において我々は化石燃料に代表される化学エネルギーや、照明及び動力に用いる電気エネルギー等、実に様々なエネルギーを使用している。工場排気及び煤煙や自動車の排気ガスなどによる公害、地球の温暖化は現代文明におけるエネルギーの利用法に起因していると思われる。物理学的にこの原因を考察するに、エネルギ

ーの質が重要な因子となる。エネルギーの質とは、エントロピーによってスケールされたエネルギーの階層である<sup>(1)</sup>。この概念を都市ゴミ問題などを含めた環境問題に応用することによって、比較的単純なしかも統一的な観点から論点を整理しなおすことが可能である。

平成7年度に、北海道高等学校理科研究会に加入している323校を対象としたアンケート調査が行われた<sup>(2)</sup>。回答のあった177校のうち、物理履修希望生徒数については20名未満の学校が一番多く、全体の30%余りを占めた。物理学の特徴は自然の事物・現象に、より普遍的な法則を見いだしたり、その法則から新しい事物・現象を予測するところにある。物理学の本来の特徴を生徒に再認識させ興味を持たせるためにも、身近な環境問題を物理学的に取り扱うことの意義は大きい。筆者は高等学校理科の科目内容を環境教育の立場から見直し、環境教育をより効果的に行えるよう系統化したカリキュラムを

	I	II	III
力学的エネルギー			■
化学エネルギー	■		
熱エネルギー		■	■
エネルギーの和	■	■	■

図1 蒸気機関でのエネルギー変換

提案した<sup>(3)</sup>。また総合理科の系統性と物理、化学、生物、地学の4分野の内容に熱力学を取り入れた、“環境物理”なる新たな領域を明示した<sup>(4)</sup>。その一部を平成7年より授業に取り入れ<sup>(5)</sup>、インターネットの活用も加えながらこれまでに6回の授業を行った。本論文では本校普通科特別進学コース2年生理系クラスで、物理の時間にエネルギーの質の概念を導入した試みについて考察する。

## 2. エネルギーの質と環境問題

現在、エネルギーの利用方法としては化石燃料(石油・石炭)の燃焼が一般的である。化石燃料は太陽の光エネルギーを化学エネルギーとして蓄積したものである。例えば蒸気機関では、図1のように化学エネルギーを熱エネルギーに変換後、力学的エネルギーを得ている。熱機関のカルノー効率 $\eta_c$ は高熱源の温度を $T_H$ 、低熱源の温度を $T_L$ とすると、

$$\eta_c = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

である。熱機関の効率は理論的にこのカルノー効率を超えることはできない。すなわち、熱機関に与えた熱量をすべて仕事に変換するようなサイクルは存在しないのである。この意味から、熱エネルギーは質の低い、低級なエネルギーといえる。単なる大気への廃熱はエネルギーの質を無駄に低下させているにすぎない。排出される二酸化炭素は温室効果ガスとして温暖化をさらに加速する、同時に放出される窒素酸化物や硫黄酸化物等の排気ガスは、光公害等の要因となっている。エネルギーの質を低下させないこと、すなわちエネルギーの無駄な散逸を防ぐことが環境諸問題の解決にとって必要である。

	III	II	I	
■	■	■	■	電気のエネルギー
■	■	■	■	化学エネルギー
■	■	■	■	化学エネルギー
■	■	■	■	化学エネルギー
■	■	■	■	化学エネルギー
■	■	■	■	化学エネルギー
■	■	■	■	化学エネルギー

図2 質低下の少ないエネルギー変換

化学エネルギーを大きな質の低下を招くことなく力学的エネルギーに変換するには、図2の①や②→③のように熱エネルギーの形態を経ない方法が有効である。図2の①の経路は人間の筋肉に相当している。ATPの末端のリン酸基が切れてADPとリン酸になる時に放出される化学エネルギーは、アクチンとミオシン間のすべりという力学的エネルギーに変換される。筋肉はエネルギー源を燃焼させないので、有害な気体や騒音を外へ出すこともなく、未来のエンジンとして望ましい性質を備えている<sup>(6)</sup>。この技術が進歩することによって、エネルギー問題は1つの解決策を見いだすことになる。

図2の②のように化学エネルギーを電気エネルギーへ変換する効率も比較的高く、変換装置としては電池が存在する。特に燃料電池は燃料の酸化反応の際の化学エネルギーを熱エネルギーにせずに、直接電気エネルギーに変換する装置である<sup>(7)</sup>。この技術はエネルギー変換の効率、有効利用という点からみて無駄が少なく、太陽の光エネルギーを電気エネルギーに変換する太陽電池等とともに、将来のエネルギー変換装置として有望である。化学エネルギーは、質の低下の少ない中級のエネルギーと捉えることができる。また電気エネルギーは力学的エネルギーへの変換効率が理論上ほぼ100%であり(図2の③)、質の高い高級なエネルギーといえる。モーターからの動力とエンジンからの動力を併用した自動車は既に実用化されているが、完全な電気自動車の普及がいそがれる。

高級あるいは中級のエネルギーを低級の熱エネルギーに変換し、その熱エネルギーから力学的エネルギーを得ることはきわめて非効率である。この変換過程が地球温暖化及び公害等、諸問題の大きな発生要因となっている。将来の地球にとって、このような非効率な変換過程を必

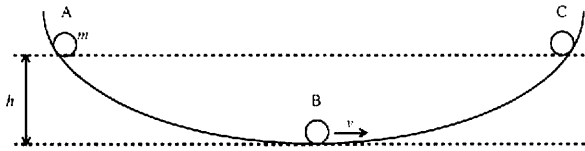


図3 斜面AC

要としない変換装置の開発が急務である。

### 3. 授業実践

章の最初にエネルギーの意味、種類などの基礎的内容を学習した。NIKK教育テレビで放送された「10min.ボックス-エネルギーという考え方」を録画したビデオの視聴や、平成9年1月に行われたセンター試験問題物理IBの第3問(熱エネルギーを含めたエネルギー保存の法則を問う問題)等を行った。

図3のようになめらかな斜面ACがあり、斜面上の点Aに質量mの小球を置く。点Aから静かにすべり出した小球は、点Bを通過し点Cに達した。点Aの水平面からの高さをh、点Bでの小球の速さをvとする。また重力加速度をgとし、空気の抵抗は無視できるものとする。この時の点Aおよび点B、点Cでの位置エネルギーと運動エネルギーの関係を図4に示す。点Aおよび点Cでは小球の速さが0のため運動エネルギーは0であり、点Bでは小球の水平面からの高さが0であるため位置エネルギーは0となる。いずれの点においても位置エネルギーと運動エネルギーの総和は一定であることから、点Aでの小球の位置エネルギーは点Bにおいて100%運動エネルギーに変換され、点Bにおける小球の運動エネルギーは点Cにおいて100%位置エネルギーに変換されたといえる。位置エネルギーや運動エネルギー、すなわち力学的エネルギーは摩擦を無視すれば、理論上100%仕事として取り出せるエネルギーであることがわかる。

一方、図5のように点Aから初速度vで粗い水平面をすべり出した質量mの物体が、点Bで静止したとする。

	A	B	C
位置エネルギー	$mgh$	0	$mgh$
運動エネルギー	0	$\frac{1}{2}mv^2$	0
エネルギーの和			

図4 位置エネルギーと運動エネルギーの変換

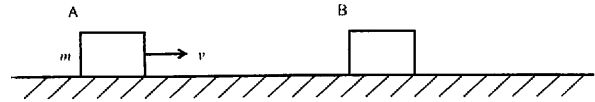


図5 粗い水平面

点Bでは物体の速さが0であることから、点Aでの物体の運動エネルギーは点Bにおいて100%熱エネルギーに変換されたことがわかる(図6)。それでは点Bにある物体に、点Aでの物体の運動エネルギーと同じ量の熱エネルギーを与えて、再び速度vの運動をさせることができるだろうか。多くの生徒から、できないという答えが返ってきた。これは生徒にも直感的にわかることであり、実際の熱機関での熱効率も10~40%程度である。ここで生徒は量が同じであっても、エネルギーの種類によって運動エネルギーに変換できる割合が違うことを、はっきりと認識した。生徒に次のような問題を与え、エネルギーを量だけではなく質の点から捉えることを促した。

1. 次の空欄に適する語を答えなさい。

エネルギーの量が同じであっても、エネルギーの種類によって(1)として取り出せる量は異なる。すなわちエネルギーの種類によって、その(2)が違うといえる。

省エネルギーとはエネルギーの(3)を節約するのではなく、(4)を節約することである。無駄な(5)の発生を少なくすることは、その1つの方法である。

最初は“質”という言葉がでてこなかったが、ヒントを出していくうちに“質”という言葉が生徒の答えの中にあられてきた。ただ(4)で質を節約するという文章が適当ではなく、生徒を混乱させたようである。「(4)の低下を防ぐ」などのような文章にするべきであった。ここで生徒はエネルギーの捉え方には量だけでなく、質という見方があることをしっかりと認識した。教科書を用いて電気エネルギーや波(音、光、電波)のエネルギーについても、そのエネルギーの質について補足した。

図3の斜面の説明をする前に、「省エネルギーとはどういうことか」を生徒に書かせたところ、答えの7割以上がテレビ、エアコン、冷蔵庫、洗濯機などを含む電化製品および電気に関するものであった。その他は水道、ガス、石油・石炭などに関するものである。電気エネル

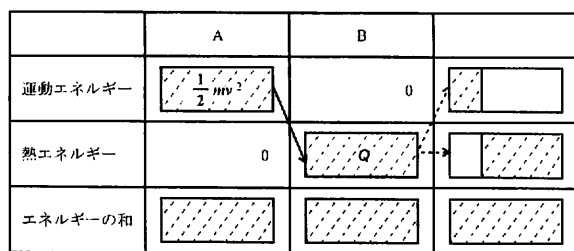


図6 運動エネルギーと熱エネルギーの変換

ギーは、きわめて質の高いエネルギーである。その質の高いエネルギーの量を節約することはすなわち無駄にエネルギーの質を低下させないことに等しいことを、生徒は理解することができた。必要のない電気のつけっぱなしや不必要な自動車のアイドリングなどは、ただ無意味にエネルギーの質を低下させているだけであり、さらには温室効果のある二酸化炭素や窒素酸化物、硫黄酸化物などの排出ガスが環境問題の原因になることを深く認識できた。他の環境問題についても、それを量と質という二つの側面からとらえる基礎が確立された。

#### 4. おわりに

熱力学の第一法則はエネルギー保存の法則を示したものであり、エネルギーを量として扱うものである。一方、熱力学の第二法則はエネルギーの質についても考慮し、すべての過程はエネルギーの質が低下する方向に進行すると述べている<sup>(8)</sup>。現行の教科書においてもエネルギーの量に関する「エネルギー保存の法則」、および熱の不可逆性についての記述は見られる。しかし、もう一歩進んでエネルギーの種類を質という視点から分類し考察することが、これからの高等学校の教育とりわけ環境問題を考える際に必要である。

エネルギー保存の法則および熱機関の熱効率から、エネルギーの質という概念を導く授業案を作成し実践した。

生徒は量が同じであっても、エネルギーの種類によって質が違うことを見いだした。エネルギーの無駄使いとは質の高いエネルギーの量を無駄に減らすこと、すなわちエネルギーの質の無意味な低下であることを理解できた。環境諸問題を解決する上に、エネルギーの質という概念を避けて通ることはできない。高等学校での環境教育においてエネルギーの質という概念の導入は、様々な環境問題を統一的な視点から解く際に効果のあることが示唆された。

#### 参考文献

- (1) 片岡久明・下山雄平 1997. エネルギーの質と有効利用 物理教育研究 25: 20-25 日本物理教育学会北海道支部
- (2) 細川敏幸・小野寺 彰・山田大陸・鶴岡森昭 1996. 高校物理教育の現状調査 物理教育研究 24: 42-49 日本物理教育学会北海道支部
- (3) 片岡久明・下山雄平 1996. 高等学校の理科における環境教育の現状解析 教育情報科学 24: 43-52 北海道教育大学函館校
- (4) 片岡久明・下山雄平 1997. 環境物理と高校理科教育 応用物理教育 21(1): 15-20 応用物理学会応用物理教育文科会
- (5) 片岡久明 1996. 高等学校の理科における環境教育の授業実践 学校教育学会誌 1: 71-80 北海道教育大学函館学校教育学会
- (6) 清水 博 1978. 「生命を捉えなおす」 p. 151 中公新書
- (7) 平井慶彦 1989. 「エネルギー変換技術入門」 p. 84 東海大学出版会
- (8) Yunus A. Cengel, Michael A. Boles 1997. THERMODYNAMICS p. 192 オーム社